

## 断熱建物の低負荷冷房

### 学位論文内容の要旨

人々の生活にはその地域の自然の気候風土への適応をはかる様々な工夫があり、住居に対しても長年の知恵が生かされてきた。伝統的な住居はその地域の気候風土に適合しており、エネルギーの消費量が少ない。しかし空調設備が発達するに伴い建物そのものへの工夫は停滞し、長年の知恵の集積であった住宅は地域性を失い、画一化されたものとなっている。もちろん快適な生活を送るため空調設備は欠かせないものであるが、熱負荷解析法が発達し、電算機による負荷計算が普及するにつれて、地域差は単なる温度差になり、建物の性質や役割が見えなくなって、大容量の設備と制御に依存した空調になっている。

本論文では寒地で発達してきた断熱建物の熱特性を利用して、暖房の考え方で冷房を見直し、断熱建物にふさわしい低負荷冷房のあり方を考えるものである。論文は9章で構成されており、以下にその概要を述べる。

第1章の序論では研究の背景を述べて問題意識を浮き彫りにし、研究の目的を明らかにした。また従来の研究を述べることにより、本研究の位置づけを行った。

第2章では伝統的な建築には共通して、断熱による日射熱の遮断と、自然の冷却力を生かす建物と生活上の工夫があること、それが地域の建築を特徴づける魅力となり、地域の誇りや文化として受け継ぎ育てられてきたことを述べた。そのことから、冷房の場合にも断熱によって負荷を小さくすると、穏やかな生活環境が生まれ、今までは期待されていなかった地盤や夜間の低温や蒸発の自然冷却効果が顕著になり、日除けや通風など居住者の生活の知恵や工夫が生き、地域的な特徴が生まれ、そこに新しい目標が見えてくることを述べ、それは断熱によって生まれてくる一つの新しい価値や生き方となることを提起した。

第3章では負荷変動そのものの解析ではなく、外断熱された建物の熱特性を利用して、変動を無視した負荷計算をすることの可能性を示した。変動影響の解析では(外気温+日射による相当外気温上昇)一日平均室温をフーリエ級数(調和解析)で近似し、貫流熱量の日平均値に対する変動成分及び遅れ時間の検討を行った。その結果、断熱厚さが100mm程度になると(軽量の壁体であっても)外界(外気温+日射による相当外気温上昇)変動による流入熱はその絶対値が小さくなるだけでなく、その振巾減衰が大きくなり、しかもその位相に6時間以上の遅れを生ずるとを知った。つまり、少なくとも外界変動に対しては、内外温度差の日平均値による定常計算で済むことになり、従来の冷房負荷計算に画

期的な転換をもたらすことになる。

厚い断熱が施された外断熱建物では壁体の貫流熱の非定常計算は不要であり、方位別の相当外気温の日平均値と室温の差による定常計算で十分である。間欠暖冷房をする場合には室温変動による非定常解析が不可欠であるが、運転停止による室温変動が小さく、積算負荷の軽減効果の小さな断熱建物では、夜間に運転を停止するよりも、少なくとも負荷が大きくなる時期には小容量の設備による連続暖冷房が望ましく、非定常計算が不要になる。この場合の負荷計算には、一日を通じての積算値としての熱収支が重要で、住居者数の変動や勤務時間、機器の運転時間や稼働率、点灯時間、などを考慮した取得熱の合計値と熱負荷との収支計算をすることによって、行方不明の熱や辻褃合わせの割り増し計数が不要となり、負荷計算に直感性と信頼性が生まれる。

また室温変動が許容幅を越えることになる場合、実用的には吸熱量の大きな室内周壁への熱流と室温変動の位相差は2～4時間が多いので、室温変動と吸熱（取得熱）との位相差を3時間として、一般内周壁に対しては熱流の最大値をそのまま加算し、窓面や薄壁の熱流は最大値の70% ( $\cos 45^\circ = 0.707$ ) を加算して、室温変動時の最大吸熱量（変動負荷軽減量）を求める方法を提案した。

第4章では建物の構造体によって室内に起る温度変動状態がどう変化するのか、熱負荷なしの状態あるいは一定負荷の状態での室温変動がどの程度生ずるのか、それが断熱した場合としない建物でどの程度の違いがあるのかなどを実測を通して知り、室温変動を許容したときの負荷解析及び設計の指針を得た。

第5章では冷房負荷を減らすための工夫としての①室温変動の許容②全外気空調③非拡散排熱④水系の連続冷房⑤除湿重視空調⑥居住者数に応じた変風量空調について説明し、そこから生まれる可能性をあげて低負荷冷房の特徴を示した。空気調和負荷にはその発生場所によって室内負荷、空調器負荷、冷凍機負荷、冷却塔負荷などがあるが、ここで主に取り上げるのは室内環境を直接左右する室内負荷である。

第6章では、室温変動を許容した冷房負荷計算法を提案した。これは厚い断熱を施した建物では自然室温変動が小さくなり、日積算負荷では間欠冷房と連続冷房の差がほとんどなくなることを利用して、連続冷房への転換をはかり、冷房負荷計算を明確かつ簡明なものにしようとするものである。この冷房負荷は、再循環なしの全外気空調を可能にし、水系の床冷房方式としても結露の心配なしに冷却を可能にする負荷レベルである。ファンコイル方式なども含めた水系の冷却方式をとると搬送動力の小さい24時間冷房が可能になり、空気系は使用時のみの除湿中心の全外気空調となって、室温と湿度をそれぞれに制御する質の高い空調が可能になる。

