

平成29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条第一号二及び第九号

3. 背景及び目的・目標

①政策的な重要性

東日本大震災以降の電力需給状況を考慮すると、新たな省エネルギー技術の必要性は明白であり、未利用熱エネルギーの有効活用技術開発は、国が政策として押し進めるべき重要事業の一つである。

断熱技術・蓄熱技術・熱電技術の共通課題として、最終目標を達成するためには新規な材料開発が重要かつ必須であり、その点で我が国は世界的な卓越性、先導性を維持している。一方、大学での材料研究と企業での実用化技術の間の乖離が深刻な問題であり、両面に強みを持っている公的研究機関が箸渡し機能を発揮して、我が国の強みを産業競争力にスムーズに活かすスキームを確立することが重要である。

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、提案公募的なものは、他省庁を含め一部事業が存在するものの、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は未だ実施されていない。これまでの大型国家プロジェクトの蓄積や、国内各企業の外国企業に対する技術優位性は依然としてあるものの、大型予算をもつ海外勢が実用化に邁進しているため、将来的には遅れを取る可能性が大きくなっており、産学官連携による研究開発体制の構築が必須である。

③世界の取組状況

米国（DOE）、欧州（FP7）、中国、韓国等では既に大規模なプロジェクト研究をスタートしており、産学官が一体となった熱マネジメント実用研究を展開している。一例として米国DOEでは、「次世代自動車研究・開発プロジェクト」の一環として、GM・Ford・BMW等が参加し、産学官協同体制で排熱発電技術に取り組んでいる。

④本事業のねらい

一次エネルギーの大半は有効活用できておらず、年間1兆kWhにもものぼる未利用熱エネルギーの大部分が排熱として廃棄されている現状にある。また未利用熱の有効活用に関しては、自動車・住宅等幅広い分野において大きな課題となっている。

本事業では様々な環境下における未利用熱エネルギーの再利用に注目し、広域に分散した熱を有効利用する技術の基盤となる熱マネジメント技術として、熱を逃さない技術（断熱）、熱を貯める技術（蓄熱）、熱を電気に変換する技術（熱電変換）等の技術開発を一体的に行うことで、未利用熱エネルギーを経済的に回収する技術体系を確立すると同時に、同技術の適用によって自動車・住宅等の日本の主要産業競争力を強化し、社会全体のエネルギー効率を向上させる、新たな省エネルギー技術の中核とした新たな産業創成を目指す。

【委託事業】

研究開発項目①「蓄熱技術の研究開発」

最終目標（平成34年度）

- 1) 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
- 2) -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
- 3) 蓄熱材の占有体積が 9 割以上であり、蓄熱材単体の 50 倍以上の熱伝導率を有する複合蓄熱体の開発

中間目標（平成29年度）

- 1) 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
- 2) -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
- 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

研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」

最終目標（平成34年度）

- 1) 理論限界近傍の可視光線透過率 70%以上、日射熱取得率 40%以下（可視光線反射率 12%以下、カット波長 850～1,800nm）の遮熱フィルムの開発

中間目標（平成29年度）

- 2) 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

研究開発項目③「断熱技術の研究開発」

最終目標（平成34年度）

- 1) 1,500℃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) 上記開発材料等を産業・工業炉に適用し、50%以上の排熱削減を実証

中間目標（平成29年度）

- 1) 1,500℃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

研究開発項目④「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」

最終目標（平成34年度）

- 1) 性能指数 $ZT=2$ を有する有機材料の開発及び当該材料を用いたモジュールの開発
- 2) 性能指数 $ZT=4$ を有する無機材料の開発及び当該材料を用いたモジュールの開発

中間目標（平成29年度）

- 1) 性能指数 $ZT=1$ を有する有機材料の開発
- 2) 性能指数 $ZT=2$ を有する無機材料の開発

研究開発項目⑤「排熱発電技術の研究開発」

最終目標（平成34年度）

- 1) 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開発
- 2) 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開発
- 3) 工場等における、開発した排熱発電装置を利用した未利用熱削減効果の実証

中間目標（平成29年度）

- 1) 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

研究開発項目⑥「ヒートポンプ技術の研究開発」

最終目標（平成34年度）

- 1) 200℃までの供給温度範囲に対応し、100→200℃加熱で COP:3.5 以上を達成するヒートポンプシステムの開発
- 2) 60℃以下の熱源で、供給温度-10℃までの幅広い温度範囲に適合するヒートポンプシステムの開発

中間目標（平成29年度）

- 1) 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
- 2) 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

研究開発項目⑦ 「熱マネージメントの研究開発」

最終目標（平成34年度）

- 1) 高効率ヒートパイプの開発（-20～50℃にて熱輸送距離 10m、熱輸送量 3,000W、抗重力性、動力源レス）
- 2) 吸熱量 10W/cm² を有する吸熱デバイスの開発
- 3) 数 kW 小型ヒートポンプシステムの開発
 - (a) 体積 55L 以下重量 30kg 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 0.6 を有する冷房用ヒートポンプの開発
 - (b) 極寒（-20℃）環境下などの実用条件で COP=1.7 以上（温度）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
- 4) 車両トータルの熱移動を制御し、上記省エネシステムを組み合わせ、最適化することで、総合損失を 75%（走行距離 1.6 倍）まで低減したトータル熱マネージメント技術の開発。

中間目標（平成29年度）

- 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）
- 2) 吸熱量 5W/cm² を有する吸熱デバイスの開発
- 3) 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
 - (b) 極寒（-20℃）環境下などの実用条件で COP=1.5（温度）以上の作動が可能な暖房用ヒートポンプの開発
- 4) 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。

研究開発項目⑧ 「熱関連調査・基盤技術の研究開発」

最終目標（平成34年度）

- 1) 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を完了する。
- 2) 優れた新規材料、機器開発を加速するための評価技術を提供する。
- 3) プロジェクト内部の共通基盤ツールとして、新材料探索の基盤情報を提供する。

中間目標（平成29年度）

- 1) 排熱調査を実施し、研究開発シナリオの検討を完了する。
- 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を明確化する。
- 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、体系化を行う。

4. 実施内容及び進捗（達成）状況

平成27年度からプロジェクトマネージャーにNEDO省エネルギー部 楠瀬 暢彦を任命して、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。

平成27年度に国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 研究戦略部長 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した。

4. 1 平成28年度（委託）事業内容

研究開発項目①「蓄熱技術の研究開発」

(1) 高密度/長期蓄熱材料の研究開発

「高密度蓄熱材料(低温用)の開発」では、高密度化と最適動作温度を両立するゲスト物質候補を、特定パラメータを有する構造群として抽出した。

「高密度蓄熱材料(中/高温用)」では、官能基の修飾密度を向上する合成プロセスを確認するとともに、1MJ/kg 以上を目指す蓄熱材料候補の蓄熱密度を定量化し、絞り込みを行った。

