

# NEDO再生可能エネルギー技術白書

～新たなエネルギー社会の実現に向けて～

平成 22 年 7 月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構



## はじめに

世界的に地球温暖化対策の強化が求められる中、我が国は 2020 年までに温室効果ガスを 1990 年比で 25%削減するとの目標を掲げ、世界各国への積極的な取り組みを呼びかけている。我が国が、この高い目標の達成と、地球温暖化対策に関する国際的リーダーシップを発揮していく上で、再生可能エネルギーの技術力の高さは大きな強みとなる。

また、我が国は現在、エネルギー消費の大部分を海外からの輸入に頼っているが、資源生産地から国内の最終消費に至るまで、安定的なエネルギー供給体制を継続的に構築することが重要課題であり、こういったエネルギー安全保障の観点からも、国産である再生可能エネルギーの普及拡大は欠かせないものである。

一方、再生可能エネルギーを産業の側面からみると、その多くが地方部に賦存することから、これまで、我が国の地域産業振興に貢献してきた点も見逃せない。地産地消システムの確立にともない、エネルギーの供給、輸送、消費に関連する新たな産業が産み出され、地域の雇用創出等を実現している。さらに、国内での導入拡大とともに、我が国の国際競争力を高め、グローバルマーケットへ展開していくことで、我が国の経済成長に貢献することが大きく期待されている。

このように、再生可能エネルギーの重要性がますます高まる中、今年 6 月に閣議決定された「新成長戦略」においては、7つの戦略分野の第1の柱として「グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」が掲げられた。この中で、再生可能エネルギーの普及拡大や、それを支えるスマートグリッド構築の重要性が示されている。

また、同じく 6 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においても、自立的かつ環境調和的なエネルギー供給構造を実現するために、再生可能エネルギーの導入拡大が必要とされている。

NEDO では、様々な再生可能エネルギーの技術開発や国際実証などを展開しているところであるが、昨今の再生可能エネルギーへの期待の高まりを背景に、既に世界的に導入が進められている主力の太陽光発電、風力発電、バイオマスエネルギーに加え、昨今新たな担い手として大きな注目を集め、世界市場も拡大する見込みである太陽熱発電、波力発電、海洋温度差発電、スマートグリッドを対象として、国内外の最新動向を詳細に調査するとともに、今後の技術開発の道筋を示す技術ロードマップを策定した。また、地熱発電、中小水力発電、その他の再生可能エネルギー等についても、改めて詳細な現状分析を行った。

以上について、「再生可能エネルギー技術白書」という形でとりまとめたのが本書である。今後、これが、政府や産業界の再生可能エネルギーの導入拡大に向けた議論のベースや、技術開発の指針として活用されることを期待する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
エネルギー・環境技術本部長 小井沢 和明

# 目次

<b>1 再生可能エネルギー導入拡大の必要性</b> .....	<b>1</b>
1.1 エネルギー安全保障の強化.....	1
1.2 地球温暖化対策の強化.....	1
1.3 経済成長の実現.....	2
<b>2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ</b> .....	<b>3</b>
2.1 技術を取りまく現状.....	3
2.1.1 技術の俯瞰.....	3
2.1.2 ポテンシャル.....	9
2.1.3 導入目標量例.....	13
2.1.4 導入実績.....	21
2.1.5 技術開発動向.....	23
2.1.6 システム価格、発電単価等.....	39
2.1.7 推進施策・関連法令.....	44
2.1.8 ビジネスモデル.....	64
2.1.9 国内技術の競争力.....	67
2.2 技術ロードマップ.....	73
2.2.1 目指す姿.....	73
2.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応.....	75
2.2.3 技術開発目標と技術開発の内容.....	78
<b>3 風力発電の技術の現状とロードマップ</b> .....	<b>89</b>
3.1 技術を取りまく現状.....	89
3.1.1 技術の俯瞰.....	89
3.1.2 ポテンシャル.....	96
3.1.3 導入目標量例.....	102
3.1.4 導入実績.....	110
3.1.5 技術開発動向.....	114
3.1.6 システム価格、発電単価等.....	126
3.1.7 推進施策・関連法令.....	132
3.1.8 ビジネスモデル.....	149
3.1.9 国内技術の競争力.....	154

<b>3.2 技術ロードマップ</b> .....	<b>157</b>
3.2.1 目指す姿 .....	157
3.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応 .....	159
3.2.3 技術開発目標と技術開発の内容 .....	162
<b>4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ</b> .....	<b>171</b>
<b>4.1 技術を取りまく現状</b> .....	<b>173</b>
4.1.1 技術の俯瞰 .....	173
4.1.2 ポテンシャル .....	184
4.1.3 導入目標量例 .....	187
4.1.4 導入実績 .....	191
4.1.5 技術開発動向 .....	197
4.1.6 システム価格、エネルギー単価等 .....	221
4.1.7 推進施策・関連法令 .....	226
4.1.8 ビジネスモデル .....	239
4.1.9 国内技術の競争力 .....	241
<b>4.2 技術ロードマップ</b> .....	<b>243</b>
4.2.1 目指す姿 .....	243
4.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応 .....	245
4.2.3 技術開発目標と技術開発の内容 .....	247
<b>5 太陽熱発電の技術の現状とロードマップ</b> .....	<b>253</b>
<b>5.1 技術を取りまく現状</b> .....	<b>253</b>
5.1.1 技術の俯瞰 .....	253
5.1.2 ポテンシャル .....	259
5.1.3 導入目標量例 .....	260
5.1.4 導入実績 .....	267
5.1.5 技術開発動向 .....	272
5.1.6 システム価格・発電単価等 .....	281
5.1.7 推進施策・関連法令 .....	285
5.1.8 ビジネスモデル .....	299
5.1.9 国内技術の競争力 .....	302
<b>5.2 技術ロードマップ</b> .....	<b>304</b>
5.2.1 目指す姿 .....	304
5.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応 .....	306
5.2.3 技術開発目標と技術開発の内容 .....	308

## 6 波力発電の技術の現状とロードマップ..... 311

6.1 技術を取りまく現状 .....	311
6.1.1 技術の俯瞰.....	311
6.1.2 ポテンシャル.....	314
6.1.3 導入目標量例.....	317
6.1.4 導入実績.....	322
6.1.5 技術開発動向.....	323
6.1.6 システム価格、発電単価等.....	336
6.1.7 推進施策・関連法令.....	339
6.1.8 ビジネスモデル.....	354
6.1.9 国内技術の競争力.....	356
6.2 技術ロードマップ.....	357
6.2.1 目指す姿.....	357
6.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応.....	358
6.2.3 技術開発目標と技術開発の内容.....	359

## 7 海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ..... 365

7.1 技術を取りまく現状 .....	365
7.1.1 技術の俯瞰.....	365
7.1.2 ポテンシャル.....	372
7.1.3 導入目標量例.....	374
7.1.4 導入実績.....	375
7.1.5 技術開発動向.....	376
7.1.6 システム価格、発電単価等.....	383
7.1.7 推進施策・関連法令.....	384
7.1.8 ビジネスモデル.....	397
7.1.9 国内技術の競争力.....	399
7.2 技術ロードマップ.....	400
7.2.1 目指す姿.....	400
7.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応.....	401
7.2.3 技術開発目標と技術開発の内容.....	402

## 8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状..... 407

8.1 太陽熱冷暖房 .....	407
8.1.1 技術の俯瞰.....	407
8.1.2 ポテンシャル.....	412

8.1.3	導入目標量例.....	414
8.1.4	導入実績.....	415
8.1.5	技術開発動向.....	421
<b>8.2</b>	<b>中小水力発電.....</b>	<b>426</b>
8.2.1	技術の俯瞰.....	426
8.2.2	ポテンシャル.....	432
8.2.3	導入目標量例.....	433
8.2.4	導入実績.....	434
8.2.5	技術開発動向.....	435
<b>8.3</b>	<b>地熱発電.....</b>	<b>437</b>
8.3.1	技術の俯瞰.....	437
8.3.2	ポテンシャル.....	439
8.3.3	導入目標量例.....	441
8.3.4	導入実績.....	442
8.3.5	技術開発動向.....	447
<b>8.4</b>	<b>温泉熱発電・熱利用.....</b>	<b>451</b>
8.4.1	技術の俯瞰.....	451
8.4.2	ポテンシャル.....	454
8.4.3	導入目標量例.....	456
8.4.4	導入実績.....	457
8.4.5	技術開発動向.....	460
<b>8.5</b>	<b>雪氷熱利用.....</b>	<b>462</b>
8.5.1	技術の俯瞰.....	462
8.5.2	ポテンシャル.....	465
8.5.3	導入目標量例.....	467
8.5.4	導入実績.....	468
8.5.5	技術開発動向.....	473
<b>8.6</b>	<b>海流・潮流発電.....</b>	<b>476</b>
8.6.1	技術の俯瞰.....	476
8.6.2	ポテンシャル.....	478
8.6.3	導入目標量例.....	479
8.6.4	導入実績.....	479
8.6.5	技術開発動向.....	483
<b>8.7</b>	<b>潮汐力発電.....</b>	<b>489</b>
8.7.1	技術の俯瞰.....	489
8.7.2	ポテンシャル.....	490



8.7.3	導入目標量例.....	490
8.7.4	導入実績.....	491
8.7.5	技術開発動向.....	492
<b>8.8</b>	<b>熱電発電.....</b>	<b>494</b>
8.8.1	技術の俯瞰.....	494
8.8.2	ポテンシャル.....	495
8.8.3	導入目標量例.....	496
8.8.4	導入実績.....	496
8.8.5	技術開発動向.....	499
<b>8.9</b>	<b>圧電発電.....</b>	<b>503</b>
8.9.1	技術の俯瞰.....	503
8.9.2	ポテンシャル.....	506
8.9.3	導入目標量例.....	506
8.9.4	導入実績.....	506
8.9.5	技術開発動向.....	508
<b>8.10</b>	<b>工場等排熱利用.....</b>	<b>509</b>
8.10.1	技術の俯瞰.....	509
8.10.2	ポテンシャル.....	512
8.10.3	導入目標量例.....	513
8.10.4	導入実績.....	514
8.10.5	技術開発動向.....	518
<b>8.11</b>	<b>温度差熱利用.....</b>	<b>521</b>
8.11.1	技術の俯瞰.....	521
8.11.2	ポテンシャル.....	523
8.11.3	導入目標量例.....	524
8.11.4	導入実績.....	524
8.11.5	技術開発動向.....	527
<b>9</b>	<b>スマートグリッドの技術の現状とロードマップ.....</b>	<b>531</b>
<b>9.1</b>	<b>技術を取りまく現状.....</b>	<b>531</b>
9.1.1	技術の俯瞰.....	531
9.1.2	技術開発動向.....	540
9.1.3	推進施策・関連法令.....	602
9.1.4	ビジネスモデル.....	615
9.1.5	我が国の競争力.....	617

9.2 技術ロードマップ .....	618
9.2.1 目指す姿 .....	618
9.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応 .....	622
9.2.3 技術開発目標と技術開発の内容 .....	624
<b>10 スマートコミュニティの構築に向けて .....</b>	<b>631</b>
10.1 スマートコミュニティの必要性 .....	631
10.1.1 スマートコミュニティ形成に向けた新たな動き .....	631
10.1.2 スマートコミュニティへの期待 .....	636
10.2 2030年の我が国のスマートコミュニティ像 .....	641
10.2.1 2030年の我が国の展望（人口・GDP・エネルギー消費等） .....	641
10.2.2 目指すべきスマートコミュニティ像 .....	641
10.2.3 スマートコミュニティ実現に向けて .....	643
<b>11 おわりに .....</b>	<b>647</b>
<b>NEDO 再生可能エネルギー技術白書策定委員会 名簿 .....</b>	<b>649</b>

# 1 再生可能エネルギー導入拡大の必要性

世界的に再生可能エネルギーに対する関心が急速に高まっており、各国において、再生可能エネルギーの導入拡大に向けた取り組みが強化されている。

我が国としても、エネルギー政策の基本である 3E、すなわち、エネルギー安定供給の確保 (Energy Security)、環境への適合 (Environment)、経済効率性 (Economic Efficiency) の実現を図る上で、再生可能エネルギーの導入拡大が急務であり、平成 22 年 6 月に改定された政府のエネルギー基本計画においても、2020 年までに一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合を 10% にするとの高い目標が掲げられたところである。

## 1.1 エネルギー安全保障の強化

昨今の原油価格をはじめとするエネルギー価格の乱高下や資源ナショナリズムの台頭、BRIC's などの新興国におけるエネルギー需要の急増などの情勢を踏まえれば、エネルギー消費の大部分を海外からの輸入に頼っている我が国としては、エネルギー安定供給を確保することが最重要課題である。

再生可能エネルギーの導入拡大は、エネルギー自給率の向上、エネルギー源の多様化に貢献するとともに、エネルギー輸入依存度の低減を図ることが可能であり、このため、原子力とともに、エネルギー安全保障の強化を図る上で、非常に重要な位置付けにある。

## 1.2 地球温暖化対策の強化

温室効果ガスの約 9 割をエネルギー起源の CO<sub>2</sub> が占める我が国において、地球温暖化対策は、エネルギー政策の根幹の 1 つとなっている。

我が国としては、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際的枠組みの構築や意欲的な目標の合意を前提として、2020 年までに温室効果ガスを 1990 年比で 25%削減するとの目標を掲げ、あらゆる政策を総動員したチャレンジ 25 の取り組みを推進している。

平成 22 年 6 月に閣議決定された新成長戦略においても、7 つの戦略分野の第一の柱である「グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」の中で、2020 年までの目標として、「日本の民間ベースの技術を活かした世界の温室効果ガスの削減量を 13 億トン以上とすること (日本全体の総排出量に相当)」が掲げられた。

このように、地球温暖化対策の強化が必要な中、再生可能エネルギーに関する高い技術力を有する我が国は、これを強みとして、国内での再生可能エネルギー導入拡大を推進しつつ、地球温暖化対策に関して国際的にリーダーシップを発揮していく可能性を秘めている。

### 1.3 経済成長の実現

再生可能エネルギー産業の裾野は広い。世界的に再生可能エネルギー市場が急速に拡大する中で、再生可能エネルギー関連産業が、将来的に我が国の経済成長の一翼を担うとの期待が高まっている。

例えば、太陽光発電については、太陽電池単体（セル・モジュール）の技術力に加え、インバータや蓄電池、パワーコンディショナと周辺機器においても我が国は高い技術力を有している。今後、日本の太陽光発電関連産業の総合力を発揮し、システム全体の高付加価値化を図りつつ、グローバルマーケットへの展開を図ることが期待される。

また、日本型スマートグリッドの展開は、再生可能エネルギーの導入拡大と高品質な電力の安定供給の実現のほか、関連システムの輸出や、新たなサービスの創出により、我が国産業の成長の舞台となる可能性がある。

新成長戦略においては、「グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」を推進することにより、2020年までの目標として、「50兆円超の環境関連新規市場」、「140万人の環境分野の新規雇用」、「日本の民間ベースの技術を活かした世界の温室効果ガス削減量を13億トン以上とすること（日本全体の総排出量に相当）」を掲げており、こういった高い目標の実現に向けて、再生可能エネルギーの導入拡大が重要な鍵となっている。

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

### 2.1 技術を取りまく現状

#### 2.1.1 技術の俯瞰

太陽光発電技術は、シリコン系、化合物系、有機系に大別され、主に以下に挙げる太陽電池が開発されている。

図表 2.1 太陽電池の種類と特徴

種類		特徴	変換効率※	実用化状況	主な国内メーカー
シリコン系	結晶系	単結晶	～20%	実用化	シャープ 三洋電機(HITタイプ)
		多結晶			
	薄膜系	～9% (アモルファス)	実用化	シャープ 三菱重工業 カネカ 富士電機	
化合物系	CIS系	～12%	実用化	ソーラーフロンティア ホンダソルテック	
	CdTe系	～11%	実用化	国内：無し First Solar (米)	
	集光型	(集光時 ～42%)	研究段階	シャープ 大同特殊鋼	
有機系	色素増感	(～11%)	研究段階	アイシン精機 シャープ フジクラ ソニー	
	有機薄膜	(～8%)	研究段階	新日本石油 パナソニック 電工 住友化学 三菱化学	

※モジュール変換効率、但し括弧内は研究段階におけるセル変換効率

## (1) 結晶系シリコン太陽電池

### 1) 単結晶シリコン太陽電池

単結晶シリコン太陽電池は、様々な太陽電池の中で最も歴史の古い太陽電池である。種結晶を元に高温で作られた円柱状の単結晶シリコンインゴット（シリコンの塊）を厚さ 200 $\mu\text{m}$  程度にスライスして作製する。シリコン原子が規則正しく並ぶ単結晶を用いるため、実用化されている太陽電池の中で最も変換効率が高く（モジュール効率は 14～20%）、耐久性・信頼性にも優れている。しかしコストが高いことや、大量生産に不向きという課題がある。

現在、HIT（Heterojunction with Intrinsic Thin-layer）太陽電池と呼ばれる、単結晶シリコンとアモルファスシリコン<sup>1</sup>をヘテロ結合<sup>2</sup>により積層したハイブリッド型の太陽電池が三洋電機により開発、製造販売されている。モジュール変換効率は約 17%と高く、単結晶シリコン太陽電池と比較して、高温時の特性低下が小さいことも特徴である。

図表 2.2 単結晶シリコン太陽電池

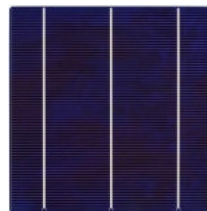


出典：NEDO 資料

### 2) 多結晶シリコン太陽電池

多結晶シリコン太陽電池は、単結晶シリコンのような一つの大きな結晶ではなく、異なった面方位を向いた比較的小さな結晶が継ぎはぎとなったインゴットを、厚さ 200 $\mu\text{m}$  程度にスライスして形成する。単結晶と比較して効率は落ちるが、安価で製造が容易であり、効率とコストのバランスが良いため、現在最も普及している太陽電池である。モジュール効率は 13～15%である。

図表 2.3 多結晶シリコン太陽電池



出典：NEDO 資料

<sup>1</sup> シリコン原子の配列が不規則なシリコン。電子の流れが悪く、単結晶シリコン等と比較して効率は落ちる。

<sup>2</sup> 異種材料で形成した半導体の積層構造。

## (2) 薄膜系シリコン太陽電池

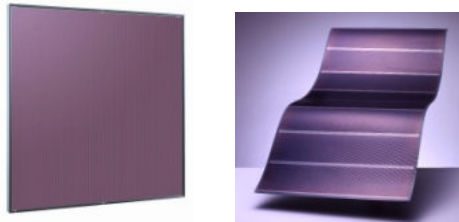
薄膜系シリコン太陽電池は、シリコンの必要量を削減できる低コストな太陽電池として開発された。結晶系のようにシリコンインゴットをスライスするのではなく、シラン (SiH<sub>4</sub>) 等の原料ガスからプラズマ CVD 法<sup>3</sup>にて基板上に薄膜を作製する。シリコン使用量は結晶系の 1/100 程度にまで削減できる上、200°C以下の低温プロセスで製膜できるため、製造に要するエネルギーの削減、大幅な低コスト化が可能である。

シリコン原子の配列が不規則なアモルファス状態になっているため電子の流れが悪くなり、結晶系シリコン (13~20%) と比較すると効率が落ちる。現在モジュール効率は約 6~9%である。しかし、夏場の高温環境下でも効率の低下が少ない特性を持つことから、実用時に有利な面もある。

高効率化の取組みとして、結晶粒が 50~100nm 程度の微結晶シリコンを用いて、アモルファスシリコンと微結晶シリコンを積層した多接合太陽電池<sup>4</sup>が実用化されている。モジュール変換効率は最高水準で 12%<sup>5</sup>とアモルファスシリコン太陽電池より高効率である。

薄膜であるため、基板にステンレス箔やプラスチックフィルム等を用いたフレキシブルな太陽電池を製造できることも大きな特徴の一つである (図表 2.4 写真右側)。

図表 2.4 薄膜系シリコン太陽電池



出典：NEDO 資料

## (3) 化合物系太陽電池

### 1) CIS 系太陽電池

CIS 系 (または CIGS 系) 太陽電池は、シリコンの代わりに銅 (Cu)、インジウム (In)、ガリウム (Ga)、セレン (Se) 等からなる化合物半導体を使用する。実用化されてからまだ歴史が短い、薄膜、軽量、省資源、低価格など多くの長所を持つため注目を浴びている。

一般的な結晶シリコンと比較して光の吸収率が高く、わずか 1~2μm の厚さで発電できる。市販されている CIS 系太陽電池のモジュール変換効率は約 10~12%であるが、研究室レベルでは結晶系シリコン太陽電池並みの 20%近い効率が確認されている。

また、製造工程数が結晶系シリコン太陽電池の約半分であるため、製造コストを大幅に削減することができる。量産が容易で、長辺 1m 以上の大面積の太陽電池を連続的に生産することが可能である。また耐放射線性が極めて優れており、宇宙用途にも適している。薄膜系シリコ

<sup>3</sup> CVD は Chemical Vapor Deposition の略で化学気相成長法。直流電圧等を印加することによりプラズマ化した原料ガスが、化学反応により基板上に堆積して薄膜が形成される。

<sup>4</sup> 多接合太陽電池の原理については集光型太陽電池の項 (P6) を参照のこと。

<sup>5</sup> (株)カネカ 2010 年 6 月 7 日ニュースリリース (<http://www.kaneka.co.jp/news/n100607.html>)

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

ン太陽電池と同様に、金属箔やプラスチック基板を用いて軽量でフレキシブルな太陽電池を製作することもできる。

希少金属であるインジウムやガリウムを使用しているため、資源制約が課題であるが、技術的に希少金属使用量を削減する等により、2050年以降も利用可能と見られている。また、代替材料の開発も進められている。

図表 2.5 CIS 系太陽電池



出典：NEDO 資料

## 2) CdTe 系太陽電池

毒物の高いカドミウムを原料として使用するため、日本では普及していないが、欧米では大規模発電所に導入が進んでおり、米国の First Solar 社が生産・販売量を急激に伸ばしている。薄膜化が可能で、ガラス基板上に比較的低温で良質の多結晶膜を形成できるため、低コストで高効率な太陽電池として期待されている。市販されているモジュールの変換効率は約 9～11% である。フィルム等のフレキシブルな基板も使用可能である。

図表 2.6 CdTe 系太陽電池

出典：First Solar, Inc.ホームページ (<http://www.firstsolar.com/en/modules.php>)

## 3) 集光型太陽電池

集光型太陽電池は、小面積の高効率な多接合太陽電池にレンズや鏡で集光することにより、高い発電効率を実現する太陽電池である。

一般に太陽電池は p 型半導体と n 型半導体の組合せであるが、この pn 接合が 1 つだけの単接合太陽電池の変換効率は、理論的に約 30% 程度が限界と考えられている。この理論限界値を向上させた太陽電池の一つが、複数の pn 接合をもつ多接合太陽電池である。2 接合の場合はタンデム型とも呼ばれる。

太陽光は紫外線から赤外線まで幅広い波長を含んでいる。多接合太陽電池では、波長の短い光をバンドギャップ<sup>6</sup>の大きい p 型・n 型太陽電池で利用し、透過した波長の長い光をバンドギ

<sup>6</sup> 固体中には電子が取れることを許容されるエネルギー範囲（許容帯）と許容されないエネルギー範囲（禁制帯）があり、エネルギーの低い帯（バンド）から順に電子で埋まるが、禁制帯の幅をバンドギャップという。半導



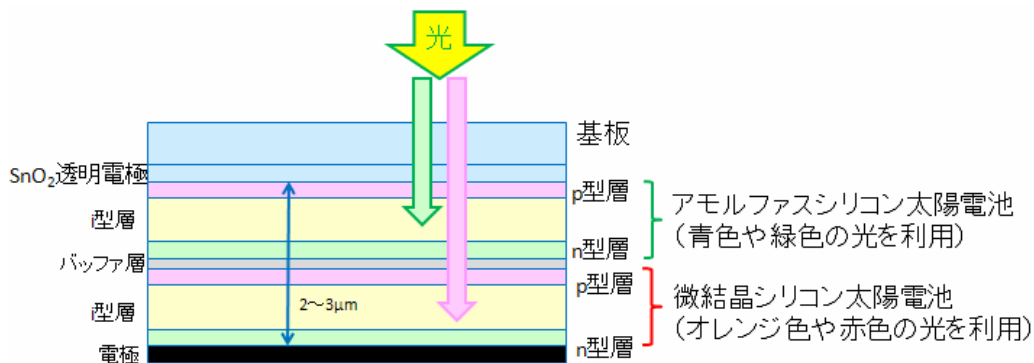
チップの小さい太陽電池で利用することにより、より多くの太陽光エネルギーを電力に変換できるようになる。このように各波長に対応した太陽電池を積層し、利用できる波長域を拡げることで、高効率化を図っている。

多接合太陽電池の材料としては、III-V 族化合物半導体が有効とされている。ガリウム (Ga) 等の III 族元素とヒ素 (As) 等の V 族元素からなる化合物半導体を用いた InGaP/(In)GaAs/Ge の 3 接合太陽電池は、変換効率 30%以上を達成している。耐放射線特性に優れており高性能であることから、すでに宇宙用として実用化されている。

この III-V 族系太陽電池を用いた集光型太陽電池では、350 倍集光下で効率 41.6%が達成されており、さらに 4 接合化により集光時で 50%の超高効率化が可能と期待されている<sup>7</sup>。NEDO の「革新的太陽光発電技術研究開発プロジェクト」では、2014 年度末の最終目標の一つとして、「III-V 族系材料による高集光多接合太陽電池で非集光時の変換効率 35%と集光時の変換効率 45%を達成する」ことが掲げられている。

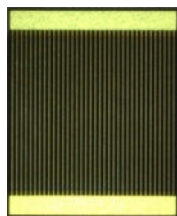
集光型太陽電池の課題は低コスト化であり、さらなる変換効率の向上によって発電コストを低減させるべく研究開発が進められている。

図表 2.7 多接合太陽電池の基本構造の例



出典：(独) 産業技術総合研究所ホームページ ([http://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about\\_pv/types/TF-Si-tandem.gif](http://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about_pv/types/TF-Si-tandem.gif))

図表 2.8 III-V 族系太陽電池



出典：NEDO 資料

図表 2.9 集光型太陽光発電システム



出典：「FOCUS NEDO 第 34 号」(2009, NEDO)

体の場合、電子で満たされた許容帯を価電子帯と呼び、バンドギャップ幅以上の大きさのエネルギー（光等）を受けると価電子が上の許容帯（伝導帯という）に励起されることにより、導電性が生じる。

<sup>7</sup> シャープ技報 第 100 号 (2010 年 2 月)

#### (4) 有機系太陽電池

##### 1) 色素増感太陽電池

酸化チタンの表面に吸着した色素が可視光などの光を吸収し、励起した電子が酸化チタンの方に移動する原理で発電する。酸化チタン自身は可視光を吸収せず、色素が代わりに可視光を吸収するため色素増感太陽電池と呼ばれる。光合成型の太陽電池とも言われている。色素を変えることによって、様々な色の太陽電池を製造できる。現在、研究レベルの小面積セルで 11% の変換効率が得られている。

製造が簡単で材料も安価なことから大幅な低コスト化が見込まれ、最終的には現在主流の多結晶シリコン太陽電池の 1～数割程度のコストで製造できると言われている。しかしながら、電解液に蒸発しやすい有機溶媒を用いるため、耐久性が課題であり、電解液の固体化が研究課題となっている。

図表 2.10 色素増感太陽電池



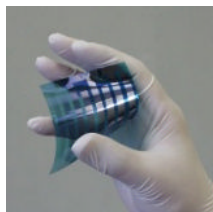
出典：NEDO 資料

##### 2) 有機薄膜太陽電池

有機薄膜太陽電池は、p 型の有機半導体に導電性ポリマーを、n 型の有機半導体にフラーレンを用いる。これら 2 種類の有機半導体を混ぜて溶かした液を電極の付いた基板の上に塗布して薄膜にした後、薄膜上に電極を形成するという、非常に簡易な製造方法で太陽電池を作製することができる。現在、研究レベルのセル変換効率で最高 7.9% が達成されている<sup>8</sup>。

材料が安価で、印刷法やインクジェット法などの塗布プロセスにより大面積を簡単に作製可能であるため、大幅な低コスト化が実現可能とされている。プラスチックフィルム等にも製膜でき、様々な色や形にできるため、ポータブル機器用電源やウェアラブル電源など幅広い用途に展開できる。ただし、有機材料を用いるため、耐久性が大きな課題となっている。

図表 2.11 有機薄膜太陽電池



出典：NEDO 資料

<sup>8</sup> Solarmer Energy Inc. 2009 年 12 月発表 ([http://www.solarmer.com/solar\\_technology.php](http://www.solarmer.com/solar_technology.php))

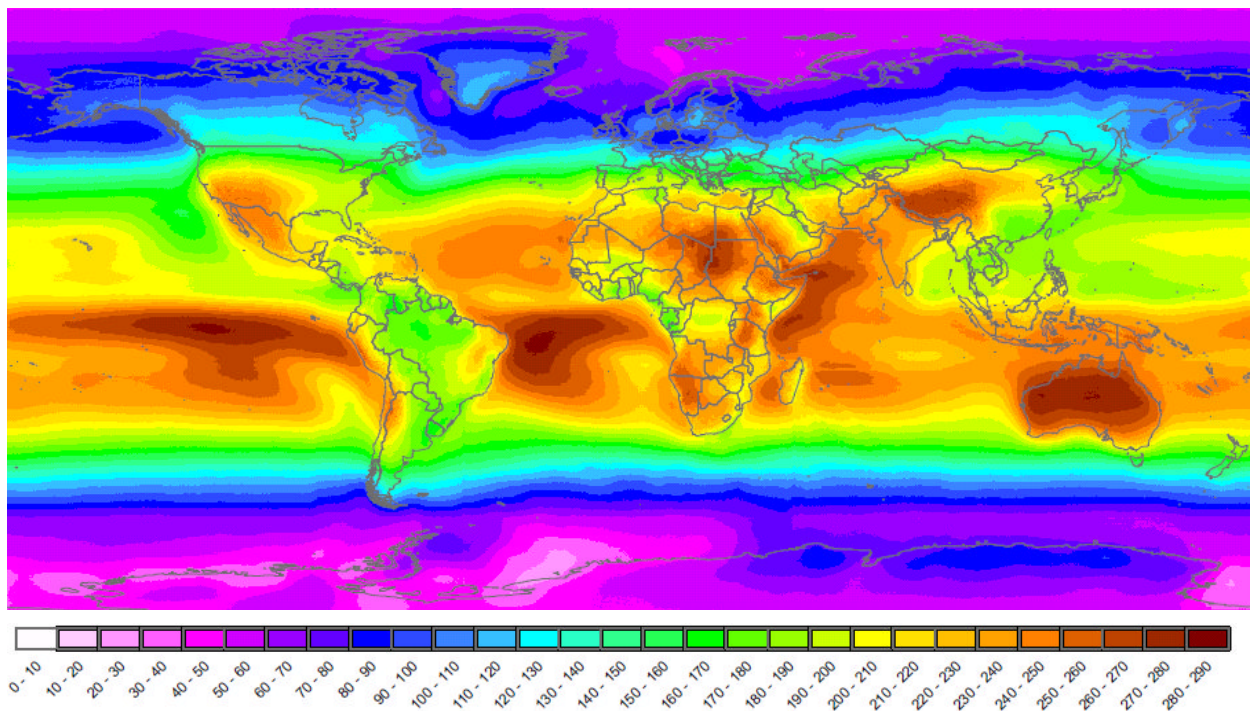
## 2.1.2 ポテンシャル

### (1) 世界

地球の表面が1時間に受ける太陽光エネルギーは、人類の年間エネルギー消費量に相当すると言われている<sup>9</sup>。太陽光エネルギーは、地球上で最も豊富に存在する地域偏在性の少ない資源であり、日射が得られる場所であればどこでも太陽光パネルを設置可能であり、一定の発電量を得ることができる。賦存量の大小が発電量および事業採算性に大きく影響する太陽熱発電や風力発電と比較すると導入障壁は小さいと考えられる。

世界の年間平均日射強度マップを図表 2.12 に示す。米国南西部、中東、アフリカ、豪州、南欧、インド、メキシコ、南米等の賦存量が大きく、年間 2,000~2,500kWh/m<sup>2</sup> 程度の日射が得られる。日本はこれらの地域と比較すると劣るが、年間 1,000~1,500kWh/m<sup>2</sup> 程度の日射が得られる<sup>10</sup>。

図表 2.12 世界の年間平均日射強度マップ (W/m<sup>2</sup>)



Copyright : Mines ParisTech/ Armines 2006.

出典 : SoDa ホームページ ([http://www.soda-is.com/img/carte\\_Ed\\_13\\_world.pdf](http://www.soda-is.com/img/carte_Ed_13_world.pdf))

また、地球表面上で得られる太陽光エネルギーの試算例を図表 2.13 に示す。地表面に到達する太陽光エネルギーは 90,000TW、そのうち回収可能なエネルギーは 1,000TW と試算されている。このうちの1%(10TW)のみを利用すると仮定しても、2007年時点の世界の発電容量(4.5TW)<sup>11</sup>の約 2.2 倍に相当する大きさである。豊富な太陽光エネルギーをいかに活用するかが、世界のエネルギー問題解決に向けた重要課題の一つとなっている。

<sup>9</sup> “ENERGY TECHNOLOGY PERSPECTIVES 2008” (2008, IEA)

<sup>10</sup> Meteotest; database Meteonorm ([www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com))

<sup>11</sup> “World Energy Outlook 2009” (IEA)

図表 2.13 地球表面上の太陽光エネルギー量

回収可能量	賦存量
1,000TW	90,000TW

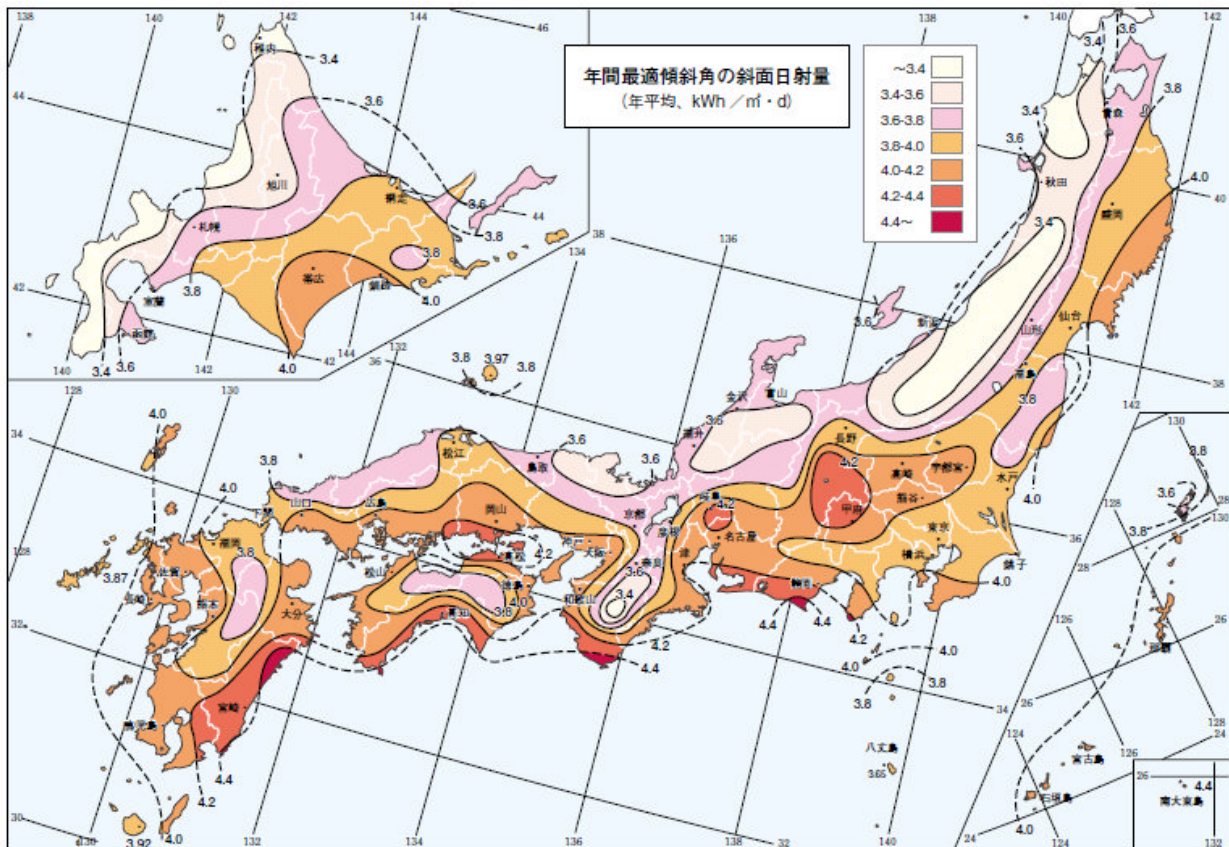
出典：“Renewable energy A technical overview” (B.Sorensen, Energy Policy 19 (1991))

## (2) 日本

日本の年間最適傾斜角の斜面日射量<sup>12</sup>を図表 2.14 に示す。

日本では比較的太平洋岸の日照環境がよく、特に山梨県や長野県、静岡県南西部、和歌山県南部、高知県、宮崎県などの日射量が豊富である。先述のとおり、太陽光発電は日射が得られれば一定量の発電は可能であることから、資源量の大小が発電量および事業採算性に大きく影響する太陽熱発電や風力発電と比較すると、資源量による導入障壁は小さいと考えられる。

図表 2.14 日本の年間最適傾斜角の斜面日射量 (kWh/m<sup>2</sup>・d)

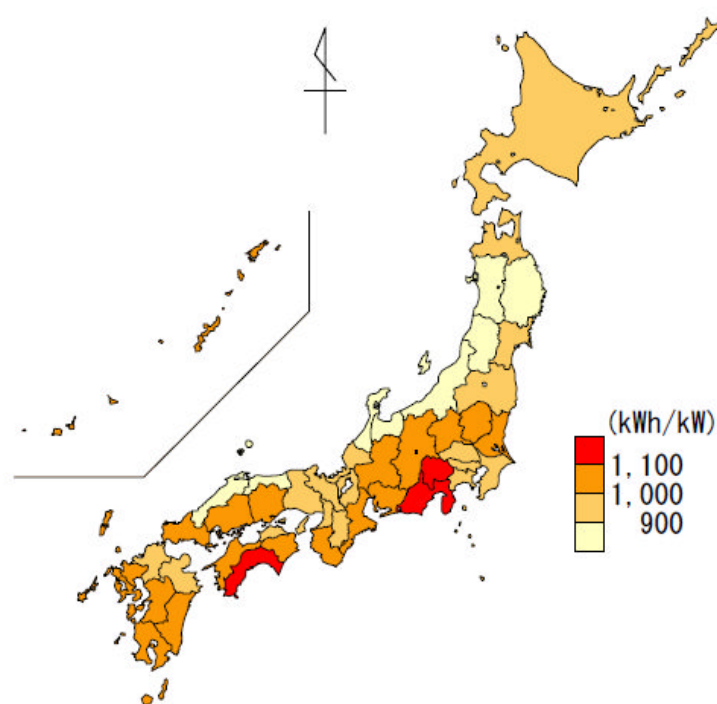


出典：太陽光発電フィールドテスト事業に関するガイドライン（設計施工・システム編）（2010, NEDO）

<sup>12</sup> 年間最大日射量を得られる設置傾斜角における年間日射量。

都道府県別の太陽光発電システム 1kW 当たりの年間発生電力量を図表 2.15 に示す。住宅用太陽光発電の年間の発電量は平均約 1,000kWh/kW で、地域や年によって 1~3 割程度のばらつきがある。特に発電量が多いのは、山梨県、静岡県、高知県で 1,100kWh/kW を超えているほか、関東以南の太平洋側において全体的に豊富な発電量が得られる。日本の家庭の年間消費電力量は約 4,200kWh/世帯<sup>13</sup>であることから、世帯あたりのシステム容量の目安は約 4kW となっている。

図表 2.15 住宅用太陽光発電の都道府県別年間発生電力量 (kWh/kW)



※新エネルギー財団のデータ（過去 10 年間の kW あたりの平均発電量）より作成。

出典：資源エネルギー庁資料

日本における太陽光発電の導入可能量については、これまで多くの試算が行われている（図表 2.16）。試算条件により結果は異なり、29,550MW~201,838MW と試算値にばらつきがある。導入可能量は、将来的な導入目標を設定する際の重要なファクターとなるため、物理的・社会的制約等を十分に考慮した上で、現実的な試算値のもと検討を進めることが重要である。

下記に挙げた中で最も小さい試算値である 29,550MW は、日本の電力会社 10 社の 2009 年時点の発電容量 (203,964MW)<sup>14</sup>の 14%に相当する。日本においても、太陽光発電のポテンシャルは大きく、その期待から、導入拡大に向けて積極的な政策支援、技術開発が実施されている。

<sup>13</sup> 「待機時消費電力調査報告書」（2005, (財)省エネルギーセンター）」

<sup>14</sup> 電気事業連合会 電力統計情報 (<http://www.fepec.or.jp/library/data/tokei/index.html>)

図表 2.16 太陽光発電の導入可能量試算事例

出典	各種制約条件を考慮した場合の導入可能量	概要
「太陽光発電技術研究開発」 (2003, NEDO)	<国土全体> A ランク : 127,970MW B ランク : 61,650MW C ランク : 29,550MW	A ランク : 穏やかな制約条件とした場合、最大限設置した場合の導入規模 B ランク : 中間的な制約条件とした場合の導入規模 C ランク : 厳しい制約条件とした場合、比較的容易に設置できる範囲として求めた導入規模
「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」 (2009, NEDO)	<国土全体> ケース 1 : 54,167MW ケース 2 : 101,932MW ケース 3 : 201,838MW 物理的潜在量 : 7,984,467MW	2030 年における推定導入量を試算。 ケース 1 : 厳しい制約条件とした場合 ケース 2 : 中間的な制約条件とした場合 ケース 3 : 穏やかな制約条件とした場合
「広域分散型電源としての太陽光発電システムの利用可能性の調査」 (2008, 産業技術総合研究所)	<国土全体> ケース①電力貯蔵設備無し : 88,200MW ケース②電力貯蔵設備有り : 133,000MW	需給バランスの観点から、電力貯蔵設備の有無別に、将来における導入可能量を推計。
「平成 21 年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」 (2010, 環境省)	<非住宅系> シナリオ 1 : 100,300MW シナリオ 2 : 124,900MW シナリオ 3 : 149,500MW ※対象は公共・産業系建物および低・未利用地	シナリオ 1 : 現状技術を用いて 10kW 以上のパネルを設置するシナリオ。但し、事業性の最適化は行わない。 シナリオ 2 : 現状技術を用いて、設置可能なスペースに最大限パネルを設置するシナリオ。但し、事業性の最適化は行わない。 シナリオ 3 : 屋根の建替えがあり、太陽光を最大限導入する建材一体型の屋根設計が行われるシナリオ。

出典 : 各種資料、「平成 21 年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」(2010, 環境省)

### 2.1.3 導入目標量例

欧州、米国、日本における再生可能エネルギーおよび太陽光発電の導入目標量例を図表 2.17 に示す。各国において、意欲的な導入目標が設定されている。

図表 2.17 欧米諸国における再生可能エネルギー・太陽光発電の導入目標量例

	導入目標 等	
	再生可能エネルギー全体	太陽光発電
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>2007年に、2020年までにEU全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を20%とする戦略を決定。</li> <li>2009年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、上記目標達成のための国別目標値を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州再生可能エネルギー評議会は、左記指令の目標を達成するために必要な太陽光発電導入量を、2010年に20TWh、2020年には180TWhと試算。</li> <li>欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）において、2020年までにEUの電力消費量の12%を太陽光発電でまかなう目標を設定。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの州で、電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度（RPS）を策定。オバマ大統領は、2025年までに25%導入という連邦RPS制度を提案。</li> <li>オバマ大統領は「New Energy for America」で再生可能エネルギー由来の電力量割合を、2012年に12%、2025年に25%とする目標を発表。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RPSについて、13の州が太陽光発電でまかなうべき電力の割合を規定。</li> </ul>
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>「2030年のエネルギー需給展望」（総合資源エネルギー調査会 需給部会、2005）において、2010年の新エネルギーの対一次エネルギー供給比を、3.0%に引き上げる目標を設置。</li> <li>「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（総合資源エネルギー調査会 需給部会、2009）において、2020年、2030年の新エネルギー導入見通しが示された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2008年の福田ビジョンにおいて「2020年までに現在の10倍、2030年までに40倍」、2009年の麻生総理（当時）スピーチにより、「2020年までに現在の20倍」という目標を設定。</li> <li>「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（左記）の最大導入ケースにおいて、2020年および2030年の太陽光発電導入量を、それぞれ28GW、53GWと試算。</li> </ul>
(参考) IEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>主要な低炭素技術の開発および普及を世界的規模で推進することを目的に、各技術について、2050年までの技術ロードマップを策定。</li> </ul>	<p>(※導入見通し)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電の技術ロードマップにおいて、2050年までの累積で3,155GW、年間発電量は4,572TWh（世界の発電電力量の11%）に達すると予測。</li> </ul>

出典：“Technology Roadmap Solar photovoltaic energy”（2010, IEA）、Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC、“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020”（2008, EREC）、DSIRE ホームページ（<http://www.dsireusa.org/>）、“New Energy for America”（2009, Barack Obama and Joe Biden）、「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009, 経済産業省）

## (1) 欧州

欧州における太陽光発電の導入目標量例を図表 2.18 に示す。

図表 2.18 欧州における導入目標量例

出典	2020 年	2030 年
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 <sup>15</sup>	EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20%に引き上げるための国別目標値 (図表 2.20) を設定。	—
Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020 (EREC)	180TWh ※上記指令を達成するために必要な太陽光発電による発電量	—
欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)	EU の電力消費量の 12%を太陽光発電でまかなう	—

出典：Directive 2009/28/EC (2009, EC)、“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020” (2008, EREC)、SET-Plan Technology Roadmap (2009, EC)

2007 年 3 月、欧州理事会は、EU の地球温暖化対策として 2020 年までに、EU 全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を 20%に引き上げることで合意した。これを受けて、「再生可能電力推進に関する指令」<sup>16</sup>と「バイオ燃料促進に関する指令」<sup>17</sup>を修正、廃止する新たな指令である「再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令」が策定され、本指令において加盟各国に法的拘束力のある数値目標が設定された (図表 2.19)。

欧州再生可能エネルギー評議会 (European Renewable Energy Council : EREC) は、この目標を達成するために必要な再生可能エネルギーの種類毎の寄与度 (発電量) を試算しており、2020 年には 180TWh が太陽光発電によって供給されると予測している (図表 2.20)。これは 2020 年時点の欧州の電力需要予測 (3,914TWh<sup>18</sup>) の約 5%に相当する。

また、低炭素化社会実現に向けた技術開発戦略である「欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)」<sup>19</sup>において、2020 年までに EU の電力消費量の 12%を太陽光発電でまかなう目標が掲げられている。

<sup>15</sup> Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

<sup>16</sup> EU の全電力供給量に占める再生可能電力の割合を 2010 年までに EU 全体で 21% にするという目標を掲げ、加盟各国に目標 (法的拘束力なし) を設定した指令。(Directive 2001/77/EC)

<sup>17</sup> 2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75%をバイオ燃料で代替する目標 (法的拘束力なし) を設定した指令。(Directive 2003/30/EC)

<sup>18</sup> “World Energy Outlook 2009” (IEA)

<sup>19</sup> 低炭素化社会の早期実現に向けて、EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発および普及を加速させることを目的とした EU の技術開発戦略。詳細は「2.1.7 推進施策・関連法令」を参照のこと。



図表 2.19 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令における  
EU 加盟国の 2020 年目標値

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合[%]			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES”（2008, BMU）、Directive 2009/28/EC

図表 2.20 目標達成に必要となる太陽光発電による発電量予測

	2006 年	2010 年	2020 年
発電量 (TWh)	2.5	20	180

出典：“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020”（2008, EREC）

(2) 米国

米国における太陽光発電の導入目標量例を図表 2.21 に示す。

図表 2.21 米国における導入目標量例

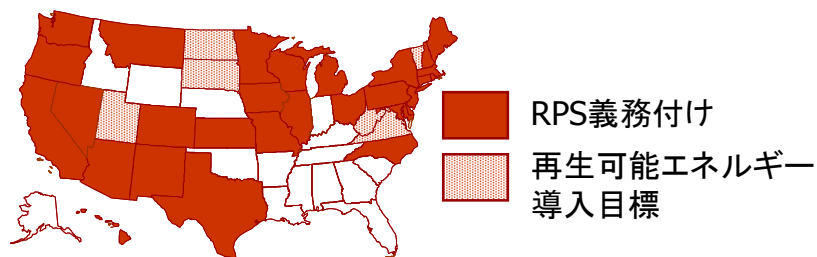
出典	2020 年	2030 年
RPS 法	州別 RPS 法により規定（図表 2.22 参照）	
New Energy for America (オバマ大統領)	(2012 年) 再生可能エネルギー由来の電 力量割合：12%	(2025 年) 再生可能エネルギー由来の電 力量割合：25%

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>)、"New Energy for America" (2009, Barack Obama and Joe Biden)

米国においては国全体としての導入目標値は掲げられていない。ただし米国では、29 の州政府と DC 政府<sup>20</sup>が電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーで賄うことを義務付ける RPS 制度を導入しており、そのうち 13 州は太陽光発電による電力の割合を規定により定めている（図表 2.23）。

また、オバマ大統領が掲げる「New Energy for America」計画では、電力消費量に占める再生可能エネルギー由来の電力量の割合を、2012 年までに 10%、2025 年までに 25%に引き上げる目標が掲げられている。

図表 2.22 州別の RPS 導入状況（2009 年 7 月現在）



出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

<sup>20</sup> 2010 年 3 月時点。

図表 2.23 太陽光発電に関する州別 RPS の規定

州	目標（達成年）	太陽光発電による割合 （達成年）
オハイオ	25%（2025年）	0.5%（2025年）
イリノイ	25%（2025年）	1.5%（2025年）
ペンシルバニア	18%（2020年）	0.5%（2020年）
ニュージャージー	22.5%（2021年）	2.12%（2021年）
ノースカロライナ	私営：12.5%（2021年） 公営：10%（2018年）	0.2%（2018年）
メリーランド	20%（2022年）	2%（2022年）
ミズーリ	15%（2021年）	0.3%（2021年）
ネバダ*	25%（2025年）	1.5%（2025年）
コロラド	私営：20%（2020年） 公営：10%（2020年）	0.8%（2020年）
ニューメキシコ	私営：20%（2020年） 公営：10%（2020年）	4%（2020年）
ニューハンプシャー	23.8%（2025年）	0.3%（2014年）
デラウェア*	20%（2019年）	2.005%（2019年）

※ 太陽光については、導入量を割増してカウントする優遇策あり。

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

## (3) 日本

日本における太陽光発電の導入目標量例を図表 2.21 に示す。

図表 2.24 日本における導入目標量例

出典		2020 年	2030 年
低炭素社会づくり行動計画(閣議決定)		現在の 10 倍 ※麻生総理(当時)スピーチにより、2020 年までに現在の 20 倍とする新たな方針を提示	現状の 40 倍
長期エネルギー需給見通し(再計算)	現状固定ケース・努力継続ケース	5.6GW (原油換算 140 万 kL)	27GW (原油換算 669 万 kL)
	最大導入ケース	2005 年の 20 倍程度(28GW) (原油換算 700 万 kL)	53GW (原油換算 1,300 万 kL)

## &lt;長期エネルギー需給見通し&gt;

**現状固定ケース**：現状(2005 年度)を基準とし、今後新たなエネルギー技術が導入されず、機器の効率が一定のまま推移した場合を想定。耐用年数に応じて古い機器が現状(2005 年度)レベルの機器に入れ替わる効果のみを反映したケース。

**努力継続ケース**：これまで効率改善に取り組んできた機器・設備について、既存技術の延長線上で今後とも継続して効率改善の努力を行い、耐用年数を迎える機器と順次入れ替えていく効果を反映したケース。

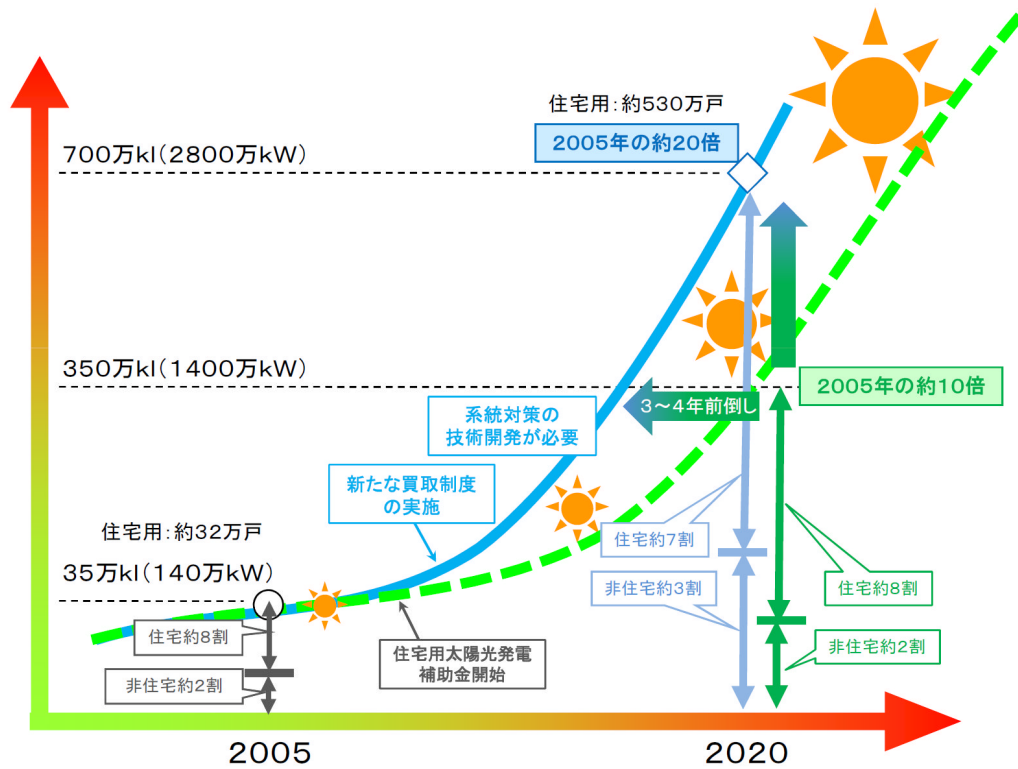
**最大導入ケース**：実用段階にある最先端の技術で、高コストではあるが、省エネ性能の格段の向上が見込まれる機器・設備について、国民や企業に対して更新を法的に強制する一歩手前のギリギリの政策を講じ最大限普及させることにより劇的な改善を実現するケース。

出典：「低炭素社会づくり行動計画」(2008, 閣議決定)、「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(2009, 経産省)

日本の太陽光発電導入目標については、2008 年に福田ビジョンに基づき閣議決定された「低炭素社会づくり行動計画」において「2020 年までに現在の 10 倍、2030 年までに 40 倍」とする目標が掲げられた後、2009 年には麻生総理(当時)スピーチにより、「2020 年までに現在の 20 倍」とする新たな方針が掲げられた。

これを受けて、「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(2009 年 8 月)では、最大導入ケースにおける 2020 年の太陽光発電導入量を 28GW(原油換算 700 万 kL、2005 年の 20 倍程度)と想定している。また、2030 年には 53GW(原油換算 1,300 万 kL)が導入されると想定している。

図表 2.25 長期エネルギー需給見通し（再計算）における太陽光発電の導入シナリオ



出典：「新エネルギー部会 中間報告」（2009，総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会）

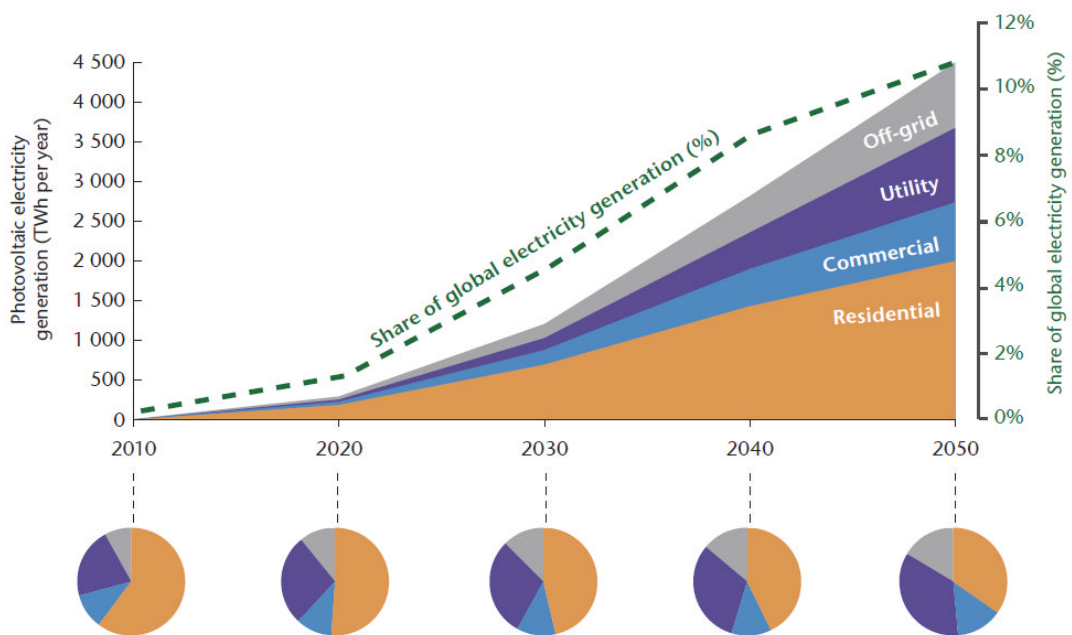
(参考) IEA の技術ロードマップと導入見通し

IEA は、2050 年までに CO<sub>2</sub> 排出量を半減させるために鍵となる技術の開発および普及を世界的規模で推進することを目的に、太陽光発電を含む主要な低炭素技術について、2050 年までの技術ロードマップを策定している。

太陽光発電のロードマップにおいて、2050 年までの累積導入量は 3,155GW、年間発電量は 4,572TWh に達すると予測している。これは世界の発電電力量の 11%に相当する量であり、将来的に太陽光発電が基幹エネルギーの一つとなることが期待されている。

なお、この見通しは、IEA が発表した将来のエネルギー技術展望 (Energy Technology Perspective) における BLUE Map シナリオ (2050 年に世界の GHG 排出量を現状比半減するシナリオ) をベースに分析されている。Blue Map シナリオでは、太陽光発電と太陽熱発電合わせて、2050 年時点で世界の発電電力量の 11%をまかなう見通しを示している。したがって、本技術ロードマップでは、より野心的な導入見通しを示しているといえる。

図表 2.26 太陽光発電の導入見通し



	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
累積導入量 (GW)	210	872	2,019	3,155
年間発電量 (TWh)	298	1,247	2,907	4,572

出典：“Technology Roadmap Solar photovoltaic energy” (2010, IEA) をもとに三菱総研作成

## 2.1.4 導入実績

### (1) 世界

図表 2.27 に、世界の上位5ヵ国および世界<sup>21</sup>の太陽光発電の累積導入量の推移を示す。世界の太陽光発電市場は、ドイツやスペインにおけるフィードインタリフ (FIT) 制度<sup>22</sup>やシステムコストの低減により、2000 年以降急激に成長している。2009 年は、2008 年末の金融危機の影響を受け、スペイン等で市場が大きく収縮したが、世界全体の単年度導入量は約 7.2GW、累積導入量は約 22GW を達成し、引き続き堅調な伸びを見せている。2010 年には世界全体の累積導入量は少なくとも 40%増加し、合計約 30GW に達すると予想されている<sup>23</sup>。

現在トップを走っているのはドイツである。ドイツは FIT 制度の導入により飛躍的に導入量を伸ばし、2005 年には日本を抜いて、累積導入量世界第 1 位に躍り出た。その後も堅調に導入量を伸ばし、2009 年は約 3.8GW の導入量を記録している<sup>23</sup>。

現在第 2 位のスペインも、ドイツと同様に FIT 制度による積極的な支援策が奏功し、2008 年には単年で約 2.7GW の導入量を記録し世界の 2 位に躍進した。しかしながら、FIT 制度の対象となるシステム容量に上限を設定したことに加え、2008 年末の世界金融危機の影響を受け、2009 年の単年度導入量は 69MW (前年比約 3%) と大幅に縮減した。

米国では、ITC (企業投資課税控除)<sup>24</sup>や、2008 年末の金融危機以降導入された再生可能エネルギー助成制度<sup>25</sup>、州レベルでの導入支援策等により市場は拡大しており、今後も世界の主要市場として成長が期待されている。

新興国においては、まだ非電化地域が多く、僻村等の電化率向上が大きな課題となっている。太陽電池は日射が得られる場所ではどこでも発電が可能なことから、直近には送電線を引くことの難しい地域の電源として適しており、今後は新興国における導入拡大も期待される。

<sup>21</sup> IEA-PVPS (Photovoltaic Power Systems Programme) 参加国の合計。他の国については正確な導入量データを得るのは困難であるため、ここでは IEA-PVPS 参加国のみを対象とした。

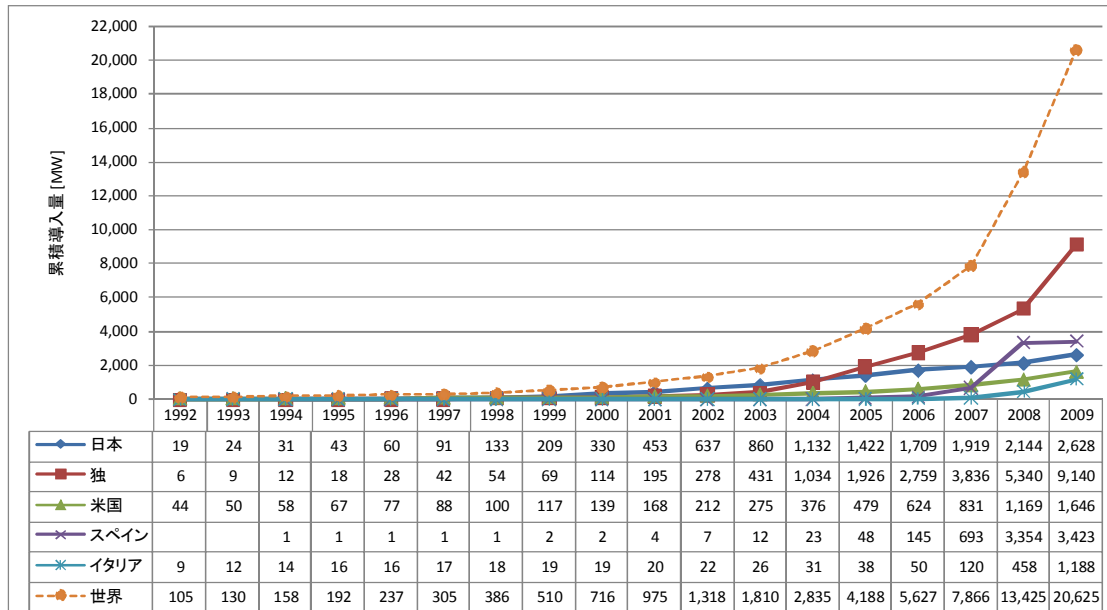
<sup>22</sup> 固定電力買取制度 (Feed-in tariff : FIT)。エネルギーの買取り価格 (tariff) を法律で定める方式の助成制度で、導入した時期によって一定期間の価格が固定される制度。詳細は P47 を参照のこと。

<sup>23</sup> EPIA プレスリリース (2010 年 4 月)

<sup>24</sup> 各種エネルギーシステムの設定投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度

<sup>25</sup> 各種エネルギーシステムに対して、固定資産の 30%を助成する制度。詳細は P51 を参照のこと。

図表 2.27 主要国と世界の太陽光発電の導入推移（累積）



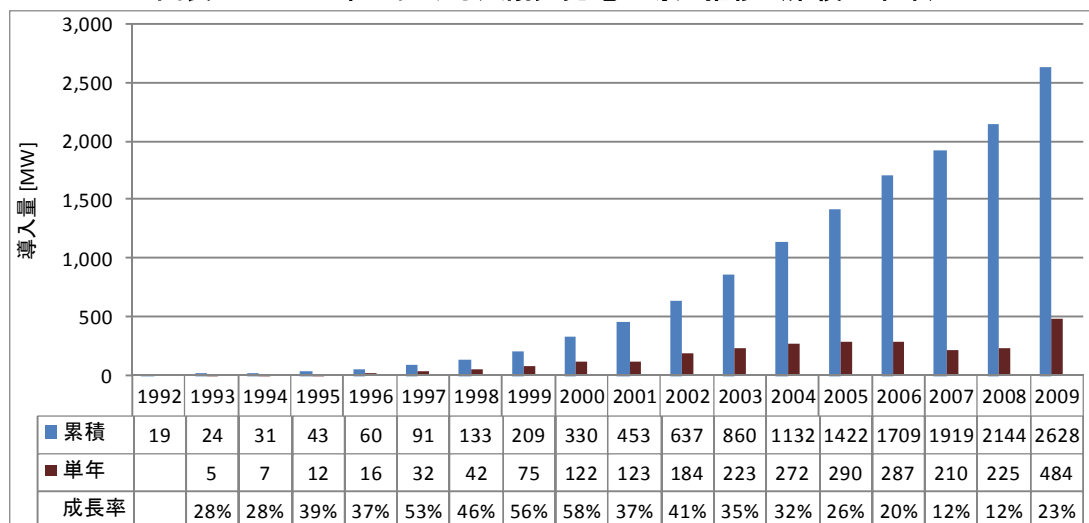
注) 世界：IEA-PVPS 参加国の合計

出典：“Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008” (IEA-PVPS)、EPIA プレスリリース (2010年4月) より作成

## (2) 日本

日本は 2004 年まで累積導入量世界第 1 位であったが、2005 年にドイツにトップの座を明け渡した。2005 年には国による「住宅用太陽光発電導入促進事業」が終了したことを受けて市場の伸びは鈍化し、ドイツ、スペインに大幅に差をつけられ、2008 年には累積導入量世界第 3 位に後退している。しかしながら 2009 年 11 月に、日本版 FIT 制度となる「太陽光発電による電気の新たな買取制度」(P61 参照) が開始され、2009 年度の単年度導入量は前年比約 2 倍となった。引き続き、2010 年度の導入量拡大が期待されている。

図表 2.28 日本における太陽光発電の導入推移（累積・単年）



出典：“Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008” (IEA-PVPS)、EPIA プレスリリース (2010年4月) より作成



### 2.1.5 技術開発動向

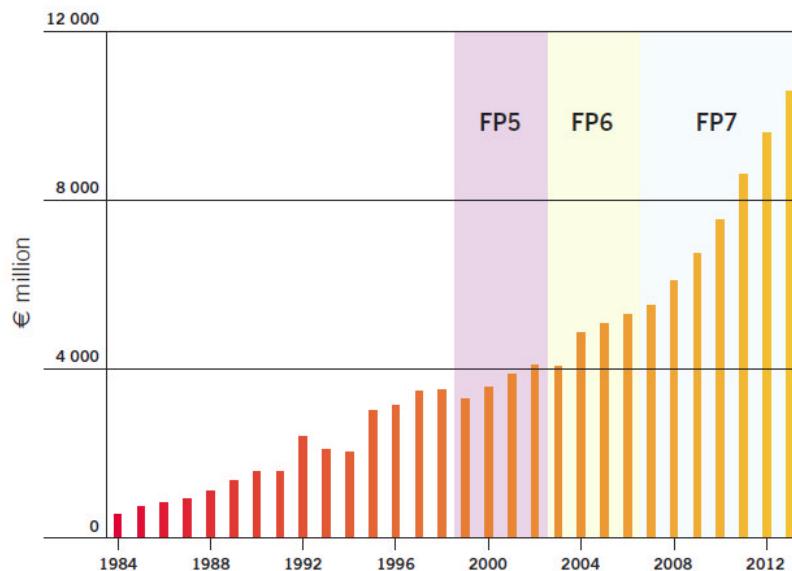
太陽光発電の起源は、1954年のアメリカのベル研究所における世界初の単結晶シリコン太陽電池の発明に遡る。以降、日米欧を中心に研究開発が進められ、近年では「グリッドパリティ<sup>26</sup>」の達成を大前提に、高効率化、低コスト化等のための技術開発が活発に行われている。

以下、欧州、米国、日本における技術開発動向を概観する。

#### (1) 欧州

欧州（EU）では、加盟各国共同で研究活動を行うための支援計画として、欧州フレームワーク計画（FP）<sup>27</sup>を定め、国家横断的な技術開発を行っている。図表 2.29 に、FP の予算の推移を示す。FP 予算は年々増加しており、現在遂行中である FP7（2007～2013）では約 500 億ユーロの予算が充当された。

図表 2.29 欧州フレームワーク計画（FP）予算の推移（1984～2013）



出典：「RTD info – Inside the Seventh Framework Programme-」（2007, EC）

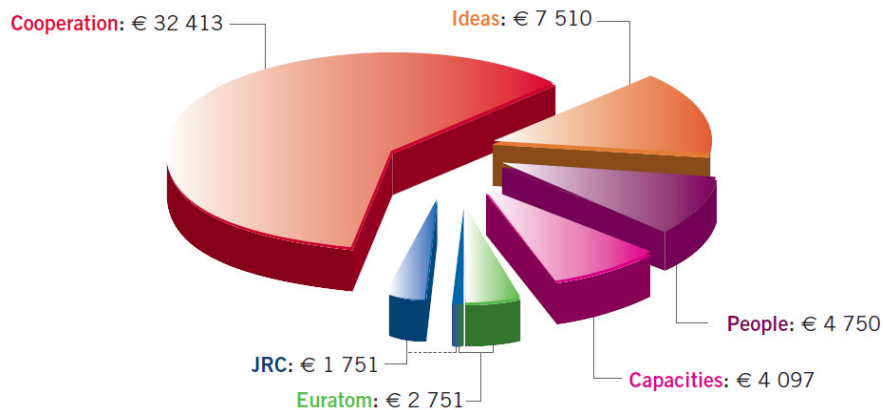
図表 2.30 に FP7 のテーマ別予算内訳を示す。FP7 の主要な活動分野は、「Cooperation（協力）」「Ideas（アイデア）」「People（人材）」「Capacities（キャパシティ）」の4つである。再生可能エネルギーを含むエネルギー関連プログラムは、最も多く予算が配分されている「Cooperation（協力）」に含まれている。

- 「Cooperation（協力）」：共同研究開発の実施。エネルギー関連プログラムはここに含まれる。
- 「Ideas（アイデア）」：学術基礎研究に係る新規プログラムの支援
- 「People（人材）」：人材育成支援
- 「Capacities（キャパシティ）」：研究開発インフラの整備など総合的な研究開発能力強化

<sup>26</sup> 再生可能エネルギーによる電力の発電コストが、系統電源の発電コストと同等のコスト競争力を持つこと。

<sup>27</sup> 欧州フレームワーク計画（FP）とは、欧州連合（EU）における科学分野の研究開発への財政的支援制度。1984年のFP1から始まり、現在はFP7（2007～2013）が実施されている。

図表 2.30 FP7 のテーマ別予算内訳 (百万ユーロ)

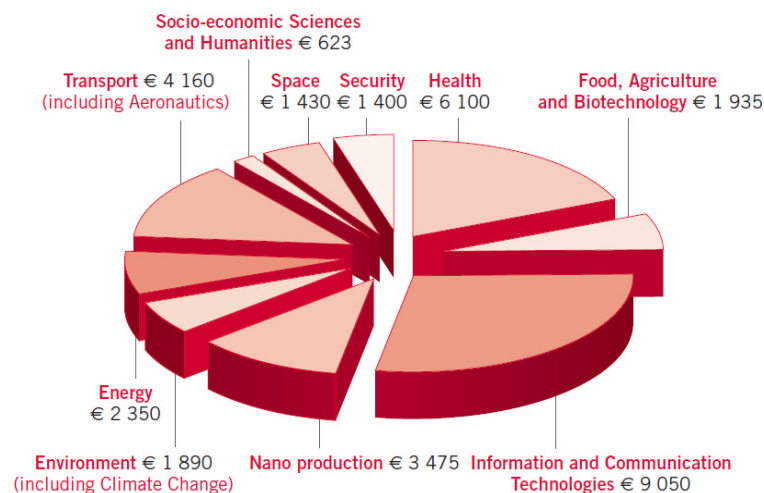


出典：“RTD info – Inside the Seventh Framework Programme-” (2007, EC)

図表 2.31 に「Cooperation (協力)」分野の予算内訳を示す。「Cooperation (協力)」分野は、以下の 10 のプログラムに分かれている。再生可能エネルギーを含む「Energy (エネルギー)」プログラムには 23.5 億ユーロの予算が割り当てられており、FP6 における予算 (8.9 億ユーロ) と比較して、約 2.6 倍に増額されている。

- Health (健康)
- Food, Agriculture and Biotechnology (食料・農業・バイオテクノロジー)
- Information and Communication Technologies (情報通信技術)
- Nano production (ナノ製品)
- Environment (環境 (地球温暖化を含む))
- Energy (エネルギー)
- Transport (交通 (航空を含む))
- Socio-economic Sciences and Humanities (社会経済科学と人間学)
- Space (宇宙)
- Security (安全)

図表 2.31 “Cooperation (協力)” プログラムの予算内訳



図表 2.31 “Cooperation (協力)” プログラムの予算内訳 (続き)

分野	予算 (百万ユーロ)	分野	予算 (百万ユーロ)
健康	6,100	エネルギー	2,350
食料・農業・バイオテクノロジー	1,935	交通	4,160
情報通信技術	9,050	社会経済科学と人間学	623
ナノ製品	3,475	宇宙	1,430
環境	1,890	安全	1,400
		合計	32,413

出典：“RTD info – Inside the Seventh Framework Programme-” (2007, EC)、  
“Council approves EU research programmes for 2007-2013” (Dec.2006, 欧州理事会)

「Energy (エネルギー)」プログラムは、現在下記項目に分かれており、「再生可能エネルギー電力」のカテゴリーの中で、太陽光発電を含む再生可能エネルギーの技術開発が実施されている。

- 水素・燃料電池
- 再生可能エネルギー電力
- 再生可能燃料製造
- 再生可能エネルギー利用冷暖房
- ゼロエミッション電源のための炭素貯留
- クリーン・コール技術
- スマートエネルギーネットワーク
- エネルギー効率の向上・省エネ
- エネルギー政策立案

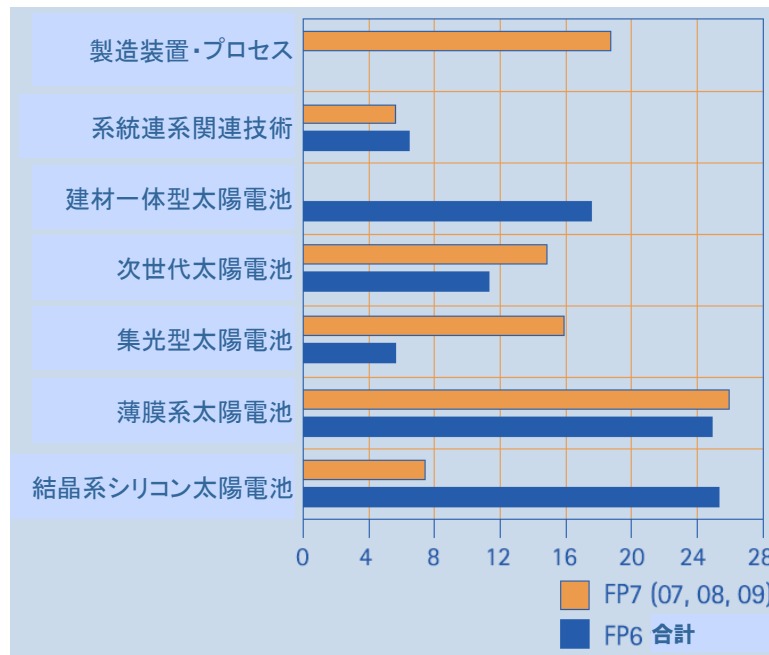
図表 2.32 に、FP6 および FP7 (2007~2009 年分) における太陽電池への研究開発投資内訳を、図表 2.33 に FP7 の主要な太陽電池関連プロジェクトを示す。

FP6 においては、合計で 105.6 百万ユーロが支援され<sup>28</sup>、計 33 件が採択された。技術別の内訳を見ると、結晶シリコンおよび薄膜シリコン太陽電池が投資額の約 5 割を占めている。また、建材一体型太陽電池、次世代太陽電池 (色素増感、有機薄膜等) にも多くの予算が配分された。

FP7 においては、2009 年末時点で約 90 百万ユーロの予算がすでに割り当てられている。結晶シリコン太陽電池については、企業や各国による当該技術に対する研究開発投資が増加していることもあり、FP7 における予算配分額は FP6 と比較して小額にとどまっている<sup>28</sup>。薄膜シリコン太陽電池には引き続き多くの予算が使用されており、現時点で FP6 とほぼ同額の支援が行われている。また、集光型太陽電池へはすでに FP6 の 2 倍以上の支援が行われているほか、FP6 にはなかった「製造装置・製造プロセス」に対し、薄膜シリコン太陽電池に次ぐ予算が配分されている。次世代太陽電池 (色素増感) への投資も活発である。

<sup>28</sup> P Menna et al. “EUROPEAN PHOTOVOLTAIC ACTIONS AND PROGRAMMES-2009” (2009, 24<sup>th</sup> European Photovoltaic Conference in Hamburg)

図表 2.32 FP6・FP7の太陽光発電関連予算の内訳



出典：“IEA-PVPS Annual Report 2009 (EC)” (2009, IEA-PVPS) より作成

図表 2.33 FP7の主要な太陽電池関連プロジェクト (2010年6月時点)

	プロジェクト名	概要	予算(百万ユーロ) (うちEC出資分)	期間
製造装置・プロセス	SOLASYS	次世代太陽電池セル/モジュールレーザー製造システムの開発	5.99 (5.29)	2008/9/1～2011/8/31
	ULTIMATE	高耐久・高効率のモジュール製造用超薄型太陽電池セルの開発	6.35 (3.98)	2008/10/1～2011/9/30
集光型太陽電池	APOLLON	高効率インテリジェント集光型太陽電池モジュール/システムの開発に向けた多角的アプローチ	11.74 (8.26)	2008/7/1～2013/6/30
	NACIR	集光型太陽電池の最先端企業によるコンソーシアムの形成と高性能化に係る技術開発	7.11 (4.40)	2009/1/1～2012/12/31
次世代太陽電池	ASPIS	新コンセプト集光型太陽電池の開発 (太陽追尾技術+平板モジュール内における集光技術)	3.76 (2.88)	2009/1/1～2011/12/31
	EPHOCCELL	分子内・分子間のエネルギー伝達に係る調査研究	3.42 (2.50)	2009/2/1～2013/1/31
	IBPOWER	高効率・低コスト太陽電池のための中間バンド材料および太陽電池セルの開発	4.61 (3.49)	2008/2/1～2012/1/31
	ROBUST DSC	高効率・高耐久 色素増感太陽電池のセル/モジュールの開発	5.32 (3.98)	2008/2/1～2011/1/31

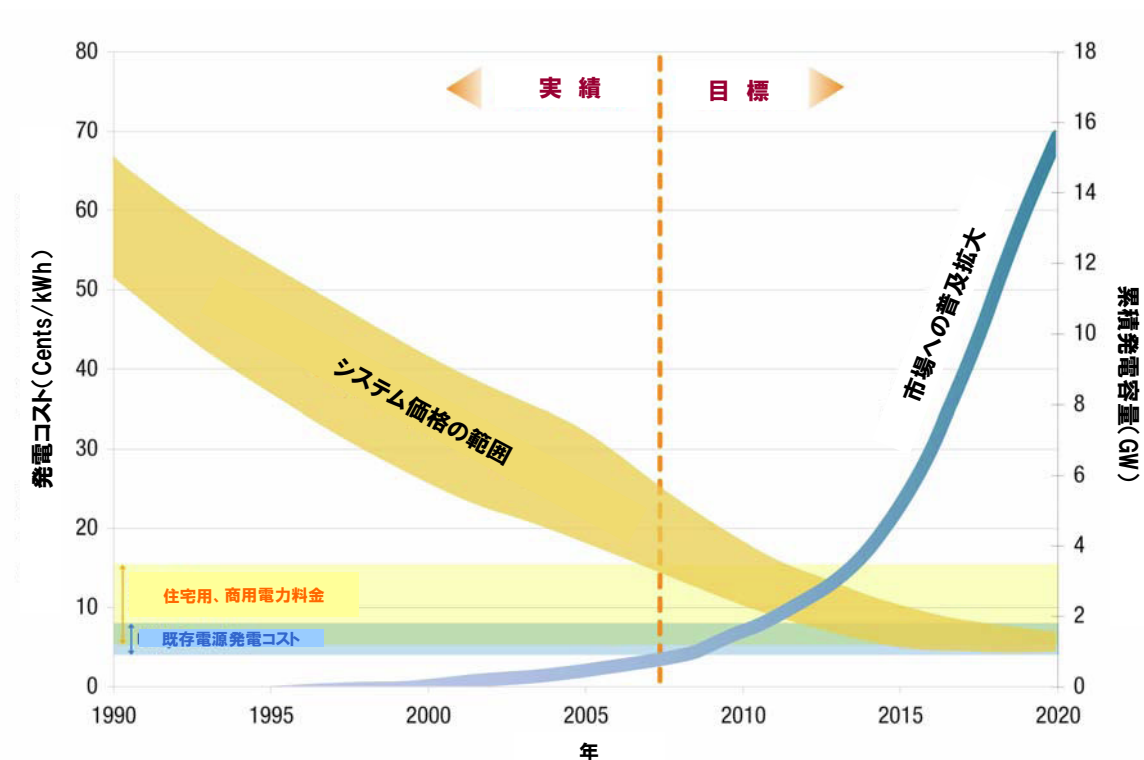
	SOLAMON	次世代薄膜太陽電池セルのためのプラズモンナノ材料の開発	2.09 (1.60)	2009/2/1～ 2011/1/31
	ROD SOL	無機材料によるナノロッド薄膜太陽電池セル（ガラス基板）の開発	4.08 (2.70)	2009/1/1～ 2011/12/31
薄膜系太陽電池	HELATHIS	高効率大面積薄膜Si太陽電池モジュールの開発	3.13 (2.10)	2010/1/1～ 2012/12/31
	HIPOCIGS	直列製造ラインによる高効率・低コストフレキシブル CIGS 太陽電池の開発	5.02 (3.64)	2010/1/1～ 2012/12/31
	SILICON LIGHT	高品質・高集光性能 薄膜シリコン太陽電池セルの開発	8.85 (5.78)	2010/1/1～ 2012/12/31
	THINSI	低コストシリコン基板を用いた薄膜シリコン系ハイブリッド太陽電池の開発	6.19 (4.12)	2010/1/1～ 2012/12/31
結晶シリコン太陽電池	HETSI	a-Si と c-Si を使用したヘテロ接合太陽電池セルの開発	5.05 (3.40)	2008/2/1～ 2011/1/31
	POLYSIMOD	多結晶シリコン太陽電池モジュール（ガラス基板）の改良	6.05 (4.50)	2009/12/1～ 2012/11/30
	HIGH-EF	ダイオードレーザーと固相結晶化プロセスの組み合わせによる大粒径・低負荷薄膜多結晶太陽電池	4.46 (2.86)	2008/1/1～ 2010/12/31

出典：EC ホームページ ([http://cordis.europa.eu/fp7/projects\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/projects_en.html)) より作成

## (2) 米国

米国では、2006年に発表された「先端エネルギー計画（AEI）」<sup>29</sup>の一貫である「ソーラー・アメリカ・イニシアティブ（SAI）」のもと、太陽光発電のグリッドパリティを達成することを第一目標に、各種技術開発プログラムに取り組んでいる。図表 2.34 に SAI の目標を示す。SAI の目標は、産業界との連携により、2015年までに既存電源に対するグリッドパリティを実現することにある。

図表 2.34 ソーラー・アメリカ・イニシアティブ（SAI）  
における太陽光発電コスト目標



出典：EERE 資料より作成

SAI の目標を達成するため、米国省エネルギー・再生可能エネルギー局（EERE<sup>30</sup>）の主導により、Solar Energy Technologies Program（SETP）が実施されている。

SETP は、複数のサブプログラムに分けられており、現在は「太陽光発電（Photovoltaic）」、「太陽熱発電（Concentrating Solar Power）」、「システム統合（System Integration）」、「市場移転（Market Transformation）」の 4 つのサブプログラムが実施されている。予算は増加傾向にあり、2009 年度は約 2.9 億ドル（約 290 億円）<sup>31</sup>、2010 年度は約 2.3 億ドル（約 230 億円）が配分された。

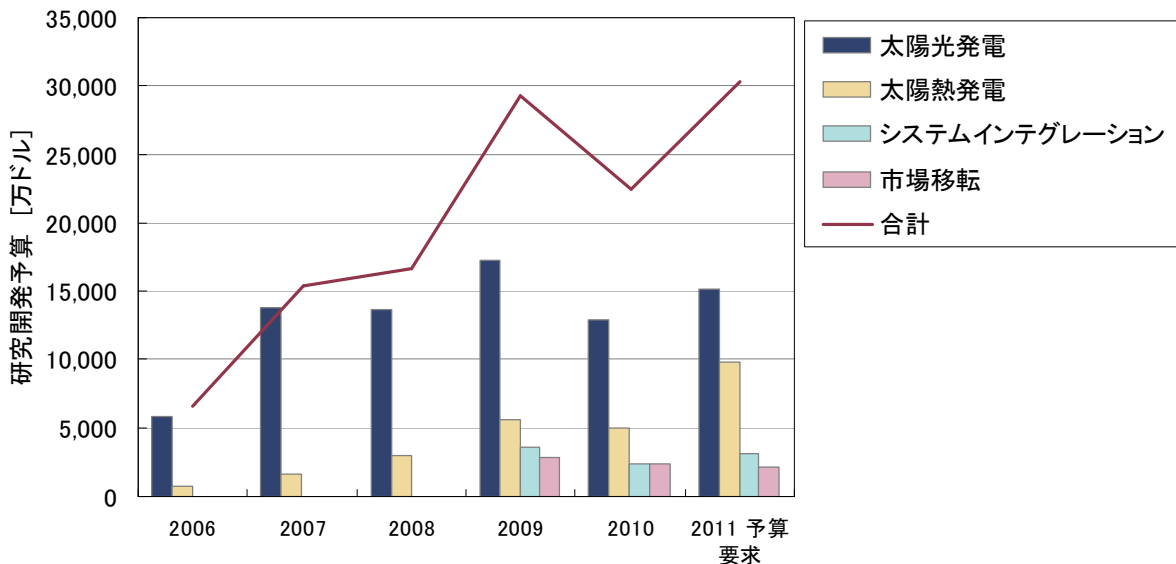
<sup>29</sup> 原子力の推進、太陽光発電システム・風力発電の普及、自動車の代替燃料の開発など石油代替エネルギー開発を重点的に強化・推進する計画。

<sup>30</sup> Energy Efficiency & Renewable Energy

<sup>31</sup> 2008 年末の金融危機に対する特別措置となる、米国経済再生法(American Recovery and Reinvestment Act)により、2009 年度予算は当初額より大幅に増額された。

2011 年度は約 3 億ドル（約 300 億円）の予算要求が出されている<sup>32</sup>。このうち、太陽光発電サブプログラムは最も多くの予算を配分されており、2007 年以降、毎年 1.4 億ドル前後が割り当てられている（図表 2.35）。

図表 2.35 SETP 主要サブプログラムの予算推移



出典：“Budget-in-Brief 2006-2010”（EERE）および EERE ホームページより作成

現在実施されている、主要な技術開発プログラムを図表 2.36 に示す。萌芽的技術や次世代技術から、実用化に近い技術、分野横断的技術、系統連系技術等について、産官学の連携のもと技術開発が進められている。

図表 2.36 主要な研究開発プログラム

テーマ/概要	実施プログラム	概要
システム開発と製造	テクノロジー・パスウェイ・パートナーシップ (TPP)	産業主導型のプロジェクト。早期に大量生産・低コスト化が可能な段階にある太陽電池コンポーネント、システムについて、実証試験や技術間の相互連携を行う。
	大学における製品・製造プロセス開発	大学における技術開発を支援し、実製品および製造プロセスの改良、商用化につなげることを目標とする。
	サプライチェーンと分野横断的技術開発	太陽電池産業に影響を与える、共通技術・材料の改良により、製品・製造コストを削減することを目標とする。
プロトタイプ開発とパイロット生産	太陽光発電技術インキュベーター	新しい製品・製造プロセスの商用化の可能性を探るとともに、国内企業の育成を図る。2012 年までに商用化に向け、太陽電池コンポーネント・システムのプロトタイプ開発、技術課題の解決を図る。

<sup>32</sup> Budget-in-Brief (EERE)、EERE ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/solar/budget.html>)

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

テーマ/概要	実施プログラム	概要
新規デバイスおよび製造プロセス	次世代太陽電池プログラム	革新的な次世代太陽電池のおよび製造プロセスを開発する。太陽電池セルおよび製造プロセスのプロトタイプを 2015 年までに完成させ、2020～2030 年までに商用化することを目標とする。
	太陽光発電技術プレインキュベーター	小規模企業における、太陽電池のコンセプト開発から商業的に実現可能なプロトタイプ開発 (2012 年まで) への移行を支援する。
系統連系	系統連系システムプログラム	太陽光発電の系統連系に係る諸課題に係る研究開発、システム開発を行う。

出典：EERE ホームページ ([http://www1.eere.energy.gov/solar/photovoltaics\\_program.html](http://www1.eere.energy.gov/solar/photovoltaics_program.html)) より作成

上に挙げたプログラム中で、「テクノロジー・パスウェイ・パートナーシップ (TPP)」は、グリッドパリティ達成の主要な推進力となる、代表的な研究開発プログラムである。TPP の採択プロジェクト一覧を図表 2.37 に示す。大手メーカーを含む 13 社と多数のステークホルダーにより実用化に向けた検討が進められており、現在主流の結晶系シリコン太陽電池に加え、薄膜系シリコン太陽電池、集光型太陽電池や、CIGS 太陽電池が採択されている。また、建材一体型太陽電池関連のプロジェクトが多数採択されていることも大きな特徴である。建材一体型太陽電池は、そのデザイン性により今後住宅市場を中心にニーズが増えると考えられており、TPP でも重要課題の一つと捉えられていることが分かる。ほぼ全てのプロジェクトが 2014～2015 年に既存電源に対して競争力を持つ発電コストを目標に掲げており、グリッドパリティに向けて明確な目標が掲げられている。

図表 2.37 テクノロジー・パスウェイ・パートナーシップ (TPP) の採択プロジェクト一覧

採択企業	研究開発内容	目標 (2014～2015)	
		発電コスト	生産能力
システム研究開発			
BP Solar International	結晶シリコン サプライチェーン全体をカバーした技術開発・最適化による結晶 Si 太陽電池の低コスト化アプローチ	7.22 セント/kWh	—
SunPower	結晶シリコン インゴット・基板製造、裏面電極型セル製造の自動化、デザイン性に優れた低コストなモジュールデザイン等による結晶 Si 太陽電池の低コスト化	—	—
Amonix	集光型 電力事業向けの低コスト・高集光型太陽光発電システムの開発 (III-V 族)	6 セント/kWh	1,000MW/年
Boeing	集光型 高効率集光型太陽光発電システムの開発 (III-V 族)	6.9 セント/kWh	150MW/年



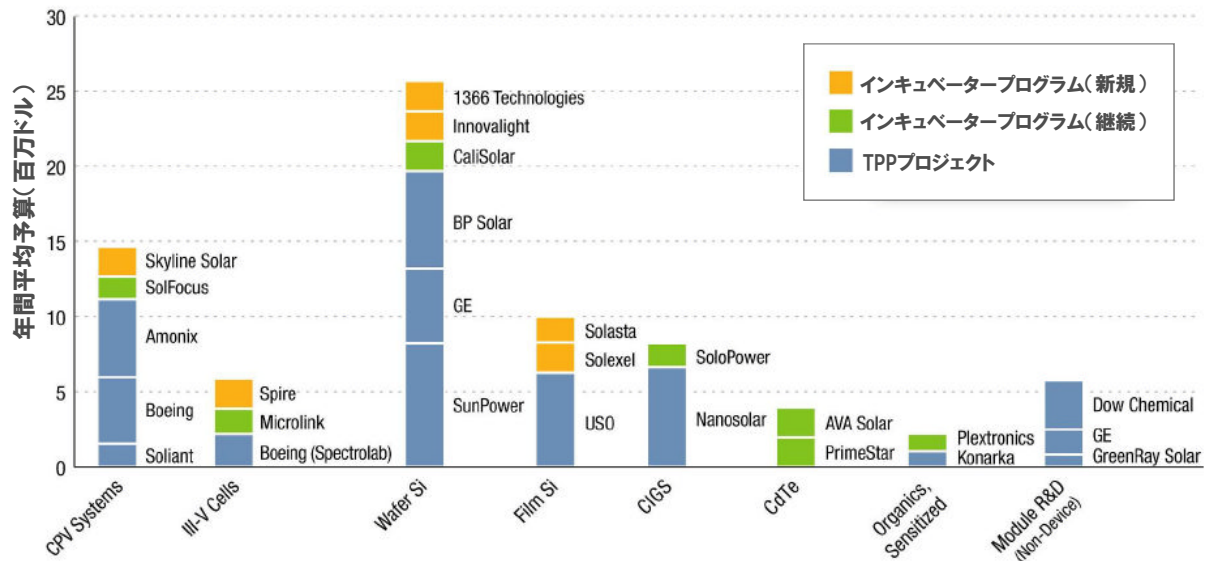
Miasolé	CIGS	バリューチェーン全体の見直しによる低コスト化、薄膜太陽電池の Roll to Roll セル・モジュール製造、設置プロセスの簡素化等 (CIGS)	5.3 セント/kWh	5000MW/年
Nanosolar		商業ビル屋根用の超低コスト薄膜 CIGS 太陽電池の開発	5.2 セント/kWh	—
Dow Chemical Company	建材一体型	住宅・商業ビル用建材一体型太陽電池	6.03 セント/kWh	100MW/年
GE Energy		住宅・商業ビル用建材一体型太陽電池を簡素化するための各種技術開発 (結晶 Si)	5.8 セント/kWh	1500MW/年
United Solar Ovonic		低コスト建材一体型薄膜 Si 太陽電池	7.6 セント/kWh	1000MW/年
サブシステム研究開発				
GreenRay		超高効率交流太陽電池モジュール	9 セント/kWh	180.25MW/年
Konarka Technologies		建材一体型有機薄膜太陽電池 (色素増感)	<10 セント/kWh	1000~3000MW/年
PowerLight		製造システムの自動化によるコスト削減	—	—
Practical Instruments		商業建物屋根用の高効率集光型太陽電池	5.6 セント/kWh	600MW/年

出典：“Overview of Technology Pathway Partnerships Projects” (2007, EERE)、  
「太陽光発電技術開発動向等の調査」(2009, 資源総合システム) より作成

図表 2.38 に、SETP の主要プログラムにおける太陽電池技術別予算と採択企業を示す。予算配分としては、結晶シリコン太陽電池が採択企業数、予算ともに最も多く、薄膜シリコン太陽電池と合わせて、シリコン系太陽電池について力を入れていることが分かる。また、結晶シリコン太陽電池に次いで、集光型太陽電池の採択企業数・予算が多く、高効率太陽電池への関心の高さが伺える。その他、現在注目されている CIGS、CdTe、有機系太陽電池 (色素増感、有機薄膜) など、網羅的に予算が配分されている。

2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

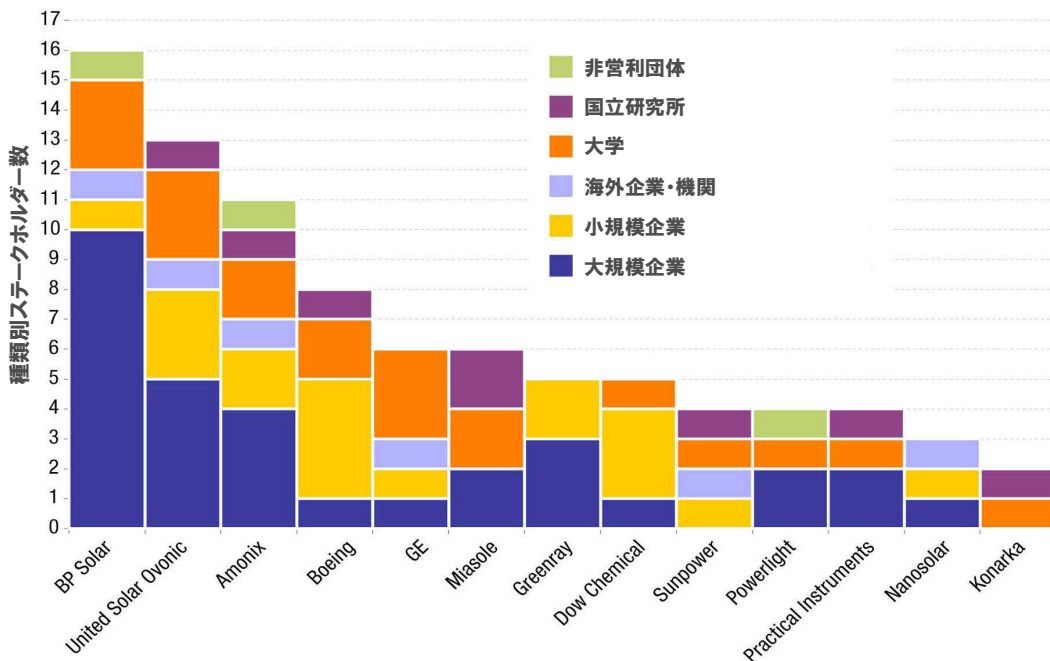
図表 2.38 TPP と太陽電池技術インキュベータープログラムにおける太陽電池技術別予算と採択企業



出典：“Photovoltaic Technology Incubator Selections” (2008, EERE) より作成

また、SETP の特徴の一つとして、多様なステークホルダーの協力体制のもと各プロジェクトが実施されている点が挙げられる。図表 2.39 に、TPP におけるプロジェクトごとの参画ステークホルダーの種類・数を示す。大手企業から小規模企業、大学や国の研究機関、海外機関、非営利団体など、多種多様なステークホルダーが参画しており、産学が連携した効果的な研究開発が進められている。

図表 2.39 TPP に参画している各種ステークホルダー



出典：“Overview of Technology Pathway Partnerships Projects” (2007, EERE)

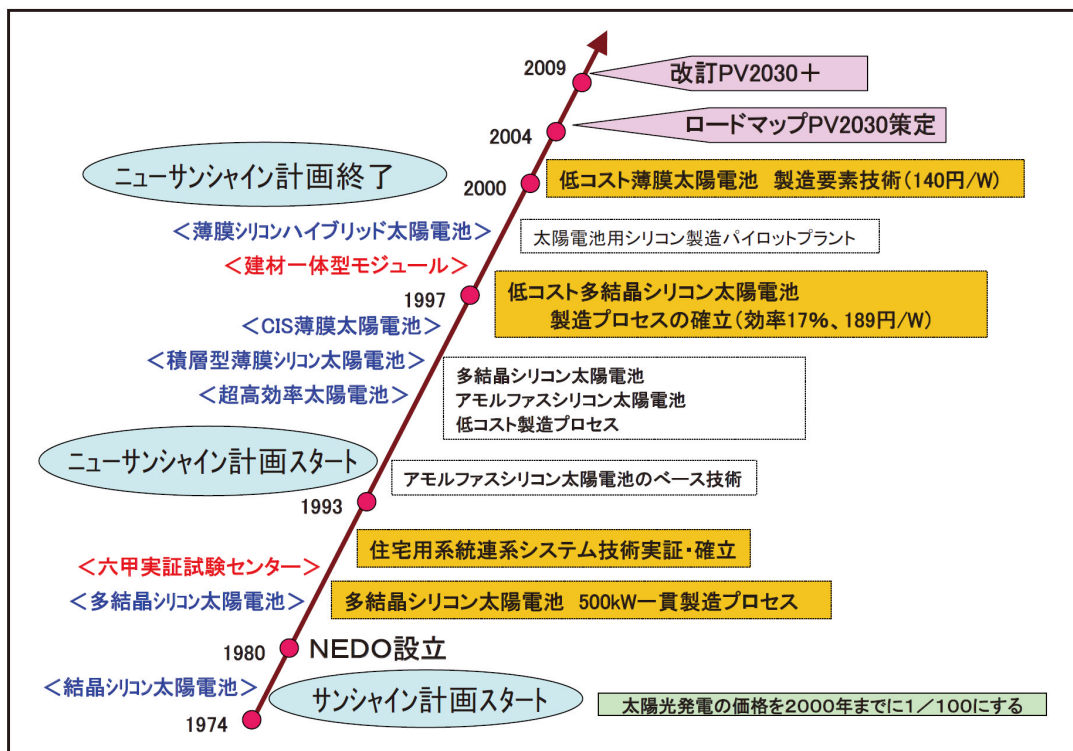
### (3) 日本<sup>33</sup>

日本は太陽光発電の技術開発において先導的役割を担ってきた。日本における技術開発の歴史は古く、1954年にアメリカのベル研究所にて世界発の単結晶シリコン太陽電池の発明が発表された翌年、日本においても太陽電池の試作品が製作された。1954年にはシャープが太陽電池の研究開発を開始し、1960年代前半には単結晶シリコン太陽電池の量産を開始した。

太陽電池に係る国家プロジェクトは1970年代のオイルショックを以降に本格化し、サンシャイン計画(1974～1992年)<sup>34</sup>およびニューサンシャイン計画<sup>35</sup>(1993～2000年)において、NEDOが主導的役割を果たしながら、結晶シリコン太陽電池、薄膜シリコン太陽電池、CIS太陽電池、有機系太陽電池(色素増感、有機薄膜)の技術開発が行われてきた(図表2.40)。

2004年には、太陽光発電ロードマップ「PV2030」、2009年にはその改訂版である「PV2030+」が策定され、その中で、太陽電池のコスト目標として、2010年に23円/kWh程度(家庭用電力料金並み)、2020年に14円/kWh程度(業務用電力料金並み)、2030年に7円/kWh程度(汎用電源並み)をそれぞれ掲げている。

図表 2.40 NEDOの太陽光発電技術開発の経緯



出典：「NEDOの太陽電池技術開発動向と新規プロジェクトでの取り組み」(2010, PVTEC ニュース Vol.56 4月号, 太陽光発電技術研究組合)

<sup>33</sup> 本節は主に「NEDOの太陽電池技術開発動向と新規プロジェクトでの取り組み」(2010, PVTEC ニュース Vol.56 4月号, 太陽光発電技術研究組合)をもとに取りまとめている。

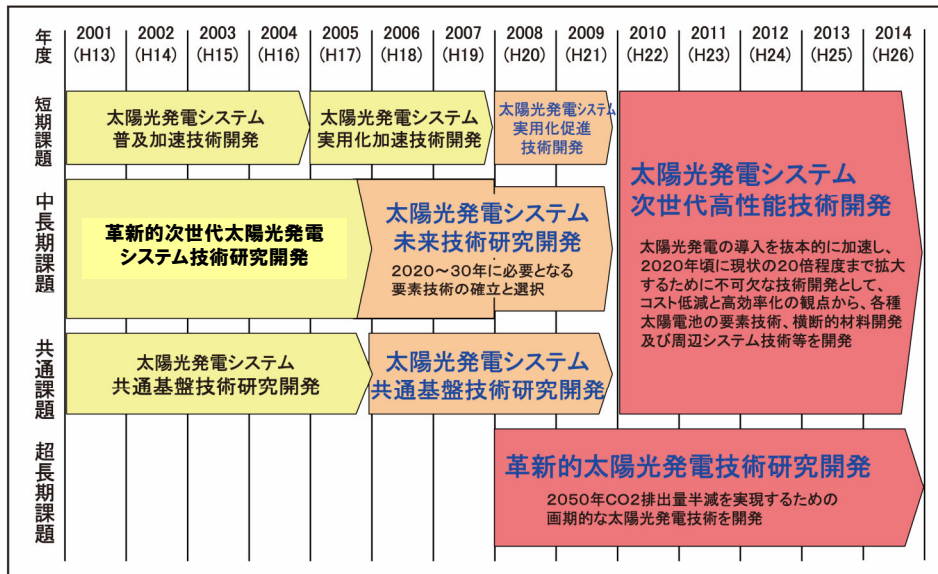
<sup>34</sup> 将来的にエネルギー需要の相当部分をまかないうるクリーンなエネルギーの供給を目標として、太陽、地熱、石炭、水素エネルギーの4つの石油代替エネルギー技術について重点的に研究開発を実施した計画。

<sup>35</sup> エネルギーセキュリティを目的として進められてきた新エネルギーや省エネルギーに係る各計画に、地球環境保護という目的を追加し、総合的に推進するとした計画。

2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

2001年以降のNEDOにおける太陽光発電技術開発プロジェクトを図表 2.41 に示す。

図表 2.41 NEDO の太陽光発電技術開発プロジェクト



出典：「NEDO の太陽電池技術開発動向と新規プロジェクトでの取り組み」  
(2010, PVTEC ニュース Vol.56 4月号, 太陽光発電技術研究組合)

2010年に向けた太陽電池モジュールの低コスト製造技術に関しては、発電コスト 23 円/kWh 程度の達成を目標として掲げ、結晶シリコン太陽電池については 2004 年までに、また薄膜シリコン太陽電池や CIS 薄膜太陽電池についても 2005 年までに、「太陽光発電システム普及加速技術開発」等のプロジェクトを通じた技術開発を終了した。また、これら開発技術の確立と完成度向上に向けた支援として、「太陽光発電システム実用化促進技術開発（2009 年度予算：3.1 億円）」が 2008～2009 年度の 2 年間実施された。

2010 年以降に向けた技術開発としては、2020 年に発電コスト 14 円/kWh 程度の達成を目指し、各種太陽電池の超薄型化や多接合化／ヘテロ接合化による高性能化のための要素技術開発が進められている。具体的には「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」においてブレークスルーの探索を行い、その成果に基づき 2006～2009 年の 4 年間、「太陽光発電システム未来技術研究開発（2009 年度予算：11 億円）」で各種太陽電池の低コスト・高性能化に対する要素技術開発を進めてきた。2008 年度には、その一部を「太陽光発電システム実用化促進技術開発」に移行している。

2030 年以降に発電コストを汎用電源並みの 7 円/kWh 程度まで低減する目標に対しては、「革新的太陽光発電技術研究開発（2009 年度予算：15 億円）」として変換効率 40% を目指した超高性能太陽電池に関する技術探索プロジェクトを 2008 年度より開始した。多接合型太陽電池、量子ナノ構造太陽電池、光マネジメント構造（波長変換・波長分割構造等）、その他新規概念太陽電池（TPV 技術、プラズモン太陽電池等）、集光型多接合太陽電池評価技術の開発、薄膜多接合太陽電池評価技術の開発などが対象となっている。現在までに図表 2.42 に示すテーマが採択されており、大学、研究機関、関連企業による産学連携による研究開発が行われている。

図表 2.42 革新的太陽光発電技術研究開発の採択テーマ

研究開発テーマ	実施機関
超高効率太陽光発電国際研究拠点 (SOLAR QUEST)	国立大学法人東京大学 国立大学法人大阪大学、国立大学法人電気通信大学、 公立大学法人兵庫県立大学、豊田工業大学、名城大学、 シャープ(株)、新日本石油(株)、リコー(株)
高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の 研究開発	(独)産業技術総合研究所 国立大学法人大阪大学、国立大学法人九州大学、国立 大学法人東京工業大学、国立大学法人東京農工大学、 国立大学法人東北大学、国立大学法人豊橋技術科学大 学、東海大学、(独)物質・材料研究機構、(独)理化学研 究所、京セラ(株)、コーニングホールディングジャパ ン合同会社、松下電工(株)、三菱重工業(株)
薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発 (低倍率集光)	国立大学法人東京工業大学 国立大学法人岐阜大学、青山学院大学、立命館大学、 龍谷大学、(独)国立高等専門学校機構木更津工業高等 専門学校、旭硝子(株)、(株)カネカ、三洋電機(株)、 シャープ(株)、富士電機アドバンステクノロジー (株)、三菱電機(株)

太陽光発電技術開発プロジェクトの多くが 2009 年度をもって終了することを受け、これらを統合した後継プロジェクトとして「太陽光発電システム次世代高性能技術開発」プロジェクトが 2010 年より開始される。

本プロジェクトは、太陽光発電の導入規模を 2020 年に現状の 20 倍 (28GW)、2030 年に 40 倍 (53GW) にする目標達成に資する技術開発として、モジュール高効率化およびコスト低減の観点から各種太陽電池の変換効率の向上、原材料・各種部材の高機能化、モジュール長寿命化、評価技術等の共通基盤技術等の開発を行うことを目的としている。具体的な技術開発目標は、PV2030+にて掲げられた、発電コスト：2020 年に 14 円/kWh (業務用電力料金並み)、モジュール製造コスト：2020 年に 75 円/W、モジュール変換効率：2020 年に 20%を達成することである。

研究開発テーマごとの研究開発内容・達成目標を図表 2.43 に示す。上記目標達成に向けて、太陽電池種類ごとに具体的な数値目標が設定されている。また、分野別に図表 2.44 に示す機関の採択が決定している。

図表 2.43 太陽光発電システム次世代高性能技術開発における研究開発内容・達成目標

研究開発テーマ	達成目標
結晶シリコン太陽電池	<p><u>コスト低減</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>結晶シリコンを安価に製造する技術として、カーフロス 120 <math>\mu\text{m}</math> 未満、またはカーフを生じない新たな製法等を確立</li> </ul> <p><u>高効率化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>厚さ 100 <math>\mu\text{m}</math> 程度、15cm 角のセルにおいて、変換効率 25% 以上、モジュールの変換効率 20% 以上</li> <li>15cm 角程度のセルにおいて、キャリア寿命 400 <math>\mu\text{sec}</math> (拡散長約 2 mm) 以上、シリコン純度 7 N 以上。</li> </ul>
薄膜シリコン太陽電池	<p><u>高効率化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>30×40cm 基板に製膜した 2 接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率 14% 以上 (安定化効率)</li> </ul> <p><u>製造コスト低減</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>幅 1m 以上の基板において製膜速度 2.5mm/sec 以上、膜厚分布 <math>\pm 5\%</math> 以下</li> </ul>
CIS・化合物系太陽電池	<p><u>CIS 系高効率化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>サブモジュール (30cm 角程度) で変換効率 18% 以上</li> <li>小面積セル (1cm 角程度) で変換効率 25% 以上</li> </ul> <p><u>CIS 系製造プロセスの開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>軽量基板上での製造技術や、新規な低コスト製造プロセス等により製造したサンプルを供試</li> </ul> <p><u>集光型太陽電池の低コスト化開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>開発した光学系や追尾架台等を用いたモデルシステムを実際に建設し、そのコストを基にプラント建設コストを算出</li> </ul>
色素増感太陽電池	<p><u>高効率化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>セル変換効率 (安定化効率) 15% (1cm 角程度) 以上</li> <li>モジュール変換効率 (安定化効率) 10% (30cm 角程度) 以上</li> </ul> <p><u>モジュール化・耐久性向上</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験 (温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験) において相対効率低下 10% 以内</li> </ul>
有機薄膜太陽電池	<p><u>高効率化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>セル変換効率 (安定化効率) 12% (1cm 角程度) 以上</li> <li>モジュール変換効率 (安定化効率) 10% (30cm 角程度) 以上</li> </ul> <p><u>モジュール化・耐久性向上</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験 (温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験) において相対効率低下 10% 以内</li> </ul>

研究開発テーマ	達成目標
共通基盤研究	以下の研究開発項目を実施する。 i) 発電量評価技術等の開発 ii) 信頼性及び寿命評価技術の開発 iii) リサイクル・リユース技術の開発 iv) 共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発 v) 標準化支援事業及び I E A 国際協力事業等

出典：NEDO 資料

図表 2.44 太陽光発電システム次世代高性能技術開発 分野別採択機関

分野	実施機関
結晶シリコン太陽電池	岐阜大学、京セラ(株)、京都大学、九州大学、(株)コベルコ科研、コマツ NTC(株)、(株)SUMCO、産業技術総合研究所、シャープ(株)、新日本ソーラーシリコン(株)、太平洋セメント(株)、東京工業大学、東京大学生産技術研究所、東北大学、豊田工業大学、奈良先端科学技術大学院大学、兵庫県立大学、弘前大学、物質・材料研究機構、三菱電機(株)、明治大学
薄膜シリコン太陽電池	太陽光発電技術研究組合 ((株)カネカ、産業技術総合研究所、三洋電機(株)、シャープ(株)、東京エレクトロン(株)、富士電機ホールディングス(株)、三菱重工業(株))
CIS・化合物系太陽電池	(株)アルバック、鹿児島大学、昭和シェル石油(株)、筑波大学、豊橋技術科学大学、富士フィルム(株)、三井造船(株)
色素増感太陽電池	九州工業大学、岐阜大学、グンゼ(株)、シャープ(株)、信州大学、新日鐵化学(株)、住友大阪セメント(株)、桐蔭横浜大学、東京理科大学、(株)フジクラ、富士フィルム(株)、メルク(株)
有機薄膜太陽電池	(株)東芝、住友化学(株)、出光興産(株)、京都大学、パナソニック電工(株)、早稲田大学
共通基盤技術	気象研究所、北九州産業学術推進機構、岐阜大学、産業技術総合研究所、(株)資源総合システム、太陽光発電技術研究組合、東京大学、日本気象協会
共通材料	積水化学工業(株)、デュボン(株)、三菱樹脂(株)

出典：NEDO 資料

太陽光発電システム技術に関しては、1992 年頃から各種太陽電池や太陽光発電システムの実証研究を継続的に実施してきた。また電力系統や各種新エネルギーとの連系に係る課題の検討に関して、2007 年度までに「集中連系型太陽光発電システム実証研究」や「新電力ネットワークシステム実証研究」などの実証研究を、更に 2008 年度以降は「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」における接続系統側での課題に関する検証を実施してきた。

また、太陽電池を取り巻く環境整備・周辺技術に係る基盤技術に関しては、モジュール性能

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

評価技術や発電量評価技術などの開発を 2006～2009 年の 4 年間、「太陽光発電システム共通基盤技術開発（2009 年度予算：3.5 億円）」として進めてきている。

太陽電池に関する研究は、日本学術振興会が所管する「最先端研究開発支援プログラム」の採択課題の一つに取り上げられており、国が今後推進すべき重要技術の一つとして位置づけられている。最先端研究開発支援プログラムは、先端的研究を促進して我が国の国際競争力を強化するとともに、研究開発成果を国民および社会へ還元することを目的としたプログラムで、平成 21 年度は 1,000 億円の予算が配分されている。

東京大学瀬川浩司教授による「低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発～複数の産業群の連携による次世代太陽電池技術開発と新産業創成～」が太陽電池関連テーマとして採択され、約 30 億円の研究予算が割り当てられている。



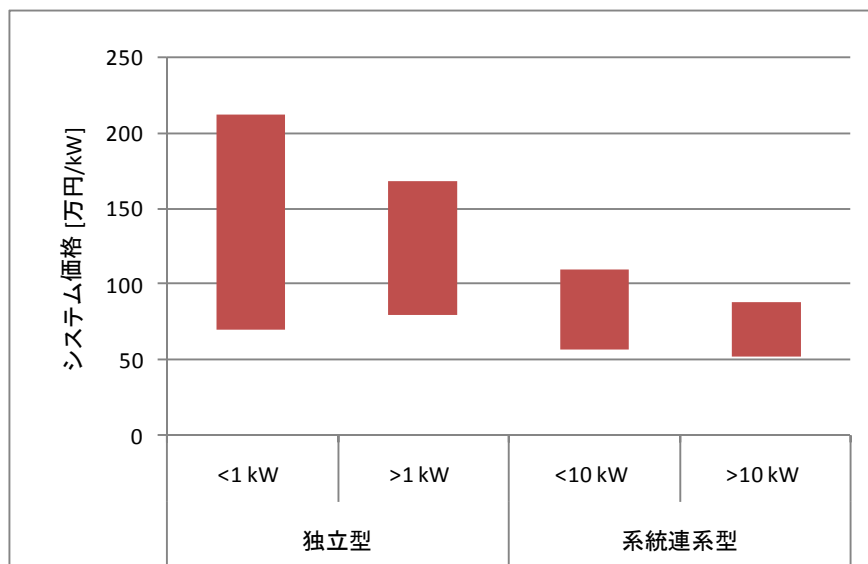
## 2.1.6 システム価格、発電単価等<sup>36</sup>

### (1) システム価格

太陽光発電のシステム価格<sup>37</sup>は、規模や太陽電池技術の種類、導入場所、用途等により異なる。主要国における太陽光発電のシステム価格を図表 2.45 に示す。10kW 以下の系統連系型システムの価格は概ね 60～110 万円/kW 程度である。システム規模が大きくなると kW あたりのシステム価格は低減され、10kW 以上の系統連系型システムの価格は 50～85 万円/kW 程度となる。独立型システムについては、システム規模が小さいことや蓄電池や関連機器を必要とするため平均 100 万円/kW 以上と高価である。

日本における太陽光発電システムの価格は、10kW 以下のシステムで約 70 万円/kW、10kW 以上では約 50 万円/kW の水準にある。

図表 2.45 主要国の太陽光発電システム価格（2008 年）



	システム価格（万円/kW）			
	独立型		系統連系型	
	<1 kW	>1 kW	<10 kW	>10 kW
日本	-	-	69	52
独	-	-	57~66	54
米国	70~90	80~100	70~90	65
スペイン	168~212	143~168	103~110	84~88
イタリア	147~191	-	81~96	62~81

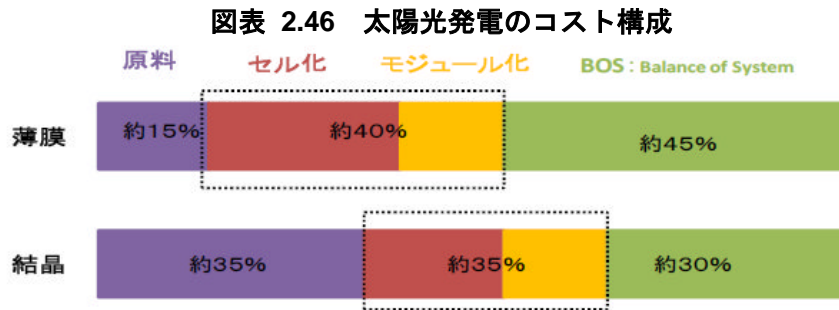
出典：“Trends in Photovoltaic Applications :Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008”  
(2009, IEA-PVPS)

<sup>36</sup> 1 ドル=100 円、1 ユーロ=130 円として換算している。以下同様。

<sup>37</sup> 設備費（太陽電池発電システムに係る費用）、設置に係る諸経費（施工、系統連系等に係る費用）等の合計をシステム価格と定義する。

2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

なお、図表 2.46 に示すように、太陽光発電のコスト構成においては、約 35~40%を占めるセル・モジュールの製造コストに加えて、パワーコンディショナ等の周辺機器や施工費などの割合も約 30~45%と大きく、コスト低減のためにはこれらの低価格化を図ることも必要となる。



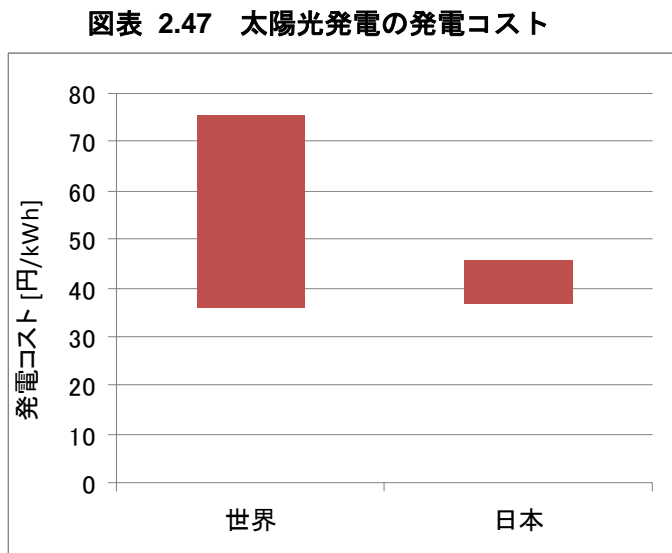
注) 20年償却を前提。パワーコンディショナ等の付属機器、施工費用についてはBOSコストに含まれる。

出典：「ソーラー・システム産業戦略研究会 報告書」(2009, ソーラー・システム産業戦略研究会)

(2) 発電コスト

1) 現状の発電コスト

太陽光発電の発電コストを図表 2.47 に示す。日本の発電コストは、導入量の約 8 割を占める住宅用系統連系型太陽光発電システムで、37~46 円/kWh の水準にある。海外の発電コストは 36~76 円/kWh 程度で、日照条件や太陽電池の変換効率、耐用年数、設置にかかる人件費等により各国間で発電コストに幅がある。



	発電コスト	出典
世界	36~75.5 円/kWh	World Energy Outlook 2009 (IEA)
日本 <sup>※</sup>	37~46 円/kWh (住宅用)	再生可能エネルギーの全量買取に関するプロジェクトチーム 第 4 回会合資料 (2010 年 3 月)

## 2) 将来の発電コスト

### ① 欧州

欧州では欧州太陽光発電技術プラットフォーム（European Photovoltaic Technology Platform：PVTP）が太陽光発電の長期ビジョンとして、2030年までとその後の長期について、欧州の太陽光発電の発展目標とその達成に必要な研究開発のマイルストーンを定めた戦略的研究計画（Strategic Research Agenda：SRA）を策定している。SRAの目標値を図表2.48に示す。この目標が達成できれば、2030年には欧州のほぼ全域においてグリッドパリティが実現される。

図表 2.48 戦略的研究計画（SRA）における発電コスト目標

	2009年	2020年	2030年	長期可能性
発電コスト （年間発電量 1300kWh/kWの場合）	0.20～0.30 ユーロ/kWh （26～39円/kWh）	0.10～0.15 ユーロ/kWh （13～20円/kWh）	< 0.07 ユーロ/kWh （< 9円/kWh）	0.03 ユーロ/kWh （4円/kWh）

出典：“Today’s actions for tomorrow’s PV technology - An Implementation Plan for the Strategic Research Agenda of the European Photovoltaic Technology Platform”（2009、EU PV Technology Platform）

### ② 米国

米国における太陽光発電の発電コストの目標値を図表2.49に示す。米国では、2006年にブッシュ大統領が発表したソーラー・アメリカ・イニシアティブ（SAI）により、2015年までにグリッドパリティを達成するという目標が掲げられている。住宅用（8～10セント/kWh）、商業用（6～8セント/kWh）は現在の電力小売価格に基づいて設定されている。電力事業用（5～7セント/kWh）は、ミドルおよびピーク用電力としての競争力を持つよう設定されている。

図表 2.49 米国における発電コスト目標

市場分野	現状の電力価値	太陽光発電コスト		
		2005年	2010年目標	2015年目標
住宅用	5.8～16.7セント/kWh （6～17円/kWh）	23～32セント/kWh （23～32円/kWh）	13～18セント/kWh （13～18円/kWh）	8～10セント/kWh （8～10円/kWh）
商用	5.4～15.0セント/kWh （5～15円/kWh）	16～22セント/kWh （16～22円/kWh）	9～12セント/kWh （9～12円/kWh）	6～8セント/kWh （6～8円/kWh）
電力事業用	4.0～7.6セント/kWh （4～8円/kWh）	13～22セント/kWh （13～22円/kWh）	10～15セント/kWh （10～15円/kWh）	5～7セント/kWh （5～7円/kWh）

データ元：Marie Mapes, US Department of Energy(DOE), "An Overview of the U.S. Department of Energy Solar Program STRATEGY, R&D PIPELINE, AND NEXT STEPS, Solar America Initiative", PVSEC-17, Fukuoka（2007年12月）

出典：新エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発「太陽光発電技術開発動向等の調査」（2009、資源総合システム）

2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

③ 日本

日本では太陽光発電ロードマップ「PV2030+」(2009, NEDO)において、図表 2.50 に示す発電コスト目標が掲げられている。2020 年には業務用電力並の 14 円/kWh 程度、2030 年には事業用電力並の 7 円/kWh 程度、2050 年には 7 円を下回る発電コストの達成を目指している。量産体制の確立と高性能化および用途展開により、段階的にグリッドパリティを実現することを想定している。

図表 2.50 日本における発電コスト目標

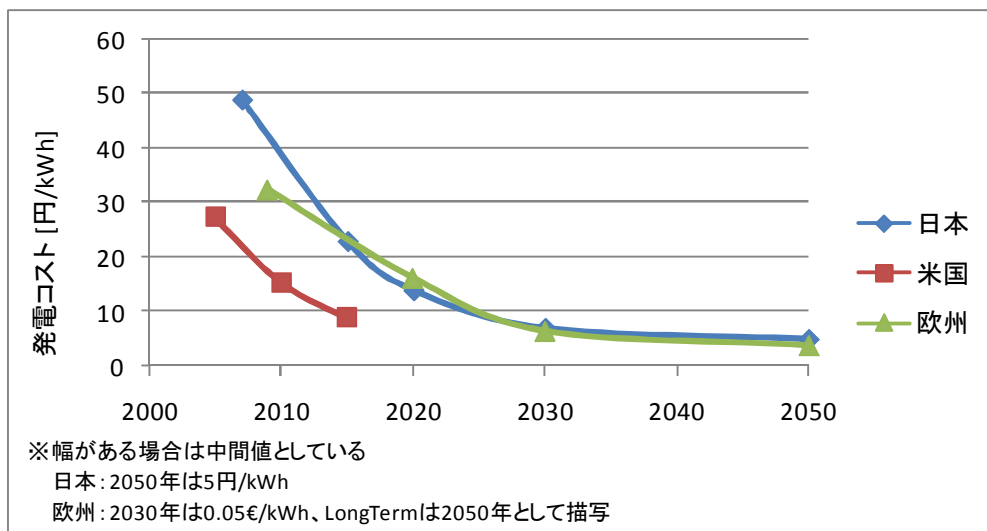
	2020 年	2030 年	2050 年
発電コスト	14 円/kWh 程度	7 円/kWh 程度	<7 円/kWh

出典：「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO)

④ 発電コスト目標のまとめ

日米欧の発電コスト目標比較を図表 2.51 に示す。各国とも既存電源 (5~7 円/kWh 程度) に対するグリッドパリティの達成を目的に、意欲的な将来目標を掲げている。目標達成年については、米国が一足早く 2015 年にはグリッドパリティを達成することを想定している。

図表 2.51 日米欧の発電コスト目標比較



### (参考) 発電コストの算出式

発電コストは一般的に、年間経常費を年間発電量で除算することにより算出される。年間経常費は、イニシャルコストおよび運転・保守費等のランニングコストからなる。イニシャルコストの算出方法には、資本回収法によるものと、減価償却費および平均金利等の和として求める方法とがある。以下では資本回収法による算出方法について述べる。

資本回収法では、イニシャルコストは建設コストと年経費率の積で表され、発電コストは次式で計算される（税金は考慮していない）。

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = \frac{\text{建設コスト} \times \text{年経費率} + \text{運転・保守費}}{\text{正味年間発電量}}$$

$$\text{年経費率} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}}$$

r : 金利、n : 耐用年数

太陽光発電の場合、可動部分が無いいため運転・保守費はほぼゼロである。年間発電量は、設置場所の日射条件が良く、太陽電池の変換効率が高いほど大きな値となる。また、太陽電池の耐用年数（現在は通常 20 年）が長いほど年経費率は小さくなるので、発電コストは小さくなる。金利の影響も無視できず、現在の日本における発電コストのうち約 3 割は利子が占めている<sup>38</sup>。

<sup>38</sup> 「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO)

## 2.1.7 推進施策・関連法令

### (1) 欧州

EU の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 2.52 に示す。EU は、エネルギーセキュリティ、化石燃料依存からの脱却、社会的・経済的団結等を背景に、地球温暖化対策に係る野心的な目標を掲げ、積極的な環境・エネルギー政策を打ち出してきた。近年の動向として、再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令、欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)、およびフィードインタリフ制度について詳述する。

図表 2.52 欧州における主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
再生可能エネルギー白書 <sup>39</sup> (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに EU 内のエネルギー消費量の 12% を再生可能エネルギーで賄う目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成に向けた行動計画を策定。</li> </ul>
再生可能電力推進に関する欧州指令 <sup>40</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに電力供給量の 21% を再生可能エネルギーでまかなう目標を設定。</li> <li>加盟各国に示唆的目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成は困難な見通し (2010 年までに 19% の達成見込み)。</li> </ul>
バイオ燃料促進に関する欧州指令 <sup>41</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75% をバイオ燃料で代替する目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成は困難な見通し。</li> </ul>
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 <sup>42</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能電力推進に関する指令とバイオ燃料促進に関する指令を修正、廃止する新たな指令。</li> <li>2020 年までに EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20% にする目標を設定。</li> <li>2020 年までに運輸部門における再生可能エネルギーの割合を 10% にする目標を設定。</li> <li>各国に法的拘束力のある目標値を設定。</li> </ul>
欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発および普及を加速させることを目的とする。</li> <li>欧州産業イニシアティブとして、低炭素化に資する 6 つの有望技術 (風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂) に関するイニシアティブを提案。</li> </ul>

<sup>39</sup> COM(1997)599 “Energy for the Future: Renewable Sources of Energy”

<sup>40</sup> Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market

<sup>41</sup> Directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport

<sup>42</sup> Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

	<ul style="list-style-type: none"> <li>各イニシアティブについて技術ロードマップを提示。 (2010年3月、欧州理事会により承認)</li> </ul>
フィードインタリフ制度 (Feed-in tariff)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギーの買取価格 (tariff) を法律で定め、一定期間の買取りを保障する制度。</li> <li>ドイツ、スペイン等で太陽光発電が爆発的に普及する起爆剤となった。</li> </ul>

### 1) 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令

2007年3月、欧州理事会は、EUの地球温暖化対策として以下4項目について合意した。

- 2020年までに、EU全体の温室効果ガス排出量を1990年比で少なくとも20%削減する。
- 2020年までに、EU全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を20%に引き上げる。
- 2020年までに、各国の輸送用燃料におけるバイオ燃料の比率を10%に引き上げる。
- 新規化石燃料発電所へのCO<sub>2</sub>回収・地中貯留 (CCS) システムの設置に向け、各国間で協力して技術開発、法的枠組み作り等を進める。

再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令は、上記4項目のうち2)と3)を達成するための手段や国別目標値を具体化したもので、再生可能電力推進に関する欧州指令(2001)とバイオ燃料促進に関する欧州指令(2003)を修正、廃止する指令である。

図表 2.19 に EU 加盟各国における 2020 年時点の再生可能エネルギー比率の目標値を示す。本指令は「2020年までに20%」という目標を達成するために、法的拘束力のある目標値を加盟各国に課している。国別目標値の設定にあたっては、再生可能エネルギーに関する各国の状況や経済力等が考慮されている。

図表 2.53 EU 加盟国の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率の経年変化と 2020 年目標値 (再掲)

	最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合			EU 指令による国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES”（2008, BMU）、Directive 2009/28/EC より作成

## 2) 欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）

欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）は、低炭素化社会の早期実現に向けて、EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発および普及を加速させることを目的とした EU の技術開発戦略である。欧州産業イニシアティブ（European Industrial Initiatives：EII）として、低炭素化に資する 6 つの有望技術（風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂）に関するイニシアティブが設置されている。2009 年 7 月にはそれぞれの技術について技術ロードマップ<sup>43</sup>が提示され、2010 年 3 月に欧州理事会により承認された。

技術ロードマップでは、再生可能エネルギーについて、以下の目標が掲げられており、太陽光発電については、2020 年までに EU の発電電力量の 12% を太陽光発電でまかなう、としている。

- 2020 年までに EU の発電電力量の 20% を風力発電でまかなう
- **2020 年までに EU の発電電力量の 15% を太陽光由来の電力（太陽光発電：12%、太陽熱発電 3%）でまかなう**
- 2020 年までに少なくとも EU のエネルギー供給 14% を、コスト競争力および持続可能性のあるバイオエネルギーでまかなう。

<sup>43</sup> “A TECHNOLOGY ROADMAP for the Communication on Investing in the Development of Low Carbon Technologies (SET-Plan)”（2009, EC）



### 3) フィードインタリフ制度

欧州における太陽光発電の導入量は、ドイツ、スペインを代表とするフィードインタリフ（Feed-in tariff）制度により爆発的に増加した。フィードインタリフ制度とは、再生可能エネルギーの買取価格（tariff）を法律で定める方式の助成制度で、一定期間の買取りを保障する制度である。買取価格は年を経るごとに低減される仕組みになっており、早期に事業を開始した方が有利となる。再生可能電力を通常の電気料金よりも高い価格で安定的に購入してもらえるため、再生可能電力事業者にとって大きなインセンティブとなっている。

ドイツでは2004年に改正された「再生可能エネルギー法」において、FIT制度により太陽光発電の買取価格を他のエネルギーよりも高く設定したことから、累積導入量は2005年に日本を抜いて世界第1位となった。2009年の太陽光の買取価格は他の再生可能エネルギーの2～10倍に設定されていた（図表 2.54）。ただし、2009年に太陽光発電システムの価格が大幅に下がったことから、2010年6月、ドイツ連邦議会は改正再生可能エネルギー法を承認し、太陽光発電の買取価格が引き下げられた<sup>44</sup>（図表 2.55）。

図表 2.54 ドイツの電力買取価格（2009年稼働設備）

	2009年買取価格 <sup>※1 ※2</sup>	価格低減率 <sup>※3</sup>
太陽光 <sup>※4</sup>	42.9～55.9 円/kWh	8.0%-10.0%
水力（5MW未満）	9.9～16.5 円/kWh	0%
水力（既設（5MW以上）のリパワメント）	4.6～9.5 円/kWh	1.0%
バイオマス（20MW未満） <sup>※4</sup>	10.1～15.2 円/kWh	1.0%
地熱（20MW未満） <sup>※4</sup>	13.7～20.8 円/kWh	1.0%
風力（陸上） <sup>※4</sup>	6.5～12.0 円/kWh	1.0%
風力（洋上）	4.6～16.9 円/kWh （2015年末までに導入された場合 2.6 円/kWh 上乘せ）	5.0% （2015年から）

※1 発電容量やシステムタイプによって異なる。 ※2 1ユーロ=130円として換算。

※3 導入量や発電コストの低下状況に合わせ、後年になるほど買取価格は低減される。

※4 バイオマス、地熱、陸上風力については、原料、技術等に合わせて買取価格を上乘せするボーナス制度が設けられている。太陽光のボーナス制度は2009年から廃止となった。

出典：“2009 EEG Payment Provisions”（BMU）より作成

図表 2.55 改正再生可能エネルギー法（2010年6月議会承認）における太陽光発電の買取価格

稼働開始時期	30kW未満	100kW未満	100kW以上	1,000kW以上
2010年7月1日以降	42.7 円/kWh	40.7 円/kWh	38.5 円/kWh	34.0 円/kWh
2011年1月1日以降	38.0 円/kWh	36.2 円/kWh	34.2 円/kWh	30.2 円/kWh

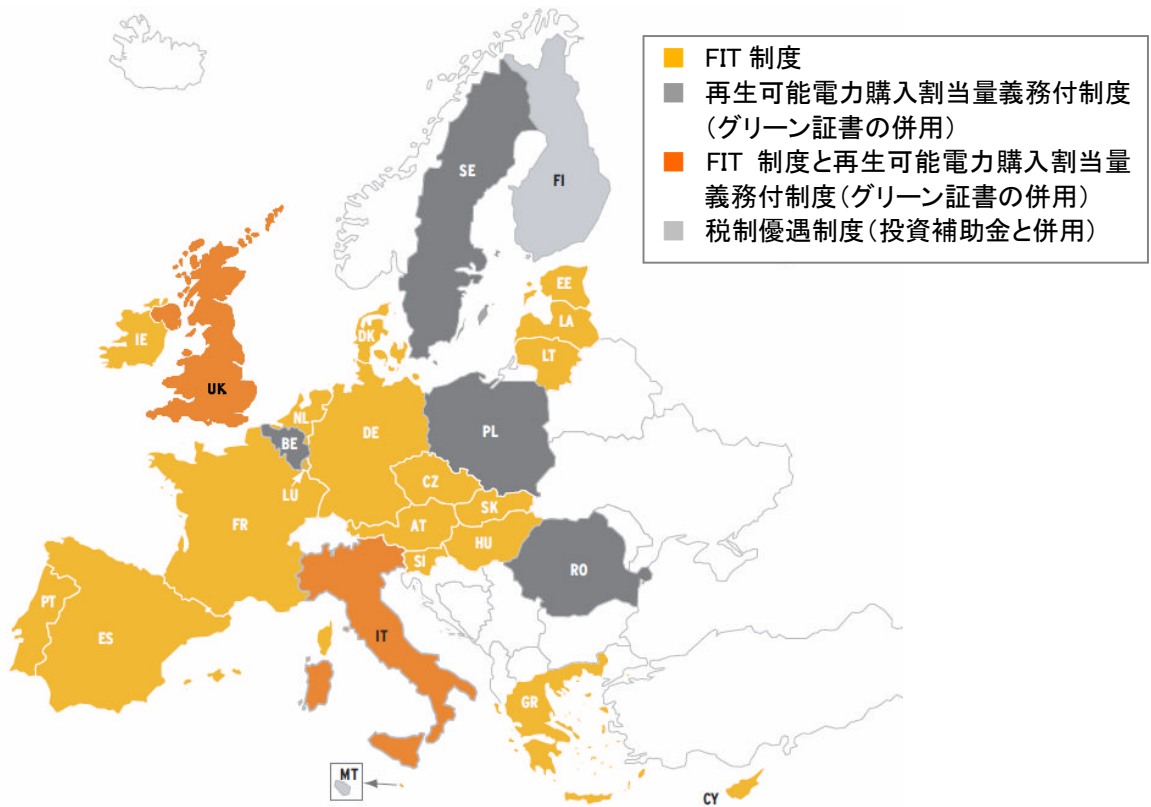
出典：Draft act to amend the EEG (<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/011/1701147.pdf>)

<sup>44</sup> ドイツ連邦環境省プレスリリース ([http://www.bmu.de/english/current\\_press\\_releases/pm/46008.php](http://www.bmu.de/english/current_press_releases/pm/46008.php))

2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

欧州では、多くの国で FIT が採用されており、2009 年末時点で採用国数は約 20 カ国に及ぶ。しかし買取価格は国によって差があり、制度設計上の問題等から、全ての国でドイツのような爆発的な再生可能エネルギーの普及が進んでいるわけではない。また、スペインでは増大する固定価格買取発電量に対して電力需要家の負担軽減を図るため、エネルギー源別に累積導入量の上限を設定し、上限に達したエネルギー源の買取価格を見直す条項を設定するなど、制度の適切な運用に向けた見直しが進んでいる。

図表 2.56 欧州における再生可能エネルギー支援施策



出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES” (2009, BMU) より作成

## (2) 米国

### 1) 連邦レベルの推進施策・関連法令

連邦レベルの主要な推進施策・関連法令を図表 2.57 に示す。世界第 1 位の CO<sub>2</sub> 排出国として、米国の地球温暖化対策推進の必要性が高まる中、オバマ政権の発足に伴い、グリーンニューディールという政策方針のもとで再生可能エネルギーの導入普及に向けた動きが加速している。

図表 2.57 連邦レベルの主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
2005 年エネルギー政策法 <sup>45</sup> (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>包括的なエネルギー法案。エネルギーインフラの強化、エネルギー効率の向上、再生可能エネルギーの利用拡大、在来型燃料の国内増産等を掲げる。</li> <li>再生可能エネルギーについては、再生可能燃料基準 (RFS)<sup>46</sup>を導入した他、政府機関の再生可能電力比率を 7.5%に引き上げる目標を設定。また、各種インセンティブ制度を認可・拡充。</li> </ul>
ソーラー・アメリカ・イニシアティブ (Solar America Initiative)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2006 年に発表された「先端エネルギー計画 (AEI)」<sup>47</sup>の一貫。2015 年までに太陽光発電のグリッドパリティを達成することを第一目標に、各種技術開発プログラムを実施。</li> </ul>
ITC (投資課税控除) (Federal Business Investment Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。</li> <li>太陽光発電の控除率は 30%。</li> </ul>
PTC (生産税控除) (Renewable Energy Production Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。</li> <li>条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。</li> <li>太陽光は対象外。</li> </ul>
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009 年 2 月に成立した米国経済再生法により、米国財務省による本助成制度を創設。</li> <li>本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。</li> </ul>
MACRS (修正加速度償却法) (Modified Accelerated Cost-Recovery System)	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。</li> <li>太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。</li> </ul>
Residential Renewable	<ul style="list-style-type: none"> <li>家庭部門を対象に、再生可能エネルギー関連機器の導入経</li> </ul>

<sup>45</sup> Public Law 190-58, Energy Policy Act of 2005, Aug. 2005

<sup>46</sup> 再生可能燃料基準 (Renewable Fuel Standard)。自動車用燃料等へのバイオ燃料の使用を義務付けるもの。

<sup>47</sup> 原子力の推進、太陽光発電システム・風力発電の普及、自動車の代替燃料の開発など石油代替エネルギー開発を重点的に強化・推進する計画。

Energy Tax Credit (住宅用再生可能エネルギー税 控除)	費に対し 30%の税控除を行う制度。
--	--------------------

出典：各種資料より取りまとめ

### ① 2005 年エネルギー政策法<sup>48</sup>

2005 年エネルギー政策法 (Energy Policy Act of 2005) は、1992 年に成立した「1992 年エネルギー政策法」を踏まえ、より包括的なエネルギー法案として策定された。「エネルギー効率」「再生可能エネルギー」「石油・天然ガス」「石炭」「原子力」「自動車・燃料」「調査・研究開発」等、エネルギーに係る各種項目について、既存の法律の改正、各種インセンティブ制度の策定等が実施されている。

再生可能エネルギーに関しては、連邦政府に対して一定量の再生可能エネルギー由来の電力の買取を義務付けたほか、PTC (生産税控除) や ITC (投資課税控除) 等の各種インセンティブ制度を認可・拡充している (PTC、ITC については後述)。特に ITC については、同法により、商業用太陽光発電システムの税控除率が 10%から 30%に大幅に拡充された。

- 連邦政府に対する再生可能電力買取りの義務付け (2013 年までに 7.5%)。
- 再生可能燃料基準 (RFS) の導入。2012 年に年間 7.5 ガロンの目標を設定。
- 再生可能エネルギーに係る各種インセンティブの延長・拡充。
  - PTC (生産税控除) の期限を延長
  - 住宅用太陽光システム・燃料電池について 30%の ITC (投資課税控除) を創設
  - 商業用太陽光システムの ITC による税控除額を 10%から 30%に引き上げ

### ② ソーラー・アメリカ・イニシアティブ (SAI)

2.1.5 節にて述べたとおり、米国では、2006 年に発表された「先端エネルギー計画 (AEI)」<sup>49</sup>の一貫である「ソーラー・アメリカ・イニシアティブ (SAI)」のもと、太陽光発電のグリッドパリティを達成することを第一目標に、各種技術開発プログラムに取り組んでいる。図表 2.34 に SAI の目標を示す。SAI の目標は、産業界との連携により、2015 年までに既存電源に対するグリッドパリティを実現することにある。

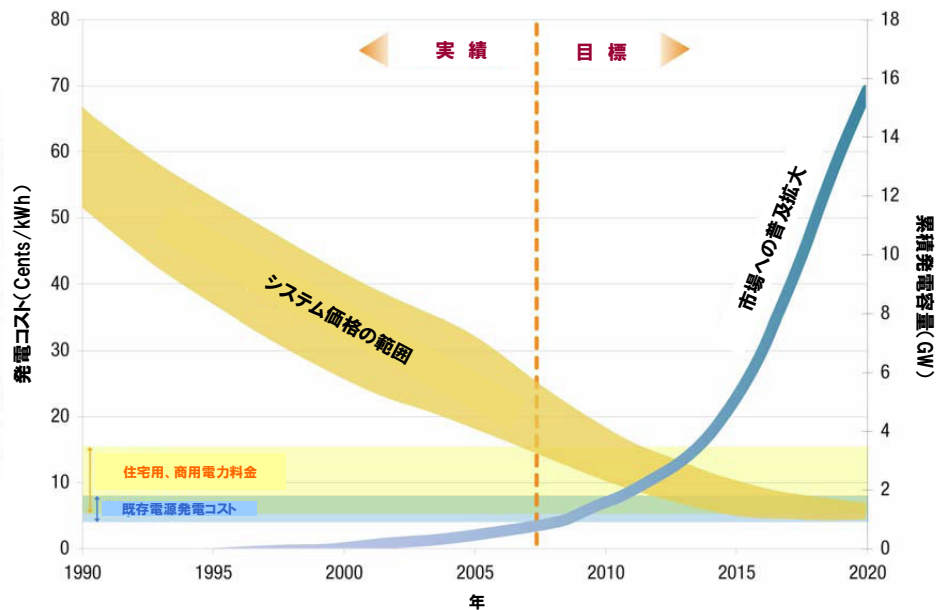
SAI の目標を達成するため、米国省エネルギー・再生可能エネルギー局 (EERE<sup>50</sup>) の主導により、Solar Energy Technologies Program (SETP) が実施されている。各種研究開発プログラムは、「2.1.5 技術開発動向」にて述べたとおりである。

<sup>48</sup>“Energy Policy Act of 2005: Summary and Analysis of Enacted Provisions”(Mar. 2006, CRS)、米国総務省資料、Pew Center on Global Climate Change ウェブサイト

<sup>49</sup> 原子力の推進、太陽光発電システム・風力発電の普及、自動車の代替燃料の開発など石油代替エネルギー開発を重点的に強化・推進する計画。

<sup>50</sup> Energy Efficiency & Renewable Energy

図表 2.58 ソーラー・アメリカ・イニシアティブ (SAI)  
における太陽光発電コスト目標 (再掲)



出典：EERE 資料より作成

### ③ 各種インセンティブ制度

連邦政府による主要なインセンティブ制度には以下が挙げられる。各制度の詳細を図表 2.59 に示す。

- ITC (Federal Business Investment Tax Credit：投資課税控除)
  - ◇ 1992 年のエネルギー政策法 (Energy Policy Act) により創設。
  - ◇ 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。
  - ◇ エネルギー改善・延長法<sup>51</sup>により、太陽エネルギー利用設備、燃料電池、マイクロタービンに係る課税控除が 2016 年まで延長された。また、小型風力発電システム、地中熱ヒートポンプ、CHP が対象エネルギーに追加された。
- PTC (Renewable Energy Production Tax Credit：生産税控除)
  - ◇ 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。
  - ◇ 太陽光発電は対象外。
  - ◇ 米国経済再生法<sup>52</sup>により風力発電の控除期間が 2012 年末に延長された。

<sup>51</sup> Energy Improvement and Extension Act of 2008、金融危機対策関連法案 (Public Law 110-343) の一つ。再生可能エネルギー、CO2 回収・除去技術、エコカー・バイオ燃料、省エネ機器等に係る各種インセンティブが延長、拡充された。

<sup>52</sup> American Recovery and Reinvestment Act、2008 年末の金融危機対策として 2009 年 2 月に成立。各種経済刺激策に加え、科学技術、環境保護、各種インフラへの投資、州や地方政府の財政安定化策等が盛り込まれている。

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

- Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)
  - ◇ 米国経済再生法により創設。
  - ◇ 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。
- Modified Accelerated Cost-Recovery System (MACRS) (修正加速度償却法)
  - ◇ 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。
  - ◇ 太陽光発電の投資に対しては、5年間の加速的な減価償却が適応できる。
- Residential Renewable Energy Tax Credit (住宅用再生可能エネルギー税控除)
  - ◇ 家庭部門を対象に、再生可能エネルギー関連機器の導入経費に対し30%を税控除。
  - ◇ 米国経済再生法により燃料電池を除く全ての対象機器に対して、控除額の上限が撤廃された。

図表 2.59 連邦政府の主要な再生可能エネルギー支援施策

施策名	対象セクター	対象システム	インセンティブ	期限
ITC (投資課税控除)	商業、産業、電気事業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、風力、バイオマス、地熱発電、燃料電池、小型風力発電、地熱利用、マイクロタービン、CHP 等	<控除率> <ul style="list-style-type: none"> <li>30% : 太陽熱利用、太陽光発電、燃料電池、風力発電</li> <li>10% : 地熱利用、マイクロタービン、CHP</li> </ul>	2016/12/31
PTC (生産税控除)	商業、産業	風力発電、バイオマス、地熱発電、埋立地ガス発電、廃棄物発電、水力発電、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電等 <b>※太陽光発電、太陽熱発電は対象外</b>	<控除額> <ul style="list-style-type: none"> <li>風力 : 2.1 ¢ / kWh</li> <li>閉鎖系バイオマス、地熱 : 2.1 ¢ / kWh</li> <li>開放系バイオマス、埋立地ガス、廃棄物、水力、海洋エネルギー : 1.0 ¢ / kWh</li> </ul>	2013/12/31
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	商業、産業、農業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、燃料電池、小型風力発電、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス、廃棄物、地中熱ヒートポンプ、マイクロタービン、CHP、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電等	<助成率> <ul style="list-style-type: none"> <li>固定資産の 30% : 燃料電池、太陽エネルギー関連設備、小型風力、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス</li> <li>固定資産の 10% : その他対象エネルギー</li> </ul>	2011/10/1
MACRS (修正加速度償却法)	商業、産業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、埋立地ガス、風力発電、バイオマス、再生可能燃料(運輸用)、地熱発電、地熱利用、燃料電池、廃棄物利用、CHP、マイクロタービン等	<償却期間> <ul style="list-style-type: none"> <li>5年 : 太陽熱利用、太陽光、地熱発電、風力発電、燃料電池、マイクロタービン</li> <li>条件を満たす設備については、初年度 50% のボーナス償却を利用できる。</li> </ul>	2009/12/31
Residential Renewable Energy Tax Credit (住宅用再生可能エネルギー税控除)	家庭	太陽熱利用、太陽光発電、風力発電、燃料電池、地中熱ヒートポンプ等	<控除率> <ul style="list-style-type: none"> <li>設備導入経費の 30%</li> </ul>	2016/12/31

出典 : DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より取りまとめ

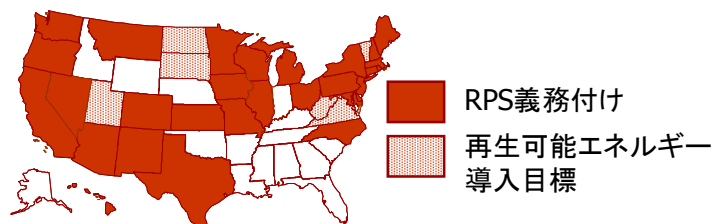
## 2) 州レベルの推進施策・関連法令

州レベルの主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令としては、RPS 法、ネットメータリング制度、フィードインタリフ制度が挙げられる。各制度の詳細を以下に示す。

### ① RPS 法

2.1.3 節にして述べたとおり、米国では 29 の州政府と DC 政府<sup>53</sup>が州独自の RPS 法を策定しており、電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーでまかなうことを義務づけている。そのうち 13 州は太陽光発電による電力の割合を規定により定めている(図表 2.60)。

図表 2.60 太陽光発電に関する州別 RPS の規定 (再掲)



州	目標 (達成年)	太陽光発電による割合 (達成年)
オハイオ	25% (2025 年)	0.5% (2025 年)
イリノイ	25% (2025 年)	1.5% (2025 年)
ペンシルバニア	18% (2020 年)	0.5% (2020 年)
ニュージャージー	22.5% (2021 年)	2.12% (2021 年)
ノースカロライナ	私営：12.5% (2021 年) 公営：10% (2018 年)	0.2% (2018 年)
メリーランド	20% (2022 年)	2% (2022 年)
ミズーリ	15% (2021 年)	0.3% (2021 年)
ネバダ*	25% (2025 年)	1.5% (2025 年)
コロラド	私営：20% (2020 年) 公営：10% (2020 年)	0.8% (2020 年)
ニューメキシコ	私営：20% (2020 年) 公営：10% (2020 年)	4% (2020 年)
ニューハンプシャー	23.8% (2025 年)	0.3% (2014 年)
デラウェア*	20% (2019 年)	2.005% (2019 年)

※ 太陽光については、導入量を割増してカウントする優遇策あり。

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

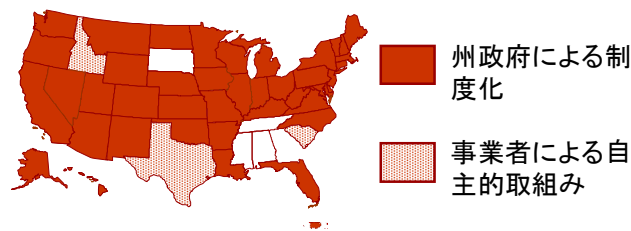
<sup>53</sup> 2010 年 3 月時点。



## ② ネットメータリング制度

ネットメータリング制度は、再生可能エネルギー発電を対象とし、余剰電力を系統に供給する場合、供給した分だけ系統から購入した電力のメーターを戻すことができる制度である。これは、消費者が余剰電力を電力料金と同じ価格で販売できることを意味し、一種のフィードインプレミアム<sup>54</sup>になっており、再生可能エネルギー発電設備導入の大きなインセンティブとなっている。現在 43 の州政府と DC 政府<sup>55</sup>が導入している。

図表 2.61 州別のネットメータリング取組み状況



出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

## ③ フィードインタリフ制度

米国では現在 6 つの州（フロリダ州、カリフォルニア州、オレゴン州、バーモント州、ワシントン州、ウィスコンシン州）において、州レベル・発電事業者レベルのフィードインタリフ制度が導入されている。しかしながら、個々のシステムサイズの制限、総導入量のキャップ設定、買取価格等、制度内容が欧州の一般的な制度内容とは異なっており、規模も小さいため、現状では効果は限定的である。

2009 年 3 月に開始された、フロリダ州の電気事業者 Gainesville Regional Utilities (GRU) によるフィードインタリフ制度は、買取価格の低減、プロジェクトサイズ毎の買取価格の設定、20 年間の長期にわたる買取保証等、欧州の FIT と共通しており、米国においては初の試みとなる（図表 2.62）。異なる点は、対象が太陽光発電に限定されていること、総導入量の上限が非常に小さいこと（年間 4MW）等が挙げられる。

図表 2.62 GRU の FIT の概要

項目	概要
対象システム	GRU 供給区域の太陽光発電
買取価格	25kW 以下：0.32 ドル/kWh 25kW 以上：0.26 ドル/kWh
逓減率	5%（2010 年より開始）
導入量の上限	年間 4MW

出典：“An Analysis of Renewable Energy Feed-in Tariffs in the United States”（NREL）より取りまとめ

<sup>54</sup> 電力卸市場価格にプレミアム（上乘せ）をつけて高く買い取る制度

<sup>55</sup> 2010 年 3 月時点。

## (3) 日本

日本の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 2.63 に示す。我が国のエネルギー自給率は極めて低く、「エネルギーの安定供給」は最重要課題の一つであること、また地球温暖化対策への取り組みが急務であること等から、これまで多くのエネルギー政策が展開されてきた。以下、エネルギー基本計画、RPS 法、技術戦略マップ、Cool Earth エネルギー革新技術計画、太陽光発電の固定価格買取制度について詳述する。

図表 2.63 日本における主要な環境・エネルギー政策

政策名称	概要
エネルギー基本計画（2003） 第一次改定 2007年3月 第二次改定 2010年6月	<ul style="list-style-type: none"> <li>「エネルギー政策基本法」（2002）に基づき策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。</li> <li>2007年に第一次改定、2010年に第二次改定を実施。第二次改定では、2030年までの今後20年程度を視野に入れた具体的施策を明示。</li> <li>再生可能エネルギーについては、2020年までに一次エネルギー供給の10%をまかなう目標を設定。</li> </ul>
電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法：RPS法（2003）	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気事業者に新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。</li> </ul>
新・国家エネルギー戦略（2006）	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー安全保障を軸に、我が国の新たな国家エネルギー戦略を提示。</li> <li>①国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立</li> <li>②エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立</li> <li>③アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献を目標として掲げる。</li> </ul>
技術戦略マップ（エネルギー技術）（2007、毎年更新）	<ul style="list-style-type: none"> <li>新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示。</li> <li>産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的とする。</li> </ul>
Cool Earth エネルギー革新技術計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、</li> <li>①重点的に取り組むべき21の革新技術の選定</li> <li>②21技術の技術ロードマップの提示</li> <li>③国際連携のあり方の提示</li> </ul>

	を行っている。
京都議定書目標達成計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>「地球温暖化対策推進法」（1998）に基づき、6%削減約束を達成するために必要な措置を提示。</li> <li>再生可能エネルギーについて、太陽光、太陽熱、風力、バイオマス、未利用エネルギー（温度差エネルギー、雪氷熱等）等の導入を促進。</li> </ul>
エネルギー供給構造高度化法（2009）	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気やガス、石油事業者等のエネルギー供給事業者において、非化石エネルギー源の利用拡大、化石エネルギー原料の有効利用を促進することを目的とする。</li> <li>電力会社に加え、ガス会社や石油会社にも新エネルギーの利用を義務付け。</li> <li>本法律の枠組みの中で、「太陽光発電の固定価格買取制度」を策定。</li> </ul>
太陽光発電の固定価格買取制度（2009年11月）	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電の余剰電力を電気事業者が長期に渡り固定価格で買取する制度。日本版フィードインタリフ。</li> <li>買取期間は10年間、買取価格は10年間固定。設置年度毎の買取価格は、太陽光発電の価格や普及状況等を踏まえて毎年見直す予定。</li> <li>追加的コストは電力消費者全員で負担</li> <li>買取価格（平成21年度、22年度） <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 出力10kW未満の住宅用：48円/kWh（自家発併設の場合：39円/kWh）</li> <li>➤ その他の住宅・建築物用：24円/kWh（自家発併設の場合：20円/kWh）</li> <li>➤ メガソーラー、発電事業用：電力会社との相対取引</li> </ul> </li> </ul>
各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業	<ul style="list-style-type: none"> <li>図表 2.69 参照。</li> </ul>

## 1) エネルギー基本計画

国がエネルギー政策を進めるに当たり、「安定供給の確保」、「環境への適合」およびこれらを十分考慮した上での「市場原理の活用」を基本方針とすること等を内容とする「エネルギー政策基本法」が2002年6月に制定された。「エネルギー基本計画」は、エネルギー政策基本法に基づき2003年に策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。

本計画は少なくとも3年ごとに検討を加え、必要に応じて改定されることが法定されており、2007年3月に第一次改定、2010年6月に第二次改定が実施された。

第二次改定では、エネルギー政策は、国民や事業者の理解・協力の下、中長期的な視点で総合的かつ戦略的に推進する必要があるとの考えの下、2030年までの今後「20年程度」を視野に

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

入れ、以下の目標の実現に向けた具体的施策を明示している。

- ① 資源小国である我が国の実情を踏まえつつ、エネルギー安全保障を抜本的に強化するため、エネルギー自給率（現状 18%）及び化石燃料の自主開発比率（現状約 26%）をそれぞれ倍増させる。これらにより、自主エネルギー比率を約 70%（現状約 38%）とする。
- ② 電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力及び再生可能エネルギー由来）の比率を約 70%（2020 年には約 50%以上）とする（現状 34%）。
- ③ 「暮らし」（家庭部門）のエネルギー消費から発生する CO2 を半減させる。
- ④ 産業部門では、世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図る。
- ⑤ 我が国に優位性があり、かつ、今後も市場拡大が見込まれるエネルギー関連の製品・システムの国際市場において、我が国企業群が最高水準のシェアを維持・獲得する。

再生可能エネルギーについては、2020 年までに一次エネルギー供給に占める割合を 10%に高めることを目標に掲げている。主な再生可能エネルギーとして、太陽光発電、風力発電、地熱発電、水力発電、バイオマス利用、空気熱や地中熱利用、太陽熱利用、雪氷熱利用等を挙げている。

## 2) 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS 法）

RPS 制度（Renewables Portfolio Standard）とは、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」に基づき、エネルギーの安定的かつ適切な供給を確保するため、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付け、新エネルギー等の更なる普及を図るための法制度である。図表 2.64 に新エネルギー等電気の利用目標量を示す。

電気事業者は、義務を履行するため、自ら「新エネルギー等電気」を発電するか、他者から「新エネルギー等電気」を購入、または「新エネルギー等電気相当量（法の規定に従い電気の利用に充てる、もしくは、基準利用量の減少に充てることのできる量）」を取得することとなる。

新エネルギーとして対象となるのは、風力発電、太陽光発電、地熱発電（熱水を著しく減少させないもの）、水力発電（1,000kW 以下のものであって、水路式の発電およびダム式の従属発電）、バイオマス（廃棄物発電および燃料電池による発電のうちのバイオマス成分を含む）である。

図表 2.64 新エネルギー等電気の利用目標量

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
目標量（億 kWh）	86.7	92.7	103.8	124.3	128.2	142.1	157.3	173.3
電力会社 10 社の発受電電力量（2009 年度） ※1 に対する割合	0.9%	1.0%	1.1%	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.8%

※1 約 940TWh（電力事業連合会 発受電速報 2009 年度分）

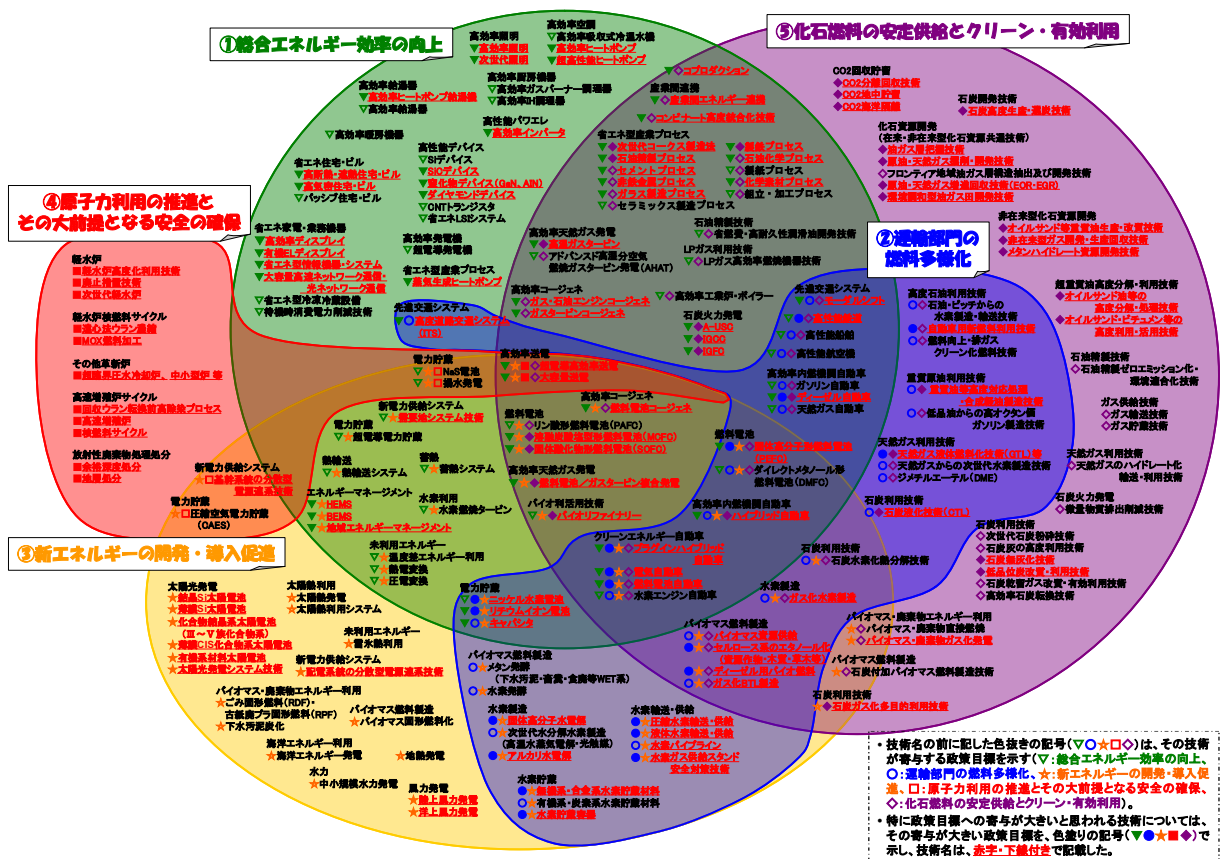
出典：「平成 19 年度以降の 8 年間についての電気事業者による新エネルギー等電気の利用の目標」（2009、経済産業省）

### 3) 技術戦略マップ

技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示するものである。産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的としている。技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオ、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、「新・国家エネルギー戦略」(2006)における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・導入促進、④原子力の利用、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出している(図表2.65)。

図表 2.65 エネルギー技術俯瞰図



出典: 「技術戦略マップ 2010 エネルギー分野」(2010, 経済産業省)

#### 4) Cool Earth エネルギー革新技術計画

「Cool Earth エネルギー革新技術計画」は、2050 年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、①重点的に取り組むべき「21」の革新技術の選定、②「21」技術の技術ロードマップの提示、③国際連携のあり方の提示、を行ったものである。技術の選定にあたっては、以下の要件により絞り込みが行われた。

- (1) 2050 年の世界における大幅な二酸化炭素削減に寄与する技術
  - (a) 技術の普及に要する時間を考慮し、2030 年までには実用化が期待される技術
  - (b) 普及に要する時間が短い技術については、2030 年以降に実用化が期待されるものも対象
- (2) 以下のいずれかの方法を通じて、飛躍的な性能の向上、低コスト化、普及の拡大等が期待できる革新的な技術
  - (a) 新たな原理の活用、既存材料の新活用を含めた材料の革新（例：新構造・新材料太陽電池、燃料電池の白金代替触媒等）
  - (b) 製造プロセスの革新（例：水素を還元材として用いる革新的製鉄プロセス等）
  - (c) 要素技術が確立した技術をシステムとして実証（例：二酸化炭素回収・貯留技術）
- (3) 日本が世界をリードできる技術（要素技術について強みを要する技術を含む）

図表 2.66 に、選定された重点的に取り組むべきエネルギー革新技術を示す。再生可能エネルギーについては、革新的太陽光発電が、発電・送電部門の技術に挙げられている。

なお、2010 年に改定されたエネルギー基本計画を受けて、2010 年度中に「新たなエネルギー革新技術計画」が策定される予定であり、太陽光発電は引き続き重点的に取り組むべき技術として現在検討が進められている。

図表 2.66 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術



出典：「Cool Earth エネルギー革新技術計画」（2008，経済産業省）

## 5) 太陽光発電の固定価格買取制度

2009年11月、「エネルギー供給構造高度化法」(2009)の枠組みの中で、太陽光発電による電気の新たな買取制度が開始された。太陽光発電設備による余剰電力を、住宅用(10kW未満)については現在の電力料金2倍程度の価格(48円/kWh)で10年間買い取ることを電気事業者に義務化したもので、追加のコストは電力消費者全員で負担することとなる。日本版フィードインタリフとも呼ばれる。用途別の買取価格を図表2.67に示す。

図表 2.67 余剰電力の買取価格

用途	買取価格
出力10kW未満の住宅用	48円/kWh (自家発併設の場合：39円/kWh)
その他の住宅・建築物用	24円/kWh (自家発併設の場合：20円/kWh)
メガソーラー、発電事業用	電力会社との相対取引

出典：「平成22年度 太陽光発電の新たな買取制度について」(2010年1月、資源エネルギー庁)

電力消費者全員で負担する追加のコストは、「太陽光発電促進付加金(太陽光サーチャージ)」と呼ばれ、

$$\frac{(\text{前年における買取総額}) - (\text{前年における回避可能費用}^{56})}{\text{当年度における想定総需要電力量}}$$

によって算出された額に、消費税相当額を加えた額となる。太陽光サーチャージは、一般的な家庭において1ヶ月あたり100円未満とされている<sup>57</sup>。

なお、現在太陽光以外の再生可能エネルギーを含めた全量買取制度について、経済産業省が立ち上げた「再生可能エネルギーの全量買取に関するプロジェクトチーム」を中心に検討が進められている。2010年5月には中間取りまとめとして、図表2.68に示す全量買取制度のオプション(選択肢)が提示された。2010年月中旬には制度の大枠が提示される予定である。成立すれば、太陽光発電の導入量に大きな影響を与える新制度であり、今後の動向が注視される。

<sup>56</sup> 太陽光電力買取により一般電気事業者がその需要に応じた電気の供給のために必要な発電量が減少したことによって一般電気事業者が支出することを免れる費用。

<sup>57</sup> 資源エネルギー庁 太陽光発電買取制度室ウェブサイト (<http://www.enecho.meti.go.jp/kaitori/index.html>)

図表 2.68 全量買取制度のオプション（選択肢）

ケース	買取対象		住宅用太陽光発電等	買取価格 <sup>3)</sup> (円/kWh)	買取期間 (年)
ケース 1	あらゆるエネルギー	既存の設備も対象	全量買取へ移行	20	20
ケース 3 <sup>1)</sup>	実用段階のエネルギー	新設の設備を対象 <sup>2)</sup>	〃	15 または 20	15 または 20
ケース 4	〃	〃	現行制度を維持	〃	〃
ケース 5	〃	〃	〃	電源毎に変える	15

1) 多くのケースの中から 4 通りを選んだため、ケース番号 2 が抜けている

2) 住宅用太陽光発電等については既存の設備も含む。

3) 住宅用太陽光発電等については買取価格を別途設定。

出典：「再生可能エネルギー全量買取制度のオプション（選択肢）について」（2010 年 5 月，経済産業省）

## 6) 各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業

図表 2.69 に、主要な再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業について、太陽光発電関連事業を中心に示す。



図表 2.69 2009 年度の再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業例

事業名（補助率等）	制度概要	対象者	対象エネルギー	実施主体
住宅用太陽光発電導入支援対策 補助額：7万円/kW	10kW 未満で要件を満たす一定の品質・性能の太陽光発電システムを住宅に設置する際の費用に対して補助を行う。	住宅に設置しようとする個人	太陽光発電	経済産業省
地域新エネルギー等導入促進事業 補助率：1/2 以内（太陽光、風力は別途上限等あり）	新エネルギー等設備導入事業の実施に必要な経費に対して補助を行う。	地方公共団体／NPO／社会システム枠（地方公共団体と連携して事業を実施する民間事業者）	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱	経済産業省
新エネルギー等事業者支援対策事業 補助率：1/3 以内（太陽光、風力は別途上限等有）	新エネルギー等設備導入事業を行う事業者に対し、事業費の一部に対する補助を行う。	民間事業者	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱	経済産業省
地方公共団体対策技術率先導入補助事業 補助率：1/2 以内	地方公共団体が策定した実行計画に基づく代エネ・省エネ設備導入事業や、公共施設へのシェアード・エスコ事業について、要件を満たす設備の導入費用の一部を補助する。	地方公共団体/地方公共団体の施設へシェアード・エスコを用いて省エネ化を行う民間団体等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省
エネルギー需給構造改革投資促進税制	対象設備を適用期間内に取得、製作または建設して、その後一年以内に事業の用に供した場合に、税額控除または特別償却が認められる。	個人および法人のうち青色申告書を提出する者	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱	所轄税務署
新エネルギーベンチャー技術革新事業 委託費：1千万円/件（1年、FS）	中小・ベンチャー企業等が保有している潜在的技術シーズを活用した技術開発の推進、新事業の創成と拡大等を目指した事業化を支援する。	企業/大学/独立行政法人等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱	NEDO
革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業） 事業規模：約12億円（2年以内）	新材料・新規構造等による変換効率40%超、発電コスト7円/kWhの達成、集光型多接合太陽電池評価技術の開発、および薄膜多接合太陽電池評価技術の開発等、日本に適した太陽光発電システム技術の確立を目指す。	企業/大学/独立行政法人等	太陽光発電	NEDO
地球温暖化対策技術開発事業【競争的資金】 委託事業：上限なし（予算枠7億円） 補助事業：1/2（上限なし、予算枠2.5億円）	再生可能エネルギー導入技術実用化開発、省エネ対策技術実用化開発等の技術開発分野ごとに、実用的な温暖化対策技術の開発について、優れた技術開発の実施に係る提案と実施体制を有する民間企業等を公募により選定し、委託または補助を行う。	民間事業者/公的研究機関/大学等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省

出典：NEDO、経済産業省、環境省資料より取りまとめ

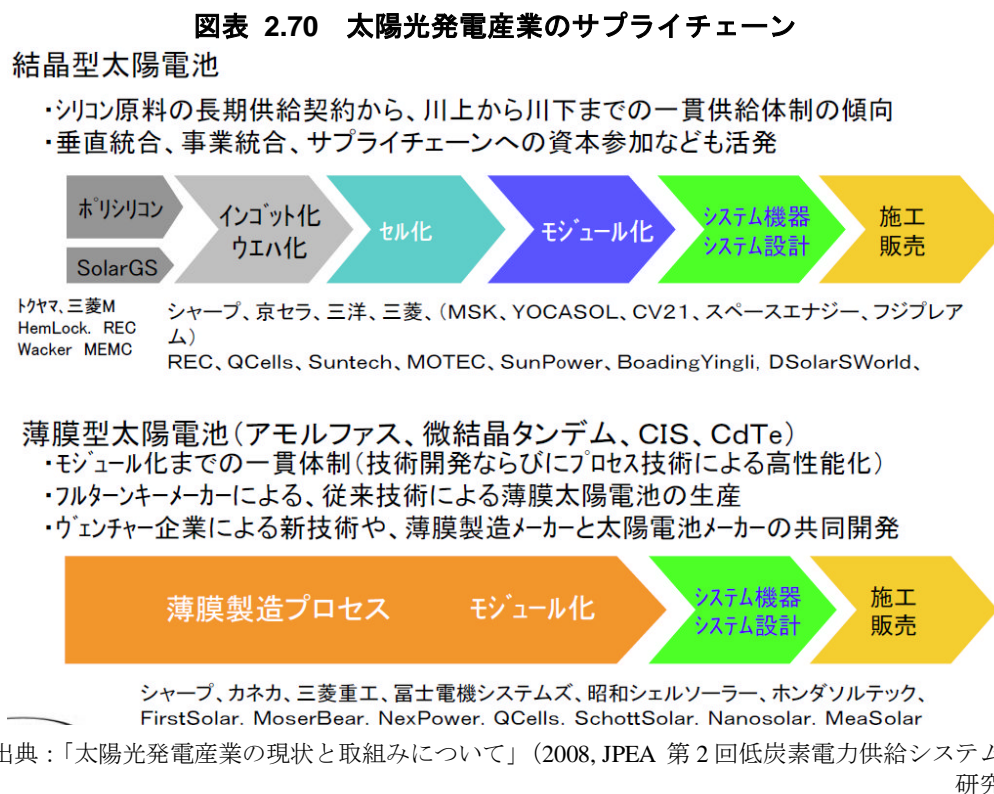
### 2.1.8 ビジネスモデル

太陽光発電のビジネスモデルは、「太陽光発電機器の製造・販売ビジネス」と「太陽光発電による発電ビジネス」の2つに大別される。

#### (1) 太陽光発電の製造・販売ビジネス

##### 1) 太陽光発電システムの製造・販売

図表 2.70 に、太陽光発電産業のサプライチェーンを示す。太陽電池発電産業は、原料のシリコン製造から、シリコンインゴット・ウェハの製造、セル・モジュール製造、システム機器・設計、施工販売まで、サプライチェーンが非常に長いことから、様々な事業参入ケースが存在する。



現在は、大手太陽電池メーカーの多くが太陽電池セル・モジュールからシステム設計、あるいは施工販売まで、サプライチェーンを通じた一貫供給体制を敷く傾向にある。サプライチェーンの垂直統合は、原料の安定調達、個々の機器・設備の調達コストの削減、太陽光発電全体に係る技術・ノウハウの蓄積、システム全体の最適化・パッケージ化等のメリットを有する。結晶系シリコン太陽電池については、シリコン原料の需給が逼迫した経験から、特に川上から川下までの垂直統合の動きが強まった。

薄膜系や化合物系太陽電池のバリューチェーンは、材料製造からモジュール化までの一貫体制が主流である。結晶系シリコン太陽電池同様、システム販売まで手がける大手メーカーが多い。

注目すべきは、近年、太陽電池製造装置の販売ビジネス（ターンキービジネス）が拡大している点である。シリコン系太陽電池に加え、現在では化合物系太陽電池の製造装置メーカーも多く存在している。ターンキービジネスの登場により、個別技術を保有しない企業も、製造装置さえ購入すれば太陽電池を製造・販売できるようになり、市場参入の障壁は低くなった。各国において新規参入企業が相次いでおり、太陽光発電市場の競争環境は厳しさを増している。

このような状況において、海外市場のシェアを拡大するためには、大前提となるコスト競争力や品質、信頼性に加え、付加的サービスの充実による製品の高付加価値化等も、重要な販売戦略となっている。例えば、米国 First Solar 社は、自社製品のリサイクル・廃棄を含めたトータルサービスの提供を実施している。First Solar 社の製造する CdTe 系太陽電池（P6 参照）は、安価で変換効率がよいが、有害なカドミウムを原料に含むため、安全性や廃棄時の取扱いについて課題があった。そこで同社は、製品のリサイクルや廃棄まで自社の責任のもと管理するビジネスモデルを展開し、世界各国で大型案件の受注を伸ばしている。日本メーカーにおいても、高い品質、コスト競争力に加え、付加的サービス等を含めた海外における販売戦略の工夫・強化が今後の課題になると考えられる。

## 2) 太陽光発電関連部材の製造・販売

太陽光発電関連部材としては、原料シリコンや、太陽電池モジュールを構成する要素部材（封止材、バックシート、電極等）が挙げられる。太陽光発電市場拡大に伴い、各種部材の需要も増加しており、各社は増産体勢を整えている。

封止材の原料として主流である EVA 樹脂は、日本の化学メーカー（東ソー、住友化学等）が世界シェアの約 5 割を占めており、日本の有力な太陽光関連製品の一つである。バックシートは、米国デュポン社がポリフッ化ビニル樹脂フィルムの「テドラー」で業界第 1 位であるが、日本企業も東レ、三井化学、凸版印刷等が、安価な代替材料を用いた製品開発を進めている。

太陽光発電のサプライチェーンでは、川上から川下に行くに従って参入企業が増えるため、利益率は低下する傾向にある<sup>58</sup>。利益率のより大きい川上産業において、競争力のある製品を販売するビジネスモデルも有効である。

## (2) 太陽光発電による発電ビジネス

太陽光発電による発電ビジネスは、IPP（Independent Power Producer：独立系発電事業者）事業、CDM（クリーン開発メカニズム）における開発途上国での事業展開等が挙げられる。

### 1) IPP 事業

IPP とは、電力会社や送配電会社および消費者に電力を供給する発電事業者を指す。現在、太陽光、風力等の再生可能エネルギー分野における IPP ビジネスが世界各地で増加している。

日本では、太陽電池は家庭の屋根置き市場を中心に拡大してきたが、欧米では大規模建物の

<sup>58</sup> “Investing in Solar Now” (2007, RBC Capital Markets)

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

屋根上や大規模太陽光発電所(メガソーラー)を中心に普及が進んできた。これらの多くは PPA<sup>59</sup> を顧客と結び、契約電力単価により電力を供給している。

近年、日本企業にも太陽光発電による IPP 事業に参入する動きが見られる。シャープがイタリアの大手電力会社であるエネル・グリーン・パワー社と提携し、薄膜太陽電池の生産から IPP 事業まで、一貫して手がけるビジネスモデルを確立することが発表されている。両社で合弁会社 ES Solar Farms S.r.l.を設立し、2016年12月末までに合計500MW以上の規模の太陽光発電所を複数建設するとしている。また、ES Solar Farms S.r.l.は、シチリア州カタニア県の工場<sup>60</sup>で生産される薄膜太陽電池を活用し、イタリア、フランス、スペイン、ギリシャなど地中海地域へ発電事業を展開する予定である<sup>61</sup>。

## 2) CDM

京都議定書の削減目標、および将来的な大幅削減の達成にあたり、CDM 事業の重要性が増している。CDM とは、発展途上国（非附属書 I 国）において先進国（附属書 I 国）が CO<sub>2</sub> 削減に寄与するプロジェクト等を実施し、当該プロジェクトから得られる温室効果ガスの追加的削減量または吸収量を第三者機関が認証してクレジットを発行し、その全部または一部を当事者間の合意によって、移転する仕組みである。

現在、再生可能エネルギー分野では、主にバイオマス、風力発電、水力発電等で CDM プロジェクトが実施されている。太陽光発電に関する CDM プロジェクトはまだ少数ではあるが、図表 2.71 に示すプロジェクトが実施されている。

新興国においてはまだ非電化地域が多く、僻村等の電化率向上が大きな課題となっている。太陽電池は日射が得られる場所ではどこでも発電が可能なことから、直近には送電線を引くことの難しい地域の電源として適しており、今後は新興国におけるニーズが拡大すると考えられる。日本の技術力を国際貢献に生かせる場であり、官民協力のもと、今後の積極的な展開が期待される。

図表 2.71 太陽光発電に関する日本政府承認 CDM プロジェクト

プロジェクト名	ホスト国	承認年月日	申請者
西南太陽光発電事業	韓国	2008年10月1日	(株)ユーラスエナジー ジャパン
東海 1MW 太陽光発電プロジェクト	韓国	2008年1月22日	ナットソース・ジャパン (株)

(2010年3月29日現在)

出典：京都メカニズム情報プラットフォーム資料

<sup>59</sup> 発電事業者が電力供給先との間で締結する電力購入契約（Power Purchase Agreement）。

<sup>60</sup> シャープ、エネル・グリーン・パワー社、ST マイクロエレクトロニクス社の3社による合弁会社の生産拠点。

<sup>61</sup> 2010年1月4日 シャーププレスリリース（<http://www.sharp.co.jp/corporate/news/100104-a.html>）

### 2.1.9 国内技術の競争力

図表 2.72 に、2005～2009 年における太陽電池生産量上位 10 社を示す。日本はかつて太陽光発電先進国であり、2006 年までシャープが世界第一位の単年度生産量（発電容量ベース）を誇り、京セラ、三洋電機、三菱電機を含めて、上位 5 社のうち 4 社を日本勢が占めていた。しかし、2000 年代半ばより欧米および中国勢に追い上げられ、2007 年にはシャープが首位の座を Q-Cells（独）に譲り、2009 年現在、シャープが第 3 位、京セラが第 7 位に位置している。2005 年には約 2 分の 1 であった世界市場シェアは、2009 年には 14%まで落ち込んでいる<sup>62</sup>。

日本企業が世界シェアを落とした理由の一つに、シリコン原料の調達に失敗したことが挙げられる。世界的な太陽電池需要の拡大と、半導体需要の拡大が重なった結果、シリコン原料の需給が逼迫し、結果としてシャープの 2007 年の生産量は前年の実績を割り込み、Q-cells に首位を譲り渡す結果となった。シリコンを含め、太陽電池関連素材の長期的な安定調達を計画的に進めることが重要となっている。また、国内市場の縮小も、日本企業のシェアが伸び悩む原因の一つと考えられ、シリコンの需給逼迫がある程度緩和した後も日本企業の追い上げは芳しくない。

躍進目覚しいのは、米国の First Solar、および Suntech 率いる中国勢である。

米国 First Solar は、国立再生可能エネルギー研究所（NREL）<sup>63</sup>の支援のもと、CdTe 系太陽電池（P6 参照）により成功を収めたベンチャー企業である。First Solar の強みは、圧倒的な価格競争力にある。CdTe 系太陽電池は薄膜化が可能で、ガラス基板上に比較的低温で良質の多結晶膜を形成できることから、低コストで高効率な太陽電池とされており、生来、他の太陽電池に対するコスト競争力を有する。加えて、First Solar は人件費の安いマレーシアに工場を構えており、更なるコスト削減に取り組んでいる。

First Solar の報告によると、同社の CdTe 系太陽電池の製造コストは 1W 当たり 1.21 ドル（回収と保証にかかる多額の費用を含む）で、約 100 ドル/m<sup>2</sup>に相当する。結晶系太陽電池で同等の価値のものは 1W 当たり 3.00 ドル～3.25 ドル、250 ドル/m<sup>2</sup>～400 ドル/m<sup>2</sup>であり、コスト競争力の大きさが伺える<sup>64</sup>。同社は将来に向けて、インバータ設置、建設等にかかるコストを削減し、2014 年には設置コスト 0.91-0.98 ドル/W を達成する目標を掲げている（図表 2.73）。また、発電コストについては、2014 年までに概ね 10～15 セント/kWh（約 10～15 円/kWh）を達成する目標を掲げており、これが実現すれば、日本の業務用電力および家庭用電力に対し、グリッドパリティを達成することを意味する。

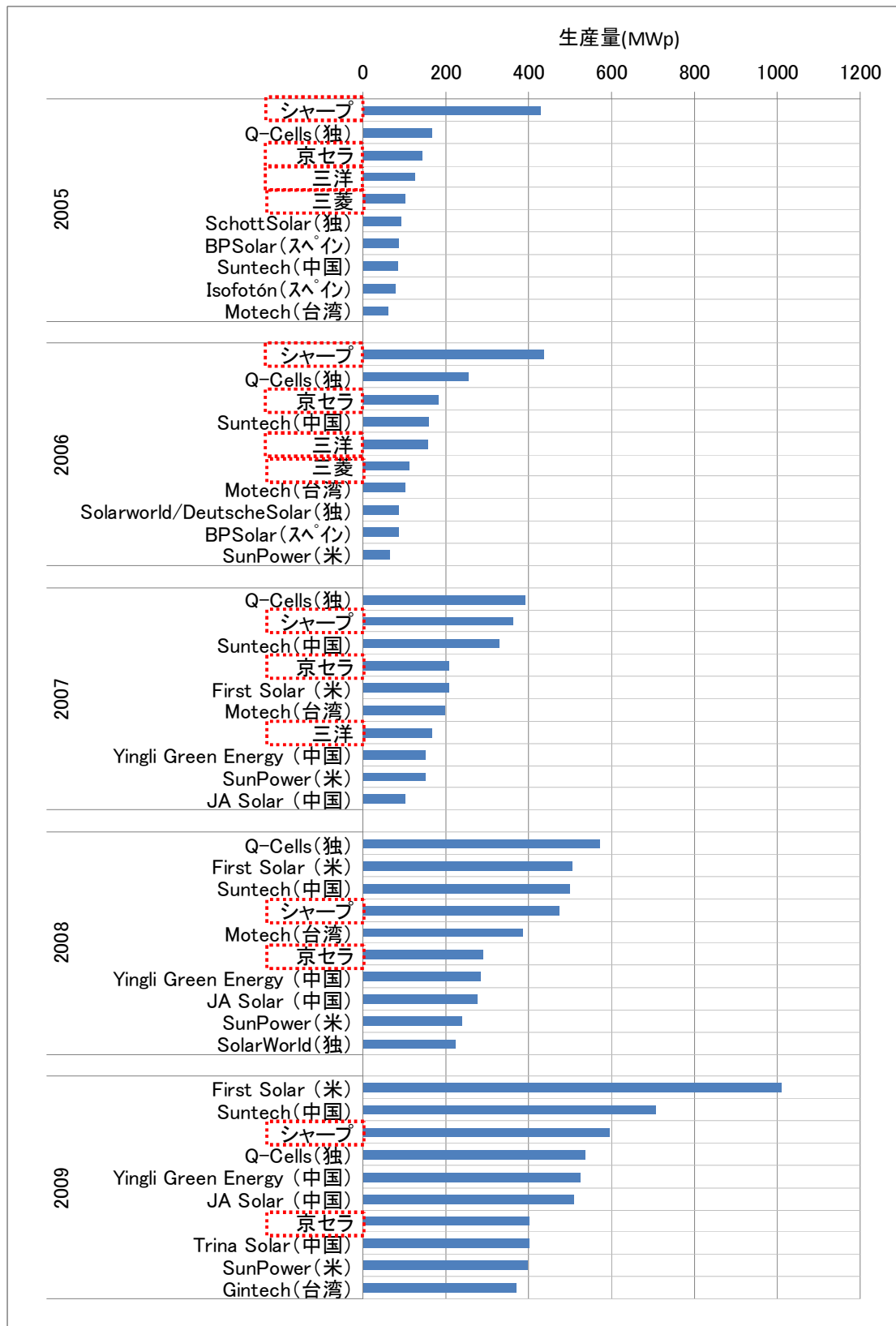
また Suntech 率いる中国メーカーの近年の成長は著しく、2005 年に上位 10 社に挙げられたのは中国勢では Suntech のみであったが、僅か 4 年で、Yingli Green Energy、JA Solar、Trina Solar の 3 社も TOP10 入りし、シャープや Q-Cells（独）を凌ぐ勢いで生産量を伸ばしている。中国メーカーの強みは、First Solar 同様、安い人件費等を生かしたその価格競争力にある。Suntech は、安価な多結晶太陽電池をドイツや米国に輸出し、急成長を遂げた。2008 年末の金融危機の影響で、在庫過剰などの問題を抱えたものの、そのコスト競争力により今後も市場シェアを伸ばすと考えられる。

<sup>62</sup> PV News Volume 29, Number 5 (2010.5, Prometheus Institute, Greentech Media)

<sup>63</sup> National Renewable Energy Laboratory (米国エネルギー省(Department of Energy : DOE)傘下の国立研究所。)

<sup>64</sup> 「太陽光発電技術開発動向等の調査」(2009, 資源総合システム)

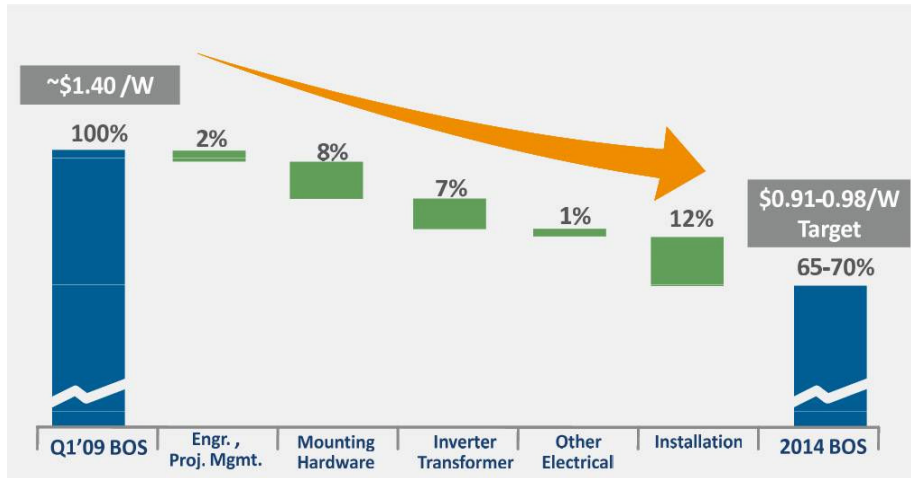
図表 2.72 太陽電池の生産量ランキング (2005~2009年)



※日本企業を赤枠で囲っている。

出典：PV News Volume 28, Number 4 (2009.4, Prometheus Institute, Greentech Media)

図表 2.73 First Solar の設置コスト目標



出典：First Solar 資料

このような状況下で、日本企業の国際競争力の向上させるためには、世界トップクラスの技術水準を維持するとともに、更なる低コスト化の推進、また「システム全体の高付加価値化」が重要と考えられる。

日本の太陽電池の品質の高さは世界トップクラスと言われる。ただし、今後世界市場で勝ち抜くためには、品質に加えて価格競争力が重要である。特に、今後太陽光発電の普及が進むと考えられる、日射に恵まれた発展途上国や新興国（インド、中国、アフリカ、南米等）においては、低価格が普及の第一条件になると考えられる。

世界の太陽電池市場のコスト競争が今後ますます厳しくなることが予想される中、日本企業の競争力を高めるためには、品質、低コスト化に加えて、日本産業の総合力を生かし、系統連系やエネルギーマネジメントを含めたシステム技術の高度化による「システム全体の高付加価値化」が重要になる。日本は、太陽電池関連部材（封止材、バックシート、電極等）、インバータや蓄電池、スマートグリッド関連技術等において、世界トップレベルの技術力を有している。産業全体の総合力は、他の先進国や中国企業等に優る、大きな強みであると考えられる。

「ソーラー・システム産業戦略研究会」においても、日本の太陽電池関連産業の強みについて、以下のように分析されている。

<日本の太陽電池関連産業の強み<sup>65</sup>>

- 日本の太陽光発電システムは、世界で最も高品質（高効率、長寿命）と評価されている。
- 太陽光発電関連技術や関連機器について、競争力を持った産業群が存在している。
  - 化合物薄膜や有機系薄膜などの新材料に対応する材料メーカ、機械メーカが豊富。
  - 材料化学分野における学術的、科学的知見蓄積も、デバイス物理に限らず豊富。
- 日本の太陽電池メーカは、専業ではなく、家電製品や蓄電池の製造等、総合的な事業の展開を図っていることから、これらの関連技術・機器との組合せを意識した製品開発が可能。

<sup>65</sup> 「ソーラー・システム産業戦略研究会 報告書」（2009, ソーラー・システム産業戦略研究会）

- 日本の太陽光発電市場は、「国民参加型」の導入形態が主流であり、環境意識の高い国民に、高い発電コストの負担面の協力を薄く広く求めながら、導入を促進していくことが可能な土壌が存在している。

現在主流の結晶系シリコン太陽電池に加え、今後市場の拡大が見込まれている薄膜系シリコン太陽電池で世界最高効率を誇るカネカ、CIS 系太陽電池で攻勢を図る昭和シェルなど、新しい技術においても、日本企業は世界トップクラスの技術水準を維持している。また、太陽電池モジュールの要素部材（封止材、バックシート、電極等）における日本企業の存在感は大きく、封止材の原料として主流である EVA 樹脂は、日本の化学メーカー（東ソー、住友化学等）が世界シェアの約 5 割を占めているほか、バックシートについても、東レ、三井化学、凸版印刷等が、安価な材料を用いた製品開発を進めている。

産業全体の総合力を生かし、世界市場で競争力を持つ太陽電池の開発、および国内企業の育成に向け、官民一体となった取組みを行うことが重要である。



<注目企業例 First Solar>

First Solar はその前身の Solar Cells 社の時代から NREL の支援を受け、CdTe 系太陽電池の研究開発を行っていた。1999 年、投資会社により First Solar が設立され、2002 年から商業生産が開始された。最初は 25MW 程度であった生産能力は瞬く間に拡張され、2010 年末には 1.3GW に到達する見込みである。米国の他ドイツ、マレーシアに生産拠点を有する。

生産コストは 2008 年に 1 ドル/W の壁を破っており、低コストを武器に急成長を遂げ、2009 年の生産量は世界第 1 位となっている。同社は 2014 年までに 10~15 セント/kWh の発電コストを達成する目標を掲げており、米国の SAI の目標を前倒してグリッドパリティを達成するとしている。



出典：First Solar ホームページ (<http://www.firstsolar.com/en/modules.php>)

<注目企業例 Suntech (中国)>

Suntech は 2001 年にオーストラリアのニューサウスウェールズ大学の留学から帰国した施正栄博士が設立した企業である。中国において低コストで結晶系シリコン太陽電池の生産を行い、市場が拡大していたドイツや米国に輸出版売することにより急成長した。2005 年には中国本土の非国有企業で初めてニューヨーク証券取引所に上場し、資金調達を図っている。生産能力の拡充を推し進め、2008 年末には世界で最初に 1GW の生産能力を達成した。2009 年の生産量は世界第 2 位である。

同社は 2006 年に MEMC Electronic Materials 社 (米) と多結晶シリコン材料について 10 年間の長期供給契約を締結した。さらにロシアや中国の多結晶シリコンメーカーに投資するなどしてシリコン原料の調達の安定化を図っている。



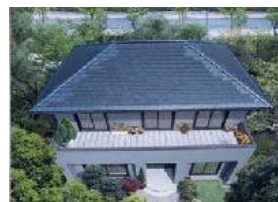
出典：Suntech Power ホームページ (<http://www.suntech-power.co.jp/products/module/>)

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

## &lt;注目企業例 カネカ（日本）&gt;

(株)カネカは、子会社であるカネカソーラーテック(株)にて薄膜系太陽電池の研究開発を行っている。同社の太陽電池は、アモルファスシリコンと薄膜多結晶シリコン層を重ねたタンデム型の薄膜系太陽電池である。2010年には生産能力を80MW増強し、年産150MWとなっている。日本の多様な屋根形状に適した製品を販売しており、2012年には国内市場で10%以上のシェア獲得を目指している。

同社の太陽電池は従来の2層構造（アモルファスシリコンと薄膜多結晶シリコン）に新規透明中間層を積層することにより、薄膜系として世界最高水準の変換効率12%を達成している。

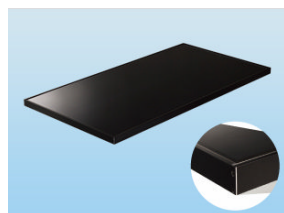


出典：カネカソーラーテックホームページ (<http://www.kst.kaneka.co.jp/>)

## &lt;注目企業例 昭和シェル（日本）&gt;

昭和シェル石油(株)は、子会社であるソーラーフロンティア(株)にて化合物系太陽電池の研究開発を行っている。同社の太陽電池は、銅、インジウム、セレンを使用した CIS 系太陽電池である。CIS 系太陽電池としては世界初の商業生産に成功し、研究開発から生産、販売までの一貫体制を築いている。宮崎県に生産拠点をもち、2011年には生産能力1GWを達成する予定である。

2010年、住宅用太陽光発電システムとして1kW当たり48万円の低価格モデルを発売している。また、国内で出荷する全てのモジュールの出力保証期間を10年間から20年間に変更し、国内メーカーとして最長の保証期間を設けている。



出典：ソーラーフロンティアホームページ (<http://www.solar-frontier.com/>)

## 2.2 技術ロードマップ

### 2.2.1 目指す姿

#### (1) 太陽光発電を取りまく現状

##### 1) 世界で拡大する太陽市場と国内市場の低迷

世界の太陽光発電市場は急拡大している（2.1.4 節参照）。世界の累積発電容量は、ドイツにおけるフィードインタリフ制度<sup>66</sup>の本格導入を契機に急激に成長し、2009年には20GW（2000年比40倍）に達した。国別に見ると、現在はフィードインタリフ制度により国内導入量を大きく伸ばしたドイツがトップを走っており、2位にスペインがつけている。日本は2003年まで世界第1位であったが、2005年に「住宅用太陽光発電導入促進事業」が終了したことなどから市場の伸びは鈍化し、2004年にドイツにその座を明け渡した。現在はドイツ、スペインに次ぐ3位に位置しているが、すぐ後ろには米国、イタリアが迫っており、数年の間にさらに順位は入れ替わる可能性も高い。

ただし、日本の太陽光市場にも成長の気運が見え始めている。2009年11月に、日本版フィードインタリフ制度となる「太陽光発電による電気の新たな買取制度」が開始され、今後の導入拡大が期待されている。国内市場の拡大は国内企業の育成に直結するものであり、本制度が日本の太陽光発電関連産業の追い風となる可能性がある。

##### 2) 新興企業の成長と日本企業の地位の低下

日本はかつて太陽光発電先進国であり、2005年には世界シェアの約2分の1を占めていた。しかし、2000年代半ばより欧米および中国勢に追い上げられ、2007年にはシャープが首位の座をQ-Cells（独）に譲り、2009年時点で世界シェアは14%まで落ち込んでいる（2.1.9 節参照）。

躍進目覚しいのは、米国のFirst Solar、およびSuntech率いる中国勢である。両者とも、圧倒的な価格競争力を武器に市場を拡大し、2009年の生産量ランキングではFirst Solarは第1位、Suntechは第2位に躍り出た。First Solarは2014年にグリッドパリティを達成することを事業戦略として打ち出しており、これが実現すれば、同社の国際競争力は一層強固になると考えられる。

##### 3) 世界に誇る日本企業の技術力

国内市場の低迷、世界シェアの落ち込みから、我が国の太陽光発電産業の地位は相対的に低下していると言われる。しかしながら、日本企業の太陽電池の品質の高さは世界トップクラスと言われており、高効率化と低コスト化の双方が実現されれば、その信頼性を持って、高い国際競争力を発揮できると考えられる。

加えて、日本はモジュール構成部材（封止材、バックシート等）やインバータ、蓄電池等、太陽電池関連部材、機器においても、世界トップレベルの技術力を有している。産業全体の総合力は、他の先進国や中国企業等に優る、大きな強みであると考えられる。

<sup>66</sup> 固定電力買取制度（Feed-in tariff：FIT）。エネルギーの買取り価格（tariff）を法律で定める方式の助成制度で、導入した時期によって一定期間の価格が固定される制度。詳細はP47を参照のこと。

## 2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ

また、現在主流の結晶系シリコン太陽電池に加え、今後市場の拡大が見込まれている薄膜系シリコン太陽電池や CIS 系太陽電池など、新しい技術においても、日本企業は世界トップクラスの技術水準をキープしている。

### (2) 我が国の太陽光発電の目指すべき姿

以上の状況を整理すると、我が国の太陽光発電の目指すべき姿は、以下に集約される。

世界の太陽光市場が急拡大し、安価な製品でシェアを伸ばす新興企業が増加する中、日本企業の国際競争力を維持・強化するためには、高性能化に加えて低コスト化も推進し、価格競争力を持たせる必要がある。日本企業の技術力は高く、戦略的な技術開発により、世界最高水準の効率・耐久性と低コスト化の実現は可能と考えられる。

また、より一層国際競争力を強化するためには、太陽電池単体の技術力に加え、モジュール構成部材（封止材、バックシート等）やインバータ、蓄電池、スマートグリッド関連技術等、日本の太陽電池関連産業の総合力を発揮し、「システム全体の高付加価値化」を図ることが重要である。

国内産業の育成にあたっては、土台となる国内市場の拡大が重要である。「太陽光発電による電気の新たな買取制度」が 2009 年 11 月より開始したことにより、今後国内導入量の伸びが期待されている。既存電源の代替として社会に受け入れられるよう、高効率化・低コスト化を図るとともに、低炭素社会の実現を視野に入れながら、効果的な導入支援策を実施することが重要となる。

図表 2.74 太陽光発電の目指す姿

- 世界トップクラスの技術力を維持し、高性能化と低コスト化の双方を推進するとともに、日本の太陽電池関連産業の総合力を発揮し、国際競争力を強化する。
- 国内市場を拡大し、国内産業の育成の素地を固めるとともに、太陽光発電の大量普及により低炭素社会の実現に貢献する。

## 2.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

前項に掲げた太陽光発電の目指す姿を実現するために、技術開発、普及拡大のそれぞれにおいて、以下に示す課題へ対応していく必要がある<sup>67</sup>。

### (1) 国際競争力の強化に向けた課題と対応

#### 1) 経済性の改善

太陽光発電のコストは製造コスト、生涯発電量、設置・施工費等に依存する。

製造コストの削減にあたっては、材料使用量の削減、低コスト材料の開発、安価な製造プロセスの開発等が重要となる。例えば、結晶系シリコン太陽電池については、シリコン使用量を削減するため、基板のさらなる薄膜化を目指す方向にある。製造工程数が少なく、安価に製造できる CIS 系太陽電池や、材料が安価で製造も容易な有機系太陽電池などの開発も進められている。また、量産化はコストダウンの重要要素であり、市場の拡大が重要となる。

生涯発電量の増加には、発電効率の向上、長寿命化が重要となる。発電効率について、日本の太陽電池メーカーは世界トップレベルの水準にあり、引き続き世界の先導的地位を維持すべく、積極的な技術開発を進める必要がある。また、太陽光発電システム全体の長寿命化に向け、太陽電池モジュールの高耐久化、機器、配線などの部品・部材の高耐久化を図るとともに、システム運用中の故障診断とメンテナンスによる寿命延長も重要となる。

太陽光発電システムの設計・設置工事を含む販売コストは発電コスト全体の約 3 割程度を占める。設置・施工費の削減に向け、モジュール寸法、機器仕様、架台等の標準化による施工の簡易化や、建材一体型システムにより、使用部材を削減するなどの方策が効果的である。

また、流通経費も販売・設置コストの大きな部分を占めており、流通体制の合理化等も必要である。

#### 2) 革新技術の開発

太陽光発電において汎用電源並みの発電コストを実現し、大規模な普及を目指すためには、従来技術の延長線上にない革新的な技術の開発により、太陽光発電の性能を飛躍的に向上させることが必要である。現在日本においても研究開発が進められている、高効率多接合型太陽電池、量子ナノ構造太陽電池などが該当する。高効率多接合型太陽電池を用いた集光型太陽電池は、将来的に 50%を超える発電効率が期待されており、日米欧にて積極的な技術開発が進められている。

研究開発を進めるにあたっては、多岐に亘る可能性の確認と選択を進めることが重要であり、国内の知見・技術を結集し、各技術分野の専門家との協力により知見を積み上げていく必要がある。また、海外の研究者との人的交流や、海外の研究機関との共同研究などを進めていく必要がある。

<sup>67</sup> PV2030+においては、太陽光発電の目指す姿の実現に向けた課題として、(1)経済性改善、(2)利用及び用途の拡大、(3)基盤整備・環境整備、(4)産業発展と国際競争力確保、(5)革新技術の必要性、の観点からまとめられている。本節は、PV2030+を参考に取りまとめている。

### 3) 太陽電池関連産業の育成

国際競争力の強化にあたっては、太陽電池単体の技術力に加え、モジュール構成部材（封止材、バックシート等）やインバータ、蓄電池、スマートグリッド関連技術等、日本の太陽電池関連産業の総合力を発揮し、「システム全体の高付加価値化」を図ることが重要である。そのためには、各要素部材・機器の高性能化を進めるとともに、システム全体の運用・制御技術も含めて、知見・実績を積み上げる必要がある。

なお太陽光発電産業は、シリコンや各種原材料から、セル、モジュール、システムまで、産業の裾野が非常に広い。太陽電池関連産業の育成は、雇用の促進等、日本経済の活性化にもつながると考えられる。

太陽光発電産業の発展のためには、最先端技術の保有、技術力・技術開発力の確保、国内市場の拡大、海外も含めた供給体制の確立、海外市場の開拓、人材育成などが重要である。最先端技術の保有では国内市場ばかりでなく海外市場も視野に入れた技術開発が必要である。

