

7. 空気調和設備における送風機の変風量制御

7.1 適用

空気調和設備の自動制御技術のうち、空調二次側システム（主に空調機）を対象とした変風量制御の性能試験法を定める。変風量制御とは、空調機の省エネルギー化を主たる目的として、空調を行う室内の熱負荷に応じて、空調機から室内へ供給する風量および温度を変化させ、設定室温に保つ制御である。

対象とするシステムの範囲を図 7.1.1 に示す。本章では、負荷等に応じて自動的に風量に変化する制御のみを対象とし、給気風量を手動インバータで調整する方式は対象とはしない。

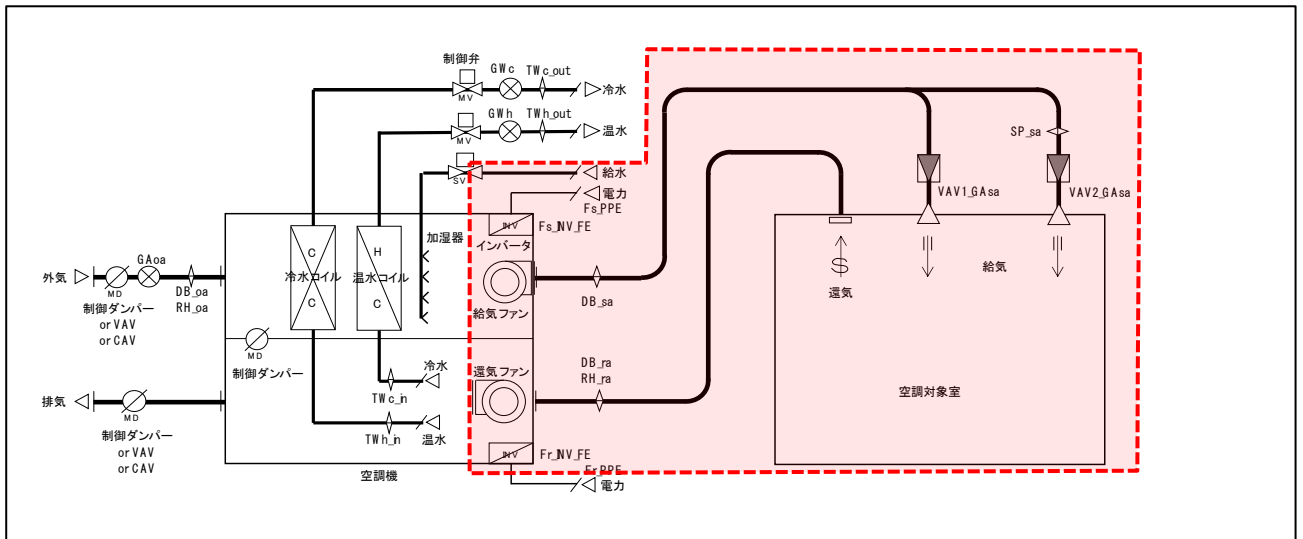


図 7.1.1 対象とする空調二次側システムの範囲

7.2 引用規格・参考文献

- 1) CIBSE, Industry Code AM3, UK
- 2) ES 5695/2006 = EN13779/2004
- 3) ES 5821/2007 = EN13053
- 4) ES 6409/2007 = EN 1886/1998
- 5) ES 6474/2008 = EN1751
- 6) ES 6481/2008 = EN13030/2001
- 7) ES 6602/2008 = EN12792
- 8) ES 7177/2010 = BS EN 12239/2001
- 9) 空気調和・衛生工学会：設備システムに関するエネルギー性能計測マニュアル
- 10) NPO 法人建築設備コミショニング協会：建築設備性能検証マニュアル
- 11) 一般社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会：ビルエネルギー総合管理手法
- 12) 空気調和・衛生工学便覧 3 空気調和設備編（第14版）

7.3 用語の定義

7.3.1 変風量制御（変風量方式、Variable Air Volume System）

空調対象室の熱負荷の変動に応じて、給気風量を変化させる自動制御システム。一つのシステムに複数の VAV（変風量）ユニット、CAV（定風量）ユニットを配置することが一般的であり、ユニットごとに吹き出し風量を制御する。給気風量一定方式に比べ、年間の送風動力を大きく減ずることができる。換気のための最小給気量を確保することが必要である。

