

「環境調和型製鉄プロセス技術開発(STEP2)  
プロジェクト」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------------



## 目次

概要 .....	i -1	
プロジェクト用語集 .....	ii -1	
I. 事業の位置付け・必要性について		
1. 事業の背景・目的・位置づけ .....	I -1	
1.1 事業の背景 .....	I -1	
1.2 事業の目的 .....	I -4	
1.3 事業の位置付け .....	I -8	
2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 .....	I -14	
2.1 NEDOが関与することの意義 .....	I -14	
2.2 実施の効果(費用対効果) .....	I -14	
II. 研究開発マネジメントについて		
1. 事業の目標 .....	II -1	
2. 事業の計画内容 .....	II -3	
2.1 研究開発の内容 .....	II -3	
2.2 研究開発の実施体制 .....	II -13	
2.3 研究の運営管理 .....	II -15	
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性 .....	II -18	
3. 情勢変化への対応 .....	II -21	
3.1 総合技術開発に向けた全体最適化 .....	II -21	
3.2 予算の重点配分 .....	II -24	
4. 評価に関する事項 .....	II -25	
4.1 事前評価 .....	II -25	
III. 研究開発成果について		
1. 事業全体の成果 .....	III -1	
1.1 概要 .....	III -1	
1.2 成果概要 .....	III -2	
IV. 実用化の見通しについて .....		IV -1
1. 実用化、実機化の定義 .....	IV -1	
2. 実用化、実機化に向けての見通し及び取り組みについて .....	IV -1	
2.1 成果の実機化に向けた戦略 .....	IV -1	
2.2 成果の実用化・実機化に向けた技術開発の取り組み .....	IV -2	
2.3 成果の実機化の見通し .....	IV -3	
3. 関連分野への波及効果 .....	IV -4	

3.1 要素技術の波及効果.....	IV-4
3.2 化学吸収法での技術派生の例.....	IV-4

(添付資料)

・イノベーションプログラム基本計画.....	添付 1
・プロジェクト基本計画.....	添付 2
・技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ).....	添付 3
・特許論文等リスト.....	添付 4

## 概要

	最終更新日	2015年11月16日	
プログラム (又は施策)名			
プロジェクト名	環境調和型製鉄プロセス技術開発 (STEP2)	プロジェクト番号	P13012
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 担当者氏名 谷山 教幸、大畑 博資 (平成26年4月～平成27年10月現在) 環境部 担当者氏名 山口 良祐、岡島 重伸 (平成25年8月～平成26年3月)		
0. 事業の概要	<p>本事業は、高炉法による製鉄プロセスから排出されるCO<sub>2</sub>を削減し、地球温暖化防止に寄与するため、高炉からのCO<sub>2</sub>発生量を抑制すると共に、発生したCO<sub>2</sub>を効率的に分離・回収技術を開発し、2030年の実機化を目指すものである。</p> <p>具体的な開発内容は、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス(COG)に含まれる水素およびその水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術開発と、高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を利用した革新的なCO<sub>2</sub>分離・回収技術開発を行う。これらの技術開発によりCO<sub>2</sub>排出量の約3割削減を目標に、低炭素社会の実現を目指す。</p> <p>本事業は、既に終了したフェーズI (Step1) (平成20年度～平成24年度)で幾つかの基礎技術を確立しており、現在実施中のフェーズI (Step2) (平成25年度～平成29年度)では、開発した要素技術を組合わせたパイロット規模の総合試験を行う。</p>		
I. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>鉄鋼業から排出されるCO<sub>2</sub>は、1.8億トン(2013年度)で、産業・エネルギー転換部門最大であり、わが国のCO<sub>2</sub>排出量の14%を占める。そのため、鉄鋼業からのCO<sub>2</sub>排出量の削減が要請されている。</p> <p>しかし、わが国の鉄鋼業では、1970年代以降、省エネルギー化に取り組み、現在では鉄鋼生産におけるエネルギー効率は世界一であり、更なるCO<sub>2</sub>排出量削減には、革新的な技術開発が必要である。</p> <p>また、本事業は、21世紀環境立国戦略に於いて、世界全体の温室効果ガス排出量削減のための長期戦略の一つに位置付けられており、わが国が国際的リーダーシップを発揮するために産学の知見を結集し、国として取り組むべき事業である。</p> <p>以上から、本事業は実機化までに中長期の期間を要し、かつ事業環境の変化等のリスクの高いテーマであることから、民間のみで取り組むことが困難で、機構が資金負担を行うことにより民間の能力を活用して研究開発を推進すべき事業である。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>本事業は、2030年実機化に向けて大きく3つの段階での技術開発を予定しており、 2008～2012:フェーズI Step1 要素技術開発及びプロセス評価開発 2013～2017:フェーズI Step2 総合技術開発 (10m<sup>3</sup>規模の試験高炉) 2018～2028頃まで:実証規模試験 を経て、我が国鉄鋼業の国際競争力を維持しながら、総合的に約30%のCO<sub>2</sub>削減可能な技術確立を目指す。</p> <p>現在実施のフェーズI Step2 は各要素技術を組合わせたパイロットレベルの総合実証試験を行うとともに、実証規模試験を行うフェーズIIにつなげていくために下記の項目を目標とする</p> <p>【中間目標(平成27年度)】 研究開発項目(a) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発 ・水素還元の効果を最大限とするための技術をラボレベルで検討し実現性、有効性に対する目途を得て具体的な実証試験の計画を立案する。 ・10m<sup>3</sup>規模試験高炉の建設を完了させる。 ・触媒を用いてCOGに含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術において高炉への吹込ガス用としての改質反応の最適化、改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。 ・メタン改質等の総合的に改質向上に資する要素技術の目途を得る。</p> <p>研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発 ・CO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>を実現可能な技術の充実に指向し再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発の目途を得る。</p> <p>【最終目標(平成29年度)】 研究開発項目(a) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発 ・10m<sup>3</sup>規模試験高炉により高炉からのCO<sub>2</sub>排出量を削減する技術を確立する。 研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発</p>		

・高炉ガス（BFG）からのCO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>（「分離回収法開発ロードマップ（CCS2020）」に示された目標）を可能とする技術を確立する。

サブテーマ毎の目標を以下に示す。

①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

[中間目標]

各要素技術での数値目標設定根拠となるメカニズム解明

1) プロセス解析技術

- ・基準マイルストーン構成要素の構成メカニズムの可視化
- ・高炉付帯設備のエネルギーバランス評価

2) 羽口複合吹込技術

- ・複合吹込み時のレースウェイ安定化のための基礎燃焼挙動把握
- ・羽口燃焼計測方法
- ・安定燃焼ランス構造（試験高炉）

3) 原料条件の最適化

- ・原料操作やシャフト吹込みガス組成の適正化の確認
- ・鉄原料反応性の要素メカニズム解明

[最終目標]

高炉のinput C削減の効果検証と目標達成のための技術課題整理

1) プロセス解析技術

- ・送風操作効果の定量化
- ・エネルギーバランス評価と具体的運用

2) 羽口複合吹込技術

- ・羽口安定燃焼条件確立
- ・微粉炭燃焼状況を把握可能な評価方法の提示
- ・実証高炉用の安定燃焼ランス構造の提示

3) 原料条件の最適化

- ・原料操作やシャフト吹込みガス組成の適正効果の定量化
- ・鉄原料反応性の総合評価

②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

[中間目標]

a) 高炉で必要改質COGの生成条件提示

- ・ラボレベルの生成条件提示

b) BP2での水素増幅

- ・H<sub>2</sub>増幅率 $\geq$ 2倍、耐久性 $\geq$ 500hr 技術見通しの獲得

[最終目標]

a) 高炉で必要改質COGの生成条件提示

- ・実機レベルの生成条件提示

b) BP2での水素増幅

- ・H<sub>2</sub>増幅率 $\geq$ 2倍、耐久性 $\geq$ 500hr 技術確立（BP2試験結果より）

③コークス改良技術開発

[中間目標]

a) 改質COG吹込条件下鉄鉱石還元に適したコークス品質の解明

- ・高強度で反応性制御可能なコークス配合案の提示  
（試験炉ベース）強度DI 150/15：最大88、熱間反応性指数CRI 20~40
- ・改質COG条件に適用できるコークス反応速度モデルの提示

b) 試験高炉用コークスの製造と評価

- ・試験高炉用コークス仕様に対応するコークスの製造方法の提示

[最終目標]

a) 改質COG吹込条件下鉄鉱石還元に適したコークス品質の解明

- ・コークスDI（88）、CRI（20~40）を両立する配合条件の提示
- ・高炉input C削減に資するコークス製造技術の確立

b) 試験高炉用コークスの製造と評価

- ・試験高炉所要コークスの供給

④CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

[中間目標]

1) 化学吸収技術開発

a) 高性能吸収液の開発

- ・CO<sub>2</sub>分離回収コスト 2000 円/t-CO<sub>2</sub> を実現可能な技術を指向し、再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発の目処を得る。
- b) 試験高炉との連動試験
  - ・試験高炉との連動試験の準備を完了する。
- c) BFGの有効活用分離システムの検討
  - ・シミュレーション、実験的検討を進め、メンブレンリアクターの基本構成を決定する。
- 2) 物理吸着技術開発
  - a) PSAシステムのさらなる効率化
    - ・実機吸着層高相当の吸着塔により、PSA法による高炉ガスからの炭酸ガス分離を実証する。
    - ・新規形状吸着材の効果を検証する
  - b) 実機 PSA 全体プロセスの詳細設計
    - ・ASCOA-3 試験で得られたデータをベースにして、実機 PSA プロセスの概要設計を行う。
- 3) 分離技術総合プロセス技術開発
  - a) 分離回収プロセス最適組合せ検討
    - ・製鉄所内での未利用排熱からの利用可能エネルギーと化学吸収法および物理吸着法が必要とするエネルギーの最適な組合せを具現化し、モデル製鉄所における最適なプロセス設計への指針を得る。(モデル製鉄所にて 2,000 円/t-CO<sub>2</sub>の達成)
  - b) 技術動向調査及び新規技術の探索
    - ・化学吸収法、物理吸着法に関して、操業条件との対応および処理規模の影響性を調査し、分離プロセスの到達レベルの見極めに資する。また、化学吸収法、物理吸着法以外の方法についても、その適用の可能性を検討する。
- [最終目標]
- 1) 化学吸収技術開発
  - a) 高性能吸収液の開発
    - ・高炉ガス(BFG)からの CO<sub>2</sub>分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub>(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確立する。
  - b) 試験高炉との連動試験
    - ・水素還元高炉技術確立支援 (CAT30 による CO<sub>2</sub>回収率 90%以上確保)
  - c) BFGの有効活用分離システムの検討
    - ・メンブレンリアクターのベンチ規模試験装置 (モジュール長: 1m) を用いた 長期安定性試験により、技術的目途を得る。
- 2) 物理吸着技術開発
  - ・主要機器類・炭酸ガス吸着塔を含む PSA 全体プロセス (50 万 t-CO<sub>2</sub>/年規模) の詳細設計を完了させ、実機スケール装置の建設を着手可能とする。
  - ・また、詳細設計をもとに炭酸ガス回収コストを算出し、2,000 円/t-CO<sub>2</sub>を達成する。
  - ・電力原単位を低下させる。
- 3) 分離技術総合プロセス技術開発
  - ・化学吸収法および物理吸着法の開発レベルに応じた、最適なエネルギー回収を組合せて、プロセス全体での経済性を定量化し、フェーズIIの設計に資するコストが最小となる CO<sub>2</sub>削減プロセスを構築する。
- ⑤未利用排熱活用技術の開発
- [中間目標]
- 1) 未利用低温排熱活用技術開発
  - ・高効率な熱交換器を探索し、ラボにおいてその性能評価を実施する。
  - ・実機排ガス熱回収試験装置の設計・製作する。
- 2) 製鋼スラグ 顕熱回収技術開発
  - ・転炉系スラグ発生量 90kg/t に対応する顕熱回収設備の検討を実施する。
  - ・スラグ凝固成形装置およびスラグ顕熱回収装置の安定操業技術を確立する。
  - ・蒸気回収システムの基本設計を完了する。
- [最終目標]
- 1) 未利用低温排熱活用技術開発
  - ・実機排ガス熱回収試験による左記高効率熱交換器の性能を評価する。
  - ・製鉄所全体の熱輸送ネットワークシステムも含めた全体構成およびコストを評価する。
- 2) 製鋼スラグ 顕熱回収技術開発
  - ・最適低廉化を考慮した最適な実機設備仕様を提案する。
  - ・蒸気回収システム全体設計およびコスト評価を行い、本研究開発の左記実機化 FS を完了する。
- ⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発
- [中間目標]
- 10m<sup>3</sup>規模試験高炉の建設を完了させる。
- [最終目標]

	<p>試験高炉により、水素還元の効果을最大化し、銑鉄トンあたりの炭素消費量を最小化するための総合プロセス評価技術を確立し、実証試験高炉を想定した COURSE50 プロセスの基本仕様を提案する。</p> <p>⑦全体プロセスの評価・検討 [中間目標] 製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からの CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能にするための総合的な評価、検討を行う。特に平成 27 年度においては、フェーズ 2 に貢献する新規技術創出研究の絞り込みも含め、フェーズ 2 移行に向けた全体プロセスの具備 条件を抽出する。手段として製鉄所全体熱物質評価モデルの新規要素取り込みと精度向上製鉄所全体 CO<sub>2</sub> 削減効果の見極めを実施。 [最終目標] 製鉄プロセス全体の最適化を 検討し、製鉄所からの CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能にするための総合的な評価、検討を行う。特に、プロジェクトの最終年度においては、CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能性評価にとどまらず、次ステップである、実証試験 規模高炉の具体内容を構築する。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	
	①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	原料利用技術、送風最適化、プロセス解析		試験高炉操業設計	試験高炉操業		
	②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発	ベンチプラント1 (BP1) 試験	BP2 設計・建設 (水素増幅率 2 倍)		BP2 試験 (耐久性 500hr)		
	③コークス改良技術開発	HPC 製造増強 水素還元用コークス品質		試験高炉用コークス品質、石炭配合条件	コークス製造方法確立		
	④CO <sub>2</sub> 分離・回収技術開発	新吸収液開発、BFG 有効活用 PSA 効率化・新吸着塔実証試験 分離回収総合最適化			CAT30 と試験高炉連動 吸収液選定 PSA 実機規模プロセス設計 コスト最小プロセス構築		
	⑤未利用排熱活用技術の開発	低温排熱回収熱交換器ラボ装置製作 製鋼スラグ顕熱回収試験		実排ガス試験評価 実機仕様基本設計	熱輸送ネットワークシステム構築		
	⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発	基本仕様確定	試験高炉の設計・建設・試運転		試験高炉操業		
	⑦全体プロセスの評価・検討	全体プロセスの最適化 新規技術創出研究			実証規模プロセス必要条件 明確化		
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	0	0
	特別会計 (電源・需給の別)	2,675	5,079	4,790			12,544
	開発成果促進財源	0	0	0			
	総予算額	2,675	5,079	4,790			12,544
	(委託)	2,675	5,079	4,790			12,544
	(助成) : 助成率△/□						
	(共同研究) : 負担率△/□						
開発体制	経産省担当原課	製造産業局鉄鋼課製鉄企画室					



	プロジェクトリーダー	上野浩光氏（新日鐵住金株式会社執行役員 製鉄技術部長）H27.4～現在 齋藤公児氏（新日鐵住金株式会社参与 製鉄技術部長）H25.7～H27.3
	委託先 （委託先が法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載）	【委託先】 新日鐵住金（株）、JFE スチール（株）、（株）神戸製鋼所、日新製鋼（株）、新日鐵住金エンジニアリング（株） 【再委託先】 住友精化（株） 【共同実施先】 北海道大学、東北大学、秋田大学、群馬大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、岐阜大学、京都大学、大阪大学、岡山県立大学、九州大学、（公財）地球環境産業技術研究機構、（国研）産業技術総合研究機構、（一財）電力中央研究所
情勢変化への対応	<p>本プロジェクトの Step2 は、Step1 における要素技術の研究成果に基づいて次の研究ステージであるフェーズⅡに展開するための総合技術開発を実施するものである。Step2 における 7 つのサブテーマを総合技術として構築するためには、各課題の研究進展および世界の技術開発動向によって軌道修正すべきアプローチもあると思われるので、幅広い視野にたった課題認識を持って全体システム最適化を図りつつ研究開発を推進している。以下の項目を重点的にマネジメントして推進した。</p> <p>(1) 全体最適化の推進 1) フェーズⅠ Step2 出口シナリオの作成、2) マイルストーンの定量化、3) プロセス評価と全体最適化、4) 研究テーマの選択と集中の推進、5) 新規技術創出研究の展開</p> <p>(2) 知財戦略の構築と知財化の推進 (3) 試験高炉の設計と試験操業計画</p> <p>本プロジェクトはコアの部分と色々な周辺技術を組み合わせる必要があるとあり、コアの部分は高炉の水素還元等で鉄鋼業界しか出来ないものである。ここは前倒しを含めて重点的に実施していくとともに、周辺の部分は他分野の知見も含めて開発を加速して実施する。</p> <p>①水素還元関係：本プロジェクトでの大事なコア部分であり、特に試験高炉の建設と試験操業は総合技術開発の最重要課題であり、予算の重点的配分により試験高炉の設計・建設を着実に実施した。</p> <p>②化学吸収・物理吸着：吸収液開発をスケジュール通り進めた。物理吸着プロセス開発と実機設計等を通して開発を加速した。</p> <p>③排熱回収：スラグ顕熱回収については実機設計のための検討を加速した。また、製鉄所の排熱回収に適用できる新たな革新的な熱交換器の開発を開始した。</p> <p>④COG 改質：H25 年度からベンチプラントの設計・建設を開始しスケジュール通り進めた。さらに、Step1 の試験結果の解析およびラボ試験結果によりアプローチの軌道修正を行った。</p> <p>以上を受けて、予算全体の重点配分を実施した。</p>	
中間評価結果への対応		
評価に関する事項	事前評価	平成 24 年度実施 担当部 環境部
	中間評価	平成 27 年度 中間評価
	事後評価	平成 29 年度 事後評価（予定）
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>【事業全体】 プロジェクト全体における CO<sub>2</sub> 排出削減においては、要素技術の集積に加え、所のエネルギー使用形態の変更による製鉄所全体のエネルギー消費構造変更に伴う CO<sub>2</sub> バランスも考慮に入れることが必要であり、「外部購入エネルギーからの CO<sub>2</sub> 収支も含めた所全体の CO<sub>2</sub> バランス評価」プログラムを構築し、各要素技術の現状を取り込み、所全体で 30%の CO<sub>2</sub> 排出削減を実施するための複数シナリオの検討を行った。高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減については、主として水素還元などの送風操作により炭素消費原単位（高炉 InputC）を削減し、更には原料、コークス、COG 改質等の技術により削減を検討した。これらの要素技術を総合化するために、BFG からの CO<sub>2</sub> 分離回収プロセスを含むシステムとした 12m<sup>3</sup> の試験高炉を設計・建設した。同時に、試験高炉の試験操業計画を策定した。一方、CO<sub>2</sub> 分離回収技術における排熱の利用については、製鉄所スラグ顕熱回収技術に加えて高効率熱交換器技術の開発を進めるとともに、高性能化学吸収液の開発、物理吸着技術の更なる効率化を進めた。この結果、CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/ t-CO<sub>2</sub> の目途を得た。</p> <p>【個別テーマ】 ①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 送風操作、低反応性コークス、高被還元性鉄原料の使用による、InputC 削減への影響を明確化し、これらの成果に基づき、試験高炉の操業水準を設定した。</p> <p>1) プロセス解析技術 試験高炉に対応した高炉数学モデルを開発し解析を実施した。羽口からの COG 吹込みなどの送風操作によ</p>	

り、高炉 InputC が削減されることを確認した。また小型還元装置(SIS 炉)により、高炉数学モデルによる計算結果の妥当性を確認した。ガス吹き込みを行った際に懸念される還元粉化の対策として、試験高炉条件における還元粉化率を推定するとともに、還元粉化抑制を目的とした予熱ガス吹き込みバーナーの開発を完了した。高炉への炭素投入量削減のための方策を行う場合に付随的に変化する付帯設備の操業条件を予測し、付帯設備を含めた高炉でのエネルギーバランス・炭素投入量などを総合的に評価するモデルを開発した。

#### 2) 羽口複合吹込技術

羽口からの、微粉炭等の複合吹き込みにおける、羽口内燃焼を数値実験で評価し、適正な吹込みランス構造を提示するとともに、ランス燃焼性の改善を確認した。羽口前燃焼シミュレータ(燃焼炉)を新たに設計・製作し、燃焼・ガス化反応の非接触測定に関する検討・計測を実施し、吹込み条件により異なるデータが得られることを確認した。また、数値実験で提案されたランスのレースウェイ炉および燃焼シミュレーターによる評価・検証、耐久性試験を実施した。

#### 3) 原料条件の最適化

水素還元に適した焼結鉱、塊鉱石、ペレット等の原料配合を検討し、高炉 InputC 低減に寄与する原料性状を提示した。高炉数学モデルを用いて、コークスの反応性・鉄原料の被還元性・吹き込みガス組成の適正化に関する検討を行い、高炉 InputC 低減を確認した。

#### ②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

触媒を用いた COG 改質技術の最適化、最適処理形式の検討を行った。30Nm<sup>3</sup>/hr 規模の実ガス試験設備であるベンチプラント 1 (BP1) を用いた試験の結果、および試験後の触媒をさらに詳細に解析し、反応条件及び再生条件の最適化検討を行った。また、連続的に安定した水素増幅率を確保する技術を確認させるための実機化に向けたベンチプラント 2 (BP2) の基本設計を行い、第 1 期建設工事に着手した。得られた成果は以下のとおりである。

##### a) 高炉で必要改質 COG の生成条件提示

ベンチプラント 1 (BP1) 試験において、低 SV 条件で目標を達成できることがわかった。触媒改質ガスをさらに部分酸化することによって、還元ガス中メタン濃度を 5%以下とする見込みを平衡解析によって得た。

##### b) ベンチプラント 2 (BP2) での水素増幅

ラボでの耐久試験(24h 改質×10 回、24h 毎に再生)の結果、再生によってほぼ 100%、触媒活性が回復することを確認した。部分酸化装置との組み合わせによって水素増幅率 2 の改質を達成可能なことを解析により評価した。

#### ③コークス改良技術開発

低コークス比操業時における装入物各層間の通気性や装入物の荷下がり確保できるコークス強度を有し、且つ鉄鉱石還元最適コークス反応性を両立するコークス製造方法を開発することを目的とし、高強度を前提に反応性を制御できるコークス製造技術の確立と試験高炉用コークスの製造評価を最終マイルストーンとしており、以下の実施項目に対しそれぞれの成果を得た。

##### a) 改質 COG 吹込条件下鉄鉱石還元最適コークス品質の解明

試験炉装入密度 0.73g/cm<sup>3</sup>においても、高性能粘結材 HPC の配合炭内での均一性を配合石炭細粒化により保ち、10%添加することにより、低反応性(CRI 20~23)高強度(DI 150/15=88)コークスを製造できることを確認した。HPC の均質化はコークス内気孔構造の改善に寄与しており、高反応性コークスでも HPC による強度改善効果が得られることを確認した。CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>O の反応性の違いを加味した改質 COG 雰囲気に応用できる反応速度式を提示した。

##### b) 試験高炉用コークスの製造と評価

試験高炉用コークスサンプル製造に必要な HPC 製造を改造した HPC 連続製造試験装置により継続中である。反応性 CRI 値 20 レベル、強度 85 を超える HPC 添加コークスを実用コークス炉にて製造可能である目処を得た。

#### ④CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

化学吸収・物理吸着法それぞれにおいて CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2000 円/t-CO<sub>2</sub> 以下を実現可能とする要素技術を開発することを目標として、化学吸収法における、高性能 CO<sub>2</sub> 吸収液の開発(熱量原単位削減)、物理吸着法におけるプロセスの運転条件の最適化(電力原単位削減)など具体的な成果を出した。その結果、分離回収コスト 2000 円/t-CO<sub>2</sub> 以下を達成する見込みを得た。

##### 1) 化学吸収技術開発

###### a) 高性能吸収液の開発

新規化学吸収液を検討し、Step1 吸収液との比較で、反応熱の大幅削減と再生温度の低温化が可能な新吸収液を得た。CAT-LAB 小型連続試験装置を用いて混合溶媒系吸収液の性能評価を行い、分離回収エネルギーは Step1 最高性能を凌駕する高性能を確認した。新規化学吸収液の高性能発現に対する理論的根拠を明らかにした。CO<sub>2</sub> 放散促進可能な触媒を得た。更に吸収速度促進効果を有する触媒を選定した。

###### b) 試験高炉との連動試験

試験高炉 BFG 条件に応じた CAT30 の改造、整備、試運転を完了した。CAT30 による CO<sub>2</sub> 回収率が 90%以上達成できることをシミュレーションで確認した。

###### c) BFG の有効活用分離システムの検討

シリカ膜を用いたメンブレンリアクターによる BFG からの H<sub>2</sub> 生成・濃縮検討において、目標値を大きく超えるシリカ膜を開発した。耐水蒸気性に関しては、金属ドープや中間層の最適化による改善の目途を得た。

2) 物理吸着技術開発

a) PSA システムのさらなる効率化

実機相当高さの新規吸着塔を設置し、ガス流れ変更等により CO<sub>2</sub> 回収量が増加し、電力原単位が削減される可能性を確認した。吸着剤の粒径を大きくすることにより、電力原単位削減ができることをベンチ試験により実証した。有効吸着量の大きい、新規吸着剤の性能評価を実施。CO<sub>2</sub> 回収量の増加可能性を確認した。

b) 実機 PSA 全体プロセスの詳細設計

ASCOA-3 試験結果を基に、各種機器の選定、吸着塔の基本構造の検証、吸着塔配置検討を行った。また、各プロセスフローにおける流量範囲などの値を確定し、概要設計として、プロセスフローを作成した。

3) 分離技術総合プロセス技術開発

a) 分離回収プロセス最適組合せ検討

排熱発生条件やエネルギー変換効率、分離回収プロセスの使用エネルギー効率をパラメータとして最適組合せ解析を行うことが可能となった。分離回収コストを最小とするためには、化学吸収法と物理吸着法を組合せて使用することが有効であることが明らかになった。分離回収技術を組合せることにより、分離回収コスト 2000 円/t-CO<sub>2</sub> を達成することが可能となった。

b) 技術動向調査及び新規技術の探索

技術動向調査及び新規技術の探索を行った。分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> を下回る運転実績・研究成果は認められず、本プロジェクトで開発中の技術の優位性が明らかになった。また、CO<sub>2</sub> 分離回収後ガスの有効利用技術を検討した。

⑤未利用排熱活用技術の開発

1) 未利用低温排熱活用技術開発

CO<sub>2</sub> 回収目標量の達成には、高効率熱交換器の開発が必要であることを見極めた。ラボ実験により、CO<sub>2</sub> 回収目標の達成には、大きい熱容量流量比と高い温度効率を両立する熱交換器が必要であることを確認し、ラボ実験で高効率熱交換器を評価し、目標温度効率を満足する構造があることを突き止めた。ダスト付着実験および数値解析により、高効率熱交換器の構造の今後の改善方針を策定した。

2) 製鋼スラグ 顕熱回収技術開発

スラグ凝固成形安定化については、コンベア形状を半割パイプ型に変更することでスラグ剥離性を改善し、スラグ連続処理量は目標を達成した。実機化時に必要な設備改善項目の抽出を完了した。蒸気回収システム設計については、スラグ顕熱回収シミュレーターを構築し、ベンチ試験結果から熱交換係数や空隙率等のパラメータを最適化し、設計を完了した。実機化 FS については、モデル製鉄所における操業形態と設備規模について一次検討を完了し、各設備の詳細設計を低廉化も含めて開始した。

⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発

試験高炉の各設備の所要能力を把握すべく、試験水準として想定されるケースを設定して所要物流量を見積もった。操業シミュレーション結果を基に、試験高炉の所要物流量を基に設備能力を設定した。間接還元を最大化するための炉内面形状の設計を行い、内容積 12m<sup>3</sup> の試験高炉の建設を完了させた。

⑦全体プロセスの評価・検討

鉄鉱石還元への水素活用技術の開発における送風操作最適化および原料利用技術含めた高炉改善の全体位置づけと製鉄所全体の熱物質収支検討による製鉄所一貫削減量との関連検討を実施した。また、プロジェクト全体の到達目標に対する各技術の位置づけの内容掘り下げと確度向上を検討した。

新規技術創出研究では、要素技術の補強、試験高炉の操業最適化のための技術、スケールアップ補完技術について研究を進めた。その結果、新しい技術創出の可能性や高炉諸元の予想・炉内現象の解析に使用するシミュレーションモデルの精度向上に活用できる可能性を見出した。

投稿論文	「査読付き」22 件、「その他」2 件、「学会発表」 75 件
特 許	「出願済」19 件、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 2 件） 特記事項：
その他の外部発表 (プレス発表等)	1. プレスリリース（記者発表）： 2013 年 8 月 6 日 2. プレスリリース（記者発表）： 2014 年 10 月 31 日 3. WSA ; CO <sub>2</sub> Breakthrough Programme 13th Meeting of the Expert Group:2015 年 6 月 15 日 4. JCOAL, CCT Work Shop 2015 ; COURSE50 の概要:2015 年 7 月 2 日 5. 米国鉄鋼協会（AISI）; COURSE50 の概要：2015 年 4 月 10 日

<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>本プロジェクトは、2030年までに技術確立を行い、2050年までに全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて半減するというわが国の施策（2008年3月「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」、2013年9月「環境エネルギー技術革新計画」、2014年4月「エネルギー基本計画」等）の一つとして、実機化に向けて技術開発を実施している。</p> <p>研究開発終了予定の2027年断面では、CO<sub>2</sub>貯留技術をも含め一連の技術が完成し、実機化に際しての経済合理性も有するケースと本技術の波及効果として実機化の可能性のあるケースを想定して、成果の項目で述べた内容も踏まえ、実機化に向けての技術的位置づけを整理した。</p>	
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成25年3月 作成</p>
	<p>変更履歴</p>	

環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクト(STEP2)

中間評価 事業原簿 用語集

<プロジェクト全般>

NO	用語	意味・説明
1	COURSE50	本プロジェクト略称(下記英文名称の略称) <b>CO<sub>2</sub> Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50</b>

<① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発、⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発>

NO.	用語	意味・説明
1	高炉	鉄鉱石を主原料、コークスを主還元材として溶鉄を製造する縦型炉である。現在は内容積 4,000m <sup>3</sup> から 5,000m <sup>3</sup> のものが主流であり、一日に約 10,000t 以上製造可能である。炉の上から鉄鉱石、コークスを投入し、羽口と呼ばれるノズルから約 1,200℃の熱風を吹き込み、コークスと酸素が反応することによりを約 2,000℃の一酸化炭素を発生させる。この CO が炉内を上昇する過程で鉄鉱石を昇温・還元・溶解し、約 1,500℃の溶鉄(カーボン飽和鉄)が製造される。還元で使用された CO は、いずれすべて CO <sub>2</sub> となり、系外に排出される。
2	還元材	酸化鉄である鉄鉱石から酸素を奪うためのもので、高炉では石炭系、水素系の物質が使用される。
3	コークス	高炉で主に使用される還元材。石炭を乾留して製造する。溶鉄 1t を製造するために約 350kg のコークスが使用される。コークスは還元材としてだけではなく、炉内を通過する還元ガス(一酸化炭素)の通り道(通気)を確保するためのスペーサー、熱を確保するための発熱材の役割も担っている。したがって高炉を操業するためには、溶鉄 1t を製造するためには 250kg 程度のコークスは最低限必要であるといわれている。
4	微粉炭	高炉で補助的に使用される還元材。羽口から直接炉内に吹き込まれる溶鉄 1t を製造するために約 150kg の微粉炭が使用される。コークスを製造するためには高価かつ希少な資源である粘結炭が必要であるが、微粉炭としては相対的に安価な石炭が使用可能である。
5	シャフト部	高炉の炉体は炉の上部から 3 つに区分され、下向きに広がった部分を“シャフト部(炉胸部)”、一番炉径の広がった部分を“ボッシュ部(炉腹部)”、炉下部にすぼまった部分を“ベリー部(朝顔部)”と称する。その更に下部に、熱風を吹き込みノズルである羽口が設置されている。現在の 5,000m <sup>3</sup> の高炉では約 40 本設置されている。
6	ボッシュ部	
7	ベリー部	
8	羽口	
9	レースウェイ	羽口から高速で吹き込まれた送風エアにより形成される、コークスが流動、旋回、燃焼する領域。約 1m 程度の狭い領域であるが、この領域でコークスや微粉炭、改質 COG の酸化還元反応が行われる。この領域を通過したガスは、すべてコークスに還元され、一酸化炭素や水素となる。

10	ブローパイプ	高炉内に熱風を吹き込むために羽口に接続する送風用の管。
11	GRI-mech	ガス燃焼における化学反応機構を解析するモデル。約 60 の化学種と 300 以上の素反応が含まれている。UCB(Berkeley 大学)のホームページにて提供されている。
12	改質 COG の改質度	COG ガス中の CH <sub>4</sub> のうち水蒸気などとの改質反応によって CO や H <sub>2</sub> に改質された割合。
13	荷重軟化試験	実高炉での装入物(焼結鉱など)の挙動と特性を測定する装置。実高炉では荷重を受けながら、昇温、還元が進むので、荷重、温度、ガス条件など高炉の条件を模擬して実験される。測定項目は、還元反応の進み具合、層の収縮、通気抵抗などである。
14	還元率	高炉装入物(焼結鉱)などの反応の進み具合を評価する指標。反応前に含まれる還元されるべき酸化鉄中の酸素量に対する、奪われた酸素量の比率で求める。(100%還元率は還元終了の意味)
15	ガス利用率( $\eta_{CO}$ , $\eta_{H_2}$ )	下方から上昇する還元ガス(CO, H <sub>2</sub> )が、還元を利用して CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O にそれぞれになった比率を表す指標。 $\eta_{CO} = CO_2 / (CO + CO_2) \cdot 100$ で算出される。
16	熱保存帯	上方から常温の装入物が降下し、下方から高温の還元ガスが上昇する(=向流反応)実高炉において、熱のやり取りがバランスする位置を熱保存帯と呼ぶ。一般的には 950°C 付近であり、そこでは熱および反応が一旦停止する。すなわち、還元が平衡している点であり、この条件(温度とガス組成)を還元平衡点(W点)と呼ぶ。
17	W 点(還元平衡点)	
18	シャフト効率	高炉操業において理想操業からのずれの程度を表す指数。鉄鉱石の還元の進行度合いを、還元平衡点(W点)への到達度で示した指標をシャフト効率と定義する。すなわち鉄鉱石の還元進行はシャフト効率 100% 以上にはならない。
19	熱流比	固体の熱容量と気体の熱容量との比で表される値。固体が奪う熱量とガスが持ち込む熱量の比で、(固体の粒子の流量)×(固体粒子の比熱)と(ガスの粒子の流量)×(ガス粒子の比熱)、で示される。上記の熱保存帯は、熱流比が 1 となる領域であるとも解釈できる。
20	BIS 炉	上方から常温の装入物が降下し、下方から高温の還元ガスが上昇する(=向流反応)状況を模擬することができる高炉シミュレータ。実試験では装入物(焼結鉱)を反応管内に固定し、電気炉を移動させて向流反応を模擬する。断熱制御によって、反応に伴う吸熱反応の影響も含めた評価が可能であり、熱保存帯温度の測定やカーボンソルーションロス反応の定量が可能である。BIS 炉は Blast furnace inner-reaction simulator の意。
21	還元粉化	焼結鉱が還元される初期の段階で粉化する現象。焼結鉱中のヘマタイトが還元されマグネタイトになるとき体積膨張を起こすため、焼結鉱が粉化するといわれている。
22	水性ガスシフト反応	CO と水蒸気(H <sub>2</sub> O)から CO <sub>2</sub> と H <sub>2</sub> を生成する反応。

		$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
23	体積破壊	巨視亀裂が原因となる破壊
24	混合拡散現象	充填層内で互いに隣り合っているガスが、層内を移動する過程で一部が混じり合う現象
25	圧力損失	ガス流れの上流と下流に現れるガスの静圧差
26	移流項	運動量収支式における運動量の湧き出しを表す項
27	Peclet 数	物質収支式を無次元化した時に現れる拡散係数を含む無次元数
28	ボッシュガス	羽口前で吹き込まれた熱風で炉内のコークスが燃焼して発生したガスのこと。
29	出鉄比	1日当たりの出鉄量を高炉の炉内容積で割った値。
30	原単位	“鉄鉄1トン当たり”という意
31	炉熱調整	出鉄温度を一定値に保つための操業諸元操作
32	直接還元	コークスなどの固体炭素による酸化鉄の還元。COによる酸化鉄の還元であっても生成したCO <sub>2</sub> がカーボンソリューション反応を生ずれば結果として直接還元となる。水素についても、還元の結果生成したH <sub>2</sub> Oが固体炭素との水性ガス化反応を生ずれば直接還元となる。
33	間接還元	酸化鉄のCOやH <sub>2</sub> による還元反応
34	カーボンソリューションロス反応	コークスなどの固体炭素とCO <sub>2</sub> との反応。 $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
35	水性ガス化反応	コークスなどの固体炭素とH <sub>2</sub> Oとの反応。 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$
36	LKAB	LKAB (Luossavaara Kiirunavaara Aktiebolag)。スウェーデン国営の鉄鉱石生産大手であり、試験高炉を保有。

## <② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発>

NO.	用語	意味・説明
1	COG	コークス炉ガスの英訳であるCoke Oven Gasの略。コークスを製造する過程でコークス炉から発生するガスで水素(50~60%)、メタン(25~30%)を含む可燃性ガスであり、主に製鉄所内の燃料用途に用いられている。また、COG中には不純物として、石炭由来のアンモニア、硫化水素、シアンなどが高濃度に含まれる。
2	ドライ化	タール(5に記載)など(COG中ではミスト状で存在と推定)を水素、一酸化炭素、メタン等のガス成分に変化させること。通常COGはタール、油分を含むためウェットな状態に対し、変化後のガスにはそのような成分がなくドライな状態のため、ウェットなガスからドライなガスへ変化することを指す。
3	ドライガス化	ドライ化と同義
4	増幅	本研究では、特に水素等のガス成分の体積を増やすことを指す。
5	タール	石炭を熱分解した際に発生し、炭素が5個以上含まれた常温で液体の有機化合物であって、鎖式炭化水素や脂環式炭化水素からなる混合物を指し、例えば、ナフタレン、フェナンスレン、アントラセン、ピレン等の

		ベンゼンが複数個結合した芳香族が主成分である。また、上記以外にキノリン、インドール、カルバゾール、ジベンゾフラン、ジベンゾチオフェンの六員環又は五員環に窒素、酸素、硫黄等の異種元素を含むヘテロ化合物も含まれる。
6	上昇管	コークス炉の炭化室上面に設置された COG をドライメン(32 に記載)へ導くガス管。尚、この上昇管の中間部分でアンモニア水を噴霧して高温の COG を約 100℃程度まで冷却すると共に、ガス成分と油・固形成分とを分離可能にする機能を有する。また火落ち判定孔と呼ばれる孔が備えられ、乾留の終了時点を目視で判定できる。
7	乾留	非酸化性雰囲気下で加熱すること。本研究では、石炭のコークス炉内での加熱を指す。
8	活性点	触媒上において触媒作用が行われる特定の部分のことである。例えば、特定の配列を持った格子面や、結晶面上でのステップ、キック、点欠陥、転位の末端など、配位不飽和度の高い原子やその集団であることが多い。
9	素反応	一つの化学反応式で表される化学反応は、実際には複数の化学反応から成り立っていることが多い。ただ一つの反応段階からのみなっている化学反応、すなわち、それ以上の反応段階に分けて考えることができない化学反応のことを指す。
10	ダスト	本研究では、石炭の微粒子のことで、空気中で浮遊する程度の粒径の粉末を指す。
11	耐久性	触媒の性能の安定性を意味し、具体的にはどの程度の時間(期間)触媒性能が維持されるかを指す。
12	改質	一般的には、価値に乏しい化合物を付加価値の高い化合物に変換することを意味し、本研究では、COG 中タールを水素、一酸化炭素、メタンなどのガス成分に変化させることを指す。
13	仕切弁	コークス炉上昇管から実 COG を抽気/閉止するための開閉弁。本研究では、800℃を超える高温に耐え、且つ、タール等固着性のある成分を含んだガスに対して開放/閉止が可能な弁を指し、現状では両機能を兼ね備えた製品は世の中に存在しない。
14	触媒槽	固体触媒を充填する反応槽
15	押出機	コークス炉からコークスを押し出す装置。押し出す装置のほかにコークス炉の蓋取り装置と、押出後新たに装入された石炭の上部を平らに均すレベラーを備え、炉団に平行に敷かれたレール上を走行する。
16	トラスデッキ	鋼材の接点を接合し、三角形を基本にして組んだ構造形式を有した鋼材を床にした橋梁物を指す。
17	固相晶析法	触媒反応機能を有する金属を予め金属酸化物にその金属の一部と置換させて固溶した状態を形成する。そして、還元雰囲気曝露により、固溶していた触媒反応機能を有する金属が酸化物表面に微細な粒子状となって析出することにより、金属表面積の大きな触媒を製造することが可能な方法。



18	固定層	固体触媒を反応下でも動かないように充填した状態
19	活性化処理	本研究では、17で記載した固相晶析法で製造した触媒を還元雰囲気下に曝して金属微粒子を表面に析出させる作業
20	シフト反応	若干の発熱を伴う次式の反応である。 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ 炭化水素からの水蒸気改質や部分酸化による水素製造において、水素の収率を高めるために用いられ、低温ほど反応が進みやすい。
21	確性試験	研究室レベルの小さな規模の装置で確かめられた性能を、より大規模の装置で確認するための試験
22	スクラバー	ガスを洗浄することを意味し、本研究では、触媒で改質された高温で一部タールを含んだガスを、水により洗浄してタールをガスから分離、且つ、ガスを冷却する装置を指す。
23	油バブラー	本研究では、油を張った油槽へガスを通すことにより、ガスに随伴していたダスト等を除去する装置を指す。
24	誘引通風機	ガスを入口から吸引し、出口へ誘導する装置であり、いろいろな機種があるが、例えば羽根の付いた円盤を高速で回転させる方式などがある。
25	フレアスタック	予め可燃性ガスを燃料に燃焼した状態へ有害ガスを通して周囲の空気と共に燃焼させて無害化して大気放散する装置を指す。
26	増幅率	対象ガスの反応前体積に対する反応後の体積の比を指す。例えば、水素増幅率とは、(反応後水素体積) / (反応前水素体積) で表される。
27	被毒	触媒反応は触媒表面の活性点上で進行する。その際、反応ガス中に不純物(硫黄成分等)が存在すると、不純物が活性点に強固に吸着することにより、触媒反応の進行が阻害されること。
28	タール分解率	本研究では、 $[1 - (\text{出口ガス中に残存するタール質量}) \div (\text{入口ガス中に存在するタール質量})] \times 100$ として計算されるパーセント表示で表され、ガス中に存在するタールの触媒接触による分解割合を指す。

### <③ コークス改良技術開発>

NO.	用語	意味・説明
1	アスファルトピッチ (Asphalt pitch, ASP)	石油系の減圧蒸留残渣油を常圧無触媒下、過熱水蒸気(500~700℃)で熱処理して得られるピッチ。軟化点が150~200℃と高く、コークス製造時の流動性補填剤として用いられる。
2	間接引張試験(Tensile strength) 圧壊強度 (compressive strength)	圧縮強度を試験するとき用いる円筒形の供試体を横に置いて、円筒の側面に垂直方向の荷重をかけると横方向に一樣な引張りの力が働いて、真ん中で割れるように破壊する現象を利用したもの。間接的に引っ張るところから、間接引張試験、割れて裂けるところから割裂試験とも呼ばれる。引張応力の計算式は $\sigma = 2P / \pi dl$ ( $\sigma$ : 応力 P: 荷重 d: 直径 l: 円柱の長さ)
3	円形度(Roundness)	どれだけ円に近いかを表すパラメータ $R = 4\pi \frac{A}{l^2}$

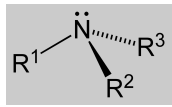
		上式において R は円形度, A は面積, l は周囲長を示す。
4	ギースラープラストメーター法 (Gieseler plastmeter)	流動性試験方法 (JIS M8801 に規程)。攪拌棒が挿入されている金属製のつぼ (内径 21.4mm, 深さ 35.0mm) に 425 $\mu\text{m}$ 以下とした試料 5g を充填し、金属浴中にて 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で昇温する。攪拌棒上のドラムプリーと同径でかつ同心に指示針を備えたダイヤルプリーとを同調させ、この指示針の目盛り盤 (360 $^{\circ}\text{C}$ , 100 等分) の動きを温度とともに 1 分ごとにプロットする方法。測定を指示針が停止するまで続け、温度とダイヤルの読みの関係を片対数グラフで示す。
5	乾式消火設備 (Coke dry quencher, CDQ)	コークス炉より押し出される赤熱コークスを不活性ガスにより冷却する乾式消火装置。赤熱コークスの顕熱は上記として回収・利用される。一方で、散水による消火装置を湿式消火装置 (Wet quencher) という。
6	芳香族指数 (Aromaticity index)	全炭素量に対する芳香族炭素の割合
7	芳香族縮合度指数 (Ring condensation index)	芳香環の水素数と水素置換可能な位置数との総和と、芳香族炭素の比であり、芳香環の縮合度の尺度
8	置換指数 (Substitution index)	芳香環の置換可能な位置数に対し、実際に置換構造をとっている数の割合
9	高性能粘結材 (High-Performance Caking additive, HPC)	石炭由来の 2 環芳香族を溶剤とし、石炭を熱時抽出して溶液成分と未溶解成分を固液分離した後、溶剤を分離回収して得られる溶剤脱灰炭のこと。
10	再固化温度 (Resolidification temperature, RT)	ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が止まったときの温度。
11	最高流動度温度 (Maximum fluidity temperature, MFT)	ギースラープラストメーター法において、最高流動度を示したときの温度
12	最高流動度 (Maximum fluidity, MF)	ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が動き始めてから、止まるまでの温度域における最大の流動度。
13	シャッター試験 (Shatter test)	落下強度試験。25kg のコークスを高さ 2m のところから 4 回落下させ、その破壊度でコークスの品質を評価する方法 (JIS K 2151 に規程)
14	全膨張率 (Total dilatation, TD)	ディラトメーター法 (JIS M8801 に規程) 150 $\mu\text{m}$ 以下の石炭に 10% の水を加えて混ぜたものを成型器に入れ、所定の圧力で最小直径 6mm、1/50 テーパー付き、長さ 60 $\pm$ 0.25mm の棒状に成型する。これを内径 8mm の細管に入れ、その上に 150g の荷重がかかるようにピストンをのせて、300 $^{\circ}\text{C}$ に予熱された電気炉に挿入する。3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で昇温し、収縮及び膨張によるピストンの変位を回転ドラム式記録計に記録する。曲線より、軟化開始温度、最大収縮温度、最大膨張温度、収縮率、膨張率を求める。
15	動的粘弾性測定	弾性、粘性を併せ持つ高分子の力学的特性を分析する方法。弾性に相

	(Dynamic Mechanical Analysis)	当する貯蔵弾性率( $E'$ )と粘性に相当する損失弾性率( $E''$ )、また $E''$ と $E'$ の比であり、振動吸収性を反映する損失正接( $\tan \delta$ )の温度依存性、周波数依存性を測定することで、試料の分子内構造に起因する転移やその温度について情報が得られる。
16	ドラム試験機	ドラム強度指数の評価に用いられる。ドラムは内径、長さがともに1,500mmで、内面に高さ250mmの羽根が6枚垂直に設置され、1分間に $15 \pm 1/2$ 回転できる回転装置が取り付けられている。
17	ドラム強度指数 (Drum index)	上記ドラム試験機にて、ドラム内に25mm以上または50mm以上のコークス10kgをいれて15rpmで30回転または150回転させたのち、篩で篩分けして、ふるい上質量もとの試料に対する百分率で、各回転に対する強度を表す。(JIS K2151に規程)
18	熱間反応性指数(RI, CRI)	コークスの $\text{CO}_2$ 反応性評価方法。1100°C、 $\text{CO}_2$ ガス流通下、2時間反応後の重量減少百分率で表す。
19	ナノインデンテーション法 (Nanoindentation)	材料表面のナノメートル領域に対し、超微小荷重で圧子を押し込み、荷重-変位曲線の解析から硬さや弾性率等の力学的性質を測定する方法。
20	軟化開始温度 (Softening temperature, ST)	ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が連続的に動き始めて、1.00ddpmに達したときの温度。
21	反応後強度(RSI, CSR)	コークスを高温で $\text{CO}_2$ ガスと反応させた後、室温で規程の条件により測定したコークス強度。粒度20mmのコークス200gを1,100°Cで $\text{CO}_2$ と2時間反応させた後、室温でI型ドラム30rpm、9.5mm篩上重量)により回転強度を測定する。
22	BSU	Bench Scale Unitの略 HPC 連続製造設備
23	平均反射率、湿式反射率(Reflectance in oil, Ro)	研磨試料を屈折率1.518の油浸油につけ、試料表面での偏光の反射光の強さと入射光の強さを反射顕微鏡を用いて測定したもの。ビトリニットの平均最大反射率は、石炭化度の指標であり、原料炭配合の重要な指標として用いられる。
24	マセラル(Maceral)	微細組織成分。石炭の組織成分を構成する微細組織成分で、3つのグループ(ビトリニット、エクジニット、イナーチニット)に大別され、さらにそれぞれ3~5のマセラルに分類される。JIS M 8816に規程。
25	ワイブルプロット (Weibull plot)	物体の体積と強度との関係を定量的に記述するための確率分布。ばらつきを含めた強度の優位性を議論するのによく用いられる手法。

