

## TODAY

日本の鉄は“赤船”に載るか？  
～中国製 48 万円 EV の衝撃～

名古屋大学 未来材料・システム研究所  
大学院 工学研究科 電気工学専攻・教授  
山本 真義

2017年に販売開始されたテスラ・モデル3は世界初の戦略的電気自動車の量産車であり、その販売台数、設計思想、エネルギー戦略の深さから、我が国の自動車業界における“黒船”と呼ばれた。ここから時計の針を進めること3年。上汽通用五菱汽車は2020年7月に4人乗りの本格的な小型電気自動車である宏光 MINI EVを、エントリー価格2.88万円（約48万円）にて販売開始することとなる。この価格とタウンユースとして必要十分な性能のバランスが功を奏し、主な購買層を若者、特に女性を中心となり、販売開始月の次の月には、それまで中国で最も売れていたEVであるテスラ・モデル3の販売台数をアツという間に凌駕した。（2020年8月、モデル3：11,811台、宏光 MINI EV：15,000台）その後、中国で最も売れたEVの座を明け渡すこと無く今に至る。

繰り返す。4人乗り自動車が48万円である。原価として成立条件を読み解くと、車体が5万円、電動系が5万円、電池関連が15万円、装備関係が7万円、足回りが5万円、車両その他が5万円、組み立て・販売が6万円、と算段した。すなわち、車体原価価格はどう見積もっても5万円を超えることはないだろう。

ここで、近年各国で声高に叫ばれている自動車の電動化について、おさらいしておこう。各国が2021年7月現在発表している内燃機関式自動車の販売禁止年は、自動車大国であるドイツ、英国は2030年、隣国のフランスは2040年、大きな市場を持つインドも2030年、オランダとノルウェーに至っては2025年、と明示している。これに呼応するように、各自動車メーカーは販売車両を完全電気自動車化する「EV専門化予定時期」を明言化した。ボルボ（スウェーデン）は2030年、ジャガー（英国）は2025年、GM（米国）は2035年、そして王者メルセデスも2030年である。さらに先日、我が国でも本田技術研究所は2035年に内燃機関式自動車の販売を終了する、と公表した。

本田技術研究所は、先の販売車両の完全EV化発言の皮切りの様に2020年10月にEVである「Honda e」を販売開始した。しかしながら、欧州市場で苦しむこととなる。市場に受け入れられなかった理由は、一充電あたりの航続距離にある。同セグメントEVであるID.3（VW社）、ゾエ（ルノー）が一充電あたりの航続距離がWLTC基準において400kmを超えるのに対して、Honda eは283kmと遠く

届かず、大陸間移動を前提とする欧州市場は、その性能を拒絶することとなった。

2030年から始まる販売車両の完全EV化に対し、求められる航続距離性能を決定する大きな要因は、車体重量とバッテリー性能である。自動車の進化は動力源である内燃機関と車体パッケージの進化と言っても良い。EV化では、その車体における進化は「車体軽量化」と「高強度化」を希求されるものであり、その解法としてこれまで、車体のアルミ化と使用ハイテン材割合の向上の方針が執られてきた。例えばアコード（本田技術研究所）は2003年モデルではハイテン材の割合が39%であるのに対し、2008年モデルでは48%、2013年モデルでは55.8%と、車両骨格部分の高強度化のため、大きく引き上げられている<sup>(1)</sup>。そして、主に等価強度の考え方によってハイテン材の適用は板厚減少を実現し、結果として軽量化に寄与する。完全EV化自体において、このハイテン材の適用割合は大きく引き上げられると予想される。

翻って、前述の48万円である宏光 MINI EVにおけるハイテン材比率は57%にも上る。これにより4人乗り電気自動車としては俄には信じられないレベルの軽量化を実現している。（宏光 MINI EV：665kg、参考にテスラ・モデル3：1,672kg）今後、同セグメントのEVが中国から“赤船”として日本自動車市場に押し寄せた場合、日本の軽自動車市場は完全に駆逐されると言われている。実際に内外装や装備はとも48万円とは思えないレベルに仕上げられている<sup>(2)</sup>。すなわち、今後、世界の自動車市場はこのEVを選択していく可能性が高い。大きな市場を飲み込む、このハイテン材57%で原価5万円の車体に、我が国の鉄鋼材料を搭載することができるかどうかを、我々は考えていく必要がある。もちろん、レクサスやメルセデスに代表されるハイエンドモデルのEVに対し高付加価値の鉄鋼材料を供給する戦略もあるが全市場の5%に満たず、基幹産業である自動車業界の屋台骨を支える鉄鋼産業を潤すに至らない。

