

可変風量装置による負圧制御の実験

Examination of Minus Pressure Control System with Variable Air Volume Device for the Laboratory

黒岩 弘一*
Kōichi Kuroiwa

要 約

RI（放射性同位元素）を使用する某農薬メーカーの研究施設の空調設備を施工するに際して、可変風量装置（VAV）により室内を確実に負圧制御し、かつ動力設備の省エネルギー化が可能かどうかをシステムの模型を作り実験した。実験を通じて、システムの制御方式の変更と一部VAVの改良により当初の目的を達成することがわかった。また、竣工後の測定値からほぼ予想どおりの結果が得られた。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 設計条件と空調設備概要
- §3. VAVと特性について
- §4. モデル実験について
- §5. 実験の結果
- §6. おわりに

§1. はじめに

RIを使用する研究施設では、RIの汚染を防止するために実験室（管理区域）内を負圧に保持することは絶対条件であり、その上、当研究所では必要風量の変動幅が大きいこと、及び全外気方式であることから、設備動力費の低減化も重要な課題となる。そこで、基本設計条件をもとにこれらを満足させるためには、どのような空調方式が最適であるかを標準の実験室の約1/10（室容積比）の実験装置を作り、データを収集して確認することにした。

VAVは室内に設置したサーモスタットからの信号により、室内の空調負荷に応じて風量調整するシステムに使用されるのが一般的であるが、ここでは、室内の温度調節は室内のサーモスタットと給気チャンバー内のレヒータークーラーコイルによって行い、VAVは室内の

静圧と風量調節及びファンの回転数制御の目的で使用するようにしている。

実験時（ドラフトチャンバー使用時）、通常時、夜間時の風量変動幅が大きいため、各実験室ごとの給排気ダクトにVAVを用いるシステムとなっており、VAVの性能及び送風機との連動制御方式をテストする必要もあった。

§2. 設計条件と空調設備概要

2-1 設計条件

・温湿度

	実験時	通常時	夜間時
夏期	26±1℃, 70±5%以下	26±1℃, 50±5%	30±1℃以下
冬期	22±1℃, 50±5%	22±1℃, 50±5%	10±1℃以上

