

隔日刊 月・水・金曜日発行（休日休刊）

昭和40年4月30日第3種郵便物認可

2024（令和6）年1月5日（金曜日）第8466号

新年特集号

「産業部門の脱炭素化に資する

「高温ヒートポンプの動向」

一般財団法人・電力中央研究所

グリッド・イノベーション研究本部

ENIC研究部門

主任研究員 甲斐田 武延

▼はじめに～高温ヒートポンプへの期待と現状

▼IEAヒートポンプ技術協力プログラム

「Annex 58」

▼高温ヒートポンプの技術動向

▼最後に～今後の展望

電力時事通信

発行所
（株）電力時事通信社
〒105-0004
東京都港区新橋6-2-9
折田ビル4階
TEL (03) 6450-1647㈹
FAX (03) 6450-1657
雑誌料 6ヶ月 29,160円
(本体 27,000円)

▼ はじめに～高温ヒートポンプへの期待と現状

カーボンニュートラル実現に向けて、まずは徹底した省エネルギーに加え、電源の脱炭素化とエネルギー需要の電化を同時に進めることが肝要である。ヒートポンプは、省エネルギーと電化の両方に貢献する技術であり、高効率な脱炭素化技術である。このようなヒートポンプを広く活用していくために、民生部門の暖房や給湯だけでなく、産業部門の加熱プロセス（洗浄、殺菌、乾燥、蒸留、濃縮など）への適用拡大が期待されている。民生部門の暖房や給湯とは異なり、産業部門の熱需要の温度範囲は広く、より供給温度の高いヒートポンプが求められる。日本や欧洲では、産業部門の熱需要のうち、100°C未満が約1割、100～200°Cが約2割を占める。すなわち、供給温度を200°Cまで高温化することによって、最大で産業部門の熱需要の約3割に対応してヒートポンプを適用できるポテンシャルがある。ただし、これは適切な熱源を確保できることを前提とした場合のポテンシャルである。

3ページに掲げた表1に、国際エネルギー機関（IEA）が現在の産業用ヒートポンプの技術成熟度を温度帯別に整理したものを示す。供給温度100°C未満では多数の産業用ヒートポンプが商用化され、導入が進展している。一方、供給温度100°C以上の高温ヒートポンプについては、一部商用化されているものがある段階であり、様々なヒートポンプの開発や実証が進められている。このように、開発や実証が活発化している高温ヒートポンプの技術動向を国

際的に共有し、普及拡大のための情報を発信することを目的として、IEAヒートポンプ技術協力プログラムの枠組みの中で「Annex 58（高温ヒートポンプ）」というプロジェクトが実施され、著者もメンバーとして参加した。

以降では、Annex 58の活動概要とともに、高温ヒートポンプの技術動向を紹介する。

供給温度	IEA TRL (技術成熟度)	適用プロセスの例
~80°C	11 (安定的なシェア拡大)	製紙: 脱墨工程 食品: 濃縮工程 化学: 生物反応槽
80~100°C	10 (導入初期)	製紙: 漂白工程 食品: 納豆工程 化学: 煮沸工程
100~140°C	8~9 (フィールド実証)	製紙: 乾燥工程 食品: 蒸発工程 化学: 濃縮工程
140~160°C	6~7 (ラボ実証)	製紙: パリレブの煮沸工程 食品: 乾燥工程 化学: 蒸留工程 各種産業: 蒸気製造
160~200°C	4~5 (プロトタイプ) ※蒸気再圧縮機 (MVR) (は8~9 (フィールド実証))	各種産業: 蒸気製造
200°C~	4 (プロトタイプ)	各種産業: 高温プロセス

出典: IEA, World Energy Outlook Special Report: The Future of Heat Pumps, November 2022

表1 産業用ヒートポンプの技術成熟度

IEAは、第一次オイルショック時の石油供給不安を背景に、1974年に経済協力開発機構(OECD)の下部組織として設立された。OECD加盟国における安定したエネルギー需給構造の確立が活動の中心であった。その中で、省エネルギー推進の観点から、1978年にヒートポンプ技術協力プログラムが設立され、OECD加盟国間で

