

特集論文

ヘリウム (He) 吹付け法による漏れ検査技術の革新

Innovation of The Leak Test Technology by Helium (He) Spray Method



井上 裕二*¹ 小泉 武史*² 橋本 安司*²
 Yuji Inoue Takeshi Koizumi Yasushi Hashimoto

従来、空調機の漏れ検査工法としては真空チャンバを使った He 漏れ自動検査が最も精度・信頼性の面で優れた方法である。しかし、5HP 以上の大型の熱交換器に適用しようとする、チャンバが大型になることにより漏れ検知感度が低下・接統治具の密閉信頼性低下・設備費増加などの面があり、実用化が困難であった。そこで、それらを革新する方法として吹付け方式の He 検査装置を開発し、大型の熱交換器まで容易に適用可能となり、全熱交換器製造ラインの He 漏れ検査化により製品品質を向上した。

1. はじめに

空調機は、コンプレッサ、熱交換器等とこれらをつなぐ配管で冷媒回路を構成しており、その接合方法として、ろう付け・溶接が行われている。もし、冷媒回路に漏れ欠陥があると、冷媒ガス放出により地球環境を損なうことになり、また冷媒ガス減少が続くと、最悪の場合にはコンプレッサが破損して空調機としての機能を失うことになる。そこで、空調機の製造時に実施する漏れ検査方法につき、検査技術の革新に取り組んだ。

2. 空調機漏れ検査工程の概要

空調機製造工程において漏れ検査は重要であり、その実施工程は大きく部品段階と、製品完成後の 2 段階

で行われる。製品完成後の検査は、接続が容易で製品全体が一度に検査できるが、断熱材などで覆われた部分では小さな漏れが発見しにくく、修理も大変であることから、必ず部品段階での検査を実施する必要がある(図1)。当所では、より精度の高い漏れ検査のため、製品の運転検査後にも漏れ検査を実施している。空調機のコンポーネントで最もガス漏れ検査を重視すべき部品は、冷媒回路を多数の銅管で構成し、ろう付け箇所が多い熱交換器である(図2)。特に大型の熱交換器に対しては、製造技術上の制約により従来からエア加圧水没にて漏れ検査をしており、検査精度の向上が望まれていた。

3. 漏れ検査方式比較

空調機に適用しているガス漏れ検査方式には、表1

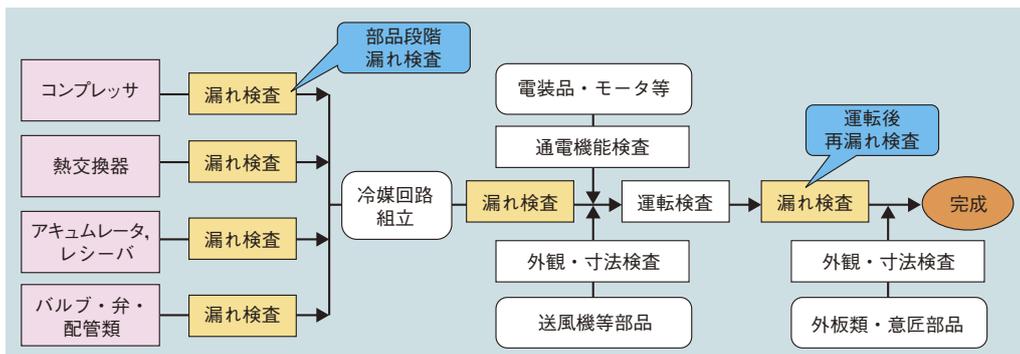


図1 空調機製造工程の漏れ検査
 空調機製造時にどの段階で漏れ検査を行っているかを示す。

*1 冷熱事業本部空調輸冷工作部生産技術課主席
 *2 冷熱事業本部空調輸冷工作部生産技術課



図2 大型熱交換器ろう付け部外観
10 HP クラスの場合、ろう付け箇所は127箇所あり。

表1 漏れ検査工法比較

漏れ検査方式	①真空法He検査	②フロンスニファ検査	③エア加圧水没検査
特徴	・He分子は小さいため漏れ易く、高精度漏れ検査に敵する。	・フロンガス封入後実施が最適。	・漏れ位置が分り易いが、精度面で問題あり
漏れ検知精度	○ (フロン10g/年レベル)	○ (フロン10g/年レベル)	× (フロン1000g/年レベル)
漏れ検査信頼度	◎ (自動判定)	△ (作業スキルに依存)	△ (作業スキルに依存)
設備コスト (エア加圧水没=1の比)	△ (4)	○ (2)	○ (1)
制約条件など	・技術的に大型化困難(注1, 2)	・最終工程でない場合フロン回収が必要 ・フロン放出のリスク	・乾燥工程が必要 ・検知精度が低い場合スニファ検査などの併用が必須。
概要図			