また、技術者・研究者などの人材育成では太陽光発電産業が国際的にも高度な技術力を保有する魅力ある産業となることが重要である。大学など研究機関に対して産業界が積極的に支援し、雇用を確保することが不可欠である。

## (2) 国内市場の拡大に向けた課題と対応

### 1) 利用および用途の拡大

太陽光発電の利用面での大きな課題として、出力変動や発電量と電力需要とのミスマッチが挙げられる。系統電力や周辺のエネルギーシステムとの連系、蓄電機能の利用、スマートグリッド技術の導入等が必要であり、経済性との調和を取りながら対策を進める必要がある。

系統連系システムは発電量変動や電力需要変動に対応するための基本的な太陽光発電利用形態の一つであるが、電力系統制御との関連からその連系量や連系密度に制約がある。ここでは蓄電機能付帯や需給予測による変動平準化など太陽光発電側での対応策のほか、電力系統側での対応策を講じるなど電力系統と協調した対策により連系可能量の増大を図る必要がある。

また、更なる普及拡大には、蓄電機能や他のエネルギーシステムと連系した自律型の太陽光発電地域エネルギーシステムの構築が必要であり、水素など他のエネルギーへの転換などを含めた利用技術の開発も必要である。

なお、太陽光発電に限らず、将来的な再生可能エネルギーの大量導入には系統の整備・強化が必要である。低炭素社会の実現を目指すにあたり、系統整備・強化を社会インフラ整備事業として捉え、中長期的視野で対策を講じていくことが重要である。

### 2) 利用基盤・利用環境の整備

太陽光発電は新しい技術として社会に受け入れられつつあるが、更なる利用拡大や技術開発を進めていくためには一層の技術的、社会的な基盤整備が不可欠である。

今後大量普及を迎えるにあたっては、太陽光発電システムの信頼性の確立が不可欠であり、変換効率、発電量、耐久性、安全性、運用中の劣化状況などの評価技術開発と認証や品質保証

などへの利用体制の確立が重要となる。さらにこれらに基づくユーザーにわかりやすい実用性能の表示も必要である。また、海外市場への対応と関連して、海外との相互認証や発展途上国に対する技術指導體制、国際規格の提案に係る対応体制の整備も重要である。

また、その他電気事業法や建築基準法など各種法令の整備や、太陽光発電システムのリサイクル・リユース体制の整備、グリーン電力証書システムや国の支援に対する基礎データ収集体制なども必要である。

### 2.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

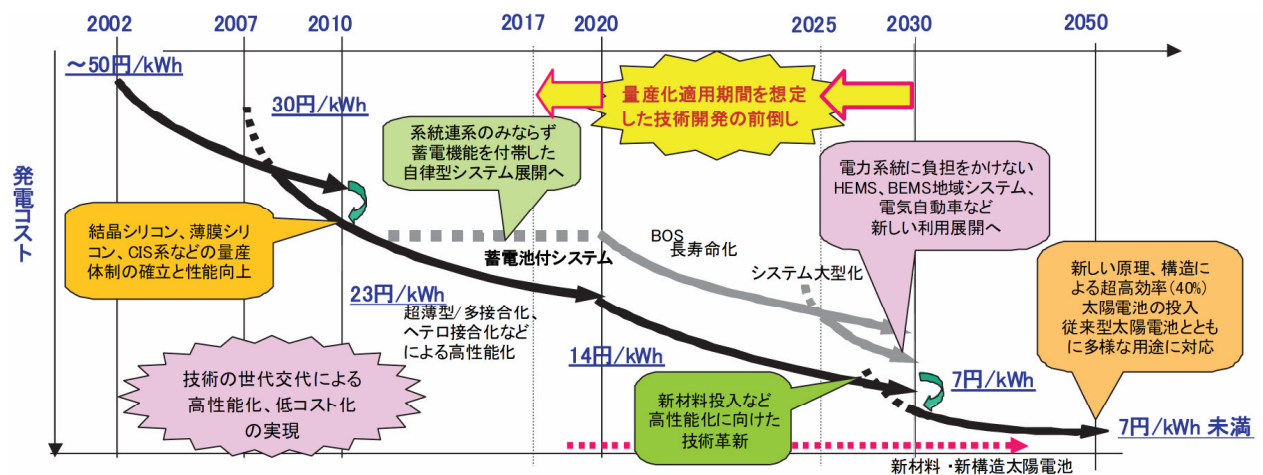
以上、太陽光発電の目指すべき姿と、課題と対応から導き出される、太陽光発電の技術開発目標、技術開発内容を以下に示すとともに、太陽光発電の技術ロードマップを図表 2.83 に示す。

#### (1) 技術開発目標

PV2030+では、2030年までに必要となる発電コスト、モジュール変換効率、およびその他の技術目標について図表 2.75 のように設定している。本ロードマップでは、PV2030+の技術開発目標の達成を目指すものとする。

なお、国内企業の生産能力については、世界の年間設置量の3分の1を我が国の産業が供給することを目標とし、2030年には30~35GW/年の生産体制を確立するものとする。

図表 2.75 PV2030+による太陽光発電技術開発シナリオ



実現時期(開発完了)	2010年~2020年	2020年(2017年)	2030年(2025年)	2050年
発電コスト	家庭用電力並 23円/kWh程度	業務用電力並 14円/kWh程度	汎用電源並み 7円/kWh程度	汎用電源未満 7円/kWh未満
モジュール変換効率 (研究レベル)	実用モジュール16% (研究セル20%)	実用モジュール20% (研究セル25%)	実用モジュール25% (研究セル30%)	超高効率モジュール 40%
国内向生産量(GW/年) (海外市場向け(GW/年))	0.5~1 ~1	2~3 ~3	6~12 30~35	25~35 ~300
主な用途	戸建住宅、公共施設	住宅(戸建、集合) 公共施設、事務所など	住宅(戸建、集合)、 公共施設、民生業務用、 電気自動車など充電	民生用途全般 産業用、運輸用、 農業他、独立電源

出典：「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO)



## 1) 発電コスト

2030年までの発電コスト目標を図表 2.76 のように設定する。PV2030+では、①23 円/kWh 程度（家庭用電力並）、②14 円/kWh 程度（業務用電力並）、③7 円/kWh 程度、の3段階のグリッドパリティを想定し、目標を設定している

図表 2.76 発電コスト目標

	2010年～2020年	2020年	2030年
発電コスト	23 円/kWh 程度 (家庭用電力並)	14 円/kWh 程度 (業務用電力並)	7 円/kWh 程度 (汎用電源並)

出典：「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO)

## 2) セル・モジュール変換効率

上記発電目標を達成するために必要なモジュールの変換効率目標を図表 2.77 のように設定する。また個別の太陽電池の性能目標を図表 2.78 のように設定する。

図表 2.77 モジュールの変換効率目標

目標年度	2017	2025
目標変換効率 (%)	20%	25%

※目標年度におけるモジュール変換効率目標は、各太陽電池種別の中での最高効率を挙げている。但し、化合物系については集光により変換効率を上げているので対象外とする。

出典：「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO)

図表 2.78 個別の太陽電池の性能目標（変換効率%）

太陽電池 <sup>1)</sup>	現状		2017年		2025年	
	モジュール(%)	セル <sup>5)</sup> (%)	モジュール(%)	セル <sup>5)</sup> (%)	モジュール(%)	セル <sup>5)</sup> (%)
結晶系シリコン <sup>2)</sup>	～16	25	20	25	25	(30)
薄膜系シリコン	～11	15	14	18	18	20
CIS系	～11	20	18	25	25	30
集光型 <sup>3)</sup>	～25	41	35	45	40	50
色素増感	—	11	10	15	15	18
有機系 <sup>4)</sup>		5	10	12	15	15

- セルは技術の到達水準を示す指標で、研究室での小面積セル。モジュールは実用化技術段階。
- 結晶シリコンは単結晶、多結晶などを区別せず、シリコン基板を用いた太陽電池として設定。
- 集光時の変換効率。
- 新しい太陽電池として有機系太陽電池にも開発目標を設定した。
- モジュール目標を達成するために最低限必要なセルの変換効率。

出典：「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO) より作成

3) モジュール製造・システム構成要素

モジュール製造・システム構成要素の技術開発目標を図表 2.79 に、2025 年のモジュール製造コスト・寿命目標を図表 2.80 のように定める。

図表 2.79 モジュール製造・システム構成要素の技術開発目標

項目		開発目標
モジュール製造	モジュール製造コスト	2017年:75円/W、2025年:50円/W (2025年のセル別詳細は図表 2.80 参照)
	モジュール寿命延長 <sup>1)</sup>	2017年:寿命25年、2025年:30年 (2025年のセル別詳細は図表 2.80 参照)
	シリコン使用量 <sup>2)</sup>	シリコン原単位低減 (3g/W) 、 省シリコン (ウエハ+カーフ=100μm)
システム構成要素	パワーコンディショナ	2017年:製造コスト15,000円/kW、寿命20年以上 (部品交換あり)
	PV用蓄電技術 <sup>1)</sup>	2017年:製造コスト10,000円/kWh程度、寿命20年以上 (部品交換あり)
	設置工事、販売経費	現状 (200円/W程度) の1/3~1/2

1) システムとしての耐久性は部品交換 (パワコンでは1回の部品交換を見込む) も含めて40年間を目指す。

2) シリコン原料消費量は原単位3g/W程度の現実的な数値を目安とし、コストの整合は基板製造コスト削減で達成する。

出典:「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO) より作成

図表 2.80 2025年のモジュール製造に係る技術開発目標

個別技術の開発目標	太陽電池	2025年のコスト・寿命目標	
		製造コスト <sup>1)</sup> (円/W)	寿命 <sup>2)</sup> (年)
	結晶 Si	50	30 (40)
	薄膜 Si	40	30 (40)
	CIS系	50	30 (40)
	化合物系	50	30 (40)
	色素増感	<40	-
	有機系	<40	-

1) 製造コスト目標は、変換効率、耐久性 (寿命) とリンクする。

2) モジュール寿命は標準技術として、2025年に30年を設定するが、技術として2030年までに通常の電力用設備並みの40年の耐久性を持つモジュールを開発する。

出典:「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO)

## (2) 技術開発の内容

PV2030+では、前項で設定した技術開発目標を実現するため、主に以下に示す技術開発課題に取り組む必要があるとしている。

図表 2.81 太陽光発電の主要技術課題

技術課題		解決策・要素技術
セル・モジュール	結晶シリコン太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低コストソーラーグレードシリコン製造技術</li> <li>● 低コスト・高品質シリコンインゴット製造技術</li> <li>● 極薄基板の高生産性スライス技術</li> <li>● 高性能接合構造（ヘテロ接合等）</li> <li>● 光閉じ込め技術（表面テクスチャー、裏面反射）</li> <li>● 表面・バルクパッシベーション技術</li> <li>● 高性能電極構造</li> <li>● 低コスト・高生産性セル製造プロセス</li> </ul>
	薄膜シリコン太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アモルファスシリコン・微結晶シリコン膜質の向上</li> <li>● 高性能多接合太陽電池</li> <li>● ワイドギャップ新材料</li> <li>● 透明電導膜の改善</li> <li>● 高度光閉じ込め技術</li> <li>● 高生産性・大面積製造プロセス</li> <li>● フレキシブル太陽電池形成技術</li> </ul>
	CIS系太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 大面積化による性能劣化の防止</li> <li>● 高性能セル構造・材料開発（界面制御技術、高品質ワイドギャップ光吸収材料等）</li> <li>● 低コスト・大面積・高生産性製造プロセス技術</li> <li>● 軽量化・フレキシブル化</li> </ul>
	集光・革新型太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● III-V系多接合太陽電池用新材料（4～5接合用）</li> <li>● 低コスト製造プロセス</li> <li>● 量子ナノ構造型太陽電池</li> </ul>
	色素増感太陽電池 有機薄膜太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高性能・高耐久性・低コストセル構造</li> <li>● モジュール製造技術</li> <li>● 大面積化</li> <li>● 多接合化技術</li> <li>● 高効率固体型色素増感太陽電池</li> </ul>
	モジュール関連技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低コスト・高耐久性モジュール製造技術</li> </ul>

技術課題		解決策・要素技術
		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機能モジュール（フレキシブル、軽量モジュール等）</li> <li>● 建材一体型モジュール</li> <li>● リサイクル・リユース技術</li> </ul>
管理・運用	システム関連技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低コスト・高性能・高耐久性インバータ</li> <li>● 低コスト・高性能・高耐久性太陽光発電用蓄電池</li> <li>● 単独運転検出・解列・自律運転技術</li> <li>● 発電量予測技術</li> <li>● 自律度向上型地域システム開発（地域 EMS、電力需給調和技術等）</li> <li>● 独立型システム開発</li> </ul>
	基板整備・環境整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 発電量評価技術の開発、実用的な評価指標の策定</li> <li>● 太陽光発電システムの安全性の確立</li> <li>● 認証体制の確立、規格制定</li> <li>● 故障診断技術</li> </ul>

### 1) 結晶シリコン太陽電池

結晶シリコン太陽電池の主要な課題の一つに、シリコン原料の低コスト化、シリコン使用量の削減が挙げられる。シリコン原料には、かつて半導体グレードと呼ばれる非常に純度の高いシリコン結晶が使用されていたが、現在は半導体グレードよりも低コスト・省エネルギーで製造が可能な、太陽電池専用のソーラーグレードシリコンが増加している<sup>68</sup>。

シリコン使用量の削減については、基板の薄型化が必要であり、極薄基板の高生産性スライス技術の確立が重要となっている。極薄基板の製造ではスライス技術の改善が不可欠であり、マルチワイヤソーではカーフ低減が難しいため、レーザーアシストエッチング法や剥離法などの、カーフロスが少なく、スライス後の洗浄処理などが容易なスライス技術の開発が必要である。

また、高効率化に向けては、高性能接合構造（ヘテロ接合等、P4 参照）、光閉じ込め技術<sup>69</sup>、表面・パルクパッシベーション技術<sup>70</sup>が重要となる。

### 2) 薄膜シリコン太陽電池

薄膜シリコン太陽電池は、大幅なシリコン使用量の削減を図れることから、低コスト技術として今後需要が伸びると予想される太陽電池の一つである。ただし、変換効率は技術開発レベルと市場に出回っているモジュールレベルとでは大きな差があるため、これらの差を埋める製造技術開発が必要である。

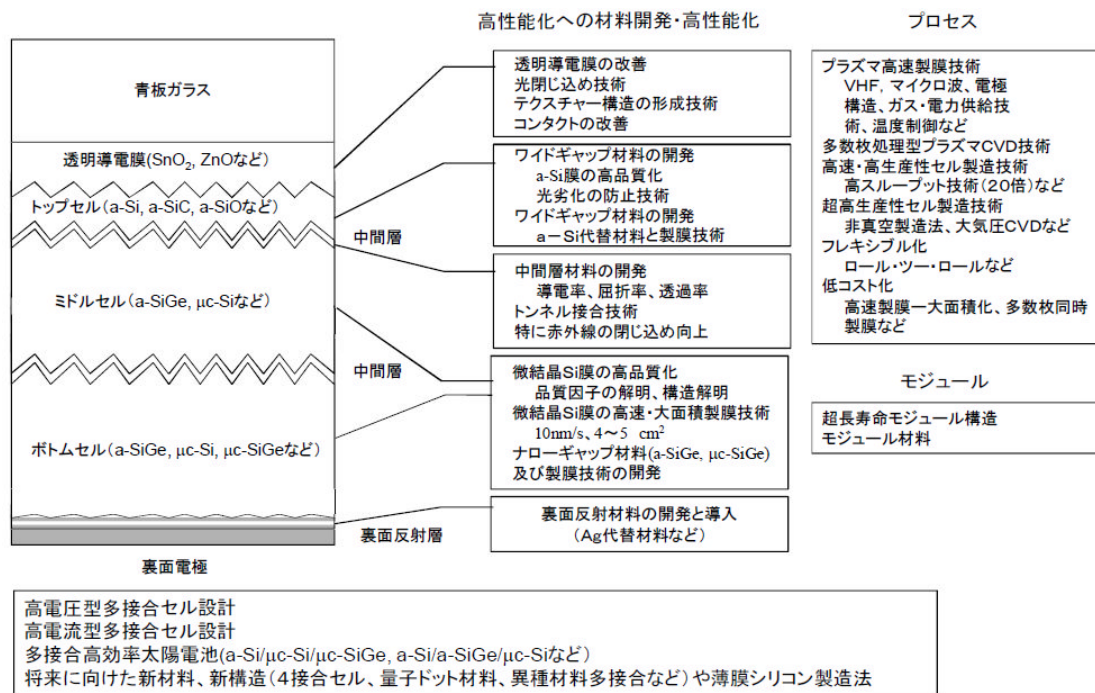
<sup>68</sup> 半導体グレードシリコンは、99.999999999%（11N）の純度を必要とするが、ソーラーグレードシリコンは99.9999%（6N）の純度で済む。

<sup>69</sup> シリコン基板または支持基盤の表面に凸凹（テクスチャ）を設け、入射した太陽光が基板側で反射されて太陽電池の中を何回も通過し、そのたびに吸収されて発電に寄与する技術。

<sup>70</sup> 表面の電氣的に不安定な性質を抑制するため、保護膜の形成や、表面形状等の処理を行う技術。

高効率化に向けては、従来のアモルファスシリコン・微結晶シリコンの2接合タンデムから3接合への開発を進める必要がある。3接合系を考えた場合、製造コストの削減に向けた技術開発も必要となる。また、光閉じ込め技術、ワイドギャップ新材料（バンドギャップ<sup>71</sup>の大きい半導体）の開発、透明伝導膜の改善等が重要である。また、量産にあたっては、高生産性の大面積製造プロセスの開発が重要となる。

図表 2.82 2020年、2030年に向けた薄膜シリコン太陽電池の技術課題



出典：「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO)

### 3) CIS系太陽電池

CIS系太陽電池は、小面積の多結晶薄膜の単接合太陽電池で変換効率20%に達しており、高いポテンシャルを有していること、薄膜、軽量、省資源、低価格など多くの長所を持つため、次世代太陽電池の一つとして注目されている。しかしながら、現在市場に出ているCIS系モジュールの変換効率は10~11%程度であり、性能向上の余地は大きい。

高効率化に向けて、大面積化による性能劣化の防止や、高性能セル構造・材料開発（界面制御技術、高品質なワイドギャップ光吸収材料、多接合用のワイドギャップ光吸収材料など）低コスト・大面積・高生産性製造プロセスの開発等の開発が行われている。

現状の単接合デバイス構造でさらなる低コスト化を実現するためには、光吸収層の製造コストを大幅に低減する製造方法（塗布法）などが必要となる。また、更なる効率向上に向けては、多接合化の技術開発が有効であるが、効率やコスト面から、CIS系材料以外とのハイブリッド

<sup>71</sup> 固体中には電子が取ることを許容されるエネルギー範囲（許容帯）と許容されないエネルギー範囲（禁制帯）があり、エネルギーの低い帯（バンド）から順に電子で埋まるが、禁制帯の幅をバンドギャップという。半導体の場合、電子で満たされた許容帯を価電子帯と呼び、バンドギャップ幅以上の大きさのエネルギー（光等）を受けると価電子が上の許容帯（伝導帯という）に励起されることにより、導電性が生じる。

多接合も視野に入れる必要がある。

#### 4) 集光・革新型太陽電池

現在、多接合太陽電池を用いた集光型太陽電池は、III-V 型化合物半導体技術をベースとした InGaP/InGaAs/Ge3 接合構造太陽電池の集光下において、効率 40%以上を実現しており、各国で熱心な研究開発が行われている。理論上は 5 接合で 57%のセル効率も可能であり、さらなる高効率化に向けて 4 接合、5 接合構造の太陽電池および新材料の開発が重要課題の一つとなっている。集光型太陽電池は、高効率化に加えて低コスト化が実用化に向けた大きな課題の一つであり、安価な基板の利用や、低コスト製造プロセス技術等が重要となる。

太陽電池のさらなる超高効率化と低コスト化に向けて、長期的な課題としては、量子ナノ構造型太陽電池の開発等が挙げられる。量子ナノ構造型太陽電池とは、量子効果<sup>72</sup>を利用して性能を向上させる技術で、太陽電池の中に材料が異なる nm サイズの粒を規則的に並べた構造などが提案されている。

#### 5) 色素増感・有機薄膜太陽電池

色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池などの有機系太陽電池は、製造が簡単で材料も安価なことから大幅な低コスト化が期待でき、次世代太陽電池の一つとして注目されているが、実用化にあたっては、耐久性、変換効率の向上が必要であり、解決すべき課題は多い。両者ともに、高性能・高耐久・低コストセル構造開発、大面積化、多接合化技術の開発が必要である。

有機系太陽電池の基礎技術開発については、色素増感型と有機薄膜型で直近の研究開発課題は異なるが、本質的な科学には共通部分が多く、同じカテゴリーで研究体制を整えることが望ましい。特に、効率向上を目指したタンデム化などは、接合界面の設計や最適の組み合わせを考え、有機系太陽電池全体を俯瞰して進めるべきである。

#### 6) 太陽電池モジュール

太陽電池モジュールに係る技術開発課題としては、低コスト・高耐久性モジュール製造技術、機能モジュール（フレキシブル、軽量モジュール等）の開発、建材一体型モジュールなどが挙げられる。特に建材一体型モジュールは、そのデザイン性から消費者に好まれることに加え、屋根材とモジュール部材の共有により設備費の削減にもつながることから、欧米では重要課題の一つとなっている。

その他、将来的に寿命を迎える太陽電池が大量に発生する時期が訪れることから、リサイクル・リユースを視野に入れたモジュール設計、材料の選定等が重要である。

#### 7) 太陽光発電システム技術

太陽光発電の大量普及にあたっては、系統連系時の諸問題解決に向け、パワーコンディショナの高性能化や、太陽光発電用蓄電池、単独運転検出・解列・自律運転技術、発電量予測技術等、太陽電池周辺のシステム関連技術が重要となる。

<sup>72</sup> 物質の粒子径をナノサイズに近づけた時に起こる物理的特性の変化。

太陽電池の周辺機器で最も重要となるインバータは、高効率・低コストの機器を開発することは当然ながら、電力系統の安定運用を担保するために多数台連系時の単独運転防止技術の整備、さらに導入量が増加した場合には系統擾乱の際に一斉解列させない技術、無効電力を制御する機能なども要求される。また、将来的にインバータは、太陽光発電を普及させる上で鍵となる機器になる可能性が高い。例えば、故障検出機能やモニタリング機能の付加が考えられるほか、系統運用安定化のために外部から出力を調整できる機能、HEMS や BEMS、DSM などにおける負荷制御機能を担わせるなどインテリジェント化の可能性もある。

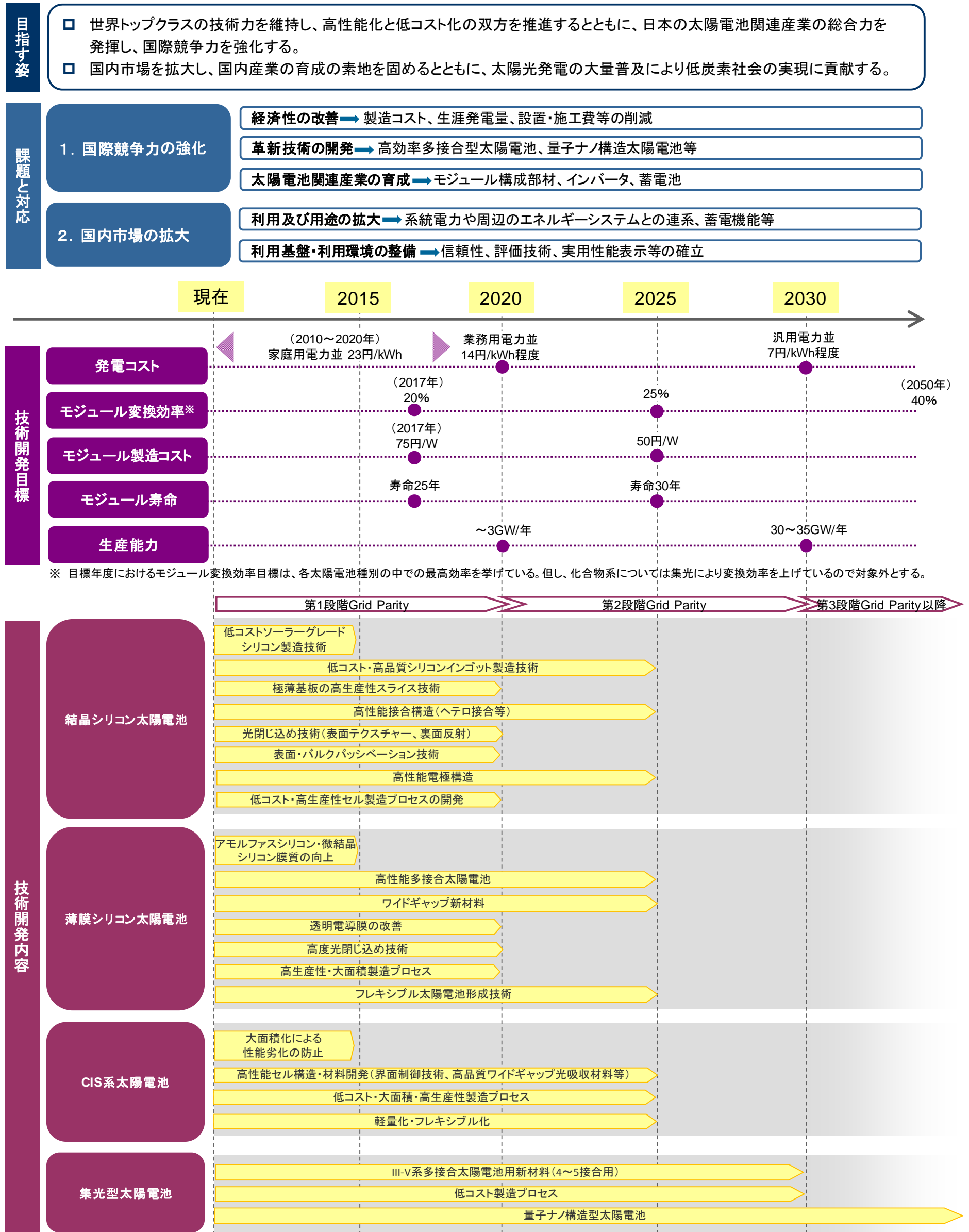
エネルギーとしての信頼性を向上させるためには、天候に依存する出力の変動を平滑化させ、需要に合わせる必要がある。発電量予測などに加え、蓄電池をはじめとするエネルギー貯蔵技術の開発が重要となる。

## 8) 基盤整備・環境整備

太陽光発電は新しい技術として社会に受け入れられるためには太陽光発電システムの信頼性の確立が不可欠である。変換効率、発電量、耐久性、安全性、運用中の劣化状況などの評価技術やモジュール・システムの信頼性評価技術、認証や品質保証などの確立が重要であるとともに、これらに基づくユーザーにわかりやすい実用性能の表示も必要である。

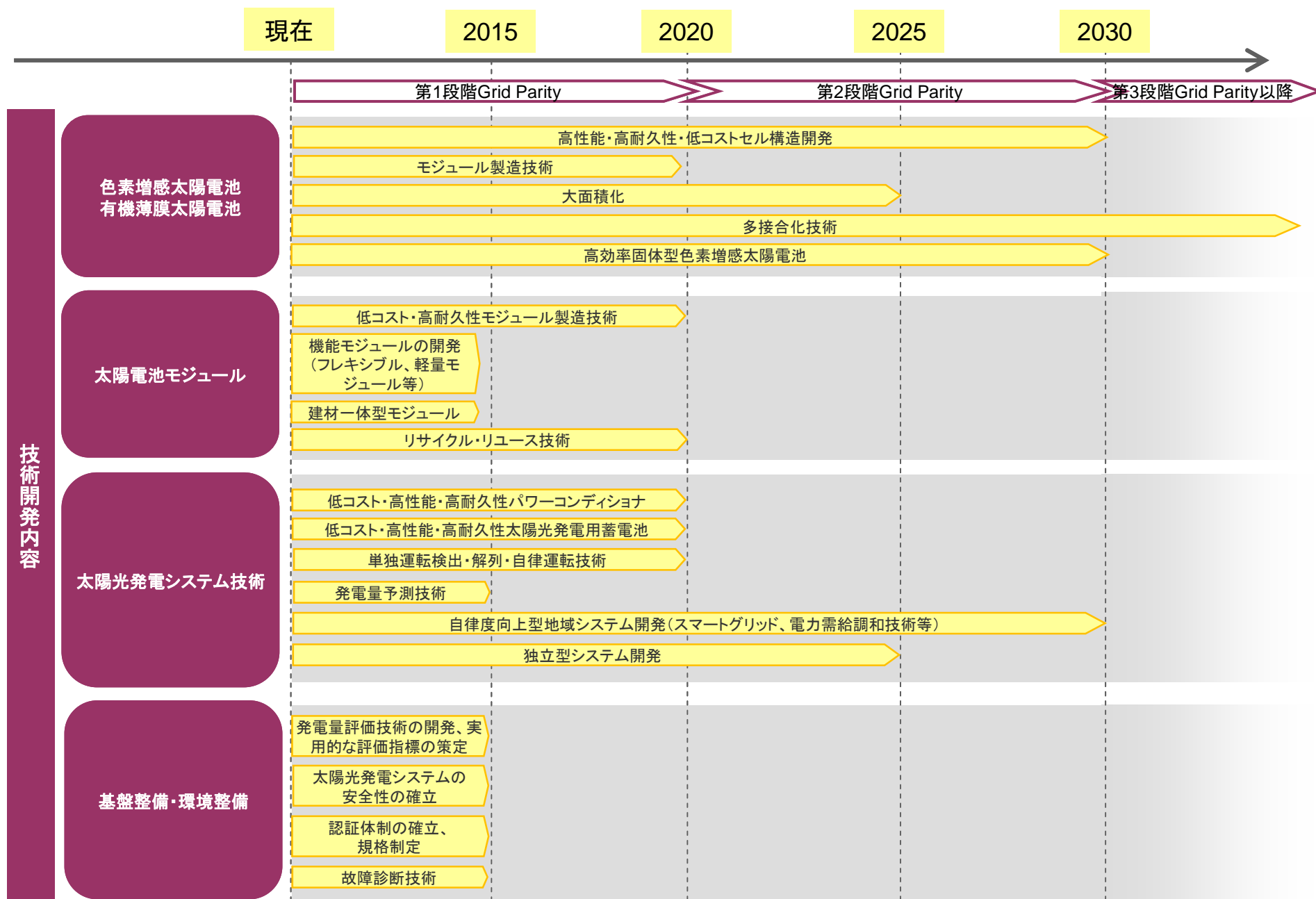
以上に述べたわが国技術の目指すべき姿と、課題と対応から導き出される、太陽光発電のロードマップを図表 2.83 に示す。

図表 2.83 太陽光発電技術ロードマップ





図表 2.83 太陽光発電技術ロードマップ (つづき)





## 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

### 3.1 技術を取りまく現状

#### 3.1.1 技術の俯瞰

##### (1) 技術の俯瞰<sup>1</sup>

近年、風力発電は単機出力の大型化、および発電所（ウィンドファーム）規模の大規模化が進んでいる。ウィンドファームの例として、宗谷岬ウィンドファームの外観を図表 3.1 に示す。

図表 3.1 宗谷岬ウィンドファーム



出典：NEDO ホームページ (<http://www.nedo.go.jp/nedohokkaido/kitanodaichi/jirei/wi02.html>)

##### 1) 定格出力による風力発電機の分類

NEDO「風力発電導入ガイドブック（2008年2月改訂第9版）」では、図表 3.2 に示すような定格出力別の呼称が挙げられている。本白書ではこの図表 3.2 に示す定義を用いることとし、主に中型風車、大型風車について取り上げる。

図表 3.2 定格出力からみた風車の分類基準

分類		定格出力
マイクロ風車		1kW 未満
小型風車		1kW ～ 50kW 未満
中型風車	I	50kW ～ 500kW 未満
	II	500kW ～ 1,000kW 未満
大型風車		1,000kW 以上

注) 風車の分類は便宜的<sup>2</sup>にわけたものである。

出典：「風力発電導入ガイドブック 2008」（2008, NEDO）

<sup>1</sup> 本節は「風力発電導入ガイドブック」（2008, NEDO）をもとに取りまとめている。

<sup>2</sup> 【電気事業法】電気主任技術者の選任：1,000kW 以上は義務、20kW 以上 1,000kW 未満は外部委託承認申請も可、20kW 未満は不要。工事計画の届出・使用前安全管理審査の受審：500kW 以上は義務、500kW 未満は不要。  
【JIS/IEC】小型風車は IEC 61400-2 第 2 版（2006）において「ローター受風面積が 200m<sup>2</sup> 未満、交流 1,000V 未満または直流 1,500 未満」（水平軸風車ではローター直径が 16m [約 50kW 相当] 未満）と定義され、また 2m<sup>2</sup> 未満（約 1kW 未満）の風車はマイクロ風車と定義されている。

## 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

## 2) 風車の形式

風車の形式は、回転軸の方向によって「水平軸」と「垂直軸」に大きく分けられる。また更に作動原理によって、翼の揚力を利用して高速回転を得る「揚力形」と、風が押す力で低速回転する「抗力形」に分けられる。中型・大型風車は、水平軸風車の3枚翼プロペラ式(図表 3.3)が主流である。

図表 3.3 プロペラ式風車(商用機)の例



2.4MW 機

出典：三菱重工業ホームページ

(http://www.mhi.co.jp/products/detail/wind\_mwt92.html)



3.0MW 機

出典：Vestas ホームページ

(http://www.vestas.com/da/vindm%C3%B8lepark.aspx)

プロペラ式には、アップウィンド方式とダウンウィンド方式がある。アップウィンド方式は、ロータの回転面が風上側に位置しており、タワーによる風の乱れの影響を受けにくいいため、大型の風車において主流となっている。一方、ダウンウィンド方式は、回転面が風下側に位置するためプロペラを風向きに合わせるヨー駆動装置が不要であり、小型風車への適用例が多いが、大型機でのダウンウィンド方式の風車も近年開発されている<sup>3</sup>。

垂直軸風車については、回転軸が風向きに対して垂直であり、風向きに対する依存性がない。また、発電機等の重量物を地上に設置できることや、ブレードの製造がプロペラ式と比較して容易であるなどの利点がある。一方、自己起動時に大きなトルク<sup>4</sup>が必要となる、回転数制御が難しい、水平軸風車と比較して効率が劣るため装置が大型化する傾向がある等の短所がある。

## 3) システム構成

風力発電は、風の運動エネルギーを風車(風力タービン)により回転エネルギーに変え、その回転を直接、または増速機を経た後に発電機に伝送し、電気エネルギーへ変換する発電システムである。

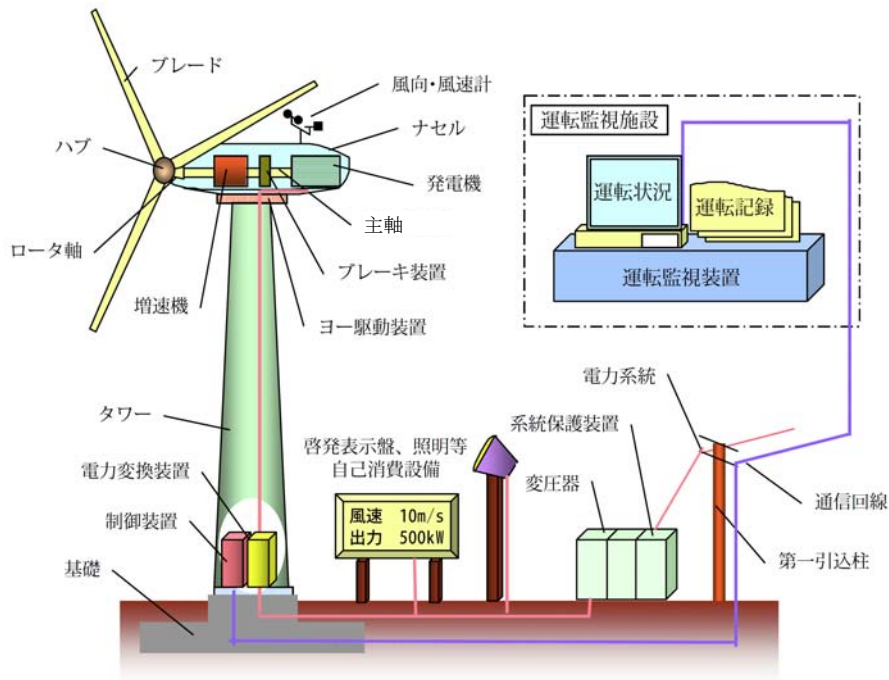
代表的なプロペラ式風力発電システム構成を図表 3.4 に示す。風力発電は、基礎工事が行われた上にタワーが設置され、タワー上にナセルとブレードが組上げられている。ナセルの中に

<sup>3</sup> 富士重工業(株)製の SUBARU80/20 (2.0MW 機) はヨー制御付のダウンウィンド方式の風車である。

<sup>4</sup> 固定された回転軸を中心に働く回転軸の回りの力のモーメント(力の大きさと回転軸からの距離の積)。

は、増速機や発電機、ブレーキ装置、ロータ軸、主軸が格納されており、ブレードはハブによってロータ軸に連結されている。

図表 3.4 プロペラ式風力発電システムの構成例



構成要素		概要
ロータ系	ブレード	回転羽根、翼
	ロータ軸	ブレードの回転軸
	ハブ	ブレードの付け根をロータ軸に連結する部分
伝達系	主軸	ロータの回転を発電機に伝達する
	増速機	ロータの回転数を発電機に必要な回転数に増速する歯車（ギア）装置（増速機のない直結ドライブもある）
電気系	発電機	回転エネルギーを電気エネルギーに変換する
	電力変換装置	直流、交流を変換する装置（インバータ、コンバータ）
	変圧器	系統からの電気、系統への電気の電圧を変換する装置
	系統連系保護装置	風力発電システムの異常、系統事故時等に設備を系統から切り離し、系統側の損傷を防ぐ保護装置
運転・制御系	出力制御	風車出力を制御するピッチ制御あるいはストール制御
	ヨー制御	ロータの向きを風向に追従させる
	ブレーキ装置	台風時、点検時等にロータを停止させる
	風向・風速計	出力制御、ヨー制御に使用されナセル上に設置される
	運転監視装置	風車の運転/停止・監視・記録を行う
支持・構造系	ナセル	伝達軸、増速機、発電機等を収納する部分
	タワー	ロータ、ナセルを支える部分
	基礎	タワーを支える基礎部分

出典：「風力発電導入ガイドブック 2008」（2008, NEDO）

### 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

ブレードは1枚～複数枚の例があるが、一般に方位制御時に振動が起きにくく安定性が良いことから3枚ブレードが現在の主流になっている。ロータの回転数は毎分数十回転程度であり、風力発電で広く用いられている誘導発電機の回転数は一般に毎分1,500回転（50Hz用）または1,800回転（60Hz用）であるため、歯車（ギア）を用いて増速させる。一方、同期発電機の場合は増速機のない直結駆動が多い。

風は、風向や風速が絶えず変動するため、その風をエネルギー源とする風力発電機が安定した発電出力を得にくいことや、エネルギー密度が小さいことから、風力発電システム（アップウィンド方式）には、常に羽根の回転面を風の方向に向けるためのヨー駆動装置や出力を制御するブレーキ装置の機能等が備わっており、より多くの安定した出力が得られるよう工夫がなされている。また、低風速でも効率のよい発電が可能となるよう発電機の極数を変えたり、大小2つの発電機を備えて風速に合わせて発電機を切替えたり、幅広い風速領域で効率良く発電が行える風力発電システムも存在する。

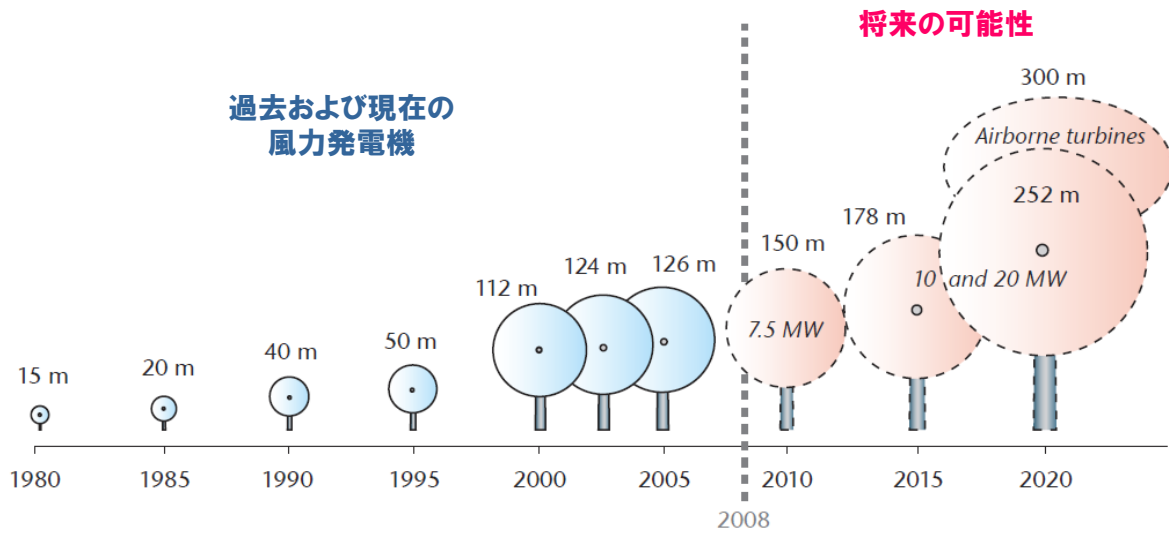
#### 4) システムサイズ

一般に、風は地上から上空に向かうほど強くなるため、風車の高さ（ハブ高さ）はできるだけ高くした方が取得エネルギーは増大し、発電量は増加する。また風車の取得エネルギーは風車の羽根（ブレード）の回転面の受風面積に比例するため、ブレードを長く（風車ロータ直径を大きく）することでも取得エネルギーは増大する。現在、多く用いられているプロペラ式風車の大きさは、定格出力が600kWの場合、タワーの高さは40～50m、羽根の直径は45～50mで、1,000kWから2,000kWの場合、タワーの高さは60～80m、羽根の直径は60～90mが一般的である。

風力エネルギーをできる限り取得するためには、風力発電に適した風況が得られる場所に風車を設置することが重要であるが、風車の大型化によって1機あたりの発電出力が増大するとともに、風力発電の複数設置によってウィンドファーム全体の出力が増大し、発電コストを低減することができるため、近年ウィンドファームの大規模化が進む傾向にある。

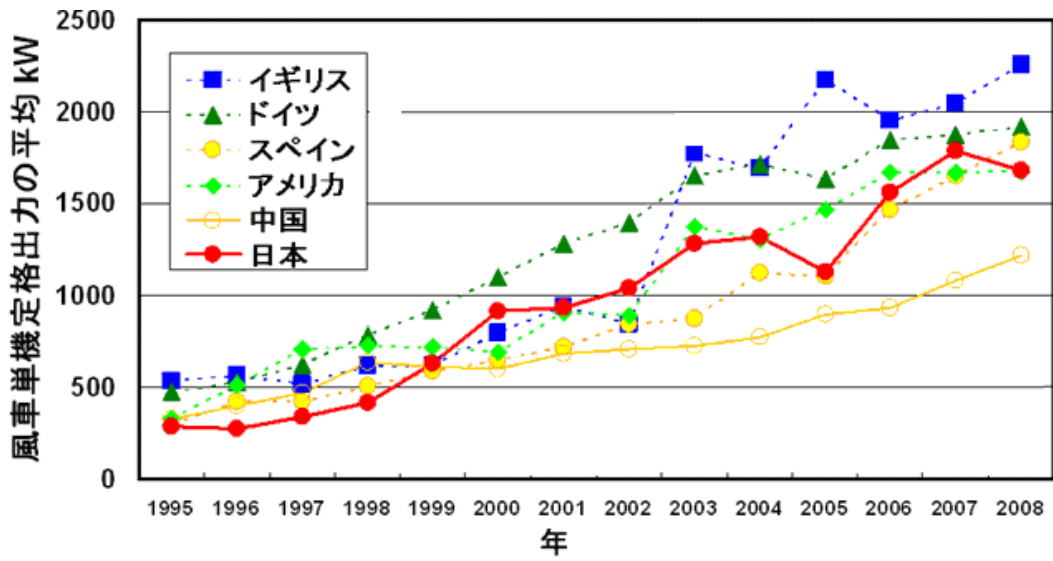
図表 3.5 に世界の風車の大型化の推移を、図表 3.6 に世界の風車の平均的サイズの推移を示す。2008年に導入された世界の風車の平均サイズは国によっても異なるが2,000kW前後にまで大型化してきている。なお、風車の大型化については、風車の重量がロータ直径の3乗に比例するのに対して、取得エネルギーはロータ直径の2乗に比例することから、風車に係るコストは直径の3/2乗に比例して増加する。つまり、出力2倍の風車を製造するには直径を1.4倍にする必要があるのに対して、コストは2.8倍になる。したがって、構成機器の比強度を向上させる、あるいは風車に働く空力荷重を低減させる等の技術的ブレークスルーが無ければ大型化はかえってマイナスとなる。また、山間地は機器設置の観点から大型風車に適さず、洋上風車も着床式であれば大型化も想定されるが、浮体式の場合には2～3MW程度が限界とされており、今後は各国の自然条件に応じたシステムサイズに分化していくものと推察される。

図表 3.5 世界の風車の大型化の推移



出典：“Technology Roadmap Wind energy” (2009, OECD/IEA) より作成

図表 3.6 世界の風車の平均サイズの推移

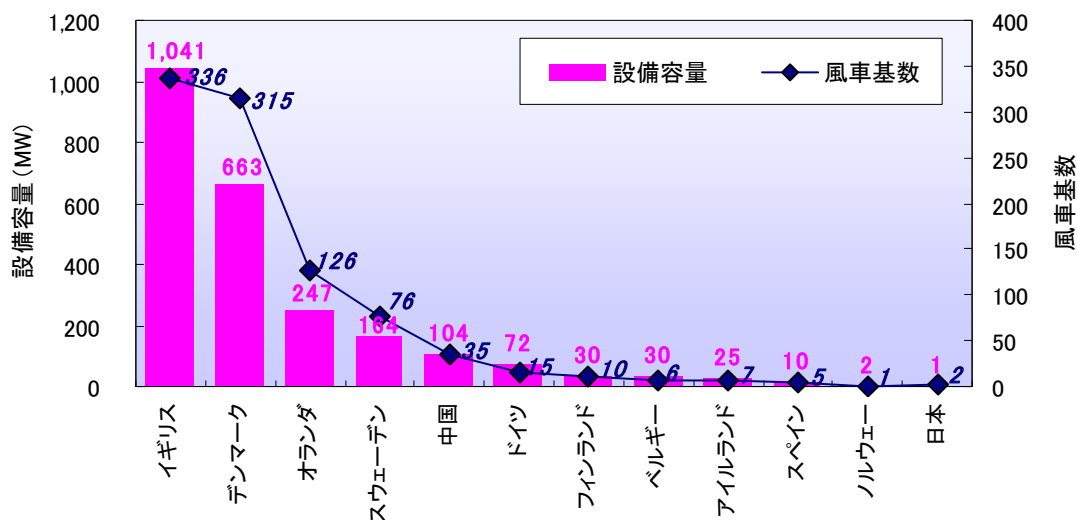


出典：三菱重工業ホームページ ([http://www.mhi.co.jp/products/expand/wind\\_data\\_0204.html](http://www.mhi.co.jp/products/expand/wind_data_0204.html))

5) 洋上風力<sup>5</sup>

陸上における適地が減少していること、陸上と比較して洋上は風況が安定していることから、洋上風力発電システムが注目されており、欧州を中心に大規模な洋上風力発電プラントの建設が始まっている（図表 3.7）。

図表 3.7 国別洋上風力発電導入基数・設備容量（2010/6/20 現在）



出典：Wind Service Holland(<http://home.kpn.nl/windsh/wsh.html>)より作成

洋上風力は、海底に直接基礎を設置する着床式と、浮体を基礎として係留等で固定する浮体式に分類される。欧州で導入されている洋上風力発電システムは、ほとんどが 20m 以下の浅海域に設置されている着床式である。基礎構造は、海底に 1 本の杭を打ち込むモノパイル式や、コンクリートのケーソンを基礎とする重力式が主に用いられている。これらの方式は、水深 30m までの海域が設置の目安となるが、それより深くなると、深さに応じてコスト高となることに加え、広く採用されているモノパイル式の場合には、強度の維持が取り難くなり、施工自体も難しくなる。代わりにトライポッドと呼ばれる三脚式、或いは格子梁（ジャケット）などが有利な基礎構造となる。例として、スコットランド近くの北海にあるベアトリスウィンドファーム実証プロジェクトでは、水深 45m において 2 基の 5MW 風車がジャケット構造物の上に設置されている。しかし、水深が 60m 程度にまで達すると、浮体式の支持構造の方がより経済的となる。洋上風力発電の支持構造と水深の関係を図表 3.8 に示す。

浮体式は、係留システムやタンク、バラストによって様々な支持構造が考えられる。図表 3.9 に以下の 3 つの代表的な浮体支持構造を示す。

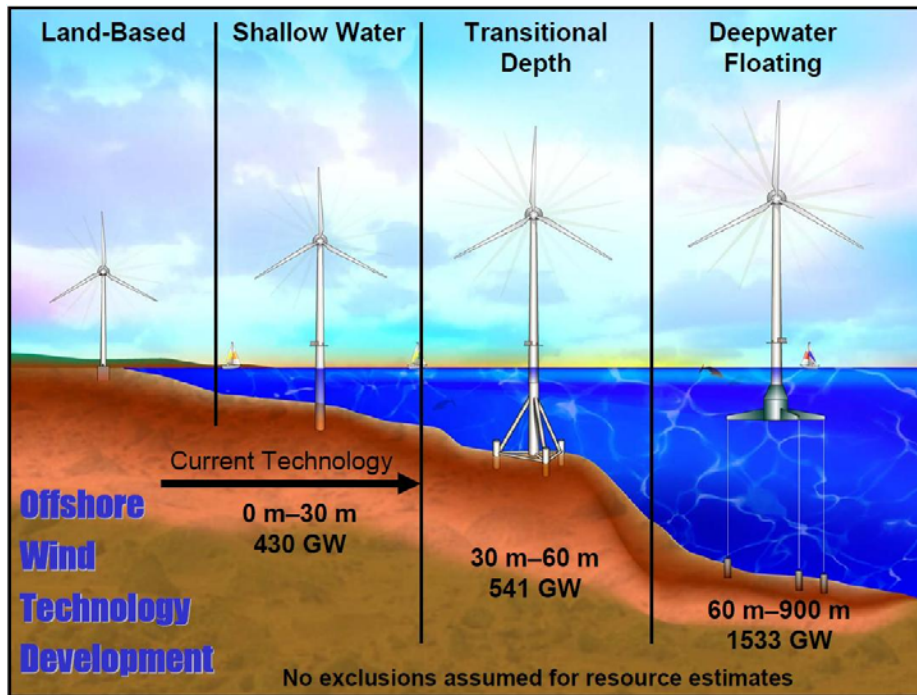
- 円柱浮標（spar-buoy）型：バラストを使用して浮力の中心よりも重心を低くすることにより安定化を図る。
- 張力脚（tension leg platform ; TLP）型：タンク中の余剰な浮力によりもたらされる係留ケーブルの張力を利用して安定させる。

<sup>5</sup> “Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine” Technical Report NREL/TP-500-41958, 2007 をもとに取りまとめ。



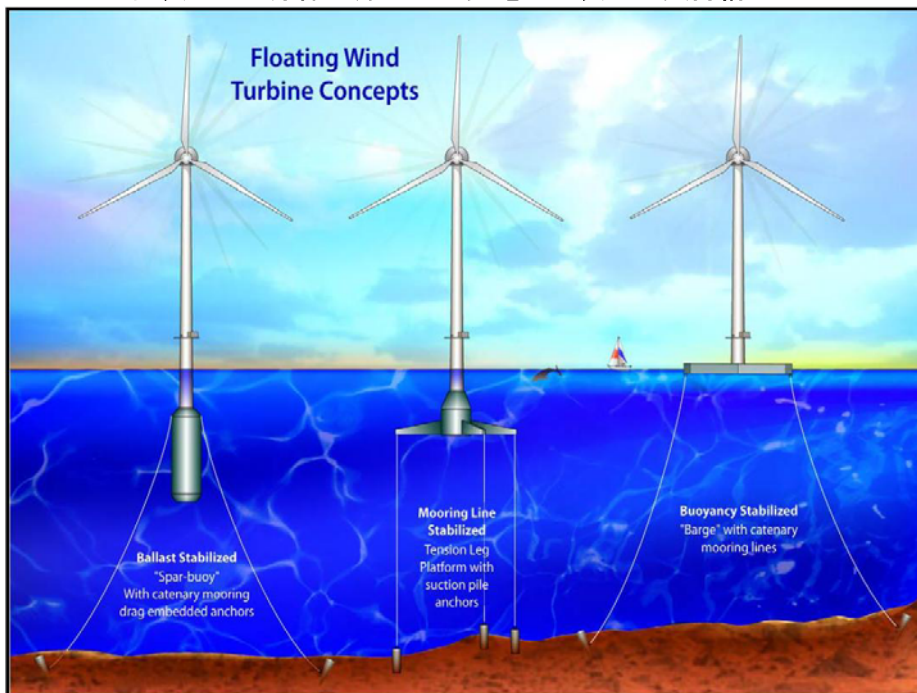
- はしけ (barge) 型：はしけをカタナリー<sup>6</sup>ケーブルで係留し、水面との接触により安定化を図る。

図表 3.8 洋上風力発電の形態と水深の関係



出典：“Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine” (2007、NREL)

図表 3.9 浮体式洋上風力発電の代表的な支持構造



出典：“Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine” (2007、NREL)

<sup>6</sup> 懸垂線。ロープの両端を持って垂らした時にできる曲線のこと。

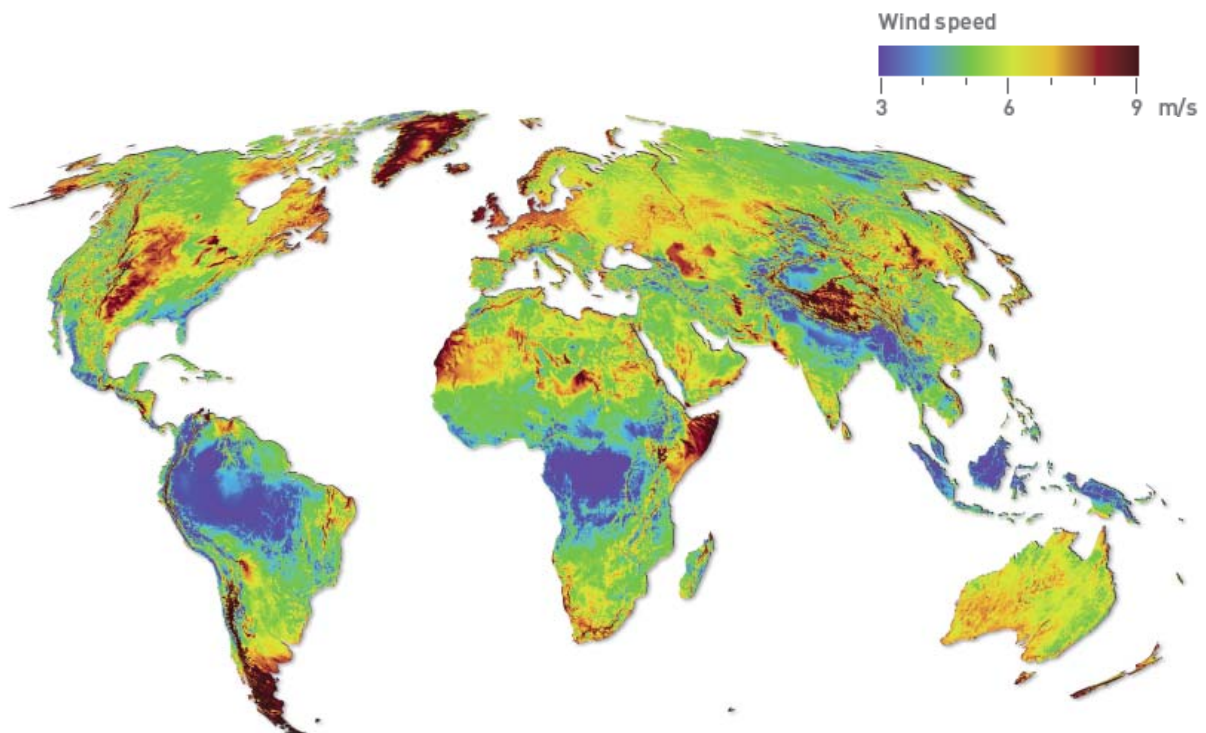
### 3.1.2 ポテンシャル

#### (1) 世界

風力エネルギーは風速の3乗に比例して増大する。そのため、経済性の向上には風況の良い場所の選定が必須であり、その目安は年間平均風速  $7\text{m/s}$ <sup>7</sup>以上とされている。世界の陸上の年間平均風速の分布図を図表 3.10 に示す。特に米国中央部や中国西部、英国、アルゼンチン南部等が風況に恵まれている。

洋上では陸上よりも一般に良い風況が得られる。世界の洋上の年間平均風力エネルギー密度の分布図を図表 3.11 に示す。北半球冬期は、特に米国東岸や英国・ノルウェー沖の北海、日本沖等の風況が良い。また、豪州沿岸、南アフリカ、アルゼンチン南部等は1年を通して風況に恵まれている。

図表 3.10 世界の年間平均風速分布（陸上）



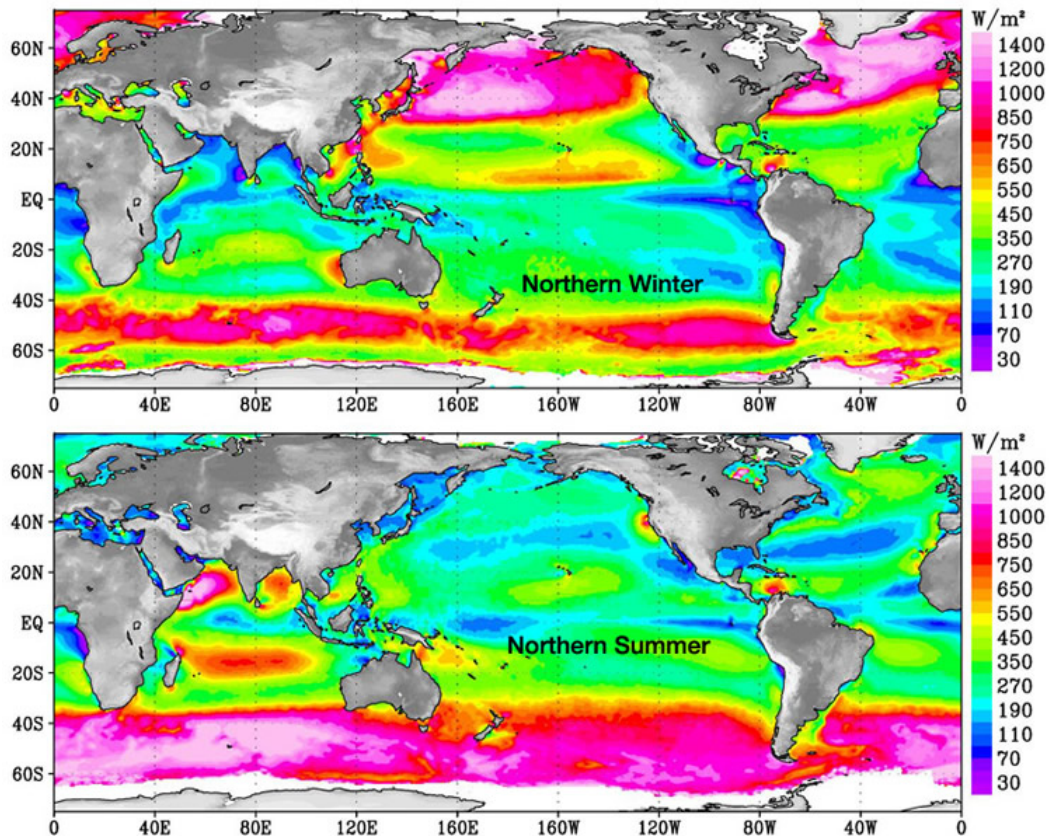
Copyright © 2010 3TIER Inc. All Rights Reserved.

※地上 80m の年間平均風速

出典：3TIER ホームページ (<http://www.3tier.com/en/support/resource-maps/>)

<sup>7</sup> ハブ高さ 80m の場合。“Renewable Energy Essentials: Wind” (2008, IEA) より。

図表 3.11 世界の年間平均風力エネルギー密度分布（洋上）  
（上：北半球冬期 下：北半球夏期）



※海上風（高度 10m）の平均風力エネルギー密度

出典：NASA ホームページ (<http://www.nasa.gov/home/index.html>)

欧州における風力発電の導入可能量について、欧州環境庁（EEA<sup>8</sup>）は図表 3.12 のように試算している。風力発電の経済性を考慮した、最も制約条件の厳しいシナリオにおいても、陸上と洋上含めて、2030年時点で 30,400TWh が導入可能と試算しており、これは同時点の欧州の電力需要の約 7 倍に相当する量と推算される。

米国においては、図表 3.13 のように陸上域で 7,834GW の風力発電が導入可能であり、かつ 8.5 セント/kWh（約 9 円/kWh）以下の発電コストで実現できると試算されている<sup>9</sup>。これは 2007 年時点の米国全体の発電容量（1,039GW<sup>10</sup>）の約 7.5 倍に相当する大きさに相当し、一定の競争力を持った価格帯におけるポテンシャルの大きさが確認されている。洋上風力発電については、陸上と比較して発電コストが高くなるが、浅水域において 10～13 セント/kWh（約 10～13 円/kWh）程度の発電コストで 1,261GW、深水域においては 13～17 セント/kWh（約 13～17 円/kWh）程度のコストで 3,177GW が導入可能と試算されている。

豊富な風力エネルギーをいかに活用するかが、世界のエネルギー問題解決に向けた重要課題の一つとなっている。

<sup>8</sup> European Environment Agency

<sup>9</sup> “20 PERCENT WIND ENERGY PENETRATION IN THE UNITED STATES” (2007, Black & Veatch)

<sup>10</sup> “World Energy Outlook 2009” (IEA)

図表 3.12 欧州における風力発電導入可能量

シナリオ	導入可能量		需要比
最大限導入するシナリオ (Technical potential)	2020 年	70,000TWh (陸上 : 45,000 TWh、洋上 : 25,000 TWh)	17~20 倍
	2030 年	75,000TWh (陸上 : 45,000 TWh、洋上 : 30,000 TWh)	17~18 倍
環境的・社会的制約条件を 考慮したシナリオ (Constrained potential)	2020 年	41,800TWh (陸上 : 39,000 TWh、洋上 : 2,800 TWh)	10~12 倍
	2030 年	42,500TWh (陸上 : 39,000 TWh、洋上 : 3,500 TWh)	10 倍
経済的競争力を考慮した シナリオ (Economically competitive potential)	2020 年	12,200TWh (陸上 : 9,600 TWh、洋上 : 2,600 TWh)	3 倍
	2030 年	30,400TWh (陸上 : 27,000 TWh、洋上 : 3,400 TWh)	7 倍

出典 : “Europe’s Onshore and Offshore Wind Energy Potential” (2009, EEA)

図表 3.13 米国における風力発電導入可能量

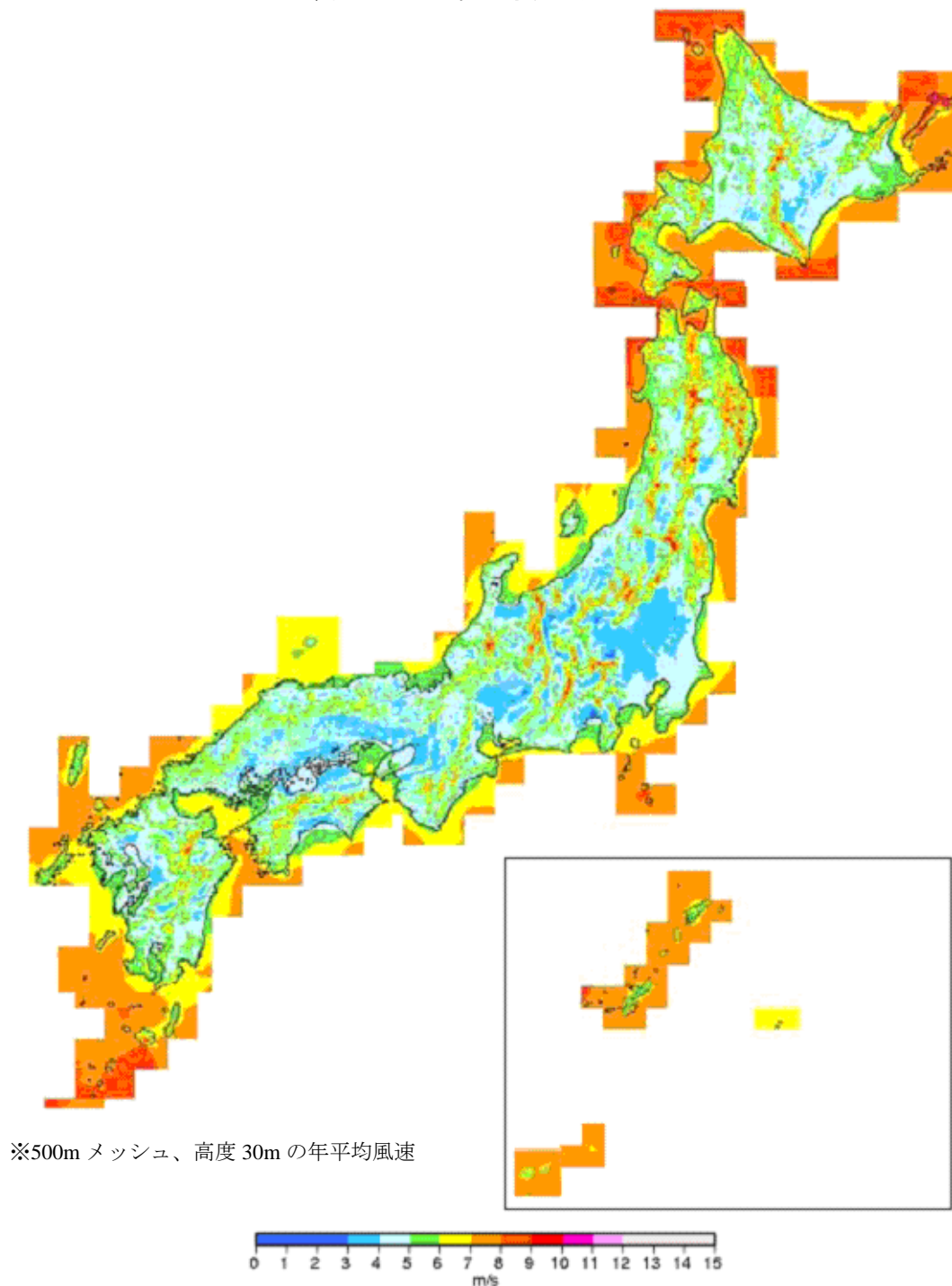
導入可能量		備考
陸上	7,834GW	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 米国全体の発電容量の約 7.5 倍</li> <li>● 発電コスト : 8.5 セント/kWh 以下</li> </ul>
洋上 (浅水域)	1,261GW	● 発電コスト : 10~13 セント/kWh 程度
洋上 (深水域)	3,177GW	● 発電コスト : 13~17 セント/kWh 程度

出典 : “20 PERCENT WIND ENERGY PENETRATION IN THE UNITED STATES” (2007, Black &amp; Veatch)

## (2) 日本

日本の風況マップを図表 3.14 に示す。各国と比較して、陸上において 7m/s 以上の風況を得られる地域（下図のオレンジや赤い部分）は少ないが、北海道や北東北、九州などの沿岸部を中心に、洋上の風況に恵まれている。

図表 3.14 日本の局所風況マップ



出典：「風力発電導入ガイドブック 2008」（2008, NEDO）

## 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

日本における風力発電導入可能量については、環境省および日本風力発電協会（JWPA）が詳細な試算を行っている。試算にあたっては、図表 3.15 に示すような各種社会条件、風速条件を考慮している。環境省調査、JWPA 試算ともに、土地傾斜角や道路条件等についての条件を設けて建設にかかる技術的限界も勘案するとともに、風切り音等の風車音の影響も考慮して居住地から 500m 以上離れている場所と制限しており、両者の条件の主要な相違点は、風速条件である。

図表 3.16 に試算結果を示す。JWPA の試算したポテンシャルは 782,220MW であり、2008 年度における全発電設備容量の約 4 倍に相当する。一方、環境省調査によるポテンシャルは全発電設備容量の約 9 倍と大幅に超えている。しかしどちらの試算においても、賦存量には地域差が大きく、北海道、東北、九州地域におけるポテンシャルが大きい結果となっている（図表 3.17）。なお、（山岳部への）アクセス条件、送電線距離等については条件に加えていないことから、これらを設計条件に加えた場合には、自ずと試算結果は異なったものとなる。

図表 3.15 試算の前提条件（設置可能条件）

		日本風力発電協会試算	環境省調査
陸上	適地	風速 6.5m/s 以上(80m 高)、標高 1,000m 未満、最大傾斜角 20 度未満、幅員 3m 以上の道路からの距離 10km 未満	風速 5.5m/s 以上(80m 高)、標高 1,000m 未満、最大傾斜角 20 度未満、幅員 3m 以上の道路からの距離 10km 未満
	設置場所	自然公園（第 2 種特別地域、第 3 種特別地域、普通地域） 居住地からの距離 500m 以上 市街化区域以外 その他の農用地、森林(保安林を除く)、荒地、海浜	自然公園（第 2 種特別地域、第 3 種特別地域、普通地域） 居住地からの距離 500m 以上 市街化区域以外 その他の農用地、森林(保安林を除く)、荒地、海浜
洋上	適地	風速 7.5m/s 以上(80m 高)、離岸距離 30km 未満	風速 6.5m/s 以上(80m 高)、離岸距離 30km 未満
	設置場所	自然公園（普通地域） 着床式：水深 50m 未満 浮体式：水深 50m 以上 200m 未満	自然公園（普通地域） 着床式：水深 50m 未満 浮体式：水深 50m 以上 200m 未満
風力発電機出力への換算		10MW/km <sup>2</sup>	10MW/km <sup>2</sup>

出典：「風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく長期導入目標とロードマップの算定（Ver.2.1）」（2010、日本風力発電協会）、「平成 21 年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」（2010、環境省）

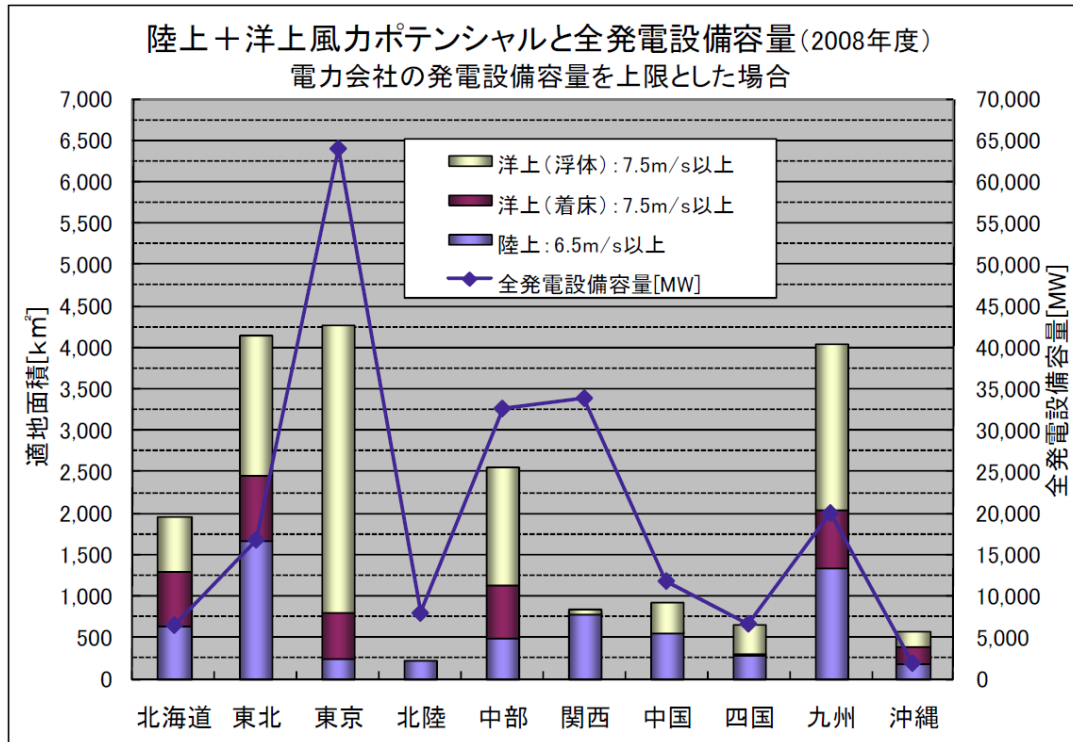
図表 3.16 ポテンシャルの試算結果

	日本風力発電協会試算	環境省調査
陸上	168,900MW*	300,000MW*
洋上（着床式）	93,830MW*	310,000MW*
洋上（浮体式）	519,490MW	1,300,000MW
合計	782,220MW	1,900,000MW

\*既開発分（約 2,000MW）を含んでいる。

出典：「風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく長期導入目標とロードマップの算定（Ver.2.1）」（2010、日本風力発電協会）、「平成 21 年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」（2010、環境省）

図表 3.17 JWPA による地域別風力発電ポテンシャル



出典: 「風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく長期導入目標とロードマップの算定 (Ver.2.1)」

## 3.1.3 導入目標量例

欧州、米国、日本における再生可能エネルギーおよび風力発電の導入目標量例を図表 3.18 に示す。各国において、意欲的な導入目標が設定されている。

図表 3.18 欧米諸国における再生可能エネルギー・風力発電の導入目標量例

	導入目標 等	
	再生可能エネルギー全体	風力発電
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>2007年に、2020年までにEU全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を20%とする戦略を決定。</li> <li>2009年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、上記目標達成のための国別目標値を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州再生可能エネルギー評議会は、左記指令の目標を達成するために必要な風力発電導入量を、2010年に176TWh、2020年には477TWhと試算。</li> <li>欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）において、2020年までにEUの電力消費量の20%を風力発電でまかなう目標を設定。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの州で、電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度（RPS）を策定。オバマ大統領は、2025年までに25%導入という連邦RPS制度を提案。</li> <li>オバマ大統領は「New Energy for America」で再生可能エネルギー由来の電力量割合を、2012年に12%、2025年に25%とする目標を発表。</li> </ul>	（※導入見通し） <ul style="list-style-type: none"> <li>2030年までに米国の全電力需要の20%を風力エネルギーでまかなう技術的可能性を検討。2030年時点の風力発電の設置容量および発電電力量をそれぞれ304.8GW、1200TWhとするシナリオを提示。</li> </ul>
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>「2030年のエネルギー需給展望」（総合資源エネルギー調査会 需給部会、2005）において、2010年の再生可能エネルギーの対一次エネルギー供給比を、3.0%に引き上げる目標を設置。</li> <li>「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（総合資源エネルギー調査会 需給部会、2009）において、2020年、2030年の新エネルギー導入見通しが示された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（左記）の最大導入ケースにおいて、2020年および2030年の風力発電導入量を、それぞれ5.0GW、6.7GWと試算。</li> <li>NEDOは、「風力発電ロードマップ検討結果報告書」（平成17年3月）において、2020年の導入目標を10GW、2030年を20GWと設定。</li> <li>日本風力発電協会は、平成20年と22年に公表したロードマップにおいて、2020年に8~12GW、2030年に13~28GWという高い導入目標を提案している。</li> </ul>
（参考） IEA <sup>11</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>主要な低炭素技術の開発および普及を世界的規模で推進することを目的に、各技術について、2050年までの技術ロードマップを策定。</li> </ul>	（※導入見通し） <ul style="list-style-type: none"> <li>将来のエネルギー技術展望（Energy Technology Roadmap）のBlue Mapシナリオにおいて、2050年までの累積で2,000GW、年間発電量は5,200TWh（世界の発電電力量の12%）に達すると予測。</li> </ul>

出典：“Technology Roadmap Wind energy”（2009, IEA）、Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC、“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020”（2008, EREC）、DSIRE ホームページ（<http://www.dsireusa.org/>）、“New Energy for America”（2009, Barack Obama and Joe Biden）、「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009, 経済産業省）

<sup>11</sup> 国際エネルギー機関（International Energy Agency）



## (1) 欧州

欧州における風力発電の導入目標量例を図表 3.19 に示す。

図表 3.19 欧州における導入目標量例

	2020 年	2030 年
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令	EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20%に引き上げる。	—
Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020 (EREC)	477TWh ※上記指令を達成するために必要な風力発電量	—
欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)	EU の電力消費量の 20%を風力発電でまかなう。	

出典：Directive 2009/28/EC (2009, EC)、“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020” (2008, EREC)、SET-Plan Technology Roadmap (2009, EC)

2007 年 3 月、欧州理事会は、EU の地球温暖化対策として 2020 年までに、EU 全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を 20%に引き上げることで合意した。これを受けて、「再生可能電力推進に関する指令」<sup>12</sup>と「バイオ燃料促進に関する指令」<sup>13</sup>を修正、廃止する新たな指令である「再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令」が策定され、本指令において加盟各国に法的拘束力のある数値目標が設定された（図表 3.20）。

欧州再生可能エネルギー評議会（European Renewable Energy Council : EREC）は、この目標を達成するために必要な再生可能エネルギーの種類毎の寄与度（発電量）を試算しており、2020 年には 477TWh が風力発電によって供給されると予測している（図表 3.21）。これは 2020 年時点の欧州の電力需要予測（3,914TWh<sup>14</sup>）の約 12%に相当する。

また、低炭素化社会実現に向けた技術開発戦略である「欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)」<sup>15</sup>において、2020 年までに EU の電力消費量の 20%を風力発電でまかなう目標が掲げられている。

<sup>12</sup> EU の全電力供給量に占める再生可能電力の割合を 2010 年までに EU 全体で 21% にするという目標を掲げ、加盟各国に目標（法的拘束力なし）を設定した指令。（Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market）

<sup>13</sup> 2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75%をバイオ燃料で代替する目標（法的拘束力なし）を設定した指令。（Directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport）

<sup>14</sup> “World Energy Outlook 2009”（IEA）

<sup>15</sup> 低炭素化社会の早期実現に向けて、EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発および普及を加速させることを目的とした EU の技術開発戦略。欧州産業イニシアティブ（European Industrial Initiatives : EII）として、低炭素化に資する 6 つの有望技術（風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂）に関するイニシアティブが設置されている。2009 年 7 月にはそれぞれの技術について技術ロードマップが提示され、2010 年 3 月に欧州理事会により承認された。

図表 3.20 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令における  
EU加盟国の2020年目標値

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合[%]			EU指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES”（2008, BMU）、Directive 2009/28/EC

図表 3.21 目標達成に必要な風力発電による発電量予測

	2006年	2010年	2020年
発電量 (TWh)	82	176	477

出典：“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020”（2008, EREC）

## (2) 米国

米国における風力発電の導入目標量例を図表 3.22 に示す。

図表 3.22 米国における導入目標量例

出典	2020 年	2030 年
RPS 法	州別 RPS 法により規定（図表 3.23、図表 3.24 参照）	
New Energy for America (オバマ大統領)	(2012 年) 再生可能エネルギー由来の電 力量割合：12%	(2025 年) 再生可能エネルギー由来の電 力量割合：25%
20% Wind Energy by 2030 (DOE)	—	(※導入見通し) 発電容量：304.8GW 発電量：1200TWh ※2030 年までに米国の全電力需要の 20%を風力でまかなう場合の必要量

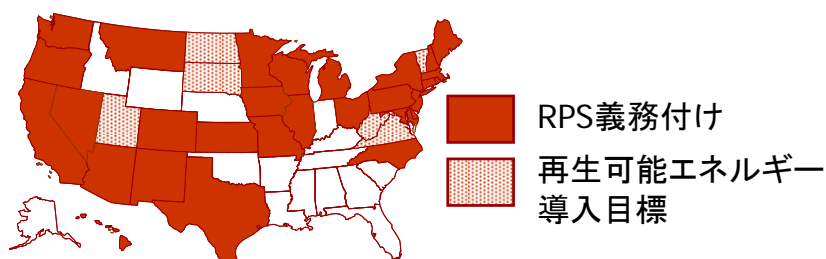
出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>)、「New Energy for America」(2009, Barack Obama and Joe Biden)、  
20% Wind Energy by 2030” (2008, DOE)

米国においては国全体としての導入目標値は掲げられていない。ただし米国では、29 の州政府と DC 政府<sup>16</sup>において電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーで賄うことを義務付ける RPS 制度を導入しており（図表 3.23、図表 3.24）、目標達成に向けて、風力をはじめとする再生可能エネルギーの導入が進んでいる。

また、オバマ大統領が掲げる「New Energy for America」計画では、電力消費量に占める再生可能エネルギー由来の電力量の割合を、2012 年までに 10%、2025 年までに 25%に引き上げる目標が掲げられている。

なお、米国エネルギー省（DOE<sup>17</sup>）は、2030 年までに米国の全電力需要の 20%を風力エネルギーでまかなう技術的可能性を検討した報告書（20% Wind Energy by 2030）を発表している。本報告書では、2030 年時点の風力発電の設置容量および発電電力量をそれぞれ 304.8GW の容量、1200TWh の発電量とするシナリオが示されており、このうち、洋上風力は 54GW（18%）になるとされている（図表 3.25）。

図表 3.23 州別の RPS 実施状況



出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

<sup>16</sup> 2010 年 3 月時点。

<sup>17</sup> 米国エネルギー省（Department of Energy）

3 風力発電の技術の現状とロードマップ

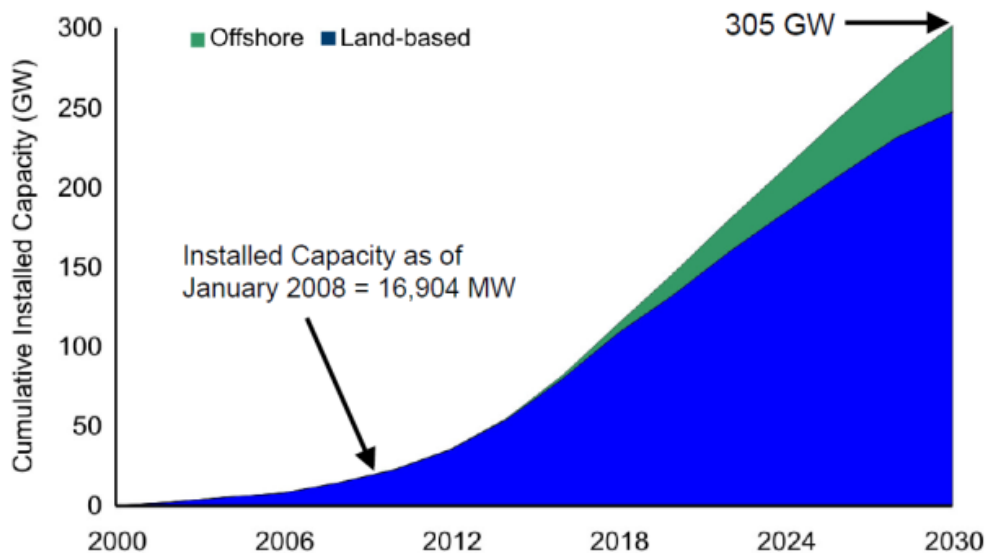
図表 3.24 各州のRPS目標値

州	目標	達成年	州	目標	達成年
カリフォルニア	20%	2010	カンザス	20%	2020
オハイオ	25%	2025	ウィスコンシン	10%	2015
イリノイ	25%	2025	テキサス	5,880MW	2015
ニューヨーク	24%	2013	ユタ (※)	20%	2025
ペンシルバニア	18%	2020	コロラド	20%(私営)、10%(公営)	2020
ニュージャージー	22.5%	2021	ニューメキシコ	20%(私営)、10%(公営)	2020
ミネソタ	25%	2025	ハワイ	40%	2030
バージニア (※)	15%	2025	ニューハンプシャー	23.8%	2025
ノースカロライナ	12.5%(私営) 10%(公営)	2021 2018	モンタナ	15%	2015
ワシントン	15%	2020	デラウェア	20%	2019
メリーランド	20%	2022	ワシントン D.C.	20%	2020
ミズーリ	15%	2021	メイン	40%	2017
オレゴン	25%(大規模事業者) 5%~10%(小規模事業者)	2025	ノースダコタ (※)	10%	2015
アリゾナ	15%	2025	ロードアイランド	16%	2020
ミシガン	10%+1,100MW	2015	バーモント (※)	20%	2017
ネバダ	25%	2025	サウスダコタ (※)	10%	2015
マサチューセッツ	15%	2020	アイオワ	105MW	-
コネチカット	23%	2020			

注：(※)は義務量ではなく、目標量を設定している州。なお、カリフォルニアは2020年までに33%の達成を目標としている。

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

図表 3.25 20% Wind Energy by 2030 における導入シナリオ (累積)



出典：“20% Wind Energy by 2030” (2008, DOE)

### (3) 日本

日本における風力発電の導入目標量例を図表 3.26 に示す。

図表 3.26 日本における導入目標量例

出典		導入目標量 [GW]	
		2020 年	2030 年
資源エネルギー庁	長期エネルギー需給見通し(再計算)(H21)	現状固定ケース・ 努力継続ケース (原油換算 164 万 kL)	6.1 (原油換算 243 万 kL)
		最大導入ケース (原油換算 200 万 kL)	6.7 (原油換算 269 万 kL)
NEDO	風力発電ロードマップ (H17)	10.0	20.0
JWPA (日本風力発電協会)	風力発電長期導入目標値と風力発電導入拡大への要望 (H20)	リファレンス案	13.0
		オルタナティブ案	21.0
		ビジョン案	28.0
	風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく長期導入目標とロードマップの算定 (H22)	11.3	26.9

#### <長期エネルギー需給見通し>

**現状固定ケース**：現状（2005 年度）を基準とし、今後新たなエネルギー技術が導入されず、機器の効率が一定のまま推移した場合を想定。耐用年数に応じて古い機器が現状（2005 年度）レベルの機器に入れ替わる効果のみを反映したケース。

**努力継続ケース**：これまで効率改善に取り組んできた機器・設備について、既存技術の延長線上で今後とも継続して効率改善の努力を行い、耐用年数を迎える機器と順次入れ替えていく効果を反映したケース。

**最大導入ケース**：実用段階にある最先端の技術で、高コストではあるが、省エネ性能の格段の向上が見込まれる機器・設備について、国民や企業に対して更新を法的に強制する一歩手前のギリギリの政策を講じ最大限普及させることにより劇的な改善を実現するケース。

#### <風力発電長期導入目標値と風力発電導入拡大への要望>

**リファレンス案**：現状の成長曲線維持（年間需要電力量の約 3% 供給）

**オルタナティブ案**：年間需要電力量の約 5% 供給

**ビジョン案**：年間需要電力量の約 10% 供給

注：各機関が試算した導入目標量には隔たりがあるが、その理由として前提条件の違いがあることに留意する必要がある。例えば、風車サイズを、長期エネルギー需給見通しでは 1,000kW、NEDO では陸上 1,000kW、洋上 1,260kW、JWPA では陸上・洋上とも 2,000kW と想定している。他にも設置場所について、長期エネルギー需給見通しでは陸上のみであること、JWPA の試算は自然公園を設置場所に含めていることなどが、各機関による導入目標量の違いに現れている。

注：JWPA は、目標値に対して、プラスに働く要因、マイナスに働く要因があることに言及した上で、目標達成は可能との見解を示している。ここで、年間平均風速が高い地点を重点的に選定すること、洋上風力は陸上風力以上に好風況地域へ建設することなどは設備利用率を高めるプラスの要因、電力系統運用面から必要となる風力発電所の最大出力制限運転や出力上昇率制限運転により実質的な設備利用率が低下すること、電力系統運用面から必要となる蓄電設備（揚水発電所、蓄電池など）による電力損失が発生するなどはマイナスの要因としている。

出典：「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009、総合資源エネルギー調査会）、「風力発電利用率向上調査委員会の風力発電ロードマップ検討結果報告書」（2005、NEDO）、「風力発電長期導入目標値と風力発電導入拡大への要望」（2008、JWPA）、「風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく長期導入目標とロードマップの算定（Ver1.1）」（2010、JWPA）

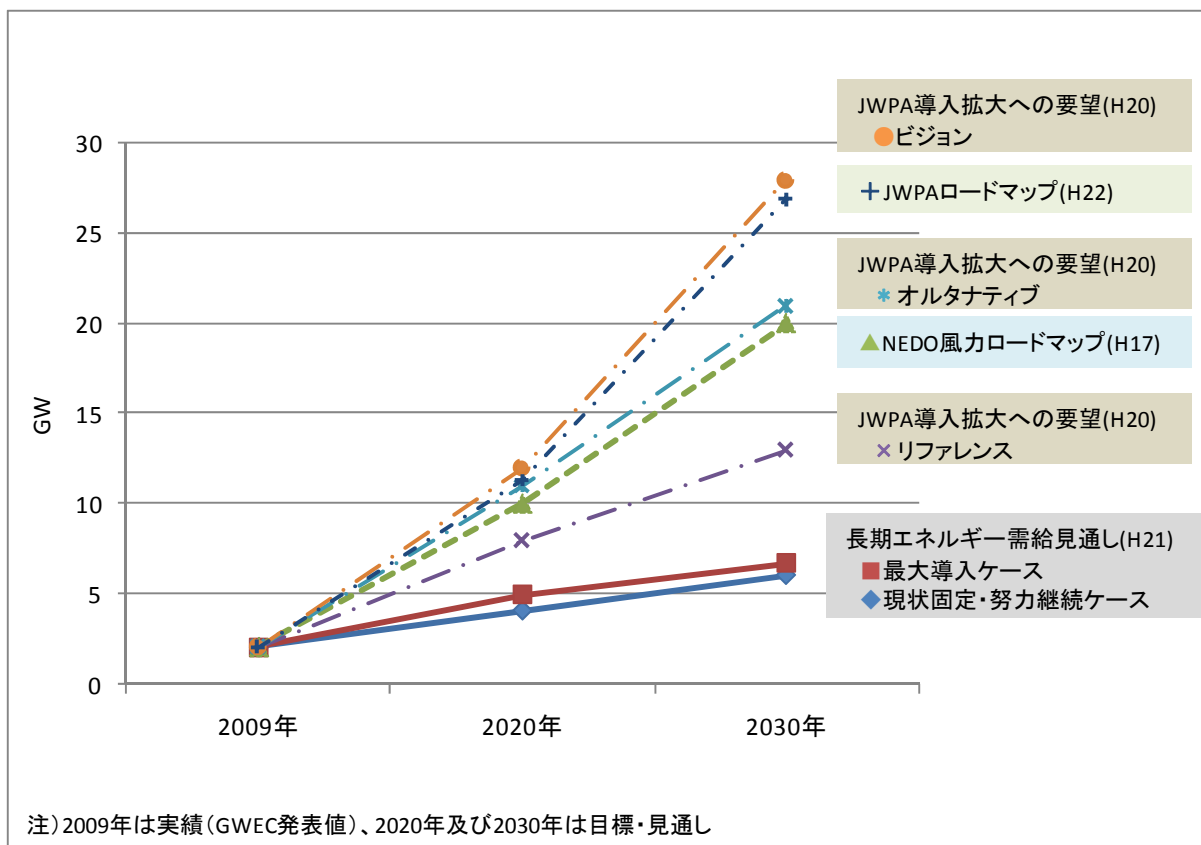
### 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

日本における中長期の見通しとしては、「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009年8月）で2020年、2030年におけるエネルギー需給の姿が描かれている。その中で風力発電の導入量は、最大導入ケースの場合、2020年には5.0GW（2005年比約5倍）に、2030年には6.7GW（2005年比約7倍）になると見込まれている。

NEDOは、「風力発電利用率向上調査委員会の風力発電ロードマップ検討結果報告書」（2005年3月）において、2020年の導入目標を10GW、2030年を20GWとしている。2020年の陸上風力は導入実績に基づいて推定した6.2GW、洋上風力は着床式1.2GWおよび浮体式2.6GWで、この時点までに系統安定化対策の技術開発が終了していることが要件となっている。2030年は、陸上は低風速風車が0.8GW導入と仮定して7.0GW、洋上は着床式が3.0GW、浮体式が10GWに増加するという内訳である。

また、JWPAは、2008年と2010年に公表したロードマップにおいて、2020年に8~12GW、2030年に13~28GWという、上記と比較して高い導入目標を提案している。

図表 3.27 風力発電の導入目標量例の比較

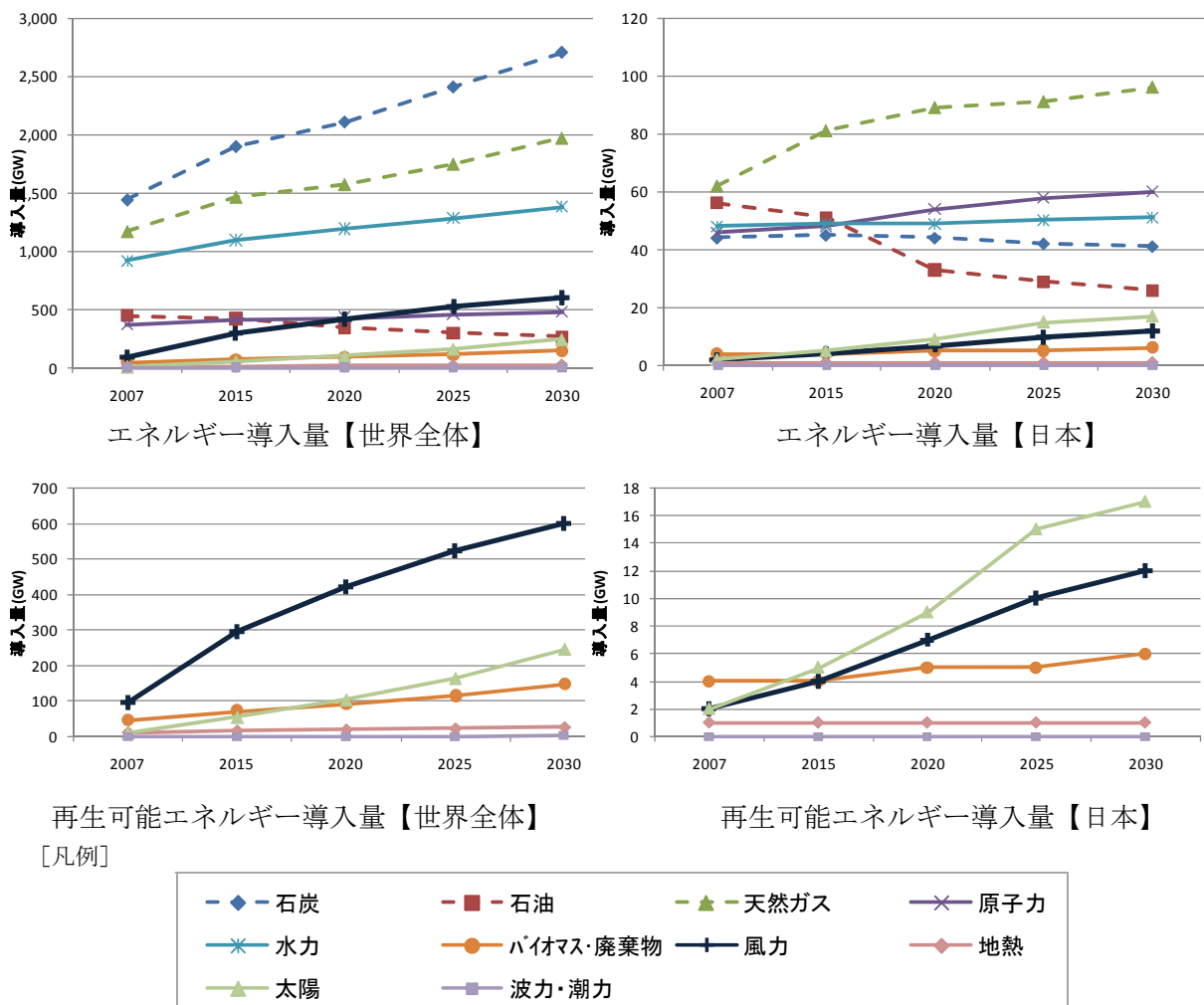


出典：「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009，総合資源エネルギー調査会）、「風力発電利用率向上調査委員会の風力発電ロードマップ検討結果報告書」（2005，NEDO）、「風力発電長期導入目標値と風力発電導入拡大への要望」（2008，JWPA）、「風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく長期導入目標とロードマップの算定（Ver1.1）」（2010，JWPA）、「Global Wind 2009 Report」（2010，GWEC）より作成

(参考) World Energy Outlook 2009 における世界と日本の導入見通し

IEA から出されている“World Energy Outlook 2009”では、2030年までの世界全体と日本の各エネルギーの導入実績について、それぞれ下図表のように見通されている。世界全体では、風力発電は水力以外の再生可能エネルギーの中で常にトップの位置にあり、2020年以降は原子力をも上回ると予測されている。一方日本においては、2015年以降太陽光発電導入量が大幅に増加し、風力との差は開いていくと予測されている。これは2009年末から開始された太陽光発電の固定価格買取制度<sup>18</sup>を考慮した結果となっている。

図表 日本と世界のエネルギー導入見通し



注：2007年は実績値、2015年以降は予測値

出典：“World Energy Outlook 2009” (IEA)より作成

<sup>18</sup> 太陽光発電設備による余剰電力を、住宅用（10kW未満）については現在の電力料金の2倍程度の価格（48円/kWh）で10年間買い取ることを電気事業者に義務化したもので、追加コストは電力消費者全員で負担することとなる。日本版FITとも呼ばれる。

### 3.1.4 導入実績

#### (1) 世界

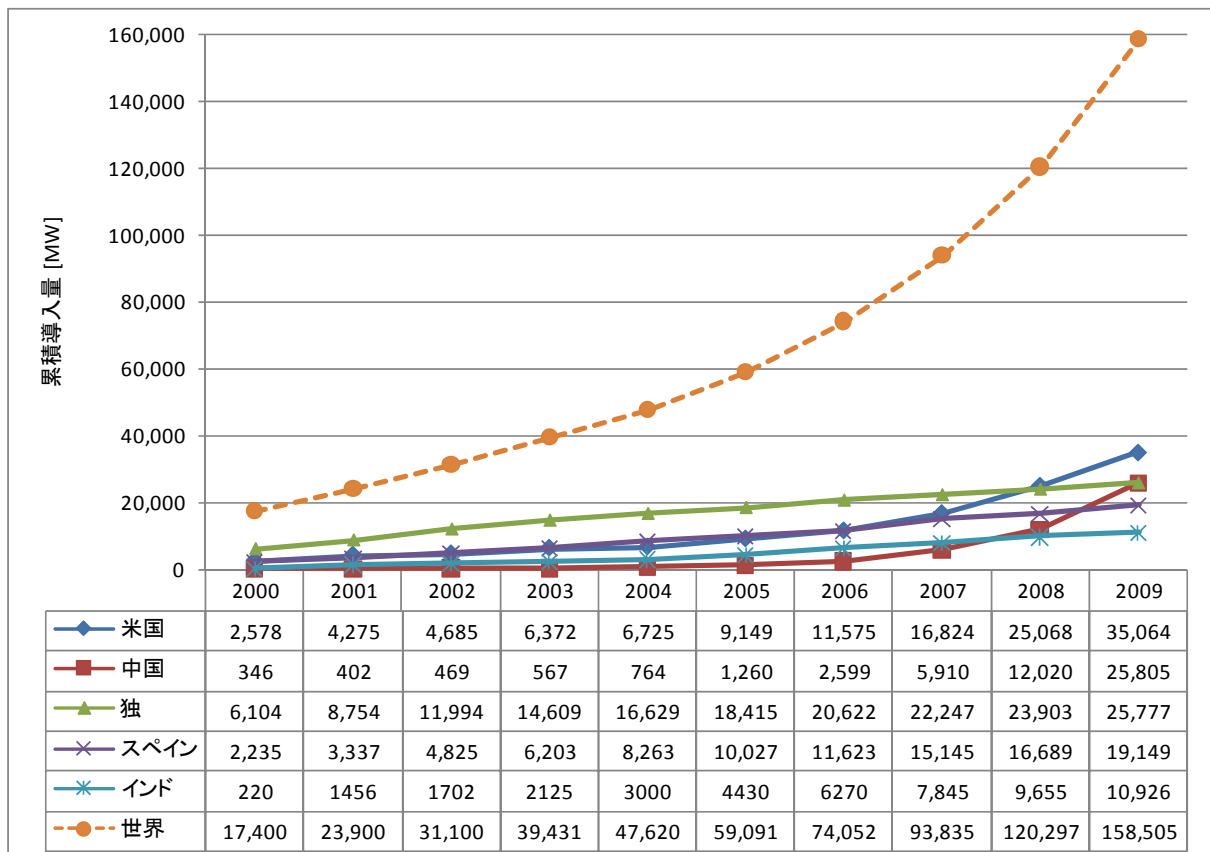
世界の風力発電累積導入量の推移を図表 3.28 に示す。過去 10 年間、堅調な伸びを見せており、2009 年末までの累積で 158.5GW（前年比 32%増）に達した。

主要国における風力発電の累積導入量（2009 年時点）を図表 3.29 に示す。順調に導入量を伸ばしている米国が前年に引き続きトップに位置している。米国では 2005 年以降、風力発電が全電源の新設容量に占めるシェアは、天然ガスに次いで 2 番目に大きい。2009 年は、風力発電の割合が全新設容量のうち 39%となっている（図表 3.30）。

また、注目すべきは中国の台頭である。2009 年の世界全体の new 設容量 38.3GW のうち、約 1/3 は中国（13.8GW）が占める結果となった。中国は累積発電容量が 2008 年からほぼ倍増しており、累積設備容量でドイツを僅差で抜き世界 2 位に躍進した。

日本の風力発電導入量は、2007 年以降世界の 13 位であり、設備容量も世界の 1.3%に留まっている。米国、中国、日本 3 国の最近 5 年の風力発電累積導入量と対前年伸び率の推移を図表 3.31 に示す。

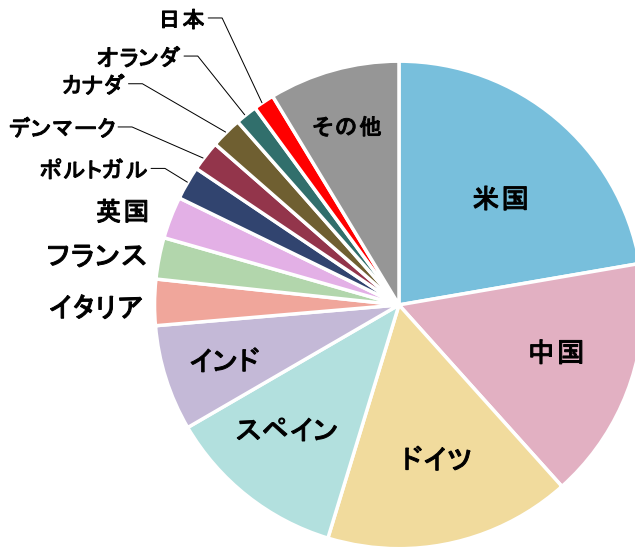
図表 3.28 世界および主要国における風力発電累積導入量の推移



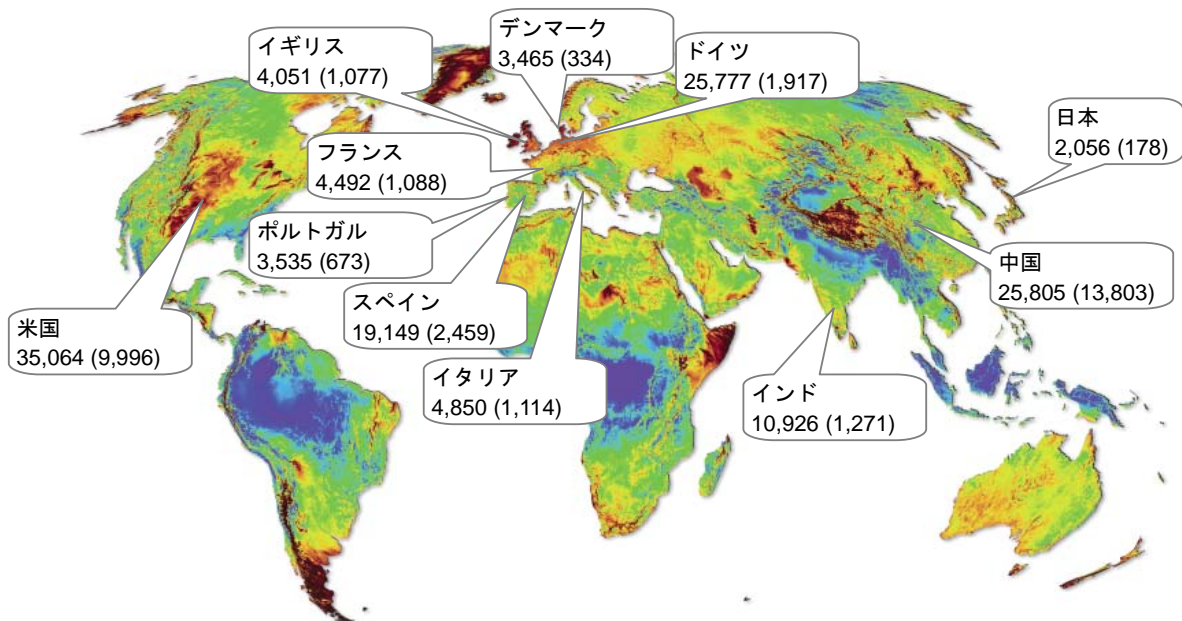
出典：“Global Wind 2009 Report”（2010 年 4 月, GWEC）、“Status der Windenergienutzung in Deutschland - Stand 31.12.2009”（DEWI GmbH）より作成



図表 3.29 主要国における風力発電累積導入量 (MW、2009 年時点)



	MW	%
米国	35,064	22.1%
中国	25,805	16.3%
ドイツ	25,777	16.3%
スペイン	19,149	12.1%
インド	10,926	6.9%
イタリア	4,850	3.1%
フランス	4,492	2.8%
英国	4,051	2.6%
ポルトガル	3,535	2.2%
デンマーク	3,465	2.2%
カナダ	3,319	2.1%
オランダ	2,229	1.4%
日本	2,056	1.3%
その他	13,787	8.7%
合計	158,505	-

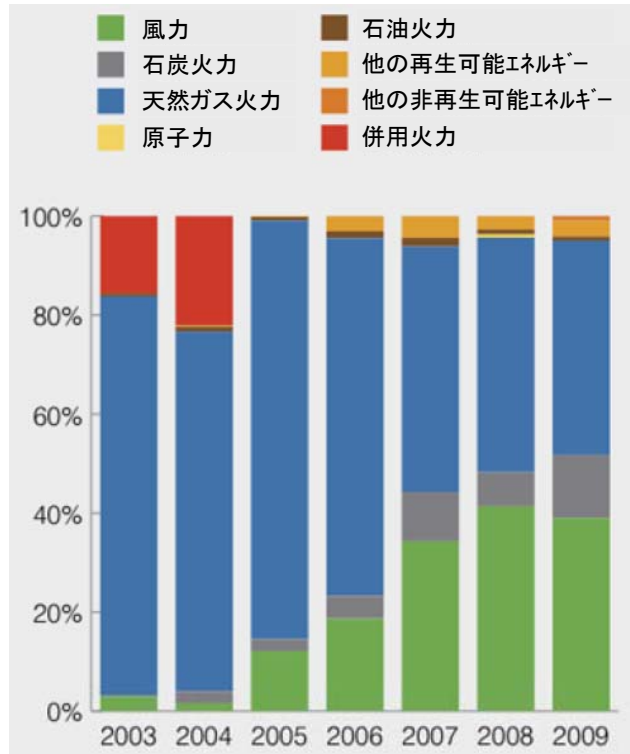


※2009 年末累積導入量 (括弧内は 2009 年新設容量)

出典：3TIER ホームページ (<http://www.3tier.com/en/support/resource-maps/>)、  
 “Global Wind 2009 Report” (2010, GWEC) より作成

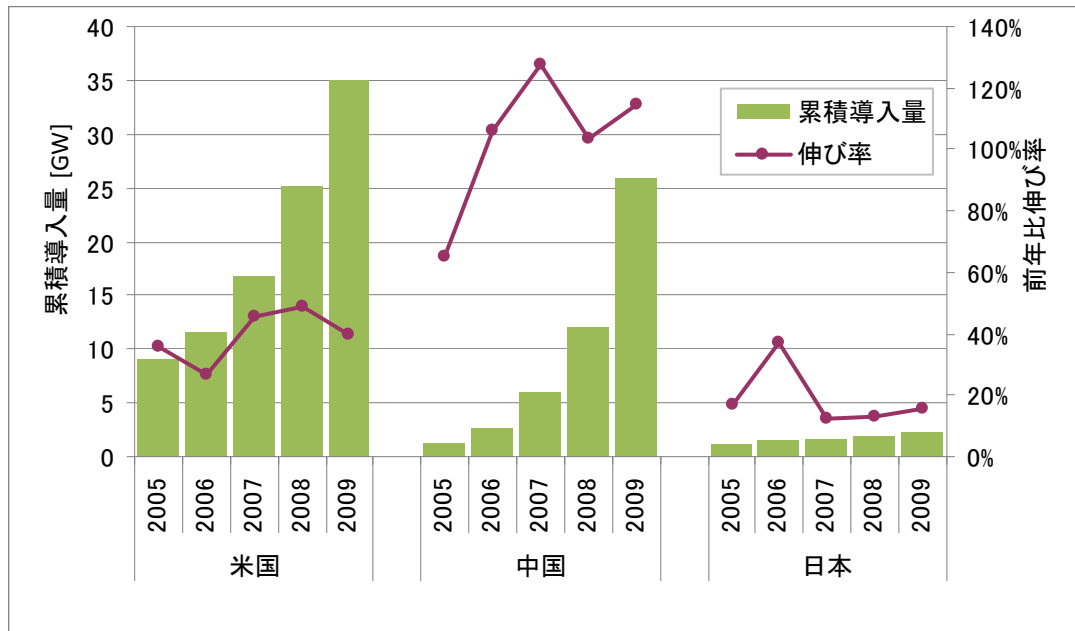
3 風力発電の技術の現状とロードマップ

図表 3.30 米国における新設容量の電源内訳推移



出典：“U.S. Wind Industry Annual Market Report – Year Ending 2009” (2010, American Wind Energy Association)

図表 3.31 日本と主要国の風力発電導入推移 (累積)



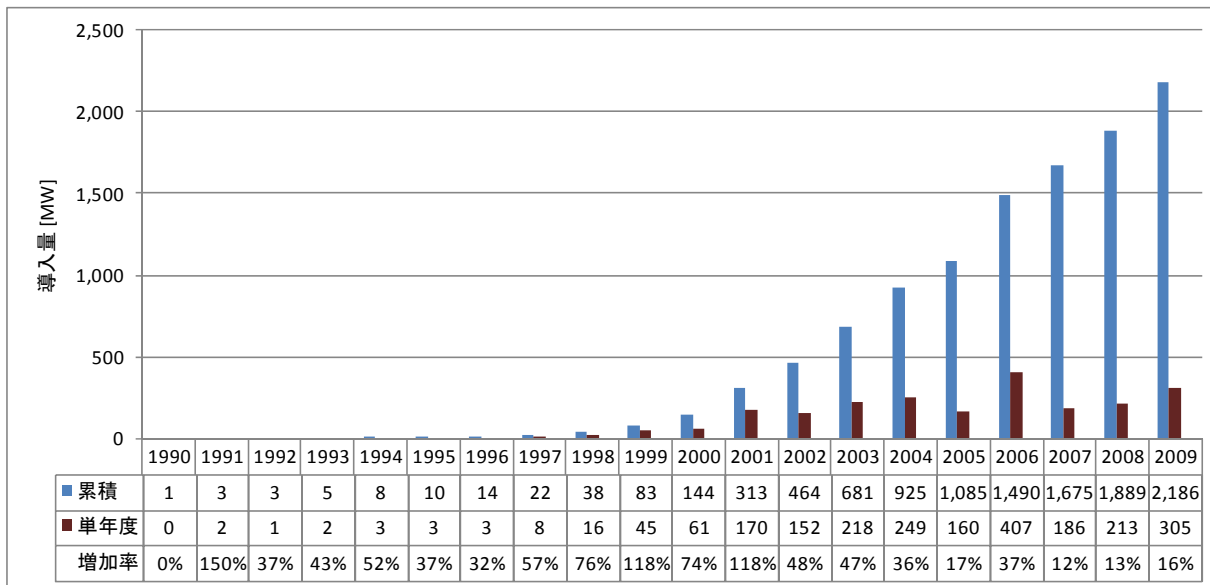
出典：“Global Wind 2009 Report” (2010, GWEC)、NEDO 資料より作成

## (2) 日本

日本の風力発電累積導入量の推移を図表 3.32 に示す。日本における風力発電は 1990 年代後半から急速に導入が進み、2009 年までの 10 年間で累積導入量は 20 倍以上に増加し、2009 年度で累積容量 2,186MW に達した<sup>19</sup>。しかしながら、近年成長率は伸び悩んでおり、2007～2009 年は 10%台で推移している。国内における海外機・国産機別導入割合（基数）の推移を図表 3.33 に示す。国産機の導入割合は 2002 年を底に、少しずつ増加する傾向にある。

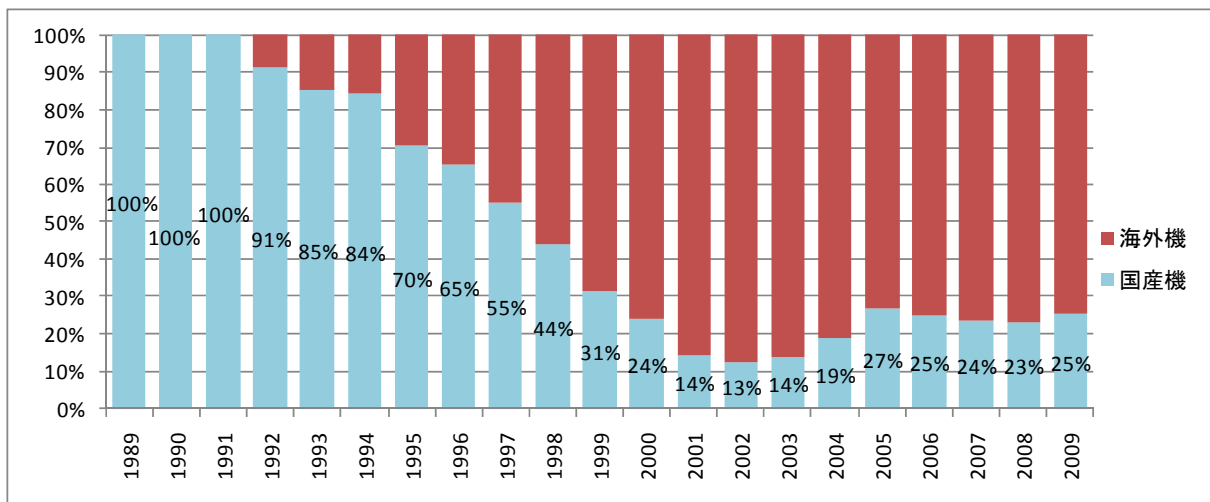
「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(1997 年、最終改正 2009 年)」に基づく 2010 年度の風力発電の導入目標は約 3,000MW であるが、現状ではこれを達成できる見込みは小さい。

図表 3.32 日本における風力発電導入量の推移



出典：NEDO 資料より作成

図表 3.33 国内における海外機・国産機別導入割合（累積基数）の推移



出典：NEDO 資料より作成

<sup>19</sup> NEDO 資料より。

### 3.1.5 技術開発動向

#### (1) 主要な技術開発課題とこれまでの動向

風車の技術開発は、1970年代のオイルショック以降、米欧にて本格的に開始され、やや遅れて日本もスタートした。風車本体の基礎的研究開発に始まり、発電コストの低減を大きな目的として、主に「大型化」「高性能化・高耐久化」に係る技術開発が進められてきた。現在、発電コストは10円/kWh前後<sup>20</sup>まで下がり、世界的に導入普及フェーズに入っている。

しかしながら、陸上における適地の減少から、今後設置コストや発電コストが上昇する可能性もあり<sup>21</sup>、さらなる低コスト化に向けて、超大型風車や洋上風車（着床式・浮体式）、低風速風車に係る技術開発が行われている。また、発電容量の増大に伴い、風力発電の系統連系に関する技術開発が必要となっている他、プロジェクトの採算性を確保する観点から、風況・発電量予測技術の高度化も重要課題となっている。加えて、周辺環境への影響の低減も重要である。

以下、主要な技術開発項目について、風車開発の初期段階から近年までの技術開発動向を概観する<sup>22</sup>。

#### 1) 風車設計に係る基礎研究・評価研究

大気物理学、構造力学、ロータ空気力学等の基礎研究は、風車の大型化、高効率化、高耐久化等、性能向上の追及に必要不可欠であり、各国において技術開発早期から取り組まれてきた。EUでは、風力発電に係る研究・開発活動は1984年以降、欧州フレームワーク計画（FP）<sup>23</sup>の中で実施され、FP1（1984～1988年）およびFP2（1988～1992年）を中心に、風車後流（ウエイク）や乱流に関する調査・研究およびモデリング、空力弾性計算・風車音計算・風車設計応答計算コードの研究・開発が進められた。また、現在はCOST(European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research)と呼ばれるEU内多国間研究アクションで年間100千ユーロを投じ基礎的な研究を実施している。この中では、風力発電に関する基礎研究、特にフィールド試験、CFD（Computational Fluid Dynamics：数値流体力学）をはじめとするシミュレーション技術、そして風洞試験といった研究プロジェクトが実施されている。日本においてもサンシャイン計画のもと、風力発電に係る基礎研究として、1978年より風車基礎理論の研究（試験研究・概念実証）、CFD技術の開発が行われている。

#### 2) 風況・ポテンシャル調査

風車の導入適地を選定するため、風況・ポテンシャルの把握は重要であり、基礎研究と同様に、各国において早期から風況観測、風況予測技術の開発、風況マップの整備がなされてきた。また、日本においては、1983～1989年にかけてNEDOにおいて全国926ヶ所の気象観測所と新規38ヶ所で観測された風況データを基に観測地点の年平均風速と地形因子との関係を検討して風速予測式を作成し、それを用いて約1kmメッシュの全国風況マップが作成された。さらに、1999～2002年にかけて同じくNEDOにより局所的風況予測モデルLAWEPS（Local Area Wind

<sup>20</sup> 3.1.6節参照。

<sup>21</sup> 日本では設置コスト上昇傾向が見られる。3.1.6節参照。

<sup>22</sup> 本節は主に「風力発電に関する次世代技術の調査」（2007, NEDO）をもとに取りまとめている。

<sup>23</sup> 欧州フレームワーク計画（FP）とは、欧州連合（EU）における科学分野の研究開発への財政的支援制度。一期を5年とし、1984年のFP1から始まり、現在はFP7（2007～2013）が実施されている。

Energy Prediction System) が開発され、新たに 500m メッシュの局所風況マップ (図表 3.14 参照) が整備されている。

しかしながら、モデル予測精度には改善の余地も大きい。プロジェクトの採算性予測に大きく影響するため、風況予測技術の高精度化は重要な技術開発課題である。特に山岳地帯の多い日本の場合、複雑地形における風況観測・風況予測モデルの開発が重要課題となっている。NEDO では、2008 年から 2012 年までの計画で、我が国特有の外部条件に適した風車設計を容易に行えるよう基礎・応用研究を行うとともに、高高度での風況観測を容易にするため、リモートセンシング技術の確立に取り組んでいる。

モデル予測精度の向上は、欧州の FP7 においても重点開発項目の 1 つに挙げられており、複雑な風況における発電量予測ツールの精度向上を目的とした、SAFEWIND プロジェクトが実施されている。本プロジェクトには 20 の関連団体が参画しており、プロジェクト費用は 5.5 百万ユーロ、うち 4 百万ユーロを EU が支援している。プロジェクトの遂行期間は 2008 年 9 月～2012 年 8 月の予定である。

### 3) 風車の大型化、超大型風車

風力発電のエネルギー変換効率は 40% を超えて太陽光発電よりはるかに高いが、エネルギー密度は風速 8m/s で約 0.3kW/m<sup>2</sup> と低いため、単機出力を増大させるためには風車の外形は大型化せざるを得ない。従って、実用風車発電装置の開発の歴史は大型化の歴史であるともいえる<sup>24</sup>。

水平軸と垂直軸<sup>25</sup>それぞれについて研究開発が行われ、前者は主に日・欧を中心に、後者は主に北米を中心に開発が進められた。1970 年代後半から 80 年代前半にかけて、カナダおよびアメリカにおいて、垂直軸ダリウス型風車の開発が行われたが、1990 年代以降現在に至るまで、大型風車はすべて 3 枚翼または 2 枚翼の水平軸プロペラ型風車になっている<sup>24</sup>。

図表 3.34 に、主な商用および試験用風車の大型化の歴史を示す。約 20 年間に及ぶ現代風力発電技術の進歩に伴い、特に 1990 年代になって数多くの商用機が生まれ着実に成果がみられ始めている。近年ではドイツにおいて、5MW 風車を用いた洋上ウィンドファーム (alpha ventus、P125 参照) の商用運転を開始しており、スケールメリットを指向する大型風車の時代となっている。特に洋上風力は、陸上風力より設置コストがかかるため、1 基あたりの発電量の増加が採算性確保に必要であること、また船があればどこへでも機材の運搬は可能なことから、大型化が重要課題となっている。

現在、さらなる大型化を目指し、欧米において超大型風力発電機の開発プロジェクトが進行している。EU では FP6 (2002～2006) において、陸上・洋上双方における 8～10MW の風力発電機の開発を目的とした UPWIND プロジェクトが 2006 年 3 月から開始されている (図表 3.35 参照)。UPWIND プロジェクトでは、大型風車のドライブトレインおよび制御システムの改善、タービンの大きさと設置コストの最適化、軽量で信頼性の高い高効率なブレードの開発等を行っている。また、米国では Clipper Windpower が、DOE から 44 億円の技術開発支援を受け 10MW

<sup>24</sup> 牛山泉「大型風力発電機開発の技術史的考察」(太陽エネルギー VOL34 NO.6 2008, 日本太陽エネルギー学会)

<sup>25</sup> 3.1.1 節参照。

## 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

風車の実証試験を進めている<sup>26</sup>。

欧米では試験設備の設置も進められている。米国 DOE は、これまで欧州でしか試験ができなかった 50m クラスのブレードの試験設備の建設をマサチューセッツ州で推進している。設備の完成は 2010 年末の予定である。三菱重工業は、英国政府の補助金を受けて、英国内に研究施設を建設するとともに、5～7MW 級の洋上風力発電機の製作・実証試験を実施することを 2010 年 2 月発表している。

日本ではこれまで NEDO により、100kW 級パイロットプラントの開発(1981～1986 年)、500kW 級風車の開発・運転研究(1985～1998 年)などが行われてきた。その後、風力発電機大手メーカー各社が立て続けに 2,000kW クラスの風車を開発し、現在に至る。現状では、これを越えるクラスの風車開発に関する国プロジェクトは立ち上がっていない。世界的に超大型化に進む流れにある中、日本においても技術的可能性の検証を含め、取組みを開始する必要がある。

図表 3.34 主な商用および試験用風車の大型化の歴史

年	欧州	北米	アジア
1979	• 630kW 試験機 (Nibe A, DK)	• 2MW 試験機 (Mod-1, DOE)	
1980	• 630kW 試験機 (Nibe B, DK)		
1981	• グラスファイバー製ブレードの自社生産 (V)	• 2.5MW teetered-hub 試験機 (Mod-2, DOE)	• NEDO100kW 級試験機 (－, NEDO/IHI)
1982	• 3MW down-wind 試験機 (Growian, DK)	• 4MW 試験機 (－, WTS-4)	• 300kW ピッチコントロール機 (MWT-300, MHI)
1985	• 1MW 試験機 (NEWECs 45, NL) • 200kW ピッチコントロール機 (V17, V)		
1986	• 2MW 試験機 (@Tjaereborg, Risoe)	• 4MW-VAWT 試験機 (EOLE, CAN)	
1987	• 3MW 試験機 teetered-hub (WEG LS-1, UK)		
1991	• ギアレス同期試験機 (E)		
1993	• 500kW ギアレス同期機 (E-40, E)		
1995	• 個別ピッチコントロールおよび落雷保護ブレード (－, V) • 1.5MW ギアレス同期機 (E-66, E) • 1MW 機 (N54, N) • 1MW 機 (NW1000/60, NM)		
1996			• 450kW 機 (MWT-450, MHI)
1997	• 660kW 機 (V47, V) • 1.65MW 機 (V66, V)		
1998	• 1.5MW ギアレス同期機 (E-66, E)		• NEDO500kW 機 (NEDO/MHI)
1999	• 2MW 機 (V80, V)		• 600kW 機 (MWT-600, MHI) • 1MW 機 (MWT-1000, MHI) • 600kW 機 (－, GW)
2000	• 2.5MW 機 (N80, N)		
2001		• 1.5MW 機 (GE1.5, GE)	• 300kW 機 (N3330, S)
2002	• 3.0MW 試験機 (V90, V) • 4.5MW ギアレス同期試験機 (E-112, E)		• 1MW 機 (MWT-1000A, MHI)
2003		• 2.5MW 機 (GE2.5, GE)	• 2MW 可変速ギアレス同期機 (MWT-S2000, MHI) • NEDO-100kW 試験機

<sup>26</sup> Clipper Windpower ホームページ ([http://www.clipperwind.com/pr\\_091609.html](http://www.clipperwind.com/pr_091609.html))

年	欧州	北米	アジア
			(-, NEDO/FHI)
2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5M 1stage ギア同期機 (M5000, P)</li> <li>• 4.5MW 機 (E112, E)</li> <li>• 2MW ギアレス機 (E70, E)</li> <li>• 1.5MW WECFR 翼機 (NM82/1500, NM)</li> <li>• 5MW 1stage-ギア同期機 (M5000, PN)</li> </ul>		
2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.5MW 機 (N90, N)</li> <li>• 5MW 試験機 (5M, R)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.6MW 機 (GE3.6, GE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2MW 機 (Subaru80/20, FHI)</li> <li>• 2.1MW 機 (S-88, S)</li> </ul>
2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5M 機 (5M, R)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.5MW multi-generator 機 (Liberty, CW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2MW 機 (J82-2.0, JSW)</li> <li>• 2.4MW 機 (MWT92/2.4, MHI)</li> </ul>
2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6MW 機 (E126, E)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.5MW Direct drive 機 (70, 77, GW/Vensys(Germany))</li> </ul>
2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.6MW 試験機 (-, Siemens)</li> </ul>		
2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.8MW 低風速機 (V100, V)</li> <li>• 3.0MW 低風速機 (V112, V)</li> <li>• 4.5MW 試験機 (G10X, G)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10MW 機 (洋上風力用開発開始, CW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.5MW Direct drive 機 (PMG, GW)</li> <li>• 3MW 機洋上用 (-, SI)</li> </ul>

注) 表中の括弧内の記述は (型名, 会社省略記号)。会社省略記号の意味は以下のとおり。

CW : Clipper Windpower (USA/UK), E : Enercon (D), FHI : 富士重工業, G : Gamesa (SP),  
GE : General Electric (USA/D), GW : Goldwind (China), IHI : IHI, JSW : 日本製鋼所, MHI : 三菱重工業,  
N : NORDEX (DK), NM : NEG Micon (DK), P : PROKON Nord/Multibrid (DK), R : Repower (DK), S : Suzlon,  
SI : Sinovel (China), V : Vestas (DK),

CAN : Canada, DOE : US Department of Energy, WECFR : Wood and Epoxy with Carbon Fibre Reinforcement

出典 : 「風力発電に関する次世代技術課題の調査」(2007, NEDO)、NEDO 海外レポート No.1062 (2010年4月)、  
各メーカーホームページ等より作成

以下、風車本体に関連する技術課題であるブレード、ドライブトレインに関する動向を示す。

風車の大型化が進む中、ブレードの軽量化と費用削減は重要な課題である。軽量化には炭素繊維強化プラスチック (CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastics) の多用が有効であるが、経済性を考慮すると、炭素繊維の低コスト化や新素材の開発が必要と考えられる。炭素繊維は日本が世界をリードしている分野であるため、東レ、東邦テナックス、三菱レイヨンなどの炭素繊維を取り扱う素材メーカーの風力産業への参入が期待される。

風車は風の乱れやロータの回転により荷重を受ける。その疲労予測精度の改善に向け、サイト固有の変動風の把握が必要であり、特に洋上では波力等からの影響も加わるため、支持構造との連成解析が不可欠となる。また、我が国特有の台風や津波の影響を考慮すると、外部条件に対する標準を確立すること、及び極地外部条件の計測が必要と考えられる。

ドライブトレインとは、風力発電機に採用されている発電及び運転方式のことである。風車の大型化が進む中、コストミニマムなドライブトレインの形式は定まっていない。以前はかご型誘導発電機の低速運転や巻線型誘導発電機の可変速運転が主流であったが、現在は可変速運転による二次巻線型誘導発電機+部分容量インバータ、又は多極式同期発電機+全量インバータが主流となっている。

系統側は電圧低下時の運転継続対応等に優れた形式を求めため、理論的には同期発電機が有望である。一方、コストの面からは二次巻線型誘導発電機が有望であり、ウィンドファーム内の各種形式のベストミックスを探りコストダウンを目指すことが技術課題と考えられる。

#### 4) 洋上風力発電

発電導入量の拡大に伴い陸上の適地が減少してきたこと、また洋上は強くて安定した風が吹くことなどから、洋上風力への関心が高まり、欧州を中心に技術開発が進められてきた。現在設置されている洋上風力のほとんどが欧州に存在している。

欧州では、FP2 (1988～1992) から洋上風力に係る基礎調査が開始され、FP4 (1994～1998 年) から技術開発が本格化し、FP4 から FP5 (1998～2002) にかけて、風車形状、ポテンシャル予測手法、低コスト化、高耐久化、運用・管理手法等に関する技術開発、および実機を用いた実証試験が行われた。FP6 (2002～2006)、FP7 (2007～2013) では、主に図表 3.35 に示す研究開発が実施されている。

図表 3.35 FP6・FP7における主要な洋上風力関連プロジェクト

	プロジェクト名	概要	期間
FP6	UPWIND	陸上・洋上双方における 8～10MW の超大型風力発電機の開発、洋上風力発電機の基礎部分・支持構造の開発	2006/3/1～ 2011/2/28
	DOWNVIND	深水沿岸地域における洋上ウインドファームの環境影響、設計、費用対効果、運営・管理手法等の実証	2004/9/14～ 2009/9/14
	POW'WOW	マルチメガワット級の洋上発電設備導入のための出力評価・予測	2005/10/1～ 2008/9/30
FP7	MARINA PLATFORM	洋上風力発電のコスト競争力の向上を目的とした海洋エネルギー利用技術（波力発電等）との複合利用に係る研究開発	2010/1/1～ 2014/6/30
	RELIA WIND	洋上風力のメンテナンス費の削減、信頼性の向上を目的とした風力発電機のデザインの最適化に係る研究開発	2008/3/15～ 2011/3/14

また、民間ベースでは、ノルウェーの StatoilHydro 社とドイツの Siemens 社が、浮体式洋上風力発電 (2.3MW 機) の実証 (Hywind プロジェクト) を 2009 年よりノルウェーのカルモイ沖 12km で実施している (図表 3.36)。これは世界初の 2MW 級浮体式洋上風力のフルスケール実証試験である。

図表 3.36 Hywind プロジェクト



出典：Siemens ホームページ (<http://www.siemens.com/entry/cc/en/>)



米国でも、DOE の Wind & Water Power Program において、洋上風力発電を重要課題の 1 つに挙げ、洋上用風力発電機、ポテンシャル調査、標準化・安全性認定基準の策定、環境影響・健康影響評価等について、技術開発を進めている。

2010 年 5 月には、米国で初めてとなる洋上風力開発プロジェクト（Cape Wind project）が、内務省により認可された。総出力は 468MW（3.6MW 風車 130 基）で、2012 年に系統に連系される予定である（図表 3.37）。他にも、五大湖の一つエリー湖で淡水湖の洋上風力発電所開発の動きがあり、米国においても洋上風力発電の導入が加速する可能性がある。

図表 3.37 Cape Wind プロジェクトイメージ図



出典：Renewable Energy Focus ホームページ (<http://www.renewableenergyfocus.com/>)

中国では、新たなエネルギー資源の開発を目的として、陸上に加えて、洋上風力発電開発を進めている。2007 年には、アジアで初となる海上風力発電モデルプロジェクト「東海大橋洋上風力発電プロジェクト」の入札を実施した。その後、2010 年 2 月には全発電機の組み立てが完了し、6 月 8 日には試運転を開始している。本プロジェクトでは発電容量 3MW の風力発電機が 34 基設置されており、総発電容量は 10.2 万 kW、年間設備利用時間は 2624 時間、年間送電量は 2.67 億 kWh である。

図表 3.38 東海大橋洋上ウィンドファーム（中国・上海）



出典：Anhui Hummer Dynamo Co., Ltd. ホームページ  
(<http://www.allwindenergy.com/hummer/post/shanghai-east-wind-turbines.htm>)

日本においても、1990 年代後半から洋上風力発電に関する調査・研究開発が開始され、「日本における洋上風力発電の導入可能性調査」（1998）、「離島地域等における洋上風力発電システム技術開発課題および今後の方向性に関する調査」（2000）、「洋上風力発電導入のための技術的

## 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

課題に関する調査」(2006)などが実施されてきた。現在、北海道久遠郡せたな町、山形県酒田市、茨城県神栖市の3カ所で着床式洋上風力発電が設置されているが、実績では欧州に大きく遅れを取っている。

2010年6月からは、NEDOにより「洋上風力発電システム実証研究」が実施される。日本の自然環境に適した洋上風力発電技術の確立のため、千葉県銚子市の南沖合約3kmの洋上に着床式の洋上風車を設置し、東京電力への委託により実証研究が行われる。日本の自然環境に適した洋上風力発電設備の開発、洋上風力発電設備の運転保守方法の確立、環境影響調査、洋上風力発電設備の設計指針案の作成等が予定されており、その成果が期待される(P123参照)。

浮体式洋上風力発電の研究については、2001年度から複数の機関で実施されてきた(図表3.39)。2009年、京都大学・佐世保重工等が2MWクラスの風車をspar-buoy型の浮体に搭載する想定で、10分の1モデルの浮体を海上に浮かべる実験を実施している。また、2010年度からは環境省が、浮体式洋上風力発電実証事業を開始する計画である。2010年度は、環境影響評価方法の検討、地域受容性評価、基本設計等を実施し、2011年度以降本格的な実証試験を開始する予定である。

浮体式に関しては、ノルウェーに先行されているものの世界的にスタートラインに立っているところであり、日本が市場に参入する余地は充分に残されている。2010年3月、IEC<sup>27</sup>の国際会議において、韓国から浮体式風車の標準化の提案が行われており、世界的にも浮体式風車の実用化に向けて開発競争の時代に入りつつある。従って、浮体式洋上風力に関しても早急に技術開発を開始し、世界を先導することが重要となる。

なお、富士重工が開発した2MWダウンウィンド型の風車は洋上設置に適していると言われている。タワーの風下にロータが位置しており、ロータ回転軸が風上に向かって下を向いているため、風向とロータ軸との間の角度誤差はアップウィンド型の風車に比べて少ないことから、アップウィンド型に比べ発電量を多く獲得できるとされている。

図表 3.39 日本における浮体式洋上風力発電の研究開発の状況

年度	機関	研究課題名
2001	日本海洋開発産業協会	海洋資源・エネルギーを複合的に活用する沖合洋上風力発電等システムの開発調査研究
2002	日本海洋開発産業協会	浮遊式風力発電基地の自然エネルギーの最適輸送技術に関する調査研究
2003～2005	海上技術安全研究所	浮体式洋上風力発電による輸送用代替燃料創出に資する研究
2003～2007	国立環境研究所	洋上風力発電を利用した水素製造技術開発(セイリング式 <sup>28</sup> )
2005～2006	東京電力・東京大学	フロート式洋上風力発電に関する研究
2009～	京都大学・佐世保重工等	浮体式洋上風力発電に関する研究

<sup>27</sup> International Electrotechnical Commission

<sup>28</sup> セイルを擁する非係留大型浮体上に風車を搭載して発電する方式。

## 5) 周辺環境への適応

風力発電の周辺環境への影響については、バードストライクなどの生態系への影響や、風車音による健康被害などが危惧されている。特に国土が狭く、住宅地に近接して風力発電機を設置するケースの多い日本においては、風車音による健康問題に対する不安は大きい。周辺環境への適応技術として、低風車音風力発電システムや、鳥類・海生生物のモニタリング技術などの開発が進められている。

**〈事例〉ウィンド・パワーかみす（洋上、日本）**

ウィンド・パワーかみすは、株式会社ウィンド・パワーいばらきにより、茨城県神栖市に設置された国内3箇所目の洋上風力発電所であるとともに、国内で始めて外洋に設置された本格的な洋上風力発電所である。2010年3月より試運転を開始している。機種は富士重工製のSUBARU80/2.0であり、南浜洋上に7基が設置されている。

洋上風力発電の特徴は、内陸と比較して、建物や地形の影響が少ないため、より安定した発電が可能となり、周辺への風車音・振動の影響も軽減される点にある。

**図表 ウィンド・パワーかみす概要**

設置場所発電出力	茨城県神栖市南浜洋上
風力発電機	富士重工製のSUBARU 80/2.0
発電出力	14,000kW（定格出力2000kW×7基）
タワー	高さ：60m、直径：4.2m、 鋼製モノパイル、総重量約170t（3段）
ナセル	幅：11.5m、高さ：4.9m、総重量：約78t
ハブ	総重量：約20t
ブレード	翼長：40.0m、総重量：約21t（3枚）
試運転開始	2010年3月
本格稼働開始	2010年7月

出典：株式会社小松崎都市開発ホームページ（<http://www.komatsuzaki.co.jp/>）

神栖市ホームページ（<http://www.city.kamisu.ibaraki.jp/dd.aspx?menuid=1569>）

**図表 ウィンド・パワーかみす概観**

出典：日立製作所ホームページ（[http://www.hitachi.co.jp/environment/showcase/solution/energy/renewable\\_energy.html](http://www.hitachi.co.jp/environment/showcase/solution/energy/renewable_energy.html)）

<事例> NEDO 着床式洋上風力発電プロジェクト(日本)

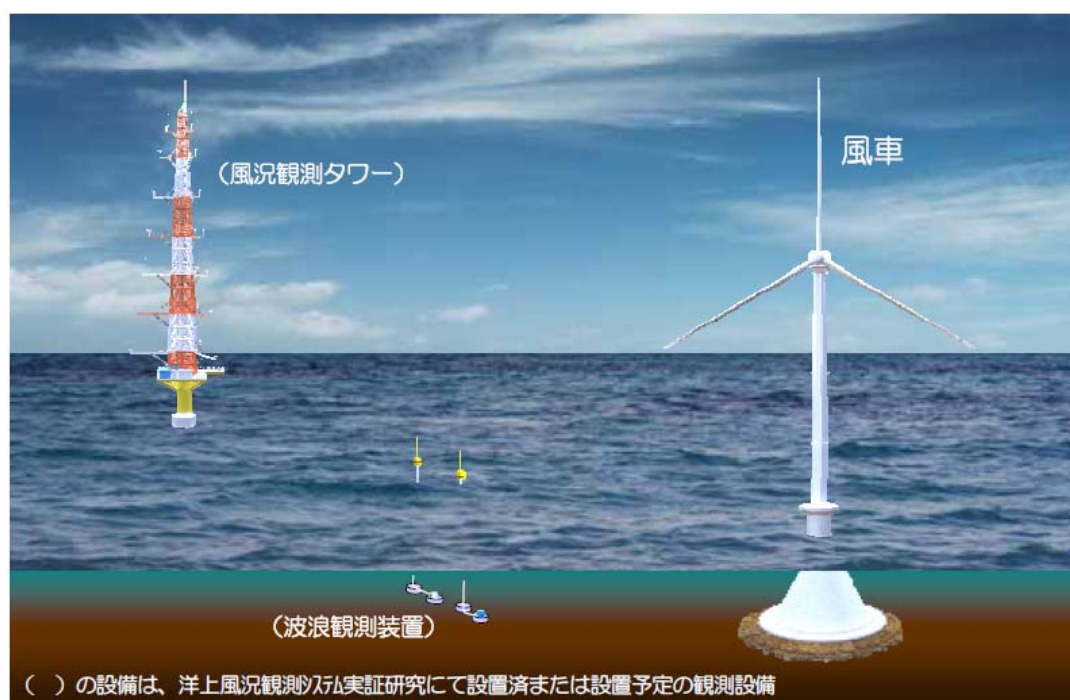
NEDO は、「洋上風力発電等技術研究開発事業」を平成 20～25 年度にかけて実施している。平成 20 年度は全国 6 海域での実施可能性調査を実施しており、平成 21 年度からはそのうちの 2 海域（千葉県銚子沖、福岡県北九州市沖）で洋上風況観測システムの実証研究を開始している。あわせて平成 22 年度からは洋上風力発電システムの実証研究を東京電力との共同研究として実施する。千葉県銚子市の南沖合約 3km の洋上に着床式の洋上風車を設置する。風車はロータ直径約 90m の 2MW クラスのものが 1 基設置され、日本の自然環境に適した洋上風力発電技術の確立のため実証研究が行われる。

図表 NEDO 洋上風力発電プロジェクト概要

設置場所（洋上）	千葉県銚子市南沖合約 3km (水深 11m)
ロータ直径	約 90m
研究期間	2010 年 5 月（予定）～ 2014 年 3 月
研究内容	(1)日本の自然環境に適した洋上風力発電設備の開発 (2)洋上風力発電設備の運転保守方法の確立 (3)環境影響調査 (4)洋上風力発電設備の設計指針案の作成
事業費	約 33.3 億円

出典：東京電力プレスリリース（2010 年 5 月 19 日）

図表 実証研究設備の完成予想図



提供：東京電力㈱、東京大学、鹿島建設㈱

**<事例> Horns Rev 2 洋上ウインドファーム(デンマーク)**

Horns Rev 2 は、現在世界最大の洋上ウインドファームである。デンマークの西岸から 30km の北海に建設されている。91 基の風車で合計発電出力は 209MW であり、20 万世帯分の年間電力消費量に相当する発電量が見込まれている。プロジェクトを実施しているのはデンマークの DONG Energy 社で、風車は Siemens 社の 2.3MW 機が採用されている。2008 年より基礎工事が開始され、2009 年中に建設が完了、2010 年に商業運転開始というスケジュールとなっている。10km 東には 2002 年より稼働している Horns Rev 洋上ウインドファーム (Vestas 製 2MW×80 基、合計発電出力 160MW) がある。

**図表 Horns Rev 2 発電所概要**

発電出力	209MW (2,300kW×91 基)
設置場所 (洋上)	デンマーク西岸沖合 30km (北海) (エリア 35km <sup>2</sup> 、水深 9~17m)
風力発電機	Siemens 社 (ドイツ) 製 2.3MW 機
ハブ高さ	海上 68m+海面下 30~40m
ロータ直径	93m
最頂部高さ	114.5m (海上)
竣工年	2009 年

出典：DONG Energy 社ホームページ (<http://www.dongenergy.com/Hornsrev2/>)

**図表 Horns Rev 2 発電所概観**

出典：NEDO 海外レポート No.1062 (2010 年 4 月)

<事例> alpha ventus 洋上ウインドファーム(ドイツ)

alpha ventus は、ドイツで初めての大規模洋上ウインドファームで、ドイツ北部のボルクム島から 45km の北海に位置している。EWE、E.ON、および Vattenfall Europe のコンソーシアムにより、2.5 億ユーロをかけて建設された。規模は 5MW 風車 12 基で合計発電出力は 60MW である。期待される年間発電量は 220GWh/年で 5 万世帯分の年間電力消費量に相当する。alpha ventus は水深 30m における建設技術の研究が行われ、今後 5MW 大型風車の気象条件による影響の調査・研究、生態系への影響調査等が実施されることになっている、パイオニア的なプロジェクトである。

図表 alpha ventus 発電所概要

発電出力	60MW (5MW×12 基)	
設置場所 (洋上)	ドイツ北部ボルクム島沖合 45km (北海) (水深 30m)	
風力発電機	Multibrid 社 (独、AREVA 子会社) M5000	REpower (独) 5M
	6 基	6 基
ハブ高さ	90m	92m
ロータ直径	116m	126m
最頂部高さ (海底から)	178m	185m
基礎構造	トライポッド	ジャケット
運転開始年	2010 年	

出典：alpha ventus ホームページ (<http://www.alpha-ventus.de/>)

図表 alpha ventus 発電所概観



出典：alpha ventus ホームページ (<http://www.alpha-ventus.de/>)

### 3.1.6 システム価格、発電単価等

#### (1) システム価格

##### 1) 世界

世界の風力発電のシステム価格<sup>29</sup>を図表 3.40 に示す。

陸上風力のシステム価格は、欧米の 20 万円/kW 前後と比較して、日本は約 30 万円前後とやや高くなっている。中国・インドにおけるシステム価格は約 10 万円程度と安価である。

また、洋上風力のシステム価格については、データが限られておりプロジェクト毎の差異が大きく、平均的なコストを試算することは難しいため、事例として英国、ドイツ、オランダの値を示す。システム価格は約 30~50 万円/kW と、陸上風力と比較して比較して高くなっている。洋上風力のシステム価格は一般に基礎工事や係留コストが約半分を占めており、これは陸からの距離や水深により異なる<sup>30</sup>。

風力発電のシステム価格は 1980 年代から下落傾向にあったが、2004 年から上昇に転じ、約 20~80%増加している。これは主に、タービンやギアボックス、ブレード、ベアリング等の供給力不足や、資材価格（特に鉄鋼と銅）の上昇による。現在の景気後退により風車市場の需給が緩む一方、設備投資が停滞すると、市場が復活した時に供給のボトルネックが再び起こり、システム価格の上昇を招くと考えられる<sup>31</sup>。

図表 3.40 世界の風力発電のシステム価格（2008 年）

資料 No.	場所		システム価格 (万円/kW) <sup>32</sup>	出典
1	陸上風力		17.7~19.6	World Energy Outlook 2009 (IEA)
	洋上風力		28.9~32.0	
2	陸上風力	欧州	14.5~26.0	Technology Roadmaps Wind energy (2009, IEA)
		米国	14.0~19.0	
		日本	26.0~32.0	
		中国	> 10.0	
		インド	< 10.0	
	洋上風力	英国	31.0	
		独、蘭	47.0	

<sup>29</sup> 設備費（風力発電装置に係る費用）、設置に係る諸経費（施工、系統連系等に係る費用）の合計をシステム価格と定義する。

<sup>30</sup> “Technology Roadmaps Wind energy”（2009, IEA）より。

<sup>31</sup> “Renewable Energy Essentials: Wind”（2008, IEA）より。

<sup>32</sup> 1\$=100 円として換算している。以下同様。

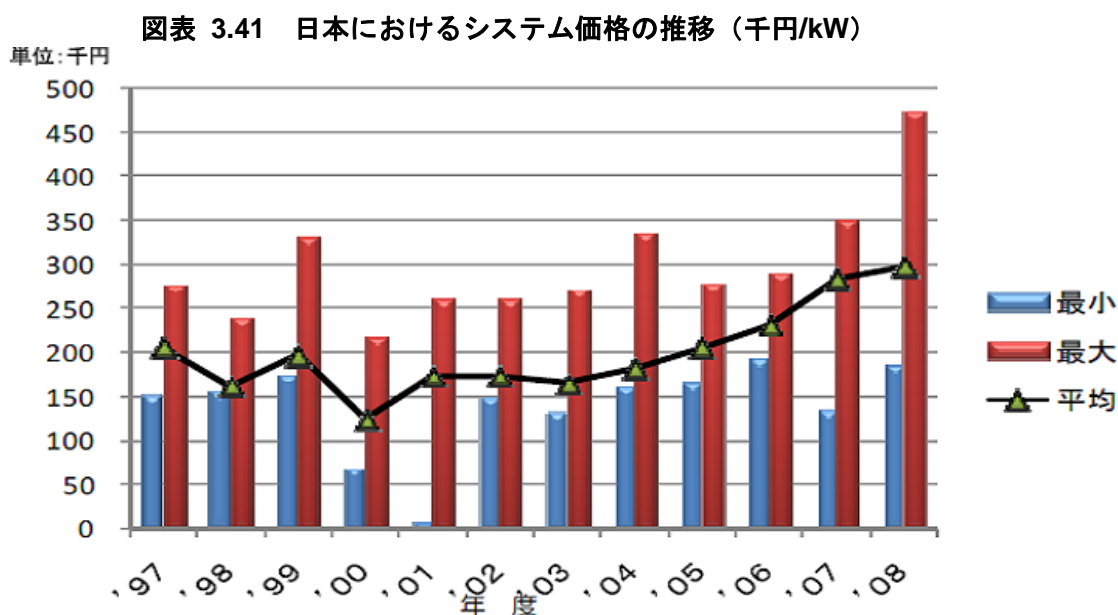


## 2) 日本

日本の風力発電のシステム価格を図表 3.41 に示す。

日本における風力発電のシステム価格は 1997 年～2008 年の間 20～30 万円/kW で推移している。2003 年度までは低下傾向にあったが、2004 年度以降上昇し、現在は約 30 万円/kW である。コスト上昇の要因は、世界的な風車需要の増加に伴う売り手市場であること、鋼材の値上がり、為替（対ユーロの円安）等とされている<sup>33</sup>。

また、陸上における適地の減少から、今後は山岳地帯への導入が必要になるため、システム価格の増加は避けられず、さらにシステム価格が上昇する可能性がある。



注：「新エネルギー等事業者支援事業」の補助申請額から逆算して算出。「最大」は当該年度の補助申請設置コストの kW 単価が最も高いものの額。「最小」は当該年度の補助申請設置コストの kW 単価が最も小さいものの額。  
注：システムコストについては、機器装置費のほか、工事費用を含むが、補助金申請前に要する環境影響評価等の経費は含まれない。

出典：総合資源エネルギー調査会新第 29 回エネルギー部会 資料 3-1（2008 年 11 月）

<sup>33</sup>総合資源エネルギー調査会新第 29 回エネルギー部会 資料 3-1「風力発電の現状について」（2008, 資源エネルギー庁）より。

## (2) 発電コスト

### 1) 世界

世界の風力発電の発電コストを図表 3.42 に示す。陸上風力の発電コストは、概ね 10 円/kWh 前後となっており、最も風況の良い場所では 6.5 円/kWh である。洋上風力は陸上よりも風況が良いため陸上と比べて約 50% 程度多い発電量が得られ、陸上よりも高いシステム価格をある程度まで相殺する<sup>34</sup>ものの、陸上風力より発電コストは若干高めとなっている。なお、この値は水深が 20m 未満の遠浅海域に広く導入が進んでいる欧州の実績に基づくものと推察され、遠浅の海域が少なく海底地形が複雑な日本に設置した場合、既存の陸上風力並みの発電コストとなるとは言いがたいことに留意する必要がある。

図表 3.42 風力発電の発電コスト

資料 No.	場所	発電コスト (円/kWh)	出典	
1	陸上風力	9.0~10.5	World Energy Outlook 2009 (IEA)	
	洋上風力	10.0~12.0		
2	陸上風力	7.0~13.0	Technology Roadmaps Wind energy (2009, IEA)	
	洋上風力	11.0~13.1		
3	陸上風力	平均風速高 <sup>1</sup>	6.5~9.4	Energy Technology Perspectives 2008 (2008, IEA)
		平均風速中 <sup>2</sup>	8.5	
		平均風速低	8.9~13.5	

注 1) 英国、アイルランド、フランス、デンマーク、ノルウェー沿岸等

注 2) ドイツ、フランス、スペイン、ポルトガル、オランダ、イタリア、スウェーデン、フィンランド、デンマーク内陸部等

### 2) 日本

日本の風力発電の発電コストを図表 3.43 に示す。総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会資料によると、風力発電所の総出力規模が 30MW と大規模な場合の発電コストは 10 円/kWh、5MW 前後の場合は 14 円/kWh、600kW~3MW の場合は 18~24 円/kWh と試算されている。総出力規模が大きいほどシステム価格、運用・保守費は割安と見ており、発電コストは低くなるとしている。

図表 3.43 日本における風力発電コスト

	総出力規模	発電コスト
大規模①	30MW	10 円/kWh
大規模②	6MW、4.5MW	14 円/kWh
中小規模	3MW~600kW	18~24 円/kWh

前提) 利子率：4%

以下の設置コストは 99 年度補助実績のうち標準的な値 (計画値ベース) で撤去費を含む。

大規模①：21 万円/kW、大規模②：24 万円/kW、中小規模：24~37 万円/kW

以下の運転経費 (運転・保守費)、利用率は事業者からのヒアリングをもとに設定。

(運転経費) 大規模①：0.3 万円/kW・年、大規模②：0.7 万円/kW・年、中小規模：1.2 万円/kW・年

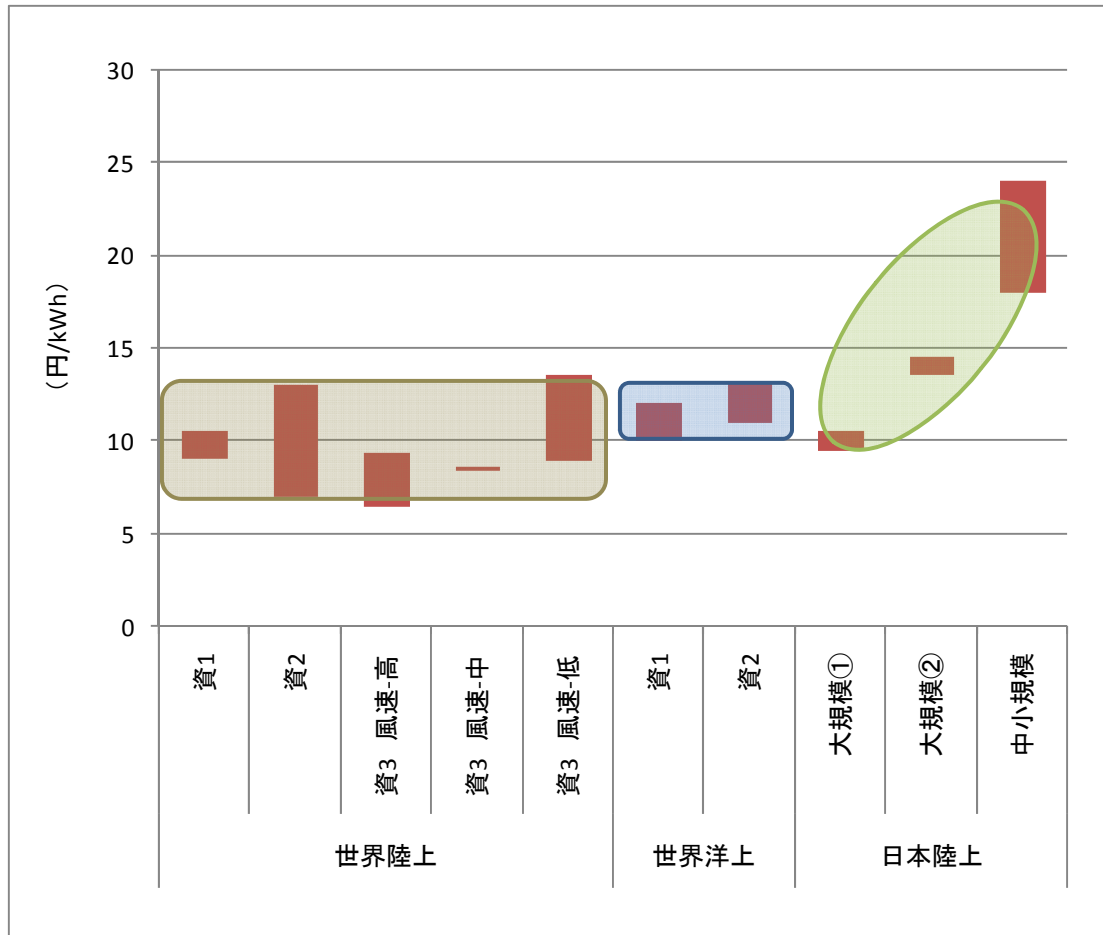
(利用率) 大規模①、②：22%、中小規模：20%

出典：総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会 参考資料 (2001 年 6 月)

<sup>34</sup> “Technology Roadmaps Wind energy” (2009, IEA)

図表 3.44 に世界および日本の風力発電コストの比較を示す。

図表 3.44 風力発電コストまとめ



注) 資1、資2、資3は図表 3.42 の資料 No.に対応している

### 3) 発電コストの内訳

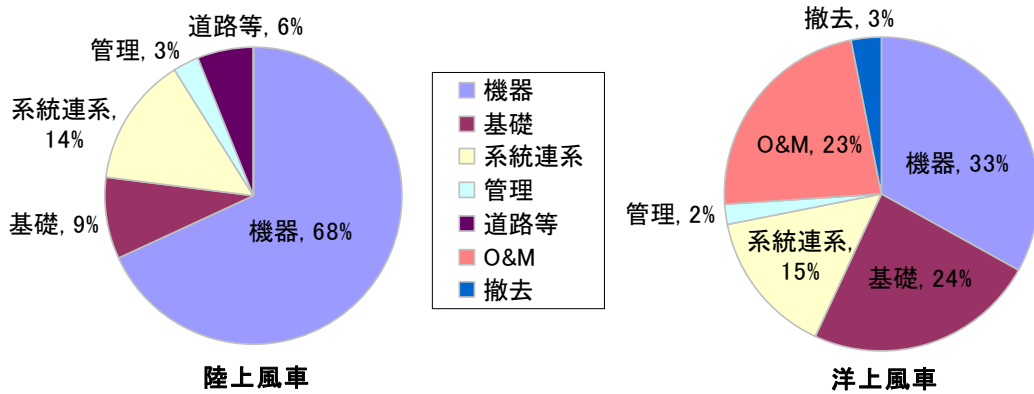
発電コストの内訳を提示した例を図表 3.45 に示す。陸上風車の場合、コストの 68%は機器の費用となっており、イニシャルコスト（機器、基礎、系統接続、道路・建物）は97%を占めている。洋上風車の場合、運用・保守（O&M）の費用が23%を占めることから、撤去費用を除いたイニシャルコストの占める割合は74%となっている。従来の火力発電ではこの割合が発電コストの40~60%であることから、比較すると風力発電は相対的に資本集約的な発電技術であると言える<sup>35</sup>。

O&M のコストは保守点検、修理、交換部品、保険等で構成されるが、新設時 10~15%程度であるが、風車の耐用年数近くになると20~35%に増大するとの報告もある<sup>35</sup>。

<sup>35</sup> “Energy Technology Perspectives 2008” (2008, IEA) より。

3 風力発電の技術の現状とロードマップ

図表 3.45 発電コストの内訳

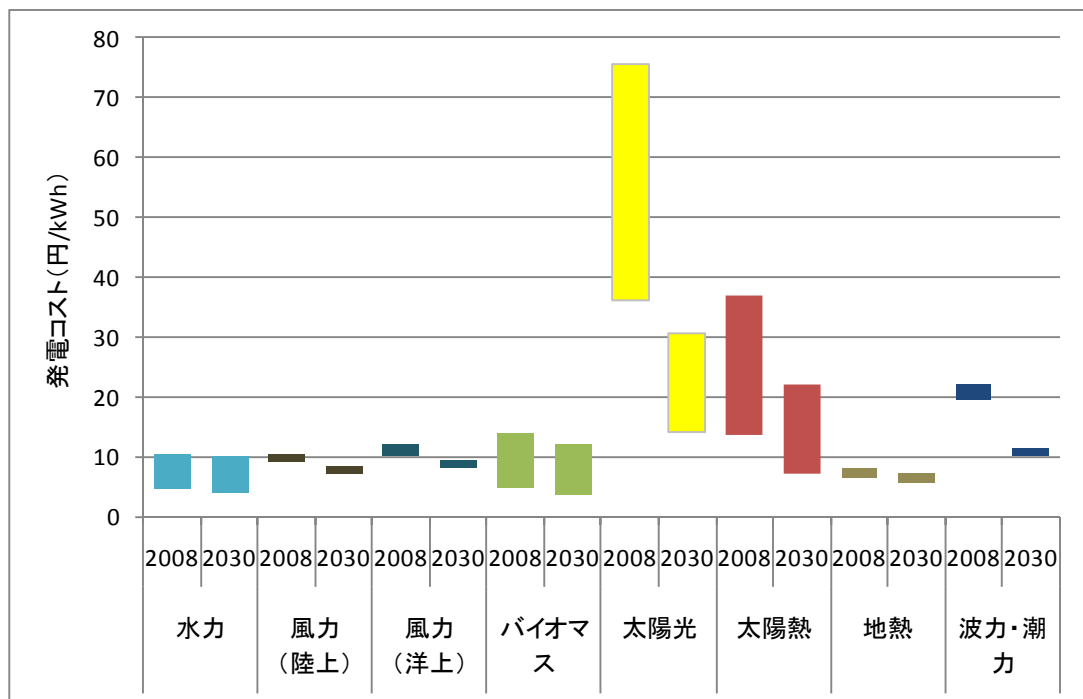


出典：Duwind(2001): “Offshore Wind Energy Ready to Power a Sustainable Europe Final Report“, NNE5-1999-562, 289p  
より作成

4) 他の再生可能エネルギーとの比較

風力発電コストと、他の再生可能エネルギーの発電コストとの比較を図表 3.46 に示す。風力発電は太陽光、太陽熱、波力・潮力に比べて、現状および将来において発電コストが低く、再生可能エネルギーの中でもコスト競争力を持つエネルギー源の一つであることが分かる。

図表 3.46 風力と他の再生可能エネルギーの発電コスト



出典：“World Energy Outlook 2009” (IEA)より作成

**(参考) 発電コストの算出式<sup>36</sup>**

発電コストは一般的に、年間経常費を年間発電量で除算することにより算出される。年間経常費は、イニシャルコストおよび運転・保守費等のランニングコストからなる。イニシャルコストの算出方法には、資本回収法によるものと、減価償却費および平均金利等の和として求める方法とがある。以下では資本回収法による算出方法について述べる。

資本回収法では、イニシャルコストはシステム価格と年経費率の積で表され、発電コストは次式で計算される（税金は考慮していない）。

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = \frac{\text{システム価格} \times \text{年経費率} + \text{運転・保守費}}{\text{正味年間発電量}}$$

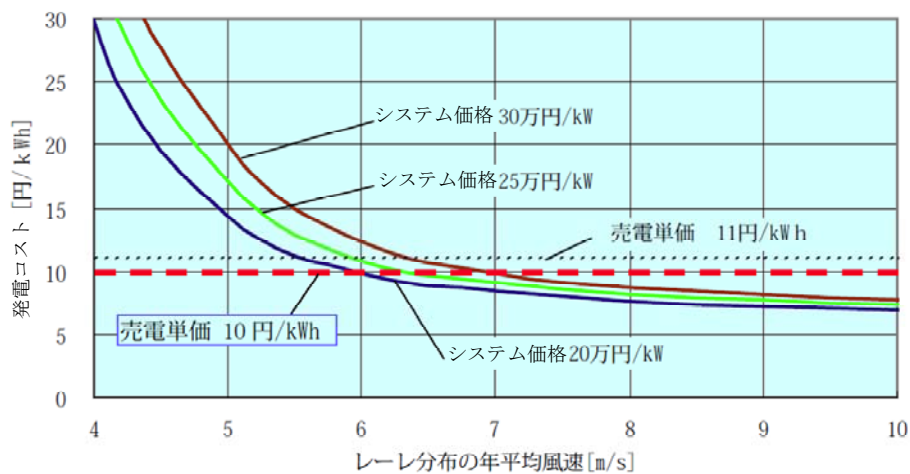
$$\text{年経費率} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}}$$

r : 金利、n : 耐用年数

年間発電量は風車の出力曲線と設置場所の風速から計算される。しかし、風力発電の事業化を検討する際は正味年間発電量の推定が重要で、年間発電量に対して例えば以下に示すような影響による発電量の損失があり、利用可能率や出力補正係数と共に考慮することが望ましい。

- 複雑地形の影響
- 複数風車設置の場合の風車間の干渉
- 風速の経年変動
- ハブ高さの風速への換算誤差

**図表 3.47 年平均風速と発電単価の関係（例）**



出典：「風力発電導入ガイドブック 2008」（2008, NEDO）より作成

<sup>36</sup> 「風力発電導入ガイドブック」（2008, NEDO）をもとに取りまとめている。

### 3.1.7 推進施策・関連法令

#### (1) 欧州

EU の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 3.48 に示す。EU は、エネルギーセキュリティ、化石燃料依存からの脱却、社会的・経済的団結等を背景に、地球温暖化対策に係る野心的な目標を掲げ、積極的な環境・エネルギー政策を打ち出してきた。近年の動向として、再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令、欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)、およびフィードインタリフ制度について詳述する。

図表 3.48 欧州における主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
再生可能エネルギー白書 <sup>37</sup> (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに EU 内のエネルギー消費量の 12% を再生可能エネルギーで賄う目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成に向けた行動計画を策定。</li> </ul>
再生可能電力推進に関する欧州指令 <sup>38</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに電力供給量の 21% を再生可能エネルギーでまかなう目標を設定。</li> <li>加盟各国に示唆的目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成は困難な見通し (2010 年までに 19% の達成見込み)。</li> </ul>
バイオ燃料促進に関する欧州指令 <sup>39</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75% をバイオ燃料で代替する目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成は困難な見通し。</li> </ul>
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 <sup>40</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能電力推進に関する指令とバイオ燃料促進に関する指令を修正、廃止する新たな指令。</li> <li>2020 年までに EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20% にする目標を設定。</li> <li>2020 年までに運輸部門における再生可能エネルギーの割合を 10% にする目標を設定。</li> <li>各国に法的拘束力のある目標値を設定。</li> </ul>
欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発および普及を加速させることを目的とする。</li> <li>欧州産業イニシアティブとして、低炭素化に資する 6 つの有望技術 (風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂) に関するイニシアティブを提案。</li> </ul>

<sup>37</sup> COM(1997)599 “Energy for the Future: Renewable Sources of Energy”

<sup>38</sup> Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market

<sup>39</sup> Directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport

<sup>40</sup> Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

	<ul style="list-style-type: none"> <li>各イニシアティブについて技術ロードマップを提示。 (2010年3月、欧州理事会により承認)</li> </ul>
フィードインタリフ制度 (Feed-in tariff: FIT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギーの買取価格 (tariff) を法律で定め、一定期間の買取りを保障する制度。</li> <li>ドイツ、スペイン等で太陽光発電が爆発的に普及する起爆剤となった。</li> </ul>

### 1) 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令

2007年3月、欧州理事会は、EUの地球温暖化対策として以下4項目について合意した。

- 2020年までに、EU全体の温室効果ガス排出量を1990年比で少なくとも20%削減する。
- 2020年までに、EU全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を20%に引き上げる。
- 2020年までに、各国の輸送用燃料におけるバイオ燃料の比率を10%に引き上げる。
- 新規化石燃料発電所へのCO<sub>2</sub>回収・地中貯留 (CCS) システムの設置に向け、各国間で協力して技術開発、法的枠組み作り等を進める。

再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令は、上記4項目のうち2)と3)を達成するための手段や国別目標値を具体化したもので、再生可能電力推進に関する欧州指令(2001)とバイオ燃料促進に関する欧州指令(2003)を修正、廃止する指令である。

図表 3.49 に EU 加盟各国における 2020 年時点の再生可能エネルギー比率の目標値を示す。本指令は「2020 年までに 20%」という目標を達成するために、法的拘束力のある目標値を加盟各国に課している。国別目標値の設定にあたっては、再生可能エネルギーに関する各国の状況や経済力等が考慮されている。

図表 3.49 EU 加盟国の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率の経年変化と 2020 年目標値 (再掲)

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%

## 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES”（2008, BMU）、Directive 2009/28/EC より作成

## 2) 欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）

欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）は、低炭素化社会の早期実現に向けて、EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発および普及を加速させることを目的とした EU の技術開発戦略である。欧州産業イニシアティブ（European Industrial Initiatives：EII）として、低炭素化に資する 6 つの有望技術（風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂）に関するイニシアティブが設置されている。2009 年 7 月にはそれぞれの技術について技術ロードマップ<sup>41</sup>が提示され、2010 年 3 月に欧州理事会により承認された。

技術ロードマップでは、再生可能エネルギーについて、以下の目標が掲げられており、風力発電については、2020 年までに EU の発電電力量の 20% を風力発電でまかなう、としている。

- **2020 年までに EU の発電電力量の 20% を風力発電でまかなう**
- 2020 年までに EU の発電電力量の 15% を太陽光由来の電力（太陽光発電：12%、太陽熱発電 3%）でまかなう
- 2020 年までに少なくとも EU のエネルギー供給 14% を、コスト競争力および持続可能性のあるバイオエネルギーでまかなう

<sup>41</sup> “A TECHNOLOGY ROADMAP for the Communication on Investing in the Development of Low Carbon Technologies (SET-Plan)”（2009, EC）



### 3) フィードインタリフ制度

フィードインタリフ制度とは、再生可能エネルギーの買取価格（tariff）を法律で定める方式の助成制度で、一定期間の買取りを保障する制度である。買取価格は年を経るごとに低減される仕組みになっており、早期に事業を開始した方が有利となる。再生可能電力を通常の電気料金よりも高い価格で安定的に購入してもらえるため、再生可能電力事業者にとって大きなインセンティブとなっている。

ドイツでは2004年に改正された「再生可能エネルギー法」において、FIT制度により太陽光発電の買取価格を他のエネルギーよりも高く設定したことから（図表 3.50）、累積導入量は2005年に日本を抜いて世界第1位となった。風力発電については、洋上風力の買取価格をより高く設定しており、企業の洋上への進出を促している。

図表 3.50 ドイツ FIT の電力買取価格

	2009年買取価格※1 ※2	価格低減率※3
太陽光※4	42.9～55.9 円/kWh	8.0%-10.0%
水力（5MW未満）	9.9～16.5 円/kWh	0%
水力（既設（5MW以上）の リパワメント）	4.6～9.5 円/kWh	1.0%
バイオマス （20MW未満）※4	10.1～15.2 円/kWh	1.0%
地熱（20MW未満）※4	13.7～20.8 円/kWh	1.0%
風力（陸上）※4	6.5～12.0 円/kWh	1.0%
風力（洋上）	4.6～16.9 円/kWh （2015年末までに導入され た場合2.6 円/kWh 上乘せ）	5.0% （2015年から）

※1 発電容量やシステムタイプによって異なる。 ※2 1ユーロ=130円として換算。

※3 導入量や発電コストの低下状況に合わせ、後年になるほど買取価格は低減される。

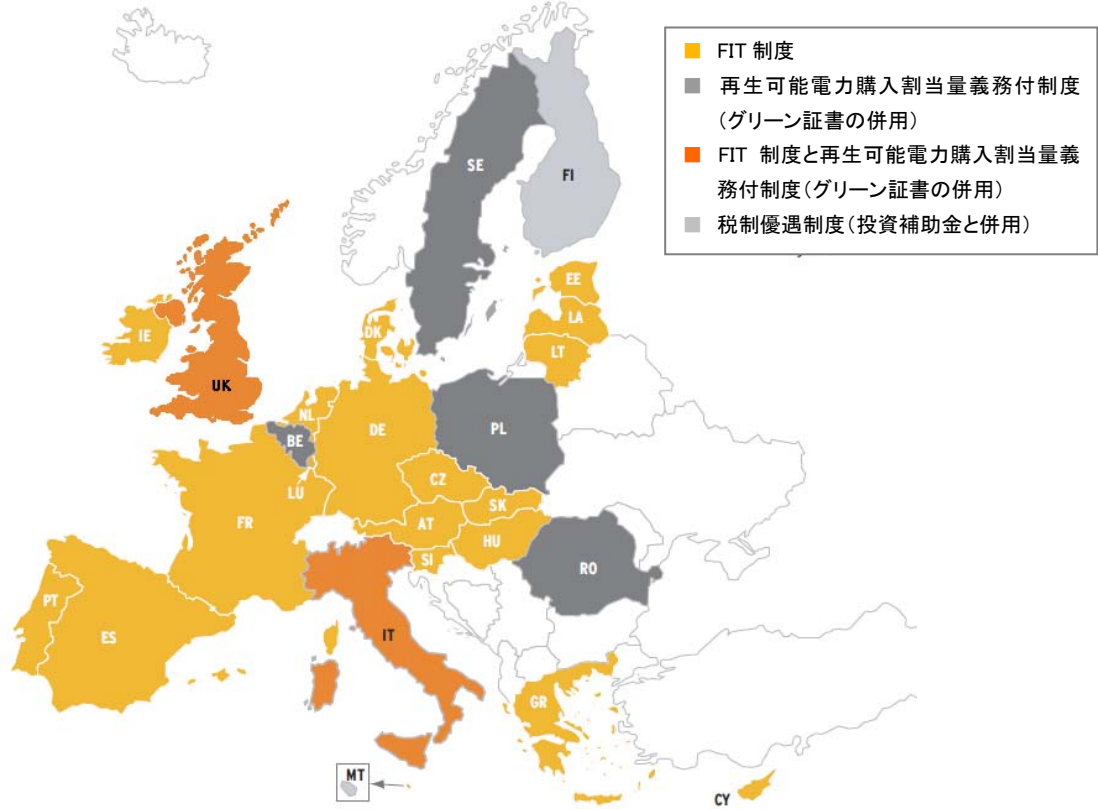
※4 バイオマス、地熱、陸上風力については、原料、技術等に合わせて買取価格を上乘せするボーナス制度が設けられている。太陽光のボーナス制度は2009年から廃止となった。

出典：“2009 EEG Payment Provisions”（BMU）より作成

欧州では、多くの国でFITが採用されており、2009年末時点で採用国数は約20カ国に及ぶ（図表 3.51）。しかし買取価格は国によって差があり、制度設計上の問題等から、全ての国でドイツのような爆発的な再生可能エネルギーの普及が進んでいるわけではない。また、スペインでは増大する固定価格買取発電量に対して電力需要家の負担軽減を図るため、エネルギー源別に累積導入量の上限を設定し、上限に達したエネルギー源の買取価格を見直す条項を設定するなど、制度の適切な運用に向けた見直しが進んでいる。

FITの他に代表的なものとして、再生可能電力購入割当量義務付制度が挙げられる。再生可能電力購入割当量義務付制度とは、電力事業者と大口の消費者に、再生可能電力の購入割当量が義務付けられる制度で、日本におけるRPS制度と類似の制度である。再生可能電力に対して発行される、売買可能なグリーン証書（Tradable Green Certificates:TGC）と併用されることが一般的で、再生可能電力の使用またはグリーン証書の購入によって割当量を充足できるようになっている。

図表 3.51 欧州における再生可能エネルギー支援施策



出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES” (2009, BMU) より作成

## (2) 米国

### 1) 連邦レベルの推進施策・関連法令

連邦レベルの主要な推進施策・関連法令を図表 3.52 に示す。世界第1位のCO<sub>2</sub>排出国として、米国の地球温暖化対策推進の必要性が高まる中、オバマ政権の発足に伴い、グリーンニューディールという政策方針のもとで再生可能エネルギーの導入普及に向けた動きが加速している。

図表 3.52 連邦レベルの主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
2005年エネルギー政策法 <sup>42</sup> (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>包括的なエネルギー法案。エネルギーインフラの強化、エネルギー効率の向上、再生可能エネルギーの利用拡大、在来型燃料の国内増産等を掲げる。</li> <li>再生可能エネルギーについては、再生可能燃料基準(RFS)<sup>43</sup>を導入した他、政府機関の再生可能電力比率を7.5%に引き上げる目標を設定。また、各種インセンティブ制度を認可・拡充。</li> </ul>
ITC (投資課税控除) (Federal Business Investment Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種エネルギーシステムの設定投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。</li> <li>太陽光発電の控除率は30%。</li> </ul>
PTC (生産税控除) (Renewable Energy Production Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。</li> <li>条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の10年間、1kWhごとに適用される。</li> <li>太陽光発電は対象外。</li> </ul>
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009年2月に成立した米国経済再生法により、米国財務省による本助成制度を創設。</li> <li>本制度はPTCもしくはITCの代わりに利用可能。</li> </ul>
MACRS (修正加速度償却法) (Modified Accelerated Cost-Recovery System)	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。</li> <li>太陽光発電の投資に対しては、5年間の加速的な減価償却が適応できる。</li> </ul>
Residential Renewable Energy Tax Credit (住宅用再生可能エネルギー税控除)	<ul style="list-style-type: none"> <li>家庭部門を対象に、再生可能エネルギー関連機器の導入経費に対し30%の税控除を行う制度。</li> </ul>

出典：各種資料より取りまとめ

<sup>42</sup> Public Law 190-58, Energy Policy Act of 2005, Aug. 2005

<sup>43</sup> 再生可能燃料基準 (Renewable Fuel Standard)。自動車用燃料等へのバイオ燃料の使用を義務付けるもの。

### ① 2005 年エネルギー政策法<sup>44</sup>

2005 年エネルギー政策法（Energy Policy Act of 2005）は、1992 年に成立した「1992 年エネルギー政策法」を踏まえ、より包括的なエネルギー法案として策定された。「エネルギー効率」「再生可能エネルギー」「石油・天然ガス」「石炭」「原子力」「自動車・燃料」「調査・研究開発」等、エネルギーに係る各種項目について、既存の法律の改正、各種インセンティブ制度の策定等が実施されている。

再生可能エネルギーに関しては、連邦政府に対して一定量の再生可能エネルギー由来の電力の買取を義務付けたほか、PTC（生産税控除）や ITC（投資課税控除）等の各種インセンティブ制度を認可・拡充している（PTC、ITC については後述）。特に ITC については、同法により、商業用太陽光発電システムの税控除率が 10%から 30%に大幅に拡充された。

- 連邦政府に対する再生可能電力買取りの義務付け（2013 年までに 7.5%）。
- 再生可能燃料基準（RFS）の導入。2012 年に年間 7.5 ガロンの目標を設定。
- 再生可能エネルギーに係る各種インセンティブの延長・拡充。
  - PTC（生産税控除）の期限を延長
  - 住宅用太陽光システム・燃料電池について 30%の ITC（投資課税控除）を創設
  - 商業用太陽光システムの ITC による税控除額を 10%から 30%に引き上げ

### ② 各種インセンティブ制度

連邦政府による主要なインセンティブ制度は以下が挙げられる。各制度の詳細を図表 3.54 に示す。

- ITC（Federal Business Investment Tax Credit：投資課税控除）
  - ◇ 1992 年のエネルギー政策法（Energy Policy Act）により創設。
  - ◇ 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。
  - ◇ エネルギー改善・延長法<sup>45</sup>により、太陽エネルギー利用設備、燃料電池、マイクロタービンに係る課税控除が 2016 年まで延長された。また、小型風力発電システム、地中熱ヒートポンプ、CHP が対象エネルギーに追加された。
- PTC（Renewable Energy Production Tax Credit：生産税控除）
  - ◇ 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。
  - ◇ 太陽光発電は対象外。
  - ◇ 米国経済再生法<sup>46</sup>により風力発電の控除期間が 2012 年末に延長された。

<sup>44</sup>“Energy Policy Act of 2005: Summary and Analysis of Enacted Provisions”(Mar. 2006, CRS)、米国総務省資料、Pew Center on Global Climate Change ウェブサイト

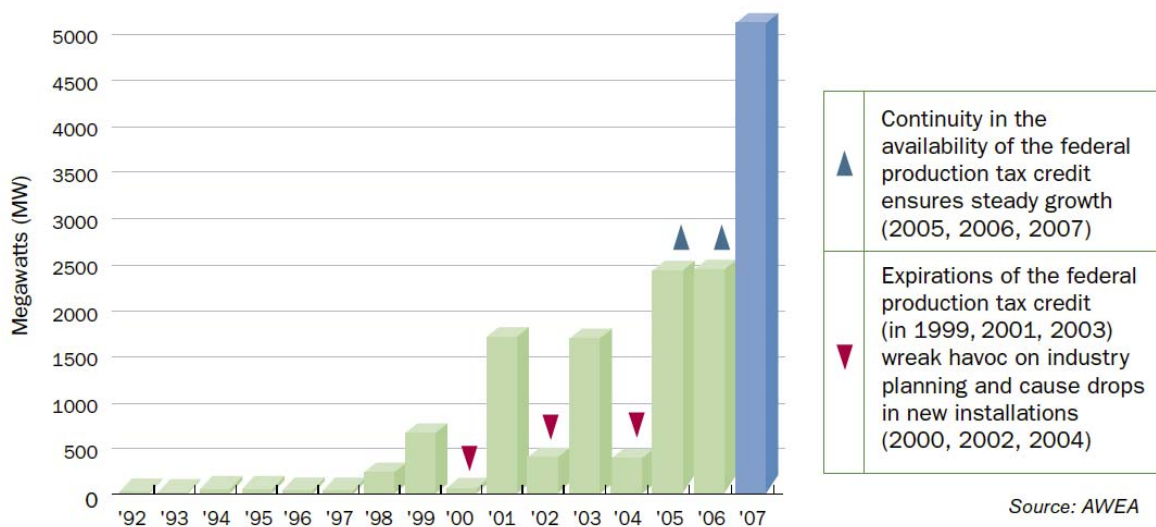
<sup>45</sup> Energy Improvement and Extension Act of 2008、金融危機対策関連法案（Public Law 110-343）の一つ。再生可能エネルギー、CO<sub>2</sub>回収・除去技術、エコカー・バイオ燃料、省エネ機器等に係る各種インセンティブが延長、拡充された。

<sup>46</sup> American Recovery and Reinvestment Act、2008 年末の金融危機対策として 2009 年 2 月に成立。各種経済刺激策

- Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)
  - ◇ 米国経済再生法により創設。
  - ◇ 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。
- Modified Accelerated Cost-Recovery System (MACRS) (修正加速度償却法)
  - ◇ 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。
  - ◇ 太陽光発電の投資に対しては、5年間の加速的な減価償却が適応できる。
- Residential Renewable Energy Tax Credit (住宅用再生可能エネルギー税控除)
  - ◇ 家庭部門を対象に、再生可能エネルギー関連機器の導入経費に対し30%を税控除。
  - ◇ 米国経済再生法により燃料電池を除く全ての対象機器に対して、控除額の上限が撤廃された。

上記のうち、PTC (生産税控除) は特に風力発電導入量に大きく影響を与える制度に挙げられる。PTC はその延長の有無が風力発電の導入量に大きな影響を与えており (図表 3.53)、今後もその動向が注視される。なお、米国経済再生法により風力の PTC 期限は 2012 年まで延長された。

図表 3.53 PTC の延長と風力発電の発電容量 (新規増設分) の経年変化



▲は PTC の税控除期限が延長された年、▼は PTC の税控除期限が切れた年を表している。期限が延長された年は導入量が大きく伸びているのに対し、期限が切れた年は導入量が大きく減少しており、PTC が風力発電設備導入に与えている影響の大きさが分かる。

出典：“Wind Power Outlook 2008” (AWEA)

に加え、科学技術、環境保護、各種インフラへの投資、州や地方政府の財政安定化策等が盛り込まれている。

図表 3.54 連邦政府の主要な再生可能エネルギー支援施策

施策名	対象セクター	対象システム	インセンティブ	期限
ITC (投資課税控除)	商業、産業、電気事業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、風力、バイオマス、地熱発電、燃料電池、小型風力発電、地熱利用、マイクロタービン、CHP等	<控除率> <ul style="list-style-type: none"> <li>30%：太陽熱利用、太陽光発電、燃料電池、風力発電</li> <li>10%：地熱利用、マイクロタービン、CHP</li> </ul>	2016/12/31
PTC (生産税控除)	商業、産業	風力発電、バイオマス、地熱発電、埋立地ガス発電、廃棄物発電、水力発電、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電等 ※太陽光発電、太陽熱発電は対象外	<控除額> <ul style="list-style-type: none"> <li>風力：2.1セント/kWh</li> <li>閉鎖系バイオマス、地熱：2.1セント/kWh</li> <li>開放系バイオマス、埋立地ガス、廃棄物、水力、海洋エネルギー：1.0セント/kWh</li> </ul>	2013/12/31
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	商業、産業、農業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、燃料電池、小型風力発電、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス、廃棄物、地中熱ヒートポンプ、マイクロタービン、CHP、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電等	<助成率> <ul style="list-style-type: none"> <li>固定資産の30%：燃料電池、太陽エネルギー関連設備、小型風力、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス</li> <li>固定資産の10%：その他対象エネルギー</li> </ul>	2011/10/1
MACRS (修正加速度償却法)	商業、産業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、埋立地ガス、風力発電、バイオマス、再生可能燃料(運輸用)、地熱発電、地熱利用、燃料電池、廃棄物利用、CHP、マイクロタービン等	<償却期間> <ul style="list-style-type: none"> <li>5年：太陽熱利用、太陽光、地熱発電、風力発電、燃料電池、マイクロタービン</li> <li>条件を満たす設備については、初年度50%のボーナス償却を利用できる。</li> </ul>	2009/12/31
Residential Renewable Energy Tax Credit (住宅用再生可能エネルギー税控除)	家庭	太陽熱利用、太陽光発電、風力発電、燃料電池、地中熱ヒートポンプ等	<控除率> <ul style="list-style-type: none"> <li>設備導入経費の30%</li> </ul>	2016/12/31

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より取りまとめ

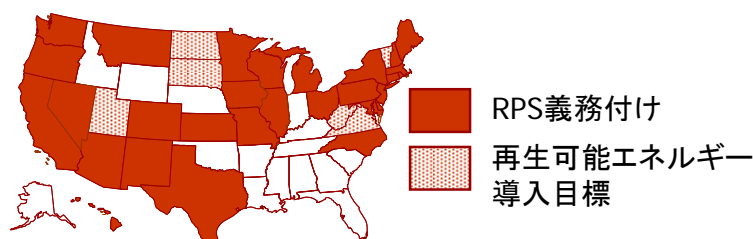
## 2) 州レベルの推進施策・関連法令

州レベルの主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令としては、RPS 法、ネットメータリング制度、フィードインタリフ制度が挙げられる。各制度の詳細を以下に示す。

### <RPS 法>

3.1.3 節にして述べたとおり、米国では 29 の州政府と DC 政府<sup>47</sup>が州独自の RPS 法を策定しており、電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーでまかなうことを義務づけている。また、6 つの州が再生可能エネルギー導入目標を掲げている。

図表 3.55 州別の RPS 法概要（再掲）



州	目標	達成年
カリフォルニア	20%	2010
オハイオ	25%	2025
イリノイ	25%	2025
ニューヨーク	24%	2013
ペンシルバニア	18%	2020
ニュージャージー	22.5%	2021
ミネソタ	25%	2025
バージニア (※)	15%	2025
ノースカロライナ	12.5%(私営) 10%(公営)	2021 2018
ワシントン	15%	2020
メリーランド	20%	2022
ミズーリ	15%	2021
オレゴン	25%(大規模事業者) 5~10%(小規模事業者)	2025
アリゾナ	15%	2025
ミシガン	10%+1,100MW	2015
ネバダ	25%	2025
マサチューセッツ	15%	2020
コネチカット	23%	2020

州	目標	達成年
カンザス	20%	2020
ウィスコンシン	10%	2015
テキサス	5,880MW	2015
ユタ (※)	20%	2025
コロラド	20%(私営) 10%(公営)	2020
ニューメキシコ	20%(私営) 10%(公営)	2020
ハワイ	40%	2030
ニューハンプシャー	23.8%	2025
モンタナ	15%	2015
デラウェア	20%	2019
ワシントン D.C.	20%	2020
メイン	40%	2017
ノースダコタ (※)	10%	2015
ロードアイランド	16%	2020
バーモント (※)	20%	2017
サウスダコタ (※)	10%	2015
アイオワ	105MW	-

注：(※) は義務量ではなく、目標量を設定している州。なお、カリフォルニアは 2020 年までに 33%の達成を目標としている。

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

<sup>47</sup> 2010 年 3 月時点。

## (3) 日本

日本の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 3.56 に示す。我が国のエネルギー自給率は極めて低く、「エネルギーの安定供給」は最重要課題の一つであること、また地球温暖化対策への取組みが急務であること等から、これまで多くのエネルギー政策が展開されてきた。以下、エネルギー基本計画、RPS 法、技術戦略マップ、Cool Earth エネルギー革新技術計画について詳述する。また、再生可能エネルギーの全量買取制度の最新動向を紹介する。

図表 3.56 日本における主要な環境・エネルギー政策

政策名称	概要
エネルギー基本計画（2003） 第一次改定 2007年3月 第二次改定 2010年6月	<ul style="list-style-type: none"> <li>「エネルギー政策基本法」（2002）に基づき策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。</li> <li>2007年に第一次改定、2010年に第二次改定を実施。第二次改定では、2030年までの今後20年程度を視野に入れた具体的施策を明示。</li> <li>再生可能エネルギーについては、2020年までに一次エネルギー供給の10%をまかなう目標を設定。</li> </ul>
電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法：RPS法（2003）	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気事業者に新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。</li> </ul>
新・国家エネルギー戦略（2006）	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー安全保障を軸に、我が国の新たな国家エネルギー戦略を提示。</li> <li>①国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立</li> <li>②エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立</li> <li>③アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献を目標として掲げる。</li> </ul>
技術戦略マップ（エネルギー技術）（2007、毎年更新）	<ul style="list-style-type: none"> <li>新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示。</li> <li>産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的とする。</li> </ul>
Cool Earth エネルギー革新技術計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、</li> <li>①重点的に取り組むべき21の革新技術の選定</li> <li>②21技術の技術ロードマップの提示</li> <li>③国際連携のあり方の提示</li> </ul> <p>を行っている。</p>



京都議定書目標達成計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>「地球温暖化対策推進法」（1998）に基づき、6%削減約束を達成するために必要な措置を提示。</li> <li>再生可能エネルギーについて、太陽光、太陽熱、風力、バイオマス、未利用エネルギー（温度差エネルギー、雪氷熱等）等の導入を促進。</li> </ul>
エネルギー供給構造高度化法（2009）	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気やガス、石油事業者等のエネルギー供給事業者において、非化石エネルギー源の利用拡大、化石エネルギー原料の有効利用を促進することを目的とする。</li> <li>電力会社に加え、ガス会社や石油会社にも新エネルギーの利用を義務付け。</li> <li>本法律の枠組みの中で、「太陽光発電の固定価格買取制度」を策定。</li> </ul>
各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業	<ul style="list-style-type: none"> <li>図表 3.61 参照</li> </ul>

## 1) エネルギー基本計画

国がエネルギー政策を進めるに当たり、「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分考慮した上での「市場原理の活用」を基本方針とすること等を内容とする「エネルギー政策基本法」が2002年6月に制定された。「エネルギー基本計画」は、エネルギー政策基本法に基づき2003年に策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。

本計画は少なくとも3年ごとに検討を加え、必要に応じて改定されることが法定されており、2007年3月に第一次改定、2010年6月に第二次改定が実施された。

第二次改定では、エネルギー政策は、国民や事業者の理解・協力のもと、中長期的な視点で総合的かつ戦略的に推進する必要があるとの考えに立ち、2030年までの今後「20年程度」を視野に入れ、以下の目標の実現に向けた具体的施策を明示している。

- ① 資源小国である我が国の実情を踏まえつつ、エネルギー安全保障を抜本的に強化するため、エネルギー自給率（現状18%）<sup>48</sup>および化石燃料の自主開発比率（現状約26%）をそれぞれ倍増させる。これらにより、自主エネルギー比率を約70%（現状約38%）とする。
- ② **電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力および再生可能エネルギー由来）の比率を約70%（2020年には約50%以上）とする（現状34%）。**
- ③ 「暮らし」（家庭部門）のエネルギー消費から発生するCO<sub>2</sub>を半減させる。
- ④ 産業部門では、世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図る。
- ⑤ 我が国に優位性があり、かつ、今後も市場拡大が見込まれるエネルギー関連の製品・システムの国際市場において、我が国企業群が最高水準のシェアを維持・獲得する。

<sup>48</sup> 一次エネルギー国内供給のうち、国産エネルギー（再生可能エネルギー等）及び準国産エネルギー（原子力）の供給の占める割合。OECD 諸国のエネルギー自給率の平均値は約70%。

## 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

再生可能エネルギーについては、2020年までに一次エネルギー供給に占める割合を10%に高めることを目標に掲げている。主な再生可能エネルギーとして、太陽光発電、風力発電、地熱発電、水力発電、バイオマス利用、空気熱や地中熱利用、太陽熱利用、雪氷熱利用等を挙げている。

なお、第二改定では、風力発電、特に洋上風力発電が重要技術の一つに挙げられている。2010年中に策定するとされている、新たなエネルギー革新技术ロードマップにおいて、「今後世界において大幅な普及拡大が予測される洋上風力発電等についても、重点的に取り組むべき技術として扱う」としており、国のエネルギー政策における風力発電の重要性が高まっている。

## 2) 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）

RPS制度（Renewables Portfolio Standard）とは、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」に基づき、エネルギーの安定的かつ適切な供給を確保するため、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付け、新エネルギー等の更なる普及を図るための法制度である。図表 3.57 に新エネルギー等電気の利用目標量を示す。

電気事業者は、義務を履行するため、自ら「新エネルギー等電気」を発電するか、他者から「新エネルギー等電気」を購入、または「新エネルギー等電気相当量（法の規定に従い電気の利用に充てる、もしくは、基準利用量の減少に充てることのできる量）」を取得することとなる。

新エネルギーとして対象となるのは、風力発電、太陽光発電、地熱発電（熱水を著しく減少させないもの）、水力発電（1,000kW以下のものであって、水路式の発電およびダム式の従属発電）、バイオマス（廃棄物発電および燃料電池による発電のうちのバイオマス成分を含む）である。

図表 3.57 新エネルギー等電気の利用目標量

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
目標量 (億 kWh)	86.7	92.7	103.8	124.3	128.2	142.1	157.3	173.3
電力会社 10 社の発受電電 力量 (2009 年度) ※1 に対 する割合	0.9%	1.0%	1.1%	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.8%

※1 約 940TWh（電力事業連合会 発受電速報 2009 年度分）

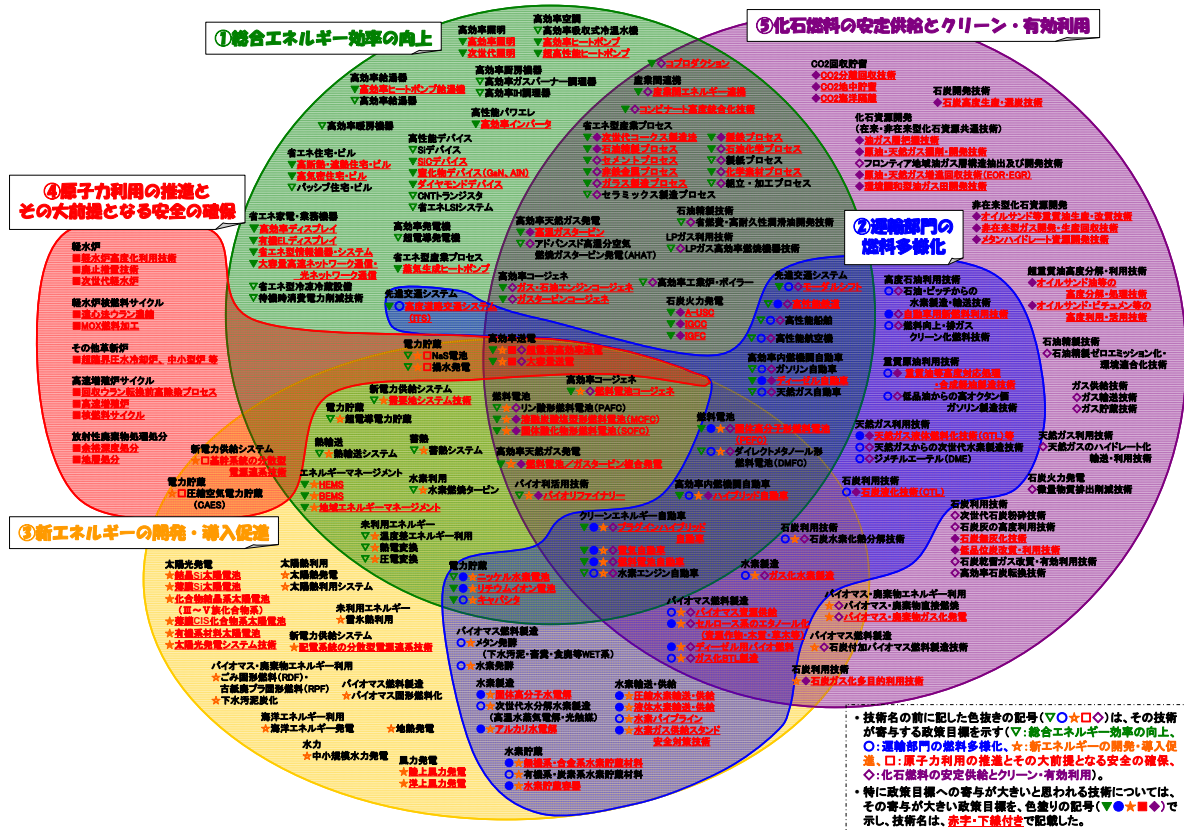
出典：「平成 19 年度以降の 8 年間についての電気事業者による新エネルギー等電気の利用の目標」（2009, 経済産業省）

### 3) 技術戦略マップ

技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示するものである。産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的としている。技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオ、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、「新・国家エネルギー戦略」(2006)における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・導入促進、④原子力利用の推進と、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出している(図表3.58)。

図表 3.58 エネルギー技術俯瞰図



出典：「技術戦略マップ 2010 エネルギー分野」(2009, 経済産業省)

### 4) Cool Earth エネルギー革新技术計画

「Cool Earth エネルギー革新技术計画」(2008, 経済産業省)は、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、①重点的に取り組むべき「21」の革新技术の選定、②「21」技術の技術ロードマップの提示、③国際連携のあり方の提示、を行

3 風力発電の技術の現状とロードマップ

ったものである。技術の選定にあたっては、以下の要件により絞り込みが行われた。

- (1) 2050年の世界における大幅な二酸化炭素削減に寄与する技術
  - (a) 技術の普及に要する時間を考慮し、2030年までには実用化が期待される技術
  - (b) 普及に要する時間が短い技術については、2030年以降に実用化が期待されるものも対象
- (2) 以下のいずれかの方法を通じて、飛躍的な性能の向上、低コスト化、普及の拡大等が期待できる革新的な技術
  - (a) 新たな原理の活用、既存材料の新活用を含めた材料の革新（例：新構造・新材料太陽電池、燃料電池の白金代替触媒等）
  - (b) 製造プロセスの革新（例：水素を還元材として用いる革新的製鉄プロセス等）
  - (c) 要素技術が確立した技術をシステムとして実証（例：二酸化炭素回収・貯留技術）
- (3) 日本が世界をリードできる技術（要素技術について強みを要する技術を含む）

図表 3.59 に、選定された重点的に取り組むべきエネルギー革新技術を示す。再生可能エネルギーについては、革新的太陽光発電が、発電・送電部門の技術に挙げられている。

なお、2010年6月、閣議決定されたエネルギー基本計画及び新成長戦略では、「新たなエネルギー革新技術ロードマップの策定」が位置付けられている。これを踏まえ、12月末の予定で「新たなエネルギー革新技術計画」が策定されることとなった。太陽光発電、二酸化炭素回収・貯留（CCS）、原子力発電等の引き続き重点的に取り組むべき技術に加えて、今後世界において大幅な普及拡大が予測される洋上風力発電等についても、重点的に取り組むべき技術として扱うとしている。

図表 3.59 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術



出典：「Cool Earth エネルギー革新技術計画」（2008，経済産業省）

## 5) 再生可能エネルギーの全量買取制度

2009年11月に、「エネルギー供給構造高度化法」(2009)の枠組みの中で、太陽光発電による電気の新たな買取制度が開始された。太陽光発電設備による余剰電力を、住宅用(10kW未満)については現在の2倍程度の価格(48円/kWh)で10年間買い取ることを電気事業者が義務化したもので、追加的コストは電力消費者全員で負担することとなる。日本版フィードインタリフとも呼ばれる。

現在、太陽光以外の再生可能エネルギーを含めた全量買取制度について、経済産業省が立ち上げた「再生可能エネルギーの全量買取に関するプロジェクトチーム」を中心に検討が進められている。2010年5月には中間取りまとめとして、図表3.60に示す全量買取制度のオプション(選択肢)が提示された。2010年中旬には制度の大枠が提示される予定である。成立すれば、風力発電の導入量に大きな影響を与える新制度であり、今後の動向が注視される。

図表 3.60 全量買取制度のオプション(選択肢)

ケース	買取対象		住宅用太陽光発電等	買取価格 <sup>3)</sup> (円/kWh)	買取期間 (年)
	あらゆるエネルギー	既存の設備も対象			
ケース1	あらゆるエネルギー	既存の設備も対象	全量買取へ移行	20	20
ケース3 <sup>1)</sup>	実用段階のエネルギー	新設の設備を対象 <sup>2)</sup>	〃	15 または 20	15 または 20
ケース4	〃	〃	現行制度を維持	〃	〃
ケース5	〃	〃	〃	電源毎に変える	15

1) 多くのケースの中から4通りを選んだため、ケース番号2が抜けている

2) 住宅用太陽光発電等については既存の設備も含む。

3) 住宅用太陽光発電等については買取価格を別途設定。

出典：「再生可能エネルギー全量買取制度のオプション(選択肢)について」(2010年5月、経済産業省)

## 6) 各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業

図表3.61に、主要な再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業について、風力発電関連事業を中心に示す。

3 風力発電の技術の現状とロードマップ

図表 3.61 2009 年度の再生可能エネルギー導入補助事業例

事業名（補助率等）	制度概要	対象者	対象エネルギー	実施主体
地域新エネルギー等導入促進事業 補助率：1/2 以内（太陽光、風力は別途上限等あり）	新エネルギー等設備導入事業の実施に必要な経費に対して補助を行う。	地方公共団体／NPO／社会システム枠（地方公共団体と連携して事業を実施する民間事業者）	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱	新エネルギー導入促進協議会
新エネルギー等事業者支援対策事業 補助率：1/3 以内（太陽光、風力は別途上限等有）	新エネルギー等設備導入事業を行う事業者に対し、事業費の一部に対する補助を行う。	民間事業者	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱	新エネルギー導入促進協議会
地方公共団体対策技術率先導入補助事業 補助率：1/2 以内	地方公共団体が策定した実行計画に基づく代エネ・省エネ設備導入事業や、公共施設へのシェアード・エスコ事業について、要件を満たす設備の導入費用の一部を補助する。	地方公共団体/地方公共団体の施設へシェアード・エスコを用いて省エネ化を行う民間団体等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省
エネルギー需給構造改革投資促進税制	対象設備を適用期間内に取得、製作または建設して、その後一年以内に事業の用に供した場合に、税額控除または特別償却が認められる。	個人および法人のうち青色申告書を提出する者	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱	所轄税務署
新エネルギーベンチャー技術革新事業 委託費：1 千万円/件（1 年、FS）	中小・ベンチャー企業等が保有している潜在的技術シーズを活用した技術開発の推進、および新事業の創成と拡大等を目指した事業化を支援する。	企業/大学/独立行政法人等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱	NEDO
地球温暖化対策技術開発事業【競争的資金】 委託事業：上限なし（予算枠 7 億円） 補助事業：1/2（上限なし、予算枠 2.5 億円）	再生可能エネルギー導入技術実用化開発、省エネ対策技術実用化開発等の技術開発分野ごとに、実用的な温暖化対策技術の開発について、優れた技術開発の実施に係る提案と実施体制を有する民間企業等を公募により選定し、委託または補助を行う。	民間事業者/公的研究機関/大学等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省

出典：NEDO、経済産業省、環境省資料より取りまとめ

### 3.1.8 ビジネスモデル

風力発電のビジネスモデルは、「風力発電機器の製造・販売ビジネス」と「風力発電による発電ビジネス」の2つに大別される。

#### (1) 風力発電機器の製造・販売ビジネス

風力発電機器の製造・販売ビジネスモデルには、風力発電システムの販売、風力発電関連部材・設備の販売等が挙げられる。

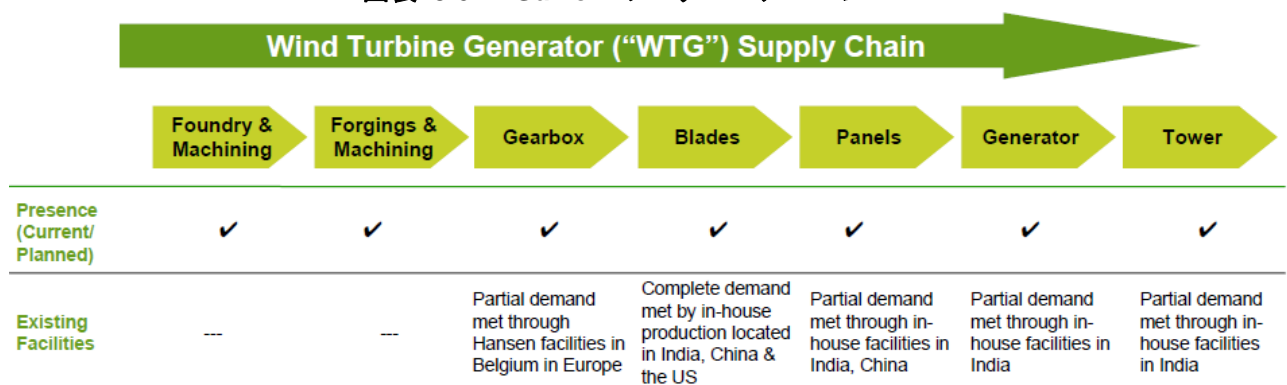
#### 1) 風力発電システム

風力発電システムを販売するビジネスモデルは、個々の機器・設備の安定調達、風力発電全体に係る技術・ノウハウの蓄積、システム全体の最適化・パッケージ化等のメリットを有する。近年、M&A などにより風力メーカーの再編が活発化しており、サプライチェーンの垂直統合が進められている。