#### <④ CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発>

NO.	用語	意味・説明
1	BFG	Blast Furnace Gas(高炉ガス)の略。鉄鉱石とコークスを充填した高炉に熱風を吹き込むことにより副生するガス。主成分は、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 。
2	CO <sub>2</sub> ローディング	吸収液に吸収されたCO <sub>2</sub> の量を示す指標(g/L等)。吸収液中のアミン等の吸収成分1モルあたりのCO <sub>2</sub> モル数で表わすことも多い(mol/mol-アミン)。

3	△ローディング	LA と RA の CO <sub>2</sub> ローディング差。
4	LA/RA	LA: Lean Amine の略。再生塔を出て吸収塔に供給される CO <sub>2</sub> 吸収前のアミン液。 RA: Rich Amine の略。吸収塔より出て再生塔に送られる CO <sub>2</sub> 吸収後のアミン液。
5	L/G	Liquid-to-Gas Ratio(液ガス比)の略。気液接触させる場合の液供給量とガス供給量との比(L/Nm <sup>3</sup> 等)。
6	化学吸収	ガス中の特定成分を化学反応を伴って液に吸収させる操作。
7	反応熱/吸収熱	化学吸収に伴って発生する熱。通常は、ガス中の成分が液中に溶解する熱と液中での反応により生成する熱との合計を意味する。
8	平衡曲線	特定の反応におけるパラメータ間の平衡関係を示す線。
9	操作線	実際のプロセスにおけるパラメータ間の関係を示す線。
10	物質収支	Material (または Mass)Balance(MB)。ある化学反応の系において、系に投入された物質の量と系から得られた物質の量との収支。
11	熱収支	Heat Balance(HB)。ある化学反応の系において、系に投入された熱量と系から得られた熱量との収支。
12	吸収塔	ガスと液とを接触させ、ガス中の特定成分を液に吸収させるための塔。
13	充填物	気液の接触面積を増して物質移動速度を高める目的で、吸収塔や再生塔に挿入されるもの。規則充填物・不規則充填物等がある。
14	再生塔または放散塔	吸収液を再生する塔。吸収液が吸収したガス中の成分を、温度や圧力を変えて液から追い出す。
15	リボイラ	蒸留塔や再生塔の下部に熱を与えるための熱交換器。
16	還流水	再生塔上部から出たガスを冷却することにより凝縮した、水を主成分とする液。通常、再生塔上部へ戻す。
17	熱量原単位	CO <sub>2</sub> 回収プロセスにおいて、CO <sub>2</sub> 単位量を回収するのに消費する熱量(GJ/t-CO <sub>2</sub> 等)。
18	TOC	Total Organic Carbon(全有機炭素)の略。有機化合物由来の炭素。液中濃度は、条件が異なる酸化前処理で、Total Carbon(TC、全炭素)と Inorganic Carbon(IC、無機炭素)とを CO <sub>2</sub> として測定し、その差から求める(mg/L等)。
19	第一種圧力容器	労働安全衛生法の施行令で定める、高圧で使用される容器。定期的な検査等の義務を負う。
20	アミン	アンモニアの水素原子を炭化水素基で1つ以上置換した化合物の総称。置換数が1つであれば1級アミン、2つであれば2級アミン、3つであ

		れば3級アミンという。また、炭化水素基が水酸基(-OH)を持つものをアルコールアミンという。
21	反応熱	化学反応に伴って出入りする熱量(エンタルピー変化)。吸収液の CO <sub>2</sub> 放散反応は吸熱であり、その熱量が分離回収エネルギーの約半分を占める。
22	遷移状態	化学反応の過程で原系から生成系へ変化する時に通る最もエネルギーの高い状態。原系と遷移状態のエネルギー差が反応の活性化エネルギーに相当し、それが小さいほど反応は速く進行する。
23	計算化学	化学分野で用いる原子・分子レベル計算の総称であり、量子力学に基づく分子軌道法、密度汎関数法(これらを量子化学計算手法と呼ぶ)と、古典力学に基づく分子動力学法、分子力学法に大別される。量子化学計算は、実験値などのパラメータを用いず第一原理的に化学反応や物性の解析と予測を行う手法。
24	COSMO-RS 法	量子化学計算による溶質分子と溶媒分子の表面電荷をもとに、統計的手法により溶液中の自由エネルギーを算出する手法。
25	分子動力学	分子動力学法(ぶんしどうりきがくほう、Molecular Dynamics method、MD 法、単に MD、古典 MD とも言う): 2 体(或いはそれ以上)の原子間ポテンシャルの下に、古典力学におけるニュートン方程式を解いて、系の静的、動的安定構造や、動的過程(ダイナミクス)を解析する手法。
26	PSA	Pressure Swing Adsorption の省略形、圧カスイング吸着法。固体へのガス吸着量が圧力およびガス種類によって異なる性質を用いて、混合ガスを分離する方法。
27	サイクルタイム	一つの吸着塔が、吸着/洗浄/脱着の 3 工程を行うための時間。各工程に要する時間は、サイクルタイムの 1/3 の時間となる。
28	Crank-Nicholson 法	微分方程式の解を得るための差分法の一つ。各時刻で方程式系を解く必要があるので煩雑な場合が多いが、常に数値的に安定で収束する特徴がある。
29	吸着オフガス	PSA の吸着工程にて PSA 出口より流出するガス
30	ゼオライト	結晶性アルミノケイ酸塩の総称。結晶種により異なる数 Å の均一な細孔を持ち、交換可能な陽イオンを含有し、その種類によっても性質が異なる。洗剤ビルダーや吸着剤、触媒として広く利用されている。
31	活性炭	ヤシ殻などの炭素質を水蒸気や薬品により賦活した物。比表面積が 1,000m <sup>2</sup> /g を越えるものもある。吸着剤や消臭剤、触媒担体などとして広く用いられている。
32	四重極子	例えば二個の+と-の重心があり、その双極子モーメントが0の場合でも、電荷分布が球対称から外れた場合には有限の電場が形成される。これを電気四極子、あるいは四重極子という。
33	CCS	CO <sub>2</sub> 分離回収・貯留技術(Carbon dioxide Capture and Storage)
34	膜分離法	膜両面の圧力差で処理対象ガスを通させ、ガスの種類によるその透過速度の差で分離する技術。化学吸収法や物理吸着法に比較して新

		しい技術であり、様々な分離膜の開発が進められている。
35	チルドアンモニア法	化学吸収法の一つで、吸収塔で 0～10℃に冷却された炭酸アンモニウムとアンモニアによってCO <sub>2</sub> を吸収し、再生塔で反応によって得られた重炭酸アンモニウムスラリーを 120℃程度に加熱して CO <sub>2</sub> を放散する分離方法。
36	イオン液体法	イオン液体は、常温、溶媒なしで液体(イオン)状態を保つ熔融塩であり、CO <sub>2</sub> の選択的溶解性が高いことから、CO <sub>2</sub> 分離回収技術への応用が期待されている。
37	ULCOS	Ultra-Low CO <sub>2</sub> Steelmaking の略。欧州で展開されている低炭酸ガス排出型製鉄プロジェクトの総称
38	モデル製鉄所	高炉 2 基体制、粗鋼 800 万 t/年規模の仮想製鉄所。
39	代表製鉄所	モデル製鉄所から派生したエネルギーバランスに特徴を有する仮想製鉄所のこと。製鉄所の構成は同一であるが、コークス比や溶銹配合率といった主要な操業条件が異なり、排ガスの発生量などが変化する。
40	IGCC	Integrated coal Gasification Combined Cycle の略。石炭をガス化して利用する発電方式のこと。
41	EOR	Enhanced Oil Recovery の略。地下に取り残された原油を更に回収する方法のことで、石油増進回収法と呼ばれる。その一つに CO <sub>2</sub> を圧入する方式があり、代表的な CCS 手法の一つである。

#### <⑤ 未利用排熱活用技術の開発>

NO.	用語	意味・説明
1	ヒートポンプ	エネルギーを投入することにより温度差を作り出す装置。動作原理により、圧縮式・吸収式・化学ヒートポンプ等に分けられる。
2	改質	化学物質の組成・性質を改良することであり、特に燃料の組成を化学反応により変える事を指す。
3	水素透過膜	水素分離膜とも言う。水素を選択的に透過する膜であり、パラジウム等の金属、セラミックス、樹脂等が用いられる。分離すべき
4	潜熱蓄熱	融解熱や気化熱などの転移熱を利用して熱の出し入れをする。顕熱蓄熱に比べ高密度の蓄熱が可能(重量当たりの蓄熱量が大きい)。
5	PCM	Phase Change Material の略:相変化物質。その融点程度の温度の用途の潜熱蓄熱に利用することができる。
6	製鋼スラグ	製鋼の精錬工程で発生するスラグ。転炉系スラグと電気炉系スラグがある。転炉系スラグには脱炭工程で発生する脱炭スラグ(転炉スラグ)と脱りん、脱硫、脱珪等の予備処理工程で発生する溶銹予備処理スラグがある。
7	転炉スラグ風砕システム	熔融転炉スラグを空気流で吹き飛ばして粒状化し、粒状化したスラグおよび高温となった空気から熱を回収して、蒸気を製造するプロセス。
8	CDQ	Coke Dry Quenching の略:コークス乾式消化設備。コークス炉から出た赤熱コークスを投入し、循環ガス(N <sub>2</sub> ガス)と熱交換して、コークスの顕熱を回収する設備。800℃以上に昇温した循環ガスからボイラーで高温

		高圧の水蒸気を製造する。
9	水冷ロール間接冷却技術	内部を水冷した金属製ロールに溶融スラグを接触させて、連続的に凝固する技術。
10	製鋼スラグのエージング	出荷前にスラグを屋外に山積みし、適当な期間大気中に保持することあるいは蒸気等によってスラグを安定なものにする処理方法。製鋼スラグには、フリーライム CaO が存在し、膨張崩壊の原因となる。フリーライムの水和反応を進行させてしまい、Ca(OH) <sub>2</sub> とすることで膨張崩壊性のないものにする。
11	ポルトランドイト	水酸化カルシウム Ca(OH) <sub>2</sub> のこと
12	ピンチテクノロジー	熱回収システムの解析及び設計手法のこと。英国マンチェスター理工科大学のボド・リンホフ教授の研究グループを中心に 1970 年代後半から開発が始まった。第 1 世代といわれるピンチテクノロジーは「プロセス製造設備」を対象に解析が行われ、第 2 世代になり、ボイラー、タービンや蒸気ヘッダーなどから構成される「蒸気システム」または「エネルギーシステム」とも称される工場のインフラ部分を対象として適用されている。
13	SSSP	Site Source and Sink Profile の略、工場全体のプロセス流体の加熱とプロセス流体の冷却の需要曲線を描くことによって、工場全体の熱需要を明らかにすると共に、同時に用役の選択と配分を同じグラフ上に書き込むことで、用役とプロセス流体のマッチング状況を確認できる解析手法。
14	プロセス流体	原料や製品などの流体で製品の品質維持のために運転条件が変更できない流体。(SSSP 解析での定義)
15	用役流体	プロセスシステムの単位操作に必要な熱エネルギーを燃焼ガス、蒸気や熱エネルギーを除却する冷却水や回収蒸気などで運転条件が変更できる流体。(SSSP 解析での定義)
16	改善計画(ターゲット)	SSSP 解析より、改善の可能性を検討し、理論的に達成可能な目標値を求める作業のこと。
17	熱複合線	複数の流体が持つ温度と熱量の情報を、同じ温度区分の熱量を統合することによって 1 本の線図で判りやすく示したものの。
18	究極条件	将来技術革新にて未回収のプロセス廃熱から熱回収を拡大した理想的な扱いを想定した条件。(SSSP 解析での定義)
19	カーリーナサイクル	1985 年米国の科学者カーリーナによって考案された高効率発電サイクルである。多成分混合流体を作動流体として使用し、その特性をうまく利用して熱源の熱を最大限に利用し高出力を得ようとするものである。多成分系の混合流体を作動流体として使用することにより、発電効率を従来より 20% 以上高めることが可能な新しい熱サイクル。
20	プロセスシミュレータ	物性(物質の性質)データと現象の数学モデルを利用して、計算機上で対象プロセスを模擬することにより、その設計や運転方法についての検討を効果的に実施するためのソフトウェア。
21	低位熱発電システム	工場の 100℃前後やそれより低い温度領域の排熱を高濃度アンモニア水と蒸発器で熱交換し、熱サイクルの熱源とするシステム。 本サイクルは、カーリーナサイクルに近いシステムであるが吸収凝縮器な

		どの工夫をしているシステム。富士石油殿は石油精製に伴う低温の廃熱を有効活用する目的でこの低位熱発電システムを導入している。
22	ランキンサイクル	非可逆熱サイクルの一種で、蒸気タービンの理論サイクル。
23	熱交換器	温度の高い物体から低い物体へ効率的に熱を移動させる機器。液体、気体などの流体を扱うものが多い。熱の段階的利用や回収による省エネルギーのため、積極的な導入が求められている。
24	蒸発器	種々の水溶液から水分を気化して除去する装置。今回の低位熱発電システムでは、作動流体であるアンモニア・水がこの蒸発器において熱源と熱交換することで、液体から気液混相状態となる。
25	吸収凝縮器	圧縮機より吐き出された高温・高圧の冷媒ガスを水や空気などで冷却して、凝縮(液化)させる熱交換器のこと。
26	HTRI	世界的に広く使用されている熱交換器設計の専用プログラム。社名(Heat Transfer Research Inc.)がプログラム名となっている。
27	高炉水砕スラグ	高炉から生成する溶融スラグに多量の圧力水を噴射することにより急冷した砂状のスラグのこと。
28	温水ヒートポンプ	ゼオライトの吸着熱を利用して容器内の温度を上昇することにより容器に導入した水を蒸気化させる技術。
29	熱容量流量比	熱交換器において、高温側流体の比熱[J/kg/K]と流量[kg/s]の積(単位は[W/K])を、低温側流体の比熱と流量の積で除した無次元数であり、熱交換性能を評価する際のパラメータの一つである。
30	マイクロ熱交換器	伝熱プレートに数十～数百 $\mu\text{m}$ 程度の微細な流路パターンを刻み、そのプレートを積層してプレート表裏面で熱交換をおこなうプレート式熱交換器の一種であり、体積あたりの伝熱面積が一般的な熱交換器と比較して大きいのが特徴。
31	温度効率 (高温側温度効率)	熱交換器の性能を評価する指標の一つ。高温側温度効率と低温側温度効率の2種類があるが、本プロジェクトでは高温側温度効率を単に温度効率と称し、高温側流体の熱交換器入口温度と出口温度の差を、高温側流体の入口温度と低温側流体の入口温度の差で除した値(もしくはその百分率)で定義される。
32	D/H	熱回収炉の炉体の形状を表す指標の一つ。炉体の直径(D)と高さ(H)の比率であり、CDQでは炉内コークスの均一荷下がりの関係からD/H=0.8～1.0程度に設定されている。



## I. 事業の位置付け・必要性について

### 1. 事業の背景・目的・位置づけ

#### 1.1 事業の背景

地球温暖化問題は、予想される影響の大きさや深刻さから、人類の共通の最も重要な問題の一つとなっており、世界が持続的な経済成長を維持しながら解決していくため、世界各国が協調、連携し、国際会議の場で様々な議論が為されてきた。その結果、地球温暖化問題に対処するため、気候変動枠組条約が 1997 年 5 月に採択され、その究極の目的を達成するための長期的・継続的な排出削減の第一歩として、先進国の温室効果ガスの削減を、法的拘束力を持つものとして約束する京都議定書が 1997 年 12 月に採択された。京都議定書は 2005 年 2 月に発効した。

わが国では 2005 年 4 月に京都議定書目標達成計画が策定され、2008 年から 2012 年までの第 1 約束期間における温暖化ガス排出量を 1990 年に対して 6%削減する約束を履行するための取組みを実施した。鉄鋼業界では自主目標を設定し、第 1 約束期間において 10%CO<sub>2</sub>削減を目標とした取組みを実施しこれを達成した。

2013 年度からは低炭素社会実行計画に引き継がれている。また、2020 年以降の温室効果ガス削減に向けたわが国の約束草案は 2013 年度比で 26%を削減することとなっており、更なる CO<sub>2</sub>削減を目指すためには、従来の省エネルギー技術の開発による効率向上だけでは限界があり、CO<sub>2</sub>発生量を減らすと同時に CO<sub>2</sub>を分離回収する革新的な技術開発が必要となる。

わが国の鉄鋼業は、原料である鉄鉱石を石炭コークスで還元して銑鉄を製造する高炉法による製造プロセスを採用しているため、多くの CO<sub>2</sub>を排出し、産業部門の CO<sub>2</sub>排出量の 43%を占め、わが国全体で 14%を排出している（図 I-1-1）。さらに、図 I-1-2 に一貫製鉄所の製造プロセスを示すが、鉄鋼業の中において高炉法による製鉄プロセスは、鉄鋼業の約 70%の CO<sub>2</sub>を排出しており、高炉法による一貫製鉄所での CO<sub>2</sub>排出量を削減することは、喫緊の課題である。

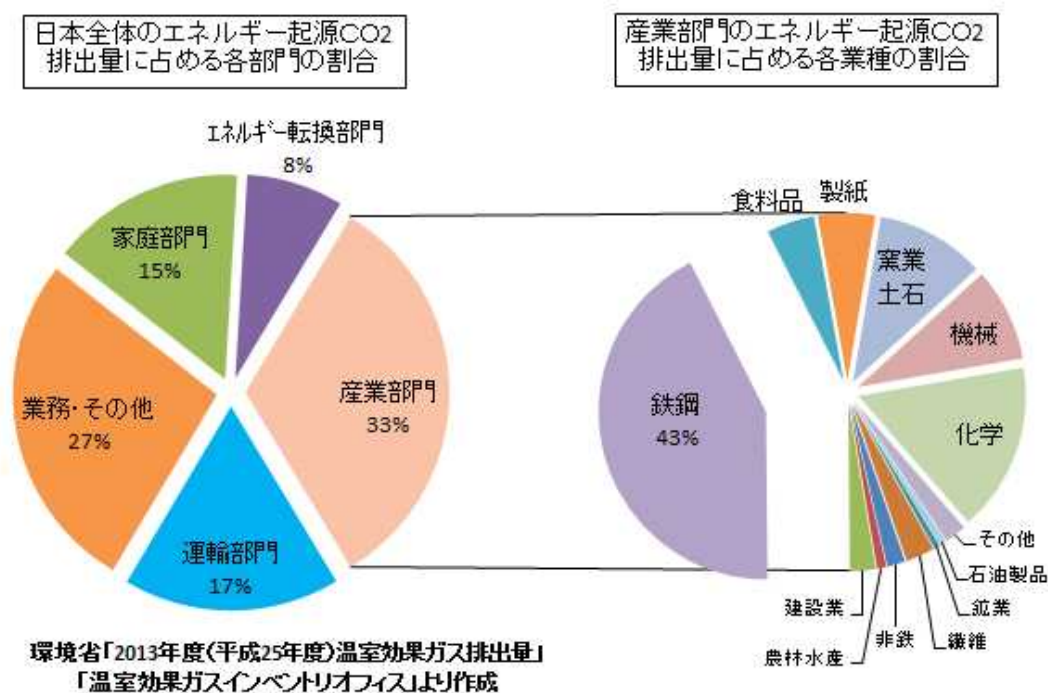


図 I-1-1 わが国の鉄鋼業における CO<sub>2</sub> 排出の現状

鉄鋼業が排出するCO<sub>2</sub>の約7割は高炉を用いた製鉄プロセスで発生

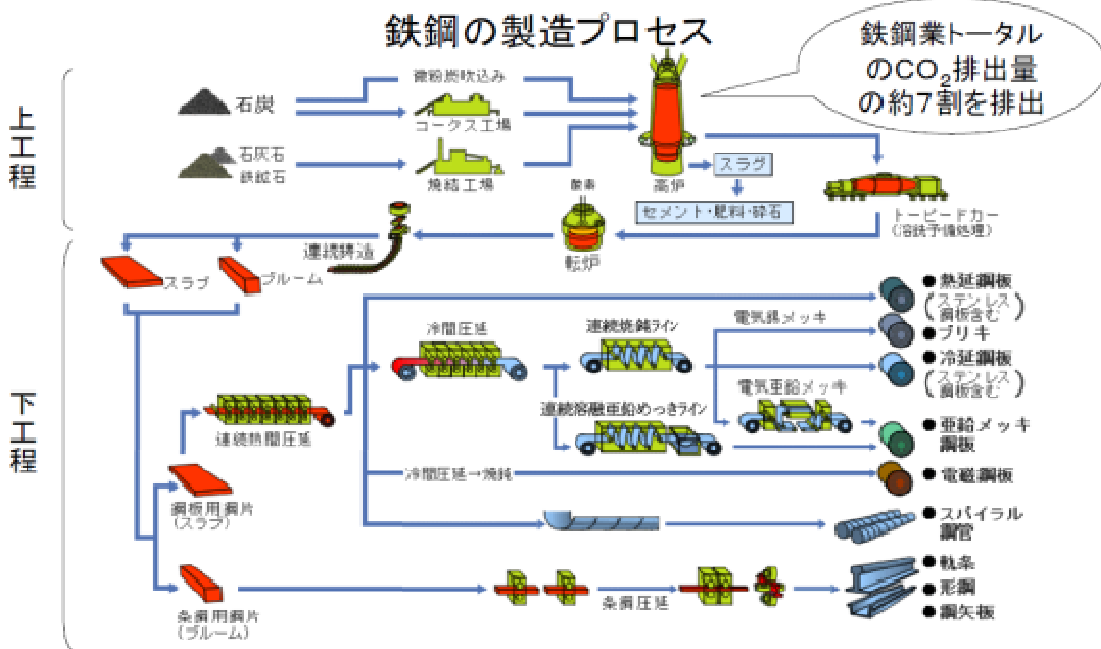


図 I-1-2 一貫製鉄所の製造プロセス

しかしながら、わが国の鉄鋼業は1973年以降、二度にわたる石油ショックを経験し、省エネルギー化を推進してきた結果、1971年から1989年の20年間で1973年のピーク時と比較し20%のエネルギー削減を達成し、既に世界最高水準に達しており、排熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達している。図I-1-3にこれまで鉄鋼業で実施してきた省エネの状況を、図I-1-4にわが国の鉄鋼業（高炉・転炉法）で鉄1トンを作るのに必要なエネルギー原単位を100としたときの国際比較（2010年）を示す。また、国際エネルギー機関（IEA）が2014年に作成した、導入障壁を全く考慮しないで、最先端技術を導入した場合の削減理論値の試算結果を図I-1-5に示す。これによると省エネルギー設備の導入が格段に進んでいるわが国の鉄鋼業の削減ポテンシャルは最も低く世界最小と評価されている。

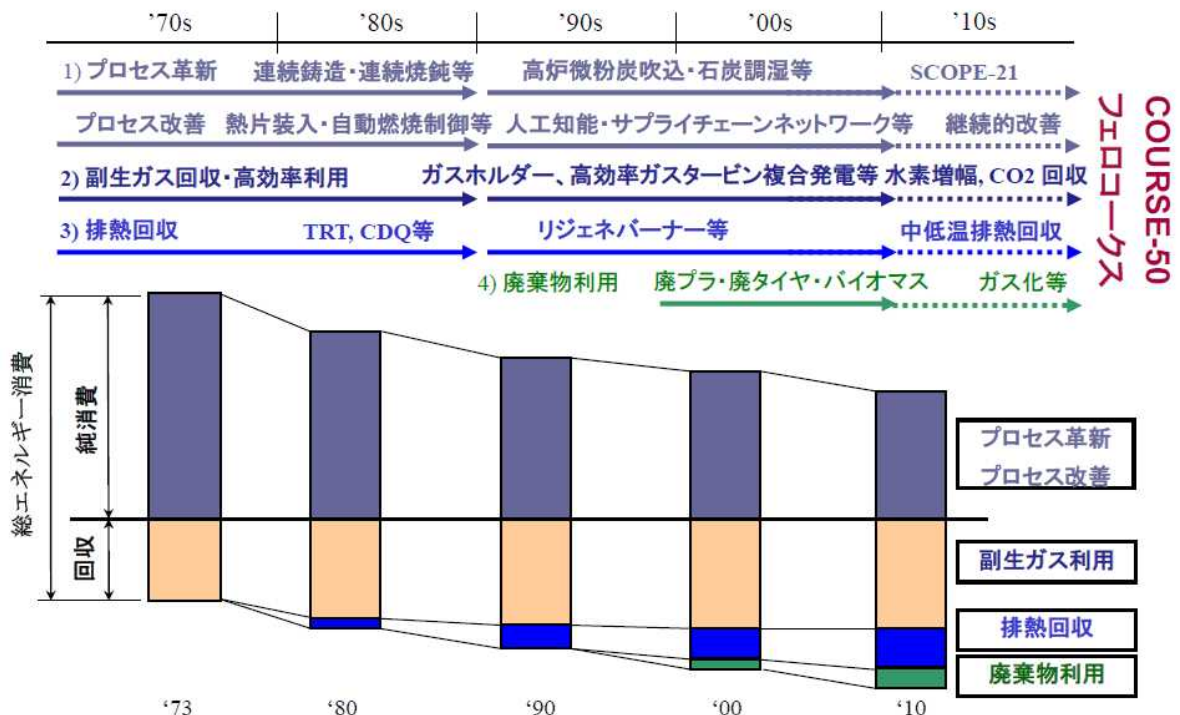


図 I-1-3 鉄鋼業の省エネルギーへの取り組みの推移

出典: (一社)日本鉄鋼連盟; 「鉄鋼業の地球温暖化対策への取組 低炭素社会実行計画実績報告」、平成 27 年 1 月

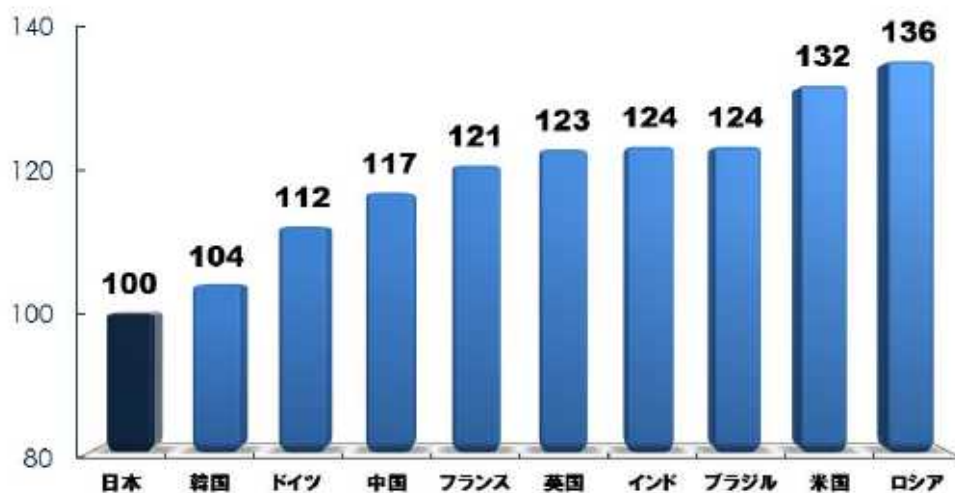


図 I-1-4 鉄鋼業(高炉・転炉法)のエネルギー原単位の国際比較

出典: 「2010 年時点のエネルギー原単位の推計」RITE、2012 年 9 月発表(指数化は鉄鋼連盟)

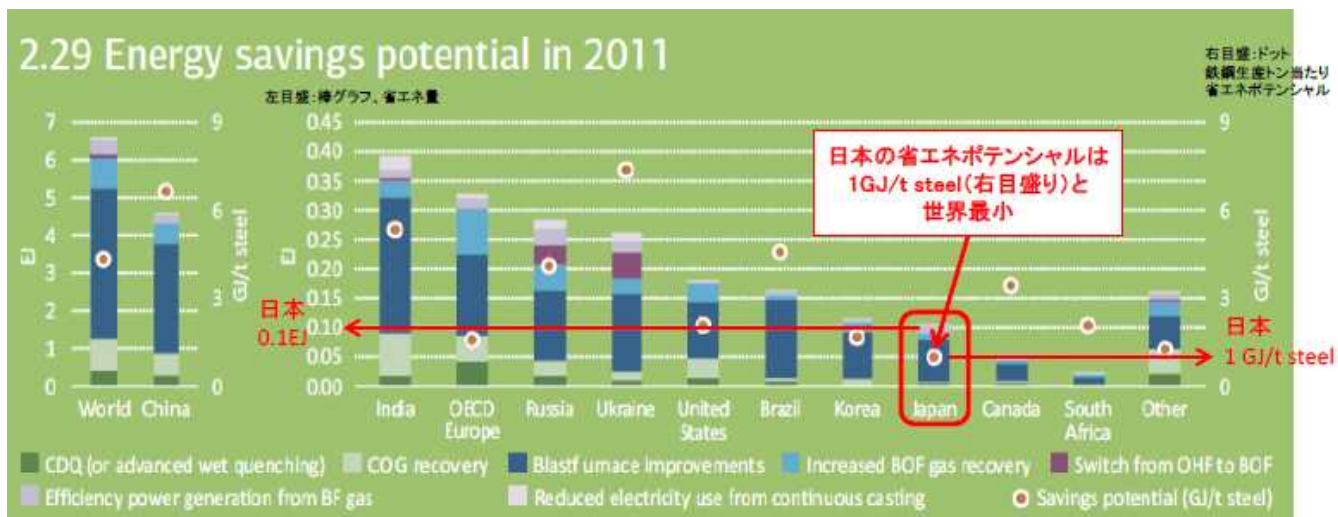


図 I -1-5 鉄鋼業のエネルギー消費量削減ポテンシャルの国際比較

出所:『Energy Technology Perspective 2014』国際エネルギー機関(2014年5月発表)

注:棒グラフ(左軸)はBAT(Best Available Technology)を適用した場合のエネルギー消費量の削減ポテンシャル 丸印(右軸)は粗鋼トン当たりの削減ポテンシャル

このように、わが国の鉄鋼業は1970年代のオイルショック以降、省エネルギー化を推進し、排熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達しており、現状技術の延長上では効率向上による大幅なCO<sub>2</sub>削減を望めないことから、更なる温室効果ガス削減のためには新たな革新的な技術開発を推進する必要が求められている。

このような背景のもと、コークス製造時に発生する高温の副生ガス(コークス炉ガス(COG))に含まれる水素およびこのCOGを改質して水素を増量し、これらの水素を鉄鉱石の還元材として利用することでコークス使用量を削減し、高炉からのCO<sub>2</sub>排出量を削減する技術開発と、製鉄所内で未利用の排熱をエネルギー源として利用し、高炉ガス(BFG)からCO<sub>2</sub>を分離回収する技術開発により、CO<sub>2</sub>発生量の大幅な削減を目指す「環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)(注1)」が検討された。2008年3月に全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標実現に向け、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」が策定された。この中でCOURSE50は重点的に取り組むべき21のエネルギー革新技術において、「コークスの代わりに水素を還元材とする技術及び二酸化炭素分離回収技術により排出を抑制する革新的製鉄プロセス(2008年度から基礎研究、2013年度から実証試験を行い、水素製造や二酸化炭素分離回収貯留に係るコスト状況を踏まえ、まずは2030年までに製鉄所での排出量を約30%削減する技術を確立し実機化を目指す)」として取り上げられている。さらに、2013年からの低炭素社会実行計画、2020年以降の温室効果ガス削減に向けたわが国の約束草案を構成する技術の一つとして位置づけられている。

(注1)COURSE50:本プロジェクト略称(CO<sub>2</sub> Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50の英文略称)

## 1.2 事業の目的

### (1)プロセスの選択

大型高炉による銑鋼一貫プロセスである日本における対策ということを勘案し、高炉法による

製鉄プロセスの技術開発を対象とする。2030年までに技術開発を完了させ、その後高炉の設備更新に合わせ順次設備導入を行い、最終的に2050年までに対策完了となるスケジュールを前提とする。

## (2) 高炉に適用する技術の選択

CO<sub>2</sub>発生量の削減のために高炉に適用する技術の選択については、表 I-1-1 に示す様な対策技術マップが挙げられる。脱炭素に向けた還元方法としては、水素を活用することとなる。水素源の選択としては、①天然ガスの活用、②コークス炉副生ガスの所内活用、③電力の間接活用・水の電気分解が挙げられるが、③電力の間接活用については量確保の困難さ、①天然ガスの活用は、炭素を含有する水素源の外部調達という位置づけであるが、熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出係数の観点では、②の副生ガスの所内活用が自家調達での水素源として最有力候補となる。

次に炭素系還元材を使用する部分の対策としては発生する高炉ガス中のCO<sub>2</sub>ガスを後で分離除去する方法で対処する。以上を総括すると、コークス炉副生ガスの還元材利用などの高炉送風操作と高炉ガス中のCO<sub>2</sub>ガスの分離回収がシナリオとなる。

表 I-1-1 高炉に適用可能な技術

(1)炭素以外の鉄鉱石類還元材の利用	(2)炭素による還元→排出CO <sub>2</sub> の分離・回収
水素の活用 ・天然ガス ・副生ガスの所内活用(COG改質等) ・電力の間接活用(水の電気分解)	高炉ガスからの分離 ・化学吸収法 ・物理吸着法 ・他

以上から、図 I-1-6 に本技術開発の概要を示す。

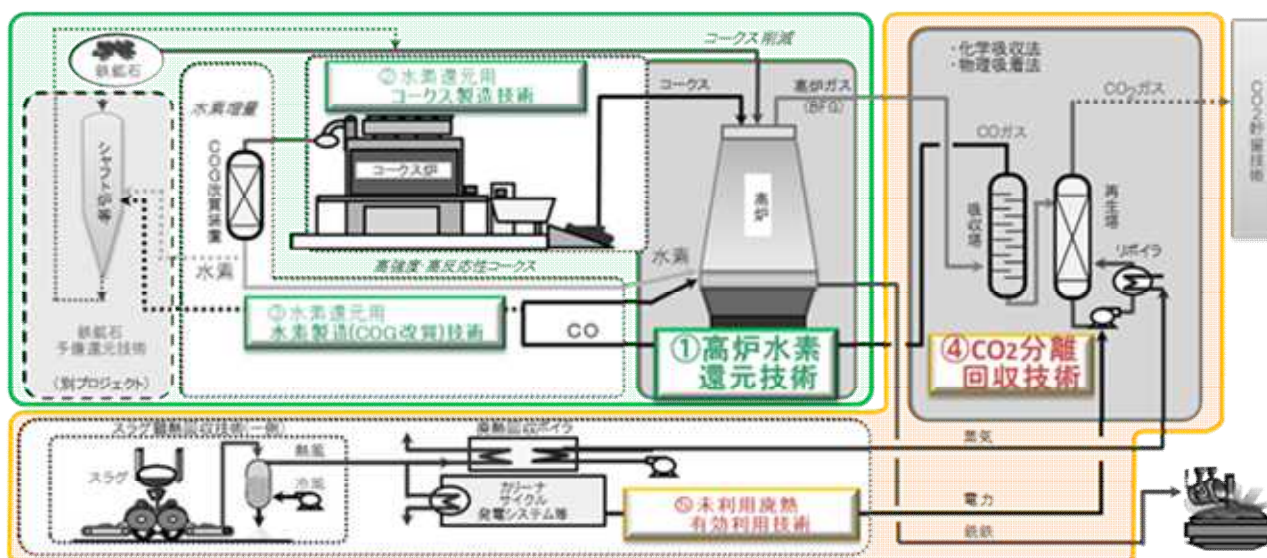


図 I-1-6 技術開発の概要

本技術開発では、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス(COG)に含まれる水素およびCOG改質して水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技

術を開発する。また、高炉ガス（BFG）から CO<sub>2</sub> を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的な CO<sub>2</sub> 分離回収技術を開発する。これらの技術開発により CO<sub>2</sub> 排出量の約 3 割削減を目標に、低炭素社会を目指す。

これらの技術開発においてフェーズ I Step1（平成 20～24 年度（5 年間））として要素技術開発を実施した。今後、フェーズ I Step2（平成 25～29 年度（5 年間））にて要素技術を組合せたパイロットレベルの総合実証試験を行った後、フェーズ II（実証規模試験）を経て、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約 30%の CO<sub>2</sub> 削減を可能にする技術の確立に資する。図 I-1-7 に本技術開発（フェーズ I Step2）の位置づけを示す。

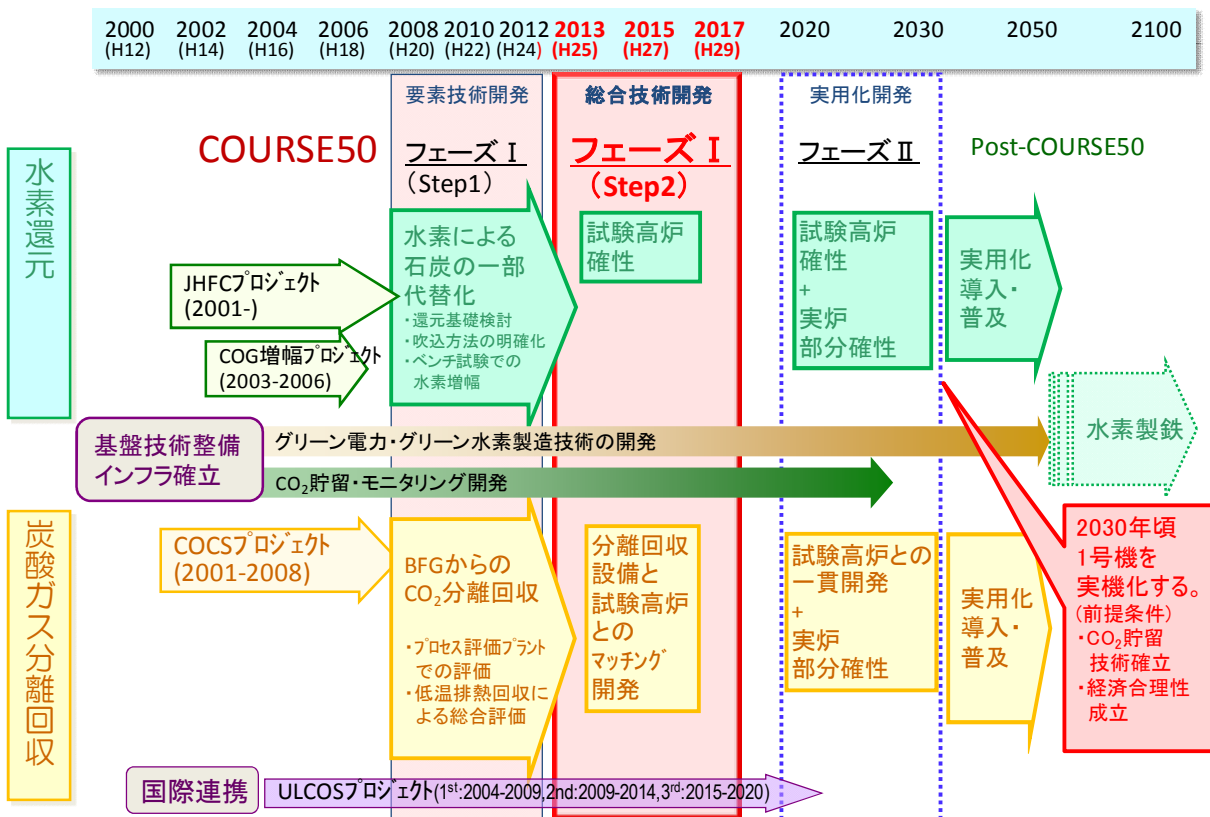


図 I-1-7 COURSE50 フェーズ I Step2 の位置付け

本事業を構成する技術の基本的なプロセス設計の考え方は以下の通りである。尚、更なる将来の「高水素比率時代」には、プロセス自体の変貌も十分ありえるものである。

### (3) 高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減量の規模観

本技術における高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減の狙いは図 I-1-8 に示すとおりである。H<sub>2</sub> による鉄鉱石還元反応は吸熱反応であり、この熱を補う必要がある。このため、高炉ガスの送風操作や原料条件の最適化などによって、H<sub>2</sub> と CO による間接還元を向上させて直接還元を低下させることにより、炭素消費量を削減する、すなわち CO<sub>2</sub> 排出削減をするものである。Step1 における基礎検討結果から、炭素消費量の削減目標レベルを約 10%とした。

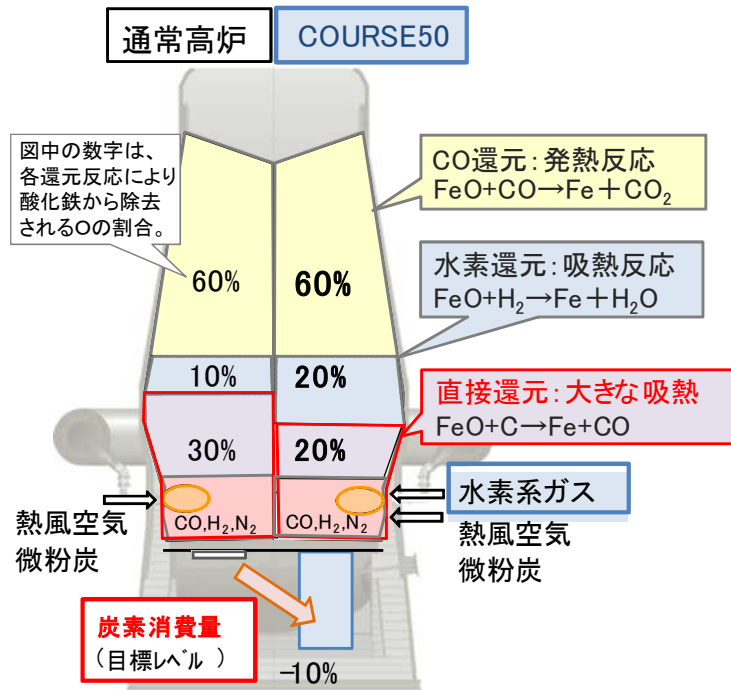


図 I-1-8 COURSE50 高炉の狙い

#### (4) 高炉ガス CO<sub>2</sub> 分離回収による CO<sub>2</sub> 削減量の規模観

BFG ガス中の CO<sub>2</sub> は製鉄所全体の約 70%を占めるが、高炉炉頂段階では、ガス組成として CO 22%、CO<sub>2</sub> 22%程度であり、高炉ガス中の CO<sub>2</sub> としては、70%\*0.5=35% 程度が除去されるポテンシャルとなる。そういう意味では、例えば CO<sub>2</sub> 吸収液の再生エネルギーが充分あれば、理論的には、当該技術で 35%の CO<sub>2</sub> 削減が可能となる。

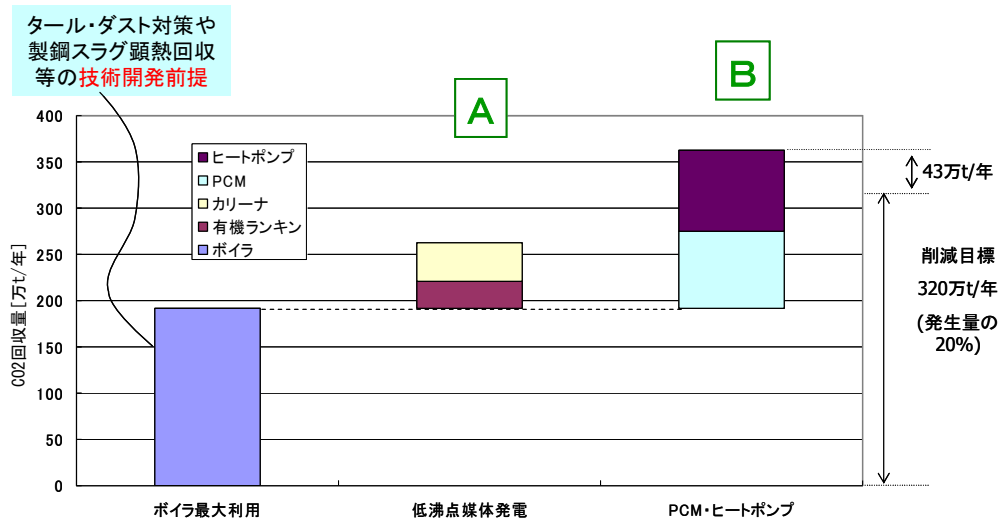


図 I-1-9 製鉄所の未利用顕熱の活用規模

しかしながら、CO<sub>2</sub> 吸収液の再生エネルギーを製鉄所内の未利用エネルギーに求めると、その供給ネックが発生する。自然エネルギー等の再生可能エネルギーより低コストで回収できる未利

用排熱を最大限活用することを前提として、その具体的量を調査した結果が、図 I-1-9 であり、未利用排熱のうちで利用可能な量は、排出 CO<sub>2</sub> の 20% を分離・回収できるものと設定している。

### 1.3 事業の位置付け

わが国では、石油ショックやエネルギー・環境問題の高まり等の課題について、時代の要請に応える形で、1973 年以降、エネルギー技術関連計画を策定しており、図 I-1-10、図 I-1-11 に、エネルギー関係技術開発ロードマップにおける、わが国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組を示す。

