

「未利用熱エネルギーの革新的活用技術 研究開発」(中間評価)

(2015年度～2022年度 8年間)

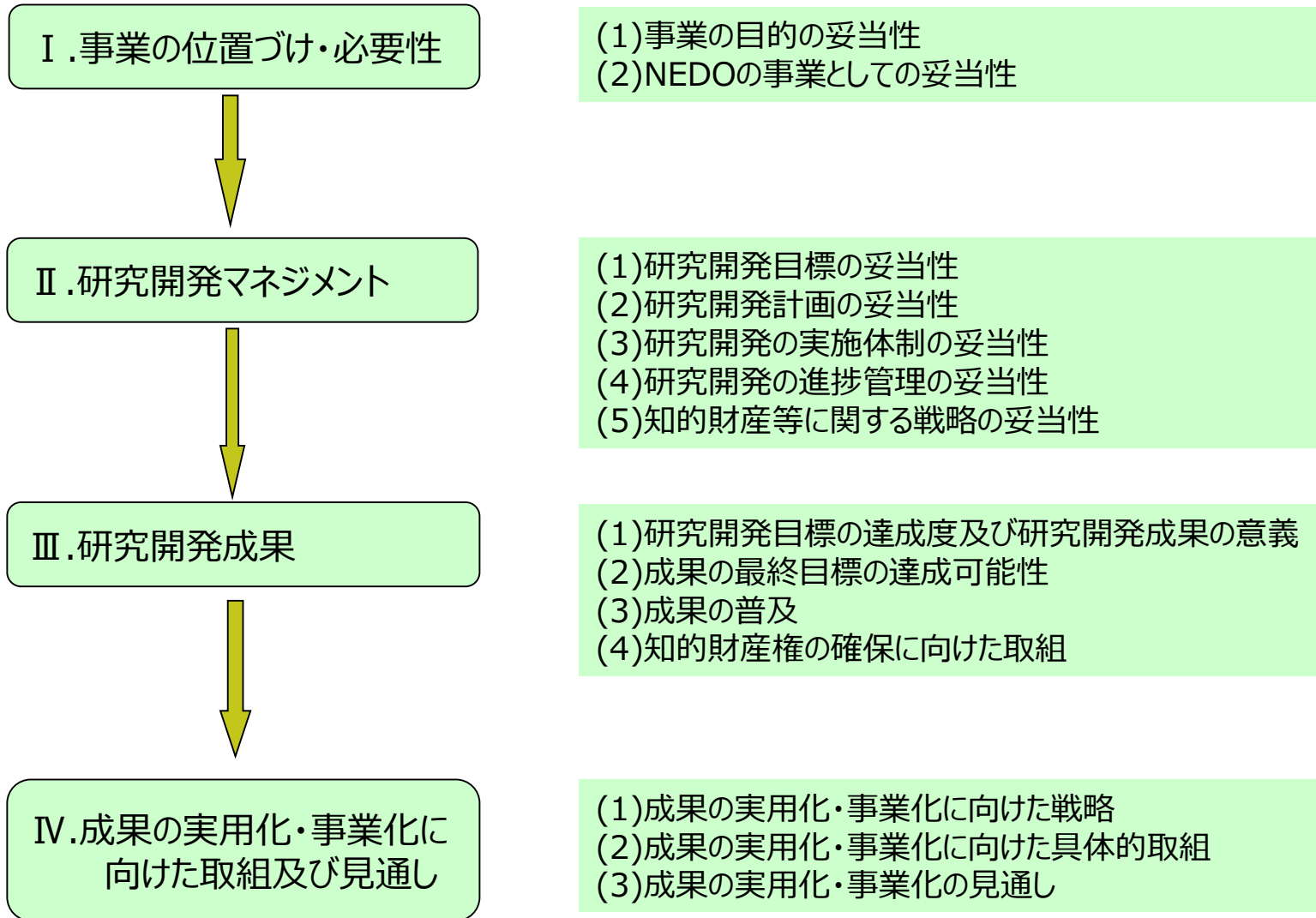
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

省エネルギー部

2020年10月9日

評価対象期間：2018～2020年度



I .事業の位置づけ・必要性

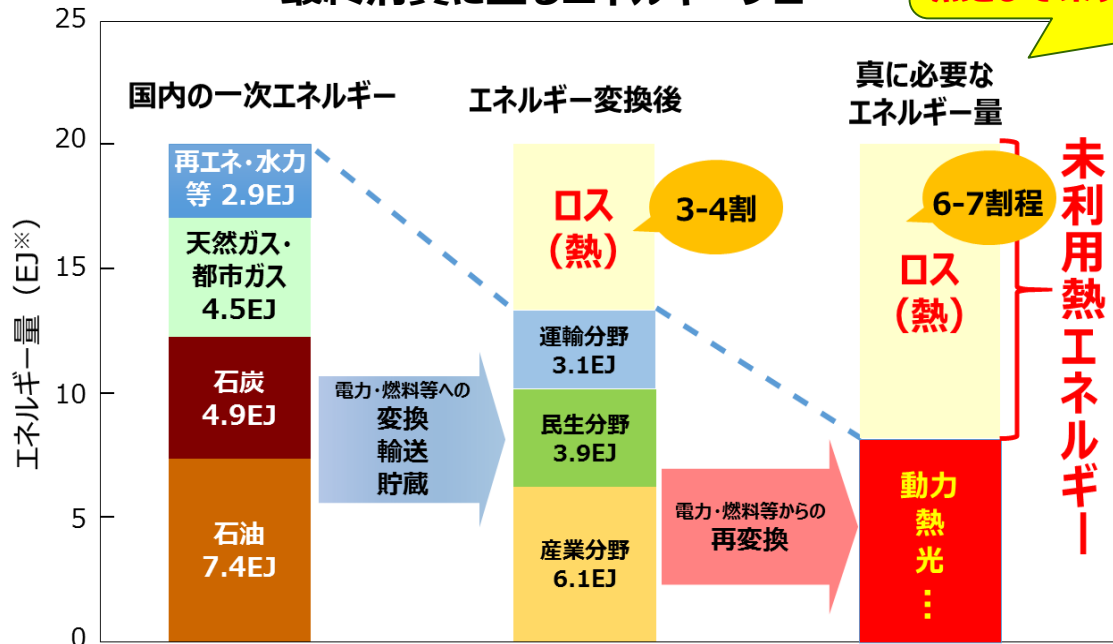
(1)事業の目的の妥当性

(2)NEDOの事業としての妥当性

社会的背景

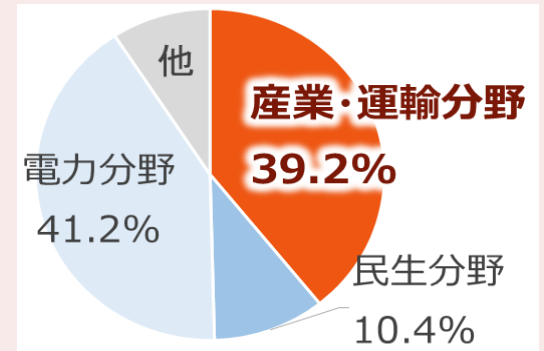
- 一次エネルギーの大半は有効活用できておらず、エネルギーの大部分（うち約4割が産業・運輸分野）が未利用熱として捨てられている&CO₂として排出されている。
- ➡ 一次エネルギーの9割を輸入に頼り、その金額が16兆円にも上るとともに、2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す上で、この未利用熱をいかに減らすかが、我が国にとっては重要な課題。

日本における一次エネルギー供給から最終消費に至るエネルギーフロー



産業・運輸等の分野で、一次エネルギーの大半が熱として環境中に排出される（未利用熱エネルギー）

エネルギー最終活用時点のロスの約4割が産業・運輸分野



※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

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

- 我が国のイノベーションの創出の大半を担う企業における研究開発が、近年短期化かつ短視野化し、**抜本的なイノベーションを生み出す可能性を秘めた未利用熱の有効利用に関する中長期的研究への投資は特に少なくなっている。**

例：NEDOにおける未利用熱の有効利用に関する主な研究開発プロジェクト



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

未利用エネルギー高度活用負荷平準化冷暖房技術開発

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）

高効率熱電変換システムの開発



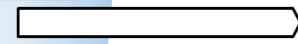
内部熱交換による省エネ蒸留技術開発



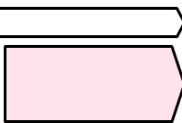
次世代型ヒートポンプシステム研究開発



戦略的省エネルギー技術革新プログラム



未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発



高性能工業炉の開発

高性能工業炉導入フィールドテスト

近年：基盤研究から実用化までをすべて網羅し企業を含む**中長期**のプロジェクトとしては他省庁を含めて実施されていない

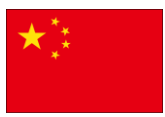
2000年頃まで：石油代替と省エネルギー化という命題のもとで**大規模・中長期プロジェクトを実施**

→リジェネレイティブバーナー、吸収式／圧縮式ヒートポンプ・冷凍機、水和物スラリー蓄熱などが**実用化・普及**

→我が国の産業界の競争力強化や人材育成、**省エネルギー先進国としての地位を築き上げる**ことに貢献

※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

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性



- ✓ 国家発展改革委員会：「石炭のグリーンで高効率な利用と新型省エネ技術」の実施計画を発行
 ➔ 工場の余剰熱回収(主に高温排熱) が重点的研究開発の対象に
- ✓ 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

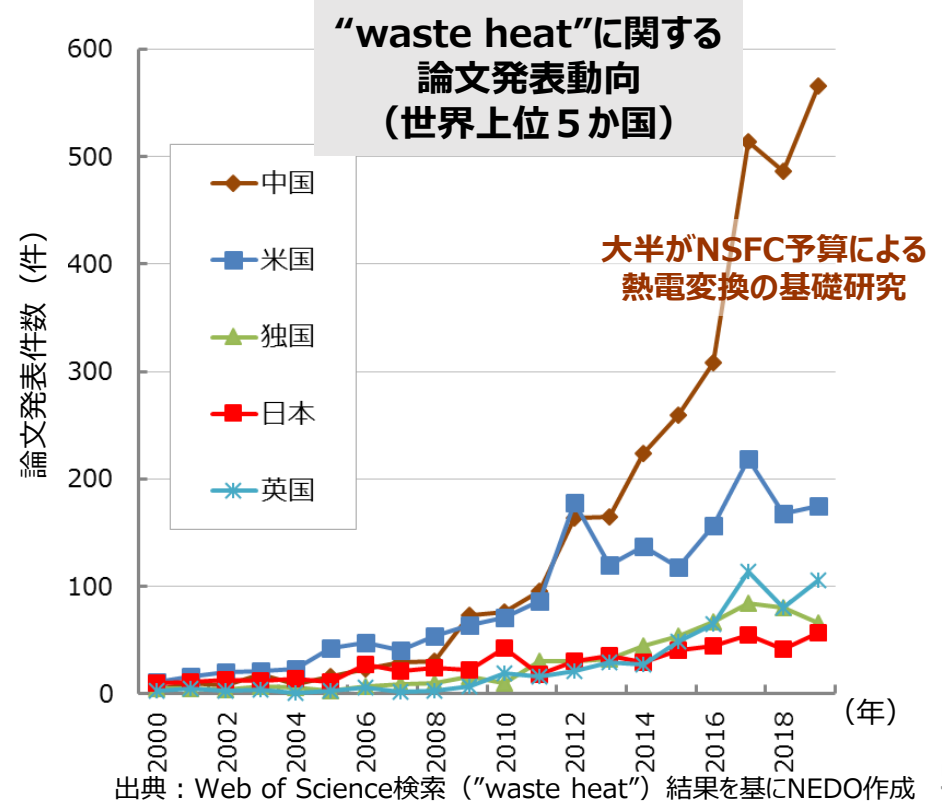


- ✓ DOE Advanced Manufacturing Office：先進製造の実現のため、ポリマーコンポジット材料を用いた新しい熱交換器、マクロチャネル熱交換器の気液二相流の流動挙動解析、排熱回収システムのシミュレーションベースの設計と最適化等の研究開発を実施
- ✓ DARPA, NASA JPL：熱エネルギーハーベスタとして熱電変換材料の開発を活発に実施 (テルル系化合物、ハーフホイスター系、スクッテルダイト系、CNT：目標変換効率6~11%)



