

風量・室圧制御用ベンチュリーバルブによる 安全性と長寿命化を両立させた 室圧補正制御技術の開発

A Technique for Use with Venturi Valve Control of Airflow Volume and Room Pressure That Provides Both Long Equipment Life and Safety at Research Facilities and Hospitals

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

大村 林太郎
Rintaro Omura

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

大沢 信雄
Nobuo Osawa

キーワード

風量・室圧制御用ベンチュリーバルブ, 風量体積制御, 室圧制御

研究施設や病院などの安全な空気環境を実現する風量・室圧制御用ベンチュリーバルブに、室内の空気圧をより正確に制御し、汚染空気の拡散・侵入防止を実現する室圧制御モデルを追加した。このモデルに、施設利用者の安全性を確保する上で必要となる正確で安定した室圧制御と装置の長寿命化の両立を実現する室圧制御技術を開発し搭載している。同時に開発した室圧モニタにより、室圧測定値をリアルタイムに表示し、室圧異常発生時にはアラームで通知することが可能である。

In addition to our venturi valve for control of airflow volume and room pressure, which provides a safe atmosphere for research facilities and hospitals, a room pressure control model has been developed that provides more accurate pressure control and prevents the diffusion and penetration of contaminated air. The new model employs a room pressure control technique designed to achieve both more precise, stable room pressure control and longer equipment life, two requirements for assuring the safety of facility users. A room pressure monitor developed at the same time displays the room pressure in real time and alerts users if the room pressure is abnormal.

1. はじめに

有害物質(化学薬品、感染性のウイルスや細菌など)を取扱う実験施設、医薬品や電子部品を製造する工場では、空気による相互汚染を防止するために、部屋間の気流や各部屋の空気圧(以下、室圧)を適切に制御することが要求される。当社は2009年以来、給気風量と排気風量を連動させ、その差分であるオフセット風量を一定に保つ風量体積制御方式により、陽圧あるいは陰圧を維持し安全な空気環境を実現する研究施設向け環境制御システムと風量・室圧制御用ベンチュリーバルブ(Infilex™ VN)を提供している。

室圧制御に関して第一義的に求められているのは、陽圧/

陰圧を保ち、所定の方向への部屋間気流を常に維持することである。さらに近年では、上記の陽圧/陰圧といった定性的な室圧や気流管理にとどまらず、室圧の具体的な数値設定(xxPa~yyPa)による管理(以下、これを室圧の定量的管理とする)や、異常発生時のリスク管理が求められる施設が増えてきており、室圧制御への要求は高度化してきている。

従来でも室圧の定量的管理を達成するだけならば調節計などを併用することで対応できたが、施設利用者の安全性を確保する上で必要となる、正確で安定した室圧制御と装置の長寿命化という相反する要求を両立させる技術は今までに確立されていなかった。また、施設利用者が室圧の制御状況を、当該室や廊下などの現地で確認できる視認性

も必要とされている。

こうした要求に応えるべく、今回開発を行ったのが風量・室圧制御用ベンチュリーバルブの新ラインナップである、Inflex VN室圧制御モデル (Pressure Control Valve, 以下PCV)(図1)である。このモデルは新たな機能として、風量体積制御に加えて室圧計測値によってオフセット風量を修正する「風量体積・室圧補正制御」を搭載している。本方式により上述の課題に応えることができ、より安全な環境を提供することが可能となった。

