

**「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」
(終了時評価)
2015年度～2022年度 8年間
プロジェクト(公開版)**

2024年1月10日

未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

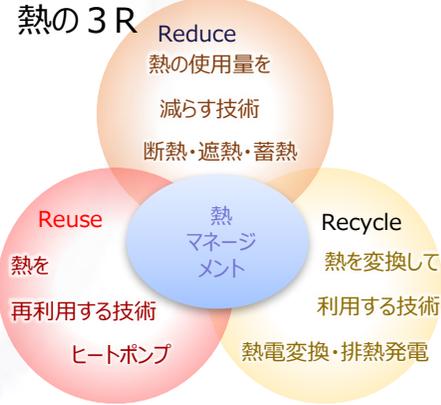
省エネルギー部 後藤直彦(主査)
 関連する技術戦略: 未利用熱有効利用



基本計画

プロジェクトの概要

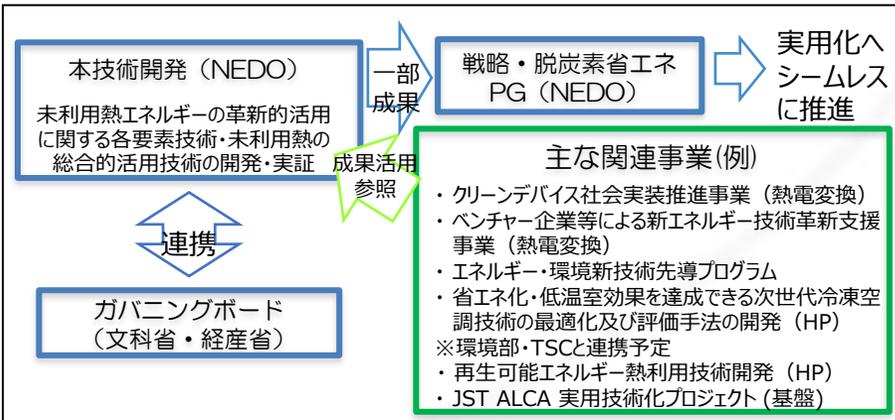
本事業では、未利用熱エネルギーを効果的に、
 ①削減(断熱、遮熱、蓄熱)
 ②再利用(ヒートポンプ)
 ③変換利用(熱電変換、排熱発電)
 するための技術開発と、
 ④これらの技術を一体的に行う熱マネジメント技術の開発
 を行い、環境中に排出される膨大な未利用熱を効果的に削減・回収・再利用し、産業分野、運輸分野、民生分野における更なる省エネ化を目指す。



想定する出口イメージ等

| | |
|--------------|---|
| アウトプット目標 | 【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、【遮熱】可視光線透過率70%以上、日射熱取得率43%以下、【蓄熱】20℃～25℃環境下で24h以上、【熱電】受熱温度200℃～600℃の条件で発電効率15%以上のモジュール、出力200W(モジュール出力密度2W/cm ²)の発電ユニット、【排熱発電】出力1kWクラスの実証、【ヒートポンプ】最高加熱温度200℃、熱源水温度80℃、加熱器出口温度180℃加熱条件でCOP:3.5以上、【熱マネジメント】産業分野等の熱マネジメント技術・システム開発、【熱関連調査・基盤技術】産業用高温HP向け冷媒物性情報の収集、統合解析シミュレーション技術の構築(以上は代表的なアウトプット目標、詳細は基本計画別紙の「研究開発計画」とおり) |
| アウトカム目標 | 既存技術の限界及びコスト面での制約から、未利用エネルギーの大半、特に中低温領域の排熱は大部分が廃棄されているが、断熱材・蓄熱材・熱電材料等に代表される各種熱マネジメント部材の革新的な技術開発を通して未利用熱を有効活用できるシステムを確立し、産業分野、運輸分野、民生分野における社会実装を実現し、更なる省エネ化を進める。 本プロジェクトの研究開発成果の2030年時点における波及効果として、原油換算600万kL/年程度以上の省エネ、1,700万t-CO ₂ /年程度以上のCO ₂ 削減効果を見込む。 |
| 出口戦略(実用化見込み) | 熱マネジメント技術の社会実装に向けては、欧米等の競合国も積極的に取り組んでいることから、研究開発のみならず評価方法の標準化や規格化のための調査を同時並行的に実施する。 我が国のステークホルダーが保有する材料技術、材料評価技術、モジュール製造技術や関連ノウハウを最大限活用できる基準づくりを進める。特に、我が国が優位性を持つ有機材料において早期に評価・規格の標準化を図る。 |

既存プロジェクトとの関係



事業計画

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): 67.2億円(予定) (委託/2/3助成、需給)
 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(AIST) 理事 エネルギー・環境領域 領域長 小原 春彦 氏

| <研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模> | H27(2015) | H28(2016) | H29(2017) | H30(2018) | R1(2019) | R2(2020) | R3(2021) | R4(2022) |
|--|------------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|
| 以下の7項目に係る研究開発 断熱技術/遮熱技術/蓄熱技術/ヒートポンプ技術/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/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 | | | | | |
| 熱関連調査・基盤技術の研究開発 | 中間評価 | | 中間評価 | | | 中間評価 | | |
| 熱関連調査・基盤技術の研究開発 | 整備すべきデータベースの明確化/評価技術の整備、体系化 | | | | データベースの製作/新材料探索の基盤情報の提供 | | | |
| 予算(億円) | 18.5 | 15 | 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.5 | 4.5 | (3.4) |

事業概要

| (年度) | | 中間評価 | 中間評価 | 中間評価 | 中間評価 | 中間評価 | 終了時評価 | | |
|-------------------------|--------------|--|--|--|--|------|-------|------|------|
| | | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 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 | | ● 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 | | | | | |
| | ②遮熱技術の研究開発 | ● 可視光線透過率（明るさ）70%以上、日射熱取得率（遮熱）43%以下の遮熱フィルム | | | | | | | |
| | ③蓄熱技術の研究開発 | 高密度蓄熱材料 | ● 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 | | ● 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 | | | | |
| | 長期蓄熱材料 | ● 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 | | ● -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 | | | | | |
| | 複合蓄熱体 | ● 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 | | ● 蓄熱密度が0.55MJ/L以上であり、熱伝導率2W/mK以上を有する複合蓄熱体の開発 | | | | | |
| ④ヒートポンプ技術の研究開発 | 高温ヒートポンプ | ● 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 | | ● 200℃までの供給温度範囲に対応し、 熱源水温度80℃、加熱器出口温度180℃加熱条件 でCOP:3.5以上を達成するヒートポンプシステムの開発【助成】 | | | | | |
| | 高効率冷凍機 | ● 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 | | | | | | | |
| ⑤熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発 | | ● 性能指数ZT=2を有する無機材料の開発 ● パワーファクター（PF）700μW/mK ² を有する有機材料及び温度差35℃以下で、出力密度20μW/cm ² を有するモジュールの開発 | | ● 受熱温度200℃～600℃の条件 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（ モジュール出力密度2W/cm² ）を達成する発電ユニットの開発 ● コジエネ中高温向け熱電変換システムの利用率5%向上仕様の確立 | | | | | |
| ⑥排熱発電技術の研究開発 | 1kW級 | ● 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 | | ● 工場等にて、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 | | | | | |
| | 10kW級 | ● 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 | | | | | | | |
| | 50kW級 | ● 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 | | | | | | | |
| ⑦熱マネージメントの研究開発 | 高効率ヒートパイプ | ● 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） ● 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） | | | | | | | |
| | 小型ヒートポンプシステム | ● 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 ● 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 | | ● 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 ● 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 | | | | | |
| | 吸熱デバイス | ● 吸熱量5W/cm ² を有する吸熱デバイスの開発 | | | | | | | |
| | 熱マネージメント | ● 車両トータル熱移動を計測し、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ージメント技術の開発 ● 産業分野等における高効率な熱マネージメント技術・システムの開発 | | | | | | | |
| ⑧熱関連調査・基盤技術の研究開発 | | ● 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等の特性・性能評価技術の開発 | | | | | | | |



2013～2014年度の2年間は経済産業省で実施

委託事業



助成事業



1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況(概要)

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント

(1)実施体制
(2)研究開発計画

4. 研究開発項目ごとの成果概要

＜評価項目 1＞ 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義 * 終了時評価においては対象外

(1)アウトカム達成までの道筋

(2)知的財産・標準化戦略

1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況(概要)

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

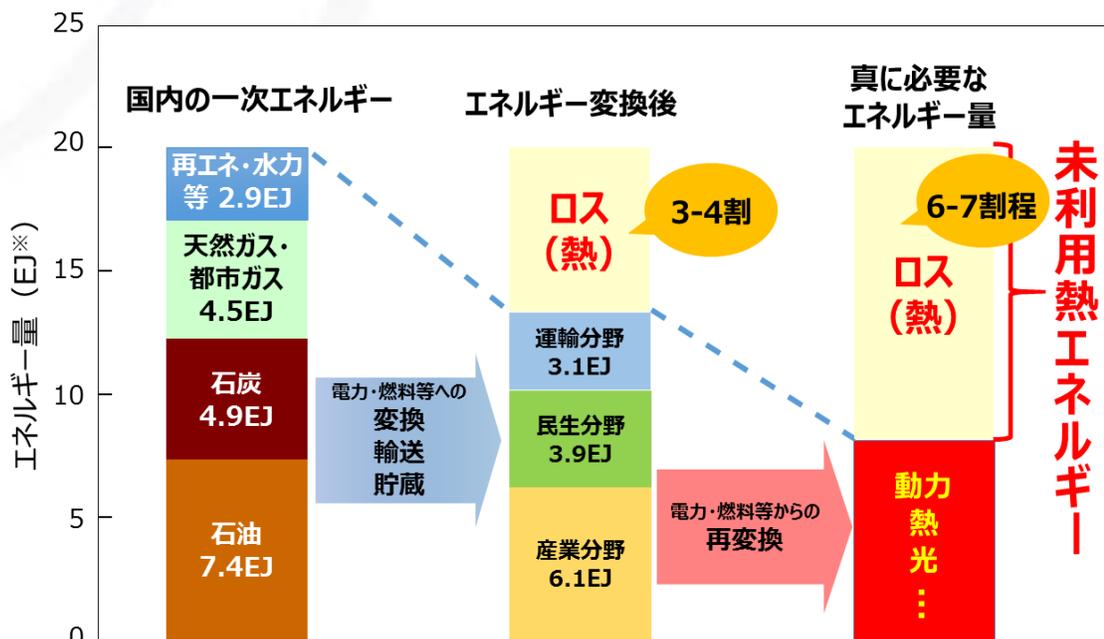
3. マネジメント

(1)実施体制
(2)研究開発計画

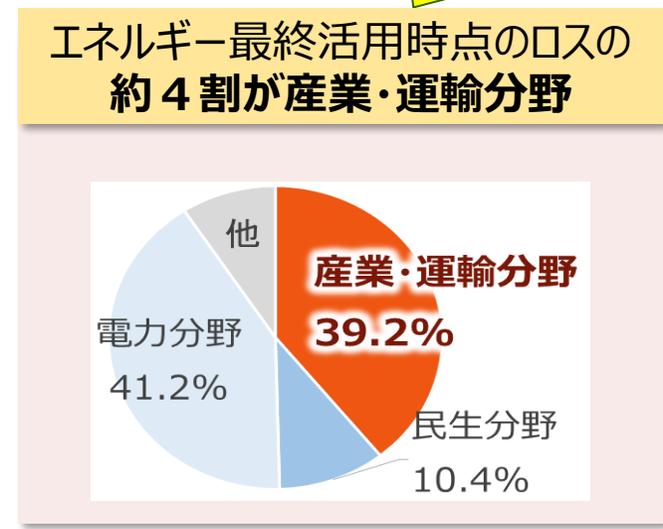
4. 研究開発項目ごとの成果概要

事業の背景・目的

- 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。



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)



