

流量計測制御機能付制御弁による 空調機エネルギー性能の見える化

Visualizing the Energy Performance of an Air Handling Unit Using a Control Valve That Measures and Controls Flow Rate

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

佐藤 慶大
Keita Satou

アズビル株式会社
バルブ商品開発部

古谷 元洋
Motohiro Furuya

アズビル株式会社
バルブ商品開発部

木下 良介
Ryosuke Kinoshita

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

太宰 龍太
Ryouta Dazai

キーワード

制御弁, 流量, 熱量, 圧力, エネルギー, 空調機, 見える化

建物の省エネルギーを実現する上で、空調機廻りのエネルギー性能を把握し、エネルギー性能の改善を実施すべき系統の抽出や具体的な対策方法を提示することは重要である。空調機ごとに設置される制御弁に流量計測機能を搭載させたことで、省コスト・省施工でかつ、きめ細かく空調機廻りのエネルギーを把握することが可能となった。また、取得可能なエネルギーデータを利用して、空調機廻りのエネルギー性能の改善対策箇所を抽出するためのロジックを立案し、当社藤沢テクノセンター第100建物で検証を行い、その有効性を確認した。

In order to achieve energy savings in a building, it is necessary to understand the energy performance of the air handling unit, to identify a system that will improve energy performance, and to provide specific countermeasures. By including a function for measuring the flow rate in the control valve installed in each air handling unit, we have made it possible to gain a detailed understanding of the energy use of the air handling unit at a lower cost and with less construction work. Moreover, we have worked out the logic for using obtainable energy data to extract areas where measures are needed to improve the air handling unit's energy performance. Verification was carried out in Building 100 of our Fujisawa Technical Center, and effectiveness was confirmed.

1. はじめに

建物全体の省エネルギーを実現する上で、エネルギー性能を常に把握し、これらを維持向上させることが重要である。そのために用途別、系統別、機器別に計測・計量を行い、エネルギー消費状況を把握する必要がある。その中で空調機廻りのエネルギー性能を把握するためには、流量計、熱量計などの計測・計量機器の設置が必要となるが、多大な費用がかかる。また、計測・計量により得られるデータからエネルギー性能の改善を実施すべき系統の抽出や具体的な対策方法を提示するため

の検証・評価方法が定まっていない。

本論文では、空調機廻りの流体データ（温度、流量、熱量）を省コスト・省施工で計測・計量することを可能とした流量、温度計測の機能を搭載した流量計測制御機能付制御弁の概要を報告する。さらに流量計測制御機能付制御弁を当社藤沢テクノセンター第100建物へ導入し、計測・計量データを元にした空調機運転状態を把握することでエネルギー性能の改善対策箇所の抽出を行うためのロジックの立案と検証を行った。

2. 流量計測制御機能付制御弁の概要

2.1 流量計測原理

配管内を流れる流量を計測する原理の一つに差圧式流量計測がある。絞り部の前後差圧と絞り部の抵抗係数から計算で流量を求めるもので、一般に下記計算式に基づいて流量が算出できる。

$$Q = \text{定数} \times C_v \times \sqrt{\Delta P} \quad \dots (1)$$

Q : 流量 C_v : 制御弁の容量係数
 ΔP : 絞り部前後の差圧

図1に示すように、制御弁本体部に搭載した圧力センサで計測された制御弁プラグの前後差圧と、電動操作器内のマイコンのメモリに記憶させた制御弁の各開度のC_v値から流量を算出している。

