

TODAY

## 「水素社会」を拓くアンモニア



元戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「エネルギーキャリア」サブ・プログラムディレクター

塩沢 文朗

水素エネルギーとしてのアンモニア (NH<sub>3</sub>) について「JRCM ニュース」で書くのは、2015年4月以降、今回で4回目<sup>1)</sup>になる。NH<sub>3</sub>のCO<sub>2</sub>フリー燃料、水素エネルギーキャリアとしての可能性がようやく認知されたのは、2017年12月の「水素基本戦略」になったことなのだが、今般、閣議決定された第6次「エネルギー基本計画」では、「水素・アンモニア」が「2050年カーボンニュートラル」目標実現のための重要なエネルギー源の一つとして位置付けられた。2014年から5年の間、SIP「エネルギーキャリア」<sup>2)</sup>でNH<sub>3</sub>の主として発電燃料としての直接利用に関する研究開発と調査分析に携わり、その後もその成果の普及に取り組んできた者の一人として、そうしたNH<sub>3</sub>の可能性が広く認知されたことには多少の感慨を覚える。

今では、CO<sub>2</sub>フリー燃料としてのNH<sub>3</sub>のサプライチェーン構築に向けた、国内外企業の取り組みに関するニュースを目にすることは珍しくなくなった。ここ最近の資源価格の変調による悪影響が少し心配だが、NH<sub>3</sub>の導入に向けた活動の中心は、すでに企業が担いつつあると言えるだろう。

しかし、NH<sub>3</sub>のサプライチェーンの構築には、まだいくつかの重要な取組み課題が残っているし、将来の日本のエネルギーシステムにおけるCO<sub>2</sub>フリーエネルギーとしてのNH<sub>3</sub>の役割についても、その全体像が明らかになっていないと言えないと思う。今回は、紙幅も限られているので、これらの課題等についての私の見解を、簡潔に列記してみたい。

研究開発面の課題は、NH<sub>3</sub>の発電利用における高混焼化・専焼化の実装のための実証を積み重ねることである。発電利用においては技術の長期安定性と信頼性の確認が特に重要であり、そのための長期実証を行う必要がある。このために、2024年に混焼率を20%まで段階的に高めることを目指したNH<sub>3</sub>混焼実証が、JERA(株)の碧南石炭火力発電所で既に始まっている。

発電分野でのNH<sub>3</sub>利用環境を整えるための制度整備も重要である。NH<sub>3</sub>発電電力の非化石価値の適切な評

価、省エネ法に基づく発電効率に係るベンチマーク基準の改正、発電利用にあたっての安全確保を図るための設備基準等の見直し等が行われる必要がある。

加えて、「エネルギー基本計画」で掲げられた2050年、2,000万トンの供給量の確保に向け、まずは2030年までに300万トンのサプライチェーンの構築に取り組む必要がある。このための資源外交の展開、公的ファイナンスの供与等の官民連携による資源確保を行う必要がある。

現在、これらの課題の克服のための制度整備や政策的支援が講じられつつある。

他方、重要だが解決の方向性が見えていない課題もある。CO<sub>2</sub>フリーの価値の評価の問題である。再エネ由来の水素を原料とするNH<sub>3</sub> (“グリーン”NH<sub>3</sub>)の製造コストが低下するまでの間<sup>3)</sup>は、天然ガスを原料としCCSでCO<sub>2</sub>を除去したCO<sub>2</sub>フリーNH<sub>3</sub> (“ブルー”NH<sub>3</sub>)の製造コストが安い。“ブルー”のCO<sub>2</sub>フリーNH<sub>3</sub>のコストは、当然に天然ガスよりも高いので、CO<sub>2</sub>フリーの価値<sup>4)</sup>がコストに反映されない限りは、天然ガスに対するCO<sub>2</sub>フリーNH<sub>3</sub>の競争力はない。