本稿では、PCVに搭載されている風量体積・室圧補正制御機能と、PCVと同時に開発された、室圧のリアルタイム表示と室圧異常を通知する室圧モニタについて紹介する。

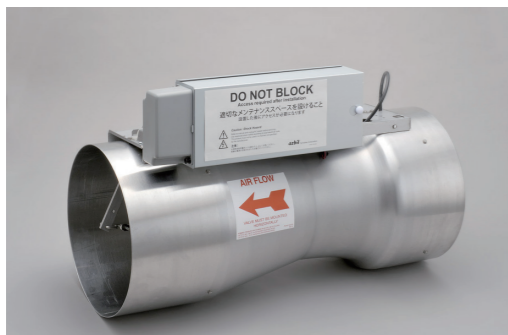


図1 Inflex VN 室圧制御モデル

2. システム構成

まず、Inflex VNによる制御システムについて、基本となる風量体積制御方式と、今回開発した風量体積・室圧補正制御方式の、それぞれのシステム構成を示す。

2.1 風量体積制御

システム構成例を図2に示す。換気を行うための給気バルブと一般排気バルブに加え、局所排気バルブ(有害物質を扱う際に局所的に排気を行う装置用に設置されるバルブ)で構成される。

給気バルブ(または一般排気バルブ)を当該室の風量バランスをつかさどるバルブとして設定し、そのバルブに同一室内にあるバルブの風量を相互通信により集め、給気風量と排気風量それぞれの合算値を演算させる。そして給気と排気の差分であるオフセット風量が一定となるように各バルブの風量を制御することで、室内の陽圧あるいは陰圧を保ち、所定の方向への気流を常に維持するのが風量体積制御方式である。

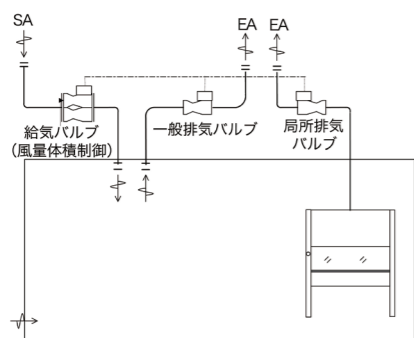


図2 風量体積制御システム構成例

2.2 風量体積および室圧補正制御

今回リリースしたPCVを用いて室圧補正制御を行う場合のシステム構成例を図3に示す。風量バランスをつかさどるバルブとは別のバルブを、室圧補正制御を行うバルブとして設定する。そのバルブに、制御対象となる部屋と室圧の基準となる空間との室間差圧を計測する室圧センサを接続する。風量体積制御により一定の風量差を維持しつつ、計測した室圧をPV、室圧設定値をSPとしてPID演算を行い、風量体積制御にて求められたオフセット風量をさらに補正することで室圧を適切に制御する方式である。

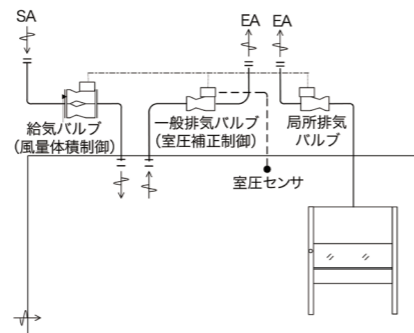


図3 風量体積・室圧補正制御システム構成例

3. 室圧補正制御併用のメリット

風量体積制御では、風量設定を一定とした状態では安定した室圧制御が実現できるため、Inflex VNの制御システムで風量体積制御を採用している。

しかし、室内の換気量を変更するなど、風量変更中には各バルブが個別にもつ若干の動作隙間や分解能の影響により室圧が不安定になりやすい。また各機器には風量制御の誤差があるため、風量演算上のオフセット風量を一定としても実際のオフセット風量は若干量変化してしまうことがある。これらの結果、特に風量設定が変更されたときには、室圧が変動し設定値から逸脱してしまう場合があった。

この逸脱の抑制を可能とするのがPCVに搭載されている室圧補正制御である。風量体積制御により安定した室圧制御を行い、風量設定変更時の室圧変動を室圧補正制御により抑制することが可能となった。