サプライチェーンの垂直統合により競争力を高め、市場シェアを拡大している企業例として、Suzlon（インド）が挙げられる。Suzlon は、ほぼ全部材において自社供給できる体制を整備しており、適地のアセスメントから設備導入、運用保守まで一貫したサービスを提供することで、国内シェア 6 割を握っている（図表 3.62）。近年は海外市場でもシェアを伸ばしており、2008 年時点で第 5 位（7%）の位置につけている<sup>49</sup>。2008 年時点で世界市場第 3 位（11%）の Gamesa（スペイン）も同様に、各要素部材の自社生産率を向上させている（図表 3.63）。

また、近年重電メーカーがその資金力や販売網を活かし、サプライチェーンの水平・垂直統合により風力発電事業を拡大している。代表的な例は GE（米）や、Siemens（独）で、風力発電事業者、構成部材メーカー（増速機等）を取り込み、市場シェアを着実に伸ばしている。日本の重電メーカーも、三菱重工業が石橋製作所と合弁で、2,400kW 風車用増速機の製造・販売会社（2010 年から生産開始）を設立するなど、動きを活発化させている。

図表 3.62 Suzlon のバリューチェーン



出典：Suzlon 資料（2008）

<sup>49</sup> 風力発電メーカーの海外市場シェアについては、P109 を参照。

3 風力発電の技術の現状とロードマップ

図表 3.63 Gamesa の各要素部材の自社生産率

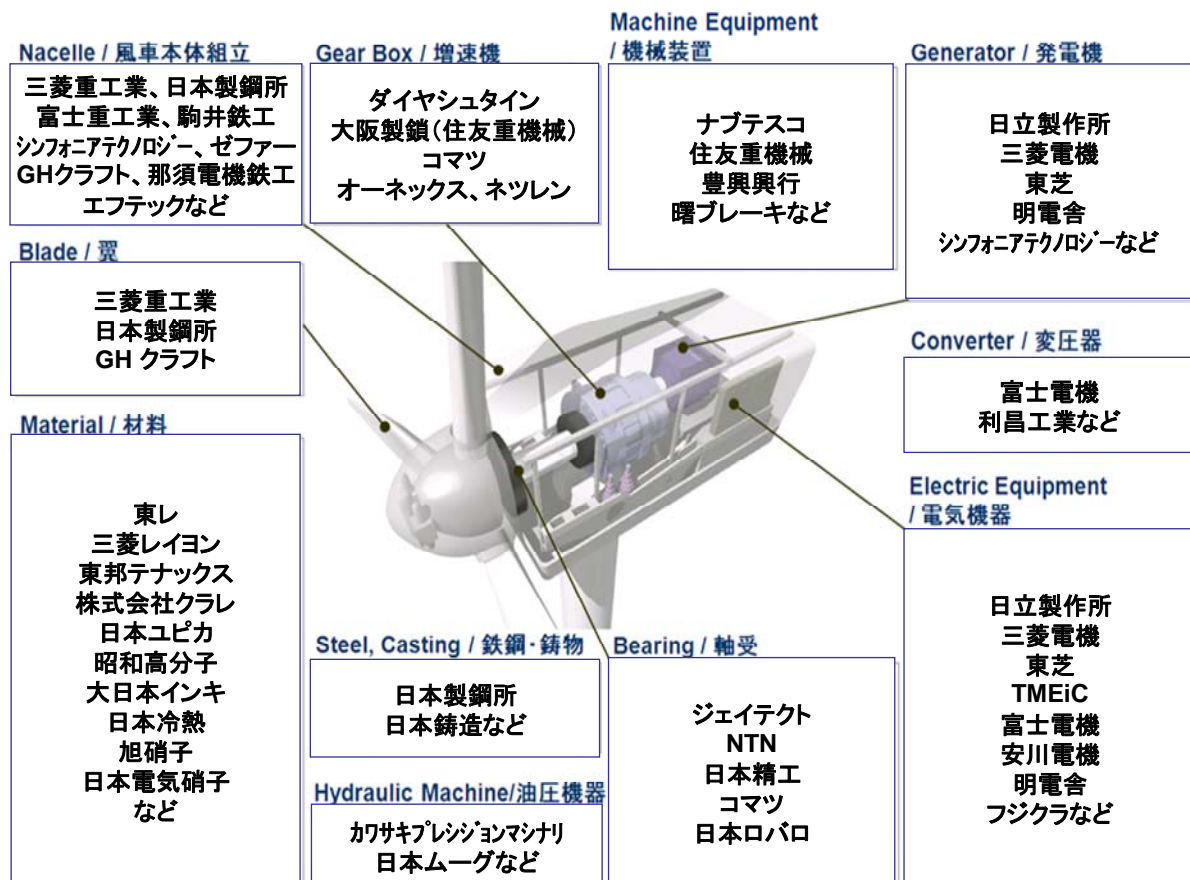
2007	% IN-HOUSE	IN-HOUSE PRODUCTION (MW)	Var. 06 / 07
NACELLES	100%	>3,300	+45%
BLADE	85%	>2,800	+30%
GEARBOX	>50%	>1,900	+50%
GENERATOR	50%	>1,600	+10%
ELECTRIC	>50%	>4,300 cabinets	+80%
TOWERS	>50%	>1,300	+60%

出典：Gamesa 資料（2008）

2) 風力発電構成機器・部材

風力発電構成機器・部材としては、軸受、増速機、発電機、ブレード、タワー等が挙げられる。各構成機器・部材の国内主要メーカを図表 3.64 に示す。

図表 3.64 風力発電構成機器・部材の国内主要メーカ





国際的な状況としては、現在大手風力発電機メーカー、重電メーカーによるサプライチェーンの水平・垂直統合が進んでおり、特に精密加工を必要とする増速機は製造可能なメーカーが限られるため、Siemens（独）による Winergy（独）の買収、Suzlon（印）による Hansen（ベルギー）の買収など、大手各社による買収が進んでいる。

ただし、今後さらなる大型化が進むこと、洋上など過酷な環境への暴露（塩分、砂塵）が増えることから、軸受、増速機、発電機等、それぞれにおいてさらに高度な技術力と品質が求められる時代になると考えられる。技術力の差から、各構成機器・部材市場において、少数企業による寡占状態が生まれる可能性がある。例えば、日本においては NTN、ジェイテクト、日本精工などの軸受メーカーや、ブレード材質として軽量・高強度なことから注目される炭素繊維の生産量で世界シェアをリードする東レ、東邦テナックス、三菱レイヨンなどの素材メーカーが風車の大型化や洋上展開が進む中で、ますますその価値を高めていく可能性がある。

## (2) 風力発電による発電ビジネス

風力発電による発電ビジネスには、発電電力自体を売るビジネス、環境価値を売るビジネス等が挙げられる。

### 1) 売電ビジネス

風力発電による発電ビジネス（IPP ビジネス）が各国で増加している。

IPP（Independent Power Producer）とは、電力会社や送配電会社および消費者に電力を供給する独立発電事業者を指す。現在、太陽光、風力等の再生可能エネルギー分野における IPP ビジネスが世界各地で増加している。

日本国内では、電源開発（J-POWER）、ユーラスエナジー、クリーンエナジーファクトリー、日本風力開発、エコ・パワーなどが IPP の上位を占めている。例えば J-POWER は、国内 14 箇所で合計約 270MW の風力発電所を運転している<sup>50</sup>。また、海外にも進出しており、2008 年 9 月にはポーランドにおいてザヤツコボ風力発電所（48MW）の運転を開始している。

図表 3.65 J-POWER の郡山布引高原風力発電所



出典：J-POWER ホームページ（<http://www.jpowers.co.jp/index.html>）

<sup>50</sup> 2009 年末時点。

## 2) 環境価値の販売ビジネス

風力発電により得た電力には、電力そのものの価値と、環境価値があり、環境価値を分離して取引する市場が形成されている。

環境価値を販売するビジネスとしては、国連が認証した CDM（クリーン開発メカニズム）事業で生まれたクレジットである CER（Certified Emission Reduction）、京都メカニズムにはよらない自主基準によるクレジットである JVER（Japan Verified Emission Reduction）、CO<sub>2</sub>を発生しない再生可能エネルギー由来の電力の環境価値を証書化し販売できる形としたグリーン電力証書、さらにグリーン電力を発展させ、発電所から需要者へ直接送られたグリーン電力の価値を証書化した生グリーン電力証書などを取引するビジネスなどが挙げられる。

CDM については、京都議定書の削減目標、および将来的な大幅削減の達成にあたり、重要性が増している。現在、再生可能エネルギー分野では、バイオマス、風力発電、水力発電等で CDM プロジェクトが実施されており、風力発電の CDM プロジェクトも多数実施されている（図表 3.66）。風力発電も発展途上国においては有望なエネルギー源であり、今後の展開が期待される。

図表 3.66 風力発電の CDM プロジェクト（2010 年 3 月時点）

実施国	プロジェクト数	導入容量 [MW]
インド	380	6,020
中国	481	27,481
メキシコ	16	1,964
ブラジル	10	674
韓国	13	354
キプロス	6	261
モロッコ	6	444
チリ	6	174
エジプト	4	406
ウルグアイ	3	74
コスタリカ	2	69
ニカラグア	2	63
イスラエル	2	34
ドミニカ共和国	1	65
フィリピン	1	33
パナマ	1	81
モンゴル	1	50
ジャマイカ	1	21
コロンビア	1	20
ケニア	1	310
アルゼンチン	1	11
ベトナム	1	30
チュニジア	1	34
スリランカ	1	10
カーボベルデ	1	28
タイ	1	3
エクアドル	1	2
合計	946	38,714

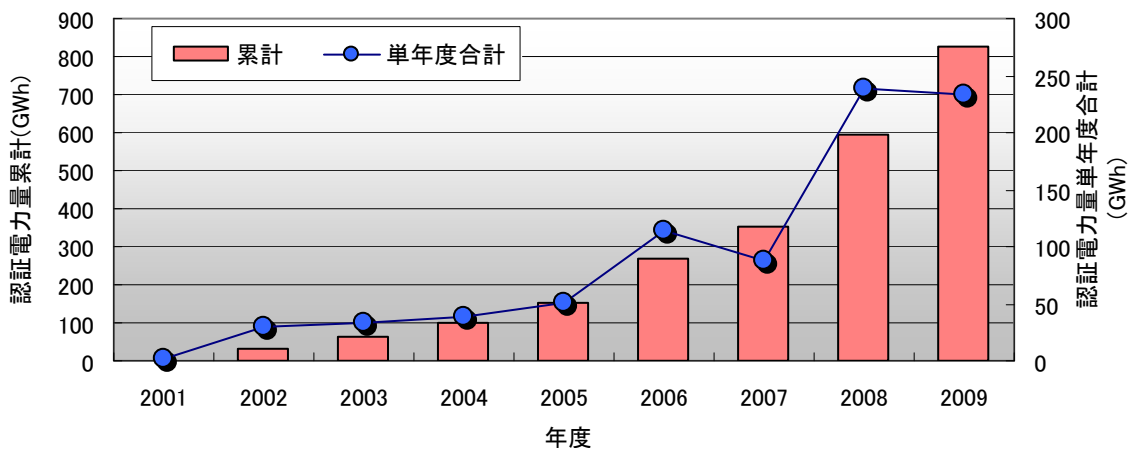
出典：UNDP Risoe Center CDM pipeline (<http://www.cdmpipeline.org>) より作成（2010.6）

グリーン電力証書制度の目的は、以下の2点が挙げられる。

- ・制度を通じてグリーン電力価値を所有することにより、グリーン電力発電設備を自ら保有することが困難な企業・自治体等の環境対策に貢献する。
- ・発電者がグリーン電力価値を販売できるため、経済的なグリーン電力発電設備の建設に貢献することとなり、ひいては日本におけるグリーン電力の導入に貢献する。

グリーン電力証書の認証実績は年々増加しており、風力発電導入のインセンティブとして、さらなる市場の拡大が期待されている。

図表 3.67 グリーンエネルギー認証センターによるグリーン電力証書認証実績



出典：財団法人日本エネルギー経済研究所グリーンエネルギー認証センターホームページより作成

### 3.1.9 国内技術の競争力

#### (1) 風力発電システム

図表 3.68 に風力発電機の世界市場シェア（2008 年時点）を示す。現在世界の風力市場シェアは、2008 年時点で Vestas（デンマーク、19%）、GE Energy（米国、18%）、Gamesa（スペイン、11%）が約 5 割を占めており、次いで Enercon（ドイツ、9%）、Suzlon（インド、7%）、Siemens（ドイツ、7%）が名を連ねる。日本メーカーで最大手の三菱重工業のシェアは 3%（第 11 位）にとどまる。また、日本国内の風力発電機もその大半が欧米製である（図表 3.69）。

日本メーカーの市場シェアが小さい要因の一つとして、国内市場の未成熟が挙げられる。世界市場シェア上位のメーカーはいずれも拡大する自国市場において技術・実績を確立し、世界展開している企業である。一方、日本の風力市場は海外と比較して小さく、海外市場で競争力を発揮できる日本メーカーを育成する環境は整っていなかった。

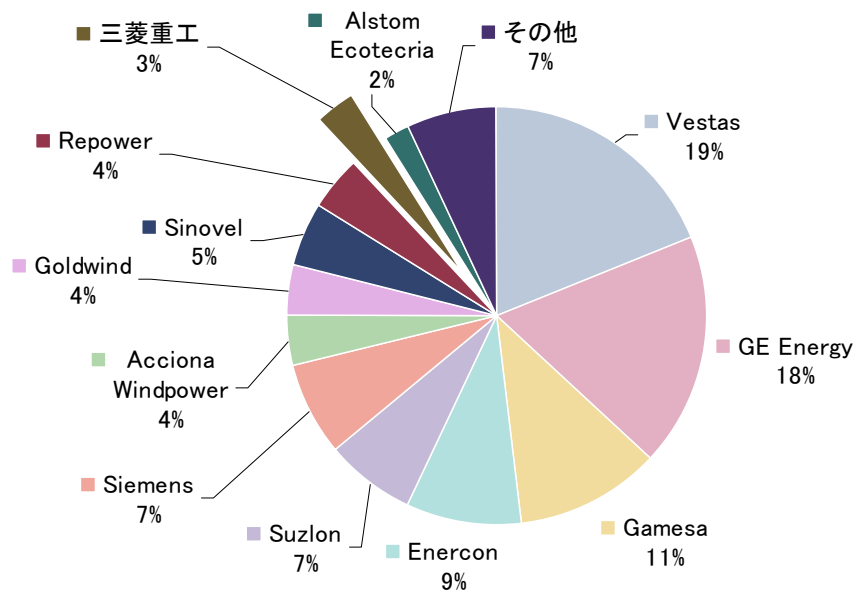
このように、現状では日本メーカーの国内外市場における存在感は小さいが、近年三菱重工業が米国市場において受注数を伸ばしている他、国内市場に占める国内メーカーシェアも上昇している（図表 3.70）。日本のものづくり技術は世界トップクラスであり、今後は実績による信頼の獲得、販売網の強化等により、市場拡大を進めていくことが望まれる。

日本企業が世界シェアの拡大を図る上では、日本特有の台風や冬季雷対策、複雑地形に対応できる風力発電機の開発がセールスポイントの一つになると考えられる。厳しい日本の自然条件に対応できる風力発電機は、世界の全地域に設置可能な品質を持つといえる。今後世界的に、陸上における適地の減少、条件の悪い地域への設置が増加すると考えられる中、あらゆる条件に対応できる日本の風力発電機に対する需要が増加する可能性は高い。NEDO は、2008 年に台風、乱流、落雷対策の指針を示した「日本型風力発電ガイドライン」を策定しており、本ガイドラインを活用し、技術開発を進めることが有効である。

日本型風車技術の優位性は、洋上風力発電についても同様である。水深 20m 未満の海域が広がる欧州と異なり、日本の国土の周辺海域は直ぐに深くなる。また、海底地形も複雑であることから、設置技術を要するばかりか、コスト的にも割高となる。この海域において適正な価格で設置可能な技術力が備われば、世界市場へ進出することは十分可能と考えられる。

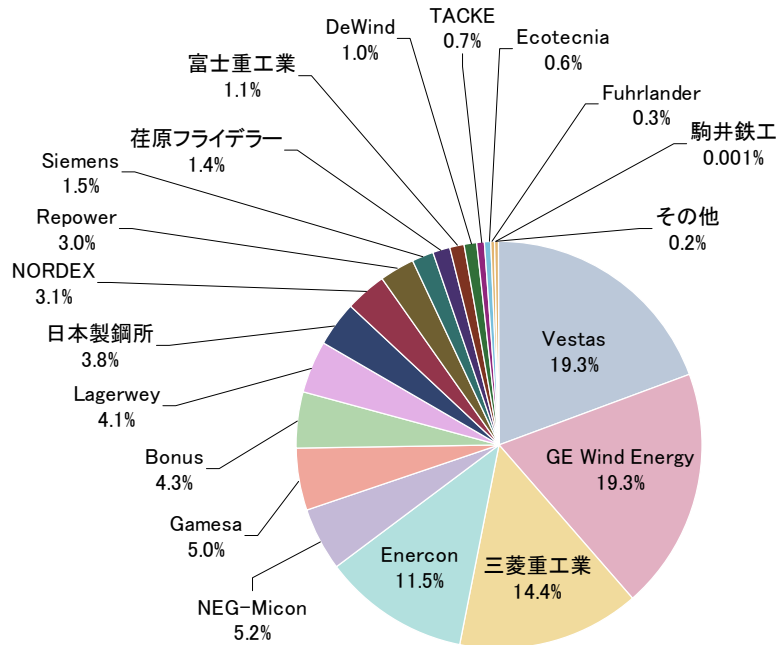
現在、英国ではすでに約 1GW の洋上風力発電所が運転または建設中であり、さらに約 4GW 分の新規プロジェクトが政府の承認を受けている。ノルウェーにおいては、2.3MW の浮体式洋上風力発電機の実証試験が実施されている（3.1.5 節参照）。特に浮体式については、造船技術の応用など、日本の技術優位性を発揮できる可能性が大きく、海外勢に遅れを取らないよう、早急に実証試験を実施する必要がある。

図表 3.68 風力発電機の世界市場シェア（2008年）



出典：Emerging Energy Research 資料

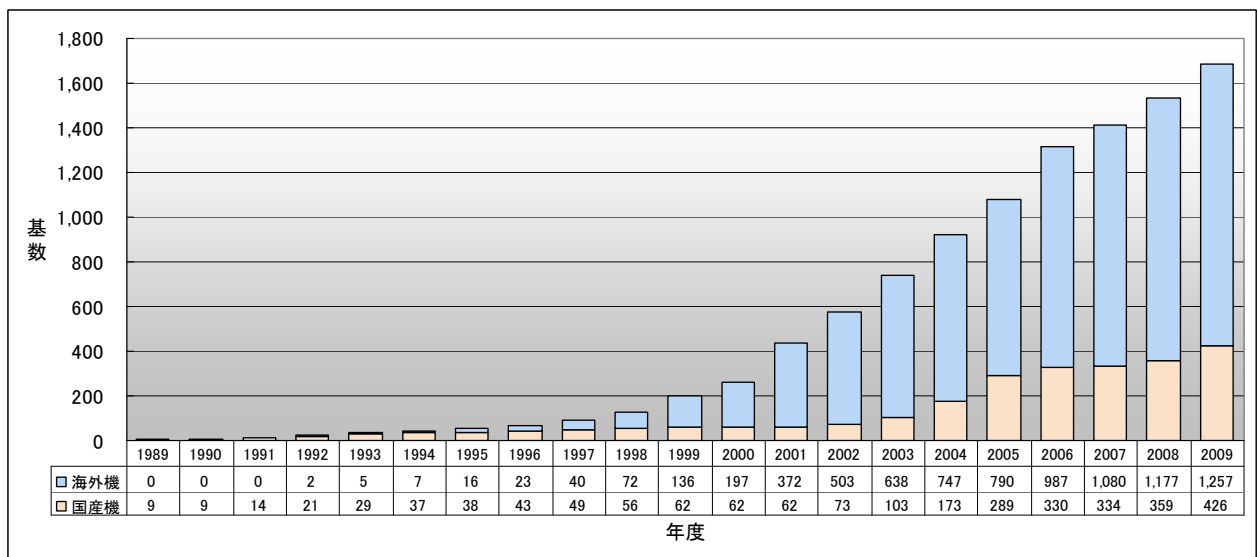
図表 3.69 風力発電機の日本市場シェア（2008年）



出典：NEDO 資料より作成

3 風力発電の技術の現状とロードマップ

図表 3.70 国内における海外機・国産機別導入量（基数）の推移



出典：NEDO 資料より作成

(2) 風力発電関連機器・部材

風車は回転機械であり、ナセル・タワー間のヨー軸受、ブレード付け根部のピッチ制御用の旋回軸受、低速主軸受など、1基当たり約20個の軸受を要する。今後、風力発電機の大型化や洋上展開が進むに伴い、現状よりさらに高品質の軸受が要求される可能性が高い。直径が1～3mに及ぶ大型の軸受製造については、製造に確かな技術力が必要とされる。風力発電市場において、世界的に信頼された軸受メーカーは5社しかなく、そのうち3社は日本のジェイテクト、日本精工、NTNが占めている。今後、高度な技術力を有する日本の軸受メーカーの世界市場での地位はますます高まるものと考えられる。ただし、関連機器・部材の大型化に伴い輸送コストの問題が生じるため、日本精工が新たな生産拠点を中国に建設するように、風車関連産業が海外に生産拠点を持つことも市場競争力を得るには重要な戦略となる。

また、現状、ブレード材料はFRP (Fiber Reinforced Plastics) 複合材が主であるが、今後、8MW、10MWと風車の大型化が進むと、高剛性・高比強度を有する炭素繊維の利用に一層の関心が高まるものと考えられる。炭素繊維は日本発の技術である。世界市場に占める日本企業製品のシェアは非常に高く、東レ、東邦テナックス、三菱レイヨンなどが世界における炭素繊維の生産量をリードしている。品質も世界最高水準であり、風力市場における今後の国内有望産業の一つとして期待される。

なお、風力発電装置は部品点数が多く、産業の裾野が広い製品である。MW級の風車の部品点数は1万点と言われており、大型化や洋上展開に求められる機能を国内部品産業に求め、国内中心のサプライチェーンが形成されるならば、その産業波及効果は大きいものと期待される。

## 3.2 技術ロードマップ

### 3.2.1 目指す姿

#### (1) 風力発電を取りまく現状

##### 1) 成長する風力発電市場

世界の風力発電市場は堅調に拡大を続けている（3.1.4 節参照）。2000年に約20GWだった世界の総発電容量は、2009年には約160GWにまで成長した。国別に見ると、米国が順調に導入量を伸ばしており、2009年時点で累積発電容量約35GWで世界のトップを走っている。また、中国における風力市場の成長が目覚しく、累積発電容量はここ5年間で約35倍に拡大している。

風力発電は、他の再生可能エネルギーと比較して発電コストが低く、事業採算性が高いとされている。諸外国においては、風力発電の市場規模および導入量は再生可能エネルギーの中でトップの地位を占めており、IEAの将来見通しにおいても、再生可能エネルギーの主翼を担う存在と考えられている（P109参照）。

実際にEUでは、欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）<sup>51</sup>において、2020年までにEUの電力消費量の20%を風力発電でまかなう目標が設定されたほか、米国においても、2030年までに米国の全電力需要の20%を風力エネルギーでまかなう技術的可能性について検討が行われている<sup>52</sup>。諸外国において、脱化石燃料、低炭素社会の実現に向けて、風力発電が将来の主要なエネルギー供給源の一つとして認識されていることは明らかである。

また、世界の風力発電市場は、陸上から洋上へとさらに広がる動きを見せている。陸上における適地が減少していること、また洋上は風況に恵まれていること等から、欧州を中心に洋上風力発電の技術開発が積極的に行われており、着床式洋上風力発電についてはすでに多くのプラントが稼動している。さらに沖合への設置を視野に入れ、浮体式洋上風力についても技術開発が進められており、商用化が実現すれば、風力発電市場は飛躍的に拡大すると考えられる。

##### 2) 低迷する国内風力発電市場

日本においては2000年以降導入量が拡大し、累積発電容量は現在約2.2GWに達した。しかしながら、山岳地形や複雑な風況、系統連系制約等の制約により、世界の主要国と比較すると成長率は小さく国内市場は低迷している。IEAの将来見通しにおいて、風力発電は主要な再生可能エネルギー源の一つになると見込まれているものの、諸外国と比較するとその位置づけは必ずしも高くない（P109参照）。

国内産業の育成には、技術開発や実績・ノウハウの蓄積の土台となる国内市場の拡大が必要であるが、現状の市場規模は産業育成の土壌としては不十分である。世界の風力発電市場にお

<sup>51</sup> 低炭素化社会の早期実現に向けて、EU全体で共同し、低炭素化技術の研究開発および普及を加速させることを目的としたEUの技術開発戦略。欧州産業イニシアティブ（European Industrial Initiatives : EII）として、低炭素化に資する6つの有望技術（風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂）に関するイニシアティブが設置されている。2009年7月にはそれぞれの技術について技術ロードマップが提示され、2010年3月に欧州理事会により承認された。

<sup>52</sup> “20% Wind Energy by 2030”（2008, DOE）

### 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

ける日本の風力発電機メーカーの存在感は小さく、国内市場においても、欧米企業にシェアの大半を握られているのが現状である。

#### 3) 世界に誇る日本企業の技術力

ただし、日本の風力発電機メーカーの技術力は決して海外メーカーに劣るものではない。近年三菱重工業が米国市場において受注数を伸ばしている他、国内市場に占める国内メーカーシェアも上昇している。ものづくりにおける日本メーカーの技術力は世界が認めるところであり、今後の技術開発、実績の積み上げによる信頼の獲得、販売網の強化等を図ることにより、市場シェアを拡大させることは可能である。

また、風力発電機レベルでの世界市場シェアは小さいが、風力関連部材では、軸受の分野で世界的に活躍するジェイテクト、日本精工、NTN、あるいは、風車の大型化に伴い、世界的に需要が増加する可能性の高い炭素繊維の分野で東レ、東邦テナックス、三菱レイヨンなどが競争力を有している。

また政策面では、全量固定価格買取制度の導入が検討されるなど、風力発電を取りまく環境も変わりつつあり、国内風力産業の伸張と、その後の海外市場への展開も十分に期待できる状況となりつつある。

#### (2) 我が国の風力発電の目指す姿

以上の状況を整理すると、我が国の風力発電の目指す姿は以下に集約される。

世界の風力市場が拡大し、陸上から洋上までそのビジネスチャンスが広がる中、日本企業の世界市場シェアを拡大するためには、海外企業に勝る性能およびコスト競争力を持つ風力発電機の開発が必要となる。

日本においては、山岳地形や複雑な風況が導入障壁となり、国内市場は低迷しているが、逆に日本で問題なく運転できる風力発電機は、世界の全地域で通用する性能を持つと考えられる。従って、国内市場をターゲットに技術開発を進めることは、海外市場における競争力を高めることと同義である。また、日本のものづくり技術は世界トップクラスであり、今後の技術開発による巻き返しは可能である。

従って、まずは風力発電を取りまく様々な立地制約を克服する技術的対策を推進し、国内導入量の拡大を図ることにより、国内企業の技術を確立することが第一の課題となる。また、国内市場で培った技術力を背景に、海外市場で競争力を有する国内企業を育成することが第二の課題となる。日本企業の世界シェアの拡大は、国内の風力発電関連産業全体の育成につながるものであり、その経済波及効果は高い。産業全体を見据えた、戦略的な技術開発が重要である。なお、我が国の風力発電の目指す姿を追求していく上で、不可欠となるのが、再生可能エネルギー推進に対する国としての確固たる姿勢である。諸外国が戦略的に再生可能エネルギーへの投資を行っている現状において、新成長戦略やエネルギー基本計画等に基づく国による強力な後押しが不可欠であることは言うまでもない。



図表 3.71 風力発電の目指す姿

- 風力発電を取りまく様々な立地制約を克服する技術的対策を推進し、国内導入量の拡大を図る。
- 国内市場で培った技術力を背景として海外市場で競争力を有する国内企業を育成する。

### 3.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

前項に掲げた風力発電の目指す姿を実現するために、技術開発、普及拡大のそれぞれにおいて、以下に示す課題へ対応していく必要がある。

#### (1) 低コスト化の追及

2009年8月、総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会が発表した「新エネルギー部会 中間報告」によると、大規模風力発電の発電コストは、9～14円/kWhと試算されている。一方、システム価格は1997年～2008年の間20～30万円/kWで推移、2003年度までは低下傾向にあったが、2004年度以降、世界的な風車需要の増加に伴う売り手市場の形成、鋼材の値上がり等により上昇に転じている。風力発電設備を設置しやすい平地部への展開は今後も続くことが予想されるが、風力発電の導入をさらに促進するには、山間部へ、あるいは、洋上へと設置場所を求めていく必要がある。しかし、こうした場所への設置はこれまで以上に設置に係るコストの上昇につながる恐れがある。一方、風車の大型化や、風車が大量導入されることによるスケールメリットは期待されることから、設置に係るコストの上昇分を相殺し、さらに発電コストを低減させる努力は継続的に取り組むべき重要な課題である。アプローチとしては、日本の場合、人件費では発展途上国のコストと勝負はできないことから、製造の機械化・自動化を図り、コストを構成する各要素のいずれにおいても、最大限削減の努力を図っていくとともに、設備の耐久性の向上や、発電量の増加、あるいは、高性能風車・要素の開発といった新たなコンセプトの追求など多様な取組みが重要である。

#### (2) 設置可能地域の拡大

前項のとおり、これからの風力発電設備の立地は、山間部や洋上あるいは、これまで風況が悪いことから立地を見送っていた弱風地域への展開、さらには、これまで小型風力発電が導入されていた地域・分野への導入拡大などが必要となってくる。こうした新しい地域への設置には、場所特有の自然条件への対応が求められる。例えば、山間部における複雑な地形の影響による大きな乱れを含む風の特性や、台風による強風の影響などがある。当該地域の事業性を評価するためには、複雑地形における風モデルや高精度な風況予測モデルの確立、台風による強風の影響評価の高度化などが必要となる。洋上は国土の四方を海に囲まれている我が国にとって、残されたフロンティアと考えられるが、気象条件だけではなく、海象条件をも想定した風力発電設備の設計が必要となる。着床式については、既存の陸上風車技術に近く、既に欧州では導入が進んでおり、今後も市場の拡大が見込まれている。一方、浮体式については、未だ世界的には実証研究の段階であり、着床式に比べ技術課題も残されている技術開発競争の段階と

### 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

いえる。

このように山間部や洋上への展開は、発展途上の段階にあり、それぞれの地域特有の課題を克服することにより、設置可能地域を拡大していくことが今後の日本の風力発電の導入推進には不可欠であるばかりか、海外進出の突破口ともなりうると考えられる。ここでは、これまで我が国の風力発電の発展の阻害と考えられてきた自然条件を克服して、我が国固有の技術力を高め、海外進出の切り札とする、弱みを強みに変える戦略が求められる。

#### (3) 環境適合性の強化

わが国において風力発電の普及が進展しない理由の一つに環境問題に対する懸念が挙げられる。風力発電設備に隣接する地域の住民から風車音に対する苦情、バードストライクによる被害、あるいは、洋上風力発電による海生生物への影響の懸念などである。これらの懸念事項に対して技術的対策を施すことにより、影響の解消あるいは緩和をはかり、風力発電装置の環境適合性を高めることが今後ますます求められている。

またソフト面の対応として、リスクコミュニケーションの強化と、サイエンスコミュニケータの育成も今後は重要となる。リスクコミュニケーションは、事業者が地域の行政や住民と情報を共有し、事業リスクに関するコミュニケーションを行うことである。事業を進めるに当たり、早い段階でわかりやすい情報を提供し、利害関係者の要望にこたえることが重要となる。技術革新は我々に様々な恩恵をもたらすが、技術の先鋭・細分化は一般国民との距離を遠ざける方向に働く場合がある。専門家から説明を聞いたとしても住民の理解を遥かに超えていることがあり、そのことが相互の理解に微妙な影響をもたらすことがある。サイエンスコミュニケータは専門家と一般国民との科学技術に関する意見交換を促進するファシリテータである。サイエンスコミュニケータの養成は、風力発電の分野でも重要となってくると考えられる。

#### (4) 系統連系対策

風力発電は風をエネルギー変換して利用する発電システムである。風は一様ではなく常に変動するため、風力発電の出力は安定していないのが普通である。風力発電をはじめとする再生可能エネルギーの普及が進展するにつれ、系統電力へ接続した際の、系統側の電圧、周波数等の電力品質に与える影響がますます懸念されるようになって来た。系統連系対策として電力の安定化を図るアプローチには、系統側で行うものと、発電側で行うものがある。両者が連携して対策を実施することが重要である。

図表 3.72 に発電側において想定される時間的・空間的スケールから見た主な制御方法を示す。

図表 3.72 時間・空間スケールに係る制御方法の可能性

時間 空間	短期	中期	長期
	数分以下	数分～20分程度	20分程度以上
単機	ピッチ+キャパシタ	—	—
複数機	ピッチ・監視 +キャパシタ	—	—
WF 連系	—	監視・予測、 WF 間連系、蓄電池、 キャパシタ	—
WF 全体	—	監視・予測、 会社間連系、蓄電池、 キャパシタ	監視・予測
WF+他	—	監視・予測、 ガスタービン、 会社間連系	監視・予測
現行	ガバナフリー	LFC・蓄電池	ELD

注) WF: ウィンドファーム、LFC: 負荷周波数制御、ELD: 経済負荷配分制御

- ・短期成分: ガバナフリー運転=発電機のガバナー(調速機)において、発電機の入力制限を解除した運転
- ・LFC 制御: 中央給電司令所において系統周波数と基準周波数の差を検出し、系統全体としての発電機出力制御量を設定し、さらにこれを水力発電所および火力発電所に配分する。出力変動幅は発電機出力の数%程度に制限されている。
- ・経済負荷配分制御: ガバナーフリー運転や AFC 調整では、大きくかつ持続的な需要変動に対応できないため、中央給電司令所において需要予測を行い、これに応じて最適な運転出力を計算した上で水力発電所に運転出力信号を送信する。ELD (Economic Load Dispatch) と呼ばれている。

出典: NEDO「平成 19 年度風力発電に関する次世代技術課題の調査」

### 3.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

以上、わが国技術の目指すべき姿と、課題と対応から導き出される、風力発電のロードマップを図表 3.77 に示す。

#### (1) 技術開発目標

技術開発の結果達成される導入見込み量と、陸上風力、洋上風力および系統連系に係る技術開発目標を以下のとおり設定する。

#### 1) 陸上風力発電

陸上風力発電の技術開発目標を図表 3.73 に示す。

図表 3.73 陸上風力発電の技術開発目標

		2009年(現在)	2020年	2030年
発電コスト(円/kWh)		9~15	7~11	5~8
前提 条件	システム価格 (円/kW)	300,000	250,000	200,000
	運転・保守費 (円/年/kW)	3,000	2,000	1,500
	割増係数*	1.0	1.1	1.2
	風車の定格出力	2.5MW	3.0MW	3.0MW
	年平均風速	6.0~7.5m/sec		

※割増係数：技術開発の結果、増加する設備利用率の割合（2009年比）

発電コスト目標値の設定にあたっては、以下に示す発電コストの算出式（詳細は P131 を参照のこと）を用いた。

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = \frac{\text{システム価格} \times \text{年経費率} + \text{運転・保守費}}{\text{正味年間発電量}}$$

$$\text{年経費率} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}}$$

r：金利、n：耐用年数

金利、耐用年数は、それぞれ 4%、20 年とした。

ここで、正味年間発電量は、

正味年間発電量 = 365 (日/年) × 24 (h/日) × 実質設備利用率  
 実質設備利用率は、

実質設備利用率＝設備利用率×利用可能率×出力補正係数（レーレ分布との差）  
×割増係数

とした。さらに、設備利用率は、代表的な風車のパワーカーブ（図表 3.74）を用いて、年間平均風速をレーレ分布とした場合の値とした。

図表 3.74 代表的な風車のパワーカーブ

年間平均風速(m/s)	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
設備利用率	23.0%	27.5%	31.9%	36.3%	40.4%	44.3%	47.8%

日本における陸上風力発電のシステム価格は近年上昇傾向にあり（3.1.6 節参照）、今後、適地の減少によりさらにシステム価格が増加する可能性があるが、風車の大型化や、大量導入によるスケールメリットを享受すること、監視システムの高度化等により、2020年のシステム価格および運転・保守費は現状の30万円/kW程度、3,000円/年/kWから25万円/kW程度、2,000円/年/kWに削減、さらに2030年は20万円/kW程度、1,500円/年/kWの実現を目指す。また、風車の大型化や低風速対応風車の開発、制御システムの高度化などによって、出力の向上を図り、2009年比で2020年には10%、2030年には20%の発電量増加を目指す。（割増係数を2020年1.1、2030年1.2と設定。）。これにより実現できる2020年および2030年の発電コストの目標値として、それぞれ7～11円/kWh、5～8円/kWhと設定した。

## 2) 洋上風力発電

洋上風力発電の技術開発目標を図表 3.75 に示す。

図表 3.75 洋上風力発電の技術開発目標

		2009年(現在)	2020年	2030年
発電コスト(円/kWh)		—	12～17	8～11
前提条件	システム価格(万円/kW)	—	50	40
	運転・保守費(円/年/kW)	—	4,000	3,000
	割増係数*	—	1.0	1.2
	風車の定格出力	—	5MW	10MW
	年平均風速	7.0～8.5m/sec		

※割増係数：技術開発の結果、増加する設備利用率の割合（2009年比）

洋上風力発電の発電コスト目標値は、陸上風力発電と同様の方法で設定した。ただし、目標設定の対象は着床式に限った。前提条件としては、システム価格を陸上風力の2倍となる2020年50万円/kWとし、2030年には40万円/kWまでの削減を目指す。運転・保守費については風車の大型化による設置基数の削減や、遠隔監視・制御技術などを活用した運転保守技術の向上により、2020年4,000円/年/kWの想定から、2030年には3,000円/年/kWまでの削減を目指す。さらに、洋上の年平均風速は陸上よりも良いことを前提に7.0～8.5m/secとした。これにより実

### 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

現できる 2020 年および 2030 年の発電コストの目標値として、それぞれ 12～17 円/kWh、8～11 円/kWh と設定した。

## (2) 技術開発内容

図表 3.76 に風力発電の主な技術課題を示す。前項で設定した技術開発目標を実現するため、(1)発電コスト低減化の追及、(2)設置可能地域の拡大、(3)環境適合性の強化、(4)系統連系対策、それぞれに分類される各要素技術について、優先度の高いものから効果的に取り組む必要がある。

図表 3.76 において、要素技術それぞれについて、「低コスト化」「性能」「耐久・信頼性」「環境調和性」「系統対策」の観点から、「◎：非常に貢献する」「○：貢献する」の指標を用いて評価を行った。「◎」および「○」の多い技術は、特に優先度を持って取り組むべき要素技術であると考えられる。

図表 3.76 風力発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術	低コスト化		性能		耐久・信頼性		環境調和性		系統対策	
			陸上	洋上	陸上	洋上	陸上	洋上	陸上	洋上	陸上	洋上
1. 発電コスト低減化の追及	1-1 設備費の削減	● 量産化システム技術（機械化・自動化）	◎	◎								
	1-2 施工費の削減	● 輸送・建設技術の高度化	◎	◎								
		● 風車要素の軽量化・コンパクト化	◎	◎	○	○						
	1-3 運用・保守費の削減	● 監視システムの高度化	○	○	◎	◎	◎	◎				
		● 寿命予測・評価方法の高精度化	○	○	◎	◎	◎	◎				
	1-4 耐久性の向上	● 制御システム技術の高度化			◎	◎	◎	◎				
		● 材料開発	○	○	◎	◎	◎	◎				
		● 寿命予測・評価方法の高精度化	○	○	◎	◎	◎	◎				
	1-5 発電量の増加	● 新素材長大翼			◎	◎	○	○				
		● 制御システム技術の高度化			◎	◎	◎	◎				
● 低風速対応発電システム		◎		◎	○							
● ウィンドファーム最適運用技術		◎	◎	◎	◎					◎	◎	
1-6 高性能風車・要素の開発	● 革新的高性能要素技術の開発			◎	◎	○	○					
	● マルチメガワット風車要素技術の開発（ブレード/ドライブトレイン）	◎	◎	◎	◎	◎	◎					
	● 洋上風車要素技術の開発		◎		◎		◎					
2. 設置可能地域の拡大	2-1 我が国の立地環境への対応	● 複雑地形風モデルの開発	◎		◎		◎					
		● 落雷保護対策技術の高度化					◎	◎				
		● 台風対策・高乱流対策の確立	○	○	◎	◎	◎	◎				
		● リモートセンシング技術の高度化	◎	◎	◎	◎	◎	◎				

3 風力発電の技術の現状とロードマップ

技術課題		解決策・要素技術	低コスト化		性能		耐久・信頼性		環境調和性		系統対策	
			陸上	洋上	陸上	洋上	陸上	洋上	陸上	洋上	陸上	洋上
	2-2 自家発電・独立電源系(小型風力発電)の導入推進	• 低コスト化	◎									
		• 高安全性・高信頼性化			◎		◎					
		• 高効率化			◎		◎					
		• 低風車音システム							◎			
		• スマートグリッド対応技術									◎	
	2-3 洋上への展開(着床式)	• 連成振動解析技術		◎					◎			
		• 気象・海象予測シミュレーション技術の高度化		◎		◎		◎				◎
		• 疲労照査技術				◎		◎				
		• 大水深支持構造		◎				◎		○		
		• 洋上変電所								○		◎
	2-4 洋上への展開(沖合：浮体式)	• 連成振動解析技術		◎					◎			
		• 気象・海象予測シミュレーション技術の高度化		◎		◎		◎				◎
		• 疲労照査技術				◎		◎				
		• 浮体式支持構造		◎				◎		○		
		• 洋上変電所								○		◎
	3-1 風車音発生抑制	• 低風車音風力発電システム			◎				◎	◎		
		• 風車音シミュレーションモデルの開発			○				◎	◎		
	3-2 生態系への影響の緩和	• 鳥類・海生生物モニタリング技術							◎	◎		
		• 環境低負荷施工技術							◎	◎		
4. 系統連系対策	4-1 電力の安定化	• 出力平滑化技術			◎						◎	◎
		• 蓄電池システムの高度化									◎	◎
		• 高精度発電量予測技術			◎	◎					◎	◎
		• 大規模集中制御システム									◎	◎
		• 基幹系統の分散型電源連系技術									◎	◎



## 1) 発電コスト低減化の追及

発電コスト低減化へのアプローチとしては、コストを構成する各要素それぞれで削減を行うとともに、発電量を増加させるなど、発電コストに影響する要素に対し総合的に取り組んでいくことが重要である。

システム価格を下げるには、大型化や風車技術の向上による設備費の削減が、運転・保守費を下げるには、遠隔監視や制御システムの高度化、それと併せた最適人員数による適切な運転保守などが重要である。今後風車の立地は山間部や洋上への移行していくことになるが、監視システムを高度化して遠隔監視することが主流となる。また、主要な機器の故障検知や寿命予測までを監視システムに付与することで、風力発電機器の耐久性の向上を図る必要性が高まるものと予想される。

一方、発電コストの低減には、発電量を増加させるアプローチも重要である。風車の大型化や低風速対応風車の開発はその大きな流れの一つである。この両者に共通するのは、ブレードの長翼化が求められることである。同一材料によるブレードの長翼・軽量化は重量増加を伴うことから、新素材による軽量化が課題となっている。従来、ブレード構造部材はガラス繊維が主流であったが、より軽量、高強度な炭素繊維に関心が集まっている。また、可変ピッチ制御やヨー制御といった制御システムの高度化、ウィンドファームとしての発電量最大化を図る最適運用技術の開発なども求められている。

またこうした個別要素での検討とは別に、発電コスト低減化と信頼性の向上を同時に実現させるには、既存の方式にとらわれない、新しいコンセプトの高性能風車・要素の開発も必要である。

## 2) 設置可能地域の拡大

風力発電設備の開発は、設置が容易な地点から始まり、新規の立地はより設置が困難な地域へと進む。日本の場合には、まだほとんど手付かずの状態である洋上、陸上であればより山間の地域、あるいは、小形風車として都市部などの生活域へと進むこととなる。

我が国の国土は山間部が多く、今後、陸上風車の設置場所は地形が複雑な地域へと移行していく。地形が複雑な場合、風もその影響を受けることから風力発電施設の計画段階、運用段階それぞれで特有の対応が求められる。計画段階では、風の実測と予測が課題となる。山間部となると風況観測自体が容易ではなくなる。リモートセンシング技術の高度化による風の実測や、複雑地形風モデルの開発が、当該地域への風力発電施設立地の経済性を評価する上で欠くことはできない。また、運用段階では、落雷保護対策技術、風況変動対応の機械／電気設備および制御システムが必要となる。また、陸上・洋上に共通する課題となるが我が国特有の台風対策も重要である。

一方、洋上についても、今後着床式から始まり、すぐ近い将来浮体式へも移行していくと予想されるが、基礎構造物（浮体式の場合は浮体構造物）とタワー部に作用する波浪荷重と風車本体に作用する風荷重とロータ回転に伴う加振力を連成させた動的構造解析技術、気象・海象予測シミュレーション、長期的な繰り返し荷重による疲労の照査技術、沖合数十 km に大規模

### 3 風力発電の技術の現状とロードマップ

な導入に対応するための洋上変電所などの検討が必要となる。

#### 3) 環境適合性の強化

昨今、風力発電設備の立地の際には、風力発電設備に隣接する地域の住民から風車音に対する苦情、バードストライクによる被害、あるいは、洋上風力発電による海生生物への影響の懸念などが指摘されている。これらに対して、低風車音風力発電システムの開発、風車音シミュレーションモデルの開発、鳥類・海生生物モニタリング技術、環境低負荷施工技術の確立などの技術的対策を強化していく必要がある

#### 4) 系統連系対策

変動が大きい風力発電による発電電力を安定した電力として系統へ供給する上で、出力平滑化技術、蓄電池システムの高度化、風況のより精緻な把握による高精度な発電量予測技術、ウインドファームなど大規模施設の集中制御システムの確立が重要となる。

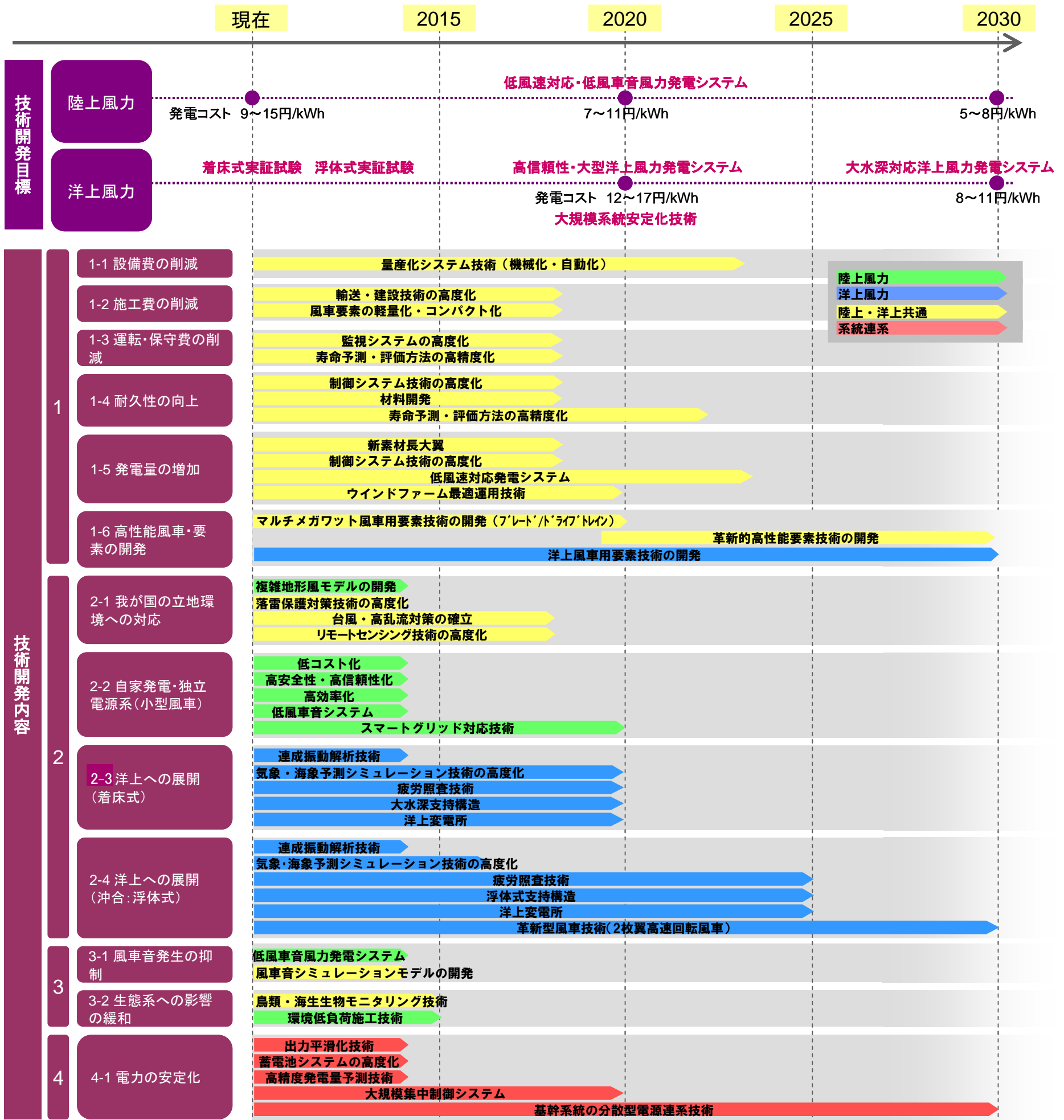
図表 3.77 風力発電の技術ロードマップ

目指す姿

- 風力発電を取りまく様々な立地制約を克服する技術的対策を推進し、国内導入量の拡大を図る。
- 国内市場で培った技術力を背景として海外市場で競争力を有する国内企業を育成する。

課題と対応

1. 低コスト化の追及 ▶▶▶ 設備費の削減、施工費の削減、メンテナンス費の削減、耐久性の向上、発電量の増加、高性能風車・要素の開発
2. 設置可能地域の拡大 ▶▶▶ 我が国の立地環境への対応、自家発電・独立電源系、洋上への展開(着床式/浮体式)
3. 環境適合性の強化 ▶▶▶ 風車音発生抑制、生態系への影響の緩和
4. 系統連系対策 ▶▶▶ 電力の安定化





## 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

本章においては、バイオマスエネルギーの現状や将来見通しについて述べる。バイオマスエネルギーは、廃棄物系バイオマスや未利用系バイオマスを収集・運搬し、また、資源作物を栽培し、バイオマス資源を物理的、熱化学的、生物化学的に気体燃料、液体燃料、固形燃料などに変換し、熱、電気エネルギーとして利用するものである。

本書においては、バイオマスエネルギーに関連する技術として、原料栽培・収集・運搬（貯蔵含む）、エネルギー変換技術、一般廃棄物処理関連技術、バイオリファイナリー（化成品製造）に大別し、さらにエネルギー変換技術を、「物理的変換」、「熱化学的変換」、「生物化学的変換」の3つに区分することとした。対象としたバイオマスエネルギーの技術体系を図表 4.1 に示す。

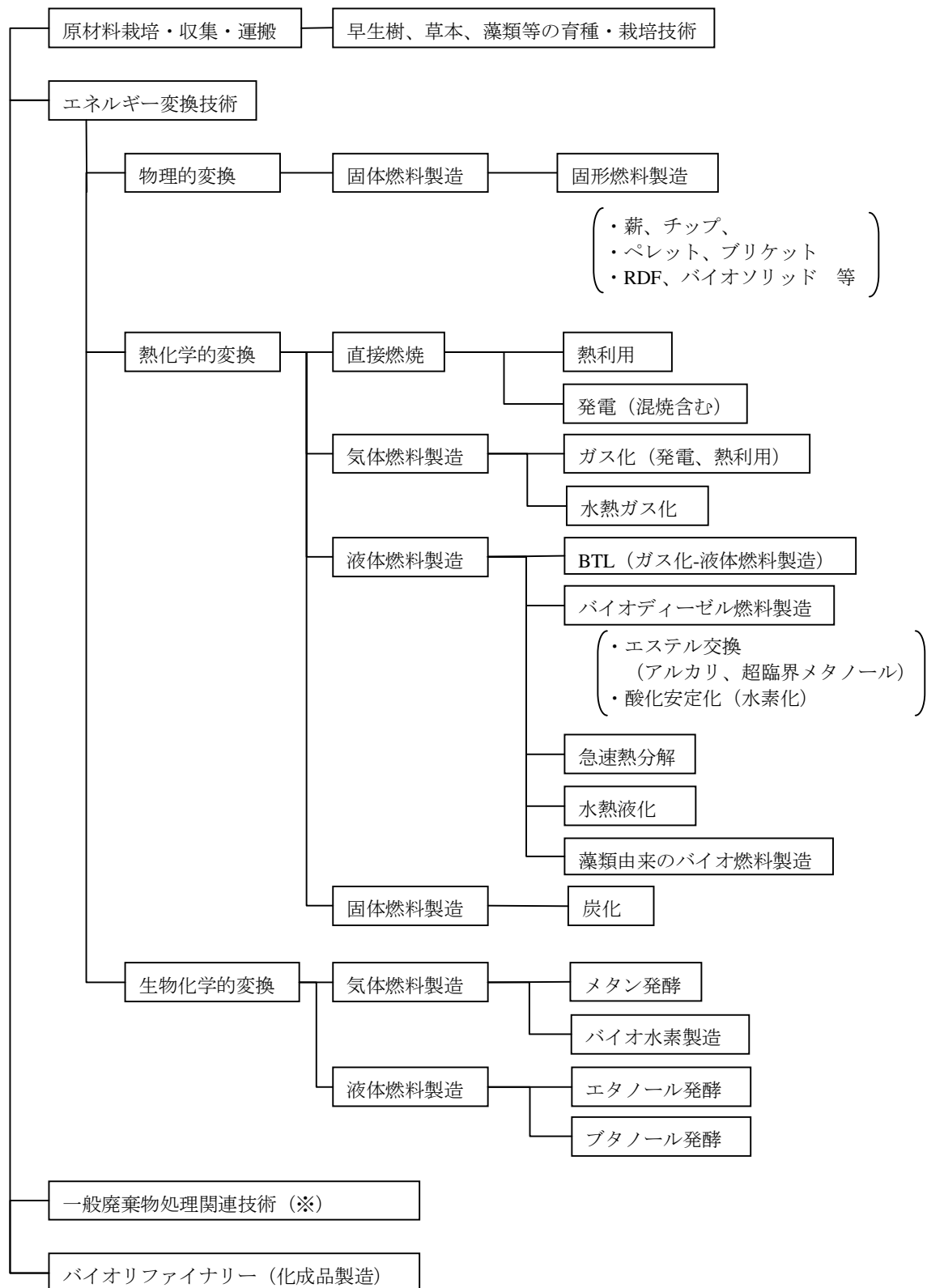
エネルギー利用および化学原料利用・素材原料利用を含めて、総合的かつ効率的に利用するという概念を「バイオリファイナリー」と呼ぶ。本書では化学原料利用、素材原料利用を技術体系に含めた。エネルギーを効率的に生み出すという観点に加え、エネルギー利用以外の利用も含めて有効にバイオマス資源を利用することが重要である。

また、一般廃棄物処理関連技術について、技術体系上、エネルギー変換技術と別枠での扱いとした理由は以下の4点である。

- 1) 組成が複雑であること。
- 2) 組成中のバイオマスからのエネルギー変換のみを目的とした技術体系でないこと。
- 3) 近年になって、ようやくバイオマスエネルギー回収に主眼を置いた施設設置が進んできたこと。
- 4) エネルギー回収設備の設置等においては交付金等による促進が主であり技術開発、普及に係る要因がコスト制約のみではないこと。

以下、各要素技術について、技術の概要（プロセス概略）、適用バイオマス資源、エネルギー利用などについて記述する。

図表 4.1 バイオマスエネルギー技術体系



※「一般廃棄物処理関連技術」については、1)組成が複雑であること、2)組成中のバイオマスからのエネルギー変換のみを目的とした技術体系でないこと、3)近年になって、ようやくバイオマスエネルギー回収に主眼を置いた施設設置が進んできたこと、4)エネルギー回収設備の設置等においては交付金等による促進が主であり技術開発、普及に係る要因がコスト制約のみではないこと、等を背景に本書においてはバイオマスエネルギー変換技術とは別の体系として整理した。

## 4.1 技術を取りまく現状

### 4.1.1 技術の俯瞰

#### (1) 資源・収集・運搬

エネルギー利用されるバイオマス資源は多様であり、様々な区分方法が考えられる。ここでは、未利用系資源、廃棄物系資源、生産資源に大別し、それぞれに分類される資源の例を図表 4.2 に示す。

現在、我が国でエネルギー利用されているバイオマス資源のほとんどは廃棄物系資源であり、製材残材、建築廃材などの木質系バイオマス、黒液等の製紙系バイオマスが利用されている。

工場等で発生する廃棄物系バイオマスをオンサイトで利用する場合には、比較的効率的に原料を収集・利用することが可能であるが、国内に広く薄く分布する森林バイオマス等未利用系資源については、収集コストや利用技術の低コスト化を推進し、地域での利用も含め利用拡大していく必要がある。

また、エネルギー転換設備の稼働率、エネルギー変換効率の向上をはかるための貯蔵施設等を整備し需給バランスをとることも重要である。

一方、海外諸国の一部ではエネルギー利用を前提としたバイオマス資源（生産資源）の生産が行われており、我が国の次世代バイオ燃料の実用化段階では、国内の未利用資源の利用拡大をはかるとともに、海外においてバイオ燃料を製造し輸入する、いわゆる「開発輸入」の推進が不可欠である。

図表 4.2 バイオマス資源の体系

バイオマス資源	未利用系資源	木質系バイオマス	森林バイオマス	林地残材
				間伐材
			その他木質バイオマス (剪定枝など)	
		農業残さ	稲作残さ	稲わら
				もみ殻
			麦わら	
			バガス	
	その他農業残さ			
	廃棄物系資源	木質系バイオマス	製材残材	
			建築廃材	
		製紙系バイオマス	古紙	
			製紙汚泥	
			黒液	
		家畜ふん尿・汚泥	家畜ふん尿	牛ふん尿
				豚ふん尿
				鶏ふん尿
				その他家畜ふん尿
		下水汚泥		
		し尿・浄化槽汚泥		
		食品系バイオマス	食品加工廃棄物	
			食品販売廃棄物	卸売市場廃棄物
				食品小売業廃棄物
			厨芥類	家庭系厨芥
	事業系厨芥			
	廃食用油			
	その他	埋立地ガス		
		紙くず・繊維くず		
生産資源	木質系バイオマス	短周期栽培木材		
	草本系バイオマス	牧草		
		水草		
		海藻		
	その他	藻類		
		糖・でんぷん		
植物油		パーム油		
		菜種油		



## (2) 物理的変換

### ① 固体燃料製造（薪、チップ、ペレット、ブリケット、RDF、バイオソリッド 等）

固形燃料には、木質系バイオマスを加工した薪、チップや、粉碎した後圧縮成型してペレット化、ブリケット化したもの、また、厨芥類等を原料とした RDF（Refuse Derived Fuel：廃棄物燃料）がある。また、高含水率バイオマスである下水汚泥を乾燥・成型したバイオソリッド等がある。

また、紙くずや廃プラスチックを圧縮成型した RPF（Refuse Paper and Plastic Fuel）も流通している。

薪は家庭用暖房等での利用が一般的であったが、近年、欧米では高性能小型ボイラが開発され地域熱供給に用いられる事例もある。チップの用途は幅広く、小型ボイラによる地域熱供給から事業用石炭火力発電ボイラでの混焼に用いられる。

ペレットは、形状、含水率、発熱量を調整できるため扱いやすく、また、運搬コストを低減できることにより石炭火力発電ボイラで混焼利用されるなど利用は拡大している。

## (3) 熱化学的変換

### ① 直接燃焼

バイオマスを直接燃焼し、熱（温水、蒸気等）として利用、さらに、得られた熱を利用し発電を行う技術である。

エネルギー効率を高めるためには乾燥し含水率を低減させる必要があり、特に下水汚泥等の高含水率バイオマスでは、燃焼で得られるエネルギーよりも大きな乾燥用エネルギーが必要となる。

バイオマス発電、工業炉燃料、製材廃材・食品加工廃棄物・鶏ふん尿のオンサイト利用、地域熱供給等とさまざまな利用形態で普及拡大してきたが、更なる導入拡大のためには、バイオ燃料の安定供給、経済性の確保が必要である。

### ② 気体燃料製造

#### i) ガス化（発電、熱利用）

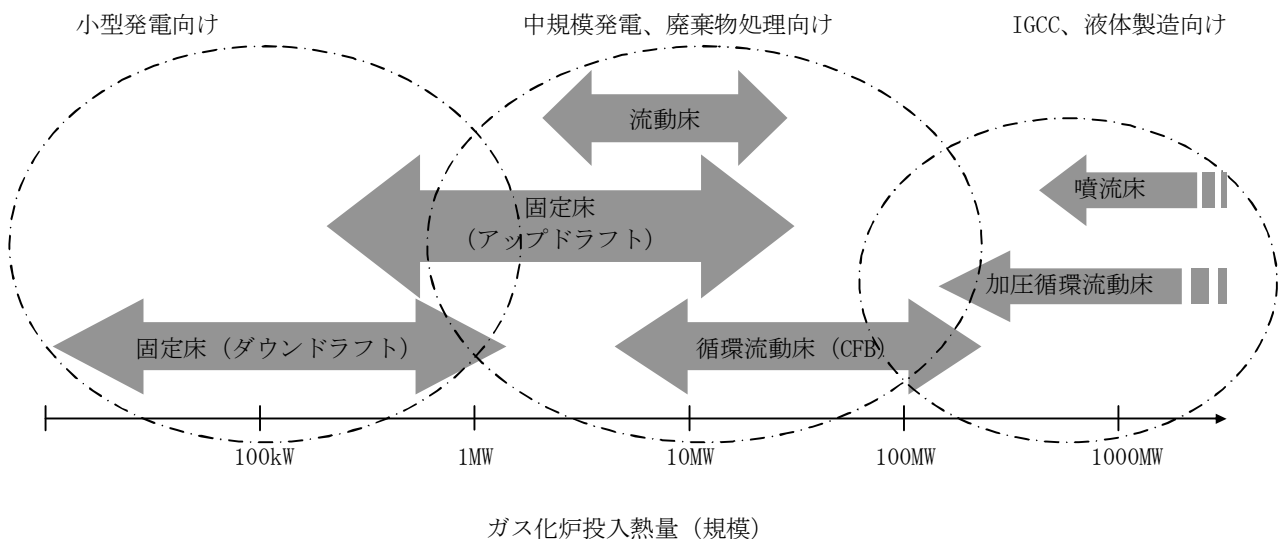
バイオマスのガス化は、空気（酸素）、蒸気等のガス化剤を利用し高温下で行う。後述の BTL 製造用途のガス化では、不純物の低いガスや目的製造物に適した組成比のガスが求められるが、発電、熱利用用途のガス化では発熱量の高いガスが求められる。また、ガス中の S、Cl、P、N などの微量成分についても数十～数 ppm 程度と BTL 製造に比較しガス精製の許容度が大きい。ガス化の形式別の特徴を図表 4.3 に、適用規模を図表 4.4 に示す。

図表 4.3 ガス化の形式別の特徴

ガス化方式 (炉形式)	固定床		流動床	噴流床	ロータリー キルン
	ダウン ドラフト型	アップ ドラフト型			
炉イメージ 図					
原料	破片、ブロック 可能	破片、ブロック	破片、ブロック	粉体状	破片、ブロック
バイオマス ガス化温度	700-1,100℃	700-900℃	650-900℃	800-1,000℃	700-1,000℃
備考 (規模、 ターム用途 等)	小規模 ターム比較的少 発電用 簡易・小型地域 分散対応型とし ての実証例あり	小規模 一次発生ター ム多 発電用	大規模 一次発生ター ム多 発電 (コジェネ レーション) 用 液体燃料製造 も可 構造によりバ ブリング型、循 環流動床型な ど多種存在	大規模 (外部加熱型 は小-中規模対 応可能) 一次発生ター ム少 組成ガス調整 容易で液体燃 料製造に適す、 発電用も可	中-大規模 一次発生ター ム多 後段に改質部 位を設けること によりターム減 少 発電用

出典：独立行政法人 産業技術総合研究所資料

図表 4.4 ガス化炉タイプと適用規模



出典：「バイオマスを原料とする合成燃料の生産技術および利用に関する最新動向調査」(2009, NEDO)

### ii) 水熱ガス化

水の臨界温度、臨界圧力よりも高い状態を超臨界状態といい、この周辺の比較的高密度で反応性に富んだ状態を含めて水熱状態という。水熱状態では熱分解が迅速に進むため、ガス化、液化が容易に進行する。

温度の違いで生成物が異なり、100～200℃といった低温での反応は、可溶化、低分子化として他の変換の前処理として水熱処理が行われることもある。200～300℃で液化し、超臨界状態を含む 370℃前後でガス化する。

原料の乾燥が不要であるため、含水率の高いバイオマスを有効利用することが可能である。

## ③ 液体燃料製造

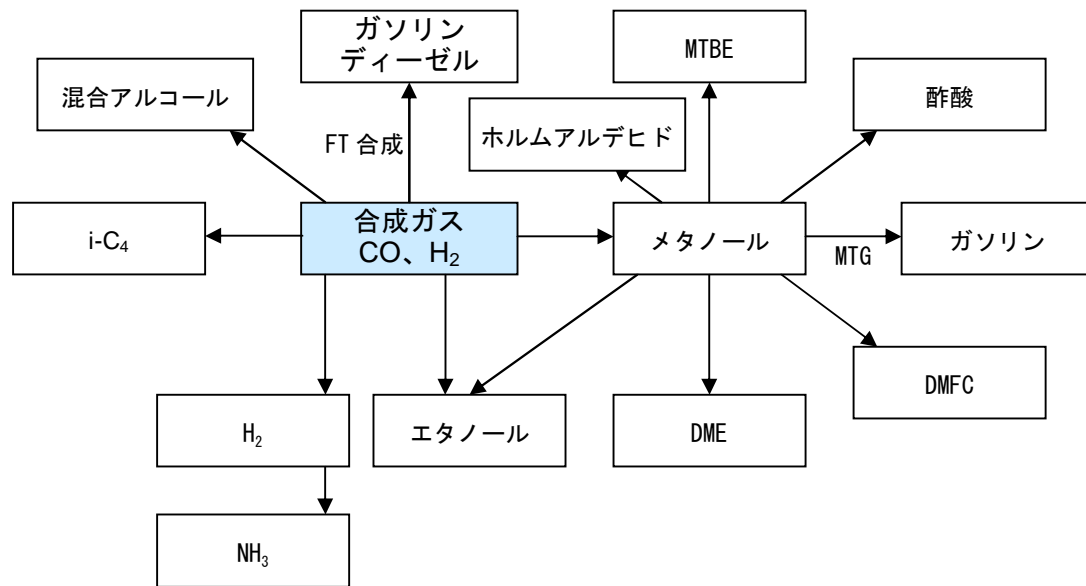
### i) BTL (ガス化-液体燃料製造)

BTL (Biomass-To-Liquid) とは、原料バイオマスを水蒸気・酸素等のガス化剤によってガス化し、生成したガスから触媒を用いて液体燃料を得る技術、あるいは得られる石油(ガソリン、軽油など)代替燃料のことである。ガス化により得られる合成ガスの組成は、ガス化剤の種類、圧力、温度条件等で制御可能である。最適な  $H_2/CO$  比は、目的製造物により異なり、例えば FT 油を製造する場合、最適な  $H_2/CO$  比は 2 である。合成ガスおよびそこから得られるメタノールを基点として、多様な代替燃料が製造可能である。BTL により得られる代替燃料は、短期的には、メタノール、DME (Dimethyl Ether)、フィッシャー・トロプシュ (FT : Fischer Tropsch) 合成反応によって得られる FT 油が主であり、将来的には、混合アルコール、炭化水素 ( $C_3$ 、 $C_4$  を主とする  $C_2\sim C_5$ )、エタノールなどを得ることが期待される。また水素製造やアンモニアなどの合成も可能である。

得られたガスをそのまま発電等に使用する場合と異なり、BTL の場合は後段において触媒反応により液体燃料を得るが、触媒反応に用いる合成ガスは、プロセスや生成物に応じガス組成を厳密に制御しなければならず ( $H_2/CO=1\sim 3$ )、また後段に高温高圧での触媒反応が控えるため、空気吹きガス化は基本的に適用できず、さらに、触媒を被毒する不純物 (タール、S、Cl などの微量元素) の除去が必要となる。(発電目的のガス化に比べ、不純物の濃度を 1/10～1/100 とすることが要求される。)

適用バイオマス資源は、木質系バイオマス、農業残さ、草本系バイオマス、厨芥類である。ガス化プロセス (ならびに熱化学反応全般) 自体が、発酵などと異なり、有機性化合物であれば全てガス化可能であり、本技術は対応可能な原料の幅が広いことが特徴と言える。

図表 4.5 合成ガスを基点とする燃料/ケミカルズの製造



出典：NREL/TP-510-34929 “Preliminary Screening Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas,” (2003)より作成

MTBE：メチル・ターシャリー・ブチル・エーテル

MTG：Methanol to Gasoline

DMFC：ダイレクトメタノール型燃料電池

DME：ジメチルエーテル

FT合成：フィッシャー・トロプシュ合成。触媒を用いる合成。

#### ii) バイオディーゼル燃料製造（エステル交換（アルカリ、超臨界メタノール）、酸化安定化（水素化））

植物油や廃食用油はグリセリン（3価アルコール）と脂肪酸のエステルであるが、これらにメタノールとアルカリ触媒を加えてエステル交換し、脂肪酸メチルエステル（FAME：Fatty Acid Methyl Ester）を得ることができる。これはディーゼル代替燃料として利用することができバイオディーゼル燃料（BDF）と呼ばれる。エステル交換の際にはメタノール、エタノール、プロパノール等の種々のアルコールが適用可能であるが、コストの観点から通常はメタノールが用いられる。また、エステル交換反応を無触媒で進行させるために、超臨界あるいは亜臨界状態で反応させる方法もある（それぞれ、超臨界メタノール法、亜臨界メタノール法と呼ぶ）。

植物油の利用だけでなく、土地利用効率向上の観点から油脂生産蓄積酵母等の研究開発も進められている。

水素化（水素添加、水素化分解）は、水酸基を水素へと置換する反応であり、植物油脂などを軽油に含まれる成分と同程度の分子量に分解するとともに、不飽和炭化水素を消失させ、酸化安定性に優れたディーゼル燃料（BHD（Bio Hydro - fined Diesel））に変換する技術である。

#### iii) 急速熱分解

急速熱分解とは、バイオマスを急速に加熱することによって熱分解を進行させ、油状生成物

を得る技術である。瞬間的または急速に昇温した後、迅速に冷却して高次の熱分解反応を抑制することにより、熱分解油、植物由来の有用な高分子等を得ることができる。触媒は用いず、温度などの制御によって反応を進行させる。乾燥、熱伝導を良くするために原料バイオマスの微粉砕が必要であり、熱分解装置においては、熱分解油は重縮合して固化しやすいため速やかな排出が重要となる。瞬間加熱には、熱砂浴、赤外線加熱、マイクロ波などが用いられる。また、遠心力型熱分解装置により熱分解する方法もある。いずれの方式も大規模な処理には適さない。

適用バイオマス資源は木質系バイオマスであり、生成液体燃料は原油の半分程度の発熱量を持ち、発電・熱利用することが可能である。

#### iv) 水熱液化

バイオマスを高温高压の熱水中で熱分解させ、オイルを得る技術である。前述したように、水熱状態は温度の違いで生成物が異なり、200~300℃でバイオマスが液化される。

パイロットスケールまでの開発は行われたが、実用化例はまだない。

#### v) 藻類由来のバイオ燃料製造

食料生産と競合しない原料として藻類からのバイオ燃料製造が注目されている。微細藻類は、耕地（田畑）を必要とせず、工業的な生産が可能であり、穀物等の陸上、高等植物に比較して単位面積当たりの生産性が非常に高く、安定した生産が期待できる。その培養には、水が供給可能であれば、耕地として利用できない砂漠などの荒廃地の利用が可能であり、海水で培養できる藻類株も多種存在する。将来的にバイオマス、バイオ燃料の原材料として高いポテンシャルを秘めていると言えるが、現状製造原価が極めて高いことから、藻類由来のバイオ燃料は実用化されていない。そこで、一般の植物同様に光合成によって炭酸ガスを固定し、油脂ならびに炭水化物を効率良く生産することが可能なバイオマス生産性の高い藻類から、これらバイオ燃料を経済的に得る手法の確立が期待されている。

### ④ 固体燃料製造

#### i) 炭化

木材、樹皮、竹、もみ殻などを空気（酸素）の供給を遮断または制限して約400~600℃に加熱し、熱分解により、気体（原料が木材の場合、木ガスという）、液体（酢液、タール）、固体（炭）の生成物を得る技術である。

炭は暖房・調理用等の燃料の他、活性炭、工業用（二硫化炭素製造等）に利用される。タールは、発熱量が重油の半分程度しかなく高粘度のためボイラ燃料に使用される。ガスは加熱用熱源や原料乾燥用熱源等として利用される。

また、下水汚泥、厨芥類等の減容化手段としても用いられる。

#### (4) 生物化学的変換

##### ① 気体燃料製造（メタン発酵等）

メタン発酵は、微生物による嫌気性発酵により有機物を分解し、その過程で発生する  $\text{CH}_4$ （メタン）等をエネルギー利用する技術である。

メタン発酵は、様々な方式があり液状またはスラリー状の原料を利用する湿式と、水分 80% 程度の固形状態の原料を利用する乾式に区分される。メタン発酵ではアンモニア濃度が高くなると発酵が阻害されるが、湿式では水分調整によりアンモニア濃度を調整できるメリットがある。一方、乾式は処理廃水が少ないというメリットがある。

プロセスの最適温度としては、中温発酵（約 35℃）と高温発酵（約 55℃）とがあり、メタン菌の種類も異なる。高温発酵では、発酵速度が高く、滞留時間が短くて済み、発酵槽の容量を小さくできるという利点がある。

プロセスで発生するのは、バイオガス、発酵液、発酵残さである。発酵液や発酵残さは、日本では水処理または焼却処理される事例も多い。しかし、このような処理には高いコストとエネルギーが必要で、特に小型のシステムでは規模の割に処理費用が大きくなってしまいうという問題がある。そのため、コンポストや液肥として農地還元により再資源化する取組みがなされている。

メタン発酵の原料としては、主に食品系バイオマス、家畜ふん尿、下水汚泥が利用されている。廃棄物を原料としているため、廃棄物成分の変動によって、発生ガス量、メタン濃度が変化する。成分によっては微生物のメタン菌の活性が低下し、メタンガスの発生が停止する可能性もある。特に、たんぱく質の多い廃棄物はアンモニア阻害が起きやすい。なお、バイオガスのメタン濃度は 50～60% 程度である。

バイオガスの利用としては、かつては発酵槽の加温用途が多く、余剰分は燃焼廃棄されていた。現在では、バイオガス用のガスエンジン等の発電利用が増え、オンサイトで、電気と熱の両方を取り出し有効利用されるコジェネレーション・システムのケースが増えている。さらに、都市ガスの性状とほぼ同様に精製して、ガスとしての販売や、天然ガス自動車（CNG 自動車：Compressed Natural Gas 自動車）への利用といった取組みも行われている。

水素発酵とは、嫌気性微生物の発酵生成物として水素を得る技術である。主に、メタン発酵の前段に水素発酵を組合せる水素・メタン二段発酵の技術開発が行われている。また、有機廃水等を原料とし、バイオマス太陽などの光エネルギーと光合成微生物の有用機能によって水素エネルギーに変換する光水素生産技術も研究が進められている。また、微細藻類を用い水と二酸化炭素から水素生産する技術も研究が進められている。

##### ② 液体燃料製造

###### i) エタノール発酵

グルコースなどの糖質に酵母を加え、エタノール発酵させることでエタノールを生成する技術で、基本的には酒類の製造方法と同じである。でんぷん系の場合には、糖化酵素を加え、糖

化させる糖化工程が加わる。さらに、セルロース系原料からエタノールを製造する際には、加圧熱水や酸、アルカリ、糖化酵素を利用した前処理・糖化プロセスが必要となる。

適用バイオマス資源は、ショ糖・でんぷん系とセルロース系の2種類に大別できる。ショ糖・でんぷん系は、食品系、農業系バイオマスであり、セルロース系は、木質系、農業・草本系バイオマス、製紙系バイオマスである。米国とブラジルは、国家政策としてバイオエタノールの製造を推進しており、両国の製造量は、世界全体のバイオエタノール製造量の約90%を占める。現状では米国はトウモロコシ、ブラジルはサトウキビ、EUでは小麦やテンサイ等が主な原料として用いられている。

トウモロコシやサトウキビといったショ糖・でんぷん系資源（一般的に第一世代と称される）は食料需要と競合する恐れがあるため、木質系バイオマスやバガスなどの農業残さ等の非食用のセルロース系資源（一般的に第二世代と称される）を積極的に利用していく必要がある。

エネルギー用途としてのバイオエタノール利用は自動車用燃料が中心である。ガソリンと混合した燃料として利用するためには、無水エタノール化する必要がある、蒸留工程で水分、不純物を除去し、99%以上の高濃度エタノールにする必要がある。

#### ii) ブタノール発酵

ブタノールは揮発油、軽油と混和性が良好で、エタノールよりも発熱量が大きく、またエタノールのような吸湿性もないため、ガソリン、ディーゼル燃料や航空機燃料の代替可能性がある。石油化学が普及する以前、特に20世紀初頭には、ブタノールはABE（アセトン・ブタノール・エタノール）発酵法で生産された長い歴史があるが、石油化学工業でのアセトンやブタノール生産と比較して経済性が低いために1950年頃からABE発酵は商業的にほとんど行われなくなった。しかし温暖化対策として再生可能資源からのエネルギー資源が重視され、輸送燃料用のバイオエタノールが世界的に普及するようになると、エタノールよりもガソリン、軽油等との混和性が良好なバイオブタノール燃料が再び注目されるようになった。現状では製造コストが高く、ディーゼル・ガソリン代替燃料として大規模利用するためには、ブタノール発酵技術の十分なコスト低減が必要である。

### (5) 一般廃棄物処理関連技術

「廃棄物の処理および清掃に関する法律」（廃掃法、昭和45年法律第137号）では、廃棄物の定義や処理責任の所在、処理方法・処理施設・処理業の基準などを定めており、事業者自らか、または排出事業者の委託を受けた許可業者が処理する「産業廃棄物」と、市町村が処理の責任を持つ「一般廃棄物」に分類している。これまでに数回大きな改正が行われ、適正処理とともにリサイクルや有効活用の推進にも重点が置かれるようになっている。

その後成立・施行された「循環型社会形成推進基本法」（平成12年法律第110号）と関連施策においても、一般廃棄物処理による再生利用および熱回収としてバイオマス関連技術が含まれており、「エネルギー回収推進施設」「高効率ごみ発電施設」「有機性廃棄物リサイクル施設」等の技術開発および施設整備については、政府の支援による普及拡大が図られている。

4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

一般廃棄物分野の課題としては、熱回収効率・発電効率の向上や、建設費・ランニングコストの低減等が挙げられる。

(6) バイオリファイナリー（化成品製造）

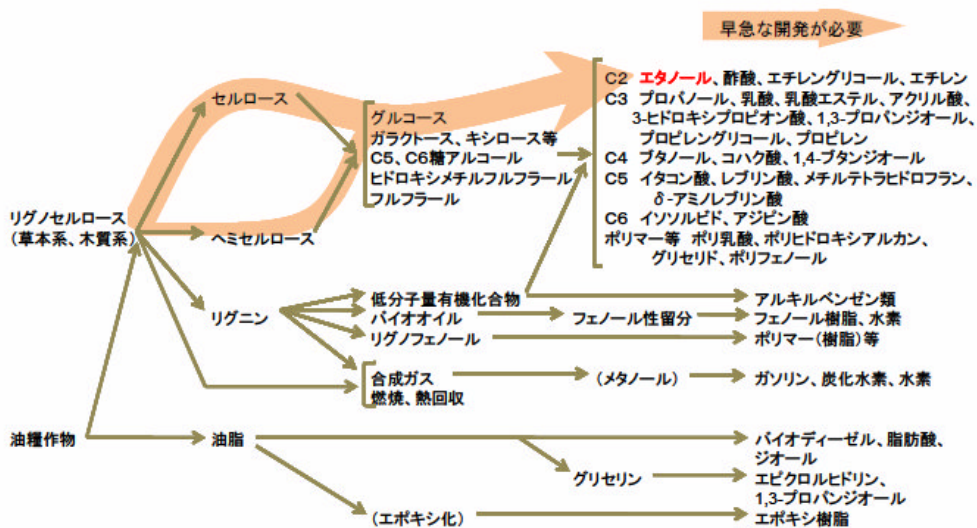
バイオリファイナリーとは、バイオマス資源から特定の燃料のみを製造するのではなく、多種多様の化学原料・燃料を効率的に生産するシステムの概念である。

バイオマスからの化学原料・燃料生産の概念図を図表 4.6 に示す。

図表 4.7 にはセルロース系原料を利用した場合のプロセス例を示す。実用化されているのはエタノール、ポリ乳酸等の一部の物質に止まっている。

バイオマス由来の化学物質で、理論的には石油由来物質のほぼ全てを代替できると言われている。

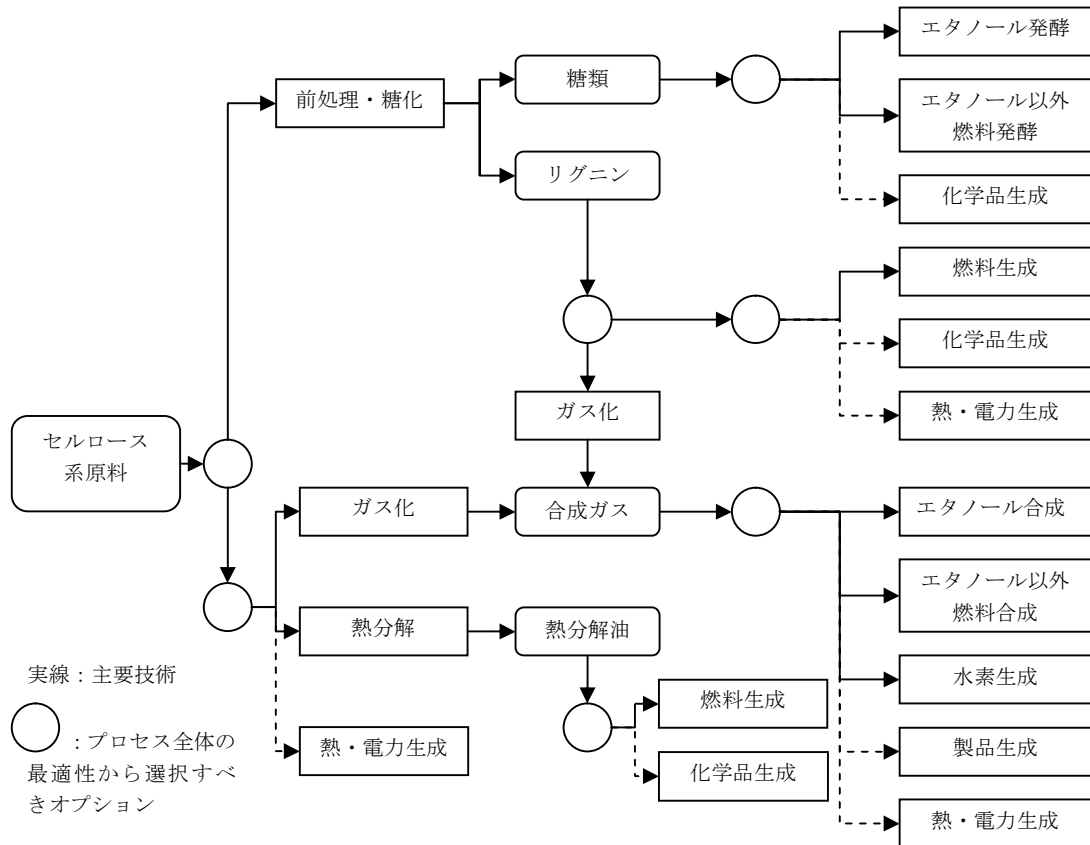
図表 4.6 統合バイオリファイナリーの概念図



出典：バイオ燃料技術革新協議会「バイオ燃料技術革新計画」2008年



図表 4.7 バイオリファイナリーのプロセス例



出典：DOE, “Biomass Multi-Year Program Plan: March 2010”, 2010 より作成

### 4.1.2 ポテンシャル

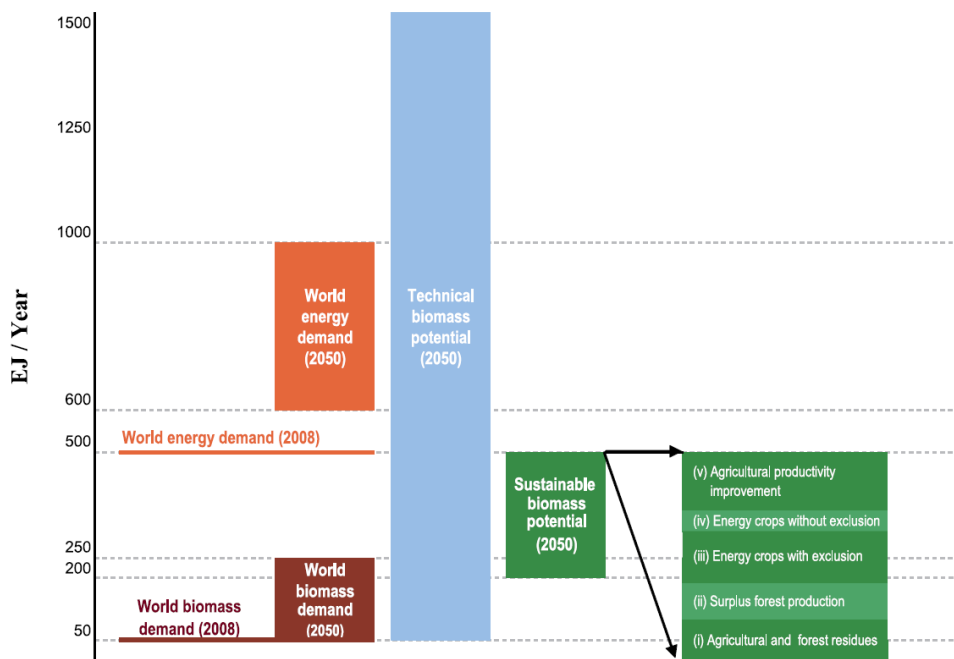
#### (1) 世界

IEA が、世界のバイオマスエネルギーに関するポテンシャルをとりまとめている（図表 4.8）。

これによると、現在（2008 年）バイオマスエネルギーの需要量はおよそ 50EJ/年とされており、世界の全エネルギー需要 500EJ/年のおよそ 1 割を占めている。一方、将来（2050 年）の需要量についてはモデル計算・文献値を用いて 50～250EJ/年（下限～上限、以下同様）としており、世界の全エネルギー需要 600～1,000EJ/年とすると最大で約 4 割を占めるとされる。

ポテンシャルについては、まず技術的なポテンシャルは 50～1,500 EJ/年、持続可能な資源利用を前提としたポテンシャルは 200～500 EJ/年であるとしている。

図表 4.8 IEA によるバイオマスエネルギー需要量およびポテンシャルの推計



凡例

- 現在の世界のエネルギー需要（500EJ/年）
- 現在の世界のバイオマスエネルギー需要（50EJ/年）
- 2050年における世界のエネルギー需要（600-1000EJ/年）
- 2050年におけるバイオマスエネルギー需要のモデル計算値（文献値）（50-250EJ/年）
- 2050年におけるバイオマスエネルギーの技術的なポテンシャル（文献値）（50-1500EJ/年）
- 2050年におけるバイオマスエネルギーの持続可能なポテンシャル（200-500EJ/年）

内訳：

- (i) 農作物非食用部・林地残材（～100EJ）
- (ii) 森林の余剰生産量（年間の成長量－伐採量）（～80EJ）
- (iii) エネルギー作物（土壌劣化や水資源不足のみられる土地を除く）（～120EJ）
- (iv) 土壌劣化や水資源不足のみられる土地で生産されるエネルギー作物（～70EJ）
- (v) 生産性向上による増加生産量（～140EJ）

出典：「BIOENERGY – A SUSTAINABLE AND RELIABLE ENERGY SOURCE」（2009.6 IEA）

## (2) 日本

### 1) ポテンシャル（資源量ベース）

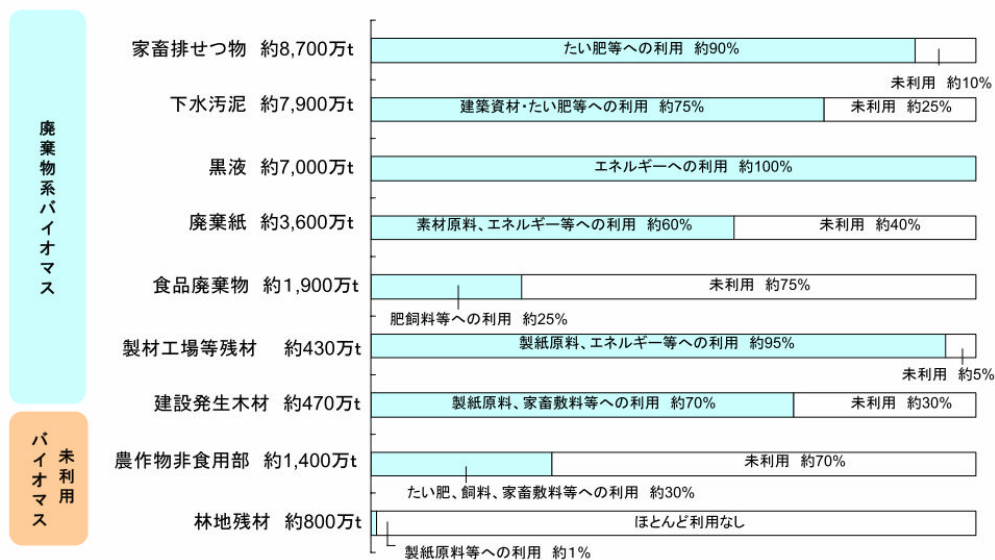
「バイオマス・ニッポン総合戦略」のアドバイザリーグループ会合資料によると、2008年3月時点の賦存量および利用量は図表4.9のとおりである。

なお、「バイオマス/ニッポン総合戦略」としての2010年における利用率の目標（炭素量換算）は、廃棄物系バイオマスが80%、未利用バイオマスが25%とされている。この数値目標に関する達成状況が、第2回バイオマス活用推進専門家会議（平成22年3月、農林水産省）において総括されている。

まず、廃棄物系バイオマスについては、「目標である利用率80%までは至らないものの、68%から74%へ向上している状況」と総括している。主な要因としては、建設リサイクル法、食品リサイクル法などの個別法による規制の効果や、下水汚泥のセメント化等の建設資材利用の大幅な進展等の後押しを挙げている。

一方、未利用バイオマスについては、「利用率（炭素量換算）は17%（目標25%）となっており、総合戦略策定時からの向上が見られない」と総括している。主な要因としては、林地残材等の低コスト・効率的な収集・運搬システムの開発やバイオマスの用途を拡大するための研究・技術開発に取り組んだものの、「未利用バイオマスの有効な回収システムの未確立であることや利用者とのマッチングが不十分であることが要因」とされている。未利用バイオマスの中でも、特に林地残材の利用余地が大きく、今後は、回収システムの確立を含め森林の路網整備や林業の活性化などを図ることが望まれる。

図表 4.9 我が国のバイオマス賦存量・利用率（2008年）

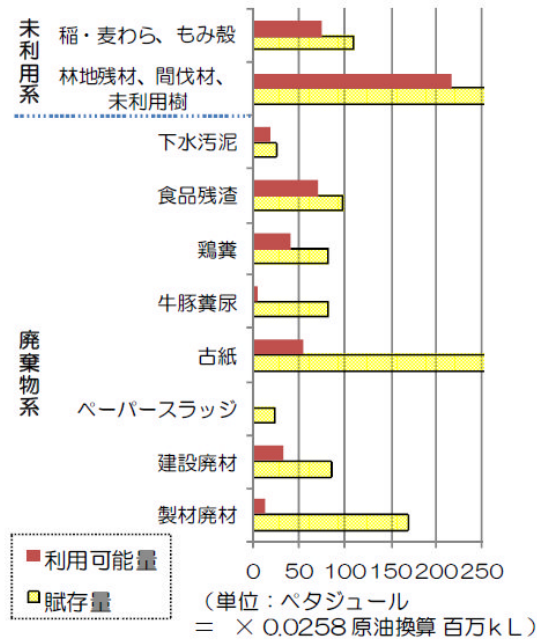


出典：「第12回バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議およびバイオマス・ニッポン総合戦略推進アドバイザリーグループ会合合同会議 参考資料」（2009）

### 2) ポテンシャル（エネルギー換算ベース）

総合資源エネルギー調査会新エネルギー一部会資料によると、我が国のバイオマスエネルギー利用可能量はおよそ510PJとされる（図表4.10）。

図表 4.10 我が国のバイオマスエネルギーのポテンシャル



出典: 「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会 (第 30 回)」(H21.2 経済産業省) 配付資料-資料 1 p11 より引用

また、「国産バイオ燃料の大幅生産拡大」(平成 19 年 2 月、バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議)によると、廃棄物系バイオマスと未利用バイオマスの賦存量のうち、未利用部分のエネルギーポテンシャルは、約 530PJ (原油換算 1,400 万 kL) と試算され、さらに、資源作物のエネルギーポテンシャルは、約 240PJ (原油換算 620 万 kL) と試算されている。

### 4.1.3 導入目標量例

欧州、米国、日本における再生可能エネルギーおよびバイオマスエネルギーの導入目標等を図表 4.11 に示す。

**図表 4.11 EU、米国、日本の再生可能エネルギー・バイオマスエネルギーの導入目標等**

	導入目標 等	
	再生可能エネルギー全体	バイオマスエネルギー
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>2007 年に、2020 年の再生可能エネルギーの利用比率を 20%とする戦略を決定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、左記戦略目標の達成のために、2020 年までに輸送用燃料の 10%を再生可能燃料とすることを規定。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの州で、電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度 (RPS)あり。オバマ大統領は、2025 年までに 25%導入という連邦 RPS 制度を提案。</li> <li>ブッシュ大統領の 2007 年の一般教書演説で、2017 年までにガソリンの 20%を削減する「Twenty in Ten」の目標を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2007 年エネルギー自立・安全保障法では 2022 年までの再生可能燃料 (バイオ燃料)の導入目標量を設定。2022 年に 360 億ガロン (約 1 億 1,400 万 kL)。</li> </ul>
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期エネルギー需給見通し (再試算)において、2020 年 : 2,455 万 kL、2030 年 : 3,213 万 kL の導入見通しが示される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー基本計画にて 2020 年にガソリン消費 3%以上のバイオ燃料導入が示される。</li> </ul>

出典 : 「バイオマスエネルギー導入ガイドブック (第 3 版)」(2010, NEDO) 等を参考に作成。

また、EU や米国におけるバイオ燃料導入目標に関し、温室効果ガス排出量 (ライフサイクルアセスメント適用による)、生物多様性等に係る持続可能性基準が設定されている。

## (1) 欧州

EU では、2009 年 6 月に発効した再生可能エネルギー指令(2009/28/EC)で、2020 年に輸送用燃料の 10%を再生可能エネルギーとする目標を定めた。現在、EU 指令に対応するため、加盟各国にて国内法が準備されている。図表 4.12 は、欧州主要国の再生可能エネルギー全体、バイオマスエネルギーの導入目標等を整理したものであるが、前記の国内法整備により目標値が今後見直される可能性がある。

図表 4.12 欧米諸国における再生可能エネルギー・バイオマスエネルギーの導入目標等

	導入目標 等	
	再生可能エネルギー全体	バイオマスエネルギー
英国	<ul style="list-style-type: none"> <li>2008 年「英国再生可能エネルギー戦略」や 2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、2020 年の再生可能エネルギー比率を 15%とする目標を設定。</li> <li>2020 年に再生可能エネルギー比率を 15%とする場合、2020 年に電力部門における再生可能エネルギー比率は 32%と想定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2008 年から再生可能燃料導入義務(RTFO)により燃料供給業者に再生可能燃料（バイオ燃料）の販売割合を義務付け。2010～11 年は 5%。</li> </ul>
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、2020 年の再生可能エネルギー比率を 18%とする目標を設定。</li> <li>2008 年の「再生可能エネルギー法」改正により、2020 年までに電力部門における再生可能エネルギー利用率を 30%とする目標を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2007 年の「バイオ燃料割当法」で燃料販売者にバイオ燃料の販売割合を義務付け。2015 年は 6.25%。</li> <li>2008 年の「改正ガス供給網接続令」で 2030 年までに現在の天然ガス消費量の約 10%程度（約 100 億 m<sup>3</sup>）をバイオガスによってまかなう目標を設定。</li> </ul>
スウェーデン	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、2020 年の再生可能エネルギー比率を 49%とする目標を設定。</li> <li>2004 年の政府法で、2016 年までに再生可能エネルギー電力を 2002 年から 17TWh 増加する目標を設定。</li> </ul>	—
デンマーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、2020 年の再生可能エネルギー比率を 30%とする目標を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020 年までにバイオガス生産量を 10PJ（国内エネルギー消費量の 1.2%）に増加させる目標を設定。</li> </ul>

出典：「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第 3 版）」（2010, NEDO）

## (2) 米国

2007 年 12 月 19 日に成立した「エネルギー自立およびエネルギー安全保障法」において、『第 2 章 バイオ燃料増産によるエネルギー安全保障』が掲げられ、図表 4.13 の再生可能燃料使用基準（RFS）が定められた。

図表 4.13 米国「エネルギー自立およびエネルギー安全保障法」での再生可能燃料使用基準  
単位：億ガロン

年	RFS	RFS に占める先進バイオ燃料 (セルロース)
2006	40.0	—
2007	47.0	—
2008	90.0	—
2009	111.0	6.0 (0.0)
2010	129.5	9.5 (1.0)
2011	139.5	13.5 (2.5)
2012	152.0	20.5 (5.0)
2013	165.6	27.5 (10.0)
2014	181.5	37.5 (17.5)
2015	205.0	55.0 (30.0)
2016	222.5	72.5 (42.5)
2017	240.0	90.0 (55.0)
2018	260.0	110.0 (70.0)
2019	280.0	130.0 (85.0)
2020	300.0	150.0 (105.0)
2021	330.0	180.0 (135.0)
2022	360.0	210.0 (160.0)

出典：米国「エネルギー自立およびエネルギー安全保障法」条文より作成

注：2022年のRFSは約1.36億kL、先進バイオ燃料（セルロース）は約0.79億kL（約0.61億kL）に相当。

### (3) 日本

#### i) 長期エネルギー需給見通し

「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（総合資源エネルギー調査会 需給部会、2009）では、2020年、2030年の新エネルギー導入見通しが示された。（図表 4.14）

図表 4.14 2010 年の新エネルギー導入目標と 2020 年・2030 年見通し

単位：原油換算（万 kL）

	2005 年度	2010 年度目標 対策上位ケース	2020 年度見通し 最大導入ケース	2030 年度見通し 最大導入ケース
太陽光発電	35 万 kL	118 万 kL	700 万 kL	1,300 万 kL
風力発電	44 万 kL	134 万 kL	200 万 kL	269 万 kL
廃棄物発電 +バイオマス発電	252 万 kL	586 万 kL	408 万 kL	494 万 kL
バイオマス熱利用	142 万 kL	308 万 kL※1	335 万 kL※3	423 万 kL
その他※2	687 万 kL	764 万 kL	812 万 kL	727 万 kL
合計 (対一次エネルギー供給比)	1,160 万 kL (2.0%)	1,910 万 kL (3%程度)	2,455 万 kL	3,213 万 kL

※1：輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料(2010年：50万kL、2020年：60万kL)を含む。

※2：「その他」には、「太陽熱利用」、「廃棄物熱利用」、「黒液・廃材等」等が含まれる。

出典：「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009、経済産業省 総合資源エネルギー調査会 需給部会）

## ii) エネルギー基本計画

平成 22 年 6 月 18 日に政府が策定し、閣議決定された「エネルギー基本計画」において、バイオ燃料に関する目指すべき姿として、次の目標が明記されている。

図表 4.15 「エネルギー基本計画」におけるバイオ燃料目標

<p>第 2 節. 自立的かつ環境調和的なエネルギー供給構造の実現</p> <p>1. 再生可能エネルギーの導入拡大</p> <p>(1) 目指すべき姿</p> <p>(中略)</p> <p>バイオ燃料については、LCA での温室効果ガス削減効果等の持続可能性基準を導入し、同基準を踏まえ、十分な温室効果ガス削減効果や安定供給、経済性の確保を前提に、2020 年に全国のガソリンの 3%相当以上の導入を目指す。さらに、セルロース、藻類等の次世代バイオ燃料の技術を確立することにより、2030 年に最大限の導入拡大を目指す。</p> <p>(後略)</p>
---

出典：「エネルギー基本計画」（平成 22 年 6 月 18 日、閣議決定）

## iii) セルロース系バイオ燃料等の生産可能量（試算）

「セルロース系バイオ燃料等の生産可能量（試算）」（総合資源エネルギー調査会新エネルギー一部会、2009）では、2020 年における我が国の国産・準国産のセルロース系エタノール等の生産可能量については、国産・準国産の合計で原油換算約 50 万 kL 程度と試算している。内訳としては、国産バイオ燃料は、草本系（稲わら等）、木質系（製材工場残材等）の原料を中心に、



2015 年頃から生産拡大・設備整備が進むと見込まれ、バイオマスの賦存量等から原油換算約 40 万 kL、開発輸入バイオ燃料（準国産バイオ燃料）は、技術確立やスケールアップ等の課題から原油換算約 10 万 kL となっている。

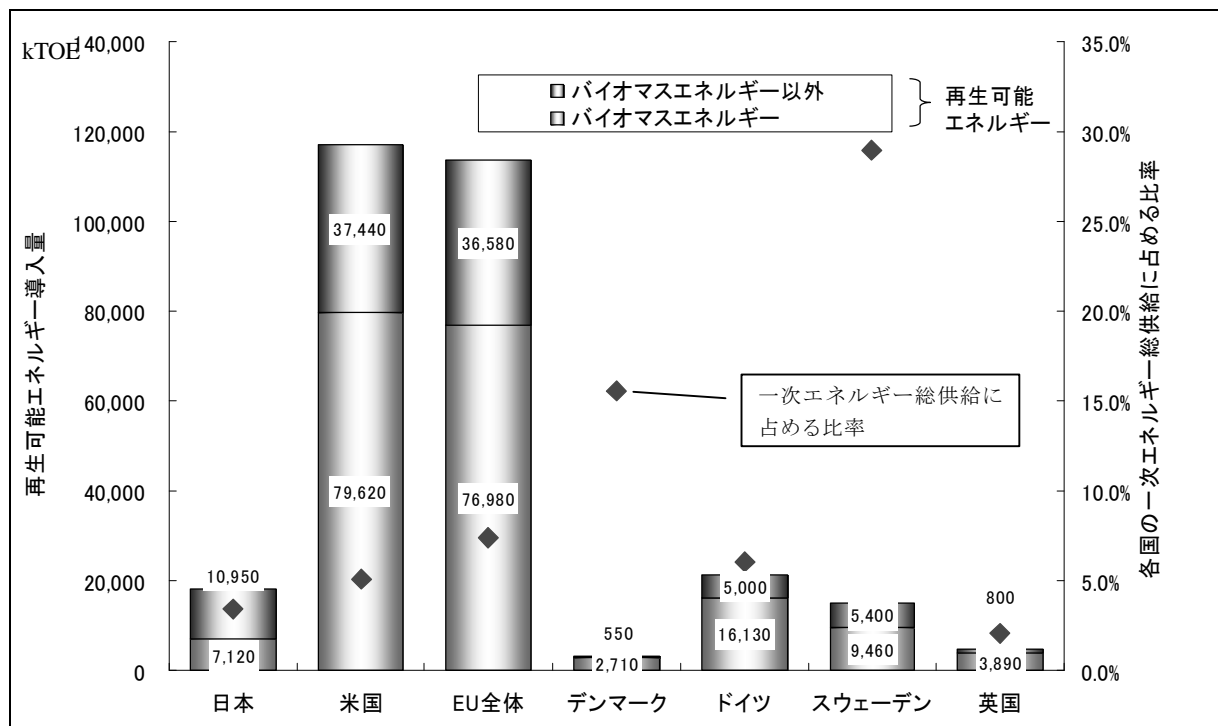
#### 4.1.4 導入実績

##### (1) 世界

我が国および欧米諸国の再生可能エネルギー（地熱、水力エネルギー含む）、バイオマスエネルギー導入量を図表 4.16 に示す。我が国の一次エネルギー総供給に対する再生可能エネルギー導入比率（3.4%）は米国（5.0%）や EU 全体（7.4%）と比し遜色ないレベルであるが、その中のバイオマスエネルギー比率は低い状況である。

また、スウェーデンやデンマークといった北欧諸国ではそれぞれ再生可能エネルギー導入比率が 29%、16%と我が国の 4～8 倍のレベルであり、バイオマスエネルギー比率も高いのが特徴である。

図表 4.16 主要国における再生可能、バイオマスエネルギー等の導入実態（2007 年）<sup>1, 2</sup>



出典：「Energy Balances of OECD Countries (2009 Edition)」(2009, IEA)

また、各国におけるバイオエタノール、バイオディーゼル燃料、バイオガスの導入量を図表

<sup>1</sup> バイオマスエネルギー以外の再生可能エネルギーには地熱、水力エネルギーを含んでいる。我が国の場合、地熱、水力エネルギーの導入量は各々3,570kt、7,380ktであり、これらが再生可能エネルギー全体の61%を占めている。

<sup>2</sup> EU全体はオーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイルランド、イタリア、ルクセンブルグ、オランダ、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、イギリスの15カ国である。

4.17 に示す。

図表 4.17 バイオマス導入実績

単位：原油換算（万 kL）

	バイオエタノール	バイオディーゼル燃料	バイオガス
欧州（欧州連合）	191	854	638
ドイツ	44	268	258
フランス	44	218	33
英国	11	75	176
その他	92	293	171
米国	1,580	170	1,170

備考

欧州連合、欧州連合加盟各国：バイオエタノール・バイオディーゼル燃料は 2008 年（出典：“BIOFUELS BAROMETER”（EerObserv’ER, 2009））、バイオガスは 2007 年、（出典：“BIOGAS BAROMETER”（EerObserv’ER, 2008））

米国：2007 年（出典：U.S Energy Information Administration ホームページ（<http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.html>））

欧米主要国におけるバイオマスエネルギーの主な導入形態は以下のとおり。

### ① 米国

廃材、おがくず等の木質系バイオマスを燃料とした数万 kW 級の大規模発電利用が数事例ある。また、再生可能燃料使用基準（RFS）によって輸送用燃料への再生可能エネルギー導入が義務化され、特に 2000 年以降、バイオエタノール（主に E10）の導入が急速に拡大している。現在のバイオエタノール原料の中心はトウモロコシだが、非食用の草本系バイオマス等を原料とするバイオエタノール製造の技術開発も行われている。

### ② 英国

2002 年に導入された Renewable Obligation（再生可能エネルギー使用義務）によって、電力供給者等によるバイオマス発電設備が多数導入されている。特に同国では経済性に優れる埋立地由来バイオガス（Landfill gas）の利用が多い。

バイオ燃料に対しては、2008 年には再生可能輸送燃料義務制度が導入されたが、現段階ではブラジル等から輸入するバイオエタノールが半数程度を占めている。

### ③ ドイツ

廃材等の木質系バイオマスが地域熱供給や家庭内暖房に利用されている。近年の再生可能エネルギー法の改正で、バイオマス由来電力の買取価格増額や対象拡大により、大規模なコージェネレーション・システムの導入も拡大している。また、2009 年より新築建物の所有者に対し再生可能エネルギーによる暖房が義務付けられるため、バイオマスを利用した暖房の更なる普及が見込まれる。

また、近年、エネルギー作物等をメタン発酵利用する小規模分散型のプラントの導入が進み、バイオガスの生産は EU 最大となった。固定価格で買い取られる発電利用に加え、精製されたバイオガスの天然ガス供給網への注入に関する法律が制定された。

バイオ燃料の消費量も EU 最大である。自動車用燃料販売事業者にはバイオ燃料販売義務が課せられており、バイオディーゼル燃料、純植物油、バイオエタノール（主に ETBE）が利用されている。

#### ④ スウェーデン

エネルギー供給の 18%が木質系バイオマスや黒液を中心とするバイオマスエネルギーによるものである。木材産業や地域熱供給事業において木質系バイオマスを利用したチップボイラ、コージェネレーション・システムが利用されている。家庭におけるペレットストーブ導入も増加している。

家畜ふん尿、家庭からの厨芥類を原料とした大型のメタン発酵施設も多数稼働しており、得られるバイオガスは自動車用燃料や、コージェネレーション・システムの燃料として利用されている。スウェーデンにおいては、既存の下水処理施設、廃棄物処理施設に併設させる形で、家畜ふん尿のメタン発酵プラントを導入してきた経緯がある。

#### ⑤ デンマーク

家庭等から排出される廃棄物を用いたエネルギー回収が積極的に行われており、コージェネレーション・システムにより発電や地域熱供給が行われている。また、林業系の木質バイオマスや農業残さの利用も行われている。

また、家畜ふん尿や厨芥類のメタン発酵も盛んである。これらの大半は地域の酪農家等の共同出資で設立された事業体による大規模な集中型混合消化施設にてメタン発酵され、主にコージェネレーション・システムの燃料として利用されている。さらに、天然ガス供給網に供給される精製バイオガスの優遇買取価格も設定された。

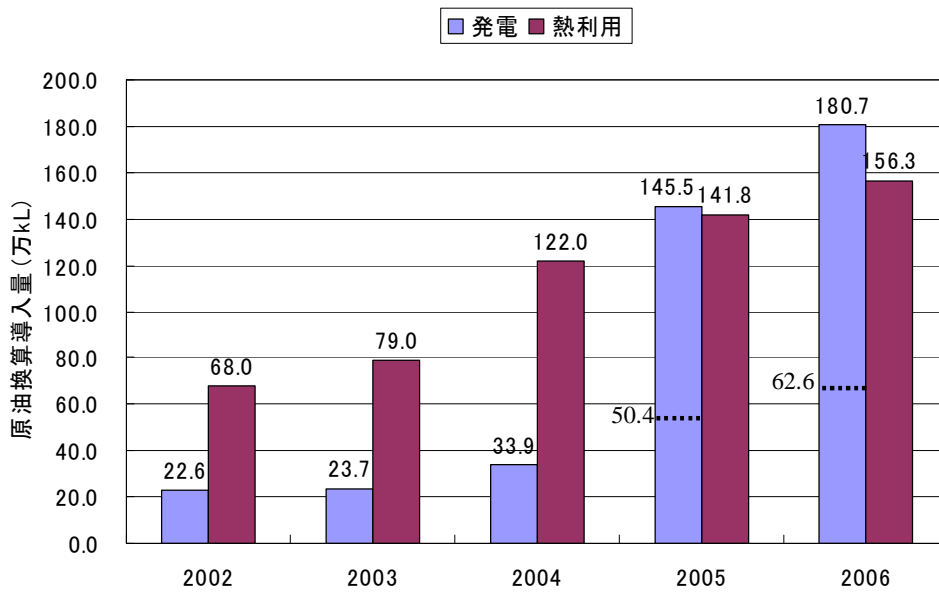
### (2) 日本

木質系バイオマスについては、製材廃材、建設廃材を直接燃焼し、発電や材木の乾燥を行う事例や、チップ、ペレットを使用した公共施設への熱供給等の事例がある。また、小規模なガス化発電の導入事例がある。

家畜ふん尿、下水汚泥、食品廃棄物のメタン発酵プラントや、廃食用油からバイオディーゼル燃料を生産する事例は多数ある。

図表 4.18 に日本のバイオマスエネルギー導入量の推移を、図表 4.19～図表 4.20 には発電量と熱利用量の内訳を示す。

図表 4.18 日本のバイオマスエネルギー導入量の推移

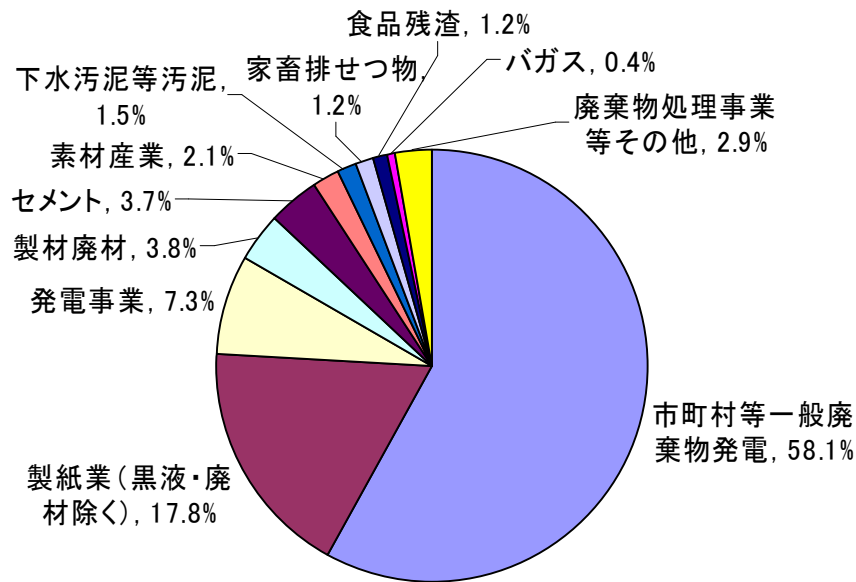


※発電量について：2005年度からは、売電だけでなく自家消費分（買電節約分）についても調査対象を拡大して計上。

2005、2006年度の破線は売電分だけを計上した場合の推定値。

出典：「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会（第30回）資料」平成21年2月13日

図表 4.19 バイオマス発電の利用実態（発電量の内訳）

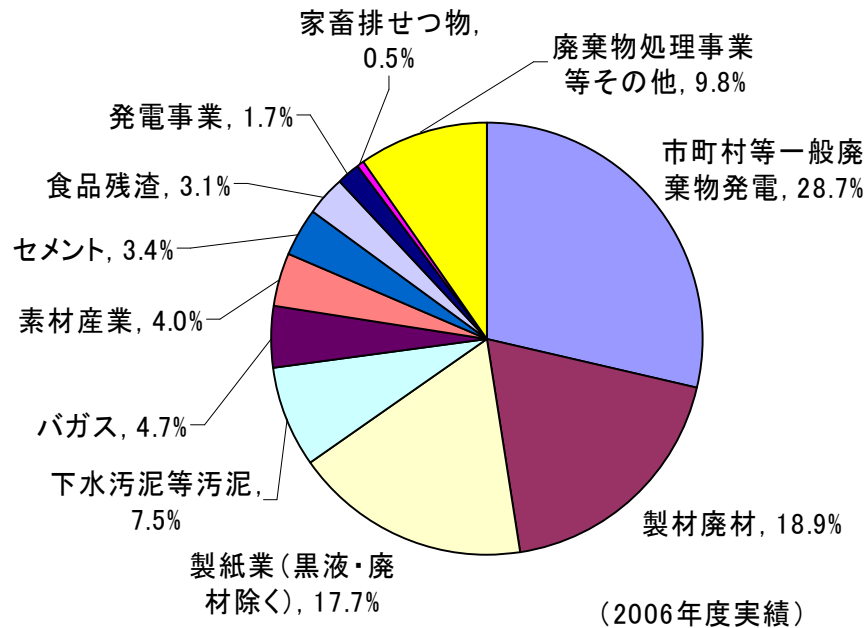


(2006年度実績)

※ここでは、一般廃棄物中のバイオマス分のみをバイオマスエネルギーとして計上している。

出典：「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会（第30回）資料」平成21年2月13日

図表 4.20 バイオマスエネルギー熱利用の利用実態（熱利用量の内訳）



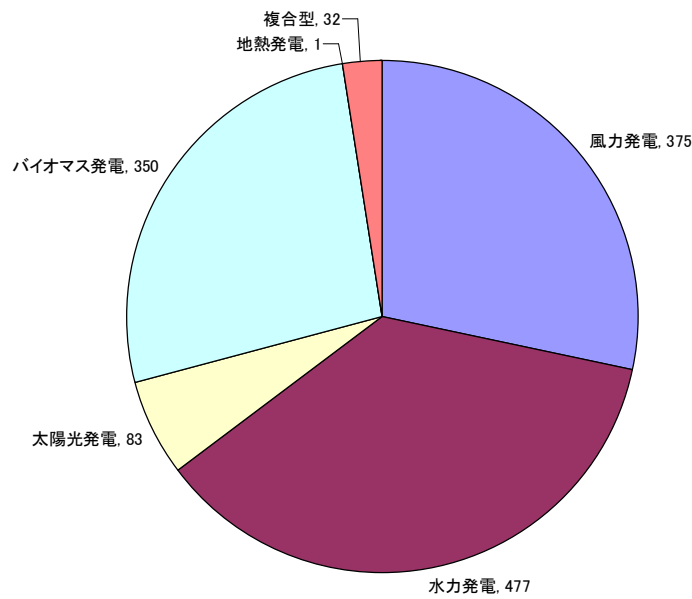
※一般廃棄物中のバイオマス分のみをバイオマスエネルギーとして計上している。

出典：「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会（第30回）資料」平成21年2月13日

また、2002年6月に公布された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（RPS法）において認定を受けた設備について、図表4.21に電源種類ごとの認定件数、図表4.22には認定設備出力（バイオマス発電は総出力に使用燃料のバイオマス熱量比率を乗じた出力）を示す。

バイオマス発電は、認定件数で全体の27%（特定太陽光発電（買取対象）は除く）を占め、発電出力では全体の44%（同様に、特定太陽光発電（買取対象）は除く。特定太陽光発電（買取対象）を含めると31%の比率）を占める。

図表 4.21 RPS 法における認定設備状況（認定件数、2010 年 3 月 31 日現在）

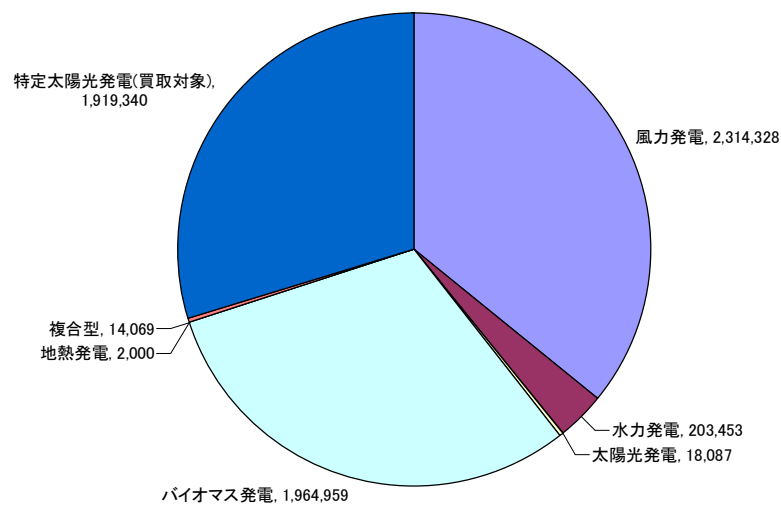


出典：経済産業省 RPS 法ホームページより作成

注 1：特定太陽光発電（買取対象）設備の認定設備件数 518,648 件は除く。

注 2：図中の数値は件数を示す。

図表 4.22 RPS 法における認定設備状況（認定発電出力、2010 年 3 月 31 日現在）



出典：経済産業省 RPS 法ホームページより作成

注 1：バイオマスはバイオマス発電の出力に使用燃料のバイオマス熱量比率を乗じた出力。

注 2：図中の数値は kW を示す。

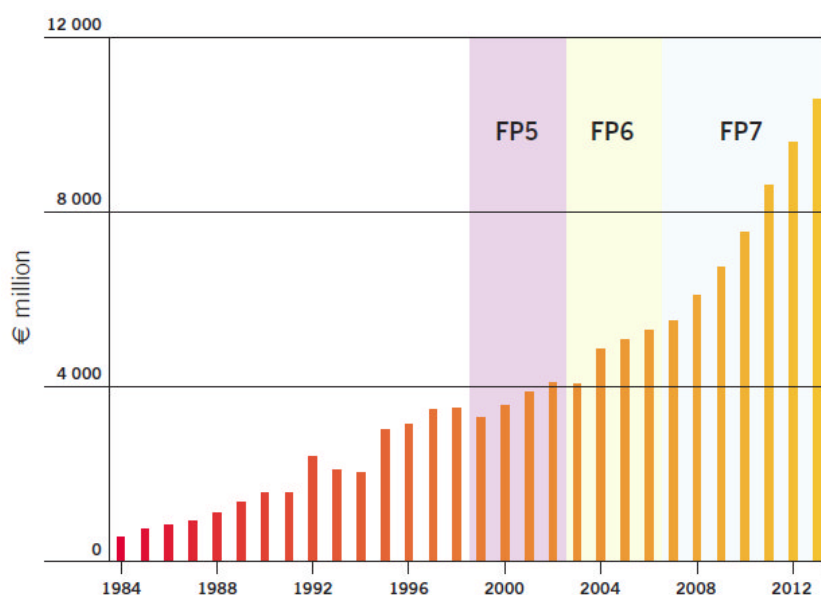
## 4.1.5 技術開発動向

### 4.1.5.1 国内外の技術開発動向

#### (1) 欧州

欧州（EU）では、加盟各国共同で研究活動を行うための支援計画として、欧州フレームワーク計画（FP）<sup>3</sup>を定め、技術開発を行っている。図表 4.23 に、FP の予算の推移を示す。FP 予算は年々増加しており、現在の FP7（2007～2013）では約 500 億ユーロの予算が実行されている。

図表 4.23 欧州フレームワーク計画（FP）予算の推移（1984～2013）



出典：“RTD info – Inside the Seventh Framework Programme-”（2007, EC）

FP7 の主要な活動分野は、「Cooperation（協力）」「Ideas（アイディア）」「People（人材）」「Capacities（キャパシティ）」の 4 つである。再生可能エネルギーを含むエネルギー関連プログラムは、最も多く予算が配分されている「Cooperation（協力）」に含まれている。

「Cooperation（協力）」分野の中で、再生可能エネルギーを含む「Energy（エネルギー）」プログラムには 23.5 億ユーロの予算が割り当てられており、FP6 における予算（8.9 億ユーロ）と比較して、約 2.6 倍に増額されている。

FP6 の主なバイオマスエネルギー関連プロジェクトの一つに、RENEW プロジェクト（正式名称は、Renewable Biofuels for Advanced Powertrains）があった。1,980 万ユーロの予算で、2004 年から 2008 年まで、欧州 33 組織によってバイオ燃料の研究が行われた。図表 4.24 に、6 つのサブプロジェクトとその概要を示す。

<sup>3</sup> 欧州フレームワーク計画（FP）とは、欧州連合（EU）における科学分野の研究開発への財政的支援制度。1984 年の FP1 から始まり、現在は FP7（2007～2013）が実施されている。

図表 4.24 RENEW プロジェクトの概要

サブプロジェクト	概要
BTL 燃料の最適化	フィッシャー・トロプシュ合成法を用いたコーレン社の Carbo V ガス化法により、ガス化以降の製油工程も含め、リグノセルロース含有バイオマスを原料とした BTL 燃料の製造、製造工程の改善、分析、および試験の実施。焦点は、燃料の品質と工程の最適化。
BTL 製造工程の最適化	3 種類のガス化法（自動温度調整流動床法、加圧噴流床法、循環流動床法）およびフィッシャー・トロプシュ合成用触媒の最適化。
黒液からの DME・メタノール製造	スウェーデンにある製紙プラントで、黒液から DME・メタノールを製造し、その技術的および商業的影響を調査。
バイオエタノール製造の最適化	熱化学を応用して、リグノセルロース含有バイオマスからエタノールを製造する方法を最適化し、酵素を用いたエタノール製造のためのデータを収集。
バイオ燃料の評価	欧州の潜在的バイオマス生産能力の分析、収穫地から給油タンクに至るまでのサイクルの評価、リグノセルロース含有バイオマスから BtL 燃料を製造する既存の方法の技術的ならびに経済的な評価を実施。
研修	各プロジェクトの成果を関係者に伝え、サマーアカデミーやインターネット上の講座を開催し、研修の機会を提供。

出典：「第 2 世代バイオ燃料製造技術の研究開発に関する報告書」  
(2007, 財団法人石油産業活性化センター) より作成

図表 4.25 に FP7 の主要なバイオマスエネルギー関連プロジェクトを示す。液体燃料製造や原材料栽培に関する研究に、多くの予算が割り当てられている。

図表 4.25 FP7 の主要なバイオマスエネルギー関連プロジェクト (2010 年 6 月時点)

プロジェクト名	概要	予算 (百万ユーロ) (うち EC 出資分)	期間
BIODME	バイオマスからの DME 製造と、輸送用・産業用燃料としての利用の研究	28.26 (8.20)	2008/9/1～ 2012/8/31
LED	リグノセルロース系エタノールの実証研究	10.47 (8.63)	2009/3/1～ 2013/8/31



## 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

プロジェクト名	概要	予算(百万ユーロ) (うち EC 出資分)	期間
NUE-CROPS	作物生産における環境への悪影響を減少させるための、ヨーロッパの主要な食物・飼料・バイオ燃料用作物の栄養効率の改良の研究	9.60 (6.00)	2009/5/1～ 2014/4/30
ECODIESEL	様々な原材料を用いて改良された FAME 製造のための、温室効果ガス排出最小限の高効率バイオディーゼル燃料の研究	8.99 (4.97)	2008/1/1～ 2011/12/31
PLANTPOWER	クリーンで、再生可能で、持続可能で、効率的で、オンサイトでバイオエネルギーを製造する微生物を用いた燃料電池プラントの研究	5.23 (4.00)	2009/1/1～ 2012/12/31
ENERCOM	バイオマス残さと下水汚泥からのエネルギー・燃料・肥料のポリジェネレーションシステムの研究	5.20 (2.53)	2008/11/3～ 2011/11/2
LIGNODECO	リグニン・炭水化物を原料とした化学変換の詳細な特製評価による、ブラジルの短周期作物(木材用・非木材用)の前処理最適化の研究	5.02 (2.99)	2010/1/1～ 2012/12/31
GLYFINERY	バイオリファイナリーにおけるバイオ液体燃料・バイオエネルギー・グリーンな化学製品の持続可能で統合的な製造の研究	4.97 (3.75)	2008/3/1～ 2012/2/29
SWEETFUEL	代替燃料用作物としてのスイートソルガムの研究	4.95 (2.97)	2009/1/1～ 2013/12/31
DIBANET	ヨーロッパと中南米における、残さや廃棄物からの持続可能なバイオディーゼル混合燃料製造の研究	4.84 (3.73)	2009/7/1～ 2012/12/31
VALORGAS	食品廃棄物からのバイオガスによる物価安定政策の研究	4.65 (3.49)	2010/3/1～ 2013/8/31
BABETHANOL	リグノセルロース系エタノールのより持続可能な開発と製造のための、新たな原材料と革新的な変換プロセスの研究	4.30 (3.17)	2009/5/1～ 2013/4/30
ENERGYPOPLAR	エネルギー利用のためのポプラ特性の改良の研究	4.14 (2.99)	2008/3/1～ 2012/2/29
AGFOODTRADE	農業と食糧とバイオエネルギーの売買における新たな論点の研究	3.42 (2.50)	2009/2/1～ 2013/1/31

## 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

プロジェクト名	概要	予算 (百万ユーロ) (うち EC 出資分)	期間
BEE	バイオエネルギー利用のためのバイオマス資源評価	2.82 (1.82)	2008/3/1～ 2010/11/30
CANEBIOFUEL	サトウキビのエタノールへの変換の研究	2.49 (1.66)	2009/3/1～ 2011/2/28
FUEL-PATH	植物からのバイオ燃料製造を効率化するための病原性微生物の糖化ポテンシャルの開発	2.10 (2.10)	2009/1/1～ 2013/12/31
CEUBIOM	陸域観測を用いたヨーロッパのバイオエネルギーポテンシャルの分類	1.34 (1.34)	2008/3/1～ 2010/11/30
BIOTOP	中南米におけるバイオ燃料の技術的機械と研究ニーズの評価	1.29 (0.99)	2008/3/1～ 2010/8/31

出典：EC ホームページ ([http://cordis.europa.eu/fp7/projects\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/projects_en.html)) より作成

## (2) 米国

米国では、エネルギー省が中心となってバイオマス技術の研究開発を進めている。2008年には省エネルギー・再生可能エネルギー局（EERE<sup>4</sup>）によって「バイオマス複数年プログラム計画（Biomass Multi-Year Program Plan）」が策定され、これにそったバイオマスの技術開発が行われている。

本プログラムは、2007年にブッシュ大統領が掲げた2017年までにガソリンの20%を削減する「Twenty in Ten」の目標や、エネルギー自立・安全保障法で定められた2022年までの輸送用再生可能燃料の導入目標達成を目的とするものである。このため、バイオマス利用技術の中でもバイオ燃料の生産、特にセルロース系原料からのバイオエタノール生産に重点が置かれている。このプログラムは、米国農務省とのBiomass Research & Development Initiative等とも連携して進められている。

プログラムの内容は、コア技術の研究開発（原料技術、転換技術）、実証・普及（バイオリファイナリー、インフラ）、市場転換に分類されており、これらの取組みを通じ、図表4.26に示す技術開発目標の達成と、図表4.27に示す開発目標時期が掲げられている。これは2010年3月のプログラム進捗報告書に記載された目標で、2008年当初の目標からは全体的に引き下げられている。

**図表 4.26 「バイオマス複数年プログラム計画」における技術開発目標**

- ・ 研究開発を通して、セルロース系バイオ燃料の化石系燃料に対するコスト競争力を高め、エタノールについては、成熟技術による規範プロセスのコストを2012年までに2.62ドル/ガソリン等価ガロン（1.76ドル/エタノールガロン）とする。
- ・ 2017年までに、再生可能ガソリンは2.85ドル/ガロン、再生可能ディーゼルは2.84ドル/ガロン、再生可能ジェット燃料は2.76ドル/ガロンを達成する。
- ・ 2022年までにバイオ燃料の生産・使用を最大化するための環境（コスト効率的な技術、十分なインフラ、適切な政策、消費者の支持）の形成を支援する。

出典：“Biomass Multi-Year Program Plan, March 2010” (EERE, 2010)より作成

<sup>4</sup> Energy Efficiency & Renewable Energy

図表 4.27 バイオマス複数年プログラム計画における技術開発戦略

コア技術の研究開発	<b>原料コア技術の開発</b> 持続可能な原料生産・収集技術、利用しやすい原料供給の開発・検証 2012:原料生産コストを\$0.39/ガロンに低減、原料調達量140百万トンの検証 2017:原料生産コストを\$0.33/ガロンに低減、原料調達量250百万トンの検証		
	<b>転換コア技術の開発</b> バイオマスからコスト競争力のある液体燃料への転換のための、技術生化学・熱化学技術の開発 2012:セルロース系エタノール転換コストを\$0.92/ガロンに低減 2017:セルロース系エタノール転換コストを\$0.60/ガロンに低減		
実証・普及	<b>統合バイオリファイナリー</b> 商業的に成り立つための性能・コスト目標を達成する、統合技術の実証・検証 2014:次世代バイオ燃料の合計100百万ガロン生産の実証 規範技術による先駆的プラントの検証		
	<b>バイオ燃料インフラ</b> E10普及の全国的戦略、一部地域ではE85普及のための地域戦略 2012:規格開発、E15・E20の試験 バイオ燃料24十億ガロンの送配設備の整備		
分野横断	<b>市場転換</b> 市場転換を促進するための効率的なコミュニケーション、政策、パートナーシップの構築 2012:教育・パートナーシップ・政策等による市場転換促進の支援		
2005	2010	2015	2020

出典：“Biomass Multi-Year Program Plan, March 2010” (EERE, 2010)より作成

現在は、2012 年を当面のターゲットとして、図表 4.28 の分野での研究開発が実施されている。

図表 4.28 現在の研究開発プログラムの目標

		原料	研究開発プログラムの目標
コア技術の研究開発	原料	農業残さ	2009年：試作機で乾燥トウモロコシ茎葉と乾燥麦わらの原料の収集技術を検証。
			2012年：試作機で湿潤トウモロコシ茎葉の原料の収集技術を検証。
		エネルギー作物	2009年：試作機で乾燥スイッチグラスの原料の収集技術を検証。
			2011年：試作機で木質系エネルギー作物の原料の収集技術を検証。
			2012年：試作機で湿潤スイッチグラスの原料の収集技術を検証。
		転換	農業残さ
	2010年：パイロット規模でトウモロコシ茎葉と麦わらの合成ガスを生成するガス化技術を検証。		
	2012年：パイロット規模でトウモロコシ茎葉・麦わらベースの合成ガスから生成した混合アルコールによるエタノールの生産技術を検証。		
	2015年：パイロット規模で農業残さ系バイオマスの熱分解によるガソリン・ディーゼル燃料生産技術を検証。		
	エネルギー作物		2017年：パイロット規模でスイッチグラス（乾燥／湿潤）の前処理、酵素加水分解、エタノール生成技術を検証。
	木質系原料		2009年：パイロット規模で最低一種類の改質触媒の性能を検証。
			2010年：パイロット規模で木質系原料からクリーンな合成ガスを生成するガス化技術の検証。
			2012年：パイロット規模で木質系原料ベースの合成ガスから生成した、混合アルコールによるエタノールの生産技術を検証。
			2015年：パイロット規模で木質系バイオマスの熱分解によるガソリン・ディーゼル燃料生産技術を検証。
実証・普及	統合バイオリーナリー		トウモロコシ
		農業残さ	2012年：実証／商業規模で農業残さからのエタノール生産プロセスを実証・検証。
			2012年：実証／商業規模で農業残さの合成ガスからのエタノール生産プロセスの実証・検証。
	エネルギー作物	2017年：実証／商業規模でエネルギー作物からのエタノール生産プロセスを実証・検証。	
		2017年：実証／商業規模でエネルギー作物から製造した混合アルコールによる、エタノール生産プロセスを実証・検証。	
	インフラ	共通	2012年：他省庁と連携し、基準の策定と、E15/E20の送配システム・車両に係る基準の策定と試験を完了。
			2022年：バイオ燃料360億ガロン（約1.36億kL）の輸送・送配容量の確保。

実証：パイロット規模以上のシステムが設計どおりに稼動し、性能目標（個別技術、システム全体として）を全て達成していることを立証すること。

検証：パイロット規模以上で、プロセスにおいて望みどおりの結果と当初の意図を達成していることを確認すること。

出典：“Biomass Multi-Year Program Plan, March 2010” (EERE, 2010)より作成

## 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

現在エネルギー省ではバイオマスプログラムに基づき、セルロース系原料からバイオ燃料への転換に関する技術開発や、プラントの実証試験が行われている。(図表 4.29) また、農務省との共同イニシアティブである Biomass Research & Development Initiative では、原料栽培に関する研究や、化学品・バイオガス等生産に関する研究開発、またバイオマス利用に係る社会経済的評価等が行われている。(図表 4.30)

さらに、2009 年に景気回復策として制定されたアメリカ再生・再投資法においても、バイオ燃料産業振興のため、バイオリファイナリー実証、次世代バイオ燃料、高濃度エタノール利用の各分野に予算が配分された。(図表 4.31)

図表 4.29 現在の研究開発プロジェクト (エネルギー省)

テーマ	概要	主体、規模
セルロース系原料によるバイオリファイナリーの実証	商用スケールで様々なセルロース系原料(トウモロコシ繊維、廃材、農業残さ、廃棄物等)からエタノール等を生産するバイオリファイナリーの実証。	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abengoa Bioenergy Biomass of Kansas, LLC (ミズリー州) 76 百万ドル</li> <li>BioFire Ethanol, Inc. (カリフォルニア州) 40 百万ドル</li> <li>Poet (サウスダコタ州) 80 百万ドル</li> <li>Range Fuels (コロラド州) 76 百万ドル</li> </ul>
エタノール発酵用微生物の開発	C5 糖・C6 糖双方を効率よく発酵する微生物の開発。	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cargill Incorporated 4.4 百万ドル</li> <li>Verenium 5.3 百万ドル</li> <li>E.I. DuPont de Nemours &amp; Company 3.7 百万ドル</li> <li>Mascoma Corporation 4.9 百万ドル</li> <li>Purdue University 5 百万ドル</li> </ul>
セルロース系原料の熱化学処理の実証	セルロース系原料(スイッチグラス、トウモロコシ茎、木材等)をガス化処理によりバイオ燃料に転換する技術の実証。	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emery Energy Company (ユタ州) 1.7 百万ドル</li> <li>Iowa State University (アイオワ州) 2 百万ドル</li> <li>Research Triangle Institute (ノースカロライナ州) 2 百万ドル</li> <li>Southern Research Institute (アラバマ州) 2 百万ドル</li> <li>Gas Technology Institute 2 百万ドル</li> </ul>
小規模セルロース系原料バイオリファイナリーの検証	商用規模の 10% のスケールで、セルロース系原料からのバイオ燃料とバイオマス由来化学品・製品等の生産技術を検証。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICM Incorporated (カンザス州) 30 百万ドル</li> <li>Lignol Innovations Inc (ペンシルバニア州) 30 百万ドル</li> <li>Pacific Ethanol Inc. (カリフォルニア州) 24.3 百万ドル</li> <li>NewPage Corp. (オハイオ州) 30 百万ドル</li> <li>Flambeau River Biofuels (ウィスコンシン州) 30 百万ドル</li> <li>Verenium Biofuels, Inc. (ルイジアナ州)</li> <li>RSE Pulp (メイン州) 30 百万ドル</li> <li>Ecofin, LLC (ケンタッキー州) 30 百万ドル</li> <li>Mascoma (テネシー州) 25 百万ドル</li> </ul>
酵素	セルロース系原料の低コスト糖化酵素技術の開発。	下記合計 70 百万ドルを補助。 <ul style="list-style-type: none"> <li>DSM Innovation Center Inc.</li> <li>Genencor—a Division of Danisco, USA, Inc.</li> <li>Novozymes, Inc.</li> <li>Verenium Corporation</li> </ul>

出典：EERE ホームページ ([http://www1.eere.energy.gov/biomass/past\\_solicitations.html](http://www1.eere.energy.gov/biomass/past_solicitations.html)) より作成

図表 4.30 現在の研究開発プロジェクト（農務省・エネルギー省共同）

テーマ	主体、規模	概要
バイオ燃料、 バイオマス由来製品	GE Global Research 1.6 百万ドル	バイオマスガス化装置設計のための力学モデルの開発
	Gevo, Inc. 1.8 百万ドル	セルロース系糖質のイソブタノール発酵用微生物の開発
	Itaconix 1.9 百万ドル	広葉樹林バイオマスからの発酵・重合によるポリイタコン酸生産プロセスの開発
	Yenkin-Majestic Paint Corporation 1.8 百万ドル	食品系廃棄物、木質系廃棄物からのバイオガスや、熱・電気の生産技術の実証
	Velocyc, Inc. 2.6 百万ドル	セルロース系残さの液体燃料変換のための効率的な水素化処理技術の開発
	Exelus, Inc 1.2 百万ドル	Biomass to Gasoline 技術の開発
バイオ燃料開発の分析評価	Purdue University 0.9 百万ドル	第二世代バイオ燃料の、エネルギー技術、経済・気候変動政策としての評価分析モデルの開発
	University of Minnesota 2.7 百万ドル	森林起源のバイオ燃料原料の持続可能性、供給可能性の評価
	Consortium for Research on Renewable Industrial Materials	森林系残さ、廃棄物等原料によるバイオ燃料生産による、環境面・経済面のライフサイクル評価
原料開発	Agrivida	前処理を簡便化する遺伝子組み換えスイッチグラスの開発
	Oklahoma State University	スイッチグラス生産のベストプラクティスの開発、持続可能性の評価
	The University of Tennessee	スイッチグラス管理・収穫のベストプラクティスの開発

出典：DOE プレスリリース（2009年11月12日）より作成

図表 4.31 現在の研究開発プロジェクト（アメリカ再生・再投資法）

テーマ	概要、規模
バイオリファイナリー実証	・パイロット～実証規模：18 箇所 509 百万ドル ・実証～商用規模：1 箇所 82 百万ドル
次世代バイオ燃料	・藻類起源バイオ燃料開発実証：49 百万ドル ・次世代バイオ燃料生産パスウェイの評価：35 百万ドル ・持続可能性に関する研究：5 百万ドル以上 ・次世代バイオ燃料技術開発：18 百万ドル
高濃度エタノール利用	・高濃度エタノールが車両に与える影響評価：16 百万ドル ・Flex-Fuel Vehicles における E85 燃料効率の最適化：2 百万ドル ・給油所の E85 対応：1 百万ドル

出典：“Biomass Program Recovery Act Factsheet” (EERE, 2010)より作成

### (3) 日本

我が国においては、「バイオマス・ニッポン総合戦略」（2006年3月策定）を始めとして、関連省庁（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）が連携して、地球温暖化防止や循環型社会の形成などを目的に、バイオマス利用の高度化を実現すべく、様々な技術開発や社会実証実験を進めている。

食料との競合や、持続可能な生産・利用、供給安定性・経済性といった中長期的課題を克服するために、産学官の「バイオ燃料技術革新協議会」が設立され、セルロース系（草・木）の次世代バイオエタノール生産の具体的な導入、コスト目標、技術開発、ロードマップ等を内容とする「バイオ燃料技術革新計画」が2008年3月に策定されている。この中で、①国内の現存する農林業から発生するものを主体とした原料（稲わらや林地残材の残さ等）による「バイオ

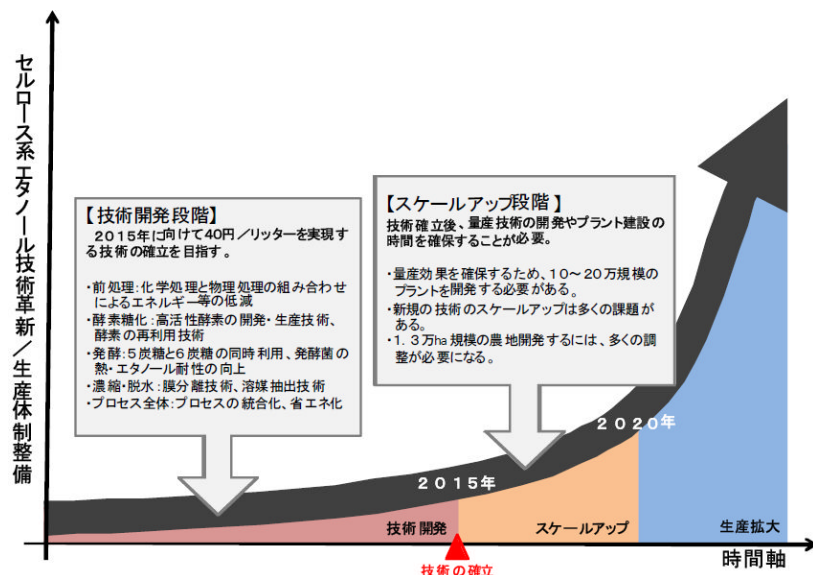
4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

マス・ニッポンケース」(主に農林水産省が主導)と、②エネルギー政策の観点からガソリン価格との競争力や米国等の開発計画を勘案し、多量に生産が可能な国内外の資源作物を利用し、抜本的な技術革新を目指していく「技術革新ケース」(経済産業省が主導)の双方を内容としている。

バイオ燃料技術革新計画の技術革新ケースにおいては、年産10~20万kL規模の工場を一単位として、40円/Lを目指すこととされている。原料となるバイオマスの効率的な収集や、個別の製造プロセス(前処理、酵素糖化、発酵、濃縮・脱水)についての低コスト化・省エネ化、プロセス全体の統合技術などの技術革新が同時に必要とされており、また2015年の技術確立後においてもプロセスの開発やバイオマス原料を確保するための農地開発が必要で、直ちに大幅なバイオ燃料の生産が進むことは困難であるとしながらも、2020年までには国産セルロース系エタノール61万kL(原油換算33万kL)が製造可能と試算されている。

セルロース系エタノールの技術開発については、技術開発段階、スケールアップ段階、生産拡大段階とステージを想定し研究開発が進められている。(図表 4.32)

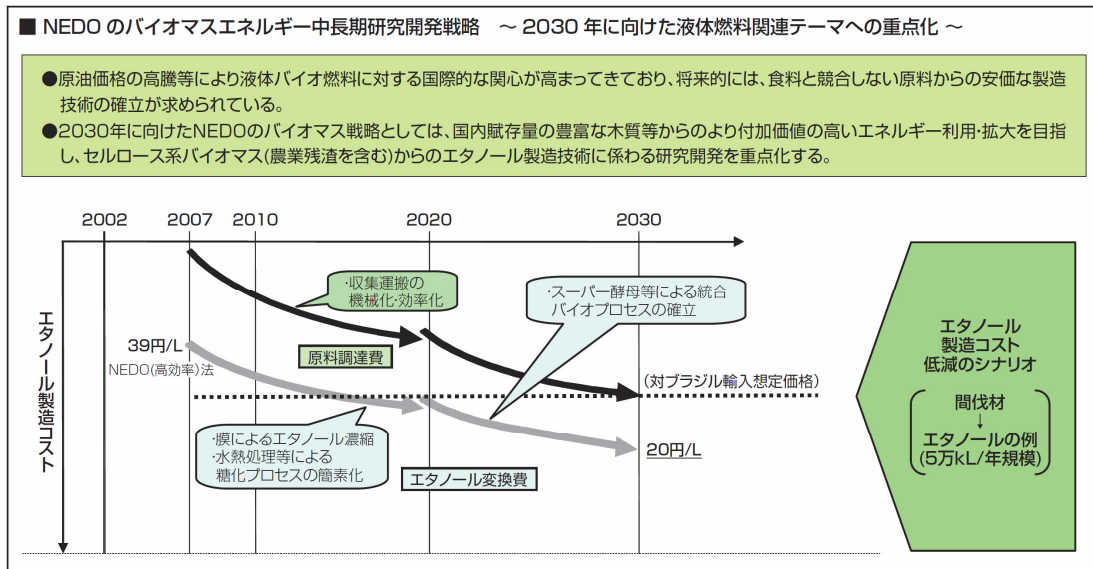
図表 4.32 セルロース系エタノール技術革新/生産体制整備計画



出典: 「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会 (第35回)」(H21.5 経済産業省) 配付資料-参考7(2) P.6より引用



図表 4.33 NEDO のバイオマスエネルギー中期研究開発戦略



出典：NEDO 技術開発機構 事業紹介 エネルギー・環境技術分野

NEDO の「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」(図表 4.33)においては、「バイオ燃料技術革新計画」における技術革新ケース(2015～2020年においてバイオエタノール製造コスト 40 円/L、年産 10～20 万 kL、CO<sub>2</sub>削減率 5 割以上(対ガソリン)、化石エネルギー収支比 2 以上)の実現に向けて、食料と競合しない草本系又は木本系バイオマス原料からのバイオエタノール生産について、大規模安定供給が可能なセルロース系目的生産バイオマスの栽培からエタノール製造プロセスまでの一貫生産システムを構築し、研究開発を実施することにより環境負荷・経済性等の評価を実施している。具体的には図表 4.34 の研究開発などが実施されている。

図表 4.34 セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業の具体内容

実施者	研究開発の概要
王子製紙株式会社 独立行政法人産業技術総合研究所 新日鉄エンジニアリング株式会社	早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 【概要】大規模安定供給可能なエタノール生産好適早生樹からの、メカノケミカルパルピング前処理および高温耐性酵母による C6 糖発酵と C5 糖発酵の組合せによる、セルロース系目的生産バイオマスからエタノール製造までの高効率一貫生産システムを開発する。
バイオエタノール革新技術研究組合 国立大学法人東京大学	セルロース系目的生産バイオマスの栽培から低環境負荷前処理技術に基づくエタノール製造プロセスまでの低コスト一貫生産システムの開発 【概要】草本系植物と木本系植物のセルロース系目的生産バイオマスを原料とし、低コスト収穫・運搬・貯蔵技術を用いた周年供給システムと低環境負荷なアンモニア前処理技術を基本として、最適糖化酵素の取得と高度利用、膜を利用した糖化液濃縮、非遺伝子組換え酵母によるエタノール生産等の技術を組合せた大規模安定供給が可能なエタノール一貫生産システムを開発する。

#### 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発事業(先導技術開発)」では、エネルギー転換・総合利用技術の研究開発を行うとともに、2009年度からは、2015～2030年頃に実用化が期待される遺伝子組み換え等の品種改良技術を利用した食料と競合しないエネルギー植物の創成を目的とした「エネルギー植物の創成」枠が設けられた。

#### 4.1.5.2 技術別の開発動向

4.1.1 技術の俯瞰と同様に、(1) 資源・収集・運搬、(2) 物理的変換、(3) 熱化学的変換、(4) 生物化学的変換、(5) 一般廃棄物処理関連技術、(6) バイオリファイナリーの6つに区分し、技術開発動向を整理した。各要素技術について課題を整理し、現状の技術レベル（研究、実証試験、実用化）、今後の展望、開発動向等について記述した。

##### (1) 資源・収集・運搬

国内では森林のポテンシャルに対する木質系バイオマスの利用量が、ヨーロッパと比較してまだ少ない。路網整備等のインフラ整備や高効率収穫・収集・運搬機器の開発・導入、集材方法の変更等による収集・運搬コストの削減が重要となる。一部の地域では、小規模な私有林の所有者を団地化することで、高効率機械を導入し組織的に間伐する方式により効率化、低コスト化を行っている事例がある。

また、木質バイオマスを建築用材料、合板材料、パルプ原料、エネルギー利用等の用途に応じた安定的な供給を行うためには、集積基地等を整備し効率的な仕分けを行うことが重要となる。

一方、バイオ燃料生産用資源については安定調達源の確保が必要であるため、土地利用効率の高いバイオマス資源が求められており、遺伝子組み替え技術を用いた次世代資源の研究開発が行われているところであるが、遺伝子組み替え技術に関する合意形成、土地の確保等が課題である。

##### (2) 物理的変換

###### ① 固体燃料製造（薪、チップ、ペレット、ブリケット、RDF、バイオソリッド 等）

薪、チップ等の木質系バイオマス燃料は、広く流通しており、基本的な製造技術はほぼ確立されている。しかしながら、製造設備（チップパー、破砕機等）の改良や、生木を効率的に破砕できる機器の開発、導入を行う等の効率化、低コスト化技術開発を継続的に行うとともに、事業集約による大型設備を導入する等の効率化を図る必要がある。

ペレット生産量は、世界的には年率30%で増加しており、この傾向はこれからも続くと考えられる。ペレット使用機器の設計の効率化をはかるため、ヨーロッパの一部では木質ペレットについて国家的な統一基準が作成されている。また、米国のように民間の協会がガイドラインを設けている国もある。我が国では日本木質ペレット協会が自主規格を定め運用しているが、今後は規格化に向けた検討を進めていく必要がある。

また、RDF、バイオソリッド等の廃棄物系燃料については、いくつか実用化の事例があるものの、成分的制約、環境面の制約等により、限られた施設での利用に止まっている。

##### (3) 熱化学的変換

###### ① 直接燃焼

直接燃焼は、熱利用、発電利用として実用レベルであり、種々のバイオマスを利用した多くのプラントがオンサイト、オフサイトとも稼働している。

しかしながら、製材廃材、建築廃材等の均質で低含水率のバイオマスが不足してきており、

間伐材、バーク等比較的含水率の高いバイオマスを燃料利用し燃焼効率を維持、向上させるためには、乾燥等の前処理技術の開発が必要となる。また、未利用資源、廃棄物資源の利用拡大のためには、バイオマス資源に対応した施設の改良、設計へのフィードバックが重要である。

既設の事業用・産業用火力発電設備や工業炉に木質系バイオマスの投入設備を設置した化石燃料との混焼利用が拡大している。新設のバイオマス発電に比較し、設備投資が少なく有利ではあるが、既設利用のため混焼率に制限がある（微粉炭焚きボイラで熱量ベース3%程度）。利用拡大のためには、燃焼効率を向上させ混焼率を向上するための技術開発が重要となる。

一方、地域の熱供給においては、燃焼機器の高効率化と低価格化が必要である。ヨーロッパでは、エネルギー効率の基準が定められており、薪ボイラ等のエネルギー効率は80%程度にまで高められている。我が国でも、最先端の燃焼機器を導入、開発し地域熱供給の効率化、普及、拡大を図ることが重要である。

## ② 気体燃料製造

### i) ガス化（発電、熱利用）

現状、フィンランド、ドイツ、オランダ、デンマーク、スウェーデンといった国々で大規模プラントが建設されている。北欧は熱の需要が大きく、また原料を収集することが容易であるため、大規模化が可能である。一方、我が国では、原料調達面での制約から、小規模のガス化施設の実用化例がある。

小規模ガス化発電でも、発電効率が高いガスエンジンを利用できるため、分散型のエネルギー資源であるバイオマスに適しており、将来的には、地産地消型の小規模プラント利用を拡大させていくことが期待されている。そのためには、施設の建設と維持管理にかかるコストを低減させる必要がある。

ガス化には、タールによるトラブルという課題があり、それを適切に処理するための技術開発が進められている。

我が国のガス化発電システムの開発企業例を図表 4.35 に示す。

ここで掲げた技術以外にも多くの企業が開発を行っており、より効率的なシステム技術開発が進むことが望まれる。

図表 4.35 バイオマスガス化発電システムの開発企業（例）

企業名	形式	導入規模	対象原料	導入状況
中外炉工業	外熱式多筒型 キルン	100～数百 kW 級	木質・草本	3 箇所 (実験・実証含む)
川崎重工業	ダウンドラフト	100～200kW	木質	3 箇所 (実験・実証含む)
月島機械	ダウンドラフト	100～200kW	木質	2 箇所 (実験・実証含む)
JFE グループ	アップドラフト	MW 級 (2MW)	木質	2 箇所
電中研・オカドラ	炭化ガス化	不明	木質・廃棄物	1 箇所 (実験・実証含む)
カワサキプラント システムズ	流動床ガス化	150kW (商用規模 は MW 級)	木質	1 箇所 (実験・実証含む)
サタケ	ダウンドラフト	数十～MW	木質・農産・草本	37 箇所 (実験・実証含む)
トリスミ集成材	固定床 ダウンドラフト	300kW	木質	1 箇所 (実験・実証含む)
新興プランテック ・大友産業 ・東洋システム	固定床 アップドラフト	55kW	畜糞	1 箇所 (実験・実証含む)
八木建設・ 宇部テクノエンジ	二段階スチーム リフォーミング法 バイオマスガス化	30kW	建設廃木材 チップ	1 箇所 (実験・実証含む)
東京ガス・ タクマ	循環流動床	157kW	汚泥	1 箇所 (実験・実証含む)
明電舎	固定床 アップドラフト	36kW	木質	1 箇所 (実験・実証含む)

出典：「バイオマスを原料とする合成燃料の生産技術および利用に関する最新動向調査」（2009, NEDO）

#### ii) 水熱ガス化

現状では、実証段階であり、実用化例はまだない。

水と熱エネルギーのみで有機物や無機物をクリーンに処理できること、脱水や乾燥というプロセスなしで廃棄物を処理できること、高速での熱分解が可能であることなどのメリットがある。実用化のためには、高温高压に耐えうる装置の開発、処理技術の向上が必要となる。

国内外における水熱ガス化の研究開発事例を図表 4.36 に示す。

図表 4.36 水熱ガス化の研究事例

研究機関	原料	触媒	反応条件	炭素ガス化率
ハワイ大学 自然エネルギー研究所	グルコース水溶液	活性炭	600℃ 34.5MPa	100%
資源環境技術総合研究所 (現・産業技術総合研究所)	セルロース	ニッケル 炭酸ナトリウム	400℃ 19MPa	84%
ハワイ大学 自然エネルギー研究所	ジャガイモ廃棄物	活性炭	724℃ 28MPa	79%
パシフィック・ ノースウェスト研究所	ビール工場 廃麦粒上澄み	ニッケル	350～360℃ 21MPa	67%
東京大学	キシラン	ニッケル	400℃ 25MPa	60%
東京大学	リグニン	ニッケル	400℃ 25MPa	9%
中国電力・広島大学・産業技 術総合研究所・東洋高压	鶏糞	活性炭	—	—
カールスルーエ 研究センター	各種バイオマス	アルカリ触媒	—	—

出典：「バイオマスハンドブック」（2009，日本エネルギー学会編集）

### ③ 液体燃料製造

#### i) BTL（ガス化-液体燃料製造）

BTLは多様なバイオマス資源を利用できることなどから、軽油、航空機燃料の代替燃料として期待されている。ドイツ、ノルウェー、米国で、実証試験が実施されている。ドイツのCHOREN社は、27万kL/年の商用プラントを建設する予定である。

BTLの特徴は、セルロース系エタノールがリグニンを原料にできないの対して、BTLはそれが可能であるため、効率がエタノールより高くなることである。

国内外の研究開発事例は図表 4.37 のとおりである。

図表 4.37 実証等が進むバイオマス変換技術の技術開発の例 (BTL)

技術分類	区分	主要な事例・企業	技術の段階
ガス化＋FT 合成	国内	・ 産業技術総合研究所(1.6L/日、技術開発段階(固定省ガス化炉、ベンチスケール))	実証段階
	海外	・ 米国: Flambeau River Biofuels LLC (9 百万ガロン/年、50 百万ポンド wax、実証段階) CARBONA ・ フィンランド: NSE Biofuels Oy (100 000 t/a wax、実証段階) NESTE OIL, Vapoi, VTT ・ ドイツ: コーレン・インダストリーズ社 (CHOREN Industries GmbH) 2008 年 4 月商業プラント完成。年産 1,800 万 L、木質原料 6.5 万トン。 ・ ドイツ: Lurgi ・ スウェーデン: Vernamo, Vaxjo	実証段階～ 実用化段階
ガス化＋エタノール等合成	国内	・ 三菱重工業株式会社、中部電力株式会社、産業技術総合研究所(木質系バイオマス 2t/日、メタノール)、実証～実用化段階	実証段階～ 実用化段階
	海外	・ 米国: Range Fuels Inc.、実証～実用化段階(1.87 百万ガロン(エタノール:メタノール=1:1) /年、2010 年商用開始予定) ・ カナダ: Enerkem、実証～実用化段階(500 万 L/年のエタノール、2010 年春に操業開始予定(当初はメタノール、続いてエタノールの予定)) ・ ドイツ: Lurgi	実証段階～ 実用化段階
ガス化＋DME 合成	国内	・ 岩谷産業株式会社、産業技術総合研究所(小規模、実証段階)	実証段階
	海外	・ スウェーデン: CHEMREC, VOLVO ・ 中華人民共和国: 中国科学院	実証段階
ガス化＋バイオ SNG (合成天然ガス) 合成	海外	・ オーストリア: Bio-SNG プロジェクト (1 MW SNG、実証段階(商用段階で 20-200 MW SNG を予定)) ・ オランダ: ECN/HVC プロジェクト、実証段階 (20MW コージェネレーション(熱電併給)、2012 年実証開始を予定) ・ ドイツ: Lurgi ・ スウェーデン: Goteborg Energi	実証段階

出典: 以下資料より作成

- ・ European Biofuel([http://www.biofuelstp.eu/spm2/spm2\\_prog\\_draft.html](http://www.biofuelstp.eu/spm2/spm2_prog_draft.html))
- ・ European Biofuels Technology Platform(<http://www.biofuelstp.eu/bio-sng.html>)
- ・ 各社ホームページなど

注: 「ガス化＋バイオ SNG (合成天然ガス) 合成」は液体燃料製造ではないが、類似技術のためここに記載した。

#### ii) バイオディーゼル燃料製造 (エステル交換 (アルカリ、超臨界メタノール)、酸化安定化 (水素化))

世界各国でバイオディーゼル燃料が利用されており、既に実用化されている技術である。エンジン自体の改良が不要であるため、既存のインフラ、車両をそのまま利用することが可能である点や、排ガス中の有害物質 (硫黄酸化物など) が減少する点など、燃料としての実用性が高く、将来的に利用の拡大が期待されている。

エステル交換については、原料油の質によらず、バイオディーゼル燃料の品質を一定にする

技術の開発や、生成するグリセリンの処理技術の研究が進められている。

また、超臨界メタノールを用いた処理では、高温・高圧条件に耐えうる実用化装置の開発が進められている。

酸化安定化については、目的の分子量に低分子化することがまだ困難であり、処理技術の研究が進められている。また、経済性という点からも二酸化炭素固定という点からも、水素の低コストでの安定供給が必要である点も課題の一つであり、研究が進められている。

なお、世界的に見ると、食用油を燃料とすることへの反対意見や、一部の地域では食料生産との競合といった技術以外の観点での課題もある。

### iii) 急速熱分解

我が国を始め、米国、カナダ、イタリア、ドイツといった国々で開発が進められており、技術開発レベルとしては実証段階であると言える。

現在はボイラ燃料としての利用が主であるが、将来的には、発電用のガスタービンやディーゼルエンジンなど輸送用の燃料としての利用が期待されている。

石油と異なり酸素原子を多く含んでいるため、発熱量は原油の半分程度でありエネルギー密度が低い点が課題の一つである。また、酸性であるので、タンクやボイラの材質には耐酸性の処置が必要となり、コストがかかるという問題もあり、製造コストの更なる向上を図るための技術的開発に力が入れている。また、利用の幅を広げるために水素化改質などの処理に関する研究も進められている。

### iv) 水熱液化

現状としては実証段階であり、実用化例はまだ少ない。しかし、クリーンな処理であることから、将来的には利用の拡大が期待されている。

課題としては、強い酸性と高い粘性のため、そのままでは輸送用燃料として利用できない点が挙げられ、分留か水素などによる改質の研究が進められている。また、高温・高圧下における装置の腐食、熱交換器の効率の低さ、装置へ原料を搬入する難しさなど、水熱ガス化と同様、装置の面での開発も進められている。アルカリ触媒やニッケル触媒、有機溶媒、還元性ガス（水素、一酸化炭素）などを用いた様々なプロセスについても研究が行われている。

### v) 藻類由来のバイオ燃料製造

主にコスト面での課題等から、実用化には至っていないものの、単位面積当たりのエネルギー収率の高さや、食料生産と競合しない点、植物栽培に適さない土地でも利用でき、二酸化炭素固定への寄与率が高いといった点から、将来的に期待されている技術である。エネルギー収率（単位面積から収穫されるバイオマスを原料として生産される燃料量）の高さは、大豆や、パーム油と比較して10倍以上と考えられている。

今後においては製造コスト低減に向け、油分生産性の高い微細藻類の探索や、低コストで効率的な培養および油分抽出技術の研究が進められている。特に、藻類の場合、その生理・生態学的な特徴から含水率が高く高濃度な糖類や油脂類を得ることが困難なため、糖類、油脂類の回収に係る工程、比較的多く含まれる水分を除去する工程の低コスト化が課題である。



図表 4.38 には米国、欧州、我が国における主要機関での藻類によるバイオ燃料生産への取組状況を示す。これらより、米国は国立研究所、大学、産業界による積極的な取組みが行われているのに対し、我が国、欧州では一部の機関での研究開発に限られていることがわかる。

図表 4.38 欧米諸国での藻類由来のバイオ燃料製造技術への取組状況例

国	研究機関	取組概要
欧州 (オランダ)	アルジリンク社 KLM オランダ航空	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ フォトバイオリクターによる最適な藻類増殖技術の開発を行っている。</li> <li>・ 海運用として、船上で藻類を培養、燃料生産する技術についても構想を有する。</li> </ul>
米国	国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1978 年から 1996 年にかけて藻から再生可能な輸送用燃料をうる研究を実施し、燃料生産に適した 300 種の緑色藻と珪藻植物を探索。</li> <li>・ 近年、藻類による燃料生産に係る研究が再開された。</li> </ul>
	テキサス大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日光と塩水の条件下で、軟質セルロース、グルコース、スクロースを分泌する藻類の開発に成功。</li> <li>・ 開発した藻類は軟質のゲル状であり、分解が容易であるという特性も有している。</li> </ul>
	カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリップス海洋研究所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ エタノール生産にも、バイオディーゼル燃料生産にも適している藻類として、1 日で 2 倍に増殖する藻類 (50% 以上が脂質とでんぷん質) の発見に成功。</li> </ul>
	アリゾナ州立大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海藻を利用した自動車用バイオディーゼル燃料、軍用ジェット燃料の開発に取り組む。</li> <li>・ 4 万株以上の既知の単細胞生物の油脂生産能力を調査し、単位面積あたり大豆の 100 倍の生産能力を有する藻類を発見。</li> </ul>
	US サステイナブルエナジー社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 20 ポンド (約 9kg) の藻類を用いたバイオ燃料製造試験を行っており、原油 5%、水分 40% を含んだバイオ燃料から発火性燃料の生成に成功している。</li> </ul>
	ペトロサン社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ テキサス湾沿岸の 1,100 エーカー (約 445ha) の塩水池からなる藻類農場を開設し、4.4 万ガロン (約 17 万 L) の藻類油、110 百万ポンド (約 5.0t) のバイオマスを生産する計画。</li> <li>・ バイオジェット燃料の開発も実施予定。</li> </ul>
	グリーンフューエルテクノロジー社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発電所から排出される CO<sub>2</sub> を利用した藻類によるバイオディーゼル燃料生産工程を開発、特許取得し、数箇所の発電所への設置を計画中。</li> <li>・ 油脂含有率 50% 以上の藻類株を選択し、1 エーカー (約 0.4ha) あたり 15,000 ガロン (約 57kL) のバイオディーゼル燃料生産が可能としている。</li> </ul>
日本	筑波大学 生命環境科学研究科	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 緑藻の一種「ボトリオコッカス」からバイオ燃料の抽出実験を行っており、現段階では「沖縄株」等が有望株されており、乾燥重量 45% の油生産が可能とされる。</li> <li>・ 品種改良、新株の探索等で高効率化、低コスト化が目指されている。</li> </ul>
	株式会社デンソー 中央大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ NEDO 「バイオマスエネルギー先導技術研究開発」の研究委託として、微細藻類シュードコリスチスを用い、ゲノム情報を利用した炭化水素生産性向上を目指している。</li> </ul>
	慶應義塾大学 先端生命科学研究所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 微細藻類を利用し、効率よくオイルを産生させるため、品種改良や培養条件の最適化によりオイル産生能力を高める研究を実施。株式会社デンソーとの共同研究により、高効率な培養槽の研究、細胞内に蓄積したオイル抽出法の研究も実施している。</li> </ul>

出典：以下の資料ほかより作成

- ・ “米国における藻類のバイオマス活用の現状”、NEDO 海外レポート (2008.7.23、NO.1026)
- ・ “藻類起源のバイオ燃料製造法ならびに市場動向の調査” (2008、NEDO・大阪府立大学)

#### ④ 固体燃料製造

##### i) 炭化

直接燃焼と同様実用化レベルであり、木炭は燃料用、活性炭・工業用に加え土壌改良等の新用途に使用され普及している。工業用連続炭化炉では、処理量増大を図る高温化、原料の多様化に合わせた炉の構造や加熱方式の改良、工夫等が行われている。また、下水汚泥等の廃棄物資源の減容化を主目的とした炭化装置の開発も行われ実用機が稼働している。

#### (4) 生物化学的変換

##### ① 気体燃料製造（メタン発酵等）

メタン発酵に必要な要素技術開発は概ね確立している状況であるが、普及拡大のためにさらに省エネルギー化、低コスト化を進めていく必要がある。発酵収率向上、適用資源の拡大のためには、難分解性原料の前処理技術の確立が必要であり、超音波を用いた破砕技術、熱アルカリ処理によって有機物分解率を向上させる技術などの開発が進められている。

高温発酵技術（55℃付近）は、加温するためのエネルギー損失が大きい一方で、有機物の分解効率および発酵速度が向上するため、発酵槽のコンパクト化が期待できる。また、乾式メタン発酵は、固形有機性廃棄物を加水無しの状態で直接メタン発酵を行うものであり、発酵槽のコンパクト化と同時に発生する廃液が少ない点でもメリットがある。しかし、高温発酵、乾式メタン発酵共に、従来の中温、湿式発酵と比較して安定性が低く、アンモニア阻害の影響も受け易い。その解決手段として、アンモニアストリッピング等のアンモニア阻害抑制技術の開発も併せて行われているところである。

発生したバイオガスは、ガスエンジンの燃料として電力および熱として利用されるのが一般的であるが、規模の大きい設備ではガスタービン発電が利用されるケースもある。さらに、山形市や城南島（東京都大田区）では、バイオガスを脱硫し、水素に改質した後、燃料電池の燃料として利用する技術も導入されている。

現在、コジェネレーションを中心としたオンサイト利用が中心であるが、メタン発酵を普及させていくためにはガス供給を想定したオフサイト利用も積極的に推進していく必要がある。神戸市や横須賀市などでは、バイオガスを精製して圧縮天然ガス（CNG）車の燃料として利用する実証試験が行われている。また、長岡市や金沢市では、都市ガス事業者のガス処理工場へ供給されたバイオガスが天然ガスと共に処理され、都市ガスとして供給されている。さらに2009年から神戸市および城南島で都市ガス導管供給の実証試験がスタートしている。都市ガス導管供給の場合、CNG車利用よりもバイオガスを高度に精製する必要がある。したがって、オフサイト利用拡大のためには、バイオガス精製技術の低コスト化が重要である。

水素発酵は、まだ研究段階であり実用例はないが、メタン発酵の前処理工程とすることで、メタン発酵の高速化・コンパクト化、総合エネルギー効率の向上といった効果が期待できる。一方で、水素発酵の安定性はメタン発酵に比べて低く、実用化のためには水素発酵フローラの制御技術の開発が重要である。

光水素生産は基礎研究段階であり、遺伝子組み換え等を用いたエネルギー変換効率の向上などの研究が進められている。発酵生産、光合成生産いずれの場合においても、生成されたバイオ水素を利用するためのインフラがないのが現状であり、運搬・貯蔵・利用機器（燃料電池な

ど) といった水素利用実用化のための技術開発も、長期的な視野で進められるべきである。

## ② 液体燃料製造

### i) エタノール発酵

現状、ショ糖・でんぷん系資源を用いたエタノール生産技術については既に実用化されている。サトウキビを原料として大規模生産を行っているブラジルでは、バイオエタノール生産にはガソリンと同等の価格競争力がある。

将来的には、我が国でもバイオエタノールが価格競争力を持ち、ガソリン代替燃料としての利用が拡大することが期待されている。そのためには、木質系バイオマスやバガスなどの農業残さ等の非食用・低コストのセルロース系エタノール（第二世代）の実用化と共に、プロセス全体を低コスト化する必要がある。

セルロース系バイオマスの利用のためには、前処理・糖化技術の確立が必要である。また、発酵後の濃縮・脱水工程や廃液処理技術も、プラントのエネルギー収支改善やコスト低減のために重要な開発要素である。

我が国をはじめ、米国、欧州各国ではセルロース系資源を利用するための実用化技術の開発を精力的に進めている。

「資源・収集・運搬」で述べたように、低コストでセルロース系資源を得るために、エネルギー作物（草本系資源や早生樹種等）の品種改良や、効率良く栽培・収集・運搬するための技術の開発が行われている。

セルロース系資源を前処理し糖化するまでの技術開発については、各国、各研究機関がしのぎを削っているところである。具体的には、希硫酸加水分解と酵素加水分解を組合せた方式、希硫酸二段加水分解方式、濃硫酸加水分解方式、苛性ソーダ・アンモニア等のアルカリ処理や水熱処理・メカノケミカルパルピング等物理処理と酵素加水分解を組合せた方式など、様々な方式が開発されている。酵素を用いる場合には前処理コストにおいて酵素コストの占める比率は高く、酵素の効率的利用に関する研究が行われている。

発酵においては、セルロース系原料に多く含まれる C5 糖を利用することが重要で、C5 糖・C6 糖同時利用などの高効率発酵プロセスの研究が行われている。

濃縮・脱水工程については、従来の共沸蒸留方式ではエネルギー投入が大きいとため、省エネルギー化を目指し、膜脱水技術を組合せた方法についての開発が進んでいる。

廃水処理については、発酵廃液中に含まれる有機物をメタン発酵法等により処理する必要がある。また、前処理・糖化廃液は、その方式によって排出される廃液の組成が異なるため、例えば硫酸の回収もしくは中和等、それぞれの方式に適した処理方法を適用することが求められる。

### ii) ブタノール発酵

ABE 発酵は 1950 年頃から商業的にほとんど行われなくなったが、バイオブタノール燃料が再び注目されるようになったことおよび遺伝子組み替えによって改良が可能になったことから、

## 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

バイオブタノールに関する様々な研究開発が行われている。

ABE 発酵法に用いられている嫌気性細菌（クロストリジウム）ではブタノール濃度上昇によって発酵阻害が生じるため、連続的なブタノール回収プロセス研究や、阻害に耐性のある微生物への遺伝子操作による改良が進められている。英国では、DuPont 社と BP 社による ABE 発酵法をベースとしたバイオブタノール生産の実証が行われている。また、我が国では、ABE 発酵法に代わる好気性細菌を創製し、これを用いた高効率なブタノール生産プロセスの開発が進められている。

また、生成したブタノールの蒸留のためには、多量の熱エネルギーを要する。前述のようなブタノール高濃度化技術開発に加え、低コスト・低エネルギーの膜分離法の開発も行われている。

## (5) 一般廃棄物処理関連技術

一般廃棄物処理に関連したバイオマスエネルギー利用については、高効率ごみ発電技術、その他のエネルギー利用技術に係る技術開発動向について述べた。

## i) 高効率ごみ発電によるバイオマスエネルギー利用

現在のごみ発電の発電効率は約 11%（平成 18 年度）であり、事業用、産業用火力発電所の発電効率に比較して、低い数値に留まっている。高効率化の対策としては、施設の大型化や高効率対応技術の採用（低空気比による安定燃焼、ボイラ蒸気条件の高温高压化、ボイラ効率の向上、蒸気の効率的利用、タービン内部効率の向上等）がある。

図表 4.39 国内における一般廃棄物処理技術（高効率ごみ発電）にバイオマスエネルギー利用事例

施設名称	規模	特徴	発電効率
北九州市新門司工場	720 (t/日)	低温エコノマイザ、水冷式復水器と低温触媒を採用し、高効率発電を達成。	22.3%
札幌市白石清掃工場	900 (t/日)	蒸気条件を高温高压にするとともに、地域条件（寒冷地）を踏まえ白煙防止条件を設定しないことで、高効率発電を達成。	20.8%
大阪市環境局東淀工場	400 (t/日)	湿式排ガス処理を採用しながらも、低温エコノマイザ、2 段抽気タービン等の導入により高効率発電を達成。	20.4%
国崎クリーンセンター（猪名川上流広域ごみ処理施設組合）	235 (t/日)	小規模ながら、低空気比、排ガス循環システム、低温エコノマイザを採用し、高効率発電を達成。国内最高水準の公害保証値も同時に達成。	15.7%
さしまクリーンセンター 寺久（さしま環境管理事務組合）	206 (t/日)	ナトリウム系薬剤を用いた高効率乾式排ガス処理を採用。	12.7%

出典：「高効率ごみ発電施設整備マニュアル」（2009，環境省）より作成

## ii) その他の一般廃棄物処理技術によるバイオマスエネルギー利用

ごみ発電以外に図表 4.40 に示す技術開発が行われている。

**図表 4.40 国内における一般廃棄物処理技術によるバイオマスエネルギー利用の実証事例  
(ごみ発電以外)**

	実施者	概要
メタン発酵と焼却の組合せ	穂高広域施設組合	NEDO「バイオマスエネルギー地域システム化実験事業／先進型高効率乾式メタン発酵システム実験事業」として実施。 地域のバイオマス資源（生ごみ・紙ごみ、木質系バイオマス）を乾式メタン発酵、ガスエンジンにより発電。発酵残さは乾燥、造粒固形燃料化。
生ごみと下水汚泥のメタン発酵	神奈川県鎌倉市	焼却ごみの約 40%を占める生ごみと下水汚泥を集約処理する。国土交通省の「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト（ロータスプロジェクト）」で評価されたバイオマスエネルギー回収施設を整備予定。
生ごみの機械選別とメタン発酵	神奈川県横須賀市、住友重機械工業株式会社	NEDO「環境調和型エネルギーコミュニティフィールドテスト事業（二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金）」として実施。
都市ごみのエタノール化	福岡県北九州市、新日鐵エンジニアリング株式会社	NEDO「食品廃棄物エタノール化リサイクルシステム実験事業（バイオマスエネルギー地域システム化実験事業）」として実施。 炭水化物を選択的に糖化するプロセスを活用することにより、①食品廃棄物中に多少の夾雑物が混入していてもリサイクル可能、②ごみ焼却排熱をカスケード利用、③糖化液を原料に無水エタノールを製造し、E3 ガソリンに加工して利用。
エタノール発酵とメタン発酵の組合せ	東京都、財団法人東京都環境整備公社、東京ガス株式会社	環境省「平成 19 年度次世代廃棄物処理技術基盤整備事業」として実施。 江東区内の小中学校の給食ごみ等からバイオエタノールとバイオガスを同時に回収する実証試験。生ごみからバイオエタノールとバイオガスを同時に回収する技術を実証し、より高効率で高付加価値の再生可能エネルギーを回収するシステムの構築を図る。
廃食用油からのバイオディーゼル燃料製造	京都府京都市	環境省「二酸化炭素排出抑制対策事業」、農林水産省「バイオマス利活用フロンティア推進事業」として実施。市内で回収された廃食用油から、5,000L/日のバイオディーゼル燃料を精製し、市ごみ収集車や一部の市バスで使用している。
一般廃棄物の炭化物の石炭火力発電所における混焼	電源開発株式会社 西海市	NEDO「一般廃棄物の炭化燃料製造実証試験事業」として実施。一般廃棄物を炭化し、石炭と混焼することにより、石炭火力発電所の CO <sub>2</sub> 排出原単位の削減が可能。(H19-20 年の実証実験)。バイオマス混焼は、専焼よりも熱効率が高くなる等の実証結果が得られている。

出典：NEDO、各自治体、各メーカーのホームページ資料より作成

#### (6) バイオリファイナリー（化成品製造）

バイオマス原料からの化成品製造として、トウモロコシやサトウキビ等の糖系原料からポリ乳酸を製造するプロセスは商用化されている。また、エタノールも各種化学品生産のために重要な原料となる。

バイオリファイナリーとは、多様なバイオマス原料から多様な目的生産物を製造し、石油代替製品を作ることである。

汎用的な化成品は、糖からの生物的・化学的変換により生成可能なものが多い。また、今後はセルロース系原料の利用拡大が見込まれるが、その前処理・糖化技術、副産物の効率的利用、要素技術を組合せたプロセス化が必要である。

#### 4.1.6 システム価格、エネルギー単価等

バイオマスエネルギーの変換技術に着目し、「物理的変換」、「熱化学的変換」、「生物化学的変換」の3つに区分して整理する。

##### (1) 物理的変換

##### ① 固形燃料製造

間伐材等や製材くず等を加工した木質ペレットについての価格を示す。

図表 4.41 木質ペレット燃料の製造事例・販売価格

用途	種類	ペレット販売単価 (円/kg) (H21 年下期)		
		高値	中値	低値
ストーブ燃料向け	バーク	50	45	30
	ホワイト	45	41	39
	全木	44	42	35
ボイラ燃料向け	バーク	31	23	23
	ホワイト	39	34	34
	全木	38	37	33

出典：一般社団法人 日本木質ペレット協会 調べ

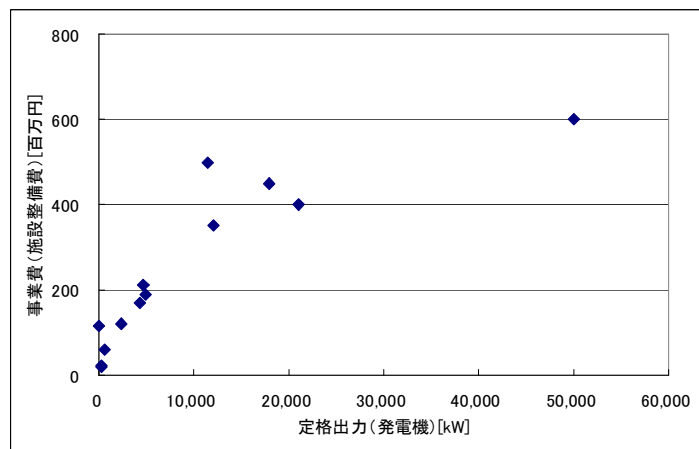
木質ペレットは家庭用・産業用に利用されているが、石油・ガス・電気と比較して使い勝手が良くないことから、需要が小さいのが現状である。そのため、木質ペレット製造の規模の拡大も限定的となっている。このような背景を持つ木質ペレットの課題解決については、温度制御の自動化やボイラ燃焼室へのペレット供給の自動化、灰搬出の簡易化など、石油・ガス・電気と同等の使い勝手のよい機器の技術開発が必要である。

(2) 熱化学的変換

① 燃焼（木質バイオマス）

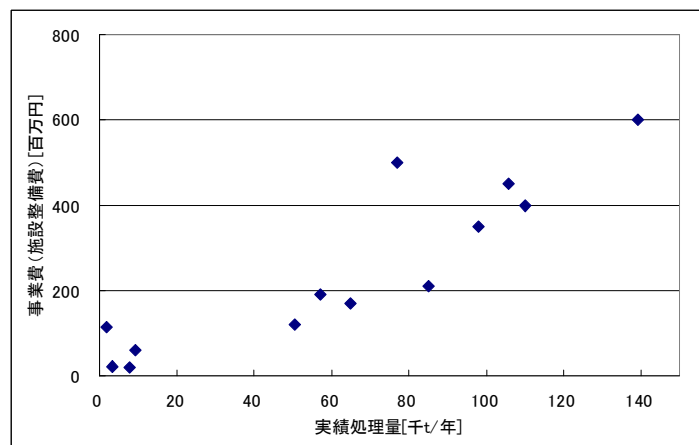
国内における直接燃焼（木質バイオマス）の定格出力（発電機）と事業費（施設整備費）の関係を図表 4.42 に、実績処理量と事業費（施設整備費）の関係を図表 4.43 に示す。これらのデータによると、施設整備費の目安は、発電機の定格出力ベースでは、5,000kW 未満の平均値は 455 円/kW、5,000kW 以上の平均値は 25 円/kW となっている。また、実績処理量ベースでは、50t 未満の平均値は約 38,000 円/t、50t 以上の平均値は約 3,700 円/t となっている。ただし、事業費は規模（定格出力や実績処理量）だけでなく熱電比率や土地条件、立地年などの影響も受ける点に留意が必要である。

図表 4.42 直接燃焼（木質バイオマス）の定格出力（発電機）と事業費（施設整備費）の関係



出典：「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第3版）」（2010, NEDO）の事例データを用いて作成

図表 4.43 直接燃焼（木質バイオマス）の実績処理量と事業費（施設整備費）の関係



出典：「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第3版）」（2010, NEDO）の事例データを用いて作成



## ② 液体燃料製造

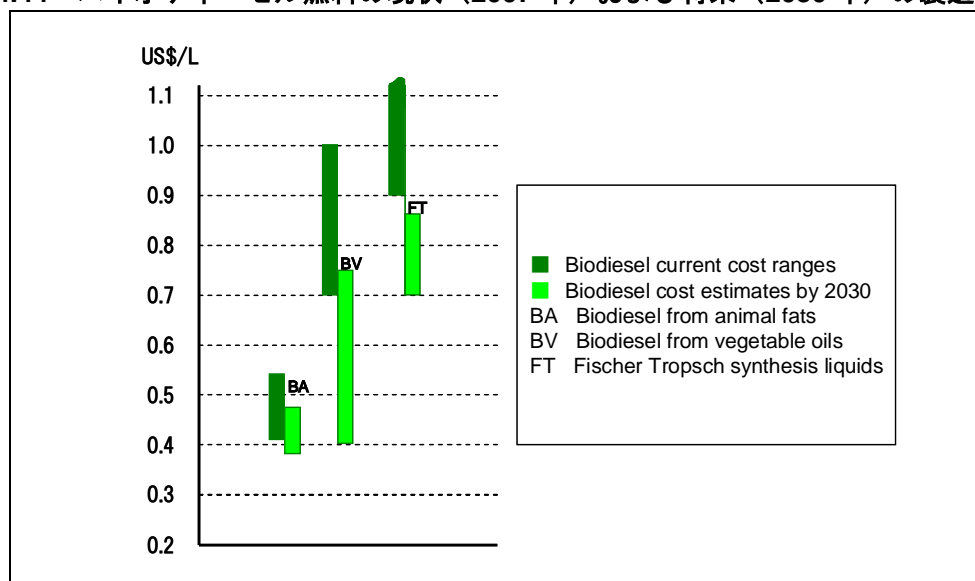
### ◇バイオディーゼル燃料製造

海外におけるエステル交換および FT 合成による燃料製造（バイオディーゼル燃料製造）について、IEA の試算を図表 4.44 に示す。

エステル交換による製法では、2007 年現在、植物油脂原料については 70～100 円/L（1 ドル＝100 円で換算、以下同じ）とされているものが、2030 年には、植物油脂原料では 40 円/L まで低コスト化されるとの試算がなされている。

FT 合成による製法では、2007 年現在 90 円/L 以上とされているものが、70 円/L まで低コスト化されるとの試算がなされている。

図表 4.44 バイオディーゼル燃料の現状（2007 年）および将来（2030 年）の製造コスト



出典：「IEA Energy Technology Essentials」(Jan.2007) <http://www.iea.org/techno/essentials2.pdf>

日本国内においては、地域資源の有効活用といった観点から、菜の花プロジェクトに代表されるような地域コミュニティや NPO が中心となった小規模の事例と、事業系の廃食用油も含めて自治体主導の事例が中心である。一方で、廃食用油を中心とした事業展開においては、大量の原料調達による大規模で安価な生産が難しいという課題もある。

今後普及が進むためには、代替となる軽油価格との競合がターゲットとなるが、各地での製造ノウハウ蓄積の進展や、資源作物の栽培による原料確保といった形での需要と供給の拡大が必要である。

## (3) 生物化学的変換

### ① 気体燃料製造

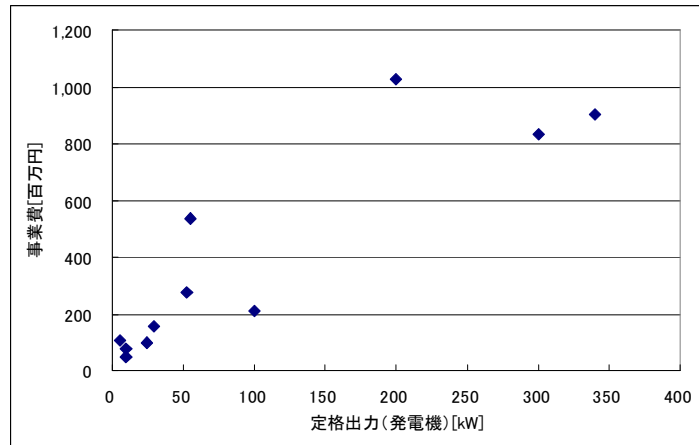
#### ◇メタン発酵

国内におけるメタン発酵設備の定格出力（発電機）と事業費（施設整備費）の関係を図表 4.45 に、処理能力と事業費（施設整備費）の関係を図表 4.46 に示す。これらのデータによると、施

4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

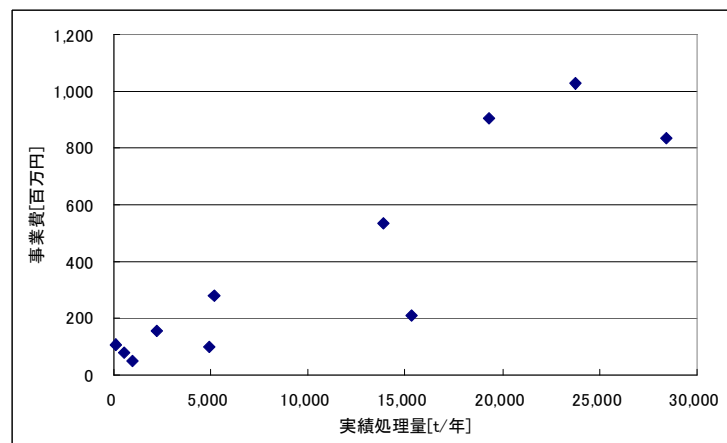
設整備費の目安は発電機の定格出力ベースで 250 万～1,100 万円/kW、年間処理量ベースで 13,000～60,000 円/t 程度となっている。ただし、事業費は規模（定格出力や実績処理量）だけでなく熱電比率や規模、土地条件、立地年などの要因の影響も受ける点に留意が必要である。

図表 4.45 メタン発酵の定格出力（発電機）と事業費（施設整備費）の関係



出典：「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第3版）」（2010, NEDO）の事例データを用いて作成

図表 4.46 メタン発酵の実績処理量と事業費（施設整備費）



出典：「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第3版）」（2010, NEDO）の事例データを用いて作成

② 液体燃料製造

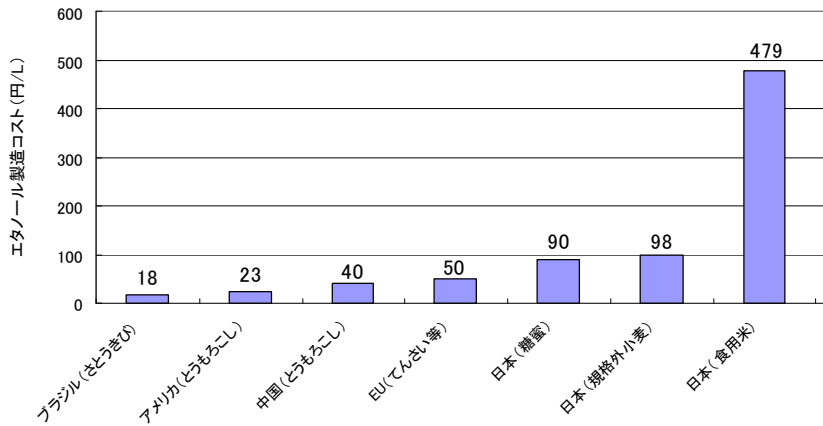
◇エタノール発酵

国内でのバイオエタノール生産については、小規模な実験プラントにおいてサトウキビからの精糖工程で発生する廃糖蜜やでんぷん質原料を基にバイオエタノールの生産が実施されてきたところである。

「国産バイオ燃料新時代」（平成 22 年 3 月、農林水産省）に示された、各種原料由来のバイオエタノール生産コストの比較を図表 4.47 に示す。

海外製のバイオエタノールが 50 円/L 以下であるのと比較しても、国内原料によるエタノール製造については、コスト面での競争力が劣っている。

図表 4.47 各種バイオエタノールとの製造コストの比較

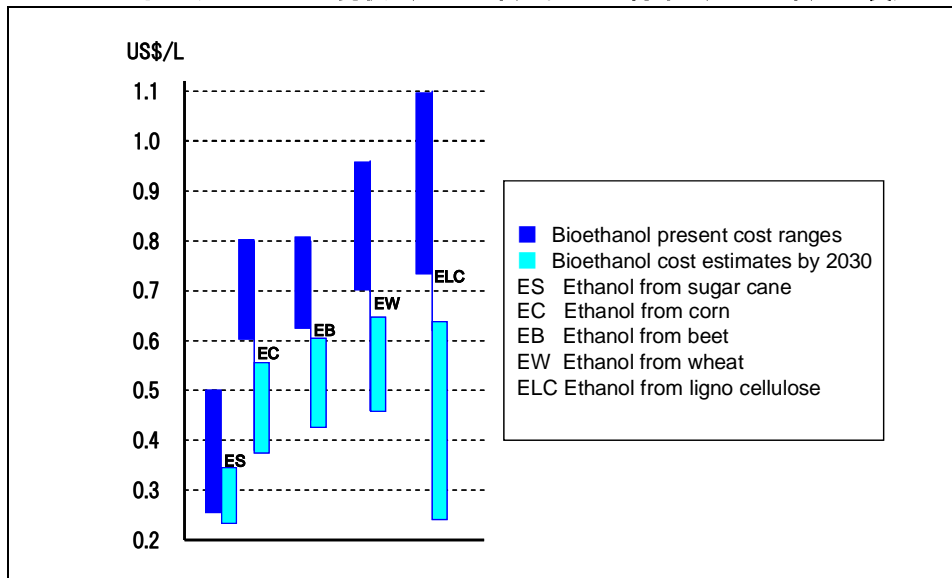


出典：国産バイオ燃料新時代（2010、農林水産省）

こうした状況を踏まえ、国内でのバイオ燃料に関する技術革新の道程を検討することを目的に 2007 年 11 月に経済産業省と農林水産省が共同で立ち上げられた「バイオ燃料革新技術協議会」の中では、2015 年時点におけるセルロース系エタノール製造コストとして 100 円/L（バイオマス・ニッポンケース）と 40 円/L（技術革新ケース）の 2 つの目標が掲げられたところである。

海外におけるバイオエタノール生産について、IEA の試算（図表 4.48）によると、2007 年現在、もっとも安価な原料はサトウキビで 25～50 円/L（1\$=100 円で換算、以下同じ）、次いでトウモロコシ、ビートが 62～82 円/L と続き、セルロース系は 80 円/L 以上とされている。これが、2030 年には、サトウキビでは 22 円/L、トウモロコシ等では 38 円/L に低下し、セルロース系もサトウキビと同等まで低コスト化されるとの試算がなされている。

図表 4.48 バイオエタノールの現状（2007 年）および将来（2030 年）の製造コスト



出典：「IEA Energy Technology Essentials」(Jan.2007) <http://www.iea.org/techno/essentials2.pdf>

#### 4.1.7 推進施策・関連法令

##### (1) 海外の推進施策および関連法令

###### 1) 欧州<sup>5</sup>

###### ① バイオ燃料の位置づけ

2003年5月に発行された「輸送用燃料バイオ燃料に係る指令 (The EU Biofuels Directive on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport) (2003/30/EC)」において、バイオ燃料を輸送分野での温室効果ガス排出抑制対策、エネルギー供給安全保障対策、および持続可能な地域発展に伴う新たな雇用創出を目的として推進している。

###### ② バイオ燃料導入施策

###### i) 燃料規格

- ・ 1985年12月5日 Council Directive 85/536/ECC にて規定。
- ・ バイオエタノールを5% (体積比) まで、ETBEを15% (体積比) まで混合することを許容。

###### ii) 原料生産

- ・ 共通農業政策 (Common Agricultural Policy) に基づく農業改革を推進。この中で、バイオ燃料用原料作物の栽培推進も位置づけられている。具体的には以下のとおり。

###### 【規制緩和】

- ・ 休耕義務地におけるエネルギー作物栽培を許可。(2003年以前は、休耕地での農産物生産は一切禁止)

###### 【助成制度】

- ・ エネルギー作物に対する特別支援を導入。1ha当たり45ユーロの奨励金が、EU全体で最大保障面積150万haの枠内で支払われる。(ただし、申請が限度額を超えた場合には、奨励金の金額はそれに応じて減額)

###### 【税制優遇】

- ・ 税制優遇 (ガソリン税の免除等) 1992年 EC Directive 92/81/EEC : パイロットプロジェクトで生産されたバイオ燃料の税額控除が認められるようになった。
- ・ 2003年10月エネルギー税指令 (Restructuring the Community Framework for the Taxation of Energy Products and Electricity) (2003/96/EC) を採択。加盟国に対してバイオ燃料に対する税制優遇措置を認めており、全額免除を含めた措置を講ずることが可能となった。(競争の不当なゆがみを避けるために、実施するためには欧州委員会の事前の許可が必要。) 税控除や減税は最大6年間に制限されるが、継続もありうる。

<sup>5</sup> EU資料、バイオ燃料・バロメータ 2009(EU) (NEDO海外レポート、NO.1054、2009.11.4) 等に基づき作成。

## 2) ドイツ<sup>6</sup>

### ① バイオ燃料の位置づけ

欧州最大のバイオ燃料消費国であるドイツは、バイオ燃料とバイオエネルギーを、エネルギー安全保障、農業振興・地域振興、温室効果ガス排出削減を達成する手段として、将来の鍵となる技術と考えている。

### ② バイオ燃料導入施策

#### i) 原料生産

共通農業政策（Common Agricultural Policy）改革（EU の政策）に準ずる。

#### ii) 燃料製造

##### 【助成制度】

- ・ バイオ燃料製造に特化した施策はない。
- ・ バイオマス由来の電力に対する特別補助として、500kW 容量の工場：6 ユーロセント/kWh、5MW 容量の工場：4 ユーロセント/kWh の拠出がなされる。

#### iii) 流通

- ・ 2007 年 1 月 1 日 バイオ燃料に関する法律（Biokraftstoffquotengest）発効
- ・ 2009 年 4 月 23 日 バイオ燃料促進再編法（The Biofuel Promotion Restructuring Act/ Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen）可決

##### 【規制】

- ・ バイオディーゼル燃料の導入率（義務）は、2007 年から 4.4%。バイオエタノールの導入率（義務）は、2007 年に 1.2%、2008 年に 2% となった。さらに、両方の燃料に総合的に適用される導入率は、2009 年は 5.25% に引き下げられ、2010 年から 2014 年に 6.25% となった。

##### 【税制優遇】

- ・ この法律では、これら以外の未開拓なバイオ燃料に対しては、より有利な税制度が維持されることになっている。
- ・ 純植物油と純バイオディーゼル燃料は割当制度の枠外とされ、2009 年の税率は 1L あたり約 18 ユーロセントとされ、毎年段階的に引き上げられる予定である。（2007 年：1L あたり 0.09 ユーロ、2008 年：0.15 ユーロ、2009 年：0.183 ユーロ、2010 年：0.245 ユーロ、2011 年：0.304 ユーロ、2012 年：0.422 ユーロ、2013 年：0.45 ユーロに引き上げられる予定となっている。）

#### iv) 利用

##### 【税制優遇】

- ・ 1999 年 4 月 1 日 環境税の導入。対象はガソリン、石油精製品、天然ガス、液化ガス、電

<sup>6</sup> EU 資料、「Germany Report to the European Commission under Article 4 of the Biofuels Directive 2003/30/EC」(2008)9、バイオ燃料・バロメータ 2009(EU) (NEDO 海外レポート、NO.1054、2009.11.4) 等に基づき作成。

## 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

力。ただし、ナタネ油から精製するバイオディーゼル燃料、純粋なバイオディーゼル燃料は免除。

- ・ 2004 年 1 月 純粋なバイオ燃料だけでなく混合バイオ燃料にも、混合分に対して鉱油税が免除されることになった。
- ・ 2006 年 8 月 1 日 税金の導入が再び決定

## v) その他関連施策等

## 【再生可能電力】

- ・ 2000 年 4 月 1 日 再生可能エネルギー法 (Erneuerbare Energien Gesetz) 施行
- ・ 2009 年 1 月 1 日 改正 再生可能エネルギー法 施行

## 【その他】

- ・ 2009 年 4 月 23 日 バイオ燃料促進再編法 (The Biofuel Promotion Restructuring Act/ Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen) 可決
- ・ 燃料品質規制 (Kraftstoffqualitätsverordnung) の基準に適合している場合、バイオメタンがガソリン割当と全体割当に合計しうることになる。
- ・ 2015 年から、バイオ燃料割当に対するベンチマークは現在のエネルギー評価から温室効果ガス削減純量に転換することになる。
- ・ BTL (Biomass-to-Liquid) 燃料に対して、過去 5 年間に渡り財政的支援を実施。

3) フランス<sup>7</sup>

## ① バイオ燃料の位置づけ

フランスでは EU 全体目標を上回るバイオ燃料導入目標を設定し、自国の農業生産資源を活用できるバイオ燃料の生産・流通を拡大するための施策を積極的に推進している。

## ② バイオ燃料導入施策

## i) 原料生産

- ・ 共通農業政策 (Common Agricultural Policy) 改革 (EU の政策) に準ずる。

## ii) 燃料製造

## 【税制優遇】

- ・ バイオ燃料に対する消費税(TIC、旧 TIPP)の部分的な免税措置を生産業者に対して実施している。
- ・ ただし、この税制優遇では、許可生産という形がとられており、入札によって選定された製造業者がバイオ燃料を生産する。(2008 年: バイオディーゼル燃料 228 万 2,500 トン/バイオエタノール 89 万 1,800 トン、2010 年: バイオディーゼル燃料 323 万 2,500 トン/バイオエタノール 104 万 1,800 トンの予定。)
- ・ 2009 年の免税額は、バイオディーゼル燃料に対する免税額 (100L あたり): 15 ユーロ、

<sup>7</sup> 「French Report to the European Commission under Article 4 of the Biofuels Directive 2003/30/EC」(2008)9、バイオ燃料・バロメータ 2009(EU) (NEDO 海外レポート、NO.1054、2009.11.4) 等に基づき作成。

バイオエタノールに対する免税額：21 ユーロ。

iii) 流通

【税制優遇】

- ・ 2005 年 “ Article 32 of the Finance Law 2005 ”に基づき、汚染事業総合税( TGAP、The General Tax on Polluting Activities ) を導入。
- ・ ガソリンとディーゼルへのバイオ燃料の混合を奨励するために、期待される国家目標を下回るレベルのバイオ燃料の混合を行う事業者は、財政法第 32 条により、汚染活動に対する一般税の追加支払の義務を課される。税率は市場に出したバイオ燃料の数量に従い軽減される。

iv) 利用

【税制優遇】

- ・ 1992 年よりバイオディーゼル燃料と ETBE に対する消費税の部分的な控除を開始。
- ・ 2004 年より混合バイオエタノールも部分的な税額控除を開始。

v) その他関連施策等

【包括的バイオ燃料促進策】

- ・ 2005 年、フランス農産省は EU による Biofuels Action Plan に沿った計画推進に同意。Biofuels Action Plan は 15 の施策からなり、従来のバイオ燃料の生産や利用を刺激し、新しいバイオ燃料を推進することを目的としている。

#### 4) 英国<sup>8</sup>

##### バイオ燃料の位置づけ

英国では、再生可能エネルギー由来の輸送燃料を 10%にする目標が公表されている。一方、バイオ燃料導入に伴う環境影響を評価した Gallagher report (2008 年 7 月) を受け、バイオ燃料の導入目標を EU 指令を下回る設定とするなど、持続可能性の視点にも配慮した独自色ある施策を展開している。

##### バイオ燃料導入施策

i) 原料生産

- ・ 2003 年 共通農業政策 (Common Agricultural Policy) 改革 (EU の政策) に準ずる。
- ・ エネルギー作物生産への補助が実施されている。

ii) 燃料製造

【助成制度】

- ・ 2008 年 3 月までバイオ燃料プラントに対して資本補助を行った。今後も補助を行うかは

<sup>8</sup> 「UK Report to the European Commission under Article 4 of the Biofuels Directive 2003/30/EC」(2008)9、バイオ燃料・パロメータ 2009(EU) (NEDO 海外レポート、NO.1054、2009.11.4) 等に基づき作成。

検討中。

### iii) 流通

#### 【義務】

- ・ 2006年4月 再生可能輸送燃料義務（Renewable Transport Fuel Obligation : RTFO）制度を導入（2008年4月開始）
- ・ 販売業者に対して、一定の割合の再生可能エネルギー由来燃料を輸送用燃料の一部としてガソリンスタンドで販売することを義務付けるもの。（販売比率は、前述の導入目標として示した比率が適用）
- ・ 販売業者は買取価格を支払うことによって、RTFO の義務を果たすことも可能である。その場合の買取価格は、最初の二年間は 1L 当たり 15 ペンス、その後 1L 当たり 30 ペンスに上昇する。
- ・ 2009年に改訂された RTFO では、新たに 2 つの再生可能燃料（バイオブタノールと再生可能ディーゼル）が RTFO で認定されることになった。
- ・ 事業者は、バイオ燃料導入量と持続可能性基準（原料の環境基準への適合性、GHG 排出抑制効果、持続可能性基準への適合性による基準）の達成状況を報告する義務がある。なお、バイオ燃料持続可能性基準の達成目標は図表 4.49 に示すとおりである。

図表 4.49 バイオ燃料持続可能性基準の達成目標

Annual target	2008/09	2009/10	2010/11
環境基準に適合した原料の割合 Percentage of feedstock meeting a qualifying environmental standard	30%	50%	80%
温室効果ガス排出削減量の年間平均値 Annual average greenhouse gas saving of biofuel supplied	40%	45%	50%
持続可能性指標に関する数値のデータ報告 Data reporting on sustainability characteristics	50%	70%	90%

出典：「UK Report to the European Commission under Article 4 of the Biofuels Directive 2003/30/EC」（2008.9）

### iv) 利用

#### 【税制優遇】

- ・ バイオ燃料に対して、販売事業者に対する免税措置として 1L 当たり 20 ペンス（0.30 ユーロ/L）の消費税控除が存在するが、2010年で終了。

### v) その他関連施策等

#### 【超低炭素自動車ビジョン】

- ・ 2009年4月 超低炭素自動車の開発、実証研究の先導者となるべく、今後5年間の様々なロードマップを公表。2.5億ポンドの財政的支援も行う。

#### 【16のリサーチおよび開発プロジェクト】

- ・ 2012年までに水素駆動ロンドンタクシー開発プロジェクト等。



【Energy Technologies Institute(ETI)の設立】

- ・ エネルギー技術の開発、実証の促進、エネルギー効率の増加や温室効果ガスの削減、またエネルギーと気候変動の目標を達成することを目的とする。バイオ燃料を含む輸送分野も対象としている。