・可変風量

	換気回数
実験時	40回/h
通常時	10回/h
夜間時	4回/h

実験時の風量はドラフトチャンバーの排気量によって決定される。

- ・給気………全外気方式
- ・稼動時間…24時間/日

*東京建築(支)設備課副課長

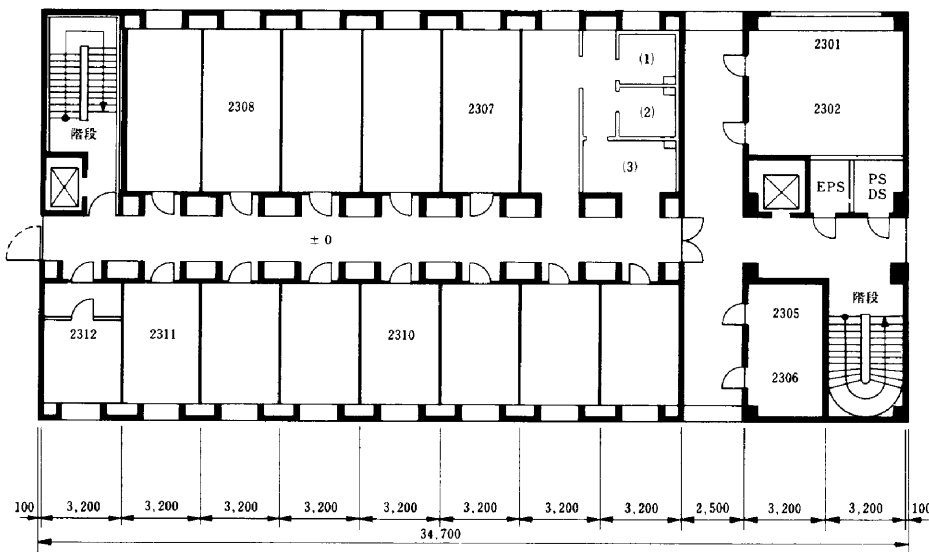


Fig.1 基準階平面図

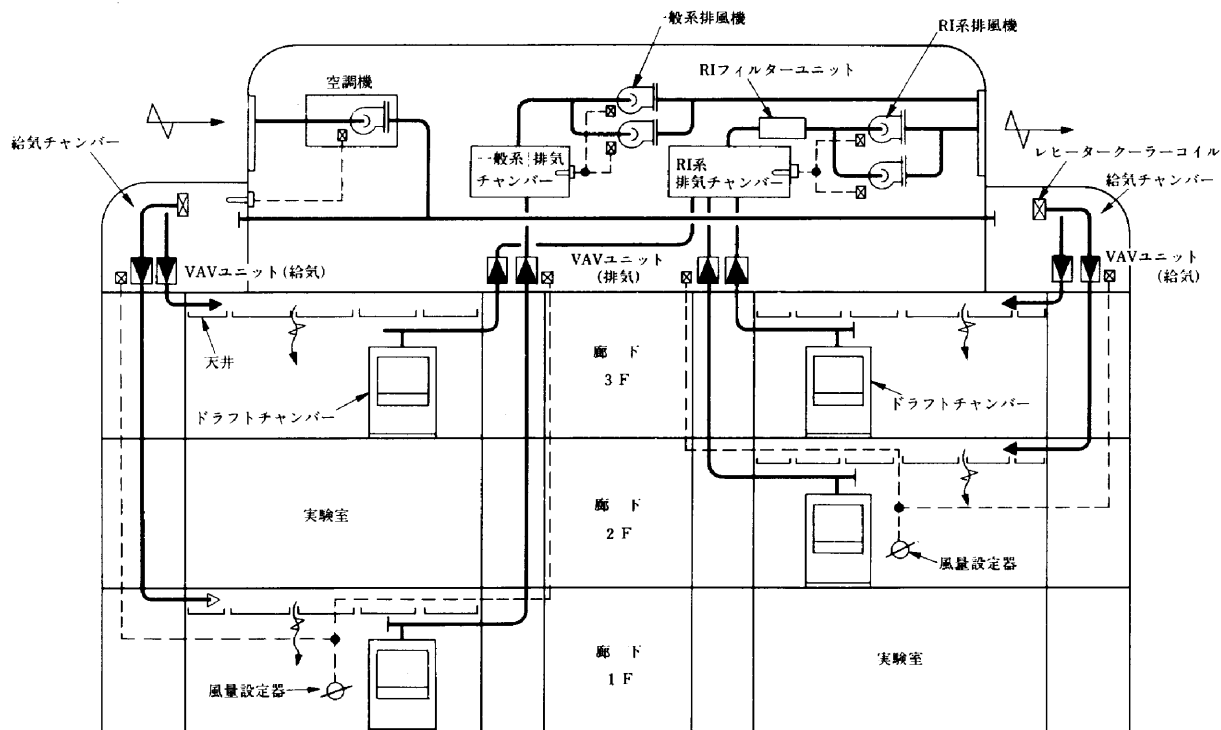


Fig.2 原設計の空調システム図

2-2 空調設備概要

基準階の平面図をFig.1に、原設計の空調システム概要をFig.2に示す。1階及びコア部分はRI非管理区域に、2、3階は管理区域となっている。

給気は全体用の空調機から、南北にある給気チャンパー（コンクリート製）内の各階各実験室ごとに分かれているレヒータークーラーコイル、VAVを経て、縦ダクトで実験室の天井内チャンパーに給気され、天井吹出

口から吹きだされる。排気は管理区域と非管理区域系統に当然分けられ、給気と同様に、各実験室ごと独立のダクト系統にして、VAV、排気チャンパーを経て排風機で排気される。風量制御は各実験室の風量設定器でVAVを制御し、送排風機は給排気チャンパー内一定静圧制御によりインバーター制御される。送排風機の風量は、ドラフトチャンパーの稼働率100%時の容量で設定されている。実際に設置された送風機、ドラフトチャンパー及びVAVの台数を記す。

- ・給気用送風機……56,000m³/h×30kw×1台
- ・R I系排風機……47,000m³/h×22kw×2台(1台予備)
- ・一般系排風機……12,000m³/h×5.5kw×2台(同時運転)
- ・ドラフトチャンパー……38台(将来増設予定あり)
- ・VAVセット……44セット

§3. VAVと特性について

VAVのメーカーは国内では数社あり、その制御原理も各々異なるが、今回のR I研究所の室内負圧制御に利用することを考えると、その採用に当っては主に次の条件を基準とした。

