

●(一社)日本冷凍空調設備工業連合会 会長 優秀賞 ●改修設備部門

冷熱源システムにおけるカーボンゼロへの貢献

設備施工者：(株)ダイキンアプライドシステムズ

設備所有者：アサヒビール(株) 吹田工場

設備の概要

名称：アサヒビール(株)吹田工場

所在地：大阪府吹田市西の庄町1-45

概要：冷凍機設置建屋

建屋：地上4階建て

延床面積：7,533m²

構造：RC造 用途：工場



アサヒビール吹田工場外観

1. システム開発の目的と経過

2015年のパリ協定に始まり、2021年11月のCOP26で、世界の平均気温上昇を1.5℃に抑える目標に向かって世界が努力することが正式に合意された(グラスゴー気候合意)。このため、世界の温室効果ガス排出量を2030年には、2010年比で約45%削減、2050年には実質ゼロ(カーボンニュートラル)にすることが必要とされている。日本も温室効果ガスの排出量を2050年までに実質ゼロを目指すことが宣言された。こうした背景の中、各企業はグリーン電力購入、自工場への太陽光発電設備設置や能力増強を計画。燃料では、燃料電池、バイオマス燃料、水素燃料などへの転換に向けた技術革新、DX推進に向けたAI活用など、2030年、2050年を見据え動き出している。それら施策と並行し、省エネや熱回収などによるエネルギー削減対策は今後においても、日々計画、実施、データ確認、改善など続けていくことが重要である。

今回対象の工場において、電力消費量(コ・ジェネでの電力含む)の割合で、最も大きく占めているのは冷熱源設備である。およそ工場使用電力のうち、30~40%を冷凍機とその補機類(ポンプ、冷却塔)が占めている。このパートの電力削減は省エネルギー効果が大きく、冷熱源システムは時代ごとに、省エネ施策を積み重ねてきている。安全・安心、シンプルなシステムかつ、最小冷却熱源容量で最小原単位になる冷熱源システムの実現を目指し、

- ①負荷平準化
- ②更新設備電気量の縮減化
- ③安定運転を継続する冷凍機システム
- ④部品点数の削減
- ⑤既存設備の有効利用

以上5点を理想のシステム実現に向けたコンセプトとし、過去から提案を進めてきた。本稿では、更に取り組んだ③及び④について次項に開発経緯を記載する。

(1) ターボ冷凍機の計画背景

国内においてはフロン排出抑制法に基づき、低GWP冷媒への転換としてターボ冷凍機は、2025年までに製造業者の出荷機のGWPを1年間の加重平均で100以下に抑える規制が発令されている。それと並行し、各メーカーはGWP100を大きく下回るHFO（ハイドロフルオロオレフィン）冷媒ターボを発売、インバータ（INV）によるターボプロアの回転数制御により部分負荷特性の優れた機械であるため、今後の置換えも見据え、まず1台納入となった。

ターボ冷凍機の一般的な特徴として約300トン以上の大容量の水冷式で、効率の優れている点が長所であるが、冷却水温度の変化、ブライン入口温度の変化に伴う追従性には容積式圧縮機と比較し、一般的に劣る。この点に対する対応については次項のシステム側で記載する。

(2) ブライン出口温度変更について

当該の工場負荷として夏季の高負荷、冬季の低負荷の負荷率は、100%から15%まで変動する。よって既設冷熱源システムは、夏季は大温度差（約10℃→-3℃）冬季は小温度差（1℃→-3℃）になることで、冷凍機の直列運転システムを採用している。本機は基本が低温-3℃を取り出すことにしているが、ケースにより、中温0℃を取り出すことも可能としている。

(3) 経過

2017年（設計・納入）

2018年1月（試運転・引渡し）

2018年1月～12月（データ活用による継続的なチューニング実施）

2019年～2021年（経年比較、微調整、メンテナンス時期把握）

2. 設備・システムの概要

(1) 納入機器概要

1) 新設

- ①HFO冷媒INVターボ冷凍機 呼称冷却能力340 USRt (1,195kW) × 1 台
出口ブライン温度 -3℃時 340 USRt (1,195kW)
出口ブライン温度 0℃時 375 USRt (1,318kW)
- ②ブライン循環ポンプ 流量360m³/h×1台 INVによる変流量対応
- ③冷却水ポンプ 流量307m³/h×1台 INVによる変流量対応
- ④冷凍機のブライン周辺制御 ブライン入口温度制御、及び出口温度制御機能付

