

優良省エネルギー設備顕彰事例④

改修設備部門 (社)日本冷凍空調設備工業連合会会長優秀賞

冷却空気循環を改善した大型冷蔵庫の冷却システム

設備所有者：極洋水産(株)
設備施工者：八洋エンジニアリング(株)

建物の概要

名称 極洋水産(株)大井川工場
所在地 静岡県焼津市飯淵1441-1
概要 建屋 地上2階
延床面積 16,031m²
構造 RC造
用途 営業倉庫

1. 技術開発の目的と経過

目的：

営業倉庫における既存冷蔵庫冷却空気循環方式の非合理性を改善し、庫内各部の温度偏差を小さくすることで省エネを実現する。

経過：

- 平成11年 超低温冷蔵庫施工時、庫内冷却空気循環方式に疑問を持つ。
- 平成17年 八洋エンジニアリング(株)がインドにおいて施工した冷蔵庫改修工事で上方吸込、下方吹出冷却器の簡易実験を行う。
- 平成19年 NEDOエネルギー使用合理化支援事業に審査申請を行い、認定され、極洋水産株式会社大井川工場超低温冷蔵庫冷凍設備省エネ工事を施工。

2. 設備・システムの概要

既存冷却装置は、冷凍機にフロン22スクリー二重圧縮機を使用、冷蔵庫内空気冷却器は垂直吸込平行流式、冷蔵庫内空気循環方式は天井ダクトより水平吹出であった。

導入設備は、高元側にアンモニアレシプロ冷凍



建物外観



設備外観

機、低元側にフロン23レシプロ冷凍機を備える二元冷凍設備、冷蔵庫内空気冷却器は水平吸込対向流式、冷蔵庫内空気循環方式は天井スリット吸込下方吹出方式を採用した。

3. 着想

平成11年(1999年)に床置型空気冷却器を使用した超低温冷蔵庫の施工を行い、操業開始になった



アンモニアレシプロ冷凍機



床置型空気冷却器 (新規)

とき、以前に施工した天井コイル式超低温冷蔵庫と比較すると、庫内温度の偏差が非常に大きいことに着目する。床置型空気冷却器には、3.7kWのファン4台を装備された天井吹出ダクトが付いており、大量の空気を循環しているにもかかわらず、庫内天井付近と床付近の温度差は10℃以上あった。前記天井コイル式超低温冷蔵庫の場合、庫内天井付近と床付近の温度差は1～5℃の範囲に収まっていた。この違いの原因を考えたとき、床置型空気冷却器の天井吹出ダクト循環方式に大きな不合理が二点あることに気付く。

一点目の不合理は、異なる温度の空気があった場合、温度が低く密度が高い空気は下降し、温度が高く密度の低い空気は上昇する性質がある。天井付近に吹き出された庫内で最も低温の空気は、天井付近の庫内で最も高温の空気とあまり混ざりあうこともなく、低温のまま下方に流れていき空気冷却器の強力なファンに吸い込まれる。

二点目の不合理は、庫内天井付近で高温の空気とよく混ぜても冷蔵庫の冷却として、あまり有効でない。何故なら、冷却器で冷却された低温の空気を温かい品物へ直接送り、温かくなった空気を空気冷却器へ直接送り返す方が効率が良い事は当然である。何故、効率が良くない状態になっているのか検討すると、低温で密度の高い空気を庫内天井付近に送れば、急ぎ下降しようとする事は当然で、下降する道筋も低温の品物がある方へ偏って流れる。そのため、同じ負荷を取るのに大量の冷却空気を必要とする。

このような不合理を解決する手段として、自然の摂理を利用した空気の循環を検討した。低温の

空気は密度が高く下降し、高温の空気は密度が低く上昇することを利用して、空気冷却器で冷却した庫内で最も低温の空気を冷蔵庫下部の床付近に供給し、その空気は温かい品物と接触することで温かくなり上昇し、庫内で最も高温となり、天井付近に集まってきた空気を空気冷却器に直接導くことで、前記不合理を解決する手段とした。

4. 効果(省エネルギー)

