

# ヒートポンプ技術マガジン

Vol.43 No.2 / 2025

## 「次世代ヒートポンプ効率化のためのスマート制御と AI」

ヒートポンプテクノロジーマガジン 2/2025 号へようこそ!

2025 年第 2 号では、時宜を得た先見性のあるテーマ「次世代ヒートポンプ効率のためのスマート制御と AI」に焦点を当てます。ヒートポンプ分野が進化を続ける中、インテリジェント制御システム、データ駆動型最適化、人工知能（AI）の統合は、より高い効率性、信頼性、ユーザー中心の運用を実現するために不可欠であることが証明されています。

本稿では、**スマートアルゴリズム、リアルタイム監視、予知保全、適応型システム管理**が、住宅・商業・産業・地域エネルギー分野における性能をいかに変革しているかを検証します。読者は、最先端の研究、デジタル化戦略、導入事例から得た実践的知見を通じて、業界全体での普及に向けた道筋を明らかにできるでしょう。

この号には以下の特集も掲載されています：

- ・ **序文：** 欧州のエネルギーの未来の要となるデジタル化
- ・ **コラム：** バリューチェーン連携による産業用ヒートポンプの進化

### 主な話題の記事：

- ・ 歴史的地区の暖房供給再設計における最適制御を用いたハイブリッドヒートポンプシステムの効率向上
- ・ ソフト障害診断と評価戦略：住宅部門における冷暖房関連の排出量削減に向けた最先端技術「BEYOND」
- ・ AI が冷却装置およびヒートポンプの予知保全に与える影響
- ・ スマートコントローラーが革新的かつ持続可能な住宅用供給熱ネットワークの設計と運用を実現
- ・ 人工ニューラルネットワークを用いたスターリング式高温ヒートポンプの COP 予測への応用
- ・ データ駆動型モデル予測制御による加熱曲線を上回る性能

- ヒートポンプ統合型第 5 世代地域冷暖房システムに対応した将来を見据えた建築設計：建物改修と最適制御がネットワーク性能に与える影響
- Autodomos: 室内ヒートポンプデータに基づく住宅熱負荷予測

最後に、**National Market** セクションでは、欧州で最も活気のあるヒートポンプ市場の 1 つから得た貴重な知見を提供する**ノルウェー**に焦点を当て、詳細なヒートポンプ市場レポートをお届けします。

これらの記事は、デジタルインテリジェンスと AI がヒートポンプ性能の新たな次元を切り開き、より効率的でクリーン、スマートかつ強靱なエネルギーの未来を推進していることを示しています。

*Enjoy your reading!    どうぞお楽しみください！*

**Dr Metkel Yebiyo, Editor**

*Heat Pump Centre*

*The central communication activity of the Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP)*

[ヒートポンプ技術マガジンを購読する](#)

ニュースや最新情報、更に詳しい情報については、[ウェブサイト](#)をご覧ください

[Read HPT Magazine NO2/2025](#)

### 序文

#### 欧州のエネルギーの未来の要となるデジタル化

By Bernd Windholz, Thematic Coordinator, Efficient Buildings and HVAC Technologies, Center for Energy, AIT, Austrian Institute of Technology, Austria [Windholz@ait.ac.at](mailto:Windholz@ait.ac.at)

欧州のエネルギーシステムのデジタル化は、EU 行動計画をはじめとする様々な要因を背景に、柔軟なエネルギー生成と消費の可能性を最大限に引き出すために加速しています。デジタル技術は、システムの最適化、運用コストの削減、ネットワークインフラのコスト削減を可能にします[1]。こうした可能性を踏まえ、エネルギーシステムのデジタル化は、EU の「Digital Decade 2030」プログラム[2]と連携し、政治的優先事項となっています。デジタル化に向けた取り組みに伴い、ヒートポンプ技術も変革を遂げています。

IEA の「Net Zero by 2050」報告書によると、世界の建物に合計 180 万台のヒートポンプを設置し暖房需要の半分以上を賄う必要があります。これは 2020 年の水準と比較して 10 倍の増加となります[3]。

