

## TODAY

## 産官学をすべて経験して



三重大学 みえの未来図  
共創機構兼 工学研究科  
教授 中村 孝夫

2月1日付けで三重大学において産官学連携による大学シーズの社会実装推進をミッションとする みえの未来図共創機構および工学研究科の教授職を拝命しました。現役として最後となるポジションでこれまでの仕事で得たいろいろな知識と経験、人脈を活用しミッションに貢献してゆきたいと考えています。

私は、1986年に住友電気工業株式会社（以下住友電工）に入社し、一貫してデバイス開発・製品化に従事してきました。大学の専門は金属だったのですが、入社後の仮配属では専門に近い研究グループの所属となり、金属の研究開発に従事すると思っていました。本配属では住友電工が強化していた半導体デバイス部門に配属され非常に驚いたことを昨日のように覚えています。ただ振り返るとこのときにそれ以降のキャリアに向かって賽は投げられたと考えています。

最初はシリコン LSI の  $3\mu\text{m}$  プロセスの薄膜工程における技術開発を担当したのですが、半導体の王道はやはりシリコンであり、その後のデバイス開発の基礎を得たと考えています。その後、酸化物超電導体フィーバーが巻き起こり、当時の新機能素子協会が事業主体を担ったデバイス開発の大型プロジェクトがあり、まだ入社して4-5年目ですが、新規デバイスの提案を行い採択されました。この採択過程では旧工技院院長 梶村先生からデバイス動作原理について疑問がなげかれ、住友電工内でも疑問視されたのですが、相当頭を使い、だれもが納得するロジックを考え出し、直接 梶村先生にご説明し、無事採択された経緯があります。この経験はいまから考えるとその後の研究活動であきらめないことが刷り込まれたと考えます。大型プロジェクトを成功裏に終了した1998年ごろから化合物半導体分野の開発に取り組んできました。当時は大手メーカーがこぞって次世代記憶媒体の書込用青色レーザーに向けて ZnSe を用いた開発を進め、住友電工でも ZnSe 単結晶基板の上のレーザー開発を進めていました。ただ GaN 系材料開発の進展からレーザー開発から蛍光体フリーの独自の白色 LED 開発にシフトしていました。製品化

のため課題は基板から電極をとる技術開発と寿命改善で両方に関与しました。前者は個人の技量で開発に成功したのですが、後者は課長として課員全員で取り組み成功させました。自分のみで成果をだすより、組織で成果を出す醍醐味を経験しました。2007年ごろからは当時世界中で開発競争が繰り広げられていた緑色レーザー開発を部長として主導しました。住友電工には世界初で GaN 基板を量産した技術があり、その技術を活用して部員全員で協力することで緑色レーザーに適したこれまでにない結晶面を発見し、後発ではありましたが世界初の純緑色レーザーの発振に成功しました。この成果は日経新聞の1面に掲載され、経済的なインパクトも相当大きい成果となりました。その後ソニーとの共同開発で緑色レーザーの特性改善・製品化を推進しました。当初共同開発は難航し両社の役員から叱責を受け、ソニーとも相談し進め方を大きく変更させ非常に順調に開発を進めることができました。ここでは文化の違う組織間の連携について学んだと考えます。その後、世界最小 RGB レーザーモジュール開発に成功し、大手電機メーカー向に量産化のため事業部に異動したのですがなかなか売上が立たず、2017年10月に NEDO へ出向となりました。ただ事業部ではコスト、ISO 関連の品質保証の重要性を身をもって経験しました。

NEDO での業務は省エネに寄与できる大型助成事業の採択、事業マネジメントに加え、他部門と連携し国プロ立案を進めました。NEDO の審査過程、民間機関の現地視察などは住友電工では経験できないことばかりであり、非常に有意義な経験となりました。また NEDO 所属時には住友電工時代の化合物半導体関連の業績から応用物理学会からフェローの称号を受けたこともあり、住友電工を退職し、2020年4月より東京大学生産技術研究所の特任教授、2020年6月には三重大学 客員教授に就任しました。その後大学において社会実装を目指した研究を推進し、短期間ではありますが大きな成果を出せ、現在に至っています。