5) 米国<sup>9</sup>

① バイオ燃料の位置づけ

米国では、主に石油依存度低減を目的にバイオ燃料導入を推進しているが、トウモロコシ農家やエタノール産業に係る保護政策を通じた産業振興の側面も強いと考えられる。

② バイオ燃料導入施策

i) 原料生産

【助成制度】

- ・ 2008 年農業法：バイオエタノールやバイオディーゼル燃料普及のためにバイオ燃料製造者に対して補助金を交付し、原料農産物の生産を拡大。
- ・ 国産かつ国内向けセルロース系バイオ燃料に対して税還付制度を適用。

ii) 燃料製造

◇連邦政府

【税制優遇】

- ・ 1992 年エネルギー政策法：バイオエタノールに関する税制優遇措置を 5 セント/ガロン(約 1.3 セント/L) とし、バイオエタノール製造業者に対する税制優遇措置を 54 セント/ガロン(約 14.3 セント/L) に規定。小規模バイオエタノール生産者に対する所得税控除。年間生産量 6000 万ガロン(22.7 万 kL) 未満のバイオエタノール生産者に対して、年間 150 万ガロン(0.56 万 kL) を上限として 1 ガロン当たり 10 セント(約 2.6 セント/L) の所得税控除が適用されている。
- ・ 2004 年雇用創出法：バイオエタノール混合者に対して税制優遇を適用。また、バイオディーゼル燃料についてはバイオディーゼル混合燃料に含まれるバイオディーゼル燃料について税控除が受けられる(2006 年末までであったものが、2005 年 エネルギー政策法により 2008 年末まで延長)。

【助成制度】

- ・ 米国農務省関連のプログラムでは、商品金融公社(CCC)を通じて「CCC バイオエネルギープログラム」として指定されたトウモロコシを中心とする農作物からバイオエタノールやバイオディーゼル燃料を生産する事業者に対して、年間 1 億 5,000 万ドルの基金を提供している。参加者は前年度からの生産量増加分に応じて基金から 2005 年度は 12.1 セント/ガロン(約 3.2 セント/L) の配分を受け取る仕組みになっている。

<sup>9</sup> EPA 資料、F. O. Licht 資料、「NEDO 海外レポート、NO.1048、2009.7.15」等に基づき作成。

## ◇州政府

- ・ イリノイ州では、バイオエタノールを 10% 混合したガソリンの売上税を 2% 減免。(アラスカ州、ハワイ州、アイダホ州、アイオワ州、メイン州、ミネソタ州、ノースダコタ州、オクラホマ州、サウスダコタ州にても同様の措置を有する)
- ・ バイオエタノール製造業者に対しては、ミネソタ州が最大で 20 セント/ガロン (約 5.3 セント/L) の補助を行っている。(ハワイ州、インディアナ州、アイオワ州、カンザス州、メイン州、メリーランド州、ミシシッピ州、ミズリー州、モンタナ州、ノースダコタ州、テキサス州、ウィスコンシン州、ワイオミング州でも同様の措置を有する)

## iii) 流通

## 【税制優遇】

- ・ 2005 年エネルギー政策法：E85 用のガソリンスタンドのインフラ整備に関して、30% の所得税控除もしくは 3 万ドルを上限とする補助が事業者に対して適用される。

## iv) 利用

## 【税制優遇】

- ・ 1978 年エネルギー税法 (Energy Tax Act) 成立。バイオエタノール 10% 以上を混合したガソリンに対して 4 セント/ガロン (約 1.1 セント/L) の税制優遇措置 (連邦税を減免) を実施。

## (2) 国内における推進施策および関連法令

## ① 法律・税制

- i) 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法 (RPS 法) (平成 14 年法律第 62 号、最終改正：平成 21 年法律第 70 号)

RPS 制度 (Renewables Portfolio Standard) とは、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(以下、「新エネルギー等利用法」という。)に基づき、エネルギーの安定的かつ適切な供給を確保するために、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付け、新エネルギー等の更なる普及を図るための法制度である。

電気事業者は、義務を履行するため、自ら「新エネルギー等電気」を発電するか、他者から「新エネルギー等電気」を購入、または「新エネルギー等電気相当量 (法の規定に従い電気の利用に充てる、もしくは、基準利用量の減少に充てることのできる量)」を取得することとなる。

**図表 4.50 RPS 法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格推移  
(「RPS 相当量+電気」の加重平均価格)**

単位：円/kWh

	H15 年度	H16 年度	H17 年度	H18 年度	H19 年度	H20 年度
バイオマス	7.2	7.5	7.6	7.7	7.8	8.0

出典：平成 20 年度実績 RPS 法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格調査結果について (H21.8.3)

ii) エネルギー需給構造改革推進投資促進税制（略称：エネ革税制）

省エネルギー型設備の導入を促進するために設けられた税制上の措置で、省エネルギー設備等を取得し、その後1年以内に事業の用に供した場合に税制優遇が受けられる制度である。

【対象者】

- ・ 法人または個人のうち青色申告を提出する者

【対象事業】

対象設備は以下のとおり（バイオマス関連のみ抜粋）

- ・ 紙・パルプ製造工程バイオマス燃焼ボイラ
- ・ リグニン燃焼ボイラ
- ・ 木質バイオマス発電装置
- ・ 木質バイオマス熱電併給型木材乾燥装置
- ・ 木質バイオマス利用加温装置
- ・ バイオマス利用メタンガス製造装置
- ・ バイオエタノール製造設備

【内容】

- ・ 個人および法人のうち青色申告する者が、対象設備を取得し、その後1年以内に事業の用に供した場合、次のいずれか一方を選択できる。
  - ①所得税または法人税の額から基準取得額の7%相当額の税額控除
  - ②普通償却の他に基準取得額の30%相当額を限度として償却できる特別償却但し、①は中小企業者等（大企業の子会社等を除く資本金1億円以下の法人または資本・出資を有しない法人のうち従業員数が千人以下の法人。個人事業者においては従業員数が千人以下の者。）に限る。
- ・ 平成21年4月1日から平成23年3月31日までの間に取得等をする設備については初年度即時償却が適用できる。

【期間】

平成21年4月1日～平成24年3月31日

iii) バイオ由来燃料導入促進税制

バイオ由来燃料を混合したガソリンの普及促進を図るため、バイオ由来燃料を混合してガソリンを製造した場合に、当該混合分に係る揮発油税および地方道路税を免除する制度である。

【対象者】

- ・ バイオエタノール又は ETBE（エチル・ターシャリ・ブチル・エーテル）と揮発油を混合して揮発油を生産する事業者

【対象事業】

- ・ バイオエタノール又は ETBE（エチル・ターシャリ・ブチル・エーテル）と揮発油を混合して揮発油を生産する事業

【内容】

- ・ バイオ由来燃料（エタノールまたは ETBE）を混合してガソリンを製造した場合に、当該混合分に係る揮発油税および地方揮発油税を免税。

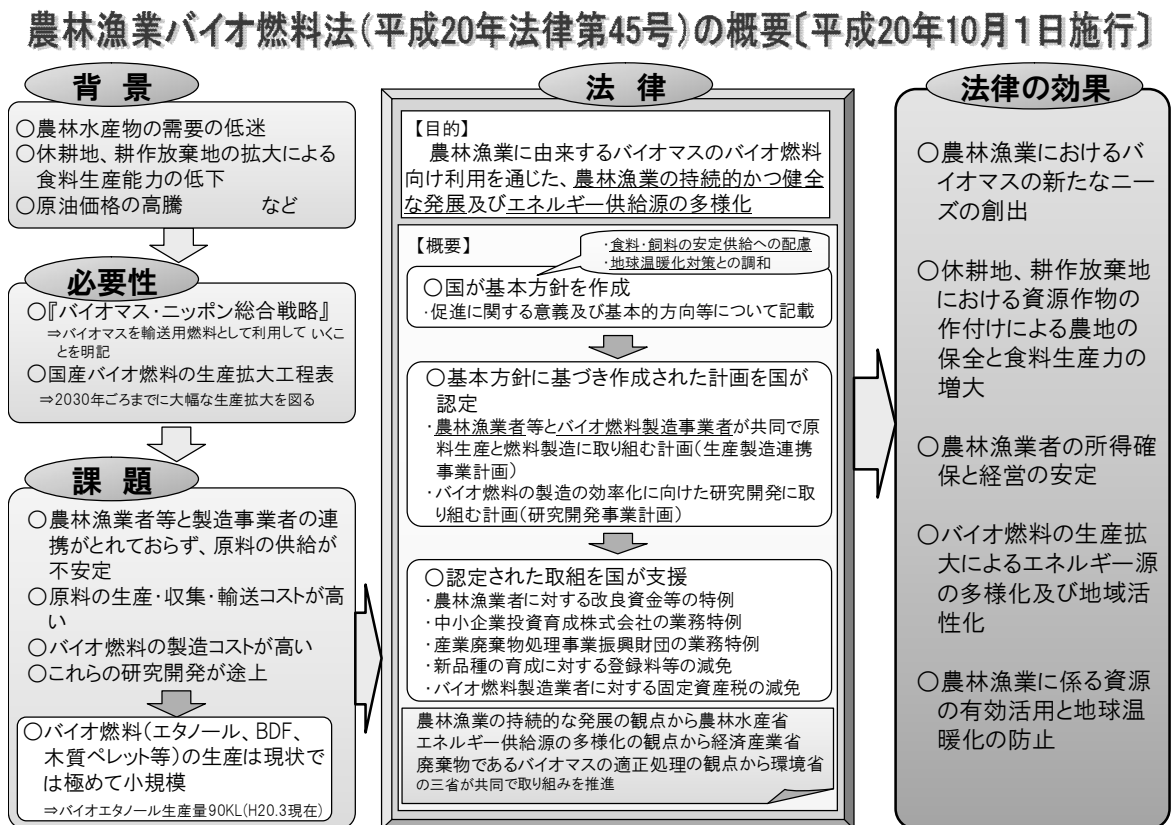
【期間】

平成 21 年 2 月 25 日～平成 25 年 3 月 31 日

iv) 農林漁業有機物資源のバイオ燃料の原材料としての利用の促進に関する法律（農林漁業バイオ燃料法）（平成 20 年法律第 45 号）

関係 7 府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省〔事務局〕、経済産業省、国土交通省、環境省）による「バイオマス・ニッポン総合戦略」（平成 18 年 3 月閣議決定、後述）に基づき国産バイオ燃料の利用と生産拡大を推進する法律上の仕組みとして「農林漁業バイオ燃料法」が制定された。関連する法令の整備等を行い、農林漁業バイオ燃料法が平成 20 年 10 月 1 日に施行された。

図表 4.51 農林漁業バイオ燃料法の概要



出典：農林水産省ウェブサイト <http://www.maff.go.jp/j/kanbo/bio/nenryoho/index.html>

本法律では、「生産製造連携事業計画」（農林漁業者等とバイオ燃料製造事業者が共同で原料生産と燃料製造に取り組む計画）および「研究開発事業計画」（バイオ燃料の製造の効率化に向けた研究開発に取り組む計画）を認定し、施設にかかる固定資産税を 3 年間に限り 1/2 に減免する他、後述する「エネルギー需給構造改革推進投資促進税制」「バイオ由来燃料導入促進税制」

の適用対象とすることで取組みを推進するものである。

#### v) バイオマス活用推進基本法（平成 21 年法律第 52 号）

バイオマスに関する政府施策の代表例である、「バイオマス・ニッポン総合戦略（閣議決定）」を踏襲し、法律としてバイオマスの活用の推進に関する基本理念を定めるとともに、関係する各主体（国、地方公共団体、事業者および国民）の責務を明らかにし、バイオマスの活用の推進に関する施策の基本となる事項を定めたもの。バイオマスの活用の推進に関する施策を総合的かつ計画的に推進し、持続的に発展することができる経済社会の実現に寄与することを目的としている。

バイオマス・ニッポン総合戦略においては、基本理念は 4 項目（地球温暖化防止／循環型社会形成／戦略的産業育成／農山漁村活性化）であったが、本法律では基本理念を以下の 11 項目とするなど、バイオマス活用の意義をより詳細にかつ広範に示したものである。

**図表 4.52 バイオマス活用推進基本法の基本理念**

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 総合的、一体的かつ効果的な推進（第三条）</li> <li>・ 地球温暖化の防止に向けた推進（第四条）</li> <li>・ 循環型社会の形成に向けた推進（第五条）</li> <li>・ 産業の発展および国際競争力の強化への寄与（第六条）</li> <li>・ 農山漁村の活性化等に資する推進（第七条）</li> <li>・ バイオマスの種類ごとの特性に応じた最大限の利用（第八条）</li> <li>・ エネルギーの供給源の多様化（第九条）</li> <li>・ 地域の主体的な取組みの促進（第十条）</li> <li>・ 社会的気運の醸成（第十一条）</li> <li>・ 食料の安定供給の確保（第十二条）</li> <li>・ 環境の保全への配慮（第十三条）</li> </ul> |
|--|

なお、本法律が定めるところの「バイオマス活用推進基本計画」が政府内で検討が進んでおり、平成 22 年中に公表されることとなっている。この基本計画において、基本理念を実現するための具体的な方策等が定められることとなっている。

#### vi) 森林・林業基本法（昭和 39 年法律第 161 号、最終改正：平成 20 年法律第 38 号）および関連施策について

我が国の森林資源は、戦後の木材需要をまかなう等の理由から全国的な植林が行われた結果、人工林面積は約 1 千万 ha、木材蓄積量は約 27 億 m<sup>3</sup>（ほかに天然林の蓄積量 18 億 m<sup>3</sup>）となるなど量的充実が図られてきたが、路網整備や施業集約等の効率化が進まず生産性が低いことや、木材価格が低迷していること等、植林や育林等の森林施業に必要な収益が十分に確保できていない。その結果、木材の自給率は近年上昇しているとはいえ、24%（平成 20 年）に止まっているのが現状である。こうした森林・林業をめぐる厳しい情勢等に対応するため、「林業基本法」（昭和 39 年制定）を抜本的に見直し、平成 13 年 6 月に「森林・林業基本法」が制

定された。

#### ◇森林・林業基本計画

「森林・林業基本法」に基づく「森林・林業基本計画」は、平成 13 年 10 月に策定され、5 年後の平成 18 年 9 月に見直しが行われた。同計画では、「緑の社会資本」である森林の恩恵が将来にわたって享受されるべく、国民のニーズに応えた多様で健全な森林への誘導、国民の安全・安心の確保のための治山対策、国産材の利用拡大を軸とした林業・木材産業の再生を推進していくこととしている。

#### ◇森林・林業再生プラン

平成 21 年 10 月には、政府の緊急雇用対策本部で決定された「緊急雇用対策」において、「森林・林業の再生に向けた中長期的な政策の方向を明示し、森林・林業を基軸とした雇用の拡大を図るため、年内を目途にプランを作成する」とされたのを受け、「森林・林業再生プラン」が作成され、平成 21 年 12 月 25 日に公表された。

同再生プランでは、今後 10 年間を目途に、効率的かつ安定的な林業経営の基盤と木材の安定供給・利用に必要な体制を構築し、森林・林業を早急に再生していくための指針が示されるとともに、

- ・林業・林産業の再生を環境をベースとした成長戦略の中に位置付け、木材の安定供給力の強化を軸にした対策により雇用も含めた地域再生を図る
- ・森林計画制度等の制度面から路網・作業システム整備、人材育成などの実践面も含め、森林・林業政策を全面的に見直す

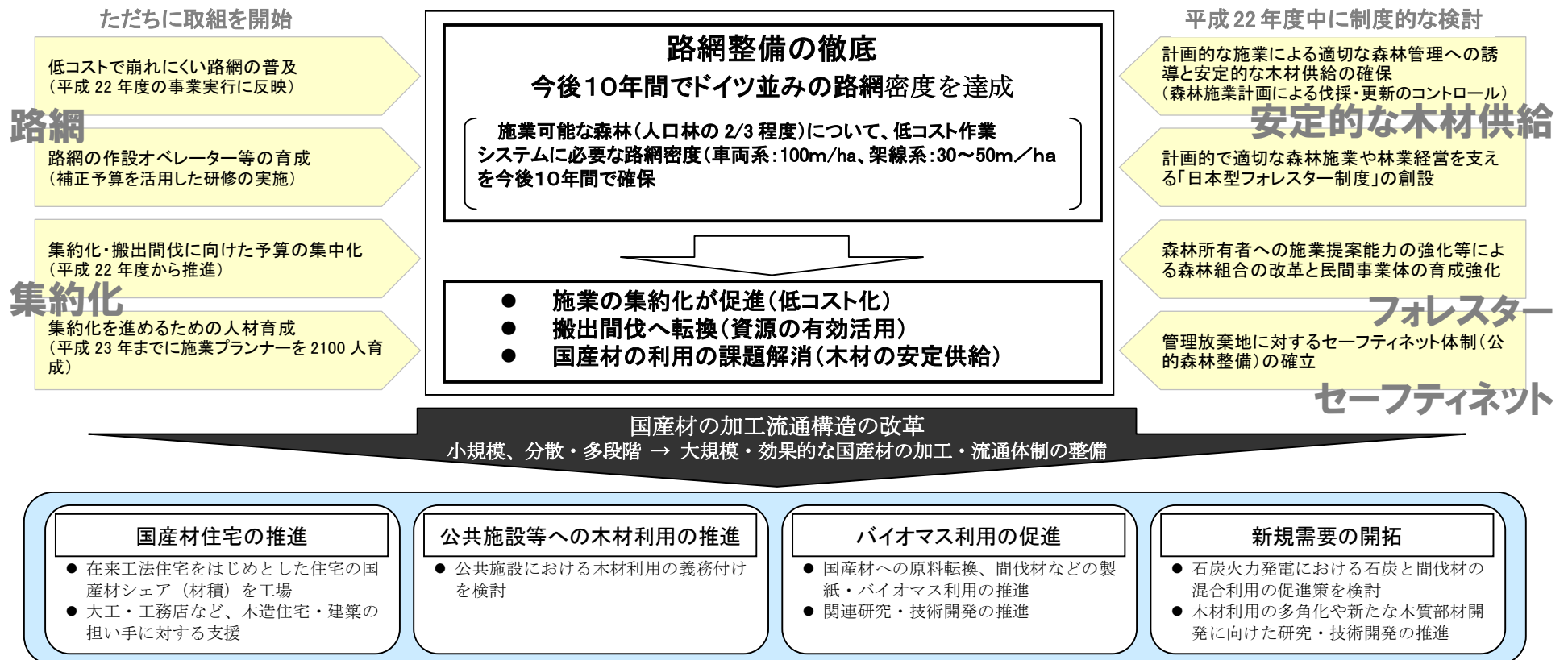
の 2 項目を目的とし、バイオマス利用の促進等によって 2020 年に木材自給率 50%、低炭素社会の実現を目指すとされている。

図表 4.53 森林・林業再生プラン（H21.12.25 公表）のイメージ図

## 森林・林業再生プラン(イメージ図)

- 強い林業の再生に向け、路網整備や人材育成など集中的に整備し、今後、10年以内に外材に打ち勝つ国内林業の基盤を確立
- 山元へ利益を還元するシステムを構築し、やる気のある森林所有者・林業事業者を育成するとともに、林業・木材産業を地域産業として再生
- 木材の安定供給体制を構築し、外材からの需要を取り返して、強い木材産業を確立
- 低炭素社会づくりに向け、我が国の社会構造を「コンクリート社会から木の社会」に転換

### 《木材の安定供給体制を構築し、儲かる林業を実現》



～ コンクリート社会から木の社会へ 木材自給率50% 低炭素社会の実現 ～

### vii) 循環型社会形成推進基本法（平成 12 年法律第 110 号）と関連施策

「循環型社会」とは、「[1]廃棄物等の発生抑制、[2]循環資源の循環的な利用および[3]適正な処分が確保されることによって、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会」と定義している。国、地方公共団体、事業者および国民との役割分担を明確化し、その実現を図る法律制度である。

また、環境省および関係省庁によって策定された循環型社会形成推進基本計画（第一次基本計画：平成15年、第二次基本計画：平成20年）に基づく支援策が実施されている。

バイオマスについては、食品廃棄物の飼料化、肥料化等や稲わら、廃木材等のセルロースを原料としたエタノール生産、生ごみ等からのメタン回収を高効率に行うバイオガス化、回収された廃食油等からのバイオディーゼル燃料の生成、木質ペレット、汚泥等の固形燃料化などの推進がある。

## ② 推進施策

### i) バイオマス・ニッポン総合戦略

地球温暖化防止、循環型社会形成、戦略的産業育成、農山漁村活性化等の観点から、関係 7 府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省〔事務局〕、経済産業省、国土交通省、環境省）が協力して、バイオマスの利活用推進に関する具体的取組みや行動計画を「バイオマス・ニッポン総合戦略」として平成 14 年 12 月に閣議決定したものである。平成 18 年 3 月には、それまでのバイオマス利活用状況や平成 17 年 2 月の京都議定書発効等の戦略策定後の情勢の変化を踏まえて見直しを行い、国産バイオ燃料の本格的導入、林地残材などの未利用バイオマスの活用等によるバイオマスタウン構築の加速化等を図るための施策を推進するための総合戦略と位置づけられてきた。

前述のとおり、平成 21 年 5 月に成立、同年 9 月に施行された「バイオマス活用推進基本法」およびその基本計画として主旨および理念が引き継がれる段階にある。



#### 4.1.8 ビジネスモデル

バイオマスエネルギー関連のビジネスとしては、バイオマス資源のエネルギー変換設備・機器の製造・販売ビジネスと、バイオマス資源よりエネルギー（熱・電力・バイオ燃料）を供給するビジネスに大別できる。ここでは、後者のバイオマスエネルギー供給ビジネスについてのビジネスモデルの特徴を整理し、技術開発との関連を概観する。

バイオマスエネルギー供給に係るビジネス形態は、バイオマス資源の調達として自己調達的方式か他者から調達する方式か、さらにはエネルギー利用先として自家消費とするか他者への供給とするか、等の切り口で分類できる。

一方、こうしたバイオマスエネルギー関連事業を事業規模の概念で整理すると、i)小規模・オンサイト・地産地消型、ii)大規模・ネットワーク・基幹産業型、に大別することができる。

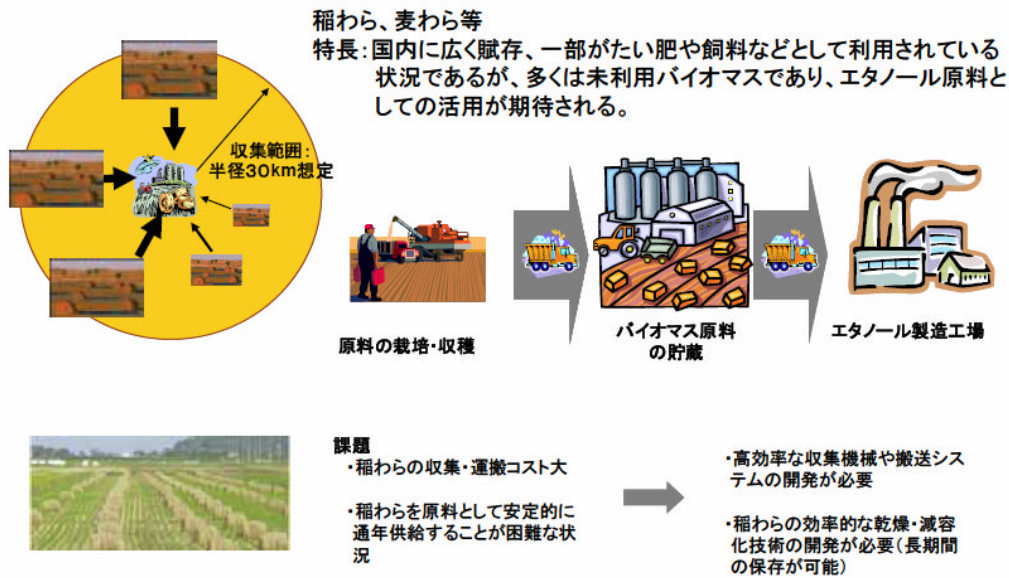
i)については、地域や事業者レベルに賦存するバイオマス資源を活用し、それぞれのエネルギー需要特性に応じた利用を行うものであり、規模は小さく、オンサイトにての利用が中心となる。ビジネスモデルのポイントは、農林水産業を中心とする資源の供給者とエネルギー利用者が連携し、地域に根ざした利用システムを構築することである。こうした事業形態においては、小規模・オンサイトという特性に合致した技術開発が必要である。

ii)については、バイオマス資源を広域から収集することで一定規模の資源量を確保し、大規模に利用する形態である。ビジネスモデルのポイントは、バイオマス資源量の安定的な確保であり、資源の供給者との連携が重要である。

ii)の例として、図表 4.54 に「バイオ燃料技術革新計画」にて示される 2 通りのビジネスモデルを示す。a) バイオマス・ニッポンモデル (1 万 kL/年) として示したものは、稲わら等の国内資源を用い、概ね半径 30km 程度の収集範囲としてバイオエタノール製造事業を実施する事業モデル例である。一方、b)技術革新ケース バイオエタノール生産モデル (10~20 万 kL/年) として示したものは、アジア諸国等の海外での事業モデルを想定し、概ね半径 6.5km という広大な土地に多収量草本作物を栽培し、大規模なバイオエタノール事業を実施するモデル例である。

図表 4.54 バイオ燃料技術革新計画にて想定されるビジネスモデル

a) バイオマス・ニッポンモデル (1 万 kL/年)



b) 技術革新ケース バイオエタノール生産モデル (10~20 万 kL/年)



出典: 「バイオ燃料技術革新計画」(平成20年3月、バイオ燃料技術革新協議会)

#### 4.1.9 国内技術の競争力

ここでは、主要なバイオマスエネルギー変換技術について、主に欧米諸国と比較し我が国の競争力について記した。

##### (1) エタノール発酵

セルロース系エタノール生産の技術開発は、我が国をはじめ、米国や欧州でも積極的に進められている。米国ではソフトセルロースを原料とする実証試験が多数のサイトで実施されており、前処理を含めた生産技術全体で先行している。我が国も、低コスト・低エネルギー前処理技術や膜を利用した糖化液濃縮技術等、国産技術による一貫製造技術の確立に向けた、産学官連携の取組みが行われている。

##### (2) BTL

ガス化システムでは、流動床型ガス化炉とタール改質の組合せ、および、噴流床ガス化炉が開発の主流になっている。噴流床ガス化炉はシステム、運転が比較的単純でコスト面に優れ、欧州のいくつかの国で商業化が目指されている（ドイツ、スウェーデンなど）。一方、流動床型ガス化炉は、バイオマス収集量に応じた設計が可能であり、フィンランド、米国、日本などで開発が進められている。日本においては、メタノール製造、FT 合成、DME 合成などの研究が進められており、また、堅実な開発目標が設定されており、十分な技術開発力を有していると言える。

##### (3) 微細藻類

米国では、1978 年から 1996 年に国立再生可能エネルギー研究所にて実施されていた藻類に関する研究を再開するとともに、大学での基礎研究の実施、さらにはベンチャー企業等による藻類生産の実用化研究も盛んに行われている。一方、わが国では、現状幾つかの機関がラボスケールの研究開発を行うに止まっている。わが国の保有する微細藻類株の種類や過去の研究レベルは高く、今後体系化された研究開発戦略に基づいて着実な研究開発を進めることが期待される。

##### (4) バイオディーゼル燃料製造

エステル交換によるバイオディーゼル燃料製造は、技術面では確立されていると言える。

今後の課題は、副生物のグリセリンの有効活用や原料調達が課題となる。グリセリンの利用は水素化分解などの研究が日本においても進められている。また、日本においては超臨界メタノール法によるバイオディーゼル燃料製造の研究開発が進められている。日本では廃食用油を原料とするケースが多く、原料調達に限界があること、原料調達コストが高くなることがバイオディーゼル燃料の普及のネックとなっている。

##### (5) メタン発酵

「4.1.5.2 技術別の開発動向」に示したとおり、メタン発酵に必要な要素技術は概ね確立しており、効率向上、コスト低減のためのいくつかの技術開発が進められている状況である。基礎

#### 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

技術は欧州で確立された技術が多く、日本のプラントメーカーは、欧州のプラントメーカーとの技術提携等によりプラントを設計・製造している。今後、メタン発酵の普及拡大には都市ガスへの混合などの用途拡大が鍵となると考えられる。スウェーデンにおいては、自動車やバスへの利用が進んでいるが、日本でもバス等での利用が実証的に行われており、オフサイト利用用途の多様化が期待されている。

##### (6) ガス化

米国、欧州では、固定床の小型システムから噴流床等の大型システムまで、幅広く技術開発が行われている。一方、国内では、安価な原料を大量に確保するのが困難なことから、コジェネレーションを目的とした小・中規模のシステム開発が中心である。

## 4.2 技術ロードマップ

### 4.2.1 目指す姿

#### (1) バイオマスエネルギーを取りまく現状

##### ① 導入、普及に向けた課題

バイオマスは、エネルギー利用過程において二酸化炭素の発生量を増加させないため、温室効果ガス発生量削減に貢献するエネルギー資源として、その利用拡大が大いに期待されているが、その導入に際して、安定的なバイオマス資源確保の問題、エネルギー利用先確保の問題など、事業化にあたっての様々な課題、障害が存在する場合が多い。また、経済性の向上や食料と競合しない持続的なバイオマスエネルギー生産のためには、数多くの解決すべき技術課題が残っている。

このようなことから、バイオマス資源供給者、エネルギー変換事業者、エネルギー利用事業者などの関連主体が連携し事業性が確保できるシステム整備を行っていく必要がある。

太陽光発電や風力発電は天候等の影響で出力が変動するのに対し、バイオマスエネルギー出力は制御可能である。この特徴を活かし、バイオマスエネルギー技術のみの範疇に止まらず、太陽光発電や風力発電といった他の再生可能エネルギーとの組合せ（相互補完）利用やスマートグリッドといったシステム化技術との連携により、社会への普及促進を目指していくことが求められる。

また、バイオマスはエネルギー利用だけではなく、再生可能なマテリアルであるという他の再生可能エネルギーにはない特徴を有しており、バイオリファイナリー技術に関連づけて開発していくことが求められる。

##### ② 森林資源の積極活用

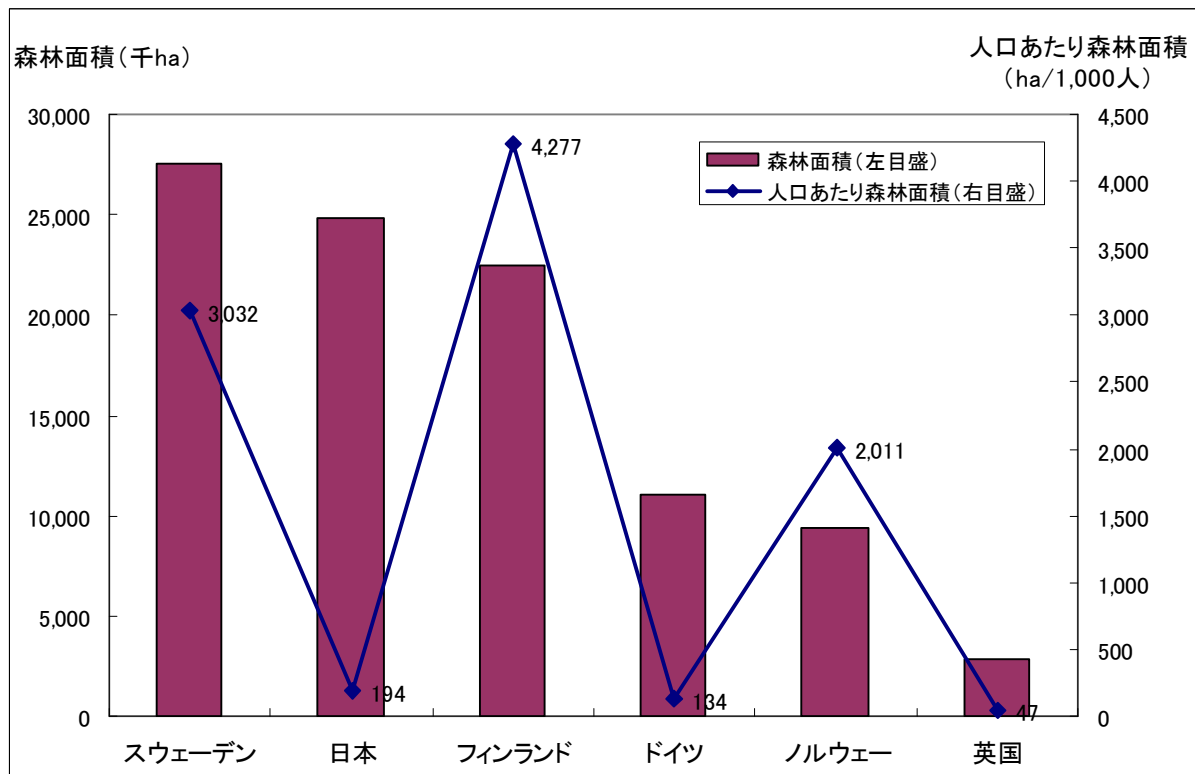
我が国に賦存するバイオマス資源の利用拡大が望まれているところであるが、現在利用されている森林資源は年間生長量以下であり、適正な森林保全の観点からも利用拡大が求められる。

人口 1,000 人当たりの森林面積は世界平均 599ha に対して、日本は 194ha と 3 分の 1 以下であるが、国あたりの森林面積で比較すると日本は北欧と同等レベルであり、豊富な森林資源に恵まれていると言える。（図表 4.55）

また、森林総面積は過去 30 年（1980～2007 年）ほぼ一定で 25,000 千 ha 強であるが、森林蓄積量は 25 億 m<sup>3</sup>（1980 年）から 44 億 m<sup>3</sup>（2007 年）と年間 7,000 万 m<sup>3</sup> 程度増加している。（林野庁資料）

こうした豊富な森林資源を積極的に活用するためには、資源の収集・運搬等に係る技術やエネルギー転換技術の開発だけではなく、森林活用や林業施策との連携が必要である。

図表 4.55 欧州主要国とわが国の森林面積、人口あたり森林面積の比較



出典：FAO データより作成

### ③ バイオマス資源利用ポートフォリオの明確化

バイオマス資源は、これまでもエネルギーだけではなく、食料、飼料、肥料、建材などとして活用されてきた。また、科学技術の発達や電力需要や自動車燃料需要、化学工業原料需要の拡大とともに、バイオマス資源のより高度な利用が進みつつある。このような中、バイオマスエネルギーの急激な利用拡大は、食料や飼料の生産、生態系保全、生物多様性保全などの観点から、利用に制約があることが明らかになりつつある。このような制約条件のもとで如何にバイオマス資源を最適に利用するかを検討することが求められてきている。

### ④ 持続可能性基準に適合した技術開発の推進

バイオマス資源のエネルギー利用にあたっては、環境、食料生産、生物多様性保全などさまざまな視点から持続可能でなければならない。経済産業省は平成 22 年 3 月に我が国におけるバイオ燃料持続可能性基準の考え方を検討し公表した。今後、具体的な制度設計がなされる見込みであるが、特に原料の選定、確保といった面で持続可能性基準に適合した利用を進めていく必要がある。バイオ燃料についてはセルロース系資源利用の実用化に向け、精力的に技術開発を展開していく必要がある。

バイオマスエネルギー生産においても、資源の栽培、収集・運搬、前処理、変換工程、製品の輸送などにおいて、土地利用変化に伴う CO<sub>2</sub> 排出、化石エネルギーの投入、環境負荷物質の排出などが伴うため、ライフサイクルアセスメント (LCA) の視点からの技術開発が求められる。

## (2) 我が国のバイオマスエネルギーの目指すべき姿

バイオマスエネルギーの利用拡大にあたっては、食料との競合、生物多様性、経済性・供給安定性などの様々な課題を克服しつつ段階的に進めることが重要である。

利用可能な国産バイオマスの最大限の活用を図るとともに、バイオ燃料については、持続可能な製造プロセスを確立すると共に、海外で大規模生産を行い輸入する開発輸入を並行して実施し、エネルギー供給の安定性を確保していく必要がある。

### 4.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

バイオマスエネルギーに関する目指す姿の実現に向けた解決すべき課題とそのための対応をバイオマスエネルギー全体に共通するものと、バイオマスエネルギーのうち中心的になる技術について技術分類別に示す（図表 4.56）。

バイオマスエネルギー利用においては、まずその資源を確保・安定供給することが重要である。また、バイオマスエネルギーは未利用系資源や廃棄物系資源はもちろんのこと、生産資源であっても、収集・運搬のために多大なコストを要する。エネルギー変換するためのサイトへ搬入するまでで生産コストのうちの大きな部分を占めている状況である。これらに加えて各エネルギー変換技術の変換効率の向上、低コスト化が求められる。

図表 4.56 バイオマスエネルギーに関する目指す姿の実現に向けた課題と対応

分類	課題と対応
バイオマスエネルギー共通	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. バイオマス資源の確保、安定供給</li> <li>2. 収集・運搬コストの低減</li> <li>3. エネルギー変換効率の向上、低コスト化</li> </ol>
生物化学的気体燃料製造 (メタン発酵)	<p>[オンサイト利用]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 低コスト化、コンパクト化、省エネルギー化</li> </ol> <p>[オフサイト利用]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. 既存インフラに導入する際の低コスト化</li> </ol>
熱化学的気体燃料製造 (ガス化)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 設備、ランニング、メンテナンスの低コスト化</li> <li>2. 適用可能なバイオマス種の拡大</li> <li>3. タール低減技術開発</li> </ol>
バイオ燃料製造 (ガソリン代替燃料)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 持続可能なバイオエタノール生産システム (持続可能な原料生産の確立、LCAのGHG削減)</li> <li>2. 食料との競合の克服(セルロース系資源の前処理・糖化技術の確立、食糧生産不適地で栽培可能な資源作物の開発)</li> <li>3. 経済性の向上(低コストでエネルギー効率の高いプロセスの確立)</li> <li>4. 供給安定性の確保(我が国の技術力を活用し、国産・準国産(開発輸入)のエタノールの生産拡大をはかる)</li> </ol>
バイオ燃料製造 (軽油・灯油代替燃料)	<p>[バイオディーゼル燃料製造]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製造コスト削減、エネルギー収支の向上 (副産物の処理・利用技術、適用資源の拡大)</li> </ol> <p>[微細藻類由来バイオ燃料製造]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 経済的に成立する製造システムの確立 (要素技術のブラッシュアップ → 一貫プロセス開発、実証)</li> <li>2. 有用物質生産との組合せ、カスケード利用</li> </ol> <p>[BTL(ガス化-液体燃料製造)]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 経済的に成立する製造システムの確立 (要素技術のブラッシュアップ → 一貫プロセス開発、実証)</li> <li>2. 既存の化石燃料インフラの活用</li> </ol>

#### 4 バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ

生物化学的気体燃料製造（メタン発酵）については、オンサイト利用とオフサイト利用とで課題と対応を分けて整理することができる。オンサイト利用では実用性を向上させるために低コスト化・コンパクト化・省エネルギー化が重要である。また、オフサイト利用では、都市ガスやCNG車への供給など既存インフラへの導入ための工程の低コスト化が重要である。

熱化学的気体燃料製造（ガス化）では、低コスト化や、多様なバイオマス資源に対応すること、木質系バイオマスの利用に関してはタール低減技術の開発が重要である。

バイオ燃料製造のうち、ガソリン代替燃料製造では、食料との競合の克服や、経済性の向上、国産だけでなく準国産（開発輸入）バイオエタノール製造を目指した技術開発や国際連携が必要となる。これらの実現により持続可能なバイオエタノール生産システムの構築が可能となる。軽油・灯油代替燃料製造では、バイオディーゼル燃料製造、微細藻類由来バイオ燃料製造、BTL（ガス化－液体燃料製造）のいずれにおいても経済性の向上が必要である。技術独自の課題は、微細藻類由来バイオ燃料製造では有用物質生産との組合せやカスケード利用、BTLでは共通技術を有する化石燃料用の既存インフラを活用することが挙げられる。



### 4.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

以下に主要なバイオマスエネルギー利用に関する技術開発項目などについて整理した。また、具体的な研究開発実施時期などについては、ロードマップに示す。

#### (1) バイオマスエネルギー（全般）

バイオマス（廃棄物含む）発電、熱利用について、「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009, 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 需給部会）で示された2020年、2030年の最大導入ケースの見通しを記載した。バイオ燃料については、エネルギー基本計画で示された「2020年に全国のガソリンの3%相当以上の導入、国産及び準国産（開発輸入）の比率50%以上」をベンチマークとした。

#### (2) 生物化学的気体燃料製造（メタン発酵）

必要な要素技術開発は概ね確立している状況であり、省エネルギー化、低コスト化技術の確立により、経済性のある小型システムを実現し、オンサイト利用の普及、拡大を図ることとしている。

また、中・大規模の施設では、エネルギー需要に応じたコジェネレーション利用（オンサイト利用）に加え、都市ガス導管等へ注入（オフサイト利用）し利用拡大を図るための技術が求められる。既に、バイオガスの都市ガス導管直接注入実証試験がスタートしており、オフサイト利用が段階的に拡大することとしている。

#### (3) 熱化学的気体燃料製造（ガス化）

ガス化は、メタン発酵と比較すると、実用化に向けた課題が多い。高効率コジェネレーション・システムの開発や、タール低減のための技術開発を行いガス化技術を確立するとともに、経済的な小規模プラントを実現し、普及、拡大を図ることとしている。

#### (4) バイオ燃料製造（ガソリン代替燃料）

2015年に製造コスト40円/Lを実現することを目標にして、前処理技術等の要素技術開発と共に、原料栽培から燃料製造までの一貫プロセスの技術開発を行い、技術確立後は、国内生産の普及拡大を図るとともに、開発輸入を並行して行い、国内導入量の拡大を図ることとしている。

#### (5) バイオ燃料製造（軽油・灯油代替燃料）

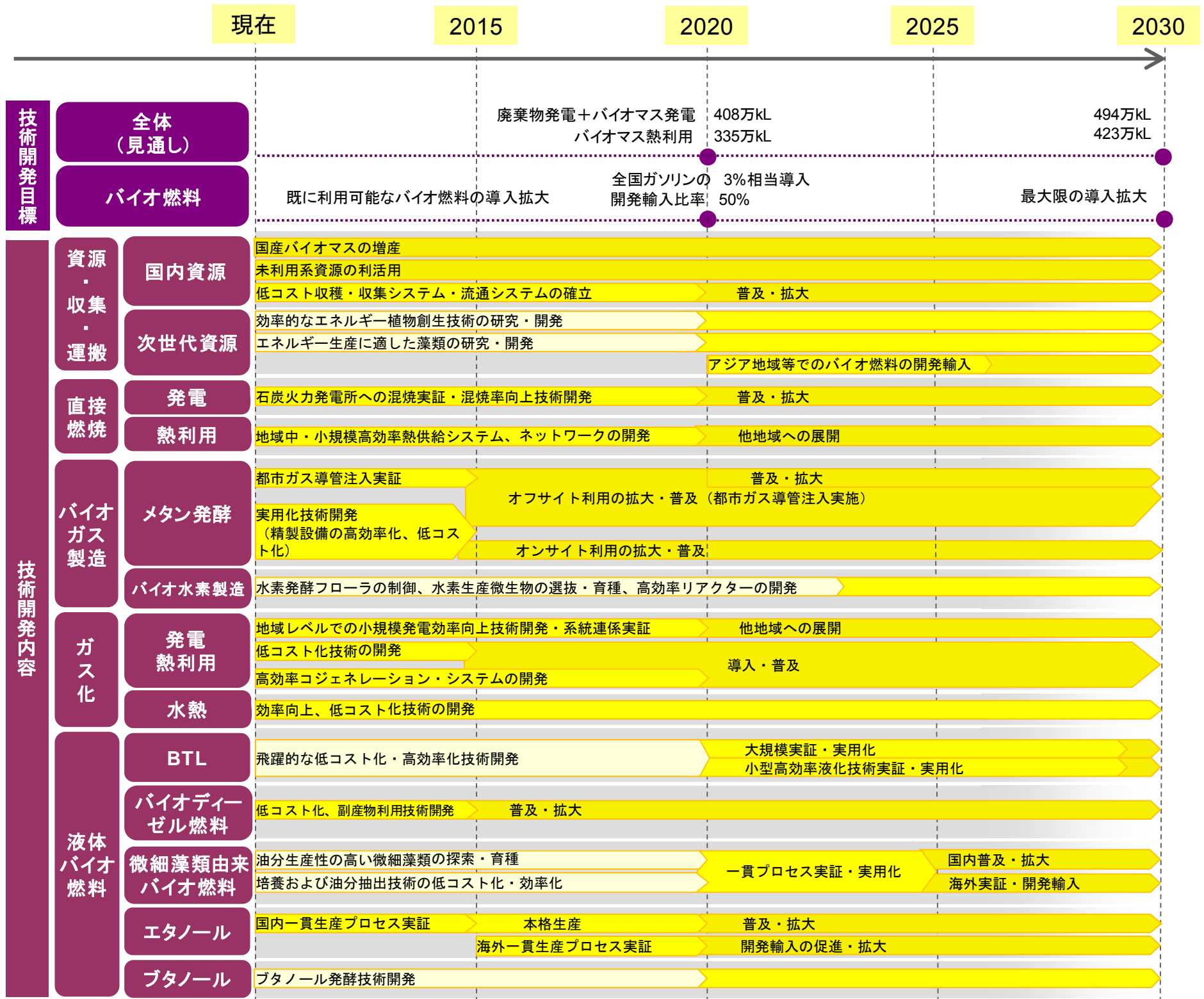
2030年頃の実用化を見据え、軽油や灯油（ジェット燃料等）代替燃料の製造技術を確立することとしている。また、技術確立後は海外での大規模生産、開発輸入を促進することとしている。

図表 4-57 バイオマスエネルギーの技術ロードマップ（1）

バイオマスエネルギーロードマップ(全体版)

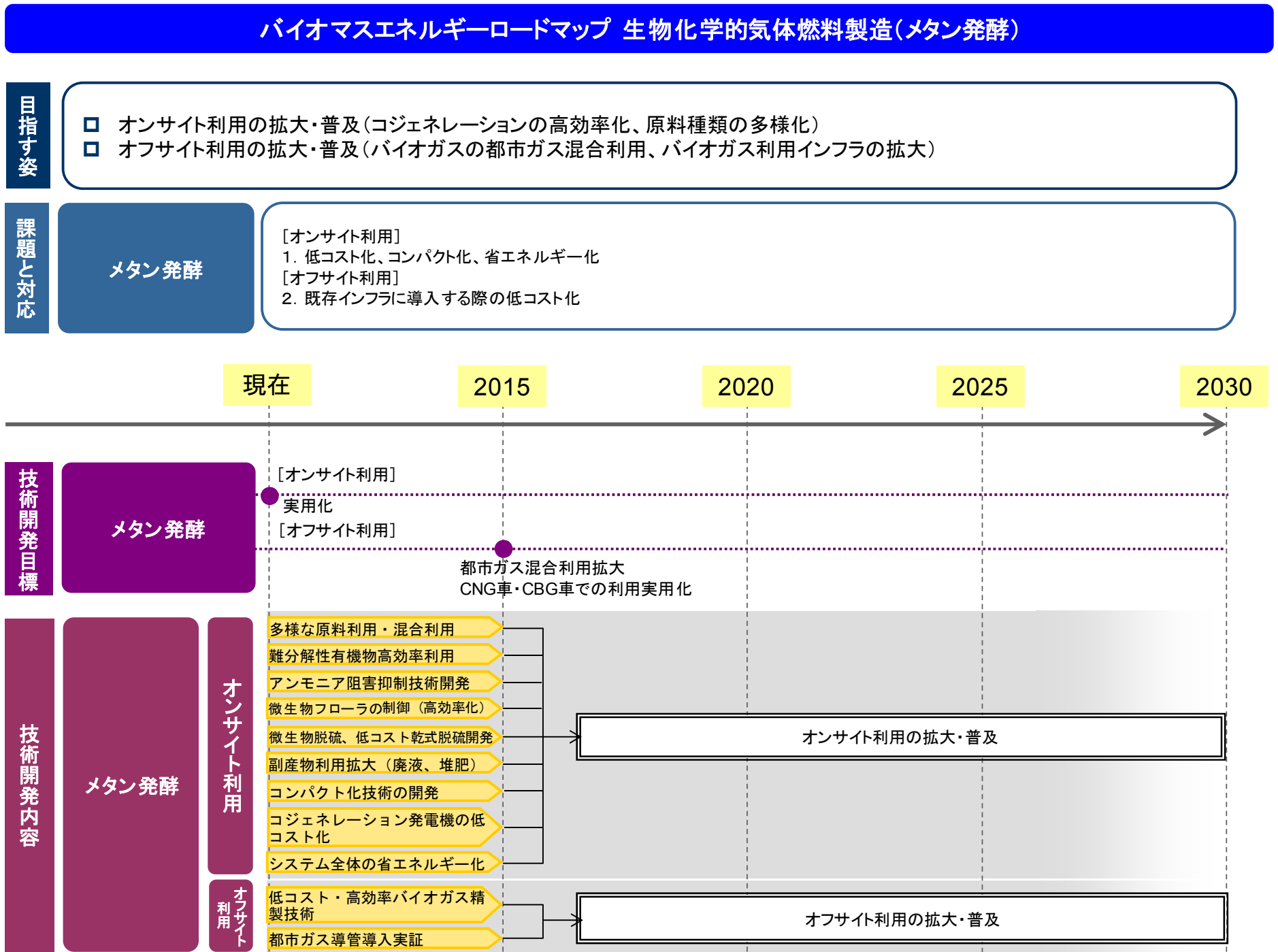
- 目指す姿**
- 利用可能なバイオ燃料の活用、拡大
  - 次世代バイオ燃料技術の確立、実証、最大限の導入
  - バイオガス利用の実証、拡大

- 課題と対応**
1. バイオマス資源の確保、安定供給
  2. 収集・運搬コストの低減
  3. エネルギー変換効率の向上、低コスト化

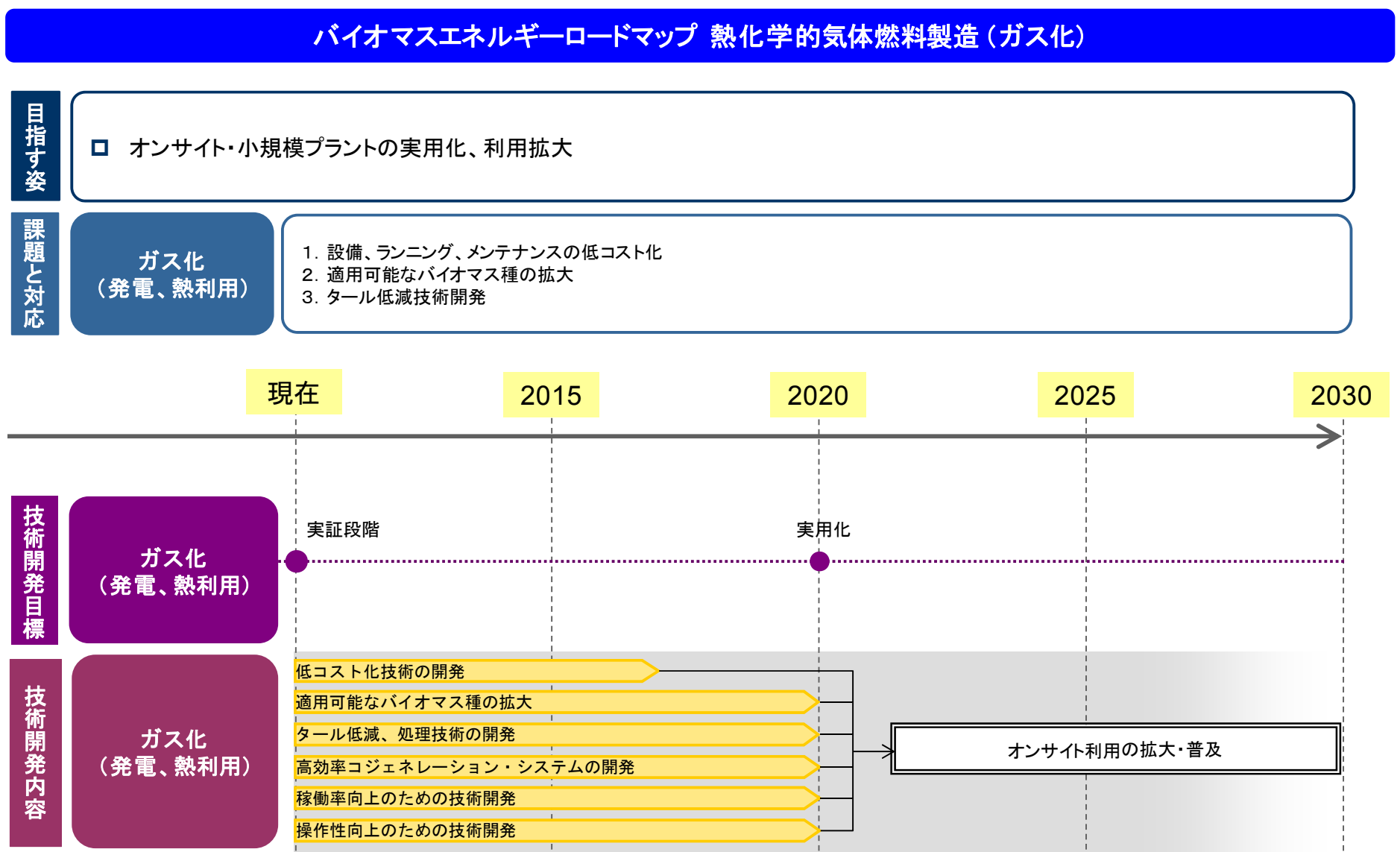


- 凡例
- 研究開発フェーズ
  - 実証・実用化技術開発フェーズ
  - 普及・拡大フェーズ

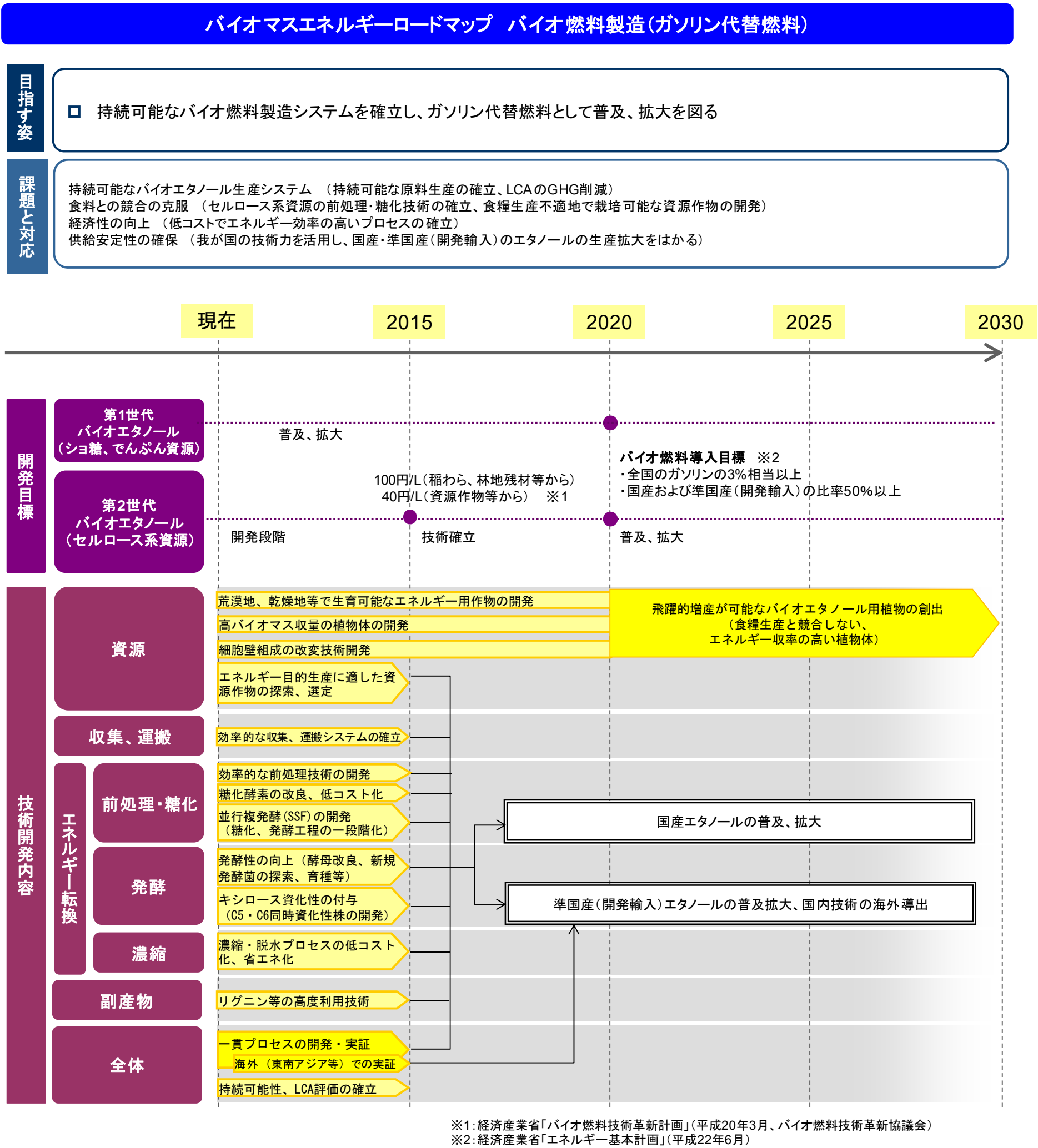
図表 4-58 バイオマスエネルギーの技術ロードマップ (2)



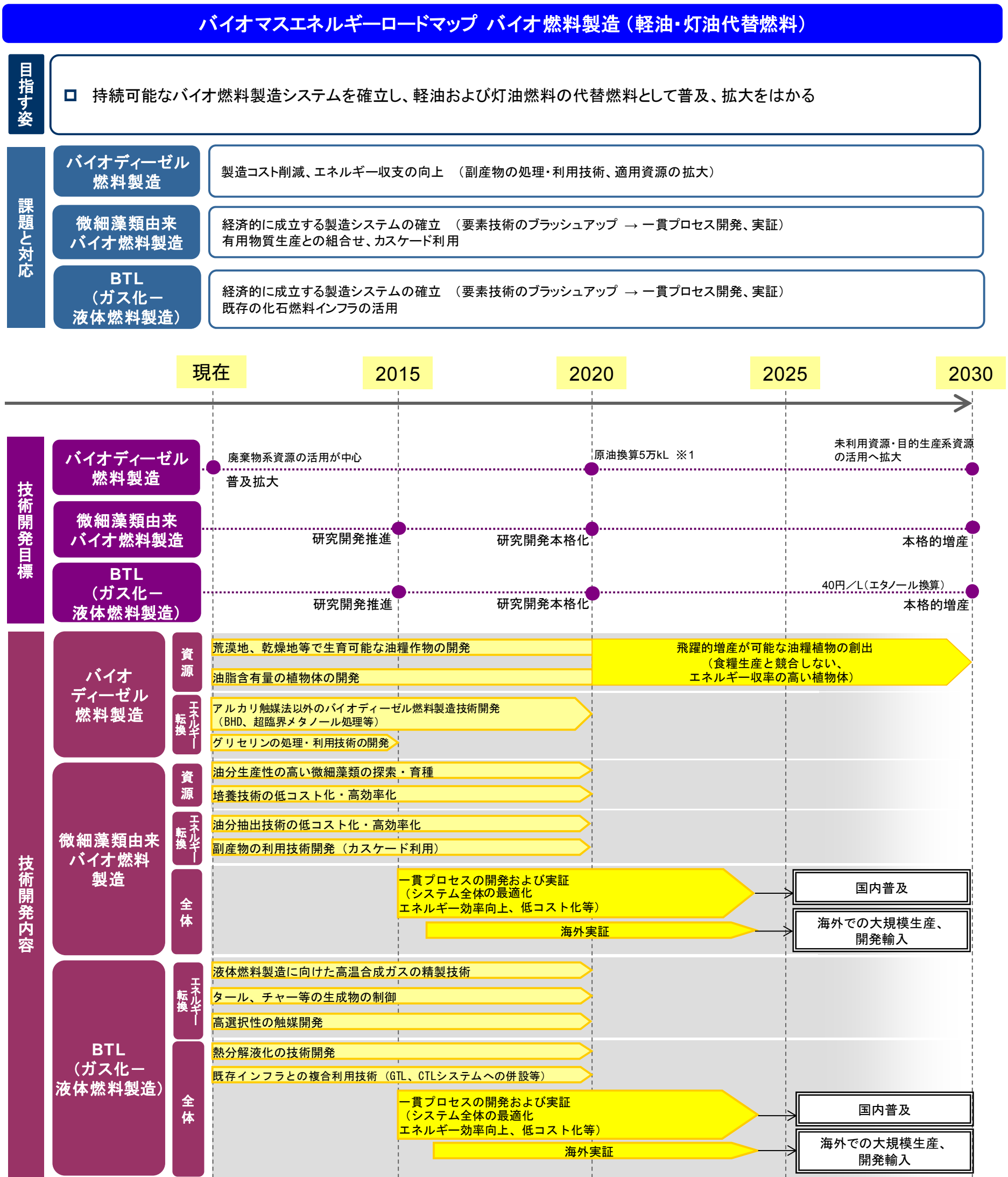
図表 4-59 バイオマスエネルギーの技術ロードマップ (3)



図表 4-60 バイオマスエネルギーの技術ロードマップ (4)



図表 4-61 バイオマスエネルギーの技術ロードマップ (5)



※1: 経済産業省 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会(第35回)-配付資料 我が国の技術力を活用したセルロース系バイオ燃料等の生産可能量(試算)について(2020年のセルロース系バイオ燃料等の生産量試算検討会)



## 5 太陽熱発電の技術の現状とロードマップ

### 5.1 技術を取りまく現状

#### 5.1.1 技術の俯瞰

##### (1) 発電方式

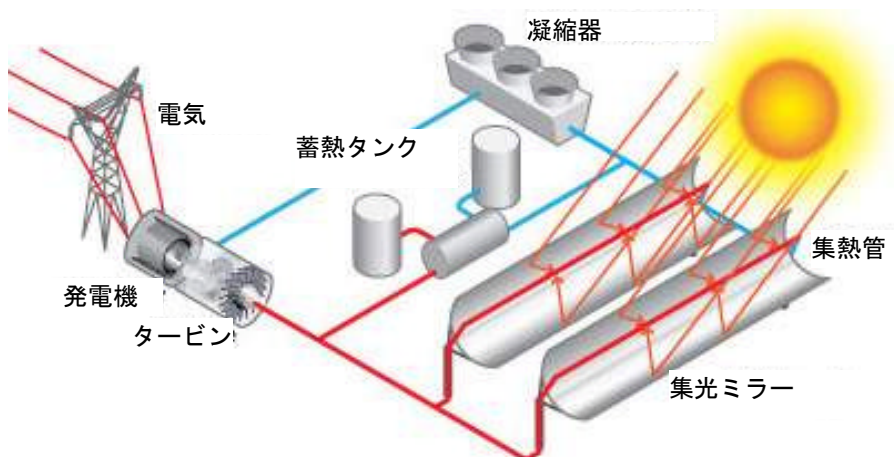
太陽熱発電とは、太陽熱により作った蒸気を用いてタービンを回し、発電するシステムである。現在用いられている技術は、主に以下の4種類に区分される。

##### 1) トラフ型

トラフ型は、樋状に伸びた曲面の集光ミラーを用いて集熱管に集光することにより集熱管内の熱媒を加熱し、熱交換器を介して蒸気を生成し、発電を行うシステムである。熱媒は約400℃近くまで加熱された後、熱交換器に送られ蒸気(約380℃)を発生させる。システム効率<sup>1)</sup>は15%程度である<sup>1)</sup>。

集光ミラーと集熱管を長距離・広範囲にわたって配置するため、集熱管における熱損失が課題となるものの、高度な集光技術が不要であり構造が単純であるため、他の太陽熱発電技術と比較してシステム価格が安価であるという特長がある。1980年代より米国カリフォルニア州において商用運転の実績があり、太陽熱発電の中では比較的成熟した技術である。

図表 5.1 トラフ型太陽熱発電システム

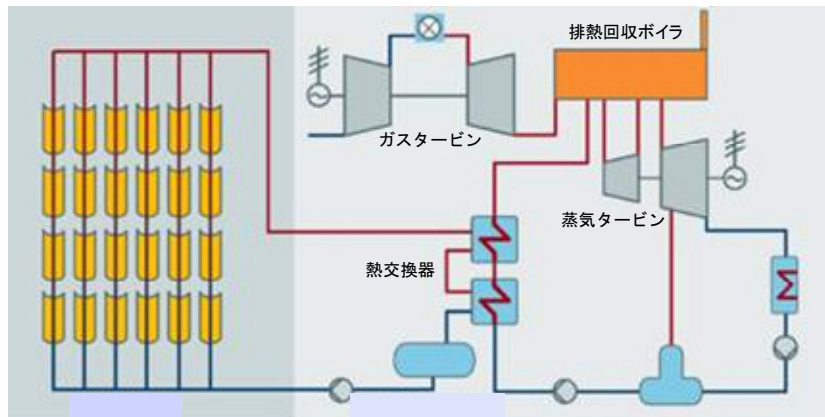


出典：DOE ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/solar/>)

トラフ型の応用として、ガスコンバインドサイクルと組み合わせた ISCC (Integrated Solar Combined Cycle) システムがある。ISCC は、太陽熱により作った蒸気と、ガスタービンの排熱により作った蒸気の両方を用いて発電するシステムで、燃料となるガスの一部を代替することができる。エジプト、モロッコ、アルジェリア等においてプロジェクトが進められている。

<sup>1)</sup> “Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)

図表 5.2 ISCC プラントの概念図



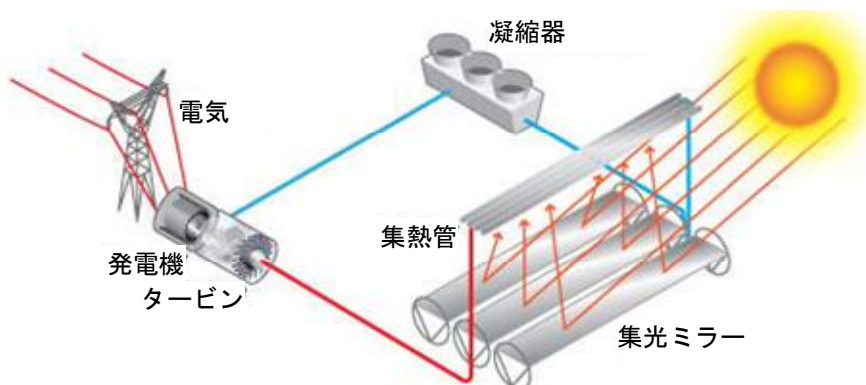
出典：CSP Solutions Consult GmbH ホームページ (<http://www.csp-solutions.net/>) より作成

## 2) フレネル型

またトラフ型と類似の技術に、フレネル型がある（図表 5.3）。これは平面または僅かに曲がった長い集光ミラーの角度を少しずつ変えて並べ、数メートル上方にある集熱管に集光して、蒸気を生成する仕組みである。現在のシステム効率は  $8\sim 10\%^2$  とトラフ型より低いですが、トラフ型の曲面集光ミラーよりも製造が容易でありコスト削減が可能であること、集光ミラーが風圧の影響を受けにくいこと等の利点を有する。

フレネル型では熱交換器を介さず、集熱管において直接蒸気を生成する DSG（Direct Steam Generation）システム（P276 参照）が採用されており、トラフ型より高温の蒸気（約  $480^\circ\text{C}$ ）を得られることから、タービン効率の向上が可能となる。発電用プラントの他、既存の火力発電所への蒸気供給等の実証試験が、米国や豪州等において行われている（図表 5.4）。

図表 5.3 フレネル型太陽熱発電システム



出典：DOE ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/solar/>)

<sup>2</sup> “Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)



図表 5.4 Liddell 太陽熱発電プラント (豪)



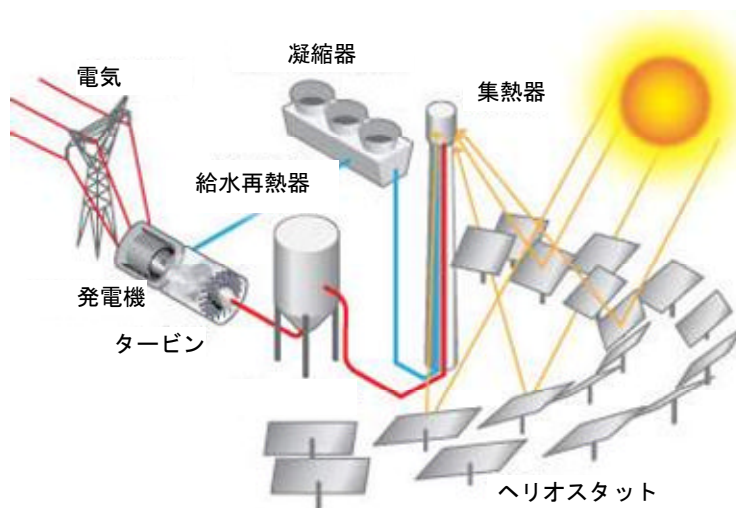
出典：DESERTEC-UK ホームページ (<http://www.trec-uk.org/>)

### 3) タワー型

タワー型太陽熱発電は、ヘリオスタット (Heliostats) と呼ばれる平面状の集光ミラーを多数用いて、通常はタワーの上部に置かれる集熱器に太陽の動きを追尾しながら集光し、その熱で蒸気を作り発電を行うシステムである。集熱器に集められた熱は主に熔融塩を熱媒として蓄熱され、熱交換器を介して蒸気を生成する。また、近年ではフレネル型と同様に、熱交換器を介さない DSG システム (P276 参照) が採用されている。

タワー型はトラフ型よりも高温の蒸気を作り出すことができるため、タービン効率を上げてより多くの電力を得ることが可能であり、システム効率は 20~35%になると見られている<sup>3</sup>。また、集熱温度を上げて 1,000°C 近くの高温・高圧の空気を作れば、ガスタービンでの天然ガスの代替やコンバインドサイクルへの応用も可能となる。

図表 5.5 タワー型太陽熱発電システム



出典：DOE ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/solar/>)

<sup>3</sup> “Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)

図表 5.6 PS10 太陽熱発電プラント



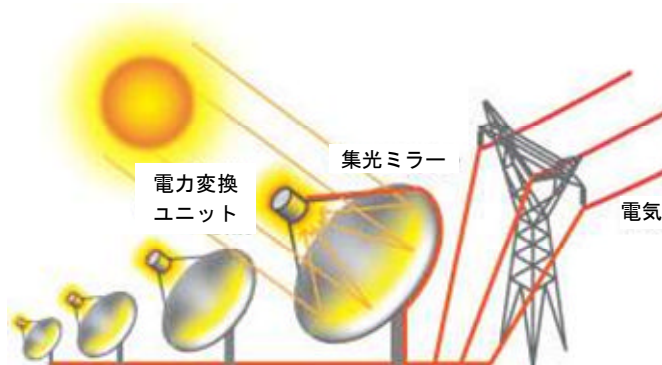
(タワー高さ 115m、フィールド面積約 75,000m<sup>2</sup>)

出典：“Concentrating Solar Power,” (2007, EC)

#### 4) ディッシュ型

ディッシュ型太陽熱発電は、放物曲面状の集光ミラーを用いて集光し、焦点部分に設置されたスターリングエンジン<sup>4</sup>やマイクロタービン等により発電を行うシステムである。全体のサイズは直径 5~15m、発電出力 5~50kW と、他のシステムと比較して小規模であり、分散型発電システムとして適している。一方、多数台をまとめて配置して MW 級の発電プラントとすることも可能である。熱媒温度は約 750°C まで加熱でき、米国における 25kW システムで発電効率 30% を記録している。米国、欧州等を中心に実証試験が進められている。

図表 5.7 ディッシュ型太陽熱発電システム



出典：DOE ホームページ  
(<http://www1.eere.energy.gov/solar/>)

図表 5.8 EuroDish



(直径 8.5m)

出典：“European Research on Concentrated Solar Thermal Energy” (2004, EC)

図表 5.9 に太陽熱発電の発電方式別の比較を示す。現在主流のトラフ型は、技術的に確立されており、実績、信頼性において強みを発揮する。一方、タワー型は導入実績が少ないため検証すべき技術要素が残されているが、逆に今後の技術開発による改良の余地は大きい。プラン

<sup>4</sup> 外部にある熱源によりエンジン内部の気体（主にヘリウムが使用される）を膨脹・収縮させて駆動力を得る外燃機関。

ト効率が 20～35%と高く、必要とする土地面積もトラフより小さいこと、高温蓄熱が可能で蓄熱設備を小さくできること等から、将来的にコスト競争力を持ち、トラフ型に代わり主流となる可能性が高い。またフレネル型も現在技術改良が行われており、更なる高効率化が進めば、今後普及が進む可能性がある。ディッシュ型は発電効率が高く、冷却時に水が不要であるなどのメリットを有する。タワー型やフレネル型と同様に導入実績が少なく、引き続き技術改良が必要である。

図表 5.9 太陽熱発電の発電方式別比較

	トラフ型	フレネル型	タワー型	ディッシュ型
用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>系統連系型発電</li> <li>中～高温プロセス加熱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>系統連系型発電</li> <li>既存発電所への蒸気供給</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>系統連系型発電</li> <li>高温プロセス加熱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小規模独立型発電</li> <li>多数配置による系統連系型発電</li> </ul>
プラント効率	15%	8～10%	20～35% (試算値)	25～30%
プラント規模 (実績)	～80MW	～5MW	～20MW	～100kW
土地占有度	大	中	中	小
冷却水使用量	3,000L/MWh (または空冷式)	3,000L/MWh (または空冷式)	2,000L/MWh (または空冷式)	不要
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>多数商用運転実績があり、年間発電効率、投資コスト、運転コストが実証されている</li> <li>モジュール方式</li> <li>蓄熱との組合せが可能</li> <li>火力発電とのハイブリッド事例有り</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>商用利用が可能ない段階にある</li> <li>集光ミラーの現地購入、現地加工が可能</li> <li>プラントコストが安い</li> <li>火力発電とのハイブリッドが可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中期的に高い発電効率の実現が見込まれる</li> <li>高温蓄熱が可能</li> <li>火力発電とのハイブリッドが可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>30%超 (ピーク時) の高い発電効率</li> <li>モジュール方式</li> <li>製造が簡易で、大量生産が可能</li> <li>冷却時に水が不要</li> </ul>
課題・展望	<ul style="list-style-type: none"> <li>油ベースの熱媒使用により運転温度が 400℃程度に制限されるため、蒸気の高温化に限界がある</li> <li>今後の技術開発による改良余地は小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>市場投入されればかりであり、大規模プラントにおける実績が必要</li> <li>今後の技術開発による改良余地は大きい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>年間発電量、投資コスト、運転コスト等について、商用運転プラントにおける実証が必要</li> <li>今後の技術開発による改良余地は非常に大きい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模商用プラントの事例がない</li> <li>大量生産時のコストについて実証が必要</li> <li>量産化が進めば改良の余地がある。</li> </ul>

出典：“Concentrating Solar Power Global Outlook 09” (2009, SolarPACES, ESTERA, Greenpeace)、  
Stirling Energy Systems プレスリリース ([http://www.stirlingenergy.com/pdf/2010\\_01\\_22.pdf](http://www.stirlingenergy.com/pdf/2010_01_22.pdf))、  
“Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA) より作成

## (2) 蓄熱・ガスタービン等との組合せ

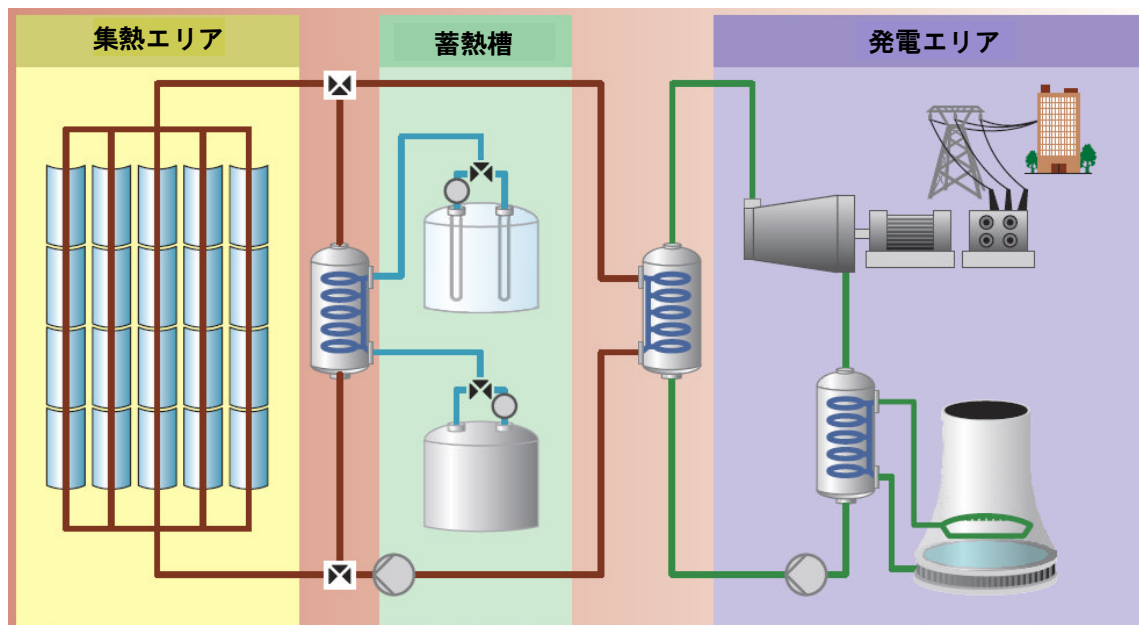
太陽熱エネルギーは日中しか得られないため夜間は発電できないこと、また気候の影響により日射量変動すること等から、太陽熱発電システム単体では電力需要に応じた稼働は難しい。そこで多くのプラントでは、夜間や日射量の少ない時間帯・期間も発電できるよう、蓄熱システムやガスタービン等によるバックアップシステムが導入されている。

蓄熱システムは、系統電力の発電コストが高い時間帯（正午付近～夕方）に合わせて発電・売電することにより、コスト競争力を高められる点においても有効である。ビジネス戦略として、午前中は発電せずに蓄熱し、昼間から夕方にかけて発電、売電するプラントも存在する。太陽熱発電の事業性向上に向けて、低コスト・高温蓄熱システムの開発に注目が集まっており、各種技術開発が行われている（詳細は 5.1.5 節参照）。

図表 5.10 に、トラフ型プラントにおける蓄熱システム例を示す。日中に蓄熱し、必要時に蓄熱槽から熱を取り出して蒸気タービンを回すことにより、日没後の電力需要への対応や出力の平滑化、発電時間帯の調整等が可能となる。

また、ピーク時における出力を保証するためには、現状では費用対効果の観点からガスタービンによるバックアップシステムが有効とされている。しかしながら、資源制約、CO<sub>2</sub>削減の観点から、将来的には蓄熱システムが主流になるものと考えられる。

図表 5.10 蓄熱システム例（トラフ型プラント）



出典：“Technology Roadmap Concentrating Solar Power”（2010, IEA）より作成

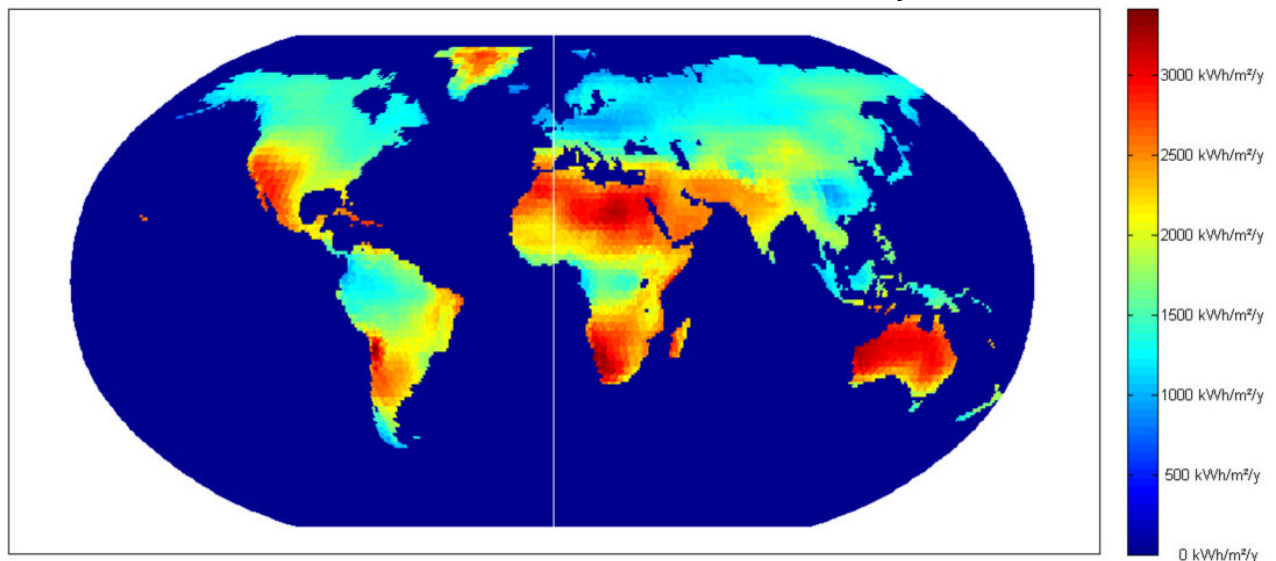
## 5.1.2 ポテンシャル

### (1) 世界

太陽熱発電には直達日射量の多い地域が適しており、一般的には年間  $2,000\text{kWh/m}^2$  以上の日射量が得られる湿気や粉塵の少ない地域が適地とされている。具体的には、北アフリカ、南アフリカ、中東、インド北西部、米国南西部、メキシコ、ペルー、チリ、中国西部、オーストラリア西部等が該当する。これらのサンベルト地帯では、年間  $3,000\text{kWh/m}^2$  以上の日射量が得られる地域も存在する。

なお、太陽熱発電導入時には、日射量に加え水資源の有無も重要な要素となる。蒸気の復水器に水冷式熱交換器を用いるプラントでは、トラフ式において約  $3,000\text{L/MWh}$ 、タワー式において約  $2,000\text{L/MWh}$  の水が冷却水として必要となる。しかし、一般に日射量の豊富な地域は水資源に乏しいことが多いことから、十分な水量が確保できない場合は、熱交換効率が低く設備コストの高い空冷式熱交換器を導入せざるを得なくなる。空冷式熱交換器の高効率化・低コスト化が重要課題となっている（P278 参照）。

図表 5.11 世界のポテンシャルマップ ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{y}$ )



※データ元：ドイツ航空宇宙センター

※直達日射量より算出

出典：“GLOBAL ENERGY SUPPLY POTENTIAL OF CONCENTRATING SOLAR POWER”  
(Christian Breyer and Gerhard Knies, Solar PACES 2009 資料)

### (2) 日本

日本の年間発電可能量は  $1,000\sim 1,300\text{kWh/m}^2$  の間に分布しており、一般に日本の地理・気象条件下では、太陽熱発電の採算を取るの難しいと言われている。ただし、直達日射量の比率が多い地域の一つである山梨県北杜市では、年間  $1,360\text{kWh/m}^2$  の日射量が得られる<sup>5</sup>。

<sup>5</sup> 山梨県北杜市資料より。(データ元：NEDO 全国日射関連日照データマップ、全天日射量ベース)

### 5.1.3 導入目標量例

各国の再生可能エネルギーおよび太陽熱発電の導入目標量例を図表 5.12 に示す。サンベルト地帯においては、太陽光発電に加え、太陽熱発電が主要電源の一つに位置づけられており、積極的な導入目標・導入見通しが掲げられている。

図表 5.12 欧米諸国における再生可能エネルギー・太陽熱発電の導入目標量例

	導入目標 等	
	再生可能エネルギー全体	太陽熱発電
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>2007年に、2020年までにEU全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を20%とする戦略を決定。</li> <li>2009年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、上記目標達成のための国別目標値を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州再生可能エネルギー評議会は、左記指令の目標を達成するために必要な太陽熱発電導入量を、2010年に2TWh、2020年には43TWhと試算。</li> <li>欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）において、2020年までに欧州の電力供給に占める割合を約3%に高める目標を設定。DESERTECプロジェクト（P303参照）が実現された場合には、2030年までに10%以上を達成可能としている。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの州で、電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度（RPS）を策定。オバマ大統領は、2025年までに25%導入という連邦RPS制度を提案。</li> <li>オバマ大統領は「New Energy for America」で再生可能エネルギー由来の電力量割合を、2012年に12%、2025年に25%とする目標を発表。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各州のRPSにおいて、太陽熱発電による電力を制度の対象としている。</li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>「再生可能エネルギー中長期発展計画」（2007年9月）、「再生可能エネルギー発展第11次5ヵ年計画」（2008年3月）において、エネルギー消費総量に占める再生可能エネルギー消費量の割合を、2010年までに10%に、2020年に15%に引き上げる目標を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>左記計画において、2020年までに太陽エネルギー利用の発電設備容量を2.0GW（うち太陽熱発電を0.2GW）に引き上げる目標を設定。</li> <li>近年、上記目標を2020年までに20GWに上方修正する意向を発表。</li> </ul>
インド	<ul style="list-style-type: none"> <li>各州において、RPS制度を実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009年11月に“National Solar Mission”を発表。その中で、複数の太陽熱発電の実証試験の実施を明記（合計約400MW）。</li> </ul>
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>「2030年のエネルギー需給展望」（総合資源エネルギー調査会 需給部会、2005）において、2010年の再生可能エネルギーの対一次エネルギー供給比を、3.0%に引き上げる目標を設置。</li> <li>「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（総合資源エネルギー調査会 需給部会、2009）において、2020年、2030年の新エネルギー導入見通しを示す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽熱発電の導入目標はなし。</li> </ul>

(参考) IEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>主要な低炭素技術の開発及び普及を世界的規模で推進することを目的に、各技術について、2050年までの技術ロードマップを策定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(※導入見通し)</li> <li>太陽熱発電の技術ロードマップにおいて、2050年の年間発電量は、約4750TWh、(世界の発電電力量の約11%)に達すると予測。</li> </ul>
-------------	---	--

出典：“Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)、Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC、“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020” (2008, EREC)、DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>)、“New Energy for America” (2009, Barack Obama and Joe Biden)、「海外電力」(2008年10月号、2010年3月号)、“Jawaharlal Nehru National Solar Mission” (2009, インド政府)、「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(2009, 経済産業省)

## (1) 欧州

欧州における太陽熱発電の導入目標量例を図表 5.13 に示す。

図表 5.13 欧州における導入目標量例

施策名	2020年	2030年
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 <sup>6</sup>	EU全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を20%に引き上げるための国別目標値(図表 5.14)を設定。	—
Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020 (EREC)	43TWh ※上記指令を達成するために必要な太陽熱発電による発電量	—
欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)	EUの電力消費量の3%を太陽熱発電でまかなう	EUの電力消費量の10%以上を太陽熱発電でまかなう (※DESERTEC プロジェクトが実現された場合)

出典：Directive 2009/28/EC (2009, EC)、“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020” (2008, EREC)、SET-Plan Technology Roadmap (2009, EC)

2007年3月、欧州理事会は、EUの地球温暖化対策として2020年までに、EU全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を20%に引き上げることで合意した。これを受けて、「再生可能電力推進に関する指令<sup>7</sup>」と「バイオ燃料促進に関する指令<sup>8</sup>」を修正、廃止する新たな指令である「再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令」が策定され、本指令において加盟各国に法的拘束力のある数値目標が設定された(図表 5.14)。

欧州再生可能エネルギー評議会 (European Renewable Energy Council : EREC) は、この目標を達成するために必要な再生可能エネルギーの種類毎の寄与度(発電量)を試算しており、2010年に2TWh、2020年には43TWhが太陽熱発電によって供給されると予測している(図表 5.15)。

<sup>6</sup> Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

<sup>7</sup> EUの全電力供給量に占める再生可能電力の割合を2010年までにEU全体で21%にするという目標を掲げ、加盟各国別に目標値(法的拘束力なし)を設定した指令。(Directive 2001/77/EC)

<sup>8</sup> 2010年までにガソリン、ディーゼル油の5.75%をバイオ燃料で代替する目標(法的拘束力なし)を設定した指令。(Directive 2003/30/EC)

## 5 太陽熱発電の技術の現状とロードマップ

これは 2020 年時点の欧州の電力需要予測（3,914TWh<sup>9</sup>）の約 1%にあたる。

また、低炭素化社会実現に向けた技術開発戦略である「欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）」<sup>10</sup>において、2020 年までに EU の電力消費量の 3%を太陽熱発電でまかなう目標が掲げられている。なお、DESERTEC プロジェクト（P303 参照）が実現された場合、同数値を 2030 年までに 10%以上にまで高められるとしている。

図表 5.14 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令における EU 加盟国の 2020 年目標値

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合[%]			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES”（2008, BMU）、Directive 2009/28/EC

<sup>9</sup> “World Energy Outlook 2009”（IEA）

<sup>10</sup> 低炭素化社会の早期実現に向けて、EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発及び普及を加速させることを目的とした EU の技術開発戦略。欧州産業イニシアティブ（European Industrial Initiatives：EII）として、低炭素化に資する 6 つの有望技術（風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂）に関するイニシアティブが設置されている。2009 年 7 月にはそれぞれの技術について技術ロードマップが提示され、2010 年 3 月に欧州理事会により承認された。



図表 5.15 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令の  
目標達成に必要な太陽熱発電による発電量予測

	2006 年	2010 年	2020 年
発電量 (TWh)	—	2	43

出典：“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020” (2008, EREC)

## (2) 米国

米国における太陽熱発電の導入目標量例を図表 5.16 に示す。

図表 5.16 米国における導入目標量例

施策名	2020 年	2030 年
RPS 法	州別 RPS 法により規定 (図表 5.17 参照)	
New Energy for America (オバマ大統領)	(2012 年) 再生可能エネルギー由来の 電力量割合：12%	(2025 年) 再生可能エネルギー由来の 電力量割合：25%

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>)、"New Energy for America" (2009, Barack Obama and Joe Biden)

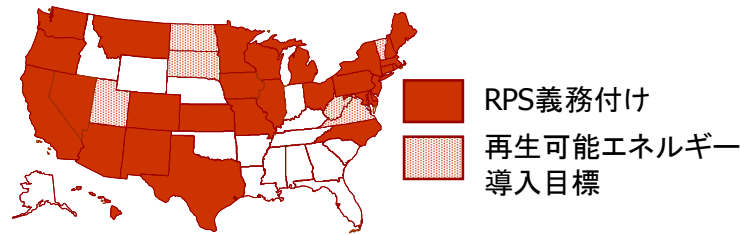
米国においては国全体としての導入目標値は掲げられていない。ただし米国では、29 の州政府と DC 政府<sup>11</sup>が電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーで賄うことを義務付ける RPS 制度を導入している。(図表 5.17)。ニューヨーク州を除いて、太陽光発電や風力発電に並び太陽熱発電も制度の対象となっている。

また、オバマ大統領が掲げる「New Energy for America」計画では、電力消費量に占める再生可能エネルギー由来の電力量の割合を、2012 年までに 10%、2025 年までに 25%に引き上げる目標が掲げられている。

<sup>11</sup> 2010 年 3 月時点。

5 太陽熱発電の技術の現状とロードマップ

図表 5.17 州別の RPS 制度概要



州	目標	達成年
カリフォルニア	20%	2010
オハイオ	25%	2025
イリノイ	25%	2025
ニューヨーク	24%	2013
ペンシルバニア	18%	2020
ニュージャージー	22.5%	2021
ミネソタ	25%	2025
バージニア (※)	15%	2025
ノースカロライナ	12.5% (私営) 10% (公営)	2021 2018
ワシントン	15%	2020
メリーランド	20%	2022
ミズーリ	15%	2021
オレゴン	25% (大規模事業者) 5%~10% (小規模事業者)	2025
アリゾナ	15%	2025
ミシガン	10% + 1,100MW	2015
ネバダ	25%	2025
マサチューセッツ	15%	2020
コネチカット	23%	2020

州	目標	達成年
カンザス	20%	2020
ウィスコンシン	10%	2015
テキサス	5,880MW	2015
ユタ (※)	20%	2025
コロラド	20% (私営)、10% (公営)	2020
ニューメキシコ	20% (私営)、10% (公営)	2020
ハワイ	40%	2030
ニューハンプシャー	23.8%	2025
モンタナ	15%	2015
デラウェア	20%	2019
ワシントン D.C.	20%	2020
メイン	40%	2017
ノースダコタ (※)	10%	2015
ロードアイランド	16%	2020
バーモント (※)	20%	2017
サウスダコタ (※)	10%	2015
アイオワ	105MW	-

注1：ニューヨーク州のみ太陽熱発電は制度の対象となっていない。

注2：(※) は義務量ではなく、目標量を設定している州。なお、カリフォルニアは2020年までに33%の達成を目標としている。

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

### (3) 中国

中国における太陽熱発電の導入目標量例を図表 5.16 に示す。

図表 5.18 中国における導入目標量例

施策名	2020 年	2030 年
「再生可能エネルギー 中長期発展計画」 「再生可能エネルギー 発展第 11 次 5 カ年計画」	エネルギー消費総量に占める再生可能エネルギー消費量の割合を 15% に引き上げ	—
	太陽光エネルギー利用の発電設備容量を 2.0GW（うち太陽熱発電を 0.2GW）に引き上げ ※2009 年末に、上記目標を、2020 年までに 20GW に上方修正する意向を発表。	—

出典：「海外電力」（2008 年 10 月号、2010 年 3 月号、海外電力調査会）

中国は、「再生可能エネルギー中長期発展計画」（2007 年 9 月）、「再生可能エネルギー発展第 11 次 5 カ年計画」（2008 年 3 月）において、エネルギー消費総量に占める再生可能エネルギー消費量の割合を、2010 年までに 10% に、2020 年に 15% に引き上げる目標を設定している。また、同計画において、2020 年までに太陽エネルギー利用の発電設備容量を 2.0GW に引き上げる目標を設定し、そのうち 0.2GW 分は太陽熱発電所を建設するとしている。なお、2009 年末に、上記目標を 2020 年までに 20GW に大きく上方修正する意向を発表しており、中国のエネルギー政策における太陽エネルギー利用の位置づけの高さが伺える。

エネルギー需要が今後大きく伸びる中国においては、賦存量の豊富な国産エネルギーである石炭への依存度が高まることが予想される。中国政府は石炭の液化と太陽熱発電を組み合わせることにより、石炭利用における CO<sub>2</sub> 排出量の縮減を図る取組みを進めており、今後、太陽熱発電の本格導入に向けた動きが加速する可能性がある。

### (4) インド

インド政府は、2009 年 11 月に“National Solar Mission”を発表し、2022 年までに系統連系型太陽エネルギー利用の発電設備を 20GW 導入する目標を掲げた。その中で、太陽熱発電について、以下に示す複数の実証試験の実施を明記している。インドは日射条件がよく、太陽エネルギーの有効利用は重要な政策課題となっている。

＜National Solar Mission にて予定されている実証試験＞

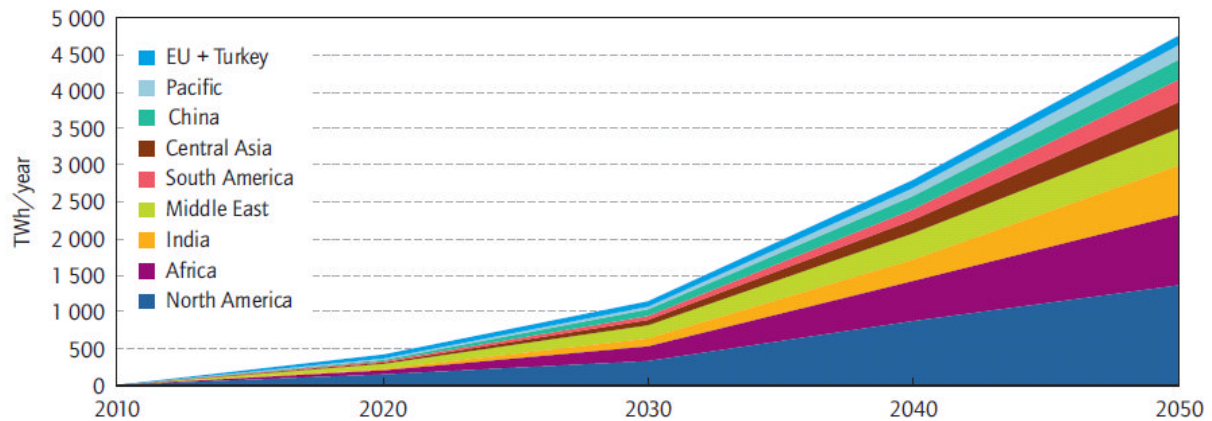
- 4～6 時間の蓄熱設備を備えた、50～100MW の太陽熱発電プラント
- 100MW のトラフ型太陽熱発電プラント
- 100～150MW のハイブリッド型太陽熱発電プラント（石炭・ガス・バイオマス等とのハイブリッド）
- 20～50MW のタワー型太陽熱発電プラント

(参考) IEA の技術ロードマップと導入見通し

IEA は、2050 年までに CO<sub>2</sub> 排出量を半減させるために鍵となる技術の開発及び普及を世界的規模で推進することを目的に、太陽熱発電を含む主要な低炭素技術について、2050 年までの技術ロードマップを策定している。

太陽熱発電のロードマップにおいて、2050 年には年間発電量約 4,750TWh に達すると予測されており、これは世界の発電電力量の約 11%に相当する量である。地域別に見ると、世界的に日射量に恵まれた地域である、北アメリカ、アフリカ大陸、インド、中東における発電量の増加が大きく、将来的に太陽熱発電が基幹エネルギーの一つとなることが期待されている。

図表 5.19 太陽熱発電の導入見通し



出典：“Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)

図表 5.20 太陽熱発電の全電力消費量に占める割合

国	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
オーストラリア、中央アジア、チリ、インド (グジャラート、ラジャスタン)、メキシコ、中東、北アフリカ、ペルー、南アフリカ、米国 (南西部)	5%	12%	30%	40%
米国 (南西部以外)	3%	6%	15%	20%
欧州 (大部分を輸入)、トルコ	3%	6%	10%	15%
アフリカ (北部以外)、アルゼンチン、ブラジル、インド (上 2 州以外)	1%	5%	8%	15%
インドネシア (輸入)	0.5%	1.5%	3%	7%
中国、ロシア (輸入)	0.5%	1.5%	3%	4%

出典：“Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)

### 5.1.4 導入実績

1980年代香川県仁尾町（現三豊市）における1MWのパイロットプラントの建設以来、日本では太陽熱発電への政策的支援は行われていない。一方、豊富な日射量と土地に恵まれた海外各所においては、数十MW級の太陽熱発電システムの開発・導入が進められている。

図表 5.21 に太陽熱発電の導入実績（概算値）を、図表 5.22 に現在稼動中・計画中の主要な太陽熱発電プラントを示す。現在は技術的に確立されているトラフ型が主流で、2009年までの導入量の9割以上をトラフ型が占めている。今後もしばらくはトラフ型が先導すると見られるが、より高温の蓄熱が可能で、効率面で有利なタワー型、安価なフレネル型の技術開発が活発に行われており、トラフ型に代わり今後主流になる可能性がある。

タワー型については、2007年のPS10&PS20(31MW、スペイン)に続き、eSolar社のSierra SunTowerプラント(5MW、米国)が2009年より稼動している。また、世界初の24時間稼動プラントとなるGEMASolarプラント(17MW、スペイン)や、BrightSource社のIvanpahプラント(約400MW、米国)など、複数のタワー型商用プラントが計画されている。

図表 5.21 太陽熱発電の導入実績・見通し（概算値）

	2009年までの導入量 [MW]	2009年までの発電量 [GWh]	建設・提案中の容量見通し [MW]
トラフ型 (フレネル型)	500 (5)	>16,000 (8)	>10,000 (500)
タワー型	40	80	3,000
ディッシュ型	0.5	3	1,000

出典：“Concentrating Solar Power Global Outlook 09”（2009, SolarPACES, ESTERA, Greenpeace）

図表 5.22 現在稼動・計画中の主要な太陽熱発電プラント

フェーズ	場所	プロジェクト名／開発事業者	技術	発電容量[MW]	稼動年
商用	米国	SEGS I / Luz, Solel	トラフ型	13.8	1984
	米国	SEGS II -VII / Luz, Solel	トラフ型	180	1984-1989
	米国	SEGS VIII and IX / Luz, Solel	トラフ型	160	1989-1990
	米国	Saguaro APS Plant / Solargenix	トラフ型	1	2006
	米国	Nevada Solar One / Acciona	トラフ型	64	2007
	スペイン	PS10 & PS20 / Abengoa	タワー型	31 (PS10 : 11MW PS20 : 20MW)	2007-2009
	スペイン	Andasol 1 & 2 / ACS Cobra, Solar Millennium	トラフ型	100	2008-2009
	米国	Sierra SunTower / eSolar	タワー型	5	2009
	米国	Martin Next Generation Solar Energy Center / FLP	トラフ型	75	2010 未予定

## 5 太陽熱発電の技術の現状とロードマップ

	スペイン	GEMASolar / Sener, MASDAR	タワー型	17	2011 予定
	米国	Ivanpah / BrightSource	タワー型	約 400 (タワー3 基)	2012 予定 (第 1 号機)
	米国	— / NRG Energy, eSolar	タワー型	92 (46MW×2)	2012 予定
実証	米国	Kimberlina / Ausra	フレネル型	5	2008
	ドイツ	Solar Tower Jülich	タワー型	1.5	2008

出典：“Concentrating Solar Power Global Outlook 09” (2009, SolarPACES, ESTERA, Greenpeace)、  
 NREL ホームページ (<http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/>)、  
 FLP ホームページ (<http://www.fpl.com/environment/solar/martin.shtml>)、  
 PG & E ホームページ (<http://www.pge.com/about/newsroom/newsreleases/>) より作成

＜事例＞ Andasol プラント(トラフ型、スペイン)

スペイン南部のアンダルシア地方にある Andasol 1～3 太陽熱発電プラントは各 50MW の発電出力で、Andasol 1 は欧州で最初の大規模なトラフ型プラントである。Andasol 1 及び 2 は 2008～2009 年に運転開始しており、Andasol 3 は現在建設中で 2011 年運転開始予定となっている。ディベロッパーは Solar Millennium (独) である。

Andasol 1～3 の各プラントは蓄熱システムを備えており、夜間も 7.5 時間分発電可能である。蓄熱媒体は硝酸ナトリウム 60%と硝酸カリウム 40%との混合溶融塩 28,500 トンであり、温度の異なる 2 つのタンクに蓄えられている。

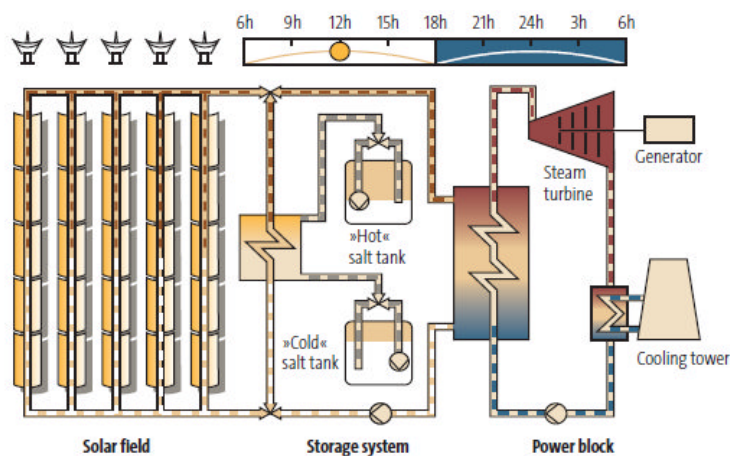
図表 Andasol 1～3 各プラントの概要

発電出力	49.9MW
ソーラーフィールド	510,120m <sup>2</sup>
集光ミラー	209,664 枚
年間発電量	約 180GWh
システム効率	ピーク約 28%, 年平均 15%

図表 プラント概観



図表 システム概要



出典：Solar Millennium 社資料

**<事例> PS10&PS20 プラント(タワー型、スペイン)**

PS10 はタワー型で初めて商用化された太陽熱発電プラントであり、スペインのアンダルシア地方に立地している。発電出力は 11MW で、2007 年 3 月に運転が開始された。ディベロッパーは Abengoa (スペイン) で、隣地には同様の技術を用いた 20MW のタワー型プラント PS20 が建設され 2009 年より運転開始している。

PS10 は 624 枚のヘリオスタットを用いて高さ約 115m のタワー上部に集光し、飽和蒸気が作られる。蓄熱媒体には水(蒸気)が使用されており、30 分間の 100%出力が可能である。

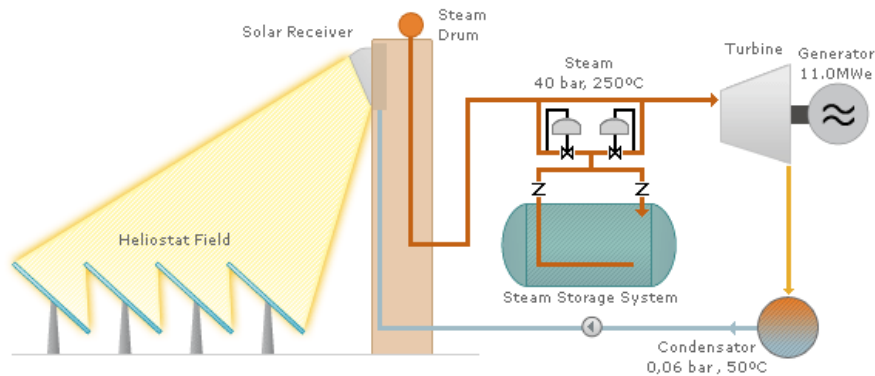
**図表 PS10 プラントの概要**

発電出力	11MW
ソーラーフィールド	75,000 m <sup>2</sup>
ヘリオスタット	624 枚
タワー高さ	115m
年間発電量	約 24,000MWh
システム効率	約 15%
集熱媒体	飽和蒸気

**図表 プラント概観**



**図表 システム概要**



出典：Abengoa ホームページ (<http://www.abengoasolar.com/corp/web/en/index.html>)

“Comparison of two concepts of Solar Power Tower systems” (Benjamin Pfluger, Christoph Kost, EMINENT Workshop Lisbon 2009 資料)



＜事例＞ GEMASOLAR プラント(タワー型、スペイン)

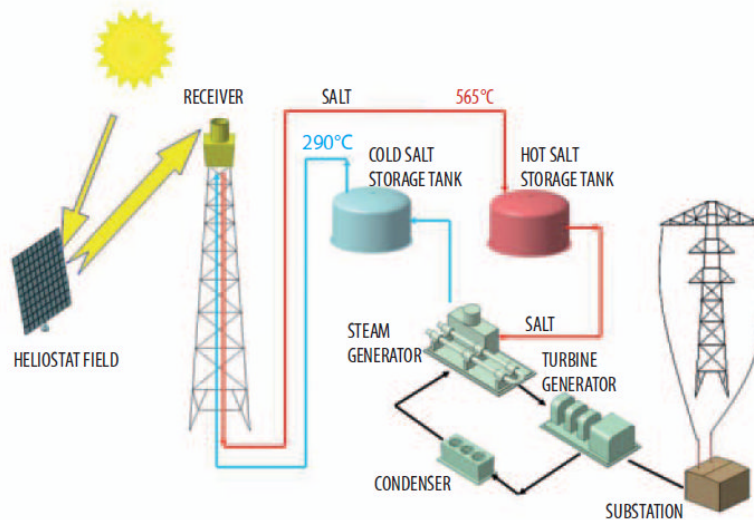
GEMASOLAR は溶融塩蓄熱システムを備えた、世界初の 24 時間稼働のタワー型太陽熱発電プラントである。スペインのセビリア近くに現在建設中で、2011 年に運転開始を予定している。発電出力は 17MW で、565℃に達する高温の溶融塩蓄熱システムは 15 時間分の蓄熱容量を持ち、夜間や曇天時にも発電可能となっている。

プロジェクトは Sener (スペイン) と Masdar (UAE) の合弁会社である Torresol Energy によって進められている。

図表 GEMASOLAR プラントの概要

発電出力	17MW
ソーラーフィールド	318,000m <sup>2</sup>
ヘリオスタット	2,590 枚 (1 枚 120m <sup>2</sup> )
タワー高さ	150m
年間日射量	2,062kWh/m <sup>2</sup>
年間発電量	100,000MWh (推定値)
蓄熱容量	15 時間、溶融塩
蓄熱温度	565℃

図表 システム概要



出典：“Concentrating Solar Power from research to implementation” (2007, European Commission)、  
“Solar Tres” (2007.3, NREL CSP Technology Workshop, Sener Jose C Martin)  
“Comparison of two concepts of Solar Power Tower systems” (Benjamin Pfluger, Christoph Kost, EMINENT  
Workshop Lisbon 2009 資料)、Solar PACES Annula Report 2008 (IEA)

### 5.1.5 技術開発動向

太陽熱発電の大量普及を目指し、欧米を中心に各種技術開発が盛んに行われている。

集光システムの改良開発の他に、太陽熱発電のベース電源利用を見据え、出力の平滑化、出力の安定化、発電時間帯の調整を目的に、各種蓄熱技術の開発が行われている。

発電効率の向上にはタービン入口温度の高温化が有効であり、高温蓄熱技術、熱流体の高温化が重要課題となっている。

また、蒸気の復水器に水冷式熱交換器を用いるプラントでは、冷却用に大量の水を必要とする。したがって十分な水量が得られない地域においては、水冷式と比較して熱交換効率に劣り、設備費の高い空冷式熱交換器を採用せざるを得なくなる。空冷式熱交換器の高効率化・低コスト化のニーズが高く、空冷式と水冷式のハイブリッド方式も検討されている。

低コスト化については、システム価格の削減等に係る技術開発が実施されている。以下、主要な課題と技術開発動向を概観する。

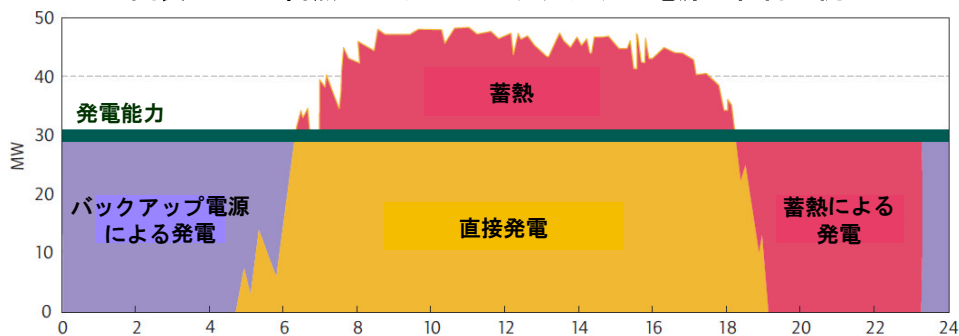
#### (1) 太陽熱発電のベース電源利用に向けた蓄熱システムの開発

太陽熱エネルギーは日中しか得られないため夜間は発電できないこと、また気候の影響により日射量の変動すること等から、多くのプラントでは夜間や日射量の少ない時間帯・期間も発電できるよう、蓄熱システムやガスタービン等によるバックアップシステムが導入されている（図表 5.23）。特に、太陽熱発電をベース電源として利用するためには、これらのシステムによる出力の平滑化、安定した出力の確保が重要となる。

ガスタービンは成熟技術であり、蓄熱設備と比較して安価であることから、直近の対応としては有効な技術である。しかしながら、燃料に天然ガスを用いる場合、資源制約、CO<sub>2</sub>削減の観点から持続可能なシステムではないため、将来的には蓄熱システムをメインとしたプラントが主流になると考えられる。

また、蓄熱によるバックアップシステムは、系統電力の発電コストが高い時間帯（正午～夕方）に合わせて発電・売電し、コスト競争力を高められる点においても有効である。ビジネス戦略として、午前中は発電せずに蓄熱し、昼間から夕方にかけて発電、売電するプラントも存在する。太陽熱発電の事業性向上に向けて、低コスト・高温蓄熱システムの開発に注目が集まっており、各種技術開発が行われている。

図表 5.23 蓄熱システムとバックアップ電源の組合せ例



出典：“Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA) より作成

スペインにおいて商用運転の準備が進められている GEMASOLAR プラント (P271 参照) は、溶融塩蓄熱システムを備えた、世界初の 24 時間稼働のタワー型太陽熱発電プラントである。発電出力は 17MW で、565°C に達する高温の溶融塩蓄熱システムは 15 時間分の蓄熱容量を持ち、夜間も発電可能である。本プラントの技術がより安価に確立されれば、蓄熱システムをメインとした太陽熱発電のベース電源利用への道が大きく広がるものと考えられる。

なお、タワー型はトラフ型と比較して高温蓄熱が可能であり、蓄熱設備のコンパクト化が可能であることからコスト的に有利となる。また、高いシステム効率が期待されており<sup>12</sup>、将来的にはトラフ型に代わりタワー型が主流となる可能性がある。

現在実用化および開発が進められている蓄熱方式、蓄熱媒体は主に以下に示すものが挙げられる<sup>13</sup>。

## 1) 蓄熱方式

### ① 直接 2 槽式

直接 2 槽式は、熱媒を直接タンクに貯蔵するシステムである。タンクは高温タンクと低温タンクの 2 つに分けられる。低温タンク中の熱媒（鉱油等）は、集熱管に送られ加熱された後、高温タンクに貯蔵される。高温タンク中の熱媒は熱交換器を通して蒸気を生成した後、低温タンクに戻される。本方式は、初期のトラフ型太陽熱発電に用いられている。

### ② 間接 2 槽式

間接 2 槽式は、基本的なシステム構成は直接 2 槽式と同じであるが、熱媒（鉱油等）とタンク中の蓄熱媒体（溶融塩等）は異なる物質を用いている。本方式は熱媒が高価である場合や、安全性等の観点から熱媒が蓄熱媒体に適さない場合に用いられる。低温タンク内の蓄熱媒体は、加熱された熱媒から熱交換器を通して熱を回収し、高温タンクに移動する。高温タンク中の蓄熱媒体は熱交換器を通して蒸気を生成した後、低温タンクに戻される。

本方式は、熱媒と貯蔵媒体中の間に熱交換器が新たに必要となるため、直接 2 槽式と比較するとコスト高となるが、安全性の面で直接 2 槽式より優れている。現在スペインや米国のトラフ型プラントにおいて採用が予定されている。

### ③ 温度躍層単槽式

温度躍層<sup>14</sup>単槽式は、タンク中の溶融塩や固形媒体（ケイ砂、セラミックス、コンクリート、黒鉛などが使用される）に蓄熱する方式である。固形媒体中の高温部と低温部は温度勾配または温度躍層により分けられる。加熱された熱媒は、上部の高温部からタンク中に入り固形媒体に蓄熱され、熱利用後の冷えた媒体は下部の低温部に貯蔵される。固形媒体を使用すること、タンクが 1 つで済むこと等から、2 槽式と比較してコストを削減することができる。

<sup>12</sup> トラフ型のシステム効率は 15% 程度であるのに対し、タワー型は 20~35% のシステム効率が見込まれている (P257 参照)。

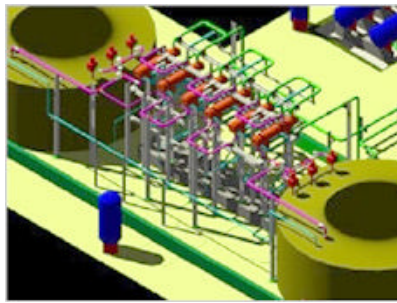
<sup>13</sup> NREL ホームページ ([http://www.nrel.gov/csp/troughnet/thermal\\_energy\\_storage.html](http://www.nrel.gov/csp/troughnet/thermal_energy_storage.html)) をもとに取りまとめ。

<sup>14</sup> 海または湖沼で水温が急激に変化する層のこと。

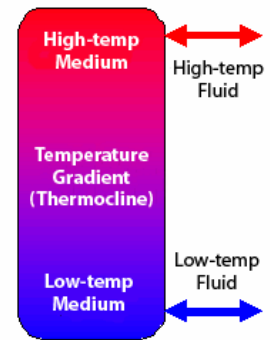
図表 5.24 直接 2 槽式



図表 5.25 間接 2 槽式



図表 5.26 温度躍層単槽式



出典：NREL ホームページ ([http://www1.eere.energy.gov/solar/thermal\\_storage.html](http://www1.eere.energy.gov/solar/thermal_storage.html))

## 2) 蓄熱媒体

蓄熱媒体は、実績があり信頼性が高いことから現在は熔融塩が主流であるが、コンクリートや潜熱蓄熱材等の研究開発が進んでおり、有望技術となりつつある。

### ① 熔融塩

熔融塩は現在最も主流の蓄熱媒体であり、スペインの Andasol 1 (トラフ型)、PS10 (タワー型) 等、様々なプラントで採用されている。

現在の技術課題としては、集熱管を移動する熱媒と蓄熱媒体の双方への熔融塩の利用が挙げられる。熱媒と蓄熱媒体を同一材料にすると、熱交換器が不要となるためコストダウンが図れる他、より高い温度で集熱器から熱を回収できる。しかし熔融塩の凝固点は 120~220℃と比較的高いため、夜間に集熱管内で熔融塩が固まってしまうという問題点がある<sup>15</sup>。

この課題に対し、イタリアの調査研究機関である ENEA<sup>16</sup>は、熱媒に凝固点が 220℃の混合熔融塩<sup>17</sup>を用いたシステムが技術的に運用可能であることを証明している。また、米国のサンディヤ国立研究所は、凝固点が 100℃を下回る新たな混合熔融塩を開発している<sup>15</sup>。

### ② コンクリート (固体蓄熱)

ドイツ航空宇宙センター<sup>18</sup>において、コンクリートやセラミック等を用いた固体蓄熱システムの耐久性やコストに関する研究が行われている。コンクリート・セラミック躯体中に配管により熱媒を通し、熱交換を行うもので、本システムの第一のメリットは、安価なコンクリートやセラミックを使用すること、ハンドリングが容易なこと等からコストを削減できる点にある。課題は、固体媒体と熱媒間の熱交換効率の向上である。

ドイツ航空宇宙センターはスペイン南部のプラントにおいて実証試験を行い、耐久性、ハンドリング性、強度を確認している。現在、最適な躯体形状や配管方式について研究を進めており、さらなる熱交換効率の向上、低コスト化が図られている。

<sup>15</sup> NREL ホームページ ([http://www.nrel.gov/csp/troughnet/thermal\\_energy\\_storage.html](http://www.nrel.gov/csp/troughnet/thermal_energy_storage.html)) をもとに取りまとめ。

<sup>16</sup> Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA)

<sup>17</sup> 異なる種類の塩を混合した熔融塩。塩の種類や混合比により融点が異なる。

<sup>18</sup> German Aerospace Center (<http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-13/>)

図表 5.27 コンクリート蓄熱システム（ドイツ航空宇宙センター実験設備）



出典：NREL ホームページ ([http://www1.eere.energy.gov/solar/thermal\\_storage.html](http://www1.eere.energy.gov/solar/thermal_storage.html))

### ③ 潜熱蓄熱材（相変化蓄熱）

潜熱蓄熱材（PCM：Phase Change Materials）は比較的小容量で大きな熱エネルギーを蓄えられるため、蓄熱コストを削減できるというメリットがある。これまでの検討の結果、潜熱蓄熱材と熱媒間の熱交換に係る熱力学的問題や潜熱蓄熱材の耐用年数の不確実性等の課題が残されている。

最近では、ドイツ航空宇宙センターが DSG システム（P276 参照）における潜熱蓄熱材の適用可能性について評価し、その有用性を確認している。また、潜熱蓄熱材を挟んで熱交換効率を向上させるグラファイト膜を開発し、研究室レベルで実用可能性を実証している。

## (2) 高温蓄熱技術・熱流体の高温化

太陽熱発電のコスト競争力の強化にあたっては、発電効率の向上が重要である。発電効率の向上にはタービン入口温度の高温化が有効であり、高温の蒸気を生成するため、高温蓄熱技術、熱流体の高温化が重要課題となっている。

具体的には、高温レシーバや、高性能集光制御システム、DSG システム、高効率集熱管、高効率熱伝導流体、高反射集光ミラー等が技術開発項目に挙げられる。なお、蓄熱温度の高温化は蓄熱システムのコンパクト化につながるため、設備費の削減にも貢献する。

### ① 高温レシーバ

今後のさらなる蓄熱温度・熱流体温度の高温化に向けて、高温域に対応できる高温レシーバ（集熱器）の技術開発が必要とされている。ドイツに 2009 年に完成した Jülich 実証プラント（タワー型）では、タワー上部の集熱器に多孔質セラミックが採用されている。集熱器を通った空気は 700℃まで昇温され、蒸気を生成し、蒸気タービンを回して発電する。

高温レシーバは、太陽熱発電の性能を左右する重要技術の一つであり、海外企業に遅れを取らないよう、早急に技術開発を開始する必要がある。

図表 5.28 Jülich 実証プラント（タワー部分）

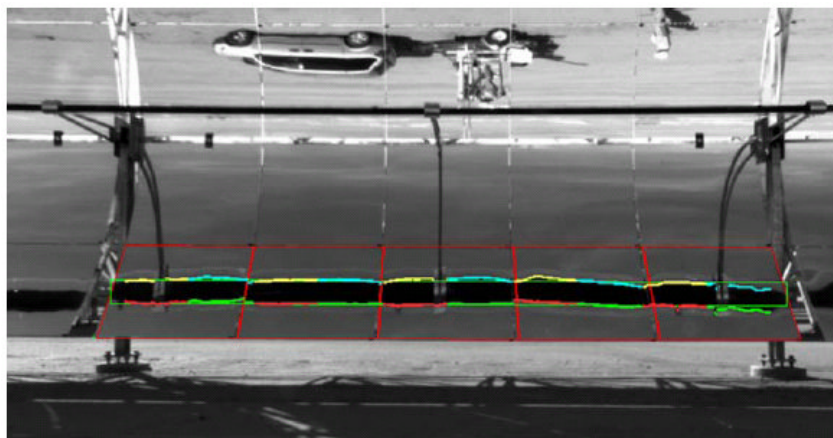


出典：ドイツ航空宇宙センターホームページ  
([http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-1/86\\_read-19289/](http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-1/86_read-19289/))

## ② 高性能集光制御システム

熱流体の高温化には、高性能集光制御システムが重要となる。現在米国のサンディア国立研究所において TOP アライメント法（TOP：Theoretical Overlay Photographic Technology）が開発されている。これは、複数のカメラで撮影された集光ミラーの実画像と、理論的に導き出された完全に調節された状態の集光ミラーの理論画像を重ねることにより、集光ミラーがあるべき最適な位置を割り出す技術である（図表 5.29）。

図表 5.29 TOP アライメント法



出典：“Current Status of TOP Alignment”（サンディア国立研究所、Parabolic Trough Workshop2007 資料）

## ③ DSG システム

高温の蒸気や空気を生成するため、DSG（Direct Steam Generation）システムの導入が進められている。DSG システムとは、集熱管および集熱器で直接蒸気を生成するシステムで、熱交換器を介さないため、熱流体のさらなる高温化が可能となる。

また DSG システムは、熱交換器を必要としないことから、システム構造のスリム化により設備費を削減できることも大きな利点の一つである。トラフ型における DSG システムの実証試験

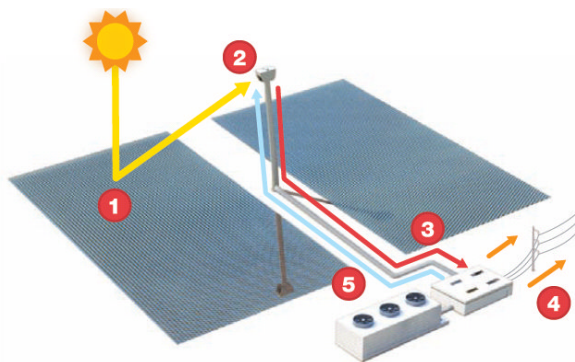
を行っている Ciemat<sup>19</sup>およびドイツ航空宇宙センターによると、トラフ型の DSG システムではシステム価格の 15%削減、発電量の 15%増加が可能と報告されている<sup>20</sup>。

油を熱媒とする一般的なトラフ型太陽熱発電システムは、集熱部において熱媒を約 390℃近くまで加熱し、約 370℃の蒸気を作り蒸気タービンを回す。一方、DSG システムが導入された場合、集熱部において直接蒸気を作るため、油熱媒による発電システムよりも高い約 400℃の蒸気で蒸気タービンを回すことができ、発電効率の向上につながる。

フレネル型は DSG システムが採用されており、トラフ型より高温の蒸気（約 480℃）を得られることから、タービン効率の向上が期待されている。

タワー型においても、近年 DSG システムの導入が進んでいる。米国の eSolar 社や BrightSource 社のシステムは、DSG により 540～550℃の高温蒸気の生成が可能とされており、プラントの構成も非常にシンプルであるため、コスト競争力にも優れている。

図表 5.30 eSolar 社のタワー型プラント（46MW）



- ① ヘリオスタットによりタワー上部に集光
- ② タワー上部の集熱器にて蒸気を生成
- ③・④ 蒸気をタービンに送り、発電
- ⑤ 蒸気は復水器で凝縮後、再びタワー上部に送られる

出典：eSolar 社資料

#### ④ 高効率集熱管、高効率熱媒等

トラフ型に用いられる集熱管について、例えば米国の国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)<sup>21</sup>では、95%の日射吸収率により熱媒の温度を安定的に 500℃に保つ高効率熱吸収材料や、熱損失の少ない集熱管の開発が行われている。

熱媒は、トラフ型において合成油、タワー型においては空気や水（蒸気）、熔融塩、ディッシュ型において水素・ヘリウム等が用いられている。これらの既存熱媒の性能を超えるものとして、硝酸塩流体やナノ流体等の研究開発が行われている。

<sup>19</sup> エネルギー・環境・科学技術研究センター。スペインの研究機関。

<sup>20</sup> 現在 Ciemat とドイツ航空宇宙センターにより、5MW 実証プラントの準備が進められている、

<sup>21</sup> The National Renewable Energy Laboratory、米国エネルギー省に属する研究開発機関。

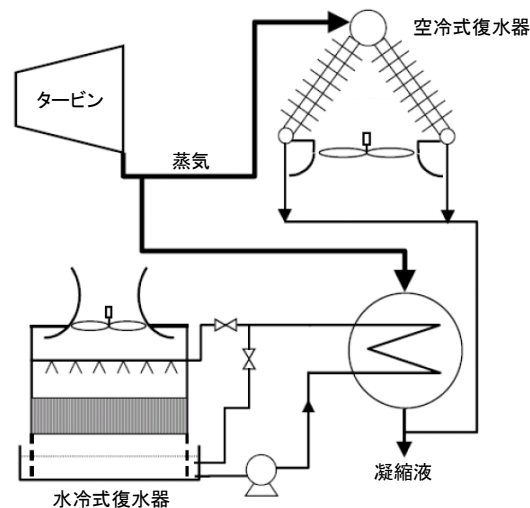
### (3) 空冷式熱交換器の低コスト化・高効率化

蒸気の復水器に水冷式熱交換器を用いる太陽熱発電プラントでは、冷却水（約 90%）、タービン駆動用蒸気（約 8%）、集光ミラーの洗浄（約 2%）に水が消費され<sup>22</sup>、冷却水の使用量は平均してトラフ式において約 3,000L/MWh、タワー式において約 2,000L/MWh にのぼる<sup>23</sup>。しかし、日射ポテンシャルの高い地域は概して賦存量に乏しいことから、必要水量を確保しようとすると遠隔地からの水輸送等が必要となる。従って、十分な水量が得られない地域においては、空冷式熱交換器を採用せざるを得なくなる。

しかし、空冷式は非常に大きな熱交換器を必要とするため設備費がかかること、熱交換効率が悪く発電量が減少すること等から、結果的に 2~10% のコスト増につながるという分析結果も出ている<sup>24</sup>。そこで、空冷式熱交換器の高効率化・低コスト化、および空冷式と水冷式のハイブリッド方式が検討されている。

なお、米国では太陽熱発電プラントの取水量に対する規制が厳しくなる傾向にある。コスト面に加えて法的に空冷式の導入が強化される可能性がある。

図表 5.31 空冷式/水冷式 ハイブリッド方式



出典：“Reducing Water Consumption of Concentrating Solar Power Electricity Generation”（2001, DOE）より作成

なお、太陽熱発電の運用・管理方法は既存の蒸気発電プラントと類似しており、発電部分に要する人員・労務は大差ないが、集光・集熱部分の定期的な洗浄等が必要となる。これまでの運転実績より、特に夏期において週 1 回程度のこまめな洗浄が必要であることが分かっているが、夏期は豊富な日射により発電量が増えるため、洗浄コストは相殺されると言われている。冬期は数ヶ月に 1 回程度の洗浄でよいとされている<sup>22</sup>。

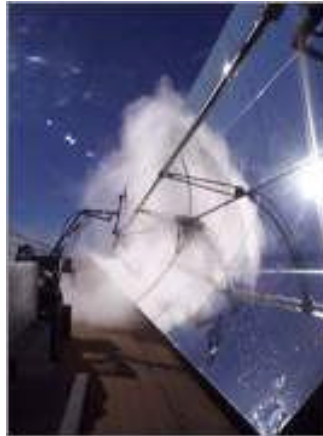
<sup>22</sup> NREL ホームページ ([http://www.nrel.gov/csp/troughnet/power\\_plant\\_systems.html](http://www.nrel.gov/csp/troughnet/power_plant_systems.html))

<sup>23</sup> “Technology Roadmap Solar photovoltaic energy” (2010, IEA)

<sup>24</sup> “Concentrating Solar Power Commercial Application Study : Reducing Water Consumption of Concentrating Solar Power Electricity Generation” (DOE)



図表 5.32 脱塩水による集光ミラー洗浄システム



出典：NREL ホームページ (<http://www.nrel.gov/csp/troughnet/>)

#### (4) 設備費の削減

太陽熱発電のコスト競争力の強化にあたっては、設備費の削減が重要である。設備費の削減に係る技術課題として、材料の低コスト化、要素部材の大量生産による量産効果等が挙げられる。要素部材の中では、1 プラントにつき数百～数千ユニット規模で使用されている、集光ミラーやヘリオスタットのコストダウンが有望とされている。図表 5.33 にトラフ型プラント（50MW、7 時間蓄熱システム）のコスト内訳を示す。集光・集熱部分の設備費全体に占める割合は 35%と大きく、コストダウンが進めば発電コストの削減に大きく寄与する。

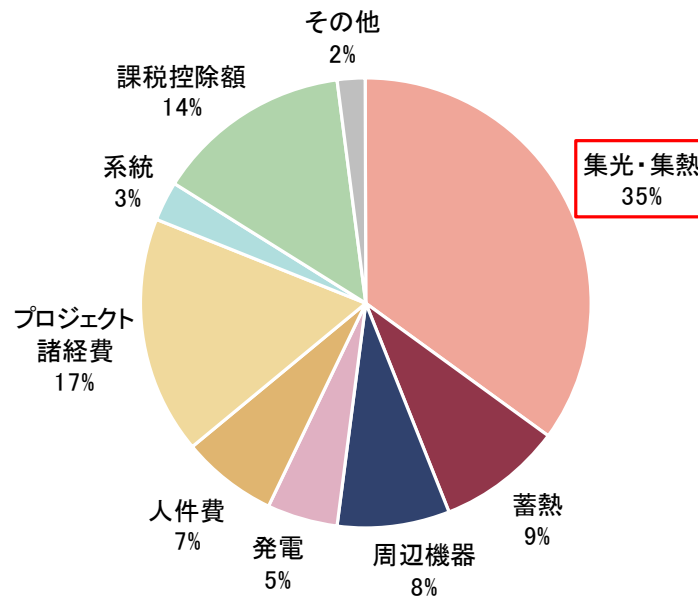
米国のサンディア国立研究所は、ヘリオスタットの価格が 1 万円/m<sup>2</sup>を下回ると、既存電源の発電コストと競争力を持つと分析している（図表 5.34）。また、ヘリオスタット価格は生産率に大きく依存し、年間の生産量が 5,000 機/年（出力 60MW 相当）から 50,000 機/年（出力 600MW 相当）になった場合、約 20%のコストダウン（164 円/m<sup>2</sup>⇒126 円/m<sup>2</sup><sup>25</sup>）が見込まれるとしている<sup>26</sup>。

現在、使用ガラスの薄膜化、ガラス代替材料の開発等、材料の低コスト化に向けた技術開発が進められていること、多くのプラント建設計画があり量産化効果が見込まれることから、今後のコストダウンが期待されている。

<sup>25</sup> 2006 年時点の推定価格。

<sup>26</sup> “Heliostat Cost Reduction Study” (2007, Sandia National Laboratories)

図表 5.33 トラフ型プラントのコスト内訳 (50MW, 7時間蓄熱システムの場合)



出典：“Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA) より作成

図表 5.34 ヘリオスタット価格による発電コストの変化

ヘリオスタット価格	発電コスト (タワー型/熔融塩蓄熱システム)
8,000 円/m <sup>2</sup>	5.4 円/kWh
10,000 円/m <sup>2</sup>	5.9 円/kWh
15,000 円/m <sup>2</sup>	7.3 円/kWh
20,000 円/m <sup>2</sup>	8.7 円/kWh

1 ドル=100 円として換算

出典：“Heliostat Cost Reduction Study” (2007, Sandia National Laboratories)

## 5.1.6 システム価格・発電単価等

### (1) 現状のコスト

図表 5.35 に太陽熱発電のコスト（実績値、試算値）を示す。トラフ型は商用プラントの導入実績が最も多いため、各種文献のコストの実績値、試算値はトラフ型をベースにしたものが多い。タワー型、ディッシュ型については導入実績が少なく、コスト試算が難しいこと、また今後の技術開発によりコスト低減が見込まれることから、現在示されている数字の精度については留意が必要である。

トラフ型のシステム価格は、概ね 40～90 万円/kW 程度の水準にあり、設置場所や、プラント緒元、人件費等により異なる。システム価格はプラント規模が大きくなるほど安価になり、例えば 50MW から 200MW のスケールアップにより、20%の削減が可能と見込まれている。また、DSG システムを採用した場合はシステム価格を 15%削減可能との報告もあり（P276 参照）、今後 10 年間で 30～40%の削減ポテンシャルがあると考えられている<sup>27</sup>。

タワー型のシステム価格は、一般的にトラフ型より高いとされるが、ヘリオスタット等の量産化や、システム運用の最適化、産業の成熟により、将来的に 40～75%の削減ポテンシャルが期待されている<sup>27</sup>。また、タワー型は発電効率が低いことから<sup>28</sup>、発電コストにおいて相殺されると考えられる。

発電コストは、立地場所の日射条件に大きく左右されるが、トラフ型において概ね 13～30 円/kWh 程度の水準にある。なお、技術の向上や運転の最適化により、年々発電コストは減少している。米国の SEGS プラント（1～9 号機、トラフ型）では、1 号機の発電コストは 0.44 ドル/kWh（44 円/kWh）であったが、9 号機では 0.17 ドル/kWh（17 円/kWh）まで削減されている<sup>29</sup>。

小規模のディッシュ型を除き太陽熱発電プラントは巨額の初期投資を必要とするが、約 20 年の償却期間を過ぎれば運用・管理コスト（現在約 3 円/kWh 程度<sup>29</sup>）のみとなる。米国の SEGS III～VII プラントでは、初期のプラントと比較して運用・管理コストが 30%削減されたと報告されている<sup>30</sup>。

<sup>27</sup> “Technology Roadmap Concentrating Solar Power”（2010, IEA）

<sup>28</sup> トラフ型の発電効率は 15%程度であるのに対し、タワー型は 20～35%の発電効率が見込まれている（P257 参照）。

<sup>29</sup> “Concentrating Solar Power Global Outlook 2009”（SolarPACES, ESTELA, Greenpeace）

<sup>30</sup> “Solar PACES Annual Report 2008”（IEA）

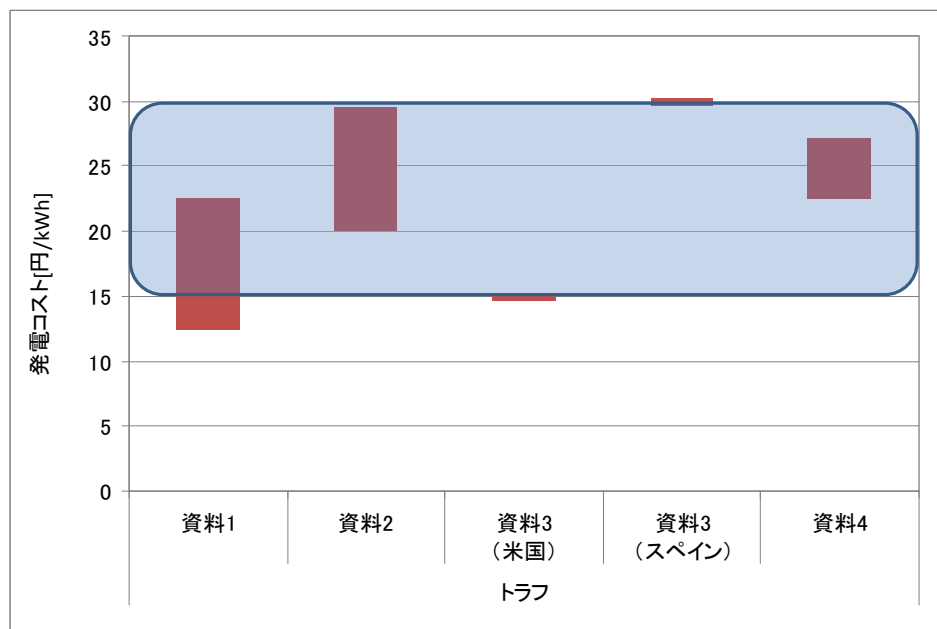
5 太陽熱発電の技術の現状とロードマップ

図表 5.35 太陽熱発電のシステム価格・発電コスト

タイプ		システム価格 [万円/kW]	発電コスト [円/kWh]	備考	出典
1	トラフ	40～90	12.5～22.5	プラントサイズ： 50～500MW	Energy Technology Perspectives 2008 (IEA) 及び Deploying Renewables - Principles for Effective Policies (2008,IEA)
	タワー	90～		プラントサイズ：10MW	
	ディッシュ	100～	—	プラントサイズ：100kW	
2	トラフ	42～84	20～29.5	大規模トラフ型プラントにおける価格	Technology Roadmap Concentrating Solar Power (2010, IEA)
3	トラフ	—	15	米国における実績値	Concentrating Solar Power Global Outlook 2009 (SolarPACES, ESTELA, Greenpeace)
		—	～30	スペインにおける実績値	
4	トラフ	37	22.5～27.2	発電容量：250MW	Comparative Costs of California Central Station Electricity Generation (2010, California Energy Commission)

※1 ドル=100 円、1 ユーロ=130 円として換算。

図表 5.36 太陽熱発電の発電コスト（トラフ型）



資料番号は図表 5.35 に対応

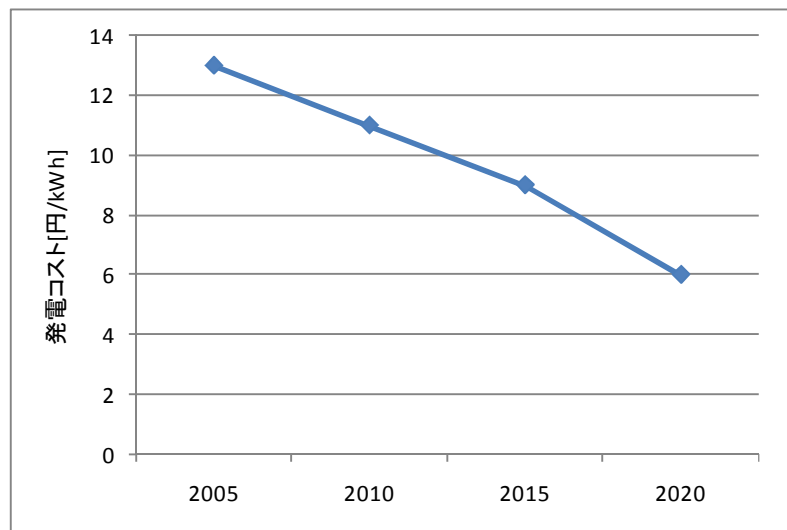
## (2) 将来のコスト目標・見通し

EU や米国、IEA は、太陽熱発電の将来のコストについて、積極的な目標・見通しを掲げている。

EU は、「欧州エネルギー技術戦略計画」(SET-Plan)<sup>31</sup>の技術ロードマップにおいて、2020 年までに 2009 年時点の最先端の商用プラントと比較して、システム価格及び運用・保守管理費を 20%以上削減する目標を掲げている。

米国 DOE は、太陽熱発電の技術開発プログラムにおいて、2015 年にはミドル電力として、2020 年にはベース電力として、既存電力と競争力を持つことを想定しており、2015 年に 8~10 円/kWh、2020 年には 5~7 円/kWh の意欲的なコスト目標を掲げている (図表 5.37)。

図表 5.37 米国における太陽熱発電コストの目標



年	発電コスト	蓄熱	発電種類
2005 年	12~14 円/kWh	-	-
2010 年	10~12 円/kWh	-	-
2015 年	8~10 円/kWh	6 時間	ミドル電力
2020 年	5~7 円/kWh	12~17 時間	ベース電力

※1 ドル=100 円、1 ユーロ=130 円として換算。

出典：Multi Year Program Plan 2008-2012 (2008, DOE) より作成

また IEA は、2010 年に発表した太陽熱発電の技術ロードマップ<sup>32</sup>の中で、2020 年にミドル電源として、2030 年にはベース電源として既存電力と競争力を持つことを想定し、2020 年までの 10 年間で発電コストを半分に、また 2030 年までにさらにその約半分になる見通しを示している。

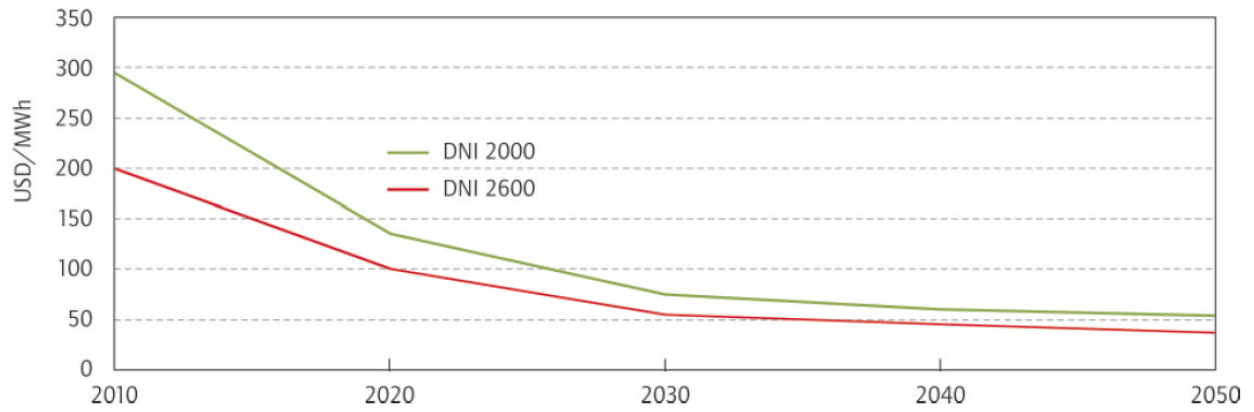
<sup>31</sup> 低炭素化社会の早期実現に向けて、EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発及び普及を加速させることを目的とした EU の技術開発戦略。詳細は 5.1.7 節を参照のこと。

<sup>32</sup> “Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)

5 太陽熱発電の技術の現状とロードマップ

る（図表 5.38）。これは、平均習熟度を 10%（累積導入量が 2 倍になった場合にシステム価格が 10%削減される）とし、各種技術開発が推進されることを前提としている。

図表 5.38 IEA 技術ロードマップにおける発電コストの見通し



DNI 2000：直達日射量 2000kWh/m<sup>2</sup>/年が得られる地域

DNI 2600：直達日射量 2600kWh/m<sup>2</sup>/年が得られる地域

出典：“Technology Roadmap Concentrating Solar Power”（2010, IEA）

## 5.1.7 推進施策・関連法令

### (1) 欧州

EU の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 5.39 に示す。EU は、エネルギーセキュリティ、化石燃料依存からの脱却、社会的・経済的団結等を背景に、地球温暖化対策に係る野心的な目標を掲げ、積極的な環境・エネルギー政策を打ち出してきた。近年の動向として、再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令、欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)、フィードインタリフ制度について詳述する。

図表 5.39 欧州における主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
再生可能エネルギー白書 <sup>33</sup> (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに EU 内のエネルギー消費量の 12% を再生可能エネルギーで賄う目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成に向けた行動計画を策定。</li> </ul>
再生可能電力推進に関する欧州指令 <sup>34</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに電力供給量の 21% を再生可能エネルギーでまかなう目標を設定。</li> <li>加盟各国に示唆的目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成は困難な見通し (2010 年までに 19% の達成見込み)。</li> </ul>
バイオ燃料促進に関する欧州指令 <sup>35</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75% をバイオ燃料で代替する目標を設定 (法的拘束力なし)。</li> <li>目標達成は困難な見通し。</li> </ul>
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 <sup>36</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能電力推進に関する指令とバイオ燃料促進に関する指令を修正、廃止する新たな指令。</li> <li>2020 年までに EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20% にする目標を設定。</li> <li>2020 年までに運輸部門における再生可能エネルギーの割合を 10% にする目標を設定。</li> <li>各国に法的拘束力のある目標値を設定。</li> </ul>
欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発及び普及を加速させることを目的とする。</li> <li>欧州産業イニシアティブとして、低炭素化に資する 6 つの有望技術 (風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂) に関するイニシアティブを提案。</li> </ul>

<sup>33</sup> COM(1997)599 “Energy for the Future: Renewable Sources of Energy”

<sup>34</sup> Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market

<sup>35</sup> Directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport

<sup>36</sup> Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

	<ul style="list-style-type: none"> <li>各イニシアティブについて技術ロードマップを提示。 (2010年3月、欧州理事会により承認)</li> </ul>
フィードインタリフ制度 (Feed-in tariff)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギーの買取価格 (tariff) を法律で定め、一定期間の買取りを保障する制度。</li> <li>ドイツ、スペイン等で太陽光発電が爆発的に普及する起爆剤となった。</li> </ul>

### 1) 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令

2007年3月、欧州理事会は、EUの地球温暖化対策として以下4項目について合意した。

- 2020年までに、EU全体の温室効果ガス排出量を1990年比で少なくとも20%削減する。
- 2020年までに、EU全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を20%に引き上げる。
- 2020年までに、各国の輸送用燃料におけるバイオ燃料の比率を10%に引き上げる。
- 新規化石燃料発電所へのCO<sub>2</sub>回収・地中貯留 (CCS) システムの設置に向け、各国間で協力して技術開発、法的枠組み作り等を進める。

再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令は、上記4項目のうち2)と3)を達成するための手段や国別目標値を具体化したもので、再生可能電力推進に関する欧州指令(2001)とバイオ燃料促進に関する欧州指令(2003)を修正、廃止する指令である。

図表 5.14 に EU 加盟各国における 2020 年時点の再生可能エネルギー比率の目標値を示す。本指令は「2020年までに20%」という目標を達成するために、法的拘束力のある目標値を加盟各国に課している。国別目標値の設定にあたっては、再生可能エネルギーに関する各国の状況や経済力等が考慮されている。

図表 5.40 EU 加盟国の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率の経年変化と 2020 年目標値 (再掲)

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%



	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES” (2008, BMU)、  
Directive 2009/28/EC より作成

## 2) 欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)

欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan) は、低炭素化社会の早期実現に向けて、EU 全体で共同し、低炭素化技術の研究開発及び普及を加速させることを目的とした EU の技術開発戦略である。欧州産業イニシアティブ (European Industrial Initiatives : EII) として、低炭素化に資する 6 つの有望技術 (風力発電、太陽光・太陽熱発電、バイオエネルギー、CCS、電力系統、持続可能な核分裂) に関するイニシアティブが設置されている。2009 年 7 月にはそれぞれの技術について技術ロードマップ<sup>37</sup>が提示され、2010 年 3 月に欧州理事会により承認された。

技術ロードマップでは、再生可能エネルギーについて、以下の目標が掲げられており、太陽熱発電については、2020 年までに EU の発電電力量の 3% を太陽熱発電でまかなう、としている。

- 2020 年までに EU の発電電力量の 20% を風力発電でまかなう
- **2020 年までに EU の発電電力量の 15% を太陽光由来の電力 (太陽光発電 : 12%、太陽熱発電 3%) でまかなう**
- 2020 年までに少なくとも EU のエネルギー供給 14% を、コスト競争力および持続可能性のあるバイオエネルギーでまかなう

<sup>37</sup> “A TECHNOLOGY ROADMAP for the Communication on Investing in the Development of Low Carbon Technologies (SET-Plan)” (2009, EC)

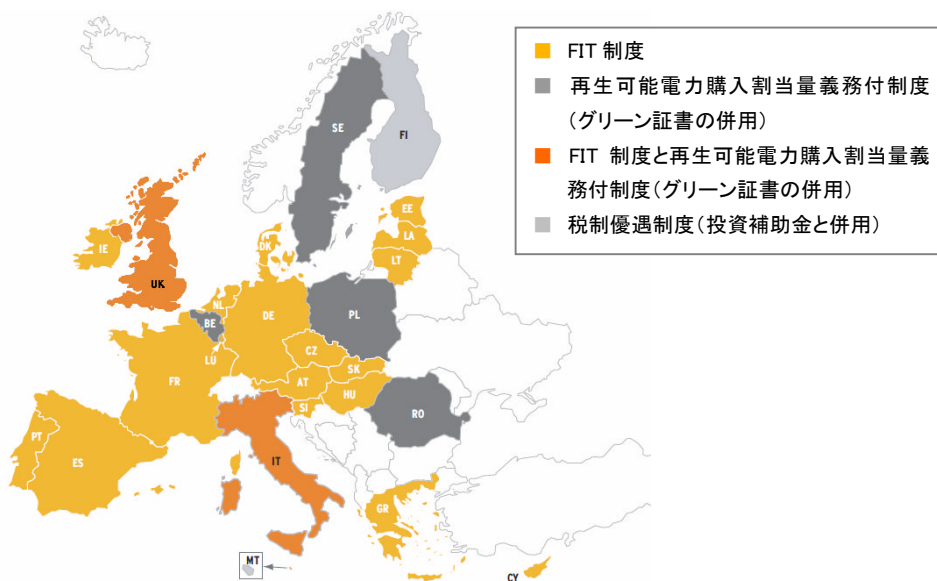
### 3) フィードインタリフ制度

フィードインタリフ制度とは、再生可能エネルギーの買取価格（tariff）を法律で定める方式の助成制度で、一定期間の買取りを保障する制度である。買取価格は年を経るごとに低減される仕組みになっており、早期に事業を開始した方が有利となる。再生可能電力を通常の電気料金よりも高い価格で安定的に購入してもらえるため、再生可能電力事業者にとって大きなインセンティブとなっている。ドイツではフィードインタリフ制度により太陽光発電の買取価格を他のエネルギーよりも高く設定したことから、累積導入量は 2005 年に日本を抜いて世界第 1 位となった。

欧州では、多くの国で FIT が採用されており、2009 年末時点で採用国数は約 20 カ国に及ぶ。しかし買取価格は国によって差があり、制度設計上の問題等から、全ての国でドイツのような爆発的な再生可能エネルギーの普及が進んでいるわけではない。また、スペインでは増大する固定価格買取発電量に対して電力需要家の負担軽減を図るため、エネルギー源別に累積導入量の上限を設定し、上限に達したエネルギー源の買取価格を見直す条項を設定するなど、制度の適切な運用に向けた見直しが進んでいる。

太陽熱発電については、フランス、スペイン、イタリアにおいて、図表 5.42 に示す買取価格が設定されている。

図表 5.41 欧州における再生可能エネルギー支援施策



出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES”（2009, BMU）より作成

図表 5.42 太陽熱発電の買取価格

国名	買取価格	導入年
フランス	30 ユーロセント/kWh	2006
スペイン	27 ユーロセント/kWh（25 年間固定買取）	2007
イタリア	22～28 ユーロセント/kWh	2008

出典：“Concentrating Solar Power Global Outlook 2009”（SolarPACES, ESTELA, Greenpeace）

## (2) 米国

### 1) 連邦レベルの推進施策・関連法令

連邦レベルの主要な推進施策・関連法令を図表 5.43 に示す。世界第 1 位の CO<sub>2</sub> 排出国として、米国の地球温暖化対策推進の必要性が高まる中、オバマ政権の発足に伴い、グリーンニューディールという政策方針のもとで再生可能エネルギーの導入普及に向けた動きが加速している。

図表 5.43 連邦レベルの主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
2005 年エネルギー政策法 <sup>38</sup> (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 包括的なエネルギー法案。エネルギーインフラの強化、エネルギー効率の向上、再生可能エネルギーの利用拡大、在来型燃料の国内増産等を掲げる。</li> <li>• 再生可能エネルギーについては、再生可能燃料基準 (RFS)<sup>39</sup>を導入した他、政府機関の再生可能電力比率を 7.5%に引き上げる目標を設定。また、各種インセンティブ制度を認可・拡充。</li> </ul>
ITC (投資課税控除) (Federal Business Investment Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。</li> <li>• 太陽光発電の控除率は 30%。</li> </ul>
PTC (生産税控除) (Renewable Energy Production Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。</li> <li>• 条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。</li> <li>• 太陽光発電は対象外。</li> </ul>
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2009 年 2 月に成立した米国経済再生法により、米国財務省による本助成制度を創設。</li> <li>• 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。</li> </ul>
MACRS (修正加速度償却法) (Modified Accelerated Cost-Recovery System)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。</li> <li>• 太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。</li> </ul>

出典：各種資料より作成

<sup>38</sup> Public Law 190-58, Energy Policy Act of 2005, Aug. 2005

<sup>39</sup> 再生可能燃料基準 (Renewable Fuel Standard)。自動車用燃料等へのバイオ燃料の使用を義務付けるもの。

### ① 2005 年エネルギー政策法<sup>40</sup>

2005 年エネルギー政策法（Energy Policy Act of 2005）は、1992 年に成立した「1992 年エネルギー政策法」を踏まえ、より包括的なエネルギー法案として策定された。「エネルギー効率」「再生可能エネルギー」「石油・天然ガス」「石炭」「原子力」「自動車・燃料」「調査・研究開発」等、エネルギーに係る各種項目について、既存の法律の改正、各種インセンティブ制度の策定等が実施されている。

再生可能エネルギーに関しては、連邦政府に対して一定量の再生可能エネルギー由来の電力の買取を義務付けたほか、PTC（生産税控除）や ITC（投資課税控除）等の各種インセンティブ制度を認可・拡充している（PTC、ITC については後述）。特に ITC については、同法により、商業用太陽光発電システムの税控除率が 10%から 30%に大幅に拡充された。

- 連邦政府に対する再生可能電力買取りの義務付け（2013 年までに 7.5%）。
- 再生可能燃料基準（RFS）の導入。2012 年に年間 7.5 ガロンの目標を設定。
- 再生可能エネルギーに係る各種インセンティブの延長・拡充。
  - PTC（生産税控除）の期限を延長
  - 住宅用太陽光システム・燃料電池について 30%の ITC（投資課税控除）を創設
  - 商業用太陽光システムの ITC による税控除額を 10%から 30%に引き上げ

### ② 各種インセンティブ制度

太陽熱発電に関連する連邦政府による主要なインセンティブ制度には以下が挙げられる。各制度の詳細を図表 5.45 に示す。なお、PTC については、現状では太陽熱発電は制度の対象外であるが、再生可能エネルギーの導入量に与える影響の大きい重要なインセンティブ制度である。風力発電の導入量は、PTC の延長の有無に大きな影響を受けている（図表 5.44）。

- ITC（Federal Business Investment Tax Credit：投資課税控除）
  - ◇ 1992 年のエネルギー政策法（Energy Policy Act）により創設。
  - ◇ 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。
  - ◇ エネルギー改善・延長法<sup>41</sup>により、太陽エネルギー利用設備、燃料電池、マイクロタービンに係る課税控除が 2016 年まで延長された。また、小型風力発電システム、地中熱ヒートポンプ、CHP が対象エネルギーに追加された。
- PTC（Renewable Energy Production Tax Credit：生産税控除）
  - ◇ 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。
  - ◇ 太陽光発電は対象外。

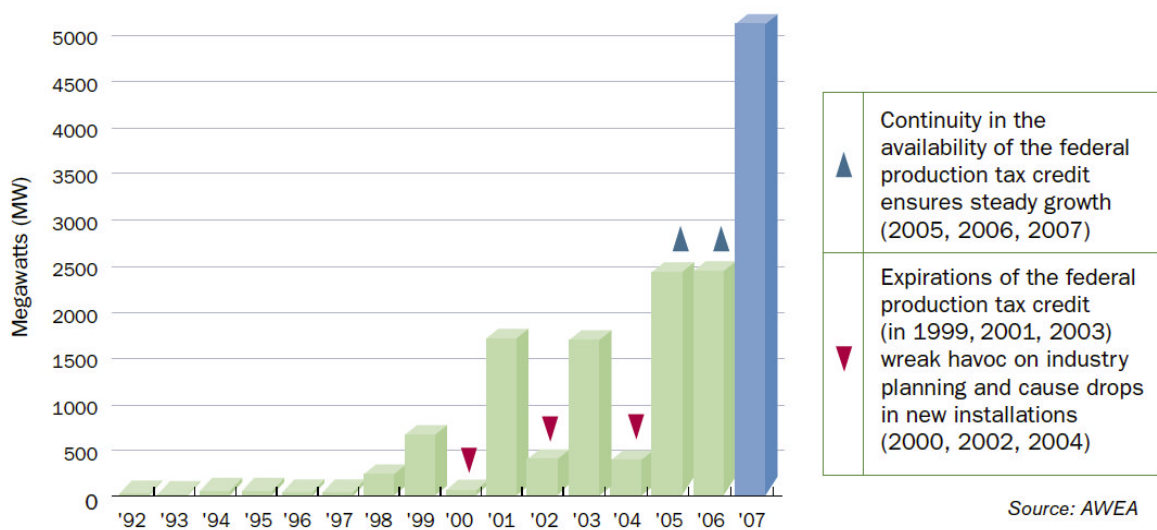
<sup>40</sup>“Energy Policy Act of 2005: Summary and Analysis of Enacted Provisions”(Mar. 2006, CRS)、米国総務省資料、Pew Center on Global Climate Change ウェブサイト

<sup>41</sup> Energy Improvement and Extension Act of 2008、金融危機対策関連法案（Public Law 110-343）の一つ。再生可能エネルギー、CO2 回収・除去技術、エコカー・バイオ燃料、省エネ機器等に係る各種インセンティブが延長、拡充された。

◇ 米国経済再生法<sup>42</sup>により風力発電の控除期間が 2012 年末に延長された。

- Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)
  - ◇ 米国経済再生法により創設。
  - ◇ 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。
- Modified Accelerated Cost-Recovery System (MACRS) (修正加速度償却法)
  - ◇ 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。
  - ◇ 太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。

図表 5.44 PTC の延長と風力発電の発電容量 (新規増設分) の経年変化



▲は PTC の税控除期限が延長された年、▼は PTC の税控除期限が切れた年を表している。期限が延長された年は導入量が大きく伸びているのに対し、期限が切れた年は導入量が大きく減少しており、PTC が風力発電設備導入に与えている影響の大きさが分かる。

出典：“Wind Power Outlook 2008” (AWEA)

<sup>42</sup> American Recovery and Reinvestment Act、2008 年末の金融危機対策として 2009 年 2 月に成立。各種経済刺激策に加え、科学技術、環境保護、各種インフラへの投資、州や地方政府の財政安定化策等が盛り込まれている。

図表 5.45 連邦政府の主要な再生可能エネルギー支援施策

施策名	対象セクター	対象システム	インセンティブ	期限
ITC (投資課税控除)	商業、産業、電気事業	太陽熱利用、 <u>太陽熱発電</u> 、太陽光発電、風力、バイオマス、地熱発電、燃料電池、小型風力発電、地熱利用、マイクロタービン、CHP 等	<控除率> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 30% : 太陽熱利用、太陽光発電、燃料電池、風力発電</li> <li>● 10% : 地熱利用、マイクロタービン、CHP</li> </ul>	2016/12/31
PTC (生産税控除)	商業、産業	風力発電、バイオマス、地熱発電、埋立地ガス発電、廃棄物発電、水力発電、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電等 <u>※太陽光発電、太陽熱発電は対象外</u>	<控除額> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 風力 : 2.1 ¢ /kWh</li> <li>● 閉鎖系バイオマス、地熱 : 2.1 ¢ /kWh</li> <li>● 開放系バイオマス、埋立地ガス、廃棄物、水力、海洋エネルギー : 1.0 ¢ /kWh</li> </ul>	2013/12/31
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	商業、産業、農業	太陽熱利用、 <u>太陽熱発電</u> 、太陽光発電、燃料電池、小型風力発電、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス、廃棄物、地中熱ヒートポンプ、マイクロタービン、CHP、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電等	<助成率> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 固定資産の 30% : 燃料電池、太陽エネルギー関連設備、小型風力、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス</li> <li>● 固定資産の 10% : その他対象エネルギー</li> </ul>	2011/10/1
MACRS (修正加速度償却法)	商業、産業	太陽熱利用、 <u>太陽熱発電</u> 、太陽光発電、埋立地ガス、風力発電、バイオマス、再生可能燃料(運輸用)、地熱発電、地熱利用、燃料電池、廃棄物利用、CHP、マイクロタービン等	<償却期間> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 5年 : 太陽熱利用、太陽光、地熱発電、風力発電、燃料電池、マイクロタービン</li> <li>● 条件を満たす設備については、初年度 50%のボーナス償却を利用できる。</li> </ul>	2009/12/31

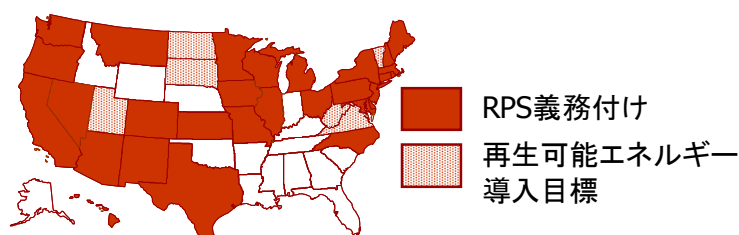
出典 : DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org>) より作成

## 2) 州レベルの推進施策・関連法令

州レベルの主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令としては、RPS法が挙げられる。

2.1.3 節にして述べたとおり、米国では 29 の州政府と DC 政府<sup>43</sup>が州独自の RPS 法を策定しており、電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーでまかなうことを義務づけている（図表 5.46）。ニューヨーク州を除いて、太陽熱発電が制度の対象となっている。

図表 5.46 州別の RPS 法概要（再掲）



州	目標	達成年
カリフォルニア	20%	2010
オハイオ	25%	2025
イリノイ	25%	2025
ニューヨーク	24%	2013
ペンシルバニア	18%	2020
ニュージャージー	22.5%	2021
ミネソタ	25%	2025
バージニア (※)	15%	2025
ノースカロライナ	12.5%(私営) 10%(公営)	2021 2018
ワシントン	15%	2020
メリーランド	20%	2022
ミズーリ	15%	2021
オレゴン	25%(大規模事業者) 5~10%(小規模事業者)	2025
アリゾナ	15%	2025
ミシガン	10%+1,100MW	2015
ネバダ	25%	2025
マサチューセッツ	15%	2020
コネチカット	23%	2020

州	目標	達成年
カンザス	20%	2020
ウィスコンシン	10%	2015
テキサス	5,880MW	2015
ユタ (※)	20%	2025
コロラド	20%(私営)、10%(公営)	2020
ニューメキシコ	20%(私営)、10%(公営)	2020
ハワイ	40%	2030
ニューハンプシャー	23.8%	2025
モンタナ	15%	2015
デラウェア	20%	2019
ワシントン D.C.	20%	2020
メイン	40%	2017
ノースダコタ (※)	10%	2015
ロードアイランド	16%	2020
バーモント (※)	20%	2017
サウスダコタ (※)	10%	2015
アイオワ	105MW	-

注1：ニューヨーク州のみ太陽熱発電は制度の対象となっていない。

注2：(※)は義務量ではなく、目標量を設定している州。なお、カリフォルニアは2020年までに33%の達成を目標としている。

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

<sup>43</sup> 2010年3月時点。

## (3) 日本

日本の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 5.47 に示す。我が国のエネルギー自給率は極めて低く、「エネルギーの安定供給」は最重要課題の一つであること、また地球温暖化対策への取組みが急務であること等から、これまで多くのエネルギー政策が展開されてきた。ただし、日本においては日射量の制限から太陽熱発電の導入は難しいとされてきたことから、これらの政策における太陽熱発電の位置づけは明確ではない。

以下、エネルギー基本計画、RPS 法、技術戦略マップ、Cool Earth エネルギー革新技术計画について詳述する。

図表 5.47 日本における主要な環境・エネルギー政策

政策名称	概要
エネルギー基本計画（2003） 第一次改定 2007年3月 第二次改定 2010年6月	<ul style="list-style-type: none"> <li>「エネルギー政策基本法」（2002）に基づき策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。</li> <li>2007年に第一次改定、2010年に第二次改定を実施。第二次改定では、2030年までの今後20年程度を視野に入れた具体的施策を明示。</li> <li>再生可能エネルギーについては、2020年までに一次エネルギー供給の10%をまかなう目標を設定。</li> </ul>
電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法：RPS法（2003）	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気事業者に新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。</li> </ul>
新・国家エネルギー戦略（2006）	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー安全保障を軸に、我が国の新たな国家エネルギー戦略を提示。</li> <li>①国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立</li> <li>②エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立</li> <li>③アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献を目標として掲げる。</li> </ul>
技術戦略マップ（エネルギー技術）（2007、毎年更新）	<ul style="list-style-type: none"> <li>新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示。</li> <li>産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的とする。</li> </ul>
Cool Earth エネルギー革新技术計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、</li> <li>①重点的に取り組むべき21の革新技术の選定</li> <li>②21技術の技術ロードマップの提示</li> <li>③国際連携のあり方の提示</li> </ul> <p>を行っている。</p>



<p>京都議定書目標達成計画（2008）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「地球温暖化対策推進法」（1998）に基づき、6%削減約束を達成するために必要な措置を提示。</li> <li>● 再生可能エネルギーについて、太陽光、太陽熱、風力、バイオマス、未利用エネルギー（温度差エネルギー、雪氷熱等）等の導入を促進。</li> </ul>
<p>エネルギー供給構造高度化法（2009）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電気やガス、石油事業者等のエネルギー供給事業者において、非化石エネルギー源の利用拡大、化石エネルギー原料の有効利用を促進することを目的とする。</li> <li>● 電力会社に加え、ガス会社や石油会社にも新エネルギーの利用を義務付け。</li> <li>● 本法律の枠組みの中で、「太陽光発電の固定価格買取制度」を策定。</li> </ul>
<p>太陽光発電の固定価格買取制度（2009年11月）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 太陽光発電の余剰電力を電気事業者が長期に渡り固定価格で買取する制度。日本版フィードインタリフ。</li> <li>● 買取期間は10年間、買取価格は10年間固定。設置年度毎の買取価格は、太陽光発電の価格や普及状況等を踏まえて毎年見直す予定。</li> <li>● 追加的コストは電力消費者全員で負担</li> <li>● 買取価格（平成21年度、22年度）             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 出力10kW未満の住宅用：48円/kWh（自家発併設の場合：39円/kWh）</li> <li>➢ その他の住宅・建築物用：24円/kWh（自家発併設の場合：20円/kWh）</li> <li>➢ メガソーラー、発電事業用：電力会社との相対取引</li> </ul> </li> </ul>

## 1) エネルギー基本計画

国がエネルギー政策を進めるに当たり、「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分考慮した上での「市場原理の活用」を基本方針とすること等を内容とする「エネルギー政策基本法」が2002年6月に制定された。「エネルギー基本計画」は、エネルギー政策基本法に基づき2003年に策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。

本計画は少なくとも3年ごとに検討を加え、必要に応じて改定されることが法定されており、2007年3月に第一次改定、2010年6月に第二次改定が実施された。

第二次改定では、エネルギー政策は、国民や事業者の理解・協力のもと、中長期的な視点で総合的かつ戦略的に推進する必要があるとの考えに立ち、2030年までの今後「20年程度」を視野に入れ、以下の目標の実現に向けた具体的施策を明示している。

- ① 資源小国である我が国の実情を踏まえつつ、エネルギー安全保障を抜本的に強化する

## 5 太陽熱発電の技術の現状とロードマップ

ため、エネルギー自給率（現状 18%）<sup>44</sup>及び化石燃料の自主開発比率（現状約 26%）をそれぞれ倍増させる。これらにより、自主エネルギー比率を約 70%（現状約 38%）とする。

- ② 電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力及び再生可能エネルギー由来）の比率を約 70%（2020 年には約 50%以上）とする（現状 34%）。
- ③ 「暮らし」（家庭部門）のエネルギー消費から発生する CO2 を半減させる。
- ④ 産業部門では、世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図る。
- ⑤ 我が国に優位性があり、かつ、今後も市場拡大が見込まれるエネルギー関連の製品・システムの国際市場において、我が国企業群が最高水準のシェアを維持・獲得する。

再生可能エネルギーについては、2020 年までに一次エネルギー供給に占める割合を 10%に高めることを目標に掲げている。主な再生可能エネルギーとして、太陽光発電、風力発電、地熱発電、水力発電、バイオマス利用、空気熱や地中熱利用、太陽熱利用、雪氷熱利用等を挙げている。

## 2) 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS 法）

RPS 制度（Renewables Portfolio Standard）とは、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」に基づき、エネルギーの安定的かつ適切な供給を確保するため、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付け、新エネルギー等の更なる普及を図るための法制度である。図表 5.48 に新エネルギー等電気の利用目標量を示す。

電気事業者は、義務を履行するため、自ら「新エネルギー等電気」を発電するか、他者から「新エネルギー等電気」を購入、又は「新エネルギー等電気相当量（法の規定に従い電気の利用に充てる、もしくは、基準利用量の減少に充てることのできる量）」を取得することとなる。

新エネルギーとして対象となるのは、風力発電、太陽光発電、地熱発電（熱水を著しく減少させないもの）、水力発電（1000kW 以下のものであって、水路式の発電及びダム式の従属発電）、バイオマス（廃棄物発電及び燃料電池による発電のうちのバイオマス成分を含む）である。

図表 5.48 新エネルギー等電気の利用目標量

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
目標量 (億 kWh)	86.7	92.7	103.8	124.3	128.2	142.1	157.3	173.3
電力会社 10 社の 発受電電力量 (2009 年度) <sup>※1</sup> に 対する割合	0.9%	1.0%	1.1%	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.8%

※1 約 940TWh（電力事業連合会 発受電速報 2009 年度分）

出典：「平成 19 年度以降の 8 年間についての電気事業者による新エネルギー等電気の利用の目標」（2009、経済産業省）

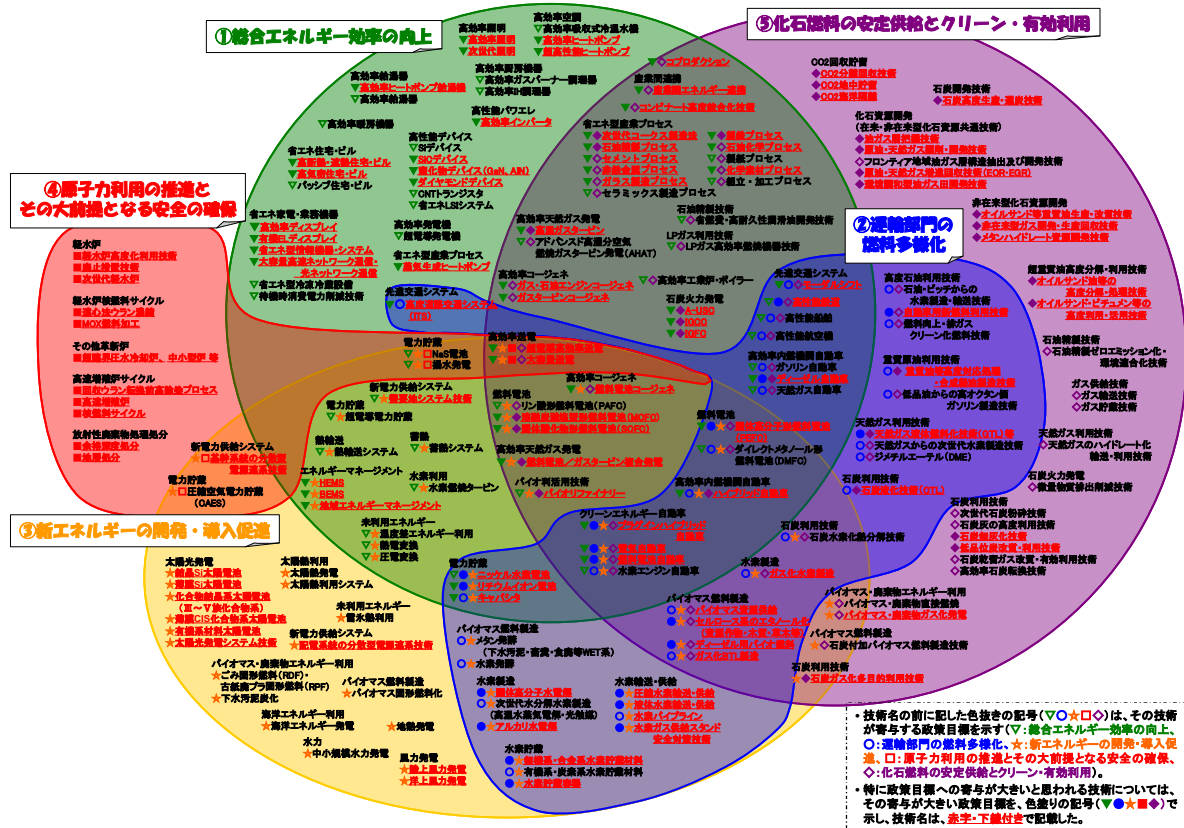
<sup>44</sup> 一次エネルギー国内供給のうち、国産エネルギー（再生可能エネルギー等）及び準国産エネルギー（原子力）の供給の占める割合。OECD 諸国のエネルギー自給率の平均値は約 70%。

### 3) 技術戦略マップ

技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示するものである。産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的としている。技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオ、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、「新・国家エネルギー戦略」(2006)における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・導入促進、④原子力の利用、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出している(図表5.49)。

図表 5.49 エネルギー技術俯瞰図



出典:「技術戦略マップ2010 エネルギー分野」(2009, 経済産業省)

#### 4) Cool Earth エネルギー革新技術計画

「Cool Earth エネルギー革新技術計画」は、2050 年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、①重点的に取り組むべき「21」の革新技術の選定、②「21」技術の技術ロードマップの提示、③国際連携のあり方の提示、を行ったものである。技術の選定にあたっては、以下の要件により絞り込みが行われた。

- (1) 2050 年の世界における大幅な二酸化炭素削減に寄与する技術
  - (a) 技術の普及に要する時間を考慮し、2030 年までには実用化が期待される技術
  - (b) 普及に要する時間が短い技術については、2030 年以降に実用化が期待されるものも対象
- (2) 以下のいずれかの方法を通じて、飛躍的な性能の向上、低コスト化、普及の拡大等が期待できる革新的な技術
  - (a) 新たな原理の活用、既存材料の新活用を含めた材料の革新（例：新構造・新材料太陽電池、燃料電池の白金代替触媒等）
  - (b) 製造プロセスの革新（例：水素を還元材として用いる革新的製鉄プロセス等）
  - (c) 要素技術が確立した技術をシステムとして実証（例：二酸化炭素回収・貯留技術）
- (3) 日本が世界をリードできる技術（要素技術について強みを要する技術を含む）

図表 5.50 に、選定された重点的に取り組むべきエネルギー革新技術を示す。再生可能エネルギーについては、革新的太陽光発電が、発電・送電部門の技術に挙げられている。

なお、2010 年に改定されたエネルギー基本計画を受けて、2010 年度中に「新たなエネルギー革新技術計画」が策定される予定である。

図表 5.50 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術



出典：「Cool Earth エネルギー革新技術計画」（2008，経済産業省）

### 5.1.8 ビジネスモデル

世界のサンベルト地帯において、太陽熱発電は将来の主要電源の一つに位置づけられており、積極的な導入目標・導入見通しが掲げられている。拡大する太陽熱発電市場を見据え、日本の技術力を結集し、海外市場への参入、シェアの拡大、技術的地位の確立を早期に図る必要がある。日本企業の市場展開にあたっては、以下に示すビジネスモデルが考えられる。

#### (1) 既存技術を活用した太陽熱発電プラントの製造・販売

太陽熱発電を構成する要素（集光ミラー、集熱器、発電設備（タービン等）、制御システム等）は、確立されている技術や、日本企業が強みを発揮できる技術が多い。従って短期的には、既存の技術を組み合わせて、技術的に確立されたプラントを製造・販売するビジネスモデルが考えられる。具体的には、現在最も多く導入されているトラフ型太陽熱発電プラントや、日本のタービン技術を活かしたプラントの製造などが挙げられる。技術の組み合わせにあたっては、国内技術の最大活用が重要であり、太陽熱発電に係る技術オプションの整理も必要となる。

出来る限り早期に市場に参入し、導入実績を積み上げることにより、太陽熱発電プラントの建設、運用・管理に関する技術・ノウハウを蓄積するとともに、個々の機器・設備の調達コストの削減、システム全体の最適化・パッケージ化等を図り、国際競争力を養うことが重要である。

本ビジネスモデルの実践例としてドイツの Siemens 社の取組みが挙げられる。Siemens 社は主力のタービン技術で事業展開し、太陽熱発電プラント向けに 50 機近くのタービンを納入した実績を持つ<sup>45</sup>。近年、太陽熱発電周辺機器・部材関連の技術を有する国外企業の買収等を進めており、市場シェア拡大を目指し、太陽熱発電システム全体のバリューチェーンの確立に向けた動きを活発化させている（図表 5.51）。重電メーカーの技術力、資金力、販売網を活かした事業展開モデルである。

図表 5.51 Siemens の最近の動向

日付	概要
2009年11月	高効率集熱管（UVAC 2010）の製造・販売を開始。
2009年10月	集光・集熱関連設備の製造・建設において実績のある Solel Solar Systems Ltd. を買収。
2009年8月	イスラエルの太陽熱発電市場を牽引する Arava Power に 1,500 万ドルを出資。
2009年3月	世界で唯一熱媒に熔融塩を使用した集熱管を製造する Archimede Solar Energy S.p.A の株式の 28% を獲得。

出典：Siemens 社プレスリリースより作成

<sup>45</sup>“Steam turbines for solar thermal power plants” Siemens 資料

## (2) 要素機器・設備の製造販売

太陽熱関連機器・設備単位で、早期に市場参入を図ることも重要である。現在国内外において、様々なメーカ、ベンチャー企業が、高効率・高性能な太陽熱発電関連機器・設備の開発に取り組んでいる。主には、熱媒、集熱管、集光ミラー・ヘリオスタット、蓄熱設備等が挙げられる。

集光ミラーでは、フレネル型の太陽熱発電プラントで事業展開している米国の Ausra 社の他、日本企業では旭硝子やコニカミノルタ等が太陽熱発電市場に参入している。

蓄熱設備の大手としては、熔融塩蓄熱技術に実績を持つスペインの Sener 社等が挙げられる。また、ドイツ航空宇宙センター（DLR）では、コンクリート蓄熱や潜熱蓄熱材（PCM）による蓄熱の研究が進められており（P274 参照）、将来的には製品として市場投入される可能性がある。

特に重要な構成機器・設備については、海外企業に主要技術を握られないよう、戦略的に技術開発を進めることが重要である。例えば、タワー型プラントでは、タワー上部の集熱温度のさらなる高温化が進むと考えられており、高温域に対応できる高温レシーバの技術開発が必要とされている。キーテクノロジーにおいて世界に先行できれば、太陽熱発電市場における日本企業の存在感を大きく高めることができる。

## (3) 新システム・技術の開発

中・長期的ビジネスモデルとしては、新システム・技術の開発が考えられる。

日本が先導して技術開発を進めている新システムとしては、アブダビにおいて実証試験が行われた、東京工業大学のビームダウン型太陽熱発電システム（タワー型）が挙げられる。ビームダウン型太陽熱発電システムは、タワー中央に集められた太陽光を、中央反射鏡で地上に設置した熔融塩レシーバに集光し、蒸気を生成して発電する方式である。高温蓄熱部を地上に設置するため、運用・メンテナンスがしやすく、また熔融塩等の熱媒の循環に係る設備費・エネルギーを削減できるメリットを有する。アブダビの実証試験には、三井造船（プラント建設）、コニカミノルタ（反射鏡）が参画しており、日本企業の大型構造物建設技術、先進的光学技術が生かされた。

また、重電メーカの動きも活発化している。三菱重工業は、世界初となる水を使用しないタワー型太陽熱発電プラントの開発を進めている。これはタワー上部の集熱器にて高圧・高温の空気を作りタービンを回すシステムで、蒸気を使用しないため冷却用の水が不要であり、水資源の少ない砂漠地帯等でも導入可能である。また、川崎重工業は、太陽熱発電技術にガスタービン発電技術を組み合わせた太陽熱複合発電技術（ISCC、P253 参照）の開発を進めている。日本が強みを発揮するタービン技術を活かした事業展開が進められており、注目を集めている。

太陽熱発電は、タワー型、ディッシュ型のシステム方式から、蓄熱設備や集熱器など技術開発途上の要素が多い。今後期待される新システム・技術については、世界に先駆けた研究開発を進め、技術的優位性を確保することが重要と考えられる。

図表 5.52 ビームダウン型太陽熱発電システム（アブダビ実証試験サイト）



ビームダウン型太陽熱発電システムは、タワー中央に集められた太陽光を、中央反射鏡で地上に設置した溶融塩レシーバに集光し、蒸気を生成して発電する。

出典：「次世代太陽熱発電所実現へ ー多重リング式ビームダウン型で世界初の集光実験に成功ー」  
(2010年1月、東京工業大学資料)

#### (4) 太陽熱発電による発電ビジネス

IPP（Independent Power Producer：独立系発電事業者）とは、電力会社に卸電力を供給する発電事業者を指す。現在、太陽光、風力等の再生可能エネルギー分野における IPP ビジネスが世界各地で増加しており、太陽熱発電においては、米国ネバダ砂漠で稼働中の Nevada Solar One（トラフ型）が代表例である（図表 5.53）。Nevada Solar One の電力は全てネバダ州の電力会社 Nevada Energy が買い取っており、RPS<sup>46</sup>の目標達成に寄与している。

遠隔の非電化地域など、既存系統から電力を引く場合に新規送電線の整備が必要な地域や、コストの高いディーゼル発電を使用している地域においては、現状の発電コストでも競争力を有する可能性がある。将来的には、太陽熱発電プラントの製造・販売から、IPP 事業まで事業エリアを拡大することも考えられる。

図表 5.53 Nevada Solar One



2007年6月に稼働。出力64MW。年間約14,000世帯の電力を賄う。

出典：ACCIONA 社ホームページ（<http://www.acciona-na.com/>）

<sup>46</sup> 電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーで賄うことを義務付ける制度。

### 5.1.9 国内技術の競争力

前節までに俯瞰してきたとおり、サンベルト地帯では、太陽熱発電を将来の主要エネルギー源の一つに捉え、積極的な技術開発を進めると共に、多くの実証・商用プラントを建設している。

図表 5.54 に米国の Solar Energy Technologies Program における研究開発テーマを示す。約 30 件の案件に最大約 9,200 万ドルの支援が決定しており、中でも蓄熱技術に関する研究開発テーマが半数を占める。欧州においても、欧州フレームワーク計画 (FP)<sup>47</sup>において、現在 4 つの太陽熱発電関連プロジェクトが実施されている。

一方、日本においては、1980 年代の香川県仁尾町（現三豊市）における 1MW のパイロットプラントの建設以来、太陽熱発電への政策的支援は行われておらず、基礎技術の研究開発は行われてきたものの、実用化に向けた研究開発進捗、プラント建設・運用ノウハウの蓄積等において海外に先行されている。

**図表 5.54 米国の Solar Energy Technologies Program における研究開発テーマ (2007 年、2008 年)**

分野	採択件数	主な研究開発テーマ
トラフ型・フレネル型	7 件	新しいシステム設計・デザイン、先進的コレクターの開発、高性能集光ミラーの開発等
ディッシュ型	2 件	新しいシステム設計・デザイン、高性能スターリングエンジンの開発
タワー型	1 件	大規模な熔融塩受光パネルの製造試験
熱媒	1 件	80℃～500℃の間で顕著に熱容量が増加する機能を持つ共晶塩の探索
蓄熱	16 件	熔融塩蓄熱技術、固体貯蔵媒体による顕熱貯蔵技術、熱化学的貯蔵技術、相変化熱貯蔵技術、新材蓄熱材料の開発（低濃度の無機塩共晶混合物、熔融塩カーボンナノチューブ等）等

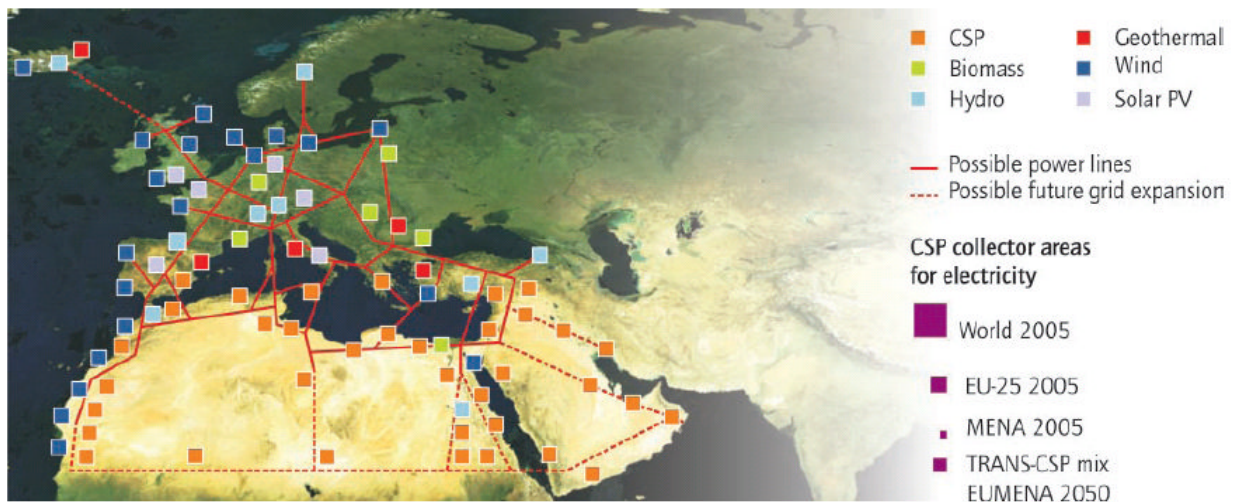
出典: “Solar Energy Technologies Program FY2008 Annual Report” (2008, DOE)、  
NEDO 海外レポート NO.1030 より作成

日本にとって参考になるのは、ドイツの取組みである。ドイツは日本と同様に国内の日射量は大きくないが、北アフリカのサハラ砂漠に太陽熱発電所を建設し、高圧直流送電 (HDVC) により EU・中東・北アフリカに電力を供給する「DESERTEC」プロジェクトを展開し、欧州の太陽熱発電の技術開発において先導的役割を果たしている (図表 5.55)。現在は、ドイツ企業を中心に、本プロジェクトを管理・運営する DESERTEC Industrial Initiative (DII) が設立されており、ドイツ企業の育成、市場シェアの拡大に寄与している。

<sup>47</sup> 欧州フレームワーク計画 (FP) とは、欧州連合 (EU) における科学分野の研究開発への財政的支援制度。1984 年の FP1 から始まり、現在は FP7 (2007～2013) が実施されている。



図表 5.55 DESERTEC (EU - 中東 - 北アフリカ スーパーグリッド構想)



画像提供：the DESERTEC Foundation

出典：“Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)

このように、現状では海外諸国に先行されているものの、東京工業大学のビームダウン型太陽熱発電システム (P300 参照)、三菱重工業や川崎重工業による新システムの開発 (P300 参照)、旭硝子やコニカミノルタの集光ミラー等、日本の研究機関、企業も新しい技術により世界をリードする動きを見せている。太陽熱発電技術は、新しい発電方式の開発も含め技術開発途上であり、蓄熱技術、ヘリオスタット関連技術 (高反射集光ミラー、制御技術等) 等、日本企業の市場参入の余地はあると考えられる。

なお、日本企業の育成にあたっては、技術開発拠点として、国内に実証試験サイトを整備することが必須である。

ドイツでは 2009 年に、タワー型の実証試験サイトである Jülich 実証プラント (発電容量 1.5MW) が完成した。8 ヘクタールの敷地に 2,153 台のヘリオスタットが設置されており、60m 高さのタワー上部に集光されるようになっている。Jülich 実証プラントが建設された地域は、決して日射量に恵まれてはいないが、技術開発の推進に資するものとして、明確にその目的が定義されている。

太陽熱発電分野における遅れを取り戻し、日本の技術、プラント設計能力を確立するために、日本においても早急の実証試験サイトを整備し、戦略的に技術開発を推進する必要がある。

図表 5.56 Jülich 実証プラント



出典：ドイツ航空宇宙センターホームページ ([http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-1/86\\_read-19289/](http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-1/86_read-19289/))

## 5.2 技術ロードマップ

### 5.2.1 目指す姿

#### (1) 太陽熱発電を取りまく現状

##### 1) 世界で拡大する太陽熱発電市場と進む技術開発

太陽熱発電は、世界のサンベルト地帯において将来の主要エネルギー源の一つとして認識されており、積極的な技術開発が進められるとともに、商用・実証プラントの建設の動きが加速している。具体的には、日射量が豊富かつ広大な敷地を有する米国サンベルト地帯や、欧州南部、アフリカ、中国、インド等が太陽熱発電の適地であり、将来的にはこれらの地域を中心として、数十～百 MW 規模の太陽熱発電所の建設が相次ぎ、その導入量および関連市場は大きく拡大していくものと予想される。

海外各国では、太陽熱発電の将来性を見据え、活発な技術開発競争が繰り広げられている。現在最も導入実績の多いトラフ型に加え、より高温の蓄熱が可能であり、発電効率の高いタワー型や、安価なフレネル型の技術開発が急ピッチで進められている。ドイツは「DESERTEC」プロジェクト（P303 参照）を展開し、欧州の太陽熱発電の技術開発において先導的役割を果たしている。また、2009 年にはタワー型の Jülich 実証試験サイト（P303）が整備された。米国においても蓄熱技術を中心に、90 億円近くの研究開発予算が割り当てられており、本格的な普及に向け、着実に研究成果が積み上げられている。

##### 2) 我が国が保有する太陽熱発電関連の先端技術

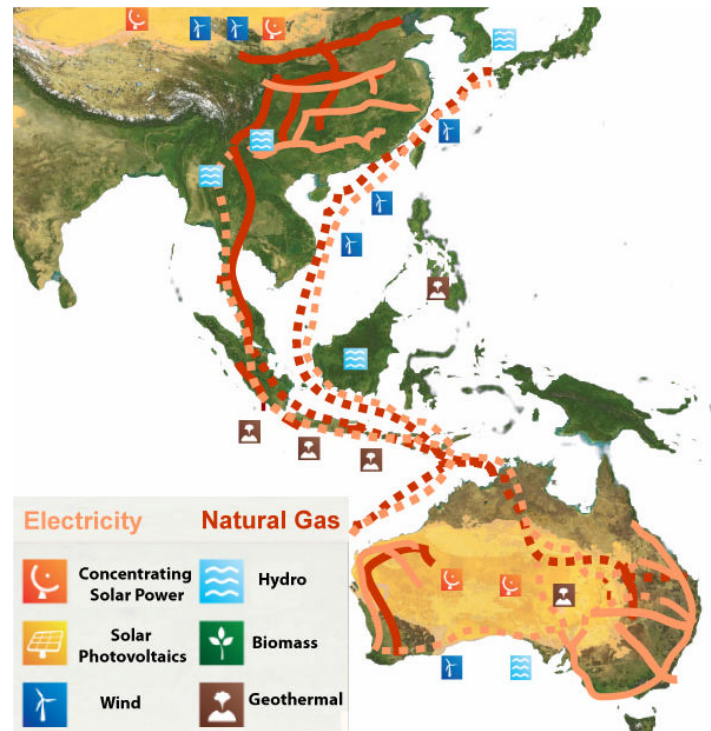
一方我が国は、日射量が豊富、かつ広大な敷地を有する地域に乏しいこともあり、1980 年代以降太陽熱発電への政策的支援は行われていない。基礎技術の研究開発は行われてきたものの、実用化に向けた研究開発進捗、プラント建設・運用ノウハウの蓄積等において海外に先行されているのが現状である。

しかしながら、タービン技術、集光技術、蓄熱技術等、太陽熱発電システムを構成する要素技術について、日本企業は世界的に遜色のない技術力を有している。太陽熱発電技術は、新しい発電方式の開発も含め技術開発途上にあり、蓄熱技術、ヘリオスタット関連技術（高反射集光ミラー、制御技術等）等、日本企業の市場参入の余地はあると考えられる。

##### 3) 広がるビジネスチャンス

また、現在 DESERTEC のアジア版となる「DESERTEC ASIA」構想が立ち上がっており、日本企業にとっては大きなビジネスチャンスとなる可能性がある。DESERTEC ASIA は、豪州や中国における日射量の豊富な地域に太陽熱発電所を建設し、その他地熱発電、風力発電等も含めてアジア全体で電力ネットワークを形成するというものである（図表 5.57）。日本の太陽熱発電産業育成の場として、戦略的に同構想に参画していく必要がある。

図表 5.57 DESERTEC ASIA 構想



出典：DESERTEC Asia ホームページ (<http://www.desertec-asia.com/>)

## (2) 我が国の太陽熱発電技術の目指すべき姿

以上の状況より、太陽熱発電の目指すべき姿を図表 5.58 のとおり掲げる。

太陽熱発電を取りまく世界の趨勢を鑑みると、我が国においても戦略的な技術開発計画のもとに太陽熱発電関連産業を育成し、世界マーケットの拡大に乗じてグローバル展開すべき機会が到来したものと考えられる。日本独自の太陽熱発電システム、および蓄熱技術をはじめとする太陽熱発電のキーテクノロジーの技術開発を進め、世界の太陽熱発電市場における日本企業の競争力を高めることが重要課題となる。

また、太陽熱発電の世界展開は、クレジットの獲得による日本の中期目標（2020年までにCO<sub>2</sub>排出量25%削減）の達成、および世界の低炭素化へ貢献するものである。地球温暖化という地球大の環境問題解決に向け、世界に誇る日本のものづくり技術を活かした国際貢献が期待される。

図表 5.58 太陽熱発電の目指す姿

- 日本独自の太陽熱発電システム、および蓄熱技術をはじめとする太陽熱発電のキーテクノロジーの技術開発を進め、太陽熱発電市場における日本企業の国際競争力を高める。
- 日本技術の世界展開により、CO<sub>2</sub>削減に係る日本の中期目標達成、および世界の低炭素化に貢献する。

### 5.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

前項に掲げた太陽熱発電の目指す姿を実現するために、技術開発、普及拡大のそれぞれにおいて、以下に示す課題へ対応していく必要がある。

#### (1) 蓄熱技術をはじめとするキーテクノロジーの開発支援

太陽熱発電分野では、現在様々なメーカ、ベンチャー企業が高効率・高性能な製品開発に取り組んでいる。特に蓄熱技術については、太陽熱発電のベース電源利用に向けたキーテクノロジーと考えられており、今後注力すべき技術の一つに挙げられる。また、タービン技術、ヘリオスタット関連技術（高反射集光ミラー、制御技術等）等、日本の最先端技術を活かせる要素部材・機器・設備は多い（5.1.5 節参照）。特に重要な構成機器・設備については、海外企業に主要技術を握られないよう、戦略的に技術開発を進めることが重要である。

#### (2) 実証試験サイトの整備

集光太陽エネルギーを利用するわが国の様々な産業技術開発を推進する上で、技術開発拠点として、国内に実証試験サイトを整備することが必須である。ドイツでは 2009 年にタワー型の Jülich 実証試験サイト（P303 参照）が完成しており、国内の技術開発拠点として今後重要な役割を果たすと考えられる。

日本においては、山梨県北杜市の日射条件がよく、実証試験サイトの候補地の一つに挙げられる。早期に実証試験サイトを整備し、海外諸国に遅れを取らないよう、早急かつ戦略的な技術開発を推進する必要がある。

#### (3) コスト競争力の強化

日本企業の国際競争力強化にあたっては、コスト競争力の強化が必須となる。ここでのコスト競争力とは、既存電源や他の再生可能エネルギーに対するコスト競争力と、海外企業の製品に対するコスト競争力の 2 つの意味を包含している。

太陽熱発電の現状の発電コストは 15~30 円/kWh の水準にあり（5.1.6 節参照）、再生可能エネルギーの中では比較的低い水準にある。将来的に導入量を拡大していくためには、グリッドパリティ、すなわち従来型発電システムと遜色の無い 10 円/kWh 未満の発電コストを実現し、公的支援が無くとも自立的に導入が進むだけの実力をつける必要がある。そのためには、プラント設計の最適化や量産による設備費の削減、プラントの最適運用技術等の開発等が重要となる。

#### (4) 海外プロジェクトへの参画支援

太陽熱発電の海外展開は、2020 年までに CO<sub>2</sub> 排出量 25%削減という日本の中期目標の達成、および世界の低炭素化に貢献するものである。また、日本企業の実績・ノウハウの蓄積にもなるため、CDM 等、海外プロジェクトへの積極的な参画が期待される。しかしながら、CDM は、取引コストの高さや交渉や手続きの煩雑さ等、民間企業が取り組む際の阻害要因も多く、民間

企業の CDM 事業への参画を促進するためには、フィージビリティスタディ費用の負担、ファイナンス支援等、国のバックアップ体制を整えることが重要である。

#### **(5) 日本国内における太陽熱発電の導入可能性検討**

我が国では、海外のサンベルト地帯等と比較して日射量が少なく、国土面積の狭さもあり、太陽熱発電の導入には向かないものと考えられている。

その一方で、近年では太陽光発電による MW 級のソーラー発電所の導入推進が見込まれる中で、規模的には類似しており、かつ発電効率、発電コストの点で同等以上の可能性を持つ太陽熱発電の事業性について、改めてフィージビリティスタディを実施し、我が国における導入可能性を再評価することが望まれる。

### 5.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

以上、太陽熱発電の目指す姿と、課題と対応から導き出される、太陽熱発電の技術開発目標、技術開発内容を以下に示すとともに、技術ロードマップを図表 5.61 に示す。

#### (1) 技術開発目標

技術開発目標については、図表 5.59 のとおり設定した。

海外展開については、早期に国内実証試験サイトを整備し、2015 年以降は商用プラントの海外展開、2020 年以降は海外市場シェアの拡大を目標とした。

電力の供給形態、発電コストについては、IEA の技術ロードマップ<sup>48</sup> (5.1.6 節参照) を踏襲した。2020 年にミドル電源として、2030 年にはベース電源として既存電力と競争力を持つことを想定し、2020 年までの 10 年間で発電コストを半分に、また 2030 年までにさらにその約半分になるという前提のもと、2020 年に 10～15 円/kWh 程度、2030 年に 5～7 円程度のコスト目標値を設定した。なお、本コスト目標は、日射量の豊富な海外に設置した場合を想定している。

図表 5.59 太陽熱発電の技術開発目標

	2020 年	2030 年
国際競争力の強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>商用プラントの海外展開 (2015 年までに国内実証試験サイトの整備、および実証試験の実施)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外市場シェアの拡大</li> </ul>
供給形態	ミドル電源利用	ベース電源利用
発電コスト	10～15 円/kWh 程度	5～7 円/kWh 程度

#### (2) 技術開発内容

前節で提示したコスト目標値を達成するために、図表 5.60 に示す技術課題に取り組む必要がある<sup>49</sup>。特に重要な構成機器・設備については、海外企業に主要技術を握られないよう、戦略的に技術開発を進めることが重要である。

太陽熱発電の今後のキーテクノロジーは蓄熱技術である。ベース電源利用に向けて、蓄熱システムによる出力の平滑化・安定化が必要となる。蓄熱方式は、これまでに多く用いられてきた直接 2 槽式、間接 2 槽式に加え、現在温度躍層単槽式の技術開発が進められており、有望技術として注目されている。また蓄熱媒体としては、現在主流の熔融塩の他に、コンクリートやセラミックなどを用いた固体蓄熱方式の開発が進められている。セラミック技術については、日本の得意とする技術分野であり、優位性を発揮できる可能性が高い。

太陽熱発電のコスト競争力の強化にあたっては、発電効率の向上や設備費の削減が重要である。発電効率の向上にはタービン入口温度の高温化が有効であり、高温の蒸気や空気を生成す

<sup>48</sup> “Technology Roadmap Concentrating Solar Power” (2010, IEA)

<sup>49</sup> 個々の技術課題の詳細、近年の技術開発動向は 5.1.5 節を参照のこと。

るため、高温蓄熱技術、熱流体の高温化が重要課題となっている。具体的には、高温レシーバや、高性能集光制御システム、DSG システム (P276 参照)、高効率集熱管、高効率熱伝導流体、高反射集光ミラー等が技術開発項目に挙げられる。なお、蓄熱温度の高温化は蓄熱システムのコンパクト化につながるため、設備費の削減にも貢献する。

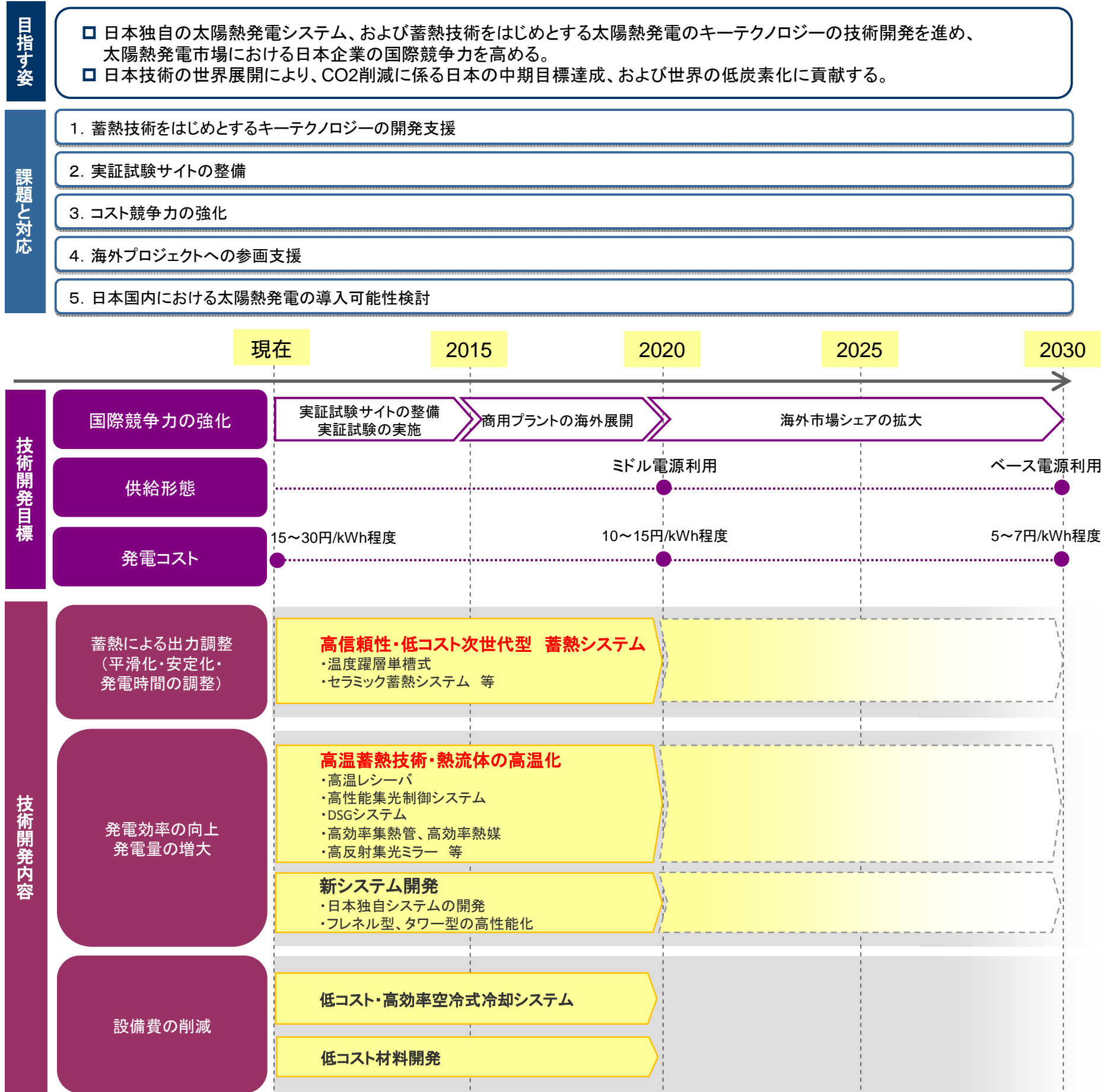
また、日本独自システムの開発や、フレネル型・タワー型の高性能化も技術開発オプションに挙げられる。フレネル型については、設備費が安価であること、高温蒸気 (480℃程度) が作れることから、近年になり注目が集まっている。またタワー型は、さらに高温蒸気 (550℃程度) の生成に向けた技術開発が進められている。両技術の技術改良の余地について検討するとともに、日本企業が取り組むべき技術開発項目を精査する必要がある。

設備費の削減としては、今後導入数が増えると考えられる、空冷式冷却システムの低コスト化・高効率化が課題に挙げられる。空冷式は大きな熱交換器を必要とするため設備費がかかること、熱交換効率が悪く発電量が減少することが課題となっており、低コスト化・高効率化に対するニーズは大きい。また、ヘリオスタット等、コストの大部分を占める要素機器・部材について、低コスト化を進めることも重要となる。

図表 5.60 太陽熱発電システムの主な技術開発内容

技術課題	解決策・要素技術
蓄熱による出力調整 (平滑化・安定化・発電時間の調整)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高性能・低コスト次世代型蓄熱システム               <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 温度躍層単槽式</li> <li>➤ セラミック蓄熱システム 等</li> </ul> </li> </ul>
発電効率の向上 発電量の増大	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高温蓄熱技術・熱流体の高温化               <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 高温レシーバ</li> <li>➤ 高性能集光制御システム</li> <li>➤ DSG システム</li> <li>➤ 高効率集熱管、高効率熱媒</li> <li>➤ 高反射集光ミラー 等</li> </ul> </li> <li>● 新システム開発               <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 日本独自システムの開発</li> <li>➤ 線形フレネル・タワー型の高性能化 等</li> </ul> </li> </ul>
設備費の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低コスト・高効率空冷式冷却システム</li> <li>● 低コスト材料開発</li> </ul>

