

氏 名	ちば 孝 男
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 58 年 3 月 9 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 30 年 3 月 東北大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	空 気 調 和 設 備 の 設 計 用 外 気 条 件 の 選 定 法 と そ の 利 用 に 関 す る 研 究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 武山 斌郎 東北大学教授 大塚 芳郎 東北大学教授 長谷川房雄 東北大学教授 大谷 茂盛

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

空気調和設備の熱負荷は、(1)外界からの流入熱、(2)内部発生熱、(3)装置による負荷に大別される。

この熱負荷算定の基礎となる夏期冷房および冬期暖房時の空調設備設計用外気条件、ならびに壁体を通しての内外温度差および日射による伝熱について、数多くの研究が積み重ねられてきている。

本論文は、適切な空調設計用外界条件を選定する方法を示し、またこれ迄発表されて来た多くの研究者の成果を応用して、手計算による空調熱負荷の算定方法確立し、あわせて日本各地の空調設計に際して使用すべき諸数値を提出することを目的としている。

本論文では、また、従来余り顧みられなかった空調設備用冷却塔の設計に際して使用すべき、設計用外気湿球温度について研究し、日本各地について採用すべき値を提案している。

さらに、最近空調設備の省エネルギー策の一つとして採り上げられている外気冷房について、その可能性とその省エネルギー効果を検討し、その結果を示して今後の外気冷房推進のための指針とし、特に中間期における外気冷房の省エネルギー効果が極めて大きいことを示した。

第 1 章は、本論文にかかわるこれ迄の研究を概観し、また本研究の目的の梗概を示したものである。

第 2 章 設計用外気条件

空調設備の設計用外気条件（ここでは外気条件とは外気乾球温度、湿球温度および日射量の 3 要素を指すものとする）の選定法として、冷房期（6～9 月）および暖房期（12～3 月）の気象観測値により、3 要素のおおのについてそれぞれ数年間の累積度数表を作り、その超過度数率 2.5 % 程度の値を以て設計値とする方法が“TAC 温度法”と呼ばれ、現在最も合理的な選定法として米国およびわが国で採用されている。

しかし、これら従来の TAC 温度法によって得られた設計条件は、3 要素をそれぞれ独立に、時刻ごとに統計処理したものを組合せているために、現実には発生しないような高い外気条件を設定することになり、したがってその結果得られる空調設計用熱負荷も、実際に発生するものに比してかなり過大なものになっている。

本章は、このような従来の TAC 温度法の改良法を示したものである。すなわち、たとえば乾球温度の 1 日の最高値（夏期午後 2 時）あるいは最低値（冬期午前 7 時）の発生する時刻について、数年間の気象資料より超過度数率が 0～5 % の間に入る日の資料を集め、3 要素について各時刻の平均値を求める。このようにして得られた外気条件は、相互に関連のある値として求められており、現実に発生する確度の大きいものである。これを本章では“D.B. 基準 2.5 %”と名付けた。同様にして、湿球温度又は日射量を基準にして選び出した資料に基づくものを、それぞれ W.B. 基準 2.5 %、日射基準 2.5 % と名付けた。又超過度数率 2.5～7.5 % の間に入る日の資料に基づいたものを、それぞれ D.B. 基準 5 %、W.B. 基準 5 %、日射基準 5 % と名付けた。

この方法によって、気象台の観測値により、東京、大阪、名古屋、札幌、仙台、福岡、鹿児島、沖縄（那覇）、新潟、広島等の 10 都市の夏期冷房および冬期暖房の設計用外気条件を得た。

また、中間期冷房時の熱負荷を検討するための外気条件として、同様にして各基準 2.5 % の値に標準偏差（1 σ ）分だけを加えた値を採用すべきことを提案し、上記 10 都市についてその値を示した。

第 3 章 冷却塔設計用湿球温度

空調設備に利用する冷却塔の設計用外気湿球温度については、従来経験値が用いられてきただけで、その選定法についての研究はこれまでなされていない。

冷却塔の性能は、冷却熱負荷と冷却用取入外気の湿球温度によって左右される。空調設備の実際の運転状態では、空調熱負荷が設計値より低い値であっても、外気湿球温度が高いと、冷却塔が要求性能を発揮できず、空調装置全体の十分な運転が不可能になる事態が発生することもある。