〈省エネルギー対策①〉

超低温冷蔵庫のように、低い温度を必要とするとき、蒸気圧縮式冷凍機の圧縮比が大きくなる。圧縮比が大きいとき、スクルー冷凍機はレシプロ冷凍機と比較し省エネ性能が劣り、蒸発温度が-60℃以下の場合、単一冷媒方式より二元冷媒方式のほうが、効率が良いことは一般的である。これらの理由から、冷凍機をフロン22スクルー二段圧縮方式冷凍機から、高元をアンモニア、低元をフロン23のレシプロ冷凍機に更新した。

〈省エネルギー対策②〉

天井吹出ダクト方式から、天井吸込スリット方式に循環方式を変更した。この変更により庫内温度分布が変化した(図1参照)。庫内温度測定点(収納品の最上部から300ミリ下で、冷却器から最も遠い所)が、それぞれ-55℃のとき、天井吹出ダクト方式の場合、庫内天井、空気冷却器入口・空気冷却器出口温度がそれぞれ、-49℃・-55℃・-60℃であり、天井吸込スリット方式の場合、それぞれ、-50℃、-50℃、-57℃であった。このときの蒸発温度は、前者が-67℃、後者が-60℃程度だった。

〈省エネルギー対策③〉

改修前後とも、膨張弁は八洋エンジニアリング(株)製の電子膨張弁を使用しており、膨張弁本体の性能は殆ど同じであったが、運転状態の安定性、吹出温度と蒸発温度の差は後者が断然優れた性能を示した。それは、制御する冷媒がフロン22、フロン23冷媒の性質にも原因はあるが、空気冷却器が、前者は空気と冷媒の流れが平行流式で空気の温度が低い。後者は対向流式で空気の温度が高いことが影響している。また、前者と後者は、空気冷却器の入口出口温度差が5℃と7℃で、後者が大きい。これは後者の方が有効に庫内冷却負荷を回収していることを示している。さらに、空気冷却器に使用されているファンは、前者が3.7kW×4台×6部屋で88.8kW、後者が1.5kW×4台×6部屋で36.0kWとファンが小さくなっているにもかかわらず、庫内負荷が増加して庫内温度が上昇したときの、規定温度に復帰するまでの時間が、後者の方が大幅に短い。

〈省エネルギー効果〉

対策①、②、③、その他対策による省エネルギー効果は、2007年1月から2007年12までと比較し、2008年2月から2009年1月までの冷凍機関係使用電力量を下表のように56%削減した。

本冷蔵庫は、公称8,015トン・-55℃の超低温冷蔵庫です。建築後30数年経っていますが、改修後の原単位は、240.0kWh/トン・年であり、この数値は最近建築された同様の条件の超低温冷蔵庫と比較しても優れた成績です。

5. 投資回収(省マネー)

本事業の改修費用は約2億1千万円。電気料金削減額は、契約内容にもよるが2千5百万円から

3千万円と推定される。従って、改修費用は約7～8.4年で回収可能と思われる。しかし、省エネルギー対策②③のみであれば改修費用は約5～6千万円で、省エネルギー効果は約1千5百万円～2千万円程度と考えられる。

6. 他の建物への応用性

本事業は、超低温の大型冷蔵庫が対象であり、省エネルギー効果が顕著に現れやすかった。しかし、F級やC級の冷蔵庫であっても基本的な原理は同様であり、庫内空気循環を合理的なものに変更すれば、大きな省エネへ繋がる。老朽化した冷蔵庫の改修の場合には、冷凍機まで更新すると大きな費用が掛かるが、冷蔵庫を改造後10年以上使用するのであれば、充分省エネによる電力料金の削減分で改修費用が償却できる。また、新設の場合は、本事業の循環方式の方が冷凍機も小さくなり、電気料金が安くなるばかりでなく、インシヤルコストも少なくて済む。このことから、まだ10年以上使用したい冷蔵庫や、新設の冷蔵庫には有効に適用出来ると考える。

7. 仕様又は開発製品、システム、部品等の仕様(導入前)

- ・冷凍機：スクリュウ二段圧縮式冷凍機
160kW×4台 640kW
- ・空気冷却器：垂直吸込平行流式 ファン
3.7kW×4台×6部屋 88.8kW
- ・空気循環方式：天井ダクト水平吹出方式

(導入後)