4. 風量体積・室圧補正制御の検証

4.1 実験条件

風量体積・室圧補正制御方式による効果を、当社内にある実験室による実験結果を用いて紹介する。

実験を行う環境を表1に示す。

計測条件	気密性	ELA=500 mm ²
	部屋容積	60 m ³
	室圧設定値	20 Pa

表中のELA (Effective Leakage Area)は有効漏れ面積のことをいい、室圧制御を行う上で重要な意味を持つ。

Q_{leak} を給気風量と排気風量の差である漏れ風量(=オフセット風量)、 ΔP を室間差圧とすると、以下の式が成り立つことが知られている⁽¹⁾。

$$Q_{leak} = 3780 \cdot ELA \cdot \Delta P^{0.65}$$

ELAが大きい部屋では、同じ室間差圧をつけるためにELAが小さい部屋よりも多くの風量差を必要とする。逆にELAが小さい部屋では、わずかな風量差でも大きな室間差圧がつき、風量差の変動が室間差圧に与える影響は大きくなる。

実験を行った部屋は高气密に分類される部屋であり、風量変動が室圧の変動へと結びつきやすい。この部屋にて給気風量を1200 m³/hから1800 m³/hへ変更操作を行い、一定時間後に再び元へ戻す操作を行った。

4.2 結果

風量体積制御の結果を図4に、風量体積・室圧補正制御の結果を図5に示す。

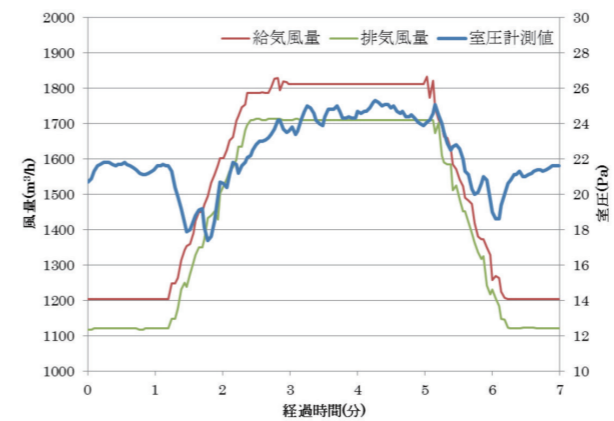


図4 風量体積制御 実験結果

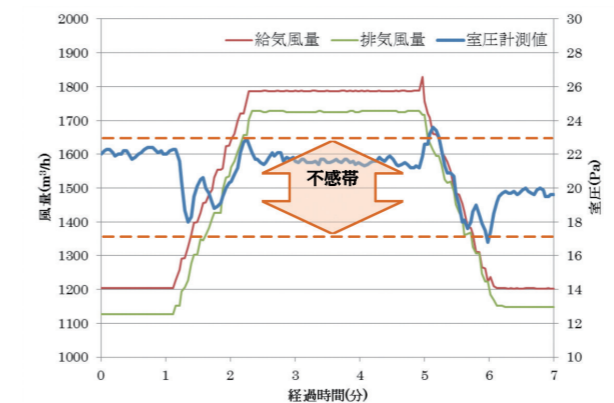


図5 風量体積・室圧補正制御 実験結果

図4のように、22 Pa付近で推移していた室圧が給気風量の増加とともに乱れ、その後24 Paまで上昇した。一旦安定した後、給気風量の減少に伴う乱れを経て再び22 Pa付近に戻っている。

室圧補正制御を併用した場合、図5のように風量変更中も含めて、設定した不感帯内で室圧が安定していた。

5. 安定性と長寿命化の両立

室圧補正制御を行う上で、様々な外乱への対応が重要となる。外乱としては、

- (1)自然風やファン脈動、ドア開閉など設備機器の状態と無関係な「他発的な外乱」
 - (2)室内の換気量変更や局所排気装置のON/OFFなどの設備機器の状態変化に起因する「自発的な外乱」
- に大別される。外乱が発生する度に室圧制御で室圧を元に戻そうとすると、制御が安定しない上、頻繁な動作によってアクチュエータが早期に摩耗し故障してしまう。それぞれの外乱に対する課題と解決方法について述べる。

