

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 室圧制御下における定常時の室圧変動に関する実験



村江 行忠 *1

岩村多美勇 *2 永井 裕之 *3
 長野 耕司 *4 栗木 茂 *1
 新宮 守 *5 渡邊 義明 *6
 野沢 勇樹 *3 久保 夏希 *4
 齊藤 充 *7

概 要

本報告は、室圧制御ダンパ（以下、PCD）による室圧制御下における定常時の室圧変動に影響を与える要因とPCDの制御パラメータ（感度）による違いを明らかにするために行った、ダクト接続状況、気密性、風量に着目した実験の概要である。

実験の結果、室圧制御下における定常時の室圧変動に対して、1) ダクト接続に関してはPCDの前後に直管を設けることにより変動を小さくできる、2) 気密性と風量に関してはその比（漏気率）が小さい場合は非常に変動が大きくなる、3) PCDの感度に関しては、感度が鈍いほうが定常時の変動が小さいことから、感度の調整が室圧変動の緩和に有効である、などの知見を得た。

Experimental Study on Room Pressure Fluctuation at Cleanroom Part 3 Experiments on Room Pressure Fluctuation in Steady Conditions Under Room Pressure Controlled

Yukitada MURAE*1 Tamio IWAMURA*2
 Hiroyuki NAGAI*3 Koji NAGANO*4
 Shigeru KURIKI*1 Mamoru SHINGU*5
 Yoshiaki WATANABE*6 Yuki NOZAWA*3
 Natsuki KUBO*4 Mitsuru SAITO*7

This Paper is the Outline of Experimental Study on Room Pressure Fluctuation Factor in Steady Conditions at Pressure Controlled Room by Pressure Control Damper (PCD).

The Results are following that, 1) Ductwork with Straightduct in the Upstream and the Downstream of the PCD was Preferable. 2) When the Ratio of Air Leakage and Supply Air Volume (Air Leakage Ratio) was Small, the Large Fluctuations was Caused. 3) Operating PCD Gradually is Effective for the Pressure Fluctuation Factor in Steady Conditions.

*1 技術研究所 *2 建築購買部 *3 設備設計部 *4 エンジニアリング部 *5 建築設備部

*6 関東支店 建築設備部 *7 岡谷精立工業

*1 Technical Research Institute *2 Building Purchase Department *3 Equipment Design Department *4 Engineering Department

*5 Building Equipment Department *6 Kanto Branch Building Equipment Department *7 Okaya Seiritsu Engineering

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 室圧制御下における定常時の室圧変動に関する実験

村江 行忠^{*1} 岩村多美勇^{*2} 永井 裕之^{*3}
 長野 耕司^{*4} 栗木 茂^{*1} 新宮 守^{*6}
 渡邊 義明^{*6} 野沢 勇樹^{*3} 久保 夏希^{*4}
 齊藤 充^{*7}

1. はじめに

製薬工場などのクリーンルームにおける室圧制御に関しては、省エネルギーなどの観点から室間差圧を極力小さくすることが望まれている¹⁾が、室間差圧が小さい場合には定常時の圧力変動によっても、クロスコンタミネーションのリスクが増大することが懸念される。

本報では、室圧制御ダンパ（以下、PCD）による室圧制御下における定常時の室圧変動に影響を与える要因と PCD の制御パラメータ（感度）による違いを明らかにするために、ダクト接続状況、気密性、風量に着目した実験を行ったのでその概要を報告する。

2. 実験概要

実験装置概要を表-1、図-1に、実験ケースを表-2に示す。実験は室間の扉を開放した実験用クリーンルーム²⁾の2室を用い、Room-3の排気側に設けた圧力偏差によるダンパ速度制御方式のPCDによりRoom-3の圧力が30Paとなるように制御を行った。

