吸収式冷温水機・冷凍機の紹介

荏原冷熱システム㈱ 鴇田 渉・山瀬 智彦

E2509-07

はじめに

荏原は1912年創業以来、産業機械分野におけるグローバルリーダーとしての地位を確立してきた。その多岐にわたる製品群の中でも、吸収式冷凍機は極めて重要な製品ラインとして位置づけられている。これらの冷凍機は、オフィスビル、病院、ホテルといった大規模な商業施設や公共施設、さらには多様な産業プロセスにおいて、高効率で環境に配慮した冷却ソリューションを提供している。吸収式冷凍機の基本的な原理は、蒸気、温水、ガス、あるいは各種の排熱など、熱エネルギーを利用して冷熱を生成することにあり、このプロセスでは冷媒として水、吸収剤として臭化リチウム溶液を使用するため、オゾン層破壊物質や地球温暖化係数の高い冷媒を使用する必要がなく、本質的に環境負荷が低いのが特長である。

当社の吸収式冷凍機事業は1963年に国産初の蒸気焚き吸収式冷凍機を納入した。その後、1967年には効率を大幅に向上させる二重効用吸収式冷凍機を開発し、省エネルギーの新たな業界標準を設定した。1970年代の世界的エネルギー危機に直接対応する形で、1974年には二重効用吸収ヒートポンプを1976年には22%省エネ型吸収冷温水機を発表する等、継続的な技術革新を行ってきた。1990年代には、地球規模での環境保護意識と規制の高まりを受け、省エネルギー技術をさらに進化させ、これまでに世界中で10,000台以上の吸収式冷凍機を供給してきた実績を誇り、その技術力と信頼性で確固たる地位を築いている。

当社の吸収式冷凍機は、利用する熱エネルギーの種類、熱力学サイクル（一重効用または二重効用）、および冷却能力によって多様な機種群に分類され、幅広い市場ニーズに対応している。

主要な機種群は以下の通りとなる。

(1) 蒸気・温水二重効用吸収式冷凍機

主に蒸気または温水を熱源とし、二重効用サイクルにより優れた省エネルギー性能を実現。350kWから10,000kWという広範な冷却能力を提供し、オフィス、ホテル、病院などの大規模な商業ビルにおける空調用途や、蒸気や温水が安定して供給される様々な産業プロセスに最適である。

(2) ガス焚き二重効用吸収式冷凍機

天然ガスを熱源とし、特に低NOx（窒素酸化物）バーナーを搭載。350kWから7,000kWの冷却能力を提供し、蒸気や温水の供給が限られている地域や、分散型エネルギーシステムにおいて、高いエネルギー効率と環境負荷低減を両立する。

(3) 廃熱利用一重効用吸収式冷凍機

60℃から90℃程度の低温廃熱を効率的に利用するように特別に設計。100kWから3,000kWの冷却能力を提供し、工場、コージェネレーションシステム、地域冷暖房ネットワークなど、低品位

廃熱が発生する用途での費用対効果の高い廃熱回収とCO_2排出量削減に貢献している。

(4) 水素焚き吸収冷温水機

カーボンニュートラル社会の実現に向けた新たな選択肢として注目され、CO_2排出量ゼロ、水素の直接利用、低NOx化技術、省エネルギー技術の標準搭載などの革新的な特長を有し、オフィスビル、工場、空港、商業施設、地域冷暖房施設など、幅広い場所で快適な空調空間を提供するための熱源機として、水素社会の実現に貢献することが期待されている。

世界初の水素を燃料とした水素焚き吸収冷温水機

地球温暖化の主要因である温室効果ガスの排出削減という喫緊の課題に対し、全世界共通の目標として掲げられている「2050年カーボンニュートラル」の実現を最重要視している。この目標達成には、次世代エネルギーとして位置づけられる水素の積極的な活用が不可欠であり、水素社会の構築と水素利用の拡大は表裏一体の関係にあると認識されている。当社はこの中で、水素の「つくる・はこぶ・つかう」というサプライチェーン全体の概念を掲げ、各段階に対応する多様な水素関連製品・技術の開発を推進している。水素焚き吸収冷温水機「RHDH型」は、このサプライチェーンにおいて「つかう」製品として位置づけられ、水素の燃焼熱を動力源として、主に空調用の冷水や温水を生成する先進的な吸収式冷温水機である。

(1) 製品の基本構造と水素対応への変更点

水素焚き吸収冷温水機RHDH型の仕様を表1に示す。

RHDH型吸収冷温水機は、従来から市場に供給してきた都市ガス焚き吸収冷温水機RHDG型の基本設計を継承している。しかし、燃料を水素に転換するにあたり、燃料供給条件の最適化と、安全性を高めるための配管パージ用窒素の追加などの変更が加えられている。

