

自然冷媒への取り組み

環境エネルギーネットワーク 21
主任研究員 岸本哲郎

1. 冷媒の歴史

冷凍空調の歴史は1824年フランスのサディ・カルノーによる冷凍サイクル理論の発表から大きく発展した。1834年にはパーキンスによりエチルエーテルを冷媒とした圧縮式冷凍機が開発された。1860年にはフランスのカレによってNH₃を使った吸収冷凍機が初めて開発され、一部で商業的に使用されるようになり、これが現在の冷凍空調機器の始まりといえる。1930年にはアメリカのGE社がSO₂を冷媒とした初の家庭用のエアコンを開発した。

当初の冷凍機冷媒はNH₃、CO₂、SO₂、エーテル等のノンフロン系冷媒が使用されていたが、これらは人体に対する毒性や可燃性など大きな欠点を持っており、一般的な場所での使用が難しかった。1930年にデュポン社からこれらの問題を払拭する物質、フロンガスが開発された。フロンガスは高効率で不燃性であり毒性もなく科学的にも安定していて経済性も優れており、冷媒として正に理想的な特性を持っていた。これにより冷凍産業空調は大きな発展を遂げることになる。

しかし、1974年の「Nature」誌にアメリカのローランド博士らにより特定フロンのオゾン層破壊に関する論文発表があり、これを契機にフロンに対する規制が強化されることになった。1985年にオゾン層の保護に関するウィーン条約、1987年にモントリオール議定書が締結され、1995年に先進国においてはCFC冷媒の生産全廃が完了し、また、HCFCも補充用を除き2020年に全廃となる。わが国ではいち早くCFC、HCFCからHFCの転換に取り組み、すでにほとんどの製品で転換は完了している。

しかしオゾン層破壊防止の目的から転換されたHFC冷媒もGWP(地球温暖化係数)が大きく、地球温暖化の観点からは規制すべきという議論が浮上し、それに替わる冷媒として自然冷媒が脚光を浴びてきた。

自然冷媒という言葉はノルウエーのロレンチェン教授が提案したと言われていて1993年に発表した論文の中で環境保護のためには自然冷媒が好ましいと述べている。

2. 自然冷媒とは

自然冷媒とは自然界に存在する物質で冷凍空調用の冷媒として使用可能なものであり、NH₃(アンモニア)、CO₂(二酸化炭素)、H₂O(水)、Air(空気)、炭化水素等である。

自然冷媒は基本的にODP(オゾン層破壊係数)GWP(地球温暖化係数)がゼロであるが、これらに物質は毒性、可燃性、冷凍効率の低さ、運転圧力の高さ等大きな欠点を持っているものが

多い。

特に毒性や強燃性のものは、一部の商品を除き住宅地等の一般的な場所での使用は危険が大きく使用が難しい。

またわが国のように夏季の高温外気下では、冷却時の消費エネルギーが問題になるので、温暖化係数や燃焼性だけでなく冷却時のエネルギー効率も視野に入れて総合的に評価することが重要である。

自然冷媒は[Natural Refrigerant]と表記されることが多いが、正確にはその特性から「Natural Working Fluid」と呼ぶことになっている。

	二酸化炭素	アンモニア	プロパン
化学式	C O ₂	N H ₃	C ₃ H ₈
冷媒番号	R 7 4 4	R 7 1 7	R 2 9 0
ODP (オゾン層破壊係数)	0	0	0
GWP (地球温暖化係数)	1	0	3
可燃性	不燃性	弱燃性	強燃性
毒性	低毒性	高毒性	低毒性
沸点	-78.4°C	-33.3°C	-42.1°C
臨界圧力	7.39MPa	11.27MPa	4.27MPa
臨界温度	31.1°C	132.4°C	96.7°C

表1 代表的な自然冷媒の特性

3. 自然冷媒を用いた製品開発状況

HFC系冷媒の温暖化影響を低減するために自然冷媒の製品の開発も進んできた。性能や安全性の問題でまだ一部の製品に留まっているが、実用化例を紹介したい。

1) 空気冷媒

空気冷媒を用いた-50°C以下の超低温冷凍システムは2005年に三菱重工業から報告されているが、前川製作所もマグロの冷凍などの超低温冷凍倉庫用等として2008年に実用化し、第17回のオゾン層保護・地球温暖化防止大賞を受賞している。

2) 水冷媒

水を冷媒としたものに主として吸収式冷凍機がある。歴史的には古く、電力を使用しない熱駆動型の利点から夏季の空調用電力ピークカットに有効とされ、排熱を利用した製品では省エネルギーに貢献できることもあり、大型空調用設備で注目されている。一時ターボなどのフロンを使用した製品により市場規模が縮小傾向であったが、原発の停止による電力供給の問題から少しずつ市場は伸びている。