「長期蓄熱材料の開発」では、冷却安定性と過冷却解除性を両立する蓄熱材料組成を抽出するとともに、高温放置による過冷却解除性の信頼性低下の課題を確認した。

(2) 車載用蓄熱技術（材料）の研究開発

「蓄熱構造体の開発」では、蓄熱構造体としての熱出力向上への寄与が大きいポーラス Al 素材を探索するため、ポーラス Al の合金組成と熱伝導率の関係を明らかにした。

「蓄熱材の低コスト化」では、従来よりも4倍以上水熱耐久性のある複数の候補材を明らかにした。

「蓄熱材の高密度化」では、高容量化のため細孔容量を向上したMOF（金属有機構造体：Metal Organic Frameworks）を開発、水蒸気吸着量の向上（0.5L/L，市販MOFの1.5倍）を確認した。

「新規蓄熱材の探索」では、MgO，CaOについて、表面水和反応の反応律速段階を明確化するために、固体内化学反応について分子動力学法第一原理計算を実施し、計算可能なことを確認した。

研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」

(1) 革新的次世代遮熱フィルムの研究開発

「新規光学設計における超高精度積層技術の開発」では、前年度に積層装置で作成した試作フィルムの結果に基づき、新規ポリマーの流動性改善や、更に積層精度を高

めるため積層装置の改造設計を実施した。

「次世代遮熱用ポリマーの開発」では、[新規光学設計における超高精度積層技術の開発]の検討結果に基づき改造した積層装置と改良したポリマーを適用したフィルム製膜試験を実施し、前年度に試作したフィルムに対して、透明性を3%程度向上させ中間目標値を達成した。またスケールアップのための課題の明確化を行った。

「次世代遮熱フィルムのフィルム加工技術の開発」では、前年度設計した粘着層をパイロット機にて窓に貼合するための粘着層付きのフィルムの連続加工に成功し、スケールアップのための課題の明確化を行った。

研究開発項目③「断熱技術の研究開発」

(1) 断熱材料の研究開発

「産業炉/熱マネージメントシステムの開発」では、個々の研究開発成果を組み合わせることにより、ラボスケール検証炉で得られたデータを元にシミュレーションし、最終目標である排熱削減率50%を削減できる見通しを得た。

「高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発」では、1,500℃以上で使用可能なファイバーレス断熱材量産の課題である乾燥時間短縮の検討について、新しい気孔形成技術を適用することにより、乾燥時間が従来に比べ約1/2に大幅短縮可能となる技術を開発した。また、この気孔形成技術はJIS並形状まで大型化した際の構造欠陥抑制に寄与するとともに、断熱材の強度向上と熱伝導率低減にも寄与することを明らかにし、断熱材としての最適構造の指針を得た。これらの取り組みにより、工業用原料から作製したファイバーレス断熱材で、耐熱温度1,450℃、圧縮強度11MPa、熱伝導率0.25W/m・Kを達成した。

「耐高温高効率蓄熱放熱システムの開発」では、セラミックシェル構造蓄熱部材の耐久性について、繰り返し加熱による耐久試験、および強度試験結果をもとにした応力計算により検証を行い、その結果をもとにシミュレーションにより従来の1.8倍の蓄熱放熱速度を持つ部材の設計を完了した。

「高効率廃棄ガス熱回収システムの開発」では、平成27年度に判明した課題を解決し、さらに、実用化を考慮した高効率熱交換器を設計・試作し、1,500℃での耐久試験に着手した。

「高効率産業/工業炉における検証」では、ファイバーレス断熱材の排熱削減効果を検証するガス炉を作製し、従来のアルミナ質煉瓦を使用した基礎試験を実施した。セラミックシェル構造蓄熱部材を使用する高効率バーナーの熱容量を削減する小型高効率バーナーを試作し、検証炉に組み込んだ。

研究開発項目④「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」

平成27年度より実施している小規模研究開発のテーマと合せて、12月に外部有識者

により研究開発の進捗状況を審査し、平成29年度以降の方向性を定めた。

(1) 高性能熱電材料及びモジュールの開発

「熱電材料の高速合成・評価技術開発」では、高速合成法であるレーザー溶融合成法によりシリコンクラスレート系材料の合成に成功し、性能の組成依存性を明らかにした。また Al-Mn-Si 系シリサイド材料を合成し、600K における性能指数 $ZT = 0.3$ を確認した。

3 元系、4 元系の金属間化合物については、122 系新規物質 $Ba_{1-x}K_xZn_2As_2$ を合成し、高い熱電性能を確認した。また YbAl₃ 化合物焼結体において、室温における出力因子 $PF = 0.006W/mK^2$ 、性能指数 $ZT = 0.1$ を確認した。Sn-(S, Se, Te) 系化合物の 4 元混晶系組成を探索し、室温における熱伝導率 $\kappa \sim 1 W/mK$ 、ゼーベック係数 $S = 100 \sim 600\mu V/K$ を確認した。

TiS₂ 系有機/無機ハイブリッド材料を使用した開発では、フレキシブル熱電モジュールを試作し、世界最高性能となる温度差 $\Delta T = 70K$ において $2.5W/m^2$ の出力密度を実現した。

「導電性高分子材料・素子の研究開発」では、PF の増大を狙う PEDOT とカーボンナノチューブのハイブリッド膜で性能向上に関する指針を得て、 $150\mu W/K^2m$ の PF を達成した。さらに、熱電モジュールで界面抵抗の低減等を行い $24\mu W/cm^2$ の高い出力密度を達成した。

「炭素系熱電変換デバイスの技術開発」では、バインダー高分子の濃度制御、及び、カーボンナノチューブファイバーの直径制御などを通じて出力因子 $600\mu W/K^2m$ を超えるカーボンナノチューブ-高分子複合材料を実現した。また、ZT に加えた新たな目標・指標について検討し、PF とモジュールの出力密度を目標とすることを提案した。

(2) 熱電デバイス技術の研究開発

「熱電材料の開発」では、スクッテルダイト系熱電材料の熱的安定性と組成の関係を調べ、 $ZT=1.2$ の高い熱電性能と室温 \sim 600°Cの温度範囲で良好な耐熱性を備えた熱電材料を開発した。

「熱電デバイスの開発」では、変換効率は $\eta = 9\%$ に達し、1,000 時間以上の耐久性試験後、600°C における発電性能の変化率は 5% 以内となり、500°C \sim 600°C の温度範囲で累計 5,000 時間の耐久性を確認した。

「熱電発電システムの開発」では、発電ユニット性能評価装置を設計し完成した。基礎試験用発電ユニットを設計、製作し、発電ユニットにおける温度分布と熱源のガス温度、流速等との関係を測定して熱伝達状況を研究した。さらに構造、熱流体シミュレーション技術を用いて、熱電発電ユニットの構造設計を行っている。