図表 5.61 太陽熱発電の技術ロードマップ





## 6 波力発電の技術の現状とロードマップ

### 6.1 技術を取りまく現状

#### 6.1.1 技術の俯瞰

波力発電は、波のエネルギーを利用した発電システムで、約1世紀にわたる技術開発の歴史がある。波力発電システムは主に以下の3種類に区分される。また設置形式の観点からは、装置を海面又は海中に浮遊させる浮体式と、沖合又は沿岸に固定的に設置する固定式とに分けられる。

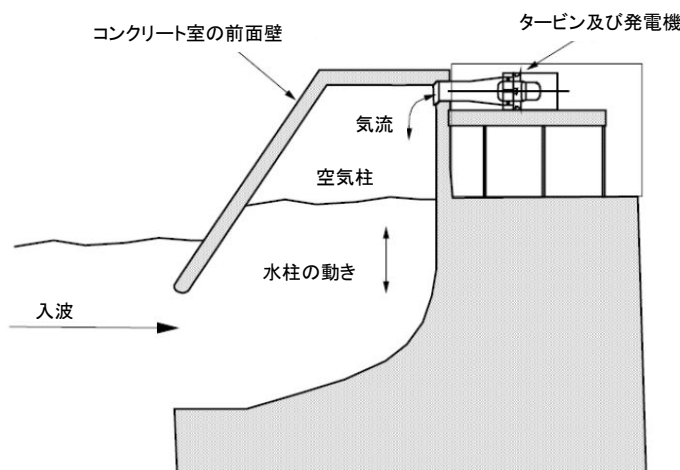
##### (1) 振動水柱型

振動水柱型波力発電システムはOWC（Oscillating Water Column）システムとも言い、装置内に空気室を設けて海面の上下動により生じる空気の振動流を用いて、空気タービンを回転させる方式である。構造が簡素で、空気を介してエネルギー変換するため、台風等の異常波浪に対する構造物の対策が比較的取りやすく、より安全な形式とされている。

日本で開発されてきた波力発電装置にはこの方式が多く採用されており、1965年に海上保安庁に採用された益田式航路標識用ブイは、小型ながら最初に実用化された浮体式の振動水柱型装置（最大出力30W～60W）で、世界で広く用いられている（図表6.1右）。

振動水柱型波力発電システムの空気タービンには、波により生じる往復気流中でも常に一方方向に回転することができ、形状や構造が簡単であるウェルズタービン（図表6.2）が主に採用されている。

図表 6.1 振動水柱型波力発電システム（左：固定式 右：浮体式）

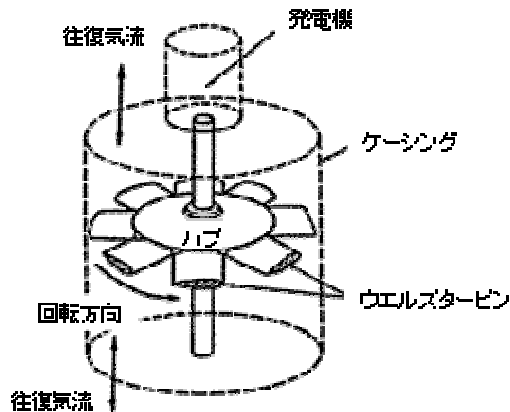


出典：“Ocean Energy: Global Technology Development Status”（2009, IEA-OES）

（益田式航路標識用ブイ）

出典：緑星社ホームページ  
（<http://www.ryokusei.co.jp/>）

図表 6.2 ウェルズタービン



出典：「波力発電用往復流型タービンの開発」(2008, 高尾 学, (社)日本機械学会ニューズレター)

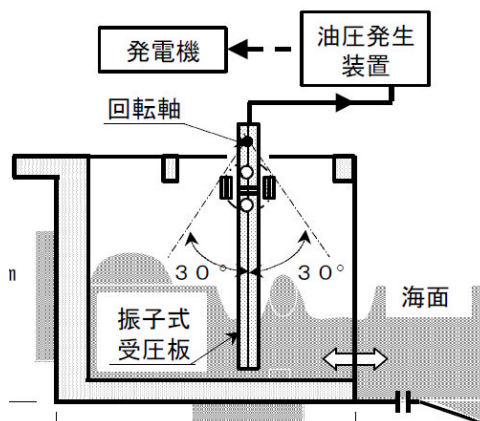
(2) 可動物体型

可動物体型波力発電システムは、波のエネルギーを可動物体を介して機械的な運動エネルギーに変換し、それを動力源として油圧発生装置等のピストンを動かして発電するシステムである。海中に設置した受圧板で受けた波のエネルギーを受圧板の機械的な振り子運動エネルギーに変換する方式や (図表 6.3 左)、浮遊構造物で波のエネルギーを吸収し機械的エネルギーに変換するポイント・アブソーバー式 (図表 6.3 右) 等が例として挙げられる。

日本においては、発電機の回転数と位相を浮体の揺れに同期させることによりジャイロモーメントを発生させ、発電機を駆動するジャイロ式波力発電システムや、電場応答高分子型人工筋肉を使用した新しい方式の波力発電システムの開発等が進められている (6.1.5 節参照)。

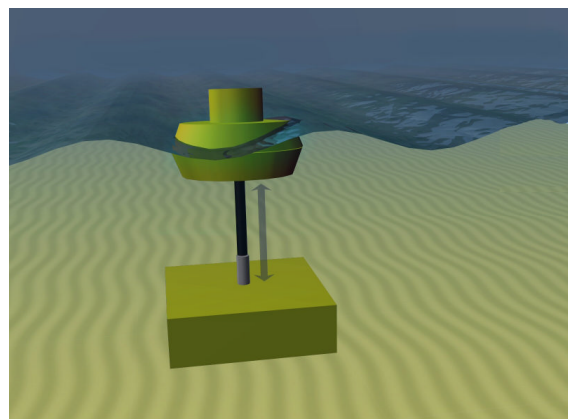
図表 6.3 可動物体型波力発電システム (左：固定式 右：浮体式)

(振り子式波力発電システム)



出典：「海洋資源利用に関する調査」(2006, (独)海上技術安全研究所)

(ポイント・アブソーバー式波力発電システム)



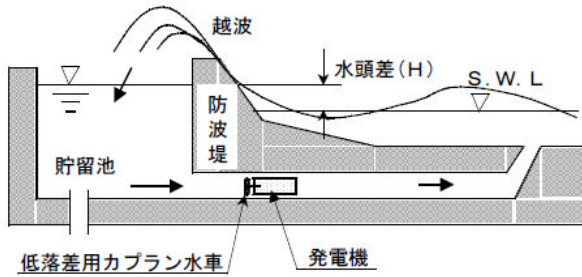
出典：Aquatic Renewable Energy Technologies 社 ホームページ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [http://www.aquaret.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=137&Itemid=280&lang=en](http://www.aquaret.com/index.php?option=com_content&view=article&id=137&Itemid=280&lang=en)

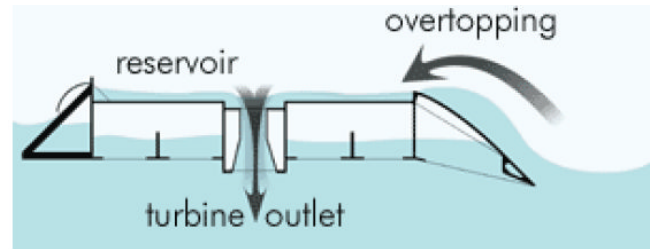
### (3) 越波型

越波型波力発電システムは、波を貯水池等に越波させて貯留し、水面と海面との落差を利用して海に排水する際に、導水溝に設置した水車を回し発電する方式である。平成 21 年度 NEDO 洋上風力発電等技術研究開発（海洋エネルギー先導研究）では、越波型波力発電システムに関する東海大の提案が採択されている。

図表 6.4 越波型波力発電システム例（左：固定式 右：浮体式）



出典：「海洋資源利用に関する調査」（2006, (独)海上技術安全研究所）



出典：Wave Dragon ApS 社ホームページ  
(<http://www.wavedragon.net/>)

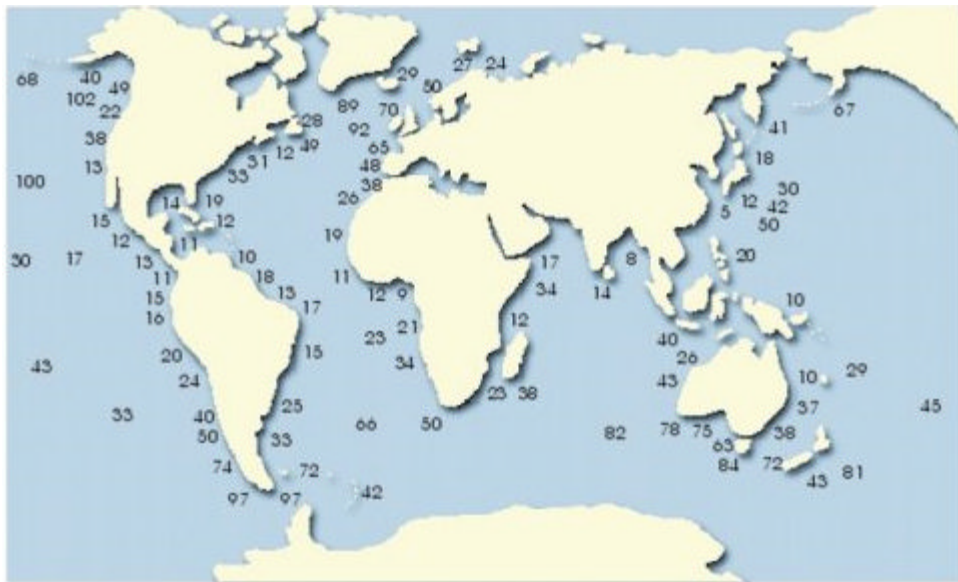
## 6.1.2 ポテンシャル

### (1) 世界

世界の波力エネルギーの分布を図表 6.5 に示す。世界的には、北大西洋、北太平洋、南米の南岸、南オーストラリアの海域に大きな波力エネルギーが存在している。特に欧州周辺の波力エネルギーは 50~70kW/m と比較的高い値を示している。ただし、これらのデータは統一された手法にて収集されたものではないため、精度については留意が必要である。

なお、日本近海の波力エネルギーは年平均 12~18kW/m と、マクロ的には諸外国と比較して大きくないが、日本の周辺海域の基礎的データが十分に整備されていないため、詳細なポテンシャルは不明である。局所的には理想的な波が得られるエリアも存在するため、今後導入を検討するにあたっては、より詳細なメッシュデータが求められる。

図表 6.5 世界の波力エネルギーの分布（年平均：kW/m（波高））



出典：Pelamis Wave Power Ltd ホームページ (<http://www.pelamiswave.com/content.php?id=155>)

図表 6.6 各地近海の波力エネルギー

場所	波力エネルギー [kW/m]
日本	12~18
英国	70
ポルトガル	48
米国（ハワイ）	100
豪（ポートランド）	63

出典：Pelamis Wave Power Ltd ホームページ (<http://www.pelamiswave.com/content.php?id=155>) より作成

IEA-OES<sup>2</sup>の資料によると、世界の波力エネルギーの理論的な年間の資源量は、8,000～80,000TWhとされている。

図表 6.7 世界の波力エネルギー資源量

波力エネルギー	8,000～80,000TWh/年
---------	-------------------

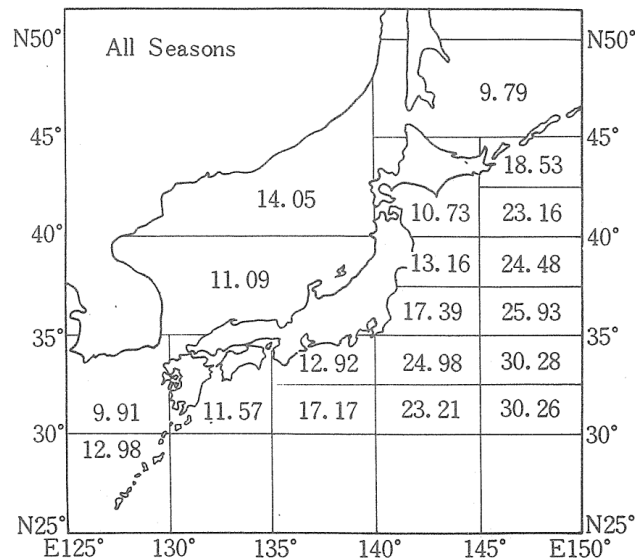
出典：“Harnessing the Power of the Oceans” (2008, Gouri S.Bhuyan)

## (2) 日本

日本近海の波力エネルギーについては、前田・木下らによる日本近海<sup>3</sup>、および高橋らによる日本沿岸<sup>4</sup>の波力エネルギー試算例がある。

前田・木下らは、日本造船研究協会の統計を用いて、沖合を含めた日本近海の波力エネルギーを推定している（図表 6.8）。沖合にいくほど波力エネルギー密度は高く、特に太平洋岸の福島、茨城、千葉沖の波力エネルギーが大きいと試算されている。また、日本周辺の平均波力エネルギー密度を約 10kW/m とし、日本全周（約 5000km）で 100%吸収するとした場合、約 50GW のエネルギーが得られるとしている。

図表 6.8 日本近海の波力エネルギー（kW/m、通年）



出典：前田久明 木下健「波浪発電」（1979，生産研究 31 巻 11 号）

高橋らは、全国の主要港に配置された波浪観測網のデータを用いて日本周辺における波パワーの特性を調べており、日本沿岸の平均波力エネルギー密度を 7kW/m と試算している。日本の総海岸線を 5,200km とした場合、日本沿岸に打ち寄せる波力エネルギーは 36GW となる。これは日本の電力会社 10 社の 2009 年時点の発電容量（約 204GW）<sup>5</sup>の約 3 分の 1 に相当する。

<sup>2</sup> IEA（国際エネルギー機関）内に「海洋エネルギーシステムに係る実施協定（Implementing Agreement on Ocean Energy Systems）」に基づき発足した組織。

<sup>3</sup> 前田久明 木下健「波浪発電」（1979，生産研究 31 巻 11 号）

<sup>4</sup> 高橋重雄「日本周辺における波パワーの特性と波力発電」（1989，港湾技術研究資料 No.654）

<sup>5</sup> 電気事業連合会 電力統計情報（<http://www.fepec.or.jp/library/data/tokei/index.html>）

6 波力発電の技術の現状とロードマップ

地域別の波力エネルギーを見ると、本州中央部は 9～11.5kW/m と大きく、玄界灘（平均 3.8kW/m）や紀伊半島沿岸（4.9kW/m）、北海道沿岸（3.9～5.3kW/m）は比較的小さいと試算されている。

図表 6.9 日本沿岸の波力エネルギー（kW/m）



日本沿岸の波力エネルギー	36GW
	日本沿岸の平均波力エネルギー密度：7kW/m 日本の総海岸線：5,200km

原典：高橋重雄「日本周辺における波パワーの特性と波力発電」（1989, 港湾技術研究資料 No.654）

出典：「波力発電の動向について」（2009, OEA-J 資料）

### 6.1.3 導入目標量例

欧州、米国、日本における再生可能エネルギーおよび波力発電の導入目標量例を図表 6.10 に示す。各国において、意欲的な導入目標が設定されている。

図表 6.10 欧米諸国における再生可能エネルギー・波力発電の導入目標量例

	導入目標 等	
	再生可能エネルギー全体	波力発電
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>2007年に、2020年までにEU全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を20%とする戦略を決定。</li> <li>2009年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で、上記目標達成のための国別目標値を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州再生可能エネルギー評議会は、左記指令の目標を達成するために必要な波力発電導入量を、2010年に1TWh、2020年には5TWhと試算。</li> <li>英国は2020年までに波力発電と潮汐発電の合計で1~2GWの導入が可能と見通している。</li> <li>アイルランドは、海洋エネルギーを2012年までに75MW、2020年までに500MW導入する目標を設定。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの州で、電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度(RPS)を策定。オバマ大統領は、2025年までに25%導入という連邦RPS制度を提案。</li> <li>オバマ大統領は「New Energy for America」で再生可能エネルギー由来の電力量割合を、2012年に12%、2025年に25%とする目標を発表。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>22の州・地域で波力発電がRPSの対象となっている。</li> </ul>
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>「2030年のエネルギー需給展望」(総合資源エネルギー調査会 需給部会、2005)において、2010年の再生可能エネルギーの対一次エネルギー供給比を、3.0%に引き上げる目標を設置。</li> <li>「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(総合資源エネルギー調査会 需給部会、2009)において、2020年、2030年の新エネルギー導入見通しが示された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国としての目標値はなし。</li> <li>海洋エネルギー資源利用推進機構(OEA-J)のロードマップにおいて、2020年までに51MW、2030年までに554MW、2050年までに7,350MWの発電規模を想定。</li> </ul>

出典： Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, “Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020” (2008, EREC)、DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>)、 “New Energy for America” (2009, Barack Obama and Joe Biden)、 「長期エネルギー需給見通し(再計算)」 (2009, 経済産業省)、 「海洋エネルギー資源フォーラム」資料 (2008, 海洋エネルギー資源利用推進機構)

## (1) 欧州

欧州における波力発電の導入目標量例を図表 6.11 に示す。

図表 6.11 欧州における導入目標量例

出典	2020 年	2030 年
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 <sup>6</sup>	EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20%に引き上げるための国別目標値 (図表 6.12) を設定。	—
Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020 (EREC)	5TWh ※上記指令を達成するために必要な波力発電による発電量	—
英国	1,000~2,000MW (波力発電と潮流発電)	—
アイルランド	75MW (海洋エネルギー)	500MW (海洋エネルギー)

出典：Directive 2009/28/EC (2009, EC)、“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020” (2008, EREC)、“RE-thinking 2050” (2010, EREC)、“Marine Energy Action Plan 2010” (2010, 英国政府)、“OES-IA Annual Report 2009” (2009, IEA-OES)

2007 年 3 月、欧州理事会は、EU の地球温暖化対策として 2020 年までに、EU 全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を 20%に引き上げることで合意した。これを受けて、「再生可能電力推進に関する指令」<sup>7</sup>と「バイオ燃料促進に関する指令」<sup>8</sup>を修正、廃止する新たな指令である「再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令」が策定され、本指令において加盟各国に法的拘束力のある数値目標が設定された (図表 6.12)。

欧州再生可能エネルギー評議会 (European Renewable Energy Council : EREC) は、この目標を達成するために必要な再生可能エネルギーの種類毎の寄与度 (発電量) を試算しており、海洋エネルギー発電により、2010 年に 1TWh、2020 年には 5TWh が供給されるとしている (図表 6.13)。

国別には、英国が 2020 年までに波力発電と潮流発電の合計で 1~2GW が可能との見通しを出している。また、アイルランドでは、海洋エネルギーの導入目標として 2012 年までに 75MW、2020 年までに 500MW を掲げている。

<sup>6</sup> Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

<sup>7</sup> EU の全電力供給量に占める再生可能電力の割合を 2010 年までに EU 全体で 21% にするという目標を掲げ、加盟各国に目標 (法的拘束力なし) を設定した指令。(Directive 2001/77/EC)

<sup>8</sup> 2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75%をバイオ燃料で代替する目標 (法的拘束力なし) を設定した指令。(Directive 2003/30/EC)



図表 6.12 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令における  
EU 加盟国の 2020 年目標値

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合[%]			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES” (2008, BMU)、Directive 2009/28/EC

図表 6.13 目標達成に必要な波力発電による発電量予測

	2006 年	2010 年	2020 年
発電量 (TWh)	—	1	5

出典：“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020” (2008, EREC)

6 波力発電の技術の現状とロードマップ

(2) 米国

米国における波力発電の導入目標量例を図表 6.14 に示す。

図表 6.14 米国における導入目標量例

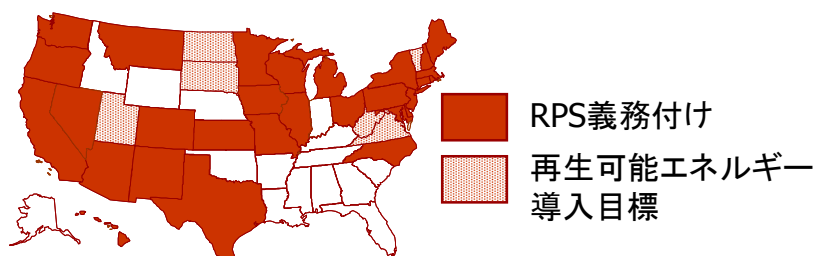
出典	2020 年	2030 年
RPS 法	州別 RPS 法により規定 (図表 6.15 参照)	
New Energy for America (オバマ大統領)	(2012 年) 再生可能エネルギー由来の電 力量割合: 12%	(2025 年) 再生可能エネルギー由来の電 力量割合: 25%

出典: DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>)、"New Energy for America" (2009, Barack Obama and Joe Biden)

米国においては国全体としての導入目標値は掲げられていない。ただし米国では、29 の州政府と DC 政府<sup>9</sup>が電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーで賄うことを義務付ける RPS 制度を導入しており、そのうち 19 州において波力発電が制度の対象となっている (図表 6.16)。

また、オバマ大統領が掲げる「New Energy for America」計画では、電力消費量に占める再生可能エネルギー由来の電力量の割合を、2012 年までに 10%、2025 年までに 25%に引き上げる目標が掲げられている。

図表 6.15 州別の RPS 導入状況 ((2009 年 7 月現在))



出典: DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

図表 6.16 各州の RPS 目標

■: 波力発電を制度の対象に含めている州

州	目標	達成年	州	目標	達成年
カリフォルニア	20%	2010	カンザス	20%	2020
オハイオ	25%	2025	ウィスコンシン	10%	2015
イリノイ	25%	2025	テキサス	5,880MW	2015
ニューヨーク	24%	2013	ユタ (※)	20%	2025
ペンシルバニア	18%	2020	コロラド	20% (私営)、10% (公営)	2020
ニュージャージー	22.5%	2021	ニューメキシコ	20% (私営)、10% (公営)	2020

<sup>9</sup> 2010 年 3 月時点。

州	目標	達成年
ミネソタ	25%	2025
バージニア (※)	15%	2025
ノースカロライナ	12.5%(私営) 10%(公営)	2021 2018
ワシントン	15%	2020
メリーランド	20%	2022
ミズーリ	15%	2021
オレゴン	25%(大規模事業者) 5~10%(小規模事業者)	2025
アリゾナ	15%	2025
ミシガン	10%+1,100MW	2015
ネバダ	25%	2025
マサチューセッツ	15%	2020
コネチカット	23%	2020

州	目標	達成年
ハワイ	40%	2030
ニューハンプシャー	23.8%	2025
モンタナ	15%	2015
デラウェア	20%	2019
ワシントン D.C.	20%	2020
メイン	40%	2017
ノースダコタ (※)	10%	2015
ロードアイランド	16%	2020
バーモント (※)	20%	2017
サウスダコタ (※)	10%	2015
アイオワ	105MW	-

注：(※)は義務量ではなく、目標量を設定している州。なお、カリフォルニアは2020年までに33%の達成を目標としている。

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より作成

### (3) 日本

日本においては、波力発電についての導入目標値は掲げられていない。

日本の海洋エネルギー資源利用推進機構（略称 OEA-J）が作成した、2050年に向けた海洋エネルギー開発ロードマップにおいて、波力発電については2020年までに51MW、2030年までに554MW、2050年までに7,350MWの発電規模が想定或いは期待されるとしている。

図表 6.17 日本における波力発電の導入ロードマップ

	2008年	2020年まで	2030年まで	2050年まで
想定或いは期待される発電量	0 kWh/年	2 億 kWh/年	7.5 億 kWh/年	200 億 kWh/年
想定或いは期待される発電規模	0.02MW	51MW	554MW	7,350MW
(参考)		(0.1MW： 450 基) (0.5MW： 10 基) (1.0MW： 1 基)	(0.1MW： 2,000 基) (0.5MW： 600 基) (1.0MW： 50 基) (2.0MW： 2 基)	(0.1MW： 3,000 基) (0.5MW： 4,500 基) (1.0MW： 3,800 基) (2.0MW： 500 基)

前提条件 1) 日本周辺の波パワーの平均：7kW/m

前提条件 2) 日本沿岸の総延長：5,000km

前提条件 3) 日本周辺の波パワー総量（前提条件 1,2 より 3,500 万 kW）の利用率：6.5%

前提条件 4) 稼働率：Onshore：25%、Near-shore：27%、Offshore：40%

出典：「海洋エネルギー資源フォーラム」資料（2008、海洋エネルギー資源利用推進機構）

#### 6.1.4 導入実績

波力発電システムで実用化されているものは少なく、現在多数の実証試験プラントが設置されている。2008年9月に、ポルトガル沖において Pelamis 波力発電装置を用いた、総出力 2,250kW（750kW 機×3 基）の商用プラント（Agucadoura Wave Farm、図表 6.18）が運転開始したが、数週間で故障が発生し、現在改修中の模様である<sup>10</sup>。

代表的な実証試験プラント、波力発電装置は、「5.2.1.2 技術開発動向」にて紹介する。

図表 6.18 Agucadoura Wave Farm 外観



出典：Pelamis Wave Power 社ホームページ（<http://www.pelamiswave.com/>）

<sup>10</sup> 波力発電検討会報告書（2010，波力発電検討会）

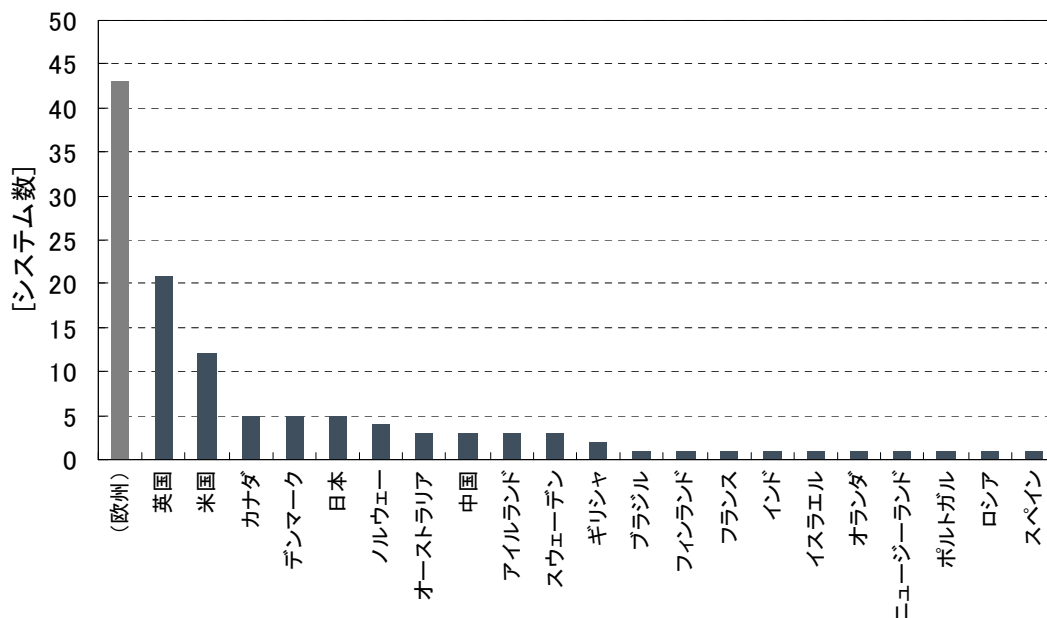
### 6.1.5 技術開発動向

現在、波力発電を含む海洋エネルギー利用技術は、欧州（特に英国）や米国を中心に進められている。日本においても過去に基礎的研究は進められており、当時は世界を先導していたが、予算の縮小等により実用化段階の研究が進んでおらず、日本の研究開発進度は欧米に10年遅れていると言われている。

国別の主要な波力発電プロジェクト件数を図表 6.19 に示す。また、世界と日本における主要な波力発電プロジェクトを、それぞれ図表 6.20 および図表 6.26 に示す。プロジェクトの約6割は欧州において、さらにその約半数は英国で行われている。現在世界全体で100件程度の波力発電に関する開発プロジェクトが進められている。

以下、日本、欧州、米国における技術開発動向を概観する。

図表 6.19 主要な波力発電開発プロジェクト件数（国別）



出典：“Ocean Energy: Global Technology Development Status”（2009, IEA-OES）より作成

## 6 波力発電の技術の現状とロードマップ

## (1) 欧州

図表 6.20 に、欧州における主要な波力発電プロジェクトを示す。先述のとおり、世界のプロジェクトの約 6 割は欧州において、さらにその約半数は英国で行われている。

図表 6.20 欧州の主要な波力発電プロジェクト

設置場所	名称	開発事業者	技術	設置	発電容量 [kW]	設置年
ノルウェー	TAPCHAN	Norwave (ノルウェー)	越波型	固定式	350	1985
アイルランド	McCabe Wave Pump	Hydam Technology (アイルランド)	可動物体型	浮体式	- (淡水化+発電)	1996
ポルトガル Pico 島	欧州パイロットプラント	(EU 支援)	振動水柱型	固定式	400	1998
英国 Islay 島	LIMPET	Wavegen (英)	振動水柱型	固定式	500	2000
デンマーク	Wave Dragon	Wave Dragon ApS (デンマーク)	越波型	浮体式	20	2003
ポルトガル	Archimedes Wave Swing (AWS)	AWS Ocean Energy (英)	可動物体型	固定式	500×4	2004
デンマーク	Wave Star Energy	Wave Star Energy (デンマーク)	可動物体型	浮体式	(1:10 モデル 24m)	2006
スウェーデン	Seabased	Uppsala 大学 (スウェーデン)	可動物体型	浮体式	100	2006
ポルトガル	Pelamis	Pelamis wave power (英)	可動物体型	浮体式	750×3	2008 (商業運転)
スペイン	Powerbuoy	Ocean Power Technologies (米)	可動物体型	浮体式	150×9, 40×1	2008
英国	Oyster	Aquamarine Power (英)	- (水力発電と結合)	固定式	315	2009

出典：米国エネルギー省ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/hydrokinetic/>)、「海洋エネルギーの利用技術に関する現状と課題に関する調査」(2008, NEDO)、海洋エネルギー資源利用推進機構資料より作成

欧州の海洋エネルギー技術の開発を支えている大きな要因は、再生可能エネルギーを支援することにより世界の気候変動の脅威に取り組みようとする政府の積極的な政策、潮力・波力エネルギー資源の利用可能性の高さ、クリーン技術の主導的地位を得て経済成長の機会をもたらそうとする意欲にある<sup>11</sup>。

欧州においても、1970 年代のオイルショックを契機に波力発電への関心が高まり、多くの研究開発が行われた。エネルギー危機後に研究開発予算は縮小したものの、周辺海域の波のエネルギー密度が高いノルウェーや英国を中心に 1990 年半ばから再び活発化し、多くのベンチャー企業が波力発電装置の開発に参入している。

現在は、英国の Pelamis 発電装置が最も実用化に近い段階にある (P327 参照)。2008 年 9 月には、ポルトガル沖において Pelamis 波力発電装置を用いた、総出力 2,250kW (750kW 機×3 基)

<sup>11</sup> 「欧米における潮力・波力発電プロジェクトの最新動向」(2009, NEDO 海外レポート)

の商用プラント（Agucadoura Wave Farm、図表 6.18）が運開した。しかしながら、数週間で故障が発生し、現在改修中の模様である<sup>12</sup>。

欧州では、図表 6.21 に代表される実証試験サイトが複数整備されており、企業の技術開発推進に大きく貢献している。代表的な実証試験サイトは、スコットランドのオークニー諸島に整備されている European Marine Energy Centre (EMEC)<sup>13</sup>である。その他ポルトガルにも Wave Energy Centre<sup>14</sup>があり、様々な実証試験が行われている。

図表 6.21 欧州の主要な実証試験サイト

実証試験サイト	概要
EMEC（スコットランド オークニー諸島）	実機スケールの実証試験が可能。送電線も整備（系統非連系）。近くに新たな実証サイトが整備される予定。
Narec <sup>15</sup> （北東イングランド）	造船のドックを改良して作った 1/10 スケールモデルの実証試験が可能な施設があり、1m の人工波を起こせる。洋上風力発電のタービン実験施設もある。
Wave Hub（南西イングランド）	実機スケールの実証試験が可能。系統連系が可能。
Wave Energy Centre （ポルトガル）	実証試験サイトを提供する他、企業の R&D 支援、海洋関係機関（EU-OEA <sup>16</sup> や IEA-OES <sup>17</sup> 等）の活動への参加、各種レポートの作成等も実施。

EMEC は、地元スコットランドの組織をはじめ、英国貿易産業省（DTI）を含む複数の公的機関・組織から約 500 万ポンドの出資を受け、2004 年 8 月に開設された。波力発電および潮流発電の実海域試験を行うことができる。波力発電については 4 つの実験サイト、陸上までの海底電気ケーブル、変電所、風速・波高等の計測所、オフィス・データ解析施設等を備えている。EMEC のあるオークニー諸島は海洋条件に恵まれており、EMEC の波力発電サイトでは最大波高 15m の波を連続的に受けることができる。

EMEC で実証試験が行われた Pelamis Wave Power 社の波力発電装置 Pelamis は、ポルトガル沖にて 3 基の商用機として設置されており、現在 E.on<sup>18</sup>の出資により改良機（P2 Pelamis）の実証試験が行われている。

<sup>12</sup> 「波力発電検討会報告書」（2010, 波力発電検討会）

<sup>13</sup> EMEC（<http://www.emec.org.uk/index.asp>）

<sup>14</sup> WEC（<http://www.wavec.org/index.php/1/home/>）

<sup>15</sup> Narec（<http://www.narec.co.uk/>）

<sup>16</sup> European Ocean Energy Association（<http://www.eu-oea.com/index.asp?sid=102>）

<sup>17</sup> IEA-Ocean Energy Systems（<http://www.iea-oceans.org/index.asp>）、IEA（国際エネルギー機関）内の組織。

<sup>18</sup> ドイツに本社を置く欧州の大手エネルギー会社。

図表 6.22 EMEC (欧州海洋エネルギーセンター)



主な設備	概要
実験サイト	波力発電については海岸より約 2km 沖、水深 50m の位置に、0.5km 間隔で 4 つの実証サイトを設置。それぞれの実証サイトに向けて 11kV の外装電力ケーブルを敷設している。5 つの潮流発電用実証サイトも備えている。
波測定用ブイ	波高・波長・方角の計測機器を搭載したブイ。リアルタイムで計測データを送信できる。
サブステーション	送電網連系のための開閉装置、補助変圧器、バックアップ用発電機、力率改善回路装置、受送電メーター、通信機器を持つサブステーション。
データセンター	SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition : 計測データの制御および監視) システムを導入し、実験サイト・各計測機器からのデータを光ファイバで受信。
陸上観測装置	2 台の監視カメラにより陸上側から海上のサイトを監視。データセンターから操作可能。
気象観測ステーション	気象情報をリアルタイムでデータセンターへ送信できる。

出典：EMEC ホームページ (<http://www.emec.org.uk/>)



### <Pelamis 波力発電装置>

「Pelamis」は、海蛇のような形態の浮体式可動物体型波力発電装置である。1998年に設立された英国の Pelamis Wave Power 社（2007年 Ocean Power Delivery 社から社名変更）により研究開発が行われている。

Pelamis は、直径 3.5m の円筒形浮体 4 台を縦に連結し、連結部分にシリンダーポンプ 2 台と可変容量型モーター1 台を組み合わせた油圧変速機を使用して発電機を駆動する。

2008年にポルトガル沖に 750kW 機を 3 基設置して、系統に連系する Aguçadoura プロジェクトが開始された。このプロジェクトは、再生可能エネルギー事業者 Enersis 社の主導で進められている。

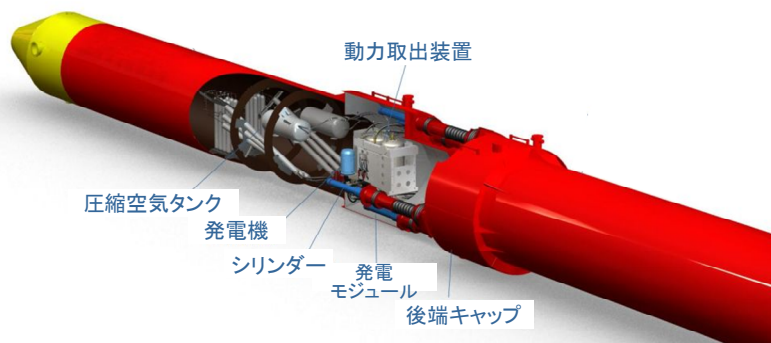
図表 「Pelamis」単機の概要

全長×直径	150m×3.5m
発電出力	750kW
動力変換	油圧システム
排水重量	700 トン

図表 プラント概観



図表 モジュール断面図



出典：Pelamis Wave Power 社ホームページ (<http://www.pelamiswave.com/>)

## (2) 米国

図表 6.23 に米国の主要な波力発電プロジェクトを示す。米国は英国に次いで海洋エネルギーに係る技術開発が活発な国である。水域の管轄の問題、認可プロセスに時間とコストがかかること、そして政府の研究開発費が不足していることが、米国の海洋エネルギープロジェクトの開発を遅らせる要因となってきたが、規制環境については改善されはじめている<sup>19</sup>。

図表 6.23 米国の主要な波力発電プロジェクト

設置場所	名称	開発事業者	技術	設置	発電容量 [kW]	設置年
米国	PowerBuoy	Ocean Power Technologies (米)	可動物体型	浮体式	40	2008
米国	SeaDog	Independent Natural Resources(米)	可動物体型	固定式	- (ホップ実証)	2007
米国	AquaBuOY	Finavera Renewables(加)	可動物体型	浮体式	250	2007

出典：米国エネルギー省ホームページ (<http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/hydrokinetic/>)、「海洋エネルギーの利用技術に関する現状と課題に関する調査」(2008, NEDO)、海洋エネルギー資源利用推進機構資料より作成

米国を代表する波力発電装置に、Ocean Power Technologies 社の「Power Buoy」(P329 参照)が挙げられる。ポイント・アブソーバー型 (P312 参照) の波力発電装置で、構造がシンプルかつ大部分が水中に没しているため、安全性や信頼性で有利と見られる。米国ニュージャージー州沿岸に定格 40kW 級の初期の試験機を 1 台設置し、2005 年 10 月からの 1 年間と 2008 年 8 月から現在まで稼働しており、この間台風や 12m 以上の波浪に耐えている。2008 年からはハワイ沖においても実証試験が行われている<sup>20</sup>。

スペインでは、世界最大の再生可能エネルギー会社イベルドロラとスペイン政府との合弁事業として建設が進められている 1.39MW の波力発電所に採用され、第 1 フェーズとして 2008 年 9 月に定格 40kW 改良型の装置を設置した<sup>20</sup>。

2010 年中頃にはスコットランド オークニーに定格 150kW の装置を設置予定である。同社は、海底に設置される系統連系機器の開発も進めており、Wave Hub (図表 6.21 参照) を構成する 4 海区の一つである OPT 海区にはこれを設置する計画である<sup>20</sup>。

<sup>19</sup> 「欧米における潮力・波力発電プロジェクトの最新動向」(2009, NEDO 海外レポート)

<sup>20</sup> 「波力発電検討会報告書」(2010, 波力発電検討会) より引用。

### <PowerBuoy 波力発電装置>

「PowerBuoy」は、米国の Ocean Power Technologies (OPT) 社により開発された、ブイの形をした可動物体型の波力発電装置である。PowerBuoy は波の運動に従い自在に動き、発電機を駆動する。モニタリングセンサが備えられており、荒波の際には自動的にロックされ発電を停止し、通常の波に戻ると復旧する。また、グリッドとの接続に際し、10 基からの電力を一つにまとめて海底ケーブルに接続する水中変電ポッド (Underwater Substation Pod : USP) の開発も行っている。

ハワイの米国海軍基地沖において 2008 年より試験が行われている他、Iberdrola S.A 社と契約を締結しスペインにおいて 1.39MW (40kW×1 基、150kW×9 基) 実証プロジェクトを進めている。また、ニュージャージー州やオレゴン州、オーストラリアのポートランドにおいてもプロジェクトが進められている。

2009 年 7 月、東京都は、温室効果ガスの大幅削減に向け再生可能エネルギーの飛躍的拡大を推進する一環として、海洋エネルギーの利用、中でも波力発電に着目、学識経験者や民間事業等と波力発電検討会を立ち上げ、波力発電の利用可能性を検討した。PowerBuoy を開発した OPT 社もこれに参加している。

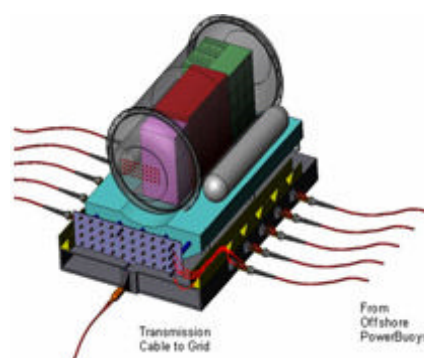
図表 「PB150 PowerBuoy」の概要

全長×幅	44m×14m (144.3ft×45.9ft)
発電出力	150kW
動力変換	油圧システム

図表 プラント概観



図表 Underwater Substation Pod (USP) 概念図



出典：Ocean Power Technologies 社ホームページ (<http://www.oceanpowertechnologies.com/index.htm>)

## (3) 日本

日本の波力発電開発は、1919年に千葉県大東崎において実施された、振り子式及び空気圧縮式の波力発電装置の現地実験に始まる。1965年には、海上保安庁により浮体式振動水柱型装置の益田式航路標識用ブイ（最大出力30W～60W）が採用され、世界で初めて実用化された波力発電装置となった（図表 6.24）。現在国内外で数千台が稼働中である。

図表 6.24 益田式航路標識ブイ（再掲）



出典：緑星社ホームページ（<http://www.ryokusei.co.jp/>）

波力発電研究が本格化したのは1970年代で、オイルショックを契機に、石油・天然ガスの代替エネルギーとして、世界的に波力発電への関心が高まった。特に我が国は四方を海に囲まれていることから波力発電への期待は高く、「海明」、「海陽」（図表 6.25）等、様々な波力発電装置の実海域実験が精力的に行われた。

当時我が国は、波力発電研究の先端にあったが、その後石油価格の高騰が沈静化していく中で、研究開発投資も先細りとなり、2003年に終了した「マイティホエール」（図表 6.25）の研究開発以後、日本においては大規模な実証プロジェクトは行われていない。結果として、継続的に研究開発を進めてきた欧米に遅れを取る形となった。

図表 6.25 日本における主要な大規模実証プロジェクト

プラント・技術・開発主体等	概要	写真
海明 -振動水柱型・空気流 -1978～1980、海洋科学技術センター	<ul style="list-style-type: none"> <li>●全長80m、幅12m、総重量800tの船型浮体に13の空気室を設置。</li> <li>●空気室は入射波の進行方向に沿って配置。定格125kWのタービン発電機を8室に搭載。</li> <li>●装置は山形県鶴岡市由良の沖合3kmに係留。</li> </ul>	<p>出典：JAMSTEC ホームページ（<a href="http://www.jamstec.go.jp/j/">http://www.jamstec.go.jp/j/</a>）</p>

<p>海陽 -可動物体型・回転運動 -1984～1985、日本造船振興財団</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●波浪エネルギーを油圧に変換。油圧モーターを経て交流発電機を駆動。</li> <li>●沖縄県八重山郡竹富町西表船浮湾サバ崎沖水深 10m に設置。</li> <li>●異常海象時には構造物全体がジャッキアップする。</li> </ul>	 <p>出典：(財)日本造船振興財団海洋環境技術研究所資料</p>
<p>マイティホエール -振動水柱型・空気流 -1998～2002、海洋科学技術センター</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●複数の空気室は波の入射方向に直角に配置。後方に浮力室とスロープを配置。</li> <li>●幅 30m, 長さ 50m のプロトタイプ装置。</li> <li>●ウェルズタービンを 3 台設置。総合変換効率は最大 15%。</li> <li>●波エネルギー利用と装置背後の静穏海域を利用する多目的利用型。</li> <li>●発電コストについて、陸上へ送電する浮体式システムは 287 円/kWh、波力発電を浮体の多機能の一部とした場合は 181～123 円/kWh と試算。</li> </ul>	 <p>出典：JAMSTEC ホームページ (<a href="http://www.jamstec.go.jp/j/">http://www.jamstec.go.jp/j/</a>)</p>

出典：「海洋エネルギーの利用技術に関する現状と課題に関する調査」(2008, NEDO)  
「波浪エネルギー利用技術の研究開発 ―沖合浮体式波力装置「マイティホエール」の開発―」(2004, JAMSTEC)

近年になり、地球温暖化問題や近年の石油価格の高騰、エネルギー安全保障の必要性を受け、世界的に波力発電を含む海洋エネルギー利用が再び脚光を浴びている。その流れを受けて、日本においても再度研究開発の気運が高まっており、発電効率の高い装置を波エネルギー密度の高い沖合に設置するというコンセプトのもとに、様々な波力発電装置の開発が行われている。

ジャイロ式波力発電装置 (P333 参照) や、人工筋肉を用いた EPAM 波力発電装置 (P335 参照) などは、従来の発電装置とは異なる原理を用いており、日本独自技術としてその実用化が期待される。平成 21 年度 NEDO 洋上風力発電等技術研究開発 (海洋エネルギー先導研究) では、越波型波力発電装置の技術研究開発に関する東海大学の提案が採択された。また、平成 22 年度の環境省地球温暖化対策技術開発等事業 (競争的資金) では、東京大学、三井造船、三井造船昭島研究所による「波力エネルギーの地域特性評価と係留システムの研究」が採択されている。

日本のものづくり技術、浮体技術の水準は高く、本格的な技術開発が再開されれば海外に追いつくことは可能との見解もある。

図表 6.26 近年の主要な波力発電装置

装置名	設置場所	開発主体	技術	実施期間
ジャイロ式波力発電装置	鳥取県、和歌山県	神戸大学	可動物体型	2004～2010
つるべ式波力発電装置	山口県下関市彦島	山口大学	可動物体型	2005
EPAM 発電装置	カリフォルニア	HYPHER DRIVE	可動物体型	2008.12

出典：「21世紀の海洋エネルギー開発技術」（2006, (社)日本海洋開発建設協会）、「ジャイロを利用した高効率波力発電装置」（2007, 神戸大学 神吉 博）、和歌山県ホームページ (<http://www.pref.wakayama.lg.jp/index.html>)、HYPHER DRIVE 社ホームページ (<http://www.hyperdrive-web.com/index.html>) より作成

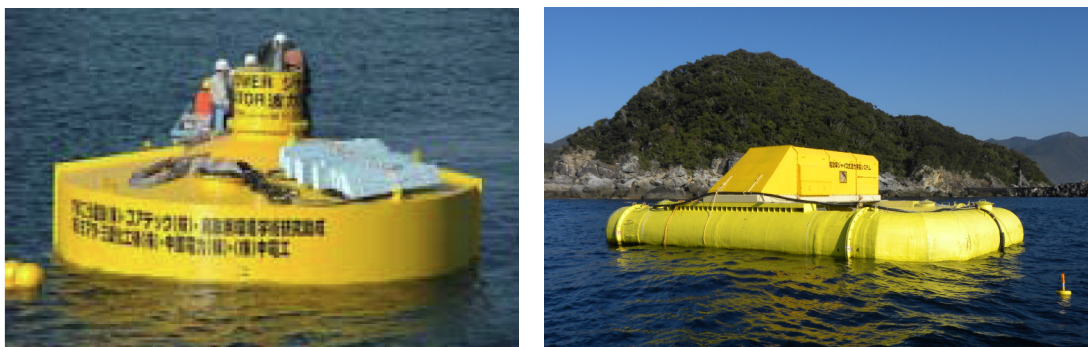
### ＜ジャイロ式波力発電装置＞

ジャイロ式波力発電装置は、波を受けて傾いた回転する円板が元に戻ろうとする力（ジャイロモーメント）で直接発電機を駆動するもので、従来のエネルギー変換方式とは原理が異なる。エネルギー変換回数が少ないため、高効率化が可能であり、従来の方式に比べて発電効率を約2倍にすることが可能である。その他、特徴として主に以下の項目が挙げられている。

- 広範囲な大きさの波（波高 0.5～4m）で高効率発電が可能
- 長寿命（浮体 15 年、本体 30 年目標）
- コンパクトかつ軽量
- 低建設コスト、低メンテナンスコスト（塗料、軸受交換のみ）

2003 年度より、プロトタイプ機の開発・実験が行われており、2010 年には 45kW 機（4 号機）の海上実験が行われた。

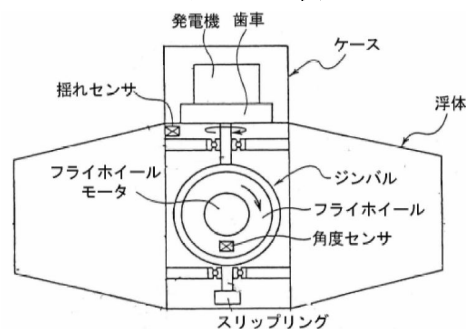
図表 ジャイロ式波力発電装置(左:1号機 右4号機)



出典（左）：「ジャイロを利用した高効率波力発電装置」（神戸大学 神吉 博、(独)科学技術振興機構 平成 18 年度新技術説明会 配布資料）

写真提供（右）：(株)ジャイロダイナミクス

図表 ジャイロ式波力発電装置の仕組み

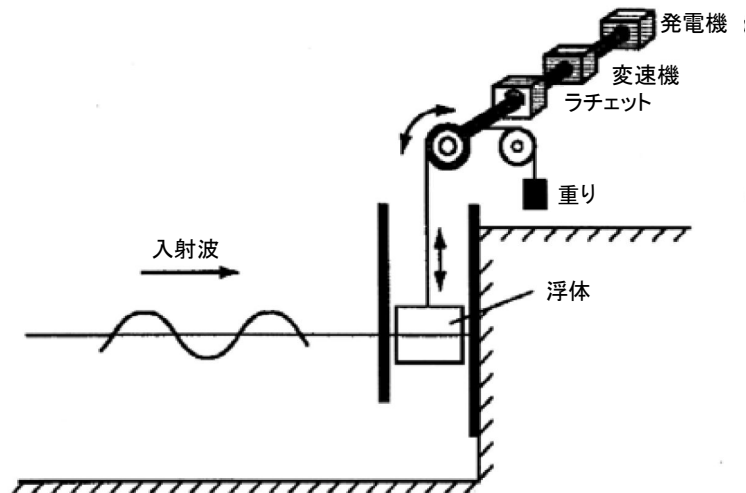


出典：「ジャイロを利用した高効率波力発電装置」（神戸大学 神吉 博、(独)科学技術振興機構 平成 18 年度新技術説明会 配布資料）

**<つるべ式波力発電装置>**

山口大学が開発を推進する「つるべ式発電装置」は、つるべ式の構成で水面の上下動から一定方向に回転する軸の動力を取出す波力発電装置である。滑車にフロート（浮き）と重りを取り付け、フロートは海に浮かべてフロートの上下運動を滑車の回転運動に変換してタービンを回す。フロートの上下運動を滑車に伝えるワイヤーにはばねを装着することでエネルギーの一部がばねに蓄えられる。

ワイヤーとラチェット機構がポイントで、フレキシブルなワイヤーの張力だけで動力を伝達する部分をもつため、構造強度上の問題の主要部分を解決し、さらにエネルギーを取り込む可動物体と機械部分を構造的に分離して設置や設置後の維持補修を格段に容易にしている。つるべ式構成の要素を複数連結すると、ラチェット機構の作用により個々の要素は不揃いに運動しながら協力して発電機を回す。

**図表 つるべ式波力発電システムの基本構造**

出典：「環境報告書 2007」（山口大学）より作成

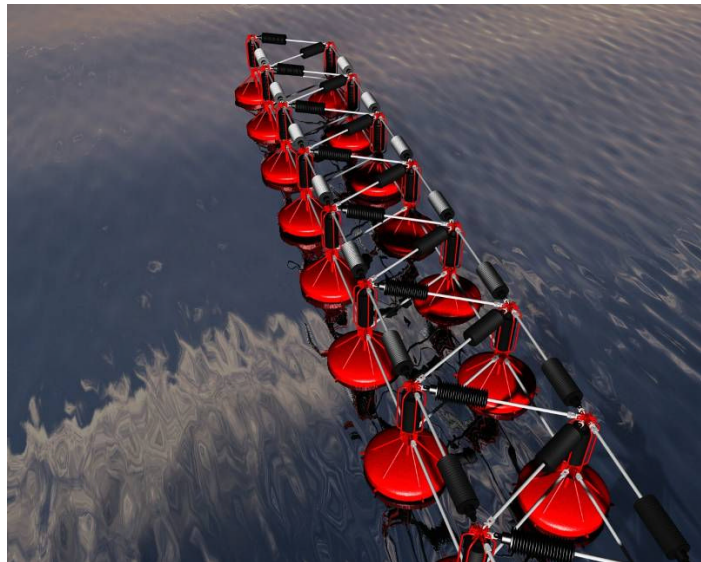


### <EPAM 波力発電装置>

EPAM 波力発電装置は、米国の研究機関 SRI International が開発したソフトアクチュエータである、電場応答高分子型人工筋肉（Electroactive Polymer Artificial Muscle : EPAM）を利用した、新しい方式の波力発電である。EPAM は、アクリル系やシリコン系樹脂等からなる薄い高分子膜を伸縮可能な電極で挟んだ構造をしている。電極間に電位差が与えられると静電力によって電極が引き合い、高分子膜が収縮し、面方向に伸長する。この駆動モードを逆にすると、膜の歪みにより発電することができる。

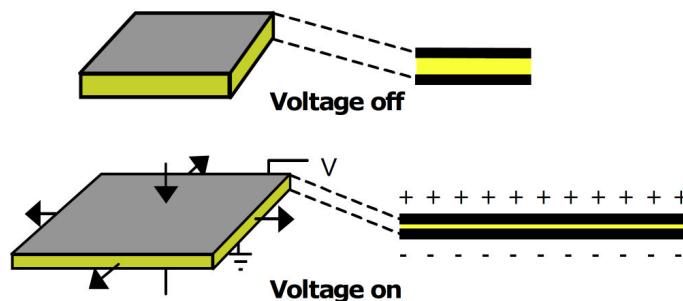
EPAM の波力発電への応用は、日本のベンチャー企業 HyperDrive 社が SRI と共同で開発を進めている。カリフォルニア州サンタクルーズの沖合で実証試験を行っており、将来的には約 2kW/モジュールを目指している。

図表 プラント概観（イメージ図）



出典：SRI International ホームページ (<http://www.sri.com/news/imagebank/EPAMGenerator.html>)

図表 EPAM 波力発電装置の動作原理



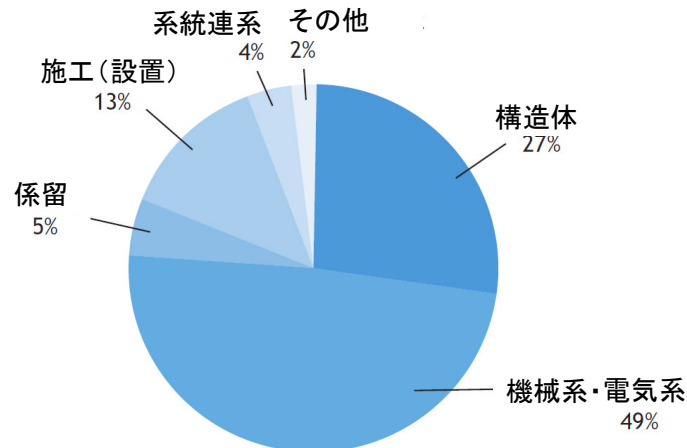
出典：「SRI 型人工筋肉アクチュエータ（EPAM）の現状と将来」（2006、千葉 正毅）

### 6.1.6 システム価格、発電単価等<sup>21</sup>

#### (1) 現状のコスト

波力発電システム価格<sup>22</sup>の内訳例を図表 6.27 に示す。採用する技術の方式や設置エリアにより構成比率は異なるが、機械系・電気系機器のコストが約半分を占めており、次に構造体に係る費用が約3割を占めている。

図表 6.27 波力発電システム価格の内訳例



出典：“Future Marine Energy Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy” (2006, Carbon Trust) より作成

図表 6.28 に波力発電の現状のシステム価格・発電コスト試算例を示す。

システム価格は概ね数十万円/kW～150万円/kW程度となっており、採用するシステムや設置場所によって事例毎に大きく異なるものと思われる。

発電コストについては、技術のタイプや設置場所の波力エネルギー密度に大きく左右されるため、波力エネルギー密度の高い欧州等においては、発電コストはより低くなると考えられる。

生産初期段階を想定した試算では20～75円/kWhと幅があるが、量産化した際の試算では概ね20円～30円/kWh程度と考えられている。発電コストには減価償却費や利子の他に運転・保守管理に係るコストも影響するが、運転・保守管理費は設置場所が沿岸や陸地から近い地点にあるかどうか等によって大きく異なってくる。

<sup>21</sup> 1ドル=100円、1ユーロ=130円として換算している。以下同様。

<sup>22</sup> 設備費（発電装置に係る費用）、設置に係る諸経費（施工、係留、系統連系等に係る費用）の合計をシステム価格と定義する。

図表 6.28 波力発電のコスト試算例

資料 No.	前提等	システム価格	発電コスト
1	沖合設置 (プロトタイプ)	約 68~150 万円/kW <sup>※</sup>	-
2	2005 年	約 60~150 万円/kW <sup>※</sup>	約 20~30 円/kWh <sup>※</sup>
3	設備利用率 10%	40 万円/kW	30 円/kWh
4	EPAM 発電装置 <sup>23</sup> (幅 1m の EPAM 発電装置を量産した場合)	70~90 万円/kW	20~26 円/kWh
5	PowerBuoy 発電装置 <sup>24</sup>	39 万円/kW	15 円/kWh

※ 1 ポンド=170 円、1 ドル=100 円として換算

[出典]

資料 1 “Future Marine Energy Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy” (2006, Carbon Trust)

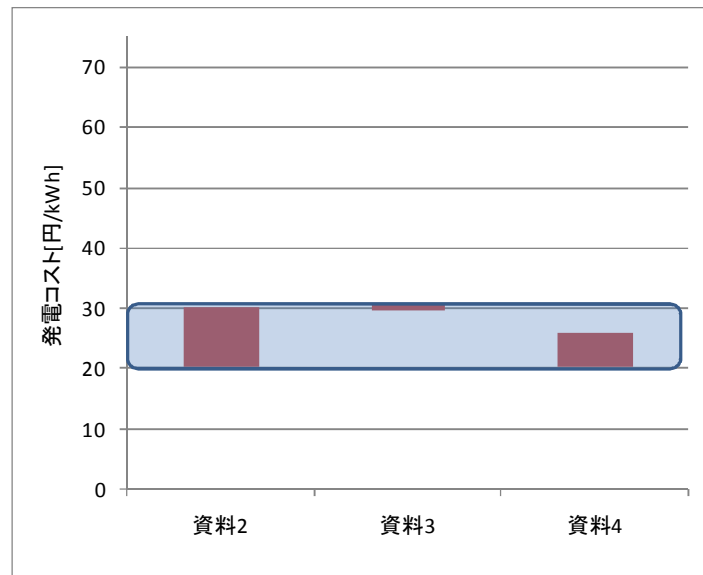
資料 2 “Energy Technology Perspectives 2008” (IEA)

資料 3 浦 環「我が国の海洋開発利用の基本戦略－海洋技術フォーラムからの提言－」(2009, 海洋技術フォーラムシンポジウム資料)

資料 4 千葉 正毅「SRI 型人工筋肉アクチュエータ (EPAM) の現状と将来」(2006)

資料 5 「波力発電検討会報告書」(2010, 波力発電検討会)

図表 6.29 波力発電の発電コスト試算例



資料番号は図表 6.28 に対応

<sup>23</sup> P335 参照。

<sup>24</sup> P329 参照。

(2) 将来のコスト

図表 6.30 に波力発電の将来のシステム価格・発電コスト試算例を示す。

システム価格は、2020 年頃から約 50 万円/kW 以下にまで低減すると予想されており、設計の最適化や規模の経済、習熟効果等によりコスト低減の可能性がある。

また発電コストについて、IEA では 2018 年に約 20 数円/kWh、2030 年から 2050 年にかけては 7 円/kWh 程度のコストレベルになるという野心的な見通しが示されている。

図表 6.30 波力発電の将来コスト試算例

資料 No	前提等	システム価格※	発電コスト※
1	(2005 年)	約 60~150 万円/kW	約 20~30 円/kWh
	2030 年	約 25~50 万円/kW	約 4.5~9 円/kWh
	2050 年	約 20~40 万円/kW	約 4~8 円/kWh
2	40MW (2018 年)	約 26 万円/kW	約 19~26 円/kWh

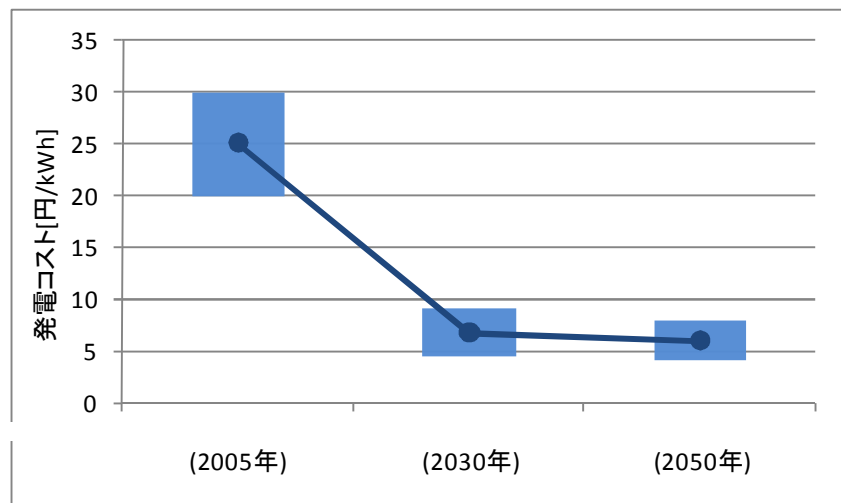
※ 1 ドル=100 円として換算

(出典)

資料 1 “Energy Technology Perspectives 2008” (IEA)

資料 2 “Comparative Costs of California Central Station Electricity Generation” (2010, California Energy Commission)

図表 6.31 波力発電の将来の発電コスト試算例



資料は図表 6.30 の資料 1 に対応

## 6.1.7 推進施策・関連法令

### (1) 欧州

EU の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 6.32 に示す。EU は、エネルギーセキュリティ、化石燃料依存からの脱却、社会的・経済的団結等を背景に、地球温暖化対策に係る野心的な目標を掲げ、積極的な環境・エネルギー政策を打ち出してきた。近年の動向として、再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令、およびフィードインタリフ制度について詳述する。

図表 6.32 欧州における主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
再生可能エネルギー白書 <sup>25</sup> (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに EU 内のエネルギー消費量の 12% を再生可能エネルギーで賄う目標を設定（法的拘束力なし）。</li> <li>目標達成に向けた行動計画を策定。</li> </ul>
再生可能電力推進に関する欧州指令 <sup>26</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに電力供給量の 21% を再生可能エネルギーでまかなう目標を設定。</li> <li>加盟各国に示唆的目標を設定（法的拘束力なし）。</li> <li>目標達成は困難な見通し（2010 年までに 19% の達成見込み）。</li> </ul>
バイオ燃料促進に関する欧州指令 <sup>27</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75% をバイオ燃料で代替する目標を設定（法的拘束力なし）。</li> <li>目標達成は困難な見通し。</li> </ul>
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 <sup>28</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能電力推進に関する指令とバイオ燃料促進に関する指令を修正、廃止する新たな指令。</li> <li>2020 年までに EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20% にする目標を設定。</li> <li>2020 年までに運輸部門における再生可能エネルギーの割合を 10% にする目標を設定。</li> <li>各国に法的拘束力のある目標値を設定。</li> </ul>
フィードインタリフ制度（Feed-in tariff）	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギーの買取価格（tariff）を法律で定め、一定期間の買取りを保障する制度。</li> <li>ドイツ、スペイン等で太陽光発電が爆発的に普及する起爆剤となった。</li> </ul>

<sup>25</sup> COM(1997)599 “Energy for the Future: Renewable Sources of Energy”

<sup>26</sup> Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market

<sup>27</sup> Directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport

<sup>28</sup> Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

## 1) 再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令

2007年3月、欧州理事会は、EUの地球温暖化対策として以下4項目について合意した。

- 1) 2020年までに、EU全体の温室効果ガス排出量を1990年比で少なくとも20%削減する。
- 2) 2020年までに、EU全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を20%に引き上げる。
- 3) 2020年までに、各国の輸送用燃料におけるバイオ燃料の比率を10%に引き上げる。
- 4) 新規化石燃料発電所へのCO<sub>2</sub>回収・地中貯留（CCS）システムの設置に向け、各国間で協力して技術開発、法的枠組み作り等を進める。

再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令は、上記4項目のうち2)と3)を達成するための手段や国別目標値を具体化したもので、再生可能電力推進に関する欧州指令（2001）とバイオ燃料促進に関する欧州指令（2003）を修正、廃止する指令である。

図表 6.12 に EU 加盟各国における 2020 年時点の再生可能エネルギー比率の目標値を示す。本指令は「2020年までに20%」という目標を達成するために、法的拘束力のある目標値を加盟各国に課している。国別目標値の設定にあたっては、再生可能エネルギーに関する各国の状況や経済力等が考慮されている。

図表 6.33 EU 加盟国の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率の経年変化と 2020 年目標値（再掲）

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES”（2008, BMU）、  
Directive 2009/28/EC より作成

## 2) フィードインタリフ制度

図表 6.35 に、欧州における主要な波力発電支援制度を示す。

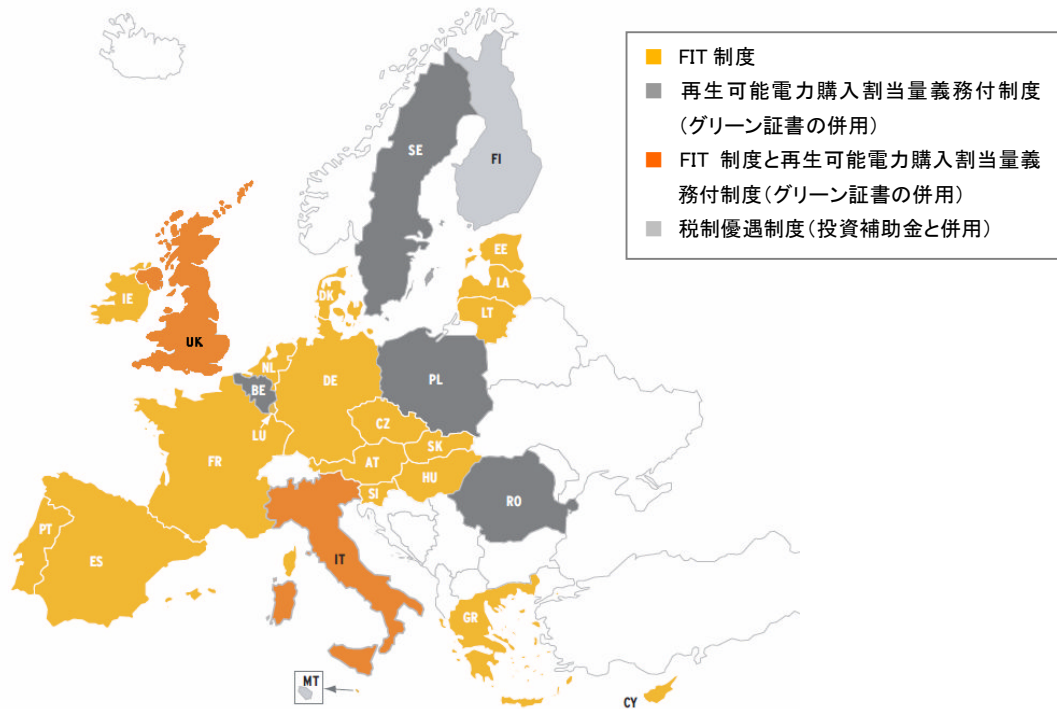
欧州における主要な再生可能エネルギー推進施策に、フィードインタリフ（Feed-in tariff）制度が挙げられる。フィードインタリフ制度とは、再生可能エネルギーの買取価格（tariff）を法律で定める方式の助成制度で、一定期間の買取りを保障する制度である。買取価格は年を経るごとに低減される仕組みになっており、早期に事業を開始した方が有利となる。再生可能電力を通常の電気料金よりも高い価格で安定的に購入してもらえるため、再生可能電力事業者にとって大きなインセンティブとなっている。

波力発電については、ポルトガル、アイルランドにおいてフィードインタリフ制度の対象エネルギーとなっており、それぞれ 0.23 ユーロ/kWh、0.22 ユーロ/kWh の買取価格が設定されている。

FIT の他に代表的なものとして、再生可能電力購入割当量義務付制度が挙げられる。再生可能電力購入割当量義務付制度とは、電力事業者と大口の消費者に、再生可能電力の購入割当量が義務付けられる制度で、日本における RPS 制度と類似の制度である。再生可能電力に対して発行される、売買可能なグリーン証書（Tradable Green Certificates:TGC）と併用されることが一般的で、再生可能電力の使用またはグリーン証書の購入によって割当量を充足できるようになっている。

欧州では、多くの国で FIT が採用されており、2009 年末時点で採用国数は約 20 カ国に及ぶ。しかし買取価格は国によって差があり、制度設計上の問題等から、全ての国でドイツのような爆発的な再生可能エネルギーの普及が進んでいるわけではない。また、スペインでは増大する固定価格買取発電量に対して電力需要家の負担軽減を図るため、エネルギー源別に累積導入量の上限を設定し、上限に達したエネルギー源の買取価格を見直す条項を設定するなど、制度の適切な運用に向けた見直しが進んでいる。

図表 6.34 欧州における再生可能エネルギー支援施策



出典：「RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES」(2009, BMU)

図表 6.35 波力発電に対する欧州主要国の支援策例

国	優遇措置	当該国での価値	日本円換算
イングランド	海洋発電に対する再生可能エネルギー証書 (ROCs) の発行	0.1 ユーロ/kWh	13.0 円/kWh
スコットランド	潮力発電の ROCs 波力発電の ROCs	0.15 ユーロ/kWh 0.25 ユーロ/kWh	19.5 円/kWh 33.5 円/kWh
ポルトガル	波力発電の固定買取価格 (FIT)	0.23 ユーロ/kWh	29.9 円/kWh
アイルランド	海洋発電の固定買取価格 (FIT)	0.22 ユーロ/kWh	28.6 円/kWh

※ 1 ユーロ=130 円として換算

出典：「波力発電検討会報告書」(2010, 波力発電検討会)



## (2) 米国

米国の主要な推進施策・関連法令を図表 6.36 に示す。世界第 1 位の CO2 排出国として、米国の地球温暖化対策推進の必要性が高まる中、オバマ政権の発足に伴い、グリーンニューディールという政策方針のもとで再生可能エネルギーの導入普及に向けた動きが加速している。

波力発電については、これまで大きくフォーカスされることはなかったが、近年 PTC（生産税控除、P344 参照）の対象エネルギーに波力発電が追加されており、注目が高まっている。

図表 6.36 米国の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
2005 年エネルギー政策法 <sup>29</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 包括的なエネルギー法案。エネルギーインフラの強化、エネルギー効率の向上、再生可能エネルギーの利用拡大、在来型燃料の国内増産等を掲げる。</li> <li>• 再生可能エネルギーについては、再生可能燃料基準（RFS）<sup>30</sup>を導入した他、政府機関の再生可能電力比率を 7.5%に引き上げる目標を設定。また、各種インセンティブ制度を認可・拡充。</li> </ul>
ITC（投資課税控除） （Federal Business Investment Tax Credit）	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。</li> <li>• 太陽光発電の控除率は 30%。</li> </ul>
PTC（生産税控除） （Renewable Energy Production Tax Credit）	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。</li> <li>• 条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。</li> <li>• 太陽光発電は対象外。</li> <li>• <u>エネルギー改善・延長法により、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電を対象技術に追加。</u></li> </ul>
Renewable Energy Grants （再生可能エネルギー助成制度）	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2009 年 2 月に成立した米国経済再生法により、米国財務省による本助成制度を創設。</li> <li>• 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。</li> </ul>
MACRS（修正加速度償却法） （Modified Accelerated Cost-Recovery System）	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。</li> <li>• 太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。</li> </ul>

出典：DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) 等より取りまとめ

<sup>29</sup> Public Law 190-58, Energy Policy Act of 2005, Aug. 2005

<sup>30</sup> 再生可能燃料基準（Renewable Fuel Standard）。自動車用燃料等へのバイオ燃料の使用を義務付けるもの。

### ① 2005 年エネルギー政策法<sup>31</sup>

2005 年エネルギー政策法（Energy Policy Act of 2005）は、1992 年に成立した「1992 年エネルギー政策法」を踏まえ、より包括的なエネルギー法案として策定された。「エネルギー効率」「再生可能エネルギー」「石油・天然ガス」「石炭」「原子力」「自動車・燃料」「調査・研究開発」等、エネルギーに係る各種項目について、既存の法律の改正、各種インセンティブ制度の策定等が実施されている。

再生可能エネルギーに関しては、連邦政府に対して一定量の再生可能エネルギー由来の電力の買取を義務付けたほか、PTC（生産税控除）や ITC（投資課税控除）等の各種インセンティブ制度を認可・拡充している（PTC、ITC については後述）。特に ITC については、同法により、商業用太陽光発電システムの税控除率が 10%から 30%に大幅に拡充された。

- 連邦政府に対する再生可能電力買取りの義務付け（2013 年までに 7.5%）。
- 再生可能燃料基準（RFS）の導入。2012 年に年間 7.5 ガロンの目標を設定。
- 再生可能エネルギーに係る各種インセンティブの延長・拡充。
  - PTC（生産税控除）の期限を延長
  - 住宅用太陽光システム・燃料電池について 30%の ITC（投資課税控除）を創設
  - 商業用太陽光システムの ITC による税控除額を 10%から 30%に引き上げ

### ② 各種インセンティブ制度

連邦政府による主要なインセンティブ制度には以下が挙げられる。各制度の詳細を図表 6.38 に示す。

- ITC（Federal Business Investment Tax Credit：投資課税控除）
  - ◇ 1992 年のエネルギー政策法（Energy Policy Act）により創設。
  - ◇ 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。
  - ◇ エネルギー改善・延長法<sup>32</sup>により、太陽エネルギー利用設備、燃料電池、マイクロタービンに係る課税控除が 2016 年まで延長された。また、小型風力発電システム、地中熱ヒートポンプ、CHP が対象エネルギーに追加された。
- PTC（Renewable Energy Production Tax Credit：生産税控除）
  - ◇ 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。
  - ◇ 太陽光は対象外。
  - ◇ エネルギー改善・延長法により、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電を対象技術に追加。

<sup>31</sup>“Energy Policy Act of 2005: Summary and Analysis of Enacted Provisions”(Mar. 2006, CRS)、米国総務省資料、Pew Center on Global Climate Change ウェブサイト

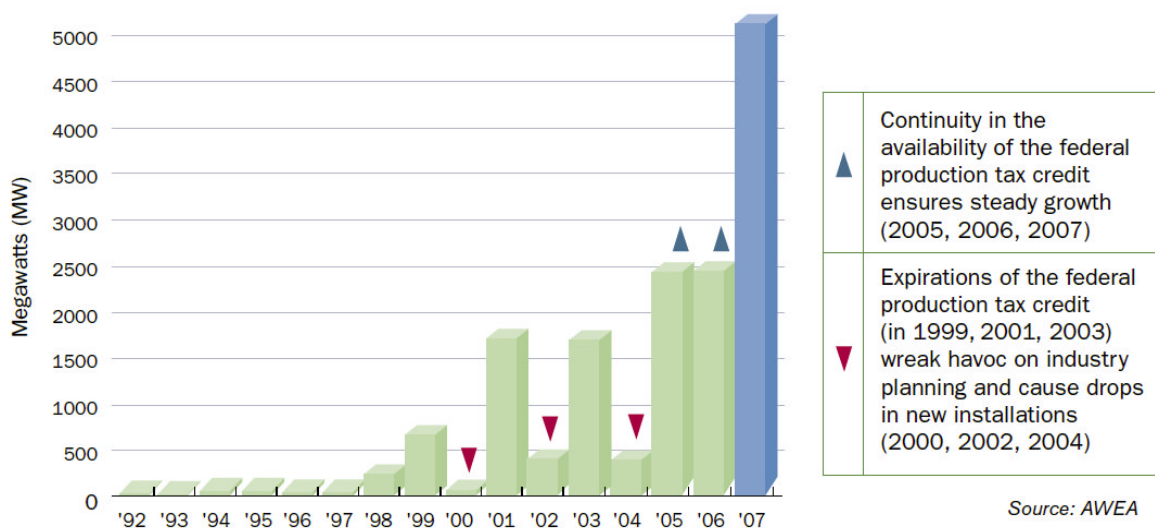
<sup>32</sup> Energy Improvement and Extension Act of 2008、金融危機対策関連法案（Public Law 110-343）の一つ。再生可能エネルギー、CO<sub>2</sub>回収・除去技術、エコカー・バイオ燃料、省エネ機器等に係る各種インセンティブが延長、拡充された。

◇ 米国経済再生法<sup>33</sup>により風力発電の控除期間が 2012 年末に延長された。

- Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)
  - ◇ 米国経済再生法により創設。
  - ◇ 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。
  - ◇ 潮流発電、波力発電、海洋温度差発電も同制度の対象。
- Modified Accelerated Cost-Recovery System (MACRS) (修正加速度償却法)
  - ◇ 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。
  - ◇ 太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。

上記のうち、PTC (生産税控除) は特に再生可能エネルギーの導入量に大きく影響を与える制度に挙げられる。例えば風力発電の導入量は、PTC の延長の有無に大きな影響を受けている (図表 6.37)。

図表 6.37 PTC の延長と風力発電の発電容量 (新規増設分) の経年変化



▲は PTC の税控除期限が延長された年、▼は PTC の税控除期限が切れた年を表している。期限が延長された年は導入量が大きく伸びているのに対し、期限が切れた年は導入量が大きく減少しており、PTC が風力発電設備導入に与えている影響の大きさが分かる。

出典：“Wind Power Outlook 2008” (AWEA)

<sup>33</sup> American Recovery and Reinvestment Act、2008 年末の金融危機対策として 2009 年 2 月に成立。各種経済刺激策に加え、科学技術、環境保護、各種インフラへの投資、州や地方政府の財政安定化策等が盛り込まれている。

図表 6.38 連邦政府の主要な再生可能エネルギー支援施策

施策名	対象セクター	対象システム	インセンティブ	期限
ITC (投資課税控除)	商業、産業、電気事業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、風力、バイオマス、地熱発電、燃料電池、小型風力発電、地熱利用、マイクロタービン、CHP 等	<控除率> <ul style="list-style-type: none"> <li>30% : 太陽熱利用、太陽光発電、燃料電池、風力発電</li> <li>10% : 地熱利用、マイクロタービン、CHP</li> </ul>	2016/12/31
PTC (生産税控除)	商業、産業	風力発電、バイオマス、地熱発電、埋立地ガス発電、廃棄物発電、水力発電、 <u>潮流発電、波力発電、海洋温度差発電</u> 等 ※太陽光発電、太陽熱発電は対象外	<控除額> <ul style="list-style-type: none"> <li>風力 : 2.1 セント/kWh</li> <li>閉鎖系バイオマス、地熱 : 2.1 セント/kWh</li> <li>開放系バイオマス、埋立地ガス、廃棄物、水力、海洋エネルギー : 1.0 セント/kWh</li> </ul>	2013/12/31
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	商業、産業、農業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、燃料電池、小型風力発電、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス、廃棄物、地中熱ヒートポンプ、マイクロタービン、CHP、 <u>潮流発電、波力発電、海洋温度差発電</u> 等	<助成率> <ul style="list-style-type: none"> <li>固定資産の 30% : 燃料電池、太陽エネルギー関連設備、小型風力、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス</li> <li>固定資産の 10% : その他対象エネルギー</li> </ul>	2011/10/1
MACRS (修正加速度償却法)	商業、産業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、埋立地ガス、風力発電、バイオマス、再生可能燃料(運輸用)、地熱発電、地熱利用、燃料電池、廃棄物利用、CHP、マイクロタービン等	<償却期間> <ul style="list-style-type: none"> <li>5年 : 太陽熱利用、太陽光、地熱発電、風力発電、燃料電池、マイクロタービン</li> <li>条件を満たす設備については、初年度 50% のボーナス償却を利用できる。</li> </ul>	2009/12/31

出典 : DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より取りまとめ

### (3) 日本

日本の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 6.39 に示す。我が国のエネルギー自給率は極めて低く、「エネルギーの安定供給」は最重要課題の一つであること、また地球温暖化対策への取り組みが急務であること等から、これまで多くのエネルギー政策が展開されてきた。

海洋エネルギーについては、2007 年に海洋基本法が策定され、日本として戦略的に海洋エネルギー開発に取り組む素地が出来た。以下にエネルギー基本計画、RPS 法、技術戦略マップ、海洋基本計画について詳述する。

図表 6.39 日本における主要な環境・エネルギー政策

政策名称	概要
エネルギー基本計画（2003） 第一次改定 2007 年 3 月 第二次改定 2010 年 6 月	<ul style="list-style-type: none"> <li>「エネルギー政策基本法」（2002）に基づき策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。</li> <li>2007 年に第一次改定、2010 年に第二次改定を実施。第二次改定では、2030 年までの今後 20 年程度を視野に入れた具体的施策を明示。</li> <li>再生可能エネルギーについては、2020 年までに一次エネルギー供給の 10%をまかなう目標を設定。</li> </ul>
電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法：RPS 法（2003）	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気事業者に新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。</li> </ul>
新・国家エネルギー戦略（2006）	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー安全保障を軸に、我が国の新たな国家エネルギー戦略を提示。</li> <li>①国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立</li> <li>②エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立</li> <li>③アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献を目標として掲げる。</li> </ul>
技術戦略マップ（エネルギー技術）（2007、毎年更新）	<ul style="list-style-type: none"> <li>新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示。</li> <li>産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的とする。</li> </ul>
海洋基本法（2007）	<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋に関する施策を総合的かつ計画的に推進し、我が国の経済社会の健全な発展及び国民生活の安定向上を図るとともに、海洋と人類の共生に貢献することを目的とした法律。</li> </ul>

## 6 波力発電の技術の現状とロードマップ

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 本法律に基づき、海洋に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため「海洋基本計画」が策定された。</li> </ul>
海洋基本計画（2007）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「海洋基本法」に基づき、海洋に関する基本的な計画を定めたもの。</li> <li>● 排他的経済水域等における当面の探査・開発の対象を石油・天然ガス、メタンハイドレート及び海底熱水鉱床とする。</li> <li>● 海洋エネルギーに関しては、洋上風力、波力、潮汐発電等の技術開発を支援。</li> </ul>
Cool Earth エネルギー革新技術計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、 <ol style="list-style-type: none"> <li>①重点的に取り組むべき21の革新技術の選定</li> <li>②21技術の技術ロードマップの提示</li> <li>③国際連携のあり方の提示</li> </ol> </li> </ul>
京都議定書目標達成計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「地球温暖化対策推進法」（1998）に基づき、6%削減約束を達成するために必要な措置を提示。</li> <li>● 再生可能エネルギーについて、太陽光、太陽熱、風力、バイオマス、未利用エネルギー（温度差エネルギー、雪氷熱等）等の導入を促進。</li> </ul>
エネルギー供給構造高度化法（2009）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電気やガス、石油事業者等のエネルギー供給事業者において、非化石エネルギー源の利用拡大、化石エネルギー原料の有効利用を促進することを目的とする。</li> <li>● 電力会社に加え、ガス会社や石油会社にも新エネルギーの利用を義務付け。</li> <li>● 本法律の枠組みの中で、「太陽光発電の固定価格買取制度」を策定。</li> </ul>
各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 図表 6.42 参照</li> </ul>

## 1) エネルギー基本計画

国がエネルギー政策を進めるに当たり、「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分考慮した上での「市場原理の活用」を基本方針とすること等を内容とする「エネルギー政策基本法」が2002年6月に制定された。「エネルギー基本計画」は、エネルギー政策基本法に基づき2003年に策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。

本計画は少なくとも3年ごとに検討を加え、必要に応じて改定されることが法定されており、2007年3月に第一次改定、2010年6月に第二次改定が実施された。

第二次改定では、エネルギー政策は、国民や事業者の理解・協力のもと、中長期的な視点で総合的かつ戦略的に推進する必要があるとの考えに立ち、2030年までの今後「20年程度」を視野に入れ、以下の目標の実現に向けた具体的施策を明示している。

- ① 資源小国である我が国の実情を踏まえつつ、エネルギー安全保障を抜本的に強化するため、エネルギー自給率（現状18%）<sup>34</sup>及び化石燃料の自主開発比率（現状約26%）をそれぞれ倍増させる。これらにより、自主エネルギー比率を約70%（現状約38%）とする。
- ② 電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力及び再生可能エネルギー由来）の比率を約70%（2020年には約50%以上）とする（現状34%）。
- ③ 「暮らし」（家庭部門）のエネルギー消費から発生するCO<sub>2</sub>を半減させる。
- ④ 産業部門では、世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図る。
- ⑤ 我が国に優位性があり、かつ、今後も市場拡大が見込まれるエネルギー関連の製品・システムの国際市場において、我が国企業群が最高水準のシェアを維持・獲得する。

再生可能エネルギーについては、2020年までに一次エネルギー供給に占める割合を10%に高めることを目標に掲げている。主な再生可能エネルギーとして、太陽光発電、風力発電、地熱発電、水力発電、バイオマス利用、空気熱や地中熱利用、太陽熱利用、雪氷熱利用等を挙げている。

## 2) 技術戦略マップ

技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示するものである。産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的としている。技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオ、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップから構成されている。

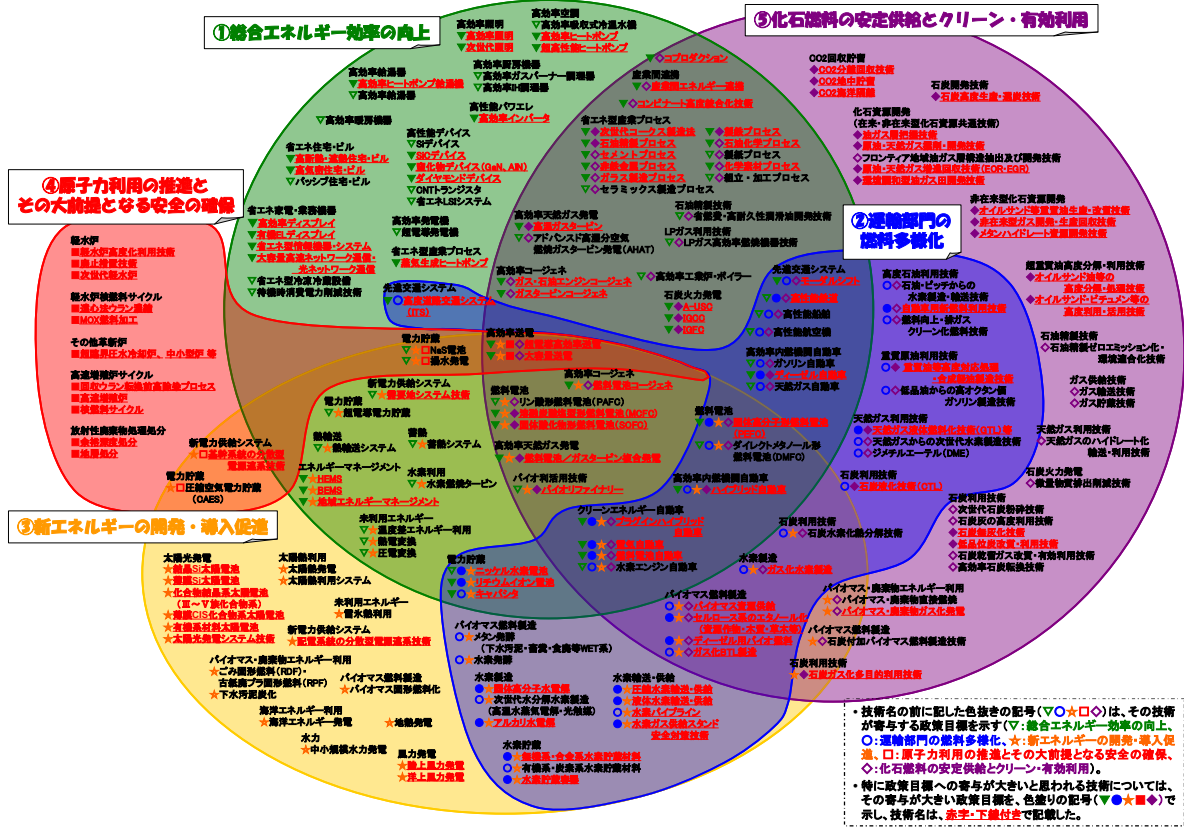
本技術戦略マップの作成にあたっては、「新・国家エネルギー戦略」（2006）における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・

<sup>34</sup> 一次エネルギー国内供給のうち、国産エネルギー（再生可能エネルギー等）及び準国産エネルギー（原子力）の供給の占める割合。OECD 諸国のエネルギー自給率の平均値は約70%。

6 波力発電の技術の現状とロードマップ

導入促進、④原子力の利用、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出している（図表 6.40）。本技術戦略マップの中に、海洋エネルギーも一技術として取り上げられ、波力発電、潮汐・潮流発電、海洋温度差発電の技術ロードマップが示されている。

図表 6.40 エネルギー技術俯瞰図



出典：「技術戦略マップ2010 エネルギー分野」（2009，経済産業省）

3) 海洋基本計画

1994年に国連から発行された「国連海洋法条約」により、従来の領海と公海に加え排他的経済水域（EEZ）、大陸棚等の海域区分が導入された結果、沿岸国の権限が拡大し、日本は国土面積の12倍に及ぶ世界第6位の管轄海域を持つことになった。これは海洋利用の可能性の広がりをも意味するとともに、海洋管理という新たな視点での政策を整備する必要性を意味する。また、国際社会における海洋の管理と利用を巡る動きは活発であり、我が国も海洋を管理する立場から明確な姿勢を持って対応していく必要がある。

このような状況を踏まえ、2007年7月20日「海洋基本法」が施行され、海洋に関する基本姿勢が明確化されるとともに、海洋に関する施策を集中的かつ総合的に推進するための体制として、内閣に総合海洋政策本部が設置された。『海洋基本計画』は、「海洋基本法」第16条の規定に基づき、海洋に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、政府が海洋に関する基本的な計画を定めたものである。計画の概要を図表 6.41 に示す。



図表 6.41 海洋基本計画の概要



出典：環境省 中央環境審議会資料

第1部では6つの基本的な方針、第2部では12の施策計画、第3部ではその他必要な事項が挙げられている。このうち海洋エネルギーに関連する項目は、基本方針の「①海洋の開発及び利用と海洋環境の保全との調和」と「③科学的知見の充実」、施策計画の「①海洋資源の開発及び利用の推進」と「③排他的経済水域等の開発等の推進」である。

この中で、排他的経済水域等における当面の探査・開発の対象を石油・天然ガス、メタンハイドレート及び海底熱水鉱床とし、必要な政策資源を集中的に投入するとともに、コバルトリッチクラストについては今後の調査・開発のあり方について検討する、としている。その他の海洋エネルギーに関しては、洋上風力発電の設置コストの低減、耐久性の向上のための技術的課題、環境影響評価手法の確立等に取り組むとする他、波力、潮汐等による発電については、国際的な動向を把握しつつ、我が国の海域特性を踏まえ、その効率性、経済性向上のための基礎的な研究を進めるとしている。

#### 4) 各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業

図表 6.42 に、主要な再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業について、波力発電関連事業を中心に示す。

図表 6.42 再生可能エネルギー導入補助事業例

事業名(補助率等)	制度概要	対象者	対象エネルギー	実施主体
<b>地方公共団体対策技術率先導入補助事業</b> 補助率：1/2 以内	地方公共団体が策定した実行計画に基づく代エネ・省エネ設備導入事業や、公共施設へのシェアード・エスコ事業について、要件を満たす設備の導入費用の一部を補助する。	地方公共団体/地方公共団体の施設へシェアード・エスコを用いて省エネ化を行う民間団体等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省
<b>地域イノベーション創出研究開発事業</b> 一般型：初年度目1億円以内/件 2年度目5千万円以内/件 地域資源活用型：3千万円以内/件 2年度目2千万円以内/件	産学官の研究開発リソースの最適な組み合わせからなる研究体を組織し、新製品開発を目指す実用化技術の研究開発を通じて、新たな需要を開拓し、地域の新産業・新事業の創出に貢献しうる製品等の開発を支援する。	研究体	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	経済産業省
<b>新エネルギーベンチャー技術革新事業</b> 委託費：1千万円/件（1年、FS）	中小・ベンチャー企業等が保有している潜在的技術シーズを活用した技術開発の推進、および新事業の創成と拡大等を目指した事業化を支援する。	企業/大学/独立行政法人等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	NEDO
<b>地球温暖化対策技術開発事業【競争的資金】</b> 委託事業：上限なし（予算枠7億円） 補助事業：1/2（上限なし、予算枠2.5億円）	再生可能エネルギー導入技術実用化開発、省エネ対策技術実用化開発等の技術開発分野ごとに、実用的な温暖化対策技術の開発について、優れた技術開発の実施に係る提案と実施体制を有する民間企業等を公募により選定し、委託又は補助を行う。	民間事業者/公的研究機関/大学等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省

出典：NEDO、経済産業省、環境省資料より取りまとめ

### 6.1.8 ビジネスモデル

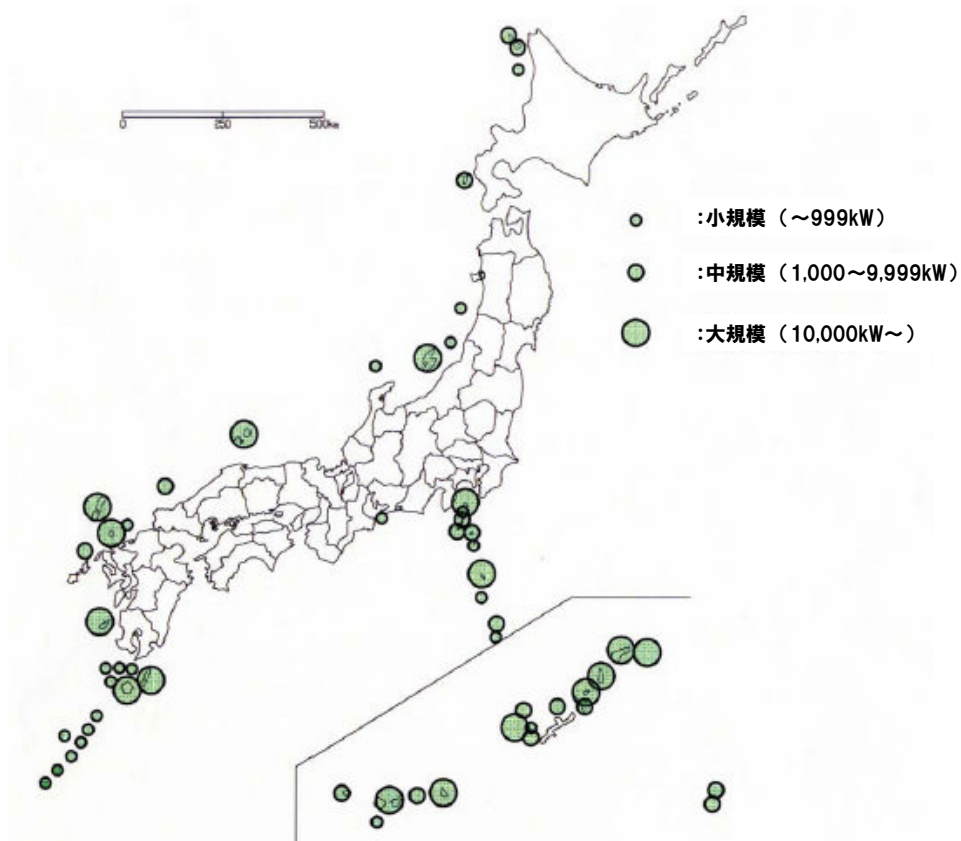
#### (1) 離島の分散型電源

波力発電の普及には、既存電源と競合するレベルまで発電コストを下げる必要があるが、発電コストの削減を図る中で、当面のターゲットとして、発電コストの高い離島における分散電源としての利用が考えられる。

日本には多くの離島が存在するが、離島の電力系統は本土と連系していない場合が多い（図表 6.43）。発電設備は一部の島で水力発電、地熱発電、太陽光発電、風力発電や移動用発電設備としてのガスタービン発電機等を有しているものの、概ね全てがディーゼル発電機である<sup>35</sup>。ディーゼル発電は、既存電源と比較して発電コストがときに4倍以上になる上、近年の石油価格の高騰によりさらに割高となる傾向にある。

従って、実用化の初期段階は離島のディーゼル発電に対しては競争力を有する可能性があり、離島をターゲットとして、ディーゼル発電の補助用あるいは代替電源として10~30MW規模の比較的小規模の波力発電システムを導入していくことが有効と考えられる。

図表 6.43 国内の離島系統の分布



出典：「離島等独立系統における新エネルギー活用型電力供給システム安定化対策実用化可能性調査」（2006, NEDO）

<sup>35</sup> 「離島等独立系統における新エネルギー活用型電力供給システム安定化対策実用化可能性調査」（2006, NEDO）

## (2) 大規模ウェーブファーム

離島の分散型電源として、波力発電システムの技術完成度が高められ、普及が進展したその先には、50～100MW サイズの大規模ウェーブファームへの展開が期待される。

平成 22 年 3 月に「波力発電の導入促進に関する提言」をまとめた波力発電検討会（委員長：東京大学荒川忠一教授）は、25 円/kWh の固定価格買取制度があれば設備補助なしで 50～100MW サイズの大規模ウェーブファームの商用化は可能と予測している。

## (3) 洋上のオンサイト電力需要

離島の分散型電源、あるいは大規模ウェーブファームのように専ら陸上への送電を想定とするもの以外にも、洋上のオンサイト電力需要に対応した展開も考えられる。

先に紹介したように、波力発電を利用した航路標識用ブイ（最大出力 30W～60W）は既に 40 年を超える実績があり、国内外で数千台が稼働中である。洋上の電力需要としては、航路標識用ブイに加え、養殖設備用電源、深層水汲上げ用電源等が考えられる。

図表 6.44 航路標識用ブイ（再掲）



出典：緑星社ホームページ（<http://www.ryokusei.co.jp/>）

### 6.1.9 国内技術の競争力

現在、波力発電を含む海洋エネルギー利用技術は、欧州（特に英国）や米国を中心に進められている。日本においても過去に基礎的研究は進められており、当時は世界を主導していたが、予算の縮小等により実用化段階の研究が進んでおらず、日本の研究開発進度は欧米に 10 年遅れていると言われている。1970 年代のオイルショック後、石油価格の高騰が沈静化していく中で、日本における波力発電研究は大きく縮小してしまっただが、海外においては、周辺海域の波のエネルギー密度が高いノルウェーや英国を中心に 1990 年半ばから再び活発化し、多くの波力発電装置の開発が進められた。

現在は、英国の Pelamis 発電装置が最も実用化に近い段階にあり（P327 参照）、2008 年 9 月には、ポルトガル沖において Pelamis 波力発電装置を用いた、総出力 2,250MW（750kW 機×3 基）の商用プラント（Agucadoura Wave Farm、P322）が運開した。数週間で故障が発生し、現在改修中の模様だが<sup>36</sup>、本プロジェクトは波力発電が実用化の一手手前まで来ていることを示している。

欧州が先行する理由の一つとして、スコットランドのオークニー諸島に整備されている European Marine Energy Centre（EMEC）<sup>37</sup>や、ポルトガルの Wave Energy Centre<sup>38</sup>など、実証試験サイトが複数整備されており、企業の RD&D を大きく後押ししている点が挙げられる。

米国においても、Ocean Power Technology 社が「Power Buoy」P329 参照）で先導しており、米国ニュージャージー州沿岸、ハワイ沖、スペイン、スコットランドにおいて、実証試験を実施および計画している。

このように、現状では欧米に先行されており、過去 10 年間に申請された膨大な数の特許をいかくぐって、新たに日本の独自技術を開発することは難しいという見解もある<sup>39</sup>。しかしながら、先に紹介したジャイロ式波力発電装置（P333 参照）や、EPAM 波力発電装置（P335 参照）など、地道に開発が継続されてきた技術も存在する。また、日本のものづくり技術、浮体技術の水準は高く、国の支援体制が整えば、国際競争力を持つ技術が育つ可能性は十分にある。

---

<sup>36</sup> 「波力発電検討会報告書」（2010, 波力発電検討会）

<sup>37</sup> EMEC（<http://www.emec.org.uk/index.asp>）

<sup>38</sup> WEC（<http://www.wavec.org/index.php/1/home/>）

<sup>39</sup> 「波力発電検討会報告書」（2010, 波力発電研究会）

## 6.2 技術ロードマップ

### 6.2.1 目指す姿

#### (1) 波力発電を取りまく環境

現在、波力発電の開発が、欧州を中心に世界各地で積極的に進められている。背景には、地球環境問題やエネルギーセキュリティ問題が深刻化する中、再生可能エネルギーの一つである波のエネルギー賦存量が約 8,000～80,000TWh 程度<sup>40</sup>と非常に大きいことが挙げられる。欧州周辺海域は波のエネルギー密度が高いために特に波力発電への期待が大きく、多くのベンチャー企業が市場に参入している。

波力発電の研究開発は、1970 年代のオイルショックを契機に、石油・天然ガスの代替エネルギーとして、各国で開始された。四方を海に囲まれている我が国においても波力発電への期待は高く、「海明」、「海陽」(P330 参照)等、様々な波力発電装置の実海域実験が行われていた。当時我が国は、波力発電研究の先端にあったが、その後石油価格の高騰が沈静化していく中で、研究開発投資も先細りとなり、「マイティホエール」(P330 参照)の実験終了とともに波力発電研究のブームは過ぎ去った。

一方欧州においては、エネルギー危機後に研究開発予算は縮小したものの、ノルウェーや英国を中心に 1990 年半ばから再び活発化し、英国の Pelamis 発電装置 (P327 参照)を代表として、多くのベンチャー企業が波力発電装置の開発に参入している。スコットランドのオークニー諸島の欧州海洋エネルギーセンター (EMEC) や、ポルトガルの Wave Energy Centre など、波力発電装置の実証試験サイトが整備されており、企業の技術開発を強力に後押ししている (P325 参照)。米国においても、Ocean Power Technology 社が精力的に活動しており、2008 年よりハワイ沖にて PowerBuoy 波力発電装置の実証試験が行われている。

過去 10 年間における日本の波力発電の研究開発進捗は、欧米に大きく遅れを取っている状況であり、巻き返しを図るためには、早急に研究開発体制を整える必要がある。日本は国土面積の 12 倍にも及ぶ世界第 6 位の管轄海域を有しており、海洋エネルギーのポテンシャルは大きい。また、日本は世界に誇る技術大国であり、国内市場に加えて海外市場の開拓を視野に入れた、官民一体となった戦略的な取組みが必要とされている。

#### (2) 我が国の保有する波力発電技術

このような状況下にあって、近年日本においても、発電効率の高い装置を波エネルギー密度の高い沖合に設置するというコンセプトのもとに、様々な波力発電装置の開発が行われている。ジャイロ式波力発電装置 (P333 参照) や、人工筋肉を用いた EPAM 波力発電装置 (P335 参照) などは、従来の発電装置とは異なる原理を用いており、日本独自技術としてその実用化が期待される。

また、日本のものづくり技術、浮体技術の水準は高く、本格的な技術開発が再開されれば海外に追いつくことは可能との見解を持つ専門家は多い。

<sup>40</sup> “Harnessing the Power of the Oceans” (2008, Gouri S. Bhuyan)

### (3) 日本の波力発電が目指すべき姿

以上の状況を整理すると、今後大きく拡大する可能性が高い波力発電市場において、欧米に対する技術開発の遅れを取り戻すとともに、日本の独自の波力発電装置や高い技術力を生かし、国内および海外市場で普及しうる波力発電装置の開発を早急に実施する必要がある。

国内普及を考えた場合には、欧州に比べて波エネルギー密度が低いといわれる日本の自然条件下で経済的に成立するシステムを構築するため、より高効率で、高信頼性のシステムを低価格で実現することが鍵となる。また、日本の自然条件下で成立する波力発電装置が実現されれば、すなわち海外市場において十分に競争力を有する技術を取得することが可能となる。

以上より、波力発電の目指す姿を図表 6.45 の通り掲げる。

図表 6.45 波力発電の目指す姿

- 日本の自然条件下で成立する高効率・高信頼性・低価格の波力発電装置を開発する。
- 日本の高度な技術力を活かし、海外市場で競争力を有する装置開発・国内企業育成を図る。

## 6.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

### (1) 高効率・高信頼性波力発電装置の開発

日本の自然条件下で成立する高効率・高信頼性・低価格の波力発電装置の開発に向けてまずクリアしなければならない条件は、日本の自然条件下で、高効率・高信頼性を実現する波力発電装置（タービン・発電機）の開発である。低コストな波力発電装置の早期実現が望ましいが、まずは、エネルギー変換の中核部が技術的に確立されることが実用化に向けた第一歩となる。

### (2) 低コスト化の実現

また、波力発電の大量普及に向けては、低コスト化の実現が必須である。ターゲットとした市場に競争力のある価格で製品を提供できなければ他のエネルギーシステムに優先して導入されることは難しい。

### (3) 分散型電源としての実用化、国内導入促進

波力発電の当面のターゲットと考えられるのが、分散型電源としての実用化である。小規模な分散電源としては、水産養殖用や漁港での製氷用電源が考えられるが、離島等の独立系統は既存のディーゼル発電が割高なことから、ディーゼル発電の補助用あるいは代替電源用を実用化初期段階のターゲットとすることが適切である。

この段階においては、国内導入を促進することにより、技術改良、運用ノウハウ、実績を蓄積し、国内企業の育成を図ることが重要である。



#### (4) 国内外の大規模システムへの導入、海外展開

分散型電源への導入が進んだ後のシナリオとしては、国内における大規模システムへの導入、そして海外市場への展開と進むのが理想である。日本国内で培った技術、ノウハウ、実績を持って出来る限り早期に海外市場へ進出し、市場シェアを獲得することが目標となる。

### 6.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

以上、波力発電の目指すべき姿と、課題と対応から導き出される、波力発電の技術開発目標、技術開発内容を以下に示すとともに、波力発電の技術ロードマップを図表 6.49 に示す。

#### (1) 技術開発目標

技術開発目標については、図表 6.46 のとおり設定した。

国内企業の育成、国際競争力の強化については、早期に実証試験サイトを整備し、2015 年以降は小規模・分散型電源の実用化および国内導入の促進、2020 年以降は大型システム化および海外市場への展開を目標に掲げた。

単機出力については、現時点では 0.1MW 以下のクラスでの開発が中心であるが、2020 年には 0.5～1MW、2030 年には 2MW クラスの波力発電装置の開発を目指すこととした。ただし、波力発電装置の形状によっては大規模化が有効な手段でないこともあることから、あくまでも発電コスト低減の一つのアプローチの指標として、上記目標値を掲げるものとする。

発電コストについては、2020 年は分散電源としての実用化が定着する時期と位置づけ、既存の離島電源の一つである 100kW 級風車の発電コスト 20 円/kWh の水準以下を目標とした。2030 年は大規模システムへの導入が実現する時期と位置づけ、既存電源と競争力を持つ 5～10 円/kWh を目標に設定した。

図表 6.46 波力発電の技術開発目標

	2015 年	2020 年	2030 年
国内企業の育成、 国際競争力の強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験サイトの整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小規模・分散型電源の実用化</li> <li>国内導入の促進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模システム化</li> <li>海外市場への展開</li> </ul>
単機出力	—	0.5～1MW	2MW
発電コスト	—	20 円/kWh 以下	5～10 円/kWh

(2) 技術開発内容

前項で設定した技術開発目標を実現するため、以下に示す技術開発課題に取り組む必要がある。

図表 6.47 波力発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
高効率・高信頼性化	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 適地の選定                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 海洋環境の調査・モニタリング</li> <li>➢ 総合海況マップ（波浪、潮流、風況）の作成</li> </ul> </li> <li>● タービン、発電機等の高効率化</li> <li>● 位相制御技術</li> </ul>
	設備の維持管理・故障の防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>● モニタリングシステム、遠隔操作システム</li> <li>● 海洋環境の予測システム</li> </ul>
	海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 海洋生物の付着防止技術（防汚塗料の塗布、音・超音波システム、オゾンガスの海水混合等）</li> <li>● 塩害・さび防止技術（防腐食塗料の塗布等）</li> <li>● 漏水防止、密閉技術</li> </ul>
	環境への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実証試験による基礎データの収集</li> <li>● シミュレーションによる影響予測技術</li> </ul>
低コスト化	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低コスト材料の開発</li> <li>● 係留・送電線コストの削減</li> <li>● 量産技術</li> <li>● 低コスト施工技術</li> </ul>
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 運転・保守管理費の削減</li> </ul>
大規模システム化	送電・電力輸送	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 送電技術の高度化</li> <li>● 遠距離送電システム</li> </ul>
	出力の平滑化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● エネルギー貯蔵（二次電池、フライホイール、電気二重層キャパシタ、超電導エネルギー貯蔵、揚水発電、圧縮空気貯蔵等）</li> <li>● 洋上水素製造</li> </ul>

## 1) 高効率・高信頼性化

### ① 発電効率の向上

発電効率の向上の解決策としては、第一に発電適地の選定が挙げられる。日本近海の波力エネルギーは世界的に見ると決して恵まれているとはいえないが、水深が深く波高の大きい沖合など、波力エネルギーの強い海域も存在すると考えられている。適地選定のためには、信頼性の高いデータ収集が必要であり、海洋環境調査・モニタリングを実施し、波浪・潮流・風況を把握可能な総合海況マップを作成することが必要不可欠である。

タービン、発電機の変換効率の向上も発電効率向上の重要な解決策である。また、波力発電システムに特有な解決策として強制的位相制御を行う方法も考えられる。これは、波力エネルギーの変換効率は特定の波周期に高い値を示し、前後では急激に低下することから、位相制御により広範囲の波周期に高いエネルギー変換率を得ようというものである。

### ② 設備の維持管理・故障の防止

波力発電装置は、岸壁に設置する形態はともかく、洋上に設置する形態の場合には、設備の維持管理・故障の未然防止に注意が必要となる。管理・運用上、モニタリングシステムや遠隔操作システムの導入は不可欠となる。また、台風などの通過をあらかじめ予測し、故障等の影響を最小限にとどめることも重要な対策であり、海洋環境予測システムの開発も重要課題に挙げられる。

陸上に比べ洋上は観測データに乏しいのが現状である。波力発電装置に気象・海象観測装置が搭載されることにより、自らの管理・運用に活かされるだけでなく、将来近隣に設置される波力発電システムにも観測データを活用することができる。

### ③ 高耐久化

波力発電装置は他の海洋構造物と同様、海洋環境に曝されることから、海洋生物の付着防止、塩害・さびの防止に努めるとともに、機械類に海水が及ばぬよう漏水防止、密閉対策が必要となる。

### ④ 環境への影響

波力発電装置を海域に設置することにより周辺環境に与える影響については、充分留意が必要である。実証試験により基礎データを収集し、各種シミュレーションによる予測との比較等を行うことに、波力発電の環境影響を検証していく必要がある。

## 2) 低コスト化

### ① インitialコスト・ランニングコストの削減

波力発電プラントのインシヤルコストは、設備費と施工費に大別される。採用する技術の方式や設置エリアにより構成比率は異なるが、構造体、機械系・電気系機器、係留のコストが約8割を占めており、低コスト化には設備費の削減が重要となる(図表 6.48)。素材コストについては、習熟効果が効かないこと、外的要因によって価格が高騰することもあることから、低コ

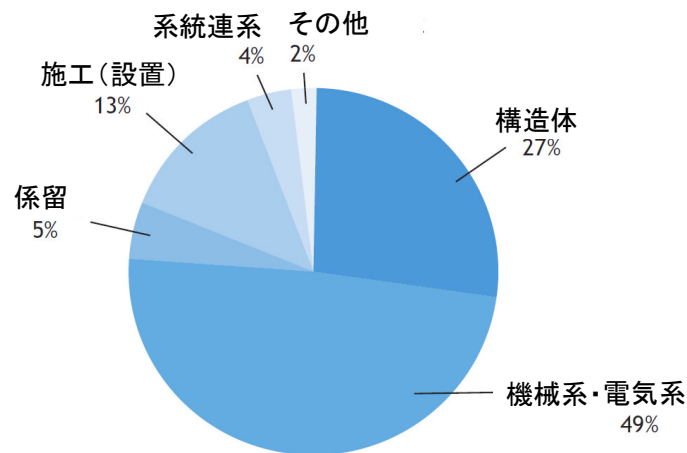
## 6 波力発電の技術の現状とロードマップ

スト材料の開発は重要である。また、係留・送電線コストの削減も課題に挙げられる。また、機器のコストは累積生産量がある程度を超えると低減するため、将来的には量産技術の確立も重要となる。

施工費はシステム価格の13%を占めている。主には設置用特殊船の用船料、作業員の人件費で占められ、設置地点・設置時の気象・海象条件によって増減する。設備費と同様、設置台数が増えてくれば習熟効果によるコスト減少も見込まれるが、低コスト施工技術の確立が必要である。

イニシャルコストの削減に加え、メンテナンス等のランニングコストを抑制する手法の確立も必要である。設置やメンテナンス用の専用船の建造も、設置台数の拡大が見込まれる場合には検討する必要がある。

図表 6.48 波力発電システム価格の内訳例（再掲）



出典：“Future Marine Energy Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy” (2006, Carbon Trust) より作成

### 3) 大規模システム化

#### ① 送電・電力輸送

システムの大規模化に伴い、送電・電力輸送技術の高度化が必要となる。送電方式には、直流送電と交流送電がある。従来、昇圧／降圧が容易な交流方式が用いられてきたが、整流器の発達に伴い、直流送電が注目されるようになってきている。直流送電のメリットは、送電中の電圧降下、電力損失が小さく、絶縁が容易なことなどである。一方、デメリットとしては、大容量の直流を遮断することは容易ではないこと、交直変換設備が必要で、システムとして複雑になることなどである。一般には長距離大容量の送電には直流送電が、比較的短距離小容量の場合には交流送電がコスト的には有利とされている。波力発電システムの発電規模、離岸距離に応じた送電方式の選択が求められる。

#### ② 出力の平滑化

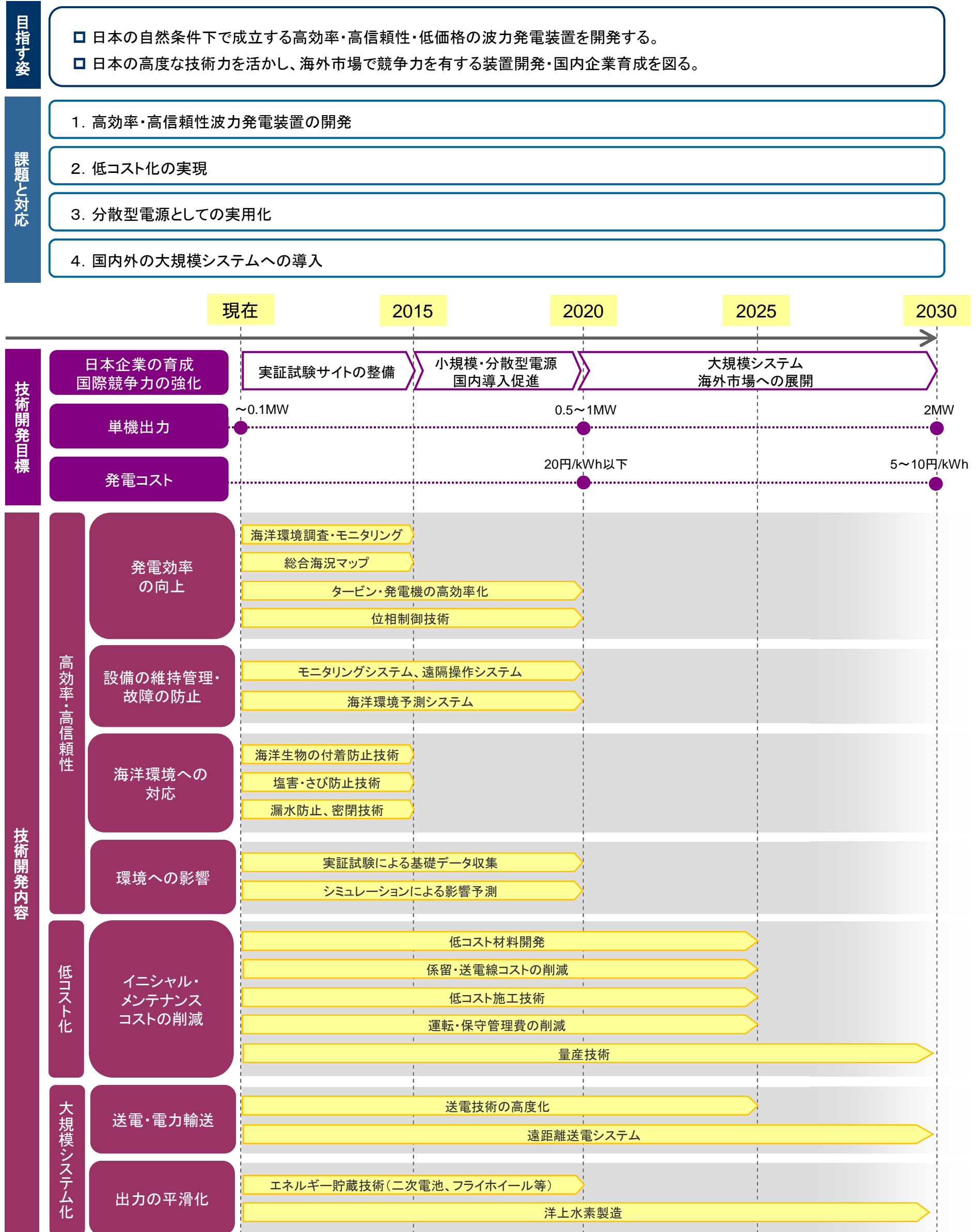
エネルギー利用の面から出力変動の平滑化は自然エネルギー共通の課題である。

出力を平滑化する方法としては、エネルギー貯蔵が一般的である。一般的なエネルギー貯蔵

方式としては、二次電池、フライホイールなどがある。ジャイロ式波力発電装置（P333 参照）はフライホイールを使用しているため、回転数の制御により出力の平滑化を図っている。また、山口大学が開発を推進する「つるべ式発電装置」（P334 参照）では、エネルギーの一部をばねに蓄積し出力の平滑化を図っている。

また、電力の燃料貯蔵として、洋上水素製造も長期的技術課題として挙げられる。

図表 6.49 波力発電の技術ロードマップ



## 7 海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ

### 7.1 技術を取りまく現状

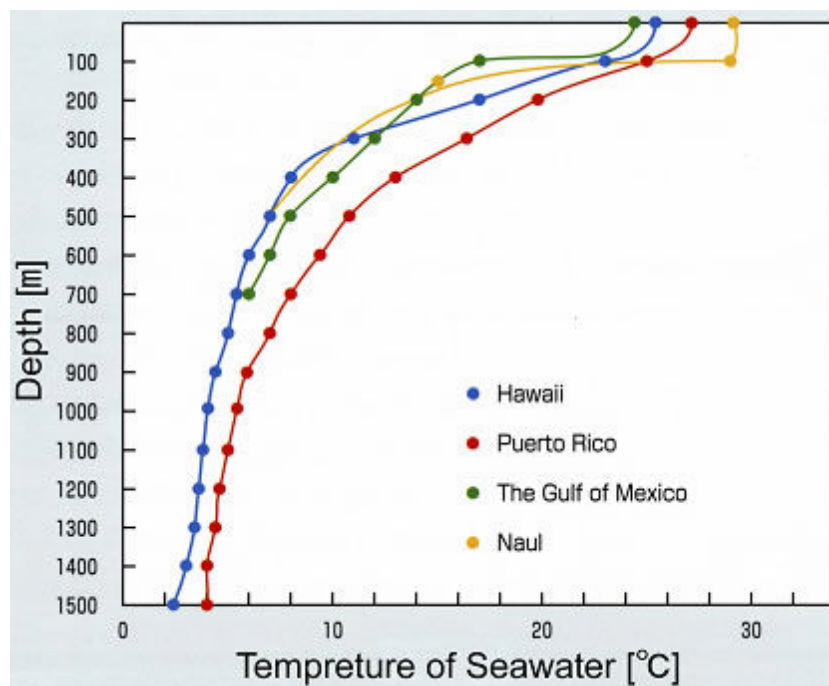
#### 7.1.1 技術の俯瞰

海洋温度差発電（Ocean Thermal Energy Conversion : OTEC）は、表層の温かい海水（表層水）と深海の冷たい海水（深層水）との温度差を利用する発電技術である。

海洋の表層 100m 程度までの海水には、太陽エネルギーの一部が熱として蓄えられており、低緯度地方ではほぼ年間を通じて 26~30℃程度に保たれている。一方、極地方で冷却された海水は海洋大循環に従って低緯度地方へ移動する。移動に従い、周辺の海水との間に温度差が生じ密度が相対的に大きい極地方からの冷たい海水は深層へと沈み込んでいく。この表層水と深層 600~1,000m に存在する 1~7℃程度の深層水を取水し、温度差を利用して発電する。海洋温度差エネルギーは、昼夜の変動がなく比較的安定したエネルギー源であり、季節変動が予測可能であるため、ベース電源として使え、計画的な発電が可能となる。

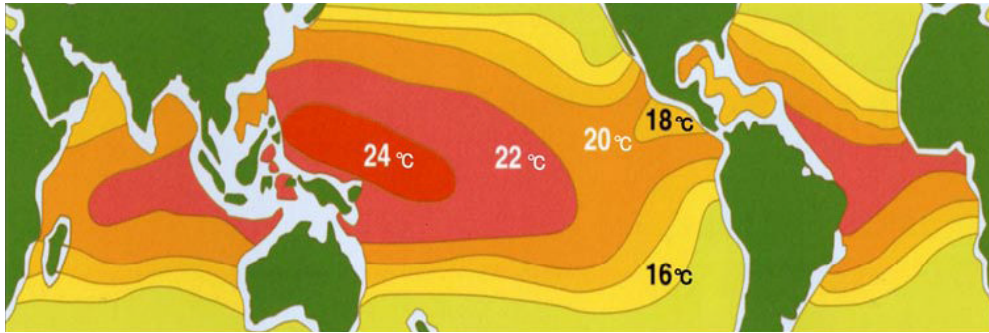
図表 7.1 に熱帯および亜熱帯地域の海水の垂直温度分布を、図表 7.2 に世界の海の表層と深層 1,000m との温度差分布を示す。赤道近くでは 24℃と特に高いことがわかる。

図表 7.1 熱帯および亜熱帯地域の海水の垂直温度分布



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ  
([http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_oetc.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc.html))

図表 7.2 世界の海の表層と深層 1,000m との平均温度差分布



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ ([http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_oetc.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc.html))

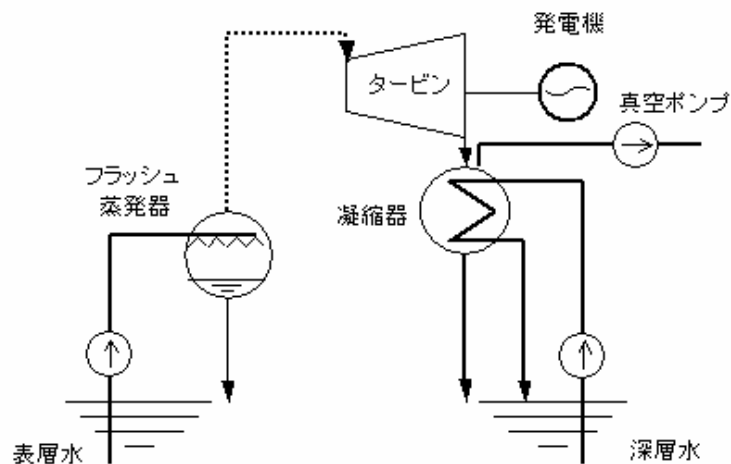
### (1) 発電方式<sup>1</sup>

海洋温度差発電のシステムは、蒸発器、タービン、発電機、凝縮器、作動流体ポンプ、表層水ポンプ、深層水ポンプで構成され、各機器はパイプで連結されている。主な発電方式として、オープンサイクル、クローズドサイクル、ハイブリッドサイクルの3種類がある。

#### 1) オープンサイクル

オープンサイクルは、蒸発器、タービン、発電機、凝縮器から構成される。システムの構造上作動流体を循環させる必要がないため、作動流体ポンプは存在しない。オープンサイクルでは表層水から作り出した水蒸気を作動流体として用いる。蒸発器、タービン、凝縮器の中は真空ポンプによりあらかじめ減圧されており、表層水を蒸発器に導きフラッシュ蒸発させる。この水蒸気を作動流体としてタービンに送り、タービンを回して発電する。タービンから出た膨張した水蒸気は凝縮器に入り、汲み上げられた深層水によって冷却され、海に排出される。排出された水は飲料用としても使用できる。本システムは作動流体がサイクル内を循環しないため、オープンサイクルと呼ばれる。

図表 7.3 オープンサイクルのシステム図



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ ([http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_oetc\\_02.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html))

<sup>1</sup> 本項は佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページをもとに取りまとめている。



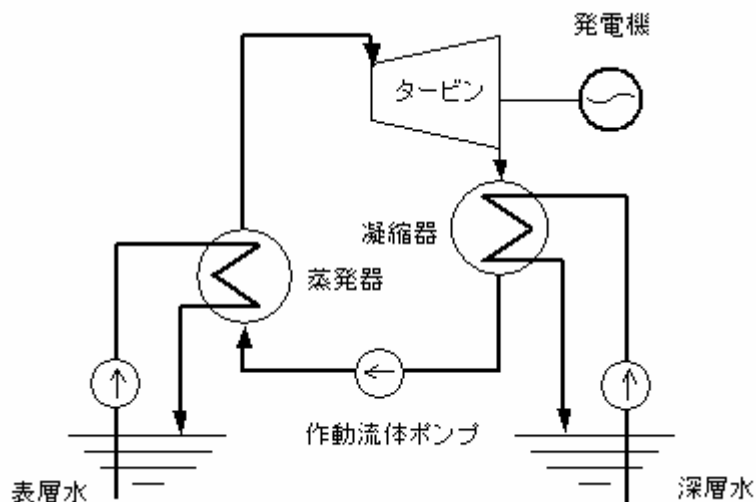
## 2) クローズドサイクル

クローズドサイクルは、蒸発器、タービン、発電機、凝縮器、作動流体ポンプから構成される。本サイクルのコンセプトは基本的に火力発電所と同じであるが、低温熱源として約 5°Cの海洋深層水、高温熱源として約 18~30°Cの表層水を用いる点、作動流体に低沸点の作動流体が用いられている点などが異なる。

蒸発器、タービン、凝縮器はパイプで繋がれており、低沸点の作動流体が封入されている。作動流体は、蒸発器で表層水から熱を受け取り蒸発する。蒸発した作動流体はタービンに送られて発電した後、凝縮器で汲み上げられた深層水に熱を捨てて液化し、作動流体ポンプにより再び蒸発器に送られる。本システムは作動流体がサイクル内を循環するため、クローズドサイクルと呼ばれる。

作動流体としては、アンモニアやフロン 22 等が適すると言われていたが、経済性や環境への影響等から、現在はアンモニアと水の混合媒体が有望視されている。

図表 7.4 クローズドサイクル海洋温度差発電の概念図



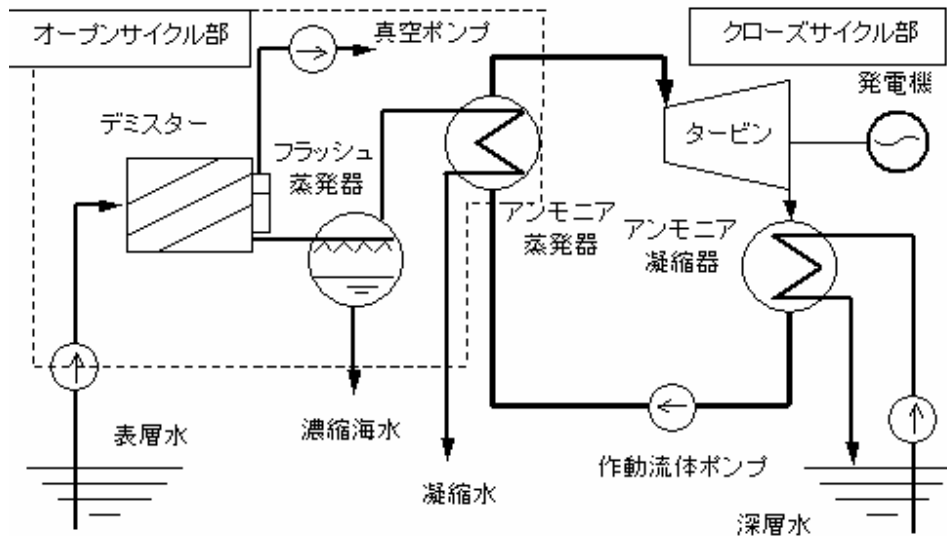
出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ ([http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_oetc\\_02.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html))

## 3) ハイブリッドサイクル

ハイブリッドサイクルは、オープンサイクルとクローズドサイクルを組合せたシステムである。基本構造はクローズドサイクルであるが、蒸発器に導入する高温熱源が異なる。

クローズドサイクルでは、蒸発器に表層水を直接導入するのに対し、ハイブリッドサイクルでは、一旦オープンサイクルの蒸発器に表層水を導入し、そこで得られた水蒸気を高温熱源として使う。このことから、クローズドサイクルに比べ、蒸発器の海水による汚染がなく、性能の低下が防げる。また、オープンサイクル同様、蒸発器から排出された水は、飲料水として使えるため、淡水化技術の応用として考えられている。

図表 7.5 ハイブリッドサイクル海洋温度差発電の概念図



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ ([http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_oetc\\_02.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html))

## (2) 冷水取水管

深層水を水深 600~1,000m の深層から汲み上げるのに必要となる冷水取水管は、海洋温度差発電の重要な構成要素の一つである。現在、主に図表 7.6 に挙げる材料が使用・提案されている。

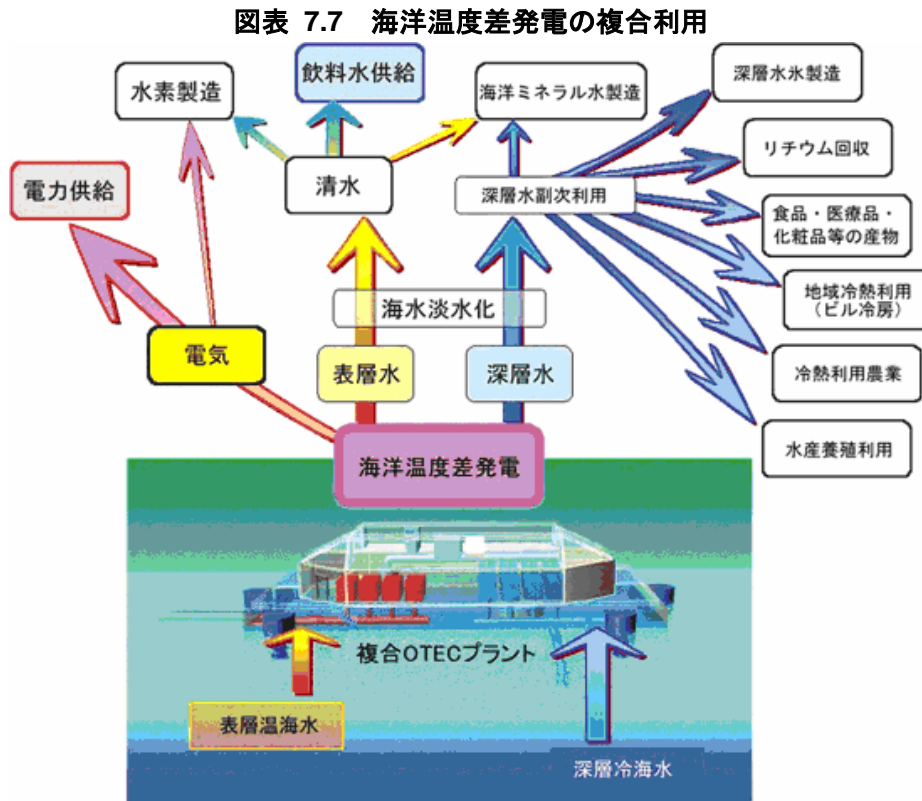
図表 7.6 冷水取水管の材料

材料	長所・特徴	短所・課題
FRP サンドイッチ構造体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量</li> <li>・強度を必要に応じて変えられる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海水中の長期設置による劣化</li> <li>・大口径・長尺化技術の確立が必要</li> <li>・接合部の信頼性</li> </ul>
ゴム等の柔軟材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・折りたたみが可能</li> <li>・製造法が確立している</li> <li>・熱絶縁が良い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術開発途上</li> <li>・海水の吸収による強度劣化</li> <li>・腐食対策</li> </ul>
鋼	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械的性質が十分既知</li> <li>・海洋中への利用実績あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建築コストが比較的高い</li> <li>・重量が重くなる</li> </ul>
コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強度が高い</li> <li>・低コスト</li> <li>・耐久性が高い</li> <li>・熱絶縁が良い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレストレストコンクリートでないと引っ張り応力に弱い</li> <li>・接合部の信頼性</li> </ul>

出典：L.A. Vega, Economics of Ocean Thermal Energy Conversion, Proc. Of Oceanology International vol.6 (1994)

### (3) 海洋深層水の複合利用

深海から汲み上げられる海洋深層水は、発電以外にも様々な用途に活用することができる。具体的には、海水淡水化、海洋深層水による漁場造成、冷熱利用、水素製造、リチウム等の金属回収などが挙げられる。



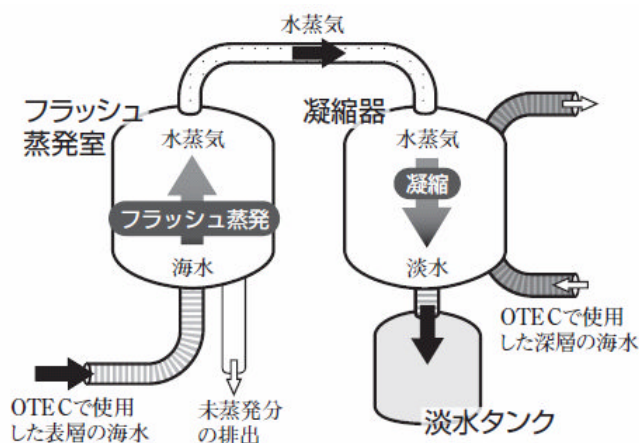
出典：海洋政策研究財団ホームページ ([http://www.sof.or.jp/jp/news/51-100/88\\_3.php](http://www.sof.or.jp/jp/news/51-100/88_3.php))

#### 1) 海水淡水化

オープンサイクルでは、発電の過程で淡水が生成される。クローズドサイクルでは別途淡水化システムを設置する必要があるが、通常の淡水化技術の 1/10 程度のコストで淡水を生成できる。

図表 7.8 に海水淡水化装置の原理を示す。発電に利用された表層水を減圧された容器内に注水してフラッシュ蒸発させ、不純物を除去した水蒸気を凝縮器で冷却する。冷却には発電に利用した深層水を用いる。

図表 7.8 海水淡水化装置の原理



出典：株式会社ゼネシス資料

## 2) 海洋深層水による漁場造成

海洋深層水には、低温性・清浄性・富栄養性の三大特性があるとされている。このうち「富栄養性」を利用して植物プランクトンを飛躍的に増殖させることにより、動物プランクトン、小魚、大きな魚といった食物連鎖の環を拡大させて、付近に漁場を造成していこうとする取り組みが進められている。

日本においては2003年に海洋肥沃化装置「拓海」が、(社)マリノフォーラム21の「深層水活用型漁場造成技術開発事業」(2000～2007年度)により相模湾平塚沖に設置された(図表7.9)。

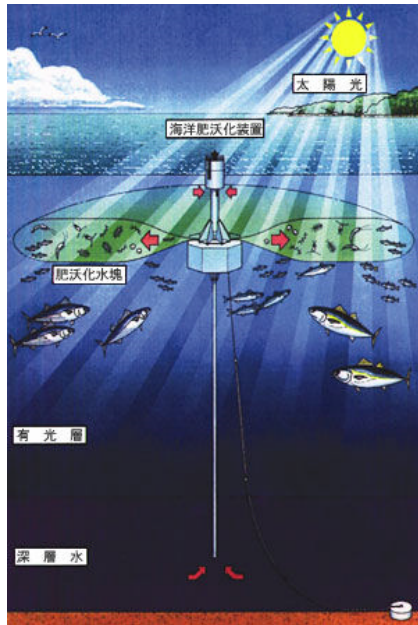
「拓海」は水深205mから約10万 $\text{m}^3$ /日の海洋深層水を汲み上げて、密度調整を行った後に有光層<sup>2</sup>に放水し、その豊富な栄養素により植物プランクトンの増殖を図り、魚を集めて新たな漁場を形成する浮体式海洋深層水汲み上げ装置である。外洋の厳しい海象条件に耐えるため、浮体形状は縦長構造にして水線面積を極小化することにより波浪の影響を少なくし、また浮体を没水させて風の影響も少なくするように設計された。これにより、5回来襲した台風の際にも安定した稼働状態を保った。

課題としては、海洋温度差発電に適した温度差が得られる地域と、漁場造成を図りたい地域とは必ずしも一致しない点が挙げられる。また海洋温度差発電は、沖縄諸島などの低緯度地域の大水深域が適しているが、こうした地域に多く分布するさんご礁は富栄養性の海水と相性が悪い。導入にあたっては、既存の生態系に十分に配慮する必要がある。

<sup>2</sup> 太陽光の届く範囲の水層のこと。

図表 7.9 海洋肥沃化装置「拓海」

<作動概念図>



<概観>



出典：海洋政策研究財団ホームページ ([http://www.sof.or.jp/jp/news/51-100/81\\_3.php](http://www.sof.or.jp/jp/news/51-100/81_3.php))

### 3) 水素製造・リチウム回収等

その他、洋上での水素製造や、海水中のリチウム回収等が提案されている。清浄性の高い海洋深層水は取水管等のメンテナンスが比較的容易というメリットがある。

なお、佐賀大学海洋エネルギー研究センターでは、実海水を用いて 150 日の連続運転に成功し、世界最高の回収効率を得ている。しかしながら海水 1 リットル中のリチウム濃度は約 0.2mg であり、回収量は現在の設備では日量 2g と非常に少ないのが現状である。なお、韓国政府は 2009 年に大規模（年間 2～10 万トン）の大型リチウム回収施設のプロジェクトをスタートさせている<sup>3</sup>。

<sup>3</sup> <http://japanese.joins.com/article/article.php?aid=125926&servcode=300&sectcode=320>

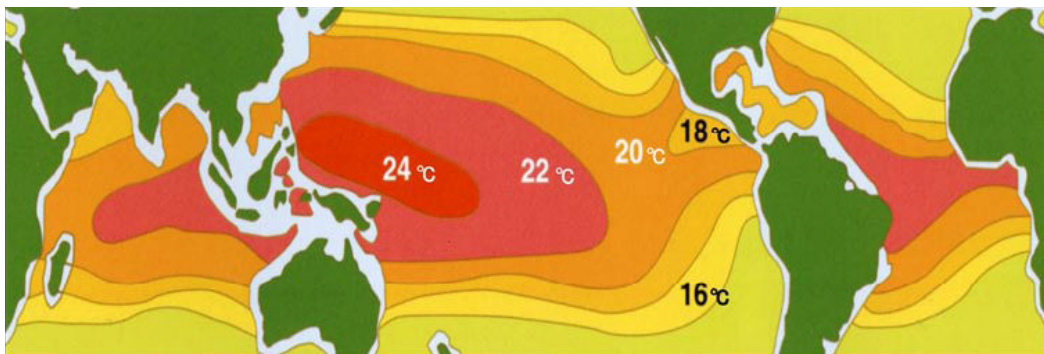
## 7.1.2 ポテンシャル

### (1) 世界

海洋温度差発電では、経済性を成立させるためには平均的に 20℃程度の温度差が必要とされている。海の表層と深層 1,000m との温度差は赤道付近で大きく、インド、東南アジア、オーストラリア南部、メキシコ、ブラジル、アフリカ中部等の沖合が、温度差に恵まれている。

日本では沖縄、鹿児島、小笠原諸島などが適地に挙げられるが、本州においても理想的な温度差のもと発電を行うためには、発電所や工場等の温水排熱の活用が有効と考えられる。

図表 7.10 世界の海の表層と深層 1,000m との平均温度差分布（再掲）



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ  
([http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_oetc.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc.html))

IEA-OES<sup>4</sup>の資料によると、世界の海洋温度差エネルギーの理論的な年間発電量は、10,000TWhとされている。

図表 7.11 世界の海洋温度差エネルギー資源量

海洋温度差エネルギー	10,000TWh/年
------------	-------------

出典：“Harnessing the Power of the Oceans” (2008, Gouri S.Bhuyan)

### (2) 日本

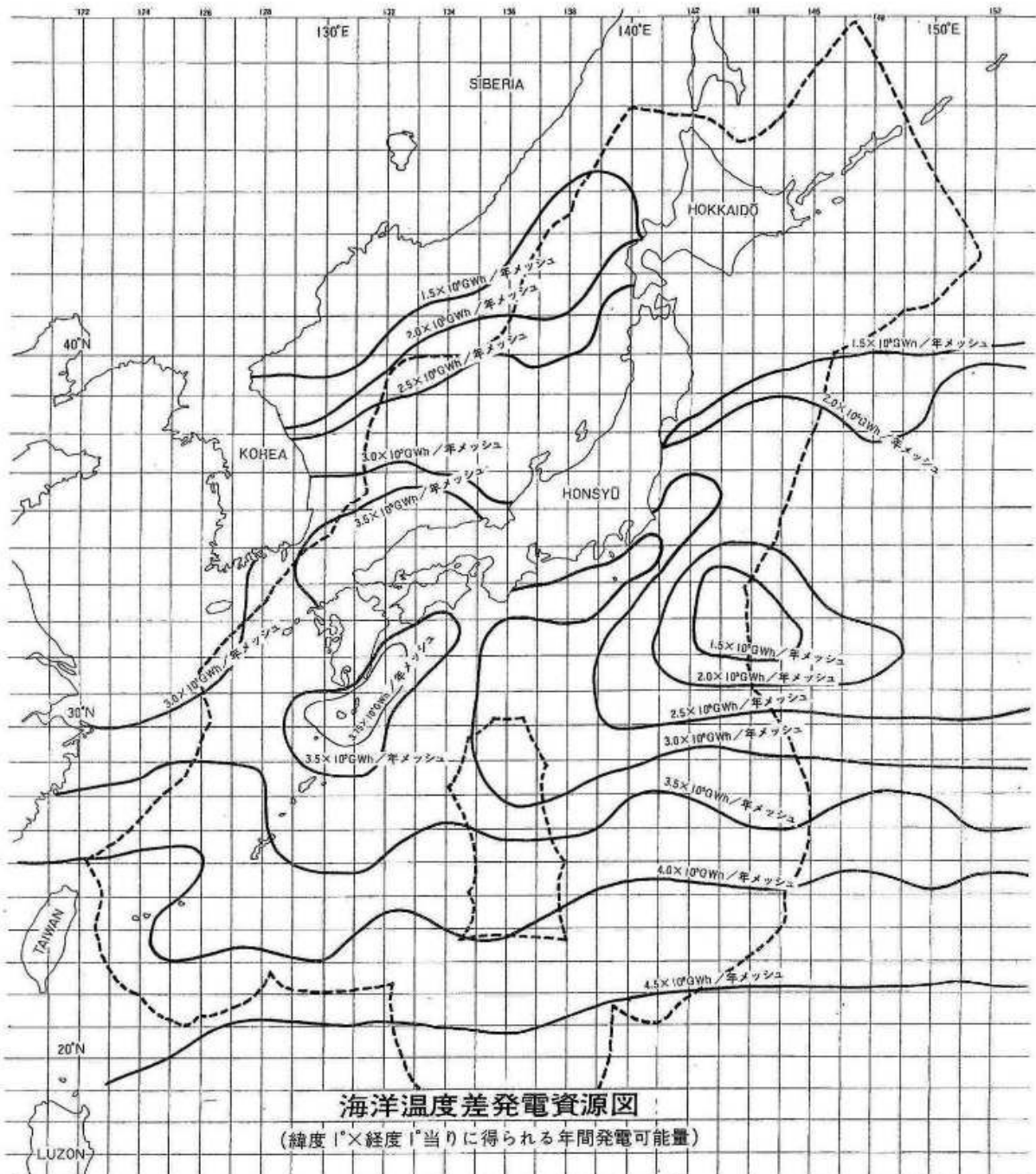
図表 7.12 に日本の経済水域内におけるポテンシャル試算例を示す。日本の経済水域内の熱エネルギーの総量は 106,000TWh と試算されており、このうち 1%を電力として取り出した場合でも発電電力量は 1,060TWh となり、日本の年間電力需要をまかなえる規模となる<sup>5</sup>。また、これは約 1 億トンの石油に相当するエネルギー量である。

なお、海洋温度差発電のポテンシャルをさらに正確に見積もるためには、海象条件、気象条件等の詳細な調査が必要であり、今後の課題の一つに挙げられる。

<sup>4</sup> IEA-Ocean Energy Systems (<http://www.iea-oceans.org/index.asp>)、IEA（国際エネルギー機関）内の組織。

<sup>5</sup> 2009 年度の電力需要は、10 社販売電力量合計で 858.5TWh（電気事業連合会確報）。

図表 7.12 日本の経済水域内におけるポテンシャル試算例



- ※ 冷水取水深度 600メートル
- ※ 四季平均温度差より積算
- ※ 海上保安庁水路部海洋資料センター統計(1923-1971)を基礎としている

出典：上原春男「海洋温度差発電読本」(1982年，オーム社)

### 7.1.3 導入目標量例

#### (1) 海外

海洋温度差発電については、近年、世界的に再注目され始めたところであり、具体的な導入目標を掲げている国は少ないが、近年フランスや米国、台湾等で導入に向けた動きが加速している（7.1.5 参照）。

米国ハワイ州は同州の再生可能エネルギーの導入計画の中で、海洋温度差発電を 2015 年までに 35MW、2030 年までに 365MW 以上導入する目標を掲げている（図表 7.13）。

図表 7.13 米国ハワイ州の導入目標

	2015 年	2030 年
累積発電容量	35MW	365MW ※再生可能エネルギー全体では 1GW

なお、フランスの海洋開発研究機構（IFREMER）は、最終消費エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合を 2020 年までに 20%に引き上げるという環境グレネル会議<sup>6</sup>で提示された目標の達成を前提に、海洋エネルギーの寄与度について試算している。試算は 4 つのシナリオ別に行われており、ベストシナリオにおいて、200MW の海洋温度差発電が導入されると試算されている（図表 7.14）。

図表 7.14 海洋エネルギーの導入見通し（2020 年 20%目標達成への寄与度）

エネルギー種	発電容量 [MW]	電力量 [TWh/年]	電力量 [百万石油換算トン/年]	対 2020 年 エネルギー需要比
洋上風力発電	4,000	12	1.03	5.2%
海洋温度差発電	200	1.4	0.12	0.6%
塩分濃度差発電	55	0.4	0.03	0.2%
潮流発電	400	1.4	0.12	0.6%
海流発電	500	1.25	0.11	0.5%
波力発電	200	0.8	0.07	0.3%
海洋バイオマス	—	—	0.05	0.3%
合計	5,355	17.25	1.53	7.7%

出典：IFREMER 資料

<sup>6</sup> 2007 年 7 月から 10 月まで、フランスのグレネルで行われた環境会議。政府、地方自治体、雇用者、被雇用者、NGO 団体等の代表が参加した。本会議の提言内容を反映させたグレネル法案が策定され、温室効果ガス削減の長期目標として 2050 年に 1990 年比 75%削減、中期目標として現時点と比較し、2020 年までに 20%削減が法定された。



## (2) 日本

日本においては、海洋温度差発電についての導入目標値は掲げられておらず、海洋エネルギー資源利用推進機構（OEA-J）が作成した、2050年に向けた海洋エネルギー開発ロードマップにおいて、海洋温度差発電については2020年までに510MW、2030年までに2,550MW、2050年までに8,150MWの発電規模が想定或いは期待されるとしている。

図表 7.15 日本における海洋温度差発電の導入ロードマップ

	2008年	2020年まで	2030年まで	2050年まで
想定或いは期待される発電量	0 TWh/年	2.5TWh/年	12.5TWh/年	40TWh/年
想定或いは期待される発電規模	0 MW	510MW	2,550MW	8,150MW
(参考)		(1MW: 60基) (5MW: 40基) (10MW: 25基)	(1MW: 100基) (5MW: 40基) (10MW: 25基) (50MW: 40基)	(10MW: 40基) (50MW: 55基) (100MW: 50基)

前提条件) 発電端出力に対する設備利用率: 56%

出典: 海洋エネルギー資源フォーラム資料 (2008, 海洋エネルギー資源利用推進機構)

### 7.1.4 導入実績

現在、商用運転を行っている海洋温度差発電プラントは国内・海外とも存在しない。実証試験プラントについては、日米欧、およびアジアにおいて建設されたが、現在稼動しているのは、佐賀大学の伊万里実験プラントのみである。

各プラントの詳細については、「5.3.5 技術開発動向」にて詳述する。

### 7.1.5 技術開発動向

図表 7.16 に世界の主要な海洋温度差発電実証プラントを示す。海洋温度差発電の歴史は古く、1881年にはフランスにてその原理が提唱されていた。1970年代のオイルショック以降、各国にて研究開発が進められてきたが、これまでの実証試験は100kW級にとどまっており、実用化には1MW以上の実証試験が不可欠であるとされている。以下、欧州、米国、アジアにおける技術開発動向を概観する。

図表 7.16 世界の主要な海洋温度差発電実証プラント

プラント・開発主体・稼働年・形式	仕様	概要
Mini-OTEC －NELHA・ロッキード社 －1978～1979 －クローズドサイクル・洋上	発電出力：50kW 管延長：645m 取水量：75t/h 作動流体：アンモニア 温海水：26.1℃ 冷海水：5.6℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>●発電プラントをバージ<sup>7</sup>（長さ37m、幅10m）にのせた、世界初の洋上プラント。</li> <li>●1979年8月、ハワイのコナ沖で実験が行われ、正味出力15kWを得ることに成功。世界で初めて温度差のみで出力が得られることを証明。</li> </ul>
ナウルプラント －東京電力・東電設計 －1982～1983 －クローズドサイクル・陸上	発電出力：100kW 管延長：約900m 取水量：1,410t/h 作動流体：フロン22	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ナウル共和国の海洋温度差発電プラント。日本政府の補助を受けて東京電力と東電設計が建設。</li> <li>●世界で初めて海洋温度差発電による電力を供給。1982年にナウル共和国の小学校の照明に利用された。</li> <li>●設計値100kWの出力を得ることに成功。（ただし、取水管の流出により長期運転に失敗。）</li> </ul>
徳之島プラント －九州電力 －1982～1984 －クローズドサイクル・陸上	発電出力：50kW 管延長：2,400m 取水量：500t/h 作動流体：アンモニア 温海水：28.5℃ 冷海水：12.0℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>●温海水にディーゼル発電の温排水を利用。</li> </ul>
伊万里実験プラント －佐賀大学 －1985～2002) －クローズドサイクル・陸上	発電出力：75kW 作動流体：アンモニア 温海水：28.0℃ 冷海水：7.0℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>●温海水はボイラで温度調節し、冷海水は冬場の伊万里湾の表層海水を利用。</li> <li>●主に、蒸発器、凝縮器の性能実験を実施。</li> </ul>
ハワイのオープンサイクルプラント	発電出力：210kW 管延長：1,829m 作動流体：海水 温海水：26.0℃ 冷海水：6.0℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ハワイ島のコナ海岸に建造されたオープンサイクルプラント。</li> <li>●1993年には、総出力213kWの発電に成功。</li> </ul>

<sup>7</sup> 川や運河で砂利等を運ぶ平底船。

<p>伊万里新サイクルプラント －佐賀大学 －2003～現在稼働中 －各種サイクル・陸上</p>	<p>発電出力：30kW (海水淡水化装置とのハイブリッド) 作動流体：アンモニアと水の混合物質</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ランキンサイクル、カーリーナサイクル、ウエハラサイクルの性能比較試験が可能。</li> <li>●カーリーナサイクルおよびウエハラサイクルの作動流体にはアンモニア/水の混合物質を使用。</li> <li>●ウエハラサイクルと海水淡水化装置を組合せたハイブリッドシステムを研究。</li> <li>●深層水は利用せず、表層水のみを利用した実験プラント</li> <li>●夏場は表層水を温海水として利用し、冷海水は表層水を冷却することで、冬場は表層水を冷海水側に利用し、温海水はボイラで加温する、あるいは、両熱源とも設定温度に加温・冷却することで、それぞれ温度差を作り、実験を行っている。</li> </ul>
<p>インド発電プラント －インド国立化医用技術研究所・佐賀大学 －1997～現在稼働中(海水淡水化) －クローズドランキンサイクル・洋上</p>	<p>発電出力：1MW(目標) 淡水化能力：日量1,000t</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●1MW以上の商用化発電施設を目指し、佐賀大学の技術提携のもとに実証試験を実施。</li> <li>●海水淡水化を実施。2007年に深さ約500mの海洋深層水を用いて日量1,000tを達成。</li> <li>●日量100トンの海洋深層水を用いた海水淡水化か、2005年より連続稼働中。2010年、新たに3基設置。現在、動力には、ディーゼル発電を用いているため、OTECとの組み合わせを計画中。</li> </ul>

出典：「海洋エネルギーの利用技術に関する現状と課題に関する調査」(2008, NEDO) をもとに編集

### (1) 欧州

欧州ではフランスが、海洋温度差研究の先導的役割を担っている。フランスにおける海洋温度差発電研究の歴史は古く、科学者 George Claude は、1926年に小さな実験装置を用いて、世界初の海洋温度差発電の公開実験を行った。1930年にはキューバにてオープンサイクルシステムを用いて海洋温度差技術を初めて検証している。1950年以降、石油価格の下落等により研究開発は沈静化していたが、近年になって地球温暖化問題、石油価格の高騰等の影響から、再び海洋温度差発電への関心が高まっており、フランス政府は国をあげて研究開発を推進する意向を示している。現在、タヒチと仏領レ・ユニオンにおいて、10MW規模の海洋温度差発電プロジェクトが計画されている。なお、タヒチのプロジェクトのフィージビリティスタディについて、日本のベンチャー企業である株式会社ゼネシスが受注している。

オランダは、インドネシアの数社と共にバリ島にある100kWのクローズサイクルプラントの研究を成功させている。その他のヨーロッパ各国もまた海洋温度差発電に関するいくつかの基礎もしくは実用的問題の解決に貢献しており、例えば、ノルウェーは汎用性のあるポンプの研究を行った。クロアチアは、モジュール規範のコンセプトに基づき配管構造システムのための熱伝達の計算手順や陸地外での海洋温度差発電の研究を行ってきた。ウクライナでは、複雑な海洋温度差発電システムのエネルギー効率の理論的解析が行われた。ルーマニアでは、システ

ム効率性の改善のために海洋温度差発電の構成要素について研究が行われた<sup>8</sup>。しかし現在ほどの研究開発も終了し、技術者もほとんど残っていない。

## (2) 米国

米国では、クローズドサイクルについては1980年代までにはほぼ技術が成熟したと政府は判断し、以降オープンサイクルについての基礎的研究が中心となった、1993年には210kWのオープンサイクル方式海洋温度差発電で総電力213kWの発電を成功させた。しかしその後大きな進展はなく、原油価格の下落とともに、研究開発は衰退した。

近年になり、地球温暖化問題、石油価格の高騰等の影響から、米国においても海洋温度差発電が再び脚光を浴びている。2008年には、米国エネルギー省(DOE)の海洋エネルギー推進プロジェクトの一貫として海洋温度差発電が盛り込まれた。ハワイ州では10MW級の実証試験が計画されており、DOEの支援で2013年の運転開始を目指している。これは、ハワイ州における再生可能エネルギーの導入計画に基づくもので、海洋温度差発電を2015年までに35MW、2030年までに365MW以上の導入する計画が盛り込まれている。その他、グアムなどでも、海洋温度差発電の設置が検討されている。一方、ハワイ州では、海洋深層水を利用した大規模な冷熱利用が検討されている。海洋深層水の冷熱利用で、70-80%の二酸化炭素削減が期待されている。

## (3) アジア諸国

近年、インドをはじめとするアジア諸国が海洋温度差発電技術に興味を示しており、日本の研究者との共同研究により発展を遂げている。

### 1) インド

インド政府は、海洋温度差発電について量質ともに21世紀の重要なエネルギー源の一つとして大きな期待を寄せている。これまでの調査の結果、インド政府は海洋温度差発電のポテンシャルを約180,000MWと試算している。インド国立海洋技術研究所(NIOT)は5MW規模の海洋温度差発電商用プラントの実用化を目的とし、1MWの実証試験プロジェクトと海水淡水化のプロジェクトを開始した。

「SAGAR SHAKTHI」(サンスクリット語で海から授かる力の意)と命名されたこの実証プラントでは、現在海水の淡水化を行っており、2007年には1,000トン/日の淡水製造に成功している。今後、海洋温度差発電とのハイブリッド化を計画している。

このプロジェクトの遂行に際し、佐賀大学のこれまでの知的資産が注目され、1997年9月にインドにおける海洋温度差発電の共同開発と実証試験のための協力協定が佐賀大学との間で結ばれた。本プロジェクト成功後、インドでは積極的に海洋温度差発電の商用プラントを国内に建設する予定で、その規模は約1,000基と計画されている。

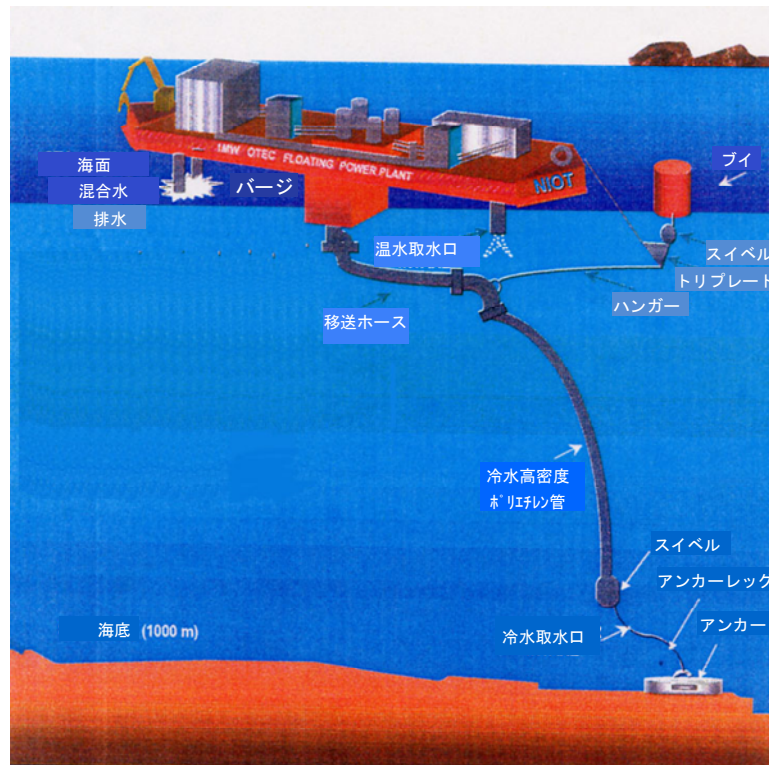
<sup>8</sup> 佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ ([http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_oetc\\_02.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html))

図表 7.17 SAGAR SHAKTHI 実証プラント



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センター ホームページ (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/index.html>)

図表 7.18 1MW 海洋温度差発電の概念図



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センター ホームページ (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/index.html>) より作成

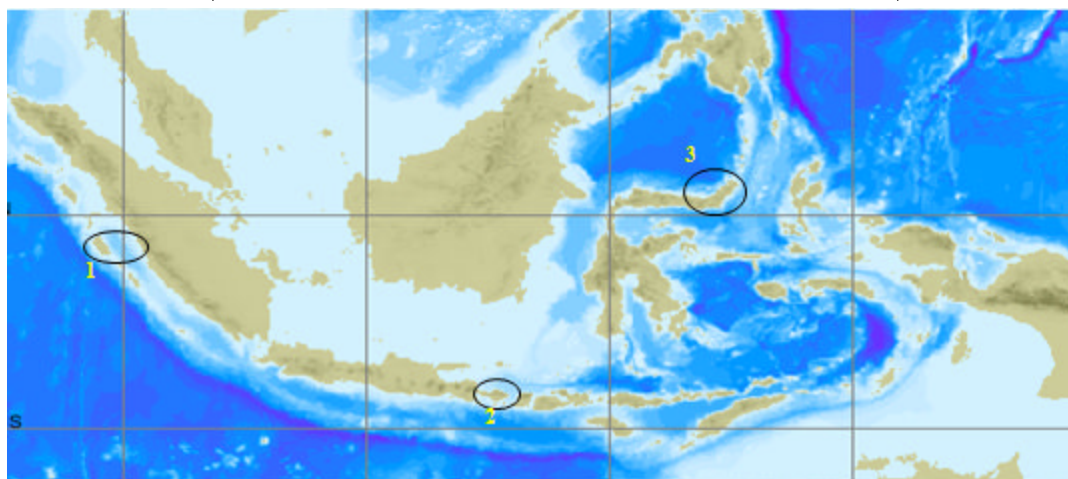
## 2) 台湾

台湾は海洋温度差発電の導入にとって最も適している場所の一つであり、かつては海洋温度差研究の中心的役割を担っていた。これまでに大規模 OTEC プラントの設計研究に貢献してきた Multi-product OTEC プラントや Master OTEC プラントの幅広い設計に関する研究を成功させている。欧米同様、原油価格の下落とともに研究開発は衰退したが、2007 年に台湾政府の支援のもと、台湾電力が実用化に向けた研究開発を再開している。2010 年は、1 MW の陸上タイプと 100MW の浮体式の基本設計が行われている。

### 3) インドネシア

インドネシアは、海洋温度差発電の適地が多く、これまで、政府で検討が行われてきたが、原油の下落とともに中断されていた。近年、州政府と大学（Dama Persada University など）を中心に、海洋温度差発電の本格的な導入が検討されている。特に West Sumatra、Bali island、North Sulawesi の3カ所（図表 7.19）を最も有力な候補地としており、2009 年にはフィージビリティスタディを行っている。

**図表 7.19 インドネシアの海洋温度差発電導入候補地  
(1. West Sumatra 2. Bali island 3. North Sulawesi)**



出典：“POSSIBILITY STUDY OF OTEC & DOWA IN INDONESIA”  
(International Symposium on Sustainable Energy and Environmental Protection 2009 (Indonesia) 資料)

### (4) 日本

日本は数十 kW 級の実証研究では世界トップレベルにある。日本では当初オープンサイクルの研究開発が行われ、1974 年にスタートしたサンシャイン計画および 1988 年に発足した日本海洋温度差発電研究会（民間主体の組織）において、実用化に向けた研究が進められた。佐賀大学では、クローズドサイクルの研究が集中的に実施されてきた。

1979 年には島根沖で日本初の海洋温度差発電の短期間の洋上実験が行われた。本洋上実験では、海洋温度差発電システムの性能、経済性、環境影響等が検討され、そのポテンシャルの大きさが確認されたが、システム性能に起因する経済性の課題や石油価格の下落等により事業性が低くなったことなどから研究開発は中止となった。

しかし、その後も佐賀大学海洋エネルギー研究センターが先導的に研究開発を行い、1994 年にウエハラサイクル（図表 7.21）を開発、現在も世界で唯一稼働している伊万里実験プラントにおいて実証研究が行われている（図表 7.20）。平成 21 年度 NEDO 洋上風力発電等技術研究開発（海洋エネルギー先導研究）では、革新的凝縮器を有するアンモニア/水を用いた新しい海洋温度差発電の研究開発に関する佐賀大学の提案が採択されている。

ウエハラサイクルとは、作動流体にアンモニア/水混合液を用い、2 段階で発電する点、作動流体の蒸発器と凝縮器に独特のプレート式熱交換器を用いる点が特徴である。世界トップレベ

ルのサイクル熱効率<sup>9</sup>と理論的に評価されており、国内外 12 カ国の特許が確定している。ただし、アンモニア/水混合液を用いるとサイクル熱効率の向上が期待される一方、熱交換器の伝熱性能の低下が懸念される。システムの効率向上には、これらの特性を総合的に評価することが重要である。現在、アンモニア/水混合液の特性を活かした一層の効率向上を目指して研究が進められている。

日本の技術レベルは現在、世界トップレベルであり、近年米国等から協力依頼および共同研究の依頼が多数来ている。しかしながら、MW 級の実証試験はまだ行われておらず、実用化に向けた大きな課題となっている。

先述のとおり、世界的に海洋温度差発電への関心が再び高まっており、米国や台湾、フランスを中心に MW 級のプロジェクトが計画されている。日本の現在の技術的地位を維持するためにも、MW 級の実証試験を早急に実施する必要がある。

図表 7.20 30kW 海洋温度差発電システム

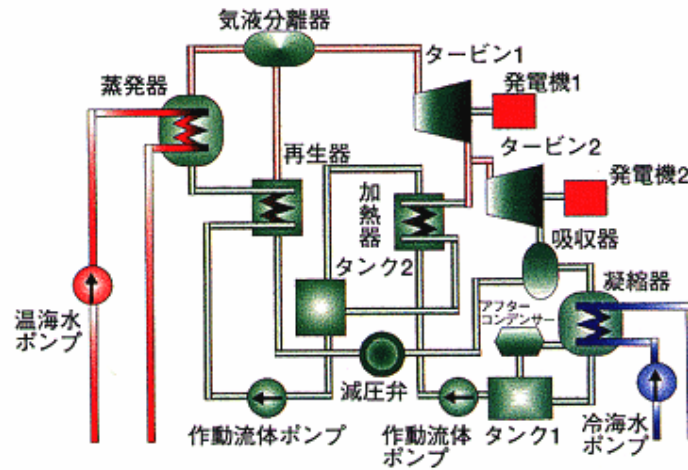


佐賀大学海洋エネルギー研究センターには、30kW 海洋温度差発電装置が設置されている。最近の研究成果では、濃度 99%以上のアンモニア/水作動流体を用いた場合に、温度差 21℃、温水流量 111kg/s、冷水流量 111kg/s で最大正味出力約 20kW を得ている。また、温・冷海水を模擬した海水淡水化実験装置でも効率よく淡水化できることを実証している。

出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センター ホームページ (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/index.html>)

<sup>9</sup> 海水温度を表層 28℃、深層 8℃を想定した場合、ウエハラサイクルは、カーリーナサイクルとの比較では、熱交換率で約 10%ほど効率が良くなるとの試算がある（日本海水学会論文集、2005 年）。A.A.Kalina は、特許（昭和 62-39660（1987））に於いて、カーリーナサイクルは、従来のランキンサイクルより、約 2 倍の熱効率になると示している。

図表 7.21 ウエハラサイクル システム図



出典：佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページ (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/index.html>)

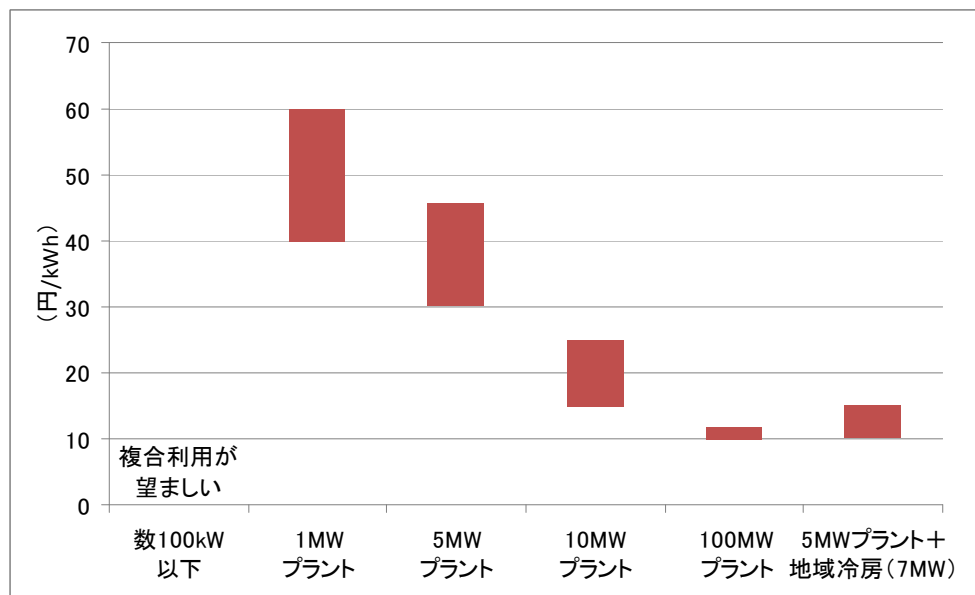


### 7.1.6 システム価格、発電単価等<sup>10</sup>

海洋エネルギー資源利用推進機構（OEA-J）の海洋温度差分科会が試算した海洋温度差発電の発電コストを図表 7.22 に示す。なお、海洋温度差の発電コストは、温度差、設置域の取水条件（深さ、陸からの距離等）等により異なることに留意が必要である。

数 100kW 以下の規模では発電のみで経済性を成り立たせるのは難しく、海水淡水化技術や海洋深層水の利活用、リチウム回収等との複合利用<sup>11</sup>が望ましいとされている。プラント規模が大きくなるほど発電コストは低減され、1MW プラントは約 50 円/kWh であるのに対し、10MW プラントでは約 20 円/kWh、さらに 100MW プラントでは約 10 円/kWh にまで低減されると試算されている。経済性向上策として、地域冷房等との組み合わせも提案されている。

図表 7.22 海洋温度差発電の発電コスト



プラント規模	コスト	備考
数 100kW 以下	未試算	複合利用（海水淡水化、リチウム回収等）が望ましい。
1MW プラント	50 円/kWh 程度 (40~60 円/kWh)	量産によって、40 円/kWh 以下になる可能性あり。
5MW プラント	30.4~45.7 円/kWh <sup>※2</sup>	海洋温度差発電量のみの評価。
10MW プラント	20 円/kWh 程度 (15~25 円/kWh)	量産によって、更に経済性が向上する可能性あり。
100MW プラント	10 円/kWh 程度	量産によって、更に経済性が向上する可能性あり。
5MW プラント+ 地域冷房 (7MW)	10.3~15.3 円/kWh <sup>※2</sup>	海洋温度差発電量+冷熱を電力換算して合わせた評価。

※ 試算値の幅は金利の設定条件（3, 5, 8%）による。

出典： OEAJ 海洋温度差発電分科会資料

<sup>10</sup> 1\$=100 円、1 ユーロ=130 円として換算している。以下同様。

<sup>11</sup> 詳細は P369 を参照のこと。

### 7.1.7 推進施策・関連法令

#### (1) 欧州

EU の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 7.23 に示す。EU は、エネルギーセキュリティ、化石燃料依存からの脱却、社会的・経済的団結等を背景に、地球温暖化対策に係る野心的な目標を掲げ、積極的な環境・エネルギー政策を打ち出している。

図表 7.23 欧州における主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
再生可能エネルギー白書 <sup>12</sup> (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに EU 内のエネルギー消費量の 12% を再生可能エネルギーで賄う目標を設定（法的拘束力なし）。</li> <li>目標達成に向けた行動計画を策定。</li> </ul>
再生可能電力推進に関する欧州指令 <sup>13</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までに電力供給量の 21% を再生可能エネルギーでまかなう目標を設定。</li> <li>加盟各国に示唆的目標を設定（法的拘束力なし）。</li> <li>目標達成は困難な見通し（2010 年までに 19% の達成見込み）。</li> </ul>
バイオ燃料促進に関する欧州指令 <sup>14</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010 年までにガソリン、ディーゼル油の 5.75% をバイオ燃料で代替する目標を設定（法的拘束力なし）。</li> <li>目標達成は困難な見通し。</li> </ul>
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令 <sup>15</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能電力推進に関する指令とバイオ燃料促進に関する指令を修正、廃止する新たな指令。</li> <li>2020 年までに EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20% にする目標を設定。</li> <li>2020 年までに運輸部門における再生可能エネルギーの割合を 10% にする目標を設定。</li> <li>各国に法的拘束力のある目標値を設定。</li> </ul>

#### <再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令>

2007 年 3 月、欧州理事会は、EU の地球温暖化対策として以下 4 項目について合意した。

- 2020 年までに、EU 全体の温室効果ガス排出量を 1990 年比で少なくとも 20% 削減する。
- 2020 年までに、EU 全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を 20% に引き上げる。
- 2020 年までに、各国の輸送用燃料におけるバイオ燃料の比率を 10% に引き上げる。

<sup>12</sup> COM(1997)599 “Energy for the Future: Renewable Sources of Energy”

<sup>13</sup> Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market

<sup>14</sup> Directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport

<sup>15</sup> Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

- 4) 新規化石燃料発電所への CO<sub>2</sub>回収・地中貯留 (CCS) システムの設置に向け、各国間で協力して技術開発、法的枠組み作り等を進める。

再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令は、上記 4 項目のうち 2) と 3) を達成するための手段や国別目標値を具体化したもので、再生可能電力推進に関する欧州指令 (2001) とバイオ燃料促進に関する欧州指令 (2003) を修正、廃止する指令である。

図表 6.19 に EU 加盟各国における 2020 年時点の再生可能エネルギー比率の目標値を示す。本指令は「2020 年までに 20%」という目標を達成するために、法的拘束力のある目標値を加盟各国に課している。国別目標値の設定にあたっては、再生可能エネルギーに関する各国の状況や経済力等が考慮されている。

図表 7.24 EU 加盟国の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率の経年変化と 2020 年目標値

	最終エネルギー消費量に占める 再生可能エネルギーの割合			EU 指令による 国別目標値
	2001	2003	2005	2020
	[%]			
ベルギー	1.3	1.6	2.2	13%
ブルガリア	7.1	9.0	10.6	16%
チェコ共和国	2.4	4.2	6.3	13%
デンマーク	12.3	14.9	17.0	30%
ドイツ	3.9	4.4	5.8	18%
エストニア	15.3	14.9	18.0	25%
アイルランド	2.2	2.2	3.0	16%
ギリシャ	6.5	7.2	7.5	18%
スペイン	9.1	9.4	7.6	20%
フランス	10.9	9.9	9.5	23%
イタリア	5.2	4.4	4.8	17%
キプロス	2.5	2.5	2.9	13%
ラトビア	34.4	31.9	35.5	40%
リトアニア	15.3	15.4	15.0	23%
ルクセンブルク	0.7	0.8	0.9	11%
ハンガリー	2.6	4.7	4.3	13%
マルタ	0.0	0.0	0.0	10%
オランダ	1.6	1.8	2.4	14%
オーストリア	25.8	21.8	23.0	34%
ポーランド	6.9	7.0	7.2	15%
ポルトガル	20.5	21.5	17.0	31%
ルーマニア	13.7	15.4	19.2	24%
スロベニア	16.1	14.3	14.9	25%
スロバキア	6.2	5.2	6.9	14%
フィンランド	27.9	26.7	28.5	38%
スウェーデン	40.0	33.9	40.8	49%
英国	0.9	1.0	1.3	15%

出典：“RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FIGURES” (2008, BMU)、Directive 2009/28/EC より作成

## (2) 米国

米国の主要な推進施策・関連法令を図表 6.20 に示す。世界第 1 位の CO<sub>2</sub> 排出国として、米国の地球温暖化対策推進の必要性が高まる中、オバマ政権の発足に伴い、グリーンニューディールという政策方針のもとで再生可能エネルギーの導入普及に向けた動きが加速している。

海洋温度差発電については、これまで大きくフォーカスされることはなかったが、近年 PTC（生産税控除、後述）の対象エネルギーに海洋温度差発電が追加されており、注目が高まっている。

図表 7.25 米国の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令

推進施策・関連法令	概要
2005 年エネルギー政策法 <sup>16</sup> (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 包括的なエネルギー法案。エネルギーインフラの強化、エネルギー効率の向上、再生可能エネルギーの利用拡大、在来型燃料の国内増産等を掲げる。</li> <li>• 再生可能エネルギーについては、再生可能燃料基準（RFS）<sup>17</sup>を導入した他、政府機関の再生可能電力比率を 7.5%に引き上げる目標を設定。また、各種インセンティブ制度を認可・拡充。</li> </ul>
ITC（投資課税控除） (Federal Business Investment Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。</li> <li>• 太陽光発電の控除率は 30%。</li> </ul>
PTC（生産税控除） (Renewable Energy Production Tax Credit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。</li> <li>• 条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。</li> <li>• 太陽光発電は対象外。</li> <li>• <u>エネルギー改善・延長法により、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電を対象技術に追加。</u></li> </ul>
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2009 年 2 月に成立した米国経済再生法により、米国財務省による本助成制度を創設。</li> <li>• 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。</li> </ul>
MACRS（修正加速度償却法） (Modified Accelerated Cost-Recovery System)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。</li> <li>• 太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。</li> </ul>

出典：各種資料より取りまとめ

<sup>16</sup> Public Law 190-58, Energy Policy Act of 2005, Aug. 2005

<sup>17</sup> 再生可能燃料基準（Renewable Fuel Standard）。自動車用燃料等へのバイオ燃料の使用を義務付けるもの。

## ① 2005 年エネルギー政策法<sup>18</sup>

2005 年エネルギー政策法 (Energy Policy Act of 2005) は、1992 年に成立した「1992 年エネルギー政策法」を踏まえ、より包括的なエネルギー法案として策定された。「エネルギー効率」「再生可能エネルギー」「石油・天然ガス」「石炭」「原子力」「自動車・燃料」「調査・研究開発」等、エネルギーに係る各種項目について、既存の法律の改正、各種インセンティブ制度の策定等が実施されている。

再生可能エネルギーに関しては、連邦政府に対して一定量の再生可能エネルギー由来の電力の買取を義務付けたほか、PTC (生産税控除) や ITC (投資課税控除) 等の各種インセンティブ制度を認可・拡充している (PTC、ITC については後述)。特に ITC については、同法により、商業用太陽光発電システムの税控除率が 10% から 30% に大幅に拡充された。

- 連邦政府に対する再生可能電力買取りの義務付け (2013 年までに 7.5%)。
- 再生可能燃料基準 (RFS) の導入。2012 年に年間 7.5 ガロンの目標を設定。
- 再生可能エネルギーに係る各種インセンティブの延長・拡充。
  - PTC (生産税控除) の期限を延長
  - 住宅用太陽光システム・燃料電池について 30% の ITC (投資課税控除) を創設
  - 商業用太陽光システムの ITC による税控除額を 10% から 30% に引き上げ

## ② 各種インセンティブ制度

連邦政府による主要なインセンティブ制度には以下が挙げられる。各制度の詳細を図表 7.26 に示す。

- ITC (Federal Business Investment Tax Credit : 投資課税控除)
  - ◇ 1992 年のエネルギー政策法 (Energy Policy Act) により創設。
  - ◇ 各種エネルギーシステムの設備投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。
  - ◇ エネルギー改善・延長法<sup>19</sup>により、太陽エネルギー利用設備、燃料電池、マイクロタービンに係る課税控除が 2016 年まで延長された。また、小型風力発電システム、地中熱ヒートポンプ、CHP が対象エネルギーに追加された。
- PTC (Renewable Energy Production Tax Credit : 生産税控除)
  - ◇ 再生可能エネルギー電力の生産税を控除する制度。条件を満たした新施設で生産された電力に対して、稼動開始から最初の 10 年間、1kWh ごとに適用される。
  - ◇ 太陽光発電は対象外。
  - ◇ エネルギー改善・延長法により、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電を対象技術に追加。

<sup>18</sup>“Energy Policy Act of 2005: Summary and Analysis of Enacted Provisions”(Mar. 2006, CRS)、米国総務省資料、Pew Center on Global Climate Change ウェブサイト

<sup>19</sup> Energy Improvement and Extension Act of 2008、金融危機対策関連法案 (Public Law 110-343) の一つ。再生可能エネルギー、CO2 回収・除去技術、エコカー・バイオ燃料、省エネ機器等に係る各種インセンティブが延長、拡充された。

- ◇ 米国経済再生法<sup>20</sup>により風力発電の控除期間が 2012 年末に延長された。
  
- Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)
  - ◇ 米国経済再生法により創設。
  - ◇ 本制度は PTC もしくは ITC の代わりに利用可能。
  - ◇ 潮流発電、波力発電、海洋温度差発電も同制度の対象。
  
- Modified Accelerated Cost-Recovery System (MACRS) (修正加速度償却法)
  - ◇ 太陽光発電設備や風力発電設備等の初期投資に対する加速償却制度。
  - ◇ 太陽光発電の投資に対しては、5 年間の加速的な減価償却が適応できる。

---

<sup>20</sup> American Recovery and Reinvestment Act、2008 年末の金融危機対策として 2009 年 2 月に成立。各種経済刺激策に加え、科学技術、環境保護、各種インフラへの投資、州や地方政府の財政安定化策等が盛り込まれている。

図表 7.26 連邦政府の主要な再生可能エネルギー支援施策

施策名	対象セクター	対象システム	インセンティブ	期限
ITC (投資課税控除)	商業、産業、電気事業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、風力、バイオマス、地熱発電、燃料電池、小型風力発電、地熱利用、マイクロタービン、CHP 等	<控除率> <ul style="list-style-type: none"> <li>30% : 太陽熱利用、太陽光発電、燃料電池、風力発電</li> <li>10% : 地熱利用、マイクロタービン、CHP</li> </ul>	2016/12/31
PTC (生産税控除)	商業、産業	風力発電、バイオマス、地熱発電、埋立地ガス発電、廃棄物発電、水力発電、 <u>潮流発電、波力発電、海洋温度差発電</u> 等 ※太陽光発電、太陽熱発電は対象外	<控除額> <ul style="list-style-type: none"> <li>風力 : 2.1 ¢ / kWh</li> <li>閉鎖系バイオマス、地熱 : 2.1 ¢ / kWh</li> <li>開放系バイオマス、埋立地ガス、廃棄物、水力、海洋エネルギー : 1.0 ¢ / kWh</li> </ul>	2013/12/31
Renewable Energy Grants (再生可能エネルギー助成制度)	商業、産業、農業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、燃料電池、小型風力発電、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス、廃棄物、地中熱ヒートポンプ、マイクロタービン、CHP、 <u>潮流発電、波力発電、海洋温度差発電</u> 等	<助成率> <ul style="list-style-type: none"> <li>固定資産の 30% : 燃料電池、太陽エネルギー関連設備、小型風力、風力、バイオマス、水力、地熱発電、埋立地ガス</li> <li>固定資産の 10% : その他対象エネルギー</li> </ul>	2011/10/1
MACRS (修正加速度償却法)	商業、産業	太陽熱利用、太陽熱発電、太陽光発電、埋立地ガス、風力発電、バイオマス、再生可能燃料(運輸用)、地熱発電、地熱利用、燃料電池、廃棄物利用、CHP、マイクロタービン等	<償却期間> <ul style="list-style-type: none"> <li>5年 : 太陽熱利用、太陽光、地熱発電、風力発電、燃料電池、マイクロタービン</li> <li>条件を満たす設備については、初年度 50% のボーナス償却を利用できる。</li> </ul>	2009/12/31

出典 : DSIRE ホームページ (<http://www.dsireusa.org/>) より取りまとめ

## (3) 日本

日本の主要な再生可能エネルギー推進施策・関連法令を図表 7.27 に示す。我が国のエネルギー自給率は極めて低く、「エネルギーの安定供給」は最重要課題の一つであること、また地球温暖化対策への取組みが急務であること等から、これまで多くのエネルギー政策が展開されてきた。

海洋エネルギーについては、2007 年に海洋基本法が策定され、日本として戦略的に海洋エネルギー開発に取り組む素地が出来た。以下にエネルギー基本計画、技術戦略マップ、海洋基本計画について詳述する。

図表 7.27 日本における主要な環境・エネルギー政策

政策名称	概要
エネルギー基本計画（2003） 第一次改定 2007 年 3 月 第二次改定 2010 年 6 月	<ul style="list-style-type: none"> <li>「エネルギー政策基本法」（2002）に基づき策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。</li> <li>2007 年に第一次改定、2010 年に第二次改定を実施。第二次改定では、2030 年までの今後 20 年程度を視野に入れた具体的施策を明示。</li> <li>再生可能エネルギーについては、2020 年までに一次エネルギー供給の 10%をまかなう目標を設定。</li> </ul>
電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法：RPS 法（2003）	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気事業者が新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。</li> </ul>
新・国家エネルギー戦略（2006）	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー安全保障を軸に、我が国の新たな国家エネルギー戦略を提示。</li> <li>①国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立</li> <li>②エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立</li> <li>③アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献を目標として掲げる。</li> </ul>
技術戦略マップ（エネルギー技術）（2007、毎年更新）	<ul style="list-style-type: none"> <li>新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示。</li> <li>産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的とする。</li> </ul>
海洋基本法（2007）	<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋に関する施策を総合的かつ計画的に推進し、我が国の経済社会の健全な発展および国民生活の安定向上を図るとともに、海洋と人類の共生に貢献することを目的とした法律。</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 本法律に基づき、海洋に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため「海洋基本計画」が策定された。</li> </ul>
海洋基本計画（2007）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「海洋基本法」に基づき、海洋に関する基本的な計画を定めたもの。</li> <li>● 排他的経済水域等における当面の探査・開発の対象を石油・天然ガス、メタンハイドレートおよび海底熱水鉱床とする。</li> <li>● 海洋エネルギーに関しては、洋上風力、波力、潮汐発電等の技術開発を支援。</li> </ul>
Cool Earth エネルギー革新技術計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するという長期的目標の実現に向け、             <ol style="list-style-type: none"> <li>①重点的に取り組むべき21の革新技術の選定</li> <li>②21技術の技術ロードマップの提示</li> <li>③国際連携のあり方の提示</li> </ol>             を行っている。           </li> </ul>
京都議定書目標達成計画（2008）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「地球温暖化対策推進法」（1998）に基づき、6%削減約束を達成するために必要な措置を提示。</li> <li>● 再生可能エネルギーについて、太陽光、太陽熱、風力、バイオマス、未利用エネルギー（温度差エネルギー、雪氷熱等）等の導入を促進。</li> </ul>
エネルギー供給構造高度化法（2009）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電気やガス、石油事業者等のエネルギー供給事業者において、非化石エネルギー源の利用拡大、化石エネルギー原料の有効利用を促進することを目的とする。</li> <li>● 電力会社に加え、ガス会社や石油会社にも新エネルギーの利用を義務付け。</li> <li>● 本法律の枠組みの中で、「太陽光発電の固定価格買取制度」を策定。</li> </ul>
各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 図表 7.30 参照</li> </ul>

## 1) エネルギー基本計画

国がエネルギー政策を進めるに当たり、「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分考慮した上での「市場原理の活用」を基本方針とすること等を内容とする「エネルギー政策基本法」が2002年6月に制定された。「エネルギー基本計画」は、エネルギー政策基本法に基づき2003年に策定され、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図ることを目的としている。

本計画は少なくとも3年ごとに検討を加え、必要に応じて改定されることが法定されており、2007年3月に第一次改定、2010年6月に第二次改定が実施された。

第二次改定では、エネルギー政策は、国民や事業者の理解・協力のもと、中長期的な視点で総合的かつ戦略的に推進する必要があるとの考えに立ち、2030年までの今後「20年程度」を視野に入れ、以下の目標の実現に向けた具体的施策を明示している。

- ① 資源小国である我が国の実情を踏まえつつ、エネルギー安全保障を抜本的に強化するため、エネルギー自給率（現状18%）<sup>21</sup>及び化石燃料の自主開発比率（現状約26%）をそれぞれ倍増させる。これらにより、自主エネルギー比率を約70%（現状約38%）とする。
- ② 電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力及び再生可能エネルギー由来）の比率を約70%（2020年には約50%以上）とする（現状34%）。
- ③ 「暮らし」（家庭部門）のエネルギー消費から発生するCO<sub>2</sub>を半減させる。
- ④ 産業部門では、世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図る。
- ⑤ 我が国に優位性があり、かつ、今後も市場拡大が見込まれるエネルギー関連の製品・システムの国際市場において、我が国企業群が最高水準のシェアを維持・獲得する。

再生可能エネルギーについては、2020年までに一次エネルギー供給に占める割合を10%に高めることを目標に掲げている。主な再生可能エネルギーとして、太陽光発電、風力発電、地熱発電、水力発電、バイオマス利用、空気熱や地中熱利用、太陽熱利用、雪氷熱利用等を挙げている。

## 2) 技術戦略マップ

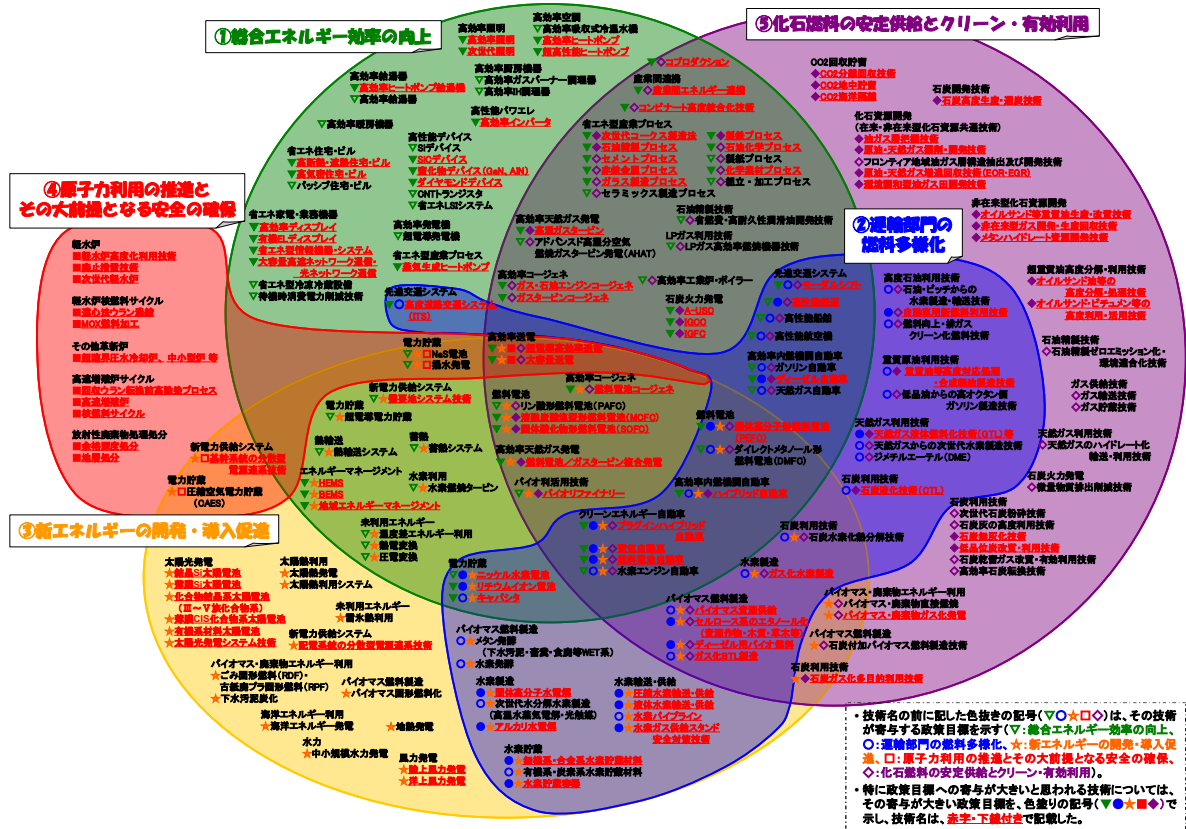
技術戦略マップは、新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策を提示するものである。産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集、国民理解の増進を目的としている。技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオ、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、「新・国家エネルギー戦略」（2006）における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・

<sup>21</sup> 一次エネルギー国内供給のうち、国産エネルギー（再生可能エネルギー等）および準国産エネルギー（原子力）の供給の占める割合。OECD 諸国のエネルギー自給率の平均値は約70%。

導入促進、④原子力の利用、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出している（図表7.28）。本技術戦略マップの中に、海洋エネルギーも一技術として取り上げられ、波力発電、潮汐・潮流発電、海洋温度差発電の技術ロードマップが示されている。

図表 7.28 エネルギー技術俯瞰図



出典：「技術戦略マップ2010 エネルギー分野」（2009，経済産業省）

### 3) 海洋基本計画

1994年に国連から発行された「国連海洋法条約」により、従来の領海と公海に加え排他的経済水域（EEZ）、大陸棚等の海域区分が導入された結果、沿岸国の権限が拡大し、日本は国土面積の12倍に及ぶ世界第6位の管轄海域を持つことになった。これは海洋利用の可能性の広がりをも意味するとともに、海洋管理という新たな視点での政策を整備する必要性を意味する。また、国際社会における海洋の管理と利用を巡る動きは活発であり、我が国も海洋を管理する立場から明確な姿勢を持って対応していく必要がある。

このような状況を踏まえ、2007年7月20日「海洋基本法」が施行され、海洋に関する基本姿勢が明確化されるとともに、海洋に関する施策を集中的かつ総合的に推進するための体制として、内閣に総合海洋政策本部が設置された。『海洋基本計画』は、「海洋基本法」第16条の規定に基づき、海洋に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、政府が海洋に関する基本的な計画を定めたものである。計画の概要を図表7.29に示す。

図表 7.29 海洋基本計画の概要



出典：環境省 中央環境審議会資料

第1部では6つの基本的な方針、第2部では12の施策計画、第3部ではその他必要な事項が挙げられている。このうち海洋エネルギーに関連する項目は、基本方針の「①海洋の開発及び利用と海洋環境の保全との調和」と「③科学的知見の充実」、施策計画の「①海洋資源の開発及び利用の推進」と「③排他的経済水域等の開発等の推進」である。

この中で、排他的経済水域等における当面の探査・開発の対象を石油・天然ガス、メタンハイドレートおよび海底熱水鉱床とし、必要な政策資源を集中的に投入するとともに、コバルトリッチクラストについては今後の調査・開発のあり方について検討する、としている。その他の海洋エネルギーに関しては、洋上風力発電の設置コストの低減、耐久性の向上のための技術的課題、環境影響評価手法の確立等に取り組むとする他、波力、潮汐等による発電については、国際的な動向を把握しつつ、我が国の海域特性を踏まえ、その効率性、経済性向上のための基礎的な研究を進めるとしている。

#### 4) 各種再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業

図表 7.30 に、主要な再生可能エネルギー導入補助事業・研究開発補助事業について、海洋温度差発電関連事業を中心に示す。

図表 7.30 2009 年度の再生可能エネルギー導入補助事業例

事業名（補助率等）	制度概要	対象者	対象エネルギー	実施主体
地方公共団体対策技術率先導入補助事業 補助率：1/2 以内	地方公共団体が策定した実行計画に基づく代エネ・省エネ設備導入事業や、公共施設へのシェアード・エスコ事業について、要件を満たす設備の導入費用の一部を補助する。	地方公共団体/地方公共団体の施設へシェアード・エスコを用いて省エネ化を行う民間団体等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省
地域イノベーション創出研究開発事業 （一般型） 初年度目 1 億円以内/件 2 年度目 5 千万円以内/件 （地域資源活用型） 3 千万円以内/件 2 年度目 2 千万円以内/件	産学官の研究開発リソースの最適な組合せからなる研究体を組織し、新製品開発を目指す実用化技術の研究開発を通じて、新たな需要を開拓し、地域の新産業・新事業の創出に貢献しうる製品等の開発を支援する。	研究体	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	経済産業省
新エネルギーベンチャー技術革新事業 委託費：1 千万円/件（1 年、FS）	中小・ベンチャー企業等が保有している潜在的技術シーズを活用した技術開発の推進、および新事業の創成と拡大等を目指した事業化を支援する。	企業/大学/独立行政法人等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	NEDO
地球温暖化対策技術開発事業 【競争的資金】 委託事業：上限なし（予算枠 7 億円） 補助事業：1/2（上限なし、予算枠 2.5 億円）	再生可能エネルギー導入技術実用化開発、省エネ対策技術実用化開発等の技術開発分野ごとに、実用的な温暖化対策技術の開発について、優れた技術開発の実施に係る提案と実施体制を有する民間企業等を公募により選定し、委託又は補助を行う。	民間事業者/公的研究機関/大学等	太陽光発電、風力発電、バイオマス、太陽熱利用、中小水力発電、地熱発電、温度差熱利用、雪氷熱、海洋エネルギー	環境省

出典：NEDO、経済産業省、環境省資料より取りまとめ

### 7.1.8 ビジネスモデル

海洋温度差発電において想定される展開は、離島における海洋深層水の複合利用と組み合わせた地域共生システムや、大規模発電プラント、工場等排熱の利用などである。

海洋温度差発電は、大規模化によって発電コストを低減できるとされているが、電力需要の少ない離島などでは10MWを越えるような大規模プラントは設置できない。そこでそれらの地域では、海洋深層水の持つ低温性、富栄養性、清浄性または有用金属を含むなどの多様な付加価値を利用することにより、地域産業の活性化につながる地域受容性の高いシステムを提供することが有効である。

将来的には、大規模エネルギー発電プラントとして、沖縄本島などの大きな電力需要のある地域へのエネルギー供給、洋上のエネルギー補給基地としての展開が考えられる。また、工場等排熱など、地域に賦存する未利用熱エネルギーを活用したシステムも有望である。

#### (1) 離島における海洋深層水の複合利用との組合せ

海洋温度差発電の商用展開にあたっては、当面のターゲットとして、発電コストの高い離島における分散型電源としての利用が考えられる。また、経済性を向上させるために発電以外の様々な用途を開拓し、海洋温度差エネルギーを最大限に利活用することが得策である。

日本には多くの離島が存在するが、離島の電力系統は本土と連系していない場合が多い。発電設備は一部の島で水力発電、地熱発電、太陽光発電、風力発電や移動用発電設備としてのガスタービン発電機等を有しているものの、概ね全てがディーゼル発電機である<sup>22</sup>。ディーゼル発電は、既存電源と比較して発電コストがときに4倍以上になる上、近年の石油価格の高騰によりさらに割高となる傾向にある。従って、実用化の初期段階は離島のディーゼル発電に対しては競争力を有する可能性がある。

また、7.1.1 節にて述べたとおり、海洋深層水は、海水淡水化技術、漁場造成、冷熱利用、水素製造技術、リチウム等の金属回収技術など、発電以外に様々な用途に利用可能である。これらを複合的に利用することにより、経済性の向上、高付加価値化を図るとともに、地域産業の活性化につながる地域受容性の高いシステムを提供することが有効である。淡水化プラントや漁場創出など、地域のニーズに合わせて組合せられたこれらのシステムは、エネルギー価格の高い途上国などへの支援策の一つのアプローチとしても有用と考えられる。

#### (2) 沖合浮体式の大規模発電プラント

海洋温度差発電は大規模化することで、コストのおよそ半分を占める取水管のコスト比率を下げることができるため、低コスト化が可能となる。海洋エネルギー利用推進機構による発電コスト試算では、1MWプラントで50円/kWh程度に対し、10MWプラントでは20円/kWh程度、100MWプラントでは10円/kWh程度まで低減される(7.1.6 節参照)。

従って、1MW~10MW程度の中規模なシステムでの技術が実証された後は、10MW~100MWクラスの沖合浮体式海洋温度差発電プラントによる発電事業が有望と考えられている。これら

<sup>22</sup> 「離島等独立系統における新エネルギー活用型電力供給システム安定化対策実用化可能性調査」(2006, NEDO)

の沖合浮体式発電プラントは、陸上の電力系統までの距離が近い場合は系統連系を、遠い場合は独立エネルギープラントとして利用される。独立エネルギープラントの場合の用途としては、船舶や飛行機のエネルギー供給基地などの利用方法が考えられている。

### (3) 工場等排熱の利用

海洋温度差発電は、経済性を成立させるためには平均的に 20℃程度の温度差が必要とされている。日本では沖縄、鹿児島、小笠原諸島などが適地に挙げられるが、本州においても理想的な温度差のもと発電を行うためには、発電所や工場等の低温排熱の活用が有効と考えられる。

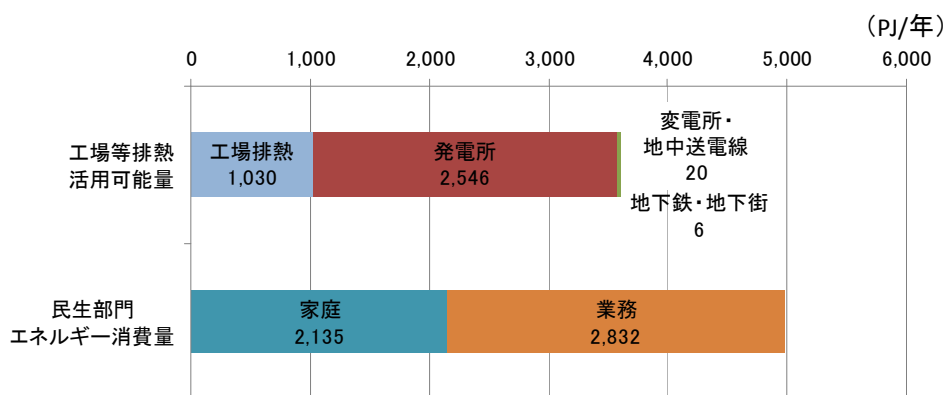
日本における工場等排熱のポテンシャルを図表 7.31 に示す。全国の工場等排熱の賦存量の合計は約 4,143PJ（原油換算 10,845 万 kL）、活用可能量は約 3,602PJ（原油換算 9,430 万 kL）と見積もられている。これは 2007 年度の民生部門のエネルギー消費量 4,967PJ（原油換算 13,003 万 kL）<sup>23</sup>の 83%と 73%にそれぞれ相当する膨大な量であり、有効利用の必要性がかねてより議論されている。

工場等排熱は、排熱回収ボイラによる発電、および熱導管による地域熱供給などが一般的である。しかしながら、排熱が低温の場合は発電に不向きであり、また熱の需要地が遠い場合は、熱供給配管からの熱損失がある他、膨大な配管敷設コストがかかり導入は困難となる。

海洋温度差発電は、20℃程度の温度差があれば発電が可能であることから、低温排熱でも十分に発電に利用することができる。また、熱をオンサイトで発電利用することから、熱損失等の熱の運搬に係る問題の解決策ともなる。

富士石油株式会社の袖ヶ浦製油所では、NEDO の「エネルギー使用合理化技術戦略的開発事業」にて、工場の温排水を利用した低位熱発電プラントとして、作動流体にアンモニア水を用いた温度差熱発電の実証試験が行われている。最大出力は約 4,000kW で、2005 年の運転開始から安定した出力が得られており、その有効性が確認されている。なお、同様のシステムである地熱発電に関して、政府は、アンモニア水を用いて地熱を利用して発電するシステムを平成 20 年度より「新エネルギー」として追加しその利用を促進している。

図表 7.31 工場等排熱の活用可能量と民生部門エネルギー消費量の比較



出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007，経済産業省）、  
「総合エネルギー統計」（2007，資源エネルギー庁）より作成

<sup>23</sup> 「総合エネルギー統計」（資源エネルギー庁）



### 7.1.9 国内技術の競争力

現在、海洋温度差発電の実証試験サイトは佐賀大学海洋エネルギー研究センターが世界で唯一のものであり、これまで継続して研究開発が行われてきた日本の技術力は世界に先行している。

我が国の海洋温度差発電技術の優位性は、コア技術となる海洋温度差に特化した熱交換器、世界最高レベルの効率を誇る発電サイクル（ウエハラサイクル：1994年 上原ら）、システム制御技術およびそれらを組み合わせた高度なプラントシステムの設計技術にある。また、日本は海洋深層水の汲み上げ実績は世界トップレベルであり、取水技術の信頼性は高い。

要素部材についても、日本企業が競争力を有するものは多い。海洋温度差発電に取り組むゼネシス<sup>24</sup>は海洋温度差発電に特化した熱交換器の開発を進め、チタンを利用したプレート型の熱交換器を開発している。海洋温度差発電には、大規模な熱交換器が搭載されるため、世界市場が拡大した際に、ゼネシス社製に代表される日本のチタンプレート型の熱交換器が世界シェアを獲得できれば、相当量（1MW 規模で 12.4～18 トン）のチタンの需要が生まれることとなり、これによる日本のチタン産業への波及効果も期待できる。なお、チタン製造技術については、平成 17 年度からの 4 年間、経済産業省により海洋温度差発電を含む今後の大量チタン利用を想定し、国際競争力を高めるために「高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト」が実施され、チタンの低コスト製造方法等に関する技術開発が行われた。

一方で、1990 年代の実証試験を境に一時研究開発が行われていなかった海外においても、近年各国で研究開発を再開する動きが見られる。

2008 年には、米国エネルギー省（DOE<sup>25</sup>）の海洋エネルギー推進プロジェクトの一貫として海洋温度差発電が盛り込まれ、ハワイ州では DOE の支援により、2013 年の運転開始を目指した 10MW 級の実証試験が計画されている。フランス、台湾、韓国など数多くの国々においても数 MW 級の開発プロジェクトが計画されている（7.1.5 節参照）。

以上のことから、我が国の技術競争力は、海外の実証プラントが未だ稼働されていない現段階では優位性を保っているが、今後海外の実証試験が進むにつれ、国内技術の流出、実証による海外メーカーの技術力の躍進により、急速に競争力を失う危険性がある。

我が国の技術競争力を保ち、かつ世界市場シェアを獲得していくためには、国内での迅速な実証試験の実施および他国の追随を許さないコア技術の研鑽に取り組む必要がある。

<sup>24</sup> <http://www.xenesys.com/japanese/index.html>

<sup>25</sup> Department of Energy (<http://www.energy.gov/>)

## 7.2 技術ロードマップ

### 7.2.1 目指す姿

海洋温度差発電における数十 kW 級の実証研究では我が国は世界のトップレベルにある。佐賀大学海洋エネルギー研究センターは、現在世界で唯一稼働している伊万里実験プラントを有し、我が国の海洋温度差発電研究を支えてきた。日本は海洋深層水の汲み上げ実績も豊富であり、取水技術の信頼性も高い。また、要素部材についても日本企業が競争力を有するものは多く、チタンを利用したプレート型の熱交換器は日本発の有望技術であるとともに、日本のチタン産業への波及効果も期待できる。