社会人として産官学すべて経験し、ものの見方が複眼的になり、かつ連携スキームの構想やアプローチ方法が自然に頭の中でてくるためより大きな成果を出せるように感じます。地域課題はどの地域でも共通なものが多く、合算するとその経済効果は相当大きくなります。全体への寄与を目指しミッションを完遂したいと考えます。

# TherMAT プロジェクトにおける産業分野の排熱実態調査と ヒートポンプ技術等の統合解析シミュレーション技術の構築活動の振り返り

一般財団法人金属系材料研究開発センター 磁性・先進技術研究部長 豊田 俊介

## 1. はじめに

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・助成 (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を開発し、本プロジェクトは 2022 年度をもって終了した。

ここでは、JRCM がプロジェクトにおける関連調査・基盤技術の位置づけで、関係機関 (産総研他)・企業 (前川製作所他)・大学 (早稲田大学) と連携し取り組んだ「産業分野の排熱実態調査と導入シナリオの検討」と「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」について振り返る。

## 2. 産業分野の排熱実態調査と導入シナリオの検討

本プロジェクトの第 1 期 (2013 年 10 月～2018 年 3 月) には、現在の工場のエネルギー利用状況を把握することを目的に、熱利用量の多い 15 業種を対象に、温度帯や量、排出される場所がさまざまな未利用熱エネルギーの排出・活用状況に関するアンケートを実施し、1273 のエネルギー管理指定工場からの回答に基づく工場設備の排熱実態調査を実施した。この結果、全国で未利用の 743PJ/y の排ガスと 2711PJ/y の温排水が排出されていると推定され、排熱の温度帯については 200℃未満と 500℃以上が多いことを確認した。図 1 に業種別の排熱の内訳を示す。本調査では、従来型の排熱利用設備の導入状況、未利用熱活用設備の導入の可能性など、未利用熱の活用状況についてもアンケートを行った。図 2 にその 1 例としてヒートポンプを既存のボイラーから代替する場合の用途、温度帯についての回答結果を示す。用途では蒸気、熱水、熱風の順に多く、温度帯では本プロジェクトで開発に取り組んだ高温ヒートポンプに対応する熱需要ニーズも多くあることが確認された。

本調査では、排熱利用の実用化・導入検討 WG、排熱利用モデル製造ライン WG、外部有識者を交えた産業排熱調査検討委員会をそれぞれ開催し、議論を重ね、産業分野の排熱実態調査報告書 (2019 年 3 月公開) として取り纏めた。

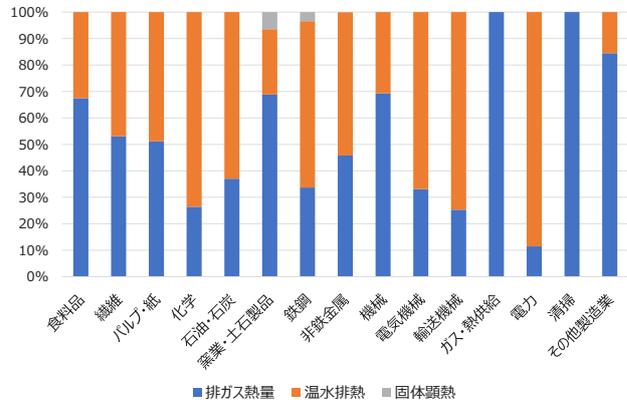


図 1. 業種別排熱の内訳 (全国推計値)

