

電気の新たな価値を活用する研究の紹介

電力中央研究所 次世代電力需給マネジメント特別研究チーム 電力・エネルギー価値創造グループ長 副研究参事 齋川 路之

「次世代電力需給マネジメント特別研究チーム」の研究や取り組みを4回にわたり紹介する第2回目は、電気の新たな価値を活用する“お客さまサイドの研究”として、ヒートポンプのさらなる高効率化と普及促進に向けた性能評価試験や技術開発、農業電化におけるヒートポンプやLED照明の活用に向けた研究開発、温熱快適性と省エネを両立した職住環境の検討に活用するためのツール開発、および電気自動車の普及のための充電インフラ整備に向けた研究開発などの取り組みを紹介する。

ヒートポンプに関する研究開発

ヒートポンプは、電気という質の高いエネルギーを利用して、熱を温度の低いところから奪って温度の高いところへ与える装置であり、少ないエネルギーで“温める”あるいは“冷やす”ということができる装置である。エアコン、冷蔵庫、ヒートポンプ給湯機など、私たちの身近なところで使われている。

ヒートポンプは、省エネルギー（一次エネルギー消費量削減）・省CO₂（CO₂排出量削減）技術として、国内

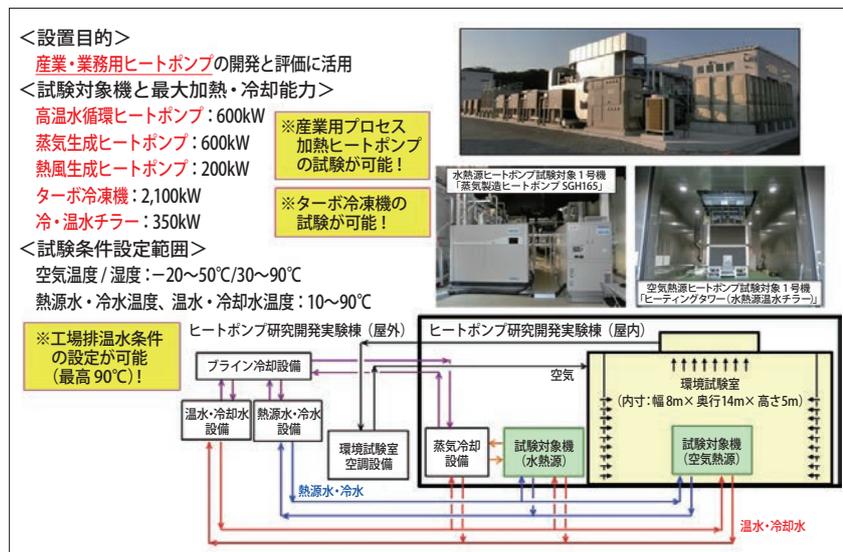
外で注目を集めており、いっそうの高効率化や産業分野への用途拡大などが期待されている。さらに、ヒートポンプの中で熱を実際に運ぶ物質を冷媒というが、現在使われている多くの冷媒は、地球温暖化係数（GWP）が基準となるCO₂の1に対し、数百から数千と大きい。そのため、低GWP冷媒の開発・利用も課題となっている。

当所では、これまでに、地球温暖化係数が低く（GWP=1）、オゾン層も破壊しないCO₂冷媒に着目し、実験と計算から、CO₂が給湯用のヒート

ポンプに最も適した冷媒であることを明らかにした。さらに、これら基礎的な研究の成果をもとに、東京電力とデンソーと共同で、「家庭用CO₂冷媒ヒートポンプ給湯機（愛称：エコキュート）」を2001年5月に世界で初めて商品化した。その後、他メーカーの市場参入や国の補助金制度により普及が進展し、2016年3月末で約500万台が出荷された。このような状況の下、当所は、「ヒートポンプ性能評価試験設備」を設置し、エコキュートなどを対象に、外気温度や給湯負荷などをパラメータとした性能評価試験を2007年から開始し、現在も継続して実施中である^[1]。

最近では、産業用プロセス加熱分野などでの熱源転換による省エネ・省CO₂を目指して、「ヒートポンプ開発試験設備」（図1）を2013年度に設置し、産業用の大型蒸気生成ヒートポンプなどを対象に、採熱源（工場排水など）の温度や生成蒸気の温度などをパラメータにした評価試験を実施中である^{[2][3]}。今後は、これらによって得られた知見を、産業分野向けの高効率ヒートポンプの開発などに活かしていく。

図1 ヒートポンプ開発試験設備の概要



また、ヒートポンプの効率向上に繋がる様々な基礎研究にも挑戦しており^[4]、今後も各種ヒートポンプのさらなる高効率化と普及促進に繋がっていくとともに、CO₂などの地球温暖化係数の低い冷媒の各種ヒートポンプへの適用を目指し、技術開発や機器性能評価などを進めていく。

