

# 「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	1
プロジェクト用語集	10
1. 事業の位置付け・必要性	12
(1) 事業目的の妥当性	12
1 事業実施の背景と事業の目的	12
2 政策的位置付け	12
3 国内外の研究開発の動向と比較	12
4 技術戦略上の位置付け	14
(2) NEDO の事業としての妥当性	20
1 NEDO が関与する意義	20
2 実施の効果	21
2. 研究開発マネジメント	22
(1) 研究開発目標の妥当性	22
1 事業の目標	22
2 研究開発目標と根拠	22
(2) 研究開発計画の妥当性	29
1 研究開発のスケジュール	29
2 プロジェクト費用	29
(3) 研究開発の実施体制の妥当性	30
1 研究開発の実施体制	30
(4) 研究開発の進捗管理の妥当性	31
1 研究開発の進捗管理	31
2 動向・情勢の把握と対応	31
(5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性	32
1 知的財産権等に関する戦略	32
2 知的財産管理	32
3. 研究開発成果	33
(1) 研究開発成果	33
(2) 成果の中間目標の達成可能性	36
(3) 成果の普及	37
(4) 知的財産権	37
4. 成果の実用化に向けての取り組み及び見通し	38
(1) 成果の実用化に向けた戦略	38
(2) 成果の実用化に向けた具体的取り組み	38
(3) 成果の実用化の見通し	38

(添付資料)

・プロジェクト基本計画

概 要

		最終更新日	平成 27 年 10 月 6 日
プログラム (又は施策) 名	-		
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及び担当者	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)、 近藤 篤 (平成 27 年 4 月～現在)、谷 泰範 (平成 27 年 4 月～現在)、 岩坪 哲四郎 (平成 27 年 7 月～現在)、永井 恒輝 (平成 27 年 7 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 2011」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 にもな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>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 <math>ZT=1</math>）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 (<math>ZT=4</math>) 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、<math>ZT=2</math> 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><b>研究開発項目①「蓄熱技術の研究開発」</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>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。</li><li>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。</li><li>3. 達成目標 【中間目標（H29年度末）】<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>【最終目標（H34年度末）】<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></li></ol> <p><b>研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>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。</li><li>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。</li><li>3. 達成目標 【中間目標（H29年度末）】<ul style="list-style-type: none"><li>・ 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</li></ul></li></ol>
-------	--

**【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現

**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少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	—————→					
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
	特別会計(需給)	1,550	2,060	1,850	(1,800)		
	開発成果促進財源	0	0	0			
	総予算額	1,550	2,060	1,850			
	(委託)	○	○	○			
開発体制	経産省担当原課	製造産業局非鉄金属課					
	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)					
	委託先 (委託先が管理人 の場合は参加企 業数及び参加企 業名も記載)	<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18社、1財団、1研究機関) 共同実施：岡山大学、大阪大学、東京工業大学、 早稲田大学、北海道大学、名古屋大学、 東北大学、北陸先端科学技術大学院大学、 東京大学、豊田理化学研究所、 物質・材料研究機構、山口東京理科大学、 長岡技術科学大学、東京理科大学、九州大学、 佐賀大学、八戸工業大学、宇都宮大学、 広島大学、建築研究所</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、三菱樹脂株式会社、 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</p>					



		<p>古河機械金属株式会社  (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  (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  富士フイルム株式会社  (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  (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  研究開発項目⑤：排熱発電技術の研究開発  (11) 排熱発電技術の研究開発  パナソニック株式会社  研究開発項目⑥：ヒートポンプ技術の研究開発  (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  (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、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  (14) 低温駆動・低温発生機の研究開発  日立アプライアンス株式会社、株式会社日立製作所  研究開発項目⑦：熱マネージメントの研究開発  (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  (16) 熱マネージメントの研究開発  マツダ株式会社  (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  (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  研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発  (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年半、予算規模：2千万円以下）の枠組みを新たに設定して、公募を行った。	
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
	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）：融解熱/融点解析手法を構築、ゲスト/ホスト配列促進による過冷却抑制 (<math>\Delta T=18 \rightarrow 2 \text{deg}</math>) を原理検証</li> <li>高密度蓄熱材料（中/高温）：吸着・脱離反応の低反応温度化を原理検証、蓄熱密度 1MJ/kg 以上の材料候補を抽出(解析)</li> <li>長期蓄熱材料：-20/25℃環境下で過冷却安定性を有する組成を明確化、過冷却解除後のモジュール出力 3kW/L を原理検証</li> <li>アルミ共晶系合金粉末を用いることで、蓄熱構造体の合成反応着火温度を低温度化 (660℃<math>\Rightarrow</math>570℃)。</li> <li>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。</li> <li>未反応原料リサイクルにより原材料費 30%削減の基礎技術を確立し、蓄熱材の寿命予測技術を確立。</li> </ul>	

研究開発項目②：遮熱技術の研究開発

- ・高精度流動シミュレーション技術を駆使して積層装置を開発してフィルム化を行い、目標カット帯域発現を実証した。
- ・高遮熱化、層間密着性、製膜性を有する新規ポリマーの基本設計を行った。
- ・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した。
- ・実際の建物に遮熱性・冷房負荷評価システムを構築し、遮熱フィルム加工窓による冷房負荷測定を開始した。

研究開発項目③：断熱技術の研究開発

- ・220mm×116mm×39mm 形状断熱材料試作完了
- ・既存設備の入熱・出熱状況のデータ蓄積及び検証、産業/工業炉エネルギー分布シミュレーション結果の妥当性検証
- ・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試作及び高温耐久性向上
- ・上記蓄熱部材を組み込んだ高効率バーナーの性能評価と課題抽出