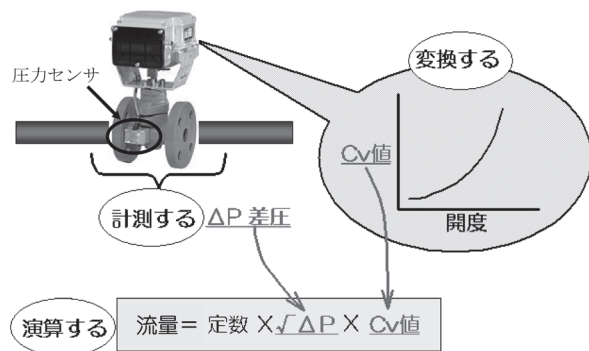


図1. 流量計測の原理

2.2 熱量演算

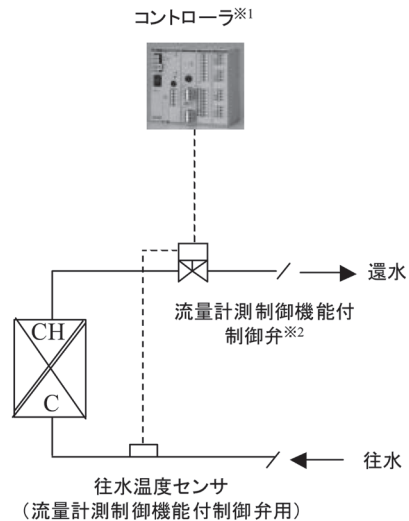
流量計測制御機能付制御弁で計測している流量、往水温度、還水温度の情報を元に下記計算式に基づいてコントローラにて熱量を演算する。(図2参照)

$$W = K \times Q \times \Delta T \quad \dots (2)$$

W : 熱量 K : 熱量換算係数
 Q : 流量 ΔT : 往還温度差

流量計測制御機能付制御弁から出力される計測計量データとコントローラを組み合わせると、別途流量計や熱量計を設置することに比べ、省コスト・省施工で以下の計測計量データを取得することができる。

- ①往水温度(℃) ②還水温度(℃) ③瞬時流量(l/min)
- ④瞬時熱量(MJ/h) ⑤積算流量(l) ⑥積算熱量(MJ)
- ⑦制御弁(%) ⑧制御弁1次側圧力(kPa) ⑨制御弁2次側圧力(kPa) ⑩制御弁前後差圧(kPa)



- ※1 コントローラに熱量演算機能を搭載
- ※2 流量計測制御機能付制御弁の圧力センサ部に温度計測機能を搭載

図2. 空調機コイルの消費熱量把握

3. VAV (Variable Air Volume) 空調方式における空調機消費熱量を利用した運用改善対策システムの抽出口ロジックの立案

3.1 制御性能の確認

VAV空調方式において、各VAVが必要とする熱量は同じでないため、システム全体として最適な給気温度を判断し給気温度設定値を変更する制御を行う。

冷房時の場合、負荷が大きければ給気温度設定値は低くなる傾向を示す。この傾向を利用し、負荷の大小と給気温度設定値との相関関係から制御性能を確認する。負荷の大小と給気温度設定値との相関が強ければ正常と判断できるが、そうではない場合は制御的なフォルトがあると判断できる。フォルトの想定要因としては、制御弁の故障・固着や温度センサの計測異常(劣化、不適切な設置位置)などが考えられる。

また、負荷の大小の判断は、以下のように本論文で新たに定義した「熱使用率」を利用する。

$$\text{熱使用率} = (\Sigma W \div \Sigma W_{\text{max}}) \times 100 \quad \dots (3)$$

ΣW : 月積算熱量(実績値)
 ΣW_{max} : 月積算定格熱量 = 設計積算流量 × 設計往還温度差

3.2 エネルギー性能の改善対策箇所の抽出

複数の空調機が設置されている場合、効率的に運用改善を行うには、どの空調機から対策を講じていけば良いのかを判断することが重要である。

消費熱量の絶対量が多ければ対策の効果は大きく、熱使用率が高ければ運用改善を行える可能性が高いことから消費熱量かつ熱使用率が高い空調機を抽出する。

次に抽出した空調機において、消費熱量かつ熱使用率が高い要因分析を行う。消費熱量かつ熱使用率が高い要因は以下の2点が考えられる。

①設定フォルト（設定値問題） ②熱負荷過剰

冷房時の場合、上記要因をVAV運転状態から以下の観点で切り分けることにした。

- (1) VAV 温度設定 (SP) 頻度分布 (設計温度 26°C 時)
 - ⇒ VAV 温度設定値 26°C 以上の出現頻度が多い
 - ⇒ VAV 温度設定値 26°C 未満の出現頻度が多い