注1) 製品の拡管部/絞り部等が増え、密閉接続用治具の製作が困難。
注2) 真空チャンバーの大型化により製品から漏れたHe濃度が低下し、検知精度が低下。

に示す3方式があるが、分子が小さく漏れ検査に適したHeガスを使う“真空法He検査”が精度/信頼性共に最も高い。しかし、この方式には大掛かりで高価な装置と信頼性の高い治具が必要な上に、大型化に対応するための技術的ハードルが高く、今までは実現が困難であった。今回、大型“真空法He検査装置”の弱点を克服するために、“吹付け法He漏れ検査装置”を開発し、量産レベルまでの生産性を確立できたことにより、大型熱交換器にも高精度な漏れ検査の適用が可能になった(4項)。

4. 吹付け法 He 漏れ検査方式の概要

従来の真空法 He 検査と吹付け法 He 検査の違いを表2に示す。真空法では、大容積の真空チャンバ内に漏れ出す He を検知するのに対し、吹付け法 He 検査では、容積の小さい製品配管内に漏れ出す He を検知するので、吹付け法では漏れた He の濃度が薄まりにくいいため、検知感度が良い(※10 HP 熱交換器のケース：装置チャンバ2000 L、熱交換器配管内容積

10 L)。

また、チャンバ内を高い真空度にする必要がないので、真空ポンプ仕様、チャンバ材質などが安価にできる。ただし、製品の使用圧力に対して、印加圧力の向きが逆向き(真空)で低圧(真空法の約1/8)になるなどの事前検討を必要とする事項があるため、以下の方策を実施した。

- (1) 漏れ検査の確実化のため、直前に高圧気密試験実施
- (2) 漏れ検査の判定しきい値を高度化(真空法の約30倍)
- (3) Heガス濃縮装置によりHeガス濃度維持、消費抑制
- (4) 确实容易な接続のためのエア駆動自動クランプ治具を開発

5. 空気中の微量 He ガスによる誤判定防止対策(波形パターン認識判別法)

吹付け法 He 検査装置の稼働を開始すると、擬似漏

表2 吹付け法と真空法の比較

方式	吹付け法He検査 (新)	真空法He検査 (従来)
構成図	<p>チャンバ内にHeガス充填(大気圧) 製品 エア自動クランプ治具 製品内(真空)へのHe漏れを検知 He デテクタ + 真空ポンプ</p>	<p>真空チャンバ内へのHe漏れを検知 製品 フレアユニオン治具 製品内にHeガス充填(0.8MPa) He デテクタ 真空ポンプ</p>
装置写真		
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ①大型製品に適する。(内部が清浄で真空引可能な事) ②He圧力が低く治具製作が比較的容易。 ③吹付けるHeガスが薄まり易いため、Heガシリサイクルには濃縮技術が必要。 ⇒大型熱交換器の漏れ検査に適する。 	<ul style="list-style-type: none"> ①高精度だが、大きなチャンバでは技術的に困難。 ②He圧力が高く、高信頼性の治具が必要。 ③製品の真空引が十分できればHeガシリサイクル・濃度維持は容易。 ⇒フレアユニオンが付いた小型の製品の漏れ検査に適する。

れ(漏れ欠陥がないのにNG反応をする)が頻発する状況が発生し、生産ラインでのHe検査方式に対する信頼性が低下した。原因を調査・分析した結果、吹付け法He検査では、漏れ判定の“しきい値”を厳しく(真空法の約30倍)したことにより、製品配管内に残留する空気の微量Heに反応していることが判明した(大気中にはHeが5ppm程度存在する)。対策として、残留空気の真空引きと窒素置換を実施したが、一部の機種では配管内面の表面積を大きくするために内面の溝付き配管を使用しているため、残留空気を完全に除去することはできなかった。そこで、更なる対策として、漏れ欠陥による漏れ検知量の波形と、残留空気による漏れ検知量の波形における波形パターンの違いに着目し、シーケンサプログラムで識別する手法

