

● (一社) 日本冷凍空調設備工業連合会優秀賞 ● 改修設備部門

工場ユーティリティ冷却設備の省エネルギー化

設備施工者：(株)精研

設備所有者：大塚製薬(株)

設備の概要

名 称 大塚製薬株式会社 佐賀工場 OPS-1工場

所在地 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町大曲字東山5006-5

概 要 建家：地上2階 延床面積：20,330.97m²

構造：S造 用 途：栄養製品製造

1. 技術開発の目的と経過

目的：工場ユーティリティ冷却設備の省エネルギー化

経過：令和6年（設計）

令和6年（引き渡し等）

2. 設備・システムの概要

当該冷却設備はクリーンルーム空調システムと複数の使用温度帯が存在するユーティリティ冷却システム共用の熱源設備であり24時間常時運転している。今回、熱源システムと配管回路の見直しによりエネルギー使用の合理化を図ることができたので紹介する。

図1に更新前の冷却設備配管システム図を示す。熱源は約13年前に導入された空冷式チリングユニット160HP×4台、配管回路は開放回路1ポンプシステムと負荷側三方弁制御（空調機要求水温7℃、製造機械要求水温7℃および10℃）であった。常に三方弁のバイパス流があることに加えて、製造過程におけるユーティリティ冷却が一定以上の冷水供給圧力を必要とするため、ユーティリティ冷却が行われる日中の通常運転モードでは4台の冷水ポンプが定格運転を行い、ユーティリティ冷却を伴わない夜間モード時には冷水ポンプ1台を定格運転していた。また、当該ユーティリティ冷却は製造機械の運用に伴って冷水に僅かに金属が析出する機械的性質があり、頻繁に水抜き作業を行うものの配管経路全体に析出金属が回る問題があった。既存設備の課題は、ユーティリティ冷却の冷水供給圧力一定以上を確保しながら負荷をバイパスする余剰流量を抑制して搬送動力を軽減することと、金属析出による冷水汚染の限定区分化であり、合理的な対策が求められた。

図2に更新後の冷却設備配管システム図を示す。配管回路は開放式冷水タンクを廃止して密閉回路とし、ポンプの実揚程分の搬送動力を軽減している。ユーティリティ冷却システムの負荷に対しては熱交換器を設けて1次側と2次側に区分したことで析出金属が配管経路全体に及ぶことを防止すると共に、熱交換器1次側ではユーティリティ冷却システムへの供給圧力確保にとらわれることなく負荷に応じてチラー内蔵ポンプの変圧変流量制御を行うことで搬送動力の大幅な削減が可能となる。熱交換器2次側では負荷発生時のみ2次ポンプを稼働させることで常時バイパス流による無駄運転が解消されたほか、負荷側が要求する供給圧力及び流量となるようインバータにて流量調整（固定流量）することで搬送動力の削減に繋がる。更新熱源の容量選定に当

