

国土舘大学審査学位論文

「博士学位請求論文の内容の要旨及び審査結果の要旨」

「環境適応型省エネルギー空調システムの評価法と技術の開発」

長澤 敦氏

氏 名 長澤 敦氏
学位の種類 博士(工学)
報告番号 乙第52号
学位授与年月日 令和3年3月20日
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
学位論文題目 環境適応型省エネルギー空調システムの評価法と技術の開発
論文審査委員 (主査) 教 授 大高 敏男
(副査) 教 授 本田 康裕
(副査) 准 教 授 佐藤 公俊
(副査) 名誉教授 岸本 健

博士論文の要旨

題 目 環境適応型省エネルギー空調システムの評価法と技術の開発

氏 名 長澤 敦氏

博士論文の要旨

氏名 長澤 敦氏

題目 環境適応型省エネルギー空調システムの評価法と技術の開発

現在、空調機（エアコン）は家庭内の電気使用量の高位にあり、全体の 7.5% を占めている。（出展：資源エネルギー庁 2009 年データ）

世界的な環境問題の重要課題である地球温暖化防止や国連採択 SDG's の「エネルギーをみんなにそしてクリーンに」「気候変動に具体的な対策を」「つくる責任つかう責任」等に表現されているように、空調機の企業に課せられた責任は大きい。

したがって、空調機の省エネ性能向上は、日本のみならず世界的に大きな目標である。1990 年代より、空調業界は政府の指導もあり省エネ技術の開発を続けてきた。同時により正しく省エネルギー性を表す為の評価基準も進化させてきた。

従来は空調機の性能表示は冷房暖房の定格性能の表示のみであったが、約 30 年前にインバータタイプのエアコンが主流となったため、部分負荷（より小さい能力を発揮する負荷）の性能表示を追加する事となった。しかし、それらだけでは性能表示は難しいと判断され、一年間に使用する総エネルギーの考え方をを用いる方向に変わっていった。

現在は、空調機の省エネルギー性の表現（効率）は、通年エネルギー消費効率（Annual Performance Factor 以下 APF）で表示されており、一年間に使用するエネルギーの総和を一年間の消費電力量の総和で除した無次元数で表わされている。従来の定格性能表示も並行して表示する事が義務化されている。

この計算基準は米国の AHRI に表わされた複雑な計算方式を元に進化してきたが、歴史的な経過と共にかなり簡略化した計算方式になっている。2005 年に JIS 化されてから、すでに 15 年以上経過し、建築基準法の改正や気候変動もあり、現在の空調機の性能を必ずしも正しく評価できていないのでは、と問題視している。欧州は独自の評価方法を遂行し、進化させてきている。

本論では、第一に、次の 4 点の「環境因子」において現在の評価基準（JIS 基準 APF）をより実運転に適応した正しい評価に改善する研究を行ない、新基準 APF と新たに環境試験室法を提案する。その 4 点の環境因子とは、1) 空調機を使用する時間帯、2) 一年間での使用時期、3) 温度湿度条件、4) 建築物の熱負荷、である。

第二に、新基準 APF に適応した 3 点の省エネ技術の開発結果を報告する。それは I) 小能力性能の強化、II) 省エネ除湿の開発、III) 冷媒ポンプ方式の開発、である。

第三に、基準を問わず、新たな省エネ技術について 2 点の開発結果を報告する。IV) 配管の圧力損失低減技術、V) 新室内形態による省エネ技術、である。

空調機器の性能や効率向上は様々な部品やシステムの研究開発による。空気と冷媒の熱交換効率（熱交換係数向上、面積拡大）、熱交換の風量（ファン効率、ファンケーシング最適化、形態の最適化、モータ効率）、冷凍サイクル系の圧力損失制御、圧縮機の効率（機械効率、モータ効率）、モータ駆動制御（パワーデバイス）の効率、等々の向上や改善によるところが大きい。本報告では構成部品中の圧縮機と全体的な空調システムおよび構造設

計に重点を置き、開発した。

本論では前述したように、第一に実環境に対して、適応すべき空調機の評価基準を構築し、第二にその評価基準に適応した省エネ性技術開発の研究、第三に新たな省エネ技術の開発を行なった。

それぞれの開発について、概略を下記に示す。

第2章：現状評価基準の査定と問題点の把握（空調負荷，中間最少能力，時間，期間）

建築業界も省エネ法の進行があり、建物の断熱性気密性が向上しており、それにより空調負荷が低減方向にある。したがって、従前の定格性能と中間性能のみから評価する通年エネルギー消費効率（APF）では実際の空調の効率（省エネ性）を表現することが困難となっている。建築学会等の業界ではそれを示唆する論文が散見されるし、欧州は独自の評価基準でより正確な表現に変えている。ポイントは最小性能を発揮する時間が長くなること、通年で冷房使用時間が伸びていること等がある。これらを踏まえて基準を作成した。