(2) VAV 制御状態 (冷房時) 頻度分布

VAV 制御状態は図3に示すように室内温度と冷房設定との偏差によって、大きく4つの状態 (1: 冷房能力増要求, 6: 冷房能力適正化要求, 2: 適正冷房, 3: 最小風量) に分類される。各状態の出現頻度の多さによって要因を切り分ける。

- ⇒ 2: 適正冷房, 6: 冷房能力適正化要求, 3: 最小風量 の出現頻度が多い
- ⇒ 1: 冷房能力増要求 の出現頻度が多い

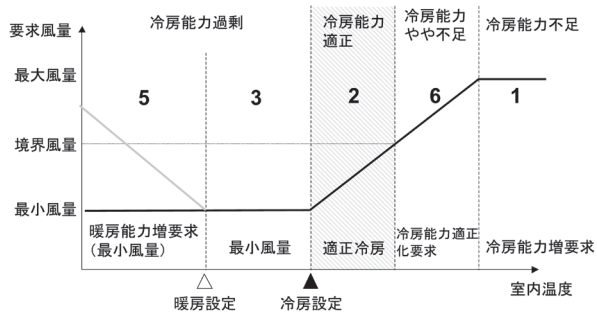


図3. VAV 制御状態 (冷房時)

(3) (VAV 温度計測値 - 設計温度) 頻度分布

VAV 温度計測値と設計温度との偏差を確認する理由は、VAV 温度設定値 26°C 未満の出現頻度が多い、かつ VAV 制御状態が 1: 冷房能力増要求 の出現頻度が多い状態の場合は、設定フォルトと熱負荷過剰を切り分けられないからである。例えば、VAV 温度設定値が 24°C で VAV 計測温度が 25°C の場合で、VAV 制御状態が "1" となっている状態は、設計温度 26°C を満足しているから設定フォルトと判断できる。一方、VAV 温度設定値が 24°C で VAV 計測温度が 28°C の場合で、VAV 制御状態が "1" となっている状態は、設計温度 26°C を満足していないため熱負荷過剰と判断できる。

したがって、VAV 温度設定値 26°C 未満の出現頻度が多い、かつ VAV 制御状態が 1: 冷房能力増要求 の出現頻度が多い状態の場合は、VAV 温度計測値と設計温度との偏差が、"0°C 以下" もしくは "0°C より大" の出