7.3.2 VAV (Variable Air Volume) ユニット

変風量制御を実現するための風量制御ユニットであり、内蔵されたアクチュエータでモーターダンパを動かし風量を変化させることができる。

7.3.3 CAV (Constant Air Volume) ユニット

通過風量を一定に保つために使用するユニットで、前後の差圧変動にかかわらず風量が変わらない特性を有する。自力式の CAV ユニット専用のもので、風量センサーをもつ VAV ユニットを一定風量として使用したものがある。

7.3.4 MD (Motorized Damper)

ダクトや空調機器に設け、風量を自動的に制御するためにモータを駆動機としたダンパ。

7.3.5 INV (Inverter、インバータ)

可変電圧可変周波数装置で送風機を駆動するモータの回転数を出力周波数により制御する。

7.3.6 ATF (Air Transport Factor)

空調する室の除去熱量と、給気および還気用送風機の入力電力（熱量換算値）との比。送風動力の省エネルギーの指標である。略して ATF と表記する。

7.3.7 室内顕熱負荷

室温を常時一定に保つために必要な供給熱量。透過日射、窓・外壁・内壁貫流熱、すきま風、内部発熱による顕熱負荷が含まれる。

7.3.8 設計最大風量

設計で求められた、冷暖房対象空間の室温を常時一定に保つための室内顕熱負荷を処理するために必要な最大給気量。

7.3.9 最小風量

冷暖房対象空間に必要な換気量を確保するための給気量。

7.4 記号等

本章で使用する記号等を表 7.4.1 に定義する。

表 7.4.1 記号等の定義

記号	データ項目	単位
θ_w	水温 (c : 冷水、h : 温水、in : 入口、out : 出口)	°C
Vw	流量 (c : 冷水、h : 温水)	m ³ /h
θ_a	乾球温度 (sa : 給気、ra : 還気、oa : 外気)	°C
RH	相対湿度 (sa : 給気、ra : 還気、oa : 外気)	%
VAVn	可変風量装置 (CAV : 定風量を含む)	—
GA	風量 (sa : 給気、ra : 還気、oa : 外気)	m ³ /h
E	消費電力量 (Fs : 給気ファン、Fr : 還気ファン)	kWh
F	インバータ周波数 (s_INV : 給気ファン、r_INV : 還気ファン)	Hz
Pa	ダクト内静圧 (sa : 給気)	Pa

7.5 制御方式

変风量制御のうち、表 7.5.1 に示す制御方式を対象とする。

表 7.5.1 対象とする空調機风量制御の種類

タイプ	VAV ユニット	ファン回転数制御の有無 および方式	給気温度設定値 自動リセットの有無
タイプ A		■	■
タイプ B	■	■ (静圧一定方式)	
タイプ C	■	■ (静圧一定方式)	■
タイプ D	■	■ (VAV ユニット要求风量方式)	
タイプ E	■	■ (VAV ユニット要求风量方式)	■

