



IEA HPT Magazine No 2/2022



国内版（一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター発行）

Heat Pumping Technologies

MAGAZINE

A HEAT PUMP CENTRE PRODUCT

Control and Monitoring of Heat Pump Systems

THE EUROPEAN COMMISSION RELEASED
THE REPOWER EU PLAN

MASSIVE ROLL-OUT OF HEAT PUMPS CAN REDUCE
RELIANCE ON RUSSIAN FOSSIL FUELS & ACCELERATE
THE CLEAN ENERGY TRANSITION – EUROPEAN POLICIES
ARE REVISED TO STIMULATE THE DEPLOYMENT

VOL.40 NO 2/2022

ISSN 2002-018X

HPT マガジン国内版は、ヒートポンプセンター（IEA HPT TCP の事務局、在スウェーデン）が発行する IEA Heat Pumping Technologies MAGAZINE を日本語要約したものです。原文の IEA HPT MAGAZINE は、ヒートポンプセンターのホームページ <https://heatpumpingtechnologies.org/the-magazine/> からダウンロードが可能です。

ヒートポンプ技術

マガジン

VOL.40 NO.2 / 2022

ヒートポンプシステムの制御と監視

HPTマガジンno2/2022は[こちら>>](#)

1世紀以上にわたり、社会は経済を動かすために化石燃料に依存しており、こうしている間にも、多くのヨーロッパ諸国がロシアから輸入する化石燃料に依存していることがより明白になっている。世界的なエネルギー危機の出現に直面し、ヒートポンプ技術はかつてないほどに政策立案者から好意的な注目を集めている。IEAの『Net-Zero by 2050-A Road Map for the Global Energy Sector』によると、デジタル化とスマート制御は、技術の導入を加速し、2050年までに建築部門のCO2排出量を3億5000万トン削減可能とする効率向上を可能にする上で極めて重要である。本号の序文では、制御システムの最適化を実現するために何をどのように測定するべきかを知ることの重要性について述べる。

本号の特集記事はいずれも、(i) 運転・保守コストを削減しながら最高のエネルギー効率の達成を可能とする先進的制御・監視システムの開発、(ii) ヒートポンプのエネルギーシステムへのスマートな統合によってヒートポンプシステム性能を向上する新たな視点の探索の手法について記載しています。

- 序文：「測定することは知ること」 Signhild Gehlin
- コラム：どこまで下げられるか？ Marion Bakker
- ヒートポンプ技術のニュース
- ヒートポンプ技術協力プログラム 進行中のAnnex
- 特集記事
 - ヒートポンプやチラーを計画通りに稼働させるには？
Klas Berglöv
 - ホワイトボックス型モデル予測制御：ヒートポンプの最適制御とシステム統合
Filip Jorissen, Damien Picard, Wim Boydens and Lieve Helsen
 - ハイブリッド地中熱ヒートポンプシステムの長期最適制御。最適化までの道のりは？
Iago Cupeiro Figueroa and Lieve Helsen
 - 日射量予測による従来型ヒートポンプシステム制御の改善
Davide Rolando and Hatef Madani
 - 分散型エネルギーのフレキシビリティ活用におけるヒートポンプ制御の役割
Maarten Evens and Alessia Arteconi
- マーケットレポート
 - ドイツ：ヒートポンプ市場レポート Dr Rainer M. Jakobs
- イベント情報
- ナショナルチームの連絡先

HPTマガジンの購読は[こちら](#)

[ウェブサイト](#)では、ニュースや最新情報などをご覧いただけます。

[HPT マガジン no2/2022 を読む >](#)

特集記事：ヒートポンプやチラーを計画通りに稼働させるには？

40年にわたるヒートポンプ/チラー設備のトラブルシューティングと最適化の経験から「物事を正しく行うのはどれほど難しいか」という問いがよく出てくるのだが、実際には性能監視に関する正しい情報と明確な責任が無ければシステムは高効率とならない。また、エネルギーの20~30%が故障や最適化の欠如に起因して浪費されていることはよく知られている。そのため、既存プラントの最適化はCO2排出量の削減という点では「容易に達成できる成果」である。性能に対する関心が欠如しているのは、不動産市場の構造とHVACシステムの購買方法がもたらした結果である。

測定と検証（M&V）の仕様が、システムを様々な条件で意図したとおり運転させるのに必要な情報を提供することはこれまで極めて稀であった。システムが停止せず設計した温度で運転すれば、システムは設計どおりに動作していると見なされる。冬と夏の条件でチェックするのが一般的になりつつあるが、これは、構造化された方法で継続的に情報を記録するより成果は薄い。すべてのサイトで構造化された方法でデータを確実に収集することが費用対効果に優れている。

