

TODAY

2020 年度上期の主な事業活動

(一財) 金属系材料研究開発センター 専務理事 小紫 正樹

日頃、弊センターの研究開発や調査研究等の各事業活動に対し、皆様方のご支援・ご尽力を賜り厚く御礼申し上げます。

お蔭様で、2020 年度上期（2020.4.1～2020.9.30）の当センター事業は順調に進捗しております。この紙面をお借りし、2020 年度上期事業の概要をご報告させていただきます。

2020 年度上期は、前年度からの継続の研究開発事業として表 1 の研究開発プロジェクトを円滑に進めています。

また、地球環境問題、資源・エネルギー問題の解決に寄与する等わが国の社会、経済の向上に貢献し、国際競争力を有するわが国材料産業の競争力をさらに向上させるようなプロジェクトについて、新規案件テーマの提案、企画応募に積極的に参加しました。その結果、2020 年度の新

規案件として、表 2 の 3 件の研究開発プロジェクトの採択を得ることができました。

さらに、これまでに、国等からの受託研究が終了したテーマについては、必要に応じ、継続研究及びフォローアップを進めています。

JRCM ニュースや JRCM インターネットホームページによる情報提供を行っており、JRCM ニュースは、2020 年 12 月号をもって創刊以来通算 410 号となりました。

皆様ご存じの通り、材料はすべての社会、経済活動の基礎であり、その技術レベルが、地球規模の問題の解決、需要産業の競争力に大きな影響を与えます。当センターは材料研究の推進を主な設立目的とする機関として、効率的な研究開発の実施を通じて、地球環境問題、資源・エネルギー問題の解決に寄与する等社会、経済の向上への貢献に努めるとともに、材料研究の重要性について広く情報発信を行ってまいりますので、今後とも、引き続き、ご関係の皆様方のご支援をよろしくお願いいたします。

表 1 2019 年度から継続実施中の研究開発テーマ

課題名と研究期間 [委託元]	概要
次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発 [経済産業省・NEDO 技術開発機構] 2012～2021 年度	レアアースに依存しない革新的な高性能磁石の開発を行うと共に、新規磁石、新規軟磁性材料の性能を最大限に生かして更なる高効率を達成できるモーター設計の開発を行うことで、次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの省エネ化・競争力を確保し、我が国産業全体の活性化に寄与することを目指します。
未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発 [経済産業省・NEDO 技術開発機構] 2013～2022 年度	産業及び運輸等の分野において、利用されることなく環境中に排出されている膨大な量の熱エネルギーを削減・回収・利用する要素技術を革新し、システムとして確立することで省エネ・省 CO ₂ を促進するため、蓄熱・断熱・遮熱・熱電変換、排熱発電、ヒートポンプ技術等について開発を行います。
超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発 [NEDO 技術開発機構] 2018～2022 年度	水素ステーションの低コスト化と鉄鋼材料の安全利用を目的に、高压水素ガス環境における各種鉄鋼材料の静的強度及び延性、疲労強度、等を評価し、使用可能条件範囲（温度、ガス圧力）を明確にして最適な鉄鋼材料の選択指針を提示するとともに、冷間加工時や溶接時の水素適合性に関するデータを取得して鉄鋼材料の高压水素環境への適用技術の向上と拡大等を目指します。
鉄鉱石の劣質化に向けた高級鋼材料創製のための革新的省エネプロセスの開発（助成） [NEDO 技術開発機構] 2019～2023 年度	将来の鉄鉱石の劣質化に対応するため、次の 4 つのキーテクノロジー及び全体プロセス評価・検討を行います。①鉄鉱石中のリン存在状態の評価、②鉄鉱石の脱リン技術の開発、③微粉鉄鉱石の利用技術の開発、④リン回収および資源化技術の開発、⑤全体プロセス評価・検討