現頻度の多さによって要因を切り分ける必要がある。

- ⇒ 0°C 以下の出現頻度が多い
- ⇒ 0°C より大の出現頻度が多い

(1) ~ (3) の一連の要因判断フローを図4に示す。

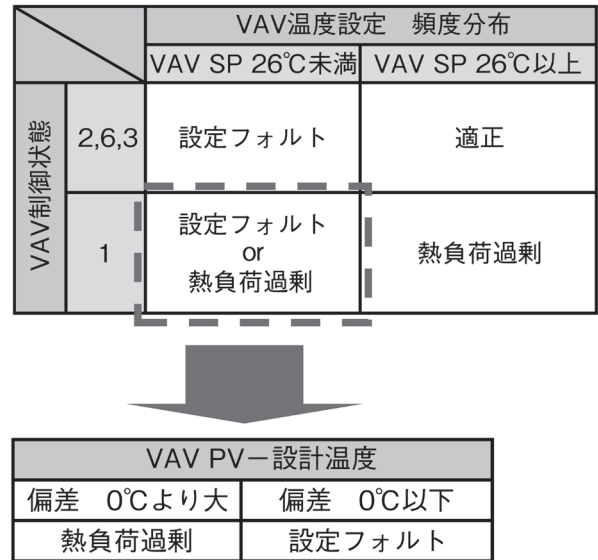


図4. 要因分析判断ロジック

4. ロジックに基づいたデータ分析

3項で立案したロジックを流量計測制御機能付制御弁が導入されている当社藤沢テクノセンター第100建物のデータを用いて検証を行った。

4.1 建物概要

表1に流量計測制御機能付制御弁を導入した当社藤沢テクノセンター第100建物を示す。建物の主な用途は事務室であり、2階~7階が基準階で、各階空調機は4台設置されている。空調設備システム概要を図5に示す。VAV空調方式を採用している。運用は、平日8時前後から空調を開始し、19時ごろに停止を基本としている。

表1. 建物概要

項目	建物概要
所在地	神奈川県藤沢市
延床面積	17,840 m ²
規模	地上7階、塔屋2階
竣工時期	2006年11月
用途	事務所

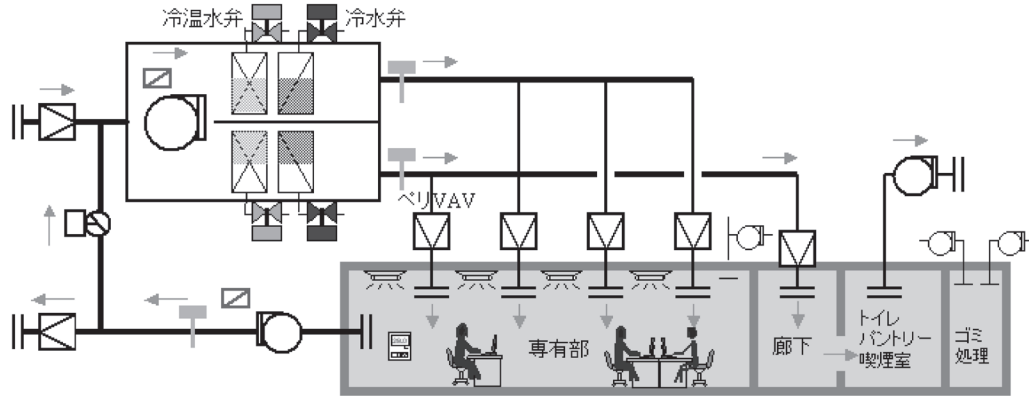


図5. 空調設備システム概要

4.2 検証結果

3階～6階に設置された空調機を解析対象として、2010年7月～9月におけるデータを用いて検証した。

(1) 制御性能の確認

熱使用率と給気温度設定値の相関図を図6に示す。熱使用率が高い場合、給気温度設定値は低く、熱使用率が低い場合、給気温度設定値は高い傾向となっている。

したがって、制御弁の故障や温度センサの計測異常などのような制御的なフォルトは無いと判断できる。

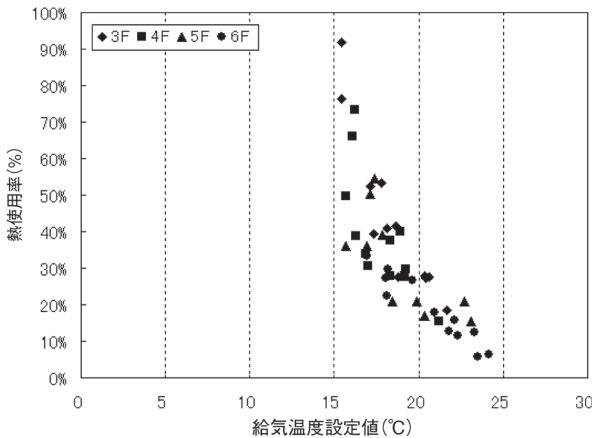


図6. 熱使用率と給気温度設定値の相関図

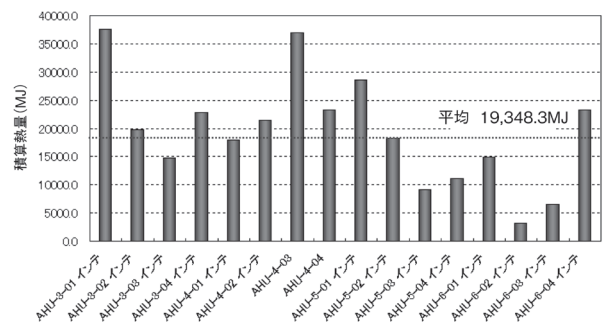


図7. 空調機別の積算熱量比較 (2010年7月)

