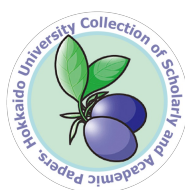




Title	多層階に設置される室外機の吸込み温度上昇に関する研究
Author(s)	木下, 学; 羽山, 広文; 倉淵, 隆
Citation	日本建築学会計画系論文集, 522, 67-73
Issue Date	1999-08-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50484
Rights	日本建築学会、本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
Type	journal article
File Information	AIJ.522.67-73.pdf



多層階に設置される室外機の吸込み温度上昇に関する研究

SUCTION TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF AIR-CONDITIONER OUTDOOR CONDENSING UNIT IN MULTI-LEVEL INSTALLATIONS

木下 学*, 羽山広文**, 倉淵 隆***

Manabu KISHITA, Hirofumi HAYAMA and Takashi KURABUCHI

The objective of this research is to develop a scheme for optimal placement of outdoor condensing unit. To this end, we examine the relationship between rise in suction temperature and the placement of outdoor condensing unit in multi-level installations. A model experiment is performed for outdoor condensing. In addition, an equation for predicting rise in suction temperature for outdoor unit having an outside-air inflow rate R_m (ratio of outside-air inflow volume to air volume of the outdoor unit) is used to clarify the relationship between the rise in suction temperature of outdoor unit and equipment setup conditions. Based on these results, factors that will determine setup conditions considering the rise in suction temperature of outdoor unit are found and a method for suppressing rise in suction temperature is evaluated.

keyword : Outdoor condensing unit, Short-circuit air flow, Similarity rule, Modeling experiment

室外機, ショートサーキット流れ, 相似則, 模型実験

1. はじめに

多様化するビル形態に対応する空調設備として採用事例の増えている空冷パッケージ型空調機の室外機では、集中設置による吸込み温度上昇が空調機の冷却能力や総合効率(空調機の冷却能力/空調機の消費電力)の低下、冷媒圧力の上昇に伴う空調機の停止を引き起こす要因となる。このため、空冷パッケージ型空調機の適正な運転の実現には、室外機の吸込み温度を考慮した室外機の設置計画に関する研究が重要である^{1,2)}。

これまで、建物の多層階に設置された室外機の吸込み温度上昇については、古藤^{3),4)}、疋^{5),6)}らが実測および熱流体数値解析により、隣接ビルとの間隔やビル周囲の風向および風速等の室外機周辺状況と吸込み温度上昇の関係を検討している。しかし、室外機の間隔、階高、設置階数などの建物側の条件や室外機の設置状況と吸込み温度上昇の関連に着目した研究は見られない。

本研究では既報²⁾において、バルコニー等2層に重層設置される室外機の模型実験を実施し、室外機の吸込み温度と設置条件の関係を簡便な近似式で表現した。これにより室外機の設置条件の各パラメータが上下階室外機に与える基礎的な影響について把握を行った。しかし、3層以上の多層階に設置される室外機の吸込み温度と設置条件の関係の明確化には至っていない。

そこで本報告では、既報の室外機模型を用いた検討を発展させ、多層階に設置される室外機の設置条件と吸込み温度上昇の關係に着目し、室外機の適正な配置方法の明確化を目的に、以下の検討を行う。1) 室外機設置上の問題点を明らかにするため、空調機の運転特性の把握および現場実測を行う。2) 多層階に設置される室外機に関して、上層階の室外機への影響を把握するため、相似則を考慮した模型実験を行う。3) 室外機の設置条件と吸込み温度上昇の關係を明らかにするため、外気流入率 R_m (室外機の風量に対する外気流入量の比)を用いた室外機吸込み温度上昇の予測式を作成し、実験により検証する。4) 室外機の吸込み温度上昇を考慮した設置条件の決定要因を明らかにし、吸込み温度上昇の抑制方法について評価する。

記号表

C_p	: 空気の比熱 [J/(kg·K)]
ρ	: 空気の比重 [kg/m ³]
β	: 体積膨張率 [1/K]
g	: 重力加速度 [m/s ²]
ν	: 渦動粘性係数 [m ² /s]
U	: 代表速度 [m/s]
L	: 代表長さ [m]

* NTT ファシリティーズ研究開発部 修士(工学)

** 北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)

*** 東京理科大学工学部建築学科 助教授・博士(工学)

Research and Development Dept., NTT Power and Building Facilities, M. Eng.
Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Science University of Tokyo, Dr. Eng.