※EJ=10¹⁸ ジュール

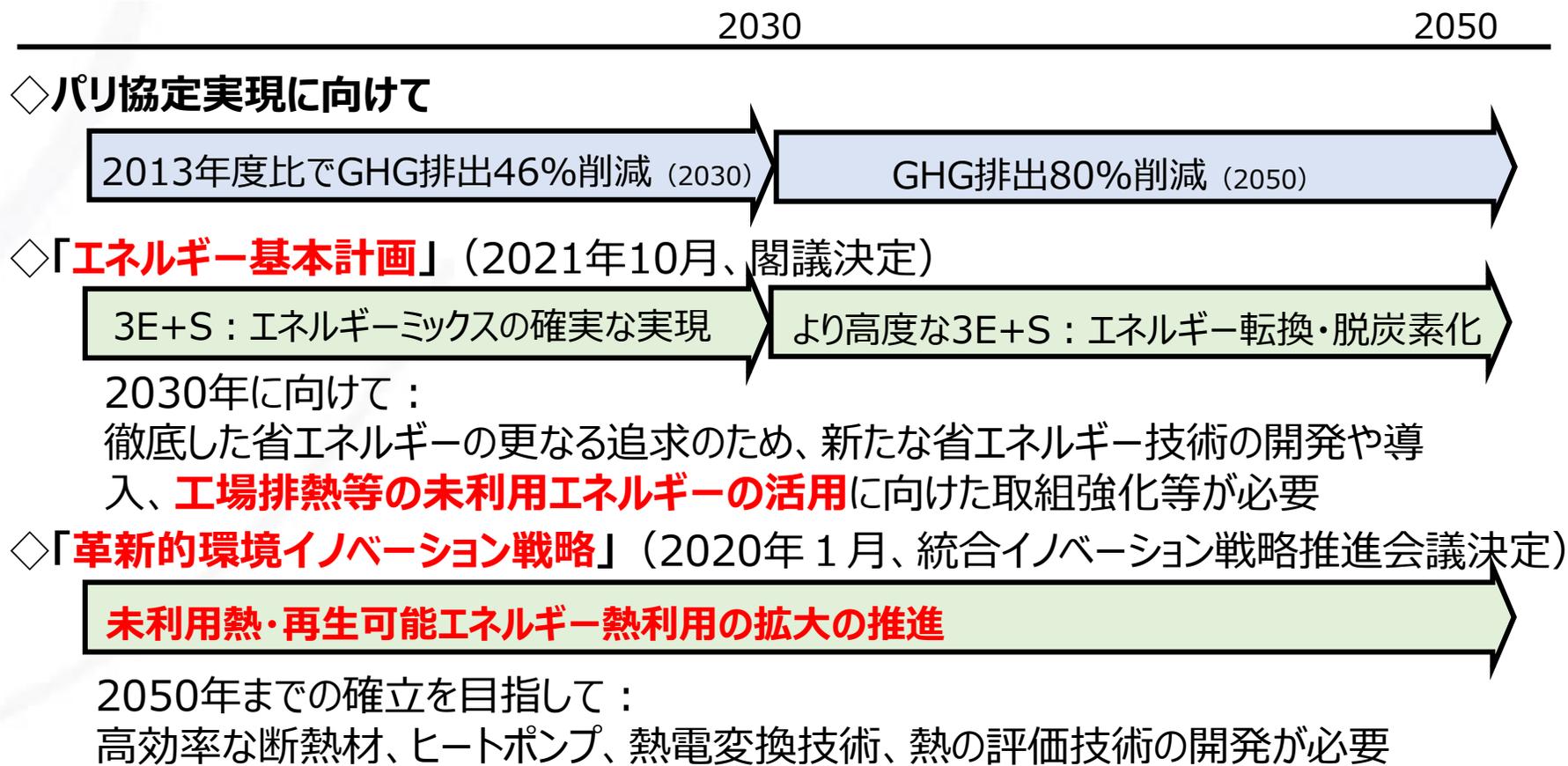
出典：資源エネルギー庁 平成30年度(2018年度)エネルギー需給実績(確報)を基にNEDO作成

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

政策・施策における位置づけ

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。



技術戦略上の位置づけ

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



※赤字：未利用熱の有効利用に関連する技術

国内外の動向と比較



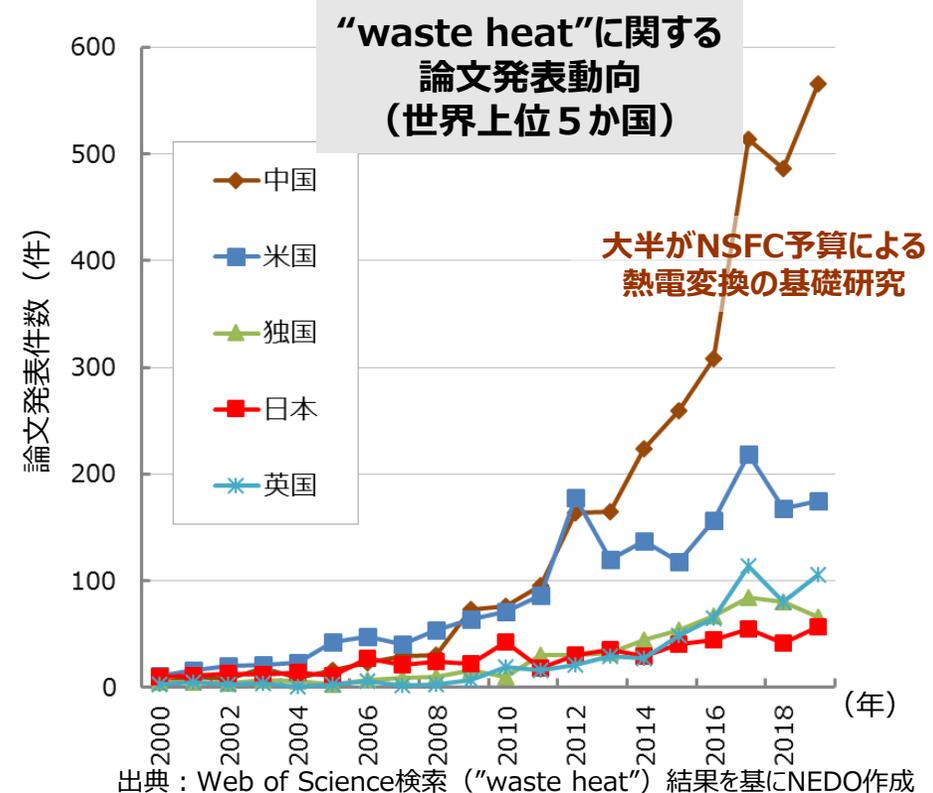
- ✓ 国家発展改革委員会：「石炭のクリーンで高効率な利用と新型省エネ技術」の実施計画を発行
→ 工場の余剰熱回収(主に高温排熱) が重点的研究開発の対象に
- ✓ 中国国家自然科学基金委員会 (NSFC) 予算による熱電変換に関する基礎研究も活発に実施



- ✓ 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。



国内外の動向と比較

- 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 Europe 2021~2027年が後継プロジェクトとして955億€で実施されている

| 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 |

“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)



他事業との関係

- 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

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

脱炭素省エネプログラム

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

※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

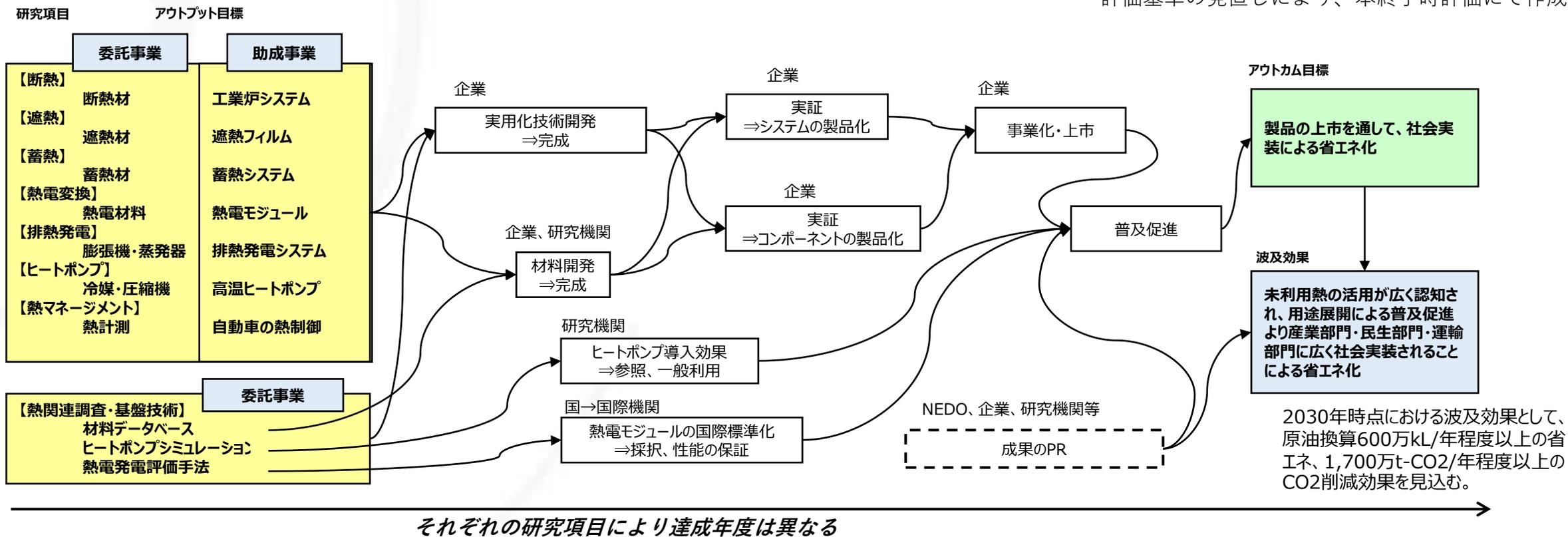
2000年頃まで：石油代替と省エネルギー化という命題のもとで**大規模・中長期プロジェクトを実施**

