

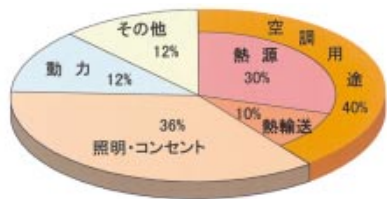
# ヒートポンプ式空調機器開発の歴史 (1)

エネルギー応用研究所 お客さま技術G 空調・熱供給T

## 1 はじめに

空調機器は私たちの日常生活、住居、仕事場など生活の隅々に浸透し、各々に冷凍空調技術が生かされています。

ビルのエネルギー使用状況は、ビルの用途、規模、構造、地域等によりいろいろと異なりますが、一般的な事務所ビルでは消費するエネルギーの約40%を空調に使用しています( (財) 省エネルギーセンター調べ)。



本稿では、このようにエネルギー消費の大部分を占める空気調和(空調)の歴史を、温度を調整する機器を中心に振り返ります。なお、「空気調和」とは温度、湿度、清浄度、気流の4つの要素をその部屋の目的にあった快適な状態にすることをいいます。

## 2 空気調和の歴史

### (1) 初期の空調の歴史

人の祖先が地球上に誕生してから400万年といわれています。二足歩行をはじめた人類は、食物を探すのと同様に、風雨を避け、寒暑をしのぐのに苦心したに違いありません。

着衣と住まいがそのための発明でした。数十万年前の原人といわれる段階では、岩陰の遺跡から火を使った跡が発見されています。火の発明によって、食品の消化を助け、食生活の安全性を高めると共に、その住まい、着衣と相まって、初めて寒さをしのぐ手段を手にしたといえます。

その後、数千年前に採集から農耕へと生活が移行すると共に、定住型生活に変化していきました。住まいは工夫され、暖を取ることが定着します。世界各地の多様な暖房方式は、こうした長い歴史に裏打ちされているのでしょう。

一方、冷房は、人類の歴史の大半を氷や雪などの気象条件を利用して行っていました。

紀元前500年～600年頃、素焼きのかめにワインを入れて夜のうちに屋上に置いておくと、次の朝に冷たくおいしいワインが飲めるというのが、一番古い冷蔵

庫といわれています。

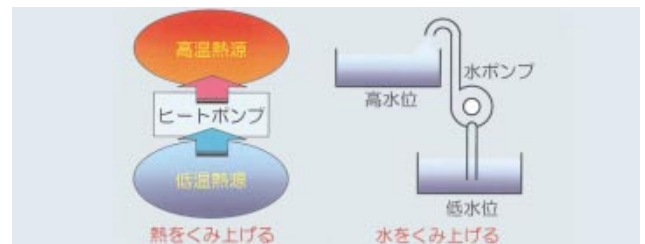
日本の冷凍の歴史も世界の国々と同じように、天然氷雪の利用から始まります。「日本書紀」には、冬に雪を蓄え、暑くなってくるとそれを掘りだして使うという氷室(ひむろ)について記載があり、日本の天然氷に関する最も古い文献とされています。江戸時代には新潟や金沢から将軍に献上する氷が運ばれたという文献も残っています。また同じ江戸時代には1773年の加賀藩御納戸日記に、蓄えておいた雪氷を用いて「客殿の冷装」を行ったと記述があり、これが日本の冷房の始めと考えられます。

### (2) 機械式空調の原理と歴史

フランスのCarnotが熱エネルギーから動力を得る理想サイクル(カルノーサイクル)を発表したのは、現在からおよそ180年前の1824年のことです。空調機ではこれの逆サイクルを利用しています。

#### (ア) ヒートポンプの原理

熱は温度の高いところから低いところに流れます。この逆、つまり熱を温度の低いところから高いところにくみ上げるのが、熱のポンプつまり「ヒートポンプ」です。エアコンや冷蔵庫はヒートポンプの一種です。



