

超省エネルギービル（大林組技術研究所本館）における VAV システムの性能評価

田 中 辰 明 岡 建 雄
小 宮 英 孝

Evaluation of Performance of VAV System in Super Energy Conservation Building (Main Building of Ohbayashi Corporation Technical Research Institute)

Tatsuaki Tanaka Tatsuo Oka
Hidetaka Komiya

Abstract

This paper describes the performance of the VAV System installed in the Super Energy Conservation Building. The concentrations of CO, CO₂ and dust were examined when the tightness of the VAV System was changed. A survey of occupants by questionnaire was also made. The results of the examinations and the survey were the following. (1) Good temperature and air current distributions were obtained even when the VAV System was throttled down. (2) The concentration of dust increased when the VAV System was closed tighter. The minimum air volume of the VAV System, considered from the concentration of dusts, is suitable at 6 to 8 m³/h·m². (3) It is useful for energy conservation to control the minimum air volume of the VAV System upon detection of dust concentration.

概 要

大林組技術研究所本館の内部ゾーンに設備されたVAVシステムについて調査を行なった。調査項目はVAVの吹出し風量を変化させた場合の粉じん、CO、CO₂濃度である。同時に在室者を対象にアンケート調査も行なった。これらの調査から次の知見を得た。(1) 吹出し風量を絞った場合でも室内の温度と気流の分布は良好である。(2) 吹出し風量を絞るにしたがって室内の粉じん濃度は増加する。粉じん濃度から考察して、最少吹出し風量は約6～8 m³/h·m²が適当である。(3) 室内粉じん濃度を検知してVAVの最少吹出し風量を制御する方法が省エネルギーを計る上で有効である。

1. はじめに

本報告は大林組技術研究所本館ビルの一連の追跡調査のひとつでVAV方式に関するものである。

VAV方式とは、Variable Air Volume System（可変風量方式）の略称であり、空気調和すべきスペースの熱負荷の変動に応じて送風量を調節し、所定の温湿度を維持する全空気式空調方式である。空気を媒体として空調スペースの温度を維持する方法としては基本的には二つあり、一つは熱負荷の変動に応じて送風温度を変え、送風量は一定とする方法、もう一つは送風量を変え、送風温度を一定とする方法である。前者は定風量方式であり、

後者は変風量方式である。この変風量方式を可変風量方式（VAV方式）と呼んでいる。

VAV方式は省エネルギー性など多くの利点を持つが、いくつかの問題点も指摘されている。例えば吹出し風量を減少させれば、送風機動力は減少する。年間の送風機動力は「最少吹出し風量」を減少させれば大幅に減少する¹⁾。しかし風量を減少させることにより室内環境の悪化が生じる。省エネルギーを計りつつ、より良い環境を保つことが大切になるが、この限界を見極めることは難しいことである。そこで筆者らはVAV方式の「最少吹出し風量」について考察する目的から大林組技術研究所本館に施工されたVAV方式について実験的に吹出し風

量を減少させ、その場合の室内の気流、温度分布、室内の粉じん、CO₂、CO 濃度を測定し、さらに室内の在室者に対し、室内環境に関するアンケート調査を行なった。

2. 調査実測の概要

2.1. 実測建物と空気調和の方式

実測を行なった大林組技術研究所本館は東京の西郊、清瀬市に建ち、地下1階、地上3階の鉄筋コンクリート造である。建物の用途は事務所建築で、延床面積3,776 m²、空調延床面積2,443 m²で、窓は南と北にある。空調は単一ダクト VAV 方式とファンコイルユニット方式で行なわれ、内部ゾーンを VAV 方式で、南北のペリメーターゾーンをファンコイルユニットで受持っている。VAV の空調機は南北2系統に分かれており、フィルターは中性能自動巻取形と活性炭を使用し、送風機の回転数制御を行なっている。この建物で執務する人数は約170名、勤務時間帯は平日9:00~17:10、土曜日は9:00~12:00である。これに対し空調時間は平日8:10~17:10、土曜日は8:00~12:00である。

