

## 2022年度実施方針

省エネルギー部

1. 件名： 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第一号二、第三号及び第九号

3. 背景及び目的・目標

①政策的な重要性

我が国のエネルギー供給過程では、一次エネルギーの約6割が有効利用されずに排熱（未利用熱）として排出されている。社会全体のエネルギー効率を向上させて省エネルギーを実現するためには、これら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。低品位な排熱を効率的に回収し、経済的に再利用可能とするには極めて高い技術的ハードルが存在し、広く産官学の英知を集めて開発を行う必要があり、国が主導して取り組むことが不可欠である。

②我が国の状況

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。

③世界の取組状況

米国エネルギー省(DOE)ではWaste Heat Recovery Systems等、欧州(FP7/Horizon2020)ではNANOtherma、TransFlexTeg、I-ThERM、CREATE等、さらにドイツ連邦教育研究省(BMBF)、中国科学院、韓国(KAIST)等でも、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。

④本事業のねらい

本事業では、未利用熱エネルギーを効果的に、削減（断熱、遮熱、蓄熱）、再利用（ヒートポンプ）、変換利用（熱電変換、排熱発電）するための技術開発と、これらの技術を横断的に取り組む熱マネジメント技術と基盤技術の開発を行い、環境中に排出される膨大な未利用熱を効果的に削減又は回収して再利用・変換利用することで、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。各研究開発項目の目標は以下のとおり。

研究開発項目①「断熱技術の研究開発」

#### 中間目標

- 1) 1,500°C以上で使用可能なファイバーレス断熱材で圧縮強度 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)
- 2) 1500°C以上で使用可能なファイバーレス断熱材で圧縮強度 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

- 1) 1,500°C以上で使用可能な工業グレードのファイバーレス断熱材で圧縮強度 20MPa 以上、かつ熱伝導率 0.20W/m・K 以下を有する断熱材料の開発 (2022 年度末)

#### 研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」

##### 最終目標

- 1) 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 850~1,400nm) 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」

##### 中間目標

- 1) 120°C以下で、蓄熱密度 0.5MJ/kg を有する固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発 (2017 年度末)
- 2) -20°C~25°C環境下で 12h 以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発 (2017 年度末)
- 3) 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

- 1) 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)
- 2) 120°C以下で、蓄熱密度 1MJ/kg を有する固液相変化等を利用した蓄熱材料の開発 (2019 年度末)
- 3) -20°C~25°C環境下で 24h 以上の保持期間を実現する蓄熱材の開発 (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) 最高温度 200°C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

- 1) 200°Cまでの供給温度範囲に対応し、80→160°C加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発 (2017 年度末)
- 2) 200°Cまでの供給温度範囲に対応し、80→160°C加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの信頼性確立及び 100→200°C加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの基本設計の完了 (2020 年度末)

#### 最終目標

- 1) 200°Cまでの供給温度範囲に対応し、熱源水温度 80°C、加熱器出口温度 180°C 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 (2022 年度末)

- (2) 低温排熱の下限レベルである 60°C排熱で駆動できる高効率冷凍機の開発

#### 最終目標

- 1) 75°C以下の熱源で、供給温度-10°Cを実現するヒートポンプシステムの開発 (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」

##### 中間目標

- 1) 性能指数  $ZT=2$  を有する無機材料の開発 (2017 年度末)
- 2) 200°C~600°C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

- 1) 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°C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)
- 2)  $1.5\text{W}/\text{cm}^2$  の発電モジュール、発電素子の実用化開発 (2020 年度末)
- 3) 受熱温度 200°C~600°Cの条件で使用可能な発電効率<sup>1</sup>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  $2\text{W}/\text{cm}^2$ ) を達成する発電ユニットの開発 (2022 年度末)
- 4) 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<sup>2</sup>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」

##### 中間目標

- 1) 200°C以下の中低温排熱に対応した、発電効率 14%(従来比 2 倍)を有する出力 1kW クラス小型排熱発電装置の開発 (2017 年度末)