さらにEV市場における鉄鋼材料に対する付加価値は、前述の「高強度」のキーワードも外れてくる。完全自動運転化の影響である。近い将来、自動車は自動運転化の進化による衝突事故ゼロの時代を迎え車体強度の概念も全く変わってくることが予想される。完全EV化における残された鉄鋼材料の付加価値性能は、「車体軽量化」のみ、となる。コストも考慮しながら、安価な新興国の鉄鋼材料に対抗しつつ、この付加価値性能を向上させることは至難の業であることは重々承知の上である。

鉄鋼の街・釜石は新日本製鐵釜石ラグビー部の名声からラグビーの街としても有名であり、特に1978年度から1984年度にかけて全国社会人大会および日本選手権を7連覇と

いう偉業を達成したことで、新日本製鐵釜石ラグビー部は鉄の街という意味も含めて「北の鉄人」とよばれた。今現在活動している釜石シーウェイブスはその新日本製鐵釜石ラグビー部の血脈を持つ社会人ラグビークラブである。2011年3月31日、その鉄鋼の街・釜石が津波に飲まれた。街全体が壊滅し、もちろん釜石シーウェイブスにおいてもラグビーどころではなくなった。それから5年後、釜石シーウェイブスは不死鳥の様にトップチャレンジリーグへの昇格を果たし、現在もラグビーの聖地の主人として活躍を続けている。

日本において、ジャパン・アズ・ナンバーワンと言われた時代に栄光を謳歌した電機業界が陥落し、最後の基幹産業と言われる自動車業界は、前述の“黒船”、“赤船”の襲来により大きな岐路を迎えている。そしてそれらの襲来に対し、日本は国を挙げて迎え撃たなければならない状況にある。

先の釜石は港町でもある。かつて新日本製鐵釜石時代のラグビーの試合が開催される国立競技場では、常に観客席では漁で使われる大漁旗が舞っていた。そして、辛酸の時を経て、鉄が焼ける様な赤いユニフォームの選手たちを鼓舞する様に、今でも会場では変わらず大漁旗がいくつも舞う。

我が国の鉄は必ず、復活する。我が国の鉄鋼業界が、安価な新興国鉄鋼材料に対して差別化を図るため、前述の付加価値へ向かった地道な研究開発を推進しイノベーションを起こし続けることで、世界での強靱なリーダーシップを発揮し、20年後に街を往く自動車の殆どがEVとなっても、それらを支える我が国の基幹業界として尊敬を受け続けていることを願って止まない。はためく大漁旗を背に受けてグラウンドに立つ真っ赤なユニフォームのを着た、あの選手たちの様に。

参考文献

(1) 齋藤和也, "自動車用ハイテン材の現状", 第53巻 第12号, pp. 584-588, (2014)  
 (2) YouTube: <https://www.youtube.com/channel/UCgo21yaovWnFKy3fTEgnYpg>



図1. 宏光 MINI EV 外観写真  
 (a) 前方外観 (b) 後方外観

## JRCM REPORT

### 日独工場排熱利用エキスパートワークショップ、 IEA ヒートポンプ国際会議 2021 @ 済州に参加して 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) の高温ヒートポンプ (HP) に関する技術調査活動の一環として、2021年4月19日～22日に開催された「日独工場排熱利用エキスパートワークショップ」、2021年4月27日～29日に韓国済州を拠点として開催された「IEA ヒートポンプ国際会議 2021」に参加し、高温ヒートポンプに関連する内容を中心に、技術・市場・政策等の動向を調査したので概要を報告する。

#### 2. 日独工場排熱利用エキスパートワークショップ<sup>1)</sup>の概要

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) と ECOS Consult GmbH (ドイツ) の共催で、工場排熱利用に関する情報・意見交換が行われた。4セッション約20の講演があり、日独の産官学の関係者約70名がオンラインで参加。

#### 2-1. CO<sub>2</sub> 排出削減に向けたエネルギー効率の向上と工場排熱利用の日独の取り組み (Energy efficiency and industrial waste heat in Germany and Japan for CO<sub>2</sub> reduction)

オープニングアドレスとして、1.5℃目標に対する、燃料転換、電化、水素利用等での取り組み、ドイツにおける排熱利用の再エネとしての取り扱い、2050年カーボンニュートラルに向けた、運輸分野、都市への熱供給、カーボンプライシングなどについて言及があった。

#### 日本における省エネの取り組み

Ryutaro NAKAYAMA 氏、経済産業省 資源エネルギー庁  
 2030年のエネルギー消費量削減目標に向け、ヒートポンプ導入、モータ効率化の促進が課題の1つ。産業・業務分野におけるエネルギー原単位の削減のため、ベストプラクティスを各業種のベンチマークとする取り組みを行っ

