

平成27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

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項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事が重要である。

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 850～1800nm）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 850～1400nm）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) 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) 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) 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 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およ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およ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°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開発
- 2) 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開発
- 3) 工場等にて、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°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

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°Cまでの供給温度範囲に対応し、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開発
- 2) 60°C以下の熱源で、供給温度-10°C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°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
- 2) 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

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 3000W、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およ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 1500W、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. 事業内容

平成27年度は、プロジェクトリーダーを選定すると共に、以下の研究開発を実施する。

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。

4. 1 平成27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」「高密度蓄熱材料(中/高温用)の開発」「長期蓄熱材料の開発」について、それぞれの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、低過冷却・高応答のクラスレートハイドレートを確立する。「高密度蓄熱材料(中/高温用)の開発」では、酸・塩基反応を利用した化学蓄熱材料を創出するとともに、材料調査により蓄熱密度 1MJ/kg 以上を有する蓄熱材料の実現可能性を判断する。「長期蓄熱材料の開発」では、12h 以上の保持期間を実現する水和塩蓄熱材を確立するとともに、過冷却解除機構を構築して蓄熱モジュールを確立する。

(2) 車載用蓄熱技術（材料）の研究開発

「蓄熱構造体の開発」「蓄熱材の高密度化」「新規蓄熱材料の探索」について、それぞれの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、オープン及びクローズドセル型ポーラス構造の最適製造方法を開発し、蓄熱材との複合体の実効熱伝導率の向上を検証する。「蓄熱材の低コスト化」では、未反応原料のリサイクル及び安価原料の製造技術最適化による高効率製造技術を完成させる。また、実用化に向けた寿命予測の可能性を見極める。「蓄熱材の高密度化」では、親疎水が温度変化する感温高分子を多孔体内に形成したハイブリッド蓄熱材を合成し、蓄熱・再生温度の制御性や分子／細孔内構造による影響を把握する。「新規蓄熱材料の探索」では、既存材の蓄熱シミュレーションから蓄熱量の相関パラメータを抽出し、材料研究の方向性を提案する。冷暖房等における熱搬送の効率化を行うシステムの構築を目的とした以下の研究開発を行い、現状システム比 1.5 倍以上の効率向上を実証する。

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

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。前年度に製作した新規積層装置を活用し、反射波長 850~1400nm である革新的次世代遮熱フィルムのパイロット基本製膜技術の確立を目指すと共に、本フィルムへ適用する新規ポリマーについて、重合基本技術の確立を行う。さらに革新的次世代遮熱フィルムの省エネ性能評価及び窓へ貼合する粘着剤及び窓材へのラミネート加工技術の開発を行う。

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

以下の研究開発により、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、ラボスケール検証炉の熱収支を検証する。

「高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発」では、1500℃以上で安定な断熱材原料の選定と大型化技術を検討し、「耐高温高効率蓄熱放熱システムの開発」では、シェル型蓄熱部材や化学蓄熱材の性能を評価し、それぞれラボスケール検証炉への組み込みを行う。「高効率廃棄ガス熱回収システムの開発」では、試作熱交換器の 1500℃以上での効率を評価する。

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) 高性能熱電材料およ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」、「炭素系熱電変換デバイスの技術開発」について、それぞれの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、薄膜試料および小型バルク試料において高速な合成技術および評価技術を確立する。内部に積層構造やナノ構造を有する熱電材料について、出力因子とナノ構造の関係を明らかにし、熱電性能向上の指針を確立する。「導電性高分子材料・素子の研究開発」では、ナノ構造化の導入等でより高い ZT を目指す。「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を用いた熱電材料において、その微細構造と熱電特性の相関関係の研究を通じて、高性能化に向けた材料内微細構造の設計指針を創出し、これを元に性能の向上を行う。

(2) 熱電デバイス技術の研究開発

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「熱電材料の開発」では、 $ZT \geq 1.1$ のスクッテルダイト系熱電材料の性能向上に必要な要因を究明する。「熱電デバイスの開発」では、熱電デバイスの耐久性試験を継続的に行い、変換効率 $\eta = 8\%$ 、600℃において1年以上の耐久性を有する熱電デバイスの製造技術を確立する。

