

# 「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」

## 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 省エネルギー部
-----	--

## —目次—

概 要	3
プロジェクト用語集	13
1. 事業の位置付け・必要性について	15
1.1 事業の背景・目的・位置付け等	15
1.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性	23
1.2.1 NEDO が関与することの意義	23
1.2.2 実施の効果（費用対効果）	24
2. 研究開発マネジメントについて	25
2.1 事業の目標	25
2.2 事業の計画内容	25
2.2.1 研究開発の内容	25
2.2.2 研究開発の実施体制	32
2.2.3 研究開発の運営管理	32
2.2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	33
2.3 情勢変化への対応	33
2.4 平成 27 年度中間評価結果への対応	34
3. 研究開発成果について	35
3.1 事業全体の成果	35
3.2 研究開発項目毎の成果	35
3.3 成果の中間目標の達成可能性	42
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	63
4.1 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	63

# 概要

		最終更新日	平成 29 年 7 月 25 日
プロジェクト名	未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発		プロジェクト番号 P15007
担当推進部/ PMまたは担当者	省エネルギー部 楠瀬 暢彦（平成 27 年 4 月～現在）：プロジェクトマネージャー 梅村 茂樹（平成 27 年 4 月～6 月）、鍛冶 日奈子（平成 27 年 4 月）、 谷 泰範（平成 27 年 4 月～平成 28 年 4 月）、岩坪 哲四郎（平成 27 年 7 月～平成 28 年 4 月） 近藤 篤（平成 27 年 4 月～現在）、永井 恒輝（平成 27 年 7 月～現在） 田中 裕司（平成 28 年 4 月～現在）、星野 光男（平成 28 年 4 月～現在） 松原 健（平成 28 年 5 月～現在）、竹内 由実（平成 29 年 4 月～現在）		
0. 事業の概要	本プロジェクトは、様々な環境下における未利用熱エネルギーの再利用に注目し、広域に分散した熱を有効利用する技術の基盤として、熱を逃さない技術（断熱）、熱を貯める技術（蓄熱）、熱を変換する技術（熱電変換）等の技術開発を一体的に行うことで、未利用熱エネルギーを経済的に回収する技術体系を確立する。同時に、同技術の適用によって自動車等、日本の主要産業の競争力を強化し、社会全体のエネルギー効率を向上させて、新省エネルギー技術の中核とした新たな産業創成を目指す。		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>事業実施の背景と事業の目的</p> <p>東日本大震災以降の電力需給状況やエネルギー価格の上昇を考慮すると、新たな省エネルギー技術の必要性は明白であり、膨大に存在するが、これまで使われていない未利用熱エネルギーを有効活用するための技術開発は、国が政策として押し進めるべき重要事業の一つである。</p> <p>未利用熱エネルギーを有効活用するための技術として代表的な、断熱技術・蓄熱技術・熱電技術の共通課題として、新規な材料開発が重要かつ必須であり、その点で我が国は世界的な卓越性、先導性を維持している。一方、大学での材料研究と企業での実用化技術の間の乖離は深刻な問題であり、この間に橋渡しを行って、我が国の強みを産業競争力にスムーズに活かすスキームを確立する事が重要である。</p> <p>未利用熱エネルギーの有効活用に関する技術開発の支援策としては、これまでも提案公募的なものは、各省庁で一部事業が存在するものの、基盤研究から実用化までを一貫して網羅し、企業を含むプロジェクト研究体制を構築する事業は未だ実施されていない。</p> <p>未利用熱エネルギーの有効活用に関する技術開発について、産学官連携による研究開発により、これまでの大型国家プロジェクトの蓄積や、国内各企業の外国企業に対する技術優位性を維持・拡大することで、大型予算をもつ海外勢との将来的な技術競争に打ち勝つと共に、省エネルギーの拡大を図ることを目的とする。</p> <p>政策的位置付け</p> <p>「エネルギー基本計画」（平成 26 年 4 月 1 日閣議決定）において、「我が国が目指すべきエネルギー政策は、世界の叡智を集め、徹底した省エネルギー社会の実現、再生可能エネルギーの導入加速化、石炭火力や天然ガス火力の発電効率の向上、蓄電池・燃料電池技術等による分散型エネルギーシステムの普及拡大…」と冒頭に省エネの重要性を提示。</p> <p>「省エネルギー技術戦略 2016」（平成 28 年 9 月 16 日：経済産業省/NEDO）において、一次エネルギーの大半は有効活用出来ておらず、年間 1 兆 kWh にものぼる未利用熱エネルギーの大部分が排熱として廃棄されている現状にあることが指摘されており、その有効利用が強く求められている。</p> <p>「長期エネルギー需給見通し」（平成 27 年 7 月 16 日：経済産業省）において、「徹底した省エネルギーの推進」により、大幅なエネルギー効率の改善を見込むとともに、多様なエネルギー源の活用と供給体制の確保として「廃熱回収・再生可能エネルギー熱を含む熱利用の面的な拡大など地産地消の取り組みを推進する。」としている。</p> <p>「科学技術イノベーション総合戦略 2017」（平成 29 年 6 月 2 日閣議決定）において、安全性を前提として、安定供給、経済効率性、及び環境適合性を同時に達成するエネルギーミックスの実現に向けて「徹底した省エネルギーの推進及びエネルギー源の多様化が求められる。」としている。関連技術として、「エネルギーハーベスティング技術（太陽電池、熱電素子、振動発電等）等の開発も必要となる。」と提示し、これらの基盤技術の強化に当たっては「高度な熱マネジメントで重要となるナノ領域の熱（フォノン）制御技術」等の基礎研究を中長期的視点に立って推進することも重要である。」としている。</p>		

	<p>NEDO が関与する意義</p> <p>NEDO は第三期中期目標におけるミッションとして、「我が国の経済社会が必要とする具体的な成果を創出するとともに、我が国の産業競争力の強化、エネルギー・環境制約の克服に引き続き貢献するものとする。」ことを掲げている。</p> <p>本プロジェクトの狙いは、自動車・産業等幅広い分野において大きな課題となっている未利用熱の有効利用に関して、経済的に回収する技術体系を確立すると同時に、同技術の適用によって日本の主要産業の競争力を強化し、社会全体のエネルギー効率を向上させ、新省エネルギー技術の中核とした新たな産業創成を目指すものであることから、NEDO のミッションと合致する。さらに、材料開発からシステム化までには長い研究開発期間を要するため、リスクが大きく、また単独企業での開発ではなく産学官の叡智を結集してシステムとしての省エネルギー効果を目指す必要があることから、NEDO プロジェクトとしての実施が妥当である。</p>
--	--

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p><b>事業の目標</b></p> <p>産業分野における工場排熱、輸送機器におけるエンジン排熱、オフィスや住宅環境における未利用排熱など、各種社会システムから広い温度領域に渡って膨大な未利用熱エネルギーが排出されている現状に対し、各種熱マネージメント部材の革新的な技術開発を通して未利用熱を有効活用できるシステムを確立し、産業分野、輸送機器、住宅環境等の更なる省エネ化を進める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・断熱材では、1,500°C以上で使用可能なファイバーレス断熱材で圧縮強度 20MPa 以上、かつ熱伝導率 0.2W/m・K 以下の材料を開発。</li> <li>・蓄熱材では、現行のエリスリトール（蓄熱密度 340KJ/kg, 119°C）に代わる、中低温域（100-150°C）で 1MJ/kg 程度の蓄熱密度を持つ材料を探索・開発。</li> <li>・熱電材料では、現行のビスマス-テルル系（性能指数 ZT=1）の性能を大幅に改善するため、ナノ構造制御により大きな性能指数(ZT=4)を持つ革新的材料を開発。平行して、柔軟性に富み大面積化が可能な有機熱電材料の探索を行い、ZT=2 以上の性能を有するフレキシブル熱電材料を開発。</li> </ul> <p><b>研究開発目標と根拠</b></p> <p>研究開発項目①「蓄熱技術の研究開発」</p> <p>1. 研究開発の必要性</p> <p>未利用熱エネルギーを最も効果的に活用する方法の1つとして、熱を熱として保存できる蓄熱材料の利用があり、これまでに固体-液体の相変化を利用する潜熱蓄熱材料などが商用化されている。しかしながら、アプリケーション適用の観点からは、蓄熱材料の性能やコストには多くの課題があり、体積当たりの蓄熱密度や熱伝導の向上が課題となっている。</p> <p>2. 研究開発の具体的内容</p> <p>本研究開発では、次世代自動車における暖気時間の低減、ビル空調における消費エネルギー低減や家庭用ヒートポンプ普及のための装置小型化に向けた、高い蓄熱密度や長期安定性を有する蓄熱材料の開発を行う。また、低コストで、高効率な熱交換を可能とする、車載に適用可能な蓄熱複合体を開発する。</p> <p>3. 達成目標</p> <p>【中間目標（H29 年度末）】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 120°C以下で、蓄熱密度 0.5MJ/kg を有する固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発</li> <li>・ -20°C~25°C環境下で 12h 以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発</li> <li>・ 蓄熱材の占有体積が 9 割以上であり、蓄熱材単体の 20 倍以上の熱伝導率を有する複合蓄熱体の開発</li> </ul> <p>【最終目標（H34 年度末）】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 120°C以下で、蓄熱密度 1MJ/kg を有する固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発</li> <li>・ -20°C~25°C環境下で 24h 以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発</li> <li>・ 蓄熱材の占有体積が 9 割以上であり、蓄熱材単体の 50 倍以上の熱伝導率を有する複合蓄熱体の開発</li> </ul> <p>研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」</p> <p>1. 研究開発の必要性</p> <p>現在、住宅やビル等の建造物において、夏場のエアコン電力負荷低減を目的とした省エネ技術の重要度は、益々高まっている。その中で、太陽光から選択的に熱線のみを反射できる遮熱材料が有望な部材として注目されている。しかしながら、従来の遮熱材料は高コストで</p>
-------	--

あり、ユーザーからの要求性能を満たしていないという問題があり、これらを解決した革新的な遮熱材料が求められている。

## 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、従来技術では到達困難であった高い性能を有する革新的遮熱材料を開発する。具体的には、透明性、遮熱性および電波透過性を兼ね備えた住宅・ビル窓材向け遮熱材料や調光ガラス、建築物の壁材として使用可能な高耐久性遮熱コーティング材料などの遮熱材料を創出する。

## 3. 達成目標

### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・可視光線透過率 70%以上、日射熱取得率 43%以下 (可視光線反射率 12%以下、カット波長 850~1400nm) の遮熱フィルムの開発

### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・理論限界近傍の可視光線透過率 70%以上、日射熱取得率 40%以下 (可視光線反射率 12%以下、カット波長 850~1800nm) の遮熱フィルムの開発

## 研究開発項目③「断熱技術の研究開発」

### 1. 研究開発の必要性

運輸・民生・産業分野において、未利用熱エネルギーの削減に直接寄与する断熱材料への期待は大きい。特に、90%以上の熱が有効利用されていない産業・工業炉においては、高温域で利用可能な高性能断熱材が切望されている。しかしながら、産業／工業炉における断熱材料に求める性能としては、材料の耐久性や強度などが優先されるため、十分な断熱性能を有する材料が利用されていないのが状況である。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、材料強度やコストなど、アプリケーションの要求指標と断熱性能を両立する高性能高温断熱材料の開発をするとともに、工業炉の高効率化を実現する熱関連部素材および、これら部素材の有効活用技術を開発する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・1500°C以上で使用可能なファイバーレス断熱材で圧縮強度 10MPa 以上、かつ熱伝導率 0.25W/m・K 以下を有する断熱材料の開発

#### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・1500°C以上で使用可能な工業グレードのファイバーレス断熱材で圧縮強度 20MPa 以上、かつ熱伝導率 0.20W/m・K 以下を有する断熱材料の開発
- ・上記開発材料等を産業・工業炉に適用し、50%以上の排熱削減を実証

## 研究開発項目④「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

熱から直接発電ができる熱電材料を利用した熱電変換技術は、運輸、産業、民生等、各分野に広く適用出来るポテンシャルを有しており、実用化およびその普及が期待されている。しかしながら、現在の熱電材料は、その性能指数の向上が大きな課題となっており、高い発電効率を実現する革新的な熱電モジュールが求められている。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発においては、車載等における熱電発電の経済性を確保することが可能な発電効率を実現するために、熱電材料の高性能化を目指すと共に、低コスト化や長寿命化に資する技術開発を進め、さらにはこれらの熱電材料を利用した熱電モジュールを開発する。

なお、本研究開発項目はステージゲート方式を採用する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・性能指数 ZT=1 を有する有機材料の開発
- ・性能指数 ZT=2 を有する無機材料の開発

#### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・性能指数 ZT=2 を有する有機材料の開発および当該材料を用いたモジュールの開発
- ・性能指数 ZT=4 を有する無機材料の開発および当該材料を用いたモジュールの開発

## 研究開発項目⑤「排熱発電技術の研究開発」

### 1. 研究開発の必要性

産業からの排熱は約 70%が 200℃以下の中低温排熱であり、大部分が廃棄されているのが現状である。これらの排熱を有効利用する方法として、未利用熱エネルギーを、熱サイクルを利用して電気エネルギーとして回収する排熱発電装置が導入されつつある。しかしながら、これらの発電装置は発電能力が比較的大きいため、工場内に分散し変動が大きい小量の排熱や蒸気を回収するには適していないという欠点があった。

## 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、中規模工場の消費エネルギーの削減を目指し、少排熱量かつプロセス追従性が高い、高効率で低コスト化が見いだせる熱サイクルを利用した小型排熱発電関連技術および装置の開発を行う。

## 3. 達成目標

### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・ 200℃以下の中低温排熱に対応した、発電効率 14%(従来比 2 倍)を有する出力 1kW クラス小型排熱発電装置の開発

### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・ 200℃以下の中低温排熱に対応した、発電効率 14%(従来比 2 倍)を有する出力 10kW クラス小型排熱発電装置の開発
- ・ 200℃以下の中低温排熱に対応した、従来の大型機 (500kW クラス)と同等性能を有する 50kW クラス排熱発電装置の開発
- ・ 工場等にて、開発した排熱発電装置を利用した未利用熱削減効果の実証

## 研究開発項目⑥「ヒートポンプ技術の研究開発」

### 1. 研究開発の必要性

熱需要の多い工場等では、各製造工程におけるプロセス加熱において、100～200℃の熱源としてボイラー蒸気が多く使用され、それに伴い大量の排熱が発生している。特に産業、民生分野で発生している熱エネルギーのうち、60～80℃の低温排熱は、多くが未利用のまま廃棄されている。これらの排熱を有効利用するため、排熱を熱源として高温熱あるいは冷熱を作り出すことができるヒートポンプ技術が高効率排熱回収技術として幅広く適用されている。しかしながら、さらなるヒートポンプ技術の市場拡大のためには、さらなる高効率化や適用温度域の範囲拡大といった課題の解決が必要となっている。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、(1) ボイラーで供給できる最高温度 200℃域を供給可能な産業用高効率高温ヒートポンプの開発、および(2) 低温排熱の下限レベルである 60℃排熱で駆動できる高効率冷凍機など、新たな市場を開拓するためのヒートポンプ技術を確立し、幅広い産業への適用拡大を図る。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・ 200℃までの供給温度範囲に対応し、80→160℃加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発
- ・ 75℃以下の熱源で、供給温度-10℃を実現するヒートポンプシステムの開発

#### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・ 200℃までの供給温度範囲に対応し、100→200℃加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発
- ・ 60℃以下の熱源で、供給温度-10℃までの幅広い温度範囲に適合するヒートポンプシステムの開発

## 研究開発項目⑦「熱マネジメントの研究開発」

### 1. 研究開発の必要性

近年、車両における内燃機関熱効率の飛躍的な向上および電動化の進展によって、低燃費化が急速に進んでいる。しかしながら、車両効率の向上によって暖房熱源の不足の問題が顕在化しつつあり、冬場の実効燃費向上が大きな課題となっている。また、電動車両においても、エアコン ON 時の航続距離の減少は大きな問題となっており、早急の対応が求められている。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、高効率車両用熱マネジメントシステムを実現するために、熱の効率的な輸送を行うシステム、局所冷却を可能とする高性能熱電素子、高効率空調運転を実現する小型ヒートポンプ技術、内燃機関やモーター／インバーター等における排熱の削減・有効利

用技術の開発を図る高効率な省エネユニット等を開発する。最終的には、未利用エネルギー有効活用技術をトータル的に組み合わせることで、高効率の車両用熱マネジメントシステムを実現することで、総合的な車両の効率向上を目指す。

3. 達成目標

【中間目標 (H29 年度末)】

- ・高効率ヒートパイプの開発 (0~50℃にて熱輸送距離 5m、熱輸送量 1500W、抗重力性、動力源レス)
- ・吸熱量 5W/cm<sup>2</sup> を有する吸熱デバイスの開発
- ・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発
- (a) 体積 100L 以下重量 50kg 以下で排熱温度 95℃以上、冷熱温度 5℃において冷凍能力/排熱入力比 0.4 を有する冷房用ヒートポンプの開発
- (b) 極寒 (-20℃) 環境下などの実用条件で COP=1.5 (温度) 以上の作動が可能な暖房ヒートポンプの開発
- ・内燃機関、モーター/インバーター、空調、熱回収の車両トータル等における高精度熱発生・熱伝達シミュレーション技術の開発。

【最終目標 (H34 年度末)】

- ・高効率ヒートパイプの開発 (-20~50℃にて熱輸送距離 10m、熱輸送量 3000W、抗重力性、動力源レス)
- ・吸熱量 10W/cm<sup>2</sup> を有する吸熱デバイスの開発
- ・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発
- (a) 体積 55L 以下重量 30kg 以下で排熱温度 95℃以上、冷熱温度 5℃において冷凍能力/排熱入力比 0.6 を有する冷房用ヒートポンプの開発
- (b) 極寒 (-20℃) 環境下などの実用条件で COP=1.7 以上 (温度) の作動が可能な暖房用ヒートポンプ開発および実アプリケーションでの実証
- ・車両トータルの熱移動を制御し、上記省エネシステムを組み合わせ、最適化することで、総合損失を 75% (走行距離 1.6 倍) まで低減したトータル熱マネジメント技術の開発。

研究開発項目⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

未利用熱は産業界だけでなく、民生・業務分野を含め広く分布しており、その存在状況を正確に把握することは研究開発の対象や目標を検討するうえで必要不可欠であるが、極めて困難である。

また、幅広い分野の技術開発を進めるうえで、熱関連材料の物性に関するデータや評価技術を統一的に整備することは、研究開発の効率化に極めて有用であり、研究開発の一環として実施する必要性が高い、

2. 研究開発の具体的内容

研究開発項目①~⑦の課題において、研究の効果的な推進を果たすために、各課題と連携して、各種排熱実態の調査、新規熱関連材料の導入シナリオ検討、およびシナリオ実現に向けた技術・制度課題の抽出を行う。熱関連材料については、多角的な材料情報のデータベースへの拡充、計算機シミュレーションを含めた熱関連材料の特性・性能評価技術の開発を実施する。

3. 達成目標

【中間目標 (H29 年度末)】

- ・排熱調査を実施し、研究開発シナリオの検討を完了する。
- ・各種部材の計測・評価結果の分析を進め、整備すべきデータベースを明確化する。
- ・計算機シミュレーションについて計算結果の解析と検討を進め、熱関連材料の特性・性能評価技術の整備、体系化を行う。

【最終目標 (H34 年度末)】

- ・排熱利用機器やシステム設計につながる未利用熱データベースの構築を完了する。
- ・優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術を提供する。
- ・プロジェクト内部の共通基盤ツールとして、新材料探索の基盤情報を提供する。

事業の計画内容	主な実施事項	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	
	①蓄熱技術の研究開発	—————→					

	②遮熱技術の研究開発						
	③断熱技術の研究開発						
	④熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発						
	⑤排熱発電技術の研究開発						
	⑥ヒートポンプ技術の研究開発						
	⑦熱マネージメントの研究開発						
	⑧熱関連調査・基盤技術の研究開発						
事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額(評価実施年度については予算額)を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	総額
	一般会計						
	特別会計(需給)	1,550	2,060	1,850	1,500	650	7,610
	開発成果促進財源	0	0	0	0	0	0
	総 NEDO 負担額	1,469	1,991	1,952	1,757	(850)	(8,169)
	(委託)	○	○	○	○	○	○
開発体制	経産省担当原課	製造産業局金属課					
	プロジェクトリーダー	小原 春彦(国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 研究戦略部 研究戦略部長)					
	プロジェクトマネージャー	楠瀬 暢彦(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 省エネルギー部 統括研究員)					
	委託先	<p>委託先：未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 組合員(参加 19 社、1 財団、1 研究機関) 共同実施：早稲田大学、東京工業大学、名古屋大学、東北大学、岡山大学、大阪大学、東京大学、山口東京理科大学、東京理科大学、物質材料研究機構、広島大学、九州大学、佐賀大学、八戸工業大学、宇都宮大学、建築研究所、北陸先端科学技術大学院大学、北海道大学、豊田理化学研究所、奈良先端科学技術大学院大学、山口大学</p> <p>研究開発項目①：蓄熱技術の研究開発 (1)蓄熱技術の研究開発(高密度/長期蓄熱材料の研究開発) パナソニック株式会社 (2)車載用蓄熱技術(材料)の研究開発 トヨタ自動車株式会社、三菱ケミカル株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所</p> <p>研究開発項目②：遮熱技術の研究開発 (3)革新的次世代遮熱フィルムの研究開発 東レ株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所</p> <p>研究開発項目③：断熱技術の研究開発 (4)断熱材料の研究開発 美濃窯業株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所</p> <p>研究開発項目④：熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発 (5)高性能熱電材料およびモジュールの開発 国立研究開発法人産業技術総合研究所</p>					