2) 既設流用

- ①冷却塔 ×1セット INVによるファン回転数制御
- ②密閉縦型ブラインタンク 150m³×20mH+150m³×20mH連結
温度生成層形ブラインタンクの直列接続

3. 着想

既設の冷熱源システムは大温度差設計が確立できている。夏季は負荷が高く、負荷戻りは約10℃、冬季は低負荷となり、0～1℃程度になる。ターボ冷凍機は効率が高く、インバータにより部分負荷特性も優れていることからベース機として運転している。また、将来を見据えて、ブライン出口-3℃運転（低段運転）とブライン出口0℃運転（高段運転）の2通りの運転方式を構築。次の更新時に、新たなターボ機を導入して、高段運転1台、低段運転1台にすることで更なる省エネを図っている。以下に高温ブライン運転方式（図1）、低温ブライン運転方式（図2）の運転フローを示す。

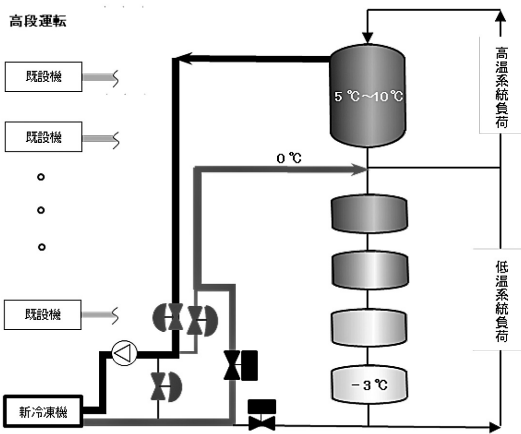


図1 高温ブライン運転方式

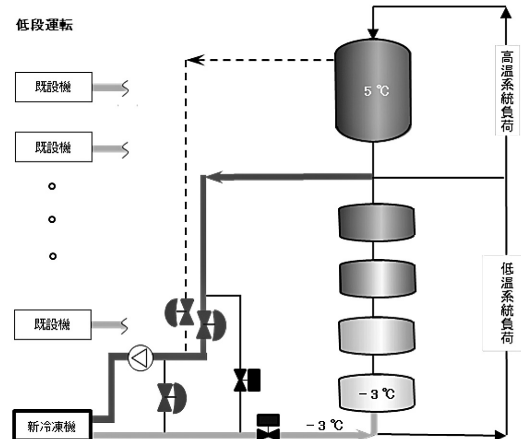


図2 低温ブライン運転方式

ターボ冷凍機の特徴としてサージング現象がある。ターボ冷凍機出口は-3℃ブラインとなるため、冷水運転(5~7℃)と比較し運転時の冷媒高低差圧が大きくなり、サージング領域に近づくことが想定される。対策として、冷却水入口温度、ブライン入口温度の振れ幅を極力小さく(±0.2℃)する制御を行っている。(制御方法は後述している。)

4. 効果 (省エネルギー)

エネルギー効果を表1に示す。試算では、既設(従来)システムと比較して1年間の削減電力量は、▲889,000kWh【▲32%削減】となる。(既設はHCFC冷凍機を示す。)

表1 エネルギー効果試算

冷凍機出口温度 -3℃						電力単価	15	円/kWh		
各月	冷却水 温度【℃】	運転時間 【H】	負荷 【kW】	既設 システムCOP	新設 システムCOP	既設 消費電力【kW】	新設 消費電力【kW】	削減電力量 【kW】	削減金額 【千円】	
1月	16	744	956	3.4	5.0	209,000	142,000	67,000	1,010	
2月	14	672	956	3.6	5.2	178,000	124,000	54,000	810	
3月	14	744	956	3.6	5.2	198,000	137,000	61,000	920	
4月	17	720	956	3.3	4.9	209,000	140,000	69,000	1,040	
5月	21	744	956	3.0	4.4	237,000	162,000	75,000	1,130	
6月	22	720	956	2.9	4.3	237,000	160,000	77,000	1,160	
7月	25	744	956	2.7	4.0	263,000	178,000	85,000	1,280	
8月	30	744	956	2.4	3.5	296,000	203,000	93,000	1,400	
9月	27	720	956	2.6	3.8	265,000	181,000	84,000	1,260	
10月	24	744	956	2.8	4.1	254,000	173,000	81,000	1,220	
11月	19	720	956	3.1	4.6	222,000	150,000	72,000	1,080	
12月	17	744	956	3.3	4.9	216,000	145,000	71,000	1,070	
合計		8,760				2,784,000	1,895,000	889,000	13,380	
								削減率	-32%	