しかし、変化しているのはヒートポンプの数だけではありません。その運用方法も変化しています。HPT マガジン最新号が示すように、デジタル化によって、将来のヒートポンプシステムはより高い効率を達成し、信頼性を高め、ユーザー中心の運用が可能になります。

最近終了した IEA HPT Annex 56「[ヒートポンプのデジタル化と IoT](#)」の成果は、この変化を浮き彫りにしています。モノのインターネット (IoT) サービスの 44 の事例が分類され、詳細に説明されています[4, 5]。市場で入手可能なソリューションには以下が含まれます：

- ・ヒートポンプの運転最適化：例えば、Energy Machines 社の「EMV」は、ヒートポンプの COP、エネルギー生産量、サイクル効率の実測値から機能と性能を分析するオンラインサービスです。これはエネルギーメーターに代わる測定手段であるだけでなく、それらの限界をも超えており、熱力学サイクルからさらに多くの情報を抽出することが可能です[6]。
- ・予知保全：例えば、ヒートポンプの遠隔診断向け IoT ソリューションである Smart Guard は、ヒートポンプの効率的かつ安全な運転を保証し、メンテナンスワークフローを簡素化します。遠隔診断は、訓練を受けたサービス要員により自動および手動の両方で実施されます。特に、故障したヒートポンプの検出は、自動化されたアルゴリズムによって行われます[7]。
- ・柔軟性の提供：例えば、ティコパワーは、サービスプロバイダーがヒートポンプのオン/オフを制御できるシステムであり、系統運用者が周波数と安定性を維持するのに役立ちます。ヒートポンプのエネルギー消費特性は、他のパラメータとともに、地域の気象条件に応じて決定されます。居住者の快適性を確保し、ヒートポンプの寿命を縮めるのを防ぐために、遠隔制御は定義された範囲内で行われます[8]。

IEA HPT Annex 56 は、欧州全域における接続型ヒートポンプのデジタル成熟度に関する初期知見を提供しました。間もなく開始される IEA Project 67「[ヒートポンプ向けデジタルサービス](#)」は、この知見を基に、製品設計・試験から統合、運用・保守に至るまで、ヒートポ

ンプのライフサイクル全体にわたる具体的なデジタルソリューションを特定しています。これには、モデリング、ハードウェア・イン・ザ・ループ試験、拡張現実（AR）などが含まれます[9]。したがって、IEA の HPT TCP は、ヒートポンプとその構成部品の最大耐用年数の確保に加え、ヒートポンプオペレーターにとって可能な限り低い運用コストと高い実用性をさらに支援します。

## References:

- [1]. Digitalising the energy system – EU action plan, 18.10.2022,  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0552&qid=1666369684560>
- [2]. EC, Decision (EU) 2022/2481 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 establishing the Digital Decade Policy Programme 2030, 19.12.2022,  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022D2481&from=EN>
- [3]. IEA, Net Zero by 2050, IEA, Paris, 2021.  
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- [4]. IEA, Annex 56 Internet of things for Heat Pumps – Final report,  
<https://heatpumpingtechnologies.org/publications/annex-56-digitalization-and-iot-for-heat-pumps-final-report/>
- [5]. IEA, Annex 56 Internet of things for Heat Pumps – Factsheets,  
<https://heatpumpingtechnologies.org/annex56/factsheets/>
- [6]. Factsheet "Energy machines verification (EMV)":  
<https://heatpumpingtechnologies.org/annex56/wp-content/uploads/sites/66/2023/04/iot-annex-56-case-dk-energy-machines.pdf>
- [7]. Factsheet "SmartGuard":  
<https://heatpumpingtechnologies.org/annex56/wp-content/uploads/sites/66/2023/06/iot-annex-56-case-ch-smartguard.pdf>
- [8]. Factsheet "Tiko Energy Solutions AG":  
<https://heatpumpingtechnologies.org/annex56/wp-content/uploads/sites/66/2023/06/iot-annex-56-case-ch-tiko.pdf>
- [9]. Legal text of IEA HPT Project 67, Version No. 3 from 2025-05-22,  
<https://heatpumpingtechnologies.org/project67/wp-content/uploads/sites/80/2025/05/legal-text-digital-services-for-heat-pumps-v3.pdf>

