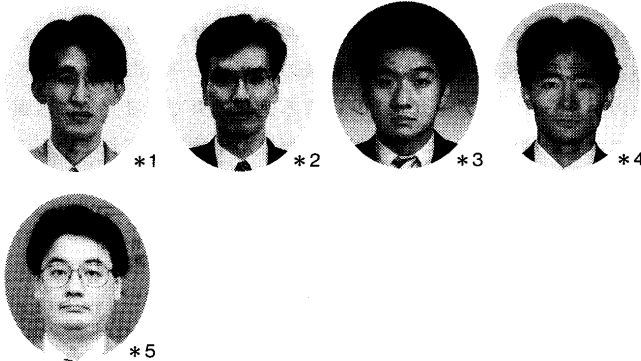


重層設置される空調機室外機の吸込み温度上昇に関する研究

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

木下 学 ——*1 星野 康 ——*3 倉淵 隆 ——*5
羽山広文 ——*2 阿部正弘 ——*4

Manabu KISHITA Yasushi HOSHINO Takashi KURABUCHI
Hirofumi HAYAMA Masahiro ABE



During cooling operations, short-circuited flow can occur when multi-layered outdoor air-conditioning unit set up on a balcony re-absorbs its own high-temperature exhaust. In such a case, operation of the air-conditioning unit may stop as refrigerant pressure rises. In this study, with the aim of finding a method for setting up outdoor air-conditioning unit in an appropriate manner, problem points were determined by taking on-site measurements and phenomena were clarified by performing model experiments. In addition, and approximate expression for the rise in suction temperature was prepared, and on the basis of model experiments, accurate prediction by this expression was verified and the relationship between the rise in suction temperature and unit setup conditions were studied.

キーワード：
室外機, ショートサーキット流れ, 相似則, 模型実験

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

1. はじめに

近年、インテリジェントビル等の空調設備として、空冷パッケージ型空調機を採用する事例が多くなっている。その理由として、空冷パッケージ型空調機は、空調ゾーンまたは室毎の様々な利用形態に柔軟に対応できること、据付け工事が簡便であること、低価格であることなどが挙げられる。このため、空調機の数が増加し、屋上やベランダなどの限られたスペースに空調機の室外機を集中して設置することが多くなっている。冷房時集中設置された室外機では、自らの、または下階の室外機の高温排気を再度吸込むショートサーキット流れが生じ、室外機の吸込み温度が上昇する。これは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。室外機を設置する場合、室外機の吸込み温度を予測することができれば、許容範囲に温度上昇を抑制する設置条件を決定することが可能となる。

これまで、建物のベランダに設置された室外機の吸込み温度上昇については、古藤^{1),2)}、宍^{3),4)}らが実測および熱流体数値解析を行い、隣接ビルとの間隔やビル周囲の風向および風速が室外機の吸込み温度上昇に与える影響について検討している。しかし、室外機の間隔、階高、方向などの設置条件と室外機の吸込み温度上昇に関する報告は見られない。

そこで本報告では、室外機の適正な配置方法の実現を目的に、現場実測による問題点の把握を行った。また、上下階の室外機への影響を把握するための基礎となる、ベランダ2層に室外機が重層設置される場合に着目し、模型実験を行った。さらに、室外機吸込み温度上昇の近似式を作成し、室外機の吸込み温度上昇と設置条件の関係について検討したので報告する。

記号表

β : 体積膨張率 [1/°C]

g : 重力加速度 [m/s²]

ν : 渦動粘性係数 [m²/s]

A_r : アルクイテス数 [-] $A_r = \frac{\beta g \Delta \theta L}{U^2}$

Re_t : 乱流レイノルズ数 [-] $Re_t = \frac{UL}{\nu}$

U : 代表速度 [m/s]

L : 代表長さ [m]

$\Delta \theta$: 代表温度差 [°C]

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)

q : 発熱量 [W]

*1 NTT ファシリティーズ研究開発部 修士(工学)
(〒180 武蔵野市緑町3-9-11 NTT 武蔵野研究開発センター内)

*2 NTT ファシリティーズ研究開発部 博士(工学)

*3 東京理科大学 大学院

*4 東京理科大学 大学院

*5 東京理科大学 助教授・博士(工学)

*1 R&D Dept. NTT POWER AND BUILDING FACILITIES, M. Eng.