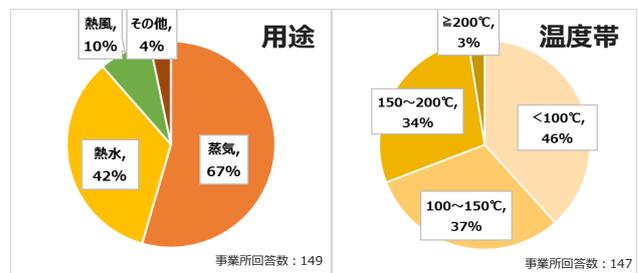


図 2. ヒートポンプで代替する場合の用途、温度帯

## 3. 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

第 2 期 (2018 年 4 月～2023 年 3 月) には、ヒートポンプ技術等の統合解析シミュレーション技術の構築を、本プロジェクト内で開発が進められている 160℃以上の熱供給可能な高温ヒートポンプにも対応した基盤技術として位置づけ実施するとともに、高温ヒートポンプの適用ポテンシャルを把握するために、工場のエネルギー利用状況調査を実施した。うちヒートポンプを組み入れている工場のエネルギーデータは、開発したシミュレーターの精度検証に使わせて頂いた。第 2 期では高温ヒートポンプ技術等のモデルケース検討 WG にて進捗や内容について議論を行った。

### 3-1. 産業用ヒートポンプ単体シミュレーターの開発、機能の向上

早稲田大学により、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」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単体シミュレーター」を開発し、2020 年 12 月に web 公開した<sup>1)-4)</sup>。シミュレー

ターは、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に基づいており、システムを構成する要素ごとに数理モデルを構築し、これらを接続することによりシステム全体の数値解析を行うモジュラー解析手法が用いられている。計算速度の観点からは、熱交換器の設定が容易となるピンチ温度による数理モデルを採用し、冷媒や空気、水などの物性値はREFPROPをベースとし、これを予めcsv形式のデータベース化して用いている。単体シミュレーターでは、①利用パターンを選択し、②定格加熱能力・給水温度・流量・冷媒等を入力することで、1次エネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量等のヒートポンプ導入効果を、

短時間に高精度で試算することが可能である。

今回さらに、より高温のヒートポンプも念頭に、2元冷媒サイクルの計算、HFO系冷媒であるR1336mmz(Z) 等冷媒の追加、指定時刻における冷媒の飽和曲線 (P-h 線図)、温度 - 比エントロピー (T-s) 線図の表示、LCCP (製品寿命気候負荷) 評価計算、経済性評価計算、などの機能を追加した。図3に最新版の単体シミュレーターのユーザーインターフェース画面の例を、図4にダウンロードの要領をそれぞれ示す。

### 3-2. 産業用エネルギー統合シミュレーターの開発

単体シミュレーターで構築したパターンやロジックを基に、ヒートポンプやボイラー、ポンプ、タンク、弁などの補機等のモジュールをGUI上で接続してフロー図を作成しシステムの性能評価計