表1

項目	単位	単体	冷却塔一体形
型式		RHDHL008	RHDHL008HP
定格冷凍能力	kW	281	
定格加熱能力	kW	281	
冷水温度	℃	12→7	
温水温度	℃	55→60	
冷水温水流量	L/min	806	
冷却水温度	℃	32→37.1	—
冷却水流量	L/min	1333	—
水素消費量　冷房	Nm3/h	68.5	69.9
水素消費量　暖房	Nm3/h	99.4	99.4
消費電力　冷房	kW	2.8	16.4
消費電力　暖房	kW	2.8	9.3
期間成績係数	—	1.56	

構造面での変更点は、燃料の特性に対応するため、高温再生器の一部と燃焼装置全体が水素専焼用に最適化された点にある。RHD型シリーズの高温再生器は、燃焼ガスと接触する部分に液冷壁構造（燃焼ガスと接する炉筒の裏側が臭化リチウム水溶液に冷却される構造）を採用しているため、燃料が水素に変わっても大規模な構造変更は不要であった。この液冷壁構造は、水素のような高温燃焼ガスに直接触れる部分を効果的に冷却し、過熱を防ぐ役割を果たしている。

しかし、水素は都市ガスに比べて火炎温度が著しく高く、燃焼速度も速いという特性を持っておりこの特性により、炎の形状や炉筒内部の熱負荷分布が都市ガスの場合とは大きく異なることが予想され、この熱特性の変化に対応するため、燃焼室全体に熱的余裕を持たせた設計が施され、水素の高温・高速燃焼に耐えうる堅牢な構造としている。

(2) 水素バーナにおける安全対策

水素は、都市ガスと比較して燃焼範囲が広く、燃焼速度も速いため、容易に着火・燃焼させられる一方で、安全性においては都市ガスよりも三種類の逆火防止策が複合的に採用されている。

① 不活性ガス（窒素）による
　水素配管内パージ

運転開始時や停止時に、水素配管内に空気と

水素が混合し、可燃性混合気が形成されるのを防ぐために、不活性ガスである窒素を用いたパージが行われる。これにより、配管内の水素濃度を燃焼範囲外の100％に維持し、逆火の発生自体を根本的に防ぐ。

② フレームアレスタの設置

水素配管のメイン配管とパイロット配管の両方にフレームアレスタが設置されている。フレームアレスタは、万が一逆火が発生しようとした際に、炎を物理的に遮断し、その延焼を食い止める役割を担う。

③ ガスノズルの小口径化

水素の供給圧力を比較的低く設定し、その上でガスノズルを小口径化することで、水素ガスの噴出速度を意図的に大きくしている。これにより、水素火炎の伝播速度と比較して十分に速いガス噴出速度を確保し、配管内部で水素が空気に接触しにくい環境を作り出すことで、逆火のリスクを低減する。

⑶ 火炎検知と燃焼限界の確立

水素炎は都市ガス炎とは異なるスペクトルを持つため、従来の紫外線（UV）火炎検知器が水素炎を適切に検知できるかどうかの検証が行われた結果、水素火炎のスペクトルはUV検知範囲の端に位置するものの、従来のUV火炎検知器でも検知は可能であることが確認された。しかし、都市ガスの場合と比較すると検知能力は劣るため、あらゆる燃焼領域で確実に火炎を検知できるよう、検知器の取り付け位置と角度を調整している。

また、水素燃料は炭素を含まない特性上、不完全燃焼状態に陥っても排ガス中に一酸化炭素（CO）が発生しない。このため、都市ガス焚き冷温水機で一般的なCO濃度による不完全燃焼の判断が不可能という課題が生じる。この課題を克服するため、各燃焼量における排ガス中の酸素濃度と水素濃度を詳細に測定し、そのデータに基づいて排ガス中の酸素濃度を指標とした安定燃焼可能範囲を決定した。

⑷ NOx排出量の抑制技術

水素を燃焼する際に環境に与える影響として、排ガス中に含まれる窒素酸化物（NOx）の量が特に問題視される。水素は燃焼時の火炎温度が極めて高いため、一般的な都市ガス用のバーナで燃焼させると、都市ガスの場合の数倍のNOxが発生する傾向にある。

RHDH型では、このNOx排出量を効果的に抑制するために、ガスノズルと空気ノズルの形状や寸法を緻密に設計し、水素燃焼に最適な独自の燃焼形態を形成している。

- 分割火炎形状：火炎を複数の小さな領域に分割することで、火炎の最高温度部を下げ、熱的NOxの生成を抑制する。
- 薄膜火炎形状：火炎が薄い膜状に広がることで、燃焼領域を拡大し、局所的な高温化を防ぐ。
- 内部燃焼ガス再循環流：燃焼後の排ガスの一部を燃焼領域に再循環させることで、燃焼温度を低下させ、NOxの生成を抑制する。

