

# 全空気式 放射整流ユニット

All-air Radiant And Rectification Unit  
環境エアビーム

木村工機(株) 石田 貴之

## 1 はじめに

一般的な放射空調では顕熱処理に特化するため、中温熱利用により熱源側の効率を高めた冷暖房運転が可能である。但し、「空気調和」を行う前提では、換気や調湿を行う別の設備が必要となり、外気処理システムなどとの併用が不可欠である。

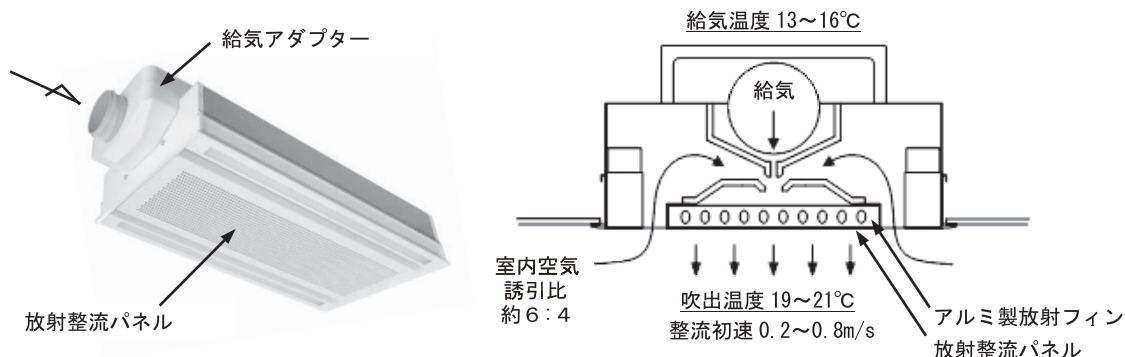
本稿で紹介する「放射整流ユニット」は、水パイプを使用する方式とは異なり空調の吹出ユニットとして天井面に均等配置し、換気・調湿も伴った空調空気によって放射・整流を行い、住環境を形成するものである。

本方式では、空調システムの設計施工も比較的容易であり、低コストで持続的な快適環境を実現することができる。尚、中温熱を直接利用して放射させるものではないが、空調機を含め

たシステムとして中温熱などを積極活用した省エネを図ることができ、放射整流ユニットを活用した「端末分散空調システム」の概要も紹介する。

## 2 放射整流ユニット「環境エアビーム」

放射整流ユニットは空調の給気ダクトに接続する吹出ユニットであり、主に室内天井面に据え付ける。構造は第1図の様になっており、内部のノズル部分で給気圧力により周囲の室内空気を誘引混合して吹出すことにより、冷風感や温風感を抑えている。また本構造は吹出部の結露対策としても有効に働き、大温度差による低温送風設計とも相性が良いため、送風動力の低減を図ることにも寄与する。室内空気の誘引量は標準的な処理風量において、約給気6：誘



第1図 放射整流ユニットの構造

引4の割合となる。例えば冷房運転時給気温度が13℃低温送風である場合は、天井付近の室内空気温度を28℃とすると、19℃で吹出すことになる。

また、気流方向に多数配列したアルミ製放射フィンや放射整流パネルでは、整流初速を0.2～0.8m/sに抑え、さらに混合空気で冷却・加熱されることによって放射する。

### 3 温熱環境と熱的快適性

これまでの強制対流空調により形成される温熱環境では、ドラフト感や温度ムラが存在しやすく、同一空間内でも場所によって温冷感が大きく異なることがある。また、足元が寒いなどの局所不快などを生じるケースなども多い。この状態は人間の体温調節機能にもストレスを与え、特に代謝・体温調節機能の低い女性や高齢者にとっては体調不良に繋がるケースなどもある。その他、埃の飛散、制気口からの騒音など設計上配慮すべき点は多い。一方、天井や床面の放射パネルを利用した放射空調では、これらの課題解決を図る事ができ、温度ムラが少なく静穏な環境形成を実現している。

放射と微風速気流による本ユニットを使用した温熱環境と熱的快適性の評価に関しては、2012年以降、名古屋大学の研究室により空調環境実証実験室を使用した実験を継続的に行っている。本稿では放射整流ユニットが形成する温

