

# 往還温度差確保と快適性確保を両立する ファンコイルユニット制御ロジックの開発

## Control Logic That Maintains a Difference in Water Temperature between Fan Coil Unit Inflow and Outflow While Keeping Living Areas Comfortable

アズビル株式会社  
ビルシステムカンパニー

木都 孝洋  
Takahiro Kido

アズビル株式会社  
ビルシステムカンパニー

田原 淳平  
Junpei Tahara

アズビル株式会社  
ビルシステムカンパニー

沖 直道  
Naomichi Oki

### キーワード

ファンコイルユニット, 還温度制御, ローセレクト, 過流量抑制

ファンコイルユニット（以下、FCU）において、室内における快適性の維持とコイルを流れる水の往還温度差を両立する制御ロジックを開発したので報告する。FCUにおいては、実運用時に設計段階で期待した往還温度差が確保されていないケースが発生していると言われている。設計往還温度差が確保されないと、FCU内の流量が無駄に増えることのみならず、熱源機も非効率な運転になるなど、空調システム全体でのエネルギーロスが生じてしまう。今回報告するロジックは室内の快適性を維持したままこの問題を解決するロジックである。

This paper reports our development of fan coil unit (FCU) control logic that maintains a water temperature difference between FCU inflow and outflow while ensuring comfort in the residential area. In the actual application of conventional FCUs, it is understood that the temperature difference that was anticipated at the design stage will not always be maintained. Failure to maintain the difference causes too much water to flow through the FCU and causes inefficient operation of the heat source, resulting in energy loss from the entire air handling system. The logic reported in this paper resolves this problem and maintains indoor comfort at the same time.

## 1. はじめに

ファンコイルユニット（FCU）は、ホテルや病院などの居住者スペースやオフィスビルのベリメータ（窓際ゾーン）に設置され、居室内空調負荷の除去に寄与する装置である。従来FCUに対しては、ON/OFF 弁や比例弁が適用され、室内温度制御によってコイルを流れる

流量を調節する制御手法が取られてきているが、中には設計段階で期待した往還温度差が確保されていないケースが発生していると言われている。

設計往還温度差が確保されないと、FCU内の流量が無駄に増え搬送動力が増大することになるだけでなく、熱源機も非効率な運転になるなど、空調システム全体でのエネルギーロスが生じてしまう。

当社は解決策として、FCU制御において、室内の快適性は維持しつつ温度差確保の課題を解決できる制御ロジックを考案し、FCUコントローラ Inflex™ FCに搭載した(図1)。本論文ではそのロジックと有効性検証結果について報告する。



図1. 還温度制御付き Inflex FC

## 2. ロジックの概要

考案した制御ロジックは、内部に2つのPI(比例・積分) ループを持つものとなっている。

空気側においては、室内/還気温度計測値を設定値に追従させるためのPIによる制御ループを持ち、水側においては還温度計測値を設定値に追従させるためのPIによる制御ループを持っている。コントローラは、これら2つの出力の内、低い方を選択しバルブに出力する(図2)。ファン風量は、「自動」を選択した場合、室内/還気制御ループの出力に従い変化する。

## 3. ロジックとFCU特性との関係

前項で紹介したロジックがFCU動作に及ぼす影響について、本項ではFCUの特性を用いて解説する。

FCUは流量の増大に伴って往還温度差は小さくなり、熱処理量は大きくなる傾向を示す。図3は、FCUメーカーから仕様書で提供されている流量ごとの還温度と顕熱交換量をプロットした特性図例である。一般的に

FCUは機種による値の違いこそあるが、本例と同等の傾向を示すと考えてよい。

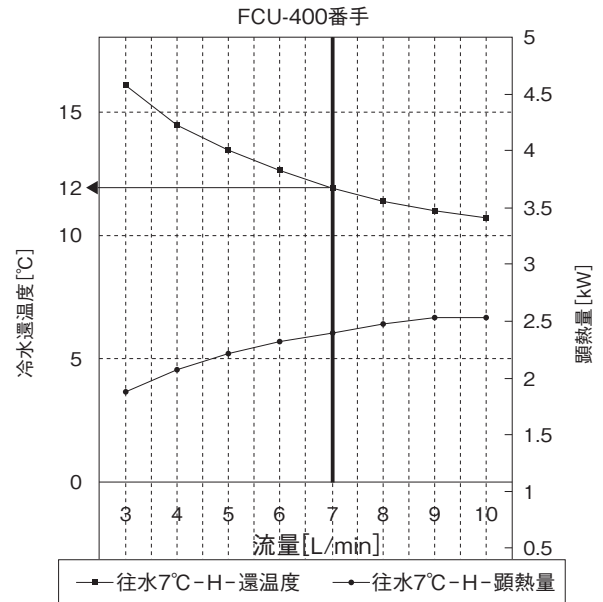


図3. FCU 特性例

特性図より、還温度は、流量が増えるに従い送水温度に近付くが、顕熱処理量については流量の上昇に伴う増加の割合は徐々に減少していき、特に定格流量(図3では7l/min)を超える範囲ではその増加量は僅少に留まることがわかる。言いかえると、FCUにおいては定格流量よりも大きな流量を流しても温度制御による快適性維持にはほぼ寄与せず、流量過多による搬送動力増大のみが発生することになる。