カーボンニュートラル目標の達成におけるNH<sub>3</sub>の役割についても、さらに検討の余地がある。水素エネルギーは、産業分野の脱炭素化でも大きな役割を期待されている(例えば、そのために、年間、鉄鋼業で700万トン、石油化学工業でも700万トンの大量の水素が必要との試算がある)のだが、それだけ大量の水素を調達、輸送する手段は確立していない。水素に再転換することなく、直接、CO<sub>2</sub>フリーの燃料として利用できることがNH<sub>3</sub>の大きなメリットの一つだが、もうひとつのNH<sub>3</sub>の大きな長は、大量の水素エネルギーを長距離、比較的安価に輸送できることにある。このため輸送量と輸送距離次第では、NH<sub>3</sub>から水素に(クラッキングにより)再転換しても、その水素はコスト的に優位となる可能性がある<sup>5)</sup>。こうした水素キャリアとしてのNH<sub>3</sub>の可能性についても、今後、追求されることが必要ではないかと思う。

1) 2015.4 No.342 「水素エネルギーの利用とSIP『エネルギーキャリア』」  
2018.3 No.377 「『水素基本戦略』とエネルギーキャリアとしてのアンモニア」  
2021.5 No.415 「カーボンニュートラルの実現とアンモニア」  
2) 内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「エネルギーキャリア」は、2014-18年度の間、実施された。  
3) 2035-40年頃には、電解コストの低下により、“グリーン”NH<sub>3</sub>の製造コストが“ブルー”を下回ると考えられている。  
4) ここで言う「価値」には、規制による制約やブランドイメージ等の非価格的要因により生ずる価値を含む。  
5) 実際、ドイツのthyssenkruppは、エネルギーキャリアとしてのNH<sub>3</sub>のポテンシャルをフルに活用するため、NH<sub>3</sub>クラッキングの新技術開発に投資していくことを発表している。

**日独エネルギー・環境フォーラム、アジアヒートポンプ・蓄熱技術ネットワーク東京ワークショップ、欧州の産業用高温ヒートポンプ DryEfficiency プロジェクト報告会に参加して**  
 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に関する技術調査活動の一環として、① 2021年2月16日～18日にオンラインで開催された「日独エネルギー・環境フォーラム」、② 2021年2月25日にオンラインで開催された「アジアヒートポンプ・蓄熱技術ネットワーク東京ワークショップ」、③ 2021年7月6日にオンラインで開催された「欧州の産業用高温ヒートポンプ DryEfficiency プロジェクト報告会」に参加し、産業用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. 第11回日独エネルギー・環境フォーラム<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)、ドイツ連邦経済・エネルギー省 (BMWi)、ドイツ連邦環境・自然保護・原子炉安全省 (BMU) の共催で、第11回日独エネルギー・環境フォーラム「産業の明日-産業分野の脱炭素化」がオンラインで開催された。各日約300名、延べ約900名が参加。

### 2-1. 産業分野の脱炭素化が日独両国の気候変動とエネルギーの政策・戦略・シナリオに果たす役割 (基調講演)

BMU ノベルト・ゴリセン氏：産業セクターのCO<sub>2</sub>排出量は30%。あらゆるセクターでの対応が必要。2020年はコロナの影響で排出量は8%減った。2021年のリバウンドを避け2019年をピークとする必要がある。再生可能エネルギーを増やし化石エネルギーを過去のものとし、2030年に55%削減し、2050年にカーボンニュートラルを達成する。ドイツでは7万人の雇用をかかえる石炭産業からの脱石炭プロセスが必要。このことによりCO<sub>2</sub>排出量はかなり削減される。石炭の時代は終わった。ドイツでは2030年に再生可能エネルギーを電力の65%とし、2050年には電力もカーボンニュートラルとする。現在、ドイツ国内での熱供給や交通においてCO<sub>2</sub>排出には25€/トンが課せられているが、2025年には55€/トンとなる見込み。エネルギー集約型産業である鉄鋼業では、20億€の基金によりグリーン水素による直接還元に取り組んでいる。

BMWi ウルズラ・ボラック氏：産業の脱炭素化は課題でありチャンスである。ドイツでは2020年において50%近くを再生可能エネルギーで賄った。2022年末までに原子力発電を全廃し、2030年までにグリッドを拡張刷新し、再生可能エネルギーをさらに急速に60%に拡張し、2038年までに石炭発電を全廃する。