[Read more >](#)

---

## コラム

### バリューチェーン連携による産業用ヒートポンプの進化

By Benjamin Zühlendorf, Innovation Director, PhD, Danish Technological Institute  
[bez@dti.dk](mailto:bez@dti.dk)

産業用ヒートポンプは、国際エネルギー機関（IEA）の「2050 年までにネットゼロを実現 — 世界のエネルギー転換に向けたロードマップ」において、2030 年までに化石燃料ボイラーを代替する主要技術として位置付けられています。気候目標の達成には、軽工業における 400℃未満のプロセス熱の 15% をヒートポンプで賄う必要があり、これを実現するには、2021 年から 2030 年にかけて、世界全体で月平均 500MW の設置容量という急速な導入拡大が必要です。

## バリューチェーン連携による産業用ヒートポンプ導入の加速

従来のヒートポンプは建築物や地域熱供給において優れた実績を誇っていますが、産業用ヒートポンプが工業プロセスに統合されるにつれて複雑さが増し、連携の必要性も高まっています。技術提供者、システムインテグレーター、産業エンドユーザー、研究機関の連携が、技術的課題を克服し、産業用ヒートポンプソリューションの市場投入を加速させる上で、一貫して極めて重要であることが実証されています。

## 共同研究による水準の向上

資金提供を受けた研究開発プロジェクトには、バリューチェーン全体での連携が必須条件であり、この共同アプローチは一貫して、産業界のニーズに応える革新的かつ実用的な解決策を生み出してきました。近年、産業界の連携は産業用ヒートポンプの水準を大幅に引き上げています。IEA HPT Annex 58「[高温ヒートポンプ](#)」の成果は、まず第一に、産業用ヒートポンプが供給温度 100°C を大幅に超える領域へ、また多様な用途へと急速に発展していることを示しました。しかし同時に、市場を変革する多くの技術開発の背後には、バリューチェーン全体を巻き込んだ共同研究開発プロジェクトが重要な推進力となっていることも示しました。

## 知識の共有から大規模な影響へ

バリューチェーンの連携は個々の研究プロジェクトにおける重要な要素ですが、継続的な知識交換の場を設けることも重要です。幸いなことに、ヒートポンプ業界全体で開催されている会議の動向を見てみると、産業用ヒートポンプへの注目がますます高まっていることがわかります。

これは、コペンハーゲンで 2 年ごとに開催される高温ヒートポンプ（HTHP）シンポジウムにおいて、私たち自身が実感していることです。このシンポジウムは、HTHP のバリューチェーン全体に関わる会議の場となり、学术界と産業界を結びつけています。2017 年の初回開催時には約 60 名の参加者で始まったこのイベントは、2024 年には 400 名にまで拡大し、2026 年にはさらに増加すると予想されています。この目覚ましい成長は、産業用ヒートポンプへの関心の高まりと、産業成長の推進力としての協力と知識共有の重要性を反映しています。

こうした認識と勢いの高まりが、毎月 500MW の産業用ヒートポンプ容量を新規導入するという野心的な目標を達成するのに十分かどうかはまだ不明です。しかしながら、産業用高温ヒートポンプに関する新たな [HPT Project 68](#) の立ち上げにより、IEA のヒートポンプ技術に関する TCP（HPT TCP）はこの取り組みを支援し、業界が大規模導入に向けて前進できるよう尽力しています。

[Read more >](#)

---

## 話題の記事

歴史的地区の暖房供給再設計における最適制御を用いたハイブリッドヒートポンプシステムの効率向上

Karl Walther, Louis Hermans, Lone Meertens, Lieve Helsen, Belgium

本稿では、空気熱源ヒートポンプと地中熱源ヒートポンプを含むハイブリッドヒートポンプシステムを最適制御した場合の効率向上を、それぞれの単一熱源シナリオと比較して示します。ベルギー・ブルージュの歴史的地区「スティーン・ストルーフェル通り」の再設計を事例として用います。この地区の物理モデルと様々な供給オプションを用いて、従来のルールベース制御と最適制御を仮想的に比較します。ハイブリッドヒートポンプシステムの効率向上は、異なる熱源温度と予測される建物挙動を考慮した最適制御の能力に起因します。