- ・冷凍機：レシプロ圧縮機
(高元75kW・低元55kW)×3組 390kW
- ・空気冷却器：水平吸込対向流式 ファン
1.5kW×4台×6部屋 36kW

	1月	2月	3月	4月	5月	6月
改修前(kWh)	317,408	261,002	326,094	357,786	396,370	402,875
改修後(kWh)	123,644	127,106	155,750	162,310	167,530	177,935
削減率(%)	-61.0	-51.3	-52.2	-54.6	-57.8	-55.8

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
改修前(kWh)	426,353	431,177	395,205	404,297	362,425	354,839	4,435,831
改修後(kWh)	193,385	184,745	174,025	164,585	140,065	152,725	1,923,505
削減率(%)	-54.6	-57.2	-56.0	-59.3	-61.4	-57.9	-56.6

・空気循環方式：天井スリット吸込下方吹出方式

8. 環境保全、便利性等

導入後は、冷凍機能力が小さくなったにもかかわらず、庫内負荷が増え庫内温度が上昇したときに、設定温度に復帰する時間が短くなっている。これにより、冷却対象品物の入庫量や温度に対し導入前と比べて、あまり注意を払わなくても良い状態になり、温度管理上便利である。また、使用電力量が導入前の50%以下となっており、非常に省エネである。また、CO₂排出量も大幅に削減出来た。

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

まず、冷凍機の省エネを実現するための基本は、凝縮温度を出来るだけ低くする、蒸発温度を出来るだけ高くする、冷凍機の負荷を出来るだけ小さくする、冷却負荷を効率良く回収する、冷凍機を使用条件(蒸発温度、凝縮温度、負荷の形態と大きさ及び変化率等)に適したものを採用するといったものがある。前記項目に留意し、本事業では次のような改善を行った。

凝縮器はエバコンを採用した。冷却塔を採用するより5℃以上凝縮温度を下げる事が出来る。また、冬期や中間期には凝縮温度を可能な限り下げても膨張弁の制御に問題が無いよう工夫した。

空気冷却器で冷却した空気は、庫内通路の床付近に吹き出し、庫内天井付近に上昇してくる暖かい空気と出来る限り混じりあわないようにし、庫内天井付近に設けたスリットから庫内で最も暖かい空気を吸入し、対向流式空気冷却器に導いて冷凍コイル内の冷媒過熱度を安定して確保出来るようにした。

負荷を効率良く回収出来ることにより、ファンの容量と電力を小さくすることができ、ファン動力による庫内負荷を小さくした。

目的の温度が-55℃と低温であり、フロン22では蒸発圧力が極端に低くなり冷凍機の機械効率が悪いので、空気冷却器の冷媒をフロン23とする二元冷凍機を採用した。圧縮比が高くなるので、この条件でスクリュウ冷凍機より効率の良いレシプロ冷凍機を採用した。

その他、省エネのための様々な工夫が多数行なわれている。

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

(市場性)

殆どの産業用大型冷蔵庫(概ね500トン以上の冷蔵庫)は、床置型天井ダクト吹出、又は天吊型天井吹出空気冷却器を採用しており、庫内負荷の回収に無駄の多い不合理な空気の循環を行っている。これらを天井吸込床吹出循環方式に更新し空気冷却器を改造すれば、殆どの冷蔵庫で15~30%程度の省エネが可能となり、市場は既設・新設を問わず非常に大きい。

(販売状況)

現在、国内では1件のみである。(インドで当社施工の1件あり)