を開発した。検証の結果、十分な効果が得られ、He検査の信頼性を飛躍的に高める事ができた(基本原理:図3)。この手法はMHI独自のHe漏れ検査技術である。

6. 枇杷島工場での適用状況

大型熱交換器生産ラインへの吹付け法He検査装置の導入により、平成17年10月以降全ての熱交換器生産ラインにHe漏れ検査装置を導入することができ、漏れ検査品質が飛躍的に向上し、後工程への漏れ不適合流出を撲滅できた(事例:図4)現在は個々の漏れ事例を詳細に分析し、漏れ不適合の発生を排除する活動を推進中である。

<適用状況>

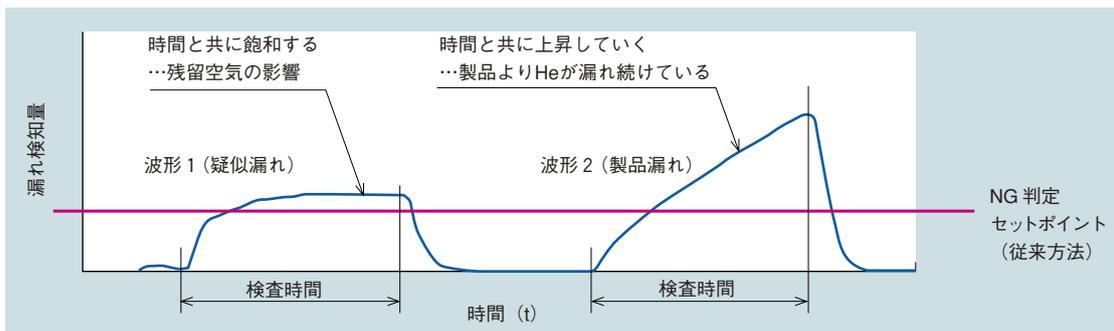


図3 波形パターン認識判別の基本原則
波形特性により、残留空気の場合と製品よりHeが漏れている場合の、違いが分かる。

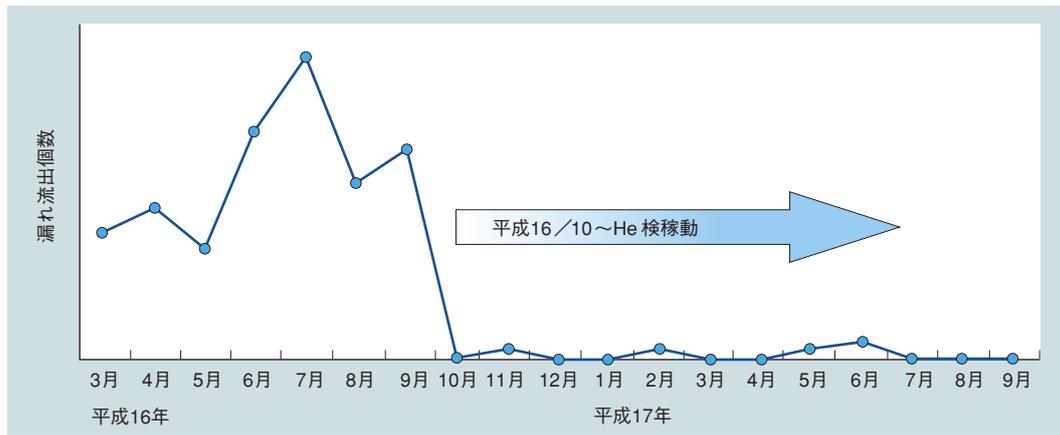


図4 後工程への漏れ流出個数実績例

平成16年10月より、He検査開始により、後工程への漏れ流出が激減し効果が出ている。

- ① 平成16年5月 真空法 He 検漏れ検査装置×2ライン完成
- ② 平成17年10月 吹付け法 He 検漏れ検査装置×3ライン完成

上記の5ラインで稼働中の検査装置は全て生産技術課で設計・製作している。

7. ま と め

吹付け法 He 検査装置の技術確立をベースにして、製品品質の改善と更なる装置の信頼性向上を図り、現在は海外生産拠点への導入を推進中である。

<展開・応用状況>

- スニファ式 He 漏れ検査装置のガスリサイクルに He 濃縮装置を応用 (2セット)



井上裕二



小泉武史



橋本安司