ている。これまでは供給側が需要に合わせてきたが、再生可能エネルギー利用の拡大に伴い、需要側が供給に合わせてゆくことも重要となる。

#### ドイツの気候変動抑制目標達成のための工場排熱利用の重要性

Hartmut Versen 氏、ドイツ連邦経済エネルギー省 BMWi  
 日本は省エネルギーのチャンピオン。ドイツは2008年比、2030年に30%、2050年に50%のエネルギー消費量を削減する計画。産業プロセスでは2030年までに1200万tonのCO<sub>2</sub>削減を目標としている。産業排熱を地域暖房に利用するなど、未利用熱を経済性をもって使いたい。熱リサイクル、乾燥・材料加熱への余熱利用に関し340件の研究開発投資を行い、1プロジェクトあたり平均1130ton、合計38.5万tonのCO<sub>2</sub>削減成果が得られた。100℃を超える高温熱は活用しきれておらず、産業と地域自治体の協力も必ずしもうまくいっていない。全38業種の内、ゴム、樹脂、食品、ビール、製紙、エネルギー工場などで排熱利用による省エネルギーの取り組みがなされている。投資回収は基本8年以内と考えられている。レンガ炉関連では、蓄熱の利用も検討されている。金属、ガラス、セメント工場では排熱が使い切れておらず情報交換が必要。

#### ドイツの産業分野における脱炭素への取り組み

Jan Steinbach 氏、IREES 社  
 WIN4climate プロジェクトではカールスルーエ大と排熱利用+デマンドサイドマネジメントを検討している。INTERFLEX プロジェクトでは、塗装乾燥、飲料工場、などを対象に、シミュレーション等の検討を行っている。例えば冷却排熱を利用したHPによる60～90℃の温水供給など。天然ガスボイラーはバックアップの位置づけ。P2Hとして

電気ボイラーの検討など。工業団地内での工場排熱の工場間の融通、排熱利用ネットワークでは施設をより多く組み入れるほどCO<sub>2</sub>削減効果が増大する。太陽光発電電力を組み入れた電力供給、窒化炉の排熱を機械洗浄に利用したベストプラクティス例、等についての具体的な紹介があった。**日本における先進的な排熱利用技術とその開発への取り組み** Masanori KOBAYASHI 氏、NEDO

TherMAT など日本の排熱利用技術開発プロジェクトを紹介。食品産業における熱需要と排熱の関係から、排熱利用 HP による熱供給のポテンシャルを模式的に例示。

#### **大都市、地方都市における排熱利用の成功例**

Patrick Hoffmann 氏、IZES 社

ワッフル工場の排熱を隣村 170 戸にする取り組みにおいて、技術的、資金的に苦労している事例を紹介。熱交換器がボトルネックとなり計画の熱供給量に不足し、ボイラーを追加設置した。こうしたプロジェクトは長期安定性が重要。2030 年までの脱炭素化を目指しているハンブルグ市では、エネルギー消費の 35% を占める地域暖房を、銅の製造メーカーからの排熱など、130℃のヒートグリッドで賄う計画。2019 年からの電気炉製鉄プロセス排熱から 10GW/hr を供給している事例などの紹介があった。

#### **工場排熱の利用促進にはどのような政策が必要か？**

Nobutaka TAKEO 氏、NEDO 欧州

ドイツにおける熱ネットワークの助成事業では、エネルギー集約型産業の熱エネルギーの利用を目指している。償却期間は平均で 8 年。排熱量変動等のバックアップシステム検討が必要。エネルギー転換の進展に伴う、プロセス条件の変更の可能性もある。長期供給に対する確実性が 1 つの課題。シミュレータによる事前検討が重要。産業分野での HP は、排熱量と需要側のマッチングが課題となる。

### **2-2. 熱需要側での管理 (Demand Side Heat Management)**

#### **電化と熱需要管理によるカーボンニュートラルの実現**

Takashi YATABE 氏、東京電力ホールディングス

日本では家庭用 HP の給湯利用が多い。産業分野では化石燃料利用機器のロックインを防止する方策の 1 つとして、ボイラーの冷温同時供給 HP への置き換えによる CO<sub>2</sub> の排出削減などにおいて、小型機器を少しずつ導入してゆくことが有効と考えられる。

#### **低温排熱を用いた化学吸着蓄熱システムの開発**

Masayuki TANINO 氏、高砂熱学工業

水を吸収すると熱を発する化学吸着剤 HAS-Clay を用いた、移動蓄熱の実証試験結果を紹介。自動車塗装ラインの天然ガスコジェネシステムの 80 ~ 100℃の排熱をチャージし、温水プール用、工場空調用として移動・熱供給。

#### **相変化物質マイクロカプセルを用いた高温潜熱蓄熱技術**

Takahiro NOMURA 先生、北大

300 ~ 700℃の高温顕熱利用蓄熱材 h-MEPCM を開発。特徴は①高蓄熱密度、②高熱伝導性、③硬質なセラミック殻層、④形状自由度。現在 1 リットルレベルのモジュールで評価しており、今後リジェネレーター等で実証試験してゆく計画。