5.1 「他発的な外乱」に対する課題と解決方法

室圧の計測値は数十～数百ミリ秒という短い周期で常に変動している。これはファンの脈動やダクト内を通過する際の乱流によって発生する給排気の非定常な振動、屋外の自然風の影響によるダクト静圧の変動などが主な要因で、施設利用には依存しない、定常的に発生する外乱である。

このような室圧の定常的な短周期の変動は何もしなくとも元の室圧に落ち着き、またその変動幅は一定範囲内のことがほとんどである。図6に風量体積制御を行っている部屋の室圧の変動の例を示す。

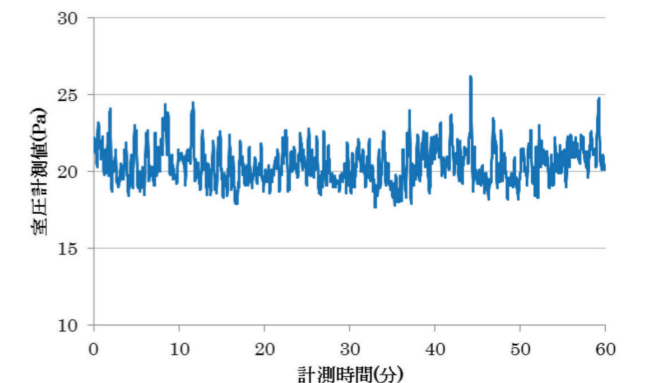


図6 定常的な室圧変動

計測中は給気バルブ・一般排気バルブともに風量設定を固定しているが、室圧計測値は絶えず変動している。また室圧設定20 Paに対して5 Paを超える大きな室圧変動があったものの、即座に元に戻っている。

このような変動に対して、当社では従来、不感帯と逸脱許容時間という二つの設定を行うことで対処してきた。室圧計測値が不感帯内に収まっている間、あるいは不感帯を超えても逸脱許容時間が経過する前に再び不感帯へ室圧が収まっている間、室圧制御動作を保留することでアクチュエータの摩耗を防いでいる。

定常的な外乱とは別に、施設利用者のドア開閉が外乱としてあげられる。ドアを開放している間は周囲の空間(廊下または他の部屋)と空間的に同一となるため室圧は瞬時に周囲と等圧となり、ドアを開閉する際にはドアによる一時的な空気の押込み(圧縮)や引張り(膨張)のため室圧が急激に変動する。

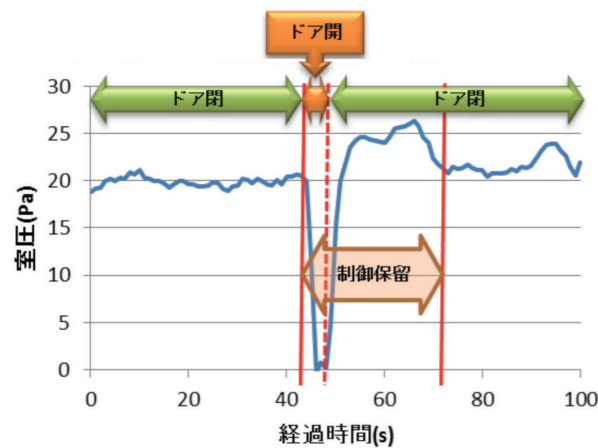


図7 ドア開閉時の室圧変動

図7に人の入室時の室圧変化例を示す。これを見ると入室後30秒ほどで元の室圧に戻っていることがわかる。

この外乱に対しても、逸脱許容時間の設定で対処が可能である。ドア開閉による室圧変動はドア開閉が終了した後は自然と元の室圧に戻る。このことを考慮し、ドアの開閉時間を逸脱許容時間に設定することでドア開閉による室圧変動中のアクチュエータ動作を抑制することができる。この場合には、30秒を逸脱許容時間として設定することにより、ドア開閉による室圧変動中のアクチュエータ動作を抑制することができる。

