

新型吸収冷暖房機の開発

Development of New Absorption Chiller & Heater

高砂製作所 福島 亮*¹ 高木 浩一*¹
市岡 丈彦*¹
技術本部 和島 一喜*²

ビル空調等に用いられる大型冷暖房機分野では、近年フロンを用いない吸収冷暖房機の需要が増加している。このニーズにこたえとともに、更に使いやすく、信頼性の高い吸収冷暖房機とするため新型吸収冷暖房機 U シリーズを開発した。U シリーズでは高性能伝熱管採用による、小型化及び省エネルギー化、流動解析技術の適用による抽気機能向上、三次元 FEM 解析による構造強度信頼性の向上、希釈時間短縮による省エネルギー化等の改善を行っている。さらに、本シリーズ機は約半年間に及ぶ工場検証試験実施後、平成 11 年 6 月に市場に投入している。

Absorption chiller/heaters have attracted attention because they do not use environment-endangering CFCs or HCFCs. We developed the U series absorption chiller/heater to answer market needs, improve reliability, and facilitate use. The U series has been made more compact and energy-saving through the adoption of high-performance tubes, an improved air purge system that uses Computational Fluid Dynamics (CFD), improved construction reliability using 3-D FEM, and shortened stop time. We tested the U series half a year in-house. It was released in June 1999.

1. ま え が き

現在、当社吸収冷暖房機的主力機種である S シリーズは平成 7 年に発売を開始して 5 年が経過した。この間、市場では小型化、省エネルギー化、高信頼性そして使いやすさといったニーズが更に高まってきている。この度、この市場ニーズを満足し、改良を加えた新型吸収冷暖房機 U シリーズを開発した (図 1 参照)。

以下に U シリーズの特長を示す。

(1) 小型化

高性能伝熱管の採用と伝熱面積配分の最適化により小型化を行った。

(2) 省エネルギー

高性能伝熱管採用によるポンプ動力の削減及び停止時間短縮による消費動力削減を図った。

(3) 信頼性向上

抽気機能の向上及び三次元 FEM 解析による機器構造の改善を行った。

(4) 操作性改善

漢字・かなのカラー表示及びグラフィック表示が可能な高機能マイコン制御盤を採用した。

本報では、これらの改善事例の詳細について紹介する。

2. 開発機の特徴

2.1 熱交換器性能向上

開発機の小形化のためには熱交換器の性能向上が不可欠であり、本開発の吸収冷暖房機において、容積割合の大きい蒸発器及び吸収器に対して ① 細径伝熱管の採用、② 高性能伝熱管の採用、③ 伝熱面積配分の最適化により性能向上を図った。

(1) 細径伝熱管の採用

細径伝熱管の採用により、同じ伝熱面積の下でピッチ/管径を一定とすると、管群の幅、高さの縮小効果により、伝熱管本数を増加しても、管群容積は式(1)のように基準の管径と細径管径の比率分、縮小できることとなる。

$$\text{細径管採用時の管群容積} = \frac{D_0}{D_1} \times H \times W \times L_1 \quad (1)$$

ここで、

D_1 : 細径伝熱管径

D_0 : 基準の伝熱管径

H : 基準の伝熱管径における管群高さ

W : 基準の伝熱管径における管群幅

L_1 : 伝熱管長

ただし、実機を計画する場合には、管内圧損の制限、管本数の増加によって液膜流量の変化した際の伝熱性能の変化を考慮する必要がある。これを考慮して、従来の S シリーズ機を基準に管長一定で細径伝熱管の検討を行った。その結果、管群容積は従来対比約 6% 減少し、熱交換器の小形化に有効であることが判明した。