- ・可変風量幅が大きいこと、確実に風量制御が可能なこと。
- ・ファン制御との連動が容易で、かつ種々の制御値に対応できるもの。
- ・省エネルギー効果が大きく期待できるもの。
- ・排ガスの特性から、耐腐食性の処置が可能なもの。

これらの条件からIC回路を持った東プレ(株)のVAVユニットを採用することにした。その本体をPhoto 1に示す。このVAVは通過風量をプロペラセンサーで検知してダンパーを制御する構造で、かつダンパーは、定格の風量時には全開となる制御回路を組込んだものである。このことは送風機を風量と静圧の負荷に应答して制御できるので、かなりの省エネルギー化が期待できると予想される。次にその制御原理を簡単に述べる。

3-1 VAVユニットによる送風機の最適制御原理

VAVユニットのダンパー制御図をFig.3に示す。送風機とVAVユニットの関係をダンパーの位置から判断すると、次の3通りが予測される。

- イ) ダンパーの位置が①の時、要求風量は満足しているが静圧が過剰
- ロ) ダンパーの位置が②の時、要求風量を満足し、かつ静圧も最少
- ハ) ダンパーの位置が③の時、要求風量より不足

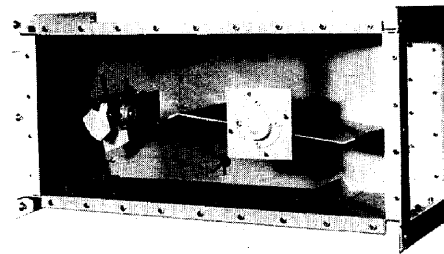


Photo 1 VAV本体

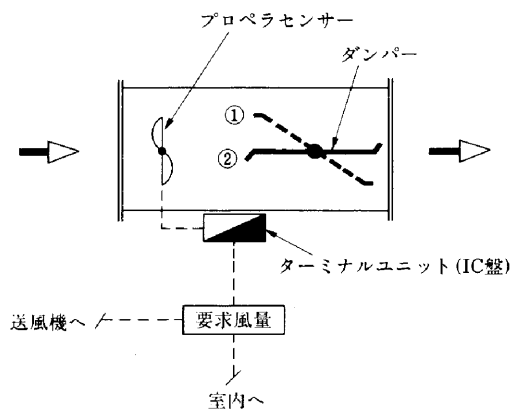


Fig.3 VAVユニットのダンパー制御図

ロ) の状態の時にVAVユニットと送風機の関係が最適であるといえる。この関係を知るためにVAVユニットから静圧と風量の適否の情報を得ることになる。

- ・静圧……ダンパー全開か? → YES → 1信号
→ NO → 0信号
- ・風量……不足しているか? → YES → 1信号
→ NO → 0信号

この情報の組み合わせの結果、4種類のVAVのセット状態と送風機の間を知ることができる。その状態の制御方法をFig.4に示す。VAVのターミナルユニットからの状態信号がFig.4の〔状態-2〕になるように、SC調節器からの制御出力レベルを上昇、又は下降させて、送風機を最適状態に制御するシステムになっている。

VAVユニットは複数設置され、各VAVユニットでの静圧と風量関係は相違するが、最大圧損系統のあるVAVユニットが要求風量を満足し、かつ前後の差圧が最小になるように送風機を制御すれば、そのシステムは最適状態といえる。ダンパー全開のユニットが最大圧損系統のあるVAVユニットで、このVAVユニットが最適状態であれば、他のVAVユニットは静圧過剰でも、V

AVユニットの定風量機能によって風量は満足される。従って送風機はダンパー全開のVAVユニットを探し、そのVAVユニットを基準に制御されることがわかる。

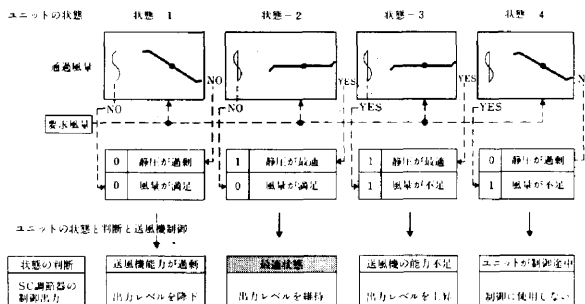


Fig.4 VAVユニットの状態制御図

3-2 VAVユニットの改良について

(1)風量制御域の拡大

一般にVAVユニットの風量制御範囲は20~100%とされているが、今計画施設では風量の変動幅が大きく、最小時には最大時の約1/10となり、特に制御域が大きくなるために標準品では対応しきれず、Fig.5に示すように制御域を改良した。これはIC回路による制御をしているために容易に可能であった。