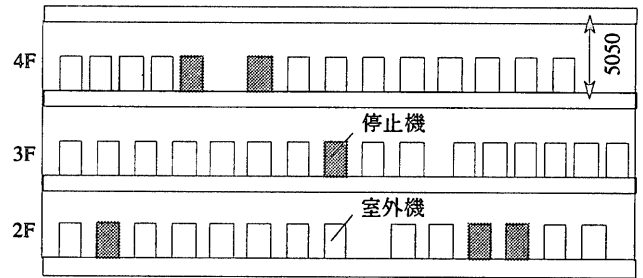
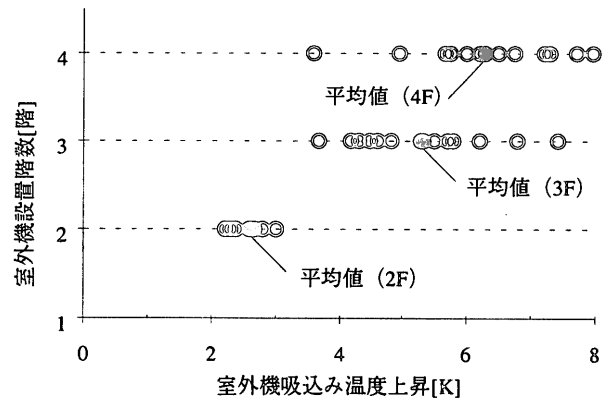
$\Delta \theta$: 代表温度差 [K] q : 発熱量 [W] A_r : フレキシビリティ数 [-] $A_r = \frac{\beta g \Delta \theta L}{U^2}$ Re_i : 乱流レイノルズ数 [-] $Re_i = \frac{UL}{\nu_i}$ n_x : x に関する縮率 [-] (x は $U, L, \Delta \theta, q$ であり、模型の実物に対する比を表す) H_m : 室外機の発熱量 [W] V_m : 室外機の風量 [m^3/h] T_e : 室外機の排気温度 [$^{\circ}C$] T_i : 室外機の吸込み温度 [$^{\circ}C$] T_o : 外気温度 [$^{\circ}C$] ΔT_i : 室外機の吸込み温度上昇 [K] ($T_i - T_o$) R_m : 外気流入率 [-] k : 室外機の設置階数を示すインデックス [階] H : 開口高さ [m] W : 開口幅 [m] (W_i : 室外機間隔 [m]) D : 奥行 [m] (D_i : 通路幅 [m]) U' : 不一致係数 [-] Y, Y' : 実験値および計算値

図1 室外機の設置状況と吸込み温度上昇

2. 現状の問題点

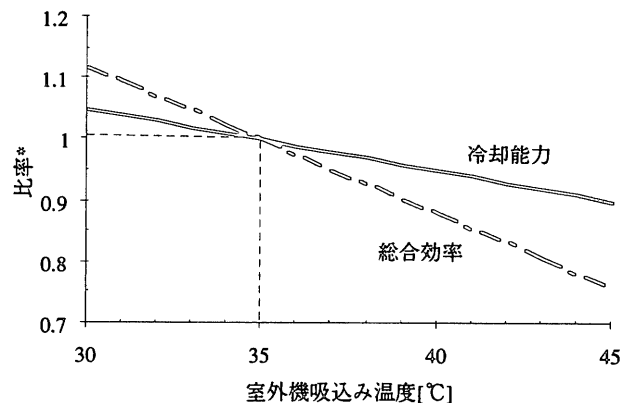
重層設置されている室外機の吸込み温度上昇の実態を把握するため、実測調査を行った。調査日は平成2年8月9日である。対象は空冷パッケージ型の空調機室外機である。室外機は、地上5階建て建物の2から4階の北面のバルコニーに設置されている。図1に室外機の配置状況および室外機の吸込み温度上昇の測定例を示す。外気温度および外部風速は、室外機の影響のない地上1.5[m]の位置で測定した。天候は晴れ、測定中の外気温度の平均値は31.8[$^{\circ}C$]、風速は、0.2~4.8[m/s]であった。その結果、室外機の設置フロアが上階になるに従い、室外機の吸込み温度上昇も増加する傾向が見られた。4階の室外機では、吸込み温度上昇が最大で8[K]であった。これは、室外機からの高温排気が大気に拡散されず、上階の室外機に吸込まれるショートサーキット流れが生じるためと考えられる。

室外機は外気との熱交換により冷暖房を行うため、室外機の吸込み温度は空調機的能力および総合効率に大きな影響を与える。図2に冷房時における空冷パッケージ型空調機の室外機の吸込み温度と冷却能力・総合効率に関する1例を示す。この図より、吸込み温度が5[K]上昇すると冷却能力は約5[%]、総合効率は約10[%]低下することがわかる。また、R22の冷媒を用いた空調機は動作可能な吸込み温度が43 $^{\circ}C$ となっているものが多く、これを越えた場合、空調機の保護動作が働き停止することがある。このことから、室外機を設置する場合、建設費の低減、省エネルギー、機器の適正な運転を図るため、吸込み温度上昇を許容範囲に抑制する配置計画が重要といえる。

3. 室外機模型の概要

3.1 室外機模型の作成

様々な設置形態における室外機の吸込み温度上昇を再現するため模型を作成した。対象の室外機は、装置側面に外気取り入れ用の開口を設け、装置上部の排気用ファン2機により排気を行う構造であ



参考文献7)の検討結果より作成 (SHP空調機)