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。
- ・レーザー加熱装置により、酸化物小型单相試料の溶融合成に成功。
- ・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
- ・CNT系材料としては世界最高レベルのパワーファクタ ( $413 \mu\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}^2$ ) を発現
- ・熱電材料の開発成果 熱電性能向上：当社 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、 $600^\circ\text{C}/50^\circ\text{C}$  の条件でモジュールの発電効率 8%に達し、高温端  $500^\circ\text{C} \sim 575^\circ\text{C}$  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
- ・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
- ・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。
- ・モジュール化では、素子作製を高効率化。
- ・原料合成のスケールアップ： $\sim$ 数百 g  $\Rightarrow \sim 700\text{g}/1$  坩堝
- ・大口径焼結技術： $\sim \phi 50\text{mm}$
- ・発電出力密度： $0.5\text{W}/\text{cm}^2$  以上
- ・熱電性能指数： $ZT \sim 1.1$  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
- ・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  $200^\circ\text{C}$  以下）を構築し発電効率 10.7%を実証。10kW クラスでは、超音速小型膨張タービン動静翼の設計試作を完了
- ・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

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、冷媒にブタンを用いた  $100^\circ\text{C} \rightarrow 160^\circ\text{C}$  加熱で COP3.79 となり、中間目標を達成できる見通しが得られた。
- ・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の設計と製作を行い、目標効率を十分達成できる見通しが得られた。
- ・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

	<p>しが得られた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・低 GWP 新型冷媒候補の開発と物性情報構築：新型冷媒候補 A1 を現時点での第一候補として選定し、ヒートポンプシステムへの適用検討を開始した。また新型冷媒候補 A2 における、高効率合成方法、長期運転、毒性および熱安定性について良好な結果を得ることが出来た。</li> <li>・ヒートポンプサイクルの特性解析と性能評価：目標性能を満足する実現可能なヒートポンプサイクルを選定した。また空調温度域で、候補冷媒を用いた空力検証試験を実施し、設計の解析精度を向上させるためのデータを取得することが出来た。</li> <li>・低温駆動サイクルについて、原理試作機により温水 60℃、冷却水 30℃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、実用性を確認するための水冷式試作機のシミュレーションおよび設計製作を実施した。</li> <li>・新冷媒について、新規に選定したインヒビタの腐食抑制効果を確認し、八戸工大では冷熱発生実験装置の運転を開始した。</li> <li>・新吸収剤では、流下液膜吸収器、再生器の伝熱特性を実測し、影響因子を明らかにした。</li> </ul> <p>研究開発項目⑦：熱マネージメントの研究開発</p> <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>・ナノ流体の添加粒子形状による効果を検討、銀ナノワイヤ（アスペクト比大）により、熱伝導率 1.2 倍向上を確認。</li> <li>・沸騰評価装置を作製し、沸騰現象の可視化を実現。沸騰表面の撥水パターンによる沸騰熱伝達効率の向上を確認。</li> <li>・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」の具体化</li> <li>・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「技術コンセプト構築と特性の明確化」</li> <li>・モータ内部熱流計測用「温度計測技術の育成」</li> <li>・小型軽量化した装置の設計、試作を実施</li> <li>・基礎特性取得用実験システムを用いてシステム開発の前提となるベース吸着材の基礎特性を把握した。</li> <li>・車載検討用実験システムを新たに構築し、最大冷凍性能 1KW を達成した。</li> <li>・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。</li> </ul> <p>研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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</li> <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</li> </ul>	
	投稿論文	「論文」30件（うち査読付き 16件）
	特許	「出願」76件（うち PCT 出願 3件）
	その他の外部発表（プレス発表等）	「研究発表・講演」148件、「新聞・雑誌等」1件、「その他（展示会への出展等）」9件、「受賞実績」2件
4. 実用化の見通しについて	<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	平成 27 年 3 月 制定
	変更履歴	—

## プロジェクト用語集

用語	説明
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ます。
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。
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ります。
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します。
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
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称します。
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、熱電変換効率がよく、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 $ZT \geq 1$ です。
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°C) で生じる熱起電力をゼーベック係数と呼びます。
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。実験では見つかっていない未知の新物質探索を可能とする研究手法です。
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ます。
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びます。
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ます。
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。
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。

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ます。
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です。
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です。
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します。
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。
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。
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。
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際しては、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です。

## 1. 事業の位置付け・必要性

### (1) 事業目的の妥当性

#### 1 事業実施の背景と事業の目的

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 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2011」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。

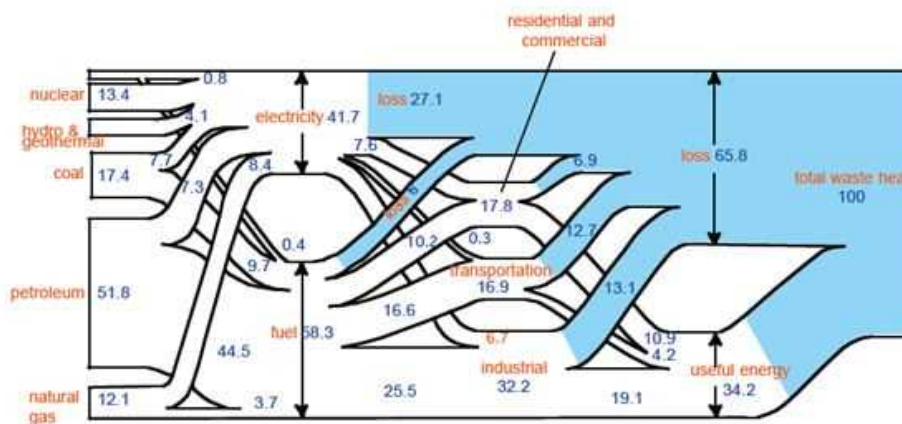


図1 我が国のエネルギーフローと熱損失

出典：第7回コプロワークショップ 東京大学堤教授発表資料(2015)