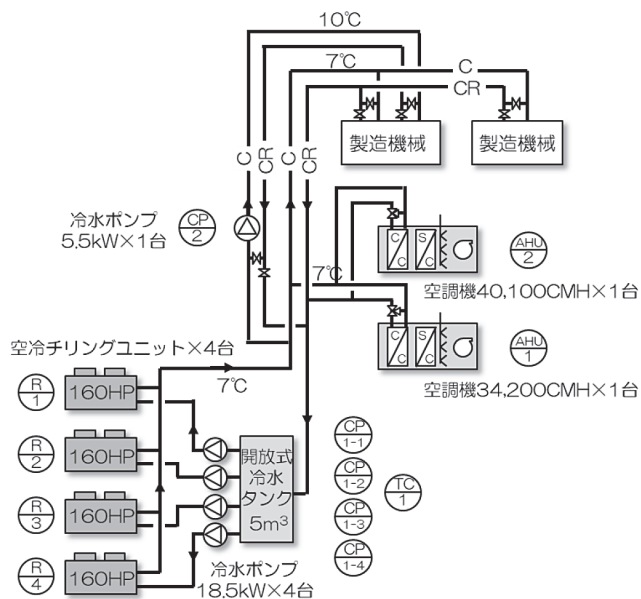


図1 冷却設備配管系統図（更新前）

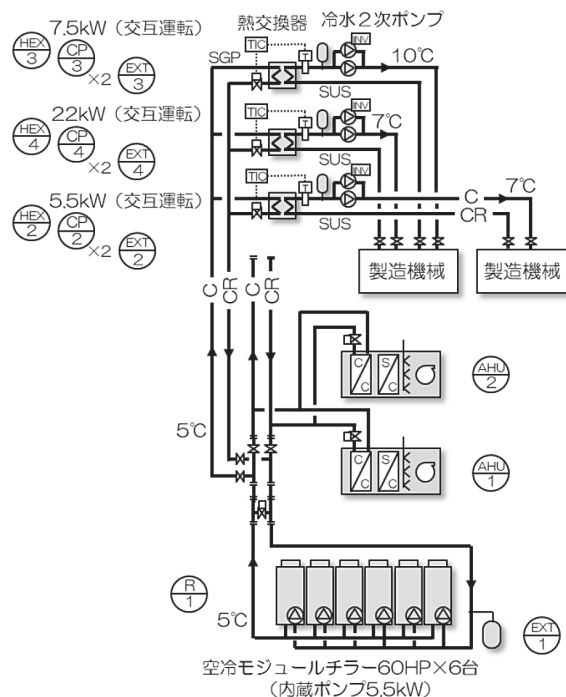


図2 冷却設備配管系統図（更新後）

たっては年間の負荷を計測して確認し、負荷変動に柔軟に対応できるモジュールチラー60HP×6台を採用したことで更新前には合計640馬力相当あった熱源容量を360馬力相当まで縮小化している。部分負荷特性に優れるモジュールチラーの採用によりエネルギー効率の改善にも繋がった。なお、ユーティリティ冷却系統に熱交換器を介したことでチラーの冷水送水温度は更新前の7℃送水から5℃送水に変更している。

3. 着想

既設設備では、製造機械の運用に伴い僅かに析出する金属が設備の寿命を縮める可能性があった。ユーティリティ冷却系統に熱交換器を介して冷熱供給するようシステムの見直しを行ったことで、金属が析出する箇所を限定区分化できると共に熱交換器2次側のそれぞれの負荷系統は独立して送水運転することができ、ユーティリティ冷却への供給圧力確保の課題と1次側変圧変流量制御導入による搬送動力低減の課題解決に繋がった。

4. 効果（省エネルギー）

冷却設備の更新前後電力消費量（実績値）を図3に示す。更新前の年間合計電力量1,208,860kWh/年、更新後622,560kWh/年であり、年間586,300kWh（48.5%削減）の節電を実現している。

電力量は冷却システム全体での計量値であり、熱源と補機に分けての計量は出来ていないが、10秒毎に蓄積されたチラーの年間運転データ（出入口水温、流量、運転容量、運転台数、外気温度）が存在するため、チラーの部分負荷特性を考慮して外気温度と負荷率に応じて刻々と変化するチラーのCOPを独自に逐次計算して得られたチラーの電力量を用いて熱源と補機の電力消費量の内訳を分類したものを表1に示す。部分負荷特性に優れる高効率なモジュールチラーに更新したことで熱源の電力消費量は更新前に比べて約36.5%の削減ができたものと考えられる。また、負荷側を二方弁制御としたことで更新前は定格運転していたポンプの搬送動力がインバータによる変流量制御により約75.5%削減できたものと考えられる。

