

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4 風量変更時の室圧変動とその抑制手法に関する実験



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、クリーンルームなどにおける省エネルギーを目的として、非製造時などに風量を減じる場合の室圧変動について、新たに開発した風量制御手法も含めて実験的に検討した概要である。

実験の結果、風量変更にもなう室圧変動に関して、1) 給気ファン INV による系統全体の風量変更については、INV の加減速時間設定を大きくすることで、室圧変動を小さくできること、2) 給気側ダンパを用いた室風量変更時の室圧変動については、既存の CAV に比べてダンパ速度調整機能を組み込んだ PCD が有効であること、3) 室圧変動を抑制することでコンタミネーションリスクが軽減できることなどの知見を得た。

Experimental Study on Room Pressure Fluctuation at Cleanroom Part 4 Examination of Control of Room Pressure Fluctuation in Supply Air Volume Changing

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 Control of Room Pressure Fluctuation in Supply Air Volume Changing at Pressure Controlled Room by Pressure Control Damper (PCD).

The Results are following that, 1) Supply Air Volume Changing in the Entire System, it is Effective to Enlarge Acceleration Time of Fan Inverter. 2) Supply Air Volume Changing of Each Room, it is Effective to Use PCD that has the Speed Adjustment Function for Supply Air Volume Control. 3) Control of Room Pressure Fluctuation Reduces the Contamination Risk.

*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4 風量変更時の室圧変動とその抑制手法に関する実験

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}

1. はじめに

製薬工場などのクリーンルームでは、非生産時などに給気風量を減じて省エネルギーを図る場合でも、コンタミネーションコントロールの観点から室圧変動を最小限に抑えることが望まれている。

本報では、給気ファンに設けられたインバータ(INV)による空調系統全体の風量を変更する場合と、ダンパを用いて室単位で風量を変更する場合の室圧変動について検証するとともに、新たに考案した室圧変動抑制手法について実験的に検討したのでその概要を報告する。

2. 実験 I インバータによる風量変更時の室圧変動

実験 I は系統全体の風量を変更する場合を想定して、給気ファンに設けられた INV 周波数を変えて風量を変更した場合の室圧変動について実験を行った。

2.1 実験概要

実験装置概要を表-1、図-1に示す。実験は実験用クリーンルーム¹⁾の2室を用い、排気側に設けた圧力偏差による速度制御ダンパ(PCD)により、室圧をそれぞれ10Pa、20Paに制御した状態で、給気ファン INV により風量を変更した。風量は INV の設定値として、表-2に示すように43.4Hz(1室当たり640m³/h、約30回換気/h)、27.0Hz(320m³/h、約15回換気/h)の2段階とし、加減速時間設定値を変えて比較した。室圧制御ダンパ(PCD)の感度(RB)²⁾は、既報²⁾より定常時の安定性を考慮し80%とし、0.1秒間隔で記録されたデータは5秒間の移動平均を求めて処理した。

2.2 実験結果

図-2~4に室圧と給気風量の経時変化を示す。INV 周波数の変更に必要な時間は、INV の加減速バ

表-1 実験装置概要

項目	概要
実験室	・容積:3.6×2.7×2.2m(h) 21.38m ³ ×2室 ・CR用断熱パネル+シール、エアタイトドア ・漏気量:高気密時64m ³ /h(10Pa)、低気密時100m ³ /h(10Pa)
ファン	・給気:片吸込シロッコファン 2.2kw ・排気:片吸込シロッコファン 1.5kw
インバータ	・ダクト静圧PWM制御 給気500Pa(実験Ⅱ)、排気200Pa
ダクト	・主ダクト:垂鉛鉄板ダクト400×400mm ・枝ダクト:垂鉛鉄板スパイラルダクトφ200mm
風量制御(給気)	・実験Ⅰ:VD固定 ・実験Ⅱ(Case-II-1~4) 定風量装置(CAV):φ200 ダンパ速度:全閉-全開120s 設定風量:640m ³ /h/320m ³ /h ・実験Ⅱ(Case-II-5~8) 圧力制御ダンパ(PCD)による動圧制御 ^{注1)}
室圧制御(排気)	・室圧制御ダンパ(PCD):φ200 ・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(φ200)
差圧計	・給気動圧:ダイヤフラム式 ±100Pa(2.0%FS)、応答速度:250ms ・室圧: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

表-2 実験ケース(INV設定値)と風量変更実時間

	INV 加速時間設定値	周波数設定値	風量変更実時間
Case-I-1	60s	43.4Hz(640m ³ /h)	約23s
Case-I-2	90s		約31s
Case-I-3	120s	27.0Hz(320m ³ /h)	約39s
Case-I-4	180s		約57s