##### 最終目標

- 1) 200°C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)
- 2) 200°C以下の中低温排熱に対応した、発電効率 14%(従来比 2 倍)を有する出力 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)
- 3) 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)

---

<sup>1</sup> 熱電変換モジュールに流入する熱量と得られる電力の比

<sup>2</sup> 従来のコージェネシステムの発電量を 5%向上するというもの

## 研究開発項目⑦ 「熱マネージメントの研究開発」

### 中間目標

- 1) 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 1,500W、抗重力性、動力源レス) (2017年度末)
- 2) 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用ヒートポンプの開発 (2017年度末)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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

- 1) 吸熱量 5W/cm<sup>2</sup> を有する吸熱デバイスの開発 (2017年度末)
- 2) 高効率ヒートパイプの開発 (熱輸送距離 2m、熱輸送量 3,000W、蒸発器体格 0.5L、抗重力性、動力源レス) (2018年度末)
- 3) 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 (2020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 (2020年度末)
- 4) 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 (2022年度末)
- 5) 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 (2022年度末)
  - (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

## 研究開発項目⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」

### 中間目標

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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

- 1) 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 (2020 年度末)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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 (2022 年度末)

## 4. 実施内容及び進捗 (達成) 状況

プロジェクトマネージャーにNEDO省エネルギー部 岩坪 哲四郎を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。

各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が選定した研究開発責任者(プロジェクトリーダー) 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 春彦氏の下で、以下の研究開発を実施した。

### 4. 1 2021年度(委託)事業内容

#### 研究開発項目①「断熱技術の研究開発」

##### (1) 断熱材料の研究開発

「高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発」については、均一で緻密な気孔壁組織を実現することにより、熱伝導率 0.2W/mK 以下、圧縮強度 20MPa 以上、耐熱性 1500°C を有する断熱材を開発した。また、中間目標値(熱伝導率 0.25W/mK 以下、圧縮強度 10MPa 以上、耐熱性 1,500°C)を有する断熱材 1,000 個/月(並形れんが形状換算)が作製可能な工程設計を完了した。

「高効率産業/工業炉における検証」については、開発した断熱材、高効率熱交換器、高効率バーナーの仕様から 2022 年度に排熱削減率 50%の検証を実施するための検証炉

の設計を完了した。

#### 研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」

2017年度をもって本事業における本項目の研究開発は終了している。

#### 研究開発項目③「蓄熱技術の研究開発」

2019年度をもって本事業における本項目の研究開発は終了している。

#### 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) 熱電デバイス技術の研究開発

「熱電デバイスの開発」については、熱電モジュールの最適な作製方法を構築し、熱電モジュールの成形技術を確立した。さらに熱電モジュール酸化防止技術の開発を行い、研究開発項目⑦「熱マネージメントの研究開発」へ熱電モジュールの酸化防止封止ユニットを提供するために、酸化防止封止ユニットの作製と発電性能の評価を進めている。

「熱電発電システムの開発」については、熱電発電ユニットの構造最適化を行い、直径120mmの小型熱電発電ユニットの設計を完了し、部品調達を進めている。今年度中に、熱電発電の試験を行い、設計性能を検証して、熱電発電ユニットのコンパクト化技術を確立する。

##### (2) 熱電変換による排熱活用の研究開発

「システム効率向上の検討」では、2020年度に実施したガスエンジン排ガスからの電力変換方式設計をもとに、大面積、高性能シリサイド熱電変換モジュールを搭載した熱電変換ユニットを作製し、5kWガスエンジン発電量の5%の排熱発電を検証した。

「新熱電変換材料の開発」では、低コスト環境低負荷なシリコン系バルク材料を対象に、これまで開発したマンガンシリサイドバルク材料を熱電変換モジュール化し、従来比20%以上の発電性能になる17 kW/m<sup>2</sup>の出力密度を得た。

##### (3) 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

「性能指数向上に関する技術開発」については、高性能クラスレート素子の試作・評価及びそれらの素子を用いたモジュールの試作・評価を行い、受熱温度600℃の条件で変換効率 $\eta=15\%$ （出力密度1W/cm<sup>2</sup>）のモジュールに必要な素子の性能目標を決定し、その達成にめどをつけた。