表1 部門別の排熱割合

	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%

出典：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）。

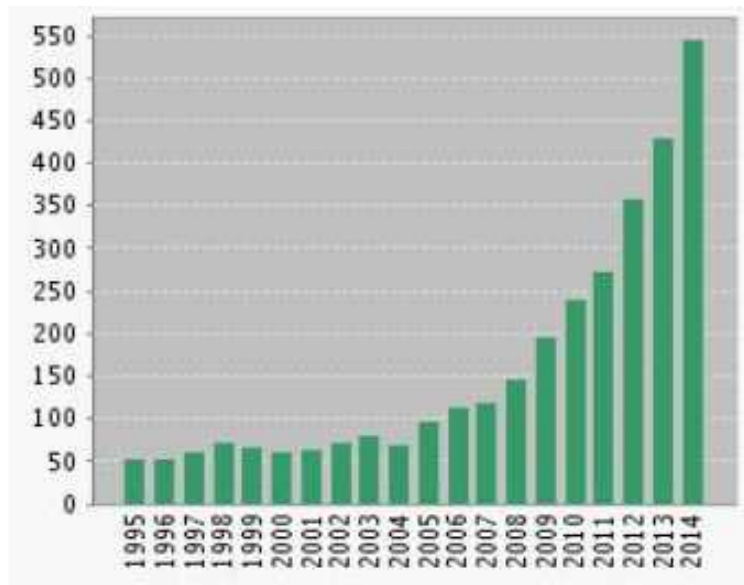


図2 排熱利用(“HEAT RECOVERY”)の論文件数(全世界)

出典:SPARTNERを基にNEDO作成(2015)

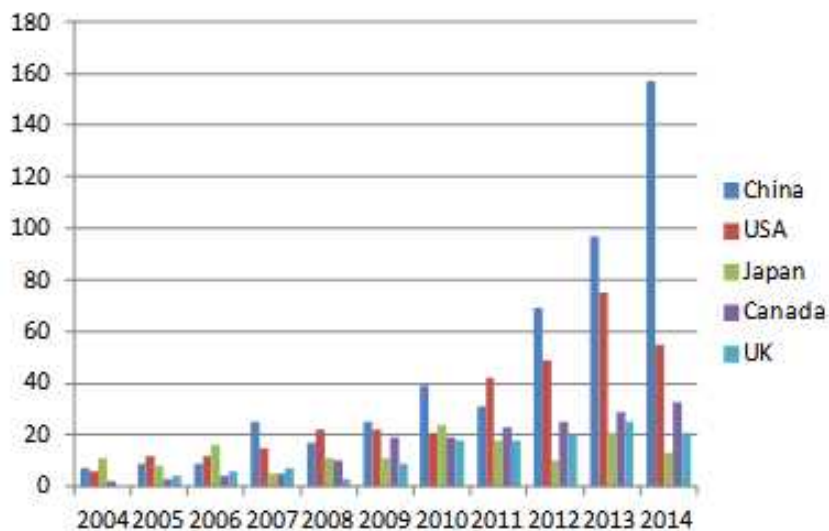


図3 排熱利用(“HEAT RECOVERY”)の論文件数(上位5ヶ国)

出典:SPARTNERを基にNEDO作成(2015)

①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  
NEDO 作成(2015)

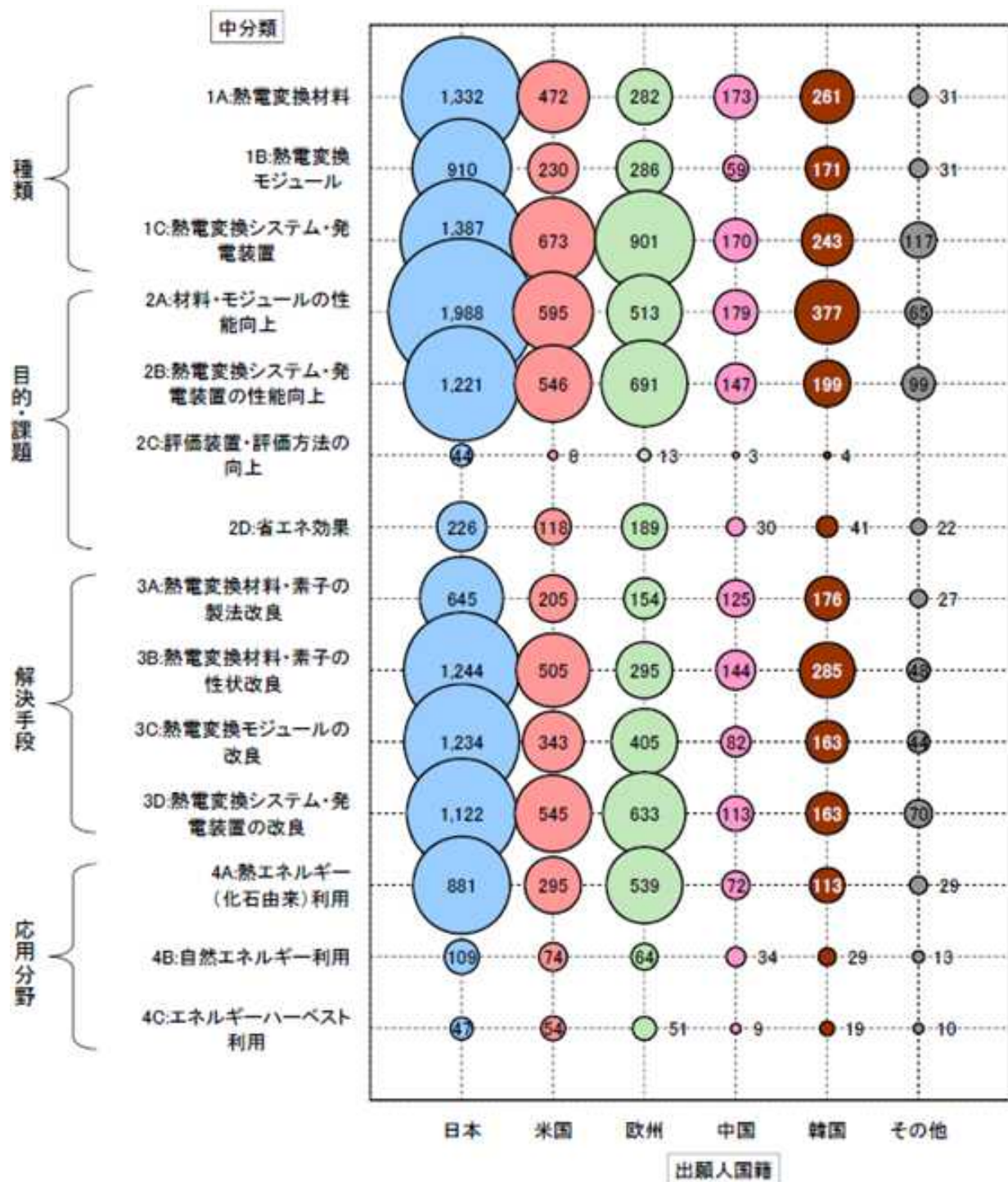


図5 [1A:熱電変換材料]の小分類と[3B:熱電変換材料・素子の性状改良]の詳細分類の出願件数相関(日米欧中韓への出願、出願年:2001-2011年)  
出典:平成25年度特許出願技術動向調査報告書(熱電変換材料)(特許庁, 2014)