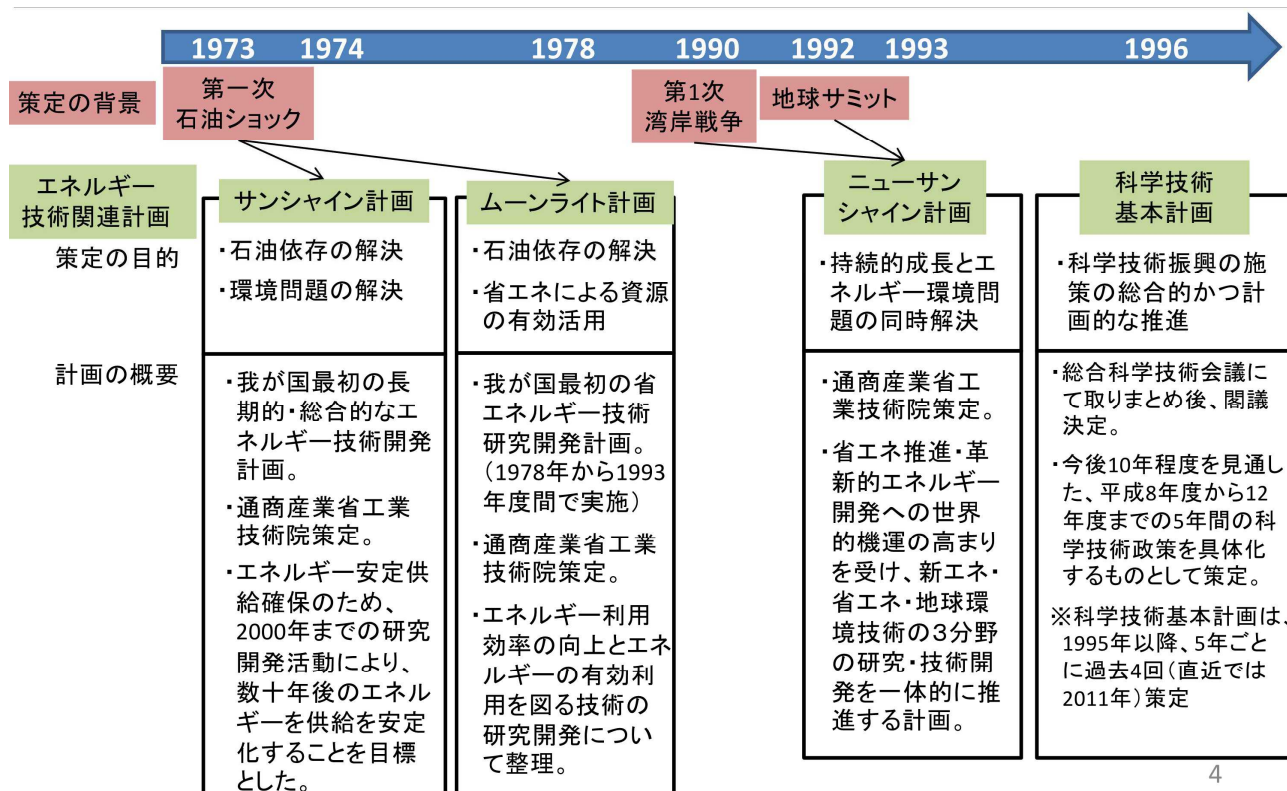


図 I-1-10 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その1



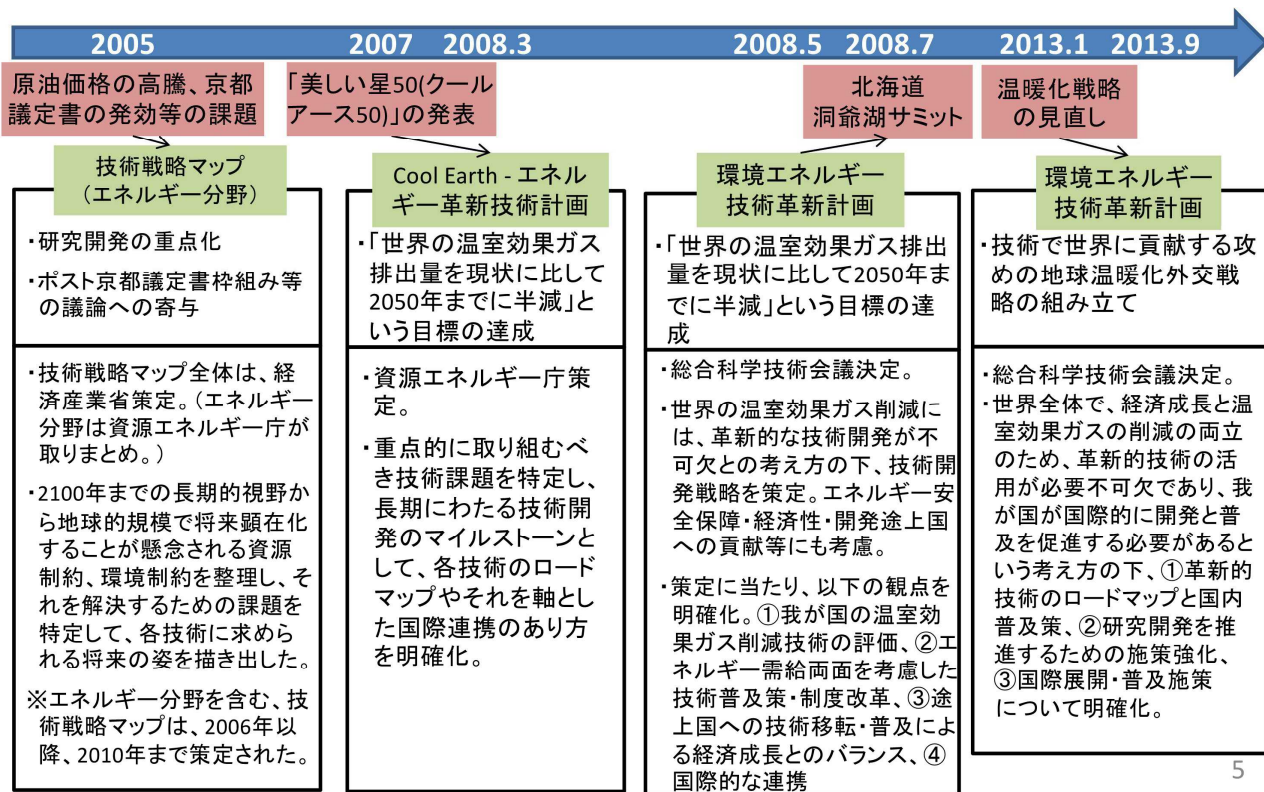


図 I-1-11 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その2

本事業は、これまでの取組も含め、下記のように位置づけされている。

(1)Cool Earth50

COURSE50 は、2008年3月に全世界の温室効果ガス排出量を2050年までに現状に比して半減するという長期目標実現に向け、策定された「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」に、図 I-1-12 の様に効率の向上と低炭素化の両面から重点的に取り組むべき21の技術の一つとして選定されている。

— 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術 —

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO<sub>2</sub>大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



図 I-1-12 Cool Earth 50 における重点的に取り組むべきエネルギー革新技術

(2) 環境エネルギー技術革新計画

2008年5月に閣議決定された環境エネルギー技術革新計画では、温室効果ガス排出低減のため、2030年以降の中長期的対策に必要な技術で削減効果の大きな革新技術の一つとして、コークスの一部代替に水素を利用する水素還元製鉄が記載されている。環境エネルギー技術革新計画は、2013年に改訂されたが、2030年ごろ以降で実機化・普及が見込まれる主要技術として、環境調和型製鉄プロセスが明記されている。

更に、2008年7月に閣議決定された低炭素社会づくり行動計画でも、開発を推進すべき項目の一つとして「コークスの代わりに水素を還元材とする技術及び二酸化炭素分離回収技術により排出を抑制する革新的製鉄プロセス（2008年度から基礎研究、2013年度から実証試験を行い、水素製造や二酸化炭素分離回収貯留に係るコストの状況を踏まえ、まずは2030年までに製鉄所での排出量を約30%削減する技術を確立し実機化を目指す）」と明記されている。

(3) エネルギー関係技術開発ロードマップ

上記以外にも、東日本大震災後の2014年4月に改訂されたエネルギー基本計画に基づき2014年12月に策定された「エネルギー関係技術開発ロードマップ」にも、戦略的に技術開発を推進すべき技術として図I-1-13の様に消費のサプライチェーンの一つとして、「環境調和型製鉄プ

ロセス」が記載されている。また、環境調和型製鉄プロセスは、エネルギー関係技術開発ロードマップに図 I-1-14 の様に記載されており、本プロジェクトに関連する二酸化炭素の分離・回収技術は、図 I-1-15 に開発すべき技術として明記されている。

(4)イノベーションプログラム

2005 年度以降、経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策ごとに 7つの「イノベーションプログラム」の元に体系化が図られた。本事業は「環境安心イノベーションプログラム」の「地球温暖化防止新技術」と、「エネルギーイノベーションプログラム」における「総合エネルギー効率の向上」に登録されている。

以上の様に、本プロジェクトは、日本のエネルギー政策、低炭素化に向けた政策の中で重要な位置づけとなっている。

<技術課題全体の整理図>

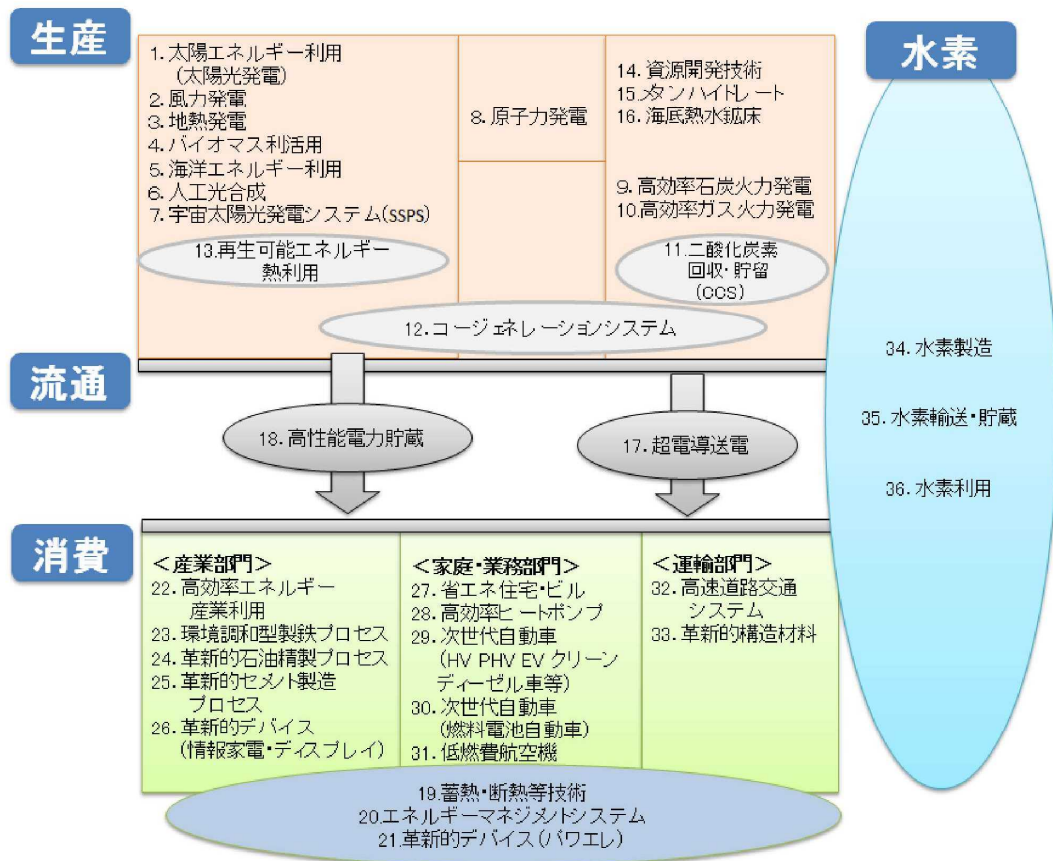


図 I-1-13 エネルギー関係技術開発ロードマップにおける技術課題全体の整理図

## 23. 環境調和型製鉄プロセス

### 当該技術を必要とする背景

○製鉄業は我が国の中核産業の一つであり、世界最先端の省エネ型産業でもある。現行の製鉄プロセスは連続化・ガス再利用等の既存プロセス型省エネ技術は導入済みで、世界最高水準のエネルギー効率を誇っている。しかし、鉄鋼業が排出するCO<sub>2</sub>の約7割は高炉プロセスで発生していることから、高炉プロセスについての抜本的な技術開発による大幅なCO<sub>2</sub>の削減が喫緊の課題。技術的ハードルが高く、長期の技術開発が必要であり、一社単独では実現出来ないため鉄鋼業界として推進している。

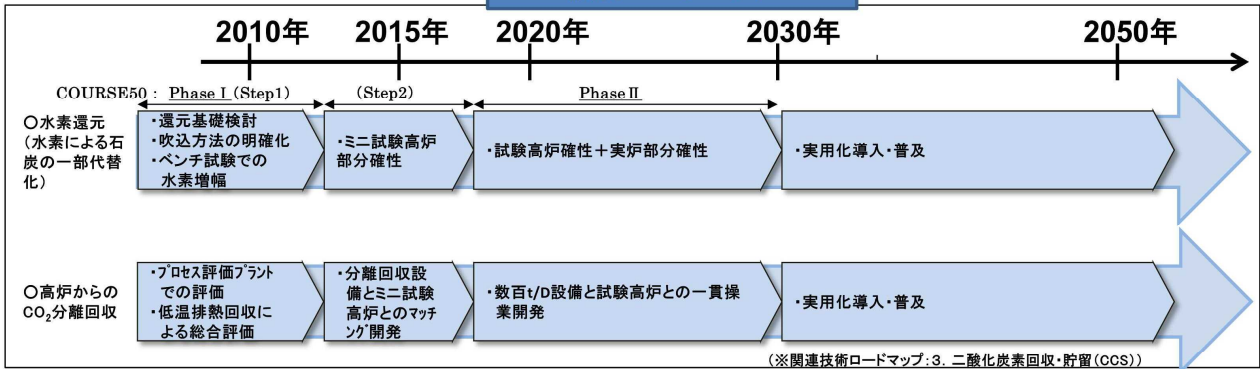
### 当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

○(1)コークス製造時に発生する高温の副生ガスに50%程度含まれる水素を活用し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術の開発、(2)CO<sub>2</sub>濃度が高い高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離するための新たな吸収液の開発、物理吸着技術の開発、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たなCO<sub>2</sub>分離・回収技術の開発を実施。  
 ○CCSはCO<sub>2</sub>分離・回収・貯留の一連の技術。高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収については、独自に開発を行っている一方で、貯留については、発電所の排ガスからのCO<sub>2</sub>貯留と共通の技術を利用予定。

### 導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

○CO<sub>2</sub>貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることが前提。

### 技術ロードマップ



### 備考(海外動向、他の機関における取組)

○米国、EU、豪州では、新規フラッシュ製鉄プロセスや、炉室内への鉄鉱石の直接投入プロセスの開発、代替燃料の開発等に取り組んでいるが、いずれも研究段階か、資金不足などにより中断している。実用化に向けた取組の段階にあるのは、日本だけである。

図 I-1-14 環境調和製鉄プロセスのロードマップ

## 11. 二酸化炭素回収・貯留(CCS)

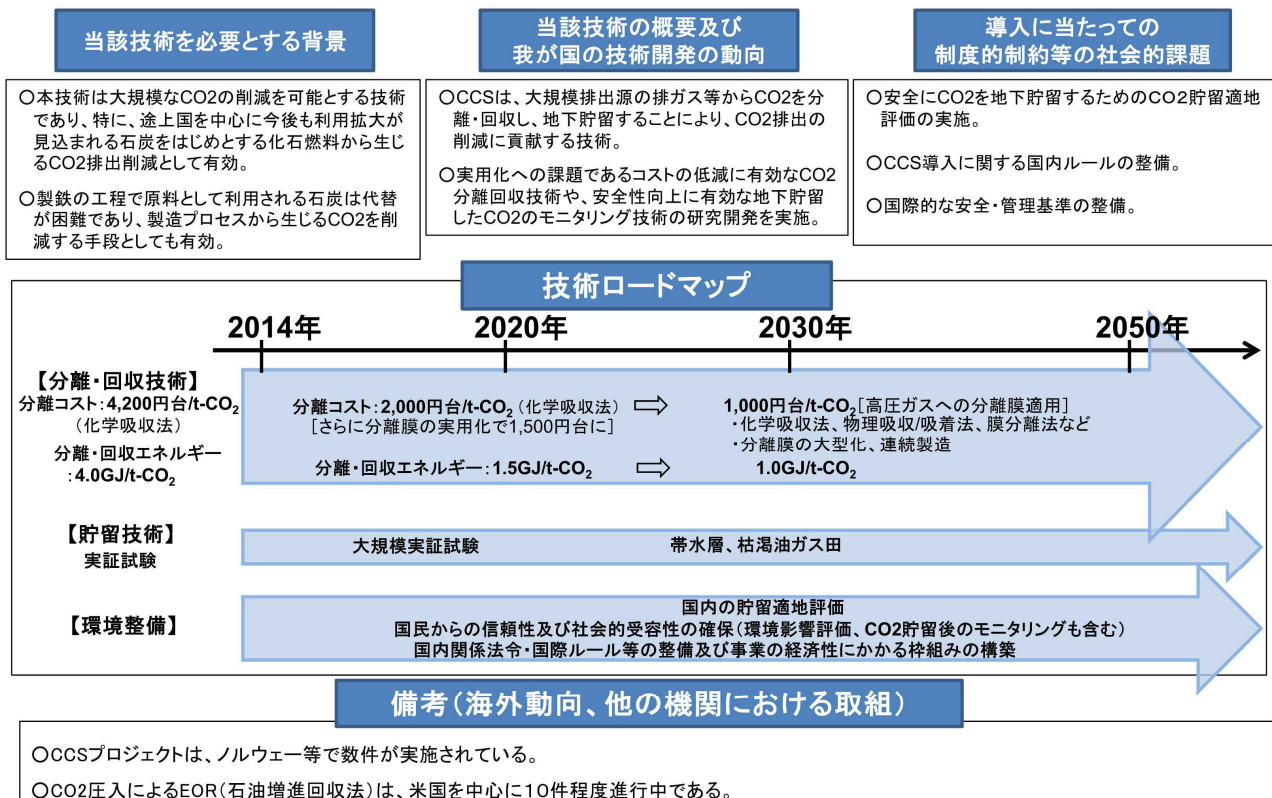


図 I-1-15 二酸化炭素回収・貯留のロードマップ

## 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 2.1 NEDO が関与することの意義

本プロジェクトは、1.で述べたような国際的にわが国の地球温暖化対策に資する技術開発であり、国の政策として開発すべき技術として様々な資料に記載されているものである。そもそも、地球温暖化対策は、短期的には政策的に大きく振れることが予想され、長期的な視野から実施すべきである。

つぎに、水素による還元割合を高め、コークス使用量削減や省エネルギーによる二酸化炭素排出量を削減する技術は、革新的な技術であり、長期の技術開発が必要である。したがって、水素による鉄鉱石還元メカニズムの解明等の基礎的な研究と、高炉法プロセスの知見を活用することで、長期的視野からの技術開発が必要であり、国が基盤的な研究支援を行うと共に、わが国の高炉法プロセスに知見を有する民間企業の力を結集して推進すべきプロジェクトである。

また、COURSE50 が取り組む二酸化炭素の高炉からの排出削減および分離・回収技術は、地球温暖化を抑制することで国民全般の利益に資することとなり、公共性は高いが、鉄鋼業にとって、二酸化炭素の高炉からの排出削減及び分離・回収する技術を実機化しても直接的な利益を生むことがない上に、高炉からの排出削減および分離・回収のためのコストが必要となる。これは、実機化することで総合的な利益を生む従来の省エネルギー技術とは異なり、民間企業が技術開発のために投資に躊躇することに繋がる。

以上から、長期的な視野から国の政策として必要な技術であると共に、民間のみでは開発期間、効果の面で実施が困難であり、また、民間に力を結集して技術開発を行うには、NEDO が資金負担を行い、実施すべき事業である。

### 2.2 実施の効果(費用対効果)

本プロジェクトの CO<sub>2</sub> 削減効果は、製鉄所で発生する CO<sub>2</sub> のうち約 30% を削減するという挑戦的な目標である。更に将来的には更なる削減 (65~80%) へ向けた取組みが必要と考える。このためには、水素還元技術を含めた脱石炭還元を目指すことになるが、本プロジェクトはその先駆けとなるものであり、化石燃料に依らない水素や電気が社会に多量に安定して供給される基盤が形成された場合には、更なる CO<sub>2</sub> 排出量の削減が可能になるものと期待される。

本プロジェクトは当初 10 年間で基礎研究と方向性を定める第一ステップ (フェーズ I 及びフェーズ II の内、フェーズ I の Step1 と Step2) とし、その後のスケールアップを含む第二ステップのフェーズ II (10 年程度) を経て、基本技術の確立を目指す。現時点では、2030 年までに基本技術を確立して実機化を目指すこととしている。今後、進捗を見ながら開発を早めることを検討していくが、いずれにしても、20 年の長期に渡る大規模な開発プロジェクトである。第一ステップの当初 5 年間は約 100 億円、フェーズ I (Step2) については、150 億円以上が必要であると予想している。フェーズ I は基本技術の確立の位置付けであり、NEDO の委託事業として実施するものである。

CO<sub>2</sub> 排出量の多い鉄鋼業において CO<sub>2</sub> 排出量の抜本的な削減に応えるためには、従来の製鉄プロセスを一新する革新的なプロセスを開発する必要があることから国内高炉 4 社の技術力を共通する施策目標の下に結集させ、早期実機化を念頭に置いた効率的な連携体制により運営することが必要である。また、ここで掲げている CO<sub>2</sub> の抜本的な削減目標は、本プロジェクトのみでは到

達不可能であり、周辺技術、社会システム、制度等、全ての環境整備を並行して進める必要があり、政府を始めとした関係者の協力と認識の共有化、共通化が必須である。

さらに、世界鉄鋼協会（WSA）やEU共同プログラムとの連携により、欧州諸国の最新技術動向を把握する等により本プロジェクトを効率よく実施する。鉄鋼業界では、旧 IISI（現 WSA）でのセクトラルアプローチの一環として、2003年より世界の鉄鋼メーカーによる2050年に向けたCO<sub>2</sub>の抜本的な削減に向けて議論を重ねてきた。今回のテーマの絞り込みについても、こうした場での議論結果が生かされている。さらに、今後も地球規模での鉄鋼プロセスからのCO<sub>2</sub>発存量削減へ向け、世界各地の鉄鋼協会、企業と連携を図りつつ、研究開発を進めていく予定である。また、今回の開発と連携の効果が期待できる欧州の開発プログラムとはわが国鉄鋼業界が個別により深い連携を図るべく進めている。

更に、今回取り組むBFGからの高効率CO<sub>2</sub>分離回収技術やCOG改質水素による鉄鉱石還元などは、世界でも最先端の画期的な技術である。こうした日本独自の先行技術と、欧州の技術を融合させる効果は相互にとって極めて効果的であると考えられる。

以上のことから、本プロジェクトは極めて高い挑戦的な技術ではあるが、実機化によって、日本のCO<sub>2</sub>排出を約4%削減可能であり、極めて大きなCO<sub>2</sub>削減効果が得られるとともに、世界に対して日本の技術をアピールでき、且つ将来的には海外への技術的な支援も可能であることから、投資としての意義は非常に高く、得られるメリットは多方面に渡って大きいと考えられる。

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### (1) Step2 の課題と研究開発方針

COURSE50 の技術開発課題は、①高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術開発と②高炉ガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収技術開発に大別される（図 II-1-1 参照）。前者については、コークス製造時に発生する高温の副生ガスおよびそのガスを改質して水素を増幅し、それらの水素を利用して鉄鉱石を還元する技術を開発することである。後者は、高炉ガスから CO<sub>2</sub> を分離するために、新たな吸収液開発、物理吸着技術開発を行い、併せて製鉄所内の未利用排熱を活用して、CO<sub>2</sub> 分離のためのエネルギーを削減する技術を開発することにある。Step1 においては、表 II-1-1 に示した主要目標を掲げて研究を実施し、高炉に水素などの還元材を吹込むことによって高炉からの CO<sub>2</sub> 削減の可能性があると、H<sub>2</sub> 増幅が可能な COG の改質の可能性、高炉ガスの CO<sub>2</sub> 分離回収技術開発の実用化の可能性などの成果が得られた。Step1 の研究成果を踏まえ、Step2 では、高炉への還元ガス吹込み技術の実用化に向けた技術確立として試験高炉等による実証、CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の更なる高効率化、低コスト化が課題である。

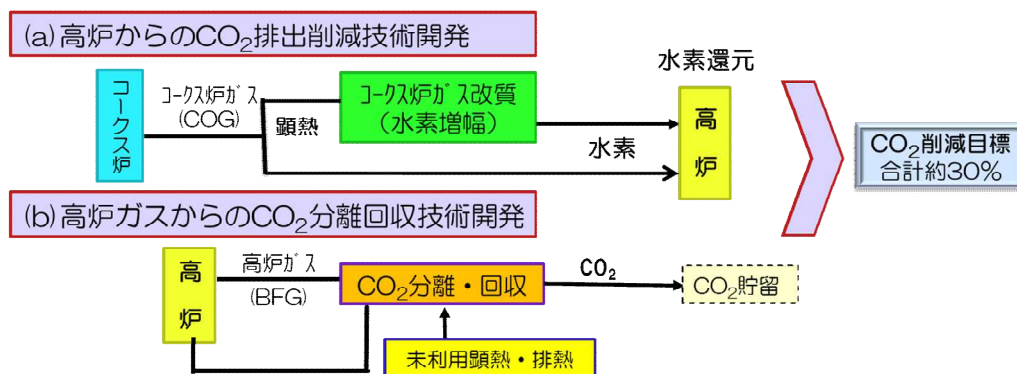


図 II-1-1 COURSE50 事業の目標

表 II-1-1 Step 1 到達レベルと Step2 における課題

主要目標	Step 1 の到達レベル	Step 2 の課題
[1]水素などによる鉄鉱石還元メカニズムと反応制御の基礎技術を確立する。	当初計画外の LKAB 水素還元試験をも含め、C の直接還元率の低減効果を得、高炉インプットで 2.5% から 3.5% 程度の CO <sub>2</sub> 低減の可能性のあることを確認。	①ガス供給条件の最適化による更なる高効率化 ②Step1 でスコープ外の原料サイドの具備条件を含めた総合検討による更なる高効率化 以上を 10m <sup>3</sup> 規模試験高炉で実施。
[2]水素の増幅率を 2 倍とするコークス炉ガス(COG)改質技術を確立する。	大量に製造した触媒の実 COG に対する触媒活性発揮を確認した(水素増幅率 2 倍)。	高炉要求の温度(>800°C)、メタン成分低減の達成が新たな課題。触媒法のレベルアップ及び無触媒法援用も含む。
[3]水素還元高炉用のコークス強度(ドラム強度)DI≥88 を満足する	目標である DI ≥ 88 を満足する製造方法に目処	10m <sup>3</sup> 規模試験高炉で評価



高強度コークス製造技術を確立する。		
[4]高炉ガス(BFG)からの CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t-CO <sub>2</sub> (「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術の見通しを得る。	目標の 2000 円/t-CO <sub>2</sub> 達成に目処。 CO <sub>2</sub> の 20%を分離・回収できる未利用エネルギーを確認。	化学吸収法は 10m <sup>3</sup> 規模試験高炉との連動試験+更なるブレークスルー課題への取組み 物理吸着法は 40 万 t/年へのスケールアップ
[5]全体最適化を推進し、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO <sub>2</sub> 削減を可能にする技術の確立に資する。	製鉄所全体についての総合的エネルギーバランス評価のためのツールを作成し、水素還元 5.8%(ガス利用効率が同等前提)+CO <sub>2</sub> 分離回収 20%の削減レベル。	Step2 開発進捗に伴う全体最適化評価の高度化により、総合改善CO <sub>2</sub> 削減 30%の技術確立。

以上の課題解決に向けて、Step2 の開発方針は以下のとおりである。すなわち低炭素製鉄を具現化していくために、①高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術については、水素還元を最大限に活用する送風操作技術の確立を基本とした上で、反応性操作も組み合わせる更なる高炉の熱効率向上を図る。また、②高炉からの CO<sub>2</sub> 分離回収技術については、環境保全と経済性を考慮し、更なる高効率・低コスト技術を追求する。

## (2) Step2 の目標

本技術開発(フェーズ I Step2)では、CO<sub>2</sub> 発生量を大幅に削減する、環境に調和した製鉄プロセスの開発として、各要素技術を統合したパイロットレベルの総合実証試験を行うとともに、実証規模試験を行うフェーズ II につなげていくために下記の項目を目標とする。

### 【中間目標(平成 27 年度)】

研究開発項目(a) 高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術開発

- ・ 水素還元の効果を最大限とするための技術をラボレベルで検討し実現性、有効性に対する目途を得て具体的な実証試験の計画を立案する。
- ・ 10m<sup>3</sup>規模試験高炉の建設を完了させる。
- ・ 触媒を用いて COG に含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術において高炉への吹き込みガス用としての改質反応の最適化、改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。
- ・ メタン改質等の総合的に改質向上に資する要素技術の目途を得る。

研究開発項目(b) 高炉ガス (BFG) からの CO<sub>2</sub> 分離回収技術開発

- ・ CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> を実現可能な技術の充実を指向し再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発の目途を得る。

### 【最終目標(平成 29 年度)】

研究開発項目(a) 高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術開発

- ・ 10m<sup>3</sup>規模試験高炉により高炉からの CO<sub>2</sub> 排出量を削減する技術を確立する

研究開発項目(b) 高炉ガス (BFG) からの CO<sub>2</sub> 分離回収技術開発

- ・ 高炉ガス (BFG) からの CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> (「分離回収法開発ロードマップ (CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確立する。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### 研究開発項目(1) 高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術開発

##### (a) 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

水素還元の効果を最大限とするための技術をラボレベルで検討し実現性、有効性に対する目途を得て具体的な実証試験の計画を立案する。

- ・羽口及びシャフトへのガス吹込方法の CO<sub>2</sub> 低減に及ぼす効果をラボ試験、シミュレーションにて確認し試験高炉の試験条件を提示する。
- ・試験高炉の予熱ガス吹込設備の構成を決定するとともに試験条件を提示する。
- ・高炉羽口からの COG 複合吹込条件を最適化するためランス構造及び還元ガス吹込条件の燃焼反応挙動に対する影響を評価し、試験高炉用ランス仕様を提示する。
- ・COG 複合吹込に対応した高炉系のマクロバランスモデルを開発し試験高炉の試験条件設定を行う。
- ・水素還元最適原料性状、装入方法について検討を行い、還元性を改善する装入方法を提示する。

##### (b) 10m<sup>3</sup>規模試験高炉等による水素還元総合最適化技術開発

- ・10m<sup>3</sup>規模の試験高炉の計画、設計、建設を完了させる。

##### (c) コークス炉ガス (COG) 改質技術の開発

- ・触媒を用いて COG に含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術において 30Nm<sup>3</sup>/hr 規模の実ガス試験設備を用いて、改質反応器への水蒸気の最適添加方法などの検討を行い、反応条件の最適化を図る。
- ・最適処理形式の検討結果を踏まえ新規試験装置などにより高炉への吹き込みガス用としての改質反応条件の最適化検討を行うとともに改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。
- ・部分酸化法などの方式検討を含む COG 改質のプロセス検討を行い、メタン改質等の総合的に改質向上に資する要素技術の目途を得る。

##### (d) コークス改良技術開発

- ・水素還元に適した高強度かつ反応性を制御できるコークス配合の方向性を提案する。

#### 研究開発項目(2) 高炉ガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収技術開発

##### (a) CO<sub>2</sub> 分離回収技術開発

###### 1) 化学吸収法による CO<sub>2</sub> 分離エネルギー・コストの削減技術開発

再生温度の大幅低減(未利用排熱の利用拡大)、分離回収エネルギーの一層の低減のための吸収液を検討する。

###### 2) 物理吸着法のコスト低減とスケールアップ検証

物理吸着法のスケールアップとして実機吸着層高相当の吸着塔により物理吸着法による高炉ガスからの CO<sub>2</sub> 分離を実証するとともに高効率化の課題検討を行う。

###### 3) CO<sub>2</sub> 分離回収後ガスの有効利用技術の検討

高炉ガスの CO<sub>2</sub> 分離後の可燃性ガスなどの活用可能成分を回収して有効利用するための技術を検討する。

##### (b) 未利用排熱活用技術の開発

- ・製鉄所の低温排熱回収に適した熱交換器の仕様をラボ評価および実機排ガス顕熱回収試験装置での実証などにより決定する。
- ・製鉄所内に点在する低温排熱源からの熱回収、熱輸送のため、熱ロスが少なく熱交換効率の高い輸送媒体の調査、選定を行い、熱回収ネットワークのシステムを検討する。

・スラグ顕熱回収ベンチ試験により、スラグ製品の安定製造と熱回収効率の最大化を両立させる安定操業技術を確立する。

研究開発項目(3) 全体プロセスの評価・検討

(a)製鉄所からの CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能とするため、製鉄プロセス全体の総合的な最適化検討を行う。

(b)水素還元高炉の CO<sub>2</sub> 削減効果の強化・高機能化として以下の技術開発を行う。

1)要素技術の補強

CO<sub>2</sub> 排出削減効果を確実に得るため、Step1 で未検討であった以下のような範囲の技術開発を行う。

- ・ 鉱石系原料の還元性を向上させる技術
- ・ 鉄内装コークスなどの低温還元・高反応性コークス技術
- ・ 水素還元高炉で必要となる酸素富化操業のための酸素製造の高効率化技術などに関する省エネルギー技術

2)試験高炉の操業最適化のための技術

水素還元に適した原料性状の検討など、試験高炉の操業条件を最適化するために必要な技術を開発する。

3)スケールアップ補完技術

試験高炉の試験結果を基に実証試験規模高炉にスケールアップする際に必要となる補完技術を開発する。

研究開発項目は下表のサブテーマに分割して実施することとする。

表 II-2-1 研究開発項目

研究開発項目(1)高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術開発

サブテーマ			開発技術内容
① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 (SG1)	①-1	水素活用プロセス技術開発	ガス還元最適化、ガス還元最適化シミュレーション、羽口複合ガス吹込み最適化
	①-2	水素吹き込み高炉に適する原料利用技術	PC 燃焼メカニズム、シャフトガス吹き込みに対応した原料および装入物分布制御、還元粉化制御/予熱ガス吹込み
	①-3	高炉羽口からの COG 複合吹き込み条件の適正化	COG 複合吹き込みシミュレーション
	①-4	高炉系マクロバランスモデルの開発	高炉系のマクロな熱物質バランスモデル
⑥ 試験高炉によるプロセス評価技術開発 (SG6)			試験高炉の設計・建設・操業
② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発 (SG2)			タールを始めとする炭化水素成分の改質反応および改質設備技術の確立
③ コークス改良技術開発 (SG3)			高強度を前提に反応性を制御できるコークス製造技術の確立

研究開発項目(2)高炉ガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収技術開発

④ CO <sub>2</sub> 分離・回収技術開発 (SG4)	④-1	化学吸収技術開発	試験高炉との連動運転 分離回収熱量原単位の極限低減、再生温度の低温化による排熱利用拡大 BFG の有効活用分離システム検討
--------------------------------------	-----	----------	---

	④-2	物理吸着技術開発	PSA の更なる効率化と実機化設計
	④-3	分離技術総合プロセス技術開発	CO <sub>2</sub> 分離回収後ガスの有効利用技術(分離回収技術と排熱有効利用技術の総合プロセスとしての最適化。
⑤ 未利用排熱活用技術の開発 (SG5)	⑤-1	未利用低温排熱活用技術開発	未利用排熱集約のための熱交換器を主体としたエンジニアリング課題の抽出
	⑤-2	製鋼スラグ顕熱回収技術開発	熱回収可能なスラグ製品の安定製造と熱回収効率の最大化

研究開発項目(3) 全体プロセスの評価・検討

⑦ 全体プロセスの評価・検討 (SG7)	全体最適化、新規技術創出
----------------------	--------------

以下に個々の技術開発の実施項目を記述する。

① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

Step1 では改質 COG による排出 CO<sub>2</sub>削減の可能性が確認できた。Step2 では削減量の定量化及びさらなる削減を可能とする高炉プロセスの検討を行う。水素還元の効果を最大限に引き出すためには、既に効果が確認されたシャフトからの改質 COG 吹き込みの他、羽口への非改質 COG の吹き込みも併用し、その割合などの種々の還元ガスの複合吹き込みに関する検討が必要である。その際には COG の最適な改質度、改質後最適成分の検討もさらに必要である。また、水素還元に適した原料設計においては、水素高炉に適する原料利用条件の解明と高炉炉頂での装入物分布制御などの適切な原料使用方法の開発に取り組む。そこで、オフラインによる基礎検討を実施し、得られた最適な吹き込み条件や、装入物条件に関する成果を試験高炉の仕様や操業条件へ反映させる。

1) 平成 27 年度のマイルストーン (中間)

水素還元の効果を最大限とするための操業条件および設備仕様をラボレベルで検討し、実現性、有効性に対する目処を得て具体的な試験高炉の試験計画を立案する。すなわち、還元試験やレースウェイ形成に関する評価、新しい高炉数学モデルを用いた高炉の溶銑トン当たりの炭素消費量の削減効果の評価、微粉炭燃焼挙動に関する基礎的な検討を実施するとともに、それらの結果から試験高炉の試験水準と試験条件の概略を決定する。また、試験高炉での予熱ガス吹き込み設備の試験操業条件への織り込み、燃焼挙動の評価を反映した試験高炉用ランス仕様の提示、付帯設備に関するモデルの構築と高炉本体の操業条件予測モデルとの総合化を行う。

2) 平成 29 年度のマイルストーン (最終)

10m<sup>3</sup>規模試験高炉などにより、高炉からの CO<sub>2</sub>排出量を削減するための複合吹き込みを主体とする要素技術を確立する。すなわち、試験高炉で得られた試験結果を解析し、高炉内での反応進行を含む水素還元メカニズムを提示するとともに、ランス構造を含む最適な吹き込み条件とスケールアップ時の課題と解決手段を提示し、実証試験高炉へのスケールアップのためのプロセスイメージを構築する。さらに、試験高炉での予熱ガス吹き込み、装入物分布制御の適用、長時間安定運転の実証と炉内反応解析を行うとともに、試験高炉結果に基づき、適正複合吹き込み条件を確立し、高炉での CO<sub>2</sub>削減最適化条件を予測し提案する。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、各要素技術の開発を中心に進め、最終目標に向けた可能性の検討を行い、その後のフェーズⅡの研究開発につなげていくために以下の研究開発を実施する。

#### サブテーマ①-1 水素活用プロセス技術開発

高炉の溶銑トン当たりの炭素消費量削減を目的として、高炉での種々の複合ガス吹き込みプロセス操作および高炉炉頂排ガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収技術のマッチングを定量的に評価するため、小型の模型実験及び高炉数学モデルによる基礎的な検討を行う。合わせてサブテーマ⑥における試験高炉の試験条件を提示すると共に、試験結果を踏まえて、高炉の溶銑トン当たりの炭素消費量を評価指標とした最適プロセスの提案を行う。

- i) 改質 COG 吹き込みプロセス最適化
- ii) 羽口からの複合ガス吹き込みプロセス最適化
- iii) 高炉数学モデルによるプロセス評価
- iv) 高炉羽口ブローパイプおよびレースウェイでの反応挙動の基礎研究

#### サブテーマ①-2 水素吹き込み高炉に適する原料利用技術

高水素含有率である改質 COG を高炉利用した場合の高炉内鉱石還元挙動を明らかとするとともに、鉱石還元粉化挙動や炉上部での熱補償の検討、および高炉内の局所的な挙動についてシミュレーションモデルによる検討を行う。

- i) 還元粉化評価の高度化と粉化抑制のための予熱ガス吹き込み方法検討
- ii) コークスガス化・PC 燃焼反応メカニズム解明
- iii) 数値解析によるレースウェイ部における微粉炭およびコークスの燃焼・ガス化特性評価
- iv) 還元ガス吹き込み時の原料還元性向上技術

#### サブテーマ①-3 高炉羽口からの COG 複合吹き込み条件の適正化

本研究テーマでは、微粉炭・非改質 COG・炉頂ガスの 3 種の補助還元材の複合吹き込み下での羽口内燃焼を数値実験で評価し、適正な吹き込みランス構造と吹き込み条件を明らかにする。

#### サブテーマ①-4 高炉系マクロバランスモデルの開発

本研究テーマでは、高炉への炭素投入量削減のための方策を行う場合に付随的に変化する付帯設備（熱風炉、送風機、炉頂圧発電（TRT）、改質 COG・予熱ガス加熱器）の操業条件を予測し、付帯設備を含めた高炉でのエネルギーバランス・炭素投入量などを総合的に評価するモデルを開発する。

### ② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

還元材を従来型の「炭素系」から「脱炭素系」に部分転換するべく、コークス炉ガス（COG）に大量に含まれる水素と一酸化炭素に着目し、これらを還元材として利用することを前提に、その使用量の拡大を可能とするため、高温 COG 中タールの触媒改質によるドライガス化、水素増幅を図る。

#### 1) 平成 27 年度のマイルストーン（中間）

触媒を用いて COG に含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術において、高炉への吹き込みガス用としての改質反応の最適化、改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。COG 改質技術の最適化に関しては、実 COG を用いた BP1 試験装置運転による条件最適化を行い、水素増幅率 2 倍以上、且つ、耐久性 5hr 以上を目標として本プロセスでの技術の到達度を見極める。また、COG 中の残メタンを最小化する改質技術の検討を通じて、水素増幅率 2 倍以上、耐久性 500hr 以上を目標とした技術の見通しを得る。さらに、高炉への吹き込みガスの品質要求に合わせて、改質反応を設計、実現する要素技術の目処を得る。

#### 2) 平成 29 年度のマイルストーン（最終）

次フェーズの試験高炉への還元性ガス供給に向けたプロセスのスケールアップ検討、設備技術の構築を図る。

プロセス・設備技術の構築に向け、BP2 試験装置のプロセス設計・試験運転により、耐久性 500hr 以上を目標とした技術を確立する。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の 4 つの研究開発項目を実施する。

- 1) COG 中タールからの水素増幅技術に関する研究
- 2) タール改質触媒の開発と反応形式の検討
- 3) 炭素析出反応機構解明とその抑制のための反応条件の提案
- 4) COG 中メタンの酸化的改質触媒の開発

### ③ コークス改良技術開発

コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス (COG) に含まれる水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する「高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術開発」において、低コークス比操業時における装入物各層間の通気性や装入物の荷下がり確保できるコークス強度を有し、且つ鉄鉱石還元最適なコークス反応性を両立するコークス製造方法を開発する。

- 1) 平成 27 年度のマイルストーン (中間)
  - ① 高強度で反応性の異なるコークス配合案の提示  
開発目標 コークス強度 [ドラム強度] DI<sup>150</sup><sub>15</sub> 最大 88、コークス熱間反応性指数 CRI 20~40
  - ② 改質 COG 条件に適用できるコークス反応速度モデルの提示
  - ③ 反応性、反応後強度とコークス構造、高性能粘結材添加効果間の関係の提示
  - ④ 試験高炉用コークスの品質と量の提案
- 2) 平成 29 年度のマイルストーン (最終)
  - ① 高強度で反応性の異なるコークス製造方法の確立
  - ② 試験高炉用コークスの製造とコークス品質の評価
- 2) 平成 29 年度のマイルストーン (最終)
  - ① コークス DI (88)、CRI (20~40) を両立する配合条件の提示  
高炉インプット C 削減に資するコークス製造技術の確立
  - ② 試験高炉用コークスの製造と評価  
試験高炉所要コークスの供給

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の研究開発項目を実施する。

- 1) 改質 COG 吹込条件下鉄鉱石還元に適したコークス品質の解明
  - i) コークス反応性制御と反応劣化挙動の解明
  - ii) 水素還元適用コークス品質の解明と反応性制御技術の開発
  - iii) 原料構成成分の相互作用とコークス性状発現機構に関する研究
  - iv) コークス化過程における分子挙動に関する研究
- 2) 試験高炉用コークスの製造と評価

### ④ CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の開発

本技術開発は、高炉から発生する高炉ガス (BFG) からの CO<sub>2</sub> 分離回収技術を行うとともに、製鉄所の未利用排熱の利用を拡大して鉄鋼業の CO<sub>2</sub> 削減に寄与する技術を推進する。これらの技術開発により、製鉄所から現状排出される CO<sub>2</sub> 量に比較して、約 30% の削減を可能にする技術の確立に貢献する。具体的には、高炉ガスからの

CO<sub>2</sub>分離回収コストの低減化を可能とするため、化学吸収法および物理吸着法の特性向上を進めるとともに、分離回収技術と未利用エネルギーを有効に利用する技術の最適化プロセスを提案する。

1) 平成27年度のマイルストーン（中間）

CO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>を実現可能な技術の充実を指向し、再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発の目処を得る。

2) 平成29年度のマイルストーン（最終）

高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確立する。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の研究開発項目を実施する。

サブテーマ④-1 化学吸収技術開発

本テーマにおいては、高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確立するため、吸収液再生温度の大幅低減による未利用排熱の利用拡大を図るとともに、分離回収のためのエネルギーを一層低減可能な高性能吸収液を開発する。

また、BFGのCO<sub>2</sub>分離回収後のガス中にはCO、H<sub>2</sub>などの可燃性ガスが含まれていることも含め、活用可能な成分があるため、それらを回収して有効利用するための技術についても検討する。さらに、水素還元高炉（試験高炉）から発生するBFGに対し、化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離回収性能を評価するため、試験高炉との連動試験を実施する。

- i) 高性能吸収液の開発
- ii) BFGの有効活用分離システムの検討
- iii) 試験高炉との連動試験

サブテーマ ④-2 物理吸着技術開発

PSA法（Pressure Swing Adsorption）で想定される実機相当の吸着層高を持つ吸着塔をASCOA-3に設置し、その温度スイング挙動調査、オフガスおよび層中ガス的高速組成分析、層内圧力の測定等により、PSAシステムのさらなる効率化を行う。

またメーカーからのヒアリング、論文・技術発表等により、真空ポンプ、ブロアー、除湿装置等の主要機器の効率化を検討すると共に、新規吸着塔を設置したASCOA-3の運転研究成果を基礎とした実機規模の吸着塔を詳細に検討し、実機PSA全体プロセスの詳細設計を行う。

- i) PSA システムのさらなる効率化
- ii) 実機 PSA 全体プロセスの詳細設計
- iii) 実機プロセスのコスト検証
- iv) PSA における基礎現象の解明

サブテーマ④-3 分離技術総合プロセス技術開発

高炉ガス（BFG）からCO<sub>2</sub>を分離回収する技術として、化学吸収法、物理吸着法の両面から研究開発を進めるが、いずれも分離回収に際しては多量のエネルギーが必要となるため、製鉄所の未利用エネルギーを活用することで、CO<sub>2</sub>分離回収エネルギーを削減することが重要である。

本研究では、BFGからのCO<sub>2</sub>分離回収コストの低減化を可能とする技術を確認するため、化学吸収法、物理吸着法の特長改善を前提に、分離回収技術と未利用エネルギー有効利用技術の総合プロセスとしての最適化を検討する。

- i) 分離総合プロセスの最適組合せの検討
- ii) CO<sub>2</sub>の地中貯留技術の最新動向調査

## ⑤ 未利用排熱活用技術の開発

本技術開発では、製鉄所内で発生している未利用の低温排熱および製鋼スラグ顕熱を有効利用するための熱回収技術の検討を進める。これらの技術開発により未利用排熱の有効利用先として、高炉ガス(BFG)からの化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離回収技術の確立に貢献する。具体的には製鉄所内に点在する未利用排熱源から蒸気等で熱回収する技術およびそれを熱輸送する時の製鉄所全体のネットワーク構成、最適化プロセスを開発する。

### 1) 平成27年度のマイルストーン（中間）

#### サブテーマ ⑤-1 未利用低温排熱回収技術開発

実製鉄所内の排熱調査を行い排熱回収対象を決定し、ラボ試験により高効率低温熱交換技術を確認する。また、実機排ガス顕熱回収試験装置の設計・製作および熱輸送媒体の特性把握を行う。

#### サブテーマ ⑤-2 製鋼スラグ顕熱回収の開発

スラグ顕熱回収ベンチ試験により、凝固成形安定化と熱回収効率化を両立させる安定操業技術を確認する（ベンチ試験完了）。また、蒸気回収システムの検討および基本設計を完了する。

### 2) 平成29年度のマイルストーン（最終）

#### サブテーマ ⑤-1 未利用低温排熱回収技術開発

実機排ガス顕熱回収試験により熱交換器の性能評価を完了し、製鉄所全体の熱輸送ネットワークシステムも含めた全体構成およびのコスト評価を行う。

#### サブテーマ ⑤-2 製鋼スラグ顕熱回収の開発

スラグ供給ピッチやボイラ効率も考慮した蒸気回収システムの全体設計およびコスト評価を行い、本研究開発の実機化FSを完了する。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の研究開発項目を実施する。

#### サブテーマ⑤-1 未利用低温排熱回収技術開発

本研究開発では、高炉ガス（BFG）からの化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離・回収に必要な熱エネルギーを経済的に得るために、低温排ガス等の未利用排熱からの熱回収を目指す。具体的には下記の3つの研究開発項目を実施する。

- i) 製鉄所の未利用排熱調査
- ii) 低温排熱回収に適した高効率熱交換器の開発
- iii) 熱輸送システムの設計

#### サブテーマ ⑤-2 製鋼スラグ顕熱回収の開発

本研究開発では、高炉ガス（BFG）からの化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離・回収に必要な熱エネルギーを経済的に得るために、製鋼スラグからの未利用排熱回収を目指す。具体的目標は、吸収液からCO<sub>2</sub>を再生するのに必要な蒸気を供給するシステムの実機化FSを完了することである。その際、熱回収可能なスラグ製品の安定製造と熱回収効率の最大化が技術課題となる。



- i) 凝固成形安定化と熱回収高効率化の両立
- ii) 蒸気回収システムの設計

#### ⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発

フェーズ I Step1 の「高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術開発」では鉄鉱石還元への水素活用技術の開発としてラボ試験や高炉数学モデルによるシミュレーション、さらに当初計画外であった海外ミニ高炉試験を実施し、水素を多量に含む還元ガスの吹き込み操作により、鉄鉱石の水素還元が促進されるとともに、炭素による直接還元が低下して、CO<sub>2</sub> 排出削減に効果があることを確認した。

そこで、フェーズ I Step2 では、前記検討結果を総合的に検証するとともに、フェーズ I Step 1 で開発された要素技術を統合した水素還元の効果を最大化するためのプロセス評価技術を確立させ、その後のフェーズ II の実証試験高炉へのスケールアップのための基本データを取得する。

前記事業目的を達するためには、実高炉と同等の銑鉄製造過程における高炉総合反応評価が可能な実験装置が必要となる。そこで、サブテーマ①（鉄鉱石還元への水素活用技術の開発）および、サブテーマ④（CO<sub>2</sub> 分離・回収技術開発）との連携の下、パイロット規模の試験高炉を新たに建設、さらに CO<sub>2</sub> 分離回収技術とも組み合わせ可能な機能を付与することにより、ラボ実験や数値シミュレーションで得た知見を総合的に試験高炉操業で検証すると共に、高炉のガス還元効率を最大化し、銑鉄トン当たりの炭素消費量を最少化するためのプロセス評価技術の確立と実証試験高炉を想定した際の COURSE50 プロセス設備仕様の基本データの獲得を目指す。