*2 R&D Dept. NTT POWER AND BUILDING FACILITIES, Dr. Eng.

*3 Graduate School, Science University of Tokyo

*4 Graduate School, Science University of Tokyo

*5 Associate Prof., Science University of Tokyo, Dr. Eng.

ΔT : 室外機吸込み温度上昇 [°C] = 室外機吸込み温度 - 外気温度
 H: 開口高さ [m]
 W: 開口幅 [m] (W_1 : 室外機間隔 [m])
 D: 奥行 [m] (D_1 : 通路幅 [m])
 HW, WD, DH: 室外機周囲の各断面面積 [m²]
 HWD: 室外機1台あたりの設置容積 [m³]

2. 現状の問題点

室外機が建物のベランダに重層設置されている場合について、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。対象は空冷パッケージ型の空調機室外機である。図1に室外機の配置状況を示す。建物ベランダ面は北向きであり、隣接する建物等はない。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。測定中の外部風速は、0.4~3.1[m/s]であった。また、図2に室外機の吸込み温度上昇(吸込み温度-外気温度)の測定例を示す。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る。特に、4MF

~5MFの室外機の吸込み温度上昇は、最大で15[°C]を越えるものも見られた。これは、室外機からの高温排気が大気に拡散されず、上階の室外機に吸い込まれるショートサーキット流れが生じているためと考えられる。

一方、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の能力および総合効率に大きな影響を与える。図3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[°C]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°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、装置側面または底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とした。実験に用いた室外機の模型を図4に示す。ベランダ内の設置方法は前面および背面吸込みの2タイプである。模型の大

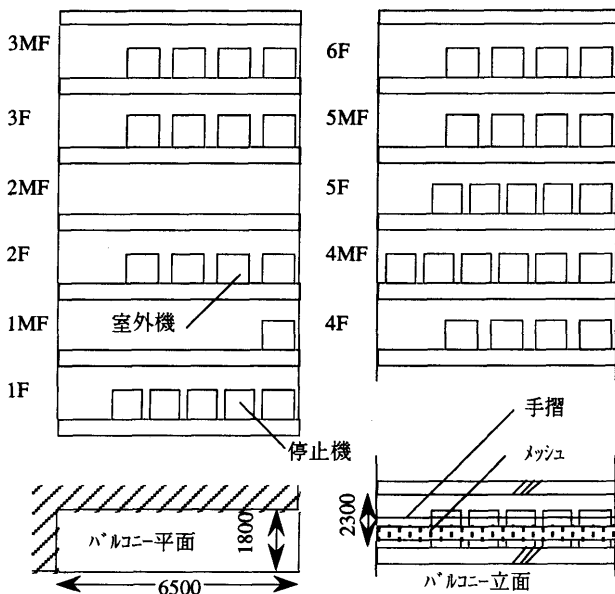
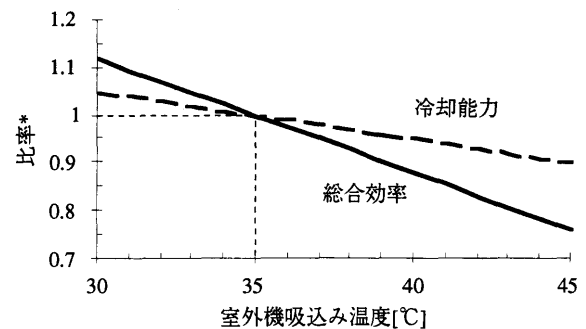