*: 室内27 $^{\circ}C$ 、50%、室外機吸込み温度35 $^{\circ}C$ を1とした場合

図2 室外機の吸込み温度と冷却能力・総合効率

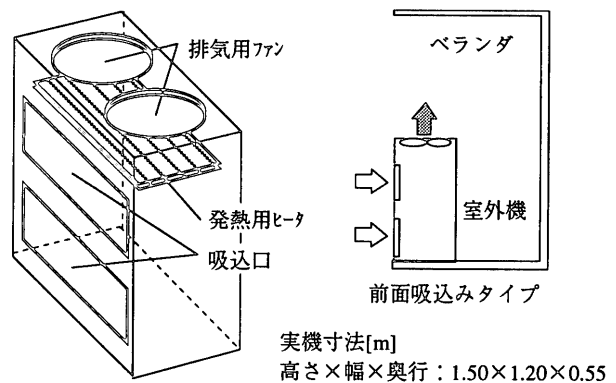


図3 室外機模型の概要

る。実験に用いた室外機の模型を図3に示す。バルコニー内の設置タイプは前面吸込みである。模型の縮尺寸法は、実機寸法の1/6とし、相似となるよう配慮した。

3.2 相似則によるパラメータの設定

本検討では、室外機の周辺条件として最も厳しいと考えられる無風条件^{3),4)}を想定した。また、模型実験のパラメータは、模型寸法、風量、排気速度および温度とした。系の力学的相似は、室外機の形状を実機と幾何学的に相似とした上で、平均排気速度を代表風速、模型周辺温度と排気温度の差温を代表温度差とした場合のアルキメデス数 A_r の一致によって達成されるものと考えた。また、室外機表面からの伝達熱は無視し、内部発熱と換気熱損失から得られる熱的相似を考慮した。ここで ν_l の U/L とし、乱流レイノルズ数 Re_l の自動的一致を仮定した。したがって、例えば寸法に関する模型の実機に対する比を n_L 等と表すと、力学的相似条件は(1)式、熱的相似条件は、対流輸送と内部発熱の関係から(2)式となる⁹⁾。実験に用いた模型は、縮率 n_D を1、縮率 n_L を1/6とし、(1),(2)式から縮率 n_U 、 n_q を決定した。なお、実機の発熱量は20[kW/台]、冷却温度差は10[℃]とした。さらに、室外機頂部付近の熱拡散には排気の乱れ性状の影響が無視し得ないと考えられるが、実機と同様ファンによる排気であることから、特に考慮しなかった。

$$n_D n_L = n_U^2 \quad (1)$$

$$n_q = n_U n_D n_L^2 \quad (2)$$

4 模型実験の概要

4.1 実験方法

図4に示す4層のバルコニー模型を作成し、1層あたり3台の室外機模型を設置した。室外機模型の縮尺は実機の1/6である。また室外機がバルコニーに連続して設置されていることを想定し、対称面に断熱材の壁を設けた。これは、連続して室外機の列が並ぶ状態を想定した上で、外気が静穏な最も厳しい状況をモデル化したものである。

4.2 実験ケースと測定ポイント

表1に示す開口高さ H および開口幅 W (室外機間隔 W_1)を実験変数とした。設置タイプは、室外機のバルコニー3層設置(以下:3層設置)、4層設置(以下:4層設置)での前面吸込みの2タイプである。各タイプにつき9ケース、計18ケースの実験を行った。温度測定はT型熱電対を用いた。

4.3 対称性の検証

本実験に先立ち、各層の室外機が水平方向に連続設置されることを再現するため、断熱壁を対称面とした模型配置において、吸込み温度上昇の対称性について検証を行った。図6に3種類の設置タイプの吸込み温度上昇の測定結果を示す。その結果、各設置タイプの吸込み温度上昇は概ね一致し、水平方向の対称性が保たれていることを確認した。

5 室外機の多層階設置実験

5.1 設置階数と室外機吸込み温度上昇

室外機の2²⁾、3、4層設置実験から、室外機の総設置階数と吸込み温度上昇の関係を図7に示す。同一設置条件での吸込み温度上昇

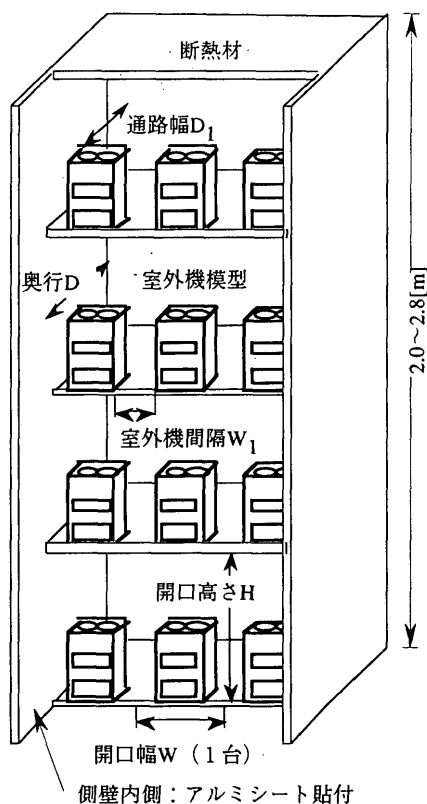
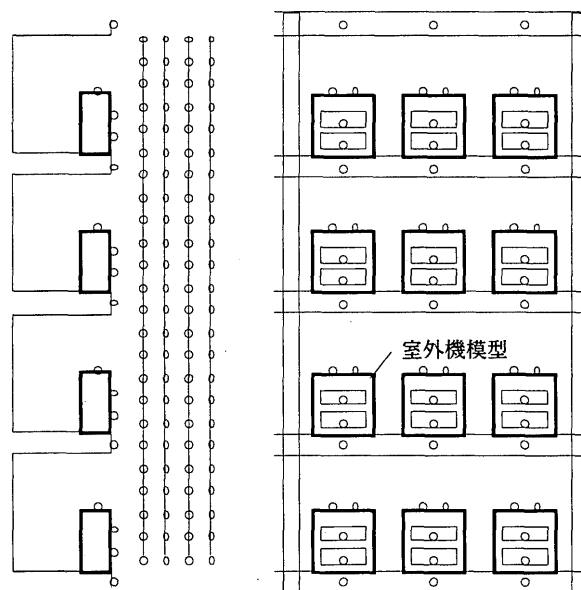