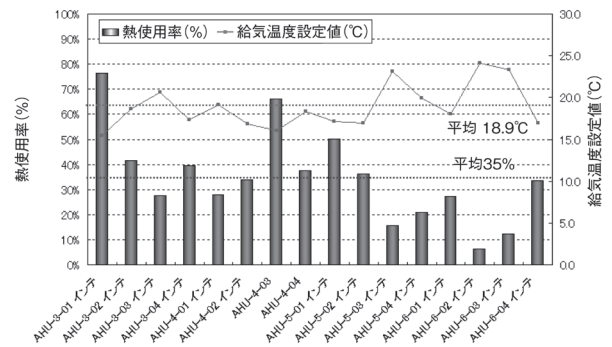


図8. 空調機別の熱使用率比較 (2010年7月)

(2) エネルギー性能の改善対策箇所の抽出

空調機別の積算熱量比較を図7に、また、空調機別の熱使用率比較を図8に示す。全体的には、3階～4階系統が積算熱量および熱使用率が高い傾向となっている。特に、AHU-3-01、AHU-4-03が突出して高くなっている。その要因分析のためAHU-3-01とAHU-4-03のVAV 運転状態を確認することにした。

AHU 系統と VAV 系統の組合せは表2の通りである。

表2. AHU 系統と VAV 系統の組合せ

AHU系統	VAV系統
AHU-3-01 インテ	VAV-3-1-1～4
AHU-4-03	VAV-4-3-1～3

AHU-3-01 系統 VAV-3-1-1～4 系統運転状態を図9に、また、AHU-4-03 系統 VAV-4-3-1～3 系統運転状態を図10に示す。それぞれに (a) VAV 温度設定 頻度分布, (b) VAV 制御状態 頻度分布, (c) (VAV 温度計測値－設計温度) 頻度分布を示す。

① AHU-3-01 系統, VAV-3-1-1～4 系統

(a) VAV 温度設定 頻度分布

VAV-3-1-1～3 の3系統は、VAV 温度設定値 26℃以上の中心値となっており、VAV-3-1-4 の1系統のみが VAV 温度設定値 26℃未満の 24～25℃が中心値となっていた。

(b) VAV 制御状態 頻度分布

VAV-3-1-1～3 の3系統は、2：適正冷房, 6：冷房適正化要求が中心値となっており、VAV-3-1-4 の1系統のみが1：冷房能力増要求の頻度が極端に高い状態となっていた。

ここで、VAV-3-1-1～3 の3系統は適正な運用がされていると判断できる。

(c) VAV 温度計測値－設計基準温度偏差 頻度分布

VAV-3-1-4 は、0℃より大が中心値だったため、現状の設備能力に対しては熱負荷過剰と判断できる。

したがって、VAV-3-1-4 系統においては熱負荷を削減するか、もしくは他系統へ熱負荷を移すなどの対策が必要という一次判断ができる。

② AHU-4-03 系統, VAV-4-3-1～3 系統

(a) VAV 温度設定 頻度分布

VAV-4-3-2～3 の2系統が VAV 温度設定値 26℃未満の 25℃が中心値となっていた。

ここで、VAV-4-3-2～3 系統は運用上何かしらの問題があることと、VAV-4-3-1 系統は適正な運用がされていると判断できる。

(b) VAV 制御状態 頻度分布

VAV-4-3-2～3 の2系統が比較的1：冷房能力増要求の頻度が多くなっていた。

(c) VAV 温度計測値－設計基準温度偏差 頻度分布

VAV-4-3-2 は、0℃以下が中心値だったため、設定フォルトと判断できる。VAV-4-3-3 は、0℃より大が中心値だったため、現状の設備能力に対しては熱負荷過剰と判断できる。