→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

アウトカム達成までの道筋

評価基準の見直しにより、本終了時評価にて作成



- ・ 委託事業→助成事業→各事業者にて実施する実用化へのフェーズ移行は進捗状況に合わせ、**早期自立化を達成**
- ・ 基盤技術の公開や成果のPRを積極的に行い、**普及促進と新たな用途展開に進展**
- ・ 電化の方向性、熱利用の動向など外部環境の変化を注視し、**市場探索・拡大へと波及**

※機密性の高い詳細版は「非公開版」に掲載

知的財産・標準化戦略

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。

「成果及び知的財産権の取扱いに関する規程」を整備

| | 非競争域 | 競争域 |
|-----|-------------|------------|
| 公開 | 性能計測・評価方法など | 材料組成システム構成 |
| 非公開 | 工場熱計測データなど | 製造・生産技術 |

- 積極的に権利化
- 組合員間での実施許諾

- 積極的に権利化
- **企業経営と一体化した知財運営**
 - ▶ 知的財産権の組合員への帰属
 - ▶ 企業経営の変化へ柔軟に対応 (産業財産権の移転など)

- 基本的にはノウハウとして秘匿
- **組合内縦連携で開示**

工場排熱調査報告書、ヒートポンプシミュレーション及び材料データベースは、**Web上で公開**することにより、多くの引用、利用登録、配布希望

熱電発電の評価手法については、他国の申請状況を注視し、慎重な対応を実施し、**標準化に目処**

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実施可能と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。かつ組合員同士の共同研究の中で活用。

＜評価項目 2＞ 目標及び達成状況

- (1)アウトカム目標及び達成見込み
- (2)アウトプット目標及び達成状況

1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況(概要)

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント

(1)実施体制
(2)研究開発計画

4. 研究開発項目ごとの成果概要

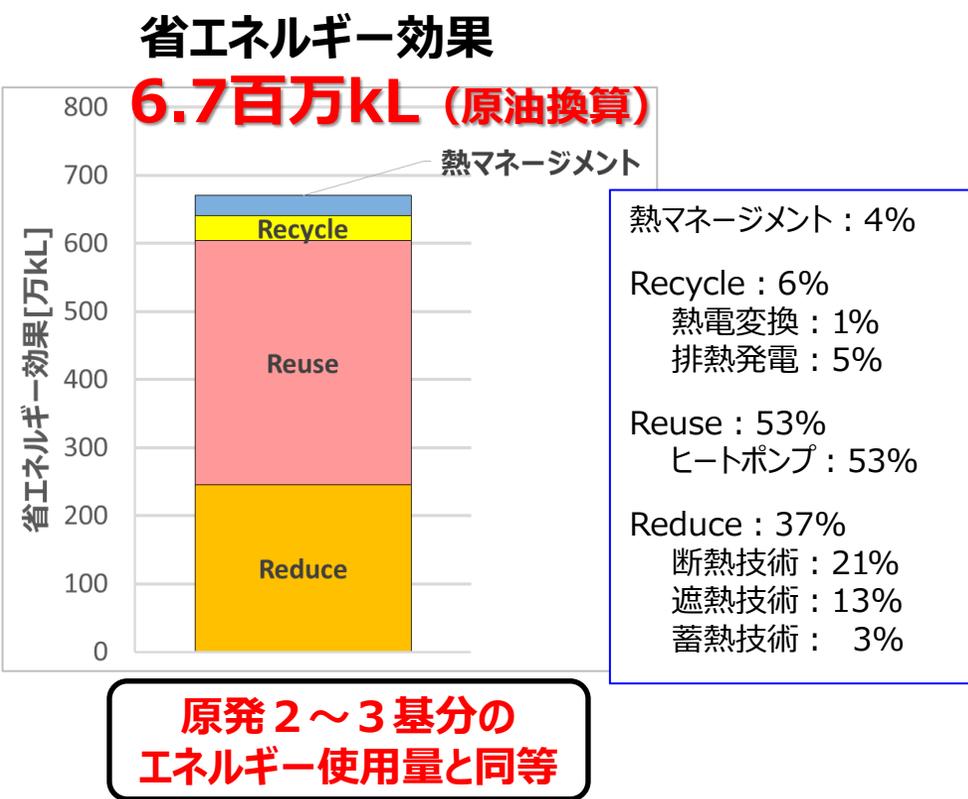
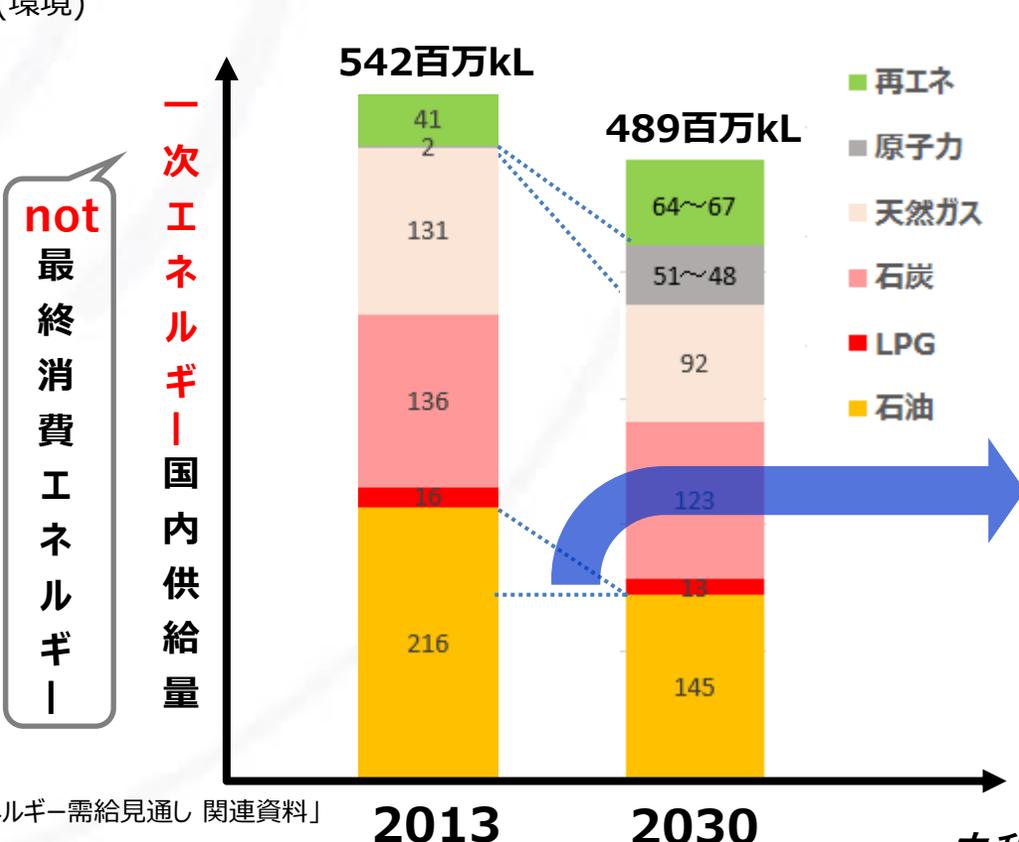
アウトカム目標の設定及び根拠

◆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



**原発2～3基分の
エネルギー使用量と同等**

未利用熱エネルギーのうち利用可能なポテンシャルを試算

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」

本事業における「実用化・事業化」の考え方及び見込み

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。

本プロジェクトの成果の実用化・事業化から、普及促進することによりアウトカムである

「未利用熱を有効活用できるシステムを確立」

さらに波及効果として

- ・未利用熱の活用が可能であることを実証し、可能性と必要性を広く認知し、
- ・様々な分野・用途への適用の検討、技術の普及促進が得られ、

「産業分野、運輸分野、民生分野における社会実装を実現し、更なる省エネ化を進める。」が達成される。

本事業における「実用化・事業化」の考え方及び見込み(実績)

- 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。

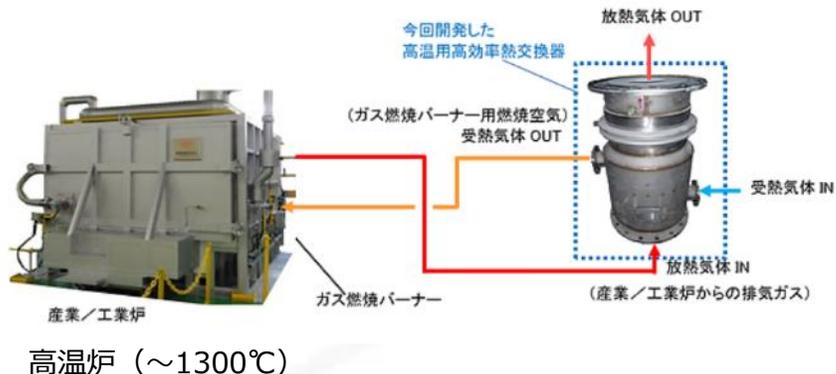
未利用熱を従来比3倍の性能で回収可能な高温用高効率熱交換器を実用化 (2015年度)

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 |
| 化学工場 | スロバキア | 産業用空調 | 65→52℃ | 494kW | 1 | 2021年 |

日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社

本事業における「実用化・事業化」の考え方及び見込み

- 製品化をニュースリリースや成果報告会で公表

省エネルギー型熱処理・工業炉の早期製品化



省エネルギー型熱処理・工業炉
(プロトタイプ、有効容積 1.3m³)

