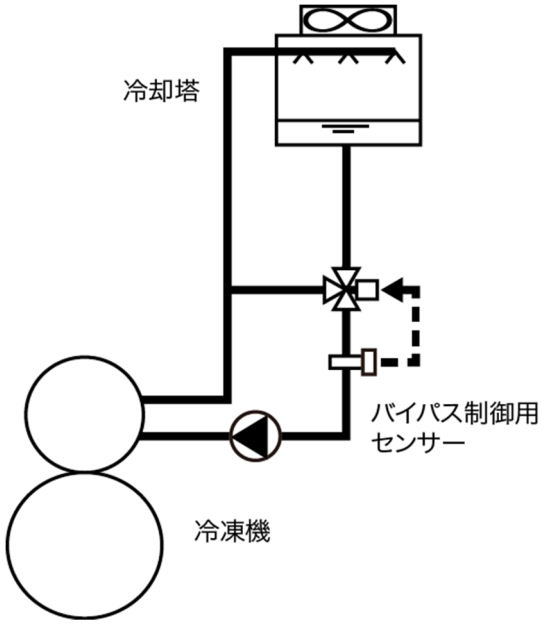
「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

概要シート

対策名	111132　冷却水流量の適正化
対策タイプ	運用改善
対象業種	産業用　業務用
分類	空調システム
内容・目的	水冷チラーの冷却水温度保護制御で、冷却塔の能力に余剰が生じる中間期・冬期において冷却水ポンプのインバーター制御を行い省エネを計る。
対策技術の概要	水冷チラー（ターボ、スクリュー、吸収式、他）の冷却塔においては、冷却水温度が下がり過ぎるのを防止するため混合（又は分岐）三方弁による冷却水バイパス制御が行われている（図 1）。  図 1．冷却塔のバイパス制御 一方、冷却水量は負荷に関わらず年間を通して一定である。本提案は、冷却水量を負荷に合わせて減量し、ポンプ動力を削減して省エネを図るものである。
補足説明	空調負荷は、季節（気象条件）により大きく変動する。そのため、チラー本体の消費エネルギー（電力やガス）は、中間期、冬期には大きく減少するが、ポンプ、ファン等の補機動力は年間を通じて一定である。このため、システムの総合効率が伸び悩む傾向にあるので、これに対する対策である。 冷却塔能力に余力が生じた場合の省エネ対策として、冷却水循環ポンプのインバータ制御を行うものである。 この場合も冷却水下限温度は守らなければならない。すなわち、チラー冷却水入口温度は下げられないので、冷却水流量の減少はチラー出口冷却水温度を高め、冷媒凝縮温度の上昇をもたらし、チラーの性能に悪化させる。 すなわち、本制御（冷却水ポンプインバータ制御）では、ポンプ動力の減少とチラー本体のエネルギー消費量の増加が、省エネ性の観点で、トレードオフの関係にあるので、実施に当たっては詳細な検討が必要である。

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

概要シート

参考資料	[1]『ビル省エネ手帳』（省エネルギーセンター） [2]『吸収式冷凍機』高田秋一・吉川光雄（省エネルギーセンター） [3]『新版　省エネチューニングマニュアル』（省エネルギーセンター） [4]『省エネチューニングガイドブック』（省エネルギーセンター） [5] Refprop Ver.6（NIST : National Institute of Standard and Technology, USA）

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

算定シート

対策名	111132　冷却水流量の適正化
対策タイプ	運用改善
対象業種	産業用　業務用
分類	空調システム
内容・目的	水冷スクリューチラー（100RT）の冷却塔において、冷却水温度が下がり過ぎるのを防止するため混合三方弁による冷却水出口温度制御（設定温度 15℃）が行われている（図 1）。一方、冷却水量は負荷に関わらず年間を通して一定である。冷却水量をコンデンサー冷却水出入口温度差が常に一定（5℃）になるようインバータ制御することで省エネを図る。