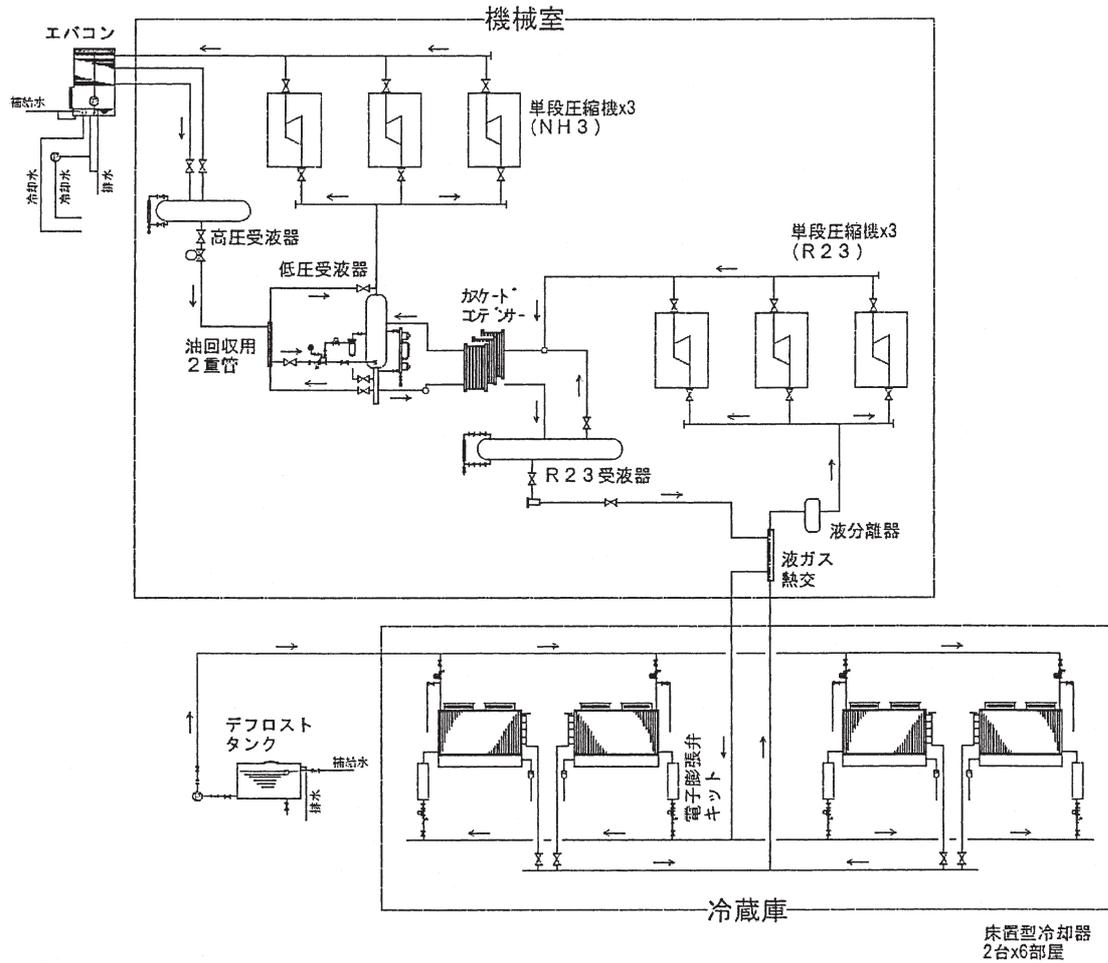
(競合システムとの比較)

競合システムは、現存する冷蔵庫のシステム全てである。前記システムは大きく分けて、ファンコイル型空気冷却器を使用したもの、天井コイル型空気冷却器を使用したものがある。前者は、本事業で採用した方式にイニシャル、ランニングコスト共に劣る。後者の天井コイル方式は、省エネや庫内温度分布偏差が小さいなど非常に優れた特徴をもっているが、次のような欠点を持つため現在は大多数の冷蔵庫がファンコイル型空気冷却方式になっている。

温度が低い悪条件で、天井コイルに付着した霜を取り除く作業は3K(キケン、キツイ、キタナイ)の作業であり敬遠される。重いコイルを天井に吊り上げるために、構造物の柱や梁が大きくなる。超低温冷蔵庫の場合、コイル内に溜まった冷凍機油を回収することが非常に難しい。これらのことから、本事業で採用した新方式に優位性があると考えられる。

