

低GWP冷媒を使用した クールマルチシステム

Cool Multi System Using Low - GWP Refrigerant

*冷熱システム製作所

要 旨

フロン排出抑制法によって、業務用低温機器に使用される冷媒のGWP(Global Warming Potential)加重平均値を2025年度に1,500以下、2029年度に750以下にすることが求められている。三菱電機は、2019年にR463A-J(GWP:1,483^(注1))を採用した機器を開発して2025年度の基準に対応してきたが、更なる低GWP化が求められている。そこで、S+3E(安全性、環境性、省エネルギー性、経済性)の観点からR32(GWP:675)を選定し、業界初^(注2)となるR32クールマルチシステムを開発した。このシステムは、微燃性冷媒に対する燃焼・爆発に備えるとともに、室外での冷媒漏えいの検知及び漏えい箇所の早期発見を可能にする機能を持っており、環境性と安全性の両立を実現した。

(注1) 経済産業省告示第五十四号に基づくものでありISO 5149-1:2024+And2:2021に定める値を使用。

(注2) 2025年1月1日現在、当社調べ

1. ま え が き

2050年までのカーボンニュートラル実現に向けて、業務用低温機器では冷媒の低GWP化及び省エネルギー化が重要な課題になっている。フロン排出抑制法に基づく指定製品制度によって、コンデンシングユニットの定格出力が1.5kWを超える機種には、2025年度までにGWPを1,500以下、2029年度までに750以下に削減することが義務付けられており、従来主流であったR410A冷媒(GWP:2,090)からの転換が必要である。当社は、2025年の規制に対応するため、2018年からR463A-J(GWP:1,483)を使用したコンデンシングユニット、ユニットクーラ、コントローラを含むクールマルチシステムを1.5kWから33.5kWの範囲でラインアップして規制に対応してきた(図1)。しかし、2029年に向けては更なる低GWP化が求められており、今後の対応が課題になっていた。



図1-クールマルチシステム

2. 代替冷媒の選定

冷凍空調分野でのカーボンニュートラル対応の方向性として、S+3Eの四つの指標が重要視されている(図2)。当社はこれらの要素のバランスが取れた冷媒が、2029年の規制に対してユーザーに多くのメリットをもたらすと考えて、冷媒の選定を実施した。その結果、R410A及びR463A-Jと類似した特徴を持つ高エネルギー密度冷媒^(注3)であるR32を最

適解と位置付けて、業界初となるR32クールマルチシステムを開発し、2025年1月に発売した。次に、S+3Eの観点からR32の優位性を示す。

(注3) 当社では冷媒の潜熱が大きく熱の輸送能力が高い冷媒を“高エネルギー密度冷媒”と定義している。

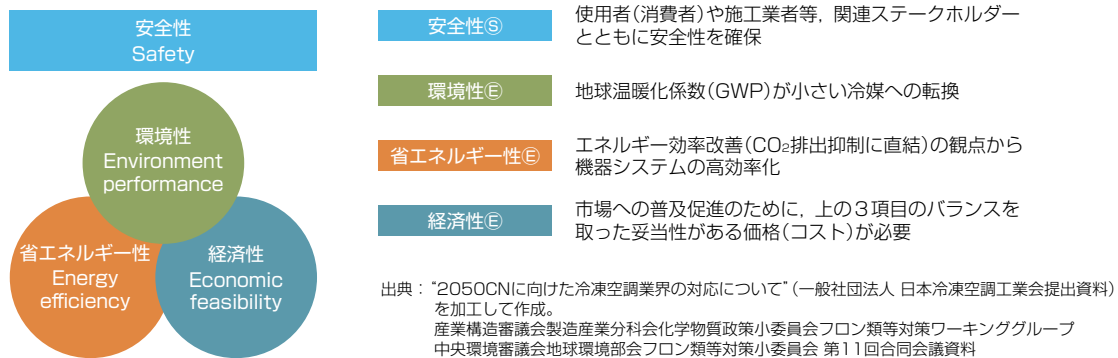


図2-代替冷媒に要求される条件(S+3E)

2.1 安全性

R463A-Jは不燃冷媒であり燃焼や爆発に対する安全対策が不要で、従来のR410Aと同様の運用が可能である。一方、R32は微燃性冷媒に分類されるため、安全対策が必要な場合がある。しかし、R32は微燃性冷媒の中でも燃焼下限界濃度(LFL)が比較的高く、安全対策不要で使用できることが多い。

2.2 環境性

冷凍空調機器による温暖化への影響には、冷媒の大気中への放出による直接的影響と、コンデンシングユニットの運転によって生じるエネルギー消費に伴う間接的影響がある。特に、間接的影響の方が環境への影響が大きいいため、冷媒選定ではGWP値だけでなく、TEWI(総等価温暖化影響：直接影響と間接影響の合計)値の考慮が重要である。総合的に評価すると、高エネルギー密度冷媒であるR32は地球温暖化への影響が相対的に低いとされる。