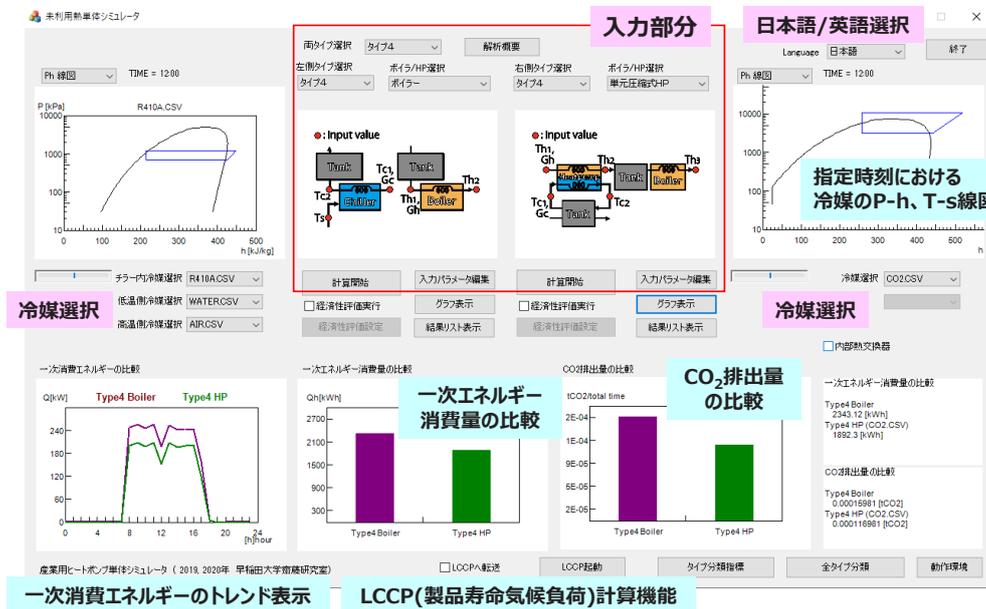


図3. 単体シミュレーターの画面の例

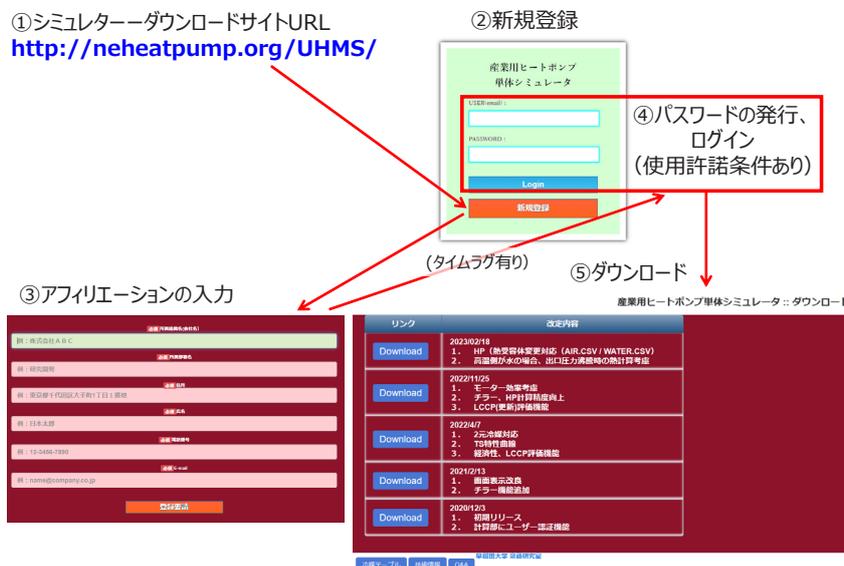


図4. 単体シミュレーターのダウンロード要領

算を行う、産業用エネルギー統合シミュレーターを開発した<sup>5)-8)</sup>。図5に統合シミュレーターのシステムフロー図の例を示す。統合シミュレーターは、システム全体の性能・環境性・経済性の3つの指標から分析できるため、より具体的なヒートポンプ導入検討が可能となる。統合シミュレーターでの計算には配置するモジュールの接続や入力条件を工夫して構築する必要があるため、システム構築や計算を支援するためのツール、導入事例ライブラリを作成した。ヒートポンプ導入事例のシステム概要、システムフロー図、GUI図、入力条件、解析結果などを参照することができる。

#### 4. おわりに

工場などの産業部門で有効に活用されずに捨てられている熱を効果的に削減（断熱・蓄熱）、回収（熱電変換、排熱発電）、再利用（ヒートポンプ）す

る技術に取り組んだ、未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発プロジェクトは予定通り2022年度をもって終了した。本プロジェクトが目指した開発技術の活用による省エネと2030年度における約662万t/年のCO<sub>2</sub>削減、さらには住みよく持続的な世界の実現に向け、開発技術がさらに発展・受容されてゆくことを祈念する。

[参考文献]