ヒートポンプと水ポンプ

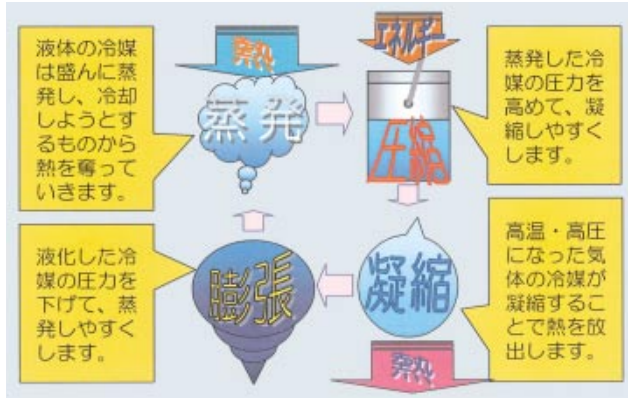
注射の前にアルコールを塗るとスーッと涼しくなる感触が得られるように、ヒートポンプは液体が蒸発して気体になる時、周囲の物体から熱を奪う性質を利用して冷却を行っています。また、蒸発によって冷却作用を行わせる物質を「冷媒」と呼んでいます。

冷却に使った蒸気状の冷媒を捨ててしまわないで、元の液体に戻し再度蒸発させるようにして繰り返し冷却作用を行わせれば経済的です。

富士山の山頂でお湯を沸かすと、100℃ではなく、86℃で沸騰してしまいます。これは、気圧が低いからです。一般に圧力が低くなると蒸発する温度は低下します。逆に、圧力を高くすれば蒸気は凝縮しやすくなります。そのため、圧縮機と凝縮器を用いると蒸気冷媒

を高圧の液体に戻すことができます。この高圧液を膨張させれば元の圧力の低い液に戻ります。

このように、冷媒を蒸発 圧縮 凝縮 膨張 蒸発 というように連続的に状態変化させて冷凍を行わせるサイクルを冷凍サイクルとよびます。



ヒートポンプの冷凍サイクル

低温側を利用する場合が冷房、高温側を利用する場合が暖房となります。ヒートポンプは冷暖両方利用できます。熱のくみ上げは、自然現象に逆らうため、エネルギーが必要となります。しかし、熱を発生させるのではなく、熱をくみ上げるだけなので、高温部と低温部の温度差が小さければ、わずかなエネルギーで済みます。したがって、入力したエネルギーよりも利用できる熱量が大きくなり、省エネルギーとなります。

#### (イ) 機械式空調の歴史

1834年にアメリカのJ. Perkinsが密閉サイクル製氷機の開発で英国特許を取得し、1851年にはアンモニアを使った冷凍機がフランスのF. Carreによって初めて設計され、一部で商業的に使用されるようになりました。これが現在の機械式冷凍機のスタートといえます。今からおよそ150年前のことです。しかし、アンモニアを使用するため、漏れると毒性があり、しかも可燃性ということもあって、冷凍空調は今ひとつ発展しませんでした。

国内で初めて機械で氷が作られた記録は、1870年大学東校(現東大)の宇都宮教授が慶應義塾の塾生に乞われ、高熱で病臥中の福沢諭吉のために実験室用の冷凍機で氷を作ったものとされています。

当時の冷凍機のほとんどは製氷に用いられていました。そのため、冷凍機の能力は一日の氷の生産トン数で表し、日本冷凍トン(JRt、1JRt=3,320kcal/h)という単位を用いました。一方、冷房には冷房先進国の米国冷凍トン(USRt)が広く用いられています。これは、0の水2,000ポンドを1日で0の氷にする熱量を1USRt(=3,024kcal/h)としています。冷凍トンにはこの他に、高圧ガス取締法に定められた法定冷凍能力の

