

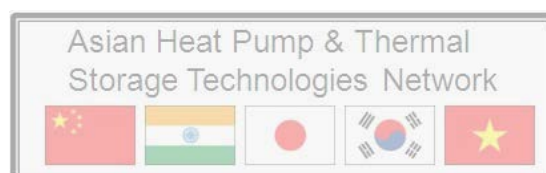
ASIAN HEAT PUMP & THERMAL STORAGE TECHNOLOGIES NETWORK

NEWSLETTER

Heat Pump & TES's current situation in each country
(China, Korea, Vietnam, Japan, India)

CONTENT

- ABSTRACT
- RESEARCH AND DEVELOPMENT OF LARGE SCALE GROUND SOURCE HEAT PUMP SYSTEM (CHINA)
- HEAT PUMP WATER HEATER : KEY ALTERNATIVE PLAYER (KOREA)
- RESEARCH AND DEVELOPMENT OF COMBINED SOLAR THERMAL HEAT PUMP HOT WATER SYSTEM (VIETNAM)
- CURRENT STATUS OF ENERGY SAVING POLICY ON AIR CONDITIONERS AND BUILDING UP OF AIR CONDITIONER PERFORMANCE TESTING FACILITIES IN ASIAN COUNTRIES (JAPAN)
- ROLE OF HEAT PUMP IN ENVIRONMENTAL PROTECTION(INDIA)



ABSTRACTS

大規模地中熱ヒートポンプシステムの研究と開発（中国）

地中熱ヒートポンプ（GSHP）システムは、中央政府により 2006 年に環境に優しくコスト効率のよい化石燃料代替手段として、また、地球温暖化対策に有効であるとされ、以降中国の様々な気候帯にある居住用および商業ビルにおいて数多く使用されている。この技術を用いた建物の延べ床面積は、2012 年には 2006 年に比べ 10 倍近くになった。中国では、地中熱交換器をもつヒートポンプシステムは床面積 20,000m² 以上の大規模な居住用ビルや商業ビルでは必ず使用されている。また、地表水、海水を熱源としたヒートポンプシステムは、新規開発する地区に数か所の大規模 GSHP エネルギーステーションを設け、500 万 m² 以上の床面積を冷暖房する都市規模で利用できるレベルに達している。しかし同時に、このような大規模システムを計画、設計し、より高い COP を達成できるよう適切に運用する方策は依然として課題である。本論文では EU、米国、日本より収集された大規模 GSHP に関する最新の研究開発情報と共に、中国においてこの技術を継続して推進するために、将来へ向け解決すべき課題を示す。これらの課題には、同一地区内の複数のビルでの共用における同時使用係数やより正確な熱応答試験（TRT）、負荷計算における地下水流動の評価、抽熱点、排熱点の選択、ハイブリッドシステムの制御方法などが含まれる。

ヒートポンプ給湯器: 重要な代替機器（韓国）

電気ヒートポンプ給湯器の技術は周囲の空気が持つ熱を取り込むことで、住宅で使用するための給湯をより効率的に行うものである。近年、中国、日本、フランス、ドイツ、デンマークを含む各国でヒートポンプ給湯器の販売台数は劇的に増加している。ヒートポンプ技術が電気抵抗加熱による非効率的な技術を代替し、マーケット・シェアの 10% に達すれば、年間 13 億キロワット時のエネルギーを節約できる。さらに、家庭における光熱費は年間約 290 米ドルの節約（ENERGY STAR、2009 年）となり、消費者にとっても有益である。最近、ISO（国際標準化機構）は住宅給湯用ヒートポンプ給湯器の新たな規格の確立に着手した。本稿は、従来の化石燃料や電熱を用いた暖房、給湯機器の代替として注目されるヒートポンプ給湯器の市場の状況、製品の応用実態および規格化について報告する。

ABSTRACTS

複合型太陽熱ヒートポンプ給湯システムの研究と開発（ベトナム）

省エネ性能によって、国産の太陽熱給湯システムは広く普及している。季節により、また一日の間においても変動する太陽熱を利用するために、通常は従来の電気または化石燃料によるシステムと併用する。近年、効率面で改善が得られるヒートポンプシステムはコストの低下と共に、乾燥や給湯といったエアコン以外の用途にも広く波及した。ヒートポンプは消費電力を3分の1から6分の1までに低減することができるもので、太陽熱温水器と併用すれば大きなエネルギー節約が達成できる。しかし、残念ながらこのような給湯システムは依然普及していない。ゆえに、研究プロジェクト KC.05.03/11-15 ではヒートポンプを補助熱源とした国産太陽熱給湯システムの開発が進められている。

アジア各国のエアコン省エネ政策の現状と性能試験設備の構築（日本）

近年、世界的な省エネに対する意識の高まりが見られる中、成長著しいアジア諸国では、年々増大するエネルギー消費量を抑制するために、エアコンなど家電製品に対する MEPS やラベリング制度などの導入が推進されている。これら省エネ制度の有効性確保のためには、製品の性能を精度よく計測できる性能試験設備が必要である。しかしながら、その構築には単に設備を導入するというだけでなく、計測機器の校正や外部機関との相互校正など多くのプロセスが重要である。エアコンの第三者性能試験所である日本空調冷凍研究所（JATL）は、ISO/IEC17025 に基づく取り組みを確実に実施し、高い精度と信頼性を維持している。また、国内メーカーの試験設備や海外の国家クラス試験所との相互校正を定期的に行っている。

今後は、これから構築されていくであろうアジア各国の試験所に対する JATL による技術支援を通して各国省エネ制度における性能試験の信頼性向上に貢献していくことが、相互の利益につながるものと考えられる。

環境保護におけるヒートポンプの役割（インド）

インド北東部の州はインドにおいて最も東に位置し、ネパールやバングラデシュによって狭まった回廊地帯を挟んで East India 地方に通じている。この地域の開発課題は、後進的な農村地帯が存在すること、各州間およびインドの他の地方とのアクセスが不十分であること、産業化の遅れ、都市部の急速な人口増加および環境保全である。水力発電に関する大きな可能性を秘めていながらも地形の問題から電力網に接続されておらず、農業地および市街周辺部の大部分でエネルギー不足に悩まされている。この傾向は将来に渡って続く可能性がある。

大規模地中熱ヒートポンプシステムの研究と開発

Shicong Zhang, Wei Xu

中国建築科学研究院 (CABR) 中国・北京

要旨:地中熱ヒートポンプ (GSHP) システムは、中央政府により 2006 年に環境に優しくコスト効率のよい化石燃料代替手段として、また、地球温暖化対策に有効であるとされ、以降中国の様々な気候帯にある居住用および商業ビルにおいて数多く使用されている。この技術を用いた建物の延べ床面積は、2012 年には 2006 年に比べ 10 倍近くになった。中国では、地中熱交換器をもつヒートポンプシステムは床面積 20,000m²以上の大規模な居住用ビルや商業ビルでは必ず使用されている。また、地表水、海水を熱源としたヒートポンプシステムは、新規開発する地区に数か所の大規模 GSHP エネルギーステーションを設け、500 万 m²以上の床面積を冷暖房する都市規模で利用できるレベルに達している。しかし同時に、このような大規模システムを計画、設計し、より高い COP を達成できるよう適切に運用する方策は依然として課題である。本論文では EU、米国、日本より収集された大規模 GSHP に関する最新の研究開発情報と共に、中国においてこの技術を継続して推進するために、将来へ向け解決すべき課題を示す。これらの課題には、同一地区内の複数のビルでの共用における同時使用係数やより正確な熱応答試験 (TRT)、負荷計算における地下水流動の評価、抽熱点、排熱点の選択、ハイブリッドシステムの制御方法などが含まれる。

1 はじめに

2000 年に、ごく小規模なパイロットプロジェクトで使用が開始された GSHP であるが、2012 年末には、この技術を利用している延べ床面積は 2 億 4000 万 m²に達した。これは、2006 年の約 10 倍である。中国では、GSHP は「地中熱ヒートポンプシステム工業規格 GB50366-2005」で明確に規定されている。この規格によって、この技術と関連する政府の施策や補助が容易になっている。しかし、中国の急速な都市化と、この国独自の建設方式により、GSHP は床面積が 20,000m²以上の大型ビルでは必ず使用され、ビルの延べ床面積が 500 万 m²に達する地区でも使用されている。したがってシステムは大規模化し、COP が設計要件を下回るなどの問題が発生している。EU、米国や日本における大規模および都市レベル GSHP の最新研究に照らし、中国において注目すべき将来に向けた研究分野について考察する。

2 大規模 GSHP の研究と事例

高い省エネ性能や温室効果ガス削減効果の高い地中熱ヒートポンプ (GSHP) システムは、世界中の居住、商業、工業ビルにおいて使用されている。寒冷気候、温暖気候のいずれでも利用でき、省エネ効果は非常に大きい。この数十年、再生可能エネルギー政策の推進と補助金の交付により、世界で使用されている GSHP システムの規模は拡大してきており、コミュニティや都市レベルの規模に達するものも現れている。(Ioan, 2014 年)。

2.1 EU における大規模 GSHP の利用

欧州議会は 2008 年に再生可能エネルギー指令を策定し、再生可能資源から得られるエネルギー利用の推進における共通枠組みを確立した。この指令は新築、既存の建造物の冷暖房にヒートポンプを幅広く使用する可能性を切り拓くものである。さらに、EU は 2020 年に向け「20-20-20」として知られる 3 つの重要な目標を設定している。その 1 つが、EU におけるエネルギー消費の 20% を再生可能エネルギーで賄うことである。

EU とその加盟国の働きかけにより GSHP は、GEO.POWER プロジェクトなどを含む複数のプログラムで推進されてきた。GEO.POWER プロジェクト（「居住、工業ビルのエネルギー戦略のための地熱エネルギー」）（B. M. S. Giambastiani, 2014 年）は INTERREG IVC プログラムの枠で欧州地域開発ファンド（European Regional Development Fund）の協調出資を受けていた。プロジェクトの目標は、参加者同士が主に GSHP による、低エンタルピー地熱エネルギーを利用した冷暖房熱源に関連するそれぞれの経験を交換しあうことであった。技術的側面および費用効果に関する SWOT 分析の後、参加者はヨーロッパにおける現段階でのベストプラクティスの再現可能性と移転可能性の評価を行った。その結果、最も移転に適した技術例はハンガリーの TELENOR ビルのものであるということが分かった。TELENOR ビルは、熱交換ボアホール（BHE）を 180 持つ新築の工業ビルである。冷水、熱水を通す BHE は深さ 100m に達している。また、温水の需要の 60 - 70% を担う 168m² のソーラー集熱器が併設されている。CO₂ の排出削減量は年間 800 から 850t に及び、省エネルギー量は 210 万 kWh である。また、投資回収に要する期間は 8 から 10 年である。

GEO.POWER プロジェクトが達成した主な成果は、現在および次の 2014 年から 2020 年のプログラムサイクルにおいて EU 構造ファンドを利用した、GSHP 市場の活性化推進のための複数のアクションプランの策定を見据えたものである。すべての文書に、各分野における大規模 GSHP の導入と地熱エネルギー投資への助成制度に関する戦略について関連措置の記載が含まれている。

ほとんどの大都市には、交通網や電気・水道・ガス網としてトンネルが使用されている。その一部は、その運用上の要件を満たすために冷房を必要とする。Nicholson D. P. は、トンネルの複数の区間に熱交換ループを持った、地域全体の冷暖房システムの一部となっている熱源トンネルについて考察している。トンネルの熱を収集し、地域の冷暖房システムを介して GSHP システムにより近隣のビルの暖房を行うものである。このシステムを詳細に分析した結果、Nicholson D. P. は、このような大規模 GSHP は、トンネル建造時に周辺ビル暖房用の配管工事を行う必要があることから、長期的に利用可能な熱源に対する都市レベルの早期の投資を必要とすることを指摘している（Nicholson D. P., 2013 年）。CROSSRAIL プロジェクトでは、複数のトンネルの述べ 100m の沿線にあるホテル・大規模居住用ビル・病院 34 棟、学校・大学・図書館・博物館 4 棟、事務所・レジャー施設・店舗 327 施設について予備調査を行い、500m の双設トンネルへのヘッダーパイプ接続点に基づいた測定で、熱出力は概ね 200 から 600kW で、トンネル面積あたりの数値では、10 から 30W/m² の熱が抽出されていると結論付けた。

A. Sciacovelli（A. Sciacovelli, 2013 年）は、イタリアにおける公共ビルへの土壌熱源ヒートポンプの設置の影響を地下の熱流体力学モデルを用いて調査した。このモデルは、飽和したユニットにおける流体流動と、飽和・非飽和両方のユニットの熱移動を考慮したものである。ビルの高さは 160m、体積は 24 万 m³ であり、地下水は南東の方向へ、ビルから 2km 離れたポー川に向けて流れている。地下水のシステムは 4 つの井戸からなり、2 つは揚水井、残る 2

つは還元井である。揚水井と還元井の間の距離は 80m である。冷房期は 6000 時間ほどあり、ピーク時には 7MW の放熱が必要で、一方暖房期は 2800 時間ほどで、ビルの暖房負荷はピークで 2.5MW である。ヒートポンプでの流量を一定とした場合および可変とした場合の 2 つの想定のもとで考察を行い、その結果として井戸の下流 1.8km の地点の温度に、ヒートポンプによる干渉がない場合にくらべて、流量可変の場合、3K の変化が、また流量一定の場合には 5K の温度変化が起こることが分かった。

2.2 米国における 大規模 GSHP の利用

Justin Mahlmann は、カリフォルニアにおける排出削減への厳しい要求を満たすには、エネルギーシステムについてコミュニティ規模の戦略的な計画を行う以外の道はないとしている。コミュニティ全体を冷暖房しつつ、エネルギー消費を抑え、排出や水の消費も低減することが可能で、加えてカーボンニュートラルおよびネット・ゼロ・エネルギーの中核ともなり得るのは地中熱ヒートポンプシステムである。Justin Mahlmann は、731 エーカーに 47 の建造物を有するボール州立大学 (Ball State University) の冷暖房用に、5000 冷凍トンの GSHP システムを導入した。地下の熱交換器は 3600 のボアホールからなり、それらの深さは 400 から 500ft、直径は 5-6 インチである。プロジェクトの投資金額は 7000 万から 7500 万ドル以上となったが、通常の空調との差はわずかに 1500 万ドルであって、投資の回収期間は 7 年半である。このシステムを利用すると、キャンパスの CO₂ 排出量を毎年 8 万 5000 トン削減すると概算されている (Justin Mahlmann, 2012 年)。アラスカシーライフセンターが、デナリ委員会エネルギー先端技術助成 (Emerging Energy Technology Grant - EETG) プログラムの資金補助により設置した海水熱源ヒートポンプシステムには、暖房と給湯のための 90 冷凍トンのヒートポンプ 2 基で構成される。2013 年 2 月から順調に稼働し、3 か月のモニタリング (システム稼働時間 1900 時間に相当) では平均 COP は 2.90 で 30 万 kWh の電力を消費し、2 万ガロンの灯油を節約した。投資の回収期間は 8.5 年である (ACEP, 2013 年)。

2.3 日本における大規模 GSHP の利用

藤井光氏は、地下水流が存在する地点における井戸間の干渉を考慮した、公共ビル向け大規模 GSHP システムの性能について、その長期的な傾向をシミュレーションするための物質移動および熱移動モデルを開発した。GSHP システムは直径 1m、深さ 50m の現場打ち杭 75 本を用いて、秋田平野の中央部にある公立学校の体育館の地下に設置された。すべての杭に地熱交換体として内径 2.5cm、長さ 50m の U 字管が取り付けられた。この設備と現地の実測から得た地下水の水位および温度に基づいた秋田平野の広域数値モデルの分析により GSHP システムの設置場所における地下水の流動速度は 1 日 1.4×10^{-4} m であると概算された。また、120 日間の抽熱を行い、その後一定の蓄熱期間 (蓄熱なし、30 日間、60 日間、120 日間) を置くシミュレーションを 4 回行った。その結果、抽熱のレートを維持するには、下流にある地熱交換器による蓄熱を上流のものより多くする必要があり、蓄熱を行わない場合は、熱交換器間の距離をおくことが好ましいことが示された (藤井光, 2005 年)。

Li Huai は実地および数値シミュレーションの両方のデータを使用して、北海道北部の赤平市に設置されている大規模地中熱ヒートポンプ (GSHP) システムの長期的性能と環境への影響を調査した。この GSHP の熱交換システムは深さ 85m の 78 のボアホールからなり、12

の温室の冷暖房用に 640 および 648kW の最大能力を持つ。各温室の面積は 450m²である。このシステムについて 2010 年 10 月から 2011 年 5 月までモニタリングを行い、その結果 COP は 3.0、システムの平均抽熱レートは概ね 27.7W/m であった。ボアホール群の用地に 6 つの井戸が掘削され、土壌温度と地下水の水位を観測した。その結果、40m 下の土壌温度は 8 か月の運転後に 7.8°C から 0°C に低下した。この 8 か月間の運転には、暖房負荷と冷房負荷が均衡していないものが含まれ（2 回以内）、地下水の平均流動速度は概ね 10–15m/y であった（Huai、2013 年）

