

報 文

PCDの性能差が室圧制御に及ぼす影響
(その2) 外乱時における室圧変動

松崎 馨 松岡 毅 辻 悠希

製薬工場などの室圧制御に用いられる室圧制御ダンパー（PCD）について、前報¹⁾では性能の異なる2種類の機種に対して定常時における室圧変動への影響を比較検証した。本報では外乱時におけるPCD性能が室圧変動に与える影響について実験を行った。その結果、性能を向上させた機種の方が室圧の制御性に優れており、その差は定常時よりも顕著に現れることが分かった。

1. はじめに

研究施設や製薬工場などのクリーンルームでは、清浄度の確保や汚染物質の拡散防止の観点から、室圧制御ダンパー（PCD）を用いた室圧制御が広く普及している。前報では、定常時における室圧変動に対してPCDの性能差が与える影響を検証した。一方、扉の開閉や局所排気装置の発停など、外乱を受ける際の室圧維持も、室圧制御を評価するうえで重要な要素である。ドア開閉時にはドアスイッチを併用することで室圧変動を抑えられることが知られており²⁾、また局所排気装置の発停時には、PCDの応答性が高いほど室圧の制御性が向上することが報告されている³⁾。

現在、複数の性能を持つPCDが流通しているが、その性能差による室圧変動の違いについては十分な検証が行われていない。本報では、外乱時におけるPCD性能の違いが室圧制御に与える影響について検証した。

2. 実験設備概要

図1に扉開閉検証時の実験設備概要を、図2に風量変更および局所排気検証時の実験設備概要を示す。本実験は、前報と同様の実験系で実施した。試験室は1～4の計4部屋で構成されており、試験室1-2間、2-3間、3-4間は扉で接続されている。各扉にはドアスイッチが設置されており、扉が開くとPCDの開度が固定される制御となっている。

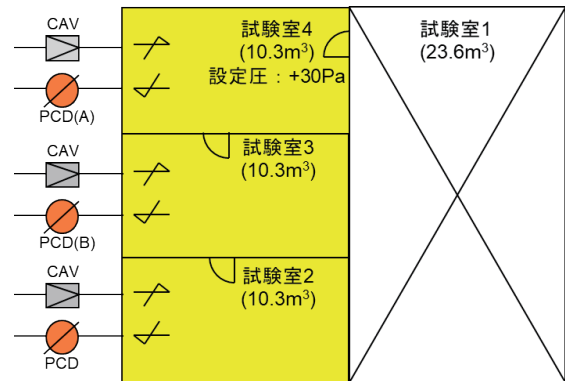


図1 扉開閉検証時実験設備概要図

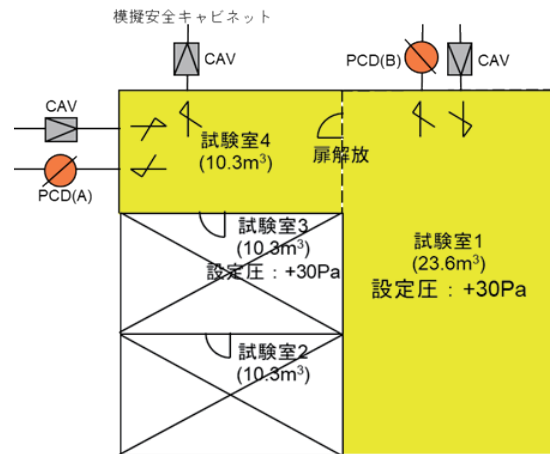


図2 風量変更・局所排気検証時実験設備概要図

表1 PCD仕様

仕様	PCD(A)	PCD(B)
電源	AC24V	
消費電力	18VA	17VA
使用モータ	ブラシレスモーター	
ダンパ軸接続	U字ロック	キー溝
軸トルク	16Nm	
作動時間	7sec(90°)	7sec(90°)可変
制御分解能	200分割(90°)	300,000分割(90°)
過負荷保護	自己カット	トルク(電流)リミット
制御方式	2-10V電圧比例	ACサーボ

実験には、分解能などの性能が異なる2種類のPCD (PCD (A)、PCD (B)) を使用した。表1にPCD (A) とPCD (B) の仕様を示す。PCD (A) の検証時は試験室4を対象室とし、PCD (B) の検証時は試験室3を対象室とした。また、試験室4には安全キャビネットを模擬したCAVを設置し、これを開閉することで外乱を与えることができる。

なお、PCDの制御パラメータは汎用設定ではなく、高速制御用のパラメータを採用した。

3. 風量変更に関する実験

3.1. 実験概要

製薬工場などのクリーンルームでは、ランニングコスト削減の観点から、操業モード（昼）に比べて風量を減らした非操業モード（夜）を設けるのが一般的である。しかし、このような風量モードの切替え時には、室圧の乱れが懸念される。

本実験では、定常状態から給気風量を変更した際の室圧変動について、PCD性能の違いが与える影響を検証した。風量変更条件は表2に示す。実験は、風量を減らす場合（昼→夜）と増やす場合（夜→昼）の2種類の設定で実施した。また、変更方法として、急激な変更（ステップ変更）と、実運用を考慮した緩やかな変更（ランプ変更）の2パターンを設定した。Case-1～4の各条件について、PCD (A) とPCD (B) の2種類のPCDで実験を行い、計8パターンの検証を実施した。目標レンジは設定室圧 ± 5 Paとした。

表2 風量変更実験条件

	変更前風量	変更後風量	変更方式
	[m ³ /h]	[m ³ /h]	
Case-1	509 (15回/h)	255(7.5回/h)	ステップ
Case-2	255 (7.5回/h)	509 (15回/h)	
Case-3	509 (15回/h)	255 (7.5回/h)	ランプ
Case-4	255 (7.5回/h)	509 (15回/h)	

3.2. 実験結果および考察

図3～10に、各Caseにおける実験時の室圧変動を示す。図3および図4から、PCD (A) では風量変更時に室圧が18Paまで低下し、目標レンジを下回っているのに対し、PCD (B) では室圧低下変動が約26Paまでの変動にとどまり、目標レンジ内に収まっていることがわかる。さらに、図11に示す室圧範囲（最大値と最小値の差）のまとめを見ると、すべてのCaseにおいてPCD (B) の室圧範囲はPCD (A) よりも小さい。この

違いは、PCD (B) がPCD (A) に比べて応答性が非常に高く、風量変更による室圧変動に対して迅速に追従し、開度を調整できたためと考えられる。加えて、PCD (A) ではCase-1よりもCase-2の室圧範囲が小さいことから、風量を増加させる場合よりも減少させる場合の方が、制御性が高い可能性が示唆された。

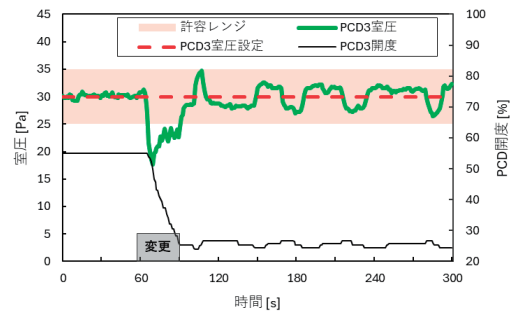


図3 風量変更時の室圧変動 Case-1 (PCD (A))

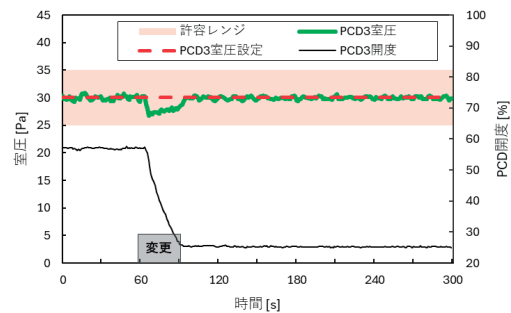


図4 風量変更時の室圧変動 Case-1 (PCD (B))

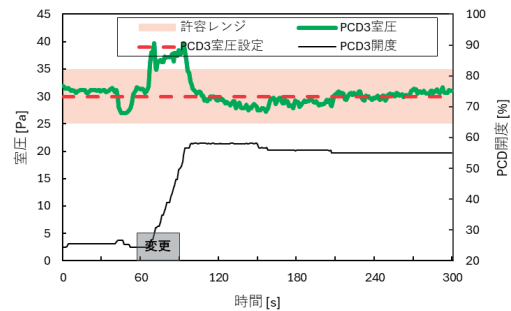


図5 風量変更時の室圧変動 Case-2 (PCD (A))

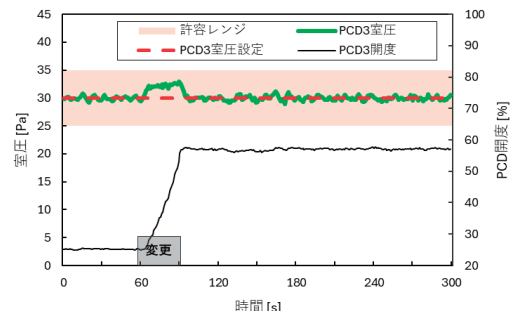


図6 風量変更時の室圧変動 Case-2 (PCD (B))

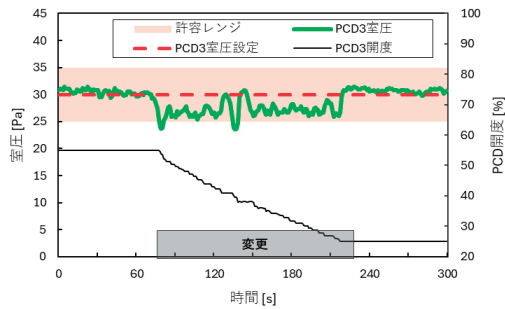


図7 風量変更時の室圧変動 Case-3 (PCD (A))

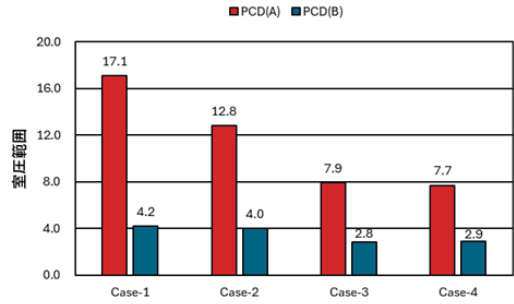


図11 風量変更における室圧範囲

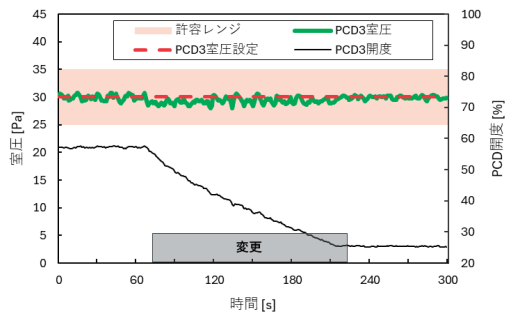


図8 風量変更時の室圧変動 Case-3 (PCD (B))

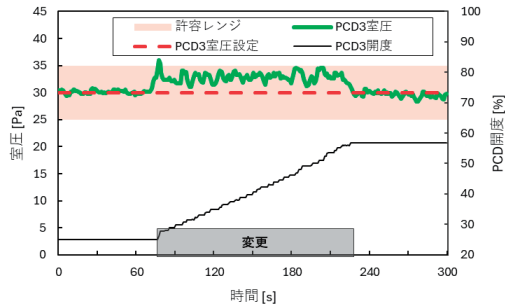


図9 風量変更時の室圧変動 Case-4 (PCD (A))

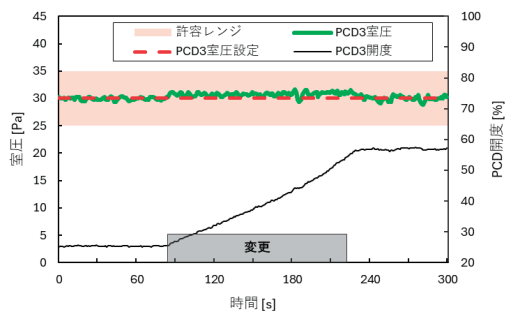


図10 風量変更時の室圧変動 Case-4 (PCD (B))

4. 扉の開閉に関する実験

4.1. 実験概要

外乱要因である扉開閉の影響を確認するため、試験室間の扉を開閉した際の室圧変動を検証した。PCD (A) の検証では、試験室4と試験室3の間の扉を開閉し、PCD (B) の検証では、試験室3と試験室2の間の扉を開閉した。なお、本実験では隣室の室圧を20Paに設定している。

4.2. 実験結果および考察

図12に扉開閉時のPCD (A) の室圧変動を、図13にPCD (B) の室圧変動を示す。高速制御パラメータに設定しているため、いずれもドアスイッチより早く開度が反応している。特にPCD (B) は応答性が高すぎるあまり、扉を開いた際に開度が大きく下がり、その後固定される。その結果、扉を閉めて制御が再開された際に開度が大きく動き、室圧がオーバーシュートして設定値の $30 \pm 5\text{Pa}$ を超過している。

PCDはパラメータを変更することで応答性を調整できる。本報のこれまでの実験では応答性に優れた高速制御パラメータを使用していたが、PCD (B) とドアスイッチの併用が可能かを検証するため、汎用パラメータで同様の実験を行った。

汎用パラメータでの結果を図14および図15に示す。図14はPCD (A)、図15はPCD (B) である。PCD (B) の場合、応答性の高いパラメータではドアスイッチによる開度固定前に開度が大きく変動していたが、図15を見ると開度の変動がほとんどないことがわかる。PCD (A) についても同様に、高速制御パラメータよりも反応を抑えた汎用パラメータの方が室圧の制御性が良好であった。

以上の結果から、扉開閉時の安定性を重視する場合、

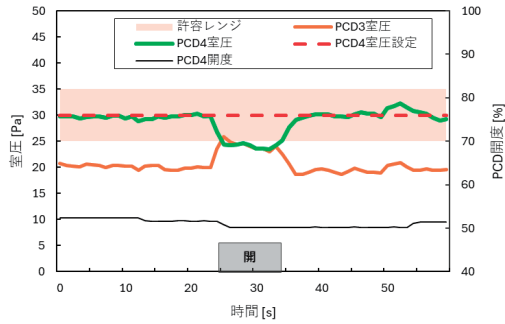


図12 扉開閉実験 (PCD (A) 高速制御パラメータ)

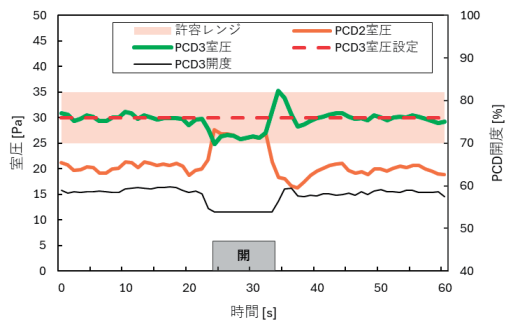


図13 扉開閉実験 (PCD (B) 高速制御パラメータ)

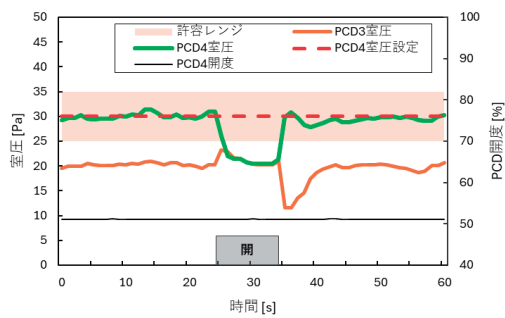


図14 扉開閉実験 (PCD (A) 汎用パラメータ)

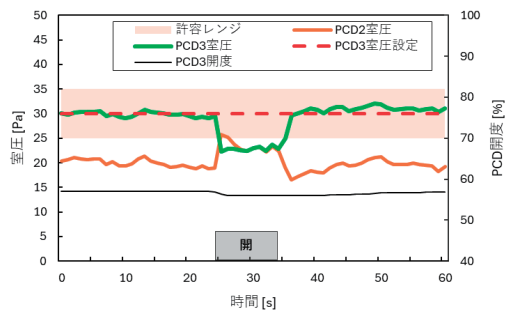


図15 扉開閉実験 (PCD (B) 汎用パラメータ)

外乱対応のために応答性を高める設定は逆効果となり得ることが明らかになった。

5. 局所排気発停に関する実験

5.1. 実験概要

局所排気装置の発停による外乱時におけるPCDの制御性を確認するため、試験室1に設置した排気用CAVを開閉した際の室圧変動を検証する実験を行った。CAVの開閉は20秒ごとに行い、合計15回の切替えを繰り返した。排気用CAVの風量は、20秒間で0~191m³/hの範囲で変動する。

5.2. 実験結果および考察

図16および図17に局所排気発停時の室圧変動の様子を、図18に標準偏差を示す。PCD (A)、PCD (B)とも20秒ごとに一定の間隔で室圧が変動しているが、室圧の変動幅と標準偏差の両方を比較すると、PCD (B)の方が制御性に優れていることがわかる。

さらに、PCD (A)では室圧の最大値・最小値が許容範囲(30±5Pa)を超えているのに対し、PCD (B)は計測時間全体で許容範囲内に収まっていた。この結果は、室圧が逸脱した際に元の値へ戻す応答性の高さ、PCD (B)の高分解能による細かな開度調整がオーバーシュートを抑えたことによるものと考えられる。

6. おわりに

本報では、室圧制御における外乱時の制御性を、PCD性能の違いという視点から比較検証した。一般的な性能であるPCD (A)よりも、応答性や分解能を向上させたPCD (B)の方が、風量変更時と局所排気発停時の室圧制御性が優れていることが分かった。また、前報と比較して、外乱時にはPCD (A)とPCD (B)の差がより顕著であったことから、PCD (B)の優位性は定常時よりも外乱時の室圧制御性に強く影響することが明らかとなった。

一方で、PCD (B)は応答性が高いため、ドアスイッチによる開度固定よりも早く開度が大きく変動し、室圧制御性が損なわれる現象が確認された。この問題は、PCDパラメータを高速制御パラメータから汎用パラメータに変更することでPCDの開度は改善した。しかし、外乱に対する迅速な反応はPCD (B)の強みで

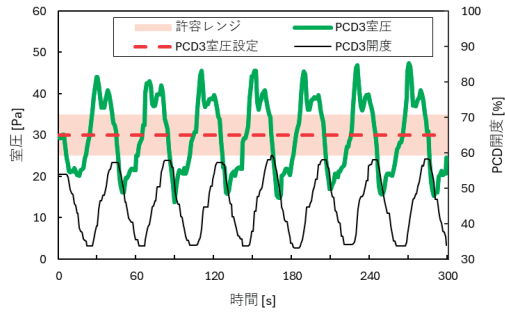


図16 局所排気発停時の室圧変動 (PCD (A))

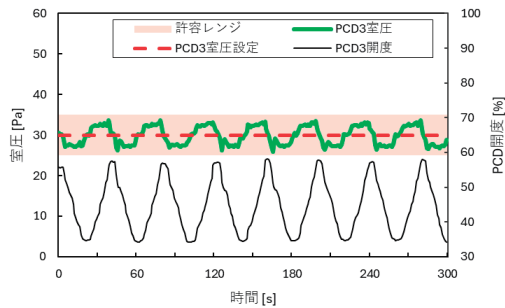


図17 局所排気発停時の室圧変動 (PCD (B))

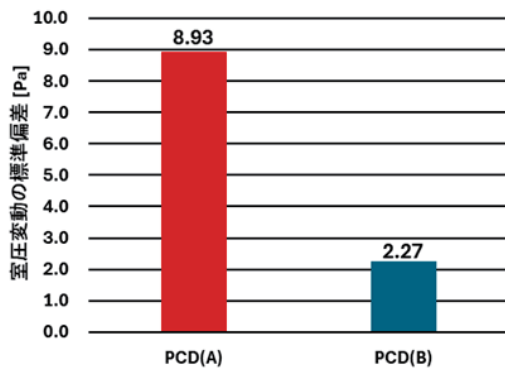


図18 局所排気発停における室圧変動の標準偏差

あるため、高速制御パラメータを維持しつつ、扉開閉時の差圧変動にも対応したシステムの開発が求められる。

謝 辞

本実験にあたり、ご指導、ご協力頂きました関係各社、並びに関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松崎馨、松岡毅、辻悠希：PCDの性能差が室圧制御に及ぼす影響（その1）定常時における室圧変動、東熱技報105号（2025.11）
- 2) 村江行忠、永井裕之、岩村多美勇、齊藤充：クリーンルームにおける室圧変動に関する実験的研究（その3）定常時の室圧変動に関する実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集pp2099-2102、2009.9
- 3) 柴田克彦、高橋惇、大神龍幾、木山昌良：微差圧制御システムの開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集pp129-132、2004.8