単位として法定冷凍トンがあり、使用に注意が必要です。

冷凍機が冷房用として使用されたのは1917年久原房之助(日立製作所の創業者)が神戸の私邸に約6,400kcal/hの炭酸ガス圧縮機を取り付け、室内を冷やしたのが最初といわれています。

1934年には南満州鉄道の特急「あじあ」号に冷暖房装置を設置しています。「あじあ」号は当時世界で最も速く(最高時速130km/h)、インテリア面でも設備面でも世界一の豪華さを誇った蒸気機関車による流線型特別急行列車でした。真夏には摂氏30以上、冬は零下40にも達する砂塵の多い荒野を走るために、窓は全て密閉式の二重ガラスを備えていたことから、固定編成の列車としては世界で最初の全車輻空調設備を整備した列車となりました。

設置された装置は、機関車からの高圧蒸気を噴射し、これにより発生する真空(超低圧)で冷却器中の水を冷却し、この冷水をポンプで客車に送って夏期の冷房を行い、冬期は冷水の代わりに蒸気を送って温風暖房を行うものでした。運動部分が少なく、特殊な冷媒を用いないで、運転者が扱いたれた蒸気と水を利用した点が大きな特徴です。



戦艦「大和」と特急「あじあ」号  
写真提供 戦艦「大和」(株)潮書房/光人社殿  
特急「あじあ」号 山角鉄男様

第二次大戦中の1941年には荏原製作所と日立製作所が戦艦大和、武蔵に150,000kcal/hのターボ冷凍機を各4台納入しています。弾薬庫は通常艦を動かす機関のすぐそばにあり、室内温度がすぐに上昇し、自然誘爆を引き起こすことがありました。また、弾薬は摂氏20に保たれると最も性能が良いとされていました。そのため、冷凍機は弾薬の性能維持と誘爆を防ぐために用いられていました。余った冷凍能力を、艦内の食料用冷凍冷蔵庫や居室の冷房に利用していました。そのため、「大和ホテル」と呼ばれるようになりました。当時は艦の性能が最優先で、人の居住区の空調は後回しにされていたようです。

戦後の1970年には大阪万国博覧会でのパビリオンの空調に地域冷房が日本で初めて採用されました。国内最初とはいえ世界でも最大級の規模であり、総容量30,550USRt(約92Gcal/h)、単機容量3,000USRtの画期的な大容量電動ターボ冷凍機を開発、納入しています。

(ウ) ヒートポンプ式空調機器の歴史

1932年に兵庫県の朝日新聞社社主村山邸の木造和風二階建て住宅に対して、2USRtのアンモニア冷凍機により日本で最初のヒートポンプによる冷暖房設備が完成しました。次いで1937年には当時としては世界最大規模、そして最初のヒートポンプ式全館冷暖房装



京都電燈本社ビル  
写真提供 (株) 銭高組殿

置が京都電燈本社(現関西電力京都支店)に設置されました。京都電燈本社ビルは第二次大戦後GHQにより一時接収されましたが、高度で精緻な冷暖房システムに驚いた同軍の技術者が本国の専門誌にその報告を掲載したほどでした。

当時のヒートポンプの大半は地下水を熱源としたものでした。ところが、地下水の大量採取は地盤沈下を招き、1962年に地下水の採取規制に関する法律が公布されてから一部を除き使用不可能になりました。ところが、1970年頃から経済発展に伴う公害が大きな問題となり、特に大気汚染問題が甚だしく、燃焼によらないヒートポンプが注目され始めました。そのため、熱源を大気とする空気熱源ヒートポンプと、冷房排熱を熱源とする熱回収ヒートポンプが現れ、蓄熱槽とヒートポンプを組み合わせた蓄熱式ヒートポンプシステムが一躍脚光を浴びるようになりました。

### 3 冷媒の歴史

最初の機械式冷凍機には、冷媒にエチルエーテルが用いられました。その後、様々な冷媒が試用されましたが、主として可燃性や毒性の面で次々と脱落し、長い年月の淘汰を経た結果、アンモニア、炭酸ガス、炭化水素系ガス、亜硫酸ガスなどに絞られてきました。