[Read more >](#)

---

## ソフト障害診断と評価戦略：住宅部門における冷暖房関連の排出量削減に向けた最先端技術「BEYOND」

Belén Llopis-Mengual (Spain), Francesco Pelella (Italy), Luca Viscito (Italy), Alfonso William Mauro (Italy), Emilio Navarro-Peris (Spain)

ヒートポンプは脱炭素化に不可欠ですが、その効率は隠れた「ソフト障害」によって低下することが多く、1日のエネルギー消費量を最大26%増加させる可能性があります。この記事では、障害検出・診断手法の最先端技術に焦点を当て、機械学習技術と、適切かつ限定的な実験データセットに基づいて調整されたモデルによって生成される大量の合成データを組み合わせることの利点を指摘します。回復力のある運用を実現するスマートサービスの観点からは、性能とエネルギー効率の低下を引き起こす同時発生的なソフト障害の存在により、経済的および／または環境的に適切な介入策を評価するために、障害の強度評価も重要となります。この革新的な取り組みは現在、戦略的 EIC 資金プロジェクト「BEYOND」によって支援されています。

[Read more >](#)

---

## AI が冷却装置およびヒートポンプの予知保全に与える影響

Miguel Nájera García, Carrier South Europe, Spain

AI を活用した予知保全は、HVAC システムの管理方法を変革しています。リアルタイム監視、予測分析、自動意思決定を統合することで、このアプローチは性能、持続可能性、信頼性において目に見える成果をもたらします。もはや実験段階ではなく、AI は脱炭素化と運用効率化の追求において信頼できるパートナーとなりつつあります。エネルギー、環境、財務の目標達成を目指す施設にとって、予知保全は、スマートテクノロジーと長期的な成功を結びつける戦略的な道筋を提供します。

[Read more >](#)

---

## スマートコントローラーが革新的かつ持続可能な住宅用熱供給ネットワークの設計と運用を実現

*Vincent Bellinkx, Stef Gijsbregts, Lucas Verleyen, Lieve Helsen, KU Leuven, Belgium*

スマート制御型熱供給ネットワークは、持続可能な住宅用冷暖房を実現する有望な手法です。本稿では、4つの集約型熱供給エネルギーシステムにおいて、モデル予測制御を用いて、コスト・排出量・効率の面で性能を最適化する方法を示します。その結果、可変温度運転を備えたスマート制御二重配管熱供給ネットワークが最適な性能を実現し、ネットワークの熱損失と投資コストを削減することが明らかになりました。シミュレーションに基づくスマート制御を用いたサイズ選定により、従来の方法と比較して必要なヒートポンプ容量が69%も削減されることが実証されています。これらの調査結果は、住宅開発において集約型熱供給エネルギーシステムを導入する開発者にとって、スマート制御が重要な技術であることを示しています。

[Read more >](#)

---

## 人工ニューラルネットワークを用いたスターリング式高温ヒートポンプのCOP予測への応用

*José Daniel Marcos (Spain), Iman Golpour (Spain), Rubén Barbero (Spain), Alex Butean (Romania), Arne Høeg (Norway), Antonio Rovira (Spain)*

本研究では、レーベンバーク・マルカート誤差逆伝播法アルゴリズムを用いて学習させた多層パーセプトロン・フィードフォワード人工ニューラルネットワーク（MLP FFANN）を用いて、スターリングサイクル高温ヒートポンプ（HTHP）の性能係数（COP）を予測する。様々なニューロン数でテストしたANNモデルは、シグモイド関数とPurelin活性化関数を用いた。入力には、温度比、シンク／ソース温度、給湯入口温度を用いた。4-6-1トポロジーは、相関係数が最大0.995、MSE（平均誤差）が低いという優れた予測性能を示しました。結果は、HTHPシステムのCOP予測におけるANNの精度と信頼性を裏付けている。

[Read more >](#)