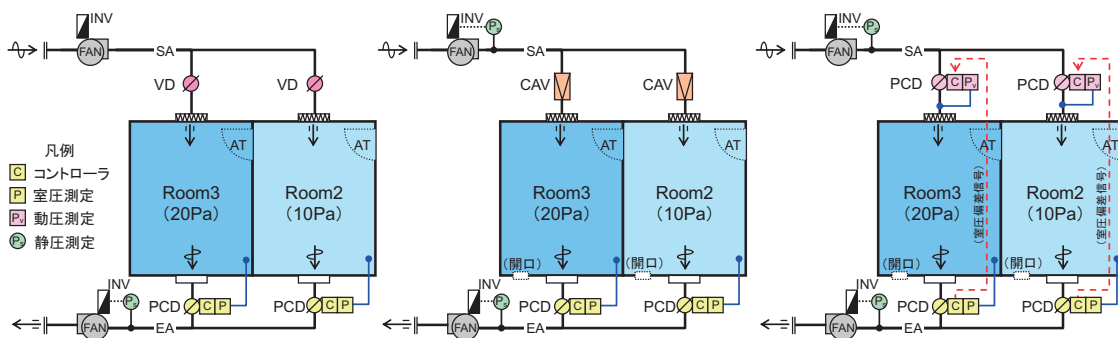


図-1 実験装置概要(左から、実験Ⅰ、実験Ⅱ Case-II-1~4、実験Ⅱ Case-II-5~8)

^{*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

ターン、設定周波数、基底周波数(50Hz)と加減速時間設定値により決まるが、風量変更実際に要した時間はファン特性などから、表-2に示すとおりであった。

室圧については、2室とも同様な挙動を示し、加減速時間設定値が小さい60秒のCase-I-1では大きく変動し、Room2が負圧になった。加減速時間設定値が大きいほど室圧変動は小さくなり、180秒としたCASE-I4では、設定室圧より4Pa程度の偏差となった。また、各ケースとも風量を増加(320m³/h→640m³/h)する場合に比べ、減少(640m³/h→320m³/h)する場合の方がやや室圧変動が大きかったが、これはファンの特性により風量が多い方が静圧変化が大きいためと考えられた。

図-6に各ケースの風量変更中の風量変化速度^{注3}と室圧の最大偏差^{注4}の関係を示す。この結果から、風量変更時の室圧変動を抑制するためには、INVの加減速時間設定値を大きくして風量変化速度を小さくする方法が有効であることがわかった。

なお、本実験では2室の容積、風量、排気側PCDの感度などが同じであるため、Room2とRoom3が同じ挙動を示して空間差圧は確保されていたが、条件によっては空間差圧が確保できなくなる可能性もあるため、INV加減速時間の設定についてはそれらの条件も考慮する必要がある。

3. 実験II ダンパによる風量変更時の室圧変動

実験IIでは、室単位の風量変更を想定し、CAVによる風量変更時の室圧変動について検証するとともに、新たに考案した室圧変動抑制手法について実験的に検討した。

3.1 実験概要

実験Iと同じ実験用クリーンルーム(図-1、表-1)を用い、給気風量を640m³/h(約30回換気/h)と320m³/h(約15回換気/h)の設定に対して、2室同時またはRoom3のみを風量変更(減少/増加)した場合の、風量および室圧変動を0.1秒間隔で記録し、さらに5秒間の移動平均を求めた。

実験ケースは、風量制御方式を既存のCAVとPCDによる動圧制御(後述)の2とおり、排気側PCDの感度(RB)は、40%と80%の2条件、気密性については開口を調整した2条件の計8ケースとした(表-3)。

3.2 PCDによる動圧制御方式について

実験Iより風量変化速度と室圧最大偏差との関係から、室圧変動を抑制するためには風量変化速度を緩やかにする必要があることを示した。しかしながら通常のCAVはダンパ速度が定速であることからその調整は難しい。そこでダンパの速度制御を行っているためダンパ速度が可変であるPCDの給気風量制御への適用を試みた。Case-II-5,6は、PCDを単にピトー管により検出される動圧制御に転用したものであり、Case-II-7,8はさらに排気側PCDから出力される設定室圧と現在室圧との差に応じて、感度(RB)を4段階に変化させることで、偏差が大きい場合には緩やかに風量変更を行う機構をPCDに組み込んだPCD'を用いた。