実験条件としては、既報^{3,4)}による室圧の制御性に関する検討結果を踏まえ以下の通りとした。

(1) ダクト接続パターンとしてPCD前後の直管長を変えた図-1に示す4パターンとした。

表-1 実験装置概要

項目	概要
実験室	・容積：3.6x2.7x2.2m (h) 21.38m ³ x2室 ・CR用断熱パネル+シール ・漏気量：41m ³ /h (30Pa)
給・排気口	・吹出：680x680mmx2箇所 ・排気：240x240mmx1箇所
HEPA	・610x610xd150mm ・捕集効率：99.97% ・初期圧損失：249Pa
ファン	・排気：片吸込シロッコファン 0.75kw ・給気：片吸込シロッコファン 2.2kw ・給気ダクト静圧 (INV制御)：450Pa ・排気ダクト静圧 (INV制御)：200Pa
ダクト	・給気主ダクト：亜鉛鉄板ダクト 400x400mm ・給気枝ダクト：亜鉛鉄板スパイラルダクト φ200mm ・排気ダクト：亜鉛鉄板ダクト 300x300mm
室圧制御ダンパ (PCD)	・ダンパ：300×300mm、対向2枚翼 ・制御器：圧力偏差ダンパ速度制御方式 サイクルタイム：1.0s ・検出部：±100Pa (精度±2% F.S.) サンプリング周期：200ms
風量測定	・整流機構付き複合式ピトー管
差圧計 (動圧用)	・給気：シリコンダイヤフラム式 100Pa (0.8% FS)、応答速度：250ms ・排気：シリコンダイヤフラム式 ±100Pa (1.5% FS)、応答速度：50ms
データロガ	・サンプリング周期：100ms

(2) 気密性については、実験室に開口を設けない状態を高気密として、100cm² (中気密)、400cm² (低気密)の開口を設けた3パターンとした。

(3) 風量は2室を同風量として給気風量をボリュームダンパにより換気回数20、30、40回換気/hとなるように調節して固定した。

(4) PCD感度はフルスケール (200Pa) に対する比例制御帯の割合 (リセットバンド。以下、RB) を感度が鈍い順に、非稼働、160%、80%、40%、20%とした。

なお、PCDの他の設定値としては不感帯をフルスケールの1%、制御サイクルタイムは1秒に固定した。

測定はPCDに内蔵されている圧力センサーにより検出された天井裏を基準圧とした差圧 (以下、室圧)、複合式ピトー管と差圧計で得られる給気、排気の動圧をデータロガにより1ケースにつきサンプリング間隔100msで1分間記録した。

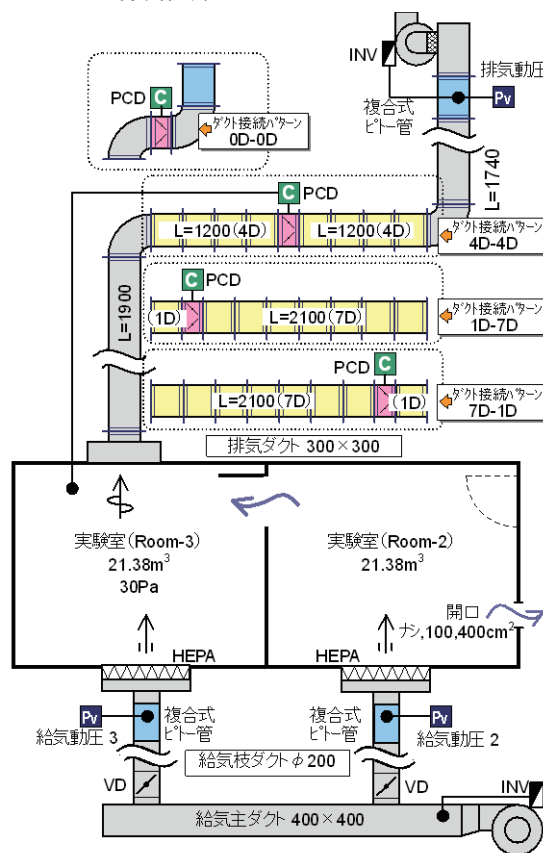


図-1 実験装置概要

^{*1} 技術研究所 ^{*2} 建築購買部 ^{*3} 設備設計部 ^{*4} エンジニアリング部 ^{*5} 建築設備部
^{*6} 関東支店 建築設備部 ^{*7} 岡谷精立工業