5.2 「自発的な外乱」に対する課題と解決方法

「自発的な外乱」として、以下のような室圧が乱れる状況がある。

- 風量体積制御を行っている給排気バルブが室内の換気量変更指令などにより風量を変更している間
- 同一室内に置かれた局所排気バルブが動作している間
- ファン起動/停止や他社バルブなど外的機器が動作している間

このような風量変更のために引き起こされる室圧の乱れは、機器が動作している間継続されその変動時間も長いので、他発的な外乱と同様の不感帯・逸脱許容時間設定では対応できない。このような外乱に対応するためには不感帯を狭く、逸脱時間を短くするなどして高い応答性を実現する必要があるが、頻繁なアクチュエータ動作を引き起こし機器寿命が短くなってしまふ恐れがある。

5.3 室内状態検知によるパラメータの切替機能

前節までに述べてきたように、外乱への対応により、以下のような課題がある。

- 「他発的な外乱」に対しては、不感帯・逸脱許容時間を設けることでアクチュエータの長寿命化を実現する反面、「自発的な外乱」に対する応答性を低下させ、室圧の安定性を悪化させてしまう。
- 「自発的な外乱」に対応したパラメータ設定を行うと、高い応答性を得られる反面、長寿命化が実現できない。

これらを解決するために、他発的な外乱に対してはできるだけアクチュエータを動かさないようにし、自発的な外乱

に対しては応答性を向上するように、不感帯・逸脱許容時間を調整できる機能が必要となる。

PCVは、この機能を有する。定常時は不要なアクチュエータ動作を抑える一方、当該室が室圧の乱れるような状況(自発的な外乱)にあるときにはその状態を検知し、定常時とは異なる別の不感帯や逸脱許容時間のパラメータに切り替えることで応答性を確保している。

5.4 機能説明

表2に挙げたパラメータ設定をした部屋を想定し機能の説明を行う。

表2 パラメータ設定例

	定常状態 (他発的な外乱)	非常状態 (自発的な外乱)
不感帯	±4.5 Pa	±3 Pa
逸脱許容時間	30 s	0 s

この部屋にて、図8に示すような室圧の変動が起きるとする。給排気の風量に変動がない場合は、室圧制御を保留し、定常時のパラメータとして不感帯に±4.5 Pa、逸脱許容時間に30 sを設定する。この状態で室圧に乱れが生じ、室圧が不感帯を外れたとすると(逸脱①)。この場合、室圧が不感帯を外れた状態が逸脱許容時間以上継続しない限りは室圧制御を保留したままとする。これにより定常時の無駄なアクチュエータ動作をなくすことができる。

ここで、時刻1にて換気量変更指令があり、給排気風量変動し始めたとする。この時PCVは室内が室圧の乱れやすい状況にあると判断し、不感帯を±3 Pa、逸脱許容時間を0 sへそれぞれ変更する。この状況下において狭められた不感帯を室圧が逸脱する(逸脱②)と、逸脱許容時間は0 sに変更されているため、PCVは室圧制御の保留をやめ、即座に室圧制御を再開することで、室圧の変動に対する応答性を確保することができる。



