「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）

【対策効果算定シート】

対策の種類	対策名称	シート番号	対策メニュー名
設備導入	高効率ターボ冷凍機の導入	C11131	高効率ターボ冷凍機の導入
工程名	空調	対象設備	ターボ冷凍機
システム／設備区分名	空調システム		
対策内容	低負荷での部分負荷運転の多いターボ冷凍機を、ベーン制御機からインバータ制御機に更新し、CO_2 削減を図る。（補足説明①）		

1．計画時の効果算定

効果算定のポイント		① 対策実施前の空調電力使用量は、本シートが提供する図表を利用して算出する。設置場所は東京とする。 ② 本シートは、ベーン制御のターボ冷凍機をインバータ制御の高効率ターボ冷凍機に更新する対策の効果算定手順例を示す。
対策実施前	活動種別	系統電力
	年間活動量	対策実施前のターボ冷凍機（以後、チラーという）の電力使用量 E1 は、補足説明②で計算した月ごとの消費電力 Pc1 から算出する。毎月の運転時間は 220[h/月]なので、表 3 の月ごとの消費電力の合計値 878.0[kW]を乗じて下記になる。 E1＝Pc1×t ＝878.0[kW]×220[h]＝193,160[kWh]＝193[千 kWh]

表 1　対策実施前の空調電力使用量の算定に使用する数値とその根拠

記号	項目	数値	根拠
Ro	チラー定格冷却能力	1,410[kW] (冷却水入口温度 32[℃]、冷水出口温度 7[℃])	仕様書
Po	チラー定格消費電力	231[kW]	仕様書
Pc1	対策実施前の月ごとの消費電力の合計値	878.0[kW]	補足説明②
t	運転時間	220[h/月] (4 月～11 月)	10[h/日]×22[日/月]
Two1	対策実施前の冷却水設定温度	20[℃]	設定値
Ao	冷却塔設計アプローチ	5[℃]	仕様書
Tc	冷水出口温度	7[℃]	設定値
H	電力の一次エネルギー換算係数	8.64[GJ/千 kWh]	省エネ法施行規則（経産省 2024．4．1 施行）
α	電力の CO_2 排出係数	0.000 436[t-CO_2/kWh]	SHIFT 事業モニタリング報告ガイドライン Ver.4.1

「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）

<table>
<tr><td rowspan="2">対策実施前</td><td>エネルギー使用量</td><td>対策実施前のエネルギー使用量 PE1 は、対策実施前の電力使用量 E1 に電力の一次エネルギー換算係数 H を乗じて下記になる。
PE1＝E1×H
＝193[千 kWh/年]× 8.64[GJ/千 kWh]＝ 1668[GJ/年]＝ 1.67[千 GJ/年]</td></tr>
<tr><td>CO_2 排出量</td><td>対策実施前の CO_2 排出量 C1 は、対策実施前の空調電力使用量 E1 に電力の CO_2 排出係数αを乗じて下記になる。
C1＝E1×α
＝193[千 kWh/年]×0.000 436[t-CO_2/kWh]＝0.0 841[千 t-CO_2/年]
＝ 84.1[t-CO_2/年]</td></tr>
<tr><td rowspan="3">実施計画</td><td>活動種別</td><td>系統電力</td></tr>
<tr><td>年間活動量</td><td>実施計画の空調電力使用量 E2 は、補足説明②で計算した月ごとの消費電力 Pc2 から算出する。毎月の運転時間は 220[h/月]なので、表 3 の月ごとの消費電力の合計値 515.3[kW]を乗じて、下記になる。
E2＝Pc2×t
＝515.3[kW]×220[h]＝113,366[kWh]＝113[千 kWh]