表 1 代表的な大規模 GSHP および都市レベル GSHP プロジェクト

国	場所	建造物の種類	設置年	抽熱体の種類	抽熱体の特徴	負荷・ヒートポンプ能力 (kW)	COP	投資回収期間 (年)	CO ₂ 排出削減
ハンガリー	Torokbalint	工業用ビル	-	垂直ボアホール	180*100m		-	8 to 10	年間 800–850 トン
イタリア	Turin	240,000m ³	-	地下水	抽熱井 2 本、還元井 2 本	ピークの暖房負荷 =2.5MW	-	-	-
米国	Indiana	47 棟のビル	2012	垂直ボアホール	3600*120m	5000 冷凍トン		7.5	年間 85,000 トン
米国	Alaska	-	2013	海水	-	290-冷凍トンヒートポンプ	2.9	8.5	-
日本	秋田	公共ビル	2003	垂直ボアホール	75*50m	-	-	-	-
日本	赤平	温室 12 棟	2010	垂直ボアホール	78*85m	暖房用 640kW	3		年間 291 トン

3 中国における GSHP の現状

1990 年からの 10 年間は中国における GSHP 利用の黎明期である。この時期に、政権や土地開発業者はパイロットプロジェクトを通じて GSHP の利点や特長を実感してきた。

3.1 技術規格

2005 年に制定された技術規格が明確な基礎となり、中央および地方政府による資金補助制度を促したことによって GSHP が急速に普及した。この技術規格が「地中熱ヒートポンプシステムに関する技術規格 (GB50366-2005)」であり、2006 年 1 月より施行され、発効した。この規格は、中国において初めて土壌熱源ヒートポンプを明確に定義したものであり、地熱ヒートポンプ関連産業の発展において重要な役割を担うものとなった。GSHP には地熱交換器ヒートポンプシステム (Ground Heat Exchanger Heat Pump System – 米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) の大地結合ヒートポンプシステム (Ground-coupled heat pump – GCHP - system) と同様のもの)、地下水ヒートポンプシステム、地表水ヒートポンプシステム (海水、湖水、河川、下水) の 3 種類が含まれるとしている。規格は一般的な原理、技術用語、技術的説明、埋設管型熱交換システム、地下水熱交換システム、地表水熱交換システム、室

内システム、機材の操作および試運転などを含む 8 つの部分で構成されている (CABR、2005 年)。

3.2 政策と助成

2006 年 9 月、建設部 (現在の住宅都市農村建設部 MOHURD) が財政部との協力によって、「建造物における再生可能エネルギー利用推進に関する意見」および「再生可能エネルギー開発特別基金の管理手法 (仮)」を公表した。2 つの文書にある 8 つの助成対象となる GSHP システムは、以下の 4 つを含む。

- －土壌熱源ヒートポンプシステムおよび浅層地下水熱源ヒートポンプシステム。
- －水熱源ヒートポンプシステム。
- －海水熱源ヒートポンプシステム。
- －下水熱源ヒートポンプシステム。

以降、市、町規模の GSHP を推進する政策が引き続き登場し、2010 年末には GSHP 推進のため 47 の都市と 98 の町村に対し中央政府の助成が行われている。この技術の普及のため、各都市には、5000 万から 8000 万人民元、また各町村には 1500 万から 2000 万人民元の助成金が交付されている。中華人民共和国国務院新聞弁公室 (State Council Information Office) によれば、2006 年末に GSHP を利用している延べ床面積は 2650 万 m^2 であったが、2007 年末には 8000 万 m^2 に、また 2012 年末までには 2 万 3000 のプロジェクトで延べ 2 億 2700 万 m^2 の床面積に増え、GSHP システムの設置等を行う企業数は 4000 に達した。中国における GSHP 利用の進展を図 1 に示す (Xu、2013 年)。

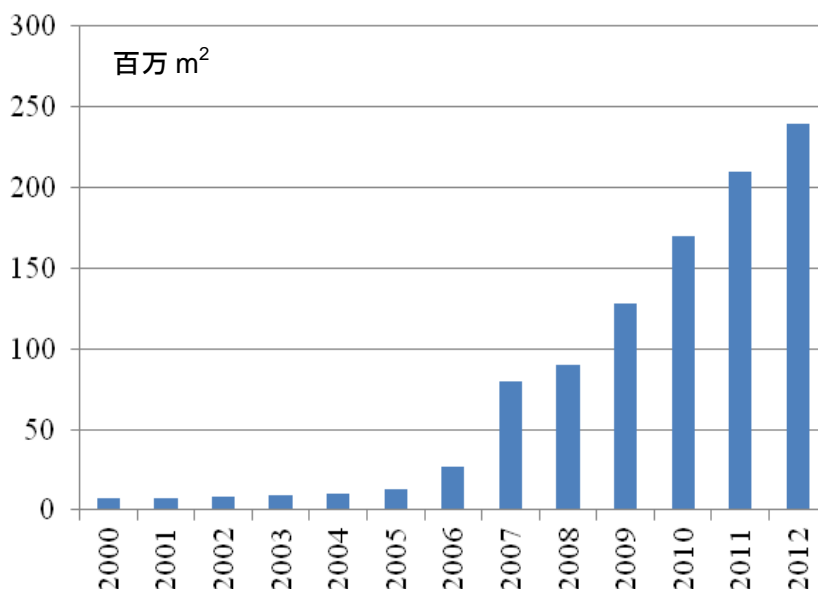


図 1 中国における GSHP 利用の進展

3.3 プロジェクトの方式と分配

建設部と財政部の資金援助による、延べ床面積 3272 万 m^2 の 291 のプロジェクトを分析した。結果、そのうち 259 のプロジェクトでは GSHP を冷暖熱源のみとして使用し、32 はハイブリッドシステムであることが分かった。また、GSHP のみのプロジェクトでは、そのうち 110 件は地熱交換器ヒートポンプを使用し、その冷暖房延べ床面積は全プロジェクトの 33.70% に相当する 1119 万 m^2 であること、78 のプロジェクトは地下水ヒートポンプを使用し、延べ床

面積は全体の 26.63%に相当する 884 万 m²であること、32 のプロジェクトは地表水ヒートポンプを使用（熱源は河川および湖）し、延べ床面積は全体の 10.92%に相当する 363 万 m²であることが示された。さらに、16 のプロジェクトでは（海水を熱源とした）地表水ヒートポンプを使用し、その冷暖房延べ床面積は全体の 5.46%に相当する 182 万 m²で、23 のプロジェクトでは（都市下水道、精製所の冷却水、疎水坑道の水、火力発電所の循環冷却水を熱源とした）地表水ヒートポンプを使用し、延べ床面積は全体の 13.61%に相当する 452 万 m²であることも示された（Xu、2013 年）。

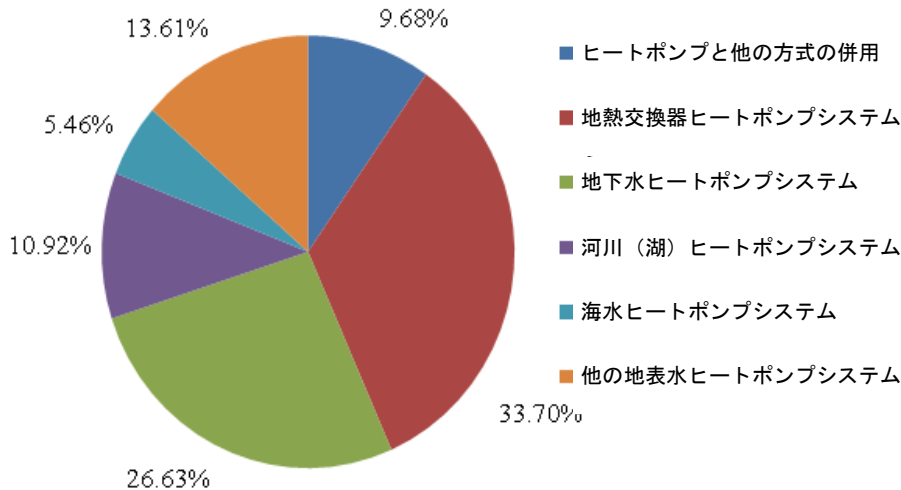


図 2 中国における GSHP の方式と分配

4 中国における大規模 GSHP の利用

中国には様々な気候地帯が存在するため、GSHP の方式もそれぞれ特徴が違い、適した気候帯も異なる。地熱交換器ヒートポンプは、寒冷地、冬寒冷で夏温暖な地域および温帯に適している。南東部および沿岸部では地下水、地表水の水資源が豊富であり、寒冷地および冬寒冷で夏温暖な地域で地下水および地表水ヒートポンプが推奨される。熱の抽出と還元の均衡が取れない場合は、ハイブリッドシステムが推奨される。中国においては、建造物は一般的に欧米より大規模であり、その数も多いため、GSHP システムも大型になる傾向にある。さらに、中国では現在急速な都市化が進んでおり、新しい都市や町村、郡、コミュニティの多数が計画の初期段階にあり、GSHP は主要な冷暖房熱源とされ、そのため、近年この技術は都市レベルの規模を意識したものとなっている。このような、大規模ないしは都市レベルのパイロットプロジェクトのうちいくつかを以下に示す。

4.1 地熱交換器ヒートポンプシステムのプロジェクト

北京中関村インターナショナルモール（Beijing Zhongguancun International Mall）は北京中関村テクノロジーパークに位置し、延べ床面積は 156 万 m² である。システムのシミュレーションによれば、冷房負荷は 17MW で、全暖房負荷は 7.39MW である。



図 3 北京中関村インターナショナルモール

表 2 モールの冷暖房負荷

ビル床面積 (m^2)	面積あたりの 冷房負荷 (W/m^2)	冷房負荷 (MW)	面積あたりの暖 房負荷 (W/m^2)	暖房負荷 (kW)
156000	108.9	17	47.4	7.39

熱応答試験 (TRT) によれば、地質学的条件は以下の通りである。

表 3 プロジェクトの地質学的条件

深さ (m)	熱伝導率 $W/(m.K)$
0~19m	1.4
19~32m	2.0
32~35m	1.6
35~38m	2.2
38~44m	1.4
40~52m	1.7
52~57m	1.6
57~70m	2.2
70~75m	1.6
75~100m	1.4

現場の状態および熱応答試験 (TRT) の結果により、深さ 123m の垂直ボアホール 1060 本を 4.5m の間隔で駐車場下に掘削した。呼び径 DN32 のダブル U 字地熱交換器を使用した。

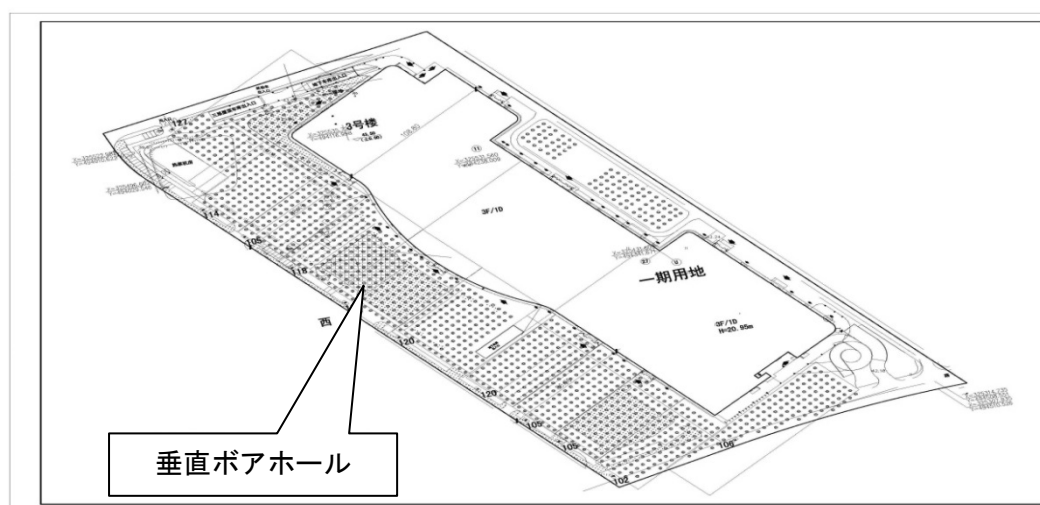


図4 プロジェクトの見取り図と垂直ボアホール

1台につき、暖房能力2.32MWと冷房能力2.28MWをもつLSBLGR-M2800ヒートポンプ3台を選定した。2008年冬期に行った120日間のテストで、システムのCOPは3.0に達した。

4.2 地下水ヒートポンプシステムのプロジェクト

青島銀盛泰インターナショナルセンター&ビジネスセンター（Qindao Yinshengtai International Center and Business Center）は、同一地区内で近接する2棟のビルである。インターナショナルセンターの全床面積は5万8000m²であり、ビジネスセンターの全床面積は2万6400m²である。抽出井土1本からは80t/hの水を取り出している。排熱時は67t/hである。計算によれば、夏では抽出・還元の温度がそれぞれ16°C、31°Cで毎時464トンの水が必要であり、冬は抽出・還元の温度がそれぞれ15°C、7°Cで毎時348トンの水を必要とする。このGSHPシステムのコストは平方メートル当たり350人民元である。

4.3 地表水ヒートポンプシステムのプロジェクト

(1) 無錫（Wuxi）T-Park エネルギーセンター

無錫 T-Park は都市部南にある新しい地区であり、全建造物の延べ床面積は800万m²で、うち400万m²を持つ第1のフェーズが完了したばかりである。流れが一定した河川があり、水温は冬季は6.8から12.4°C、夏季は23.6から32.4°Cである。下水処理施設もあり、下水の温度は冬季で9から14°C、夏季で25から28°Cである。地区全体のエネルギーをまかなうのは、河川の水と下水からエネルギーを抽出する二つのエネルギーステーションBとGである。7.8MW（9.2MW）の冷房（暖房）能力を持つ水熱源ヒートポンプ4台と5.9MW（10.6MW）の冷房（暖房）能力を持つ水熱源ヒートポンプ4台がステーションBに、6MW（6.5MW）の冷房（暖房）能力を持つ水熱源ヒートポンプ1台と6MW（6.4MW）の冷房（暖房）能力を持つ水熱源ヒートポンプ1台がステーションGに設置されている。全地域が完成すると、毎年86万MWhの電力を節約し、90万トンのCO₂を削減することとなる。

(2) 泰州 (Taizhou) メディカルシティエネルギーセンター

泰州は長江近くに位置し、長江の水温と流量はヒートポンプを用いて全地域にエネルギーを供給するのに適している。市の新しい中核地域では延べ床面積で 500 万 m^2 がヒートポンプによるエネルギーを利用している。エネルギーセンターの総コストは、第一フェーズで 18 億 4000 万人民币元であり、冷房負荷は 55MW、暖房負荷は 38.5MW である。7.9MW (8.4MW) の冷房 (暖房) 能力を持つ水熱源ヒートポンプ 3 台と 6.0MW (9.5MW) の冷房 (暖房) 能力を持つ水熱源ヒートポンプ 3 台を適用している。

表 4 平均水温と流量

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均水温 (°C)	9.2	10.6	13.1	17.9	22.3	25.5	28.1	29.1	26.2	22.4	17.4	12.6
流量 (m^3/s)	6.5	8.3	9.4	15.0	22.2	24.1	18.4	19.4	18.9	22.4	13.7	6.7

4.4 ハイブリッドヒートポンプシステムのプロジェクト

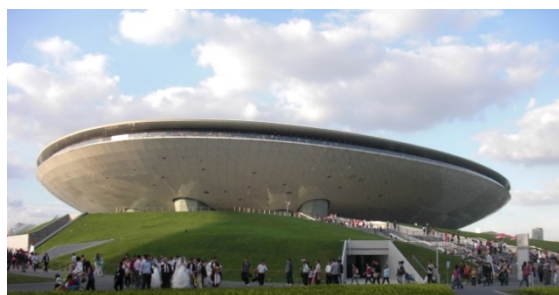


図5 上海万博文化センター

上海万博文化センター (Shanghai World Expo Culture Center) は複合施設であり、地上には 1 万 8000 席のシアターと、それを取り囲む地上 4 階、地下 2 階のビルがある。夏季におけるピークの冷房負荷は 14.95MW で、冬季のピークの暖房負荷は 9.2MW である。このセンターは上海黄浦江 (Huangpu River) に近く、水文学的データによると、夏季の川の水温は水深の上層で 26 から 32°C、下層で 15 から 22°C の範囲にあり、また冬季では上層が 3 から 8°C、下層が 10 から 15°C の範囲にある。夏季の水温は比較的高く、冬季では比較的低いため、ヒートポンプだけでなく夏冬それぞれ氷貯蔵システムとボイラーを併用している。テストによると、河川の水熱源ヒートポンプシステムは夏には冷房負荷の 40% を COP5.1 で、冬には暖房負荷の 55% を COP4.1 でそれぞれ負担することができる。