(3) 熱電変換による排熱活用の研究開発

「システム向上の検討」では、5kW コージェネユニットを対象とし、有効な熱電素

子の設置場所を検討し、 $ZT=1$ の熱電材料を想定した試算の結果、容積増大率 5%以内でエネルギー利用効率 1 ポイント向上の見通しを得た。

「新熱電変換材料の開発」では、 $ZT=2$ 達成に必要な出力因子： 0.6mW/Km^2 と熱伝導率： 0.8W/Km を薄膜で達成し、 $ZT=2$ 達成するための組織構造の一つとして $\text{MnSi}_{1.7}$ を母相結晶とし、結晶粒界に SiGe と SiAg を形成した構造を決定した。また、バルク材料として $\text{MnSi}_{1.7}$ と Si の複合材料バルクの合成を行った。

(4) フレキシブル有機熱電材料及びモジュールの開発

「高機能導電性ポリマーの開発」では、電子受容性の向上と配列促進を狙った新たな分子設計によりゼーベック係数を改善した。

「CNT および周辺材料の開発」では、高純度化、フェルミ順位の制御、集合状態の制御、熱伝導率の制御を検討し、複数の施策を組み合わせることで PF を数百 $\mu\text{W}/\text{mK}^2$ と大幅に改善し、更なる性能向上に向けた指針を得た。

「無機熱電材料を利用した熱電変換材料の開発」では、無機ナノ粒子と有機材料とのハイブリッド化により PF を向上できることを明らかにした。さらに、新たな無機粒子のドーパ焼成体の開発により、性能向上の指針を得た。

「フレキシブル熱電変換モジュールの開発」では、昨年度提案したモジュール裏表の温度差を大きくする構造のモジュールを具体化する検討を行い、出力 $7\mu\text{W}/\text{cm}^2$ が見込めるモジュールの作成に目途を得た。

(5) 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

「高性能化に関する技術開発」では、前年度に作成したナノ焼結体試料を用いてナノ組織が熱電特性に与える影響を解析する技術を研究し、シリコンクラスレートの材料高性能化の方向性を定めた。

「p 型特性発現に関する技術開発」では、構成元素うち特に Pt 等の元素が熱電特性に与える影響を第一原理計算により解析し、実験的検討への指針を明確化した。

「モジュール化に関する技術開発」では、クラスレート焼結体素子のモジュールを試作し、発電効率および出力の評価を行って素子の課題が電極部の界面にあることを明確化した。

(6) 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

「 Mg_2Si 熱電変換材料・発電素子の量産化技術」では、熱電特性及び機械特性の面内偏差が 5%以内の均質な $\phi 100\text{mm}$ 焼結体製造技術を開発し、本製造技術を軸としたシリサイド系発電素子の量産ライン設計の検討開始に目途をつけた。

「車載用熱電発電モジュールの開発」では、小型モジュールで発電出力密度 $1.2\text{W}/\text{cm}^2$ 、大型モジュール ($35 \times 29 \text{mm}^2$) で $0.8\text{W}/\text{cm}^2$ を達成した。耐久性評価では、 100°C – 500°C の熱サイクル試験 1,500 時間サイクルで初期性能からの出力変化率が 21% となることを確認した。

研究開発項目⑤「排熱発電技術の研究開発」

(1) 排熱発電技術の研究開発

「高効率小型排熱発電技術開発」では、出力 1kWe クラスで、低 GWP & 不燃冷媒に適合し発電効率 14%を実現するオーガニックランキンサイクルのシステム構成、膨張機、冷媒ポンプと蒸発器等の耐熱デバイスの仕様を明確化した。また、膨張機とポンプの耐久性評価に着手した。出力 10kWe クラスでは、小型膨張タービンを 5kWe から 10kWe にスケールアップするとともに、模擬熱源装置を用いて実使用条件を考慮した試験を行い、小型膨張タービンと気体軸受の技術課題を抽出した。

研究開発項目⑥「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

「遷臨界サイクルヒートポンプの最適化技術の開発」では、300kW 級ヒートポンプ試作機の設計を行うため、広範囲の計算ができる新たな圧縮機の性能計算式を作成し、静特性を確認した。また、試作機の一部製作を実施した。フロン系新冷媒について、HF0-1336mzz (E) と HF0-1354mzy (E) の気相 P ρ T と状態方程式作成の為に臨界点を計測した。

「ターボ圧縮機技術の開発」では、風損試験を N2 と R134a それぞれについて実施し、軸受部付近のガス温度と風損の関係を確認した。風損解析と改善効果確認試験の結果から改善項目の抽出を行い改良を実施した。回転確認試験を行い、機械的な健全性を確認した。

「高温高圧熱交換器の開発」では、プレート式熱交換器の追加試験のために装置の組替えを行い、超臨界の詳細なデータを得るために小型プレートを用いた試験を行った。10MPa 設計のマイクロチャンネルプレート熱交換器の設計を終了し、試作を開始した。SWEP 製ガスクーラのサーマルサイクル試験の仕様を決定した。

(2) 機械・化学産業分野の高温熱供給に適した冷媒とヒートポンプシステム技術開発

「ヒートポンプ技術導入プロセス調査」では、特に有望なプラントプロセスを 3 件抽出して、運転状態把握のための計測を開始した。運転実態を分析して、熱収支、エネルギー消費量等を把握した。

「低 GWP 冷媒候補の開発および物性情報の構築」では、新型冷媒候補の熱安定性・安全性・環境影響を評価し、候補冷媒 A の熱力学的性質、輸送性質データを取得した。また、候補冷媒 A2 に関してより安価な触媒を用いた合成検討を実施して高選択率、触媒の長寿命を確認し、亜急性毒性試験で低毒性であることも明らかにした。さらに、候補冷媒 B3 及び B5 に関して合成検討を進めるとともに、候補冷媒 B3 の熱安定性評価を開始した

「ヒートポンプの開発と特性評価」では、冷媒に R-134a を用いた検証機で、高ヘッドインペラでの運転可能範囲を確認した。さらに候補冷媒 A1 に入替えて高温条件での試験を開始した。候補冷媒 A1 雰囲気下で、潤滑油粘度が実使用条件に近い条件

での軸受温度計測を実施し、軸受内輪温度差は従来傾向とは異なることを確認した。そこで、実運転状態における軸受温度の伝熱モデルを作成し、実測結果との合せ込みを完了した。候補冷媒 A3 用潤滑油は RB160A-2 を最適とし、高温使用限界を確認した。160℃出力機において、候補冷媒 A1 及び A3 での不適合材料に対する代替材料でのエラストマ材料評価を行った。

(3) 低温駆動・低温発生機の研究開発

「低温駆動基本サイクル」では、前年度に製作した空冷式実用性確認用供試体により、低温排熱駆動にて 7℃の冷水が得られることを実証した。また、中間目標である 75℃熱源から-10℃の冷熱を発生する水冷式低温発生試作機の基本設計を完了した。