これより、今回の開発においてはこの細径伝熱管を採用することとした。

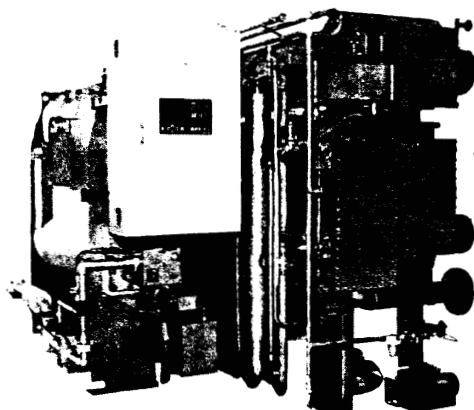


図 1 新型機外観 新型機 U シリーズの外観を示す。
External view of new model-U series-

*1 機械技術部冷熱装置設計課
*2 高砂研究所燃焼・伝熱研究室

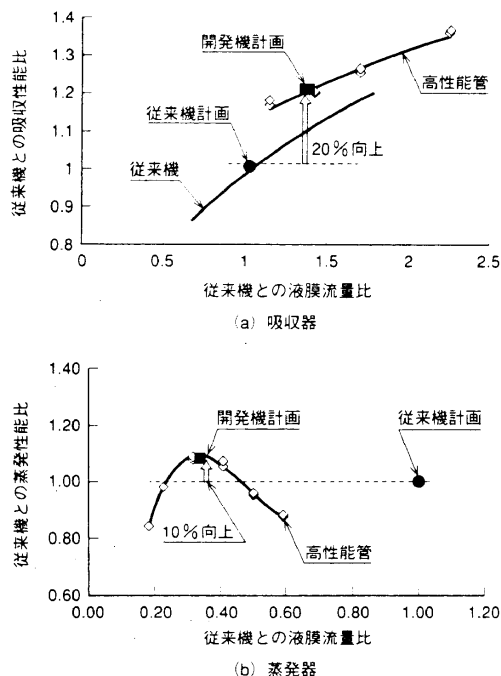


図2 高性能管による性能向上 台形針状フィン管により吸収器約20%、蒸発器で約10%従来管に比べ性能が向上した。
Improvement by high performance tube

(2) 高性能伝熱管の採用

小型化のために高性能管の採用による吸収器、蒸発器の高性能化を図った。別途進めてきた吸収現象の解明を目的とした研究成果を適用し、吸収促進管を開発した。この伝熱管は、表面に多数の台形突起を機械加工し、濃度混合促進と液膜の薄膜化による性能向上を図るものである。この伝熱管を、実機を想定した管群形状で試験を行った結果、図2に示すように従来管群に比べ約20%の性能向上が可能であることが分かった。

また蒸発器についても、特殊表面形状の蒸発促進管を開発した。蒸発器では、伝熱管表面での冷媒液膜の拡張と薄膜化を図ることにより性能向上するが、一方このために冷媒散布量を増大させることは冷媒ポンプ動力の増大を招き、省エネルギー化が図れない。そこで、伝熱管表面に機械加工で微細な突起を形成することにより、従来対比約1/3の冷媒液膜量でも効果的に薄膜形成できるようにした。また管群試験を行った結果、図2に示すように従来管群に比べ約10%の性能向上を確認した。

(3) 伝熱面積配分の最適化

従来機に対し、吸収器のコンパクトを図るために、前記のような細径高性能管の採用とともにサイクル的検討も加え、蒸発器との伝熱面積配分を一層適正化することを試みた。交換熱量と冷水、冷却水及び溶液の条件は不変であるので、圧力の作動点を従来機より高く設定して、吸収器の伝熱面積を削減し、蒸発器の伝熱面積を増やした。こうして蒸発器と吸収器の伝熱面積を適正化し、合計伝熱面積の削減を行った。