図4 室外機模型実験の概要

表1 模型実験パターン

	開口高さH[m]	室外機間隔W1[m]	通路幅D1[m]
模型寸法[m]	0.5, 0.6, 0.7	0.2, 0.1, 0.05	0.2
実機寸法[m]	3.0, 3.6, 4.2	1.2, 0.6, 0.3	1.2



○: 測定ポイント
測定ポイント配置(断面) 測定ポイント配置(正面)

図5 模型実験における測定ポイントの配置

は、各層設置実験とも同様の傾向であることを確認した。このことから、4層設置実験の測定結果を用い、以下の考察を進めることとした。なお、実験結果等の寸法は、実機寸法を記載する。

5.2 設置条件と室外機吸込み温度上昇

室外機の設置条件と吸込み温度上昇の関係を図8、9に示す。その結果、多層階に設置された室外機の吸込み温度上昇は2層目以上が顕著であることがわかる。1層目に設置された室外機の吸込み温度上昇は、開口幅Wおよび開口高さHの設置条件の増減に関係なくほぼ0[K]である。これに対し、2層目以上の吸込み温度上昇は、開口幅Wおよび開口高さHの減少に伴い増加し、室外機の設置階数kの増加に伴い増大する傾向を示す。このことから、開口幅W、開口高さHの拡大は、吸込み温度上昇を抑制し、室外機の重層設置は、吸込み温度上昇を増大させることがわかる。また、2層目以上の室外機の吸込み温度上昇は、図10のバルコニー前面の空間温度分布から、下階の室外機の高温排気が上階の室外機の吸込み温度上昇に影響していることがわかる。また、開口幅の減少に伴い、2層目以上の空間の温度が上昇しており、上層階ほど室外機の吸込み口周辺の温度が高くなることわかる。

6 室外機吸込み温度上昇の予測

6.1 モデル

室外機の吸込み温度上昇を決定する要因を評価するため、水平方向および垂直方向に同一容量の室外機が連続的に設定された場合を

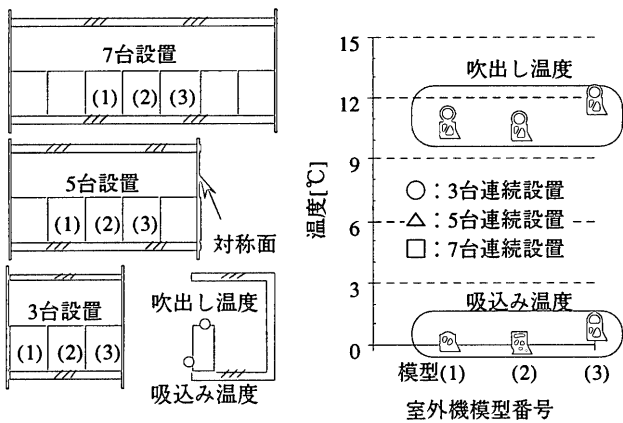


図6 対称性の検証実験結果

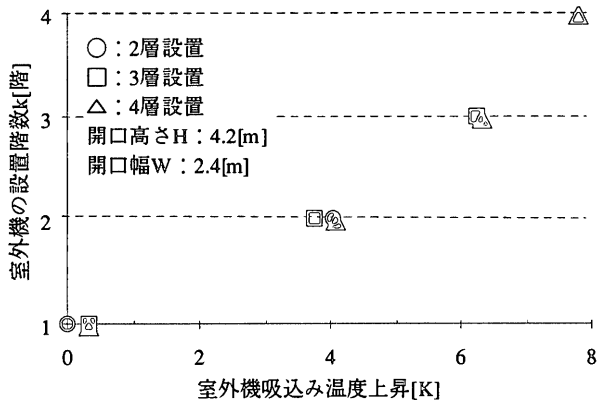


図7 2～4層設置実験の吸込み温度上昇

想定し、集中定数モデルを作成する(図11)。2層目以上に設置された室外機は、下階に設置された室外機からの排気(温度: T_e)の一部と外気(温度: T_o)を混合して吸込むものとする。各階に設置された室外機の風量が V_m の場合、室外機の吸込み風量に対する外気流入量の比を外気流入率 R_m とすると、室外機の風量 V_m は(3)

