

様々な空調ソリューションを提供する 高効率ビル用マルチ空調システム

High-Efficiency Air-Conditioning Systems Providing Solutions to Meet Diverse Needs of Small and Medium-Scale Buildings in Japanese and Overseas Markets

森 勝利 MORI Katsutoshi 窪田 光 KUBOTA Hikaru 濱島 哲磨 HAMASHIMA Tetsuma

ビル用マルチ空調（VRF）システムは、セントラル空調方式に比べて設計・施工が容易であることから中小規模ビル向けに広く採用されている。世界的に需要は堅調に推移し、オフィス以外の様々な用途の建物へも導入されるようになった結果、建物の設計者や、施主、使用者などからVRFシステムへのニーズが急激に多様化しつつある。

東芝キャリア（株）は、多様な顧客ニーズへの対応を強化するため、製品のハードウェア、ソフトウェア、通信・周辺機器の全てに最新の技術を適用した総合プラットフォームである高効率VRFシステム スーパーマルチuシリーズと、海外向けSMMS-uシリーズを開発した。

Variable refrigerant flow (VRF) air-conditioning systems, which make it possible to air-condition multiple spaces individually, have been widely adopted for small and medium-scale buildings due to their advantage of easier design and construction compared with central air-conditioning systems. As their range of application has expanded from office buildings to various other types of buildings in recent years, the requirements of designers, owners, and tenants of buildings with respect to such systems have also been rapidly diversifying.

Toshiba Carrier Corporation has developed the Super Multi u series high-efficiency VRF air-conditioning systems for the Japanese market as comprehensive platforms capable of offering increased flexibility and adaptability in order to respond to such diversified needs. The Super Multi u series has been achieved through the application of the latest technologies to the systems' hardware, software, communication equipment, and peripheral devices. This is also available in overseas markets as the SMMS-u series.

1. まえがき

VRFシステムには、単なる冷暖房の空調機能だけでなく、建物の価値向上につながるソリューションが求められるようになってきており、その位置付けが変化しつつある。建物の設計者や、施主、利用者などからの、ソリューションに対する要望は様々である。そこで、東芝キャリア（株）は、VRFシステムとして“空調設計・機器選定”、“施工”、“使用・運用”、“サービス”の各シーンでのソリューションを強化するため、製品のハードウェアや、ソフトウェア、通信・周辺機器などを網羅する総合プラットフォームとして、国内向けスーパーマルチuシリーズと、海外向けSMMS-uシリーズを新たに開発した。これらは同一シリーズであり、各々の仕向け地のニーズに対応した仕様としている。

ここでは、開発した新シリーズの機器構成と、各種シーンにおけるソリューションへの対応技術について述べる。

2. 機器構成

新シリーズのシステム構成¹⁾を図1に示す。スーパーマルチuシリーズでは基本室外機は、小形筐体（きょうたい）が8～12馬力（海外向けは最大14馬力）、大形筐体が14

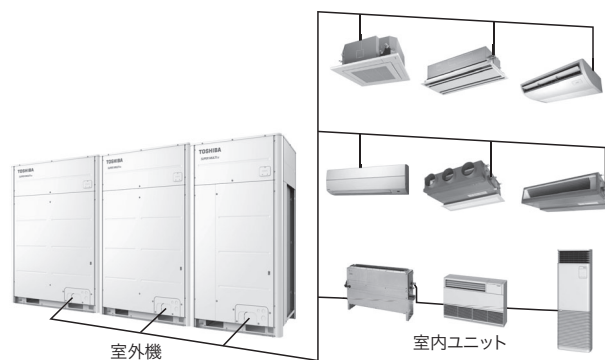


図1. 新シリーズのシステム構成

室外機と室内ユニットを複数台組み合わせることができる。

Configuration of new series VRF air-conditioning system

～20馬力（海外向けは24馬力）の2構成である。この基本室外機を最大4台（海外向けは最大5台）まで連結させて室外機を構成することで、同一冷媒系統で最小8馬力から最大54馬力（海外向けは最大120馬力）までの空調システムが構築できる。室内ユニットは、用途に合わせた形態と能力（0.3～20馬力）を選定でき、最大64台（海外向けは最大128台）まで接続可能である。