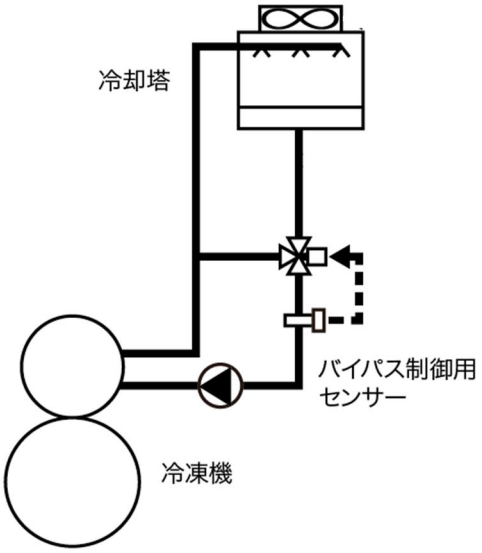


図 1．冷却塔のバイパス制御

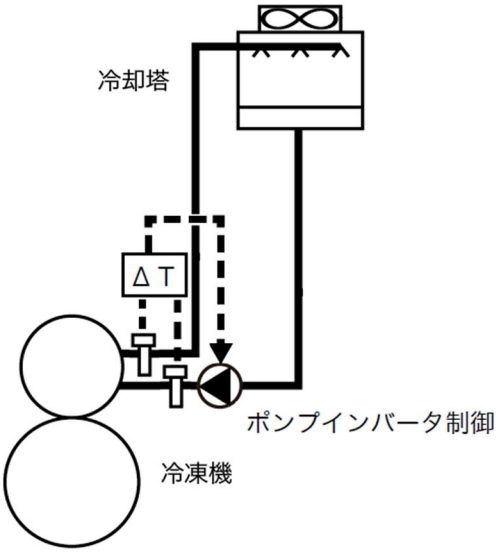


図 2．冷却水流量制御

冷却水流量を削減すると冷却水ポンプ動力は削減できる。一方、チラーの消費電力は増加するので、これらはトレードオフの関係にあるといわれている。

この様子を図示すると、以下のようになる。

例えば、100%負荷時の温度関係を図 3 の左側図のように仮定すると、冷却塔負荷が 40%で、冷却水入口温度を 32℃（一定）とすると、本改善提案の流量制御を行うと、冷媒凝縮温度が 39℃と予想されるが、非制御の場合はこれが 36℃まで低下する。これにより、チラーの COP が向上し、スクリュー圧縮機に消費される電力が減少する。

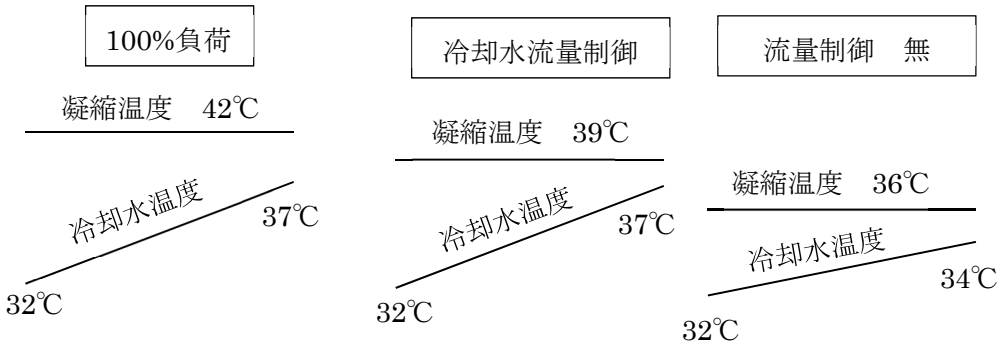


図 3．低負荷（負荷率 40%）時の冷却水流量制御と凝縮温度の関係

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

算定シート

計算条件	・設置場所：　東京 ・運転時間：ｔ＝220 時間/月（10 時間/日×22 日/月） ・冷凍機定格消費電力：Pco＝78.1kW（冷却水入口温度 32℃、冷水出口温度 7℃） ・冷却水ポンプ容量：Ppo＝7.5kW ・冷房期間：４月～11 月 ・冷却塔出口（チラー入口）冷却水設定温度：Tw2o＝15℃ ・冷房負荷率は、別図１による。 ・チラー冷却負荷率 CL は、冷房負荷率と等しいとする。 ・冷却塔負荷率 CTL は、チター冷却負荷率 CL に等しいとする。 ・冷却塔のアプローチ（冷却水出口温度－外気湿球温度）は、冷却塔負荷 CTL に比例するものとする。 ・冷却水ポンプ流量は、冷却塔（チラー）出入口冷却水温度差ΔＴ＝5℃（一定）になるようインバータ制御する。 ・ポンプの最小回転数は、定格の 30%とする。 ・インバータ効率：　ηin＝95%（一定）とする。
補足説明	