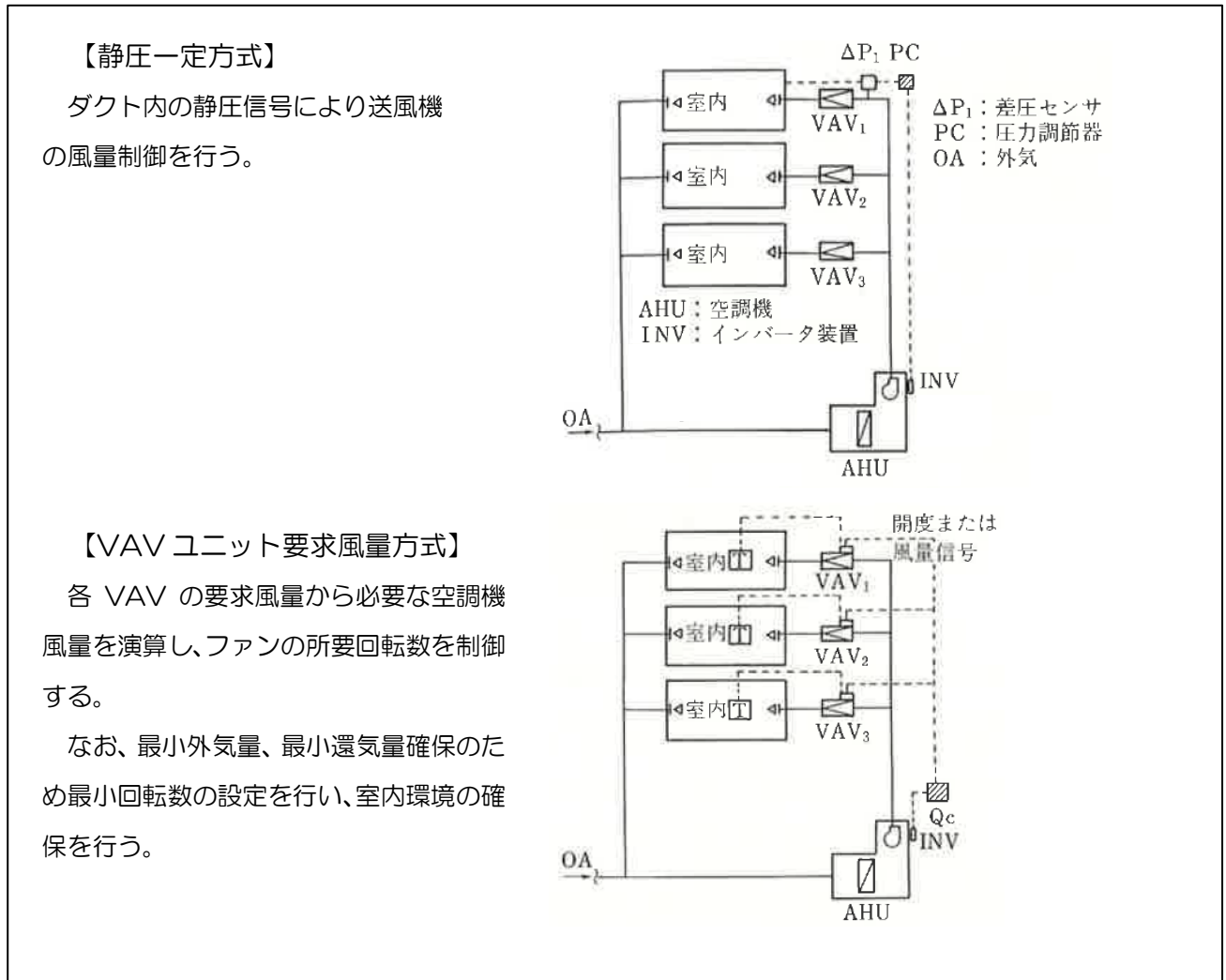


図 7.5.1 ファン回転数制御の方式 [参考文献 12]