第3章：実環境に合致した評価基準の構築（新基準 APF、環境試験室法）

上記を考慮し、従前の APF を修正した新案を作成した。また、さらに正確性を高めた「環境試験室法」を作成した。

第4章：空調機の省エネ技術開発検討（Ⅰ．少能力強化，Ⅱ．省エネ除湿，Ⅲ．冷媒ポンプ）

省エネ技術開発の検討段階で、それぞれの開発に至る道筋を示した。

第5章：Ⅰ．「小能力強化型圧縮機」の開発

今までの2シリンダタイプのロータリ圧縮機を、1シリンダのみの圧縮に切り替えられるシステムを開発し、小能力を強化できるようにした。効率を落とさずに能力を約半分にするので、高断熱の建物でも断続運転を発生させることなく運転可能となった。

第6項：Ⅱ．「省エネ除湿」の開発

通年では、梅雨のシーズンは除湿運転する機会が多い。通常の再熱除湿は、除湿性能は高いが、冷房運転より消費電力が高いと言う欠点がある。この欠点を払拭するべく、必要十分な除湿量確保した上で、消費電力を低減できる「省エネ除湿」を開発した。室内側の熱交換器を一部のみ低温にして除湿する方式である。

第7章：Ⅲ．「冷媒ポンプ」方式の開発

熱帯夜の明け方は外気温度が23～26℃で部屋の温度より低い場合が多い。業務用の大きなシステムで使われているフリークーリングの方式を家庭用に展開する検討をした。通常は圧縮機に並列させたポンプ設備や専用のクーリングタワーを設ける大掛かりなシステムとなるが、本報告では通常の冷凍サイクルそのまま、同様の効果を得る開発をした。通常のフリークーリングでは液冷媒をポンピングするが、本報告ではガス冷媒を用い、超低圧縮比で運転する方法を提案する。

第8章：各技術（Ⅰ～Ⅲ）の期間エネルギー評価

各開発技術のエネルギー評価を行なった。

第9章：IV. 配管の圧力損失低減による省エネ技術の開発

冷凍サイクルでは圧力損失が省エネ運転の阻害になっている。現在使用している銅管は振動吸収の為、配管長が長くなっているがこれにゴムホース管を使用することで短縮化を試みた。空調業界では新たな挑戦であるが、耐久性も含めた振動や性能評価を行なった。

第10章：V. 新室内形態による省エネ技術の開発

空調機の室内機は、据え付け場所の制約もあり、形態が限られている。すべての制約をはずして効率（風量、電力、騒音）のみを重視した室内形態を研究し、試作と実機確認を行なった。現在最も効率の高い4方向タイプの天井カセットタイプと比較して評価した。

空調の省エネ評価技術と省エネ技術について成果を得たので報告する。

以上

氏名 長澤 敦氏
学位の種類 博士(工学)
報告番号 乙第52号
学位授与年月日 令和3年3月20日
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
学位論文題目 環境適応型省エネルギー空調システムの評価法と技術の開発
論文審査委員 (主査) 教授 大高 敏男
(副査) 教授 本田 康裕
(副査) 准教授 佐藤 公俊
(副査) 名誉教授 岸本 健

博士論文審査結果の要旨

題目 環境適応型省エネルギー空調システムの評価法と技術の開発

氏名 長澤 敦氏

学位論文の審査結果の要旨

工学研究科 博士課程

専攻名	応用システム工学専攻	学籍番号		氏名	長澤 敦氏
-----	------------	------	--	----	-------

本論文は、空調機の性能をより正確に把握する評価方法の開発と、省エネ性向上のための技術開発を目的として、建物、気候や生活者の使用条件等の環境に適合させた省エネ空調システムの評価方法を提案し、これに即した省エネ技術開発を行ない、その有効性を示したものである。現状の省エネ法の JIS 基準 APF（通年エネルギー消費効率：Annual Performance Factor、以下 APF）について、基準の問題点を分析し、真の省エネ性を評価できる手法として新 APF 基準と環境試験室法を開発し提案した。さらに、実使用環境上で重要な省エネ技術の開発テーマを挙げ、これらの開発とこの技術によって現状の JIS 基準 APF と新 APF 基準で評価し、従来製品より、それぞれ APF で 126%と 183%の改善効果が得られることを明らかにした。本論文の成果は、これまでの空調システムを一蹴し、SDGs に合致した次世代の省エネ空調システムの基盤技術として期待される。