#### **熱需要側の管理のための蓄熱に現在どの材料が利用可能か？**

Masanori KOBAYASHI 氏、NEDO

ドイツではセクターカップリングにより、エネルギーの出力調整がなされている。再生可能エネルギーの広範な利用にはバッファが必要。ドイツでも蓄熱が着目されてい

る。熱交換機を使わないと耐腐食性など素材には厳しい場合がある。ドイツではパイプラインが発達しているが、日本にはないので可動型の蓄熱利用となる。可動型ではチャージ/ディスチャージでの経済性が課題となっている。

### **2-3. 日独のプロジェクト (Project examples)**

#### **州の熱地籍情報からみた産業排熱利用のポテンシャル**

Nils Dering 氏、LANUV NRW

ドイツでは乾燥による森林の枯死が問題となっている。ドイツの年平均気温は 10 ~ 11℃。2019 年 9 月に工場の余剰排熱に関するアンケートを行い、1850 社のうち 29%、540 社から回答を得た。地域暖房には天然ガスが 49%、余剰排熱が 8% 利用されている。排熱源と需要地との距離は大規模な熱リソースの場合でも 3km 程度が限度。

#### **日本における産業排熱利用に関する研究開発プロジェクト**

Haruhiko OBARA 氏、産総研

TherMAT における産業分野の排熱利用技術開発を紹介。

#### **セクターを超えた地域エネルギーシステムのモデリング**

Matthias Reckzuegel 先生、オスナブリュック応用科学大

製紙工場の排熱利用例の紹介。太陽光発電も利用。排水温度は 30 ~ 38℃ (気温 20℃)。乾燥工程の排熱は 20 ~ 75℃。利用先は工場外部。経済性が大事。補助金を活用。なお工場内部での排熱利用は今回の検討の対象外。工場内部のエネルギー情報が N/A という事情もある。

#### **熱電発電モジュールの新しい製造プロセスとその応用**

Yikalo Tecele 氏、Evonik Operations 社

BiTe ベースの熱電発電モジュール ESPRYX を高効率に製造する方法を開発。熱電発電はモジュールの低コスト化が課題。目標: 1W/1€。

#### **排熱利用を組み込んだ循環経済をどのように具現化するか**

熱ネットワークを用いた地域熱暖房は、供給排熱の変動を吸収するバッファと経済性が必要。複数の商業都市で蓄熱技術が適用されている。

### **2-4. 排熱利用手段としての産業用ヒートポンプ**

#### **(Industrial heat pumps for waste heat utilization)**

#### **ヒートポンプによるエネルギーの循環経済**

Thomas Nowak 氏、欧州ヒートポンプ協会

個別の HP 技術は日本が進んでいる。ドイツでは地域熱供給用の 35MW の HP が開発されており (©FrioTherm)、さらに 50MW が検討されている。ドイツにおける産業用 HP の熱源 (~70℃) と熱供給ニーズ (~160℃)、欧州の産業別、温度帯別排熱量を整理し提示。DRYFiciency プロジェクトでは、レンガ工場では 140℃の乾燥工程で HP が稼働中。

#### **日本におけるヒートポンプ技術と適用例**

Koki WATANABE 氏、ヒートポンプ・蓄熱センター

日本における産業用、地域熱供給用 HP の適用事例を紹介。食品工場の製麺工程への冷温同時排熱利用 HP の適用、自動車部品工場の洗浄工程への冷温同時供給 HP の適用、パッケージフィルム工場のドライラミネータ工程への温風供給 HP の適用、晴海地区の地域冷暖房での HP 適用、など。産業排熱を使った地域冷暖房事例として、産業排熱、ごみ焼却所、変電所などの排熱を利用した例がある。

#### **産業用高効率ヒートポンプによる排熱利用**

日本エレクトロヒートセンター：掲題のビデオを上映。

#### **下水道からの熱回収ポテンシャル**

Rouven Zeus 氏、UHRIG Energie 社

下水道中に敷設された熱交換器より HP により家庭に熱供給。熱源は量的な変動が大きい。バイオフィルムの定期的な洗浄が必要。ステンレスの耐久性は 50 年以上。

### データセンター排熱の利用

Birger Ober 氏、Sustainable Digital Infrastructure Alliance  
バイオマス燃料による再生可能エネルギー由来の電力が、隣接する 550kW を消費するデータセンターに供給され、冷却廃水熱が地域熱供給ネットワークに供給されている。熱回収率は～0.85。

### 新しい熱駆動型冷熱供給ヒートポンプの適用事例

Tatsuo Fujii 氏、ジョンソンコントロールズ BE ジャパン  
NEDO プロジェクトで開発した熱駆動型熱供給ヒートポンプ 3 基が、商業施設、病院、産業用として欧州に導入された。