一方、近年の米国や台湾、フランスを中心に MW 級の海洋温度差発電プロジェクトが計画されているように、地球温暖化の問題やエネルギーセキュリティの問題を背景として、世界的に海洋温度差発電に対する関心が高まっている。海外諸国の技術開発が加速化することにより、日本の技術的優位性が低下することが懸念される。

我が国が引き続き、海洋温度差発電の技術開発において指導的立場を維持するためには、当面の技術課題と考えられる MW 級の実証研究を世界に先導して実施することが不可欠である。その上で、海洋温度差発電の実用化を実現するとともに、将来的には、数十～数百 MW 級のプラント技術を確立し、国内導入量の拡大を図ることで、我が国の技術優位性を維持・向上することが重要である。

以上より、海洋温度差発電の目指す姿を図表 7.32 の通り掲げる。

図表 7.32 海洋温度差発電の目指す姿

- 海洋温度差発電の商用化に向けた技術開発を加速し、海外市場を創出するとともに世界最先端の技術的地位を維持し、国内企業の育成、国際競争力の強化を図る。
- 国内産業の育成、低炭素社会の実現、エネルギーセキュリティ等の観点から、国内での導入促進、新規産業の創出を実現する。

## 7.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

### (1) MW級プラントの実証試験による技術開発の推進、信頼性の向上

海洋温度差発電は、他の再生可能エネルギーとは異なり、スケールメリットが極めて大きいという特性を有している。これまで国内外において、100kW 級の実証試験がなされてきたが、この出力レベルでは経済的に成立しないとされている。世界初となる 1MW 級の実証試験を実施し、日本の技術的優位性を維持することが重要である。実証試験を実施することにより、各種性能値および知的資産を取得するとともに、経済性の成立を根拠付ける試算結果を得ることは海洋温度差発電の信頼性の向上に大きく寄与することとなる。

### (2) コア技術の確立

我が国の海洋温度差発電技術の優位性は、コア技術となる海洋温度差発電に特化したチタン製プレート型熱交換器、制御技術およびそれらを組み込んだ高度なプラントシステムの設計技術にあり、これらの技術優位性を保つ必要がある。海洋温度差発電産業は、未だ創出されていない市場であることから、実証研究を通じた市場の創出と合わせ、コア技術の性能を強化することにより、世界トップシェアを獲得、継続していくことを目指す必要がある。

### (3) 事業性の向上、発電コストの低減

海洋温度差発電の国内外における導入を図るには、事業性の向上、発電コストの低減が重要である。小規模プラントについては、発電コストの高い離島における分散型電源としての利用に加え、海水淡水化、漁場造成、冷熱利用などの複合利用により事業性を確保することが有効となる。また、将来的には数十～数百 MW 級まで大規模化し、抜本的に発電コストの削減を図る必要がある。従って、短期的には複合利用型の最適設計、長期的には大規模プラント技術の確立、高度な全体システムの構築等が必要となる。

### 7.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

以上、我が国技術の目指すべき姿と、課題と対応から導き出される、海洋温度差発電の技術開発目標、技術開発内容を以下に示すとともに、海洋温度差発電の技術ロードマップを図表 7.35 に示す。

#### (1) 技術開発目標

技術開発目標については、図表 7.33 の通り設定した。

国内企業の育成、国際競争力の強化については、早期に 1MW プラントの実証試験を実施し、2015 年以降は商用プラントの運用、国内導入の促進、2020 年以降はプラント出力の大型化、世界市場シェアの拡大を目標に掲げた。

プラント規模については、現時点では、100kW 級の実証が実施されている段階にとどまっているが、2015 年には 1MW 級の実証プラントを整備し、2020 年には 10MW 級、2030 年には 50MW 級の海洋温度差発電システムの整備を目指す。

発電コストについては、まずは分散電源としての実用化を図るべく、2015 年には 40～60 円/kWh、2020 年には 15～25 円/kWh を目指す。さらに 2050 年には系統への接続も視野に 8～13 円/kWh を目指す。

図表 7.33 海洋温度差発電の技術開発目標

項目	2015 年	2020 年	2030 年
国内企業の育成、国際競争力の強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1MW プラントの実証試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 商用プラントの運用開始</li> <li>• 国内導入の促進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• プラント出力の大型化</li> <li>• 世界市場シェアの拡大</li> </ul>
プラント規模	～1MW	～10MW	～50MW
発電コスト	40～60 円程度	15～25 円/kWh 程度	8～13 円/kWh 程度

## (2) 技術開発内容

前項で設定した技術開発目標を実現するため、以下に示す技術開発課題に取り組む必要がある。

図表 7.34 海洋温度差発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
コア技術の確立	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>低コスト材料の開発（低コストチタン製造技術の開発、チタン代替材料の開発等）</li> <li>低コスト施工技術（新しい取水管の開発、取水管敷設技術の高度化等）</li> </ul>
	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>サイクル熱効率の向上</li> <li>高効率作動流体</li> <li>高効率新サイクルの開発</li> </ul>
プラント運用技術の確立	プラントの維持管理・故障の防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>モニタリングシステム</li> <li>海洋環境の予測システム</li> <li>遠隔操作システム</li> </ul>
	海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋生物の付着防止（環境に優しい防汚技術、防汚塗料、音・超音波システム、オゾンガスの海水混合等）</li> </ul>
	環境影響評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験による基礎データ収集</li> <li>環境影響評価手法の確立</li> </ul>
事業性の向上	温排水源の有効利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>工場排水、発電所排水等を利用したプラント開発</li> </ul>
	海洋深層水の複合利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>複合利用技術の高度化・検証 <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 海水淡水化技術</li> <li>▶ 海洋深層水による漁場形成</li> <li>▶ 冷熱利用（空調など）</li> <li>▶ 水素製造</li> <li>▶ リチウム回収 等</li> </ul> </li> </ul>

### 1) コア技術の確立

#### ① イニシャルコストの削減

イニシャルコストの削減には、材料の低コスト化や施工費の削減が必要となる。熱交換器には耐腐食性の高いチタンが用いられることが多いが、チタンは非常に高価であり、イニシャルコストを押し上げる原因となっている。

チタンを利用したプレート型の熱交換器は日本が技術優位性を発揮しているコア技術の一つであり、低コストチタン製造技術の開発は、世界市場の拡大に向けた重要課題に挙げられる。

日本のチタンプレート型の熱交換機が世界シェアを獲得できれば、相当量（1MW 規模で 12.4～18 トン）のチタンの需要が生まれることとなり、日本のチタン産業への波及効果も期待できる。また、チタン代替材料の開発も重要である。

なお、海洋温度差発電のランニングコストについては、海洋深層水は清浄性が高いため、汚れ・生物付着は起こりにくく、取水管のメンテナンス等にコストはかからない。沖縄県久米島における海洋深層水の取水設備は、10 年間メンテナンスフリーで稼動し続けている<sup>26</sup>。表層付近は汚れているため汚れ・生物付着の可能性はあるが、現時点で大きな問題にはなっていない。

## ② 発電効率の向上

発電効率の向上に係る課題として、サイクル熱効率の向上、高効率作動流体、高効率新サイクルの開発等が挙げられる。

海洋温度差発電の効率向上には、蒸発器・凝縮器における熱交換効率の向上が重要となる。佐賀大学海洋エネルギー研究センター（IOES）は、表面に細かい凹凸をつけて伝熱面積を増やしたプレート式熱交換器を開発し（特許取得）、発電効率を飛躍的に向上させた。引き続き、サイクル熱交換効率の向上に向けた技術開発が重要となる。

また、発電効率の向上には、設計上、作動流体に何を採用するかも大きく影響する。現時点では、アンモニアと水の混合媒体が有望視されている。その他の高効率作動流体の探索も重要である。

現在、日本の独自技術であるウエハラサイクルが世界トップレベルのサイクル熱効率と理論的に評価されている。本サイクルの技術改良を進めるとともに、より高効率な新サイクルについても、技術開発を進める必要がある。

## 2) プラント運用技術の確立

### ① 設備の維持管理・故障の防止

商用プラントの運用に際しては、プラントの維持管理・故障の防止が重要となる。プラントの稼働状況の把握や、異常の早期発見等のため、モニタリングシステムや海洋環境の予測システムの開発が重要となる。また、沖合浮体型プラントの運用においては、陸上で管理できるよう遠隔操作システムが必要となる。

### ② 海洋環境への対応

深層水側では殆ど問題は生じないが、表層水側では生物汚れの問題が生じる。熱抵抗を増大させるため対策を要する。複雑な形状の伝熱面では汚れの防止が難しいため平滑な面にしたり、防汚塗料の塗布、あるいは、音や超音波を使った除去や、塩素添加やオゾンガスの間欠的・局所的な注入が挙げられる。より環境に優しいく効果の優れた防汚技術が重要である。

### ③ 環境への影響

海洋温度差発電は大量の水を汲み上げ、外洋に排出するシステムである。1MW クラスの発電

<sup>26</sup> 沖縄県海洋深層水研究所では、地下 612m から 13,000 t/日の海洋深層水を汲み上げ、飲料用として販売している。

プラントの場合、毎時 13,000 トンの深層水を継続して汲み上げることになる。これによる海水循環の変化、熱の移動は、海洋環境に様々な変化を及ぼす可能性がある。海洋環境への影響を実証試験による基礎データの収集、各種シミュレーションによる予測との比較等により検証していく必要がある。また、プラント規模に応じた環境影響評価手法が必要となる。

### 3) 事業性の向上

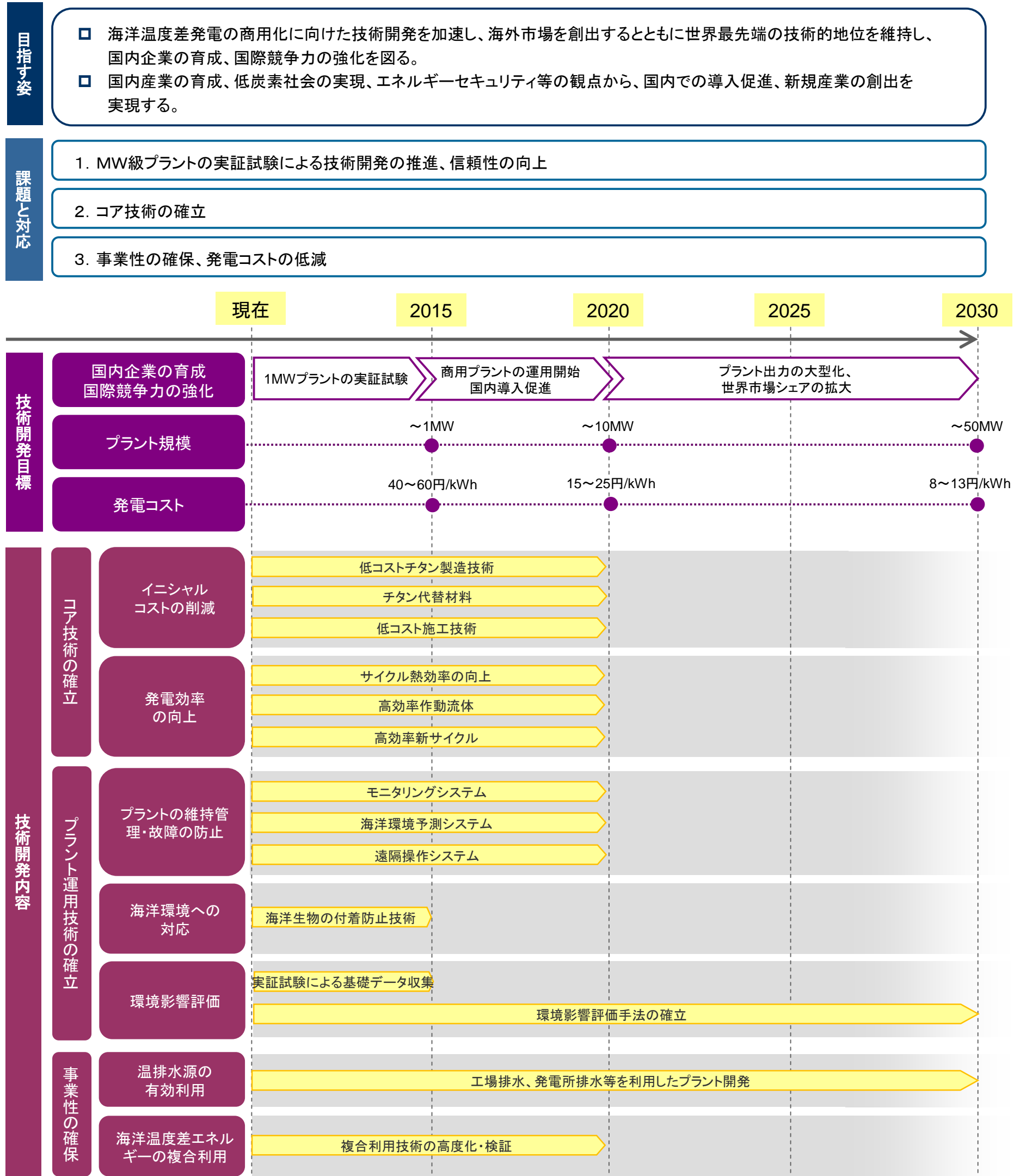
#### ① 温排水源の有効利用

海洋温度差発電は、表層と深層の温度差が大きいほど発電効率が向上することから、工場や発電所の温排水を高温側の熱源として用いるシステムは、国内導入量の拡大を図る上で非常に有効である。富士石油株式会社の袖ヶ浦製油所では、工場の温排水を利用した低位熱発電プラントとして、作動流体にアンモニア水を用いた温度差熱発電の実証試験が行われている。最大出力は約 4,000kW で、2005 年の運転開始から安定した出力が得られており、その有効性が確認されている（7.1.8 節参照）。

#### ② 海洋深層水の複合利用

海洋温度差発電の商用展開にあたっては、海洋温度差エネルギーを最大限に活用し、事業性を向上する必要がある。海洋深層水は、海水淡水化技術、漁場造成、冷熱利用（空調など）、水素製造技術、リチウム等の金属回収技術など、発電以外に様々な用途に利用可能である（P369 参照）。個々の複合技術について、高度化・検証を進めることが有効である。

図表 7.35 海洋温度差発電の技術ロードマップ





## 8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

### 8.1 太陽熱冷暖房

#### 8.1.1 技術の俯瞰

太陽熱を利用した熱供給システムとしては、太陽熱給湯システム、太陽熱暖房システム、太陽熱冷房システムの3つが挙げられるが、太陽熱暖房システムは太陽熱給湯システムと、太陽熱冷房システムは太陽熱給湯・暖房システムと組み合わせられるのが一般的である。従って、本章では「太陽熱暖房システム」および「太陽熱冷房システム」を以下のとおり定義する。

太陽熱暖房システム:太陽熱給湯システム + 太陽熱暖房システム

太陽熱冷房システム:太陽熱給湯システム + 太陽熱暖房システム + 太陽熱冷房システム

#### (1)太陽熱暖房システム

日本における太陽熱利用は、住宅における給湯利用を中心に普及が進み、屋根上に設置したタンクの水を温めて直接給湯に利用する太陽熱温水器が、最も簡易な太陽熱利用機器として第一次石油危機の頃から利用されてきた。また、ポンプを用いて集熱器内で水や不凍液を循環させ、蓄熱槽で熱交換してお湯を蓄える強制循環型ソーラーシステムが商品化され、価格も実用化の域に達している<sup>1</sup>。

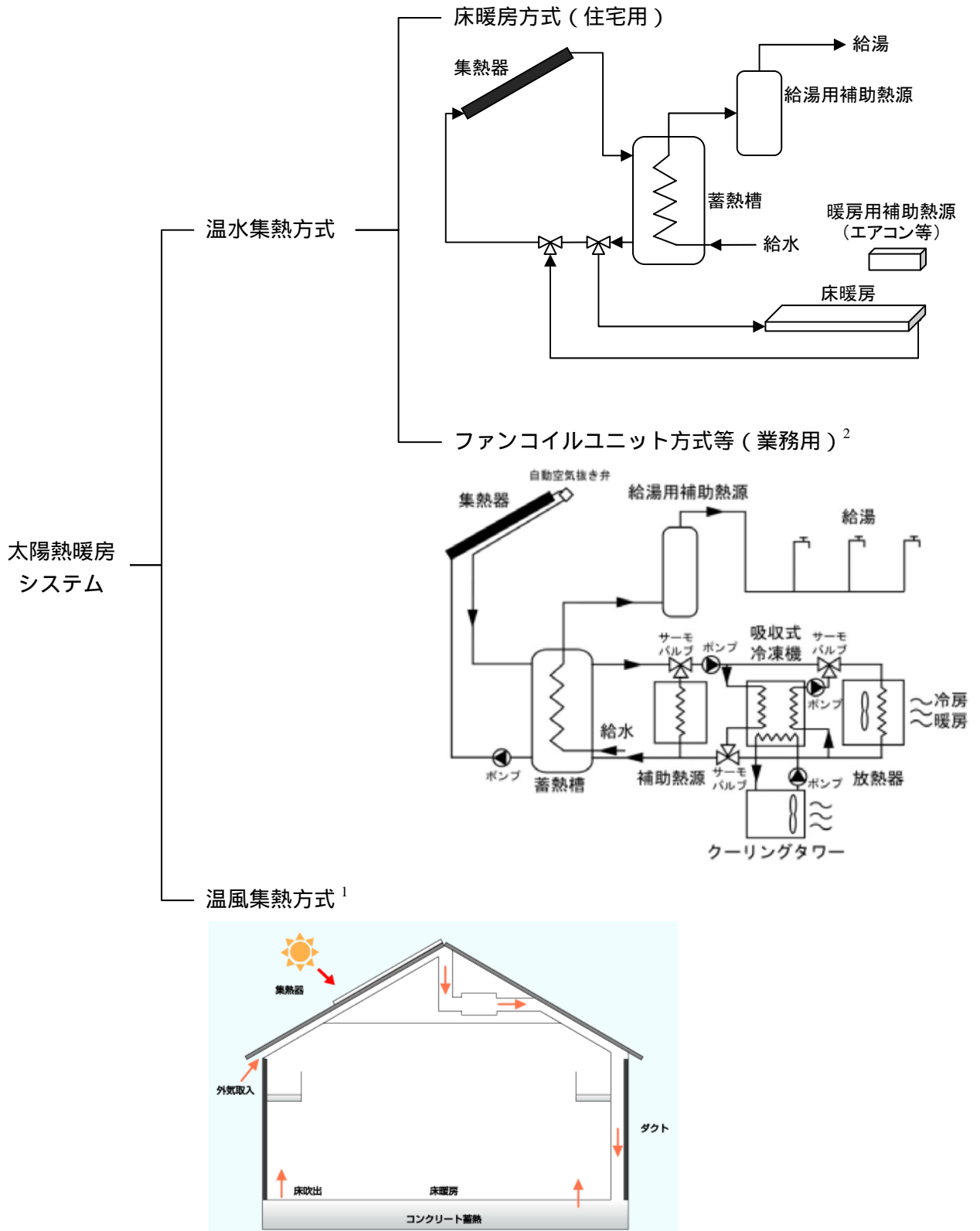
図表 8.1 に太陽熱暖房システムの方式別概略図を示す。太陽熱暖房システムは、集熱器、蓄熱装置、補助熱源等により構成され、熱媒の違いにより、温水集熱方式と温風集熱方式に大別される。温水集熱方式は、通常は太陽熱給湯システムと合わせて設置され、住宅用では、蓄熱槽と放熱器のコストを削減するために床構造を蓄放熱体とした床暖房とすることが多い<sup>2</sup>。業務用ビル等における温水集熱方式では、ファンコイルユニット方式が一般的に利用されており、ビル屋上等に設置した集熱器により集められた熱を暖房用熱交換器によって暖房に利用する。

一方、熱媒体を空気とした温風集熱方式は、屋根等に集熱器を設置して暖められた空気を屋根裏や建物外壁にファンを用いて循環させ、暖房に利用する仕組みである。また、システム内に熱交換器を組み込んで給湯を行うことも可能である。

<sup>1</sup> 現状のインシヤルコストは、太陽熱温水器が約30万円、太陽熱ソーラーシステムが約90万円(工事費込み)。

<sup>2</sup> 「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(2000, 日本太陽エネルギー学会)

図表 8.1 太陽熱暖房システムの種類



出典 1 : NEDO ホームページ ( <http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/> )

出典 2 : 「太陽エネルギー新利用システム技術研究開発に係る事前調査」( 2004, NEDO )

## (2) 太陽熱冷房システム

太陽熱冷房システムは、各種熱駆動型冷凍機の熱源に太陽熱を利用し、冷房を行うものである。太陽熱給湯・暖房システムを冬期の熱需要に合わせて設計した場合、夏期に余剰熱が多く発生し、通年の稼働率が落ちる原因となる。年間を通じてより多くの太陽熱を利用し、かつ経済性を高めるためには、夏期余剰熱の冷房利用が有効である。

太陽熱冷房システムの冷熱源には、主に吸収式冷凍機、吸着式冷凍機、デシカント空調が用いられている。

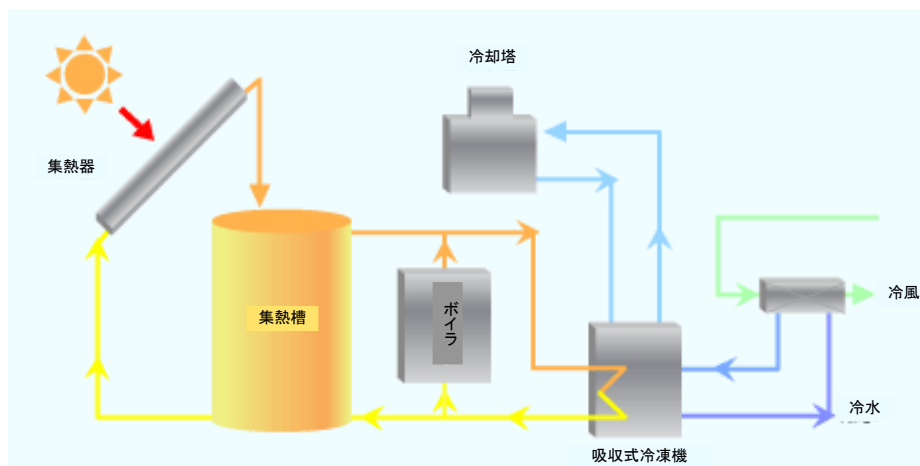
### 1) 吸収式冷凍機・吸着式冷凍機

日本ではサンシャイン計画において、主に吸収式冷凍機または吸着式冷凍機を用いた太陽熱利用冷房システム（図表 8.2）の研究開発が行われ、現在最も実用例が多いが、ヒートポンプ式空調の高効率化、低コスト化の進展に伴い市場は縮小している。

太陽熱利用の吸収式冷凍機には約 75 ~ 100 程度の温水<sup>3</sup>を利用する単効用型<sup>4</sup>が用いられる。温水加熱式吸収式冷凍機は温水温度が低下すると成績係数(COP)<sup>5</sup>が急激に低下するため、効率的に運用するためには補助熱源が必要となるが、その場合システムが複雑になり、インシヤルコストが高くなる。また、80 ~ 95 程度の温水による単効用型の場合、COP は 0.7 ~ 0.9 程度となり、一般的なヒートポンプ空調と比較して効率は大幅に落ちる。

吸着式冷凍機は駆動温度が約 70 ~ 90 とより低温の熱を利用できるが、COP は 0.5 ~ 0.7 程度と低いためコスト回収が難しい。

図表 8.2 太陽熱冷房システムの概念図



出典：NEDO ホームページ (<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/>)

<sup>3</sup> 吸収式冷凍機は、加熱方式により、「蒸気加熱式」、「温水加熱式」、「直焚き式（燃料油または都市ガス利用）」に分けられる。

<sup>4</sup> 単効用型は、蒸発器・吸収器・再生器・凝縮器が各 1 台で、熱源には温水を用いることができる。二重効用型は単効用型に高温再生器を追加し、その凝縮熱で低温再生器を動作する 2 段階の熱利用を行うもので、蒸気やバーナーの燃焼による直焚き等、より高温の熱源が必要である。

<sup>5</sup> エアコンが作り出す温冷熱量の、消費する電力量に対する割合。

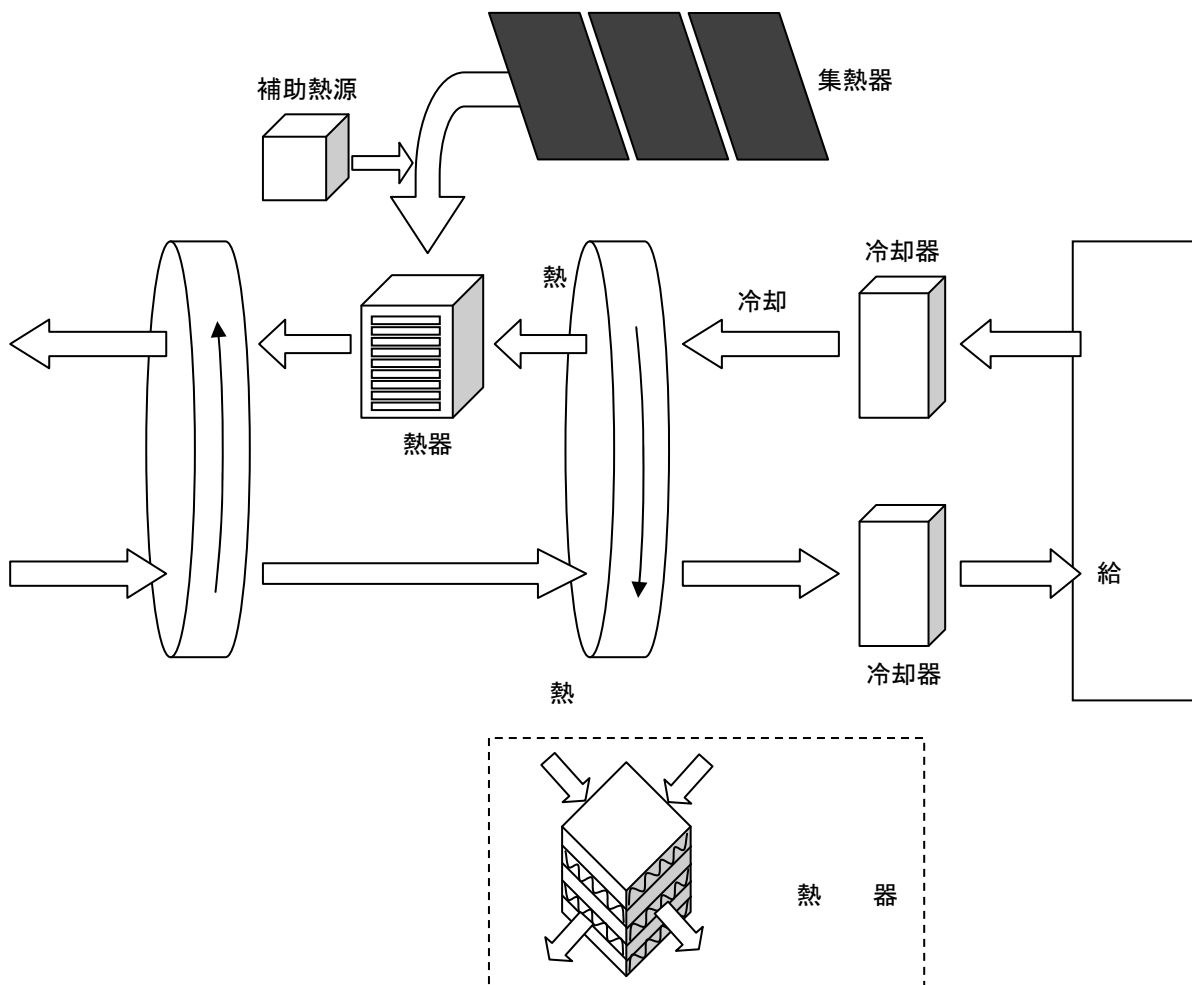
## 2) デシカント空調

夏期余剰熱の冷房利用としては、日本においては吸収式/吸着式冷凍機の使用が一般的であったが、近年太陽熱を利用したデシカント空調システムの研究開発が進められている。

デシカント空調の仕組みは、まず外気が除湿ローターを通過する際に、空気中の水分が吸着材に吸着されると共に吸着熱により温度が上昇した乾燥空気となる。この高温の乾燥空気は熱交換ローターにより室温近くにまで温度を下げられ、更に必要に応じて冷却器によって冷却された後、室内へと供給される。一方排気側は、冷却された後に熱交換ローターで給気側空気と熱交換を行い、更に加熱器により除湿ローターの吸着材の再生に必要な温度まで昇温され、除湿ローターを通り再生した後、室外に排気される。図表 8.3 に示したデシカント空調システムは、除湿ローターと熱交換ローターのツローター式で、再生用加熱器の熱源に太陽熱を利用している。熱交換器にはローター型他、静止型が用いられる。

吸着材にはシリカゲル系が多く用いられている他、40 ~ 80 のより低温域の熱を利用することのできるゼオライト系の開発も進んでいる。デシカント空調はヨーロッパで開発され、その後日本でも開発が始まった。

図表 8.3 太陽熱利用デシカント空調システム

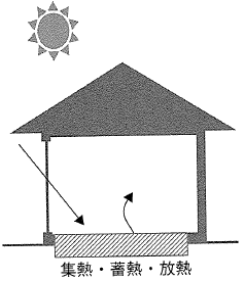
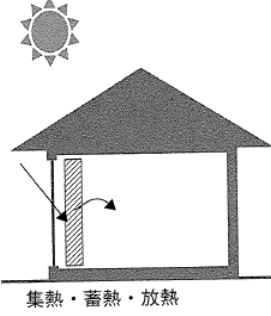
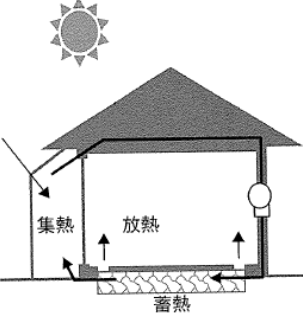


### <参考> パッシブソーラーシステム

ポンプ等の機械的動力を使わずに、建物の設計段階で太陽熱利用を考慮した建築構造や建築材料を用いるパッシブソーラーシステムも、太陽熱を利用した空調システムの一つである。

パッシブソーラーの基本的考え方は、南面の開口部から昼間日射の熱を集熱し、その熱を熱容量の大きな壁体等に蓄熱しておき、夜間に対流や放射によって放熱することにより、太陽熱を利用するというものである。

図表 代表的なパッシブソーラーシステムの概念図

<p>ダイレクトゲイン</p>		<p>最も基本的な構造で、建物の床や壁にコンクリートや石等、熱容量の大きい素材を用いて、直接太陽光を当てて蓄熱する。吸熱された日射熱は、室温が下がる夜間に徐々に室内側に放熱されることにより、室内を暖める。</p>
<p>トロンプ壁</p>		<p>建物の南面に、表面を黒色塗装した厚いコンクリートまたは石の壁を設置し、その外側をガラスで覆うことにより集熱・蓄熱するシステム。日中はガラスと黒壁の間で暖まった空気が上方の通気孔から室内に入り、夜間は壁に蓄熱された熱が放射と対流により室内を暖める。</p>
<p>グリーンハウス型</p>		<p>建物の南側にガラスでグリーンハウスを付設し、日中の日射熱を透過させ壁や床に蓄熱し、夜間の放熱により室内を暖める。夜間は熱損失を防ぐため、断熱扉等で閉鎖する。グリーンハウスには植栽を設けて半屋内・半屋外のようにすることも可能。</p>

出典：「ソーラー建築デザインガイド [ 太陽熱利用建築事例集 ]」(2007, NEDO)

### 8.1.2 ポテンシャル

#### (1) 世界

地球の表面が1時間に受ける太陽光エネルギーは、人類の年間エネルギー消費量に相当すると言われており<sup>6</sup>、太陽熱冷暖房のポテンシャルは非常に大きいと考えられる。

#### (2) 日本

日本における太陽熱利用（給湯利用を含む）のポテンシャルの試算例を図表 8.4 に示す。物理的な潜在量は約 3,242 万 kL であり、そのうち産業用が 36% を占め最も多い。実際の潜在量は、立地上の制約や建築物に関する規制を考慮して物理的な潜在量の 25% とすると、日本全体で約 810 万 kL となる。これは日本国内の一次エネルギー供給量 587 百万 kL（原油換算、2005 年度<sup>7</sup>）の約 1.4% 分に当たる。

図表 8.4 太陽熱利用システムの潜在導入規模

	物理的潜在量 (原油換算)	実際の潜在量 (原油換算)		2010年の 導入目標量 (原油換算)	物理的潜在量 試算の前提条件
		の50%	の25%		
住宅用	864 万 kL	432 万 kL	216 万 kL	439 万 kL	日当たりの良い戸建住宅（集合住宅を含む）の100%に5m <sup>2</sup> の太陽集熱器を導入
公共施設用	388 万 kL	194 万 kL	97 万 kL		全ての公共施設に設置可能な最大限の集熱器を設置
民生・業務用	646 万 kL	323 万 kL	161 万 kL		病院、事務所、ホテル等に100%導入
産業用	1,168 万 kL	584 万 kL	292 万 kL		すべての工場に200 m <sup>2</sup> 、理容、浴場業の全てに30 m <sup>2</sup> の集熱器を導入
その他	176 万 kL	88 万 kL	44 万 kL		農畜産、水産業等50万ヶ所に50 m <sup>2</sup> の集熱器を導入
合計	3,242 万 kL	1,621 万 kL	810 万 kL	439 万 kL	

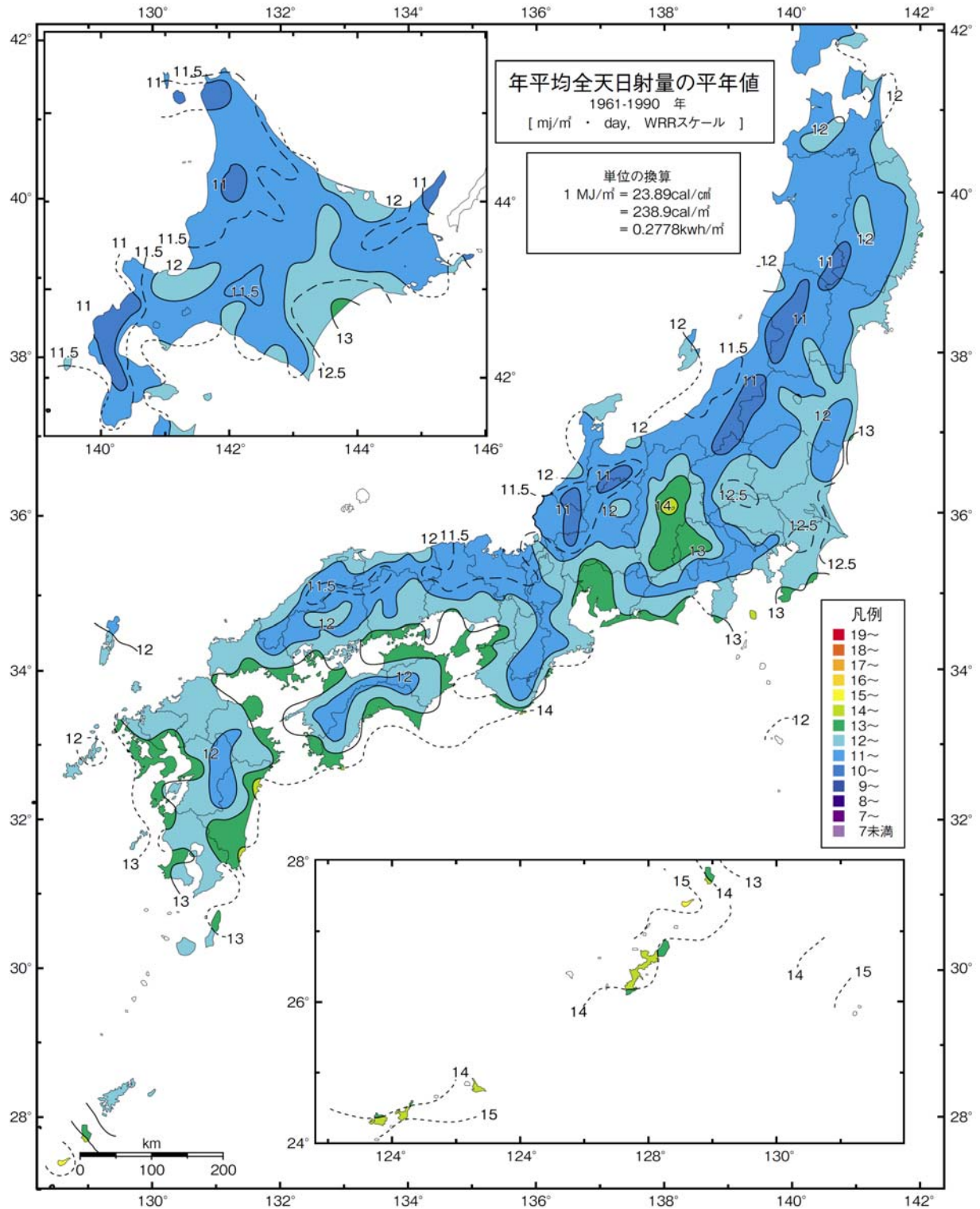
出典：総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料（2000年1月）

日本の全天日射量分布図を図表 8.5 に示す。北海道南央部や長野県、太平洋側や瀬戸内海沿岸の地域において比較的日射量が多いことがわかる。

<sup>6</sup> “ENERGY TECHNOLOGY PERSPECTIVES 2008” (2008, IEA)

<sup>7</sup> 長期エネルギー需給見通し（平成20年5月、総合資源エネルギー調査会 需給部会）

図表 8.5 日本の全天日射量マップ (MJ/m<sup>2</sup>・日、平年値)



出典：太陽光発電フィールドテスト事業に関するガイドライン（設計施工・システム編）（2010, NEDO）

### 8.1.3 導入目標量例

日本では、「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針」(2002年12月改訂、資源エネルギー庁)の新エネルギー導入目標のうち、太陽熱利用として、2010年度までに原油換算439万kLの導入目標が掲げられており、これが現行の地球温暖化対策推進大綱の目標(現行大綱目標)になっている。

しかしながら導入は遅れており、「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005年3月、総合資源エネルギー調査会 需給部会)では、追加対策を行った場合の太陽熱利用の2010年度の導入量は、現行大綱目標を大きく下回る原油換算90万kLと見通されている。

なお、これらの値には太陽熱による給湯利用も含まれる。

図表 8.6 太陽熱利用の供給目標

	2010年度	
	地球温暖化対策推進大綱目標 <sup>1</sup>	2030年のエネルギー需給展望 (追加対策ケース) <sup>2</sup>
太陽熱利用 (給湯含む)	439万kL*	90万kL*

\*当該エネルギーの導入量を原油の数値に換算

出典1:「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

出典2:「2030年のエネルギー需給展望」(2005, 総合資源エネルギー調査会 需給部会)



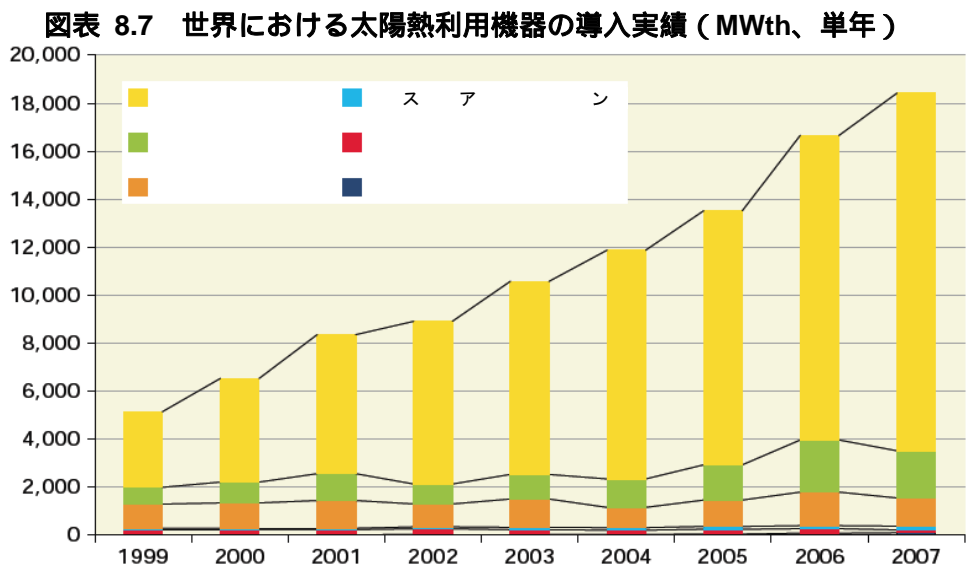
### 8.1.4 導入実績

太陽熱冷暖房の導入実績についてはデータがないため、ここでは太陽熱利用システムの導入実績を示す。

#### (1) 海外

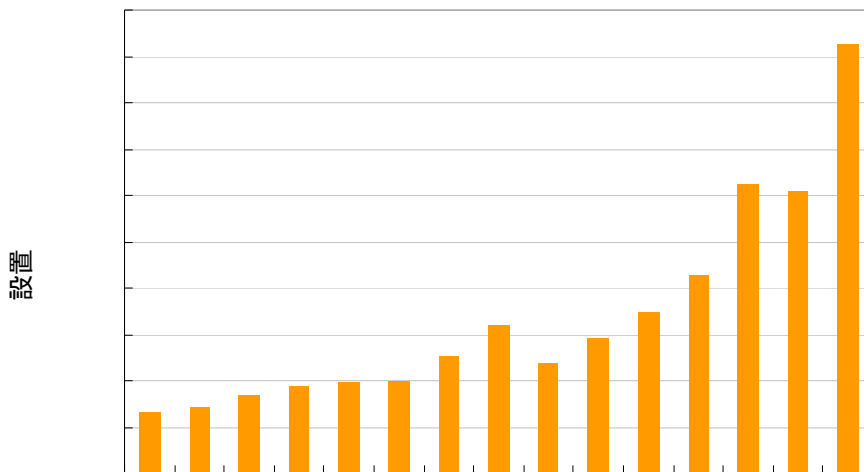
図表 8.7 に、世界における太陽熱利用機器の導入実績（単年）を示す。特に中国における導入量の伸びが大きく、2007 年末時点で 1999 年比約 5 倍に成長している。

また、図表 8.8 に、EU における太陽熱集熱器新規設置面積の推移を示す。2000 年以降、堅調に導入量が増加していることが分かる。



出典：“Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to the Energy Supply 2007”（2009, IEA）

**図表 8.8 EU における太陽熱集熱器新規設置面積の推移（千 m<sup>2</sup>）**



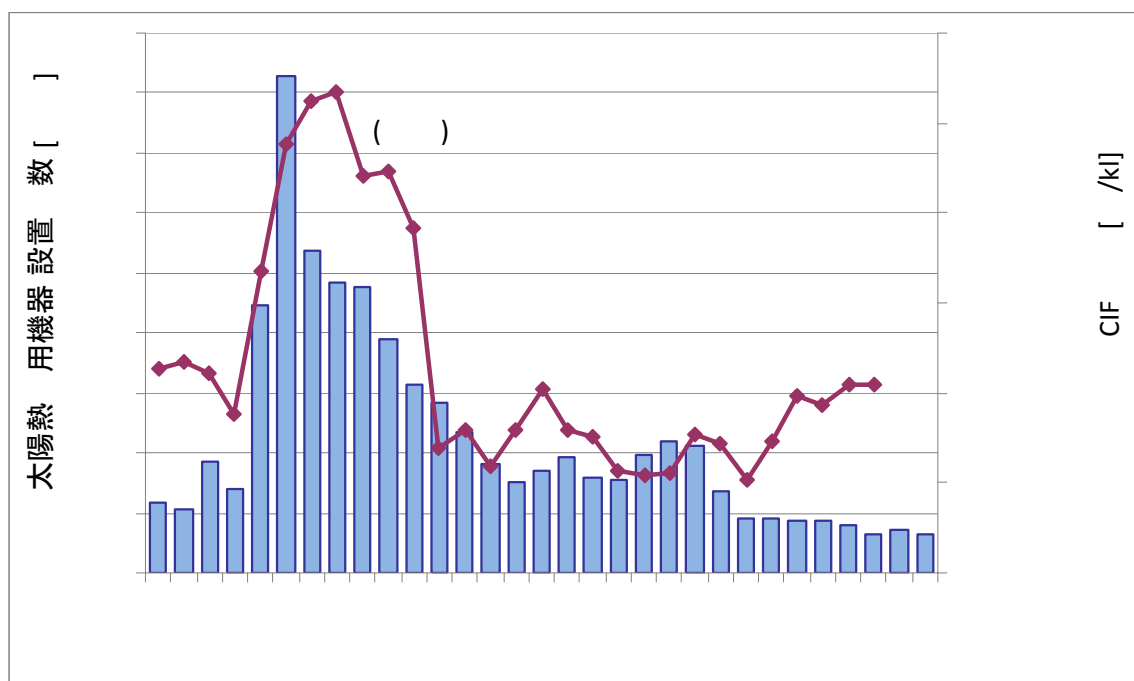
出典：“SOLAR THERMAL BAROMETER 2009”（EUROSERV'ER）

(2)日本

日本における太陽熱利用機器の導入実績を図表 8.9 に示す。なお導入量の大半は、住宅を対象とした給湯用途の太陽熱温水器およびソーラーシステムが占めている。第二次石油危機と共に急速に導入が進み、1990 年度のピーク時には原油換算 126 万 kL に相当する機器が導入された。

しかしその後は減少傾向にあり、2005 年度における導入量は原油換算 61 万 kL<sup>8</sup>となっている。8.1.3 節で示す通り、2010 年度の導入見通しとして「2030 年のエネルギー需給展望」における追加対策ケースでは、原油換算 90 万 kL とされているが、この傾向が続いた場合目標の達成は困難であると思われる。

図表 8.9 日本における太陽熱利用機器の導入実績（単年）



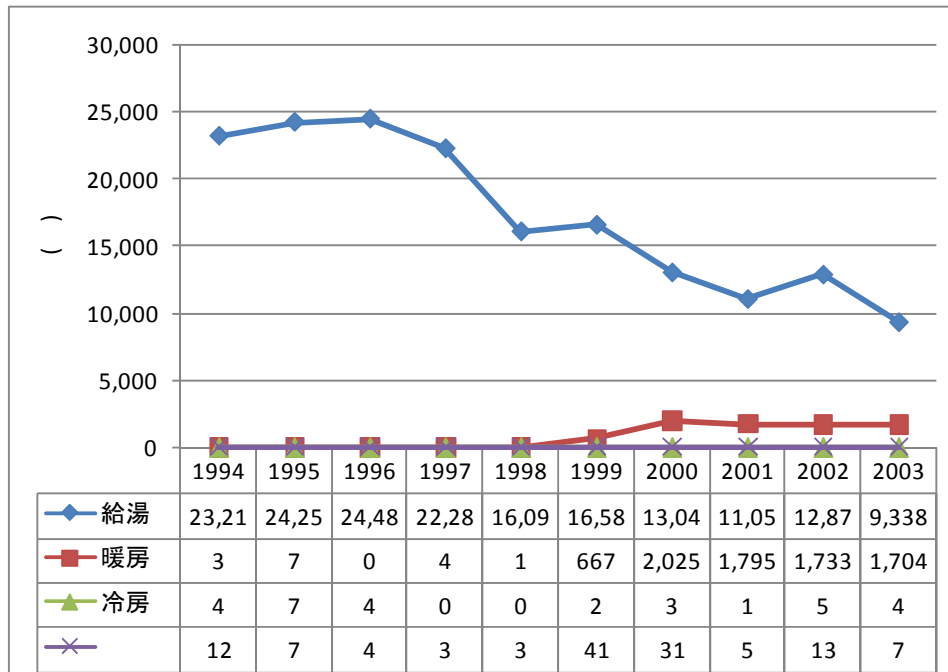
原油輸入 CIF 価格：運賃や船荷保険料を上乗せした価格（CIF：Cost, Insurance, and Freight）

出典：エネルギー白書 2005 年版、NEDO 新エネデータ (<http://www.nedo.go.jp/nedata/index.html>)  
 「新エネルギーガイドブック 2008」(NEDO) より作成

また、ソーラーシステムの用途別導入実績を図表 8.10 に示す。国内のソーラーシステムの導入実績全体のうち、給湯用途が件数ベースで 8 割以上を占めており、暖房用途は 15% となっている。給湯用ソーラーシステムは減少の一途をたどっているが、暖房用は 2000 年以降ほぼ横ばいとなっている。冷房用途については導入が進んでおらず、数件にとどまっている。

<sup>8</sup> 「新エネルギーガイドブック 2008」(NEDO)

図表 8.10 日本におけるソーラーシステムの用途別導入実績（単年）



\* 暖房には暖房給湯、冷房には冷房給湯、冷暖房給湯および冷暖房システムを含む

出典：NEDO 新エネデータ（<http://www.nedo.go.jp/nedata/index.html>）

**<事例> 介護老人福祉施設「みどり苑」(冷暖房)**

富山市の介護老人福祉施設「みどり苑」では、吸収式冷凍機を組み合わせた太陽熱利用システムを利用している。集熱器は真空ガラス管型でガラス管内部に反射鏡が組み込まれているタイプで、春から秋までの集熱量の増大を目的として南向き傾斜角約 20° に設置されている。空調用の吸収式冷凍機 2 台のうち 1 台は温水駆動型で、夏期には余剰となった太陽熱で冷房を行っている。

**図表 システム概要**

建物	RC 造 2 階建て、延床面積 5,438 m <sup>2</sup> (収容人員約 100 名)
用途	給湯、暖房、冷房
太陽集熱器	反射鏡内蔵真空ガラス管型、81 台 486 本
集熱面積	350 m <sup>2</sup>
蓄熱槽	14 トン
給湯用貯湯槽	3.7 トン
空調設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エンジンヒートポンプシステム 4 台</li> <li>・吸収式冷凍機 2 台</li> </ul> (内 1 台は温水駆動型、冷房能力 281kW)

**図表 温水駆動型吸収式冷凍機**

出典：「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」(2006, NEDO)

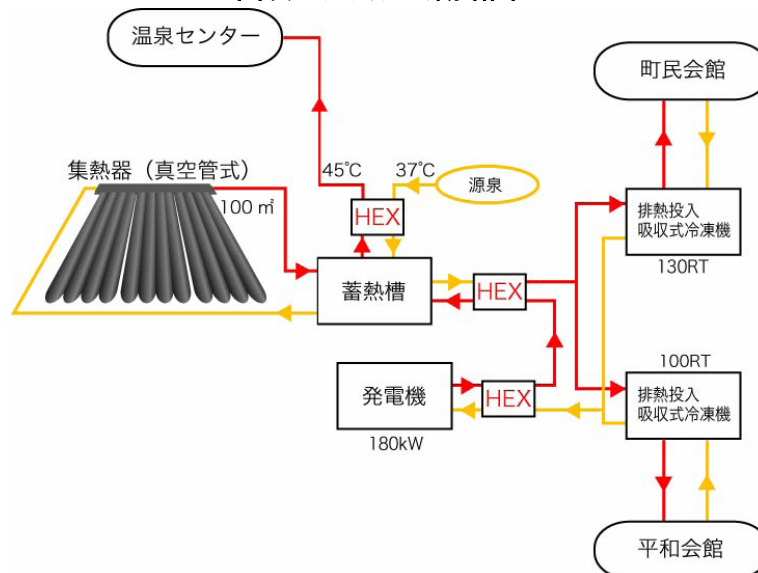
< 事例 > 知覧平和公園省エネルギー設備（複数施設での利用）

鹿児島県知覧町にある知覧平和公園では、町民会館、温泉センター、スポーツ施設等、複数の施設を結び、太陽熱と重油焚き発電機の排熱を温泉水の加温と空調用に供給する、ハイブリッド型ミニ地域熱供給システムが運用されている。

図表 システム概要

用途	温泉水加温、暖房、冷房
太陽集熱器	真空管型
集熱面積	100 m <sup>2</sup>
蓄熱槽	(規模不明)
空調設備	排熱投入型吸収式冷温水機 2台

図表 システム概略図



図表 真空管型集熱器



出典：「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」(2006, NEDO)

**<事例> Vau Ban 団地 (ドイツ フライブルグ市)**

ドイツのフライブルグ市は環境配慮型の都市計画により、太陽熱利用システムを導入した Vau Ban 住宅地区を市の郊外に建設している。敷地内に並んだ低層集合住宅の大部分の屋根には太陽熱利用設備が設置されており、屋上緑化と共に、ドイツの住宅の省エネルギー基準 (75kWh/m<sup>2</sup>) の大幅なクリアに寄与している。

団地内の住宅は様々な形をした高気密・高断熱住宅であり、熱供給は地域暖房により行われている。住宅建物の形状や間取り等を考慮して省エネルギー設備は入居者が自由に選択できるようになっており、多様な規模やタイプの太陽エネルギー利用機器が設置されている。

また、Vau Ban 団地内では個別の駐車場の設置が禁止されており、カーシェアリングが進んでいる他、近くには太陽光発電を設置し発電量が消費量を上回るため「プラスエネルギー住宅」と呼ばれる住宅もある。

**図表 Vau Ban 団地の概要**

敷地面積	38 ha
世帯数	約 2,000 世帯
人口	約 5,000 人
エネルギー使用量	15kWh/m <sup>2</sup>

**図表 Vau Ban 団地**

出典：NEDO 海外レポート No.995 (2007, NEDO)

### 8.1.5 技術開発動向

太陽熱冷暖房システムの技術開発は、1970年代からサンシャイン計画において進められてきた。太陽熱冷暖房システムの普及にあたっては更なる低コスト化が必要であるが、現状のコスト水準でも新築を中心に2000年以降は一定の導入がなされている。

一方、太陽熱冷房システムについては、吸収式冷凍機・吸着式冷凍機を用いたシステムは技術的に確立されているが、経済的制約により導入が進んでいないのが現状であり、イニシャルコストを大幅に削減する方策が必要である。また、曇天日には補助ボイラを利用するため、既存のヒートポンプ式空調システムと比較して1次エネルギー消費量が増加する可能性もあり、さらなる高効率化が必要である。

図表 8.11 太陽熱冷暖房システムの主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
イニシャルコストの削減	設備費・施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>大量生産による量産効果</li> <li>システムの簡素化・コンパクト化</li> <li>設計手法の見直し、施工方法の標準化等</li> <li>システムのパッケージ化</li> <li>建材一体型集熱器</li> </ul>
高効率化	集熱効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>集熱器の効率向上</li> <li>貯湯タンクの断熱性能向上</li> </ul>
	冷凍機効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器効率の向上</li> <li>高性能デシカント材料の開発</li> </ul>
	システム効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムの大規模化</li> <li>太陽光発電システムとのハイブリッド化</li> </ul>
管理・運用	導入効果の見える化	<ul style="list-style-type: none"> <li>計量・表示システム（ソーラーモニター）</li> </ul>

#### (1)イニシャルコストの削減

太陽熱冷暖房システムは、既存のシステムに加えて集熱器、蓄熱装置、補助熱源等が必要となること、既築建物に導入する場合には大規模な工事が必要となること等から、既存のヒートポンプ空調機と比較してコスト高になる。

太陽熱暖房システムについては、現状のコスト水準においても、新築住宅を中心に導入件数が増加しており<sup>9</sup>、新築時の建設コストに含まれる場合には、既存システムと比較した場合のコスト増分は許容範囲内にあると言える。

太陽熱冷房システムについては、イニシャルコストが非常に大きく、低コスト化が実用化に向けた最も大きな課題となっている。冷房部分について従来システムより複雑になるため、イニシャルコストやランニングコストの増分が大きく、現状ではコスト回収が困難な水準にある<sup>10</sup>。

<sup>9</sup> 「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(2000, 日本太陽エネルギー学会)

<sup>10</sup> 「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(2000, 日本太陽エネルギー学会)

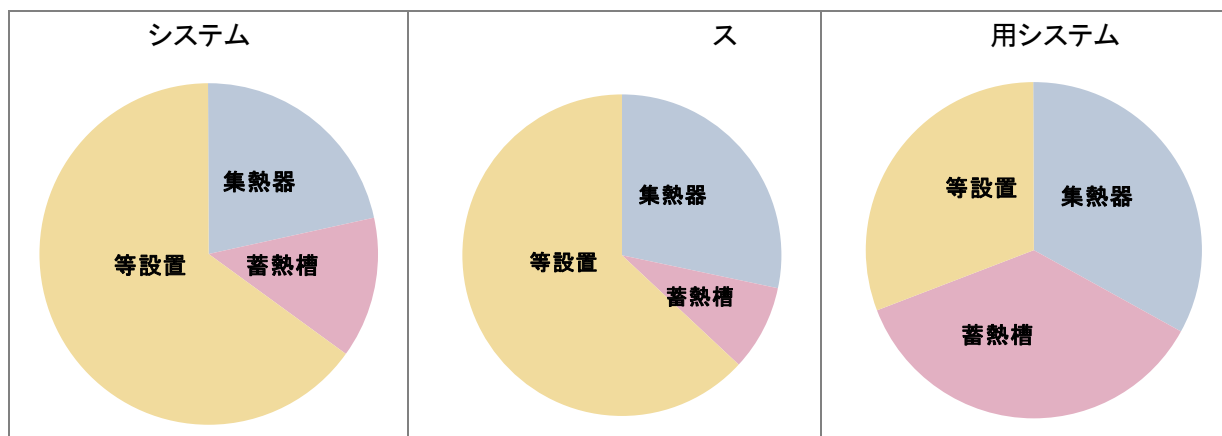
8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

イニシャルコストの削減にあたっては、大量生産による量産効果、システムのコンパクト化等の他、施工費の削減が重要となる。参考として、太陽熱給湯システムの価格構成を図表 8.12 に示す。内訳を見ると、中・大型システムにおいては架台・設置工事費等の割合が約 60%とイニシャルコストの大半を占めており、施工費の削減が太陽熱利用システムのイニシャルコストに大きく寄与することが分かる。

施工費の削減方策としては、設計手法の見直し、工法の標準化、省人工化、建材一体型集熱器の採用、などが考えられる<sup>11</sup>。また、システムが個々の建物に合わせたオーダーメイドとなっていることもイニシャルコストを引き上げる大きな原因となっており、システムのパッケージ化も商用化に向けた課題となる。

図表 8.12 太陽熱給湯システムの価格構成

項目	中・大型システム		住宅用システム	
	平板型	真空ガラス管型		
平均集熱面積 (m <sup>2</sup> )	117	129	6.9	
設置費合計額 (円)	25,286,000	42,870,000	768,000	
内訳	太陽集熱器 (円)	5,480,000 ( 22% )	12,110,000( 28% )	253,000 ( 33% )
	蓄熱槽 (円)	3,396,000 ( 13% )	3,670,000 ( 9% )	278,000 ( 36% )
	架台・設置工事等 (円)	16,410,000( 65% )	27,090,000( 63% )	237,000 ( 31% )
システム面積単価 (円/m <sup>2</sup> )	216,120	332,326	111,304	



注 1：住宅用システム価格は、平成 17 年度新エネルギー財団（NEF）の資料による

注 2：7 事例を元に分析した結果。

出典：「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」（2006, NEDO）

<sup>11</sup> 「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」（2006, NEDO）



## (2) 高効率化

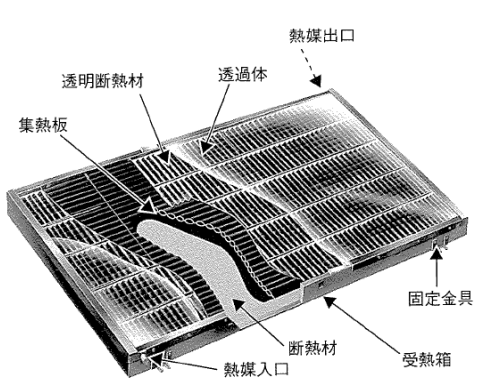
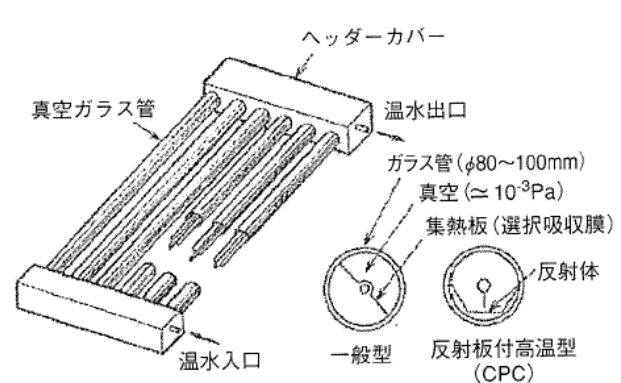
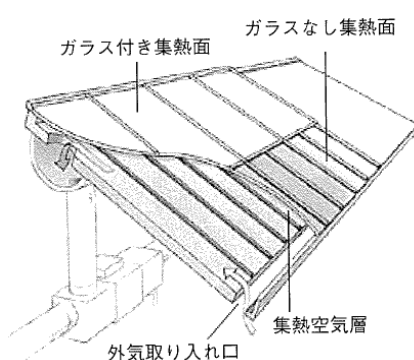
高効率化に向けた取組みとしては、集熱効率の向上、機器効率の向上、システム効率の向上が挙げられる。

### 1) 集熱効率の向上

集熱効率の向上策として、集熱器の効率向上、貯湯タンクの断熱性能向上等が挙げられる。

集熱器は、現在主に平板型集熱器（水式、空気式）と真空管型集熱器が用いられている（図表 8.13）。平板型集熱器は、低温集熱に適した比較的安価な集熱器で、現在最も導入が進んでいる。真空管型集熱器は高温集熱に適しており平板型より集熱効率が高いが、価格が高く、平板型集熱器と比較した場合に、コストパフォーマンスは必ずしも優位ではない。今後真空型集熱器の低コスト化が進んだ場合は、平板型集熱器に代わり導入量が増える可能性がある。空気式集熱器は建材一体型太陽熱温水器等に用いられる。集熱空気を直接暖房に使用するため効率が高く、住宅や業務ビル等の導入事例が増えている。

図表 8.13 主要な太陽熱集熱器

水式集熱器	
<p style="text-align: center;">&lt; 平板型集熱器 &gt;</p>  <p>金属または FRP 製のケース内に金属製の集熱板を、表面に強化ガラス、裏面にガラスウール等の断熱材を配置することにより放熱を防いでいる。集熱板は選択吸収膜処理が施されている。</p>	<p style="text-align: center;">&lt; 真空管型集熱器 &gt;</p>  <p>真空にしたガラス管内に、選択吸収膜処理された集熱板を配置し、数本から 10 数本のガラス管で 1 つの集熱器が構成されている。真空にすることで対流による放熱が無くなり、高温集熱に有利となる。</p>
空気式集熱器	
	<p>金属または FRP 製のケースに、鉄やアルミニウム製の波形状やガラリ*形状の集熱板を配置し、表面を強化ガラスでカバーしている。集熱板の裏面と側面に保温剤を使用し、空気を下から取り入れ、背面または上方に出口を設けている。</p> <p>*ブラインド状の羽根板を平行に取り付けた扉のことで、視線を遮り通風が良い。</p>

出典：「ソーラー建築デザインガイド [ 太陽熱利用建築事例集 ]」（2007, NEDO）

集熱器の技術開発の歴史は古く、成熟した技術であるが、集熱効率のさらなる向上に向けて、新しい選択吸収膜材料等の開発が行われている。選択吸収膜材料とは、太陽光をよく吸収するとともに放射熱損失を小さくしたもので、集熱体の表面処理に用いられている。図表 8.14 に現在実用化されている主な選択吸収膜を示す。近年ではドイツのブルーテック社が 2005 年より販売を開始した選択吸収膜 “eta plus” が、太陽光吸収率 95% ± 2%、熱放射率 5% ± 2% を実現しており、売り上げを伸ばしている。

図表 8.14 実用化されている選択吸収膜

名称	基材	処理法	太陽光吸収率	熱放射率
酸化銅	銅	化成処理	~ 0.9	~ 0.1
着色ステンレス	ステンレス	化成処理	~ 0.92	~ 0.1
特殊電解皮膜	アルミ	電解法	~ 0.9	~ 0.1
ブラッククロム	銅	電気めっき	~ 0.95	~ 0.1

出典：「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(日本太陽エネルギー学会)

## 2) 機器効率の向上

太陽熱利用の吸収式冷凍機および吸着式冷凍機は、それぞれ COP0.7~0.9、COP0.5~0.7 と、他の冷凍機と比較して効率が低く、曇天日に補助熱源を使用した場合は、ガス等を用いた一般的な吸収式冷凍機と比較して一次エネルギー使用量が増加する可能性がある<sup>12</sup>。また、デシカント空調を用いた太陽熱冷房システムにおいても、夏期冷房時の COP はヒートポンプ空調と同程度(場合によっては下回る)という実証結果が出ており<sup>13</sup>、現状の技術水準ではコストメリットは小さい。省エネルギー性、費用対効果の向上の両面から、機器効率の向上が必要となる。

機器効率向上の取組みとして、吸着材にシリカゲル<sup>14</sup>ではなくゼオライト<sup>15</sup>系を用いて、50~80 の比較的低い温度領域においても効率よく水を吸脱着できる新しい吸着式冷凍機が開発されている。従来のシリカゲル系と比較して体積当り 2~3 倍の冷水をつくり出すことが可能とされており、機器効率の向上とともに、機器のコンパクト化にも寄与する<sup>16</sup>。またデシカント空調についても、同じゼオライト系吸着材を用いた高効率デシカント空調が開発されており、一般的なデシカント空調と比較して約 2 割の省エネルギー化が可能とされている<sup>17</sup>。

## 3) システム効率の向上

システム効率の向上としては、システムの大規模化や、太陽光発電システムとのハイブリッド化等が挙げられる。

<sup>12</sup> 「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(2000, 日本太陽エネルギー学会)

<sup>13</sup> 「太陽エネルギー新利用システム技術研究開発事業 平成 17~19 年度 成果報告書 通年利用型ソーラー給湯・空調換気システムの研究開発」(2008, 北大学・前田建設工業(株)・東京工業大学・足利工業大学・(株)アースクリーン東北)

<sup>14</sup> 一般的に食品の乾燥剤や家庭用除湿剤、工業的には炭酸ガスの除去剤など多様に利用されている。

<sup>15</sup> 結晶中に微細孔を持つアルミノ珪酸塩の総称。

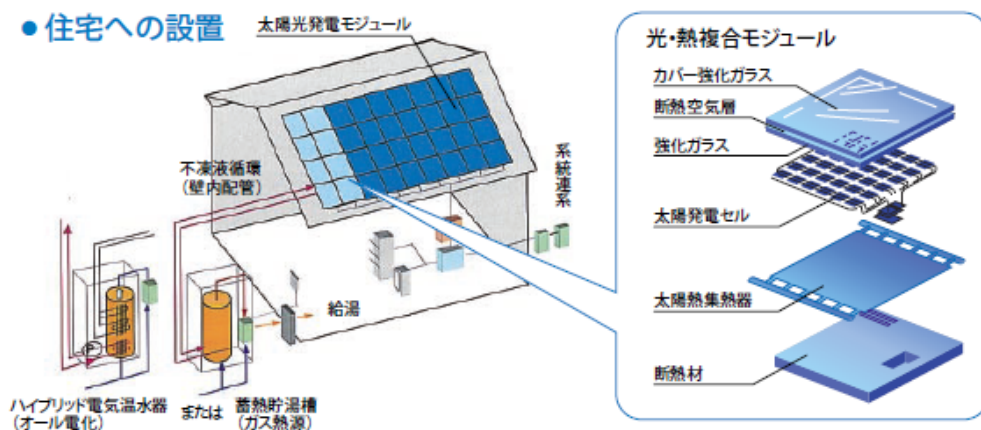
<sup>16</sup> 三菱樹脂株式会社プレスリリース(2008年8月)(<http://www.mpi.co.jp/infopdf/AQUUSOA.pdf>)

<sup>17</sup> 三菱樹脂株式会社プレスリリース(2009年7月)(<http://www.mpi.co.jp/infopdf/dessicant20090728.pdf>)

現在、日本における太陽熱利用は戸建住宅における給湯・暖房システムが主だが、今後は集合住宅や公共施設等向けに大規模システムを導入することにより、スケールメリットによる高効率化が期待される。また、限られた屋根面積でできる限り多くのエネルギーを取り出すことを目的に、光・熱複合ソーラーシステム（図表 8.15）が開発されている。

光・熱複合ソーラーシステムは、太陽光発電システムと太陽熱集熱器を組み合わせたシステムであり、モジュール上部にて太陽電池による発電、下部にて太陽熱集熱器による熱回収を行う。面積あたりに得られるエネルギー量が増加する他、太陽光発電システムとソーラーシステムを併設する場合と比較して、設備費、施工費を削減することができる。

図表 8.15 光・熱複合ソーラーシステム



出典：積水化学工業株式会社 環境レポート 2001

### (3) 管理・運用

管理・運用に係る技術開発として、計量・表示システム（ソーラーモニター）の開発が行われている。太陽熱利用システムにおける集熱量や利用量の計量・表示システムは、市場に受け入れられる条件を整える上で、以下のような点から重要とされる<sup>18</sup>。また、計量・表示システムには、ユーザーにとって使いやすいシステム設計・デザインと、低コスト化が求められる。

太陽熱利用システムの性能評価および性能保証の裏付けとなるデータを収集する。

セントラルシステムや地域熱供給システムにおいて、課金の前提となる太陽熱利用量を正確に把握する。

システムの異常を把握することでメンテナンスの即応性を高める。

量として把握しづらい太陽熱をモニター上で目に見える形で示すことにより、消費者への普及啓発効果を高める。

<sup>18</sup> 「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」(2006, NEDO)

## 8.2 中小水力発電

### 8.2.1 技術の俯瞰

中小水力発電は、水の力を利用して発電する水力発電の中でも、一般的に水を貯めることなくそのまま利用する方式で、中小規模のものである。

#### (1) 水力エネルギーの原理

理論上の水力は、流量と水系の落差の積に比例する。実際の水力発電では、落差を 100% エネルギーに活用することはできない。また、水車や発電機の効率の問題がある。損失分を考慮した利用可能な落差を有効落差といい、水車の効率や発電機の効率を合わせた総合効率を  $\eta$  とおくと、実際の発電電力  $P_e(\text{kW})$  は、有効落差  $H_e(\text{m})$  と  $Q$  を用いて次のように表すことができる。総合効率は通常 80~90% 程度である。

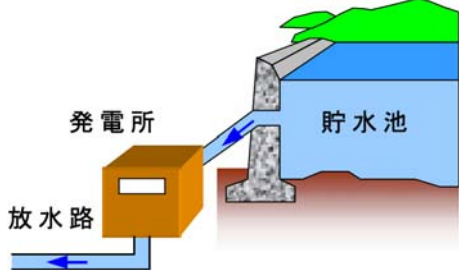
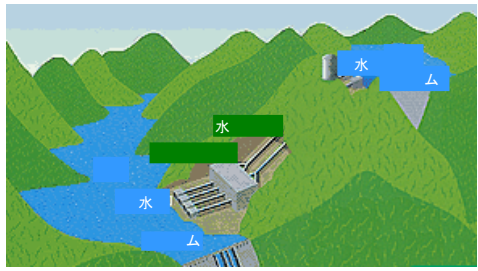
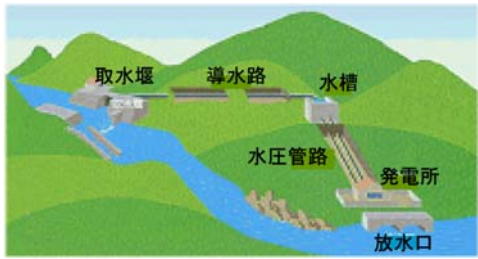
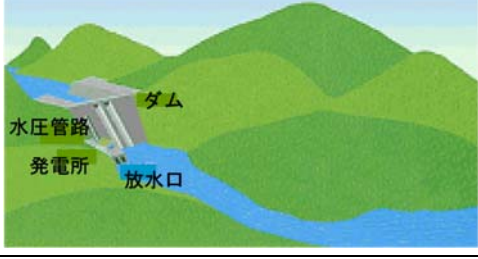
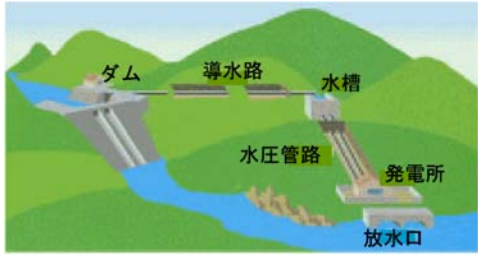
$$[ \text{実際の発電電力 } P_e (\text{kWh}) ] = 9.8 \times [ \text{流量} (\text{m}^3/\text{s}) ] \times [ \text{有効落差 } H_e (\text{m}) ] \times \eta$$

#### (2) 発電方式の種類と特徴

水力発電は水の利用面に着目して分類すると、流れ込み式、調整池式、貯水池式および揚水式の 4 種類の方式に分類される。また、落差を得る構造面に着目した分類として、水路式、ダム式、ダム水路式の 3 種類の方式がある。

図表 8.16 水力発電の分類

分類方法	方式	概要	概略図
水の利用面からの分類	流れ込み式	河川を流れる水を貯めることなく、そのまま発電に使用する。水量変化により発電量が変動する。	
	調整池式	夜間や週末の電力消費の少ない時に池に貯水し、消費量の増加に合わせて水量を調整しながら発電する方式。	

分類方法	方式	概要	概略図
水の利用面からの分類(続き)	貯水池式	水量が豊富で電力の消費量が比較的少ない春や秋に大きな池に貯水し、電力消費の多い夏期や冬期に使用する年間運用の発電方式。	
	揚水式	昼間のピーク時には上池に貯められた水を下池に落として発電し、下池に貯まった水は電力消費の少ない夜間に上池に汲み上げられる。	
構造面より分類	水路式	川の上流に低い堰を設けて水を取入れ、水路により落差が得られる地点まで導水し発電する方式。この方式は、流れ込み式と組合わされることが一般的。	
	ダム式	高いダムを築いて河川をせき止め水量を確保し、落差を利用して発電する方式。貯水池式および調整池式と組合わされることが一般的。	
	ダム水路式	ダム式と水路式を組合わせたもので、ダムに貯えた水を大きな落差を得られる地点まで水路で導いて発電する方式。貯水池式、調整池式および揚水式と組合わされることが一般的。	

出典：「マイクロ水力発電導入ガイドブック」(2003, NEDO) および資源エネルギー庁ホームページ  
 ( <http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/device/class/index.html> )

### (3) 中小水力発電の範囲

前項で示した発電方式のうち、水路式で出力 1,000kW 以下の水力発電が「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネ法)」により新エネルギーとして位置づけられており、RPS 法<sup>19</sup>の対象となっている。しかしながら、中小水力発電としての明確な規模の定義は無い。

「マイクロ水力発電導入ガイドブック」(NEDO)においては、図表 8.17 に示すような分類が提示されている。本報告書においては、ここでの「小水力」を採用し、流れ込み式で出力 10,000kW 程度以下の水力発電を中小水力発電と定義することとする。

図表 8.17 水力発電の規模による分類

分類	規模
大水力 (large hydropower)	100,000kW 程度以上
中水力 (medium hydropower)	10,000kW 程度 ~ 100,000kW 程度
小水力 (small hydropower)	1,000kW 程度 ~ 10,000kW 程度
ミニ水力 (mini hydropower)	100kW 程度 ~ 1,000kW 程度
マイクロ水力 (micro hydropower)	100kW 程度以下

出典：「マイクロ水力発電導入ガイドブック」(2003, NEDO)

なお、2008 年に報告された「水力発電に関する研究会 - 中間報告 - 」(2008 年 7 月、水力発電に関する研究会)によると、今後の水力発電について「開発対象となる新規地点は、奥地化、小規模化してきており、経済性の確保が困難となり、開発が進まなくなっている」とある。また、「近年、河川維持用水や農業用水、上水道および工業用水等の未利用落差を活用した、極めて小規模な水力発電に対する関心が高まっている」とも述べられている。

### (4) 利用水資源の種類

中小水力発電では、利用する水の種類として次のものが考えられている。

#### 渓流水利用

河川水を利用する場合は中小水力発電においては、主に渓流が対象と想定される。渓流を流れる水の一部を導水し、流れ込み式の発電を行う利用や、渓流に直接発電装置を設置して発電する利用形態が考えられる。

#### 農業用水利用

農業用水には水田への水供給のため水路に落差工が設けられている。比較的豊富で安定した流量がある用水であれば、落差工の部分に直接発電装置を設置して発電することが可能である。渓流水利用の場合と同様、一定の流量があれば流れ込み式の発電も可能である。

<sup>19</sup>電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法 (Renewable Portfolio Standard)。電気事業者が新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。

### 上下水道利用

上水道では原水取水箇所から浄水場または、浄水場から排水場までの間で落差が得られる。通常、送水管路の末端部には水流の圧力を減圧するための減圧バルブが取り付けられており、この減圧分の圧力を有効利用することが可能である。

一方、下水道では最終処理施設を出てから河川・海域へ放水される間の落差が発電に利用できる。

### 工場内水利用その他

工場においては、下水道と同様、排水を最終的に河川へ放水する際の落差を利用した発電のほか、工場内で循環する過程で生じる落差を利用した発電の事例がある。

ほかにも、道路・鉄道用のトンネルからの湧水を発電利用した報告がなされている。

**< 事例 > 那須野ヶ原発電所（農業用水利用）**

栃木県那須塩原市の那須野ヶ原発電所は、国営土地改良事業として全国で初めて計画、設置された小水力発電システムである。戸田調整池に流入する、戸田東用水路の有効落差 28m を利用して最大出力 340kW の発電を行っている。発電した電力は系統電力網を利用して地区内の土地改良施設に供給され、維持管理費の軽減が図られており、土地改良施設への農家の負担を軽減することに寄与している。

**図表 システムの概要**

運転開始	1992 年
最大出力	340kW
最大使用水量	1.6m <sup>3</sup> /s
最大有効落差	28m
水車の形式	横軸フランシス
発電機	三相交流同期発電機
総合効率	78%
発電電力量	2,171MWh/年

**図表 発電所概観****図表 水車と発電機**

出典：「新エネルギーガイドブック 2008」（2008, NEDO）



<事例> 港北配水池小水力発電事業（上水道利用）

神奈川県横浜市水道局では、水道施設における未利用エネルギーの有効活用を推進しており、港北配水池において小水力発電を行っている。発電した電力の一部は、隣接する遊歩道の照明や水道局施設の照明等に利用し、その他の電力は売電している。発電所の運営に必要な設計、建設、運営保守の一切は東京発電株式会社が実施し、売電による収益は横浜市と東京発電が分け合っている。

図表 システムの概要

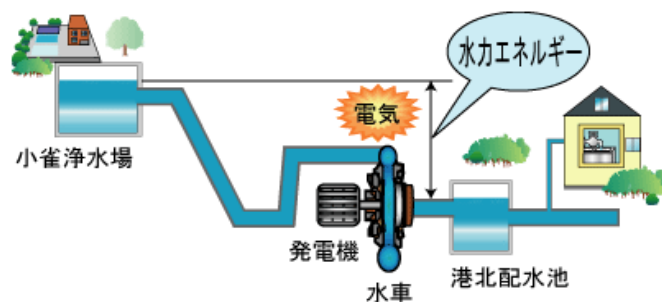
運転開始	2006年3月
最大出力	300kW
最大使用水量	1.35m <sup>3</sup> /s
最大有効落差	29.8m
水車の形式	フランス
発電電力量	約1,100MWh/年
電力用途	照明用および売電

図表 水車概観



出典：東京発電(株)ホームページ（[http://www.tgn.or.jp/teg/business/case\\_micro.html](http://www.tgn.or.jp/teg/business/case_micro.html)）

図表 システム概要



出典：横浜市水道局ホームページ（<http://www.city.yokohama.jp/me/suidou/kyoku/>）

### 8.2.2 ポテンシャル

全国小水力利用推進協議会が行った、2050年までの中小水力発電の新設可能量の試算例を図表 8.18 に示す。1,000kW 以上が 4,500MW、1,000kW 未満の渓流利用が 2,800MW、1,000kW 未満の水路利用が 220MW、合計で 7,520MW の中小水力発電が 2050 年までに新設される可能性があるとして試算している。

1,000kW ~ 10,000kW 規模については、資源エネルギー庁の包蔵水力調査を用いて試算されている。包蔵水力調査における未開発・工事中の合計値 469 億 kWh (2007 年末現在) のうち、約 50% 程度であれば、河川環境に過大な負荷をあたえずに開発できるとの想定のもと、469 億 kWh の約半分の年間発電量 230 億 kWh、設備容量にして 4,500MW が導入されるとしている。

1,000kW 未満については、全国小水力利用推進協議会が独自に試算した推計値に基づいている。一級河川の渓流部分での発電可能規模を約 4,000MW (平水量<sup>20</sup>ベース) と推計し、この 7 割の 2,800MW が開発可能としている。また、農業用水・工業用水・水道用水路については、一級河川の 1 水系当たり 2,000kW が開発可能であると想定し、一級河川数の 109 水系を乗じて約 220MW の新設容量の可能性があるとしている。

図表 8.18 2050 年までの中小水力発電の導入可能量

	設備容量 [MW]	年間発電量 [億 kWh]
1,000kW 以上の新設発電所	4,500	230
1,000kW 未満の新設発電所 (渓流)	2,800	172
1,000kW 未満の新設発電所 (水路)	220	13
新設 計	7,520	415
既存発電所*	20,080	779
新設 + 既存 合計	27,600	1,194

\* 既存発電所の発電量としては、国立環境研究所が用いた 2000 年実績値の数値を採用、これが一定に保たれるものと想定している。

出典：「2050 年自然エネルギービジョン」(2008, 環境エネルギー政策研究所)

<sup>20</sup> 河川の流量で、1 年を通じて 185 日はその流量を下回らないような流量。

### 8.2.3 導入目標量例

日本においては、現在中小水力発電の導入目標値はないが、RPS 制度（Renewables Portfolio Standard）において、「新エネルギー等電気」の利用目標量が定められている。RPS 制度とは、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」に基づき、エネルギーの安定的かつ適切な供給を確保するため、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付け、新エネルギー等の更なる普及を図るための法制度である。図表 8.19 に新エネルギー等電気の利用目標量を示す。

電気事業者は、義務を履行するため、自ら「新エネルギー等電気」を発電するか、他者から「新エネルギー等電気」を購入、または「新エネルギー等電気相当量（法の規定に従い電気の利用に充てる、もしくは、基準利用量の減少に充てることのできる量）」を取得することとなる。

新エネルギーとして対象となるのは、風力発電、太陽光発電、地熱発電（熱水を著しく減少させないもの）、水力発電（1000kW 以下のものであって、水路式の発電およびダム式の従属発電）、バイオマス（廃棄物発電および燃料電池による発電のうちのバイオマス成分を含む）である。

図表 8.19 新エネルギー等電気の利用目標量

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
目標量 (億 kWh)	86.7	92.7	103.8	124.3	128.2	142.1	157.3	173.3
電力会社 10 社の 発受電電力量 (2009 年度) <sup>1</sup> に 対する割合	0.9%	1.0%	1.1%	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.8%

1 約 940TWh（電力事業連合会 発受電速報 2009 年度分）

出典：「平成 19 年度以降の 8 年間についての電気事業者による新エネルギー等電気の利用の目標」(2009, 経済産業省)

### 8.2.4 導入実績

中小水力発電は技術的には既に実用段階にある。資源エネルギー庁の出力別包蔵水力調査によれば、出力区分が10,000kW未満の既開発の合計は3,515MW、1,344地点となっている。但しこれは一般水力全体の値であり、本報告書で対象としている流れ込み式の他に、調整池式と貯水池式が含まれている。

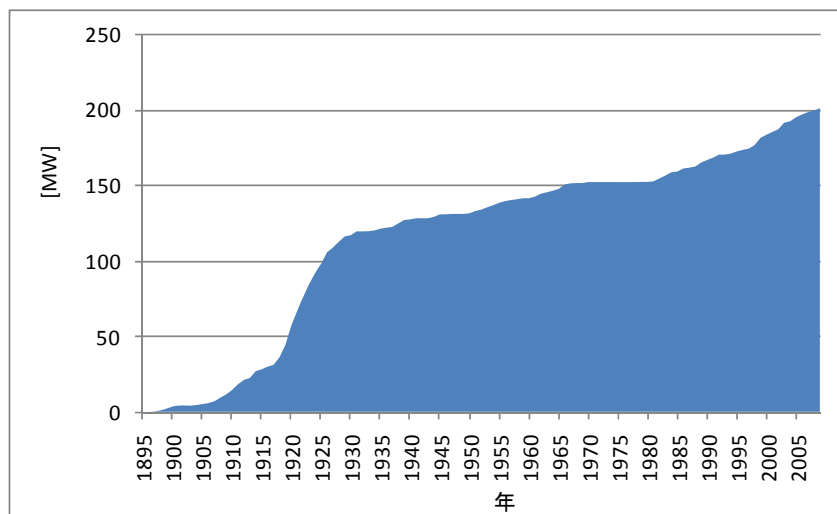
図表 8.20 10,000kW 未満の既開発の水力発電（一般水力）

出力区分	既 開 発		
	地点	出力 [MW]	電力量 [MWh]
1,000kW 未満	474	203	1,268,665
1,000kW 以上 3,000kW 未満	417	745	4,181,420
3,000kW 以上 5,000kW 未満	166	625	3,312,857
5,000kW 以上 10,000kW 未満	287	1,942	10,028,377
10,000kW 未満 計	1,344	3,515	18,791,319

出典：資源エネルギー庁 出力別包蔵水力調査（<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/data/index.html>）

1,000kW 未満の小水力については、RPS の認定設備として 2009 年 11 月末現在で 465 件、計 202MW の水力発電設備が報告されている<sup>21</sup>。発電設備の運転開始年別に累積した発電出力の推移を図表 8.21 に示す。最も古い設備は 1897 年に運転開始しており、1920 年代に急激に出力が増えたが、その後は増加の度合いが緩やかになっている。

図表 8.21 RPS 認定対象水力発電設備の運転年別累計発電出力



出典：RPS 法ホームページ設備情報（<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/joholink-dl.html>）より作成

<sup>21</sup> RPS 法ホームページより

### 8.2.5 技術開発動向

中小水力発電は、小規模であるがゆえに、水車、発電機等の電気設備に掛かる費用の工事全体に占める割合が大きくなる。つまり、一般的な水力発電に比べて割高とならざるを得ない。徹底した低コスト化の追求が求められる。

図表 8.22 中小水力発電の主な技術課題

発電コストの削減	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>水車・発電機の高効率化</li> </ul>
	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準化による設備費の削減</li> <li>施工費の削減</li> </ul>
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>メンテナンスコストの削減</li> </ul>
管理・運用	水量の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>取水口への土砂堆積、ゴミの目詰まり等の防止（金網等の設置等）</li> </ul>

#### (1) 発電効率の向上

発電コストの削減には、発電効率の向上やイニシャルコストの削減等が重要であることは、他のエネルギー変換システムと同様である。ただし、発電効率の向上によりイニシャルコストが過度に膨らまないよう注意が必要である。中小水力発電の場合、電気設備に掛かる費用が割高のため、発電効率に優れた水車、発電機等を導入するよりもむしろ、施工費の削減を狙う方が発電コストの削減には近道となる場合もある。費用対効果のある最適なアプローチが求められる。

#### (2) イニシャルコストの削減

イニシャルコストについては、設備費、施工費ともに削減対象として検討する必要がある。設備費に関してはシステムの合理化、簡素化、標準化、一定水準の品質の装置を低コストで製造することが重要である。施工費については、発電装置の設置場所が普及の進展とともに山間の深い場所へ移っていくことが予想されるため、同じ施工方法を用いる限りはコストの上昇が懸念される。装置の運搬・設置に極力人手を要さないシステム作りが肝要である。

#### (3) ランニングコストの削減

発電装置には運用・メンテナンスの人員が必要となるが、中小水力発電は大規模水力発電に比べ、単位出力あたりに必要となる人員数が多くなる可能性がある。メンテナンスフリー化の追求や、操作性の向上を図ることなどによって、特定の技能を持った資格者を必要とせず、地域社会で運用できるシステムを実現することは、ランニングコスト削減の有効な解決策となる。

#### (4) 水量の確保

安定した水量、発電量を確保するためには、取水口への土砂体積、ゴミの目詰まり等への対応も必要となる。運用時において、発電装置の上流側で土砂体積、あるいは、ゴミの付着があり、計画した水量が発電装置まで及ばず、発生電力が低下する懸念がある。通常、定期巡回し

## 8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

たり、取水口に金網等を設置することにより対応するが、小さなゴミが水車にからまると、発電の停止や機器の故障につながることもあり、注意が必要である。

## 8.3 地熱発電

### 8.3.1 技術の俯瞰

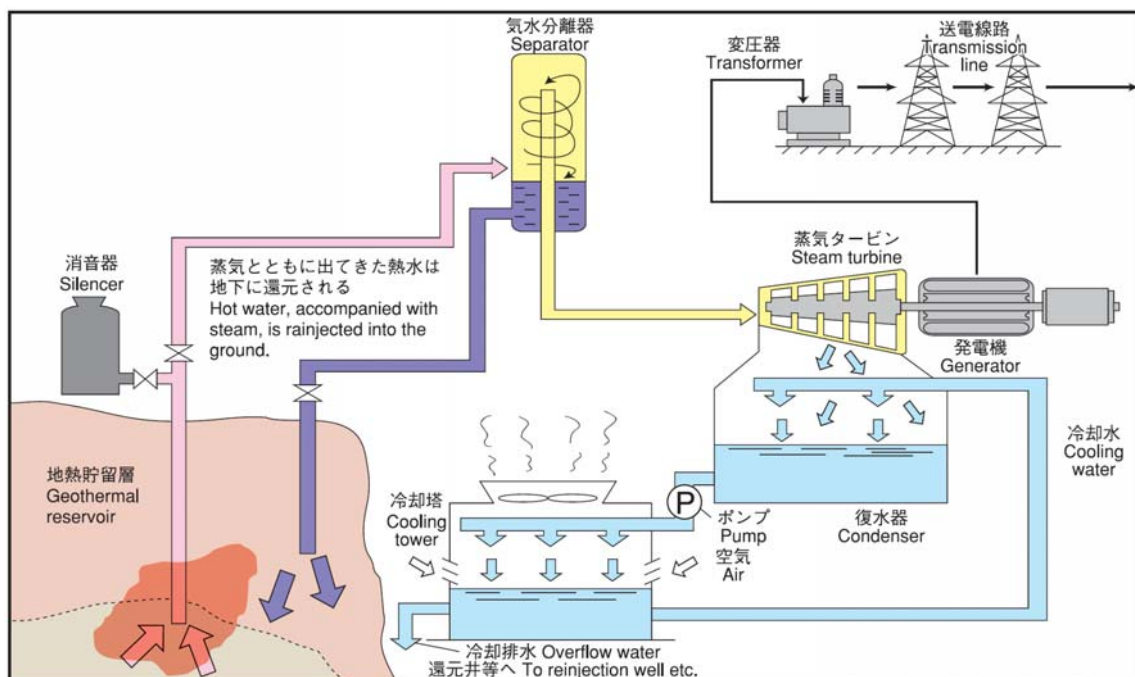
火山帯の地下数 km～数十 km には「マグマ溜まり」があり、約 1,000 の高温で周囲の岩石を熱している。地表からの雨水は数十年かけ岩石の割れ目を通して浸透し、マグマ溜まりの熱によって高温、高圧の熱水となり地熱貯留層が形成される。地熱発電は、この地熱貯留層まで生産井と呼ばれる井戸を掘り、熱水や蒸気を汲み出して利用する発電方式である。地熱発電は天候に左右されることなく安定した電力供給が可能であり、設備利用率は 70% 程度となっている。

実用化されている地熱発電の方式には、広く用いられているフラッシュ方式と、比較的最近実用化されたバイナリー方式がある。

#### (1) フラッシュ方式

フラッシュ方式（蒸気発電方式）は、地熱貯留層から約 200～350<sup>22</sup> の蒸気と熱水を取り出し、気水分離器で分離した後、その蒸気でタービンを回し発電する方式である。気水分離器で分離された熱水は、還元井と呼ばれる井戸を通して再び地下に戻される。日本の地熱発電所のほとんどがこのシングルフラッシュ発電方式である。この他に、分離した熱水をフラッシャー（低圧気水分離器）に導き再度熱水と蒸気に分離して、蒸気は一次蒸気と一緒にタービンに送り、熱水は還元井へと送るダブルフラッシュ方式もある。

図表 8.23 地熱発電（シングルフラッシュ方式）の概念図



出典：「地熱開発の現状」（2008, NEDO）

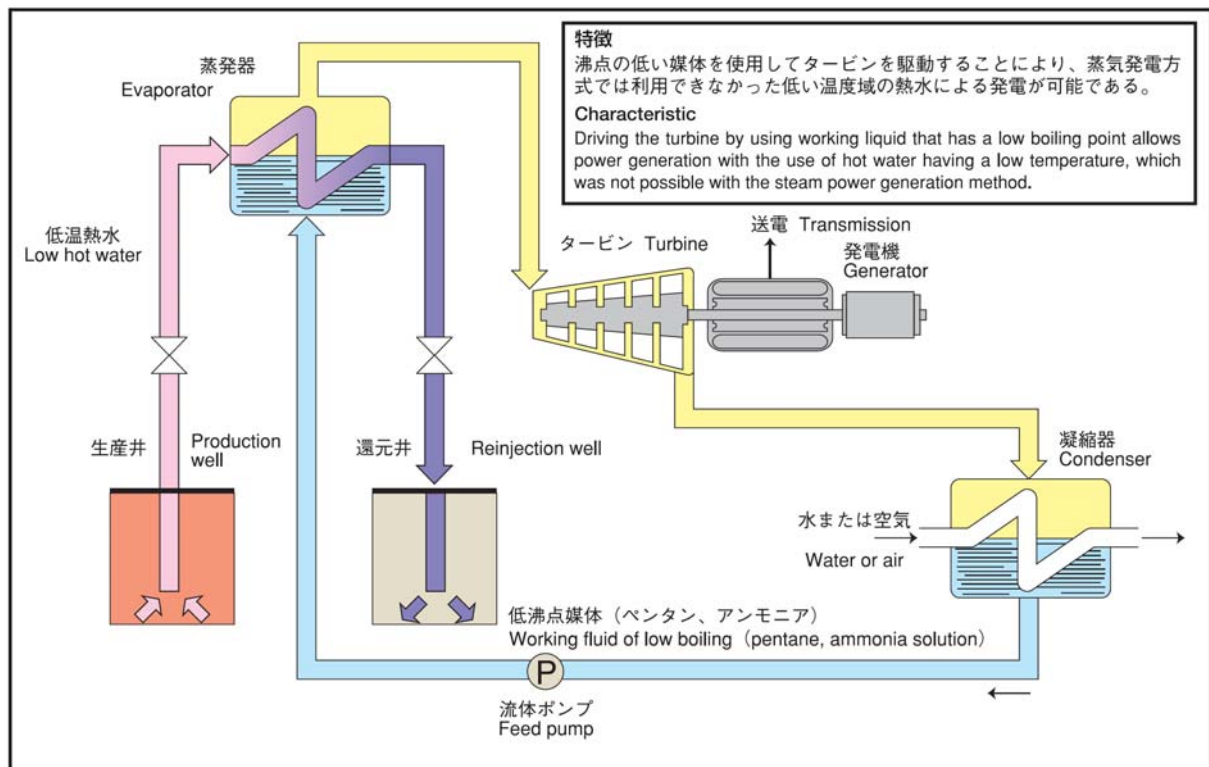
<sup>22</sup> 「地熱発電に関する研究会 中間報告（概要紙）」（2009, 総合資源エネルギー調査会第 35 回新エネルギー部会 資料 6-1）

## (2) バイナリー方式

バイナリー方式は、一般的に 80～150<sup>23</sup> の中高温熱水や蒸気を熱源として低沸点の媒体を加熱し、蒸発させてタービンを回し発電する方式である。媒体には、ペンタン（沸点 36.07）やアンモニア（沸点-33.34）等の沸点 100 以下の液体が用いられ、タービンを回した後、凝縮器で液化されて反復使用される。このように、熱水と低沸点媒体とがそれぞれ独立した 2 つの熱循環サイクルを用いて発電を行うことから、この方式をバイナリー方式と呼んでいる。本方式により、フラッシュ方式では利用できない低温の熱水や蒸気を活用することが可能となった。

日本では現在、新エネルギーとして定義されている地熱発電はバイナリー方式に限られており、九州電力の八丁原バイナリー発電施設が RPS 法<sup>24</sup>の認定を受けている。海外では既に多くの実績があり、1980 年代から運転が開始されている。

図表 8.24 地熱発電（バイナリー方式）の概念図



出典：「地熱開発の現状」(2008, NEDO)

<sup>23</sup> 「地熱発電に関する研究会 中間報告」(2009, 地熱発電に関する研究会)

<sup>24</sup> 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法 (Renewable Portfolio Standard)。電気事業者が新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。



### 8.3.2 ポテンシャル

#### (1)世界

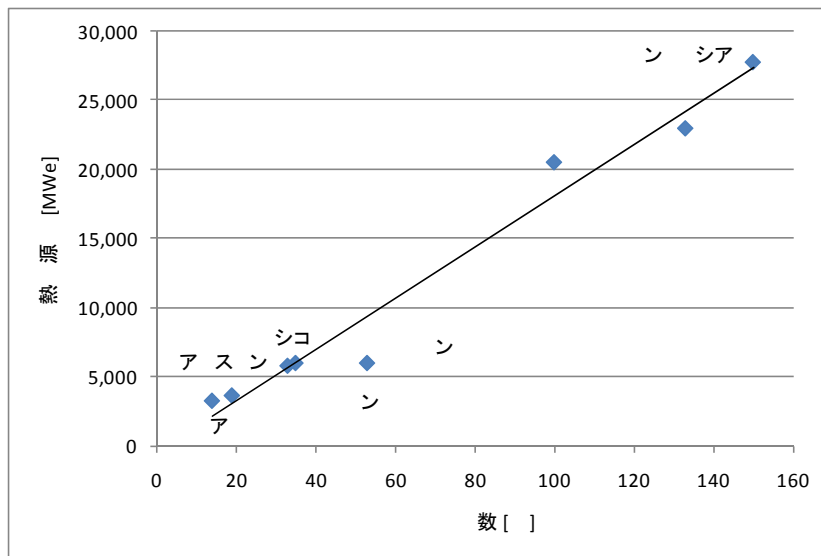
主要国の地熱資源量を図表 8.25 に示す。世界では、インドネシア、米国、日本の3カ国が突出して多く、20GW を超える資源量を誇る。地熱資源量は、活火山数と強い相関があり、火山大国におけるポテンシャルが大きい(図表 8.26)。

図表 8.25 国別地熱資源量

国名	活火山数 [個]	地熱資源量 [MW]	地熱発電導入量(2008) [MW]
インドネシア	150	27,791	992
米国	133	23,000	3,040
日本	100	20,540	535
フィリピン	53	6,000	1,970
メキシコ	35	6,000	958
アイスランド	33	5,800	575
ニュージーランド	19	3,650	632
イタリア	14	3,267	811

出典：「地熱発電の開発可能性」(2008, 地熱発電に関する研究会 第1回資料, 産業技術総合研究所)  
 および “IEA Geothermal Energy Annual Report 2008” (2009, IEA)

図表 8.26 地熱資源量と活火山数の相関



出典：図表 8.25 より作成

**(2)日本**

日本は世界有数の火山国であり、地熱資源量はインドネシア、米国に次いで世界第3位に位置する（図表 8.25）。出力にして 20,540MW のポテンシャルを有しており、これは原子力発電所約 20 基分に相当する。しかし、日本においては、開発地点の多くが国立公園内であること等の制約があり、設備容量では世界第8位に留まっている。

日本における地熱発電の発電原価別の追加的開発可能量について、「地熱発電に関する研究会 中間報告」（2009年6月）が図表 8.27 のとおり試算している。それによると、2020年度の地熱発電の導入量は、発電原価 12 円/kWh のものまで建設できるとすると 670MW、発電原価 15 円/kWh の場合は 930MW、発電原価 20 円/kWh の場合は 1,130MW となっている。これらはそれぞれ、日本の地熱資源量の 3.3%、4.5%、5.5%にあたる。

この試算は、開発リスク、開発コスト低減に向けた環境整備が図られ、地熱発電の開発に関する経済性が向上し、且つ地元調整等を含めて 10 年以内に発電所を建設できることを前提としている。また、導入可能性のある地域として、実際にボーリングを行ったものだけが対象となっており、国立公園の普通地域のポテンシャルは含まれるが特別地域分は含まれていない。

**図表 8.27 地熱発電の 2020 年度導入量の試算**

前提	導入容量	現在の発電量からの増加分
発電原価 12 円/kWh のものまで建設可能	670MW	41 億 kWh
発電原価 15 円/kWh のものまで建設可能	930MW	57 億 kWh
発電原価 20 円/kWh のものまで建設可能	1,130MW	69 億 kWh

温泉発電および既設地熱発電所の増加分 240MW、15 億 kWh を含む。

発電電力量については、これまでの稼働率実績 70%を用いて試算。

出典：「地熱発電に関する研究会 中間報告」（2009、地熱発電に関する研究会）

### 8.3.3 導入目標量例

#### (1) 世界

地熱資源量の多い米国、インドネシア、フィリピン等においては、大規模な開発目標を掲げ、地熱発電の開発に積極的に取り組んでいる。特にインドネシアでは、地熱法を制定し明確な開発目標をロードマップとして定めており、2025年には一次エネルギーの5%に相当する9,500MWを地熱発電で供給するとの目標を掲げている。

図表 8.28 主要地熱資源国の地熱発電開発目標

国	年	目標
米国	2025年	30,000MW
フィリピン	2013年	2,435MW
インドネシア	2016年	5,000MW
	2020年	7,000MW
	2025年	9,500MW

出典：「地熱発電に関する研究会 中間報告」(2009, 地熱発電に関する研究会) および再生可能エネルギー展望会議資料(2008.2.21)

#### (2) 日本

日本における地熱発電導入量について、「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(2009年8月)では、最大導入ケースにおいて、2020年に5.3GW、2030年に12.0GWが導入されると想定している。

図表 8.29 長期エネルギー需給見通し

		2020年	2030年
長期エネルギー需給見通し(再計算)	現状固定ケース・努力継続ケース	530MW	530MW
	最大導入ケース	530MW	1,200MW

**現状固定ケース**：現状(2005年度)を基準とし、今後新たなエネルギー技術が導入されず、機器の効率が一定のまま推移した場合を想定。耐用年数に応じて古い機器が現状(2005年度)レベルの機器に入れ替わる効果のみを反映したケース。

**努力継続ケース**：これまで効率改善に取り組んできた機器・設備について、既存技術の延長線上で今後とも継続して効率改善の努力を行い、耐用年数を迎える機器と順次入れ替えていく効果を反映したケース。

**最大導入ケース**：実用段階にある最先端の技術で、高コストではあるが、省エネ性能の格段の向上が見込まれる機器・設備について、国民や企業に対して更新を法的に強制する一歩手前のギリギリの政策を講じ最大限普及させることにより劇的な改善を実現するケース。

出典：「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(2009, 経産省)

### 8.3.4 導入実績

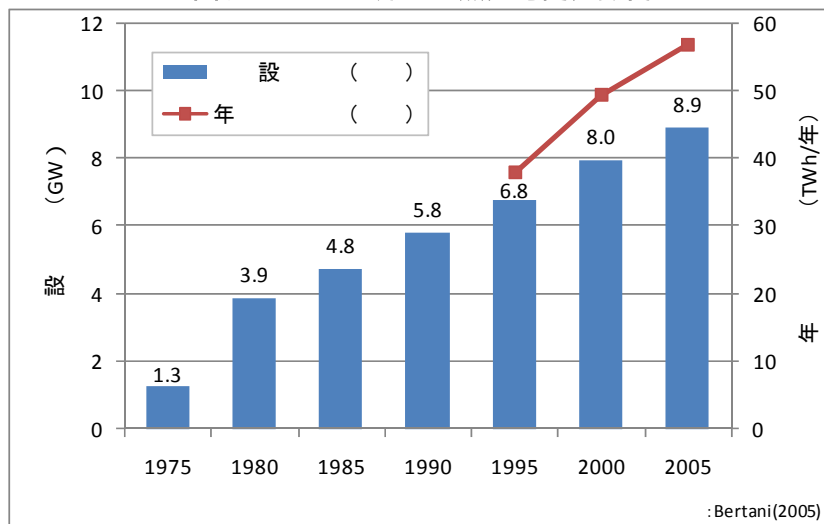
#### (1) 世界

世界の地熱発電の開発動向を図表 8.30 に示す。世界の地熱発電設備容量は、1980 年以降ほぼ同じペースで順調に伸びており、2005 年には 9GW 近くに達している。また、設備容量の増加に伴い、年間総発電量も増えている。

主要地熱資源国の開発動向を図表 8.31 に示す。世界では米国がトップを走っており、バイナリー方式の地熱発電の開発も積極的で、多くの商用プラントが稼働している（図表 8.33）。2008 年 8 月には、アイスランド、オーストラリアとの 3 カ国間で「International Partnership for Geothermal Technology (IPGT)」を締結しており、国際協力を通じて地熱発電の技術開発を加速させている。

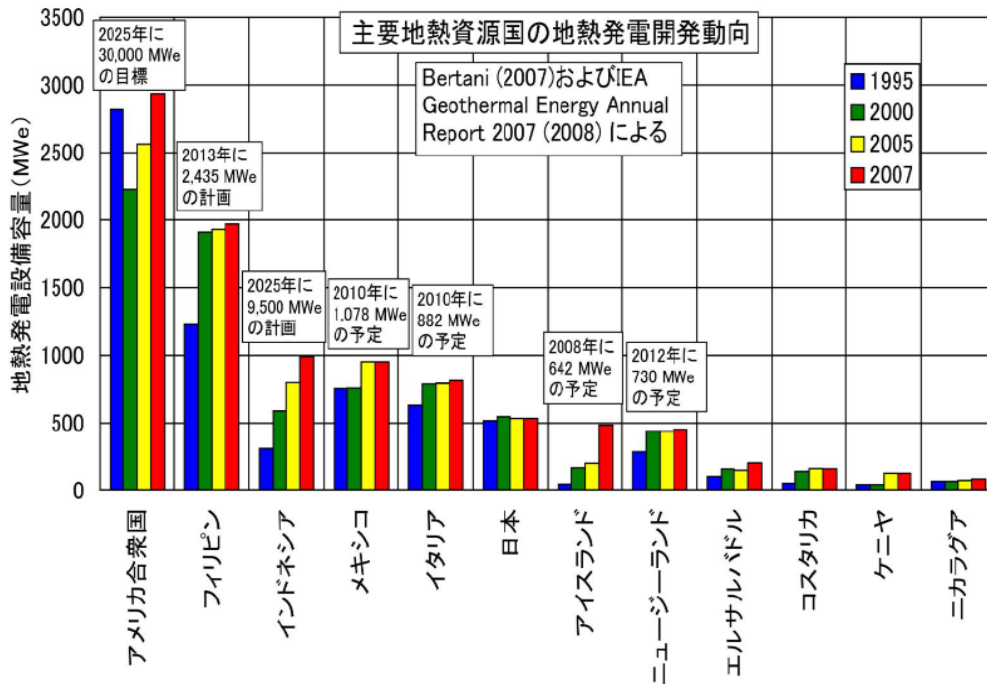
バイナリー方式で多くの実績を持つ ORMAT 社（米）は、1980 年代後半より米国にてバイナリー方式の地熱発電所の建設、運転を行っている。近年では特に、グアテマラ、ケニア、ニュージーランド等の米国以外の地域においても地熱発電プラントを建設している。

図表 8.30 世界の地熱発電開発動向



出典：「地熱発電の開発可能性」（2008，地熱発電に関する研究会 第1回資料，産業技術総合研究所）

図表 8.31 主要地熱資源国の開発動向



出典：「地熱発電の開発可能性」(2008, 地熱発電に関する研究会 第1回資料, 産業技術総合研究所)

図表 8.32 欧州で稼働中のバイナリー発電設備

国名	立地点	運開年	出力
オーストリア	Altheim	2002年	1MW
	Blumau	2001年	0.2MW
ドイツ	Neustadt-Glewe	2003年	0.2MW (パイロットプラント)
	Landau	2007年	3.8MW
	Bruchsal	2007年	1.0MW
	Unterhaching	2007年	3.4MW
フランス	Soultz-sous-Forêts	2008年	1.5MW
ポルトガル	Ribera Grande (サン・ミゲル島)	1998年建設完了	4基(13MW)
ルーマニア	Oradea	-	0.2MW
トルコ	Aydin-Salavatli	2007年	10MW
	Kizildere Binary	-	5.0MW
	Canakkale	-	7.5MW

出典：NEDO 海外レポート NO.1044 (2009.5.20) より作成

図表 8.33 米国で稼働中のバイナリー発電設備

国名	所有者(プラント名)	立地点	開始年	出力[MW]
アラスカ	Chena Hot Springs	Near Fairbanks	2006	0.68
カリフォルニア	Constellation Power and ORMAT (MAMMOTH PACIFIC I)	Sierra Nevada Mountains/Mono	1984	24
	Ormat	North Brawley	2008	50
	その他	-	-	138.6
	カリフォルニア計			212.6
ハワイ	Puna Geothermal Venture* <sup>1</sup>	Pahoa	1993	25~35
アイダホ	U.S.Geothermal(RAFT RIVER UNIT)	southern Idaho	2008	13
ネバダ	Constellation Energy(SODA LAKE I)	Fallon	1987	5.1
	Steamboat Development Corp. (STEAMBOAT II)	Washoe	1992	29
	Ormat (GALENA 3)	Reno	2008	20
	その他	-	-	139.35
	ネバダ計			193.45
ユタ	Enel North America(COVE FORT II)	Cove Fort	1990	(6.5)* <sup>2</sup>

\*1：シングルフラッシュとバイナリーのハイブリッド方式

\*2：再開発および拡張のために運転停止

出典：NEDO 海外レポート NO.1044 (2009.5.20) より作成

## (2) 日本

日本でこれまでに開発されている地熱発電所は 18 ヶ所、出力合計は約 535MW である(図表 8.34)。最初の松川発電所は 1966 年に運転を開始して以来、40 年以上の間安定して運転されている。バイナリー方式の地熱発電所は、九州電力の八丁原バイナリー発電設備(2,000kW)と、霧島国際ホテルの地熱バイナリー発電施設(220kW)のみである。

石油危機以降の原油価格高騰期には、火力発電に対するコスト競争力をある程度有していたため本格的調査が行われ、東北・九州地域を中心に地熱開発が進められた。1990 年代には 9 基(約 317MW)が導入されたが、1999 年の八丈島地熱発電所の運転開始以降、新規立地がない状態が続いている。

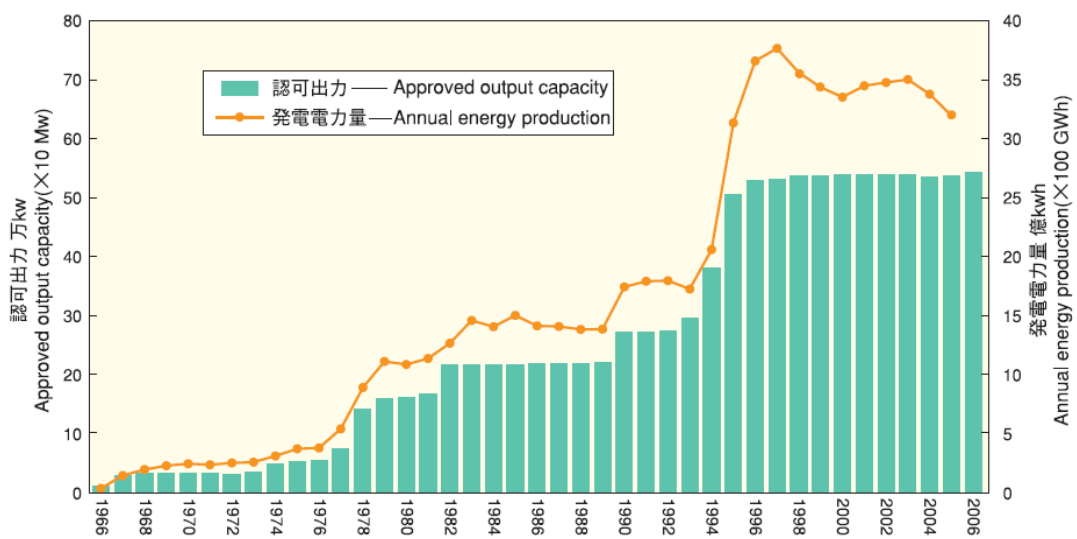
図表 8.34 日本の地熱発電所(平成 19 年 3 月現在)

発電所名		発電部門	蒸気供給部門	認可出力 [kW]	運転開始
電気事業用	松川	東北水力地熱(株)	東北水力地熱(株)	23,500	1966.10.8
	大岳	九州電力(株)	九州電力(株)	12,500	1967.8.12
	鬼首	電源開発(株)	電源開発(株)	12,500	1975.3.19

発電所名		発電部門	蒸気供給部門	認可出力 [kW]	運転開始
	八丁原 1号、2号 (バイナリー含む)	九州電力(株)	九州電力(株)	55,000(1号) 55,000(2号) 2,000(バイナリー)	1977.6.24 1990.6.22 2006.4.1
	葛根田 1号、2号	東北電力(株)	東北水力地熱(株)	50,000(1号) 30,000(2号)	1978.5.26 1996.3.1
	森	北海道電力(株)	北海道電力(株)	50,000	1982.11.26
	上の岱	東北電力(株)	秋田地熱エネルギー(株)	28,800	1994.3.4
	山川	九州電力(株)	九州電力(株)	30,000	1995.3.1
	澄川	東北電力(株)	三菱マテリアル(株)	50,000	1995.3.2
	柳津西山	東北電力(株)	奥会津地熱(株)	65,000	1995.5.25
	大霧	九州電力(株)	日鉄鹿児島地熱(株)	30,000	1996.3.1
	滝上	九州電力(株)	出光大分地熱(株)	25,000	1996.11.1
	八丈島	東京電力(株)	東京電力(株)	3,300	1999.3.25
自家用	大沼	三菱マテリアル(株)	三菱マテリアル(株)	9,500	1974.6.17
	杉乃井	(株)杉乃井ホテル	(株)杉乃井ホテル	1,900	2006.4.1
	霧島地熱バイナリー	富士電機システムズ(株)	大和紡観光(株)	220(バイナリー)	2006.8.9
	岳の湯地熱	廣瀬商事(株)	廣瀬商事(株)	50	1991.10.19
	九重観光ホテル	九重観光ホテル	九重観光ホテル	990	2000.12.1
合計				535,260	

出典：「地熱開発の現状」(2008, NEDO)

図表 8.35 日本における地熱発電の認可出力と発電電力量の推移



出典：「地熱開発の現状」(2008, NEDO)

**<事例> 八丁原バイナリー発電施設**

2004年に実証運転を開始した、地熱発電システムとしては国内最初のRPS法対象発電設備である。定格出力2,000kWで、低沸点媒体としては沸点36のペンタンを用いている。長期にわたる蒸気の生産により温度と圧力が減衰した蒸気井を有効利用している。

**図表 八丁原バイナリー発電施設の概要**

項 目		仕 様
設置台数		1
メーカー		オーマツ社（イスラエル製）
定格出力	発電端	2,000kW（2,230kVA、力率0.9）
	送電端	1,720kW
媒体蒸気	圧力 / 温度 / 流量	1.09MPa* / 133.2 / 105.77t/h
蒸気・熱水	圧力 / 温度	0.304 MPa* / 143.1
蒸気流量		17.825t/h
熱水流量		64.14t/h
タービン型式		衝動横置2段復水タービン
発電機型式		横置円筒回転界磁形同期発電機
復水器型式		空冷式
熱交換器型式		横置シェルアンドチューブ型
制御方式		中央制御方式による常時監視自動制御

（\* MPa：メガパスカル 圧力の単位）

**図表 プラント概観**

出典：九州電力ホームページ（<http://o.kyuden.co.jp/view.php?pageId=1584>）



### 8.3.5 技術開発動向

地熱発電は、フラッシュ・バイナリー両方式のプラントが商用運転しており、技術的には確立されている。地熱のさらなる普及に向けては、地熱探査技術の向上や貯留層管理技術等が重要である。また、現在商用化されている技術に加え、さらに地熱の利用可能範囲を拡大するための技術開発が国内外で進められている。

図表 8.36 地熱発電の主な技術課題と解決の方向性

技術課題		解決策・要素技術
低コスト化	地熱探査技術の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質調査</li> <li>地化学調査</li> <li>物理探査（温度、電気・電磁波、地震、重力、磁気）</li> </ul>
	スケール対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>地熱熱水からのシリカ除去</li> </ul>
高効率化	貯留層管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラント出力の適正化</li> <li>地熱井涵養技術</li> <li>蒸気条件変化への対応（タービン翼のフレキシビリティ）</li> </ul>
高耐久化	耐食性	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐食性材料</li> <li>コーティング</li> </ul>
利用可能資源の拡大	未利用温度帯利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>バイナリー発電</li> <li>高温岩体発電</li> </ul>
管理・運用	有害物質対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>砒素等除去</li> </ul>

#### (1)低コスト化

##### 1) 地熱探査技術の向上<sup>25</sup>

地熱発電の効率的な開発は、地質調査、地化学調査、物理探査等の地熱探査により、調査地域の地熱ポテンシャルをいかに正確に把握できるかが第一歩となる。地熱探査で有望と判断された場合、次にボーリング調査が実施されるが、ボーリング孔の掘削は1本数億円のコストが必要であり、莫大な投資が要求される。開発リスク低減の観点からも、開発初期段階の地熱探査技術の精度向上は非常に重要な課題であり、技術開発が継続的に行われている。

ボーリング調査では、ボーリングコアやカッティングス（掘削した削りかす）により地質構造を明らかにするとともに、ボーリング孔に測定器を下ろし、電気抵抗や温度を測定する物理検層を行い、地熱貯留層の位置を把握する。1本のボーリングで有望性が確認された場合、さらにボーリングを行い、貯留層の三次元的構造をより詳細に推定し、地熱ポテンシャルの把握精度を高める。この時点までの精度が高ければ、次に行う生産井、還元井の掘削は比較的高い

<sup>25</sup> 「地熱エネルギー入門」(2008, Mary H. Dickson, Mario Fanelli 著、日本地熱学会 IGA 専門部会 訳・編)

精度で行うことができる。

- 地化学調査

地熱系のタイプ（蒸気卓越型、熱水卓越型など）を確認し、深部では最低限どの程度の温度が期待されるかを推定するとともに、供給される水の高質性を評価し、深部流体の化学性状を推論し、熱水の供給源を決定する手法。物理探査などに比較して低コストで実施可能なため、他の探査に先行して実施される。

- 物理探査

物理探査のパラメータには、図表 8.37 のようなものが含まれる。地質構造中に地熱流体が存在しているかどうかについては、電気探査法や電磁探査法によって調べることが可能である。また、地震探査、重力探査、磁気探査等は、石油探査で採用されていた手法であり、深部にある地熱貯留層を形成する地質構造の形状、規模、深度などの情報を収集することができる。

図表 8.37 物理探査の種類

物理探査	探査項目・内容	
温度調査	温度測定・地温勾配・ 地殻熱流量	貯留層上面の温度推定値
電気探査法または電磁探査法	電気伝導度	地質構造中の地熱流体の有無
地震探査	弾性波の伝達速度	深部にある地熱貯留層を形成する 地質構造の形状、規模、深度等
重力探査	密度	
磁気探査	磁化強度	

出典：「地熱エネルギー入門」（2008, Mary H. Dickson, Mario Fanelli 著、日本地熱学会 IGA 専門部会 訳・編）

## 2) スケール対策

スケールとは地熱流体から配管等への析出物で、シリカ、炭酸カルシウム、硫化鉱物などがある。流体温度や圧力が急速に変化したり、流体混合があったり、溶存ガスの離脱により、溶存成分が過飽和になるためにスケールが発生する。スケールの付着は熱交換器における熱交換効率の低下や、配管閉塞等の問題を引き起こすため、定期的な除去作業、析出抑制剤の利用などの対策が必要となる<sup>26</sup>。このスケール除去に多額の経費がかかっており、ランニングコストを押し上げる要因となっているため、低コストスケール対策技術の開発が求められている<sup>27</sup>。

### (2)高効率化 - 貯留層管理 -

地熱発電では、発見した貯留層の特徴を踏まえたプラント規模の決定、生産井や還元井の配置、および運転開始後の貯留層の観測・解析と、貯留層の状況に合わせたプラントの運転が非常に重要となる。例えば地熱貯留層のポテンシャルを超えるプラント出力は、貯留層の減衰を早める原因となる。また、貯留層内の水量が不足した場合もエネルギー取得が困難になる。地

<sup>26</sup> 日本地熱学会 地熱用語集

<sup>27</sup> 地熱発電に関する研究会 第4回資料（2009）

熱発電を効率的に運用するために、貯留層管理は非常に重要であり、日米欧ともに地熱井涵養システム（EGS：Enhanced Geothermal Systems）に重点を置いた技術開発を進めている。

地熱井涵養システムとは、人工的な水圧刺激を利用して地熱資源を活用するための一連の技術である。通常、地下深いところにある高温の地層で岩石を断裂させる技術を指し、温水または水蒸気の新規地熱貯留層を創出するか、既存の地熱貯留層を拡大、強化するために利用される。EGS 技術はまだ成熟しておらず、多くの点で検証を要する<sup>28</sup>。

また、地熱源の減衰が起きた際に、当初の地熱水の容量で設計された蒸気タービンをそのまま用いることは発電効率の低下を招くことから、地熱水の減衰に応じて形状を変更可能なタイプの蒸気タービンの開発なども行われている。

### (3)高耐久化

地熱流体は塩化物や硫化物等の腐食性を有する物質や不純物を含む流体であるため、ケーシングタイプや地上配管設備、タービン等の材料の物理的、電気化学的減耗を生じさせる。材料の減耗は施設の耐用年数に影響するばかりではなく、信頼性にも大きく影響する。耐食性に優れたステンレス材料の使用、タービンのブレード部等へのコーティング材料の溶射、地熱流体への腐食抑制剤の注入等の対策が考えられる。しかし、地熱流体の含有成分、流速等の特性に応じて、最適となるステンレス材料は異なること、過度な対策はコスト上昇につながるなどから、地熱流体の特性に応じた対策が求められる。

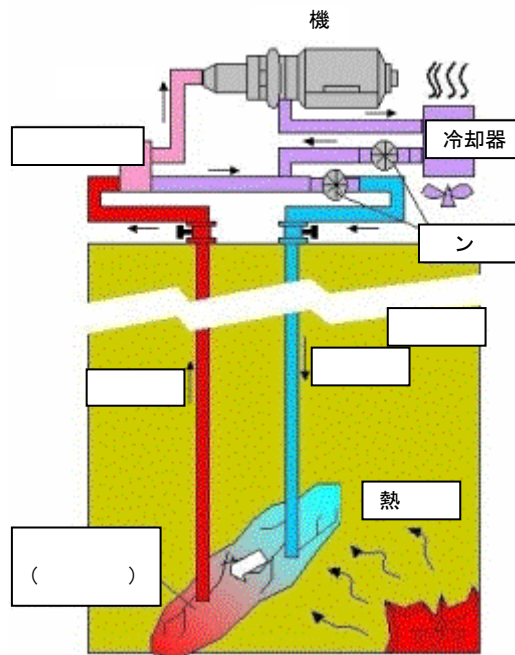
### (4)利用可能資源の拡大 - 高温岩体方式 -

現在地熱発電に使われているエネルギーは地熱源の一部であり、利用可能な熱源範囲を拡大するために様々な技術開発が行われている。代表的な技術として、バイナリー発電と高温岩体発電が挙げられる。バイナリー発電（8.3.1 参照）については、近年実用化が進んでいるが、高温岩体発電は実験段階にある。

高温岩体方式とは、高温ではあるが水分に乏しく十分な熱水・蒸気が得られないような高温岩体（hot dry rock：HDR）を地熱発電へ活用する方式で、人工的に岩盤に割れ目（フラクチャ）を作って、2本の坑井の一方から水を注入し、もう一方から高温蒸気を取り出して発電を行うものである。米国および日本において実証試験が行われたが、未だ実験段階であり、オーストラリアやフランスにおいても研究開発が進められている。

<sup>28</sup> NEDO 海外レポート NO.1044 (2009.5.20)

図表 8.38 地熱発電（高温岩体方式）の概念図



出典：NEDO 海外レポート NO.1023（2008.6.4）

#### (5) 管理・運用

地熱発電において、セパレータにより蒸気と分離した後の熱水中には砒素などの有害物質が含まれている。全ての熱水は、地熱貯留層の圧力維持や地熱貯留層への水の補給のため、あるいは、排水による環境影響を防止するため、全量還元井から地下へ戻されている。したがって、現状では、砒素対策は考慮する必要がないが、将来的に有害物質を低コストで分離し、熱水のエネルギーや成分の有効利用への関心が高まれば、有害物質の適正な管理が必要となる。

## 8.4 温泉熱発電・熱利用

### 8.4.1 技術の俯瞰

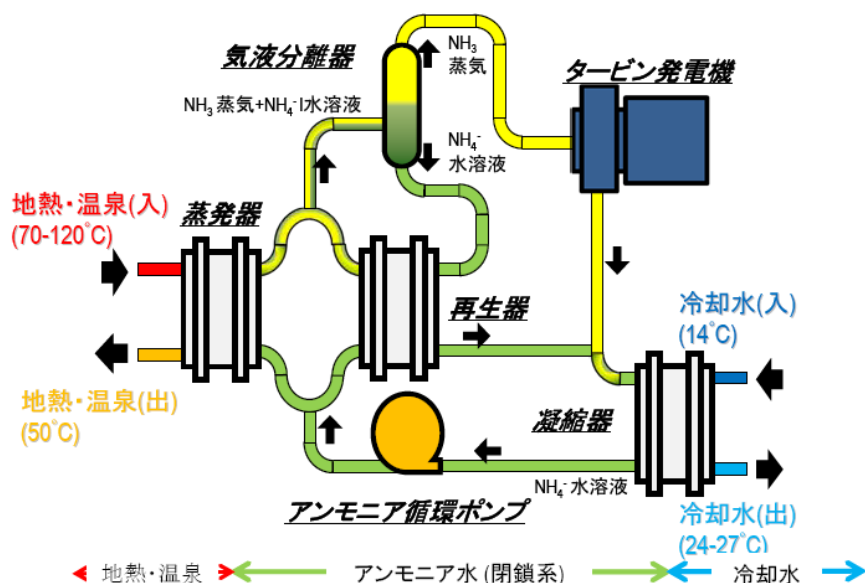
温泉熱の利用方法には、大きく分けて発電に利用する方法と、熱として利用する方法がある。日本に多い 50～100 の温泉は、そのままでは熱すぎて入浴には適さないため、長距離の配管や樋を巡らせて湯を外気に晒すなどして、適温に冷ましてから使用されてきた。最近、この温泉未利用熱の有効利用が検討されている。

#### (1) 温泉熱発電

温泉熱発電は、地熱発電のバイナリー方式よりも更に低い温度領域の熱を活用した発電で、カーリーナサイクルを用いた発電方式である。

カーリーナサイクルでは、沸点 100 以下のアンモニアと水の混合液を作動媒体として利用する。まず蒸発器（沸騰器ともいう。）において温泉水でアンモニア水を温めて沸騰させる。沸騰したアンモニア水を気液分離器に導いて蒸気を分離し、この蒸気でタービンを回して発電する。一方、気液分離器で分離された液体のアンモニア水は、再生器にて熱回収された後、タービン排気のアンモニア水蒸気を吸収し、更に凝縮器において冷却される。冷却されたアンモニア水は、ポンプにより循環し再度サイクル内を廻る。これがカーリーナサイクルの原理であり、低温熱を有効利用してタービンを駆動する方式である。500kW 以上のものは既に実用化されており、国内多数の温泉に導入するために小型の発電システムが開発されているところである。

図表 8.39 カーリーナサイクル発電



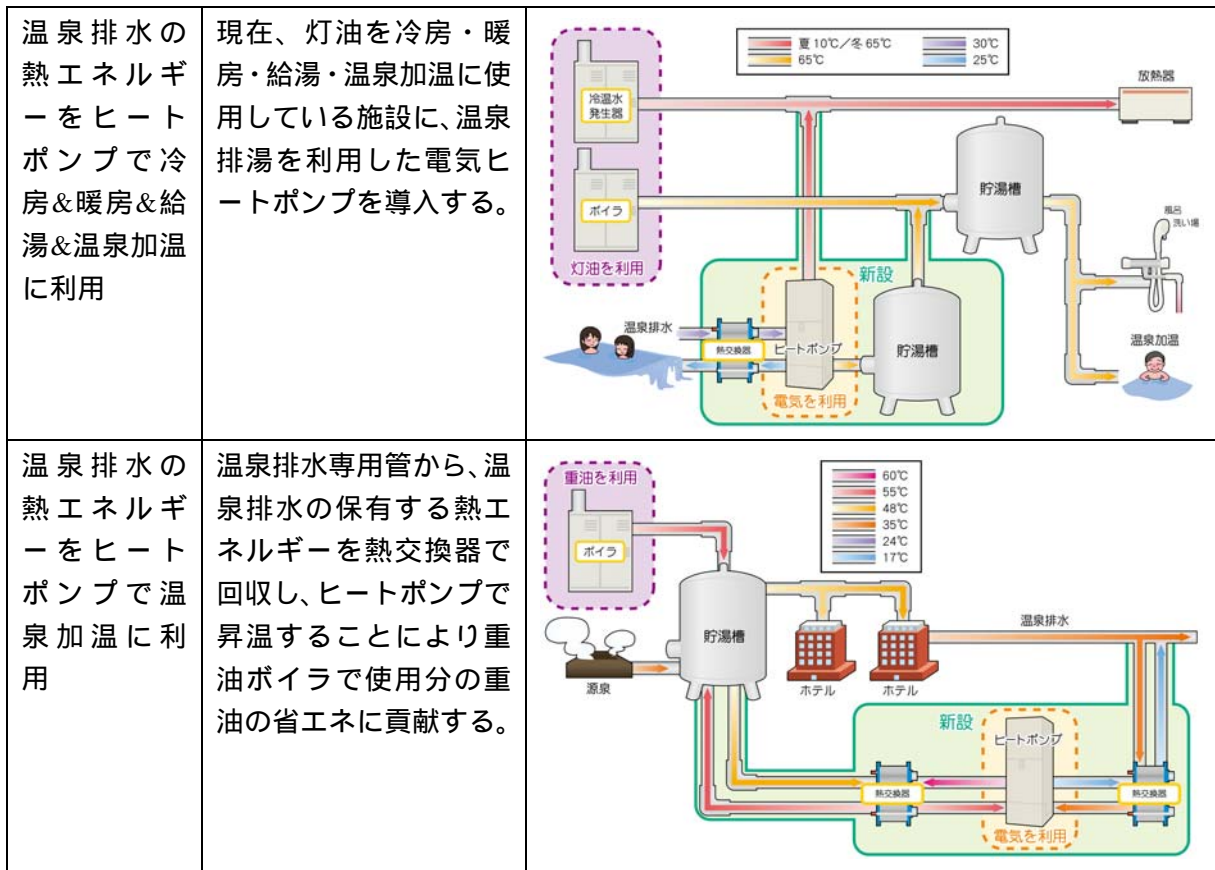
出典：「カーリーナサイクル方式を用いた地熱・温泉発電の原理」(2009, 地熱技術開発(株))

(2) 温泉熱利用

温泉熱を発電ではなく熱として利用するには、様々な機器の組合せによる方式が考えられる。温泉熱利用システムの例を図表 8.40 に示す。この他、イチゴ等の果実栽培や花卉栽培、融雪利用等も行われている。比較的複雑なシステムを導入して積極的に利活用する以外にも、温泉熱をそのまま調理へ利用する等の応用例も見られる。

図表 8.40 温泉熱利用システム例

ケース	概要	システム図
<p>温泉水の熱エネルギーを熱交換器で給湯に利用</p>	<p>給湯に使用している井戸水の加温を、温泉の熱エネルギーで行うことにより、給湯ボイラに使用している灯油分の省エネに貢献する。</p>	
<p>温泉排水の熱エネルギーを熱交換器で冷房&amp;暖房に利用</p>	<p>近隣ホテルからの温泉排湯を一箇所に集約し、その排湯から熱エネルギーを回収し、各ホテルに熱供給する。各ホテルでは冷暖房の熱源として利用する。</p>	
<p>温泉水・温泉排水の熱エネルギーを熱交換器とヒートポンプで冷房&amp;暖房&amp;給湯に利用</p>	<p>現在、重油を暖房・給湯に使用している施設に、熱交換器とヒートポンプを導入し、温泉水・温泉排水の熱源として利用。</p>	



\* 温泉水：源泉から取り出した未利用の温泉水

\* 温泉排水：入浴等に利用した後の温泉水

出典：「温泉DEヒーポン！温泉ホテル省エネモデル集」（2008，経済産業省 北海道経済産業局）

### 8.4.2 ポテンシャル

温泉熱発電・熱利用に活用される地熱資源は同じものであり、ポテンシャルは同じ地域に賦存している。

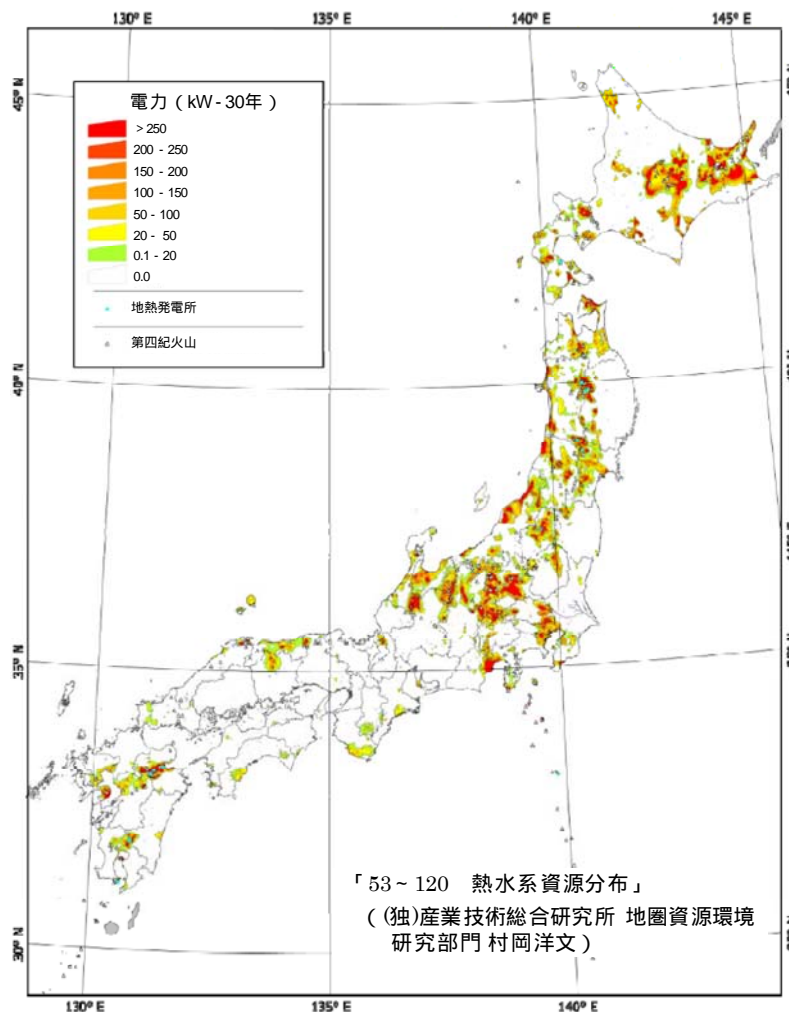
産業技術総合研究所が行った地熱資源量の評価による、低い温度領域での温泉発電の開発に有望な資源量を図表 8.41 に示す。これは新規掘削も想定しており、53 ~ 120 の温度領域に該当する熱水系資源量を評価したものである。120 以上はフラッシュ方式やバイナリー方式の地熱発電の領域として除外されている。結果として、国土の 22.2%が対象となり、温泉熱発電の開発に有望な資源量は 8,330MW と見積もられている。

図表 8.41 日本における温泉熱発電の開発に有望な資源量

温泉熱発電の資源量	8,330MW
-----------	---------

出典：「地熱発電に関する研究会 中間報告」(2009, 地熱発電に関する研究会)

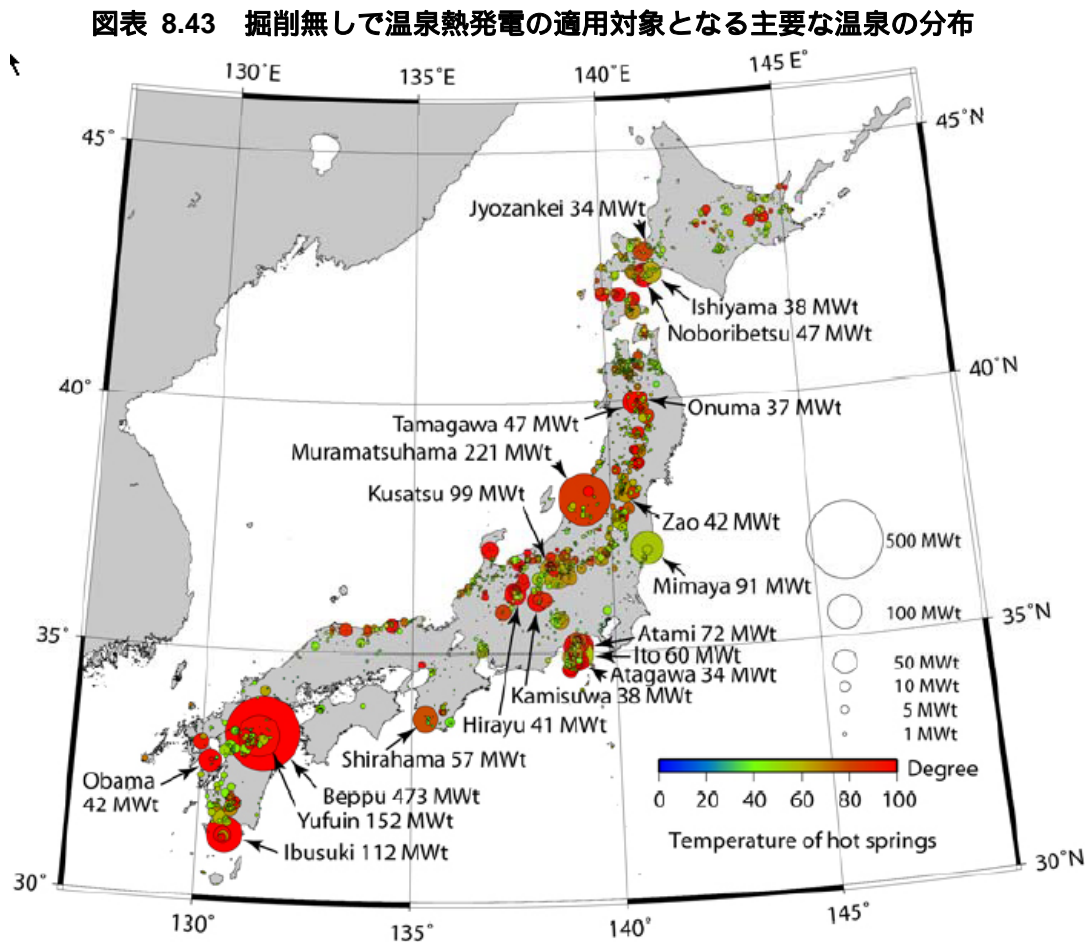
図表 8.42 温泉発電 (53 ~ 120 ) 資源量の分布



出典：「地熱発電に関する研究会 中間報告」(2009, 地熱発電に関する研究会)



また、掘削無しで温泉熱発電の適用対象となる主要な温泉の分布を図表 8.43 に示す。現在廃棄されている温泉水のみを利用可能な熱源として想定した場合のポテンシャルは、723MW と見積もられている。これは、カーリーナサイクルの 50kW 発電システムを想定し、泉温および湧出量の不足により 30kW 未満となる温泉は対象外として試算されている。



出典：「パラダイム転換としての地熱開発推進」(2009.8, Gate Day Japan シンポジウム資料, 産業技術総合研究所)

### 8.4.3 導入目標量例

2008年に、日本地熱学会および日本地熱開発企業協議会が発表した「2050年地熱エネルギービジョン」における普及目標を図表 8.44 に示す。

ベースシナリオに基づく、8.4.2 節で述べた温泉熱発電のポテンシャル 8,330MW のうち、現実的な温泉熱発電の導入量は 2020 年で約 171MW、2050 年で 1,070MW となっている（ベースシナリオ）。

**図表 8.44 2050 年地熱エネルギービジョンにおける温泉熱発電の導入量**

	2005 年	2020 年	2050 年
ベースシナリオ	0MW	171MW	1,070MW
ベストシナリオ	0MW	228MW	1,342MW
ドリームシナリオ	0MW	275MW	1,514MW

ベースシナリオ : 温泉余熱の 53 までの 60% を使用可能と想定。設備利用率 70%。

ベストシナリオ : ベースシナリオの温泉余熱に加えて、地熱発電の還元熱水が発電に使用可能と想定。使用可能温度範囲は 100 から 53 まで。設備利用率 70%。

ドリームシナリオ : ベストシナリオと同様の想定で、設備利用率が 80%。

出典：「2050 年地熱エネルギービジョン」（2008, 日本地熱学会および日本地熱開発企業協議会）

#### 8.4.4 導入実績

国内における温泉熱の発電利用は、まだ実証試験段階にある。実証試験の事例としては、2002年度に(株)前川製作所が福島県にて実施した、ランキンサイクル<sup>29</sup>で発電機端出力 10kW を目指した実証試験がある<sup>30</sup>。また、現在長野県においてカーリーナサイクルの 50kW 発電システム実証試験が、地熱技術開発(株)により進められている<sup>31</sup>。

熱源としての利用は、温泉排水からヒートポンプで熱回収して給湯や暖房に利用したり、源泉の温泉熱を浴槽の加温やシャワー等に利用するなど、導入事例が増加している。NPO 法人環境エネルギー政策研究所は、環境省が都道府県より集計している、源泉毎の温泉熱の「浴用・飲用」「多目的利用」に関する 2007 年度の集計データより、浴槽の加温に必要な熱量で温泉が代替している熱量、および温泉熱の多目的利用（ロードヒーティングや融雪等）の利用熱量の推計を行っている。それによると、日本全体の温泉熱の多目的利用量は 2,318TJ<sup>32</sup>となっており、特に北海道等で利用が進んでいる。

---

<sup>29</sup> バイナリーサイクル方式の一つ。100 以上の熱水の活用に適している。作動媒体としてブタン、ペンタン等の単相流体を用いて発電する。

<sup>30</sup> NEDO「産業技術実用化開発助成事業」

<sup>31</sup> NEDO「新エネルギーベンチャー技術革新事業」

<sup>32</sup> エネルギー永続地帯指標 2008 年版総合集計表より

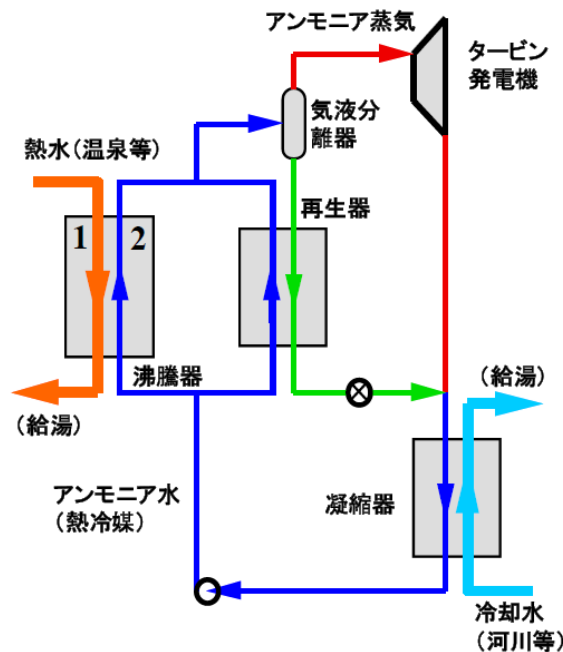
<事例> 地熱技術開発株式会社（発電）

地熱技術開発(株)は、長野県小谷村において温泉熱発電の実証研究を行っている。これは、NEDO の「新エネルギーベンチャー技術革新事業」に採択された「温泉エコジェネシシステムの開発」プロジェクトであり、2007 年度より開始されている。

図表 装置の概念設計

開発仕様項目	空冷式	水冷式
温泉水流量、kg/s	8.104	8.104
温泉水入口温度/出口温度、	85 / 50	85 / 50
冷却媒体温度（年平均）	14	14
入力熱量、kW	1,187.48	1,187.48
出口熱量、kW	1,122.45	1,118.18
発電端電力、kW	60.43	64.44
冷却系統消費電力、kW	10.44	4.79
送電端電力、kW	50.00	59.66
熱効率、%	4.21	5.02
単位温泉水消費量、kg/kW-h	583.5	489.0
単位電力量、watt-h/kg	1.71	2.04

図表 システム概念図



出典：「温泉エコジェネシシステムの開発 中間年報」（2007, NEDO）

<事例> 「滝川ふれ愛の里」(熱利用)

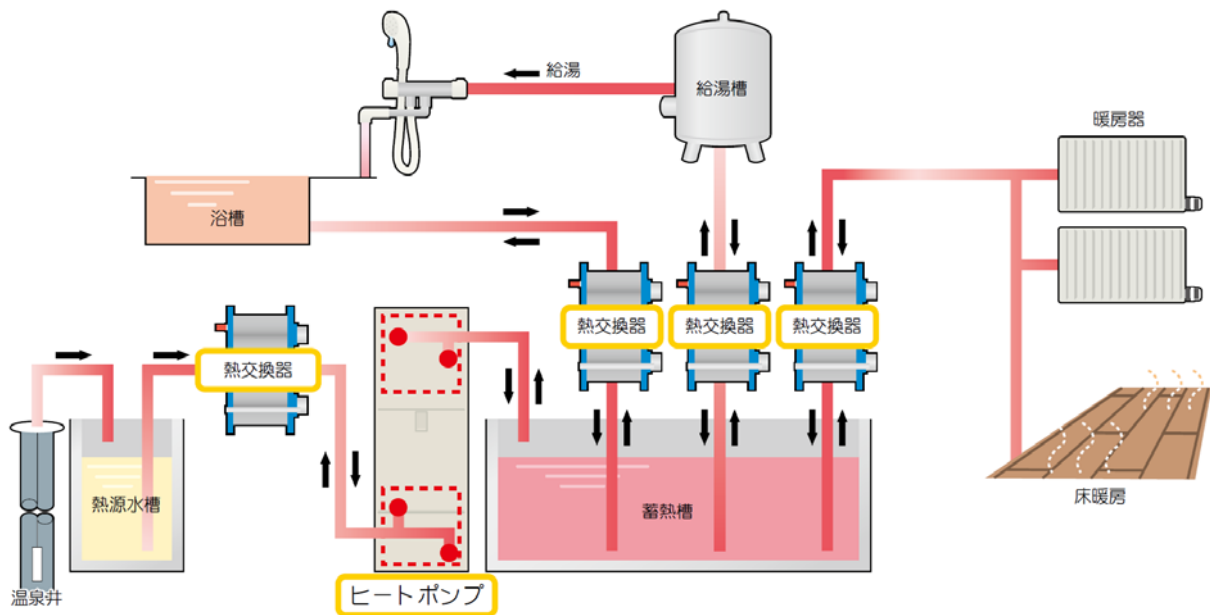
北海道滝川市の天然温泉日帰り入浴施設「滝川ふれ愛の里」では、源泉の温泉熱をヒートポンプで熱回収し、循環ろ過している温泉浴槽の加温に利用すると共に、シャワーや床暖房等の給湯・暖房や、空調用の冷水・温水供給に利用している。

図表 システムの概要

竣工	1997年
延床面積	3,567m <sup>2</sup>
源泉温度	31
温泉湯量	500L/分
主要機器	
冷房・床暖房用水熱源ヒートポンプ	2台
加熱能力	1,005MJ/h
冷却能力	720MJ/h
給湯用水熱源ヒートポンプ	2台
加熱能力	1,005MJ/h
補助熱源機：電気温水器	定格 72kW

出典：「温泉D E ヒーポン！温泉ホテル省エネモデル集」(2008, 経済産業省 北海道経済産業局)  
 および NPO 法人 健康と温泉フォーラム ホームページ  
 ( <http://www.onsen-forum.jp/enterprise/webworkshop/group-saving/saving01.html> )

図表 システム概念図



出典：「温泉D E ヒーポン！温泉ホテル省エネモデル集」(2008, 経済産業省 北海道経済産業局)

### 8.4.5 技術開発動向

発電利用に関して、温泉熱発電における利用を拡大するためには、小型発電システムが必要であり、現在技術開発が行われている。

熱利用に関しては、システムを構成する各要素（ヒートポンプ、熱交換器、貯湯槽等）は成熟技術であるが、温泉熱を吸収する蒸発器等でのスケール<sup>33</sup>対策、アンモニアが循環する系内の腐食対策に加え、普及に向けてはさらなる低コスト化が重要である。

図表 8.45 温泉熱発電・熱利用の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
高効率化	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>タービンの小型化・高効率化</li> <li>低沸点媒体の探求</li> </ul>
	熱交換効率の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>蒸発器におけるスケール付着防止対策</li> </ul>
低コスト化	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>システム設計の最適化</li> <li>施工費の低減</li> </ul>
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>メンテナンスコストの削減</li> <li>熱交換器等の腐食対策</li> <li>遠隔制御</li> </ul>
管理・運用	安全性・防音性の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>密閉式筐体</li> </ul>

#### (1) 温泉熱発電の技術課題

温泉熱発電に利用されるカーリーナサイクルについては、技術的に確立されており、500kW以上のシステムは既に実用化されている。しかし、温泉熱発電の普及には小型の発電システムの開発が必要であり、現在 NEDO の「新エネルギーベンチャー技術革新事業」に採択された「温泉エコジェネシシステムの開発」(地熱技術開発(株))において、50kW 発電システムの開発が行われているところである<sup>34</sup>。主な開発要素は、以下の通りである。

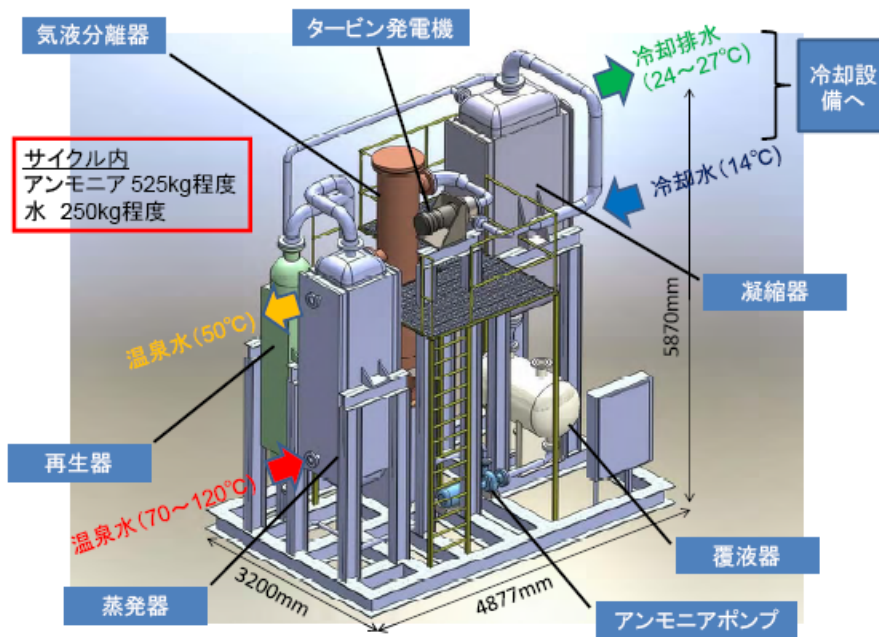
- 50kW 超小型タービン発電機（高効率・低コスト）
- 温泉沈殿物の発生しにくい熱交換器
- 密閉式筐体（安全性・防音性の向上）
- 遠隔制御（取り扱い易さ）

発電効率の向上には、小型タービン発電機の高効率化の他、蒸発器におけるスケールの付着防止対策が重要となる。

<sup>33</sup> 温泉中に溶け込んでいる成分が沈殿・付着した物であり、ポンプや配管、貯湯槽、熱交換器等への付着物。

<sup>34</sup> 「新エネルギー技術研究開発 / 新エネルギーベンチャー技術革新事業（風力発電その他未利用エネルギー） / 温泉エコジェネシシステムの開発 平成 19 年度分中間年報」（2007, NEDO）

図表 8.46 50kW 級温泉発電装置



温泉発電装置の外観

出典：「カーリーナサイクル方式を用いた地熱・温泉発電の原理」(2009, 地熱技術開発(株))

## (2) 温泉熱利用の技術課題

熱利用システムを構成する各要素(ヒートポンプ、熱交換器、貯湯槽等)は成熟技術であり、温泉熱利用への実用化も進んでいるため、技術開発の必要性は小さい。ただし、温泉水・温泉排水をエネルギー源として利用する場合には、スケール対策が必要となる。温泉水の中に含まれる重炭酸カルシウム ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) はスケール発生の主要な要因とされているため、カルシウム硬度や鉄が多い温泉水質の場合には特に留意する必要がある。産業技術総合研究所では、温度・圧力・ $\text{CO}_2$  分圧・pH・電極等に対する溶解度の基礎的な研究を行っており、この問題の解決を目指している。

普及には低コスト化が重要であるが、温泉熱利用のイニシャルコストは個々の事例により大きく異なる。既存のボイラ、貯湯槽等を活用した場合はイニシャルコストが抑えられ、比較的短期にコスト回収が可能となるが、新たな配管の敷設や設備の導入がかさむとコスト回収が困難な場合もある。個々の導入場所毎に、既存設備の活用も含めて、最も費用対効果の高いシステムの設計が重要である。

## 8.5 雪氷熱利用

### 8.5.1 技術の俯瞰

雪氷熱利用技術は、冬期の積雪や、冷たい外気によって凍結した氷等を夏期まで保存し、農作物の低温貯蔵や施設の冷房等の冷熱源として利用するものである。北海道、東北地方の一部においては、古くから雪室・氷室として農作物の貯蔵に利用されてきた技術である。

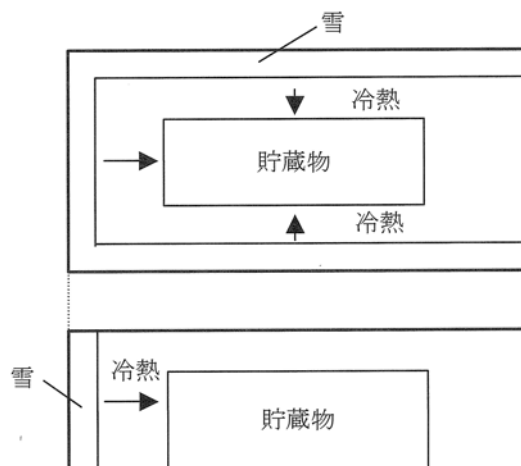
1トンの雪は約 100kWh の冷熱エネルギーに相当する<sup>35</sup>。また、低温・高湿度の環境を安価にかつ比較的容易に作り出すことができる他、作物等の鮮度保持・糖度増加、建物内の除塵等の効果を有する。豪雪地域の地方自治体を中心に、雪氷熱利用システムの導入事例は増加しており、2002年の新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の政令改正では、雪氷熱利用が新エネルギーの項目に追加された<sup>36</sup>。

雪氷熱利用システムは、主に以下の4つに分類される。

#### (1) 雪室・氷室

倉庫に蓄えられた雪や氷の冷熱を、特別な機器を用いずに自然対流させるシステム。農作物の貯蔵等に用いられている。

図表 8.47 雪室・氷室の構造例



出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」(2002, NEDO)

#### (2) 雪冷房・冷蔵システム

倉庫等に蓄えられた雪の冷熱を、直接若しくは熱交換して強制循環させ、温度コントロールを可能とする冷房・冷蔵システム。大規模な米の低温貯蔵施設や公共施設、ビル等の冷房に使用されている。また、冷凍機の運転効率を高める冷熱源としても活用されている。

雪冷房・冷蔵システムの熱交換の方法には、大別して以下の2種類の方式がある。

<sup>35</sup> 室蘭工業大学 媚山教授の試算値(雪1トンの原油換算量 9.695L/t)を元に試算。

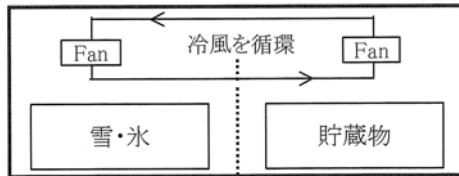
<sup>36</sup> 「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)



### 1) 直接熱交換冷風循環方式（全空気循環方式）

送風機を用いて、冷熱を供給する貯雪氷装置と冷房・冷蔵対象である貯蔵物のある貯蔵庫等との間でファンを用いて冷風を循環させる方式。

図表 8.48 直接熱交換冷風循環方式

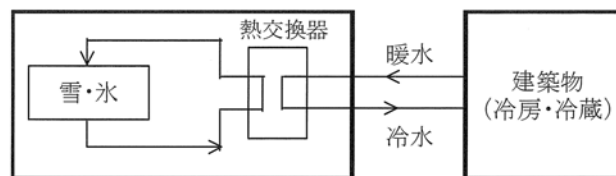


出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」(2002, NEDO)

### 2) 熱交換冷水循環方式（冷水循環方式）

融解水または雪で冷やされた不凍液をポンプで循環し、熱交換器を介して冷房・冷蔵機器の熱媒（不凍液など）を冷却する。本方式では、熱交換器から戻ってきた水を、雪氷を融かすため散水する場合が多い。

図表 8.49 熱交換冷水循環方式



出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」(2002, NEDO)

### (3) アイスシェルターシステム

冬期に外気を取り入れて内部の水槽を凍結させ、夏期にその冷熱を冷房や冷蔵に利用するシステム。水と氷が共存する状態にして空気を通すと空間が常に 0℃、高湿度に保たれる現象を利用して、農水産物の通年貯蔵、建物の除湿・換気冷房を行う。

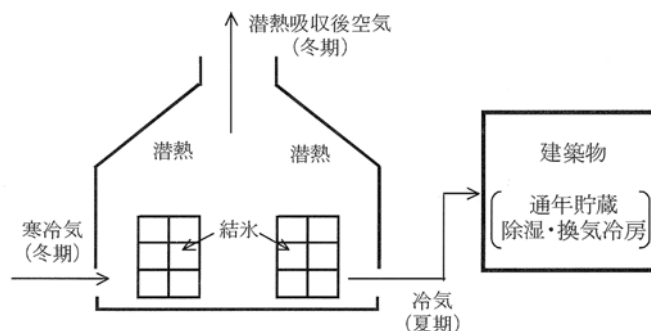
アイスシェルター内では、

初冬～冬期～初春：凍結を開始し氷を蓄積、農産物等の凍結を防ぐ

初春～夏期～初冬：氷を融解し、空間温度を下げる

というサイクルを繰り返すことにより、夏期も冬期も 0℃ の環境を作り出す。

図表 8.50 アイスシェルターシステム

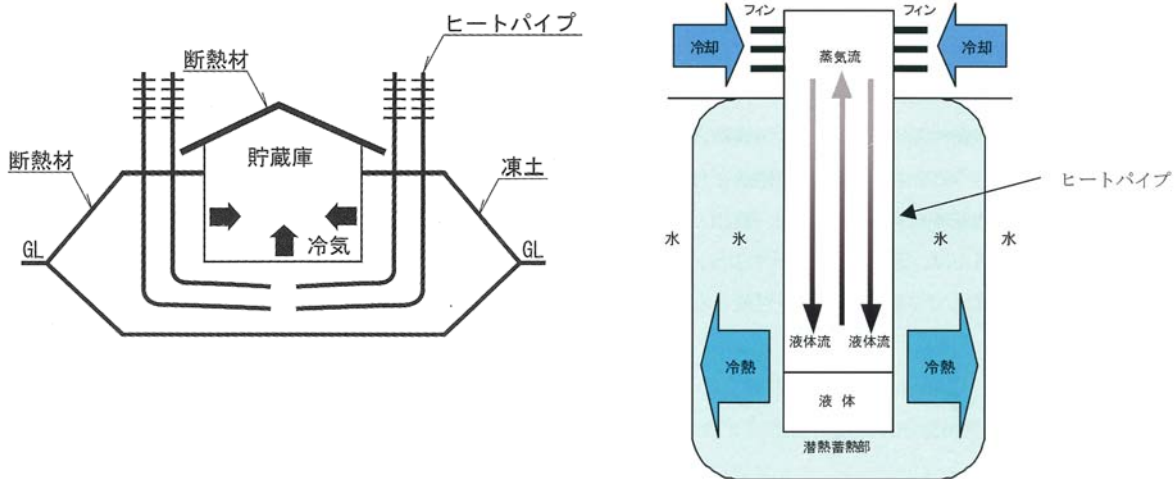


出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」(2002, NEDO)

#### (4)人工凍土システム（ヒートパイプ）

ヒートパイプ<sup>37</sup>により外気の冷熱を移動させ、土壌を凍らせて人工凍土を生成し、農産物等の長期低温貯蔵に用いるシステム。また、土壌の代わりに蓄熱槽、水槽等を凍らせ、建物の冷房熱源に用いるシステム（冬氷システム）も導入されている。設置可能な地域は、積算寒度<sup>38</sup>が200・日以上地域（北海道、東北、信州等）に限られる。

図表 8.51 人工凍土システム（左）、ヒートパイプの原理（右）



出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」（2002, NEDO）

<sup>37</sup> 熱伝導性の高い材質を用いたパイプ中に、揮発性の液体（作動液）を封入したもの。パイプ両端の温度差を利用し、作動液体の蒸発と凝縮のサイクルを発生させ熱を輸送するシステム。

<sup>38</sup> 年間の氷点下の日平均気温を加算した指標。

### 8.5.2 ポテンシャル

図表 8.52、図表 8.53 に雪氷熱利用のポテンシャル試算例を示す。日本におけるポテンシャルは、施設ベースで原油換算約 159 万 kL、貯雪量ベースで原油換算約 50 万 kL との試算されている。

図表 8.52 雪氷熱利用の物理的ポテンシャル（施設ベース）

導入施設	雪使用量の積算内訳	物理的限界潜在量 (原油換算 <sup>39</sup> )	
農業施設 (豪雪、特別豪雪地域における、農業倉庫、畜産施設の 100%に導入)	米作倉庫： 2,255 件 × 貯蔵量 600t/件 × 雪量 0.5t/t 米 = 67.7 万 t	0.7 万 kL	27.7 万 kL
	畑作倉庫： 2,671 件 × 貯蔵量 300t/件 × 雪量 1.4t/t 作物 = 112.2 万 t	1.1 万 kL	
	畜産施設： 66,894 戸 × 冷房面積 1,000m <sup>2</sup> /戸 × 雪量 0.4t/m <sup>2</sup> = 2,675.7 万 t	25.9 万 kL	
公共施設 (豪雪、特別豪雪地域における、公民館、公共図書館、老人福祉施設、病院、小中学校、幼稚園の 100%に導入)	公民館：2,863 件、 公共図書館：393 件、 老人福祉施設：3,443 件、 病院：1,544 件 合計：8,243 件 × 冷房面積 500m <sup>2</sup> /件 × 雪量 0.4 t/m <sup>2</sup> = 165 万 t	1.7 万 kL	8.8 万 kL
	小中学校： 8,768 校 × 冷房面積 2,000m <sup>2</sup> /校 × 雪量 0.4 t/m <sup>2</sup> = 701.4 万 t	6.8 万 kL	
	幼稚園： 2,382 校 × 冷房面積 300m <sup>2</sup> /校 × 雪量 0.4 t/m <sup>2</sup> = 28.6 万 t	0.3 万 kL	
住宅 (豪雪、特別豪雪における、一戸建住宅の 50% (都心部は用地等に制限を受けるものとして、対象数は 1/2 を見込む)、共同住宅(低層、5 階建て)の 100%に導入)	一戸建： 415 万戸 × 0.5 × 冷房面積 50m <sup>2</sup> /戸 × 雪量 0.4t/m <sup>2</sup> = 4,100 万 t	39.8 万 kL	71.4 万 kL
	共同住宅： 204 万戸 × 冷房面積 40m <sup>2</sup> /戸 × 雪量 0.4 t/m <sup>2</sup> = 3,264 万 t	31.6 万 kL	
産業施設 (豪雪、特別豪雪における、製造工場(事務所、工場)、スーパーマーケットの 100%に導入)	事務所： 103,230 件 × 冷房面積 250m <sup>2</sup> /件 × 雪量 0.4 t/m <sup>2</sup> = 1,032.3 万 t	10.0 万 kL	51.3 万 kL
	工場： 103,230 件 × 冷房面積 1,000m <sup>2</sup> /件 × 雪量 0.4 t/m <sup>2</sup> = 4,129.2 万 t	40.03 万 kL	
	スーパーマーケット： 3,469 件 × 冷房面積 1,000m <sup>2</sup> /件 × 雪量 0.4,t/m <sup>2</sup> = 138.7 万 t	1.3 万 kL	
合計			約 159 万 kL

出典：総合資源エネルギー調査会 第 2 回新エネルギー部会 資料 6「雪氷冷熱エネルギーについて」  
(2001, 室蘭工業大学 媚山)

<sup>39</sup> 雪 1t の原油換算量を 9.695L/t として試算している (室蘭工業大学 媚山教授)。

図表 8.53 雪氷熱利用のポテンシャル（貯雪量ベース）

美唄市の 11 年度想定雪堆積場搬入量の試算			
雪堆積場当たり堆積量 (札幌市 H11 実績) (a)	雪密度 (b)	美唄市・雪堆積 占用面積 (c)	美唄市の想定雪 堆積場搬入量 (d)=(a) × (b) × (c)
18,763 千 m <sup>3</sup> (札幌市・実績雪搬入量) / 1,936 千 m <sup>2</sup> (札幌市・雪堆積占用面積) = 9.7m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.6 t/m <sup>3</sup>	18,760 m <sup>2</sup>	109,112 t
豪雪地帯における平均雪堆積場搬入量の試算			
美唄市面積 (e)	美唄市全体面積に 対する雪搬入量 (f)=(d)/(e)	美唄市に対する豪雪地帯 の平均人口の割合 (g)	豪雪地帯における平均雪 堆積場搬入量 (h)=(f) × (g)
277km <sup>2</sup>	394 t/km <sup>2</sup>	21.3 千人(豪雪地帯 1 市町 村当たり平均人口) / 31.3 千人(美唄市人口) = 68%	268.1 t/km <sup>2</sup>
全国の利用可能雪堆積量（利用可能潜在量）			
豪雪地帯面積 (i)	豪雪地帯の雪搬入量 (j)=(h) × (i)	原油換算係数 (k)	利用可能潜在量 (原油換算) (j) × (k)
191,989km <sup>2</sup>	約 5,100 万 t	9.695L/t 雪	約 50 万 kL

札幌市内の雪堆積実績（H11 年度）による雪堆積場当たりの堆積量から、雪氷熱利用の先進地域である美唄市をモデルとして豪雪地帯面積当たり雪堆積量を算定し、全国における利用可能堆積量を試算。

出典：総合資源エネルギー調査会 第 2 回新エネルギー部会 資料 6「雪氷冷熱エネルギーについて」  
(2001, 室蘭工業大学 眉山)

### 8.5.3 導入目標量例

日本では、「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針」(2002年12月改訂、資源エネルギー庁)の新エネルギー導入目標のうち、未利用エネルギー(雪氷熱利用、工場等排熱利用、および温度差熱利用)として、2010年度までに原油換算58万kLの導入目標が掲げられている。これは現行の地球温暖化対策推進大綱の目標になっている。

しかしながら導入は遅れており、「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005年3月、総合資源エネルギー調査会 需給部会)では、未利用エネルギー(雪氷冷熱を含む)の2010年度の導入見通しは、原油換算5万kLとなっている。

図表 8.54 未利用エネルギーの供給目標

エネルギー種	2010年度	
	地球温暖化対策推進 大綱目標 <sup>1</sup>	2030年のエネルギー 需給展望 <sup>2</sup>
雪氷熱利用	58万kL*	5万kL*
工場等排熱利用		
温度差熱利用		

\*当該エネルギーの導入量を原油の数値に換算

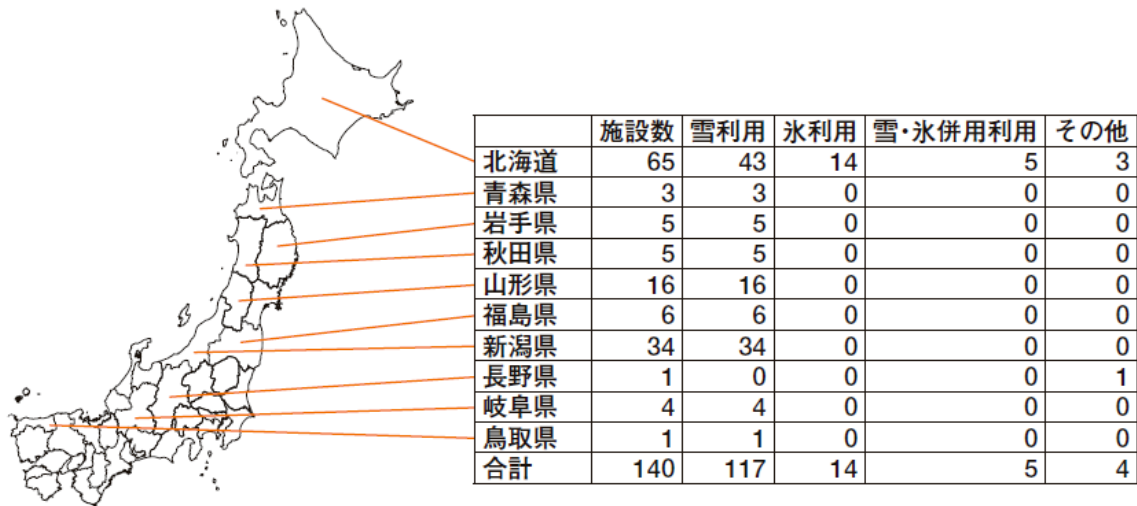
出典1:「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

出典2:「2030年のエネルギー需給展望」(2005, 総合資源エネルギー調査会 需給部会)

### 8.5.4 導入実績

現在日本では、123 の施設において雪氷熱エネルギーが利用されている（2008 年、北海道経済産業局調べ）。都道府県別に見ると、北海道の導入数が最も多く、全体の約半分近くを占めている。次いで新潟、山形県の導入数が多い。

図表 8.55 全国の雪氷熱利用施設の導入状況（2010 年 6 月現在）



出典：「雪氷熱エネルギー活用事例集 4（増補版）」（2010，北海道経済産業局）

図表 8.56 雪氷熱エネルギー導入事例

設	種類	トン数	自然対流	冷風循環	冷水循環	設置年	設	種類	トン数	自然対流	冷風循環	冷水循環	設置年
(ス ス) 設							ム						
設( )							設						
ン ( 設:							集 冷 設						
ム 風													
							流 設						
式 ン							湯 ( 冷熱用 設 ム)						
設 房													
冷房 設													
コ テ ム 設							エコ環						
ンシン エス ス							類等 設						
設 ア ス													
流 設							(工 ) 用 設						
ア スシ							( )						
							式 ( スン )						
							設						

8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

設	種類	トン数	自然対流	冷風循環	冷水循環	設置年	設	種類	トン数	自然対流	冷風循環	冷水循環	設置年
							年						
							( シ ス ム )						
ア ス							設						
冷房 設							環						
ン													
式 設													
用 設													
ア テ エ							設						
ス							ン						
エ	槽用冷熱 給システム						水 集 設						
							冷						
コ	コンテ 式 ( )												
コ	ア 用						設						
	冷房 設												
	熱 用 設												
							エ						
	ア ス シ ム												
	自然エ ア ス シ												
	冷房 設												
							集 設						
風													
水	自然エ 用 設 ( )						冷房 設 ス						
							房						
							流 設 ( )						
							ス ン 設						
							流 等						
	システム	凍											
	ス ア ス シ												
	ア ス シ						用 設						
	用凍	凍											
	熱 用												
	冷エ 用システム	凍					集 設						
	自然 用 設						設						
							湯 設						
	冷熱エ 設												
							ア ス	蓄熱					
	用 設						冷房システム						
	ン						( 冷房システム )						
	ン												

出典：「雪氷熱エネルギー活用事例集 4」(2008, 北海道経済産業局)

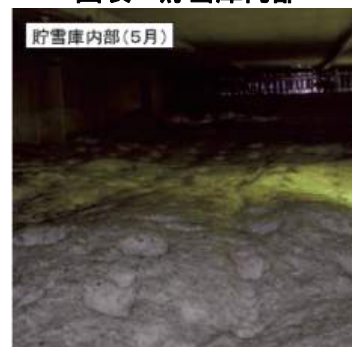
**<事例> 米穀低温貯留乾燥調整施設「スノークールライスファクトリー」(沼田町)**

沼田町米穀低温貯留乾燥調整施設(通称:スノークールライスファクトリー)は、国内初の利雪型米貯蔵施設で、1996年に運用が開始された。システムには直接熱交換冷風循環方式を採用している。

2~3月に貯雪庫に蓄えた雪の冷熱を利用し、空調混合機により貯蔵庫を適正環境(平均温度5℃、湿度70%)に保ち、貯留ビンに貯蔵された2,500トンの米を出荷する夏期まで低温貯蔵する。本施設で乾燥調製後籾摺りされた米は「ぬまた雪中米」として道内外に出荷されている。

**図表 施設概要**

完成年度	1996年度
貯蔵量	雪 1,500t
貯雪槽容量	3,696m <sup>3</sup>
熱交換方式	直接熱交換冷風循環方式

**図表 施設概観****図表 送風機****図表 貯雪庫内部**

出典：NEDO ホームページ、「雪氷熱エネルギー活用事例集4」(2008, 北海道経済産業局)



**<事例> 旭川豊岡センタービル(旭川市)**

旧旭川東郵便局庁舎を改修し、一般駐車場として利用が難しい地下駐車場の地下空間を雪氷庫として活用、雪氷エネルギーを利用した冷房設備を設置した。既設建物の再利用により低コスト化を図っている。地下雪氷庫への給雪方法として国内では実施例のないシューターを利用して、滑りを良くするための散水装置を設置し、地上から地下に向け雪を滑らして給雪を実施している。

システムには融雪水を貯水槽に貯め、ポンプアップして熱交換器を通じて循環させる熱交換冷水循環方式を採用している。テナント(レストラン・事務所等)に、23℃から25℃の冷風を供給している。

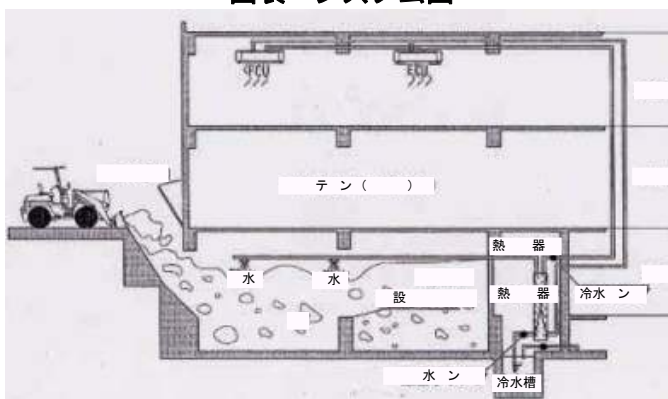
**図表 施設概要**

完成年度	2004年度
貯蔵量	雪 390t
冷熱供給面積	750m <sup>2</sup>
熱交換方式	熱交換冷水循環方式

**図表 施設概観**



**図表 システム図**



**図表 搬入口**



出典：NEDO ホームページ、「雪氷熱エネルギー活用事例集4」(2008, 北海道経済産業局)

**<事例> コミュニティホーム美唄（美唄市）**

敷地内の雪を貯雪庫に蓄え、国内で初めて直接熱交換冷風循環方式および熱交換冷水循環方式を併用するシステムを取り入れた。貯雪庫からの冷風を戻り空気と混合させ送風温度を 17 に調整し、デイルーム等を冷房している。

貯雪庫を別棟で建てるとコストがかさむため、建物の一部に組み込むよう設計することでコストを縮減している。また、雪冷房には臭気除去、脱塵、有害物質（ホルムアルデヒド等）の除去等の効果があり、利用者に喜ばれている。

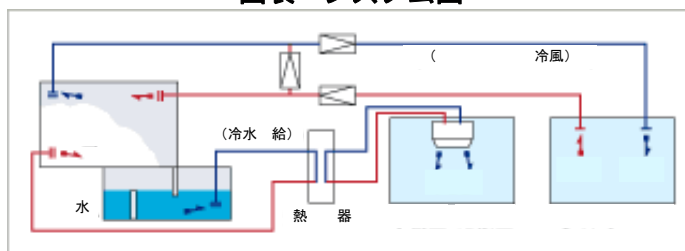
**図表 施設概要**

完成年度	1999 年度
貯蔵量	雪 300t
冷熱供給面積	全空気方式：348 m <sup>2</sup> 冷水循環方式：144 m <sup>2</sup>
熱交換方式	直接熱交換冷風循環方式 熱交換冷水循環方式

**図表 施設概観**



**図表 システム図**



VAV：可変風量空調システム FCU：ファンコイルユニット  
RA：還気口 SA：給気口

**図表 貯雪庫**



出典：NEDO ホームページ、「雪氷熱エネルギー活用事例集 4」（2008, 北海道経済産業局）  
新エネルギー財団ホームページ

### 8.5.5 技術開発動向

雪氷熱利用システムを構成する個々の空調関連機器については、成熟した技術であり普及のボトルネックとなる大きな課題は残されていないが、貯雪庫のさらなる断熱性能の向上や熱交換効率の向上等に技術課題が残されている。導入普及にあたっての最大の課題は低コスト化であり、初期投資の抑制が鍵となる。

図表 8.57 雪氷熱利用の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
低コスト化	設備費・施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 既存建物の転用</li> <li>• 建物と貯雪庫の一体化</li> </ul>
	収集費・輸送費の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地産地消</li> <li>• 人工降雪機の活用</li> </ul>
	冷熱回収コストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>• システムの大規模化</li> </ul>
高効率化	熱貯蔵効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 貯蔵設備の断熱性能の向上</li> <li>• 貯蔵設備構造の工夫</li> </ul>
	熱交換効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 熱交換器の高効率化</li> </ul>

#### (1) 低コスト化に係る技術課題

雪氷熱利用の低コスト化に係る技術課題は、「設備費の削減」、「輸送費の削減」、「冷熱回収コストの削減」等が挙げられる。

##### 1) 設備費・施工費の削減

雪氷熱利用システムのコストは、事例ごとに異なるが、一般的にランニングコストが低く抑えられる一方、イニシャルコスト（特に貯雪庫整備）が大きく、普及のボトルネックとなっている。イニシャルコストは電気冷房の2倍程度、ランニングコストは電気冷房の4分の1程度、総コストは電気冷房の1割～5割程度割高となる<sup>40</sup>。

初期投資の削減策として既存建物の空きスペースの貯雪庫への転用が提案されており<sup>41</sup>、代表的な実施事例として旭川豊岡センタービルが挙げられる（P471 参照）。また、新築建物の場合、貯雪庫を建物本体と別建てにせず、建物内部に組み入れることで施工費を削減する方策も考えられるが、削減幅には限界がある。

##### 2) 収集費・輸送費の削減

雪氷熱利用のコスト削減課題の一つとして、雪の収集コスト・輸送コストの削減が挙げられる。供給地と需要地が離れている場合は輸送コストがかかるため、雪氷熱エネルギーの利用は地産地消が基本であり、雪を取得可能な地域内で利活用せざるを得ないのが実情である。

<sup>40</sup> 第7回総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料

<sup>41</sup> 長田・濱田ら「空間改修型雪氷庫システムに関する研究」(2008、日本冷凍空調学会論文集 Vol.25)

この課題に対し、降雪量の少ない寒冷地における雪氷熱利用促進方策の一つとして、人工降雪機を導入した冷熱供給システムが提案されている<sup>42</sup>。人工降雪機の雪製造コストが安いこと、安定的な雪供給を実現できる等のメリットに着目したものであり、システム成績係数（＝生成された雪の保有冷熱／電力消費量）10.3～30.9（製雪能力により異なる）が確認されている。

### 3) 冷熱回収コストの削減

雪氷熱利用は一般的に大規模システムがコスト回収に有利とされている。大規模システムの代表的な導入事例としては、北海道沼田町や美唄市における大規模米穀貯蔵施設等が挙げられる。また、国土交通省東京航空局により、新千歳空港における大規模雪冷房システムの導入が検討されており、2010年以降の運用開始が予定されている<sup>43</sup>。

新千歳空港では冬期にプロピレングリコールを主成分とする防除雪氷剤・融雪剤を含んだ大量の雪が発生する。この雪が春先に雪解け水として河川に流れ込むと、BOD<sup>44</sup>が上昇し環境汚染を引き起こすため、現在は雪解け水を空港内の調整池に貯え、排出量をコントロールすることで河川への影響を低減している。しかし、調整池の容量には限りがあるため、融雪剤を含む雪氷を雪山として夏期まで蓄蔵することで融解を遅らせ、BODの低減を図るとともに、その雪氷熱を空港ターミナルビルの冷房に利用し、CO<sub>2</sub>排出量の削減を図ることを目的とした「クールプロジェクト」が提案された。大量に発生する除排雪の処理対策の一環となるとともに、冷熱を必要とするターミナルが隣接していること、大規模な雪山を造成するスペースがあること等から、雪氷熱利用の導入メリットの大きい事例と考えられる。これまでに遮熱シート実験、BOD低減実験、実システムサイズでの実験が実施されており、2010年度以降の運用に向けて諸設備の設計・整備が行われている。

## (2) 高効率化

雪氷熱利用の高効率化に係る技術課題は、「熱貯蔵効率の向上」、「熱交換効率の向上」等が挙げられる。特に熱交換効率の向上が課題であり、個々のシステム設計・規模に合わせた適切な冷熱回収システムを設計する必要がある。

### 1) 熱貯蔵効率の向上

雪氷熱を夏期に利用するためには、断熱材の利用、貯蔵庫構造の改善等により貯雪庫や貯蔵庫の断熱性を高める必要がある。ただし現状の技術でも一定レベルの貯蔵が可能であることから、この技術が雪氷熱利用促進のボトルネックとなることはない。

沼田町における雪山の実験<sup>45</sup>では、断熱材として雪山の表面をバーク材、籾殻、麦わら等で覆った場合、9月上旬でも高さ方向で1.5mの融雪のみにとどまっており、高い断熱効果が確認されている。

<sup>42</sup> 長田・濱田ら「人工降雪機を導入した冷熱供給システムの実験と解析」(2009, 寒地技術論文・報告集 Vol.25)

<sup>43</sup> 「雪を利用したBOD低減とCO<sub>2</sub>削減 新千歳空港クールプロジェクト」(国土交通省東京航空局資料)

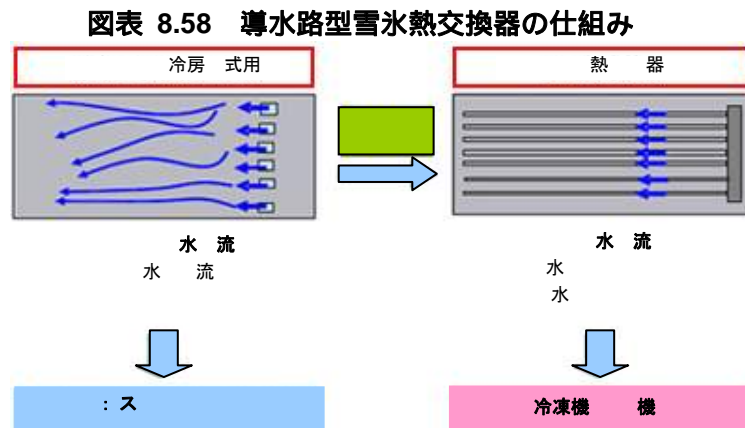
<sup>44</sup> 生物化学的酸素要求量 (Biochemical Oxygen Demand : BOD)。最も一般的な水質指標の一つ。一般に、BODの値が大きいほど水質が悪いとされる。

<sup>45</sup> 室蘭工業大学 媚山助教授らによる実験。

## 2) 熱交換効率の向上

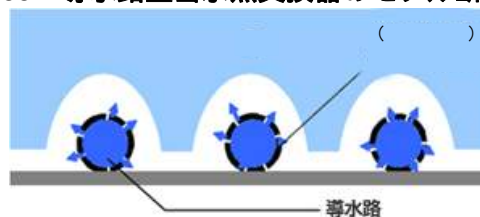
雪の融解冷水で循環冷水を冷やす方式の場合、スノーブリッジ現象<sup>46</sup>等により、雪と循環冷水の接触面積が確保されないため、安定して融解冷水を供給できない場合がある。この問題の解決策として、導水路型雪氷熱交換器等の高効率熱交換方式が提案されている<sup>47</sup>。

適切な冷熱回収方法は、システムの種類や貯雪庫のサイズ等により異なるため、個々のシステムに合わせた工夫が必要とされる。



出典：新菱冷熱工業株式会社ホームページ（<http://www.shinryo.com/>）

**図表 8.59 導水路型雪氷熱交換器のモデル断面図**



出典：新菱冷熱工業株式会社ホームページ（<http://www.shinryo.com/>）

<sup>46</sup> 貯めた雪の底部の外辺部分に給水すると不均一な水の流れとなり、循環冷水は一度できたその水路をずっと流れるため、そこに雪の空洞ができ、雪と循環冷水の接触面積が確保できなくなる現象。空洞が大きくなると雪の崩落事故にもつながる可能性がある。（新菱冷熱工業株式会社ホームページより引用・抜粋）

<sup>47</sup> 長田・濱田ら「導水路型雪氷熱交換器による冷熱供給システムの開発」（2008, 寒地技術論文・報告集 Vol.24）

## 8.6 海流・潮流発電

### 8.6.1 技術の俯瞰

海流・潮流発電は、海水の運動エネルギーを利用し、一般的には水車により回転エネルギーに変換させて発電する方式である。1970年代から技術開発が行われてきたが、これまではフィージビリティスタディや小規模の実験段階に留まっていた。しかし近年、地球温暖化問題への対策の必要性から、安定的な再生可能エネルギーとして注目されるようになってきている。

#### (1) 海流と潮流

##### 1) 海流発電

海流は太陽熱と偏西風等の風により生じる大洋の大循環流であり、地球の自転と地形によりほぼ一定の方向に流れている。流速や流量、および流路は季節等により多少変化はあるが大きくは変わらず、幅 100km、水深数百 m 程度と大規模であり、安定した発電量を得ることが可能である。しかし、流れの強い地点は陸地から数 km 以上離れており、大水深であるため装置の設置や管理が難しいこと、送電距離が長くなること等により、これまであまり開発は行われてこなかった。

##### 2) 潮流発電

潮流は月と太陽の引力で生じる周期的な変動である潮汐によって起こる流れであり、潮の干満によって規則的に流れるため、発電に利用する場合には予測が可能であり信頼性の高いエネルギー源となる。流速に対する地形の影響が大きく、海峡や水道等流路の幅が狭い地点では流速が速くなる。潮流発電に利用できる地点は海流発電と異なり陸地の近くであるため、その点において開発はより容易である。

#### (2) エネルギー変換

海流・潮流発電システムにおけるエネルギー変換装置には一般的に水車が用いられ、海水の流れる運動エネルギーをタービンの回転を介して電気エネルギーに変換する。タービンは風力発電と同様に、回転軸の方向によって「水平軸型」と「垂直軸型」に分けられる。また、回転ではなく振動により機械的エネルギーに変換する、「振動水中翼型」を用いる方式もある。

##### 1) 水平軸型タービン

海水の流れに対して水平な回転軸に取り付けた、通常は 2 枚もしくは 3 枚の羽根（ブレード）が、海流・潮流の持つ運動エネルギーから生じた揚力により回転して、機械的エネルギーとなり更に発電機で電気エネルギーに変換される。最も代表的な方式はプロペラ式であり、多くのプロジェクトで採用されている。

##### 2) 垂直軸型タービン

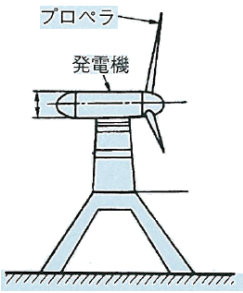
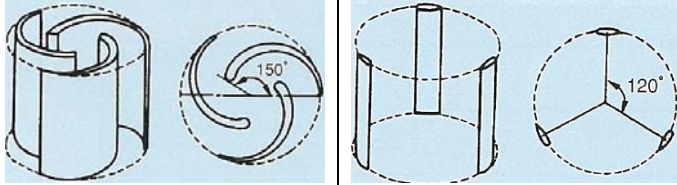
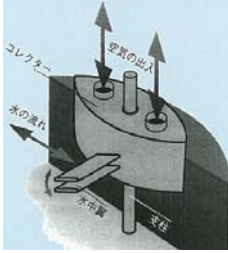
回転軸が海水の流れに対して垂直であるタービンで、ダリウス式やサボニウス式が代表的で

ある。流れの方向に対する依存性が少なく、一般的にブレードの製造がプロペラ式に比べて容易である等の利点を有する。

### 3) 振動水中翼型

飛行機のヨーイング（左右の揺れ）をコントロールする動きのように、海水の流れにより水中翼の角度が変わり、揚力と抗力が生じて装置に振動を引き起こす。この振動による機械的エネルギーを発電に利用する方式である。

図表 8.60 海流・潮流発電システムの分類

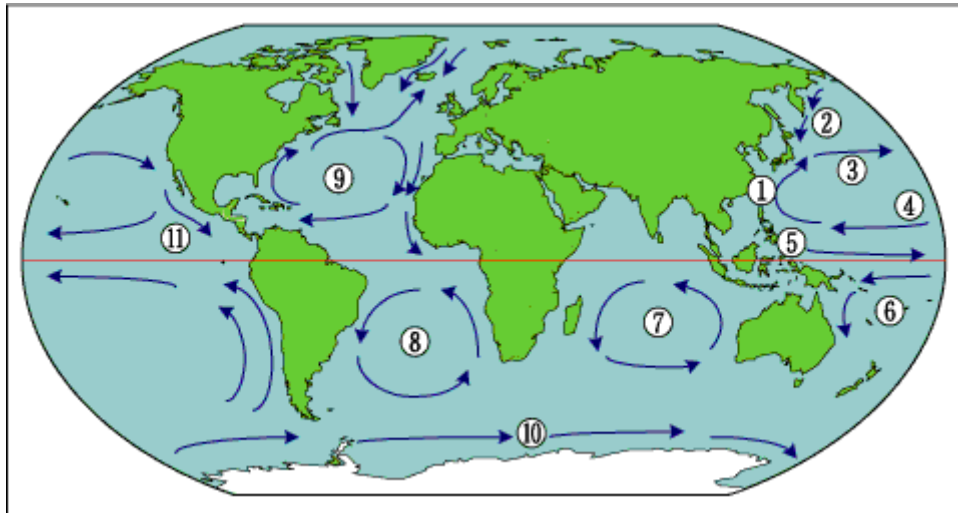
 <p>プロペラ 発電機</p> <p>(1) 水平軸型タービン</p>	 <p>(a) サボニウス式 (b) ダリウス式</p> <p>(2) 垂直軸型タービン</p>		 <p>コレクター 空気の入 空気の出 水の流 水中翼 支柱</p> <p>(3) 振動水中翼</p>
---	--	--	--

出典：「21世紀の海洋エネルギー開発技術」（2006、（社）日本海洋開発建設協会）

### 8.6.2 ポテンシャル

世界の海流の代表的なものは黒潮、メキシコ湾流（北大西洋海流）、南インド海流等であり、これらは特に流速が速く流量が多い。日本周辺には黒潮が流れているため、海流エネルギーのポテンシャルは大きい。安定した海流エネルギーが得られる地点としては、八重山諸島、トカラ列島、足摺岬沖、八丈島沖等が挙げられる。

図表 8.61 世界の主な海流



黒潮 親潮 北太平洋海流 北赤道海流 赤道反流 南赤道海流  
 南インド海流 南大西洋海流 北大西洋海流 南極海流 カリフォルニア海流

出典：気象庁ホームページ（<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/kaikyo/knowledge/kairyu.html>）

また潮流については、沿岸部の海峡や水道等、潮流の大きくなる水域のポテンシャルが大きいと考えられる。日本では瀬戸内海、九州西岸、五島列島、および津軽海峡等が挙げられる。

IEA-OES<sup>48</sup>の資料によると、世界の潮流エネルギーの理論的な年間の資源量は、800TWhと試算されている。

図表 8.62 世界の潮流エネルギー資源量

潮流エネルギー	800TWh/年
---------	----------

出典：“Annual Report 2007”（2007, IEA-OES）

<sup>48</sup> IEA（国際エネルギー機関）内の「海洋エネルギーシステムに係る実施協定（Implementing Agreement on Ocean Energy Systems）」に基づき発足した組織。



### 8.6.3 導入目標量例

日本においては、海流・潮流発電の導入目標値は掲げられていない。日本の海洋エネルギー資源利用推進機構（OEA-J）が作成した、2050年に向けた海洋エネルギー開発ロードマップにおいて、海流・潮流発電については2020年までに130MW、2030年までに760MW、2050年までに7,600MWの発電規模が想定或いは期待されるとしている。

図表 8.63 日本における海流・潮流発電の導入ロードマップ

	2008年	2010年まで	2020年まで	2030年まで	2050年まで
想定或いは期待される発電量	0 kWh/年	175 万 kWh/年	4 億 kWh/年	20 億 kWh/年	200 億 kWh/年
想定或いは期待される発電規模	0 MW	0.6 MW	130MW	760MW	7,600MW
(参考)		(0.01MW: 30基) (0.1MW: 3基)	(1MW: 100基) (5MW: 6基)	(1MW: 310基) (5MW: 50基) (10MW: 20基)	(1MW: 600基) (5MW: 200基) (10MW: 600基)

前提条件) 稼働率: 30%

出典: 「海洋エネルギー資源フォーラム」資料(2008, 海洋エネルギー資源利用推進機構)

### 8.6.4 導入実績

海流・潮流発電システムは、主に欧米において実証プラントの設置が進んでおり、一部で商用プラントの運転が開始されたところである。

特に英国では波力発電と同様、積極的な取組が行われている。Marine Current Turbines (MCT)社は2003年にプリマスにおいて、直径11mの2翼のプロペラ式タービンを備える発電出力300kWの潮流発電システムを設置、Seaflowと呼ばれる実証プロジェクトを行った。このプロジェクトは現在、SeaGenプロジェクトに引き継がれており、1.2MWの商用プラントが稼働している。同社は更に、RWE npower社と共同で2011～2012年に運用開始予定の10MW潮流発電プロジェクトを進めている。

米国ではニューヨークにおいて、Roosevelt Island Tidal Energy (RITE)プロジェクトと呼ばれる潮流発電プロジェクトがVerdant Power社により実施され、電力供給が開始されている。イーストリバーの水底にパイルを打ち込み、ヨー制御<sup>49</sup>した6基のプロペラ式潮流発電システム(発電出力200kW)が稼働している。現在は2回目の実証段階を終了しており、最終的には10MWに達し8,000世帯分の電力供給を目指している。

アジアでは韓国や台湾において、海流・潮流発電への関心が高まっている。韓国では、2009年に1MWの実証プラントが南西部の珍島郡Uldolmokに竣工されており、このプロジェクトでは2013年までに90MWに拡張する予定である。その他、Hadong、Wando-Heongganなどにおいても潮流発電プロジェクトが計画されている。台湾では、黒潮を利用した海流発電の計画があり、情

<sup>49</sup> 回転面を変動する流れの向きに追尾させる制御。

報収集、研究段階にある。

日本では、1980年代に日本大学が来島海峡において世界で初めて潮流発電に成功し、その後は日本大学や新日本製鐵(株)において研究が行われた他、2002年に海上保安庁が明石海峡に浮灯標電源用の小型の潮流発電システムを設置したが、電力供給用の海流・潮流発電システムの実用化に至るまでの実証研究は実施されていない。現在では、(財)エンジニアリング振興協会によりMW級海流発電システムの実用化に向けた検討が行われているほか、青森県大間崎における潮流発電の構想がある。

なお、欧州では、図表 8.64 に代表される実証試験サイトが整備されており、企業の海洋エネルギー技術開発推進に大きく貢献している。代表的な実証試験サイトは、スコットランドのオークニー諸島に整備されている European Marine Energy Centre (EMEC)<sup>50</sup>である。EMECは、地元スコットランドの組織をはじめ、英国貿易産業省(DTI)を含む複数の公的機関・組織から約500万ポンドの出資を受け、2004年8月に開設された。波力発電および潮流発電の実海域試験を行うことができる。潮流発電については5つのテストバースを備えている。

図表 8.64 欧州の代表的な実証試験サイト

実証試験サイト	概要
EMEC (スコットランド オークニー諸島)	実機スケールの実証試験が可能。送電線も整備(系統非連系)。近くに新たな実証サイトが整備される予定。
Narec <sup>51</sup> (北東イングランド)	深さ1~7メートル、幅6mの潮流発電用テストサイトを備えている。波力発電や洋上風力発電用の実験施設もある。

図表 8.65 EMEC (欧州海洋エネルギーセンター)



出典：EMEC ホームページ (<http://www.emec.org.uk/>)

<sup>50</sup> EMEC (<http://www.emec.org.uk/index.asp>)

<sup>51</sup> Narec (<http://www.narec.co.uk/>)

<事例> SeaGen (潮流発電)

英国の MCT 社は、2008 年より北アイルランドにおいて 1.2MW 潮流発電システムの運転を行っており、SeaGen プロジェクトと呼ばれている。これは世界初の商用規模の系統連系型潮流発電システムであり、発電した電力はアイルランドの ESB Independent 社が購入している。

SeaGen は 1 本の支柱に 2 つの水平軸型タービンをもち、各タービンの出力は 600kW である。発電時にはタービンが水中に没し、メンテナンス時には海上に浮上する昇降機能を備えている。

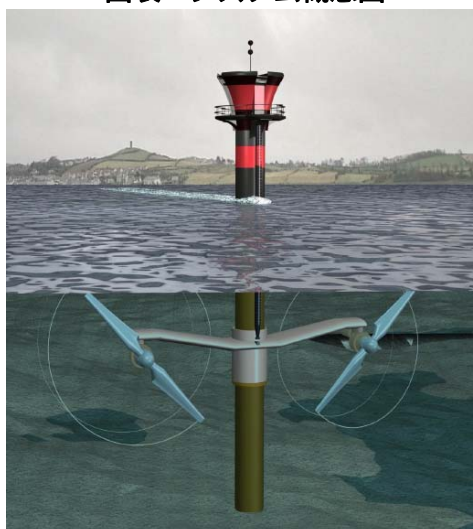
図表 SeaGen の概要

発電出力	1.2MW
タービン直径	16m
タワー高さ	40.7m
流速	2.4m/s

図表 プラント概観



図表 システム概念図



出典：“Oceans of Energy : Marine Renewable Energy Technologies” ( 2010, World Future Energy Summit, (Marine Current Turbines Ltd) )

**<事例> 韓国 Uldolmok 潮流発電プロジェクト**

韓国南西部の珍島と本土の間にある Uldolmok 水道には、2005 年から 2009 年までの 4 年間にかけて 1MW の実証プラントが建設された。これは韓国で最初の潮流発電プラントであり、このプロジェクトは 2013 年までに 90MW に拡張する予定である。

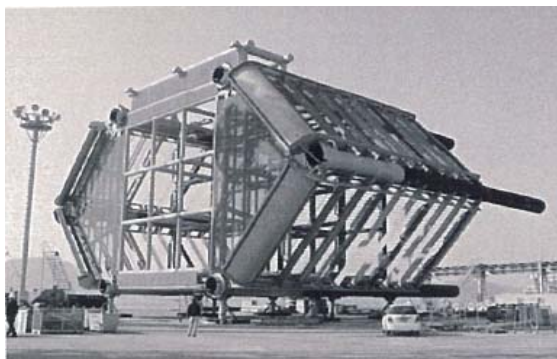
このプラントは、ジャケットフレームの中に、韓国海洋研究所（KORDI：Korea Ocean Research and Development Institute）が研究開発した垂直軸型ヘリカルタービンが設置されている構造となっている。

**図表 プラント概観**



出典：Korea Times ウェブページ（[http://www.koreatimes.co.kr/www/news/biz/2009/05/123\\_44894.html](http://www.koreatimes.co.kr/www/news/biz/2009/05/123_44894.html)）

**図表 ジャケットフレーム**



出典：海洋エネルギー資源フォーラム資料（2008、海洋エネルギー資源利用推進機構）

**図表 ヘリカルタービン**



出典：“Tidal Energy at the Uldolmok Strait, Korea”（2006, Global Coral Reef Alliance）

### 8.6.5 技術開発動向

海流・潮流発電の技術開発は欧米を中心に進められている。欧州では EMEC<sup>52</sup>等で様々な実証試験が行われており、技術レベルは実用化に近い。日本においては 1970 年代中頃から研究開発が進められてきたが、適地が少ないこと、発電コストが高いこと等の理由により、実用化には至っていない。

なお、下記技術課題のうち、波力発電と共通する課題については、適宜、波力発電の項を参照のこと。

図表 8.66 海流・潮流発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術	
発電コストの削減	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電機の高効率化</li> <li>適地の選定（海洋環境の調査・モニタリング、マップ化）</li> <li>ヨー角の最適制御</li> </ul>	
	イニシャルコストの削減	設備費の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>大量生産による量産効果</li> <li>材料の低コスト化</li> <li>係留コストの削減</li> <li>送電線コストの削減</li> </ul>
		施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>低コスト施工技術の確立</li> </ul>
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>メンテナンスコストの削減</li> </ul>	
高耐久化	海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋生物の付着防止（防汚塗料の塗布、音・超音波システム、オゾンガスの海水混合等）</li> <li>塩害・さびの防止（防食塗料の塗布等）</li> <li>漏水防止、密閉技術</li> </ul>	
	機器にかかる負荷の緩和	<ul style="list-style-type: none"> <li>キャビテーションの防止</li> <li>乱流強度、乱流状況の把握</li> </ul>	
管理・運用	出力の平滑化（主に潮流発電）	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー貯蔵（フライホイール、油圧アキュムレータ、圧縮空気タンク、電池、熱エネルギー等）</li> </ul>	
	設備の維持管理・故障の防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>モニタリングシステム、遠隔操作システム</li> <li>海洋環境の予測システム</li> <li>海水中の浮遊物の除去</li> </ul>	
	環境への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験による基礎データの収集</li> </ul>	

<sup>52</sup> European Marine Energy Centre、P480 参照。

### (1) 発電コストの削減

構想段階から実用化の段階へ引き上げていくなかで、低コストの発電システムをいかに構築していくかが大きな技術課題である。

#### 1) 発電効率の向上

海流・潮流発電装置のエネルギー変換効率は20～45%と比較的高いが、発電コストを下げるためには更なる高効率化が必要となる。発電効率を上げるためには、海洋条件（流速）のよい適地を選定することが大前提となるが、海流については黒潮蛇行で知られるように、年ごとに位置が変わる可能性があるため、注意が必要である。高効率化技術としては、海洋条件に恵まれた位置まで移動する係留移動システムや、海流・潮流に対するタービンの向きを調節する最適ヨー角制御システム等が考案されている。

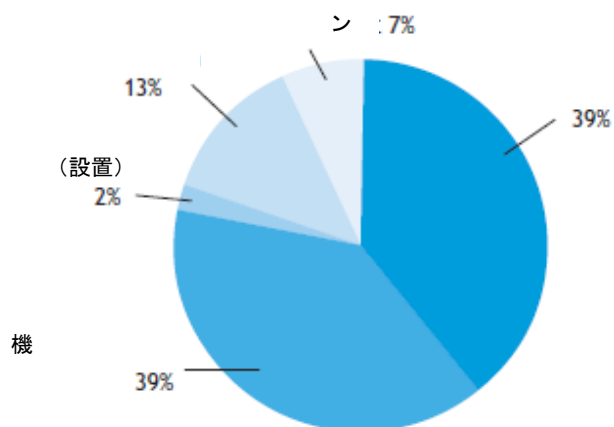
#### 2) インitialコストの削減

潮流発電プラントのインitialコストの構成例を図表 8.67 に示す。なお、設置場所や導入基数、システム方式等により構成比率は異なることに留意が必要である。この例では、構造体に係る費用と機械・電気関係の機器コストが同程度で、それぞれ約4割を占めている。それに次いで系統連系費用が13%を占めている。電力ケーブル費用や送電ロスを考慮すると、離岸距離をいかに縮めるかがコスト削減の重要な要素の一つである。

機器の製造コストやプラント設置費用は習熟効果により低減するため、コスト全体に占める割合は小さくなると予想されるが、設置場所や採用技術によりサイト毎に差があると思われる。また素材価格の変動は、構造体や機器のコストに影響を及ぼすことから、素材の低コスト化、安定した価格の素材の選択も重要である。

(財)エンジニアリング振興協会のMW級海流発電システムの検討において採用されているループウィング社のループ状のタービンは、その独自形状によって軽量・大型化の実現を目指している。

図表 8.67 潮流発電プラントのインitialコスト内訳例



出典：“Future Marine Energy Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy” (2006, Carbon Trust)

### 3) ランニングコストの削減

海流・潮流発電装置の主要部分は水中に没している。MCT ( Marine Current Turbines ) 社の Sea Gen は、水中でのメンテナンス作業をなくすため、タービンを水中から引き出す機能を備えており、メンテナンスコスト削減の工夫が成されている。

#### (2) 高耐久化

高耐久化に関する課題として、機器（特にタービン部分）にかかる外性負荷の緩和が挙げられる。代表的な課題は、キャビテーション ( Cavitation ) の防止である。キャビテーションとは、液体の流れの中で圧力差により短時間に泡の発生と消滅が起きる物理現象のことで、スクリューなどが十分な水を押し出せない空回りに近い状態を生み出すため、無駄なエネルギーが消費されて機器の効率を低下させるのに加え、動翼表面のエロージョン ( 壊食 ) を引き起こすことがある。