・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。

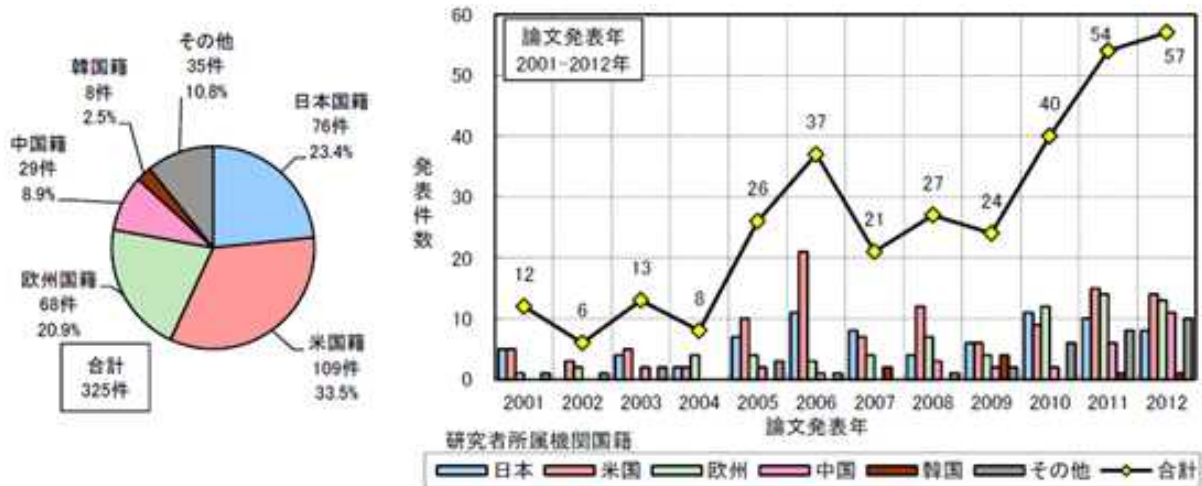


図6 <熱電変換材料>国籍別論文発表件数比率・推移

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)

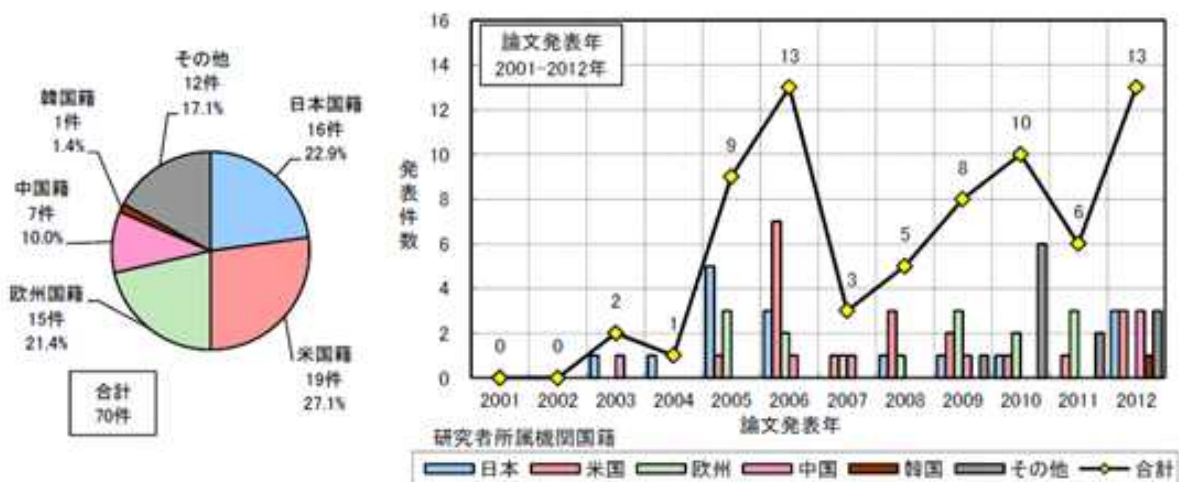


図7 <熱電変換モジュール>国籍別論文発表件数比率・推移

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)

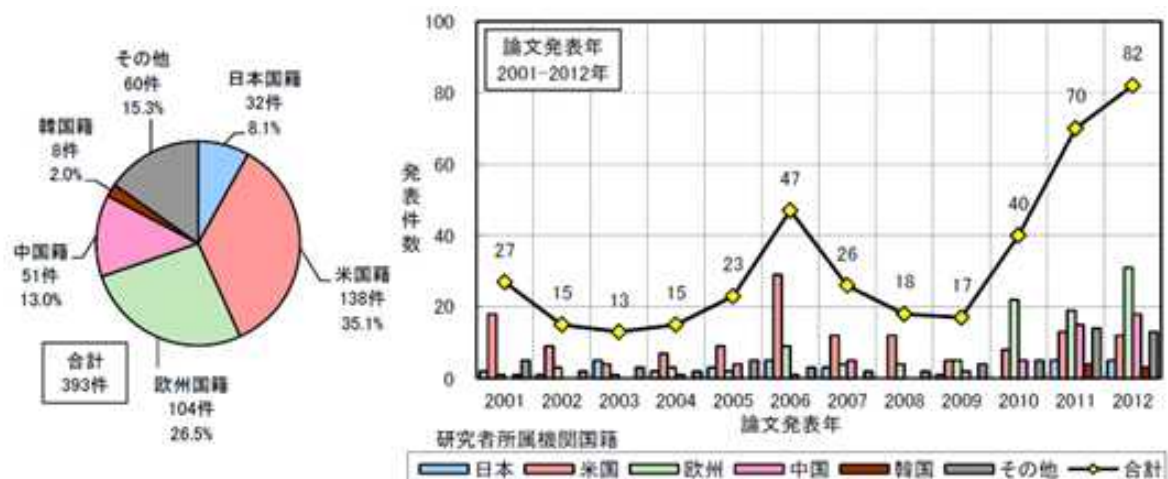


図8 <熱電変換システム> 国籍別論文発表件数比率・推移

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  
NEDO作成(2015)