NEDO 石塚博昭氏：2019年欧州グリーンディール政策が発表された。日本ではグリーン成長戦略を公表。産業分野の脱炭素化は電化と電力の脱炭素化が前提。成長の機会でもある。2兆円の基金を設けて開発新技術を社会実装してゆく。未利用熱エネルギーの有効活用が重要。水素も重要で2017年に水素基本戦略を策定し、技術のプラットフォームとして福島水素エネルギー研究フィールド FH2R を立ち上げた。

経済産業省・資源エネルギー庁 木原晋一氏：日本のエネルギー政策として、3E+S (エネルギーの安定供給、経済効率性、環境への適合、安全性) を基本概念としたグリーン成長戦略を策定した。東日本大震災以後、原発は9基再稼働している。今後2030年の目標を議論する。民間の投資を期待。洋上風力、水素、燃料アンモニア、原子力など。洋上風力は漁業者との調整が1つの課題。水素は水素価格が課題。2030年には3\$/kg、2050年には2\$/kgを目指す。燃料電池車の普及なども念頭。1万kWの水電解システムを福島に稼働させた。水素の海上輸送もスコープ。火力発電も2045年には100%水素とする。炭素リサイクルではCO<sub>2</sub>を資源と捉えてCCUSが必要。2019年に技術ロードマップを策定。昨年 Tokyo Beyond Zero Week を開催。技術立国により経済と環境の好循環を図ってゆきたい。

環境省 瀬川恵子氏：脱炭素の動きを加速したい。カーボンプライシングは温暖化対策税として検討がなされている。石炭火力の輸出には少なくとも高効率という厳しいクライテリアが必要。日本では200以上の地方公共団体が2050年のGHG Net 0を宣言している。これは人口の75%以上に相当する。鉄鋼連盟も2050年のGHG Net 0を宣言している。これらに向けた法的な整備が必要。現在、COP26に向けてCO<sub>2</sub>排出削減の2030年目標が策定されている。各企業にも登録してもらい義務化してゆく方向。EV補助、部屋の断熱・換気、人材なども重要。東京、横浜、京都など228の市がゼロカーボンCityを表明している。

### 2-2. 産業界はいかにカーボンニュートラルを達成できるか？

世界市場志向国の気候中立産業への道—課題、方向性、枠組み条件 エコ研究所 フェリックス・クリスチャン・マッテス氏：ドイツにおいてCO<sub>2</sub>排出量は1990年代から大きく下がってきている。これまで水素は1980年代、2000年頃、2018年以降と3回ブームがあった。現在、天然ガスとCCSにより作られるブルー水素が利用可能な状況になってきている。

気候中立な産業 — 鉄鋼、化学、セメント業界にとって鍵となる技術及び政策的オプション Agora Energiewende フィリップ・ハウザー氏：1990年から2000年にかけてCO<sub>2</sub>の排出量は削減された。2030年に69%をグリーン電力とするために、今後風力発電を増やす必要がある。この際ピーク電力への対処が必要となる。鉄鋼業のCO<sub>2</sub>削減には水素が必要。CCSはチャレンジ。2050年でも農業、産業廃棄物によるCO<sub>2</sub>の排出は残る。リサイクル、循環経済も重要。これらの産業では2030年の55%のCO<sub>2</sub>排出削減目標に向け、CO<sub>2</sub>削減に必要なコストをそれぞれの技術において大幅に下げる必要がある。産業部門の脱炭素化 東京大学 有馬純先生：2050年のカーボンニュートラルに向けての産業政策として14の成長分野が示されている。電化がすすめられるため2050年に向けて電力需要は30~50%増大する。水素も要素の一つ。10年間で2兆円のグリーンイノベーション基金が設けられた。電力の脱炭素化のための分担とコストを明らかにする必要がある。水素還元製鉄等の実現には現在の約100円/m<sup>3</sup>の水素価格を8円/m<sup>3</sup>まで下げる必要がある。2050年気候ニュートラル—産業部門のエネルギートランジションと水素 自然エネルギー財団 西田裕子氏：現在Agoraと共同で2050年までの道筋をコスト最適で解くなどのシミュレーションを行っている。石炭、原子力は2030年で終える前提。グリーン水素が産業の脱炭素に重要でありコストが重要。現状グリーン水素は電力よりコスト高。産業用の水素は半分が国産、半分は輸入されるとの前提を置いている。CCSは考慮に入れていない。