Annex 58

▼ IEAヒートポンプ技術協力プログラム

情報を共有し合い、ヒートポンプ技術の開発や利用を進めってきた。

近年は、省エネルギーだけでなく、カーボンニュートラルの観点からもヒートポンプは重要な技術として認識され、IEAヒートポンプ技術協力プログラムの活動は活発化している。2023年11月末時点では、IEAヒートポンプ技術協力プログラムには20か国が参加している。この中で、ヒートポンプに関する個別技術テーマについて希望国が参加して国際共同研究を行う「Annex」というプロジェクト活動がある。高温ヒートポンプに関するAnnex 58は、2021年1月に開始し、2023年12月末で終了の予定となっている(執筆時点)。デンマーク技術研究所が運営機関を務め、14か国が参加している。2021年時点では欧州各国とカナダ、日本の10か国が参加していたが、2022年から中国、韓国、米国、フィンランドの4か国が途中参加した。

Annex 58の活動目的は、供給温度が100°C以上の高温ヒートポンプの技術的可能性和適用先に関する情報、ヒートポンプへの転換戦略を、エンドユーティリティ、エンジニアリング会社、エネルギーサービス会社、コンサルティング会社、政策立案者などの幅広いステークホルダーに提供することである。商用段階になつた技術や実証段階にある技術を対象として、カーボンニュートラル実現に向けて2020年代から社会実装できる技術を特定し、活用していくための情報を提供することが狙いである。

5ページの表2に示すように、Annex 58の活動内容は5つのTaskで構成されている。Task 1では、ヒー

ポンプ機器を対象とし、供給温度100°C以上の高温ヒートポンプの最新技術動向を整理する。Task 2では、ヒートポンプと生産プロセスとの統合についてコンセプトを作成する。Task 2では理論的なアプローチを採用するが、Task 3では技術的課題以外の障壁も考慮し、実際の導入にあたっての戦略を作成する。Task 4では大容量ヒートポンプの受け渡しの際の試験方法等について整理する。

後述するが、加熱能力が1MWを超える技術も出てきている。このような大容量ヒートポンプでは、事前にラボで試験して性能マップを準備することが困難であり、客先で試験を行うことになるため、その方法の確立が求められている。Task 5では、Task 1から4に関することについて、様々なステークホルダーへの情報発信を行う。現在Task 1の報告書をウェブ上に公開しており、残りのTaskについても近日中に公開する予定である。

題目	内容
Task 1 技術	高温ヒートポンプに関する最新技術動向の整理 ・冷媒、圧縮機、サイクルなど
Task 2 統合コンセプト	高温ヒートポンプの統合コンセプトの作成 ・プロセス統合：蒸留塔、噴霧乾燥機、塗装乾燥ブース、ベーキングオーブン、メキシ処理槽など ・ユーティリティ統合：蒸気、加圧水
Task 3 導入戦略	実際の導入にあたっての戦略の構築 ・技術的課題以外の障壁も考慮
Task 4 試験方法	大容量ヒートポンプの導入マネジメントの補助 ・計画、設計、施工、受入検査などの導入マネジメントに関する情報の整理 ・試験方法や性能評価方法に関するガイドラインの提案
Task 5 情報発信	様々なステークホルダーへの情報発信 ・報告書の作成、ウェブサイトの開設、雑誌への寄稿、ワークショップの開催など

表2 IEAヒートポンプ技術協力プログラム Annex 58の活動内容

▼ 高温ヒートポンプの技術動向

Task 1で得られた成果の一部を紹介する。メーカ(またはサプライヤ)の技術について、商用済みの技術(TRL・技術成熟度レベル9)だけでなく、開発・実証中の技術(TRL4~8)も含めて調査した。2022年末時点では29社、34技術を抽出し、各技術について温度範囲、能力範囲、冷媒や圧縮機の種類、機器コスト、サイズ、想定寿命、TRL、導入事例に関する情報を収集した。29社のうち、日本からはコベルコ・コンプレッサ、富士電機、前川製作所、三菱重工サーマルシステムズの4社、カナダからはEmersonの1社、それ以外はすべて欧州メーカーである。欧州では、従来の冷凍機メーカーが所有技術を高温化していき高温ヒートポンプに取り組んでいるケースもあれば、エンジンやタービンなどを製造していた原動機メーカーが熱機関技術の生き残りをかけてヒートポンプ事業に新規参入したり、あるいは新興企業が出てきたりしている。今後の市場拡大が見込まれる産業用高温ヒートポンプで、ビジネスチャンスをつかもうとしている様子が見て取れる。