図1 室外機の設置階数と台数



参考文献(6)の検討結果より作成
 *: 5HP空調機 室内条件; 27°C, 50%
 室外機吸込み温度35°Cを1とした場合

図3 室外機吸込み温度と冷却能力・総合効率

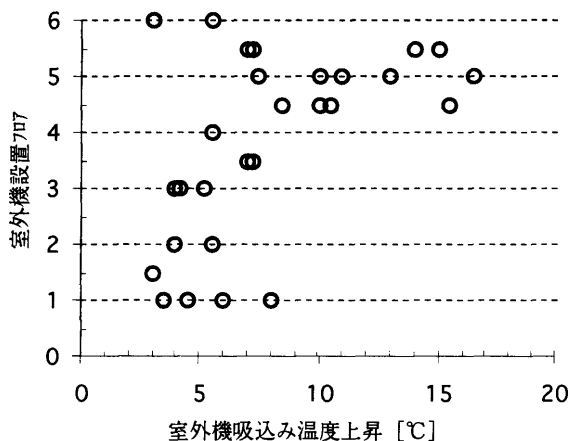


図2 室外機吸込み温度上昇の実測例

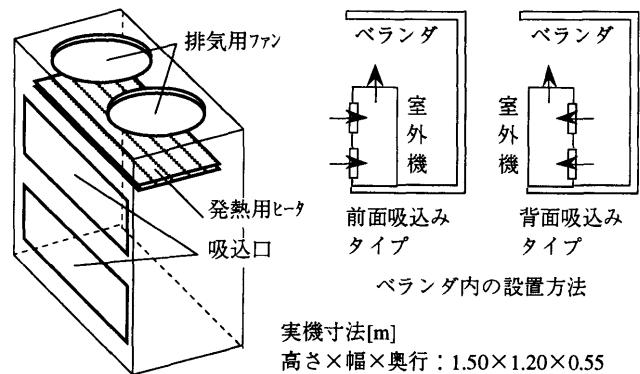


図4 室外機模型の概要

きさは、実機の1/6の寸法とし、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¹⁾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、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。これと同様に、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 v_i の U_L とし、乱流レイノルズ数 Re_i の自動的一致を仮定した。従って、例えば寸法に関する模型の実物に対する比を 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²⁾。実験に用いた模型は、縮率 n_o 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]である。

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

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

なお、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。

4 模型実験の概要

4. 1 実験方法

図5に示す2層のベランダ模型を作成し、1層あたり5台の室外機模型を人工気候室内に設置した。室外機模型の縮尺は実機の1/6である。また室外機がベランダ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

表1に示す開口高さH、開口幅W(室外機間隔 W_1) および奥行D(通路幅 D_1) を実験変数とした。設置タイプは、室外機のベランダ1層設置(以下:1層設置)での前面および背面吸込み、2層設置(以下:2層設置)での前面吸込みの3タイプである。各設置タイプにつき27ケース、計81ケースの実験を行った。

4. 3 測定ポイント

各実験での測定ポイントは、室外機の吸込み、吹出し温度、ベランダ内垂直温度および外気温度である。また同時に、ベランダ前面の1.8×8.4[m](実機換算、以下同様)の空間温度を0.6[m]間隔で測定した。温度測定は、計110ポイントのT型熱電対を用いた。

5 室外機のベランダ1層設置

5. 1 1層設置の室外機吸込み温度上昇

室外機の1層設置において、室外機1台あたりの設置容積HWDと室外機の吸込み温度上昇の関係を図6に示す。前面、背面吸込みの両タイプとも室外機1台あたりの設置容積が減少するに伴い、室外機の吸込み温度上昇は増大することがわかった。このことから、開口高さH、開口幅W、奥行Dの各設置条件は、室外機の吸込み温

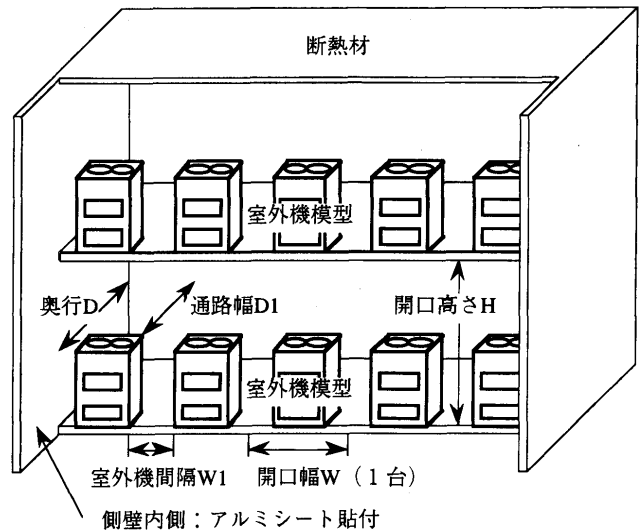


図5 室外機模型実験の概要

表1 模型実験パターン

実験変数	模型寸法 [m]	実機寸法 [m]
開口高さH	0.5,0.6,0.7	3.0,3.6,4.2
室外機間隔 W_1	0.2,0.3,0.4	1.2,1.8,2.4
通路幅 D_1	0.1,0.2,0.3	0.6,1.2,1.8