- ✓ EUヒート・ロードマップ
 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 (2012~)

- ✓ 欧州委員会 (EC) の研究資金助成プログラム Horizon 2020
 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ージメント技術関連の公募枠が設定されている。
 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。



1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

- 全欧州規模でのフレームワークプログラムである“Horizon 2020”では**熱利用に関する100%補助プロジェクト事業に、10億円/年以上の予算が投じられている。**
- **熱利用技術を網羅的に扱うようなプログラムは実施されていない。**

“Horizon 2020”での熱利用に関する主なプロジェクト (2014~2015年以降に開始された主なもの)

メイン国	プロジェクト	開発対象	予算	補助率	年間あたりの予算(億円)	期間
オランダ	CREATE	蓄熱	€ 5,914,657	100	1.9	2015.10~2019.9
スペイン	SUSPIRE		€ 3,722,017	100	1.6	2015.10~2018.9
オランダ	SCORES		€ 5,998,599	100	1.9	2017.11~2021.10
スペイン	Indus3Es	熱交換器 (AHT)	€ 3,858,500	100	1.3	2015.10~2019.6
オーストリア	DRYficiency	高温ヒートポンプ(160℃等)	€ 6,465,899	77	2.0	2016.9~2020.8
ポルトガル	TransFlexTe g	熱電変換	€ 4,091,187	100	1.7	2015.1~2018.12
イタリア	CoACH		€ 3,882,900	100	1.6	2015.1~2018.12
スペイン	JOSPEL		€ 6,668,288	100	2.4	2015.5~2018.10
ドイツ	POWERSTE P		€ 5,173,854	77	2.2	2015.7~2018.6
フランス	INTEGRAL		€ 8,845,948	79	3.7	2016.12~2019.11
フランス	MAGENTA		€ 4,999,778	100	1.8	2017.1~2020.6
スペイン	QuIET		€ 3,118,272	100	1.1	2018.2~2021.7
スペイン	TASIO	排熱発電 (ORC)	€ 3,989,248	100	1.3	2014.12~2018.5
英国	I-ThERM	排熱発電等 (~1000℃)	€ 3,996,169	100	1.4	2015.10~2019.3

政策的背景

- 我が国の中長期的なエネルギー・環境目標の実現に向けて、熱の効率的利用をはじめとする省エネルギーの推進が求められている。

2030

2050

◇パリ協定実現に向けて

2013年度比でGHG排出26%削減 (2030)

GHG排出80%削減 (2050)

◇「**エネルギー基本計画**」(2018年7月、閣議決定)

3E+S : エネルギーミックスの確実な実現

より高度な3E+S : エネルギー転換・脱炭素化

2030年に向けて :

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**

◇「**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)

未利用熱・再生可能エネルギー熱利用の拡大の推進

2050年までの確立を目指して :

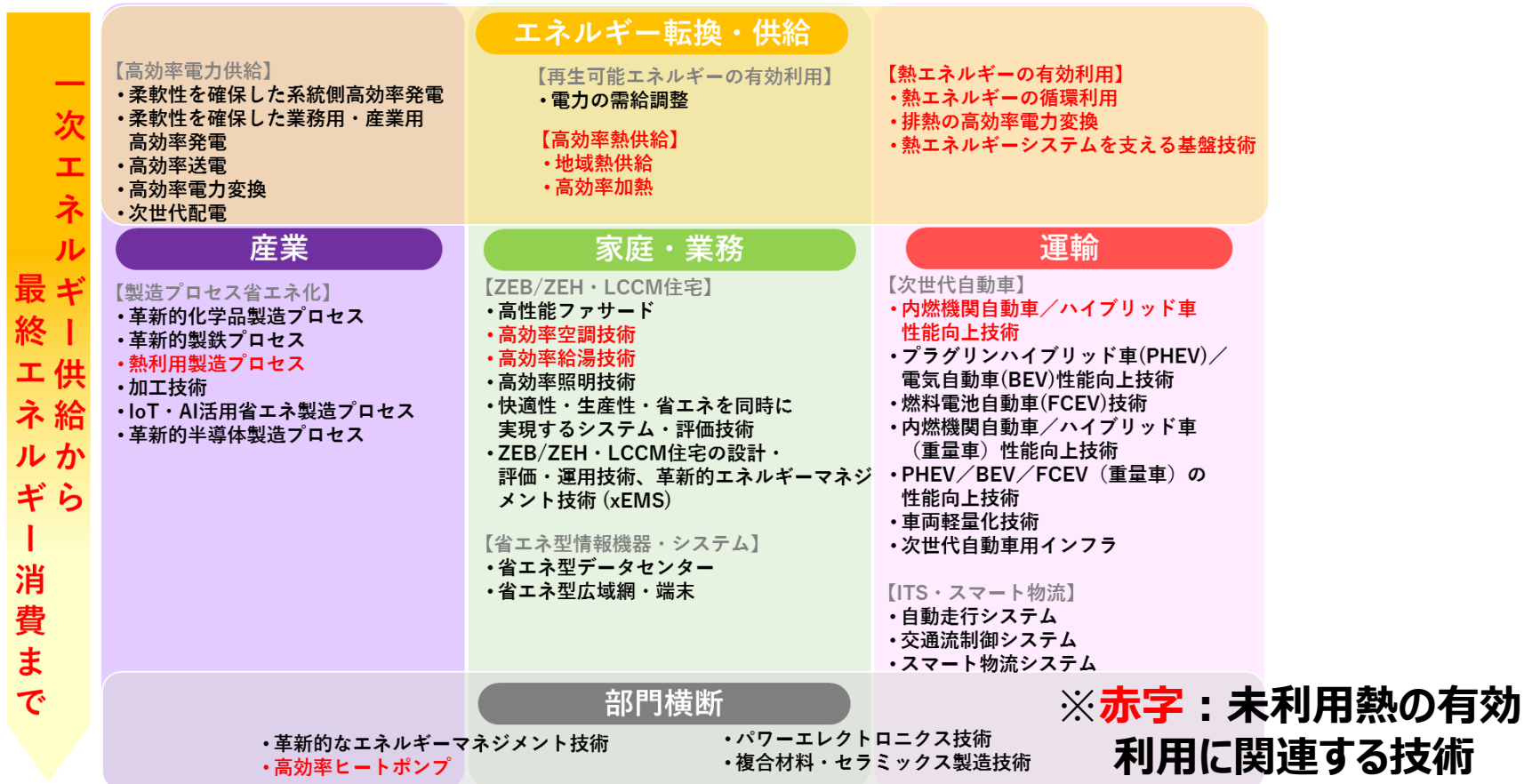
高効率な断熱材、ヒートポンプ、熱電変換技術、熱の評価技術の開発が必要

戦略的省エネPGの重要技術 METIとNEDOの省エネルギー技術開発方針

- 第5次エネルギー基本計画などの政府の方針を踏まえ、廃熱利用や熱システムの脱炭素化を促進するため、**省エネルギー技術戦略の重要技術として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追加。**（2019年7月）

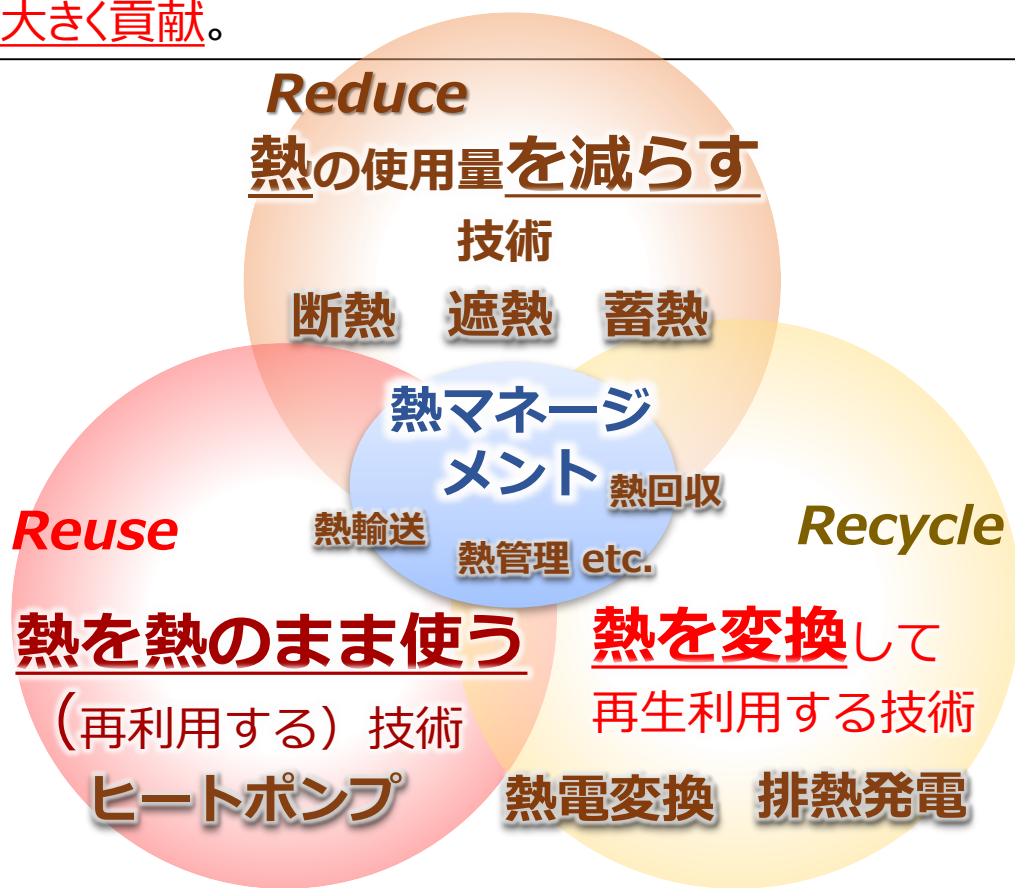
※排熱の高効率電力変換、熱エネルギーの循環利用、高効率電気加熱（誘電加熱、レーザー加熱、ヒートポンプ加熱）など