農業電化に関する研究開発

当所では、農業電化に関して、植物工場や施設園芸におけるヒートポンプやLED照明の活用に関する研究開発を進めている。

園芸施設の暖房装置であるヒートポンプは、石油燃焼式暖房装置と比較して、省エネ性やCO₂発生量、ランニングコストなどについて高い評価があるが、ヒートポンプの使用によって作物にどのような影響があるのかは、花卉以外ではあまり知られていない。また、ハイブリッド方式のエネルギー利用に関する研究は進んでいるが、ヒートポンプ単独での知見は少ない。そこで当所では、2つの同型温室にヒートポンプと灯油暖房機をそれぞれ設置し、両温室におけるエネルギー消費量や栽培されたトマトの収量、品質などを比較することによって、ヒートポンプを利用した栽培の特性を明らかにする研究を行っている^[5]。

2棟(A棟およびB棟)の同型のガラス温室(間口6.3m、奥行12.6m、棟高3.7m、軒高2.2m)を使い、A棟には空気熱源ヒートポンプを、B棟には灯油暖房機を設置し、トマトの冬季栽培試験を実施した。結果の一例を図2に示す。図は、栽培期間中

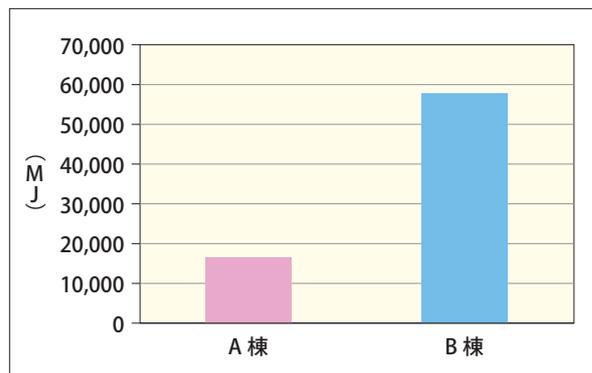
の一次エネルギー消費量を示したもので、A棟に比べてB棟のエネルギー消費量は高く、3倍以上になっている。また、トマトの品質については、両者の差がなく、収量につい

ては、A棟がやや上回る結果が得られた。このような比較研究を進めることで、ヒートポンプ利用の優れた点や改善点を明確にし、ヒートポンプの適切な導入・利用方法を示していく。

LED照明の利用については、一般照明向けLEDの急速な進展に伴い、植物栽培に有効な光強度を得ることができる紫、青、青緑、緑、橙、赤などの発光スペクトルの狭い単色LED光源も入手可能となり、生産効率の向上が追求される植物工場や施設園芸生産現場における効果的な活用法の提案が期待されている。

そこで当所は、他機関と連携し、最新のLED光源を導入して光質と光強度が葉菜類の成長と有用成分蓄積に及ぼす影響の解明に取り組んでいく^[6]。一例として、サニーレタスのLED栽培結果では、可食部の増大には赤LED(620~680nm)が有効であり、ポリフェノール類の蓄積には青LED(450~470nm)が有効であることが分かった。結果を総括すると、葉菜類の地上部成長と有用成分蓄積は光質(波長)と光強度に大きく影響されるため、適切な光質制御を実施することで生産性向上と有用成分蓄

図2 栽培期間中の一次エネルギー消費量



積が可能であることが分かっている。

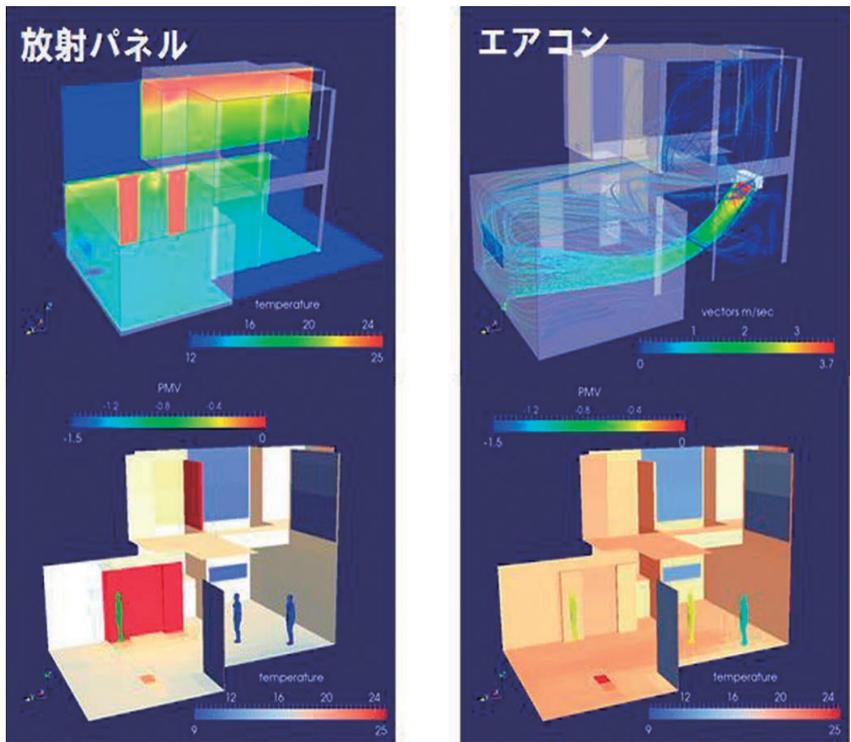
今後は、生育ステージに対応した適切な波長や、複数波長に対する作物反応に関する知見を蓄積し、人工光型植物工場における葉菜類の生産性向上に寄与していく。