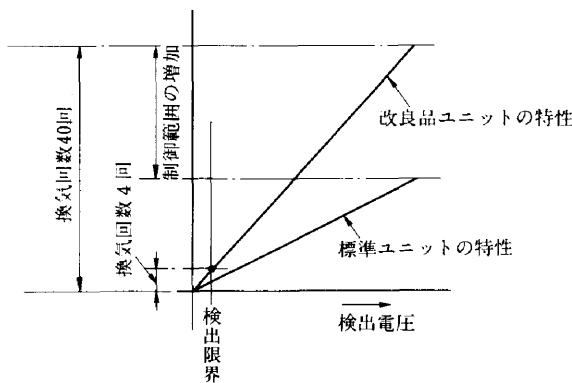


Fig.5 風量制御域の拡大図

(2)耐腐食性の改善

当研究施設ではRIを含んだ排気ガスだけでなく、有機溶媒を含んだ腐食性のガスも排気するためにVAVの本体を耐腐食性の面からも改善する必要があった。

腐食性のある物質の特性が事前にわかっていたので、そのデータをもとにユニット本体内面、ダンパー本体、プロペラセンサー部の下地処理を十分に行なった上に、エポキシ系樹脂の塗装仕様で処置した。腐食性物質の特性から判断すると完璧とはいえないが、かなり耐久性を強めたことは予想される。また、標準仕様のプロペラセ

ンサー本体を既存のドラフトチャンバー内に実際に3ヶ月間取付けて腐食等の耐久度合を試験したが、プロペラセンサーの軸部と固定用のビスに一部錆が発生したり、羽根の部分にはほこりが付着した程度で、取りはずして出力電圧値、センサー抵抗値を測定した結果、機能上問題ない程度と判断された。

しかし、耐腐食性については長期間の追跡調査が当然必要であり、当研究所に設置したVAV本体を今後定期的に調査を実施していくつもりである。

§4. モデル実験について

4-1 実験装置

実際の実験室(室容積約80m³)を1/10に縮小した8m³のモデル室(亜鉛鍍鉄板製)を設定し、Fig.6及びPhoto 2に示すような実験装置を製作した。送排風気量も厳密には相似則に合わせたもので調整するのが当然であるが、ここでは簡便な方法として実験室容積の40回/h分の約1/10としてVAV-1を、VAV-2は他室の影響を調査するために、給排気チャンバー3m³を設け、チャンバー内に差圧発信器もセットした。モデル室には扉の開閉により室圧がどのように変動するかを調べるため、扉のかわりとして開口部を設けた。ファン制御にはインバーター制御だけでなく、ファンダンパー制御の実験も可能にようにした。また、VAV及びファンには任意な制御指示ができるように設定器を設けた。

4-2 実験目的

実験の目的は、VAVによる風量制御に関連して最も速い応答性を持ち、なおかつ動力費の低減化がはかれる給排気ファンの制御方式を選択すること、及び室内の負圧保持状態を確認することにあつた。ファン制御方式の実験については次の3通りの実験を行なった。

- イ) 給排気チャンバー内を一定静圧に維持し、ファンをインバーター制御する方式(一定静圧制御…イ)
- ロ) 給排気チャンバー内を一定静圧に維持し、ファンダンパーで制御する方式(一定静圧制御…ロ)
- ハ) VAVでファンをインバーター制御する方式(可変静圧制御)

この3通りの制御性、省エネルギー度を比較検討することにした。また、前にも述べたようにRIを取扱う実験室では室内の負圧保持が最優先されるため、この時のVAVユニット精度はもちろんのことファン制御との応答性、他室で可変動作を行なった時の影響、可変風量の設定方法、ドアの開閉による影響等を実験装置で実験することにした。