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

算定シート

計算方法

・チラー冷却（冷却塔）負荷率：　別図 1 より

CL（CTL）＝4.17e-5×DB^3－1.398e-3×DB^2＋2.2828e-2×DB－0.0634

ただし、DB：外気乾球温度（別表 1 より）

・アプローチ余力：　Ap＝Tw2o－WB

ただし、Tw2o：冷却塔出口冷却水設定温度

WB：外気湿球温度（別表 2 より）

・必要アプローチ：　Ar＝設計アプローチ（5℃）×CTL

・冷却塔出口（チラー入口）冷却水温度：

Tw2＝WB＋Ar　（Ap＜Ar　の時）

＝Tw2o　（Ap≧Ar　の時）

・冷却塔入口（チラー出口）冷却水温度：

Tw1＝Tw2＋ΔT

ΔT＝ΔTo×負荷率（CTL）　（従来システム）

ΔT＝ΔTo　（提案システム）

ΔTo：設計冷却水出入口温度差（＝5℃）

・提案システムの冷却水チラー入口温度補正：

前記（図 3）した通り、冷却塔出口、すなわちチラー入口の冷却水温度 Tw2 が同一でも冷却水出入口温度差ΔT が大きいと、その分、凝縮温度を押し上げチラーの性能を低下させる。

ここでは、簡単のため温度差ΔT（＝ΔT2－ΔT1）の増加分、冷却水チラー入口温度が上昇すると考える。

Tw22＝Tw21＋（ΔT2－ΔT1）

添え字　1：従来システム（流量制御　無）

2：提案システム（流量制御　有）

・COP 補正係数：　図 4. グラフより読み取り。

ここで、チラー冷却水入口温度は、従来、および提案システムで、それぞれ Tw21 および Tw22 となる。また、冷水出口温度は 7℃とする。

・圧縮機消費電力:　Pc＝Pco×CL（CTL）÷COP 補正係数

・冷却水ポンプ消費電力：　Pp1＝Ppo＝7.5kW

Pp2＝Ppo×np^2÷ηin（=0.95）

ここで、np：インバータ出力比（＝CL）

また、インバータ効果は、冷却塔の固定ヘッド（冷却塔高さおよびノズルヘッド）を考慮し、回転数の 2 乗に比例するとした。

表 1. 計算結果の集計

	DB	WB	CL	Ap	Ar	Tw21	ΔT1	COP1	Pc1
4 月	16.6	11.2	21%	3.8	1.1	15.0	1.1	1.60	10.3
5 月	20.8	15.1	29%	−0.1	1.5	16.6	1.5	1.54	14.9
6 月	24.4	19.3	40%	−4.3	2.0	21.3	2.0	1.36	22.9
7 月	27.9	23.0	54%	−8.0	2.7	25.7	2.7	1.21	35.3
8 月	29.5	23.9	63%	−8.9	3.1	27.0	3.1	1.16	42.2
9 月	26.1	21.1	47%	−6.1	2.3	23.4	2.3	1.29	28.3
10 月	20.3	15.2	28%	−0.2	1.4	16.6	1.4	1.54	14.5
11 月	15.5	10.2	19%	4.8	1.0	15.0	1.0	1.60	9.5
								合計	177.8

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

算定シート

	Tw12	ΔT2	Tw22	COP2	Pc2	np	Pp2
4 月	20.0	5.0	18.9	1.45	11.4	30%	0.71
5 月	21.6	5.0	20.1	1.41	16.3	30%	0.71
6 月	26.3	5.0	24.3	1.26	24.9	40%	1.26
7 月	30.7	5.0	28.0	1.13	37.7	54%	2.34
8 月	32.0	5.0	28.9	1.10	44.5	63%	3.10
9 月	28.4	5.0	26.1	1.19	30.5	47%	1.71
10 月	21.6	5.0	20.2	1.40	15.8	30%	0.71
11 月	20.0	5.0	19.0	1.45	10.5	30%	0.71
				合計	191.6	合計	11.3

・期間消費電力量：　PPc1(2)＝（ΣPc1(2)＋ΣPp1(2)）× t
PPc1＝（177.8＋60）×220＝　52,317kWh
PPc2＝（191.6＋11.3）×220＝44,635kWh

効果	各月の	単位	効果	備考
	①　電力削減量	kWh/年	7,682	PPc1－PPc2
	②　原油換算削減量	kL/年	1.98	①÷1,000×9.97GJ/千 kWh×0.0258kL/GJ
	③　CO_2 削減量	t-CO_2/年	3.64	①÷1,000×0.474
	④　削減金額	千円/年	163	①×21.2 円/kWh
	①　投資回収年数	年		
	②　投資金額	千円		

測定/取得データ	・冷却塔、冷却水出口温度制御の設定値 ・運転時間
留意事項	冷却水温度の下限値は、メーカーに確認すること。
出典・参考資料	[1]『新版　省エネチューニングマニュアル』（省エネルギーセンター）

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

算定シート

参考図表等

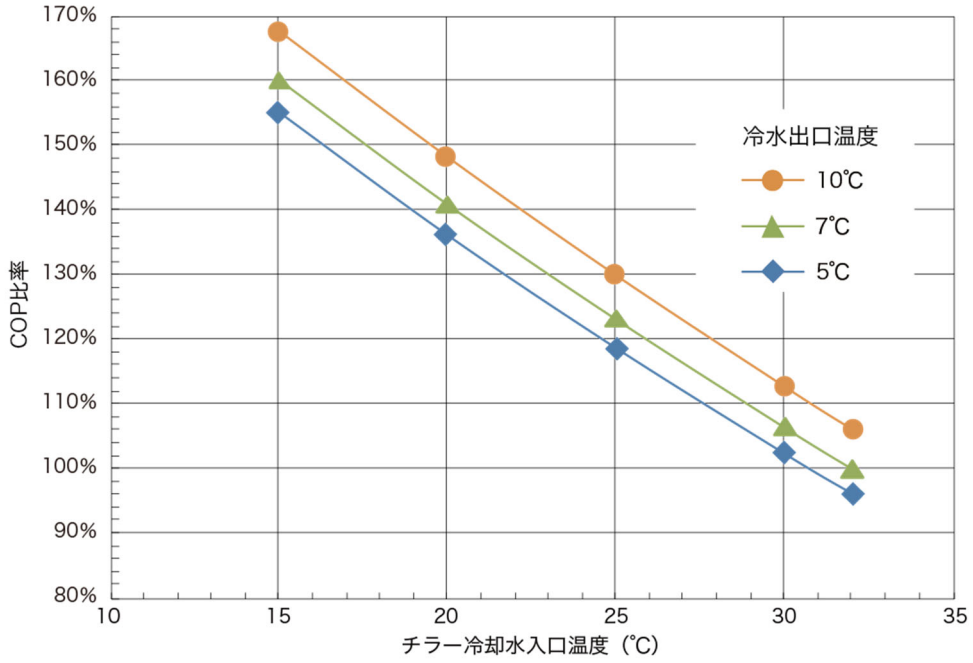
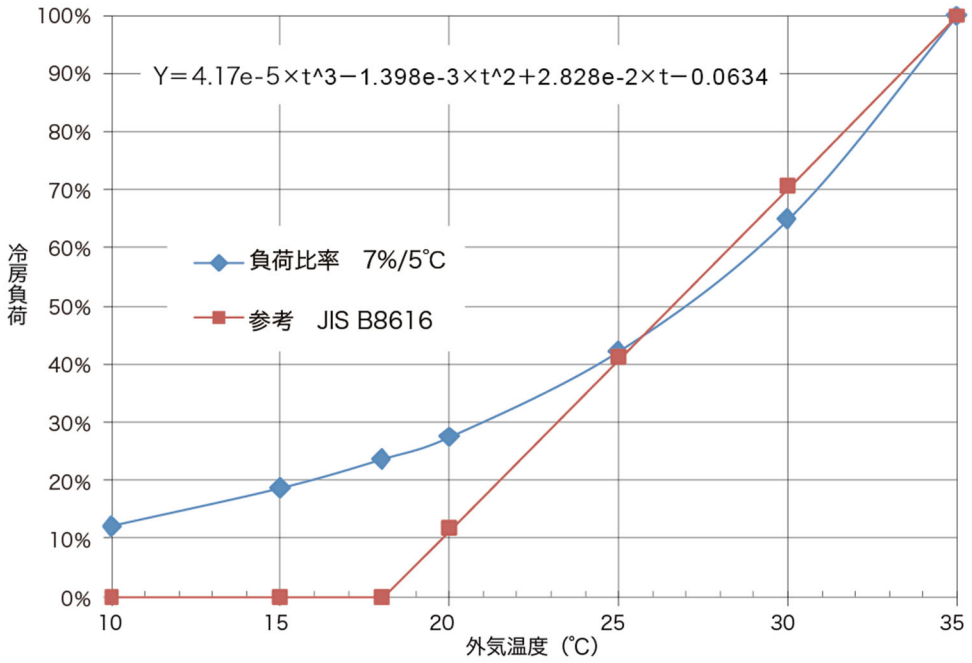