図8 パラメータ切替 説明図

5.5 実環境における比較

パラメータ切替機能の有無による実環境での比較結果を図9に示す。試験を行った環境は前節と同じとした。

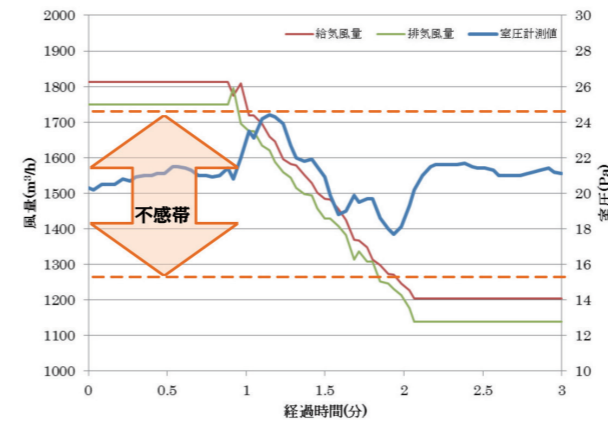


図9 パラメータ切替 OFF 実験結果

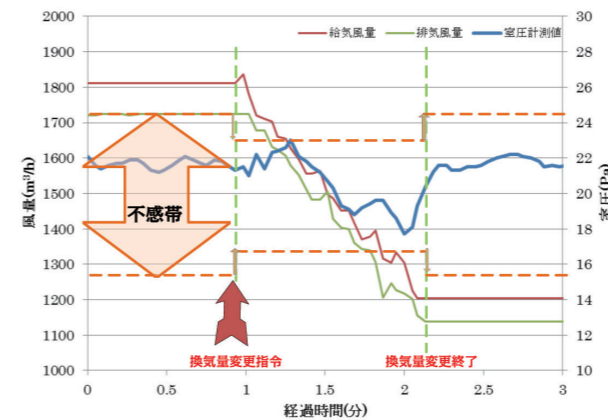


図10 パラメータ切替 ON 実験結果

パラメータ切替OFFのときは換気量変更中でも不感帯幅は4.5 Paのままのため室圧は17~25 Paで変動しているが、パラメータ切替ONのときは換気量変更中には不感帯を狭め、室圧変動を17~23 Paに収めている。パラメータを切り替えることで、換気量変更中でも室圧の乱れを抑制することができた。

5.6 室内状態を用いることによる利点

「風量変更されているために室圧が乱れやすい状況」を検知するためには、PCVは同室内にある給気バルブと排気バルブの動作状況を知る必要がある。従来行っていた調節計を用いる計装では、同室にある給排気バルブの動作状態を知るために、風量体積制御を行うバルブに特別に出力接点を用意し、調節計に入力する必要があった。

一方、PCVを用いた風量体積・室圧補正制御方式では、風量の変化状況が把握されている給排気バルブがPCVと同一のシステムとして構成・相互通信されているため、PCVは特別な配線や接点を用意することなく、バルブ間の相互通信にて「風量変更されているために室圧が乱れやすい状況」を検知することができる。

なお、PCVはInflex VN間の相互通信だけでなく従来の接点を用いた入力にも対応しており、Inflex VNを介さないファン起動/停止などの情報であっても、直接PCVへ信号を入力することで通信と同様にパラメータを切り替えられる。通信と接点の併用も可能なため、複数の要因による室

圧の状況変化にも対応することが可能である。

6 室圧モニタ

室圧モニタはInflex VN (PCV)専用の表示設定機であり、室圧制御の状況を施設利用者が当該室や廊下など、現地で確認するための装置である。

室圧モニタは、前章までに述べたような室圧制御が正常に行われていることは勿論のこと、室圧異常や装置異常が発生していることを、速やかに施設利用者に伝えることができる。この室圧モニタの特徴的な機能を、以下に紹介する。

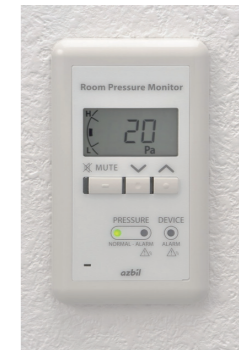


図11 室圧モニタ

6.1 正常時の通知

室圧制御が正常に行われ、風量制御装置が正常動作しているときは、LCDに室圧計測値を表示する(図11、12参照)。また、緑色の室圧正常LEDを点灯させる(図11参照)。