3. 空調設計・機器選定ソリューション

3.1 コンパクト設計による設置制約の最小化

室外機の設置場所は、建物の有効面積を最大にするため、屋上が大半であるが、その面積には限りがあり、室外機のコンパクト設計が求められる。また、室外機と室内ユニットを接続する冷媒配管の長さや室外機と室内ユニット間の落差に制約があると、その制約に縛られて屋上の有効利用が阻害されてしまう。そこで、今回の開発では室外機のコンパクト化と冷媒配管制約の大幅な緩和を図った。

3.1.1 コンパクト設計

新シリーズは、室外機の筐体設計の全面的な見直しと、冷凍サイクルの構成部品削減で、18馬力以上の室外機のコンパクト化を行い、例えば、スーパーマルチuシリーズでは、中規模のビル(延べ床面積2,000 m²)に設置する空調能力120馬力のシステムで、設置スペースを約20%削減した。コンパクト設計を実現した冷凍サイクル部品の削減では、まずリキッドタンク(20 L)とアキュムレータータンク(24 L)を1個に統合した。余剰冷媒により不安定になった状態を各種センサーで検知し、余剰分をアキュムレータータンクに移動することで適正な冷媒量に管理する技術を構築し、リキッドタンクを廃止した。次に、スペースを占めていたコンプレッサーについて三つの圧縮室を120°に配置したトリプルロータリーコンプレッサーを新たに開発し、その排除容積を従来の42 cm³(海外向けは64 cm³)から世界最大級^(注1)の120 cm³へ大容量化することで、搭載台数を従来の3台(海外向けは2台)から1台に削減した。更に、室外機筐体の構造を、上下分割型構造から上下一体型構造へ変更するとともに、熱交換器形状をW形にすることで、従来よりも熱交換器面積を15%アップし、筐体のコンパクト化と省エネを両立させた。

3.1.2 冷媒配管制約の緩和

室外機と室内ユニット間の設置落差制約は、新シリーズでは従来機種から大幅に緩和した。室外機が室内ユニットより上層階設置の場合は従来の90 mから110 mに、下層階設置の場合は従来の40 mから110 mに拡大し、VRF導入の可能性がある建物をおおむねカバーできる落差に対応した。このとき、室外機が室内ユニットより下層階に設置される場合は、冷房運転時に液冷媒を110 m高い位置の室内ユニットまで循環させなければならないが、冷媒が到達するまでに、冷媒配管の立ち上げによる圧力損失や重力の影響で、液冷媒からフラッシュガスが発生して能力が著しく低下する現象が起きる。そこで、110 m上層へ冷媒配管を立ち

(注1) 2019年12月現在、VRFにおいて、当社調べ。

上げたときの圧力損失特性と実機検証から、室内ユニットの能力保持に必要な吐出圧力と冷媒過冷却度のしきい値を導出した。そして、冷媒間で熱交換を行う二重管式過冷却熱交換器を冷凍サイクルに組み込むことで、しきい値以上の過冷却度を確保し、フラッシュガスの発生を防止した。

3.2 システムの大容量化

落差や配管長さなどの制約の大幅緩和で、従来は採用が困難だった高層ビルへもVRFシステムが導入可能になるが、フロアごとの空調面積拡大や冷媒配管を通すパイプシャフトスペースの確保を考慮すると、同一冷媒系統システムでは、カバーすべき空調能力の不足が懸念される。SMMS-uシリーズでは、冷媒配管1系統に連結できる室外機の台数を従来の3台から5台に増やし、最大空調能力を従来の60馬力から業界最大^(注1)の120馬力へと大幅に向上させた。

一般に、コンプレッサー内の潤滑油は冷媒ガスとともにコンプレッサーから吐出され、その一部は冷媒配管を通じて室内ユニットを循環して室外機へ戻ってくる。このとき、現地施工の配管形状や冷媒循環量の差などに起因して、連結される基本室外機台数が多いほど個々の基本室外機への戻り油量に偏りが生じ、戻り油量が小さい室外機は潤滑油不足によるコンプレッサー故障のリスクがある。そこで、独自に高精度化したコンプレッサー内油状態検出回路によってコンプレッサー内の油量の過不足を検知し、各室外機が連携してコンプレッサー回転数をコントロールすることで、冷凍機油を均等に保有できる技術を構築した。