収集した34技術に関する情報のうち、「供給温度」と「加熱能力」について紹介する。まず、最高供給温度については、120°Cレベルは、従来の冷媒でも供給可能であつた温度レベルであり、主に低圧蒸気ラインへの適用をターゲットとしている。

従来、120°C以上にヒートポンプで熱をくみ上げるためには、水蒸気を冷媒として使用するしか手段がなく、機

器が大型化してしまった課題があった。しかし、近年の高温冷媒の開発や燃焼性を有する自然冷媒(ブタンやペンタン)の適用によって、150°Cレベルのヒートポンプを構築できるようになり、商用段階に入った技術もある。この温度レベルまで昇温できれば、一部の乾燥機など適用可能なプロセスが拡大する。さらに、水蒸気圧縮技術の進展、蒸気圧縮式以外のヒートポンプ技術(ガスサイクル式など)の開発によって、200°Cレベルのヒートポンプが実証試験中である。

次に、加熱能力については、30 kWから70 MWまで幅広いが、概して高温供給のものほど加熱能力が大きい傾向にある。120°Cレベルでは数百kWクラスのものが多いが、150°Cレベルでは大半がMWクラスの規模である。150°C以上ではユーティリティレベルでの適用を念頭に入れて、大容量な仕様にしていると考えられる。

▼ 最後に今後の展望

このような供給温度150°C以上のヒートポンプを開発して、経済的に成立するかどうか疑問に思う読者もいるかもしれない。ヒートポンプは熱をくみ上げる技術であるため、そのエネルギー性能($COP = \text{供給熱量} / \text{消費電力量}$)はくみ上げる熱の温度差(温度リフト=熱供給温度-熱気温度)に大きく依存する。概して、温度リフトが60°CでCOPは3程度、90°CでCOPは2程度となる。現在の日本では、燃料料金に対する電気料金の比率(二次エネルギー価格比)が比較的高いため、経済性が成立するためには少

なくとも3以上のCOPが要求される。一方、欧州では、二次エネルギー価格比に地域的分布があり、COPが2程度でも市場競争力のある国や地域がある。そのため、現時点でも90℃あるいはそれ以上の温度リフトで経済的に成立するケースがある。加えて、欧州ではCO₂の排出量取引価格が上昇してきており、今後はさらにヒートポンプの経済性が増していくことも予想される。

このように、欧州ではヒートポンプにとつて良好なエネルギー事情をもつ国があり、そこから高温ヒートポンプの実装を開始し、技術成熟度を高めながら、適用先を拡大でくる。欧州だけでなく、Annex 58に途中から加わった米国や中国でも高温ヒートポンプの技術開発をこれから加速させる様子である。日本では、10年以上前から欧州よりも先に高温ヒートポンプの技術開発と商用化を進めてきたものの、東日本大震災以降エネルギー事情が悪化し、高温ヒートポンプ導入の機会が損なわれた。高温ヒートポンプの普及環境を整備して国内での導入実績を積み、近い将来海外展開できるようになるように、技術実証を推進したい。民生用ヒートポンプについては、日本メーカーは高い国際競争力を有している。同様に、産業用ヒートポンプについても、今後の日本の成長産業として捉え、メーカー、電気事業者、行政を含む幅広いステークホルダーが協力していくことを期待したい。

(おわり)

☆

【著者略歴】 甲斐田 武延 (かいだたけのぶ) .. 九州大学大学院工学府機械科学専攻修士課程修了。2011年、電力中央研究所入所。専門は熱工学。主に産業用ヒートポンプの研究開発に従事。