## 3. 第 13 回 IEA ヒートポンプ国際会議 2021<sup>2)</sup> の概要

IEA ヒートポンプ国際会議は、IEA ヒート技術協力プログラム (IEA HPT TCP) の主要な活動の 1 つとして 3 年毎にされている。“グリーン世界のために”をテーマに第 13 回 IEA ヒートポンプ国際会議が、韓国済州を拠点にハイブリッドで開催された。図 1、表 1 に示すように、21 か国から 207 件の講演発表、26 か国から 371 名 (うち 97 名が現地) の参加があった。産業用高温ヒートポンプに関するセッションを中心に参加した。

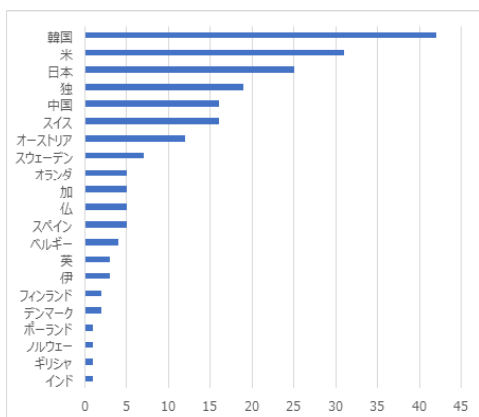


図 1. 国別の講演発表件数

表 1. セッションテーマ別の講演発表件数

セッションテーマ	件数	セッションテーマ	件数
プレナリー	6	新しいヒートポンプ技術	5
低 GWP 冷媒	22	ヒートポンプ性能	5
住宅用ヒートポンプ	15	ヒートポンプの音響	5
スマートグリッド・地域熱供給	15	暖房及び温水用ヒートポンプ	5
吸収式ヒートポンプ	14	電気化学関連	5
産業用ヒートポンプ	13	熱輸送	5
空調機	12	食品貯蔵・展示	5
ヒートポンプの市場・政策	10	除湿技術	5
熱交換器	10	空調システム	5
ヒートポンプの応用	9	制御・モデリング	5
地中熱利用・蓄熱	9	可変冷媒流速ヒートポンプ	4
高温ヒートポンプ	5	熱貯蔵と回収	4
ヒートポンプの解析	5	ゼロエネルギービルディング	4

### 3-1. プレナリーセッション

#### クリーンエネルギーへの転換におけるヒートポンプ技術

Mechtild Worsdorfer 氏、IEA

乾燥工程などへの適用が期待される産業用ヒートポンプ、化石燃料が 85% を占める地域熱供給への HP 利用は、

いずれも発展の初期段階にある。①展開 (冷房需要は拡大)、②統合 (ビルディングは大きな機会)、③強化、が発展のためのキーワード。2070 年までの各地域の熱供給に占める再生可能エネルギー機器やヒートポンプシェアの拡大するシナリオが示された。

### 欧州の法的枠組みは本格的なヒートポンプ導入にむけ整備されてきたが、さらなる努力が必要

Martin Forsen 氏、欧州ヒートポンプ協会

2018 年時点でボイラシェアは 85% と高く、HP は 15%。HP 導入拡大の課題は、①製品と製造プロセスへの要求仕様への対応、②循環経済への対応、③適切な冷媒、④熱需要側の柔軟性、である。欧州の 2030 年目標は、GHG 排出削減 55%、エネルギー効率 32.5% 向上、再生可能エネルギーの割合 32% であり、2050 年には GHG 排出を 100% 削減する。欧州ではグリーンディール政策により 2050 年までのカーボンニュートラルを達成するために、循環経済を確立し、電化による熱供給を 2030 年には 40% とし、2050 年には 50~70% とする計画。ビルディングは 40% のエネルギー消費を占める。リノベーションのタイミングでの HP 適用による CO<sub>2</sub> 排出削減が、ビルディングにおける最重要技術検討項目となっている。

### グリーン世界とヒートポンプ技術のための韓国における政策

Min Soo Kim 氏、SAREK (韓国)

2020 年 7 月に韓国の“デジタルニューディール”と“グリーンニューディール”政策が発表された。韓国では、再生エネルギー 3020 政策と、2050 年カーボンニュートラル韓国ビジョンが推進されている。韓国では LNG パイプラインネットワークが発達しており、住居熱供給等において現状ヒートポンプはポピュラーではない。床暖房への適用などが考えられるがコストが課題。韓国の 2019 年度の電源構成に占める再生可能エネルギーの割合は 13% でその 67% を太陽光発電が占める。韓国は 2030 年に再生可能エネルギー割合 20% が目標。洋上風力発電も期待されている。韓国では地中熱、水熱源ヒートポンプは再生可能エネルギーと認められ適用が増えている。欧州では空気熱源ヒートポンプも熱源エネルギー分については再生可能エネルギーと認められている。