3.3 室内ユニット

新築建物でのZEB(net Zero Energy Building)の強制化や、建築物省エネ法の施行などで建物のエネルギー消費量が抑制されるため、建物側は外皮性能の向上やLED(発光ダイオード)照明の導入などが推進され、床面積当たりの空調機に対する負荷は軽減傾向にある。また、オフィス空間の使い方も、リラックス・集中できる小空間からコミュニケーション用大空間までワークスタイルに合わせて多様化している。こうした低空調負荷空間や自由なオフィス設計に対応するため、SMMS-uシリーズでは、室内ユニットを0.3馬力から20馬力のラインアップとし、120馬力クラスのエアハンドリングユニットや外気処理機まで多種・多様な室内ユニットの接続を可能とした。また、0.3馬力室内ユニットのラインアップに合わせ、最大室内ユニット接続台数も、従来の64台から128台へ拡大した。

特に、0.3馬力の室内ユニットは業界最小^(注1)クラスであり、選択肢の拡大に貢献する。ただし、コンプレッサーの大容量化に伴い0.3馬力運転では冷媒循環量が過剰となり、圧力上昇と冷房時の冷媒蒸発不足が発生する。また、

室外機と室内ユニットの熱交換量の差が非常に大きいので、室内外の吸・排熱バランスが取れず、暖房運転時の凝縮圧力が異常上昇する。したがって、これら冷凍サイクルの形成を困難にする課題への対応が必要である。

過剰な冷媒循環量については、最小限まで抑制する手段として、低振動のトリプルロータリーコンプレッサの特性を生かしてコンプレッサ回転数を10 rpsまで低下させた。また、室外機と室内ユニット間の熱交換バランスを保つために室外機の熱交換器を3ブロックに分け、ブロックごとの吸・排熱量制御で冷凍サイクルの破綻を回避した。

4. 更新ビジネスソリューション

建物の寿命は、空調機の寿命よりも長く、建て替えまでに数回の空調機更新が必要となる。特に、国内のVRFは成熟市場で、新築を含む全体のVRF需要の中では、空調機更新需要の割合が大きい。一般に、更新工事は、テナントの休日中に短期間で実施しなければならないため、更新前システムの延命を図りながら計画的に行えることが、施主にとっての投資抑制や工期短縮につながる。

新シリーズは、機能拡張のため通信仕様を変更しており、そのままでは旧通信機器と接続できず、機器を一新する必要があった。そこで、機器更新後の初期設定時に室外機が各機器にアクセスし、新通信制御が可能な機器だけが接続されている場合と旧通信機器が混在して接続されている場合とを判定し、通信方式を自動で切り替える通信仕様互換機能を織り込んだ。また、新旧混在時の冷凍サイクルの信頼性も確立し、新旧混在の部分更新にも対応した。これにより、室外機だけの入れ替え、空室のユニットや故障したユニットからの順次入れ替えなど、使用状況や予算などに応じたフレキシブルな工事や、従来では長期テナント休暇計画が必要だったケースでの短期空調更新を可能とした。

5. 使用・運用におけるソリューション

5.1 省エネソリューション

空調機の消費電力は、建物全体のエネルギー消費量で大きな割合を占めており、地球温暖化の観点から世界各国で空調機に対する省エネ性を要求した法律や規制が施行されている。

VRFシステムの省エネ性能は、空調機の実使用に近い評価に基づいて算出されたAPF（年間エネルギー消費効率）で示される。これに対し、実使用条件は、定格能力運転域よりも中間能力以下運転域での負荷発生時間が長いので、中間能力以下の低負荷運転領域の性能を向上させることが省エネ性能の向上に大きく寄与する。そこで、スーパーマル

チuシリーズでは、コンプレッサを空調負荷に応じて高効率に駆動させるため、空調機としては世界初^(注2)となるオープン巻線モーターを導入し、その駆動方式としてデュアルステートインバーターを開発した。

デュアルステートインバーターは、オープン巻線駆動を行うことで、標準インバーターの約1.7倍の電圧をモーターに印加できるため、高巻線（高誘起電圧）モーターが適用できる。また、中間能力以下の空調負荷では、モーターをスター結線で駆動することで、低負荷領域でのインバーター効率を向上させられる。図2のように、空調機の運転状態によりスター結線とオープン巻線を切り替える技術（デュアルステートモータードライブ）を開発し、空調機の実運転領域で高効率運転を実現した。これにより、スーパーマルチuシリーズでは、APFが従来機種から大幅に向上し、最大で約20%アップした（図3）。