- 1) 平成 27 年度のマイルストーン（中間）
  - ・ 10m<sup>3</sup> 規模試験高炉の建設を完了させる。
- 2) 平成 29 年度のマイルストーン（最終）
  - ・ 試験高炉により、還元ガス吹き込み方法等、水素還元の効果を最大化し銑鉄トン当たりの炭素消費量を最少化するための総合プロセス評価技術を確立するとともに、実証試験高炉を想定した COURSE50 プロセスの基本仕様を提案する。

上記最終目標を達成するため、本研究開発では小型試験高炉を建設しこれを用いた実験によって、その後のフェーズ II でのプロセスのスケールアップ検討に繋げる。

- i) 試験高炉の設計
- ii) 試験高炉の建設
- iii) 試験高炉操業と総合プロセス評価技術の開発

#### ⑦ 全体プロセスの評価・検討

製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からの CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能にするための総合的な評価、検討を行う。COG 改質、CO<sub>2</sub> 分離回収に必要なエネルギーと未利用排熱集約のエンジニアリングに基づき、総合的なエネルギーバランスの最適化を図る。また、水素還元高炉の CO<sub>2</sub> 削減効果の強化・高機能化のための技術開発(新規技術創出研究)を行う。

- 1) 平成 27 年度のマイルストーン（中間）
  - 製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からの CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能にするための総合的な評価、検討を行う。特に平成 27 年度においては、フェーズ II に貢献する新規技術創出研究の絞り込みも含め、フェーズ II 移行に向けた全体プロセスの具備条件を抽出する。

2) 平成 29 年度のマイルストーン (最終)

製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からの CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能にするための総合的な評価、検討を行う。特に、プロジェクトの最終年度においては、CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能性評価にとどまらず、次ステップである、実証試験規模高炉の具体内容を構築する。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の研究開発項目を実施する。

- i) 全体プロセスの総合最適化検討
- ii) 新規技術創出研究

水素還元高炉の CO<sub>2</sub> 削減効果の強化・高機能化として以下の技術開発を行う。

① 要素技術の補強

CO<sub>2</sub> 排出削減効果を確実に得るため、Step1 で未検討であった以下のような範囲の技術開発を行う。

- ・ 鉱石系原料の還元性を向上させる技術
- ・ 鉄内装コークスなどの低温還元・高反応性コークス技術
- ・ 水素還元高炉で必要となる酸素富化操業のための酸素製造の高効率化技術などに関する省エネルギー技術

② 試験高炉の操業最適化のための技術

水素還元に適した原料性状の検討など、試験高炉の操業条件を最適化するために必要な技術を開発する。

③ スケールアップ補完技術

試験高炉の試験結果を基に実証試験規模高炉にスケールアップする際に必要となる補完技術を開発する。

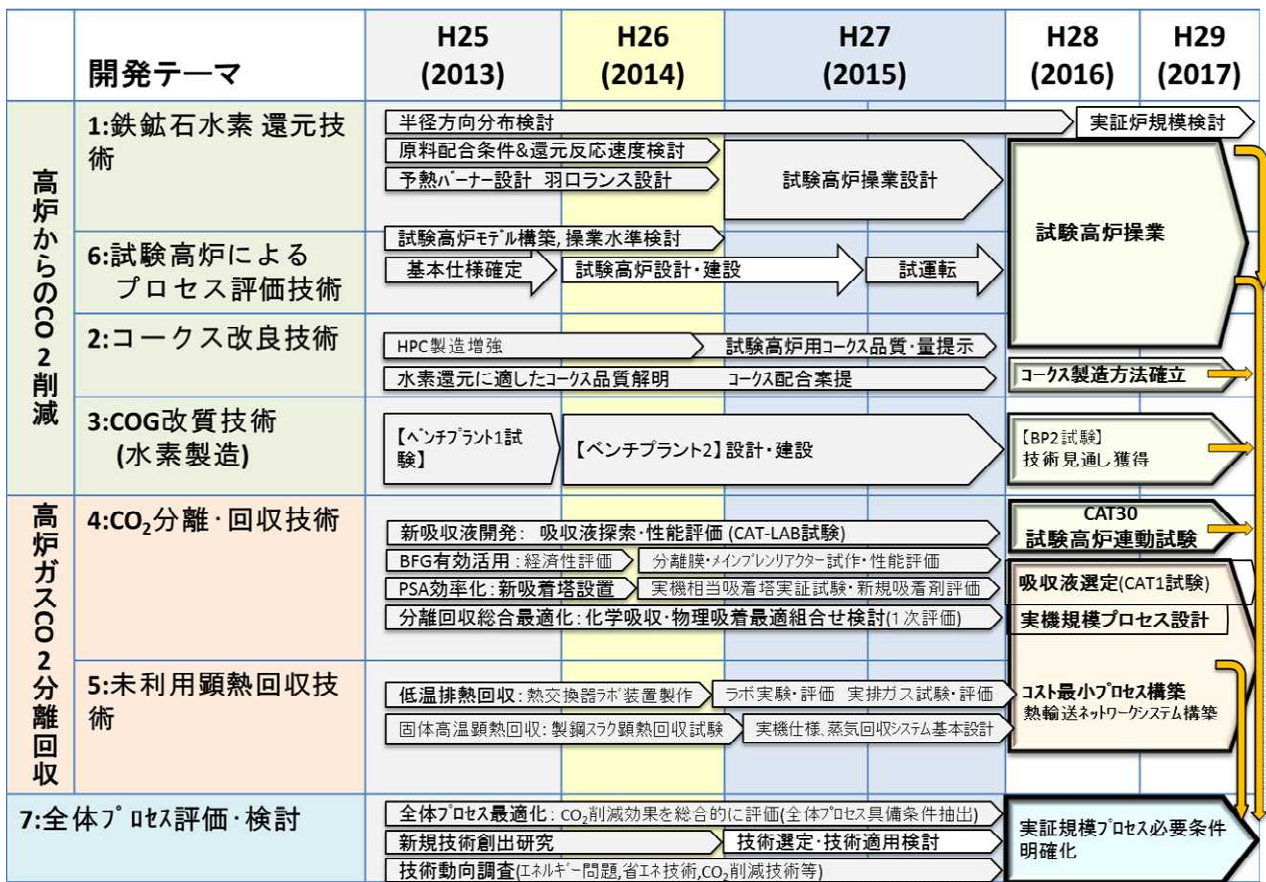
大学等との共同実施において狙いとする新規技術創出は、高炉水素還元強化、CO 還元を含む還元高効率化、プロセス共通基盤、省エネルギー研究の分野に区分される。実施する個別の研究テーマはこの区分と開発の性格との関係で、表 II-2-2 のとおりである。

表 II-2-2 新規技術創出研究テーマ一覧

開発の性格 狙い	①要素技術の補強	②試験高炉の操業最適化 のための技術	③スケールアップ補完技 術
[1]高炉水素還元の強化	2)低品位炭素資源を原料とする高強度・高反応性コークス製造法 4)CVI による炭素内装低還元粉化性(RDI)塊成鉱製造法	1)高炉内反応の水素分圧影響定量化 3)超高被還元性塊成鉱の組織設計とその製造技術 5)高炉内水素濃度増加条件における水性ガスシフト反応の役割	5)高炉内水素濃度増加条件における水性ガスシフト反応の役割
[2]CO 還元強化を含む還元高効率化	8)低品位鉄鉱石と低品位炭素資源からの高還元性・高ガス化反応性鉄鉱石・炭材コンポジットの製造	6)過酷環境に屈しない高強度コークス設計のための研究開発 7)クリーン還元プロセスのための先進塊成鉱の創製	6)過酷環境に屈しない高強度コークス設計のための研究開発 7)クリーン還元プロセスのための先進塊成鉱の創製
[3]プロセス共通基盤		9)高炉軟化融着帯での通気性を確保する融液量低減焼結鉱の製造	

		10)低コークス比操業における高炉内通気性の向上	10)低コークス比操業における高炉内通気性の向上
[4]省エネルギー研究	11)未利用温排熱から蒸気・過熱水と冷水を回生するコプロダクションシステム 12)自己熱再生を用いた省エネルギー型空気分離プロセス		

以上のサブテーマ毎の計画に基づく研究開発スケジュールの概要は図Ⅱ-2-1に示すとおりである。



図Ⅱ-2-1 フェーズ I Step2 研究開発の全体スケジュール

## 2.2 研究開発の実施体制

本プロジェクトは、以下に示す(社)日本鉄鋼連盟内に設置された COURSE50 委員会の研究組織(委託先の高炉メーカ 4 社及び新日鉄住金エンジニアリング(株)で構成)が、NEDO の委託により研究開発を実施しているものである。但し、日本鉄鋼連盟及び COURSE50 事務局は、NEDO 委託の対象外となっている。従い、本プロジェクトにおいては、COURSE50 の研究開発・管理体制を活用し、NEDO 及び経済産業省が毎月の COURSE50 定例会議に参画することで実施状況の把握、情報の共有を図り、研究開発を推進している。

図 II-2-2 に研究開発の実施体制を示す。日本鉄鋼連盟内に下記の組織を置き、NEDO 及び経済産業省とも密接な関係を維持しつつ、プロジェクト全体の目標、並びに各サブテーマの目標を達成するための体制を構築している。

新日鉄住金(株)執行役員上野製鉄技術部長に研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を委嘱し(平成 25~26 年度は新日鉄住金(株)齋藤参与)、その下で技術分野別に 7 つのサブテーマを作り、参加会社がそれぞれの研究テーマを担当している。また、Step2 では各要素技術をより総合的に連携して推進するために、サブテーマ間の情報が相互に把握して課題の解決をする WG や会議体を設置した。

本プロジェクトでは、試験高炉の建設および試験操業の着実な実施、および Step1 に引き続き全体最適化を検討する以下のサブテーマを設置した。

### <サブテーマ 6 試験高炉によるプロセス評価技術>

本事業の最重要な課題であることから実施者の総力をあげて取り組むこととし、各サブテーマの成果を試験高炉に反映させるために、試験高炉の基本仕様、操業設計、操業解析は関係するサブテーマおよび実施各社が参画して実施する体制を構築した。

### <サブテーマ 7 全体プロセスの評価・検討>

ここでは、「高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削減技術」、「高炉ガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収技術」が約 30% の CO<sub>2</sub> 削減にどの程度寄与するのかを明確にし、各要素技術の開発目標との整合性をとり全体調整を行う。また、製鉄所全体について総合的に評価検討を行い約 30% の CO<sub>2</sub> 削減の可能性をより明確化する。全ての参加会社から委員が参加し、参加会社の英知を結集して全体最適化を検討する体制となっている。

Step2 においては、より総合的な視点から大学の知恵を最大限に活かすことを狙って実施する新規技術創出研究は関連するサブテーマと連携しつつ本サブテーマで推進することとした。

### <サブテーマ 4-3 分離技術総合プロセス技術開発>

ここでは、化学吸収法、物理吸着法を中心とする CO<sub>2</sub> 分離回収技術とサブテーマ 5 の未利用排熱回収技術との最適組合せを検討する。全ての参加会社から委員が参加し、CO<sub>2</sub> 分離・回収の全体を考慮した全体最適化を検討する体制となっている。

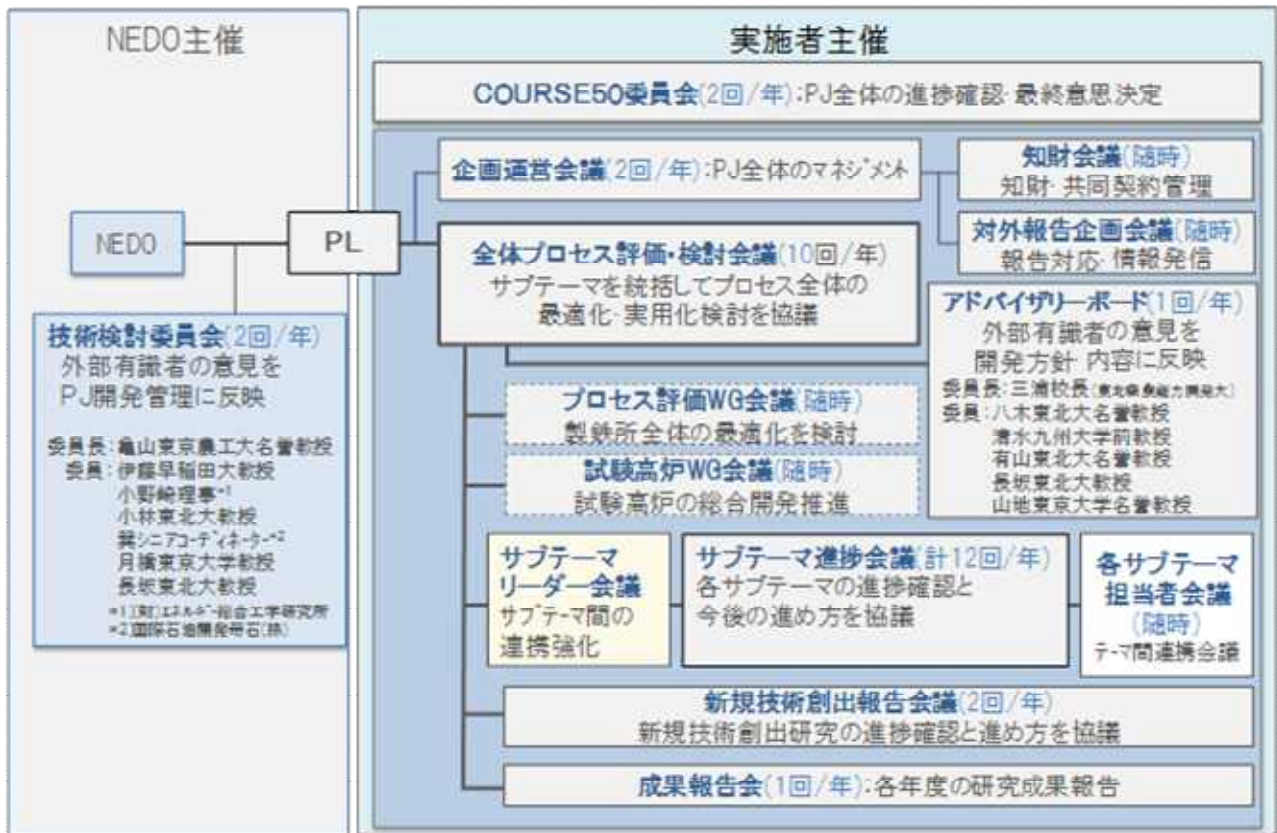
図 II-2-3 に委託先および再委託/共同実施先を示す。再委託/共同実施先については、それぞれが担当している SG を記載した。

本技術開発では、NEDO と 5 社が委託契約を結び研究開発を実施している。日本の高炉メーカ 4 社の全てが参加し、日本鉄鋼業界の英知を結集した実施体制である。また、新日鉄住金エンジニアリングは、高炉設備技術分野で高いレベルであり試験高炉建設に当たって先導的な役割を担うことができる。いずれの研究テーマも基礎検討及びプロセス評価プラント規模試験からの取り組みであり、基礎・基盤研究については、この技術分野の最先端の研究を進めている大学及び産総研、RITE の公的研究機関との産学連携により理論面での研究開発を促進している。



## 2.3 研究の運営管理

研究の運営管理体制を図Ⅱ-2-4に示す。その内容は以下のとおりである。



図Ⅱ-2-4 研究の運営管理

平成29年度には5年間の成果を取りまとめる必要があり、NEDO内に技術検討委員会を設置し、専門的知見を有する外部有識者の方々から目標達成に向けた助言を得ることによって、より効率的に、かつ客観的な御意見に基づいて研究開発を進めている(表Ⅱ-2-3)。

表Ⅱ-2-3 技術検討委員会 委員

委員長	亀山 秀雄	東京農工大学	名誉教授
委員	伊藤 公久	早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科	教授
委員	小野崎 正樹	財団法人 エネルギー総合工学研究所	理事
委員	小林 秀昭	東北大学 流体科学研究所 複雑流動研究部門高速反応流研究分野	教授
委員	巽 孝夫	国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部 事業企画ユニット	シニアコーディネーター
委員	月橋 文孝	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	教授
委員	長坂 徹也	東北大学大学院環境科学研究科 金属フロンティア工学専攻	教授

本プロジェクトでは毎月実施の「全体プロセス評価・検討WG」、「サブテーマフォロー会議」に経済産

業省関係者及び NEDO 関係者が参画することにより、本プロジェクトの進捗と方向性の確認、技術内容の議論、情報交換を行い、効率的なプロジェクトの推進を図っている。

#### < COURSE50 委員会 >

日本鉄鋼連盟内に設置し、実施会社におけるプロジェクト全ての業務の統括を行う。2回/年開催している。

表 II-2-4 COURSE50 委員会委員

委員長	新日鐵住金	代表取締役副社長	柳川 欽也
副委員長	JFE スチール	専務執行役員	小倉 滋
委員	神戸製鋼所	執行役員	山本 浩司
	新日鐵住金エンジニアリング	常務執行役員 製鉄プラント事業部長	白石 宏司
	日新製鋼	常務執行役員 技術総括部長	近藤 孝之

#### < プロジェクトリーダー (PL) 体制 >

より効率的なプロジェクトの推進を図るため、研究開発の現場において指示・指導・調整の任にあたり、研究開発計画原案の策定、研究開発の実施における方向付け、研究成果のとりまとめ等の役割を担っている。

- 1) プロジェクト全体の計画立案および進捗管理
- 2) プロジェクト会議（企画・運営会議、全体プロセス評価・検討 WG）の運営
- 3) 対外報告・広報
- 4) 国際連携（技術交流など）
- 5) その他（プロジェクトが必要とした事項）

表 II-2-5 プロジェクトリーダー体制

PL	新日鐵住金	執行役員製鉄技術部長	上野 浩光
副 PL	JFE スチール	技術企画部企画グループリーダー	遠藤 茂
PL 補佐	新日鐵住金	技術開発企画部上席主幹	殿村 重彰
副 PL 補佐	JFE スチール	スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員	石渡 夏生

#### < アドバイザリーボード >

主としてサブテーマ「⑥製鉄プロセス全体の評価・検討」に対して各技術分野の外部有識者の意見を反映させることを目的として、Step1 に引き続き設置した。Step1 の平成 22 年 3 月 9 日に第 1 回を開催し、Step2 では、現在までに 3 回、開催して研究開発体制を含む貴重なご意見を頂いた。

表 II-2-6 アドバイザリーボード委員

リーダー	東北大学名誉教授	三浦 隆利
	東北大学 名誉教授	八木 順一郎
	九州大学 前教授	清水 正賢
	東北大学 名誉教授	有山 達郎
	東北大学大学院工学研究科 教授	長坂 徹也

#### <企画・運営会議>

プロジェクトに関する実施会社の意思決定のための会議。1回/4ヶ月の頻度で開催。

#### <全体プロセス評価・検討WG（サブテーマ7）>

1回/月の頻度で開催し、各サブテーマ間の調整やサブテーマとは別に様々な視点でプロジェクト全体の最適化を検討。出席者はPL体制メンバー、各社WG委員、経済産業省、NEDO。

#### <サブテーマ進捗会議>

1回/月開催して各テーマの進捗状況、実験計画について議論。出席者はPL体制メンバー、全体プロセス評価・検討WG委員、経済産業省、NEDO。

各サブテーマについて、1回/3ヶ月の頻度で進捗報告・議論を行い、研究の方向性や研究促進に反映できる体制を構築。

#### <成果報告会>

1回/年開催し、全てのテーマの1年間の進捗状況を報告、議論している。出席者は、実施者、NEDO、経済産業省の関係者全員。開催実績は平成26年2月5日、平成27年2月4日である。

#### <知財会議>

プロジェクトを推進するための実施会社の情報の取り扱い、成果の取り扱いなどについて各社間の協議および協定書原案の策定、国内および外国における産業財産権の取得の推進、体外的な契約の協議などを行う。また、知財戦略WGを設置して、各サブテーマに適した知財権の確保を特許出願（国内、外国）、ノウハウ取得などの方策について検討して、具体的に有効な戦略的な産業財産権の取得を推進している。

#### <サブテーマ間の連携>

サブテーマを跨る技術課題を解決させるために、サブテーマリーダー会議、各サブテーマ担当者会議を設けて連携強化を進めている。また、サブテーマ7に係わる重点的な課題については、試験高炉WG、プロセス評価WG、新規技術創出研究WGを設けて、専門性を有しているメンバーによって検討する体制とし、検討結果を全体プロセス評価・検討WG（サブテーマ7）に適宜報告することとした。



## 2.4 研究開発成果の実機化に向けたマネジメントの妥当性

本プロジェクトは、地球温暖化防止のために実施するもので、COG 改質増量水素による一部水素還元を含む高炉法製鉄プロセスと、これまで製鉄所内で未利用の排熱を回収して得たエネルギーにより高炉ガスから CO<sub>2</sub> を分離回収するプロセスを、実生産設備へ適用することを求められており、現状プロセスから CO<sub>2</sub> 排出量の 30% 削減を目指している。開発は、基礎研究（フェーズ I）とスケールアップ実証（フェーズ II）の大きく 2 つのステップが想定されており、各 10 年間の研究期間を設けている。また、基礎研究（フェーズ I）は、更に各開発要素の基礎、ベンチスケール試験を行う前半の 5 年間で Step1 とし、開発した各要素を組合せ検証する後半の 5 年間で Step2 としている。

実機化スケジュールを図 II-2-5 に示す。現在、NEDO の委託事業として実施している事業は Step2 である。2030 年までに技術開発を完了して、CO<sub>2</sub> 貯留技術が確立すること、経済合理性が成立することを前提条件として、2030 年頃に一号機を実機化する目標を掲げている。

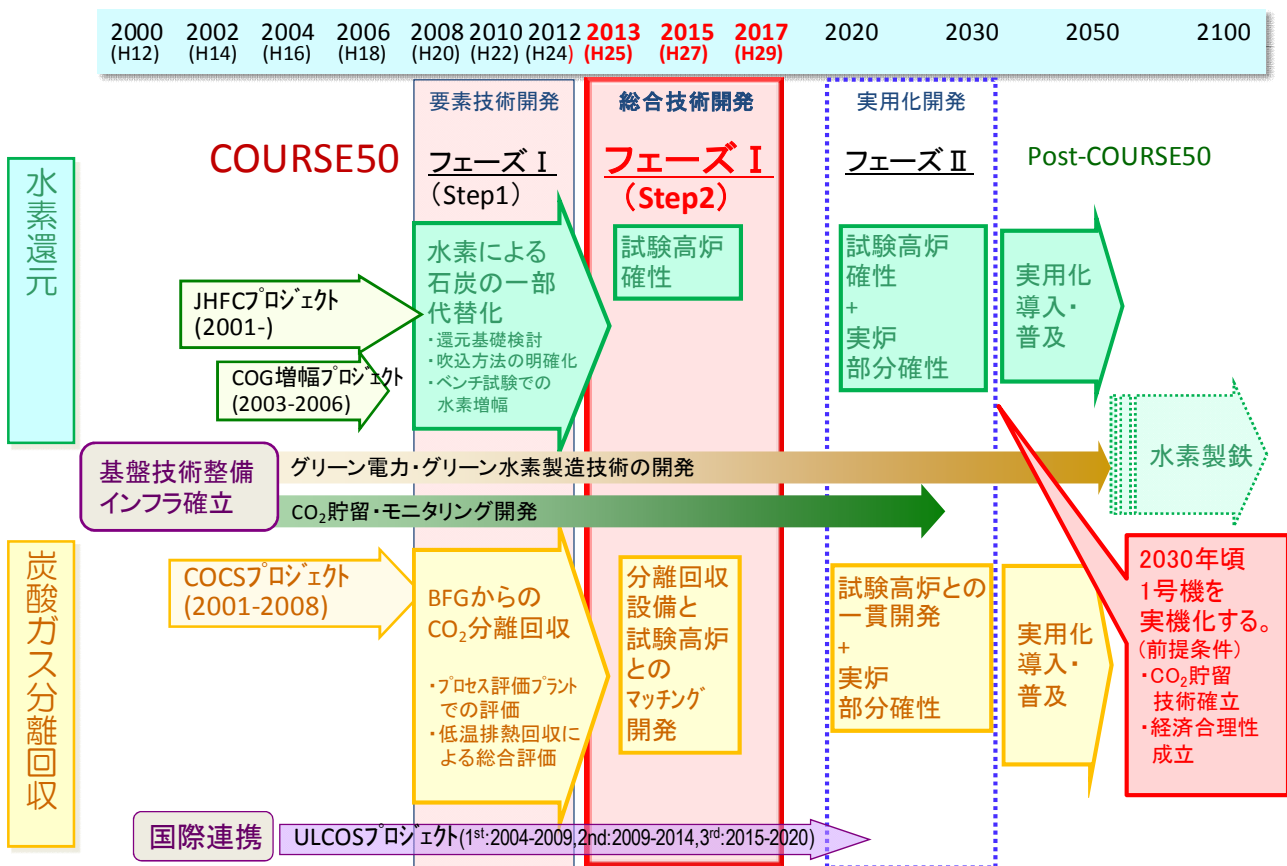


図 II-2-5 実機化までのスケジュール

本プロジェクトは、Step1 から実機化技術の開発を完了するまでに 20 年と長期に亘るので、プロジェクトマネジメントも長期的な視点が重要となる。このため、実機化に向けた対応として、以下のマネジメントを実施している。

### (1) 実機化に向けた技術開発課題の抽出とその実施

実際の研究開発スケジュールでは、コークス炉ガス (COG) 改質技術の開発の重点化や CO<sub>2</sub> 分離回収技術の検証等を着実に行うことに加えて、新たに試験高炉を活用した総合評価試験を実施する。これにより、これまで実験室レベルで取組んできた要素技術の検証を行うとともに今後の課題の把握を行う。また、

並行して高炉シミュレータの確度を高める。高炉操業シミュレーション技術の精度向上により、試験高炉の操業結果の解析や評価によって 2018 年以降（フェーズⅡ）に予定するスケールアップ試験において設計期間の短縮化が期待される。実証期間の短縮化によって実機実証機の建設開始時期を早期化することにより、2030 年に 1 基の稼働を目指す。

#### （2）全体プロセス評価・検討 WG の設置

「高炉からの CO<sub>2</sub>排出削減技術」、「高炉ガスからの CO<sub>2</sub>分離回収技術」が約 30%の CO<sub>2</sub>削減にどの程度寄与するのかを明確にし、各要素技術の開発目標との整合性をとり全体調整を行っている。また、製鉄所全体について総合的に評価検討を行っており、全体最適化によるサブテーマの目標設定やサブテーマの成果によって変わり得るシナリオ代替などの検討、中間目標達成に向けての検討も行っている。

今後、最終目標及び COURSE50 最終目標の達成に向けた検討を実施するとともに、さらに、Step2 以降の実施シナリオ等の検討も実施していく予定である。

#### （3）知財戦略の策定と知財権の確保

本プロジェクトは、2030 年以降の実機化を目標とすることから、要素技術開発ステージである Step1 では、現行プロセスに応用できる可能性があるものを優先して出願し、それ以外の技術はその実機化が想定される時期を勘案して、その時期や可否をそれぞれ判断して活動を進めてきた。一方で、COURSE50 の成果を欧州や中国、韓国等の海外に開示して日本の技術力を積極的にアピールしていくことも重要であり、そのために COURSE50 技術を知財権として確実に担保する必要がある。

Step2 はフェーズⅡの実機化開発に向けた総合技術開発のステージであることを踏まえ、特許提案を強化していく必要があると考える。

また、本プロジェクトの実施者は、NEDO知財方針に基づき、知財合意書として本研究開発の内容、当事者間の業務分担、当事者が相互に開示する営業上及び技術上の情報の取り扱いその他必要となる事項について定める研究開発協定書を締結し、本研究開発を推進している。また、知財会議を整備し、海外への技術流出防止を意識した知財戦略を策定している。

さらに、全当事者は、共有成果に基づいて産業財産権の出願をしようとする場合、あらかじめ当該出願の是非、是とする場合の出願内容、その他必要となる事項について、当該プロジェクト体制に企画・運営会議を組織し、全当事者間でその都度協議の上決定する等の手順を定め、出願内容等を審議すると共に出願効率化を図っている。また、成果を公表する場合は、対外報告ルールに則り実施することとする。

Step1 では海外への技術漏洩防止の観点から海外への特許出願は積極的には行ってこなかったが、Step2 においては上記戦略に基づいて海外への出願も積極的に行っている。

#### （4）他分野の情報収集

製鉄プロセスのコア技術以外の領域については、外部の技術情報を調査して導入可能性を追求することを推進している。また、他プロジェクトとの交流による情報収集及び情報交換に関しては、鉄鋼メーカ（日本鉄鋼連盟）による世界の鉄鋼協会、鉄鋼企業等の CO<sub>2</sub>削減プログラム実施状況調査、情報交換結果を反映し、本プロジェクトでは技術開発対象外の CO<sub>2</sub>貯留についても NEDO で実施のプロジェクトの情報収集を行い、今後の検討に反映させていく予定である。さらには、CO<sub>2</sub>発生量削減に関する戦略と技術の世界的な流れを注意深く精査して、世界の事情の変化に柔軟に対応することに寄与する。

#### （5）新規技術創出研究の実施

本プロジェクトは実機化までの開発期間が 20 年と想定されるので、コア技術においてもゼロベースをも含め

た研究を行うことによって、本プロジェクトあるいは次のコア技術開発につながる研究を進めることが必要である。現在の研究段階である Step2 では Step1 で開発された技術に基づき、パイロットレベルの総合実証研究を主体に技術開発が行われるが、同時に、水素還元高炉の CO<sub>2</sub> 削減効果の強化・高機能化として、①要素技術の補強、②試験高炉の操業最適化のための技術、③スケールアップ補完技術についての技術開発を行うこととし、大学や研究機関における専門家のアイデアや英知を最大限活用する「新規技術創出研究」を実施している。この「新規技術創出研究」の事業期間は最大 5 年間であるが、その間に研究ステージゲートを設けており、著しい研究成果を上げ、実機化に向けた研究段階に移行する上で追加的なデータの取得・分析を要する事業については、次の研究ステージアップを行い研究成果の向上を図っている。

#### (6) 開発技術の継承と人材育成

本技術開発は長期スパンとなるため、本技術の実機化、定着には、世代を繋ぐ若い世代の技術者の開発への適切な配置や開発成果を定量的に体系化し論理、知識を継承していくことが求められている。このために研究者の若返りを進めており、大学についても本プロジェクトの研究参画として前述の新規技術創出研究はこの役割が位置づけられる。

### 3. 情勢変化への対応

#### 3.1 総合技術開発に向けた全体最適化

本プロジェクトの Step2 は、Step1 における要素技術の研究成果に基づいて次の研究ステージであるフェーズⅡに展開するための総合技術開発を実施するものである。Step2 における 7 つのサブテーマを総合技術として構築するためには、各課題の研究進展および世界の技術開発動向によって軌道修正すべきアプローチもあると思われるので、幅広い視野にたった課題認識を持って全体システム最適化を図りつつ研究開発を推進している。

##### 3.1.1 外部有識者の重要な指摘事項

###### (1) 技術検討委員会

###### 1) 実機化にとってフェーズⅡの入口条件の明確化が必要

フェーズⅡをスタートするための具備条件提示。フェーズⅠの各プロジェクトのアウトプットがフェーズⅡのアウトカムにどう繋がっているかが明確になっている必要がある。フェーズⅡに進むための条件を示して、それに対して現状のアウトプットが合致しているかどうかを示すこと。

技術の目標と経済的な目標はフェーズが異なるので、技術の目標は何で、経済的には状況の変化により分からない部分があるが、その場合はシナリオ法でケース分けしてアウトカムを表現すると良い。

###### 2) マイルストーンの定量化

CO<sub>2</sub>分離回収は Step 1 で原理的にはほぼできたということで、その後、具体的にどうするのかというところでマイルストーンに定量感がない。スケール感がフェーズⅡに向かって行くような定量的なマイルストーンが必要。ターゲットを決めておいてシーズ探索もやるというスタイルでマイルストーンを設定すべき。

###### 3) 全体プロセスの評価のサブテーマ重み分析の必要性

各サブテーマの重み分析の必要性。例 サブテーマ②で水素増幅率が 0.1 振れた CO<sub>2</sub>削減影響、各サブテーマ間の目標過達、未達の全体に対するインパクト。

###### 4) 知財戦略

知財の戦略について検討し、ルールを決めて行ってもらいたい。NEDO として、技術の海外展開を念頭に置いた海外特許戦略はあるのか。中韓の鉄鋼関係者は COURSE50 に注目しているので、基本特許はきちんと出願してイニシアチブを取ること。

###### 5) 実機化の推進

CO<sub>2</sub> の回収技術については 2030 年の 1 号機実機化の時期だけでなく出来るだけ早く実機化されれば良い。

Step2 は Step1 と違い、実機化に近い段階であることをイメージする必要がある。Step1 では、高炉で CO<sub>2</sub> 排出量 10%減、CO<sub>2</sub> 分離回収で 20%減を達成するための可能性を追求したが、Step2 では各 SG の中でも候補となる技術を絞り込みが必要である。

###### (2) アドバイザリーボード

1) 試験高炉のスケールアップの考え方と次のステップのイメージをもって、試験高炉で実施すべき内容を検討するべき。

2) シミュレーションと試験高炉の役割を区分して結果を出すこと。

### 3.1.2 外部有識者の重要な指摘事項に対する対応

総合技術開発に向けて以下を重点的にマネジメントして研究を推進した。

#### (1) 全体最適化の推進

##### 1) フェーズ I Step2 出口シナリオの作成

今回、二つのケースを設定し、そのケースごとに目標設定を行った。又、各技術開発については、目標のブレークダウンのみならず、サブテーマ間の連携も強化し、全体プロセスの設計も推進した。CO<sub>2</sub>削減 30%達成の為の積算については、各テーマの進捗をタイムリーに取り込み、達成確度も考慮しながら、複数のシナリオを用意する観点で検討を行っており、現時点で 29~30%の削減についての見通しが得られたレベルである。

##### 2) マイルストーンの定量化

各サブテーマのマイルストーンについて、定量化して目標を明確化した。その定量化した項目を以下に示す。

表 II-3-1 最終マイルストーンにおける数値目標項目

研究開発項目 (サブテーマ)	最終マイルストーン (H29 年度末) における数値目標項目
研究開発項目(1) 高炉からの CO <sub>2</sub> 排出削減技術開発	試験高炉により、銑鉄トンあたりの炭素消費量を最小化するための総合プロセス評価技術を確立し、実証試験高炉を想定した COURSE50 プロセスの基本仕様を提案。
①⑥鉄鉱石還元技術 (高炉イン プット C の削減)	<ul style="list-style-type: none"> <li>送風操作 (水素吹込み、高酸素富化、ガス循環) による高炉イン プット C 削減効果を定量化し、それを検証</li> <li>原料操作やシャフト吹込みガス組成の適正による高炉インプ ット C 削減効果を定量化し、それを検証</li> </ul>
②COG 改質技術	H <sub>2</sub> 増幅率 $\geq$ 2 倍、耐久性 $\geq$ 500hr の技術確立
③コークス改良技術	強度と反応性を両立する配合条件
研究開発項目 (2) 高炉ガスからの CO <sub>2</sub> 分離・回収 技術開発	モデル製鉄所および代表製鉄所にて 2000 円/t-CO <sub>2</sub> の達成
④-1 高性能吸収液技術	熱量原単位 (努力目標)
④-2 物理吸着技術	電力原単位 (努力目標)
⑤-1 未利用低温排熱回収技術	熱交換器の温度効率
⑤-2 製鋼スラグ 顕熱回収技術	熱回収率 30% (実機化 FS)
研究開発項目(3) 全体プロセスの総合最適化検討	製鉄所からの CO <sub>2</sub> 排出量 30%削減を可能にするための総合的な 評価、検討。

##### 3) プロセス評価と全体最適化

感度分析については、主要なものを実施した。又、未達の全体に対するインパクト分析を総合効果評価の中で実施した。特に「鉄鉱石還元への水素活用技術の開発」および「試験高炉によるプロセス評価技術開発」において、三次元数学モデルでの検討と、各要素技術開発、試験高炉試験水準の関連性の明確化と、可視化を行った。

##### 4) 研究テーマの選択と集中の推進

本プロジェクトは課題が非常に多岐に渡っているため、常にテーマ全体を見直しつつ、テーマそれ

ぞれに、加速化した。これらの課題認識をベースとして、テーマの選択と集中を実施した。パイロット規模総合技術開発を行う Step2 においては、サブテーマの括りの様な大きな規模での取捨選択は無いものの、サブテーマ内における重点化は随時実施している。代表的なものは、以下のとおりである。

- ・ 高炉還元工程における炉頂ガス循環と酸素富化技術の最適化・重点化
- ・ 高炉原料の被還元性向上の為の具備条件整理
- ・ コークス原料の強度と被還元性の組み合わせの最適条件の探索
- ・ COG 改質における触媒改質/部分酸化の最適負荷分担の検討
- ・ COG 触媒改質における硫黄被毒や炭素析出挙動の見極めによる長寿命化の為の具備条件精査
- ・ 化学吸収法における世界最先端の熱消費原単位の更なる改善の為に、複数方式の比較検討
- ・ 最先端熱交換技術である高効率熱交換技術における複数方式の比較検討

個別技術の最適化のみならず、全体システムに組み込んだ際の相互の特性マッチングも視野に入れた「技術検討の深堀」を実施している。

#### 5) 新規技術創出研究の展開

既に述べた「新規技術創出研究」そのものが、情勢変化への対応も見据えた活動である。

#### (2) 知財戦略の構築と知財化の推進

Step2 はフェーズⅡの実機化開発に向けた総合技術開発のステージであることを踏まえ、特許提案を強化していく必要があると考える。一方で高炉水素還元でのガス循環など、Step2 で新たに取り組む課題も多い。そこで、各技術の進展度等を見極めながら、分野ごとに個別の特許提案目標とスケジュールを設定した。ただし、技術分野によって実機化の距離が異なっているため、分野ごとに異なる目標値とした。各分野（サブテーマ）における知財戦略の骨子は、1) 事業戦略に基づいた知財戦略の策定、2) 特許出願とノウハウ保有の戦略の2つの視点を考慮して策定した。

#### (3) 試験高炉の設計と試験操業計画

「鉄鉱石還元への水素活用技術の開発」および「試験高炉によるプロセス評価技術開発」については、スケールアップ課題について、試験高炉で確認すべきことと、計算モデル等で並行して進める項目を整理し、必要課題を抽出した。内容は、従来高炉操業と今回の鉄鉱石還元への水素活用高炉操業の違いおよび従来高炉操業の試験高炉と生産高炉の規模差による操業の違いの二つの要素に分類した後、それらを更に因数分解して、試験高炉検証および数学モデル等検討の二要素に分解して課題解決を図る。

### 3.2 予算の重点配分

プロジェクト全体予算の推移は、表Ⅱ-3-2のとおりであり全体を前倒しで進めている。

表Ⅱ-3-2 研究開発予算

(百万円)

サブテーマ名	H25 年度	H26 年度	H27 年度	H28 年度	H29 年度	計
①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	452	288	100			840
②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発	406	572	538			1,516
③コークス改良技術開発	225	113	123			461
④CO <sub>2</sub> 分離・回収技術開発	322	185	241			748
⑤未利用排熱活用技術の開発	176	225	100			501
⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発	979	3,588	3,600			8,167
⑦全体プロセスの評価・検討 (内新規技術創出研究)	115 103	108 96	88 79			311 278
計	2,675	5,079	4,790			12,544

予算配分の基本的な考え方は、前述した総合技術開発に向けた研究テーマの選択と集中に基づいており、次のとおりである。本プロジェクトはコアの部分と色々な周辺技術を組み合わせる必要がある。コアの部分は高炉の水素還元等で鉄鋼業界しか出来ないものである。ここは前倒しを含めて重点的に実施していく必要がある。周辺の部分は他分野の知見も含めて開発を加速して実施する。

①水素還元関係：本プロジェクトでの大事なコア部分であり、特に試験高炉の建設と試験操業は総合技術開発の最重要課題であり、予算の重点的配分により試験高炉の設計・建設を着実に実施した。

②化学吸収・物理吸着：吸収液開発をスケジュール通り進めた。物理吸着プロセス開発と実機設計等を通して開発を加速した。

③排熱回収：スラグ顕熱回収については実機設計のための検討を加速した。また、製鉄所の排熱回収に適用できる新たな革新的な熱交換器の開発を開始した。

④COG改質：H25年度からベンチプラントの設計・建設を開始しスケジュール通り進めた。さらに、Step1の試験結果解析およびラボ試験結果によりアプローチの軌道修正を行うことにより予算の効率化を図る。

以上を受けて、予算全体の配分を実施した。

#### 4. 評価に関する事項

##### 4.1 事前評価

本プロジェクトの開始に当たり、事前評価書、基本計画（案）を作成し、NEDO ホームページからパブリックコメントを求め、かつ公募に先立って計画の概要を公開した。

期間：平成 25 年 2 月 6 日～平成 25 年 2 月 19 日

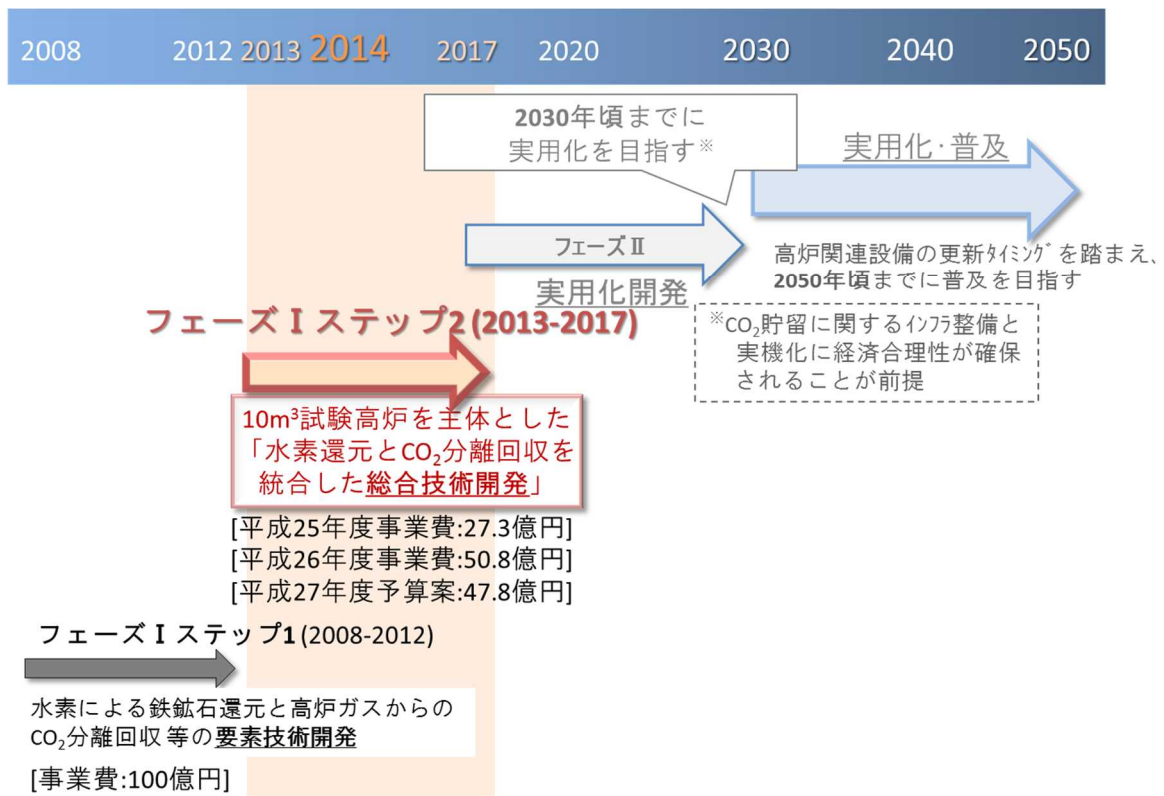


### Ⅲ.研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

##### 1.1 概要

本プロジェクトは、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス（COG）に含まれる水素およびその水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する。また、高炉ガス（BFG）からCO<sub>2</sub>を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的なCO<sub>2</sub>分離回収技術を開発する。これらの技術開発によりCO<sub>2</sub>排出量の約3割を削減することを目標とする。図Ⅲ-1-1に本事業の開発ステップを示すが、フェーズⅠ Step1（平成20～24年度（5年間））では、水素による鉄鉱石還元と高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収等の要素技術開発を実施した。今回のフェーズⅠ Step2（平成25～29年度（5年間））では、Step1で開発した要素技術を組合せ、10m<sup>3</sup>規模試験高炉を主体とした水素還元とCO<sub>2</sub>分離回収を組合せたパイロットレベルの総合技術開発を行う。その後、フェーズⅡの実機化開発を経て、2030年頃までに1号機の実機化、最終的に高炉関連設備の更新のタイミングを踏まえて、2050年頃までに普及を目指す。



図Ⅲ-1-1. 本事業の開発ステップ

1.2 成果概要

1.2.1 中間目標と達成状況および最終目標の達成の可能性

表Ⅲ-1-1 中間目標の達成状況と今後の課題と解決方針

研究開発項目	中間目標	成果	達成度
研究開発項目 (a) 高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減技術開発	<p>①水素還元の効果を最大限とするための技術をラボレベルで検討し実現性、有効性に対する目途を得て具体的な実証試験の計画を立案する。</p> <p>②触媒を用いて COG に含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術において高炉への吹き込みガス用としての改質反応の最適化、改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。 ・メタン改質等の総合的に改質向上に資する要素技術の目途を得る。</p> <p>③10m<sup>3</sup> 規模試験高炉の建設を完了させる。</p>	<p>①各要素技術の直近の知見、例えば水素還元に関連する送風操作、原料・コークスの適用方法等を取り込み、試験高炉における総合試験の計画立案に反映させた。又、その技術諸元を反映した所全体で30%のCO<sub>2</sub> 排出削減に対する複数のケース検討を行い、目標達成に対する目途を得た。</p> <p>②COG 改質反応の最適化、改質触媒の活性劣化対策技術については、メタン改質可能な部分酸化法との最適組み合わせの検討を進展させ、プロセスとしての成立を確認した。更には改質触媒の劣化特性も評価し、長時間運転の可能性に目途を得た。</p> <p>③これらの要素技術を総合化検証するために、BFG からの CO<sub>2</sub> 分離回収プロセスを含むシステムとした 12m<sup>3</sup> の試験高炉を設計・建設した。</p>	○
研究開発項目 (b) 高炉ガス(BFG)からのCO <sub>2</sub> 分離回収技術開発	<p>・CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t -CO<sub>2</sub> を実現可能な技術の充実を指向し再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発の目途を得る。</p>	<p>・CO<sub>2</sub> 分離回収技術における排熱の利用については、製鋼スラグ顕熱回収技術に加えて高効率熱交換器技術の開発を進めるとともに、高性能化学吸収液の開発、物理吸着技術の更なる効率化を進めた。この結果、CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> 達成の確度を向上させた。</p>	○

◎;大きく上回って達成、○;達成、△;達成見込み、×;未達

表Ⅲ-1-2 研究成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
研究開発項目 (a) 高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減技術開発	<p>水素還元などの送風操作および原料、コークス等の原料操作によるCO<sub>2</sub> 削減効果を定量化し、削減の可能性が見込まれた。</p>	<p>・10m<sup>3</sup> 規模試験高炉により高炉からのCO<sub>2</sub> 排出量を削減する技術を確立する。</p>	<p>試験高炉操業によって総合プロセス技術を確立できる見通しである。さらに、シミュレーションを活用して実証試験高炉の基本仕様を提言できる見通しである。</p>
研究開発項目 (b) 高炉ガス(BFG)からの	<p>・要素技術として化学吸収においては高性能吸収液の開発、物理吸</p>	<p>・高炉ガス(BFG)からの CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t -CO<sub>2</sub> (「分離回収法開発ロー</p>	<p>・今後、化学吸収におけるラボレベルの試験、試験高炉との連動運転や、物理吸着に</p>

CO <sub>2</sub> 分離回収技術開発	着においては高性能な新規吸着材の適用を進める、未利用排熱回収においては高性能熱交換器の開発、製鋼スラグ顕熱回収プロセスのベンチ試験と蒸気回収設備検討などの結果から、CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 2000 円/t-CO <sub>2</sub> 以下の目途を得ている。	ドマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確立する。	おける総合運転等により、また未利用排熱回収では高効率熱交換器の構造検討および製鋼スラグ顕熱回収での設備耐久性の確認などの研究を進めることによって、最終目標を達成できる見込みである。
--------------------------	--	--------------------------------------	--

