

産業用自然冷媒機器の商品化

「環境エネルギーネットワーク 21」主任研究員 神戸 雅範

我が国は 2020 年 10 月、「2050 年カーボンニュートラル」を目指すことを宣言し、現在、各分野で様々な取り組みが進んでいる。冷凍空調分野に関係が深い内容として、エネルギー起源 CO2 の大幅削減に加えて HFC 等 4 ガス（フロン類）の大幅な削減目標が掲げられていることから、「脱 HFC」と「グリーン冷媒」化の流れは今後もさらに進むものと考えられる。 グリーン冷媒と言われる自然冷媒にはアンモニア、空気、水、炭酸ガス、ハイドロカーボン等がある。しかし自然冷媒は低温分野で特に伸張著しいが、可燃性・毒性・飽和圧力が高い・冷凍能力が小さいなど物的には「課題のある冷媒」であるため、安全性などを担保しつつ市場展開してゆくためには技術的にブレイクスルーすべき課題も多い。

産業用の大型冷凍機器のメーカーである前川製作所は自然冷媒を使用した機器の商品化に成功し、既に市場に投入されているが、その開発の経緯や課題等について投稿があったので紹介する。

1 NH3&CO2 冷凍装置 “NewTon” シリーズ

“NewTon” シリーズは自然冷媒 NH3&CO2 を使用した-20℃以下から 10℃の冷蔵倉庫用冷凍装置で 2008 年から発売を開始し、現在、産業用冷凍冷蔵倉庫、食品工場フリーザ、スケートリンクなどに納入が進んでいる。“NewTon” の商品化過程で特に課題となったのは、「冷媒漏洩リスクの極小化」、「高性能&コンパクト」、「不具合の未然防止」である。以下にこれらの課題に対して実施した技術的対応について述べる。



写真 1. NewTon 外観

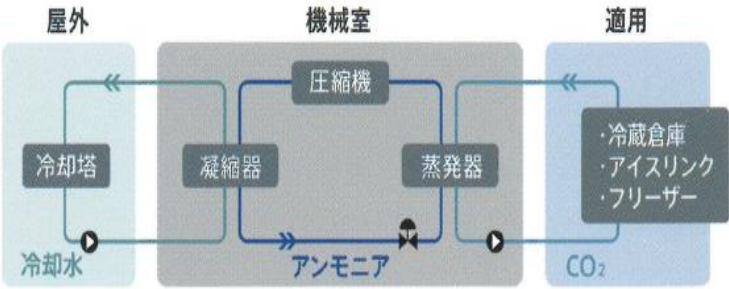


図 1. NH3 と CO2 を組み合わせた間接冷却方式

1-1 「冷媒漏洩リスクの極小化」

NH3 を冷媒とする場合、その臭気や刺激性などから漏洩リスクを限りなく極小化する必要がある。この命題を達成するため、システムは NH3 系統を機械室に閉じ込めて CO2 を二次冷媒に用いる「間接冷却方式」を採用した。ハイリスクゾーンを限定的にすることを目的としてであるが、これにより大地震などの災害等による NH3 配管破損のダメージを回避することが可能となった。また、熱交換器に高性能シェル&プレート型を採用して高性能化を図ると同時に、コンパクト化により NH3 充填量を大幅に抑制することを図った。その結果、NH3 冷媒充填量は 21kg となり、かつての NH3 直膨

(液ポンプ)方式などに比較すると冷媒充填量は数十分の一にまで激減した。

また、感震センサー&漏洩センサー&除害装置の設置、ベローズ弁の採用など、漏洩リスクを徹底的に分析して万全の対策を講じた。

1-2 「高性能&コンパクト化」

自然冷媒であることのみには優位性があるのではなく、“自然冷媒&高性能化”を達成しなければエネルギー起源 CO2 削減と脱 HFC 化に寄与することにはならない。その意味からもトップクラスの高性能化は必須であり、そして導入普及の上からコンパクト化も同時に達成しなければならない目標であった。より高性能化を図るため高性能 IPM モータを搭載し、インバータによる回転数制御を標準装備している。そして半密閉式スクリー圧縮機には高性能な新歯型の専用ロータを採用し、また、熱交換器(蒸発器と凝縮器)にはピンチテクノロジーを駆使した高性能シェル&プレート型を採用してシステム全体の効率向上を図った。これらの相乗効果の結果、冷凍冷蔵倉庫では従来の R22 直膨式に比較して、平均で約 31%の省エネ効果が確認出来た。また、ダウンサイジングを図った結果、従来機種に比べて約 24%軽量化が出来、荷物用エレベーターでの搬入も可能となり、リニューアルも容易となった。

1-3 「不具合の未然防止」

永く、高効率に、安定的に、そして不具合の未然防止を達成するため、遠隔監視システムによる予知保全を実施し、異常なデータの早期発見や計画的なメンテナンスを可能にした。また国内に網羅された営業拠点から迅速にサービススタッフが駆けつけて対応できるネットワークを整備している。

2 超低温空気冷媒冷凍システム “Pascal Air”

空気冷媒冷凍システム(エアサイクル)は 19 世紀の中頃に製氷用に発明されていた技術であるが、20 世紀に入ると冷媒を使用した機械式冷凍装置の普及により衰退した。しかし第二次世界大戦後に大型ジェット旅客機の登場により航空機内空調に標準的に装備されるようになることと再び息を吹き返した。このシステムは「空気の顕熱」を利用する開放サイクルで、圧縮機で圧縮された空気を膨張機で膨張する際に低温を得るというものであり、「冷媒の蒸発潜熱」を利用する機械式冷凍装置とは熱力学的なサイクルが根本的に異なる。冷媒を使用する機械式冷凍システムは「逆カルノーサイクル」であるのに対し、空気冷凍システム(エアサイクル)はガスタービンなどと同じ「ブレイトンサイクル」に属する。サイクル的には逆サイクルとなるので、空気冷凍システム(エアサイクル)は「逆ブレイトンサイクル」と呼ばれる。以下に、 $-50\sim-100^{\circ}\text{C}$ の超低温用途に開発した空気冷凍システム“Pascal Air”の市場での必要性、課題と技術的対応について述べる。