美濃窯業株式会社

産業用高効率高温ヒートポンプの導入



装置外観 : W2300×L5400×H2250

2次試作機



ユニット内部



圧縮機外観

2025年度には導入・実用化を目指す

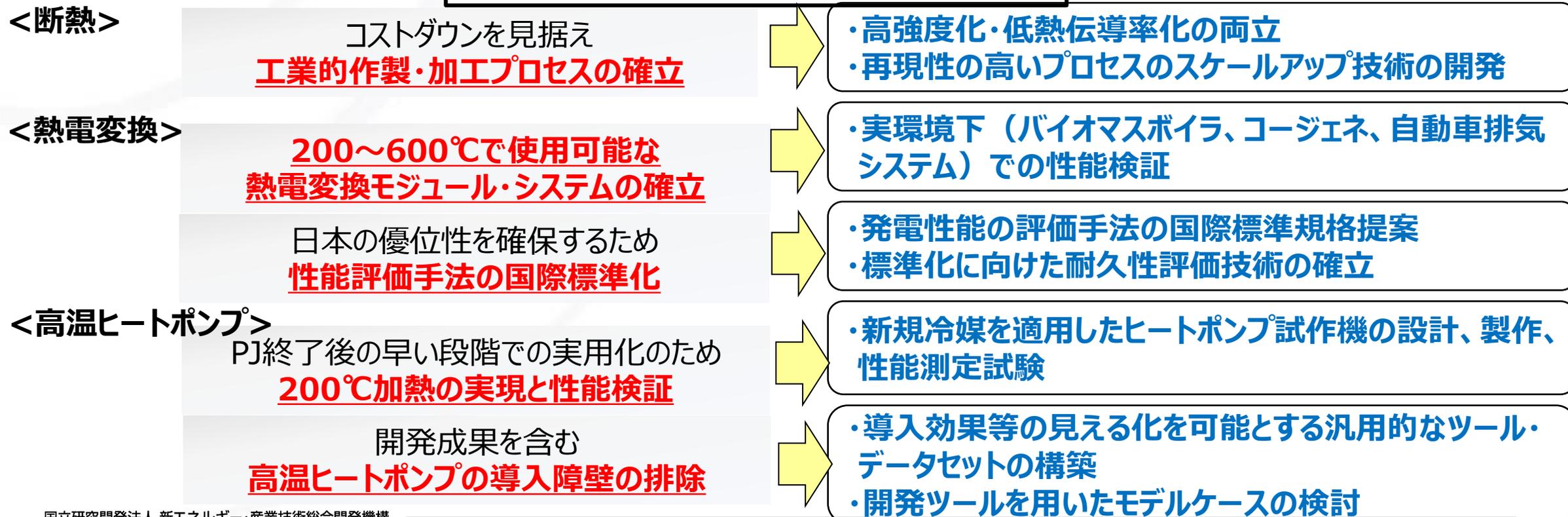
前川製作所

アウトカム目標の達成見込み

課題解決により実用化・事業化が進み、アウトカム目標が達成されることを見込む

- 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。

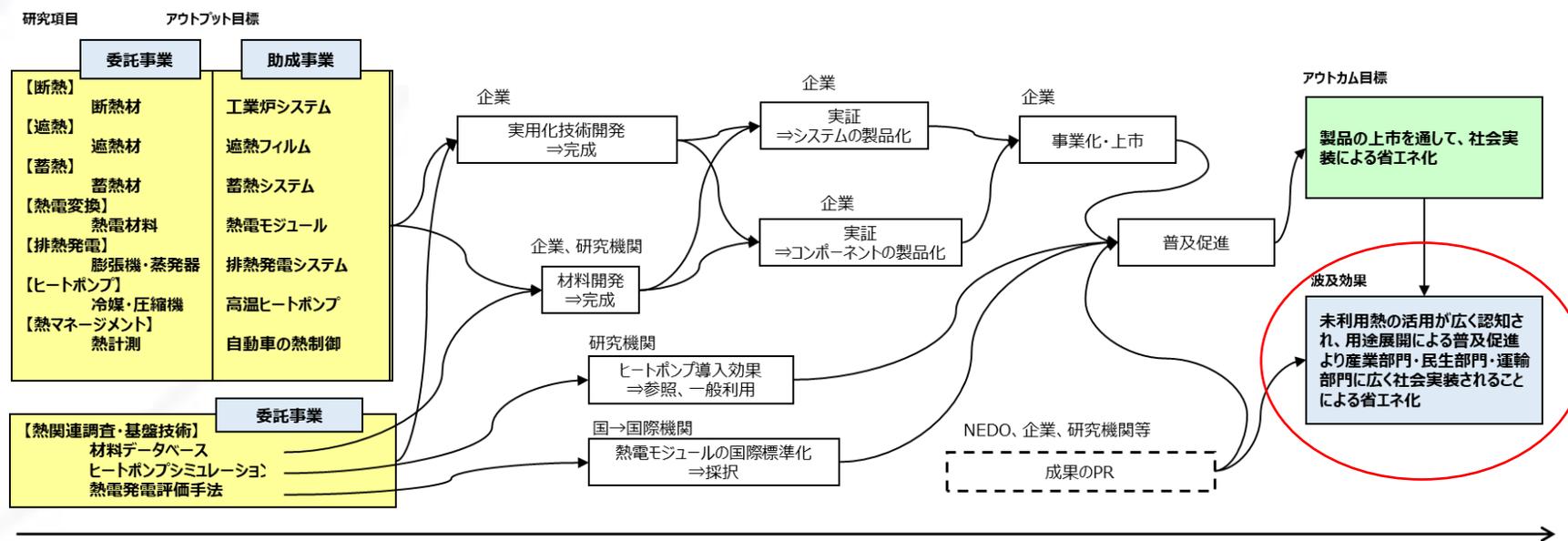
実用化に向けた主な課題と取組（例）



波及効果

例：用途展開

本PJにおける産業分野の排熱実態調査報告による情報発信、成果の報告等を通して、広く未利用熱活用への関心が高まった。その結果、各事業者への問い合わせや引き合い、事業化に関する検討依頼等が増加し、本プロジェクト終了後も、各事業者にて**新たな用途への実用化が展開**されている。



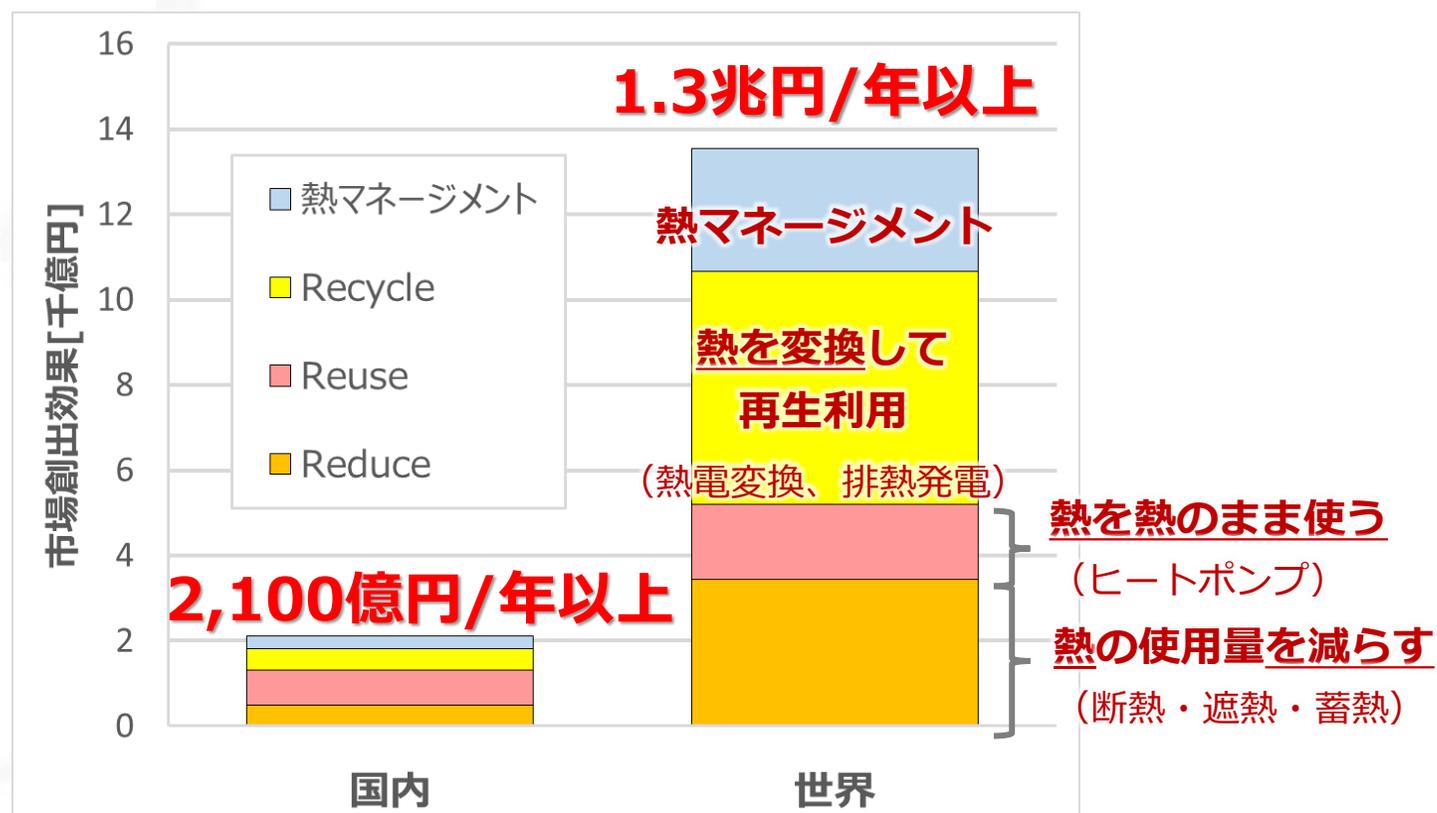
※機密性の高い詳細版は「非公開版」に掲載

費用対効果

■ プロジェクト国費負担額 **111.2億円** (経済産業省実施分を含む実績額：2013～2022年度)
 ※75.1億円 (NEDO負担実績額：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 →国費投資に対して約**19倍**

■ 開発成果による**世界市場創出** **1.3兆円/年以上**@2030年 →国費投資に対して約**117倍**



アウトプット(研究開発成果)のイメージ (2021,2022年度分)

熱の3R

断熱技術

高性能高温断熱材料、工業炉の高効率化を実現する熱関連部素材、これら部素材の有効活用技術

ヒートポンプ技術

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



熱マネジメント

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

熱電変換材料・デバイス

熱電材料の高性能化、低コスト化や長寿命化に資する技術開発、熱電モジュールを開発、ユーザーにおけるデバイス評価

熱関連調査・基盤技術

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

アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠 (2021,2022年度分)

| 研究開発項目 | 最終目標 (2022年3月) | 根拠 |
|----------------------------|--|--|
| ① 「断熱技術の研究開発」 | <ul style="list-style-type: none"> ・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 (中間目標値より高性能な条件を目標値としている) | <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 |
| 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、熱源水温度 80℃、加熱器出口温度 180℃条件でCOP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発 (中間目標値より高性能な条件を目標値とし、中間評価時点より現実的かつ厳しい温度条件に変更) | <ul style="list-style-type: none"> ・化石燃料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 |
| 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"> ・受熱温度 200℃～600℃の条件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 (モジュール出力密度 2W/cm²)を達成する発電ユニットの開発 ・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 (従来のコージェネシステムの発電量を5%向上) (中間目標値より高性能な条件を目標値とし、中間評価時点より具体的な補足()内を追加) | <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 |

アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠 (2021,2022年度分)

| 研究開発項目 | 最終目標 (2022年3月) | 根拠 |
|--------------------|--|---|
| ⑦「熱マネージメントの研究開発」 | <ul style="list-style-type: none"> ・車両トータルの熱移動を計測し、開発した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ージメント技術の開発 ・産業分野等における高効率な熱マネージメント技術・システムの開発 <p>(a)氷蓄熱と同等の蓄熱密度(従来材料比2倍)で、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</p> | <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 ・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 |
| ⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」 | <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 ・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 ・産業用高温ヒートポンプ向け統合解析シミュレーション技術の構築 | <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いない熱関連材料・部素材の熱物性情報を体系的に整理したデータベースシステムを構築すると同時に、計算シミュレーションに基づく知見の共有化を行う |

アウトプット目標の達成状況 (2021,2022年度分)

| 研究開発項目 | 目標 | 成果 (実績) | 達成度 (見込み) | 達成の根拠/解決方針 |
|----------------------------|---|--|-----------|---|
| ① 「断熱技術の研究開発」 | ・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 | ・ゲル化凍結法により、最終目標である耐熱性 1,500℃、圧縮強度 20MPa、熱伝導率 0.2W/(m・K)を有する断熱材の開発に成功。 | ◎ | ・開発した断熱材等を実装した検証炉での加熱テストの結果、当社従来炉と比較して、燃料使用量を最大70%削減可能であることを実証。 |
| 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、熱源水温度 80℃、加熱器出口温度 180℃条件でCOP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発 | ・フロン系低GWP冷媒を使用した最高温度 200℃(被加熱媒80℃→180℃加熱)が供給可能なヒートポンプ試作機的设计・製作・試験を完了。 ・圧縮機2台連結運転での定格回転数運転を確認した。 ・実測値から高い解析精度を確認。最終目標:COP3.5が達成できる見通しが得られた。 | ○ | ・圧縮機吐出から熱交換器間の圧力損失が過大。この課題の改善検証を実施中。 |
| ⑤ 「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」 | ・受熱温度 200℃～600℃の条件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(モジュール出力密度 2W/cm ²)を達成する発電ユニットの開発 ・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(従来のコージェネシステムの発電量を 5%向上) | ・クラスレート化合物において、接合抵抗、輻射熱を低減するモジュール構造と素子の高性能化により、発電効率15%を有するモジュール化技術を開発 ・スクッテルダイト系において、モジュールの出力密度は2W/cm ² を達成、発電ユニットの出力は200Wを達成した。 ・シリサイド系において、出力密度1.24W/cm ² を達成した9対シリサイドモジュールを用いて、5kW～1MW規模のエンジン排熱からの発電実証試験を実施。実測データからエンジン発電出力の5%以上を実現する仕様を策定した。 | ○ | |

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

アウトプット目標の達成状況 (2021,2022年度分)

| 研究開発項目 | 目標 | 成果 (実績) | 達成度 (見込み) | 達成の根拠/解決方針 |
|---------------------|--|--|-----------|---|
| ⑦ 「熱マネージメントの研究開発」 | <ul style="list-style-type: none"> ・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ージメント技術の開発 ・産業分野等における高効率な熱マネージメント技術・システムの開発 (a)氷蓄熱と同等の蓄熱密度(従来材料比 2倍)で、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 | <ul style="list-style-type: none"> ・本プロジェクトで構築した計測技術を用いて、xEVの熱流れの現象を説明。それを元に伝熱の3形態を考慮する高速 (1 Hr/仕様レベル) かつ高精度な1次元の熱流れモデルを構築した。 ・要求仕様を満たすことを実証し、省エネ効果△30% (氷蓄熱比) を明確化、燃費向上効果+0.2%/L (排熱未利用時比) を明確化 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・車載向け小型吸収冷凍機の車載以外用途への展開が見込まれる |
| ⑧ 「熱関連調査・基盤技術の研究開発」 | <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 ・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 ・産業用高温ヒートポンプ向け統合解析シミュレーション技術の構築 | <ul style="list-style-type: none"> ・データ拡張性を持つ熱物性DBシステムへと改良し、直観的な可視化、簡易解析機能など、利便性の高い検索機能を追加した。 ・計測技術についてIEC国際規格の新規提案を行った ・評価手法のデファクトスタンダードを目指した装置を開発し上市された | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・データベース及び単体シミュレーションについては、一般公開および継続利用希望者への配布が可能な状況 ・評価技術の提供は可能となっているが、標準化については手続きに時間がかかっているため数年後達成見込み |

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

研究開発成果の意義(副次的成果)

副次的成果

- 研究組合員および関連する共同研究先のみならず、人脈の形成、技術者の交流の場、適用先企業との意見交換など、活動の場が広がった。
- 高い目標の設定および実用化を目指した取組であることから、高いモチベーション保ち続け、物作りにおける技術者のレベルアップが感じられ、事業者内での人材育成に結びついた。

例：熱電発電

本PJによる大学、国研との連携を通して、熱電材料および熱電モジュールの研究が深まり、熱電モジュールの高性能化が進められた。また、材料、素子、モジュール、及び評価技術までをカバーした研究開発を10年間続けたことにより、日本の研究開発力が全体的に向上した。これにより、オールジャパンで取り組む地盤ができ、更なる技術力向上のためJST (CREST、未来社会) などの大型予算の獲得に繋がった。

特許出願

- 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 | 2021 年度 | 2022 年度 | 2023 年度 | 計 |
|--------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 特許出願件数 (うち外国出願) | 368 (135) | 63 (21) | 50 (22) | 32 (14) | 26 (10) | 11 (3) | 1 (0) | 551 (205) |
| 特許登録件数 (うち海外登録) | 6 (1) | 28 (11) | 51 (14) | 45 (22) | 35 (14) | 20 (8) | 4 (0) | 189 (70) |

※NEDOへの報告数を集計（2023年10月現在）
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

論文発表等

| | ～2017 年度 | ～2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 2023 年度 | 計 |
|----------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----|
| 論文 | 61 | 31 | 15 | 8 | 4 | 119 |
| 研究発表・講演 | 274 | 147 | 35 | 48 | 14 | 518 |
| 受賞実績 | 14 | 8 | 1 | 2 | 3 | 28 |
| 新聞・雑誌等への 掲載 | 8 | 21 | 3 | 8 | 5 | 45 |
| 展示会への出展 | 37 | 34 | 7 | 6 | 1 | 85 |

2023年9月 日本冷凍空調学会 年次大会にて本プロジェクトの成果を基調講演でNEDOから紹介
断熱技術に関しては2023年度にTBS系列がっちりマンデーでの紹介および新聞記事掲載が数社

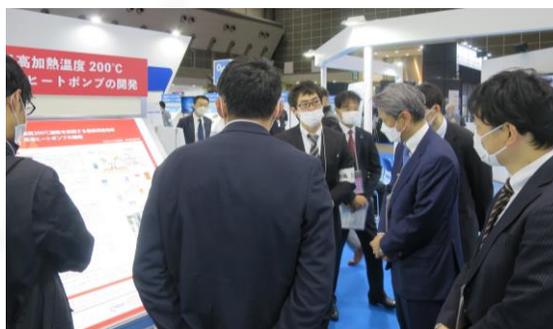
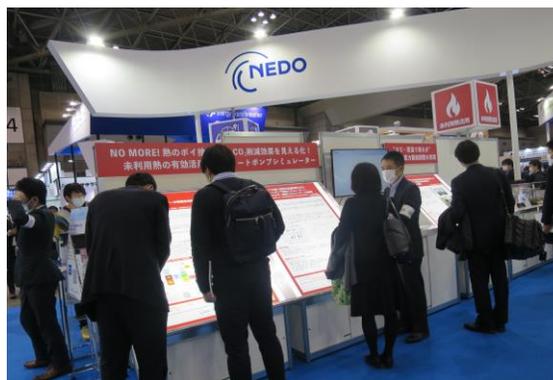
※2023年10月現在
終了時評価非公開資料を集計

成果の広報

成果報告会の開催、展示会でのサンプル展示、NEDO広報誌およびYouTube等において取り組みや成果の広報を実施。



成果報告会をWeb配信 (2022年度)



ENEX2023

未利用熱活用コーナー (上) とVIPへの技術紹介のようす (下)



NEDO Channel (YouTube)
前編で事業の紹介、後編で産業用ヒートポンプを紹介

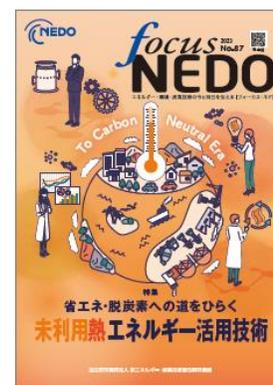
| 関連イベント・成果等 | |
|------------|--|
| 2020年1月 | 報告書・開発ツール等 事業紹介パンフレット (2020年1月 第1版) |
| 2020年1月27日 | 熱伝導材料の熱伝導率を手軽で高精度に計算するソフトウェア Structure (P.TRANS) 3D |
| 2019年1月 | 熱伝導材料の熱伝導率を手軽で高精度に計算するソフトウェア Structure (P.TRANS) 3D |

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 | 熱伝導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 |
| 2020年1月24日 | - | 「ENEX 2020」 出展へ |

NEDOホームページの更新

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



NEDO広報誌で特集 本事業のパンフレット更新 (2022年度)



本事業のパンフレット更新 (2022年度)

＜評価項目 3＞ マネジメント

(1) 実施体制

(2) 研究開発計画

1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況(概要)