「モジュール化に関する技術開発」については、受熱温度600℃の条件で変換効率 $\eta=15\%$ （出力密度1W/cm<sup>2</sup>）の多接合型オールクラスレートモジュールの実用化に向けた要求性能及び課題の抽出を行い、その解決方法を明確にした。

#### 研究開発項目⑥「排熱発電技術の研究開発」

##### (1) 排熱発電技術の研究開発

2019 年度をもって本事業における本項目の研究開発は終了している。

#### 研究開発項目⑦「熱マネージメントの研究開発」

##### (1) 熱マネージメントの研究開発

「電気駆動車の計測実施」については、電気自動車を題材に、環境温度 25℃、モード走行 (WLTC) 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うことができた。

「自動車の熱流れのモデルの構築」については、2020 年度に構築した 3 次元熱モデルを活用して 1 次元熱モデルを構築したうえで、目標精度を達成することができた。

##### (2) 車両用小型吸収冷凍機の研究開発

「エンジン排熱利用吸収冷凍機の開発」では、走行モード (都市間) 相当の排ガス熱量変動を模擬するために、熱負荷を時間変化できる加熱装置を試作し、冷熱性能 1.5kW 以上を確認する準備を完了した。また排ガス熱量変化によりシステム動作が不安定となる課題が、装置内圧力変化による媒体流量への影響であると考え、装置レイアウト変更と媒体量を削減した改良システムを設計試作した。試作機をラボ評価し定常にて冷熱 1.5kW 以上を達成した。

「分離膜式吸収冷凍機のデバイス開発」では、膜式吸収蒸発器ケースの形状を設計検討して小型化し、従来比 25%以下の体格を達成した。また熱交換器の伝熱向上を目指した伝熱面改質方法を開発し熱伝達性能が 10%向上することを確認。効果的な表面改質方法が確立できた。

##### (3) 電気駆動車の熱量調査・次世代エネルギーマネージメントデバイスの研究開発

「車両熱計測技術開発」については、蓄積された計測結果を基に、MBD モデルの構築を行い排熱活用デバイスの効果 (燃費効果等) を算出した。また、シミュレーションを用いて熱電変換モジュールを車両搭載した場合の位置及び燃費効果を各分室などと連携し試算及び評価を行い、MBD モデルの検証精度を向上させた。

「電気駆動車の熱量調査」については、熱エネルギーフローの計算モデルの適応範囲の確認及び改良を行い、パワートレイン違いでの熱エネルギーフローとして把握及び計測結果の比較を行った。また、マイルドハイブリッド車両に対するデバイスの性能検討を行い、次年度以降の検討のための基盤整備を進めた。

##### (4) 高密度/長期蓄熱システムの研究開発

「高密度蓄熱システム (低温用) の開発」については、2022 年度の模擬システム実証に向けて、水蓄熱槽の中に蓄熱モジュールを設置し、10℃前後の温度で冷却する食品製造プロセス等への適用を想定した模擬システムを構築した。

「長期蓄熱システムの開発」については、未利用熱を蓄熱する蓄熱モジュールを搭載し、蓄熱後 24 時間以後に暖機を行う内燃機関を有する自動車等への適用を想定した模擬システムを構築した。また、模擬システムにおいて、過冷却解除までの時間、過冷却の保持時間、蓄熱密度、及び蓄放熱速度の要求仕様を満たすことを実証し、省エネ等の効果を明らかにした。

## 研究開発項目⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」

### (1) 熱関連調査研究と各種熱マネ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」では、前年度に引き続き、工場のエネルギー利用状況等の調査を業種・工程の範囲を広げて実施し、ヒートポンプ技術等の導入効果を解析し、一般化し、モデルケース化した。また、「ヒートポンプ等の統合解析シミュレーション技術の構築」については、前年度までに構築した「産業用エネルギーシステム統合シミュレーター」において、環境性の評価が可能となるように計算機能を追加すると共に、GUI (Graphical User Interface) の充実を図った。また、高温ヒートポンプの導入効果のライブラリ化に取り組んだ。

