世界初の水素を燃料とした吸収冷温水機 RHDH型

荏原冷熱システム株式会社

1．はじめに

2050年カーボンニュートラルが目指されるなか、温室効果ガス削減は全世界の課題です。こうした背景のもと、次世代エネルギーとして注目されている水素は、社会構築と利用拡大を一体的に推進することが求められています。

今回紹介する水素焚吸収冷温水機は、水素の燃焼熱を利用して、主に空調用の冷水・温水を製造する冷凍機です。

2．製品概要

◆ 仕様

水素焚吸収冷温水機RHDH型[*1]（以下、本機）の仕様を表１に示します。基本的な仕様は都市ガスを燃料としたRHDG型と同様ですが、燃料条件と配管パージ用の窒素が追加されている点が異なります。

◆ 吸収冷温水機の構成と水素焚の変更点

本機は、従来機のRHDG型の構造を踏襲しつつ、燃料に関わる高温再生器の一部と燃焼装置を水素専焼用に変更しました。

RHD型シリーズの高温再生器は炉筒液管式であり、炉筒は燃焼ガス接触部が液冷壁であることから、燃料を水素に変更しても大きな変更は必要ありません。ただし、水素は都市ガスに比べて火炎温度が高く、燃焼速度が速くなります。これにより、形成される炎の形状と炉筒部の熱負荷分布が都市ガスの場合と異なります。

そこで、RHDH型の高温再生器の炉筒寸法と、断面負荷率と体積負荷率を都市ガスを燃料とした場合よりも大きくしました。

◆ 水素バーナの安全対策

水素燃焼において最も懸念されるのは逆火の発生であるため、従来の都市ガス用のバーナに加え、下記の３種類を逆火防止策として採用しました。

1．不活性ガス（窒素）による水素配管内パージ
2．フレームアレスタの設置
3．ガスノズルの小口径化

◆ 火炎検知

水素火炎のスペクトルは、UV検知範囲の端に位置しますが、燃焼試験の結果、従来の検知器で検知は可能であると判断しました。

ただし、火炎の検知能力は都市ガスに比べると劣るため、全燃焼領域で問題なく火炎検知可能なように、取り付け位置と取付角度を調整しました。

表１　水素焚吸収冷温水機RHDH型の仕様

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	236	
冷水温度	℃	12→7	
温水温度	℃	50.8→55	
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	Nm^3/h	68.5	69.9
水素消費量　暖房	Nm^3/h	81.7	
窒素供給圧	kPa G.	8～	
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	

◆ 燃焼可能範囲

水素は都市ガスと異なり、燃料中に炭素を含まないため、不完全燃焼状態になっても排ガス中にCOが発生せず、COによる不完全燃焼の判断ができません。そこで、各燃焼量で排ガス中の酸素濃度と水素濃度を測定し、排ガス中の酸素濃度による安定燃焼可能範囲を決定しました。

排ガス中の酸素濃度下限は、不完全燃焼による未燃水素排出を防止するため、1%としました。また、排ガス中の酸素濃度が15%を超えても安定して燃焼することを確認しましたが、NOxが増加すること、都市ガスの排ガス中の酸素濃度上限が約10%であることから、都市ガスと同じ10%を上限としました。

◆ 各燃焼量における排ガス酸素濃度とNOx

水素を燃焼する際、環境に及ぼす影響として排ガス中のNOx量が問題になります。水素は火炎温度が高いため、都市ガス用のバーナで水素を燃焼すると都市ガスの数倍のNOxが発生する傾向にあるのです。そこで、ガスノズルと空気ノズルの形状、

寸法を工夫し、水素燃焼に適した分割火炎形状、薄膜火炎形状、内部燃焼ガス再循環流を形成することで低NOx化を図りました。

排ガス酸素濃度によりNOx値は大きく変化しますが、排ガス酸素濃度を８％以下になるように空気量の調整を行い、NOxを40 ppm以下に抑えられました。

当社のバーナは、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を標準としており、各燃焼量においてNOxが最も低い排ガス酸素濃度になるように調整が可能です。本機は、東京都における大気汚染と地球温暖化の両方の対策を進めるための「低NOx・低CO_2小規模燃焼機器認定制度」でグレードHH[*2]を取得しました。