		<p>(6) 熱電デバイス技術の研究開発 古河機械金属株式会社</p> <p>(7) 熱電変換による排熱活用の研究開発 株式会社日立製作所</p> <p>(8) フレキシブル有機熱電材料およびモジュールの研究開発 富士フィルム株式会社</p> <p>(9) 実用化に適した高性能なクラスレート焼結体の研究開発 古河電気工業株式会社</p> <p>(10) シリサイド熱電変換材料による車載排熱発電システムの実用化への要素技術開発 日本サーモスタット株式会社、株式会社安永</p> <p>研究開発項目⑤：排熱発電技術の研究開発</p> <p>(11) 排熱発電技術の研究開発 パナソニック株式会社</p> <p>研究開発項目⑥：ヒートポンプ技術の研究開発</p> <p>(12) 産業用高効率高温ヒートポンプの開発 株式会社前川製作所</p> <p>(13) 機械・化学産業分野の高温熱供給に適した冷媒とヒートポンプシステム技術開発 三菱重工業株式会社、三菱重工サーマルシステムズ株式会社、セントラル硝子株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所</p> <p>(14) 低温駆動・低温発生機の研究開発 日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社、株式会社日立製作所</p> <p>研究開発項目⑦：熱マネージメントの研究開発</p> <p>(15) 熱マネージメント材料の研究開発 トヨタ自動車株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所</p> <p>(16) 熱マネージメントの研究開発 マツダ株式会社</p> <p>(17) 車両用小型吸収冷凍機の研究開発 アイシン精機株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所</p> <p>(18) 車両用高効率排熱利用・冷房用ヒートポンプの研究開発 カルソニックカンセイ株式会社</p> <p>研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発</p> <p>(19) 熱関連調査研究と各種熱マネージメント材料の基盤技術の開発 国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般財団法人金属系材料研究開発センター</p>
情勢変化への対応	熱電変換技術開発では、近年のナノ材料技術の急速な進展に伴い、新しい材料系や構造に関する研究が世界で取り組み始められている。熱電変換材料・デバイスの新たな技術シーズ発掘を図るため、また、迅速に研究開発に取り組めるために、小規模研究開発（研究期間：約1年、予算規模：1千万円以下）の枠組みを継続して、公募を行った。	
平成27年度中間評価結果への対応	実用化までのレベルがテーマによってかなり異なり、プロジェクト全体としてどの程度の社会的効果があるかが明確になっていないという指摘に対して、全テーマの実用化イメージを強化するために、開発技術をできるだけ盛り込んだモデルシステムを2種類、産業用途と自動車用途でH28年度に本格的に検討を開始した。	
評価に関する事項	事前評価	平成24年度 経済産業省実施
	中間評価	平成27年度、平成29年度、平成32年度（予定）
	事後評価	平成35年度（予定）
3. 研究開発成果について	<p>研究開発項目①：蓄熱技術の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高密度蓄熱材料（低温）：10℃において、蓄熱密度0.28MJ/kgを有するクラスレートハイドレートを解析により抽出した。</li> <li>・高密度蓄熱材料（中/高温）：蓄熱密度0.5MJ/kgに要する修飾密度7.6mol/kgを定量化し、合成試料にて7.4mol/kgを検証した。</li> <li>・長期蓄熱材料：蓄熱モジュール評価により、-20℃環境下における12hの過冷却安定性の保持確率92%以上を検証した。</li> <li>・Al-Ti複合化技術により、高い蓄熱材占有率と高熱伝導率のポーラス金属の作製に成功した。</li> </ul>	

- ・ AQS0A-Z02（高性能蓄熱材の製品名）の原材料費削減技術を確立し、実機実証を経て、商業運転を開始した。
- ・ 寿命予測技術確立後、高耐久改良品を開発した。
- ・ 感温分子を修飾したシリカゲルにて、吸着特性を維持したまま再生温度の低温度化（7°C低減）を確認した。
- ・ MOF（金属有機構造体）の構造制御することで、細孔容量の増大による吸着容量の向上を確認した。水蒸気吸着容量と吸着エネルギーから推算すると、0.5MJ/L以上の蓄熱密度が期待される。
- ・ 感温性高分子とケイ酸ガラスとのハイブリッド材料を合成、43°CにてLCSTを確認した。

#### 研究開発項目②：遮熱技術の研究開発

- ・ 高遮熱化可能でかつ層間密着性、製膜性を有する新規ポリマーを開発し、独自設計の新規積層装置を用いてフィルム化することで中間目標の光学特性を有する積層フィルムを創出した。
- ・ 高精度コート技術の開発を行い、中間目標の光学特性を有する遮熱フィルムの連続加工に成功した。
- ・ 実際の建物での省エネ評価を行い、開発品が従来品に比べ高い冷房負荷低減効果を有することを実証した。

#### 研究開発項目③：断熱技術の研究開発

- ・ 1450°C耐熱性、熱伝導率 0.25W/mK、圧縮強度 10MPa以上の並形（230mm×114mm×65mm）形状断熱材の試作を完了した。
- ・ 既存設備の蓄積データ検証と各開発部材の性能試験から、排熱削減 50%以上の可能性を確認した。
- ・ 既存セラミックス蓄熱材料の 1.3 倍の入熱速度及び 1.1 倍の放熱速度を持つ蓄熱部材の試作を完了した。
- ・ 上記蓄熱部材を組み込んだ高効率バーナーの試作を実施した。
- ・ 高耐熱高効率熱交換器の試作を実施した。
- ・ 検証用の炉に各開発部材を組み込み、性能評価試験を実施した。

#### 研究開発項目④：熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発

- ・ 金属系合金薄膜ライブラリ試料の合成に成功しそれらの薄膜の計測法としてパラレル抵抗評価技術を開発した。
- ・ レーザー加熱装置により、酸化物小型単相試料の溶融合成に成功した。
- ・ Mo 酸化物のドーピングによりゼーベック係数が増加し、パワーファクタ F が従来材料の 3 倍以上の  $80 \mu\text{W}/\text{mK}^2$  に増大することを確認した。CNT と導電性高分子のハイブリッドで  $295 \mu\text{W}/\text{mK}^2$  を達成した。
- ・ PEDOT:PSS を用いた有機熱電モジュールで 50 度の温度差で有機系としては世界最高の  $24 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  を達成した。
- ・ CNT 系材料としては印刷材料として世界最高レベルのパワーファクタ ( $749 \mu\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}^2$ ) を実現した。
- ・ CNT 系モジュールにおいて、CNT 配向の改善技術を開発し、発電性能を 1 桁近く向上させることに成功した。
- ・ 熱電材料の開発成果 熱電性能向上：H25 年度比 10%向上 p 型材料  $ZT=0.80 \rightarrow ZT=0.90$ 、n 型材料  $ZT=1.00 \rightarrow ZT=1.15$ 。材料合成技術：10kg/バッチの材料合成技術を開発した。ペレット成形技術： $\Phi 200\text{mm}$  のペレット成形技術を開発した。
- ・ 熱電デバイスの開発成果：熱電材料/電極の接合技術を開発し、600°C/50°C の条件でモジュールの発電効率は 8%に達し、高温端 500°C~575°Cでの温度条件でモジュールの耐久性 1000h 以上を実現した。
- ・ システム効率向上の検証：熱電変換モジュール評価装置の導入完了し、環境低負荷な鉄系合金材料を用いた熱電変換モジュールにおいて  $380\text{W}/\text{m}^2 @ \Delta T=150^\circ\text{C}$  の出力を確認した。
- ・ 新熱電変換材料の開発：シミュレーションにより高 ZT 化が期待できる新規カルシウム系材料の提案、Mn-Si ナノ結晶薄膜により、 $ZT>1$  達成に必要な従来比 2/3 の熱伝導率を実現した。
- ・ CNT コンポジット系では p 型分散剤を選定し、印刷インク化に成功、熱電モジュール作製プロセスを開発した。
- ・ 導電性ポリマーの設計指針で新たな知見が得られた。
- ・ ハイブリッド用材料としては鉄シリサイド系材料の性能を改良した。
- ・ 高性能化では、焼結組織の制御に成功した。
- ・ p 型特性発現では、新たな p 型材料を開発した。
- ・ モジュール化では、素子作製の高効率化を達成した。
- ・ 原料合成のスケールアップ：~数百 g  $\Rightarrow$  ~700g / 1 坩堝

- ・大口径焼結技術：～φ50mm
- ・発電出力密度：0.5W/cm<sup>2</sup>以上
- ・熱電性能指数：ZT～1.1達成

研究開発項目⑤：排熱発電技術の研究開発

- ・市場調査とビジネスモデルの明確化：9業種28事業所の排熱実態調査を行い、適切な機器仕様や導入効果を明確化。実排熱を利用した課題抽出実験先を決定した。
- ・高効率小型排熱発電技術開発：1kWクラスの発電実験システム（中低温熱源200℃以下）を構築し発電効率12%を実証すると共に、冷媒の混合、膨張機吸入温度の昇温などにより発電端効率14%を達成する技術手段を明確化した。また、事前信頼性評価において、膨張機内部の銅めっき現象並びに冷媒ポンプの軸受摩耗についての課題を抽出した。10kWクラスでは、超音速小型膨張タービン動静翼の試作を完了すると共に、軸受において剛体共振対策を実施した気体軸受の仕様を確立した。
- ・余剰蒸気利用排熱発電技術開発：出力50kWクラスの空力構想設計により翼車仕様を明確化した。

研究開発項目⑥：ヒートポンプ技術の研究開発

- ・基本計算モデルで統合解析シミュレーションを行った結果、冷媒にR600を用いた80℃→160℃加熱でCOP4.10となり、中間目標を達成できる見通しが得られた。また、その結果を基にしたヒートポンプ試作機の設計・製作を行った。
- ・圧縮機モータ風損試験により、圧縮機の改良を実施することで、断熱効率等の中間目標を達成する見通しを得た。
- ・R600の超臨界ガスクーラ用に試作したプレート式熱交換器について、熱伝達率の相関式が±30%以下の精度であることを確認した。波型流路のマイクロチャンネル熱交換器について、高精度な圧力損失の相関式を作成した。
- ・安全性、環境性、性能ともに実用的であり、高温下での長期熱安定性に優れた160℃出力および200℃出力ヒートポンプ用候補冷媒をそれぞれ絞り込んだ。また160℃出力用冷媒候補の熱および輸送性質に関する物性情報を取得した。
- ・候補冷媒を用いてヒートポンプサイクルの検討を行い、70→160℃加熱でCOP4.1を達成可能な160℃出力用ヒートポンプの仕様を決定した。ヒートポンプ圧縮機の単体検証試験を行い、目標効率が得られていることを確認した。
- ・低温駆動サイクルについて、空冷式試作機により温水70℃、外気26.5℃の条件で冷房に利用可能な7℃の冷水が得られることを実証した。
- ・新冷媒について、八戸工大にて低温発生を可能とする氷点降下と腐食抑制剤の影響を明らかにし、さらに冷熱発生実験により-5℃の冷熱が安定的に発生することを確認した。
- ・新吸収剤では、空冷式に適用した場合の吸収伝熱性能を明らかにし、水冷時の伝熱特性を定式化し、これを用いてサイクル計算ツールを構築した。
- ・水冷式の低温駆動サイクルについては実用化を推進し、従来型サイクルと組み合わせた新型機を開発し、平成29年4月に販売を開始した。

研究開発項目⑦：熱マネジメントの研究開発

- ・蒸発器とリザーバタンクの一体構造化により液供給を促進し、熱輸送距離2mにて熱輸送量2600Wを実証した。
- ・ナノ流体の添加粒子形状による効果を検討した。フッ素化炭化水素系流体中に銅ナノワイヤ（アスペクト比大）を分散させることにより、熱伝導率1.62倍向上を確認した。
- ・沸騰表面へ深い密な人工キャビティを付与することにより、熱流束（≒熱伝達率）の向上（最大4.1倍）を確認した。
- ・モータコイルエンド用吸熱モジュールの「新材料と組み込み構造」を具体化した。
- ・インバータ用吸熱効果を向上する吸熱モジュール構造付パワーデバイスの「技術コンセプト」を構築し、具体化した。
- ・吸着材開発では、新規開発材でベース吸着材に対し最大2.8倍の吸着性能を確認した。
- ・吸着冷凍システム開発は、吸着ユニット数の最適化及び各コンポーネント配置の最適化・小型化高性能を行い、従来システムに対し約65%の小型化を達成した。
- ・車両搭載用システムにて、制御ロジックを確立し連続的に約1kWの冷凍性能を確認した。

研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発

- ・9業種の工場等における未利用熱の温度や排出量、購入エネルギー量と排ガス熱量との関係などを明らかにした。
- ・新型冷媒候補の実用化に必要な燃焼性や地球温暖化係数（GWP）データの普及に貢献した。

	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓄熱材料データの収集とデータベースへの収録、糖アルコールを対象とした蓄熱量・転移温度のシミュレーションを実施した。</li> <li>民間建物(住宅・非住宅)での熱環境シミュレーションの基盤プログラムを構築し、遮熱制御等による暖冷房負荷への影響を明らかにした。</li> <li>種々の熱電計測装置を開発し、計測効率を上げることに成功した。</li> <li>新型冷媒候補等8種の環境影響評価、11種の燃焼性評価を行い、新型冷媒候補5種についてEPA及びISOへ申請可能な状態にした。</li> </ul>	
	投稿論文	「論文」112件(うち査読付き93件)
	特許	「出願」275件(うちPCT出願35件)
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」466件、「新聞・雑誌等」18件、 「その他(展示会への出展等)」43件、「受賞実績」14件
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	<p>早期に実用化可能なものは実用化を促進し、新たな技術開発シーズを取り込む等、研究開発テーマの新陳代謝が良い活力ある研究開発プロジェクトとするために、実用化の可能性が見えてきた技術テーマについては実環境での評価・それによる課題の抽出・課題解決への研究開発を三位一体で計画・実行することで実用化の加速を行う。</p> <p>展示会にサンプル展示等を行い、ユーザーニーズを把握すると共に、実環境評価の条件等の研究計画に反映する。複数の技術分野において、NEDO省エネルギーフォーラム等の展示会でのサンプル展示や、それに続く実環境試験の実施が可能な段階にある。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	制定：平成27年3月
	変更履歴	改訂：平成28年3月、平成29年2月

プロジェクト用語集

用語	説明
カーボンナノチューブ CNT	炭素原子によって形成された六員環が複数繋がることでチューブ状の構造を形成した物質。異なった直径を有するチューブが入れ子状に複数層重なったものを多層カーボンナノチューブ、層数が1層である物を単層カーボンナノチューブと呼ぶ。
感温分子	一般に温度により特性が変化する分子を指し、この場合は親水/疎水特性が変化する有機分子。
吸収冷凍機	熱をエネルギー源として冷房するシステム。吸収液が冷媒を吸収する際に生じる気化熱を利用して冷房します。冷媒で薄まった吸収液を濃縮するために排熱を使用する。
クラスレート化合物	カゴ状の結晶構造を有する金属間化合物で、元素を内包したカゴ状の多面体同士が、互いに面を共有しながら立方晶を形成することにより、高性能な熱電変換材料として期待されている。
クラスレートハイドレート	水分子が作る籠型構造（クラスレート構造）の中にゲスト分子を取り込んだ独特な構造を持つ結晶。氷と類似構造を有することから、氷同等の高密度蓄熱が期待される。
ゲル化凍結法	大量の水分を保水できる高分子ゲルに微量のセラミックス粉末を分散させ、これを凍結することでゲル内に細孔源となる氷が形成され、氷結晶を取り除いて焼成しセラミックス多孔体を製造する手法。
ゼーベック係数	温度差で起電力が生じる現象をゼーベック効果と称します。そこで温度差 1 K (1℃) で生じる熱起電力をゼーベック係数と呼ぶ。
遷臨界サイクル	圧縮機吐出ガスの状態が臨界圧力より高い超臨界領域となり、膨張後の状態が臨界圧力より低い亜臨界領域となるヒートポンプサイクル。
第一原理計算	量子力学的理論を使って電子分布や電子状態を決定し元素や物質の物理的・化学的性質を計算する手法です。実験では見つからない未知の新物質探索を可能とする研究手法。
伝導理論	電気や熱の流れを計算する為の理論。流れを量子力学的に計算するアプローチ（量子伝導理論）と古典的に扱うアプローチ（半古典伝導理論）がある。全ての材料を計算対象とする事が出来る第一原理計算を行う。
導電性高分子 PEDOT:PSS Poly(3,4-ethylenedioxythiophene): Poly(styrenesulfonate)	導電性高分子とは電気が流れる高分子のこと。一般的には共役構造が長く続いた高分子が使われます。今回用いた導電性高分子 PEDOT:PSS は、導電性高分子の中でも最も高い 1000 S/cm 程度の導電性を持ちます。また同時に高い柔軟性を持っている。
ナノ積層	独自の装置を用いて、数百～数千の層数でポリマーA、Bを数nm単位で高精度に交互積層する技術。各々の層の屈折率と層厚みを制御することで、任意の波長の光を反射できるようになる。
日射熱取得率	ガラス窓に入射した日射熱が、室内側へ流入する割合。数字が小さい程、優れた遮熱性能を示す。
熱電モジュール	p/n 型熱電材料、電極及び熱交換/電気絶縁の材料によって構成され、熱を電気に変換する機能を持った部品のこと。熱電モジュールを有する発電装置を熱

	電デバイスという。
パラレルフロータイプ	入口側のタンクから多数のチューブに冷媒が流れる構造を有する熱交換器の形式。
物性値（熱電材料）	物質・材料の性質を定量的に記述した数値。未利用熱エネルギーの活用には、熱エネルギーの移動と蓄積に関わる熱伝導率、熱拡散率、比熱容量、融点、融解熱などの熱物性値のデータが重要となります。熱エネルギーを電気エネルギーに変換する熱電材料においては、熱伝導率とともにゼーベック係数、電気伝導率および、それらの値と温度から算出される無次元性能指数が重要。
分子動力学計算	ニュートン運動方程式を数値的に解くことで、原子・分子の運動を計算機上でシミュレートし、物質の構造変化や各種物性を解析／予測するための代表的な計算手法。
無次元性能指数 ZT	材料の熱電変換性能を評価するパラメータです。ZT の値が大きいほど、熱電変換効率が高く、発電性能が優れています。実用化が可能とされる熱電変換材料の目安は $ZT \geq 1$
ユニレグ型	n-type または p-type どちらかの素子のみで構成されるモジュール構造。
COP (Coefficient of Performance)	成績係数。エアコン、冷凍機などのエネルギー消費効率を表す指標の一つで、消費エネルギーに対する施される冷房または暖房の比率として計算される無次元の数値。
ORC (Organic Rankine Cycle) オーガニックランキンサイクル	熱エネルギーを電気に変換するサイクルであり、発電所などで使用されている蒸気サイクル（ランキンサイクルシステム）の作動媒体を、一般的な水から、排熱のような低温システムに最適な物性を持つ媒体（有機の低沸点媒体）に交換し、水では沸騰させられない小温度差エネルギーでも蒸気を発生させて、膨張機を回して電力に変換するものであり、排熱回収発電サイクルとして期待されている。
II 型	n-type と p-type の両方の素子で構成されるモジュール構造。

## 1. 事業の位置付け・必要性について

### 1.1 事業の背景・目的・位置付け等

#### 1) 事業の背景・目的

東日本大震災以降の電力需給状況やエネルギー価格の上昇を考慮すると、新たな省エネルギー技術の必要性は明白であり、膨大に存在するが、これまで使われていない未利用熱エネルギーを有効活用するための技術開発は、国が政策として押し進めるべき重要事業の一つである。

未利用熱エネルギーを有効活用するための技術として代表的な、断熱技術・蓄熱技術・熱電技術の共通課題として、新規な材料開発が重要かつ必須であり、その点で我が国は世界的な卓越性、先導性を維持している。一方、大学での材料研究と企業での実用化技術の間の乖離は深刻な問題であり、この間に橋渡しを行って、我が国の強みを産業競争力にスムーズに活かすスキームを確立する事が重要である。

未利用熱エネルギーの有効活用に関する技術開発の支援策としては、これまでも提案公募的なものは、各省庁で一部事業が存在するものの、基盤研究から実用化までを一貫して網羅し、企業を含むプロジェクト研究体制を構築する事業は未だ実施されていない。

未利用熱エネルギーの有効活用に関する技術開発について、産学官連携による研究開発により、これまでの大型国家プロジェクトの蓄積や、国内各企業の外国企業に対する技術優位性を維持・拡大することで、大型予算をもつ海外勢との将来的な技術競争に打ち勝つと共に、省エネルギーの拡大を図ることを目的とする。

#### 2) 事業の政策的位置付け

「エネルギー基本計画」（平成26年4月11日閣議決定）において、我が国が目指すべきエネルギー政策は、世界の叡智を集め、徹底した省エネルギー社会の実現、再生可能エネルギーの導入加速化、石炭火力や天然ガス火力の発電効率の向上、蓄電池・燃料電池技術等による分散型エネルギーシステムの普及拡大… と冒頭に省エネの重要性を提言。

特に産業部門においては、「業種横断的に、大幅な省エネルギーを実現する革新的な技術の開発を促進していく。」と技術開発の推進を強調。

「省エネルギー技術戦略2016」において、一次エネルギーの大半は有効活用出来ておらず、年間1兆 kWhにもものぼる未利用熱エネルギーの大部分が排熱として廃棄されている現状にあることが指摘されており、その有効利用が強く求められている。

#### 3) 国内外の研究開発の動向と比較

海外では、自動車の排熱回収を中心とした未利用熱の利用技術に関する研究開発が、既に米国（DOE）、欧州（FP7）、中国、韓国等で、大規模なプロジェクトとしてスタートしており、産学官が一体となった研究を展開している。一例として米国 DOE では、「次世代自動車研究・開発プロジェクト」の一環として、GM・Ford・BMW等が参加し、産学官協同体制で排熱発電技術に取り組んでいる。これら大型予算をもつ海外勢が実

用化に邁進しているため、本事業を実施しない場合、現状は日本がリードする当該分野の技術について将来的には日本が遅れをとる可能性が大きくなっている。

#### 海外の実例

##### ○米国エネルギー省 (DOE)

2015年2月公開の4ヶ年技術レビュー2015の素案の中で、産業・製造業強化の鍵となる技術候補14中の2つに、排熱利用技術全般と熱電発電を取り上げている。特に熱電発電は、従来自動車向けを中心に行ってきた研究開発とともに、製造プロセスでの排熱回収向けも視野に入れるべきだと提言。熱電発電以外では、新しい熱交換器、次世代ヒートポンプ、次世代バイナリー発電等を挙げている。