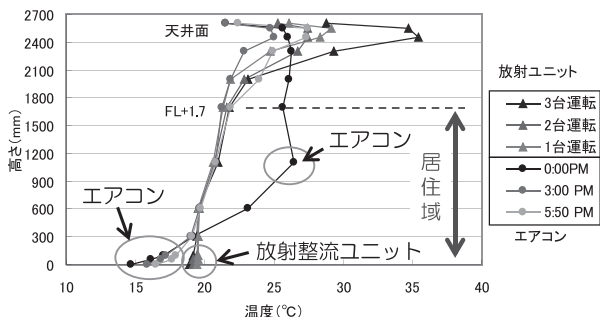
熱環境として、2012～2014年に行った実験結果の一部を参考紹介する。

尚、実験は床面積28.1m<sup>2</sup>(L7.5×W3.75×H2.6m)北側窓付の部屋に、本ユニット3台と一般的なファンコイルユニットを接続し、部屋の各部に設置した各種計測機器によって計測を行っている。また、従来型の天吊パッケージエアコンも併設してあり、参考として両者の比較も行っている。

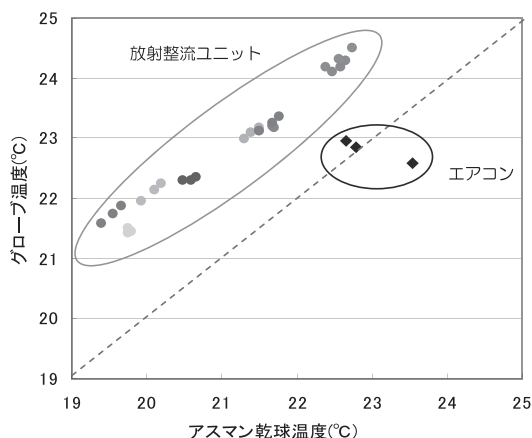
#### 3-1 冬期暖房実験 温熱環境<sup>(1)</sup>

2012年冬期に行った実験では外気温度8℃、設定温度を20℃で室温が安定した状態で計測を行っている。第2図はその際に形成された代表ポイントでの鉛直温度分布を示し、放射整流ユニットを間引運転させた状態やエアコンとの比較などを行っている。凡例の○印はエアコンであるが、足元まで十分温まらないままサーモOFFを繰り返し、居住域における温度差は部分的に10℃以上となるケースも確認できる。一方の放射整流ユニットは凡例の△印で示し、天井付近での温度はやや高く、居住域での温度差は2℃程度に収まっている。本稿では割愛するが、水平温度分布においてはペリメータやドア付近の負荷影響はあるものの床上1.1mで1.5℃以内の範囲となっており、居住域全体の温度ムラの少なさが確認された。

また、第3図は同時期における実験で、外気



第2図 冬期実験による鉛直温度分布

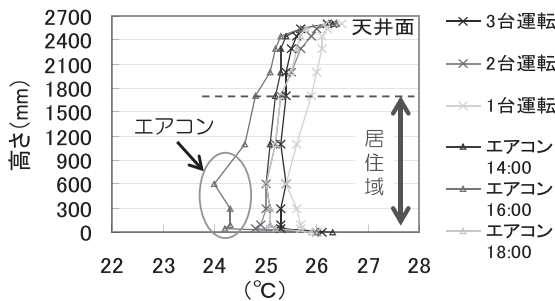


第3図 アスман乾球温度とグローブ温度の関係

温度10℃、設定温度22℃における安定状態において、代表ポイントに設置されたアスман乾球温度計とグローブ温度計の比較を示したグラフである。放射整流ユニットではアスман乾球温度に対してグローブ温度が約1.5～2.0℃高く、より暖かさを得られやすい環境であることが分かる。こちらは放射効果によって壁面や床面が温まるためと考えることができ、人間の体表面温度に対して周囲放射の影響を受けやすい冬期の環境改善を期待できる結果と言える。

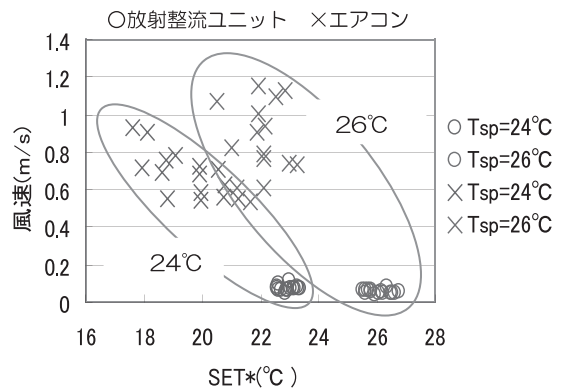
### 3-2 夏期冷房実験 温熱環境<sup>(2)</sup>

2012年夏期に行った実験では外気温度30℃、設定温度を26℃で室温が安定した状態で計測を行っている。第4図は冬期実験と同様に代表ポイントでの鉛直温度分布を示し、居住域における温度差は1℃以下となった。エアコンに関しては、給気温度や気流の影響により、部分的に温度の低い環境が確認できる。