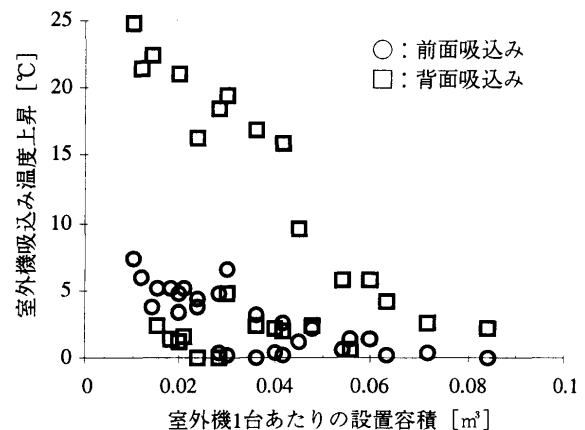


図6 1層設置での吸込み温度上昇

表2 重回帰分析重相関(R)と各係数

変数	係数	前面吸込み	背面吸込み	各変数と模型
(3)式	H	a	-1.12	
	W	b	-2.17	
	D	c	-2.82	
	-	d	15.62	
	重相関(R)	0.80	0.88	
(4)式	HW	e	-0.24	
	WD	f	-0.64	
	DH	g	-0.45	
	-	h	9.17	
	重相関(R)	0.78	0.86	
(5)式	HWD	i	-0.35	
	-	j	6.75	
		重相関(R)	0.75	

注) 各係数は実機寸法により算出

度上昇に影響すると考えられる。

5. 2 吸込み温度上昇の予測

開口高さH、開口幅W、奥行Dの各条件が、室外機の吸込み温度上昇に与える影響を明確にするため、長さ、断面積、設置容積を変数として(3)~(5)式の近似式を仮定した。

$$\Delta T = aH + bW + cD + d \quad (3)$$

$$\Delta T = eHW + fWD + gDH + h \quad (4)$$

$$\Delta T = iHWD + j \quad (5)$$

5. 3 近似式および係数の決定

室外機の吸込み温度上昇の実験値および各変数を(3)~(5)式に代入し、重回帰分析から得られた重相関(R)および各係数を表2に示す。重相関(R)から、室外機の吸込み温度上昇の予測には、各長さを変数とした(3)式が有効であることがわかった。また各係数から、前面吸込みタイプでは開口幅Wおよび奥行D、背面吸込みタイプでは、開口幅Wの拡大が吸込み温度上昇の抑制に有効といえる。

図7に(3)式による計算値と実験値の比較を示す。前面・背面吸込

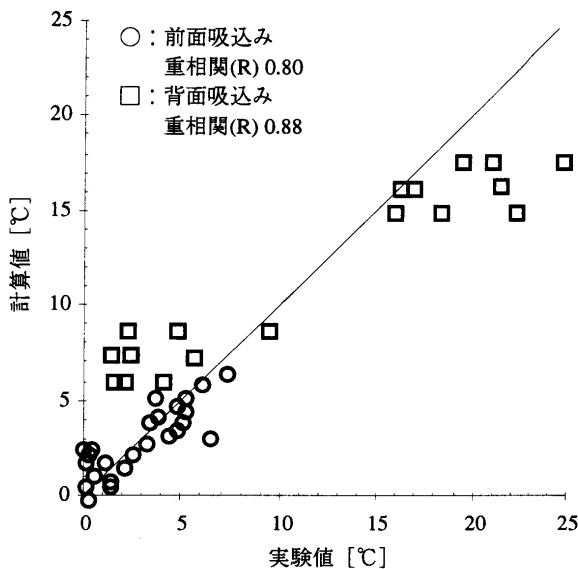


図7 吸込み温度上昇の実験値と計算値 (1層設置)

