

「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	II
プロジェクト用語集	XVII
1. 事業の位置付け・必要性について	1
1.1 事業の背景・目的・位置付け等	1
1) 事業の背景・目的	1
2) 事業の政策的位置付け	3
3) 国内外の研究開発の動向と比較	5
1.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性	6
1.2.1 NEDO が関与することの意義	6
1.2.2 実施の効果（費用対効果）	7
2. 研究開発マネジメントについて	9
2.1 事業の目標	9
2.2 事業の計画内容	10
2.2.1 研究開発の内容	10
2.2.2 研究開発の実施体制	21
2.2.3 研究開発の運営管理	21
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	22
2.3 情勢変化への対応	23
2.4 2017 年度中間評価結果への対応	24
3. 研究開発成果について	26
3.1. 事業全体の成果	26
3.2. 研究開発項目毎の成果	27
3.3. 2020 年度までの達成状況、最終目標の達成見通し	31
3.4. 研究発表・講演（口頭発表も含む）	36
3.5. 論文・雑誌掲載（投稿中は除く）	46
3.6. 特許	50
3.7. 受賞実績	59
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	60
4.1. 本事業における「実用化・事業化」の考え方	60
4.2. 成果の実用化・事業化に向けた戦略・具体的取組	60
4.3. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	60

概要

		最終更新日	2020年10月9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	<p>省エネルギー部</p> <p>岩坪 哲四郎（2015年7月～2016年4月、2020年4月～）：PM（2020年4月～現在）</p> <p>小笠原 有香（2017年7月～）：サブPM（2018年7月～現在）</p> <p>楠瀬 暢彦（2015年4月～2017年8月）：PM（2015年4月～2017年8月）</p> <p>今田 俊也（2017年8月～2018年6月）：PM（2017年9月～2018年6月）</p> <p>近藤 篤（2015年4月～2020年3月）：PM（2018年7月～2020年3月）</p> <p>梅村 茂樹（2015年4月～6月）、鍛冶 日奈子（2015年4月）、</p> <p>谷 泰範（2015年4月～2016年4月）、田中 裕司（2015年4月～2018年3月）、</p> <p>星野 光男（2015年4月～2018年3月）、松原 健（2015年5月～2018年4月）、</p> <p>永井 恒輝（2015年7月～2018年6月）、竹内 由実（2015年4月～2020年3月）、</p> <p>太田 年彦（2018年4月～現在）、高橋 伸幸（2018年5月～現在）、</p> <p>永田 重陽（2019年7月～現在）、亀田 治邦（2020年4月～現在）、</p> <p>島田 守（2020年4月～現在）、占部 亘（2020年7月～現在）</p>		
0. 事業の概要	<p>未利用熱エネルギーを効果的に、削減（Reduce：断熱、遮熱、蓄熱等）、再利用（Reuse：ヒートポンプ技術等）、変換利用（Recycle：熱電変換、排熱発電等）するための技術をNEDOは熱の3R技術と呼んでおり、本事業では、その開発とこれらを横断的に扱う熱マネージメント技術・基盤技術の開発を行う。本事業は、得られる成果の実用化・普及を通じて、環境中に排出される膨大な未利用熱を効果的に削減又は回収して再利用・変換利用し、2030年に原油換算で600万kL/年以上の省エネルギー効果と1,700万t-CO₂/年以上のCO₂排出削減効果を目指す。</p>		
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>我が国では、石油、石炭、天然ガスといった化石燃料を中心とする一次エネルギーから電力・燃料等に変換・輸送・貯蔵するフローにおいて、その3～4割が有効利用できず熱として失われている（エネルギー・ロス）。さらに、消費者が最終的に活用する、真に必要なエネルギーに再変換する段階においてもエネルギー・ロスが発生するため、一次エネルギーの6～7割が熱として失われている。一次エネルギーの9割を輸入に頼り、その金額が16兆円（2019年度）にも上る我が国にとっては、これはとても大きな問題である。また、化石燃料は、燃焼して必要なエネルギーに変換するまでにCO₂を排出するため、いかにエネルギー・ロスを大幅に減らすかが、我が国が2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す上でも重要な課題である。社会全体のエネルギー・ロスを削減し、エネルギー効率を向上させて徹底した省エネルギーを実現するためには、このような利用されずに捨てられる熱、「未利用熱エネルギー」（未利用熱）を有効活用する技術を開発し社会実装することが重要かつ必須である。</p> <p>また、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は、ニューサンシャイン計画の一環として実施した「広域エネルギー利用ネットワークシステムプロジェクト」での実績があるが、それ以降は各省庁において提案公募型の事業が一部存在するものの、基盤研究から実用化までをすべて網羅し、企業を含むプロジェクト研究体制では実施されていない。我が国では、研究開発とそれによるイノベーションの創出の大半を企業が担っているが、近年、その企業における研究開発が短期化かつ短視野化しており、その多くが改良型の研究開発であって、抜本的なイノベーションを生み出す可能性を秘めた中長期的研究への投資は少なくなっているといわれている。</p> <p>更に、海外に目を向けると、中国や米国、欧州など、産学官が一体となったプロジェクトを積極的に展開している。特に、パリ協定の採択以降、2050年までの温室効果ガスの大幅な排出削減に向けて野心的な取り組みをリードする欧州では、熱利用に関するロードマップや白書が策定され、産業から排出される未利用熱の利活用をさらに推進する方針が示されている。そのような方針のもとで、欧州委員会（EC）の研究資金助成プログラムとして進行中のHorizon 2020でも、TASIO、TransFlexTeg、I-ThERM、DryFiciency、CREATE等、未利用熱の活用に</p>		

関する研究開発が活発になされており、熱利用に関する 100%補助プロジェクト事業には、10 億円/年以上の予算が投じられている。また、その後継プログラムとして、新たに Horizon Europe も計画されている。これら以外も含め、欧州各国では未利用熱を活用する取り組みが活発に推進されている。

このような背景の下、産学官連携による中長期的研究開発を重点的に行い、古くから研究開発の行われている我が国の未利用の 3 R 技術・熱マネジメント技術について、未来の省エネルギーに向けたフロンティアとして革新し、大型予算をもつ海外勢との将来的な技術・市場競争に打ち勝つとともに、国内の 3 E + S (Energy security (安定供給)、Economical efficiency (経済性)、Environment (環境) + Safty (安全)) の実現と、さらに全世界でのクリーンエネルギーへの移行という諸課題の解決に大きく貢献することを目指して、NEDO は本事業を実施する。

政策的位置付け

「エネルギー基本計画」(2018 年 7 月、閣議決定)においては、2030 年に向けては徹底した省エネルギー社会の実現のため、各分野において革新的な省エネルギー技術の開発と、さらに廃熱利用や熱システムの脱炭素化を促進することが重要であることが示されている。

「革新的環境イノベーション戦略」(2020 年 1 月、統合イノベーション戦略推進会議決定)においても、2050 年までの確立を目指す具体的な行動計画(5 分野 16 課題)に貢献する 1 つのテーマとして、「未利用熱・再生可能エネルギー熱利用の拡大」があり、高効率な断熱材、ヒートポンプ、熱電変換技術や、熱の評価技術の開発についての支援の必要性が明示されている。

さらに、経済産業省資源エネルギー庁と NEDO は、第 5 次エネルギー基本計画などの政府の方針を踏まえ、省エネルギー技術戦略の重要技術を 2019 年 7 月に改定し、廃熱利用や熱システムの脱炭素化を促進するため、廃熱を高効率に電力に変換する技術や高効率電力加熱技術などを重要技術に追加している(排熱の高効率電力変換、熱エネルギーの循環利用、高効率電気加熱(誘電加熱、レーザー加熱、ヒートポンプ加熱)など)。

NEDO が関与する意義

NEDO は、「持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針」を策定した。この指針では、持続可能な社会を実現する 3 つの社会システム(「サーキュラーエコノミー」「バイオエコノミー」及び「持続可能なエネルギー」)を掲げ、これらの一体的かつ有機的な推進により、非連続なイノベーションにつなげ、経済合理性を持って社会実装を実現させていくことが重要としている。

本事業の狙いは、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(ハイリスク・連携必要)と同時に、同技術の適用によって日本の主要産業の創生とともに競争力を強化し(ハイリスク・連携必要)、社会全体のエネルギー効率を向上することを目指すもの(公共性/汎用性・連携必要)であることから、「持続可能なエネルギー」を実現するための NEDO の指針に合致する。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、単独企業ではリスクが大きく、また、シーズ技術の橋渡しをしながら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、中長期の NEDO プロジェクトとして実施すべきものである。

例えば、高温ヒートポンプ用の新規冷媒については、さまざまなユーザが想定されるため冷媒データベースの登録等の標準化が求められるが、標準化のための冷媒研究はヒートポンプメーカーの収益に直結するものではなく、大学や研究機関が主体となって実施すべきものである。そのため、メーカーを含めた産学連携体制で、新規冷媒の物性評価等の基盤研究と標準化を推進する必要がある(公共性/汎用性・連携必要)。

また、熱電変換材料について、200~600℃で利用可能な熱電変換材料の研究は、長年研究が行われているものの実用化に至っていない。そのため、産学の英知を結集し、中長期の腰を据えた研究開発により材料探索フェーズから脱却するとともに、熱電材料性能の正しい評価と我が国の優位性を担保するため、性能評価技術の国際標準化を推進することが必要とされる(ハイリスク・連携必要)。

2. 研究開発マネジメントについて

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。

研究開発目標と根拠

研究開発項目①「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もに、産業／工業炉の高効率化を実現する熱関連部素材及び、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】

- ・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（2017 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 15MPa 以上、かつ熱伝導率 0.20W/m・K を有する断熱材料の開発（2020 年度末）

【最終目標】

- ・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（2022 年度末）

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、ますます高まっている。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、遮熱性及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。

なお、2017 年度までの研究開発により、革新的遮熱技術の確立にめどが立ち実用化開発に移行するため、2017 年度をもって本事業における研究開発は終了とする。

3) 達成目標

【最終目標】

- ・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（2017 年度末）

事業の目標

研究開発項目③「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機時間の低減、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。

なお、2018年度までの研究開発により、複合蓄熱体の開発は実用化開発に移行するため、2018年度をもって本事業における研究開発は終了とする。また、2019年度までの研究開発成果を受け、システム化開発に移行するため、2019年度をもって本研究開発項目における研究開発は終了とし、2020年度から研究開発項目⑦「熱マネジメントの研究開発」にて研究開発を実施する。

3) 達成目標

【中間目標】

- ・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 (2017年度末)
- ・-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 (2017年度末)
- ・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 (2017年度末)

【最終目標】

- ・蓄熱密度が 0.55MJ/L 以上であり、熱伝導率 2W/m・K 以上を有する複合蓄熱体の開発 (2018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 (2019年度末)
- ・-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 (2019年度末)

研究開発項目④「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、それを構成するシステムから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、更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) 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、及び(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。

なお、2018年度からシステム実証に移行することから助成事業として実施し、ユーザとのマッチングを図りながら実証を進める。また、2017年度までの研究開発により、低温排熱で駆動できる高効率冷凍機は、実用化のめどが立ち、順次、製品化に移行するため、2017年度末をもって本事業における研究開発は終了とする。

3) 達成目標

(1) 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

【中間目標】

- ・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 (2017 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信頼性確立及び 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基本設計の完了 (2020 年度末)

【最終目標】

- ・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 (2022 年度末)

(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の開発

【最終目標】

- ・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 (2017 年度末)

研究開発項目⑤「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、実用化及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、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ともに、低コスト化や長寿命化に資する技術開発を進め、更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とともにユーザにおけるデバイス評価を実施する。

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】

- ・性能指数 $ZT=2$ を有する無機材料の開発 (2017 年度末)
- ・200℃～600℃で使用可能な発電効率 12%以上を有するモジュールの開発及び出力 200W を達成する発電ユニットの基本設計完了 (2020 年度末)

【最終目標】

- ・パワーファクター (PF) $700\mu\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}^2$ を有する有機材料及び温度差 35℃以下で、出力密度 $20\mu\text{W}/\text{cm}^2$ を有するモジュールの開発 (2017 年度末)
- ・ $1.5\text{W}/\text{cm}^2$ の発電モジュール、発電素子の実用化開発 (2020 年度末)
- ・200℃～600℃で使用可能な発電効率 15%以上を有するモジュールの開発及び出力 200W を達成する発電ユニットの開発 (2022 年度末)
- ・コージェネ中高温向け熱電変換システムの利用効率 5%向上仕様の確立 (2022 年度末)

研究開発項目⑥「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る。

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及び装置の開発を行う。

なお、200℃以下の中低温排熱に対応した出力 10kW クラス小型排熱発電装置及び出力 50kW クラス排熱発電装置の研究開発については、システム化のための課題が明確化できたこと、出力 1kW クラス小型排熱発電装置の実用化にむけた研究開発に選択と集中を図る観点から、出力 50kW クラス排熱発電装置は 2015 年度末、出力 10kW クラス小型排熱発電装置は 2017 年度末で終了する。また、2019 年度までの研究開発成果を受け、システム化開発に移行するため、2019 年度をもって本研究開発項目における研究開発は終了とし、2020 年度から研究開発項目⑦「熱マネージメントの研究開発」にて研究開発を実施する。

3) 達成目標

【中間目標】

- ・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 (2017 年度末)

【最終目標】

- ・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基本要素技術確立 (2015 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膨張タービンの開発 (2017 年度末)
- ・開発した出力 1kW クラス小型排熱発電装置の性能実証 (2019 年度末)

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、運輸分野においては、車両における内燃機関熱効率の飛躍的な向上及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。更に、産業分野においては、排熱を回収し、それを蒸気・温水として工場の加熱プロセス、空調、給湯、温度差発電等へ利用したり、効率的な熱の融通（蓄熱、熱輸送）を行ったりすることで、高い総合エネルギー効率が達成でき、より一層の省エネルギーが期待される。

2) 研究開発の具体的内容

本研究開発では、高効率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、運輸分野及び産業分野等における高効率な熱マネージメントシステムを実現することで、車両又は工場ないし社会全体の効率向上を目指す。

なお、2017 年度ないし 2018 年度までの研究開発により、吸熱デバイスの開発及び高効率ヒートパイプの開発は実用化開発に移行するため、それぞれ 2017 年度、2018 年度をもって本事業における研究開発は終了とする。

3) 達成目標

【中間目標】

- ・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) (2017 年度末)
- ・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 (2017 年度末)

(b)極寒 (-20℃) 環境下などの実用条件で COP=1.5 以上の作動が可能な暖房ヒートポンプの開発 (2017 年度末)

・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 (2017 年度末)

・安全性評価を完了し、過冷却度 2K 以内、120℃以下で、蓄熱密度 0.3MJ/kg (従来材料比 2 倍) の高密度蓄熱材料(低温用)を搭載した蓄熱モジュール及び-20℃~25℃環境下で 24h 以上の保持期間を実現する蓄熱材料を搭載した蓄熱モジュールの開発 (2020 年度末)

・工場等における、開発した出力 1kW クラス小型排熱発電装置を利用した未利用熱削減効果の実証 (2020 年度末)

・電気駆動車等の対流・輻射・伝導の高分解能計測技術の確立 (2020 年度末)

・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発

(a)蒸発性能 1.7kW/19L の性能を有する冷房用ヒートポンプの開発 (2020 年度末)

(b)極寒 (-20℃) 環境下などの実用条件で COP=1.5 以上の作動が可能な暖房用ヒートポンプ開発及び実アプリケーションでの実証 (2020 年度末)

【最終目標】

・吸熱量 5W/cm²を有する吸熱デバイスの開発 (2017 年度末)

・高効率ヒートパイプの開発 (熱輸送距離 2m、熱輸送量 3000W、蒸発器体格 0.5L、抗重力性、動力源レス) (2018 年度末)

・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発

(a)蒸発性能 2.0kW/19L の性能を有する冷房用ヒートポンプの開発 (2022 年度末)

(b)極寒 (-20℃) 環境下などの実用条件で COP=1.7 以上の作動が可能な暖房用ヒートポンプ開発及び実アプリケーションでの実証 (2022 年度末)

・車両トータルの熱移動を計測し、上記省エネシステムを組み合わせ、最適化したトータル熱マネジメント技術の開発 (2022 年度末)

・産業分野等における高効率な熱マネジメント技術・システムの開発 (2022 年度末)

(a)モジュールを搭載した模擬システムでの検証を通じた、氷蓄熱と同等の蓄熱密度 (従来材料比 2 倍) を有し、10℃前後にて冷却・保冷を行う潜熱蓄熱システム及び-20℃~25℃環境下で 24h 以上の保持期間を実現する長期蓄熱システムの確立

研究開発項目⑥「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及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】

・排熱調査を実施し、研究開発シナリオの検討の完了 (2017 年度末)

・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の明確化 (2017 年度末)

	<ul style="list-style-type: none"> ・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（2017年度末） ・優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術の構築（2020年度末） ・プロジェクト内部の共通基盤ツールとしての新材料探索の基盤情報の提供（2020年度末） <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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（2022年度末） ・優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術の提供（2022年度末） ・産業用高温ヒートポンプ向け冷媒候補の開発及び冷媒物性情報の収集並びに統合解析シミュレーション技術の構築（2022年度末） 								
事業の計画内容	主な実施事項	2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy		
	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ヒートポンプ技術の研究開発	→							
	⑤熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発	→							
	⑥排熱発電技術の研究開発	→							
	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	2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	総額	
	一般会計								
	特別会計(需給)	1,850	1,500	650	650	630	650	5,930	
	開発成果促進財源			67		45	99	211	
	総NEDO負担額	1,920	1,721	917	650	675	749	6,632	
	(委託)	1,920	1,721	917	603	630	691	6,482	
	(助成) 助成率2/3	0	0	0	47	45	58	150	
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 金属課(～2019年度) 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 省エネルギー課 (2020年度～)							
	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 理事 エネルギー・環境領域 領域長)							
	プロジェクトマネージャー	岩坪 哲四郎 (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 特定分野専門職)							

	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（TherMAT） 組合員（参加 15 社、1 財団、1 研究機関） 共同実施：早稲田大学、岡山大学、大阪大学、東京大学、 名古屋大学、東北大学、山口東京理科大学、 物質材料研究機構、山口大学、 九州大学、佐賀大学、九州産業大学 （2020 年 10 月時点）</p> <p>研究開発項目①：断熱技術の研究開発 瑞浪分室（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②：遮熱技術の研究開発（2017 年度末で終了）</p> <p>研究開発項目③：蓄熱技術の研究開発 守口分室（パナソニック株式会社（2019 年度末で終了）） 豊田分室（トヨタ自動車株式会社（2018 年度末で終了）、 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（2017 年度末で 終了））</p> <p>研究開発項目⑤：熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発 つば分室（古河機械金属株式会社） ひたち分室（株式会社日立製作所） 横浜分室（古河電気工業株式会社） 塩谷分室（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⑥：排熱発電技術の研究開発 守口分室（パナソニック株式会社（2019 年度末で終了））</p> <p>研究開発項目⑦：熱マネージメントの研究開発 豊田分室（トヨタ自動車株式会社（2018 年度末で終了）） 広島分室（マツダ株式会社） 佐野分室（マレリ株式会社、日本エクスラン工業株式会社） 刈谷分室（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） 守口分室（パナソニック株式会社）</p> <p>研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発 技術開発センター（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、株式会社前川製作所） 神戸分室（三菱重工サーマルシステムズ株式会社、三菱重工工業株式会社、 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）</p> <p>※小規模研究開発 委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、京都大学</p>
--	-----	--

	<p>助成先</p>	<p>助成先：未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合（TherMAT） 組合員（参加 2 社） 共同実施：早稲田大学 （2020 年 10 月時点）</p> <p>研究開発項目④：ヒートポンプ技術の研究開発 守谷分室（株式会社前川製作所） 兵庫分室（三菱重工サーマルシステムズ株式会社）</p>
<p>情勢変化への 対応</p>	<p>NEDO は、プロジェクトの進捗状況や、革新的熱利用技術委員会の結果、市場・技術動向を踏まえ、情勢変化に対応したプロジェクトの運営・管理を推進した。情勢変化への主な対応事例は以下のとおり。</p> <p>①プロジェクトの体制強化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「機械・化学産業分野の高温熱供給ヒートポンプに適した冷媒の技術開発」において、種々の物性値を再現可能な高精度ヘルムホルツ型状態方程式の開発と「REFPROP」用データファイルを作成する実績を有する九州産業大学を神戸分室の共同実施先に追加した。（2018 年度） ・近年の電気駆動車の普及とパワートレインシステムの多様化を受け、自動車の熱の流れが大きく変化していくことが予想される中で、自動車全体の熱流れを解析可能にするモデルを構築し、電動化に伴って変化する将来の熱の流れを見える化できるようにするため、広島分室を中心とした All TherMAT の取組みとして、熱流れの計測解析技術の開発と自動車全体の熱流れのモデル構築の取り組みを開始した。（2018 年度）また、佐野分室と熱電変換関係分室とで連携し、ハイブリッド自動車の排気回収システムへ熱電発電モジュール搭載する際の最適配置や燃費効果の検討を開始した。（2020 年度） ・「車両用高効率排熱利用・冷房用ヒートポンプの研究開発」において、冬季の換気損失を低減するための湿度交換器システムに必要な、高分子収着剤を用いた耐水性能の高い透湿シートの開発を行うため、日本エクスラン工業株式会社を佐野分室に追加した。（2019 年度） ・本事業は、2020 年度から省エネ施策として再構築し、システム化開発を重点化するなど、実用化に向けたマネジメントを一層強化した。（2020 年度） <p>②ステージゲート方式の採用</p> <p>熱電変換技術のシーズ探索・育成に向け先導的に取り組むべき研究開発については小規模研究開発スキームとして実施し、ステージゲート方式を採用して、年度ごとにその継続の妥当性等を審議しながらテーマを推進した。</p> <p>③欧州における熱利用技術に関する最新技術動向及び市場導入条件調査</p> <p>パリ協定の採択以降、2050 年までの温室効果ガスの大幅な排出削減に向けて野心的な取り組みをリードする欧州を対象として、熱利用技術に関する最新技術動向及び市場導入条件調査を実施し、TherMAT 内で結果の共有を行った。</p> <p>また、NEDO がドイツ環境・自然保護・原子炉安全省（BMU）及び経済・エネルギー省（BMWi）と共催した「第 10 回日独エネルギー・環境フォーラム」や NEDO とスペイン政府・産業技術開発センター（CDTI）との合同ワークショップ等においても、昨今の欧州各国における情勢と、我が国の未利用熱活用技術に対する関心について、情報収集を実施した。</p>	