2.3 省エネルギー性

低GWP冷媒としてCO₂が有力な候補とされているが、CO₂はフロン系冷媒と比較して吐出温度及び高圧が上昇しやすいという特性を持つ。特に外気温度が高くなる夏季には、機器の信頼性確保の観点から運転条件に制約を設ける必要があり、冷凍サイクルの効率が低下し省エネルギー性が損なわれる場合がある。一方、R32などのフロン冷媒は、外気温度が高い場合でも比較的安定した冷凍能力を維持することが可能であり、省エネルギー性に優れている。

2.4 経済性

高エネルギー密度冷媒は、潜熱が比較的大きい冷媒であり、圧縮機の押しのけ量や回転数を抑えつつ高出力を得ることが可能である。この特性によって、冷媒の圧力損失が低減されて、配管サイズを小さくできるため、R448Aなどの潜熱の小さい冷媒と比較して使用冷媒量を削減できる。また、冷媒配管材料費・冷媒費・配管工事費を含む初期コストを抑制できて、経済性にも優れる。

3. R463A-JとR32の兼用化

R32は空調機の主流冷媒であり、冷媒コストも比較的安価という利点があるが、微燃性であるため安全対策の検討が必要になる。一方、R463A-Jは不燃冷媒であり安全対策が不要なため、従来のR410Aと同様の使い勝手を求めるユーザーに適している。当社は、ユーザーが用途や将来の機器設備更新計画などに応じて冷媒を柔軟に選択できることが重要と考えて、R32クールマルチシステムで、R32とR463A-Jの冷媒兼用化を実現した(ただし、膨張弁は冷媒ごとに変更が必要)。兼用化によって、新規設置時には安全対策不要のR463A-Jを使用し、将来的にR32へ切り替えることが可能になる。

4. 製品の特長

開発したクールマルチシステムは、微燃性冷媒漏えい時の火災リスクを最小限に抑えるための安全機能に加えて、機器の安定運用、早期復旧の支援、及び環境性の向上に貢献する次の機能を搭載している。

4.1 室内側の冷媒漏えい検知システム

低温機器での微燃性冷媒漏えい時の安全対策は、一般社団法人 日本冷凍空調工業会によって規定されており、機器製造業者に対してはJRA 4072、設備工事管理業者と店舗関係者に対してはJRA GL-18が適用される。漏えい発生時の安全確保の必要性は、庫内の冷媒平均濃度が1/4LFL(燃焼下限界濃度)を超えるか否かで判定される。クールマルチシステムは封入冷媒量が1/4LFLを超える場合があるため、冷媒漏えい発生時に検知し、警報を発して、冷媒の遮断を行うことで、1/4LFL超過濃度になるのを防止するシステムの開発を実施した(図3)。

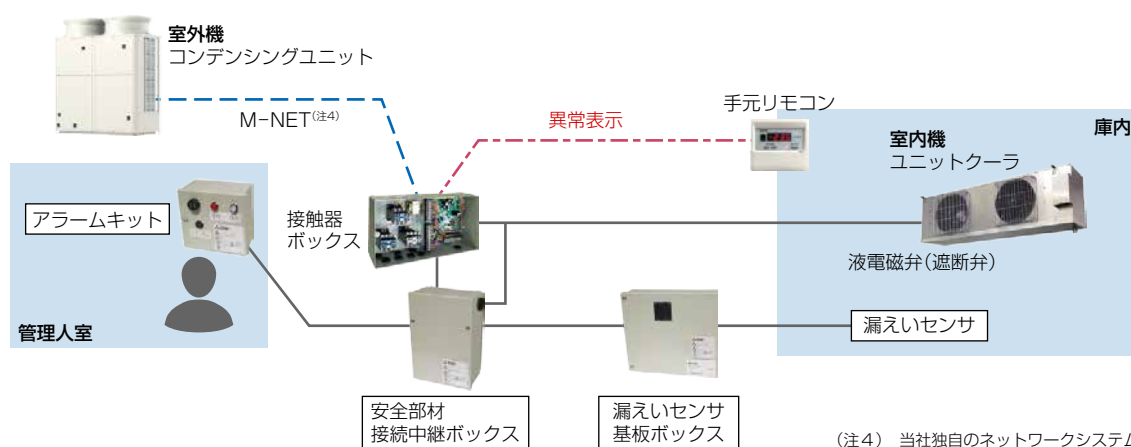


図3-冷媒漏えい検知システム

4.1.1 漏えい検知器

ユニットクーラに内蔵可能な“漏えいセンサ”及びその入出力を制御する“漏えいセンサ基板ボックス”を開発した。ユニットクーラ内蔵型にすることで、施工業者が検知器の設置場所を検討する必要がなくなり、施工負荷が軽減される。漏えいは主に配管の腐食によるスローリークが多いため、これを模擬した流体解析及び実機検証を通じて、最適な設置場所を決定した。