##### ○欧州 (FP7) Nanosciences, nanotechnologies, materials & new production technologies (NMP)

2011～2014年の4年間、事業費総額21.7百万ユーロ（補助金額14.7百万ユーロ）で13カ国（20企業、14大学、9研究機関）が参加。低コスト化を目指したNANOHIGHTECH、Mg<sub>2</sub>Si系で高温化を目指すTHERMOMAGなど4テーマ。



#### 4) 技術戦略上の位置付け

##### 【我が国の未利用熱の状況】

我が国では、一次エネルギー供給量の約3分の2が有効活用できず熱として失われている（図1）。発電、産業、運輸、民生の各部門では、様々な温度域で排熱が発生しているが、利用しやすい形態の高温排熱のみ活用が進み、低品位な排熱は経済的・技術的な制約から廃棄されている。一次エネルギー総供給に対する部門別の損失量の比率は、発電は27.1%、産業は13.1%、運輸は12.7%、民生は6.9%となっている（表1）。一方で、発電部門における排熱の利用については、火力発電における損失量が多く、高効率火力発電において、排熱を最大限活用して、効率向上につなげる開発が進められている。NEDOの技術戦略としては、損失量と損失割合が共に大きい運輸部門、産業部門での未利用排熱の有効活用を中心に検討する。

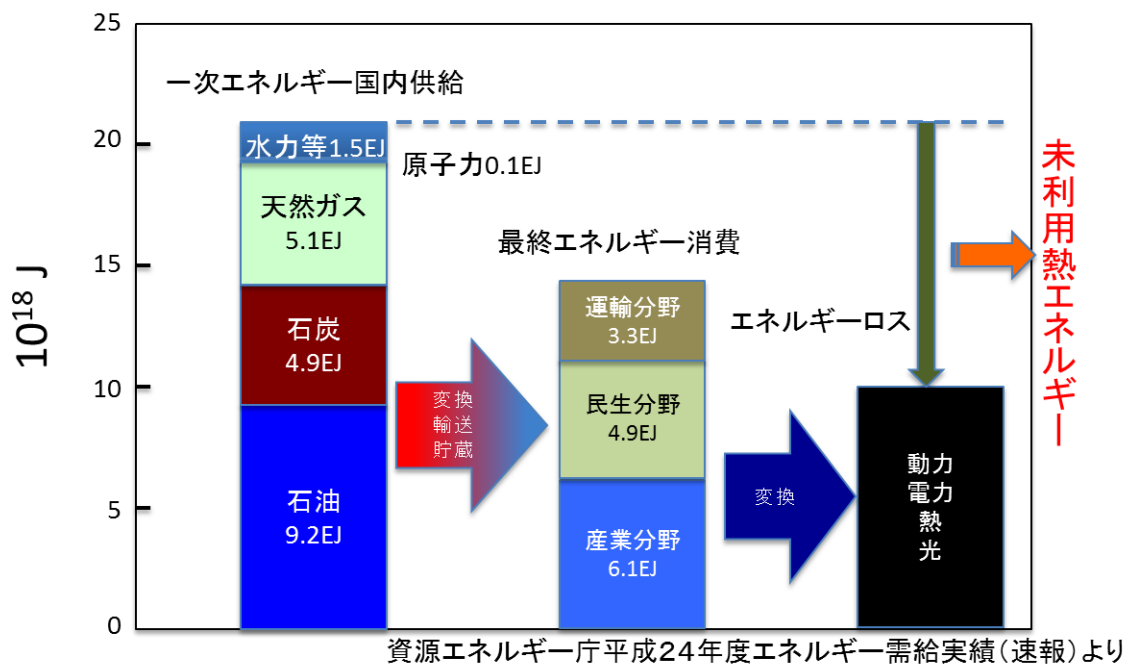


図1 日本における一次エネルギー供給から最終消費に至るエネルギーフロー

表1 日本における一次エネルギー総供給に対する部門別の損失量の比率

	一次エネルギー総供給に対する比率		損失割合
	使用量	損失量	
発電	41.7%	27.1%	65.0%
産業	32.2%	13.1%	40.7%
運輸	16.9%	12.7%	75.1%
民生	17.8%	6.9%	38.8%

出展：第7回コプロワークショップ 東京大学堤教授発表資料を基に NEDO 作成(2015)

【未利用熱活用技術に関する学術水準、論文・特許件数等】

特許・論文分析

近年、排熱利用技術の研究は活発化しており、ここ10年で論文件数は約10倍になっている（図2）。特に上位5ヶ国の内、急激に増加している中国では、被引用回数上位の論文の大部分がバイナリー発電（有機ランキンサイクル）に関する研究開発に関する論文で、2014年にピークの伸びの要因となっている（図3）。

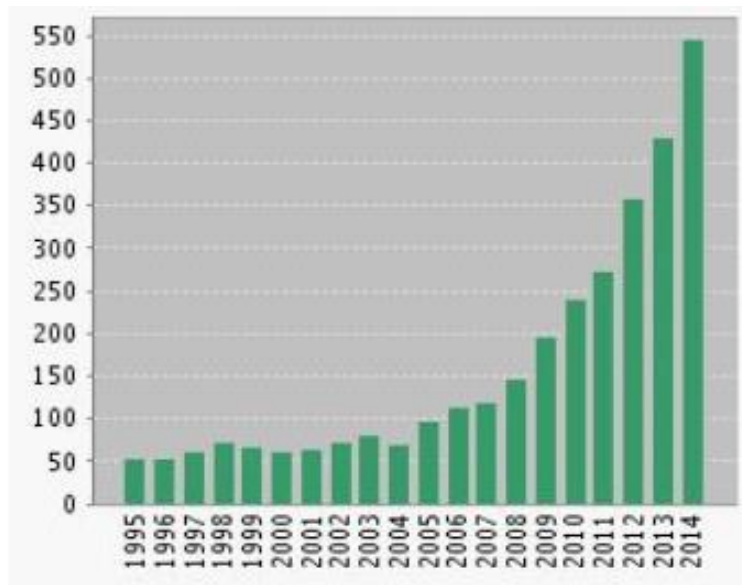


図2 排熱利用(“HEAT RECOVERY”)の論文件数(全世界)

出典:SPARTNERを基にNEDO作成(2015)

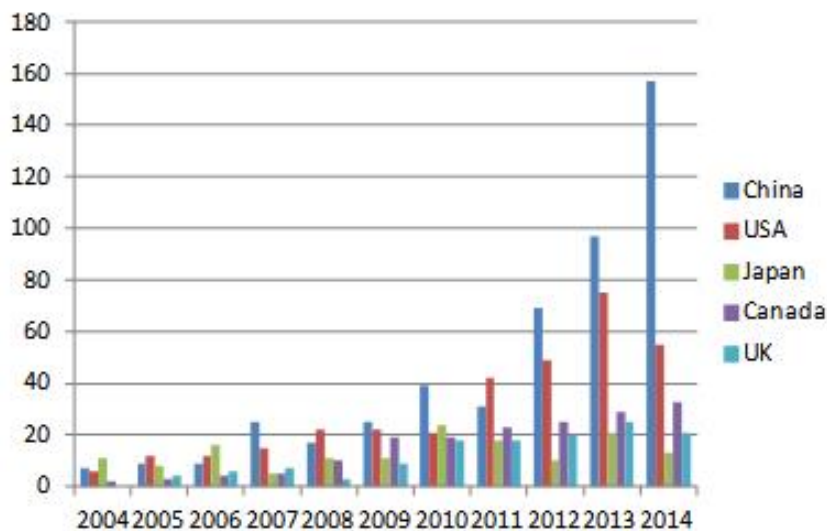


図3 排熱利用(“HEAT RECOVERY”)の論文件数(上位5ヶ国)

出典:SPARTNERを基にNEDO作成(2015)

## 熱電変換技術

### ・特許（熱電変換材料）

日本が安定した出願件数を保っており、米国、欧州、韓国が追っている（図4）。出願人ランキングでは圧倒的にトヨタ自動車が多く、自動車・トラック向けを狙った開発が活発である（表2）。近年、欧州、韓国での出願数が増加している。図5に熱電変換材料の小分類と熱電変換材料・素子の性状改良の詳細分類の出願件数相関を示す。いずれも日本の特許出願は活発な状況となっている。

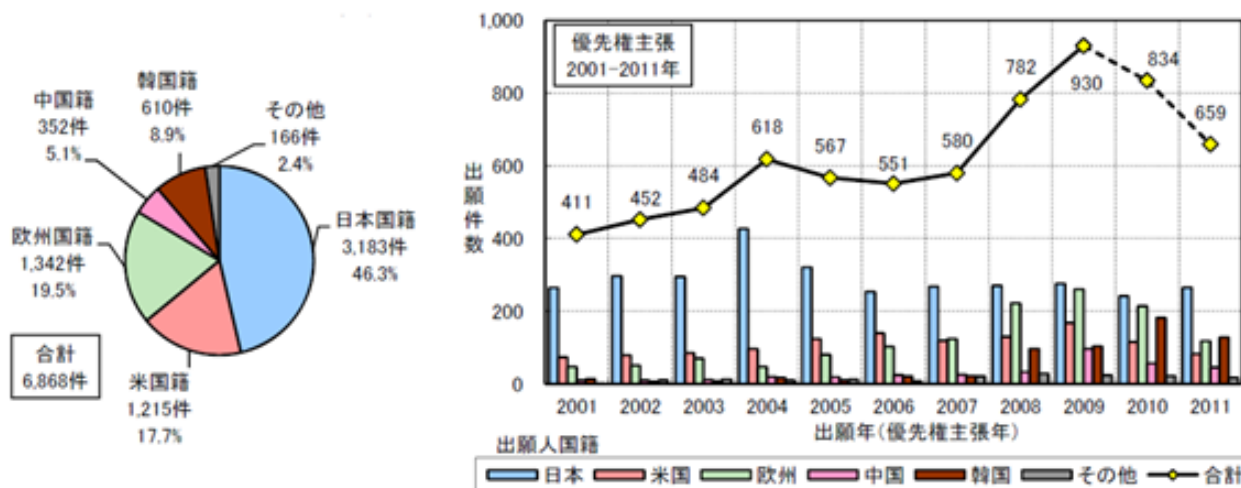


図4 国籍別出願件数比率・推移 (熱電変換材料)

出典:平成25年度特許出願技術動向調査報告書(熱電変換材料)(特許庁, 2014)

表2 出願人TOP15 (熱電変換材料)

順位	出願人	出願件数
1	トヨタ自動車	305
2	東芝	246
3	パナソニック	208
4	産業技術総合研究所	150
5	デンソー	136
6	ヤマハ	131
7	住友化学	111
8	原子力・代替エネルギー庁 (CEA) (フランス)	100
9	三星電子 (韓国)	98
10	京セラ	92
11	BASF SE (ドイツ)	91
12	中国科学院	88
13	Emitec Emissionstechnik (ドイツ)	84
14	富士通	72
15	三星電機 (韓国)	67

出典:平成25年度特許出願技術動向調査報告書(熱電変換材料)(特許庁, 2014)に基に  
NEDO 作成(2015)

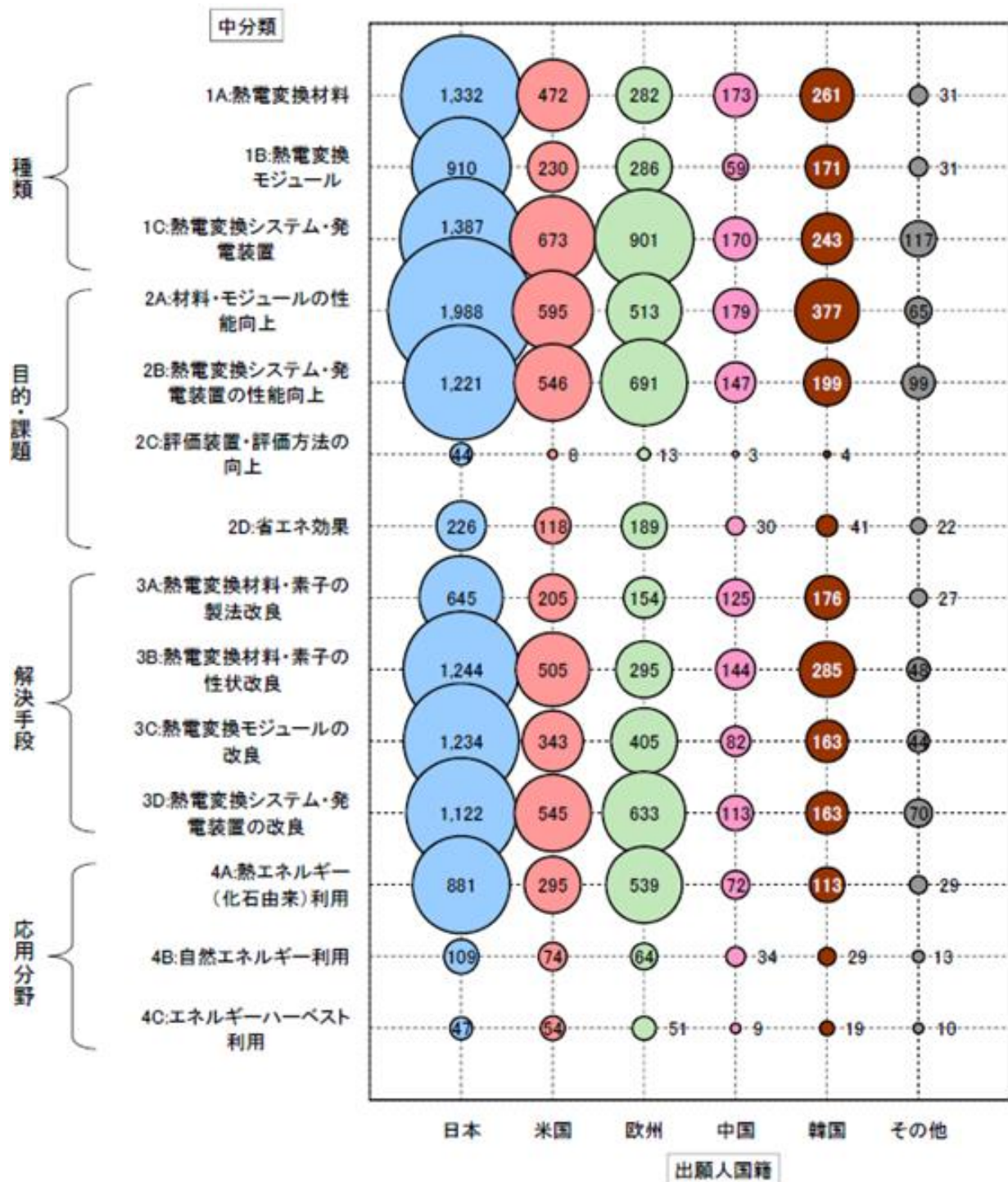


図5 [1A:熱電変換材料]の小分類と[3B:熱電変換材料・素子の性状改良]の詳細分類の出願件数相関(日米欧中韓への出願、出願年:2001-2011年)  
出典:平成25年度特許出願技術動向調査報告書(熱電変換材料)(特許庁, 2014)

・論文

熱電変換材料に関する論文については、米国国籍研究者の発表が最も多く、日本は材料（図6）、モジュール（図7）では米国に次ぎ多いが、システム（図8）では8.1%と少ない。近年欧州国籍の発表数が増加している。表3に熱電変換技術に関する論文発表数TOP15を示す。米国大学の論文数が多い。

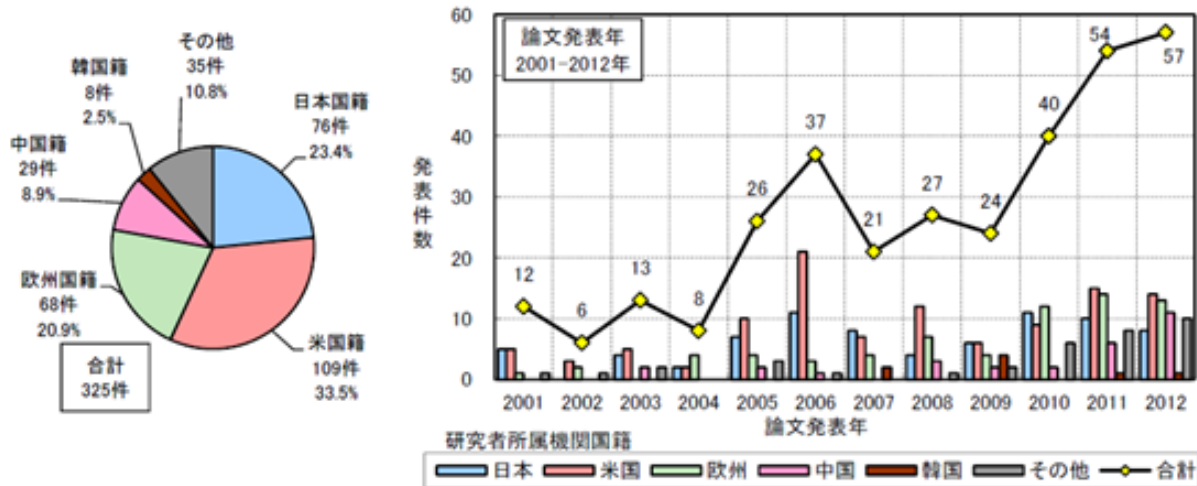


図6 <熱電変換材料>国籍別論文発表件数比率・推移

出典:平成25年度特許出願技術動向調査報告書(熱電変換材料)(特許庁, 2014)

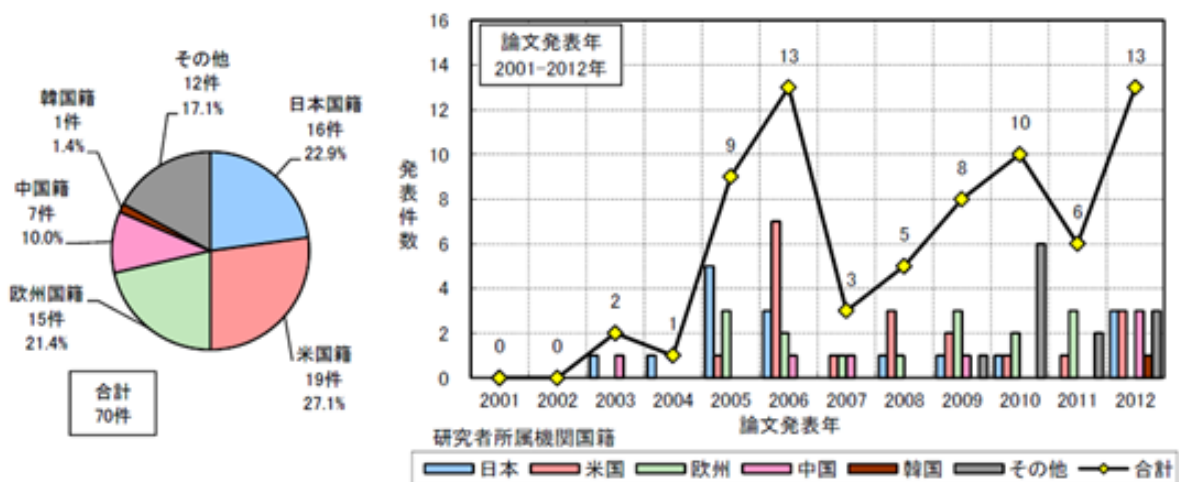


図7 <熱電変換モジュール>国籍別論文発表件数比率・推移

出典:平成25年度特許出願技術動向調査報告書(熱電変換材料)(特許庁, 2014)



図8 <熱電変換システム>国籍別論文発表件数比率・推移

出典:平成25年度特許出願技術動向調査報告書(熱電変換材料)(特許庁, 2014)

表3 熱電変換技術に関する論文発表数TOP15(所属機関別)

順位	研究者所属機関	論文件数
1	カリフォルニア大学(米国)	25
2	ミシガン州立大学(米国)	22
2	カリフォルニア工科大学(米国)	22
4	東北大学	20
5	NASA(米国)	18
5	Univ Aalborg(デンマーク)	18
5	中国科学院(中国)	18
8	CNRS(フランス)	17
8	National Academy of Sciences of Ukraine(ウクライナ)	17
10	科学技術振興機構 <sup>注)</sup>	15
11	ニューメキシコ大学(米国)	14
11	武漢理工大学(中国)	14
13	産業技術総合研究所	13
13	マサチューセッツ工科大学(米国)	13
15	日本原子力研究開発機構	10
15	ノースウェスタン大学(米国)	10
15	IMEC(ベルギー)	10
15	German Aerospace Center (DLR)(ドイツ)	10

注)科学技術振興機構単独ではなく大学と所属機関が併記してある。

出典:平成25年度特許出願技術動向調査報告書(熱電変換材料)(特許庁, 2014)に基に  
NEDO作成(2015)

## 1.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1.2.1 NEDO が関与することの意義

NEDO は第三期中期目標におけるミッションとして、「我が国の経済社会が必要とする具体的成果を創出するとともに、我が国の産業競争力の強化、エネルギー・環境制約の克服に引き続き貢献するものとする。」ことを掲げている。

本プロジェクトの狙いは、自動車・産業等幅広い分野において大きな課題となっている未利用熱の有効利用に関して、経済的に回収する技術体系を確立すると同時に、同技術の適用によって日本の主要産業の競争力を強化し、社会全体のエネルギー効率を向上させ、新省エネルギー技術の中核とした新たな産業創成を目指すものであることから、NEDO のミッションと合致する。さらに、材料開発からシステム化までには長い研究開発期間を要するため、リスクが大きく、また単独企業での開発ではなく産学官の英知を結集してシステムとしての省エネルギー効果を目指す必要があることから、NEDO プロジェクトとしての実施が妥当である。