表 2　実施計画の空調電力使用量の算定に使用する数値とその根拠
<table>
<tr><th>記号</th><th>項目</th><th>数値</th><th>根拠</th></tr>
<tr><td>Pc2</td><td>実施計画の月ごとの消費電力の合計値</td><td>515.3[kW]</td><td>補足説明②</td></tr>
<tr><td>Two2</td><td>実施計画の冷却水設定温度</td><td>13[℃]</td><td>計画値</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>エネルギー使用量</td><td>実施計画のエネルギー使用量 PE2 は、実施計画の電力使用量 E2 に電力の一次エネルギー換算係数 H を乗じて下記になる。
PE2＝E2×H
＝113[千 kWh/年]× 8.64[GJ/千 kWh]＝ 976 [GJ/年]＝ 0.976 [千 GJ/年]</td></tr>
<tr><td>CO_2 排出量</td><td>実施計画の CO_2 排出量 C2 は、実施計画の空調電力使用量 E2 に電力の CO_2 排出係数αを乗じて下記になる。
C2＝E2×α
＝113[千 kWh/年]×0.000 436[t-CO_2/kWh]＝0.0 493[千 t-CO_2/年]
＝ 49.3[t-CO_2/年]</td></tr>
<tr><td colspan="2">実施計画のエネルギー削減量</td><td>対策実施前と実施計画のエネルギー使用量の差異より下記になる。
PE1－PE2＝ 1.67[GJ/年]－ 0.976 [GJ/年]＝ 0.694 [GJ/年]</td></tr>
<tr><td colspan="2">実施計画の CO_2 削減量</td><td>対策実施前と実施計画の CO_2 排出量の差異より下記になる。
C1－C2＝ 84.1[t-CO_2/年]－ 49.3[t-CO_2/年]＝ 34.8[t-CO_2/年]</td></tr>
<tr><td colspan="2">補足説明</td><td>①　本対策の背景
ターボ冷凍機は大規模空調システムの冷熱源機として広く使われている。通常は冷房専用だが、冷房定格条件で COP が 5～6.5 程度を発揮する高効率のため、地域冷房、計算センター等、冷房負荷の大きな用途に多用されている。しかし、ベーン制御[*1] のターボ冷凍機には、中間期、冬期の低負荷時における部分負荷</td></tr>
</table>

「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）

補足説明	性能に課題があった。近年、ターボ冷凍機の駆動にインバータモーターが使用されはじめると、遠心圧縮機の回転数制御が可能となり、課題であった容量制御性能が格段に向上した。同時に、制御範囲の拡大により冷却水入口温度の下限が、従来の 20[℃]から 13[℃]程度に引き下げられたことも CO_2 削減に寄与している。 本シートでは、大規模事務所ビルを想定し、高効率ターボ冷凍機の導入による CO_2 削減効果について試算する。 *1：吸い込み口側のベーンの回転角度で冷凍能力制御をおこなう方法。 ② チラーの電力使用量 チラー消費電力は下記になる。 $Pc = Ro \times CL \div \sigma$ (1) ここで、Ro ：チラー定格冷却能力 [kW] CL ：チラー負荷率 [%] σ ：COP 図 1 に外気温度と冷房負荷率の関係（想定）を示す。チラー負荷率(CL)は冷房負荷率に等しいとする。図 1 を用いて空調使用月の外気乾球温度(DB)の平均値から、月ごとの負荷率を決定する。 COP(σ)の値はチラー負荷率(CL)と冷却水入口温度(Tw)に応じて図 2 の左側のグラフから読み取る。冷却水入口温度(Tw)は、アプローチ余力(Ap)が必要アプローチ(Ar)よりも大きい場合は冷却水設定温度(Two)に等しいが、小さい場合は必要アプローチ(Ar)に外気湿球温度(WB)を加算した値になる。すなわち、 $Ap = Two - WB$ (2) $Ar = Ao \times CTL$ (3) ここで、Ap ：アプローチ余力 [℃] Ar ：必要アプローチ [℃] Two ：冷却水設定温度 [℃] WB ：外気湿球温度 [℃] Ao ：冷却塔設計アプローチ [℃] CTL ：冷却塔負荷率 [%]（チラー負荷率(CL)に等しいとする。） $Ap \geqq Ar$ の時：$Tw = Two$ $Ap < Ar$ の時：$Tw = Ar + WB$ (4) 各地の月別日中外気乾球温度(DB)と外気湿球温度(WB)の例を表 4、表 5 に示す。本算定では設置場所を東京とする。 以上により、表 1、表 2 に示す数値を用いて対策実施前と実施計画のチラー消費電力を月ごとに算出した結果を表 3 に示す。電力使用量は月ごとの空調使用時間を乗じて求める。