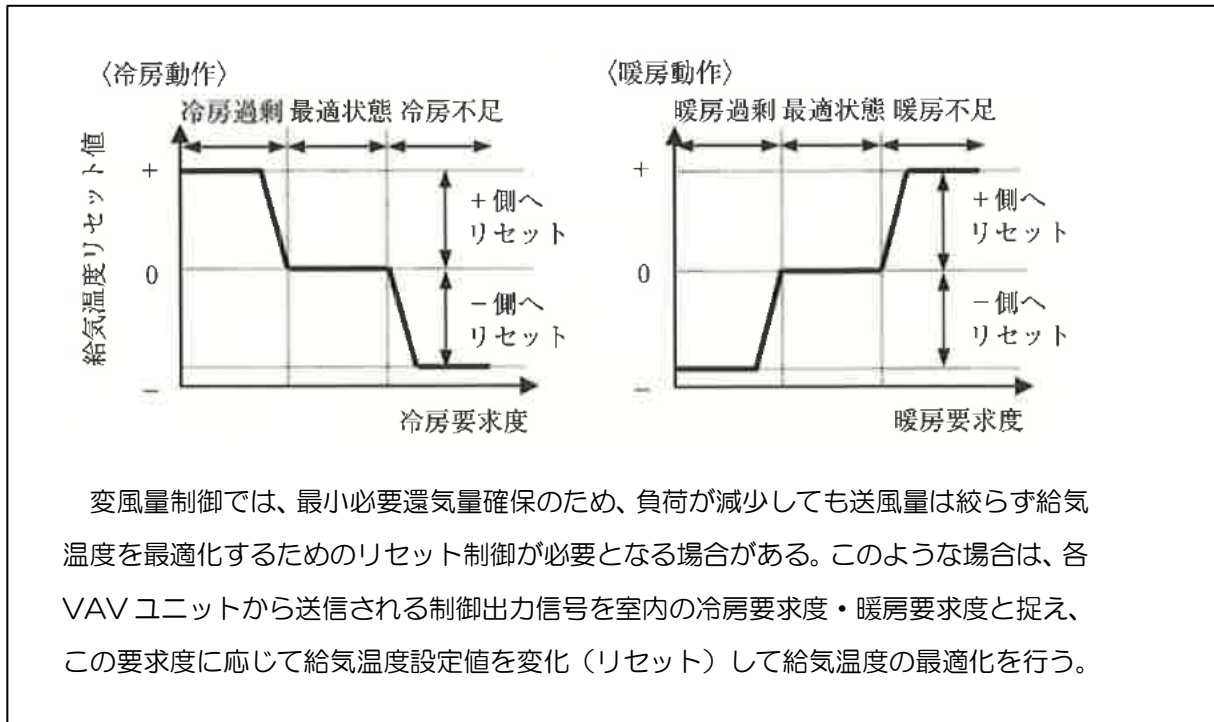


図 7.5.2 給気温度設定値の自動リセットの方式 [参考文献 12]

7.6 性能試験のフロー

空調機の変風量制御の性能試験は、次の3つの試験から構成される。

TEST-1：給気ダクト静圧と送風量との関係の検証

TEST-2：VAV ユニット要求風量と送風量との関係の検証

TEST-3：送風量と給気温度との関係の検証

7.7 システム性能要件に関する情報

性能試験を実施するために必要な情報として、次の資料を用意する。

7.7.1 設計図書等

- ・ 機器リスト
- ・ 系統図
- ・ 空調機ファン特性

記号(名称)	型式	風量		圧力損失		動力		変風量ユニット		1階		2階		3階		4階		5階		6階		7階		8階		備考
		前風量 [m³/h]	送風量 [m³/h]	外気量 [m³/h]	静圧差 [Pa]	全圧差 [Pa]	台数	1階		2階		3階		4階		5階		6階		7階		8階				
								機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	機 室							
																				機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	機 室	
AC-1000-1F	変風コンパクト形	7,000	9,000	1,600	48.1	11	8	21.0	20.0	19.2	14.7	11.2	10.0	8.4	13.9	10.0	7.5	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	1.0	1F-1F 機械室1	
AC-1000-2F	変風コンパクト形	5,000	3,800	1,140	32.0	48	6	25.0	20.0	15.7	14.7	11.4	10.0	25.0	13.0	10.0	7.5	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	1.0	1F-1F 機械室2	
AC-1000-3F	変風コンパクト形	4,000	4,000	~3,000	13.7	20	4	20.0	18.7	16.4	15.4	22.0	13.0	30.0	16.0	10.0	7.5	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	1.0	1F-1F 機械室3	
AC-1000-4F	変風コンパクト形	4,100	350	3,750	37.0	54	6	28.3	21.0	13.5	12.5	16.0	10.2	25.0	13.0	10.0	7.5	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	1.0	1F-1F 機械室4	

図 7.7.1 機器リストの例（空調機・変風量 (VAV) ユニットのみの抜粋)