「省エネルギー技術戦略」に定める重要技術



事業の目的

- 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。
- ➡ 古くから研究開発の行われている当該分野の技術について、未来の省エネルギーに向けたフロンティアとして革新し、国内の3E+Sの実現と、全世界でのグ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。



NEDOのミッション

- エネルギー・地球環境問題の解決
- 産業技術力の強化

NEDOにおける未利用熱の活用に関する研究開発



技術シーズの探索→発掘→育成

NEDO事業例
 NEDO先導研究プログラム/
 エネルギー・環境
 新技術先導研究プログラム

国家プロジェクト等
技術シーズの育成・開発

NEDO事業例
 未利用熱エネルギーの革
 新的活用技術研究開発

実用化促進

NEDO事業例
 戦略的省エネルギー
 技術革新プログラム

導入普及促進

METI事業例
 省エネルギー投資促進に向
 けた支援補助金/
 エネルギー使用合理化等事
 業者支援事業

未利用熱の活用、**省エネルギー**技術のタネを育成・実用化・**社会実装**へ

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

例1：高温ヒートポンプ用 冷媒開発 (公共性/汎用性・連携必要)

新規冷媒についてはさまざまなユーザが想定され、標準化（冷媒データベースの登録等）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い
➡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

例2：熱電変換材料の開発 (ハイリスク・連携必要)

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

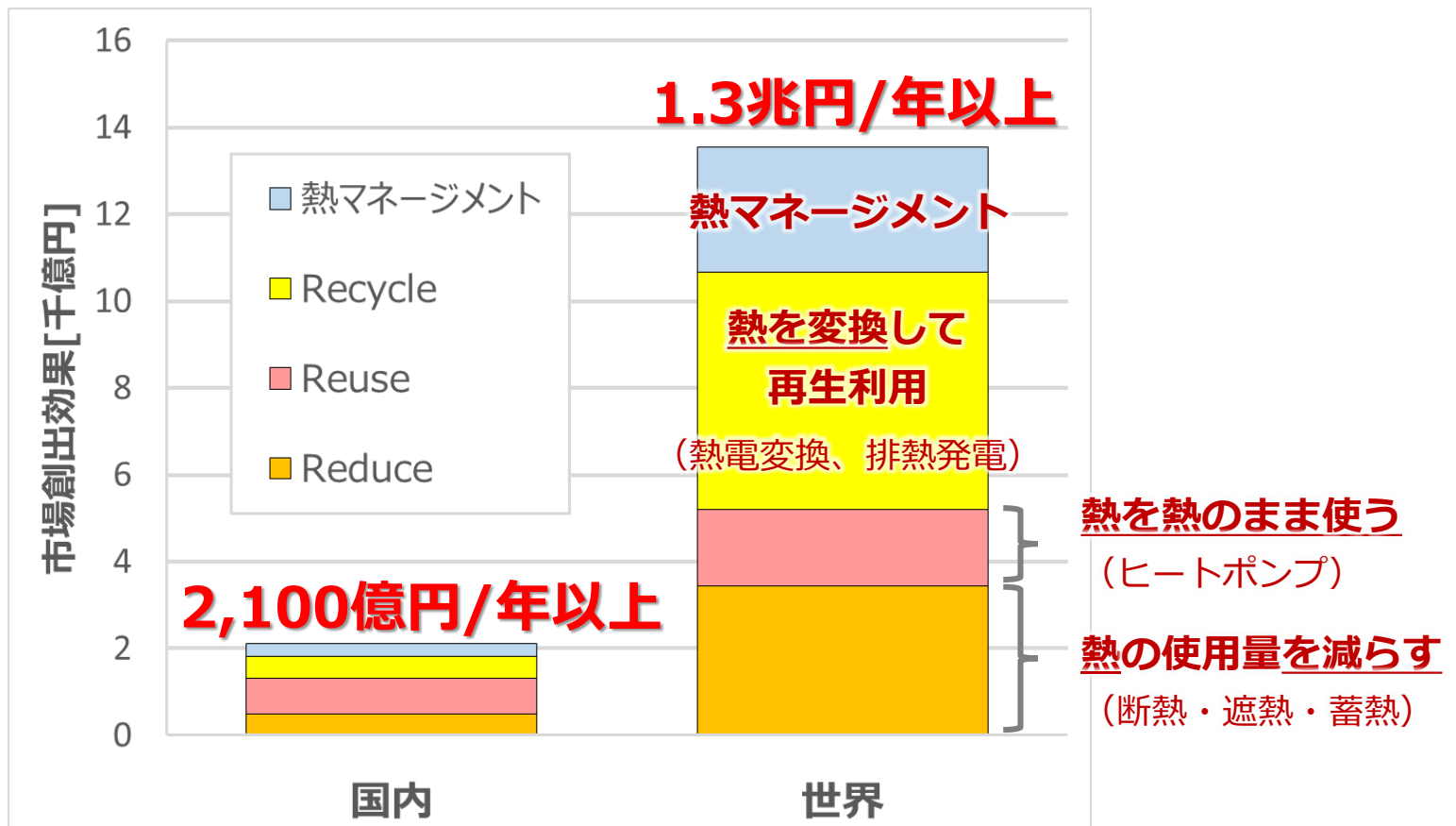
- ➡産学の英知を結集し、中長期の腰を据えた研究開発により**材料探索フェーズから脱却**
- ➡熱電材料性能の正しい評価と我が国の優位性を担保するため、性能評価技術の国際標準化を推進

◆実施の効果 (費用対効果)

■プロジェクト費用総額 **107.3億円** (経済産業省実施分を含む想定額：2013～2022年度)
 ※71.2億円 (NEDO負担予算額：2015～2022年度)

■開発成果による**国内市場創出** **2,100億円/年以上**@2030年 ➡国費投資に対して**20倍以上**

■開発成果による**世界市場創出** **1.3兆円/年以上**@2030年 ➡国費投資に対して**120倍以上**

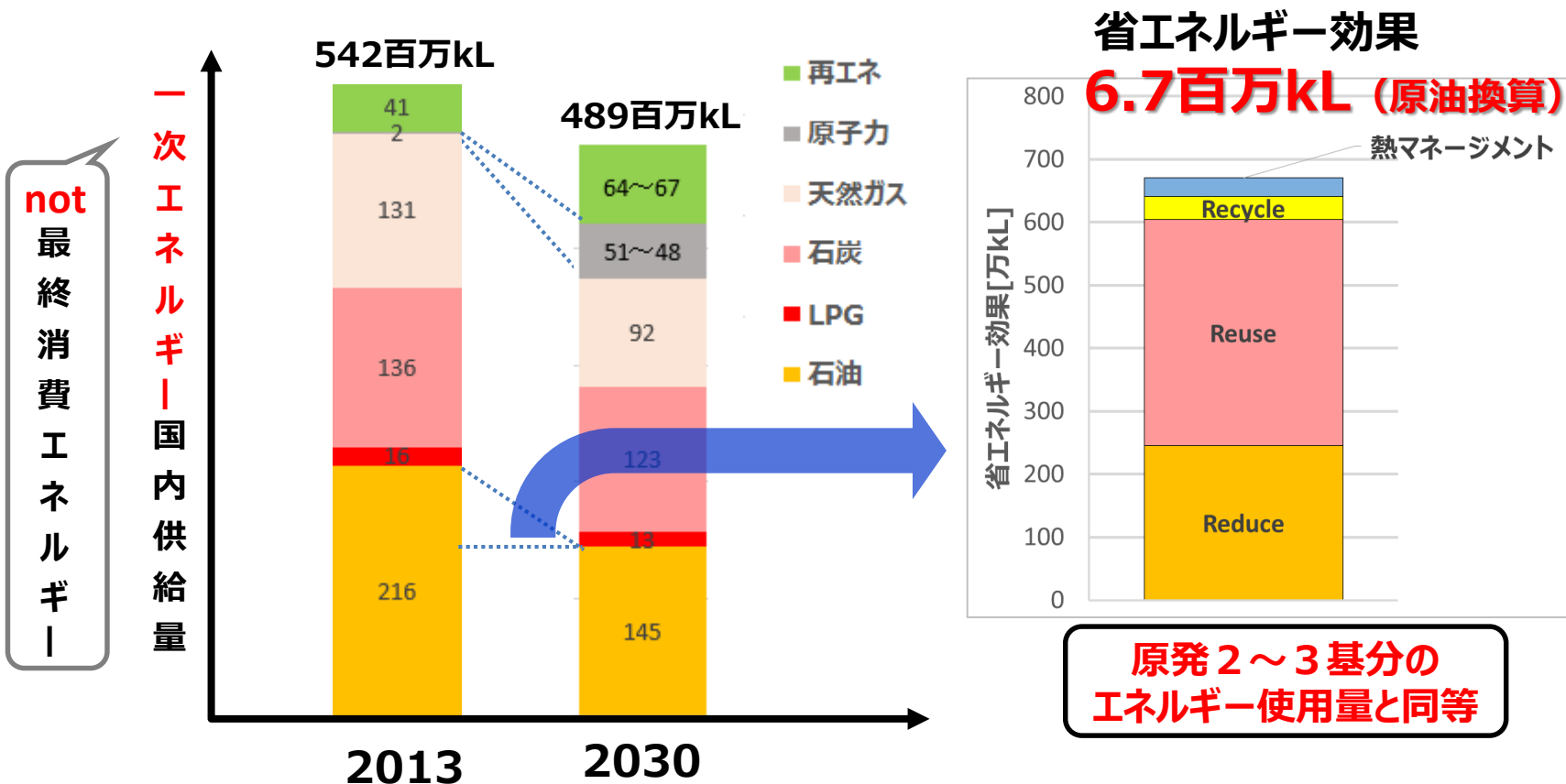


◆実施の効果 (3E+S)

3E+S= Energy security (安定供給)、Economical efficiency (経済性)、Environment (環境) + Safty (安全)