写真 2. Pascal Air 外観

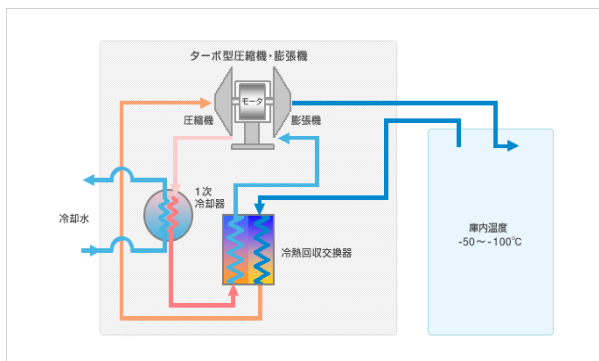


図 2. Pascal Air のシステムフロー

2-1 “Pascal Air”の市場での必要性

本システムが登場するまでは、 -50°C 以下の超低温領域の冷凍装置（主な用途はマグロ保管の冷凍冷蔵倉庫）には「二元冷凍システム」が用いられてきた。この装置に使用されてきた冷媒は、高元側冷凍装置には HCFC22、低元側冷凍装置に HFC23 という組み合わせである。このうち HFC23 は $\text{GWP}=14,800$ というように地球温暖化係数が非常に高いため、急速に市場での流通量が激減することが予測されたことから本システムの開発は焦眉の急であった。実際、2019年に発効したモントリオール議定書キガリ改正の脱 HFC 化の流れは、超低温用冷媒の供給危機を加速するものとなっている。

現在、“Pascal Air”はマグロ保管の冷凍冷蔵倉庫を中心に、化学・薬品などの市場にも広く導入されるに至っている。本システムは空気中の水分を装置内で処理するため、冷凍冷蔵庫内での着霜が無く、デフロストが不要である（写真3）。なお、“Pascal Air”は $-50\sim-100^{\circ}\text{C}$ が適用温度範囲であり、それ以上の温度域ではシステム COP 比較で、二元冷凍システムや二段圧縮システムの方が優位となる（図3）。

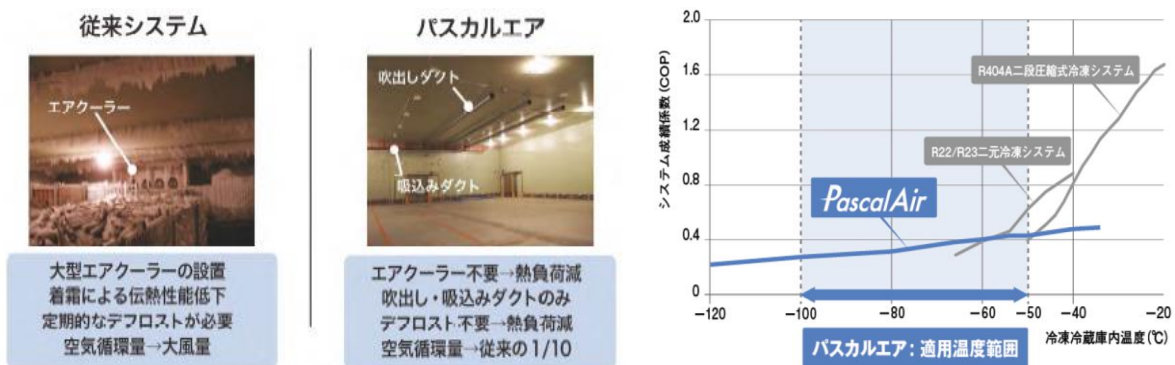


図3. Pascal Air の適用温度範囲

写真3. 超低温冷蔵庫内の着霜状況の差

2-2 「如何にして大量の圧縮空気を作り出すか」 & 「基本諸元の最適化を図る」

空気冷凍システム（エアサイクル）における最大の課題は、「空気の顕熱」を利用したシステムであるので、「如何にして大量の圧縮空気を作り出すか」ということである。冷凍冷蔵用に使用されているスクリー式やレシプロ式圧縮機では大量の圧縮空気は作り出せないためターボ型圧縮機と膨張機を採用した。“Pascal Air”の心臓部であるターボ型圧縮機と膨張機は、同軸上にアライメントされ同じ回転数で廻る構造とし、容量的には軸流式ほどの大容量&高圧縮比は必要無いので、半径流式単段圧縮機と単段膨張機を採用している。基本計画段階においては、圧縮機・膨張機の回転数、それぞれの車盤径を決定しなければならないが、回転数を低速にすると車盤径が大きくなりコスト的にも理に適っていないので、高速回転仕様とした。また、CFD（数値流体力学）解析に基づく回転数、車盤径、翼プロファイルなど基本諸元の最適化を実施して高効率化を図った。

2-3 「超低温&高速回転の軸受はどうするか」

“Pascal Air”は超低温の作動流体（空気）をダイレクトに圧縮・膨張させ、その空気を直接、製品が保管されている冷凍冷蔵庫内に供給することから、圧縮機と膨張機の軸受はオイルフリー、しかも高速回転対応が必要であった。これらの課題を解決する方法として、磁気浮上による非接触構造の「能動型磁気軸受」を採用した。これにより超低温&高速回転下での安定的な非接触支持が可能となった。

以上