5. 投資回収 (省マネー)

A: 本設備の設計施工費 = 69,700千円

B: 年間削減エネルギー費用(計画) ≒ 13,380千円

したがって、投資回収年数(A/B)は5.2年となる

注記) 投資回収として扱う施工費として、既設冷凍機との比較により、施工費は機器、搬入据付、試運転費用とした。

6. 他の冷熱設備の応用性・便利性

HFOブラインターボを利用したシステムで必要温度が -4°C 程度から冷水域でかつ、ベース負荷が300USRt以上の設備において、ベース機として利用する場合や、負荷変動がほぼ無い場合の全数ターボ冷凍機など、飲料工場に限らず工場全分野に利用用途がある。

ただし、納入後に高効率を維持継続するためのサービスやチューニングが無ければ、冷凍機の特性を十分に活かすことができず、無駄が発生するため、納入後のアフターメンテナンスは必要となる。

7. 仕様又は開発製品・システム

過去から、冷熱源システムや排熱回収システムの特許を出願・権利化してきているが、本設備はカスケードシステム 特許第4929519号が該当する。

8. 環境保全、便利性等

電力削減量によるCO₂排出量削減

$$= (\blacktriangle 889,000\text{kW}/\text{年}) \times (0.350\text{kg-CO}_2/\text{kWh})$$

$$= \blacktriangle 311\text{トン-CO}_2/\text{年}$$

※0.350kg-CO₂/kWhは、関西電力2020年小売電力での値を採用

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

冷熱源システムとして、現状負荷に対して（ターボ）冷凍機の特性を最大限に活かす制御パラメータ等の調整により、高効率の維持継続は可能となる。その方法として、計画時の理論上の年間効率に対して納入後、見える化により検証していくことは当然であるが、ダイキンアプライドシステムズ社オリジナル解析ソフト（Z_Viewer）を用いて、AI化を視野に、スピード化と解析作業の効率化に取り組んだ。

- ①大まかにデータを確認（期間比較）
- ②データ変化点の確認（開始点、終了点、収束点の確認）
- ③ポイントごとのリアルタイムデータ確認
- ④問題点の抽出、制御パラメータ変更
- ⑤変更後の確認

これを繰り返し実施。特に納入後の1年間は、毎月データを分析し、お客様と当社で共有し改善を協議して進めた期間である。その後は、半年ごとでデータ共有、更なるシステム効率アップのテーマ出しとそのチューニングを継続中である。

具体的な対応案事例を下記に示す。

(1) 分析orチューニング事例 その1

冷却水送り温度制御

稼働初期の調整前後システムCOPを（図3）に、1年経過後のシステムCOPと冷却水温度の関係を（図4）に示している。設備稼働当初は冷却塔ファンの台数制御とファンインバータを組み合わせたシステムとしたが、冷却水温度の変化幅に伴い、ターボ冷凍機のインバータが制御状態からMAX.60Hzとなり、インレットベーンを絞るといった省エネに反する運転になることがあった。そこで冷却水入口温度の変動幅を抑えるために、冷却塔ファン合計4台を同期インバータ制御に変更し、ファンインバータ周波数の下