表 2 2020 年度から新規に開始した研究開発テーマ

課題名と研究期間 [委託元]	概要
ゼロカーボン・スチールの実現に向けた技術開発 [NEDO 技術開発機構] 2020～2021 年度	ゼロカーボン・スチールの実現に資する有望な技術について、①開発課題と必要要素技術を整理するとともに、②概念設計に必要なシミュレーションモデル等の構築や③基礎データの収集等の基礎検討を行い、①～③の結果から得られた開発課題を基に、それぞれ④ロードマップを作成する。また、有望な技術を組み合わせた全体ロードマップを作成します。
次世代自動車電動部品向け新規高機能性薄物シートの連続製造技術の開発 [中部経済産業局] 2020～2022 年度	自動車の電動化に伴い必要となる高い導電性又は絶縁性を有し、軽量化・意匠性・成形性・量産性・リサイクル性に優れる、フィラー高充填熱可塑性樹脂を用いる新規高機能性薄物シート連続製造技術を開発し、燃料電池用セパレーター及び次世代パワーデバイス用基板 (TIM) への応用展開を図ります。
高压水素用蓄圧器への低合金鋼の適用に係る技術開発 [NEDO 技術開発機構] 2020～2022 年度	水素ステーションの高压水素蓄圧器 (タイプ I 型) において、現在使用されている低合金鋼よりも高強度を有する鋼材を適用することにより、使用鋼材量の低減や蓄圧器製造プロセスに関するコスト低減を通じて蓄圧器に関する製造コストの低減を目的としています。

未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発における基盤技術の取り組み

— 産業分野における CO₂ 排出削減に資する 「産業用ヒートポンプシミュレーター」の開発 —

(一財) 金属系材料研究開発センター 磁性材料研究部長 豊田 俊介

1. はじめに

地球温暖化抑制のため、エネルギー効率の向上、燃料の転換、再生エネルギーの利用拡大等に世界的に大きな期待が寄せられている。運輸、民生分野と同様、産業分野においても、省エネルギー並びに CO₂ 等温室効果ガス排出削減のための技術開発と、その利用による地球温暖化防止への貢献が求められている。

未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 (TherMAT) では、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託 (JPNP15007) により、未利用熱エネルギーを効果的に、再利用 (ヒートポンプ技術)、削減 (蓄熱、断熱、遮熱)、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基盤技術と熱マネジメント技術の開発を行っている^{1),2)}。一般財団法人金属系材料研究開発センター (JRCM) はこの中で、関係する研究開発機関・企業・大学と連携し、熱関連調査・基盤技術の研究開発として、2015 年度より、産業分野の排熱実態調査と導入シナリオの検討を、2018 年度より、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携わっている。

本稿では、産業分野における CO₂ 削減と省エネルギーの有力な手段の 1 つである産業用ヒートポンプの導入効果を定量評価できる、「産業用ヒートポンプシミュレーター」の開発を中心に、TherMAT における基盤技術への取り組みの一端を紹介する。

2. 産業用ヒートポンプ

産業用ヒートポンプは冷凍・冷却・空調などの冷熱用途と、加熱用途に大別される。冷熱・加熱いずれも、家庭用の冷蔵庫やエアコンと同じく、冷媒の、圧縮→凝縮→膨張→蒸発→圧縮の繰り返しサイクル (逆カルノーサイクル=ヒートポンプサイクル) を利用し、冷熱用途では蒸発時に冷熱を取り出し、加熱用途では凝縮時に温熱の取り出しを行う。冷熱の供給は、ヒートポンプサイクルなど、冷媒の相変態を利用した循環システムが工業的にほぼ唯一の方法であるため既に広く利用されている。一方、加熱用途では、ガスの燃焼による方法、重油・ガス炊きボイラー蒸気による方法、誘導加熱・抵抗加熱・遠赤外線加熱など電気加熱による方法、など複数の選択肢があり、加熱用途に産業用ヒートポンプが商品化され、利用されるようになったのは比較的最近のことである。

ボイラー蒸気による方法は、気相から液相への相変化時の潜熱が利用できるため熱媒体が気体でありながら熱容量が大きいこと、相律から飽和蒸気圧を制御することで温度制御が可能なこと、設備が比較的シンプルであること、対応可能な温度帯が広いことなどから、非常に優れた加熱方法として広く利用されている。一方、配管途中からの放熱ロス、火傷防止、燃料のランニングコスト、燃料燃焼に伴う CO₂ 発生が不可避である点、などの課題も挙げられる。

加熱用ヒートポンプによる方法では、例えば COP (Coefficient of Performance: 成績係数) = 3.5 の場合、加熱に必要な圧縮の仕事 (エネルギー) 量は、必要な熱需要エネルギーの 1/3.5 (28.6%) でよく、これを系統電力で賄った場合、工場サイトでの CO₂ の排出量は 0 となる。電力の CO₂ 排出係数を考慮しても、大幅な CO₂ 排出の削減が見込める。また高効率で消費エネルギーが少ないため、ランニングコストの大きな削減も期待できる。

このように省エネルギーで高い CO₂ 排出削減ポテンシャルを有する加熱用途の産業用ヒートポンプは、供給可能な温度が 160℃ 近傍までと年々高くなってきており、熱源 (水熱源、空気熱源等)、供給熱媒体 (高温水、熱風、蒸気など)、加熱能力についても様々な仕様のもものが商品化されてきている。