3. 実験結果

以下に実験結果について室圧変動の全体的な傾向とその要因について考察する。

3.1 変動幅の全体的な傾向と平均圧力について

図-2にすべての実験ケースにおける室圧の平均値、最大値、最小値を、図-3に気密性が異なる場合の室圧変動の例を示す。

変動幅（最大値と最小値の差）は実験条件により大きく異なり、ケース0D-H-30-40の16.2Paが最も大きく、ケース4D-L-20-80で1.5Paが最も小さかった。全体的には高气密の実験ケースにおいて図-3に示すように変動幅が大きい傾向が見られた。

また平均圧力については、高气密の場合に設定圧力(30Pa)よりやや小さくなるケースが見られた。これはPCDに使用したダンパの機械的特性によるものと思われる。図-4にダンパの特性曲線⁵⁾を示すが、実験時のダンパ羽根角度(高气密時で45°)付近では下に凸のカーブであり、ダンパが開く(排気量が増える)方向のほうが閉まる方向に比べて同じ角度でも風量の変化が大きくなる。したがって特に変動が大きい場合に平均を求めると設定値より小さくなる可能性があるものと考えられた。

3.2 ダクト接続について

図-5にダクト接続パターンによる違いについて、高气密、風量30回換気/h、PCD感度(RB)40%における室圧変動の標準偏差と変動幅を示す。

給気動圧についてダクト接続パターンによる差は見られなかったが、室圧と排気動圧についてはPCD前後にまったく直管を設けない場合(0D-0D)の変動が大きく、室圧の変動幅は10Paを大きく超えていた。他のケース(1D-7D、4D-4D、7D-1D)の室圧変動幅に関しては10Pa弱で顕著な差は見られなかった。標準偏差についてはPCD前後両方にダクトサイズの4

倍(4D)の長さの直管を接続した場合(4D-4D)がやや小さく、PCD後の直管が1Dの場合(7D-1D)はやや大きかった。

これらのことから、PCD前後に直管のない極端なダクト接続は避け、前後に直管を設けることで室圧変動を低減できるものと考えられた。

表-2 実験ケース

CASE	ダクト接続パターン	気密性	換気回数	PCD感度(RB)		
0D-H-30-40	0D-0D	高气密 (開口ナシ)	30/h	40%		
1D-H-30-40	1D-7D					
7D-H-30-40	7D-1D					
4D-H-20-80	4D-4D		高气密 (開口ナシ)	20/h	80% 40% 20%	
4D-H-20-40				30/h	(PCD非稼動)	
4D-H-20-20					160% 80% 40% 20%	
4D-H-30-N				40/h	80% 40% 20%	
4D-H-30-160					20/h	80% 40% 20%
4D-H-30-80						
4D-H-30-40						
4D-H-30-20		中気密 (+100cm ²)		中気密 (+100cm ²)	30/h	80% 40% 20%
4D-M-20-80						
4D-M-20-40					40/h	80% 40% 20%
4D-M-20-20						
4D-M-30-80	低気密 (+400cm ²)		低気密 (+400cm ²)		20/h	80% 40% 20%
4D-M-30-40						
4D-M-30-20						
4D-M-40-80					30/h	80% 40% 20%
4D-M-40-40						
4D-M-40-20						
4D-L-20-80		低気密 (+400cm ²)		低気密 (+400cm ²)	40/h	80% 40% 20%
4D-L-20-40						
4D-L-20-20					20/h	80% 40% 20%
4D-L-30-80						
4D-L-30-40						
4D-L-30-20	30/h		80% 40% 20%			
4D-L-40-80						
4D-L-40-40						
4D-L-40-20	低気密 (+400cm ²)		低気密 (+400cm ²)		40/h	80% 40% 20%
4D-L-20-80						
4D-L-20-40		30/h		80% 40% 20%		
4D-L-20-20						
4D-L-30-80						
4D-L-30-40		20/h		80% 40% 20%		
4D-L-30-20						
4D-L-40-80						
4D-L-40-40		30/h		80% 40% 20%		
4D-L-40-20						