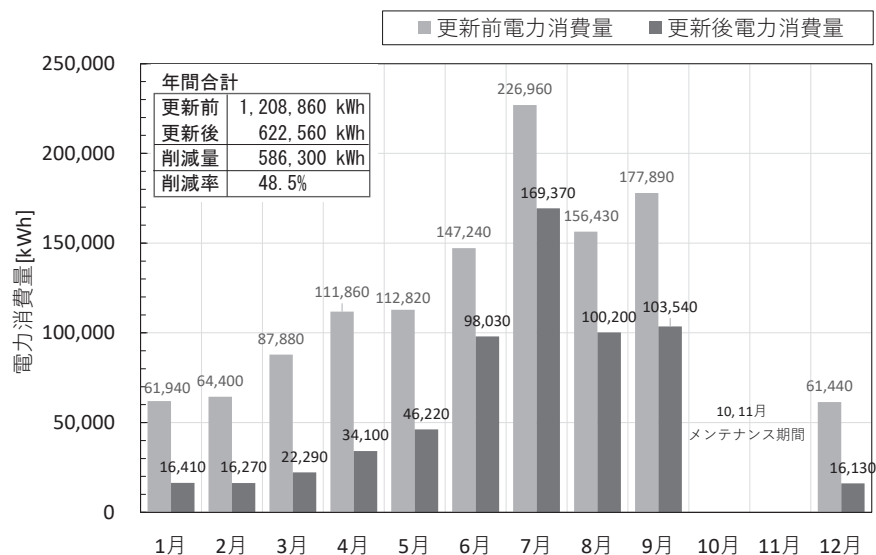


図3 更新前後の冷却設備電力消費量 (実績値)

表1 更新前後のエネルギー消費量比較

		更新前設備			更新後設備		
		内訳計算値	内訳計算値	実績値	内訳計算値	内訳計算値	実績値
		チラー (7℃送水)	ポンプ	小計	チラー (5℃送水)	ポンプ	小計
電力消費量 [kWh]	1月	53,209	8,731	61,940	14,775	1,635	16,410
	2月	50,990	13,410	64,400	14,094	2,176	16,270
	3月	58,104	29,776	87,880	17,710	4,580	22,290
	4月	65,948	45,912	111,860	26,335	7,765	34,100
	5月	76,076	36,744	112,820	36,707	9,513	46,220
	6月	108,563	38,677	147,240	82,097	15,933	98,030
	7月	150,802	76,158	226,960	153,215	16,155	169,370
	8月	111,598	44,832	156,430	90,490	9,710	100,200
	9月	110,606	67,284	177,890	82,312	21,228	103,540
	10月	－	－	－	－	－	－
	11月	－	－	－	－	－	－
	12月	50,892	10,548	61,440	13,795	2,335	16,130
	小計	836,788	372,072	1,208,860	531,530	91,030	622,560
	更新前に対する増減量	－			-305,258	-281,042	-586,300
	削減率[%]	－			36.5	75.5	48.5
CO ₂ 排出量	CO ₂ 排出量 [トンCO ₂ /年]	583.9			300.7		
	更新前に対する増減量 [トンCO ₂ /年]	－			-283.2		
	削減率[%]	－			48.5		
ランニングコスト	ランニングコスト [千円/年]	25,628			13,198		
	更新前に対する増減額 [千円/年]	－			-12,430		
	削減率[%]	－			48.5		

5. 投資回収 (省マネー)

モジュールチラー冷却設備導入金額：143,000 [千円]

ランニングコスト削減額：12,430 [千円/年]

より、投資回収効果は 143,000 [千円] / 12,430 [千円/年] = 11.5 [年] となる。

6. 他の建物への応用性・便利性

既存工場のプロセス冷却設備や加熱設備、ユーティリティ設備では製品の品質を維持するためにポンプを商用電力にて常時一定速で運転し三方弁で余剰流量をバイパスしている設備が多々見受けられる。供給する系統が多くなるほど流量も増え、搬送動力が増えるため一定速で運転することによる過剰なエネルギー消費の蓄積も通年では莫大なものとなる。当該設備では製造機械側で金属が析出する機械的性質と供給圧力確保の課題があったため熱交換器を割り込ませて2つの回路に区分する手法を採ったが、1次側と2次側の区分が不要であれば熱交換器の代わりに二方弁で代用可能であり、インバータで変圧変流量制御を行うことで余剰流量分のエネルギー消費を軽減できるため他の用途や建物用途にも応用が可能である。