3. 産業用ヒートポンプの導入利用を検討する上でのこれまでの課題

例えば COP=3.5 の加熱用途のヒートポンプを利用した場合、冷媒を圧縮するための仕事以外のエネルギー 2.5/3.5 (71.4%) は、プロセスの未利用排温水や排熱などから賄われる。高効率なヒートポンプの運転には、必要な熱需要エネルギー量と、利用するプロセス排熱量などとの熱バランスが重要となる。加熱用途のヒートポンプの導入効果を精度良く見積もるためには、実際のプロセスにおける熱需要と排熱量の変動、立ち上げ/立ち下げ時などの非定常状態、ヒートポンプの定格能力よりも低い運転条件となる部分負荷運転、気温や湿度の変動などの変動要因も考慮する必要がある。こうした実際のプロセス条件に合わせてのヒートポンプの試験データを取得するなどの導入検討のための手間が、これまで導入利用の障壁の 1 つとなっていた。

15 業種の省エネルギー法エネルギー管理指定工場

を対象に 2015～2017 年に行った産業分野の排熱とその利用に関する調査³⁾における、産業分野の未利用熱の活用状況に関するアンケートの結果、回答事業所数 374 に対して、半数を超える 208 の事業所が未利用熱エネルギー新技術としてヒートポンプに関心があるとの回答であった。他方、産業技術や製造プロセスの変化動向に関する自由回答意見として、未利用熱利用技術全般に対し、3 割の事業者が技術革新と、技術の周知・啓蒙の必要性を挙げている。

産業分野の排熱とその利用に関する調査では、ヒートポンプを既存のボイラから代替する場合の用途と温度帯についてもアンケート調査を行っている。既存のボイラからヒートポンプへの代替用途としては、蒸気を対象とするものが 67%と最も多く、熱水が 42%、熱風が 10%となっている（事業所回答数 149 件）。既存ボイラから代替する際の温度帯は、100℃未満が 46%、100℃以上 150℃未満が 37%、150℃以上 200℃未満が 34%、200℃以上が 3%と、200℃までの温度帯の代替ニーズが高いことが分かる。

TherMAT ではこうしたニーズ要求に対応し、技術革新の観点では特に蒸気需要の多い 160～200℃の熱を供給する産業用高温高効率ヒートポンプ技術などの開発^{2),4)}をすすめるとともに、技術の周知・啓蒙の観点から産業用ヒートポンプシミュレーターを開発した^{5),6),7),8)}。

4. 産業用ヒートポンプの導入事例と導入ポテンシャル

産業用ヒートポンプ等設備の先駆的な導入事例が、業種別（機械・輸送機械、電気機械・電子デバイス、食品・飲料、化学・医薬、印刷・紙・パルプ、窯業・ゴム・プラスチック・什器、その他など）、用途別（洗浄・殺菌・給湯、加温・保温、乾燥、蒸留・濃縮など）、形態別（排熱利用、冷温同時、空気熱源など）に紹介されている⁹⁾。ここでは、それぞれの導入事例について、導入設備の概要、システム概要図、CO₂削減量・消費エネルギー削減量・ランニングコスト削減量などの導入メリット、設備導入の決め手などが具体的に記載されており、導入検討の際に大変参考となる。

産業用ヒートポンプのマクロな導入ポテンシャルが、24 業種に分けられた産業部門それぞれについて、熱需要の用途別（工場空調、加温、低温乾燥、100℃以上の高温）を内訳として推計されている^{10),11)}。

こうした産業用ヒートポンプの導入による省エネルギー並びに CO₂等温室効果ガス排出削減の取り組みは、欧州など海外においても進められている。例えば、欧州の Horizon2020 プログラムの助成対象に選ばれている「DRYefficiency」プロジェクトでは、オーストリア技術研究院 AIT とノルウェーの SINTEF Energi が中心となり、乾燥工程において、排熱の回収を組み込んだ 160℃の高温に対応できる高性能の

ヒートポンプを効果的に使うことで、エネルギー効率の大幅な向上に取り組んでいる¹²⁾。このプロジェクトの中で、れんが製造業の Winerberger 社（ベルギー）では、れんが中の水分量を 28%から 2%に低減させるトンネル乾燥炉において、最高温 160℃の 2 冷媒/2 段サイクル、加熱能力 400kW の高温ヒートポンプを用い、エネルギー使用量、CO₂排出量の 80%削減を目標とした試運転を 2019 年より開始している。でんぷん・砂糖製造業の Agrana 社（オーストリア）のでんぷん連続乾燥工程においては、同様の高温ヒートポンプを用いた試運転を 2020 年初頭より開始している。甲斐田らは、「DRYefficiency」プロジェクトを含む複数の乾燥工程への適用を目的とした、欧州における高温供給が可能なヒートポンプの開発プロジェクトを紹介し、6 つの材料の乾燥のケーススタディを簡易的な熱力学モデルにより行い、エネルギーコストが最小となるヒートポンプ供給温度や CO₂削減効果について考察している¹³⁾。

