

空冷パッケージ型空調機室外機
の配置計画に関する基礎分析A FUNDAMENTAL ANALYSIS ABOUT
LAYOUT PLANS FOR OUTDOOR
CONDENSING UNITS OF AIR-COOLED
PACKAGED AIR CONDITIONERS木下 学 ——*1 羽山広文 ——*2
岡 建雄 ——*3Manabu KISHITA ——*1 Hirofumi HAYAMA ——*2
Tatsuo OKA ——*3キーワード：
空冷パッケージ型空調機, 室外機, ショートサーキット流れ, 配置計画Keywords：
Air cooled packaged air conditioner, Outdoor condensing unit, Short-circuit
air flow, Layout plan

This paper describes about the effect of layout plans for outdoor condensing units on the operating efficiency of air conditioners. In the case of limited space for outdoor condensing units, it was found that an optimal value exists for the placement ratio between roof and balcony. It has been shown that predicting the intake temperature of outdoor condensing units and then determining a layout plan for them is an effective means of achieving efficient and appropriate operation for air conditioners.

1. はじめに

空冷パッケージ型空調機は、建物の利用形態へ柔軟に対応できることから、建物の空調設備に数多く採用されている。しかし、建物の限られた屋外スペースに室外機を設置するため、その吸い込み温度の上昇に伴う空調機の冷房能力の低下、冷媒の吐出圧力の上昇による空調機の停止が問題となる。このことから、空調設備の運転効率および適正な運転を確保するためには、室外機の吸込み温度を考慮した室外機の配置計画に関する検討が重要である¹⁾²⁾。

これまで筆者らは、屋上に設置される空冷パッケージ型空調機室外機の吸込み温度上昇に関し、室外機の連続設置台数、通路幅、取り付け高さなどの室外機の設置条件と室外機高温排気のショートサーキット流れを考慮した吸い込み温度上昇との関係を簡便な予測式で表現している³⁾。また、バルコニーに設置される室外機についても同様に、室外機の吸込み温度と設置条件の関係を外気流入率 R_o (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で表現し、室外機の間隔、階高、設置階数などの室外機の設置条件が上下階室外機に与える影響を検討している⁴⁾。

本報告では、筆者らが表現した屋上およびバルコニーに設置される空冷パッケージ型空調機室外機の吸い込み温度上昇の予測式を用い、室外機の配置計画が空冷パッケージ型空調機の運転効率に与える影響について検討したので報告する。

2. モデル建物の計算条件

2.1 モデル建物の概要

モデルは、情報処理室が基準階面積の大半を占めている実在する建

表1 モデル建物の概要

	仕様		面積[m ²]	占有率[%]
建物階数	地上8階	基準階面積	3585.6	-
(事務室)	1~3階	(機械室面積)	2592	72.3
(情報処理室)	4~8階	(コア面積)	648	18.1
階高	3.5m	(室外機置き場)	345.6	9.6

記号表

C_p	: 空気の比熱 [W/(kg·°C)]
ρ	: 空気の比重 [kg/m ³]
H_o	: 室外機の発熱量 [W]
V_o	: 室外機の風量 [m ³ /h]
T_i	: バルコニー設置室外機の吸込み温度 [°C]
T_o	: 外気温度 [°C]
R_o	: 外気流入率 [-]
k	: 室外機の設置階数 [階]
H	: バルコニー開口高さ [m]
W_b	: バルコニー設置室外機の開口幅 [m]
D	: 奥行 [m]
$\alpha_v, \beta_{v,L}$: 屋上設置室外機の吸い込み温度の補正係数 [-]
L	: 室外機設置長さ (中心からの距離) [m]
W_R	: 屋上設置室外機の通路幅 [m]
h	: 室外機高さ [m]
t_{max}	: 屋上設置室外機の吸い込み温度最大値 [°C]
t_{ave}	: 屋上設置室外機の吸い込み温度平均値 [°C]
S	: 屋上設置室外機の流入面積 [m ²]
n	: 屋上設置室外機の中心からの設置台数 [台]
l	: 冷媒配管長 [m]
Z	: 冷媒配管長による能力変化率 [-]
COP	: 空調機の運転総合効率 (冷房能力 / 消費電力) [-]
COP*	: 冷媒配管長による能力変化率を考慮した COP [-]

*1 NTT ファシリティーズ研究開発本部 博士(工学)
(〒170-0004 東京都豊島区北大塚2-13-1)

*2 北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)

*3 宇都宮大学工学部建設学科 教授・工博

*1 Research and Development Dept., NTT Facilities, Dr. Eng.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.