◆ 水素燃焼によるCO_2排出量の削減効果

水素は燃料燃焼時にCO_2が発生しないため、従来の燃料と比較した場合、燃料由来のCO_2は100%削減可能です。ただし、吸収冷温水機は、ポンプ、バーナ等に電気を使用しているため、電力由来のCO_2は残ります。燃料を水素に変更すると年間のCO_2排出量は、灯油に比べて95%、都市ガスに比べて94%削減できます[*3]。

◆ 実証試験

本機の安全性、燃焼特性、CO_2排出削減量等を実際の運用を通して確認するために、2024年８月から2025年３月までの8か月間実証試験を行いました。使用した水素焚吸収冷温水機は、冷却塔一体型のRHDHL008Pで、対象建屋に隣接する形で屋外に設置しました。

写真１　実証試験設備外観

実証試験では、本機の制御盤で計測しているデータに加え、水素流量、冷水･冷却水流量の他、エアハンドリングユニットの運転状態、室内温度、湿度等の各種データを荏原の遠隔監視システムに取り込み、常時運転状態の監視及びデータの収集を行いました。

また、実証中は有人の巡回点検回数を増やし、毎回リークディテクターによる水素導管からの漏れ確認、水素導管パージに使用する窒素の使用量の確認等を行い、実運転においても問題がないことを確認しました。

図１に、実証中の、本機と既設電気式冷凍機とを比較した場合のCO_2排出削減量を示します。８月と９月は冷房運転、11月から３月は暖房運転の結果です。ここで、電気式冷凍機のCO_2排出量は、冷房期間中の冷凍能力、暖房期間中の加熱能力から、既設電気式冷凍機を運転した場合の電力消費量を求め、電力のCO_2換算係数を乗じて求めました。

その結果、本実証試験では、冷暖房あわせて約1,000時間の運転を行い、約21tのCO_2排出量を削減という効果が得られました。

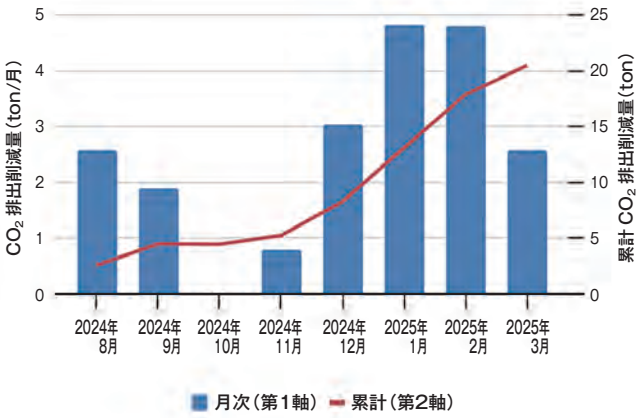

図１　実証期間中のCO_2排出削減量

3．おわりに

今回紹介した水素焚吸収冷温水機RHDH型は、当社最新機種に搭載している冷却水や冷温水の変流量制御、省エネ運転モード、始動時間短縮制御といった各種省エネ技術を標準で搭載しており、水素利用によるCO_2排出量だけでなく、消費エネルギーの削減にもつなげることができます。

本機は、燃料の燃焼時にCO_2を排出せず、冷媒には自然冷媒である水を使用しているため、カーボンニュートラル時代に適した製品です。来るべき水素社会の実現に向けて、大いに期待できるとご評価いただき、一般財団法人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」の受賞となりました。

＊1：本稿中の「○○型」の表示は当社機種記号を表す
＊2：RHDHL008Pの場合
＊3：空気調和・衛生工学会の空調負荷データ（病院）を使用し、算出した結果