5. 産業用ヒートポンプシミュレーターの開発^{5),6),7),8)}

早稲田大学は、空調機等圧縮式ヒートポンプを念頭に開発された、エネルギーシステム汎用シミュレーター「Energy flow + M」^{14),15)}の考え方をベースに、産業用ヒートポンプの導入効果を定量評価できる「産業用ヒートポンプシミュレーター」を開発した。

シミュレーターでは、様々なシステムの構成と運転条件下で年間性能を精度の信頼性を持ちつつ評価するために、連続方程式、エネルギー方程式、圧力損失に対応する運動方程式をベースとした汎用的解析理論としてのモジュラー解析理論を用いている。

今回、産業用ヒートポンプのシミュレーション技術の第一段階として、ヒートポンプや燃焼機器を含む熱システム単体についての計算を行うシミュレーターを、C++ 言語を用い開発した。シミュレーターを起動した際のユーザーインターフェース画面の例を図 1 に示す。

まず使用機器として、燃焼機器としてのボイラー（バーナー）、ヒートポンプを選択する。次いで、①加熱方式として、一過性の非循環加温か、タンクを介する循環加温か、②導入用途として、従来の機器をヒートポンプで置換するか、既設の機器に対する予熱をするか、③冷熱利用有無として、加熱のみか、冷熱も同時生成するか、の①②③の組み合わせにより 8 タイプから 1 つを選択する。一般に、冷却側から熱を回収し冷水温度を下げ、同時に冷却側から回収した熱を利用し加熱側側へ高温水を供給するなど、冷熱同時生成させた場合のほうが COP は向上する。また、自己排熱の循環利用など、加熱温度と熱源温度の差を小さくするほど COP は向上し、また、排熱利用の際の熱量と熱バランスも COP を左右する。

実際のヒートポンプの導入では、負荷変動が大きい場合や、トラブル時のバックアップなど、既存設備能力の有効活用などの観点から、他の熱源と直列或いは並列にハイブリッド化して導入される場合も多い⁹⁾。

定格加熱能力、冷媒の種類、圧縮機の断熱率、ガスクーラー内部及び空気入り口のピンチ温度、CO₂排出係数などを入力し、高温側の給水及び供給温度、高温側の流量、低温側の給水温度などを一日或いは年間などのトレンドデータとして入力する。計算を行うと、一次エネルギー消費量のトレンドとその総計、加熱COP、加熱能力、CO₂排出量などが出力比較される。参考データとして、指定時刻における冷媒の飽和曲線(P-h線図)も表示される。計算に用いられる冷媒や空気、水などの物性値はREFPROP¹⁶⁾、¹⁷⁾をベースとし、伝熱における解析にはピンチ温度によるモデルが適用されている。

6. まとめ

TherMATにおける基盤技術への取り組みとして、産業用ヒートポンプの導入効果を定量評価できる「産業用ヒートポンプシミュレーター」を紹介した。今後さらに、関係する機関・企業と連携し、具体的な事例における産業用ヒートポンプの導入効果について本シミュレーターを用いて示すとともに、ポンプ・タンク・弁などの生産プロセス全体の設計やエンジニアリングを可能とする「産業用ヒートポンプ導入支援ツール」として本シミュレーターを高度化してゆく予定である。