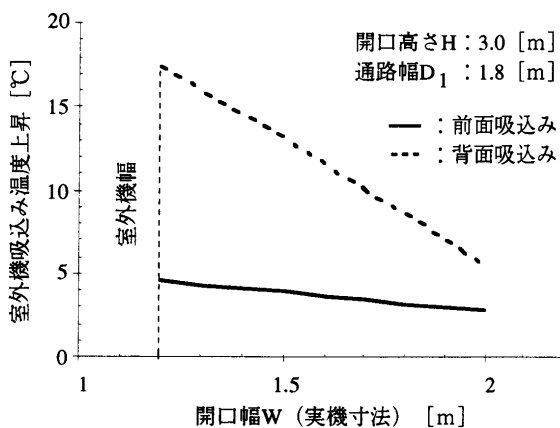


図8 前面吸込みと背面吸込み

みの両タイプとも計算値と実験値には、多少のばらつきがあるものの、概ね一致した。以上のことから、今回の模型実験の範囲に限定すれば、(3)式を用いることにより、1層設置における室外機の吸込み温度上昇の予測が可能となる。

5. 4 設置パターンの評価

前面および背面吸込みの設置方法が室外機の吸込み温度上昇に与える影響を評価する。開口高さHおよび通路幅D₁(奥行D)を固定とし、開口幅Wが変化した場合の吸込み温度上昇を算出し、図8に示す。その結果、この条件の範囲では、開口幅Wを1[m]減少すると前面および背面吸込みタイプの吸込み温度上昇は、それぞれ2[°C]、15[°C]程度増加する。室外機の吸込み温度上昇は、背面吸込みタイプの方が顕著であり、その抑制には前面吸込みが有効といえる。

6 室外機のベランダ2層設置

6. 1 2層設置の室外機吸込み温度上昇

室外機の1層設置の実験結果から室外機の吸込み温度上昇の抑制には、前面吸込みタイプの方が有効であることから、室外機の2層設置の実験では前面吸込みタイプについて検討した。

室外機が2層設置された場合について、室外機1台あたりの設置容積HWDと室外機の吸込み温度上昇の関係、およびベランダ前面の空間温度分布を図9に示す。その結果、1層目の室外機の吸込み温度上昇は、設置容積HWDの大小に関わらずほぼ0[°C]である。しかし、2層目の室外機の吸込み温度上昇は、室外機1台あたりの設置容積HWDの減少に伴い増大する。ベランダ前面の空間温度分布から、1層目の室外機の高温排気は2層目の室外機の吸込み温度に影響していると考えられる。

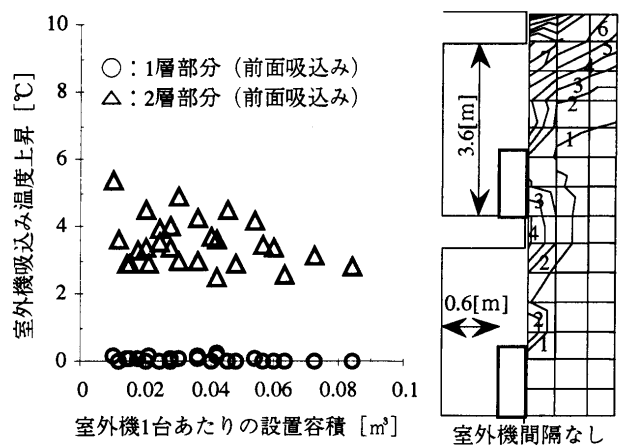


図9 2層設置での吸込み温度上昇

表3 重回帰分析による各係数 (2層設置)

吸込みタイプ	変数	係数	算出結果
前面吸込み	H	a	-0.71
	W	b	-0.70
	D	c	0.19
	—	d	7.13

注) 各係数は実機寸法により算出

6. 2 係数の決定 (2層設置)