■研究開発成果による2030年における省エネルギー効果 (国内) は、
一次エネルギー換算で少なくとも600万kL/年

➔ 原発2～3基分と同等の価値 ➔ 第四の電源として3E+Sへ寄与

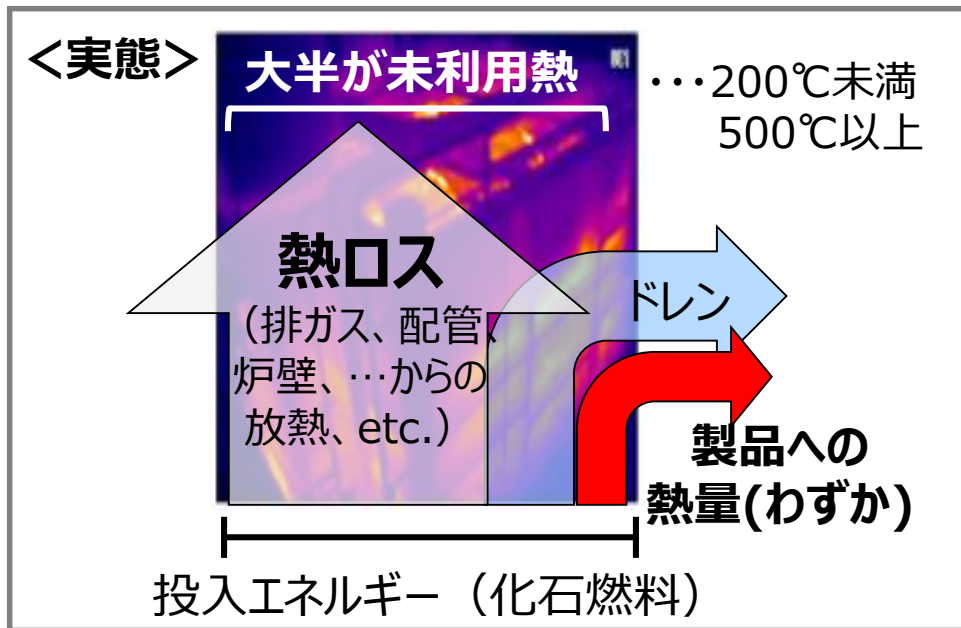


出典：資源エネルギー庁「長期エネルギー需給見通し 関連資料」

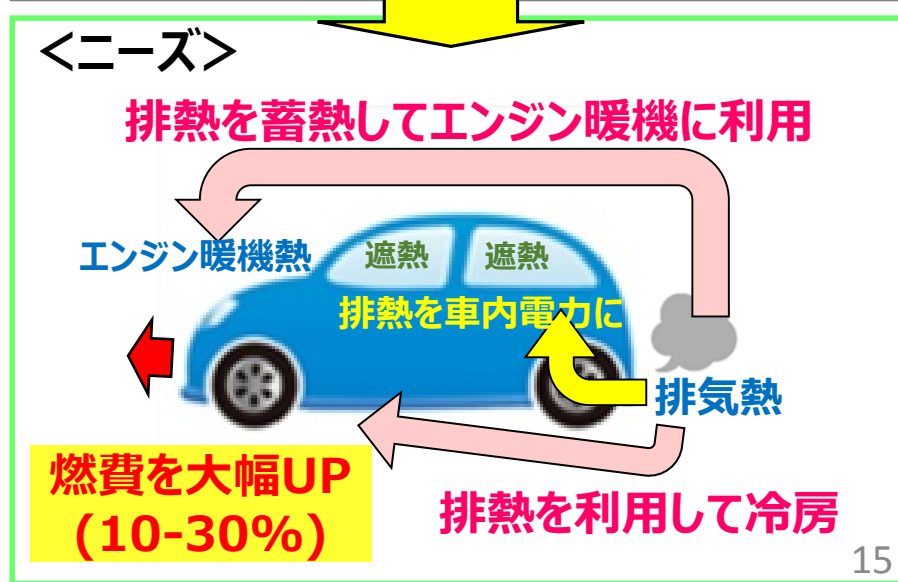
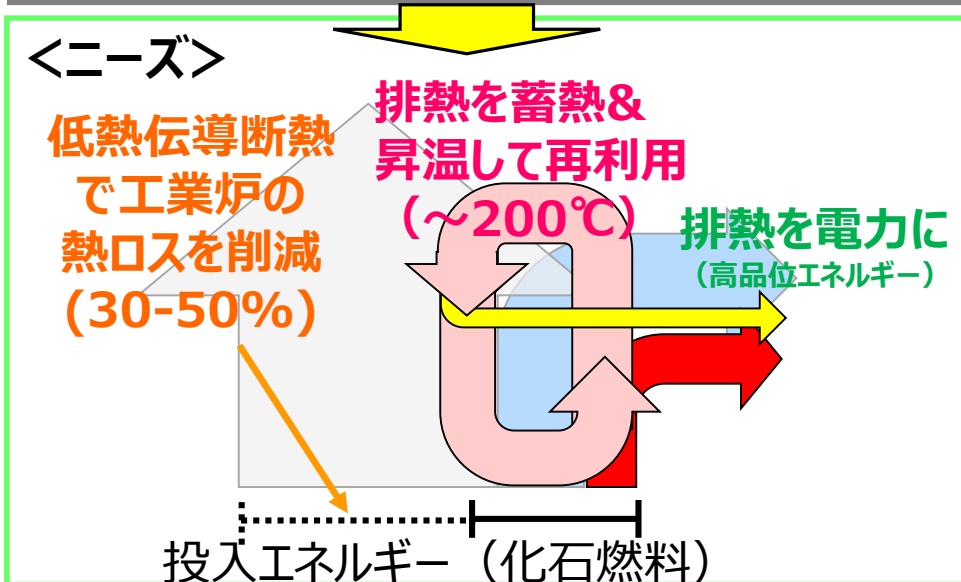
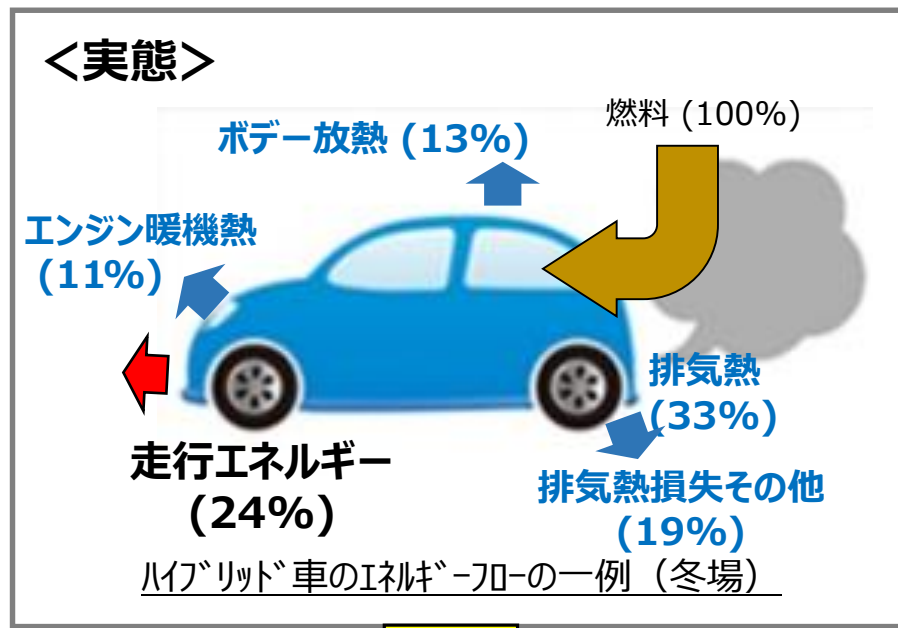
Ⅱ.研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

産業分野（工場排熱）の例



輸送機器（自動車排熱）の例



事業の目標

未利用熱エネルギーを効果的に、①削減（**Reduce**：断熱、遮熱、蓄熱）、②再利用（**Reuse**：ヒートポンプ技術）、③変換利用（**Recycle**：熱電変換、排熱発電）するための技術開発（**熱の3R**）と、④これらの技術を一体的に扱う**熱マネジメント**技術の開発を行い、産業分野、運輸分野等における徹底的な省エネルギーを目指す。

研究開発項目	アウトプット目標（最終目標）
① 断熱技術	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）
② 遮熱技術	可視光線透過率70%以上、日射熱取得率43%以下（2017年度）
③ 蓄熱技術	120℃以下で蓄熱密度1MJ/kg、20℃～25℃環境下で24h以上（2019年度）
④ ヒートポンプ技術	100→200℃加熱でCOP:3.5以上（2022年度）
⑤ 熱電変換材料・デバイス	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
⑥ 排熱発電技術	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）
⑦ 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）
⑧ 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）

◆研究開発目標と根拠

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	<ul style="list-style-type: none"> ・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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	(2017年度末で終了)	
③蓄熱技術※	<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の開発 (2018年度末) 	<ul style="list-style-type: none"> ・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
	<ul style="list-style-type: none"> ・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) 	<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	<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℃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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・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率や経済性の点でメリットがあることを考慮して、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

※2019年度末で終了、研究開発はシステム化開発へ移行し、⑦熱マネジメントの中で継続

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

研究開発項目	2020年度までの目標（中間・最終）	根拠
⑤熱電変換材料・デバイス	<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域（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※	<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熱マネジメント	<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つの形態である、伝導/対流/輻射を分離計測する技術の確立を実現する

※2019年度末で終了、研究開発はシステム化開発へ移行し、⑦熱マネジメントの中で継続

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

研究開発項目	2020年度までの目標（中間・最終）	根拠
⑦熱マネージメント（続き）	<ul style="list-style-type: none"> ・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） 	<ul style="list-style-type: none"> (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（吸着式冷凍機を基準としている） (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
⑧熱関連調査・基盤技術	<ul style="list-style-type: none"> ・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） 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・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 ・革新的な熱マネー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による知見の共有化を行う ・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

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

事業概要

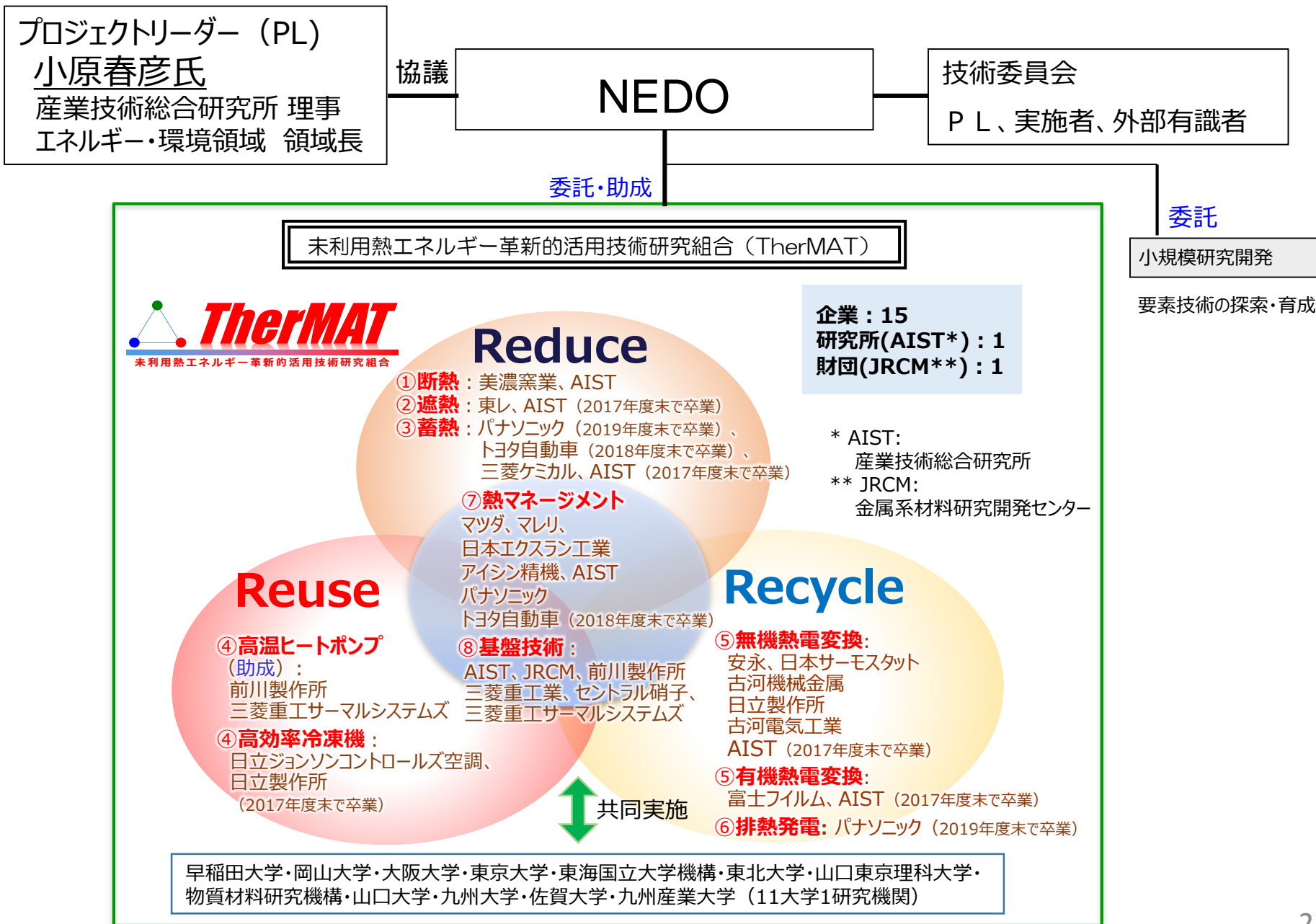
事業期間：2015～2022年度（8年間） ※2013～2014年度の2年間は**経済産業省で実施**
 総事業費（NEDO負担分）：71.2億円（予定） ※2013～2014年度を含めると107.3億円
 プロジェクトリーダー（PL）：国立研究開発法人産業技術総合研究所 理事
 エネルギー・環境領域 領域長 小原 春彦
 プロジェクトマネージャー（PM）：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
 省エネルギー部 特定分野専門職 岩坪 哲四郎