これらの技術を組み合わせることにより、NOx排出量を40ppm以下に抑制することに成功した。

さらに、当社のバーナには、燃料調量弁と空気ダンパを独立して制御する「リンクレス機構」が標準で搭載されており、これにより各燃焼量においてNOxが最も低くなる排ガス酸素濃度に自動的に調整することが可能となる。

⑸ CO_2排出削減効果と省エネルギー技術

RHDH型が水素を燃料とすることの最大の利点は、燃料の燃焼時に二酸化炭素（CO_2）を一切排出しない点にある。これにより、燃料由来のCO_2排出量を100％削減することが可能となるが、吸収冷温水機は、ポンプやバーナなどの駆動に電力を消費するため、電力由来のCO_2排出量は残る。それでも、従来の燃料と比較すると、年間CO_2排出量において灯油に比べて95％削減、都市ガスに比べて94％削減という極めて大きな削減効果が見込まれている。

さらに、最新機種に搭載されている様々な省

エネルギー技術を標準で備えており、冷却水や冷温水の変流量制御、負荷変動に応じた省エネ運転モード、そして、運転開始までの時間を短縮する始動時間短縮制御などが含まれている。これらの技術は、水素利用によるCO_2排出量の削減効果に加え、運転時における電力消費量そのものを抑制することで、製品全体の総合的な環境性能と省エネルギー性を向上させることができる。

(6) 高い評価と将来への展望

水素焚き吸収冷温水機は、燃料の燃焼時にCO_2を排出せず、冷媒には水という自然冷媒を使用していることから、カーボンニュートラルの実現に向けた時代に極めて適合した製品であると言える。その革新的な技術と環境性能は高く評価され、㈠財)省エネルギーセンターが主催する「2024年度（令和６年度）省エネ大賞」の製品・ビジネスモデル部門において、「省エネルギーセンター会長賞」を受賞するという栄誉に輝いた。

当社は、今回のRHDH型冷温水機の開発と受賞を契機に、来るべき水素社会の実現に向けて、今後も水素利用技術のラインナップを積極的に拡充し、この取り組みは、持続可能な社会の構築と地球環境保護に大きく貢献するものとして、大いに期待されている。

廃熱利用の吸収冷凍機

(1) 熱の脱炭素化

熱の脱炭素化とは、CO_2を排出しない方法で熱エネルギーを作り出すことであり、カーボンニュートラル実現に向けた重要な鍵となる。

熱エネルギーの多くは、石炭、石油、天然ガスといった化石燃料を燃焼させることで得られており、この燃焼プロセスで大量のCO_2が排出され、地球温暖化の主な原因となっている。電力分野に比べ、熱分野は多様な用途と温度帯が存在するため、脱炭素化の進みが遅れているのが現状であり、熱の利用をクリーンな形へ変換することが急務となっている。

熱の脱炭素化に向けたアプローチは、利用される分野や必要な温度帯によって様々な技術を組み合わせて進められているが、廃熱（未利用熱）の活用の一つとして、吸収式冷凍機を紹介する。

(2) 廃熱の有効活用

廃熱の有効活用は「捨てられているエネルギーを再利用することで、新たに化石燃料を燃やす必要性を減らし、CO_2排出を削減する」ことにつながり、脱炭素化を実現するための非常に有効な手段の一つである。

具体的な廃熱利用の例は、工場の熱を再利用する大規模なものから、私たちの生活に身近なものまで様々な例がある。

大規模な例として、ごみ焼却場に発生する高温の熱で蒸気や温水を作って周辺の公共施設などに暖房・給湯を供給したり、下水や河川水の「夏は外気より冷たく冬は暖かい」という温度差の特性をヒートポンプで効率的に利用したりするような取り組みがある。また、今後、デジタル化の進展でデータセンターの需要はますます増加するため、その廃熱利用についても注目されている。

身近な例として、自動車の暖房がある。エンジンを冷やすために循環している冷却水の熱（エンジンの廃熱）を利用して車内の暖房を行っており、新たに燃料を燃やしているわけではないため、燃費にほとんど影響していない。

(3) 廃熱を利用した吸収式冷凍機

吸収式冷凍機は、電気でコンプレッサーを動かす一般的な冷凍機とは異なり、「熱」を駆動源として冷水を作るので、工場の廃熱を冷房やプロセス冷却に活用し、省エネルギーと脱炭素化に大きく貢献することができる。