「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）

補足説明

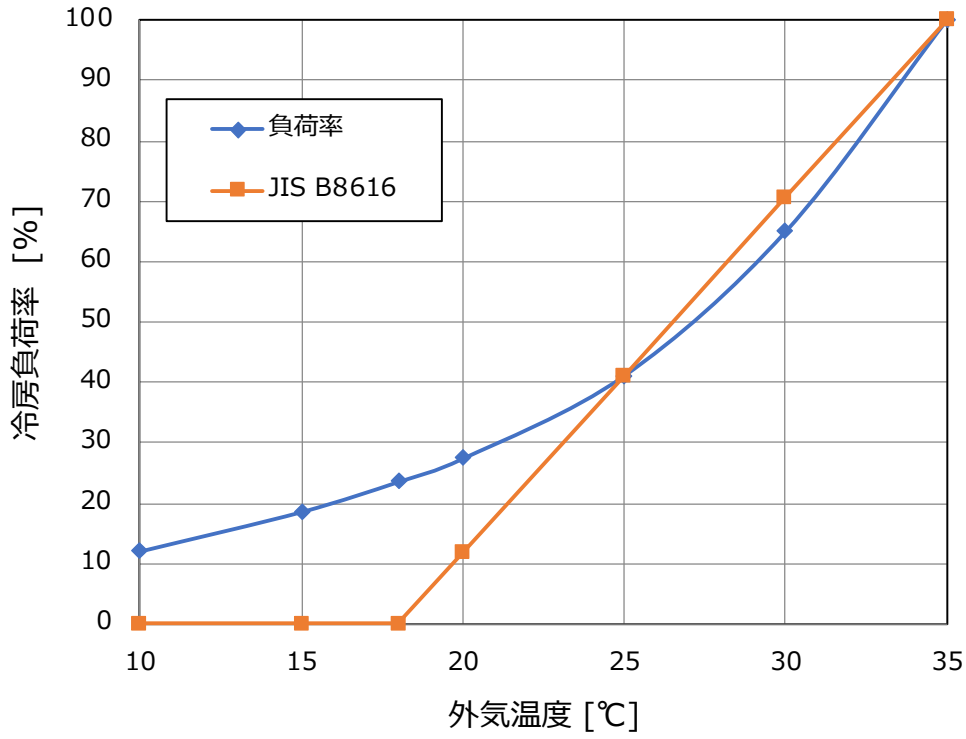


図 1　外気温度と冷房負荷率の関係例

$(CL = 4.17\times10^{-5}DB^3 - 1.398\times10^{-3}DB^2 + 2.828\times10^{-2}DB - 0.0634)$