### NEDOの第三期中期目標におけるミッション

- 我が国の経済社会が必要とする具体的成果を創出
- 我が国の産業競争力の強化に貢献
- エネルギー・環境制約の克服に貢献

### 本プロジェクトの狙い

#### 未利用熱の有効利用に関して

- 経済的に回収する技術体系を確立 (ハイリスク・連携必要)
- 同技術の適用により日本の主要産業の競争力を強化 (連携必要)
- 社会全体のエネルギー効率を向上 (公共性・連携必要)
- 新省エネルギー技術の中核とした新たな産業創成 (ハイリスク・連携必要)



**NEDOの関与が妥当かつ効果的な事業**

### 1.2.2 実施の効果（費用対効果）

断熱材・蓄熱材・熱電材料等に代表される各種熱マネジメント部材の革新的な技術開発を通して未利用熱を有効活用できるシステムを確立し、輸送機器、産業分野、住宅環境等の更なる省エネ化を進める。本プロジェクトにより、一例として熱電発電をベースとした熱マネジメントシステムを自動車に搭載する事で、燃費を10%程度改善し、原油換算で166万kL/年（ガソリン価格換算2,400億円）の省エネルギー効果を見込む。なお、この時、二酸化炭素削減量は431万t/年（排出権換算：約50億円）と推定される。

■プロジェクト費用総額 115.5億円（経産省実施分を含む想定額：H25～H34年）  
79.4億円（NEDO負担予定分：H2727～H34年）

□省エネルギー効果（平成42年：2030年）

熱電発電をベースとした熱マネジメントシステムを自動車に搭載する事で  
10%程度燃費が改善する効果

- ・原油換算 : 166万kL/年
- ・CO<sub>2</sub>削減効果 : 431万t/年

□経済効果(平成42年：2030年)

- ・ガソリン価格換算 : 2,400億円/年
- ・CO<sub>2</sub>排出権換算 : 約50億円/年



## 2. 研究開発マネジメントについて

### 2.1 事業の目標

産業分野における工場排熱、輸送機器におけるエンジン排熱、オフィスや住宅環境における未利用排熱など、各種社会システムから広い温度領域に渡って膨大な未利用熱エネルギーが排出されている現状に対し、各種熱マネジメント部材の革新的な技術開発を通して未利用熱を有効活用できるシステムを確立し、産業分野、輸送機器、住宅環境等の更なる省エネ化を進める。

#### アウトプット目標

本事業では、事業化に向けた妥当性を踏まえて以下のような目標を設定する。

- ・断熱材では、1,500°C以上で使用可能なファイバーレス断熱材で圧縮強度 20MPa 以上、かつ熱伝導率 0.2W/m・K 以下を有する断熱材料開発を目標とする。
- ・蓄熱材では、現行のエリスリトール（蓄熱密度 340KJ/kg, 119°C）に代わる、中低温域（100-150°C）で 1MJ/kg 程度の蓄熱密度を持つ高密度材料の探索・開発を目標とする。
- ・熱電材料では、現行のビスマス-テルル系（性能指数 ZT=1）の性能を大幅に改善するため、10年後を目処に、ナノ構造制御により大きな性能指数(ZT=4)を持つ革新的材料開発を目標とする。平行して、柔軟性に富み大面積化が可能な有機熱電材料の探索も行い、ZT=2 以上の性能を有するフレキシブル熱電材料の開発を行う。

#### アウトカム目標

熱電発電をベースとした熱マネジメントシステムを自動車に搭載する事で、燃費は 10%程度改善され、原油換算で 166 万 kL/年の省エネ効果が見込まれる。この時の二酸化炭素削減量は 431 万 t/年と推定される。また、燃費の 10%改善は自動車市場では大きなインパクトとなり、日本企業の市場での競争力の拡大が期待される。

### 2.2 事業の計画内容

#### 2.2.1 研究開発の内容

研究開発内容は、下記 8 項目

- 研究開発項目①：蓄熱技術の研究開発
- 研究開発項目②：遮熱技術の研究開発
- 研究開発項目③：断熱技術の研究開発
- 研究開発項目④：熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発
- 研究開発項目⑤：排熱発電技術の研究開発
- 研究開発項目⑥：ヒートポンプ技術の研究開発
- 研究開発項目⑦：熱マネジメントの研究開発
- 研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発

## 研究開発項目①「蓄熱技術の研究開発」

### 1) 研究開発の必要性

未利用熱エネルギーを最も効果的に活用する方法の1つとして、熱を熱として保存できる蓄熱材料の利用があり、これまでに固体-液体の相変化を利用する潜熱蓄熱材料などが商用化されている。しかしながら、アプリケーション適用の観点からは、蓄熱材料の性能やコストには多くの課題があり、体積当たりの蓄熱密度や熱伝導の向上が課題となっている。

### 2) 研究開発の具体的内容

本研究開発では、次世代自動車における暖気時間の低減、ビル空調における消費エネルギー低減や家庭用ヒートポンプ普及のための装置小型化に向けた、高い蓄熱密度や長期安定性を有する蓄熱材料の開発を行う。また、低コストで、高効率な熱交換を可能とする、車載に適用可能な蓄熱複合体を開発する。

### 3) 達成目標

#### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・ 120℃以下で、蓄熱密度 0.5MJ/kg を有する固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発
- ・ -20℃～25℃環境下で 12h 以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発
- ・ 蓄熱材の占有体積が 9 割以上であり、蓄熱材単体の 20 倍以上の熱伝導率を有する複合蓄熱体の開発

#### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・ 120℃以下で、蓄熱密度 1MJ/kg を有する固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発
- ・ -20℃～25℃環境下で 24h 以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発
- ・ 蓄熱材の占有体積が 9 割以上であり、蓄熱材単体の 50 倍以上の熱伝導率を有する複合蓄熱体の開発

## 研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」

### 1) 研究開発の必要性

現在、住宅やビル等の建造物において、夏場のエアコン電力負荷低減を目的とした省エネ技術の重要度は、益々高まっている。その中で、太陽光から選択的に熱線のみを反射できる遮熱材料が有望な部材として注目されている。しかしながら、従来の遮熱材料は高コストであり、ユーザーからの要求性能を満たしていないという問題があり、これらを解決した革新的な遮熱材料が求められている。

### 2) 研究開発の具体的内容

本研究開発では、従来技術では到達困難であった高い性能を有する革新的遮熱材料を開発する。具体的には、透明性、遮熱性および電波透過性を兼ね備えた住宅・ビル窓材向け遮熱材料や調光ガラス、建築物の壁材として使用可能な高耐久性遮熱コーティング材料などの遮熱材料を創出する。

### 3) 達成目標

#### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・可視光線透過率 70%以上、日射熱取得率 43%以下（可視光線反射率 12%以下、カット波長 850～1400nm）の遮熱フィルムの開発

#### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・理論限界近傍の可視光線透過率 70%以上、日射熱取得率 40%以下（可視光線反射率 12%以下、カット波長 850～1800nm）の遮熱フィルムの開発

## 研究開発項目③「断熱技術の研究開発」

### 1) 研究開発の必要性

運輸・民生・産業分野において、未利用熱エネルギーの削減に直接寄与する断熱材料への期待は大きい。特に、90%以上の熱が有効利用されていない産業・工業炉においては、高温域で利用可能な高性能断熱材が切望されている。しかしながら、産業／工業炉における断熱材料に求める性能としては、材料の耐久性や強度などが優先されるため、十分な断熱性能を有する材料が利用されていないのが状況である。

### 2) 研究開発の具体的内容

本研究開発では、材料強度やコストなど、アプリケーションの要求指標と断熱性能を両立する高性能高温断熱材料の開発をするとともに、工業炉の高効率化を実現する熱関連部素材および、これら部素材の有効活用技術を開発する。

### 3) 達成目標

#### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・1500℃以上で使用可能なファイバーレス断熱材で圧縮強度 10MPa 以上、かつ熱伝導率 0.25W/m・K 以下を有する断熱材料の開発

#### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・1500℃以上で使用可能な工業グレードのファイバーレス断熱材で圧縮強度 20MPa 以上、かつ熱伝導率 0.20W/m・K 以下を有する断熱材料の開発
- ・上記開発材料等を産業・工業炉に適用し、50%以上の排熱削減を実証

## 研究開発項目④「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」

### 1) 研究開発の必要性

熱から直接発電ができる熱電材料を利用した熱電変換技術は、運輸、産業、民生等、各分野に広く適用出来るポテンシャルを有しており、実用化およびその普及が期待されている。しかしながら、現在の熱電材料は、その性能指数の向上が大きな課題となっており、高い発電効率を実現する革新的な熱電モジュールが求められている。

### 2) 研究開発の具体的内容

本研究開発においては、車載等における熱電発電の経済性を確保することが可能な発電効率を実現するために、熱電材料の高性能化を目指すと共に、低コスト化や長寿命化に資する技術開発を進め、さらにはこれらの熱電材料を利用した熱電モジュールを開発する。なお、本研究開発項目はステージゲート方式を採用する。

### 3) 達成目標

#### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・性能指数  $ZT=1$  を有する有機材料の開発
- ・性能指数  $ZT=2$  を有する無機材料の開発

#### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・性能指数  $ZT=2$  を有する有機材料の開発および当該材料を用いたモジュールの開発
- ・性能指数  $ZT=4$  を有する無機材料の開発および当該材料を用いたモジュールの開発

## 研究開発項目⑤「排熱発電技術の研究開発」

### 1) 研究開発の必要性

産業からの排熱は約 70%が 200℃以下の中低温排熱であり、大部分が廃棄されているのが現状である。これらの排熱を有効利用する方法として、未利用熱エネルギーを、熱サイクルを利用して電気エネルギーとして回収する排熱発電装置が導入されつつある。しかしながら、これらの発電装置は発電能力が比較的大きいため、工場内に分散し変動が大きい小量の排熱や蒸気を回収するのには適していないという欠点があった。

### 2) 研究開発の具体的内容

本研究開発では、中規模工場の消費エネルギーの削減を目指し、少排熱量かつプロセス追従性が高い、高効率で低コスト化が見いだせる熱サイクルを利用した小型排熱発電関連技術および装置の開発を行う。

### 3) 達成目標

#### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・200℃以下の中低温排熱に対応した、発電効率 14%(従来比 2 倍)を有する出力 1kW クラス小型排熱発電装置の開発

#### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・200℃以下の中低温排熱に対応した、発電効率 14%(従来比 2 倍)を有する出力 10kW クラス小型排熱発電装置の開発
- ・200℃以下の中低温排熱に対応した、従来の大型機(500kW クラス)と同等性能を有する 50kW クラス排熱発電装置の開発
- ・工場等にて、開発した排熱発電装置を利用した未利用熱削減効果の実証

## 研究開発項目⑥「ヒートポンプ技術の研究開発」

### 1) 研究開発の必要性

熱需要の多い工場等では、各製造工程におけるプロセス加熱において、100～200℃の熱源としてボイラー蒸気が多く使用され、それに伴い大量の排熱が発生している。特に産業、民生分野で発生している熱エネルギーのうち、60～80℃の低温排熱は、多くが未利用のまま廃棄されている。これらの排熱を有効利用するため、排熱を熱源として高温熱あるいは冷熱を作り出すことができるヒートポンプ技術が高効率排熱回収技術として幅広く適用されている。しかしながら、さらなるヒートポンプ技術の市場拡大のためには、さらなる高効率化や適用温度域の範囲拡大といった課題の解決が必要となっている。

## 2) 研究開発の具体的内容

本研究開発では、(1) ボイラーで供給できる最高温度 200℃域を供給可能な産業用高効率高温ヒートポンプの開発、および(2) 低温排熱の下限レベルである 60℃排熱で駆動できる高効率冷凍機など、新たな市場を開拓するためのヒートポンプ技術を確立し、幅広い産業への適用拡大を図る。

## 3) 達成目標

### 【中間目標 (H29 年度末)】

- ・200℃までの供給温度範囲に対応し、80→160℃加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発
- ・75℃以下の熱源で、供給温度-10℃を実現するヒートポンプシステムの開発

### 【最終目標 (H34 年度末)】

- ・200℃までの供給温度範囲に対応し、100→200℃加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発
- ・60℃以下の熱源で、供給温度-10℃までの幅広い温度範囲に適合するヒートポンプシステムの開発

## 研究開発項目⑦「熱マネジメントの研究開発」

### 1) 研究開発の必要性

近年、車両における内燃機関熱効率の飛躍的な向上および電動化の進展によって、低燃費化が急速に進んでいる。しかしながら、車両効率の向上によって暖房熱源の不足の問題が顕在化しつつあり、冬場の実効燃費向上が大きな課題となっている。また、電動車両においても、エアコン ON 時の航続距離の減少は大きな問題となっており、早急の対応が求められている。

### 2) 研究開発の具体的内容

本研究開発では、高効率車両用熱マネジメントシステムを実現するために、熱の効率的な輸送を行うシステム、局所冷却を可能とする高性能熱電素子、高効率空調運転を実現する小型ヒートポンプ技術、内燃機関やモータ/インバータ等における排熱の削減・有効利用技術の開発を図る高効率な省エネユニット等を開発する。最終的には、未利用エネルギー有効活用技術をトータル的に組み合わせることで、高効率の車両用熱マネジメントシステムを実現することで、総合的な車両の効率向上を目指す。

### 3) 達成目標

#### 【中間目標（H29年度末）】

- ・高効率ヒートパイプの開発（0～50℃にて熱輸送距離 5m、熱輸送量 1500W、抗重力性、動力源レス）
- ・吸熱量 5W/cm<sup>2</sup> を有する吸熱デバイスの開発
- ・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発
  - (a) 体積 100L 以下重量 50kg 以下で排熱温度 95℃以上、冷熱温度 5℃において冷凍能力/排熱入力比 0.4 を有する冷房用ヒートポンプの開発
  - (b) 極寒（-20℃）環境下などの実用条件で COP=1.5（温度）以上の作動が可能な暖房ヒートポンプの開発
- ・内燃機関、モータ/インバータ、空調、熱回収の車両トータル等における高精度熱発生・熱伝達シミュレーション技術の開発

#### 【最終目標（H34年度末）】

- ・高効率ヒートパイプの開発（-20～50℃にて熱輸送距離 10m、熱輸送量 3000W、抗重力性、動力源レス）
- ・吸熱量 10W/cm<sup>2</sup> を有する吸熱デバイスの開発
- ・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発
  - (a) 体積 55L 以下重量 30kg 以下で排熱温度 95℃以上、冷熱温度 5℃において冷凍能力/排熱入力比 0.6 を有する冷房用ヒートポンプの開発
  - (b) 極寒（-20℃）環境下などの実用条件で COP=1.7 以上（温度）の作動が可能な暖房用ヒートポンプ開発および実アプリケーションでの実証
- ・車両トータルの熱移動を制御し、上記省エネシステムを組み合わせ、最適化することで、総合損失を 75%（走行距離 1.6 倍）まで低減したトータル熱マネジメント技術の開発

### 研究開発項目⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」

#### 1) 研究開発の必要性

未利用熱は産業界だけでなく、民生・業務分野を含め広く分布しており、その存在状況を正確に把握することは研究開発の対象や目標を検討するうえで必要不可欠であるが、極めて困難である。

また、幅広い分野の技術開発を進めるうえで、熱関連材料の物性に関するデータや評価技術を統一的に整備することは、研究開発の効率化に極めて有用であり、研究開発の一環として実施する必要性が高い。

#### 2) 研究開発の具体的内容

研究開発項目①～⑦の課題において、研究の効果的な推進を果たすために、各課題と連携して、各種排熱実態の調査、新規熱関連材料の導入シナリオ検討、およびシナリオ実現に向けた技術・制度課題の抽出を行う。熱関連材料については、多角的な材料情報のデー

データベースへの拡充、計算機シミュレーションを含めた熱関連材料の特性・性能評価技術の開発を実施する。

### 3) 達成目標

#### 【中間目標（H29年度末）】

- ・排熱調査を実施し、研究開発シナリオの検討を完了する。
- ・各種部材の計測・評価結果の分析を進め、整備すべきデータベースを明確化する。
- ・計算機シミュレーションについて計算結果の解析と検討を進め、熱関連材料の特性・性能評価技術の整備、体系化を行う。

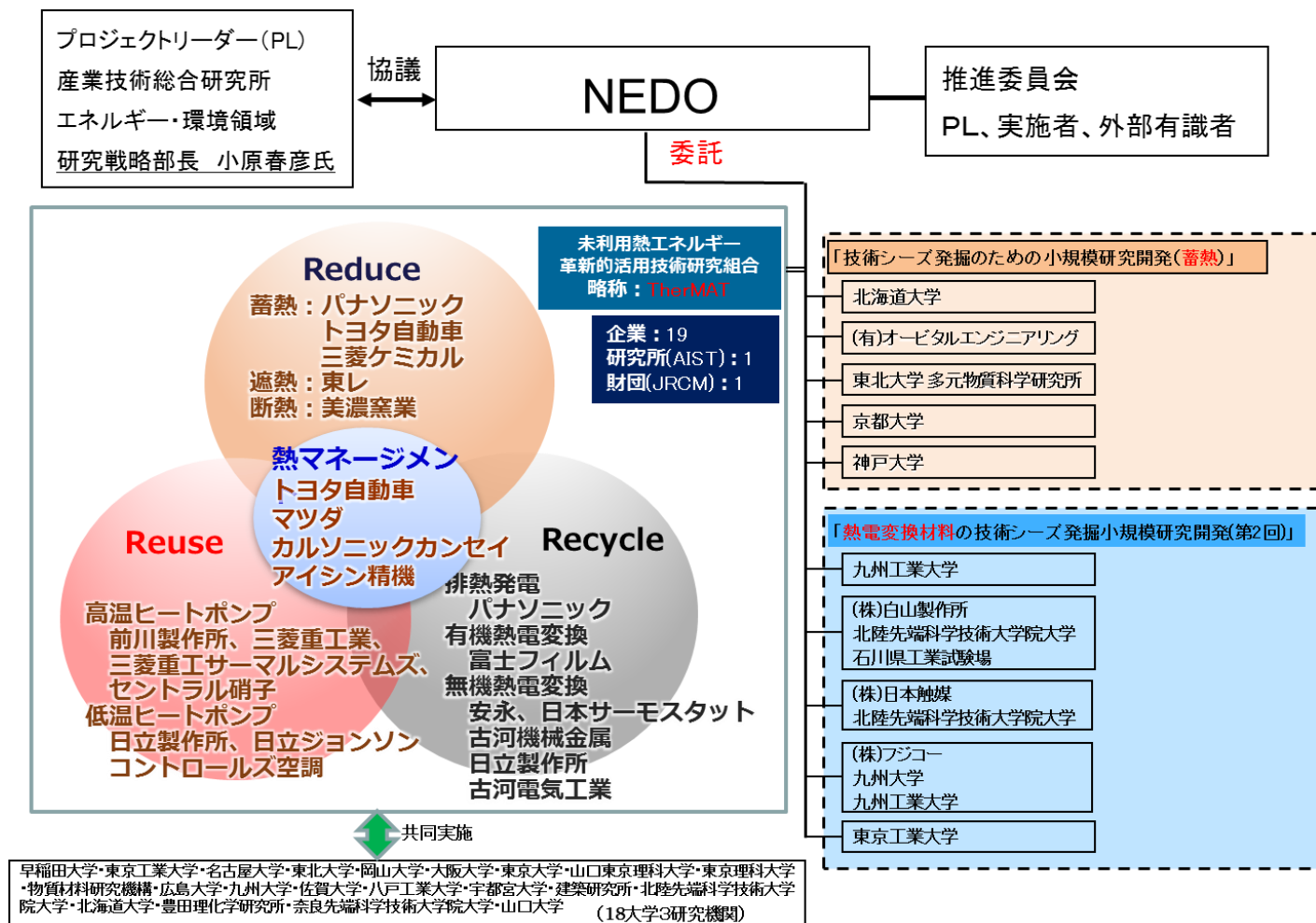
#### 【最終目標（H34年度末）】

- ・排熱利用機器やシステム設計につながる未利用熱データベースの構築を完了する。
- ・優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術を提供する。
- ・プロジェクト内部の共通基盤ツールとして、新材料探索の基盤情報を提供する。

研究開発項目	中間目標 (平成29年度末)	根拠
①「蓄熱技術の研究開発」	・120℃以下で、蓄熱密度0.5MJ/kgを有する固液相変化等を利用した化学蓄熱材料の開発	・最終目標（1MJ/kg）達成に向け、平成29年度に高蓄熱密度化と低温化の材料仕様を明確化
	・-20℃～25℃環境下で12h以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発	・最終目標向け、12h以上過冷却保持時間を実現する材料仕様を明確化
②「遮熱技術の研究開発」	・可視光線透過率70%以上、日射熱取得率43%以下（可視光線反射率12%以下、カット波長850～1400nm）の遮熱フィルムの開発	・自動車フロントガラス向け規制にも適合する可視光線透過率かつ従来比優位な遮熱性能
③「断熱技術の研究開発」	・1500℃以上で使用可能なファイバーレス断熱材で圧縮強度10MPa以上、かつ熱伝導率0.25W/m・K以下を有する断熱材料の開発	・現状のファイバー系断熱材料の熱伝導率と耐火断熱れんがの強度を兼ね備えた性能
④「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」	・性能指数ZT=1を有する有機材料の開発 ・性能指数ZT=2を有する無機材料の開発	・最終目標に向けた中間期として設定
⑤「排熱発電技術の研究開発」	・200℃以下の中低温排熱に対応した、発電効率14%（従来比2倍）を有する出力1kWクラス小型排熱発電装置の開発	・現行の排熱発電装置（～100kW級）のスペックに対して2倍
⑥「ヒートポンプ技術の研究開発」	・200℃までの供給温度範囲に対応し、80→160℃加熱でCOP:3.5以上を達成するヒートポンプシステムの開発 ・75℃以下の熱源で、供給温度-10℃を実現するヒートポンプシステムの開発	・200℃での構成部材の適用性評価と共に、従来比1.4倍の効率を確認して最終目標に繋げる ・最終目標に向けた中間期として設定
⑦「熱マネジメントの研究開発」	・高効率ヒートパイプの開発（0～50℃熱輸送距離5m、熱輸送量1500W、抗重力性、動力源レス） ・数kW小型ヒートポンプシステムの開発	・最終目標達成のため、各要素技術を小型ヒートパイプで検証 ・最終目標に向けた中間期として設定
⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」	・排熱調査を実施し、研究開発シナリオ検討完了 ・各種部材の計測・評価結果の分析を進め、整備すべきデータベースを明確化	・生産現場のニーズに適合できる具体的な提案につなぐ ・今後の開発材料の情報の継続的かつ速やかな収録、プロジェクト共有化に向けた準備完了