「低温発生技術」では、安全性に配慮した氷点降下剤を選定し、凍結温度、結晶特性、冷熱発生実験により低温発生サイクルへの適用見通しを得た。また、同氷点降下剤を混合した冷媒における低温冷熱発生時の蒸発伝熱性能を実測により評価した。

「新吸収剤」では、実用化候補とした吸収剤について熱物性の情報入手および腐食抑制技術を開発し、冷凍サイクル構成時の動作点、従来技術に対する作動範囲拡大の特性を試算した。

研究開発項目⑦「熱マネジメントの研究開発」

(1) 熱マネジメント材料の研究開発

「車載用高効率熱輸送システム」では、平成 27 年度に構築したループヒートパイプ評価システムでパラメータ実験を行い、シミュレーションモデルの高度化を図るとともに、蒸発器-リザーバ構造の見直しを行い、平成 28 年度の目標とした熱輸送距離/熱輸送量を達成した。

「材料研究」では、微粒子分散流体について、有機膜による粒子表面改質により粒子分散性等が向上、不凍冷媒において 1.6 倍以上の熱輸送特性向上を達成した。熱媒流体では代表的な会合性液体の直鎖の 1 価アルコールに対して分子動力学シミュレーションを実施し、分子間のクーロン力相互作用や水素結合の熱伝導率への寄与を解明した。

「熱計測技術」では、時間分解能 1ps の熱エネルギー移動評価装置にて SAM による固液界面の改質効果を測定し、金属/水界面の熱抵抗が最大 1/5 程度に減少することを確認した。

(2) 熱マネジメントの研究開発

「モータ領域」では、吸熱モジュール組み込み時の接合界面伝熱抵抗を低減可能にする新規材料を開発した。また、熱移動性能を高めつつ、熱移動面積を拡大するための新たな技術として、相変化を活用したモータ冷却コンセプトを構築した。さらに本コンセプトを適用した冷却システムを具体化し、基本性能を評価して中間目標達成の見通しを得た。

「インバータ領域」では、吸熱モジュールを構成するペルチェ素子の熱移動性能を計測し、その結果から発熱成分と伝熱抵抗成分を解析するための手法を構築した。また、吸熱モジュールの作製条件を検討し、材料分析により発熱成分を低減するための材料組成を明らかにした。これらの結果から、ゼーベック係数を向上させるための指針を導出し、中間目標達成の見通しを得た。

(3) 車両用小型吸収冷凍機の研究開発

「軽量化開発」では、軽金属構造で、新たに作動媒体の混合を抑制する形状を用いた装置の設計、システム化技術、腐食対策技術を確立した。

「作動媒体の開発」では、改良作動媒体の熱量測定を行い熱物性値の解析を行った。また、いくつかの作動媒体候補についての物性値計測結果から、車載環境下で運転可能な改良作動媒体候補を明確化した。

「分離壁構造開発」では、分離壁の基本特性の計測を行い、その結果を用いて、平膜式吸収器・再生器の製作・試験を行った。また、分離壁構造の性能シミュレータを用いて冷凍サイクル、機器構造の最適化を行なった。

(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

「吸着式冷凍システム」では、吸着熱交換器の薄型化による新規設計を行った。あわせて担持技術の改良としてバインダーの再選定と使用量の見直しを実施し、目標の吸着性能を達成した。

「吸着式冷凍サイクルのシステム開発」では、各コンポーネントの小型化と単位容積当たりの熱容量の見直しを行うことにより目標のシステム容積を達成した。さらに台上試験の連続運転において平均蒸発性能 1.2kW を確認した。

「吸着蓄熱システム等の開発」では、原理確認用のシステムを構築し、冬季を想定した温度条件における原理確認で設定した目標蓄熱量を確認した。冷媒の凍結についてはシステムにおける凍結の発生条件の追究と、凍結防止剤を付加した冷媒を試作して基礎特性の取得に着手した。

研究開発項目⑧「熱関連調査・基盤技術の研究開発」

「排熱実態の調査、研究開発／導入シナリオの検討」では、電力、清掃等 6 業種の未利用排ガス熱量を調査し、排出傾向を明らかにした。業務用民生分野の建物での熱損失調査を行い、実際の遮熱制御部材で得られた物性値を用いて、シミュレーションを行い、窓および窓以外の外皮を通して生じる熱移動を区分して、遮熱制御フィルム導入による暖冷房負荷低減の効果を数値化した。また、業務用空調システムの実働エネルギー効率評価法の開発を行い、室内機が 4 台接続された個別分散型空調システムに対し、主に冷房運転時における室内機運転パタンの違いがエネルギー効率に与える影響を実働試験により明らかにした。

「熱マネージメント部材の基盤技術の開発」では、モジュール評価装置のサンプル

ステージ裏面に光学式の変位計を設置し、 $1\mu\text{m}$ の分解能でサンプルステージの変位をin-situで観測することに成功した。昇温とともに変位が増大し、また電流変化によっても僅かに変位の変化があることを明らかにした。また、昇温時の接合部の変位の変化が故障するモジュールと故障しないモジュールで明らかな差が見られた。またヒートサイクルを実施した際も次第に変位が減少する様子を確認した。これらの感度分析から、劣化加速の条件下で変位計測を同時実施することで、劣化の様子を推定できることを明らかにした。

有機熱電材料の同時ゼーベック係数計測に取り組み、7時間で5試料同時計測に成功した。耐久性要因解明については雰囲気制御環境での同時ゼーベック係数測定装置での予備実験を行った。またプロジェクト内の関係機関が評価装置を使い、熱電素子の計測を行うことをサポートした。

本研究で開発した新型冷媒候補及び類似化合物の環境影響及び燃焼性の評価を実施した。新型冷媒候補1種、類似化合物1種について、OHラジカルとの反応速度測定による大気寿命評価、赤外吸収測定による放射強制力評価を行い、地球温暖化係数(GWP)を算出した。短寿命化合物向けの新評価法を導入した結果、2種のGWPをそれぞれ20、51に決定した。また、新型冷媒候補、類似化合物各1種について燃焼限界、燃焼速度、燃焼熱等の評価を行い、ISO燃焼性等級を決定した。新型冷媒候補は不燃性であり、類似化合物はクラス2Lに区分されることを明らかにした。

「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、高密度蓄熱が期待される化合物として、典型的な有機潜熱物質である糖アルコールを対象とした詳細な熱物性解析を実行した。計算により分子構造をデザイン、結晶構造を予測することで、糖アルコール類似の分子骨格を有する分子性化合物では、既存材料を大きく上回る潜熱蓄熱が可能であることを計算科学により理詰めで証明した。これにより、有機物質の基本構造を鋳型として分子を設計する場合には、蓄熱密度の上限は 500kJ/kg 程度であることが示唆されたため、さらなる高密度蓄熱を達成するには、別の蓄熱メカニズムを検討する必要があることを明らかにした。