室外機の吸込み温度上昇の実験値および各変数を(3)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。2層設置の前面吸込みでは、開口高さHおよび開口幅Wの拡大が吸込み温度上昇の抑制に有効なことがわかる。一方、奥行Dが増加するに伴い、吸込み温度上昇は拡大する傾向にある^註。(3)式による計算値と実験値の比較を図10に示す。計算値と実験値に多少のばらつきはあるものの、概ね一致している。このことから、表3の各係数と各変数を(3)式に代入することにより、室外機2層設置の模型実験の範囲に限定すれば、任意の設置条件に対して室外機の吸込み温度上昇の予測が可能といえる。

6. 3 吸込み温度上昇と設置条件

開口高さH、開口幅W、奥行Dが室外機の吸込み温度上昇に与える影響を評価するため、室外機設置条件の各パラメータを変化させ、室外機の吸込み温度上昇を算出し図11に示す。この結果、室外機の吸込み温度上昇は、開口高さHおよび開口幅Wの増加に伴い減少する。開口高さHおよび開口幅Wが1[m]増加すると、室外機の吸込み温度上昇は、それぞれ1[°C]程度の減少となる。しかし、奥行Dの増加に伴い、室外機の吸込み温度上昇は増大する。このことから、室外機を2層設置する際、室外機の吸込み温度上昇を抑制するには、室外機設置条件の開口高さHおよび開口幅Wを大きくとること、奥行Dを室外機設置スペースと保守スペースを考慮した上で、最小限の長さにすることが有効といえる。

7. まとめ

ベランダに重層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)ベランダに室外機が重層設置されている場合について、室外機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がわかった。

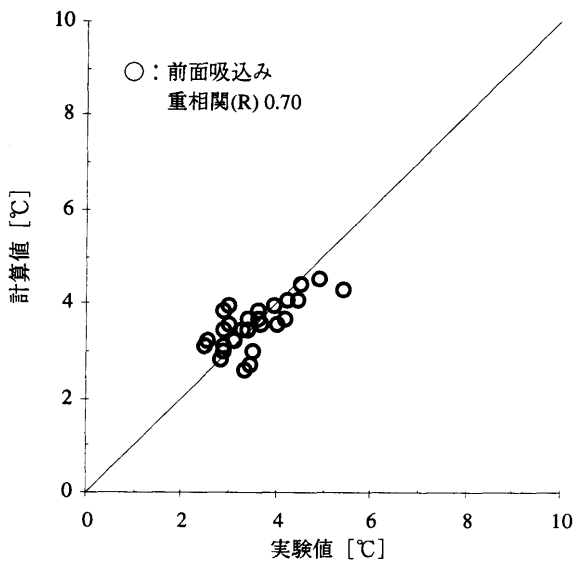


図10 吸込み温度上昇の実験値と計算値 (2層設置)

- 2)ベランダに1層または2層設置される室外機の開口高さH、開口幅W、奥行Dを用い、室外機の吸込み温度上昇を予測する近似式を作成し、実験との比較を行った。今回の実験の範囲に限定すれば、設置条件を考慮した室外機吸込み温度上昇が概ね予測可能となった。
- 3)室外機をベランダに設置する場合、室外機の吸込み温度上昇を抑制するには前面吸込みの設置が有効であることを確認した。
- 4)室外機をベランダに2層設置する場合、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、室外機設置条件の開口高さHおよび開口幅Wの拡大が有効なことを示した。