## 2.2.2 研究開発の実施体制

材料開発やテストモジュール開発などの基礎的研究は、大学などの公的研究機関が主体となって実施し、モジュール化・システム化に向けた応用研究は、アカデミアでの研究成果を基礎として、各種社会システムのニーズを踏まえた上で、参加各企業が主体となって実施していく体制を構築する。



## 2.2.3 研究開発の運営管理

各研究開発実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者であるPL（プロジェクトリーダー）を選定し、各実施者は、PLの下で研究開発を実施する。PM（プロジェクトマネージャー）はPLと協議し、プロジェクトの運営を行う。

### 【PL】

- ・定期的な（原則として毎週）研究組合事務局との打合せにより、事業の進捗、成果の普及や知的 財産権取得の状況等について情報収集を行っている。
- ・各実施テーマについては、半期毎に開発目標と達成度をチェックし、翌半期計画を精査している。

### 【PM】



- ・平成28年度は、全ての実施テーマで研究開発実施場所での進捗状況把握を実施し、研究開発の課題、実用化への方針、プロジェクトとしての相乗効果のあり方等について実施者と直接意見交換を行った。

- ・早期実用化が見込めるテーマについて、成果の実用化を促進するため国内外でのニーズ調査やワークショップを開催した。

- ・熱電変換材料に関する小規模研究開発を継続し、各テーマについて進捗審査委員会を実施し、今後の進め方を決定した。

**【PLとPMとの意思疎通】**

- ・1ヶ月に1回以上面会のうえ、プロジェクト加速のための方策や、各テーマの進捗と今後の方向性について議論を行っている。

- ・蓄熱材料に関する小規模研究開発について、目標とするレベルや、実施期間等を協議しながら新規の枠組みを練り上げた。

**2.2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性**

本プロジェクトでは、未利用熱の活用という共通目的を有しつつも、競争的に開発を行う部分が生じるので研究項目間の情報管理を徹底する。一方、調査・基盤技術の成果は全ての研究項目に有益なため共有するなどして、全体としてのシナジー効果を発揮させるマネジメントを行うよう留意する。

なお、熱電変換材料の開発のように、設定した目標に対して多くのアプローチが想定される研究開発項目においては、実施者間の競争による研究の進展を図る。

**2.3 情勢変化への対応**

NEDOは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。分析・検討結果を踏まえてプロジェクト成果の実現に向けて具体的な対応を行う。

**対応事例**

情勢	対応
産業分野における未利用熱の発生と利用実態の把握、開発成果の導入効果の整理が求められている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査委託「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発の産業分野等への適用促進に関する検討」で、未利用熱の発生と利用実態の最新状況の整理と、本プロジェクトの開発成果の効果を検証</li> <li>・欧州における省エネ最新技術の動向及び市場導入条件調査</li> </ul>

<p>熱電変換技術開発では、近年のナノ材料技術の急速な進展に伴い、新しい材料系や構造に関する研究が世界で取り組まれている。</p>	<p>熱電変換材料・デバイスの新たな技術シーズ発掘を図るため、また迅速に研究開発に取り組むために、小規模研究開発（期間：約1年、予算：1千万円以下/テーマ）の枠組みを継続して公募を行った。</p> <p>【公募開始：平成29年2月3日⇒結果公開：3月29日】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 高キャリア密度ハロゲン化ペロブスカイトを用いた塗布型熱電素子</li> <li>(2) シリサイド系多孔質熱電変換材料を用いた高効率熱電変換素子の研究開発</li> <li>(3) 金属硫化物ナノ粒子熱電変換材料の研究開発</li> <li>(4) 溶射法を利用した熱電変換素子の作成と、それを利用した熱電変換モジュールの研究開発</li> <li>(5) 薄膜熱電発電モジュールとその応用に関する研究開発</li> </ol>
<p>有機熱電変換技術開発では、薄膜の異方性により熱伝導度が大きくばらつくことが判明し、ZTを性能評価指標とすることの課題が明らかになってきた。</p> <p>また、平成27年度中間評価報告書でも「熱電変換については、設定された目標が非常に高いことから、達成可能なのか、常にチェックしながら進めることが望まれる。」として、目標の適正化が求められている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査委託「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発の産業分野等への適用促進に関する検討」で、有機熱電材料開発の目標に関する検討を実施。有識者へのヒアリング等を行い、目標のあり方について整理を行った。</li> <li>・調査結果より得られた目標について、技術推進委員会（革新的熱利用技術委員会）で審議を経た。</li> </ul>
<p>蓄熱材料や、RCFフリーの断熱材等、展示会（省エネルギーフォーラム、nano tech 2017）で評判が良く、多様な業種からの反響が高く、早期の実用化が見込まれている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海外での技術紹介（米 DOE、第7回クリーンエネルギー大臣会合併設展示会、スペイン CDTI ワークショップ開催、ロシアイノプロム2017出展、等）</li> <li>・サンプル提供、量産化に向けた技術開発を推進</li> </ul>

## 2.4 平成27年度中間評価結果への対応

連携する多数の大学の成果・寄与のアピールについて、主たる大学の研究実施状況、企業との連携状況を確認し、適切な論文投稿等を推奨した。また、各大学が全委託先企業に対して成果を発表する場「全体交流会」を設定、先ずは本プロジェクト内での成果の有効活用を図った。

広く一般に向けた研究成果の情報発信について、学会等で未利用熱技術開発に関するセッションを企画・開催する（機械学会では平成28年6月に「動力エネルギー技術シンポジウム」でNEDOがオーガナイザーとなり本プロジェクトにおけるセッション開催）等して成果発信を行うと共に、省エネルギーフォーラム、プレスリリース等で幅広い層に対して分かり易い情報発信を心掛けた。また、展示会（省エネルギーフォーラム2017、

nano tech2017 等) 参加、海外での技術紹介(前項参照)を実施した。さらに、5件のニュースリリースを実施して、成果の情報を発信した。

実用化までのレベルがテーマによってかなり異なり、プロジェクト全体としてどの程度の社会的効果があるのか明確になっていないという指摘に対しては、全テーマの実用化イメージを強化するために、開発技術をできるだけ盛り込んだモデルシステムを2種類、産業用途と自動車用途で平成28年度に本格的に検討を開始した。モデルシステムの検討結果を委託調査に提供し、プロジェクトの社会的効果の試算を充実させる。

### 3. 研究開発成果について

#### 3.1 事業全体の成果

- ・「シナジー効果」を引き出す仕組みの具体化として、共同実施先(大学等)の実施内容を技術交流会で共有した結果、シミュレーションの横展開や企業間情報交換に発展した。
- ・「早期実用化」に向けた応用先の拡充と、協業による実現を目指した国内外の展示会、ニュースリリース等の実施により、熱電変換素子ではスペイン企業にサンプルを提供するに至り、ファイバーレス断熱材では国内の鉄鋼やセメント業界から関心表明が多く寄せられた。

#### 3.2 研究開発項目毎の成果

研究開発項目①：蓄熱技術の研究開発

- ・高密度蓄熱材料(低温)：10°Cにおいて、蓄熱密度0.2MJ/kgを有するセミクラスレートハイドレートを材料評価により検証するとともに、蓄熱密度0.28MJ/kgを有するクラスレートハイドレートを解析により抽出した。
- ・高密度蓄熱材料(中/高温)：120°C以下で、蓄熱密度0.5MJ/kgを有する化学蓄熱材料に要する修飾密度が7.6mol/kgであることを明確化するとともに、合成プロセスを立案、試料を合成し、その修飾密度が7.4mol/kgであることを検証した。
- ・長期蓄熱材料：-20~25°C環境下で、12h以上の過冷却保持期間を実現する蓄熱材料組成を抽出し、蓄熱モジュール評価により、-20°C環境下における12hの過冷却安定性の保持確率92%以上を検証した。
- ・化学反応を利用したAl-Ti複合化技術により、蓄熱材との複合化に適したポーラス構造を持ち、高い蓄熱材占有率と高熱伝導率のポーラス金属の作製に成功した。
- ・低コスト化技術の確立：AQSOA-Z02(高性能蓄熱材の製品名)は繰り返し使用に耐える高い耐久性を付与する目的で複合酸化物であるゼオライトの各金属成分の配置を原料の配合比を最適化することにより高度制御しているが、過剰配合している原料および構造規定材が未反応原料として廃棄となるため本製造法は従来の合成ゼオライトに比しコスト高となる欠点を有していた。高耐久性を特徴とする蓄熱材であるAQSOA-Z02を広範囲な市場に適用することを目的に未反応原料の回収・再使用による製造コストの低減技術の確立の検討を行った。未反応原料の回収・再使用においては、原料の反応性の変化、劣化物の溜まりこみ等、品質を維持したまま再使用回数を上げ、有効なコスト削減を行うには技術的な課題が多くあったが、鋭意検討の結果、再使用時に最適合成条件に合わせること

による未反応原料および構造規定材の有効な回収・再使用技術を確立するに至った。また平成 28 年度に実機連続運転による該技術の実用化を達成し、商業運転に至った。

- ・蓄熱材の寿命予測技術の確立：AQSOA-Z02 を蓄熱材用途として長期使用する目的で、AQSOA-Z02 の劣化を誘発する要因の究明を行い、加工時の制約条件、運転条件等を反映させた寿命予測技術の構築を検討した。検討の結果、AQSOA-Z02 は水蒸気の吸脱着操作においては高い耐久性を持つが、水浸漬状態や結露等で水付着状態となった場合、その取扱い条件により劣化が誘発されることを明らかにし、寿命予測技術を確立した。また確立した技術を用い、AQSOA-Z02 に表面処理を施すことにより低温排熱利用に適した Z02 の高耐久性改良品を創出するに至った。

- ・感温分子を修飾したシリカゲルにて、吸着特性を維持したまま再生温度の低温度化（7℃低減）を確認した。

- ・MOF（金属有機構造体）の有機配位子の結合手数を減らすことで、MOF 中に新たな空間を作り出し、細孔容量の増大による吸着容量の向上を確認。水蒸気吸着容量と吸着エネルギーから推算すると、0.5MJ/L 以上の蓄熱密度が期待される。有機配位子の結合手の少ないものに 40%以上置換すると、多孔質構造を維持できず、吸着容量は減少することも確認した。

- ・感温性高分子とケイ酸ガラスとのハイブリッド材料を合成、43℃にて LCST（親水/疎水転移温度、Lower Critical Solution Temperature）を確認。高分子中の共重合体受領組成により LCST 特性が変化することも分かった。

#### 研究開発項目②：遮熱技術の研究開発

- ・高遮熱化、層間密着性、製膜性を有する新規ポリマーの開発を行った。
- ・高精度流動シミュレーション技術を駆使して独自の積層装置を開発してフィルム化することで中間目標の光学特性を有する積層フィルムを創出した。
- ・高精度コート技術の開発を行い、目標透過率と耐久性をクリア可能な遮熱コート剤、粘着剤を開発し、中間目標の光学特性を有する遮熱フィルムの連続加工に成功した。
- ・実際の建物での省エネ評価を行い、開発品が従来品に比べ高い冷房負荷低減効果を有することを実証した。

#### 研究開発項目③：断熱技術の研究開発

- ・1400-1450℃耐熱性、熱伝導率 0.25W/mK、圧縮強度 10MPa 以上の断熱材試作を完了した。骨材の導入により低熱伝導率と高強度の両立を図り、気孔率 87.7%、熱伝導率 0.23W/mK、圧縮強度 14.2MPa を示す試作品を得た。

- ・実用化レベルとなる並形（230mm×114mm×65mm）形状の断熱材料の試作を完了した。気泡導入技術を適用することにより乾燥時間を従来の約 1/2 まで短縮させた。あわせて、微構造組織の均質化により強度向上を図った。

- ・既存設備の蓄積データ検証と各開発部材の性能試験から、排熱削減 50%以上の可能性を確認した。既存設備の入熱・出熱状況のデータ蓄積及び検証、各開発部材の性能試験から、産業/工業炉の排熱削減 50%以上の可能性を確認した。

- ・既存セラミックス蓄熱材料の 1.3 倍の入熱速度及び 1.1 倍の放熱速度を有する蓄熱部材の試作を完了した。

- ・上記蓄熱部材を組み込んだ高効率バーナーの試作を実施した。1500℃以上の高温バッチ式工業炉で使用することを目的としたリジェネレイティブバーナーの試作を完了した。
- ・1500℃以上の放熱気体（工業炉の燃焼排ガス）から直接熱回収が可能な熱交換器を試作した。1300℃での実用化を実現し、プレスリリースすると共に販売を開始した。

1500℃での性能及び耐久試験を実施中である。

- ・検証用の炉に各開発部材を組み込み、性能評価試験を実施した。  
断熱材料：ガス炉による試験にて31%の排熱削減を確認した。  
蓄熱材料：リジェネレイティブバーナーを使用した試験にて、従来蓄熱材料と比較して6~7%の熱回収効率UPを確認。  
熱交換器：1500℃での試験にて、23%の熱回収効率を確認した。

#### 研究開発項目④：熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発

- ・金属系合金薄膜ライブラリ試料の合成に成功しそれらの薄膜の計測法としてパラレル抵抗評価技術を開発した。
- ・レーザー加熱装置により、酸化物小型単相試料の溶融合成に成功した。
- ・Mo 酸化物のドーピングによりゼーベック係数が増加し、パワーファクタ  $F$  が従来材料の3倍以上の  $80 \mu W/mK^2$  に増大することを確認した。CNT と導電性高分子のハイブリッドで  $295 \mu W/mK^2$  を達成した。
- ・PEDOT:PSS を用いた有機熱電モジュールで50度の温度差で有機系としては世界最高の  $24 \mu W/cm^2$  を達成した。
- ・CNT 系材料で印刷材料としては世界最高レベルのパワーファクタ ( $749 \mu W/m \cdot K^2$ ) を発現した。
- ・CNT 系モジュールにおいて、CNT 配向の改善技術を開発し、発電性能を1桁近く向上させることに成功した。
- ・熱電材料の開発成果 熱電性能向上：H25年度比10%向上した（p型材料： $ZT=0.80 \rightarrow ZT=0.90$ 、n型材料： $ZT=1.00 \rightarrow ZT=1.15$ ）材料合成技術：10kg/バッチの材料合成技術を開発した。ペレット成形技術： $\Phi 200mm$  のペレット成形技術を開発した。
- ・熱電デバイスの開発成果：熱電材料/電極の接合技術を開発し、600℃/50℃の条件でモジュールの発電効率は8%に達し、高温端500℃~575℃での温度条件でモジュールの耐久性1000h以上を実現した。
- ・システム効率向上の検証：熱電変換モジュール評価装置の導入完了。環境低負荷な鉄系合金材料を用いた熱電変換モジュールにおいて  $380W/m^2 @ \Delta T=150^\circ C$  の出力を確認した。
- ・新熱電変換材料の開発：シミュレーションにより高ZT化が期待できる新規カルシウム系材料の提案、Mn-Si ナノ結晶薄膜により、 $ZT>1$  達成に必要な従来比2/3の熱伝導率を実現した。
- ・CNT コンポジット系ではp型分散剤を選定し、印刷インク化に成功、熱電モジュール作製プロセスを開発した。
- ・導電性ポリマーの設計指針で新たな知見が得られた。
- ・ハイブリッド用材料としては鉄シリサイド系材料の性能を改良した。高性能化では、焼結組織の制御に成功。p型特性発現では、新たなp型材料を開発した。

- ・スクッテルダイトの熱電性能向上： $ZT=1.2$ の熱電材料の開発に成功。材料の準量産化技術開発：10kg/バッチの材料合成技術、 $\phi 200\text{ mm} \times t21\text{ mm}$ の大型焼結体成形技術、大型焼結体のスライス加工技術及びサイズ1mm～5mmの素子加工技術を確立した。
- ・スクッテルダイト系熱電材料/電極の接合技術を開発し、モジュールの発電効率は9%に達し、高温端600°Cでの温度条件でモジュールの高温保持耐久性1000hを実現した。
- ・熱電変換によるガスコージェネシスシステム効率向上の検証：（1）熱電変換モジュール評価装置の導入完了し、環境低負荷な鉄合金系材料を用いた熱電変換モジュールにおいて380W/m<sup>2</sup>@ $\Delta T=150^\circ\text{C}$ の出力を確認した。（2）低温排熱活用実証について実機で試験するために、5kWのマイクロガスコージェネシスシステムを導入し、温水配管へ熱電変換モジュールを組み込み65°Cの排温水から太陽光発電並みの電力出力を確認した。その結果からシステム電力効率を1%向上できる熱電変換ユニット仕様を決定した。
- ・新熱電変換材料の開発：（1）シミュレーションにより高ZT化が期待できるMn-Si複合ナノ材料及び新規カルシウム系材料を提案した。（2）MnSi<sub>1.7</sub>/Si薄膜にてSiへのAg添加(MnSi<sub>1.7</sub>/Si-Ag)により出力因子PFを50%増大、Ge添加(MnSi<sub>1.7</sub>/Si-Ge)によりMnSi<sub>1.7</sub>系最小となる $ZT=2$ 水準の熱伝導率 $\kappa$  (1.1 W/Km)を達成した。さらにMnSi<sub>1.7</sub>/Si複合材料バルクプロセスを確立した。（3）新規カルシウム系材料としてCa<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>のバルク合成プロセスを構築した。
- ・実用化に適した高性能なクラスレート焼結体の研究開発において〔1〕高性能化では、ゼーベック係数の絶対値を200 $\mu\text{ V/K}$ 以上にするための組成を見出した。〔2〕p型特性発現では、熱電特性を向上させる組成を見出した。〔3〕モジュール化では、クラスレート焼結体U字素子8対ハーフスケルトンモジュールを試作し、特性と課題を明確化した。
- ・シリサイド系熱電材料の開発において、～700g/坩堝を用いた複数同時Mg<sub>2</sub>Si原料合成技術を確立し、当初の少量合成（～200g/バッチ）から大規模合成（～3kg/バッチ）へのスケールアップを実現させた。
- ・焼結時の圧力及び温度制御の最適化により、シリサイド系熱電材料の大口径（ $\phi 100\text{ mm}$ ）焼結技術を確立した。
- ・発電素子配線および熱設計最適化によるモジュール内素子の高充填化とモジュールの高出力密度化により、当初の0.3W/cm<sup>2</sup>から0.8W/cm<sup>2</sup>へと発電出力密度を向上させた。
- ・小規模量産レベルでの製造試験において、Mg<sub>2</sub>Si+(Sb,Zn)が従来のMg<sub>2</sub>Si+Sbに対して30%程度の性能向上に寄与することを確認するとともに、Mg<sub>2</sub>(Si,Sn)で $ZT 1.2@504^\circ\text{C}$ を達成した。

#### 研究開発項目⑤：排熱発電技術の研究開発

- ・市場調査とビジネスモデルの明確化：9業種28事業所の排熱実態調査を行い、適切な機器仕様や導入効果を明確化し、実排熱を利用した課題抽出実験先を決定した。
- ・高効率小型排熱発電技術開発：1kWクラスの発電実験システム（中低温熱源200°C以下）を構築し発電効率12%を実証すると共に、冷媒の混合、膨張機吸入温度の昇温などにより発電端効率14%を達成する技術手段を明確化した。また、事前信頼性評価において、膨張機内部の銅めっき現象並びに冷媒ポンプの軸受摩耗についての課題を抽出した。

10kW クラスでは、超音速小型膨張タービン動静翼の試作を完了すると共に、軸受において剛体共振対策を実施した気体軸受の仕様を確立した。

・余剰蒸気利用排熱発電技術開発：出力 50kW クラスの空力構想設計により翼車仕様を明確化した。

研究開発項目⑥：ヒートポンプ技術の研究開発

・遷臨界サイクルヒートポンプの最適化技術の開発において、加熱能力 300kW のヒートポンプ 1 次試作機について、マルチフィジックス統合解析シミュレーションを行い、80℃ の熱媒体オイルを 160℃ に加熱する条件で COP4.10 となり、中間目標の COP3.5 が達成できる見通しが得られた。広範囲の運転条件に適用できる圧縮機の相関式を作成し、冷媒充填量や膨張弁開度等の定格点を求めた後、圧縮機回転数、膨張弁開度、オイル温度・流量、熱源水温度・流量をパラメータとした静特性の解析を行った。また、システムの制御系の検討を行うために動特性の解析を行った。シミュレーション結果を基にヒートポンプ試作機の設計と製作を行った。物性値が既知でない 3 種の低 GWP の HFO 系冷媒

(HFO1336mzz(E)、HFO1354mzy(E)、HFO1354myf) について PVT の測定を行い、状態方程式を作成した。

・ターボ圧縮機技術の開発において、遷臨界サイクルヒートポンプの基本モデルからの基本仕様により、オイルフリー、超高速回転を実現し、かつ断熱効率 70% を達成するためのターボ圧縮機・膨張機試作機の詳細設計、製作と等価試験装置の設計・製作を行った。その後、等価試験装置において R134a の低圧力で定格回転数での運転を確認した。この中でガスと高速回転体間に生じる摩擦損失(風損)が大きな影響を与えることが判明したため、シャフト単体試験と流体解析を用いてその調査を実施し対策した。またターボ圧縮機の更なる性能改善としてインペラ、ベーン、ボリュートについて流体解析を実施し性能改善の見通しを得た。R600 のヒートポンプ試験のためにターボ圧縮機の防爆化について詳細設計し製作した。

・高温高圧熱交換器の開発において、遷臨界サイクルヒートポンプの基本モデルから求めた仕様により、各熱交換器の温度、圧力条件等の仕様を決定した。実規模の 1/30 程度である熱交換量 10kW の 3 種類の熱媒体油加熱用のプレート式熱交換器と、マイクロチャンネル流路を持つ空気加熱用熱交換器を試作した。