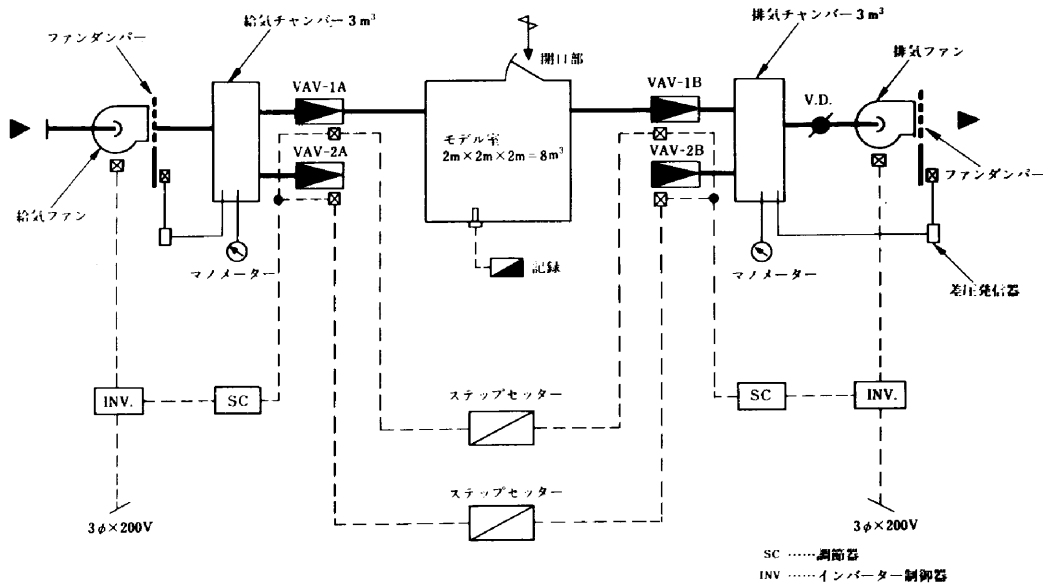


Fig.6 実験装置図

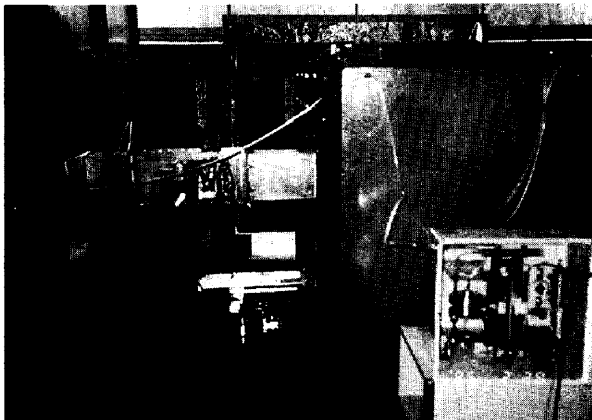


Photo 2 モデル実験装置

§ 5. 実験の結果

5-1 ファンの制御方式について

前記イ), ロ), ハ) 3通りの制御方式について実験を行なった。そのデータの一部をそれぞれTable 1, 2, 3に示す。この表では実験室を使用する時予想されるモードの内、①から順番に⑧までの分を載せたが、実際には20通りまでの使用モードのデータを収集した。また、イ), ロ)の一定静圧制御方式では、給気チャンバー内を+7 mmAqに、排気チャンバー内を-8 mmAqに設定した。

これらの実験データから一般的に主に以下のことがわかった。

- ・どの方式でも負圧の数値に差はあるが、室内を確実に

負圧維持できる。

- ・消費電力の数値から各方式の省エネルギー度にかなり差がある。

次に各方式ごとの実験結果からわかった主なことを記す。

(1)一定静圧制御方式…イ) の場合

Table 1からもわかるように室圧の安定性が良く、ファン、VAV制御の応答性も良かった。しかし設定圧が大きいの時、一時室圧が0に近づくことがあった。また、給気量を急に激減させるとハンチング現象を起こした。これは、VAVの作動速度とファン制御速度が合致することから生じたものと思われるが、ファン側の制御に遅れ機構等の付加改良を行えば解決可能である。省エネルギー度はあまり期待できないようである。

(2)一定静圧制御方式…ロ) の場合

Table 2からもわかるように一定静圧制御にもかかわらず、室圧にかなりの変動が見られる。また、風量の急激な変化時にハンチング現象を起こした。これらのことはファンの制御機器及びファンダンパー制御方式そのものに問題があるように思われた。省エネルギー度は最も期待できなかった。