5 中国における大規模 GSHP の将来に向けての研究方針

中国の GSHP の発展に関するさまざまなデータを参照すると、この国では GSHP は常に大規模なものであり、都市レベルの規模を持つものも見られる。中国科学技術部によれば、2015 年末には GSHP を採用している延べ床面積は 3 億 5000 万 m^2 になると見込まれる。パイロットプロジェクトの COP の実績から、将来において、大規模 GSHP および都市規模 GSHP のエネルギー効率が更に向上する可能性は大きい。世界の GSHP 研究との比較から、中国ではさらなる課題が存在するといえる。

5.1 同時使用係数

都市には居住用、商工業用のビルが混在し、一部には多用途なものもあるため、GSHP システムを都市レベルの冷暖房で使用する場合、同一ビル内の機能別、および複数のビル間での同時使用係数を考慮しなければならない。特に、複数ビル間の同時使用係数が重要である。例えば中国北部では、ボイラーを持つ集中暖房システムで暖房を確保するには、係数は 1 でなければならない。複合施設では、中国規格「民間建造物における暖房通風および空調の設計基準」GB50736-2012 により、係数は 0.7 から 0.9 とすることができる。GSHP システムでは冷暖房両方が可能であるが、通常では夏季の冷房は商業部分にのみ提供し、居住部分には提供されない一方、冬季の暖房は居住区を含む全体に提供する事情があり、大規模 GSHP についてこのような場合の係数をどのように設定するかは重要な要素である。

5.2 熱応答試験 (TRT) と地下水流

地熱交換器ヒートポンプシステムでは、熱伝導度を計算するための熱応答試験 (TRT) 結果の正確さがシステムのコスト計画を大きく左右する。熱応答試験の機材は通常試験現場への搬入を容易にするため、可搬型か、牽引可能なトレーラー上に組み立てられたものである。地熱交換器ヒートポンプの普及に伴い、移動可能な熱応答試験は重要性を増している。熱応答試験機材の小型化と精度向上の両立は、将来における重要な課題である。地下水流は通常は存在するものであり、抽熱と還元のバランスをとり GSHP システムの COP 向上に貢献するものである。しかし、今日の段階では地下水流の流量は地熱交換器ヒートポンプシステムの設計段階では考慮されておらず、設計者は安全率という考え方で対処している。国際的な知見によれば、地下水流量が正確に計算されれば、地熱交換システムは 10%から 20%ほど小規模なもので足りる可能性があり、結果コストを削減することができる。従って、地熱交換器の機能に対する地下水流量の影響に関する研究は、中国に置いて将来気体される課題の 1 つである。

6. 結論

中国においては、ビルや地域で利用される大規模 GSHP システムと GSHP エネルギーステーションの数が年々増加している。中国では、GSHP は環境にやさしくコスト効果の高い技術であり、しかも地球温暖化を低減しうるものとして捉えられ、その未来は輝かしいものである。システムは常に大規模化し、ハイブリッドシステムも多くなることから、小規模システムでは COP に寄与しなかった課題は、大規模、都市規模システムの大きな技術的課題として注目すべきである。これらの課題には、より正確な TRT、システム設計時における地下水流量の考慮、抽熱地点、還元地点の選定、ハイブリッドシステムの制御方法などが含まれる。中国における GSHP の将来の研究分野は、EU、米国および日本の大規模および都市規模 GSHP の最新研究開発情報と比較して検討される。

7 謝辞

この論文の作成にあたり、第 12 回 FYP 国家重要技術研究開発プログラム — 建造物のエネルギー効率目標を高いレベルで達成するための再利用可能エネルギー利用 (12th FYP-National Key Technology R&D Program-Renewable Energy Utilization to Achieve Higher Level Building Energy Efficiency Target) - 2014BAJ01B03 の資金的援助を受けた。

8 参考文献

- [1] A. Sciacovelli. 「都市部におけるオープンループ地下水ヒートポンプの環境への影響とエネルギー性能のマルチスケールモデリング」 Multi-scale modeling of the environmental impact and energy performance of open-loop groundwater heat pumps in urban areas[J].Applied Thermal Engineering, 2013(65):1-10.
- [2] Alaska Center for Energy and Power. 「アラスカシーライフセンターにおける海水ヒートポンプデモの調査」 An Investigation of the Alaska Sea Life Center seawater heat Pump demonstration [EB/OL]. [2014-2-1].
http://www.uaf.edu/files/acep/ASLC_Report_2013-8.pdf.
- [3] B.M.S. Giambastiani. 「居住用および商業ビルへの地熱エネルギーの大規模導入のためのエネルギー活用戦略：GEO.POWER プロジェクト」 Energy performance strategies for the large scale introduction of geothermal energy in residential and industrial buildings: The GEO.POWER project[J].Energy Policy, 2014(65):315-322.
- [4] CABR. 「土壤熱源ヒートポンプシステム技術規格」 Technical code for ground-source heat pump system [M].1.China Architecture & Building Press, 2005.
- [5] Hikaru Fujii, 「地下水・熱移動モデルを使用した大規模地熱結合ヒートポンプシステムの最適な設計」 Optimizing the design of large-scale ground-coupled heat pump systems using groundwater and heat transport modeling [J]. Geothermics, 2005(34):347-364.
- [6] Huai Li. 「日本北部における温室用大規模ボアホール土壤熱源ヒートポンプの性能評価」 Evaluating the performance of a large borehole ground source heat pump for greenhouses in northern Japan[J].Energy, 2013(63):387-399.
- [7] Ioan Sarbu. 「建造物の冷暖房用土壤熱源ヒートポンプに関する全般的レビュー」 General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings [J].Energy and Buildings, 2014(70):441-454.
- [8] Justin Mahlmann. 「地熱ヒートポンプシステムに関するコミュニティ規模の戦略的計画」 Geothermal heat pump systems for strategic planning on the community scale[A].2012 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings[C].ACEEE, 2012:166-179.
- [9] Nicholson D. P. 「都市規模 GSHP システムのための熱交換杭および導熱用トンネルに関する進展」 Developments in thermal pile and thermal tunnel linings for city scale GSHP systems[A].Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering[C].Stanford University, Stanford, California, 2013:SGP-TR-198.
- [10] Xu Wei. 「中国における土壤熱源ヒートポンプに関する研究開発リポート」 China ground source heat pump research & development report [M].1.China Architecture & Building Press, 2013.

ヒートポンプ給湯器:

重要な代替機器

Jun-Young CHOI,
韓国産業技術試験院 (KTL)

要旨: 電気ヒートポンプ給湯器の技術は周囲の空気が持つ熱を取り込むことで、住宅で使用するための給湯をより効率的に行うものである。近年、中国、日本、フランス、ドイツ、デンマークを含む各国でヒートポンプ給湯器の販売台数は劇的に増加している。ヒートポンプ技術が電気抵抗加熱による非効率的な技術を代替し、マーケット・シェアの10%に達すれば、年間13億キロワット時のエネルギーを節約できる。さらに、家庭における光熱費は年間約290米ドルの節約 (ENERGY STAR、2009年) となり、消費者にとっても有益である。最近、ISO (国際標準化機構) は住宅給湯用ヒートポンプ給湯器の新たな規格の確立に着手した。本稿は、従来の化石燃料や電熱を用いた暖房、給湯機器の代替として注目されるヒートポンプ給湯器の市場の状況、製品の応用実態および規格化について報告する。

はじめに

21世紀においては世界的な気候変動や環境保全のための対策はその重要性を増し、京都議定書の採択によって諸国間での排出権売買や Stay Clean 開発などに代表される新たなエネルギー市場が台頭し、国家の責任ある戦略策定が求められている。しかしこれまでのところ、排出削減プロジェクトといえば化学反応による排熱回収や、原料の置き換えといったものが多くみられる。高効率な機器がもたらす削減の効果検証プロセスは、その入力と出力のみを考慮した評価に過ぎない。加えて、電力と化石燃料間の歪んだコスト構成によって、評価が困難になっている。複雑な構造をもつ高効率エアコンの場合にはエネルギー節約を評価するための規格が必要であるが、特にヒートポンプに関する規格では、入力エネルギーの場合と異なり、室内負荷などの出力が定義されていない。

ヒートポンプ給湯器はヒートポンプシステムの応用のひとつであり、家庭用および商工業用化石燃料ボイラーを代替する。従来の電熱式に比べ、飛躍的に高い効率で給湯することができる。ヒートポンプ給湯器は周辺の空気、水や土壌より熱を抽出し、絶縁されたタンクにある水に熱を移動する。電力は、冷却コンプレッサーを駆動するモーターで使用される。給湯需要が大きい時や外部条件によってヒートポンプの作動が困難な場合に備えて、バックアップとして抵抗器による電熱加熱を行うものも一部存在する。室内暖房と給湯を提供するヒートポンプ給湯器 (HPWH) は化石燃料による従来の製品に代わり、CO₂排出を抑えることのできる環境にやさしい製品である。居住者が空気対水ヒートポンプから得る最も分かりやすいメリットは、給湯用の機器を個別に必要としないことである。空気対水ヒートポンプは、基本的に冷媒に捉えられた熱をリサイクルすることで熱湯を得ている。つまり、冷暖房の副次的な熱により温水を得ているのである。また、空気対水ヒートポンプを一台取り付ける方が通常のヒートポンプ暖房と給湯機の組み合わせより安価で運用コストも安いことも歓迎されるべき点である。

このような利点から、多くの投資と研究が行われている。ヨーロッパや日本をはじめとする、先進諸国においても、急速に進展している分野である。市場の構造とヒートポンプ給湯器のエネルギー効率に関する標準に応じて、各地域および国ごとに規格化が進められている。

韓国では、ヒートポンプ給湯器の市場は形成されつつあり、また LG、Samsung、Autech Carrier などの大企業はすでに輸出を開始している。



図 1. 家庭用空気熱源ヒートポンプ給湯システムの設置

ヒートポンプのしくみ¹

ヒートポンプ給湯器は電力で直接熱を発生するのではなく、電力を用いて熱の移動を行う。それにより通常の抵抗器による電熱温水器に比べ 2 から 3 倍もエネルギー効率が高くなる。熱を移動するという意味で、ヒートポンプは冷蔵庫を逆にしたようなしくみである。

冷蔵庫では、庫内の熱を取り出して周囲に放出するが、単独で作動する空気熱ヒートポンプ給湯器は周囲の空気の熱を抽出し、=高温で=温水タンク内に放出して水を温める。単独で作動する空気熱ヒートポンプは、温水貯蔵タンクとバックアップ電熱器を組み合わせたユニットとして購入できる。また、従来の貯蔵型温水器と合わせて使用できるようにヒートポンプを改造することもできる。

ヒートポンプ給湯器は、一年を通じて気温が 4.4⁰-32.2⁰C の範囲にあり、また給湯器の周囲に少なくとも 28.3m³の空間がある場所に設置する必要がある。排出される冷気は室内へ排気してもよいし、室外でもよい。ボイラー室など、熱の余剰がある場所に設置する。ヒートポンプ給湯器は寒冷的な場所では効果的に機能しない。また、設置された周囲を冷却する傾向が

¹ 米国エネルギー省, <http://energy.gov/energysaver/articles/heat-pump-water-heaters>

ある。冷暖房と給湯を兼ね備えた空気熱ヒートポンプシステムを設置することもできる。このような組み合わせシステムは、冬季は外気の熱を室内に取り込み、夏季には室内の熱を取り込む。空気中の熱を移動するというしくみであるため、どのような空気熱ヒートポンプであっても温暖な気候のほうがより効率よく作動する。

住宅所有者は主に、地中熱ヒートポンプを設置する。冬季は土壌より、夏季には室内より熱を取り出して冷暖房を行う。給湯には、地中熱ヒートポンプに過熱ガス用熱交換器を追加して用いる。過熱ガス用熱交換器は、ヒートポンプのコンプレッサーから得られる過熱ガスを使用して温水を得る補助的な熱交換器である。この温水を配管によって温水器のタンクに送る。

過熱ガス用熱交換器は、タンクレス、あるいは瞬間加熱方式の給湯機にも使用される。夏季には、過熱ガス用熱交換器は、本来土壌へと廃棄される熱を使用する。このように、夏季で頻繁にヒートポンプが作動する場合は、家庭で使用するすべての温水をまかなうことができる。

過熱ガス用熱交換器が十分な過熱を得られない秋、冬、春では、貯蔵式温水器や瞬間給湯器を利用して温水を得なければならない。冷暖房と給湯の3役をこなす地中熱ヒートポンプ製品を提供している製造業者もある。このような製品は、家庭における温水をいつでもまかなえるよう、個別の熱交換器を用いている。

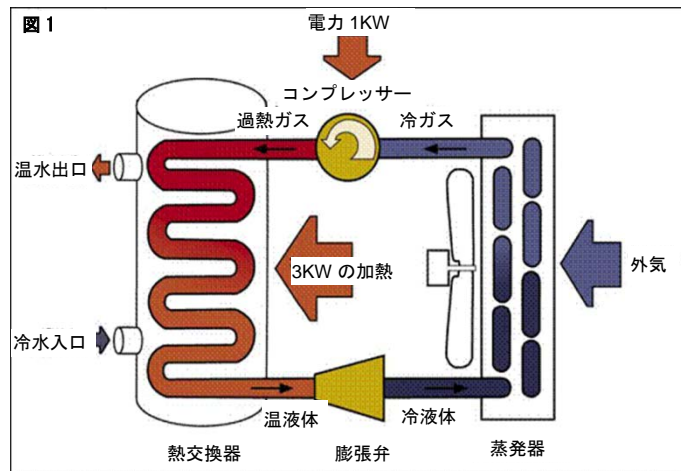


図 2. ヒートポンプ給湯器の基本的な熱サイクル

市場

近年、ヒートポンプ給湯器の世界市場は過熱している。空気対水ヒートポンプ市場は売上が最も急速に成長した分野であり、2007年から2010年の年平均成長率（CAGR）で21.5%となり、販売台数は2007年の概算73万台から、2010年には130万台となった。加えて、空気対水ヒートポンプの販売数は他のヒートポンプを超え、2014年から2020年のCAGRは、地域によって²は13.6%に達する見込みである。

市場の重要な変化として、バス、トイレ、厨房用給湯を可能とする貯湯タンク一体型空気対

水（ATW）ヒートポンプが引き続き急成長している点が挙げられる。特に 2012 年のフランスでの販売台数は、2011 年に比べて 34%増の 3 万 6 千台を超えると予想されている。助成とコスト面でのメリットが後押ししたイタリア市場は、ヨーロッパ市場最大の 113%の伸びを示し、2012 年には 9000 台に達する見込みである。欧州以外では、貯湯タンク一体型の伸びは米国で見られ、2012 年には 1 万 2500 台に達する見込みである。この形式のユニットを提供する製造業者は増加しつつあり、この先 5 から 10 年は現在と同様のペースで成長が続くものとされている。

特筆すべきは、中国における空気対水（ATW）ヒートポンプの利用である。中国の ATW 市場は 2012 年には前年比 10.5%の伸びを見せ、48 億人民元（7 億 8000 万米ドル）に達した。近年、ATW による暖房は増加している。2012 年には、ATW による暖房製品を発表したヒートポンプ関連会社は 15 社を超えた。

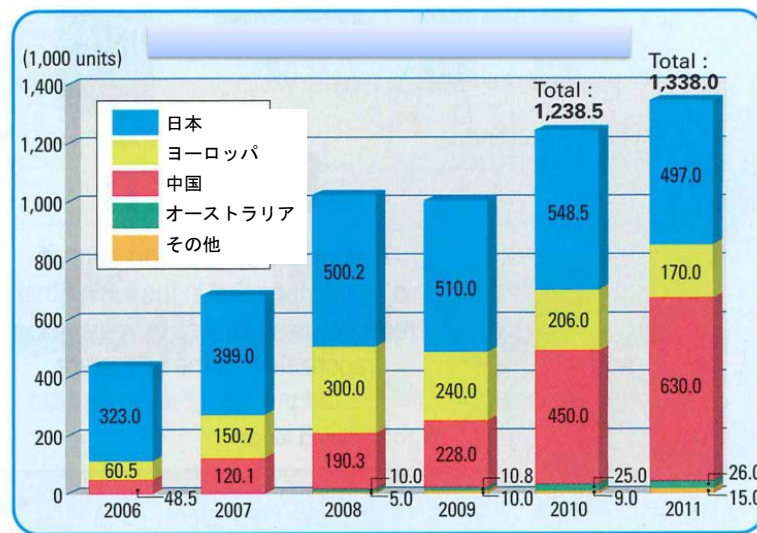


図 3. 空気対水ヒートポンプ給湯器の世界市場

出典：日本冷凍空調工業会（JRAIA） および JARN magazine

新規参入者として韓国もヒートポンプ市場を拡大するために様々な取り組みをしている。ヒートポンプ市場は近年も継続して拡大しているものの、国内市場は依然低調である。国内の暖房市場では、従来から家庭用ガス、灯油ボイラーが 60%を占めているが、ヒートポンプを使用した給湯器の市場は拡大しており、2012 年には 1 億 4000 万米ドルの規模となった。最近、韓国電力公社（KEPCO）³は既存の抵抗器による電熱給湯器に代わるものとして、夜間電力料金で加熱を行う貯湯タンク付きヒートポンプ給湯器の普及を推進する新しいプログラムを発表した。これによる新市場開拓の期待が寄せられている。