R600 等の超臨界状態の冷媒を用いた熱交換器であるガスクーラの伝熱性能測定試験が行える試験装置を製作し、各熱交換器の比較と熱伝達率や圧力損失の相関式の作成を行った。3 種類のガスクーラの試験結果から選定したヘリンボーン形の 1 パスプレート式熱交換器について、より高精度な性能相関式を得るために、同じプレートパターンを持つ小形の熱交換器を用いて、R600 と R245fa を使用した擬臨界点付近の試験を行い、熱伝達率の相関式について検討を行った。その結果、擬臨界点付近の物性値の変化が大きい R600 は、臨界圧力との比  $P/P_c$  が 1.05 と小さい場合には、誤差が大きくなったが、Dittus-Boelter 形式の熱伝達率の相関式によって両冷媒について、±30%以下で整理できる結果が得られた。また、0.25mm□の波形冷媒流路を持つマイクロチャンネル空気加熱用熱交換器について、伝熱性能が高精度で予想できる相関式が得られた。最高加熱温度 200℃ が実現できる 10MPa 対応のオイル加熱用マイクロチャンネル熱交換器の試作を行い、耐圧試験によって目標の強度を有していることを確認した。

・高温断熱技術の開発において、市販の各種断熱材の熱伝導度の測定を行った。材料単体での断熱性能はほぼカタログ値と一致した。従来一般的に使われてきたロックウール等の軟質タイプの断熱材は厚みを変えることで熱伝導度が変化することや、経時劣化の傾向など貴重なデータを取得することができた。本測定結果をもとに、実際の施工性なども考慮して、断熱材を複合化させることで、本ヒートポンプにマッチした独自の断熱材を開発できる見通しを得た。

・安全性（毒性、燃焼性）、環境性（GWP<20）、性能（標準沸点、臨界温度）とも実用的であり、高温下での長期熱安定性に優れた 160℃出力および 200℃出力ヒートポンプ用候補冷媒をそれぞれ絞り込んだ。また 160℃出力用冷媒候補の熱および輸送性質（PVT 性質、熱伝導率、粘度）に関する物性情報を取得した。

・候補冷媒を用いてヒートポンプサイクルの検討を行い、70→160℃加熱で COP4.1 を達成可能な 160℃出力用ヒートポンプの仕様を決定した。ヒートポンプ圧縮機の単体検証試験を行い、目標効率が得られていることを確認した。

・水冷式の低温駆動サイクルについて、試作機により温水 60℃、冷却水 30.1℃の条件において冷房に利用可能な 7℃の冷水が得られることを実証した。

・空冷式の低温駆動サイクルについて、試作機により温水 70℃、外気 26.5℃の条件において冷房に利用可能な 7℃の冷水が得られることを実証した。

・新冷媒について、八戸工大にて低温発生を可能とする氷点降下特性を明らかにした。測定の結果、冷媒系の水モル分率 0.6～0.9 において目標温度の -10℃よりも低い結果が得られた。

・この新冷媒に対応した腐食抑制剤を開発し、実用上十分な防食性能を持つこと、上記の氷点降下特性への影響に関しても特に問題がないことを確認した。

・八戸工大では、この新冷媒を用いた冷熱発生実験により -5℃の冷熱が安定的に発生することを確認した。

・新冷媒を用いて氷点下温度を発生させるため、低温駆動サイクルに多段吸収(2段)を組合せた冷凍サイクルを採用し、平成 29 年度に実験を行う実証機の基本設計を完了した。

・新吸収剤では、空冷要素熱交換器を用いた実験により空冷式に適用した場合の吸収伝熱性能を明らかにした。

・また、水冷要素実験により得られた伝熱特性を定式化し、これを用いてサイクル計算ツールを構築した。

・このサイクル計算ツールを用いて、平成 29 年度に行う原理確認用の実験サイクルを計画した。

・水冷式の低温駆動サイクルについては実用化を推進し、従来型サイクルと組み合わせて熱回収温度幅を従来の約 2 倍とした新型機を開発し、平成 29 年 4 月に販売を開始した。

・新型機の普及を推進するため、様々な仕様条件に対応するためのシミュレータを開発し、試作機の運転データにより十分な精度を持つことを確認した。

#### 研究開発項目⑦：熱マネジメントの研究開発

・ループ式ヒートパイプの蒸発器部改良（ブロック型蒸発器の設計。液供給改善のための補償器改良）により熱輸送距離 2m にて熱輸送量 2600W を実証した。また、シミュレーション(計算)にて同蒸発器を用いて中間目標(5m・1500W)を満足する事を確認した。



- ・微粒子分散流体(ナノ流体)による熱伝導率向上を検討。銅ナノワイヤ合成条件の最適化により、高アスペクト比(縦横比 1000)と安定分散のための表面修飾剤の銅表面への導入が可能となった。その結果、フッ素化炭化水素系流体で熱伝導率 1.62 倍向上を確認した。
- ・沸騰評価装置を作製し、沸騰現象の可視化と熱輸送量定量評価を実現。沸騰表面へ  $\mu\text{m}$  オーダーの円筒形人工キャビティを高密度で形成することにより、熱流束 (≒熱伝達率) の向上 (最大 4.1 倍) を確認した。
- ・モータコイルエンド用吸熱モジュールの「新材料と組み込み構造」を具体化した。
- ・インバータ用吸熱効果を向上する吸熱モジュール構造付パワーデバイスの「技術コンセプト」を構築し、具体化した。
- ・吸着材開発では、新規開発材でベース吸着材に対し最大 2.8 倍の吸着性能を確認した。
- ・吸着冷凍システム開発は、吸着ユニット数の最適化及び各コンポーネント配置の最適化・小型化高性能を行い、従来システムに対し約 65%の小型化を達成した。
- ・車両搭載用システムにて、制御ロジックを確立し連続的に約 1kW の冷凍性能を確認した。

#### 研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発

- ・9 業種の工場等における未利用熱の温度や排出量、購入エネルギー量と排ガス熱量との関係などを明らかにした。
- ・新型冷媒候補の実用化に必要な燃焼性や地球温暖化係数 (GWP) データの普及に貢献した。
- ・蓄熱材料データの収集とデータベースへの収録、糖アルコールを対象とした蓄熱量・転移温度のシミュレーションを実施した。
- ・民間建物 (住宅・非住宅) での熱環境シミュレーションの基盤プログラムを構築し、遮熱制御等による暖冷房負荷への影響を明らかにした。
- ・種々の熱電計測装置を開発し、計測効率を上げることに成功した。
- ・新型冷媒候補等 8 種の環境影響評価、11 種の燃焼性評価を行い、新型冷媒候補 5 種について GWP 値、ASHRAE 等級を決定することにより、EPA 及び ISO へ申請可能な状態にした。
- ・オレフィン系冷媒を各種構造に分類化し、安全性、環境影響の観点から好ましい構造に関する情報を得た。
- ・200°C対応高温ヒートポンプ用冷媒として 3 種の新型冷媒候補を提案した。
- ・データベースシステムの整備において、蓄熱材料、熱電材料は化学量論的組成比 (=材料を構成する元素の比率が整数であること) でないものが大半であるため、それらに対応するために元素の比率を実数比で表示してデータベースに収録し、実数組成比の範囲から材料を検索する機能を開発した。また、密度、比熱容量、熱伝導率、熱拡散率、融点、融解熱、生成エンタルピー、電気伝導率、ゼーベック係数、無次元性能指数などの物性値を収録し、物性値の範囲から検索する機能を有するリレーショナルデータベースを開発した。
- ・データ収録技術の整備において、論文に掲載された表情報をデジタル化してデータベースに高効率で収録する技術を開発した。また、論文に掲載された図に温度などの関数としてプロットされた物性値を自動的にデジタル化してデータベースに高効率で収録する技術

を開発した。さらに、論文に掲載された図に温度などの関数として曲線で表示された物性値を自動的にデジタル化してデータベースに高効率で収録する技術を開発した。

- データの集積において、主要な無機物（12000 物質以上）の生成エンタルピー、ギブスの自由エネルギーなどの熱力学量をデジタル化しデータベースに収録した。また、主要な有機物（2400 物質以上）の融点と融解熱をデジタル化しデータベースに収録した。さらに、蓄熱材料・熱電材料に関する主要論文に掲載された図に、温度などの関数としてプロットされた 4500 点以上の物性値をデータベースに収録した。

- データ処理・表示機能において、データセットにおける物性値相互および分子量、温度の積・比を演算する機能、組成比や複数の物性値のうち 3 軸を選択し 3 次元表示する機能などを開発し、収録した上記のデータを多角的に表示し、未利用熱エネルギーの活用に資する機能を有する材料開発の方向性の解明に向けて取り組んでいる。

### 3.3 成果の中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	中間目標 (平成 29 年度末)	達成 見通し
①「蓄熱技術の研究開発」	蓄熱密度 0.5MJ/kg に要する修飾密度 7.6mol/kg を定量化し、合成試料にて 7.4mol/kg を検証	120°C以下で、蓄熱密度 0.5MJ/kg を有する酸・塩基反応を利用した化学蓄熱材料に要する修飾密度を定量化し、実現可能な合成プロセスを立案する	○
	蓄熱モジュール評価により、-20°C 環境下における 12h の過冷却安定性の保持確率 92%以上を検証	-20~25°C環境下で、12h 以上の過冷却保持期間を実現する蓄熱材料組成の確立に向けて、モジュール評価により過冷却安定性を検証する	○
②「遮熱技術の研究開発」	積層フィルムの高精度化と高精度コート技術の開発を行い、中間目標の可視光線透過率 70%、日射熱取得率 43%を達成	可視光線透過率 70%以上、日射熱取得率 43%以下（可視光線反射率 12%以下、カット波長 850~1400nm）の遮熱フィルムの開発	○
③「断熱技術の研究開発」	1450°C耐熱性、熱伝導率 0.25W/mK 圧縮強度 10MPa 以上の並形（230mm × 114mm × 65mm）形状断熱材試作完了	1500°C以上で使用可能なファイバーレス断熱材で圧縮強度 10MPa 以上、かつ熱伝導率 0.25W/m・K 以下を有する断熱材料の開発	○
④「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mo 酸化物ドーブによりゼーベック係数増加を確認、CNT と導電性高分子のハイブリッドで 295 <math>\mu</math>W/mK<sup>2</sup> を達成</li> <li>PEDOT:PSS を用いた有機熱電モジュールで 50 度の温度差で有機系としては世界最高の 24 <math>\mu</math>W/cm<sup>2</sup> を達成。</li> <li>CNT 系材料としては印刷材料として世界最高レベルのパワーファクタ（749 <math>\mu</math>W/m・K<sup>2</sup>）実現</li> <li>フレキシブル熱電モジュールの試作プロセスを確立し、出力密度：7 <math>\mu</math>W/cm<sup>2</sup> を実現</li> <li>ZT=1.2 を有する無機材料を開発、準量産化技術確立</li> <li>発電効率 9%確認。耐久性では 500~600°Cの各温度にて 1000 時間連続試験で変化率 5%以内を確認。600°Cの温度において 1500 時間で変化率 5%以内を確認、継続試験中。</li> <li>5kW コージェネシステムにおいて 65°Cの排温水発電試験からシステム電力効率を 1%向上できる熱電変換ユニット仕様を明確化</li> <li>MnSi1.7/Si-Ge-Ag 系材料において ZT=2 水準となる世界最小の熱伝導率（1.1W/Km）を実現。新規 Ca<sub>3</sub>Si<sub>4</sub> 合成プロセスの構築。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>性能指数 ZT=1 を有する有機材料の開発</li> <li>パワーファクタ PF=700 <math>\mu</math>W/m・K<sup>2</sup> を有する有機材料の開発</li> <li>10 <math>\mu</math>W/cm<sup>2</sup> を有する有機熱電モジュールの開発</li> <li>性能指数 ZT=2 を有する無機材料の開発</li> <li>発電効率 10%、600°Cにおける耐久性 2 年（3000h）以上のデバイス技術開発</li> <li>中、大容量コージェネシステムへの展開を含めたエネルギー利用効率 1%以上を満たす熱電変換モジュール仕様の明確化</li> <li>MnSi1.7 系及び Ca<sub>3</sub>Si<sub>4</sub> 系を対象とした ZT=1.5~2 の材料提案</li> <li>φ 100mm 焼結体製造技術を軸とした発電素子量産ラインの設計完了</li> <li>1.0W/cm<sup>2</sup>（発電出力密度）及び 2000 時間の耐久性を有する熱電発電モジュールの開発</li> <li>将来的に量産プロセスへの取り込みが可能、かつ、ZT 値 1.4 の達成が見込めるシリサイド系熱電変換材料（Mg<sub>2</sub>Si/Mg-Si-Sn 等）の絞り込み完了。</li> </ul>	○

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゼーベック係数の絶対値を 200 <math>\mu</math> V/K 以上にするための組成を見出した。</li> <li>・p型特性発現では、熱電特性を向上させる組成を見出した。</li> <li>・クラスレート焼結体 U 字素子 8 対 ハーフスケルトンモジュール試作し、特性と課題を明確化した。</li> <li>・<math>\phi</math>100mm 焼結体製造技術を確立</li> <li>・小型モジュール(2 素子)で 1.2W/cm<sup>2</sup>、大型モジュール(30 素子)で 0.8W/cm<sup>2</sup> を達成</li> <li>・2000 時間後の熱サイクル評価で初期性能に対し 25%の劣化を確認</li> <li>・Mg<sub>2</sub>Si+(Sb, Zn) が従来の Mg<sub>2</sub>Si+Sb に対して 30%程度の性能向上に寄与することを確認</li> <li>・Mg<sub>2</sub>(Si, Sn)で ZT 値 1.20@504°C を達成</li> </ul>		
⑤「排熱発電技術の研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1kW クラスの発電実験システム(中低温熱源 200°C以下)を構築し発電効率 12%実証し、発電端効率 14%を達成する技術手段を明確化</li> <li>・10kW クラスの超音速小型膨張タービン動静翼の試作を完了し、気体軸受の仕様を確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・200°C以下の中低温排熱に対応した、発電効率 14%(従来比 2 倍)を有する出力 1kW クラス小型排熱発電装置の開発</li> </ul>	◎
⑥「ヒートポンプ技術の研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・統合解析シミュレーションにより、フタを用いた 80 °C→ 160°C 加熱で COP4.10 確認</li> <li>・原理試作機により温水 60°C、冷却水 30°C条件で 7°Cの冷水が得られることを実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・200°Cまでの供給温度範囲に対応し、80→160°C加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発</li> <li>・75°C以下の熱源で、供給温度-10°Cを実現するヒートポンプシステムの開発</li> </ul>	○
⑦「熱マネージメントの研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・過渡解析モデルを作成し、モデルの妥当性を小型ループ式ヒートパイプで確認</li> <li>・吸熱モジュールで 5W/cm<sup>2</sup> を達成見込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高効率ヒートパイプの開発(0~50°C熱輸送距離 5m、熱輸送量 1500W、抗重力性、動力源レス)</li> <li>・吸熱量 5W/cm<sup>2</sup> を有する吸熱デバイスの開発</li> </ul>	△~○
⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・9業種の未利用熱の排出・活用状況を定量評価可能な形にまとめた。</li> <li>・民生分野の排熱実態において実情を反映し、一般に受け入れられる調査解析</li> <li>・有効な新建築部材の提案および最良の適用条件の提示</li> <li>・新型冷媒候補等 8 種の環境影響評価、11 種の燃焼性評価を行い、5 種について EPA 及び ISO へ申請可能な状態にした。</li> <li>・オレフィン系冷媒を各種構造に分類化し、好ましい構造に関する情報を得た。また、3 種の新型冷媒候補を提案した。</li> <li>・高密度潜熱蓄熱が期待される糖アルコール化合物に対して、既存物質の物性解析と、新規化合物の物性予測が完了した。</li> <li>・高精度熱伝導度予測プログラムの開発に成功して、複数の熱電材料物質へのシミュレーション解析が完了した。</li> <li>・熱関連材料データの現状とニーズを調査して整備すべきデータベースを明確化した。その知見に基づき科学技術論文データの超高速収録技術ならびに学術データ・公共データとの連携技術を開発し、熱関連材料の物性データを収録、体系化し、高度な検索、解析、表示機能を有するデータベースを整備して運用している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・15 業種の未利用熱の排出・活用状況を定量評価可能な形にまとめ、研究開発シナリオ検討完了</li> <li>・遮熱フィルムの熱的負荷の評価分析及効果向上の探索</li> <li>・調光窓材の目標性能の指針獲得</li> <li>・参画機関が開発した新型冷媒候補 3 種類以上について、環境影響評価、燃焼性評価を行い、EPA 及び ISO へ申請可能な状態にする。</li> <li>・これまでに得られた知見を基に、環境影響及び燃焼性の見地から好ましい(目標値: GWP&lt;150、燃焼速度&lt;10cm/s)冷媒構造を提示する。</li> <li>・計算シミュレーションに基づく結果の解析と物性改善のための検討を進め、熱関連材料の特性・性能評価技術の整備・体系化を行う。</li> <li>・各種部材の計測・評価結果の分析を進め、整備すべきデータベースを明確化</li> </ul>	○~◎

◎ 予定を大きく上回る(早期)達成見通し、○ 予定通りどおりの達成見通し、  
△ ほぼ予定どおり(若干の遅れ)の達成見通し、× 達成困難の見通し

【特許】

出願済特許等リスト

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2017年3月6日	P2017-041785	蓄熱装置	パナソニック (株)
2017年3月1日	P2017-038314	蓄熱装置	パナソニック (株)
2017年3月1日	P2017-038315	蓄熱材組成物	パナソニック (株)
2016年10月20日	P2016-205836	蓄熱材の過冷却解除兼結晶化完了装置	パナソニック (株)
2017年2月7日	201710067689.3 (中国)	蓄熱装置及び蓄熱材の結晶化を完了させる方法	パナソニック (株)
2017年3月3日	15/448678 (US)	蓄熱装置及び蓄熱材の結晶化を完了させる方法	パナソニック (株)
2017年3月3日	17159028.4 (EPC)	蓄熱装置及び蓄熱材の結晶化を完了させる方法	パナソニック (株)
出願準備中		蓄熱装置	パナソニック (株)
2016年12月22日	P2016-248792	蓄熱装置	パナソニック (株)
出願準備中		蓄熱方法	パナソニック (株)
出願準備中		蓄熱装置	パナソニック (株)
出願準備中		蓄熱装置	パナソニック (株)
出願準備中		蓄熱装置	パナソニック (株)
2016年10月7日	特願 2016-199027	温度応答性吸湿材料	トヨタ自動車(株)
2017年1月13日	特願 2017-004448	温度応答性吸湿材量	トヨタ自動車(株)
2017年2月28日	51700444397	セラミックス多孔質体の製造方法及びセラミックス多孔体	美濃窯業 (株) 国立研究開発法人産業技術総合研究所
2016/12/22	特願 2016-248874	熱電変換材料	李 哲虎、木方邦宏、山本淳
2016/07/14	特願2016-139328	熱電変換モジュールとその製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所
2016/12/16	特願2016-244104	熱電変換材料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所
2016年7月12日	特願 2016-137269	熱電変換装置および熱電変換方法	古河機械金属(株)
2016年7月12日	特願 2016-137270	熱電変換装置、熱電変換モジュール、および熱電変換方法	古河機械金属(株)
2017年3月16日	特願 2017-050815	熱電変換材料	古河機械金属(株)

2016年4月19日	PCT/JP2016/062343	熱電変換モジュールおよび 車両用排気管	富士フィルム（株）
2016年5月31日	特願 2016-108119	熱電変換デバイス	富士フィルム（株）
2016年5月31日	特願 2016-108428	熱電変換モジュールおよび 熱伝導性積層体、ならびに 、熱電変換モジュールの製 造方法および熱伝導性積層 体の製造方法	富士フィルム（株）
2016年5月31日	特願 2016-108549	熱電変換モジュール	富士フィルム（株）
2016年5月31日	特願 2016-108564	熱電変換モジュール	富士フィルム（株）
2016年5月31日	特願 2016-108743	熱電変換モジュール	富士フィルム（株）
2016年5月31日	PCT JP2016/065989	熱電変換素子および熱電変 換モジュール	富士フィルム（株）
2016年6月3日	PCT/JP2016/066650	熱電変換素子	富士フィルム（株）
2016年7月4日	特願 2016-132758	熱電材料、その製造方法お よび発電装置	国立研究開発法人物質・材 料研究機構、富士フィルム 富士フィルム（株）
2016年7月11日	特願 2016-136826	熱電変換素子	富士フィルム（株）
2016年7月11日	特願 2016-136910	n型半導体層、熱電変換層 、熱電変換素子、熱電変換 モジュール、及びn型半導 体層形成用組成物	富士フィルム（株）
2016年7月11日	特願 2016-136929	p型半導体層、熱電変換層 、熱電変換素子、熱電変換 モジュール、及びp型半導 体層形成用組成物	富士フィルム（株）
2016年7月27日	PCT/JP2016/072078	熱電変換モジュール	富士フィルム（株）
2016年8月22日	PCT/JP2016/074362	熱電変換デバイス	富士フィルム（株）
2016年8月23日	PCT/JP2016/074478	熱電変換モジュール	富士フィルム（株）
2016年8月26日	PCT/JP2016/075077	熱電変換モジュール	富士フィルム（株）
2016年8月29日	PCT/JP2016/075217	熱電変換モジュール、熱電 変換モジュールの製造方法 および熱伝導性基板	富士フィルム（株）
2016年9月6日	PCT/JP2016/076078	熱電変換素子	富士フィルム（株）
2016年11月14日	PCT/JP2016/083699	熱電変換素子および熱電変 換モジュール	富士フィルム（株）
2016年12月1日	PCT/JP2016/085766	熱電変換モジュール	富士フィルム（株）
2016年12月12日	PCT/JP2016/086840	n型熱電変換層、熱電変換 素子およびn型熱電変換層 形成用組成物	富士フィルム（株）
2016年12月13日	PCT/JP2016/087095	熱電変換デバイス	富士フィルム（株）