### **2-3. 産業分野の脱炭素化に向けた課題、戦略及び技術的選択肢**

産業分野の脱炭素化に向けた道筋 気候保護コンピテンスセンター ベルンド・ヴェンツェ氏：産官学をつないで、産業分野の脱炭素化に取り組んでいる。ボッシュにおけるカーボンニュートラルの立場 ボッシュ ラウラ・ジープマン氏：ボッシュでは2030年までに、炭素ニュートラルエネルギーなどのために10億€を支出し、省エネ投資に10億€を支出し、省エネの結果10億€支出を削減する計画である。デジタル化による脱炭素化 アドヴァンシング・サステナビリティ社 クリス・タッペン氏：エネルギー、輸送、産業、農業などの分野でのCO<sub>2</sub>削減にデジタルソリューション技術が重要。

産業分野のデジタル化—Future Energy Lab プロジェクト ドイツエネルギー機構 マティアス・ベーゼヴェター氏：ドイツエネルギー機構ではスタートアップ、アカデミアを繋ぎサポートし、エネルギー転換を後押ししてゆく。

産業のエネルギーマネジメントにおけるデジタル化—気候中立に向けた足がかり NRW エネルギー機関

エックハルト・ビュッシャー氏：ドイツでは南部が再生可能エネルギーの供給地で、北部がエネルギーの需要地となっている。再生可能エネルギーは増えており、電力の生産地と消費地の接続が課題となってくる。

高温熱ポンプ—産業のための効率的でグリーンなプロセス熱 ドイツ宇宙航空センター ウーヴェ・リーデル氏：ガスタービンサイクルを用いた高温ヒートポンプ開発プロジェクトCoBraを計画している。2019年に研究所を立ち上げた。エネルギーや産業プロセスの排熱を用いて、150℃以上550℃までの熱需要を賄う。この温度範囲の熱需要は全体の30%を占めるが、対応可能なヒートポンプがない。加熱能力MWクラスの出力が必要。排熱を利用した電力供給もスコープとしている。パイロットプラントを建設の予定。まず、2021年に空気を熱源とした加熱温度300℃、加熱能力300kWのプロトタイプを作成し、さらに、2024~2025年では400℃、MWクラスを目標とする。効率COPは、40℃から150℃で理想的には3.8だがまずは2.0で良しとする。

クローネ社表面工学センターにおける廃熱利用 ベルンハルト・クローネ社 マティアス・シュリクテン氏：自動車シャシー部品の表面処理工場における排熱有効利用の結果を紹介。CO<sub>2</sub>排出量を33%削減できた。

アルミ製造における資源効率向上を通じた省エネ Aluminium Norf社 クラウス・ヴェルナー・デーメル氏：スクラップチャージング工程の自動化によるCO<sub>2</sub>削減を計画。

産業分野の脱炭素化における水素の役割—産業界における需要と利用法 フラウンホーファーシステムイノベーション研究所 アンドレア・ヘルプスト氏：産業分野の脱炭素化における水素利用についての対応技術と課題を整理。

ドイツ国内初の水素ネットワークの実現 RWE Generation SE社 リサ・ヴィルナウアー氏：再生利用可能エネルギーで作られた水素等をラインパイプを用いて広域に供給するプロジェクトが進行中。

SALCOS®—CO<sub>2</sub>排出量をおさえた鉄鋼製造のための持続可能性コンセプト ザルトギッター・フラッハシュタール社 ペーター・ユッフマン氏：CO<sub>2</sub>フリー水素を利用した水素製鉄の問題は経済性。水素への設備投資費用とオペレーション費用が高くなる。