また、建物エネルギー管理として、新たな電力デマンド制御を搭載した。新電力デマンド制御は、ユーザーがデマンド目標値を定格消費電力値100%から最小50%まで5%刻みで自由に設定でき、設定に応じて消費電力が目標値を超過しないようにコンプレッサの出力を制御する。また、各室外機は、インバーター制御部を通じて消費電力を推定する機能を持ち、常時検知している。これにより、専用の電力計なしで電力管理ができ、電力デマンド機能を最小限のコストで導入できる。

5.2 寒冷地暖房ソリューション

欧州や、日本、北米などの寒冷地域は、VRFにとって重

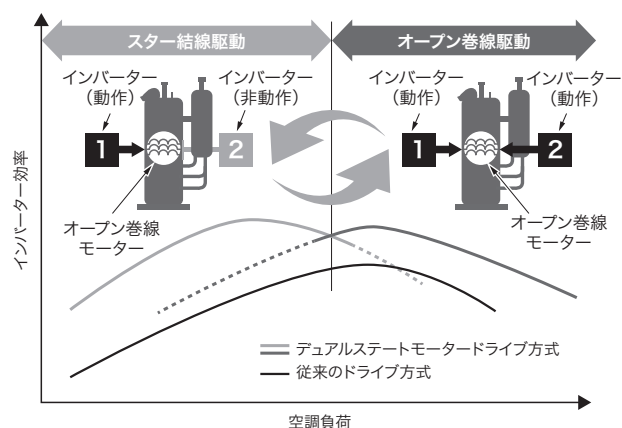


図2. デュアルステートインバーター採用による高効率運転

空調負荷により、スター結線とオープン巻線を切り替える技術を開発し、全運転領域で高効率運転を可能にした。

Highly efficient operation over full range of air-conditioning loads by applying dual-state inverter

(注2) 2019年12月時点、VRFにおいて、当社調べ。

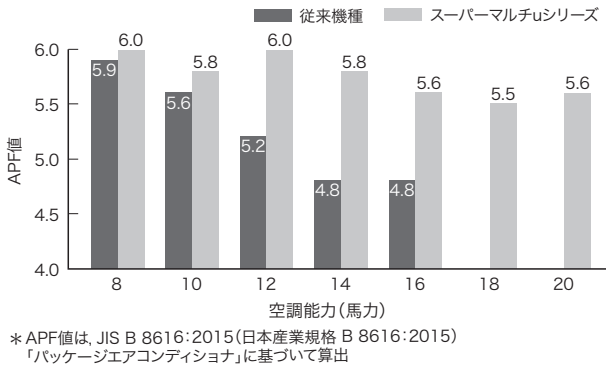


図3. 従来機種とスーパーマルチuシリーズのAPF2015の比較

省エネ性能の向上により、APF2015が従来機種比較で最大約20%アップした。

Comparison of annual performance factor (APF) 2015 of conventional and Super Multi u series models

要な市場である。しかし、VRFなどの空冷方式空調機は、暖房運転中に室外熱交換器に付着した霜を溶かすための除霜運転が必要で、除霜運転中は室内ユニットが停止するとともに、室内熱交換器に低温冷媒が流れるため室内の温度低下と室内ユニットからの冷氣漏れが発生する。欧州地域のユーザーは、温水コイルなどの輻射(ふくしゃ)方式熱暖房に慣れており、除霜運転中のコールドドラフトによる不快感を嫌い、長時間連続暖房の要望が強い。新シリーズでは、連続暖房を実現させるため、着霜量検知制御と、室外機連結システムで室外機を個別に除霜する個別リバース除霜方式を開発した。

従来の除霜方式では、室外熱交換器温度(蒸発温度)が一定値以下になった積算時間から除霜運転開始を判断していたため、外気温湿度状況によっては熱交換器がほぼ無着霜の状態でも除霜運転に入り、長時間連続暖房を損なう原因になっていた。着霜量検知制御では、蒸発温度に関連性の高いパラメーターによって無着霜時の蒸発温度を予測し、実際に着霜した場合の蒸発温度と予測温度を比較することで熱交換器への着霜量を検知する。これにより、適正なタイミングで除霜運転を行えるため、最大5時間の連続暖房運転を可能とした。