2017年度 中間評価結果 への対応	中間評価における主たる指摘事項とその対応（2017年度末時点）は下表のとおり。	
	指摘事項	対応
	具体的な数値目標を立てていることは評価できるが、実質が伴わない可能性がある目標値については、よりユーザーニーズに近い目標設定に見直してほしい。	研究開発項目⑤「熱電変換材料・デバイス高性能信頼化技術開発」 無次元性能指数（ZT）を目標値としてきたところ、実質性を重視しユーザー評価指標である出力密度（ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ）、発電効率（%）の目標値を追加する。
	最終目標達成の見通しが、必ずしも明確でない印象もある。例えば、実機の試作がやや遅れているテーマなどに対しては効果的なフォローが望まれる。	研究開発項目④「ヒートポンプ技術の開発」 2018年度のシステム実証移行にあわせ、助成事業化する。ただし、基盤となる冷媒開発及び統合解析シミュレーション技術の開発については、研究開発項目⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」の下で委託事業として進める。 研究開発項目⑤「熱電変換材料・デバイス高性能信頼化技術開発」 デバイス評価まで進めるため、ユーザーとのマッチングを図る。難易度は高いが高性能化が有望な無機材料は、小規模研究枠に移行させ、毎年度のステージゲート評価を課しつつ開発を進める。
一部の技術開発において、技術的な課題と製品化のための課題の区別が曖昧な印象を受ける。実用化からほど遠い研究開発もあり、その成果の活用方法を考慮し、実用化への道筋を明らかにすることにより、全体として選択と集中を図り、効率的な事業運営が望まれる。	研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」 研究開発の進捗が早く、製品化開発に移行するため、2017年度末で完了する。 研究開発項目⑤「熱電変換材料・デバイス高性能信頼化技術開発」 有機材料の開発において、最終目標の達成や実用化の見通しが厳しいため、並行して進める導電性高分子材料・炭素系熱電変換デバイスの開発への選択と集中を図る。 研究開発項目⑥「排熱発電技術の研究開発」 技術面とコスト削減の両面から見通しが得られている1kWクラスへの選択と集中を図り、10kWの開発は終了する。	
評価に関する 事項	事前評価	2012年度 経済産業省実施
	中間評価	2015年度、2017年度、2020年度
	事後評価	2023年度（予定）
3. 研究開発成果 について	<p>研究開発項目①：断熱技術の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 不凍タンパク質添加により組織の均一化をはかり、原料の組み合わせを検証し緻密な気孔壁組織を確立することにより、1500℃の耐熱性、熱伝導率 0.20W/m・K、圧縮強度 15MPa 以上の特性を有する断熱材を開発した。 スラリー調製工程と凍結工程の付帯作業の効率化と処理量増加により両工程のリードタイムを短縮し、並形で300個/月の作製を可能にする技術を確立した。また、凍結工程や凍結乾燥工程のスケールアップ検証により、並形断熱材 500個/月が生産可能な製造工程を確立する見込みである。 検証炉にて開発部材の性能評価を行い、排熱削減 50%省エネ炉の設計指針を決定する見込みである。 <p>研究開発項目③：蓄熱技術の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 高密度蓄熱材料（低温）：蓄熱密度 0.25MJ/kg を有するクラスレートハイドレートをを用いて、振動のない環境下で、過冷却度 2K 以下の蓄熱モジュールの開発を行った。また、2020年度以降の蓄熱による熱マネージメント実証の対象システムの調査を行い、蓄熱密度、蓄放熱速度等の機器の要求仕様を明らかにした。 	

- ・長期蓄熱材料：温度 90℃の模擬熱源で、トリガーを付与してから 30 秒以内に過冷却解除、40 秒以内で最大熱出力が得られる中温用蓄熱モジュール及び 25℃環境下で過冷却を 24 時間保持できる高温用蓄熱材料を開発した。
- ・蓄熱構造体（車載用）：目標である蓄熱密度 0.55MJ/L（蓄熱材含有率 80%）と熱伝導率 2W/mK に対して、アルミ-チタン系構造体の伝熱経路を維持し 5W/mK 以上の熱伝導率を確保した。また、加熱時間を 1/4 に短縮することで、従来よりも省エネルギー化できる製造プロセスを確立した。
- ・蓄熱材の高密度化（車載用）：新規多孔材（MOF）を用いて、蓄熱密度 0.8MJ/L（材料目標 0.7MJ/L 以上）、再生温度 56℃（目標値 60℃以下）を達成した。

研究開発項目④：ヒートポンプ技術の研究開発

- ・冷媒にハイドロフルオロレフィン（HFO）系を用いた最高温度 200℃（80℃→180℃加熱）、COP（成績係数）3.5 以上のヒートポンプ試作機の設計を完了した。2020 年度末までに製作を完了する見込みである。このとき、ターボ圧縮機の定格回転数での運転を実施し断熱効率 70%以上であることを確認するとともに、高温高压熱交換器の仕様を決定した。
- ・200℃温水出力に対応ができ既に入手可及な冷媒候補で、160℃超温水出力での要素試験を行い、機器要素の計画仕様と試験値がほぼ一致することを確認し、機器要素の設計技術の信頼性を確認した。
- ・研究開発項目⑧で開発した新規低 GWP（地球温暖化係数）冷媒候補での 200℃温水出力ヒートポンプのサイクル性能評価を完了して 200℃温水出力ヒートポンプの基本制御設計を確立し、開発機の基本計画を完了させ、製作図を完成させた。また、開発した設計技術を用いて、新規冷媒候補での 200℃温水出力ヒートポンプの機能品の採用部品を決定した。
- ・研究開発項目⑧と連携し、統合解析シミュレータを用いて実工場データを使用した導入効果等の検討を行った。

研究開発項目⑤：熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発

従前の開発と検討を踏まえ、最終目標を達成するために、「スクッテルライト」「クラスレート」「シリサイド」の無機材料系に絞って、開発を進めた。

- ・スクッテルライト系：熱電モジュール基本技術を開発し、耐久性が 600℃、5,000h 以上の基板付熱電モジュール技術を確立した。また、熱電発電ユニットの構造を適正化し、出力 200W の熱電発電ユニットを試作した。
- ・クラスレート化合物：高性能クラスレート焼結体の開発・試作を行い、変換効率 $\eta=12\%$ のモジュールに必要な p 型素子ならびに n 型素子の作製技術の確立を図った。また、多接合型オールクラスレートモジュールを試作・評価を行い、変換効率 $\eta=12\%$ を持つモジュール化技術の確立を図った。
- ・シリサイド系-1：試作した熱電変換モジュールのコージエネ適用実証を見据え、実証実験の設計を実施した。また、要素試験により熱源と熱電変換モジュールとの熱交換方式を確認した。さらに、熱電変換材料の高度化に向けて、低コスト環境低負荷なシリコン系バルク材料をターゲットに、マンガンシリサイドバルク材料で $ZT>1$ を見通した。また、材料スケールアップにおける課題を抽出した。
- ・シリサイド系-2：発電モジュール形態（配線部＋接合材料＋電極付き素子）での接合界面の観察、界面抵抗の測定等の耐久性評価（接合界面の観察、界面抵抗の測定等）を実施することにより、 $1.5\text{W}/\text{cm}^2$ の発電モジュールに適用可能な発電素子の製造プロセスを確立した。また、モジュールの早期の実用化検討対象として、農業用途のバイオマスボイラーへの展開を検討し、2020 年度末にその実証試験を行い、作物への生育効果がある事を確認するために、バイオマスボイラー用途の環境を想定した耐久評価を実施した。
- ・小規模研究開発においては、主に以下の成果を得た。
 熱流センサによる計測技術：フレキシブルな熱電変換素子を袋状に成型し、対象の物質を包むことで、相変化中で温度が一定な物質の熱の流出入量を定量的に計測する技術を開発した。また、本技術を活用し、保冷剤の保冷能力の残量を算出し外部端末に表示するシステムを開発するとともに、研究開発項目⑦での熱流計測にも応用した。
 小型で軽量の自然冷却型有機熱電モジュール：導電性高分子（PEDOT/PSS）を用いた有機熱電変換モジュールについて、その導電部材の熱伝導が大きいことがモジュール全体の特性を制限していることを発見し、導電部材の電気抵抗、部材間の接触抵抗をできるだけ増やさずに熱抵抗を高める新たな設計を行った。その結果、小

型・軽量で製造コストが低く、放熱フィンなどを使わずに自然冷却が可能な有機熱電モジュールを世界で初めて開発し、100℃から120℃の低温熱源に設置するだけで、無線通信に十分な電力が得られることを実証した。

研究開発項目⑥：排熱発電技術の研究開発

- ・出力 1kWe クラスに関して、2020 年度のシステム実証機の構築に向けて、2018 年度に明らかにした膨張機、ポンプ等のデバイス耐久性とサイクル制御の課題解決手段を踏まえて、5 年相当の耐久性を考慮したデバイス設計と、熱源の起動や停止時における排熱の温度や量の変動に対応したサイクル自動制御技術の構築を行った。
- ・排ガスの温度、量、成分や設備運転の自由度、設置スペース、システム実証機及び測定系を含めた全体構成等の観点でシステム実証先を絞り込み、数値解析等により、想定される実排ガスと設置環境に応じて目標の回収熱量が得られる排熱回収用のコンパクト熱交換器の設計を行った。

研究開発項目⑦：熱マネージメントの研究開発

自動車及び工場のさまざまなプロセスについて、システム全体で熱を上手く利用し省エネルギー化を図ることを目指し、個別のメソッドロジーやシミュレーション技術を組み合わせ、伝導、対流、放射（伝熱の3形態）等を管理・制御するための技術開発を実施した。

▽自動車の熱マネージメント：

- ・車両搭載に不可欠なループヒートパイプ（LHP）システムの小型化を目指し、蒸発器と補償器（蒸発器への水供給を補償）を一体化したスペース効率の高い蒸発器を新たに開発することにより、1.53L（目標 1.6L 以下）で 3kW という LHP システムを構築した。
- ・海外製ハイブリット車等を用いて夏季、冬季、通期における各環境温度 -10～40℃、車速 0～130 km/h で熱流れの計測を行い、熱流れモデルの構築に必要なデータを取得するとともに実車ベースの熱流れの見える化を行った。また、開発したモデルの精度が目標に達していることを確認した。
- ・車両用小型吸収冷凍機の実現に向けて、車載システムの動作を確認し、夏季環境条件での車両走行時のシステム性能評価を実施し、システム制御を検討するとともに、数 kW 冷熱の出力を確認した。また、熱交換器の更なる性能向上のため、研究開発項目⑤の小規模研究開発で開発した熱流センサを応用し、熱交換分布を計測把握した。さらに、更なる小型化に向け、分離膜式吸収冷凍機の構造設計と性能評価を行った。
- ・極低温下における吸着蓄熱性能の評価を行いシステム及び車両適用時の課題を明確にした。あわせて車両の適合性を検証した。また、高分子収着剤塗膜ポリマーネットワーク高度化により、高耐水性収着剤塗膜の基本塗布技術を確立した。さらに、信頼性・耐久性を有する高分子収着剤を用いて、高透湿性シート技術を確立した。
- ・研究開発項目③で開発した長期蓄熱材料（中温用）について、実証先における要求仕様を明らかにし、蓄熱モジュールにおいて、過冷却解除までの時間 30 秒以内、過冷却の保持時間 24 時間、蓄熱密度 0.1MJ/L、蓄放熱速度の要求仕様を、同時に満たすことを検証した。

▽工場プロセスの熱マネージメント：

- ・研究開発項目③で安全性評価を完了した高密度蓄熱材料（低温用）を搭載した蓄熱モジュールについて、食品工場での蓄冷用途への適用を見据え、過冷却度 2K 以下、実証先における蓄熱密度、蓄放熱速度の要求仕様を、同時に満たすことを検証した。
- ・研究開発項目⑥で開発した出力 1kWe クラスの排熱発電に関して、発電効率が 14%以上となることを確認した（2017 年度）。また、熱源熱源の起動に伴う排ガスの温度と量の上昇に追従した起動運転、安定した排ガス温度と量での定常運転、熱源の停止に伴う排ガスの温度と量の低下に追従した停止運転を実施すると共に、排ガス温度 200℃の定常運転の条件において、平均発電出力 1kW を達成した。

研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発

- ・15 業種の業種別、温度帯別、設備別の未利用熱の排出・活用に関する実態調査について、その成果を「産業分野の排熱実態調査報告書」として取りまとめ、シンポジウムで発表するとともに組合 Web ページ上で公表した。
- ・関係分室、関係機関、共同実施先と連携し、ヒートポンプ導入のモデルケースのライブラリ化を念頭に置きながら、産業用ヒートポンプ等の導入検討に係る工場のエネルギー利用状況等の調査を実施し、その結果とそのシミュレーションの結果から、開発したヒートポンプ等の導入効果を明らかにした。また、工場の熱利用プロセスに導入するヒ-

	<p>トポンプ単体の性能が検討可能な「産業用単体シミュレータ」を構築し、本事業内で共有化すると共に、詳細なモデルケースシミュレーションを実施し、年間性能も含めた導入効果を検証した。また、産業用プロセス全体の検討が可能な「産業用エネルギー統合シミュレータ」の開発も実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 様々な熱電材料の機械的強度データを収集し、モジュールの劣化予測に必要な材料データベースを構築した。IEC-TC47/WG7 においてモジュール発電性能の規格の提案、審議を行い、次期規格提案の内容を決定することを目指した。また、一般公開した熱伝導率計算ソフト「P-TRANS」に電子輸送計算機能を追加し、熱電特性や電子デバイスのジュール発熱・熱散逸が計算できるようにした。さらに、異方性を考慮しセットアップされた熱電計測装置を用いて有機系・新炭素系の熱電特性データを集積し、市販した縦方向熱電計測器によるスタンダードな計測手法を確立した。また、切削による変形を低減した有機材料断面出し技術を開発し、有機熱電材料内部のサブミクロンオーダーの微細構造観察技術を確立した。 熱関連材料のデータベースシステムについて、利用者の利便性を考慮し、熱物性値の性格が異なる有機／無機化合物の熱物性データを統一的に検索可能とした。また新たなデータ構造を基盤としてシステムの機能拡張を行い、より利便性を考慮したインタラクティブツールを実装した。計算科学を用いた蓄熱材の反応機構解明について、酸化マグネシウムと水蒸気との化学反応を分子スケールで適切にモデル化し、水和反応と脱水反応のエネルギー変化を第一原理計算から評価した。水和反応に関して、酸化マグネシウム固体表面に水酸化マグネシウムの結晶核が形成されること、この化学過程が発熱反応であることも実際の計算で確認できた。 高温熱供給ヒートポンプに適した新規低 GWP 冷媒候補について、その輸送性質・PVT 物性の熱物性のデータを取得し、得られた飽和密度と臨界定数から、ヘルムホルツ型状態方程式の最適な関数形を決定した。また、新規冷媒候補の合成法の効率化を検討し、最適な合成方法を確立した。さらに、新規冷媒候補に関して、最適なサイクルでの性能解析と開発した凝縮熱伝達予測法を用いた計算を行うとともに、最適な絶縁材・エラストマを決定した。 						
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="354 1064 582 1131">投稿論文</td> <td data-bbox="582 1064 1476 1131">「論文」 103 件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="354 1131 582 1198">特 許</td> <td data-bbox="582 1131 1476 1198">「出願」 525 件 (うち外国出願 178 件)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="354 1198 582 1310">その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td data-bbox="582 1198 1476 1310">「研究発表・講演」 445 件、「新聞・雑誌等」 23 件、 「その他(展示会への出展等)」 80 件、「受賞実績」 22 件</td> </tr> </table>	投稿論文	「論文」 103 件	特 許	「出願」 525 件 (うち外国出願 178 件)	その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」 445 件、「新聞・雑誌等」 23 件、 「その他(展示会への出展等)」 80 件、「受賞実績」 22 件
投稿論文	「論文」 103 件						
特 許	「出願」 525 件 (うち外国出願 178 件)						
その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」 445 件、「新聞・雑誌等」 23 件、 「その他(展示会への出展等)」 80 件、「受賞実績」 22 件						
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	<p>早期の実用化促進とともに実用化のために必要な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を目指し、成果の実用化に向けた取組みについては特に注力してきた。主な活動内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 関係者の不断の努力により、すでに数件の成果が実用化された。特に、従来の熱回収温度の下限を 75℃から 55℃に低減して、従来比約 2 倍の性能を実現する一重効用ダブルリフト吸収冷凍機については、日立ジョンソンコントロールズ空調（株）が本開発技術を適用した吸収冷凍機「DXS」の販売を開始し、2019 年には初号機が出荷され、商用運転を開始した。また、開発成果として広報するために、INCHEM2019 及び ENEX2020 にて DXS の実機展示を行った。 産業用の高温ヒートポンプについて、工場のエネルギー管理者などを含め、そのコストや導入効果（省エネルギー性、CO₂ 排出削減効果）、ヒートポンプシステムの構成などを予め定量的に評価することが困難なことが、導入障壁の 1 つとなっている。そこで、2018 年度から「高温ヒートポンプ等技術のモデルケース検討 WG」を立ち上げ、関係分室、関係機関、共同実施先と連携して、既存のシステムのみならず開発中の高温ヒートポンプ等のシステムについて、そのコストや導入効果等の評価や設計を可能とする汎用的なモデル・シミュレータとデータセットの構築、それらを用いたモデルケース検討を実施してきた。 本事業で実施している高性能熱電発電モジュールの研究開発の加速及び近い将来の熱電発電モジュールの市場拡大を見据えて、正確で迅速な熱電発電モジュールの発電性能評価技術の開発と、国際標準化の活動を推進してきた。 						

	<p>・ニュースリリースや展示会でのサンプル展示、シンポジウムの開催や、海外とのワークショップ、関係雑誌での未利用熱活用特集などを積極的に行い、取組みや成果の広報とともに、ユーザからの厳しいニーズや導入条件（性能、コスト等）に合致することを目指し、ユーザのニーズ調査を実施して実用化計画への反映を行った。</p> <p>また、第 5 次エネルギー基本計画において、廃熱利用や熱システムの脱炭素化を促進することが示されたことなどを踏まえ、本事業は 2020 年度から省エネ施策として再構築した。</p> <p>2020 年度の間目標は、ほとんどのテーマで達成見込みであり、一部テーマでは最終目標を前倒しで達成している。上述の活動を継続することを前提として、成果の実用化と普及を見通している。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	制定：2015 年 3 月
	変更履歴	改訂：2016 年 3 月、2018 年 3 月、2019 年 2 月、2020 年 2 月、2020 年 5 月

プロジェクト用語集

用語	説明
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。
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。
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。
シリサイド	ケイ素とより電気的陽性な元素（金属）との化合物。熱電変換材料の中でも、環境親和性、安定供給性、コストなどの観点で優れる、実用的な熱電変換材料として期待されています。
スカッテルダイト	スカッテルダイト TX ₃ (T:遷移金属 Co, Fe など, X:プニクトゲン P, As, Sb)とあらわされる金属化合物。ノルウェーのオスロ北西部のある地名（Skutterud）がその名前の由来です。頂点を共有した X の八面体構造に T が囲まれた結晶構造（体心立方晶）をとり、高い電気伝導度と低い熱伝導率を兼ね備えた工業的に有用な高性能な熱電変換材料として期待されています。
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℃) で生じる熱起電力をゼーベック係数と呼びます。なお、この時の発電量はパワーファクター (PF) と呼びます。
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。
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。
熱電（変換）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（変換）モジュールを有する発電装置を熱電（変換）デバイスと称します。
ヒートパイプ	熱輸送を瞬時に、大量に行うことのできる熱伝導素子のこと。本事業では、多孔体で生じる毛管現象を利用した無電力の気液二相流体ループで、高い熱輸送性能、長距離熱輸送を実現するルートヒートパイプ（LHP）を開発対象としています。
ファイバーレス断熱材	労働安全衛生法の下定められた特定化学物質障害予防規則の中で特定化学物質（第 2 類物質）の管理第 2 類物質として追加された「リフラクトリーセラミックファイバー」を含まない断熱材。本事業では、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、これを凍結してゲル内に細孔源となる氷を形成させ、氷結晶を取り除いて焼成してセラミックス多孔体をつくる「ゲル化凍結法」を用いて、高強度高断熱性を有するファイバーレス断熱材を実現します。
不凍タンパク質	極地の魚類の血漿から発見され、主に生体の凍結防止や氷の再結晶防止による生物の生命維持に寄与するタンパク質のことです。低熱伝導率の断熱材を実現するためには気孔

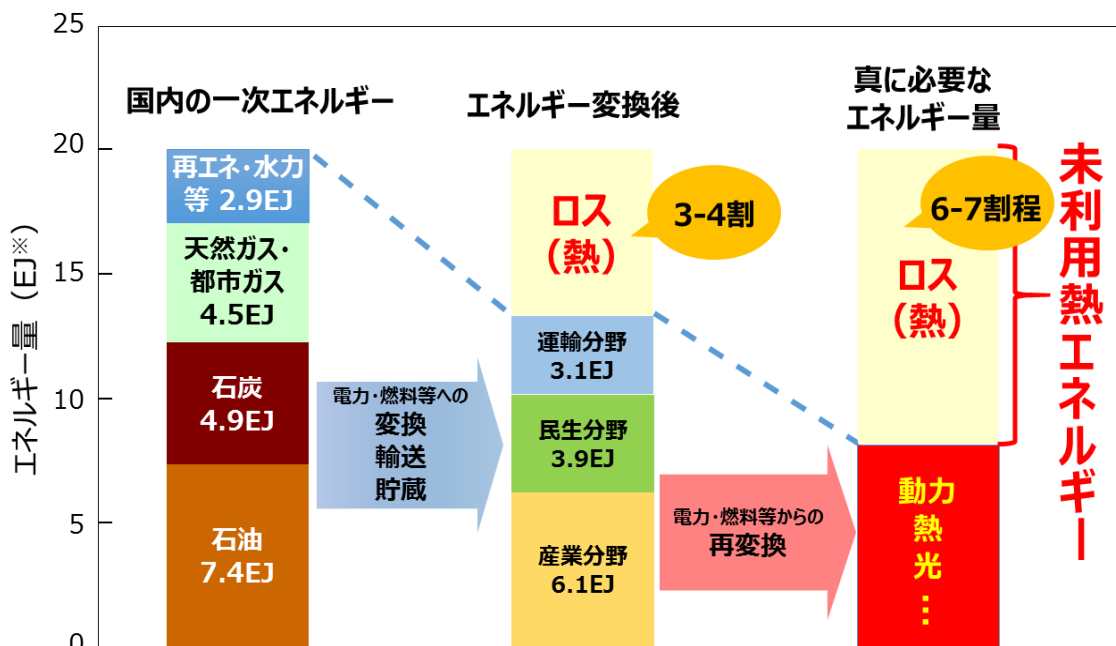
	<p>率を高める必要があるが、気孔率を高めると氷結晶由来の粗大な欠陥が生じてしまい、強度が大きく低下してしまうという問題があります。結晶のプリズム面に吸着し結晶成長と粒成長（再結晶化）を強く抑制する不凍タンパク質（グリコプロテイン）を氷結晶成長抑制物質として添加することにより、粗大欠陥が消失し、断熱材の圧縮強度を大きく増大することが出来ます。</p>
未利用熱エネルギー	<p>一次エネルギーを動力などの真に必要なエネルギーへと変換する際に、利用されずに捨てられる熱のこと。一般には排熱や廃熱と呼ばれます。</p>
無次元性能指数（ZT）	<p>材料の熱電変換性能を評価するパラメータです。ZT の値が大きいほど、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 $ZT \geq 1$ です。</p>
HFO (Hydrofluoroolefin)	<p>ハイドロフルオロオレフィン。二重結合のフッ素化合物。冷媒としては、地球温暖化係数が低いことが知られており、次世代の冷媒候補として注目されています。</p>
FEM (Finite Element Method)	<p>有限要素法。熱伝導や熱応力など解析的に解くことが難しい微分方程式の近似解を数値的に得る方法の一つ。</p>
COP (Coefficient of Performance)	<p>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。</p>
GWP (Global Warming Potential)	<p>地球温暖化係数。二酸化炭素を基準にして、ほかの温室効果ガスがどれだけ温暖化する能力があるか表した数字のことです。</p>