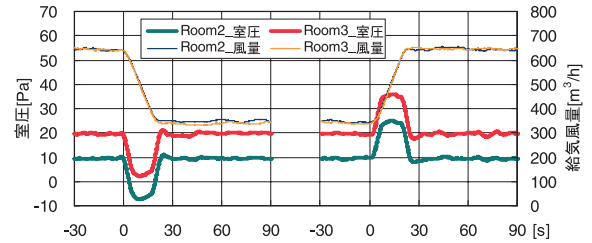


図-2 室圧・給気風量の経時変化 (Case-I-1)

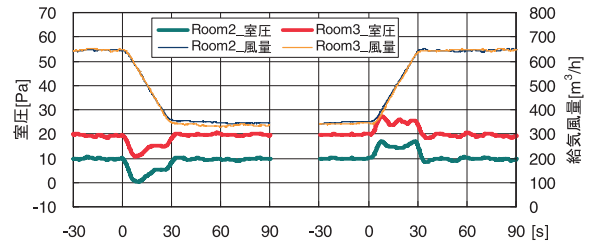


図-3 室圧・給気風量の経時変化 (Case-I-2)

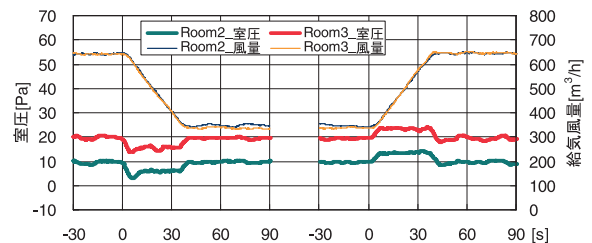


図-4 室圧・給気風量の経時変化 (Case-I-3)

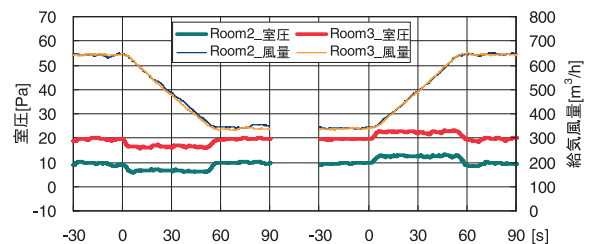


図-5 室圧・給気風量の経時変化 (Case-I-4)

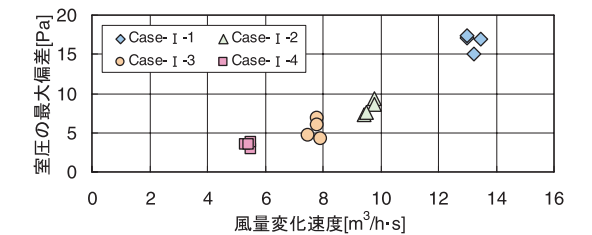


図-6 風量変化速度と室圧の最大偏差の関係

表-3 実験ケース (実験II)

ケース	風量制御 (給気)	室圧制御 (排気)	PCD感度 (RB) ^{注3}	気密性	
Case-II-1	CAV	PCD	40%	高	
Case-II-2			80%		
Case-II-3			40%	低	
Case-II-4			80%		
Case-II-5	PCD		40%		高
Case-II-6	80%				
Case-II-7	PCD' ^{注1}		40%		
Case-II-8			80%		

3.3 実験結果

既存のCAVによる実験結果として、室圧と給気風量の経時変化例を図-7、8に示す。Case-II-1に比べて排気側PCDの感度を鈍くしたCase-II-2では、風量の減少・増加にかかわらず室圧の変動が大きく、Room3のみ風量変更した場合には、10Paの室間差圧が確保できなくなっている。既存のCAVを用いたすべてのケースにおける、風量変更開始後30秒間の風量変化速度と風量変更時の室間差圧の最大偏差(図-9)をみると、風量変化速度は各ケースとも同等で、気密性による明確な違い(Case-II-1,3とCase-II-2,4)はみられなかったが、室圧の最大偏差は排気側PCDの感度が鈍いCase-II-2,4が大きかった。これにより定常時の安定性を考慮してPCDの感度を鈍くした場合は、風量変更時には給気側CAVの動作速度をさらに遅くする必要があることが示唆された。

図-10~12にPCDを給気制御に用いて風量変更を行った場合の室圧と給気風量の経時変化の例を示す。PCDは圧力偏差が大きい場合にダンパ速度が速く、小さい場合に遅くなる特性を持ち、単に給気動圧制御に転用した場合(Case-II-6)、風量設定を変更した時点では、圧力偏差が大きくダンパ速度が速いため、大きな室圧変動を生じる(図-10)。これに対してPCD'を用いたCase-II-7では、大きな室圧変動が生じないように風量が緩やかに変化するため、Room3のみを風量変更した場合でも室間差圧が確保されている(図-11)。2室同時に風量変更した場合(図-12)は2室の風量の変化が異なっているが、これは室ごとに条件の違いがあっても、独立して給気側PCDの速度調整が行われるためと考えられた。