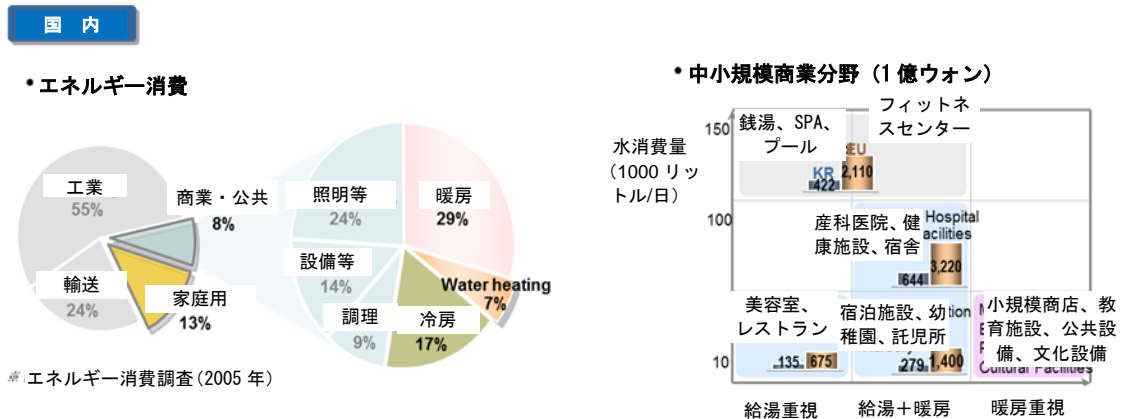


図 4. 空気対水ヒートポンプ給湯器の韓国市場

出典: 韓国冷凍空調工業会 (KRAIA)

製品と応用

一般的に、ヒートポンプは熱源側と熱の利用を行う側での熱媒体によって、空気対空気、空気対水、水対空気、水対水システムに分類することができる。ヒートポンプ給湯器は空気対水および水対水に分類されるものが相当し、冷水、温水どちらも提供することができる。ヒートポンプ給湯器は、夏季においては冷却器、冬季では加熱器とすることができ、システムの構成によっては、必要に応じて同時に両方の機能を発揮することもできる。また、四季を通じて温水を提供することが可能である。

韓国のヒートポンプ給湯器の主要メーカーは関連製品と応用技術を確保し、多様な製品のシステムとしての応用を検証する段階にある。一方で、システムを効率よく、最適に制御するための中核技術やシステム統合技術の開発が早急に求められている。可変能力技術を応用したシステム最適化、先端の熱流応用技術によるシステムの最小化技術などが可能である。さらに、多機能製品やハイブリッド製品を最適に運用できる自動制御装置の開発、自動統合制御システム技術の開発および無線技術を用いたシステムの分散制御などが可能である。

現在の標準的な製品を図 5 に示す。単体のヒートポンプ給湯器 (HPWH) は、屋外、屋内の設置またはダクト式として設計することができる。熱交換は熱交換体を巻き付ける方式または熱交換コイルを沈める方式があり、スプリット方式のヒートポンプ給湯器では熱交換器をタンク内と室外機の蒸発器として持つ構成がある。

表 1. は一般的なヒートポンプ給湯器の主な仕様を示したものである。国ごとに、市場に対応した様々な用途、温度、能力を持つ。新製品では、暖房、バス・トイレ・厨房給湯、冷房を同時または個別に提供するものがある。(図 6)。

冬季が寒冷である韓国の市場では、高温の給湯が要求される。そのため、2 種類の冷媒を使用し、2 つの冷却サイクルを熱交換器で結合して高温を得るカスケードコンデンサ方式が適用されている。(図 7)

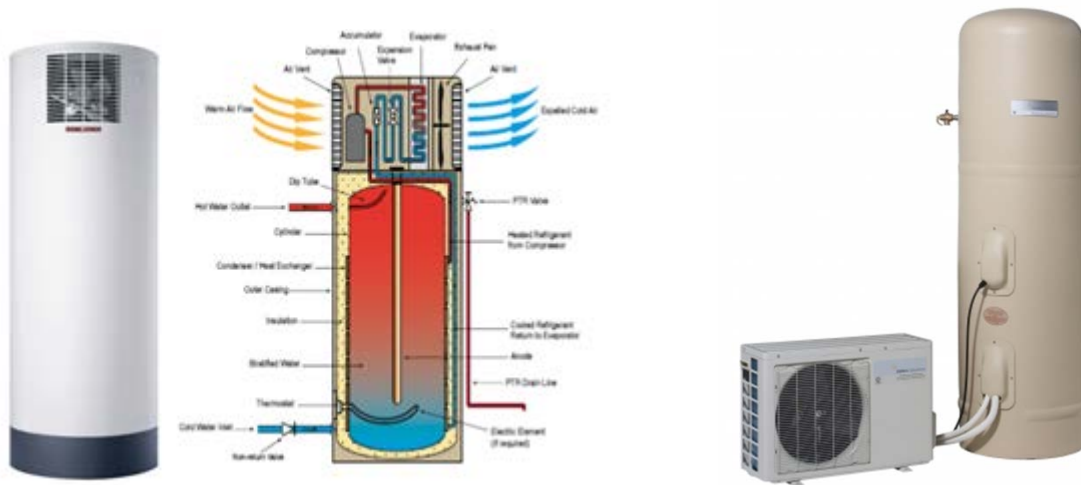


図 5. 標準的な製品 (右・単体 HPWH 左・スプリット方式の HPWH)

表 1. 普及しているヒートポンプ給湯器の仕様

	家庭用			商業用
	韓国	日本	EU	
用途	暖房 (50%), バス・トイレ・ 厨房給湯 (50%)	バス・トイレ・ 厨房給湯	暖房 (80%), バス・トイレ・厨房給 湯(20%)	バス・トイレ・厨 房給湯
能力	6 ~ 25 kW	4~6 kW (300~460L)	6 ~ 16 kW (3~6 kW 電熱ヒーター)	15~80 kW
温度	~50°C (床暖房), ~65°C (給湯、放熱器)	65°C ↑	~40°C (床暖房), ~65°C (給湯、放熱器)	70~80°C
高温給湯	カスケード, R410A, R134A	CO ₂ (90°C ↑)	バックアップヒーター または R407C	CO ₂ (90°C ↑)

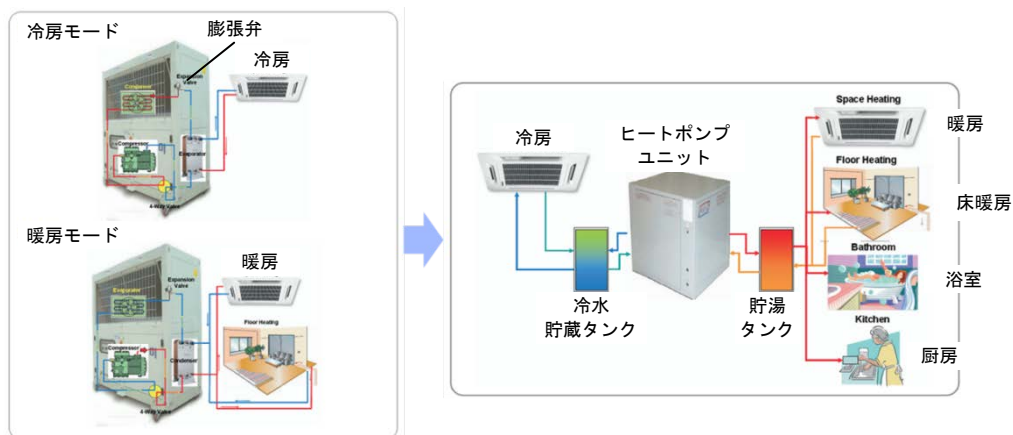


図 6. 新製品の略図

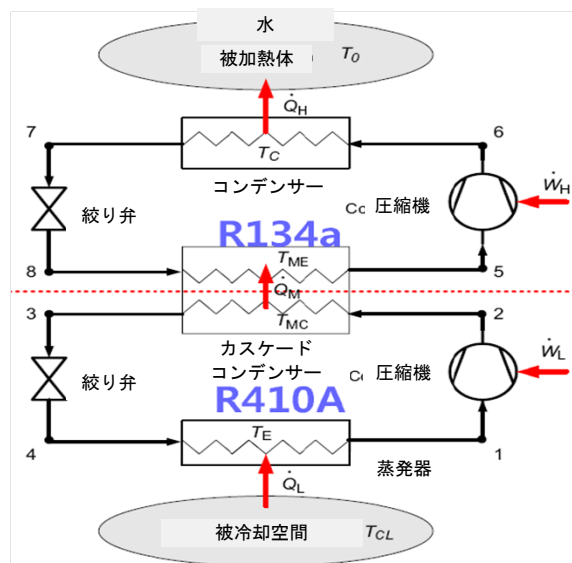


図 7. カスケード冷却サイクル

規格化

ヒートポンプ給湯器（HPWH）のエネルギー効率上重要な利点は、エネルギーの一部を周囲の熱源（通常は空気、水または土壌）より取得するため、消費する電力以上の熱を温水に移動できる点にある。

水に付与されたエネルギーを消費した電力で割ったものが通常成績係数（COP）やエネルギーファクター（EF）と呼ばれているものである。給湯器では、分子、分母ともにエネルギーの単位であるため、COP も EF も無次元量である。

抵抗器による従来の電熱ヒーターは、温水に付与する熱のすべてが抵抗器から発せられるものであるため、定義上 COP を 1.0 以上にすることはできない。適切に設計された HPWH は COP が 1.0 を大いに上回るものでなければならない。しかし、HPWH は比較的複雑なシステムであり、その性能の評価や予測は単純ではない。全体としてのエネルギー効率は、以下のような要因に影響される。

- 設置場所の気候。
- HPWH に供給される冷水の温度と、出力される温水の温度。
- ヒートポンプや熱移動システム（圧縮機、蒸発器、コンデンサーや他の部品）の性能。
- 貯湯タンクの熱損失。
- 一日当たり使用される温水の量。
- 各放水の量と時間の長さ、および次の放水までの時間の長さ。
- サーモスタットの設定と制御方法。および
- 電源のプロファイル、すなわち、常時通電か、それとも夜間電力等のオフピーク料金の電力でのみ運転可能な状態にあるかどうかなど。

テストの状態や計測結果の集計方法によって、同じ HPWH でも COP は大きく異なる場合がある。一部の試験基準では、給湯器が最初に冷水から温水を得るまでのみを計測するものも

あれば、複数の放出と再加熱サイクルの繰り返しを考慮して計算するものもある。また、温水の放出を行わない期間に温水を一定温度に維持する場合を考慮した試験もある。

現在、経済圏や地域の一部では、すでにヒートポンプ給湯器の規格を策定し、それに沿った評価が行われているところもある。一方、エネルギー効率の評価には数多くの要因が影響する。多くの規格の調和を図るため、HPWHの国際的規格が存在しないこと自体が世界基準策定の原動力となるべきである。

このような事態を避けるためには単一の試験方法を採用することが望ましい。2013年6月には国際標準化機構（ISO）のTC86/SC6がヒートポンプ給湯器の新たな試験基準を策定することで基本的合意に達した。この新プロジェクトは、2014年8月16日までの承認に向け、投票の段階に入っている。承認された場合、TC86/SC6の下で新基準の策定作業が開始される。

表 2. ヒートポンプ給湯器の規格、省エネ性能最低要件（MEPS）、省エネラベルの概要

国・経済圏の試験基準(a)	物理的試験	COP/SCOPの決定方法	MEPS、ラベルが規格により要求される(g)	MEPS、ラベルが規格以外により要求される(h)
オーストラリアとニュージーランド (b) AS/NZS 5125.1-2010	放水なし(e)	季節における性能モデル(ただしSCOPとしては表示していない)	ラベルの提起あり-規格策定中	任意-再生可能エネルギーによる電力法により優遇の可能性
	放水試験を策定中	計算によるCOP	MEPSの提起あり- MEPS策定中	
カナダ(c) CSA-C745-03	放水	計算によるEF	提起あり-2015年4月よりHPWHに影響する	任意 - Energy Star 推奨ラベル
中国 GB/T23137/21362	放水なし	計算によるCOP	要求あり	既知のHPWH向けプログラムはない
欧州(b) EN 16147:2011	放水	計算によるCOP	要求なし	任意- トップ 10 製品推奨プログラム提起- 強制省エネラベルとMEPS
日本 JIS C 9220:2011	放水	計算によるCOP	要求なし	トップランナー向け基準であり
韓国(d) KS B 6410	放水なし	計算によるSCOP	要求なし	既知のHPWH向けプログラムはない
米国(c) US Code of Federal Regulations Title 10, Part 430, Appendix E to Subpart B (CFR 430)	放水	計算によるEF	提起あり-2015年4月よりHPWHに影響する	強制- EnergyGuideラベル 任意 - Energy Star 推奨ラベル
ISO	策定中	未定	未定	未定

(a) 詳細は付録 A 参照。(b) 規格は公式に二つ以上の経済圏で適用する。(c) 個別の規格だが基本的に同様の試験 (d) 試案であり、公表されていない。(e) 試験中の放水はない。負荷パターンは季節のモデリングに沿ってシミュレーションされる。試験基準の見直しが進行中。省エネ性能最低要件 (MEPS) のレベルを確認するための放出試験を含めることが計画されている。(g) 省エネレベルないしは MEPS が規格自体に含まれている場合は、これらに沿わない製品は規格外とみなされる。(h) 法規により製品に対し特定の基準に沿った試験が要求され、一方規則には MEPS ないしはラベルの要求がない場合であり、試験基準を変更しなくてもこれらの要求が変更できる。

結論

ヒートポンプ給湯器この数十年前から普及し、一層身近な存在になっている。電力の料金が上昇するにつれ、また、温室効果ガス排出を削減する意味もあり、購入者はその決断にエネルギー効率をより強く意識するようになってきている。居住者にとって空気対水ヒートポンプ給湯器を利用する一番のメリットは、個別に他の給湯システムを設置する必要がないことである。また、一定の給湯後に再加熱を長時間待つことなく、十分な温水の供給が得られる上、耐久性に優れ、静寂に作動することなどが挙げられる。一部の製品では、抵抗器による電熱補助に過剰に依存し、エネルギー効率を機能性によって犠牲にしている。

他の給湯方法と比べた HPWH のエネルギー効率上の利点は、主なセールスポイントとなっている。このため、製造者はより高い効率をアピール（多くの場合「成績係数・COP」や「季節性能係数・SFP」）する。一部の経済圏では、製造者が矛盾なく数値を発表できるよう、また独自に検証できるように COP を計測する試験を策定しており、システム成績係数 (SCOP) の計測を策定している国や地域もある。騒音試験や一定の期間に一定の量の温水を供給する試験など、様々な形式の試験規格がある。

ボイラーの交換需要によってヒートポンプ市場は成長すると予想され、将来、工業用途も住宅用同様の進展が期待される。ヒートポンプは従来のボイラーを代替する主要な製品である。

本稿は、従来の化石燃料や抵抗器による電熱を用いた暖房、給湯機器の代替として注目されるヒートポンプ給湯器の市場の状況、製品の応用実態および規格化について報告した。

参考文献

- ・ APEC CAST, 2013, 「SEAD がヒートポンプ給湯器試験規格の国際的な調整を分析」 “SEAD Analyzes Potentials for Heat Pump Water Heater International Test Standard Alignment”
- ・ ICA report, 2013, 「韓国におけるエネルギー効率向上による温室効果ガス排出削減のためのヒートポンプシステム関連事業市場調査」 “Market survey of heat pump system supporting business case for efficiency-driven greenhouse gas mitigation in Korea”
- ・ KETEP, 2009. 「ヒートポンプのグリーンエネルギー戦略ロードマップ」 “Green Energy Strategic Roadmap for Heat pumps”, KETEP. Seoul, KOREA
- ・ EPA, 2009, 「家庭用給湯器向け Energy Star プログラム要件」 “Energy Star Program Requirements for Residential Water Heaters: Partner Commitments”, US Environmental Protection Agency
- ・ CHOI, Jun-Young, 2011. 「ヒートポンプ市場拡大がもたらす CO₂ 排出削減への影響」 “CO₂ reduction impact by growing heat pump market”, Journal of KSME, pp 45-48, Vol. 51, No. 5 May, Seoul, KOREA

複合型太陽熱ヒートポンプ給湯システムの研究と開発

An Nguyen, Luong Pham

ハノイ工科大学 (Hanoi University of Science and Technology)

はじめに

省エネ性能によって、国産の太陽熱給湯システムは広く普及している。季節により、また一日の間においても変動する太陽熱を利用するために、通常は従来の電気または化石燃料によるシステムと併用する。近年、効率面での改善が得られるヒートポンプシステムはコストの低下と共に、乾燥や給湯といったエアコン以外の用途にも広く波及した。ヒートポンプは消費電力を3分の1から最大6分の1までに低減することができるもので、太陽熱温水器と併用すれば大きなエネルギー節約が達成できる。しかし、残念ながらこのような給湯システムは依然普及していない。ゆえに、研究プロジェクトKC.05.03/11-15ではヒートポンプを補助熱源とした国産太陽熱給湯システムの開発が進められている。