2.2. 実測項目

室内環境の実測項目は乾球温度(℃)、関係湿度(%), 室内気流速度(m/s)、吹出し風量(m³/h)、外気量(m³/h)、粉じん量(mg/m³)、二酸化炭素(CO₂)濃度(p.p.m.)、一酸化炭素(CO)濃度(p.p.m.)である。

乾球温度は、吹出し空気、室内各点、レタン空気をアナネモサーモメーターで測定した。吹出し風量は空調機内のフィルター出口部分の風速をアナネモサーモメーターで12箇所測定し、その平均値に断面積を乗じる方法により求めた。室内気流速度もアナネモサーモメーターを使用して測定した。粉じん、CO₂濃度は吹出し空気、レタン空気と室内については2階と3階でそれぞれ3箇所、1階と地下1階でそれぞれ1箇所測定した。図-1に実測を行なった大林組技術研究所本館2~3階の平面図、図-2に3階における気流、温度分布の測定点を示す。

2.3. 測定方法

VAV ユニットの開度を絞って VAV 風量を11.2, 8.4, 6.1 m³/m²h の3通りに変化させ、さらに表-1に示すように、ペリメーターに配置されたファンコイルユニットのファン回転数が HIGH と LOW の場合の2通りについて実測した。粉じんなどの実測は、風量の設定を行ってから約2時間経過後に行なった。2時間経過することで風量設定前の影響が現れないことが確認されたからである。

冷房時に関しては昭和58年8月、暖房時に関しては昭和58年12月に測定を行なったが、ここでは冷房時の実測

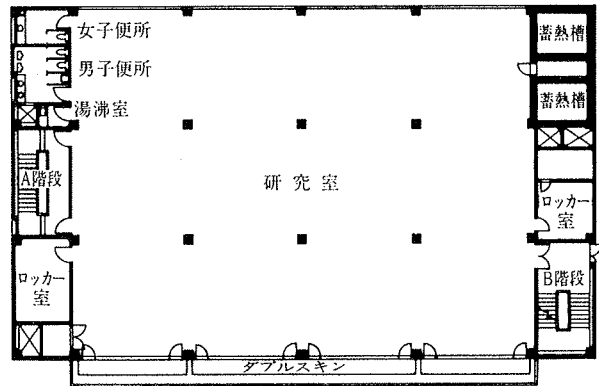


図-1 大林組技術研究所本館2階, 3階平面図

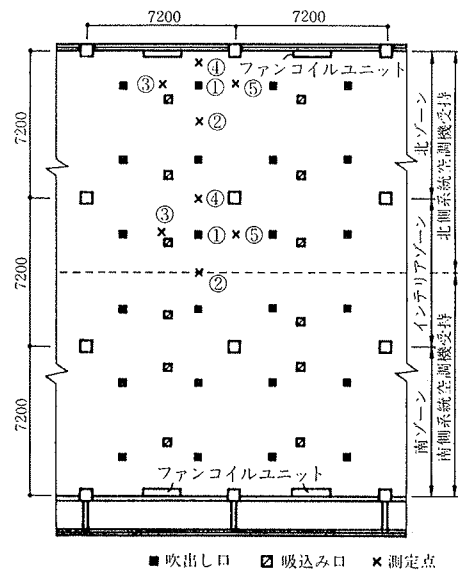


図-2 気流・温度分布測定点(3階)

設置階	風量のセット	1台の風量 m ³ /h	床面積当り風量 m ³ /h.m ²
3	HIGH	660	8.2
	LOW	295	3.7
2	HIGH	465	5.8
	LOW	185	2.3