図12 室圧表示部

6.2 室圧異常・装置異常時の通知

室圧が正常範囲を逸脱したり、風量制御装置に異常が発生した場合に、ブザーとLED/LCD表示で使用者に異常を通知する。

室圧異常については、2段階警報(アラート/アラーム)を設けている。室圧が極端に逸脱する前にプレ警報として伝える「アラート」と、室圧が異常状態に陥っていることを伝える「アラーム」とがあり、この2状態を区別して知らせるために、2種類のブザー音およびLED点滅パターンを持つ。「アラーム」時は、ブザー音の鳴動間隔を短く、またLEDの点滅周期を短くすることで、緊急性を表現している。

また、LCDの左端には図13のような円弧状の「室圧状態バー」を設け、■の位置で現在の室圧状態を表し、視覚的にも分かりやすい表現となるように工夫している。

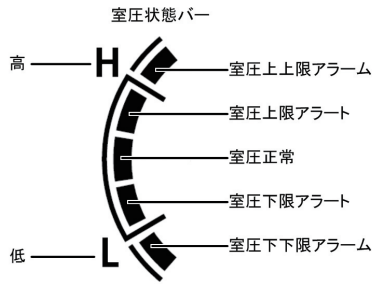


図13 円弧状の室圧状態バー

図14に室圧上限アラート発生時のLCD表示例を、図15に室圧上限アラーム発生時のLCD表示例を示す。



図14 上限アラート



図15 上限アラーム

一方、風量制御装置の異常を検知した場合は、ブザーを鳴らし、赤色の機器異常LEDを点灯させる。LCDには異常内容を知らせるエラーコードを表示する。

6.3 室圧設定値切替

パンデミックへの対応のために病室の使用用途変更を行うなど、室圧の管理設定値を切り替える必要が生じるケースがある。その場合、室圧モニタからの室圧設定値切替操作により、陽圧から陰圧、陰圧から陽圧へ切り替えることができる。室圧設定値を直接変更することもできるが、あらかじめ二つの室圧設定値を設定しておくことで、切替操作のみで陰陽圧を切り替えることができる。

風量体積・室圧補正制御方式の場合には、風量体積制御のオフセット風量も合わせて切り替えることができ、設定値を切り替えても室内の風量バランスを最適な状態に維持することができる。

この操作は重要な操作なので、誤って切り替わることを防ぐために、複数のキー操作を組み合わせることで切り替えができるようになっている。

6.4 室圧モニタの2台設置

室圧モニタは、1台のInflex VN (PCV)に2台まで接続することができる。2台の室圧モニタには同じ状態が表示され、操作も後優先で行うことができる。例えば、1台は部屋入口の廊下壁面に設置し、もう1台は部屋の内側の壁面に設置するなどして、入室前および入室中にも室圧の状態が正常であるかどうかを確認することができる。

6.5 日常点検モード

前節までに述べたように、室圧モニタは異常状態を通知したり、緊急時に操作したりという重要な役割を担うため、いざというときに正常に機能することが要求される。そこで、「点検モード機能」を用意し、室圧モニタのブザー鳴

動、LED点灯/点滅/消灯、LCD表示、キー操作が、正常に機能することを日常的に確認できる。

7. おわりに

風量・室圧制御用ベンチュリーバルブに今回新たに追加された「室圧制御モデル」の機能を紹介した。従来の風量体積制御に加えて室圧補正制御を行うことにより、安全性と長寿命化の両立が可能となった。

<参考文献>

- (1) Wei Sun, 2002. Development of Pressurization Airflow Design Criteria for Spaces Under Required Pressure Differentials. ASHRAE Transactions, Volume 109 (Part 1).
- (2) 石原正也, 斉藤英弥:室圧・風量制御の最新技術 —クリティカル最新システム—Savemation Review, 2004, P16-19,

<商標>

Inflexは、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

- | | |
|--------|-------------------------|
| 大村 林太郎 | ビルシステムカンパニー
開発本部開発2部 |
| 大沢 信雄 | ビルシステムカンパニー
開発本部開発2部 |