「熱マネジメント部材の評価技術開発」では、熱電モジュールの劣化予測技術の確立に向けて、劣化率の温度及び電流負荷依存性及び、接合強度と微細構造などの経時変化に関するデータを蓄積した。モジュールの発電性能の評価に関する国産標準化活動として、国内委員会を開催し提案予定の規格案の最終確認を行い、5月に予定される次回の IEC-TC47/WG7 会議において各国からコメントをいただけるように規格提案することを決めた。

フォノンの輸送だけでなく電子の輸送も計算できる計算ソフト「PE-TRANS」の開発を進め、高速化、並列化を実施し、材料解析の実施例を増やし、ユーザビリティを向上させた。

縦方向熱電計測装置を用いて横方向計測も可能とする部材の設計・開発を行った。有機系熱電材料の異方性評価を同一装置により同一条件下で行えるようになった。シート状熱電モジュールの特性を評価するための温度差付加機構の設計を行った。電気自動車内の熱流計測を行うため、小型熱流束センサ開発、熱流束センサ表面輻射率制御技術の開発を行った。

「熱関連材料の計算シミュレーションとデータベース構築」に関して、主として無機化合物のデータセット (NBS tables of chemical thermodynamics properties of the Erratum 掲載データ、Landolt-Bornstein - Group IV Physical Chemistry 中の無機化合物の標準熱力学物性) を追加収録して、これまで登録した各種化合物のデータとの整合性を確認しつつデータセットの充実を図った。また利用者の意見をシステム改修に反映させつつ、外部利用者向けに一般公開作業を進めた。

## 4. 2 2021年度(助成)事業内容

### 研究開発項目④「ヒートポンプ技術の研究開発」

#### (1) 産業用高効率高温ヒートポンプの開発

「ヒートポンプの最適化技術の開発」については、フロン系低 GWP 冷媒ヒートポンプ試作機の性能試験を行い、定格回転数運転を達成した。また、試験結果を基にした特性の動的シミュレーションを行った。

「ターボ圧縮機技術の開発」については、フロン系低 GWP 冷媒ターボ圧縮機の定格回転数運転を達成、改善点の抽出を行った。連続運転によるターボ圧縮機要素の信頼性確認を行った。流体解析結果と実測値の比較評価を実施した。

「高温高圧熱交技術の開発」については、フロン系低 GWP 冷媒ヒートポンプ試作機の性能試験を基に伝熱性能の評価を行った。

#### 4. 3 事業推移(2022年2月18日時点)

|                        | 2013～<br>2014    | 2015            | 2016            | 2017          | 2018          | 2019          | 2020          | 2021          |
|------------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 実績額推移<br>需給勘定<br>(百万円) | 3,460<br>(経済産業省) | 1,952<br>(NEDO) | 1,757<br>(NEDO) | 951<br>(NEDO) | 673<br>(NEDO) | 630<br>(NEDO) | 650<br>(NEDO) | 450<br>(NEDO) |
| 特許出願件数<br>(件)          | 45               | 87              | 100             | 77            | 56            | 64            | 12            | 25            |
| 論文等発表数<br>(報)          | 91               | 122<br>他に解説等    | 145             | 142           | 78            | 127           | 51            | 28            |
| 展示会展等<br>(件)           | 2                | 9               | 8               | 11            | 20            | 19            | 7             | 7             |

#### 5. 事業内容

プロジェクトマネージャーにNEDO省エネルギー部 岩坪 哲四郎を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

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 小原春彦氏にプロジェクトリーダーを委嘱し、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