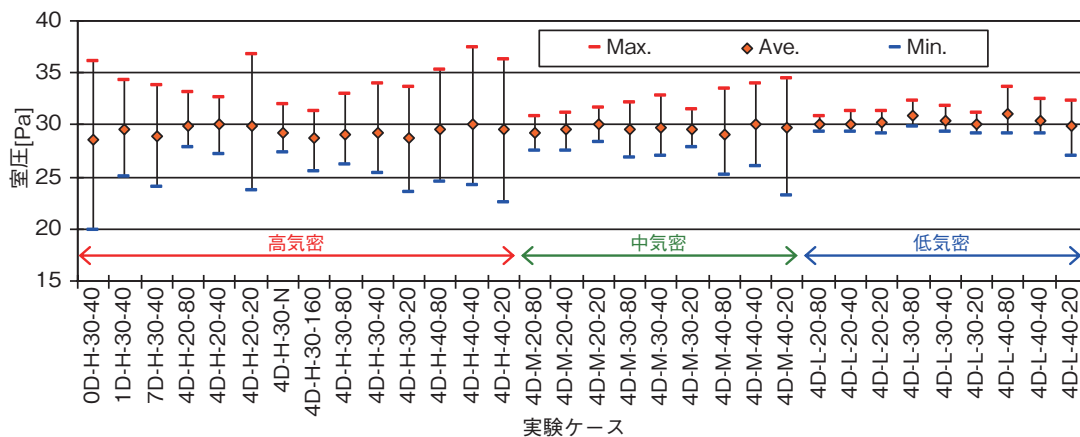


図-2 室圧の平均値・最大値・最小値

3.3 PCD 感度 (RB) について

図-6にダクト接続パターン4D-4D、高気密、風量30回換気/hにおける、標準偏差と変動幅のPCD感度(RB)による違いを示す。

PCDが稼働している他のケースと比べるとPCDが非稼働の場合の標準偏差、室圧変動幅が最も小さかった。また感度が高くなる(RBが小さくなる)にしたがって標準偏差、室圧変動幅ともに大きくなる傾向がみられた。これは定常時の時間の短い変動に対しては、感度を高くしてもフィードバック制御の性質上遅れが生じてしまうためであり、感度を鈍くしたほうが定常時の変動が小さくできることを示している。

3.4 気密性と風量について

前述した気密性の他に風量に関しても室圧変動に大きな影響を与えると考えられたため、その評価として、給気量と排気量との差から得た漏気量^{注)}を給気風量で除して求めた値(以下、漏気率)と、室圧の標準偏差の関係を図-7に示す。

これによると漏気率が小さい(気密性が高く風量が多い)場合は標準偏差が大きく、特に漏気率0.2以下の場合には標準偏差が急激に大きくなっていった。図-8に示した標準偏差と変動幅との関係を見ると、標準偏差が1.0Pa以上で変動幅が5Pa以上となることから、漏気率が0.2以下の場合には、感度を鈍くさせて変動を小さくする必要があると思われる。

3.5 周波数分析による検討

図-9は図-3に示した気密性の異なる3ケースの室圧変動についてFFT法による周波数分析を行い、周波数ごとのパワースペクトル密度を求めた結果である。

室圧変動が大きい高気密のケースでは0.2~0.3Hzの間にパワースペクトル密度の大きなピークが見られ、気密性が低くなるに従ってパワースペクトル密度のピークとその周波数が小さくなる傾向であった。

図-10はすべての実験ケースにおける室圧変動の周波数分析結果からピークのパワースペクトル密度とその周波数を、室圧の変動幅ごとにプロットしたものである。これによると、室圧変動幅が5Pa以上のケースはパワースペクトル密度が1.0Pa/Hz以上に集中しており、そのうち変動幅が10Paを超えるケースの多くはパワースペクトル密度が2.0Pa/Hz以上であり、変動幅とパワースペクトル密度と間に相関性がみられた。しかしながら、ピーク周波数は特定の周波数ではなく広く分布していることから、ダクトの板振動など、実験施設固有の振動との共振などは確認できなかった。これについては圧力センサーの応答速度やサンプリング周波数で分析可能な周波数が限られてしまうため、測定方法も踏まえた検討が必要であると思われる。