図４．冷却水温度と COP



別図１．外気温度と冷房負荷率の関係

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

算定シート

別表 1. 各地の季節別日中外気乾球温度（DB）

	東京	大阪	名古屋	仙台	福岡	広島	高松	富山	前橋	盛岡	札幌	鹿児島
1 月	7.7	7.7	7.0	3.5	8.3	7.3	7.7	4.4	6.4	0.0	−2.2	10.8
2 月	8.8	8.6	8.0	4.1	9.3	8.3	8.6	5.3	7.5	0.9	−1.3	12.1
3 月	11.8	11.7	11.5	7.4	12.3	11.3	11.6	9.1	11.0	4.7	2.8	14.7
4 月	16.6	17.5	17.6	12.7	17.8	17.3	17.5	15.3	16.6	11.1	8.8	19.5
5 月	20.8	22.3	21.9	16.9	21.9	21.8	22.1	19.8	21.1	16.9	14.8	23.2
6 月	24.4	26.2	25.7	21.3	25.4	25.6	25.8	23.9	25.0	22.3	20.2	25.9
7 月	27.9	29.6	29.2	23.6	29.5	29.0	29.7	27.2	27.8	23.9	22.8	30.5
8 月	29.5	31.3	30.8	26.3	30.4	30.4	30.7	29.7	29.4	26.3	25.2	30.8
9 月	26.1	27.8	27.2	23.1	27.0	27.2	27.2	25.6	25.5	22.1	21.2	28.6
10 月	20.3	21.8	21.3	17.7	22.4	21.9	21.7	19.8	19.7	15.7	14.7	24.6
11 月	15.5	16.1	15.2	12.1	16.4	15.4	16.0	13.7	14.3	8.8	7.1	18.5
12 月	10.5	10.3	9.2	6.2	10.5	9.4	10.1	7.6	9.0	2.5	0.4	13.0

別表 2. 各地の季節別日中外気湿球温度（WB）

	東京	大阪	名古屋	仙台	福岡	広島	高松	富山	前橋	盛岡	札幌	鹿児島
1 月	2.8	4.1	3.0	0.7	4.7	4.0	4.2	2.6	1.8	—	—	7.0
2 月	3.4	4.6	3.6	1.0	5.1	4.4	4.5	3.3	2.6	—	—	7.5
3 月	6.2	6.8	6.0	3.8	7.9	6.8	6.8	6.0	5.2	1.6	0.2	9.7
4 月	11.2	11.6	11.1	8.6	12.4	11.4	11.6	10.8	10.2	6.6	4.8	13.7
5 月	15.1	15.7	15.2	12.8	15.9	15.5	15.7	15.5	14.8	12.0	10.5	17.3
6 月	19.3	20.4	19.9	17.8	20.9	20.3	20.5	20.0	19.2	17.0	15.5	21.8
7 月	23.0	23.6	23.3	21.0	24.1	23.8	23.9	23.8	22.4	19.9	18.2	25.0
8 月	23.9	24.1	23.6	22.8	24.5	24.0	24.4	24.9	23.3	21.5	20.0	25.3
9 月	21.1	21.7	21.4	19.7	21.8	21.1	21.8	21.8	20.3	17.8	16.0	23.4
10 月	15.2	16.1	15.7	13.7	16.6	16.0	16.4	16.2	14.7	12.0	10.3	18.6
11 月	10.2	11.0	10.1	8.2	11.2	10.5	11.2	10.7	9.1	5.9	3.8	13.3
12 月	5.7	6.4	5.4	3.5	6.4	5.8	6.3	5.6	4.3	0.5	—	8.8