業界は、設計仕様の改善に加え、M&Vを適切なコミッションングとメンテナンスの一部とする必要がある。高価なセンサーを多数設置すればよいということではなく、どのセンサーをどのように取り付けて検証するかという「優れた手法」に従う必要がある。エネルギーの追跡には、屋外条件とともに1時間ごとのデータの取得が望ましいが、その1時間の間に何度も発停するヒートポンプ/チラーの温度と圧力の1時間平均値ではまったく使い物にならない。

二次側システムのバランスが取れている場合、最大の「電力消費源」である冷却システムが放置されたままである。実際、ヒートポンプ/チラーが定格運転するとした場合、エネルギーの60%が無視されることがよくある。これでは多数の故障の可能性が放置され、システムの効率と信頼性が低下してしまう。ヒートポンプ/チラー本体が (a)適正な冷媒充填量、(b)適正な過熱度、(c)圧縮機に不具合が無い事、(d)蒸発器効率、(e)凝縮器効率、など良好な状態にあり、最良の運転条件で運転されるようにすることが必要である。通常行われる保守点検では性能は確認されない。また点検時にシステムが安定稼働している可能性は極めて低いので、保守点検で性能を確認することは事実上不可能である。

最もわかりやすく簡単な省エネ対策は、低温側と高温側の両方に「浮動設定値 (floating set points)」を用いることである。低温側と高温側の設計条件に基づく単一設定値では、電力消費量が20~40%増加する。

今後のあるべき姿は、IEA HPT Annex 52で作成されたようなガイドラインを実行し、最先端の分析を用いてシステムを常時監視して性能の逸脱を検出すること、定期的に現場に向いて故障の都度対処するのではなく真因を突き止めることである。

Klas Berglöf, Head of R&D, ClimaCheck Sweden AB

この文章はHPCによって短縮されています。

[記事全文はこちら>>](#)

特集記事：ホワイトボックス型モデル予測制御：ヒートポンプの最適制御とシステム統合

建築物の暖房、換気、空調（HVAC）システムは、再生可能エネルギー源とヒートポンプベースの技術の統合によって、より複雑になってきている。建築物の熱需要によって冷暖房負荷が決まる社会から、価格シグナルを通じて利用可能な冷温熱が建築物の冷暖房タイミングを決定する社会へと進化している。さらに、ヒートポンプは温度差が小さいほど効率が高く、また、地中熱による直接冷房は地中温度より低い温度に利用できないため、再生可能エネルギー源では暖房にはより低い温度、冷房にはより高い温度が用いられる傾向がある。温度差が小さいと熱出力も小さくなるため、急激な電力ピークをより長い時間にわたって分散させなければならない。建築物の快適性に関する設定値を遅れずに達成す

るためには、放熱システムの慣性にもよるが、通常、冷暖房の開始を早める必要がある。

本記事ではまず、設計段階における適切なHVACシステムの選択と要素部品の容量選定の必要性を示している。もはや唯一の正しい設計というものには存在せず、現地の状況や建物の可能性、建設プロセスにおけるステークホルダーの持続可能性に対する目標を考慮した多くの実現可能な設計が考えられる。

モデル予測制御 (MPC) は、システムの数理モデルに基づき、当該システム (この場合は建物とその HVAC) を制御する予測制御手法である。このモデルでは、天気予報、居住者、建築外構、そして建築外構に接続されたHVAC機器を考慮する。モデルは、現在の制御動作が建物のエネルギー使用量、排出量、快適性および向こう数日間の運用上の制約に与える影響を予測する。制御信号は既存のビル管理システムに送られ、15分後に最適化が繰り返される。これがMPCの主な機能の概要だが、モデルの実装には様々なアプローチが存在し、建物に合わせて個別に開発する必要がある。差異は主に1)構成要素の数、2)それら構成要素の詳細度に関連している。このようなモデルでは一般的にモデルと実際のシステムの間に大きな不一致があり、モデルと実際の建築物を結合することを不可能にしている。