研究開発計画	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	合計	
以下の7項目に係る研究開発 蓄熱技術／遮熱技術／断熱技術／熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術／排熱発電技術／ヒートポンプ技術／熱マネジメント	各項目について、新材料の開発、機器単体の開発、システムの検討等を行う			各項目についてシステムの構築等を行い、実用化に十分な性能を達成する						
	中間評価		中間評価			中間評価				
熱関連調査・基盤技術の研究開発	整備すべきデータベースの明確化／評価技術の整備、体系化			データベースの製作／新材料探索の基盤情報の提供						
政府予算額（億円）	18.5	15	6.5	6.5	6.3	6.5	(6.5)	(5.4)	(71.2)	
実負担額（億円）	19.2	17.2	9.2	6.5	6.8	7.5	-	-	57.2	
テーマ数（件）	25	30	29	25	21	20	(14)	(14)		

➡ **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**

2020年度までのプロジェクトの変遷は非公開

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

現時点(2020年度)の体制 →分室間での連携活動も実施(次ページで説明)

研究開発項目		分室・共同実施先	
断熱	断熱材料の研究開発	美濃窯業<中小企業>・AIST(瑞浪分室)	
ヒートポンプ (助成)	産業用高効率高温ヒートポンプの開発	前川製作所(守谷分室)・早稲田大[太田研]	
	高温熱供給に適したヒートポンプシステム技術開発	三菱重工サーマルシステムズ(兵庫分室)	
熱電変換材料・ デバイス高性能 高信頼化	熱電デバイス技術の研究開発	古河機械金属(つくば分室)	
	実用化に適した高性能なクラスレート焼結体の研究 開発	古河電気工業(横浜分室)・山口大・九州大・山口東京理科 大・NIMS	
	熱電変換による排熱活用の研究開発	日立製作所(ひたち分室)・東北大	
	シリサイド熱電変換材料による車載排熱発電	安永・日本サーモスタット(塩谷分室)	
	小規模研究開発スキーム	AIST・京都大学	
熱マネージメント	熱マネージメントの研究開発	マツダ(広島分室)	
	車両用小型吸収冷凍機の研究開発	アイシン精機(刈谷分室)・AIST・東大	
	車両用高効率排熱利用・冷房用ヒートポンプの研究 開発	マレリ・日本エクスラン工業(佐野分室)・九州大・岡山大	
	高密度/長期蓄熱材料、排熱発電技術のシステ ム化開発(2020年度~)	パナソニック(守口分室)・岡山大・大阪大・早稲田大	
熱関連調査・基 盤技術	熱関連調査 研究と 各種熱マネー ジメント材料の 基盤技術の開 発	排熱実態の調査、研究開発/ 導入シナリオの検討	JRCM・AIST・前川製作所(技術開発センター)・早稲田大 [齋藤研]・東大
		熱電変換素子の高性能化に資 する評価技術の開発	AIST(技術開発センター)・東大
		熱関連材料のシミュレーションと データベース構築	AIST(技術開発センター)・名古屋大[小橋研・長野研]
	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	三菱重工サーマルシステムズ・三菱重工業・セントル硝子・ AIST・九州大学・佐賀大学・九州産業大	

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

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**

2018年度以降の分室間連携活動の内容		企業（分室）・共同実施先
ヒートポンプ ×基盤	工場の統合解析シミュレーション技術（産業用ヒートポンプ導入支援ツール）の開発と、シミュレータを用いた導入効果検証（2018年度～）	<ul style="list-style-type: none"> とりまとめ：JRCM（技術開発センター） ツール開発：早稲田大学 齋藤研、前川製作所（守谷） 検証：前川製作所（守谷）、三菱重工サーマルシステムズ（兵庫）、日立ジョンソンコントロールズ空調（卒業）
	基盤研究にて開発した冷媒サンプルを用いた実機検証試験の実施（2020年度）	<ul style="list-style-type: none"> 試験：三菱重工サーマルシステムズ（兵庫） 冷媒：セントラル硝子（神戸）
熱電変換 関係	コージェネ実機での発電効率検証のためのモジュール仕様を早期に具体化するため、大面積化した 世界最高出力のシリサイド熱電変換モジュールを1年前倒して試作評価 （2019年度）	<ul style="list-style-type: none"> 評価：日立製作所（ひたち） P型材料：日立製作所（ひたち）、東北大学 宮崎研 N型材料：安永（塩谷）
	クラスレート化合物を用いた熱電変換素子の設計値と実測値の比較による製造因子の評価（～2020年度）	<ul style="list-style-type: none"> 評価：AIST（技術開発センター） 高性能素子：古河電気工業（横浜）・山口大 小柳研
熱マネ× 熱電変換	ハイブリッド自動車の排気回収システムへ熱デバイスを搭載する際の実車測定を実施。 測定した排熱データを基に、最適配置や燃費効果を熱シミュレーションモデルを用いて算出 （2020年度～）	<ul style="list-style-type: none"> 評価：マレリ（佐野） 熱電発電モジュール情報等提供：古河機械金属（つくば）、日本サーモスタット（塩谷）
	車載用吸収冷凍機の吸収器内の熱流れを可視化するため、小規模研究開発スキームでの成果である フレキシブルセンサを活用 （2019年度～）	<ul style="list-style-type: none"> 吸収器・評価：アイシン精機（刈谷） フレキシブルセンサ：AIST
熱マネ	クルマの熱流れ計測・熱流れの見える化技術の開発（2018年度～）	<ul style="list-style-type: none"> クルマ全体のモデル構築：マツダ（広島） 計測：マレリ（佐野） 計測結果等の利用：全分室

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

研究開発の進捗管理

PL、TherMAT事務局、組合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。

会議	内容	回数	PL	PM・SPM (NEDO)	TherMAT 事務局	組合員	組合企業 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	○	○	○	—	—
組合員ヒア 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	○	○	○	○	○

◆ 中間評価結果への対応

2017年度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

	評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
事業の位置付け・必要性	—	—
研究開発マネジメント	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 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。
研究開発成果	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 」平成30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 。
成果の実用化・事業化に向けた取組及び見直し	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、平成29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。

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

情勢変化への対応

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。

情勢	対応
<p>【研究進捗】 研究開発中の高温熱供給ヒートポンプに適した新規冷媒について、冷媒熱物性データベースソフトウェアとして広く使用されている米国NIST「REFPROP」への登録を目指す段階となった。</p>	<p>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)</p>
<p>【クルマを取り巻く情勢変化】 近年、電気駆動車の普及とともに、パワートレインシステムが多様化し、将来的に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。</p>	<p>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)</p> <p>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)</p>
<p>【研究進捗】 「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を実現するため、高耐水・高耐久な透湿シートを開発する必要が生じた。</p>	<p>高分子収着剤を用いた耐水性能の高い透湿シートを開発を行うため、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)</p>
<p>【政策動向】 排熱利用や熱システムの脱炭素化を促進することの重要性が示された第5次エネルギー基本計画が決定された。</p>	<p>本プロジェクトは、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>

動向の把握

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。

開発中の技術及びシステムの位置付けと市場への導入条件を明らかにするため、欧州における熱マネージメントシステムに関する最新技術動向、市場・標準化動向、ビジネスモデルと課題を調査。
調査報告書はTherMAT内で共有。

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、国際会議を通じて収集。

- ▶ 第10回日独エネルギー・環境フォーラム（NEDOとドイツ環境・自然保護・原子炉安全省（BMU）及び経済・エネルギー省（BMWi）の共催）
- ▶ 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

欧州における熱マネージメントシステムに関する
技術動向および関連市場調査

(報告書)

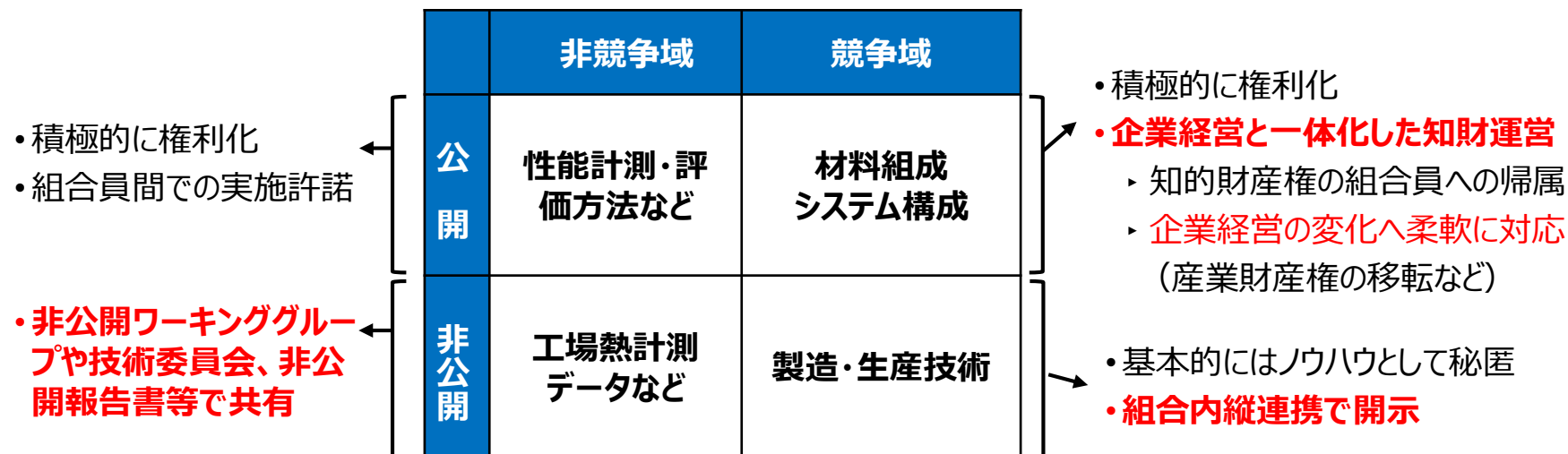
2018年3月23日

EBS (UK) Limited
327 Canal Studios
222 Kensal Road
London W10 5BN
UNITED KINGDOM
Tel: (+44) 20-7240-4250
Fax: (+44) 20-7240-4238
www.ebsukltd.com