2016年12月15日	PCT/JP2016/087418	熱電変換層、熱電変換素子 および熱電変換層形成用組成物	富士フイルム（株）
2016年12月21日	PCT/JP2016/088117	熱電変換モジュールおよび 熱伝導性積層体、ならびに 、熱電変換モジュールの製造 方法および熱伝導性積層 体の製造方法	富士フイルム（株）
2017年2月28日	特願 2017-036457	熱電変換層、熱電変換素子 、熱電変換モジュール	富士フイルム（株）
2017年2月28日	特願 2017-037253	熱電変換層、熱電変換素子 、熱電変換モジュール	富士フイルム（株）
2017年3月6日	PCT/JP2017/008731	熱電変換素子、熱電変換素 子の製造方法、熱電変換モ ジュール、および、熱電変 換モジュールの製造方法	富士フイルム（株）
2016年9月14日	201610824807.6（中国）	ランキンサイクル発電装置	パナソニック（株）
2016年9月29日	15/280808（US）	ランキンサイクル発電装置	パナソニック（株）
2016年10月17日	16194093.7（EPC）	ランキンサイクル発電装置	パナソニック（株）
2017年2月7日	P2017-020592	流体用ポンプ及びランキン サイクル装置	パナソニック（株）
2017年2月7日	P2017-020596	流体用ポンプ及びその運転 方法	パナソニック（株）
2017年2月7日	P2017-020597	液体用ポンプ	パナソニック（株）
2017年1月13日	P2017-004014	マイクロガスタービンシス テム	パナソニック（株）
2017年1月13日	15/405382（US）	マイクロガスタービンシス テム	パナソニック（株）
2017年1月18日	17151925.9（EPC）	マイクロガスタービンシス テム	パナソニック（株）
2016年12月28日	201611236710.X（中国）	マイクロガスタービンシス テム	パナソニック（株）
出願準備中		膨張タービン	パナソニック（株）
出願準備中		ランキンサイクル装置の制 御方法	パナソニック（株）
2017年2月7日	P017-020598	流体用ポンプ及びランキン サイクル装置	パナソニック（株）
出願準備中		電気機器	パナソニック（株）
出願準備中		冷媒ポンプ用モータ	パナソニック（株）
出願準備中		ランキンサイクル装置	パナソニック（株）
出願準備中		ランキンサイクル装置	パナソニック（株）

出願準備中		ランキンサイクル装置	パナソニック (株)
2016年2月8日	特願 2016-021708	熱交換器およびヒートポンプシステム	(株) 前川製作所
2016年9月23日	特願2016-185021	吸収式冷凍機	(株) 日立製作所、日立ジョンソンコントロールズ空調 (株)
2017年2月16日	PCT/JP2017/005716	吸収式冷凍機	日立ジョンソンコントロールズ空調 (株)
2017年2月24日	特願2017-231094	熱交換器	トヨタ自動車(株)
2016年7月20日	特願 2016-142236	吸収式ヒートポンプ装置	アイシン精機 (株)
2016年8月4日	特願 2016-153631	吸収式ヒートポンプ装置	アイシン精機 (株)
2016年8月8日	特願 2016-155320	吸収式ヒートポンプ装置	アイシン精機 (株)
2016年9月3日	201703140031	吸着式冷凍サイクル用の蒸発器	カルソニックカンセイ (株)
2016年8月12日	201703140028	切替バルブ	カルソニックカンセイ (株)
2016年9月22日	201703130029	車両用の空調装置	カルソニックカンセイ (株)
2017年3月16日	20170317-0035	車両用の空調装置	カルソニックカンセイ (株)
2017年3月16日	20170317-0037	車両用の空調装置	カルソニックカンセイ (株)
2016年12月1日	特願2016-244104	熱電変換材料の製造方法	国立研究開発法人産業技術総合研究所

その他 14件

【論文】 (投稿中も含む)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2016年12月27日 (投稿日) )*採択済	Journal of materials research	Microstructural control and mechanical characterization of cellular ceramics with ceramic bridge, honeycomb and bamboo-like closed cells created by gelation freezing route	福島学、大司達樹、日向秀樹、松永知佳、吉澤友一
2016/5/25	Materials and Design	Rapid synthesis of thermoelectric compounds by means of laser melting	Y. Kinemuchi, M. Mikami, I. Terasaki and W. Shin

2016年	J. Alloys Compd., <b>666</b> , 346–351 (2016).	Enhanced thermoelectric performance of xMoS <sub>2</sub> -TiS <sub>2</sub> nanocomposites	Y. Ye, Y. Wang, Y.W. Shen, Y. F. Wang, L. Pan, R. Tu, C. Lu, R. Huang, K. Koumoto
2016年	Sci. Rep., <b>6</b> , 32501 (2016)	Eco-friendly p-type Cu <sub>2</sub> SnS <sub>3</sub> thermoelectric material: crystal structure and transport properties	Y. Shen, C. Li, R. Huang, R. Tian, Y. Ye, L. Pan, K. Koumoto, R. Z. Zhang, C. L. Wan, Y. F. Wang
2016年	Nano Energy, <b>30</b> , 840–845 (2016).	Flexible thermoelectric foil for wearable energy harvesting	C. L. Wan, R. Tian, A. B. Azizi, Y. Huang, Q. Wei, R. Sasai, S. Wasusate, T. Ishida, K. Koumoto
2017年	J. Mater. Chem. A, <b>5</b> , 564–570 (2017).	A solution-processed TiS <sub>2</sub> /organics hybrid superlattice film towards flexible thermoelectric devices	R. Tian, C. L. Wan, Y. F. Wang, Q. Wei, T. Ishida, A. Yamamoto, A. Tsuruta, W. S. Shin, S. Li, K. Koumoto
2016年	Materials Aspect of Thermoelectricity, C. Uher Ed., CRC Press (2016) pp. 501–518.	Chapter 18 Inorganic/Organic Hybrid Superlattice Materials	K. Koumoto, R. Tian, R. G. Yang, C. L. Wan
2016年4月15日	AIP Advances <b>6</b> (4), 045315	Measurement of In-Plane Thermal Conductivity in Polymer Films	Q. Wei, C. Uehara, M. Mukaida, K. Kirihara, T. Ishida
2016年7月15日	表面技術	エネルギーハーベスティングを目指した有機系熱電材料	石田敬雄
2016年11月15日	Organic Electronics <b>38</b> , 264–270	An Accurate Method to Determine the Through-plane Electrical Conductivity and to Study Transport Properties in Film Samples	Q Wei, H Suga, I Ikeda, M Mukaida, K Kirihara, Y Naitoh, T Ishida
2017年3月1日	Synthetic Metals <b>225</b> , 41–48	Thermoelectric power generation using nonwoven fabric module impregnated with conducting polymer PEDOT: PSS	K Kirihara, Q Wei, M Mukaida, T Ishida
2017年3月1日	Synthetic Metals <b>225</b> , 64–69.	Polymer thermoelectric devices prepared by thermal lamination	M Mukaida, Q. Wei, T Ishida



2017年3月1日	化学経済3月号	有機系熱電材料の現状と今後の展開	石田敬雄
投稿中(掲載確定)	Synthetic Metals	Thermoelectric characteristics in out-of plane direction of thick CNT-polystyrene composites fabricated by solution process	Kouji Suemori, Toshihide Kamata
2016年8月17日 DOI: 10.1007/s11664-016-4849-y	Journal of Electric materials	Performance of Skutterudite-Based Modules	轟革、鈴木尚吾、富田健稔、住吉篤郎、越智孝洋、向山健司、郭俊清、山本淳、小原春彦
2016年11月3日 DOI: 10.1007/s11664-016-5073-5	Journal of Electric materials	Fabrication of 200 mm Diameter Sintering Body of Skutterudite Thermoelectric Material by Spark Plasma Sintering	富田健稔、住吉篤郎、轟革、越智孝洋、鈴木尚吾、菊地昌晃、向山健司、郭俊清
2016年8月8日	Applied Physics Letters	Reduction of thermal conductivity in MnSi <sub>1.7</sub> multi-layered thin films with artificially inserted Si interfaces	Y. Kurosaki, S. Yabuuchi, A. Nishide, N. Fukatani, J. Hayakawa
2017年1月17日	International Journal of Metallurgical & Materials Engineering	Thermoelectric Properties of Texture-Controlled MnSi <sub>1.7</sub> Thin Films	Y. Kurosaki, S. Yabuuchi, A. Nishide, N. Fukatani, J. Hayakawa
投稿中	Physical Review B	First-principles study of thermoelectric transport properties of Ca <sub>3</sub> Si <sub>4</sub>	S. Yabuuchi, Y. Kurosaki, A. Nishide, N. Fukatani, J. Hayakawa
投稿中	Chem. Lett.	Improved Thermoelectric Behavior of PEDOT:PSS using PVP-coated GeO <sub>2</sub> Nanoparticles	Y. Shiraishi, S. Hata, Y. Okawauchi, K. Oshima, H. Anno, and N. Toshima
2016年8月	日本熱電学会誌 Vol. 13, No. 1 特集「シリサイド系熱電変換材料による車載用発電モジュールの実用化研究開発」	シリサイド系熱電変換材料による車載用発電モジュールの実用化研究開発	田口豊、根本崇
2017年1月16日	日本機械学会論文集 No. 16-00390	排熱発電技術：高効率小型オーガニックランキンサイクル発電技術の開発	引地巧

2016年9月以降	Fluid phase equilibria	PVT Property Measurements for HFO-1336mzz (E)	木村健、齋藤潔
2016年12月以降	The journal of chemical thermodynamics	Critical parameters for trans-1,1,1,3-tetrafluoro-2-butene [HFO-1354mzy (E)]	木村健、齋藤潔
2016年12月以降	Journal of Chemical & Engineering Data	PVT Property Measurements for trans-1,1,1,3-tetrafluoro-2-butene [HFO-1354mzy (E)]	木村健、齋藤潔
2017年2月以降	International Journal of Thermophysics	Critical parameters for trans-1,1,1,3-tetrafluoro-2-butene [HFO-1354mzy (E)]	木村健、齋藤潔
2016年	Fluid Phase Equilibria, 429, 293 (2016)	Molecular thermal energy transfer in binary mixture of simple liquids	Y Fang, G. Kikugawa, H. Matsubara, T. Bessho, S. Yamashita, and T. Ohara
2017年	Int. J. Heat Mass Transfer, 108 Part A, 749 (2017)	Molecular dynamics study on the role of hydroxyl groups in heat conduction in liquid alcohols	H. Matsubara, G. Kikugawa, T. Bessho, S. Yamashita, and T. Ohara
印刷中	Fluid Phase Equilibria	Understanding the Chain Length Dependence of Thermal Conductivity of Liquid Alcohols at 298 K on the Basis of Molecular-Scale Energy Transfer	H. Matsubara, G. Kikugawa, T. Bessho, S. Yamashita, and T. Ohara
2016年4月12日	International Journal of Refrigeration	Novel absorption refrigeration system with a hollow fiber membrane-based generator	Sung Joo Hong、飛原英治、党超鋈
2016年5月15日	The 8th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning	Performance investigation of a finned tube adsorber employing activated carbon-ethanol pair	ジリビ スカンダ、宮崎隆彦、前多信之介、丸山智弘 他

2016年9月	International Journal of Refrigeration	Corrected Adsorption Rate Model of Activated Carbon-Ethanol Pair by means of CFD simulation	ジリビ スキャンダル、宮崎隆彦、前多信之介、丸山智弘 他
2017年3月	International Journal of Refrigeration	CFD Simulation and Experimental Validation of Ethanol Adsorption on Activated Carbon Packed in a Finned Tube Heat Exchanger for Sorption Cooling Applications	ジリビ スキャンダル、宮崎隆彦、前多信之介、丸山智弘 他
2016年12月16日	J. Fluorine Chem.	Computational investigation of $\pi$ -bond strengths in fluorinated ethylenes	内丸忠文、陳亮、水門潤治他
2016年4月21日	The Journal of Physical Chemistry C (アメリカ化学会)	Computational Analysis of Sugar Alcohols as Phase-Change Material: Insight into Molecular Mechanism of Thermal Energy Storage (表紙掲載論文)	稲垣泰一、石田豊和
2016年9月14日	Journal of the American Chemical Society (アメリカ化学会)	Computational Design of Non-natural Sugar Alcohols to Increase Thermal Storage Density: Beyond Existing Organic Phase Change Materials	稲垣泰一、石田豊和
2016年10月1日	Chemical Physics Letters (Elsevier)	Free energy based melting point prediction by NVT simulation with solid-liquid two-phase configuration	稲垣泰一、石田豊和

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

学会発表および展示

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2016年6月1日～6月2日	第7回クリーンエネルギー大臣会合 (CEM7) のサテライトイベント	蓄熱技術の研究開発(高密度/長期蓄熱材料の研究開発) NINJA LIQUID -Heat is suddenly appeared-	町田博宣、椎健太郎

2016年6月23日	CDTI (スペイン政府産業技術開発C)-NEDO Joint Workshop	蓄熱技術の研究開発(高密度/長期蓄熱材料の研究開発) THE EFFECTIVE USE OF THERMAL ENERGY IN INDUSTRY	鈴木基啓
2016年10月26日~10月28日	NEDO省エネルギー技術フォーラム 2016	蓄熱技術の研究開発	鈴木基啓、町田博宣、竹口伸介、久保敬
2017年2月27日	TIAかけはし 第3回研究会	NEDOプロジェクト「未利用熱 エネルギーの革新的活用技術研究開発」 パナソニックの取り組み	町田博宣
2017年3月6日~8日	化学工学会 第82年会	糖アルコールの過冷却安定化に関する研究	鈴木基啓
2016年5月25日	口頭発表	化学蓄熱材(アルカリ土類水酸化物、炭酸塩)の理論研究	塚本晋也、大橋良央、石切山守、石田豊和
2016年9月13日	ポスター発表	第一原理計算による化学蓄熱材( $X(OH)_2$ , $XCO_3$ ( $X=Mg, Ca, Sr, Ba$ ))の蓄熱量、蓄熱密度、蓄熱温度の評価	塚本晋也、大橋良央、石切山守、石田豊和
2016年11月6日	第131回 軽金属学会秋季大会	スプレー法を利用したポラスAlの粉末粒径がスロート形状へ及ぼす影響	金田 陽佑、高田尚記、小橋 眞
2017年3月16日	日本化学会第97春季年会	Kamlet-Taft parameter studies and COSMO-RS simulations for CST behaviors of ionic liquids	Surabhi Gupta、Raman Vedarajan、松見紀佳、渡辺真祈、石切山守
2016年6月17日	第21回動力・エネルギー技術シンポジウム	遮熱技術：革新的次世代遮熱フィルムと省エネルギー評価技術の開発	吉村和記、垣内田洋、坂本純、青山滋、有家 隆文、小島博二
2016年10月26日	NEDO省エネルギー技術フォーラム 2016	革新的次世代遮熱フィルムの研究開発	吉村 和記、垣内田洋、坂本純、青山滋、有家 隆文、小島博二
2016年12月9日	環境ハーモニック建築部材シンポジウム「新材料で構成する快適空間」	遮熱フィルム貼付窓ガラスの省エネルギー効果	吉村和記、垣内田洋、坂本純、青山滋、有家 隆文、小島博二
2016年6月8日	WCAM-2016 (5th Annual World Congress of Advanced Materials-2016)にて口頭発表	Ceramic Components for Thermal Management and the Exergy Analysis	Hideki Kita and Seiji Yamashita

2016年6月17日	第21回 動力・エネルギー技術シンポジウム	断熱技術：工業炉の排熱削減に寄与する高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発	田中洋介、松山暁菜、田口広宣、加藤貴正、尾関文仁
2016年6月23日	2016 CDTI-NEDO WORKSHOPにて口頭発表	VI CDTI-NEDO JOINT WORKSHOP THE EFFECTIVE USE OF THERMAL ENERGY IN INDUSTRY	Hironobu Taguchi
2016年8月24日	6th International Congress on Ceramics (ICCG6)	Thermal conductivity and mechanical properties of porous ceramics via gelation freezing method	福島学、松永知佳、日向秀樹、吉澤友一
2016年9月9日	公益社団法人日本セラミックス協会 第29回秋季シンポジウム	ゲル化凍結法による高気孔率断熱材の組織と特性	福島学、松永知佳、日向秀樹、吉澤友一
2016年10月26日	Materials science and technology 2016	Relationship between properties and morphologies of gelation freeze casted ceramics	福島学、日向秀樹、大司達樹、吉澤友一
2016年10月26日	第31回排熱発電コンソーシアム	断熱技術の研究開発 ～未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発～	尾関文仁
2016年11月13-16日	The 5th Asian Conference on Innovative Energy and Environmental Chemical Engineering (ASCON-IEEChE2016)	Hollow ceramic heat storage ball with gas flow holes for regenerative burner systems	Hideki Kita and Seiji Yamashita
2016年11月13-16日	The 5th Asian Conference on Innovative Energy and Environmental Chemical Engineering (ASCON-IEEChE2016)	Structural design of core-shell ball for high efficiency heat storage in high temperature	Seiji Yamashita, Sakiko Nagaoka and Hideki Kita
2016年11月25日	第55回セラミックス基礎科学討論会の予稿集への掲載	高効率熱交換器の開発	美濃窯業(株) プラント部
2017年1月24日	41st International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites	Effect of morphologies on strength and thermal conductivity in gelation-freezing derived porous ceramics	福島学、日向秀樹、松永知佳、吉澤友一
2017年2月15日	Nanotech 2017	超高気孔率セラミックス断熱材	福島学
2017年2月15日～17日	Nanotech 2017	ファイバーレス断熱材料で産業/工業炉を省エネルギー化	尾関文仁 他

2017年2月16日	ENEX/Smart Energy Japan/ 電力・ガス新ビジネスEXPO	高温用断熱材料の現状と最新の開発	尾関文仁
2017年3月6日	5 <sup>th</sup> Annual International Conference on Chemistry, Chemical Engineering and Chemical Process (CGCEP2017)	Thermal storage property of Metal PCM core / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> shell structure ball for high temperature range	Reiko Chida, Seiji Yamashita and Hideki Kita
2017年3月17日	日本セラミックス協会年会	様々な気孔形態を持つ高気 孔率セラミックス多孔体	福島学、日向秀樹、松永知 佳、吉澤友一
2017年3月17日	日本セラミックス協会年会	ムライト質セラミック多孔 体の断熱特性に及ぼす泡添 加の影響	関根圭人、松山暁菜、平手 千波、尾関文仁、福島学・ 吉澤友一
2016年5月8日	ICGSPS-13 (Nara, Japan) ポスター発表	Flexible Thermoelectric Films by Facile Liquid Exfoliation and Self- assembly Approach	Ruoming Tian
2016年5月	PTES2016 (Xi' an, China) プレナリー講演	TiS <sub>2</sub> Intercalation Complexes for Flexible Thermoelectric Devices	河本邦仁
2016年5月29日	ICT/ACT2016 (Wuhan, China) 招待講演	Exfoliation-Reassembly Process to Fabricate TiS <sub>2</sub> /Organic Hybrid Film with Large Area for Flexible Thermoelectric Module	河本邦仁
2016年5月29日	ICT/ACT2016 (Wuhan, China) 口頭発表	Development of n-type flexible TiS <sub>2</sub> /organics superlattice film by liquid exfoliation and self-assembly approach	Ruoming Tian
2016年7月	EF2016 (UNSW, Australia) プレナリー講演	THERMOELECTRICS — DREAM TECHNOLOGY TO GENERATE ELECTRICITY DIRECTLY FROM HEAT	河本邦仁
2016年8月	ICC6 (Dresden, Germany) 招待講演	Inorganic/Organic Hybrid Superlattices for Next- generation Thermoelectrics	河本邦仁
2016年8月	SWT2016 (MPI Stuttgart, Germany) 招待講演	TiS <sub>2</sub> -Organic Intercalation Complexes for Flexible Thermoelectrics	河本邦仁

2016年9月	5 <sup>th</sup> Int. Seminar on Green Energy Conversion (Koumi Re-Ex Hotel, Nagano, Japan) 招待講演	Thermoelectric Energy Conversion – Technology to Harvest Electricity from Heat	河本邦仁
2016年9月	日本熱電学会第13回学術講演会（東京理科大学葛飾キャンパス、東京）口頭発表	Solution-processed inorganic/organic hybrid film towards flexible thermoelectric modules	Ruoming Tian
2016年9月6日	2016ICFPE (Yamagata Univ., Yamagata, Japan) 招待講演	Scalable Inorganic/Organic Hybrid Film Towards Flexible Thermoelectric Modules	Ruoming Tian
2016年9月	Thermoelectrics riding the waves (Hurtigruten Cruise Ship, Norway) 招待講演	Inorganic/Organic Layered Materials “Intercalation Complexes”	河本邦仁
2016年12月	AMEC-2016 (Taipei, Taiwan) プレナリー講演	Intercalation Complexes for Flexible Thermoelectrics	河本邦仁
2017年1月31日	Wagga 2017 (Wagga Wagga, Australia) 口頭発表	Inorganic-organic hybridization: new strategy for flexible thermoelectric devices	Ruoming Tian
2017年3月	MANA Int. Symp. 2017 (Tsukuba, Japan) 招待講演	TiS <sub>2</sub> /Organic Intercalation Complexes for Wearable Thermoelectrics	河本邦仁
2017年3月	日本セラミックス協会年会（日大、東京）電子材料部会特別講演	無機/有機複合超格子材料のフレキシブル熱電変換デバイスへの応用	河本邦仁
2016年5月27日	ハイエンド有機半導体研究開発・研修センター 第12回研究会	導電性高分子熱電材料の高性能化	石田敬雄
2016年7月6日	第1回 日本画像学会技術研究会『サーマル技術の基礎と未来』～微細な熱源の可能性～(依頼講演)	構造柔軟性を有したサーマルエナジーハーベスター	末森浩司
2016年7月8日	技術情報協会セミナー フレキシブル熱電変換材料の設計とモジュール化技術	導電性高分子の熱電性能向上とモジュール化	石田敬雄