産業分野を中心とした社会の脱炭素化に向けたデジタル化/エネルギーマネジメントの取組み

NEDO 矢部彰氏：ドイツではCCSには懐疑的。地盤がしっかりしていないとならない。コストは安い。2050年までのカーボンニュートラル達成と日立の取組み

日立製作所 門田和也氏：日立製作所は、エネルギーの生産、供給網、貯蔵、需要、デジタルソリューションなどを通して世界的なカーボンニュートラル達成に貢献してゆく。

**Smart Energy Store への挑戦** ローソン 樋口智治氏：ローソンはゼロエネルギーストアとIT技術をベースとしたスマートエネルギーストアを目指している。

**産業セクターにおける脱炭素化** 東京電力エナジーパートナー 佐々木正信氏：脱炭素化は電化と電力の脱炭素化により進められてゆく。この実現には、デジタル化、再生可能エネルギーの変動への対応、バッテリー、産業熱需要に対応するグリーン水素が必要。産業用高温ヒートポンプでは、鉄鋼、製油などの大容量の熱需要は賄えない。マクロのバーチャルパワープラントVPPの効果で、ユーザーはEV接続などが自由に可能となる。

**数値最適化による製造工程全般のエネルギー保全と温室効果ガス放出の削減** 東洋エンジニアリング 若林敏佑氏：蒸気ボイラーや、リボイラーなどを含む化学プロセスでの省エネは簡単でない。ピンチ解析ベースの熱とエネルギーの総合的なシミュレーションによりソリューションを提供している。

**銅精錬におけるリサイクル技術によるリサイクル社会と脱炭素化実現へのイニシャティブ** JX 金属 竹内智久氏：リサイクルスクラップ利用により非鉄金属製造におけるCO<sub>2</sub>排出量を削減。

**水素活用による革新的製鉄技術：COURSE50** 日本製鉄 野村誠治氏：製鉄において高炉法が7割を占めている。水素還元は技術的にも難易度が高い。吸熱反応となるため熱の補給が必要。水素の調達価格、高い電気料金も課題。

**工場を核としたCO<sub>2</sub>フリーエネルギーバランシングスキーム** 丸紅 柚木博行氏：丸紅では水素エネルギー製造、輸送、利用技術やCO<sub>2</sub>削減技術に対して世界的に取り組みを進めている。日本での洋上風力はこれから。北海道苫小牧に太陽光の大規模発電施設を建設。牛糞からのバイオガスも検討。ウィンドパークをオンショアからオフショアへ新しく設置し、グリーン水素を製造してゆく。

**CO<sub>2</sub>フリーの水素社会構築を目指したP2Gシステム** 山梨県 坂本正樹氏：山梨県は、再生利用可能エネルギーを用いた水素製造プロジェクトなど、CO<sub>2</sub>削減技術に関連したプロジェクトに多面的に取り組んでいる。

### **3. 第9回アジアヒートポンプ・蓄熱技術ネットワーク東京ワークショップ<sup>2)</sup>の概要**

一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターの主催で、第9回アジアヒートポンプ・蓄熱技術ネットワークAHPNW東京ワークショップ「ネットゼロエミッションに向けたヒートポンプの役割」がオンラインで行われた。約100名が参加。

**開会挨拶** ヒートポンプ・蓄熱センター 小宮山宏氏：本ネットワークはアジア地域におけるヒートポンプ全般の普及を狙いとして2011年に7か国で発足。今後世界的にエネルギー需要の増大は確実であり、

一方世界で120以上の国が2050年CO<sub>2</sub>ネットゼロを宣言している。日本ではエコキュートが2020年現在700万台まで普及した。今後、産業用、業務用のヒートポンプの普及拡大により、アジア地域の脱炭素化に貢献してゆきたい。

**脱炭素社会実現のためのヒートポンプ技術** 欧州ヒートポンプ協会 Thomas Nowak氏：欧州における産業用、業務用ヒートポンプ普及の状況・狙い・課題を概説。

**2017年東京共同宣言について—日本の現状—** ヒートポンプ・蓄熱センター 佐々木俊文氏：日本での産業用のヒートポンプ導入は2013年の設定ターゲットに対して遅れている。この要因として、工場それぞれのエネルギー利用状況の把握が必要となること、それぞれに応じた設備とすると汎用機化が難しい点などが挙げられる。こうした点も考慮し、産業・業務部門における高効率ヒートポンプ導入促進のための補助金の枠組みが新たに設けられた。

**タイにおけるヒートポンプ市場のトレンドおよび政策** タイ国エネルギー省 Supachai Sampao氏、キングモンクット工科大 Piyatida Trinuruk先生：日泰共同で行った産業用ヒートポンプのオンサイト試験を紹介。ヒートポンプの動向と展望：韓国の市場とエネルギー政策 韓国産業技術研究所 Jun Choi氏：韓国では産業用ヒートポンプ市場は未形成。