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

我が国では、石油、石炭、天然ガスといった化石燃料を中心とする一次エネルギーから電力・燃料等に変換・輸送・貯蔵するフローにおいて、その3～4割が有効利用できずに熱として失われている（エネルギー・ロス）。さらに、消費者が最終的に活用する、真に必要なエネルギーに再変換する段階においてもエネルギー・ロスが発生するため、一次エネルギーの6～7割が熱として失われている（図1）。一次エネルギーの9割を輸入に頼り、その金額が16兆円（2019年度）にも上る我が国にとっては、これはとても大きな問題である。また、化石燃料は、燃烧して必要なエネルギーに変換するまでにCO₂を排出するため、いかにエネルギー・ロスを大幅に減らすかが、我が国が2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す上でも重要な課題である。社会全体のエネルギー・ロスを削減し、エネルギー効率を向上させて徹底した省エネルギーを実現するためには、このような利用されずに捨てられる熱、「未利用熱エネルギー」（未利用熱）を有効活用する技術を開発し社会実装することが重要かつ必須である。



※EJ=10¹⁸ ジュール

出典：資源エネルギー庁 平成30年度（2018年度）エネルギー需給実績（確報）を基にNEDO作成

図1 日本における一次エネルギー供給から最終活用に至るエネルギーフロー

また、NEDOが進める未利用熱の有効利用に関する研究開発は、1980年代にムーンライト計画の一環として実施された「スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムの研究開発」から始まった。1990年代に入ってから、ニューサンシャイン計画のもとで規模を拡大し、石油代替と省エネルギー化という命題のもとで「未利用エネルギー高度活用負荷平準化冷暖房技術開発」、「高性能工業炉の開発」など産学官の英知を結集して複数の大規模な研究開発プロジェクトが並行して実施された（図

2)。特に、「広域エネルギー利用ネットワークシステム研究開発」（エコ・エネ都市プロジェクト）では、全国排熱総量の推定から、蓄熱・熱輸送技術、熱交換技術、圧縮式・吸収式冷凍技術、熱電変換材料などの開発まで、幅広い未利用熱の有効利用技術を対象とした技術開発を一体的に行った。しかしながら、それ以降は各省庁において提案公募型の事業が一部存在するものの、基盤研究から実用化までをすべて網羅し、企業を含むプロジェクト研究体制では実施されていない。我が国では、研究開発とそれによるイノベーションの創出の大半を企業が担っているが、近年、その企業における研究開発が短期化かつ短視野化しており、その多くが改良型の研究開発であって、抜本的なイノベーションを生み出す可能性を秘めた中長期的研究への投資は少なくなっているといわれているが、未利用熱の有効利用に関してはそれが顕著である。

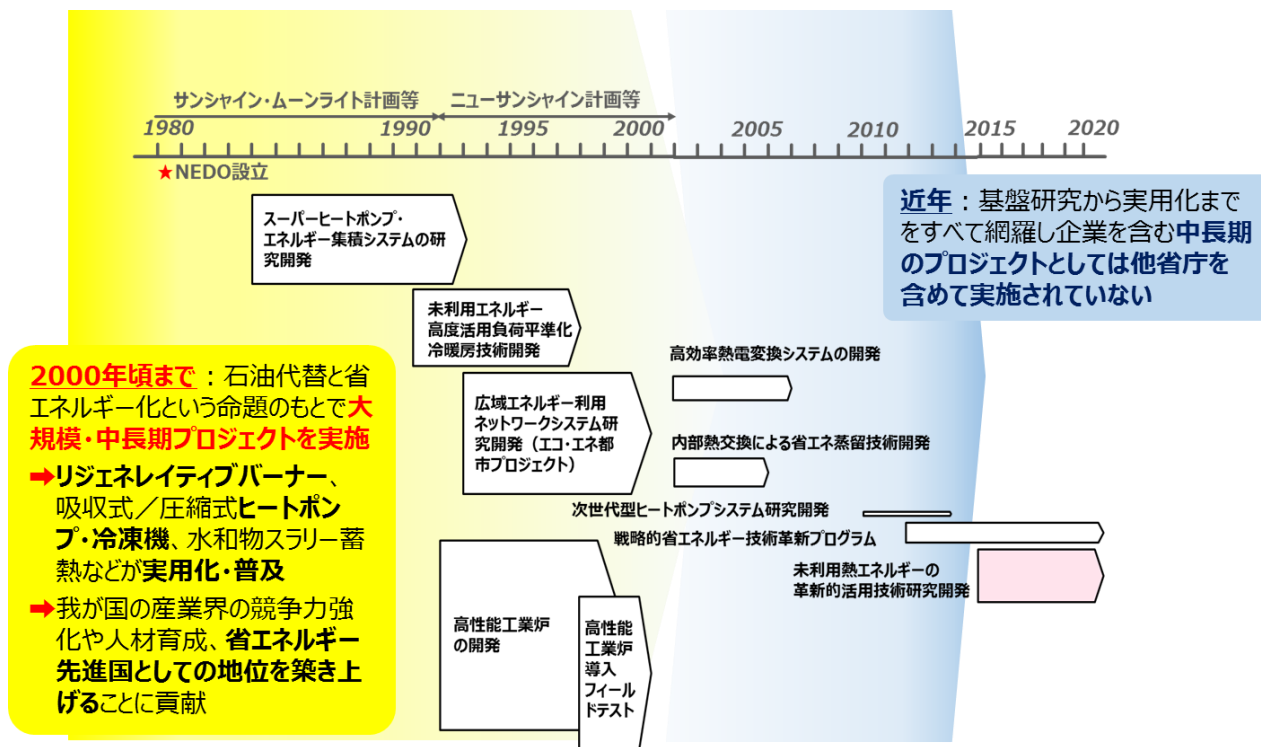


図2 NEDOにおける未利用熱の利活用に関する主な研究開発プロジェクト

(矢印の枠の縦の長さは各プロジェクト・テーマの予算規模)

更に、海外に目を向けると、中国や米国、欧州など、産学官が一体となったプロジェクトを積極的に展開している。特に、パリ協定の採択以降、2050年までの温室効果ガスの大幅な排出削減に向けて野心的な取り組みをリードする欧州では、熱利用に関するロードマップや白書が策定され、産業から排出される未利用熱の利活用をさらに推進する方針が示されている。そのような方針のもとで、欧州委員会（EC）の研究資金助成プログラムとして進行中の Horizon 2020 でも、TASIO、TransFlexTeg、I-ThERM、DryFiciency、CREATE 等、未利用熱の活用に関する研究開発が活発になされており、熱利用に関する 100%補助プロジェクト事業には、10 億円/年以上の予算が投じられている。また、その後継プログラムとして、新たに Horizon Europe も計画されている。これら以外にも含め、欧州各国では未利用熱を活用する取り組みが活発に推進されている。

このような背景の下、未利用熱を効果的に削減（Reduce）又は回収して再利用（Reuse）・変換利用（Recycle）するための技術（熱の 3R 技術）と熱マネジメント技術を産学官連携によ

り中長期的・重点的に実施し、古くから研究開発の行われているこれらの技術について、未来の省エネルギーに向けたフロンティアとして革新する（図3）。これにより、大型予算をもつ海外勢との将来的な技術・市場競争に打ち勝つとともに、国内の3E+S（Energy security（安定供給）、Economical efficiency（経済性）、Environment（環境）+ Safty（安全））の実現と、さらに全世界でのクリーンエネルギーへの移行という諸課題の解決に大きく貢献することを目指して、NEDOは本事業を実施する。



図3 未利用熱の3R

2) 事業の政策的位置付け

「エネルギー基本計画」（2018年7月、閣議決定）においては、2030年に向けては徹底した省エネルギー社会の実現のため、各分野において革新的な省エネルギー技術の開発と、さらに廃熱利用や熱システムの脱炭素化を促進することが重要であることが示されている。

「革新的環境イノベーション戦略」（2020年1月、統合イノベーション戦略推進会議決定）においても、2050年までの確立を目指す具体的な行動計画（5分野16課題）に貢献する1つのテーマとして、「未利用熱・再生可能エネルギー熱利用の拡大」があり、高効率な断熱材、ヒートポンプ、熱電変換技術や、熱の評価技術の開発についての支援の必要性が明示されている。

さらに、経済産業省資源エネルギー庁とNEDOは、第5次エネルギー基本計画などの政府の方針を踏まえ、省エネルギー技術戦略の重要技術を2019年7月に改定し、廃熱利用や熱システムの脱炭素化を促進するため、廃熱を高効率に電力に変換する技術や高効率電力加熱技術などを重要技術に追加している（排熱の高効率電力変換、熱エネルギーの循環利用、高効率電気加熱（誘電加熱、レーザー加熱、ヒートポンプ加熱）など）（図4）。

「省エネルギー技術戦略」に定める重要技術



図4 「省エネルギー技術戦略」に定める重要技術
(赤字：未利用熱の有効利用に関連する技術)

3) 国内外の研究開発の動向と比較

前述のとおり、中国や米国、欧州など、産学官が一体となったプロジェクトを積極的に展開している。Web of Science による “waste heat” に関する研究文献検索の結果、2000 年以降の論文発表件数の上位 5 か国は、中国、米国、ドイツ、日本、英国となっている（図 5）。

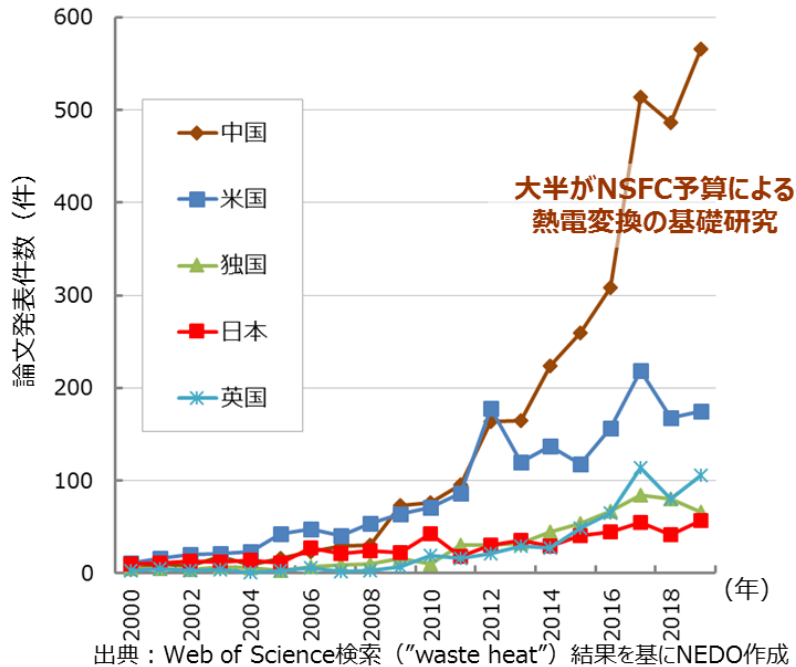


図 5 “waste heat”に関する論文発表動向（世界上位 5 か国）

中国国家発展改革委員会では、「石炭のクリーンで高効率な利用と新型省エネ技術」の実施計画（2016～2020 年度の 5 か年計画）が発行され、工場の余剰熱回収が重点的研究開発の対象となっている。主として、高温排熱回収を対象とした研究開発が、西安交通大学、北京科学技術大学、中国科学院力学研究所などで実施されているが、上海交通大学では、低質な低温熱を対象として、63.57MW 超の高効率吸収ヒートポンプサイクルシステム、9MW クラスの大温度差、高効率、高信頼の産業用圧縮ヒートポンプ技術を確立した。また、中国国家自然科学基金委員会（NSFC）予算による熱電変換に関する基礎研究も活発に実施されている。

米国では、DOE Advanced Manufacturing Office（エネルギー省 先進製造室）において、先進製造の実現のための公募が実施され、ポリマーコンポジット材料を用いた新しい熱交換器、マクロチャンネル熱交換器の気液二相流の流動挙動解析、排熱回収システムのシミュレーションベースの設計と最適化等の研究開発が国研を中心に実施されている。DARPA（国防高等研究計画局）や NASA JPL（アメリカ航空宇宙局ジェット推進研究所）では、熱エネルギーハーベスタとして、テルル系化合物、ハーフホイスター系、スクテルライト系、CNT といった熱電変換材料の開発を活発に実施されている。（目標変換効率 6～11%）

欧州では、「EU ヒート・ロードマップ」を 2012 年に策定し、以降順次改定を行って、産業から排出される未利用熱に着目して、その地域熱供給への接続を含め、未利用熱の利活用をさらに推進する方針を示している。欧州委員会（EC）の研究資金助成プログラムとして進行中の Horizon 2020 では、2014～2015 年、2016～2017 年、2018～2020 年に実施されている作業プログラムの中

で、排熱利用等の熱マネジメント技術関連の公募枠が設定されている。熱利用に関する 100%補助プロジェクト事業には、10 億円/年以上の予算が投じられており、蓄熱や熱電変換を中心に、未利用熱の活用に関する研究開発が活発に実施されている。

このように、大型予算をもつ海外勢が実用化に向けた研究開発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ある。

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、「持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針」を策定した。この指針では、持続可能な社会を実現する 3 つの社会システム（「サーキュラーエコノミー」「バイオエコノミー」及び「持続可能なエネルギー」）を掲げ、これらの一体的かつ有機的な推進により、非連続なイノベーションにつなげ、経済合理性を持って社会実装を実現させていくことが重要としている。

本事業の狙いは、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（ハイリスク・連携必要）と同時に、同技術の適用によって日本の主要産業の創生とともに競争力を強化し（ハイリスク・連携必要）、社会全体のエネルギー効率を向上することを目指すもの（公共性/汎用性・連携必要）であることから、「持続可能なエネルギー」を実現するための NEDO の指針に合致する。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、単独企業ではリスクが大きく、また、シーズ技術の橋渡しをしながら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、中長期の NEDO プロジェクトとして実施すべきものである（図 6）。

NEDO が関与する意義

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）**
- 社会全体のエネルギー効率を向上 **（公共性/汎用性・連携必要）**
- 新たな産業創成と競争力強化 **（ハイリスク・連携必要）**

中長期の NEDO プロジェクトとして実施すべきもの

図 6 NEDO が関与する意義

例えば、高温ヒートポンプ用の新規冷媒については、さまざまなユーザが想定されるため冷媒データベースの登録等の標準化が求められるが、標準化のための冷媒研究はヒートポンプメーカーの収益に直結するものではなく、大学や研究機関が主体となって実施すべきものである。そのため、メーカーを含めた産学連携体制で、新規冷媒の物性評価等の基盤研究と標準化を推進する必要がある（公共性/汎用性・連携必要）。

また、熱電変換材料について、200～600℃で利用可能な熱電変換材料の研究は、長年研究が行われているものの実用化に至っていない。そのため、産学の英知を結集し、中長期の腰を据えた研究開発により材料探索フェーズから脱却するとともに、熱電材料性能の正しい評価と我が国の優位性を担保するため、性能評価技術の国際標準化を推進することが必要とされる（ハイリスク・連携必要）。

1.2.2 実施の効果（費用対効果）

既存技術の限界及び経済性の面での制約から、未利用エネルギーの大半、特に 200℃未満の低温領域の熱の多くが捨てられているが、未利用熱の 3R 及び熱マネージメントの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する。

本事業の費用総額は、107.3 億円（経済産業省実施分を含む想定額：2013～2022 年度）である。開発成果が社会実装されることにより、2030 年時点で、国内では 2,100 億円/年以上の市場創出、世界では 1.3 兆円/年以上の市場創出が期待され、それぞれ国費投資に対して 20 倍以上、120 倍以上のリターンとなる（図 7）。

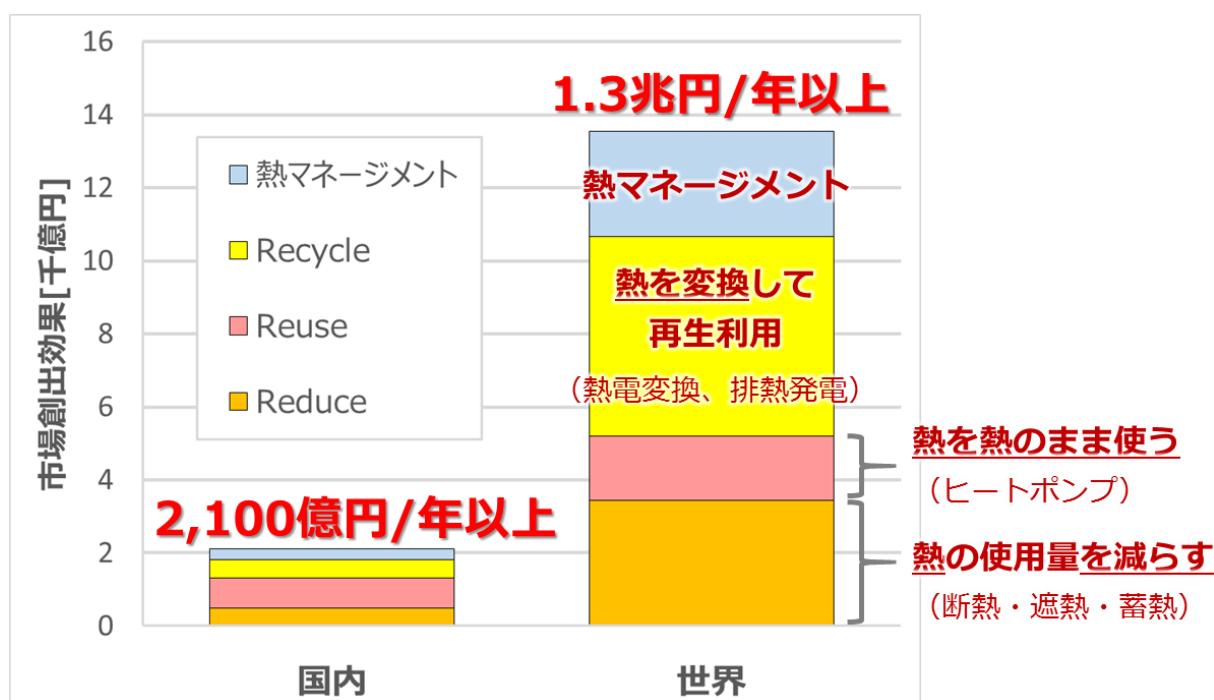
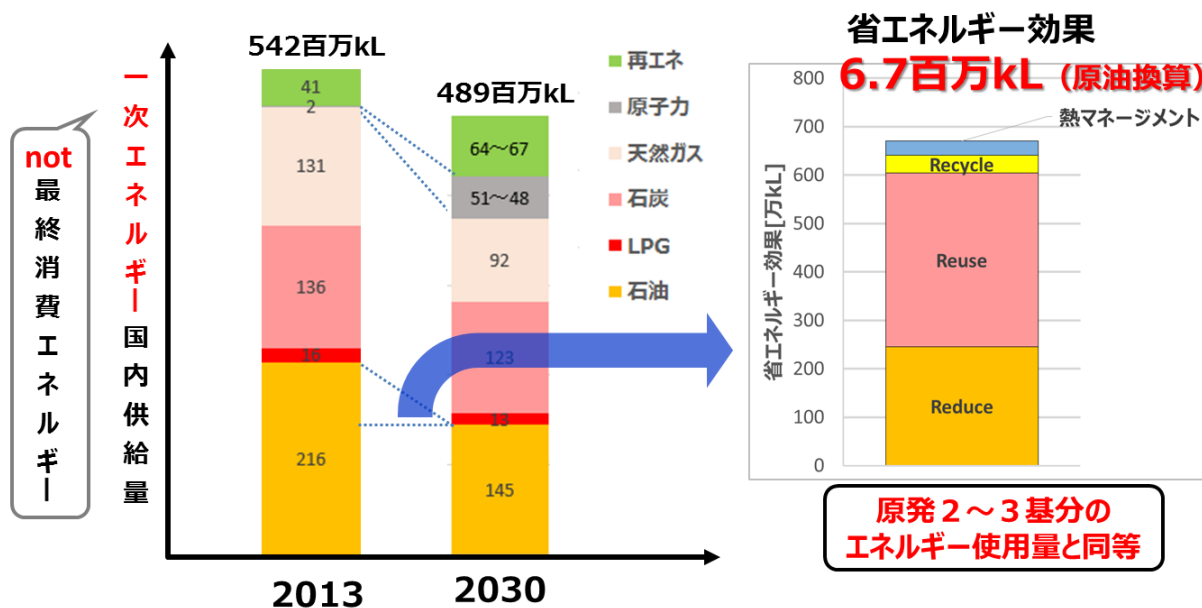


図 7 本事業の費用対効果（市場創出効果）

また、本事業の研究開発成果の 2030 年時点における波及効果として、一次エネルギー換算で少なくとも 600 万 kL/年以上の省エネルギーを見込んでいる。これは、原発 2～3 基分と同等のエネルギー的な価値があり、第四の電源として 3 E + S へ寄与することが大いに期待される（図 8）。