熱関連材料を元素組成比を用いて統一的に記述する技術を確立し、物性値との相関を明らかにして物性データを評価・体系化する技術の開発を進めた。また定常熱物性値および熱エネルギーの蓄積・取出し速度に関わる4,500点以上の物性値をデータベースに収録し、技術交流会等でプロジェクト内に周知し、分室の要請に対応してデータを提供した。これに加えて、論文中の元素組成比を迅速にデータベース化する技術、グラフ中に描かれた曲線を高速でデジタル化する技術を開発した。

リンクトデータとして提供されている公共データなどから、プロジェクト遂行に有用な熱関連材料・部素材の各種熱物性情報を収集するとともに、定常的および非定常的な熱エネルギーの流れをエクセルギーフローとして表現する技術を開発した。

なお、ナノ材料技術の急速な進展等に伴い、近年様々な取り組みにより大きな性能改善の可能性が期待される「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」について、平成27年度より開始した6つのテーマの小規模研究開発は、研究を継続し、12月に外部有識者による研究開発の進捗状況審査を行って3つのテーマを本研究へ移行することとした。

さらに、「蓄熱技術」について小規模研究開発の公募を行い、5つのテーマを採択して研究開発を開始した。

4. 2 事業推移(平成29年1月31日時点)

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度
実績額推移 需給勘定 (百万円)	1,550 (経済産業省)	2,060 (経済産業省)	1,952 (NEDO)	1,500 (NEDO)
特許出願件数 (件)	1	44	87	80 小規模※：6
論文等発表数 (報)	6	85	122 他に解説等2	84 小規模※：35
展示会出展等 (件)	1	1	9	7

※「熱電変換材料の技術シーズ発掘小規模研究開発」によるもの

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 楠瀬 暢彦を任命して、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 エネルギー・環境領域 研究戦略部長 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 平成29年度(委託)事業内容

小規模研究開発で実施しているテーマを除き、基本計画に基づき本年度中に2回目の中間評価を実施する。

研究開発項目①「蓄熱技術の研究開発」

(1) 高密度/長期蓄熱材料の研究開発

「高密度蓄熱材料(低温用)の開発」、「高密度蓄熱材料(中/高温用)の開発」及び「長期蓄熱材料の開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「高密度蓄熱材料(低温用)の開発」では、10℃において、蓄熱密度 0.3MJ/kg を有するクラスレートハイドレート組成を材料評価により確立する。

「高密度蓄熱材料(中/高温用)」では、120℃以下で、蓄熱密度 0.5MJ/kg を有する酸・塩基反応を利用した化学蓄熱材料に要する修飾密度を定量化し、実現可能な合成プロセスを立案する。

「長期蓄熱材料の開発」では、平成28年度に明らかにした課題を踏まえつつ、-20～25℃環境下で、12h 以上の過冷却保持期間を実現する蓄熱材料組成の確立に向けて、モジュール評価により過冷却安定性を検証する。

(2) 車載用蓄熱技術(材料)の研究開発

「蓄熱構造体の開発」、「蓄熱材の低コスト化」、「蓄熱材の高密度化」及び「新規蓄熱材料の探索」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「蓄熱構造体の開発」では、引き続き合金組成探索を実施することに加え、マイクロ気孔率、製造方法が蓄熱構造体の熱伝導率に及ぼす影響を明らかにする。

「蓄熱材の低コスト化」では、MOF(金属有機構造体: Metal Organic Frameworks)の発熱特性の確認と吸着特性の改善、低再生温度化のため、シリケート多孔体への感温分子の in-situ 合成を検討する。

「新規蓄熱材料の探索」では、反応機構の詳細を解明すると同時に、妥当な反応モデルを提案する。さらに、一連の計算結果を踏まえて、蓄熱反応全体での律速段階を理論計算から推定する。

研究開発項目②「遮熱技術の研究開発」

(1) 革新的次世代遮熱フィルムの研究開発

「新規光学設計における超高精度積層技術の開発」及び「次世代遮熱用ポリマーの開発とその商品設計」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「新規光学設計における超高精度積層技術の開発」では、前年度に改造した積層装置を活用し、品位向上のための装置の設計、改造を行い、製膜を実施し、反射波長 850～1,400nm である革新的次世代遮熱フィルムの外観品位を向上する。

「次世代遮熱用ポリマーの開発とその商品設計」では、さらに省エネ効果の実証において、前年度に光学特性を改善した遮熱フィルムを用いて、壁の熱流入までを考慮した高精度な新省エネ効果測定手法を用いて、年間を通じた評価を行い、遮熱フィルムの遮熱性能と実際の省エネルギー効果との関係を明らかにする。

研究開発項目③「断熱技術の研究開発」

(1) 断熱材料の研究開発

「産業炉/熱マネージメントシステムの開発」、「高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発」、「耐高温高効率蓄熱放熱システムの開発」、「高効率廃棄ガス熱回収システムの開発」及び「高効率産業/工業炉における検証」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「産業炉/熱マネージメントシステムの開発」では、産業/工業炉のエネルギー効率向上目標（排熱削減率 50%以上）を達成するための基礎設計を実施し、熱マネージメントシステムを確立、基礎設計を完了する。

「高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発」では、1,500°C以上で使用可能なファイバーレス断熱材作製にあたり、原料種や気孔サイズ等が強度、熱伝導率へ与える影響を整理し、中間目標達成を実現する最適な作製条件を総合的に判断する。また、並形形状ファイバーレス断熱材料の試作を完了するとともに、その特性評価及び課題抽出を実施する。

「耐高温高効率蓄熱放熱システムの開発」では、既存蓄熱装置と比較して蓄熱放熱速度 2 倍以上の蓄熱装置の試作と実証を行うとともに、実機 2,000 時間相当の耐久性を達成する材料ベースでの最適化を行う。

「高効率廃棄ガス熱回収システムの開発」では、産業/工業炉にて 1,500°C以上で使用可能な熱交換器の設計を完了、実証試験を実施する。

「高効率産業/工業炉における検証」では、各装置を総合的に評価するためのシステムを追加し、実際の産業/工業炉に向けた条件の検証を行う。更に、産業/工業炉における 50%以上の排熱削減を可能とする炉構造設計を実施、完了する。