(3) 熱電変換による排熱活用の研究開発

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。5～10kW のガスコージェネ装置を導入し、熱電変換モジュールを本コージェネへ組み込み、コージェネの排温水から熱電変換による電気出力性能の評価を実施する。第一原理計算とスパッタ製膜を相互連携し高ゼーベック係数熱電変換材料であるシリコン系化合物の低熱伝導率化と組成・元素調整により ZT 性能向上を検証する。

(4) フレキシブル有機熱電材料およびモジュールの開発

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「高機能導電性ポリマーの開発」では、熱励起効率の高い材料に高いキャリア移動度を付与する開発を進める。「CNT および周辺材料の開発」では、分散、配向状態を制御する材料開発に加え、新たな添加剤開発の方針を定める。「無機熱電材料を利用した熱電変換材料の開発」では、ナノ粒子化無機材料と有機材料のハイブリッド化を進め、諸課題への技術開発とフレキシビリティ付与のための指針を得る。「フレキシブル熱電変換モジュールの開発」では、印刷用熱電材料、プロセス、モジュール構造の開発と試作による性能試験を進める。

(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

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「高性能化に関する技術開発」では、ナノ組織のサイズを制御し、熱電特性を向上する技術を研究し開発する。「p 型特性発現に関する技術開発」では、構成元素の組成比を制御して、p 型特性を発現させる組成を得る条件を検討する。「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化を目的に、電極接合に関する技術を開発する。

(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

以下の研究開発により、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、φ70 焼結体製造プロセス及び電極形成技術の開発を行う。「車載用熱電発電モジュールの開発」では、発電素子配線および熱設計最適化によるモジュール内素子の高充填化とモジュールの高出力密度化開発を行うとともに、車載インターフェースに整合したモジュール構造のチューニング及びモジュール耐久試験を行う。

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

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「高効率小型排熱発電技術開発」では、200℃以下の中低温排熱に対し、低 GWP・不燃冷媒の基本仕様を明確化するとともに、出力 1kWe クラスの小型排熱発電サイクルの要素技術を確立し、実工場排熱を利用した発電実験を実施し課題を明確化する。出力 10kWe クラスでは高効率小型膨張タービンと高速軸受の基本要素技術を確立し、小型膨張タービン単体性能評価を実施し特性を解明する。「出力 50kWe クラスの余剰蒸気利用排熱発電技術開発」では、要素試作、回転試験を実施し、翼車基本仕様を確立する。

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

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。前年度までに開発したマルチフィジックス統合解析シミュレータを用いて、様々な運転条件における解析を行い、試作するヒートポンプシステムの詳細設計を行う。ターボ圧縮機・膨張機について、試作機試験装置により性能試験を行い、中間目標 COP の達成可能性を評価する。また、小型モデルでの試作熱交換器の伝熱特性試験、使用材料の耐熱性試験等を行い、熱交換器の最適化シミュレーション技術を確立、試作機製作の見通しを得る。

(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

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「冷媒開発」では、新型冷媒候補(A)の安定性・安全性評価の継続と熱力学性質および輸送性質の測定による物性式の構築、ベンチスケール設備による製造工程の検討および評価用サンプル製造を実施する。また、前年度に構築したデータベースを活用して新型冷媒候補(B)の探索と対象化合物の合成検討、安全性評価を行う。「機器開発」では、各種ヒートポンプサイクルの熱力学的性能解析に基づいたサイクル構成の選定と凝縮伝熱特性の評価を実施する。

(3) 低温駆動・低温発生機の研究開発

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「低温駆動基本サイクル」では、前年度に製作した水冷式実用性確認用供試体により熱源温水下限 60°Cで駆動可能なヒートポンプ冷水発生サイクルの性能評価を行うとともに、二段再生吸収を採用した空冷式供試体を開発する。「氷点降下剤を用いた新冷媒」では、原理確認実験装置による氷点下発生サイクルの挙動、耐用年数 15 年を目標とした防食効果を明らかにする。さらに、凍結温度-30°Cを目標とした混合冷媒物性の基礎検討を進める。「新吸収剤」では、調査済み物性値によるサイクル計算を進め、空冷熱交換器の要素伝熱評価を行う。