知的財産権等に関する戦略

- オープン／クローズの考え方に基づき、情報管理と知財運営を実施。
- 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。
- 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。



実施者による知財管理

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。

Ⅲ.研究開発成果

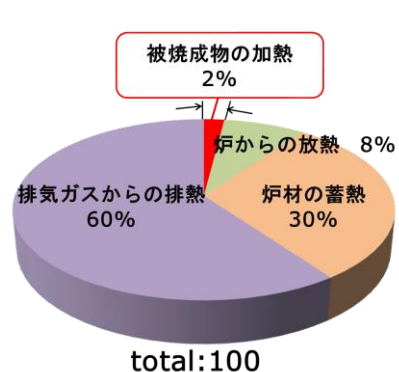
- (1)研究開発目標の達成度
及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

◆研究開発項目ごとの成果：断熱技術

■ 出口イメージ

<現状>

窯業/土石分野向け産業/工業炉では多量の熱が廃棄されている。

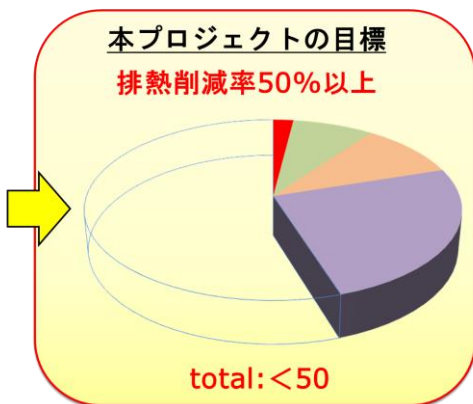


例：一般的なバッチ式セラミックス焼成炉のエネルギー収支

<目標>

高性能ファイバーレス断熱材料と周辺技術の開発によって**産業/工業炉の排熱量を50%以上削減**

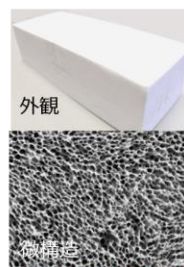
本プロジェクトの目標
排熱削減率50%以上



■ 技術課題 (ブレークスルーポイント)

- 1,500℃以上の高温域で使用可能で、かつ高強度と低熱伝導率を両立したファイバーレス断熱材料の開発
- 断熱材料の大型化技術の開発と大量生産手法の確立
- 排出エネルギーを回収・再利用するための各開発部材を用いた効率的なシステムの開発

[3] 耐高温高効率蓄熱放熱システムの開発 (高効率バーナー)
2017年度で基本技術確立(テーマ終了)



[2] 高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発

[1] 産業/工業炉への熱マネジメントシステムの研究開発
2017年度で基本技術確立(テーマ終了)



[5] 高効率産業/工業炉における検証
目標: 排熱削減率50%以上



[4] 高効率排気ガス熱回収システムの開発 (熱交換器)
2017年度で基本技術確立(テーマ終了)

■ これまでの主な成果

- ・ 不凍タンパク質添加による組織の均一化と緻密な気孔壁組織の確立により、2020年度の中間目標である**耐熱性1500℃、圧縮強度15MPa、熱伝導率0.20W/m・Kを有する断熱材**の開発に成功。
- ・ 断熱材の製造工程の一つである凍結乾燥時間短縮技術確立により、JIS並形れんが(230×114×65mm)換算で**300丁/月の作製を可能にする技術**を確立。
- ・ 開発断熱材を施工した小型ガス炉の加熱テストを実施し、燃料ガス使用量 (m³/h)が**従来れんが施工時と比較し約37%削減**。(排熱削減50%省エネ炉の設計指針を決定する見込み。)

◆研究開発項目ごとの成果：蓄熱技術・熱マネージメント

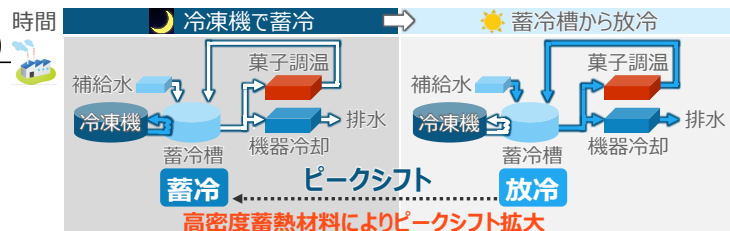
■ 出口イメージ

「時空を超えた熱利用」により、熱の有効活用を実現

〈産業分野〉

[1] 高密度蓄熱材料（低温）

夜間の冷凍機運転で蓄えた熱を昼間に使用し、ピークシフト
@食品製造プロセス



〈運輸分野〉

[3] 長期蓄熱材料

走行時に出ていた排熱を翌日の始動時に使用し、燃費向上@自動車



燃費を10%改善

■ 技術課題（ブレークスルーポイント）

- ・単位重量、体積当りの蓄熱量が高い『高密度蓄熱材料』の開発
(従来材料比2倍)



- ・断熱材なしで長期間蓄熱が保持可能な『長期蓄熱材料』の開発
(24h過冷却保持)

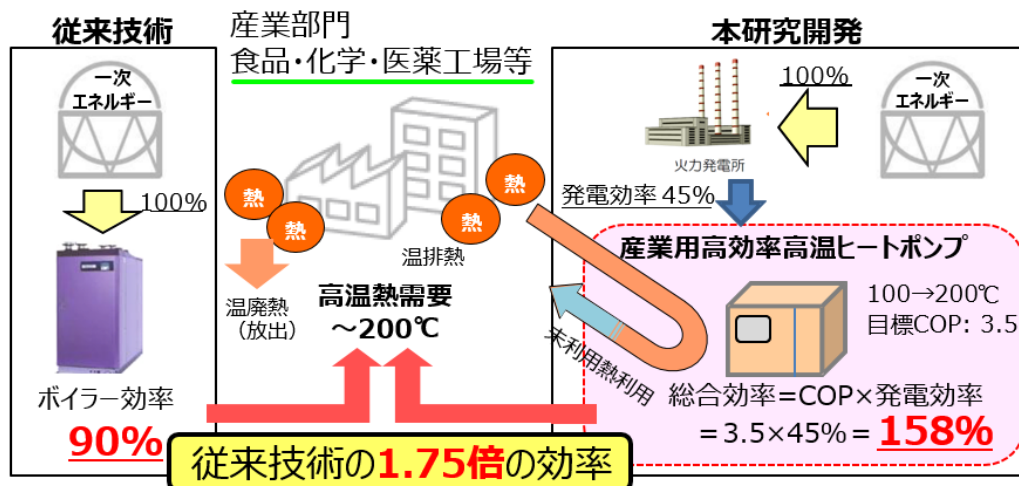
注) 過冷却: 液体の状態のまま融点以下の温度まで冷却される状態

■ これまでの主な成果

- ・**高密度蓄熱**：過冷却抑制剤を添加した蓄熱材料を用いて、振動のない環境下で過冷却度2K以下（中間目標）を検証@モジュール
- 熱マネージメント**：食品工場での蓄冷用途への適用を見据え、過冷却度2K以下と、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。
- ・**長期蓄熱**：新規過冷却解除機構により熱源温度90°Cで冷却解除時間30秒以内（中間目標）、沸点90°C以上の過冷却安定化剤の抽出により-20°Cで過冷却保持時間24hを検証@モジュール
- 熱マネージメント**：暖機/冷間始動時の燃料消費特性調査から蓄放熱速度などの要求仕様を明らかにし、蓄熱モジュールにおいて、過冷却解除時間、過冷却の保持時間、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。 32

◆研究開発項目ごとの成果：ヒートポンプ技術

■ 出口イメージ



化石燃料を多量に用いるボイラ蒸気の代替手段として
高温ヒートポンプに期待

■ 技術課題 (ブレークスルーポイント)

150°C以上の高温需要に対応し、現行の燃焼式(ボイラ)に対抗できるヒートポンプは開発されていない。

～ヒートポンプの原理を応用し、産業分野の排熱を利用して高温(200°C)の出力が可能なヒートポンプを開発する～

- 課題① 冷媒がない(高温・高圧対応&環境性能良好)
- 課題② 圧縮機がない(高温・高圧対応)
- 課題③ 熱交換器がない(高温・高圧・大温度差対応)
- 課題④ 熱ロスが効率を妨げる(断熱対策)

➔これら課題を解決するヒートポンプを開発

■ これまでの主な成果

<160°C出力>

- ・200°C温水出力に対応ができ既に入手可及な冷媒候補で、**要素実証機において出口温度160°C超の温水出力を実現**、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。

<200°C出力>

- ・研究開発項目⑧で開発した新規低GWP冷媒候補での200°C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°C温水出力ヒートポンプの基本制御設計を確立し、開発機の製作図を完成。
- ・フロン系低GWP冷媒を使用した最高温度200°C(被加熱媒体80°C→180°C加熱)が供給可能なヒートポンプ試作機の設計を完了。(2020年度末に製作完了の見込み)
- ・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実施。

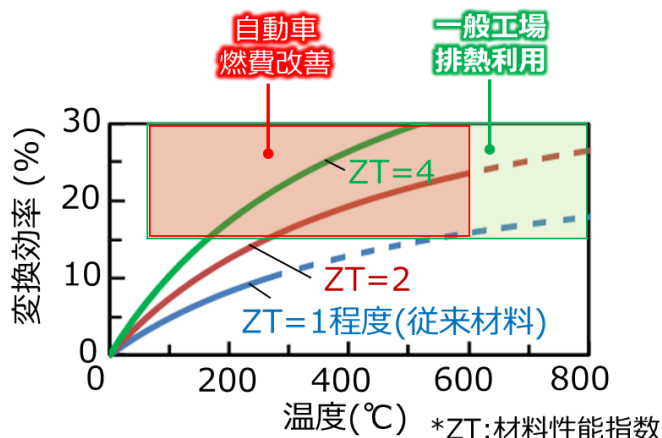
◆研究開発項目ごとの成果：熱電変換技術

■ 出口イメージ

自動車用・工場用
熱電発電

■ 技術課題（ブレークスルーポイント）

熱電変換材料に求められる性能
(例：温度帯・変換効率に対する材料性能指数ZT)



従来材料：

- ・150℃程度未満の低温でしか使えない
- ・材料性能が低い（材料性能指数：ZT=1程度、変換効率： $\eta=10\%$ 未満、出力密度：1.0W/cm²未満）
- ・レアメタルを使用するなど経済性に課題