4. おわりに

本実験により、室圧制御下における定常時の室圧変動に対して、1)ダクト接続に関してはPCDの前後に直管を設けることにより変動を小さくできる、2)気

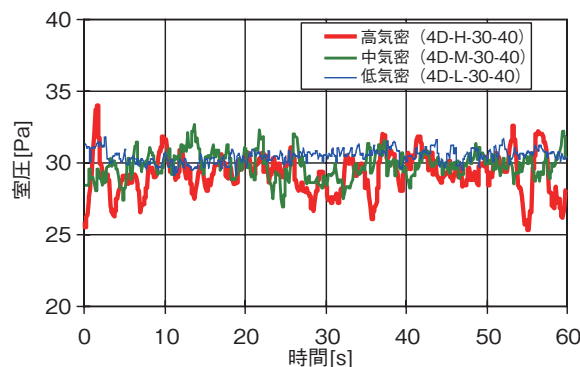


図-3 室圧変動の例(気密性による違い)

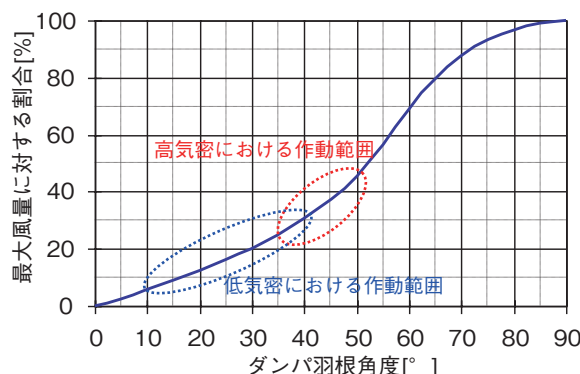


図-4 ダンパ特性(羽根角度と風量の関係)