## (2) NEDO の事業としての妥当性

### 1 NEDO が関与する意義

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**

## 2 実施の効果

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 155億円（経産省実施分を含む想定額：H25～H34年）  
124億円（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

### (1) 研究開発目標の妥当性

#### 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  $0.2\text{W/m}\cdot\text{K}$  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う、 $ZT=2$ 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 研究開発目標と根拠

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「熱マネー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ー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「熱マネー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) 研究開発計画の妥当性

1 研究開発のスケジュール

<p>事業期間:平成27～34年度(8年間) ※平成25～26年度の2年間は<b>経済産業省</b>で実施                  総事業費(NEDO負担分): 124億円(予定)                  プロジェクトリーダー(PL): 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 研究戦略部長 小原 春彦                  プロジェクトマネージャー(PM): 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 主任研究員 楠瀬 暢彦</p>								
<研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模>	H27 (2015)	H28 (2016)	H29 (2017)	H30 (2018)	H31 (2019)	H32 (2020)	H33 (2021)	H34 (2022)
以下の7項目に係る研究開発 蓄熱技術／遮熱技術／断熱技術／ 熱電変換材料・デバイス高性能高信 頼化技術／排熱発電技術／ヒートポ ンプ技術／熱マネージメント	各項目について、新材料 の開発、機器単体の開発、 システムの検討等を行う			各項目についてシステムの構築等を行い、 実用化に十分な性能を達成する				
	中間 評価		中間 評価			中間 評価		
熱関連調査・基盤技術の研究開発	整備すべきデータベースの明確化 ／評価技術の整備、体系化			データベースの製作／新材料探索 の基盤情報の提供				
予算(億円)	18.5	(18)	(15)	(15)	(15)	(15)	(15)	(12.5)

2 プロジェクト費用

平成27年度～34年度の8年間で、総事業費124億円を委託事業費として予定している。

費用(間接経費、消費税除く)

(単位:百万円)

	H25年度	H26年度	H27年度	合計
各年度予算額	1,550	2,060	1,850	5,460
各年度実績額	1,469	1,991	—	(3,460)

H25-H26年度は経済産業省で実施

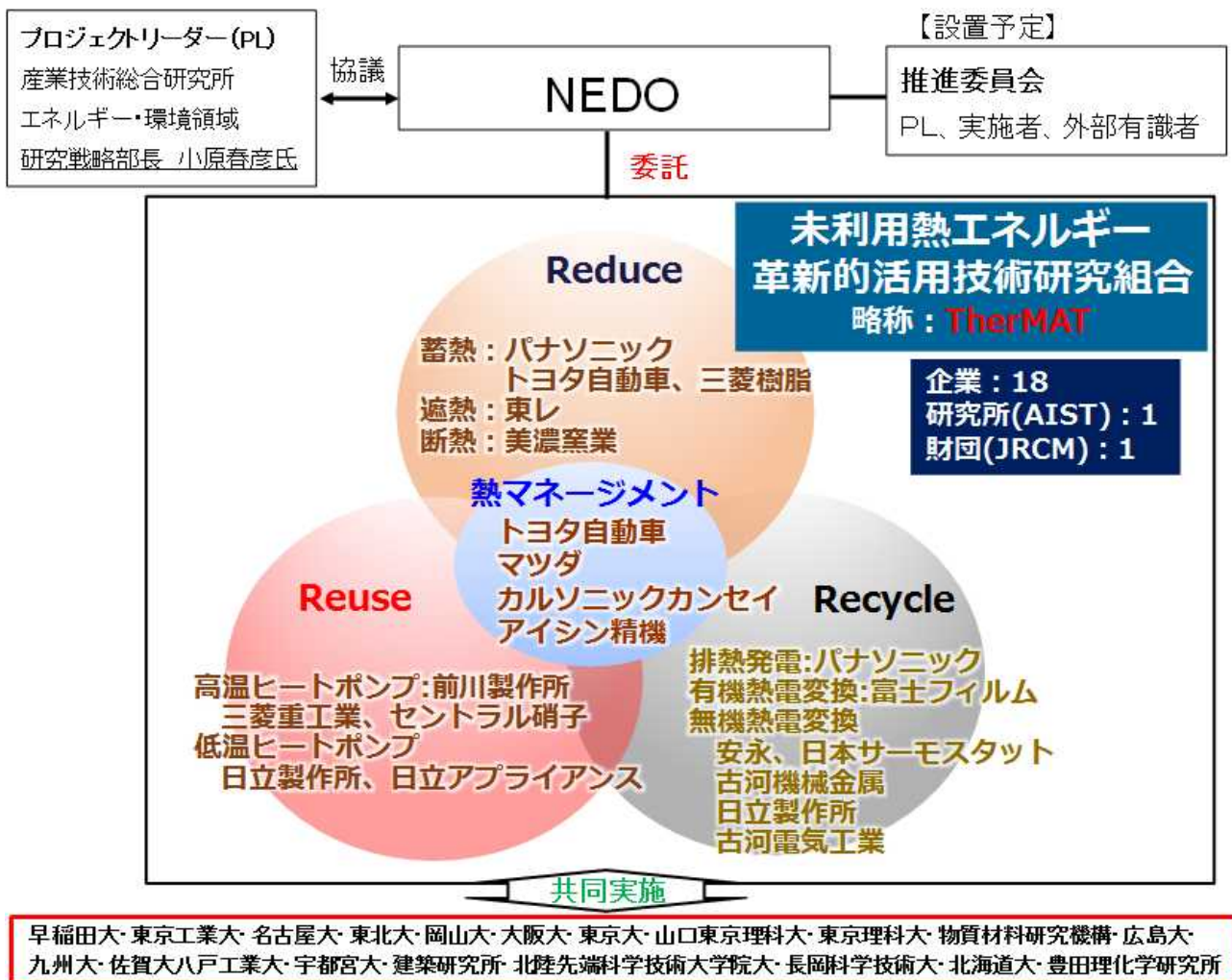
### (3) 研究開発の実施体制の妥当性

#### 1 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。

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ー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に期待した体制を構築する。





#### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

##### 1 研究開発の進捗管理

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27年度は、4月以降7月までに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。
- ・意見交換を踏まえて、熱電変換材料に関する小規模研究開発の枠組みを立案した。

##### 【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。
- ・熱電変換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 動向・情勢の把握と対応

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

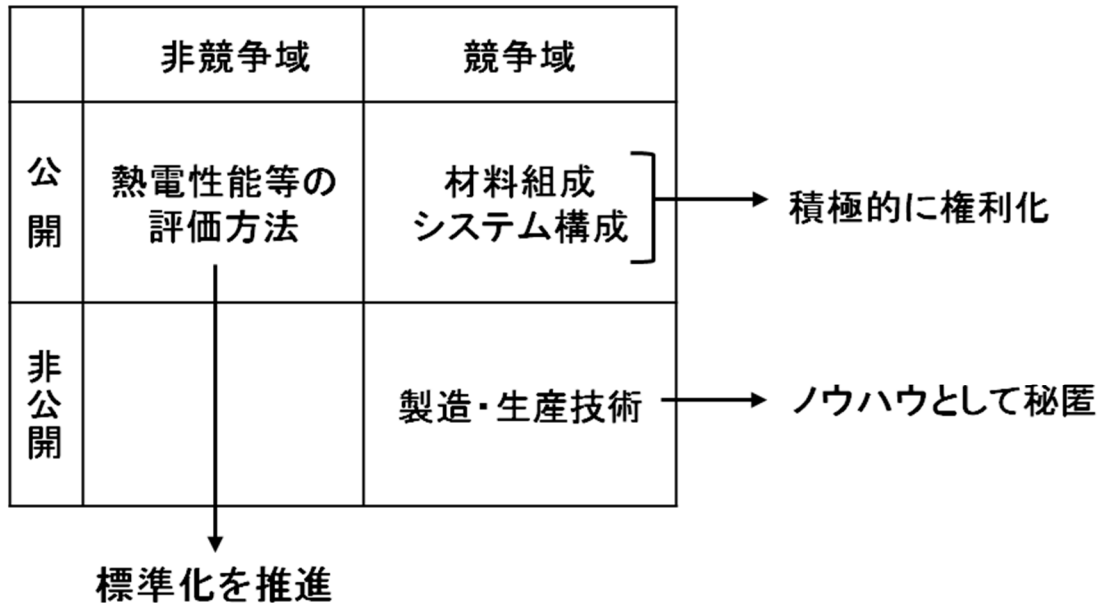
情勢	対応
熱電変換技術開発では、近年のナノ材料技術の急速な進展に伴い、新しい材料系や構造に関する研究が世界で取り組み始められる。	熱電変換材料・デバイスの新たな技術シーズ発掘を図るため、また、迅速に研究開発に取り組むために、小規模研究開発（研究期間：約1年半、予算規模：2千万円以下）の枠組みを新たに設定して、公募を行った。 【公募開始：8月7日⇒の採択決定：9月16日】 (1) フォノンと少数キャリアの輸送特性同時制御による熱電性能指数の飛躍的向上 (2) 共晶体構造を用いた高性能指数熱電酸化物材料の研究開発 (3) シリサイド系多孔質熱電変換材料を用いた高効率熱電変換素子の研究開発 (4) 遷移金属硫化物ナノ粒子熱電変換材料の研究開発 (5) 階層的構造制御によるチムニーラダー型熱電変換材料の高性能化 (6) 多接合型熱電変換素子の革新的高効率化に関する研究開発

## (5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性

### 1 知的財産権等に関する戦略

本プロジェクトでは NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針に基づき、知的財産権の活用によりプロジェクトを推進している。戦略の基本として標準となり得る技術は、積極的かつ速やかに特許出願を行う、国内特許出願を先行するが、特に重要な特許は海外出願も行うことを進めている。

## オープン／クローズ戦略の考え方



### 2 知的財産管理

本プロジェクトでは「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針第 2 版」(平成 24 年 12 月 18 日改訂)に基づき、知的財産に係る出願・活用ルールを「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発における知的財産権及びサンプルの取扱いに関する規程」(平成 27 年 5 月 26 日改訂)を策定。バックグラウンド知的財産権の取扱い、本事業により得られた知的財産権の帰属等の原則、発明等の届出、発明審査委員会における審査、知的財産権の取扱い、ノウハウの指定、知的財産権に関する実施等について規定するとともに、知的財産権の保全や、プロジェクト参加者間のサンプルの取扱い等においても定めている。

### 3. 研究開発成果

#### (1) 研究開発成果

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）：融解熱/融点解析手法を構築、ゲスト/ホスト配列促進による過冷却抑制( $\Delta T=18 \rightarrow 2 \text{deg}$ )を原理検証
- ・高密度蓄熱材料（中/高温）：吸着・脱離反応の低反応温度化を原理検証、蓄熱密度  $1 \text{MJ/kg}$  以上の材料候補を抽出(解析)
- ・長期蓄熱材料： $-20/25^\circ\text{C}$ 環境下で過冷却安定性を有する組成を明確化、過冷却解除後のモジュール出力  $3 \text{kW/L}$  を原理検証
- ・アルミ共晶系合金粉末を用いることで、蓄熱構造体の合成反応着火温度を低温度化 ( $660^\circ\text{C} \Rightarrow 570^\circ\text{C}$ )。
- ・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 ( $7^\circ\text{C}$ 低減)を確認。
- ・未反応原料リサイクルにより原材料費  $30\%$ 削減の基礎技術を確立し、蓄熱材の寿命予測技術を確立。