### 1.2.2 サブテーマ毎の成果概要

#### 研究開発項目(1) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発

##### (a) サブテーマ①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

送風操作による炭素消費原単位の定量化およびさらなる炭素消費原単位の削減を可能とする高炉プロセスの検討を、(1)プロセス技術解析、(2)羽口複合吹き込み技術、(3)原料条件の最適化の3つの研究開発項目に分類し、小型の模型実験や数学モデルなどを用いて検討した。さらに 10m<sup>3</sup>規模の試験高炉を用いて、得られた結果の効果をより定量的に確認するための試験操業水準を設定した。

##### (a-1)プロセス解析技術

試験高炉に対応した高炉数学モデルを開発し解析を実施した。羽口からの COG 吹き込みなどの送風操作により、炭素消費原単位(高炉 Input C)が削減されることを確認した。また小型還元装置(SIS 炉)により、高炉数学モデルによる計算結果の妥当性を確認した。ガス吹き込みを行った際に懸念される還元粉化の対策として、試験高炉条件における還元粉化率を推定するとともに、還元粉化抑制を目的とした予熱ガス吹き込みバーナーの開発を完了した。高炉への炭素投入量削減のための方策を行う場合に付随的に変化する付帯設備の操業条件を予測し、付帯設備を含めた高炉でのエネルギーバランス・炭素投入量などを総合的に評価するモデルを開発した。

##### (a-2)羽口複合吹き込み技術

羽口からの、微粉炭等の複合吹き込みにおける、羽口内燃焼を数値実験で評価し、適正な吹き込みランス構造を提示するとともに、ランス燃焼性の改善を確認した。羽口前燃焼シミュレータ(燃焼炉)を新たに設計・製作し、燃焼・ガス化反応の非接触測定に関する検討・計測を実施し、吹き込み条件により異なるデータが得られることを確認した。また、数値実験で提案されたランスのレースウェイ炉および燃焼シミュレーターによる評価・検証、耐久性試験を実施した。

##### (a-3)原料条件の最適化

水素還元に適した焼結鉱、塊鉱石、ペレット等の原料配合を検討し、高炉 Input C 低減に寄与する原料性状を提示した。高炉数学モデルを用いて、コークスの反応性・鉄原料の被還元性・吹き込みガス組成の適正化に関する検討を行い、高炉 Input C 低減を確認した。

## (b)サブテーマ⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発

試験高炉の各設備の所要能力を把握すべく、試験水準として想定されるケースを設定して所要物流量を見積もった。操業シミュレーション結果を基に、試験高炉の所要物流量を推算し設備能力を設定した。間接還元を最大化するための炉内面形状の設計を行い、内容積 12m<sup>3</sup> の試験高炉の建設を完了させた。

### ・送風仕様

操業シミュレーションによる試験水準別のガス使用量を算出した。試験高炉設備で生成する必要があるガス設備および試験コストを低減する観点から、試験高炉施設を製鉄所構内に立地させることを前提にして、所要ガスを生成する方法を設計した。

### ・羽口仕様

円周方向の炉内状態に著しい分布偏差を造らない観点では羽口本数を多くすることが望ましいものの、レースウェイ（羽口前燃焼ゾーン）サイズが小さくなり過ぎると、微粉炭の燃焼性悪化やレースウェイ自身の安定形成が損なわれる危険がある。操業シミュレーション結果を基に形成されるレースウェイ・サイズを推定した結果、羽口本数は3本にすることとした。

シャフト羽口の高さに関しては、炉内の間接還元帯に還元ガスを導入して、鉄鉱石の間接還元率を高めて直接還元率(換言すれば高炉炭素消費量)の低減を図るものであるため、炉内間接還元帯の下端位置に設けるのが最も効果的である。

高炉数学モデルによる操業シミュレーションによる step1 で実施した LKAB 試験高炉実験の解析結果およびシャフト羽口位置の結果から、試験水準によって炉内温度分布は変化することが分かり、COURSE50 試験高炉では、シャフト吹き込み位置を適切に選択できるような構造とした。

一方、予熱ガス吹き込みは、炉内温度分布を適正化して焼結鉱の還元粉化を抑制することを狙いに行っているため、炉内還元粉化帯に対応する 600℃温度レベルの位置から行うのが望ましく、シミュレーション結果に基づき、予熱ガス羽口を設けることとした。

## (c)サブテーマ②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

触媒を用いたCOG改質技術の最適化、最適処理形式の検討を行った。30Nm<sup>3</sup>/hr規模の実ガス試験設備であるベンチプラント1 (BP1) を用いた試験の結果、および試験後の触媒をさらに詳細に解析し、反応条件及び再生条件の最適化検討を行った。また、連続的に安定した水素増幅率を確保する技術を確立させるための実機化に向けたベンチプラント2 (BP2) の基本設計を行い、第1期建設工事に着手した。得られた成果は以下のとおりである。

### ・高炉で必要改質COGの生成条件提示

ベンチプラント1 (BP1) 試験において、低SV条件で目標を達成できることがわかった。触媒改質ガスをさらに部分酸化することによって、還元ガス中メタン濃度を5%以下とする見込みを平衡解析によって得た。

### ・ベンチプラント2 (BP2) での水素増幅

ラボでの耐久試験 (24h改質×10回、24h毎に再生) の結果、再生によってほぼ100%、触媒活性が回復することを確認した。部分酸化装置との組み合わせによって水素増幅率2の改質を達成可能なことを解析により評価した。

#### (d)サブテーマ③コークス改良技術開発

低コークス比操業時における装入物各層間の通気性や装入物の荷下がり確保できるコークス強度を有し、且つ鉄鉱石還元最適コークス反応性を両立するコークス製造方法を開発することを目的とし、高強度を前提に反応性を制御できるコークス製造技術の確立と試験高炉用コークスの製造評価を最終マイルストーンとしており、以下の実施項目に対しそれぞれの成果を得た。

##### ・改質 COG 吹込条件下鉄鉱石還元に適したコークス品質の解明

試験炉装入密度  $0.73\text{g/cm}^3$  においても、高性能粘結材 HPC の配合炭内での均一性を配合石炭細粒化により保ち、10%添加することにより、低反応性 (CRI 20~23) 高強度 (DI=88) コークスを製造できることを確認した。HPC の均質化はコークス内気孔構造の改善に寄与しており、高反応性コークスでも HPC による強度改善効果が得られることを確認した。CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>O の反応性の違いを加味した改質 COG 雰囲気に応用できる反応速度式を提示した

##### ・試験高炉用コークスの製造と評価

試験高炉用コークスサンプル製造に必要な HPC 製造を改造した HPC 連続製造試験装置により継続中である。反応性 CRI 値 20 レベル、強度 85 を超える HPC 添加コークスを実用コークス炉にて製造可能である見込みを得た。

#### 研究開発項目(2) 高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発

##### (a)CO<sub>2</sub>分離回収技術開発

化学吸収・物理吸着法それぞれにおいてCO<sub>2</sub>分離回収コスト2000円/t-CO<sub>2</sub>以下を実現可能とする要素技術を開発することを目標として、化学吸収法における高性能CO<sub>2</sub>吸収液の開発(熱量原単位削減)、物理吸着法におけるプロセスの運転条件の最適化(電力原単位削減)など具体的な成果を出した。その結果、分離回収コスト2000円/t-CO<sub>2</sub>以下を達成する見込みを得た。

##### (a-1) 化学吸収技術開発

##### ・高性能吸収液の開発

新規化学吸収液を検討し、Step1吸収液との比較で、反応熱の大幅削減と再生温度の低温化が可能で新吸収液を得た。CAT-LAB小型連続試験装置を用いて混合溶媒系吸収液の性能評価を行い、分離回収エネルギーはStep1最高性能を凌駕する高性能を確認した。新規化学吸収液の高性能発現に対する理論的根拠を明らかにした。CO<sub>2</sub>放散促進可能な触媒を得た。更に吸収速度促進効果を有する触媒を選定した。

##### ・試験高炉との連動試験

試験高炉BFG条件に応じたCAT30の改造、整備、試運転を完了した。CAT30によるCO<sub>2</sub>回収率が90%以上達成できることをシミュレーションで確認した。

##### ・BFGの有効活用分離システムの検討

シリカ膜を用いたメンブレンリアクターによるBFGからのH<sub>2</sub>生成・濃縮検討において、目標値を大きく超えるシリカ膜を開発した。耐水蒸気性に関しては、金属ドープや中間層の最適化による改善の目途を得た。

##### (a-2) 物理吸着技術開発

##### ・PSAシステムのさらなる効率化

実機相当高さの新規吸着塔を設置し、ガス流れ変更等によりCO<sub>2</sub>回収量が増加し、電力原単位が削減される可能性を確認した。吸着剤の粒径を大きくすることにより、電力原単位削減ができることをベンチ試験により実証した。有効吸着量の大きい、新規吸着剤の性能評価を実施。CO<sub>2</sub>

回収量の増加可能性を確認した。

- ・実機PSA全体プロセスの詳細設計

ASCOA-3試験結果を基に、各種機器の選定、吸着塔の基本構造の検証、吸着塔配置検討を行った。また、各プロセスフローにおける流量範囲などの値を確定し、概要設計として、プロセスフローを作成した。

(a-3)分離技術総合プロセス技術開発

- ・分離回収プロセス最適組合せ検討

排熱発生条件やエネルギー変換効率、分離回収プロセスの使用エネルギー効率をパラメータとして最適組合せ解析を行うことが可能となった。分離回収コストを最小とするためには、化学吸収法と物理吸着法を組合せて使用することが有効であることが明らかになった。分離回収技術を組合せることにより、分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> を達成することが可能となった。

- ・技術動向調査及び新規技術の探索

技術動向調査及び新規技術の探索を行った。分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> を下回る運転実績・研究成果は認められず、本プロジェクトで開発中の技術の優位性が明らかになった。また、CO<sub>2</sub> 分離回収後ガスの有効利用技術を検討した。

(b)未利用排熱活用技術の開発

(b-1) 未利用排熱活用技術開発

CO<sub>2</sub> 回収目標量の達成には、高効率熱交換器の開発が必要であることを見極めた。ラボ実験により、CO<sub>2</sub> 回収目標の達成には、大きい熱容量流量比と高い温度効率を両立する熱交換器が必要であることを確認し、ラボ実験で高効率熱交換器を評価し、目標温度効率を満足する構造があることを突き止めた。ダスト付着実験および数値解析により、高効率熱交換器の構造の今後の改善方針を策定した。

(b-2) 製鋼スラグ顕熱回収技術開発

スラグ凝固成形安定化については、コンベア形状を半割パイプ型に変更することでスラグ剥離性を改善し、スラグ連続処理量は目標を達成した。実機化時に必要な設備改善項目の抽出を完了した。蒸気回収システム設計については、スラグ顕熱回収シミュレーターを構築し、ベンチ試験結果から熱交換係数や空隙率等のパラメータを最適化し、設計を完了した。実機化 FS については、モデル製鉄所における操業形態と設備規模について一次検討を完了し、各設備の詳細設計を低廉化も含めて開始した。

研究開発項目(3) 全体プロセスの評価・検討

鉄鉱石還元への水素活用技術の開発における送風操作最適化および原料利用技術含めた高炉改善の全体位置づけと製鉄所全体の熱物質収支検討による製鉄所一貫削減量との関連検討を実施した。また、プロジェクト全体の到達目標に対する各技術の位置づけの内容掘り下げと確度向上を検討した。

新規技術創出研究では、要素技術の補強、試験高炉の操業最適化のための技術、スケールアップ補完技術について研究を進めた。その結果、新しい技術創出の可能性や高炉諸元の予想・炉内現象の解析に使用するシミュレーションモデルの精度向上に活用できる可能性を見出した。

### 1.2.3 知的財産権等の成果概要

表Ⅲ-1-3にはH27年度の現段階での研究開発成果(成果発表・特許出願)を示す。

表Ⅲ-1-3 特許、論文、外部発表等の件数(2015年9月末現在)

件名	件数
1. 特許出願件数	19
2. 査読有論文発表数	22
3. 査読無論文発表数	2
4. その他外部発表	75
5. その他外部発表	9

## IV. 実用化の見通しについて

### 1. 実用化、実機化の定義

NEDO プロジェクトにおいては、実用化・実機化の定義をプロジェクトごとに定めており、本プロジェクトでは、実用化の定義は、「当該研究開発の成果が後継の事業で活用されること」と定義した。なお、COURSE50 での実機化への条件は以下のとおりである。

<実機化への条件>

- ① 2030 年までに技術を確立する。
- ② 本技術開発の成果の実機化時期は 2030 年（実機化 1 号機は 2030 年）
- ③ 本技術開発は CO<sub>2</sub> 分離回収までとしており、CO<sub>2</sub> 貯留については他プロジェクトの成果を活用する。
- ④ 実機化に際し経済合理性を有することが必要。

### 2. 実用化、実機化に向けての見通し及び取組について

2014 年 12 月に国連気候変動枠組条約締結国会議（COP20）が開催されるなど、CO<sub>2</sub> 排出量抑制に対する国際的なニーズは年々高まっている。国内セクター別 CO<sub>2</sub> 排出に関する統計資料（2013 年度統計：日本国温室効果ガスインベントリ報告書(2015.4)）によれば、国内 CO<sub>2</sub> 排出量に占める鉄鋼業の割合は 14%と大きく（図 I-1-1）、鉄鋼業全体として排出量に削減に取り組む必要性に迫られている。

オイルショック以来、日本鉄鋼業はコスト削減を目的として省エネルギー対策に積極的取り組んできており、日本鉄鋼業のエネルギー効率が世界最高水準であること（図 I-1-4）および粗鋼当たりの省エネポテンシャルが世界最小であること（図 I-1-5）が報告されている。換言すれば、日本の製鉄所において、経済合理性に合致した既存技術による省エネ対策の余地は少なく、革新的な CO<sub>2</sub> 削減を実現するための製鉄プロセス技術の開発が求められている。

#### 2.1 成果の実機化に向けた戦略

本プロジェクトは、2030 年までに技術確立を行い、2050 年までに全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて半減するという我が国の施策（2008 年 3 月「Cool Earthーエネルギー革新技術計画」、2008 年 5 月「環境エネルギー技術革新計画」、2014 年 4 月「エネルギー基本計画」等）の一つとして、実機化に必要な技術開発を実施しているが、成果の項目で述べた内容も踏まえ、実機化に向けての技術的位置づけは以下のように考える。

##### (1) 実機化に向けた戦略

本技術開発の位置づけを考えた場合、研究開発終了予定の 2027 年断面では、典型的な二つのケースが想定される。

【ケース I】 CO<sub>2</sub> 貯留技術をも含め一連の技術が完成し、実機化に際しての経済合理性も有するケース

【ケース II】 ケース I 以外で、波及効果に期待するケース



(2) 実用化に向けた高炉からの二酸化炭素排出削減に関する戦略

還元材比極小の従来法の限界を打破する視点で、更に直接還元の絶対量を減らして、水素還元反応の吸熱反応熱の補償の為に間接還元との置換を行おうとするもので、送風操作の抜本的変革を行うものである。本基本命題に対し、高炉炉内の制約条件を考慮すると、いくつかの付帯的項目を考慮した総合最適運用を行う。

2.2 成果の実用化・実機化に向けた技術開発の取組み

(1) プロジェクト全体

本革新技術を商業規模生産設備で実現する命題に対して、成果の実用化・実機化に当たっては第一に「技術確度の見極め」第二に「スケールアップ課題の克服」がある。第一の「技術確度の見極め」については、要素技術の知見を集大成するとともに、熱物質収支も考慮した、総合モデルでの検証で各マイルストーン目標数値を含めた検討精度をあげ、第二の「スケールアップ課題の克服」については、各要素技術の規模依存性の検討で取り組む。

(2) 重点課題である鉄鉱石還元への水素活用技術開発/試験高炉によるプロセス評価技術開発

1) 試験高炉の各水準検証による改善諸要因の影響評価。

以下の様な技術項目に対して従来高炉操業と今回の試験操業との差異分析を行う。

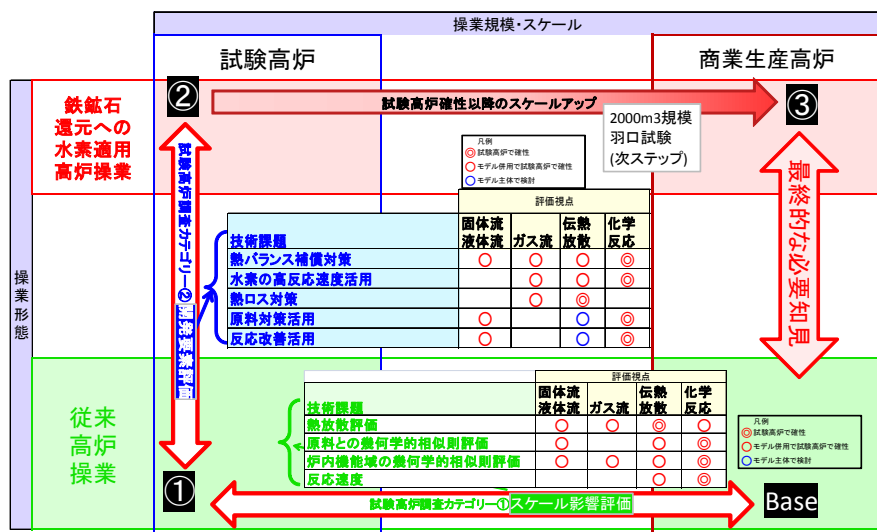
- ① 熱バランスの変化影響(吸熱反応対策としての間接還元強化用送風操作)
- ② 水素の高反応速度の影響
- ③ 酸素富化の影響
- ④ 原料操作の影響

などを、試験高炉の試験水準に組み込み、順次評価試験を実施する。

2) 高炉でのスケールアップ課題について

高炉におけるスケールアップの課題は、構成する技術群の難度の高さから、特に重要である。

図IV-1には試験高炉によるプロセス評価技術開発におけるスケールアップに関する各技術課題の位置づけを示す。かなりの部分が試験高炉での操業で明確になる部分ではあるが、補足的手段も含めた総合評価が重要となる。



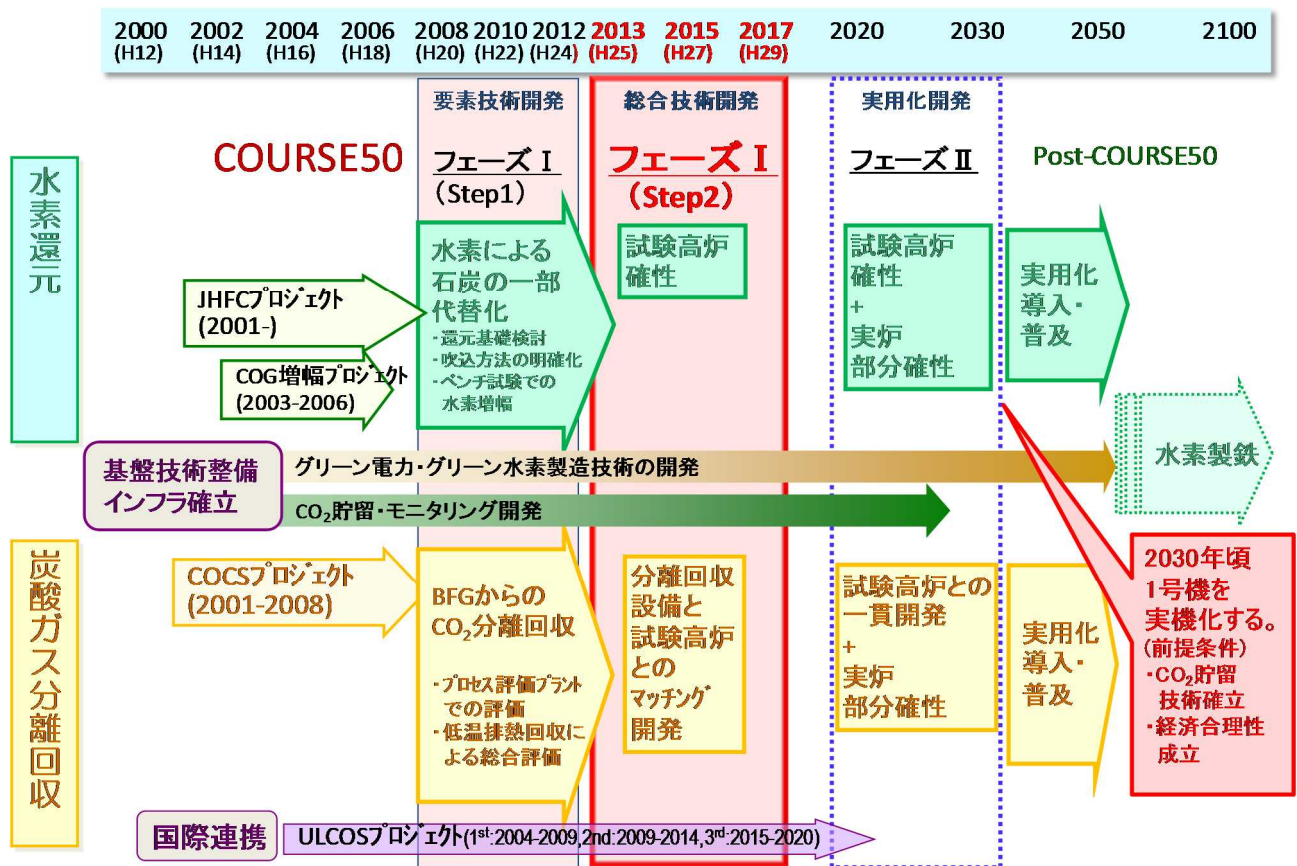
図IV-1 試験高炉技術開発におけるスケールアップに関する各技術課題の位置づけ

### 2.3 成果の実機化の見通し

＜今後の見通しとフェーズⅡへの展開＞

2018年までに Step2 技術開発を完了し、2018年からの10年間で実証規模の試験を行うことで、2030年から順次、実機での運用に反映させる予定である。

フェーズⅡの内容については、現時点においては、CCSの技術進捗も考慮する必要があるが、本事業の中核である試験高炉を活用していく予定である。具体的には、鉄鉱石水素還元技術については、スケールアップ検討を可能ならしめる様な小規模の商用高炉の部分羽口試験を先行させながら、送風操作の最適化については世界最大の試験設備である試験高炉とCAT30の試験設備の活用で開発を推進する見込みであり、「当該研究開発の成果が後継の事業で活用されることとなる。



図Ⅳ-2 実機化までのスケジュール

### 3. 関連分野への波及効果

#### 3.1 要素技術の波及効果

各要素技術については、以下のような領域に波及の可能性があり、研究開発と並行して波及の具体的検討も進めて行く。

- (1) 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発の領域では、複合ランスの設計技術を生かした現状高炉操業羽口の機能改善への部分展開の可能性を追求する。
- (2) コークス炉ガス改質技術の開発の領域では、非鉄鋼用途の水素製造にも適用可能性を有す。  
(カスタマイズ開発は実施しない)
- (3) コークス改良技術開発の領域では、コークス高強度化ニーズ次第で現状高炉操業への適用も可能。
- (4) CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発の領域では、以下に具体的に例示する化学吸収法の非鉄鋼用途商業1号機である ESCAP の受注・稼働に引き続き、製鉄以外の産業での CO<sub>2</sub>分離回収ニーズへの対応が考えられる。
- (5) 未利用排熱活用技術の開発の領域では、高効率熱交換器の耐久性開発完了後の幅広い製鉄設備への適用が想定される。
- (6) 試験高炉によるプロセス評価技術開発の領域では、高酸素富化技術を現状高炉操業に適用可能である。

#### 3.2 化学吸収法での技術派生の例

開発した化学吸収法を用いて炭酸ガス需要家の直近（または炭酸ガス需要家の施設内）で、製鉄所副生ガス、セメント排ガス、火力発電所燃焼排ガス等の様々な CO<sub>2</sub>含有ガスから炭酸ガスを回収・供給することで、従来の化学吸収法よりも CO<sub>2</sub>回収コストを大幅に低減しつつ輸送コストも低減でき、既存の炭酸ガス市場に匹敵する炭酸ガス供給が可能となる。

そのニーズを受け、エア・ウォーター炭酸株式会社殿より、製鉄所内の熱風炉排ガスから炭酸飲料用等向けの CO<sub>2</sub>分離回収設備を受注し、2014年11月に稼働を開始した。



図IV-3 CO<sub>2</sub>分離回収技術商用一号機(ESCAP)の概略

添付 1

## イノベーションプログラム基本計画

# イノベーションプログラムについて

平成21年4月27日  
経済産業省  
研究開発課

## イノベーションプログラムの概要

### 1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (Inside Management & Accountability)

- 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
- 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。

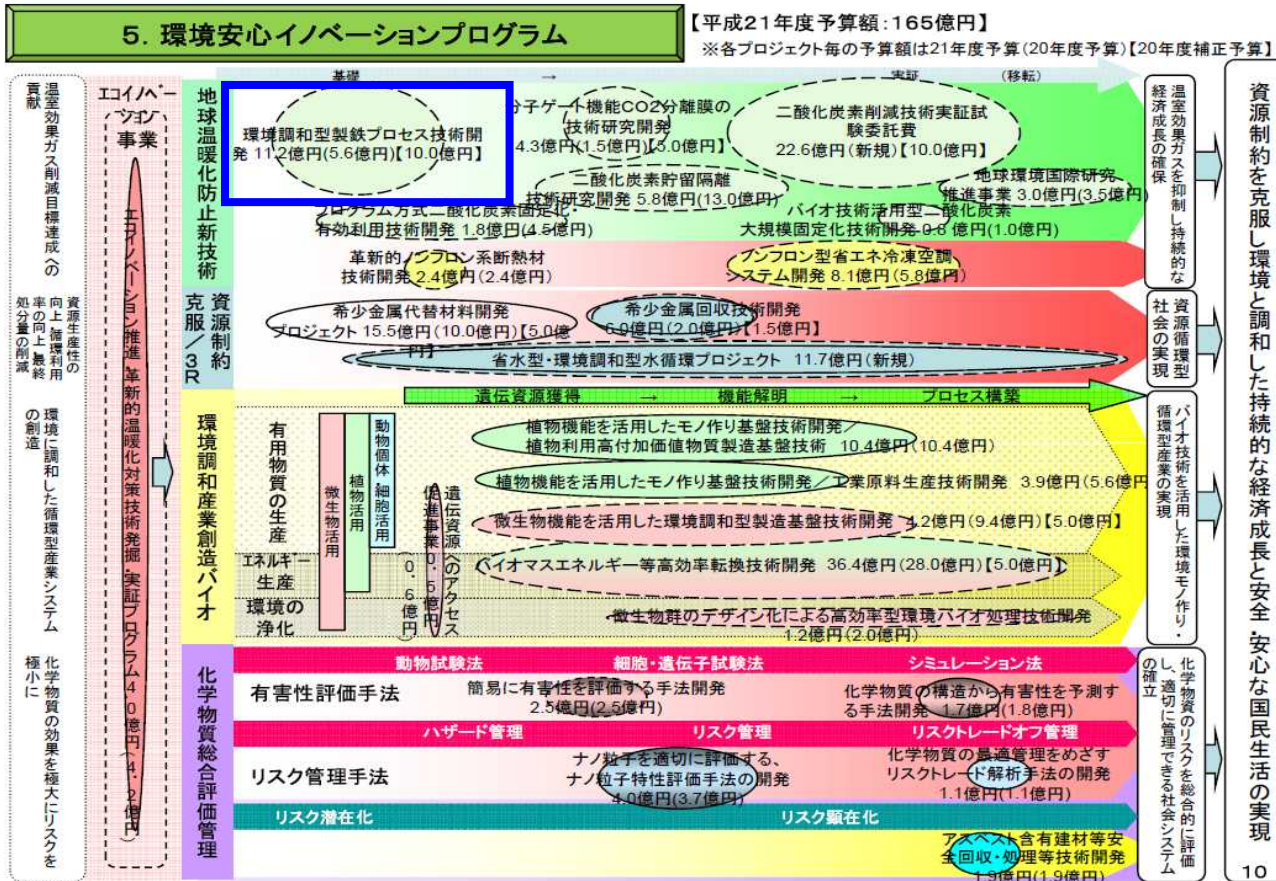
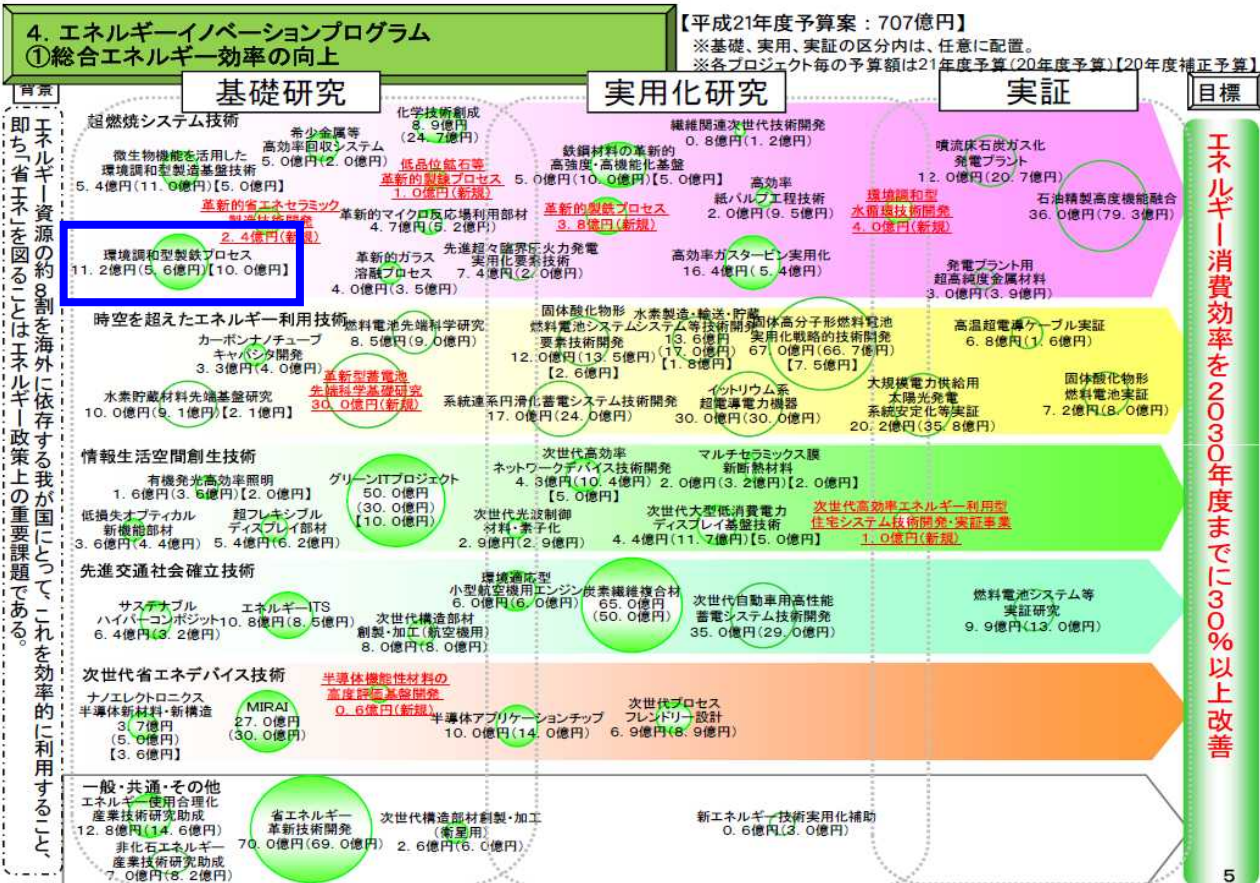
### 2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (Outside Communication & Networking)

- 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
- 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。

### イノベーションプログラム(IPG)の21年度予算額 (総額: 1, 966億円※1)

<p><b>IT IPG</b></p> <p>①ITコア技術の革新 94億円 ②省エネ革新 42億円 ③情報爆発への対応 44億円 ④情報システムの安全性等 63億円</p> <p>21年度予算 244億円</p>	<p><b>ナノテク・部材 IPG</b></p> <p>①ナノテク加速化領域 36億円 ②情報通信領域 28億円 ③ライフサイエンス・健康・医療領域 16億円 ④エネルギー・資源・環境領域 78億円 ⑤材料・部材領域 27億円 ⑥共通領域 4億円</p> <p>21年度予算案 188億円</p>	<p><b>ロボット・新機械 IPG</b></p> <p>①ロボット関連技術開発 38億円 ②MEMS関連技術開発 12億円</p> <p>21年度予算 50億円</p>	<p><b>健康安心 IPG</b></p> <p>①創薬・診断技術開発 102億円 ②診断・治療機器・再生医療等の技術開発 28億円</p> <p>21年度予算 130億円</p>
<p><b>エネルギー IPG</b></p> <p>①総合エネルギー効率の向上 707億円 ②運輸部門の燃料多様化 278億円 ③新エネルギー等の開発・導入促進 369億円 ④原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保 268億円 ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用 479億円</p> <p>21年度予算 1,281億円※2</p>	<p><b>環境安心 IPG</b></p> <p>①地球温暖化防止新技術 60億円 ②3R 33億円 ③環境調和産業バイオ 57億円 ④化学物質総合評価 11億円 ⑤共通領域 4億円</p> <p>21年度予算案 165億円</p>	<p><b>航空機・宇宙産業 IPG</b></p> <p>①航空機産業の基盤技術力の維持・向上 233億円 ②宇宙産業の国際競争力強化 87億円</p> <p>21年度予算案 320億円</p>	

※1 各イノベーションプログラムにおけるプロジェクトの重複を排除した額 ※2 各サブプログラムで重複があるため小計と一致しない



# イノベーションプログラム 基本計画

平成21年4月  
経済産業省

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを2050年までに半減するという長期目標を達成するため、以下に政策の柱毎に目的を示す。

#### 1-I. 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

#### 1-II. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

#### 1-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

#### 1-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO<sub>2</sub>を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

#### 1-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。



## 2. 政策的位置付け

- 低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）  
2008年6月の福田総理（当時）のスピーチ「福田ビジョン」等を受け、我が国が低炭素社会へ移行していくための具体的な道筋を示すため、国全体を低炭素化へ動かす仕組みや革新的な技術開発、国民一人ひとりの行動を促すための取組について策定。  
「環境エネルギー技術革新計画」や「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」等に示された革新的技術の開発に5年間で300億ドル程度を投入するという具体的な目標が示された。
- 環境エネルギー技術革新計画（2008年5月）  
温室効果ガスの大幅な削減を目指すだけでなく、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を考慮し、以下の戦略等を策定。
  1. 低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略
  2. 国際的な温室効果ガス削減策への貢献策
  3. 革新的環境エネルギー技術開発の推進方策
- Cool Earth—エネルギー革新技術計画（2008年3月）  
2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受け、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、エネルギー分野における革新的な技術開発について検討をおこない、21の技術を選定。
- エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）  
重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、
  1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
  2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
  3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
  4. 新エネルギーに関する技術
  5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術以上が位置づけられている。
- 新・国家エネルギー戦略（2006年5月）  
世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため
  1. 省エネルギーフロントランナー計画
  2. 運輸エネルギーの次世代化計画
  3. 新エネルギーイノベーション計画
  4. 原子力立国計画以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。
- 第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）  
国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置づけられている。

- 経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）  
資源・エネルギー政策の戦略的展開として
  1. 省エネルギーフロントランナー計画
  2. 次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー一次世代化
  3. 新エネルギーイノベーション計画
  4. 原子力立国計画
  5. 資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化以上が位置づけられている。
- 京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）  
「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

### 3. 達成目標

#### 3-I. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、GDP当たりのエネルギー消費指数を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

#### 3-II. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。

#### 3-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

#### 3-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30~40%程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

#### 3-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

#### 4. 研究開発内容

##### 4-I. 総合エネルギー効率の向上

}

##### 4-I-ii. 超燃焼システム技術

###### (1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発（運営費交付金）（再掲）

###### ①概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素（コークス）の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

###### ②技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

###### ③研究開発期間

2008年度～2017年度

}

## 5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

### 5-I. 総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

### 5-II. 運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

### 5-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

- 補助金等による導入支援
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

### 5-IV. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

### 5-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

## 6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用プログラム基本計画（平成16・02・03産局第6号）は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第8号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第10号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第12号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第11号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第13号）は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第14号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第9号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第17号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第12号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第13号）は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画（平成17・03・29産局第2号）は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・31産局第19号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第15号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第18号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第17号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第16号）は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成19・03・26産局第1号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成19・03・20産局第4号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成19・03・19産局第7号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成19・03・16産局第3号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成19・03・23産局第2号）は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (6) 平成21年4月1日付け制定。エネルギーイノベーションプログラム基本計画（平成20・03・25産局第5号）は廃止。

## 環境安心イノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済・社会の実現と、安全・安心な国民生活を実現するため、革新的な技術開発や低炭素社会の構築等を通じた地球全体での温室効果ガスの排出削減、廃棄物の発生抑制（リデュース）、製品や部品の再使用（リユース）、原材料としての再利用（リサイクル）推進による循環型社会の形成、バイオテクノロジーを活用した環境に優しい製造プロセスや循環型産業システムの創造、化学物質のリスクの総合的な評価及びリスクを適切に管理する社会システムの構築を推進する。

### 2. 政策的位置付け

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）及び分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点推進分野である環境分野及び国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発の推進分野であるエネルギー分野に位置付けられるものであるほか、次のとおり位置付けられている。

○ 新産業創造戦略2005（2005年6月経済産業省）

先端的新産業分野として掲げられた戦略7分野の一つの「環境・エネルギー・機器・サービス」及び「健康・福祉・機器・サービス」に該当し、「技術戦略マップ」を活用し、効果的な研究開発を促進することが今後の取組として指摘されている。

○ 「新・国家エネルギー戦略」（2006年5月経済産業省）

省エネルギーフロントランナー計画において省エネルギー技術開発の一層の推進を図ることとしている。

○ 経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

「環境と経済の両立を図るため、金融面からの環境配慮を進めるとともに、環境技術の開発、3Rイニシアティブやアジア環境行動パートナーシップ構想による優れた技術・制度の国際的な普及と標準化等に向けた取組を進める」との方針が示されている。

○ イノベーション25（2007年6月閣議決定）

イノベーション立国に向けた政策ロードマップ—社会システムの改革戦略—早急に取り組むべき課題「環境・エネルギー等日本の科学技術力による成長と国際貢献」において、「環境・資源・エネルギー等の世界的制約となる課題の解決に貢献し、技術開発や環境整備を通じて持続可能な産業体系・社会基盤・生活を実現することにより世界と日本の経済成長の原動力とするエコイノベーションを実現すべきである。」との方針が示されている。

イノベーション立国に向けた政策ロードマップ—技術革新戦略ロードマップ「世界的課題解決に貢献する社会—ものづくり技術分野」の中で「3R型設計・生産・メンテナンス技術、製品の設計・製造段階でのリサイクル阻害物質の使用排除を可能とする技術、製品中の有用・有害物質管理技術の開発・標準化」が資源を有効利用し、環境に配慮したものづくり技術として位置づけられている。

○ 21世紀環境立国戦略（2007年6月閣議決定）

今後1、2年で重点的に着手すべき八つの戦略の中で「3R関連法制度等の充実や技術開発の支援を通じて、製品のライフサイクル全体での天然資源投入量の最小化や

再生資源の高付加価値製品への利用を促進し、資源生産性の更なる向上と環境負荷の低減を図る」との方針が示されている。

同じく、今後1、2年で重点的に着手すべき八つの戦略のうち「環境・エネルギー技術の中核とした経済成長—環境技術・環境ビジネスの展開」において「環境重視・人間重視の技術革新・社会革新を図る「エコイノベーション」というコンセプトの下、我が国の強みである「ものづくり」と「環境・省エネ」の技術力を根子に、持続可能な生産システムへの転換、ゼロエミッション型社会インフラ整備、環境価値を重視した持続可能な生活の実現に向けた技術革新と社会システム改革を一体的に推進し、その成果をOECD等を通じて世界に発信する。」との方針が示されている。

- 「地球温暖化対策技術研究開発の推進について」（2003年4月総合科学技術会議）

総合科学技術会議重点分野推進戦略専門委員会に設置された温暖化対策技術プロジェクトチームでまとめられた上記報告書における研究開発推進戦略に対応するものである。

- 京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）  
目標達成のための対策と施策のうち地球温暖化対策技術開発の推進に位置づけられるものである。

- Cool Earth—エネルギー革新技術計画（2008年3月経産省公表）  
重点的に取り組むべきエネルギー革新技術「21」を含むものである。

- 低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）  
「低炭素社会を目指し、長期目標を実現するために重要な革新的技術開発の推進及び既存先進技術の普及促進を行う。」とされている。

- 産業構造審議会廃棄物・リサイクル小委員会基本政策ワーキンググループ報告書（2008年1月）

「近年、安定供給が懸念されているレアメタルの中には、使用製品からの回収・再利用技術が確立していないものもあることから、回収された使用済製品から効率的に抽出するための新たな技術の開発にも取り組むべきである。」とされている。

- バイオマス・ニッポン総合戦略（2006年3月閣議決定）  
バイオマスの変換に関する戦略として、経済性の向上、革新的な変換技術の開発に取り組むこととしている。

- ドリームBTジャパン（2008年12月BT戦略推進官民会議取りまとめ）  
バイオテクノロジー（BT）を活用して、環境に優しい低炭素社会の実現と環境修復のための技術開発と実用化支援を行うこととしている。

### 3. 達成目標

#### I. 地球温暖化防止新技術

- (1) 世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、経済成長と温室効果ガスの排出削減の双方を同時に達成できる革新的技術を開発するとともに、低炭素社会モデル構築に向けた取り組みを推進。

【目標】 世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減

- (2) 「京都議定書」で課せられた温室効果ガス削減目標の達成  
（「京都議定書目標達成計画」に示された各部門の目安としての目標（基準年比）は以下のとおり）

#### 【目標】

- ① エネルギー起源CO<sub>2</sub>： +1.3～2.3%
- ② 非エネルギー起源CO<sub>2</sub>： ▲0.04%
- ③ メタン： ▲0.9%

- ④ 一酸化二窒素：▲0.6%
- ⑤ 代替フロン等3ガス：▲1.6%

(※)「京都議定書目標達成計画」とは、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づき、「京都議定書」の▲6%削減約束を確実に達成するために必要な措置を定めるものをいう(平成17年4月閣議決定、平成18年7月一部改定、平成20年3月全部改定)。

## II. 資源制約克服/3R

「第2次循環型社会形成推進基本計画(平成20年3月閣議決定)に基づき、2015年度までに以下の目標の達成を図る。

- ① 資源生産性：約42万円/トン(2000年度：約26万円/トン)
- ② 循環利用率：約14~15%(2000年度：約10%)
- ③ 最終処分量：約23百万トン(2000年度：約57百万トン)

(備考)

- 資源生産性=(GDP)/(天然資源等投入量)
- 循環利用率=(循環利用量)/(循環利用量+天然資源等投入量)

## III. 環境調和産業創造バイオ

バイオプロセスによって有用物質を生産し、廃棄物や汚染物質を発酵等により処理又は再資源化するという、循環型の産業システムを実現するために必要な技術基盤の構築を図るとともに、遺伝子組換え体の産業利用における安全性管理の充実を図る。具体的には、工業プロセスにバイオテクノロジーを導入することや、微生物や植物機能等を活用したモノ作り技術の開発、バイオマス利用、及びバイオ技術による産業廃水等処理技術の開発等を通して、環境調和型産業の創出に資する。

## IV. 化学物質総合評価管理

化学物質のリスクの総合的な評価を行いつつ、リスクを評価・管理するための技術体系を構築する。そのために、化学物質のリスクに係る国民の理解増進のための基盤、事業者が自らリスクを判断する手段及び国が規制等の施策を講ずる際の手段として、化学物質のライフサイクルにわたるリスクの総合的な評価管理を行うための手法を確立するとともに、リスクの削減に資するプロセス、手法の開発、さらには知的基盤を整備する。

## 4. 研究開発内容

### I-1. CO2固定化・有効利用技術

地球温暖化対策のため、排出される二酸化炭素を分離回収・固定化することや、有用物質に変換する技術を開発し、低炭素社会の構築に資する。

### (iii) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)

#### ①概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

#### ②技術目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO2排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

#### ③研究開発期間

2008年度~2017年度



## 5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

### 【導入普及促進】

- 排出量の多い品目・業種や処理困難物を中心にリサイクルシステムなどの実証・市場化対策に関するフェージビリティ・スタディを実施する。
- サプライチェーングループを対象に、部品等の仕様と原材料の使用・副産物の発生状況等に関する診断を実施し、製品設計及び製造プロセスの同時改善の方向性に関する提案、指導を行うとともに、取組事例を分析・評価し、資源投入量の抑制効果の高い優良な事例を公開する。
- 商品選択に資するわかりやすい3R配慮情報（省資源性や再生資源・部品の使用状況等）を消費者に提供し、環境配慮型製品の市場拡大を推進するため、指標の策定や、情報提供手法の確立、製品の情報検索が可能なシステムの検討・開発を行う。
- 3R対策が講じられている製品等の市場開拓を促進するため、政府が環境物品等を率先購入することを定めたグリーン購入法について、同法の判断基準が引き続き3R対策を適切に反映するようにしていく。
- 化学物質の有害性評価、暴露分析、リスク評価等のデータベースの構築を図るとともに、それらの手法の各種活動（事業者の自主管理活動、事業者、地方自治体等が国民とリスクコミュニケーションを図る活動等）等への導入を図る。
- 公害防止設備に対する優遇税制等の支援を行う。

### 【法規制・制度改革】

- 二酸化炭素回収・貯留（CCS）の国内での本格実施に必要な法規制・制度の整備等に関して検討を行う。
- 資源有効利用促進法等のリサイクル関連法制度によるスキームを活用して、3R対策を網羅的に講じることにより、循環型社会の構築を図る。
- 遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）に基づく立入検査で査収した生物が遺伝子組換え生物であるか否かを判断するための基盤的な技術の高度化や収去方法を確立すること等により、的確な法律の執行体制を整備する。

### 【ガイドライン】

- 事業者による自主的取組を促進する観点から、産業構造審議会において策定している「業種別・品目別廃棄物処理・リサイクルガイドライン」（自主的な目標の設定）について、3R対策を加速する観点から適宜フォローアップを行い、改定を行う。

### 【基準・標準化】

- 各プロジェクトや民間における技術開発等で得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。
- CO<sub>2</sub>回収・貯留後のモニタリング、植林等によるCO<sub>2</sub>固定化量の計算、バイオマス利用時のCO<sub>2</sub>排出削減量の評価、環境影響や安全性評価手法など、CO<sub>2</sub>固定化・有効利用を推進するに当たって標準化が必要となる事項については、研究・開発状況や社会情勢を常に意識しながら計画的に標準化を推進する。
- リサイクル品などの3R配慮製品に対する需要の創出・拡大を図るため、「環境JIS策定促進のアクションプログラム」に基づき、リサイクル品等の品質基準及び試験評価方法の規格（環境JIS）の策定を引き続き推進する。
- バイオマス由来プラスチックにおけるバイオマス含有量測定の標準化を推進するとともに、生分解性プラスチックに係る微生物嫌気分解試験方法の国際標準化を着実に実施する。
- 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発については、開発された簡易有害性評価手法等を2014年度を目途に経済開発協力機構（OECD）にテストガイドラインとして提案することを検討し、国際標準化を推進する。

#### 【調達促進】

- バイオマス由来プラスチック等、生物機能を用いた生産プロセスにより生産された製品について、グリーン購入法に基づく調達品目として位置付けられるべく検討を行う。

#### 【広報・啓発】

- 研究開発プロジェクトの成果について広く普及啓発を図るため、シンポジウム等を行う。
- 3Rの普及・促進を図るため、毎年10月を「3R推進月間」とし、この期間を中心として、3R活動への関係者の取組を促すための「3R推進功労者等表彰」や、循環ビジネス振興のための「資源循環技術・システム表彰」等の普及啓発活動を実施する。

#### 【知的基盤整備】

- 国内外との共同研究等を通じ、革新的な温暖化対策技術や方策についての情報交換に資する、情報ネットワークの構築等を行う。
- 物質生産用に開発された汎用宿主細胞や取得した生物遺伝資源は、独立行政法人製品評価技術基盤機構に整備し、社会に幅広く提供する。
- 独立行政法人製品評価技術基盤機構の化学物質管理センターにて事業者・国民・公的機関の化学物質管理に関する冷静な対話（科学的知見の共有）を促進するための知的情報基盤整備を図る。

#### 【国際協力】

- 生物多様性条約に基づく遺伝子資源へのアクセス促進事業において、日本のバイオ関連企業の遺伝資源保有国（途上国）の遺伝資源に対するアクセスを促進するための技術的環境整備及び遺伝資源へのアクセス実施の調整を行う。

#### 【他省庁との連携】

- 総合化学技術会議が推進する科学技術連携施策群の「食料・生物生産研究」及び「総合的リスク評価による化学物質の安全管理・活用のための開発技術」、ライフサイエンスPT、社会還元プロジェクトの下での関係府省間における適切な連携の実施。