本章では、これを検討するために、外気乾球温度、湿球温度、日射量、および外壁部の構成と構造とを考慮し、外表面の単位面積当りの空調熱取得の指標となるような、次式で定義される新たな指標“Humid Sol-air 温度（HSAT と略称する）”を導入した。すなわち

$$HSAT = \frac{U t_o + r \frac{V}{S} t_o'}{U + r \frac{V}{S}}$$

ここに、 U は外壁面全体の加重平均熱通過率 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)、 t_o は構造外壁と窓ガラスとの加重平均 Sol-air 温度($^\circ\text{C}$)、 t_o' は外気湿球温度 ($^\circ\text{C}$)、 γ は空気の比重量 (Kg/m^3)、 V/S は単位外壁面積当りの取入れおよび侵入外気量 ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)である。

この HSA T と外気湿球温度について、東京の数年間の夏期の毎時刻における相関を調べ、HSA T の超過度数率 2.5%以下 (即ち空調熱負荷の超過度数率が 2.5%以下と推定される) の場合でも、外気湿球温度が超過度数率 2.5%を超える場合のあることを確かめ、検討の結果、空調設備に利用する冷却塔の設計用外気湿球温度として、冷却塔の運転時間における湿球温度の累積度数表より、超過度数率 1%の値を採用することを提案し、前記10都市について、夏期の冷却塔の運転時刻が 0～24時の場合と 9～18時の場合に対する値を提出した。

第 4 章 手計算による空調負荷の算定

Mitalas と Stephenson の研究に始まる Responce Factor を利用して、年間の毎時刻の負荷条件を指定して、電子計算機を用いる非定常伝熱算法による空気調和熱負荷算法が開発され、実用されるようになった。

しかし、実用設計では技術的・経済的制約のために、非定常伝熱算法による電算機プログラムの利用は今後共ごく狭い範囲に限られ、一般的には従来同様手計算による熱負荷算定手法が広く用いられるものと思われる。

本章は、第 2 章で得られた設計用外気条件を用い、周期定常伝熱算法に基づいて、手計算による熱負荷算定に使用して、十分に精度が得られしかも利用に簡便な諸数値を提出している。

本章では、まず一般事務所ビルなどの空調設備の設計用外気条件として、第 2 章で提出した値のうち、夏期冷房用および冬期暖房用としてそれぞれ W. B. 基準 2.5%の値を、中間期冷房の検討には D. B. 基準 $2.5\% + 1\sigma$ の値を採用すべきことを提案した。

具体的な熱負荷の算定法として、外壁および屋根を通しての熱通過によるものは、Mackey および Wright の提唱した Sol-air 温度および実効温度差法によるものとし、外壁体の熱的特性を、周期定常熱流の基本波の遅れ時間 Φ_1 によって代表させ、各地方の夏期、冬期および中間期の各種の Φ_1 に対する実効温度差を表に示した。

窓ガラスを通しての熱負荷は、内外温度差による窓ガラスを通しての定常熱流部分と、透過日射による部分とに分け、後者についてはその輻射成分と室内部構造による蓄熱効果を考慮して、次式で求めるものとした。すなわち

$$q_{si} = (CLFG)_i (SHG)$$

ここに、 q_{si} は窓ガラスを通しての透過日射による時刻 i の熱負荷 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$)、 $(CLFG)_i$ は時刻 i の透過日射に対する冷房負荷係数、 SHG は各方位の透過日射の日最大値 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$)である。各地の SHG の値および普通ガラスおよび吸熱ガラス 5mm 厚の、室内部構造の重量、中量及び軽量に対する $(CLFG)$ の値を表で示すと共に、これら標準のものとガラス厚の異なるもの及びブラインドを有する場合の補正係数を表にして示した。

人体，照明器具，室内器具については，その発生潜熱は瞬時に熱負荷になるものとして取扱い，発生顕熱については，窓ガラスの透過日射と同様に，輻射成分と蓄熱効果とを冷房負荷係数で処理するものとした。

すなわち

$$q_{SHn,i} = (CLFn)_i (SHn)$$

で顕熱負荷を得る。ここに $q_{SHn,i}$ は人体，照明器具，室内器具などの顕熱取得による発生後 i 時間目の熱負荷係数 (Kcal/h)， $(CLFn)_i$ は熱取得発生後 i 時間目の冷房負荷係数， SHn は各種室内発熱による顕熱取得 (Kcal/h) である。各種室内発熱形式に対する $(CLFn)_i$ ， (SHn) などを表に示した。