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

以下の研究開発により、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、ループ式ヒートパイプ(以下 LHP)のメカニズム解析と材料の研究開発を推進する。「材料研究」では、ナノ流体及び種々の熱媒体の物性評価や単相流伝熱試験を実施し、最適な伝熱流体の設計指針を確立する。「熱計測技術」では、材料評価データを取得、固液界面における熱移動現象についてのメカニズムを解明し、熱輸送促進と熱損失低減の両方向の界面制御に向けた指針を提供する。

(2) 熱マネジメントの研究開発

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「モータ領域」では、コイルエンド用吸熱モジュールの性能向上のための組み付け構造、および試作品の製造技術を明らかにする。「インバータ領域」では、パワーデバイス用吸熱モジュールの制御技術を確

立し、駆動条件と吸熱能力の関係を求める。吸熱モジュール構造付パワーデバイス（単体）の性能計測とモデル化を用い、局所的な熱移動効果を明確にする。これを包含するインバータや車両の熱流モデルに組み合わせ、システムレベルの性能を評価する。これら実機とモデルを用い、中間目標達成に向けたシナリオと研究計画を策定する。

(3) 車両用小型吸収冷凍機の研究開発

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「軽量化開発」では、前年度に製作した軽合金化した試作機の性能への影響を確認し課題を抽出する。評価中及び評価完了後にデバイス内部腐食状況を確認して、課題の抽出と対策案を検討する。「作動媒体の開発」では、絞り込んだ作動媒体の混合比をパラメータとして結晶化温度、粘性係数を測定する。「分離壁構造開発」では、分離壁を用いて目標仕様を満たす再生器、吸収器の形状、表面状態などを検討し最適設計を行い、分離壁型吸収冷凍サイクルと分離壁型吸収器、再生器の振動時の溶液の飛散状況の評価する。

(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

以下の研究開発により、中間目標の達成を目指す。「吸着式冷凍システム」では、前年度に開発した吸着材でシステム性能を取得し、吸着材・熱交換器の課題を抽出する。また、安定的に性能が得られる様に吸着式冷凍システム運転制御開発を実施すると共に本システムの車載検討に着手する。「廃熱回収システム」では、排気熱からの回収に加えエンジンからの廃熱も回収できるシステム検討を実施する。また、高温対応熱輸送デバイス検討、蓄熱材の選定及び蓄熱器の検討を行い、廃熱回収システムとしての開発を着手する。

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ジメント材料の基盤技術の開発

以下の研究開発により、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、工場現地調査とヒアリング調査を実施し、データ整備を行う。また、各種部素材開発に要求される熱的仕様を検討し、研究開発シナリオ検討の基盤となるデータを蓄積する。「熱マネジメント部材の評価技術開発」では、引き続き新規熱電材料のモジュール化試験を行うとともに、発電性能の経時変化データを収集・分析し、電極材料や接合方法などの改善を行う。また、プロジェクト内で新規開発された冷媒候補等について、OH ラジカルとの反応速度の測定、大気寿命やGWP等の環境影響評価を行うとともに、燃焼限界、燃焼速度等の燃焼性評価を行う。「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、計算シミュレーション技術の整備・利活用を行いつつ、代表的な既存材料のシミュレーションを実行し新規物質探索の指針を提供する。また、ソフトウェアを組合内で公開しその活用を支援する。熱物性データの収集と整備を行うとともに、物性値の相関解析技術、物性データの評価技術の開発を進め、プロジェクトの遂行上重要度の高い物性データについて体系化さ

れた高品位のデータセットを提供する。

また、中間評価終了後に、プロジェクト全体の成果についての標準化に関する方針の検討を行う。

4. 2 平成27年度事業規模

委託事業

需給勘定 1,850百万円（新規）

事業規模については、変動があり得る。

5. 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、外部有識者による研究開発の中間評価を平成27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、最終年度もしくは終了翌年度中に、本研究開発の成果を成果報告会等で公開する。