それ以外でも川崎重工業は水冷媒ターボ冷凍機の開発に成功している。

3) アンモニア (NH₃) 冷媒

吸収冷凍機用の作動媒体として、冷媒に NH₃ を吸収液に水を用いたものもある。1777 年に水吸収の理論が発表され、1910 年代前半までは多く使用されたが、フロンを使用した冷凍機の発達とともに徐々に少なくなっている。近年は圧縮式の冷媒としても脱フロンの要求から NH₃ と CO₂ を組み合わせたシステムの開発も行なわれている。東洋製作所では、高元側に NH₃ を使用し、低元側に CO₂ を使用した二元冷凍方式の製品がある。2005 年の愛知万博ではマンモスの冷凍展示に使用された。NH₃ は燃焼性や毒性がある冷媒であるが、高压ガス保安法ではプロパンのような爆発性がないことから、防爆仕様からの適用除外になっている。しかし毒性を有することから、一般住宅の近くで使用される製品には不向きである。

4) 二酸化炭素 (CO₂) 冷媒

近年、環境問題から CO₂ 冷媒が注目されている。ODP が 0、GWP は 1、不燃性、腐食性がない、熱的に安定であるという特性がある。従来 CO₂ は三重点が約 -56.6℃ であり、カスケード冷凍装置の低元機（高元機：NH₃ など）としても実用化されている。また、CO₂ は臨界温度が 31.1℃ と低く、このため、CO₂ 冷凍機の高圧側は超臨界運転になり、冷却運転時では成績係数は NH₃ や HFC 冷媒などに比較して低いが、高圧側の超臨界運転を利用すると比較的容易に高温（80℃ 以上）が取り出せる。この特性を生かし 2001 年には深夜電力利用の CO₂ 給湯機が発売され、現在までに累積販売台数が 500 万台以上になっている。

しかし、2011 年の原発事故以来、深夜電力の供給を石油火力に頼らざるを得なくなり、課題もある。

また、CO₂ の特性から一般の空調機への適用は不向きで、特に臨界温度が 31.1℃ と低いことから高温外気温下での効率の低下が大きな問題になっている。一方、冷凍冷蔵用途にはその特性上比較的高効率で使用可能であることから、ショーケースなどへの実用化が進んでいて、環境省の導入支援もあり普及が拡大しつつある。これらの製品化を可能にしたのは、圧縮機の開発や制御技術等、わが国の複合的な技術の結晶である。

しかし高压ガス保安法では CO₂ はプロパンと同じ区分にあり、3 冷凍トン以上の製品から技術基準の適用を受けることや、各種届け出が必要になるなどのコスト増加等の課題もある。

5) 炭化水素 (HC) 系冷媒

家庭用冷蔵庫や自動販売機などでは、既に HC 系冷媒としてイソブタンを使用した製品が実用化されている。これらの製品は一体型で、工場にて生産されるために現地工事もなく、冷媒の充てん量も少ないため、爆発性のある可燃性冷媒でも使用が可能である。

一方、空調機用に HC 系冷媒を使用する場合は、充填量も多く洩れた場合のリスクが高く、現地工事を伴う一般家庭用の空調機等への HC 冷媒の使用は避けるべきである。

近年、自然冷媒は環境に優しく、省エネ効果もあるとの謳い文句で、既存の空調機器に機器メーカーの指定冷媒以外の冷媒である自然冷媒（特に爆発・可燃性の高いプロパン、イソブタンなどを主成分にしたもの）を売り込むビジネスが見受けられる。既存の機器は、指定した冷媒に適した設計・施工を行っているため、指定冷媒以外の冷媒充填は能力性能だけでなく安全性にも支障が生じる。機器の故障だけでなく、最悪は爆発・火災など人的・物的被害を起こす危険が大いにある。（一社）日本冷凍空調工業会は、指定冷媒以外の冷媒を入れないように注意喚起を行っている。一部の地方自治体も、ホームページに注意喚起をしており、アメリカのEPA（環境保護庁）も同様な注意喚起を出している。

また早稲田大学の齋藤教授らが行った R410A 仕様機に炭化水素冷媒であるイソブタンをドロップインした時の性能実験の論文が、第 47 回の空気調和・冷凍講演会論文集に掲載されている。

これによると R410A 仕様機にイソブタンをドロップインした場合、消費電力は大幅に減少しているが冷凍能力もそれに比例して大きく減少していて、見かけ上消費電力が減っているだけで大きな省エネ性能は無いことが実験で確認されていて、前記業者等による省エネになるという謳い文句は、事実と反しているものであることが解る。

4. まとめ

フロン系冷媒の温暖化問題は重要な課題であり、自然冷媒等の次世代冷媒の開発が求められている。冷凍空調分野は今や人々の生活や産業に無くてはならない存在になっていて、将来を見据えた適切な対応が必要である。今まで構築してきた冷凍空調機器の省エネ性、安全性、経済性を維持しながら、環境負荷を低減する冷媒の選択が必要であり、安全に対するリスク評価をはじめ、基準・規格等の整備とともに、これを支える規制緩和や場合によっては安全を担保するための規制強化も図り、一つの方向でもある自然冷媒を使いこなしていかなければならない。

近年、紹介したように自然冷媒の冷凍空調機器の実用化も進んできたが、自然冷媒は効率や安全性などに何らかの欠点を有しているものが多いが、今後の普及拡大のためのさらなる技術開発に期待したい。