更に、室外機連結システムでは、ロータリーコンプレッサの特性を生かし、2段階圧縮冷凍サイクルによる個別リバース除霜方式を採用した。暖房ユニットのコンプレッサから吐出された高温ガスを室内機と除霜ユニットに分岐した後、それぞれを合流させて再び暖房ユニットの蒸発器に戻す除霜方式で、室内ユニットの暖房運転を継続しながら高い除霜能力を確保できる(図4(a))。

この方式では、除霜ユニットの熱交換器温度が高段側吐

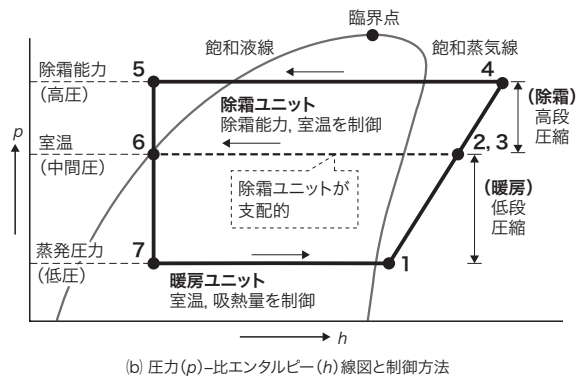
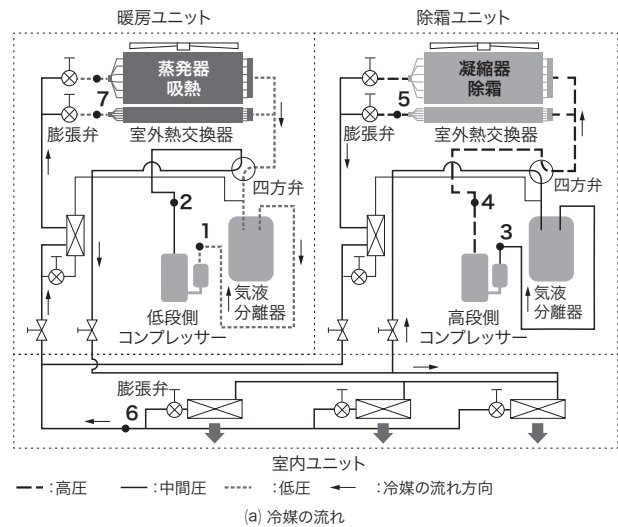


図4. 個別リバース除霜運転

除霜ユニットは除霜能力と室温を、暖房ユニットは室温と蒸発温度を制御する。室温は、除霜ユニット側が支配的なため、除霜能力と室温を考慮した最適な圧力制御を行う。

Outline of individual reverse defrosting operations

出圧力の飽和温度に、室内ユニットの熱交換器温度が高段側コンプレッサの吸込み圧力相当の飽和温度になるので、高段側コンプレッサの回転数が支配的となる(図4(b))。そのため、除霜能力と室温は高段側コンプレッサで制御し、低段側コンプレッサは室温低下しないように高回転で制御する。このとき、高段側圧縮機は、除霜能力と室温を考慮して最適な中間圧制御を行う必要があるが、中間圧は、高段側・低段側コンプレッサの排除容積比や、外気温、着霜量など様々なパラメーターから影響を受ける。また、これらのパラメーターで圧縮比も多様となり、コンプレッサの信頼性にも影響を及ぼす。当社は、VRFシステムに独自のロータリーコンプレッサを採用し、その幅広い可変圧縮比運転特性を生かしてこれを解決した。

また、この個別リバース除霜方式を採用したことで、除霜運転中に多量の液冷媒が偏ってコンプレッサに戻るリスクも抑制している。これは、3.2節で室外機5台連結を実現し

た技術の一つである。

6. サービス・メンテナンスソリューション

6.1 自動バックアップ運転

VRFシステムは、複数台の基本室外機を組み合わせることで大容量システムを構成しているため、1台でも室外機に故障が生じた場合、従来機種では、サービスマンが対応するまで空調ができず、テナント入居者の活動に支障が生じていた。新シリーズは、室外機に故障が生じた際に、故障モードを認識し、自動的に故障室外機を除く正常な室外機でシステム全体の制御を再構築し、運転を再開する自動バックアップ運転機能を搭載した。