これらの細径管、高性能伝熱管の採用及び伝熱面積配分の適正化を行うことにより、容積、伝熱面積及び伝熱管重量は以下となり、熱交換器の小型化を達成した。

蒸発器+吸収器	容積	：従来対比 △10%
	伝熱面積	：従来対比 △10%
	伝熱管重量	：従来対比 △23%

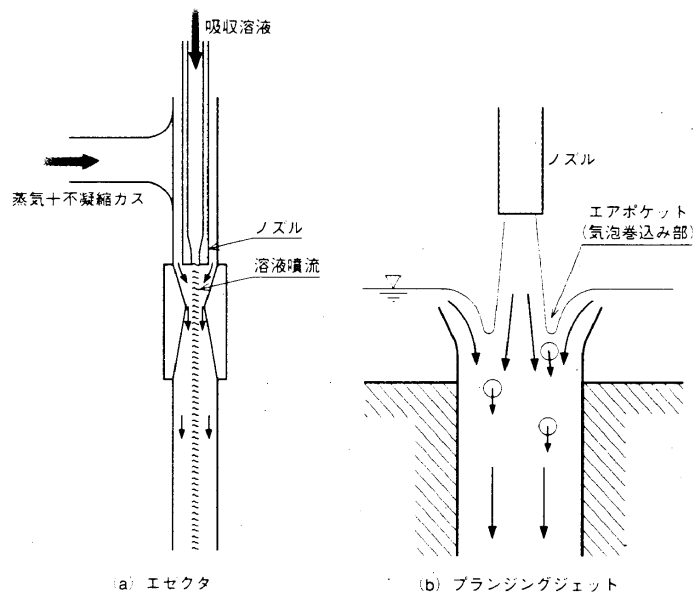


図3 抽気方式概念図 エセクタ方式とブランジングジェット方式の違いを示す。
Type of purging

2.2 不凝縮ガス抽気性能の向上

吸収冷暖房機の運転初期には機内部の接液鋼板表面に腐食抑制保護被膜を形成させる必要があり、その形成を促進するために腐食抑制剤を溶液中に微量添加している。この結果、運転初期に水素ガスが発生するが、水素ガスは凝縮器内では冷媒の凝縮を阻害し、また吸収器内では吸収現象を阻害し冷凍能力を低下させる。そこで、このような不凝縮ガスを効率的に機外に排出する高効率抽気装置を吸収冷凍機に設置し、適切な位置から抽気する必要がある。

(1) 抽気装置の改善

従来の抽気装置は、図3(a)に示すように吸収溶液を作動流体としたエセクタを用いて機内より蒸気と共に不凝縮ガスを吸引していたが、機内で最も低圧(約700~800 Pa)である吸収器からの抽気はエセクタの原理(作動流体の流速まで周囲気体を増速し、この動圧低下分が吸引駆動力となる。吸収器内の蒸気比重は著しく小さいため、動圧も小さい。)では現状以上の排気速度を得ることが難しいという問題がある。

一方、ブランジングジェット(液面衝突液噴流)方式は、溶液噴流を溶液面に衝突させたときの溶液噴流と溶液面境界部で気泡を巻き込む手法で、エアポケット[図3(b)参照]と呼ばれる気泡巻き込み部で気体を気泡として巻き込み、気泡流を形成する容積式の吸引方法である。エアポケットを適切に形成し、高ボイド率の気泡流を形成後、気液分離してやれば効率良く吸引効果が得られる。

開発機の抽気装置では、吸収器抽気はこのブランジングジェット方式に効果的にエアポケットを形成するオリジナルノズルを採用するとともに、比較的圧力が高い凝縮器からの抽気は簡易エセクタ方式(吸収溶液を作動流体とし、オリフィスにて噴流を形成し不凝縮ガスを含む蒸気を吸引する。)を用い、同一の抽気装置で抽気する同時抽気方式とした。

ブランジングジェット方式の吸収器抽気は従来方式の2倍以上の能力を確保するとともに凝縮器からの同時抽気により抽気速度は従来方式の10倍以上の抽気速度を達成した。

(2) 抽気位置の最適化

高効率の抽気装置を用いても、抽気位置が不適切な場合は機内の不凝縮ガスを排出できない事態となる。そこで、開発機の抽気位置決定は、従来の実績と経験を主体とした設計手法に加え、CFD（流動解析：Computational Fluid Dynamics）を用いて不凝縮ガスの滞留位置を予測した。流動解析手法は、質量保存式、運動量保存式及び濃度拡散式を有限体積法で収束計算するはん用解析コードに蒸発現象、吸収現象、溶液の管群内流動等の物理現象をモデル化して構成式として組込んだ手法で、実機の運転データと照合し、解析精度を検証している。この手法を用いて蒸発器・吸収器シェル内流動をシミュレートした解析結果（不凝縮ガス濃度分布）を図4に示す。開発機では、蒸発器・吸収器断面において、吸収器管群の中央上部付近に不凝縮ガス濃度が高くなっている領域が認められ、これは従来の知見と一致しておりこの結果を踏まえて抽気位置を決定した。

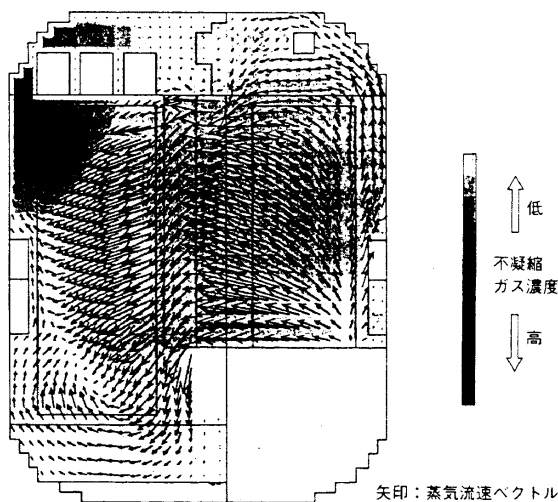


図4 吸収器・蒸発器断面不凝縮ガス分布 CFDにより不凝縮ガスの滞留位置が特定できた。
Distribution of inert gas in cross section of evaporator and absorber