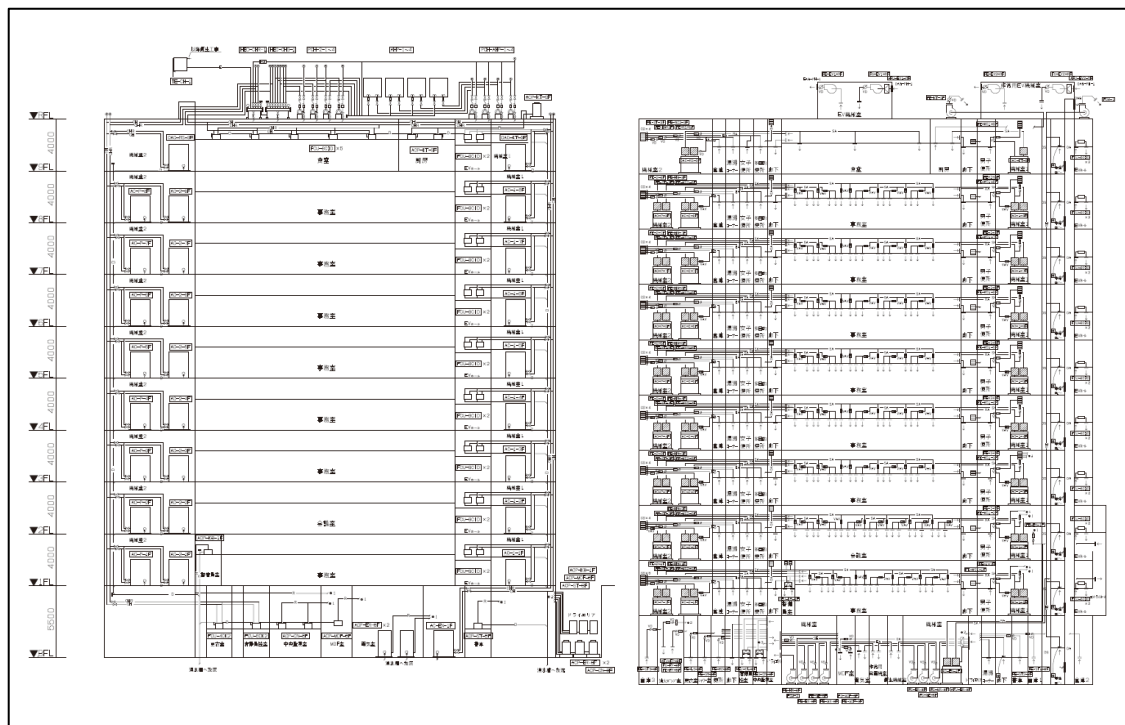
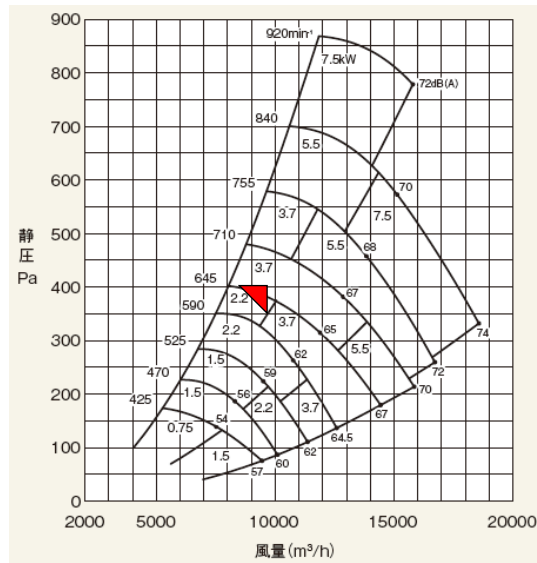


図 7.7.2 配管・ダクト系統図の例



代表性能曲線
PERFORMANCE CURVE

機名 31/2SRM4 MODEL NO. 31/2SRM4 周波数 50 Hz 出力 3.7 kW
 電動機定格 200 V, 15.6 A, 1460 min⁻¹ MOTOR RATING 400 V, 7.8 A, 1460 min⁻¹ 形式 全部扇形 Type 1, 2, 3, 4 本図はEPA標準電動機を使用した場合のデータです

番号 TEST NO.	送風機 FAN				三相誘導電動機 MOTOR								騒音(1.5m) NOISE LEVEL	
	風量 CAPACITY m³/min	静圧 STATIC PRESS. Pa	全圧 TOTAL PRESS. Pa	効率 EFF. %	電圧 CURRENT A	入力 INPUT kW	効率 EFF. %	電圧 CURRENT A	入力 INPUT kW	効率 EFF. %	出力 OUTPUT kW	騒音 SUBJ.ION dB(A)	周辺 AMBIENT dB(A)	
1	0.0	547	547	0.0	8.44	0.928	80.6	4.225	0.928	80.6	0.748	75.0	65.0	
2	55.0	421	427	42.0	8.69	1.117	83.4	4.347	1.117	83.4	0.932	70.0	60.0	
3	110.4	408	435	57.3	9.43	1.602	87.3	4.718	1.602	87.3	1.398	70.5	61.0	
4	166.1	372	435	57.5	10.85	2.341	89.3	5.426	2.341	89.3	2.091	73.0	64.0	
5	221.6	247	359	46.8	12.69	3.142	89.7	6.348	3.142	89.7	2.821	75.5	66.0	
6	272.5	55	222	27.4	15.25	4.115	89.4	7.625	4.115	89.4	3.679	81.0	70.0	

