

外97-47

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

氷蓄熱による低温送風冷房システムの
性能評価に関する実証的研究

申請者

塩谷 正樹

MASAKI SHIOYA

1997年12月

本研究は、氷蓄熱の低温性を有効利用し、水・空気搬送系の大温度差化により送風量・送水量の低減を図り、低コストと省エネルギーを実現する二次側システムを実用化し、実験室実験及び実建物での長期実測結果から、空調性能を評価、検証する事を目的とする。以下、本研究の成果と結論を要約する。

1. 既往の研究の評価と本研究の目的の明確化 (第1章)

氷蓄熱システムの現状と課題を整理した上で、その二次側システムの研究開発の背景を調査し、本論文の目的を明確にした。また、氷蓄熱を用いた低温送風冷房システムに関する国内外の既往の研究の調査、整理により、本研究の位置づけを明確にした。

2. 氷蓄熱の二次側・熱源システムの設計パラメータが経済性・エネルギー消費に及ぼす影響評価 (第2章)

低温送風冷房システムの、経済性から見た適用範囲の明確化を図るため、熱源・二次側空調システムを統合した年間運転シミュレーションを行い、熱源・二次側システムの設計パラメータが年間経常費、年間搬送動力・熱源動力に及ぼす影響を定量的に評価した。以下に得られた知見を列挙する。

(1) エネルギー消費に及ぼす影響

1) 二次側システム

- ①吹出し空気温度差 (Δt_d) の拡大による搬送動力の低減効果は大きい。 $\Delta t_d = 10^\circ\text{C} \rightarrow 18^\circ\text{C}$ とすると、年間搬送動力が約37%低減される。
- ②VAV制御方式による搬送動力の低減効果は大きく、 $\Delta t_d = 18^\circ\text{C}$ の場合、CAV制御方式と比較して、年間搬送動力は約27%低減される。

2) 熱源システム

- ①製氷コイルの伝熱面積が大きい場合、年間冷凍機動力のIPFによる差は顕著でなく、IPF=0.1 \rightarrow 0.5としても10%以下の上昇に留まる。
- ②製氷コイル管熱伝導率の冷凍機動力への影響は小さく、高IPFタイプの場合、 $\lambda = 46.0 \rightarrow 0.3$ に低減しても冷凍機動力の上昇は11%程度である。

(2) 経済性 (年間経常費) に及ぼす影響

1) 二次側システム

- ①吹出し空気温度差 (Δt_d) の拡大による経常費の低減効果は大きい。 $\Delta t_d = 10^\circ\text{C} \rightarrow 18^\circ\text{C}$ とすると、年間経常費が約20%低減。
- ② $\Delta t_d = 18^\circ\text{C}$ の場合、CAVからVAV制御方式とすると、経常費は約15%上昇する。

2) 熱源システム IPFが熱源設備の経常費に及ぼす影響は大きい。

3. 低温冷風直接吹き出し方式における室内温熱環境評価実験 (第3章)

低温冷風を直接室内に吹き出す「直接吹き出し方式」の実用化に当たっては、ドラフトが最大の懸念事項である。本章では、サーマルマネキンを用いてドラフトを考慮した室内環境評価及

び被験者実験による検証を行い、低温冷風直接吹き出し時にもドラフトが生じない吹き出し条件を明確にした。明らかになった事項を以下に列挙する。

- (1) 8°C の低温冷風吹き出しの場合でも、従来のアネモスタット型吹出口を採用すればドラフトの原因となる局所温熱環境の低下は見られなかった。
- (2) 被験者による温熱申告を行った結果、全体的にみると低温冷風吹き出しでもドラフトによる不快感は小さいと判断できる。
- (3) 線状吹出口を用いた場合、吹出口に対面する位置では吹き出し気流の影響を受けており、これを不快と感じる申告もみられた。ブリーズラインの採用に当たっては配置など十分な検討を要する。

4. 実建物における年間運転実績とエネルギー消費構造解析 (第4章)