### ヒートポンプシステム技術の動向

Saikee Oh 氏、LG Electronics (韓国)

空気熱源ヒートポンプの弱点は効率が外気温に依存すること。-30℃では動作しない恐れがある。作動油の制御技術も重要。家電用途を中心に概説。

### 3-2. ヒートポンプ市場と政策

(Market and Policy for Heat Pumps)

(267) 大市場に向けての欧州におけるヒートポンプの大規模開発 (Next step: the mass market! Heat pumps on the verge of large-scale deployment in Europe: 基調講演)

Thomas Nowak 氏、欧州ヒートポンプ協会

2030 年の欧州の新しい目標は、再生可能エネルギー 32%、省エネルギーの 32.5% 向上、CO<sub>2</sub> 排出量の 55% の削減。カーボンプライシングは産業用 HP 採用の契機となる。ビルディング用途でのヒートポンプシェアは低く、リノベーションのタイミングが導入の好機会。2020 年までに 1480 万台のヒートポンプが導入された。電源途絶の非常時への対応も必要。

**(238) 欧州熱供給セクターの脱炭素におけるヒートポンプの役割** (The role of electric heat pumps in the decarbonisation of the heating sector in Europe)

Martin Forsen 氏ら、NIBE Energy Systems (スウェーデン)

ビルディングへの熱供給など、ガスボイラーからヒートポンプへの転換により、1990年→2018年の欧州平均で一次エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量は46%低下した。電力のCO<sub>2</sub>排出係数の低いフランスでは特に削減量が大きい。経済性の観点では、ガスに比べ、電気が1.5~4.2倍高く、その差は2014年→2020年で広がっている。ドイツは電気料金が高くオペレーションコストが下がらない点が課題となっている。

**(164) フィンランドでは100万台のヒートポンプが脱炭素へのエネルギー転換において主要な役割を演じている**

(Today's one million heat pumps are already in essential role in smart energy transition towards carbon neutral Finland)

Jussi Hirvonen 氏、フィンランドヒートポンプ協会

熱供給におけるヒートポンプのシェアは15%。フィンランドでは住宅、ビルディングへの熱供給用途に2002年頃からヒートポンプの適用が増大し、現在100万台稼働しており、2030年には200万台になり、2040年には400万台になる見込み。省エネであるため経済性も高い。地域熱供給、産業用は検討の段階。

**(048) 革新的熱マネジメントのための技術開発プロジェクト** (NEDO R&D Project for Innovative Thermal Management: 基調講演)

Tetsusiro Iwatsubo 氏ら、NEDO

200℃までの高温熱供給可能なヒートポンプなど、TherMATプロジェクトにおけるヒートポンプ関連テーマの開発状況を概説。

**(010) 米国のヒートポンプ市場の概況**

(US Heat Pump Market Overview-2020)

Melissa Lapsa 氏、オークリッジ国立研究所 (米)

2010年以降米国のヒートポンプ市場は堅実に拡大している。産業用は木材乾燥用途が75%を占める。

**3-3. 産業用・高温 HP (Heat Pump Applications / Industrial Heat Pumps / High Temperature Heat Pumps / Heat Pump Performance / New Heat Pump Technologies / Heat Pump Analysis - components and cycles)**

**(240) 産業用高温ヒートポンプの開発と化学工場の洗浄工程等への実装** (Development and Implementation of Industrial High Temperature Heat Pumps for Waste Scrubbing Process: 基調講演)

Gilbong Lee 氏ら、韓国エネルギー技術研究院

産業用高温ヒートポンプは、乾燥工程へのニーズが多い。フレンチフライ、ビールなどの食品工場では90~98℃の沸騰水の供給ニーズがある。50~70℃の排水を熱源とし、120℃の蒸気を供給する加熱能力348kWのヒートポンプのプロトタイプを製作し、ポリカーボネート工場で実証試験を行った。他に、複数の工場を繋いだヒートポンプによる熱供給ネットワークイメージ、業種別の高温/低温熱需要、食品工場(チョコレート、製麺)での温熱冷熱同時供給ヒートポンプの適用例、ビール工場での温熱冷熱同時供給ヒートポンプによるプロセス転換の例、乾燥工程へのヒートポンプ適用例、ビール製造工程への120℃蒸気供給ヒートポンプの適用案などが示された。

**(343) 熱力学解析による高温ヒートポンプサイクル用冷媒の選択** (Thermodynamic analysis of refrigerant selection for high temperature heat pump cycles)