11. 外観・構造図

(1) システム概要図



(2) 空気循環図

図1 a 従来の冷蔵庫内空気循環図

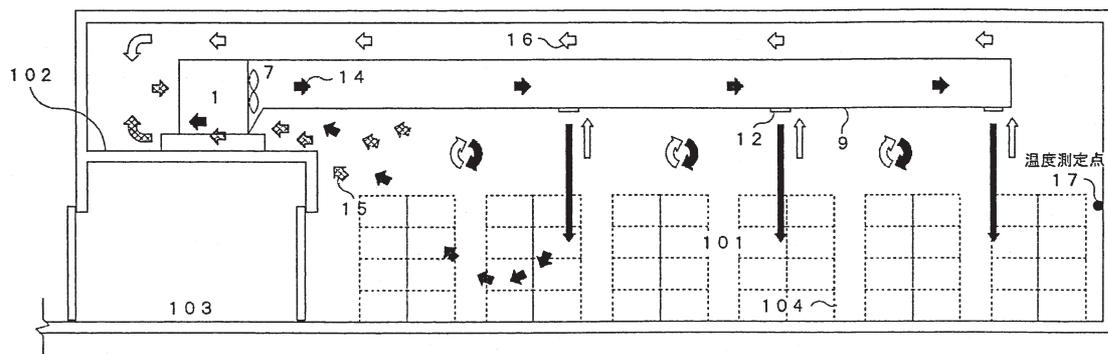


図1 b 本事業の冷蔵庫内空気循環図

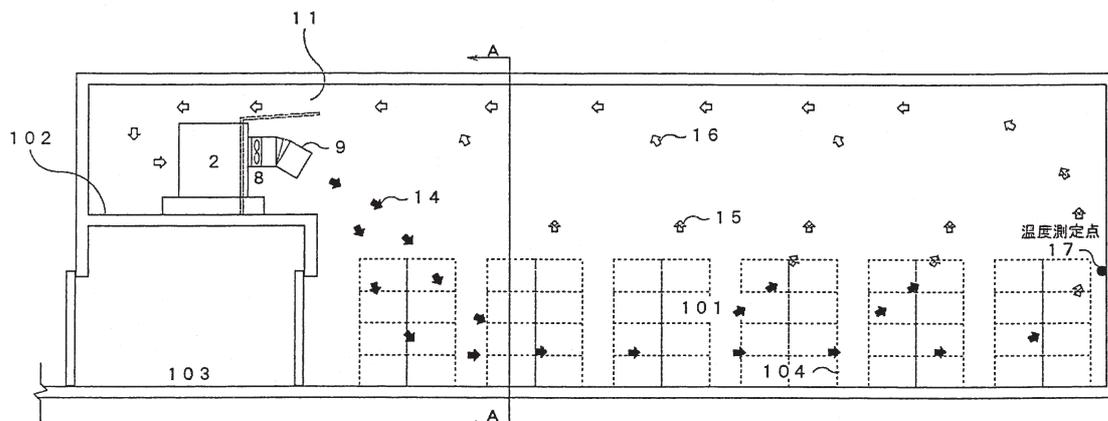
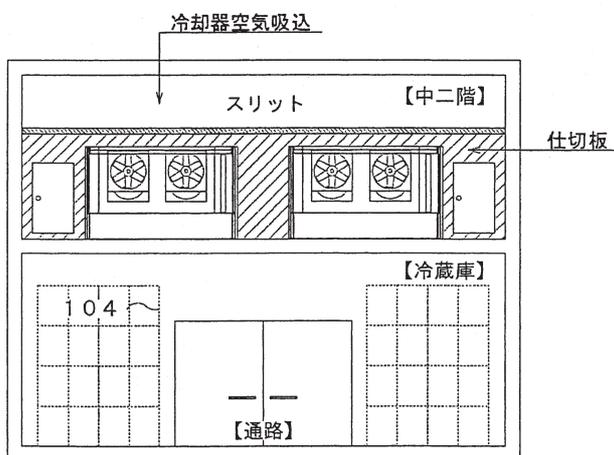


図1 b (付録) A-A矢視図 (スリット概要図)



符号の説明

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1 床置型空気冷却器 (従来) | 15 中温空気 |
| 2 床置型空気冷却器 (新規) | 16 高温空気 |
| 7 冷却器ファン (風量大) | 17 温度測定点 (庫内温度) |
| 8 冷却器ファン (風量小) | 101 冷蔵庫 |
| 9 送風ダクト | 102 冷蔵庫中二階 |
| 11 スリット | 103 準備室 |
| 12 吹出口 | 104 荷物 |
| 14 低温空気 | |

※図1 a、図1 bの矢印 (14、15、16) の大小は風量の大小を示すものとする。