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント

(1)実施体制
(2)研究開発計画

4. 研究開発項目ごとの成果概要

NEDOが実施する意義

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



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

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

NEDO事業例
戦略的省エネルギー
技術革新プログラム

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が実施する意義

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

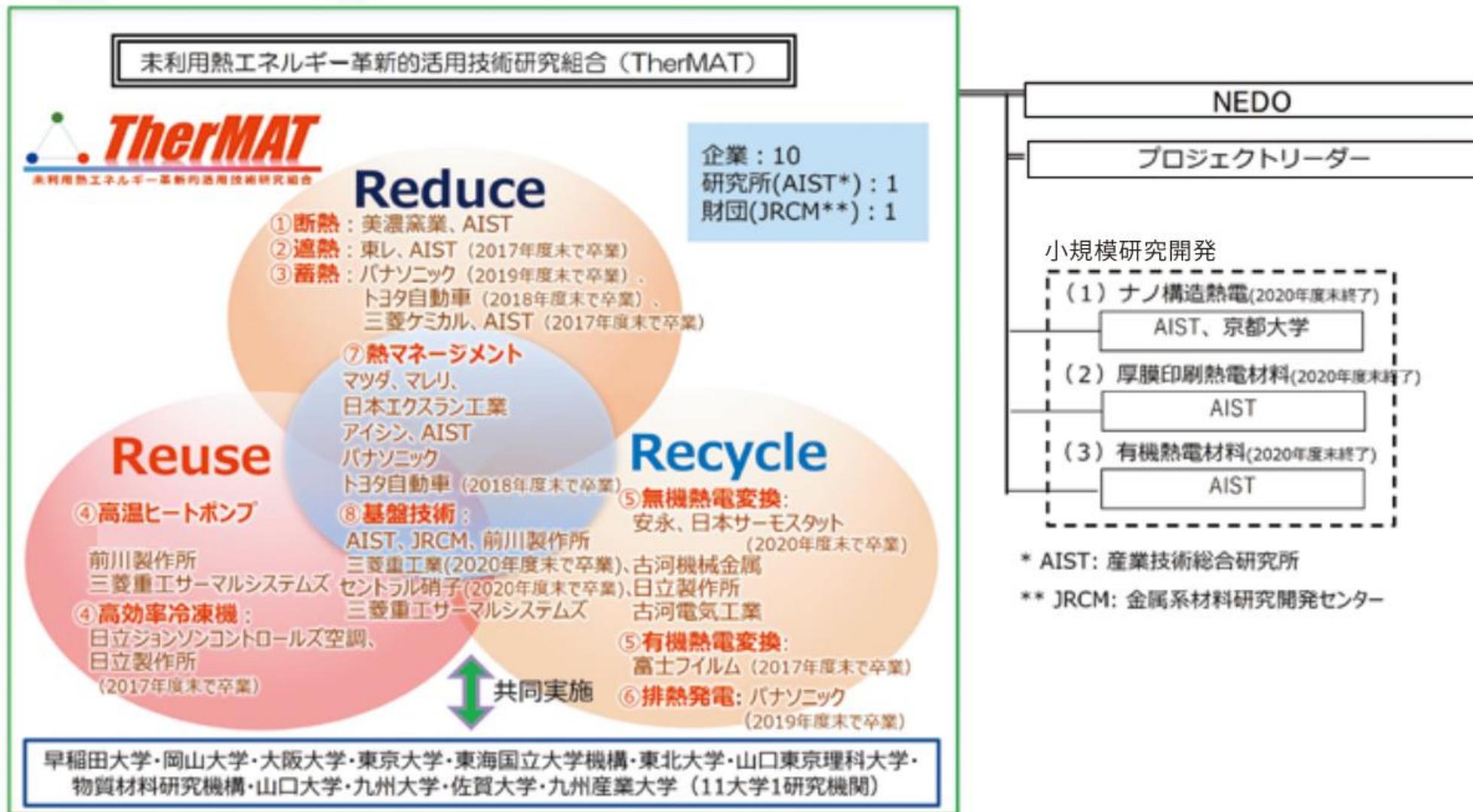
例1：高温ヒートポンプ用 冷媒開発 (公共性/汎用性・連携必要)

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

実施体制 (実施者間での連携)



実施体制（実施者間での連携）

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

| 分室間連携活動の内容（2021年度以降継続していた活動を抜粋） | | 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（卒業）、日立ジョンソンコントロールズ空調（卒業） |
| 熱電変換関 係 | 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 | <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、山口東京理科大 阿武研、九州大 宗藤研、物質・材料研究機構 |
| 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（卒業） |
| | 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 |

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 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

アウトプット(研究開発成果)のイメージ (2021,2022年度分)

再掲

熱の3R

断熱技術

高性能高温断熱材料、工業炉の高効率化を実現する熱関連部素材、これら部素材の有効活用技術

Reduce
熱の使用量を減らす技術

断熱・遮熱・蓄熱

熱マネジメント

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

Reuse

熱を再利用する技術

ヒートポンプ

ヒートポンプ技術

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

熱マネジメント

Recycle

熱を変換して利用する技術

熱電変換・排熱発電

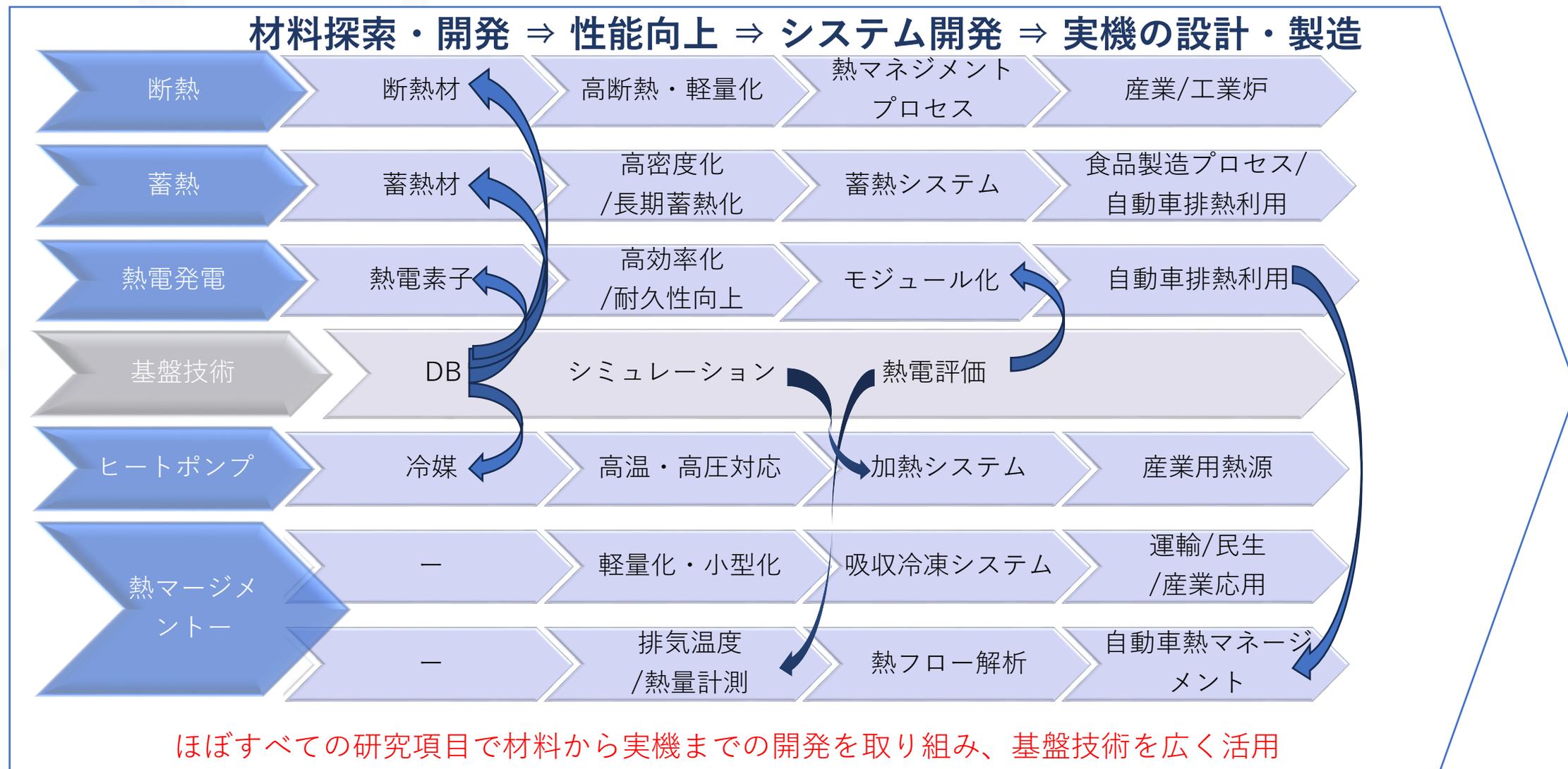
熱電変換材料・デバイス

熱電材料の高性能化、低コスト化や長寿命化に資する技術開発、熱電モジュールを開発、ユーザーにおけるデバイス評価

熱関連調査・基盤技術

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

目標達成に必要な主要要素技術



実績額とNEDO負担額

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

◆実績額

(単位:百万円)

| | | 2015 年度 | 2016 年度 | 2017 年度 | 2018 年度 | 2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 合計 |
|-------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|
| 委託事業 | 総事業費 | 1,920 | 1,720 | 917 | 603 | 630 | 689 | 561 | 120 | 7,161 |
| 助成事業 | 総事業費 | - | - | - | 70 | 67 | 86 | 37 | 253 | 513 |
| | NEDO負担額 | - | - | - | 47 | 45 | 58 | 25 | 173 | 348 |
| 総額 | 総事業費 | 1,920 | 1,720 | 917 | 673 | 697 | 775 | 599 | 373 | 7,674 |
| | NEDO負担額 | 1,920 | 1,720 | 917 | 650 | 675 | 747 | 586 | 293 | 7,508 |
| 研究項目数 | | 25 | 30 | 29 | 25 | 21 | 20 | 14 | 10 | |

〔 委託事業は100%、助成事業は大学・国研は100%、その他は2/3
2013~2014年度経済産業省実施分は3,460百万円 〕

◆受益者負担の考え方

〔 実用化研究段階となった研究項目については、委託事業から助成事業にフェーズを移行
事業化研究段階となった研究項目については、各事業者の自社開発に移行 〕

進捗管理: 中間評価(2020年度)結果への対応

| 主な指摘事項 | | 対応 |
|--------|---|---|
| 1 | 投じた研究開発費に対して相応の成果が得られたかどうか、個々のテーマ終了後のフォローをしっかりとやって戴きたい。実用化に向け、システムとして目標とする性能を達成するための取り組みとして、今まで以上に研究全体の進捗を促すコーディネーター役を期待する。 | 個別テーマごとの実用化・事業化戦略と進捗を照らし合わせ、一部前倒しにより2022年度は委託事業から助成事業にフェーズを移行するものや、各事業者での実施に移行する等、早期実用化を目指した。 |
| 2 | 実用化の担い手やユーザーに向けて成果を普及させるための取組をさらに進めることが望ましい。市場ニーズから出て来るスペックへの対応が望まれる。 | 研究の進捗による成果創出とPR活動により、問い合わせ・引き合いなどにより、多くの市場ニーズが事業者に集まる状況が作られ、製品化等の対応がなされている。 |
| 3 | 開発技術等の導入に対する意欲が湧くよう、ユーザーへのPR・情報発信や、政策や助成金など効果的な後押しが望まれる。 | PR活動として、成果報告会の開催、ENEXに出展、YouTube (NEDOChannel) に動画掲載、NEDO広報誌Focus NEDOの特集、学会講演などを積極的に行った。 |