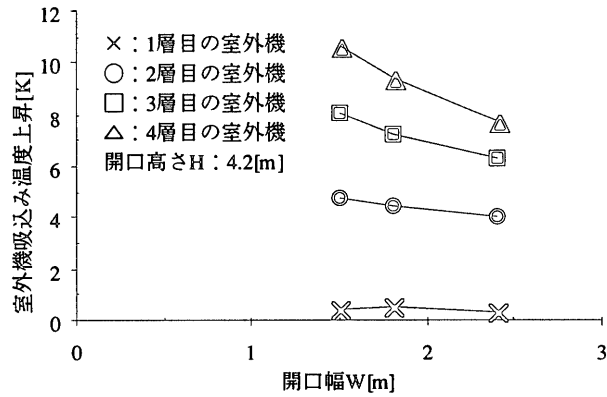


図8 開口幅Wと吸込み温度上昇

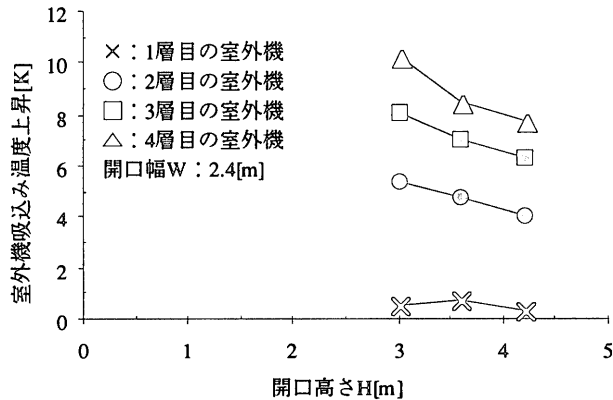


図9 開口高さHと吸込み温度上昇

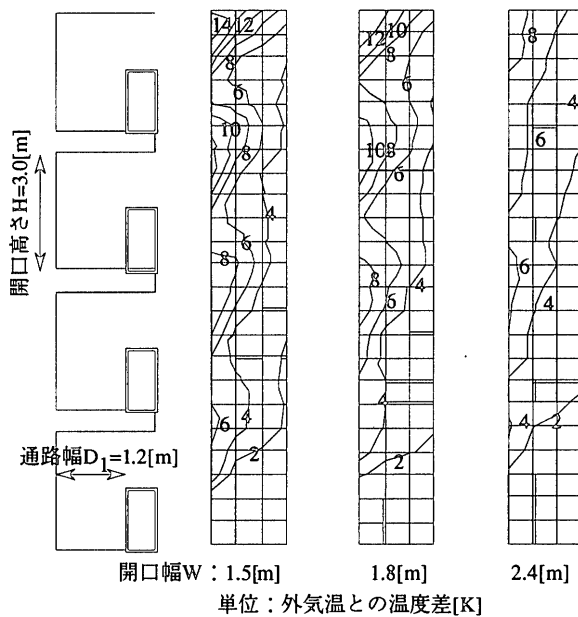


図10 バルコニー前面の空間温度分布

式で表される。k層における外気流入率を $R_m(k)$ とすると、室外機の吸気口および排気口の熱量収支は(4)、(5)式となる。なお、室外機表面からの熱伝達はないとも考える。

$$V_m = R_m(k)V_m + \{1 - R_m(k)\}V_m \quad (3)$$

$$C_p \rho V_m T_i(k) = C_p \rho R_m(k) V_m T_o + C_p \rho \{1 - R_m(k)\} V_m T_e(k-1) \quad (4)$$

$$C_p \rho V_m T_e(k-1) = C_p \rho V_m T_i(k-1) + H_m(k-1) \quad (5)$$

(4)、(5)式より、k階室外機の吸込み温度 $T_i(k)$ は、(6)式のようにk-1階の室外機吸込み温度 $T_i(k-1)$ を用いた漸加式で表すことができる。したがって、各階の外気流入率 $R_m(k)$ を決定することができれば、各設置階室外機の吸込み温度は、(6)式を用いて下層から順次求めることが可能となる。但し、この場合最下階の吸込み温度 $T_i(1)$ が必要となるが、最下階の吸込み温度は外気温にほぼ一致することが実験的に確かめられているので、 $T_i(1)=T_o$ とおけばよい。

$$T_i(k) = R_m(k)T_o + \{1 - R_m(k)\} \left\{ T_i(k-1) + \frac{H_m(k-1)}{C_p \rho V_m} \right\} \quad (6)$$

6.2 外気流入率 R_m の評価

模型実験における外気流入率を得るため、(6)式をk階の $R_m(k)$ について解いて(7)式とする。

$$R_m(k) = \frac{C_p \rho V_m \{T_i(k-1) - T_i(k)\} + H_m(k-1)}{C_p \rho V_m \{T_i(k-1) - T_o\} + H_m(k-1)} \quad (7)$$