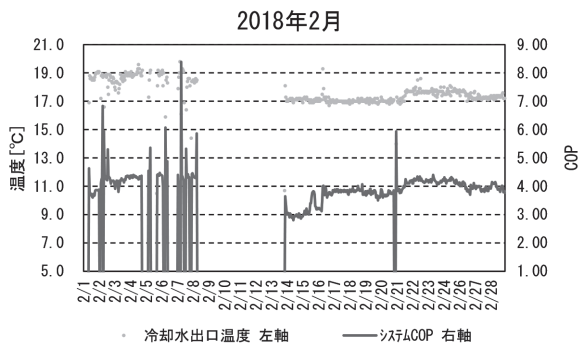


図3 稼働初期のシステムCOPと冷却水温トレンド

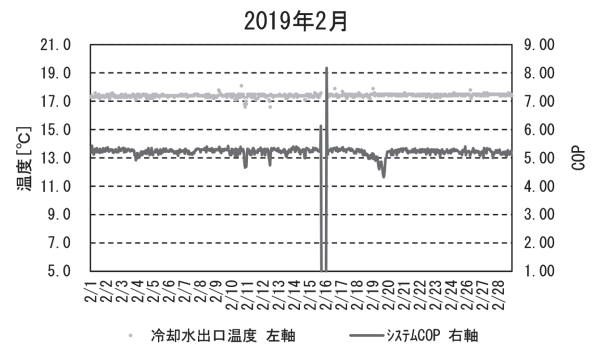


図4 1年経過後のシステムCOPと冷却水温トレンド

限值をデータより確認（下限20Hz）し決定。それを下回る場合はファン台数を変更。冷却水入口温度範囲は約±0.2°C程度に抑えることにより、結果システムCOPの安定化と、冷却塔ファンの電力削減も大きく寄与することになる。その後1年間外気温度変化に応じた微調整を実施、年間の安定運転を確立することができた。

(2) 分析事例 その2

補機類の電力削減調整（冷却塔ファン編）

運転初期の冷却塔ファンと1年経過後の冷却塔ファンの消費電力を図5、6に示す。1年経過後において、消費電力は約20%削減の結果となった。

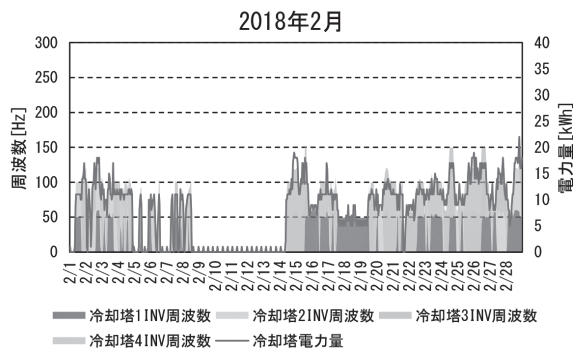


図5 稼働初期の冷却塔ファン消費電力

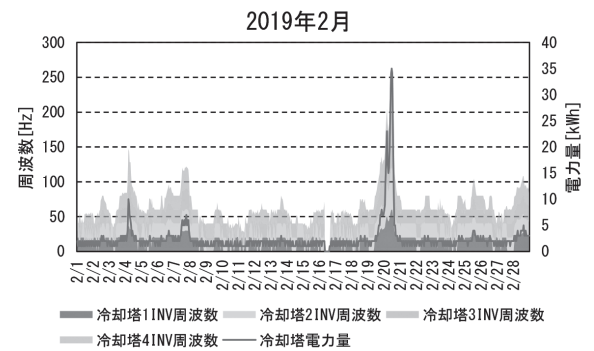


図6 1年経過後の冷却塔ファン消費電力

(3) 分析事例 その3

ブライン出口温度を変化させた時の推移

ブライン温度を変化させた場合のシステムCOPのデータを図7に示す。様々なケースを検証しながら、最適ポイントを確認した事例の一つである。

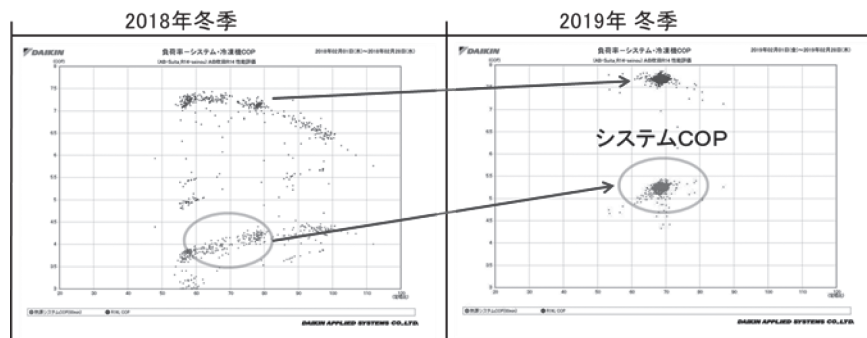


図7 システムCOPの確認

(4) 結果 その4

システムCOP

4年間のデータより、システムCOPが維持できていることが解る。

今後は得られたビッグデータを利用して、他工場設置の運転データとの比較、更なる効率維持に加え、故障予知、事前対応など蓄積したデータを活用することによりサービスメンテナンスに繋げていきたい。