2.3 シェル構造

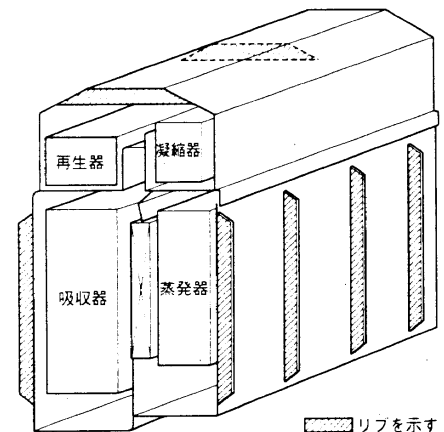
吸収冷暖房機は原理上、器内側が高真空状態となるため、一種の圧力容器としての強度設計が必要とされる。従来機では、角型シェル構造に対し強度補強のためにシェル外側にリブを配置し、シェル強度の確保を行っていた。このため、リブの溶接工数の増加、リブ設置による機外周りの配管設計の自由度の低下を招いていた。これに対し、開発機では大径円弧を極力用いたメンブレン構造とし、併せて、内部部品に強度部材の機能を持たせる構造とした。このことにより、機外に設置していたリブが不要となり、溶接工数の削減と配管設計の自由度の向上が図られた。また、従来型ではシェルを一体型としていたが、開発機では2分割型シェルとすることにより、搬入寸法が小さくでき、搬入寸法制限が問題となる既設機のリブレース需要への対応が容易となった。

図5に従来機と開発機の構造比較を示す。

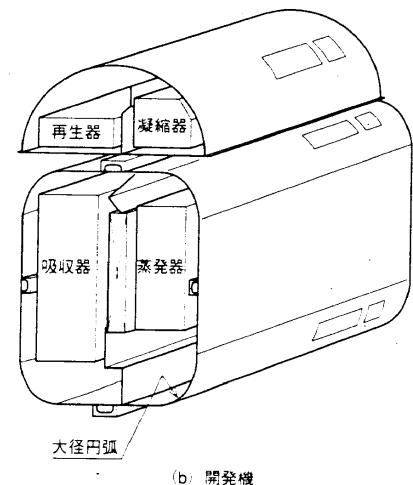
本構造の設計に当っては、基本設計段階より、三次元FEM解析にて、局所の高応力発生箇所の予想を行い、詳細設計段階にて高応力の緩和のための部品構造の形状最適化を行った。