図 8 本事業の費用対効果（省エネルギー効果）



出典：資源エネルギー庁「長期エネルギー需給見通し関連資料」

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。

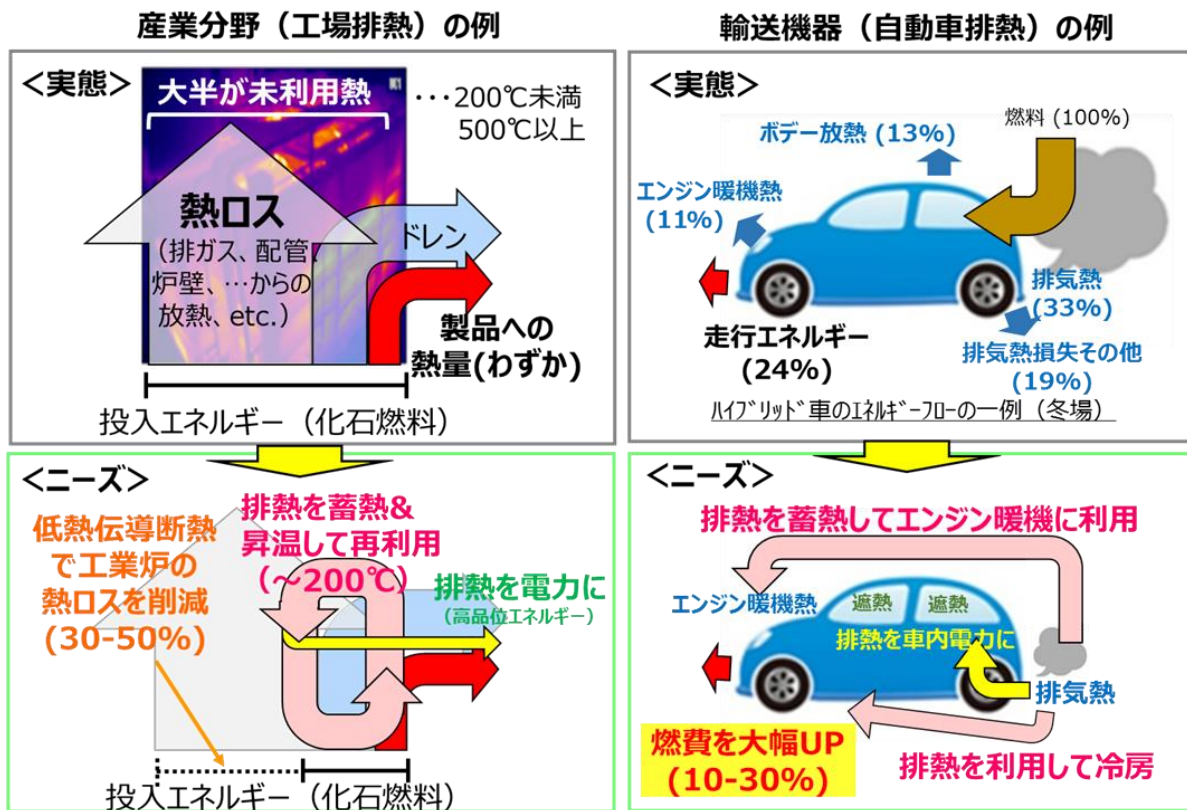
アウトプット目標

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：ファイバーレスで、耐熱 1500℃以上、圧縮強度 20MPa 以上、熱伝導率 0.20W/m・K 以下（2022 年度）
- ・遮熱：可視光線透過率 70%以上、日射熱取得率 43%以下（2017 年度）
- ・蓄熱：120℃以下で蓄熱密度 1MJ/kg、20℃～25℃環境下で 24h 以上（2019 年度）
- ・高温ヒートポンプ：100→200℃加熱で COP（成績係数）:3.5 以上（2022 年度）
- ・熱電：200℃～600℃で発電効率 15%以上のモジュール、出力 200W の発電ユニット
- ・排熱発電：開発した出力 1kW クラスの小型排熱発電装置の性能実証（2019 年度）
- ・熱マネジメント：運輸・産業分野等の熱マネジメント技術・システム開発（2022 年度）
- ・熱関連調査・基盤技術：
 - 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（2022 年度）
 - 優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術の提供（2022 年度）
 - 産業用高温ヒートポンプ向け冷媒候補の開発及び冷媒物性情報の収集並びに統合解析シミュレーション技術の構築（2022 年度）

アウトカム目標

本事業の研究開発成果の2030年時点における波及効果として、原油換算で600万kL/年程度以上の省エネ、1,700万t-CO₂/年程度以上のCO₂削減効果を見込んでいる（図9）。



原油換算で600万kL/年程度以上の省エネ、
1,700万t-CO₂/年程度以上のCO₂削減効果@2030年

図9 産業分野や運輸分野での未利用熱排出実態と未利用熱活用ニーズ

2.2 事業の計画内容

2.2.1 研究開発の内容

上述の目標を達成するために、以下の研究開発項目を実施する。

【委託事業】

- 研究開発項目①：断熱技術の研究開発（2019年度まで）
- 研究開発項目②：遮熱技術の研究開発（2017年度まで）
- 研究開発項目③：蓄熱技術の研究開発（2019年度まで）
- 研究開発項目④：ヒートポンプ技術の研究開発（2017年度まで）
- 研究開発項目⑤：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⑥：排熱発電技術の研究開発（2019年度まで）
- 研究開発項目⑦：熱マネー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

【助成事業】

研究開発項目④：ヒートポンプ技術の研究開発（2018年度以降）

研究開発目標と根拠

研究開発項目①「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、産業／工業炉の高効率化を実現する熱関連部素材及び、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】

- ・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（2017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 15MPa 以上、かつ熱伝導率 0.20W/m・K を有する断熱材料の開発（2020年度末）

【最終目標】

- ・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（2022年度末）

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、ますます高まっている。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、遮熱性及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。

なお、2017年度までの研究開発により、革新的遮熱技術の確立にめどが立ち実用化開発に移行するため、2017年度をもって本事業における研究開発は終了とする。

3) 達成目標

【最終目標】

- ・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（2017年度末）

研究開発項目③「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機時間の低減、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。

なお、2018年度までの研究開発により、複合蓄熱体の開発は実用化開発に移行するため、2018年度をもって本事業における研究開発は終了とする。また、2019年度までの研究開発成果を受け、システム化開発に移行するため、2019年度をもって本研究開発項目における研究開発は終了とし、2020年度から研究開発項目⑦「熱マネジメントの研究開発」にて研究開発を実施する。

3) 達成目標

【中間目標】

- ・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（2017年度末）
- ・-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（2017年度末）
- ・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（2017年度末）

【最終目標】

- ・蓄熱密度が 0.55MJ/L 以上であり、熱伝導率 2W/m・K 以上を有する複合蓄熱体の開発（2018 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（2019 年度末）
- ・-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（2019 年度末）

研究開発項目④「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、それを構成するシステムから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、更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）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、及び（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。

なお、2018 年度からシステム実証に移行することから助成事業として実施し、ユーザとのマッチングを図りながら実証を進める。また、2017 年度までの研究開発により、低温排熱で駆動できる高効率冷凍機は、実用化のめどが立ち、順次、製品化に移行するため、2017 年度末をもって本事業における研究開発は終了とする。

3) 達成目標

- （1）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

【中間目標】

- ・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（2017 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信頼性確立及び 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基本設計の完了（2020 年度末）

【最終目標】

- ・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（2022 年度末）

（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の開発

【最終目標】

- ・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（2017 年度末）

研究開発項目⑤「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、実用化及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、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ともに、低コスト化や長寿命化に資する技術開発を進め、更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とともにユーザにおけるデバイス評価を実施する。

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】

- ・性能指数 $ZT=2$ を有する無機材料の開発（2017 年度末）
- ・200℃～600℃で使用可能な発電効率 12%以上を有するモジュールの開発及び出力 200W を達成する発電ユニットの基本設計完了（2020 年度末）

【最終目標】

- ・パワーファクター (PF) $700\mu\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}^2$ を有する有機材料及び温度差 35℃以下で、出力密度 $20\mu\text{W}/\text{cm}^2$ を有するモジュールの開発（2017 年度末）
- ・ $1.5\text{W}/\text{cm}^2$ の発電モジュール、発電素子の実用化開発（2020 年度末）
- ・200℃～600℃で使用可能な発電効率 15%以上を有するモジュールの開発及び出力 200W を達成する発電ユニットの開発（2022 年度末）
- ・コージェネ中高温向け熱電変換システムの利用効率 5%向上仕様の確立（2022 年度末）

研究開発項目⑥「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る。

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及び装置の開発を行う。

なお、200℃以下の中低温排熱に対応した出力 10kW クラス小型排熱発電装置及び出力 50kW クラス排熱発電装置の研究開発については、システム化のための課題が明確化できたこと、出力 1kW クラス小型排熱発電装置の実用化にむけた研究開発に選択と集中を図る観点から、出力 50kW クラス排熱発電装置は 2015 年度末、出力 10kW クラス小型排熱発電装置は 2017 年度末で終了する。また、2019 年度までの研究開発成果を受け、システム化開発に移行するため、2019 年度をもって本研究開発項目における研究開発は終了とし、2020 年度から研究開発項目⑦「熱マネジメントの研究開発」にて研究開発を実施する。

3) 達成目標

【中間目標】

- ・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 (2017 年度末)

【最終目標】

- ・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基本要素技術確立 (2015 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膨張タービンの開発 (2017 年度末)
- ・開発した出力 1kW クラス小型排熱発電装置の性能実証 (2019 年度末)

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、運輸分野においては、車両における内燃機関熱効率の飛躍的な向上及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。更に、産業分

野においては、排熱を回収し、それを蒸気・温水として工場の加熱プロセス、空調、給湯、温度差発電等へ利用したり、効率的な熱の融通（蓄熱、熱輸送）を行ったりすることで、高い総合エネルギー効率が達成でき、より一層の省エネルギーが期待される。

2) 研究開発の具体的内容

本研究開発では、高効率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、運輸分野及び産業分野等における高効率な熱マネジメントシステムを実現することで、車両又は工場ないし社会全体の効率向上を目指す。

なお、2017 年度ないし 2018 年度までの研究開発により、吸熱デバイスの開発及び高効率ヒートパイプの開発は実用化開発に移行するため、それぞれ 2017 年度、2018 年度をもって本事業における研究開発は終了とする。

3) 達成目標

【中間目標】

- ・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）（2017 年度末）
- ・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（2017 年度末）
 - (b)極寒（-20℃）環境下などの実用条件で COP=1.5 以上の作動が可能な暖房ヒートポンプの開発（2017 年度末）
- ・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（2017 年度末）
- ・安全性評価を完了し、過冷却度 2K 以内、120℃以下で、蓄熱密度 0.3MJ/kg（従来材料比 2 倍）の高密度蓄熱材料(低温用)を搭載した蓄熱モジュール及び-20℃～25℃環境下で 24h 以上の保持期間を実現する蓄熱材料を搭載した蓄熱モジュールの開発（2020 年度末）
- ・工場等における、開発した出力 1kW クラス小型排熱発電装置を利用した未利用熱削減効果の実証（2020 年度末）
- ・電気駆動車等の対流・輻射・伝導の高分解能計測技術の確立（2020 年度末）
- ・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発
 - (a)蒸発性能 1.7kW/19L の性能を有する冷房用ヒートポンプの開発（2020 年度末）
 - (b)極寒（-20℃）環境下などの実用条件で COP=1.5 以上の作動が可能な暖房用ヒートポンプ開発及び実アプリケーションでの実証（2020 年度末）

【最終目標】

- ・吸熱量 $5\text{W}/\text{cm}^2$ を有する吸熱デバイスの開発（2017 年度末）
- ・高効率ヒートパイプの開発（熱輸送距離 2m、熱輸送量 3000W、蒸発器体格 0.5L、抗重力性、動力源レス）（2018 年度末）
- ・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発
 - (a) 蒸発性能 $2.0\text{kW}/19\text{L}$ の性能を有する冷房用ヒートポンプの開発（2022 年度末）
 - (b) 極寒（ -20°C ）環境下などの実用条件で $\text{COP}=1.7$ 以上の作動が可能な暖房用ヒートポンプ開発及び実アプリケーションでの実証（2022 年度末）
- ・車両トータルの熱移動を計測し、上記省エネシステムを組み合わせ、最適化したトータル熱マネジメント技術の開発（2022 年度末）
- ・産業分野等における高効率な熱マネジメント技術・システムの開発（2022 年度末）
 - (a) モジュールを搭載した模擬システムでの検証を通じた、氷蓄熱と同等の蓄熱密度（従来材料比 2 倍）を有し、 10°C 前後にて冷却・保冷を行う潜熱蓄熱システム及び $-20^\circ\text{C}\sim 25^\circ\text{C}$ 環境下で 24h 以上の保持期間を実現する長期蓄熱システムの確立

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及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】

- ・排熱調査を実施し、研究開発シナリオの検討の完了（2017 年度末）
- ・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の明確化（2017 年度末）
- ・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（2017 年度末）

- ・優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術の構築（2020年度末）
- ・プロジェクト内部の共通基盤ツールとしての新材料探索の基盤情報の提供（2020年度末）

【最終目標】

- ・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（2022年度末）
- ・優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術の提供（2022年度末）
- ・産業用高温ヒートポンプ向け冷媒候補の開発及び冷媒物性情報の収集並びに統合解析シミュレーション技術の構築（2022年度末）

研究開発項目	2020年度までの目標（中間・最終）	根拠
①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 15MPa 以上、かつ熱伝導率 0.20W/m・K を有する断熱材料の開発（2020年度末）	・現在使われている耐熱れんがの熱伝導率を大幅に改善し、規制が強化され始めている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を実現する
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（2017年度末）	・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を実現する
③蓄熱技術の研究開発	・蓄熱密度が 0.55MJ/L 以上であり、熱伝導率 2W/m・K 以上を有する複合蓄熱体の開発（2018年度末）	・自動車の蓄熱材用途への適用時に必要な技術として設定
	・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（2019年度末） ・-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（2019年度末）	・産業・業務部門の食品製造業等の 10℃前後の冷熱需要に即した冷凍機の省エネルギー運転等に寄与する蓄熱材料を実現する ・自動車の走行時の排熱を翌日の始動時に使用することを想定して、長期に蓄熱出来る蓄熱材料を実現する
④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信頼性確立及び 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基本設計の完了（2020年度末）	・化石燃焼を用いたボイラ蒸気による工場のプロセス加熱を代替し、1.75 倍の熱効率で加熱可能なシステムを実現する ・一次エネルギー利用効率や経済性の点でメリットが出ることを考慮して、COP : 3.5 を満足する産業用高効率ヒートポンプを開発する

		<p>※遷臨界サイクルにおいて、未利用熱エネルギーとして蒸気ドレン水を利用し昇温幅を 100℃と想定すると、現実的には 80℃からの昇温になる。100→200℃加熱の実現可能性については机上計算にて検証し、試作機では、80℃→180℃加熱で最高加熱温度 200℃の検証を行う。なお、理論 COP については 80℃→180℃の方がより厳しい条件となる。</p>
⑤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"> ・200℃～600℃で使用可能な発電効率 12%以上を有するモジュールの開発及び出力 200W を達成する発電ユニットの基本設計完了（2020 年度末） 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来材料ではできなかった中高温度（200～600℃）の利用に適した熱電モジュール・材料の技術を確立し、自動車や工場等の排熱回収用途での実用化が可能レベルとする ・コージェネシステム利用効率 5%を達成するための発電性能を実現する
⑥排熱発電技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・開発した出力 1kW クラス小型排熱発電装置の性能実証（2019 年度末） 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来比 2 倍の発電効率で投資対効果の高い小型高効率排熱発電技術を実現する（2020 年度末までに実排ガスで効果実証を行う）
⑦熱マネージメントの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性評価を完了し、過冷却度 2K 以内、120℃以下で、蓄熱密度 0.3MJ/kg（従来材料比 2 倍）の高密度蓄熱材料（低温用）を搭載した蓄熱モジュール及び-20℃～25℃環境下で 24h 以上の保持期間を実現する蓄熱材料を搭載した蓄熱モジュールの開発（2020 年度末） 	<ul style="list-style-type: none"> ・産業/業務部門の食品製造業等の 10℃前後の冷熱需要に即した冷凍機の省エネルギー運転等に寄与する蓄熱モジュールを実現する ・自動車の走行時の排熱を翌日の始動時に使用することを想定して、長期に蓄熱出来る蓄熱モジュールを実現する
	<ul style="list-style-type: none"> ・工場等における、開発した出力 1kW クラス小型排熱発電装置を利用した未利用熱削減効果の実証（2020 年度末） 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来比 2 倍の発電効率で投資対効果の高い小型高効率排熱発電技術を実現し、実排ガスで効果を検証する
	<ul style="list-style-type: none"> ・電気駆動車等の対流・輻射・伝導の高分解能計測技術の確立（2020 年度末） 	<ul style="list-style-type: none"> ・将来のクルマの熱流れに関するレイアウトや仕様を決定するために、熱流れのモデル構築が必要 ・少ない計測点で高精度な熱流れを予測するために、伝熱の 3 つの形態であ

		<p>る、伝導/対流/輻射を分離計測する技術の確立を実現する</p> <p>(a) 夏季の冷房損失を削減するため、現状の自動車用エアコンシステムと同容積（約 19L）にて平均蒸発性能 2kW のを実現する冷房用ヒートポンプを実現する</p> <p>(b) 車両からの排熱を利用し、極低温時でも高 COP での暖房を可能とするとともに、換気損失を大幅に削減し、必要な化石燃料を削減する</p>
<p>⑧熱関連調査・基盤技術の研究開発</p>	<p>・数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発</p> <p>(a)蒸発性能 1.7kW/19L の性能を有する冷房用ヒートポンプの開発（2020 年度末）</p> <p>(b)極寒（-20℃）環境下などの実用条件で COP=1.5 以上の作動が可能な暖房用ヒートポンプ開発及び実アプリケーションでの実証（2020 年度末）</p> <p>・優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術の構築（2020 年度末）</p> <p>・プロジェクト内部の共通基盤ツールとしての新材料探索の基盤情報の提供（2020 年度末）</p>	<p>・工場の生産プロセスや熱フローを把握し、生産プロセスに最適化した高度なシステム設計技術を確立して、従来は困難であったヒートポンプ技術等の導入効果の見える化を容易にする</p> <p>・熱電材料の発電性能や耐久性の評価手法、ハイスループット評価技術を早期に実現し、我が国が強みを有する熱電材料の国際的な産業化と標準化に貢献する</p> <p>・革新的な熱マネジメント材料の探索や実用化開発等を可能とするため、これまで整備されてこなかった熱関連材料・部素材の各熱物性情報の収集とデータベース化を実現するとともに、計算シミュレーションを活用した熱関連材料の機能予測を併用することで、各種熱関連材料に関する知見の共有を行う</p> <p>・安全性等の評価を行い、160～200℃出力用ヒートポンプで使用可能な冷媒を確立する</p>

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P L（プロジェクトリーダー）を選定し、各実施者は、P Lの下で研究開発を実施する（図 10）。P M（プロジェクトマネージャー）はP Lと協議し、プロジェクトの運営を行う。

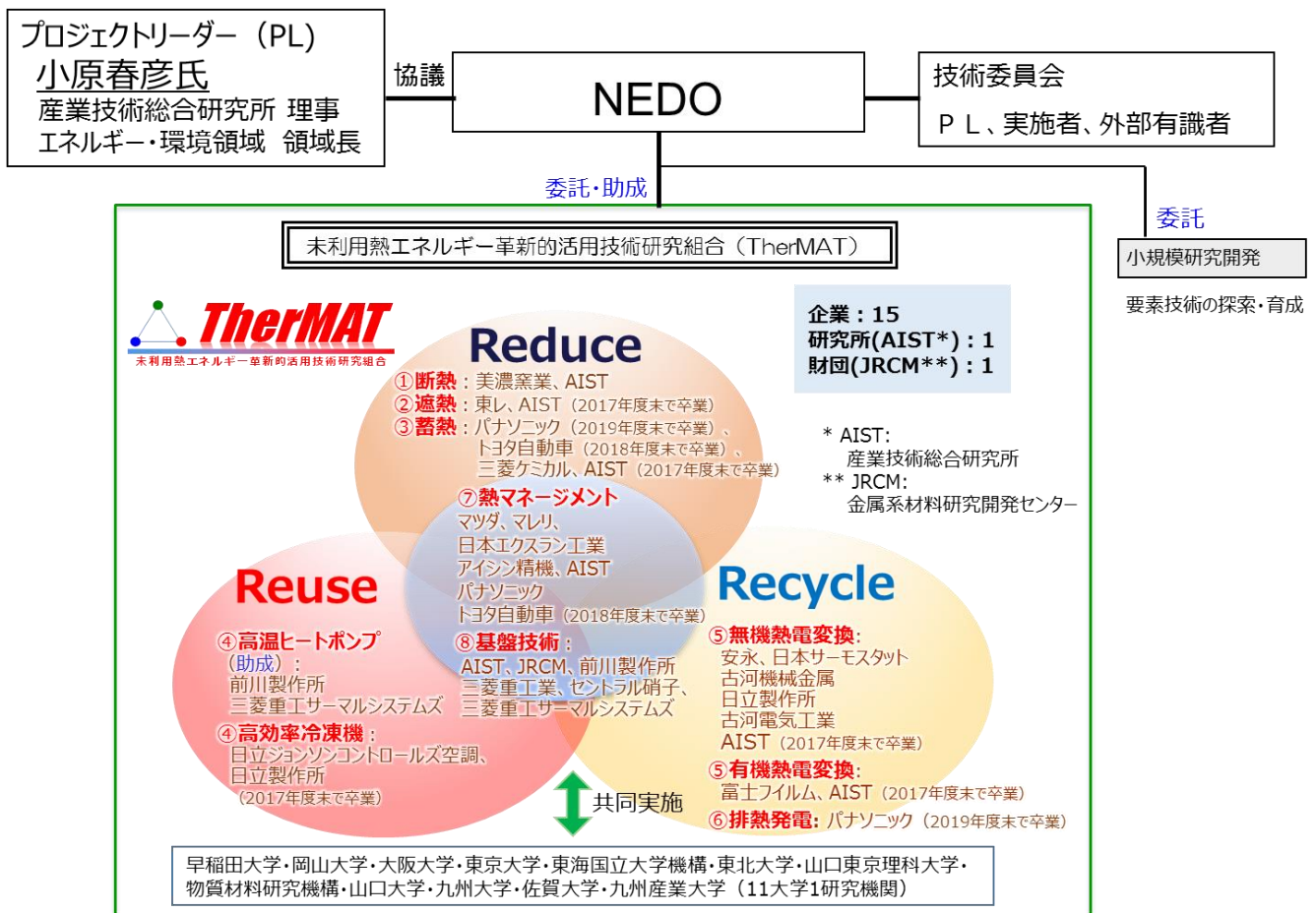


図 10 実施体制

【P L】

- 定期的な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】

- 全ての実施テーマでヒアリング（Web）を行い、進捗状況把握、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等について実施者と直接意見交換を行っている。
- 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展示会やワークショップ等での情報発信を計画・実施している。

【PLとPMとの意思疎通】

- 1ヶ月に1回程度以上、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等について議論を行っている。

また、PL、TherMAT事務局、組員と密にコミュニケーションをとり、プロジェクト全体・各テーマの進捗状況と研究開発の課題等を把握し、プロジェクトの今後の方向性等を議論・決定している（表1）。