また、必要に応じて、実施テーマの追加や委託調査について公募を行う。なお、公募の詳細は公募要領に記載する。

##### 5. 1 2022年度(委託)事業内容

###### 研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」

2017年度をもって本事業における本項目の研究開発は終了している。

###### 研究開発項目③「蓄熱技術の研究開発」

2019年度をもって本事業における本項目の研究開発は終了している。

###### 研究開発項目⑥「排熱発電技術の研究開発」

2019年度をもって本事業における本項目の研究開発は終了している。

###### 研究開発項目⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」

## (1) 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」では、前年度までに行った、工場のエネルギー利用状況等の調査結果、「産業用単体シミュレーター」等によるヒートポンプ技術等の導入効果の解析結果を、業種・工程別に産業用ヒートポンプ適用のモデルケースとして取り纏め、高温ヒートポンプ技術等のモデルケース検討WGにて、内容の妥当性、技術・成果の普及促進の方策等を確認・推進する。

「ヒートポンプ等の統合解析シミュレーション技術の構築」では、「産業用エネルギーシステム統合シミュレーター」において、年間の効率やエネルギー消費量、環境性の評価等の検討機能に加え、経済性評価が可能となるように計算機能を追加し、GUIの充実を図り、汎用性の高いシミュレーターとして完成させる。産業用ヒートポンプを適用したモデルケースについて、詳細なシミュレーションを実施し、産業用ヒートポンプの導入効果のライブラリを充実させる。産業用エネルギーシステム統合シミュレーターについての利用者の使い勝手の向上を図り、公開システムを作成、立ち上げ、公開普及を図る。

「熱電変換素子の高性能化に資する評価技術の開発」では、様々な材料系の熱電素子について温度サイクル試験や振動試験等を行い、熱電モジュールの劣化予測技術を確立する。IEC-TC47/WG7において、提案したNPの審議において各国からの意見に対応してIS化に向けた次の段階であるCD(Committee Draft)の作成をすすめる。

フォノンの輸送と電子の輸送をそれらの結合込みで計算できるソフト「PE-TRANS」のソースコードを整理し、TherMAT 参画企業にテストして頂いた上で、ユーザビリティを確定し、Githubで一般公開する。

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、データを論文等で公開し、有機熱電材料計測のデファクトスタンダードに資する計測技術を確立する。電気自動車内の熱流計測に用いる熱流束センサに関して高感度化を行う。

「熱関連材料の計算シミュレーションとデータベース構築」に関して、昨年度までに追加収録したデータセットに対して外部リソース(例えばCAS番号やPubChemオープンソース)との相互参照が可能となるようシステムに修正を加えつつ、最終年度時点で確定したデータセット一式に対してウェブ検索システム(PropertiesDBWeb)の機能改善と拡張を実施して、利用者向けのユーザーインターフェイスの充実を図りつつ一般利用者向けに周知を行う。

助成事業で実施する「高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発」に関連して、変形や亀裂発生に影響を及ぼすプロセス因子を明らかにすることにより1500℃耐熱性、0.2W/mK以下の熱伝導率、20MPa以上の圧縮強度を、試験片レベルで発現可能なプロセス因子を明らかにする。

助成事業で実施する「排熱蓄熱可能な小型吸収冷凍機の研究開発」に関連して、小型吸収冷凍機の躯体樹脂化を目指し、躯体被覆用ガスバリア膜を開発する。また、吸収冷凍機の動作時の状態をセンシングするための、熱流束センサ、液面センサを開発する。有機系高分子を高耐熱樹脂で薄膜化して、伝熱面温度分布の可視化計測技術

を開発し、熱交換器に関する要素試験により性能を評価する。

## 5. 2 2022年度（助成）事業内容

### 研究開発項目①「断熱技術の研究開発」

#### （1）断熱材料の研究開発

「高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発」については、委託事業と連携し、変形や亀裂発生に影響を及ぼすプロセス因子を明らかにすることにより 1500℃耐熱性、0.2W/mK以下の熱伝導率、20MPa以上の圧縮強度を、試験片レベルでサンプル数  $n=10$  として  $n>8$  以上作製可能なプロセス技術を開発する。また、これまでに得られた開発知見を基に未利用熱 PJ 中間目標値レベルの特性を有する断熱材を 1,000 個/月(並形れんが形状換算)作製可能な工程を確立する。