私たちの目標は、各建物の詳細を完全に把握し、HVACシステムの可能性を最大限に引き出すことである。したがって、物理現象の表現と建築物の室内空間表現の両方において詳細なモデルを用いる。これにより、モデルはシステム全体の詳細を認識することができる。実証を行った建築物の1つは、ブリュッセルにあるSwecoの一部、Fluvius and Boydens engineeringの4階建て、3000 m²のオフィスビルである。比較的温度の低い最下階では、MPCは暖房負荷の大部分をConcrete Core Activationにシフトさせ、エアハンドリングユニットの流量と建物全体の給気温度を低下させることができた。複数のゾーンと要素のこのような複雑な相互作用に対処できたことが私たちの精密なMPCの実装の強みであるが、実は一見して凝縮温度の上昇はバグだと考えていた。

Filip Jorissen, Damien Picard, Wim Boydens, Lieve Helsen, Belgium

この文章はHPCによって短縮されています。

[記事全文はこちら>>](#)

特集記事:ハイブリッド地中熱ヒートポンプシステムの長期最適制御。 最適化までの道のりは?

過去10年間、インテリジェントなビル管理と最適制御により建築物運用時に関連するCO₂排出量、エネルギー使用量、コストを軽減できる大きな可能性が実証されてきた。建築物で見られる最適制御技術は、モデルベース制御アプローチとマルコフ決定過程に分けることができる。両アプローチに共通する特徴の1つは、将来のシステム動作 (通常は数日間) に向けて最適化されることである。

私たちはモデル予測制御 (MPC) を建物エミュレータに適用している。対象建築物はIDEAS Modelicaライブラリの検証済みの忠実度の高いモデルを用いて1,200m²の単一空間としてモデル化している。建物には、熱の生産用に地中熱ヒートポンプ (GSHP) とガスボイラー、パッシブ冷房用に地熱ボアフィールド、冷熱発生用に動力を用いるチラーが装備されている。建物は埋設配管を用いた躯体の加熱冷却かエアコンかという、それぞれ低速、高速に応答する二次側システムを選択することもできる。こうして建物のケーススタディは一次側と二次側の両方でハイブリッドになっている。システム部品はこのエミュレータで行われた動的シミュレーションに基づいてサイズ選定され、地熱ボアフィールドは建物の熱源をハイブリッドシステムとするため意図的に小さめになっている。

最適化からの最初の入力セットは、暖房シーズンの初めを起点とするシミュレーションを進めるために使用し、それゆえループが閉じられる。最適化問題は、空間内の温熱快適性を維持しながら設備のエネルギー使用量を最小限に抑えることを目的としている。GSHPとガスボイラーの性能比は約5:1であるため、MPCは建物の暖房エネルギー需要を極力GSHPで賄うようにしている。計算上、この最適化問題への対応は高価であり、完全なMPCシミュレーションと同じオ

ーダーとなる。

最適制御問題(OCP)で得られたエネルギー分配の結果から、建物のエネルギー使用量をさらに削減できることが明らかになった。これを達成するため、OCPはパッシブ冷房による冷熱量を増加させ、ボアフィールドの熱のアンバランスを減少させ、次の暖房シーズンのGSHPの利用増加を可能にした。

要約すると、シャドウコストは長期的に見た建物のエネルギー使用量から成り、建物冷暖房需要の所定の予測値を用い、最適化問題に静的なエネルギーバランス方程式を追加することで計算できる。短期および長期の最適化はボアフィールドモデルの負荷履歴によって組み合わせられ、今度はボアフィールド出口流体温度の予測値が決定される。本シミュレーション研究は、地中の長期的なダイナミクスを考慮することでハイブリッド地熱システムの最適制御にさらなる可能性があることを明確に示している。

Iago Cupeiro Figueroa, Lieve Helsen KU Leuven & DeltaQ

この文章はHPCによって短縮されています。

[記事全文はこちら>>](#)

特集記事:日射量予測による従来型ヒートポンプシステム制御の改善

ヒートポンプシステムは、ここ数十年成長を続け、技術的な成熟を迎えた確立した技術である。並行して、費用対効果の高い強力なコントローラユニットの登場により、冷暖房システムの効率とフレキシビリティを向上させる新たな視点が出現してきた。電子機器の計算性能は、記録や通信の性能とともにここ数十年で向上し、ヒートポンプシステムのコントローラに高度な機能を導入する可能性に対する関心が高まっている。スウェーデンのEffSys ExpandプロジェクトP18「ヒートポンプシステムのスマート制御戦略」では、屋内の快適性を保証しながら全体のエネルギー効率を高めるためにヒートポンプシステムのコントローラに実装できる可能性のあるいくつかの手法を評価した。