- ・熱電変換材料、モジュールの耐久性の向上
- ・熱電変換材料の性能向上
- ・新規材料を用いた熱電変換モジュール化技術の開発
- ・熱電変換モジュールの変換効率向上
- ・熱電変換のコスト削減

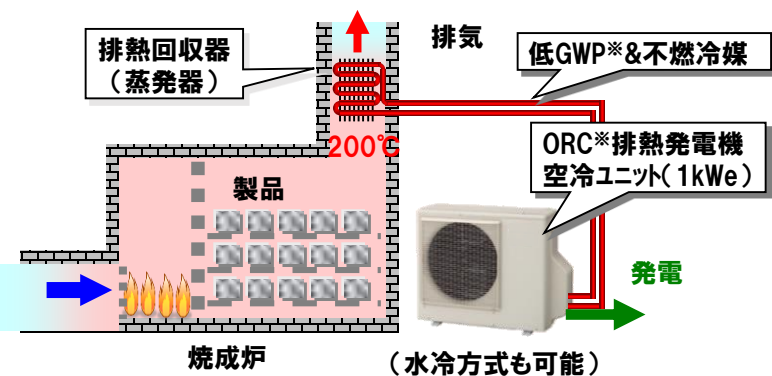
■ これまでの主な成果

- ・**スクテルダイト系**：熱電モジュールの接合技術、高性能化技術を開発し、**モジュール変換効率9%、出力密度2W/cm²を達成**。600℃で5,000h以上の**耐久性**を確認（基板付モジュール）、**出力200Wの熱電発電ユニット試作**に成功。
- ・**クラスレート化合物**：多接合型オールクラスレート熱電モジュールを開発試作。輻射熱を考慮した新モジュール構造と素子の高性能化により、**変換効率を従来の約10%から12%へ向上する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**コージェネ適用実証**を見据え、**実証実験の設計**を実施。また、中高温用シリサイドモジュール（9対）で、**12.4kW/m²の出力密度**を達成。さらに、バルク材料で**ZT>1(大幅改善)**を見通した。
②**発電出力密度1.55W/cm²を達成**（2素子モジュール、 $\Delta T=580^\circ\text{C}$ ）。発電素子材料の**耐久性が3,000時間以上**であることを確認。**早期実用化検討対象としてバイオマスボイラーへの展開を考案**し、温度環境測定データよりシリサイド系素子の適用温度を得た。（2020年度末に実証試験を実施）

◆研究開発項目ごとの成果：排熱発電技術・熱マネジメント

■ 出口イメージ

工業炉の排熱発電システム(例)

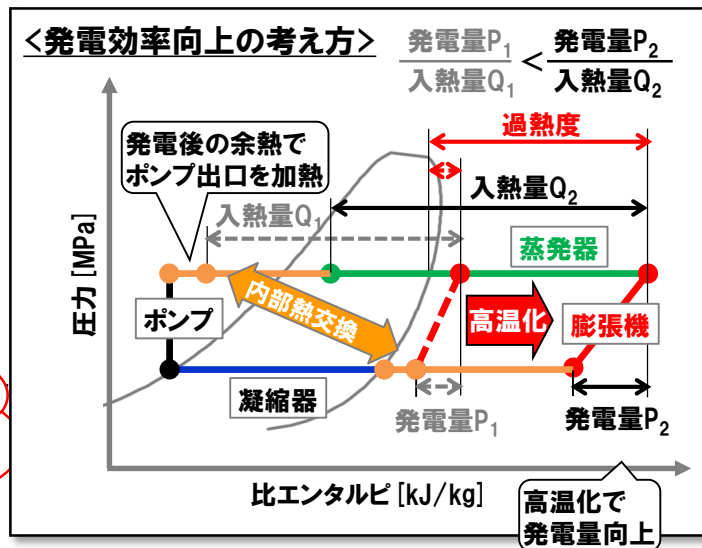


※) GWP:地球温暖化係数、ORC:オーガニックランキンサイクル

200℃以下の
中低温排熱を活用した
世界最高効率の
1kW小型発電システムを確立

■ 技術課題 (ブレイクスルーポイント)

- ・発電効率向上・・・排ガスからの**直接熱回収**でサイクル高温化
- ・省スペース/低価格・・・単段膨張機で対応できる**圧力比**
- ・付帯工事費抑制・・・**空冷凝縮器**で水配管や冷却塔不要
- ・環境対応・・・**冷媒(作動流体)の低GWP化**



■ これまでの主な成果

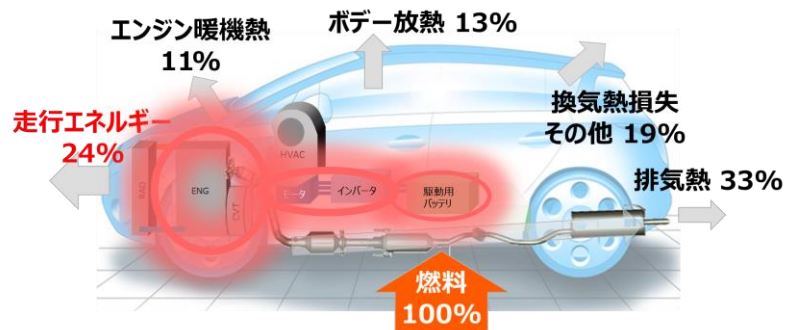
- ・5年相当の耐久性を実現するための材料や機構要素とデバイス効率を両立させた1kWクラスの**デバイス基本設計を完了**。
- ・バラック試作機により、**排熱発電サイクル自動制御運転/年間平均発電出力として1kWを実証**。
- ➡**熱マネジメント**：熱源熱源の起動に伴う排ガスの温度と量の上昇に追従した起動運転、安定した排ガス温度と量での定常運転、熱源の停止に伴う排ガスの温度と量の低下に追従した停止運転を実施。**排ガス温度200℃の定常運転の条件において、平均発電出力1kWを達成**。

◆研究開発項目ごとの成果：熱マネジメント技術

■ 出口イメージ

<運輸>排気熱等を削減（湿度交換）・回収して暖機や暖房等に活用（蓄熱・熱電変換・熱輸送）することで、**冬場の燃費を約1割向上**

<産業>断熱・蓄熱等の要素技術やシミュレーション技術を組み合わせ、産業熱利用プロセスの省エネを実現



ハイブリッド車のエネルギーフローの一例（冬場）

■ 技術課題（ブレークスルーポイント）

熱の流れの見える化

➡ 熱流れの計測解析技術の開発とモデル構築

排熱を利用し冷熱・電力等を生成

➡ 吸収冷凍システム、蓄熱・熱電変換利用システム等

換気熱損失を削減

➡ 湿度交換システム

排熱を暖機に活用

➡ 蓄熱モジュールを用いた熱マネジメント

ロスなく熱を運ぶ

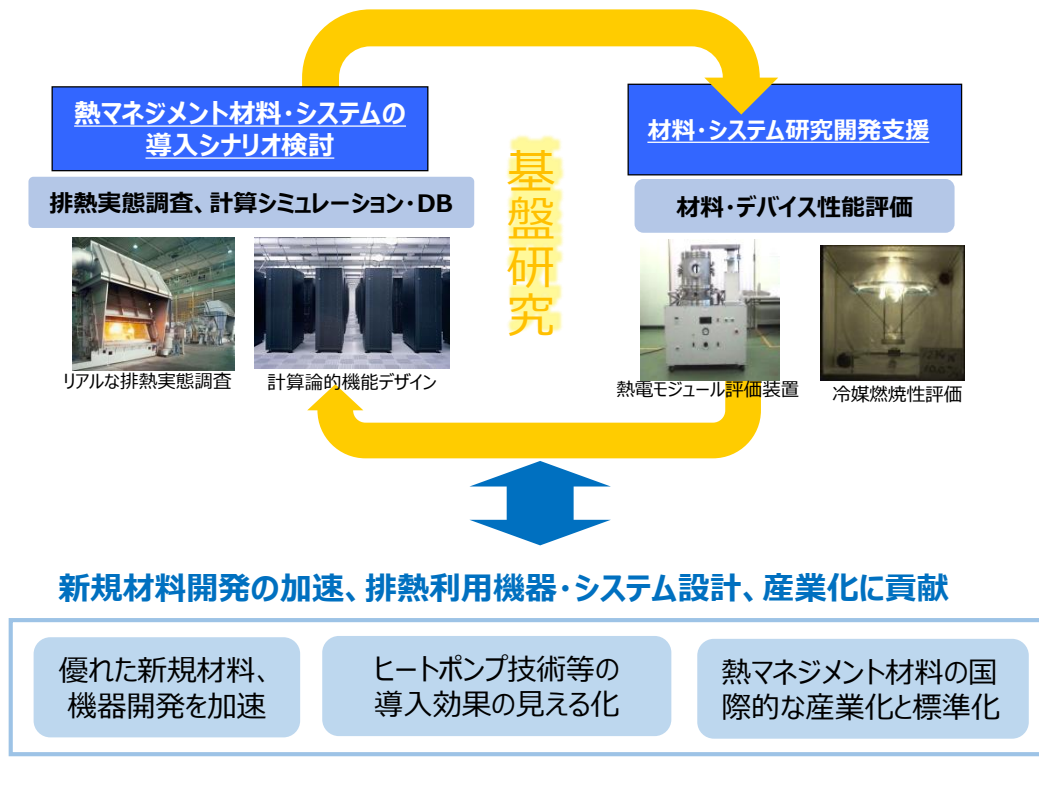
➡ 熱輸送/移動、伝熱促進

■ これまでの主な成果

- ・**熱の流れの見える化**：①光ファイバを用いた0～130km/hまで計測可能な高分解能・高応答温度計測技術を開発。対流・輻射熱伝達を明らかにし、実測に基づいた伝熱3形態による熱流れをモデルに反映。
②シリーズパラレル式（アクセラHV）の熱計測を実施し、消費エネルギーが、夏季条件では冷房負荷により7%悪化、冬季条件では暖房等のためエンジン稼働比率が増加することにより39%悪化することを明らかにした。
- ・**吸収冷凍システム**：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し、商用車への搭載評価を実施して冷房出力1.5kW以上。
- ・**吸着式冷凍システム**：平均蒸発性能1.7kW/19Lをシミュレーションモデルを用いて確認。
- ・**湿度交換システム**：湿度交換器を搭載するHVACの検討を行い、車載用として求められる除湿性能（173g/h）、再生側風量（3m³/min以上）を達成。

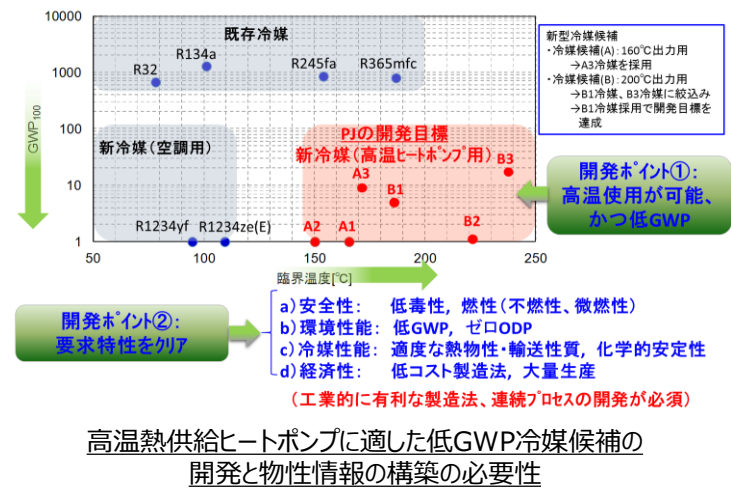
◆研究開発項目ごとの成果：排熱実態調査、計算シミュレーション、データベース構築、性能評価