廃熱を利用した吸収冷凍機のメリットは以下となる。

- 廃熱を冷房に転換するため、エネルギーを非常に効率的に利用でき、大幅な省エネとCO_2の削減となる

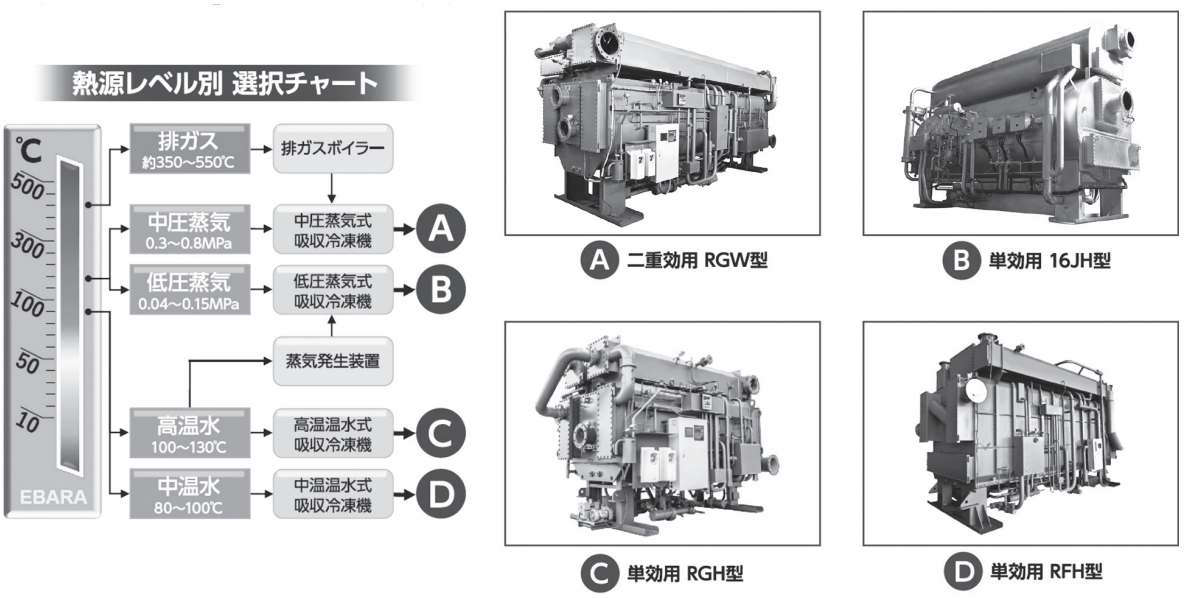

図 1

- 夏場の電力需要がピークになる時間帯の電力消費を大幅に抑えることができる
- 冷媒にフロンではなく「水」を使用するため、環境負荷が極めて低い
- 動力部がコンプレッサーではなくポンプのため、運転音が静かで振動も少ない

但し、以下の課題もある。

- 冷凍機だけでなくポンプ・冷却塔や配管設備が必要となり、廃熱を蒸気や温水へ変換する設備も必要になるケースもあり、導入時の初期投資額が大きい
- 電気式冷凍機よりも冷却塔のサイズが大きくなる
- 効率的に運転するためには、ある程度高温の廃熱が必要となる

また、廃熱を利用した吸収式冷凍機は、コージェネレーションシステムの吸気冷却にも活用されている。

コージェネレーションシステムの心臓部であるガスタービンは大量の空気を吸い込んでいるが、夏場で外気温が上昇すると空気は膨張して密度が低くなる。同じ体積を吸い込んでも燃焼に必要な酸素の量が減ってしまうので、燃料を十分に燃やせずに発電機の出力が低下し、最も電力が必要とされる真夏に発電能力が落ちてしまう問題がある。

この問題を解決するために、発電時に発生する廃熱を利用して吸収冷凍機で冷水を作り、その冷水で吸気冷却を行う方法が用いられる。吸気の密度が高まることで燃焼効率が上がり、夏場の出力低下を防ぎ、年間を通じて安定した電力供給を実現できる。

当社は多種多様な吸収式冷凍機のラインナップがあり、廃熱を利用できる吸収式冷凍機も幅広く提供できる。廃熱を利用した吸収冷凍機を導入する際のポイントは以下となる。

① 廃熱の温度レベルは十分か？
70℃程度以上～

② 廃熱の熱量kWは十分か？
約30m³/h以上～

③ 廃熱は連続的に得られるか？
連続運転に必要

④ 廃熱と冷熱の需要は同タイミングで存在するか？

⑤ 吸収式冷凍機に必要な冷却水量は確保可能か？

⑥　廃熱回収場所と冷熱需要場所の距離に無理はないか？

⑦　その他、必要な電源、設置面積、耐荷重の確認

おわりに

当社は、水素を燃料とした水素焚吸収冷温水機並びに吸収冷凍機の廃熱活用を積極的に提案し、社会全体の脱炭素化へ貢献していく。

※文章内「○○○型」の記述は当社の機種記号である。

【筆者紹介】

鴇田　渉
荏原冷熱システム㈱　冷凍機事業部　事業企画部
事業企画課

山瀬　智彦
荏原冷熱システム㈱　冷凍機事業部　事業企画部
事業推進課