また同時に、FCUにおいて往還温度差が縮小するのはその様な過大流量が発生した場合であり、還温度制御の設定値を設計温度に設定し、還温度を設計温度以上に維持することができれば過大流量を抑止でき、結果として省エネルギーに貢献できることがわかる。

本特性図において2項のロジックの振舞いを考察したのが図4である。

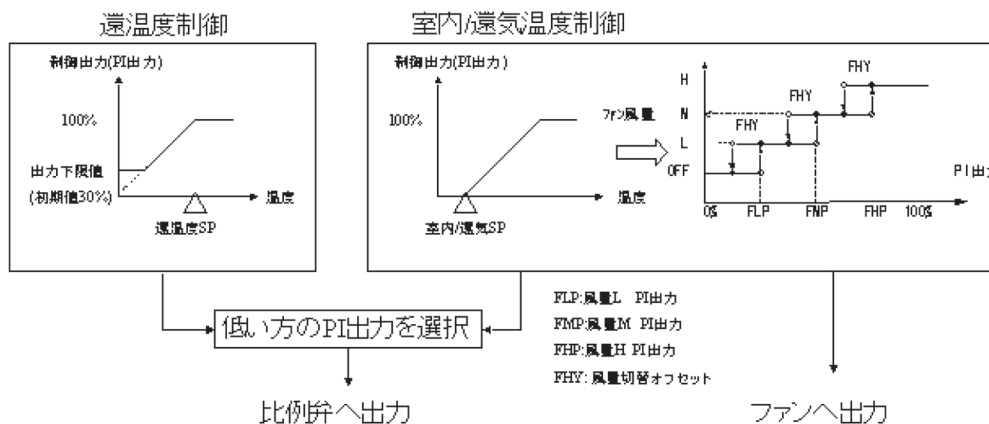


図2. 考案した制御ロジック

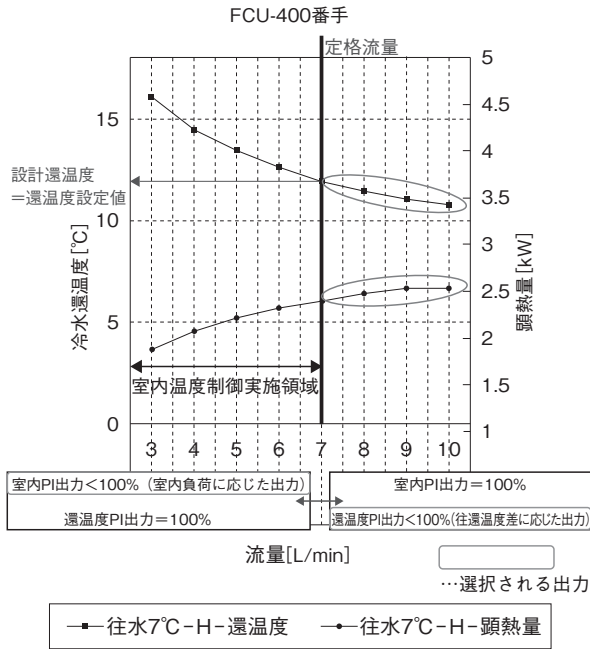


図4. FCU 特性図上における考案ロジック

まず、定格流量以下において2つのPI出力について考えると、還温度ループについては計測値が設定値以上であるから100%出力となり、必ず室内温度制御ループによって演算された制御出力が選択されることになる。すなわち、この領域においては従来の室内温度制御と同等の制御性が確保される。

一方、定格流量よりも高い流量域について考える。還温度は設定値以下となるはずなので、計測値を設定値に追従させるべく、還温度PIループからバルブを絞る制御量が出力されていることになる。要求流量が大きいと言うことは、室内負荷は高い領域であると言えるので、室内温度制御ループの出力は100%という値を取っているはずである。この結果、この領域においては還温度制御ループの演算結果が選択される。結果として過流量が発生した場合にそれを定格流量まで絞り込む動作が実施されることになる。