図6に下部シェルの三次元FEM解析結果例を示す。

また、シリーズにわたって同様の解析を行い、構造強度の健全



(a) 従来機



(b) 開発機

図5 シェル構造比較 従来機と開発機の構造比較を示す。
Comparison with shell structure

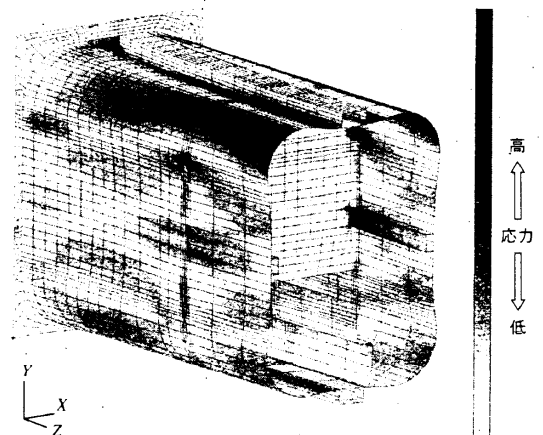


図6 下部シェル応力解析 蒸発器、吸収器の三次元FEM解析例を示す。
Stress analysis of absorber and evaporator

性を確認した。

2.4 制御性、操作性の改善

(1) 希釈時間短縮

吸収冷暖房機は停止時、器内の温度及び溶液濃度を下げるための希釈運転が必要となる。希釈時間の短縮は冷暖房機及び設

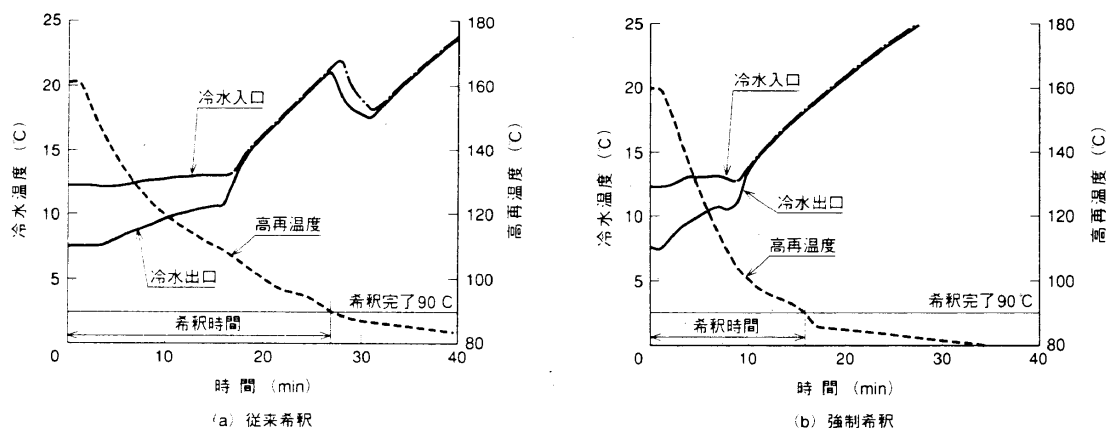


図7 強制希釈効果 強制希釈回路の希釈時間短縮効果を示す。
Effect of forced diluting system

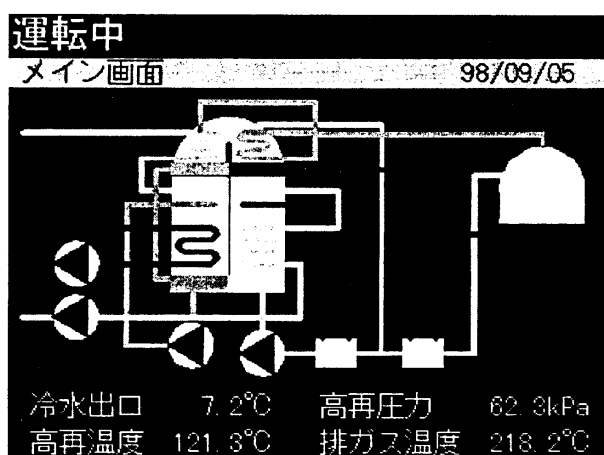


図8 新型マイコン制御盤 新型制御盤の表示状態を示す。
Display of new micro computer control panel

備動力の低減につながる。

このためには溶液への冷媒移動と機器からの排熱の促進が必要である。Uシリーズでは強制希釈回路を採用した。強制希釈回路の設置により従来、蒸発器で冷媒（水）を気化させ、吸収器において溶液中に吸収することで冷媒を移動させていたものを、液体のまま溶液に注入することで時間短縮を図ったものである。この強制希釈回路効果試験結果を図7に示す。従来機では100%負荷からの希釈時間28minに対し、15minと約半分の時間に短縮が可能となった。

(2) 高機能マイコン盤

他社に先駆け、漢字・かなによるカラーグラフィック表示マイコン制御盤を搭載した。本マイコン制御盤は5インチのカラーグラフィックディスプレイを有し、運転状態を色の変化で表示するほか、機器の運転状態を記憶しトレンドグラフにより運転状況の変化を表示することが可能である。この機能により、故障発生時及び故障発生の事前防止のための適切な対応を行うことができる。また、BAS (Building Automation System)。

表1 検証試験項目
Items of shop test

検証項目	実施試験
基本性能検証	1. 抽気性能試験
	2. 冷暖房性能試験
詳細機能検証	1. 起動、停止試験
	2. 自動制御試験
	3. 伝熱管振動計測
	4. 流調弁オリフィス化試験
耐力検証	1. 軽負荷模擬試験
	2. 結晶試験
	3. 停電試験
耐久性検証	1. 連続運転試験
	2. 性能再現性確認

吸収冷暖房機を複数台設置時の台数制御への対応も容易になっている。表示部を図8に示す。

3. 検証試験

開発機の性能、機能、耐久性を確認するため、150 USRT 機を試作し、約半年間に及ぶ工場検証試験を行った。現地における運転状況を想定した冷却水温度変化試験、制御性評価試験、さらに耐久性試験においては運転時間1000h（約1年間の運転時間に相当）、起動停止175回（約1年間の起動停止回数）を上回る十分な検証試験を行い、機器の信頼性を確認している。

本試作機における検証項目を表1に示す。

4. 今後の展開

当社の有する吸収冷凍機技術の集大成ともいえるUシリーズは現在80~500 USRTの12機種を発売している。今後は順次、大容量までラインナップを拡大していき、さらには地冷用、単効用機までシリーズ展開を進めていく予定である。また、多岐にわたる市場ニーズを満たすため、更に機能の追加、改善に努めていく所存である。