「高効率産業/工業炉における検証」については、断熱材をはじめとした各種開発部材を実装した検証炉において産業/工業炉の排熱削減率 50%以上の可能性を実証する。

### 研究開発項目④「ヒートポンプ技術の研究開発」

#### （1）産業用高効率高温ヒートポンプの開発

「ヒートポンプの最適化技術の開発」については、フロン系低 GWP 冷媒ヒートポンプ試作機の性能・信頼性試験を行う。また、試験結果を基にした解析シミュレーションを行い、システムの最適化を図る。

「ターボ圧縮機技術の開発」については、フロン系低 GWP 冷媒ターボ圧縮機の単体試験装置における性能確認及び改良を行う。改良項目の抽出とその評価を行う。

「高温高圧熱交技術の開発」については、フロン系低 GWP 冷媒ヒートポンプ試作機の性能試験を基に最適熱交換器の設計・解析手法を確立する。

### 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）実用化に適した高性能なクラスレート熱電モジュールの研究開発

「性能指数向上に関する技術開発」については、高性能クラスレート素子の試作・評価を行い、受熱温度 600℃の条件で使用可能な変換効率  $\eta=15\%$ を有するモジュールに必要な素子の作製技術の確立を図る。

「モジュール化に関する技術開発」については、高性能クラスレート素子を用いたモジュールの実用化に向けて、モジュールの試作・評価を行い、受熱温度 600℃の条件で使用可能な変換効率  $\eta=15\%$ を有するモジュール化技術の確立を図る。

### 研究開発項目⑦「熱マネジメントの研究開発」

#### （1）電気駆動車熱マネジメント用熱流れモデルの研究開発

「電気駆動車の計測実施」については、電気駆動車を題材に、環境温度 -10～40℃、モード走行 (WLTC) 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う。

「電気駆動車熱流れのモデルの構築」については、2021年度に構築した3次元熱モデルを活用して1次元熱モデルを構築した上で、目標精度を達成する。

(2) 小型吸収冷凍機の研究開発

「小型吸収冷凍機の開発」については、各要素の伝熱性能を向上した熱交部を設計試作しデバイス体格の小型化を行う。構成要素のレイアウトを最適設計することで小型パッケージを試作する。

「排熱蓄熱吸収冷凍機システムの開発」については、工場向システムを題材に、排熱変動や冷房の稼働状況を調査し、排熱を蓄熱するシステムに必要な媒体回路構成を検討する。調査結果を反映したシステムを設計試作する。

(3) 電気駆動車の熱量調査・次世代エネルギーマネージメントデバイスの研究開発

「車両熱計測技術開発」については、計測結果を基にモデル化を行い、エネルギーマネージメントデバイスの効果を査定できる車両シミュレーションを構築する。その車両シミュレーションを活用し、車両燃費などの効果を把握する。これにより、各種のデバイスの目標性能の設定と車両に最適なデバイスの技術開発を行う。

「電気駆動車の熱量調査」については、2021年度に引き続き電気駆動車の熱エネルギーフローを実車計測により明らかにする。また、各部位で得られる熱量に対し、最適なエネルギーマネージメントデバイスを明らかにする。

(4) 高密度/長期蓄熱システムの研究開発

「高密度蓄熱システム（低温用）の開発」については、2021年度に構築した模擬システムにおいて、10℃前後の温度で冷却する食品製造プロセス等への適用を想定した場合に、過冷却度、蓄熱密度、及び出力密度等の要求仕様を満たすことを実証し、省エネ等の効果を明らかにする。

5. 3 2022年度事業規模

委託・助成事業

需給勘定 340百万円（継続）

事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 評価の方法

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を実施する。

(2) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、本研究開発については、技術委員会における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、随時、プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、早期実

用化が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。

なお、最終年度又は終了翌年度中に、本研究開発の成果を成果報告会等で公開する。

(3) 複数年度契約・助成の実施

調査委託等を除き、2015～2022年度の複数年度契約・助成を行う。

(4) 知財マネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

7. 実施方針の改訂履歴

(1) 2022年2月 制定

(別紙) 「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」実施体制図