進捗管理：動向・情勢変化への対応

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調査を実施。

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。

- ・日独産業排熱利用専門家ワークショップ・排熱利用プロジェクト（2023年2月）
日独エネルギー環境フォーラム主催、日独の産官学による産業排熱利用に関する政策・革新技术・コンセプト・事例の情報交換および協業・ビジネス機会の特定と協力プロジェクトの開始を目的としたワークショップ



(出典：ECOSウェブサイト)

情勢変化への対応

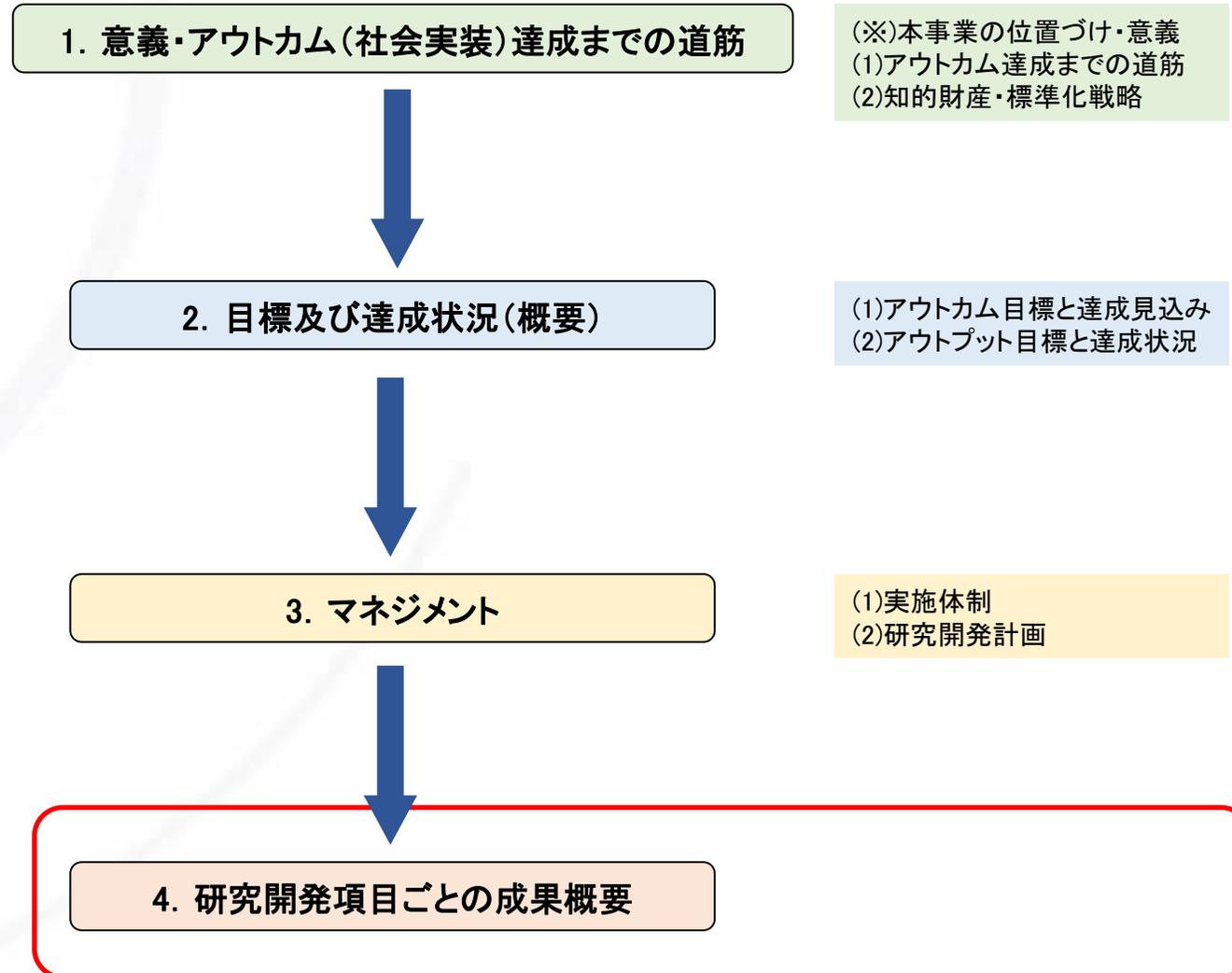
- ・自動車産業における急激な電化の普及を受け、熱流れの計測や評価などについて、対象領域、点数や項目を追加。電動駆動車への対応および評価車両を追加。
- ・車両以外の用途について市場動向調査を行い、新たな用途への実用化も検討。

計測解析技術を用いてハイブリッド車等の熱流れの現象を解明 ⇒ 高速かつ高精度な熱流れモデルを構築
 駆動方式の異なる電動車の各部温度・流量等を計測 ⇒ 熱流特性を把握することにより、プラグインハイブリッド、マイルドハイブリッド等それぞれにおける排気の回収可能な熱量を調査
 電動車や車両以外の市場動向調査を再度実施 ⇒ 車載向け技術開発を活かし、小型加熱装置の排熱利用などの定置用途への実用化も検討

進捗管理：開発促進財源投入実績(2021年度以降)

研究の進捗を考慮し、2022年度計画を2021年度に一部前倒し、委託研究から助成研究への移行など、プロジェクト全体として財源投入を見直した。継続して委託研究を実施してる研究項目には、下記の2022年度加速予算を配賦し、アウトプットの充実を図った。

| 件名 | 年度 | 金額 (百万円) | 目的 | 成果・効果 |
|-------------------------------|--------|--------------|---|---|
| 熱関連材料データベースのアプリケーションプログラム作成 | 2022年度 | 6.4 | オンライン公開版と同時にローカル環境で動作するアプリケーションプログラムも作成し、希望者に無償配布することで、プロジェクト終了後も継続して PropertiesDB Web を利用してもらえる環境を事前に用意しておくため。 | 40件以上の配布希望があり、未利用熱エネルギー活用技術研究開発における、基盤技術として活用される見通しを得た |
| 熱電特性評価装置の増強（四重電極）および標準化のための経費 | 2022年度 | 2.3 (増加分) | サンプル形状の制限が無くかつ異方性材料の異方向特性を同時に評価できる装置を構築するため 規格提案書、各国との対応に関して専門家の助言を得て、適切に対応するため | 測定の安定化とデータ取得の加速化の両立ができ、各種熱電特性の評価結果を提供できる基盤が得られた 熱電モジュールの計測法の国際規格が、より確実及び迅速に策定される見込みが得られた |
| 工場エネルギーの実地調査対象数を増加 | 2022年度 | 4.0 (増加分) | 産業用ヒートポンプ適用のモデルケース検討事例が拡充されデータの信頼性を高めるため | 10需要家の工場のエネルギーデータを取得することにより、今後の普及促進のための解析事例を示し、産業用ヒートポンプ適用ポテンシャルを業種・工程別を網羅的に整理できた |

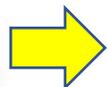


研究開発項目ごとの成果：断熱技術

■ 出口イメージ

<現状>

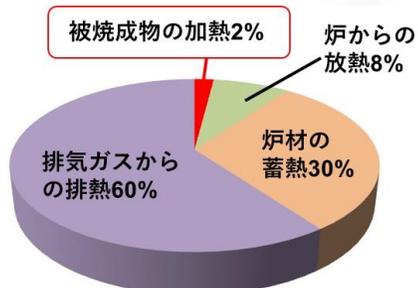
窯業/土石分野向け産業工業炉では多量の熱が廃棄されている。



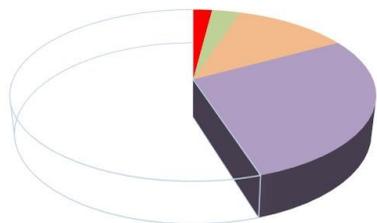
<目標>

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/工業炉の排熱料を50%以上削減。

目標：排熱削減率50%以上



total:100

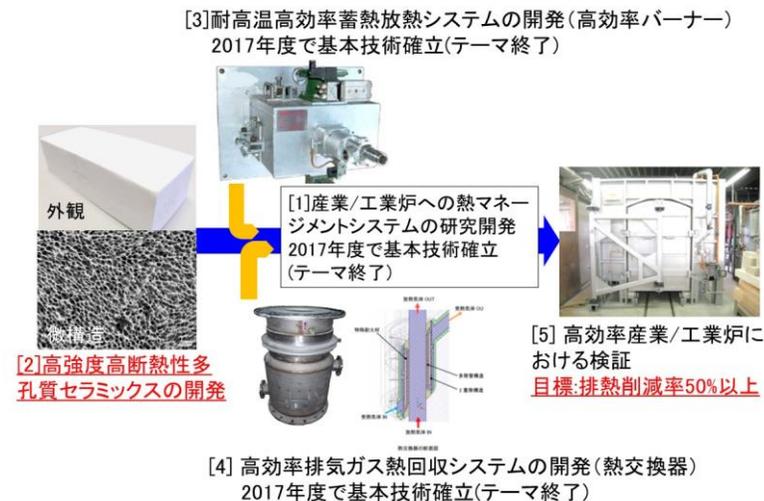


total: < 50

例：一般的なバッチ式セラミック焼成炉のエネルギー収支

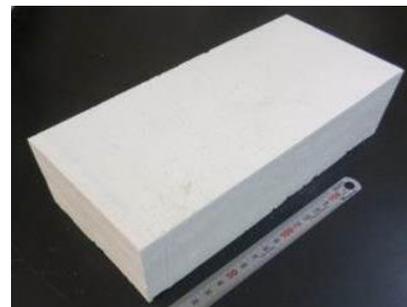
■ 技術課題（ブレイクスルーポイント）

- 1,500°C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



■ これまでの主な成果

- ・ゲル化凍結法により、最終目標である耐熱性1,500°C、圧縮強度20MPa、熱伝導率0.2W/(m・K)を有する断熱材の開発に成功。
- ・開発した断熱材等を実装した検証炉での加熱テストの結果、当社従来炉と比較して、燃料使用量を最大70%削減可能であることを実証。

