

## 2021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、蒸発器体積 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 2020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」では、一方向に配向した緻密な気孔壁を実現することにより、 $0.20\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以下の熱伝導率、圧縮強度  $15\text{MPa}$ 以上及び耐熱性  $1500^\circ\text{C}$ を有する断熱材を開発した。

「高効率産業/工業炉における検証」では、排熱を  $50\%$ 削減する省エネ炉の設計指針を確立した。

## 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」では、熱電モジュールの構造最適化を行い、基板無しの熱電モジュールでは、受熱温度 600°C で 25,000 時間、発電性能劣化 20% 以内の耐久性、試験途中の基板付きの熱電モジュールでは、受熱温度 600°C で 5,000 時間、発電性能劣化 10% 以内の耐久性を達成した。

「熱電発電システムの開発」では、熱電発電ユニットの構造適正化により、直径 160mm の小型熱電発電ユニットを設計し、試作した。

### (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、2019 年度に試作した熱電変換モジュール（受熱温度 500°C で出力密度 10kW/m<sup>2</sup>）のコージェネ適用を想定し、コージェネの排ガスから電力回収実証を見据えた実証実験の設計を実施した。その設計をもとに熱源と熱電変換モジュールとの熱交換方式を確認する要素検討を実施した。

「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ターゲットに、マンガンシリサイドバルク材料の高性能化により  $ZT > 1$  の見通しを得た。また、「システム効率向上の検討」に適用する熱電変換モジュールに搭載するための材料スケールアップ検討を実施した。

### (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」では、高性能クラスレート焼結体の開発を行い、変換効率  $\eta = 12\%$  のモジュールに必要な p 型素子及び n 型素子を試作した。

「モジュール化に関する技術開発」では、これまでの開発成果をもとにし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設計指針を確立した。

### (4) シリサイド熱電変換材料による車載排熱発電システムの実用化への要素技術開発

「1.5W/cm<sup>2</sup> の発電モジュール向けの発電素子の開発」では、単結晶 p 型 Higher Manganese Silicide (HMS) の開発を行い、発電モジュール形態（配線部＋接合材料＋電極付き素子）に適用可能な発電素子として、p 型、n 型材料共に 3,000 時間以上の耐久を達成し、その製造プロセスを確立した。

「1.5W/cm<sup>2</sup> の熱電発電モジュールの開発」では、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を考案、製作し、バイオマスボイラーを用いた排熱温度データを基にシリサイド系素子に最適な温度条件と設計指針をまとめた。そして、実環境を想定した耐久性評価を実施し、実用可能な性能である事を確認した。バイオマスボイラーを用いた実証試験においては、2020 年度末には作物への育成効果があ

るデータを取得する見込み。

#### 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」では、プラグインハイブリッド車及び電気自動車を題材に、環境温度  $-10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、車速  $0\sim 130\text{ km/h}$  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。

「自動車の熱流れのモデルの構築」では、2019年度に構築したモデルの計算条件を拡張（環境温度  $-10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、車速  $0\sim 130\text{ km/h}$ ）した上で、目標精度を達成した。

##### (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、媒体の流動改善、耐腐食性向上などの課題に対して対策を行ったデバイスを設計試作し、車載評価模擬装置でシステム制御を検討するとともに、数 kW 冷熱を確認した。また排ガス熱量変動に対応するために排熱を蓄熱するシステムの構成デバイスを車載設計・試作した。熱交換器の更なる性能向上のため、小規模研究開発スキームで開発した熱電変換技術を応用して、フィルム状で熱交換器プレート面の計測が可能な熱流センサを開発し熱交換分布を計測把握した。

「分離膜式吸収冷凍機のデバイス開発」では、分離膜式吸収冷凍機の構造設計と性能評価を行った。セミスケールの分離膜式吸収冷凍機を評価し、車載用分離膜吸収冷凍機の設計を行った。