Takenobu Kaida 氏、電力中研

200℃までの高温ヒートポンプへの17種類の純冷媒を対象とした冷媒選択に関する検討結果の報告。エコノマイザー付きの2段サイクルについても検討。

**(004) 医薬品研究開発施設への蒸気供給高温ヒートポンプ** (Environmentally friendly steam generation using VHTHPs at a pharmaceutical research facility: 基調講演)

Tor-Martin Tveit 氏ら、Olvondo Technology 社 (ノルウェー)

Horizon2020プロジェクトでアストラゼネカ社のゲーテンベルグの医薬開発拠点に183℃の蒸気を供給する400kWの温冷併給ヒートポンプと105℃の熱源蒸気発生装置との組み合わせを3基導入しデータを収集した。COPのさらなる向上、装置費用の低減などが今後の課題。

**(103) 高温ヒートポンプを用いた蓄熱システムの開発と評価** (Development and Lab-scale Performance Evaluation of a High Temperature Heat Pump for Integration into a Power-to-Heat to-Power System)

Miguel Ramirez Stefanou 氏ら、Tecnalia (スペイン)

高圧の熱エネルギー蓄熱システムの提案。再生可能エネルギーによる電力をヒートポンプを使い熱の形で蓄え、ORC発電で電気を供給する。熱源温度は60~100℃、蓄熱温度は133℃以上。ヒートポンプのCOPは3.8~7.2。

**(156) 2段サイクル蒸気発生産業用ヒートポンプの設計と評価** (Design and Experimental Results of a Two-Stage Steam Producing Industrial Heat Pump)

Andrew Marina 氏ら、オランダ応用科学研究機構 TNO

150℃までの蒸気供給ヒートポンプがターゲット。既存の機器を組み合わせで構成。1段圧縮では、熱源85→80℃、蒸気温度131℃、COP=2.69、97.5kWで、2段圧縮では、熱源L65→60℃、H105→102℃、蒸気温度150℃、COP=2.06、144kWであった。今後、産業用としてスケールアップを検討。

**(216) 高温ヒートポンプ冷媒の比較実験**

(Experimental comparison of R1224yd(Z) and R1233zd(E) in a high temperature heat pump)

Cordin Arpagaus 氏ら、NTB プラス応用科学技術大(スイス)

高温ヒートポンプ用冷媒の検討。乾燥、蒸気発生、殺菌、製紙、食品工場・プロセスでの熱回収型ヒートポンプがターゲット。熱源温度は40~80℃、熱供給は70~150℃。内部熱交換器を用いるとCOPは15~48%向上する。COPは150℃で1.4~2.0程度。加熱温度差ΔT Liftの増大に伴いCOPは低下。160℃用冷媒の1336mzz(z)は調達可能。

**(306) 球根乾燥工程へのヒートポンプの適用**

(Heat pump assisted drying of flower bulbs)

Carlos Infante Ferreira 氏ら、デルフト工科大 (蘭)

350kWh/dayのガス燃焼で行っている球根乾燥工程にCOP≒6のヒートポンプの適用をケーススタディした。800kgの球根入りの箱10個を40~60kWで8時間で乾燥させる。消費再生可能エネルギー電力は170kWh/day。乾燥時の温度は20~30℃。球根を傷めないために35℃以下が必要。

**(322) 産業ヒートポンプの統合シミュレーション技術のための利用形態の分類** (Categorization of industrial heat

pump for integrated simulation technology : 基調講演)

Jongsoo Jeong 先生ら、早稲田大

TherMAT プロジェクトにおけるヒートポンプシミュレーター開発状況の報告。今後、冷却サイクルにも拡張してゆく。

#### (232) ヒートポンプを用いた海水脱塩プロセスの評価

(Experimental Setup and Test of a Desalination System Using a Heat Pump)

Soo Kwang Yang 氏ら、釜山国立大 (韓国)

LG 製ヒートポンプを用い、海水脱塩プロセス (ヒートポンプ、蒸発器、蒸気の組合せ) へ海水予熱の為の 80℃ 熱を供給。経済性がポイント。

#### (104) 太陽熱の蓄熱システムにおける高温ヒートポンプの実験的解析 (Experimental Analysis of a High Temperature Heat Pump Using Stored Heat from a Solar Thermal System : 基調講演)

Miguel Ramirez Stefanou 氏ら、Tecnalia (スペイン)

ビルディングにおいて高温ヒートポンプは 19% の熱供給をしている。太陽熱を蓄熱し 30~50℃ の熱源としたヒートポンプにより、病院に 75℃ の熱供給を 10 月から 4 月の寒冷期に行うシステムをポーランドのワルシャワに設置し評価した。ガスボイラーと併用。加熱能力は 35~44kW。COP は 5.3~6。EINSTEIN FP7 プロジェクトの成果。

#### (062) 蒸気発生高温ヒートポンプの理論解析

(Theoretical investigation of high-temperature heat pump cycles for steam generation)