研究開発項目④「熱電変換材料・デバイス高性能高信頼化技術開発」

(1) 高性能熱電材料及びモジュールの開発

「熱電材料の高速合成・評価技術開発」、「導電性高分子材料・素子の研究開発」及び「炭素系熱電変換デバイスの技術開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「熱電材料の高速合成・評価技術開発」では、3 元系、4 元系等、多元系金属間化合物について系統的な材料探索を行い、YbAl₃ 等 f 電子を含む化合物で出力因子 $PF > 0.007\text{W/mK}^2$ の新熱電材料を開発する。また 122 系材料の組成最適化を進め、高温で性能指数 $ZT > 1$ の熱電材料を開発する。金属カルコゲナイドの組成最適化を行い $ZT > 2$ を実現する。また、小規模研究開発の成果を融合した研究開発を行い、テルル化鉛において、ナノ構造の形態と作製プロセスの最適化を実施して、再現性良く高い熱電性能指数 $ZT > 2.5$ を達成する。

シリコン系化合物、ハーフホイスラー合金等の組成最適化を進め、性能指数 $ZT > 1$ の実現を目指す。またこれらの環境調和性に優れたモジュール製造を可能とする熱電

素子プロセス技術の開発を目指す。

無機・有機ハイブリッド材料の実用化にむけて、高出力フレキシブル発電デバイス構築のための低コストプロセスを開発する。

「導電性高分子材料・素子の研究開発」では、継続してハイブリッド材料のPF向上とモジュール出力密度の向上に取り組み、組成制御により $PF300 \mu W/mK^2$ を上回るPFを目指す。温度差 35 度以内で $20 \mu W/cm^2$ の出力密度達成を目指す。特に富士フイルム社とも連携し導電性高分子ハイブリッド材料、CNT 材料のモジュール化を目指した薄膜評価、素子評価を担当する。

「炭素系熱電変換デバイスの技術開発」では、カーボンナノチューブ-高分子複合熱電材料の微細構造制御を通じて、 $700 \mu W/K^2m$ 以上の出力因子を示す材料の作製技術の構築を行う。また、効率的に温度差をかけることのできる新規モジュール構造の開発を行う。

(2) 熱電デバイス技術の研究開発

「熱電材料の開発」、「熱電デバイスの開発」及び「熱電発電システムの開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「熱電材料の開発」では、 $ZT=1.25$ の熱電性能、且つ $600^\circ C$ の耐熱性を有するスクッテルダイト系熱電材料を開発する。

「熱電デバイスの開発」では、変換効率 $\eta=10\%$ のデバイス技術開発に目途をつけて、2年以上の耐久性を有する熱電デバイス技術を確立する。

「熱電発電システムの開発」では、熱電発電ユニット基本技術を開発し、構造、熱流体シミュレーション技術を用いて、出力 100W の熱電発電ユニットを設計、試作する。

(3) 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証」及び「新熱電変換材料の開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「システム向上の検討」では、エネルギー利用効率向上仕様の数 10~数 100kW クラスのコージェネへの適用ケーススタディにより、中、大容量システムへの展開を含めた電気・熱統合設計仕様と熱電変換材料仕様を机上検討で確定する。

「新熱電変換材料の開発」では、以下の 3 つの検討を通じて $ZT=2$ 材料を提案する。低熱伝導率化を実現したマンガンシリサイド薄膜において、元素置換により出力因子を向上する。また、小規模研究開発で高出力因子を実現したマンガンシリサイドバルクにおいて、薄膜で実証した熱伝導率低減メカニズムとなる粒界相添加を行う。高 ZT 新規材料としてシミュレーション提案したカルシウムシリサイドの単相化と元素置換を行う。

(4) フレキシブル有機熱電材料及びモジュールの開発

「CNT 及び周辺材料の開発」及び「フレキシブル熱電変換モジュールの開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「CNT 及び周辺材料の開発」では、CNT の熱電性能の可能性を最大限引き出すべく、多面的な観点での検討等により、性能の飛躍的向上に向けた指針を得る。

「フレキシブル熱電変換モジュールの開発」では、広範なニーズに対応するためのモジュールの構造設計とプロセス開発により性能改良を進めるとともに、良好な性能を持つ開発材料を組み合わせることにより、モジュール出力の大幅な改善を図る。

(5) 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」及び「モジュール化に関する技術開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「性能指数向上に関する技術開発」では、結晶構造や組成の異なるタイプのクラスレート化合物に着目して高性能な材料の探索を行うとともに、特徴的な試作方法を複数検討することで性能指数を高める技術を積み上げ、発電効率 10%を越えるモジュールを構成する p 型素子ならびに n 型素子を開発する。

「モジュール化に関する技術開発」では、多接合型オールクラスレートモジュールの構造を設計・試作し、低温側を室温、高温側を 800°C とした条件下で評価を行い、発電効率 10%を超える特性を狙う。また、実用化を念頭に開発材の用途を検討する。

(6) 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

「Mg₂Si 熱電変換材料・発電素子の量産化技術」及び「車載用熱電発電モジュールの開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「Mg₂Si 熱電変換材料・発電素子の量産化技術」では、平成 28 年度に開発した φ100mm 焼結体製造技術を中心に前後工程の設計、ラインレイアウトの設計及び生産能力（ラインバランス）の評価を行い、量産ラインの設計を完了する。

「車載用熱電発電モジュールの開発」では、素子形状の最適化、部品間接合方法の改善、性能向上した素子のモジュールへの取り込みによる出力性能の向上により、大型化モジュールで 1.0 W/cm² 以上の出力性能を持つモジュールの開発する。

また、耐久後のモジュールの劣化箇所の把握及び改善策の検討・実施を行い、耐久性 2,000 時間以上のモジュール開発を行う。

研究開発項目⑤「排熱発電技術の研究開発」

(1) 排熱発電技術の研究開発

「高効率小型排熱発電技術開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

出力 1kWe クラスでは、平成 28 年度に明確化した低 GWP & 不燃冷媒に適合し発電効率 14%を実現するシステムとデバイスの技術手段に基づき、発電効率 14%以上を実証する。また出力 1kWe クラス用の膨張機とポンプに関して、平成 28 年度に着手した信頼性評価により 1 ヶ月程度の耐久性を確認する。出力 10kWe クラスでは、平成 28 年度に抽出した 10kWe 膨張タービンと気体軸受の技術課題に対して、要素検証により

課題解決手段を明確化する。

研究開発項目⑥「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

「遷臨界サイクルヒートポンプの最適化技術の開発」、「ターボ圧縮機技術の開発」及び「高温高圧熱交換器の開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「遷臨界サイクルヒートポンプの最適化技術の開発」では、中間目標である80→160℃加熱が可能な加熱能力 300kW 級のヒートポンプ試作機および付帯設備の製作・工事・性能試験を行う。なお、中間目標の評価項目については、性能試験結果と一部解析シミュレーションにより行う。

「ターボ圧縮機技術の開発」では、前年度回転試験を行ったターボ圧縮機をヒートポンプ試作機に組込んで、性能試験を行い、中間目標の断熱効率、圧力比等の性能を確認する。

「高温高圧熱交換器の開発」では、ヒートポンプ試作機性能試験により得られた熱交換器データを解析することにより、最適化シミュレーション技術の精度を向上させ、高温高圧熱交換器の設計・製造手法を確立する。