##### (4) 車両用高効率排熱利用・冷房用ヒートポンプの研究開発

「吸着蓄熱システムの研究開発」では、台上確認において目標蓄熱性能及び目標脱落率を達成した。

「湿度交換器用透湿シートの研究開発」では、台上確認において高分子収着剤として水浸漬後の目標通気度  $5\text{ ml}/(\text{m}^2\cdot\text{Pa}\cdot\text{s})$  以下、目標透湿性能保持率 90%以上を達成した。

「車両熱計測技術開発」では、計測結果を基にシミュレーションを行い、排熱活用デバイスの車両効果の算出を行った。

「電気駆動車の熱量調査」では、電気駆動車のデータを関係分室へ提供すると共に排気熱を中心としたエネルギーフローを明確化した。

##### (5) 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」では、蓄熱槽を有し  $10^{\circ}\text{C}$  前後の温度で冷却する食品造製造プロセス等へ主に適用することを想定し、安全性評価を完了した蓄熱材料を搭載した蓄熱モジュールにおいて、過冷却度 2K 以下、蓄熱密度、蓄放熱速度

のシステムとしての要求仕様を、同時に満たすことを検証した。

「長期蓄熱システムの開発」では、ハイブリッド自動車のエンジン暖機等へ利用することを想定し、中温用蓄熱システムの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、蓄放熱速度のシステムとしての要求仕様を、同時に満たすことを検証した。

#### (6) 排熱発電システムの研究開発

「高効率小型排熱発電技術開発」では、出力 1kWe クラスに関して、2019 年度に設計した排熱回収用コンパクト蒸発器を製作すると共に、同じく 2019 年度までに設計・構築したデバイスや制御技術を用いてシステム実証機の構築を行い、排熱発電効果実証を達成した。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試験を実施した。そして排ガス温度 200°C の定常運転の条件において、平均発電出力 1kW を達成し、発電効率についても評価を行った。

### 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、関係分室、関係機関、共同実施先と連携し、2019 年度までに実施した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、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、2019 年度までの調査対象以外の業種・ラインへの開発したヒートポンプ等の導入ポテンシャルを検討・調査した。さらに、「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、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ー」を構築し、本事業内で共有すると共に、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ー」の開発を推進した。

「熱マネー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に必要な電極の接合強度と接合抵抗、元素拡散及び発電出力の相関や破壊強度などの機械特性の収集を行い、基盤的データベースを充実させた。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、IEC-TC47/WG7 (Semiconductor devices for energy conversion and transfer) においてモジュール評価手法にかかる国際規格の提案をした。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、有機系・新炭素系材料全体のデータベース構築の完成に資するため、当該プロジェクト成果として市販された縦方向熱電計測装置による計測データを収集及び解析し、種々の材料の計測手法のスタンダードとなる条件を確定させた。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。

「熱関連材料の計算シミュレーションとデータベース構築」では、熱関連材料のデータベースシステムについて、出典が異なるため独立して存在していた有機化合物と無機化合物のデータを統合し、データ構造を修正した上でデータベース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検索可能にした。また、ユーザーの利便性を考慮して、データ検索のためのインタラクティブツールの機能改善と拡張を行った。さらに、蓄熱材の反応機構解明について、典型的な化学蓄熱材である酸化マグネシウムと水蒸気との可逆化学反応プロセスを妥当な素反応過程に分割／モデル化し、各素反応のエネルギー変化を第一原理計算から解析した。特に酸化マグネシウム表面での水和過程については、固体表面上で水酸化マグネシウムの結晶核が形成されるプロセスが実際に発熱反応であることを確認した。

## (2) 高温熱供給ヒートポンプに適した冷媒の研究開発

「高温熱供給ヒートポンプに適した低 GWP 冷媒候補の開発及び物性情報の構築」では、B 冷媒候補<sup>3</sup>の一つに対して、安定性・安全性評価として、反復吸入毒性試験を実施し、低毒性であることを確認した。また、輸送性質を測定し、PVT 試験を実施し、臨界定数を決定し、実測値に対して、精度の良いヘルムホルツ型状態方程式を完成した。さらに、B 冷媒次候補の製造方法に対して、効率的な触媒条件の組合せを見出した。