**中国のエネルギー政策とヒートポンプ市場** 中国建筑科学研究院 Yang Lingyan先生：中国においては産業用ヒートポンプ技術、市場は未発達。

**ヒートポンプの現状と展望・インド市場の可能性** インド暖房冷凍空調学会 Vishal Kapur氏：ホテルでのヒートポンプ適用事例を紹介。産業用は、農業、自動車、食品工業の、洗浄、プロセス熱供給に利用されている。そのほとんどは蒸気再圧縮型ヒートポンプ。**ベトナムのエネルギー遷移とヒートポンプ市場の可能性** ハノイ工科大学 Hoang-Luong Pham先生：ホテルでの適用事例の紹介と、産業用ポテンシャルとして食品工業での適用を例示。

**ヒートポンプの動向とエネルギー政策** インドネシア冷暖房熱流体技術研究所 Agus Wismakumara氏：ヒートポンプ導入はエアコン、給湯などから。

**東南アジアへのヒートポンプ給湯機普及に向けたHPTCJの取組み** ヒートポンプ・蓄熱センター／前川製作所 町田明登氏：ホテル、病院等業務用温水供給ヒートポンプのタイ、ベトナム、インドネシアを対象とした普及活動について報告。業務用は運転パターン情報はあるものの浴槽文化は浸透していない。今後は空調を含むシステムの高層マンションへの適用・普及を検討してゆく。

**ネットゼロエミッションに向けたヒートポンプの役割** 早稲田大学 齋藤潔先生：ヒートポンプ役割と展望についてシミュレータに言及しながら概説。産業分

野への普及には産業分野の垣根を超えることが肝要。蓄熱システムは、従来、昼夜の電力料金差を利用した節約のために導入されたが、今後は多数の機器を繋いだデマンドレスポンスのために使われてゆく。多くのシステムを繋いだ構成要素の1つとしてヒートポンプは使われてゆくべき。

**閉会挨拶** ヒートポンプ・蓄熱センター 林由紀夫氏：中国ではヒートポンプの導入が急拡大している。アジア地域におけるネットゼロエミッションに向け、ヒートポンプ開発技術の社会実装が重要。

#### 4. 欧州の産業用高温ヒートポンプ DryFiciency プロジェクト報告会<sup>3)</sup>の概要

欧州の産業用高温ヒートポンプ DryFiciency プロジェクトの総括報告会がオンラインで行われた。

##### 2050年CO<sub>2</sub>排出正味ゼロに向けたロードマップ

国際エネルギー機関 IEA Timur Guel 氏、Peter Levi 氏：電力、産業、運輸、業務各分野ごとの2050年CO<sub>2</sub>ゼロにむけた5年ごとのマイルストーンを設定。2050年CO<sub>2</sub>ゼロには現在開発途上にある技術の実装・適用が不可欠。発展途上国での大幅な産業分野での生産増大と並行してCO<sub>2</sub>ゼロ化を進めるために、産業分野についてもドラスティックなCO<sub>2</sub>削減が必要。削減には既に投資されているCO<sub>2</sub>を排出する現有設備の余命についても考慮する必要がある。特に平均寿命が40年程度と長い中国における新しい鉄鋼業関連設備への対応が課題となる。化学、セメントなど他の重工業分野においては平均設備寿命が25年であり、設備更新の際にロックインを避ければ2050年までのCO<sub>2</sub>削減の潜在余地はかなりある。化学、鉄鋼、セメントなどの重工業のCO<sub>2</sub>ゼロにはCCUSや水素など技術革新を要する方策の適用が不可欠。化学、鉄鋼、セメント以外の産業での熱需要に対する電気エネルギーのシェアは現在20%未満だが、2050年には65%を占めると想定される。

**DryFiciency プロジェクトの概要** オーストリア技術研究所 AIT Veronika Wilk 氏：DryFiciency プロジェクトは2016年に始まり、3つのサイトで実証試験を行った。乾燥工程は産業分野におけるエネルギー消費の10~25%を占める。このうち実際の製