(2) 機械・化学産業分野の高温熱供給に適した冷媒とヒートポンプシステム技術開発

「ヒートポンプ技術導入プロセス調査」、「低 GWP 冷媒候補の開発および物性情報の構築」及び「ヒートポンプの開発と特性評価」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「ヒートポンプ技術導入プロセス調査」では、引き続き実測により運転実態を把握すると共に、実用に供するプロセス構成の基本計画と投資回収効果を明らかにする。

「低 GWP 冷媒候補の開発および物性情報の構築」では、新型冷媒候補(B)の毒性評価を実施すると共に、熱安定性評価試験により 200℃用の候補冷媒の絞込みを行う。さらに冷媒候補 A 及び冷媒候補 B の物性情報を取得する。

「ヒートポンプの開発と特性評価」では、高温用高性能凝縮器の最小ユニットにおいて、冷媒候補 A に関する凝縮熱伝達予測法の実機への妥当性を検証する。さらに冷媒候補 A を用いて最高出力温度 160℃までのドロップイン試験を行い、160℃以上の温熱出力が可能な実機の計画図を作成すると共に、200℃の温熱出力が可能なヒートポンプの成立性評価を行う。

(3) 低温駆動・低温発生機の研究開発

「低温駆動基本サイクル」、「低温発生技術の開発」及び「新吸収剤」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「低温駆動基本サイクル」では、冷凍サイクルを多段化した水冷式低温発生試作機により中間目標である 75℃熱源から-10℃の冷熱が発生することを実証する。

「低温発生技術の開発」では、平成 28 年度に選定した氷点降下剤の実用化に向けた

物性データ取得を継続し、水冷式低温発生試作機への適用による -10°C 発生サイクルの実証、 -10°C 以下の発生に向けた異なる冷媒の選定と物性値、サイクルの検討を進める。

「新吸収剤」では、平成28年度のサイクル試算結果および腐食抑制技術を反映し、新吸収剤を採用した小容量冷凍サイクルを試作し、冷却水温度 35°C 以上で動作することを実証する。

研究開発項目⑦「熱マネジメントの研究開発」

(1) 熱マネジメント材料の研究開発

「車載用高効率熱輸送システム」、「材料研究」及び「熱計測技術」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「車載用高効率熱輸送システム」では、新しい蒸発器構造を設計、製作し、中間目標の熱輸送距離/熱輸送量の実現を目指すとともに、最終目標に向けての課題の洗い出しを行う。

「材料研究」では、微粒子分散流体について、粒子表面改質の最適化により分散性を向上させ1.8倍以上の熱輸送特性を向上させる。熱媒流体では水等に対する解析結果を加えて、会合性液体の分子熱輸送特性を明らかにする。実用上も重要なフルオロカーボン等に対する結果を総合し、網羅的なデータ整備と共に熱媒の設計指針を示す。

「熱計測技術」では、厚さ10 nmレベルの界面改質層および界面の熱抵抗量の定量的な評価技術を確立し、界面熱移動の促進に対する表面改質層の選択方針を提示する。

(2) 熱マネジメントの研究開発

「モータ領域」及び「インバータ領域」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「モータ領域」では、相変化を用いた冷却システムの性能をモータ運転状態で検証することで、課題、ポテンシャルを明らかにする。また、系全体において熱移動を妨げる要因について解析を行う。これらの知見に基づいて、性能を解析可能なモデルを構築し、中間目標の達成を確認するとともに、相変化による冷却システムをモータに適用するための設計指針を導出する。

「インバータ領域」では、吸熱モジュールの熱移動性能の更なる向上を図るためのメカニズム解明を行う。これらの知見に基づいて、要素技術を組み合わせた吸熱モジュールを構築し、熱移動性能を実証する。また、複数の冷却機能の組合せについて、モデルを活用して検討し、中間目標達成を確認するとともに、インバータに適用するための設計指針を導出する。

(3) 車両用小型吸収冷凍機の研究開発

「軽量化開発」、「作動媒体の開発」及び「分離壁構造開発」について研究開発を行

い、中間目標の達成を目指す。

「軽量化開発」では、排熱を回収する装置を軽量化するための構造設計やシステム化技術、および腐食対策技術を確立する。

「作動媒体の開発」では、改良作動媒体候補の物性値計測結果に基づき、総合的な観点から媒体を最適化する。

「分離壁構造開発」では、分離壁構造のセミスケール装置を試作し、各要素の性能確認、全体システムの運転確認を行う。

(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

「吸着熱交換器開発」、「吸着式冷凍サイクルのシステム開発」及び「吸着蓄熱システム等の開発」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「吸着熱交換器開発」及び「吸着式冷凍サイクルのシステム開発」では、平成28年度に構築した吸着式冷凍システムでの車載状態におけるシステム制御の最適化を実施する。これにより平均蒸発性能における目標値の実証と車載時のシステム課題の抽出を行う。

「吸着蓄熱システム等の開発」では、平成28年度検討した凍結防止剤を付加した試作冷媒による冬季を想定した温度条件における蓄熱量確認と、凍結発生条件での効果確認を行う。また原理確認システムにおける課題の明確化と小型高出力化の検討により、車両搭載可能なシステム容積を明確にする。

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」、「業務用民生分野の建物での熱損失調査」、「業務用空調システムの実働エネルギー効率評価法の開発」、「熱マネージメント部材の評価技術開発」及び「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」について研究開発を行い、中間目標の達成を目指す。

「排熱実態の調査、研究開発／導入シナリオの検討」では、電力、清掃等6業種の固体、温水からの未利用熱量を推定し、定量評価できる形としてまとめる。

「業務用民生分野の建物での熱損失調査」では、遮熱フィルムの熱的負荷に対する改善と問題を分析し、プロジェクト内の関係機関と連携して物性改善の指針を得る。

「業務用空調システムの実働エネルギー効率評価法の開発」では、主に暖房運転時における多様な室内機運転パターンに対する実働評価試験を行い、これまで得たデータから多様な気候地域および室内機運転パターンに対応した実働エネルギー評価法の改良を行う。

「熱マネージメント部材の評価技術開発」では、平成28年度に確立したモジュールの耐久性評価手法を活用し、モジュールの動作条件と劣化挙動のデータを引続き収集する。また温度差サイクルや電流印加サイクルなどの発電試験条件についても検討

し、効果的な劣化加速条件を見出す。このことで短時間評価により長期耐久性を推定できる加速試験方法を開発し、これを活用して10年の耐久性を確保するための電極構造の作成技術を確立する。当該試験方法はプロジェクト内の関係機関に利用を促し、実用化に向けたモジュール開発を加速する。

有機熱電材料評価に関しては、新規評価技術をプロジェクト内の関係機関に継続して利用を促し、さらなる材料やモジュールの熱電性能向上、耐久性向上に役立てる。また、有機熱電材料の断面の微細構造を電子顕微鏡観察する手法を確立する。