注：各階の空調面積は642m²である。

表-1 ファンコイルユニットの風量 結果について報告を行なう。また既報の研究で粉じん、CO₂、CO濃度の測定と室内環境に関するアンケート調査が行なわれ

3. 室内環境測定

3.1. 温度気流分布

VAV の風量を11.2 m³/h.m²、8.4 m³/h.m²、6.1 m³/h.m²と変化させた場合の図-2に示す測定点での温度と気流

分布を測定した。その結果を表-2 に示す。吹出し口の方式は垂直落下方式で、VAV 風量 11.2 m³/h.m² の時吹出し口ネック風速と面風速はそれぞれ約 1.7 m/s と 0.45 m/s である。表-2 に示すごとく吹出し風量を絞っても、室内の気流、温度分布が良好である。これはこの建物の外皮構造がよく断熱されており、外界の影響を受けにくいことによるものである。

3.2. 粉じん, CO₂, CO の測定

粉じん, CO₂, CO 濃度の測定結果の平均値を表-3 に、ファンコイルユニットのファン回転数が HIGH の場合の VAV 風量 (m³/h.m²) と粉じん濃度 (mg/m³) の関係を図-3 に示す。粉じん濃度は在室人数、在室する人間の動きで大きく変化する。この測定ではこれら条件を同一にすることはできなかったが、VAV 風量を絞るに従って、粉じん濃度が上昇するのは明白であった。CO₂ 濃度は Pettenkoffer 氏の恕限值である 1,000 p.p.m. を越えてしまった場所もあったが、これは喫煙の行なわれている近くで測定した結果であり、止むを得ない。こういう場所を除けば 900 p.p.m. 程度である。CO₂ 濃度は取入れ外気量と関連するものである。粉じん濃度の分布については、部屋の外周部の方が内周部よりやや低い。これは外周部に設置したファンコイルユニットの影響によるものと考えられる。また、VAV 風量 6 m³/h.m²、ファンコイルユニットのファン回転数を LOW とした場合についても測定したが、粉じん濃度が急上昇し、このような運転は避けなければいけない。これらの測定からこの建物に適する VAV の最少風量は、外周部のファンコイルユニットのファン回転数を HIGH にした条件で、6~8 m³/h.m² 程度と言える。

4. 室内環境に関するアンケート調査

VAV で風量を絞った場合の室内環境について在室者を対象にアンケート調査を行なった。もちろん在室者には VAV の運転状態について何も知らせない状態で調査を行なった。ここで行なったアンケート調査方法は文献

測定点		VAV 同量 m ³ /h.m ²		8.4		6.1		6.1			
		VAV 吹出し温度 °C		20.7		19.5		21.2			
		ファンコイル風速 m/s		HIGH		HIGH		HIGH		LOW	
		気流	温度	気流	温度	気流	温度	気流	温度		
北側 (N) ゾーン	1	上	0.37	24.5	0.35	22.9	0.11	25.1	0.11	26.0	
		中	0.16	24.5	0.14	24.0	0.11	25.0	0	26.4	
		下	0.26	24.5	0.13	23.9	0.12	25.0	0.02	26.2	
	2	上	0.16	24.5	0.21	24.4	0.13	24.9	0.01	27.0	
		中	0.16	24.7	0.12	24.3	0.07	25.0	0.05	26.9	
		下	0.15	24.7	0.14	24.1	0.12	25.0	0.05	26.1	
	3	上	0.13	27.1	0.48	22.2	0.44	23.9	0	27.1	
		中	0.15	26.0	0.11	23.6	0.11	24.2	0	26.9	
		下	0.20	25.5	0.05	24.1	0.01	24.5	0.05	24.8	
	4	上	0.22	24.6	0.16	25.0	0	25.9	0	27.1	
		中	0.16	24.5	0.11	24.9	0.05	25.9	0	27.1	
		下	0.17	24.4	0.12	24.8	0.05	25.8	0.04	26.0	
	5	上	—	—	0.11	25.1	0	26.3	0	27.3	
		中	—	—	0.14	24.9	0	26.1	0.04	27.2	
		下	—	—	0.12	25.0	0.10	25.8	0.01	26.0	
内部 (I) ゾーン	1	上	0.21	25.0	0.05	25.3	0	25.9	0	27.5	
		中	0.17	24.9	0.05	25.2	0.01	26.0	0.01	27.3	
		下	0.10	24.9	0.13	25.1	0	26.0	0.12	27.1	
	2	上	0.14	25.0	0.05	25.0	0	26.0	0	27.3	
		中	0.16	25.0	0.12	25.2	0.03	26.0	0	27.5	
		下	0.17	24.8	0.15	24.9	0.04	25.9	0	26.9	
	3	上	0	27.5	0.12	25.1	0	26.1	0	27.3	
		中	0.08	26.4	0.15	25.2	0.07	26.1	0.08	27.2	
		下	0.12	25.8	0.16	25.2	0.07	26.0	0.09	27.0	
	4	上	0.12	25.0	0.14	25.0	0	26.0	0.05	27.2	
		中	0.12	25.0	0.12	25.0	0.02	26.0	0.15	27.2	
		下	0.12	25.0	0.16	24.9	0.12	26.0	0.08	27.0	
	5	上	0.18	27.5	0.11	25.3	0	26.1	0	27.2	
		中	0.21	26.5	0.12	25.5	0.15	26.2	0.04	27.2	
		下	0.21	26.0	0.13	25.6	0.15	26.0	0.10	26.9	