図-13に実験Iおよび各ケースの風量変化速度^{注5}と室圧の最大偏差の関係を示す。排気側PCDのRBが40%の場合(Case-II-1,3,5)に比べ、80%の場合(実験I、Case-II-2,4,6)の室圧の最大偏差が大きかったが、PCD'を用いたCase-II-7,8ではその差もほとんどなく室圧の最大偏差が5Pa以下であることから、PCDに組み込んだダンパ速度調整機能が室圧変動の抑制に有効であることが確認できた。

4. 実験Ⅲ微粒子によるコンタミネーション評価

実験Ⅲではさらに室単位の風量変更時に関して微粒子を用いてコンタミネーション評価を行った。

4.1. 実験概要

装置概要および実験条件は図-14、表-4に示すとおりであり、実験室の境壁に10cm²の開口を設けた状態で行った。微粒子発生器によりRoom2の微粒子濃度(粒径0.3μm以上)が約50,000個/cfで安定した状態で、Room3の風量を変更してそのときのRoom3排気ダクトでの濃度を30秒間隔(流量0.05cf)で測定した。

実験ケースは実験ⅡのCase-II-1、Case-II-7に相当する2条件(Case-III-1、Case-III-7)とした。

4.2. 実験結果

実験結果として、室圧と給気風量の経時変化を図-15、16に、微粒子濃度の経時変化を図-17に示す。

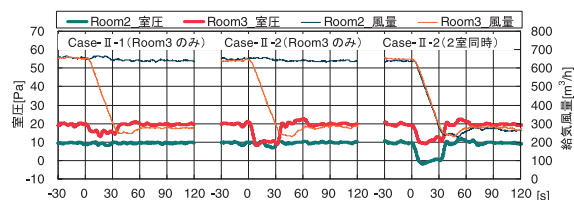


図-7 室圧・給気風量の経時変化(風量減少時)

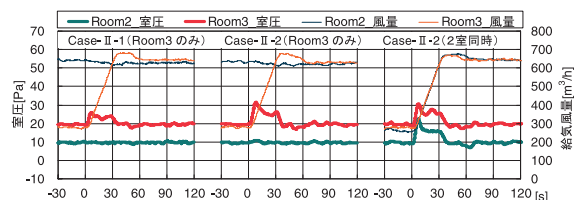


図-8 室圧・給気風量の経時変化(風量増加時)

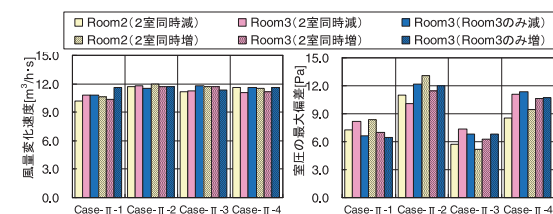


図-9 各実験ケースの風量変化速度と室圧の最大偏差

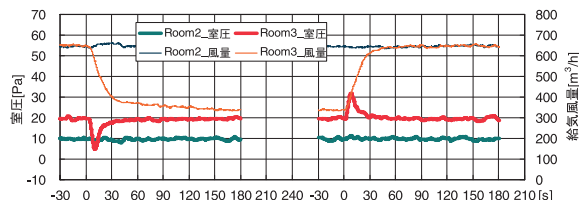


図-10 室圧・給気風量の経時変化 (Case-II-6 Room3のみ)

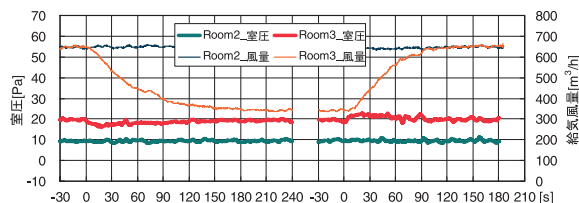


図-11 室圧・給気風量の経時変化 (Case-II-8 Room3のみ)

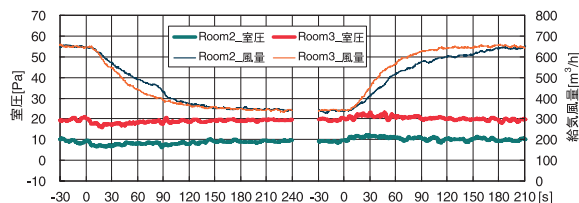


図-12 室圧・給気風量の経時変化 (Case-II-8 2室同時)

室圧変動状況は実験 II と同様の傾向であり、CAV により風量変更を行った Case-III-1 では室圧が逆転していた。そのため Room2 から Room3 へ微粒子が流入し、Room3 の微粒子濃度が上昇した。一方、PCD' による Case-III-7 は室間差圧が確保されており、Room3 の微粒子濃度に変化はみられなかった。

このことより、風量変更時の室圧変動を抑制することで、コンタミネーションリスクを低減できることがわかった。

5. おわりに

本実験により、1) 給気ファン INV による系統全体の風量変更に関して、INV の加減速時間設定を大きくすることで、室圧変動を小さくできること、2) 給気側ダンパを用いた室風量変更時の室圧変動に関し、既存の CAV に比べてダンパ速度調整機能を組み込んだ PCD が有効であること、3) 室圧変動を抑制することでコンタミネーションリスクが軽減できることなどが確認できた。

今後は、実用化に向けて室規模や風量など様々な条件下で検証を行いたいと考えている。

謝辞

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

脚注

注1：速度調整機能を組み込んだ PCD で基本仕様は排気側の PCD と基本仕様は同じ。詳細は本文中に記載。注2：PCD 感度 (RB; リセットバンド) はフルスケールに対する比例帯の幅をあらわし、小さい方が感度が高くダンパ速度が速い。注3：風量変更中の単位時間あたりの変化風量の平均値。注4：風量変更中の室圧の設定室圧に対する最大偏差。注5：Case-II-6 は風量変更開始後5秒間、他は30秒間の変化風量の平均値。

参考文献

- 1) 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、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2007
- 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3、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2009

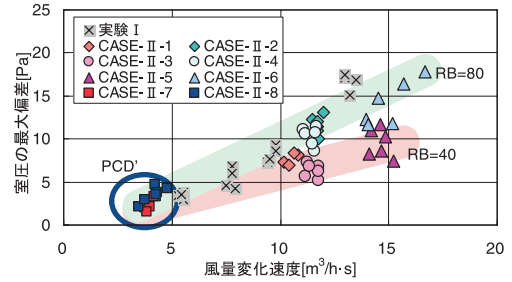


図-13 風量変化速度と室圧の最大偏差の関係

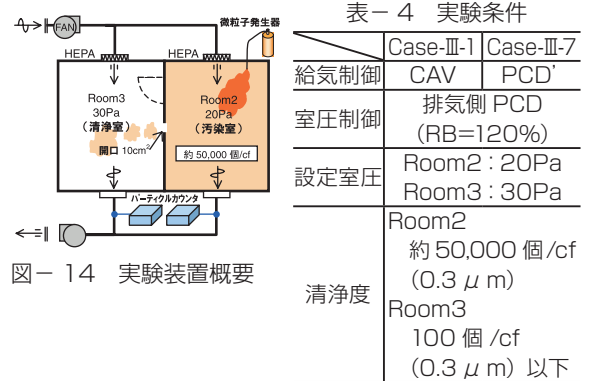


図-14 実験装置概要

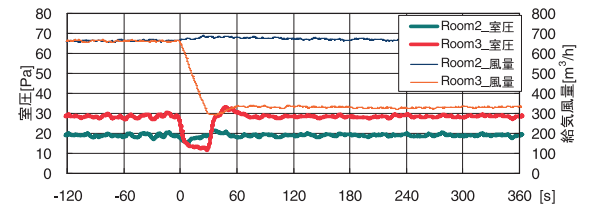


図-15 室圧・給気風量の経時変化 (Case-III-1)

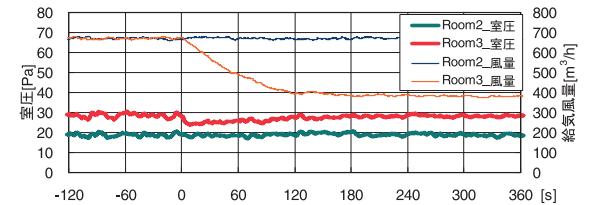


図-16 室圧・給気風量の経時変化 (Case-III-7)

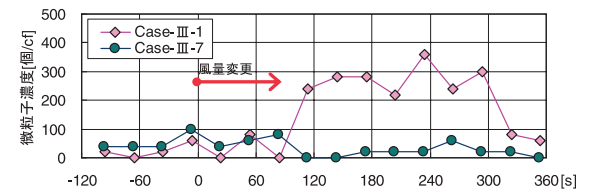


図-17 Room3の微粒子濃度の経時変化