表1 PL、TherMAT事務局、組員との主な会議

会議	内容	回数	PL	PM・SPM (NEDO)	TherMAT事務局	組員	組員企業の役員等
PL-NEDO-TherMAT進捗会議	プロジェクト全体・各テーマの進捗と今後の方向性等について議論	月1回程度	○	○	○	—	—
組員ヒアリング	進捗状況、研究開発の課題を把握し、実用化への方針、プロジェクトとしての相乗効果等について議論	随時	○	○	○	○	—
NEDO革新的熱利用技術委員会	熱の有効活用に資する技術開発推進のための外部有識者による助言・審議	年2～3回	○	○	○	議題に応じ出席	—
TherMAT運営委員会	運営上の基本的事項、重要事項を審議・決定	年5回程度	○	○	○	○	—
TherMAT定例会	進捗確認、運営上の課題等について議論	週1回	○	—	○	—	—
TherMAT総会	事業報告、決算、役員選挙等のため定款に基づき実施	年1回	○	○	○	○	○

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

本事業では、限られた予算で最大限の成果を出すため、研究進捗等に応じてテーマの選択と集中を図るとともに、研究開発を加速するために、政府予算に加え、開発促進財源も効果的に投入してプロジェクトを推進している。また、成果を最大化するため、分室間連携によるシナジー創出を積極的に推進している。

本事業で扱う技術領域は、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ため研究項目間の情報管理は徹底して行いつつ、全体としてのシナジー創出のために全ての研究項目に有益な調査・基盤技術の成果は共有するなどして、オープン／クローズの考え方にに基づき、

情報管理と知財運営を実施している。たとえば、競争領域の材料組成やシステム構成に関する知財は、企業経営と一体化した運営を行い積極的に権利化する。このとき、将来的な市場拡大が見込まれる海外出願も積極的に実施している。企業経営の変化により、国外に技術流出が行われる可能性がある場合などは、産業財産権を積極的に国内企業等へ移転するなど、柔軟に対応している。また、競争領域の非公開情報は、基本的には企業のノウハウとして秘匿すべきものであるが、組合内の縦連携の活動の中で、適宜開示を促すようなマネージメントも実施している。さらに、非競争領域で非公開の工場熱計測データなどについては、組合内の非公開ワーキンググループや技術委員会、非公開報告書等で共有をしている（図 11）。知的財産権等については、NEDO に報告を義務付け、開発技術の特許出願・権利化を逐次把握している。

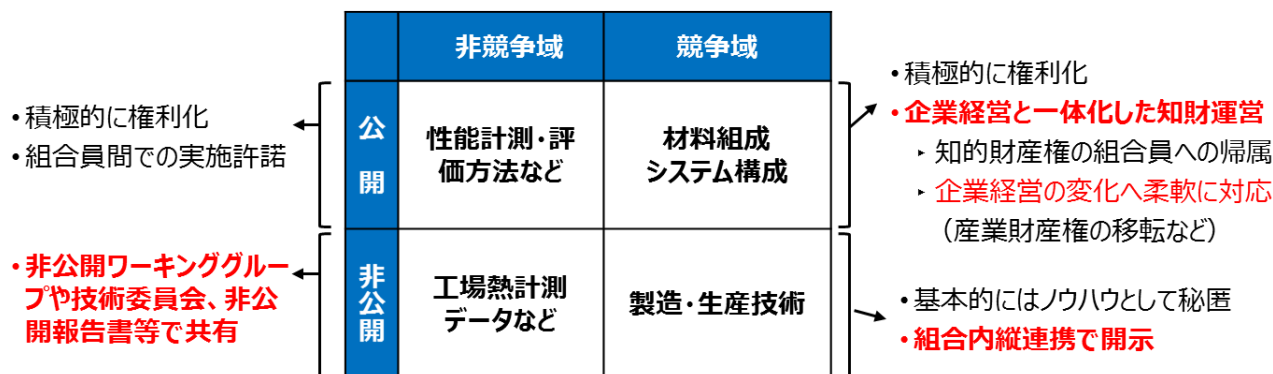


図 11 NEDO の知的財産権等に関する戦略

さらに、実施者である組合においては、組合内連携を有機的に行うため、本事業の試験・研究目的であれば、プロジェクト参加者が所有するバックグラウンド知財については所定の手続きを事前に行うことで委託研究の中で自由に実施可能とすること、本事業（委託）で得られた知財については自由に実施可能することなどを規定した「知的財産権及びサンプルの取扱いに関する規程」を整備している。

また、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ついては、実施者間の競争による研究の進展も図っている。

2.3 情勢変化への対応

N E D O は、プロジェクトの進捗状況や、革新的熱利用技術委員会での審議結果、市場・技術・政策動向を踏まえ、情勢変化に対応したプロジェクトの運営・管理を推進する。

これまで情勢変化へ対応した主な事例は以下のとおり。

①プロジェクトの体制強化

- ・「機械・化学産業分野の高温熱供給ヒートポンプに適した冷媒の技術開発」において、種々の物性値を再現可能な高精度ヘルムホルツ型状態方程式の開発と「REFPROP」用データファイルを作成する実績を有する九州産業大学を神戸分室の共同実施先に追加した。（2018 年度）
- ・近年の電気駆動車の普及とパワートレインシステムの多様化を受け、自動車の熱の流れが大きく変化していくことが予想される中で、自動車全体の熱流れを解析可能にするモデルを構築し、電動化に伴って変化する将来の熱の流れを見える化できるようにするため、広島分室を中心とした All TherMAT

の取組みとして、熱流れの計測解析技術の開発と自動車全体の熱流れのモデル構築の取組みを開始した。(2018年度) また、佐野分室と熱電変換関係分室とで連携し、ハイブリッド自動車の排気回収システムへ熱電発電モジュール搭載する際の最適配置や燃費効果の検討を開始した。

(2020年度)

- ・「車両用高効率排熱利用・冷房用ヒートポンプの研究開発」において、冬季の換気損失を低減するための湿度交換器システムに必要な、高分子収着剤を用いた耐水性能の高い透湿シートの開発を行うため、日本エクスラン工業株式会社を佐野分室に追加した。(2019年度)
- ・本事業は、2020年度から省エネ施策として再構築し、システム化開発を重点化するなど、実用化に向けたマネジメントを一層強化した。(2020年度)

②ステージゲート方式の採用

熱電変換技術のシーズ探索・育成に向け先導的に取り組むべき研究開発については小規模研究開発スキームとして実施し、ステージゲート方式を採用して、年度ごとにその継続の妥当性等を審議しながらテーマを推進した。

③欧州における熱利用技術に関する最新技術動向及び市場導入条件調査

パリ協定の採択以降、2050年までの温室効果ガスの大幅な排出削減に向けて野心的な取り組みをリードする欧州を対象として、熱利用技術に関する最新技術動向及び市場導入条件調査を実施し、TherMAT内で結果の共有を行った。

また、NEDOがドイツ環境・自然保護・原子炉安全省(BMU)及び経済・エネルギー省(BMWi)と共催した「第10回日独エネルギー・環境フォーラム」やNEDOとスペイン政府・産業技術開発センター(CDTI)との合同ワークショップ等においても、昨今の欧州各国における情勢と、我が国の未利用熱活用技術に対する関心について、情報収集を実施した。

2.4 2017年度中間評価結果への対応

中間評価における主たる指摘事項とその対応(2017年度末時点)は下表のとおり。

指摘事項	対応
具体的な数値目標を立てていることは評価できるが、実質が伴わない可能性がある目標値については、よりユーザーニーズに近い目標設定に見直してほしい。	研究開発項目⑤「熱電変換材料・デバイス高性能信頼化技術開発」 無次元性能指数(ZT)を目標値としてきたところ、実質性を重視しユーザー評価指標である出力密度($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)、発電効率(%)の目標値を追加する。

<p>最終目標達成の見通しが、必ずしも明確でない印象もある。例えば、実機の試作がやや遅れているテーマなどに対しては効果的なフォローが望まれる。</p>	<p><u>研究開発項目④「ヒートポンプ技術の開発」</u> 2018 年度のシステム実証移行にあわせ、助成事業化する。ただし、基盤となる冷媒開発及び統合解析シミュレーション技術の開発については、研究開発項目⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」の下で委託事業として進める。</p> <p><u>研究開発項目⑤「熱電変換材料・デバイス高性能信頼化技術開発」</u> デバイス評価まで進めるため、ユーザーとのマッチングを図る。難易度は高いが高性能化が有望な無機材料は、小規模研究枠に移行させ、毎年度のステージゲート評価を課しつつ開発を進める。</p>
<p>一部の技術開発において、技術的な課題と製品化のための課題の区別が曖昧な印象を受ける。実用化からほど遠い研究開発もあり、その成果の活用方法を考慮し、実用化への道筋を明らかにすることにより、全体として選択と集中を図り、効率的な事業運営が望まれる。</p>	<p><u>研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」</u> 研究開発の進捗が早く、製品化開発に移行するため、2017 年度末で完了する。</p> <p><u>研究開発項目⑤「熱電変換材料・デバイス高性能信頼化技術開発」</u> 有機材料の開発において、最終目標の達成や実用化の見通しが厳しいため、並行して進める導電性高分子材料・炭素系熱電変換デバイスの開発への選択と集中を図る。</p> <p><u>研究開発項目⑥「排熱発電技術の研究開発」</u> 技術面とコスト削減の両面から見通しが得られている 1kW クラスへの選択と集中を図り、10kW の開発は終了する。</p>

3. 研究開発成果について

3.1. 事業全体の成果

ニュースリリースやシンポジウムの開催、展示会でのサンプル展示や、海外とのワークショップ、関係雑誌での未利用熱活用特集などを積極的に行い、取り組みや成果の広報を実施した（図 12、表 2）。

また、本事業のパンフレットを 2018 年度から制作するとともに、関連イベント・成果等が見える化すべく NEDO ホームページ（https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100097.html）をリニューアルした。これらの取り組みの結果、未利用熱活用への機運と相まって、ホームページ訪問者数が 15 千人（2015-2017 年度）から 17 千人（2018-2020.8）へ増加した。2020 年度末には年間の合計で 21 千人の訪問を見込んでいる。



図 12 シンポジウムの開催とイベントへの出展のようす

表2 ニューズリリースの実施案件（2018-2020 年度）

リリース日付	実施者	ニュースリリースタイトル
2020年9月9日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 学校法人早稲田大学 一般財団法人金属系材料研究開発センター 株式会社前川製作所	ヒートポンプ導入効果を定量評価できる「産業用ヒートポンプシミュレーター」を開発 —簡単な入力と操作でヒートポンプの導入検討のための時間とコストを大幅削減—
2020年5月28日	国立研究開発法人産業技術総合研究所 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合	セレン化銀を使用した室温付近で高性能を示す熱電変換材料を開発 —ナノメートル領域での結晶構造の制御により熱電性能指数ZT=1.0を実現—
2020年1月27日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 国立大学法人東京大学	熱機能材料の熱伝導率を手軽で高精度に計算するソフトウェアを開発
2020年1月24日	—	「ENEX 2020」出展へ
2020年1月23日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 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 国立大学法人東京大学	塗布構造吸収器を採用した車載向け小型吸収冷凍機を開発
2020年1月21日	国立研究開発法人産業技術総合研究所	小型で軽量の自然冷却型有機熱電モジュールを開発
2020年1月14日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 国立研究開発法人産業技術総合研究所	高い耐久性と信頼性を持つ熱電発電試験用標準参照モジュールを開発
2019年11月6日	—	「INCHEM TOKYO 2019」に出展へ
2019年3月7日	国立研究開発法人産業技術総合研究所	世界初、熱電変換材料の厚さ方向の変換性能を正確に計測する手法を開発 —計測器メーカーが同手法を採用した評価装置を製品化—
2019年3月4日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合	15業種の工場設備の排熱実態調査報告書を公表 —200℃未満を中心とした未利用熱活用技術の開発、導入で省エネに貢献—
2019年1月29日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合、 国立研究開発法人産業技術総合研究所	熱流センサーを用いた相変化中の物質の熱流出入量の計測技術を開発 —低温物流における配送品の品質向上への貢献に期待—
2019年1月23日	—	「ENEX 2019」および「InterAqua 2019」に出展へ
2019年1月15日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合、 東レ株式会社	高い透明性と世界最高レベルの遮熱性を両立した革新的な遮熱フィルムを開発
2019年1月10日	—	「nano tech 2019」に出展へ —最先端の材料・ナノテクノロジー関連技術を多数紹介—
2018年5月22日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合、 国立研究開発法人産業技術総合研究所	テルル化鉛熱電変換材料の新形成法を確立、約2倍の熱電変換性能を実現 —未利用熱エネルギーの電力活用による省エネ、CO2排出削減に期待—

3.2. 研究開発項目毎の成果

研究開発項目①：断熱技術の研究開発

- ・不凍タンパク質添加により組織の均一化をはかり、原料の組み合わせを検証し緻密な気孔壁組織を確立することにより、1500℃の耐熱性、熱伝導率 0.20W/m・K、圧縮強度 15MPa 以上の特性を有する断熱材を開発した。
- ・スラリー調製工程と凍結工程の付帯作業の効率化と処理量増加により両工程のリードタイムを短縮し、並形で 300 個/月の作製を可能にする技術を確立した。また、凍結工程や凍結乾燥工程のスケールアップ検証により、並形断熱材 500 個/月が生産可能な製造工程を確立する見込みである。
- ・検証炉にて開発部材の性能評価を行い、排熱削減 50%省エネ炉の設計指針を決定する見込みである。

研究開発項目③：蓄熱技術の研究開発

- ・高密度蓄熱材料（低温）：蓄熱密度 0.25MJ/kg を有するクラスレートハイドレートをを用いて、振動のない環境下で、過冷却度 2K 以下の蓄熱モジュールの開発を行った。また、2020 年度以降の蓄熱による熱マネジメント実証の対象システムの調査を行い、蓄熱密度、蓄放熱速度等の機器の要求仕様を明らかにした。

- ・長期蓄熱材料：温度 90℃の模擬熱源で、トリガーを付与してから 30 秒以内に過冷却解除、40 秒以内で最大熱出力が得られる中温用蓄熱モジュール及び 25℃環境下で過冷却を 24 時間保持できる高温用蓄熱材料を開発した。
- ・蓄熱構造体（車載用）：目標である蓄熱密度 0.55MJ/L(蓄熱材含有率 80%)と熱伝導率 2W/mK に対して、アルミ-チタン系構造体の伝熱経路を維持し 5W/mK 以上の熱伝導率を確保した。また、加熱時間を 1/4 に短縮することで、従来よりも省エネルギー化できる製造プロセスを確立した。
- ・蓄熱材の高密度化（車載用）：新規多孔材（MOF）を用いて、蓄熱密度 0.8MJ/L（材料目標 0.7MJ/L 以上）、再生温度 56℃（目標値 60℃以下）を達成した。

研究開発項目④：ヒートポンプ技術の研究開発

- ・冷媒にハイドロフルオロオレフィン（HFO）系を用いた最高温度 200℃（80℃→180℃加熱）、COP3.5 以上のヒートポンプ試作機の設計を完了した。2020 年度末までに製作を完了する見込みである。このとき、ターボ圧縮機の定格回転数での運転を実施し断熱効率 70%以上であることを確認するとともに、高温高圧熱交換器の仕様を決定した。
- ・200℃温水出力に対応ができ既に入手可及な冷媒候補で、160℃超温水出力での要素試験を行い、機器要素の計画仕様と試験値がほぼ一致することを確認し、機器要素の設計技術の信頼性を確認した。
- ・研究開発項目⑧で開発した新規低 GWP（地球温暖化係数）冷媒候補での 200℃温水出力ヒートポンプのサイクル性能評価を完了して 200℃温水出力ヒートポンプの基本制御設計を確立し、開発機の基本計画を完了させ、製作図を完成させた。また、開発した設計技術を用いて、新規冷媒候補での 200℃温水出力ヒートポンプの機能品の採用部品を決定した。
- ・研究開発項目⑧と連携し、統合解析シミュレータを用いて実工場データを使用した導入効果等の検討を行った。

研究開発項目⑤：熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発

従前の開発と検討を踏まえ、最終目標を達成するために、「スクッテルライト」「クラスレート」「シリサイド」の無機材料系に絞って、開発を進めた。

- ・スクッテルライト系：熱電モジュール基本技術を開発し、耐久性が 600℃、5,000h 以上の基板付熱電モジュール技術を確立した。また、熱電発電ユニットの構造を適正化し、出力 200W の熱電発電ユニットを試作した。
- ・クラスレート化合物：高性能クラスレート焼結体の開発・試作を行い、変換効率 $\eta=12\%$ のモジュールに必要な p 型素子ならびに n 型素子の作製技術の確立を図った。また、多接合型オールクラスレートモジュールを試作・評価を行い、変換効率 $\eta=12\%$ を持つモジュール化技術の確立を図った。
- ・シリサイド系-1：試作した熱電変換モジュールのコージエネ適用実証を見据え、実証実験の設計を実施した。また、要素試験により熱源と熱電変換モジュールとの熱交換方式を確認した。さらに、熱電変

換材料の高度化に向けて、低コスト環境低負荷なシリコン系バルク材料をターゲットに、マンガンシリサイドバルク材料で $ZT > 1$ を見通した。また、材料スケールアップにおける課題を抽出した。

- ・シリサイド系-2：発電モジュール形態（配線部＋接合材料＋電極付き素子）での接合界面の観察、界面抵抗の測定等の耐久性評価（接合界面の観察、界面抵抗の測定等）を実施することにより、 $1.5\text{W}/\text{cm}^2$ の発電モジュールに適用可能な発電素子の製造プロセスを確立した。また、モジュールの早期の実用化検討対象として、農業用途のバイオマスボイラーへの展開を検討し、2020年度末にその実証試験を行い、作物への生育効果がある事を確認するために、バイオマスボイラー用途の環境を想定した耐久評価を実施した。

- ・小規模研究開発においては、主に以下の成果を得た。

熱流センサによる計測技術：フレキシブルな熱電変換素子を袋状に成型し、対象の物質を包むことで、相変化中で温度が一定な物質の熱の流出入量を定量的に計測する技術を開発した。また、本技術を活用し、保冷剤の保冷能力の残量を算出し外部端末に表示するシステムを開発するとともに、研究開発項目⑦での熱流計測にも応用した。

小型で軽量の自然冷却型有機熱電モジュール：導電性高分子（PEDOT/PSS）を用いた有機熱電変換モジュールについて、その導電部材の熱伝導が大きいことがモジュール全体の特性を制限していることを発見し、導電部材の電気抵抗、部材間の接触抵抗をできるだけ増やさずに熱抵抗を高める新たな設計を行った。その結果、小型・軽量で製造コストが低く、放熱フィンなどを使わずに自然冷却が可能な有機熱電モジュールを世界で初めて開発し、 100°C から 120°C の低温熱源に設置するだけで、無線通信に十分な電力が得られることを実証した。

研究開発項目⑥：排熱発電技術の研究開発

- ・出力 1kWe クラスに関して、2020年度のシステム実証機の構築に向けて、2018年度に明らかにした膨張機、ポンプ等のデバイス耐久性とサイクル制御の課題解決手段を踏まえて、5年相当の耐久性を考慮したデバイス設計と、熱源の起動や停止時における排熱の温度や量の変動に対応したサイクル自動制御技術の構築を行った。
- ・排ガスの温度、量、成分や設備運転の自由度、設置スペース、システム実証機及び測定系を含めた全体構成等の観点でシステム実証先を絞り込み、数値解析等により、想定される実排ガスと設置環境に応じて目標の回収熱量が得られる排熱回収用のコンパクト熱交換器の設計を行った。

研究開発項目⑦：熱マネジメントの研究開発

自動車及び工場のさまざまなプロセスについて、システム全体で熱を上手く利用し省エネルギー化を図ることを目指し、個別のメソロジーやシミュレーション技術を組み合わせて、伝導、対流、輻射（伝熱の3形態）等を管理・制御するための技術開発を実施した。

▽自動車の熱マネジメント：

- ・車両搭載に不可欠なループヒートパイプ（LHP）システムの小型化を目指し、蒸発器と補償器(蒸発器への水供給を補償)を一体化したスペース効率の高い蒸発器を新たに開発することにより、1.53L（目標 1.6L 以下）で 3kW という LHP システムを構築した。
- ・海外製ハイブリット車等を用いて夏季、冬季、通期における各環境温度 -10～40℃、車速 0～130 km/h で熱流れの計測を行い、熱流れモデルの構築に必要なデータを取得するとともに実車ベースの熱流れの見える化を行った。また、開発したモデルの精度が目標に達していることを確認した。
- ・車両用小型吸収冷凍機の実現に向けて、車載システムの動作を確認し、夏季環境条件での車両走行時のシステム性能評価を実施し、システム制御を検討するとともに、数 kW 冷熱の出力を確認した。また、熱交換器の更なる性能向上のため、研究開発項目⑤の小規模研究開発で開発した熱流センサを応用し、熱交換分布を計測把握した。さらに、更なる小型化に向け、分離膜式吸収冷凍機の構造設計と性能評価を行った。
- ・吸着式冷凍システムについて、シミュレーションモデルを用いて平均蒸発性能 1.7kW/19L を確認するとともに、極低温下における吸着蓄熱性能の評価を行いシステム及び車両適用時の課題を明確にした。あわせて車両の適合性を検証した。また、高分子収着剤塗膜ポリマーネットワーク高度化により、高耐水性収着剤塗膜の基本塗布技術を確立した。さらに、信頼性・耐久性を有する高分子収着剤を用いて、高透湿性シート技術を確立した。
- ・研究開発項目③で開発した長期蓄熱材料（中温用）について、実証先における要求仕様を明らかにし、蓄熱モジュールにおいて、過冷却解除までの時間 30 秒以内、過冷却の保持時間 24 時間、蓄熱密度 0.1MJ/L、蓄放熱速度の要求仕様を、同時に満たすことを検証した。

▽工場プロセスの熱マネジメント：

- ・研究開発項目③で安全性評価を完了した高密度蓄熱材料(低温用)を搭載した蓄熱モジュールについて、食品工場での蓄冷用途への適用を見据え、過冷却度 2K 以下、実証先における蓄熱密度、蓄放熱速度の要求仕様を、同時に満たすことを検証した。
- ・研究開発項目⑥で開発した出力 1kWe クラスの排熱発電に関して、発電効率が 14%以上となることを確認した（2017 年度）。また、熱源熱源の起動に伴う排ガスの温度と量の上昇に追従した起動運転、安定した排ガス温度と量での定常運転、熱源の停止に伴う排ガスの温度と量の低下に追従した停止運転を実施すると共に、排ガス温度 200℃の定常運転の条件において、平均発電出力 1kW を達成した。