模型実験の結果を(7)式に代入して得られる外気流入率 R_m を表2に示す。この結果を用い、室外機の設置条件が外気流入率 R_m に与える影響を評価する。外気流入率 R_m と開口幅W、開口高さHとの関係を、それぞれ図12、13に示す。開口幅W、開口高さHの増加に伴い、外気流入率 R_m も増加する傾向にある。開口幅W、開口高さHの増加に伴う室外機1台あたりの開口面積の拡大により排気の拡散が促進され、外気流入量が増加したためと考えられる。一方、階数kの増加に伴い、外気流入率 R_m は減少する。これらのことから、外気流入率 R_m は、開口幅W、開口高さHおよび階数kの影響

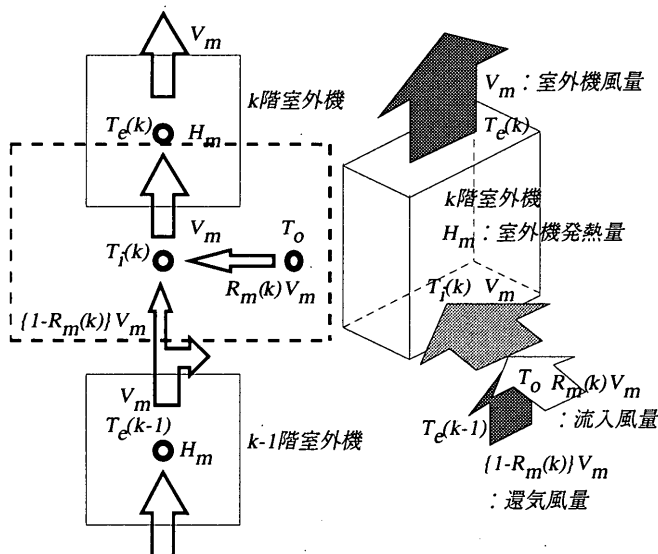


図11 室外機周りの温度・風量の定義

表2 模型実験からの外気流入率 R_m

開口幅W（室外機間隔 w_1 ）[m]		開口高さH[m]		
		4.2	3.6	3.0
2.4 (1.2)	$R_m(4)$	0.504	0.477	0.451
	$R_m(3)$	0.562	0.528	0.493
	$R_m(2)$	0.621	0.578	0.535
1.8 (0.6)	$R_m(4)$	0.457	0.431	0.405
	$R_m(3)$	0.516	0.481	0.447
	$R_m(2)$	0.575	0.532	0.489
1.5 (0.3)	$R_m(4)$	0.434	0.408	0.382
	$R_m(3)$	0.493	0.458	0.424
	$R_m(2)$	0.552	0.509	0.466

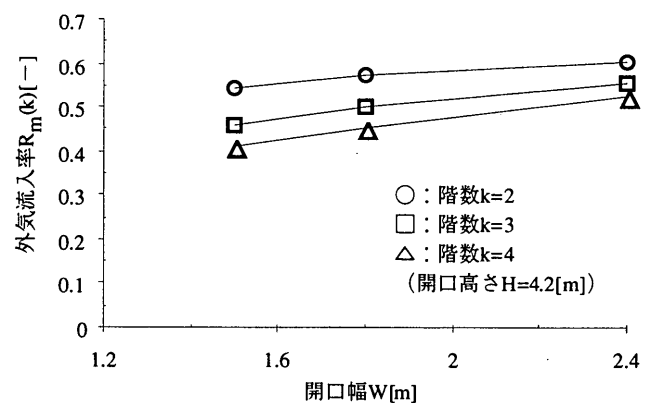


図12 開口幅Wと外気流入率 R_m

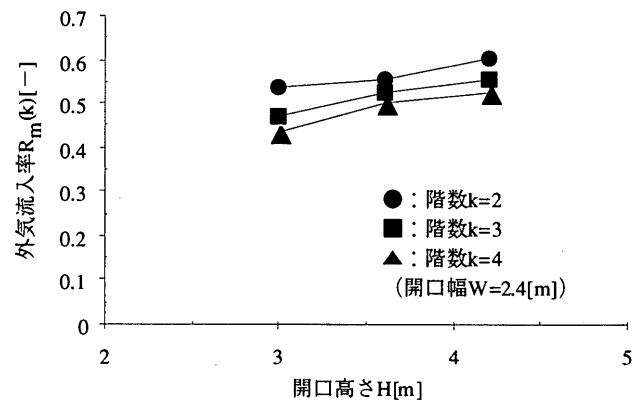
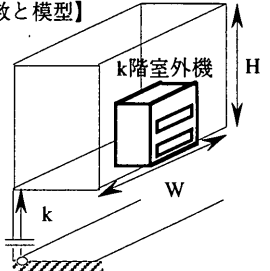