2016年9月8日	Japan Analytical Scientific Instruments Show (JASIS)「IoTのためのセンサ要素技術とネットワーク技術」と「インフラ診断のための検査技術」(依頼講演)	印刷技術で製造可能なフレキシブル熱電変換素子	末森浩司
2016年9月9日	The International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE) 2016	Thermoelectric Power Enhancement, Anisotropic Thermoelectric Property and Understanding Transport Properties of Ordered PEDOT:PSS Films	T Ishida, M Mukaida, K Kiriwara, Q Wei
2016年9月15日	第77回応用物理学会秋季学術講演会	ポリスチレン添加によるカーボンナノチューブ膜の熱起電力の向上	末森浩司、渡邊雄一、星野聰、鎌田俊英
2016年10月21日	ポリマーフロンティア21熱マネージメントに役立つ高分子材料(依頼講演)	高分子、及びその複合材料を用いたフレキシブル熱電変換素子	末森浩司
2016年11月28日	2016 MRS Fall Meeting	Optimization of Thermoelectric Properties of Conducting Polymers for Improvement of Device Performance	Q Wei, M Mukaida, K Kiriwara, T Ishida
2017年2月15日~17日	ナノテク2017産総研ブース出展	身近な熱から発電する導電性高分子材料	石田敬雄、向田雅一、桐原和太、衛慶碩、関和彦、土原健治
2017年3月17日	第64回応用物理学会春季学術講演会	カーボンナノチューブ・ポリスチレン複合材料の熱電特性異方性	末森浩司、鎌田俊英
2017年3月19日	日本物理学会第72回年次大会シンポジウム分子性固体を用いた熱電変換の最前線(依頼講演)	導電性高分子の熱電変換と素子性能	石田敬雄
2016年5月29日~6月2日	International Conference on Thermoelectrics-ICT2016	放電プラズマ焼結法による熱電材料大型焼結体の作製	富田健稔、住吉篤郎、轟革、向山健司、越智孝洋、鈴木尚吾、菊地昌晃、郭俊清
2016年5月29日~6月2日	International Conference on Thermoelectrics-ICT2016	スクッテルダイト系熱電材料・モジュールの開発	郭俊清、轟革、住吉篤郎、富田健稔、向山健司、越智孝洋、鈴木尚吾、菊地昌晃



2016年6月23日	CDTI-NEDO Joint Workshop on "The effect use of Thermal Energy in Industry" (Spain)	Energy harvesting with thermoelectric materials	郭俊清
2016年9月13日～16日	2016年応用物理学会秋季学術講演会	スクッテルライト系熱電材料及びデバイスの開発	郭俊清、轟革、富田健稔、住吉篤郎、向山健司、越智孝洋、鈴木尚吾、菊地昌晃
2017年2月15日～17日	Nanotech2017展示会	熱電ペレット、素子、モジュールの展示	富田健稔、鈴木尚吾、菊地昌晃、郭俊清
2016年5月30日	The 35th International Conference & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT2016)	Interfacial effect on thermal and electronic transport in the nm-scale MnSi <sub>1.7</sub> /Si multilayers	Y. Kurosaki, S. Yabuuchi, A. Nishide, J. Hayakawa
2016年6月16日	日本機械学会 第21回動力・エネルギー技術シンポジウム	熱電変換技術：コージェネ排温水による熱発電技術の開発	田窪千咲紀、飯塚亜紀子、藤居達郎、早川純
2016年6月23日	CDTI-NEDO Joint Workshop on "The Effective Use of Thermal Energy in Industry"	Energy harvesting with thermoelectric materials	J. Hayakawa
2016年7月16日	APAC-silicide2016 (Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials Science)	The enhancement of power factor of MnSi <sub>γ</sub> /AlMnSi multilayer	A. Nishide, Y. Kurosaki, S. Yabuuchi, J. Hayakawa
2016年9月5日	第13回日本熱電学会学術講演会	MnSi <sub>γ</sub> /AlMnSi多層膜における出力因子のAlMnSi膜厚依存性	西出聡悟、黒崎洋輔、籾内真、早川純
2016年9月5日	第13回日本熱電学会学術講演会	MnSi <sub>1.7</sub> /Si多積層膜における界面散乱および元素置換による熱伝導率低減	黒崎洋輔、籾内真、西出聡悟、早川純
2016年9月13日	2016年第77回応用物理学会秋季学術講演会	第一原理計算によるCa <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> の熱電変換性能指数評価	籾内真、黒崎洋輔、西出聡悟、早川純
2016年9月20日	European Conference on Thermoelectrics (ECT2016)	First-principles study on thermal conductivity, Seebeck coefficient and electrical conductivity of Ca <sub>3</sub> Si <sub>4</sub>	S. Yabuuchi, Y. Kurosaki, A. Nishide, J. Hayakawa
2016年10月21日	The Third Project Report Meeting of the HPCI System including K computer	ケイ素系エネルギー材料における界面の大規模第一原理計算	籾内真、諏訪雄二、浅利裕介

2016年10月26日～10月28日	NEDO省エネルギー技術フォーラム2016	熱電変換モジュールを用いてガスコージェネレーション装置の排温水発電を実現	田窪千咲紀、飯塚亜紀子、藪内真、黒崎洋輔、早川純
2016年12月7日	2016日立テクノロジーコミュニティ	未利用熱活用熱電変換モジュール	早川純
2017年3月15日	第64回応用物理学会春季学術講演会	MnSi <sub>1.7</sub> とSiGeの複合構造薄膜における熱伝導率のGe量依存性	黒崎洋輔、藪内真、西出聡悟、早川純
2017年3月15日	第64回応用物理学会春季学術講演会	第一原理計算によるCa <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> の熱電変換特性への粒界効果の評価	藪内真、黒崎洋輔、西出聡悟、早川純
2016年5月12日	第29回排熱発電コンソーシアム	有機およびハイブリッド熱電変換材料	戸嶋直樹
2016年9月7日	第13回日本熱電学会学術講演会	有機およびハイブリッド熱電材料の最近の進歩	戸嶋直樹
2016年9月15日	第77回 応用物理学会秋季学術講演会	PEDOT-PSSを用いた面直有機熱電発電モジュールの内部抵抗低減による高出力化	岡本和也、森田晃規、阿武宏明、戸嶋直樹
2016年12月19日	第26回日本MRS年次大会	ボイラーの排熱温度での鉄ケイ化物熱電材料による発電	渋谷直哉
2017年3月9日	日本機械学会 北陸信越支部第54期総会・講演会	フレキシブル熱電変換素子の発電性能に及ぼす界面熱抵抗の影響	歌川駿、武田雅敏
2017年3月14日	第64回応用物理学会春季学術講演会	3 $\omega$ 法を用いたカーボンナノチューブ紡績糸の熱伝導率測定	関本祐紀、伊藤光洋、小泉拓也、岡本尚文、鄭敏喆、小島広孝、辨天宏明、中村雅一
2017年3月16日	第64回応用物理学会春季学術講演会	CNT系熱電変換材料の開発：オニウム塩によるフェルミ準位の精密制御	杉浦寛記、金澤吉憲、林直之、野村公篤
2017年3月16日	第64回応用物理学会春季学術講演会	CNT系熱電変換材料の開発：ノニオン系界面活性剤による大気下安定なCNTのnドーピング	杉浦寛記、永田裕三、金澤吉憲、林直之、野村公篤
2016年5月24日	日本伝熱学会 第53回 日本伝熱シンポジウム	排熱発電技術の研究開発	木戸長生
2016年6月17日	日本機械学会 第21回 動力・エネルギー技術シンポジウム OS10:未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発	排熱発電技術：高効率小型オーガニックランキンサイクル発電技術の開発	引地巧
2016年10月26日～10月28日	NEDO省エネルギー技術フォーラム2016	排熱発電技術の研究開発	引地巧ほか

2016年6月17日	第21回動力・エネルギー技術シンポジウム	ヒートポンプ技術：産業用高効率高温ヒートポンプの開発	西田耕作
2016年7月1日	再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム	低GWP冷媒（自然冷媒、HFO冷媒）を使用したヒートポンプの紹介	淵上英紀
2016年9月9日	2016年度日本冷凍空調学会年次大会	産業用高効率高温ヒートポンプの開発、超臨界R600のプレート式熱交換器の伝熱特性	西田耕作
2016年10月26-28日	NEDO省エネルギーフォーラム2016	産業用高効率高温ヒートポンプの研究開発	工藤瑞生
2016年11月21日	The 4th International Symposium on Refrigeration Technology, Zhuhai, China	Next generation heat pump technologies in Japan	齋藤潔
2016年5月17日	Proceedings of The 8th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning (ACRA2016)	Development of A Burnett PVT Apparatus for Low-GWP Refrigerants at High Temperatures up to 473 K	迫田直也
2016年8月3日	International conference on Engineering, Science and Nanotechnology 2016 (icesnano2016)	Transport properties measurement on low GWP alternative refrigerants	Keishi Kariya
2016年9月7日	2016年度日本冷凍空調学会年次大会	鉛直フィン付き冷却面上における低GWP冷媒の凝縮熱伝達に関する研究	福田 翔
2016年9月9日	2016年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集	高温バーネット装置を用いた低GWP冷媒R1234ze(Z)の気相域におけるPVT性質測定	江世恒
2016年9月9日	2016年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集	冷媒R1234ze(Z)の高温域における熱伝導率および粘度測定	飯屋圭史
2016年6月23日	CDTI-NEDO Joint Workshop on "The Effective Use of Thermal Energy in Industry"	Absorption chillers for effective use of low temperature waste heat	藤居 達郎
2016年12月1日	環境と新冷媒 国際シンポジウム2016	超低温駆動ダブルリフト吸収式冷凍機の開発	武田伸之、藤居達郎
2017年3月6日	化学工学会第82年会	H <sub>2</sub> O - 1,4-dioxane冷媒を用いた吸収冷凍機による氷点下冷熱製造の実証実験	小田島聡、野田英彦、高橋晋

2017年5月予定 (投稿中)	12th IEA Heat Pump Conference	Cycle Simulation and Prototyping of a Single-Effect Double-Lift Absorption Chiller	藤居達郎、武田伸之、川村浩伸、内田麻理
2017年8月予定 (投稿中)	International Sorption Heat Pump Conference 2017	Generation of the below zero degree temperature by use of the absorption refrigerator with the water - 1,4-dioxane refrigerant	小田島聡、野田英彦、高橋晋
2017年8月予定 (投稿中)	International Sorption Heat Pump Conference 2017	Development of Single Effect Double Lift Absorption Chiller	武田伸之、内田修一郎、藤居達郎、
2016年5月24日	第53回日本伝熱シンポジウム	平板型ヒートパイプにおける異なる濡れ性条件下での沸騰特性	柳澤翔太、小笠原克、伊藤高啓、辻義之、別所毅、山下征士、渡橋学美
2016年5月25日	第53回日本伝熱シンポジウム	アルカン・アルコール液体の熱伝導率と分子スケール熱伝搬特性の関係	松原裕樹、菊川豪太、別所毅、山下征士、小原拓
2016年10月2日	The 11th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC2016)	Thermal boundary resistance between Pt and water interface with/without self-assembled monolayer	Takashi Yagi, Kenichi Kobayashi, Seiji Yamashita, Takeshi Bessho, Masahide Sato
2016年10月3日	The 11th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC2016)	Molecular Mechanism of Heat Conduction in Linear Alcohol Liquids: Effect of Chain-Length	H. Matsubara, G. Kikugawa, T. Bessho, S. Yamashita, and T. Ohara
2016年10月22日	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2016	高密度円筒キャビティ面でのキャビティ深さが沸騰熱伝達に与える影響	長野方星、M. P. Shyam、岡智絵美、別所毅、山下征士
2017年3月20日	The 7th International Symposium on Micro and Nanotechnology	Molecular Mechanism of Heat Conduction in Liquid Mixtures	Y Fang, G. Kikugawa, H. Matsubara, T. Bessho, S. Yamashita, and T. Ohara
2017年3月26日	Asian Conference on Thermal Sciences 2017	Development of High Heat Capacity Loop Heat Pipe For Automotive Application	M. P. Shyam, Hosei Nagano, Chiemi Oka, Seiji Yamashita, and Takeshi Bessho
2016年9月13日	2016年第77回応用物理学会 秋季学術講演会	パワー半導体用Si単一ペルチェ素子における過渡的熱移動	古林貫一、黒木伸一郎、瀬尾宣英、米盛敬、種平貴文

2017年2月1日	ECS Journal of Solid State Science and Technology	Transient Observation of Peltier Effect for PtSix-Coated n-Type Silicon: Cooler for 4H-SiC-Based Power Devices	黒木伸一郎、瀬尾宣英、米盛敬 他
2017年3月3日	International Workshop on Nanodevice Technologies 2017	Peltier effect of single crystalline Si: Estimation of cooling capability for power semiconductors	古林貫一、黒木伸一郎、種平貴文、米盛敬、三好誠治
2016年9月9日	2016年度日本冷凍空調学会年次大会	車両用小型吸収冷凍機への適用を目指した吸収液の物性測定	稲田孝明、富田博之、中川慶一、竹村文男、坪内修、飛原英治
2016年5月24日	第53回日本伝熱シンポジウム	塗布構造吸収器における吸収性塗布構造吸収器における吸収性能に及ぼす濡れ性の影響	江端佑介、坪内修、染矢聡
2016年6月16日	第21回動力・エネルギー技術シンポジウム	車両用小型吸収冷凍機の開発	江端佑介、坪内修、稲田孝明、染矢聡、竹村文男、党超鋺、飛原英治
2017年2月10日	省エネを支える伝熱技術シンポジウム	車両用小型吸収冷凍機の開発	江端佑介
2016年10月26日~28日	NEDO省エネルギー技術フォーラム2016	車両用小型吸収冷凍機の開発	豊田健嗣、江端佑介、坪内修
2016年11月14日	2016 Purdue conference	Theoretical and experimental investigation on dewatering performance from aqueous lithium bromide solution stream confined by hollow fiber membrane	Sung Joo Hong、飛原英治、党超鋺
2016年9月6日~9日	2016年度日本冷凍空調学会年次大会	小型吸収式冷凍機に用いる中空糸膜に関する研究	平直樹、Sung Joo Hong、飛原英治、党超鋺
2016年5月24日~26日	第53回日本伝熱シンポジウム	中空糸膜吸収器における水蒸気吸収特性に関する研究	Sung Joo Hong、飛原英治、党超鋺
2016年5月15日~17日	ACRA2016	SIMULATION AND OPTIMIZATION ON HOLLOW FIBER MEMBRANE-BASED SOLUTION HEAT EXCHANGER IN VAPOR ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM	Sung Joo HONG, Eiji HIHARA, Chaobin DANG
2016年6月17日	第20回「動力エネルギー技術シンポジウム」	車両用高効率吸着式ヒートポンプの開発	前多信之介、川俣達、丸山智弘 他

2016年9月29日	第17回西日本地区冷凍空調学会	車両用高効率吸着式ヒートポンプにおける吸着器シミュレーション	栗崎雅子、前多信之介、丸山智弘、川俣達
2016年9月11日	2016年度日本冷凍空調学会年次大会	車両用高効率吸着式ヒートポンプの開発	前多信之介、川俣達、丸山智弘 他
2016年9月6日	2016年度日本冷凍空調学会年次大会	収着剤塗布小型ハニカムユニットの水分移動特性	谷本和史、堀部明彦、丸山智弘 他
2017年3月7日	日本機械学会 中国四国支部 第55期総会・講演会	車両用高効率排熱利用・冷房用ヒートポンプの研究開発	石橋幸太、堀部明彦、前多信之介 他
2016年6月23日	CDTI-NEDO Joint Workshop on "The Effective Use of Thermal Energy in Industry"	Energy consumption and the situation of waste heat in Japanese industry	平野聡
2016年7月10日	日本ヒートアイランド学会 第11回全国大会	業種別の工場設備への燃料投入量と排ガス熱量との関係	平野聡、遠藤尚樹、上山慎也、馬場宗明
2016年7月29日	IEAヒートポンプ実施協定 アネックス48 第2回分科会	産業分野の排熱実態の調査状況	平野聡
2017年2月21日	内閣府 総合科学技術・イノベーション会議 エネルギー戦略協議会	産業分野の未利用熱実態調査の状況	平野聡
2016年9月29日	第39回フッ素化学討論会	新型冷媒の地球温暖化影響 (GWP) 評価: (Z)-CF <sub>3</sub> CH=CHF と (E)-CF <sub>3</sub> CH=CHF の大気化学	Zhang Ni、水門潤治、陳亮 他
2016年10月22日	日本コンピュータ化学会 2016秋季年会	フッ素置換エチレンのπ-結合強度およびその支配因子に関する計算化学的解析	内丸忠文、陳亮、水門潤治 他

(b) 受賞実績

表彰日	表彰団体名	表彰名	受賞者
2016年6月1日	International Thermoelectric Society	The ITS Outstanding Poster Award (ICT/ACT2016)	黒崎洋輔、藪内真、西出聡悟、早川純
2016年10月21日	一般財団法人高度情報科学技術研究機構	第3回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題 優秀成果賞	浅利裕介、諏訪雄二、藪内真
2016年6月	日本セラミックス協会	日本セラミックス協会フェロー表彰	河本邦仁
2016年9月	The European Thermoelectric Society	ECT2016 Poster Award	杵鞭義明、三上祐史、寺崎一郎、申ウソク
2016年9月	日本熱電学会	日本熱電学会学会賞	舟橋良次

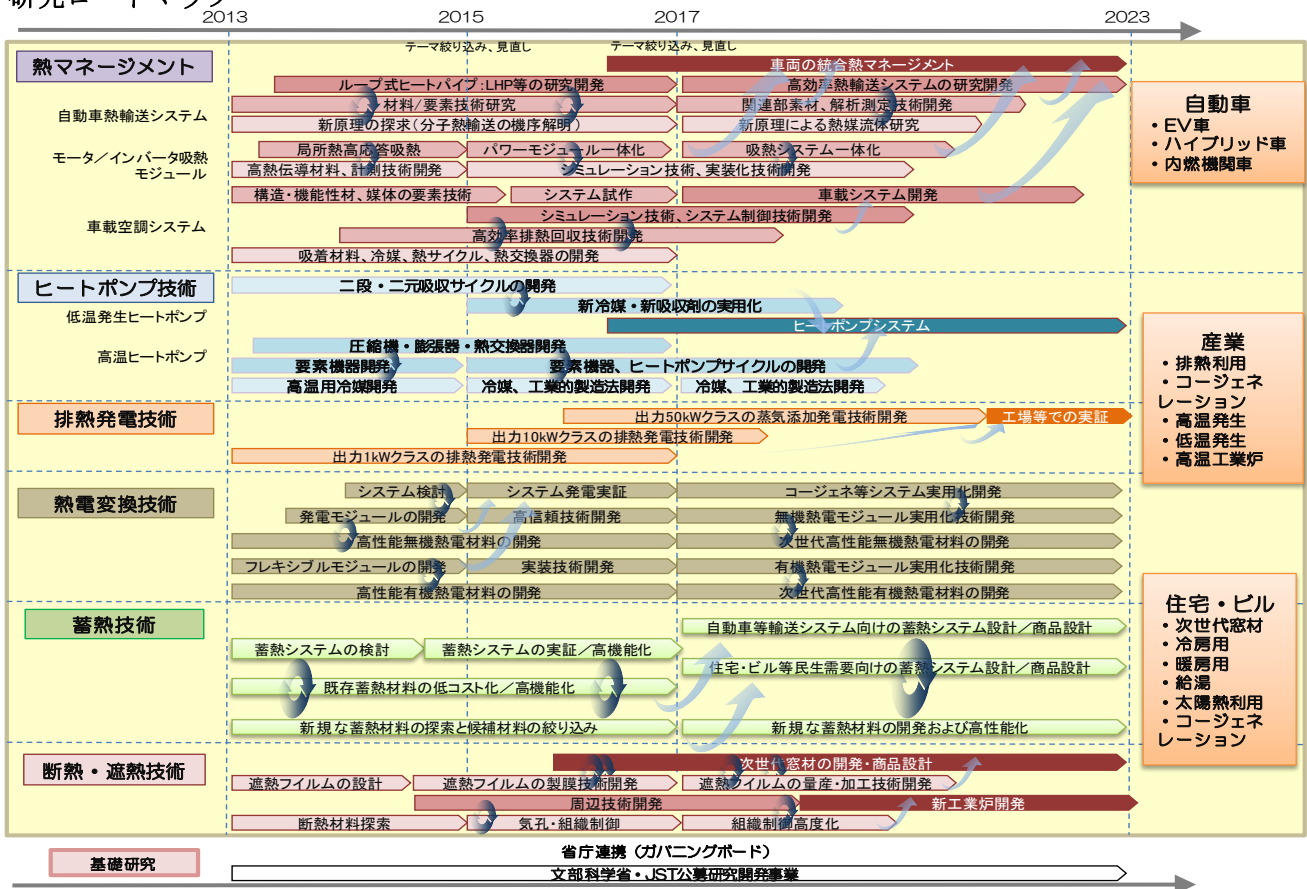
2016年9月	日本熱電学会	日本熱電学会進歩賞	太田道広
2016年9月	日本熱電学会	日本熱電学会技術功績賞	山本 淳

## 4. 成果の実用化に向けた取組及び見直しについて

### 4.1 成果の実用化に向けた取組及び見直しについて

#### (1) 成果の実用化に向けた戦略

##### 研究ロードマップ



中間評価を平成27年度、平成29年度、平成32年度、事後評価を平成35年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。

#### (2) 成果の実用化に向けた具体的取り組み

早期に実用化可能なものは実用化を促進し、新たな技術開発シーズを取り込む等、研究開発テーマの新陳代謝が良い活力ある研究開発プロジェクトとするために、実用化の可能性が見えてきた技術テーマについては実環境での評価・それによる課題の抽出・課題解決への研究開発を三位一体で計画・実行することで実用化の加速を行う。

NEDO 省エネルギーフォーラム等の展示会にサンプル展示を行い、ユーザーニーズを把握すると共に、実環境評価の条件等の研究計画に反映する。

### **(3) 成果の実用化の見通し**

複数の技術分野において、成果の一部を実用化し（実用化のニュースリリース 2 件）、国内外の展示会でのサンプル展示や、それに続く実環境試験の実施が可能な段階にある。