品加熱に用いられるエネルギーは15%程度。コンソーシアムでは閉ループと開ループのヒートポンプそれぞれについて検討を行った。プロジェクトではレンガ乾燥、でんぷん乾燥、生物汚泥乾燥について160℃までの熱供給を狙いとしたヒートポンプで実証試験を行った(図1)。

Wienerberger 社のレンガ乾燥工程では、レンガ焼成炉の排熱を利用して、90°の温水をヒートポンプに供給し、温度115℃、湿度2%などのガスでレンガを乾燥させる。計算では160~120℃のヒートポンプ乾燥により、従来の天然ガスバーナーに比べ、エネルギー使用量、CO<sub>2</sub>排出量ともに65~80%削減される。要素技術としてスクリー型とピストン型コンプレッサー、潤滑油と冷媒をヒートポンプ用に開発した。AIT製の閉ループ160°熱供給ヒートポンプでは冷媒にR1336mzz(Z)を用いた。レンガ乾燥工程(95→120℃、130℃→160℃に加熱)とAgrana社のでんぷん(110→135℃、150℃に加熱)乾燥工程での各々5ヶ月に及ぶ実証試験の実績温度データ等が紹介された。成績係数COPは加熱温度差 $\Delta T_{Lift}$ が増大するほど低下し1.5~3.5のレベル。ヒートポンプの加熱出力は約300kW。開発機器は今後加熱分野におけるエネルギーとCO<sub>2</sub>削減に大きく貢献すると期待される。

##### 開ループヒートポンプシステムの開発と実証結果

SINTEF 社 Michael Bantle 氏、EPCON 社 Jan Haraldsen 氏：蒸気を再圧縮・加熱し、直接/間接蒸気乾燥器に供給。冷媒は水。1~3段圧縮で検討。ノルウェーのScanship社の生物汚泥乾燥工程がデモンストレーションサイト。成績係数COPは $\Delta T_{Lift}$ が増大するほど低下する。新たにコンプレッサーを開発。自己蒸気機械圧縮型ヒートポンプで45℃昇温、COP > 4、加熱能力500kWを達成。

##### DryFiciency プロジェクトの産業分野CO<sub>2</sub>削減政策・戦略へのインパクト

欧州ヒートポンプ協会 Thomas Nowak 氏：欧州ヒートポンプ協会は2000年に設立され現在22か国、146の団体がメンバーとなっている。産業用途、地域熱供給もヒートポンプ適用のターゲットの1つ。2020年現在、1480万



図1. DryFiciency プロジェクトで実証試験に供された高温ヒートポンプの外観\*  
(Wienerberger 社レンガ乾燥工程に導入された閉ループヒートポンプ(左)、Agrana 社でんぷん乾燥工程に導入された開ループヒートポンプ(中)、Scanship 社の生物汚泥乾燥工程に導入された開ループヒートポンプ(右))

\*Wilk 氏プレゼン資料より許可を得て転載

台のヒートポンプにより、203TWh 相当の化石燃料が削減され、4060 万トンの CO<sub>2</sub> が削減されている。ヒートポンプの製造拠点は現在欧州に 165 か所以上あり、82 億€の市場となっている。ヒートポンプ関連で9万人フルタイム相当の雇用を生んでいる。ヒートポンプ市場は 2010 年から 2020 年にかけて年率約 10%で成長してきた。産業用ヒートポンプは推計約 18,000 台が稼働している。加熱能力は 50～5000kW。欧州では産業分野において、2950TWh のエネルギー需要があり、うち 1958TWh が熱需要である。このうち 724TWh がヒートポンプでの供給の可能性のある熱需要である。

産業分野の熱需要におけるヒートポンプは漸増傾向にあり現在約 20%を占めている。2035 年までに 50%となるか？温冷熱需要において、住宅向け温冷熱需要の占める割合は年々増加しており現在約 20%となっている。欧州での業務用熱需要の 65%、住居用熱需要の 40%をヒートポンプで賄うことを目標としている。これは現在の既存ヒートポンプの約 4 倍に相当する。2050 年にゼロカーボン達成するには産業用ヒートポンプの毎月 500MW 分の新設が必要。産業用や地域熱供給向けの大型ヒートポンプには、地所内他工程の過剰エネルギーの排熱利用や、再生可能エネルギーをエネルギー源とするなど、閉じたエネルギーサイクルを構築する必要がある。ヒートポンプの適用の際には、排熱と熱需要の熱バランスが重要な鍵。