研究開発項目⑧：熱関連調査・基盤技術の研究開発

- ・15 業種の業種別、温度帯別、設備別の未利用熱の排出・活用に関する実態調査について、その成果を「産業分野の排熱実態調査報告書」として取りまとめ、シンポジウムで発表するとともに組合 Web ページ上で公表した。
- ・関係分室、関係機関、共同実施先と連携し、ヒートポンプ導入のモデルケースのライブラリ化を念頭に置きながら、産業用ヒートポンプ等の導入検討に係る工場のエネルギー利用状況等の調査を実施し、その結果とそのシミュレーションの結果から、開発したヒートポンプ等の導入効果を明らかにした。また、

工場の熱利用プロセスに導入するヒートポンプ単体の性能が検討可能な「産業用単体シミュレータ」を構築し、本事業内で共有化すると共に、詳細なモデルケースシミュレーションを実施し、年間性能も含めた導入効果を検証した。また、産業用プロセス全体の検討が可能な「産業用エネルギー統合シミュレータ」の開発も実施した。

- ・様々な熱電材料の機械的強度データを収集し、モジュールの劣化予測に必要な材料データベースを構築した。IEC-TC47/WG7 においてモジュール発電性能の規格の提案、審議を行い、次期規格提案の内容を決定することを目指した。また、一般公開した熱伝導率計算ソフト「P-TRANS」に電子輸送計算機能を追加し、熱電特性や電子デバイスのジュール発熱・熱散逸が計算できるようにした。さらに、異方性を考慮しセットアップされた熱電計測装置を用いて有機系・新炭素系の熱電特性データを集積し、市販した縦方向熱電計測器によるスタンダードな計測手法を確立した。また、切削による変形を低減した有機材料断面出し技術を開発し、有機熱電材料内部のサブミクロンオーダーの微細構造観察技術を確立した。
- ・熱関連材料のデータベースシステムについて、利用者の利便性を考慮し、熱物性値の性格が異なる有機／無機化合物の熱物性データを統一的に検索可能とした。また新たなデータ構造を基盤としてシステムの機能拡張を行い、より利便性を考慮したインタラクティブツールを実装した。計算科学を用いた蓄熱材の反応機構解明について、酸化マグネシウムと水蒸気との化学反応を分子スケールで適切にモデル化し、水和反応と脱水反応のエネルギー変化を第一原理計算から評価した。水和反応に関して、酸化マグネシウム固体表面に水酸化マグネシウムの結晶核が形成されること、この化学過程が発熱反応であることも実際の計算で確認できた。
- ・高温熱供給ヒートポンプに適した新規低 GWP 冷媒候補について、その輸送性質・PVT 物性の熱物性のデータを取得し、得られた飽和密度と臨界定数から、ヘルムホルツ型状態方程式の最適な関数形を決定した。また、新規冷媒候補の合成法の効率化を検討し、最適な合成方法を確立した。さらに、新規冷媒候補に関して、最適なサイクルでの性能解析と開発した凝縮熱伝達予測法を用いた計算を行うとともに、最適な絶縁材・エラストマを決定した。

3.3. 2020 年度までの達成状況、最終目標の達成見通し

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

研究開発項目	2020 年度までの達成状況	目標に対する達成度	最終目標の達成見通し
①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 15MPa 以上、かつ熱伝導率 0.20W/m・K を有する断熱材料を開発	◎	・2022 年度までに、高強度を実現する均一に配列した緻密な気孔壁の成形およびその焼結条件を精査することで、最終目標である 1500℃の耐熱性、熱伝導率 0.20W/m・K、圧縮強度 20MPa 以

			上を有する断熱材作製が達成される見込み
②遮熱技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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）の遮熱フィルムを開発（2017 年度末） 	—	
③蓄熱技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・蓄熱密度が 0.55MJ/L 以上であり、熱伝導率 2W/m・K 以上を有する複合蓄熱体を開発（2018 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を開発（2019 年度末） ・-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（2019 年度末） 	◎	（材料目標を達成、熱マネージメントの研究開発でのシステム化開発へ移行）
④ヒートポンプ技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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信頼性確立及び 100→200℃あるいは 80→180℃加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの基本設計を完了。2020 年度末までに製作を完了する見込みである。 	○ (一部 △)	<ul style="list-style-type: none"> ・2020 年度末までにヒートポンプ性能 COP3.5 以上を実現する、200℃出力機に適した冷媒候補を用いたヒートポンプサイクル性能評価と基本設計を実施 ・2022 年度までにフロン系低 GWP 冷媒ヒートポンプ試作機の性能・信頼性試験を実施することで、最終目標である 100→200℃加熱を超える厳しい条件下（80→180℃加熱）で COP:3.5 以上が達成される見込み
⑤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"> ・熱電モジュールの基本技術確立済、200℃~600℃で使用可能な出力 200W を達成する発電ユニットの基本設計を完了 ・625℃以上で発電効率 12% 以上を有するモジュールを開発 	◎ (クラスレート ○)	<ul style="list-style-type: none"> ・2022 年度までに熱電モジュール及び熱電発電ユニットの技術構築を実施することで、最終目標である熱電モジュールの成形技術確立と熱電発電ユニットのコンパクト技術確立が達成される見込み ・2022 年度までに、さらなる発電効率向上に向けたモジュールの課題解決および熱電素子の高性能化を図ることで、最終

	<ul style="list-style-type: none"> ・試作した熱電変換モジュールのコージエ適用実証を見据え、実証実験の設計を完了 ・200℃～600℃で使用可能な1.5W/cm²の発電モジュールを確立 		<p>目標である発電効率 15%が達成される見込み</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2022 年度までにコージエ適用を想定した出力検証を実施することで、最終目標であるシステム利用効率 5%が達成される見込み ・2020 年度末までにバイオマスボイラーで実証試験を行い、最終目標である作物への育成効果を確認する見込み。
⑥排熱発電技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・開発した出力 1kW クラス小型排熱発電装置の性能実証 (2019 年度末) 	◎	(要素技術目標を達成、熱マネージメントの研究開発でのシステム化開発へ移行)
⑦熱マネージメントの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性評価を完了し、過冷却度 2K 以内、120℃以下で、蓄熱密度 0.3MJ/kg (従来材料比 2 倍) の高密度蓄熱材料(低温用)を搭載した蓄熱モジュール、及び-20℃～25℃環境下で 24h 以上の保持期間を実現する蓄熱材料を搭載した蓄熱モジュールの開発 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・2022 年度までに蓄熱モジュールを搭載した模擬システムにおいて要求仕様を満たすことを検証することで、最終目標である省エネ効果の実証が達成される見込み
	<ul style="list-style-type: none"> ・工場等における、開発した出力 1kW クラス小型排熱発電装置を利用した未利用熱削減効果の実証 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・2020 年度までに平均発電出力 1kW を達成することで、最終目標である未利用熱削減効果の実証が達成される見込み
	<ul style="list-style-type: none"> ・電気駆動車等の対流・輻射・伝導の高分解能計測技術を確立 ・伝熱 3 形態を考慮した 3 次元熱モデルを構築 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・2022 年度までに車両計測 (温度・風速・熱流量) を実施することで、最終目標である排熱利用デバイスの効果の検証が可能となる見込み ・構築した 3 次元熱モデルに基づき、2022 年度までに 1 次元熱モデルが構築できる見込み
	<ul style="list-style-type: none"> ・車両用小型吸収冷凍機の実現に向けて、夏季環境条件下での車両走行時のシステム性能評価を実施し、数 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・吸着式冷凍システムについて、シミュレーションモデルを用いて平均蒸発性能 1.7kW/19L を確認済み

	<p>kW 冷熱の出力を確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・蒸発性能 1.7kW/19L の性能を有する冷房用ヒートポンプを開発した ・極寒 (-20℃) 環境下などの実用条件で COP=1.5 以上の作動が可能な暖房用ヒートポンプを開発し実証した。また、換気損失を大幅に削減する湿度交換器の開発を実施し実アプリケーションでの評価を実施した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2022 年度までに分離膜式吸収冷凍機のシステム開発を実施することで、最終目標である体格重量が達成される見込み ・2020 年度までに自動車向けに開発してきた吸着式冷凍機や湿度交換器の技術を、民生・産業用途での未利用熱活用技術として高度化
<p>⑧熱関連調査・ 基盤技術の研究開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・工場の熱利用プロセスに導入するヒートポンプ単体の性能が検討可能な「産業用単体シミュレータ」を構築した。 ・2020 年度末までに IEC-TC47/WG7 においてモジュール発電性能の規格の提案、審議を行う見込みである。 ・モジュールの劣化予測に必要な材料データベースを構築した。 ・異方性を考慮した熱電計測装置を用いて有機系・新炭素系の熱電特性データを集積し、スタンダードな計測手法を確立した。 ・有機熱電材料内部のサブミクロンオーダーの微細構造観察技術を確立した。 ・熱関連材料のデータベースシステムについて、独立したデータセットを統一したデータ構造でシステムを再構築して、性質の異なる各種熱物性データを統一データシステムとして 	<ul style="list-style-type: none"> ・2022 年度までに最終目標である熱システムが複数存在するプロセス全体がシミュレーションできる「産業用統合シミュレータ」の構築が達成される見込み ・2022 年度までに国際審議に必要な追加データ計測、標準試料の頒布を実施することで、最終目標である熱電モジュールの計測法の国際標準化が達成される見込み ・2022 年度までに実用化ロードマップを国内委員会で策定し、その実現に必要な物性値の特定、評価技術の開発及び、モジュールの劣化データベースを構築することで、最終目標であるモジュール耐久性評価技術の確立及び、劣化評価に関する新規標準提案が達成される見込み ・2022 年度までに縦方向及び横方向の計測可能な装置を完成させるとともに論文等で計測データの公開を実施することで、最終目標である有機系・新炭素系材料全体のデータベース構築に向けた評価法の完成が達成される見込み ・2022 年度までにシート状熱電モジュールの流入熱量と発電特性の関係を評価する評価系が構築できる見込み

	<p>検索可能とした。またユーザーの利便性を考慮した、データ検索のインタラクティブツールの機能拡張を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 典型的な化学蓄熱材である酸化マグネシウム MgO と水蒸気との可逆反応について、表面水和反応を素反応過程に分割・解析することで、実際に水和反応物である水酸化マグネシウム $Mg(OH)_2$ 結晶核が形成される過程が発熱反応であることを検証した。 • 高温熱供給ヒートポンプに適した新規低 GWP 冷媒候補について、計測した熱物性等によりヘルムホルツ型状態方程式の最適な関数形を決定した 	<ul style="list-style-type: none"> • 熱関連材料のデータベース構築に関して、2022 年度までに有機／無機化合物を含めた基本熱物性データを統一フォーマットで実装／利便性を考慮したインタラクティブ解析ツールと合わせて提供することで、新たな熱関連材料探索の初期段階で必須となる熱物性基礎データの検索が可能となる見込み。またデータベースと同時に計算科学を活用した熱関連材料の解析例として、酸化マグネシウム系化合物の化学反応を詳細に解析して固体化学反応機構を解明することにより、化学蓄熱技術の実用化に大きく貢献できる見込み • 2020 年度末までに熱物性試験、輸送特性試験を実施し、最終目標である 200℃出力機に適した冷媒候補の物性データベースが完成する見込み
--	---	--

3.4. 研究発表・講演（口頭発表も含む） ※TherMAT・NEDO 分のみ掲載（予定を除く）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2018年4月4日	2018 MRS Spring Meeting	Power generation of durable thermoelectric modules	舟橋良次
2018年4月18日	第52回空気調和・冷凍連合講演会	HFE356mmz の気相域におけるPVT 性質測定	迫田直也 他
2018年4月24日	耐火物技術協会第31回年次講演会	高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発	平手千波、田口暁菜、松岡鮎美、尾関文仁
		高気孔率ムライトセラミックスの化学組成が高温変形に与える影響	田口暁菜、平手千波、松岡鮎美、尾関文仁
2018年4月26日	第36回排熱発電コンソーシアム	TherMAT プロジェクトでの活動内容及び開発状況	田口豊、伊東聡
2018年4月26日	Workshop for Industrial Heat Pumps	三菱重工サーマルシステムズの高温度ヒートポンプの紹介	結城啓之
2018年5月15日	ICQC 2018: 16th International Congress of Quantum Chemistry	Computational Modeling of Thermal Energy Storage Materials	石田豊和、馬場哲也、稲垣泰一
2018年5月25日	大阪市立大学 機能創成科学教育研究センター キックオフイベント	熱電発電の実用化を目指して	舟橋良次
2018年5月29日	第55回日本伝熱シンポジウム	分子動力学シミュレーションによる会合性液体中熱伝導の分子メカニズムの解析	松原裕樹、菊川豪太、小原拓、石切山守、山下征士
		疎水性分離膜を使った小型吸収冷凍機の開発	井上駿之介、党超鋌、飛原英治
		撥水性中空糸膜を用いた小型吸収冷凍機開発	党超鋌、洪成周、飛原英治
		有機系吸着剤を用いた密閉式蓄熱ユニットにおける放熱挙動	堀部 明彦、山田 寛、富山 棕介 他
		活性炭を利用した吸着蓄熱システムの性能実証	竹田 那美、竹浦 弘一、宮崎 隆彦 他
		球状活性炭を用いた吸着冷凍システムの実験的解析	竹田 那美、Kyaw Thu、宮崎 隆彦 他
		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
2018年6月10日		鉛直矩形流路内におけるフィン形状が凝縮熱伝達率に与える影響	福田翔 他

	Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning (ACRA) 2018	Thermal conductivity measurement of 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-methoxypropene(R-356mmz)in high temperature region	Kotaro Yamaguchi 他
		Investigations on hydrophobic hollow fiber membrane-based solution heat exchanger	Chaobin DANG, Sung Joo HONG, Eiji HIHARA
2018年6月14日	8th Forum on New Materials (CIMTEC2018)	Power generation and durability of oxide based thermoelectric module	舟橋良次
2018年6月21日	Asian Crystallization Technology Symposium 2018	Supercooling suppression and memory effect in semiclathrate hydrate crystallization	町田博宣、菅原武、平沢泉
2018年6月21日-22日	Asian Crystallization Technology Symposium 2018	Structure observation of sodium acetate supercooled aqueous solution	町田博宣、菅原武、平沢泉
		SEM observation of semiclathrate hydrate and supercooled aqueous solution	菅原武、町田博宣、平沢泉
2018年7月1日	Thermoelectrics Workshop of ICT2018	Discussion on the application of thermoelectrics - to be required	舟橋良次
2018年7月2日	37th International and 16th European Conference on Thermoelectrics (ICT/ECT2018), Caen, France	Thermoelectric Properties of Si-Based Clathrates Prepared by Spark Plasma Sintering of Planetary-Ball-Milled Powders	Hiroaki Anno, Gensei Miyagawa, Risa Maejima, and Kazuya Okamoto
2018年7月4日	37 th and 15 th European and International Conference on Thermoelectrics (ICT&ECT2018)	Thermoelectric performance in nanocomposite bulk consisting of MnSi _{1.7} and SiGe	Y. Kurosaki, S. Yabuuchi, T. Takamatsu, Y. Miyazaki, J. Hayakawa
		Theoretical study on thermoelectric properties of metal/semiconductor multilayer with weak electron-phonon coupling	S. Yabuuchi, Y. Kurosaki, J. Hayakawa

2018年7月9日-12日	2018 Purdue Conferences	Development of a Compact Absorption Chiller Using Hydrophobic Flat Sheet Membrane	Shunnosuke Inoue, Chaobin Dang, Eiji Hihara
2018年7月10日	グリーンシステム技術分科会	熱電発電の実用化を目指して～実用研究で見た課題と強み～	舟橋良次
2018年7月11日	機械学会環境工学総合シンポジウム（自然冷媒ワークショップ）・	低温駆動・低温発生型吸収冷凍機の開発	藤居達郎、田丸祐也、蛭田健太郎、武田伸之
2018年7月23日	CMCEE (International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications (CMCEE 2018))	Tailored pore configurations in cellular ceramics	福島学、日向秀樹、吉澤友一
2018年8月9日	日本エネルギー学会	Memory effect in TBAB supercooled aqueous solution	町田博宣、菅原武、平沢泉、増永啓康
2018年8月26日	日本ヒートアイランド学会第13回全国大会	全国の工場設備から排気されるガスの未利用熱の推計	平野 聡、遠藤尚樹、上山慎也、馬場宗明
2018年8月29日	エネルギーイノベーションジャパンセミナー：エネルギーハーベスティングの技術動向と応用事例	身近な熱で発電～熱を感じて、熱で発電～	舟橋良次
2018年9月5日	冷凍空調学会 西日本地区技術交流会	吸着蓄熱システムの原理確認評価	河井 秀介, 前多 信之介, 丸山 智弘 他
2018年9月6日	MTMS-2018 (International Symposium on Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation)	Memory effect and hydrate reformation from TBAB aqueous solution - SEM observation	町田博宣、菅原武、平沢泉、増永啓康
2018年9月11日	名古屋工業技術協会研究会	有機材料を利用したプリンタブル熱電デバイスの開発とその評価技術	向田雅一
2018年9月12日	第12回分子科学討論会2018福岡	水酸化マグネシウムの脱水反応シミュレーション	下堂靖代、土田英二、石田豊和
2018年9月13日	第15回日本熱電学会学術講演会	金属/半導体多層構造の熱電変換特性に与える電子-格子相互作用の影響	藪内 真, 黒崎 洋輔, 早川 純

		重元素置換した $\text{MnSi}_{1.7}\text{-Si}$ ナノ複合構造バルクの熱電変換特性	藪内 真, 黒崎 洋輔, 早川 純
		遊星ボールミル法による Si 系クラスレート粉末の焼結体の弾性定数	岡本和也, 阿武宏明
		クラスレート半導体 Cs-Ba-Ga-Sn の欠陥準位に関する電子状態の検討	岸本堅剛, 赤井光治
		Type-I クラスレート化合物 $\text{Na}_8\text{M}_x\text{Ge}_{46-x}$ (M=Ga, Zn) の熱電気的特性	竹下陸, 岸本堅剛, 赤井光治, 小柳剛
		ZnSb の熱電気的性能及びそれを用いたモジュールの作製	徳一嘉光, 小柳剛, 岸本堅剛, 赤井光治
		熱電モジュール発電評価における温度測定位置の影響	山本淳, 高澤弘幸
2018年9月14日	第15回日本熱電学会学術講演会	Ge系とSi系クラスレート化合物を用いた焼結体の接合	原口善行, 脇山智之, 小柳剛, 岸本堅剛, 赤井光治
2018年9月14日	第15回日本熱電学会学術講演会	クラスレート半導体 $\text{Ba}_8\text{Ga}_6\text{Sn}_{30}$ のゲストイオンポテンシャルと電磁場相互作用の検討	福田遼太, 赤井光治, 岸本堅剛, 小柳剛, 栗巢普揮, 山本節夫
		Na-Ba-Ga-Sn 系系 Type II クラスレート化合物の作製	川崎和希, 小柳剛, 岸本堅剛, 赤井光治
2018年9月20日	化学工学会第50回秋季大会	Structure observation of TBAB supercooled aqueous solution	町田博宣, 菅原武, 平沢泉, 増永啓康
2018年9月20日	第79回応用物理学会秋季学術講演会	第一原理計算による L12 型合金における電子-格子相互作用因子の評価	藪内 真, 黒崎 洋輔, 早川 純
2018年10月3日	一般財団法人エネルギー総合工学研究所 第2回産業熱利用研究会	工場の未利用熱の排出・活用状況	平野 聡
2018年10月9日	XVI Interstate Conference Thermoelectrics and Their Applications-2018	Examples of Translational Research Using Thermoelectric Oxides	舟橋良次
2018年10月15日	IEC-TC47/WG7 General Meeting (Busan, Korea)	Reliable testing methodology for high temperature thermoelectric module	山本淳
2018年10月20日	熱工学コンファレンス2018	自動車排熱利用に向けた大容量ループヒートパイプの研究	青野慶忠, 上野藍, 長野方星, 山下征士, 石切山守, 小山修平

2018年10月25-26日	産総研テクノブリッジフェア	配向した高分子膜の熱電物性を面内・面直2方向で評価	向田雅一
2018年10月30日	粉体粉末冶金協会 平成30年度秋季大会 企画セッション 熱電変換材料	YbをドーブしたSiクラスレート系化合物の熱電特性	辻井直人、森孝雄
2018年11月13日	第38回熱物性シンポジウム	熱伝導率の分子スケール構成要素に対するGreen-Kubo式	松原裕樹、菊川豪太、小原拓、石切山守、山下征士
2018年11月21日	応用物理学会応用電子物性分科会	熱電変換デバイスの現状と今後	山本淳
2018年11月28日	第32回分子シミュレーション討論会	水酸化マグネシウムの脱水反応シミュレーション	下堂靖代、土田英二、石田豊和
2018年12月7日	化学工学会関東支部 講習会@早稲田大学	過冷却融液内の核化挙動	町田博宣
2018年12月11日	ASHRAE Macao セミナー	New Generation Centrifugal Chiller using Low GWP Refrigerants	白方芳典
2018年12月12日	The 5th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2018	Translational Research Using High Durable Thermoelectric Modules	舟橋良次
2019年2月25日	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 平成30年度第4回技術委員会	グラフ読み取りツールと熱関連材料データベースの公開について	馬場哲也
2019年2月27日	IEC-TC47/WG7 Spring Meeting (Shenzhen, China)	An update : standard-ization activity and NP drafting on thermos-electric module	山本淳
2019年3月1日	機械学会九州支部九州学生会第50回学生員卒業研究発表講演会	高温ヒートポンプ用新規作動流体 HFE356mmz の蒸気圧および気相域におけるPVT性質測定	大野達也 他
2019年3月4日	モノづくり日本会議 第34回新産業技術促進検討会「NEDO 未利用熱エネルギーシンポジウムー蓄熱・熱輸送を中心とした熱マネージメント技術の最新動向ー」	高密度・長期蓄熱材料の研究開発	鈴木基啓
		高強度高断熱性多孔質セラミックスを用いた産業/工業炉の排熱削減	尾関文仁
		車両用小型吸収冷凍機の開発	坪内 修
		工場における未利用熱の排出・活用状況	平野 聡
		計算科学による新規な高密度蓄熱材の探求	石田豊和
2019年3月5日	CVD反応分科会主催 第30回シンポジウム	プロセスで活きる熱電、プロセスで使う熱電	舟橋良次