職住環境に関する研究開発

家庭部門における最終エネルギー消費の約3割は冷暖房によるものであり、居住空間の温熱快適性の良否とも密接に関わっている。温熱快適性と省エネの両立を図るためには、住宅性能、空調機器性能、居住者の住まい方などを総合的に検討する必要がある。このためのツールとして、当所では、住宅用室内温熱環境設計ツール(CADIEE)を開発した^[7]。本ツールは、以下のような特長を有している。

- ①住宅の年間暖冷房負荷を正確に計算できる方法として、国土交通大臣の特別認定を取得している。このため、本ツールで評価した住宅の熱的性能を公式な評価結果として公表することができる。
- ②住宅の設計段階において、建築後の年間の温熱快適性やエネルギー

図3 吹き抜けのある住宅の放射パネルやエアコンによる暖房の解析・評価例



消費を計算することができる。このため、温熱快適性、省エネ性の両面において性能の高い住宅の普及に寄与できる。

- ③温熱快適性に及ぼす影響は大きいですが、従来考慮されなかった放射伝熱現象を精度よく扱える^[8]。このため、低放射ガラスなどの窓性能や床暖房の効果など、新しい住宅技術に対応できる。
- ④詳細な気流解析機能を持ち、エアコンなどからの吹き出し気流を精緻にシミュレーションすることができ、吹き抜けのある住宅の空調・換気などに対応できる(図3)。

上記②に関連して、様々な機種のエアコンについて、室内外の熱的な条件が変動する冷房・暖房運転時の消費電力や効率を推定可能な「エアコン熱源特性モデル」を開発、CADIEEに組み込み、任意の気象条件・住宅

条件・利用条件下におけるエアコンの消費電力と室内の温熱環境を推定できるようにしている^[9]。

さらに、住宅特性、ライフスタイル、消費者の嗜好(環境性or経済性or快適性)を入力条件とし、この条件にマッチしたエアコンの選定を支援するツールの開発も行った^[10]。本ツールは、タブレット型PC上で動作するように設計されており、簡易かつ短時間で選定できるようになっている。なお、このツールにおいては、地域やエアコンを利用する部屋の断熱性能、畳数、方位、階といった住宅特性、エアコンの設定温度や使用時間帯といったライフスタイルに対し、冷暖房能力や価格帯(普及機と高機能機)の異なる様々なエアコンを利用して冷暖房を行った際の消費電力・室温を、前述のCADIEEにより詳細に計算、その結果をデータベースとして

内蔵している。

今後については、開発したCADIEEをベースとして、住宅だけでなく、各種ビルへの適用や、各種空調方式(全館空調、放射パネル式冷暖房)などの評価研究を進めていく。

電気自動車に関する研究開発

電気自動車(EV)は、電動駆動のため、ガソリン自動車などの内燃機関駆動のような排熱はなく、回生制動によるエネルギー回収もあり、効率も高い。化石燃料に依存しないこともあり、CO₂排出量の抑制にも効果的である。当所では、EVの普及促進に向けて、種々の取り組みを行っている。現在、国内でEVは7万台、プラグインハイブリッド自動車は5万台が走行している。

EVは、走行時に排熱、排ガスが全くなく、走行する街中のエネルギー消費を低減できるため、ヒートアイランド現象の緩和が期待できる。東京23区内において、乗用車や軽自動車をすべてEVで代替した場合、夏の昼間時間帯に約0.6度の気温低下が期待できる。さらに、冷房によるエネルギー消費も削減でき、相乗効果も望める^[11]。

EVの普及拡大に向けた課題を明らかにするため、購買対象者へ調査を行ったところ、一充電走行距離が実質100km程度と短い、それを補う充電インフラ整備が不十分、従来の車両コストより割高^[12]が挙げられた。