4.1.2 アラームキット

警報器は、常駐スタッフがいる管理人室などに設置する必要がある。漏えい検知後に警報信号を出力する“接触器ボックス”と管理人室が離れている場合、DC 5Vや12Vの警報信号では、配線抵抗による電圧降下の影響やノイズなどの外乱によって、警報信号未受信のリスクがある。そこで、それらのリスクを軽減できる200Vの信号で作動するブザーとランプを搭載した“アラームキット”を開発した。

4.1.3 遮断弁

ユニットクーラには電磁弁及び膨張弁が内蔵されており、冷媒漏えい発生時には当該電磁弁が遮断弁として機能する。漏えいセンサによって冷媒漏えいが検知されると、電磁弁への通電を遮断し、ユニットクーラへの冷媒流入を遮断する。その後、自動的にポンプダウン運転へ移行し、冷媒はコンデンシングユニット側へ回収される仕組みである。

4.2 室外側の冷媒漏えい検知

コンデンシングユニットは、従来機種では“サブクール効率”という指標を用いてシステム内の冷媒不足状態を検知

し、プレアラームを発信することで、冷媒漏えいの可能性をユーザーに通知する機能を搭載してきた⁽¹⁾。今回、R32及びR463A-Jの両冷媒に対応した冷媒不足検知機能を新たに設計した。これによって室外側で冷媒漏えいも早期に検知可能になり、環境負荷の低減に寄与するとともに、JRA-GL17に準拠することで定期点検時の作業負荷軽減も実現した。

4.3 冷媒漏えい箇所検出用蛍光剤の導入

低温機器では、熱交換器などの配管構造が複雑な箇所では、冷媒漏えい時にその箇所を特定することが困難な場合がある。そこで従来機種から、冷媒漏えい箇所を容易に特定する手段として、紫外線(UV)に反応する蛍光剤の導入を進めている(図4)。これによって、冷媒漏えい箇所の特定に要する作業時間の短縮を実現するほか、冷媒漏えい量の削減と早期復旧が可能になる。一方、蛍光剤の製品化では、コンデンシングユニットへの封入方法と蛍光剤濃度の検討が課題になる。



図4-漏えい箇所検出用蛍光剤

4.3.1 封入方法の検討

蛍光剤を冷媒設備へ封入する方法として冷媒チャージと同時に封入する手法があるが、この手法では多くの工具が必要であり、さらに工具が蛍光剤で汚れてしまう問題がある。加えて、封入作業は煩雑で、手順ミスによって蛍光剤が飛び散るおそれがある。そこで当社は、真空引き時の圧力差を利用して圧縮機へ直接蛍光剤を封入する方法を採用した(図5)。カートリッジを給油口に接続するだけで簡単に封入できて、作業効率と安全性が向上し、さらに蛍光剤の循環も早まった。

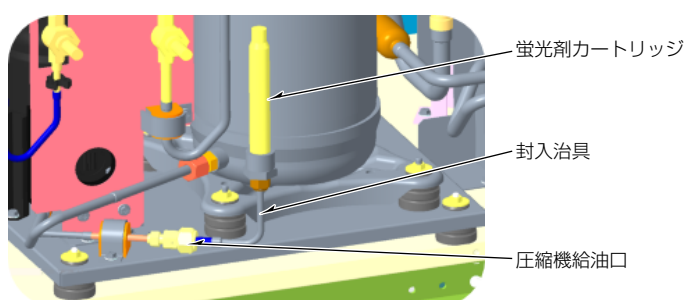


図5-蛍光剤の封入方法

4.3.2 蛍光剤濃度の選定

蛍光剤をコンデンシングユニットへ導入するに当たって、適切な蛍光剤濃度について検討する必要がある。濃度が高すぎると、特定の条件下で蛍光剤が固形物として析出し、冷媒回路部品の故障や異常な運転を引き起こす懸念がある。逆に濃度が低すぎると、UVライトを照射した際の発光が弱くなり、冷媒漏えい箇所の特定が困難になる。そこで、実機検証を通じて、圧縮機や膨張弁を含む冷媒回路部品の品質及び信頼性を確保しつつ、冷媒漏えい時に十分な発光が確認できる適切な蛍光剤濃度を特定した。これによって、機能と品質の両立を実現する濃度の蛍光剤の導入を実現した。

5. む す び

今回、フロン排出抑制法への対応と2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、低GWP冷媒としてR32を採用したクールマルチシステムの開発を行った。R32は省エネルギー性及び経済性に優れており、これを用いることで環境負荷の低減が期待される。それに加えて、システムに安全性及び環境性に考慮した機能を搭載したことで、S+3Eの観点に基づく機器開発を実現した。今後も法規制や市場ニーズに即した製品開発を継続し、持続可能なクールマルチシステムの実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 佐多裕士, ほか: 冷媒不足検知, 冷媒封入アシスト機能搭載 R410Aコンデンシングユニット, 冷凍, **93**, No.1088, 358~359 (2018)

~~~~~