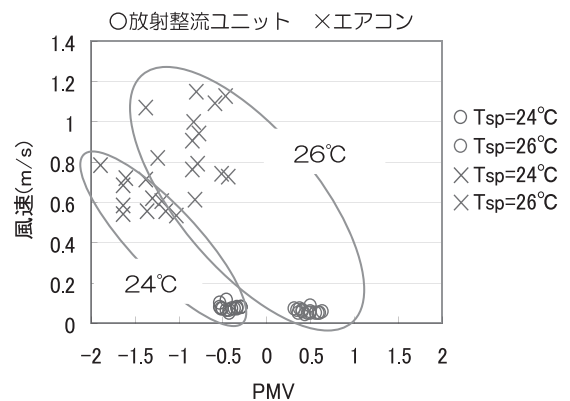


第4図 夏期実験における鉛直温度分布

また第5図、第6図は、設定温度24℃と26℃の異なる条件において、代表ポイントにおける風速とSET\*（標準新有効温度）、PMVの関係を表している。代謝量は1.2met、着衣量は0.5croとし、湿度は成行きである。尚、プロットの各点は一定時間毎の各部平均値としてある。風速とSET\*の関係では放射整流ユニットの気流は0.2m/s未満でSET\*は概ね快適とされる22.2～25.6℃の範囲であるのに対し、エアコンは給気温度や気流にバラつきが大きく全体的にSET\*が3～5℃低くなっている。風速とPMVの関係でも放射整流ユニットは概ね±0.5の範囲となりほぼ中立な温熱環境



第5図 SET\*と風速の関係



第6図 PMVと風速の関係

となっている。

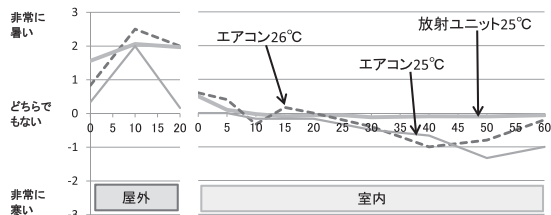
### 3-3 夏期屋外歩行からの入室による心理申告<sup>(3)</sup>

2013年夏期には、屋外歩行からの入室による被験者による心理申告実験を行っている。こちらは健康な女子学生を対象とし、年齢は20.5±1.1歳、各条件6名～14名が参加した。被験者は前室にて着替えと皮膚温度計を装着して40分滞在後、日向を20分間歩行した後、設定温度25℃（パッケージエアコンは25℃と26℃の2条件）とした実験室に入室して60分間の椅座安静状態で経時変化における心理申告を行い、被験者の平均値をグラフにプロットしている。

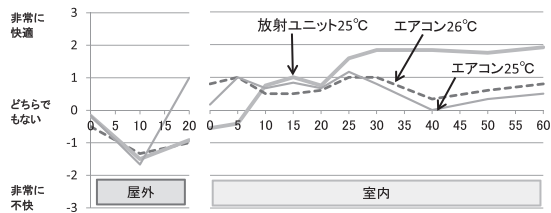
第7図の寒暑感では、放射整流ユニット環境への入室時はやや暑い側の申告であるが、5～10分以降の経時変化ではどちらでも無いという

中立の状態を維持している。一方、エアコンの方は入室後25分あたりからは寒さを感じる人が多くなっている。第8図の快適感では、入室後やや不快を感じる傾向もあるが、10分以降はエアコンを抜いて上昇しており、第9図の室温への希望に関しても15分経過以降は継続的に現状維持を望む被験者がほとんどとなっている。エアコン側の方は時間経過と共に室温を上げてほしい要求が増え、寒暑感の申告結果と対応している。

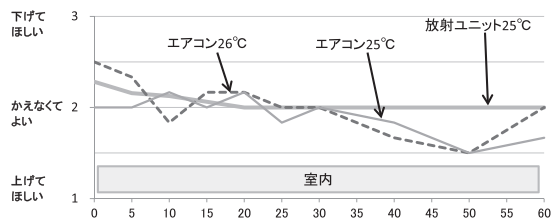
これらの結果から放射整流ユニットが形成する環境は、持続的な心理安定状態に繋がっていく様子が伺え、冷房弱者とも言われる一般女性にとって一定の有効性が得られた。