#### 4. 実験による検証

考案したロジックの妥当性を検証する実験を行った。実験は表1の条件を持つ図5に示す構成の、当社所有建物の1室を使って行った。

実験に際して、事前にFCU実機の実験を実施した(図6)。これにより実験に用いるFCUも一般的なFCUの特性と同じ傾向を持つことと、流量が9.0l/minを超えたところで顕熱処理量の増加率が下がっていることが確認できた。これにより、本FCUの定格は流量9.0l/min、その時の還温度計測値である15℃を還温度設定として、実験を行うことにした。

実験は同環境において、従来制御である室内温度制御

表1. 実験条件

項目	値	単位
室内温度設定	26.0	°C
還温度設定	15.0	°C
内部発生熱量(※)	2.05	kW
FCU定格流量	9.0	l/min
風量H時処理顕熱量(計測値)	2.2	kW

(※) 内部発生熱量は空気調和ハンドブックの記載を元に推定した外窓貫流熱0.13kW, 外窓日射0.37kW, 内窓貫流熱0.08kW, 外壁貫流熱0.11kW, 人0.24kW, PC0.08kW, ヒータ1.20kWを合計。

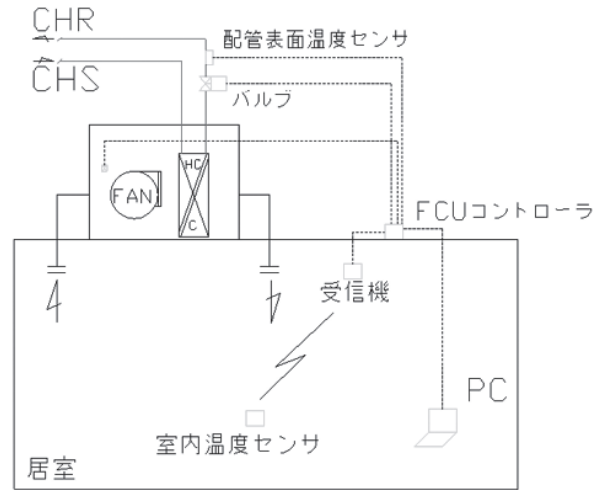
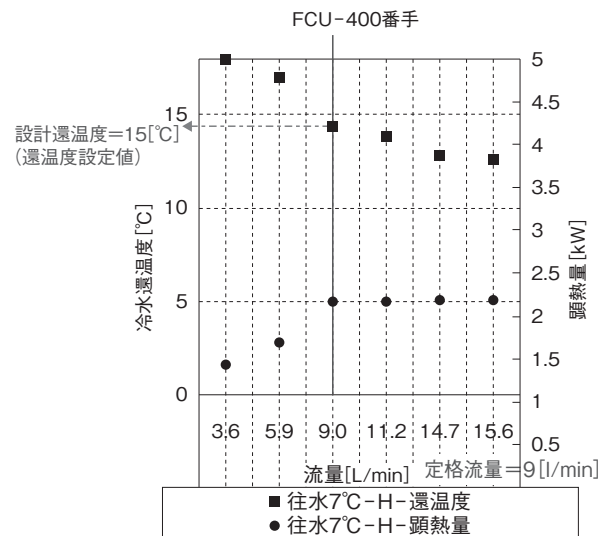


図5. 実験環境



流量：流量計による計測値  
 還温度：還温度センサによる計測値  
 顕熱量：FCUに入出する空気温度差と計測風量により演算

図6. 実験に用いたコイルの特性

のみの場合と、今回考案したロジックを用いた場合とを行い、結果を比較した(図7)。

結果、双方とも室内温度計測値の設定値に対する追従の度合いはほぼ同等である一方、室内温度制御のみの場合は還温度計測値および流量が成り行きで推移してい

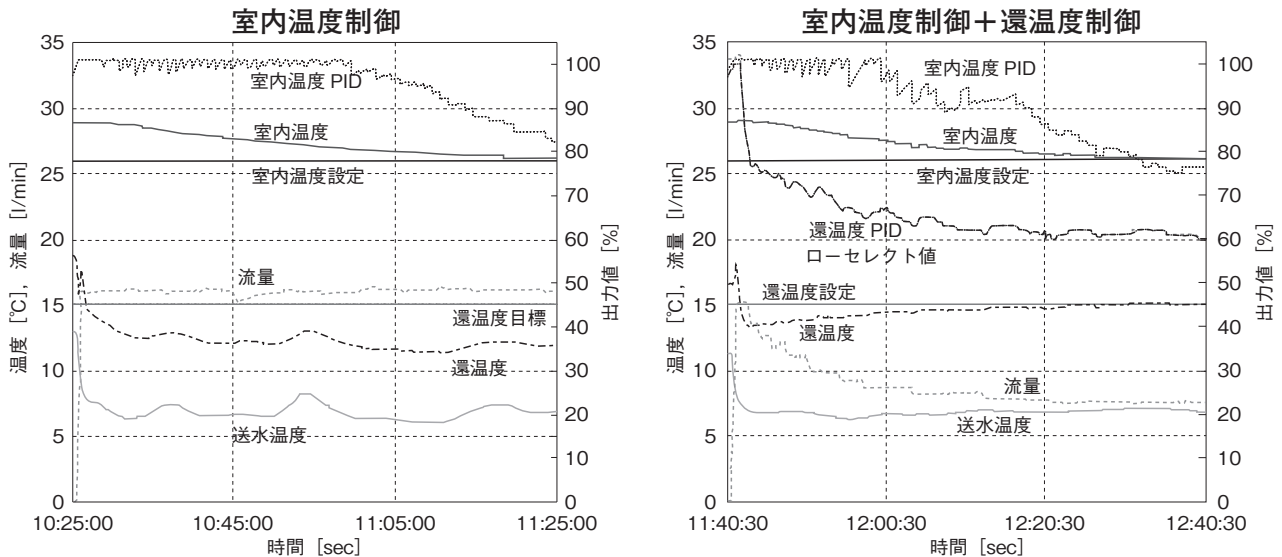


図7. 還温度制御有無による応答の比較

るのに対し、考案ロジックの場合には還温度の設定値に対する追従および流量の削減が認められ、搬送動力の削減に貢献できていることが確認できる。

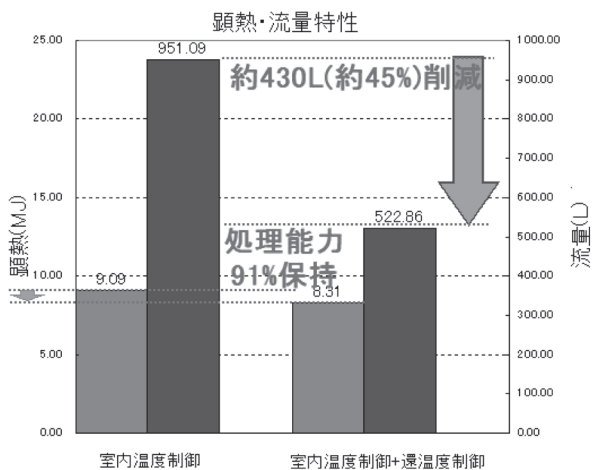


図8. 還温度制御有無における積算熱量と積算流量の比較

同実験の結果を積算熱量と積算流量で整理したのが図8である。還温度制御の有無にかかわらず積算顕熱量（室内環境に与える影響）はほぼ同等であるのに対し、積算流量は45%減に抑え込まれ、搬送動力の削減に貢献できていることが確認できた。

## 5. シミュレーションによる検証

実際にFCUを運用する際には、往還温度差を縮小させる条件が存在する。このような条件下においても考案したロジックが有効に働くことを検証した。

この検証は、実験において各条件を自在に発生させる

ことが困難であったため、シミュレーション技術を用いて実施した。

図9はシミュレータ全体構成の概要であり表2がシミュレーション条件である。制御部には、図2の考案ロジックが実装され、コイルモデルには図3と同様な傾向のコイルの特性が組み込まれている（図10）。

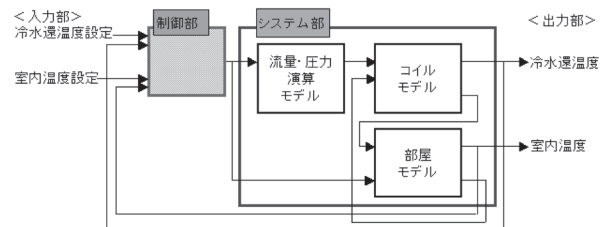


図9. シミュレーション全体構成概要

表2. シミュレーション条件

項目	値	単位
室内温度設定	26.0	°C
還温度設定	12.0	°C
内部発生熱量	1.75	kW
FCU定格流量	7.0	l/min
定格時処理顕熱量	1.76	kW

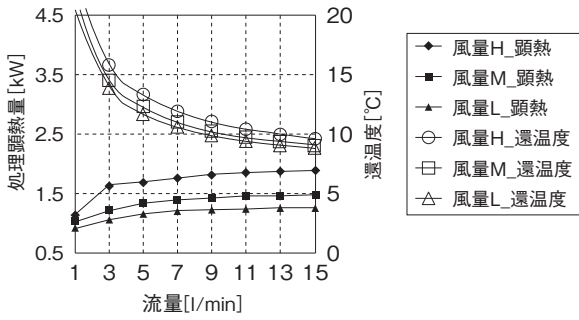
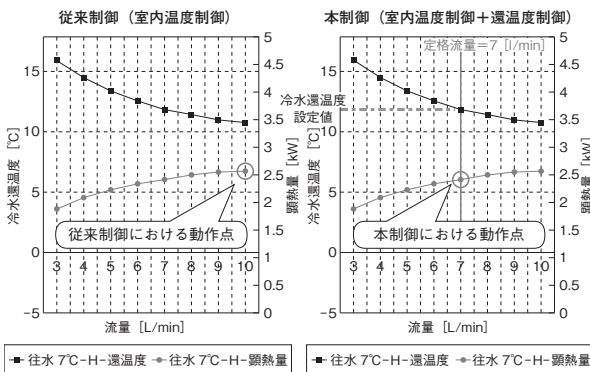


図 10. シミュレーションで使用した FCU 特性

往還温度差を縮小させる条件として考えられる要素はいくつかあり、それぞれ検証を実施した。

### 5.1 極端な室内温度設定

室内温度設定が極端な値に設定されてしまうと、一時的に処理すべき熱量が増大する。従来型の室内温度制御の場合、この様な状況下では流量が過大となり(図 11 左) 還温度が設定を満たさない状況が発生する。



※図1をベースに考察。シミュレーション条件とは異なる。従来制御の動作点は実際には前後差圧の影響を受ける

図 11. 極端な室内温度設定の影響の考察

ここに還温度制御ロジックを適用すると、特性図上の動作点は図 11 右のように、定格流量における 1 点となる。

3 項で述べた通り、定格流量を超えた流量は顕熱処理にほとんど貢献しないため、室内温度設定の急激な変化があった場合に、還温度制御における流量制限の効果が発揮されても、室内温度の制御性にはほぼ影響を及ぼさないと考えられる。

シミュレーションの結果、室内温度制御の制御性はそのままに還温度制御の効果が得られていることが確認できた (図 12, 図 13)。

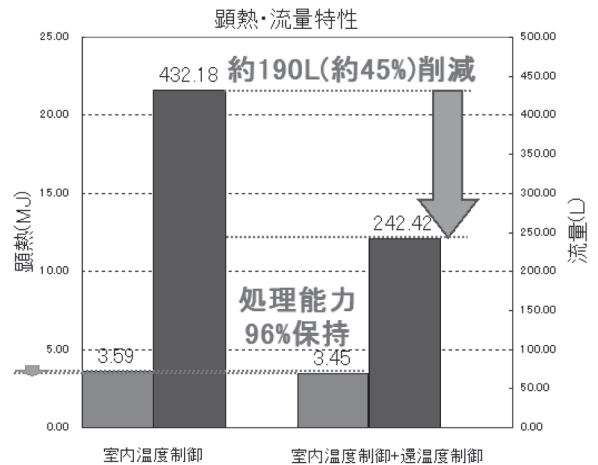


図 13. 室内温度設定の急激な変更時における室内温度制御と還温度制御の積算熱量と積算流量の比較

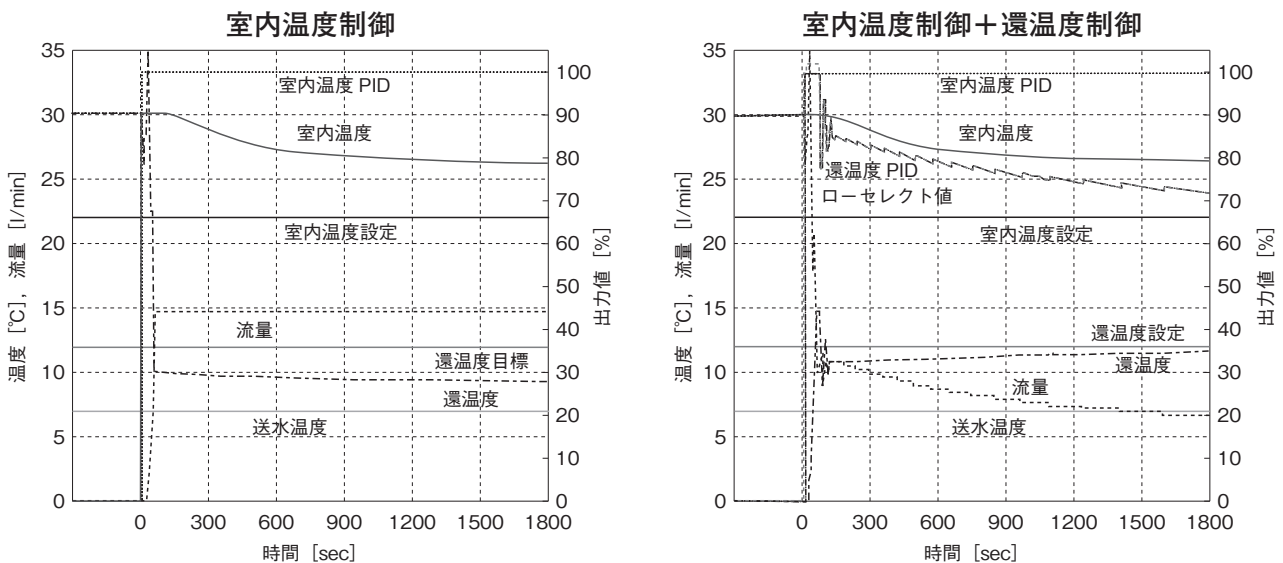
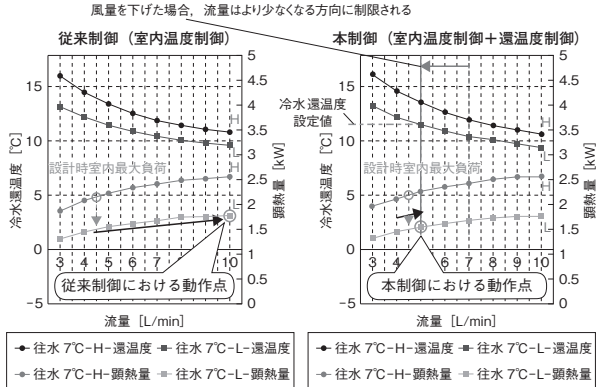


図 12. 極端な温度設定を想定したシミュレーション結果



5.2 ファン風量

ファン風量が下がると熱交換量が減り、温度差も縮まる方向にFCUの特性が遷移するため、処理すべき熱量が同一であれば、流量の増大が発生する。図14に示す様に、還温度制御なしの場合は無制限に流量が増大するが、ありの場合は流量が制限される。



※図1をベースに考察。シミュレーション条件とは異なる。従来制御の動作点は実際には前後差圧の影響を受ける

図14. ファン風量変化の影響の考察

風量Lの場合も、制限された流量以上の流量は処理顕熱量に寄与しない過流量と見なせるため、還温度制御の効果が出ることが確認できた (図15, 図16)。

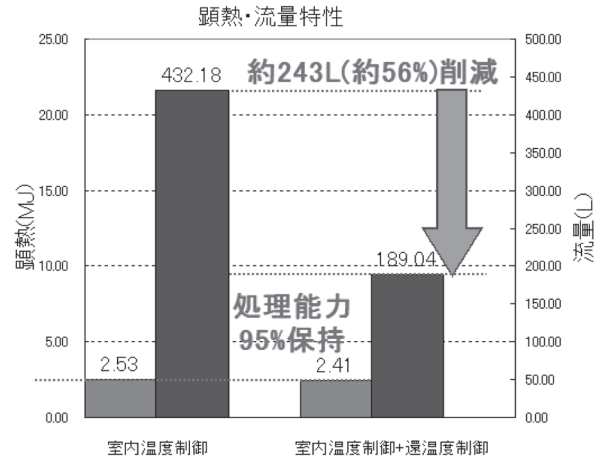


図16. ファン風量変化時における室内温度制御と還温度制御の積算熱量と積算流量の比較

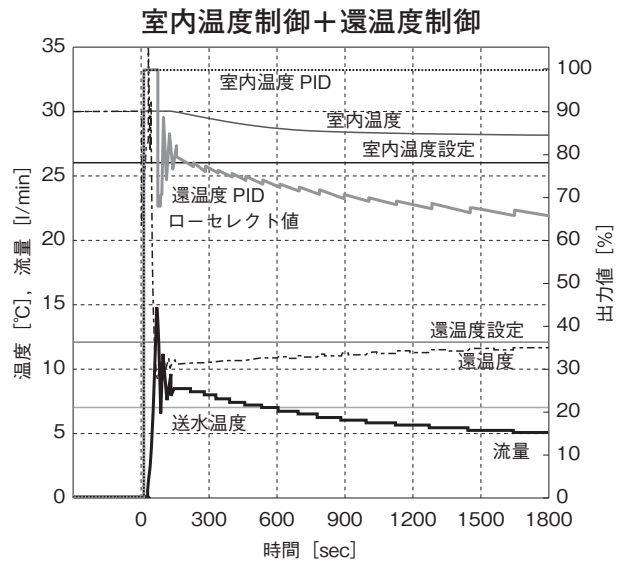
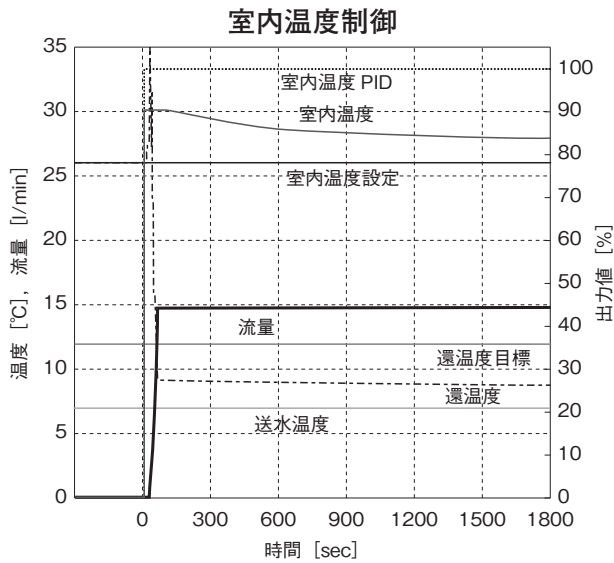


図15. ファン風量変化時におけるシミュレーション結果

### 5.3 送水温度

送水温度が上がれば還温度は上がって処理顕熱量は下がり、送水温度が下がれば還温度は下がって処理顕熱量は上がる方向にFCUの特性は遷移する(図17)。この遷移により還温度制御による流量のリミットも変化

するが、送水温度が高い場合には制限流量が増え、その代わり熱交換量が減り、低い場合には制限が減り、代わりに熱交換量が増えるため、還温度制御が処理可能熱量に及ぼす影響はほぼないことが確認できた(図18)。

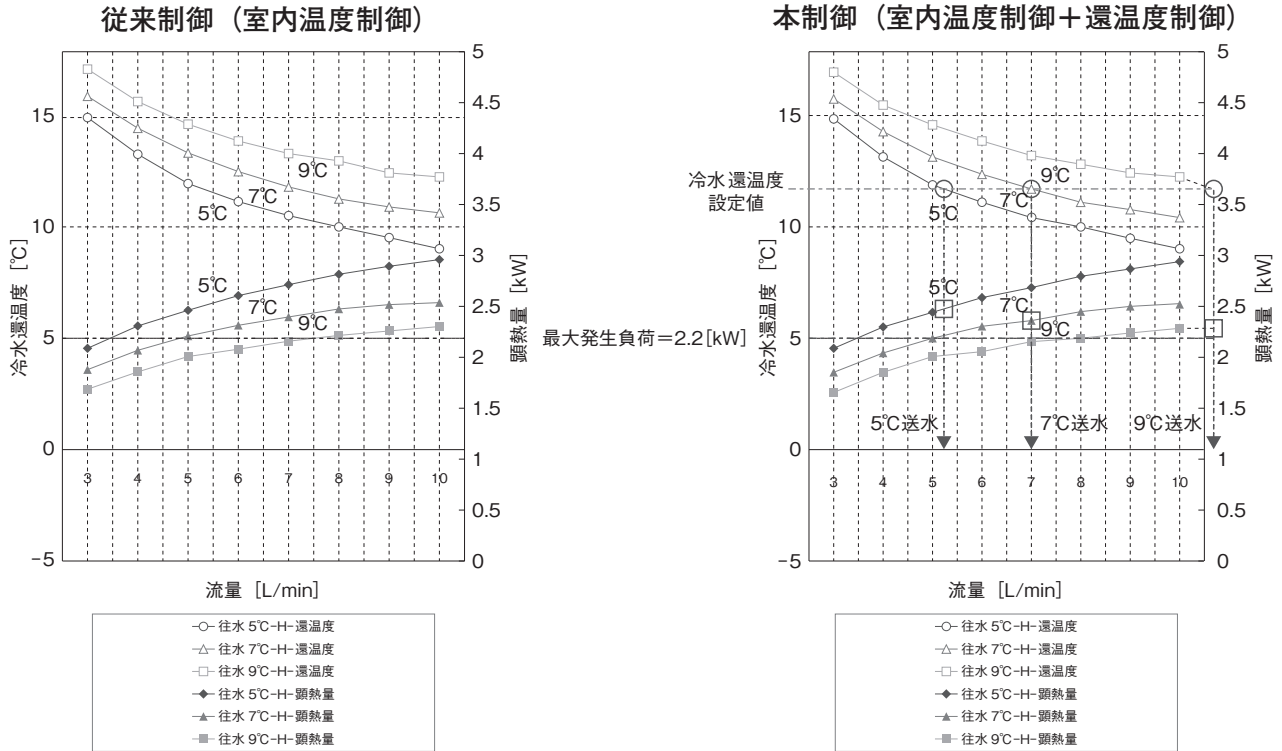


図17. 送水温度変化の影響の考察

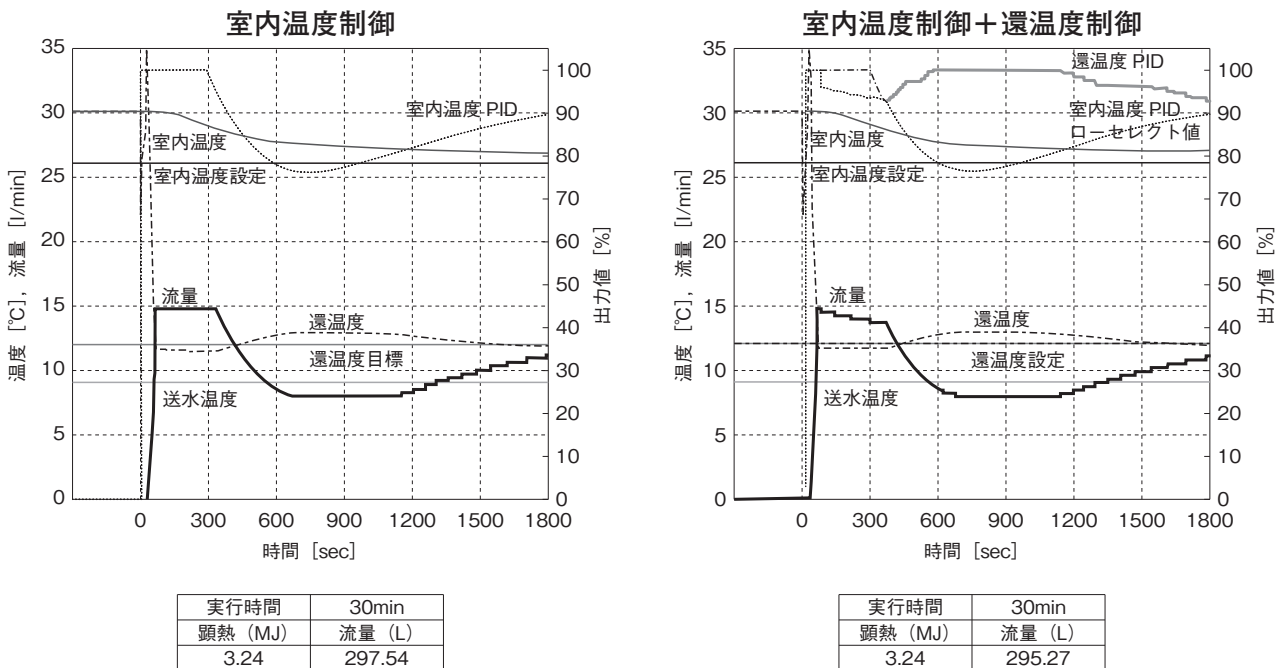


図18. 送水温度変化時におけるシミュレーション結果

## 6. おわりに

新ロジックが快適性を維持しつつ、省エネルギーにも貢献できるものであることを報告した。本ロジックが、多くの現場で重要性の増している省エネルギーや節電への対応に貢献することを願って止まない。

また次の機会に、本ロジック搭載のコントローラからの情報を使った様々なアプリケーション例について具体的に紹介する機会を得られれば幸いである。

### <参考文献>

- (1) 空気調和・衛生工学会シンポジウム「熱媒の温度差を確保する技術と問題点」空気調和設備委員会  
地域冷暖房技術検討小委員会
- (2) 空調システムの運転実態を設定条件に近づける統計的設計→空調システムの統合的設計と運転に関する委員会「空調システムの最適化を目的とした統合的設計・運転手法に関する報告」
- (3) 空気調和ハンドブック，改訂5版，井上宇市編，丸善株式会社
- (4) 新晃工業 FCU カタログ：ファンコイルユニットシリーズ CLIMATOR (FC-10-A)」
- (5) SIMBAD  
(FCUのコイルモデルには、SIMBADのDetailed Static cooling coilを使用した。)
- (6) HVACSIM+ (J)  
(流体ネットワーク計算には、HVACSIM+ (J) のType501～503, 506を使用した。)

### <商標>

Inflex は、アズビル株式会社の商標です。

### <著者所属>

木都 孝洋	ビルシステムカンパニー マーケティング本部 プロダクトマーケティング部
田原 淳平	ビルシステムカンパニー 計装エンジニアリング部
沖 直道	ビルシステムカンパニー 開発本部開発2部