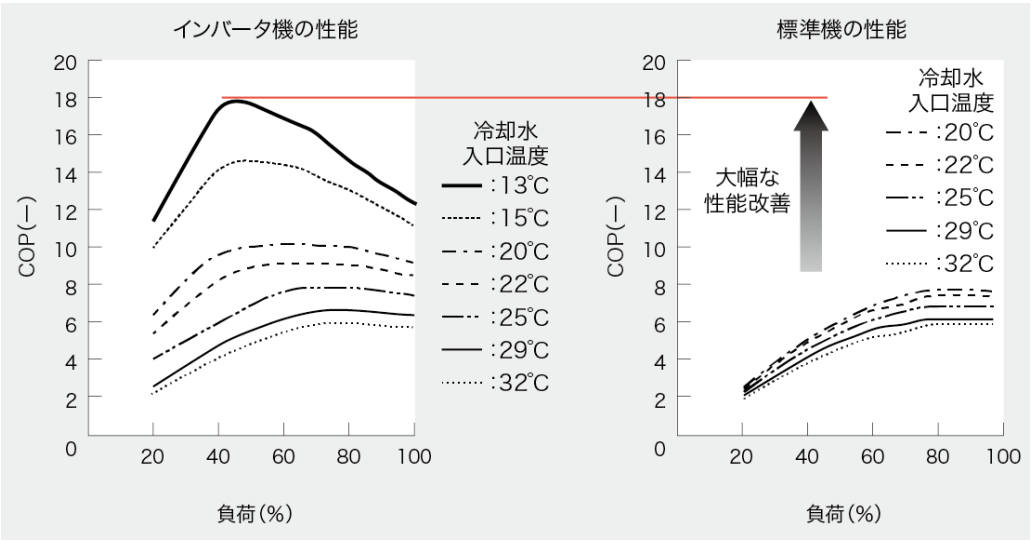


図 2　ターボ冷凍機の COP の例

出典：『世界最高効率インバータターボ冷凍機 NART-I シリーズ』

（三菱重工技法 VOL.41 No.2　2004-3）

「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）

補足説明

表 3　チラー消費電力の算定結果

					対策実施前				実施計画			
項目	DB [℃]	WB [℃]	CL [%]	Ar [℃]	Ap [℃]	Tw1 [℃]	σ1	Pc1 [kW]	Ap [℃]	Tw2 [℃]	σ2	Pc2 [kW]
引用先	表 4	表 5	図 1	式(3)	式(2)	式(4)	図 2	式(1)	式(2)	式(4)	図 2	式(1)
4 月	16.6	11.2	21	1.1	8.8	20.0	3.0	98.7	1.8	13.0	12.0	24.7
5 月	20.8	15.1	30	1.5	4.9	20.0	4.0	105.8	-2.1	16.6	11.5	36.8
6 月	24.4	19.3	40	2.0	0.7	21.3	5.5	102.5	-6.3	21.3	8.5	66.4
7 月	27.9	23.0	54	2.7	-3.0	25.7	6.0	126.9	-10.0	25.7	7.0	108.8
8 月	29.5	23.9	62	3.1	-3.9	27.0	6.0	145.7	-10.9	27.0	6.5	134.5
9 月	26.1	21.1	47	2.4	-1.1	23.5	6.0	110.5	-8.1	23.5	8.0	82.8
10 月	20.3	15.2	28	1.4	4.8	20.0	4.0	98.7	-2.2	16.6	11.0	35.9
11 月	15.5	10.2	19	1.0	9.8	20.0	3.0	89.3	2.8	13.0	10.5	25.5
							合計	878.0			合計	515.3

表 4　各地の月別日中外気乾球温度 [℃]

	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

表 5　各地の月別日中外気湿球温度 [℃]

	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

「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）

補足説明	出典・参考資料 [１]『クーリングタワー』　高田秋一・川原考七（省エネルギーセンター） [２]『 世界最高効率インバータターボ冷凍機 NART-I シリーズ』 （三菱重工技法 VOL.41 No.2　2004-3） [３]『ビル省エネ手帳』（省エネルギーセンター） [４]『吸収式冷凍機』高田秋一・吉川光雄（省エネルギーセンター） [５]『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） [６]『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） [７]『RefpropVer.6』（NIST：National Institute of Standard and Technology, USA）
留意事項	① 本試算は、インバータ効果を強調するため、ターボ冷凍機本体の効率向上効果は無視している。すなわち、定格条件における COP はいずれも 6.1(＝Ro÷Po)とした。したがって、老朽化したターボ冷凍機を高効率インバータターボ冷凍機に更新する場合の効果は本試算より格段に大きくなる。また、中間期の４～５月、10～11 月は、冷却水の温度を現状の 20℃以下に設定しているため、冷却塔の増電力を考慮する必要がある。 ② 推定による数値を用いる場合には、必ず根拠を明確にすること。 ③ 数値は参考値なので、より信頼性が高いデータがあればそれを用いること。 ④ CO_2 排出係数など係数の値は、最新のものを確認して使用すること。
備考	

２．対策実施後の効果算定

対策実施前	活動種別	系統電力
	エネルギー使用量	計画時の効果算定で得た対策実施前のエネルギー使用量 PE1。 PE1＝ 1.67[千 GJ/年]
	CO_2 排出量	計画時の効果算定で得た対策実施前の CO_2 排出量 C1。 C1＝ 84.1[t-CO_2/年]
対策実後	活動種別	系統電力
	年間活動量	① ターボ冷凍機の年間電力使用量を実測する。 ② 対策実施前に算定した実施計画の年間電力使用量 E2 と比較し、大きな差異がないことを確認する。 年間電力使用量：110.3[千 kWh/年]
	エネルギー使用量	対策実施後の年間電力使用量に電力の一次エネルギー換算係数 H を乗じて対策実施後のエネルギー使用量の実績値 PE3 を求める。 PE3＝110.3[千 kWh/年]× 8.64[GJ/千 kWh]＝ 953[GJ/年]＝ 0.953 [千 GJ/年]

「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）

対策実施後	CO_2 排出量	対策実施後の年間電力使用量に電力の CO_2 排出係数αを乗じて対策実施後の CO_2 排出量の実績値 C3 を求める。 C3＝110.3[千 kWh/年]×0.000 436[t-CO_2/kWh]＝0.0 481[千 t-CO_2/年] ＝ 48.1[t-CO_2/年]
対策実施後のエネルギー削減量		対策実施前と対策実施後のエネルギー使用量の差異より下記になる。 PE1－PE3＝ 1.67[千 GJ/年]－ 0.953[千 GJ/年]＝ 0.717[千 GJ/年]
対策実施後の CO_2 削減量		対策実施前と対策実施後の CO_2 排出量の差異より下記になる。 C1－C3＝ 84.1[t-CO_2/年]－ 48.1[t-CO_2/年]＝ 36.0[t-CO_2/年]
留意事項		
備考		

3．対策効果の検証・有効性評価

効果検証と有効性評価の手順	① 対策実施前（診断・計画時）に算定した CO_2 削減量と対策実施後（報告時）に算定した CO_2 削減量を比較する。 ② 対策によって、他のシステムの CO_2 排出量に与える影響があれば調査する。 ③ ①、②を総合的に判断して、対策の有効性を評価する。