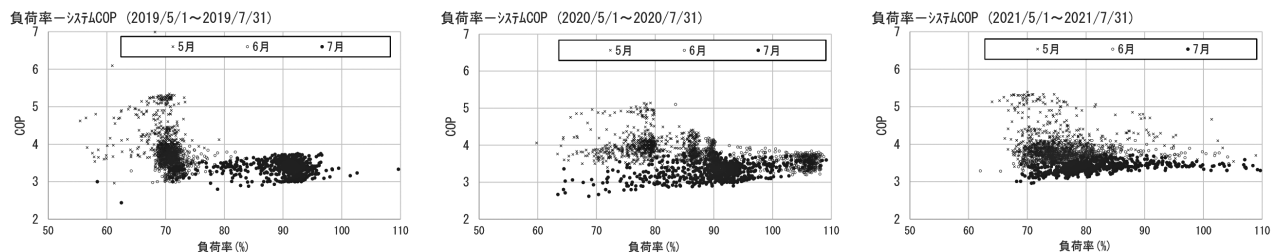


図8 システムCOPの推移 (5月～7月) 左から2年目、3年目、4年目

10. 市場性、販売状況、適応市場の大きさ等

工場における冷熱熱源システム構築をするためには、負荷側（二次側）を理解した上で、冷凍機側（一次側）の構築をしていく必要があるが、その考え方として以下に記載する。

1) 負荷側（二次側）

- ①個々の負荷側の特性のヒアリング、確認、必要に応じデータ計測
- ②温度差、流量の最適化
- ③季節ごとや、年間での負荷特性把握
- ④蓄熱による平準化の検討、タンクレス化の検討
- ⑤二次側システム検討

2) 熱源側（一次側）

- ①得られた負荷側情報を解析し、エネルギーの有効利用を図りつくしたシステム構想の立案
- ②負荷特性に見合った最適な冷凍機のタイプの選定（スクロール、スクリュウ、ターボ、吸収式などタイプ別の特性を活かす）

3) ケースごとのランニングコスト、イニシャルコスト、LCコストの試算

上記のように考えると、負荷の大小によるが、300USRt以上のベース負荷がある場合は、そのベース機としてHFOインバーターターボ冷凍機（ $-3^{\circ}\text{C}\sim+10^{\circ}\text{C}$ ）を含めたシステムの市場性は十分にあると想定できる。また、納入後10～15年と使用するため、安全・安心を届けるサービスメンテナンス（故障予知、事前対応）が重要であることも付け加えておきたい。

11. 外観

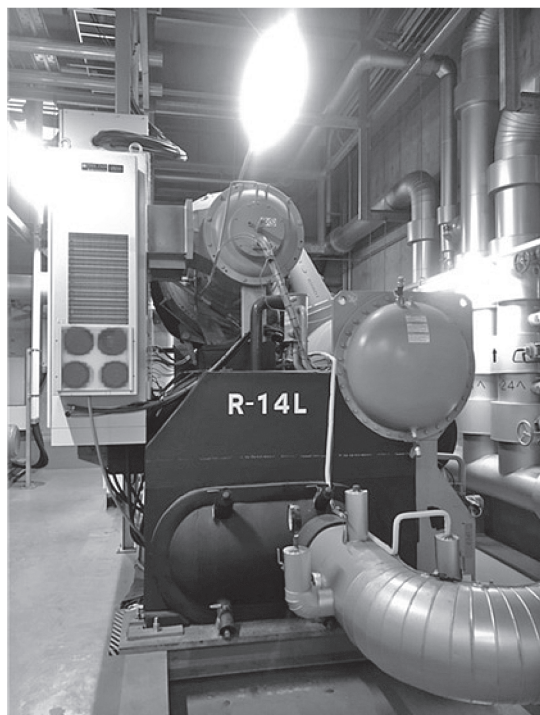


写真1 HFOインバータ ターボ冷凍機



写真2 既設ブラインタンク

12. 講評

工場用使用電力量の30～40%を占める冷熱源システムに対して、既存システムの運転状況をしっかり把握し、将来の更新も考慮してHFOインバータターボ冷凍機を導入し、高い省エネ効果とCO₂削減効果をあげた。その運用にあたって、エネルギー消費データ採取・分析を行い、最適運用を心掛け、継続的な効率向上を目指している点、最新設備機器の採用、熱のカスケード利用、高効率設備システム構築、環境保全効果、などの点で高く評価された。今後、今回工事対象だけでなく全体システムの中での位置づけ検討、計算値と実績値の比較検討など、検討の深化を期待したい。