「高温熱供給ヒートポンプ用途の新型冷媒候補の適性評価」では、B 冷媒候補の一つに対して、サイクル性能評価を行い、既存冷媒との比較で良好な性能を示すことを確認した。また、潤滑油の使用寿命を評価すると共に、樹脂材料の適合性試験を行い、適性のある絶縁材・エラストマを選定した。

このほか、個別要素技術の探索・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を活用して実施した。

## 4. 2 2020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 冷媒用ヒートポンプ試作機的设计・製作を行い、性能を検証する準備が整った。

「ターボ圧縮機技術の開発」については、昨年度より継続してフロン系低 GWP 冷媒用ターボ圧縮機の製作・組立を行い、単体性能試験を実施した。

「高温高圧熱交技術の開発」については、フロン系低 GWP 冷媒用高温高圧熱交換器の

---

<sup>3</sup> GWP (Global Warming Potential : 地球温暖化係数) が小さく、高温域での利用でも、熱伝導性、熱安定性に優れていると共に、ヒートポンプサイクルの設計圧力を低減できる沸点の高い化合物を選択し、160℃出力用新型冷媒候補を A、200℃出力用新型冷媒候補を B として絞り込んでいる。

仕様を R600 のデータを基に伝熱特性を検討、仕様を確定して製作した。

(2) 機械・化学産業分野の高温熱供給に適したヒートポンプシステム技術開発

「200℃温水出力機ヒートポンプのユニット開発」では、B 冷媒候補の一つに対して、委託研究で計測された熱物性データを受領し、200℃温水出力のヒートポンプとしてのサイクル一次評価を行った。COP3.5 以上の性能が試算され目標達成の目途付けができた。また、B 冷媒候補でのサイクル一次評価に基づき、詳細設計のためのヒートポンプの各機器の基本仕様を策定した。

「200℃温水出力機の要素機器の開発」では、200℃温水出力も対応可能な A 冷媒候補で、既存ヒートポンプを改良した実証機において、160℃超温水出力での要素試験を行い、機器要素の計画仕様の見直しを行った。

#### 4. 3 事業推移(2021年1月12日時点)

	2013～ 2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
実績額推移 需給勘定 (百万円)	3,460 (経済産業省)	1,952 (NEDO)	1,757 (NEDO)	951 (NEDO)	673 (NEDO)	630 (NEDO)	650 (NEDO)
特許出願件数 (件)	45	87	100	77	56	64	12
論文等発表数 (報)	91	122 他に解説等	145	142	78	127	51
展示会出展等 (件)	2	9	8	11	20	19	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 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」では、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  $0.2\text{W/m}\cdot\text{K}$  以下、圧縮強度  $20\text{MPa}$  以上、耐熱性  $1500^\circ\text{C}$  を有する断熱材を開発する。

「高効率産業/工業炉における検証」では、排熱削減  $50\%$  省エネ炉の設計を完了する。

###### 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」では、熱電モジュールの成形技術開発を行い、研究開発項目⑦「熱マネージメントの研究開発」と連携して、車載向け熱電モジュールの最適な作製方法を構築する。

「熱電発電システムの開発」では、熱電発電ユニットの構造最適化を行い、熱電発電ユニットのコンパクト化技術を構築する。

### (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年度で得られた実証実験設計、熱交換設計指針をもとに、500°Cで出力密度 10kW/m<sup>2</sup>を達成する熱電変換モジュールを搭載した熱電変換ユニットの試作開発を行う。

「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ターゲットに、 $ZT=2$ 水準の出力因子、熱伝導率の両立を実現し得るプロセスを確立する。また、「システム効率向上の検討」に適用する熱電変換モジュールに搭載するスケールアップした材料の性能向上検討を実施する。