以下、各章の内容を簡単に述べる。

第 1 章は、本論文の主テーマとなる空調機の省エネ性評価基準の変遷とその経緯について述べ、研究の目的を明確化し、論文の構成をまとめた。

第 2 章では、現状の評価基準の問題点を明確化し、理論的な考察と実験データから検証してまとめた。現在、空調機の省エネルギー性の効率表現は、APF で表示されており、1 年間に使用するエネルギーの総和を 1 年間の消費電力量の総和で除した無次元数で表されている。従来の定格性能表示も並行して表示する事が義務化されている。この計算基準は米国の AHRI に表された複雑な計算方式を元に進化し、簡略化した計算方式になっている。2005 年に JIS 化されてから、すでに 15 年以上経過し、建築基準法の改正や気候変動等の環境変化もあり、現在の空調機の性能を必ずしも正しく評価できていない。また、実際の住宅対象に調査を行なった建築学会や経済産業省のエネルギー調査結果と比較し、総期間消費電力量や冷暖房の負荷比率等が正しく評価されていないことを示した。

第 3 章は、新しい評価基準について提案し、その有効性をまとめた。具体的には、①空調機を使用する時間帯、②1 年間における使用時期、③建築物の熱的負荷、④測定点の温度条件、⑤運転始動時の高負荷運転、の 5 点の環境因子において現在の JIS 基準 APF をより実環境運転に適応した正しい評価に改善する新基準について調査・研究を行い、新 APF 基準と環境試験室法の 2 つの新基準を開発し提案した。また、この評価基準の有効性を実証しまとめた。

第4章から第8章は、前述の新APF基準に適応した省エネ技術を開発しその有効性を示している。第4章は、新APF基準に適応する空調機の開発の方向性を要素技術毎に整理し、その概要をまとめた。

第5章は、小能力強化型圧縮機の開発に関してまとめた。これは、今までの2シリンダタイプのロータリ圧縮機を、1シリンダのみの圧縮に切り替えられるデュアルコンプレッサを開発し、小能力を強化できるようにしたものである。効率を落とさずに小能力化が可能となり、高断熱の建物でも断続運転を発生させることなく運転可能となり、外気温29℃の冷房運転条件では従来の断続運転する機器に対し44%の消費電力低減となることを示した。

第6章は、省エネ除湿の開発についてまとめた。再熱除湿は、除湿性能は高いが冷房運転より消費電力が高いという欠点がある。省エネ除湿とは、この欠点を払拭し、必要十分な除湿量確保した上で、消費電力を低減できる省エネ除湿方式で、同一到達湿度において約60%の消費電力低減を実験により確認した。

第7章は、冷媒ポンプの開発についてまとめた。熱帯夜の明け方は外気温度が23～26℃で部屋の温度より低い場合が多い。外気温度が部屋の温度より低い場合、低外気冷房というフリークーリングの方式のエアコンがある。通常は並列のポンプが必要で複雑な冷凍サイクルとなる。そこで、圧縮機をポンプの代用として利用する冷媒ポンプ方式の開発を行ない、低圧縮比のガス方式の冷媒ポンプについて有効性を示し、シミュレーションにてその有用性を示した。

第8章は、配管の圧力損失低減についてまとめた。これは、運転始動時は安定運転よりも高負荷となるので、冷凍サイクルの高循環量条件での効率改善が省エネ性向上に効果があることに着眼し、圧縮機の吸込み管の改善を図ったものである。一般に、吸込み管は銅管を使用し、振動吸収をさせるために配管長が長くなっている。一部ゴムホース管を使用することで短縮化し、圧力損失を低減させることにより効率改善を試みその有効性を示した。

第9章は、新室内形態による省エネ技術について、さらに発展的な空調システムの提案をしている。現在の最も省エネ性の高い4方向天カセ室内機に対し、吸込み面積や吹き出し面積の改善、風路の改善、ファンの改善などによる新形態室内機の有効性を示し、提案している。

第10章は、本論文の総まとめを行い、第11章にて将来展望を行っている。

以上を要するに、本研究は、エアコンの省エネ化を評価する革新的手法の提唱を行い、その有効性の検証とこれに適合する新技術の開発に関してまとめたもので、工学的に極めて有用と認める。特に、省エネの評価法に関する独創性・オリジナリティについて工学的に高い価値があると評価し、博士(工学)の学位論文として価値あるものとして認める。