したがって、VAV-4-3-2 においては VAV 温度設定を 26℃に緩和する対策が必要という一次判断が行え、VAV-4-3-3 系統においては熱負荷を削減するか、もしくは他系統へ熱負荷を移すなどの対策が必要という一次判断ができる。

5. まとめ

流量計測制御機能付制御弁を導入し、それにより取得できる空調機消費熱量を利用した運用改善対策箇所を

抽出するロジックを立案し、検証を行った。

その結果、別途流量計や熱量計を設置せずに省コスト・省施工で空調機消費熱量が把握できるようになり、さらには運用改善が必要な系統を絞り込み、その要因を一次的に判断することがおおよそ可能であることを示した。

今後はより汎用性と信頼性を高めていくため、複数建物での分析と、データ上における分析結果と現場における実運用との差異の確認を行っていく予定である。

<参考文献>

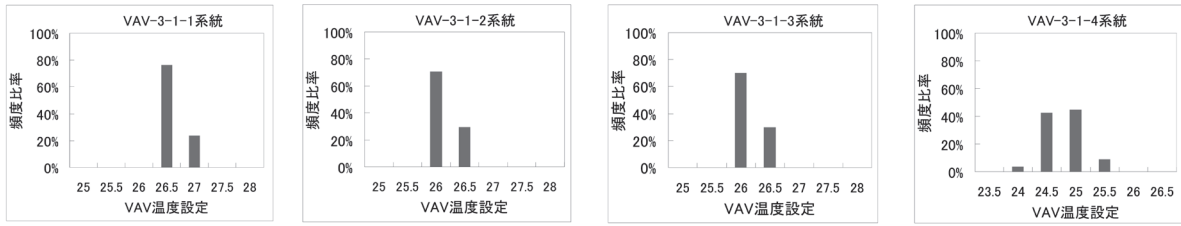
- (1) 佐藤：計装技術, Vol.28, No.2, 平成20年9月
- (2) 計測と制御, 第48巻, 第3号, 2009年3月号
- (3) 渡邊：特集 視覚化・見える化 BEMS データの視覚化, 空気調和・衛生工学, Vol.85, No.2, pp121-130
- (4) 空気調和・衛生設備の環境負荷低減マニュアル
- (5) 環境・エネルギー性能の最適化のための BEMS ビル管理システム
- (6) 古谷, 大谷：流量計測・制御機能付きバルブの開発, azbil Technical Review 2009年12月発行号