一充電走行距離の延伸には、軽量・コンパクトな二次電池の実用化が必要である。国では、EV用二次電池の研究開発シナリオを設定し、国

家プロジェクトで「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」(2009年から7カ年)にて、従来のリチウムイオン電池を凌駕する高エネルギー密度の高性能電池開発を進めている。リチウム硫黄電池や空気電池、固体電解質電池などの研究開発が進められている。

EV運用では、走行距離の短縮に繋がる二次電池性能劣化は一番の懸念事項である。当所では、補助コンビネーションメータ(図4)を使い、実使用しているEVを定期的に性能計測している。走行距離のみではなく、納入時からの経過日数の影響も検討し、電池劣化傾向から簡易な評価手法を提案している^[13]。

充電インフラ整備については、現在、普通充電と急速充電の2種類が、

5000カ所に整備されている。普通充電は、交流200V・3kWで車両に供給し、インフラ整備費は低コストで、一般の家庭や駐車場にも容易に設置できるが、100%までの充電には数時間と長い時間を要する。一方、急速充電は、直流400V・20~50kWで供給し、高電圧受電となり、コスト高になるが、70~80%まで十数分の短時間で充電可能である。

EVの一般市販に合わせて、一般家庭や商業施設の駐車場などへの普通充電設備の設置に関するガイドブックが、経済産業省と国土交通省でとりまとめられた^[14]。一方で、国は急速充電スタンド整備の推進のために、当所で開発した交通シミュ

レータによる全国の道路、地形を考慮した検討結果を基に、2014年に設置モデルプランを作成・発表した。都市圏を中心に充電インフラは整いつつある^[15]。

EVをはじめとした車両の電化推進は、地球温暖化に向けた運輸部門で期待される技術である。わが国では、まず、東京オリンピック・パラリンピックを目指し、EV普及拡大を推進する。EVの二次電池高性能化に加えて、一充電走行距離の延伸や非接触給電技術による利便性向上を進

める必要がある。一方、スマートグリッドや災害時対策として蓄電池システムなどの車両以外の利用メリットも期待されている。また、より一般的な、利用頻度の高いEVとして、通勤、業務での車両運用に使えるように、事業所などへのインフラ整備を進めることも必要である。

参考文献

- [1] 藤縄ほか：多機能型CO₂冷媒ヒートポンプ給湯機の性能評価-給湯および暖房を含む性能評価手法の検討-、2012年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、2012
- [2] 橋本ほか：各種大型ヒートポンプ性能評価試験設備の開発-第1報：試験設備仕様の検討-、2013年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、2013
- [3] 甲斐田ほか：各種大型ヒートポンプ性能評価試験設備の開発-第2報：試験設備の健全性の検証-、2013年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、2013
- [4] 張莉ほか：無霜ヒートポンプ給湯システムに関する研究開発-第2報：吸着剤塗布熱交の熱・物質移動特性の把握及びシステムの試設計-、電力中央研究所報告、M14004、2014
- [5] 後藤、庄子：同型温室における石油暖房機とヒートポンプの多面的な比較、農業環境工学関連5学会2015年合同大会、2015
- [6] 庄子：LEDによる葉菜類の機能性成分向上、施設と園芸168(2015冬)4-7、2015
- [7] 宮永、占部：住宅用室内温熱環境設計ツールの実用化-その1：多数室空調負荷・温熱快適性指標の同時計算手法-、電力中央研究所報告、R06016、2007
- [8] 宮永、中野：拡散面と鏡面からなる三次元閉空間内の放射伝熱改良型光線追跡法を用いた計算方法-、日本機械学会論文集、65巻635号B編、1999
- [9] 上野、北原：家庭用エアコンの熱源特性モデルの開発、電力中央研究所報告、R09、2015
- [10] 安岡、上野、宮永：家庭用エアコン選定支援ツールの開発-その2ライフスタイルや嗜好を考慮したツールの構築-、電力中央研究所報告、R14010、2015
- [11] 池谷：電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価、電力中央研究所報告、Q08030、2009
- [12] 土屋：電気自動車の家庭への普及ポテンシャル、電力中央研究所報告、Y11032、2012
- [13] 岩坪：実走行データを活用したEV搭載電池の容量低下推定手法の提案、電力中央研究所報告、M15001、2015
- [14] 経済産業省、国土交通省：充電設備設置にあたってのガイドライン、2010 <http://www.mlit.go.jp/common/000130718.pdf>
- [15] 次世代自動車振興センター、電力中央研究所、構造計画研究所：充電ステーション最適配置に関する解析調査、2012、<http://www.cev-pc.or.jp/chosa/download.html>

図4 EV搭載の(a)補助コンビネーションメータとその結果から算出した(b)二次電池の容量低下傾向