### (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」では、変換効率  $\eta=12\%$ を達成したモジュールの素子の性能をもとに、受熱温度 600°C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る。

「モジュール化に関する技術開発」では、変換効率  $\eta=12\%$ を達成したモジュールをもとに、受熱温度 600°C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耐久性等の要求性能及び課題の抽出を行った上で、その解決方法を明確にする。

## 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」では、プラグインハイブリッド車及び電気自動車を題材に、環境温度 25°C、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。

「自動車の熱流れのモデル構築」では、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上で、目標精度を達成する。

### (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) 相当の排ガス変動状況で平均冷熱性能 1.5kW 以上を確認する。システムの安定動作に必要な装置内の作動媒体の液面を把握する小型熱流センサを新たに開発し、液面の制御技術を開発する。

「分離膜式吸収冷凍機のデバイス開発」では、膜式にすることで開発品の体格を25%以下に小型軽量化した装置を開発する。熱交換器を表面改質して熱・物質伝達を向上し、小型軽量化に反映させる。昨年度開発した熱流センサを用いて熱交換器の面内分布を均一化させるための指針を得る。

(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

「車両熱計測技術の開発」では、計測結果を基に、xEVへ対応したエネルギーマネージメントデバイスの車両搭載時における効果の明確化を可能とする MBD (Model Based Development: モデルベース開発) モデルの構築を行い、形式の違う車両に対する排熱活用デバイス搭載時の燃費・CO<sub>2</sub>削減効果を算出する。

「電気駆動車の熱量調査」では、国内製の形式の違う電気駆動車の熱エネルギーフローを明らかにし、得られる熱量を明確にし、エネルギーマネージメントデバイスの構想に反映する。

(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」では、水蓄熱槽の中に複数個の蓄熱モジュールを設置し、10°C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する。

「長期蓄熱システムの開発」では、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ハイブリッド自動車等への適用を想定した模擬システムを構築する。

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、モデルケース化する。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) の充実を図る。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む。

「熱マネージメント部材の評価技術開発」では、様々な材料系の熱電素子について耐久性試験を行い、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、熱電モジュールの劣化予測を可能にする。IEC-TC47/WG7において、熱電発電の応用技術ロードマップを作成し、新たな国際標準の提案に向け議論する。また、熱だけでなく電気も計算できる計算ソフト「PE-TRANS」を高速化、高効率並列化して様々な現実的な材料の解析を行うことで実施例を増やし、ユーザビリティを向上することで次年度に計画する一般公開に向けたベータ版を完成させる。さらに、縦方向熱電計測装置を用いて横方向計測も可能とする設計を行い、有機系熱電材料の異方性評価のスタンダードとなる手法の確立を目指す。また、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」では、熱関連材料データベースシステム（PropertiesDBWeb）機能改善について、出典が異なる有機化合物と無機化合物データセットを統合したことに伴う、掲載データの不備／不足情報を修正／補足する。分子・物質構造の情報（例えば立体構造や示性式）を、PubChem等オープンソースデータを活用して取り込み、検索時に分子・物質を指定する情報として、汎用的な指標であるCAS／CID番号をPubChem等オープンデータから追加収録することで、これまで整備した熱物性情報と分子・物質情報を対応させて、有機－無機化合物に渡るより汎用的なデータソースの提供を進める。

## 5. 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冷媒用ヒートポンプ試作機の性能試験を行う。試験結果を基にした特性の動的シミュレーションを行う。

「ターボ圧縮機技術の開発」については、フロン系低GWPターボ圧縮機の性能確認及び改良、連続運転による信頼性確認を行う。また、流体解析結果と実験値の比較評価を行う。

「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伝熱性能の解析・評価を行う。

## 5. 3 2021年度事業規模

委託・助成事業

需給勘定 450百万円（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) 2021年1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