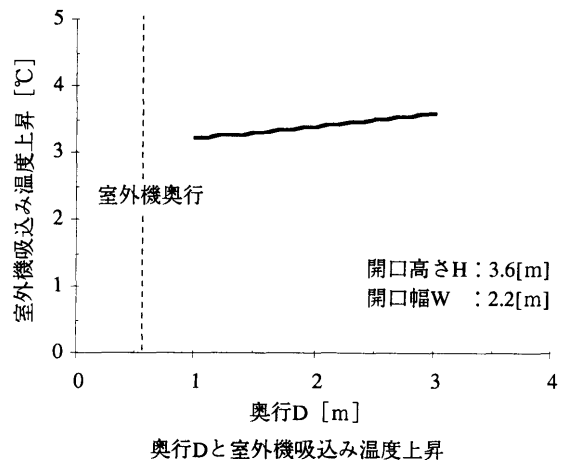
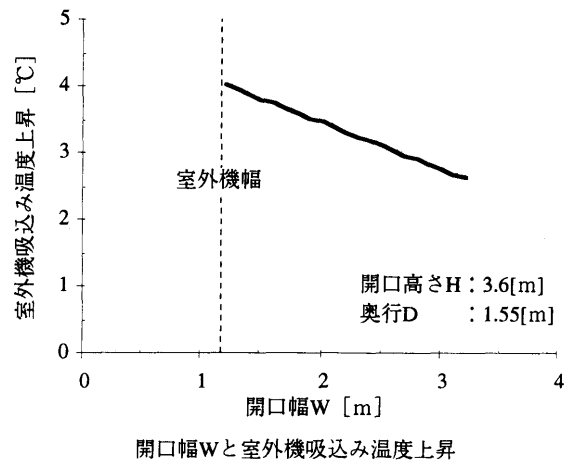
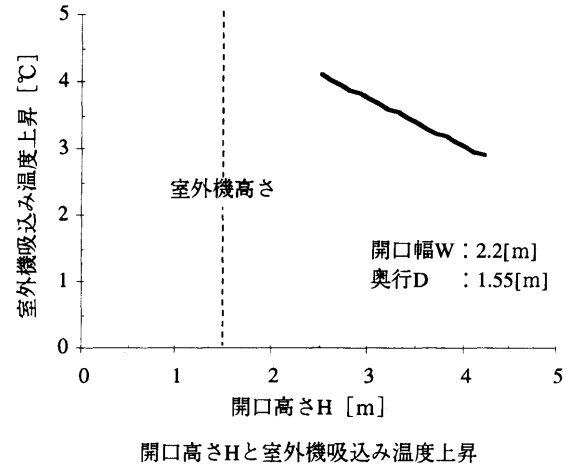
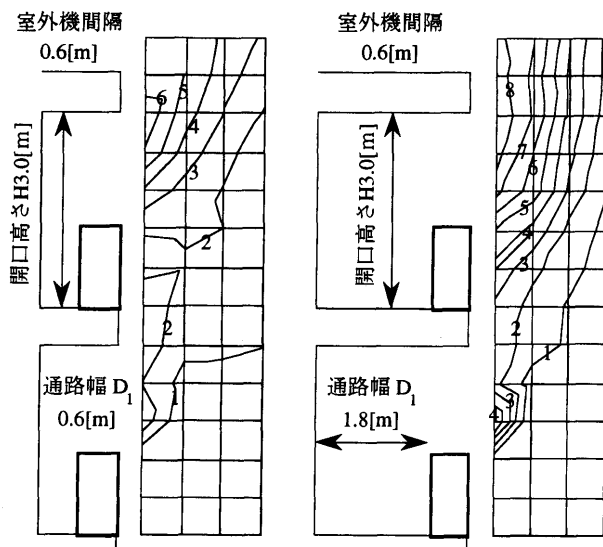


図11 吸込み温度上昇と設置条件

注

図A-1にHとWは一定とし、Dのみ異なる条件での空間温度測定結果の例を示す。図から明らかなように、今回の実験範囲ではDの増加により1層目のベランダからの排出空気温度は上昇する傾向が見られた。これに伴い2層目の吸込み温度上昇は上昇しており、表3の係数はこれらの実験結果を反映したものである。この原因としては、Dの拡大によりベランダ側に流れた排気が1層目ベランダ内に滞留し、2層目に向かう排気の1層目ベランダ内部における希釈効果が弱まったことが考えられる。この点については、今後3層以上の積層設置条件を対象とした検討の中で、ベランダ内部温度の測定、気流の可視化実験等によって解明する予定である。



図A-1 奥行Dとベランダ前面の空間温度分布

参考文献

- 1)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
- 2)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
- 3)庁昌之・福高清司・佐藤鋼平・関矢遼一・中村隆広：大空間におけるビル用空調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
- 4)中村隆広・福高清司・佐藤鋼平・庁昌之・関矢遼一：ビル用各階設置空調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
- 5)(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
- 6)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～pp.181.1995.9
- 7)羽山広文・木下学・山崎大輔・倉淵隆：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

[1997年6月19日原稿受理 1997年9月1日採用決定]