第7章では室温の上下差を利用した熱対流型の非拡散排熱と、日射および照明や人体からの放射取得熱を室内空気に伝える前に、水系のパネル冷却で直接排除する放射吸収型の非拡散排熱の可能性をあげ、空気系の再循環を不要にする低負荷冷房をより確実なものにするための検討を行った。

第8章には低負荷冷房にとって重要となる効率の高い除湿機を得るために、熱回収装置を用いた冷却型除湿機の改善と、熱利用による吸放湿型除湿機の開発試験結果をあげた。

第9章は本論文の総括と今後の展望について述べた。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 荒 谷 登  
副 査 教 授 鎌 田 英 治  
副 査 教 授 落 藤 澄  
副 査 助 教 授 絵 内 正 道

## 学 位 論 文 題 名

### 断熱建物の低負荷冷房

伝統的な建物での夏対応には、強い日射を防ぐ断熱や日よけ、昼夜の温度変化を利用した通風換気など、開放的な空間構成のなかにさまざまな建築的な工夫があったが、機械的な冷房の普及に伴って伝統は見失われ、無断熱建物では大風量冷房が普及している。断熱は暖房のためのものとの理解や、冷房に対する断熱は暖房ほどに効果はないとの見方が多く、断熱が普及した寒地の建物にも、暖地と同様な設計手法によって、同じような冷房設備がなされている。

本論文は、厚い断熱によって起こる、建物の熱的な性質の変化に注目して、暖房と同様な設計手法を冷房に適用し、断熱による室温の安定化、24時間冷房と室温変動の許容、水系の熱搬送などによって冷房負荷が大幅に軽減されること示し、断熱建物ゆえに適用できる熱負荷略算法および低負荷冷房設備の特徴について述べたもので、次のような成果を得ている。

まず最初に風土の特徴が生かされた、伝統的な建築の手法と断熱の役割を事例を通して紹介し、熱負荷を小さくする低負荷冷房にも、同じ地域性の尊重と自然エネルギー利用が有効であることを述べて、断熱建物の冷房に取り組む視点と方向を明らかにしている。

次いで、断熱厚さが100mmを越える外壁や屋根では、日射や気温の変動による流入熱の振幅減衰と位相の遅れが大きくなるために従来の冷房負荷計算の常識であった非定常系の計算が不要になることを示し、あわせて断熱による室温の安定性に注目して24時間冷房とすることによって、従来のピーク値を計算する熱負荷算法に代えて一日の積算値をもとに設備容量を算出する計算法を提示している。この計算法は定常伝熱による略算法ではあるが、ピーク値計算では見落される一日を通じての熱収支と、建物の蓄熱効果を総合評価する点で設計を理解しやすいものになっている。

窓からの日射や照明・人体発熱など、室内取得熱の変動は冷房負荷の最大値を左右する大きな要因であるが、多くの既存建物での室温実測調査から、断熱建物では取得熱の変動が室温変動に与える影響は比較的小さく、中間期の室温変動にみられるように、ほぼ $\pm 1$ ℃前後にとどまることを示し、この程度の室温変動を許容すると、24時間一定の冷房負荷で取得熱の変動が吸収できるとしている。

この条件から逆に、室温に $\pm 1$ ℃の周期変動を与えたときの室周壁の蓄熱応答を算出して、これを取得熱変動を吸収する建物の蓄熱容量と呼び、室内仕上の状況に応じて重、中、軽量に分類してそれぞれの変動負荷軽減効果の概略値を示し、室温変動を許容したときの負荷計算法の指針を与えている。

続いて、負荷を小さくすることによって得られる低負荷冷房の特徴として、再循環なしの全外気空調や水系の熱搬送による床冷房をあげ、湿度調整を受持つ空気系と温度調整を受持つ水系との役割分担によって、質の高い空調、在室者数に応じた変風量空調が生まれることを示している。

更に床冷房には、室内取得熱の大きな部分を占める窓からの日射や照明の放射成分の相当部分を、室内負荷にせずには運び去る非拡散排熱効果があることを示し、その割合を床仕上げや配管ピッチを変えて設計資料として与えている。結露の心配なしに床冷房や天井冷房をするには低負荷化が重要であるが、水系の熱搬送は動力費を小さくする上で効果があり、これらの相乗効果として得られる省エネルギー効果は顕著である。

最後に、断熱をし、送風量を減らした低負荷冷房の1つの課題として顕熱比の低下（相対的な除湿負荷の増大）をあげ、除湿効率を高めるための2つの改良と試作試験を行っている。ひとつは、従来の空調冷却コイルに顕熱回収装置を取付けることによる除湿効率改善であり、もうひとつは、従来はそのまま外気に捨てられていた凝縮器側からの排熱を利用した新しい吸放湿型除湿器の試作実験で、それぞれの実験結果と共に、除湿効率の改善だけでなく、特に低湿度域での除湿効果が高いことを示している。

これを要するに著者は、従来はあまり期待されていなかった冷房に対する建物断熱の効果に対して、その熱特性を生かした連続冷房化と室温変動を許容した設計手法によって大幅な負荷軽減が可能であることを示し、除湿器の性能改善を含めて冷房環境の向上と省エネルギー化に多くの新知見を得ており、建築環境学と空気調和工学の進展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。