- 1) 市川, 鈴木, 鄭, 宮岡, 齋藤; 日本冷凍空調学会 2020年度年次大会講演論文集 D234
- 2) 豊田; JRCM NEWS 第410号 (2020) pp.2-4
- 3) 武藤, 丸山, 鄭, 宮岡, 齋藤; 日本機械学会第31回環境工学総合シンポジウム講演論文集 (2021) No.412
- 4) 占部, 宮岡, 鄭, 齋藤, 淵上, 町田, 豊田; エレクトロヒート No.239 (2021) pp.9-14, など
- 5) 丸山, 武藤, 鄭, 宮岡, 齋藤; 日本冷凍空調学会 2021年度年次大会講演論文集 D123
- 6) 丸山, 武藤, 鄭, 宮岡, 齋藤; 第55回空気調和・冷凍連合講演会論文集 (2022) S2
- 7) 鄭, 武藤, 宮岡, 齋藤; 日本冷凍空調学会 2022年度年次大会講演論文集 A211
- 8) 金井, 武藤, 宮岡, 鄭, 齋藤; 第56回空気調和・冷凍連合講演会論文集 (2023) No.21, など

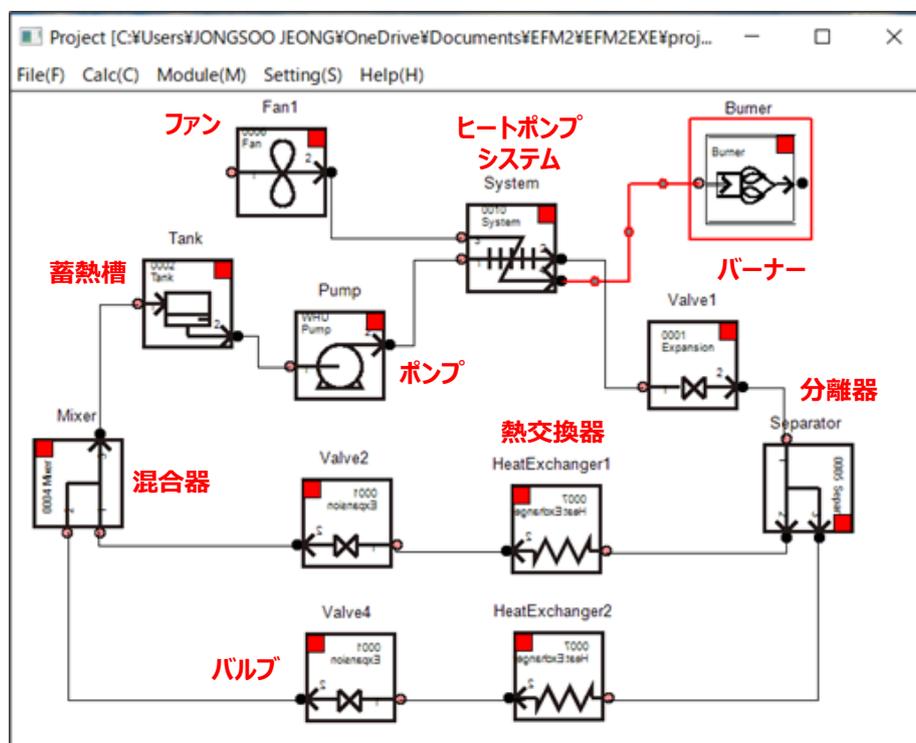


図5. 統合シミュレーターのシステムフロー図例

#### 磁石材料に関する講演会のお知らせ

日時：2023年5月19日（金） 10:00～11:30

場所：一般財団法人金属系材料研究開発センター（JRCM） 会議室（+ web）

東京都港区西新橋 1-5-11 第11 東洋海事ビル 6階

内容（予定）：

「低次元強磁性体の磁気硬化（Magnetic Hardening in Low-Dimensional Ferromagnets）」テキサス大学 J. Ping Liu 教授

「磁性材料の特許 / 技術動向・レアアース磁石のサプライチェーン」JRCM 豊田

参加費：無料 / 参加申込み、問合せ：JRCM 多田 (mtada@jrcm.jp)

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第435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写・複製・転載することを禁じます。

発行 2023年4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

T E L (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)

※送付先の変更・中止等は上記 E-mail に御連絡をお願いいたします。