本記事では、提案されたソリューションの1つとして、日射量予測によるヒートポンプシステムの従来型制御手法の改善について簡潔に述べる。住宅用ヒートポンプシステムの従来の基本的な制御アプローチは、外気温に基づく暖房二次側システム供給温度の計算に基づいている。このアプローチは、所与の外気温度に対して温熱快適性の条件に対応する室内温度を保証するために建物の暖房熱需要をバランスさせるように供給温度を決めるという考えに基づいている。スウェーデンでは、住宅用ヒートポンプ設備の多くは暖房曲線をシステムコントローラの唯一の入力としている。例えば、日射と居住者行動は室内温度の安定性と温熱快適性に影響を与えるエネルギーゲインとなる。プロジェクトP18では追加の入力に基づく暖房曲線の調整が検討され、改善ポテンシャルの検討結果が示された。

原則として、日々の日射量の予測によって、例えば、室内の温め過ぎを回避しつつ同時に暖房システムのエネルギー消費量を削減するよう暖房曲線を調整することが可能となる。晴天時日射量は特定の時間に利用可能な最大日射量を表し、これは特定の場所に対する太陽の相対位置を考慮して計算することができる。プロジェクトP18では、晴天時日射量の減衰の予測に基づいて日射量を予測する手法が開発され、戸建て住宅用ヒートポンプシステムシミュレーションモデルに実装された。結果から、日射量の予測による暖房曲線の修正により、月間10%以上の省エネが可能なケースもあることが示された。本制御戦略の実現に追加のセンサーが必要無い点は特筆すべきである。特に日射量の直接の測定は必要なく、システムのハードウェアの修正も不要である。

Davide Rolando and Hatf Madani, KTH Royal Institute of Technology, Sweden.

この文章はHPCによって短縮されています。

[記事全文はこちら>>](#)

特集記事：分散型エネルギーのフレキシビリティ活用におけるヒートポンプ制御の役割

2019年、冷暖房と給湯が欧州住宅部門最終エネルギー消費の75%以上を占めたが、住宅用ヒートポンプの市場シェアは2020年末時点でわずか6%に留まる。ヒートポンプ(HP)による燃焼の置き換えはエネルギー部門のさらなる脱炭素化を可能にし、再生可能エネルギー生産の増加もより持続可能なエネルギーの供給を可能にする。市場の可能性、再生可能であるという特性、電力網への接続性により、HPはエネルギーフレキシビリティサービスに適した技術の1つと考えられている。

しかし、HPメーカーが既に安全性、信頼性、エンドユーザー快適性の確保のために内部制御戦略を実装済みのため、HPの精密かつ短期的な挙動を制御することは容易ではない。エネルギー卸売市場との接続は、主にエネルギー安全保障およびユーザーと電力小売事業者とのエネルギーの売買のために維持されているが、近い将来電力グリッドのユーザーがエネルギーやフレキシビリティサービスを取引できるようになるため、実際のHPの挙動を正確に推定することが必要となる。

HPモデリングアプローチの比較から、エネルギー性能を正確に表現することが文献の主な焦点である一方、内部の制御戦略については大抵の場合無視されていることがわかった。校正したモデルと実験的な測定値を用いてHPのデジタルツインを開発することができ、デジタルツインによってエンドユーザーやエネルギー管理システムが限られたハードウェア要件でHPの挙動を決定することが可能となる。エネルギー取引中のHP制御に焦点を当て、エネルギーレベルと価格の決定にデジタルツインが用いられる。

直接の制御はメーカーに委ねる一方、フレキシビリティインターフェースの搭載がHPの電力消費制御の解決策として考えられる。そのため、そのような挙動の知識がなければフレキシビリティの量の推定はかなり困難である。最後に、可変容量HPは電力を調整できるため、部分負荷効率は供給するフレキシビリティの価格に影響を与える。ヒートポンプの制御ルールを迂回することはできないため、メーカーによって既に実装済みのヒートポンプの内部制御戦略に関する正確な知識を得ることが前段階である。また、マイクログリッドにおけるエンドユーザーのエネルギー取引には、取引中のヒートポンプの挙動とエネルギーフレキシビリティポテンシャルの正確な推定が必要となる。

Maarten Evens, Alessia Arteconi, KU Leuven, Belgium

この文章はHPCによって短縮されています。

[記事全文はこちら>>](#)

[Homepage](#)

[Contact us](#)

Forward to a friend

**RI
SE**

Newsletter hosted by

RISE Research Institutes of Sweden



Unsubscribe

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 旭 貴弘
TEL: 03-5643-2404 FAX: 03-5641-4501
e-mail: asahi.takahiro@hptcj.or.jp