2019年3月6日	日本機械学会 中国四国学生会 第49回学生員卒業研究発表講演会	有機系収着剤による蓄熱システムの水蒸気収着時の発熱特性	堀部 明彦, 山田 寛, 富山 棕介 他
2019年4月17-19日	第53回空気調和・冷凍連合講演会	撥水性中空糸膜を用いた湿式デシカント空調の研究	何嘉誠、小松高歩、党超鋺、飛原英治
2019年4月19日	TECHNO-FRONTIER シンポジウム 2019	エネルギー変換を革新する未利用熱活用熱電変換モジュール	早川純
2019年5月15日	5th International Conference on Polygeneration (ICP 2019)	Measurement of Thermodynamic Properties of New Low-GWP Working Fluids for High-Temperature Heat Pump Systems	Sakoda N, Nagaoka M, Oono T, Higashi Y, Takata Y.
2019年5月25-26日	日本設計工学会 2019年度春季研究発表講演会	Development of novel hydrophobic hollow fiber membrane-based refrigerant mass exchangers in vapor-absorption-refrigeration system	何嘉誠、洪成周、党超鋺、飛原英治
2019年5月28日	International Conference on High-Performance Ceramics	Gelation freezing derived porous ceramics: microstructures, properties and modeling	福島学, 吉澤友一
2019年5月30日	EMRS Spring Meeting 2019, Nice, France	Translational research using high durable thermoelectric modules	舟橋良次
2019年6月17日	XVI ECerS Conference	Relationship between process, microstructures and properties of highly porous ceramic insulators prepared by gelation freezing route	福島学, 日向 秀樹, 吉澤友一
2019年6月18日	World Materials Research Institutes Forum (WMRIF) 2019	Energy harvesting from low temperature heat sources by using organic nanomaterials	桐原和大、衛慶碩、向田雅一、石田敬雄
2019年7月2日	第38回熱電変換国際会議 (ICT2019)	Evaluation of Thermoelectric Power Generation Module --- unsolved issues for reliable and reproducible measurements	山本 淳

		Development of Ni-based alloy thermoelectric module for reliable testing reference	Raju Chetty, Kazuo Nagase, Makoto Aihara, Priyanka Jood, Hiroyuki Takazawa, Michihiro Ohta, Atsushi Yamamoto
2019年7/9-10	沖縄科学技術大学	Thermoelectric modules for utilizing waste heat	早川純
2019年7月10日	MRS-Thailand 2019, Pattaya, Thailand	Durability of thermoelectric module composed of oxides	舟橋良次
2019年7月11日	粉体工学会	ゲル化凍結法を用いた多孔質セラミックスの開発	尾関文仁
2019年7月16日	インドセラミックス協会 Minhas Memorial award 受賞記念講演会	Engineered pore configurations in cellular ceramics	福島学
2019年7月17日	産業技術支援フェア in KANSAI (大阪市)	冷却水不要の小型熱発電装置	舟橋良次
2019年7月25日	Global Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development	Thermal conductivity using three-dimensional oriented microstructures in gelation freezing derived cellular ceramics	福島学, 日向秀樹, 吉澤友一
2019年8月4-30日	The 25th IIR International Congress of Refrigeration	Permeability of PTFE flat-type membrane for absorption chiller	何嘉誠, 党超鋌, 飛原英治
2019年8月14日	European Advanced Materials Congress 2019	Novel High Power and Environmentally Friendly Si-based Thermoelectric Materials	J. Hayakawa
2019年8月27-28日	エネルギーイノベーションジャパン 2019(大阪市)	熱を感じて、熱で発電～人と環境にやさしいスマート発電～	舟橋良次
2019年9月2-3日	第16回日本熱電学会学術講演会	密度汎関数理論による Ba ₈ Cu ₆ Ge ₃₈ P ₂ クラスレートの熱電特性の計算	阿武宏明, 岡本和也 山陽小野田市立山口東京理科大学
		(Cu, Ga) – P 同時添加による Ge 系クラスレートの熱電特性への影響	岡本和也, 阿武宏明 山陽小野田市立山口東京理科大学
		Re, Ge 共置換 MnSi ₂ における熱電特性の Re 置換量依存性	黒崎洋輔・深谷直人・藪内真・西出聡悟・早川純・高松智寿・宮崎讓
		(GeTe) _{1-x} (Bi ₂ Te ₃) _x 化合物の作製と熱電気的特性	森田倫規, 小柳剛, 岸本堅剛, 赤井光治

		Si系とGe系クラスレート化合物を用いた焼結体の接合	原口善行, 長谷川和磨, 岸本堅剛, 小柳剛
		Type-I SiGe 混晶クラスレート化合物の熱電気的特性の改善	長谷川和磨, 原口善行, 小柳剛, 岸本堅剛, 赤井光治
		Ni-based alloy thermoelectric power generation module as a standard reference	Raju Chetty, Kazuo Nagase, Makoto Aihara, Priyanka Jood, Hiroyuki Takazawa, Michihiro Ohta, Atsushi Yamamoto
2019年9月9-10日	16th UK Heat Transfer Conference 2019	Performance analysis on compact adsorption heat exchangers for activated carbon and ethanol adsorption heat pump/thermal storage	宮崎 隆彦, Kyaw Thu, 高田信夫, 竹田 那美, 丸山 智弘, 前多 信之介 他
2019年9月11-13日	日本冷凍空調学会 2019年度年次大会	産業ヒートポンプシステムの統合シミュレーション技術の構築第1報	市川、鄭、宮岡、山口、齋藤
		中空糸膜モジュールの再生特性	何嘉誠、党超鋸、飛原英治
		吸収液滴飛散防止のためのメンブレンラッピングアブソーバに関する研究	アイシン：江端祐介、坪内修、産総研：稲田孝明、竹村文男、東京大学：党超鋸、飛原英治
2019年9月18日	第13回分子科学討論会	蓄熱材料開発のための有機化合物の熱化学物性データベース開発	馬場哲也、須田幸子、山下雄一郎、稲垣泰一、石田豊和
2019年9月24日	APCChE2019 (Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress)	Observation of memory effect in TBAB supercooled aqueous solution	町田博宣
2019年9月24日	17th European Conference on Thermoelectrics (ECT2019)	Dependence of thermoelectric performance on Re amount in MnSi ₂ co-substituted by Re and Ge	Y. Kurosaki, N. Fukatani, S. Yabuuchi, A. Nishide, J. Hayakawa, T. Takamatsu, Y. Miyazaki
		First-principles study on electron-phonon coupling factor and lattice thermal conductivity of L12 type alloys	S. Yabuuchi, Y. Kurosaki, N. Fukatani, J. Hayakawa
2019年9月27日	日本冷凍空調学会 第20回西日本地区技術交流会	車両空調の省エネルギー化に貢献する湿度交換	高崎 英幸, 丸山 智弘, 川俣達 他
		産業用高温ヒートポンプサイクルの基本特性解析	九州大学 佐久間航太, 高田信夫, Kyaw Thu, 宮崎隆彦 九州産業大学 福田翔

2019年9月30日	MS&T 19	Properties, Microstructures and Modeling of Gelation-freezing Derived Ceramic Thermal Insulators	福島学, 日向秀樹, 吉澤友一
2019年10月3日	The 12th Asian Thermophysical Properties Conference, (ATPC 2019)	Thermodynamic Properties Measurements of HFE356mmz for High-Temperature Heat Pump Systems	Masahiro Nagaoka, Kienjiro Yoshiura, Naoya Sakoda, Yukihiko Higashi, Yasuyuki Takata
2019年10月8日	熱エネルギー研究会	未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発 断熱技術の研究開発	尾関文仁
2019年10月8日	NEDO/デンマークエネルギーセミナー2019	Industrial High Temperature Heat Pump with low GWP refrigerants	小林直樹
2019年10月15日	UNITECR2019	Development of Insulating Firebrick through a Gelation Freezing Method	藤井実香子
2019年10月17日	第9回CSJ化学フェスタ	導電性高分子の熱電特性を向上させるための評価手法と最適化技術	衛 慶碩
2019年10月22日	粉体粉末冶金協会2019年度秋季大会	酸化物材料を用いた未利用熱発電	舟橋良次
2019年10月24-25日	テクノブリッジフェア 2019 in つくば	計算科学による新規な高密度蓄熱材の設計	石田豊和
2019年11月27日	第29回傾斜機能材料シンポジウム	P型 BaCuSi クラスレートの作製	井上千穂, 安田 雅英, 眞上祐一郎, 宗藤 伸治(九州大学), 森佑一(修猷館高校), 平島吏桜(早稲田佐賀高校)
		Ba8CuXSi46-X クラスレートの単結晶化による高性能化	眞上祐一郎(九州大学), 平島吏桜(早稲田佐賀高校), 張子龍, 宗藤伸治(九州大学)
2019年10月28日	13th Pacific Rim conference of Ceramic Societies	Thermal conductivity and mechanical property prediction using three-dimensional microstructures of gelation freezing derived cellular ceramics	福島学, 日向秀樹, 吉澤友一
2019年10月28-30日	第40回日本熱物性シンポジウム	MOISTURE TRANSFER BETWEEN AIR FLOWS BY A SORBENT COATED MEMBRANE UNIT	堀部 明彦, 山田 寛, 佐藤 匠, 丸山 智弘, 高崎 英幸 他

		データベースによる有機化合物の構造と熱力学性質の相関解析	馬場哲也、須田幸子、山下雄一郎、石田豊和
2019年10月30日	The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13)	Transport Properties of Silicon Clathrate System with Nano Scale Interface Calculated by Density Functional Theory and Non-Equilibrium Green's Function Method	Hiroaki Anno, Kazuya Okamoto, Sanyo-Onoda City University
2019年11月7日	The 11th International Meeting on Advances in Thermo Fluids	Simulation analysis of a compact adsorption cooling system using activated carbon-ethanol pair	宮崎 隆彦, Kyaw Thu, 西久保 友紀, 丸山 智弘, 前多 信之介 他
2019年11月13日	第27回プラスチック成形加工学会秋季大会(成型加工シンポジウム'19)	新しい干渉反射特性を持った多層積層フィルム	松尾雄二、増田嘉丈、宇都孝行
2019年11月21日	INCHEM TOKYO 2019—化学とプロセス産業 Week—	未利用熱活用技術の最新動向 — NEDO プロジェクトの取り組み—	小原 春彦
2019年12月11日	Materials Research Meeting 2019 (MRM2019)	Ni-based alloy thermoelectric module as a reliable testing reference for power generation	Raju Chetty, Kazuo Nagase, Makoto Aihara, Priyanka Jood, Hiroyuki Takazawa, Michihiro Ohta, Atsushi Yamamoto
2019年12月23日	Thermoelectric Workshop at Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand	Thermoelectric module fabrication and performance evaluation	舟橋良次
2020年1月15日	The 39th International Conference on Thermoelectrics (ICT2020)	Thermoelectric performance of higher manganese silicide-based solid solution	宮崎讓、高松智寿、林慶、黒崎洋輔、深谷直人、巖内真、早川純
2020年1月27日	第44回 International Conference & Exposition on Advanced Ceramics & Composites (ICACC)	The effect of platelet raw particles on strength and thermal conductivity of gelation freezing derived thermal insulators	福島学, 吉澤友一
2020年3月6日	機械学会九州支部九州学生会第51回学生員卒業研究発表講演会	等容法を用いた低GWP新規作動流体 HFE356mmz のPVT性質測定	吉浦 建司朗, 永岡昌浩, 迫田直也, 東之弘, 高田保之
2020年3月12日	第67回応用物理学会春季学術講演会	Ba ₈ Cu ₅ GaxGe _{40-x} P クラスレートにおける Ga 添加量による熱電特性への影響	岡本和也, 古賀雄大, 阿武宏明

			山陽小野田市立山口東京理科大学
2020年3月13日	第67回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム「熱・電気物性測定の落とし穴」	等しく測って、正しく使おう	舟橋良次、松村葉子、浦田友幸、村上尋代、池西ひとみ、池内賢朗、島田賢次、佐々木信也、杉山重彰
2020年9月21-24日(延期)	The 13th IEA Heat Pump Conference	Research and development for 200°C compressed water heat pump using exhaust heat with low GWP refrigerant for industrial use	Ryosuke Suemitsu, Masanobu Sakai, Yoshie Togano, Naoki Kobayashi, Hiroyuki Yuki, Yasushi Hasegawa, Kazuki Wajima, Kenji Ueda
		Categorization of industrial heat pump for integrated simulation technology	Akihiro ICHIKAWA, Jongsoo JEONG, Yoichi MIYAOKA, Seiichi YAMAGUCHI and Kiyoshi SAITO
		NEDO R&D Project for Innovative Thermal Management	Atsushi Kondo, Yuka Ogasawara, Toshihiko Ota, Masanori Kobayashi, Tetsushiro Iwatsubo

このほか、NEDO 広報誌「Focus NEDO Vol.71」での特集（省エネルギーへのフロンティア「未利用熱エネルギー」）、ENEX2019 及び ENEX2020（第 43 回及び第 44 回 地球環境とエネルギーの調和展）、INCHEM TOKYO 2019「未利用熱活用コーナー」での出展及び講演等を実施した。

3.5. 論文・雑誌掲載（投稿中は除く） ※TherMAT 分のみ抜粋して掲載

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2018年6月	<i>Crystal Engineering Communication</i>	Memory effect in tetra-n-butyl ammonium bromide semiclathrate hydrate reformation: the existence of solution structures after hydrate decomposition	町田博宣、菅原武、平沢泉
2018年6月1日	Materials Transaction, Vol. 59, No. 7 (2018) pp. 1035 to 1040	Observation of Interface between Thermoelectric Material Zn4Sb3 and Electrodes by Resistance Scanning and	H. Kunioka, H. Obara, A. Yamamoto, T. Iida

		Seebeck Coefficient Mapping Techniques	
2018年6月11日	JSRAE The 9 th Asian Conference on Refrigeration and Air-Conditionin	Absorber suitable for automotive air conditioners	江端祐介、坪内修、 稲田孝明、染谷聡、 竹村文男、党超鋌、 飛原英治
2018年7月12日	Advanced Energy Materials, in press	An Integrated Approach to Thermoelectrics: Combining Phonon Dynamics, Nanoengineering, Novel Materials Development, Module Fabrication, and Metrology	M. Ohta, P. Jood, M. Murata, C. H. Lee, A. Yamamoto, and H. Obara
2018年7月19日	Journal of Membrane Science	Analysis of adiabatic heat and mass transfer of microporous hydrophobic hollow fiber membrane-based generator in vapor absorption refrigeration system	Sung Joo HONG, Eiji HIHARA, Chaobin DANG
2018年8月	Journal of Alloys and Compounds	Synthesis of porous Al/Al ₃ Ti composite with hierarchical open-cell structure for combining with phase change material	鈴木飛鳥、三宅祥平、成瀬亘、高田尚記、小橋眞
2018年8月	JOURNAL OF THE AMERICAN CERAMIC SOCIETY	Thermal conductivity analysis using three-dimensional microstructures of gelation freezing derived cellular ceramics	福島学、日向秀樹、松永知佳、吉澤友一
2018年8月	不凍タンパク質の機能と応用 (分担執筆：第2編18章)	不凍タンパク質含有ゲルの凍結乾燥により作製した超高気孔率セラミックス断熱材の製造	福島学、津田栄、近藤英昌、吉澤友一
2018年8月	International Journal of Refrigeration	Experimental Investigation on the Performance of an Adsorption System using Maxsorb III + Ethanol Pair	宮崎 隆彦, THU Kyaw, SAHA Bidyut 他
2018年8月	「月刊食品機械装置」2018年8月号	先進の高効率化技術を導入した低温排熱駆動吸収冷凍機のご紹介	藤居達郎、武田伸之
2018年9月19日	International Journal of Refrigeration	Measurement of thermal conductivity and kinematic viscosity of 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-methoxypropape(HFE-356mmz)	Md. Jahangir Alam(佐賀大学)

2018年9月28日	書籍：サーマルマネジメント材料技術	サーマルマネジメントとしての熱電変換材料と熱電変換素子 —低温排温水からの発電技術の紹介—	早川純
2018年10月	冷凍空調学会学会誌の連載記事	自動車における吸着蓄熱技術の紹介	前多 信之介, 河井秀介, 丸山 智弘 他
2018年10月1日	月刊「省エネルギー」第70巻・第10号(2018年10月号)	排熱の回収利用	平野 聡
2018年10月10日	Materialia	Effects of Ge addition on thermoelectric properties in a nanocomposite of MnSi ₂ and SiGe thin films	S. Yabuuchi, Y. Kurosaki, A. Nishide, N. Fukatani, J. Hayakawa
2018年10月10日	Materialia	Effects of Ge addition on thermoelectric properties in a nanocomposite of MnSi ₂ and SiGe thin films	S. Yabuuchi Y. Kurosaki A. Nishide N. Fukatani J. Hayakawa
2018年11月	Applied Sciences	Critical Review on the Developments and Future Aspects of Adsorption Heat Pumps for Automobiles Air Conditioning	Kyaw Thu, 宮崎隆彦 他
2018年11月	「都市環境エネルギー」平成30年秋号	未利用熱を大温度差で活用する一重効用ダブルリフト吸収冷凍機の開発	藤居達郎、藤田陽一
2018年11月	月刊「クリーンエネルギー」2019年1月号(発行日本工業出版)	最新の目立吸収冷温水機について(ジェネリンクの高機能化と低温水の用途拡大の進展)	藤居達郎
2018年11月2日	応用電子物性分科会誌	熱電変換デバイスの現状と今後	○山本淳
2018年11月15日	IEA Heat Pump Centre Newsletter	Performance of centrifugal chiller and development of heat pump using low GWP refrigerant	末光亮介(三菱重工サーマルシステムズ)
2019年2月1日	日本熱物性学会誌「熱物性」	科学技術におけるデータベースの役割(11)	馬場哲也, 須田幸子, 山下雄一郎
2019年2月16日	International Journal of Refrigeration	Crystallization temperature, vapor pressure, density and viscosity of lithium bromide + lithium iodide + ethylene glycol + water system for absorption refrigerators for automotive use	Takaaki Inada, Hiroyuki Tomita, Fumio Takemura, Osamu Tsubouchi, Eiji Hihara

2019年2月16日	International Journal of Refrigeration	Crystallization temperature, vapor pressure, density and viscosity of lithium bromide + lithium iodide + ethylene glycol + water system for absorption refrigerators for automotive use	Takaaki Inada, Hiroyuki Tomita, Fumio Takemura, Osamu Tsubouchi, Eiji Hihara
2019年2月17日	Journal of Membrane Science	Mass recovery characteristics of hydrophobic hollow fiber membrane-based refrigerant mass exchangers in vapor absorption refrigeration systems	Sung Joo HONG, Eiji HIHARA, Chaobin DANG
2019年4月25日	サーマルデバイス、株式会社エヌ・ティ・エス、pp.366-376、2019	酸化物熱電発電	舟橋良次、浦田友幸
2019年5月	自動車熱マネジメント・空調技術 (サイエンス&テクノロジー)	車両用小型吸収冷凍機の開発	坪内 修
2019年7月30日	書籍：サーマルマネジメント材料技術	サーマルマネジメントとしての熱電変換材料と熱電変換素子 —低温排温水からの発電技術の紹介—	早川純
2019年9月	化学工学誌 83 巻 9 号 (2019) 特集「蓄熱技術の最前線と社会実装への挑戦」	中低温域向け高密度/長期蓄熱材の開発	鈴木基啓
2019年10月15日	UNITECR2019	Proceedings of Development of Insulating Firebrick through a Gelation Freezing Method	藤井実香子 松岡鮎美 田中洋介 尾関文仁 福島学 吉澤友一
2019年10月18日	Materials Today: Proceedings	First-principles study of electron-phonon coupling factor and lattice thermal conductivity of L12 type alloys	S. Yabuuchi Y. Kurosaki N. Fukatani J. Hayakawa
2020年2月	Applied Energy	Mechanically durable thermoelectric power generation module made of Ni-based alloy as a reference for reliable testing	Raju Chetty, Kazuo Nagase, Makoto Aihara, Priyanka Jood, Hiroyuki Takazawa, Michihiro Ohta,

			Atsushi Yamamoto
2020年2月	Applied Physics Letters 116, 081902	High thermoelectric performance of post mechanical treated carbon nanotube films with polystyrene binder	未森浩司、植村聖
2020年3月26日	アイシン技報	車両用小型吸収冷凍機の開発	江端佑介、坪内修
2018年9月13	2018 International conference on solid state device and materials	Thermoelectric characteristics of carbon nanotube / polydimethylsiloxane composites fabricated by solvent-less printing	未森浩司、植村聖
2018年9月18	第79回応用物理学会秋期学術講演会	無溶剤印刷法により作製したカーボンナノチューブ分散エポキシ樹脂	未森浩司、植村聖
2019年10月末	車載テクノロジー	車両用小型吸収冷凍機の開発	坪内修
2019年発刊予定	化学便覧基礎編改定第6版 (日本化学会)	7. 輸送現象、 1) 粘性、 1 気体の粘性率、 2. 液体の粘性率 2) 熱伝導率	馬場哲也
2019年発刊予定	技術情報協会 マテリアル・インフォマティクス	第9節 計算科学と熱物性データベースを活用した高密度蓄熱材の探索	石田豊和、稲垣泰一、馬場哲也

このほか、月刊「クリーンエネルギー」2020年8月号及び9月号（発行日本工業出版）にて特集「未利用熱エネルギーの革新的活用技術」を企画し、本事業の取り組みや成果を公表した。

3.6. 特許 ※TherMAT 分のみ抜粋して掲載

本事業では、特許出願可能と判断したもの、標準になり得る技術については、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。また、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。そして、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。

特許出願件数及び特許登録件数は以下のとおり。

	～2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度※	計※
特許出願件数 (うち外国出願)	380 (116)	83 (35)	54 (22)	8 (5)	525 (178)
特許登録件数※※ (うち海外登録)	13 (6)	35 (17)	42 (15)	10 (8)	100 (46)

※2020年8月31日現在（非公開セッション発表テーマ分及び卒業分室分を集計）
 ※※1件の出願に対して登録国が複数ある場合は複数件のカウントをしている

また、具体的な特許出願案件については、以下に抜粋して列挙する。

出願日(登録日)	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2018年4月17日	PCT/JP2018/015892	空冷吸収式冷凍機	(株)日立製作所、 日立ジョンソンコン トロールズ空調 (株)
2018年4月20日	第6325951号	吸収式冷凍機用作動媒体及びこれを用い た吸収式冷凍機	日立ジョンソンコン トロールズ空調 (株)
2018年4月25日	P2018-083526	熱回収器	パナソニック(株)
2018年4月25日	P2018-083527	熱回収器	パナソニック(株)
2018年5月2日	US15/968879	熱電変換素子および熱電変換モジュール	富士フイルム(株)
2018年5月8日	PCT/JP2018/017686	熱電変換モジュール	富士フイルム(株)
2018年5月8日	PCT/JP2018/017686	熱電変換モジュール	富士フイルム(株)
2018年5月10日	P2018-091026	蓄熱方法および蓄熱装置	パナソニック(株)
2018年5月22日	特願2017-556035	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	富士フイルム(株)
2018年5月29日	P2018-102064	蓄熱方法および蓄熱装置	パナソニック(株)
2018年5月29日	20180613-0011	車両用の空調装置	カルソニックカンセイ (株)
2018年5月29日	20180613-0012	車両用の空調装置	カルソニックカンセイ (株)
2018年5月30日	US15/992974	熱電変換デバイス	富士フイルム(株)
2018年6月4日	PCT/JP2018/021410	吸収冷凍機における液組成計測装置及 び液組成計測方法	(株)日立製作所
2018年6月4日	PCT/JP2018/021412	吸収式冷凍機用作動媒体及びこれを用い た吸収式冷凍機	(株)日立製作所
2018年6月5日	米国特許第9989055号	液体用ポンプ及びランキンサイクル装置	パナソニック(株)