注：気流測定において、多少針は動くが、検出不能なものは 0 と表示した。
—印は測定不能の印である。室の天井高は 2.5m であり、測定点の上は天井から 0.1m、中は床上 1.2m、下は床上 0.3m の位置である。

表-2 室内の気流・温度分布

2), 3) とほぼ同じ方法で行なっている。調査の結果を表-4 に示す。この調査結果によると、VAV の風量を絞っても、温度、気流分布に対し、居住者の不満は出ていない。また VAV 風量を絞れば、粉じん量は確かに増加するが、アンケート調査によると、空気の汚れが気になるという回答者数は増していない。すなわちアンケート調査では、VAV で吹出し風量を 6 m³/h.m² 程度まで絞っても、在室者の室内環境に対する感じ方に変化がないということが判明した。この調査では建物の外周部に在室する人と内部に在室する人に分けて行なったが、この外周部、内部の差はこの調査からは明確にならなかった。したがって表-4 は建物全体につ

VAV 吹出し風量 m ³ /h.m ²	ファンコイルユニット風量	粉じん濃度 mg/m ³			CO ₂ 濃度 P P m	CO濃度 P P m	在室人員 人
		建物平均	インテリアゾーン	ベリメータゾーン			
11.2	HIGH	0.12	0.12	0.12	780	2.0	97
10.8	LOW	0.15	0.16	0.15	770	2.8	91
8.4	HIGH	0.15	0.15	0.14	770	2.4	70
* 8.6	LOW	0.14	0.15	0.14	600	2.4	88
6.1	HIGH	0.14	0.15	0.13	990	2.6	62
6.1	LOW	0.24	0.26	0.22	1020	3.0	61

注：濃度は各測定箇所の平均値である。*印の場合の測定中、2と3階の窓が1箇所ずつ開いていたので、各濃度は閉じている時より低い値になっていると思われる。各濃度の測定高さは、床上1.0mである。

表-3 粉じん, CO₂, CO 濃度測定値

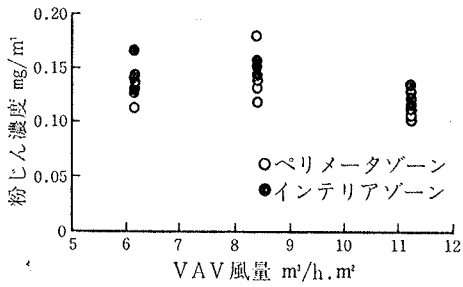


図-3 VAV 吹出し風量と室内粉じん濃度の関係

いてまとめ、整理をしてある。

5. おわりに

VAV 方式の吹出し風量を変化させた場

合の温度、気流分布、室内環境測定、室内環境に対するアンケート調査を行なった。この調査結果から次のことが判明した。

(1) 吹出し風量を絞った場合でも室内の温度と気流の分布は良好である。

(2) 吹出し風量を絞るにしたがって室内の粉じん濃度は増加する。粉じん濃度から考察して、最少吹出し風量は、ファンコイルユニットの運転状態、ゾーン等の影響にもよるが、約 6~8 m³/h.m² 程度と言える。