7. 仕様又は開発製品、システム、部品等の仕様

表2 導入した冷却設備の使用機器諸元

記号	機器名称	機器仕様	台数	動力		
				電源	容量	起動
				φ - V	kW	方式
R-1-1 ～1-6	空冷モジュールチラー	冷却能力 176 kW 冷水量 504.5L/min(10.0℃→5.0℃)	6	3-200	58.1 (消費電力) 5.5 (内蔵ポンプ)	INV
CP-2	冷水2次ポンプ (7℃系統)	型式 ステンレス製立形多段渦巻きポンプ (屋内型) 水量 367 L/min × 430 kPa	2	3-200	5.5	INV
CP-3	冷水2次ポンプ (10℃系統)	型式 ステンレス製立形多段渦巻きポンプ (屋内型) 水量 420 L/min × 650 kPa	2	3-200	7.5	INV
CP-4	冷水2次ポンプ (7℃系統)	型式 ステンレス製立形多段渦巻きポンプ (屋内型) 水量 1600 L/min × 520 kPa	2	3-200	22	INV
HEX-2	熱交換器 (7℃系統)	型式 プレート式熱交換器 (ガスケット) 交換熱量 128.2 kW 低温側 5.0℃→10.0℃、367 L/min 高温側 12℃→7.0℃、367 L/min 材質 SUS316	1	—	—	—
HEX-3	熱交換器 (10℃系統)	型式 プレート式熱交換器 (ガスケット) 交換熱量 69.0 kW 低温側 5.0℃→10.0℃、198 L/min 高温側 12.35℃→10.0℃、420L/min 材質 SUS316	1	—	—	—
HEX-4	熱交換器 (7℃系統)	型式 プレート式熱交換器 (ガスケット) 交換熱量 525.2 kW 低温側 5.0℃→10.0℃、1510 L/min 高温側 11.7℃→7.0℃、1600L/min 材質 SUS316	1	—	—	—
EXT-1	膨張タンク (空調・生産1次側系統)	型式 密閉型 (屋外型) 容量 308 L	1	—	—	—
EXT-2	膨張タンク (生産7℃系統)	型式 密閉型 (屋内型) 容量 60 L	1	—	—	—
EXT-3	膨張タンク (生産10℃系統)	型式 密閉型 (屋内型) 容量 60 L	1	—	—	—
EXT-4	膨張タンク (生産7℃系統)	型式 密閉型 (屋内型) 容量 80 L	1	—	—	—

8. 環境保全、便利性等

表 1 より、導入したユーティリティ冷却設備による年間電力削減量は586,300 [kWh/年] であり、CO₂排出削減量は283.2 [トンCO₂/年]、CO₂排出削減率は48.5 [%] となる。
(電気のCO₂排出換算係数は0.483 [kgCO₂/kWh] を使用)

9. 工夫した点、発想した点、創作した点、新しい点等、設備の特徴

①熱交換器を介したことでチラーの冷水送水温度を下げることによる省エネ悪化の影響評価

負荷側の冷水要求水温は7℃と10℃であり、既存設備ではチラーの送水温度は7℃運用としていたが、熱交換器を介したことで負荷側への供給水温を維持するためにチラーの送水温度を更に下げる必要があった。送水温度を下げることによりチラー消費電力の増加が懸念されたため、事前に年間シミュレーションによる省エネ比較を行った。