研究の目的と範囲

KC.05.03/11-15はベトナム科学技術省(MOST)の資金によるプロジェクトで、タイトルは「ベトナムの諸条件に適合する複合型太陽熱ヒートポンプ給湯システム」、研究期間は2012年1月から2013年12月までである。現在、ヒートポンプと太陽熱給湯システムの組み合わせにおいては主に「統合型」と「複合型」2つの形式がある。統合型は太陽熱デバイスがヒートポンプの蒸発器と一体になったものである。太陽熱デバイスが収集した太陽熱はヒートポンプの低温側熱源の役割を果たす。つまり、太陽熱とヒートポンプは同時に稼働する必要がある。この意味から、統合型は別名「太陽補助ヒートポンプ-SAHP」とも呼ばれる。太陽熱が低温側の温度を高めるため、ヒートポンプの効率が改善される。この形式は、寒冷地で有効である。温暖な地域では周囲の温度(空気、地表水など)が十分高いため、ヒートポンプ給湯器が補助なく動作する 경우가ほとんどである。したがって、ヒートポンプと太陽熱が互いに干渉するのではなく、双方が貯湯タンクに熱を供給する複合型のほうが統合型よりさらに単純で効果的である。以上より、KC.05.03プロジェクトではヒートポンプと太陽熱デバイスの両方が応用される給湯システムを開発するために、複合型を選択した。

生活が近代化され、温水利用は益々増加している。概ね90%以上はビル(ホテル、アパート)や住宅における使用である。このためKC.05.03/11-15プロジェクトでは、ビル向けと住宅向けの2種類の複合型システムを選定し、開発している。将来においてこれらの複合型のプロトタイプを普及させるため、KC.05.03/11-15プロジェクトでは、以上に示した2つの複合型システムの他にも以下の目標を設定している。

- ヒートポンプ技術の研究とヒートポンプと太陽熱給湯システムの組み合わせ方法の研究。ベトナムにおいてヒートポンプ給湯ユニットを製造し、同時に太陽熱給湯システムと組み合わせる事を目的とする。

- すべての複合型太陽熱ヒートポンプ給湯システムの設計に必要な方法とツールを開発する。
- 複合型太陽熱ヒートポンプ給湯システムのプロトタイプをビル用と住宅用の二つ製作する。
- 複合型太陽熱ヒートポンプ給湯システムの制御装置のプロトタイプをビル用と住宅用の二つ製作する。制御アルゴリズムおよびソフトウェアを含む。
- プロジェクトで開発した2つのプロトタイプにつき、その運転データを計測して分析し負荷（温水の需要）への対応、エネルギー効率、CO2 排出削減の効果を確認する。

成果

KC.05.03/11-15 プロジェクトで、2つの複合型システムのプロトタイプが開発された。ベトナム Nhatrang 市内にある全 255 室の 4 つ星ホテルに温水を供給するために、3 万リットルのシステムが設計された。またハノイでは、5 人が居住する住宅向けに、250 リットルのシステムが設計された。

3 万リットル、250 リットル双方に該当するシステムの略図を図 1 に示す。

図にある通り、太陽熱収集器、給湯ヒートポンプの両方が個別に作動し、温水を提供するように設計されている。温水は単一の貯湯タンクに保存される。太陽熱が温水需要に十分な時は、太陽熱循環ポンプのみが稼働し、太陽熱デバイスから貯湯タンクへと吸収した熱（温水にエンタルピーとして保存される）を移動する。給湯需要が太陽熱で賄えない時は、給湯ヒートポンプが稼働する。制御プログラムを内蔵したプログラマブルコントローラー（PLC）もこのプロジェクトで開発した。PLC は温水の需要に対する補助の熱が必要かどうかによりヒートポンプのオン・オフを制御する。

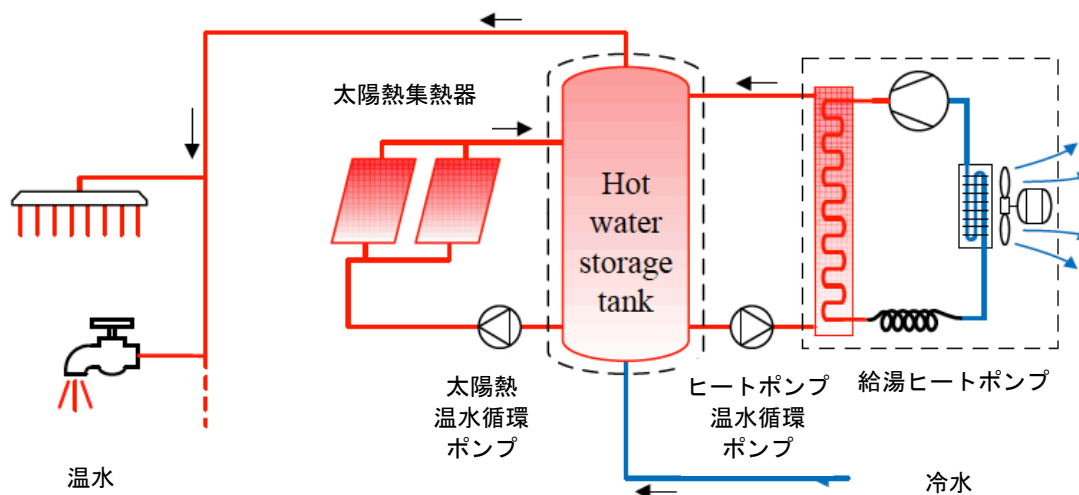


図 1. 複合型システムの略図

複合型システムの2つのプロトタイプの仕様を表 1 に示す。

両プロトタイプとも、貯湯タンクの容量が通常より大きいにもかかわらず、給湯ヒートポンプの加熱能力は普通のシステムに比べて低い。よって、最大消費電力も通常に比べて著しく低いことが分かる。

表 1. 複合型システムプロトタイプの様式

項目	パラメーター	単位	30,000 リットルシステム	250 リットルシステム
1	太陽熱集熱器の様式	-	真空配管, 直径 58 mm 長さ 1750 mm	
2	集熱管の数とモジュール数	-	1350 と 27	20 と 1
3	太陽集熱器の吸収面積 (合計)	m ²	179	2.65
4	給湯ヒートポンプの種類	-	空気熱源ヒートポンプ	
5	給湯ヒートポンプのユニット数	-	合計 5 ユニット、1 つは予備	
6	ヒートポンプの合計加熱能力	kW	100	0.95
7	全デバイスを含んだ最大消費電力	kW	35	0.4
8	温水負荷	-	255 室 4 スター ホテル向け Nhatrang、 ベトナム	5 人居住住宅 ハノイ、 ベトナム

設置されたプロトタイプから得られたデータによれば、双方の複合型システムとも、一年を通じ、すべての条件下で設計された負荷に十分な量の温水を提供することが可能であることが分かった。3 万リットルのシステムについては、通常の抵抗器による電熱式の給湯システムと比べて初期コストは 3 倍ほど高価である一方、年間の消費電力は、推定で 10 分の 1 ほどである。25 リットルのシステムについては、太陽熱給湯システムのバックアップとして使用できる 950W の加熱能力をもつ小型ヒートポンプ給湯器は市場に存在しないため、初期コストの比較はできない。250 リットルのシステムの年間の消費電力は、やはり推定で、普通のシステムの 12%から 15%ほどである。

結論

プロジェクト KC.05.03/11-15 では、ベトナムの気候条件に合致した 2 つの複合型太陽熱ヒートポンプ給湯システムの研究と開発を完了した。2 つの複合型太陽熱ヒートポンプ給湯システムのプロトタイプから得られたデータによれば、双方の複合型システムとも、一年を通じ、すべての条件下で設計された負荷に対して十分需要を満たすことが示された。太陽熱デバイス、ヒートポンプ双方の大きな省エネルギー能力により、2 つのプロトタイプの年間の消費電力は普通の電熱式給湯システムと比べ、3 万リットルと 250 リットルのシステムでそれぞれ 10%と 12%から 15%となった。3 万リットルのシステムはビル向けに設計されたもので、ベトナムにおいてはこのようなビルでは全消費電力の 30%が給湯に使用されている点に注目すべきである。つまり、複合型太陽熱ヒートポンプがビルにおいて広く普及すれば、大きな省エネにつながり、結果 CO₂排出量の削減と電力消費ピークの低減が可能となる。

アジア各国のエアコン省エネ政策の現状と性能試験設備の構築

平田 亮太
日本空調冷凍研究所, 日本

要旨：近年、世界的な省エネに対する意識の高まりが見られる中、成長著しいアジア諸国では、年々増大するエネルギー消費量を抑制するために、エアコンなど家電製品に対する MEPS やラベリング制度などの導入が推進されている。これら省エネ制度の有効性確保のためには、製品の性能を精度よく計測できる性能試験設備が必要である。しかしながら、その構築には単に設備を導入するというだけでなく、計測機器の校正や外部機関との相互校正など多くのプロセスが重要である。エアコンの第三者性能試験所である日本空調冷凍研究所 (JATL) は、ISO/IEC17025 に基づく取り組みを確実に実施し、高い精度と信頼性を維持している。また、国内メーカーの試験設備や海外の国家クラス試験所との相互校正を定期的に行っている。

今後は、これから構築されていくであろうアジア各国の試験所に対する JATL による技術支援を通して各国省エネ制度における性能試験の信頼性向上に貢献していくことが、相互の利益につながるものと考えられる。

はじめに

日本空調冷凍研究所 (JATL: Japan Air Conditioning and Refrigeration Testing Laboratory) は日本のエアコン性能検定制度における市場買上試験を担当するとともに、相互校正などによるメーカー試験設備認定を実施しており、日本の空調性能試験設備の原機としての役割を担っている。また近年では経済産業省によるアジア各国への省エネ制度構築支援関連事業における各国試験所との相互校正やラウンドロビテスト、技術研修等を担当している。筆者らはこの事業を通してアジア各国の試験所に訪問し、相互校正試験の立会や試験方法に関する研修等を実施してきた。支援対象国の多くでは、MEPS (Minimum Energy Performance Standards) やラベリングといったエアコン省エネ関連制度の強制化や新国際規格採用に伴う試験工数増加に対応するために、性能試験所の整備が進められている。

アジア各国におけるエアコン省エネ政策と性能試験の現状

表 1 は、アジア各国におけるエアコンの省エネ政策の状況をまとめたものである。この表に示す通り、多くの国でエアコンの性能に関する強制的な認証制度を実施している。また、その殆どにおいて、省エネ判定基準として APF や CSPF といった期間エネルギー消費効率 (ISO16358 など) を採用中又は近年中の採用予定となっている。これらは、MEPS によって省エネ性の低い製品を排除するだけでなく、近年アジア各国においてもその比率が増加しつつあるインバーターエアコン (部分負荷での効率において一定速タイプのエアコンに対する優位性が高い) の省エネ性を適切に評価しラベリングすることで、市場占有率をさらに引き上げ、全体のエネルギー消費量を抑制していくことが狙いであると考えられる。

一方、このような省エネ政策（MEPS やラベリング制度）を有効に機能させるためには、高精度、高信頼性の性能試験設備が必要である。特に期間エネルギー消費効率を算出するためには、従来の定格性能（能力、消費電力）に加え中間性能の測定も必要であるため、試験工数が増加し試験設備が不足するという課題がある。表 2 にアジア各国におけるエアコン性能試験の現状と課題を示す。これは実際に著者らが各国の試験所を訪問した際に現地のマネージャーらにヒアリングした結果をまとめたものである。これによると、多くの国において MEPS やラベリング制度による必要試験数増加に対応するために性能試験設備の導入を推進していることがわかる。またすでに試験設備を有している試験所においても、近年導入されたものが多く、試験経験の不足が課題となっている。エアコンの能力というものは、例えばある物体の長さや重さを測るといった単純な測定作業ではなく、温度湿度といった環境条件を十分に安定させた上で様々な物理量を測定し、その結果から計算によって求めるものであり一定の複雑さを有している。高精度な結果を得るためには、各物理量は全て高精度に測定される必要があり、それは定期的な校正やメンテナンスによって達成し得るものである。また、各計測機器や設備全体と言ったハード面だけではなく、それを適切に扱うことができる要員や運用といったソフト面も極めて重要なファクターである。以降では、これらのポイントについて JATL の例を元に説明していく。

表 1：アジア各国におけるエアコン省エネ施策の状況

国	MEPS、ラベリング制度における評価基準		期間エネルギー消費効率対応状況
	エアコンのタイプ	判定方法	
Japan	ALL	APF	APF 採用済（2006 年～） ただし MEPS ではなく、トップランナー方式によるラベリング制度
A	ALL	EER	ISO16358 採用検討開始
B	Fixed	EER	ISO16358 採用検討開始
	Inverter	Weighted EER	
C	Fixed	EER	ISO16358 採用済
	Inverter	CSPF (ISO16358)	
D	Fixed	EER	ISO16358 採用検討開始
	Inverter	(No Regulation)	
E	Fixed	EER	ISO16358 採用検討予定
	Inverter	Weighted EER	
F	Fixed	EER	ISO16358 採用検討予定
	Inverter	EER & Weighted EER (combination)	
G	ALL	EER	ISO16358 採用検討予定
H	ALL	APF (ISO16358)	ISO16358 採用済
I	Fixed	EER	APF 採用済
	Inverter	APF	
J	ALL	EER	CSPF 採用準備中 (パブリックコメント募集中)

EER: Energy Efficiency Ratio = Total cooling capacity / power input

Weighted EER = 0.4 x “EER at full load” + 0.6 x “EER at half load”

CSPF: Cooling Seasonal Performance Factor

APF: Annual Performance Factor

表 2：アジア各国における主なエアコン性能試験所及び設備の概要

国	項目	現状の課題など
Japan	試験設備	<ul style="list-style-type: none"> ・平衡式室形熱量計及び空気エンタルピー測定装置を所有しているが、認証試験には原則的に室形熱量計を使用している。(暖房低温のみエンタルピー式) ・新規設備(平衡式室形熱量計)を建設中
	試験業務負荷	<ul style="list-style-type: none"> ・現状では業務負荷は適正
	技術・経験	<ul style="list-style-type: none"> ・設立以降、30年以上に亘り国内の空調メーカーと共同で技術を構築してきた経緯があり、精度や技術的な課題は少ない
	ISO/IEC17025への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ISO/IEC17025 認証取得済み ・メンテナンス、校正など管理面については全く問題なく実施できている。 ・国内空調メーカー及び海外のISO/IEC17025 認証試験所との校正経験豊富
A	試験設備	<ul style="list-style-type: none"> ・平衡式室形熱量計及び空気エンタルピー測定装置を所有しているが、認証試験には室形熱量計を使用している。 ・新規設備(平衡式室形熱量計)を計画中
	試験業務負荷	<ul style="list-style-type: none"> ・国内メーカー数が多いため試験数が膨大となり、設備が不足気味である。
	技術・経験	<ul style="list-style-type: none"> ・試験所としての長い経験があり、精度や技術的な課題は少ない
	ISO/IEC17025への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ISO/IEC17025 認証取得済み ・メンテナンス、校正など管理面については全く問題なく実施できている。 ・他試験所との相互校正経験が少ないため、今後の課題である。
B	試験設備	<ul style="list-style-type: none"> ・平衡式室形熱量計及び空気エンタルピー測定装置を所有(何れも新規)
	試験業務負荷	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネ制度運用開始に伴い試験が集中し、設備が不足気味である。
	技術・経験	<ul style="list-style-type: none"> ・設備導入からの年数が浅く、現状では経験不足の面がある。
	ISO/IEC17025への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ISO/IEC17025 認証取得を目指している。(適用範囲拡大) ・設備が新しいため、メンテナンスや校正などの管理面については不十分な面があり今後の課題である。
C	試験設備	<ul style="list-style-type: none"> ・空気エンタルピー測定装置を所有している。 ・新規設備を計画中
	試験業務負荷	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネ制度が実際には開始されていないため、現在は特に試験がないが、制度施行後は試験数が一気に増大し設備不足に陥る懸念がある。
	技術・経験	<ul style="list-style-type: none"> ・設備は導入から数年経過しているが、実施数が少なく経験不足の面がある。
	ISO/IEC17025への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ISO/IEC17025 認証取得済み(適用範囲拡大) ・設備が新しいため、メンテナンスや校正などの管理面については不十分な面があり今後の課題である。
D	試験設備	<ul style="list-style-type: none"> ・空気エンタルピー測定装置を所有している。 ・複数の新規ラボ建設計画がある。
	試験業務負荷	<ul style="list-style-type: none"> ・今の所は試験数は適切であるが、規制対象機種が増えた場合は不足することが懸念される。(現在試験所は一箇所のみ)