Cordin Arpagaus 氏ら、NTB プラス応用科学技術大 (スイス)

Python/Coolprop を使った EES ソフトウェアで COP をシミュレートし考察。蒸気発生ヒートポンプの平均 COP=3.2、 $\Delta T$  Lift は 62℃、蒸気供給温度は 109℃~153℃、熱源温度は 44~94℃。熱源温度の上昇に伴い COP が向上。投資コスト、運転コスト、15 年稼働時のトータルコストを比較。

#### (075) 乾燥工程への高温ヒートポンプの適用実検討

(High temperature heat pumps for drying - first results of operation in industrial environment)

Veronika Wilk 氏ら、オーストリア技術研究所 AIT

DryFicient プロジェクトでは、レンガ乾燥、でんぷん乾燥、生物汚泥の乾燥工程へ高温ヒートポンプを適用し評価している。IEA Heat Pump Annex48 では 7ヶ国 300 例以上の、産業分野関連のヒートポンプ適用事例を、食品工場と、産業排熱の地域熱供給を中心に集めた。課題は 100℃ を超える高効率な熱供給。レンガ乾燥工程ではヒートポンプ 2 基で、120~158℃ の熱供給を行った。熱源温度は 88℃。120℃ 熱供給での COP は 4.65、158℃ の熱供給での COP は 2.66 で結果は満足するものであった。

#### (340) 逆ブレイトンサイクル高温ヒートポンプの部分負荷特性 (Part Load Capability of a High Temperature Heat Pump with Reversed Brayton Cycle)

Johannes Oehler 氏ら、ドイツ航空宇宙センター

航空機用ヒートポンプの検討。100℃~500℃ の熱供給

がターゲット。

#### (097) 産業排熱利用高温蒸気供給ヒートポンプの解析

(Analysis of a steam generating high temperature heat pump for industrial waste heat recovery)

Sabrina Dusek 氏ら、オーストリア技術研究所 AIT

Bamboo プロジェクトで 150℃ までの蒸気供給を狙いとした低圧蒸気発生ヒートポンプを検討。蒸気温度 120℃、144℃、158℃ それぞれに適した冷媒をシミュレーションで評価。158℃ での COP は 2.2 程度の見込み。

#### (130) 産業用排熱回収ヒートポンプのエネルギー特性評価 (Energy Performance Estimation and Verification of an Industrial Waste Heat Recovery Heat Pump : 基調講演)

Toshihiko Okuno 氏ら、電力中研

クリーニング工場で排熱回収ヒートポンプをフィールド評価。50~65℃ の熱を供給し COP は 4.0~4.5。課題は蒸発器に繊維が付着し熱効率が低下すること。ランダムバブリングで 14 時間ごとに自己洗浄できるようにした。

#### (163) 排熱利用、低 GWP 冷媒使用の産業用 200℃ 温水供給ヒートポンプの開発 (Research and development for 200°C compressed water heat pump using exhaust heat with low GWP refrigerant for industrial use)

Ryosuke Suemitsu 氏ら、三菱重工サーマルシステムズ

化学プラントと塗装焼き付けラインは 100℃ の排熱と 120~190℃ の熱需要があり、200℃ までの熱供給可能な高温ヒートポンプの導入が効果的と考えられる。160℃ の熱供給と 200℃ の熱供給ヒートポンプに最適な冷媒をそれぞれ見定めた。90℃ の熱供給ヒートポンプにドロップインテストを行い、170℃ の熱供給を確認した。

#### (193) 燃焼ガス吸収ヒートポンプの解析 (Analysis of a directly gas-fired absorption heat pump with an improved condensing boiler technology)

Philipp Wagner 氏ら、グラーツ工科大学 (奥)

燃焼ガス吸収ヒートポンプとエネルギー効率の高いガスボイラーを比較。アンモニア水/水を用いたプロトタイプ。FluePump プロジェクトでの取り組み。

#### 4. まとめ

TherMAT プロジェクト (JPNP15007) の技術調査活動の一環として、高温ヒートポンプに関連する内容を中心に、関連のある 2 つの会議に参加し、技術・市場・政策等の動向を調査した。この結果、国情の違いや、国を超えた共通の目標や課題について認識を深めることができた。今後、本プロジェクトにおいて分室として携わっているテーマ<sup>3)</sup> 通して、産官学の連携により 2050 年カーボンニュートラル社会の実現へ貢献してゆきたい。

#### 参考文献

- 1) <https://www.ecos.eu/de/veranstaltungen/details/industrial-waste-heat-utilisation-in-japan-866.html>
- 2) <https://www.hpc2020.org/>
- 3) 豊田:「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 CO<sub>2</sub> 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 -」JRCM NEWS 第 410 号 (2020.12) pp.2-4.

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第 418 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 2021 年 8 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

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

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