#### 【プロジェクト等間の連携】

- CO<sub>2</sub>固定化・有効利用技術のロードマップに基づき、技術シーズ発掘型技術開発事業成果のプロジェクトへの取り込みや、プロジェクト間の連携により、低炭素社会モデルの構築に資する効果的なCO<sub>2</sub>固定化・有効利用システムの実現を図る。
- 植物機能を活用したモノ作り基盤技術開発に係る2つのプロジェクト間での、遺伝子高発現技術やモデル植物での基盤技術及び実用作物への技術展開に関する情報交換を推進する。

#### 6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

- ・事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。
- ・プログラム目標等については、京都議定書目標達成計画の評価・見直しプロセスに伴う対応を行う。
- ・各プロジェクトを横断的観点からマネジメントする体制を整備し、技術の進捗状況や社会情勢等を踏まえた適切な資源配分、技術成果のレビュー、普及施策の検討、実施すべき技術開発テーマ・領域・分野等の検討等を実施する。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画、化学物質総合評価管理プログラム基本計画制定。
- (2) 平成14年2月27日付け、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画制定。生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成12・12・27工総第15号）は、廃止。平成14年2月28日付け、革新的温暖化対策技術プログラム基本計画、3Rプログラム基本計画、化学物質総合評価管理プログラム基本計画制定。化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成12・12・27工総第14号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。革新的温暖化対策技術プログラム基本計画（平成14・02・25産局第16号）、3Rプログラム基本計画（平成14・02・25産局第13号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成14・02・25産局第5号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成14・02・25産局第7号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。革新的温暖化対策技術プログラム基本計画（平成15・03・07産局第18号）及びエネルギー環境二酸化炭素固定化・有効利用プログラム基本計画（平成15・03・07産局第19号）は、革新的温暖化対策技術プログラム基本計画に統合することとし、廃止。3Rプログラム基本計画（平成15・03・07産局第6号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成15・03・07産局第3号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成15・03・07産局第8号）は、廃止。
- (5) 平成17年3月31日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画（平成16・02・03産局第13号）、3Rプログラム基本計画（平成16・02・03産局第5号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成16・02・03産局第15号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成16・02・03産局第3号）は、廃止。
- (6) 平成18年3月31日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画（平成17・03・25産局第8号）、3Rプログラム基本計画（平成17・03・29産局第1号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成17・03・25産局第2号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成17・03・25産局第10号）は、廃止。
- (7) 平成19年4月2日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画（平成18・03・31産局第9号）、3Rプログラム基本計画（平成18・03・31産局第10号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成18・03・31産局第3号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成18・03・31産局第11号）は、廃止。
- (8) 平成20年4月1日付け、環境安心イノベーションプログラム基本計画制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画（平成19・03・19産局第6号）、3Rプログラム基本計画（平成19・03・19産局第5号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成19・03・16産局第2号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成19・03・20産局第2号）は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (9) 平成21年4月1日付け制定。環境安心イノベーションプログラム基本計画（平成19・03・25産局第7号）は、廃止。

添付 2

## プロジェクト基本計画

## 「環境調和型製鉄プロセス技術開発（STEP 2）」基本計画

環境部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

本事業の目的は高炉法による一貫製鉄所のCO<sub>2</sub>発生量を抜本的に削減し、地球温暖化防止に貢献するため、高炉からのCO<sub>2</sub>の発生量を減少させる技術、及び発生したCO<sub>2</sub>を分離・回収する技術を開発することである。

鉄鋼業は我が国産業部門の中でCO<sub>2</sub>発生量の約39%、国全体の約15%を占める（2010年度）最大のCO<sub>2</sub>排出業種であり、その中でも特に排出量の多い高炉法による製鉄プロセスにおいては地球温暖化対策として抜本的なCO<sub>2</sub>排出量の削減が求められている。

しかしながら、我が国の鉄鋼業についてみると、製鉄技術は既に世界最先端の水準にあり、廃熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達しているため、ポスト京都議定書に向け世界規模でのCO<sub>2</sub>削減を実現するためには、革新的な製鉄プロセス技術開発が必要とされている。平成19年5月に発表された地球温暖化に関する総理のイニシアティブ「美しい星50（Cool Earth 50）」においても、示された三原則の一つとして「省エネなどの技術をいかし、環境保全と経済発展とを両立すること。」が提言されており、「革新的技術開発」の一例として本技術開発が位置付けられているところである。

上記のイニシアティブを踏まえて2008年3月、全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標実現に向け、経済産業省にて「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」が策定されている。その中において革新的製鉄プロセスは効率の向上と低炭素化の両面から、CO<sub>2</sub>大幅削減を可能とする「重点的に取り組むべきエネルギー革新技術21」の一つとして位置付けられている。

本技術開発においては、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス（COG）に含まれる水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する。また、高炉ガス（BFG）からCO<sub>2</sub>を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的なCO<sub>2</sub>分離回収技術を開発する。これらの技術開発によりCO<sub>2</sub>排出量の約3割削減を目標に、低炭素社会を目指す。

これらの技術開発においてフェーズIステップ1（平成20～24年度（5年間））として要素技術開発を実施した。今後、フェーズIステップ2（平成25～29年度（5年間））にて要素技術を組合せたパイロットレベルの総合実証試験を行った後、フェーズII（実証規模試験）を経て、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO<sub>2</sub>削減を可能にする技術の確立に資する。

## (2) 研究開発の目標

### ①アウトプット目標

本技術開発(フェーズⅠステップ2)では、CO<sub>2</sub>発生量を大幅に削減する、環境に調和した製鉄プロセスの開発として、各要素技術を統合したパイロットレベルの総合実証試験を行うとともに、実証規模試験を行うフェーズⅡにつなげていくために下記の項目を目標とする。

#### 【中間目標(平成27年度)】

##### (a) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発

- ・ 水素還元の効果을最大限とするための技術をラボレベルで検討し実現性、有効性に対するめどを得て具体的な実証試験の計画を立案する。
- ・ 10m<sup>3</sup>規模試験高炉の建設を完了させる。
- ・ 触媒を用いてCOGに含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術において高炉への吹き込みガス用としての改質反応の最適化、改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。
- ・ メタン改質等の総合的に改質向上に資する要素技術のめどを得る。

##### (b) 高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発

- ・ CO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>を実現可能な技術の充実を指向し再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発のめどを得る。

#### 【最終目標(平成29年度)】

##### (a) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発

- ・ 10m<sup>3</sup>規模試験高炉により高炉からのCO<sub>2</sub>排出量を削減する技術を確立する

##### (b) 高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発

- ・ 高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確立する。

### ②アウトカム目標に向けた取り組み

フェーズⅠステップ1で得られた要素技術開発成果と課題を本技術開発に反映させパイロットレベルの総合実証試験を行うことで、実証規模試験を行うフェーズⅡにスケールアップするための技術を確立させる。

### ③アウトカム目標

2030年に実用化開始を目指し、製鉄所における現状の全排出レベルに比較して総合的に約30%のCO<sub>2</sub>削減可能な技術を確立することで、地球温暖化防止に貢献する。

### (3) 研究開発の内容

本技術開発においては、10m<sup>3</sup>規模の試験高炉を建設し、フェーズⅠステップ1で得られたラボレベルでの検討結果を総合的に検証、水素還元の効果을最大限とする反応制御技術を確立させ、その後のフェーズⅡの実証試験高炉(100m<sup>3</sup>規模)のスケールアップデータの取得を目指す。

CO<sub>2</sub>分離回収技術においては、実証試験高炉(100m<sup>3</sup>規模)とマッチングできる

CO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>を可能とする技術を開発するため、高性能化学吸収液等の開発、物理吸着法の更なる効率化、未利用排熱活用技術の適応研究を実施し、更なるコスト低減技術の構築を図る。

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

[委託事業]

(a) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発

10m<sup>3</sup>規模試験高炉により高炉からのCO<sub>2</sub>排出量を削減する技術を確立する。

① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

高炉での鉄鉱石還元の水素を活用すること等で、使用するコークス量を削減し、CO<sub>2</sub>発生量自体を減少させる技術を開発する。

・ 10m<sup>3</sup>規模試験高炉等による水素還元総合最適化技術開発

10m<sup>3</sup>規模の試験高炉を建設し、還元ガス吹き込み方法の最適化、水素還元時におけるガス利用率維持のための操業要因の解析などを実施し、水素還元の効果を最大限とする技術を確立する。

・ 水素還元に適した原料設計

水素還元に必要な原料性状、装入方法をラボレベルで検討した後、10m<sup>3</sup>規模試験高炉で検証試験を行う。

② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

水素還元を用いる水素を製鉄所内から供給する方法として、コークス炉で発生する副生ガス(COG)から水素を増幅する技術を開発する。

・ 触媒を用いたCOG改質技術の最適化、最適処理形式の検討

COGに含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術を確立するため、30Nm<sup>3</sup>/hr規模の実ガスを用いた試験装置の改造などにより、改質反応器への水蒸気の最適添加方法などの検討を行い、高炉への吹き込みガス用としての改質反応の最適化を図るとともに、改質触媒の活性劣化対策としてプロセス及び装置改善を図る。その後、最適処理形式の検討結果を踏まえ試験設備を建設し実証試験を行う。

・ COGの総合的改質技術の確立

COGには多量のメタンが含まれているが、高炉への改質COGの吹き込みにおいては、ガスの予熱及びメタン成分の最小化が求められることから、触媒法による改質のみでなく改質ガスへの品質要求を踏まえ、更なる改質向上に向けて、部分酸化法などの方式検討も含むCOGの総合的な改質技術のプロセス検討を行う。その際、コークス炉と高炉での2つの処理プロセスの最適負荷分担を総合的に検討する。

③ コークス改良技術開発

水素還元に適したコークス製造技術の開発としてステップ1にて高強度コークスの製造技術を確立したが、ステップ2では以下を実施する。

・ コークス品質の解明

ステップ1にて得られたコークス強度 $DI = 88$ に加え、最適な反応性を解明し製造方法を確立する。

- ・  $10\text{ m}^3$ 規模試験高炉による検証

製造した高性能コークスを $10\text{ m}^3$ 規模試験高炉に用い、水素還元下での特性を把握する。

#### (b) 高炉ガスからの $\text{CO}_2$ 分離回収技術開発

高炉ガス(BFG)からの $\text{CO}_2$ 分離回収コスト $2,000\text{ 円/t-CO}_2$ (「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確認する。

##### ① $\text{CO}_2$ 分離回収技術開発

$\text{CO}_2$ 分離回収技術として、化学吸収法及び物理吸着法の最適化を図る。

- ・ 化学吸収法による $\text{CO}_2$ 分離エネルギー・コストの削減技術開発

再生温度の大幅低減による未利用排熱の利用拡大を図るべく、高性能吸収液を開発する。また、分離回収のためのエネルギーの一層の低減のため非水系吸収液等の適用検討を行う。

- ・ 物理吸着法のコスト低減とスケールアップ検証

コスト低減のため高効率化の開発を行う。また、吸着層を高くした試験を実施して性能検証を行うとともに、実機規模での設備に必要な仕様を検討する。

- ・  $\text{CO}_2$ 分離回収後ガスの有効利用技術の検討

高炉ガスの $\text{CO}_2$ 分離回収後のガス中には $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ などの可燃性ガスが含まれていることも含め活用可能な成分があるため、回収して有効利用するための技術を検討する。

##### ② 未利用排熱活用技術の開発

$\text{CO}_2$ 分離回収に必要なエネルギーを製鉄所内の未利用排熱のエネルギー(熱又は電力に変換)で賄うため、未利用排熱の活用技術を開発する。

未利用排熱集約のための基礎技術として、複数熱源回収システムにおける排熱回収用熱交換器の調査、開発を行うとともに、未利用排熱集約のための具体的なエンジニアリングを行い、実用化に向けた問題点と対策法などを明確にする。

#### (c) 全体プロセスの評価・検討

製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からの $\text{CO}_2$ 排出量30%削減を可能にするための総合的な評価、検討を行う。

COG改質、 $\text{CO}_2$ 分離回収に必要なエネルギーと未利用排熱集約のエンジニアリングに基づく、総合的なエネルギーバランスの最適化を図る。

また、水素還元高炉の高機能化として新原理、新方式技術の組合せ検討を行う。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」という。)が単独ないし複数の、原則本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必



要な部分はこの限りではない。) から、公募によって研究開発実施者を選定し、委託により実施する。

共同で参加する各グループの有する技術ポテンシャルを最大限に活用して効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDOが委託先決定後に指名する研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

## (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDOに設置する委員会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、四半期に一回程度プロジェクトの進捗について委託先からの報告を受けること等を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

研究開発の実施期間は、平成25年度から平成29年度までの5年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成27年度、事後評価を平成29年度に前倒し実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係わる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ① 成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

#### ② 知的基盤整備事業及び標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報(TR)制度への提案等を積極的に行う。

#### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の

研究開発動向、産業技術政策動向、第三者の視点から評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標や研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号ハに基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成25年3月、制定。

添付 3

技術戦略マップ  
(分野別技術ロードマップ)

# エネルギー関係技術開発ロードマップ

平成26年12月

経済産業省

## I. はじめに

“国民生活と産業活動の血脈であるエネルギーの安定的な確保は、国の安全保障にとって不可欠なものであり、我が国にとって常に大きな課題であり続けている。”

本年4月11日に閣議決定された第四次エネルギー基本計画の冒頭で述べられたこの一節は、化石燃料に乏しいことから、大宗のエネルギー源を海外に頼らざるを得ない我が国の根本的な脆弱性に対する危機意識を端的に述べたものである。エネルギーを巡る我が国の厳しい現実に対応していくべく、我々は様々な政策を展開していかなければならない運命にある。

先般、第三次エネルギー基本計画から4年ぶり、かつ、東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故後初となる第四次エネルギー基本計画を閣議決定した。大震災及び原子力発電所事故後、原子力発電所が次々と停止していく中で、石油、天然ガス等の化石燃料への依存度が増加し、エネルギー自給率の悪化、エネルギーコストの上昇、二酸化炭素排出量の増大などの様々な問題に直面する状況に対し、当該基本計画は、こうした問題に適切に対応しつつ、中長期的に我が国のエネルギー需給構造に関する脆弱性の解決を図っていくための、現実的かつ実現可能なエネルギー政策の方向性を総合的・俯瞰的に示している。

当該基本計画においては、様々な分野に関わる政策の方向性が示されているが、第4章「戦略的な技術開発の推進」において、技術開発政策についても、その方向性が示されている。

ここで述べられている技術開発政策の基本的な方向性は、以下の2つである。

- 我が国が抱えるエネルギー需給構造上の脆弱性は、現在の技術や供給構造の延長線上の取組によって根本的な解決を見出していくことは容易ではなく、革命的なエネルギー関係技術の開発とそのような技術を社会全体で導入していくことが不可欠であり、長期的な研究開発の取組と制度の変革を伴うような取組が必要。
- 根本的な解決策を探るための長期的視野に立った取組が必要である一方、日々の省エネルギー化、安全性の改善から始まり、エネルギー需給に影響を及ぼす課題は様々なレベルで存在しており、短期・中期それぞれの観点から、エネルギー需給を安定させ、安全性や効率性を改善していく不断の取組もまた極めて重要。

こうした考えを踏まえることで、短期・中期・長期のそれぞれの観点を踏まえ、技術課題を俯瞰して明確にすることができる。

さらに、こうした全体の整理を行う上で、各技術開発の取組について、当該基本計画では、特に以下の点について明確にすることが重要であるとしている。

- ・どのような課題を克服するための取組なのか、まずその目標を定めること
- ・開発を実現する時間軸と社会に実装化させていくための方策を合わせて明確化すること

それぞれの技術開発プロジェクトについて、以上の2点を合わせて明確にして整理することで、技術開発政策の全体における役割と時間軸の位置付けを明確にすることが可能となる。

今般策定する技術開発に関するロードマップは、当該基本計画で策定することが明示されたものであり、これまで政府で策定されてきた「環境エネルギー技術革新計画(2013年9月総合科学技術会議決定)」等で整理された技術開発プロジェクトを中心に、上記の論点に基づいて改めて位置付けを整理し、エネルギーに関連する技術開発プロジェクト全体を俯瞰したものである。

今般のロードマップでは、上記の作成手法を通じて、現時点における我が国のエネルギー需給構造上の課題と技術開発政策の戦略的な展望を俯瞰的にまとめることに加え、さらに、1973年の第一次石油ショックを契機に始められた我が国のエネルギー関係技術開発戦略を改めて整理するとともに、米欧を中心に海外のエネルギー関係技術開発政策の動向を調査して取り上げて、以下の構成を採ることで、我が国の現在の技術開発政策の戦略を立体的に示すように工夫している。

## 第1章 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組

- ・石油供給の不安定化という現実の危機に直面したことから始まった、様々な課題に対応するための技術開発の取組を歴史的な視点から整理することで、我が国の技術的蓄積(土台)とその発展可能性を明らかにしつつ、現在の技術開発政策を時間軸の中に位置付け。

## 第2章 主要国の技術開発戦略の整理

- ・海外のエネルギー関係技術開発戦略について、そうした戦略を必要とするそれぞれの国のエネルギー事情も踏まえて調査・分析することで、我が国との相違と適用可能性も視野に入れつつ、我が国の技術開発政策を空間軸に位置付け。

## 第3章 主要技術課題のロードマップ

- ・技術開発プロジェクトの必要性と社会への実装化に向けた課題をあわせて整理した、各技術課題のロードマップを提示。

以上の3部構成を採ることで、我が国の現在の技術開発政策の位置付けを、時間軸、空間軸の両面から明らかにするとともに、単に技術を開発するのではなく、社会への実装化のための具体的な論点を示した。

これによって、本ロードマップが、高い安全性を誇るエネルギー供給体制の確立と、エネルギー

需給構造の安定化・効率化・低環境負荷化に、具体的に貢献していくためのエネルギー関係技術開発政策を遂行していくための海図となることを強く願っている。

## Ⅱ. 第1章 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 ～我が国のこれまでの技術開発戦略の整理～

### (1) 我が国を取り巻くエネルギー事情の変化と技術関連計画の変遷の概要

戦後、経済の立て直しを進めるため、エネルギー・産業に関して、国内における石炭の増産と鉄鋼製造能力の回復を目指した傾斜生産方式が経済政策の柱として取り組まれるとともに、安定的なエネルギー供給の実現を目指し、大規模な水力発電の開発が各地で進められた。

こうした取組により、1955年における発電電力量に占める水力の割合は78%、石炭火力は20%を占めた。その後、我が国は高度経済成長期を迎え、電力需要が急激に増加することになったが、これを支えたのが、中東地域等で大量に生産された安価な石油である。1955年の石油火力の総発電量に占める割合はわずか1%であったが、1965年には31%となり、国産石炭が価格競争力を失っていく中で、石炭火力の26%を超え、水力の42%に迫る水準となった。1970年には、水力は総発電の4分の1まで依存度を下げ一方、石油火力は58%を占めるに至り、第1次石油ショックのあった1973年には、石油火力への依存度は71%に達していた。

このように安価な石油に依存したエネルギー需給構造は、第四次中東戦争を契機に発生した石油の安定供給に対する不安によって、大きな困難に直面することになった。

海外からの化石燃料、特に中東地域からの石油に大きく依存するという我が国の根本的な脆弱性がにわかに現実の問題となる中、中長期的に我が国のエネルギー需給構造の改革を推進するためには、これまでの技術の延長線上ではない革新的な技術の導入が必要であることが認識されるに至った。このような認識の下で、我が国最初の長期的・総合的な技術開発計画として1974年に策定されたのが、「サンシャイン計画」である。同計画では、太陽、地熱、石炭、水素エネルギー技術を重点技術課題として位置付けている。

さらに1978年には、省エネルギー技術の研究開発計画である「ムーンライト計画」が策定され、石油に代替するエネルギー技術と省エネルギー技術を両輪として、海外からの石油に大きく依存する我が国のエネルギー需給構造の脆弱性を改善するための技術開発を推進する体制が整えられた。

その後、石油備蓄体制の整備などによる供給構造の安定化のための各種政策や、官民の省エネルギーの取組とともに、中長期的な方針に基づいた技術開発政策が着実に進められ、エネルギー利用の高効率化や石油代替としてのLNGや原子力の役割の拡大といったエネルギー需給構造の改革が成果を上げていったが、1990年代には、再び石油の安定供給を揺るがす湾岸戦争が発生し(1990年)、また、エネルギー多消費による地球環境問題に対する危機意識の拡大を背景とした地球サミットの開催(1992年)など、エネルギーを巡る新たな課題が認識されることとなった。

こうした時代の変化を背景に、通商産業省は、サンシャイン計画、ムーンライト計画、さらに地球環境技術研究開発の体制を一体化した「ニューサンシャイン計画」を発足させ、持続的成長とエネルギー・環境問題を同時に解決するための革新的な技術の開発を加速する体制が整えられた。



特に、革新的技術開発課題として、広域エネルギー利用ネットワークシステム技術、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術、希薄燃焼脱硝触媒技術などに着手し、国際的に利用が拡大すると見込まれる石炭のクリーンな利用に関する取組などが進められた。

その後、1997年に採択され、2005年に発効した京都議定書など、地球温暖化問題へのエネルギー利用の観点からの対応が更に強く求められるようになる中、イノベーションによってエネルギーに関連する環境制約を乗り越えるための技術開発戦略が累次にわたって取りまとめられている。

さらに、環境制約をイノベーションを創出する機会として捉えることを示した、2004年にとりまとめられた新産業創造戦略を踏まえ、技術戦略マップが2005年から2010年まで毎年とりまとめられるとともに、2050年までに温室効果ガス排出量を現状(2000年代中頃)よりも半減するという野心的な目標を実現するための革新的な技術の開発を促進する計画として「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」が策定されるなど、革新的技術の開発を加速する戦略が提示された。

さらに、2000年代中頃からは、新興国の経済成長の加速に伴う化石燃料の需要拡大の結果、これまでの、いわゆる石油メジャーによる資源開発が、中印など新興国の石油企業を巻き込んだより世界的な広がりを持つ資源獲得競争の段階に入ったことを踏まえ、資源確保が以前よりも更に厳しい競争の下で行われるという問題意識を技術開発戦略においても反映するようになった。第4期科学技術基本計画ではこうした認識が明確に示されている。

こうした国際的な環境の変化に積極的に対応していこうという強い姿勢は、地球温暖化対策において更に顕著となり、“攻めの地球温暖化外交戦略”を下支えする2013年の環境エネルギー技術革新計画に、その姿勢が明確に示されている。

## (2)これまでのエネルギー技術関連計画等の整理及び分析

### サンシャイン計画（1974年策定）

#### 1. 策定・実施主体

通商産業省工業技術院

#### 2. 策定目的とその背景

1973年に発生した第一次石油ショックを契機として、顕在化した石油依存に関するエネルギー問題の解決を指向し、同時にエネルギー多消費社会の中で深刻化した環境問題の解決をも図るための技術開発等を促進する。

#### 3. 概要

我が国最初の長期的・総合的な技術開発計画とされている。

基本方針は、「エネルギーの長期的な安定供給の確保が国民経済活動にとって極めて重要であることにかんがみ、国民経済上その実用化が緊急な新エネルギー技術について、1974年から2000年までの長期にわたり、総合的かつ効率的に研究開発を推進することにより、数十年後のエネルギーを供給することを目標とする」と定められ、さらにこの理念を達成するために、太陽、地熱、石炭、水素エネルギー技術の4つの重点技術の研究開発が各々の実施計画の下に進められた。

サンシャイン計画の発足からほぼ4年が経過した1978年末から1979年にかけて、イラン革命を契機として国際石油需給はひっ迫し、これに伴い、石油価格は再び急騰した。こうした状況の中で、サンシャイン計画に対する期待も一段と高まりを見せた。加えて、同計画の主要なプロジェクトは本格的なプラント開発段階を迎えつつあったことから、この状況を踏まえ、同計画の新たな方向付けが求められることとなった。具体的には、(1)石炭液化技術開発、(2)大規模深部地熱開発のための探査・採掘技術開発、(3)太陽光発電技術開発が重点プロジェクトとして選択され、研究開発の加速的推進が図られた。

サンシャイン計画における主な成果としては、上記各技術分野における次頁の内容が挙げられる。

## サンシャイン計画の主な成果

プロジェクト名	成 果
1.全国地熱資源総合調査	(1)1980年度から1983年度までの全国規模での地熱資源調査により、世界でも稀にみる全国地熱資源有望地域抽出図を完成。 (2)1984年から実施した詳細調査により、上記(1)の有望地域のタイプ別ポテンシャルを判定するとともに、有望地区絞り込みの最適探査手法を開発。 (3)上記(1)及び(2)の結果を基に、有望地区の的確な抽出を行うための、高度な情報処理技術を応用した資源評価システムを中心とした総合解析手法の開発を終了。
2.深層熱水供給システム	1985年度までの採取還元試験により、温度約70°C、60t/hの熱水採取に成功し、堆積層での熱水の還元条件を解明。実用化への技術的見通しを得た。
3.褐炭液化	1981年度から、豪州ビクトリア州において50t/日パイロットプラントの研究を実施。1,700時間に及ぶ実質連続運転に成功するとともに液化抽出率50%を達成。本プラントは世界最大の褐炭液化プラントであり、豊富に賦存し、未利用に近い褐炭の高度利用、日豪の国際協力にも大きく貢献。1993年度終了。
4.石炭利用水素製造	1986年度から、石炭利用水素製造20t/日パイロットプラントの研究を実施。1,149時間連続運転、カーボン転換率98%、冷ガス効率78%以上を達成。本プロセスは燃料、石炭液化用等広範囲の用途に利用できる水素を低廉、大量に供給し得る、当時の世界最高レベルの高効率プロセスである。1995年度終了。
5.石炭ガス化 複合サイクル発電	(1)(流動床式)1985年度までの40t/日パイロットプラントの運転研究で冷ガス効率76%、炭素転換効率98%を達成。更に現在、実ガスによる世界最大規模の乾式脱硫・脱塵試験を実施。 (2)(噴流床式法)を1986年度から200t/日パイロットプラントの設計・製作を実施。現在、運転研究中の本プロセスは広範囲の炭種適応性を有する高効率(送電端効率43%以上)の石炭火力発電プロセス。
6.高カロリーガス化	1985年度までのガス生成量7,000Nm <sup>3</sup> /日(石炭処理量12t/日に相当)パイロットプラントの運転研究において、冷ガス効率72%、連続運転500時間を達成し、日本初の石炭ガス化装置として、実用化への技術的見通しを得た。
7.水素製造技術	アルカリ水電解法による20Nm <sup>3</sup> /h、エネルギー効率83~86%のパイロットプラントの開発(~1983年度)。
8.水素利用技術	水素吸蔵合金を用い、筒内噴射エンジンシステムを搭載した水素自動車の試作を行い、最高速度108km/h、走行距離280kmを達成(~1985年度)。
9.高性能分離膜 複合メタンガス製造	1986年度から基礎研究に着手。バイオリクターに分離膜を組み合わせた嫌気性発酵について、実証試験の成果をもとに、1989年度からパイロットプラントを建設し、運転・評価を行った。

[出典]資源エネルギー庁(編):新エネルギー便覧 平成10年度版、通商産業調査会(1999年3月)、p.226

## ムーンライト計画（1978年策定）

### 1. 策定・実施主体

通商産業省工業技術院

### 2. 策定目的とその背景

1973年に発生した第一次石油ショックによって、石油などの資源の有限性に対する危機感が高まったことを踏まえ、石油に依存しないエネルギー構造の確立を目的とし、新たなエネルギーの確保ではなく、省エネルギーによる資源の有効活用を目指す。

### 3. 概要

第一次石油ショック後の1978年度から通商産業省工業技術院が始めた省エネルギー技術研究開発計画である。

同計画では、エネルギー転換効率の向上、未利用エネルギーの回収、エネルギー供給システムの安定化によるエネルギー利用効率の向上とエネルギーの有効利用を図る技術の研究開発を行うこととし、(1)大型省エネルギー技術をはじめとして、(2)先導的、基盤的な省エネルギー技術開発、(3)民間の省エネルギー技術研究開発の助成、(4)国際研究協力事業、(5)省エネルギー技術の総合的効果把握手法の確立調査、及び(6)省エネルギーの標準化を強力に推進することとした。1994年度には、「スーパーヒート・エネルギー集積システム」等の6テーマを終了し、「燃料技術」等の10テーマについては「ニューサンシャイン計画」に研究を引き継いでいる。地球環境技術研究開発では、(1)人工光合成等による二酸化炭素の固定に関する研究、(2)二酸化炭素の分離技術の研究、(3)生分解性化学物質の研究が「ニューサンシャイン計画」に組み入れられた。

## ムーンライト計画の主な成果

プロジェクト名	成 果
1. 廃熱利用技術システム (1981年度に終了)	熱回収・熱交換技術、熱輸送・熱貯蔵技術の各要素技術及びトータルシステムの研究開発を実施し、吸収式ヒートポンプシステムの開発など所要の成果を収めた。既に吸収式ヒートポンプシステム等が輸出も含め内外の数十箇所の工場等で稼働しており、実用化が着実に進行。
2. 電磁流体(MHD)発電 (1983年度に終了)	1980年度に完成したマークII 発電実験機を使用し灯油燃焼発電実験を行い、1982年度までに計430時間の運転に成功。その結果、灯油燃焼により発電チャネルの耐久性の実証などの成果を挙げ、次期パイロットプラント(熱出力10万 kW)の製作に必要な設計資料を集積。
3. 高効率ガスタービン (1987年度に終了)	総合熱効率50%(LHV)、出力10万 kW、温度1,300°Cの高効率ガスタービンパイロットプラントの運転研究を東京電力袖ヶ浦火力発電所構内において実施。総合熱効率51.7%(世界最高)、出力9.3万 kW まで到達。 プロトタイププラント用タービン翼、燃焼器を組み込んだ高温タービン試験装置により、世界最高のタービン入口温度1,400°Cを達成し、レヒート型ガスタービンの複合発電効率55%の実現を確認。 耐熱合金、耐熱セラミックの材料開発、燃焼器、タービン翼の冷却方法の要素技術等の国内メーカーへの波及効果あり。
4. 汎用スターリングエンジン (1987年度に終了)	民生向け冷房用の3kW 及び30kW エンジン、産業向け小型動力源の30kW エンジンについて、1982～84年度に基本型エンジン、1985年度から小型軽量化及び低公害化を重点に実用型エンジンを開設し、最高熱効率37%を達成。当初の目標である熱効率32～37%を達成し、実用化の目途を得た。
5. 新型電池電力貯蔵システム (1991年度に終了)	4種類の新型電池(ナトリウム-硫黄、亜鉛-臭素、亜鉛-塩素及びレドックス・フロー型)について、1kW 級(1983年度)、10kW 級(1986年度)及び60kW 級(1987年度)の電池の試作運転に成功し、それぞれが最高70%、77%及び76.6%の総合エネルギー効率を達成。改良型鉛蓄電池を使用した1,000kW 級システム試験設備を、実際の電力システムに連携して運転を行い、69.5%のシステム総合効率を達成(1986年度)。 1991年度に2種類の新型電池(ナトリウム-硫黄、亜鉛-臭素)について最終目標である1,000kW 級パイロットプラントの運転研究を終了し、初期の開発目標を概ね達成。
6. スーパーヒートポンプ エネルギー集積システム (1992年度に終了)	高性能圧縮式ヒートポンプ及びケミカル蓄熱装置のトータルシステム開発に向けて、媒体・反応系の研究、要素機器の開発、新規部材の研究、システム化研究等で数多くの成果を蓄積。これをもとに、1991年～92年度にパイロットプラント(1,000kW 級)の試作運転研究を行うとともに、3万 kW 級実規模概念設計を実施し、技術的、経済性等評価を行い、初期の開発目標を概ね達成。

[出典]資源エネルギー庁(編):新エネルギー便覧 平成10年度版、通商産業調査会(1999年3月)、p.228

## ニューサンシャイン計画（1993年策定）

### 1. 策定・実施主体

通商産業省工業技術院

### 2. 策定目的とその背景

1990年の湾岸戦争による第3次石油ショック、地球環境保全に関する関係閣僚会議や1992年の地球サミットによって、世界的に省エネルギーの推進や次世代を担う革新的エネルギーの開発への機運が高まり、より総合的な技術開発の推進が求められるようになっていた。

### 3. 概要

1993年に、サンシャイン計画、ムーンライト計画、及び地球環境技術研究開発の体制を一体化した「ニューサンシャイン計画」を発足させて、持続的成長とエネルギー・環境問題の同時解決を目指した革新的な技術開発を開始した。

従来、新エネルギー、省エネルギー、及び地球環境技術の3つの分野の研究技術開発は独立して推進されてきたが、これらの分野はエネルギー利用と地球温暖化をはじめとする地球環境問題に密接な関係を有しているため、総合的な観点から研究技術開発を推進していくことの必要性が改めて認識された。また、技術的な観点からも、新エネルギー技術、省エネルギー技術及び環境対策技術は共通分野が存在するため、これらの有機的な連携を図ることにより、エネルギー・環境技術開発の効率的、加速的推進が期待されることから、これら3つの分野の計画を統合したニューサンシャイン計画が策定された。

この計画は、(1)地球温暖化防止行動計画の実現を目標にしたエネルギー・環境技術開発プロジェクトの推進を目指す革新的技術開発、(2)地球温暖化による環境の荒廃を防止するための「地球再生計画」を狙いとした国際大型共同研究、(3)近隣途上国のエネルギー・環境制約の緩和について、相手国の実状に適した技術的支援を狙いとした適正技術共同研究の3つの技術体系により構成された。

また、ニューサンシャイン計画では、中長期的に顕著な効果が期待される革新的技術開発の課題として、①広域エネルギー利用ネットワークシステム技術(エコ・エネルギー都市システム)、②水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)、③経済・環境両立型燃焼システム技術(希薄燃焼脱硝触媒技術)に着手している。

さらに、国際的にも大幅な需要増大が見込まれる石炭については、環境に調和した利用が求められていることから、再生可能エネルギーや希薄燃焼脱硝技術を組み合わせた石炭転換技術として「経済・環境調和型石炭転換コンプレックス技術」の研究開発を進める内容となっていた。

## ニューサンシャイン計画の成果(1/2)

プロジェクト名	成 果
1.ソーラーシステム (民生用及び産業用 太陽熱利用システム)	(1)(民生用(住宅用等)システム)1981年度までに研究開発を終え、その成果を生かして低利融資、補助金等の普及政策を実施(1994年末時点で約44万台のシステムを設置)。 (2)(産業用システム)空気集熱方式による乾燥システム(フィックスト・ヒートプロセス型)、冷蔵倉庫システム(アドバンスト・ヒートプロセス型高性能断熱材[要素技術])を開発。
2.太陽光発電	(1)太陽電池製造コストを約1/30強まで低下(2~3万円→600円/W)させることに成功。 (2)アモルファス系太陽電池において、世界最高のレベルの変換効率(10cm角セルで12.0%)及び大面積化(30×40cmで10.5%)を達成。 (3)太陽光発電システムの発電コストを約1/15強まで低下(約2,000円/kW程度)させることに成功。 (4)特殊用途(電卓等)として一部実用化(1993年実績は約1万7千kW相当)。
3.太陽熱発電	1981年度にタワー集光方式、曲面集光方式とも世界に先駆け、定格出力1,000kWの発電に成功したことを受け、世界最長期間の連続運転を達成するとともに、各種条件下における運転データを取得。
4.地熱探査技術等検証調査	1980年度から代表的地熱地域である仙岩、栗駒地域において、地表探査、抗井調査を実施し地熱構造と探査技術データとの相関分析に必要な基礎データを整備。高精度MT法の開発により、深部地熱資源探査の経済性を大幅に向上。1988年度からは断裂型貯留層を対象とした探査法を開発。
5.熱水利用発電システム (バイナリーサイクル発電)	1979年度までの1MW級プラントの研究開発により、技術的可能性を確認したことを受け、1980年度から10MW級プラントの開発に向けての要素技術を開発。その中核技術であるダウンホールポンプの開発(200t/h、耐熱200℃)に世界で初成功。
6.瀝青炭液化	1996年度からNEDOLプロセスによる150t/日パイロットプラントの運転研究を実施。本プロセスは広範囲の石炭(低炭化度の瀝青炭から亜瀝青炭まで)を比較的温和な条件(標準条件で圧力170kg/cm <sup>2</sup> 、温度450℃)での反応により高液収率(軽・中質油で無水灰炭基準50%以上))が得られるなど、技術面、経済面での総合評価で、世界最高レベルの瀝青炭液化プロセス。

[出典]資源エネルギー庁(編):新エネルギー便覧 平成10年度版、通商産業調査会(1999年3月)、p.223

## ニューサンシャイン計画の成果(2/2)

プロジェクト名	成 果
7.燃料電池発電技術 (1981～2000年度)	<p><b>【リン酸型】</b> 200kW 級発電システムプラントの試作運転研究等を1990年度に終了。大阪市ホテルプラザに設置した業務用燃料電池発電システムについては、コージェネレーション技術用として80.2%という高い総合効率を達成。またリン酸型燃料電池として世界で初めて170°Cの蒸気(冷暖房に利用)の回収に成功。沖縄県渡嘉敷島に設置した離島用燃料電池発電システムについては、送電端発電効率が39.7%と常圧運転のリン酸燃料電池発電システムとしては世界最高値を達成。</p> <p><b>【熔融炭酸塩型】</b> 1kW 級(1984年度)、10kW 級(1986年度)、加圧10kW 級及び常圧25kW 級(1989年度)、加圧25kW 級(1990年度)、常圧50kW 級(1991年度)、加圧100kW 級(1992年度)の電池を製作し、定格出力運転に成功したことを受け、加圧100kW 級世界最高出力(1993年度)発電試験に成功。1MW 級発電プラントを開発に着手。</p> <p><b>【固体電解質型】</b> 400W 級(1991年度)、1kW 級(1994年度)の電池を製作、運転に成功。</p> <p><b>【固体高分子型】</b> 1992年度に1kW 級モジュールの開発を目指して研究開発に着手し、1995年度に1kW 級モジュールの発電に成功。</p>
8.超電導電力応用技術 (1988～1999年度)	<p>超電導発電機用として10,000A(4T)級の導体を、交流機器用として10,000A(0.5T)級の低損失導体を開発。酸化物導体では電流密度が<math>1.1 \times 10^9 \text{A/cm}^2</math>の線材を開発。発電機については要素モデルや部分モデルによる技術開発を行い、世界に先がけ7万 kW 級超電導発電機を開発し、8万 kW・700時間の出力に成功。冷凍システムでは従来型について信頼性の高いシステムを開発し、新型についてオイルフリー圧縮機の要素技術を確立。</p>
9.セラミックガスタービン (1988～1998年度)	<p>セラミックガスタービンの複雑形状に通用する耐熱セラミックの部品化のための成形方法及び肉厚セラミック部品の均質焼結方法等の研究によって、多型変形量を大幅に低下することが可能となった。また、タービン入口温度1,350°Cのセラミックガスタービンの運転に成功し、熱効率38.6%を達成。</p>
10.分散型電池電力貯蔵技術 (1992～2001年度)	<p>高性能で低廉な新しい正極、負極、電解質などの研究を行うとともに、これらの材料を用いた10Wh 級単電池の製作試験を行い、100Wh 級単電池、数 kWh 級組電池の開発に必要なデータを蓄積した。分散型電池電力貯蔵システムの導入に伴う負荷率改善効果、システムの所要性能、電池への要求性能、組電池ほかで考慮すべき事項を明らかにした。</p>

[出典]資源エネルギー庁(編):新エネルギー便覧 平成10年度版、通商産業調査会(1999年3月)、p.224



## 技術戦略マップ(エネルギー分野) (2005年～2010年の間毎年策定)

### 1. 策定・実施主体

経済産業省、NEDO

### 2. 策定目的とその背景

2004年の新産業創造戦略では、我が国産業が世界に先駆けてイノベーションを創出するとともに、それが持続的・自律的に達成されていくための取組の重要性を明確に打ち出した。これを受け、その一環として技術戦略マップが策定されることとなった。策定された技術戦略マップは、経済産業省の研究開発マネジメントに活用されるとともに、幅広く産学官に提供し、ビジョンや技術的課題の共有、異分野・異業種の連携、技術の融合の促進に寄与した。

### 3. 概要

2005年から2010年にわたり毎年公表されている。環境・エネルギー調和型社会の構築を目指し、環境・エネルギー関連技術については、年度ごとに特記する分野を分けて技術課題を整理し、各々の技術マップやロードマップを記載している。毎年、トレンドや現状に合わせて改訂され、5年ほど先を見据えた短期目標から30年ほど先を見据えた長期目標までを網羅している。

2005年度においては脱フロン対策分野、化学物質総合評価管理分野、3R分野の3つであったが、2006年度にエネルギー分野が加わるなどの分野拡大を経て、2010年度には、環境部門のCO<sub>2</sub>固定化・有効利用、脱フロン対策、3R、化学物質総合評価管理分野とエネルギー部門のエネルギー、超電導技術、二次電池分野といった7分野に対して技術マップとロードマップが示されている。

Cool Earth—エネルギー革新技術計画(2008年策定)

1. 策定・実施主体

経済産業省資源エネルギー庁

2. 背景・目的

安倍首相が発表した「世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減する」という長期目標を達成するために作られた。この目標の実現については、従来の技術の延長では実現が困難であり、革新的技術の開発が不可欠であるとされ、2050年の大幅削減に向けて我が国として重点的に取り組むべき技術が特定された。また、本計画では、長期にわたる技術開発のマイルストーンとなる、長期的視点から技術開発を着実に進めるためロードマップを示し、あわせてこのロードマップを軸とした国際連携の在り方を記している。

3. 概要

エネルギー源ごとに供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面からCO<sub>2</sub>大幅削減を可能とする21の技術を選定し、技術開発ロードマップを作成した。技術の課題分類は、効率向上と低炭素化に2分した上で、供給側と需要側、さらに需要側を運輸・産業・民生・部門横断という4つに分類をして整理した。各々の技術と分類は以下のとおりである。



引用:経済産業省 資源エネルギー庁 HP Cool Earth エネルギー革新技術計画

## 第4期科学技術基本計画(2011年 閣議決定)

### 1. 策定・実施主体

内閣府

### 2. 策定目的とその背景

1995年の科学技術基本法の制定以降、我が国全体の科学技術振興に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、今後10年程度を見通した科学技術に関する計画の策定が5年ごとに行われている。

2011年末に策定された第4期科学技術基本計画は、地球規模の資源、エネルギーなどの獲得競争激化と新興国の経済的台頭によって我が国を取り巻く環境・エネルギー情勢は世界的に厳しい状況に向かっており、また、国内に目を向けると、東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所の事故といった未曾有の危機に直面する中、科学技術に求められる役割も大きく変化することとなっていることを踏まえ、こうした変化に対応し、持続的な成長と社会の発展を実現するための、今後5年間の科学技術に関する国家戦略としての役割を果たすものである。

### 3. 概要

将来にわたり持続的な成長と社会の発展の実現のための4つの柱の1つにグリーンイノベーションの推進を位置付けている。グリーンイノベーションでは、エネルギーの安定確保と気候変動問題という喫緊の2つの課題に対応するため、以下の3つの重点的取組を挙げている。

- (1)安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現
- (2)エネルギー利用の高効率化及びスマート化
- (3)社会インフラのグリーン化

(1)は主に、原子力政策の見直しや代替エネルギー技術について言及されており、(3)は資源再生技術やレアメタルなどといった代替材料の創出に向けた取組の推進を目指している。各々の分野において、目標達成のための技術開発の方向性などを示しているが、目標水準や開発スケジュールの明記といった、定量化された技術目標は記載されていない。

## 1. 策定・実施主体

内閣府 総合科学技術会議

## 2. 策定目的とその背景

環境エネルギー技術革新計画は、2008年の北海道洞爺湖サミットを契機に策定された。

環境・気候変動問題への対応は、洞爺湖サミットの主要議題の1つであったが、この分野の技術に優れた我が国は、率先して温室効果ガス排出低減のための革新的技術を開発し、地球温暖化問題に関して指導的役割を果たすことが求められていた。

また、我が国は、世界全体の温室効果ガスの排出を2050年までに半減するという目標を内外に表明しており、このような中、その目標を達成するとともに将来にわたって世界の期待に応えていくため、中長期的な視点に基づく環境エネルギー技術開発戦略や普及策を示すこととした。こうした背景から、我が国として、同計画に基づく技術開発を進めることにより、温室効果ガス排出量の大幅な削減のみならず、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を目指すこととした。

環境エネルギー技術革新計画は、2013年に改訂され、技術で世界に貢献していく、攻めの地球温暖化外交戦略の組立て、が目指されることとなった。

2050年までに世界全体で温室効果ガス排出量を半減するとの目標に加え、我が国が先進国全体で温室効果ガス排出量を8割削減するとの目標を支持する旨をラクイラ・サミット(2009年)で表明したことを踏まえ、我が国が誇る環境エネルギー技術の開発を促進し、世界に先駆けて国内に普及していく方針を示すことが必要とされた。同計画は、世界全体で効果的な温室効果ガス削減を実現し、アジア新興国をはじめとした国々における経済成長等と温暖化対策の取組の両立を図るためには、革新的技術の活用が不可欠との認識の下、我が国が国際的にリーダーシップをとって、開発と普及を促進することを目指している。

## 3. 概要

2013年の環境エネルギー技術革新計画の改訂では、これまでの技術開発を反映するとともに、重要技術の再特定などといった改訂が行われた。

改訂後の計画では、多種多様な環境・エネルギー技術の中から、37個の革新的技術を特定し(技術課題の追加を含む)、短中期(2030年頃まで)と中長期(2030年頃以降)の技術開発ロードマップを策定した。また、技術開発推進のための施策強化と国際展開・普及に必要な方策について言及している。各々の革新的技術に関しては、日本の技術があるべきそれぞれのレベル(開発目標・導入・普及等)を、時間軸に沿って記載したロードマップも織り込まれている。同計画の技術ロードマップを参考として、科学技術イノベーション総合戦略やNEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ等が作成されている。

次頁では、同計画の革新的技術の一覧を掲げている。

生産・供給	火力発電	1. 高効率石炭火力発電
		2. 高効率天然ガス発電
	再生可能エネルギー利用	3. 風力発電
		4. 太陽エネルギー利用(太陽光発電)
		5. 太陽エネルギー利用(太陽熱利用)
		6. 海洋エネルギー利用
		7. 地熱発電
		8. バイオマス利活用
	原子力発電	9. 原子力発電
	二酸化炭素回収・貯蔵・利用 (CCUS)	10. 二酸化炭素回収・貯留 (CCS)
11. 人工光合成		
消費・需要	運輸	12、13. 次世代自動車
		14、15、16. 航空機・船舶・鉄道
		17. 高度道路交通システム
	デバイス	18、19、20. 革新的デバイス
	材料	21. 革新的構造材料
	エネルギー利用技術	22. エネルギーマネジメントシステム
		23. 省エネ住宅・ビル
		24. 高効率エネルギー産業利用
		25. 高効率ヒートポンプ
	生産プロセス	26. 環境調和型製鉄プロセス
27. 革新的製造プロセス		
需給統合 流通・	エネルギー 変換・貯蔵・輸送	28、29. 水素製造・輸送・貯蔵
		30. 燃料電池
		31. 高性能電力貯蔵
		32. 蓄熱・断熱等技術
		33. 超電導送電
その他 温暖化対策技術	34. メタン等削減技術	
	35. 植生による固定	
	36. 温暖化適応技術	
	37. 地球観測・気候変動予測	

### (3)これまでの技術開発戦略の成果及び教訓と現在の日本の技術的蓄積

個別のエネルギー技術関連計画の整理の中で示したように、それぞれの技術開発戦略は一定の成果を挙げ、それらがエネルギー関連分野における我が国の技術的蓄積となっている。また、これまでの技術開発の成果だけでなく、開発の過程で得られた教訓も重要な資産であり、今後に生かしていくことが重要である。

#### ①成果

エネルギー消費原単位について、我が国は世界でトップクラスの効率性を示しており、特に産業関連分野でのエネルギー利用の効率性は多くの分野で世界最高を誇っている。こうした世界をリードする省エネルギー国家を支えているのは、中長期にわたる省エネルギー技術の開発とその蓄積に負うところが大きい。

世界最高の発電熱効率を誇る我が国の石炭火力発電所は、同時にNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の排出を極めて高い水準で抑制することに成功しているが、こうした成果もまた、これまでの技術開発戦略に基づき、計画的に進められてきたことによるところが大きく、更なる革新技術に向けての土台を形成している。

再生可能エネルギーについても、太陽光発電をはじめとして、世界トップレベルの発電効率を常に競うなど、多くの分野において一定の成果を挙げ、引き続き技術水準向上のための開発が進められている。