本章では、1995年3月から1996年12月までの約2年間にわたる長期運転実績データを基にして、夏期の大温度差運転の実態を中心に、季節毎の空調機廻りの運転特性を明らかにした。また、実験的回帰分析手法を用いて、運転レベルでのエネルギー消費に大きく影響するパラメータを明確にした。以下に、得られた知見をまとめて示す。

(1) 夏期水側運転実績

- ①コイル入口冷水温度の期間平均値は、その他期と比較して低い。これは、夏期は省エネルギーを優先として吹き出し空気温度を 10°C に固定しているためである。
- ②コイル入口出口冷水温度差の期間平均値は、 8°C 前後と従来空調(5deg)と比較して大温度差運転で運転されている。このため、空調機コイル流量を見ると、設計ピーク流量に対して低流量運転となっている。

(2) 夏期空気側運転実績

- ①運転傾向をみると、1995年はほぼ吹き出し空気温度(以下、 t_a)は 11°C で推移している。
- ②吹き出し空気温度差の期間平均値は、1995年の場合14.7deg、1996年は15.5degで、空気搬送系の大温度差化が実現できている。このため、空調機送風量を見ると、設計ピーク風量(12,000 m^3/h)に対して、1995年、1996年とも約40%の低風量運転となっている。

(3) 空気搬送系成績係数(ATF*)

盛夏期は、吹き出し空気温度 10°C 固定の低温冷風空調を行っているため、ATF*の値が大きい。従来空調では、10程度が理想的とされるが、月平均値で見ると、1995年盛夏期は19~27程度、1996年盛夏期は14~19と極めて高い値を示し、低温送風冷房方式による高密度搬送の効果が現れている。

(4) 実験的回帰分析によるエネルギー消費構造の解析

- ①毎時空調機コイル熱量に関しては、毎時室内絶対湿度と吹き出し空気温度差が影響する。
- ②毎時空調機ファン動力の低減に関しては、吹き出し空気温度差の拡大とダクト系の低圧損化が寄与する。

5. 実建物における室内環境の居住後評価（第5章）

本章では、第4章で述べた適用建物で、居住後評価（POE）を実施し、低温冷風直接吹き出し時の低湿度環境における温熱環境と執務者への影響を実際の執務空間で実証した。明らかになった事項を以下に示す。

（1）室内物理環境計測

- ①低温冷風直接吹き出しでも、良好な室内水平・垂直温度分布が確保されている。また、室内相対湿度40%程度で、従来空調時より低湿度環境となる。
- ②大温度差化で送風量が低減されても、良好な室内空気質が確保されている。
- ③室内平均気流速は、0.2 m/s以下、乱れの強さも30~40%程度でドラフトの影響は小さい。

（2）高温低湿度環境における執務者申告調査

- ①全体的に温熱環境に対する満足度は高く、「受け入れられる」と回答した人は80%を上回っていた。
- ②湿度感は、全体の過半数の申告が乾湿どちらでもなく湿度的受容度も90%以上が「受け入れられる」もしくは「やや受け入れられる」と回答している。
- ③以上より、低温冷風直接吹き出し時の、気流や低湿度環境による不快感の申告は殆ど見られなかった。

6. 低温送風冷房システムの最適運転制御手法（第6章）

低温送風冷房システムシステムは吹き出し空気温度の低下に伴い、空調機コイルにおける除去熱量が増大する。この結果、室内相湿度の低下により爽涼な室内環境形成が行えるメリットがある反面、潜熱負荷の増大により冷凍機動力が増加する。本章では、温熱感を評価する指標として標準新有効温度SET*を用いて室温設定値緩和による顕熱負荷低減を図る手法を提案し、その効果を定量的に示した。また、蓄熱槽の平均水温を低く維持する必要があるため、従来システムよりも熱源動力が上昇する。このため熱負荷予測による適切な製氷計画に基づく熱源の運転制御が必要となる。本章では、非線形現象のモデル化が容易なニューラルネットワークを用いた熱負荷予測を今後実際の建物に導入するため、その適用範囲を明確にした。

7. 総括結論（第7章）

第1章から第6章までの研究の成果と結論を要約して示した。