(3)可変静圧制御方式の場合

Table 3からもわかるように(2)の方式ほどではないが室圧が変動している。このことは制御方式そのものが静圧の変化に応答して制御するので、性質上当然のこと

Table 1 一定静圧制御(…イ)の時のデータ

モード	給気量 (m ³ /h)	排気量 (m ³ /h)	他室の風量 (m ³ /h)	モデル室内圧 (mmAq)	消費電力 (W)
①	300	350	1,000	-1.35	660
②	300	350	350	-1.60	340
③	111	161	350	-1.15	300
④	111	161	1,000	-1.25	500
⑤	150	200	1,000	-1.05	540
⑥	150	200	350	-1.15	320
⑦	150	200	725	-1.35	420
⑧	300	350	1,000	-1.45	660

※消費電力は送風機と排風機の合計値

Table 2 一定静圧制御(…ロ)の時のデータ

モード	給気量 (m ³)	排気量 (m ³)	他室の風量 (m ³)	モデル室内圧 (mmAq)	消費電力 (W)
①	300	350	1,000	-2.8	810
②	300	350	350	-3.0	570
③	111	161	350	-1.7	490
④	111	161	1,000	-1.6	730
⑤	150	200	1,000	-1.8	740
⑥	150	200	350	-2.2	500
⑦	150	200	725	-2.2	640
⑧	300	350	1,000	-2.8	810

※消費電力は送風機と排風機の合計値

Table 3 可変静圧制御の時のデータ

モード	給気量 (m ³)	排気量 (m ³)	他室の風量 (m ³)	モデル室内圧 (mmAq)	消費電力 (W)
①	300	350	1,000	-2.2	660
②	300	350	350	-2.4	300
③	111	161	350	-1.4	240
④	111	161	1,000	-1.9	510
⑤	150	200	1,000	-2.3	540
⑥	150	200	350	-1.4	260
⑦	150	200	725	-1.8	390
⑧	300	350	1,000	-2.3	660

※消費電力は送風機と排風機の合計値

ある。負圧は確実に維持するが、特にモード切替え時に室圧が変動する。また、室圧が安定するまで約5、6分必要で、これはVAVとファンの応答性が遅いことによる。省エネルギー度は最も期待できる。

5-2 風量設定方式について

前にも述べたように風量は室の使用状態によって、実験時、通常時及び夜間時の3通りに変動するが、それぞれの必要風量に設定した時と、風量変更過渡期にも確実に室内を負圧に維持することが絶対条件となる。更に室内の負圧を確実に維持するために、廊下に外気を給排気

し、廊下を第一次負圧区域、実験室を第二次負圧区域とした。

可変風量設定器は全可変型(比例式)が一般的であるが、その風量変化はFig.7のようになる。この方式では実験によると、設定風量が小さくなると室圧が0 mmAqに近づき、風量制御のヒステリシスが給排気ユニット間でオーバーラップして負圧維持が困難になることがわかった。また、Fig.8の実験データからもわかるように小風量から大風量に変更する時、一時的に陽圧化するケースが生じた。この比例方式では廊下に導入する外気量も当然比例して変動するのであまり好ましくないようである。

実験室の風量は3段階に固定して考えることができるので、Fig.9に示すようなステップ方式にした。この方式であると室内の使用状態によって負圧値が変動することがあっても確実に負圧が維持できるし、廊下からの外気導入量を一定にすることができる。ステップ方式だと使用者が各室に設置したステップ設定器により、実験時、通常時、夜間時の各々の設定を容易に、かつ確実に選択することができることも好条件である。