また、従来、アモルファス系太陽電池の大面積化を実現するために開発が進められた技術は、TFT(液晶パネル)の大面積化を可能とする技術として活用され、我が国が世界に先駆けて大画面液晶テレビの市場を切り拓く基盤となるなど、産業の高度化を支える厚みのある技術的蓄積の形成にも貢献している。地熱開発での活用などを視野に入れていた地表探査技術は、シェールガス開発などの分野に応用される可能性から、本報告書では高効率な資源開発を支える探査技術のベースを形成するなど、当初の目的に縛られず、広がりをもった形で新たな技術革新を促すための貴重な技術的蓄積としての役割を担っていくことになる。

#### ②教訓

エネルギー分野の技術開発に当たっては、これまでの取組から、より戦略的な技術開発を推進するための技術全体を俯瞰したロードマップの策定や技術を社会に普及させるための取組等が重要であるが、これまでの技術開発において、そうした観点からの戦略やフォローアップが十分ではなかったと考えられる分野もある。

例えば、超電導送電等に資する超伝導材料や超電導素子については、未だ実用化には至っていないが、長期的な研究開発を国家プロジェクトとして主導したこともあり、我が国の技術は世界最高の水準にある。一方、研究開発の過程において、個別の研究課題ごとのロードマップは策定されていたが、技術全体を俯瞰的に見たロードマップは、技術戦略マップ以前は策定されておらず、他の国家プロジェクト等との連絡・調整が十分に行われるような研究開発プロジェクトの体制が構築されていなかったため、全体最適の観点から、プロジェクトの選択と集中に支障をきたしたとの指摘もなされた。したがって、こうした長期的なインパクトを持つ技術分野については、ターゲ

ットを明確にした上で、方向性を定めていく必要がある。

また、太陽光発電については、初期段階において、開発のためのコストが特に高価であり、目標とするコスト水準との乖離が極めて大きく、超長期の研究開発が必要であったことから、国が先導するプロジェクトで実施したことは有意義であった。一方で、2000年代前半においては、技術革新による発電コストの低減効果は他の要因に相殺されて顕在化していなかったとされていたことを踏まえると、量産化技術等の研究開発目標の設定についても、考慮する必要があったとの指摘もなされている。こうした急速な成長が見込まれる技術分野については、技術そのものの革新に加え、社会にどのように普及させていくかという点も含めた目標の設定を行うことが有効である。

第3章で示す技術ロードマップは、こうしたこれまでの技術開発計画の貴重な成果に連続しつつ、これまでに得られた教訓も踏まえた上で、新たな発想を加えた革新的な技術の開発を進めるための道筋を示すものである。

### Ⅲ. 第2章 国際的視点を踏まえた技術開発関連のあり方 ～諸外国の技術開発戦略の整理～

#### (1) 主要国のエネルギー事情とそれに対応した各種戦略・政策の変遷及び比較

エネルギーに関連する技術の開発戦略は、その技術を必要とするエネルギー事情によって内容が左右されるものであり、エネルギー自給率や調達環境などによって各国で状況は大きく異なる。したがって、各国の技術開発戦略を整理するに当たっては、まずそのエネルギー事情を整理し、各国の技術開発戦略の背景を把握した上で、その内容を分析し、理解する必要がある。

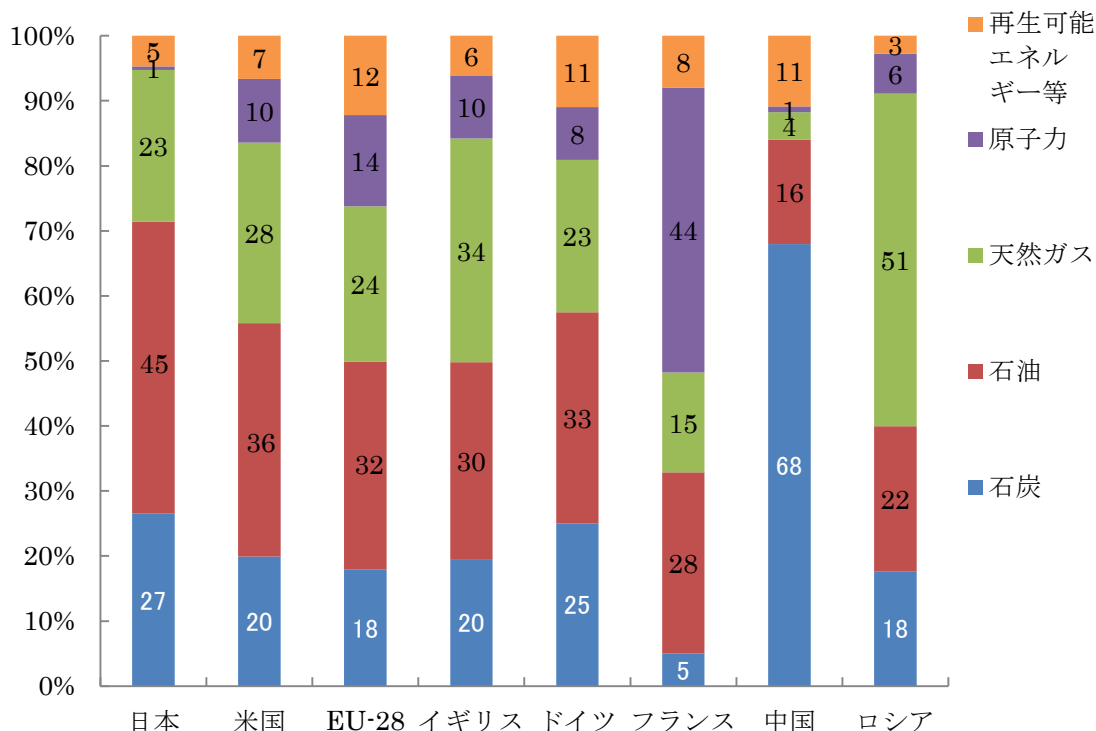
##### ① 主要国のエネルギー事情

日本、米国、EU-28 (EU 加盟全28か国の合計)、イギリス、ドイツ、フランス、中国、ロシアの一次エネルギーの構成比率は下図のとおりである。

原子力への依存度が高いフランスを除き、各国共に化石燃料依存度が高く、EU-28で74%、米国、イギリス、ドイツ、中国は80%台、日本とロシアは90%台に達している。

国内での化石燃料の生産量を反映し、中国では石炭、ロシアでは天然ガスが過半数を占めているのも特徴である。

【一次エネルギー構成比率の国際比較】



(注) 2013年推計値。EU-28、中国、ロシアは2012年確定値。

出典: IEA「Energy Balances of OECD Countries 2014」「Energy Balances of Non-OECD Countries 2014」を基に作成。

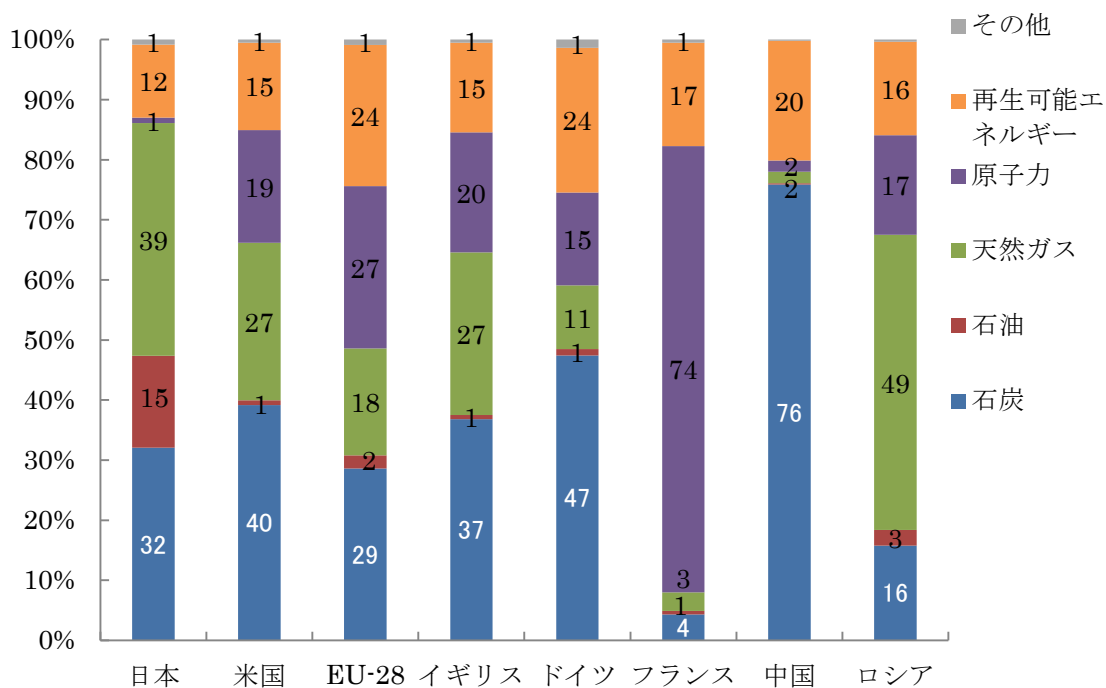


日本、米国、EU-28、イギリス、ドイツ、フランス、中国、ロシアの電源別電力供給構成比率は下図のとおりである。

各国の電源構成は、供給安定性や経済効率性を大きく反映したものとなっており、フランスの原子力依存度の高さや中国の石炭の比率の高さが突出している。石炭はフランスを除く欧米でも火力発電の中心である一方、ロシアでは天然ガスによる火力発電の割合が高い。また、いずれの国も石油による火力発電の割合は非常に低く、東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故後に稼働を増加させた日本だけが高い割合を示し、特徴的な電源構成となっている。

再生可能エネルギーによる発電に関しては、EU-28、ドイツに次いで中国が高い割合を示している。

【電源別電力供給構成比率の国際比較】



(注)2013年推計値。EU-28、中国、ロシアは2012年確定値。

出典:IEA「Energy Balances of OECD Countries 2014」「Energy Balances of Non-OECD Countries 2014」を基に作成。

## ②主要国のエネルギー政策とその背景

### (i)米国

2009年1月に就任したオバマ大統領は、エネルギー輸入依存度の上昇やエネルギー価格の高騰が米国内で問題となっていたことに対応し、「グリーン・ニューディール」と呼ばれる、省エネルギーやクリーンコール、原子力発電の推進を主眼とする一連の政策を実施した。

しかし、その間にいわゆる「シェール革命」の影響が顕著に現れたことから、米国のエネルギー輸入依存度が低下し、天然ガスについては輸出国への転換が視野に入るまでになった。

そうした状況下、2012年1月、大統領府により、天然ガス、原子力、再生可能エネルギーを含む全ての国内エネルギー源の活用を目指す戦略として「“All-of-the-Above” Energy Strategy」が発表された。

この戦略には法的拘束力は無く、直接関連性を持つ技術戦略は策定されていない。しかし、エネルギー省(DOE)をはじめとする各省や関連機関が、この戦略に準じた技術計画を策定している。

原子力発電については、「エネルギー政策法」(2005年8月)に基づき、建設遅延に対する政府保険、発電税の減税、政府による債務保証制度が整備されている。現在、ポーランド及びサマーにおいてそれぞれ2基の原子力発電所が新規建設中であり、このうちポーランドの原子力発電所に対しては、約65億ドルの債務保証の発行が発表されている。

## (ii) EU

1997年に採択された京都議定書において、2008～2012年の温室効果ガス排出量を1990年比で8%削減することを目標に定めるなど、EUは従来から低炭素経済の実現に積極的であった。

また、現在のEU加盟全28か国計では、1次エネルギーの50%以上をロシアからの輸入に依存しており、加盟国の中には、ロシアへの依存度が極めて高い国も存在する。

2005年以降、ロシアとウクライナ間でのガス供給を巡る緊張が高まり、ウクライナを経由するロシアの天然ガスの供給量低下を経験したEUは、エネルギーの海外依存に対する危機感を強めることとなった。

こうした背景から、EUの政策執行機関である欧州委員会(EC)は2007年1月に「エネルギー・気候変動政策パッケージ」を発表した。

この中では、「2020年までに温室効果ガス排出量を1990年比で20%削減する」、「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」、「2020年までにエネルギー効率を20%引き上げる」の「トリプル20」が目標として掲げられ、加盟各国で温室効果ガス排出量、再生エネルギーの割合について目標値が設定された。

各国で目標達成のための政策が進められているが、EUとしても、2007年に“SET Plan”を発表し、EU全体でのエネルギー技術開発とその実用化の促進を図っているほか、省エネルギー分野などを対象とする研究開発支援プログラムが進められている。

また、本年10月、欧州理事会は、2030年気候変動・エネルギー政策枠組に合意した。本合意では、「2030年までに温室効果ガス排出量を1990年比で最低でも40%削減」、「2030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、最低でも27%」、「2030年の省エネ指標を、ベースライン比で、最低でも27%」が掲げられている。

原子力発電については、“SET Plan”の対象分野の一つとして「EU全体の電力需要の約30%を賄うこと」等为目标に定めている。東京電力福島第一原子力発電所事故の後も、EU全体としての方針に変化は見られない。ただし、加盟各国の国内事情によって、もともと各国間で政策に開きがあり、ドイツのように原発事故を受けて原発からの撤退へと方針転換を行う国が存在する一方、英国のように原子力発電を推進する方針や原子力発電所の新設計画を決定した国もある。また、2014年5月に欧州委員会が公表したエネルギー安全保障戦略案において、原子力は、温室効果ガスを排出せず、信頼性の高いベースロード電源であり、エネルギー安全保障上重要な役

割を果たしている、とされている。

### (iii)イギリス

石油・天然ガスの生産国として知られているが、近年は北海油田・ガス田の減産が進み、2004年にはエネルギーの純輸入国に転じた。

そうした事情から、2002年にRPS制度を導入するなど、再生可能エネルギーの導入強化が図られてきた。2008年の「エネルギー法」で固定価格買取制度(FIT)の実施が定められた(2010年より開始)が、財政負担が過多となったため、2013年の「新エネルギー法」では、差額決済契約制度(CfD)が導入されている。

また、気候変動対策に関する取組にも力を入れており、政府は2008年の「気候変動法」により、「2050年までに温室効果ガスを1990年比で80%削減する」との目標を定めた。

目標達成のため、中期的なロードマップを策定するとともに、2011年には省庁横断で Low Carbon Innovation Coordination Group(LCICG)を設立し、技術分野に関する各種分析を実施している。

原子力発電については、2007年の「エネルギー白書」において、温室効果ガスの削減や電力供給におけるリスクを踏まえた供給能力の強化のために原発の新設、利用拡大が必要である旨が記されるなど、これを推進するとの方針が示された。2013年には、自由化後の市場において低炭素電源への投資が進まなかったことから、投資回収の可能性を高めるために CfD を創設し、原子力や再生可能エネルギーなどの低炭素電源に適用することとした。その他政府による債務保証や新たに原子力発電所を立地する自治体への支援策も創設している。その結果、約25年ぶりとなるヒンクリーポイントCでの原子力発電所の新設計画が決定しており、CfD や債務保証などの政府対応については欧州委員会から了承を得ている。

### (iv)ドイツ

国内では石炭の生産が多く、発電をはじめとするエネルギー消費の中心を担ってきたが、地球環境問題への対応のため、石炭火力から再生可能エネルギーへの移行を図るための取組を進めてきた。1991年には固定価格買取制度(FIT)が導入されている。

そうした取組の結果、ドイツは京都議定書の第1約束期間(2008～2012年)の温室効果ガス削減義務(1990年比21%)を達成し、将来的にも、EUの設定値を上回る温室効果ガス削減を目標としている。2010年発表の「エネルギーコンセプト」では2020年までに1990年比40%の温室効果ガス削減を目標として定めている。また、併せて目標達成のための技術開発が計画的に進められている。ただし、近年においては、再生可能エネルギーの導入拡大が続いているにもかかわらず、二酸化炭素排出量は増加に転じていることに加え、新たな電源構成に移行するに当たって様々な課題に直面している。

原子力発電については、2002年の「改正原子力法」により、段階的廃止が決定されたが、電力需要の削減が進まず、2010年に運転期間の延長へと方針を転換した。その翌年の東京電力福島第一原子力発電所事故を契機に政策の再転換を行い、2022年までに全ての原発を停止することとした。しかしながら、現在ドイツにおいては、①再生可能エネルギーの導入拡大による負担の増加、②再生可能エネルギー増大に伴う、バックアップとしての火力発電所の不足、③同様

に再生可能エネルギーの増加に伴う送電網の整備、④原子力発電所の停止措置に対する電力事業者からの提訴、等の課題が生じている。

#### (v) フランス

国内に在来型の化石資源が乏しいフランスでは、第一次石油ショック直後より、エネルギー自給の観点から、原子力発電を中心としたエネルギー政策を積極的に進めてきた。

21世紀に入ると、EUの政策動向に従い、フランスでも再生可能エネルギー導入に関する取組が進められてきている。2005年に制定された「エネルギー政策指針法」は、原子力発電の推進と再生可能エネルギーの導入強化を中心とするものとなっているが、東日本大震災の翌年である2012年に行われた大統領選では、原発比率の低減と再生可能エネルギーの導入拡大を公約に掲げたオランド氏が勝利し、その後公約に沿ったロードマップや研究開発戦略が発表された。

2014年6月に明らかにされた「エネルギー移行法案」では、総発電電力量に占める原子力発電の割合を2025年までに75%から50%に縮減するとされているが、設備容量については今後とも現状を維持する方針が示されている。再生可能エネルギーについては導入拡大目標が掲げられており、今後はこの実現に向けた具体的な計画が策定される見通しである。

#### (vi) 中国

化石資源を豊富に有している中国は、従来はエネルギーを自給自足で賅っていたが、工業化の進展によるエネルギー需要急増のため、1990年代には原油の純輸入国に転じた。

その後も、高い経済成長率に伴うエネルギー需要の増大が続き、エネルギーの輸入依存度が高まる中、エネルギー安全保障への意識が高まり、2006年に国務院傘下の科学技術部が策定した「国家中長期科学技術発展計画」で、エネルギー分野が重点項目の1つとされ、その実行計画となる「第11次5カ年計画(2006～2010年)」では省エネルギーの優先が原則とされるとともに、原子力発電の積極的な推進が盛り込まれた。また、同時に再生可能エネルギーの強化策も図られている。

「第12次5カ年計画(2011～2015年)」でも、前の5カ年計画の方針が踏襲されており、原子力発電については、発展の加速、次世代原発の開発を行うことに加え、2014年9月には、国務院により「国家気候変動対策計画」が承認され、原子力発電は安全性の確保を前提に地球温暖化対策にも有効であると位置づけている。

#### (vii) ロシア

世界的な原油・天然ガスの生産国、輸出国であり、エネルギー輸出依存度の高い国である。

政府によるトップダウン型のエネルギー政策が進められ、2009年に策定された「2030年に向けたエネルギー戦略」、2011年の「大統領令899号」、2013年発表の「エネルギー効率及びエネルギー産業発展のための戦略」の3つが存在するが、いずれもエネルギー輸出の維持・拡大を念頭に、国内におけるエネルギー消費の抑制や化石燃料の生産量の拡大を目的としたものとなっている。

原子力発電についても、「2030年に向けたエネルギー戦略」において、2030年までに原発比率を25～30%に高めるとの目標を掲げている。

### ③主要国のエネルギー政策の比較

以上のように、主要諸外国では各々のエネルギー事情に応じたエネルギー政策が作成されている。例えば東京電力福島第一原子力発電所事故を受け、ドイツが原発からの撤退へと戦略を転換する一方、イギリスや中国は従来の原発推進戦略を維持するなど、同じ出来事に基づく対応も、各国それぞれの事情を背景として異なったものになっている。

各国の政策に共通するのは、再生可能エネルギーの推進が政策に盛り込まれていることであり、特にその傾向が強いのは欧州と中国である。ただし、欧州は温室効果ガス削減等の環境対策、中国は国内のエネルギー需要拡大対策を主な背景としている点に違いがある。

エネルギー政策実現のための具体的な技術開発への取組についても、再生可能エネルギーの生産に関するものが中心となっており、その多くに数値目標が定められている。例えば風力発電については、イギリス・ロシアを除く上記の主要諸外国で何らかの数値目標が定められている。

また、消費段階での省エネルギーに関する取組については、電気自動車や省エネルギー住宅・ビル関連の技術等が、一部の国で開発対象項目となっているが、数値目標まで設定されているものは限られている。さらに、産業部門の革新的な省エネルギー技術や水素開発といった将来的な分野の技術になると、開発対象外のものが多く、数値目標まで設定されているケースは少ない。

なお、各技術開発プロジェクトの効果や進捗を横並びで評価するような指標を設定することは難しい課題であり、主要諸外国においても一律の指標は定められていない。

各国のエネルギー政策の詳細については、次項以降で明らかにしていく。

## (2) 諸外国の個別技術関連計画等の整理及び分析

### 米国

米国においては、包括的なエネルギー技術開発戦略は存在しないが、2012年1月に大統領府により発表された「“All-of-the-Above” Energy Strategy」が重要なエネルギー戦略として位置づけられている。

これは、これまでの再生可能エネルギー導入に重点を置いたグリーン・ニューディール政策よりも視野を広げ、天然ガス、原子力、クリーンコール等国内のあらゆるエネルギー源を活用する内容となっている。省エネルギーについては、2030年までに2010年比で2倍の単位エネルギー消費当たりの生産性を目指しており、また、太陽光や風力等再生可能エネルギーについては産業振興の視点を軸とした戦略となっている。

#### <「“All of- the-above” Energy Strategy」の主な目標>

- 資源開発技術
  - ・オフショア原油・天然ガスの開発管理の厳格化
- 省エネルギー住宅・ビル
  - ・郊外での電力共同、家庭での省エネルギー、Better Building Challenge での官民連携の推進
- 風力・太陽光発電
  - ・2025年までに風力・太陽光発電の発電量を2倍
- バイオマスの利活用
  - ・官民連携での新たな技術や生産量向上に資する技術の研究開発を支援

米国エネルギー省では、2014年4月に、エネルギー戦略計画「Strategic Plan 2014-2018」を策定した。同計画では、エネルギー・環境・原子力に関する課題について、革新的な科学・技術による解決策について、12の戦略目的を掲げている。

#### <「Strategic Plan 2014-2018」の主な目標>

- 風力発電
  - ・2017年までに3基のグリッド接続型の先進的洋上風力を実証
- 次世代自動車(燃料電池自動車)
  - ・輸送用燃料電池のコストを25%以上削減(40ドル/kWh、耐久性5,000時間、効率60%の2020年目標達成)
- バイオマス
  - ・2015年度までに、少なくとも3ヶ所の商業規模セルロース系エタノール燃料製紙所を稼働。
- 地熱発電
  - ・2020年までに設備容量5,000kW規模の新設EGS(高温岩体地熱システム)を開発

○高性能電力貯蔵

- ・2015年までにグリッドスケール(1,000kW 以上)のエネルギー貯蔵技術のコストを325ドル/kWh まで低減。

○その他対象分野

- ・二酸化炭素回収・貯留、原子力発電(安全技術等)、省エネルギー住宅・ビル、原子力発電(小型モジュール炉等) 等

また、2009年にエネルギー省の一部局として設置された ARPA-E(エネルギー高等研究計画局)は、エネルギーの研究開発イニシアティブを自ら有する機関である。

特に ARPA-E は、研究開発によるイノベーション創出の推進及び「エネルギー分野の新たな製品の創出」という視点での研究を奨励しており、産業界では取り組むことが難しい、リスクは高いが大きな成果が期待出来る応用研究への資金助成を行っている。

これまでにエネルギー貯蔵、太陽熱の高温貯蔵、輸送機械の蓄電システム、蓄電池、バイオエネルギー、エネルギー伝送等の各分野をはじめ、300以上のプロジェクトが採用されており、約8億ドル以上の資金が充当されている。

また、エネルギー省は、2010年に原子力に関する研究開発ロードマップを策定しており、既設炉、新設炉、核燃料サイクル、核不拡散の4分野における研究開発方針が示されている。

中国

中国では、2006年に中国国務院傘下の科学技術部が、今後15年間の科学技術戦略を位置づける「国家中長期技術発展計画」を策定した。同計画を受けて、5カ年計画と呼ばれる実行計画を、5年ごとに策定することになっている。2011年に、国家発展改革委員会が、現在実施されている第12次5カ年計画を策定し、エネルギー関連の政策については、エネルギー政策担当機関である国家能源局が施策を実施している。

中国では、中長期的観点からのエネルギー技術戦略は策定されておらず、本計画は2015年末までのエネルギー政策の基本方針となっており、再生可能エネルギーの導入、次世代の原子力発電の開発等、省エネルギーの推進等、需要・供給面の双方からのエネルギー政策を示すものとなっている。

＜「第12次5カ年計画」の主な目標＞

○再生可能エネルギー

・2015年までに再生可能エネルギーの利用量を4億7,800万石炭換算トン(3億3,460万石油換算トン)とし、一次エネルギー消費における再生可能エネルギーの比率を9.5%引き上げる

○再生可能エネルギー:太陽光

・チベット、内蒙古等の省区に重点的に設備容量500万KW以上の太陽エネルギー発電を建設

○風力

・陸上6ヶ所、沿海2ヶ所及び海上大型風力発電基地を建設。7,000万KW以上を新設

○水力発電

・29,000万KWの導入目標(一般水力発電26,000万kW、揚水発電3,000万kW)

中国では、今後のエネルギー需要の増大への対応とともに、石油の対外依存度の急増に危機感を強めており、供給面では石油・天然ガス・石炭、再生可能エネルギー等あらゆる国内資源の生産強化を目指している。こうしたことから、エネルギー生産と供給能力については、一次エネルギーの供給能力を43億石炭換算トン(30億1,000万石油換算トン)に、そのうち国内の生産能力を36億6,000万石炭換算トン(25億6,200万石油換算トン)とすることなどによって、石油の対外依存度を61%以内にすることを目標としている。

省エネルギーについては、「第12次5カ年計画」において、GDP当たりのエネルギー消費量を2015年度までに対2010年比で16%減少することを目標としている。また、「省エネルギー改造」、「省エネルギー製品」、「省エネルギー技術産業化モデル」、「契約エネルギー管理普及」の4つを重点分野に掲げ、プロジェクトを形成して推進している。

省エネルギー改造プロジェクト	コージェネレーション、電気機器システムの省エネルギー、エネルギーシステム改善、ボイラーの改造、石油の省エネ及び代替、建築・交通分野での省エネルギー等
----------------	--



省エネルギー製品プロジェクト	高効率省エネ家電、自動車、モーター、照明機器等に対する補助普及強化 等
省エネルギー技術産業化モデルプロジェクト	余熱与圧利用、高効率モーター製品等の省エネ技術・製品モデルプロジェクトをサポートし、省エネルギー技術製品の大規模生産と応用の推進
契約エネルギー管理普及プロジェクト	省エネルギーサービス企業による契約エネルギー管理方式の採用普及をエネルギー利用企業の省エネルギー改造に充て、省エネルギーサービス産業を支援

省エネルギー住宅・ビル分野では、先進的な建築技術、建築材料、ICT 等の情報技術を用いて、グリーン建築・グリーン施工を普及させ、産業構造の変化やビジネスモデルの変化を促すこと、また、エネルギーマネジメントシステム分野では、スマートメーターの利用を推進し、電気自動車の充電施設と一体化を進めることを掲げている。

原子力発電については、2012年「原子力発電中長期的発展計画」により、2020年には約50基増、設備容量5,800万 kW にすることを目標にしている。

## ロシア

ロシアのエネルギー技術開発は、「2030年までのロシア・エネルギー戦略」、「大統領令899号」、「エネルギー効率及びエネルギー産業発展のための戦略」の3つの国家戦略によって進められている。

このうち、「2030年までのロシア・エネルギー戦略」は、2009年11月にロシア政府が策定したものであり、エネルギー政策の方向性を示した政策文書である。この基本計画の進捗状況に従って、残りの2つの戦略では、より具体的な目標等が提示されている。

### ①「2030年までのロシア・エネルギー戦略」

- ・ロシア経済は石油・天然ガスの輸出に大きく依存するため、産業高度化、エネルギー効率改善(エネルギー消費量の減少、省エネルギー技術の活用)、同国経済のエネルギー依存度の低減を目標とするものである。
- ・特に本エネルギー戦略では、「従来の鉱床に変わる新たな鉱床の開発」、「エネルギー資源や製品の輸出先の多様化」、「高付加価値製品の輸出へのシフト」、「エネルギー高効率利用及び資源の効率的な利用や省エネルギー」の4つを目指すべき方向性として掲げている。そのうち、「エネルギー高効率利用及び資源の効率的な利用や省エネルギー」について、主要目標を列記すると以下のとおり：
  - －伝統的なエネルギー資源の効率的な利用や省エネルギー
    - ・潜在的に可能と思われる省エネルギーが、住居で18～19%、発電、交通、鉱業で13～15%、熱供給で9～10%、燃料生産やエネルギーの供給で5～6%、農業で3～4%が見込まれ、国内のエネルギー総消費量の約40%に上る。
  - －新たな非化石燃料資源や技術の革新的な成長
    - ・エネルギー消費において非化石燃料エネルギー(原子力含む)の占める割合を、2014年の11%から2030年には13～14%へ増加。
    - ・電力消費における再生可能エネルギーの占める割合を2030年には4.5%へ増加(現行は0.5%)。
- ・本エネルギー戦略では、2010～2030年までを3つの期間に分けて実施内容を定めているが、特に第3期間(2023～2030年)で非化石燃料エネルギーの利用拡大による革新的経済開発を進めることをうたっている。
- ・なお、2013年に、本戦略に係る評価が行われ、2014年から、2035年に向けたエネルギー戦略を策定中。

<「2030年までのロシア・エネルギー戦略」内の「イノベーションやエネルギー部門における科学・技術政策」で定めている技術に関する目標>

#### ○高効率石炭火力発電

- ・効率43～46%の66万～80万kW級 USC 石炭火力の開発

#### ○高効率天然ガス発電

- ・30万～35万kW級の圧縮複合サイクルガスタービン及び50万～100万kW能力で60%以上のエネルギー効率を有する高効率ガス・タービンの開発

### ○コージェネレーション

- ・発電や熱供給向けの10万～17万kW 能力で53～55%の効率のコージェネレーションユニットの開発

### ○風力

- ・風力発電の出力変動をカバーするための再生可能エネルギーの複合利用技術の開発

### ○原子力発電

- ・国内革新や海外の協力を基に、実験的核融合炉や100万kW 程度の原子炉の建設を含む熱核融合反応技術の開発

### ○資源開発技術

- ・非在来型石油資源(超重質油、瀝青質)の開発推進
- ・石油の増進回収技術の推進

## ②「大統領令899号」

大統領令899号は2011年7月に大統領の権限により発令されたもので、エネルギー関連の重点として、環境政策、エネルギー効率、原子力が取り上げられている。また、各々の分野で重視すべき技術としては、以下のものが挙げられている。

環境政策:水素エネルギー等の再生可能エネルギー

エネルギー効率:高効率電子製品、照明装置の製造、高効率輸送、エネルギー活用技術等

原子力:核燃料サイクル、放射性廃棄物や使用済み核燃料の安全管理

## ③「エネルギー効率及びエネルギー産業発展のための戦略」

本戦略は2020年までのエネルギー効率及びエネルギー産業発展に係る戦略を定めたものであり、2013年3月に閣議で承認されたものである。この戦略は、「燃料・エネルギー資源の安定供給」及び「効率的な資源利用」、「燃料・エネルギー産業の環境影響の低減」の実現を目的としたもので、「省エネルギーと省エネルギー効率の向上」、「電気事業の発展と近代化」、「石油部門の発展」、「天然ガス部門の発展」、「石炭産業の再編と発展」、「再生可能エネルギー電源利用の発展」及び「国家計画実行の支援」の7つを重点分野と掲げている。

### <「エネルギー効率及びエネルギー産業発展のための戦略」の主な目標>

#### ○省エネルギーとエネルギー効率の向上

- ・エネルギー原単位(エネルギー消費量/GDP):2020年までに2007年比13.5%削減
- ・住宅ストックのエネルギー原単位:2020年までに2013年比21.0%削減

#### ○化石資源の生産、輸送、プロセス(精製深度 depth of refining<sup>1</sup>の向上を含む)改善

- ・原油回収率:2020年までに47.0%に向上

<sup>1</sup> A refining indicator defined as the percentage ratio of obtained petroleum products, not including bulk fuel oil, to the original quantity of crude oil.

- ・精製深度:2020年までに平均85.0%に向上
- ・自動車燃料総生産におけるEURO-5規制<sup>2</sup>対応シェア:2020年までに98.0%に向上等

○再生可能エネルギーの開発とエネルギー産業の環境性向上

- ・総電力生産に占める再生可能エネルギーの割合:2020年までに2.5%に向上
- ・再生可能エネルギー発電設備容量(2万5000kW以上、水力除く):2020年までに590万kW~620万kWに増加

○燃料・エネルギー業界におけるイノベーションに基づく発展の促進

- ・技術革新への投資コストの割合:2020年までに当該企業の売上原価の内2.5%に向上
- ・技術革新に従事する企業の割合:2020年までに総企業数の内25%に向上
- ・研究開発費:2020年までに、技術革新に従事する企業の収入の3%に向上

また、本戦略では、エネルギーセクターのイノベーション推進の支援をうたっており、エネルギーセクターにおける革新的なインフラ技術を導入するための国営企業の開発戦略策定支援、ナノ材料やナノテクノロジーの開発支援、ベンチャー支援資金の設立等の施策を行っている。

特に2020年までに、イノベーションに基づく開発計画を実施する企業の研究開発費を収入の3%に到達させるという目標を掲げ、当該分野における産業全体での研究開発の推進を目指している。

この他、ロシアでは個別技術戦略プログラムを分野ごとに作成しており、「2020年までの原子力マスタープラン」、「2020年までの省エネルギー及びエネルギー効率向上プログラム」等を作成している。

原子力発電については、2030年までに原発比率(発電電力量)を25%~30%に高めることとし、プーチン大統領は28基の原子力発電所を新設することを表明。

<sup>2</sup> 2009年にEUで導入された排出ガス規制及びそれに沿って変更された燃料指令のこと。ガソリン・軽油について、燃料中の硫黄分含有量を、共に10質量ppm以下に規制している。

2007年、欧州委員会は「SET Plan (Strategic Energy Technology Plan)」を発表した。これは同年に同委員会自らが目標として掲げた「トリプル20」の達成に向け、EU 全体として、以下の7つの項目でのエネルギー技術開発と実用化の促進を目的として策定されたものである。

<「SET Plan」の対象7項目とその目標及び主な指標(KPI)>

<p>○風力</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2020年までに EU 全体の最終電力消費に占める割合を最大20%に引き上げる</li> </ul> <p>○太陽エネルギー</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2020年までに EU 全体の電力需要に占める割合を12%に引き上げる(熱利用を含む)</li> </ul> <p>○バイオマスエネルギー</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・EU 全体のエネルギーミックスに占める割合を最低14%に引き上げる</li> </ul> <p>○CCS(二酸化炭素回収・貯留)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2020～25年までに(カーボンプライシングの市場下で)コスト競争力の確保を目指す</li> <li>・2020年までに発電所における CCS 技術のコストを30～40%引き下げる</li> </ul> <p>○電力グリッド</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・再生可能エネルギーの割合が最大35%にまで引き上げられた場合にも“スマート”に運用可能なグリッドを実現する</li> <li>・電力供給の質を全般的に引き上げる(供給されないエネルギーを2～10%引き下げる)</li> </ul> <p>○原子力</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の原子力発電技術により EU 全体の電力需要の約30%を賄う</li> <li>・2020年までに第4世代原子炉(核燃料サイクルを伴う高速中性子炉)の実証炉初号機を稼働させ、2040年までに商用化する</li> </ul> <p>○スマートシティ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2020年までに EU の25～30の都市で先行的に低炭素経済への移行を実現する</li> </ul>
---

この「SET Plan」実現のための代表的な研究開発支援プログラムとして、2014年より開始されたのが「Horizon 2020」である。これは前年までのプログラムである「FP7」と同様、期間は7年間(2020年まで)であるが、全体の予算は「FP7」の532億ユーロを大きく上回る770億ユーロとなっている。

「Horizon 2020」におけるエネルギー分野の取組の中では、「省エネ」「低炭素技術」「スマートシティ」の3分野が優先課題として位置付けられている。

<「Horizon 2020」の主な予算内訳>

- 再生可能エネルギー(技術開発)
  - ・2014年…6,000万ユーロ、2015年…6,000万ユーロ
- 再生可能エネルギー(実証)
  - ・2014年…7,300万ユーロ、2015年…8,000万ユーロ
- CCS(二酸化炭素回収・貯留)
  - ・2014～2015年…1,300～2,500万ユーロ
- スマートグリッド(配電網、送電網、卸市場)
  - ・2014年…6,000万ユーロ、2015年…7,148万ユーロ
- スマートコミュニティ
  - ・2014年…9,232万ユーロ、2015年…10,818万ユーロ
- 原子力関連(核融合以外)
  - ・2014～2018年…87,510万ユーロ
- 核融合
  - ・2014～2018年…72,823万ユーロ

こうした支援による研究の成果が、イノベーションを生み出し、経済成長や雇用にもつながることが期待されている。

## イギリス

イギリス政府は、2008年の「気候変動法」で「2050年までに1990年比80%の温室効果ガス削減」という目標を掲げた。

この目標を達成するためには、低炭素分野における技術革新が不可欠であることから、2011年にエネルギー・気候変動省、ビジネス・イノベーション・技能省、エネルギー技術研究所等の省庁横断型組織であるLow Carbon Innovation Coordination Group(LCICG)が設立され、翌年より10の技術分野における技術評価(Technology Innovation Needs Assessments : TINA)が実施された。

主な分析内容は、2050年までの技術導入見通し、技術コスト削減見通し、産業創出による経済効果等である。

### <TINA の調査対象技術分野と評価結果一覧>

#### ○バイオエネルギー

- ・420億ポンドの発電コスト削減、190億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○CCS(二酸化炭素回収・貯留)

- ・220億ポンドの発電コスト削減、80億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○洋上風力

- ・450億ポンドの発電コスト削減、180億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○海洋(潮力、波力)

- ・28億ポンドの発電コスト削減、12億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○建物(住居用・非住居用)

- ・286億ポンドの発電コスト削減、34億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○輸送用水素

- ・357億ポンドの発電コスト削減、202億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○産業

- ・203億ポンドの発電コスト削減、39億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○熱利用

- ・300億ポンドの発電コスト削減、60億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○送電網・蓄電

- ・90億ポンドの発電コスト削減、166億ポンドの国内産業創出効果を予測

#### ○核融合(第3～4世代原子炉の導入を前提として評価を実施)

- ・57億ポンドの発電コスト削減、72億ポンドの国内産業創出効果を予測

※コスト削減、国内産業創出効果の対象期間はいずれも2010～2050年

この分析結果に基づき、今後、公的支援の内容や資金規模といった、より具体的な判断が実施される。

また、2011年に政府が発表した第4次となる「炭素計画」(2023～2027年)でも、技術開発のシナリオについて言及されている。

<2011年の「炭素計画」の主な対象分野と言及内容>

○CCS(二酸化炭素回収・貯留)

・2020年代から普及し、2050年には産業部門からの排出量の約3分の1を回収する

○車両

・2040年までに排ガスをほぼゼロとする

○建物

・新築の住居は2016年以降、新築の非住居建築物は2019年以降に炭素排出をゼロとする

・2023～2027年に100～370万ヶ所での断熱を実施する

・2050年までには建物由来の炭素排出量をほぼゼロとする

「野心的」とも評される二酸化炭素80%削減の目標達成のための技術開発は始まったばかりであり、まずは直近の目標として定められている2020年までの34%削減(「気候変動法」制定時の26%を翌年変更)が達成できるかが注目される。

原子力発電については、2007年の「エネルギー白書」で、電力の安定供給や温室効果ガスの削減のために新設及び利用拡大が必要との立場がとられており、ヒンクリーポイント C での原子力発電所の新設計画が決定している。また、その他の新設予定地として、7サイトが挙げられている。



## フランス

2012年、「エネルギー構成の移行」(原発比率の低減と再生可能エネルギーへの依存拡大)を掲げたオランド氏が大統領に就任し、翌年7月には政府全体の研究開発戦略として“France Europe 2020”が策定され、この中でエネルギー分野に関する研究開発の方向性も示された。

2014年6月、「エネルギー構成の移行法案」が明らかにされ、エネルギー種別の導入目標等が定められた。

### <「エネルギー移行法案」における導入目標等>

#### ○原子力発電

・2025年までに総発電電力量に占める原発依存比率を50%(注:現在は75%)に削減する一方、原発の設備容量については6320万kW(現在の設備容量と同水準)を維持する。

#### ○再生可能エネルギー

・最終エネルギー消費に占める割合を2020年までに23%、2030年までに32%に引き上げる

#### ○風力

・2020年までに洋上風力発電を設備容量600万kWに拡大する

#### ○太陽光発電

・メガソーラーの導入拡大やエネルギー多消費建物における太陽光パネルの設置を拡大する

#### ○海洋エネルギー

・潮力発電ファームを新設する

#### ○建物(住宅・ビル)

・住宅については、2017年までに50万戸/年の改築を行う

・ビルについては2021年1月より、全ての新築ビルをポジティブエネルギー(エネルギー生産量>消費量)とする規制を行う

※参考:再生可能エネルギーの促進については、旧政権においても積極的な取組が行われており、2009年の「エネルギー基盤計画」では、以下のような導入目標(設備容量)が定められていた。

●風力…2020年までに風力全体で2,500万kW

●太陽光発電…2020年までに540万kW

●海洋エネルギー…2020年までに80万kW

●地熱…2020年までに600万kW~900万kW

●バイオマス…2020年までに840万kW

「エネルギー移行法案」の目標実現に向けた詳細な技術戦略等は未策定である。フランスの原子力産業は40万人の雇用を抱える一大産業であり、原発比率の低減は雇用に大きな影響を与えるほか、原子力産業の競争力の低下への懸念も囁かれている。なお、原子力発電の研究開発については、福島第一原発事故を受け、2011年6月に「未来への投資」計画(2009年策定)の

枠組みの中で原子力安全に関する研究開発を強化することが示されており、オランダ政権下においてもその方針が継続されている。

## ドイツ

2010年、ドイツ連邦政府の経済・エネルギー省 (BMWi) と環境・自然保護・原子力安全省の両省により「エネルギーコンセプト」が策定された。

これは、2050年までの超長期的エネルギー戦略で、再生可能エネルギーの導入促進を図るとともに、電力・熱、需要・供給対策を含めたエネルギー政策全体を見据えた内容になっている。

### <「エネルギーコンセプト」の主な目標>

#### ○再生可能エネルギー

・電力消費量に占める割合を2020年に少なくとも35%、2050年までに80%とする

#### ○電気自動車

・2020年までに100万台、2030年までに600万台普及させる

#### ○風力

・2030年までに洋上風力発電を設備容量2,500万kW とする

#### ○温室効果ガス

・2020年までに40%、2050年までに80%削減する(1990年比)

#### ○CCS(二酸化炭素回収・貯留)

・CCS を備えた発電所を政策の支援対象とする

#### ○バイオマス

・有機物残渣・廃棄物・農産物等の広範な利用を実施する

・持続可能な方法で生産された輸入バイオマスによる補完を実施する

#### ○蓄電

・蓄電技術の研究を強化する

・蓄電施設に対する電力系統への接続課金を免除する

原子力発電については、当初、石炭を中心として賄っていた電力を再生可能エネルギー中心へと移行する間の「橋渡し役」と位置付け、国内17基の原発の稼働期間を平均12年延長することを目標としていた。

しかし、東京電力福島第一原子力発電所事故を受け、連邦政府は「遅くとも2022年末までに原子力発電から撤退する」との項目を含む「エネルギーコンセプト」の改訂版(「エネルギーパッケージ」)を2011年6月に公表し、方針を転換した。

2011年8月には「第6次エネルギー研究プログラム」が、BMWi を中心とする連邦政府各省の共同プロジェクトとして採択された。これは、「エネルギーコンセプト」で示された目標を達成するために必要な技術的基盤の強化を目指すアクションプログラムとなっている。

蓄熱、水素関連、エネルギー効率、系統といった重点テーマに対する研究の促進のため、201

1～2014年の間に35億ユーロの予算が投入される。なお、原子力発電についても本プログラムの中で示されており、国内の原子力発電所の安全確保のための研究開発に重点を置くこととされている。

<「第6次エネルギー研究プログラム」の主な目標>

○風力

・2020年までに、設備容量を4,600万kW(洋上1,000万kW、陸上3,600万kW)に拡大する

○バイオマス

・2050年には、世界のバイオエネルギーの80%を賄い、現状比でエネルギー生産量を6倍増加させる

○太陽光発電、太陽熱利用

・各種技術(シリコンウエハー、薄膜セル、太陽熱冷暖房、システム技術等)に対する研究開発を促進する

○水素製造・水素製造・輸送・貯蔵、

・各種技術(固体高分子電解質膜分解・水分解、メタン生成、燃料電池スタック、腐食や水素脆化の少ない素材開発等)に対する研究開発を促進する

○蓄熱

・大容量の蓄熱システムの開発を促進する  
・太陽熱蓄熱システムの断熱強化に係る開発を促進する

○高効率石炭火力発電

・蒸気温度700℃、圧力350barの蒸気を生成可能な技術開発を促進する

○高効率天然ガス発電

・GTCC(タービン入口温度1,500℃が達成可能な技術)の開発を促進する

○原子力

・各種技術((経年劣化対策、事故時の炉心冷却系等の挙動、先進的燃料、格納容器の健全性、確率論的手法等)に対する研究開発を促進する

こうした取組や、1991年から導入されている固定価格買取制度(FIT)等により、ドイツの総発電量に占める再生可能エネルギーの割合は2013年に24.1%に達している。

しかしその一方で、買取制度賦課金の増加による電気代の上昇や送配電網の強化などの問題に直面している。また、脱原発への方針転換の結果、石炭による発電の割合も依然高く(2013年現在47.5%)、温室効果ガスの排出量が、近年、増加傾向にあることも課題である。

## イタリア

イタリアのエネルギーに関する基本政策は、国家エネルギー計画（PEN：Piano Energetico Nazionale）として公表されている。2012年10月、政府は第4次PENの施行から約20年ぶりに新たな国家エネルギー政策案を閣議提案し、同案はパブリックコメントの手続を経て「国家エネルギー戦略～より競争力があり持続可能なエネルギーのために～（SEN：Strategia Energetica Nazionale）」というタイトルで、2013年3月8日に経済開発省と環境・国土・海洋保全省令として施行された。同戦略は、EUの「低炭素経済ロードマップ2050」に対応し、2050年までを見据えた戦略となっている。

同戦略では、2050年までの主要目標として以下の4点を挙げている。①競争力：徐々に欧州全体の水準にまで強化し、消費者や企業向けのエネルギーコストを削減、②環境：EUが定める環境規制・目標を上回る、③安全：特にガスを中心としたエネルギーの安定供給の強化と海外依存度の低減、④成長：エネルギー産業分野の発展を通じた持続的経済成長の促進。

上記の目標を達成するため、同戦略では2020年までに優先すべき実施事項として以下の7点を挙げている。①エネルギー効率の更なる向上、②ガス市場の競争力強化と南欧のガスハブ開発、③再生可能エネルギーの持続的な開発、④電力インフラと市場の開発、⑤石油精製分野と燃料配給網の再構築、⑥国内の炭化水素生産の持続的な開発、⑦マネジメントシステムの近代化。

また7つの優先事項を実施した上で、2020年までに①エネルギー消費の抑制と再生可能エネルギーを中心としたエネルギーミックス（電源構成）の進展、②エネルギーコストの削減と電力卸売価格の欧州水準への低減、③EUのエネルギー戦略「Energy 2020」を上回る目標の達成、④エネルギー安全保障状況の改善、⑤投資促進による経済成長の達成を目標としている。

### <2020年目標>

- ・国内全体の電力及びガス料金を年間約90億ユーロ削減
- ・EUのトリプル20目標の超過達成
- ・一次エネルギーに占める化石燃料の依存度を2012年89%から77%へ低下
- ・化石燃料の海外依存度を2012年84%から67%へ低下
- ・電力輸入比率を2010年約13%から7～10%へ低下

※2012年から2020年の間に総額1,700から1,800億ユーロのエネルギー部門への投資（その内1,100～1,300億ユーロはグリーン経済への投資）

### <2050年目標>

- ・一次エネルギー消費量を2010年比17～26%削減
- ・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最低60%へ
- ・交通分野等の電化率の向上（少なくとも38%）

※原子力については、2011年6月に行われた国民投票で、原発再開計画廃止への賛成多数で原発再開計画の廃止が決定されており、目標に原子力は含まれていない(原子力エネルギー利用は1987年に廃止されたが、2008年に政府は、原子力発電所を新規建設し、2030年までに電源構成に占める原子力の割合を25%にする方針を示していた)。

再生可能エネルギーの大量導入により、需要家の負担が急増したため、再生可能エネルギー電力支援に上限(太陽光電力で年間67億ユーロ、その他の再生可能エネルギー電力で同58億ユーロ)を設けた。