■ 出口イメージ



■ 技術課題 (ブレークスルーポイント)

- ・排熱の詳細な実態調査による熱マネジメント技術の導入シナリオ検討
- ・プロジェクトの横串的役割として、材料・デバイスの性能評価による各企業の研究開発・実用化支援
- ・計算シミュレーション、材料データベース構築による基礎データ整備と技術普及への貢献



■ これまでの主な成果

- ・15業種の工場設備の排熱実態調査報告書を公表
- ・ヒートポンプ導入効果が見える化できる「産業用ヒートポンプシミュレーター」を開発
- ・新型冷媒候補の標準データベースへの登録に必要なGWP、燃焼性、熱安定性、安全性等のデータを取得
- ・多試料同時熱電評価装置、異方性を考慮した熱電計測法の開発
- ・蓄熱材料データの収集とデータベースへの収録、糖アルコールを対象とした蓄熱量・転移温度のシミュレーションを実施

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 目標と達成状況、最終目標達成見通し

◎大きく上回って（早期に）達成、○予定どおり達成、
△ほぼ（若干の遅れで）達成、×達成困難の見通し

研究開発項目	2020年度までの目標（中間・最終）	達成度	最終目標の達成見通し
①断熱技術	<ul style="list-style-type: none"> ・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） 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・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
③蓄熱技術	<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） 	◎	<p>（材料目標を達成、熱マネジメントの研究開発でのシステム化開発へ移行）</p>
④ヒートポンプ技術	<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℃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） 	○ （一部△）	<ul style="list-style-type: none"> ・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

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2) 成果の最終目標の達成可能性

◎大きく上回って（早期に）達成、○予定どおり達成、△ほぼ（若干の遅れで）達成、×達成困難の見通し

研究開発項目	2020年度までの目標（中間・最終）	達成度	最終目標の達成見通し
⑤熱電変換材料・デバイス	<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） 	◎ (クラスレート○)	<ul style="list-style-type: none"> スクテルダイト系：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が確立される見込み クラスレート化合物：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、最終目標である発電効率15%が達成される見込み シリサイド系：2022年度までにコージェネ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
⑥排熱発電技術	<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熱マネジメント	<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"> 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

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2) 成果の最終目標の達成可能性

◎大きく上回って（早期に）達成、○予定どおり達成、△ほぼ（若干の遅れで）達成、×達成困難の見通し

研究開発項目	2020年度までの目標（中間・最終）	達成度	最終目標の達成見通し
⑦熱マネージメント（続き）	・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）	○	・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
	・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）	○	・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
	・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）※吸着式冷凍機が基準 (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）	○	・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 ・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、最終目標である数kW冷熱出力の体格重量（55L、30kg）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

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2) 成果の最終目標の達成可能性

◎大きく上回って（早期に）達成、○予定どおり達成、△ほぼ（若干の遅れで）達成、×達成困難の見通し

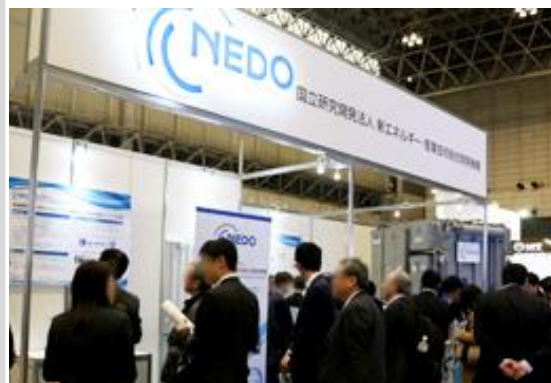
研究開発項目	2020年度までの目標（中間・最終）	達成度	最終目標の達成見通し
<p>⑧熱関連調査・基盤技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術の構築（2020年度末） ・プロジェクト内部の共通基盤ツールとしての新材料探索の基盤情報の提供（2020年度末） 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・2022年度までに最終目標である熱システムが複数存在するプロセス全体がシミュレーションできる「産業用統合シミュレータ」の構築が達成される見込み ・2022年度までに国際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 ・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 ・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

成果の普及

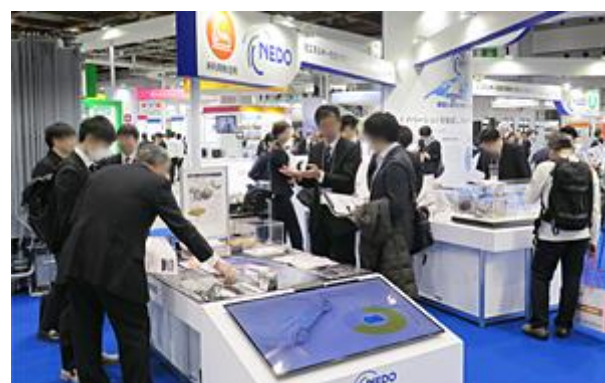
ニュースリリースやシンポジウムの開催、展示会でのサンプル展示や、海外とのワークショップ、関係雑誌での未利用熱活用特集などを積極的に行い、取り組みや成果の広報を実施。



NEDO未利用熱エネルギーシンポジウム



INCHEM2019
賑わうNEDO未利用熱活用ブース



ENEX2020
未利用熱活用コーナー（上）と
VIPへの技術紹介のようす（下）



本事業のパンフレット制作（2018年度～）

関連イベント・成果等	
■報告書・開発ツール等	
公開日	報告書・開発ツール等
2020年1月	☞ 事業紹介パンフレット（2020年1月 第1版）
2020年1月27日	熱回収材の熱伝導率を手軽に高精度に計算するソフトウェア Structure (P-TRANS) (3)
2019年1月	熱回収材の熱伝導率を手軽に高精度に計算するソフトウェア Structure (P-TRANS) (3)
2019年1月	熱回収材の熱伝導率を手軽に高精度に計算するソフトウェア Structure (P-TRANS) (3)

関連イベント・成果等を見える化

■NEDOニュース（ニュースリリース・NEDOからのお知らせ）		
日付	実施者	タイトル
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	☞ 熱回収材の熱伝導率を手軽に高精度に計算する
2020年1月24日	-	☞ 「ENEX 2020」出展へ

NEDOホームページリニューアル（2018年度）

(https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100097.html)

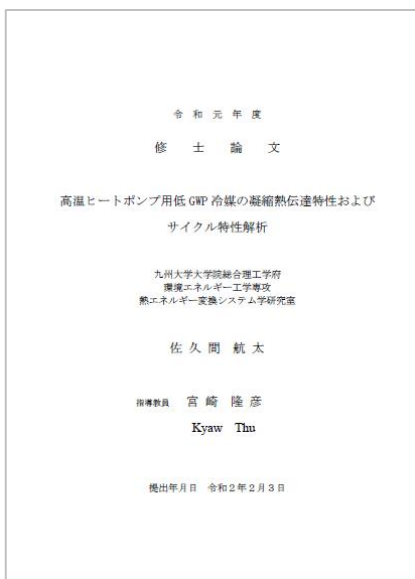
訪問者数が15千人（2015-2017年度）

→17千人（2018-2020.8）へ増加（2020年度末に21千人を見込む）

成果の件数

※2020年8月31日現在（非公開セッション発表テーマ分を集計）

成果件数	～2017年度	2018年度	2019年度	2020年度※	計※
論文	72	19	19	3	103
研究発表・講演	309	75	94	12	445
受賞実績	15	2	5	0	22
新聞・雑誌等への掲載	8	5	9	5	23
展示会への出展	46	18	23	0	80



学会等での受賞
(2019年度：美濃窯業・AIST、日立製作所)

- 産業技術総合研究所（福島博士）が
アメリカセラミクス協会
Richard M. Fulrath Awardを受賞
(<https://ceramics.org/awards/richard-m-fulrath-awards>)
- 日立製作所（早川博士）が
International Association of Advanced
Materials (IAAM)
Advanced Materials Awardを受賞
(<https://www.iaamonline.org/advanced-materials-award>)



共同実施先の修士論文
としても成果公表
(次世代の人材育成にも貢献)

第46回東京モーターショー2019での
熱電モジュール展示（日本サーモスタット） 43

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

- ニュースリリース：15件（2018～2020年度）
- 関係雑誌での未利用熱活用特集：月刊「グリーンエネルギー」での未利用熱活用特集、月刊「食品工場長」への寄稿等

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—

◆知的財産権の確保に向けた取組

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

	～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

本事業での特許出願の特徴

- 特許出願件数のうち、**登録された件数が多い**
- 実用化後の将来マーケット拡大と競争を見据え、PCT以外の**狙いを定めた外国出願**を実施

(例) トヨタ自動車（蓄熱）：米・印・中・伯・韓・露・泰・尼 パナソニック（蓄熱）：欧・米・中
 アイシン精機（吸収式ヒートポンプ）：独・仏 日立ジョンソンコントロールズ空調（吸収冷凍機）：中・印・韓
 日立製作所、日本サーモスタット、富士フイルム（熱電）：米 古河機械金属：米・欧・独

IV.成果の実用化・事業化に 向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

本プロジェクトは、基盤研究的な研究開発テーマを含む幅広い研究開発課題を対象としているが、以下の「実用化・事業化」の考え方をもとに、マネジメントを実施している。

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

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。

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。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。
- 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努力を通じて、進行中のテーマのより早期の実用化・事業化を推進。

実用化に向けた主な課題と今後の取組（例）

<断熱>

コストダウンを見据え

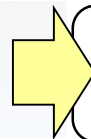
工業的作製・加工プロセスの確立



- ・高強度化・低熱伝導率化の両立
- ・再現性の高いプロセスのスケールアップ技術の開発

<熱電変換>

200～600℃で使用可能な熱電変換モジュール・システムの確立



- ・実環境下（バイオマスボイラ、コージェネ、自動車排気システム）での性能検証

日本の優位性を確保するため
性能評価手法の国際標準化



- ・発電性能の評価手法の国際標準規格提案
- ・標準化に向けた耐久性評価技術の確立

<高温ヒートポンプ>

PJ終了後の早い段階での実用化のため
200℃加熱の実現と性能検証



- ・新規冷媒を適用したヒートポンプ試作機的设计、製作、性能測定試験

開発成果を含む
高温ヒートポンプの導入障壁の排除



- ・導入効果等の見える化を可能とする汎用的なツール・データセットの構築
- ・開発ツールを用いたモデルケースの検討

成果の実用化・事業化の見通し

- 実施関係者の多大なる尽力の結果、**すでに数件の成果が実用化・事業化に至っている。**
- PJ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。
(過去の例：東レ遮熱フィルム)

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



高温炉 (～1300℃)

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