以上の方法によって，手計算によって周期定常状態における空気調和の熱負荷を求めることが可能になり，モデルビルによってHASP/ACLD/7301を用いて求めた結果と比較し，ほとんど差のないことを確かめた。

また，現在広く採用されている間欠空調時の設計用最大熱負荷を，周期定常法による最大熱負荷に割増係数を乗じて求める方法を提案し，各種の規模・形式の建物について，運転開始時刻や予熱時間（暖房時のみ）を考慮して，モデル計算によって割増係数を求め，図に示した。

以上の方法により，夏期，冬期，中間期の周期定常空調および間欠空調用の設計熱負荷を，手計算によって，従来採用されていた方法と同様に簡単に，しかも高い精度で得る手法を確立した。ただし，冬期暖房負荷算定に際しては，危険側と考えられる日射及び室内発熱は除外した。

第 5 章 外気冷房の可能性とその省エネルギー効果

鉄筋コンクリート造 9 階建，延床面積 5,600 m² の事務所ビルをモデルとして，乾球温度制御およびエンタルピー制御による制御方式，ゾーニング，設定室温の許容偏差の，年間空調時および中間期における外気冷房に与える影響・効果を調べた。その結果，外気冷房装置の継続運転時間と空調熱負荷の軽減率とを数量的に示すことができ，今後の外気冷房方式採用の場合の 1 つの指針を与えた。

第 6 章 結 論

本論文各章の研究内容を総括したものである。

審 査 結 果 の 要 旨

空調設備の設計用外気条件として最も重要なものは、外気乾球温度、湿球温度および日射量の気象三要素である。いずれも伝熱工学的に循環性をもち、しかも非定常性の強い性格をもつ。建築構造物内の空調空間に対する暖冷房システムの熱負荷は、これらの三要素の四季の変遷を考慮した基礎となる外気条件のもとに、非定常伝熱問題の解として算定されなければならない。

近代建築に対する約30年のこれらの研究は多岐にわたり、現在、合理的であるとして慣用されている推奨値による設計も、必ずしも満足すべき室内環境を与えていない。すなわち、装置の過大評価などの問題が残されている。

本論文は、これらの諸問題の解決を目的として、空調設計用外気条件の最適値を探求する観点からおこなわれた研究とその応用をまとめたもので、全編6章からなる。

第1章は序論であり、過去の研究を概観し、本論文の目的を述べている。

暖冷房期の気象観測値から、三要素のおのおのについてそれぞれ独立に、それらの数年間の累積度数表を作り、ある超過度数をもつ各要素の値を組み合わせる設計値とする方法が、従来まで広く全世界で採用されてきた選定法であった。

第2章では、上記の方法は三要素の相互間の関連を考慮していないため、現実には発生頻度の少ない過大な値を与えていることを指摘し、さらに、この改良法として、実測値をもとにした気象資料から三要素を相互に関連づける新しい統計処理をおこない、発生確率の大きい各要素基準の条件を明確にしている。これが本論文の基幹をなしている。

第3章では、従来、経験値のみが用いられていた冷却塔設計用湿球温度について解析をおこなっている。すなわち、空調熱負荷が設計値より低い値であっても、高い外気湿球温度においてその要求性能を発揮できない現状の問題点を検討し、三要素に加えて、建物を構成する外壁表面の伝熱特性を総合的に考慮したHumid Sol-air温度（相当外気湿球温度）なる新しい概念を導入し、東京における設計湿球温度との相関を論じている。

第4章では、得られた設計用三要素をもとにして、非定常伝熱問題をとりあつかい、空調熱負荷の算定基礎となる実効温度差について考察をおこなっている。すなわち、建築物の各種構造について、建築外壁体の熱的特性を熱流基本波の遅れ時間を導入する手法によって解析し、応用に簡便な多くの数表を作成している。これらを利用することによって、手計算によっても電子計算機による値と比較して、十分に精度の高い結果が得られることを確認している。

第5章は、乾球温度制御およびエンタルピ制御による方式を用いた中間期における外気冷房について論じたものであり、その可能性と省エネルギー効果について一つの指針を与えている。

第6章は、研究内容を総括している。

以上要するに、本論文は空調設計用外気条件の最適値の選定法に関する研究であり、二、三の新たな発想による解析から得られた知見は、日本の主要の10都市における採用すべき諸数値の提示などをも含めて、従来の研究を進展させたものであり、空気調和工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。