---

## データ駆動型モデル予測制御による加熱曲線を上回る性能

*Florian Will, Moritz Beckschulte, Stephan Göbel, Matthias Mersch, Christian Vering, Dirk Müller (Germany)*

デジタルツインは、モデル予測制御（MPC）などの高効率制御戦略を可能にするため、エネルギー消費量を削減と運用コストの低減が期待できる有望な技術です。ハードウェア・イン・ザ・ループ（HIL）試験装置は、実際のヒートポンプと模擬建物を組み合わせ、現実的かつ動的な運転条件下での設定を検証します。本研究では、典型的な冬の日におけるクラウドインフラストラクチャ内でデジタルツインを用いた MPC と、従来の暖房曲線コントローラーを比較します。MPC は、快適性を維持しエネルギー消費を最小限に抑えるために、コンプレッサーの速度を動的に調整します。結果として、MPC が標準的なコントローラーと比較して電力消費を 11%削減することが実証されています。

[Read more >](#)

---

## ヒートポンプ統合型第 5 世代地域冷暖房システムに対応した将来を見据えた建築設計：建物改修と最適制御がネットワーク性能に与える影響

*Anna Dell'Isola, Lieve Helsen, Belgium*

第 5 世代地域冷暖房（5GDHC）ネットワークは、残留エネルギー源と再生可能エネルギー源（R2ES）の割合を高める有望な解決策を提供します。しかし、その効率は建物の改修レベルとスマート制御戦略の両方に依存します。この記事では、シナリオベースのシミュレーション研究から得られた知見を紹介し、改修レベルの違いがシステム性能にどのような影響を与えるかを検証します。本研究では、最適制御（OC）がヒートポンプの運用を改善し、ピーク需要を削減し、将来を見据えた建物群における低温ネットワークの実用性を支援する方法を実証します。

[Read more >](#)

---

## Autodomos: 室内ヒートポンプデータに基づく住宅熱負荷予測

*Andries van Wijhe, Olav Vijlbrief, Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), Nethe*

暖房システムを含む個々の住宅のデジタルツインは、熱負荷予測に利用できます。これは、予測される環境条件（気温、日射量、風速など）、室内の熱負荷、電力供給状況に基づいて、ヒートポンプの稼働タイミングを決定するのに役立ちます。TNO が実施した研究では、ヒートポンプの運転データに基づいてデジタルツインを生成する Autodomos アルゴリズムが開発されました。Autodomos によって生成されたモデルは、住宅の熱損失／熱利得を予測し、ヒートポンプが供給すべき必要暖房量を算出できます。このモデルは、ヒートポンプ設備の自己設定や、ヒートポンプの柔軟性の可能性を最大限に引き出すために活用できます。

[Read more >](#)

---

# National Market Report

## ノルウェー：ヒートポンプ市場レポート

*Rolf Iver Mytting Hagemoen, Norwegian Heat Pump Association, Norway*

ノルウェーは、スウェーデンやフィンランドと並びヒートポンプ導入の世界的なリーダーとして独自のエネルギー転換モデルを体現しています。早期の電化推進、歴史的に低い電気料金、ガス暖房の最小化に支えられ北欧地域では比類のない規模でヒートポンプが普及しています。2022～2023 年の販売記録後、市場は最近調整局面を迎えましたが、長期的な見通しは依然として堅調です。ノルウェーの地域暖房は近隣諸国ほど普及していませんが、ヒートポンプは生産量の約 10%を占めています。地域暖房と産業プロセスにおけるヒートポンプの割合は今後さらに拡大すると予想されています。

[Read more >](#)

この HPT Magazine の効果的な活用のため、今後改善を図っていきたいと考えておりますので、  
忌憚のないご意見、ご要望などを下記事務局までお寄せ下さい。

事務局連絡先：（一財）ヒートポンプ・蓄熱センター 国際・技術研究部

IEA HPT TCP 日本事務局 竹内 章洋

TEL : 03-5643-2404

FAX : 03-5641-4501

e-mail : [takeuchi.akihiro@hptcj.or.jp](mailto:takeuchi.akihiro@hptcj.or.jp)