新設熱交換器の設計条件として負荷側7℃供給の熱交換器のアプローチ温度は2℃差、負荷側10℃供給の熱交換器のアプローチ温度は5℃差とし、新設チラーの送水温度は5℃供給とした。シミュレーションにあたり、冷却負荷は今回の検証より前に計測した既存設備における1時間毎の実測負荷を用い、既存チラーシステムによる7℃送水と新設モジュールチラーシステムによる5℃送水で消費エネルギー比較を行った。表3にシミュレーション結果を示し、図4に年間電力消費量比較、図5にCO₂排出量比較を示す。

試算の結果、送水温度7℃の既存チラーの年間電力消費量521,204kWh/年にに対し、5℃送水の新設モジュールチラーの年間電力消費量は361,759kWh/年であり、モジュールチラーの高効率な運転によって約30.6%の電力削減が期待できることがわかった。更新チラーの送水水温を7℃から5℃に低下させても既存チラーの年間電力消費量を上回ることを確認して熱交換器の導入を決定した。また、熱交換器を介して1次側は変圧変流量制御、2次側はインバータによる固定流量で運用することで既存ポンプの搬送動力の約77.4%を削減できる見込みを得た。

表3 事前検討したチラー冷却システムの年間シミュレーション結果

	既存システム (既存チラー7℃送水)		提案システム (モジュールチラー5℃送水)		増減量	増減率 [%]
	チラー	ポンプ	チラー	ポンプ		
年間電力消費量[kWh/年]	521,204	482,869	361,759	109,299	-533,014	-53.1
	既存に対する削減率		30.6 %	77.4 %		
	1,004,073		471,058			
CO ₂ 排出量[トンCO ₂ /年]	485.0		227.5		-257.5	-53.1
ランニングコスト[千円/年]	21,286		9,986		-11,300	-53.1