	技術・経験 ISO/IEC17025 への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・設備導入からの年数が浅く、現状では経験不足の面がある。 ・ISO/IEC17025 認証取得を目指している。(適用範囲拡大) ・設備が新しいため、メンテナンスや校正などの管理面については不十分な面があり今後の課題である。
E	試験設備	<ul style="list-style-type: none"> ・校正式室形熱量計を所有している。 ・複数の平衡式室形熱量計の建設計画がある。
	試験業務負荷 技術・経験 ISO/IEC17025 への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・試験実施数が多く設備が不足気味である。(現在一設備のみ) ・試験経験は十分にあり、スキルは高い。 ・ISO/IEC17025 認証取得済み ・設備がメーカーによりブラックボックス化されており、自力でのメンテナンスや校正が困難である点が課題である。
F	試験設備	<ul style="list-style-type: none"> ・平衡式室形熱量計及び空気エンタルピー測定装置を所有している。認証にはどちらの設備でも使用可能である。 ・平衡式室形熱量計は近年導入された 1 設備のみであり、他は空気エンタルピー測定装置である。
	試験業務負荷	<ul style="list-style-type: none"> ・国内に 3 箇所の試験所が存在するため、キャパには若干の余裕があるが、新規格 (GSPF) 導入後は工数増大による設備不足が懸念される。
	技術・経験 ISO/IEC17025 への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・エンタルピー式には相応の経験があるが、室形熱量計の経験は浅い。 ・ISO/IEC17025 認証取得済みの設備とこれから取得予定の設備がある。 ・独自に校正やメンテナンスを実施しているが、不十分な面が見られる。

エアコン性能試験設備の概要

1) 概略

試験設備としては、平衡式室形熱量計 (Balanced ambient room-type calorimeter) または空気エンタルピー測定装置 (Air enthalpy test method) が多く用いられている。図 1 にこれら設備の概略図を示す。また表 3 にこれらの比較を示す。

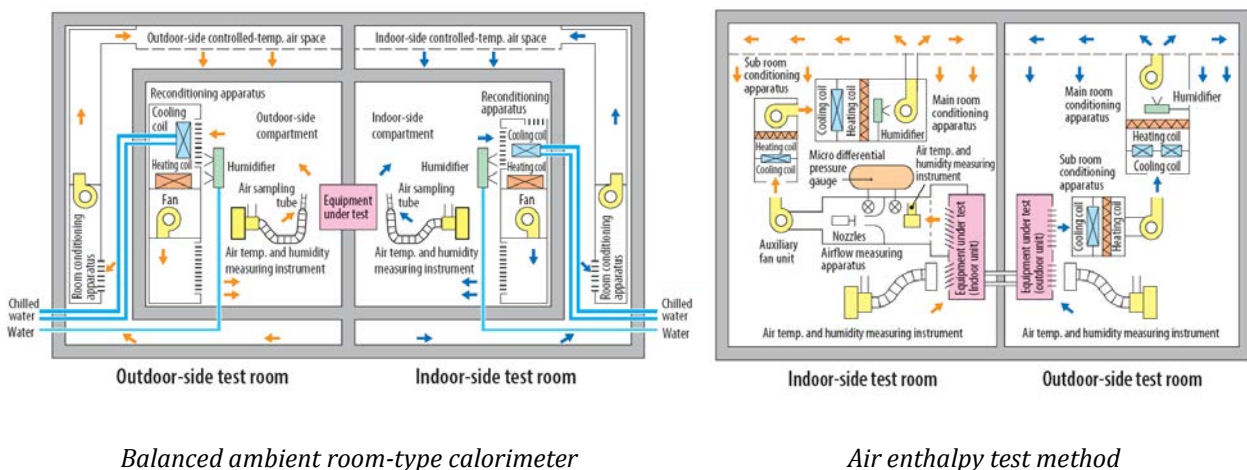


図 1: エアコン性能試験設備例

2) 平衡式室形熱量計 (Balanced ambient room-type calorimeter)

室内機室、室外機室を取り囲むように空気層が設けられている。これはこの空気層を室内外機室それぞれの温度と同一に調節することにより、壁面を通した周囲への熱漏洩（または熱侵入）を防止するためのものであり、平衡式室形熱量計の最大の特徴であると言える。因みにこの空気層を持たない熱量計は、校正式室形熱量計 (Calibrated room-type calorimeter) と呼ばれる。このような熱量計方式の設備では、室内機室及び室外機室の温度・湿度条件を維持するように供試機（エアコン）の能力と設備側の能力をバランスさせ、その時の設備側の能力を供試機（エアコン）の能力とする。例えば冷房モードの場合、供試機が部屋を冷却及び除湿する能力とバランスするように設備側のヒーター及び加湿器を制御し、ヒーター及び加湿器、その他送風ファンや電灯へ投入した電力の総和が供試機の冷房能力となる。

3) 空気エンタルピー測定装置 (Air enthalpy test method)

供試機の吸込温度、湿度が試験条件にて安定している状態で、風量測定装置のノズル部での空気差圧及び通過する空気の状態（温度、比体積）などから供試機の風量を求める。また供試機の吸込及び吹出空気の温湿度及び大気圧から各々の比エンタルピーを求め、吸込、吹出の比エンタルピー差に質量風量を乗じることによりエアコンの能力を求める。

表 3： エアコン性能試験設備の比較

✓：優位性あり

項目	平衡式室形熱量計	空気エンタルピー測定装置
設備コスト	・部屋が二重の壁になっていることもあり、一般的にエンタルピー式よりもコスト高である	・一般的に熱量計方式よりも安価である ✓
測定精度	・一般的にエンタルピー式よりも良いとされている ✓	・ダクト、ノズル等、風量測定に多くの要素が関係する（不確かさの要因が多い）
測定時間	・エンタルピー式よりも試験時間は長い（安定までに時間を要する）	✓ ・風量測定装置は熱量計式の各部屋と比較して小さく熱的安定が早い。
測定可能容量	・温度分布の問題があり大容量の能力測定は対応困難（設備コストが課題）	✓ ・風量測定装置でノズル径を切り替えることで幅広い風量（能力）に対応可能 （大型エアコンはエンタルピー式が主流）
負荷追従性	・供試機に負荷変動が発生すると熱平衡が崩れ、安定までに時間を要する。	✓ ・供試機の運転状態が温調に及ぼす影響が限定的であるため追従性は良好
試験作業	✓ ・設置作業はエンタルピー式よりも簡易でばらつきの要素は少ない	・ダクトによる接続が必要なため、設置作業はバランス式よりも難易度が高い
設備操作	・供試機の運転状態によっては設備側でバランスをとるための調整が必要な場合がある	✓ ・供試機の運転状態が温調に及ぼす影響は熱量計式より小さいため、操作は比較的容易
メンテナンス	✓ ・エンタルピー式よりも若干簡易であるが、工数に大きな差はない	・熱量計式と比較して計器の点数が多くやや工数大（費用もかかる）

4) 日本のエアコン性能検定制度における試験設備

日本のエアコン性能検定制度においては、全て JATL にて検定試験を実施している。この際の試験設備としては、小型の家庭用エアコンについては、基本的に精度的に優位とされる平衡式室形熱量計を用いるが、除霜運転による負荷変動が大きい暖房低温条件についてのみ、負荷追従性に優れるエンタルピー式を採用している。また容量が大きく熱量計方式では対応が困難な業務用エアコンについては、全てエンタルピー式にて試験を実施している（表 4 参照）。

表 4：日本のエアコン性能検定制度における試験設備

製品区分	試験項目	設備	測定可能レンジ
小型エアコン (家庭用)	冷房標準条件（定格／中間）	平衡式室形熱量計	冷房：0.9 - 11.6kW 暖房：0.9 - 12.8kW
	暖房標準条件（定格／中間）		
	暖房低温条件	空気エンタルピー測定装置	（冷房：0.0 - 10.0kW） 暖房：0.0 - 13.0kW
大型エアコン (業務用)	全項目	空気エンタルピー測定装置	冷房：2.0 - 56.0kW 暖房：2.0 - 67.0kW

ここで述べたようにエアコンの性能試験設備には幾つかの形態があり、それぞれ特徴が異なるが、いずれの設備においても各計測機器及び全体の校正やメンテナンスなどを適切にかつ継続的に実施していくことが重要である。

性能試験設備の校正について

1) 測定機器の校正

前述したようにエアコンの性能は、温度、湿度、圧力、電力などといった様々な要素から計算によって求められるものである。従って、正しい結果を得るためには各々の要素を測定するための計器について、その測定値が妥当であることを確実にするために校正が必要である。また、この校正は国家標準に対するトレーサビリティがとれていることが重要である。計測機器の校正とトレーサビリティについては、ISO/IEC17025 の要求事項として 5.6 項に示されている。JATL では、各計測機器は年 1 回の総合メンテナンス時に、JATL の参照標準器（これは通常の試験には用いられない）によって校正される。この参照標準器は ISO/IEC17025 認証校正機関によって校正されており、国家標準へのトレーサビリティがとれている。この外部校正も年 1 回実施される。また、この外部校正においては原則的に不確かさ付き校正証明書が発行されており、この不確かさは各測定機器の不確かさ計算に用いられる。さらに JATL の所内校正は各測定機器単独ではなく、試験室に設置された状態で測定機器からその表示部まで全体としての校正がなされる。図 2 に JATL における測定機器のトレーサビリティ体系図（抜粋）を示す。

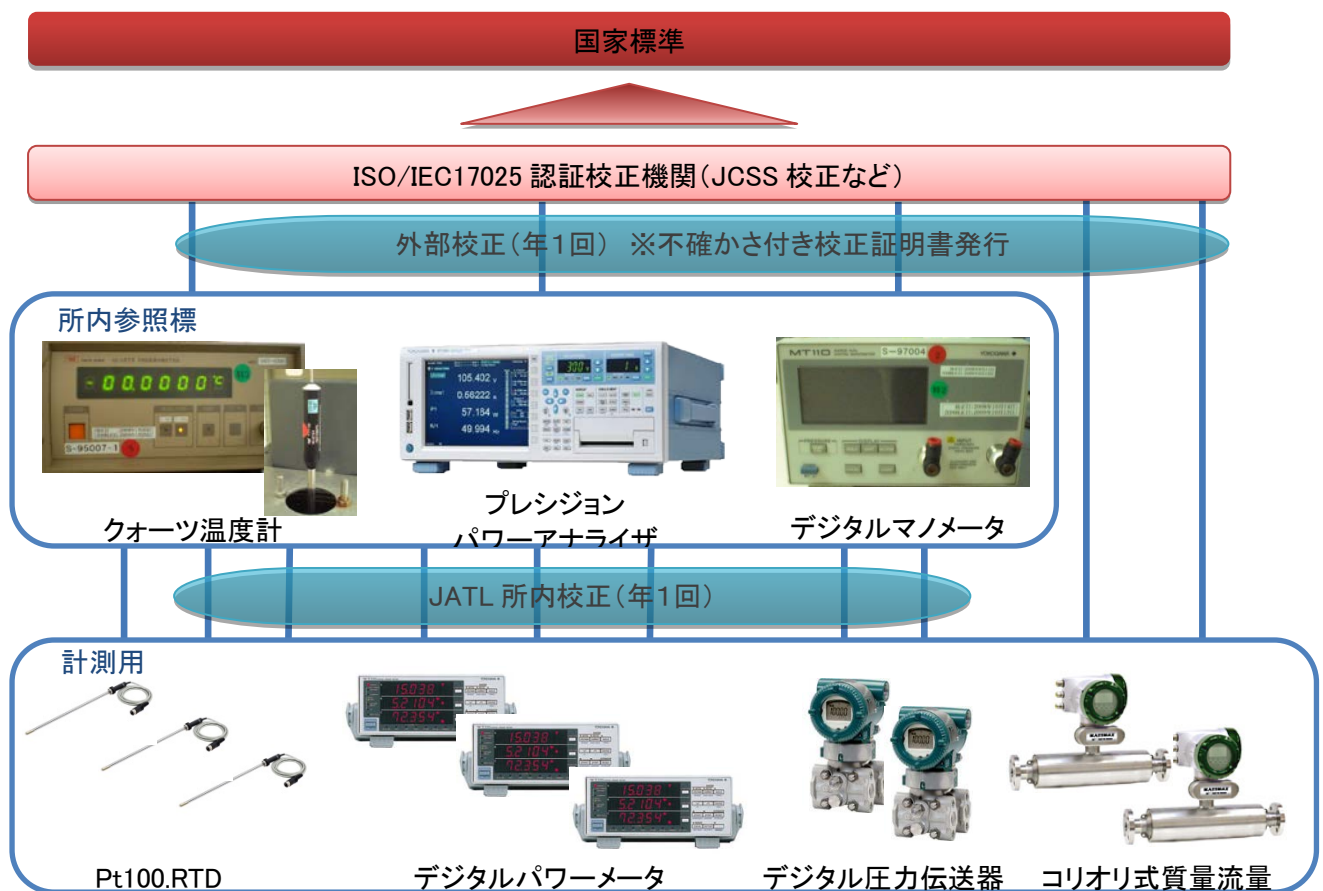


図2：JATLにおける測定機器のトレーサビリティ体系図（抜粋）

2) 試験設備の総合的な校正による試験結果の品質管理

エアコンの性能試験設備としては、上記のような個別の測定機器の校正だけでは不十分である。なぜなら最終的に求めるエアコンの能力や消費電力は個々の測定機器以外にも受風室や室内外機室からの熱漏洩や温度分布など様々な要因によって誤差が生じ得るからである。従って、エアコンの能力測定を実施して最終的に求める性能値に妥当性があることを定期的に確認する必要がある。JATLではこの総合的な校正として次に述べる二種類の確認を実施している。この結果の品質確認については、ISO/IEC17025の5.9項にて言及されている。

a) 所内校正機による繰り返し試験

これは、所内校正機（エアコン）を年1回程度測定し、性能値の変化を確認する方法である。この試験におけるポイントは表5の通りである。JATLでは年1回の総合メンテナンス時の各測定機器個別の校正及び設備全体のメンテナンス完了後に平衡式室形熱量計及び空気エンタルピー測定装置の双方で試験を実施している。これにより所内の試験設備間での相互校正も兼ねている。

表 5： 所内校正機による繰り返し試験のポイント

ポイント	理由
複数の校正機にて試験を行う	校正機自身の異常か設備の異常かを判別するため
各校正機は互いに容量の異なるものとする	設備の測定レンジをカバーするため
各校正機は適切に保管し5年程度で更新する	校正機自身の劣化による性能変化の影響を排除するため
試験結果をグラフ化する	傾向を把握し異常の発見を容易にする

b) 外部試験機関との相互校正又はラウンドロビンテスト

JATL は以降に示す方法により、外部試験機関との比較を実施している。

b-1) 韓国 KRAAC との持ち回り試験

韓国の KOREA Refrigeration and Assessment Center (KRAAC) は韓国産業通商省傘下のエネルギー管理公団 (KEMCO) で運営されているエアコン認証制度における指定試験所であり ISO/IEC17025 認証を取得している。JATL は KRAAC との技術提携契約を締結しており、4年に1回の持ち回り試験を実施し相互に結果の妥当性を確認している。

b-2) 国内エアコンメーカーとの定期的な相互校正

日本冷凍空調工業会 (JRAIA) にて運営されている、任意のエアコン性能検定制度は、JATL による市場買上試験と各エアコンメーカーの自主検定制度から成り立っている。この制度におけるメーカーの自主検定制度の妥当性を担保するために、定期的 (原則的に2年毎) にメーカー試験設備との相互校正を行っている。この検定制度では、JATL の試験設備を「(性能)原機」、各メーカーの試験設備を「準原機」と呼称している。また各メーカーは自社のその他の試験設備 (メーカーラボ) と検定制度に登録した準原機との相互校正を実施しており、結果的に日本のエアコンメーカーの性能試験設備は JATL の試験設備との校正がとれていることになる。この検定制度の概略を図3に、準原機認定のスキームを図4に示す。

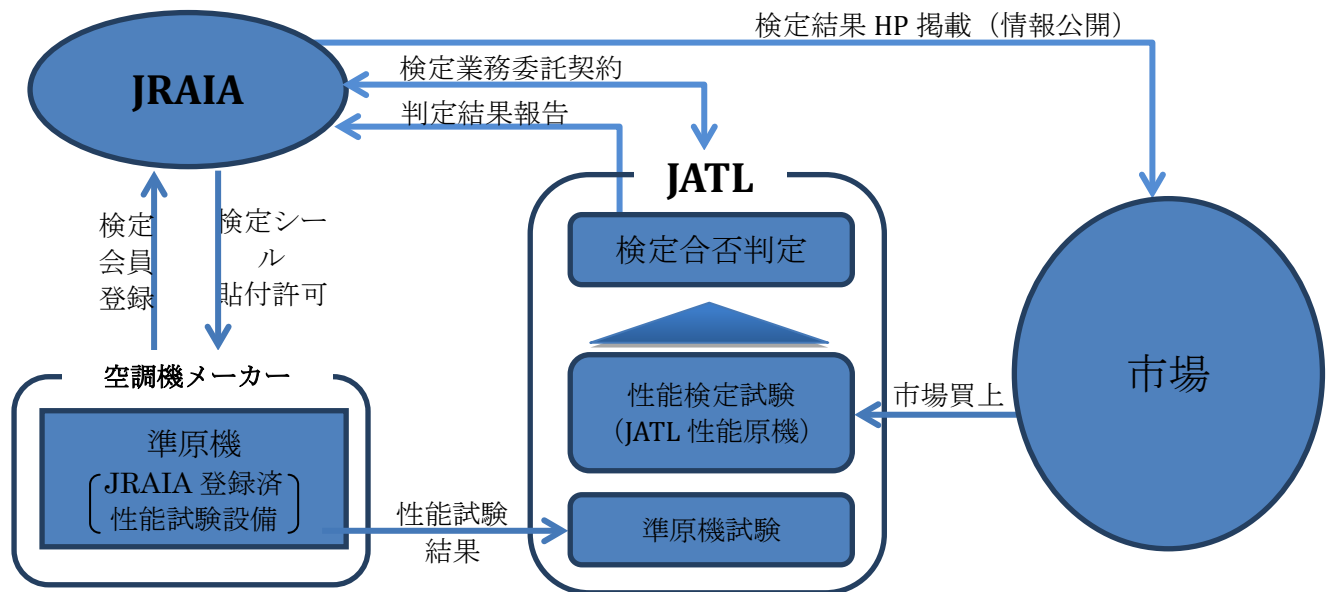


図 3： 日本のエアコン検定制度概略

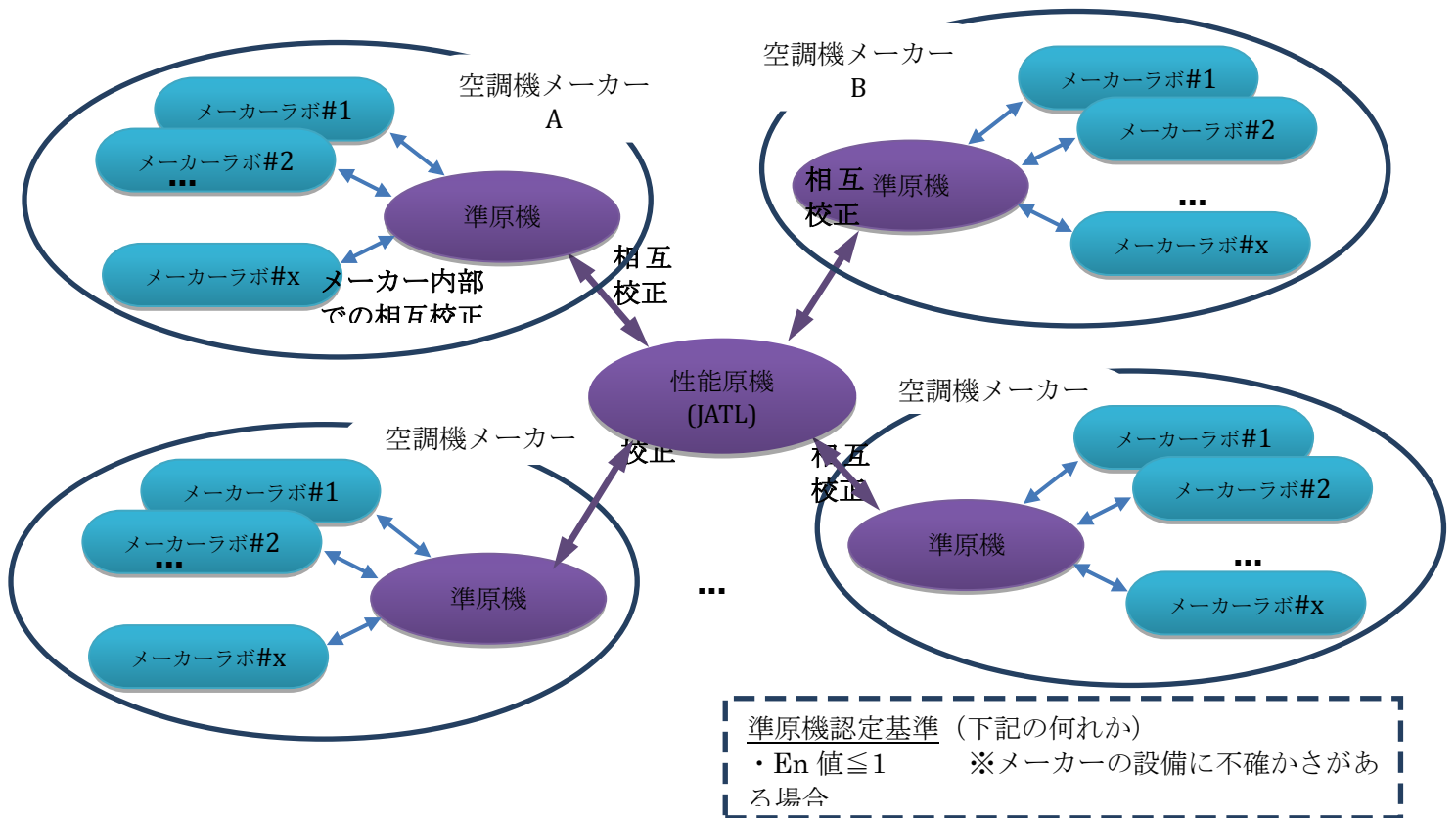


図4: 検定制度における準原機認定スキーム

b-3) 海外性能試験所との相互校正／ラウンドロビントテスト

JATL は韓国 KRAAC との相互校正試験以外にも、様々なプロジェクトを通して海外性能試験所との相互校正試験を実施してきた。これらのプロジェクトでは、試験結果の比較だけでなく、設備や試験方法、管理状況などの調査も併せて実施している。特に経済産業省によるアジア各国への省エネ制度構築支援事業（「省エネルギー等普及基盤構築支援調査事業」や「途上国における S&L 制度構築支援事業」）においては、アジア各国の試験所との相互校正や技術支援を通して各国性能試験所の状況を詳細に把握することができている。

下表6に海外性能試験所との試験実績を示す。

表6: 海外性能試験所との相互校正試験実績

時期	プロジェクト	対象国 (試験所)	実施内容
1997、2002、2010年	JRAIA 海外 WG	米国 (Intertek)	相互校正試験
2003年		韓国 (KRAAC) スペイン (CEIS)	ラウンドロビントテスト
2008、2009年		スペイン (CEIS)	相互校正試験
2006年		豪州 (UNSW)	相互校正試験
2003、2007、2010、2013年	技術提携契約による試験所間比較	韓国 (KRAAC)	ラウンドロビントテスト
2011年	途上国における S&L 制度構築支援事業 (METI)	中国 (CVC)	相互校正試験

2012年		中国 (CVC、CHEARI)	ラウンドロビンテスト
2012年	省エネルギー等普及 基盤構築支援調査事 業 (METI)	タイ (EEI)、マレーシア (SIRIM QAS)、インドネシア (B4T)、 ベトナム (TVCI)	相互校正試験及び技術 支援
2013、2014年		タイ (EEI)、マレーシア (SIRIM QAS)、インドネシア (B4T)、 フィリピン (OSS-I-STL)	相互校正試験又はラウ ンドロビンテスト及び 技術支援

設備のメンテナンス

1) 概略

JATL では、試験設備の状態を維持するために、前述した通り計測器個々の校正や設備の相互校正などを実施しているが、設備全体の状態管理を目的として日常点検及び年次点検を実施している。

2) 自主メンテナンスの重要性

これらのメンテナンスは、技術的に可能な範囲はすべて JATL の試験員自身が実施している。これは試験員自身でメンテナンスを実施することにより、設備や試験技術への理解を促進し日常の試験時に不具合を早期発見・改善する技術を養うだけでなく、将来的な試験方法や設備の改善提案などを適切に実施し得る能力を身につけることを目的としている。

3) 日常点検

設備各部の異常音やベルトの緩みなど設備が正常に機能できることを簡易的な点検により確認し記録し結果を掲示している。項目により点検周期は異なる（毎日／毎週／毎月）。下表 7 に点検項目及び周期の一例を示す。また、図 5 に JATL における日常点検表の掲示状態を示す。

表 7：日常点検項目例

点検箇所	確認内容	点検周期
AHU 送風機	異常音	毎日
加湿器	水位異常	毎日
温度計	湿球水位	毎日
V ベルト	緩み、損傷	毎月
冷凍機	異常音	毎日
冷凍機運転圧力	圧力（高低圧が正常範囲）	毎週
電子天秤	オーバーフローの有無	毎日
周辺環境	整理・整頓	毎日



図 5：日常点検表の掲示状況（実験室入口）

4) 年次点検

設備の総合的な点検のために、毎年約 2 ヶ月の期間を用いて年次点検を実施している。最初の 1 ヶ月は完全に設備を停止させて機器の点検やメンテナンスを実施し、それらの完了後（設備復旧後）、次の 1 ヶ月で総合的な校正や熱漏洩計測を実施する。この年次点検で実施する主な項目は下記の通りである。

- ・各計測器の所内校正（Pt センサ、水銀温度計、電力計など）
- ・各計測器及び参照標準器の外部校正（クォーツ温度計、微差圧計、流量計など）
- ・加湿器、クーリングタワーなどの点検・清掃
- ・設備各部の絶縁抵抗測定
- ・ヒーター校正機、繰り返し試験機（校正用エアコン）を用いた所内校正試験
- ・平衡式室形熱量計の熱漏洩計測
- ・エンタルピ測定装置の受風室熱漏洩計測
- ・計測プログラムの確認（外部によるバージョンチェック） etc.

この点検は、期間・費用の両面において非常に影響が大きいですが、試験所（設備）としての信頼性維持のためには重要であり省略はできない。

試験の有効性監視

JATL では試験精度管理のために特に重要な下記の項目について結果を記録している。またこの結果を分析し、異常と判断される場合には当該機器（又は設備）の使用を中止し原因究明を行う。監視項目及び頻度を下表 8 に示す。

表 8：試験の有効性監視項目

監視項目	内容	頻度
Pt センサの有効性監視	校正された水銀温度計と Pt センサによる温度測定結果（計測用 PC の表示値）を比較する。	試験毎
ヒーター校正機による再現性確認	ヒーター校正機を据付け、暖房能力試験を実施しヒーター校正機の消費電力と暖房能力の比を過去の結果と比較する。	年 1 回
所内校正機（エアコン）による再現性確認	所内校正機により冷房能力試験を行い、過去の結果と比較する。	年 1 回
室内外平衡比の確認	室内側から求めた能力と室外側から求めた能力の比（室内外平衡比）を監視する。	試験毎
湿球用ウィックの交換記録	湿球測定用ウィックについては、適切に脱脂し温度計の径に適合したものを使用する。同時に湿球皿の汚れも点検する。ウィックの交換記録をつける。	供試機毎

試験作業の標準化

エアコンの性能試験において、設備の校正やメンテナンスが重要であることは既に述べた通りであるが、実際の計測作業も再現性の高いものでなければならない。ここではそのために必要な事柄を述べる。

1) 試験員育成

試験を担当する要員（試験員）の育成は、試験結果の高い再現性を担保するために最も重要な要素の一つである。JATL では図 6 に示すような育成プログラムにより教育訓練を施し、試験実施に必要な知識・技能が備わった要員のみ試験業務に従事させている。

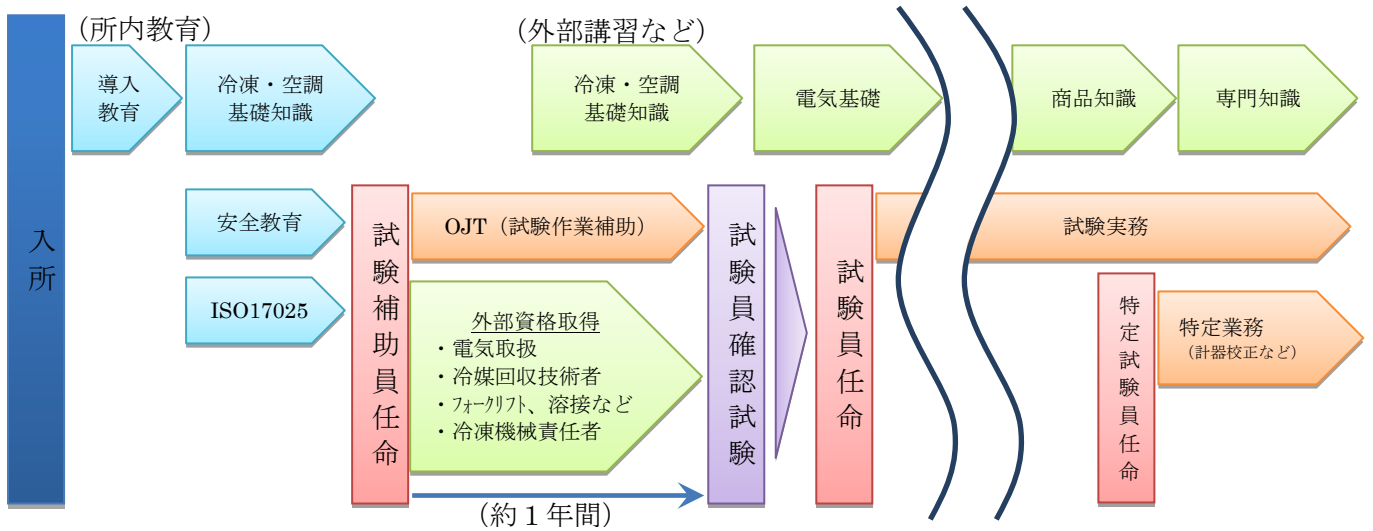


図6：JATLにおける試験員育成スキーム

2) 試験マニュアルの構築

JATL では、試験員による作業のばらつきを防止するために、独自のマニュアルに基づき試験が実施される。このマニュアルは、JRAIA が主催する「ルームエアコン検査技術委員会」の中でエアコンメーカーの技術者と協力して構築してきたものである。内容としては、試験規格 (ISO5151 又は JIS B8615-1) を基本とするが、そこに明示されていない具体的な試験方法を JATL の設備に合わせて規定している。また参照する試験規格が改定された場合は、マニュアルもそれに合わせて改定される。

このマニュアルは、経済産業省による省エネ制度構築支援事業を通して各国語に翻訳され、当該事業における JATL による技術研修にて活用されている (図7参照)。

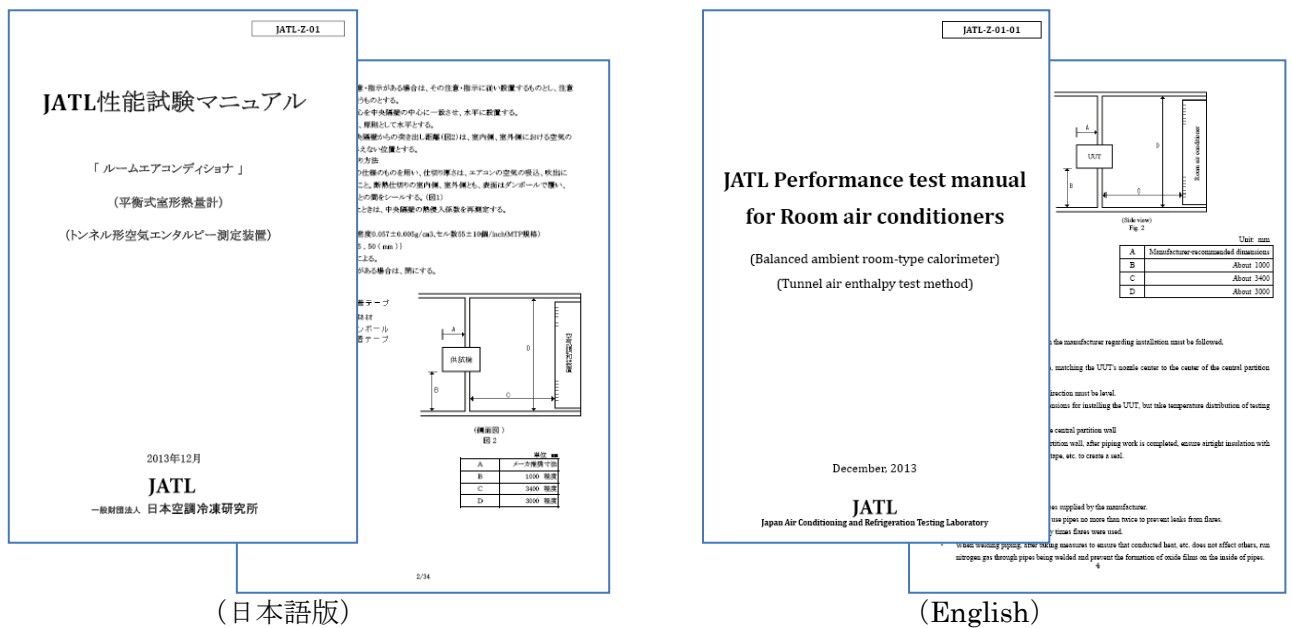


図7：JATL 性能試験マニュアル

測定の不確かさ

ISO/IEC17025 の要求事項 (5.4.6 項) にある通り、JATL は性能測定の不確かさを推定・計算している。また求めた不確かさ (相対不確かさ) は試験報告書に記載されている。

不確かさの推定・計算方法については、公益財団法人日本適合性認定協会 (Japan Accreditation Board) 発行のガイドライン「JAB NOTE 6」及び ISO 技術仕様書「ISO/TS 16491」をベースに、JATL 主催の「不確かさ研究委員会」にて日本のエアコンメーカー技術者らと議論され構築されている。この計算方法は各メーカーと共有され、各社同一の基準で計算された不確かさ数値を用いて、相互校正時の E_n 値判定に活用されている。