6.2 サービスツールの拡充

VRFシステムの機器は、屋上の室外機から各屋内個別の室内ユニットや天井裏のオプションユニットまで建物全体の広範囲に設置されており、メンテナンス時に各機器状態を把握し、トラブル時の不具合箇所を短時間で判定できることが、建物管理者にとって重要な要素となる。通常、VRFシステムの状態判定時には、専用のサービスツールを用いて室外機のインターフェース基板とPC（パソコン）を接続し、空調機の運転データの収集・分析を行っている。この作業は、室外機からしかアクセスできないため、建物側のセキュリティ許可や、設置場所での安全配慮、悪天候時など、建物側の管理面や環境によって迅速なサービスが困難なケースが多々ある。

そこで、サービス用キット“Link Adapter”とPCアプリケーション“Service Tool”を新規に開発するとともに、室外機と室内ユニット間の通信速度を9,600ビット/sから

19,200ビット/sに高速化し、通信可能なデータ量を大幅にアップさせた。これにより、室外機からだけでなく室外機と室内ユニット間の通信線からもPC接続を可能とし、屋内外を問わず空調機のデータ収集を可能にした（図5）。

また、スマートフォンのNFC（Near Field Communication）を利用して、空調機と近距離無線でデータ通信する機能を従来モデルから一新した。この機能は、建物管理者であっても、スマートフォンを室外機に近づけるだけで容易に機器情報や運転データを取得してサービス会社へメール送信できるため、サービスマンが現場に出向く前に故障の一次判断が可能である。更に、従来機能に加え、製品の運転状況をスマートフォンで写真・動画・音として記録し、空調機データとともにメール送信する機能や、スマートフォンのGPS（全地球測位システム）で取得した位置情報を空調機に記録する機能も設けた。位置情報は、空調機のデータとひも付けることで物件データ管理にも応用できる。

このように、サービスツールを充実させることで、現場の状況に応じた柔軟で迅速な対応と作業時間の短縮が可能となり、空調トラブル時の建物営業リスクを軽減している。

7. あとがき

新シリーズの開発では、建物における空調設計から実使用まで、各シーンでのソリューションに対応するため、室内ユニットと室外機から、集中管理機器、通信、サービスツールまでを一掃させた。また、更なるニーズに対応できる仕組みもシステムに包含している。今後も、持続的にVRFシステムを進化させることで、顧客要求と変化の激しい市場環境からのニーズに応え続けていく。

文 献

- (1) 北野竜児, ほか. グローバルな顧客要求に対応するビル用マルチエアコンシステム“SMMS-eシリーズ”. 東芝レビュー. 2015, 70, 12, p.7-11.

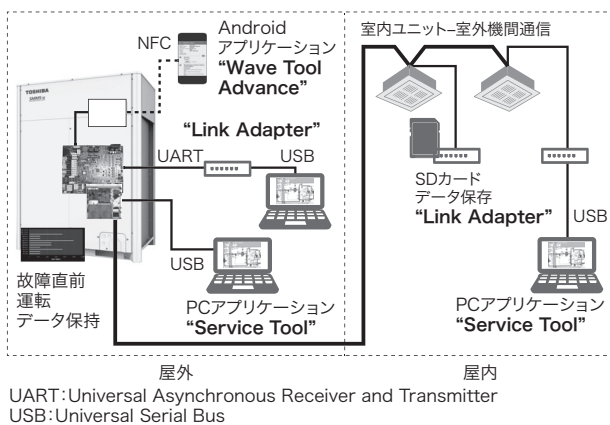


図5. サービスツールの構成

サービスツールと、PCやスマートフォンを利用することで、室内外からの状況に応じたサービスメンテナンスを可能にした。

Configuration of service tools



森 勝利 MORI Katsutoshi
東芝キャリア (株)
技術統括部 VRF 設計部
Toshiba Carrier Corp.



窪田 光 KUBOTA Hikaru
東芝キャリア (株)
技術統括部 VRF 設計部
Toshiba Carrier Corp.



濱島 哲磨 HAMASHIMA Tetsuma
東芝キャリア (株)
技術統括部 VRF 設計部
Toshiba Carrier Corp.