【参考文献】

- 1) NEDO「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100097.html
- 2) TherMAT「未利用熱エネルギー革新的活用技術組合」
<http://www.thermat.jp/>
- 3) 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 技術開発センター「産業分野の排熱実態調査報告書」(2019.3)
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101074.html
<http://www.thermat.jp/HainetsuChousa/HainetsuReport.pdf>
- 4) NEDO「省エネルギーへのフロンティア 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」(2020.1)より、p.7, 9, 24「ヒートポンプ技術の研究開発」
- 5) 市川、鄭、宮岡、山口、齋藤；「産業用ヒートポンプシステムの統合シミュレーション技術の構築第1報：シミュレーションのコンセプトとシステム性能評価解析ロジック」、2019年日本冷凍空調学会講演論文集、C121-1~4、(2019.9.11-13)
- 6) 市川、鈴木、鄭、宮岡、齋藤；「産業用ヒートポンプシステムの統合シミュレーション技術の構築第2報「産業用ヒートポンプ単体シミュレータの開発」、2020年日本冷凍空調学会講演論文集、D234-1~6、(2020.9.9-11)
- 7) NEDO 他ニュースリリース「ヒートポンプ導入効果を定量評価できる「産業用ヒートポンプシミュレーター」を開発」(2020.9.9)
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101353.html
- 8) NEDO 省エネルギー部；「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発-高温ヒートポンプの研究開発-」, 第15回エレクトロヒートシンポジウム(2020.10.20-11.30) 技術展示
https://jehc-sympo.com/assets/pdf/nedo/RandD_high_temperature_heatpump_tech.pdf
- 9) 一般社団法人日本エレクトロヒートセンター；「産業用ヒートポンプ活用ガイド」、「ものづくりに電気」vol.1~6
- 10) 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター編；「ヒートポンプ・蓄熱白書」オーム社刊(2007.7)
- 11) 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター；「ヒートポンプの将来像分析及び普及見通し調査報告書」(2017.8)
https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/documents/12/http://dry-feu/
- 12) 甲斐田、Beucher, Carlan, Fourmigue；「乾燥工程へのヒートポンプ統合に関する熱力学的考察」、2020年日本冷凍空調学会講演論文集、D233-1~5、(2020.9.9-11)
- 13) Saito, Jeong；「Development of General Purpose Energy System Simulator」2nd Int. Conf. on Advances in Energy Engineering (2011) pp.1595-1600
- 14) 大野；「エネルギーシステム汎用解析シミュレータの構築とヒートポンプの大域的数値解析」(2014.2) 早稲田大学学位論文
https://waseda.repo.nii.ac.jp/index.php?active_action=repository_view_main_item_detail&page_id=13&block_id=21&item_id=16842&item_no=1
- 15) NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database (REFPROP)
<https://www.nist.gov/srd/refprop>
- 16) 赤坂；「REFPROPはこうして作られる」、2020年日本冷凍空調学会講演論文集(基調講演)、D131、(2020.9.9-11)

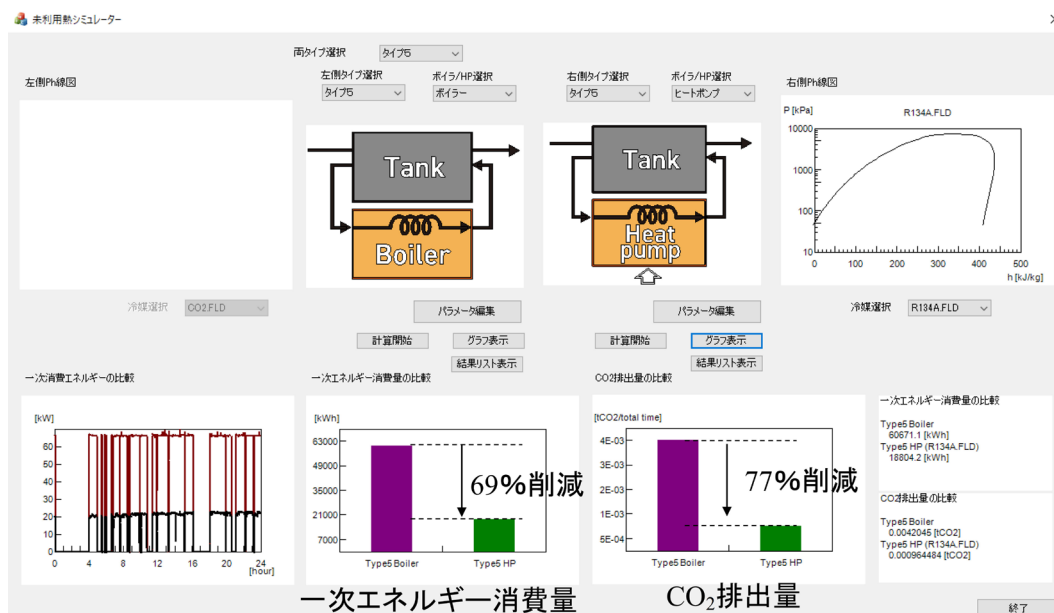


図1. 産業用ヒートポンプシミュレーターのユーザーインターフェース画面の例⁶⁾

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第410号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複製・複製・転載することを禁じます。

発行 2020年12月1日
発行人 小紫 正樹
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285
ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>
E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp