

9.3 ビル用マルチサブクールシステムの補機類のモデル計算について

この資料は、環境技術開発者（高砂熱学工業株）から実証機関（大阪府環境情報センター）に提出されたもので、参考情報として本報告書に添付しています。

ビル用マルチ冷媒サブクールシステムの排熱量と運転経費のモデル計算

H18.2/6 高砂熱学工業(株)総合研究所

ビル用マルチ冷媒サブクールシステム（「冷媒サブクールシステム」）のヒートアイランド現象抑制効果と運転経費の推測にあたり、実験で確認できない冷却塔からの顕熱排熱量および補機類の運転経費を、システムをモデル化して計算した。以下にその計算方法と計算結果を述べる。

1. 冷却塔からの顕熱排熱量

冷却塔からの顕熱排熱量は、まずシステムの排熱量を室外機と冷却塔に分けて求め、続いて冷却塔の排熱量における顕熱分の割合を求めて計算した。排熱量と各機器の消費電力の関係を(1)に、冷却塔の吸排気間を(2)に示す。空調面積が 1000・4000・7000[m²] の一般的な事務所ビルを冷媒サブクールシステムで空調した場合の排熱量の計算結果を表 3 に、冷房負荷と排熱量の相関を図 3-1～3-3 に示す。

(1) 排熱量と各機器の消費電力の関係

従来のビル用マルチ空調システムと、冷媒サブクールシステムの、各機器の消費電力と排熱の相関式を表 1 に、その模式図を図 1 に示す。なお厳密には、室外機電装部動力と、冷却水配管系からの熱口スを考慮する必要があるが、絶対量が少ないことから無視する。

表 1 各機器の消費電力と排熱の相関式

従来システムの排熱量の関係	記号表
$Q_o = Q_i + E_c + E_f$	E_c : 圧縮機動力 [kW]
顕熱排熱量 = Q_o	E_f : 室外機ファン動力 [kW]
潜熱排熱量 = 0	E_p : 冷却水ポンプ動力 [kW]
冷媒サブクールシステムの排熱量の関係	E_t : 冷却塔ファン動力 [kW]
$Q_o = Q_i + E_c + E_f - q$	Q_c : 室外機熱交換器放熱量 [kW]
$Q_{t1} + Q_{t2} = q + E_p + E_t$	Q_o : 室外機排熱量 [kW]
顕熱排熱量 = $Q_o + Q_{t1}$	Q_i : 室内機吸熱量 [kW]
潜熱排熱量 = Q_{t1}	Q_{t1} : 冷却塔排熱量(水潜熱分) [kW]
	Q_{t2} : 冷却塔排熱量(空気顕熱分) [kW]
	q : サブクールユニット熱交換量 [kW]

(2) 冷却塔の吸排気間の関係

冷却塔内の気液接触により、空気の状態が冷却水還り水温と等温の飽和空気に近づくという仮定を用いる(下記の参考文献を参照)。冷却塔の潜熱排熱量の算出式を表 2 に、気液接触による空気状態変化を図 2 の空気線図に示す。なお冷却塔吸込み空気状態は、室外機吸込空気の状態と同等と仮定する。

表 2 冷却塔の潜熱排熱量の算出式

気液接触後の空気比エンタルピの算出	記号表
$q + E_p = V(h_B - h_A)$	ρ : 空気密度 [kg/m ³]
気液接触後の空気温度と絶対湿度の算出	V : 風量 [m ³ /s]
$(h_B - h_A) / (h_C - h_A)$	h : 空気比エンタルピ [kJ/kg]
= $(t_B - t_A) / (t_C - t_A)$	t : 空気温度 []
= $(x_B - x_A) / (x_C - x_A)$	x : 空気絶対湿度 [kg/kg]
気液接触による潜熱排熱量の算出	r : 水の蒸発熱[kJ/kg]
$Q_{t1} = Vr(x_B - x_A)$	添字A : 冷却塔吸込空気
	添字B : 気液接触後の空気
	添字C : 冷却水還り水温と等温の飽和空気

参考文献

- ・西村浩一,中村隼人 ; 「冷却塔の水分蒸発量と放熱特性」日本建築学会計画系論文集 第 484 号,p.53～62(1996)
- ・渡辺浩文,尾島俊雄 ; 「河川水熱利用地域冷暖房施設の大气への熱的影響に関する研究」日本建築学会計画系論文集 第 460 号,p.61～69(1994)

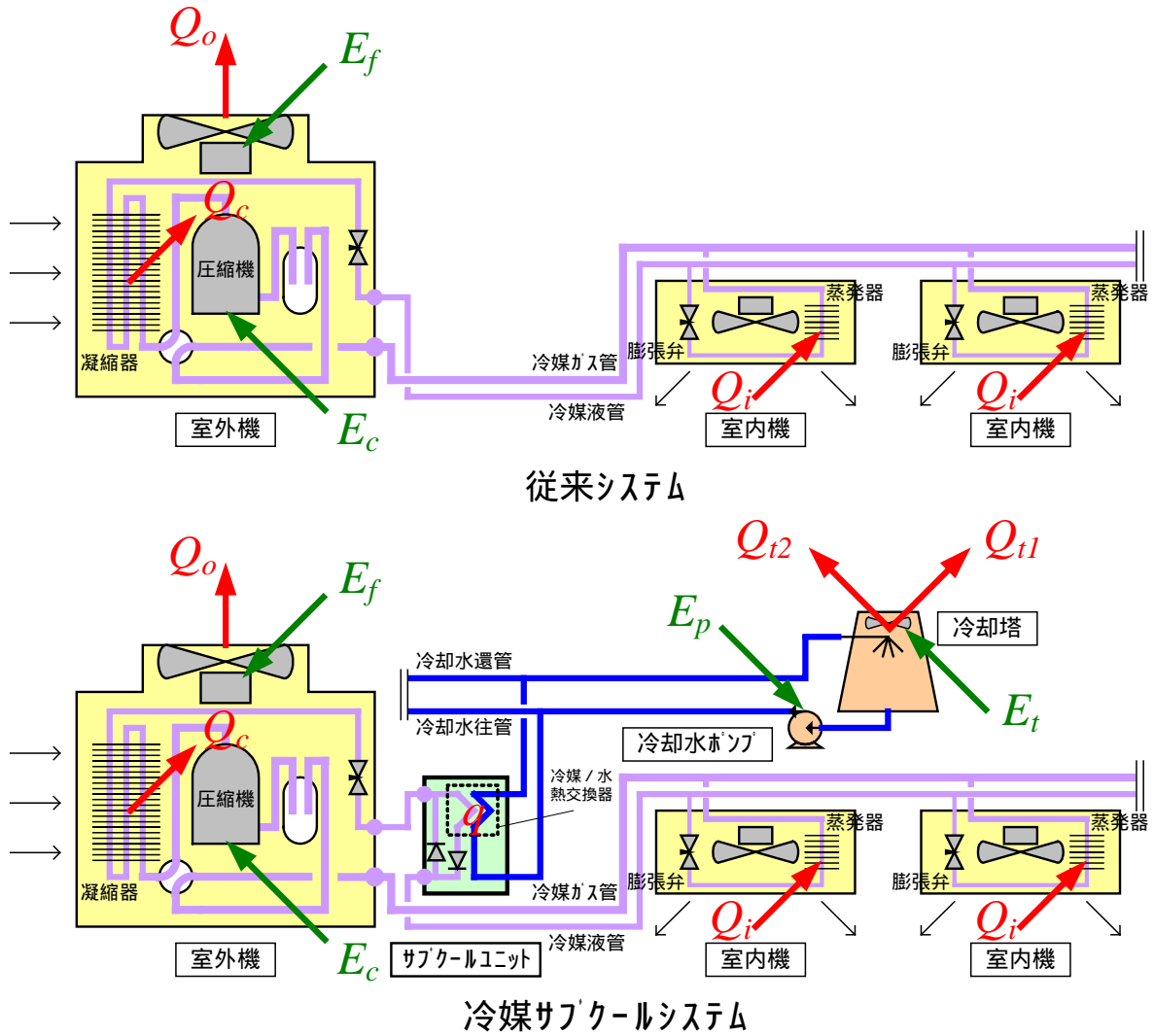


図1 各機器の消費電力と排熱の模式図

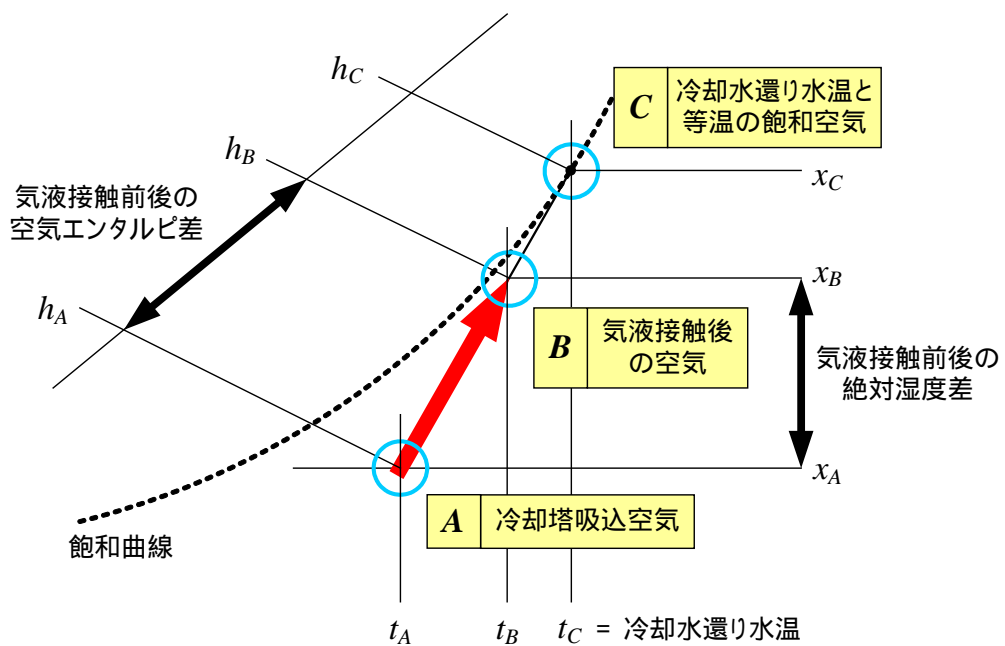


図2 気液接触による空気状態変化

2. 消費電力削減量と補機類の運転経費

冷媒サブクールシステムの消費電力削減量の計算手順を(1)に、補機類の運転経費の計算手順を(2)に示す。空調面積が 1000・4000・7000[m²] の一般的な事務所ビルを冷媒サブクールシステムで空調した場合の消費電力削減量と補機類の運転経費を表 4 に、冷房負荷と補機類の運転経費の相関を図 4-1～4-3 に示す。

(1) 消費電力削減量

消費電力削減量は、圧縮機動力削減量からポンプおよび冷却塔ファン動力を差し引いて求めた。なお計算式中の赤字は実証試験結果から、青字は弊社の実測結果（ただしビル用マルチはインバータ機を使用）から求めた数字である。

・ 圧縮機動力削減量の算出

$$\text{従来システムの } E_c = \text{冷房負荷} / \text{各条件の停止時の冷房COP} - E_f$$

$$\text{冷媒サブクールシステムの } E_c = \text{冷房負荷} / \text{各条件の運転時の冷房COP} - E_f$$

$$\text{圧縮機動力削減量} = \text{従来システムの } E_c - \text{冷媒サブクールシステムの } E_c$$

注 1) 実証試験結果の COP には室内機ファン動力が含まれるが、室外機に比べて微小なので無視した。

・ ポンプ動力 E_p および冷却塔ファン動力 E_f の算出

$$q = \text{冷房負荷} \times \text{各条件の熱交換量} / \text{各条件の冷房能力}$$

$$\text{サブクールユニット台数} = q / \text{サブクールユニット 1 台あたりの熱交換量}^{2)}$$

$$\text{冷却水循環量} = \text{サブクールユニット台数} \times \text{サブクールユニット 1 台当りの冷却水循環量}^{3)}$$

$$E_p = \text{冷却水循環量} \times \text{揚程}^{4)} \times \text{水密度} / \text{ポンプ効率}^{5)}$$

$$\text{冷却塔必要放熱量} = q + E_p$$

注 2) サブクールユニット 1 台あたりの熱交換量は、冷却水温から算出した。

注 3) サブクールユニット 1 台あたりの冷却水量は、熱交換器の伝熱特性から 20[L/min]とした。

注 4) 揚程は 200[kPa]と仮定した。

注 5) ポンプ効率は、JIS B 8313 の B 効率より、0.55 と仮定した。

注 6) 冷却塔ファン動力 E_f は、冷却塔必要放熱量を上回る機種ファン動力を、カタログより求めた。

(2) 補機類の運転経費

補機類の運転経費は、水道代・電気代・薬剤費より構成される。以下に各項目の算出方法を示す。

・ 水道代の算出

$$\text{冷却塔循環水量} = (q + E_p) / (\text{水密度} \times \text{水比熱} \times \text{レンジ}^{7)})$$

$$\text{飛散損失} = \text{冷却塔循環水量} \times 0.001^{8)}$$

$$\text{廃棄水量} = \text{冷却塔循環水量} \times 0.003^{8)}$$

$$\text{蒸発水量} = Q_{11} / (r \times \text{水密度})$$

$$\text{冷却塔の補給水量} = \text{蒸発水量} + \text{飛散損失} + \text{廃棄水量}$$

$$\text{水道代} = \text{冷却塔の補給水量} \times \text{原単位} (228[\text{円}/\text{m}^3])$$

注 7) 冷却水の往還温度差(レンジ)は、一般的な設計条件である 5 とする。

注 8) 空気調和・衛生工学便覧 第 13 版 第 4 編 p.480 を参照した。

・ 電気代(従量料金)の算出

$$\text{電気代} = (E_p + E_f) \times \text{原単位} (22[\text{円}/\text{kWh}])$$

・ 薬剤費の算出

$$\text{薬剤費} = \text{冷却塔の補給水量} \times 50[\text{mg}/\text{L}] \times \text{薬剤単価} (4180[\text{円}/\text{kg}])$$

表3 冷媒サブクールシステムの排熱量

大項目	小項目	記号	単位	36馬力			144馬力			252馬力		
ビル用マルチ	定格冷房能力		kW	101			403			706		
	一般的な事務所の空調面積		m ²	1000			4000			7000		
試験条件	No.			1	2	3	1	2	3	1	2	3
	室外側乾球温度			35.0	30.0	40.0	35.0	30.0	40.0	35.0	30.0	40.0
	室外側湿球温度		WB	24.0	25.0	27.0	24.0	25.0	27.0	24.0	25.0	27.0
	冷却水温			29.0	30.0	32.0	29.0	30.0	32.0	29.0	30.0	32.0
	サブクールユニット熱交換量	q	kW	21.6	22.9	36.3	86.3	91.5	145.2	151.0	160.2	254.0
	ポンプ軸動力	E_p	kW	0.48	0.48	0.84	1.68	1.80	3.24	2.88	3.24	5.76
	冷却塔風量	V	kg/s	0.89	1.03	1.57	2.95	4.13	5.51	5.51	5.51	8.26
乾球温度	冷却塔吸込空気	t_A		35.0	30.0	40.0	35.0	30.0	40.0	35.0	30.0	40.0
	気液接触後の空気	t_B		34.5	32.2	38.8	34.4	32.2	38.6	34.4	32.8	38.4
	冷却水還り水温	t_C		34.0	35.0	37.0	34.0	35.0	37.0	34.0	35.0	37.0
絶対湿度	冷却塔吸込空気	x_A	g/kg'	14.2	17.9	17.2	14.2	17.9	17.2	14.2	17.9	17.2
	気液接触後の空気	x_B		24.1	25.9	26.8	26.1	25.9	28.2	25.4	28.4	30.1
	冷却水還り水温の飽和空気	x_C		34.5	36.6	41.1	34.5	36.6	41.1	34.5	36.6	41.1
比エンタルピ	冷却塔吸込空気	h_A	kJ/kg	71.7	76.0	84.4	71.7	76.0	84.4	71.7	76.0	84.4
	気液接触後の空気	h_B		96.6	98.7	108.0	101.5	98.6	111.3	99.6	105.7	115.8
	冷却水還り水温の飽和空気	h_C		122.5	128.9	142.7	122.5	128.9	142.7	122.5	128.9	142.7
排熱量	サブクールしない場合の排熱量合計		kW	146	139	150	583	555	600	1020	971	1050
	サブクールした場合の排熱量合計			140	135	141	558	539	566	977	944	990
	空気顕熱合計			118	114	103	470	457	414	823	800	724
	空気顕熱(室外機分)			117	111	104	470	445	417	822	780	729
	空気顕熱(冷却塔分)			0.2	2.9	-0.8	0.8	11.6	-3.1	1.4	20.4	-5.6
	水潜熱(冷却塔分)			22.0	20.5	38.1	87.6	82.1	152.2	153.2	143.7	266.5
	空気顕熱排熱量の削減比		%	19.3	17.6	31.1	19.3	17.6	31.1	19.3	17.6	31.1
	冷却塔排熱の潜熱比			99.1	87.6	102.0	99.1	87.6	102.1	99.1	87.6	102.2

表4 冷媒サブクールシステムの消費電力削減量と補機類の運転経費

大項目	小項目	記号	単位	36馬力			144馬力			252馬力		
ビル用マルチ	定格冷房能力		kW	101			403			706		
	一般的な事務所の空調面積		m ²	1000			4000			7000		
試験条件	No.			1	2	3	1	2	3	1	2	3
	室外側乾球温度			35.0	30.0	40.0	35.0	30.0	40.0	35.0	30.0	40.0
	室外側湿球温度		WB	24.0	25.0	27.0	24.0	25.0	27.0	24.0	25.0	27.0
	冷却水温			29.0	30.0	32.0	29.0	30.0	32.0	29.0	30.0	32.0
消費電力	サブクールしない場合の圧縮機動力	E_c	kW	44.1	37.0	48.3	176.3	147.9	193.1	308.6	258.8	337.9
	圧縮機動力	E_c	kW	37.3	32.5	38.8	149.2	130.2	155.0	261.1	227.8	271.3
	室外機ファン動力	E_f	kW	0.90	0.90	0.90	3.60	3.60	3.60	6.30	6.30	6.30
	冷却水ポンプ消費電力	E_p	kW	0.48	0.48	0.84	1.68	1.80	3.24	2.88	3.24	5.76
	冷却塔ファン消費電力	E_t	kW	0.10	0.10	0.20	0.40	0.40	0.75	0.75	0.75	1.10
	消費電力削減量(補機類も考慮)		kW	6.2	3.8	8.5	25.1	15.5	34.1	43.9	27.0	59.8
補給水	蒸発水量		L/min	0.63	0.59	1.10	2.52	2.36	4.38	4.41	4.14	7.67
	補給水量		L/min	0.89	0.86	1.52	3.53	3.44	6.09	6.18	6.01	10.66
補機類の 運転経費	電気代 22[円/kWh]		円/h	12.8	12.8	22.9	45.8	48.4	87.8	79.9	87.8	150.9
	水道代 228[円/m ³]		円/h	12.1	11.8	20.8	48.3	47.0	83.3	84.5	82.3	145.8
	薬剤費 4180[円/kg]		円/h	11.1	10.8	19.1	44.3	43.1	76.3	77.5	75.4	133.6
	合計		円/h	36.0	35.3	62.8	138.4	138.5	247.4	241.9	245.5	430.3

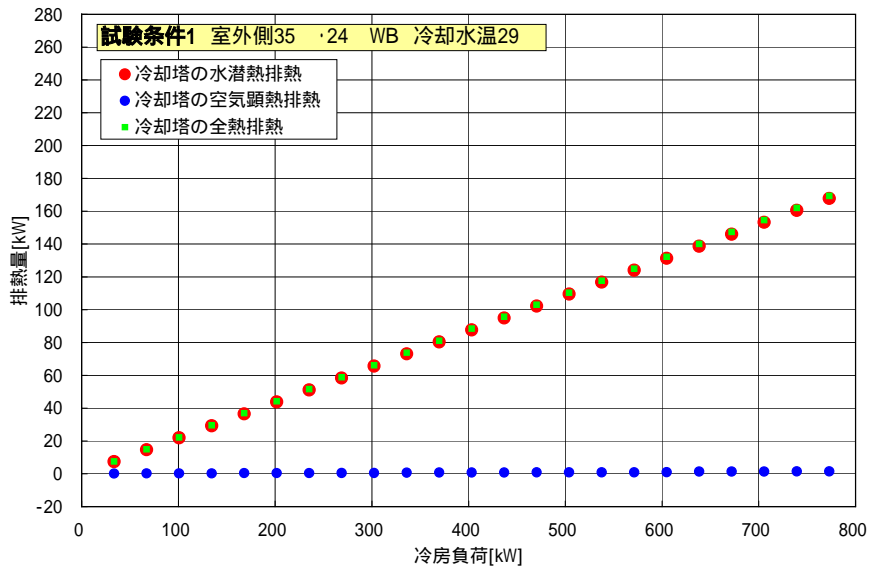


図 3-1 冷房負荷と排熱量の相関 (試験条件 1)

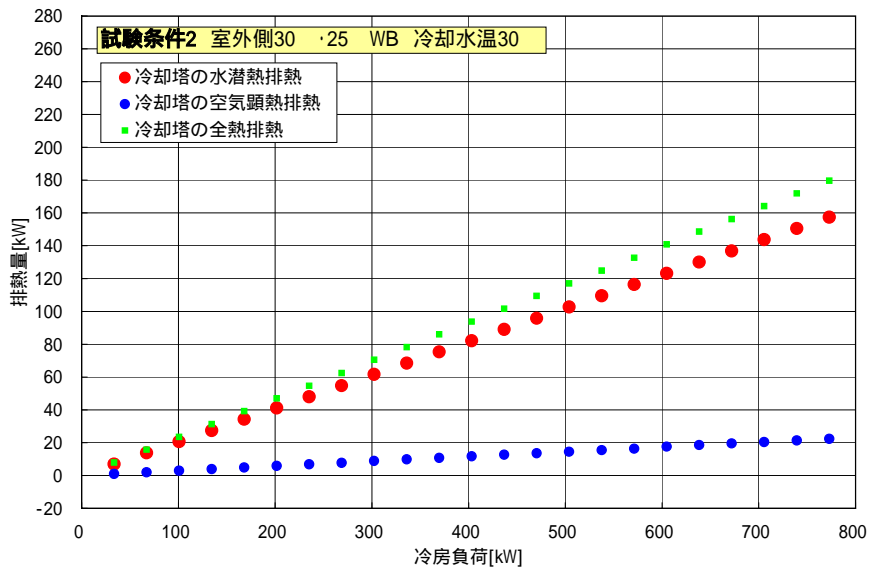


図 3-2 冷房負荷と排熱量の相関 (試験条件 2)

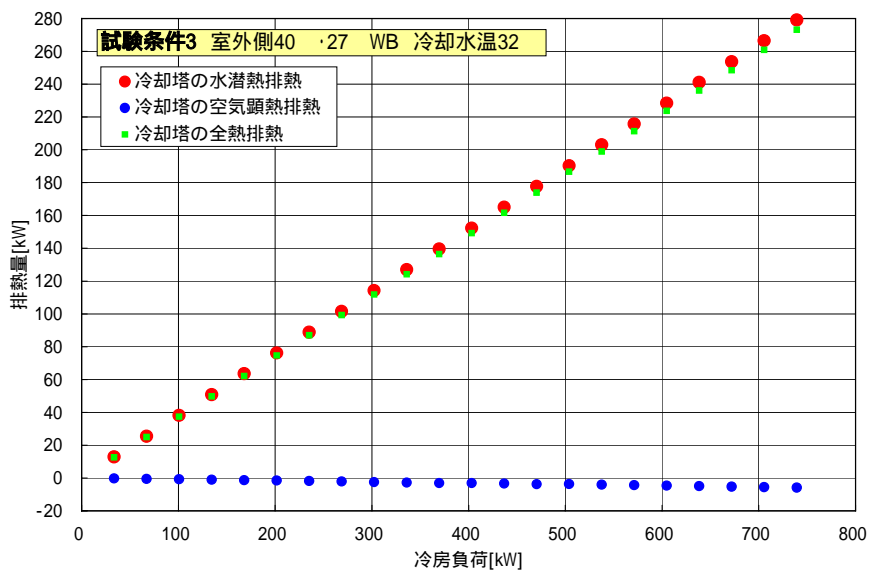


図 3-3 冷房負荷と排熱量の相関 (試験条件 3)

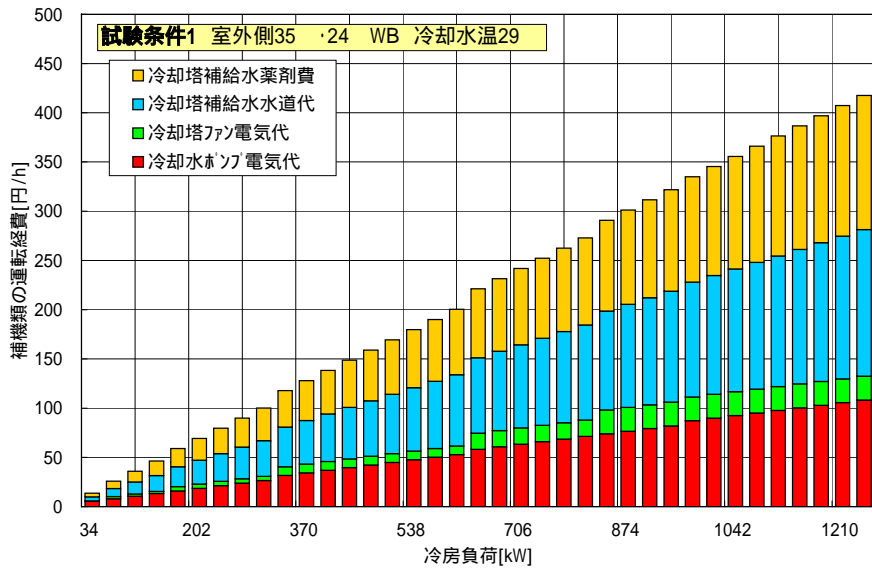


図 4-1 冷房負荷と補機類の運転経費の相関（試験条件 1）

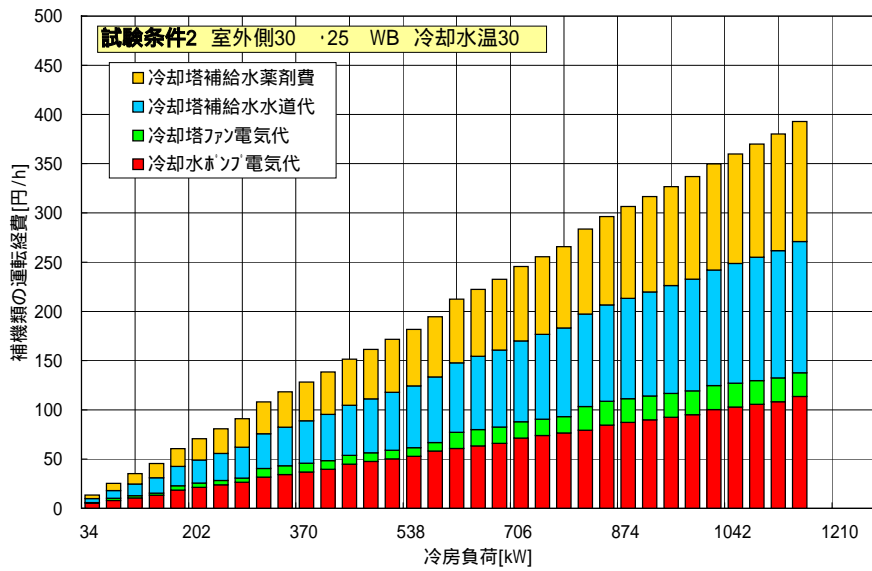


図 4-2 冷房負荷と補機類の運転経費の相関（試験条件 2）

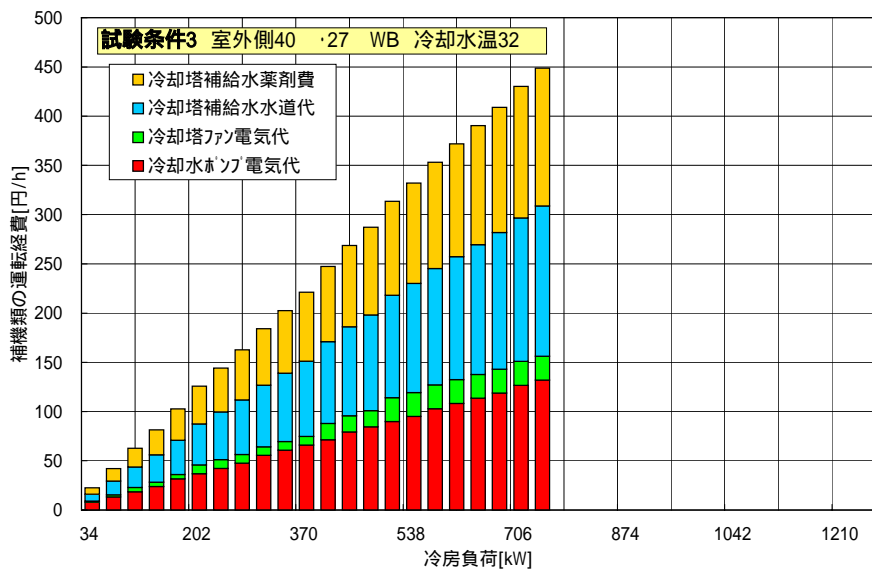


図 4-3 冷房負荷と補機類の運転経費の相関（試験条件 3）