<商標>

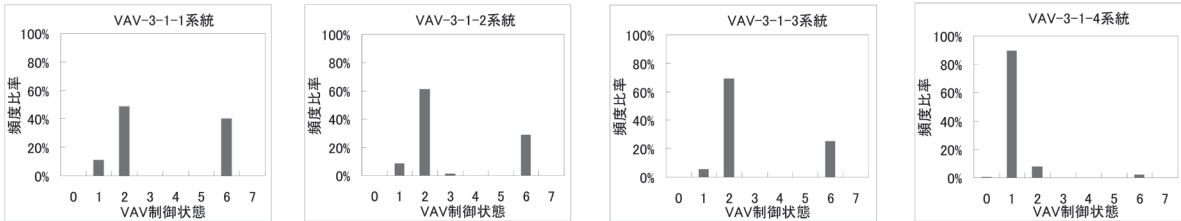
BEMS は、財団法人省エネルギーセンターの商標です。

<著者所属>

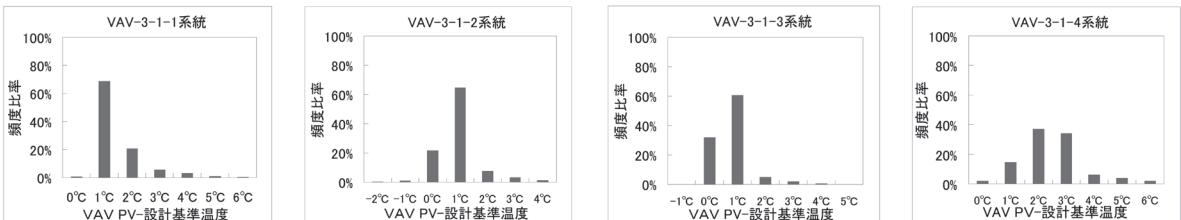
佐藤 慶大	ビルシステムカンパニー プロダクトマーケティング部
古谷 元洋	バルブ商品開発部
木下 良介	バルブ商品開発部
太宰 龍太	ビルシステムカンパニー プロダクトマーケティング部



(a) VAV 温度設定 頻度分布

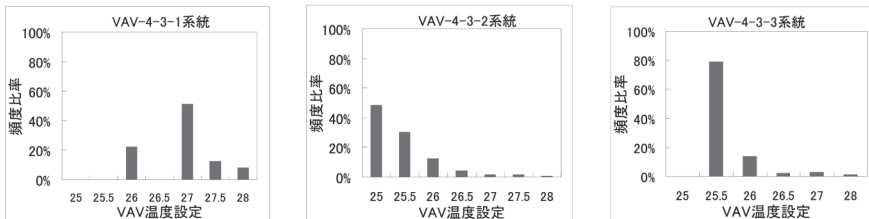


(b) VAV 制御状態 頻度分布

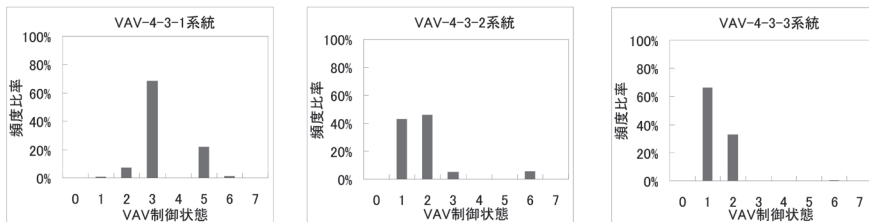


(c) (VAV 温度計測値-設計温度) 頻度分布

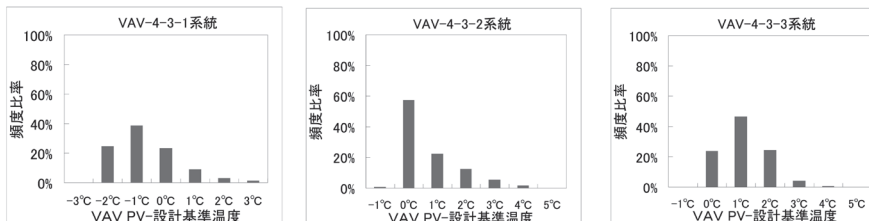
図9. AHU-3-01 系統 VAV-3-1-1 ~ 4 系統 運転状態 (2010 年 7 月)



(a) VAV 温度設定 頻度分布



(b) VAV 制御状態 頻度分布



(c) (VAV 温度計測値-設計温度) 頻度分布

図10. AHU-4-03 系統 VAV-4-3-1 ~ 3 系統 運転状態 (2010 年 7 月)

表3. VAV 温度設定の定義

項目	範囲
25℃	25℃以下
25.5℃	25℃より大きく、25.5℃以下
26℃	25.5℃より大きく、26℃以下
26.5℃	26℃より大きく、26.5℃以下
27℃	26.5℃より大きく、27℃以下

表4. 温度偏差の定義

項目	範囲
0℃	0℃以下
1℃	0℃より大きく、1℃以下
2℃	1℃より大きく、2℃以下
3℃	2℃より大きく、3℃以下