第7図 寒暑感の経時変化



第8図 快適感の経時変化



第9図 室温への希望の経時変化

## 4 放射整流ユニットの活用

放射整流ユニットは従来型PACエアコンやFCU

などにも適用できることも一つの特長であり、ドラフト感や温度ムラの抑制を図ることができる。

しかし、本質的な開発目的としては、「空調による持続的快適性向上・健康維持」の実現が根幹にあり、外気処理性能（換気や調湿、空気清浄）などが一体となった室内環境品質向上を目指す上で、空調機側のシステムアップも図ってきた。

### 4-1 外気処理の重要性

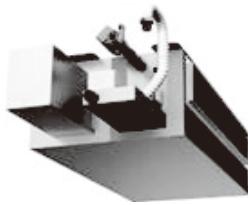
室内における快適性を維持・向上させる上で、十分な換気や湿度コントロールは欠かすことができず、放射主体の冷暖房システムにおいても外気処理は重要である。

日本の冷房期は高温多湿な気候であるが故、特に外気導入時の除湿不足は快適性を阻害することにも繋がる。顕熱処理に特化した放射空調の場合は、室内発生潜熱除去も行わなければならない。また、暖房期は逆に低湿環境となる為、確実な加湿が求められる。

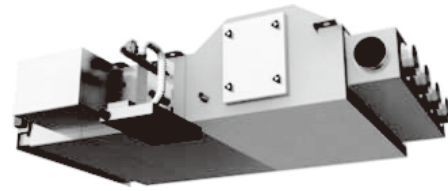
さらには、地球温暖化による大気中CO<sub>2</sub>濃度の上昇（2015年3月米海洋大気局の発表に於いて世界月平均400ppm超を報告）や、昨今の建物外皮負荷性能の向上（室内負荷の抑制）により、空調熱負荷に対する外気負荷の占める割合が増加してきたことで、今後一層外調の重要性が高まっていく事が予想される。

### 4-2 端末分散空調システム

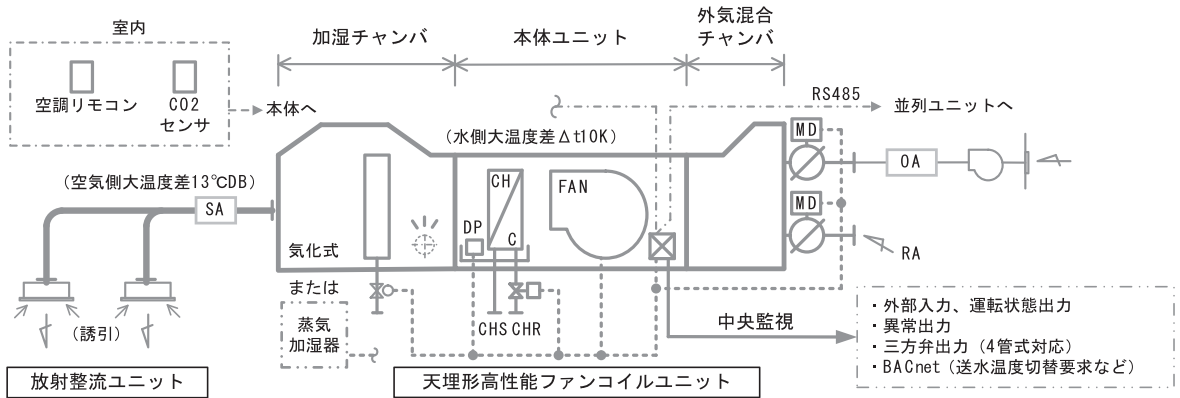
冷温水式「端末分散空調システム」は放射整流ユニットを活用し、高性能ファンコイルユニットを中心に快適性と省エネ・省コストの両立を目指したものである。高性能ファンコイルユニットには電動二方弁や各種センサ、制御基板を備え、空調制御機能を備えている。また中央監視に対しては各種入出力インターフェースの他BACnetにも対応して拡張性も持たせている。これによりセントラルシステムの二次側計装をシンプルに構築でき省力化を図る事にも繋がる（第10図）。その他、本製品は外気導入することができ、その場合の外気量適正制御や、除湿処理、