**産業分野における高温ヒートポンプポテンシャルの取り込み** パネルディスカッション：ヒートポンプはエネルギーを削減し、CO<sub>2</sub> 排出力削減に寄与する。変動への対応性、耐久性、安全性も重要。AGRANA 社は 2050 年までのカーボンフリー製造を目指している。CO<sub>2</sub> 削減は EU だけの課題ではない。Wienerberger 社もゼロカーボンフットプリントプロダクトを目指しており、脱カーボン化に向け投資してゆく。

**今後の技術開発について** パネルディスカッション：大型ヒートポンプ適用のための課題は、電力コスト、投資対効果（現状 ROI は 3～5 年が求められている）、既存熱供給インフラ、供給温度の制約・限界、既存工程へのヒートポンプシステムの組み込み（蒸気ベースの工場インフラの一新、新しいシステム導入に際してのダウンタイム、など）、安全性・信頼性（日常のダウンタイムの極小化）、経験知識の不足、など。工場プロセスには冗長性も必要。ハイブリッド乾燥システムや既存ボイラーをバックアップに用いるの

も一法。適用拡大には DryEfficiency の後継プロジェクトは必要か？新技術を用いた圧縮機の開発は必要。プロセスごとの標準化も必要。欧州において天然ガスは枯渇しつつある。一方、蒸気そのものも必要とされている。CO<sub>2</sub> 排出価格の影響は？今後 50～60 €/トンになるようなことになると大きな変化になる。

## 5. おわりに

TherMAT プロジェクト (JPNP15007) の技術調査活動の一環として、関連する 3つの会議に参加し、高温ヒートポンプに関する内容を中心に技術・市場・政策等の動向を調査した。この結果、前報<sup>4)</sup>と同様、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。

今後引き続き、本プロジェクトにおいて分室として携わっている産業分野の排熱実態調査と導入シナリオの検討、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などを通して、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。なお、本プロジェクトにおいて開発した産業用ヒートポンプシミュレーター<sup>5)</sup>は、金属系材料研究開発センター JRCM のホームページ (<http://www.jrcm.or.jp/>) のリンク集『▶「産業用ヒートポンプシミュレーター」ダウンロードページ』経由で、アフィリエイトの入力と ID とパスワードの取得によりダウンロード可能となっているので是非活用頂きたい (図 2)。

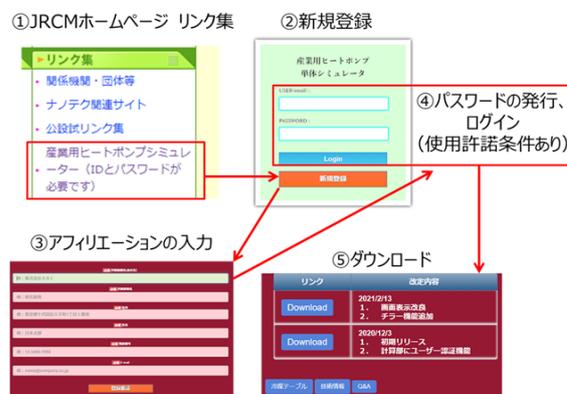


図 2. 産業用ヒートポンプシミュレーターのダウンロードの要領

### 【参考文献】

- 1) [https://www.nedo.go.jp/events/report/ZZAT09\\_100018.html](https://www.nedo.go.jp/events/report/ZZAT09_100018.html)
- 2) [https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/ahpnw/9thmeeting/9\\_202102.pdf](https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/ahpnw/9thmeeting/9_202102.pdf)
- 3) <https://dryefficiency.eu/>
- 4) 豊田：「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」JRCM NEWS 第 418 号 (2021.8) pp.2-6.
- 5) 占部、宮岡、鄭、齋藤、淵上、町田、豊田：「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の開発」エレクトロヒート No.239 (2021.9) pp.9-14.、など

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第 422 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 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  
 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)