本プロジェクトで開発した新型冷媒候補等の環境影響評価として、OHラジカルとの反応速度定数の測定、ならびに赤外吸収スペクトル測定を行い、地球温暖化係数(GWP)を決定する。また、燃焼性評価として、燃焼限界及び燃焼速度の測定、及び燃焼熱計算等を行う。これにより、3種の新型冷媒候補についてEPA及びISOへ申請可能な状態にする。さらに、これまでに取得した環境影響データや燃焼性データ、計算科学的手法による解析結果等に基づいて冷媒構造をカテゴリー化し、環境影響及び燃焼性の見地から好ましい(目標値:GWP<150、燃焼速度<10cm/s)冷媒構造を提示する。

「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、化学蓄熱のメカニズム解明について、計算科学研究を継続する。また、熱電変換と伝熱関係の計算研究を継続する。蓄熱研究に関しては、プロジェクト内の関係機関で実施中の新規蓄熱材の探索や熱物性データベースとの連携を進め、化学蓄熱反応のメカニズムを追及して分子レベルでの反応機構解明と、高密度化学蓄熱を達成する物質と構造の機能相関の解明に着手する。

元素組成比により組成が記述された熱関連材料において異なる相に関する生成エンタルピーやギブスエネルギーなどの熱力学関数の情報を収録し、熱関連材料の組成に加えて構造に関する定量的指標と熱特性の定量的表現である熱物性値との相関を解析する技術を開発する。定常熱物性値、熱エネルギーの蓄積・取出し速度及び熱エネルギーの輸送と熱電変換に関わる2,000点以上の物性値をデータベースに収録してプロジェクトにおいて共有する。それらのデータを組成・構造・機能(物性値)のいずれからも多次元的に関連づけて体系的に表示する機能を提供し、熱関連材料データベースに収録されたデータセットを体系的に閲覧し、未知の材料の物性値を推算するための基盤情報を提供する。また、本年度までに進めた研究開発により得られた知見を統合することにより、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を明確化する。

なお、小規模研究開発のテーマについては、今年度末までに研究開発の進捗状況を審査し、平成30年度以降の方向性を定める。

5. 2 平成29年度事業規模

委託事業

需給勘定 650百万円（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。中間評価を平成29年8月に実施する。

(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) 複数年度契約の実施

調査委託等を除き、平成28～29年度の複数年度契約を行う。

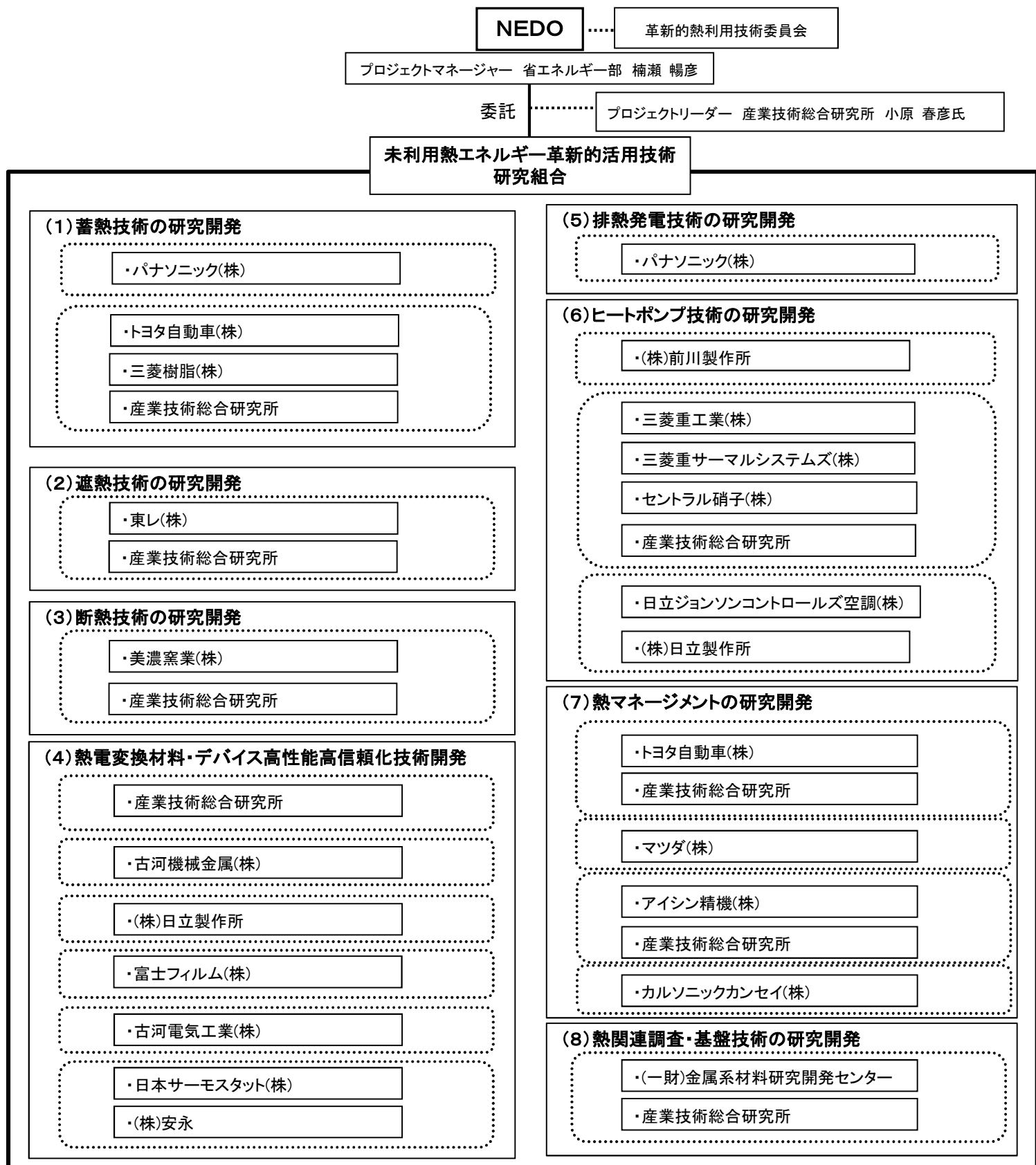
(4) 知財マネジメントに係る運用

「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) 平成29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 (その1)



共同実施

早稲田大学・東京工業大学・名古屋大学・東北大学・岡山大学・大阪大学・東京大学・山口東京理科大学・東京理科大学・物質材料研究機構・広島大学・九州大学・佐賀大学・八戸工業大学・宇都宮大学・建築研究所・北陸先端科学技術大学院大学・長岡技術科学大学・北海道大学・豊田理化学研究所・理化学研究所・奈良先端科学技術大学院大学

(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 (その2)