天埋形（室内循環用）



天埋ターミナル形（外還気混合用）



第10図 端末分散空調システムの構成概要

低温加湿制御を行うなど、高機能化を図っている。以下特徴的な制御、機能を紹介する。

### (1) 大温度差対応

本製品では空気側・水側とも大温度差を設計基準条件としている。空気側の大温度差は、例えば冷房時設計吹出温度16°Cより13°Cに下げることによって風量を約30%低減することができ、22%の設計送風動力削減（試算値）となる。さらに、風量低減による効果は製品・設備の小型化に繋がっている。さらに設計給気温度を下げることは除湿性能を高めることにも繋がるが、それに伴って吹出口結露や冷風感などの弊害も発生する。放射整流ユニットの誘引構造はこの問題解決にも役立っている。

### (2) 外気量適正制御

本製品は極力設備の簡便性を目的に、外気処理機能を持たせており、外気混合チャンバーとOA・RAダンパを備えている（写真1）。OAとRA風量の比率は、室内設置のCO<sub>2</sub>センサ（最大2台）からの情報により、設定されたCO<sub>2</sub>濃度以下の外気量となる様比例操作する。また、常時室内と

外気のエンタルピー監視を行い、冷房時外気エンタルピーが低い場合は外気優先による冷房運転を行う。

### (3) 除湿、加湿制御

付属となる空調リモコンでは除湿、加湿設定ができる。除湿運転では、室温制御運転時に絶対湿度が設定値を上回った場合は給気温度を下げて運転を行うが、その際の冷風感や室温低下を抑制するために、パラメーターによる給気温度下限値や室内温度低下下限値を設け断続的な制御切替えて居住者に負担の少ない運転を行う。その際、給気温度の変化に対しては放射整流ユニットの誘引効果によって40%程吸収することができる。

また、加湿運転も同様に絶対湿度判断による加湿器制御を行う（第11図）。本製品では大容量形気化式加湿器の他、通年において加湿能力の高い電極式蒸気加湿器も選択できるが、天井内の狭小空間において効率良く蒸気を吸収するための専用加湿チャンバを備え、また給気システム内の凝縮による結露を発生させない様、飽和防

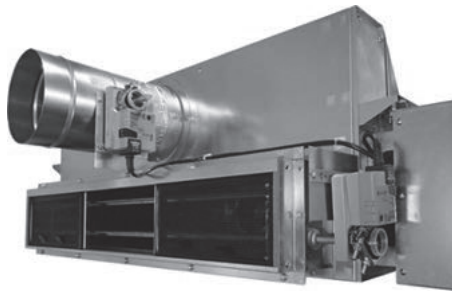
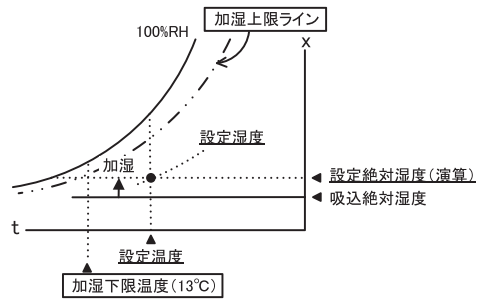


写真1 外還気混合チャンバー



第11図 蒸気加湿による低温加湿範囲

止制御を行う。加熱負荷が少なく給気温度が低い場合や、外気冷房時（給気13℃以上）などでも高い加湿能力を確保する。

(4) 送水温度切換え支援（中温熱利用）

従来より機器選定上の冷水入口温度基準は7℃が慣例であるが、部分負荷期においては7℃を保持して運用する必要性は少なく、送水温度を上げることで熱源効率を向上させた運転を行うこともできる。このような事を理解している建物の設備管理者は、季節による目測で送水温度を変えて省エネを図るケースなどがある。

そこで本製品では室内温度の安定状態を示すいくつかのファクター（温度、時間、制御量など）から演算により、送水温度を10℃程度としても負荷を満たす状態を中間期／低負荷時として判断し、BACnet経由で送水温度切換え要求信号を出力する。中央監視側では各々の空調機からの信号を集計し、負荷側の実態に見合った省エネ運用を図ることができる。

5 おわりに

放射整流による空調は、不快感が少なく持続的快適性が得られやすい共有空間を形成でき、比較的導入も容易である。各地展開しているショールームにて体感していただければ幸いである。今後、照明や音響など異分野との融合を図りながら、住環境製品へのシステムアップを目指していく予定である。

<参考文献>

- (1) 闫寒月・齋藤輝幸・久野覚：2012年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1919-1922、札幌（2012.9）
- (2) 闫寒月・齋藤輝幸・久野覚：2012年度空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、第14号、pp.9-12、（2013.3）
- (3) 丸山茜・齋藤輝幸：2014年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.461-464、近畿（2014.9）

筆者紹介

石田 貴之  
木村工機株式会社 技術開発一部