キャビテーションを防止するためには、最適なタービン形状の設計が必要である。また、運用時には機器にかかる乱流強度、乱流状況の把握が必要となる。

#### (3) 管理・運用

タービンなどは常に海水中に没した状態で運用することになるため、モニタリング、遠隔操作が重要となる。機器の故障により発電出力の低下および停止が起これば、系統電源への悪影響や、稼働率の低下による発電コストの上昇を引き起こす。従って機器の定常的なモニタリングにより、故障の有無や前兆を把握することが重要であるとともに、機器故障時に安全にシステムを管理するための遠隔操作システムが必要となる。また、海洋条件は気象によって大きく変わるため、気象条件に合わせた最適運転制御システム、海洋状況の予測システムの開発等が必要である。

他の再生可能エネルギーと同様、出力の平滑化は重要な技術課題の一つである。

また、海洋環境を利用することによる生態系等の環境への影響については、今後実用化に向けた実証試験を行っていく過程で、問題・課題を抽出する必要がある。2008年度から(独)海上技術安全研究所が東京大学と共同して実施している「日本沿岸域に適した低コスト潮流発電システムの開発」では、海洋生態系への影響を評価するシミュレーションシステムの開発を行っている。また、MCT社は、ストランフォード海峡でSea Genのさらなるテスト・改良を行うプロジェクトにおいて、アザラシやカワウソなどの野生生物が生息する海域にSea Genが及ぼす影響の集中モニタリングを行っている<sup>53</sup>。

<sup>53</sup> NEDO 海外レポート NO.1044, (2009.5.20)

**<事例> MW 級海流発電システム**

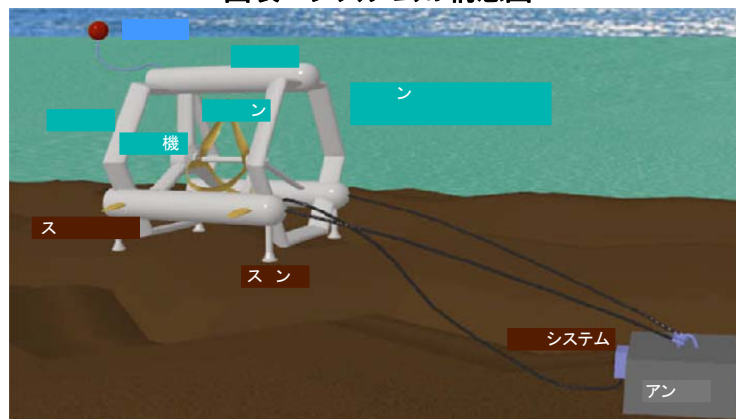
(財)エンジニアリング振興協会は、2MW の海流発電システムの事業化を目指し開発を進めている。新たに開発されたループ型タービンを用いた MW 級の海流発電システムの基本設計等のフェージビリティスタディや 1/50 スケールの水槽試験が行われている。

ループ型タービンは本来、陸上の小型風力発電用に開発されたものであるが、流体力学を応用した特徴的な形状の羽根は、均質の薄板を曲げ加工して製作するため、軽量化かつ大型化が可能である。これらの特徴より高出力化、高効率化が期待できることから、海流発電のタービンへの応用が検討されている。

**図表 プラントの概要**

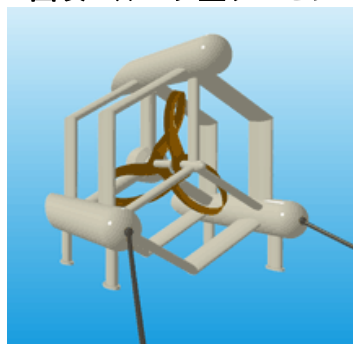
発電出力	2MW
タービン種類	ループ型
タービン直径	33m
全体高さ	約 50m
流速	2.5 m/s

**図表 システムの構想図**



出典：「メガワット級海流発電システムの実用化に関するフェージビリティスタディ 報告書 - 要旨 - 」  
(2009, (財)機械システム振興協会) より作成

**図表 ループ型タービン**



出典：ループウィング社ホームページ ( [http://www.loopwing.co.jp/jp/01wind/04sea\\_2.html](http://www.loopwing.co.jp/jp/01wind/04sea_2.html) )



**<事例> 大間崎潮流発電研究委員会**

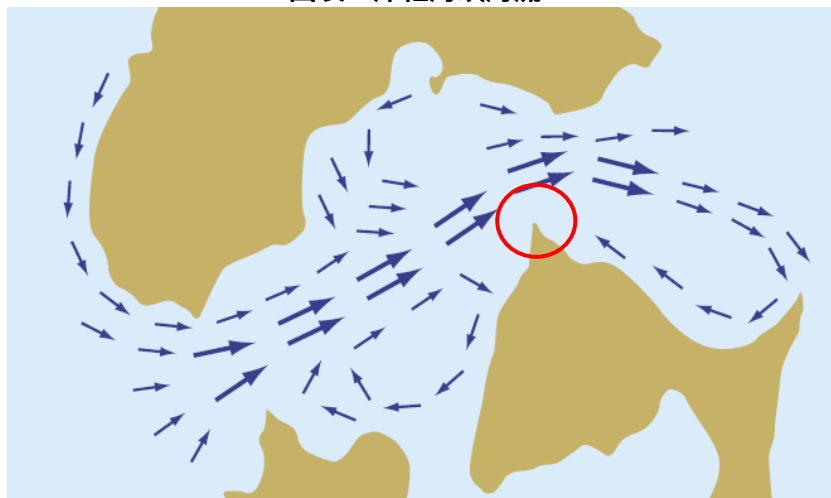
津軽海峡を流れる津軽暖流の流速は、0.5～1.5m/s、最大で 3.6m/s に達する。この速い流れが海岸近くを流れるため、他の海域よりも利用が容易であり、建設費や送電損失を抑えることが可能になると見込まれる。この特長を活かし、青森県、東京大学、弘前大学、(独)海上技術安全研究所、(財)エンジニアリング振興協会、電源開発(株)が共同で、青森県の大間崎において潮流発電を行うための調査研究を進めている。

弘前大学が 2002 年から調査を行ってきた流速測定等の基礎データを活用し、青森県とエネルギー産業振興に関する連携をしている東京大学と共に、潮流発電の適地として大間崎北側に位置する弁天島から北西数 km 沖合という地点を選定した。

**図表 潮流発電プラントの設定**

発電出力	300kW
タービン種類	プロペラ型
タービン直径	11m
設置水深	26m
流速	2.5m/s

**図表 津軽海峡海流**



出典：弘前大学広報誌 Vol.1(2003.9)

**<事例> (株)ノヴァエネルギーの水流タービン**

(株)ノヴァエネルギーは、流体力学を取り入れたマグロ型の水流タービンを開発している。タービン内部は空洞で、海水が自由に出入りするため深海部でも浮力、重力、圧力の影響を受けることなく、流れに対して常に平衡を保つことが可能である。また、海藻やクラゲ等、海中の浮遊物が衝突しても破損しにくいデザインとなっている。2008年、ノヴァエネルギーは、兵庫県淡路市の岩屋港沖で、明石海峡の潮流を利用して小型ボートの船底に取り付けた長さ 1.2m、直径 65cm の同型タービンの試験運転を韓国海洋大と共同して実施し、約 3 ノットの潮流で約 200W の出力を得ることに成功している。

**図表 水流タービン NT-001 の概要**

発電出力	10kW
タービン直径	3m
全長	6m
発電開始流速	1.5 ノット (0.77m/s)

**図表 NOVA WATER TUNA 水流タービン**

出典：ノヴァエネルギーホームページ ( <http://www.nova-ene.co.jp/products/index.html> )

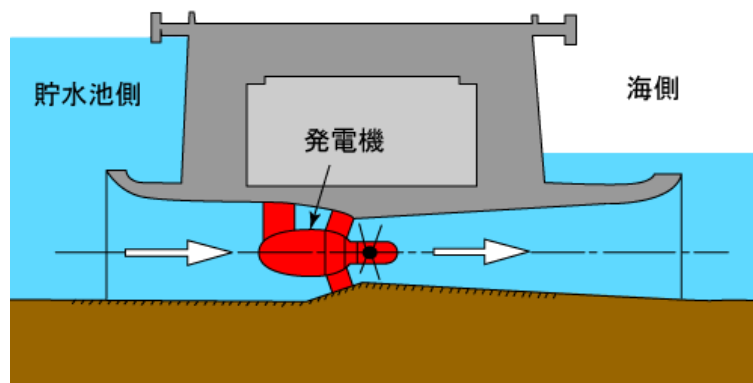
## 8.7 潮汐力発電

### 8.7.1 技術の俯瞰

潮汐力発電は、潮汐に伴う潮位差を利用してタービンを回し発電する方式である。水力発電と同様の原理を用いて、潮位差が大きい湾や河口の入り口等にダムと水門を建設して水位差により発電を行う。基本的には満潮時には貯水し、干潮時に水門を開いて水を放出することにより発電機を回して発電を行う。主に干潮時の1方向の流れにのみ発電を行う方式と、タービンが双方向の流れに対し回転し、交互に発電できる2方向方式がある。また、ポンプによる揚水も併せて行い、稼働率を向上させる方式も実施されている。

潮汐は周期的な現象であり時刻の予測もできるため、発電計画が立てやすいという利点がある。ただし、大潮の時と小潮の時では潮位差が異なり、発電出力が変動する。また、大規模なダムを建設することによる周辺海域への影響にも注意が必要である。

図表 8.68 潮汐力発電システムの例



出典：(財)エネルギー総合工学研究所ホームページ  
(<http://www.iae.or.jp/energyinfo/energykaisetu/situmon0033.html>)

### 8.7.2 ポテンシャル

潮汐力発電は満潮時と干潮時の潮位差が大きい程大きな潮汐力エネルギーが得られ、一般に潮位差 5m 以上が実用化の目安となっている。

諸外国には 10m 以上の潮位差が得られる地点が存在するのに対し、日本においては最も好条件の有明海でも最大潮位差 4.9 m であり、国内のポテンシャルは小さいとされている。

図表 8.69 世界各地の最大潮位差

地名	国名	最大潮位差(m)
Moncton	カナダ	16.0
Severn	英国	15.5
Jordan	カナダ	15.4
Fizroy	オーストラリア	14.7
Granvill	フランス	14.5
Rance	フランス	13.5
RioGallegos	アルゼンチン	13.3
仁川	韓国	13.2
Bhaunagar	インド	12.0
Anchorage	米国	12.0
Anadory	ロシア	11.0
住の江（有明海）	日本	4.9

出典：「21世紀の海洋エネルギー開発技術」（2006、（社）日本海洋開発建設協会）

IEA-OES<sup>54</sup>の資料によると、世界の潮汐力エネルギーの理論的な年間の資源量は、300TWh と試算されている。

図表 8.70 世界の潮汐力エネルギー資源量

潮汐力エネルギー	300TWh/年
----------	----------

出典：“Annual Report 2007”（2007、IEA-OES）

### 8.7.3 導入目標量例

日本において、現在潮汐力発電の導入目標は設定されていない。

<sup>54</sup> IEA（国際エネルギー機関）内の「海洋エネルギーシステムに係る実施協定（Implementing Agreement on Ocean Energy Systems）」に基づき発足した組織。

#### 8.7.4 導入実績

図表 8.71 に、海外における主要な潮汐力発電所を示す。潮汐力発電プラントとして最も有名なものは、40 年間の運転実績を誇るフランスのランス潮汐力発電所である（図表 8.72）。

ランス潮汐力発電所は、潮位差が最大 13.5 m、平均 8.5 m と潮汐力発電に適した潮位条件を有するランス川河口に位置している。1967 年から発電を開始しており、フランス電力公社により運用されている。長さ 750 メートルの堤防下に出力 10MW の円筒水車（4 枚羽根横軸円筒カプラン水車）24 台が設置されており、最大定格出力は 240MW、年間の発電量は約 600,000MWh、平均出力は約 68MW である。タービンは双方向に機能し、川の流れと潮汐を相互に利用する仕組みとなっている。

図表 8.71 世界の主要な潮汐力発電所

発電所	発電所
ランス潮汐発電所 （フランス）	1967 年からフランスのランス川河口（平均潮位差 8.5 m）にて発電を開始。最大定格出力は 240MW、年間の発電量は約 600,000MWh、平均出力は約 68MW。
アンナポリス発電所 （カナダ）	1984 年にカナダのファンディ湾（最大潮位差 16.4m）で 20MW の潮汐発電所が運転を開始。
キスラヤ潮汐発電所 （ロシア）	1968 年に北極圏のコラ半島ムルマンスク北西 80km の入り江にキスラヤ潮汐発電所を建設。最大出力は 400kW。
江厦潮汐発電所 （中国）	1980 年に運転開始した、中国初の大規模な潮汐発電の実験プラント。平均潮位差 5m の双方向発電方式で、2009 年に改良工事を行い最大出力 3.9MW となっている。

図表 8.72 ランス潮汐力発電所



出典：Tidal Energy ホームページ（<http://www.tidalenergy.eu/index.html>）

### 8.7.5 技術開発動向

潮汐力発電については、ランス潮汐発電所のように 40 年間にわたり稼動している事例もあり、普及のボトルネックとなる大きな技術課題は残されていない。

なお、下記技術課題のうち、波力発電と共通する課題については、適宜、波力発電の項を参照のこと。

図表 8.73 潮汐力発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
発電コストの削減	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>適地の選定</li> <li>高効率な水車形状の開発</li> </ul>
	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工費の削減</li> </ul>
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>メンテナンスコストの削減</li> </ul>
高耐久化	海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋生物の付着防止（防汚塗料の塗布、音・超音波システム、オゾンガスの海水混合等）</li> <li>塩害・さびの防止（防食塗料の塗布等）</li> </ul>
	機器にかかる負荷の緩和	<ul style="list-style-type: none"> <li>キャビテーションの防止</li> <li>乱流強度、乱流状況の把握</li> </ul>
運用・管理	環境への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境アセスメント</li> </ul>
	設備の維持管理・故障の防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>モニタリングシステム</li> </ul>

#### (1) 発電コストの削減

発電コストの削減に係る課題として、発電効率の向上、イニシャルコストの削減等が挙げられる。発電効率の向上に最も重要となるのは潮位差である。理想的な潮位差が得られ、地理的に発電所建設が可能な地点を選定することが潮汐力発電導入の第一段階となる。また、発電機側の対策としては、高効率な水車形状の開発が挙げられる。

イニシャルコストの削減としては、施工費の削減が挙げられる。しかしながら、既存の橋梁建設技術等を用いるため、大幅なコストダウンは見込めない。

#### (2) 運用・管理

潮汐力発電を考えると、環境への影響が懸念される大きな要素である。海岸の入り江や河口の一部を締め切るため、水質や生物の生育環境が供用の前後と大きく異なることが予想される。導入にあたっては適切な環境影響評価を行う必要があり、検討が必要な項目に以下が挙げられる<sup>55</sup>。

景観への影響

騒音

海岸堆積・侵食（地形変化）

<sup>55</sup> 「海洋エネルギーの利用技術に関する現状と課題に関する調査」（平成 20 年、NEDO）

生態系への影響

干潟や浅場の水位・地形等の変化に伴う生態系への影響に注意が必要。

水質への影響

河口域を閉め切る場合、海水の塩分濃度等の水質への影響に注意が必要。

## 8.8 熱電発電

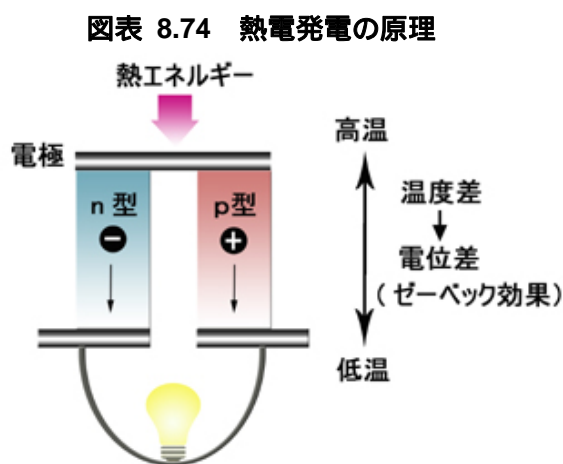
### 8.8.1 技術の俯瞰

2種類の金属または半導体を接合し両端に温度差を設けると、温度差に比例して熱起電力が発生する。これを「ゼーベック効果」といい、この効果を利用し、熱電変換素子を用いて熱エネルギーを電力に変換する発電方法が熱電発電である。

熱電発電システムは駆動部が無く長期間無保守での運転が可能であるため、宇宙探査機用や軍事用途を中心に開発が進められてきた。例えば、木星探査衛星「ボイジャー」は太陽から離れることにより太陽電池が使用できないため、シリコン・ゲルマニウム系の熱電発電装置が組み込まれた。軍事用途では、旧ソ連において「パルチザンの飯盒」と呼ばれる亜鉛・アンチモン系材料を使用した熱電発電システムが、通信機用電源として利用された。

一般用途については、変換効率が低いことから、僻地用電源や通信機用等の数百 W 以下の小型システムに限られてきた。欧米において、熱源にプロパンガス燃焼器を用いて一体化したビスマス・テルル系の熱電発電ユニット等が僻地用電源として実用化されている。

日本ではサンシャイン計画において、100W 級熱電発電システムの海洋温度差発電への適用が検討された他、ディーゼルエンジン等の分散型電源の排熱を利用した 200W 級熱電発電システム等の研究開発が実施されてきたが、実用化には至らなかった。しかし、近年の化石燃料価格高騰や地球温暖化問題に伴い再び注目が集まっており、さらに材料開発の進展を受けて、用途開発も含め研究が活発化してきている。



出典：産業総合研究所ホームページ（<http://staff.aist.go.jp/funahashi-r/te.htm>）

熱電発電の変換効率は、ある程度までは材料の元素の組合せで決まり、有望なのはビスマス系や鉛系等の材料である。しかしこれらは、毒性や稀少元素である等の問題点を有しているため、その他の材料探索が行われている。図表 8.75 に主な熱電材料とその適用温度域を示す。



図表 8.75 主な熱電発電材料

熱電発電材料	適用温度域
ビスマス・テルル (Bi・Te) 系	室温から約 300 まで
鉛・テルル (Pb・Te) 系	約 600 まで
シリコン・ゲルマニウム (Si・Ge) 系	約 1000 まで
イリジウム・アンチモン (Ir・Sb) 系	約 700 まで
亜鉛・アンチモン (Zn・Sb) 系	約 450 まで
酸化物系化合物	約 800 まで

出典：「パーソナル分散型エネルギーシステム」(2005, 伊藤 義康著, 養賢堂)  
「酸化物熱電変換素子の量産技術開発」(2008, 昭和電線レビュー)より作成

### 8.8.2 ポテンシャル

熱電発電の導入先として、工場や発電所、ごみ焼却場等からの排熱が、高温でまとまったエネルギー源と考えられる。また、数百 の高温でなくても温度差があれば熱起電力が発生するので、体温と外気温の差を利用することもできる。その視点で見ると、熱電発電のポテンシャルは身の回りに広く薄く賦存していると言える。

国内における、高温熱を利用する熱電発電のポテンシャルとして、図表 8.76 に示す試算値が報告されている。これは、日本における自動車や工場、ごみ焼却場等から排出される排熱量の 20% を電力に変換可能と仮定して試算が行われており、中規模原子力発電所 1 基分の電力量に相当するとしている。

図表 8.76 熱電発電のポテンシャル

対象排熱	熱電変換割合	潜在熱電発電量
自動車、 工場、 ごみ焼却場等	20%	3.5 万 GWh/年

出典：「熱電発電を利用した小型コジェネシステムの開発」(2008, 舟橋、浦田)  
(原典：大熊謙治他、熱電シンポジウム 99 論文集、96(1999))

また、NEDO の「次世代型熱電変換技術に関する調査」(2007 年度)では、自動車に熱電システムを搭載することにより、どの程度の省エネルギーが可能であるかについて試算している。自動車への導入可能性を想定して試算された熱電システムの量は、2030 年に原油換算約 170 万 kL/年で、これは 2006 年の自動車用ガソリン販売量の 3.1%に相当すると見積もられている<sup>56</sup>。

<sup>56</sup> 「次世代型熱電変換技術に関する調査」(2008, NEDO)

### 8.8.3 導入目標量例

日本において、現在熱電発電個別の導入目標は設定されていない。

### 8.8.4 導入実績

図表 8.77 に示すように、惑星間探査機用電源や無線中継基地局用電源等の一部の用途には製品・実用化がなされているものの、発電用途としては開発・試作あるいは基礎研究段階のものが多。近年は、工業炉や温泉等において実証試験が行われている。

図表 8.77 熱電発電の実用化の現状

熱源	段階*	製品例
燃焼熱		無線中継基地局電源
		パイプライン腐食防止用電源
		被災地緊急電源
		軍用可搬型電源
		モスキートマグネット (LP ガス利用)
		ミニチュア発電器 (ろうそくラジオ)
		モバイル機器用マイクロジェネレータ
崩壊熱等		惑星間探査機用電源
燃焼排熱		大型トラック ディーゼルエンジン排ガス発電
		大型高速バス ディーゼルエンジン排ガス発電
		ディーゼルエンジン コージェネ排ガス発電
		小型廃棄物焼却炉煙道発電
		室内空気循環装置 (煙突利用)
機器排熱		工業炉 (抵抗加熱式など) 排熱発電
		変圧器熱回収発電
		プロジェクタ熱回収発電
		コードレスファンヒータ
		風呂釜温度制御装置
体温		熱電腕時計
		心臓ペースメーカー用電源
その他		赤外線センサ
		水素センサ

製品・実用化      開発・試作      基礎研究

出典：熱電発電フォーラム資料 (2005, (財)エンジニアリング振興協会)

**<事例> 工業炉を利用した酸化物熱電発電（昭和電線、産総研）**

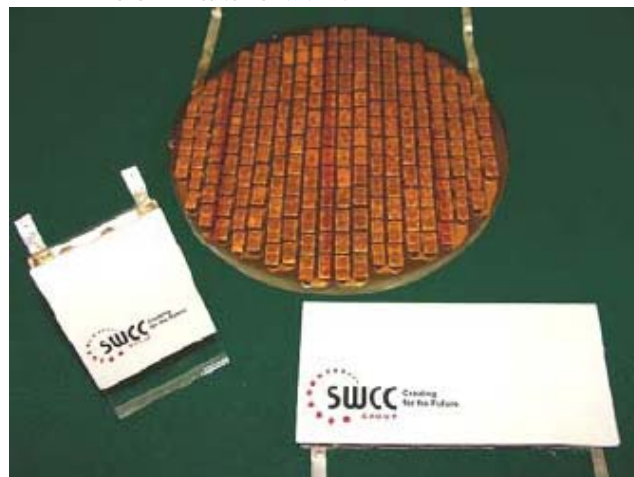
昭和電線ホールディングス株式会社は、工業炉の熱を利用した熱電発電モジュールの長期発電実験に成功している。熱電変換素子には、産業技術総合研究所が発見したコバルト系酸化物熱電材料が使用されており、空气中 800℃ で作動させても性能が劣化しないという特長を有している。昭和電線と産業技術総合研究所は2006年より共同研究を行い、低コストで量産性の高い製造プロセスとして、押出成形法と超伝導技術を活用した常圧焼結技術を採用する製法を開発していた。

発電実験では、電線製造工程で使用している工業炉に熱電発電モジュールを取り付けて、長期に亘り安定的に出力を得られることを確認した。発電した電力は、交流 100V に変換し出力、二次電池への充電に成功している。

**図表 熱電発電システム概要**

実施年	2009 年
実施場所	昭和電源三重事業所
稼働時間	3,000 時間以上
工業炉	荒引き線製造設備
炉 温度	850
熱電発電モジュール 雰囲気	700℃ 以上
熱電発電モジュール面積	500mm × 500mm
発電出力	最大 17W

**図表 酸化物熱電発電モジュール**



出典：昭和電源ホールディングス株式会社 プレスリリース（2009年12月18日）

**<事例> 草津温泉での熱電発電（東芝）**

株式会社東芝と草津町は、温泉熱を熱源として利用した熱電発電システムを共同開発し、実証試験を行っている。これは高温源泉と冷却水の温度差を利用して発電するシステムであり、東芝が開発したビスマス・テルル系の熱電発電モジュールを使用している。東芝は組成開発と結晶構造制御により、温度差 100 において変換効率が市販品と比べて 1.2 倍高い 3.6% のモジュールを開発した。これは NEDO「高効率熱電変換システムの開発」プロジェクトとして実施されたものである。

実用化に向けては、2004 年から試作機で約 9,000 時間の発電を行い、その実績を基に 2005 年に 150W の発電システムを草津町の温泉センターに設置した。2008 年 1 月時点で運転時間は約 2 万時間に達し、問題なく発電を行っている。発電した電力は、温泉センター内にあるテレビや照明に利用されており、発電量の表示も行われている。また、災害等による停電時には非常用電力として利用される。

**図表 熱電発電システム概要**

実施年	2005 年 12 月～
実施場所	群馬県草津町
稼働時間	約 20,000 時間（2008 年 1 月現在）
熱源温度	90 以上
発電出力	150W

**図表 熱電変換発電システム**

出典：群馬県ホームページ（[www.pref.gunma.jp/cts/contents?CONTENTS\\_ID=49312](http://www.pref.gunma.jp/cts/contents?CONTENTS_ID=49312)）

### 8.8.5 技術開発動向

熱電発電研究は、基礎研究段階～実証段階にある。熱電変換の原理自体は19世紀前半に発見されているが、いまだ実用化に至っていないのは変換効率の低さ、コストが主な原因である。実用化に向けて高効率化および低コスト化が最も大きな課題であり、現在も各研究機関で様々な材料開発が行われている。また、今後の普及、量産化に向けては、製造加工技術の確立も重要となる。

図表 8.78 熱電発電の主な技術課題

技術・課題		解決策・要素技術
高効率化	発電効率の向上	• 性能指数 ZT (後述) の高い熱電変換材料の開発
	伝熱性能の向上	• 伝熱効率の高い構造、設置方法の開発
低コスト化	高耐久化	• 高温領域における酸化劣化の防止 ➢ セラミックス(金属酸化物)系材料
	材料費の削減	• 希少元素のリサイクル • セラミックス系材料 • 製造時の端材ロスの削減
	モジュールコストの削減	• 低コスト製造技術 • 量産化による製造コストの削減
製造技術	モジュール化技術	• 電極接合技術 • 電気絶縁・良熱伝導並立技術 • 熱応力緩和技術 • 雰囲気封止技術 • 組立技術

#### (1) 高効率化

##### 1) 発電効率の向上

熱電発電の性能評価において重要な指標は、ZT 値と呼ばれる性能指数で、次式により表される。

$$ZT = S^2 / \kappa \times T$$

S : ゼーベック係数 (V/K)                      : 電気伝導率 ( /m)

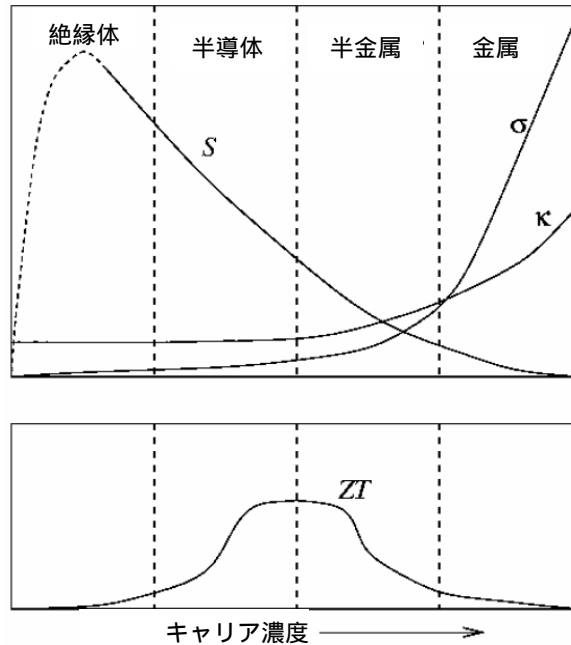
  : 熱伝導率 (W/(m・K))              T : 絶対温度 (K)

ゼーベック係数は温度差 1 の時に生じる起電力の大きさであり、ゼーベック係数が大きいほど変換効率の良い材料となる。また、電気伝導率も高いほど良い。熱伝導率については、高いと材料温度が速く均等になるため、熱電変換材料としては低い方が良い。従って、ゼーベック係数が大きく、電気伝導率が高く、熱伝導率が低い材料ほど熱電変換材料として適していることになるが、この3条件を満たすのは難しい。

図表 8.79 に示す通り、金属のようなキャリア濃度の高い系では電気伝導率は高いがゼーベッ

ク係数が小さく、半導体のようなキャリア濃度の低い系ではゼーベック係数は大きいが電気伝導率が低い。また、電気伝導率を上げると熱伝導率も高くなる。このように、キャリア濃度は高くても低くても ZT 値は低くなってしまふ。材料探索においては、物質の電気伝導率とゼーベック係数の関係が非常に重要となる。

図表 8.79 ゼーベック係数、電気伝導率、熱伝導率のキャリア濃度依存性



S : ゼーベック係数 (V/K)       $\sigma$  : 電気伝導率 ( /m)       $\kappa$  : 熱伝導率 (W / ( m·K))

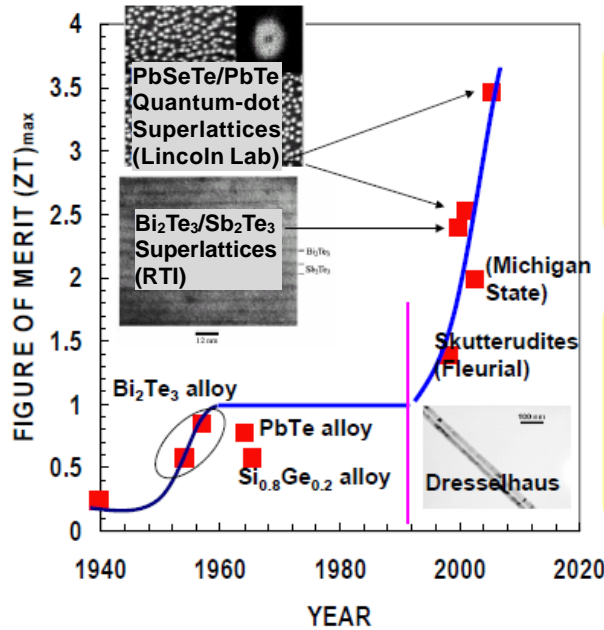
出典：“Vehicular Thermoelectrics Applications Overview”, U.S.Department of Energy, 2007 Diesel Engine-Efficiency and Emissions Research (DEER) Conference

ZT 値は高いほど変換効率が良く、実用化のためには  $ZT > 1$  が求められる<sup>57</sup>。近年、3 元系以上の材料探索が進んだことや、薄膜化・超格子構造等ナノスケール<sup>58</sup>での構造制御により、 $ZT > 2$  の性能をもつ材料が、複数発表されている (図表 8.80)。

<sup>57</sup> ZT = 1 の理論発電効率は約 9%。

<sup>58</sup> 数ナノ～数十ナノのレベルでフォノンと電子を制御できれば、性能指数 (ZT) が 2～3 (変換効率約 30%) を超える可能性があると言われている。

図表 8.80 主な熱電変換材料開発の経緯



出典：“Thermoelectric Developments for Vehicular Applications”, U.S.Department of Energy, 2006 Diesel Engine-Efficiency and Emissions Research (DEER) Conference

## 2) 伝熱性能の向上

熱源(高温側および低温側)の温度差を最大限利用して熱電変換モジュールで発電するには、熱源と熱電変換モジュール間の熱移動を小さい熱抵抗で効率良く行う必要がある。熱電発電の技術開発は、これまで材料開発に偏っており、実際の導入を想定した伝熱性能や、適切なシステム設計等についてはあまり検討がなされてこなかった。

伝熱性能の向上には、熱源の熱荷体の種類や電力用途および使用環境に適した熱交換形態(ふく射、対流、熱伝導等)の選定が重要となる。また、各々の制約条件や費用対効果を考慮し、各伝熱形態の伝熱促進手法を可能な限り折り込むことが必要となる<sup>59</sup>。

### (2) 低コスト化

熱電発電の実用化にあたっては、高効率化と同時に低コスト化が重要な課題となる。熱電発電のコストを左右する要因は、「耐久性」「原料コスト」「製造コスト」等が挙げられる。

耐久性については、高温領域における酸化劣化対策が課題に挙げられる。従来から一部実用化されている熱電変換材料としては、室温から約 300 で使用されるビスマス・テルル系、室温から約 1000 のシリコン・ゲルマニウム系および、室温から約 600 の鉛・テルル系が挙げられるが、これらの金属系材料は高温領域における酸化劣化が生じやすいという問題がある。例えば、燃焼炉の排熱は約 830 程度あるため利用できない。また、関連部材では電極部分の酸化が特に問題であり、対策が必要とされる。

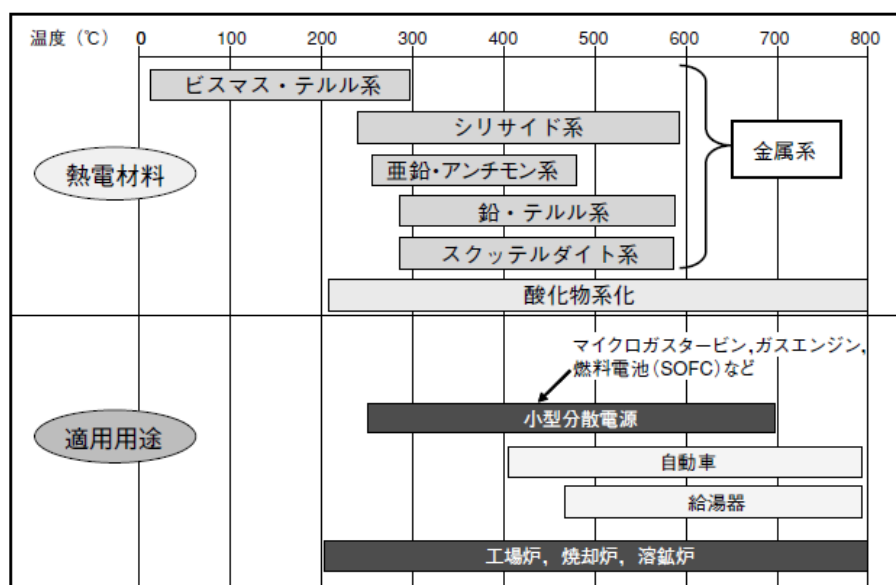
原料コストについては、ビスマスやテルルはレアメタルであり、高コストであることに加え、

<sup>59</sup> 熱電発電フォーラム資料(2006,(財)エンジニアリング振興協会)

原料供給に問題がある。ライフサイクルアセスメント(LCA)<sup>60</sup>、リサイクルを含めた原料コストの削減、また安価な代替材料開発に取り組む必要がある。また、製造コストについては、熱電材料の特性に合わせて、省エネルギー・高効率な製造プロセスの開発が必要である。

これらの課題に対して、現在セラミックス(金属酸化物)に注目が集まっている。セラミックスは一般に高温大気中でも安定であり、製造プロセスも低コストで<sup>61</sup>技術的に確立されている。その中で、性能指数(ZT)が高く、環境に優しい材料としてZn-O系のn型半導体とNa-Co-O系のp型半導体の組み合わせが代表的であるが、これら以外の組み合わせについても急速に研究が進められており、熱電変換材料の実用化はセラミックスを中心に競争が始まっている。

図表 8.81 主な熱電変換材料の適用温度範囲



出典：「酸化物熱電変換素子の量産技術開発」(2008, 昭和電線レビュー Vol.58 No.1)

### (3) 製造技術

実用化に向けては、熱電変換素子を多数並べて一体化するモジュール化技術が重要であり、接触抵抗を小さくすると共に、熱応力の緩和、信頼性・耐久性の向上等が求められる。電極接合技術、電気絶縁と良熱伝導の並立技術、熱応力緩和技術、雰囲気封止技術、組立技術などが重要な課題となる<sup>62</sup>。

<sup>60</sup> 原料の採取から製造、流通、使用、廃棄までの全過程での環境負荷を定量的に評価する手法のこと。

<sup>61</sup> 昭和電線ホールディングス株式会社は、産業総合研究所と共同で、酸化物熱電変換素子の量産製法を開発している。(昭和電線ホールディングス株式会社 プレスリリース (2007年12月18日))

<sup>62</sup> 熱電発電フォーラム資料(2006, NEDO)



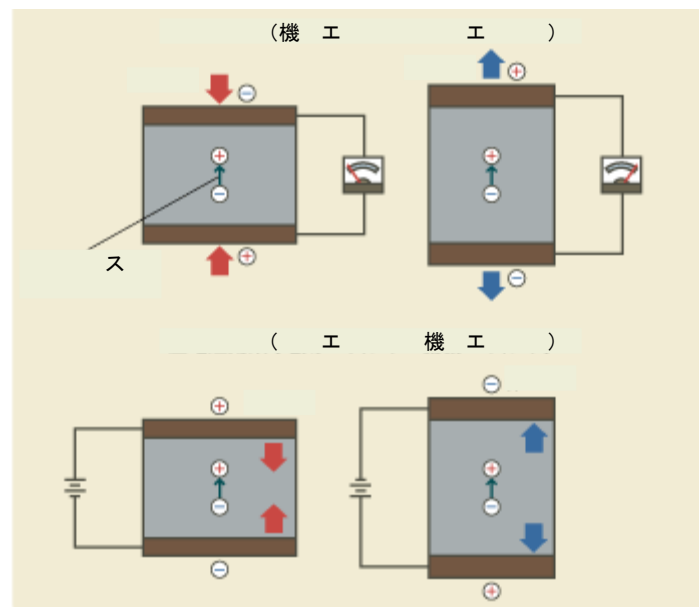
## 8.9 圧電発電

### 8.9.1 技術の俯瞰

圧電発電は、機械的振動から発電する振動発電の一種で、圧力により変形する際に電圧を発生する圧電変換素子を用いた発電方式である。なお、逆に圧電素子に電圧をかけると歪みを生じるため、この電気エネルギーと機械エネルギーを相互に変換できる性質を応用して、アクチュエータやセンサ、超音波探知機等が実用化されている。

圧電変換素子の材料には主に強誘電性セラミックスが使用されており、高い直流電圧を印加することにより分極処理が施される。この分極処理によって結晶粒子の電荷の向きが揃えられた圧電変換素子に圧力を加えたり、逆に張力を加えたりすると、図表 8.82 の上図に示すようにそれぞれ電圧が発生する。

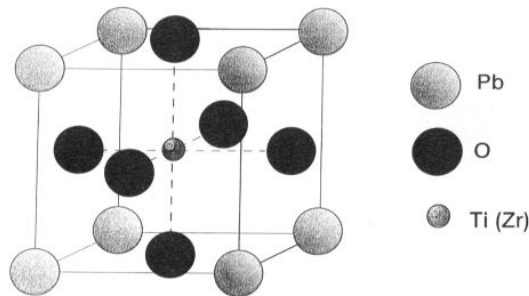
図表 8.82 圧電変換素子のエネルギー変換の原理



出典：本多電子株式会社ホームページ（<http://www.honda-el.co.jp/50th/200702260014.html>）より作成

圧電特性を示す物質として最初に発見・応用されたのは水晶であり、第一次大戦中に潜水艦探知用のソナーが開発された。その後 1940 年代に、チタン酸バリウム ( $\text{BaTiO}_3$ ) が発見される。これは  $\text{ABO}_3$  型 (A、B、O は元素記号) ペロブスカイト結晶構造を持つ化合物の代表的なものであり、これより圧電材料としての強誘電性セラミックスの開発が始まった。セラミックスは切断等の機械加工が容易であるため本格的な応用研究が行われ、1955 年にはジルコン酸鉛 ( $\text{PbZrO}_3$ ) とチタン酸鉛 ( $\text{PbTiO}_3$ ) の固溶体であるチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT:  $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ ) セラミックスが発見された。PZT は Zr と Ti がほぼ同比率の組成において圧電特性が最も高くなるが、更に第三成分のペロブスカイト化合物を PZT に加えた 3 成分系 PZT や、Pb を Ca や Ba、Sr、Mg 等で置換した変性 PZT が開発された。

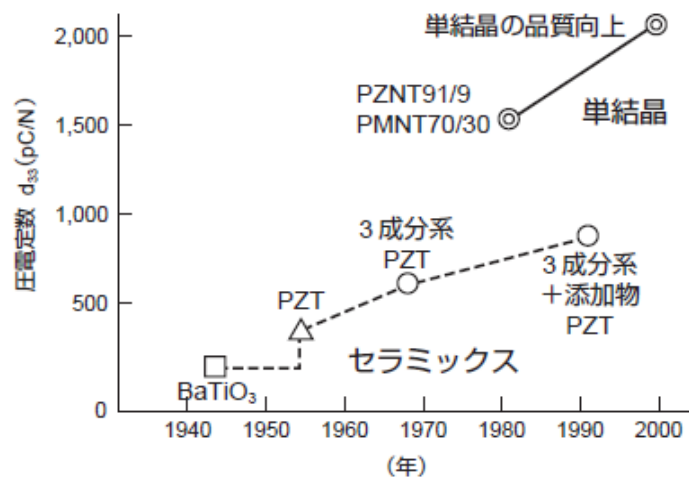
図表 8.83 ペロブスカイト結晶構造 (PZT の例)



出典：産業総合研究所ホームページ ( <http://www.aist.go.jp/MEL/soshiki/tokatsu/NEWS-text.html> )

圧電変換素子の性能を評価する重要な指数としては圧電定数  $d_{33}$  がある。これは、与えられた応力によってどれだけの電荷が生じるかを表しており、単位は  $\text{pC/N}$  で表示される。図表 8.84 に  $d_{33}$  の開発トレンドを示す。1980 年代より、亜鉛ニオブ酸鉛 (PZN:  $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ) やマグネシウムニオブ酸鉛 (PMN:  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ) 等のリラクサー<sup>63</sup>と  $\text{PbTiO}_3$  との固溶体単結晶である PZNT や PMNT 等が、ある組成において高い  $d_{33}$  を示すことが発見され研究が進んだ。

図表 8.84 圧電材料の  $d_{33}$  の推移

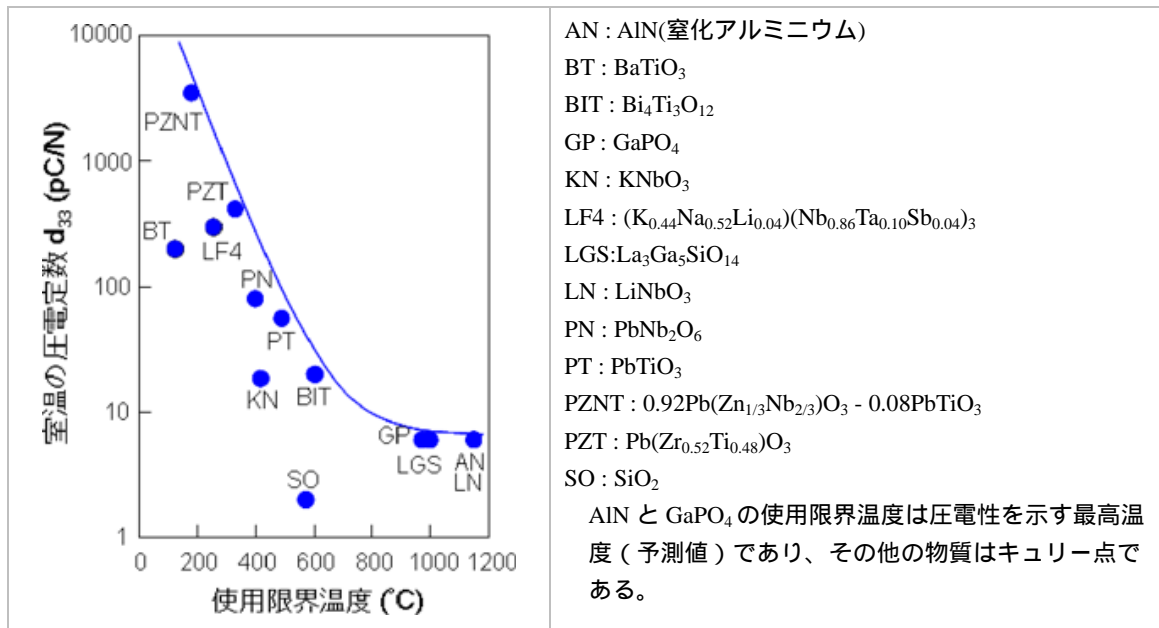


出典：「高効率圧電単結晶材料」(2004, 東芝レビュー Vol.59, No.10)

圧電材料において、結晶構造の変化により圧電特性が失われる温度をキュリー点 ( $T_c$ ) というが、 $\text{BaTiO}_3$  では約 130、PZT では 350 付近である。但し  $T_c$  の約半分の温度を超えると分極量が急激に下がるため、実際に使用可能な温度域は  $\text{BaTiO}_3$  で約 80、PZT では 250 程度以下である。 $d_{33}$  の高いリラクサー系単結晶では、圧電特性を示す組成において PZNT は約 175、PMNT は約 155 と PZT に比べて低いため、使用温度範囲が限られる。

<sup>63</sup>  $\text{Pb}(\text{B}_1\text{B}_2)\text{O}_3$  の一般式で表され、誘電率のピーク温度が測定周波数に依存し、緩慢な (relax した) 誘電率カーブを示す化合物。

図表 8.85 使用限界温度と圧電定数の関係



出典：産業技術総合研究所ホームページ ( [http://www.aist.go.jp/index\\_ja.html](http://www.aist.go.jp/index_ja.html) )

圧電変換素子の用途例としては、携帯電話が身近な事例の一つに挙げられる。携帯電話の送・受話器には薄い圧電変換素子が電極に挟まれて組み込まれており、音声と電気信号を相互に変換する。また、ライターの着火子等で圧電変換素子が利用されており、瞬間的に加えられる衝撃により放電に必要な電圧を得て点火する仕組みとなっている。また、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する方法としては、インクジェットプリンタにおいて電圧を加えることによりインクをヘッドに向かって吐出させ印刷する等の用途例がある。

図表 8.86 圧電変換素子の用途例

エネルギー変換形態	用途例
電気から機械へ	スピーカー、アクチュエータ、ブザー、インクジェットプリンタ等
機械から電気へ	着火子、加速度センサ、マイク等
電気と機械の相互変換	携帯電話(バイブレーション)、超音波探知機、ソナー等
電気から機械、また電気へ	フィルタ、トランス

出典：「パーソナル分散型エネルギーシステム」(2005, 養賢堂、伊藤 義康著)より作成

### 8.9.2 ポテンシャル

圧電発電のエネルギー源となる振動には、建物や橋の振動、自動車の振動、音声等、様々なものがあり、物理的ポテンシャルはほぼ無限大と言える。しかしながら、技術的あるいは経済的な制約を考慮すると導入可能量は限られる。

日本における圧電発電の導入可能量の一部としては、NEDOの「駅・建物等における省エネルギーのためのエネルギー変換技術の研究開発」プロジェクト(JR東日本との共同研究)において、実証結果より、駅等への導入可能量が原油換算約4万kL/年に相当することが見込まれている。これは、ICカード専用自動改札システムや駅改札フロアの照明等に必要とされるエネルギーを代替できるエネルギー量である<sup>64</sup>。また、首都高速道路全体の振動を利用して、東京23区内の家庭への電力供給量の約4割に相当する4GW以上を発電できるという試算もある<sup>65</sup>。

### 8.9.3 導入目標量例

日本において、現在圧電発電の導入目標は設定されていない。

### 8.9.4 導入実績

圧電発電システムは、まだ実用化段階にはなく、導入事例は実証実験のみである。

JR東日本は2006年度～2007年度に、東京駅構内において人が歩行する際に生じる振動を利用した床発電システムを設置し、実証実験を行った。

また、(株)音力発電は、首都高速の五色桜大橋において通行する自動車の振動を利用して発電し、イルミネーション用電源として用いる実証研究を実施している。

図表 8.87 圧電発電の主な導入実績（実証実験）

導入場所	導入年	導入規模	発電電力用途
東京駅 (東京都千代田区)	2006 2008	約6m <sup>2</sup> (1日最大10kWs) 約90m <sup>2</sup> (1日最大500kWs)	自動改札、電光表示器等
八チ公前広場 (東京都渋谷区)	2008	-	パネル表示
コクヨオフィスシステム(株) (東京都千代田区)	2008	1.5m <sup>2</sup>	LED誘導灯、避難誘導灯等
藤沢市役所 (神奈川県藤沢市)	2009	約3m <sup>2</sup>	LED点灯 (市民の環境啓発)
五色桜大橋 (東京都足立区)	2007	1.8m <sup>2</sup> (0.1W×10台)	イルミネーション
リモコン (NECエレクトロニクス(株)研究開発)	2008	-	リモコン操作

出典：JR東日本ホームページ、(株)音力発電ホームページより作成

<sup>64</sup> 「エネルギー使用合理化技術戦略的開発/エネルギー使用合理化技術実用化開発/駅・建物等における省エネルギーのためのエネルギー変換技術の研究開発」2007年度中間年報(NEDO)

<sup>65</sup> <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/FEATURE/20090415/168796/>より((株)音力発電試算)

<事例> 床発電システム (NEDO・JR 東日本)

人や車等が通過する際に発生する振動エネルギーを利用して、床内部に組み込まれた圧電変換素子により発電を行う床発電システムが開発されており、歩行者の多い駅の改札や駅前広場等における実証実験を通じて、実用化へ向けた技術開発が行われている。

2007 年度に NEDO「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」実用化開発フェーズに採択された「駅・建物等における省エネルギーのためのエネルギー変換技術の研究開発」では、JR 東日本により床発電システムが東京駅に設置され、発電効率や耐久性についての確認が行われた。

図表 床発電システムの仕組み



図表 東京駅における実証実験



出典：「社会環境報告書 2009」(2009 年, JR 東日本)

### 8.9.5 技術開発動向

圧電発電の実用化には、コスト削減と高効率化が必要である。また熱電素子同様、発電効率を向上させるために用いる素材には希少元素が含まれることに加え、有害物質である鉛（Pb）が用いられることから、実用化・商用化にあたっては、これらの材料を使わない材料開発が必要になる可能性がある。

図表 8.88 圧電発電の主な技術課題

高効率化	材料特性の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>金属元素のドーピング</li> </ul>
低コスト化	新動力源	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電床</li> <li>橋梁振動発電</li> </ul>
安全性	鉛フリー材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>セラミックス系材料</li> <li>ポリマー系材料</li> </ul>

#### (1) 高効率化・低コスト化

圧電素子を発電システムとして機能させるためには、発電に必要な圧力（歪）をできるだけ効率よく回収し、電力に変換する仕組みが必要になる。現状の圧電素子は、個々の素子から得られる電力は必ずしも大きなものではないので、これらの素子を効率的に集積し、エネルギー転換を行うために、振動力発電パネルと称して製品化し発電床や高速道路の橋梁の振動による発電などに適用している例がある（図表 8.87）。

現状では、発電機能を集約し発電設備とするよりも、熱や振動、光、電磁波、人間の動きなどから微弱なエネルギーを収穫（ハーベスト）して、電力に変換する「エネルギー・ハーベスティング技術」あるいは「Power MEMS(Micro electro mechanical systems)<sup>66</sup>」として確立する動きが主体である。

海外ではジョージア工科大学が、酸化亜鉛（ZnO）を用いたナノワイヤの作製に成功しており、服等に織り込んでモバイル機器に給電するという応用も提案されている。また、人工の木の葉柄部分に圧電変換素子を用いて、風で動く葉の動きから発電するというアイデアもある。

#### (2) 安全性

キュリー点の高さと圧電特性のバランス、製造の容易さや安価であること等より、現在は圧電材料に PZT (Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>) およびその変性物が広く使用されているが、鉛は有害物質であり、欧州の RoHS 指令<sup>67</sup>の規制対象物質となっている。現状では PZT に匹敵する圧電性能を持つ材料が見つかっていないため、圧電材料としての PZT への規制は未だ除外されているものの、非鉛系圧電材料の開発が必要が高まっている。しかしながら、性能・コスト両面において鉛系には及ばないのが現状である。

<sup>66</sup> MEMS 技術（半導体プロセス技術を利用した小型のメカニカルデバイスや構造体）を利用してエネルギーを蓄え、再利用できるよう抽出する技術。

<sup>67</sup> 電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する欧州指令

## 8.10 工場等排熱利用

### 8.10.1 技術の俯瞰

工場や変電所、地下鉄、地下街等からの排熱は、蒸気ボイラや吸収式冷凍機、熱導管等を用いて地域冷暖房に利用することができる。変電所や地下鉄等からの低温熱は、ヒートポンプの熱源として活用することができる。国内外において、これらの排熱を利用した地域熱供給事業が行われている。

#### (1) 主な排熱源

##### 1) 工場

工場からは、生産プロセスによって高温（数百℃）から低温（数十℃）まで様々な温度レベルの熱が排出される。高温排熱は、プロセス内での再利用や自家発電等に有効利用されているものが多いが、低温になるにつれて用途がなくなり、未利用のままのものも多い。

##### 2) 発電所

日本の火力発電所や原子力発電所では、蒸気タービンからの蒸気を水に戻す復水器の冷却水として海水が使用されている。従来、使用後の温排水はそのまま海に放流され、有効利用の方法も養殖用等の漁業分野がほとんどであったが、近年この温排水を業務用の暖房熱源として利用している例も見られる。

##### 3) 地下鉄・地下街

地下鉄構内や地下街のような閉じられた空間は比較的熱密度が高く、空気の入出口も限られていることから、地上に比べて排熱を回収しやすい。列車、照明、人体、換気用機器等から熱が発生しており、換気により外部に放出されるか、地中に蓄えられる。これらの排熱はヒートポンプの熱源として利用することができる。

##### 4) 変電所・地中送電線

変電所の変圧器の効率は 99% 以上と非常に高いものの、ロス分は熱となり機器温度を上昇させ絶縁劣化や絶縁破壊等を引き起こすため、通常絶縁油を循環させて熱を吸収させ、冷却している。また、都市部を中心に設置されている地中送電線は、送電効率を高めるため常時冷却されている。これらの排熱はヒートポンプの熱源として利用することができる。

図表 8.89 工場等排熱の種類と特徴

種類	形態	温度レベル	利用方法
工場排熱	高温ガス	200 ~	発電、熱源、直接利用
	温水	~ 50	熱源水、直接利用
	LNG冷熱	~ 5	発電、冷熱源
発電所	温水（復水器）	~ 50	熱源水、直接利用
地下鉄・地下街	空気	10 ~ 30	ヒートポンプ熱源水
ビル排熱	空気、水	20 ~ 40	ヒートポンプ熱源水
変電所・地中送電線	冷却水・冷却油	20 ~ 40	ヒートポンプ熱源水

出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007，経済産業省）

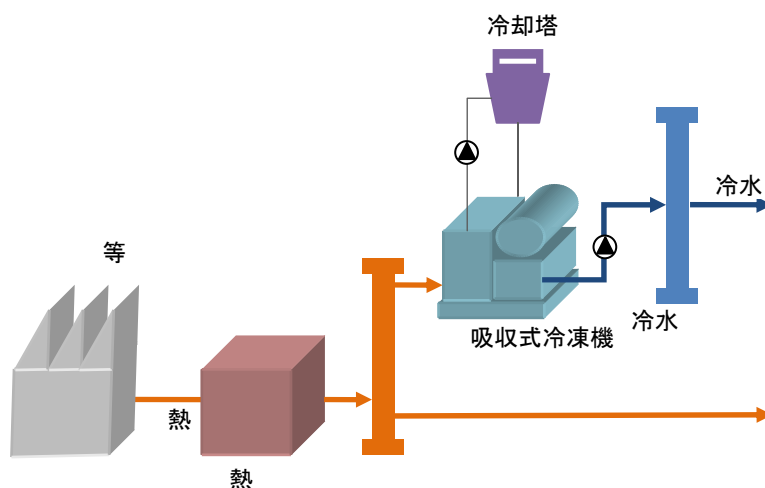
## (2) 排熱利用システム

工場等排熱の利用システムは、数百 の高温の場合と数十 の低温の場合とに大きく分けられる。高温排熱の場合は主に蒸気を製造して利用し、低温排熱の場合はヒートポンプの熱源として利用する。

### 1) 高温排熱利用システム

工場等で発生する高温排熱は、排熱ボイラにて回収したのち蒸気を生成し、給湯や暖房等の温熱供給に使用される。また、さらに蒸気吸収式冷凍機を用いて冷水を作り、冷熱を供給することもできる。

図表 8.90 高温排熱利用システムの例



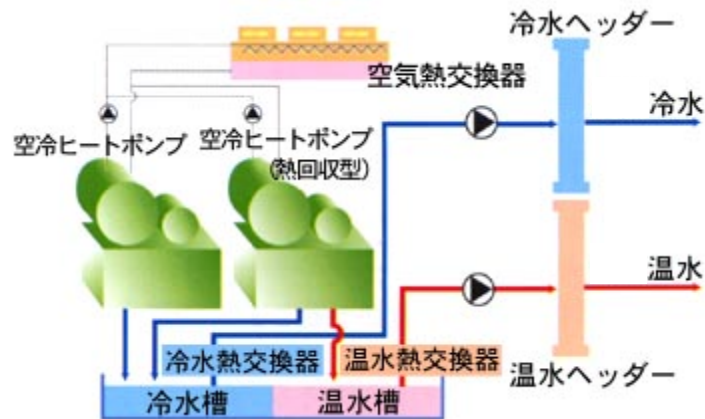
出典：(社)日本熱供給事業協会ホームページ (<http://www.jdhc.or.jp/>) より作成



## 2) 低温排熱利用システム

変電所や地下鉄などの低温排熱は、ヒートポンプの熱源として利用することができる。また、冷水槽および温水槽の蓄熱槽を設置することにより設備容量を削減することが可能となる。

図表 8.91 低温排熱利用システムの例



出典：(社)日本熱供給事業協会ホームページ (<http://www.jdhc.or.jp/>)

### 8.10.2 ポテンシャル

日本における工場等排熱のポテンシャルを図表 8.92 に示す。全国の工場等排熱の賦存量の合計は約 4,143PJ（原油換算 10,845 万 kL）、活用可能量<sup>68</sup>は約 3,602PJ（原油換算 9,430 万 kL）となっており、これは 2007 年度の民生部門のエネルギー消費量 4,967PJ（原油換算 13,003 万 kL）<sup>69</sup>の 83%と 73%にそれぞれ相当する。

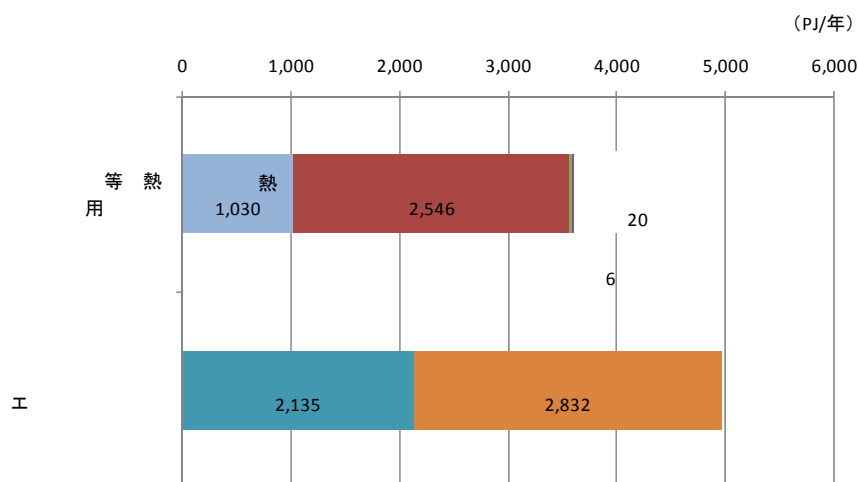
工場等排熱の内訳では特に発電所からの排熱の割合が高く、約 7 割を占めている。次にポテンシャルの大きい工場排熱は約 3 割近くを占める。

図表 8.92 工場等排熱のポテンシャル

種類	形態	全国の賦存量	全国の活用可能量
工場排熱	高温ガス	1,286,971 TJ/年 (原油換算 3,369 万 kL)	1,024,641 TJ/年 (原油換算 2,682 万 kL)
	温水		4,860 TJ/年 (原油換算 13 万 kL)
発電所	温水（復水器）	2,829,097 TJ/年 (原油換算 7,406 万 kL)	2,546,187 TJ/年 (原油換算 6,665 万 kL)
変電所・地中送電線	冷却水・冷却油	20,389 TJ/年 (原油換算 53 万 kL)	20,389 TJ/年 (原油換算 53 万 kL)
地下鉄・地下街	空気	6,253 TJ/年 (原油換算 16 万 kL)	6,253 TJ/年 (原油換算 16 万 kL)
合計		4,142,710 TJ/年 (原油換算 10,845 万 kL)	3,602,330 TJ/年 (原油換算 9,430 万 kL)

出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007、経済産業省）

図表 8.93 工場等排熱の活用可能量と民生部門エネルギー消費量の比較



出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007、経済産業省）  
「総合エネルギー統計」（2007、資源エネルギー庁）より作成

<sup>68</sup> 賦存量から現在既に有効利用されている排熱量を除いた値。

<sup>69</sup> 「総合エネルギー統計」（資源エネルギー庁）

### 8.10.3 導入目標量例

日本では、「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針」(2002年12月改訂、資源エネルギー庁)の新エネルギー導入目標のうち、未利用エネルギー(工場等排熱利用、温度差熱利用、および雪氷冷熱を含む)として、2010年度までに原油換算58万kLの導入目標が掲げられている。これが現行の地球温暖化対策推進大綱の目標になっている。

しかしながら導入は進んでおらず、「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005年3月、総合資源エネルギー調査会 需給部会)では2010年度の導入見通しとして、レファレンスケース、現行対策推進ケース、追加対策ケース全てのケースにおいて、原油換算5万kLと試算している。

図表 8.94 未利用エネルギーの供給目標

	2010年度	
	地球温暖化対策推進大綱 目標 <sup>1</sup>	2030年のエネルギー 需給展望 <sup>2</sup>
工場等排熱利用	58万kL*	5万kL*
温度差熱利用		
雪氷熱利用		

\*当該エネルギーの導入量を原油の数値に換算

出典1:「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

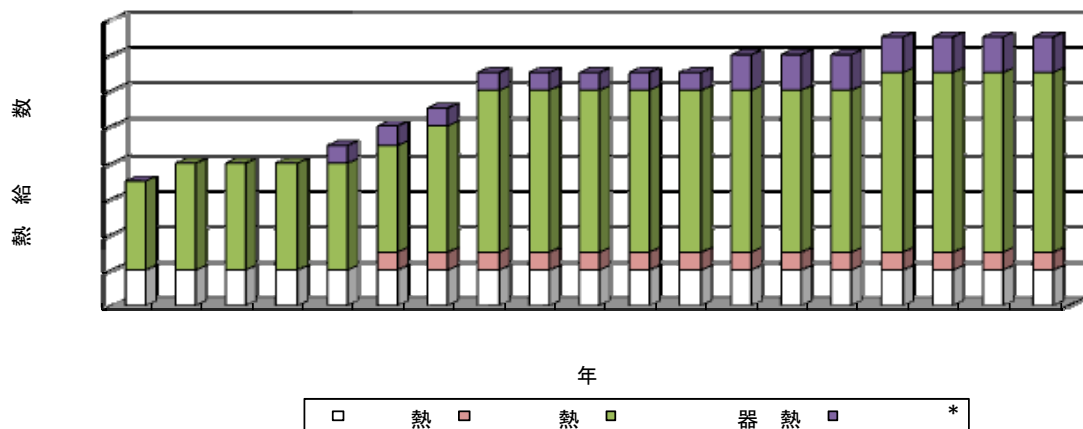
出典2:「2030年のエネルギー需給展望」(2005, 総合資源エネルギー調査会 需給部会)

### 8.10.4 導入実績

工場等排熱を活用した地域熱供給の実績は、2005 年以降 15 件となっている。そのうち、工場排熱を活用したものは 1990 年以降新規導入例がなく、2009 年まで 2 件に留まっている。また、地下鉄排熱は 1995 年に導入された 1 件のみである。最も主流である、変電所・変圧器排熱については 1990 年代に増加したが、1997 年以降はほぼ横ばいで 2005 年以降 10 件である。発電所の蒸気を利用した地域熱供給は 2002 年以降 2 件に留まっていたが、2010 年 2 月に東京電力川崎火力発電所の発電後の蒸気を周辺の工場に供給する「川崎スチームネット株式会社」が営業を開始している<sup>70</sup>。

排熱利用されている工場の業種は、セメントおよび化学等の、エネルギー多消費型の工場であり、エネルギーの有効利用が特に求められる業種である。また、排熱源の内訳では変電所・変圧器排熱が多く、近くの河川水や下水等、他の温度差熱エネルギー源と合わせて複合的に利用しているケースもある。

図表 8.95 工場等排熱利用の地域熱供給事業件数



\* 抽気とは、蒸気タービンで膨張した蒸気を一部取り出すこと  
 出典：熱供給事業便覧（(社)日本熱供給事業協会）より作成

<sup>70</sup> 東京電力株式会社プレスリリース（2010 年 2 月 1 日）

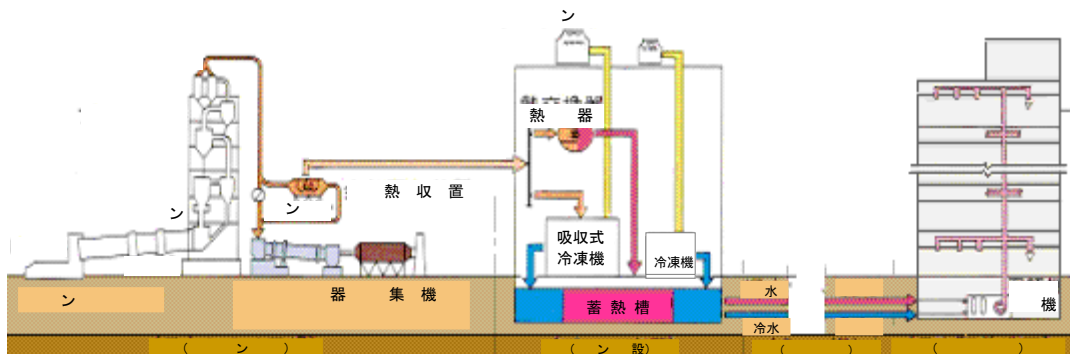
< 事例 > 日立駅前地区熱供給事業（工場排熱）

日立熱エネルギー株式会社は、セメント工場の排熱を利用した熱供給事業を行っている。セメントの粉体原料はロータリーキルン（焼成温度約 1,450℃）に送り込まれる前にプレヒーターを通過する。このプレヒーターからの余熱（約 370℃）を回収し、熱供給プラントの地下に設置した蓄熱槽と組み合わせて安定供給を図った地域冷暖房を実施しており、日立駅前地区の公共、商業、業務施設に熱を供給している。

図表 システム概要

供給開始	1989年12月1日	
供給区域	茨城県日立市幸町	
区域面積	13.2ha（H20.3.31現在）	
供給延床面積	133,798m <sup>2</sup> （H20.3.31現在）	
供給建物	オフィスビル、ホテル等	
供給熱媒	冷水（往）	7
	温水（往）	60
熱源機	余熱ボイラ	5,563Mcal/h
	吸収式冷凍機	計 2,000RT
	ターボ冷凍機	計 650RT
蓄熱槽	1,560m <sup>3</sup>	

図表 システム概略図



出典：日立セメント株式会社ホームページ（<http://www.hitachi-cement.co.jp/netuene-1.htm>）より作成

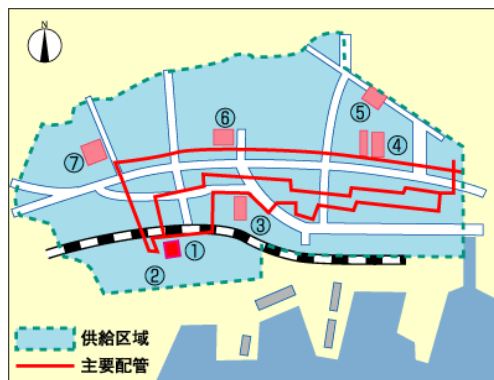
**< 事例 > 福島県いわき市熱供給事業（工場排熱）**

小名浜配湯株式会社は、いわき市小名浜において地域振興と市民福祉のための給湯計画を受けて設立され、1970年より日本化成株式会社小名浜工場の排熱を利用した地域給湯事業を行っている。熱源は工業薬品の製造設備から発生する排熱であり、工業用水を熱交換することにより原湯を製造している。原湯は濾過された後、貯湯槽より塩素滅菌処理されて、一般家庭を中心に飲食店等の営業用や学校・病院等の公共施設に配湯されている。

**図表 事業概要**

供給開始	1970年2月1日
供給区域	福島県いわき市小名浜地区
区域面積	90 ha（H20.3.31 現在）
供給延床面積	251,000m <sup>2</sup> （H20.3.31 現在）
供給戸数	約 1,200 戸
供給建物	一般住宅、レストラン等
給湯温度	50（最終需要者側）

**図表 供給区域**



配湯設備(プラント) 工場 病院 ショッピングセンター  
市役所支所 小学校 保育所



出典：(社)日本熱供給事業協会ホームページ（<http://www.jdhc.or.jp/area/tohoku/03.html>）

**< 事例 > 新宿南口西地区熱供給事業（地下鉄排熱）**

新宿南エネルギーサービス株式会社は新宿南口西地区において、旧国鉄跡地における再開発に合わせ地下鉄排熱の活用を取り入れた地域熱供給事業を行っている。隣接する都営地下鉄大江戸線新宿駅に設置した排熱回収ヒートポンプにより、電車や人体から排出される熱、車両冷房による排熱を温水として回収し利用している。

また、電気・ガスを併用して一次エネルギー源を複源化することにより信頼性を向上させ、氷蓄熱・水蓄熱を設置して夜間電力を利用することでエネルギーの平準化を図り、経済性の向上を目指したシステムとなっている。

**図表 システム概要**

供給開始	1995年10月1日
供給区域	東京都渋谷区代々木2丁目
区域面積	9.4 ha（H21.3.31 現在）
供給延床面積	383,283m <sup>2</sup> （H21.3.31 現在）
供給建物	オフィスビル、ホテル、病院等
熱源機	熱回収ターボ冷凍機 1,055kW ターボ冷凍機 3,516kW ブライントーボ冷凍機 2,989kW（製氷時）
蓄熱槽	水蓄熱槽：3,780m <sup>3</sup> 氷蓄熱槽：810m <sup>3</sup>

**図表 供給区域概観**



出典：「新エネルギーガイドブック 2005」（2005, NEDO）

### 8.10.5 技術開発動向

工場等排熱利用システムを構成する要素（冷凍機、熱交換器、蓄熱槽、ボイラ等）は基本的に既存技術が用いられている。導入にあたり大きな課題となっているのは、熱の発生地と需要地の地理的ギャップ、既存街区への導入の困難さ、高いイニシャルコストであり、物理的、経済的制約等により導入が進んでいないのが実態である。

一般に、高温排熱を得られる工場、発電所等は、需要地から離れた場所に立地していることが多い。また、熱供給配管の断熱性能には限界があり、供給エリアは高温排熱において半径 2km 以内、低温排熱において半径 0.5km 以内が目安となっているため<sup>71</sup>、遠方への熱輸送は難しい。

イニシャルコストについては、熱源に未利用エネルギーを利用するシステムは、熱源の不安定さから必ず補助熱源が必要となるため、従来システムと比較してコスト高となることは避けられない。また、配管の敷設など大規模な工事を必要とするため、イニシャルコストは膨大になる。加えて、既存の街区への導入は難しく、大規模な再開発計画等に合わせる必要がある。

システムの導入にあたっては、上記の物理的、経済的制約をクリアすることが必要であり、その上で、さらなる低コスト化、高効率化、供給形態の多様化等の技術的アプローチが重要となる。

図表 8.96 工場等排熱利用の主な技術課題

技術・課題		解決策・要素技術
低コスト化	開発・施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発区域のコンパクト化</li> <li>配管敷設時の共同溝<sup>72</sup>の利用</li> </ul>
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器のメンテナンス費の削減</li> </ul>
高効率化	熱源機器の効率化	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率吸収式冷凍機</li> <li>高効率ヒートポンプ</li> </ul>
	配管熱損失の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>供給地と需要地のマッチング</li> <li>配管の断熱性能の向上</li> </ul>
供給形態の多様化	蓄熱による熱供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>トランスヒートコンテナ</li> </ul>
	発電利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>排熱回収スターリングエンジン</li> <li>小型温度差発電システム</li> </ul>

#### (1) 低コスト化

低コスト化に係る課題として、開発区域のコンパクト化、共同溝の利用等による配管敷設コストの削減が挙げられる。

地域熱供給システムは、配管の熱損失の観点から遠方への熱供給は難しいこと、イニシャルコストに占める配管敷設コストの割合が大きいことから、開発区域のコンパクト化によるイニシャルコストの削減が得策である。また、なるべく熱供給エリア中央に熱源を配置することにより配管からの熱損失を低減し、かつ配管敷設コストを削減する工夫も必要となる。

<sup>71</sup> 「未利用エネルギー面的活用熱供給の実態と次世代に向けた方向性」(2008, 資源エネルギー庁)

<sup>72</sup> 電気、ガス、上下水道などのライフラインを地下に埋設する設備。



配管の敷設については、既存の共同溝を利用することにより、配管敷設に係る工事費を大幅に削減することが可能となる。しかしながらいずれも、熱源の立地に左右されるため、全ての事例において実施可能な対策ではない。

排熱回収装置の設備費は、回収する排熱源の種類によって異なる。例えば熱源となる排ガス中に粉塵が多く含まれる場合は、熱交換器内に付着した粉塵を定期的に落とす必要があり、設備費がかさむ。また腐食性の強いガスから熱回収する場合は、チタン製の熱交換器等が必要となり、アルミニウム合金やステンレス鋼製の熱交換器と比較して大幅なコストアップになる。

ランニングコストについては、未利用エネルギーを利用するため、既存のシステムと比較して燃料代の削減に寄与するが、排熱回収装置や補助ボイラ等のメンテナンス費が追加負担となる。また、大規模なボイラの取扱いにあたっては、ボイラ取扱作業主任者としてボイラ技士を選任する必要があり、人件費がかかる。

## (2) 高効率化

高効率化については、熱源機器の高効率化や、配管熱損失の低減等が挙げられる。

熱源機器は、高温系のシステムにおいて吸収式冷凍機、低温系のシステムにおいてヒートポンプ空調機が主に使用される。吸収式冷凍機については、一般的な二重効用式の COP1.0~1.2 に対し、現在三重効用式において COP1.6 (高位発熱量ベース) を達成している<sup>73</sup>。ヒートポンプシステムについては、空冷ヒートポンプで COP5 以上、ターボ冷凍機において COP<sup>6</sup><sup>74</sup>以上を実用化しており、飛躍的に高効率化が進んでいる。数十年前の機器を使用しているプラントにおいては、最新機器の導入により大幅な効率向上が可能となる。しかしながら、経済性の高いビルマルチ方式等の普及に伴い、分散型システムに対する地域熱供給システムの競争力は低下する傾向にあり、特にコスト高となる未利用エネルギー源を用いた地域熱供給システムはコスト競争力を保つのが難しい状況にある。

配管熱損失の低減は、配管の断熱性能の向上が対策として挙げられるが、イニシャルコストを押し上げる要因にもなるため、注意が必要である。また、熱損失の低減には、熱の移動距離を短くする必要があり、供給地と需要地のマッチングが重要となる。

## (3) 供給形態の多様化

供給形態の多様化として、蓄熱による熱供給、発電利用等が挙げられる。

蓄熱による熱供給技術として、潜熱蓄熱技術を用いた「トランスヒートコンテナ」が開発されている。トランスヒートコンテナは、これまで低温のため捨てられていた 200 以下の排熱をコンテナ内の潜熱蓄熱材 (PCM: Phase Change Material) に蓄熱し、給湯や冷暖房の熱源として利用する技術である。潜熱蓄熱材とは、固液の相変化に伴って移動する潜熱を利用するもので、一定の温度で蓄放熱できること、顕熱蓄熱よりも高密度で蓄熱できる点が特徴である。本技術はドイツから輸入された。

図表 8.97 にトランスヒートコンテナの概要を示す。熱源側の熱交換器を通して、熱媒油によりコンテナ内の潜熱蓄熱材に蓄熱する。需要側では同様に熱交換器を通して、熱媒油により放

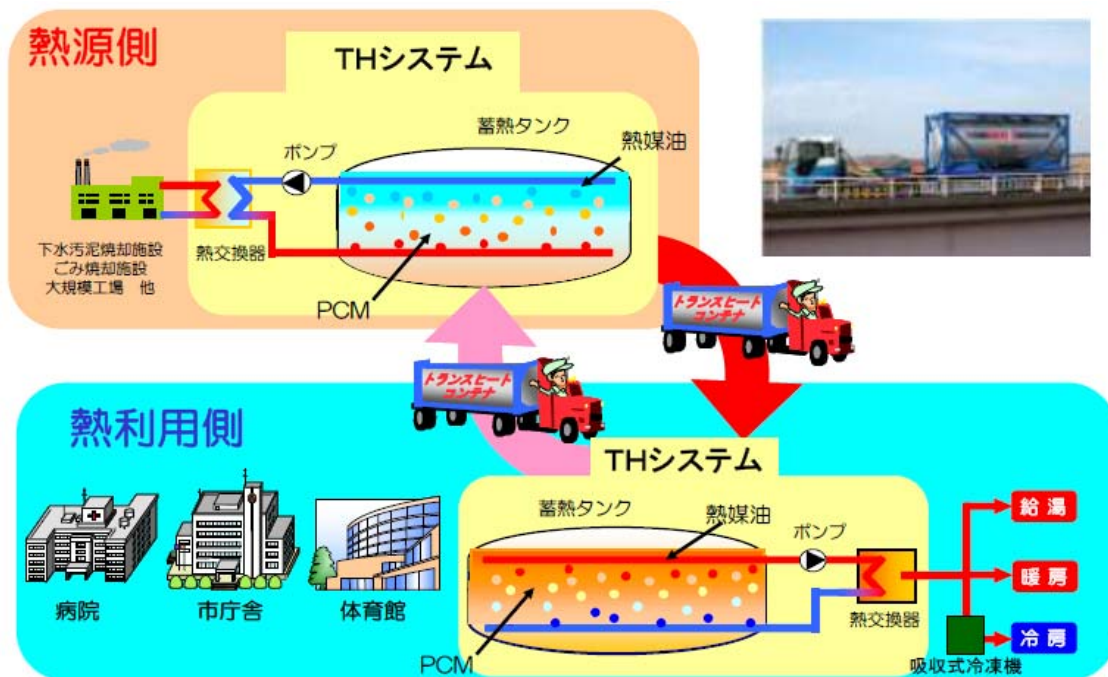
<sup>73</sup> 川重冷熱工業株式会社製

<sup>74</sup> インバーターターボ冷凍機においては、部分負荷運転時の COP は 20 を超えている。

熱し、給湯・暖房・冷房に利用する。

トランスヒートコンテナの利用形態には輸送型と定置型がある。輸送型はトラックで需要地へ輸送する方法で、従来の地域熱供給のエリアが半径 0.5km～2km 程度に限られるのに対し、トランスヒートコンテナの場合輸送距離 10～20km 程度まで経済的な搬送が可能とされている<sup>75</sup>。定置型は、排熱源の近くにトランスヒートコンテナを設置して利用する方法である。蓄熱して利用することにより、熱負荷の時間変動に対応可能であり、工場内建物の熱源として利用できる。トランスヒートコンテナのエネルギー利用効率<sup>76</sup>は高く、輸送型・定置型双方において90%以上を達成している。

図表 8.97 トランスヒートコンテナ システム概要



出典：「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究」(2009, EPOC)

<sup>75</sup> 三機工業株式会社ホームページホームページ (http://www.sanki.co.jp/news/press/contents\_59.html)

<sup>76</sup> 供給熱量 - (熱媒油循環ポンプ動力 + 輸送燃料)

## 8.11 温度差熱利用

### 8.11.1 技術の俯瞰

温度差熱利用システムは、河川水や海水、下水、地下水等がもつ温度と外気との温度差（温度差エネルギー）を、ヒートポンプ等を用いて利用するシステムである。年間を通じて温度変化が小さく、大気温度に比べて夏期は低く冬期は高い特性を持つ河川水や海水等の熱を活用することにより、ヒートポンプの効率を向上させることができる。

#### (1) 温度差熱利用の熱源の種類

##### 1) 河川水

一般に河川水の水温は、大気温と比較して夏期は低く冬期は高いとされており、空気を熱源とするヒートポンプと比較して高効率に運転することができる。国内では1989年より河川水を利用した地域冷暖房が行われている。都市部を貫流する河川等では需要地に近いことから活用の意義は大きく、比較的取水が容易な下流域、河口部付近における利用が見込まれる。

##### 2) 海水

海水は凍結温度が真水よりも低く、より低温で利用できること、量的にほぼ無尽蔵であること等の点から、優れたヒートポンプ熱源であるといえる。国内外における地域熱供給の事例の他、小規模な水産養殖への利用例もある。

##### 3) 地下水

地下水は年間を通して水温が十数度で安定しており、河川水、海水と同様に優れたヒートポンプ熱源といえる。地下水の利用については、工業用水法や、建築物用地下水の採取の規制に関する法律（通称：ビル用水法）等の規制や自治体による条例があり、法への対応、環境への影響には十分な注意が必要である。群馬県高崎市における地下水利用地域冷暖房システムでは、60m以深の地下水脈から揚水し熱利用した地下水は、還水井を通して地下に還元されている。

##### 4) 下水

住宅等の生活排水や尿尿等を集約し一括処理する下水処理場では、住宅で風呂等に利用された給湯等の熱が集約されており、特に冬期の温度が高く、ヒートポンプの熱源として利用することができる。国内外において、下水熱を利用した大規模な地域熱供給事業が行われている他、小規模な事例では下水道局のポンプ場や処理場において場内の建物の冷暖房や給湯に利用されている。

##### 5) 地中熱

深さ3m程度以深の地中の温度は、地上の気温変化に関わりなく、一年を通してその地域の

平均気温（東京では 17 前後）と同じであるため、安定した COP を得られる<sup>77</sup>。公共施設や戸建て住宅の冷暖房・給湯や、消融雪等への利用実績がある。

図表 8.98 温度差熱利用の種類と特徴

種類	形態	温度レベル	利用方法
河川水	水	5～25	ヒートポンプ熱源、冷却水
海水	水	5～25	ヒートポンプ熱源、冷却水
地下水	水	10～20	ヒートポンプ熱源、冷却水
下水	未処理水	5～30	ヒートポンプ熱源、冷却水
	処理水	5～30	ヒートポンプ熱源、冷却水
地中熱	水、空気	10～20	ヒートポンプ熱源、冷却水

出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007, 経済産業省）

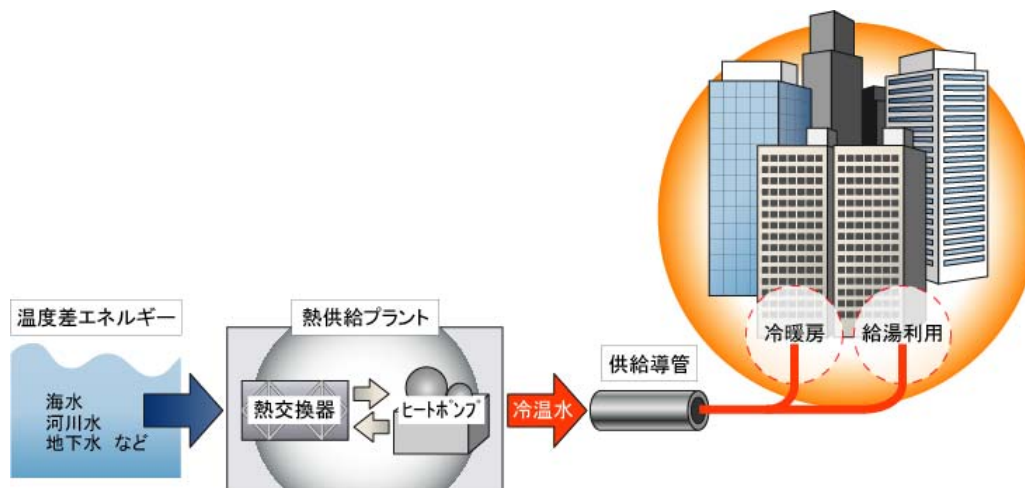
## (2) 温度差熱利用システム

### 1) 河川水、海水、地下水、下水

温度差熱利用システムの要はヒートポンプ技術である。ヒートポンプは近年技術開発が進み、業務用冷凍機の定格 COP は 6 を超える水準に達している<sup>78</sup>。河川水等の持つ熱は、熱交換器を介してヒートポンプに伝えられ冷温水が作られる。

地域熱供給システムの場合は、導管を通して需要家へ冷温水が輸送され、冷暖房や給湯に利用される。また、需要の変動に合わせて熱供給を行うために蓄熱槽も併用されている。

図表 8.99 温度差熱利用システムの例（地域熱供給システム）



出典：「新エネルギーガイドブック 2008」（2008, NEDO）

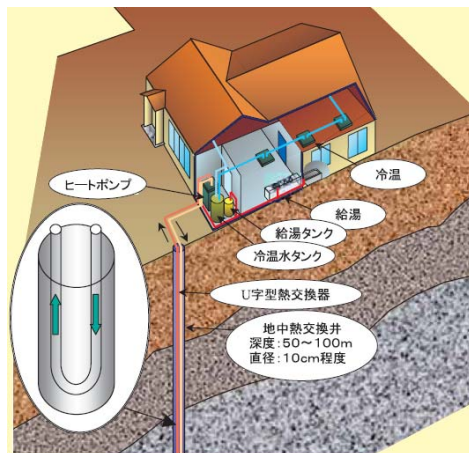
<sup>77</sup> 地中熱利用促進協会ホームページ（<http://www.geohpaj.org/index.htm>）

<sup>78</sup> 「ヒートポンプ・蓄熱システムデータブック 2009」（(財)ヒートポンプ・蓄熱センター）

## 2) 地中熱

地中熱利用ヒートポンプシステムは、地盤に直径 10cm 程度、深さ 50～100m 程度の地中熱交換井を掘削してその中に熱交換器を設置し、地中熱をヒートポンプの熱源として利用して冷暖房や給湯等を行う。

図表 8.100 地中熱利用システムの例



出典：「地球熱利用システム 地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題」(2006, NEDO)

### 8.11.2 ポテンシャル

日本における温度差熱利用のポテンシャル試算例を図表 8.101 に示す。全国の温度差熱利用の賦存量の合計は 15,083PJ(原油換算 39,484 万 kL)、活用可能量<sup>79)</sup>は 9,999PJ(原油換算 26,175 万 kL)と試算されている。これは 2007 年度の民生部門のエネルギー消費量 4,967PJ(原油換算 13,003 万 kL)<sup>80)</sup>の約 3 倍と 2 倍にそれぞれ相当する。

海水はほぼ無尽蔵に存在するためポテンシャルは非常に大きく、賦存量の半分以上を占める。次いで河川水の賦存量が約 4 割を占めている。

図表 8.101 温度差熱利用のポテンシャル

種類	形態	全国の賦存量	全国の活用可能量
海水	水	8,510,138 TJ/年 (原油換算 22,278 万 kL)	8,510,138 TJ/年 (原油換算 22,278 万 kL)
河川水	水	6,297,806 TJ/年 (原油換算 16,486 万 kL)	1,299,484 TJ/年 (原油換算 3,402 万 kL)
下水	処理水・未処理水	274,891 TJ/年 (原油換算 720 万 kL)	189,358 TJ/年 (原油換算 496 万 kL)
合計		15,082,835TJ/年 (原油換算 39,484 万 kL)	9,998,980 TJ/年 (原油換算 26,175 万 kL)

出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」(2007, 経済産業省)

<sup>79)</sup> 賦存量から現在既に有効利用されている排熱量を除いた値。

<sup>80)</sup> 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

### 8.11.3 導入目標量例

日本では、「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針」(2002年12月改訂、資源エネルギー庁)の新エネルギー導入目標のうち、未利用エネルギー(温度差熱利用、工場等排熱利用、および雪氷冷熱を含む)として、2010年度までに原油換算58万kLの導入目標が掲げられている。これが現行の地球温暖化対策推進大綱の目標になっている。

しかしながら導入は進んでおらず、「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005年3月、総合資源エネルギー調査会 需給部会)では2010年度の導入見通しとして、レファレンスケース、現行対策推進ケース、追加対策ケース全てのケースにおいて、原油換算5万kLと試算している。

図表 8.102 未利用エネルギーの供給目標

	2010年度	
	地球温暖化対策推進大綱目標 <sup>1</sup>	2030年のエネルギー需給展望 <sup>2</sup>
温度差熱利用	58万kL*	5万kL*
工場等排熱利用		
雪氷熱利用		

\* 当該エネルギーの導入量を原油の数値に換算

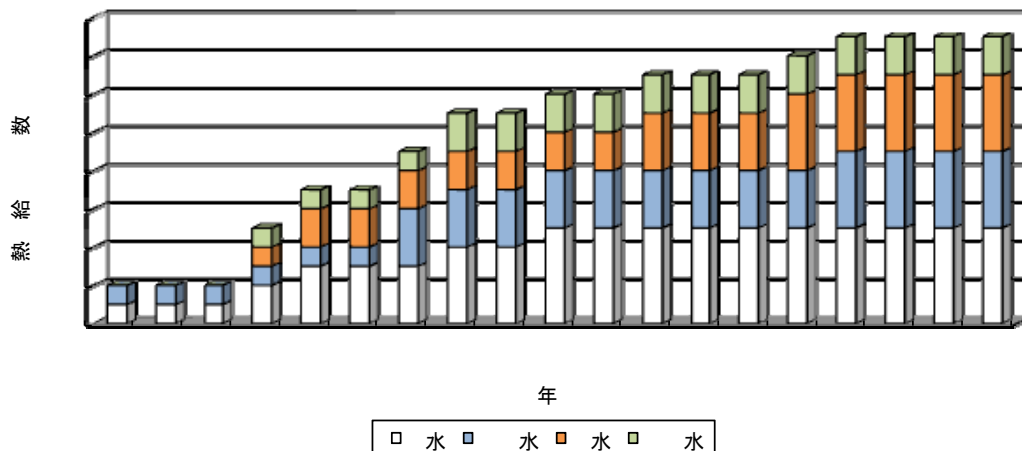
出典1: 「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

出典2: 「2030年のエネルギー需給展望」(2005, 総合資源エネルギー調査会 需給部会)

### 8.11.4 導入実績

図表 8.103 に温度差熱利用の地域熱供給事業件数を示す。1990年代中頃に導入件数が増加したが、1990年代後半以降はなだらかな増加傾向となり、2005年以降は15件となっている。内訳としては、下水、河川水、海水の利用事例が多い。

図表 8.103 温度差熱利用の地域熱供給事業件数



出典: 熱供給事業便覧(社)日本熱供給事業協会)より作成

<事例> 箱崎地区熱供給センター（河川水）

東京都市サービス株式会社は、日本初の河川水を利用する蓄熱式ヒートポンプシステムを用いた熱供給事業を行っている。東京都の公害防止対策に基づく地域冷暖房の推進地域である箱崎地区において、再開発構想の一環として進められた。隅田川を熱源として水熱源ヒートポンプを運転し、大型蓄熱槽と組み合わせて、オフィスビルや高層住宅等に冷温熱を供給している。

図表 システム概要

供給開始	1989年4月15日			
供給区域	東京都中央区日本橋箱崎1番他			
主要機器（第1プラント）				
熱源設備	水熱源ヒートポンプ （熱回収型）	冷却	1,600 USRT	×2台
		加熱	14,233 MJ/h	
	水熱源ヒートポンプ	加熱	230 MJ/h	×2台
		加熱	180 MJ/h	×2台
電動冷凍機	冷却	1,600 USRT	×1台	
合計	冷却：4,800 USRT 加熱：29,286 MJ/h			
蓄熱槽容量	5,003m <sup>3</sup> （9槽）			
利用温度差	夏期：+5 冬期：-3			
供給区域面積	25.4ha（2009.4.1現在）			
供給延床面積	278,450m <sup>2</sup> （2009.4.1現在）			
供給建物	オフィスビル、住宅等			

図表 箱崎地区熱供給区域



出典：（社）日本熱供給事業協会ホームページ（<http://www.jdhc.or.jp/area/tokyo/25.html>）

**< 事例 > 後楽一丁目地区熱供給センター（下水）**

東京下水道エネルギー株式会社は、日本初の未処理下水を利用した熱供給事業を行っている。未処理下水を電動ヒートポンプの冷却・熱源水に活用し、蓄熱槽と組み合わせて水道橋駅に隣接する業務商業地区に冷温熱を供給している。

**図表 システム概要**

供給開始	1994年7月1日
供給区域	東京都文京区後楽一丁目地区
主要設備	
ヒートポンプ	水熱源ヒートポンプ ×2台
	水熱源・熱回収型ヒートポンプ ×2台
	冷却容量 計 約11万MJ/h 加熱容量 計 約13万MJ/h
蓄熱槽容量	3槽
地域導管	温水管・冷水管各約800m
利用温度差	-
供給区域面積	21.6ha（2008.3.31現在）
供給延床面積	294,800m <sup>2</sup> （2008.3.31現在）
供給建物	オフィスビル、ホテル、商業施設

**図表 後楽一丁目熱供給区域**

出典：「新エネルギーガイドブック 2008」（2008, NEDO）



### 8.11.5 技術開発動向

温度差熱利用システムを構成する要素（冷凍機、熱交換器、蓄熱槽、ボイラ等）は基本的に既存技術が用いられている。導入にあたり大きな課題となっているのは、既存街区への導入の困難さや、高いイニシャルコストであり、物理的、経済的制約等により導入が進んでいないのが実状である。

他の未利用エネルギーを利用するシステムと同様に、熱源の不安定さから補助熱源が必要となるため、従来システムと比較してコスト高となることは避けられない。また、河川・海水に関係する部分の設備費・メンテナンス費が追加的に必要となる。配管敷設など大規模な工事を必要とするため、既存の街区、建物への導入は困難であり、大規模な再開発計画等に合わせる必要がある。

システムの導入にあたっては、上記の物理的、経済的制約をクリアする必要があり、その上で、さらなる低コスト化、高効率化等の技術的アプローチが重要となる。

図表 8.104 温度差熱利用システムの主な技術課題

技術・課題		解決策・要素技術
低コスト化	開発・施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発区域のコンパクト化</li> <li>共同溝<sup>81</sup>の利用</li> <li>土壌掘削費の削減（地中熱利用）</li> <li>建物の支持杭（鋼管杭）の利用</li> </ul>
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器のメンテナンス費の削減</li> </ul>
高効率化	熱源機の高効率化	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率ヒートポンプ</li> <li>高効率ターボ冷凍機</li> </ul>
	配管熱損失の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>配管の断熱性能の向上</li> <li>供給地と需要地のマッチング</li> </ul>
	河川・海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>スケール・スライム対策</li> </ul>
	適地の選定	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱源のモニタリング</li> </ul>
高耐久化	河川・海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱交換器の腐食防止</li> </ul>
運用・管理	生態系への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋生物の付着防止</li> <li>河川流況、水温変化、地中温度等のモニタリング</li> </ul>

#### (1)低コスト化

低コスト化に係る課題として、開発区域のコンパクト化、共同溝の利用、土壌掘削費の削減（地中熱利用）等が挙げられる。

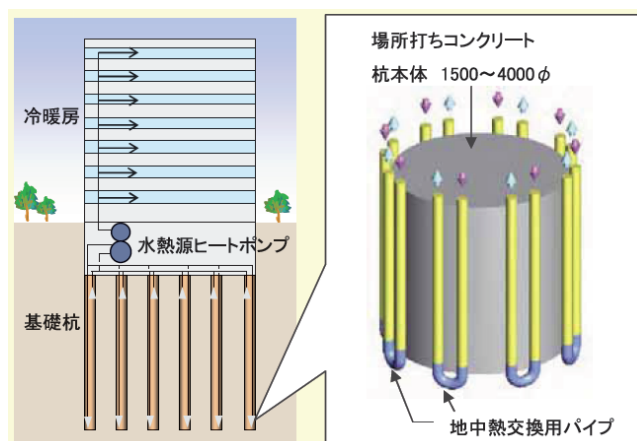
河川、海水等を利用した地域熱供給システムは、補助熱源や河川・海水に関係する部分の追加的設備費用、メンテナンス費用が必要であり、従来システムより高コストになることは避けられない。その上でイニシャルコストを削減するためには、開発区域をコンパクトにし、配管

<sup>81</sup> 電気、ガス、上下水道などのライフラインを地下に埋設する設備。

敷設コストの削減等を図る方策も考えられる。また、既存の共同溝内を利用することにより、配管敷設に係る工事費を大幅に削減することも一案である。しかしながらいずれも、熱源の立地に左右されるため、全ての事例において実施可能な対策ではない。

地中熱利用システムは、地中熱交換井の掘削コストが大きく、その削減が課題となっている。特に日本は地質が多様であることに加え、非常に崩壊しやすい地質が多いことから諸外国と比較して掘削コストが高く、欧米 3~5 千円/m に対し、日本においては 1~2 万円/m と、3~4 倍のコストがかかる<sup>82</sup>。掘削コストを削減する取組みとして、建物の基礎杭を活用したシステムが提案されている（図表 8.105）。

図表 8.105 基礎杭を利用した地中熱空調システム



出典：「地球熱利用システム 地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題」（2006, NEDO）

## (2) 高効率化

高効率化については、熱源機器の高効率化や、スケール・スライム対策、配管熱損失の低減等が挙げられる。

現在ヒートポンプは近年技術開発が進み、業務用冷凍機の定格 COP は 6 を超える水準に達している<sup>83</sup>。数十年前の機器を使用しているプラントにおいては、最新機器の導入により大幅な効率向上が可能となる。しかしながら、経済性の高いビルマルチ方式等の普及に伴い、分散型システムに対する地域熱供給システムの競争力は低下する傾向にあり、特にコスト高となる未利用エネルギー源を用いた地域熱供給システムはコスト競争力を保つのが難しい状況にある。

配管熱損失の低減は、配管の断熱性能の向上が対策として挙げられるが、イニシャルコストを押し上げる要因にもなるため、注意が必要である。また、熱損失の低減には、熱の移動距離を短くする必要があり、供給地と需要地のマッチングが重要となる。

河川、海水等を利用するシステムについては、スケール・スライムの付着による熱交換効率の低下防止が重要となる。現在はスポンジボールやブラシなどによる物理的洗浄（図表 8.106、図表 8.107）のほか、薬品洗浄などにより対策が立てられている。

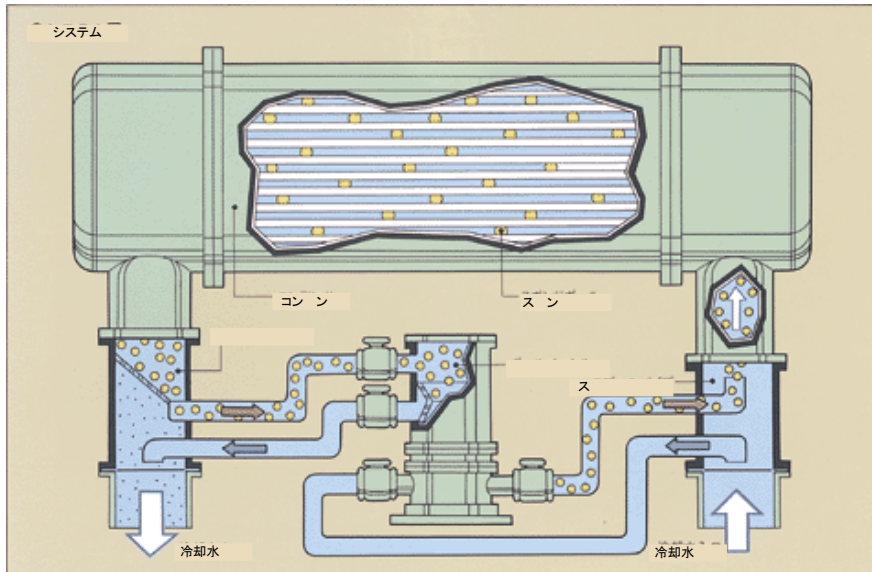
地中熱利用ヒートポンプについては、地中からの採熱量予測に基づき適切なシステム設計（地

<sup>82</sup> 「地球熱利用システム 地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題」（2006, NEDO）

<sup>83</sup> 「ヒートポンプ・蓄熱システムデータブック 2009」（(財)ヒートポンプ・蓄熱センター）

中熱交換井の本数、深さ等)を行うことが重要である。採熱量は、有効熱伝導率、熱抵抗などの特性を把握するサーマルレスポンス試験により予測される。

図表 8.106 スポンジボールによる熱交換器内洗浄の概要



出典：東芝キャリア株式会社ホームページ (<http://www.toshiba-carrier.co.jp/>)

図表 8.107 ブラシ式チューブ自動洗浄装置



出典：荏原冷熱システム株式会社 地中熱利用ヒートポンプシンポジウム資料 (2007)

### (3)高耐久化

河川水、海水等の温度差エネルギー利用システムは、熱交換器等の腐食対策が重要となる。一般的に、腐食対策としてはチタンを用いた熱交換器が用いられている。8.11.4 の事例に挙げたとおり、河川水等を利用した地域熱供給システムは既に 20 年近くの運転実績があることから、熱交換器の耐久性が普及阻害要因となることはない。しかしながら、チタンは非常に高価であり、イニシャルコストを押し上げる要因となっている。

地中熱利用システムについては、熱交換器は半永久的(耐用年数 50 年レベル)に使用可能であり、耐久性に関しては普及要件を満たしている。

### (4)運用・管理

河川、海水等を利用する場合には、水中の浮遊物や海洋生物の処理が必要となる。河川水を

## 8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

利用している東京都の箱崎地区熱供給プラント（P525）では、取水時に大きな浮遊物・海洋生物等を金網等を取り除いた上で、残りをオートストレーナで粉砕し、そのまま熱交換器に通している。熱交換器に直接河川水・海水を接触させるシステムの場合は必ず必要な設備であり、追加的コストとなっている。

その他、環境影響評価についても考慮する必要があるとあり、河川流況や水温変化、地中温度等のモニタリングが必要となる。

## 9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

“スマートグリッド”とは、電力供給システムの目指す姿を表す概念的用語であるが、既存の電力供給システムの完成度や電気事業体制、目指す目的により、国や地域によってその概念は若干異なっている。しかしながら一般的には、「従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信技術の活用により、太陽光発電等の分散型電源や需要家の情報を統合・活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すもの」<sup>1</sup>を指すものと考えられている。従って“スマートグリッド技術”とは、「高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を可能とするための新たな、または高度化された電力技術」と捉えられる。

我が国においては、太陽光発電の大量導入に伴い懸念される系統運用上の諸課題（軽負荷期の余剰電力問題や、配電線の電圧上昇問題等）に対応する目的で、スマートグリッド技術の活用が検討・期待されている。

そのため本章では、我が国の再生可能エネルギーの導入を促進するための基盤技術となるスマートグリッド技術について、技術の現状、および課題の整理・分析を行い、我が国において今後開発を進めるべきスマートグリッド技術のロードマップを策定した。

なお、スマートグリッド技術は、停電時間が短い等、世界でも有数の信頼度・品質を誇る我が国の電力技術を活かすことで、我が国の戦略的な海外展開の柱となる可能性を秘めている。従って本章では、我が国においては導入されていない、または導入する予定がない技術であっても、スマートグリッド技術として世界的に導入・研究されている技術も対象に含めている。

### 9.1 技術を取りまく現状

#### 9.1.1 技術の俯瞰

##### (1) 各国の取組状況の俯瞰

米国や欧州での取組みを発端として、スマートグリッドへの取組みが世界的に盛んである。各国で取り組まれているスマートグリッドは、既存システムシステムの完成度や、スマートグリッド化する目的の違いにより、図表 9.1 に示す 4 タイプに概ね分類できると考えられる。

図表 9.2 に世界の主なスマートグリッド関連のプロジェクトを示す。例えば米国では、ARRA（米国再生・再投資法）によるスマートグリッド関連事業への助成を背景に、多くのプロジェクトが進展している。電力自由化に伴う電力網への投資抑制により老朽化した設備が増えてきているが、IT を活用してその更新費用を抑えつつ、供給信頼度向上を目指す取組みが進められている。また IT の活用や需要家情報の取り込み等を行い、新たなビジネスを生み出す動きも盛んであり、

<sup>1</sup> 「低炭素電力供給システムに関する研究会報告書」（低炭素電力供給システムに関する研究会、2009年7月）

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

重電メーカーやIT企業などが積極的に海外にも進出し、ビジネスの拡大を目指している。

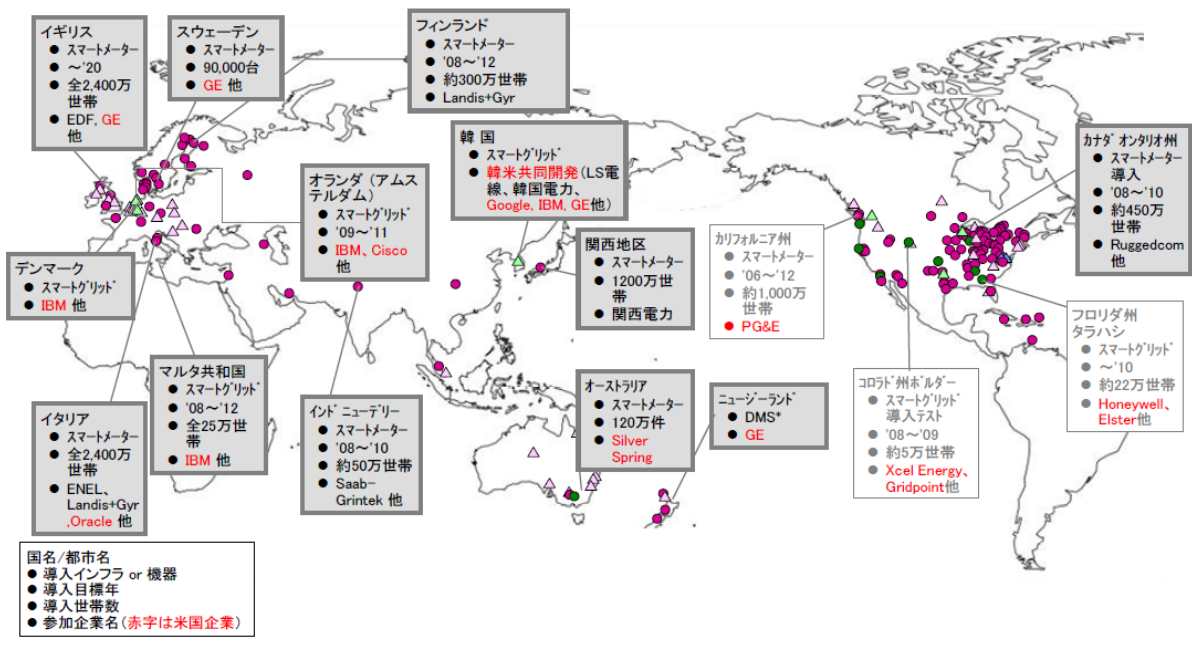
図表 9.1 スマートグリッドの4タイプ

タイプ	目的	該当地域	機能・能力
供給信頼度強化型	<ul style="list-style-type: none"> <li>老朽化した電力網を更新</li> <li>保全コストを抑制しつつ、供給信頼性を向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>米国（東北部など）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新たな送電・配電網設備</li> <li>停電監視、障害解析</li> <li>系統安定化技術など</li> </ul>
再生可能エネルギー大量導入型	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電など再生可能エネルギーを積極的に導入</li> <li>低炭素型の街づくりを視野に</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州</li> <li>日本</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電など分散電源</li> <li>蓄電技術</li> <li>PHEV など</li> </ul>
急成長需要充足型	<ul style="list-style-type: none"> <li>急成長する新興国のエネルギー需要を充足</li> <li>盗電を含むロスを削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>インド</li> <li>ブラジル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新規電源（クリーンコール）</li> <li>新たな送電・配電網</li> <li>遠隔監視、遠隔操作など</li> </ul>
ゼロベース都市開発型	<ul style="list-style-type: none"> <li>低炭素型の新都市をゼロベースで構築</li> <li>社会システム一式の輸出も</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポルトガル</li> <li>中国（沿岸部）</li> <li>シンガポール</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギーインフラだけでなく、生活、ビジネス、交通なども含む社会システム一式</li> </ul>

出典：日経エコロジー2010.5, p27（出所：アクセンチュア）より一部改

図表 9.2 世界の主なスマートグリッド関連プロジェクト

○BRICSをはじめとした新興国の経済成長を背景に、電力、水道、鉄道、道路といったインフラ需要が旺盛。都市開発とセットのところも多い。  
 ○海外では、スマートグリッドや関連するインフラ整備を含めたプロジェクトが多数進行中。  
 ○米国では、国内実証とともに海外展開を積極的に推進。



出典：第7回次世代エネルギー・社会システム協議会資料（2010年1月19日）

スマートグリッドに関して積極的な取り組みを進めている欧州、米国、欧州、中国、韓国、日本の取り組み状況を整理・比較したものが図表 9.3 である。

図表 9.3 スマートグリッドに関する主要国・地域の取組み状況の比較 (1/2)

	欧州	米国	中国	韓国	日本
背景	風力発電の大量導入 大停電事故	発・送電設備のインフラ不足 大停電事故	電力供給不足の解消	新たなビジネス機会と認識	太陽光発電の大量導入
主目的	風力発電の大量導入(それに伴う産業育成) 安定運用	ピーク需要の削減 需要家情報の積極的利用による情報産業育成 供給信頼度の向上	再生可能エネルギーの有効利用、電力品質の向上、送電網の高度化	世界のスマートグリッド市場の 1/3 のシェア獲得を目指す 省エネと再生可能エネルギーの大量導入	太陽光発電の大量導入(それに伴う産業育成) 安定運用
対象	送電系と需要家を含む配電系を別々に捉える(マイクログリッドも含む)	需要家を含む配電系が中心(マイクログリッドも含む)	送電系統が中心	発送電系と需要家を含む配電系を一体的に捉える	発送電系と需要家を含む配電系を一体的に捉える
系統側制御	風力発電制御 揚水発電 圧縮空気貯蔵制御	PMU を用いた広域監視制御	PMU を用いた広域監視制御を指向	広域監視制御 蓄電池制御	風力発電制御 揚水発電 蓄電池制御
需要家側制御	スマートメーター 見える化 PHEV・EV 制御 引き込み線スイッチ制御 デマンドレスポンス スマート家電	スマートメーター 見える化 PHEV・EV 制御 引き込み線スイッチ制御 デマンドレスポンス スマート家電	—	スマートメーター PHEV・EV 制御 デマンドレスポンス	スマートメーター 見える化 PHEV・EV 制御 太陽光発電制御 蓄電池制御 ヒートポンプ給湯器

図表 9.3 スマートグリッドに関する主要国・地域の取組み状況の比較 (2/2)

	欧州	米国	中国	韓国	日本
主な政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>●EU 再生可能エネルギー電力促進指令(2001)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電力分野への再生可能エネルギーの導入量の各国割当</li> </ul> </li> <li>●需要家側エネルギー効率・エネルギーサービス指令(2006)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ スマートメーター導入の義務化</li> </ul> </li> <li>●EU 再生可能エネルギー促進指令(2009)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2020 年までに最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合を20%にすることを目指す</li> </ul> </li> <li>●その他、各国での取組み(スマートメーターの設置義務化など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●DOE Grid 2030                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ DOE 主導で次世代の電力システムのあるべき姿を論じた内容をまとめたもの</li> </ul> </li> <li>●Energy Policy Act of 2005                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電力系統設備の老朽化へ対応</li> <li>・ 電力需要増に対して設備利用効率を向上→デマンドレスポンスの必要性</li> </ul> </li> <li>●Energy Independence and Security Act of 2007                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ デマンドレスポンス等の技術実証予算措置</li> <li>・ 標準化の推進(NIST が担当)</li> </ul> </li> <li>●American Recovery and Reinvestment Act 2009                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 45 億ドルの予算措置</li> </ul> </li> <li>●その他、各州、団体での取組み</li> </ul>	<p>政府は、2009 年 11 月に「米中クリーンエネルギー技術に関する共同イニシアティブ」を発表。米中再生可能エネルギーパートナーシップの立ち上げや、米中エネルギー協力プログラムの設置について合意。中国におけるスマートグリッドのあり方をステークホルダー間で協議する「China Smart Grid Cooperative」を設立。</p>	<p>2010 年中に、「スマートグリッド構築および支援に関する特別法」を制定予定</p> <p>2009 年 6 月に、韓国スマートグリッド協会と米国グリッドワイズアライアンスが、協力に向けた覚書を締結</p> <p>韓国知識経済部の李長官と米 DOE のチェー長官が、エネルギーに関する協力意向書に署名。済州島でのスマートグリッド実証事業に米の技術を導入することなどを確認。</p>	<p>スマートグリッドに関連する法律はないものの、経済産業省を中心に下記の取組みを実施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 低炭素電力システム研究会</li> <li>・ 次世代送配電ネットワーク研究会</li> <li>・ 蓄電池システム産業戦略研究会</li> <li>・ 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会</li> <li>・ 次世代エネルギー・社会システム協議会</li> <li>・ エネルギー基本計画の改定</li> </ul> <p>また、官民一体の取組みとして、スマートコミュニティ・アライアンスを設立し、米国グリッドワイズアライアンスとの協定を締結。</p>
主な実証研究等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ETP SmartGrids</li> <li>・ European Smart Metering Alliance(ESMA)</li> <li>・ Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy (Smart-A)</li> <li>・ その他、各国における研究(ドイツ E-Energy プロジェクト)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●DOE 関連</li> <li>・ Smart Grid Regional Demos 関連 (09.11.24 決定の 16 プロジェクト)</li> <li>・ Energy Storage Demos 関連 (09.11.24 決定の 16 プロジェクト)</li> <li>・ Microgrid プロジェクト関連</li> <li>●その他</li> <li>・ SmartGridCity(Xcel Energy 等)</li> <li>・ スマートメーター、デマンドレスポンス関連(各州)</li> <li>・ Intelligrid Initiative(EPRI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 天津エコシティプロジェクト</li> <li>・ 張北プロジェクト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 済州島でのスマートグリッド実証研究</li> <li>・ 2012 年度までに、10 の IT Power 実証を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ スマートメーター大規模実証実験事業</li> <li>・ スマートハウスプロジェクト</li> <li>・ 離島マイクログリッド実証研究</li> <li>・ 米国ニューメキシコ州における日米スマートグリッド実証</li> <li>・ スマート EV チャージプロジェクト</li> <li>・ 次世代エネルギー・社会システム実証事業</li> <li>・ 次世代送配電系統最適制御技術実証事業</li> </ul>
ロードマップ	ETP SmartGrids で作成(図表 9.66)	DOEにて2030年までの開発計画を作成(図表 9.71)	国家电网会社が2009年に発表(図表 9.72)	知識経済省が2010年1月に発表(図表 9.75)	—

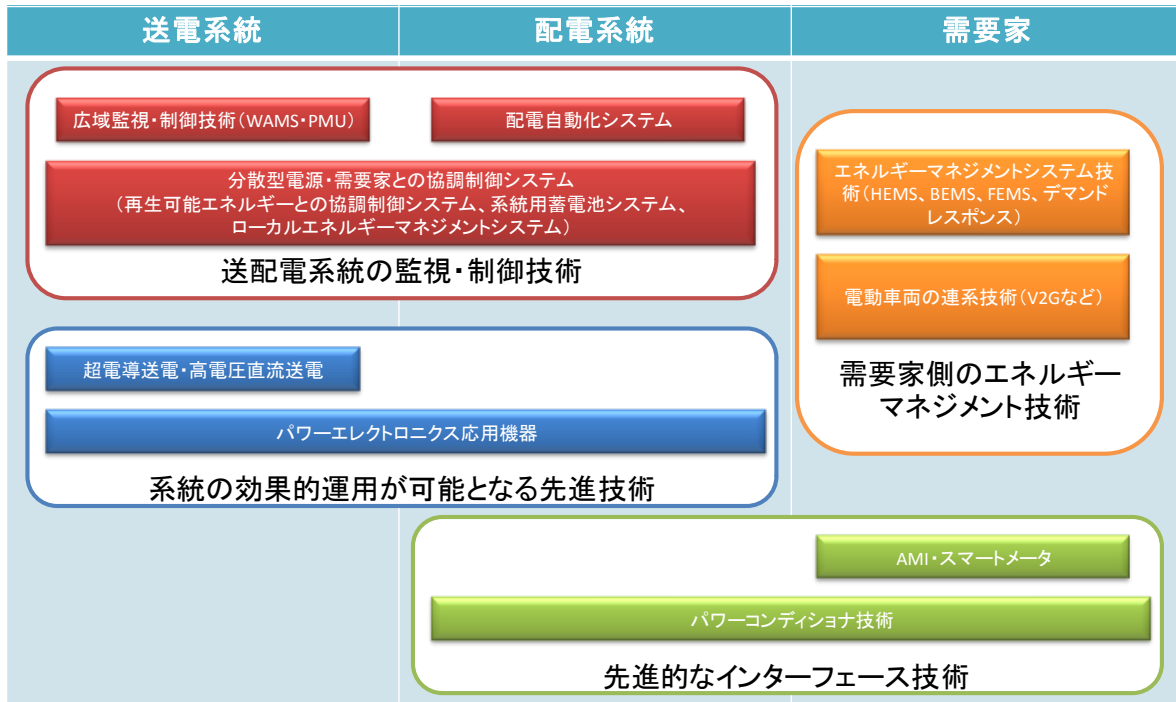


(2) スマートグリッド技術の俯瞰

スマートグリッドとは、「従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信ネットワークにより分散型電源やエンドユーザーの情報を統合・活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すもの」であり、スマートグリッド技術とは、この概念を実現するために必要となる新たな、または高度化された電力技術とすることができる。

図表 9.4に示すように、スマートグリッド技術は送電系統、配電系統、需要家側の様々な場面で適応される技術を含んでいる。これらの技術を機能別に整理すると、「①送配電系統の監視・制御技術」「②需要家側のエネルギーマネジメント技術」「③系統の効果的運用が可能となる先進技術」「④先進的なインターフェース技術」と分類される（図表 9.4、図表 9.5）。これらの技術の導入・研究開発状況を俯瞰したものを図表 9.6 に示す。

図表 9.4 スマートグリッド技術の導入先



図表 9.5 スマートグリッド技術の機能別分類

機能	概要
①送配電システムの監視・制御技術	<p>現状の系統自動化、配電自動化システムに加え、今後導入が進展すると考えられる分散型電源（太陽光発電、風力発電、蓄電システム等）の管理、およびデマンドレスポンス、エネルギーマネジメントシステムに対して系統運用システムとして情報の授受を行う技術。</p> <p>具体的には、中央給電指令所やローカルの給電所・制御所などでの監視・制御技術であり、WAMS やその重要構成要素である PMU(Phasor Measurement Unit)、分散型電源や需要家、蓄電池との協調制御技術、地域でのエネルギーマネジメントシステム、先進的な配電自動化システムを指す。</p>
②需要家側のエネルギーマネジメント技術	<p>需要家側のエネルギー設備を制御し、省エネルギーや系統貢献を行う制御技術。系統情報・気象情報・電力価格情報に基づく制御の場合もある。</p> <p>具体的には、HEMS や BEMS、FEMS などのエネルギーマネジメントシステム、デマンドレスポンス、および電動車両による系統制御技術（V2G、G2V 等）を指す。</p>
③系統の効果的運用が可能となる先進技術	<p>送配電システムの運用効率やフレキシビリティ、セキュリティ<sup>2</sup>を向上させるための先進技術。</p> <p>具体的には、超電導送電、高電圧直流送電、パワーエレクトロニクス応用機器（FACTS 等）を指す。</p>
④先進的なインターフェース技術	<p>今後導入が進展する分散型電源の系統連系技術、および需要家機器と電力系統を結ぶ先進的なインターフェース技術。情報の授受、および系統との保護協調機能を有する。</p> <p>具体的には、パワーコンディショナ技術、AMI を指す。</p>

<sup>2</sup> ここでのセキュリティとは、落雷などで突発的な障害が発生しても系統安定度、系統周波数、系統電圧を維持できるようなシステムの強さを指す。

図表 9.6 スマートグリッド技術の概況 (1/3)

区分	技術	概要	導入・研究の状況	開発課題	
送配電システムの監視・制御技術 (540ページ)	広域状態監視・制御 (540ページ)	PMU (位相計測装置) を主要コンポーネントとし、GPS の時刻情報を用いて広域電力システムの同時刻での潮流、電圧などの系統データを収集し、状態の監視に用いるシステム。これらを最適管理すること、また系統崩壊が起こる前に問題を予測し、防止・対応することを目的とする。	系統規模が大きく、運用が複雑な欧米を中心に導入が進んでいる。北米では NASPI (北米同期位相計測器イニシアティブ) を実施。200 以上の PMU が導入されている。欧州では UETE、Nordel 系統へ合計 70 以上、中国では 1000 ヶ所以上に PMU が導入されている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>広域監視制御方法の検討</li> <li>取得情報を活用した、監視制御の演算アプリケーション開発 (状態推定、安定度評価、最適潮流計算、制御演算等)</li> <li>国内外での実証</li> <li>製品の低コスト化・精度向上</li> </ul>	
	分散型電源・需要家との協調システム (546ページ)	再生可能エネルギーとの協調制御システム (546 ページ)	風力発電や太陽光発電による系統不安定化を防止するため、それらの出力を監視、制御する。発電量予測とも組み合わせられる。	大型風力発電を対象とした制御システムが、スペイン、ドイツ、フランスで運用されている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力系統シミュレータの開発・検証</li> <li>太陽光発電出力の全国大でのデータ収集・分析</li> <li>太陽光発電、風力発電出力予測システムの開発・実証</li> <li>出力抑制システムの開発・実証</li> </ul>
		系統用蓄電池システム (552 ページ)	アンシラリーサービスの提供や、風力発電や太陽光発電に起因する余剰電力蓄電、ピーク負荷カットによる送配電投資の抑制用途などとして大型の蓄電池を活用する。	日米欧を中心に実証研究が進められている。系統運用と連動した本格的な制御は、これからの課題。	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓄電池の最適制御技術</li> <li>系統制御システムとの統合</li> <li>蓄電池自体の性能向上 (長寿命化、低コスト化、大容量化、充放電ロス の低減)</li> </ul>
		ローカルエネルギーマネジメントシステム (559 ページ)	需要家設備や分散型電源を含む電力系統の下流側の設備の監視・制御を行うとともに、HEMS や BEMS、さらに基幹系の制御システム (中給等) と協調制御を行うシステム。経済性や環境性、電力品質の維持・向上を目的とする。	日米欧を中心に様々な実証研究が進められている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>HEMS 等と連動した制御技術開発</li> <li>系統運用と協調した制御技術開発</li> </ul>
	配電自動化システム (565 ページ)	配電線や変電所に設置される機器の状態や電流値・電圧値等を遠隔監視しながら配電線開閉器を自動操作することで、供給信頼度の向上や保守作業の省力化を図るシステム。	日本では配電自動化システムの導入は済んでおり、さらなる高度化が図られている。欧米など諸外国における配電自動化システムの本格導入はこれから。	<ul style="list-style-type: none"> <li>IT を活用した配電自動化の高度化</li> <li>当該国の系統構成に適合した製品開発</li> <li>国際規格に適合した製品開発</li> <li>実フィールドでの実証</li> </ul>	

図表 9.6 スマートグリッド技術の概況 (2/3)

区分	技術		概要	導入・研究の状況	開発課題
需要家側のエネルギーマネジメント技術 (569 ページ)	エネルギーマネジメントシステム技術 (569 ページ)	HEMS、BEMS、FEMS (569 ページ)	施設内のエネルギー需要機器 (電化製品や給湯器等)、エネルギー供給機器 (太陽光発電や燃料電池、冷凍機等の空調システム等)、さらに電動車両等をネットワークで制御し、省エネルギーや温暖化対策を目的とする技術。	日米欧等で研究開発が進められており、スマートハウスやスマートビルの重要技術となっている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>地域特性や需要家のライフスタイル、受容度を考慮した制御技術の開発 (マネジメント技術のローカライズ化)</li> <li>ローカルエネルギーマネジメントサービスとの連動技術</li> <li>系統運用との協調制御技術</li> <li>ホームサーバ、サービスプロバイダ等のアーキテクチャ仕様の検討</li> </ul>
		デマンドレスポンス・スマート家電 (574 ページ)	経済的インセンティブによる需要家の行動変化を通じて、系統電力のピーク電力カットや供給信頼度を向上するもの。家庭の需要家を対象にする場合、制御可能なスマート家電が主要制御対象機器となる。	電力品質市場 (アンシラリーサービス市場) を有する米国の一部電力市場を中心に取組みが進められており、スマートグリッドにおいては、特に、家庭の需要家を対象としたデマンドレスポンスへの取組みが検討されている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>制御対象と制御方法の検討</li> <li>制御システム、制御コントローラの開発</li> <li>デマンドレスポンスを前提としたスマート家電の最適設計・開発</li> <li>スマートハウス等における実証</li> <li>系統運用との協調方法の検討・実証</li> </ul>
	電動車両の連系技術 (574 ページ)		系統電力を電動車両に充電するケース (G2V : Grid to Vehicle)、電動車両から系統に電力を放電するケース (V2G : Vehicle to Grid)、また電動車両から家庭等の需要施設に電力供給を行うケース (V2H : Vehicle to Home) が想定されている。	充電の時間管理技術の検討は、既に進められている。 V2G でのアンシラリーサービスの提供は、市場が整備されている欧米を中心に検討が進められている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>充電時間帯の検討と、スマート充電システムの実証</li> <li>系統運用と協調した充電電力制御技術</li> <li>系統への放電も含めた、系統貢献技術</li> </ul>

図表 9.6 スマートグリッド技術の概況 (3/3)

区分	技術	概要	導入・研究の状況	開発課題
系統の効果的運用が可能となる先進技術 (588 ページ)	超電導送電・高電圧直流送電 (588 ページ)	超電導送電とは、極低温下において、ある種の物質の電気抵抗がゼロになる超電導体の特徴を利用し送電を行う技術である。 高電圧直流送電(HVDC)とは、直流により高電圧送電を行う技術である。	高温超電導ケーブルは現在実用化に向け開発中であり、実証プロジェクトが国内外で実施されている。 HVDC は既に実用化されており、中国を始め世界各国で導入が盛ん。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●超電導送電                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 低コスト化</li> <li>・ 冷却システムを高効率化</li> </ul> </li> <li>●HVDC                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自励式 HVDC において、自励式変換器の低コスト化</li> </ul> </li> </ul>
	パワーエレクトロニクス応用機器 (592 ページ)	大容量化した半導体素子を電力システム技術に活用し、系統運用の効率化を図る。主な用途として、無効電力制御による電圧調整、送電線インピーダンスの変化による送電線潮流コントロールなどが挙げられる。	SVC、STATCOM 等の電力系統に並列に導入するような機器は、既に多くの実運用事例が存在。UPFC 等は海外での導入事例あり。 電力中央研究所においてループコントローラを開発、実証中。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 低コスト化</li> <li>・ コンパクト化</li> <li>・ 信頼性確保</li> </ul>
先進的なインターフェース技術 (596 ページ)	パワーコンディショナ技術 (596 ページ)	今後、電力系統において太陽光発電等の大量の分散型電源の導入が見込まれることから、パワーコンディショナに下記に示す保護機能や、系統側へ貢献するための機能を有することの必要性が議論されている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 単独運転防止機能</li> <li>・ FRT</li> <li>・ 出力抑制</li> <li>・ 無効電力制御</li> </ul>	NEDO を中心として、複数台連系時の単独運転防止機能や FRT 機能、無効電力制御機能が技術開発されている。 出力抑制機能についても、次世代送配電システム制度検討会の議論を経て、詳細な設計・開発が進められる予定。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●単独運転防止機能、FRT                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 能動方式の単独運転検出機能の方式の統一</li> <li>・ 機器の認証ルールを整備</li> </ul> </li> <li>●出力抑制                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ カレンダー機能を具備した太陽光発電の PCS の早期開発</li> <li>・ 将来的には通信を活用した太陽光発電出力抑制機能付き PCS の開発</li> </ul> </li> <li>●無効電力制御                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 北杜サイトにおいて開発されている制御機能の実証</li> </ul> </li> </ul>
	AMI・スマートメーター (598 ページ)	電力需要等を計測し、通信技術を用いて定期的にその情報を電力会社に送信することの他、家電制御機能等を有する場合もある。	米、欧では実装が進んでいる。 日本でも、電力会社による実証試験が開始されている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 具体的な利用方法、通信方式、セキュリティ確保方式の検討・開発</li> <li>・ それらの実証研究</li> </ul>

## 9.1.2 技術開発動向

9.1.1で俯瞰したスマートグリッド技術について、国内外の最新の技術開発動向や、課題、導入状況等について、「①技術の概要とスマートグリッドでの用途」「②試験・導入の現状」「③各国における技術開発の状況および目標、課題」の観点から整理を行っている。

### 9.1.2.1 送配電システムの監視・制御技術

送配電システムの監視・制御技術とは、現状の系統自動化、配電自動化システムに加え、今後導入が進展すると考えられる分散型電源（太陽光発電、風力発電、蓄電システム等）の管理、およびデマンドレスポンス、エネルギーマネジメントシステムに対して系統運用システムとして情報の授受を行う技術を指す。

具体的には、中央給電指令所や給電所・制御所などでの監視・制御技術であり、WAMSやその構成要素であるPMU、分散型電源や需要家、蓄電池との協調制御技術、地域でのエネルギーマネジメントシステム、先進的な配電自動化システムなどが含まれる。

#### (1) 広域状態監視・制御

##### ① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

電力会社間や州、国をまたぐ広域の系統の監視・制御を行うことは、WASA（Wide Area Situation Awareness：広域状況把握）やWAMS、WACS（Wide Area Monitoring System、Wide Area Control System）などといわれ、欧米におけるスマートグリッド技術の重要要素となっている。

広域での系統状態監視・制御は、PMU（Pharos Measurement Unit：位相計測装置）を主要コンポーネントとし、GPSの時刻情報を用いて同時刻の潮流、電圧などの系統データを収集し、状態監視を行うシステムである。主要な目的は、系統を最適管理し、また系統崩壊が起こる前に問題を予測・防止・対応することである。

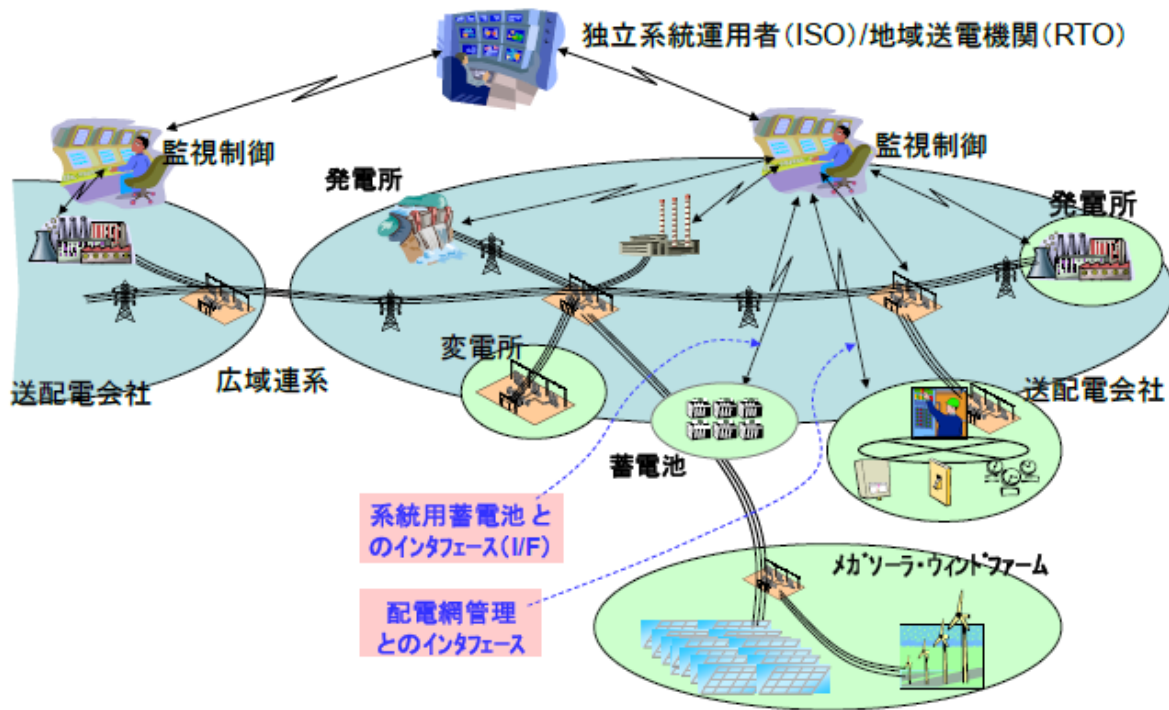
PMUとは、ある地点での電圧のフェーザ<sup>3</sup>をリアルタイムに計測する機器である。フェーザを計測することにより、各地点での電圧の大きさ、位相角がわかる。

現行の一般的な系統状態の監視はSCADAで行われているが、SCADAで把握出来る情報は電圧の大きさのみであり、位相角、その他の情報については潮流計算で求めることになり、潮流計算の時間だけ情報遅れが生じる。また、サンプリング時間も数秒オーダーとなるために時間遅れによる計測誤差を含む。そのため、定常状態の把握はSCADAで可能であるが、事故時解析などでは不十分となりうる場合がある。

一方PMUでは、電圧のフェーザをリアルタイム計測することで、系統状態をリアルタイムで把握、運用することができる。これにより需給バランス、電圧制御のみならず、系統の安定度の把握、およびその後の系統状態推定も行うことが可能と考えられている。

<sup>3</sup> 交流電圧は大きさ、位相角を有する。これらを一つのベクトルとして表したのがフェーザである。

図表 9.7 WASA システムのイメージ



出典：「次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて」（次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会、2010年1月）

## ② 試験・導入の現状

### i) 欧州

2008年9月に発刊されたETP SmartGridsのStrategic Deployment Documentでは、2012年までに実施する高優先度の展開計画として“システムの運用と活用の最適化”を挙げており、その中で広域の系統監視制御は、系統擾乱可能性の低減や送電容量を最大限活用するために実施するとしている。

フランスの電気事業者であるEDFは、Coordinated Defense Planにおいて、GPSを利用して同期計測された各地域システムの位相角が衛星回線とマイクロ波回線を経由して中央計算機システムに50ms毎に伝送され、系統分離などの制御内容が決定されている<sup>4</sup>。さらに近年では欧州系統全体でも利用されており、Nordel系統内で20程度、UCTE系統内で50程度のPMUが導入されている。

### ii) 米国

北米の電力システムの信頼性向上と可視化を進めるために、NASPI（North American SynchronoPhasor Initiative、北米同期位相計測器イニシアティブ）が実施されている。

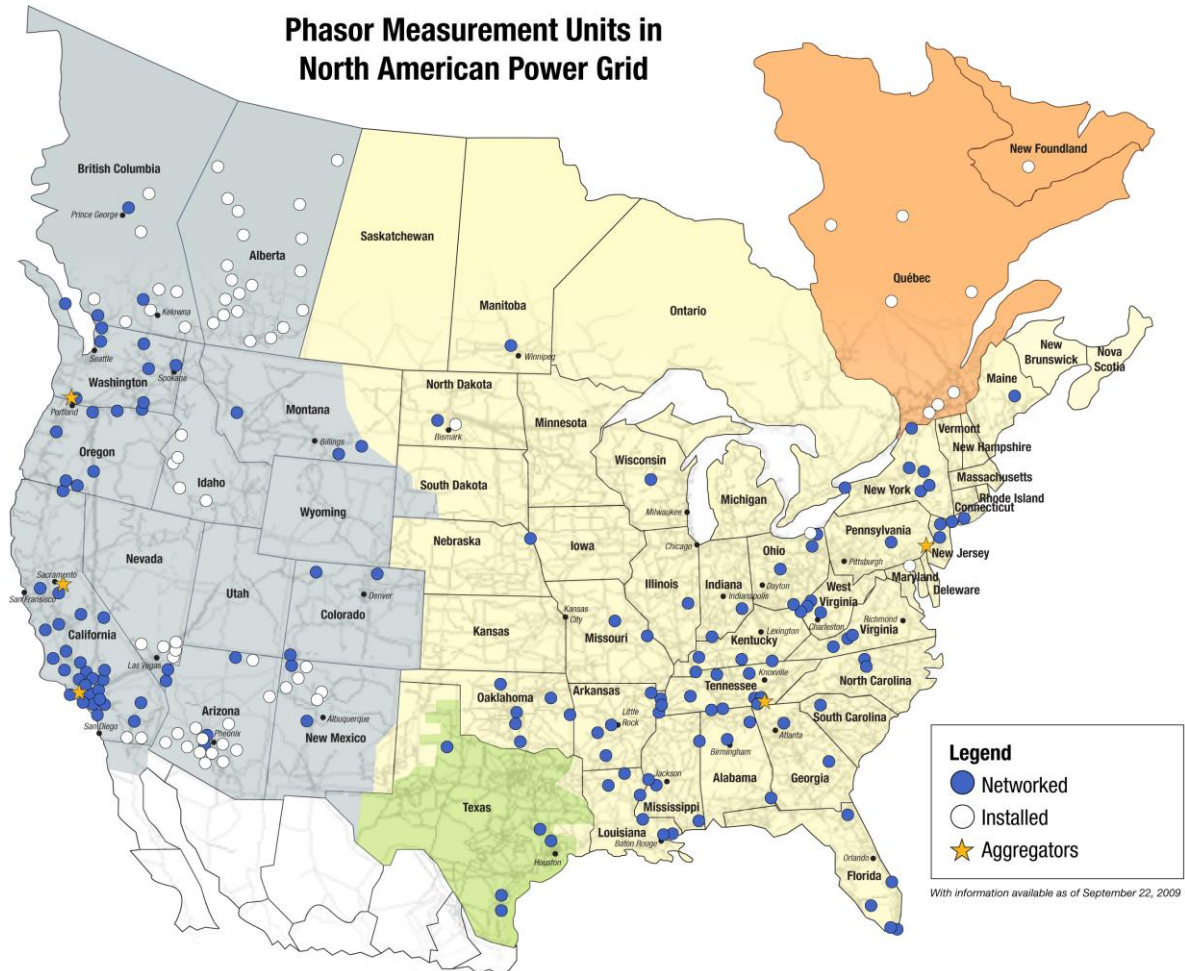
NASPIにはDOEとNERCが資金提供をしており、電力会社やコンサルタント、ベンダー、大学・国研等の研究者が参加し、PMUの設置、データのシェア、アプリケーションの開発と

<sup>4</sup> 「広域系統監視・高速制御ネットワークの概念と検討課題」（電力中央研究所報告 R06013、平成19年5月）

試用、研究等を実施している。重要なアプリケーションとして、広域監視、リアルタイムオペレーション、パワーシステムプランニング、系統擾乱の解析を挙げている。

2009年3月現在、200以上のPMUが北米に導入されている（図表 9.8）。

図表 9.8 北米への PMU の導入状況



出典：NASPI ホームページ ([http://www.naspi.org/images/naspi\\_map\\_20090922.jpg](http://www.naspi.org/images/naspi_map_20090922.jpg))

### iii) 中国

中国では500kV以上の変電所、全ての発電機（位相角の検出）にPMUを設置し、それらのデータを28の制御所で監視している。PMUの設置数は1000を超えている。

PMUの用途は次のとおりであり、現在のところ状態監視利用にとどまっている。

- ・ 周波数監視（周波数が49.9Hzまでに低下した際に、発電所の発電機脱落をPMUで検知した例がある）
- ・ オンラインでの動揺監視
- ・ 故障分析
- ・ システム外乱の特定



- ・ モデルの検証（米国のBPAが開発したモデルの検証に利用）

iv) 日本

我が国においては、大学を中心に PMU を用いた広域計測システムが研究されているが、電力会社では今のところ用いられていない。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

各国の導入、実用化レベルは図表 9.9のとおりである。

現行では、WAMS・PMUは、電力系統の様々なパラメータのリアルタイム計測機能しか有していない。しかしながら本質的には、各地のPMU情報に即した安定度レベルでの制御等を行い系統運営にフィードバックしていくことが重要であり、今後そのような研究が進んでいくと考えられる。

図表 9.9 各国における PMU 導入・実用化レベル

PMU Applications	North America	Europe	China	India	Brazil	Russia
Post-disturbance analysis	√	√	√	P	T	√
Stability monitoring	√	√	√	P	P	√
Thermal overload monitoring	√	√	√	P	P	√
Power system restoration	√	√	√	P	P	P
Model validation	√	√	√	P	T	√
State estimation	P	P	P	P	P	P
Real-time control	T	T	T	P	P	P
Adaptive protection	P	P	P	P	P	P
Wide area stabilizer	T	T	T	P	P	P

T = Testing phase; P = Planning stage

出典：Saikat Chakrabarti 他、IEEE Power & Energy Magazine Jan/Feb 2008、P42

i) 米国

NASPIは、2009年3月に同期位相計測器技術ロードマップ（Synchrophasor Technology Roadmap）（案）を発表し、2014年、2019年までの導入予測と期待される用途、および課題をまとめている。概ね2014年までに系統監視技術を確立し、2019年までに系統制御技術を確立するとしている。

図表 9.10 同期位相計測器技術ロードマップ（案）の概要

	～2014年	～2019年
予測導入数（連系型PMU）※	800～1200（現在161）	1000～2000
導入先	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 主要な送電線の連系点</li> <li>・ 500kV以上のすべての変電所と、200kV以上の主要変電所</li> <li>・ 500MWより大きいすべての発電所（いくつかの自家発も含む）</li> <li>・ 主要な負荷</li> <li>・ 大規模な風力、太陽光、蓄電施設</li> <li>・ その他</li> </ul>	左記に加え、 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 200kV以上のすべての変電所</li> <li>・ ローカルの制御に必要な箇所</li> <li>・ 配電網の必要な箇所</li> </ul>
用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 系統擾乱の事後分析</li> <li>・ 相差角、電圧安定度、周波数、熱容量の監視と可視化</li> <li>・ 間欠性電源や分散型電源を含む発電所の監視と連系</li> <li>・ 系統復旧</li> <li>・ 静的モデルのベンチマーク</li> <li>・ 状態推定</li> <li>・ ローカル機器の自動制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 動的な状態推定</li> <li>・ リアルタイム状態把握データを用いた事前警告</li> <li>・ 一日前、時間前の運転計画</li> <li>・ 系統の計画的自立運転</li> <li>・ 広域リアルタイムの自動制御と適応保護</li> <li>・ 混雑管理</li> <li>・ 広域での周波数ダンピング制御</li> <li>・ システムの健全性の保護計画</li> <li>・ 動的モデルのベンチマーク</li> <li>・ 電力線のダイナミックレーティングとVARサポート</li> <li>・ 単位給電</li> <li>・ 自動負荷制御による周波数・電圧制御</li> <li>・ 配電モニタリング、復旧、自己復旧</li> </ul>

※評価者の予測の最頻値より推計。

出典：Synchrophasor Technology Roadmap, NASPI, March 13 2009

図表 9.11 同期位相計測器技術ロードマップ（案）で取り上げられている主な課題

課題	概要
データ収集と品質検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 継続的なデータ収集と保存を行い、PMU端末や通信、PDC（フェーザデータ収集装置）等に起因するデータ品質の悪化の検証、解決。</li> </ul>
関連アプリケーションの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 信頼性コーディネーター（RCs）やバランシングオーソリテイ（BAs）を対象としたフェーザデータを活用した広域表示ツール（例：リアルタイムデータマネジメントシステム、状態推定、自動制御等）や計画ツール（モデル検証）などの開発等</li> </ul>
フェーザの仕様や標準化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ デバイス、データ、静的・動的計測、相互運用性に関する標準化</li> </ul>
再生可能エネルギーへの適応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 間欠性電源の超短時間における系統へのインパクトを見極める。また、発電予測と系統分析にも活用する。</li> </ul>

## ii) 中国

中国では、今後データ計測の品質向上や、500kV 以下の変電所にも設置し、状態監視を強化していくことが予定されており、また、PMU 情報の系統制御への利用も検討される予定である。

なお、中国での PMU の開発は 1995 年より始まり、現在は国内 3 社で製造が行われている。

## iii) 課題のまとめ

PMU を用いた広域監視制御は、米国、中国を始めとして欧州でも用いられている。しかし現状では、系統の状態監視に利用されており、その情報をもとにした系統制御技術の開発が、今後の重要な課題となっている。

また、米国、中国共に、データ計測の品質向上も課題となっている。

広域監視制御技術については、国内の電力会社では利用される予定がない技術であり、海外展開を中心に技術開発を行うものとなる。そのため、実際に国内企業が開発した製品を実証し、収集データの品質等について確認・検証実績を積み上げていくことも重要となる。

従って、広域監視制御に関する今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- ・ 広域監視制御方法の検討
- ・ 取得情報を活用した、監視制御の演算アプリケーション開発（状態推定、安定度評価、最適潮流計算、制御演算等）
- ・ 国内外での実証
- ・ 製品の低コスト化・精度向上

## (2) 分散型電源・需要家との協調システム

太陽光発電等の分散型電源の大量導入に伴い、適切な系統運用を行うために、系統側から出力抑制指令を行うことその他、分散型電源の発電量を監視して真の需要量を把握するシステムが必要となってくる。また、デマンドレスポンスのような需要家と協調した系統運用も考えられており、今後、分散型電源・需要家との協調システムの構築が必要となってくる。

ここでは、分散型電源・需要家との協調システムを構築するための技術として、

- ・ 再生可能エネルギーとの協調制御システム
- ・ 系統用蓄電池システム
- ・ ローカルエネルギーマネジメントシステム（ローカル EMS）

について述べる。

### 1) 再生可能エネルギーとの協調制御システム

#### ① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

スペインやドイツなどでは、風力発電の増加に伴う系統運用上の諸課題が顕在化してきており、対策が急務である。そのため、系統連系されている風力発電等の再生可能エネルギーの出力をモニタリングし、制御するという再生可能エネルギー運用システムの導入が行われている。

また、風力発電の出力予測技術の開発、実用が進められており、予測に基づく系統運用がなされている。

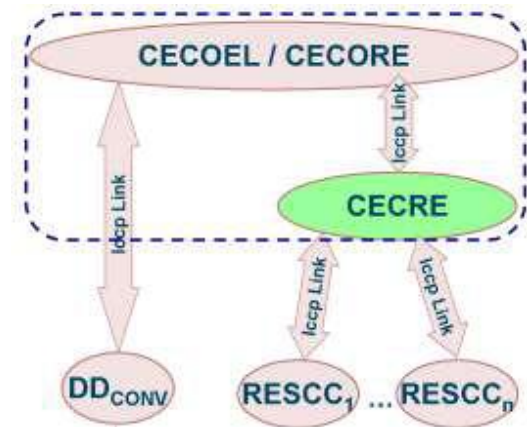
#### ② 試験・導入の現状

##### i) スペイン

スペインでは近年の大容量風力発電の導入に伴い、系統運用上の諸課題が顕在化しつつある。この諸課題への対策として、スペイン唯一の TSO(Transmission System Operator)である REE 社は 2006 年 6 月より、1 万 kW 以上の再生可能エネルギー電源（風力、太陽光、小水力、バイオマス等が対象）に対して、発電電力を管理・調整する再生可能エネルギー制御センター「CECRE」をマドリッド北部近郊に立ち上げた。CECRE はスペインの送電系統全体を制御する中央制御システム「CECOEL/CECORE」に組み込まれ、系統事故に伴う風力発電の停止量を予測計算し、それにより連系線しゃ断が起こらないように、集中的に風力発電の出力を制限する機能を有している。また、リアルタイムでの再生可能エネルギーの発電電力を監視・制御ができる計算システム「GEMAS」を採用しており、REE 社は GEMAS によって、風力発電等の再生可能エネルギーの発電電力量を最大限に利用しながらも、系統の安定化に配慮した運用が可能になると考えている。

なお、CECRE では風力発電出力の予測も行っている。ここでは、48 時間先までの時間量と 10 日先までの日量を予測しており、時間量予測は 15 分更新、日量予測は 1 時間更新される。予測精度は、時間量予測よりは日量予測の方が精度はよいものの、1 日先で 12%、3 日先で 20%、5 日先で 30% の予測誤差がある。需要が低く、予測誤差が大きい場合、風力発電の出力抑制が必要となる場合があり、2008 年 11 月には 2 時間程度の出力抑制が行われた。

図表 9.12 スペイン REE 社の「CECRE」



出典：Miguel de la Torre Rodríguez, “Impact on the Power System Control”, CIGRE Plenary session.(2008)

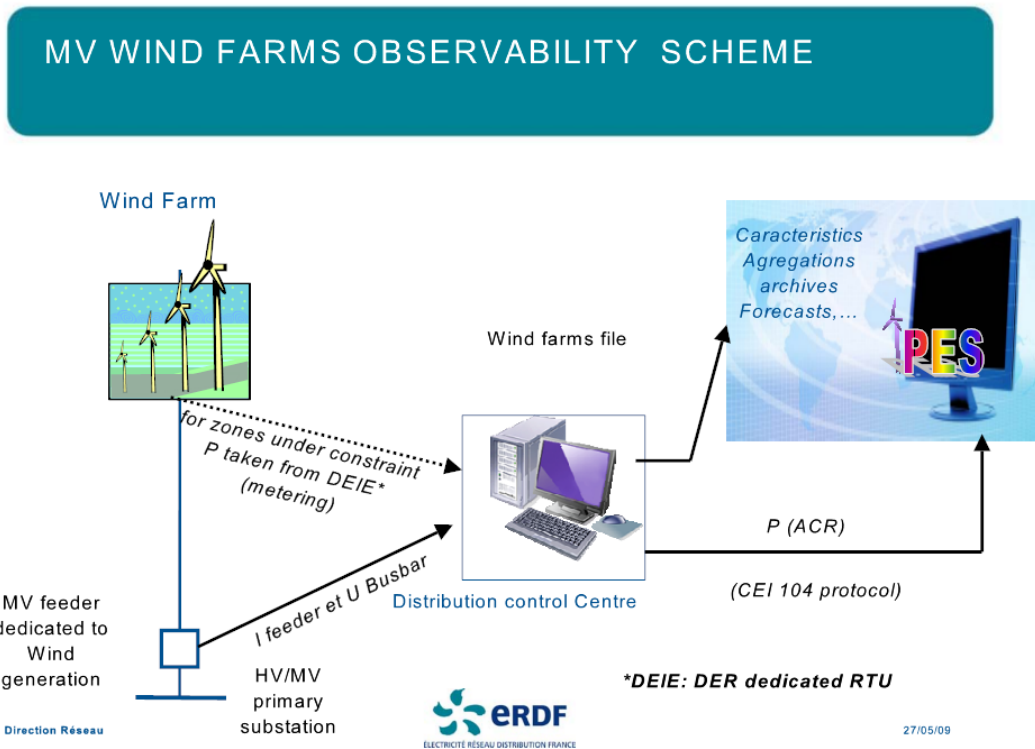
## ii) フランス

スペインと同様の対策がフランスでも検討されている。フランスにおける風力発電導入量は現在 350 万 kW であり、現状では再生可能エネルギー導入に伴う問題は顕在化していない。しかし、今後も導入量は急増していくと予想されており、導入量が 1,000 万 kW 以上を超えると対策が必要となると認識されている。そのため、スペイン同様に、風力発電の系統連系要件に Fault-Ride-Through 能力、風力発電出力のリアルタイムモニタリングが必要と考えられている。

リアルタイムモニタリングに対しては、2008 年にフランスの TSO(Transmission System Operator) である RTE 社が風力発電出力の監視・予測を行う試験的なシステム「IPES」を導入しており（図表 9.13 参照）、2009 年時点で全風力発電量の 80%をリアルタイム監視している。

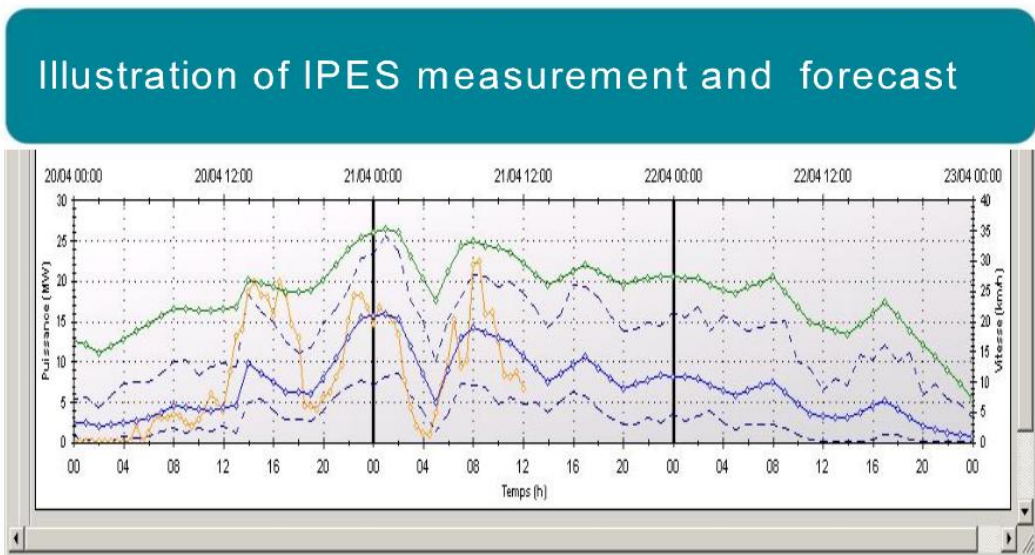
なお、IPES でも風力発電出力の予測を行っているが、図表 9.14 に示すように、誤差が大きくなる場合も見られる。

図表 9.13 IPES の概要



出典：EDF, "ERDF an actor in RTE "IPES" PROJECT for insertion of MW wind generation in the French Electrical System Operation "

図表 9.14 IPES での風力発電予測と実績事例



— Forecast: One every 6 hours (0:00,6:00,12:00 and18:00. UTC each hour on 3 rolling days)

— Real time measurements

出典：EDF, "ERDF an actor in RTE "IPES" PROJECT for insertion of MW wind generation in the French Electrical System Operation "

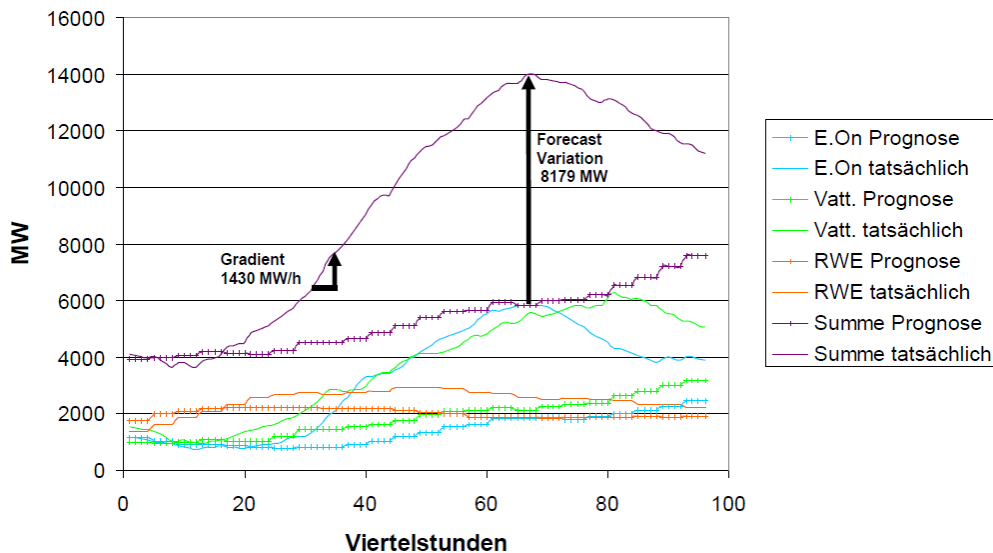
## iii) ドイツ

ドイツにおいては、風力発電、太陽光発電の大量導入に伴い、2009年の EEG（再生可能エネルギー法）再改定において、100kW以上の再生可能エネルギー導入者に対して、系統側からの指令による出力抑制が可能となる方策を打ち出している。

本方策は100kW以上の再生可能エネルギー設備を所有する需要家、事業者に対し、系統運用者が緊急時に速やかに再生可能エネルギー設備を解列できるように、系統への売電出力の監視、および系統運用者の出力抑制指令に対応出来るリレーの設置を求めている。この装置は再生可能エネルギーの出力を100%、60%、30%、0%に抑制するリレーが付いているものと、100%、0%の2つのリレーのものがある。

ドイツにおいても、風力発電の発電量予測を組み込んだ系統運用が行われているが、図表 9.15 に示すように、最大約 8.2GW もの乖離が生じた事例があり、今後の精度向上が望まれる。

図表 9.15 風力発電予測値と実績値の乖離の例（2008年1月20日）  
Windstromeinspeisung 20.1.2008



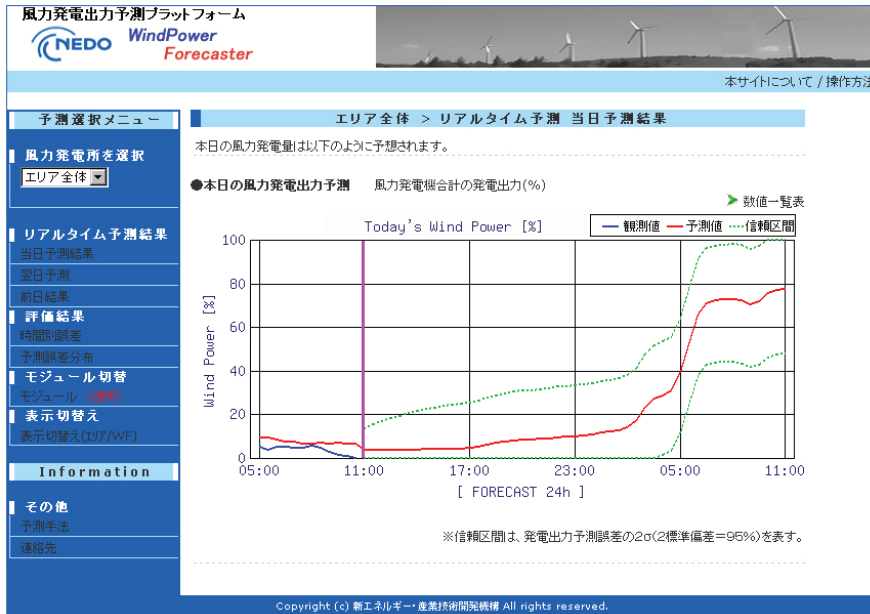
出典：FZJ 資料

## iv) 日本

我が国においても、風力発電・太陽光発電等の再生可能エネルギーの発電量を予測することは非常に重要であり、NEDOを始め、様々な気象予測・発電量予測手法が提案されている。

一例として、NEDOが進めてきた「風力発電電力系統安定化等技術開発－気象予測システム－」が挙げられる。同プロジェクトでは、気象予測をベースとして風力発電の発電電力量を予測するシステムを開発しており、その成果の一部は「NEDO 風力発電予測プラットフォーム」として一般公開されている。

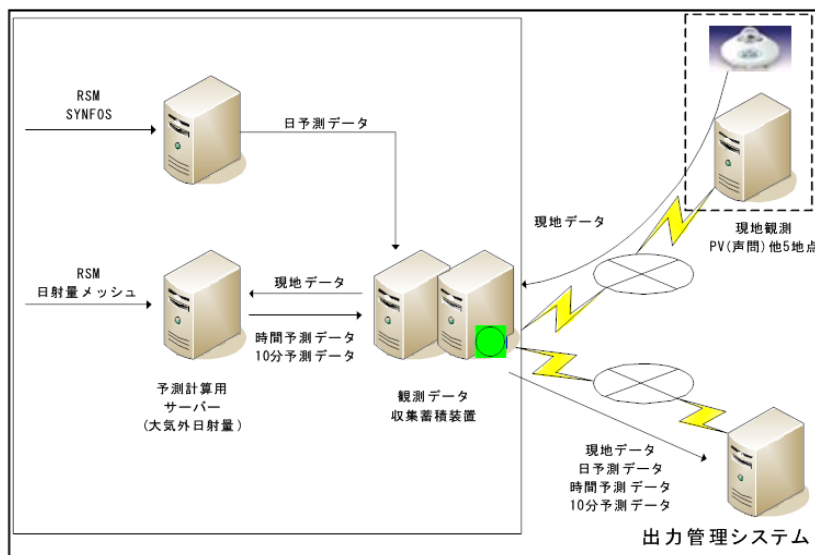
図表 9.16 NEDO 風力発電予測プラットフォーム



出典：NEDO「風力発電出力予測技術ガイドブック」

また、太陽光発電の発電量予測の技術開発についても、「NEDO 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究（稚内サイト）」において、日射量予測をもとに行われている。太陽光発電所構内や周辺に設置された日射量計、気象衛星、数値予報などのデータから、翌日および翌々日の予測を30分単位で行う日（前日）予測、6時間先までを30分単位で予測する時間予測、2時間先までを10分単位で予測する10分予測が行われている。

図表 9.17 日射量予測システム



出典：「研究年報 第40巻」（北海道電力、2009年10月）



### ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

#### i) スペイン

スペインの2020年の風力発電導入見通しは4,000万kWであり、これは現状の2倍強の導入にあたる。REEでは、2020年には風力発電に瞬動予備力機能を要求するなど、風力発電機に在来型電源の特性に類した機能を具備させる必要があると考えており、また、揚水発電等による予備力の確保も必要と考えている。

#### ii) ドイツ

ドイツでは、再生可能エネルギーの優先給電が規定されており、やむをえない場合を除いて風力発電の出力抑制は行えないため、出力抑制の代替策として揚水式水力などの電力貯蔵設備の導入について議論されている。これに伴い、風力発電、電力貯蔵（揚水、EV等）および制御可能需要（家庭、産業等）を組み合わせた制御実証プロジェクトが政府主導で開始されている。

#### iii) 日本

再生可能エネルギーの大量導入を見据えた系統制御システムについては、経済産業省による「分散型電源大量導入系統影響評価基盤整備事業（電力系統シミュレータ整備事業）」や「分散型新エネルギー大量導入促進系統安定化対策事業（太陽光発電出力等のデータを全国大で収集・分析等）」などで検討が始められつつある。また、低炭素電力供給システムに関する研究会、次世代送配電ネットワーク研究会において、太陽光発電の出力抑制、系統側および需要側への蓄電池の導入等による再生可能エネルギー制御システムについても検討されている。

#### iv) 課題のまとめ

風力発電などの再生可能エネルギーの導入が進む欧州では、主に系統側の指令に基づき再生可能エネルギーの出力を抑制する方法で、系統の安定化が図られている。

我が国においては、家庭への太陽光発電という、小規模分散型での再生可能エネルギーの導入が主流であり、導入軒数は数百万件にのぼると見込まれている。そのため、系統側からの指令で出力制御を行う場合には、制御対象が膨大な数にのぼることから、効率的な出力抑制システムの開発・実証が必要である。

また系統内に多数の分散型電源が導入された場合の系統の挙動の分析の他、太陽光発電や風力発電の発電量予測が精度良く行えるようになると、既存電源の効率的な活用ができるなど、最適な系統運用が実現可能となる。太陽光発電の大量導入が電力系統にどのような影響を及ぼすかを実際に分析するため、全国大での出力データの収集・分析も重要となる。

以上を勘案し、再生可能エネルギーとの協調制御システムにおいては、以下の技術開発を進める必要がある。

- ・ 分散型電源大量導入時の系統を模擬できる電力系統シミュレータの開発・検証
- ・ 太陽光発電出力の全国大でのデータ収集・分析
- ・ 太陽光発電、風力発電出力予測システムの開発・実証
- ・ 出力抑制システムの開発・実証

## 2) 系統用蓄電池システム

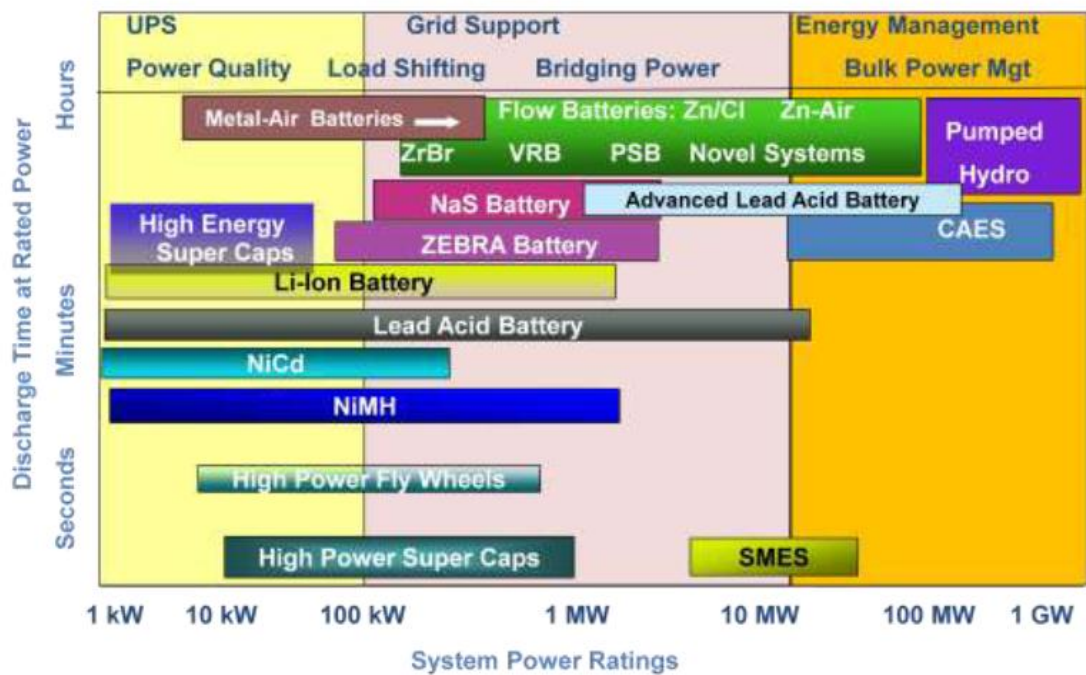
### ① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

系統用蓄電池とは、概ね MW 級の出力を有する大型蓄電池のことをいい、代表的なものとして NaS 電池、リチウムイオン電池、ニッケル水素電池、レドックスフロー電池、鉛蓄電池などがある（図表 9.18）。

図表 9.19 のように、系統用蓄電池は様々な用途が想定されている。地域別には、欧州ではアンシラリーサービス、離島における系統安定化用途、米国ではアンシラリーサービス、送配電投資の抑制用途、日本では太陽光発電・風力発電による余剰電力・下げ代不足対策、系統安定化電源としての活用が主要用途である。

図表 9.18 主なエネルギー貯蔵装置の比較

Figure 12: Comparison of energy storage technologies



Source: EPRI, 2008.

出典：Prospects for Large-Scale Energy Storage in Decarbonised Power Grids、IEA、2009

図表 9.19 系統用蓄電池の用途別検討状況

用途	役割	概要	時間容量	検討状況※			
				日	欧	米	中
主に再生可能エネルギー用途	余剰電力対策	再生可能エネルギー導入によって発生する余剰電力を蓄電する。	1~4h	○	△	—	□
	下げ代不足対策	(主に風力) 需要最小時に、供給力過剰(下げ代不足)にならないように調整する。	1~4h	○	○	○	△
	タイムシフト	供給側でオフピーク時の安い電力を蓄電しピーク時に放電。	1h~7h	○	—	○	△
	バックアップ電源	RE の予測と組み合わせることで kW 価値を上げる。	1h~12h	○	□	□	—
主に系統対策用途	瞬動予備力 (Spinning Reserve)	瞬時の需給変動に対応する系統安定化のための電源。予備電源が起動するまでに対応する。	10s~15min	△	○	○	□
	短偏差調整 (Regulation)	瞬時の需給変動に従って発生する偏差に対応する電力の供給力。					
	送配電投資の抑制	ピーク出力に合わせて送配電を整備する必要をなくす。1日のピークだけでなく、年間のピークにも対応。	1h~7h	なし	□	○	—
	送配電の混雑緩和	ピーク時の送配電混雑にかかる費用を軽減する。	1~4h	なし	—	○	—

※ ○：導入・実証事例あり、△：検討例あり、□：必要性が示唆されている、—：不明

出典：各種資料より作成

図表 9.20 主要電力会社における系統用蓄電池の導入状況

UTILITY	COUNTRY	TECHNOLOGY	MANUFACTURER	APPLICATIONS	INSTALLED BASE AT E02009 (MW)
AEP	USA	NaS	NGK	Capacity Deferral, Load Leveling	11
AEP	USA	Li ion	Valance/S&C	Community ES	0.1
AES	USA & Chile	Li ion	A123 & Altairnano	Frequency Regulation	19
Beacon	USA	Flywheel	Beacon	Frequency Regulation	5
Duke	USA	Zn-Br	Unconfirmed: Premium Power	Capacity Deferral, Load Leveling	1
EDF	UK	Li ion	Saft/ABB	Frequency Regulation	0.6
Ergon	Australia	Zn-Br	RedFlow	Capacity Deferral	0.1
TEPCO	Japan	NaS	NGK	Load Leveling, Backup Pwr, Power Qty	165*
Xcel	USA	Nas	NGK	Renewables Mgmt	1

\* Figure for 2008

出典：GRID SCALE ENERGY STORAGE: TECHNOLOGIES AND FORECASTS THROUGH 2015, GTM RESEARCH, AUGUST 2009

図表 9.21 NAS 電池の海外導入事例

国	企業名	設置箇所	用途	規模・受注額	納入時期
米国	ニューヨーク州電力公社 (NYPA)	米ニューヨーク市都市交通局 (MTA) バスステーション内 (ロングアイランド島)	バスステーション (天然ガス補充基地) の電力負荷平準	1MW	2008年4月
	American Electric Power (AEP 社)	ウエストバージニア州チャールストン市内の変電所	当該変電所の供給地域の電力不足を回避でき、安定供給と効率的な設備形成	1MW (最大 1.2MW)	2006年7月
	Electric Transmission Texas (ETT 社) (※ AEP グループ会社)	テキサス州のゴンサレス変電所 (送電網が脆弱なメキシコ国境付近)	送電系統の安定化 (電圧制御、停電対策、緊急時のメキシコ側からの受電など、多面的な形で電力の安定供給を達成したい)	4MW	2010年4月 (稼働予定)
	Xcel Energy 社	ミネソタ州 Luverne (風力発電への併設)	11MW の風力発電に 1MW の NAS 電池を併設。低需要時に発電した電力を高需要時に買電するタイムシフトなどの実証試験	1MW	2009年初旬
フランス	EDF	La Réunion 島	再生可能エネルギー発電等による供給と、需要とのバランス調整	1MW	2009年
	EDF エネルギー・ヌーヴェル (EDF-EN)	仏領海外県離島、地中海離島および電力系統の弱い地域、欧州、米国	メガソーラーと風力発電への併設による出力の安定化とピークシフト	約 150MW	2010年から5年間
ドイツ	ユニコス社	ベルリン郊外ユニコス本社新社屋敷地内	太陽光発電の出力平滑化、系統接続評価	1MW	2009年3月 (予定)
	エネルコン社		風力発電 (6000kW) の出力安定化用途	1MW	2009年7月
英国	電力会社	英北部オークニー諸島	再生可能エネルギー発電等による供給と、需要とのバランス調整	4MW (最大 10MW)	2011年冬 (予定)
UAE	アブダビ水利電力庁 (ADWEA)	ADWEA の変電所と蓄電池ステーション (新設)	電力負荷平準 (ピークカット) によるガスタービン発電機の効率運転 中央監視制御による電力の需給調整 非常用電源	300MW (20MW×10、50MW×2)	納入開始：2009年末 納入完了：2014年 (予定)
		UAE アブダビ水利電力庁の変電所	電力負荷平準 (ピークカット) によるガスタービン発電機の効率運転 非常用電源)	50MW	納入完了 2009年7月 (予定)

出典：日本ガイシプレス発表、新聞報道より作成

## ② 試験・導入の現状

### i) 欧州

フランスのレユニオン島やスペインのカナリア諸島、英国のオークニー諸島などの離島では、風力発電等の再生可能エネルギーの導入に伴う系統安定化電源として、蓄電池を用いた実証研究が行われている。また、Evonic/Litech がアンシラリーサービス用途として、1MW、700kW のリチウムイオン電池の開発を始めるなど、kW 価値の高いアンシラリーサービス用途での利用も検討

されてきている。これらの用途等で、既に欧州では数十 MW の大型蓄電池が導入されており、EDF-EN 社では 150MW の NaS 電池を 2015 年までに順次導入する計画もある。

また 2009 年 11 月には、産業界と欧州委員会が共同で蓄電技術に関するワークショップを開催し、蓄電技術を電力系統において効果的に利用していくため、ビジネスモデルの検討や蓄電技術の比較・検証、FP7 を通じた実証研究を行うことなどを提言した。

なお、ドイツ等において風力発電の導入に伴う軽負荷期の余剰電力問題が顕在化しており、出力抑制を行わずに系統を安定化する方法の一つとして蓄電技術の活用が検討されている。しかし主には経済的観点から揚水発電や CAES などの大型の蓄電技術の利用が現実的とされており、余剰電力対策としての蓄電池利用は、今のところ有力視はされていない。

#### ii) 米国

米国では、アンシラリーサービスの提供、ピークカットによる送配電設備の有効活用を主目的として、蓄電池の活用に積極的である。

これらの用途等で、既に数十 MW の系統用蓄電池が導入され、実証研究などが実施されている。

例えば AEP 社では、配電用変電所に数 MW の NAS 電池を導入することで、当該地域の供給安定性を確保することの他、電圧制御や停電対策など、電力供給システムの安定化対策に利用している。リチウムイオン電池の開発メーカーである A123 システムズ社では、図表 9.22 に示すような移動型の系統安定化用蓄電池の開発も行われている。

また再生可能エネルギーの導入が進んでいるカリフォルニア州では、カリフォルニア独立系等運用者 (CAISO) やカリフォルニアエネルギー委員会 (CEC) において、風力発電の導入進展に伴う周波数変動対策用途として、系統用蓄電池の活用を検討しており、概ね 2020 年頃から蓄電池を使った系統制御が必要になると予測している。

図表 9.22 A123 の移動型系統安定化用蓄電池 (2MW-15 分)



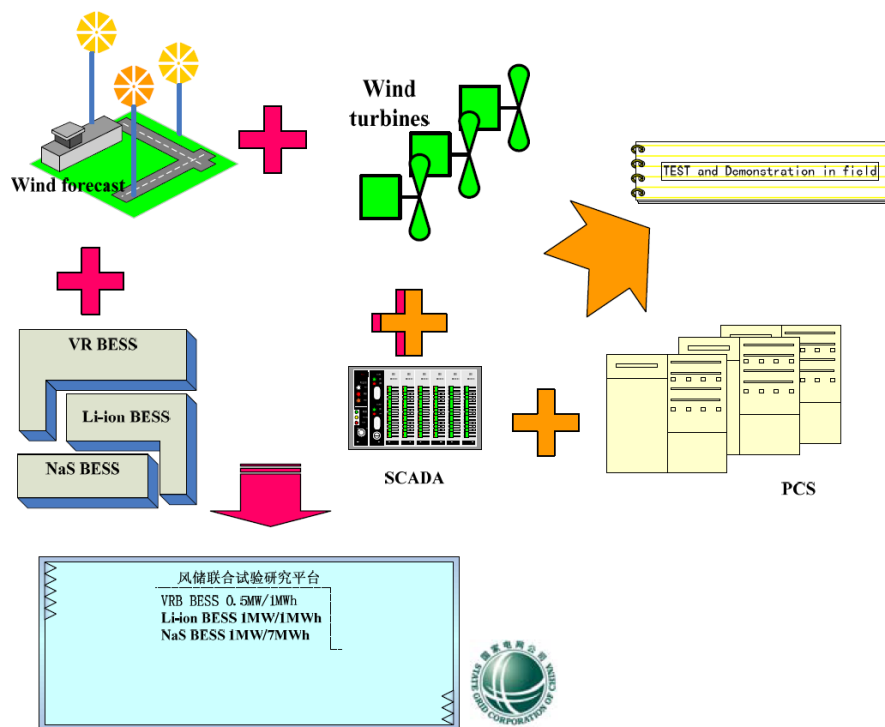
出典：A123systems ホームページ (<http://www.a123systems.com/>)

iii) 中国

中国でも風力発電の北西部への大量導入に伴い、送電系統が不安定になりつつあるため、送電系統の増強と併せて蓄電池を用いた系統安定化が検討されつつある。

また、国家电网公司是、風力発電を 500MW、太陽光発電を 100MW 導入し、110MW の蓄電池（NaS 電池、フロー電池）を活用して、それらの変動を安定化させる張北プロジェクトを計画している。

図表 9.23 張北プロジェクトの概要



出典：国家电网公司資料

iv) 日本

日本では、大型の風力発電や太陽光発電の出力安定化用途として、系統用蓄電池の実証・導入が進められてきた。これらのプロジェクトの代表例として、風力発電の出力安定化を目的とした「風力発電電力系統安定化等技術開発」、大規模太陽光発電の出力安定化を目的とした「大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究（稚内サイト）」など、NEDO が主導してきたものが挙げられる。

今後、特に太陽光発電の余剰電力対策、ならびに周波数変動対策としての電力用蓄電池導入が検討されており、次世代送配電ネットワーク研究会では、出力抑制や需要の創出などの程度に応じた、2020 年までの系統対策のシナリオを分析している。

その他、電力会社の連系要件を満たすために、風力発電に蓄電池を併設して出力変動の緩和を行っているものもある。

### ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

#### i) 各国の状況

米国では、2009年11月にDOEが16の蓄電実証プロジェクトを選定した。このうち蓄電池を活用するものとして図表9.24に示す9件があり、風力発電の出力調整や系統安定化用途などが採択されている。これらの実証を通じて、経済性、技術的実現可能性が実証される。

欧州においても、アンシラリーサービス用途や離島での系統安定化用途としての実証が進められており、欧州大で蓄電技術の活用の検討が始まった状況である。

一方我が国では、民生用蓄電池やNaS電池技術で世界的に優位に立っており、大型の太陽光発電、風力発電の系統安定化用途として実証・導入が進められてきた。今後これらに加え、家庭用太陽光発電の大量導入に伴う余剰電力、周波数変動対策用途としての蓄電池の利用が必要となってくると考えられる。

このように、各国とも、系統用蓄電池を具体的にどのように活用していくか、ビジネスモデルも含めた検討が進められている状況である。

従って今後の技術開発課題としては、系統用蓄電池を系統の制御システムの中でどのように位置づけ、統合していくのか、目的に応じた最適制御技術、また、蓄電池自体の性能向上（長寿命化、低コスト化、大容量化、充放電ロスの低減）等が必要となってくる。

#### ii) 課題のまとめ

以上より、系統用蓄電池システムにおいては、以下の技術開発を進める必要がある。

- 蓄電池の最適制御技術
- 系統制御システムとの統合
- 蓄電池自体の性能向上（長寿命化、低コスト化、大容量化、充放電ロスの低減）

図表 9.24 米国 DOE における蓄電池を用いた実証試験の概要

	プロジェクト名、概要	実施者、実施場所
系統安定化用途	「ウルトラバッテリー」を使用したアンシラリーサービスのためのグリッドスケールのエネルギー貯蔵の実証 <ul style="list-style-type: none"> <li>3 MW の鉛蓄電池 (UltraBattery) を周波数制御、エネルギー需要の管理に利用</li> <li>経済的・技術的な実行可能性を実証</li> </ul>	East Penn Manufacturing Co. Lyons Station, PA
風力発電所等の出力調整用途	Wind Firming EnergyFarm™ <ul style="list-style-type: none"> <li>25~75MW のウインドファーム出力をフローバッテリーで貯蔵し、出力調整を行う</li> </ul>	Primus Power Corporation. Alameda, CA; San Ramon, CA; Modeston, CA
	テハチャピ風力エネルギー貯蔵プロジェクト <ul style="list-style-type: none"> <li>8MW 実用規模のリチウムイオン電池技術を展開、評価し、グリッド性能の向上、風力発電の電力供給への統合に貢献</li> </ul>	Southern California Edison Company Tehachapi, CA
	Notrees 風力発電貯蔵 <ul style="list-style-type: none"> <li>20MW のハイブリッドバッテリーシステムを構築、風力発電による安定供給を実証</li> </ul>	Duke Energy Business Services, LLC Goldsmith, TX
	ペーンズビル市発電所バナジウムレドックス電池実証プログラム <ul style="list-style-type: none"> <li>32MW 市営石炭火力発電所で 1MW のバナジウムレドックス電池 (VRB) 貯蔵システムの実証</li> <li>同発電所が二酸化炭素排出量を減らしつつ日々の必要出力量をより効率よく維持できるよう貢献</li> </ul>	City of Painesville Painesville, OH; Johnstown, PA; Alexandria, VA; Evansville, IN; Devens, MA; Parma, OH
電池の開発	系統アプリケーション用ナトリウムイオン電池の実証 <ul style="list-style-type: none"> <li>全く新しい種類の電池科学を利用する低コスト、超寿命、高効率で環境を考慮した固定型の新しいエネルギー貯蔵電池の実証</li> </ul>	44 Tech Inc. Pittsburgh, PA
	グリッドスケールのエネルギー貯蔵のための固体電池 <ul style="list-style-type: none"> <li>Seeo が独自開発したナノ構造高分子電解質をベースに 25kWh のプロトタイプバッテリーシステムを開発</li> <li>コミュニティ・エネルギー・ストレージプロジェクトをターゲットとする</li> </ul>	Seeo, Inc Berkeley, CA; Van Nuys, CA
その他	デトロイト・エジソン グリッドサポートのための A123 コミュニティエネルギー貯蔵システムの先行実施 <ul style="list-style-type: none"> <li>ユーティリティ向けのコミュニティエネルギー貯蔵 (CES) システムの利用とメリットを実証</li> <li>各 25kW/hr の CES ユニットを 20 台インストール</li> </ul>	The Detroit Edison Company Detroit, MI; Northville, MI; Fairfax, VA; Blacksburg, VA; Auburn Hills, MI; Hopkinton, MA
	スマートグリッド再生可能エネルギーアプリケーション用フロー電池 <ul style="list-style-type: none"> <li>レドックスフロー電池を用いて、安全性、信頼性、コスト要件への適合を目指す</li> </ul>	Ktech Corporation Albuquerque, NM; Sunnyvale, CA; Snelling, CA

出典：DOE 資料などより作成



### 3) ローカルエネルギーマネジメントシステム（ローカル EMS）

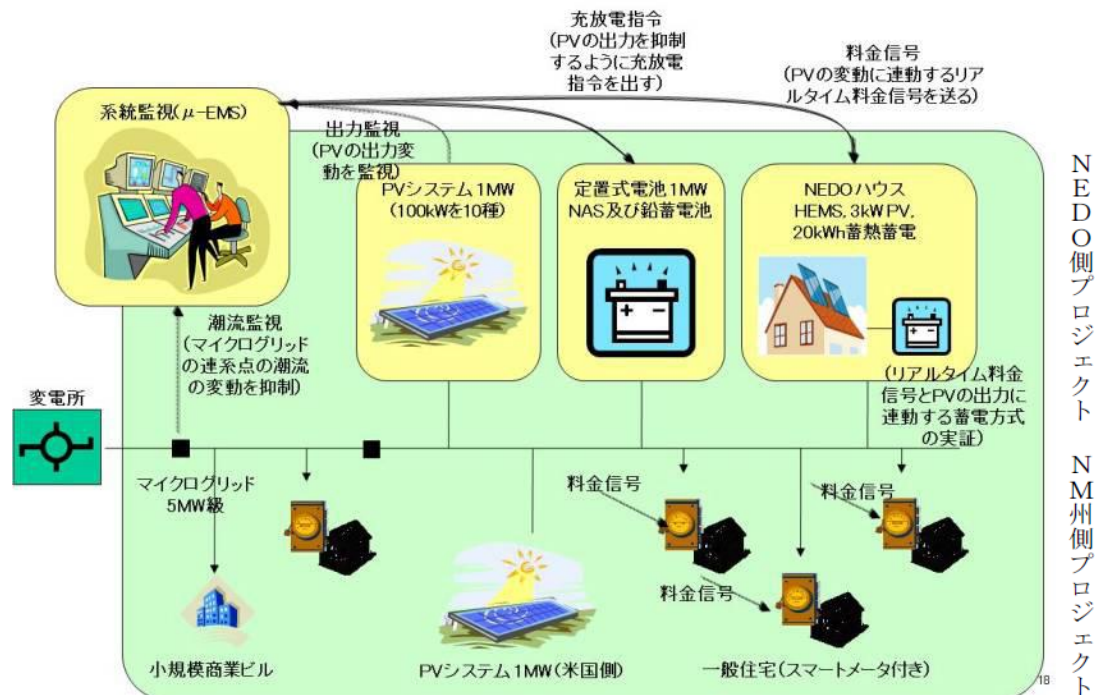
#### ① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

ローカル EMS とは、需要家設備や分散型電源を含む電力系統の下流側設備の監視・制御を行うとともに、HEMS や BEMS、さらに基幹系の制御システム（中給等）との協調制御を行うシステムであり、経済性や環境性、電力品質の維持・向上を目的とする。

従来、マイクログリッドという概念で、配電系統に設置される分散型電源や需要家機器を協調制御することで、自然変動電源による系統への悪影響の最小化や、系統事故時に自立運転を行い配電系統の信頼度を向上させることが提案・実証されてきた。ローカル EMS の概念は、このマイクログリッドの概念をよりアクティブにしたものと考えることができ、積極的に需要家情報や系統情報を監視・制御システムに取り込むことで、より系統と協調した制御を行うシステムと言える。

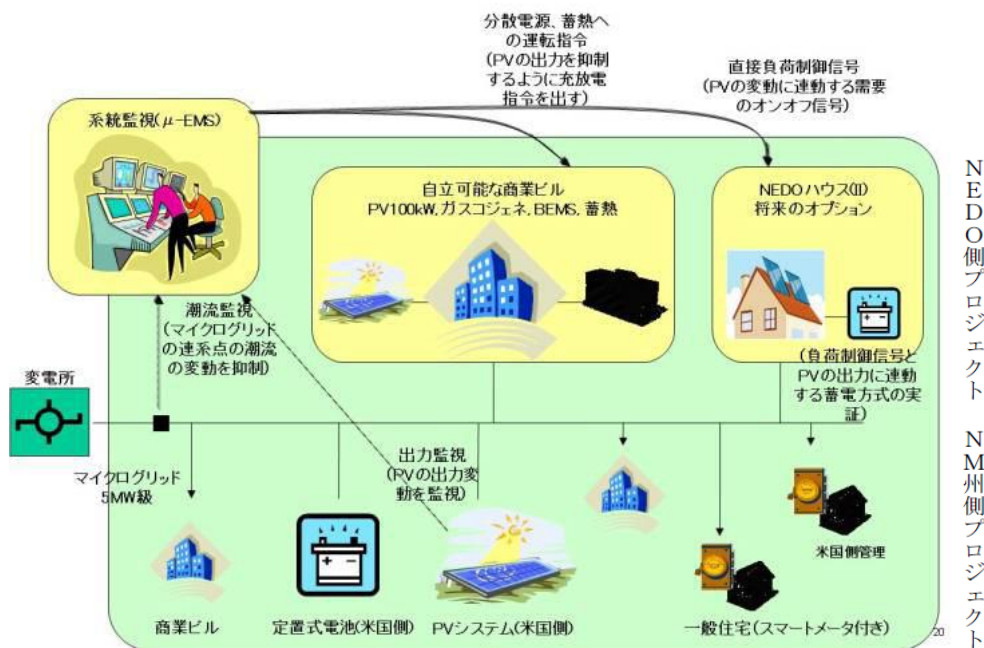
例えば日米スマートグリッド共同実証研究では、図表 9.25 に示すように、リアルタイム料金信号を配電系統の系統監視を行うローカル EMS（ $\mu$ -EMS）から発し、住宅における太陽光発電、蓄電池、HEMS が、どの程度デマンドレスポンス機能を発揮できるかの検証が行われる。さらに、図表 9.26 に示すように BEMS と連携し、太陽光発電の運転状況のモニタリング信号を受けて、 $\mu$ -EMS が太陽光発電の変動吸収量を指令し、燃料電池、ガスエンジンコージェネレーション、蓄熱槽、蓄電池などのビル側設備による変動吸収の実証も計画されている。

図表 9.25 ロスアラモス郡における実証マイクログリッド



出典：NEDO 海外レポート No.1054、2009.11.4

図表 9.26 アルバカーキ郡における実証マイクログリッド



出典：NEDO 海外レポート No.1054、2009.11.4

## ② 試験・導入の現状

欧米でのローカル EMS 関連プロジェクトは、配電系統運用者 (DSO)、ないし DSO とエネルギーサービスプロバイダ (ESP) が協調して実施されているものが多い。すなわち、DSO による制御の効率化や、DSO ないし ESP による顧客情報を活用した省エネルギーサービス等を行うことが目的とされている。

具体的な試験・導入事例は、下記③に示す。

## ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

### i) オランダ・アムステルダム市<sup>5</sup> スマートシティ・プログラム

アムステルダム市は EU 初の「インテリジェント・シティ」の実現を目指し、「アムステルダム・スマートシティ・プログラム」、およびスマートグリッド関連プロジェクトを推進している。

このプログラムでは、持続可能、かつ経済的に実行可能なプロジェクトを企画、実行することにより、カーボン・フットプリントを削減し、EU の気候変動・エネルギーに関する政策パッケージ「EU2020 Package」で設定された、いわゆる Triple 20 (2020 年までに 1990 年比で温室効果ガスの排出量を 20%削減、エネルギー消費量の 20%を再生可能エネルギーから供給、エネルギー効率の 20%向上) への貢献を目的としている。

住宅や商業・公共施設、交通機関におけるエネルギー消費量を削減するため、スマートメーターや BEMS、船舶の充電設備の充実などの取組みが行われており、電力需要側・供給側双方の一体的な制御を行うローカル EMS 技術の開発も予定されている。具体的には、家庭用小型発

<sup>5</sup> NEDO 海外レポート No.1053、2009.10.21

電設備（太陽光発電、小型風力発電、小型 CHP など）からの余剰電力の売電を可能にするシステムおよびインフラストラクチャを構築し、電力の需給制御を行う「PowerMatcher」「PowerRouter」というシステム開発が行われている。

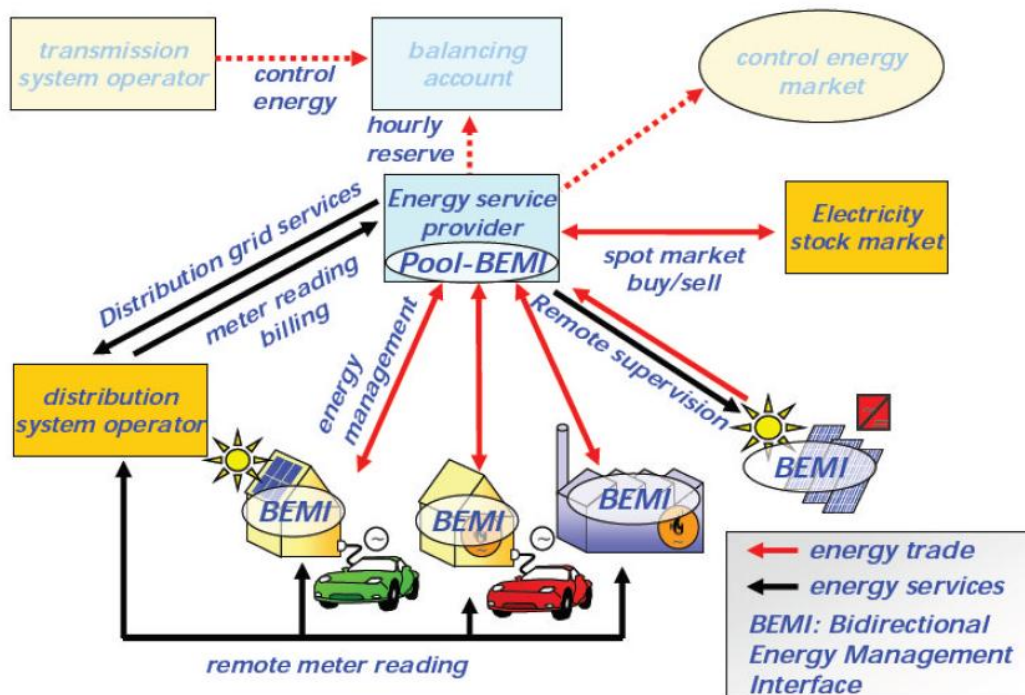
また、近接する建物間で形成される「LEN (Local Energy Network)」を構築して、相互で発電量、需要電力量を管理し、ネットワーク域内において最適な形で電力の融通が可能となるようなシステムの実現も構想されている。

### ii) ドイツ・マンハイム市

ドイツ・マンハイム市では 100 軒規模の家庭を対象として、太陽光発電、コージェネレーションシステムと制御可能な負荷が統合され、電気事業者等のサービスプロバイダと需要家がリアルタイムに情報交換可能なシステムを構築・実証を行っている。この実証では、ISET が開発した「BEMI: 双方向エネルギーマネジメントインターフェース」を中心に、ローカルなエネルギーマネジメントシステムを構築している（図表 9.27）。

DSO はスマートメーターにより読み取られた情報を ESP に提供し、それをもとに ESP は各家庭と BEMI を介したマネジメントを行うことで、DSO の配電業務に資するサービスを提供するというフレームワークである。

図表 9.27 マンハイム市で考えられているビジネスフレーム



出典：Smart Houses and Smart Grid

### iii) 米国の SmartGridCity プロジェクト（コロラド州ボルダー）

SmartGridCity はコロラド州ボルダーにおいて、Xcel Energy 社が中心となり、「配電系統運用の効率・信頼性の向上」「設備のエネルギー効率の向上と需要家の需要反応スキームの確立」「オン

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

「サイト再生可能エネルギー電源の高度な連系」を目指して、スマートメーターや太陽光発電、蓄電池、スマート家電等を設置した約 2.3 万件のスマートハウスを舞台とした実証研究が行われている。

実証の内容は、停電管理・顧客情報システムと双方向通信を活用し、蓄電池や風力・太陽光発電、PHEV など約 1000 ヶ所の分散型電源との統合制御を実施すること、およびローカル EMS を用いて、自動検針、停電検知や配電自動化、エネルギー消費の見える化やデマンドレスポンスプログラムの構築などである。

図表 9.28 SmartGridCity における実証内容

- ・ 市内の住宅・施設における既存の電力メーターを 5 万台のスマートメーターに変更
- ・ 自動検針システム、停電の検知など
- ・ ボルダー市内の 4 つの変電所、25 か所のフィーダをスマートグリッドに対応するように改修し、双方向の電力・通信網を確立など
- ・ 配電所業務自由化、変圧器・低圧システムのモニタリング・過負荷検知
- ・ 電力消費者がインターネットでエネルギー使用を制御・分析できるシステムを構築
- ・ 見える化ツールの提供、デマンドレスポンスプログラムの構築

図表 9.29 SmartGridCity のイメージ図



出典：SmartGridCity ホームページ (<http://smartgridcity.xcelenergy.com/media/pdf/SmartGridCity.pdf>)

## iv) 日本（次世代エネルギー・社会システム実証事業）

我が国では、ローカル EMS を活用し、次世代エネルギー・社会システム実証事業を実施する 4 地域が 2010 年 4 月に採択された。

4 地域における、ローカル EMS に関する取組み・研究開発の概要を図表 9.30 示す。

**図表 9.30 次世代エネルギー・社会システム実証事業採択地域におけるローカル EMS の取組み・研究開発の概要**

地域	地域 EMS (※) の取組み・研究開発概要
横浜市	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ HEMS や BEMS 等需要家側と情報通信を行い、また大型施設等に設置された地域レベルの再生可能エネルギーや蓄電装置等も活用しながら、地域内でのエネルギー利用効率の向上に資する地域 EMS の確立</li> <li>・ 複数の地域 EMS の連携のあり方や系統との役割分担の明確化</li> <li>・ 充電スタンドや HEMS 内機器を使用した電圧制御の実証</li> <li>・ 需要家データを活用した新たなサービスコンテンツの開発</li> </ul>
けいはんな学研都市	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 家庭、学校、公的施設などにおける HEMS や BEMS などを統合、さらに電気自動車のマネジメントシステムを合わせ、トータルな地域 EMS を構築</li> </ul>
豊田市	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地域単位でのエネルギー使用の最適化／有効利用を図り、グリーンエネルギーをコミュニティ内で有効活用を目指し、HEMS をコミュニティ内でネットワーク化し、コミュニティ単位での地域 EMS を構築</li> <li>・ 大規模災害時等を想定し、次世代自動車搭載蓄電池から商業施設・公共施設等向け電力供給の可能性の検証</li> </ul>
北九州市	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気象・エネルギー需要予測、新エネルギー導入時の系統制御や蓄電池、EV を組み合わせた地域 EMS の構築</li> <li>・ 地域 EMS は DSM（デマンドサイドマネジメント）機能を中心として、CEMS と BEMS、HEMS 等と連携</li> <li>・ 大規模基幹系統等との協調運転、安定化のため、連系に必要な同時同量機能、電圧・周波数制御機能を付加</li> <li>・ 高信頼性と高度なセキュリティを実現する通信プロトコルの導入</li> <li>・ 監視装置、中央制御装置を備え、エネルギー使用状況や太陽光発電等の各種電源を監視・運用し、電力網の安定化、地域エネルギー利用の最適化を図る地域節電所の整備</li> </ul>

(※) 次世代エネルギー・社会システム実証事業では、ローカル EMS を「地域 EMS」としている

出典：各地域の提案書より作成

これによると、ローカル EMS の主な研究開発要素として、下記の内容が挙げられる。

- ・ HEMS や BEMS など、建物単位の EMS と連携した最適マネジメント技術の確立
- ・ 基幹系統との協調した制御技術の確立、役割分担の明確化

## 9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

- ・ 電気自動車等、モビリティとの連携、モビリティを活用した系統制御技術の確立
- ・ セキュリティの確保

### v) 課題のまとめ

ローカル EMS の開発においては、ローカル EMS 系統運用上どのように活用していくのか、また HEMS 等の需要家個別のエネルギーマネジメントシステムとどのように役割分担をしていくのが主要課題とされている。従って、都市や離島等の実フィールドでの実証を進めつつ、これらの技術開発を進めていく必要がある。

- ・ HEMS 等と連動した制御技術開発
- ・ 系統運用と協調した制御技術開発

### (3) 配電自動化システム

#### ① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

配電自動化システム（DAS：Distribution Automation System）とは、配電線や変電所に設置される機器の状態や電流値・電圧値等を遠隔監視しながら配電線開閉器を自動操作することで、供給信頼度の向上や保守作業の省力化を図るシステムである。

日本では既に配電自動化システムが全国的に普及しており、遠隔操作可能な開閉器が広がっている（連系自動開閉器も遠隔操作可能）。

他方、米国や欧州、アジア等の諸外国においては、日本と異なり配電自動化システムの普及率は高くなく、配電システムの運用効率化、信頼性向上の観点から、スマートグリッド技術の一つとして取組みが進められている。

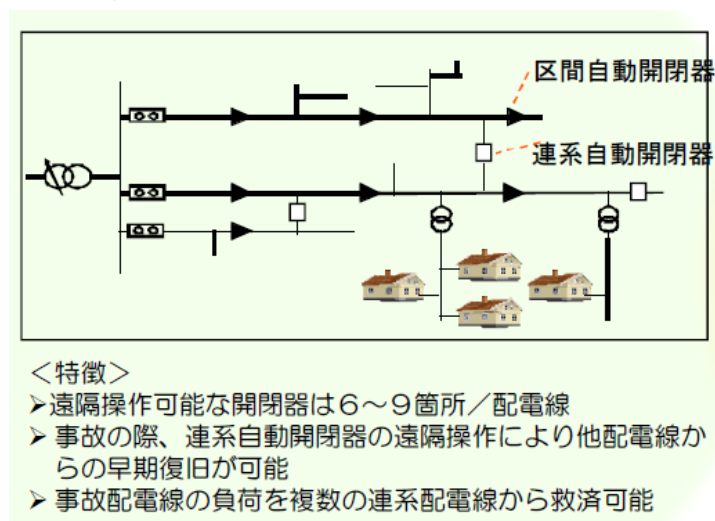
#### ② 試験・導入の現状

##### i) 日本

我が国では、配電線に流れる電流値（需要家の電力需要）を把握し、電力会社の事業所からの遠隔操作により現地の開閉器を操作することで事故の早期復旧や配電線の効率運用等を図るため、情報技術を活用した配電自動化システムが普及している。

現在では、配電線の電圧負荷管理や不平衡による配電線ロスの解消等、さらなる電力品質の精度向上のため、各種現地データ（電圧、電流、力率、事故情報など）の計測を可能とするセンサー内蔵開閉器が導入され始めている。またこのセンサー内蔵型開閉器を活用して、分散型電源等による急激な電圧変化検出による電圧制御、負荷パターン認識による電圧制御、負荷パターン認識による負荷バランス制御や断線検出などリアルタイムな計測データに基づく電圧制御が検討・導入されてきている<sup>6</sup>。

図表 9.31 我が国における配電システムの概要



出典：低炭素電力供給システムに関する研究会（第7回）資料（2009年5月22日）

<sup>6</sup> 小田切司朗、「配電自動化の変遷」、電気学会論文誌、Vol129, No.9, 2009

## ii) フランス

EDF では我が国と同等の配電自動化システムが普及している<sup>7</sup>。EDF における配電自動化の状況は図表 9.32 のとおりである。

図表 9.32 EDF における配電自動化の状況

導入済み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開閉器：フィーダあたり 3.5 箇所</li> <li>・ 少数の連系開閉器 (sectionalizer)、再開路装置 (reclose)</li> <li>・ 変電所における自動電圧調整器</li> </ul>
今後導入予定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 制御所における自動化 (2007 年より導入)</li> <li>・ 変電所からのアラーム信号の自動分析</li> <li>・ 故障報データの自動収集</li> <li>・ (オペレータの操作による) 事故復旧戦略の自動策定</li> <li>・ 健全なフィーダの自動復旧(2008 年)</li> <li>・ 風力発電出力のモニタリング</li> <li>・ 配電システムと分散型電源が協調した電圧制御 (配電所の電圧調整装置や、分散型電源からの無効電力の供給など) (2009 年)</li> </ul>

出典：VALUE OF DISTRIBUTION AUTOMATION APPLICATIONS (CEC 500-2007-028)、California Energy Commission、2007.4 より作成

## iii) 米国

ニューヨーク市に電気を供給する Con Edison 社では、都市部はメッシュ系統、郊外は自動開閉器なしが主流であり、配電自動化システムが普及していない<sup>8</sup>。

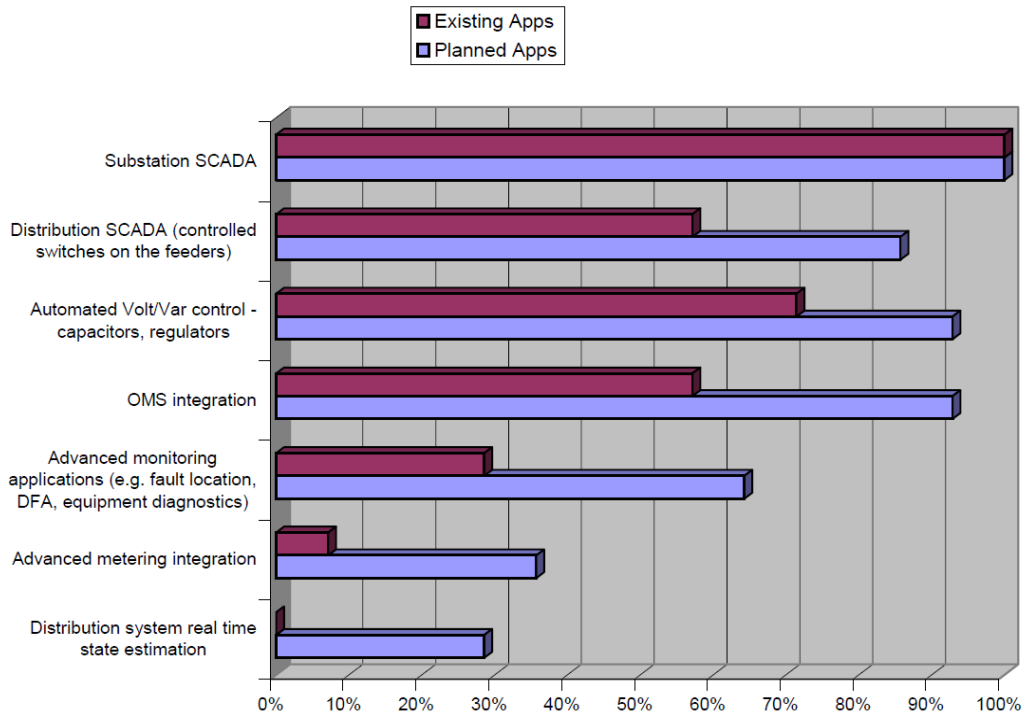
米国における配電自動化の取組み状況を図表 9.33 に示す。配電所への SCADA の導入 (Substation SCADA) はほぼ 100%行われているが、開閉器の監視・制御機器 (Distribution SCADA) の導入率は 55%程度、自動電圧制御システム (Automated Volt/Var control capacitors, regulators) の導入率は 70%程度、停電自動監視システム (OMS : Outage Management System) の導入率は 55%程度、などとなっている。

<sup>7</sup> 低炭素電力供給システムに関する研究会 (第 7 回) 資料 (2009 年 5 月 22 日)

<sup>8</sup> 低炭素電力供給システムに関する研究会 (第 7 回) 資料 (2009 年 5 月 22 日)