ファンコイルユニットの運転はファン回転数が HIGH の方が、また建物外周部の方が粉じん濃度は低くなる。CO₂、CO 濃度に関しては、VAV の風量を絞っても、VAV の吹出し風量がこの建物の必要十分な外気量より大であるので、問題にはならない。

(3) VAV 吹出し風量を絞れば、当然粉じん濃度は増加するが、アンケート調査からは、室内環境が悪くなると感じる人は増加していない。温度、湿度、気流の状態が満足されていれば、VAV 風量と人体での感じ方は相関がないと考えられる。

(4) VAV 方式では最少吹出し風量が少ない方が、ファン動力の点からは省エネルギーとなり有利である。しかし、その風量は、この建物の如く外周部にファンコイルユニットを設置し、内部を VAV 方式とする場合には、最少吹出し風量は温度、気流分布ではなく、粉じん濃度から決定される。

(5) 粉じん濃度は在室人員、室内での人の動きなどによって異なる。したがって VAV 方式においては室内の粉じん濃度を検出して、最少吹出し風量を制御するのも省エネルギーを計るのに良い方法と考えられる。

熱負荷の点からは VAV 吹出し風量は中間期から冬期

風量 m³/h.m²	調査項目	調査結果				
		かなり良好	比較的良好	やや悪い	かなり悪い	その他
11.2	室温	6	53	23	9	1
	気流状態	気にならない 72		気になる時もある 15	8	3
	空気の汚れ	気にならない 32	気になる時もある 30	時々気になる 17	気になる 21	1
8.4	室温	7	52	32	9	0
	気流状態	気にならない 82		気になる時もある 11	5	0
	空気の汚れ	気にならない 36	気になる時もある 30	時々気になる 20	気になる 12	2
6.1	室温	15	54	20	7	4
	気流状態	気にならない 71		気になる時もある 15	10	2
	空気の汚れ	気にならない 44	気になる時もある 27	時々気になる 17	気になる 10	2

注：ファンコイルユニット風量セットはHIGHである。斜線部：どちらとも云えない。

表-4 VAV の吹出し風量に対する室内環境のアンケート調査 (%)

にかけては最少風量でよく、しかもこの最少風量の設定により、ファン動力は大幅に変動する⁴⁾。この風量が粉じん濃度によって決定される場合には粉じん濃度の基準を越えない範囲で、最少吹出し風量を決定していく制御が有効である。

謝辞

この研究は東海大学工学部建築学科松本敏男助教授との共同研究により行なわれたものである。測定は松本助教授の研究室の学生諸氏により行なわれた。常時熱心にご指導ご協力を賜った松本助教授に深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 松本敏男：VAV 方式における省エネルギー，空気調和・衛生工学，Vol. 56, No. 9, (昭和57.9), pp. 835~844
- 2) 田中辰明，岡 建雄，渡辺真知子：超省エネルギービル（大林組技術研究所本館）における室内環境調査（その1）—夏季における測定とアンケート調査—大林組技術研究所報，No. 27, (1983), pp. 1~5
- 3) 田中辰明，岡 建雄，渡辺真知子：超省エネルギービル（大林組技術研究所本館）における室内環境調査（その2）—冬季における測定とアンケート調査—大林組技術研究所報，No. 28, (1984), pp. 6~10
- 4) 松本敏男：VAV 方式の制御運転方式に関する研究，空気調和・衛生工学会 学術講演会 講演論文集，(昭和 55.10)
- 5) 松本敏男，田中辰明，岡 建雄：VAV 方式における室内環境の実測，空気調和・衛生工学会 学術講演会 講演論文集，(昭和59.10), pp. 457~460