研究開発項目②：遮熱技術の研究開発

- ・高精度流動シミュレーション技術を駆使して積層装置を開発してフィルム化を行い、目標カット帯域発現を実証した。
- ・高遮熱化、層間密着性、製膜性を有する新規ポリマーの基本設計を行った。
- ・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した。
- ・実際の建物に遮熱性・冷房負荷評価システムを構築し、遮熱フィルム加工窓による冷房負荷測定を開始した。

研究開発項目③：断熱技術の研究開発

- ・  $220 \text{mm} \times 116 \text{mm} \times 39 \text{mm}$  形状断熱材料試作完了
- ・既存設備の入熱・出熱状況のデータ蓄積及び検証、産業/工業炉エネルギー分布シミュレーション結果の妥当性検証
- ・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試作及び高温耐久性向上
- ・上記蓄熱部材を組み込んだ高効率バーナーの性能評価と課題抽出

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。
- ・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。
- ・ $\text{Mo}$  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  $80 \mu \text{W/mK}^2$  に増大することを確認
- ・CNT系材料としては世界最高レベルのパワーファクタ ( $413 \mu \text{W/m} \cdot \text{K}^2$ ) を発現

- ・ 熱電材料の開発成果 熱電性能向上：当社 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、 $600^\circ\text{C}/50^\circ\text{C}$  の条件でモジュールの発電効率は 8%に達し、高温端  $500^\circ\text{C} \sim 575^\circ\text{C}$  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
- ・ 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
- ・ 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。
- ・ モジュール化では、素子作製を高効率化。
- ・ 原料合成のスケールアップ： $\sim$ 数百 g  $\Rightarrow \sim 700\text{g} / 1$  坩堝
- ・ 大口径焼結技術： $\sim \phi 50\text{mm}$
- ・ 発電出力密度： $0.5\text{W}/\text{cm}^2$  以上
- ・ 熱電性能指数： $ZT \sim 1.1$  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
- ・ 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  $200^\circ\text{C}$  以下）を構築し発電効率 10.7%を実証。10kW クラスでは、超音速小型膨張タービン動静翼の設計試作を完了
- ・ 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

#### 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、冷媒にブタンを用いた  $100^\circ\text{C} \rightarrow 160^\circ\text{C}$  加熱で COP3.79 となり、中間目標を達成できる見通しが得られた。
- ・ 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の設計と製作を行い、目標効率を十分達成できる見通しが得られた。
- ・ 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が得られた。

- ・低 GWP 新型冷媒候補の開発と物性情報構築：新型冷媒候補 A1 を現時点での第一候補として選定し、ヒートポンプシステムへの適用検討を開始した。また新型冷媒候補 A2 における、高効率合成方法、長期運転、毒性および熱安定性について良好な結果を得ることが出来た。
- ・ヒートポンプサイクルの特性解析と性能評価：目標性能を満足する実現可能なヒートポンプサイクルを選定した。また空調温度域で、候補冷媒を用いた空力検証試験を実施し、設計の解析精度を向上させるためのデータを取得することが出来た。
- ・低温駆動サイクルについて、原理試作機により温水 60°C、冷却水 30°C の条件で冷房に利用可能な 7°C の冷水が得られることを実証、実用性を確認するための水冷式試作機のシミュレーションおよび設計製作を実施した。
- ・新冷媒について、新規に選定したインヒビタの腐食抑制効果を確認し、八戸工大では冷熱発生実験装置の運転を開始した。
- ・新吸収剤では、流下液膜吸収器、再生器の伝熱特性を実測し、影響因子を明らかにした。

#### 研究開発項目⑦：熱マネージメントの研究開発

- ・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。
- ・ナノ流体の添加粒子形状による効果を検討、銀ナノワイヤ（アスペクト比大）により、熱伝導率 1.2 倍向上を確認。
- ・沸騰評価装置を作製し、沸騰現象の可視化を実現。沸騰表面の撥水パターンによる沸騰熱伝達効率の向上を確認。
- ・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」の具体化
- ・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「技術コンセプト構築と特性の明確化」
- ・モータ内部熱流計測用「温度計測技術の育成」
- ・小型軽量化した装置の設計、試作を実施
- ・基礎特性取得用実験システムを用いてシステム開発の前提となるベース吸着材の基礎特性を把握した。
- ・車載検討用実験システムを新たに構築し、最大冷凍性能 1KW を達成した。
- ・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。

#### 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

(2) 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」	・吸着・脱離反応の低反応温度化を原理検証、蓄熱密度 1MJ/kg 以上の材料候補を抽出	・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	○
	・25℃、24h 過冷却安定性を有する組成を明確化	・-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	◎
②「遮熱技術の研究開発」	・高精度コート技術の開発を行い、目標透過率（70%）と耐久性確認	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」	・220mm×116mm×39mm 形状断熱材料試作完了	・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	○
④「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」	・Mo 酸化物ドーピングによりゼーベック係数増加を確認 ・CNT 系材料としては世界最高レベルのパワーファクタ ( $412 \mu\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}^2$ ) 実現	・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	○
⑤「排熱発電技術の研究開発」	・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 10.7%実証	・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	◎
⑥「ヒートポンプ技術の研究開発」	・統合解析シミュレーションにより、ブタンを用いた 100℃→160℃加熱で COP3.79 確認 ・原理試作機により温水 60℃、冷却水 30℃条件で 7℃の冷水が得られることを実証	・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	○
⑦「熱マネージメントの研究開発」	・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 ・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	・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） ・吸熱量 5W/cm <sup>2</sup> を有する吸熱デバイスの開発	△～○
⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」	・工場等における未利用熱温度や賦存量、購入エネルギー量と排ガス熱量との相関関係等を明確化	・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	○