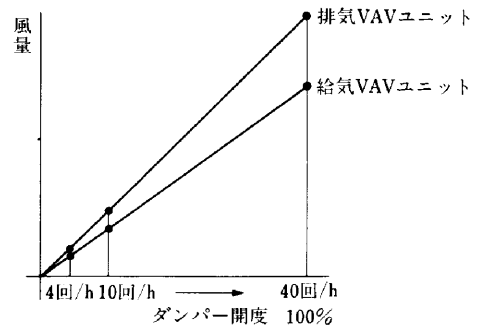


Fig.7 全可変風量設定器特性

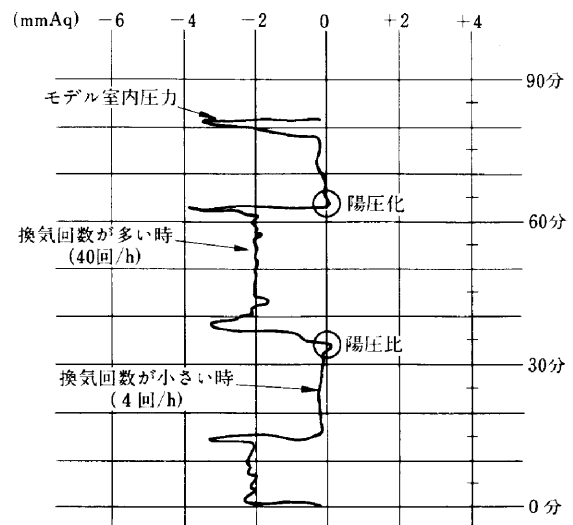


Fig.8 全可変形風量設定器による室圧変化

的にこれまでの実験結果を再確認するために、実験室のある一系統で、実際の給排気量を各種の使用モードごとに再度実験したデータをFig.12に示す。

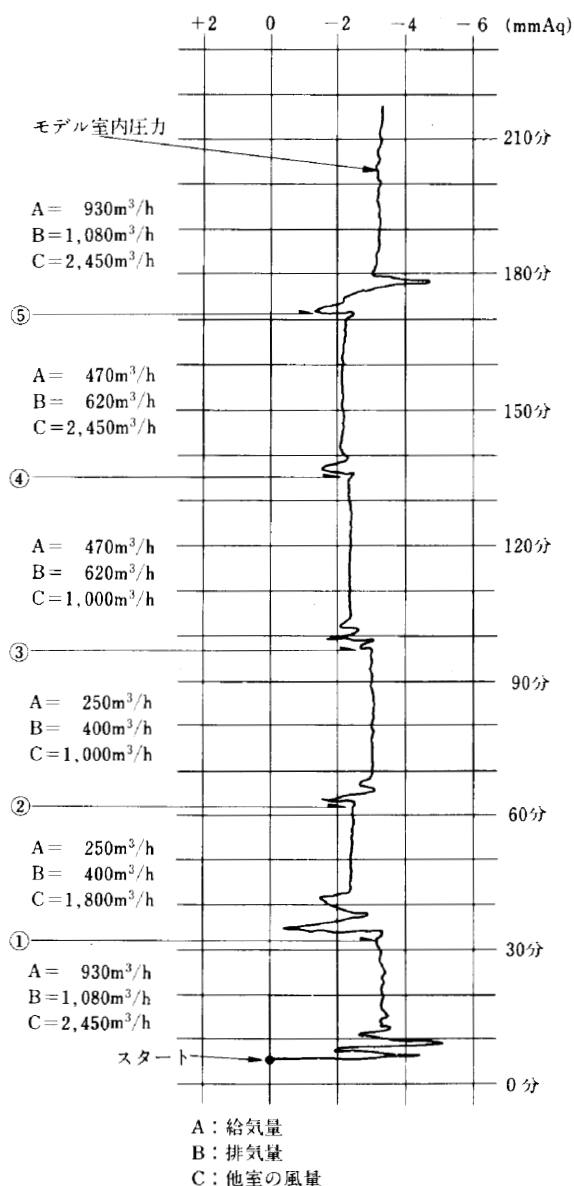


Fig.12 モデル室内圧力状態

5-5 室内の温湿度について

室内温度については前にも述べたように、室内サーモスタットで給気チャンバー内のレヒータークーラーコイル入口の冷温水管に設けた電動弁にて制御するようにした。湿度については、室内ヒューミディスタットで空調機内に設けた蒸気スプレーにて比例制御した。除湿については、空調機内の冷水コイルにて除湿する一般的なもので、制御についてはなりゆきとなった。竣工後、温度と湿度を測定したが、当初の設計条件通りの結果が得られた。

§6. おわりに

施工に際しては、特にダクトの気密性を高めること、複雑な制御回路のチェックに注意を払った。また、縦ダクトの防火区画貫通部分にファイアーダンパーが設けられているが、特に排気ダクト系統のファイアーダンパーが閉じられるようなことが起ると、室内を急激に陽圧化する危険があるため、ダンパーが閉じた時には自動的にVAVを全閉する機構も設けることにした。

竣工後、実験時と同じような各種使用モードの運転状態を再現して室内の負圧値など各種データを収集した結果、ほぼ予想されたとおりであることを確認できた。システム全体については実験と施工を通じて確信を得たが、VAVユニット本体の耐腐食性については、今後も追跡調査をしていくつもりである。

最後に、この実験に際して御協力いただいた東プレ株式会社及び関係各位の皆様にお礼申し上げます。