(3) 知財マネジメントにかかる運用

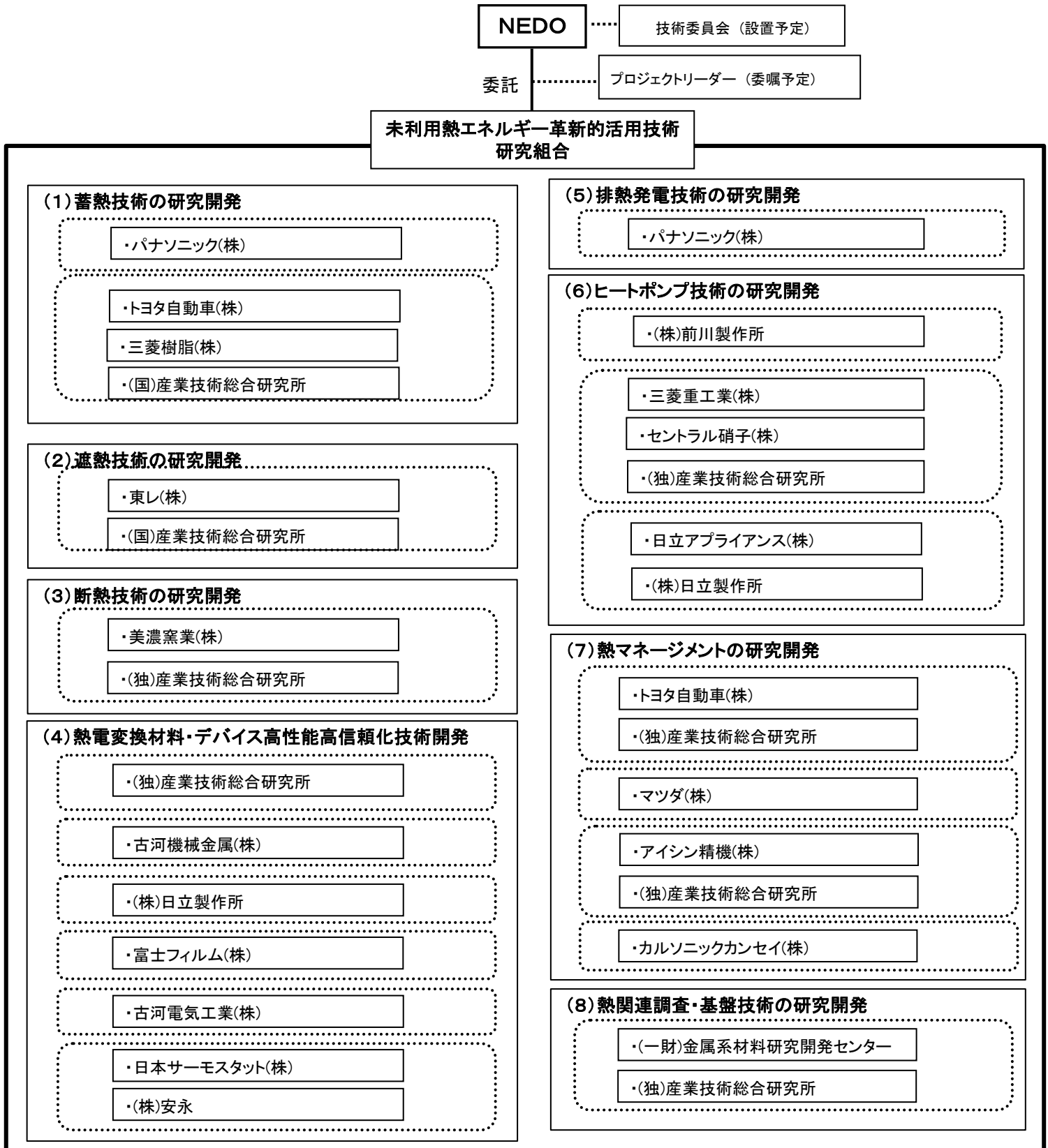
「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

6. 実施方針の改訂履歴

(1) 平成27年3月 制定

(2) 平成27年5月 実施体制決定等による体制図の追加により改訂

(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



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