総額1,700～1,800億ユーロをエネルギー事業に投資し経済成長の底上げ効果を期待しているところであり、加えて、イタリアは電気料金がEU平均より高い(2012年時点でガス料金3.7ユーロ/MWh、電気料金23ユーロ/MWh)ため、本計画で電気料金をEUレベルまで引き下げることによって経済競争力を上げることを目指している。

## デンマーク

デンマークは、2011年2月に、「エネルギー戦略2050(Energy Strategy 2050)」を発表した。本戦略は、EU のエネルギー・環境政策の動向や、国際的な気候変動対策の動向を踏まえて策定されたもので、2050年までに全てのエネルギー供給を再生可能エネルギーで賄うことを目標として掲げている。さらに、京都議定書の下での第2約束期間における目標(2020年に1990年比で20%削減)を受け、「2020年に向けたグリーンエネルギーの加速(Accelerating Green Energy Towards 2020)」が2012年に策定された。

### <2050年目標>(Energy Strategy 2050にて掲げられた)

- ・2050年までに全てのエネルギー供給を再生可能エネルギーで賄う
- ・エネルギー消費削減と再生可能エネルギー開発が基本方針

### <2020年目標>(Accelerating Green Energy Towards 2020にて掲げられた)

- ・最終エネルギー消費の35%を再生可能エネルギーで賄う
- ・電力供給の50%を風力で賄う
- ・エネルギー消費を2010年比7.6%削減、温室効果ガス排出量1990年比34%削減
- ・輸出部門での10%のバイオ燃料利用を目標に掲げる

エネルギー分野におけるデンマークの特徴として、風力発電とスマートグリッドが挙げられる。

風力発電については、デンマークは強い風が吹く地域だったこともあり、歴史的に研究が盛んであった。石油ショック以降、1979年から始まった建設費導入支援に始まり、1984年には世界で最初の固定価格買取制度が導入されただけでなく、1984年には機能・安全性・仕様などを保証する認証資格制度も開始しており、本制度が後に「型式認可制度」として国内の技術水準の向上と市場活性化に貢献している。こうした国としての導入目標の策定や制度面からの支援に加え、財政面からの支援等が風力発電の普及促進・市場活性化につながったと考えられている。2013年度の世界市場シェア第1位(13.1%)の Vestas 社が、高い技術力、実績、信用を誇っている一因に、このような行政からの支援が挙げられる。今後についても、2020年までに Kriegers Flak で60万kW、Horns Rev で40万kW の設備容量の洋上風力発電開発計画が進められているほか、沿岸部で50万kW の設備容量の洋上風力発電、50万kW の設備容量の陸上風力発電所を別途開発予定となっており、更なる風力発電の導入推進が期待されている。

スマートグリッドについては、気候・エネルギー・建物省が再生可能エネルギー拡大に向け、2013年新送電網戦略を発表している。本戦略では、需要家が、スマートメーターや時間帯別料金などを導入することで、エネルギー需要の効率化を図る旨が記載されている。

デンマーク国内のスマートグリッドの代表的なプロジェクトとして、EDISON スマートグリッドプロジェクトと EcoGrid EU がある。ポーンホルム島で IBM などによって2009年開始された、EDISON スマートグリッドプロジェクトは、風力発電を利用した電気自動車の普及を目指した大規模な事業で

あり、余剰電力を電気自動車のバッテリーに貯蔵し、風力が穏やかなときに電力グリッドに電力を供給している。また、EcoGrid EU は、デンマークのボーンホルム島の住宅のおよそ10分の1に当たる、2,000世帯と企業ユーザーを対象にしたパイロット・プロジェクトであり、エコ意識の高いデンマークの消費者が、スマートメーターと、スマートフォン、タブレット端末、パソコンなどに対応したウェブ・ベース・アプリケーションを活用し、オンラインで電力の購入予約や電気料金の確認が出来るようになることで、化石燃料の代わりに再生可能エネルギーを積極的に購入するようになり、コスト削減につながると期待されている。

## IV. 第3章 主要技術課題のロードマップ

### (1) 今般ロードマップで取り上げる技術課題

エネルギー関連技術開発の戦略については、近年においても、累次の技術戦略マップや「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」、2008年及び2013年の「環境エネルギー技術革新計画」などでまとめられてきている。それらで取り上げられたエネルギー関連の技術課題は、基本的に現在においても重要な課題である。さらに、第四次エネルギー基本計画で新たに触れられている又は特に重要なものとして取り上げられている技術課題についても、方向性を示すことが求められることになる。

今般のロードマップでは、以上を踏まえて、直近にまとめられた「環境エネルギー技術革新計画（2013年9月総合科学技術会議決定）」を踏まえつつ、エネルギー政策の観点から、技術課題を整理し、各課題に対応した技術開発の推進についてロードマップの形で示している。

#### 1. 技術課題の特定

上記のとおり、本ロードマップで取り上げる技術課題は、「環境エネルギー技術革新計画」と第四次エネルギー基本計画を踏まえて選定されている。これに加え、技術内容から、従来は同じ技術課題に区分されていたものを、別の技術課題として再整理を行った。

こうした対応から、特に以下の点について「環境エネルギー技術革新計画」とは異なる形で技術課題が取り上げられている。

- 化石燃料開発に関する技術（資源開発、メタンハイドレート等）
- 再生可能熱利用に関する技術
- 革新的製造プロセスに関する技術の細分化（石油精製プロセスとセメント製造プロセスの分離）
- 宇宙太陽光発電システムに関する技術
- 原子力発電に関する技術
- 革新的デバイスに関する技術の細分化（情報家電・ディスプレイとパワーエレクトロニクスとの分離）
- 水素に関する技術の細分化（水素製造、水素輸送・貯蔵、水素利用の分離）

#### 2. 技術開発課題の分類

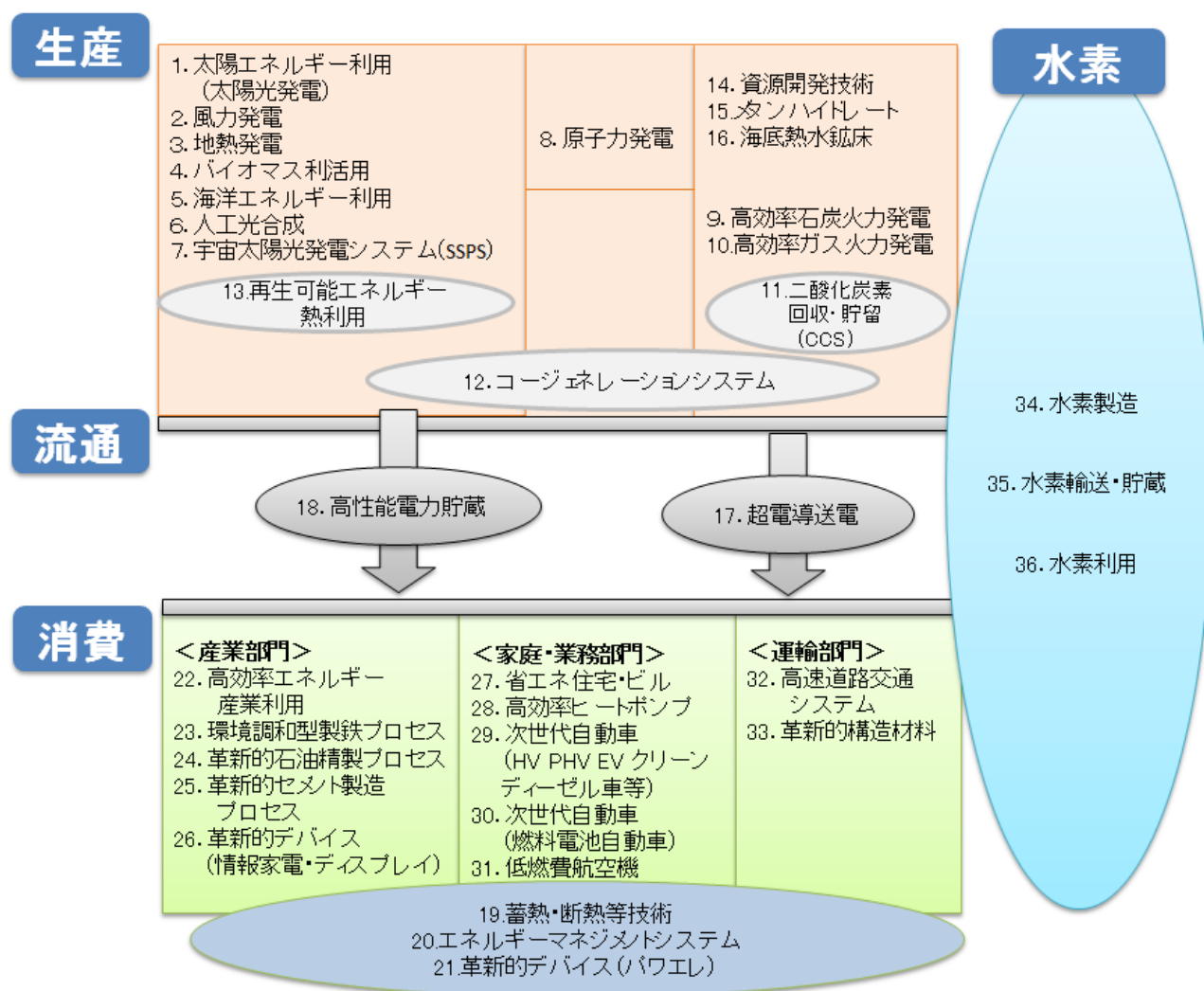
技術開発課題の分類については、「環境エネルギー技術革新計画」の基本的な枠組みを踏襲し、基本的に、生産・供給、流通、消費のエネルギー・資源のサプライチェーンの3つの局面に対応した形で整理を行う。



ただし、第四次エネルギー基本計画で、新たな二次エネルギー構造を支えることが期待される水素について全体像を示し、先般、水素ロードマップが策定されたことを踏まえ、水素に関する技術課題についてはサプライチェーンの段階から整理を行った技術課題とは別に、水素という分類を別途設定して、水素に関連する技術課題を整理する。

以上を踏まえ、4つに大きく分類した上で、個別の技術課題を、第四次エネルギー基本計画で取り上げられた政策課題に従って位置付けることとする。

＜技術課題全体の整理図＞



## (2)各技術課題のロードマップ策定の考え方

「環境エネルギー技術革新計画」においては、各技術課題について、1)技術の概要、2)我が国の技術開発の動向・課題、3)技術ロードマップ、4)国際動向、という形でロードマップを策定し、国内普及策、研究開発を着実に推進するための政策強化等、国際展開・普及施策を横断的に進める施策として整理を行っている。

今般のロードマップでは、全体として、我が国におけるこれまでの技術戦略、主要国における技術戦略の状況を整理し、時間軸(これまでの技術開発の取組)と空間軸(各国の技術開発の取組)の上に、今般整理した技術課題を位置付ける構成をとっている。こうした構成上の特徴を踏まえ、個別技術課題のロードマップの個表の作成に当たっては、特に以下の点について留意して作業を行った。

### 1. 各技術課題の開発の必要性の明確化

技術課題は、エネルギー制約や資源賦存状況、これまでの技術開発成果の蓄積など各国のエネルギー事情を踏まえて、合理的な判断の下で選定されるものである。したがって、各技術課題のロードマップの個表では、それぞれの技術を必要とする理由を明確化した。

これによって、どのような条件から当該技術が開発の推進を要するものであるかという点について説明することで、他国とは異なる優先付けや取組である場合にも、それがどのような理由に起因するのかという点を明らかにしている。

また、それぞれの技術課題の必要性を明確にすることによって、その技術開発がどの程度の緊急性を有し、それを踏まえてどれくらいの時間軸で開発を進めていくべきものであるのか、ということとを共有しやすいように配慮している。

### 2. 技術の社会実装化に向けた課題の明確化

「環境エネルギー技術革新計画」においても、国内普及策として、投資促進策、規制的手法、低炭素製品の購買促進策、規制・制度改革、実証事業が挙げられ、優れた技術が普及することの重要性を踏まえた報告となっている。

今般のロードマップにおいては、こうした考え方を更に推し進め、個別の技術課題ごとに導入に当たっての制度的制約等の社会的課題を明確化している。

新たな技術を実際に社会で活用していくために、それぞれの技術で乗り越えなければならない課題は大きく異なる。既存の技術の延長線上にあり、その効率を抜本的に向上するようなものである場合には、利用者が実際に購入できる価格帯で販売できるかということが鍵となり、そのよう

な場合には低コスト化が課題として浮上し、技術開発の具体的な内容も低コスト化のための原材料の使用量の減量化などが課題となる。

一方、新たなエネルギー源の導入につながるような場合には、その安全性自体を評価するための計測法や安全性確認方法自体が存在しないことも多く、安定的な供給のためのインフラの整備を必要とする場合もある。こうした技術課題の場合には、サプライチェーンの構築に係る政策を並行的に推進することになり、社会への実装には相当程度の時間を要することが想定される。

社会的に導入するための課題を明確にすることで、単に技術開発を進めるのではなく、関連する施策の遂行に関する時間軸を整理して戦略的に展開することが明確になるとともに、技術開発のロードマップ自体も、より現実的な形で整理することが可能となる。

### 3. 現実的なロードマップの策定

今般のロードマップの策定に当たっては、単に技術開発の目標(例. 発電コストを●円から●円に引き下げる)を掲げるのではなく、そうした目標が、どのような条件の下で達成することが可能となるのか、という点もできるだけ明らかになるように整理している。

特定の技術開発目標だけが一人歩きして、ある時点において当該技術開発目標が無条件に達成されたことを前提として、その時点のエネルギー事情を予測するような議論は、できるだけ避けなければならない。このためには、技術開発目標を実現するための前提となる他の技術開発の成果や経済条件等を総合的に踏まえることが必要である

こうした細やかな記述をロードマップに加えることにより、将来時点におけるエネルギー事情の予測をより現実的に行うことが可能となることに貢献できる技術ロードマップとなるように配慮している。

### 4. 個別の技術要素間の関連性を意識した細分化されたロードマップの設定

技術開発課題をより細分化して技術要素を整理した場合に、各技術要素が他の技術課題の要素との間に緊密な関係が出てくるケースは少なくない。

例えば、技術課題として別々に整理されている人工光合成、二酸化炭素回収・貯留、水素製造の間では、人工光合成という課題に対応する3つの技術開発要素の取組について、事業化まで長期間を要する光触媒や分離膜の技術が確立する前であっても、水素製造によって得られた水素と二酸化炭素回収技術で得られた炭素を、人工光合成の3つ目の技術開発要素である合成触媒の技術を活用して、高付加価値材料であるオレフィンの合成につなげることが可能となり、それぞれの技術課題への取組が相互に影響しながら、付加価値を生み出す技術連鎖の体系に位置付けることが可能となる。

このように、個別の技術開発要素が特定の技術課題の中で閉じるのではなく、他の技術課題の

中の他の技術開発要素との組合せによって新たなサプライチェーンを構成する可能性があることを踏まえ、そうした可能性を想定することができるよう、ロードマップでは、適切に細分化された技術開発要素を設定するように努めている。

ロードマップの個表の策定に当たっては、以上の点を明確に意識して整理を行うことで、より現実的かつ将来のエネルギー関連技術の社会への影響を理解しやすい形で示すように工夫を行っている。

また、こうした技術を特定したアプローチの他に、真に革新的な技術の萌芽を見つけ出す基礎・基盤的研究などにおいて、潜在的な技術ニーズを広く汲むための施策や支援体制と、それを実用化に結びつけることで革新的成果や波及効果が生まれやすい環境整備を行うことも重要である。

# 11. 二酸化炭素回収・貯留(CCS)

## 当該技術を必要とする背景

- 本技術は大規模なCO<sub>2</sub>の削減を可能とする技術であり、特に、途上国を中心に今後も利用拡大が見込まれる石炭をはじめとする化石燃料から生じるCO<sub>2</sub>排出削減として有効。
- 製鉄の工程で原料として利用される石炭は代替が困難であり、製造プロセスから生じるCO<sub>2</sub>を削減する手段としても有効。

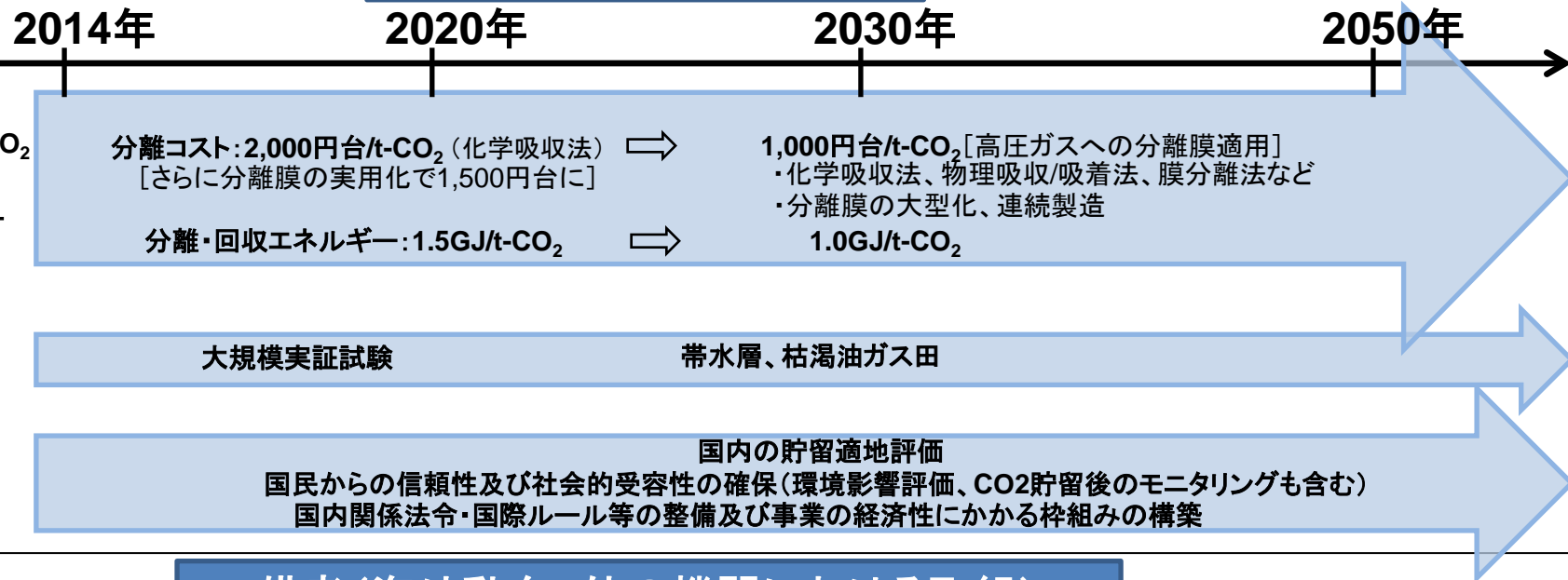
## 当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

- CCSは、大規模排出源の排ガス等からCO<sub>2</sub>を分離・回収し、地下貯留することにより、CO<sub>2</sub>排出の削減に貢献する技術。
- 実用化への課題であるコストの低減に有効なCO<sub>2</sub>分離回収技術や、安全性向上に有効な地下貯留したCO<sub>2</sub>のモニタリング技術の研究開発を実施。

## 導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

- 安全にCO<sub>2</sub>を地下貯留するためのCO<sub>2</sub>貯留適地評価の実施。
- CCS導入に関する国内ルールを整備。
- 国際的な安全・管理基準の整備。

## 技術ロードマップ



## 備考(海外動向、他の機関における取組)

- CCSプロジェクトは、ノルウェー等で数件が実施されている。
- CO<sub>2</sub>圧入によるEOR(石油増進回収法)は、米国を中心に10件程度進行中である。

# 23. 環境調和型製鉄プロセス

## 当該技術を必要とする背景

○製鉄業は我が国の中核産業の一つであり、世界最先端の省エネ型産業でもある。現行の製鉄プロセスは連続化・ガス再利用等の既存プロセス型省エネ技術は導入済みで、世界最高水準のエネルギー効率を誇っている。しかし、鉄鋼業が排出するCO<sub>2</sub>の約7割は高炉プロセスで発生していることから、高炉プロセスについての抜本的な技術開発による大幅なCO<sub>2</sub>の削減が喫緊の課題。技術的ハードルが高く、長期の技術開発が必要であり、一社単独では実現出来ないため鉄鋼業界として推進している。

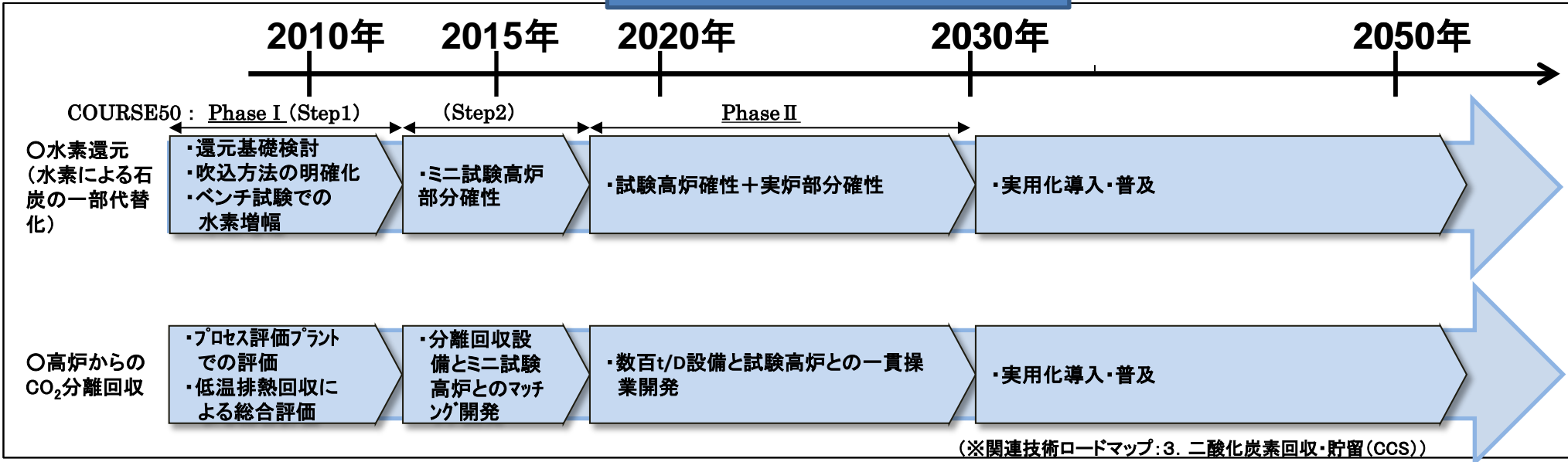
## 当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

○(1)コークス製造時に発生する高温の副生ガスに50%程度含まれる水素を活用し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術の開発、(2)CO<sub>2</sub>濃度が高い高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離するための新たな吸収液の開発、物理吸着技術の開発、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たなCO<sub>2</sub>分離・回収技術の開発を実施。  
 ○CCSはCO<sub>2</sub>分離・回収・貯留の一連の技術。高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収については、独自に開発を行っている一方で、貯留については、発電所の排ガスからのCO<sub>2</sub>貯留と共通の技術を利用予定。

## 導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

○CO<sub>2</sub>貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることが前提。

## 技術ロードマップ



## 備考(海外動向、他の機関における取組)

○米国、EU、豪州では、新規フラッシュ製鉄プロセスや、炉室内への鉄鉱石の直接投入プロセスの開発、代替燃料の開発等に取り組んでいるが、いずれも研究段階か、資金不足などにより中断している。実用化に向けた取組の段階にあるのは、日本だけである。

添付 4

## 特許論文等リスト

添付資料 特許論文等リスト

[特許]

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	公開 出願 取下	名称	発明者
1	新日鐵住金(株)、 JFE スチール (株)、(株)神戸製鋼 所、日新製鋼(株)、 新日鐵住金エンジ ニアリング(株)	特願 2014-000901	国内	2014年1月7日	公開	高炉の操業方法	稲田隆信 他
2	(公財) 地球環境 産業技術研究機構 新日鐵住金(株)	PCT/JP2014/ 053485	PCT	2014年2月14日	公開	【RN-4】ガス中 の二酸化炭素を 吸収及び回収す るための液体、 並びにそれを用 いた二酸化炭素 の回収方法	東井隆行 他
3	新日鐵住金(株)、 JFE スチール (株)、(株)神戸製鋼 所、日新製鋼(株)、 新日鐵住金エンジ ニアリング(株)	特願 2014-046527	国内	2014年3月10日	公開	タール含有ガス の改質方法およ び改質装置	鈴木公仁 他
4	同上	特願 2014-44207	国内	2014年3月6日	公開	石炭乾留ガスか らの水素製造装 置および水素ガ ス製造方法	伊藤信明 他
5	同上	特願 2014-079424	国内	2014年3月28日	公開	高炉の操業方法	酒井博 他
6	同上	特願 2014-160743	国内	2014年8月6日	出願	高炉へのガス供 給装置及び方法	伊藤信明 他
7	同上	特願 2014-160698	国内	2014年8月6日	出願	水素ガス製造装 置および水素ガ ス製造方法	伊藤信明 他
8	同上	特願 2014-176531	国内	2014年8月6日	出願	高炉シャフト部 供給水素ガスの 製造方法および 装置	伊藤信明 他
9	同上	特願 2014-172496	国内	2014年8月27日	出願	熱回収方法及び それに用いる熱 回収装置	小林 一暁 他
10	同上	特願 2014-230554	国内	2014年11月13日	出願	可燃性ガス供給 装置	三瓶均 他
11	同上	特願 2014-254274	国内	2014年12月16日	出願	高炉の操業方法	酒井博 他
12	同上	特願 2015-042330	国内	2015年3月4日	出願	連続式固定床触 媒反応装置およ びその装置を用 いたガス改質方 法	伊藤信明 他
13	独立行政法人産業 技術総合研究所、 (株)神戸製鋼所	特願 2014-208574	国内	2014年10月10日	出願	コークスの熱間 反応後強度の推 定方法	崎元尚人、鷹 觜利公 他



14	(公財) 地球環境産業技術研究機構、新日鐵住金(株)	特願 2015-064402	国内	2015年3月26日	出願	二酸化炭素を分離回収するための吸収液、及びそれを用いた二酸化炭素を分離回収する方法	F. A. Chowdhury、他
15	新日鐵住金(株)、JFE スチール(株)、(株)神戸製鋼所、日新製鋼(株)、新日鐵住金エンジニアリング(株)	特願 2014-000901	外国	2015年1月6日	出願	高炉の操業方法	樋口謙一 他
16	(公財) 地球環境産業技術研究機構、新日鐵住金(株)	特願 2015-064407	国内	2015年3月26日	出願	二酸化炭素を分離回収するための吸収剤、及びそれを用いた二酸化炭素の分離回収方法	山本 信 他
17	新日鐵住金(株)、JFE スチール(株)、(株)神戸製鋼所、日新製鋼(株)、新日鐵住金エンジニアリング(株)	特願 2015-069326	国内	2015年3月30日	出願	タール含有ガス改質用触媒の再生方法	中尾憲治 他
18	同上	出願手続中			出願手続中	触媒反応装置及び触媒反応方法	伊藤信明、堂野前等 他
19	同上	出願手続中			出願手続中	触媒反応装置及び触媒反応方法	伊藤信明、堂野前等 他

[論文]

番号	発表者	タイトル	発表書誌名	査読	発表年月日
1	原岡 たかし 他	高炉ガスからの二酸化炭素回収用 PSA システムの開発 CO <sub>2</sub> 分離における操作条件の影響	化学工学論文集 Vol.39 No.5 Page 439-444	有	2013 年 9 月 20 日
2	當房博幸 他	顕熱回収に適した製鋼スラグ連続凝固プロセスの開発	鉄と鋼, Vol.99,(2013), No.12, p.683	有	2013 年 12 月 1 日
3	當房博幸	「鉄鋼スラグを有効活用するための密度および形状を制御する冷却・凝固プロセスの開発に関する研究」の第 4 章	博士論文(大阪大学大学院工学研究科)	有	2014 年 1 月 16 日
4	蘆田隆一 他	溶剤抽出フラクショネーション法による構造分析を用いた石炭・粘結材のコークス化挙動予測の試み	「鉄と鋼」第 100 巻記念特集号、第 2 号(製鉄分野特集号)	有	2014 年 2 月 1 日
5	F. A. Chowdhury 他	CO <sub>2</sub> Capture by Tertiary Amine Absorbents: A Performance Comparison Study	Industrial & Engineering Chemistry Research 52, 8323-8331 (2013)	有	2013 年 5 月 20 日
6	山本 信 他	Behavior Characterization of Heat-Stable Salt in Amine-Based Solvent for CO <sub>2</sub> Capture Process from Blast-Furnace Gas	Chemistry Letters 42, .532-534 (2013)	有	2013 年 5 月 5 日
7	F. A. Chowdhury 他	Synthesis and Characterization of New Absorbents for CO <sub>2</sub> Capture	Energy Procedia 37, 265-272 (2013)	有	2013 年 8 月 5 日
8	山田秀尚 他	Effect of alcohol chain length on carbon dioxide absorption into aqueous solutions of alkanolamines	Energy Procedia 37, 499-504 (2013)	有	2013 年 8 月 5 日
9	松崎洋市 他	Ab Initio Study of CO <sub>2</sub> Capture Mechanisms in Aqueous Monoethanolamine: Reaction Pathways for the Direct Interconversion of Carbamate and Bicarbonate	Energy Procedia 37, 400-406 (2013)	有	2013 年 8 月 5 日
10	松崎洋市 他	Ab Initio Study of CO <sub>2</sub> Capture Mechanisms in Aqueous Monoethanolamine: Reaction Pathways for the Direct Interconversion of Carbamate and Bicarbonate	J. Phys. Chem. A 117, 9274-9281 (2013)	有	2013 年 9 月 4 日
11	山本 信 他	Chemical Stability of Secondary-Alkanolamine-Based CO <sub>2</sub> Solvents under Stripping Condition	Chemistry Letters 42, 1559-1561 (2013)	有	2013 年 9 月 11 日
12	齊間 等	PSA 法による高炉ガスからの炭酸ガス分離技術の開発	Adsorption News Vol.27 No.1 Page 11-15		2013 年 4 月 25 日

13	山田秀尚 他	Quantitative Spectroscopic Study of Equilibrium in CO <sub>2</sub> -Loaded Aqueous 2-(Ethylamino)ethanol Solutions	Industrial & Engineering Chemistry Research 誌 53, 1617-1623 (2014)	有	2014年1月9日
14	齋間 等	PSA 法による高炉ガスからの大規模炭酸ガス分離・回収技術	配管技術誌		2014年4月1日
15	F. A. Chowdhury 他	Development of Novel Synthetic Amine Absorbents for CO <sub>2</sub> Capture	Energy Procedia 63, 572-579 (2014)	有	2014年12月31日
15	望月 友貴 他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Iron Ore Sinters Prepared from Coke Oven Gas Tar	Fuel Processing Technology	有	2015年5月22日
17	望月 友貴 他	Development of Continuous Steelmaking Slag Solidification Process Suitable for Sensible Heat Recovery	ISIJ international, Vol. 55 (2015), No.4, p.894-903	有	2015年4月1日
18	植田滋、他	Reduction behavior of packed bed of sinter reduced by CO-CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-N <sub>2</sub> gas	日本鉄鋼協会 ISIJ International	有	2015年6月1日
19	林 幸、他	Microstructure Change and Primary Slag Melting of Sinter in the Cohesive Zone of a Blast Furnace	日本鉄鋼協会 ISIJ Int.,55(2015)	有	2015年6月1日
20	望月 友貴 他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Pellet Prepared from COG Tar	論文誌(Fuel)	有	2015年8月20日
21	村上太一 その他	Effect of the Reduction of Calcium Ferrite on Disintegration Behavior of Sinter under High Hydrogen Atmosphere	ISIJ International 55(6), 1197-1205, 2015	有	2015年6月20日
22	植田滋、他	Softening, melting, and permeation phenomena of CaO-FeO-SiO <sub>2</sub> oxide on a coke bed	日本鉄鋼協会 ISIJ International	有	015年10月(予定)
23	上野浩光 他	環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)の概況	エネルギー学会誌	有	2015年11月1日
24	鈴木公仁	製鉄副生ガスからの水素製造技術	電気評論 Page13(2015)6	有	2015年6月10日

[対外発表]

(a)学会発表・講演

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月日
1	齊間 等	高炉ガス CO <sub>2</sub> 分離技術の現状と大規模 PSA システムの開発	名称：(株)情報技術センター・セミナー講習会テキスト Page IV-1～49	2013 年 4 月 23 日
2	樋口 謙一 他	Possibility of decreasing CO <sub>2</sub> emissions by using hydrogen reduction in blast furnace	BAC2013 (5th Baosteel Biennial Academic conference)	2013 年 6 月 5 日
3	崎元尚土 他	基質連結度によるコークス強度の推算	拡大版 E&E フォーラム 発表形式：ポスター発表	2013 年 6 月 24 日
4	紫垣伸行 他	Heat transfer characteristic in a slag heat recovery chamber	The 8th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing Proceedings of PRICM8, p769-776	2013 年 8 月 8 日
5	小澤純仁 他	Development of a heat recovery system from steelmaking slag	The 8th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing Proceedings of PRICM8, p761-768	2013 年 8 月 8 日
6	山田秀尚 他	CO <sub>2</sub> 分離回収材の反応 (2) 2 級ヒンダードアミン	化学工学会第 45 回秋季大会	2013 年 9 月 16 日
7	松崎眞六 他	高炉への改質 COG 吹き込みの効果の検討	日本鉄鋼協会 H25 年度秋季講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 510.	2013 年 9 月 17 日
8	谷口雅紀 他	H <sub>2</sub> -CO 混合ガスを用いた実・模擬焼結鉄の還元速度の評価	日本鉄鋼協会 H25 年度秋季講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 754.	2013 年 9 月 17 日
9	奥山憲幸 他	高炉の高水素化時のコークスの役割－粘結材を用いた高強度コークスの製造と反応後強度－	日本鉄鋼協会 H25 年度秋季講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 514.	2013 年 9 月 17 日
10	渡壁史朗 他	COURSE50 プロジェクトにおける試験高炉での水素系ガス吹き込み操業	日本鉄鋼協会 H25 年度秋季講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 518.	2013 年 9 月 17 日
11	石井 純 他	高炉予熱ガス吹き込み時の伝熱挙動の推定	日本鉄鋼協会 H25 年度秋季講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 824.	2013 年 9 月 17 日
12	茂木 康弘 他	物理吸着法による高炉ガスからの CO <sub>2</sub> 分離	日本鉄鋼協会 H25 年度秋季講演大会 26(2013)Vol.2, 831	2013 年 9 月 17 日
13	鈴木 公人 他	石炭乾留タールの水素変換用新規改質触媒の開発－実ガスを用いたベンチプラント試験－	第 112 回触媒討論会	2013 年 9 月 18 日

14	奥山憲幸 他	コークス反応後強度に及ぼす高性能粘結材 (HPC) の効果 (1)	第 50 回石炭科学会議 発表論文集 P.12-13	2013 年 10 月 28 日
15	宍戸貴洋 他	コークス反応後強度に及ぼす高性能粘結材 (HPC) の効果 (2)	第 50 回石炭科学会議 発表論文集 P.16-17	2013 年 10 月 28 日
16	熊谷治夫 他	粘結材添加がコークス原料炭の軟化溶解挙動に及ぼす影響(3)	第 50 回石炭科学会議	2013 年 10 月 30 日
17	齊間 等 他	Development of PSA System for the recovery of Carbon Dioxide from Blast Furnace Gas	第 12 回 日中石炭・C <sub>1</sub> 化学シンポジウム 予稿集(CD) 講演番号 C203	2013 年 10 月 30 日
18	齊間 等 他	Development of PSA System for the recovery of Carbon Dioxide from Blast Furnace Gas	I E A-G H G /IETS Iron and Steel Industry CCUS and Process Integration Workshop	2013 年 11 月 5 日
19	齊間 等 他	CO <sub>2</sub> 回収用大規模 PSA 分離システムの構築—実機イメージの検討—	石油学会・北九州大会 講演要旨集 Page234	2013 年 11 月 14 日
20	原岡 たかし 他	PSA 法での高炉ガス分離操作における吸脱着挙動の検討	第 27 回日本吸着学会・研究発表会 講演要旨集 Page59	2013 年 11 月 21 日
21	鈴木 公人	製鉄副生ガスからの水素製造技術開発	水素の製造と利用シンポジウム	2013 年 11 月 25 日
22	齊間 等 他	高炉ガスからの CO <sub>2</sub> /CO 回収用 PSA システムの構築	第 29 回ゼオライト研究発表会 講演予稿集 Page59	2013 年 11 月 27 日
23	田恵太 他	Continuous slag solidification and heat recovery process as a new application of steelmaking slag - (2) Results of pilot-scale experiment	9th Global Slag Conference and Exhibition 2013 (ドバイ)	2013 年 12 月 11 日
24	萩原一真 他	Continuous slag solidification and heat recovery process as a new application of steelmaking slag (1) Mechanical designing of the slag solidification and heat recovery pilot plant	9th Global Slag Conference and Exhibition 2013 (ドバイ)	2013 年 12 月 12 日
25	茂木 康弘	PSA 法による高炉ガスからの炭酸ガスの回収	日本エネルギー学会・科学・反応システム分科会・触媒学会 GTX 研究会合同シンポジウム 「炭酸ガスの分離・回収と再生利用」当日配布資料 Page9～23	2014 年 1 月 24 日
26	齊間 等	高炉ガス CO <sub>2</sub> 分離技術とゼオライトを用いた大規模 P S A システムの開発	サイエンス&テクノロジー(株)セミナー	2014 年 3 月 10 日
27	松尾 翔平 他	剛体ばねモデルによる割裂引張試験時における複雑な気孔構造を有するコークスの破壊解析	鉄鋼協会 第 167 回春期講演大会 (学生ポスターセッション)	2014 年 3 月 22 日

28	F. A. Chowdhury 他	Selection of Cyclic Amine Absorbents for CO2 Capture	日本化学会第 94 春季年会 (2014)	2014 年 3 月 27 日
29	五十嵐 正之	Development of High Performance CO2 Capture Process	第 13 回 CCUS(carbon Capture, Utilization & Storage)	2014 年 4 月 29 日
30	稲田 隆信	Recent Progress of practical BF operation in Japan and innovative trials for the future	23rd blast furnace ironmaking course McMaster セミナー	2014 年 5 月 16 日
31	崎元 尚土 他	画像解析による DI 測定時体積破壊要因の解明	第 23 回日本エネルギー学会大会	2014 年 7 月 19 日
32	斉間等 他	高炉ガスからの炭酸ガス回収用 PSA システムの開発 (実機プロセスの検討)	第 23 回日本エネルギー学会・大会 発表番号 7-1-2	2014 年 7 月 19 日
33	原岡たかし 他	PSA 法による高炉ガスからの CO2 分離における水分の影響	化学工学会 第 46 回秋季大会 講演会 講演番号 E114	2014 年 9 月 17 日
34	紫垣伸行 他	Environmentally Harmonized Steelmaking Process COURSE50	European Steel Environment & Energy Congress (ESEC) 2014	2014 年 9 月 15 日
35	紫垣伸行 他	CO2 分離 PSA プロセスにおける吸着剤特性影響	第 28 回日本吸着学会研究発表会 要旨集 2-19 (p37)	2014 年 10 月 24 日
36	崎元 尚土 他	画像解析によるコークス熱間反応後強度の推算	日本エネルギー学会 第 51 回 石炭科学会議	2014 年 10 月 22 日
37	吉田 拓也 他	Strength and Reactivity Control of Metallurgical Coke Using Coal Derived Caking Additive	2014 International Pittsburgh Coal Conference	2014 年 10 月 6 日
38	F. A. Chowdhury 他	SELECTION AND DEVELOPMENT OF SPECIFIC SYNTHETIC AMINE ABSORBENTS FOR CO2 CAPTURE	ICSST14	2014 年 10 月 30 日～11 月 1 日
39	斉間等 他	DEVELOPMENT OF PSA SYSTEM FOR THE RECOVERY OF CARBON DIOXIDE FROM BLAST FURNACE GAS IN STEEL WORKS	ICSST14 発表番号: DO-04	2014 年 10 月 30 日～11 月 1 日
40	F. A. Chowdhury 他	Development of Novel Synthetic Amine Absorbents for CO2 Capture	GHGT-12	2014 年 10 月 6 日 ～10 月 9 日
41	中尾 真一	CO2 分離回収技術の現状	革新的環境技術シンポジウム 2014	2014 年 12 月 17 日

42	鷹嘴 利公 他	画像解析法を用いたコークス熱間 反応後強度の評価	第 15 回北海道エネルギー資 源環境研究発表会	2015 年 1 月 27 日
43	堺 康爾 他	高性能粘結材 (HPC) のコークス 原料炭軟化溶解挙動に及ぼす効果 の NMR による検討	鉄鋼協会第 169 回春季講演大 会 CAMP-ISIJ, 28 (2015), 7-8.	2015 年 3 月 19 日
44	望月 友貴 他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Composites Prepared from COG Tar and Cold Bonded Pellets	The 13th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry 予稿集	2015 年 8 月 31 日
45	葛西栄輝 そ の他	カルシウムフェライトの被還元性 に及ぼす還元ガス組成の影響	鉄鋼協会第 170 回秋季講演大 会	2015 年 9 月 1 日
46	崎元尚士 他	Image analysis method for estimation of micro-strength of coke reacted by CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O and CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O.	The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry	平成 27 年 8 月 31-9 月 4 日
47	西岡浩樹	試験高炉に適用可能な高炉数学モ デルの開発	日本鉄鋼協会 第 170 回秋季講 演大会	2015 年 9 月 16 日 (水)
48	鈴木公仁	高温 COG 中タールの触媒ドライ ガス化による水素製造技術開発	鉄鋼協会第 170 回秋季講演大 会 Page714	2015 年 7 月 2 日 (木)
49	望月 友貴 他	COG タールとコールドボンドペ レットから調整した炭素内装塊成 鈳の圧潰強度と反応性	日本鉄鋼協会 (秋季) 講演大会	2015 年 9 月 16 日
50	石渡夏生 そ の他	CO <sub>2</sub> Ultimate Reduction in Steelmaking Process (COURSE50 Project)	Asia Steel International Conference 2015 (Asia Steel 2015)	2015 年 10 月 5 日 (月)
51	坪内 直人 他	水素活用製鉄の実現を目指した炭 素内装塊成鈳の製造	化学工学会エネルギー部会炭 素系資源利用分科会「第一回炭 素系資源の利用に関する勉強 会」概要集	2015 年 9 月 16 日
52	望月 友貴 他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Iron Ore Sinters Prepared from COG Tar	Asia Steel 2015	2015 年 10 月 5 日
53	植木保昭 他	微粉炭燃焼挙動に及ぼす水素系ガ ス添加の影響	鉄鋼協会 第 170 回秋季講演 大会	2015 年 9 月 16 日
54	小澤純仁 他	製鋼スラグ顕熱回収パイロットプ ラント試験結果 (COURSE50 製鋼スラグ顕熱回 収技術開発-6)	日本鉄鋼協会 H25 年度秋季講 演大会 CAMP-ISIJ, 28 (2015)-625.	2014 年 9 月 17 日

55	中尾憲治 他	Ce/NiMgO+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 触媒を用いた コークス炉ガス中タールの水蒸気 改質反応	第 116 回触媒討論会 P086	2015 年 9 月 9 日
56	植木保昭 他	微粉炭燃焼挙動に及ぼす水素系ガ ス添加の影響	エコトピア科学に関する国際 シンポジウム 2015 (ISETS '15)	2015 年 11 月 27 日
57	吉田拓也 他	Coke strength and reactivity control in coal carbonization process using coal derived caking additive HPC	International Conference on Coal Science & Technology 2015	平成 27 年 9 月 27-10 月 1 日
58	松尾翔平 他	Fracture Analysis of Coke Considering with Three-dimensional Microstructure	International Conference on Coal Science & Technology 2015	平成 27 年 9 月 27-10 月 1 日
59	熊谷治夫 他	NMR Study on the effects of HPC addition on the thermoplasticity of non-coking or slightly-coking coals.	]International Conference on Coal Science & Technology 2015	平成 27 年 9 月 27-10 月 1 日
60	山田秀尚、他	Effects of CO <sub>2</sub> absorption on the lower critical solution temperature phase separation in amine-H <sub>2</sub> O systems	第 34 回溶液化学国際会議	2015 年 8 月 30 日 ～9 月 3 日
61	石渡夏生 そ の他	CO <sub>2</sub> Ultimate Reduction in Steelmaking Process (COURSE50 Project)	SCANMET V	2016 年 6 月 1 日
62	望月 友貴 他	化学気相浸透法で調製した炭素内 装塊成鉱の強度と反応性	石炭化学会議	2015 年 10 月 28 日
63	望月 友貴 他	COG タールとコールドボンドペ レットから調整した炭素内装塊成 鉱の圧潰強度と反応性	日本鉄鋼協会(秋季)講演大会	2015 年 9 月 16 日
64	望月 友貴 他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Composites Prepared from COG Tar and Cold Bonded Pellets	The 13th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry PPT 資料	2015 年 8 月 31 日
65	多胡智貴、他	シリカ膜を搭載した膜反応器を用 いた水性ガスシフト反応の検討	化学工学会 第 47 回秋季大会	2015 年 9 月 9 日～ 9 月 11 日
66	三浦孝一 そ の他	重質油と低品位鉄鉱石のコプロセ ッシングにおける相互作用の機構	2015 年度化学工学会秋季大会	2015 年 9 月
67	山田将聡、小 林信介、板谷 義紀、他	スパイラル管を用いる吸収式ヒー トポンプの吸収液膜熱・物質伝達	2015 年度化学工学会秋季大会	2015 年 9 月 9 日 (水)～11 日(金)
68	崎元尚人 他	Estimation of hot strength by using image analysis	International Conference on Coal Science & Technology 2015	2015 年 9 月 30 日



69	蘆田隆一 他	劣質な石炭からの低ガス化反応性 コークス製造方法	2015年度化学工学会秋季大会、講演要旨集 M216	2015年9月10日
70	崎元尚人 他	Estimation of Coke Drum Index from Coke-Matrix Connectivity	The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, ポスター発表, Proceedings(USB), P68	2015年9月1日
71	崎元尚人 他	Relationship Between Coke-Matrix Connectivity and Pore Structure	The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, ポスター発表, Proceedings(USB), P69	2015年9月1日
72	伊藤信明 他	Catalyst bed reactor for online removal of coke from catalyst in reforming of coke oven gas	AICHE 2015 spring meeting (Austin, TX) No.399351	2015年4月27日
73	鈴木公仁 他	Hydrogen amplification technology development using a by-product gas (hot COG (coke oven gas) in the steel making process	6th International Conference on Hydrogen Production No.297	2015年5月4日
74	久保亮太 他	CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> 混合ガスによるグラファイトのガス化反応挙動	日本鉄鋼協会 第170回秋季講演大会	2015年9月16日
75	武田昌平 他	CO-CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> 混合ガスによる多成分系カルシウムフェライトの還元挙動	日本鉄鋼協会 第170回秋季講演大会	2015年9月16日

(b)新聞・雑誌への掲載

番号	発表者	発表タイトル	掲載誌名	発表年月日
1	斉間 等	CO <sub>2</sub> 回収・貯留(CCS)大規模削減の切り札コスト抑制で開発競争	日経エコロジー・8月号 2013年8月号 Page 54-56	2013年7月8日

## (c)その他

番号	発表者	発表タイトル	発表媒体	発表年月日
1	菊池直樹 他	低品位炭からの製鉄コークス 用粘結材製造技術（ハイパー コール）	JCOAL CCT ロードマップ 第3版 （一般財団法人 石炭エネルギーセ ンター技術開発委員会作成）の個別 技術紹介	2014年1月16日
2	東井隆行	RITE 化学研究グループの研究 活動概説	RITE TODAY (RITE の年報)	2014年3月14日
3	鈴木公仁	製鉄副生ガスからの水素製造 技術開発	2014年度 日鉄住金環境(株) 分析ソ リューション事業本部技術報告会	2014年7月3日
4	松崎 洋市	量子化学計算の産業応用	大阪大学 「化学工学特別講義 II」	2014年11月27日
5	松崎 洋市	計算化学を活用した環境問題 への取り組み	東北大学 「環境材料評価学特論」	2014年12月1日
6	中尾 真一 他	RITE 化学研究グループの研究 活動概説	RITE TODAY (RITE の年報)	2015年3月13日
7	市川祐三	日本鉄鋼連盟の事業活動につ いて	米国鉄鋼協会 (AISI) への鉄連事業 活動の説明資料	2015年4月10日
8	小野 透	COURSE50 Status Report	CO2 Breakthrough Programme 13th Meeting of the Expert Group	2015年6月15日
9	殿村重彰	環境調和型製鉄プロセス技術 開発 (COURSE50 プロジェクト)の 概要	JCOAL:CCT ワークショップ 2015	2015年7月2日