図13 開口高さHと外気流入率 R_m

表3 重回帰分析による各係数

変数	係数	算出結果	【各変数と模型】 
k	a	-0.052	
H	b	0.057	
W	c	0.077	
—	d	0.291	

が大きいことがわかる。

6.3 外気流入率 R_m の近似

室外機の各設置条件が、外気流入率 R_m に与える影響を明確にするため、開口幅 W 、開口高さ H 、室外機の設置階数 k を変数とし、(8)式の近似式を仮定した。

$$R_m(k) = ak + bH + cW + d \quad (8)$$

実験から算出した外気流入率 R_m と各変数を(8)式に代入し、重回帰分析から得られた各係数を表3に示す。算出した各係数と(8)式より、(9)式が得られる。

$$R_m(k) = -0.052k + 0.057H + 0.077W + 0.291 \quad (9)$$

模型実験からの外気流入率 R_m と(9)式による外気流入率 R_m の比較を図14に示す。重相関係数(R^2)は0.848であった。この結果、実験結果と近似式からの計算結果は概ね一致しており、各長さを変数とした(9)式により、外気流入率 R_m の近似が可能となることがわかる。

6.4 室外機吸込み温度上昇の予測精度

室外機の吸込み温度上昇に関して、(6)、(9)式を用いた計算値と実験値の比較を図15に示す。4層設置の模型実験9ケースについて比較した。重相関係数(R^2)は0.986となり、良好な結果を得た。また、計算値と実験値の一致の度合いを測るため、不一致係数 U' の算出を試みた。その結果 U' の計算値は0.0443となり、これは0に近いことから、計算結果は実験とかなりよく対応すると判断することができる。^{註1} 以上から、今回の実験の範囲に限定すれば、外気流入率 R_m を用いた(6)、(9)式により、多層階に設置される室外機の吸込み温度の予測が可能となる。

6.5 設置条件と外気流入率 R_m

室外機の吸込み温度上昇の抑制には、外気流入率 R_m の増加が有効であることから、室外機の設置条件が外気流入率 R_m に与える影響を評価するため、各設置条件での外気流入率 R_m を(9)式から求め、図16に示す。この結果、開口幅 W 、開口高さ H の増加により、外気流入率 R_m は増加し、吸込み温度上昇の抑制に有効となる。一方、室外機の設置階数 k の増加により、外気流入率 R_m は減少する。このため、室外機の設置階数 k の影響を小さくする設置方法、室外機形状について検討が必要であるといえる。

7. 結論

多層階に設置される室外機を対象に、現場実測調査および相似則を考慮した模型実験により、室外機の設置条件と室外機吸込み温度の関係について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 多層階に設置される室外機について、室外機の吸込み温度上昇の実態調査を行った結果、下層の室外機の高温排気が上層の室外機の吸込み温度上昇に大きく影響していることを示した。
- 2) 室外機の総設置階数が2、3、4の各層設置実験から、同一設置条件での吸込み温度上昇は、各実験とも同様の傾向であることを示した。
- 3) 室外機の風量に対する外気流入量の比を外気流入率 R_m とし、多層階に設置される室外機の吸込み温度の予測式を提案した。これにより、室外機の吸込み温度に与える設置条件の影響を定量的に示した。その結果、本予測式を用いた室外機の配置計画は、空調