*3 Prof., Dept. of Architecture Faculty of Engineering, Utsunomiya University, Dr. Eng.

物を用いた。そのモデル建物の概要を表1に示す。地上8階建ての内、1～3階が事務室、4～8階が情報処理室である。基準階面積に対する情報処理室面積の割合は72.3[%]、バルコニーの室外機置き場の割合は、9.6[%]である。また、基準階の階高は3.5[m]である。

図1にモデル建物の屋上階平面計画を示す。18,000[mm]×57,600[mm]の屋上スペースに室外機を設置する。図2にモデル建物の基準階平面計画を示す。建物周囲の南北面のバルコニーが空冷パッケージ型空調機室外機の設置スペースである。

2.2 空冷パッケージ型空調機室外機の設置条件

図3に屋上に室外機を設置する場合の概略図を示す。屋上に設置する室外機は、室外機の下部から吸気し上部の排気用ファンで排気するタイプである。また室外機は800[mm]の高さの架台上に設置する。A-A'立面に示すように、4台+4台設置の計8台の室外機を連続設置し、中間に1,800[mm]の搬入、保守用の通路を設けている。通路幅 W_R は屋上に設置される室外機台数で変化することとした。またB-B'立面に示すように、4台+4台設置の計8台の室外機が通路幅 W_R の間隔で対向設置され、屋上に設置される室外機の台数分だけ連続して配置する。

図4にバルコニーに室外機を設置する場合の概略図を示す。バルコニーに設置する室外機は、室外機の前面から吸気し上部の排気用ファ

ンで排気するタイプである。また室外機の高温排気の上階室外機への影響を軽減させるため、排気用のダクトを設けた。C-C'立面に示すように、バルコニーの室外機が均等に配置できるように開口幅 W_B を設定した。また、D-D'断面に示すように、室外機はバルコニーの最端部に設置することとした。

2.3 空冷パッケージ型空調機の運転条件

表2にモデル建物で用いる空冷パッケージ型空調機的主要仕様を示す⁵⁾。空調機の定格冷房能力は40[kW]である。この定格値を用いて、後述の各種設定条件における空調機の台数を決定した。室外機の給排気方向は、室外機の下面給気・上面排気または前面給気・上面排気の2タイプから設置状況に応じて選定可能である。室外機の給排気温度差は空調機の運転状態に伴い、変動することが考えられるが、今回の検討では空調機の定格冷房能力と室外機のファン風量とから12[°C]と仮定した。

図5に空調機の総合効率(COP)と外気温度の関係を示す。室内の温湿度条件は、25[°C]、50[%]である。外気温度の上昇に伴い、空調機の総合効率(COP)の値は減少する。ここで、空調機の総合効率(COP)と外気温度の関係を最小2乗法により近似し、(1)式に示す⁵⁾。

$$COP = -5.00 \times 10^{-4} T_o^2 - 1.63 \times 10^{-2} T_o + 3.35 \quad (1)$$

図6に空調機の冷媒配管長と能力変化率の関係を示す。配管長が40[m]を越えると空調機能力変化率が減少する。今回の検討に用いる近似式を(2)式に示す⁵⁾。ただし、冷媒配管長(1)が、0[m]以上、

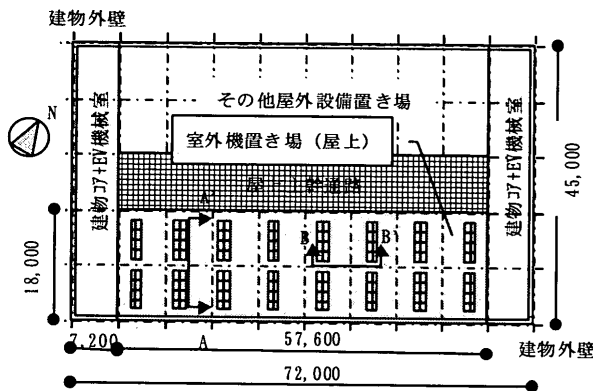


図1 モデル建物の屋上階平面計画

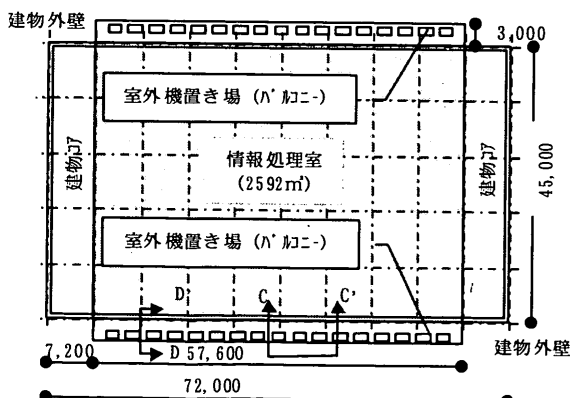


図2 モデル建物の基準階平面計画

表2 空冷パッケージ型空調機的主要仕様

室内機	外形寸法[mm]	H2000×W1795×D900
	定格冷房能力[kW]	40
室外機	定格風量[m ³ /min]	240
	外形寸法[mm]	H1800×W1800×D900
	給排気温度差[°C]	12

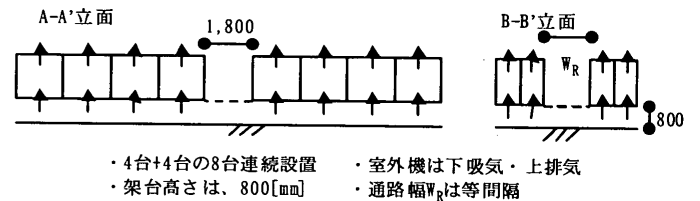


図3 室外機の屋上設置の概要

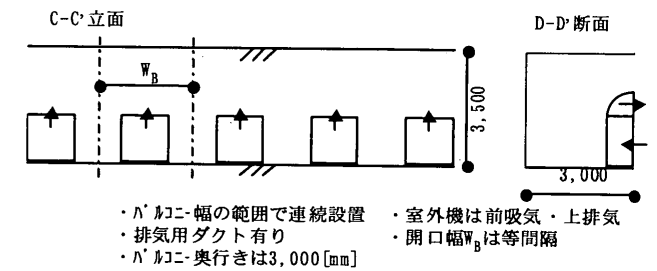


図4 室外機のバルコニー設置の概要

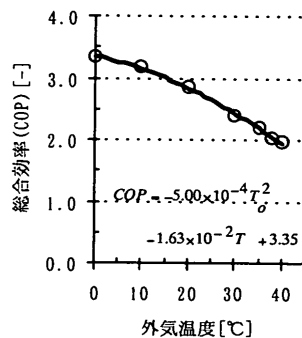


図5 総合効率と外気温度⁵⁾

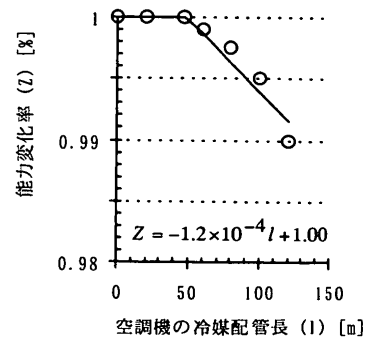


図6 総合効率と配管長⁵⁾

50[m]未満の場合、能力変化率 (Z) は1とする。

$$Z = -1.2 \times 10^{-4} l + 1.00 \quad (50 \leq l \leq 120) \quad (2)$$

3. 空冷パッケージ型空調機室外機の吸い込み温度の算定

3.1 屋上設置室外機の吸い込み温度

図7に室外機を屋上に配置する場合の設置モデルを示す。筆者らは通路幅 W_R 、室外機設置長さ L 、室外機高さ h などの室外機の設置条件が吸い込み温度に与える影響を定量的に評価し、吸い込み温度の予測式を提案した³⁾。室外機の設置条件を (3) ~ (6) 式に代入することで、下面から外気を取り入れる室外機の補正係数 α_w (室外機の排気温度に対する通路上部から流入する空気温度の比)、 $\beta_{w,L}$ (通路上部から流入する空気の面風速に対する側面からの面風速の比)、吸い込み温度の平均値、吸い込み温度の最大値を算出することができる。

$$\alpha_w = -0.317 \left(\frac{W_R}{h} \right) + 0.728 \quad (3) \quad \frac{1}{\beta_{w,L}} = 0.084 \left(\frac{L}{W_R} \right) \quad (4)$$

$$t_{ave} = \frac{\alpha_w H_m L W_R}{\beta_{w,L} S C_p \rho V_m} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_e \left(\frac{2n}{2k-1} \right) + T_o \quad (5)$$

$$t_{max} = 2.39 t_{ave} \quad (6)$$

3.2 バルコニー設置室外機の吸い込み温度

図8に室外機をバルコニーに配置する場合の設置モデルを示す。筆者らは開口幅 W_B 、設置階数 k 、開口高さ H などの室外機の設置条件と吸い込み温度との関係を外気流入率 R_m (室外機の風量に対する外気流入量の比) を用いて表現したり、(7) 式で算出した外気流入率 R_m を (8) 式に代入することで、バルコニーに設置した室外機の吸い込み温度を予測することができる。

$$R_m = -0.093k + 0.05H + 0.085W_B + 0.023D + 0.532 \quad (7)$$

$$T_i(k) = R_m(k) T_o + \left\{ 1 - R_m(k) \right\} \left[T_i(k-1) + \frac{H_m(k-1)}{C_p \rho V_m} \right] \quad (8)$$

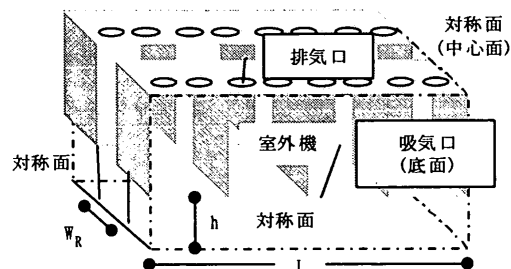


図7 屋上設置室外機のモデル概要

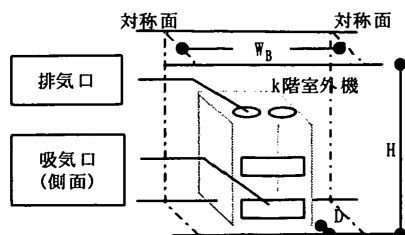


図8 バルコニー設置室外機のモデル概要

4. 空調機の総合効率 (COP*) の算定方法と設定条件

4.1 空冷パッケージ型空調機の総合効率 (COP*) の算定

今回のモデル建物における空冷パッケージ型空調機の総合効率 (COP*) は、室外機の吸い込み温度の変動に伴う空調機の総合効率 (COP) の変化と冷媒配管長による能力変化率とを考慮し、(9) 式を用いた。

$$COP^* = COP \cdot Z \quad (9)$$

4.2 モデル建物の設定条件

モデル建物の空冷パッケージ型空調機室外機の配置計画が空調機の総合効率 (COP*) に与える影響を (9) 式を用いて評価する。表3にモデル建物の各種設定値を示す。室内の平均発熱密度毎に空調機の必要台数を算出し、屋上設置とバルコニー設置との設置割合を変化させた。空調機台数を算定する場合、内部発熱と外壁からの負荷を考慮する必要があるが、本モデルの外壁負荷は、内部発熱に対し最大5.1 [%]と小さいことから内部発熱のみを用いた。また空調機の年間平均総合効率 (COP*) の算出には、東京の気象データ (1994年) の8760時間分の外気温度を用いた。その際、空調機台数の増減に伴う通路幅、開口幅の変化が外気温度 (室外機吸い込み温度) に影響を与える。

5. 空調機の総合効率 (COP*) の算定結果と評価

5.1 室外機の配置計画と吸い込み温度

表3の設定条件を (3) ~ (8) 式に代入し、モデル建物の屋上およびバルコニーに設置した室外機の吸い込み温度上昇を予測した。その結果を図9、10に示す。屋上に設置した室外機の吸い込み温度上昇の平均値および最大値は、1台当たりの設置面積が10[m²]以下になると急激に上昇することがわかる。1台当たりの設置面積が5[m²]程度の場合、室外機の吸い込み温度上昇の最大値は10[°C]を越える。バルコニーに設置した室外機の吸い込み温度上昇の平均値および最大値は、1台当たりのバルコニー開口面積が30[m²]以下になると徐々に上昇する。1台当たりの開口面積が10[m²]程度で、8階の室外機の吸い込み温度上昇は10[°C]になることがわかる。

表3 モデルの各種設定条件

発熱密度 [W/m ²]	室外機台数 [台]	屋上設置率 [%]	各階設置率 [%]	屋上設置台数 [台]	屋上室外機通路幅 [m]	各階設置台数 [台]	バルコニー-室外機設置間隔 [m]
250	85	0.0	100.0	0	-	17	6.4
		17.6	82.4	15	55.8	14	8.2
		35.3	64.7	30	27.0	11	9.6
		58.8	41.2	50	12.6	7	14.4
		76.5	23.5	65	9.7	4	28.8
100.0	0.0	85	7.8	0	-	-	
500	165	0.0	100.0	0	-	33	3.4
		18.2	81.8	30	27.0	27	4.1
		39.4	60.6	65	9.7	20	5.8
		60.6	39.4	100	6.4	13	8.2
		78.8	21.2	130	4.6	7	14.4
100.0	0.0	165	3.4	0	-	-	
750	245	0.0	100.0	0	-	49	2.3
		18.4	81.6	45	17.4	40	2.9
		38.8	61.2	95	7.8	30	3.8
		59.2	40.8	145	4.0	20	5.8
		79.6	20.4	195	2.6	10	11.5
100.0	0.0	245	1.8	0	-	-	

5.2 室外機の配置計画と空調機の総合効率 (COP*)

前項で示した室外機の吸い込み温度上昇と(1)、(2)、(9)式から、モデル建物の空冷パッケージ型空調機の年間平均COP*を算出した。屋上に設置した室外機の年間平均COP*を図11、バルコニーに設置した室外機の年間平均COP*を図12示す。室外機の吸い込み温度上昇の結果同様、屋上に設置した室外機では1台当たりの設置面積を10[m²]以上、バルコニー設置の室外機では1台当たりの開口面積を30[m²]以上確保できれば、空調機の年間平均COP*は一定となることがわかる。

図13にモデル建物の室外機の配置計画と年間平均COP*との関係を示す。その結果、モデル建物の室内発熱密度が大きいほど、室外機の配置計画が年間平均COP*に与える影響が大きいことがわかる。室内発熱密度250[W/m²]では、室外機の屋上設置とバルコニー設置の割合が変化しても年間平均COP*はほぼ一定で、変動幅は0.02[-]である。これに対し、室内発熱密度が500[W/m²]では0.10[-]、750[W/m²]では0.15[-]と変動幅は拡大する。また、モデル建物では屋上設置比率が60[%]、バルコニー設置比率が40[%]程度で、モデル建物の年間平均COP*が最大となる。

6. まとめ

モデル建物におけるバルコニーおよび屋上に設置される空冷パッケージ型空調機室外機の配置計画が空調機の運転効率に与える影響を評価し、以下の知見を得た。

- 1) 建物の室内発熱密度が大きいほど、室外機の配置計画が年間平均COP*に与える影響が大きい。発熱密度の高い建物の計画では、空調機の室外機スペースの検討が重要である。
- 2) 屋上設置比率が60[%]、バルコニー設置比率が40[%]程度で、モデル建物の年間平均COP*が最大となる。室外機スペースに制限がある場合、屋上とバルコニーの設置比率に最適値があることがわかった。
- 3) 屋上設置よりもバルコニー設置の方が、多くの室外機スペースが

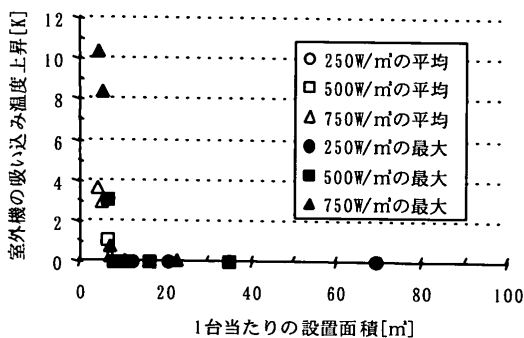


図9 屋上設置室外機の吸い込み温度上昇

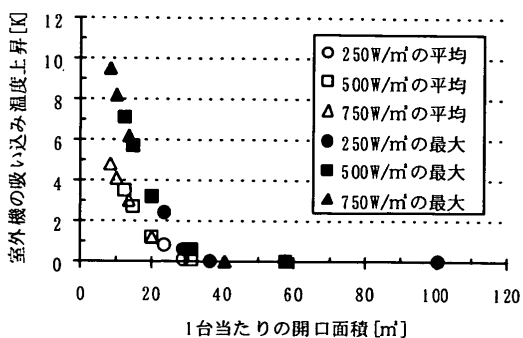


図10 バルコニー設置室外機の吸い込み温度上昇

必要である。室内の発熱密度、冷媒の配管長を考慮した室外機の配置計画が重要である。

ここでは、発熱密度などの建物運用形態や室外機の設置スペースから室外機の吸い込み温度を予測することで、空冷パッケージ型空調機の年間平均COP*を考慮した室外機の配置計画の試算例を示した。このことから、吸い込み温度を考慮した室外機の配置計画は空調機の効率および適正な運転を確保する上で有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 古藤悟・池内正毅・山中昭郎・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回空調和冷凍連合講演会講演論文集, pp.129~132, 1989.4
- 2) 片昌之・福島清司・佐藤綱平・関矢達一・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, p.443~445, 1993.7
- 3) 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
- 4) 木下学・羽山広文・倉淵隆: 室外機の吸込み温度の抑制手法である排気用ダクトに関する検討, 日本建築学会計画系論文集第541号, pp.31~36, 2001.3
- 5) 高効率年間冷房型空調機・制御板技術資料, ダイキン工業株式会社, pp12, 36, 40. 2001.7

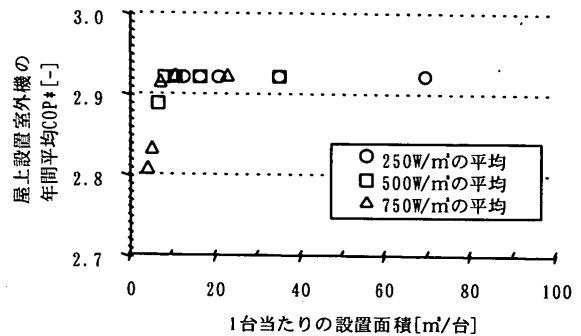


図11 屋上設置室外機の総合効率 (COP*)

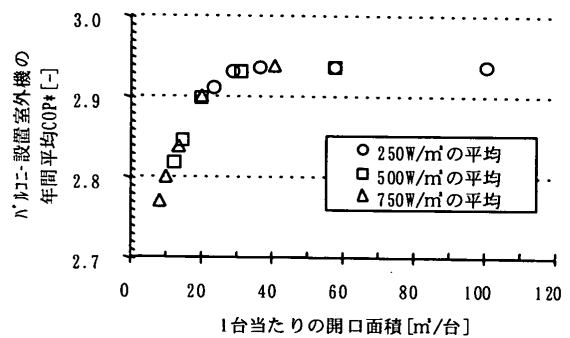


図12 バルコニー設置室外機の総合効率 (COP*)

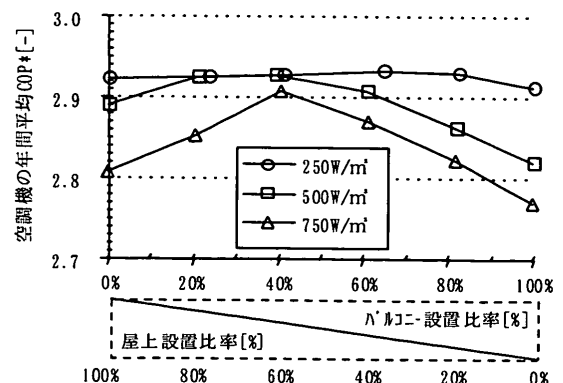


図13 室外機配置計画と総合効率 (COP*)

[2001年10月16日原稿受理 2002年2月18日採用決定]