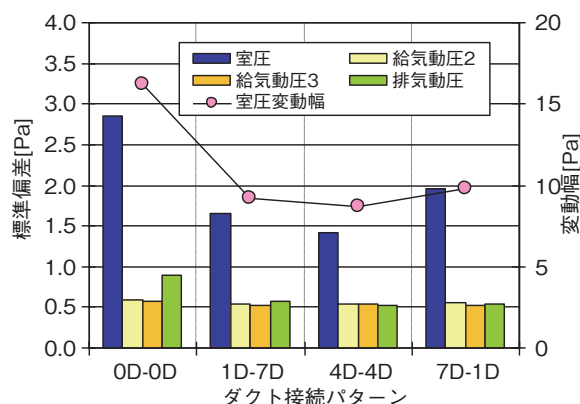


図-5 ダクト接続パターンによる変動の違い

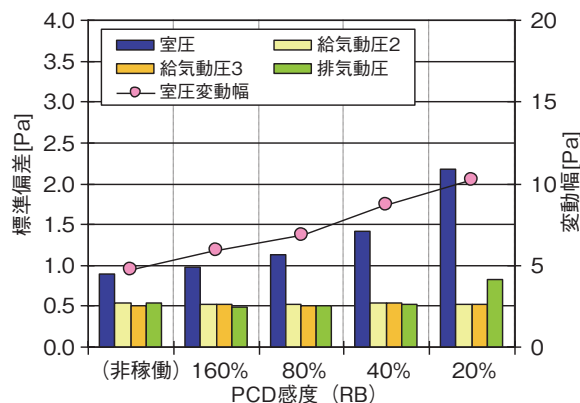


図-6 PCD 感度 (RB) による変動の違い

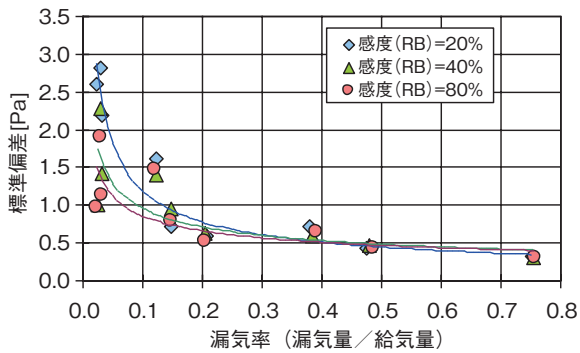


図-7 漏気率と標準偏差の関係

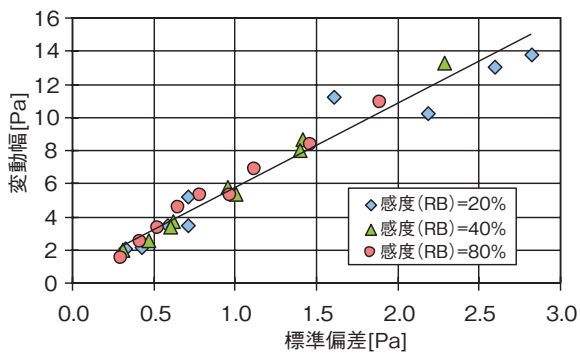


図-8 標準偏差と変動幅の関係

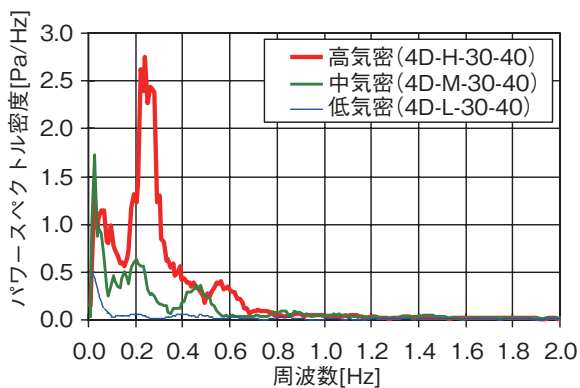


図-9 周波数分析結果 (パワースペクトル密度)

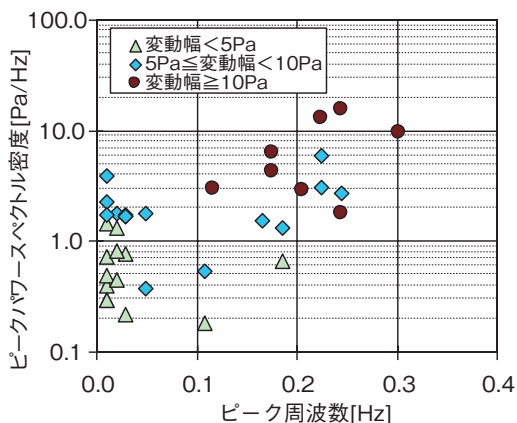


図-10 ピーク周波数とパワースペクトル密度の関係

密性と風量に関してはその比（漏気率）が小さい場合は非常に変動が大きくなる、3) PCDの感度に関しては、感度が鈍いほうが定常時の変動が小さいことから、感度の調整が室圧変動の緩和に有効である、などの知見を得た。

今後は、扉の開閉など一時的な変動要因に対する影響についても検討したいと考えている。

【謝辞】

本実験を行うにあたり、岡谷精立工業（株）京極氏、グエン氏に多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

※注：給気量から排気量を引いて求めた漏気量に、別途行った気密試験結果2) から推定した漏気量をもとに補正を加えている。

【参考文献】

- 1) 助宮他：室圧制御に影響を与える要因と対策, PDA Journal of GMP and Validation in Japan Vol.1, No.1, 1999
- 2) 村江他：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1）実験室の概要と扉開閉および局所排気発停による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, 2007
- 3) 村江他：クリーンルームにおける室圧制御手法に関する実験的研究（その3）気密性に関する測定例と室圧の制御性への影響, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2008
- 4) 村江他：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2）ダクトワークが室圧変動に与える影響に関する基礎的実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2008
- 5) 三功工業所：一般ダンパー技術資料, <http://www.sankoh-product.co.jp/>