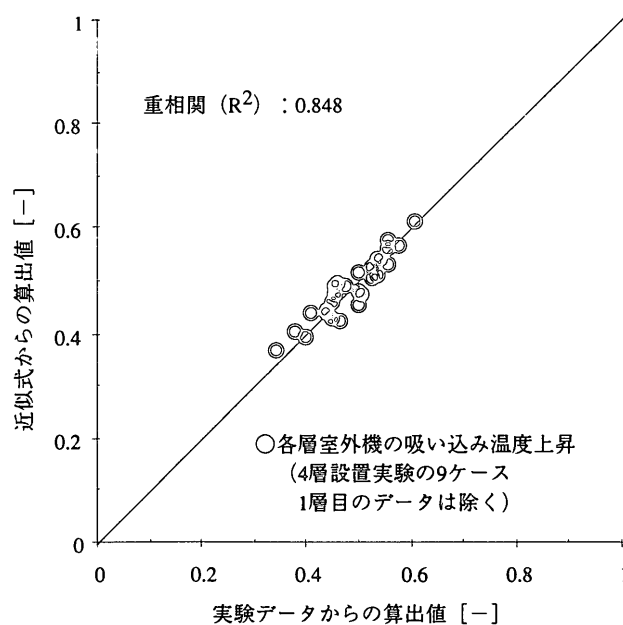


図14 外気流入率 R_m の実験値と計算値

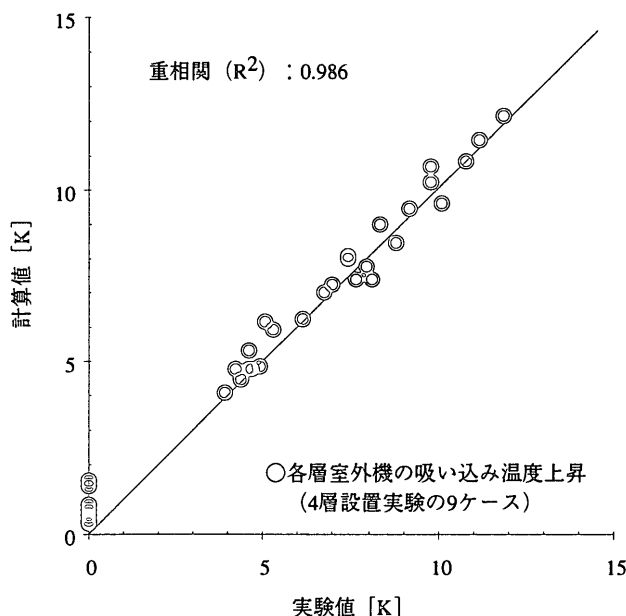


図15 室外機の吸込み温度上昇の実験値と計算値

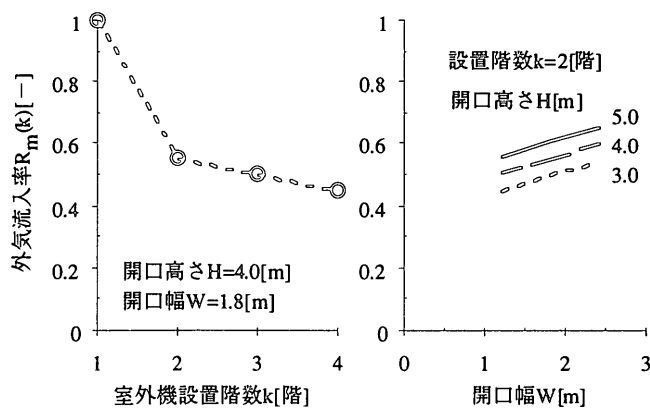


図16 室外機の設置条件と外気流入率 R_m

機の効率および信頼性の向上に有効といえる。

- 4) 室外機を多層階に設置する場合、上層階における室外機の吸込み温度上昇を抑制するには、室外機の設置条件、開口幅 W および開口高さ H の拡大が有効なことを示した。一方、室外機の設置階数 k を少なくすることも有効であるが、設置階数 k の影響の小さい設置方法、室外機形状について検討する必要がある。
- 5) 室外機の設置条件を考慮した本予測式の実験との対応の度合いを重相関係数 (R^2) 及び不一致係数 U' を算出して評価した。その結果、本予測式が今回の実験範囲である実機換算で開口高さが 3.0 m 以上 4.2 m 以下、室外機間隔が 0.3 m 以上 1.2 m 以下、階数は 4 階までの条件 (吹出し条件と奥行きは固定) ではよく実験結果と対応することが明らかとなった。今回の設定範囲を大きく逸脱する場合、異なる吹出し条件に対応するための修正については今後検討を進める必要がある。

ここでは室外機の設置条件を考慮した吸い込み温度の予測式を提案し、室外機の吸込み温度を考慮した配置計画を得ることが可能となった。今回の検討範囲に限れば、本予測式により同形状のパッケージ型空調機室外機の適正な配置計画を達成でき、空調機の冷却能力、総合効率の低下等の問題の発生を抑制できるものと考えられる。

謝辞

本研究では、東京理科大学倉測研究室の修論生の協力を得て実験を行った。ここに記して感謝の意を表します。

注 1

不一致係数 U' は、(A-1) 式で表される。(6)、(9) 式を用いた計算値と実験値からの不一致係数 U' は、0.0443 である。

$$U' = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - \bar{y})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y'^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y^2}} \quad \text{ただし } 0 \leq U' \leq 1 \quad (\text{A-1})$$

すなわち、 $U'=0$ のときに最も一致し、 $U'=1$ のとき最大の不一致となる。

参考文献

- 1) 羽山広文・木下学・山崎大輔・倉測隆：集中設置される空調機室外機の吸込み温度性状の研究，日本建築学会技術報告集第 4 号，pp.65～71, 1997.4
- 2) 木下学・羽山広文・星野康・阿部正弘・倉測隆：重層設置される空調機室外機の吸込み温度上昇に関する研究，日本建築学会技術報告集第 5 号，pp.172～177, 1997.12
- 3) 古藤悟・山中晤郎・片山忠久：高層ビル用空調機室外ユニット周りの気流解析，日本機械学会論文集 (B 編)，pp.341～348, 1991.11
- 4) 古藤悟・池内正毅・山中晤郎・知久道明：高層ビルに設置された空調機 (室外機) まわりの気流解析，第 23 回空気調和冷凍連合講演会講演論文集，pp.129～132, 1989.4
- 5) 庁昌之・福島清司・佐藤鋼平・関矢達一・中村隆広：大空間におけるビル用空調機室外ユニット周りの気流解析，日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集，pp.443～445, 1993.7
- 6) 中村隆広・福島清司・佐藤鋼平・庁昌之・関矢達一：ビル用各階設置空調機室外機周りの気流解析，日本機械学会 第 6 回熱工学シンポジウム講演論文集，pp.53～54, 1993.7
- 7) 高発熱機器室用冷却装置 サービスマニュアル，ダイキン工業株式会社，pp.171～181, 1995.9
- 8) (社) 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学会便覧 (第 12 版)，相似則と無次元化・基礎編，pp.233～235, 1995.3
- 9) 中村正一：例解多変量解析入門，日刊工業新聞社，pp.57～58, 1979

(1998 年 7 月 10 日原稿受理，1999 年 2 月 26 日採用決定)