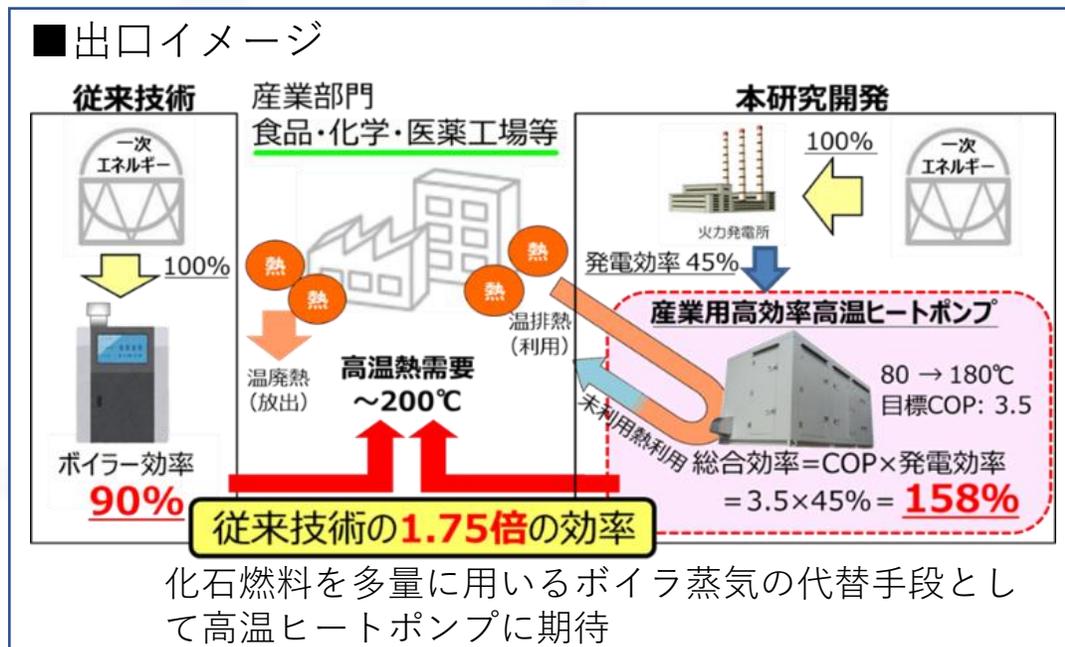


開発した高性能断熱材



作製した検証炉外観

研究開発項目ごとの成果:ヒートポンプ技術



■ 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 熱ロスが多い(断熱対策)

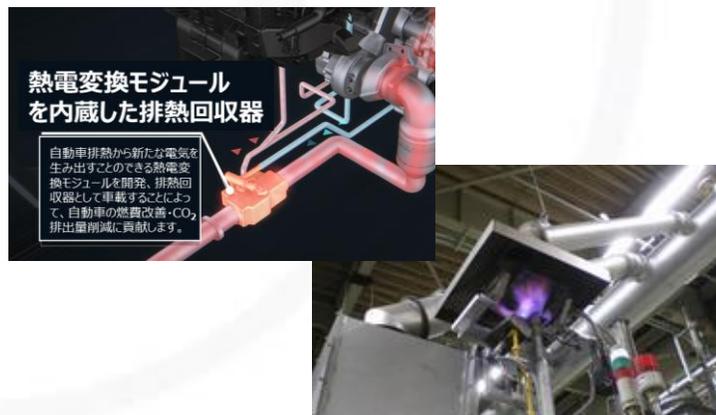
➔ これら課題を解決するヒートポンプを開発

■ これまでの主な成果

- ・ 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的设计・製作・試験を完了。
- ・ 圧縮機2台連結運転での定格回転数運転を確認した。
- ・ 実測値から高い解析精度を確認。最終目標: **COP3.5が達成**できる見通しが得られた。
- ・ 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実施**。

研究開発項目ごとの成果：熱電発電技術

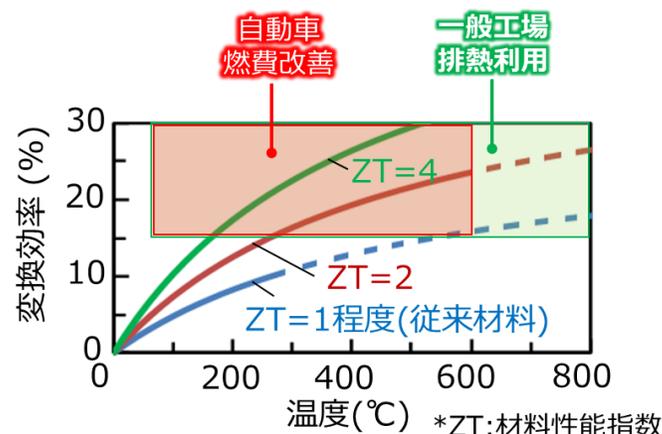
■ 出口イメージ



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

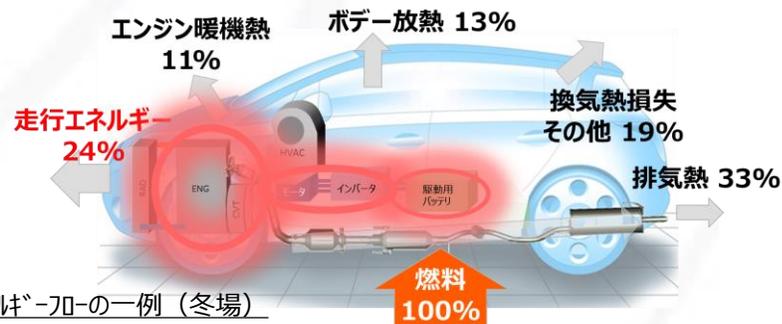
- ・**スクッテルライト系**：熱電材料技術、熱電モジュール技術を開発し、**熱電モジュールの変換効率9%、出力密度2W/cm²、耐熱性600℃、耐久性10,000h以上**を達成した。熱電発電システム技術を開発し、**出力200Wの熱電発電ユニット**の試作に成功した。
- ・**クラスレート化合物**：多接合型熱電モジュールを開発試作。接合抵抗、輻射熱を低減するモジュール構造と素子の高性能化により、**変換効率15%の見通しを得た**。
- ・**シリサイド系**：① **出力密度1.24W/cm²を達成した9対シリサイドモジュール**を用いて、**5kW～1MW規模のエンジン排熱からの発電実証試験**を実施。実測データから**エンジン発電出力の5%以上を実現する仕様**を策定した。
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：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



■ 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
- 車両熱計測技術の開発 → 形式違いの電気駆動車の熱エネルギーフローを推計できるシミュレーションモデルの構築
- 電動車の熱量調査 → 駆動方式違いによる、熱エネルギーフローの把握

■ これまでの主な成果

- ・**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。車速により変化する排熱を蓄熱するシステムを開発し、冷房出力を安定化させて2.8kW以上を達成。
- ・**熱の流れの見える化**：本プロジェクトで構築した計測技術を用いて、xEVの熱流れの現象を解明。それを元に伝熱の3形態を考慮する高速（1 Hr/仕様レベル）かつ高精度な1次元の熱流れモデルを構築した。
- ・**車両熱計測技術の開発**：蓄積した熱エネルギーフローと熱電変換デバイスの実機評価を基に、排熱活用デバイスの効果（燃費効果等）を算出できるシミュレーションモデルの構築を行なった
- ・**電動車の熱量調査**：シリーズパラレル式HEV、シリーズ式HEVおよびプラグインHEV、マイルドHEVの熱計測結果から、各車両の消費エネルギーを比較を実施し、エネルギーフローを把握。それを基に、HEVの排気回収可能熱量は車両全体の消費エネルギーの約10%あり、積極的に活用することで車両の省エネルギー化が可能であることを明らかにした。

研究開発項目ごとの成果：熱マネジメント技術（蓄熱技術）

■ 出口イメージ

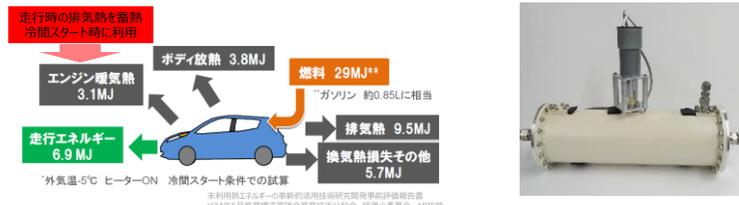
＜産業分野＞ [1] 高密度蓄熱システム（低温用）の開発

食品製造プロセスなどにおいて、利用温度に近い温度で冷熱を蓄えることで『省エネ』



＜運輸分野＞ [3] 長期蓄熱システムの開発

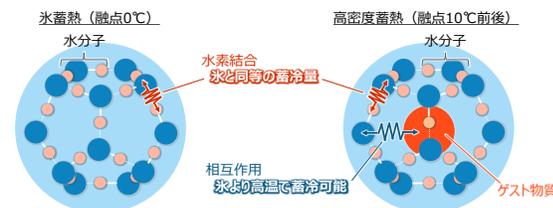
内燃機関を有する自動車において、走行時に出ていた排熱を使用することで『燃費向上』



■ 技術課題（ブレイクスルーポイント）

・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

[1] 高密度蓄熱システム（低温用）の開発

- ・食品製造プロセスへの適用を想定した模擬システム（1/500スケール）を構築
 - ・上記模擬システムにおいて、要求仕様を満たすことを実証し、省エネ効果△30%（氷蓄熱比）を明確化
- ＜要求仕様＞ ①過冷却度 2K以下、②蓄冷密度 0.12MJ/L以上、③蓄放冷速度 6W/L以上

[3] 長期蓄熱システムの開発

- ・車載を想定した蓄熱モジュール（1/1スケール）を用いて模擬システムを構築
 - ・上記模擬システムにおいて、要求仕様を満たすことを実証し、燃費向上効果+0.2%/L（排熱未利用時比）を明確化
- ＜要求仕様＞ ①過冷却保持時間 24h以上、②過冷却解除までの時間 30s以下、③蓄熱密度 0.1MJ/L以上、④蓄放冷速度 0.2kW/L以上

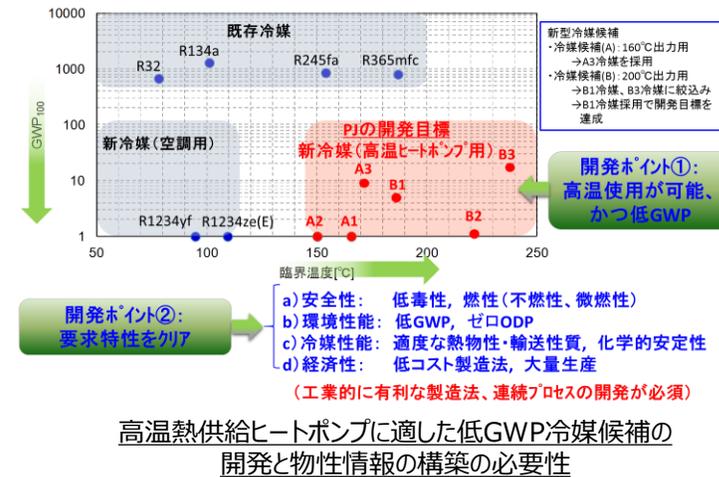
研究開発項目ごとの成果： 排熱実態調査、計算シミュレーション、データベース構築、性能評価基盤技術

■ 出口イメージ



■ 技術課題（ブレイクスルーポイント）

- ・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