またこの不確かさを推定・計算することにより、各計測器や設備全体の測定における誤差要因についての理解が深まり、結果的に高精度化に向けた設備改善に貢献している。

結論

エアコンの性能測定は様々な要素の組み合わせで構成される複雑なものであり、高精度で再現性の高い結果を得るためには、本論で述べたような各計測機器の校正や設備メンテナンス及びそれらを扱う人員の育成が重要である。さらに、測定結果の信頼性を高めるためには、信頼できる他の試験機関との相互校正やラウンドロビンを継続的に実施し妥当性を証明していくことが大切である。

一方、近年のアジア諸国においては、MEPS やラベリング制度などの省エネ政策の導入に併せて性能試験設備の整備が推められているが、上述したように信頼性の高いエアコンの性能試験設備の構築は容易なことではなく時間も要する。日本のエアコン検定制度を支える中心的な性能試験所である JATL は、このような高精度化のための取り組みを確実に遂行し、さらに国内のエアコンメーカーとの相互校正を継続的に実施している信頼性の高い試験機関である。今後は JATL が各国の性能試験機関への技術支援や相互校正などを通して高精度化、高信頼性化に貢献していくことが、日本のみならずアジア地域全体の相互の利益に繋がるものと考えられる。

参考文献

ISO/IEC17025:2005 “試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項”

ISO16358:2003 “空冷エアコンディショナ及び空気対空気ヒートポンプ—季節性能要素の試験及び計算方法”

IS-INOTEK、JEMA 2014 年 3 月 『平成 25 年度省エネルギー等普及基盤構築支援調査事業 家庭用エアコン及び冷蔵庫の国際標準化に関する支援調査事業』成果報告書 (経済産業省提出)

JATL 2014 年 1 月 『ヒートポンプ機器の性能評価の現状及び今後の展開について』HVAC & R JAPAN2014 講演資料

環境保護におけるヒートポンプの役割

Pradeep Kumar, Tarun Garg
エネルギー資源研究所 (The Energy and Resources Institute – TERI) ・インド

はじめに

インド北東部の州はインドにおいて最も東に位置し、ネパールやバングラデシュによって狭まった回廊地帯を挟んで East India 地方に通じている。この地域の開発課題は、後進的な農村地帯が存在すること、各州間およびインドの他の地方とのアクセスが不十分であること、産業化の遅れ、都市部の急速な人口増加および環境保全である。水力発電に関する大きな可能性を秘めていながらも地形の問題から電力網に接続されておらず、農業地および市街周辺部の大部分でエネルギー不足に悩まされている。この傾向は将来に渡って続く可能性がある。

こういった状況を改善する数少ない解決策として、市街地や遠隔地における教育施設、医療センター、住宅の建設、観光インフラの整備、貧困に喘ぐ人々や職の無い若者のための雇用の創出と収入確保が挙げられる。

インド北東部は、インドの建築基準(NBC-2005)では寒冷な気候に分類される。冬は暖冬から厳冬まで幅があるが期間は長く、夏の暑さは厳しくないが期間は短い。

標高の高い一部の地点では、重点的に暖房が必要であり、他の地点では暖房と冷房が必要である。北東部遠隔地では大量に入手可能な森林廃棄物を燃料として暖房を行っている。これはカーボン排出につながる。急速な開発に伴い、快適な暖房と照明のためのエネルギー需要は急速に高まっている。その結果、森林破壊、大気におけるカーボン層の生成、大気汚染、ひいては地球温暖化が引き起こされる。

森林廃棄物の燃料によるカーボン排出への対策として、低エネルギーで稼働する冷暖房システムや再生可能エネルギーと統合した冷暖房システムが求められる。以上の点を考慮し、北東部の1州において太陽発電システムと統合した土壌熱源に基づいたヒートポンプに関するFS（実現可能性調査）を行い、そのモデルの検証のためのパイロットプロジェクトがすでに開始している。

パイロットプロジェクトとして提案されているシステム

パイロットプロジェクトは日中に在室があり、寸法51 ft * 21 ft * 12 ftの空間を想定している。

このシステムは、地中熱ヒートポンプ（GSHP）による暖房、冷房、GSHPから送出される水の熱交換を行う地熱交換システム、電力を得るための太陽電池発電システム（SPV）およびシステムの機能を監視するための遠隔モニタリングシステムで構成するものとする。

地中熱ヒートポンプ (GSHP)

詳細な熱負荷は、まずコンピューターによるエネルギーシミュレーションによって算出した。想定した空間のピーク時の冷房需要と暖房需要はそれぞれ4.6TRと7.5kWとした。必要な冷暖房をまかなうため、8HPの能力を持つ屋外ユニット (ODU) と各1.5TRの4つの室内ユニット (IDU) を用いた。土壌熱源ヒートポンプを選ぶ主な理由として、冷房においてヒートポンプに入力される水の温度は低く、暖房時における水の温度は高く、ヒートポンプのエネルギー性能と効率の改善に有効であることが挙げられる。

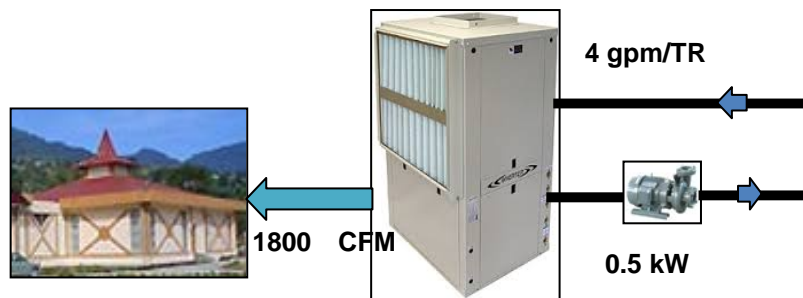


図1: GSHP システム

地熱交換システム

ピーク時の循環水を、ヒートポンプの入力に好ましい温度まで冷却ないしは加熱するために必要な土壌と循環水の熱交換は概ね21.1kWと推測された。計画における地熱交換器は並列接続された5列の熱交換体からなり、幅90x15フィート、地上からの深さ12フィートの溝に、その幅90フィートごとに柔軟なHDPEパイプ (10mm径で長さ1000フィート) を置いたものである。HDPEパイプの全長は概ね5000フィートである。

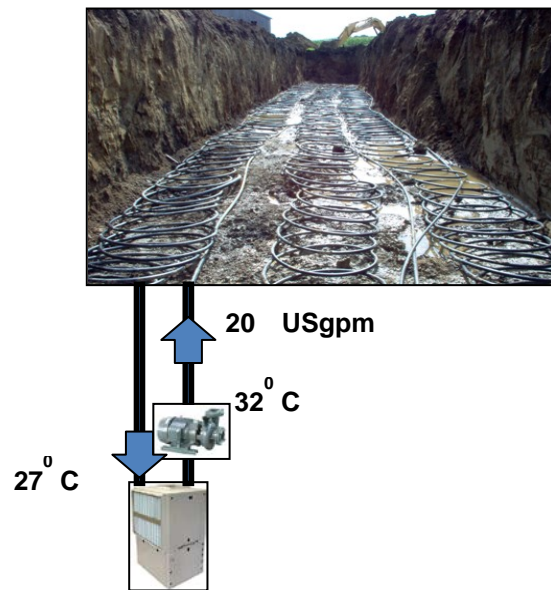


図2: 地熱交換システム

地熱交換に基づいたヒートポンプの利点

冷房モード時

従来の水冷ヒートポンプと土壌熱源ヒートポンプ (GSHP) の比較を下の表2に示す。GSHPのCOPは4.9で、3.5程度である従来の水冷ヒートポンプの値と比べて高い。

表1:従来のヒートポンプと土壌熱源ヒートポンプの比較

パラメーター	従来のヒートポンプ	土壌熱源ヒートポンプ
冷却媒体	水	水
コンデンサー入力水温 (°C)	32	27
コンデンサー出力水温 (°C)	37	32
蒸発器の送出空気温度	13	13
室温	24	24
冷房時COP	3.5	4.9

上記のパラメーターは熱負荷の推定計算用のエネルギーモデルに入力した。従来の水冷ヒートポンプおよびGSHPの消費電力の計算結果は以下の通りである。

従来のヒートポンプの消費電力	: 5486 kWh/年
土壌熱源ヒートポンプの消費電力	: 3924 kWh/年
エネルギー節約	: 29%

GSHPの利用により29%の省エネが可能となった。

暖房モード時

電気ボイラーは1kWの熱を発するのに1単位の電力を消費する。一方、土壌熱源ヒートポンプは1kWの熱を発するのに0.7単位の電力を消費する。従来の電熱暖房と土壌熱源ヒートポンプをシミュレーションにより比較した結果を以下に示す。

普通のヒートポンプの消費電力	: 2004 kWh/年
土壌熱源ヒートポンプの消費電力	: 1382 kWh/年
エネルギー節約	: 31%

暖房時ではGSHPの利用により31%の省エネが可能である。

節水

省エネ加え、土壌熱源冷暖房システムは毎秒4ガロン (gpm) /TRに及ぶ節水も実現する。これは20gpmに相当し、つまり年間288万ガロン*の節水となる。

*一日10時間、年250日の使用として計算

当初の分析では、冷房モード時には地熱に基づいた5TRのヒートポンプは従来の水冷ヒートポンプより29%高効率であることが示されている。暖房モードでは、地熱に基づいたヒートポンプは従来の電気暖房より31%高効率である。

再生可能エネルギー源との統合

ヒートポンプのコンプレッサーは稼働に電力を必要とする。再生可能エネルギーを使用することにより、電力消費による環境への影響を相殺することができる。再生可能エネルギーのひとつに太陽エネルギーがある。Itanagar地方の天候状態と土壌熱源ヒートポンプが必要とす

る電力量に基づき、太陽電池の規模を算定した。詳細を以下の図に示す。5TRのヒートポンプのエネルギー需要に対応するには、15kWpの太陽電池発電システムが必要である。

パラメーター	ヒートポンプ
ヒートポンプが要求する電力	0-10秒まで11アンペア、12から16秒まで2.6アンペア、16秒以降6.3アンペア
運転時間	8 時間/日 および 200 日/年
Itanagarにおける太陽電池による発電	2.8 kWh 毎kWp /日
ヒートポンプが必要とする太陽電池の規模	15 kWp
バッテリーの規模	30 kWh/日
必要設置面積	1800 sqft

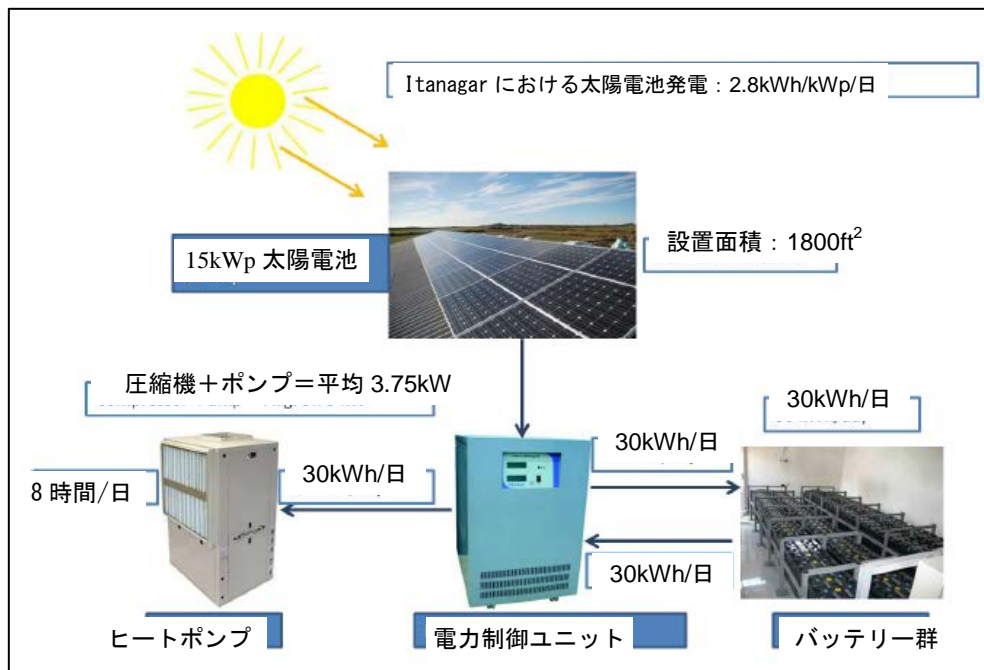


図3: 太陽電池システム

遠隔モニタリングシステムの設計

遠隔モニタリングシステムは、システムの性能を左右する多くのパラメーターの同時監視を、複数の遠隔地から行うこと目的としている。下の図10は遠隔モニタリングシステム上に表示される様々な監視対象を示す。監視の対象は以下のとおりである。

- 太陽電池の発電量
- 土壌熱源ヒートポンプの消費電力
- 循環水ポンプ（地熱交換器）の消費電力
- 大気温度と湿度
- 室内の温度と湿度
- 地熱交換器の入力および出力温度

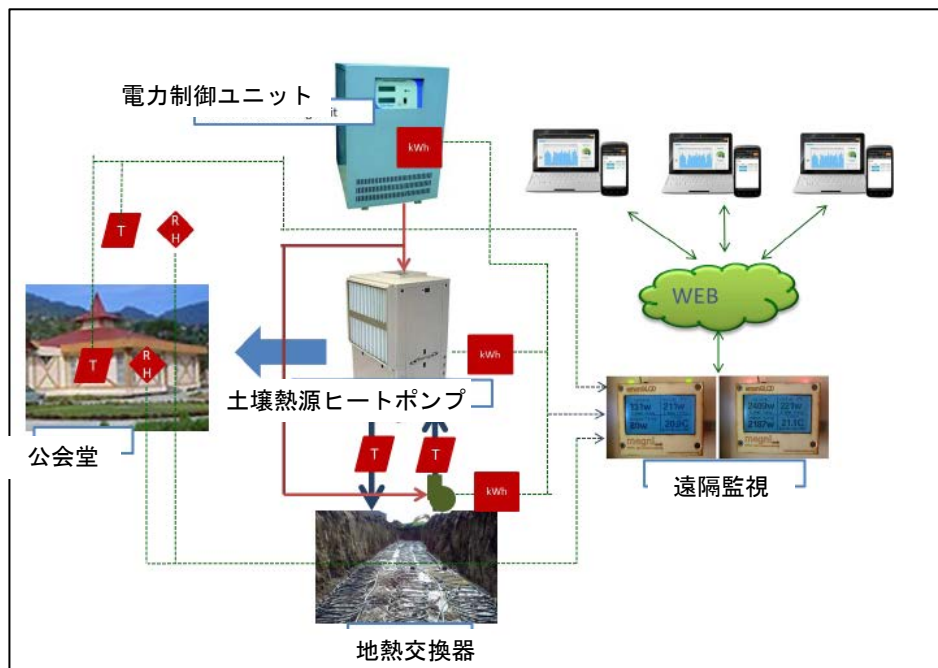


図4: 遠隔モニタリングシステム

こういった区域における新築および既存の建造物のエネルギー効率を高めるには、政策上の介入が重要である。インドでは、建設という分野が、気候変動の対策の1つであるということは既に認識されている。しかし、建造物のエネルギー利用を段階的に変革するには、先進的な研究を支援する政府の長期的なイニシアチブや費用対効果のよい技術が必要である。

パイロットプロジェクトの結論

太陽電池を使用した GSHP システムの実証が成功すれば、このモデルを道路交通までは整備されているものの電力網からは隔離された遠隔地の農業地帯および市街周辺部の保健施設や諸機関に採用することができる。また、観光客向けゲストハウスや事務所などでも活用できる。経済発展、行政の改善、とりわけ環境保全など、当該地方が直面する多くの課題の解決さくとなり、大いに普及させるべきものである。

インドにおけるヒートポンプ市場

以下ので、インドのヒートポンプ市場に大きな可能性を見出せる。

- インドは消費者向け耐久消費財の市場として大きな可能性を持っている。冷暖房機器の普及率は依然低い。
- インドの都市における電源事情は不十分であるにも関わらず、エアコンを持つ家庭は増加しており、2台以上を保有する家も多い。
- 政府の施策や規準の設定によりエネルギー効率のよい設計が推奨され、またエネルギー効率のよい冷暖房を必要とするビルの改築が進められている。

- インドでは依然エネルギーが不足しておりエアコンや暖房使用の増加によりエネルギー需給のギャップは広がっており、よりエネルギー効率の良い機器が求められている。

障壁

- インドはすでに省エネ・ラベルプログラムが発足されているが、空気熱源ヒートポンプのみに限定した使用を奨励するプログラムが存在しない。
- ヒートポンプの初期コストが普通のエアコンの倍ほどもかかる。

奨励されるアクション

- ヒートポンプに関するキャンペーンを開始する必要がある。キャンペーンにはアジア・ヒートポンプ・蓄熱ネットワーク（AHPNW）ないしは複数の製造業者が資金的援助を行うべきである。
- 将来のユーザーの信頼を勝ち得るため、適切な評価システムを持った、多様な応用に関するパイロット研究や調査を実施する必要がある。
- パイロット研究や調査の結果は公表し、得られた情報は印刷物や電子的な刊行物として広く配布する必要がある。