1930年にアメリカのT. Midgley がフルオロカーボンの合成に成功しました。この化合物に「フレオン」という名称を付けデュポン社が商用生産を開始しました。国内では、1935年に大阪金属工業(現ダイキン工業)がフレオンの試作に成功し、当時最新鋭の伊号第171潜水艦に同社の20HP(約12,800kcal/h)フレオン冷凍機を搭載して試験を行い、良好な結果を得ました。

なお、開発の経緯からも分かるように、「フレオン」はデュポン社の商標であり、日本でも戦後しばらくはそれを踏襲していましたが、1953年「フレオン」の日本における商標認可を受けて、これを「フロン」と

呼ぶように変わっています。このフロンガスの登場によって冷凍空調分野に急激な発展が起きました。

しかし、1974年のNATURE誌にアメリカのRowland博士らにより特定フロンのオゾン層破壊現象についての論文が発表されます。これに基づき、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、その後、強化・前倒しになり、1995年に先進国においてCFC冷媒の生産全廃が完了しました。また、HCFCも補充用を除き2020年に全廃ということになっています。

これらを受けて、カーエアコンや家庭用冷蔵庫はいち早くCFCからHFCに移っており、空調機や業務用の冷凍機もHFCへの移行が完了しつつあります。

一方、1992年のリオサミットにおいて、「温暖化などの地球の気候変動問題を大きく取り上げるべきだ」という論議がなされ、気候変動枠組み条約が採択されています。この時点ではまだ冷媒ガスそのものは温暖化ガスとして扱われていませんでした。しかし、1997年の京都議定書の段階になると、化学物質もそれに含めるという議定書が採択されました。

空調機器に含まれる冷媒は密閉回路の中で使用されており、機器廃棄時には回収されるため、大気に漏洩する量はわずかです。従って、温暖化防止へは機器のエネルギー効率を上げてエネルギー消費を抑えることが最も効果的です。しかしながら、全ての冷媒が回収されるわけではないため、オゾン層破壊能力がなく、温室効果係数もゼロの自然冷媒の見直し論が高まっており、これらを使用した空調機への再転換も図られています。

#### 冷媒の分類と特徴

冷媒の分類		特徴および状況
フロン	CFC	塩素を含み安定なため、オゾン破壊能、温室効果が高い。1995年生産全廃。
	HCFC	水素を含むためCFCよりはオゾン破壊能が低い。2020年生産全廃予定。
	HFC	塩素を含まないためオゾン破壊能はゼロ。安定なため温室効果は高い。
自然冷媒	アンモニア	刺激臭、毒性、可燃性、爆発性が課題。耐性材料が必要。蒸発潜熱が大きい、熱伝導性が良い。
	炭化水素	可燃性が非常に高く爆発の危険がある。毒性はそれほど強くなく、冷媒としての特性は優れている。
	炭酸ガス	高圧で作動するため重構造。凝縮させにくい。無毒、極めて安定で不燃性。伝熱性はよい。
	空気	効率が低く、機器が大きくなる。入手しやすく、安全性が高い。現在は航空機の空調に用いられている。
	水	小型化、空冷化、ヒートポンプ化が課題。安価であり、入手しやすい。安全性に優れている。

今回は、当社のヒートポンプ式空調機器の開発についてまとめます。

(注) C F C はクロロフルオロカーボン(Chloro-Fluoro-Carbon)の略で、塩素(Cl) フッ素(F) をもつものです。  
HCFCはハイドロクロロフルオロカーボン(Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon)の略で、CFCに加え水素(H)をもつものです。  
H F C はハイドロフルオロカーボン(Hydro-Fluoro-Carbon)の略で、フッ素(F)と水素(H)をもち、塩素(Cl)をもちません。



執筆者/林 大介  
Hayashi.Daisuke@chuden.co.jp