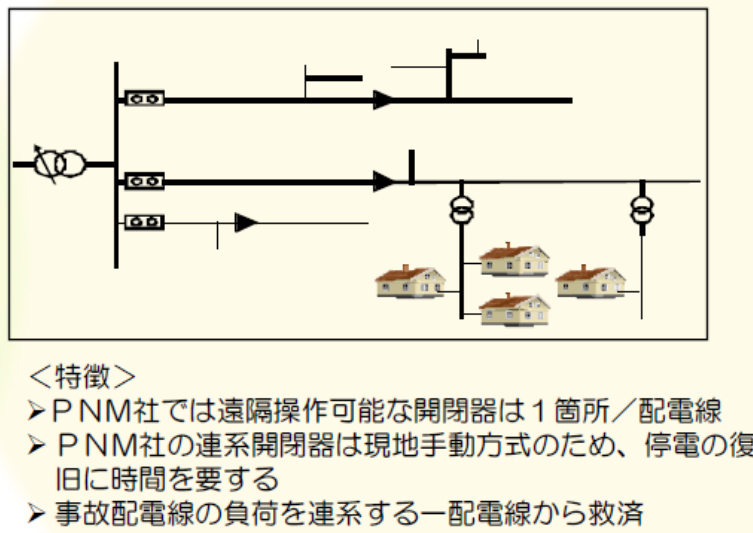


図表 9.33 米国の配電自動化アプリケーションの利用度合い（現状と計画）



出典：VALUE OF DISTRIBUTION AUTOMATION APPLICATIONS (CEC 500-2007-028)、California Energy Commission、2007.4

図表 9.34 Public Service of New Mexico 社の系統の特徴

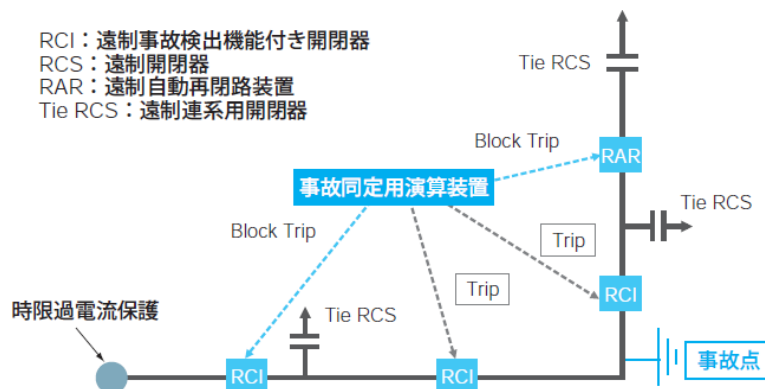


出典：低炭素電力供給システムに関する研究会（第7回）資料（2009年5月22日）

なお、SCE社（Southern California Edison）においては、San Bernardino市で通常の配電自動化導入に加え、Circuit of the Future と呼ばれる、開閉器と事故区間判定処理装置間でデータ通信を行い、最小の事故区間だけ自動的に除去して停電範囲の最小化を実現する試験的な取り組みを実施している（図表 9.35）。

またコロラドではAMIの情報通信技術を応用し、配電システムの運用を行う動きも見られる。

図表 9.35 事故区間同定システム



出典：海外電力 2009.4

iv) 中国

配電自動化システムは大都市圏にいくつかの試験的導入が進められているが、新規配電設備の置き換えや大容量化、高信頼化などの課題解決のための設備投資が膨大となることから普及はこれからと見られている<sup>9</sup>。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

配電自動化システムの導入は、日本が最も進んでおり、現時点での技術力は世界有数であると言える。

今後の我が国の配電自動化システムに関する技術開発課題としては、風力発電や太陽光発電などの分散型電源が今後ますます配電系統へ連系することなどにより、配電系統の電圧管理や停電時の融通操作が複雑化していくために、光ネットワークやIP通信方式等による高速・大容量伝送技術を活用し、従来の開閉器制御に加え、事故区間の早期検出、リアルタイムな電圧制御など、ITを活用した配電自動化の高度化が挙げられる。

一方、諸外国における配電自動化システムの導入はこれからであり、日本として海外市場に進出する場合、当該国の系統構成（電圧や接地方式、配電ネットワーク方式等）へ適合した製品開発、IECなどの国際規格へ適合した製品開発を行い、実フィールドでの実証を行っていく必要がある。

- ・ ITを活用した配電自動化の高度化
- ・ 当該国の系統構成に適合した製品開発
- ・ 国際規格に適合した製品開発
- ・ 実フィールドでの実証

<sup>9</sup> 富士時報、Vol.81 No.3, 2008

### 9.1.2.2 需要家側のエネルギーマネジメント技術

需要家側のエネルギーマネジメント技術とは、需要家側のエネルギー設備を制御し、省エネルギーや系統貢献を行う制御技術のことである。系統情報・気象情報・電力価格情報に基づく制御の場合もある。

具体的には、太陽光発電や需要家用蓄電池、電動車両や蓄熱システム（給湯機器等）などを活用し、目的（省エネや省コスト等）に応じた制御を家やビル、工場などの個別の系で行う、個別需要家のエネルギーマネジメントシステム（HEMS、BEMS、FEMS）<sup>10</sup>、および系統情報を踏まえた制御を行うデマンドレスポンス、また電動車両による系統貢献技術（G2V、V2G、V2H 等）を指す。

#### (1) エネルギーマネジメントシステム（EMS）技術

##### 1) HEMS、BEMS、FEMS

##### ① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

住宅を対象とした HEMS（Home Energy Management System）、ビルを対象とした BEMS（Building Energy Management System）、工場を対象とした FEMS（Factory Energy Management System）は、施設内のエネルギー需要機器（電化製品や給湯器等）、エネルギー供給機器（太陽光発電や燃料電池、冷凍機等の空調システム等）、さらに電動車両等をネットワークで制御するシステムである。

EMS 技術の主な目的は省エネルギーと温暖化対策である。そのためエネルギー消費量を表示（見える化）することで、利用者に省エネルギーを喚起し、機器の自動制御や利用者に効果的な機器利用方法を提示するなどの機能を備えている。

また最近では、太陽光発電や蓄電池、電動車両などを活用し、停電時等の電力供給を行ったりする研究もなされている。

##### ② 試験・導入の現状

HEMS や BEMS などの需要家の EMS 技術は、かねてより各国で研究が行われてきた。例えば我が国においては NEDO を中心に研究開発が進められ、エネルギー需要最適マネジメント事業では、HEMS の導入によりエネルギー消費量が 5.8%～17.9%削減可能と報告される等の実績がある。

スマートグリッドにおいては、家庭やビル等の閉鎖系内の最適制御に加えて、ローカル EMS や系統運用と協調した制御などの研究が進展している。これらの開発内容は、下記の③に示す。

##### ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

###### i) ドイツ E-DeMa プロジェクト

E-DeMa プロジェクトは、ドイツで 2008 年より実施されている E-Energy プログラム<sup>11</sup>の一つ

<sup>10</sup> 個別需要家ではなく、複数需要家や地域を対象としたエネルギーマネジメントを行うローカル EMS は、559 ページで扱っている。

<sup>11</sup> E-Energy プログラムは、最新の情報通信技術の導入によるエネルギーシステムの最適化を通して、高効率か

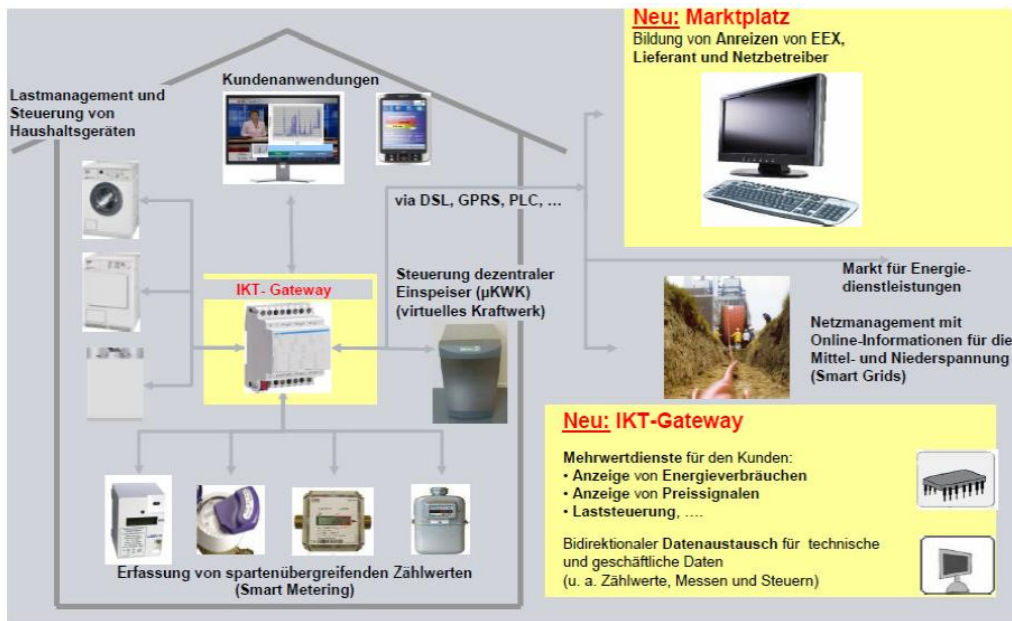
9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

である。E-DeMa プロジェクトでは、需要家はエネルギーを消費すると同時にエネルギーを作り出す「Prosumer (Producer と Consumer を合わせた造語)」として市場に参画する。Prosumer はリアルタイムの電力消費情報や価格信号を受け取ることで需要反応行動を起こし、その対価を受け取る。

このように、需要家も一取引者として、E-Energy 市場（次世代のエネルギー市場）へ参加する市場システムを実現するための統合インフラストラクチャの設計、開発を行うのがプロジェクトの内容である。

このようなスキームを可能とするために、E-DeMa では図表 9.37 に示すようなホームエネルギー管理システムが考えられている。この HEMS は IKT-Gateway (宅内ゲートウェイ) と呼ばれるゲートウェイを中心に、宅内機器 (スマートメーターやテレビ・食器洗い機の家電機器) が接続されている。IKT-Gateway を通じて、各機器の電力消費状況や、遠隔制御が可能となる。

図表 9.36 E-DeMa プロジェクトにおけるホームエネルギー管理システム



出典：“E-DeMa - Entwicklung und Demonstration dezentral vernetzter Energiesysteme hin zum EEnergy Marktplatz der Zukunft”, Konferenz: Umwelttech meets IT – Green-IT und E-Energy in der Praxis(2008)

ii) 米国の SmartGridCity プロジェクト (コロラド州ボルダー)<sup>12</sup>

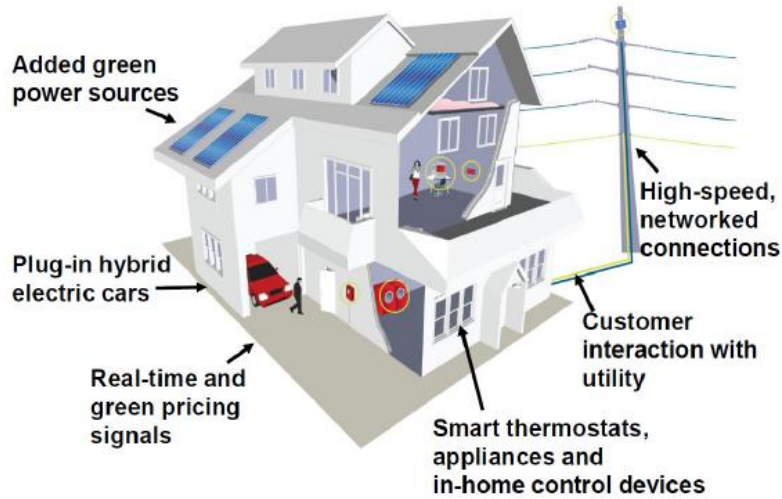
米国コロラド州ボルダーにおいて、Xcel Energy 社が中心となり、スマートメーターや太陽光発電、蓄電池、スマート家電等を設置した約 2.3 万件の「スマートハウス」を舞台とした実証研究が行われている。

つ低環境負荷なエネルギーシステムの構築、および新規雇用・市場の開拓が目的。6つの実証試験サイトが選定されている。

<sup>12</sup> 561 ページも参照のこと

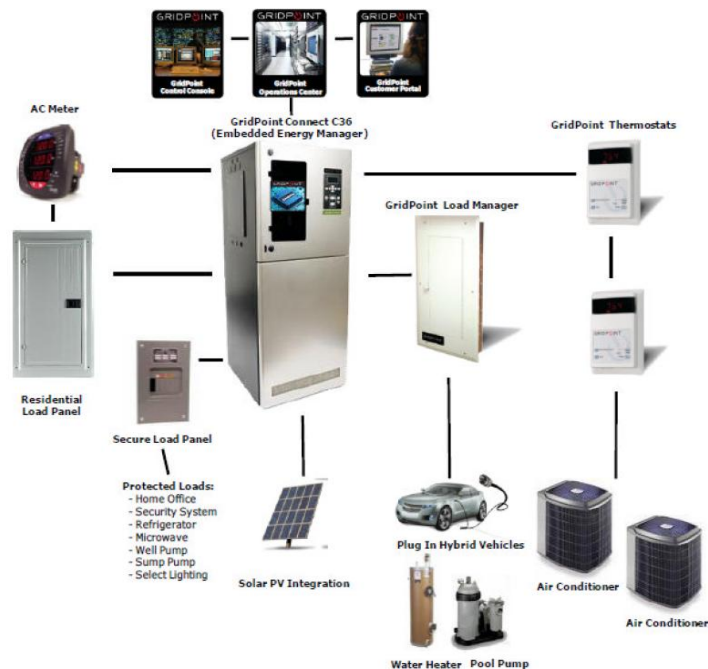
SmartGridCity プロジェクトにおけるスマートハウスは、図表 9.37 に示すように、家電製品や分散型電源、電気自動車などを HEMS で結び（図表 9.38）、家庭内の電力消費の見える化、電力消費の高効率化、家電製品の需要制御などが行われる。また、消費者がニーズに応じて、家庭で利用する電力種別（クリーンなエネルギー源、安価なエネルギー源など）を選択できるような仕組みも開発される。

図表 9.37 SmartGridCity におけるスマートハウス像



出典：”SmartGridCity - A blueprint for a connected, intelligent grid community”

図表 9.38 スマートハウスにおけるホームエネルギーネットワーク

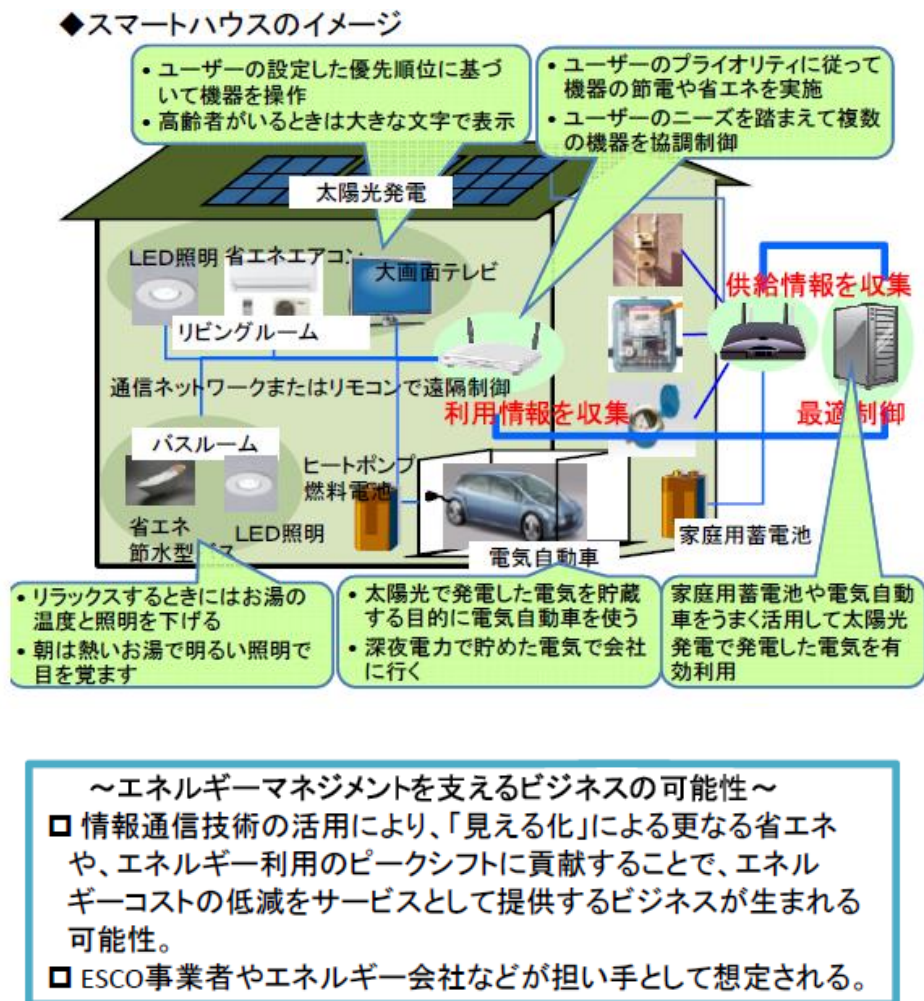


出典：”SmartGridCity - A blueprint for a connected, intelligent grid community”

iii) 日本

HEMS を用いて機器制御を行う家庭はスマートハウスと呼ばれており、563 ページで述べた次世代エネルギー・社会システム実証事業などにおいて研究が進められている。今後の実証においては、エネルギー消費量や発電量等の数値をユーザに表示し意識を高めることで、省エネ行動を促す効果の実証や、例えば省エネ優先モードや省コストモード、快適重視モードなどのユーザーニーズに応じた機器制御の実証などが予定されている。また地域特性、需要家のライフスタイルや受容度を考慮した制御技術を開発し、将来的にはローカルエネルギーマネジメントサービスと連動した制御、系統運用と協調した制御を行うことも期待されている。

図表 9.39 スマートハウスのイメージ



出典：第7回次世代エネルギー・社会システム協議会資料（2010年1月19日）

iv) 課題のまとめ

HEMS や BEMS、FEMS 等のエネルギーマネジメント技術の基礎的な技術は、NEDO 等においてこれまで開発が進められてきた。スマートハウス等において様々なビジネスモデルが国内外で検討されており、通信技術の進展によるマネジメントの高度化などが進められている。

今後は、以下の技術開発を図り、より高度化した EMS 技術を確立することが課題である。

- ・ 地域特性や需要家のライフスタイル、受容度を考慮した制御技術の開発（マネジメント技術のローカライズ化）
- ・ ローカルエネルギーマネジメントサービスとの連動技術
- ・ 系統運用との協調制御技術
- ・ ホームサーバ、サービスプロバイダ等のアーキテクチャ仕様の検討

## 2) デマンドレスポンス・スマート家電

### ① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

デマンドレスポンスとは、経済的インセンティブによる需要家の行動変化を通じて、系統電力のピーク電力カットや供給信頼度を向上するものである。電力品質市場（アンシラリーサービス市場）を有する米国の一部電力市場を中心に取組みが進められており、スマートグリッドにおいても需要家負荷制御の一方策として、特に、家庭の需要家を対象としたデマンドレスポンスへの取組みが検討されている。

家庭の需要家を対象にデマンドレスポンスを行う場合、HEMS 等により制御可能なスマート家電が制御対象機器となることから、スマート家電についての技術開発課題の整理も行う。

### ② 試験・導入の現状

デマンドレスポンスへの取組みは米国を中心に進められており、また欧州でも実証プロジェクトが実施されている。詳しい内容は、③で示す。

### ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

#### i) 欧州 Smart-A (Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy System) プロジェクト<sup>13</sup>

EU の Smart-A プロジェクトでは、家電機器の電力消費をコントロールし、電力系統のピーク需要削減や風力・太陽光発電の導入等に起因する系統周波数調整への貢献可能性の確認と効果の評価を目的に実施された。プロジェクトで用いられた家電機器は、食洗機、冷蔵庫、電気温水器、洗濯機、エアコン、冷凍庫などである。

このプロジェクトの、「戦略と提言 (案)」と題する報告書 (案)<sup>14</sup>では、以下のステークホルダに対して、現状の制約要因とそれへの対応策を提言している (図表 9.41)。

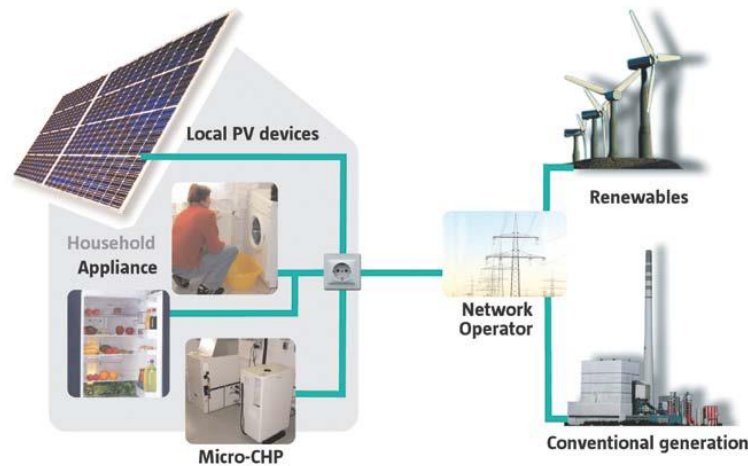
- 家電業界
- 地域の (小規模な) エネルギー供給事業者
- 電力会社 (発電、配電、小売)
- 大規模な再生可能エネルギー発電事業者
- 政策立案者
- 需要家
- 標準化団体
- スマート家電からの情報提供者やデマンドマネージャー

<sup>13</sup> 2007.1 にスタートした 2 年半のプロジェクト。URL は [www.smart-a.org](http://www.smart-a.org)。ドイツのエコ研究所 (Oeko-Institute) 欧州の 9 の大学・研究所, エネルギー供給・管理会社, 家電メーカー等が共同参加

<sup>14</sup> Draft 8.2 – September 2009



図表 9.40 スマート家電の概念



出典： Smart-A, ” Smart Domestic Appliances Supporting the System Integration of Renewable Energy”

図表 9.41 家電メーカーに対する現状の制約事項と対応策の提言

No	制約事項	対応策
1	エネルギーシステム間の通信の標準	エネルギーシステム間の接続を規定するため、欧州もしくは世界的な標準化活動を活発化すべきである。世界市場を相手にしている家電メーカーが主導すべき。
2	スマート家電の利点が明確でない。スマート家電向けの新しいタリフがないため、需要家の利益が不明	需要シフト（特に、食洗機の夜間稼働のための）のためのタイムオプションの利用を推進すべき。これにより、自動スマートオペレーションの素地が出来る。
3	スマート家電の追加のコストの消費者負担	他機能との共用等による需要家メリットの提供や、系統運用コストを削減出来る電力会社はメーカー、小売業者、消費者に対しスマートデバイス購入に際してのインセンティブを提供すべき。
4	故障時の対応	機器は消費者にとって扱いやすいものであり、故障時の修理がしやすいものでなければならない。また優れた顧客サポートも必要。
5	自動制御運転による事故に対する補償	スマート家電が自動運転される場合には、（故障、火災、水害等を防ぐため）最高レベルの安全基準を適用すべき。またメーカー保証や保険が提供されなければならない。
6	待機時の消費電力の増加可能性	通信需要を最小にするようにする。
7	騒音の影響	特に洗濯機、食洗機の夜間騒音低減が要求される。
8	大量生産	電力会社からスマート家電導入の明確な言質を得る。

出典： Strategies and recommendations (D8.2 of WP 8 from the Smart-A project), September 2009

また同報告書（案）では、スマート家電を用いた DSM を促進するため、3段階に分けた取組み内容を示している（図表 9.42）。

図表 9.42 スマート家電を用いた DSM を促進のための今後の対応の提案

時期	取組み項目	内容
1. “Ad hoc” action	1.1 温水利用に関する情報	洗濯機や食洗機に温水を利用した場合の省エネ効果を家電メーカーが Energy Label や製品マニュアルに明記。
	1.2 自動食洗機のシフト運転	タイマー機能を用いて自動食洗機を夜間運転。
2. “Short-term” action	2.1 オフピークタリフ	オフピークの電力は再生可能エネルギーによるものが多いので、オフピーク電力価格を安くし、オフピークの家電使用が消費者にとってメリットとなるようにする。
	2.2 アドバンスド・スマートメーター	エネルギー需要信号を消費者や家電に送る機能をスマートメーターが持つよう、電力会社はスマートメーターの定義を拡張すべき。また、欧州委員会は Energy Service Directive でスマートメーターの要件を決めるべき。
	2.3 再生可能エネルギーの可用性についての情報（信号）発信	再生可能エネルギーの可用性についてインターネットベースの情報（信号）を発信する。
	2.4 エネルギー効率計算におけるスマート機能へのクレジット	指令 2005/32-EC では、洗濯機、自動食洗機、衣類乾燥機に、タイマー機能付きの場合は年間消費電力に 20kWh を、リモートエネルギー管理の場合は 50kWh のクレジットを付ける。これにより、Energy Label の家電分類が変更され、タイマーとリモート機能の導入を促進。
3. “Long-term” action	3.1 業界横断的なコミュニケーション	各セクター間のコミュニケーションを強化し相互理解・協力関係を確立する。財政的なメリットを各当事者がどのようにシェアするかビジネスモデルの模索等。
	3.2 業界横断的な標準化	業界横断的な通信標準の策定。
	3.3 財政メリットの割当	財政的メリットの顧客への配分方法の検討。
	3.4 データのプライバシー保護	個人情報保護に関する欧州委員会や各国政府における規則導入。
	3.5 乾燥機付き洗濯機	夜間運転可能なように、タイマー機能や騒音や振動の少ない乾燥機付き洗濯機の開発。
	3.6 温水の更なる利用	温水利用による省エネ効果や再生可能エネルギーの更なる利用につながるかといった更なる研究。

出典：Strategies and recommendations (D8.2 of WP 8 from the Smart-A project), September 2009

#### ii) 米国における取組み状況

FERC では、デマンドレスポンスによるピーク電力の削減寄与分を約 41GW、ピーク需要の 5.8% と推計し、取組みを推進している<sup>15</sup>。米国で実施されている各需要反応サービス、プログラムの種類とその提供事業者数を図表 9.43 に示す。また、詳細な需要反応プログラムの例を図表 9.44 に示す。なお、これらのプログラムで行われているデマンドレスポンスは、需要規模が数十 kW～数 MW 以上の需要家を対象としていることから、原則工場や業務施設等の需要家が対象となっている。

<sup>15</sup> 2008 Assessment of Demand Response and Advanced Metering Staff Report、FERC、2008.12

図表 9.43 需要反応サービス、プログラムの提供事業者数

需要反応サービス、プログラム種類	サービス、プログラムの提供事業者数
Ancillary Services	80
Capacity Market Programs	73
Critical Peak Pricing	88
Critical Peak Rebate	41
Demand Bidding	52
Direct Load Control	209
Emergency Demand Response Program	129
Interruptible and Curtailable	221
Real-Time Pricing	99
Time-of-Use	316

出典：2008 Assessment of Demand Response and Advanced Metering Staff Report、FERC、2008.12

図表 9.44 需要反応プログラムリスト (1/4)

プログラム名称	適格需要規模	200kW以下の削減量で参加可	>200kW以上の削減量で参加可能	基準	プログラムタイプ		
					価格	系統	価格/系統
AEP Emergency Curtailable Service Program	>3MW		○	系統に不測の事態が生じた場合		○	
AEP Market Choice Program	>1MW		○	RTP	○		
AEP Price Curtailable Service Program	>3MW		○	高市場価格	○		
Allegheny Power Generation Buy-Back Program	>1MW >3MW (場合によっては)		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Ameren Energy Energy Exchange	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Bonneville Power Administration Demand Exchange	>1MW			需給逼迫&高市場価格時			○
Central Hudson Gas & Electric Day-Ahead Demand Response Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Central Hudson Gas & Electric Emergency Demand Response Program	>100kW	○		NYISOにより緊急事態宣言があった場合		○	
Cinergy PowerShare Pricing Program	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Commonwealth Edison Energy Cooperative	不特定	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Commonwealth Edison Voluntary Load Reduction Program	>10kW または最大電力の5%	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Consolidated Edison Day-Ahead Demand Reduction Program	>100kW	○		卸電力価格が事前に定められたストライクプライスを上回った場合	○		

図表 9.44 需要反応プログラムリスト (2/4)

プログラム名称	適格需要規模	200kW 以下の削減量で参加可	>200kW 以上の削減量で参加可能	基準	プログラムタイプ		
					価格	系統	価格/系統
Consolidated Edison Distribution Load Relief Program	>50kW	○		系統信頼度がリスクに曝された場合		○	
Consolidated Edison Emergency Demand Response Program	>100kW	○		NYISO に宣言される供給力不足または緊急事態		○	
Consolidated Edison Installed Capacity Program	>100kW	○		NYISO の SCR にかかる規定に準拠		○	
Consolidated Edison Voluntary Load Reduction Program	>100kW	○		ConEd 社によって宣言される局地的な供給力不足および緊急事態		○	
Dominion Virginia Power Economic Load Curtailment Program	>1MW		○	同社の指令に従いつつでも		○	
Dominion Virginia Power Real Time Program	>5MW		○	RTP	○		
Duquesne Light Company Energy Exchange	>500kW		○	卸電力価格が事前に定められたストライクプライスを上回った場合	○		
Entergy Experimental Energy Reduction Program (EER)	>150kW	○		供給制約		○	
Entergy Market Value Call Option Service (MVCO)	不特定	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Entergy Market Valued Energy Option (MVEO)	不特定	○		需給逼迫&高市場価格時			○
First Energy Voluntary Power Curtailment Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
First Energy Experimental Real Time Pricing Program	最大 500MW まで		○	RTP	○		
Georgia Power Daily Energy Credit Program	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Georgia Power Real Time Pricing Program	>250kW (前日市場) >5MW (前時間市場)		○	RTP	○		
Idaho Power Energy Exchange Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
ISO-NE Demand Response Program (Class1)	100kW-5MW	○		10 分間運用予備力の不測時		○	
ISO-NE Pricing Response Program (Class2)	100kW-5MW	○		卸市場価格 \$100/MWh 以上	○		
ISO-NE Day Ahead Demand Response	>1MW		○	ISO 給電司令室による指示		○	
ISO-NE Real Time Demand Response	100kW-5MW	○		ISO 給電司令室による指示		○	
ISO-NE Real Time Price Response	100kW-5MW	○		ゾーン価格が \$101/MWh 以上と予測された場合	○		
ISO-NE Real Time Profiled Response	100kW-5MW	○		ISO 給電司令室による指示		○	

図表 9.44 需要反応プログラムリスト (3/4)

プログラム名称	適格需要規模	200kW 以下の削減量で参加可	>200kW 以上の削減量で参加可能	基準	プログラムタイプ		
					価格	系統	価格/系統
Kansas City Power & Light Peak Load Curtailment Program	>200kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Kansas City Power & Light Real Time Pricing Program	>500kW		○	RTP	○		
Kansas City Power & Light Voluntary Load Reduction Program	>100kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Lincoln Electric System Load Purchase Program	>100kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Lincoln Electric Daily Curtailment	>100kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Lincoln Electric Seasonal Curtailment	>100kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Long Island Power Authority Peak Reduction Program	>50kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
NYISO Day-Ahead Demand Response Program	>1MW		○	需要家の入札結果に応じて (系統状況とは無関係)		○	
NYISO Emergency Demand Response Program	>100kW	○		運用予備力の低下およびその他緊急時		○	
NYISO ICAP/SCR Program	>100kW	○		運用予備力の低下およびその他緊急時		○	
New York Power Authority Peak Load Management Program	—	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Otter Tail Power Real Time Pricing Program	>200kW	○		RTP	○		
Otter Tail Power Released Energy Access Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
PacifiCorp Energy Exchange Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
PECD Voluntary Load Reduction Program	>250kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
PECD Curtailment HT Rider	>1MW		○	系統条件		○	
Pcpco Curtailable Load Program	>50kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
PJM Day-Ahead & Real Time Economic Load Response Program	—			高 LMP		○	
PJM Emergency Load Response Program	>100kW	○		—		○	
Portland General Electric Demand Buy Back Program	>250kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
PPL Demand Side Initiative Rider	>1MW		○	RTP	○		
Sacramento Municipal Utility District Power Direct	>100kW	○		高需要/高市場価格			○
Sacramento Municipal Utility District PowerNet	>75kW	○		高需要/高市場価格			○
WE Energies Dollars for Power Program	>50kW	○		事前に想定される卸電力価格を超過した場合	○		
WE Energies Experimental Energy Cooperative Curtailable	>300kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○

図表 9.44 需要反応プログラムリスト (4/4)

プログラム名称	適格需要規模	200kW 以下の削減量で参加可	>200kW 以上の削減量で参加可能	基準	プログラムタイプ		
					価格	系統	価格/系統
WE Energies General Primary Service Curtailable	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
WE Energies Power Market Incentive Program	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時	○		
Xcel Energy Peak Control (MN,ND,SD,WI,MI)	>50kW	○		—		○	
Xcel Energy Experimental Industrial Interruptible Rate Rider(TX)	>=1000kW		○	系統不可緩和の必要があるとき		○	
Xcel Energy Transmission,Primary,Secondary Interruptible Rate (CO)	>=500kW		○	系統不可緩和の必要があるとき		○	

出典：平成 17 年度電力系統関連設備形成等調査（欧米における系統支援型需要プログラムの現状調査）報告書、経済産業省、平成 18 年 3 月

### iii) Edison SmartConnect プロジェクト（カリフォルニア州）

カリフォルニア州の大手電気事業者である Southern California Edison 社（SCE 社）が実施している Edison SmartConnect プロジェクトは、大規模なスマートメーター導入と双方向の通信インフラを敷設し、需要家の省エネルギー、電気料金節約、環境負荷低減を助長することを目的としている。

このプロジェクトでは、需要家に対して時間帯別料金を設定し、需給が逼迫するようなピーク時間帯等での電力使用量を削減することで、月々の電気料金を低減出来るデマンドレスポンスプログラムを提供している。時間帯別料金の種類には、以下のようなものが含まれる。

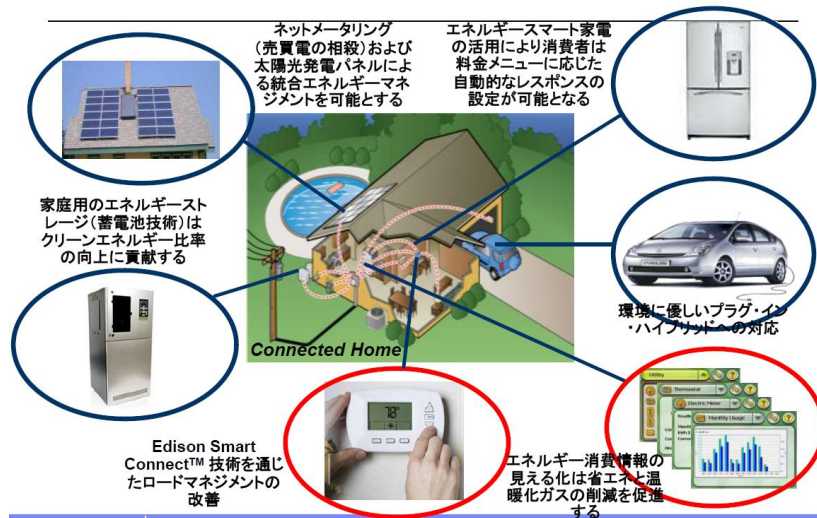
- TOU(time-of-use)：あらかじめ時間帯別の価格を設定している料金プログラム。
- RTP(Real Time Pricing)：上記の TOU をベースとして、時間帯別の料金単価を日ごとに変化させるもの
- CPP(Critical Peak Pricing)：特に電力需給が逼迫する日にピーク時間帯の電気料金をさらに引き上げ、非ピーク時間帯の電気料金は下げるといった料金プログラム
- PTR(Peak Time Rebates)：需要家ごとに典型的な電力使用プロファイル（ベースライン）を設定し、そこからの電力使用量の削減に対して対価を支払う

需要家は上記のような料金プログラムに応じて、電力消費行動を起こす。例えば料金が高い時間帯にはエアコンの使用を控える、他の時間帯に使用してもよいような家電機器は料金が安い時間帯に使用するなどである。

SCE 社ではこれに付け加え、料金が低い時間帯などに自動的に電力消費を抑えるような「スマート家電」との連携も想定している。

Edison SmartConnect プロジェクトで考えられている家庭内エネルギーのスマート化を図表 9.45 に示す。

図表 9.45 Edison SmartConnect プロジェクトにおける家庭内のインテリジェント化



出典：IBM「スマートグリッドに関する情報共有」

iv) 日本

我が国におけるデマンドレスポンスの導入実証例として、2009年より東京電力・関西電力が進めている「スマートメーター大規模実証事業」が挙げられる。本事業は、東京電力・関西電力管内の900件のモニタを対象に、スマートメーターを活用した「電力の見える化」を行い、ピーク時間帯に電力料金が高くなるような仮想的な料金単価を設定することで、料金に対するデマンドレスポンス効果を実証するものである。

図表 9.46 我が国における「スマートメーター大規模実証事業」

1. 事業の目的

✓一般家庭を対象に、電気使用量の「見える化」や時間帯別の料金設定を行う等の大規模な実証事業により、スマートメーター導入に期待される省エネルギー・負荷平準化効果について分析を行うことを目的とする。

2. 事業の内容

✓一般家庭を対象に900台程度のスマートメーター※を設置した上で、設置対象家庭を複数のグループに分け、料金プログラムや機器制御技術を活用した需要側管理※(デマンドサイドマネジメント)による省エネ・負荷平準化効果を検証する。

※以下のケースを想定

- ①消費電力量の「見える化」のみを行う場合
- ②需要がピークとなる時間帯に高い料金単価を設定する場合(その他の時間帯は割引単価)
- ③毎日の気温に連動して変動する時間帯別の料金単価を設定する場合
- ④需要がピークとなる時間帯にエアコンを直接制御をする場合

3. 予算規模

平成21年度予算額:8.2億円  
平成22年度予算額:5.2億円

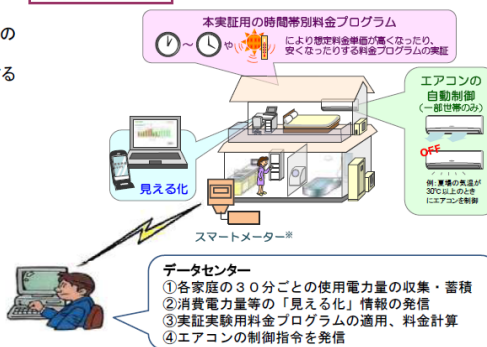
4. 事業期間

平成21年度～平成23年度(3年間)

5. 事業体制

東京電力、関西電力、等

事業イメージ



※本実証事業においては、双方向通信機器と電子式メーターを組み合わせたものを設置

出典：スマートメーター制度検討会「スマートメーターをめぐる現状と課題について」

## v) 課題のまとめ

家庭におけるデマンドレスポンスを進めるにあたっては、家庭内のどの機器を対象とするか、またどのように制御するかの方法を検討し、それに応じた制御システムを開発する必要がある。また、HEMS 等と協調して制御する制御コントローラの開発、制御対象となるスマート家電の最適設計、スマートハウスにおける実証も行う必要がある。

さらには、システムの供給信頼度の向上に資するような、システム運用と協調した実施方法の検討・実証も今後の課題となる。

- ・ 制御対象と制御方法の検討
- ・ 制御システム、制御コントローラの開発
- ・ デマンドレスポンスを前提としたスマート家電の最適設計・開発
- ・ スマートハウス等における実証
- ・ システム運用との協調方法の検討・実証



## (2) 電動車両の連系技術

### ① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

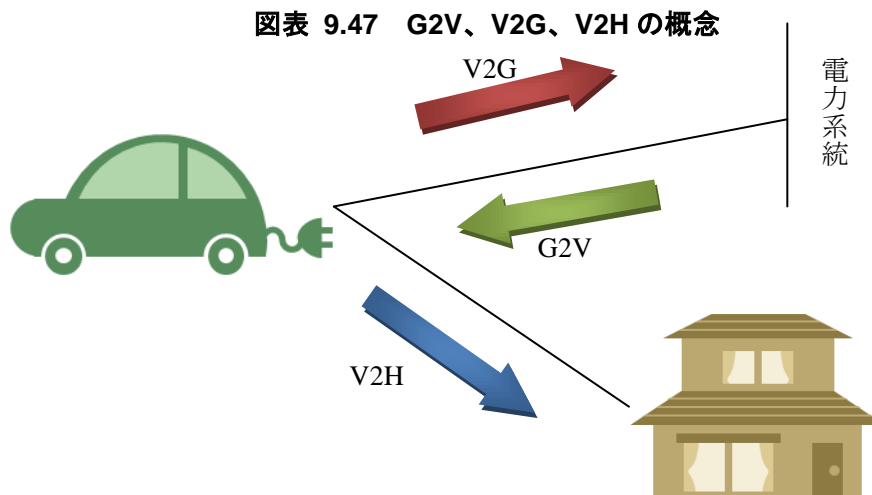
EV 等の電動車両は、従来の内燃機関をベースとした車両と比較して環境負荷が少ないこと、燃料（電気）価格あたりの走行距離がガソリンと比べて長いことなどの理由から、普及が期待されている。

電動車両を電力系統に連系する場合、系統電力を電動車両に充電するケース（G2V：Grid to Vehicle）、電動車両から系統に電力を放電するケース（V2G：Vehicle to Grid）、また電動車両から家庭等の需要施設に電力供給を行うケース（V2H：Vehicle to Home）が想定されている。

G2V の場合、多くの電動車両の充電が同時間に行われると、電力系統にとって相当程度の負荷となることから、充電のタイムマネジメントを行うことが検討されている。

V2G については、電動車両を使用していない時間帯において、系統側に電力を逆潮流させることによってアンシラリーサービスを提供しようという概念であり、電力の自由化が進展している欧米を中心に検討が進められている。

V2H も電動車両を使用していない時間帯に、家庭やオフィスビル（この場合 V2B：Vehicle to Building と呼ばれる）等の需要施設に電力を供給し、停電時の電力融通、施設の負荷ピークカット等を行うものである。



### ② 試験・導入の現状

電動車両の系統連系技術に関する取組みは、米国を中心に進められている。詳しい内容は③で示す。

### ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

#### i) GridPoint 社における G2V タイムマネジメント（スマート充電）

GridPoint 社は 2003 年に設立されたベンチャー企業であり、本拠地はバージニア州アーリントンに位置する。家庭内エネルギーマネジメントサービス、電力貯蔵の制御システム、太陽光発電

## 9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

の発電量マネジメントシステム、PHEV・EV等の次世代自動車の充電管理システムなど、スマートグリッドに関連するソフトウェア・ソリューション（プラットフォームシステム）を幅広く展開しており、米国の電気事業者のハードウェアに応じてシステムをカスタマイズした「Smart Grid Platform」の提供を行っている。GridPoint社の代表的な顧客は、AustinEnergy、Duke Energy、Xcel Energy、PG&E、SMUD、IPLなどの電気事業者であり、米国を代表するスマートグリッドサービスプロバイダと言える。

現在 GridPoint 社は以下の5つのサービスを提供している。

- ・ ホームエネルギーマネジメント
- ・ 負荷マネジメント
- ・ 再生可能エネルギー連系
- ・ 蓄電池マネジメント
- ・ 電気自動車のマネジメント

これらのうち電気自動車の充電マネジメントサービスの機能を図表 9.48 に示す。様々な制御モードの中から、需要家は選好するモードを自由に設定できる。また充電情報や乗車情報の見える化も可能であり、電気自動車の充放電情報を様々な観点から確認できる。図表 9.49 には電気自動車マネジメントのインターフェース例を示す。

図表 9.48 サービス機能（蓄電池マネジメント・電気自動車マネジメント）

大区分	小区分	サービス名	概要
電気自動車の マネジメント	スマート充電	Dynamically Shaping Load	リアルタイムな充電方法をいくつかのパターンから選択できる
		Price-Based Charging	時間帯別料金に応じた充電制御を行う
		Shifting Vehicle Load	電気自動車の充電する時間帯を設定できる
	データマネジメント	Powerful Data Capture	充電情報の見える化
		Detailed Trip Data	乗車情報の見える化

出典：GridPoint ホームページ（<http://www.gridpoint.com/solutions/electricvehiclemanagement.aspx>）より作成

図表 9.49 電気自動車マネジメントのインターフェース例



出典：GridPoint ホームページ (<http://www.gridpoint.com/solutions/electricvehiclemanagement.aspx>)

ii) デラウェア大学等による V2G プロジェクト<sup>16</sup>

デラウェア大学を中心とするコンソーシアム（MAGICC：Mid-Atlantic Grid Interactive Car Consortium）が、PJM のレギュレーション信号にตอบสนองして電動車両の蓄電池を用いて電力系統に充放電を行う実験を行っている。

デラウェア大学等からなるコンソーシアムチームは、2007 年 10 月に Toyota Scion xB を AC Propulsion が改造した電動車“eBox”により、PJM 系統との相互接続に成功した。システム構成は以下のとおりである。

- ・ eBox（355 volt, 35 kWh の蓄電池を搭載。PJM からのレギュレーション信号に対して、1 秒以下の応答時間で 19kW の充放電が可能）
- ・ 通信・制御機器（PJM からの信号を受け、充放電を制御）
- ・ 充放電器（デラウェア大学には 80A、208V（16.6 kW）のシステム、家庭には 50A、240V（12.0 kW）システムを設置）

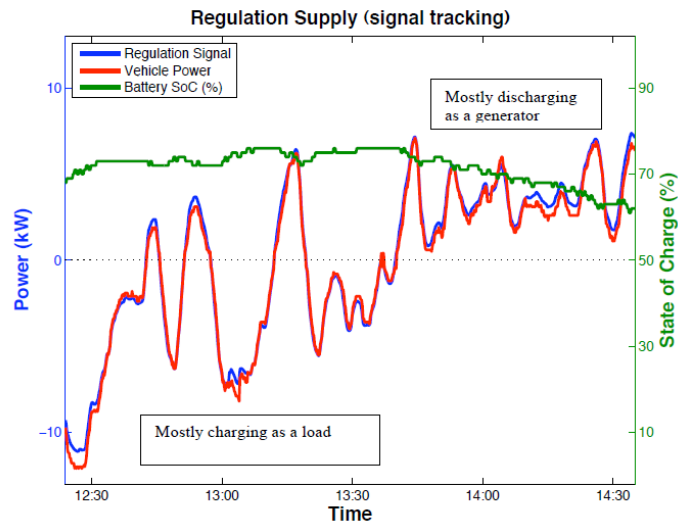
レギュレーション信号に反応して充放電を行う V2G 試験として、2 時間の短時間試験と、24 時間にわたる長時間試験が行われている。

短時間試験の結果を図表 9.50 に示す。青色で示された再生可能エネルギーレギュレーション信号に対して、赤色で示された電動車両の充放電が追従していることが示されている。

図表 9.51 には長時間試験の結果を示す。グラフ中に 3 回ある断続的な部分は、家庭と仕事場への移動に車両が利用されたものであり、その間は SOC が下がっている。概ねレギュレーション信号に追従しているものの、バッテリーの SOC が 100%に近い場面では充電方向の信号には追従出来ておらず、また 0%に近い場面では放電方向の信号に追従出来ていない。

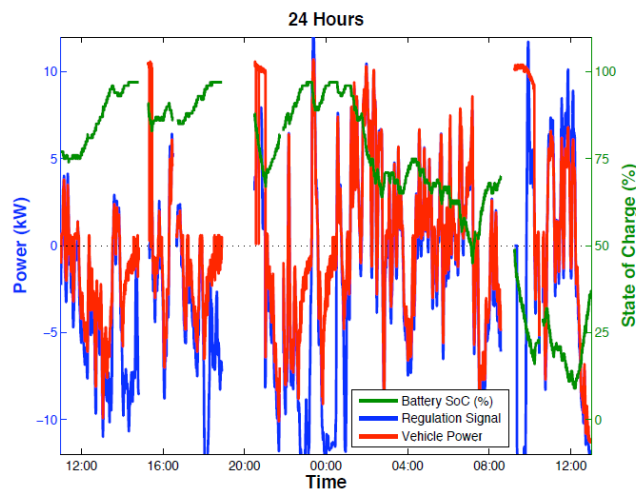
<sup>16</sup> Willett Kempton, Victor Udo, Ken Huber, Kevin Komara, Steve Leten-dre, Scott Baker, Doug Brunner, & Nat Pearre, “A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System”, November 2008 (Clarifications and corrections added January 2009)

図表 9.50 レギュレーション信号への応答（短時間試験）



出典：Willett Kempton, et. al., “A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System”, November 2008 (Clarifications and corrections added January 2009)

図表 9.51 レギュレーション信号への応答（長時間試験）



出典：Willett Kempton, et. al., “A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System”, November 2008 (Clarifications and corrections added January 2009)

課題としては、

- V2G 用車両のコストが高い。
- レギュレーション信号の予測がつかないため、バッテリー容量によってレギュレーションサービスを提供できない場合がある。
- バッテリーの過充電、過放電を防ぐ方策を今後開発していく必要がある。

という点が挙げられており、今後は、以下の取組みを行うとしている。

- 複数の V2G 車による実証実験。大規模なレギュレーション実証試験（1MW、100-300 台の

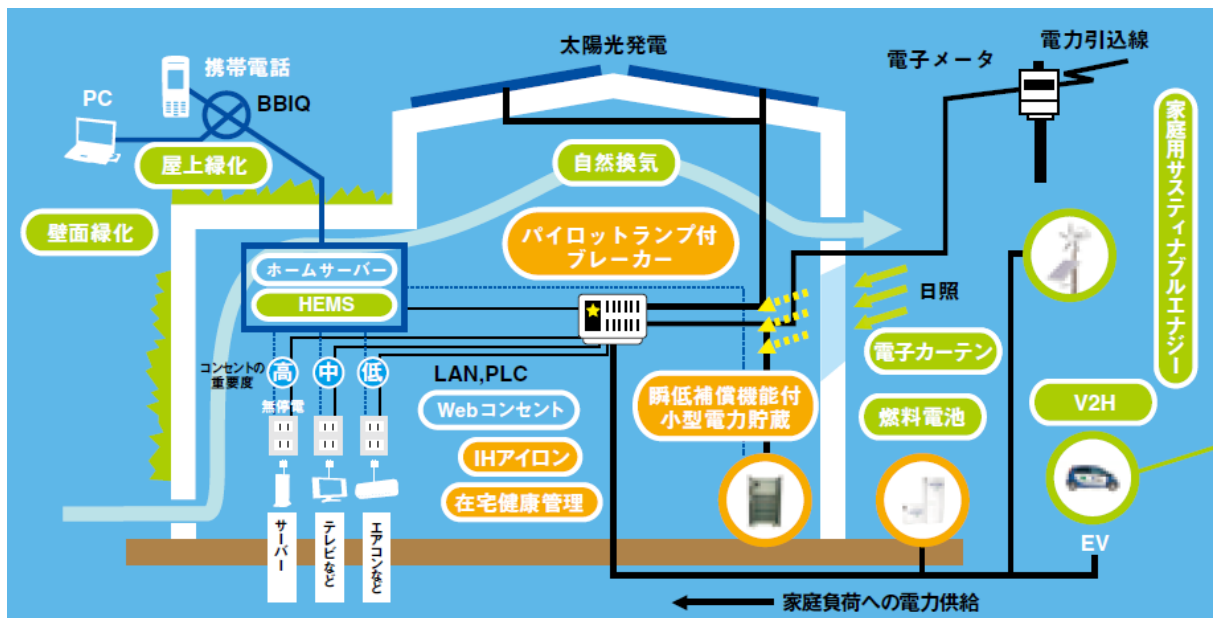
V2G 車を利用) を行うためのビジネスモデル策定

- ・ 運転パターンの統計データより、蓄電池過充放電の限界調査、V2G 車両の駐車場所の考察

### iii) 九州電力インテリジェントハウスによる V2H プロジェクト

九州電力では、2008 年 12 月に同社総合研究所に「インテリジェントハウス」を建設し、「Eco&Web 快適ライフ」をキーワードに、これからの家庭における環境・家計にやさしい、新しい生活視点での電気の使い方の研究開発を行っている。その一項目として、電気自動車に搭載しているリチウムイオン電池から家庭に電気を供給して有効活用する V2H システムの研究開発を行っている。電気自動車の電池を一つの電力貯蔵エネルギーとして捉え、災害時などの停電時に車から家庭に電力供給をすることなどが想定されている。

図表 9.52 九州電力インテリジェントハウスの概要



出典：九州電力アニュアルレポート 2009

### iv) 課題のまとめ

充電時間帯の検討やタイムマネジメント可能な充電システム（スマート充電システム）の実証を通じて、最適な制御技術を開発していくことが重要となる。将来的には系統運用と協調した充電電力制御や、V2G によるアンシラリーサービスの提供も含めた、系統運用への貢献方策等も課題となる。

そのため、以下に示す技術開発を行う必要がある。

- ・ 充電時間帯の検討と、スマート充電システムの実証
- ・ 系統運用と協調した充電電力制御技術
- ・ 系統への放電も含めた、系統貢献技術

### 9.1.2.3 系統の効果的運用が可能となる先進技術

スマートグリッドの主要目的の一つとして、送配電系統の運用効率やフレキシビリティ、セキュリティ<sup>17</sup>の向上が多く国・地域で挙げられている。それらを実現する先進技術として、超電導送電、高電圧直流送電、パワーエレクトロニクス応用機器（FACTS 等）が期待されている。

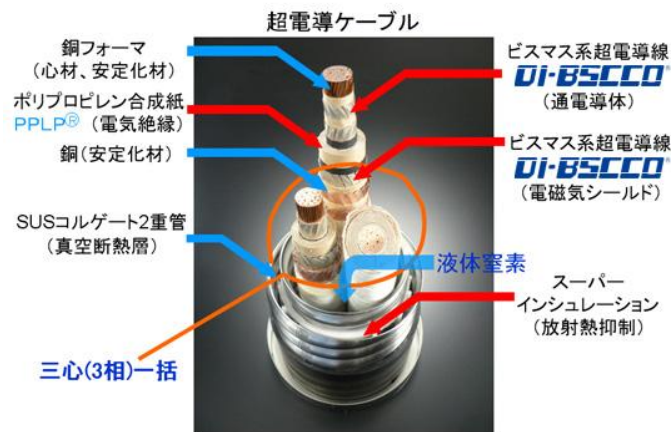
#### (1) 超電導送電・高電圧直流送電

##### ① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

基幹系統での送電ロスが電力会社にとって多大な損失となる。長距離の電力輸送を高効率で行うためのキー技術として超電導ケーブルやパワーエレクトロニクス応用機器である BTB を用いた高電圧直流送電（HVDC：High Voltage DC）などがある。

超電導送電とは、極低温下において、ある種の物質の電気抵抗がゼロになるという超電導体の特徴を利用し、超電導物質を線材として電力ケーブルとして活用することで、送電を行うものである。超電導送電は、送電損失が限りなくゼロに近いために、長距離輸送時に多大な効果を発揮する。現在、ビスマス系等の高温超電導体の技術開発の進展に伴い、高温超電導ケーブルも実用化に向けた開発が行われている。

図表 9.53 高温超電導ケーブル



(注) 安定化材：事故時の電流分担

出典：住友電気工業ホームページ（<http://www.sei.co.jp/super/cable/index.html>）

また、高電圧直流送電（HVDC：High Voltage DC）とは、直流により高電圧送電を行うものであり、パワーエレクトロニクス技術である BTB を用いて系統間を非同期連系するものである。系

<sup>17</sup> NERC ではこの供給信頼度をさらにアデカシーとセキュリティに分けて定義している。アデカシーとは、需要に対して適切な電源予備力と送電余力を確保していること、設備的な十分さの度合いを言う。それに対しセキュリティとは、落雷などで突発的な障害が発生しても系統安定度、系統周波数、系統電圧を維持できるようなシステムの強さの度合いを言う。

統を直流で連系することにより、電力あたりの電流が小さくなるために、送電損失が小さくなることの他に、供給予備力削減や事故時の系統信頼度の確保、相互応援能力の拡大などが望める。

現在導入されている高電圧直流送電の多くは、外部電源を要する他励式変換器を用いたものである。一方、無電源端でも運転できるような自励式変換器を用いた自励式 HVDC 技術も、現在技術開発が進んでおり、導入が検討されている。

## ② 試験・導入の現状

高温超電導ケーブルは現在実用化に向け、目下開発中であるが、実証プロジェクトが国内外で行われている。2008 年段階での世界各国における超電導ケーブルに関連したプロジェクトを図表 9.54 に示す。

図表 9.54 世界の超電導ケーブルプロジェクト

地域	プロジェクト名	主な参加社	線路条件	絶縁	相構成	端末	試験期間
日本	実用性検証プロ	東京電力、住友電工	66kV、1000A、100m	低温	三心一括	固定	2001-2002
	Super-ACE	Super-GM	77kV、1000A、500m	低温	単心×1		2004-2005
	高温超電導ケーブル実証プロ	東京電力、住友電工、マエカワ	66kV、3000A、200~300m	低温	三心一括	固定	2007-2011
米国	デトロイト	Pirreli	24kV、2400A、120m	常温	単心×3		失敗
	Southwire	Southwire	12.5kV、1250A、30m	低温	単心×3		2000-
	Albany (ph1)	住電、SuperPower, BOC	34.5kV、800A、350m	低温	三心一括	固定	2006-2007
	Albany (ph2)	住電、SuperPower, BOC	34.5kV、800A、30m部分	低温	三心一括	固定	2007-
	OHTO	Uitela, ORNL	13.2kV、3000A、200m	低温	三相同軸		2006-
	LIPA (1)	AMSC, NEXANS	138kV、2400A、600m	低温	単心×3		2007-
	LIPA (2)	AMSC, NEXANS	138kV、2400A、600m	低温	単心×3		
	New Orleans	Southwire, NKT	13.8kV、2.5kA、1760m	低温	三相同軸		2009-2010
Hydra	Southwire, AMSC	13.8kV、?A、?m	低温	三相同軸		2010-	
欧州	コペンハーゲン	NKT	30kV、200A、30m	常温	単心×3		2001-2003
	Nuon	NKT, Plexair	50kV、3kA級、6000m	低温	三相同軸		2008-2011
アジア	雲南	Innower, InnoST	35kV、2000A、33.5m	常温	単心×3		2004-
	蘭州	中国科学院	10.5kV、1500A、75m	常温	単心×3		2005-
	KEPCO	住友電工	22.8kV、1250A、100m	低温	三心一括	固定	2006-
	DAPAS	LSケーブル	22.8kV、1250A、100m	低温	三心一括		2007-

出典：広瀬正幸「高温超電導ケーブルの実用化に向けて」電気学会論文誌 B, Vol. 125, No. 3

特に我が国において、NEDO が主導しているプロジェクトを二つ列挙する。

### ○高温超電導ケーブル実証プロジェクト（2007 年度～2012 年度）

図表 9.54 に示される高温超電導ケーブルのプロジェクトの中でも、日本の新規プロジェクトとして挙げられているものであり、2009 年度および 2010 年度の主な実施内容は以下のとおりである。

- ・ 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究
  - 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証
  - トータルシステム等の開発
  - 送電システム運転技術の開発
  - 実系統における総合的な信頼性の検証

- ・ 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

プロジェクトメンバーは住友電気工業、東京電力、前川製作所である。

#### ○イットリウム系超電導電力機器技術開発（2008年度～2012年度）

現在実用化に近い高温超電導体は、ビスマス系と呼ばれるビスマスを化合物に含む超電導体であるが、イットリウムを含むイットリウム系超電導体は、よりコンパクトで大容量の超電導応用電力システムが構築できることから、今後有望な技術である。本研究開発事業は、イットリウム系超伝導体を主眼に置き、以下の項目の研究開発を行っている。

- ・ 超電導電力貯蔵システム（SMES）の研究開発
- ・ 超電導電力ケーブルの研究開発
- ・ 超電導変圧器の研究開発
- ・ 超電導電力機器の適用技術標準化

プロジェクトメンバーには、国際超電導産業技術研究センター、中部電力、九州電力、住友電気工業、古川電気工業、フジクラ、前川製作所、太陽日酸、昭和電線ケーブルシステム、JFCCなどが含まれる。

また、HVDC は既に実用化されており、現在世界各国で導入が盛んに行われている。特に注目すべきは、中国における導入事例である。中国は広大な国土を有するが、水力発電所は主に西部、石炭火力発電所は主に北西部に集中しているのに対し、消費地となる大都市は北京、上海、香港など、東部、ないし南部に集中している。従って、西で発電した電力を東に送らなければならず、その融通路を確保するために、「西電東送」計画を実施している。同計画によって敷設される HVDC を図表 9.55 に示す。

図表 9.55 中国における HVDC

名称	電圧	容量	全長	プロジェクト進捗状況
Yunnan-Guangdong 線	800kV(DC)	5,000MW	1,438km	2009年7月に試運転終了。2009年に1回線、2010年に2回線運用開始を検討。
Xianjiaba-Shanghai 線	800kV(DC)	6,400MW	1,907km	2010年3月に試運転の目途。2010年に運用開始。
Jinping-Sunan 線	800kV(DC)	7,200MW	2,096km	2009年に建設開始。2012年に建設終了予定。

### ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

超電導ケーブルの今後の開発目標・課題は図表 9.56 に示される通りである。現在、超電導線材は非常に高価であるために、まずは低コスト化が挙げられる。また、超電導体は低温化においてのみ超電導状態となるので、冷却システムが必要となる。冷却システムを高効率化することにより、今後更なる低損失化が可能となる。



図表 9.56 超電導ケーブルの今後の目標・課題

項目		内容 (例)
経済性	低価格化	<ul style="list-style-type: none"> <li>超電導線材の高性能化、低価格化</li> <li>ケーブルシステムの最適化、簡素化</li> </ul>
	低損失化	<ul style="list-style-type: none"> <li>超電導線材および超電導導体の交流損失低減</li> <li>侵入熱の低減 (断熱性能向上)</li> <li>冷却システムの高効率化</li> </ul>
建設 (布設)		<ul style="list-style-type: none"> <li>コンパクト化</li> <li>施工性改善 (施工期間短縮)</li> <li>施工品質実証</li> </ul>
運用、保守 (高信頼性)		<ul style="list-style-type: none"> <li>事故電流対応</li> <li>寿命評価 (性能維持)</li> <li>保守、リペア技術</li> <li>異常時対応</li> <li>法規対応</li> </ul>

出典：広瀬正幸「高温超電導ケーブルの実用化に向けて」電気学会論文誌 B, Vol. 125, No. 3

一方、HVDC については、今後更なる導入が期待される自励式 HVDC において、自励式変換器の低コスト化が鍵となる。

## (2) パワーエレクトロニクス応用機器

### ① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

近年、半導体素子の大容量化により、パワーエレクトロニクス技術は目覚ましい発展を遂げている。特に、米国 Electric Power Research Institute の N.G. Hingorani 氏が 1988 年に提唱した「FACTS (Flexible AC Transmission System)<sup>18</sup>」という概念が提案されて以降、同分野の電力システムへの導入が進んでおり、今後の更なる発展が期待される技術である。

図表 9.57 に、現在電力システムへの適用が想定されている主要なパワーエレクトロニクス応用技術を示す。これらのパワーエレクトロニクス技術は、外部電源により素子に流れる電流を ON/OFF する他励式変換器を用いたものと、自身に流れる電流を ON/OFF できる自励式変換器を用いたものに大別される。

これらのパワーエレクトロニクス技術の主な用途として、無効電力を制御することで電圧の調整を行う他、送電線インピーダンスを変化させ、送電線潮流をコントロールすることで、電力流通の最適化を図り、低損失な電力システム運用を行うことなどが挙げられる。

図表 9.57 主要なパワーエレクトロニクス応用機器

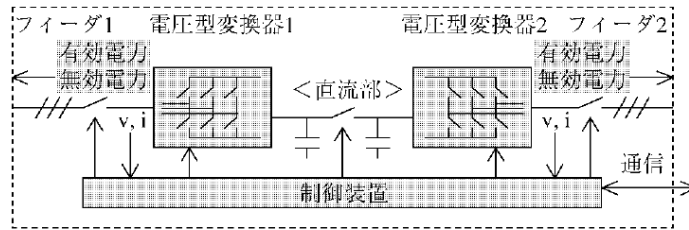
	他励式変換器応用型	自励式変換器応用型
主に電圧制御等に 用いられるもの	SVC (Static Var Compensator)など	STATCOM (Static Synchronous Compensator)など
主に潮流制御等に 用いられるもの	TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)など	UPFC (Unified Power Flow Controller)など

また、近年の分散型電源の普及に伴い、配電系統の高機能化の必要性が高まっている。このような状況を鑑み、電力中央研究所は、「ループコントローラ (図表 9.58 参照)」と呼ばれるパワーエレクトロニクス制御機器を開発した。本機器は配電線路の電圧、潮流を能動的に制御し、以下のようなことを可能とする。

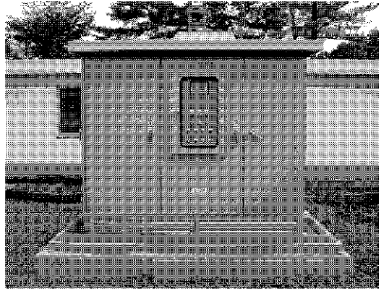
- 電圧、位相の異なる配電線路間をつなぎ、配電線をループ化することができる
- 配電線に流れる潮流や、線路電圧を能動的に制御することで、柔軟な配電系統の設備形成が行える
- ループ化に伴う事故時短絡容量の増大、事故波及区間の増大を防ぐ

<sup>18</sup> FACTS とは、パワーエレクトロニクス技術の高速制御性に着目し、電力システムの電圧、インピーダンス等を制御することにより、送電線の送電容量を極限まで高め、既存設備の有効利用を図ることを提唱する概念である。

図表 9.58 ループコントローラ



(a) 基本回路構成



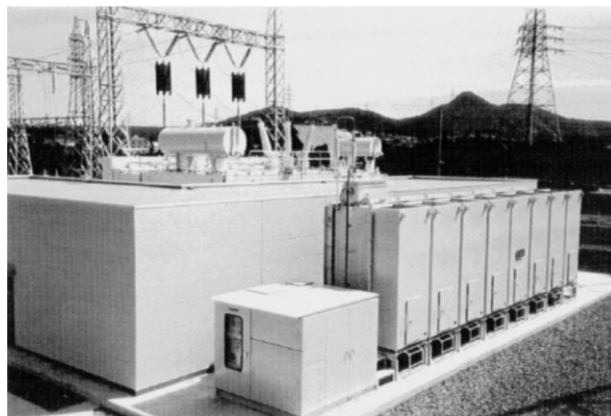
(b) 100kVA級試作機(赤城試験センター)

出典：小林広武「新たな電力供給システムの実証プロジェクトー2  
新電力ネットワークシステム実証研究（需要地系統）」電気学会誌, Vol. 125, No. 3

② 試験・導入の現状

SVC、STATCOM 等の電力系統に並列に導入するような機器は、既に多くの実運用事例が存在する。これらの無効電力調整機能を有する機器は、主に電圧調整用として用いられている。STATCOM の国内導入事例は犬山開閉所、神崎変電所、新信濃変電所、手稲変電所などが挙げられる。

図表 9.59 STATCOM の導入事例（犬山開閉所）



出典：竹田正俊「自励式無効電力補償装置(STATCOM)の開発と製品化」電気学会論文誌B, Vol. 129, No. 7

また、UPFC 等については、国内での導入事例はないが、韓国での導入事例が存在する。韓国の電力会社 KEPCO (Korean Electric Power Corporation) は、Kangjin 地区の電圧低下と過負荷対策として、80MVA の UPFC を Kangjin 変電所に導入している。

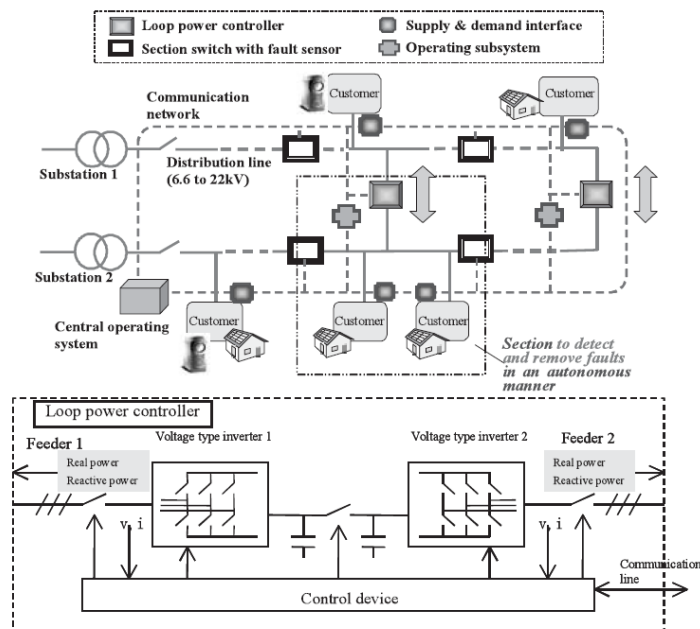
図表 9.60 Kangjin 変電所の UPFC



出典：KEPCO, "The Operation Experience of KEPCO UPFC"

電力中央研究所が開発したループコントローラは、現在電力中央研究所での赤木実証試験場において、容量 100kVA の試作機が導入されている。実証試験の概要を下図表に示す。

図表 9.61 ループコントローラを用いた実証試験



出典：小林広武「新しい配電ネットワーク技術の開発動向と課題」電気学会論文誌B, Vol. 124, No. 4

### ③ 各国における技術開発の状況および目標・課題

パワーエレクトロニクス応用技術における技術開発課題は、以下のようなものがある。

- ・ 低コスト化
  - ▶ 近年、技術開発が進んでいるものの、特に GTO、IGBT 等の自励式の半導体素子は依然として価格が高い。また、SVC 等のシステムも高コストであり、低コスト化はパワーエレクトロニクス応用技術の共通課題である。
- ・ コンパクト化
  - ▶ 我が国においては、配電系統での電圧上昇抑制のために、SVC を用いることが検討されているが、これらを柱上変圧器等に導入するためには、コンパクト化も重要な開発目標である。
- ・ 信頼性確保
  - ▶ TCSC、UPFC 等の直列型の FACTS 機器は、電力システムに直列に導入するために、高信頼性のものとならなければならない。今後、実証試験等で、信頼性評価を行う必要がある。

### 9.1.2.4 先進的なインターフェース技術

今後ますます導入が進む分散型電源の系統連系時や、需要家機器と電力系統を結ぶ際には、情報のやりとりや系統との保護協調を行う機能を有する先進的なインターフェース技術が重要となる。具体的には、パワーコンディショナ技術、AMI・スマートメーターを指す。

#### (1) パワーコンディショナ（PCS）技術

##### ① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

パワーコンディショナは、直流と交流を変換して、分散型電源を系統に連系するためのインバータ・コンバータ装置と、保護装置を有する機器である。

今後、電力系統において太陽光発電等の大量の分散型電源の導入が見込まれることから、下記に示すような保護機能や、系統運用へ貢献する機能を有することの必要性が議論されている。

- ・ 単独運転防止機能
- ・ FRT
- ・ 出力抑制
- ・ 無効電力制御

##### ② 試験・導入の現状

上記に示したようなパワーコンディショナ技術は、NEDO を中心として研究開発が進められている。具体的な内容は、以下の③に示す。

##### ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

###### i) 単独運転防止機能、FRT 機能

NEDO が実施した「集中連系型太陽光発電システム実証研」（H14～19）では、群馬県太田市の「城西の杜」において 553 軒の太陽光発電システムを連系し、住宅用太陽光発電システムが複数台連系した場合を対象とした単独運転検出方式の新技术の開発実証試験が実施された。

また同じく NEDO の「単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究」においては、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」プロジェクト等の成果を活用して、多数台連系時の単独運転検出装置の認証に資する試験技術の確立のための技術開発研究が行われている。また FRT 要件を定め、それへの適合を判定する試験方法が確立されている。

###### ii) 出力抑制

2009 年度に実施された次世代送配電ネットワーク研究会においては、カレンダー方式の出力抑制機能を当面の対応方策として、将来的には通信により抑制日等を制御する技術の開発が期待されている。

###### iii) 無効電力制御

NEDO の「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」の北杜サイトにおいては、PCS

による無効電力制御による電圧制御機能の開発が行われている<sup>19</sup>。

#### iv) 課題のまとめ

##### <単独運転防止機能、FRT 機能における課題>

- ・ 「集中連系型太陽光発電システム実証研究」などのプロジェクトで得られた知見をもとに、複数台連系対応の単独運転検出機能（能動方式）を検討
- ・ 機器の認証ルールの整備

##### <出力抑制機能>

- ・ 当面は太陽光発電用 PCS へのカレンダー機能の具備が現実的であることから、カレンダー機能を具備した太陽光発電の PCS の早期開発
- ・ 将来的には通信を活用した太陽光発電の出力抑制機能付き PCS の開発

##### <無効電力制御>

- ・ 電圧調整機能（無効電力制御も含む）をもった PCS の開発・実証

---

<sup>19</sup> 内山他、「大規模太陽光発電システムの無効電力制御による電圧変動抑制」、電気学会論文誌 B, Vol.130, No.3, 2010

(2) AMI・スマートメーター

① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

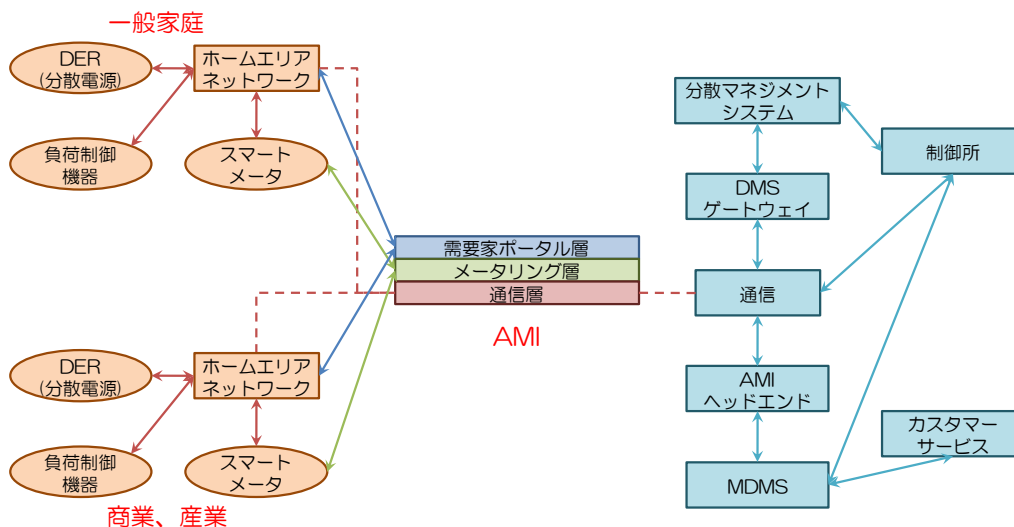
AMI とは、情報通信技術を応用することで、需要家と電力会社の双方向通信を可能とするインフラストラクチャのことである。

スマートメーターは AMI の一要素であり、概ね以下のような整理ができると考えられている<sup>20</sup>。

- ・ 狭義のスマートメーターの概念：
  - ▶ 電力会社等の計量関係業務等に必要な双方向通信機能や遠隔開閉機能などを有したメーター（電力においては電子式メーターが該当）
- ・ 広義のスマートメーターの概念：
  - ▶ 狭義の概念に加えてエネルギー消費量などの「見える化」やホームエネルギーマネジメント機能等も有したもの

AMI の構築によって、電力会社の需要家情報把握が正確かつスピーディーになるのみならず、需要家のデマンドレスポンス等にも活用可能なことから、現在世界中で開発が進められている。

図表 9.62 AMI の概念



出典：NETL, ”Advanced Metering Infrastructure”

② 試験・導入の現状

各国におけるスマートメーターの導入状況は以下のとおりである<sup>21</sup>。

<sup>20</sup> スマートメーター制度検討会（第1回）資料（2010.5.26）

<sup>21</sup> スマートメーター制度検討会（第1回）資料（2010.5.26）



図表 9.63 AMI の導入計画

国・地域	計画
欧州	「第三次 EU 電力自由化指令」(09.7 月) で 2020 年までに 80%以上の需要家に対してスマートメーター導入義務
米国	08 年時点で約 670 万台のスマートメーターを導入。 2015 年頃までに 5,200 万台(約 35%) 導入計画
中国	今後 5 年間で 2 億台を導入する計画 <sup>22</sup>
韓国	韓国政府は 2020 年までに、家庭および業務部門の 2,400 万軒の需要家にスマートメーターを設置する方針 <sup>23</sup>
日本	低圧受電の需要家(各家庭や小規模店舗等)においては、時間帯別料金などの選択メニューを適用している一部の需要家を除けば、機械式メーターが主流。 最近では、東京電力、関西電力、九州電力、東北電力、北海道電力、中部電力において、スマートメーターに関する実証試験が取り組まれている。

出典：各種資料より作成

## i) 欧州

## &lt;イタリア&gt;

- ・ EEG (電力ガス規制庁) の規制により、2011 年までにイタリアの全需要家(約 3600 万軒)への AMMS (自動メーター管理システム) 設置を義務化。
- ・ Enel 社(シェア 9 割弱) が 2001 年から先行的に取り組み、Telegestore と呼ばれるメーターを開発、これまで 3,180 万台の設置を行っている。

※Telegestore の機能 (①遠隔検針と②自動開閉機能を有しており、全体のシステムを通じて①定期的な検針(15 分間隔)、②契約管理、③遠隔開閉、④電力供給量のコントロール、⑤サービス・モニタリング、⑥不良顧客・前払い顧客の管理といったことが可能。

## &lt;イギリス&gt;

- ・ 2020 年末までに全需要家 2600 万軒に設置予定。
- ・ 小売事業者の創意工夫を活かすべきとの観点から、配電網運用者ではなく、小売事業者に義務づけ。

※スマートメーターの必須機能

- ①遠隔検針、②双方向通信機能、③ホームエリアネットワーク機能(消費電力量の見える化、家庭内機器との接続機能)、④時間帯別料金機能、⑤家庭用機器の遠隔操作に向けた機能拡張、⑥遠隔開閉機能、⑦逆潮流電流測定機能、⑧分散型電源との通信機能

## &lt;フランス&gt;

- ・ eRDF 社(EDF 配電子会社) は 2012 年から 2017 年にかけて需要家 3300 万軒に導入予定。

## &lt;ドイツ&gt;

- ・ 最大手 RWE 社は、今後 3 年間で 10 万軒に対するスマートメーター導入実証事業を実施。

<sup>22</sup> MeteringChina ホームページ (<http://www.meteringchina.com/event/meteringchina2010/en/dy.asp>)

<sup>23</sup> 海外電力調査会 世界の電気事業情報 2009.10.5 記事 ([http://www.jepic.or.jp/2009\\_world.html](http://www.jepic.or.jp/2009_world.html))

## 9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

- ・ 2010年1月から新・改築住宅への導入義務づけ。既存住宅については、置き換え費用の負担の問題が解決しておらず、100社近く存在する小売事業者も含めて議論中。

### <スペイン>

- ・ 2008年から2018年にかけて全需要家に対して設置義務づけ。

### ii) 米国

#### <ペンシルベニア州>

- ・ 普及率は23.9%（約144万台）と全米の中でも突出。ただし、自動検針のみを目的とした一世代前の通信機能付きメーターが多数含まれている。
- ・ 2008年10月に成立した州法では、今後15年以内にすべての需要家（約600万軒）に対しスマートメーターの設置を義務付け。

#### <カリフォルニア州>

- ・ 州当局が導入を推奨しており、複数の主要事業者が2011～12年までに数百万台の導入を計画。

### iii) 日本

#### <東京電力>

- ・ 東芝、東光電気と3社共同で、2009年12月に計器事業における新会社を設立。
- ・ 2010年度下期から実証実験を開始予定。約2年間の実証期間中、9万世帯に設置予定。
- ・ 通信装置、Sブレーカ機能を具備した開閉器を備えた点が特徴的。

#### <関西電力>

- ・ 2008年4月より実証試験を開始。2009年度までに約33万台を設置。
- ・ あわせて、2009年7月より、希望する需要家に対して、インターネットによる「見える化」（使用電力量、電気料金、CO2排出量）を実施中。
- ・ 同社が採用している「ユニット式メーター」は、計量、通信、負荷開閉機能が分離しており、個別に交換可能である点が特徴。

#### <九州電力>

- ・ 2009年11月より実証試験を開始。2009年度までに約2万台を設置。
- ・ 関西電力と同様に、計量、通信、開閉器機能が分離した「ユニット式メーター」を採用。

#### <東北電力>

- ・ 2010年度下期から、約2000戸を対象に遠隔検針の実証試験を開始予定。
- ・ 実証試験は、山間部や都市部など検針環境の違いにより3つのパターンに分けて、2010年度下期から2012年度末にかけて、順次実施。

- ・ 使用する新型電子メーターは、昼・夜の時間帯別の計量に加え、30分単位での計量・記録、双方向通信や遠隔操作による開閉、停電の検知が可能。

#### <北海道電力>

- ・ 2010年4月16日に実証試験の開始をプレス発表。2010年度は諸課題の整理を行い、2011年度より約600戸を対象に実証試験を開始予定。メーターの仕様については検討中。

### ③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

AMI・スマートメーターについては、世界中で様々な機能を持ったものの開発が進められており、標準的な機能や通信システム、セキュリティ方式等が定まっていない状況である。

従って、今後は米国 NIST や IEC を中心に進められている国際標準化動向を十分把握すると共に、

- ・ 具体的な利用方法、通信方式、セキュリティ確保方式の検討・開発
- ・ それらの実証研究

を進めていくことが必要である。

### 9.1.3 推進施策・関連法令

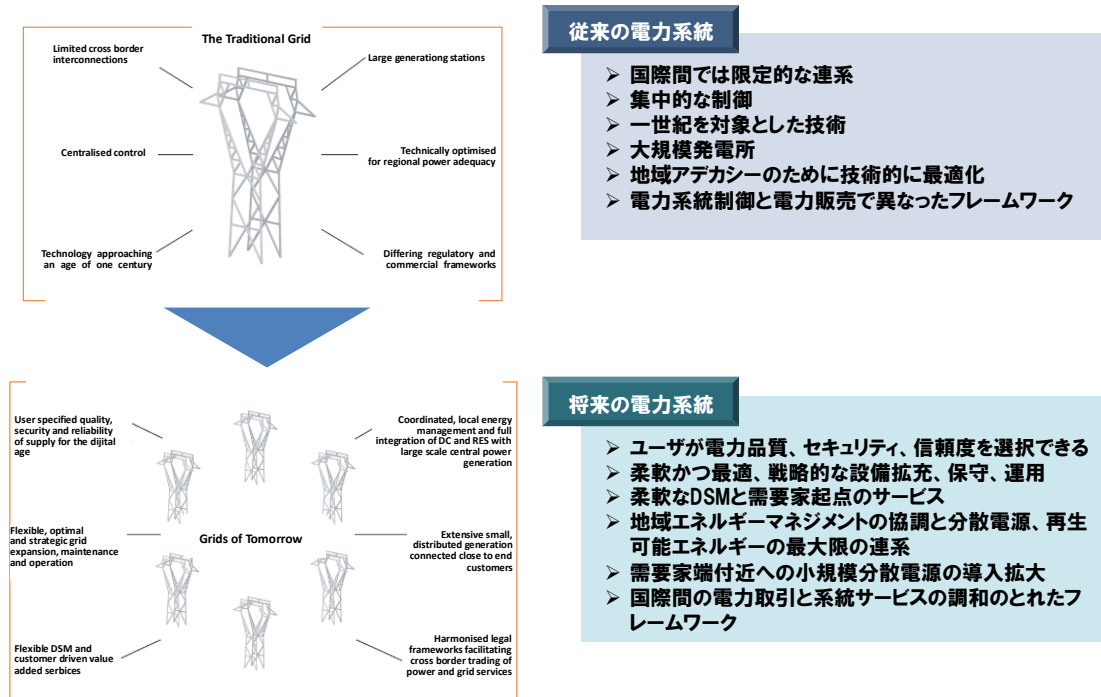
#### (1) 欧州

ETP SmartGrids (European Technology Platform for the Electricity Networks of the Future) は、欧州におけるスマートグリッドの研究開発を促進するために設置された組織であり、産業界、学会から様々なステークホルダが参加している。ETP SmartGrids の役割は、欧州の電力システム分野の超長期的なビジョンの策定を行い、ビジョン達成に向けた技術戦略を「戦略研究アジェンダ (Strategic Research Agenda: 以下 SRA)」としてまとめることにある。

ETP SmartGrids では、2006 年にビジョン<sup>24</sup>をまとめ、2007 年に技術戦略 (SRA)<sup>25</sup>を発表、またその後、2008 年 9 月に SRA の具体的な展開優先順位付け、展開スケジュールを定めた SDD<sup>26</sup>のドラフトを発表した。

始めに発表されたビジョンでは、今後の欧州のスマートグリッドの向うべき方向性を図表 9.64 のように示しており、分散型電源や需要家マネジメントなどを始め、多岐にわたる技術が盛り込まれている。

図表 9.64 欧州の従来系統の特徴と今後の電力系統の向うべき方向性



出典：ETP Smart Grids, "Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future"より作成

また、SDD では、スマートグリッドの展開のために必要な技術分野を定義 (図表 9.65) し、その展開スケジュール (図表 9.66) を示している。

<sup>24</sup> Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future

<sup>25</sup> Strategic Research Agenda for Europe's Electricity Networks of the Future

<sup>26</sup> Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future

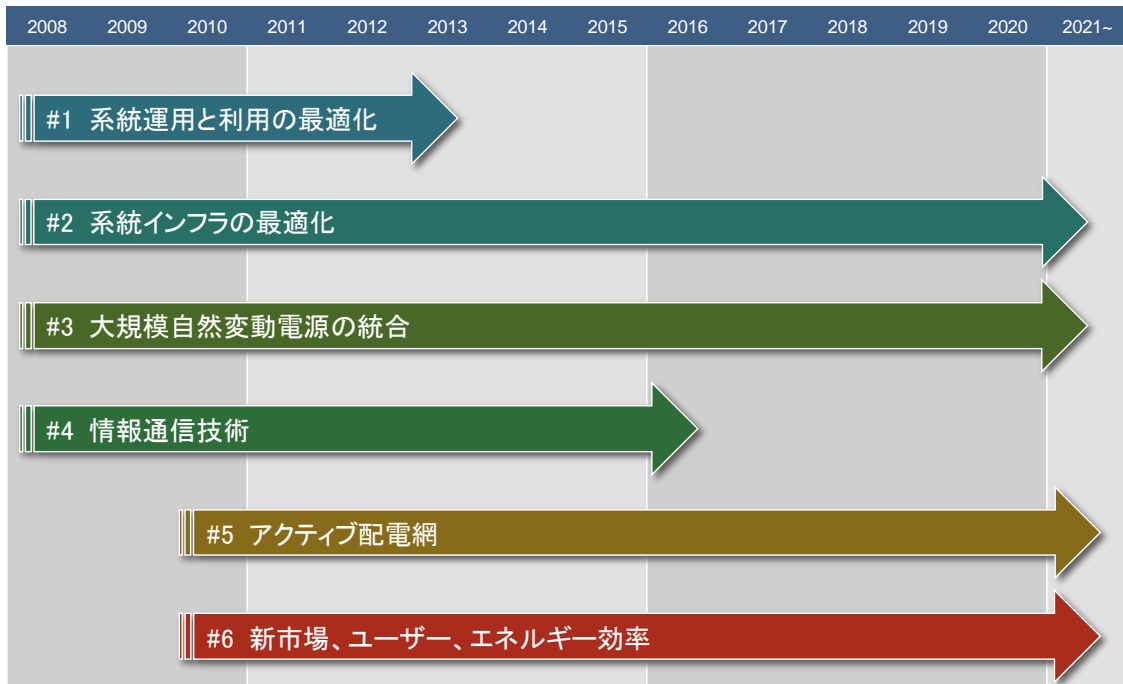
図表 9.65 欧州のスマートグリッドの技術領域 (1/2)

分野	優先度	スケジュール	キー技術	詳細
#1 系統運用と 利用の最適 化	高	2008～12年 技術開発終了	WAMs(Wide Area Monitoring system) SVC リアルタイムの系統状態把握 系統運用スタッフの訓練 EU 全体でのアンシラリー協調 RE 導入時における定常状態、 過渡状態のシミュレータ	エネルギー取引や供給安全保障のために引き続き増加する需要をマネージするために、既存の送配電網は欧州横断的に改良統合と協調が求められる。欧州横断的に、そして/もしくは国境横断的に電力潮流をコントロールするため、今日入手可能な先進的なアプリケーションとツールは、運用安全と取引の複雑な相互作用をマネージするため、そして障害の改善と積極的な予防を行うために、配置されるべきである。
#2 系統インフ ラの最適化	高	2008～20年 技術開発中	HVDC などの高電圧送電技術 新材料の送配電線 超電導ケーブル送電 新しい送配電系統設備計画	すべての関係者、EU の機関、EU 加盟国は新しい送配電インフラの拡大と建設に取り組む必要がある。欧州優先連系計画からの緊急的に必要なプロジェクトの準備は、早急に実施されるべきである。EU 送配電網のための新しくそして効率的なアセットマネジメントの解決手法が、系統インフラ計画と協調し、わかりやすくあることが求められている。決定論的であることよりも、協調した計画がシナリオのベースであるべきであり、発電機の場所とサイズ、そして自然変動電源の増加する不安定さと不確実性に対処するためにリスクマネジメントの必要な要素を含むべきである。
#3 大規模自然 変動電源の 統合	高	2007～20年 技術開発終了	洋上風力発電技術 エネルギー貯蔵技術 需要家 DR	大規模な発電機、例えばウインドファームや将来の集中型太陽熱発電は、系統が発電電力を効果的に受取り、そしてエネルギー貯蔵や従来発電機、もしくはは需要家側の参加によってシステムが平衡することを求める。洋上風力には海洋集電網が必要であり、欧州の陸上のネットワークを補強する必要がある。それ故、この展開優先はある意味経済効率を考慮しながら系統セキュリティの要求に合致するような再生可能エネルギーの大規模な統合を推進する。
#4 情報通信技 術	高	2008～15年 技術開発中 標準化継続中	スマートメーター 需要家データのオンライン収 集 DG の VPP への統合 配電自動化 データマネジメント技術	今日、ICT は送電系統、二次系統レベル、そして二次系統 (110kV) /中圧変電所の母線の終端で用いられている。様々な電圧階級で、様々な機器のために、異なる標準プロトコルが用いられている。経済的な理由から、高圧・中圧・低圧毎に、限定的な ICT によって特徴付けられている。すべての電力供給のバリューチェーンと電力供給システムのすべてのデータをやりとりするために、標準的な、オープン情報モデルとコミュニケーションサービスが必要である。

図表 9.65 欧州のスマートグリッドの技術領域 (2/2)

分野	優先度	スケジュール	キー技術	詳細
#5 アクティブ 配電網	—	2010~20年 解決策の可能 性を模索中	未開発	<p>送電網はいつも電力供給チェーンにおいてbalancingとmanagementの役割を供給してきた。一方、配電網は受動的な運用となるよう設計されてきた。課題は、送電網で見られる、例えば潮流と制約管理、偶発性解析、balancingのような様々なサービスを、配電網において供給することである。これは分散型電源の配置の増加だけでなく、住宅や商業建物でのインテリジェントビルサービスの出現や、メイングリッドにストレスがかかったときにローカルネットワークのサポートをするためローカル発電機を活用する必要性のため、そして将来の電気輸送乗り物の広範囲な利用可能性のためである。</p> <p>配電網は、これらの課題の複雑な相互作用にリアルタイムに反応するもしくは適応することができる必要が出てくる。そして改善された情報を様々な主体に対して、提供される様々なサービスのリアルタイム取引を可能とするために提供する必要が出てくる。これはまた、新たな主体、例えばaggregatorなどが、VPP やbalancingサービスを提供するために市場に参入することを可能とするだろう。</p>
#6 新市場、ユ ーザ、エネ ルギー効率	—	2010~20年 解決策の可能 性を模索中	未開発	<p>アンシラリーサービスや系統連系とアクセスのような部分での送電と配電の違いの減少だけでなく、電力品質と供給安定性は Smart Grids の全体概念の一つの重要な特徴である。同時に、民主化と分散化は改良され強化された運用とmanagementを求める。これは系統の安全運用が必要なだけでなく、適切なコントロールとmanagement方法が、VPP や需要家のエネルギーmanagementコンセプトのような沢山の新しい概念を成功裏にそして効果的に展開するために求められる。</p> <p>将来の需要家ニーズに合致するために、例えば VPP 運用者やエネルギーサービスポートフォリオマネージャのような様々な新市場の参加者が展開される。すべての系統利用者（発電・需要家）に対して明白なそして差別のない系統アクセス・連系に加えて、この展開優先はいわゆる Smart Grids の「ラストマイル」技術の必要性に依存しており、展開優先5と似ている。</p> <p>需要家のニーズ、興味、利益が明確にこの展開優先焦点である。</p> <p>さらに、白物家電は電力網の効率化に将来貢献するかもしれない。しかし、それはもし系統とスマートメーターが協調するならばである。そのためには利益の流れが必要である。</p>

図表 9.66 SmartGrids 構築のためのロードマップ (EU)



出典：ETP SmartGrids, “Strategic Deployment Document (Draft)”(2008)より作成

Available: <http://www.smartgrids.eu/>

## (2) 米国

米国でのスマートグリッドに関する最初の報告書は、2003年7月にDOEにより発表された「Grid 2030” A National Vision for Electricity’s Second 100 Years」である。この報告書では、近年の送配電投資の減少による設備の不足や老朽化、電力系統の状態把握の不足、増大する電力需要に対する系統整備の遅れなど、電力システム全体の脆弱性に対して、今後の100年間を見据えた電力網の構築を目指し、「ICT（情報通信技術）を用いて電力系統の運用・制御を効率化する」というスマートグリッドのコンセプトを打ち立て、効率的で信頼性の高い電力網の構築を求めている。

Grid2030では、先述した米国の電力系統が抱える問題を打破するための今後の電力系統の先進化の方向性として、以下の4点を挙げており、また図表9.67に示すような技術を用いることで電力系統を先進化することを提案している。

- ・ 全てが自動化された電力供給ネットワークであり、全ての需要家・ノードを監視・制御する
- ・ 発電プラントと各家電機器間の全ての地点において、電力と情報のやりとりが2方向で往来する
- ・ 長距離送電用には、超電導技術を応用し、高効率で電力の送電を行う
- ・ ピーク問題削減のために、電力貯蔵やDSMを活用している

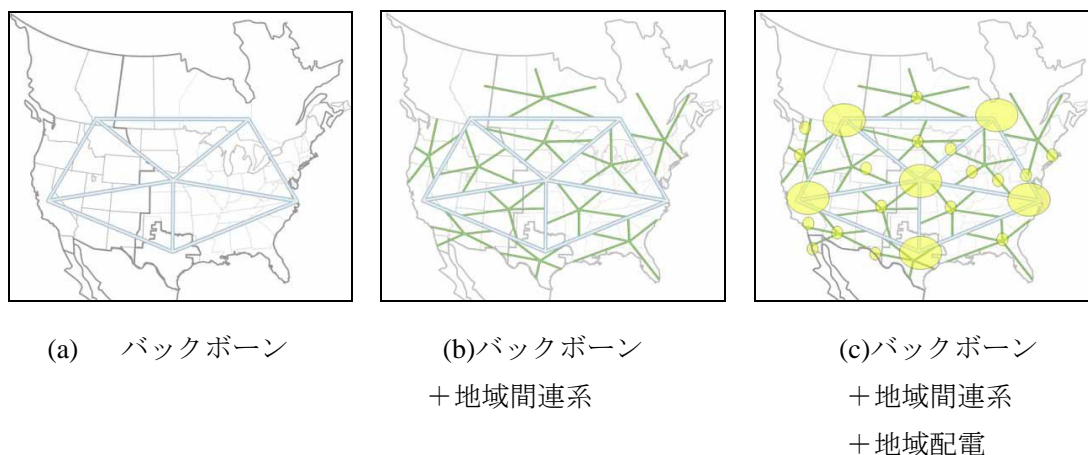
図表 9.67 電力システムへの適用が可能と考えられる新技術

技術要素	備考
IT 技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 送配電運用、停電回復、プライシング、状況報告、リアルタイム監視、自動制御、スマート家電に IT 技術を駆使する。</li> <li>✓ データアクセス、データマネジメントが、今後重要なビジネス分野となってくる。</li> </ul>
新素材	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ マテリアル工学の進歩、ナノサイエンスの活用、半導体パワーデバイスの進歩により、大電流の輸送、低インピーダンス、軽量、制御容易性、低コストと言った特徴を持つ導電体素材の開発が可能となる。</li> </ul>
高温超電導	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 高温超電導技術</li> </ul>
蓄電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ピーク問題、電力品質向上への解決策となる。</li> </ul>
応用パワエレ機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ FACTS や潮流制御器の活用が必要である。</li> </ul>
分散エネルギーシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ エネルギー安全保障、効率向上などの観点から、分散型電源や、電熱供給の活用が必要である。</li> </ul>

出典：DOE, "Grid 2030" より作成

このような技術の組合せにより、Grid 2030 では、将来の電力系統は、長距離送電システムを指す「基幹電力網」と、基幹電力網から各地域に電力供給を行う「地域間連系」、そして各地域での電力供給を行う「地域配電、ミニグリッド、マイクログリッド」の3つの構成要素が、図表 9.68、図表 9.69 に示されるように形成されていくとしている。

図表 9.68 Grid 2030 における将来のスマートグリッドの3構成要素



出典：DOE, "Grid 2030"



図表 9.69 Grid 2030 における将来のスマートグリッドの3構成要素

構成要素	特徴
電力バックボーン	東西の両海岸を結ぶ大容量送電線である
	需要家に、全国の電力アクセスを可能とする
	情報通信、制御技術を駆使したリアルタイム運用、国内全域での電力のやりとりがある
	コンポーネントとして、超電導ケーブル、HVDC などが考えられる 高温ダイヤモンド素材のような新素材の利用も検討する
地域間連系	バックボーンで運ばれた電力を、各地域間に配分するネットワークである
	地域内の長距離送電には、可制御 AC 機器のみならず、DC リンクなども考える
	地域システムの計画、運用には、大型発電プラント、分散型電源、負荷のリアルタイム情報を盛り込む 電力貯蔵の使用も考える
地域配電、ミニグリッド、マイクログリッド	リアルタイムの監視、情報交換により、全国ベースの電力市場が可能となる
	需要家は料金、環境性向、信頼性、品質などのニーズ別に電力を受け取ることができる
	分散型電源、水素エネルギー技術も有効に利用されている

出典：DOE, “Grid 2030” より作成

2007 年には自動車の燃費向上と米国の石油依存の低減を支援する「エネルギー自給・安全保障法(EISA : Energy Independence and Security Act of 2007) 」が成立し、同法案の Title XIII でスマートグリッドに関する各種取り決めが記述されている。その中で発刊が定められた「Smart Grid System Report」において、米国のスマートグリッドの特徴は以下の6つであるとしている。

1. Enables Informed Participation by Customers
  - 需要家の積極的な電力運用への参加が可能である
2. Accommodates All Generation and Storage Options
  - 様々な電源、貯蔵設備を「Plug and Play」のように容易に連系できる
3. Enables New Products, Services, and Markets
  - 新しい商品、サービス、市場が創造される
4. Provides the Power Quality for the Range of Needs
  - 様々なニーズに合わせた品質の電力供給が可能である
5. Optimizes Asset Utilization & Operating Efficiency
  - 設備の最適化と効率的な運用ができる
6. Operates Resiliently to Disturbances, Attacks, & Natural Disasters
  - 物理攻撃、サイバー攻撃、自然災害への耐久性がある

## 9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

これらのスマートグリッドの特徴と、スマートグリッドを構成する各技術の対照表を図表 9.70 に示す。

米国におけるスマートグリッドにおいては、「送配電設備の最適化」や、「需要家の市場参加」などに重点が置かれていることがわかる。

図表 9.70 スマートグリッドの特徴とそれを支える構成技術の対照表

Metric No.	Metric Name	Enables Informed Participation by Customers	Accommodates All Generation & Storage Options	Enables New Products, Services, & Markets	Provides Power Quality for the Range of Needs	Optimizes Asset Utilization & Efficient Operation	Operates Resiliently to Disturbances, Attacks, & Natural Disasters
1	Dynamic Pricing	Emphasis	Mention	Mention			Mention
2	Real-Time Data Sharing					Mention	Emphasis
3	DER Interconnection	Mention	Emphasis	Mention		Mention	
4	Regulatory Policy			Emphasis			
5	Load Participation	Emphasis			Mention	Mention	Mention
6	Microgrids		Mention	Mention	Emphasis		Mention
7	DG & Storage	Mention	Emphasis	Mention	Mention	Mention	Mention
8	Electric Vehicles	Mention	Mention	Emphasis			Mention
9	Grid-responsive Load	Mention	Mention	Mention	Mention		Emphasis
10	T&D Reliability						Emphasis
11	T&D Automation				Mention	Emphasis	Mention
12	Advanced Meters	Emphasis	Mention	Mention			Mention
13	Advanced Sensors					Mention	Emphasis
14	Capacity Factors					Emphasis	
15	Generation, T&D Efficiency					Emphasis	
16	Dynamic Line Rating					Emphasis	Mention
17	Power Quality			Mention	Emphasis		
18	Cyber Security						Emphasis
19	Open Architecture/Std			Emphasis			
20	Venture Capital			Emphasis			

出典：DOE, "Smart Grid System Report"

またオバマ政権下で 2009 年 2 月に発表された 2009 年アメリカ再生再投資法 (ARRA: American Recover and Reinvestment 2009) では、スマートグリッド設備関連に 45 億ドルもの投資が行われることが決定され、スマートメーター整備や配電高度化システム等の投資補助事業 (合計 100 件)、スマートグリッドの地域実証 (16 件) やエネルギー貯蔵実証 (16 件) などが採択された。

図表 9.71 スマートグリッド構築に向けたロードマップ (米国)

		フェーズ I			フェーズ II					フェーズ III				
		2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
送電システム	送電システムの自動運用	システム間のリアルタイム情報融通 スマートかつ自動の系統運用の試運転												
	地域グリッド	地域グリッドの協調的な計画・運用								2つの大きな地域ネットワークの構築				
	超電導	超電導大規模送電系統の可能性調査 10マイル超電導ケーブルの実施 超電導「電力ハブ」の計画・実施			長距離超電導ケーブルの導入 超電導「電力ハブ」の都市部での導入					超電導大規模送電系統・限流器・変圧器の導入				
	外部環境	新送電線の建設			全米の50%がスマートグリッド化 電力損失を半減					全米がスマートグリッド化				
配電システム	インテリジェント配電システム (配電自動化システムを含む)	インテリジェント配電の可能性調査 停電の遠隔検知 インテリジェント自動化システムの設計			インテリジェント自動化システムの実施 リアルタイムかつ双方向の情報・電力融通									
	分散電源・デマンドレスポンス	DG/DR用のPlug&Playプロトコルの開発			DG/DR技術の配電系統運用への完全な適用									
	超電導(配電用)									配電システム用超電導ケーブル・機器の導入				
	エネルギー貯蔵システム									低コストかつ省スペースのエネルギー貯蔵装置の開発				
需要家	デマンドサイドマネジメント	DSMプログラムの拡大			大口・小口需要家の電力市場及びリアルタイム情報へのアクセスが可能					デマンドレスポンスの完全実施 需要家と電力系統の完全な連系				
	スマート家電	スマート家電の可能性実証			全ての家電がスマート家電となる能力を有する									

### (3) 中国

中国におけるスマートグリッドの担い手は、中国最大の送電公社である「国家电网公司」である。国家电网公司とは、中国最大の送電会社であり、今後の中国におけるスマートグリッドの普及具合は、国家电网公司のスタンスに大きく左右されると考えられる。

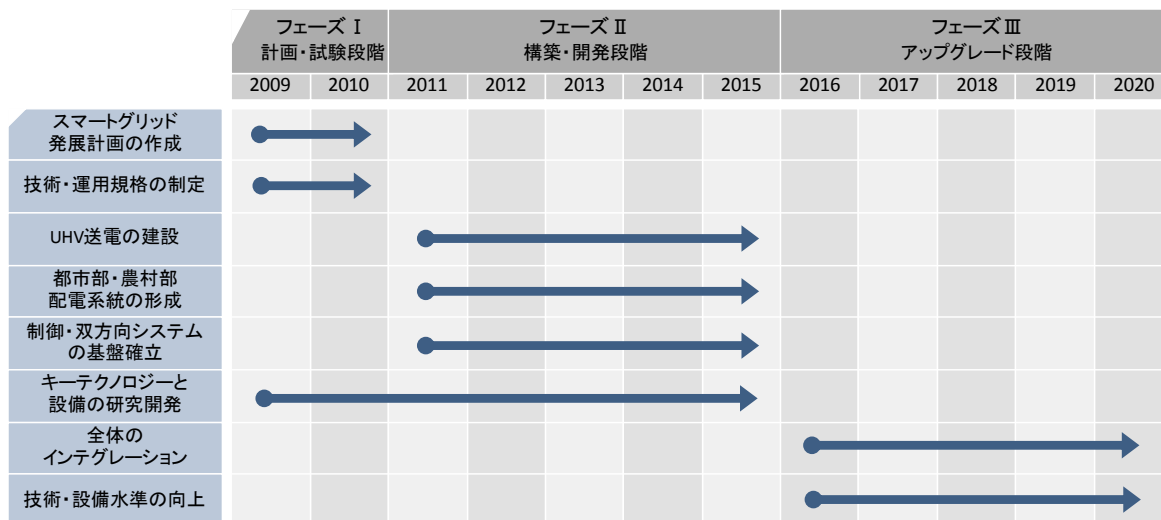
国家电网公司是、図表 9.72 に示すように、2009 年 5 月 21 日に「堅強智能電網（強いスマートグリッド）」に関する発展計画を発表した。本計画では、2020 年までにスマートグリッド構築を目指し、大きく 3 つのフェーズ（計画・試験段階、建設・開発段階、アップグレード段階）を設定している。

また、国家电网公司是、上記の計画をさらに詳細に検討し、図表 9.73、図表 9.74 のように 2 段階に分けて、スマートグリッド関連技術の研究開発を進めていくとしている。

その他、中国政府は 2009 年 11 月に「米中クリーンエネルギー技術に関する共同イニシアティブ」を発表し、米中再生可能エネルギーパートナーシップの立ち上げや、米中エネルギー協力プログラムの設置について合意した。

また中国におけるスマートグリッドのあり方をステークホルダー間で協議する「China Smart Grid Cooperative」が設立された。

図表 9.72 国家电网公司のスマートグリッド発展計画



出典：国家电网公司ホームページより作成

図表 9.73 国家電網公司のスマートグリッド関連技術の研究開発フィールド（第1段階）

Integration	Generation	Transmission	Substation	Distribution	Power Use	Dispatch
1. Shanghai World Expo Smart grid Demonstration	2. Wind, Solar Energy Storage Joint Demonstrati	4. Transmissi on line Status Monitoring Center	5. Smart Substation	6. Distribution Automation	7. Power usage Information Gathering System	9. Intelligent Dispatching Technical Support System
	3. Conventional Power Plant with Grid Integrated control				8. Electric Vehicle Charging and Discharging Station	

出典：国家電網公司資料

図表 9.74 国家電網公司のスマートグリッド関連技術の研究開発フィールド（第2段階）

Integration	Gneration	Transmission	Distribution	Power Use	Information and Communication
1. Tianjin Eco-city Smart Grid Demonstration	2. large-scale wind power Forecasting and Operational control	3. Transmission Line helicopter / UAV Inspection	5. Distributed Generation and Micro-Network Access and Operation Control	6. Provincial Call center	8. Information Platform and Security
		4. Flexible HVDC		7. smart house / Building	9. Power Fiber to the Home
Cross-area project:		10. Centralized Monitoring of Power Grid	12. Rural power management		
		11. Transmission and transformation equipment condition monitoring system			

出典：国家電網公司資料

#### (4) 韓国

韓国では、国の送配電系統の高度化だけではなく、新たなビジネス機会と認識して世界のスマートグリッド市場の1/3のシェア獲得を目指すなど、国家ビジネスの観点からスマートグリッドを捉えている。

韓国では図表 9.75 に示すスマートグリッドロードマップを策定しており、2030年までを3つのステージに分けて取組みを進めている。

第一ステージは済州島などのスマートグリッドシティの建設であり、第二ステージはスマートグリッドシティの都市部への展開（特に需要家サイド）、そして第三ステージは全国大でのスマートグリッドの完成を目指している。

## 9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

政府は、2010年中に、「スマートグリッド構築および支援に関する特別法」を制定予定であり、2009年6月には、韓国スマートグリッド協会と米のグリッドワイズアライアンスが、協力に向けた覚書を締結している。

図表 9.75 韓国のスマートグリッド計画 (Korea's Smart Grid Roadmap)

Implementation Directions by Phase	First Stage (2010~2012) 'Construction and operation of the Smart Grid Test-bed' (Technical validation)	Second Stage (2012~2020) 'Expansion into metropolitan areas' (Intelligent consumers)	Third Stage (2021~2030) 'Completion of a nationwide power grid' (Intelligent power grid)
Smart Power Grid	- Real-time power grid monitoring - Digital power transmission - Operate optimal distribution system	- Predict possible failures in power grids - Connect the power system with that of other countries - Connect the power delivery system with distributed generation and power storage devices	- Self-recovery of power grids - Operate an integrated energy Smart Grid
Smart Consumer	- Power management of intelligent homes - Various choices for consumers including rates	- Smart power management of buildings/factories - Encourage consumers' power production	- Zero energy homes/buildings
Smart Transportation	- Build & test electric vehicle charging facilities - Operate electric vehicles as a pilot project	- Expand electric vehicle charging facilities across the nation - Effective maintenance and management of electric vehicles	- Make the presence of charging facilities commonly available - Diversify charging methods - Utilize portable power storage devices
Smart Renewable	- Operate microgrids by connecting distributed generation, power storage devices and electric vehicles - Expanded utilization of power storage devices and distributed generation	- Optimal operation of the power system with microgrids - Expand the application of power storage devices	- Make renewable energy universally available
Smart Electricity Service	- Consumers' choice of electricity rates - Consumers' selling of renewable energy	- Promote transactions of electrical power derivatives - Implement real-time pricing system nationwide - Emergence of voluntary market participants	- Promote various types of electrical power transactions - Promote convergence for the market of electricity-based sectors - Lead the power market in Northeast Asia

出典：Korea Smart Grid Institute ホームページ (<http://www.smartgrid.or.kr/10eng4-1.php>)

## (5) 日本

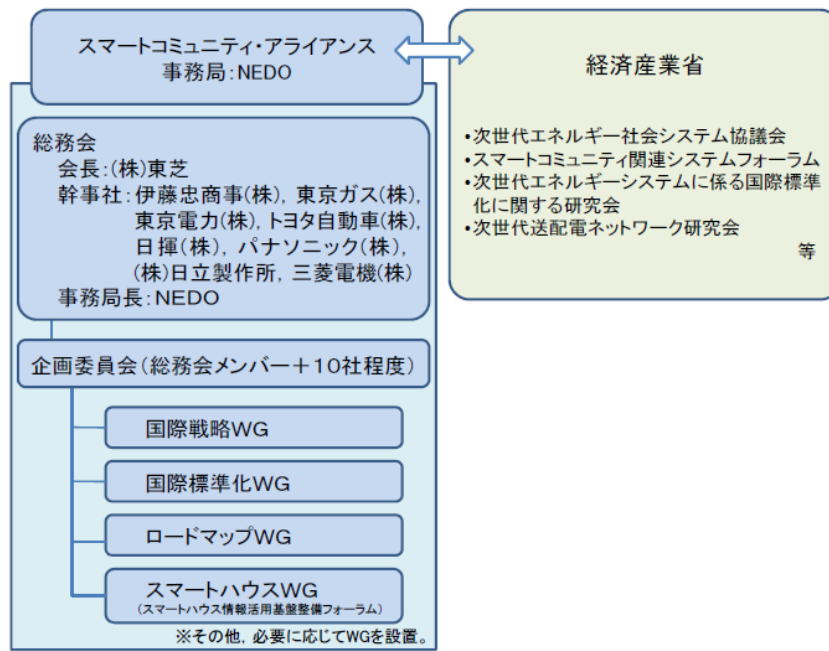
我が国の場合、スマートグリッドに関連する法律はないが、再生可能エネルギーの導入目標である長期エネルギー需給見通しなどに則り、経済産業省を中心として関連する研究会が開催され、我が国におけるスマートグリッドの技術開発や標準化戦略が検討されている。またそれらの検討を踏まえ、スマートグリッド技術の多くを包含し、大規模電源から家庭までの全体制御・協調による高信頼度・高品質の低炭素電力供給システムの実証を行う「次世代送配電システム最適制御技術実証事業」<sup>27</sup>など、様々な実証研究も開始されている。

さらに、官民連携によるスマート社会構築に向けた協議会であるスマートコミュニティ・ア

<sup>27</sup> 東京大学、東京工業大学、早稲田大学、東芝、日立製作所、明電舎、三菱電機、電力中央研究所、東京電力を幹事法人とする全28法人が、日本版スマートグリッドの基礎技術の確立に取り組む実証事業。実施期間は2010年度～12年度の3年間。



図表 9.78 スマートコミュニティ・アライアンスの体制



出典: スマートコミュニティ・アライアンス資料



### 9.1.4 ビジネスモデル

系統での蓄電池利用や、HEMSやデマンドレスポンスなど需要家側機器制御等による省エネルギー、省コスト化など、系統運用者や需要家の利益を生み出すようなスマートグリッド関連ビジネスが生まれてきている。

技術の導入場所から分類すると、スマートグリッド技術は、主に電力会社側で利用される技術と需要家側で利用される技術に大別される。

#### (1) 主に電力会社側で利用される技術

主に電力会社側で利用される技術としては、PMUやSVR、SVC等の系統安定化、系統信頼度向上等に資する技術、AMI・スマートメーターや系統用蓄電池など効率的な系統運用に資する技術などが挙げられる。

これらの技術は、各国の電力系統構成や電気事業制度などを背景として整備が行われていく。ここでは、現在導入や開発が議論されているスマートグリッド技術を、各国の状況別に整理を行った。

スマートグリッド技術の国際展開のビジネスモデルを検討するにあたっては、各国の状況を十分把握することが必要かつ重要である。

図表 9.79 各国の電力会社側において利用される想定されるスマートグリッド技術

スマートグリッド技術	日本	欧州	米国	中国	韓国
広域状態監視・制御	△	◎	◎	◎	◎
再生可能エネルギーとの協調制御	○	◎	—	—	—
超伝導送電	○	—	◎	—	—
高電圧直流送電	◎	◎	◎	◎	—
パワーエレクトロニクス応用機器	○	◎	◎	○	—
電圧制御機器	◎	—	—	—	—
系統用蓄電池システム	◎	◎	◎	○	◎
パワーコンディショナ技術	◎	○	—	—	—
AMI・スマートメーター	◎	◎	◎	◎	◎

凡例) ◎：導入実績・予定有り、○：導入の必要性が議論されている、△：当面導入の予定なし、—：不明

#### (2) 主に需要家側で利用される技術

主に需要家側で利用される技術としては、HEMSやデマンドレスポンス、V2G技術等、市場原理に基づき経済メリットを追求する目的のために導入される技術が挙げられる。

これらの技術の展開において、確たるビジネスモデルは固まっていはいないものの、概ね図表 9.80に示したような経済メリットを得るビジネスモデルが検討されている。

図表 9.80 需要家サービスによる経済メリットの例

関係者	経済メリットの例
需要家	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 省エネによる電気料金削減</li><li>・ アンシラリーサービスの提供による対価の受領</li></ul>
電力会社	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 負荷平準化等による設備運用効率化</li></ul>
サービスプロバイダ	<ul style="list-style-type: none"><li>・ マネジメントサービスの提供による対価受取</li><li>・ 見える化画面等への広告掲載による広告料収入</li></ul>

### 9.1.5 我が国の競争力

スマートグリッド技術により実現が可能となる、電力系統の品質・信頼性の向上、再生可能エネルギーの普及、需要家情報の利用の3つの観点から、我が国の競争力について述べる。

#### (1) 高品質・高信頼性を担保する技術

我が国の電力システムは、停電時間の短さなど、世界でも最高レベルの高信頼度・高品質の電力を供給しており、既存システムの比較を行うと、十分に国際競争力を有すると言える。ただし、アメリカ、欧州等においては、今後更なる電力品質向上の為に、蓄電池、PMU等の要素技術や、システム技術の先進的な活用を目指している。これらの技術については、我が国においての技術蓄積が少ないため、国際競争力を持つためには、他国の開発動向、他国での技術利用方法を常に視野に入れつつ、研究開発を行っていくことが必要である。

#### (2) 再生可能エネルギー普及に向けた技術

系統容量が小さい、国内に2つの周波数を有する、配電電圧が他国と比べて低いなど、諸外国と比して独特な事情を持つ我が国の電力システムにおいては、早期より余剰電力、周波数変動、電圧上昇など、再生可能エネルギー導入に伴う課題が指摘されてきた。そのため、蓄電池、電圧制御機器、PCSなど、今後の太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの普及に資する技術は、比較的早くから技術開発が行われてきており、これら技術の我が国の水準は、機器ごとの要素技術では極めて高いレベルにあると言える。

一方、これらの要素機器を統合したシステムについても、以前より多くの実証研究開発等がなされてきているが、国際展開を見据えると、今後は他国のニーズも踏まえたシステム検討を行うことで、更なる国際競争力向上に繋がる。

#### (3) 需要家情報を利用する技術

電力システム分野において、情報ネットワークを用いて「需要家情報を最大限利用する」というコンセプトは、比較的最近に誕生したものである。従って、我が国のみならず、米国、欧州等の先進国も含め、その利活用方法について検討中である。

今後市場拡大が予想される当分野において、我が国が国際競争力を有するためには、通信プロトコル、インターフェースの標準化に積極的に関与していくと共に、需要家と電気事業者、およびサービスプロバイダの3者共がメリットを享受できるようなビジネスモデルを構築することが望まれる。

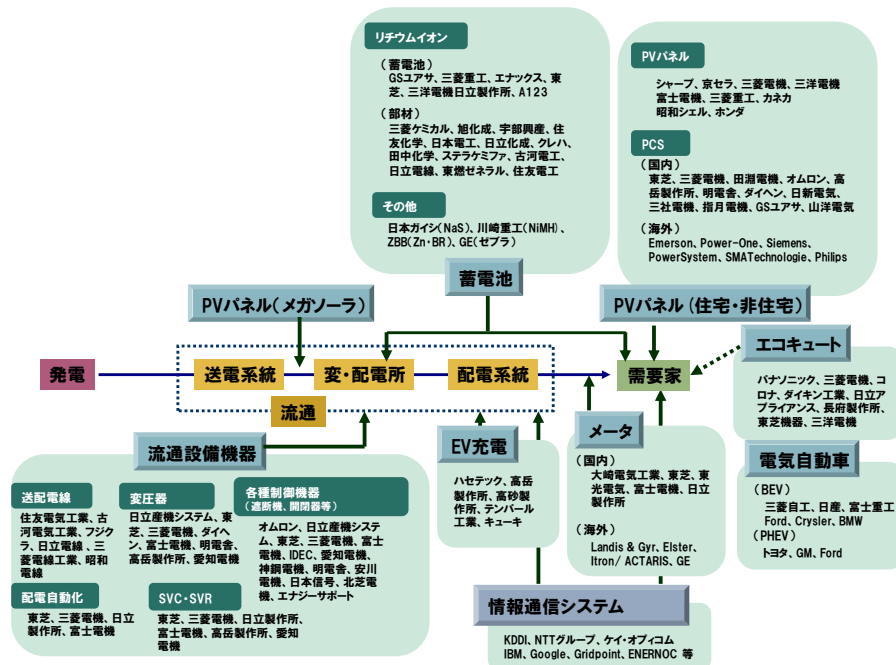
## 9.2 技術ロードマップ

### 9.2.1 目指す姿

スマートグリッドは個々の技術要素をただ単に連結させたものではなく、電力系統全体の運用効率化等を行う技術群となるよう、各々の技術の組合せ（相互運用性）により効果を発揮するものである。そのため、スマートグリッド技術の関連メーカは図表 9.81に示したように非常に幅広く、上記のシナジー効果を発揮するためには、各社の取組みのベクトルが揃う必要がある。

そのため、電力供給システム全体として今後どのようなシステムを目指すのかというビジョンを明確にし、開発に望むステークホルダ間で共有した上で、スマートグリッド全体を見通した技術開発戦略を実行しなければならない。

図表 9.81 スマートグリッド関連企業




出典：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成 22 年 4 月）

我が国としてどのようなエネルギー供給システムを目指すのか、その一つの姿を示しているのが、経済産業省の「次世代エネルギー・社会システム協議会<sup>28</sup>」の中で検討された「次世代エネルギー・社会システム ロードマップ」における、2030年以降のエネルギー供給システム像である（図表 9.82）。

このようなエネルギー供給システムを可能とするためには、電力流通システムのあるべき姿である「スマートグリッド」は、以下の特徴を有する必要がある。

<sup>28</sup>「次世代エネルギー・社会システム協議会」とは、環境と経済の両立が可能な低炭素社会の構築に向け、新エネルギーの大幅導入と次世代自動車等の新たな需要に対応しつつ、電力の安定供給を実現するために、経済産業省内で行われた様々な検討の取りまとめを行う省内横断的なプロジェクトチームである。

図表 9.82 次世代エネルギー・社会システム ロードマップ (2030年)

再生可能 エネルギーの 導入状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 化石燃料価格が現在の2倍以上に上昇し、再生可能エネルギーが相対的にコスト競争力を有する。</li> <li>■ 原子力をベースとしつつ、再生可能エネルギーを優先的に活用。集中電源と分散電源の最適MIXを実現。</li> <li>■ 再生可能エネルギーの導入状況に応じ、経済性や安定性の面で、系統側と地域が最適なバランスを有するエネルギー供給システムが確立。</li> <li>■ 一日のうち、再生可能エネルギーが余るときにはEV充電などで需要を創出し、電力需給が逼迫するときには系統に供給するなど、エネルギーマネジメントを実施。</li> <li>■ 夏には需要抑制、春・秋には再生可能エネルギーを出力抑制するなど季節毎のマネジメントも実施。</li> </ul> 
ハウス	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ フルオートメーション型HEMSの実現。</li> <li>■ 太陽熱とヒートポンプの組み合わせなど、電気と熱の総合的な有効活用が実現。</li> </ul>
ビル	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 新築建築物全体の平均でのZEB実現を目指す。</li> </ul>
海外展開	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ マスタープランの策定、個々の機器や技術の選定、プロダクトサポート等を組み込んだシステム全体で我が国のプレゼンスを発揮、世界シェアを獲得。</li> </ul>

出典：次世代エネルギー・社会システム協議会「次世代エネルギー・社会システム ロードマップ案（国内）」

### (1) 再生可能エネルギーの更なる導入が可能なシステム

我が国では、低炭素社会を構築するために、前章で見てきたようなカーボンフリーな電源である太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、未利用エネルギー等の再生可能エネルギーを今後さらに導入してゆく。これらのうち、太陽光発電、風力発電等は発電量が天候、風況等に大きく左右されるという特徴は、電力流通システムの運用・制御をより複雑なものとし、従来の設備のみでは対応が困難となる。

このような困難を解決し、再生可能エネルギーの更なる受入れを可能とする技術開発こそ、今後の電力流通システムの先進化を図るにおいて欠かせない指針の一つである。

### (2) 情報通信技術を駆使したインテリジェントなシステム

再生可能エネルギーの大容量導入に加え、EV等の新たなシステムが電力流通システムに連系される。配電系統に分散して連系されるこれらのコンポーネントに加え、将来のシステムでは、需要創出、需給逼迫の際のデマンドレスポンス等、個々の需要家も、従来の「消費者」から、電力運用に資するコンポーネントを見なされ、これらを一体として運用していくためには、既存の電力流通システムの運用方法では限界があり、膨大なデータを管理し、運用するような新しいスキームが必要となる。そのため、情報通信技術を可能な限り導入することも、スマートグリッドの目指すべき一つの方針となる。

近年、情報通信技術(ICT: Information Communication Technology)は目覚ましい発展を遂げている。電力流通システムにおいては、系統保護リレー、事故波及防止リレー、配電自動化等、現在までに情報通信技術の適用を行ってきた。今後は特に、需要家情報を系統運用に活用するために、情報通信技術の適用をさらに加速しなくてはならない。

### **(3) エネルギーユーザのニーズを反映したシステム、および (4) 新たなエネルギーサービスの展開が可能なシステム**

(2)に関連して、将来のシステムでは、従来の大規模発電所のみならず、配電系統に分散的に導入された再生可能エネルギーも、エネルギー供給上重要な役割を占める。また、需要家が所有する EV やヒートポンプなどの需要家機器も電力流通設備としての役割を果たす。さらに需要家自身も、電力の「見える化」により省エネ行動を喚起され、または流通設備運用者からの需要家制御により、自身の電力消費をマネジメントし、「デマンドレスポンス」を行うプレイヤーになる。この場合、電力流通システム運用に資する行動を取る需要家に対しては、何らかのインセンティブが付与されるべきであり、そのため、行動に応じた様々な新サービス展開が期待される。

以上のようなフレームワークを可能とするために、スマートグリッドはこのような要件を備える必要がある。

### **(5) 効率的かつ安定的に運用されるシステム**

我が国の電力流通システムは、世界でも最高レベルの信頼度・品質の電力を供給し続けている。再生可能エネルギーが大容量連系された条件下においても、現在と同水準の信頼度・電力品質を維持する必要がある。従って、この点も、スマートグリッドが兼ね備えるべき一つの方向性である。

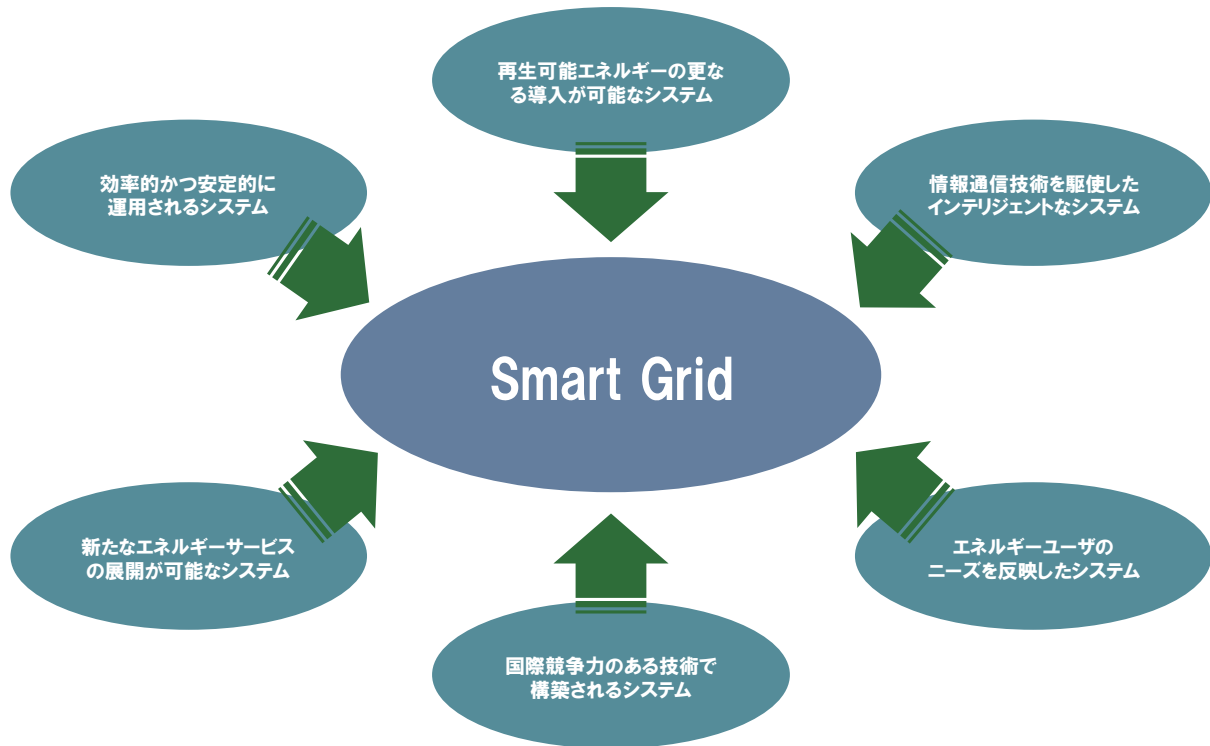
### **(6) 国際競争力のある技術で構築されるシステム**

資源の少ない我が国は、石油・石炭・ガス・ウラン等のエネルギー源を他国からの輸入で賄わざるを得ず、その対価として、自動車、家電製品等の輸出を行うことで経済的に成立していたという経緯がある。しかし、グローバリゼーションの中、中国、インド等は目覚ましい発展を遂げており、着実に競争力を高めつつある。このような状況下において、我が国の輸出による貿易収支が悪化することが懸念されており、世界的競争力のある新産業の創出が期待されている。

また、現在世界的に電力システムへの投資が旺盛であると言われており、今後我が国の産業活力の向上のためにも、この時勢に乗じて電力システム関連技術の国際展開を行っていくことが望まれる。今後の我が国の国際競争力強化のためにも、スマートグリッドに関連した産業を進展させ、世界市場への展開を図ることは非常に重要である。以上のような戦略も、スマートグリッド開発に期待が寄せられる理由の一つである。

以上をまとめると、電力流通システムの先進化を図るスマートグリッドの目指すべき方向性は、図表 9.83 に示される通り、「再生可能エネルギーの更なる導入が可能なシステム」、「情報通信技術を駆使したインテリジェントなシステム」、「効率的かつ安定的に運用されるシステム」、「エネルギーユーザのニーズを反映したシステム」、「新たなエネルギーサービスの展開が可能なシステム」、「国際競争力のある技術で構築されるシステム」の6つがあり、今後構築されるスマートグリッドは、これらの方向性全てに合致したシステムでなくてはならない。

図表 9.83 スマートグリッドの目指すべき方向



## 9.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

9.2.1 で示したスマートグリッドの目指す姿を実現する上で、解決されなければならない技術的課題は、「再生可能エネルギー導入に伴う課題」「需要家情報の利用にかかる課題」の2点に集約される。

### (1) 再生可能エネルギー導入に伴う課題

我が国の電力流通システムは、全項で述べた通り、現在世界の中でも最も効率的かつ安定的に運用されているシステムである。今後、太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの更なる導入を進めるにあたり、現在の電力流通システムの高効率性、高信頼性の水準を維持するためには、再生可能エネルギーの導入に伴い顕在化する諸問題を解決する必要がある。代表的なものを以下に挙げる。

#### ① 太陽光発電による余剰電力の発生

太陽光発電の導入量が増加すると、電力需要の少ない時期（軽負荷期）に、ベース供給力（一定量の電気を安定的に供給する電源・原子力＋水力＋火力最低出力）等と太陽光発電の合計発電量が電力需要を上回り、余剰電力が発生する。また、太陽光発電の導入量が増加すると、電力系統側の電源設備・流通設備とも稼働率が低下する。

#### ② 電力の需要と供給ミスマッチによる周波数変動

太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの出力は、天候・気候等に大きく左右され、出力が不安定である。そのため、電力系統全体の需要と供給のバランスが崩れる。この需要と供給のミスマッチは、周波数変動として現れる。

#### ③ 需要家太陽光発電の導入による配電電圧上昇

太陽光発電の出力が設置箇所の消費電力を上回り、電力系統に電気が逆潮流した場合、配電系統の電圧が上昇する。太陽光発電から系統側への逆潮流が増大することにより、連系点の電圧が電気事業法第26条に基づく適正值（ $101 \pm 6V$ ）を逸脱する場合、太陽光発電のPCSの電圧上昇抑制機能が動作し、太陽光発電の出力が抑制される。

### (2) 需要家情報の利用に係る課題

先述のとおり、「次世代エネルギー・社会システム ロードマップ」に示されたエネルギーに関する社会像を達成するためには、今後の電力流通システムは、発電から需要家まで、一体となった運用を行っていく必要がある。

#### ① 需要家情報を活用したビジネスアイデアの実現にかかる課題

情報通信システムを用いて需要家情報を活用した様々なビジネスアイデアが出されている。その実現のためには、制度面等の課題もあるものの、例えば系統運用と協調できるEMSの実現など、技術的に克服すべき点がある。



このような技術開発を進めていくことは、ビジネスアイデアを実現する上で重要である。

## ② 発電から需要家まで一体となった情報通信システムの構築

現在の電力流通システムにおいても、発電所、変電所等の電力流通設備は通信システムを介して互いに結ばれ、モニタリング・制御が行われているが、今後よりインテリジェントなシステムを目指すためには、発電所から需要家までをモニタリングし、制御を行うようなシステムが必要となってくる。そのため、既存の電力用通信インフラよりも更に広範囲をカバーし、かつより複雑となるであろう電力流通インフラのマネジメントに耐えうる情報通信システムの構築が急務である。このような通信インフラを構築するために、コスト・信頼性・パフォーマンス等を比較し、最適な通信方式を決定していく必要がある。

これらの課題に対応するため、次項に示す技術開発を推進していく。

なお先に述べたとおり、スマートグリッド技術の効果を発揮するためには各々の技術を組み合わせた高い相互運用性が必要であり、そのためには関連メーカーの取組みのベクトルが揃う必要がある。

このための取組みとして、現在NEDOが事務局となり、スマートグリッドを取り巻く企業のコンソーシアムである「スマートコミュニティ・アライアンス」が発足し、スマートグリッドに関する意見交換を行っている。今後も、このような活動を継続的に実施し、より深めた議論をしていく中で、9.2.1に示した我が国のスマートグリッドが目指す姿へのフィードバックを行うなど、ローリングをしていくことは重要である。技術開発においても、単なる要素技術の開発にとどまらず、スマートコミュニティ・アライアンスの枠組みを利用して、目指す姿に沿ったシステム構築に資する開発を進めていくことが必要であり、NEDOはそのイニシアティブを執っていくことが期待される。

また、民間企業と経済産業省等の政府からなる同組織において、双方が連携した形で今後の国際展開戦略を練ることで、海外市場でのスマートグリッド関連技術における我が国のプレゼンスのより一層の向上も期待される。

また、現在世界的にスマートグリッドに関する取組みが進められているが、各国の電力供給に関する体制、制度、設備状況等は大きく異なる。そのため、各国で要求されるスマートグリッドの形は異なり、各国の市場特性を十分に分析した上で、海外展開可能な技術開発支援（例えば標準化・規格化等も含む）を行っていく必要がある。

## 9.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

### 9.2.3.1 技術開発目標

9.2.2 で提示した課題を乗り越え、図表 9.83 のスマートグリッドの目指す姿を実現するためには、以下に示すような技術の普及が必要である。

#### (1) システム全体

システム全体で共通して必要となるキーテクノロジーは、「双方向通信」である。2010 年より 5 年程度実施される「次世代エネルギー・社会システム実証事業」の結果を踏まえ、2015 年頃より、既存の電力流通システムに双方向通信インフラを敷設していく。

なお、技術の国際展開に向けては、国際標準・規格への戦略的な取組みと適合が鍵を握っており、これらの動向を十分反映した技術開発を行う。

#### (2) 送配電ネットワーク

送配電ネットワークにおける電力流通システム安定化方策の様相は、大きく 2 フェーズに分かれる。2020 年までは、蓄電池、電圧制御装置等による安定化対策であり、2020 年以降は双方向通信システムを利活用して、分散型電源、需要家も交えた一体型管理へと移行していく。

#### (3) 需要サイド

需要サイドで最初になすべきことは、双方向通信ネットワークの情報プラットフォームである「スマートインターフェースの開発」である。2015 年頃からの双方向通信インフラの敷設開始までには、スマートインターフェースは開発されていなければならない。双方向通信インフラの導入開始に合わせて、「スマートメーターの市場展開・デマンドレスポンスサービスの拡充」、「家庭・ビル・工場内のエネルギー管理システムの市場展開・性能向上・ゼロエミッション化」、「次世代自動車の燃料供給インフラの整備」等が需要サイドでの開発目標となる。

### 9.2.3.2 技術開発内容

#### (1) 送配電システムの監視・制御技術

##### 1) 広域状態監視・制御

現在のところ、9.1.2.1(1) (540 ページ) で触れたような PMU (フェーザ計測機器) を用いた WASA(Wide Area Situational Awareness)を我が国において導入・実施する予定はない。しかし、米国・欧州・中国を始め、世界的に導入を予定される本システムを、我が国においても研究・開発し、世界の電力産業市場へ展開していくことは、今後の我が国の電力産業の国際展開の戦略上、重要である。従って、当該技術は主に国際展開を見据えた開発という位置づけである。

現在のところ、当該技術の主な活用方法はオンラインによる系統状態把握であるが、今後、オンラインでの安定度計算、安定度領域での制御等、利活用分野の広がる可能性がある。従って、まず始めに監視・制御方法の検討を少なくとも 5 年程度行い、当該技術の最も有効的な利活用方法、それを実現するシステムの開発を行う必要がある。図表 9.10 (544 ページ) にある通り、米国では 2014 年に静的な状態推定等の用途を、2019 年までに動的な状態推定等の用途の達成を目

指しており、我が国においても、2019年までにはシステム全体を含めた技術開発を行わなければならない。その後、電力流通システムにおける情報インフラが整備される2020年以降に、実証試験を行い、国際展開へ向けた方策を考えていく。

また、当該技術の開発指針は、計測機器であるPMU、広域監視・制御システムの低コスト化はもちろんのこと、計測、状態推定の精度向上も重要である。

## 2) 分散型電源・需要家との協調制御システム

### ① 再生可能エネルギーとの協調制御システム

「技術開発目標」で述べた通り、2020年までの系統安定化対策は、蓄電池、電圧制御機器等が主軸となって行われるが、スペイン・フランス等では既に再生可能エネルギーマネジメントシステムの運用が開始されている。我が国においても、これらの再生可能エネルギーの出力・挙動等を的確に把握し、将来の発電状況を予測するようなシステムの導入が待たれる。そのためには、経済産業省が実施している電力系統シミュレータ整備事業、分散型新エネルギー大量導入促進系統安定化対策事業を通じて、再生可能エネルギーの挙動を的確に把握・分析することが急務である。これらで得られたデータをもとに、再生可能エネルギーの出力予測技術を確立することで、再生可能エネルギー導入による系統対策は大幅に軽減されるであろうと予想される。

以上のような機能を有する再生可能エネルギーマネジメントシステムが、系統安定化の一つの対策オプションとして有効的に運用されるためには、遅くとも2020年までに技術を確立する必要がある。その後、実系統へ導入し、実証の中で改良を加えながら、より良いシステムとしていく試みが必要である。

### ② 系統用蓄電池システム

系統用蓄電池は、再生可能エネルギー導入に伴う課題である余剰電力、周波数変動を解決する上で、極めて重要な技術である。「次世代送配電ネットワーク研究会」では、最も経済的な負担が少ないシナリオにおいて、2020年までは出力抑制等の対策で対応するとしており、余剰電力対策としての系統用蓄電池の利用は2020年以降と想定されている。よって、2020年までに実系統に配備するための開発・実証を終えておく必要があるため、2015年までに余剰電力対策や火力・水力との協調制御技術の開発・テストを行い、2015～20年にかけて、実フィールドで実証を行っていく必要がある。

なお、系統用蓄電池の長寿命化・低コスト化・大容量化・充放電ロスの低減は、継続的に取り組んでいくべき技術開発課題である。

### ③ ローカル EMS

地域のエネルギーマネジメントを行うローカルEMSは、まず宮古島で行われている「離島マイクログリッド実証」、地域での実証である「次世代エネルギー・社会システム実証事業」で開発される。これらの実証の期間は2015年までの5年間であり、2020年までの目標である地域でのエネルギーマネジメントシステムの展開にむけて、2015～2020年にかけて地域内に含まれるスマートハウス・ビル・ファクトリー等を統合したシステムの開発を進める。

2020年以降のローカルEMSの開発目標は、2030年の地域エネルギーマネジメントのあるべき姿である「系統との協調」である。従って、系統側の状況に応じ、エネルギーサービスを展開するシステムの開発が2030年までに行われる。

### 3) 配電自動化システム

9.1.2.1(3) (531 ページ) で示した通り、我が国の配電自動化システムの技術力は、現時点では世界の中でもトップクラスであると言える。しかし、更なる普及が予想される分散型電源の連系等を考えると、今後更なる高度化が必要である。

今後の技術開発の方針として、精度向上のために、電圧、電流、力率、事故情報等のデータの計測を行うようなセンサー内蔵開閉器の導入や、事故情報検出高速化のための光IPネットワークの活用などが挙げられる。以上のようなIT化技術を活用した配電自動化の高度化は、今後10年の間に展開されるであろう。

また、我が国の配電自動化システムは世界の中でも優れた技術を有しているものの、他国においても配電自動化システムに関する技術開発が行われており、また国際規格を策定するIEC(International Electrotechnical Commission)でも、配電自動化システムに関する規格・標準の策定に動いている。我が国の今後の国際展開を見据えると、このような世界情勢を踏まえた技術開発が必要であり、国際標準に則った配電自動化システムの技術開発は、システムの実証を含め、早急に取り組む必要がある。

## (2) 需要家側のエネルギーマネジメント技術

### 1) EMS 技術

#### ① HEMS・BEMS・FEMS

家庭内・ビル内・工場など需要家内のエネルギーを管理するHEMS・BEMS・FEMSにおける2020年までの10年間の技術開発課題は、2009年に経済産業省が行った「スマートハウス実証プロジェクト」によれば、「ホームサーバ、サービスプロバイダ等のアーキテクチャ仕様の検討」である。また、同プロジェクトで様々な機能を有するHEMSが開発されているが、これらの結果を集約・整理し、家庭・ビル・工場における最適なマネジメントシステムの開発を行わなければならない。また、2020年までにローカルEMSが完成するためには、2020年までにHEMS・BEMS・FEMSをローカルEMSに組み込み、EMSによるマネジメントを開始しなければならない。

2020年以降、ローカルEMSが電力系統の状況に応じた仕様へ変貌するにつれ、HEMS・BEMS・FEMSも同様の展開を行っていく必要がある。

#### ② デマンドレスポンス・スマート家電

家電のスマート化は、「ローカルEMS」、「HEMS・BEMS・FEMS」等の開発と同時並行で行われる。まずは、早急にどの家電をどのように制御するかを検討し、制御コントローラの開発に取り組まなければならない。

次なるフェーズは、ローカルEMS、HEMS・BEMS・FEMS等、家電機器の外部より制御するシステムを開発し、並行して実証を行っていく必要がある。これらの取組みは、地域を対象とした

ローカル EMS の開発が終了する 2020 年までに行われる。その後、地域 EMS、HEMS・BEMS・FEMS 等が電力流通システムの運用に貢献することに合わせ、協調方法を模索していくフェーズへと展開される。

## 2) 電動車両の連系技術

電力流通システムに連系される電動駆動車両を、系統安定化に用いるための実証試験は、2009 年度に経済産業省が実施し、さらに 2010 年より開始される次世代エネルギー・社会システム実証事業で詳細検討を含んだ実証が展開される。

技術開発のステップとしては、まずは充電時間の管理方策の検討より始まるが、双方向通信インフラが敷設される時期に、充電電力の制御による電力流通システム運用への貢献方策が検討される。その後、電動駆動車両からの放電も含めた電力流通システム運用への貢献方策の検討を、2025 年より開始する。

## (3) 系統の効果的運用が可能となる先進技術

### 1) 超電導送電・高電圧直流送電

高電圧直流送電線は、今後自励式のものが主流となると思われる。本技術は技術的には確立されており、今後実フィールドでのテストを行い、実系統へ導入されていくものと予想される。その際、自励式変換器の低コスト化等が課題となる。

また、超電導ケーブルについては、今後実用化に向けて、長尺・高電圧・大電流・低コスト化を行っていく必要がある。

### 2) パワーエレクトロニクス応用機器

パワーエレクトロニクスには、様々な技術が含まれ、無効電力を調整する SVC、STATCOM（自励式 SVC、SVG）等は既に技術開発され、実系統へ導入されようとしている。以下では、まだ実用化に至っていない LPC や、UPFC、IPFC 等の技術について触れる。

これらのうち、LPC は以前より電力中央研究所にて導入実証試験が行われている。継続的に実証を行うことで、今後更なるコンパクト化などの性能向上が望まれる。

一方、UPFC、IPFC 等の直列パワーエレクトロニクス機器は、現在のところ導入実績は少ない。これらのシステムも、「広域監視・制御」同様、まずは利用方法の検討を早急に行わなければならない。その後、制御システムの開発、実系統での実証と進んでゆく。

### 3) 電圧制御機器

太陽光発電が配電システムの末端に導入された際に問題となる電圧上昇への対策は、現在のところ柱上変圧器一台当たりの負荷を分割する負荷分割、SVC（STATCOM 含む）・SVR 等の電圧調整機器による電圧制御等が考えられている。前述のとおり、SVC・SVR 等は技術的には確立されたものであり、今後の開発指針としては、低コスト化の他に、コンパクト化が挙げられる。

また、電圧上昇のもう一つの対策オプションとして、太陽光発電システム等の PCS（パワーコンディショナ）に無効電力調整機能を具備することが、2009 年に開かれた「次世代送配電ネット

ワーク研究会」で論じられている。本技術が有効な対策オプションとなりうるためには、5年程度で技術が確立される必要がある。

#### (4) 先進的なインターフェース技術

##### 1) PCS

「次世代送配電ネットワーク研究会」によれば、PCS（パワーコンディショナ）が近い将来（10年間の間に導入が目途）に具備すべき機能として、以下のものが挙げられている。

- ・カレンダーベース（予め日にちを設定）での太陽光発電の出力抑制機能
- ・FRT(Fault Ride Through)機能
- ・疑似同期化力

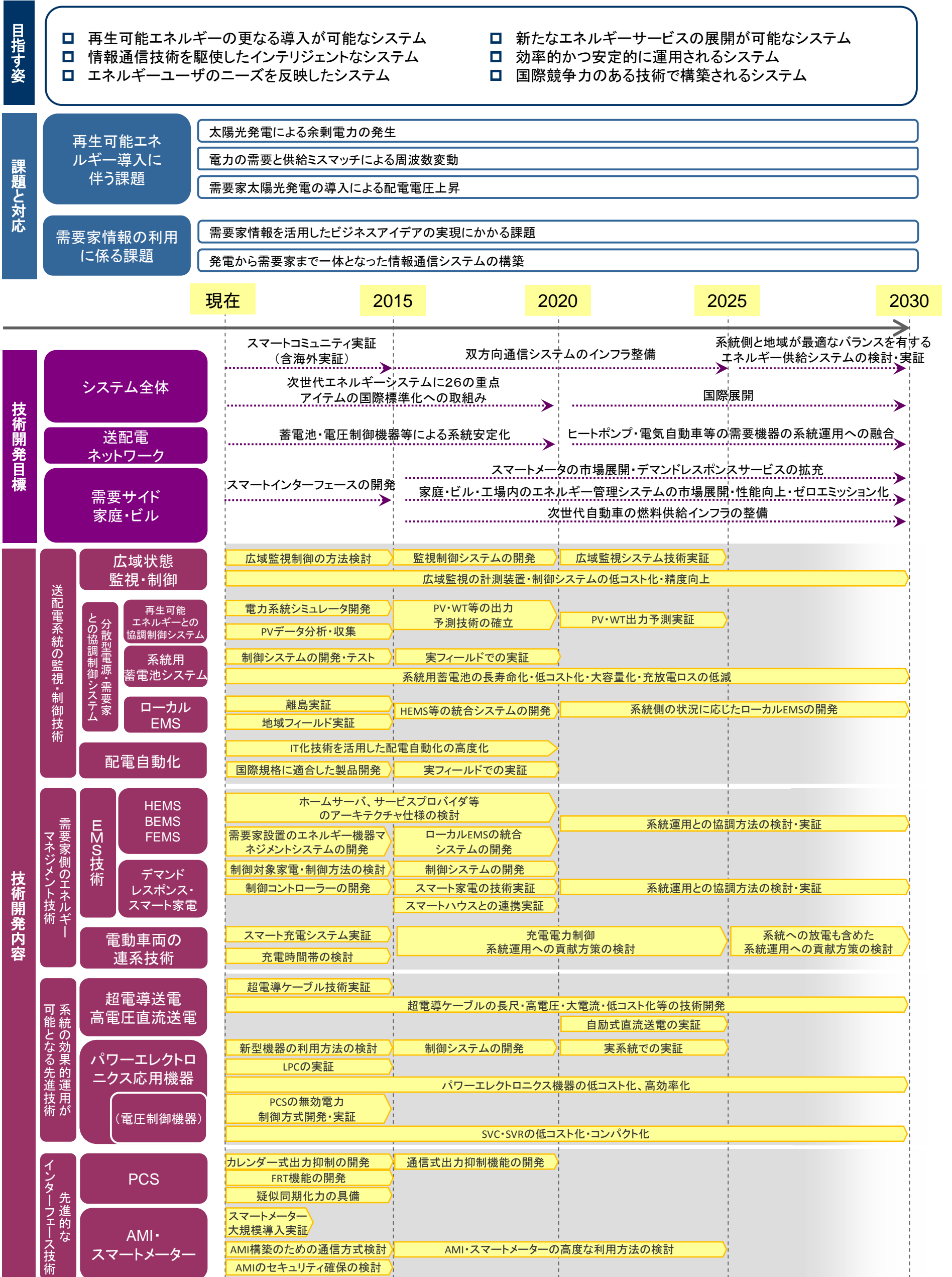
10年間の間に導入されるべきこれらの機能は、上記の電圧制御機能同様、遅くとも5年以内には開発・実装される必要がある。また、出力抑制については、カレンダーベースでの日にち指定方式の次に来るフェーズとして、系統に張り巡らせた通信インフラを利活用する方式の開発も望まれる。この技術の確立は、2020年までに行い、2020年代に通信インフラの整備状況と併せて導入を図る。

##### 2) AMI・スマートメーター

需要家の電力をデジタルに計測するスマートメーターは、需要家情報を利用するスマートグリッドのキーコンポーネントと言える。スマートメーターの導入に先駆け、2009年より東京電力・関西電力による実証試験が行われており、実証試験で得られた知見を踏まえてAMI（Advanced Metering Infrastructure: 先進的メータインフラ）構築のために最適な通信方式を5年以内に決定し、2015年よりインフラ整備に取り掛からなければならない。併せて、AMIのセキュリティ問題の解決を急ぐ必要がある。

通信インフラが整備され始める2015年頃より、構築されるAMIのネットワークを最大限利活用し、新たなサービス等の検討を行っていく必要がある。

図表 9.84 スマートグリッド技術ロードマップ







## 10 スマートコミュニティの構築に向けて

再生可能エネルギーを大量導入すると共に、IT を活用して電力の需給をバランスさせ、安定的な電気供給を維持する、「スマートグリッド」の整備が進められている。

さらに、エネルギーの有効利用という観点からは、電力だけでなく、熱や未利用エネルギーも含めたエネルギーを地域単位で統合的に管理すると共に、交通システムなども組み合わせた、「スマートコミュニティ」の実現が期待される。

この「スマートコミュニティ」の構築においては、再生可能エネルギーの導入や需給マネジメントに限らず、人々のライフスタイル全体を視野に入れた社会システムの在り方の検討が必要となる。

### 10.1 スマートコミュニティの必要性

#### 10.1.1 スマートコミュニティ形成に向けた新たな動き

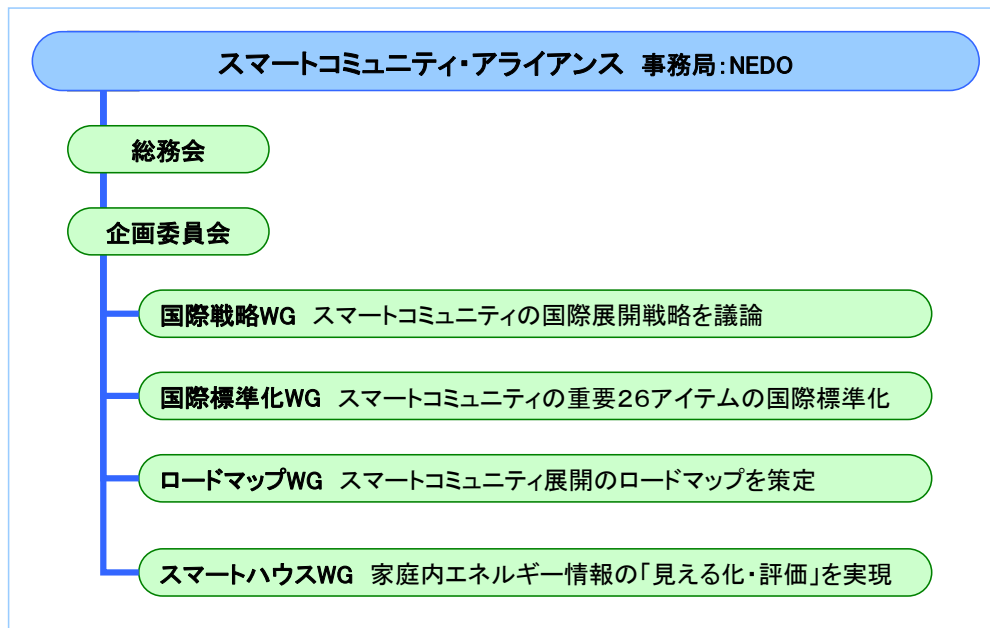
「スマートコミュニティ」の形成に向けて、日本とともに世界各国で社会実験をはじめ活発な取り組みが行われている。

##### (1) 日本の取り組み状況

我が国において、官民連携組織「スマートコミュニティ・アライアンス」の設置や、国内外での実証事業の実施、競争力に直結する標準化の策定等に取り組んでいる。

「スマートコミュニティ・アライアンス」は、スマートコミュニティをビジネス展開するための母体として、2010年4月にNEDOを事務局として設立した組織である。参加企業は、電力、重電・機器メーカー、IT、不動産ディベロッパーなど約300社（2010年5月現在）で、海外案件獲得のための各国の動向把握や、国際標準づくり、ロードマップの作成、家庭内エネルギー情報の「見える化・評価」等の取り組みを進めている（図表10.1）。

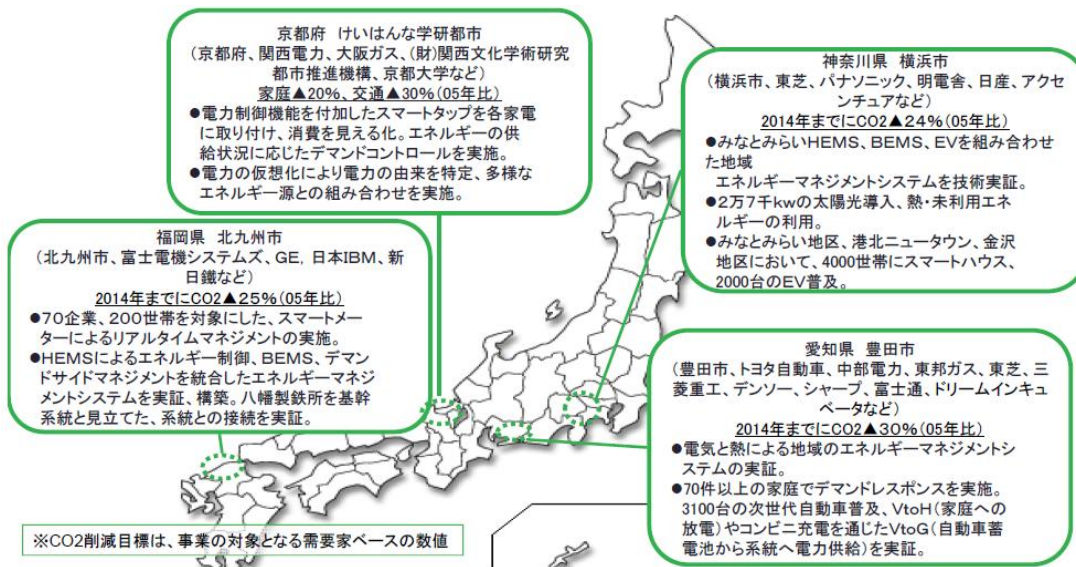
図表 10.1 スマートコミュニティ・アライアンスの組織図



出典：経済産業省資料より作成

国内での実証事業として、「次世代エネルギー・社会システム実証事業」がある。これは、エネルギーマネジメントシステムの実証にとどまらず、交通システムやライフスタイルの変革等の各種実証項目を含む国内実証事業である。全国 19 地域からの応募があり、2010 年 4 月に実証地域として、横浜市・豊田市・けいはんな学研都市（京都府）・北九州市が選定された（図表 10.2）。

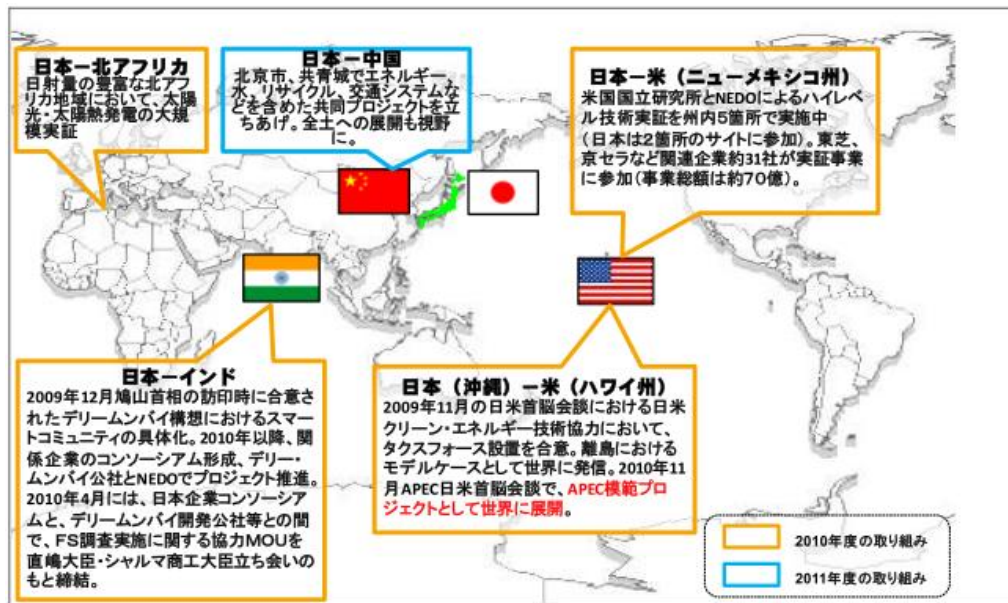
図表 10.2 次世代エネルギー・社会システム実証地域の概要



出典：経済産業省

海外においてスマートエネルギープロジェクトの動きは急速に進展しており、我が国はこれらの海外実証事業へ参画している。2010 年度は米国（ニューメキシコ州、ハワイ）、インド、北アフリカの実証事業に参画中であり、2011 年度は中国での実証事業に参画予定である（図表 10.3）。

図表 10.3 世界における我が国の実証事業参画状況



出典：経済産業省

スマートコミュニティが国際展開していくには、国際標準化が重要な要素である。2010年1月に「次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会」が報告書を取りまとめ、我が国の強みを踏まえて、標準化を「すべき領域」と「すべきでない領域」を分野ごとに峻別している。

現在、スマートコミュニティ・アライアンスに設置された国際標準化WGにおいては、分野ごとに具体的な取組みを進めているほか、欧米等を中心とする国際標準化動向の把握やこれらとの連携可能性を探り、国際標準化の策定に向けた対応を進めている。

## (2) 各国の取組み状況

先進国のみならず、新興国においても「スマートシティ」や「エコシティ」といった新たな次世代都市インフラシステムの形成に向けたプロジェクトが多数開始されている（図表 10.4）。

これらのプロジェクトでは、地球温暖化防止のために都市におけるCO<sub>2</sub>排出量を削減し、自然資源・エネルギー・廃棄物の流れをより高度にマネジメントする街づくりが展開されている。

図表 10.4 主な次世代都市インフラシステムの構築プロジェクト

コンセプト	実施場所	備考
スマートシティ (Smart City)	ボルダー (米国)	Smart Grid City スマートグリッド技術（スマートメータ等）を活かした新たな都市造りのための実証試験。
	アムステルダム (オランダ)	Amsterdam Smart City CO <sub>2</sub> 排出量の削減を目指して、家庭、業務ビル、運輸部門ならびに公共セクターにおいて、スマートグリッドに限らず様々な取組みを実施。
	マルタ	Smart Grid Utility 電力・ガス・水道で共用のスマートメーターの導入。
	マラガ	Smart City

	(スペイン)	CO <sub>2</sub> 削減に向けたスマートグリッド技術の実証試験。
	シドニー (オーストラリア)	Smart City CO <sub>2</sub> 削減に向けたスマートグリッド技術の実証試験。
エコシティ (Eco-City)	天津他 12 都市 (中国)	天津市をはじめとした中国国内合計 13 都市で、環境都市を建設する計画。 (再生可能エネルギー導入のみならず、地域熱供給、資源循環、その他省エネルギー技術の導入を目指す。)
	上海市他 (中国)	英国建設コンサルティング会社の ARUP 社がマスタープランを作成。 上海市の東灘地区の他に複数の都市で計画。 サステナブルな都市造りを目指す。
環境共生都市	ストックホルム他 (スウェーデン)	Symbio City ストックホルム郊外のハマビーショースタッドでの再開発で成功した自然資源、エネルギー、廃棄物の流れを閉鎖型にする街づくりを展開。
CO <sub>2</sub> ニュートラル都市	マスダール (UAE)	Masdar City 必要な電力を 100%再生可能エネルギーで賄う街づくりを開始。

これら海外プロジェクトのうち、米国ボルダー市の「スマートグリッドシティ」、アムステルダム市の「スマートシティ」、UAE の「マスダールシティ」の 3 つの事例を以下に紹介する。

### 1) 米国ボルダー市「スマートグリッドシティ」

2008 年からスマートグリッドを軸とした環境技術を複合的に利用した際の影響について街レベルで実験している。

この実験の主体は、地元電力会社をリーダーとする 8 社からなるスマートグリッドコンソーシアムであり、国や自治体も支援している。

図表 10.5 ボルダー市「スマートグリッドシティ」での実験対象となった環境技術の例

送配電技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>変電施設監視制御システム、送電網監視システム</li> <li>電力会社の情報統合システム、遠隔制御システム</li> </ul>
スマートハウス技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートメーター、ワイヤレス通信システム</li> <li>双方向通信制御システム、エネルギー管理ソフト</li> </ul>
次世代自動車技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>HEV による V2G (Vehicle to Grid Power)</li> </ul>

出典：産業構造審議会環境部会環境と産業省委員会の資料(2009 年)より作成

### 2) アムステルダム市「スマートシティ」

このプログラムは、2006 年にアムステルダム市およびユーティリティ企業がスマートシティの基本構想を検討したことに始まり、その後多様な企業が参画してロードマップが策定された。

このスマートシティプログラムでは、生活、労働、運輸、公共といった 4 分野における対策の推

進を計画している。2009 年以降からパイロット事業が始動しており、その後の 2012 年からはフルスケールのプロジェクトが展開される予定である。

図表 10.6 アムステルダム市「スマートシティ」が目指す 4 分野の対策

持続可能な生活	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スマートメーターの導入により、消費電力を見える化</li> <li>・市民の環境意識・電力利用行動の変革を促進</li> </ul>
持続可能な労働	<ul style="list-style-type: none"> <li>・照明／冷暖房／セキュリティ機能を高めたスマートビルへの転換</li> <li>・エネルギー使用量の抑制</li> </ul>
持続可能な運輸	<ul style="list-style-type: none"> <li>・港湾／船舶間の電力充電</li> <li>・電気自動車の普及、充電ポイントの拡充</li> </ul>
持続可能な公共スペース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゴミ収集における電機自動車の利用</li> <li>・太陽光発電によるゴミ圧縮機を店舗へ導入</li> </ul>

出典：NEDO 海外レポート No. 1053 (2009 年) より作成

### 3) UAE 「マスタートールシティ」

このマスタートールシティは、最先端エネルギー技術を駆使し、ゼロ炭素、ゼロ廃棄物の実現を目指す近未来都市を建築する構想である。

アブダビ政府および世界各国の企業が参加しており、当初計画では、人口約 5 万人、面積約 6.5 平方キロメートルの都市を事業総額 220 億ドルをかけて建設する。2006 年に着手、2015 年に完成予定である。

図表 10.7 UAE のマスタートールシティで採用が検討されているエネルギー技術

省エネ都市	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然風と太陽光を活用した都市構造</li> </ul>
発電施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・太陽光発電、太陽熱発電、風力発電</li> </ul>
交通手段	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長距離移動用の LRT(Light Rail Transit)</li> <li>・短距離移動用の PRT(Personal Rapid Transit)</li> </ul>

出典：産業構造審議会環境部会環境と産業省委員会の資料(2009 年) より作成

### 10.1.2 スマートコミュニティへの期待

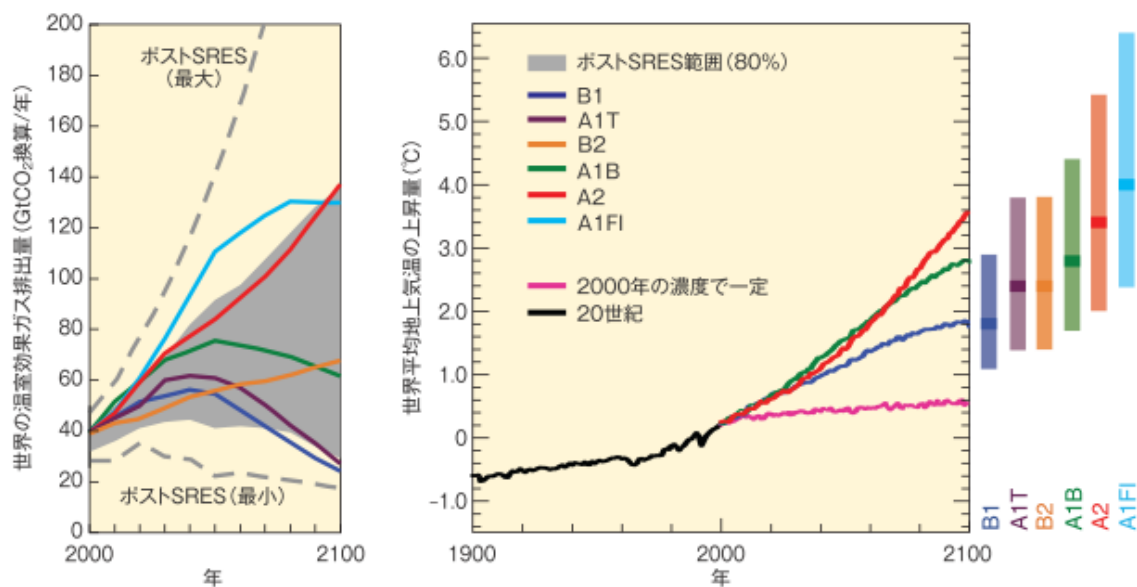
社会のスマート化が求められる背景とスマート化が実現したコミュニティの考え方を以下に示す。

#### (1) スマート化の背景

IPCC の報告によれば、現在地球規模で進行している温暖化を防止するためには、CO<sub>2</sub>を初めとする温室効果ガス排出量の削減が絶対不可欠であり、全世界での取組みがなされる必要がある（図表 10.8）。

しかし、今後、CO<sub>2</sub> 排出量の削減のために、無理に多大な労力を割き、我々の日々の経済活動に支障を来すような社会スキームをもって対応してしまうと、その後の社会の発展はないであろう。我々が地球上で生活を営み続けるためには、地球温暖化防止対策と経済成長を同時に実現していく、つまりサステナブルな社会を構築し、発展させていくことが必要である。

図表 10.8 2100 年までの 温室効果ガス排出シナリオおよび地上気温の予測

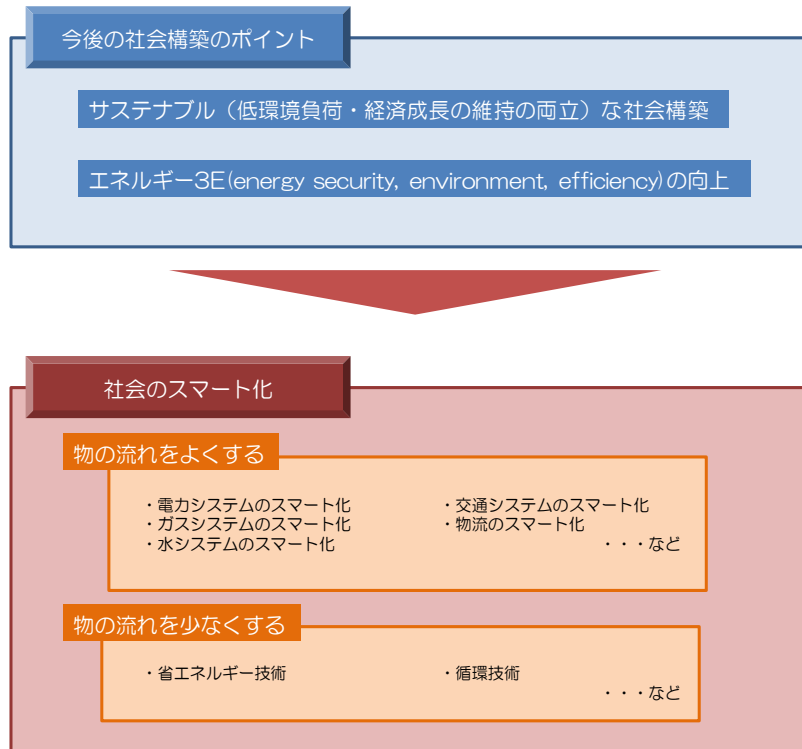


出典：IPCC 第4次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約（2007年）

また、我が国のエネルギー情勢として、その供給源の大半を輸入に頼ってきたという経緯があり、輸入全体に占めるエネルギーの割合も高くなってきている。エネルギーは国民生活・経済活動に不可欠な財であり、我が国のエネルギー政策として、エネルギーの安定供給（energy security）、環境への適合（environment）、市場機能を活用した効率化（efficiency）の3Eをバランスよく目指すことが大切であり、この点も今後の社会を構築していく上で重要である。

以上から、今後我が国として取り組むべき社会構築の方針は、サステナブルであり、かつエネルギーの3Eの向上を可能とするような社会システムであり、このような社会システムを実現するために、「社会のスマート化」を図らなければならない（図表 10.9）。

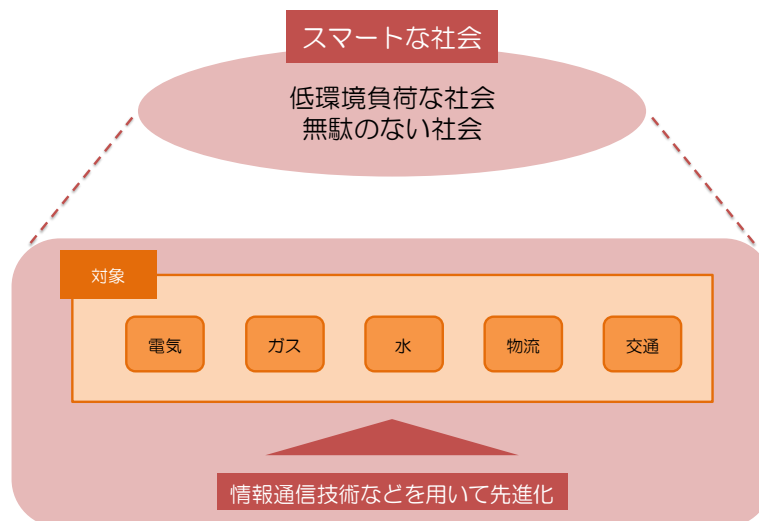
図表 10.9 今後の社会構築のポイントと社会のスマート化



## (2) スマートな社会とその対象

「スマートな社会」が目指すべき姿は、低環境負荷であり、自然資源・エネルギー・廃棄物の流れを高度にマネジメントして無駄を少なくした社会である。このような社会を構築するためには、電気・ガスなどのエネルギー、水、交通、物流などの社会の「流れ」を、情報通信技術等を用いて効率化するような社会システムが期待される（図表 10.10）。

図表 10.10 スマートな社会とその対象



無駄をなくすようなシステムの構築の仕方としては、①社会の中の流れをよくする、②社会の中の流れを少なく済ませるといった方法が挙げられる。

### 1) 流れをよくする

近年の情報通信分野における技術発展は目覚ましい。情報通信技術を駆使して、需要家側のニーズを供給側に適切に提供することで、電気・ガス等のエネルギー流通において高度化が図れるだけでなく、水、交通、物流といった社会インフラの高度化も図ることができ、社会インフラの流れの改善を図ることができる。

### 2) 流れを少なく済ませる

なるべく流れを少なくするというのも、スマート化の一つの方法である。例えば、電気・ガスなどのエネルギー流通においては、省エネ技術を用いることで、必要とするエネルギーを少なくすることで流れを少なくできる。また、水やその他資源については、資源の再利用やリサイクルにより、循環型社会にすることで、新規の投入量を削減でき、流れを少なくできる。

### (3) スマートコミュニティの拡がり

以上のようなスマート化は、ハウス、ビル、工場などの利用者が特定される構内に限らず、不特定多数が対象となる街、都市といった範囲までを含むコミュニティにおいてスマート化していく必要がある。

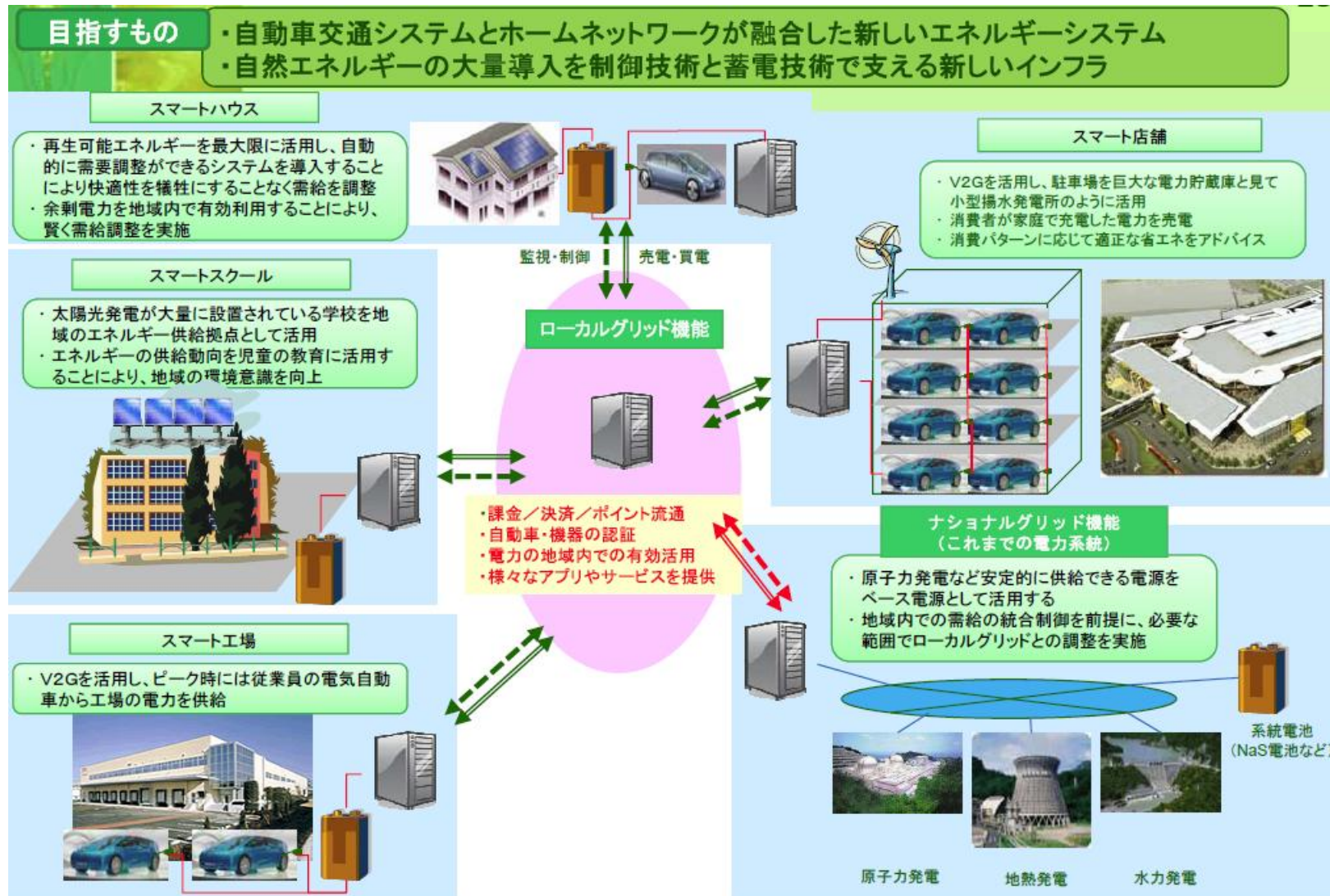
特に、都市はエネルギーが高度に集中しているところである。消費されるエネルギーが大きくなるほど、エネルギー生産を支えるのに必要な自然資源に対するニーズ（流れ）が大きくなり、廃棄物も増大し、その循環により流れを削減することが望まれる。このように、都市といった面的な広がりのある範囲においては、スマート化による大きな効果が期待される。

スマートコミュニティは、情報ネットワークとエネルギーシステム、交通システムを融合した新しい社会インフラであると同時に、快適性向上と CO<sub>2</sub> 排出量削減を両立した新しい街づくりのコンセプトの提案といえる。

経済産業省では、2009 年度末に関連企業を集めたスマートコミュニティ関連システムフォーラムを設置、その報告書の中でスマートコミュニティのイメージを提示している（図表 10.11～12）。



図表 10.11 新しいインフラとしてのスマートコミュニティのイメージ



出典：経済産業省「スマートコミュニティフォーラムにおける論点と提案～新しい生活、新しい街づくりへの挑戦～」(2010年)

図表 10.12 新しい街づくりとしてのスマートコミュニティのイメージ



出典：経済産業省「スマートコミュニティフォーラムにおける論点と提案～新しい生活、新しい街づくりへの挑戦～」(2010年)

## 10.2 2030年の我が国のスマートコミュニティ像

### 10.2.1 2030年の我が国の展望（人口・GDP・エネルギー消費等）

我が国の人口は、2006年をピークに緩やかな減少を迎え、現在、約1億2,700万人の人口が2030年には約1億1,500万人になると予想されている。日本の経済は、2005～2020年に年1.3%、2020～30年に年1.2%の経済成長を実現すると予想されている（図表10.13）。

また、IEAによると、2030年にわたる原油価格は、新興国の需要増等から高位に推移すると予想されており、経済上の理由からもスマートコミュニティの形成と全国への展開が望まれる。

図表 10.13 日本の人口・GDP等の将来予測（2020年・2030年）

		実績		予測	
		1990	2005	2020	2030
実質GDP	00年連鎖価格兆円	451	540	656	739
原油CIF価格	\$/bbl	23	56	121	169
為替レート	¥/\$	142	113	95	95
総人口	万人	12,361	12,777	12,281	11,529
65歳以上比率	%	12.1	20.2	29.3	31.8
世帯数	万世帯	4,116	5,038	5,357	5,242
労働力人口	万人	6,384	6,651	6,467	6,180
素材生産	粗鋼	11,171	11,272	11,966	11,925
	エチレン	597	755	706	690
	セメント	8,685	7,393	6,699	6,580
	紙・板紙	2,854	3,107	3,244	3,190
業務用床面積	億平米	12.9	17.6	19.3	19.2
旅客輸送量	億人キロ	11,313	13,042	13,066	13,036
貨物輸送量	億トンキロ	5,468	5,704	6,341	6,344

出典：経済産業省「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009年8月）

### 10.2.2 目指すべきスマートコミュニティ像

10.1で示したように、「持続可能」な社会の構築のためにスマートコミュニティの形成が期待されている。

スマートコミュニティとは、電気の有効利用に加え、熱や未利用エネルギーも含めたエネルギーを地域単位で統合的に管理し、交通システム、市民のライフスタイルの転換などが複合的に組み合わさる地域社会のことである<sup>1</sup>。

そのため、スマートコミュニティにはエネルギーシステムのみならず、交通、上下水道、ゴミ処理、情報、建物、社会制度などの社会システム全般が含まれる。また単にインフラ整備にとどまらず、街づくり全体を対象としたものである（図10.14）。

なお、エネルギーや資源の大半を輸入に頼る資源小国の我が国においては、エネルギー利用の高度化の観点からスマートコミュニティについて言及されることが多い。そのため以下では、エネルギーシステムの側面から目指すべきスマートコミュニティ像を語ると共に、その他の社会システムについても述べる。

<sup>1</sup> エネルギー基本計画（2010年6月）

図表 10.14 我が国におけるスマートコミュニティのイメージ



出典：経済産業省「次世代エネルギー・社会システム協議会」（2010年1月）

### (1) エネルギーシステムの目指すべき姿

我が国のエネルギー政策の基本的視点は3E（エネルギーセキュリティ、温暖化対策、効率的な供給）を図ることである。そのため2010年6月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、「自主エネルギー比率の向上（34%→約70%）」「ゼロ・エミッション電源比率の引き上げ（34%→約70%）」「家庭部門のCO<sub>2</sub>を半減」「産業部門での世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化」などを掲げている。

そのためスマートコミュニティにおいても、再生可能エネルギーや未利用エネルギーを可能な限り活用し、エネルギー自給率の向上やCO<sub>2</sub>排出量削減に貢献する。電力についてはスマートグリッド技術により、再生可能エネルギーの導入に伴う系統諸課題の解決を図り、さらなる導入を図る。住宅等の需要家施設においては、エネルギー消費の最適化や自ら発電も行うスマートハウスやスマートビル、ZEB(Net Zero Energy Building)等の導入や、それらがローカルエネルギーマネジメントシステムや系統運用、デマンドレスポンス等と協調することで、より高度な最適運用を図る。

一方、電気と比べて熱を遠距離まで移送することは困難であることから、コミュニティ内での熱融通等を通じて有効活用を図る。熱のように長距離輸送が容易でないものについては、地産地消を行う。

なおバイオマスやゴミ処理場、下水処理場などにおける未利用エネルギーの活用は、コミュニティの資源を循環させる静脈産業システムの整備・高度化と併せて行われる。

### (2) その他社会システムの目指すべき姿

#### 1) 交通システム

交通システムにおいては、自動車の電動化や電動自転車、電動バイクの活用の進展などにより、CO<sub>2</sub>のみならずNO<sub>x</sub>等の地域環境汚染物質の排出が削減され、クリーンで健康的なコミュニティ環境が実現される。こうした電動化による車両単体の低公害化のみならず、情報技術を活用した道路交通の改善により、平均速度が上昇して、さらなる低公害化が実現される。

また、都市部での新たな公共交通として例えばLRT（低床型路面電車）や、省エネルギー化、CO<sub>2</sub>排出量削減を目的に、物流における鉄道や海運の活用といったモーダルシフトが進む。

## 2) 水システム

上下水道やゴミ処理システムも、資源や設備の有効活用が進む。例えば下水処理場では、汚泥消化ガスや汚泥残渣のエネルギー等への有効活用などがこれまで以上に図られ、熱や電気の生産拠点としてコミュニティの中核的役割を果たす。ゴミ処理システムにおいても、ゴミの分別や少量化の進展によるゴミ回収頻度の低下、ゴミ回収車の電動化などが進むと共に、ゴミ焼却による電力・熱エネルギー供給基地として、コミュニティの中核的役割を果たす。

## 3) 情報システム

スマートコミュニティにおける情報システムは、これら様々な社会システムの基礎的インフラとしてますます重要度が増す。今後は、個人情報適切な管理等セキュリティの確保を前提として、エネルギー需要情報を活用したり、双方向通信を利用したりした様々なサービスが創出され、エネルギーのみならず物流や人流などと一体となった最適協調制御が実現される。

### 10.2.3 スマートコミュニティ実現に向けて

持続可能な地域社会の構築を目指すスマートコミュニティの実現に向けて、我が国のみならず世界で様々な取組みが進められている。ただし、既存の社会システムの整備状況や、国の置かれた立場、目標の違いなどにより、各国の目指すスマートコミュニティの像は必ずしも同一でない。またスマートコミュニティの構築は街づくりそのものであり、含まれる社会システムの幅が広いいため、その実現に向けては10年、20年と言った長いスパンでのロードマップを提示し、その内容に沿った技術開発・導入、インフラ整備を進めていくことが有効である。


そのロードマップの（案）として、経済産業省が設置した次世代エネルギー・社会システム協議会<sup>2</sup>において検討・作成し、スマートコミュニティ・アライアンス<sup>3</sup>が追加検討を行った、次世代エネルギー・社会システムロードマップ（改訂版）を以下に提示する。このロードマップは、主にエネルギーシステムの立場からスマートコミュニティの実現に向けた取組みを示している。

今後も引き続き、このロードマップを見直し、精緻化していくと共に、エネルギーシステムのみならず、他の社会システムも含めたスマートコミュニティロードマップに発展させ、スマートコミュニティを実現することが必要である。

<sup>2</sup> 経済産業省が2009年11月に設置した学識経験者をメンバーとする省内横断的なプロジェクトチームである。

<sup>3</sup> スマートコミュニティをビジネス展開するための母体としてNEDOが事務局となり2010年4月に発足した組織。参加企業は、電力、重電・機器メーカ、IT、不動産ディベロッパーなど約300社（2010年5月現在）で、海外案件獲得のための各国の動向把握や、国際標準づくり、ロードマップの作成、家庭内エネルギー情報の「見える化・評価」等の取組みを進めている。

図表 10.15 次世代エネルギー・社会システムロードマップ (1/2)

■ 次世代エネルギー・社会システムロードマップ (改訂版) ~3E (Environment・Energy Security・Economy) を達成する次世代エネルギー・社会システムの実現に向けて~ 

~本ロードマップについて~

- 3Eの同時達成に向けて、エネルギー供給面では、原子力発電を中核としつつ、再生可能エネルギーの大幅な導入拡大を図ることが不可欠である。出力が不安定な再生可能エネルギーを安定的に電力系統に組み入れるためには、蓄電池の活用や出力抑制なども必要となる。あわせて、負荷遅延などのために必要な火力発電についても高効率化を図り、電源のベストミックスを実現の上、総合的に低炭素化を加速していくことが重要である。
- 本ロードマップは、このようなマクロのエネルギー供給の姿を前提として、再生可能エネルギーや蓄電池を活用した地域レベルでのエネルギーマネジメントと電力系統全体との関係や、家庭やビルなどの需要サイドにおける我々の生活の変化などに着目し、今後目指すべき我が国のエネルギーシステム・社会システムの姿を描いたものである。
- エネルギー基本計画の見直し、新成長戦略、スマート・コミュニティアライアンスでの検討を踏まえて改訂。

	【現状】	【2020年】	【2030年】
人口	1.27億人	1.23億人	1.15億人
GDP	541兆円	656兆円	739兆円
原油CIF価格	79 \$/bbl	121 \$/bbl	169 \$/bbl
関連新規市場規模・雇用創出効果(国内)	0.9兆円・10万人	3.6兆円・40万人	5.4兆円・60万人
海外動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ EU指令(2009年6月)により、スマートメーターを2020年までに80%以上に導入。</li> <li>■ 大手企業が日本でも家庭用EMSの展開開始。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ EUでエネルギー需要全体に占める再生可能エネルギーの割合20%達成。</li> <li>■ EUスマートグリッド化(ETP Smart Grids)</li> <li>■ 2025年までに中、印では原子力発電の需要が増大。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 全米スマートグリッド化(Grid2030)</li> <li>■ 韓国国土をスマートグリッド化。</li> <li>■ 2050年までに欧州の電力需要の約15%を北アフリカのサハラ砂漠での太陽熱発電で賄う(DESERTECプロジェクト)。</li> </ul>

	現在~2020年	2020年~2030年	2030年~
家庭・業務を中心とした地域レベルでのエネルギーマネジメントと全体システムとの関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 住宅用だけでなく、コスト負担余力のある事業者による太陽光発電の導入が大幅に進む。これにより太陽光パネルの価格が次第に低下していく。</li> <li>■ これに伴う安定供給対策は、系統側が中心。土地確保が可能な変電所には蓄電池の設置も。</li> <li>■ 一方で、地域における電力と熱の総合的なエネルギーマネジメントシステムに関する実証が進み、系統側との相互補完関係のあり方を含め、技術、ノウハウの蓄積により地域のエネルギーマネジメントシステムが実現可能に。</li> <li>■ 需要家との双方間通信が可能な送配電ネットワークの構築が本格化。</li> <li>■ 蓄電池に関して、変化メカニズムの解明等の技術開発・実証が進み、低コストが進む。</li> <li>■ 夏には需要抑制、春・秋には再生可能エネルギーを出力抑制するなど季節毎のマネジメントも実施。</li> <li>■ 太陽熱、コジェネ排熱の熱融通が普及。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 太陽光パネルの価格低下を受け、住宅用太陽光発電のコストも低下。設置が進む。</li> <li>■ これにより、出力抑制のみならず、家庭で発電した再生可能エネルギーを有効活用する地域でのエネルギーマネジメントが必要となる。</li> <li>■ それまでに、地域でのエネルギーマネジメントシステムのための技術が確立・実用化。HP給湯器、コジェネ、燃料電池とともに、価格が低下した蓄電池の普及が進み、地域でのエネルギーマネジメントが可能に。</li> <li>■ HPを利用して工場排熱回収が実現。</li> <li>■ 都市排熱を活用する熱ネットワークが普及。</li> <li>■ 水素ST近傍の集合住宅等への水素供給開始。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 化石燃料価格が現在の2倍以上に上昇し、再生可能エネルギーが相対的にコスト競争力を有する。原子力をベースとしつつ、再生可能エネルギーを優先的に活用。集中電源と分散電源の最適MIXを実現。</li> <li>■ 再生可能エネルギーの導入状況に応じ、経済性や安定性の面で、系統側と地域が最適なバランスを有するエネルギー供給システムが確立。</li> <li>■ 一日のうち、電力供給が余るときにはEV充電やHPなどで需要を創出し、電力供給が逼迫するときは系統に供給するなど、エネルギーマネジメントを実施。</li> <li>■ 電力、熱、再生可能/未利用エネルギーを組み合わせて蓄電池を最適に制御するスマートコミュニティを実現。</li> <li>■ 水素インフラの実用化が進む。</li> <li>■ 中大型水素製造装置・燃料電池からのCO2の回収・処理が実現(CCS)。</li> </ul>
ハウス	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ スマートメーターによる遠隔検針や消費電力量、消費熱量の「見える化」の導入開始。</li> <li>■ HEMSの普及開始。PV、太陽熱給湯、HP給湯器、コジェネ、蓄電池、燃料電池の導入が進む。</li> <li>■ ホームサーバが一部の家庭で導入開始。</li> <li>■ デマンドレスポンスの実証を開始し、省エネ・負荷平準化の効果を検証。</li> <li>■ V to H、V to GなどのEVの実証スタート。</li> <li>■ 高断熱等の省エネハウスが増加。</li> <li>■ テレメテクス機能の拡張(家・自動車・充電インフラ等)</li> <li>■ DCスマート家電の進展。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 需要家側のエネルギー供給情報を詳細に把握し、家庭内の様々な機器を制御するシステムが本格的に普及。家庭で電気と熱を最適に無駄なく利用。</li> <li>■ ホームサーバを活用した様々なサービスが普及。</li> <li>■ HEMSと地域EMSが連携。</li> <li>■ 暮らしと調和した形のEVの蓄電機能の活用が進む。</li> <li>■ DC対応家電の普及</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ フルオートメーション型HEMSの実現。</li> <li>■ 太陽熱とHP、コジェネ、蓄電池、燃料電池の組み合わせなど、電気と熱の総合的な有効活用が実現。</li> <li>■ エネルギーサービス以外への広がりとして、例えば、HEMSを住宅履歴管理システムにも応用</li> </ul>
ビル	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ZEBの導入が開始し、PV、太陽熱利用システム、蓄電池、大型HP給湯器・コジェネ、燃料電池、熱の面的利用の導入も進む。</li> <li>■ 高断熱等の省エネビルの普及</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 新築公共建築物等でZEBを実現。</li> <li>■ 燃料電池コジェネが普及</li> <li>■ 社会のエネルギーシステムの一部として機能するビル(ボジティブ・エネルギービル)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 新築建築物全体の平均でのZEB実現を目指す。</li> <li>■ 燃料電池・タービンコンバインドシステムが普及</li> </ul>
交通	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PHEV、EVが普及</li> <li>■ ICT発達により自動車のネットワーク化が進む</li> <li>■ 燃料電池自動車・水素STの普及開始</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 自動車の多くがICTネットワークを搭載</li> <li>■ 燃料電池自動車・水素STの本格普及</li> <li>■ 超小型EVの普及</li> <li>■ 静的非接触充電の進展</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 高効率電気交通システムの普及</li> <li>■ 交通用無線給電インフラの普及</li> <li>■ 高耐圧パワーデバイス等の普及</li> <li>■ 動的非接触充電の進展</li> </ul>
海外展開	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 国内技術実証と並行し、海外プロジェクトにも本格参加。各地域特有のEMSのノウハウを蓄積。日本の技術の強みを生かす戦略的標準化を推進。</li> <li>■ 日本の優れた技術を生かし、海外(特にアジア)でのシステム需要を獲得。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ マスタープランの策定、個々の機器や技術の選定、プロダクトサポート等を含んだシステム全体で我が国のプレゼンスを発揮、世界シェアを獲得。</li> </ul>	

**2030年の次世代エネルギー社会における1シーン**

**家庭**



外出先から家電や家庭ロボットを操作、便利だけでなく防犯や火災、機器故障も検知。田舎に住む両親の家のエネルギー使用状況から生活ぶりを確認し、ひと安心。

HEMSの進展に伴い、RT(ロボット技術)も活用しつつ、QOL(生活の質)向上サービスが盛んに。食事や運動、生活リズムのモニター結果から、最適な生活環境や健康管理を実現。

暖房や給湯は太陽熱温水器や地域コジェネなどを利用。こみ締め場の廃熱も利用し高効率な省エネを実現。

● QOL(生活の質)が高まるスマートライフ

マイホームに太陽光パネルとHEMSを導入、エネルギーを「消費する家」から「供給する家」へシフト。

**オフィス**



自然光を採り入れたオフィス内は照明、温度・湿度、空気の流れをコントロール、ZEB化とともに快適な執務環境を実現。

社員食堂にはビル内植物工場で再生可能エネルギーにより栽培した野菜が並び、廃棄物はアルコル化して利用。

都会のオフィスで自然の恩恵を感じる。

● 都会で自然を身近に感じるオフィス

原子力をベースとしつつ、グリーン証書なども含めた再生可能エネルギーも最大活用。

オフィス地区全体でエネルギーをマネジメント。ビルのZEB化、HP給湯器やEVの普及が進んで、ヒートアイランド現象が軽減。街を歩いていて、自然の風を感じる。

自然光を採り入れたオフィス内は照明、温度・湿度、空気の流れをコントロール、ZEB化とともに快適な執務環境を実現。

社員食堂にはビル内植物工場で再生可能エネルギーにより栽培した野菜が並び、廃棄物はアルコル化して利用。

都会のオフィスで自然の恩恵を感じる。

**産業**



工場やタンクの屋根等を利用して、広大な太陽光発電プラントを設置。大量の排熱をHP技術により回収。

工業地帯で生産した電力や熱は工場で利用するとともに都市へ送る。

エネルギーの大消費地から生産地へ転換。

● 臨海工業地帯が電力生産地に

工場やタンクの屋根等を利用して、広大な太陽光発電プラントを設置。大量の排熱をHP技術により回収。

工業地帯で生産した電力や熱は工場で利用するとともに都市へ送る。

エネルギーの大消費地から生産地へ転換。

**交通**



都市ではスマートグリッドの発達に伴い、LRTやEVカーシェアが発達。

鉄道も大容量蓄電池を備え、ラッシュ時に活用。

地方ではセカンドカーからEV化。通勤や買物など街乗りは大活躍。お年寄りや身障りも電動アシスト車椅子により活動範囲が広がる。

物流はエネルギーマネジメントの観点から、高度なモーターシフトを実現。長距離/集配トラックは、EV、PHEV、FCV等、最適な動力を選択。

● 遠人道車のモーターシフトが実現

都市ではスマートグリッドの発達に伴い、LRTやEVカーシェアが発達。

鉄道も大容量蓄電池を備え、ラッシュ時に活用。

地方ではセカンドカーからEV化。通勤や買物など街乗りは大活躍。お年寄りや身障りも電動アシスト車椅子により活動範囲が広がる。

物流はエネルギーマネジメントの観点から、高度なモーターシフトを実現。長距離/集配トラックは、EV、PHEV、FCV等、最適な動力を選択。

図表 10.16 次世代エネルギー・社会システムロードマップ (2/2)

	現在～2020年	2020年～2030年	2030年～
社会システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートコミュニティ実証（含海外実証）</li> <li>次世代エネルギーシステムにつき、26の重点アイテムの国際標準化への取組み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>系統側と地域が最適なバランスを有するエネルギー供給システムの検討・実証</li> </ul>	
送配電ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートインターフェイスの開発</li> <li>太陽光発電等の出力予測手法の高度化・システムへの適用検討</li> <li>出力抑制機能を備えたPV用PCSを開発</li> <li>FRT機能や単独運転防止機能の認証ルール化とその機器開発</li> <li>通信品質とセキュリティレベルの技術開発</li> <li>通信インターフェイスとプロトコルの標準化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>双方向の通信システムインフラの整備</li> <li>需要家機器制御に係る技術開発</li> <li>蓄電池と火力・水力との協調制御技術の開発</li> <li>通信を用いた出力抑制機能付PCS等の機器普及</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高度な天気予報等を活用し精度の高い需給予測を実現</li> </ul>
熱ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱の需給最適制御技術開発</li> <li>清掃工場排熱等の高効率輸送技術開発</li> <li>電力と熱の総合的な有効活用を実現する技術開発・実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱ネットワーク技術のコストダウン</li> <li>電力・熱の統合的な需給最適制御技術開発</li> <li>電力と熱の総合的な有効活用を実現する技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力・熱の統合的な需給最適制御技術のコストダウン</li> </ul>
水素・CCS	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素製造・供給技術の開発</li> <li>水素ST実証、水素タウン・CSの小規模実証</li> <li>CO2有効利用技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギー由来の水素製造・輸送の小規模実証</li> <li>中大型水素製造装置・燃料電池からのCO2の回収・処理技術の開発・実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギー由来の水素製造・貯蔵・輸送のコストダウン</li> <li>水素インフラと熱電供給システムとを総合的に制御するエネルギーマネジメント技術の開発</li> </ul>
蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓄電池スペックや充電システムの実証</li> <li>蓄電池の制御技術の開発</li> <li>PV導入対策として蓄電池を設置（一部地域）</li> <li>蓄電池のライフサイクルを見据えたエネルギーシステムの検討</li> <li>蓄電池長時間使用時の安全確保技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量・長寿命・低コストな蓄電池の開発</li> </ul>	
燃料電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型高効率燃料電池の長寿命化・コストダウン</li> <li>中大容量高温型燃料電池(MCFC,SOFC)の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タービンコンバインドシステムの開発</li> <li>中大容量高温型燃料電池の長寿命化・コストダウン</li> </ul>	
HP	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率・排熱回収・低環境負荷冷媒技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器の小型化</li> <li>高効率HP給湯器の実用化</li> </ul>	
需要サイド 家庭・ビル	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートメーター大量導入実証</li> <li>ガススマートメーターの開発・実証</li> <li>DC対応家電の開発・実証</li> <li>家庭・ビル内でのDC給電の標準化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地域EMSと連携する業務ビルDSMの普及</li> <li>家庭・ビル内でのDC給電システムの実用化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DC超電導等ロスレス給電システムの実用化</li> </ul>
交通	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートモビリティ実証（EVとエネルギーシステムのコミュニケーション技術実証）</li> <li>燃料電池自動車の開発・実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各地域に適したスマートモビリティの開発</li> <li>V to Gを実現する技術確立</li> <li>燃料電池自動車のコストダウン</li> <li>静的非接触充電の実用化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>動的非接触充電の実用化</li> </ul>

【用語】

- EMS: Energy Management System エネルギー管理システム
- HEMS: Home Energy Management System 家庭エネルギー管理システム
- BEMS: Building Energy Management System ビルエネルギー管理システム
- ZEB: Net-Zero Energy Building ネット・ゼロ・エネルギー・ビル
- V to H: Vehicle to House  
電気自動車に搭載された蓄電池のエネルギーを宅内で利用すること
- V to G: Vehicle to Grid  
電気自動車を電力系統に連系し、車と系統との間で電力融通を行うこと
- FRT: FRT: Fault Ride Through  
瞬間的な電圧低下や周波数変動等の乱れに対して、系統から解列せずに運転を継続し、系統の安定性を確保する機能
- PCS: Power Conditioning System 交直変換装置
- MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell 熔融炭酸塩形燃料電池
- SOFC: Solid Oxide Fuel Cell 固体酸化物形燃料電池
- HP: Heat Pump ヒートポンプ
- CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage CO2回収・貯留
- EV: Electric Vehicle 電気自動車
- PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle プラグインハイブリッド車
- FCV: Fuel Cell Vehicle 燃料電池自動車
- LRT: Light Rail Transit 次世代路面電車
- AC: Alternating Current 交流
- DC: Direct Current 直流
- ICT: Information and Communications Technology 情報通信技術
- RT: Robot Technology ロボット技術
- ST: Station ステーション
- テレマティクス: 移動体通信システムを利用した情報提供サービス
- インターフェイス: 二つのもの間に立って情報のやり取りを仲介するもの
- プロトコル: 作業の手順や相互の約束事
- 超電導: 電気抵抗が急激にゼロになる現象
- 非接触充電: 電磁誘導方式等により接点なしで充電する技術
- QOL: Quality of Life 生活の質

2010年7月







## 11 おわりに

エネルギー基本計画では、地球温暖化対策、エネルギー自給率向上、エネルギー源多様化、環境関連産業育成等の観点から、今後 2020 年までに、一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合を 10%まで増加させる目標を掲げている。

国内での再生可能エネルギーの大幅な導入拡大に向けては、まだ課題は残されている。最大の課題はコストである。現状、化石燃料をベースとしたエネルギーと比較すると、再生可能エネルギーのコストは非常に高く、政府による導入支援制度等より導入が進んでいるのが実情である。将来に向けて、技術開発や社会システムの変革によりコストを引き下げ、公的支援がなくても自立的に導入が進む状況をつくる必要がある。グリッドパリティを実現し、真の意味での実力を付けることにより、再生可能エネルギー大量導入に向けての離陸がなされることとなる。

本白書に掲載した各種再生可能エネルギーの技術ロードマップにおいても、コストの低減を共通的な課題としている。既に確立された技術の高度化とともに、長期的な視点から革新技術の研究開発を進めて、コスト低減を実現していくことが重要である。

国内における再生可能エネルギーの導入促進とともに、今後は、国際展開の視点も重要である。エネルギー基本計画では、我が国に優位性があり、かつ今後も市場拡大が見込まれるエネルギー関連の製品・システムの国際市場において、我が国企業群が最高水準のシェアを維持・獲得するものとしている。

再生可能エネルギーの導入対象地域は世界中に存在し、マーケットはグローバル化の一途をたどっている。そのため、我が国の再生可能エネルギー技術の国際競争力を高め、積極的な国際展開を図ることは、我が国の経済成長の機会となる。

本白書にて提示したように、我が国には、いずれの再生可能エネルギー分野においても、世界的に遜色の無い水準の先端技術が存在している。今後はそのような技術の高度化を図りつつ、社会的に実現するための取り組みを推進していく必要がある。

本白書では、各再生可能エネルギーの技術を取りまく現状を整理するとともに、今後の技術開発の道筋を示す技術ロードマップを策定した。今後、様々な場面において、再生可能エネルギーの導入拡大に向けた議論のベースや、技術開発の指針として活用され、国内における再生可能エネルギーの導入拡大、我が国関連産業の国際展開に貢献することを願うものである。



## NEDO 再生可能エネルギー技術白書策定委員会 名簿

(敬称略)

- 委員長 柏木 孝夫 東京工業大学統合研究院ソリューション研究機構 教授 (全体)  
池上 康之 佐賀大学海洋エネルギー研究センター 准教授 (7.海洋温度差発電)  
牛山 泉 足利工業大学 学長 (3.風力発電)  
木下 健 東京大学生産技術研究所機械・生体系部門 教授 (6.波力発電)  
黒川 浩助 東京工業大学統合研究院ソリューション研究機構 特任教授  
(2.太陽光発電)  
玉浦 裕 東京工業大学炭素循環エネルギー研究センター 教授 (5.太陽熱発電)  
横山 明彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻 教授  
(9.スマートグリッド)  
横山 伸也 東京大学 名誉教授 (4.バイオマスエネルギー)

### ●風力発電検討ワーキンググループ

- 座長 今村 博 株式会社風力エネルギー研究所 取締役  
飯田 誠 東京大学教養学部附属教養教育開発機構 特任講師  
中尾 徹 イー・アンド・イーソリューションズ株式会社 社長付  
山口 敦 東京大学大学院工学系研究科社会基盤専攻 特任助教

### ●バイオマスエネルギー検討ワーキンググループ

- 座長 横山 伸也 東京大学 名誉教授  
藤吉 秀昭 財団法人日本環境衛生センター 常務理事  
熊崎 實 日本木質ペレット協会 会長

## 「再生可能エネルギー技術白書」策定に向けた NEDO プロジェクトチーム 名簿

統括責任者	石田 文章	新エネルギー部	統括研究員
企画・総括	綾 良輔	新エネルギー部	総括G 主任
	上原 一彦	新エネルギー部	総括G 主査
	大庭 宏介	新エネルギー部	総括G
	北川 和也	新エネルギー部	総括G
	山本 将道	新エネルギー部	太陽電池G 主任研究員
	堀 昭夫	新エネルギー部	太陽電池G 主査
	森田 健晴	新エネルギー部	太陽電池G 主査
	伊藤 正治	新エネルギー部	自然エネルギーG 主任研究員
	白石 浩之	新エネルギー部	自然エネルギーG 主査
	天明 浩之	新エネルギー部	自然エネルギーG 主査
	前川 俊哉	新エネルギー部	自然エネルギーG 主査
	米倉 秀徳	新エネルギー部	自然エネルギーG
	河野 匡	新エネルギー部	バイオマスG 主任研究員
	岡田 豊	新エネルギー部	バイオマスG 主査
	沖 泰弘	新エネルギー部	バイオマスG 主査
	川嶋 真	新エネルギー部	バイオマスG 主査
	諸住 哲	スマートコミュニティ推進室	主任研究員
	竹本 裕志	スマートコミュニティ推進室	主査
	宮本雄一郎	スマートコミュニティ推進室	主査
	坂 秀憲	スマートコミュニティ推進室	主任

(平成22年7月現在)