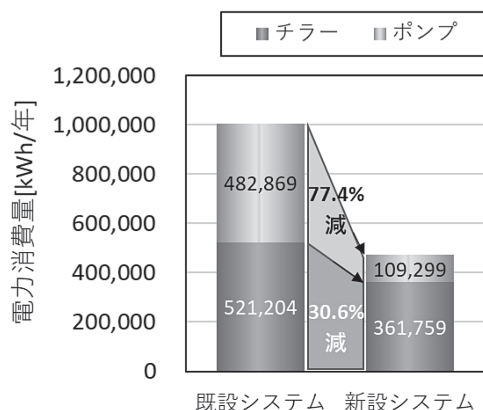


図4 事前検討した年間電力消費量比較

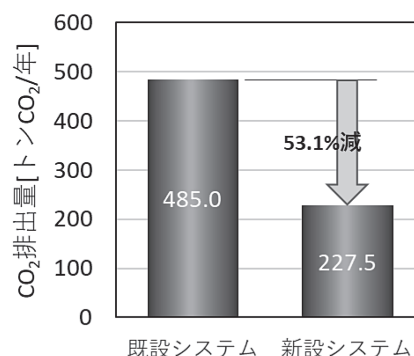


図5 事前検討したCO₂排出量比較

②生産環境の向上

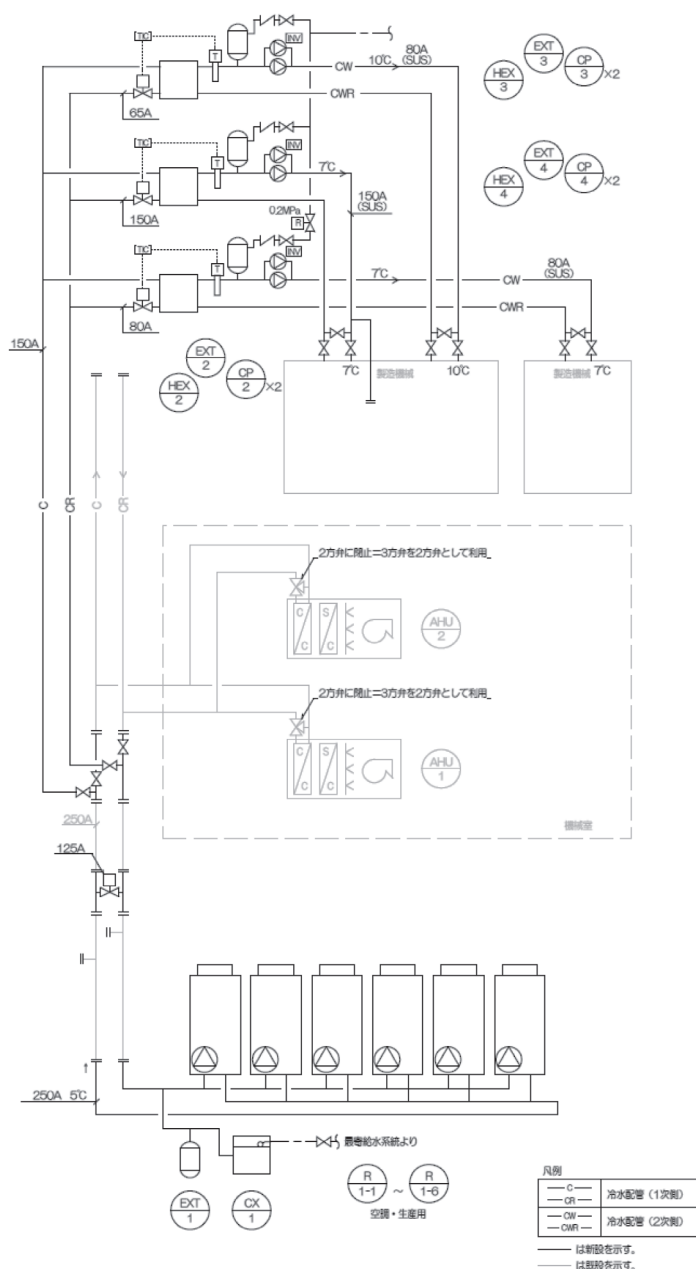
配管回路の改修に伴い、熱交換器 2 次側配管をステンレス製として生産環境を向上させた。また、各熱交換器は 2 次側温度一定となるよう 1 次側の二方弁を制御していることと、負荷追従性に優れた空冷モジュールチラーを採用したことで生産側への冷水供給温度が安定しており生産冷却時間の短縮にも繋がった。

10. 市場性、販売状況、適応市場の大きさ、競合品又はシステムとの比較、販売実績（国内、外）等

搬送に関する基本的な省エネ手法であるため商用電力にて常時一定速でポンプを運転し、かつ三方弁制御している設備であれば検討の余地があり市場性は大きいといえる。今回のように設備導入後10年以上経過している設備の場合、熱源のエネルギー効率も陳腐化していることが考えられ、熱源システム全体を更新することで大きな節電効果とCO₂排出量削減が期待できる。いま一度既存設備を見直し、製品の品質維持の裏で省エネ性が犠牲になっていないかを意識することでCO₂排出量削減の種はまだまだ眠っていると考える。

11. 外觀・構造図

①システムフロー図



②外観や設備の写真



佐賀工場OPS-1 工場建物外観



ユーティリティ冷却設備
(空冷モジュールチラー)



ユーティリティ冷却設備
(熱交換器および冷水 2 次ポンプ)

12. 講評

工場の空調・冷却設備の設備改修において、熱源システムを開放回路から密閉回路へと抜本的に変更し、製造機械への冷水供給も熱交換器を介することで、大幅な省エネルギー化と配管内の水質改善を図った事例である。また、定流量ポンプから変流量ポンプへの変更など、適切な省エネ改修が随所に施されている。既存設備の運用状況を十分に精査した上で、発注者のニーズを的確に捉え合理的な改修を行った点が高く評価された。熱源設備に開放型配管システムを採用している既存施設は依然として多く、本件の改修内容は、それら類似施設への水平展開が期待できるモデルケースと言える。