2018年6月5日	特願 2017-556445	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	富士フィルム(株)
2018年6月5日	特願 2017-558046	熱電変換デバイス	富士フィルム(株)
2018年6月6日	欧州特許第 3043071 号	液体用ポンプ及びランキンサイクル装置	パナソニック(株)
2018年6月6日	20180613-0012	排熱回収装置	カルソニックカンセイ(株)
2018年6月6日	20180614-0013	多孔体の処理方法、多孔体の処理方法により作製された吸着材、および多孔体	カルソニックカンセイ(株) 国立大学法人九州大学
2018年6月6日	US16/001157	熱電変換モジュール	富士フィルム(株)
2018年6月11日	US16/004749	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	富士フィルム(株)
2018年6月15日	US16/009509	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)
2018年6月18日		フッ素化合物の製造方法	産業技術総合研究所
2018年6月18日		フッ素化合物の製造方法	産業技術総合研究所
2018年6月19日	米国特許第 10003003 号	熱電変換モジュール	日本サーモスタット(株)
2018年6月19日	中国特許 ZL2015 年 10578198.6	吸収式冷凍機用作用媒体及びこれを用いた吸収式冷凍機	日立ジョンソンコントロールズ空調(株)
2018年6月20日	PCT/JP2018/023516	校正用熱電発電モジュール	産業技術総合研究所
2018年6月22日	日本国特許第 06356637 号	蓄熱材の製造方法	トヨタ自動車(株)
2018年6月22日	US16/015306	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)
2018年6月22日	特願 2017-5581929	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 (日本：)	富士フィルム(株)
2018年6月28日	PCT/JP2018/24532	熱電変換装置	日本サーモスタット(株)
2018年7月3日	PCT/JP2018/025194	導電膜、熱電変換層、熱電変換素子、熱電変換モジュール、導電膜の製造方法、組成物	富士フィルム(株)
2018年7月5日	特願 2018-128584	配位不飽和金属有機構造体の製造方法	トヨタ自動車(株)

2018年7月6日	日本国特許第 6361395 号	車両用冷暖房システム	アイシン精機(株)
2018年7月6日	日本国特許第 6361454 号	薄膜塗布型吸収再生器	アイシン精機(株)
2018年7月10日	16/031436 (US)	熱電供給システム及び熱電供給システムの 運転方法	パナソニック(株)
2018年7月12日	18183047.2(EPC)	熱電供給システム及び熱電供給システムの 運転方法	パナソニック(株)
2018年7月16日	201810778049.8 (中国)	熱電供給システム及び熱電供給システムの 運転方法	パナソニック(株)
2018年7月31日	米国:16/074316	吸収式ヒートポンプ	アイシン精機(株)
2018年8月1日	中国:201780009345. 5	吸収式ヒートポンプ	アイシン精機(株)
2018年8月2日	20180806-0014	車両用の空調装置	カルソニックカンセイ (株)
2018年8月3日	米国 16/081805	熱電変換材料の製造方法	古河機械金属 (株)
2018年8月28日	米国特許第 10060283 号	ランキンサイクル発電装置	パナソニック(株)
2018年8月29日	特願 2018-160186	パワー半導体装置及びその製造方法	マツダ(株)
2018年8月29日	特願 2018-160187	パワー半導体装置及びその製造方法	マツダ(株)
2018年8月29日	特願 2018-160212	吸収式冷凍機	日立ジョンソンコン トロールズ空調 (株)
2018年8月31日	20180912-0009	車両用の空調装置	カルソニックカンセイ (株)
2018年9月3日	2018/504471	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)
2018年9月4日	特願 2018-165109	金属有機構造体の製造方法	トヨタ自動車(株)
2018年9月7日	US16/124289	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)
2018年9月12日	P2018-171014	蓄熱装置	パナソニック(株)
2018年9月14日	日本国特許第 6398507 号	車両用冷却システム	アイシン精機(株)
2018年9月18日	米国特許第 10077684 号	蒸発器及びランキンサイクルシステム	パナソニック(株)
2018年9月19日	欧州特許第 3000859 号	蓄熱材組成物、蓄熱装置及び蓄熱方法	パナソニック(株)
2018年10月4日	EU 17762969.8	熱電変換材料の製造方法	古河機械金属 (株)
2018年10月12日	日本国特許第 6413742 号	液体分配装置および吸収式ヒートポンプ装 置	アイシン精機(株)

2018年10月12日	日本国特許第 64170502 号	熱電変換モジュール	富士フィルム(株)
2018年10月17日	特願 2018-196162	配位不飽和金属有機構造体の製造方法及び配位不飽和金属有機構造体	トヨタ自動車(株)
2018年10月22日	P2018-198020	蓄冷材	パナソニック(株)
2018年10月22日	特願 2018-198719	銀ナノワイヤの製造方法	宇都宮大学・トヨタ自動車(株)
2018年10月22日	特願 2018-198725	銅ナノワイヤの製造方法	宇都宮大学・トヨタ自動車(株)
2018年10月29日	P2018-202558	冷却システム及び冷却方法	パナソニック(株)
2018年10月30日	米国特許第 10115882 号	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)
2018年10月30日	日本国特許第 6405446 号	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)
2018年11月9日	日本国特許第 6431992 号	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)
2018年11月16日	日本国特許第 6432462 号	吸収式ヒートポンプ装置	アイシン精機(株)
2018年11月16日	H30NOH-1155	厚さ方向熱電特性評価方法	産業技術総合研究所
2018年11月22日	日本国特許第 6437354 号	吸収式冷凍機	日立ジョンソンコントロールズ空調(株)
2018年11月23日	20181127-0019	熱電発電装置	カルソニックカンセイ(株)
2018年12月5日	特願 2018-527541	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)
2018年12月6日	特願 2018-527542	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)
2018年12月6日	特願 2018-527547	熱電変換素子	富士フィルム(株)
2018年12月7日	P2018-229620	ランキンサイクル装置	パナソニック(株)
2018年12月18日	P2018-236524	ランキンサイクル装置	パナソニック(株)
2018年12月18日	US16/223227	熱電変換素子	富士フィルム(株)
2018年12月21日	日本国特許第 6453067 号	熱電変換モジュール	日本サーモスタット(株)
2018年12月21日	US16/229419	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)
2018年12月26日	特願 2018-242993	温度計測装置及びその計測方法	マツダ(株)
2019年1月2日	韓国特許第 10-1936455 号	吸収式冷凍機用作用媒体及びこれを用いた吸収式冷凍機	日立ジョンソンコントロールズ空調(株)

2019年1月8日	PCT/JP2019/000137(PCT)	蓄冷材	パナソニック(株)
2019年1月9日	US16/243196	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)
2019年1月11日	日本国特許第6463510号	熱電変換モジュール	富士フィルム(株)
2019年1月11日	日本国特許第6463954号	吸収式冷凍機	日立ジョンソンコントロールズ空調(株)
2019年1月22日	P2019-008450	熱交換器	パナソニック(株)
2019年1月25日	日本国特許第6470836号	熱電変換素子	富士フィルム(株)
2019年1月29日		含フッ素エーテルの製造方法	セントラル硝子(株)
2019年2月5日	中国特許CN106716656	熱電変換素子、n型熱電変換層、および、n型熱電変換層形成用組成物	富士フィルム(株)
2019年2月15日	特願2019-025521	ゼーベック係数測定装置及びその測定方法	産業技術総合研究所
2019年3月11日	特願2019-043873	熱電発電装置	古河機械金属(株)
2019年4月5日	第6505585号	熱電変換素子	富士フィルム
2019年4月12日	特願2019-076127	蓄冷材	パナソニック
2019年4月12日	第6510045号	熱電変換素子 ⇒ 熱電変換素子および熱電変換モジュール	富士フィルム
2019年4月19日	第6511918号	積層フィルム	東レ
2019年4月22日	特願2019-081138	金属有機構造体	トヨタ自動車
2019年4月24日	EP3203052	マイクロガスタービンシステム	パナソニック
2019年4月24日	独602017003474.6 3279587	吸収式ヒートポンプ装置	アイシン精機
2019年4月24日	独602016030784.7	吸収式ヒートポンプ装置	アイシン精機
2019年4月26日	特願2019-086541	ランキンサイクル装置	パナソニック
2019年5月10日	第6524241号	熱電変換デバイス	富士フィルム
2019年6月7日	第6535241号	蓄熱装置及び蓄熱方法	パナソニック
2019年6月7日	第6535106号	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	富士フィルム
2019年6月12日	特願2019-109869	蓄熱装置	パナソニック
2019年6月12日	特願2019-109865	蓄熱装置	パナソニック
2019年6月17日	特願2019-111788	ランキンサイクル装置	パナソニック
2019年7月5日	印315588	吸収式冷凍機用作動媒体及びこれを用いた吸収式冷凍機	日立ジョンソンコントロールズ空調
2019年7月9日	米10347811	熱電変換モジュール	富士フィルム

2019年7月12日	第6553191号	熱電変換モジュール	富士フィルム
2019年7月29日	特願2019-138906	冷却システム及びその運転方法	パナソニック
2019年8月2日	特願2019-142827	膜式吸収冷凍機	アイシン精機
2019年8月2日	第6564045号	熱電変換モジュール	富士フィルム
2019年8月9日	日第6567847号	熱電変換材料、熱電変換素子、熱電変換モジュール、熱電発電装置、熱電変換システム、および熱電変換材料の製造方法	古河機械金属
2019年8月14日	特願2019-148794	複合体、複合構造体の製造方法、及び蓄熱方法	美濃窯業、名古屋大学
2019年8月27日	(韓10-2017436)	吸収式冷凍機	日立ジョンソンコントロールズ空調
2019年9月6日	PCT/JP2019/035116	蓄冷材組成物	パナソニック
2019年9月12日	特願2019-166216	膨張機およびランキンサイクル装置	パナソニック
2019年9月27日	第6590607号	蓄熱材組成物、蓄熱装置及び蓄熱方法	パナソニック
2019年10月11日	第6599196号	潜熱蓄熱材及びそれを用いる蓄熱システム	パナソニック
2019年10月11日	第6599136号	液体用ポンプ及びランキンサイクル装置	パナソニック
2019年10月11日	第6600012号	熱電変換デバイス	富士フィルム
2019年10月18日	日第6603518号	熱電変換材料および熱電変換素子	日立製作所
2019年10月30日	特願2019-196933	液体ポンプ及びランキンサイクル装置	パナソニック
2019年10月30日	米:16/669355	熱電変換素子、n型熱電変換層、および、n型熱電変換層形成用組成物	富士フィルム
2019年11月8日	第6612968号	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	富士フィルム
2019年11月15日	第6614873号	吸収式冷凍機	日立ジョンソンコントロールズ空調
2019年11月22日	日第6618413号	熱電変換材料及びその製造方法	日立製作所
2019年11月22日	中ZL201610173389.9	液体用ポンプ及びランキンサイクル装置	パナソニック
2019年11月22日	第6618015号	熱電材料、その製造方法および発電装置	富士フィルム、NIMS
2019年11月29日	第6621251号	ランキンサイクル装置、制御装置、発電装置、及びその制御方法	パナソニック
2019年12月3日	米10497852	熱電変換材料及び熱電変換モジュール	日立製作所
2019年12月13日	第6629643号	熱電変換素子の製造方法及び熱電変換素子	富士フィルム、山口東理大
2019年12月16日	特願2019-226315	ランキンサイクル装置	パナソニック

2019年12月20日	第6632951号	吸収式冷凍機	日立製作所、日立ジョンソンコントロールズ空調
2019年12月24日	特願2019-233045	蓄冷熱交換器	パナソニック
2020年1月7日	第6640524号	ランキンサイクル発電装置	パナソニック
2020年1月14日	特願2020-0035241	車載用吸収式ヒートポンプ装置	アイシン精機
2020年1月15日	特願2020-004117	蓄冷材	パナソニック
2020年2月5日	特願2020-018106	レシプロ膨張機およびランキンサイクル装置	パナソニック
2020年2月5日	特願2020-018108	レシプロ膨張機およびランキンサイクル装置	パナソニック
2020年2月7日	特願2020-019822	蓄冷材	パナソニック
2020年2月7日	PCT/JP2020/004971	過冷却解除装置、蓄熱装置及び動力装置	パナソニック
2020年2月10日	6659836号	熱電変換モジュール	富士フイルム
2020年2月13日	特願2020-022558	蒸発器	パナソニック
2020年2月17日	特願2020-024597	ランキンサイクル装置及びその運転方法	パナソニック
2020年2月18日	特願2020-025416	蓄熱装置及び蓄熱方法	パナソニック
2020年2月19日	特願2020-025944	ランキンサイクル装置およびその運転方法	パナソニック
2020年2月25日	米10571202	蓄熱装置	パナソニック
2020年3月3日	第6670382号	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	富士フイルム
2020年3月3日	米10580953	熱電変換素子および熱電変換モジュールならびに熱電変換素子の製造法および熱電変換モジュールの製造方法	富士フイルム
2020年3月6日	PCT/JP2020/009807	蓄熱材組成物および蓄熱装置	パナソニック
(2018年8月21日)	米国特許第10056536号	熱電変換材料、熱電変換素子、熱電変換モジュール、熱電発電装置、熱電変換システム、および熱電変換材料の製造方法	古河機械金属(株)
2018年12月7日 2018年2月13日 2018年7月11日 2018年10月2日	日本国特許第06443003号 米国特許第9889427号 英・仏特許：EPP3023145 独特許：602015013324.2 中国特 ZL204510794359.5	温度応答性吸湿材料とその製造方法	トヨタ自動車(株)

2018年3月27日 2018年3月28日 2018年3月29日 2018年3月30日 2018年3月27日	201814011473 (印) 2018110817(露) 18164725.6 (EPO) PI2018701255(マレーシア) P00201802390(インドネシア) 15/939662 (US) 201810297232.6 (中国) 1801002007 (タイ) BR102018006673-0 (ブラジル)	金属有機構造体とその製造方法	トヨタ自動車(株)
2018年5月1日 2018年11月9日	特願 2017-551861 第 6431992 号	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)
2018年6月20日 2019年1月11日	特願 2017-557830 日本国特許第 6463510 号	熱電変換モジュール	富士フィルム(株)
2018年9月26日 2018年12月21日 2018年12月25日	特願 2018-180815 16/229689 (米) 201811586064.9 (中国)	金属有機構造体とその製造方法	トヨタ自動車(株)
2019年10月11日 2019年10月31日	特願 2019-188055 PCT/JP2019/042901	ランキンサイクル装置およびその制御方法	パナソニック
2019年10月30日 2019年11月13日	米 16/667946 欧 18822641.9	蓄熱装置	パナソニック
2019年10月8日 2019年8月2日	米 10439124 第 6564066 号	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
2019年11月5日 2020年1月8日 2020年1月8日	米 US10,468,5739 欧 EP3375548 独 60 2018 001 944.8	熱電変換材料	古河機械金属
2019年12月16日 2019年10月18日	特願 2019-526649 米: 16/657892	熱電変換モジュール	富士フィルム
2019年12月25日 2020年1月3日	特願 2019-527719 米: 16/733879	導電膜、熱電変換層、熱電変換素子、熱電変換モジュール、導電膜の製造方法、組成物	富士フィルム
2019年5月24日 2019年9月27日 2019年12月4日 2019年12月10日 2020年2月10日	日 特願 2019-528167 第 6590127 号 米 16/703316 欧 19743551.4 中 201980003821.1	蓄冷材	パナソニック

2019年6月17日	EPO : 19180670.2	配位不飽和金属有機構造体の製造方法及び配位不飽和金属有機構造体	トヨタ自動車
2019年6月10日	米 : 16/435743		
2019年6月12日	印 : 201914023318		
2019年6月25日	中 : 201810297232.6		
2019年6月28日	ブラジル : BR1020190134941		
2019年6月28日	韓 : 10-2019-0077533		
2019年7月3日	露 : 2019120662		
2019年7月1日	タイ : 1901004096		
2019年7月4日	インドネシア : P00201905617		
2019年8月13日	第 6630534 号	液体用ポンプ及びランキンサイクル装置	パナソニック
2019年12月13日	中 ZL201510644974.8		
2019年8月9日	特願 2019-503065 号	熱電変換層、熱電変換層形成用組成物、熱電変換素子、熱電変換モジュール	富士フイルム
2019年8月27日	米 : 16/552186		

3.7. 受賞実績 ※TherMAT 2019 年度分のみ抜粋して掲載

表彰日	表彰団体名	表彰名	受賞者
2019年7月16日	Indian Ceramic Society	Shri J. S. Minhas 記念賞	福島学
2019年9月30日	The American Ceramic Society	Richard M. Fulrath 賞	福島学
2019年10月15日	UNITECR2019	Excellent Presentation Award	藤井実香子
2019年	Investigator Award	International Association of Advanced Materials (IAAM)	J. Hayakawa
2019年	European Conference on Thermoelectrics (ECT) 2019	Best Poster Award	S. Yabuuchi, Y. Kurosaki, N. Fukatani, and J. Hayakawa

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

4.1. 本事業における「実用化・事業化」の考え方

本事業では、当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることを実用化と定義し、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することを事業化と定義する。

4.2. 成果の実用化・事業化に向けた戦略・具体的取組

本事業は、第5次エネルギー基本計画等を踏まえ、2020年度から省エネ施策として再構築している。ユーザからの厳しいニーズや導入条件(性能、コスト等)に合致することを目指し、ユーザのニーズ調査を実施して実用化計画へ反映する。

NEDOは、開発技術や導入普及の課題解決と、開発技術を広く知っていただくことの実現を通じて、進行中のテーマのより早期の実用化・事業化を推進する(図13)。

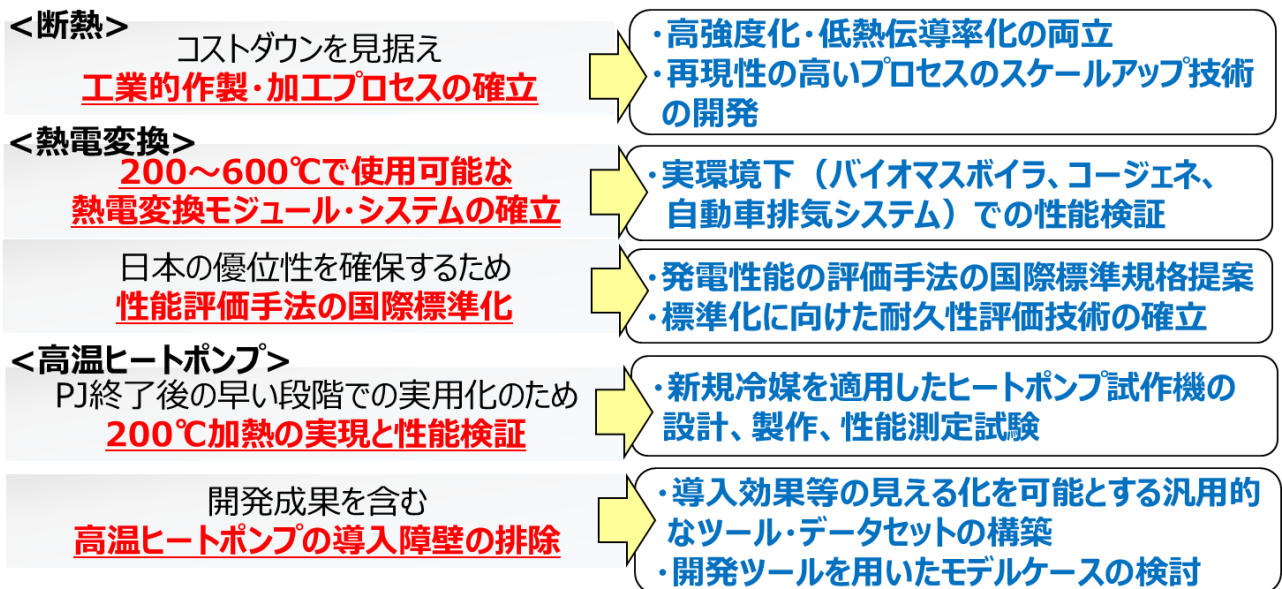


図13 実用化に向けた主な課題と今後の取組(例)

4.3. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

実施関係者の多大なる尽力の結果、本事業では、すでに数件の成果が実用化・事業化に至っている(図14)。プロジェクト卒業後の実用化開発を後押し、より実用化の確度を高めるため、実用化指向の提案公募型事業やMETI補助事業等へのシームレスな提案を推進する。過去には、東レ株式会社が、本事業の中で遮熱フィルムの開発を完了したのちに、戦略的省エネルギー技術革新プログラムの公募へ応募している。

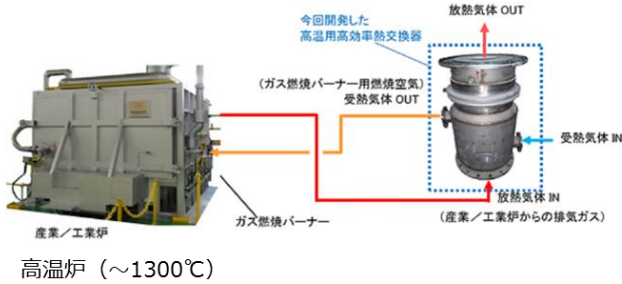
未利用熱を従来比3倍の性能で回収可能な
高温用高効率熱交換器を実用化（2015年度）

実用化

- ・1300℃の耐高温性能
- ・従来に比べ3倍の性能で未利用熱を回収



高温炉に
設置可能



美濃窯業株式会社

従来比2倍の未利用熱回収性能の
冷凍機を実用化（2017年度）、事業化（2019年度）

事業化

温水熱の利用温度をより低温域まで拡大：
95℃の温水排熱について、従来は75℃までの熱しか回収できなかったところを、より低温域の51℃まで熱回収



開発した一重効用ダブルリフト
吸収冷凍機「DXS」

2019年度以降、ドイツ等に導入、商用運転を開始

導入先	導入国	用途	熱源温水	冷凍能力	台数	導入時期
事務所ビル	ドイツ	業務用空調	95→65℃	630kW	3	2019年
機械工場	ドイツ	産業用空調	90→55℃	1,407kW	1	2020年
大学病院	ポーランド	業務用空調	65→57℃	300kW	1	2020年

日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社

図 14 本事業での主な実用化・事業化の案件