◎ 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

### (3) 成果の普及

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	合計
論文	3	17	10	30
研究発表・講演	5	80	63	148
受賞実績	-	-	2	2
新聞・雑誌等への掲載	-	1	-	1
展示会への出展	3	5	4	12

※平成 27 年 8 月末現在（予定も含む）

### 学会・成果報告会等の一例

研究開発項目	発表者	会議名(発表者)	タイトル	発表年月
蓄熱	パナソニック(株)	エネルギー技術シンポジウム 2014	蓄熱技術の研究開発	2014/11/25
断熱	美濃窯業(株)	38th International Conference and exposition on Advanced Ceramics and Composites	Fabrication and Properties of Ultra-High-Porous Ceramics for Energy Saving Insulator	2014/1/30
熱電変換	(国研)産総研	つくばビジネスマッチング会	導電性高分子の熱電変換性能とモジュール化～膨大な未利用熱を電力に～(招待講演)	2014/02/17
排熱発電	パナソニック(株)	第24回国際冷凍会議 ICR2015	Studies of Compact Organic Rankine Cycle for Waste Heat Recovery	2015/8/19
熱マネジメント	マツダ(株)	国際ナノデバイステクノロジーワークショップ 2015	Thermal Management of Motor and Inverter	2015/3/3

### 受賞実績

研究開発項目	受賞者	受賞名	交付者	発表年月
断熱	美濃窯業(株)	国際交流奨励賞 21世紀記念個人冠賞 井関孝善賞	公益社団法人日本セラミックス協会	2015/06/05
熱電変換	(国研)産総研	応用物理学会論文奨励賞	公益社団法人応用物理学会	2015/09/14

### (4) 知的財産権

知的財産権の確保に向けた取り組み例

- 特許出願可能と判断したものについては、速やかに出願を行うと共に、早期審査を活用して早期登録を狙う。
- 標準になり得る技術は、速やかに特許出願する。
- 一つの発明物を多面的に捉えて多数の出願で特許網を構築する。
- 国内特許出願を先行するが、特に重要な特許は海外出願も行う

知的財産権の出願状況

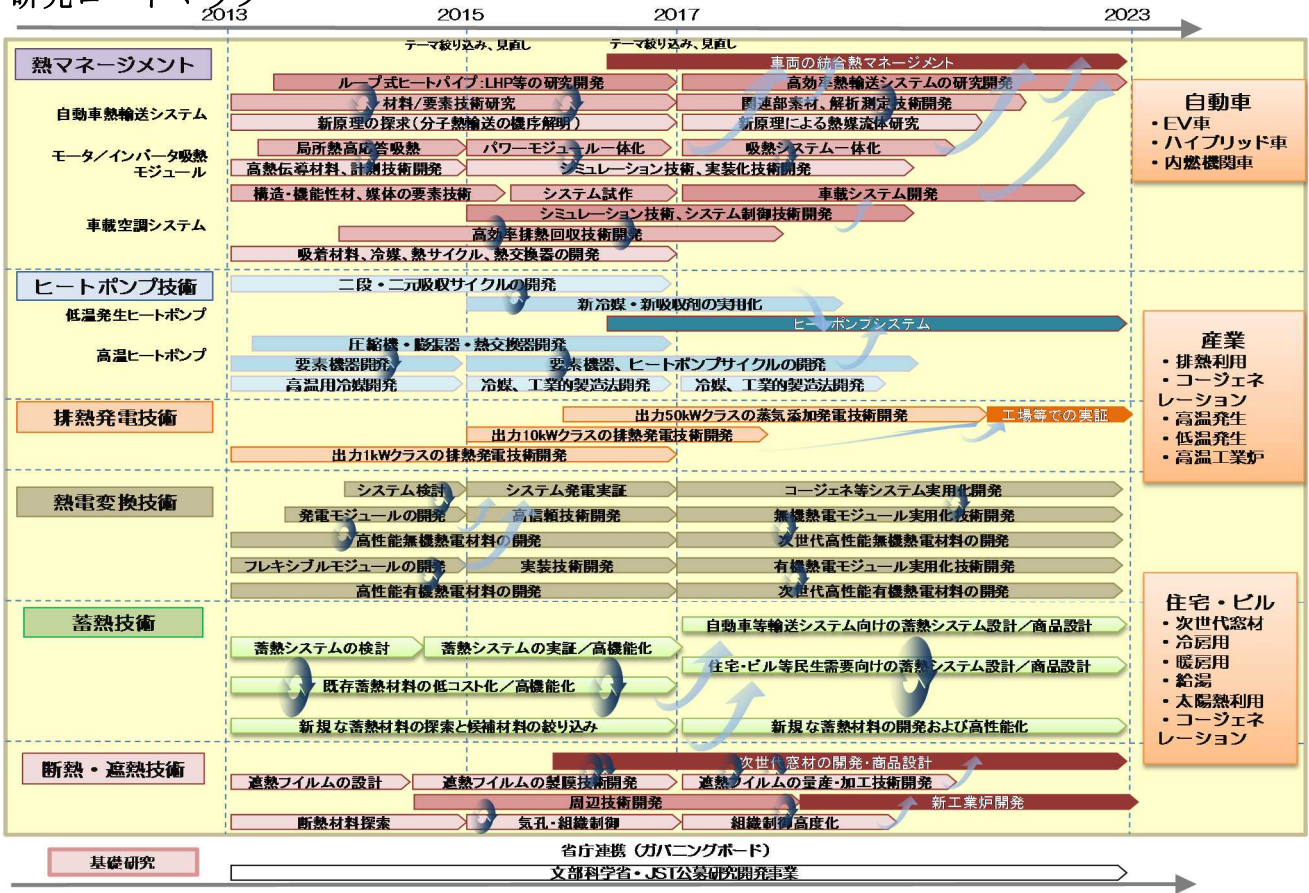
	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	計
特許出願 (うち PCT 出願)	0 (0)	42 (1)	34 (2)	76 (3)件

※平成 27 年 8 月末現在（予定も含む）

## 4. 成果の実用化に向けての取り組み及び見通し

### (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、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。