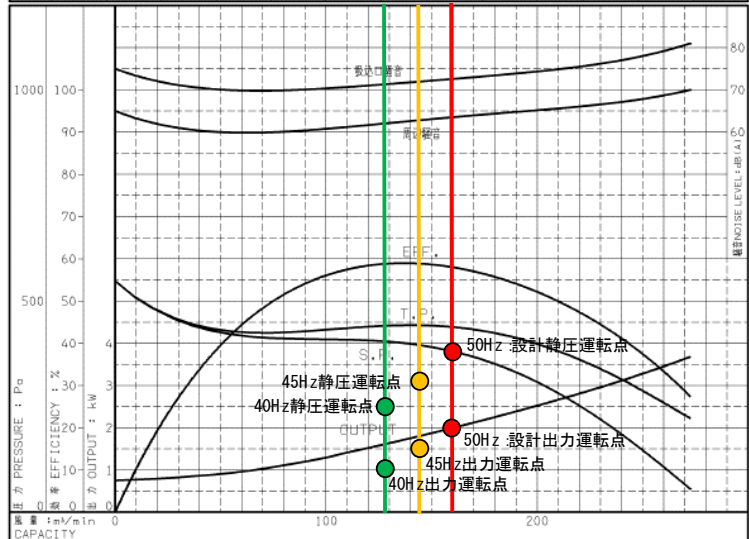


図 7.7.3 空調機ファン特性の例

7.7.2 納入仕様書等

- ・ 機器納入仕様書
- ・ 自動制御納入仕様書
- ・ 制御パラメータ設定リスト

機器番号	系統	風量 SA/RA m³/h	機外 静圧 Pa	動力 種類 KW	コイル 上段U kW 下段L kW	フィルタ プレ/メイン 種類 kg/h	加湿 種類 kg/h	防振 ファン/本体	付属 制御	台数	設置場所		
空気調和機 <共通特記事項> 1 インバータはSUS304製とし、パイパス回路と併せて空機組み込みとする(組立型のINVは電気へ支給)。 2 ドレンパンはSUS304製とし、排水管接続口径は25mm以上とする。 3 コイルの通過風速は、3.0m/s以下とする。フィルタの通過風速は、3.0m/s以下とする。 4 送風機静圧は、機外静圧とする。 5 フィルタ予備品は、全量の10% (各タイプ別) を見込む。 6 高送風タイプは、標準機種対比で機側-6dBの消音性能をもつものとする。 7 ファンモーターは、改正省エネ法に適合する高効率タイプとする。JIS-4241準拠 (容量から該当品がない場合は除く) 8 加湿エリミネータは飽和効率80%以上を選定する。 9 コイルは冷水温水4管式とする。 10 空調機には自動制御用パネルの組み付けスペースおよび内部配線接続端子を設けるものとし、機内設置のダンパ、サーモヒューズ、フィルタ差圧、CO2計、加湿バルブなどから内部配線接続端子までの内部配線を付属とする。 11 冷水二方弁は手動開閉操作可能なタイプとし、近傍にストレーナを付属とする。 12 冷水水温度差 冷水 8.0 °C ⇒ 18.0 °C、温水 44°C ⇒ 34 °C 13 コイル耐圧は8~16Fの設置の機種は1.5MPa、17~31F・PHIFは1.0MPaとする。 14 空調機内の奥行きが1,500mmを超える機種については、コイルセクションにマリンランプを付属とする。													
組立型・コンパクト空調機													
OAC-	組立型 全外気運転												
OAC-	コンパ外型 全外気運転												
OAC-	天井型 全外気運転												
AC-	組立型 循環運転												
AC-	コンパ外型 循環運転												
EL-T-OAC-E/B2	01 B3F店舗	4,500	1300	3φ400V	3.7	40	重量法80%	気化	28 SP/ゴム	-	○ ○ ○	○ ○	1 B2 F 空調機械室
48													

図 7.7.4 制御仕様書(特記仕様書) の例

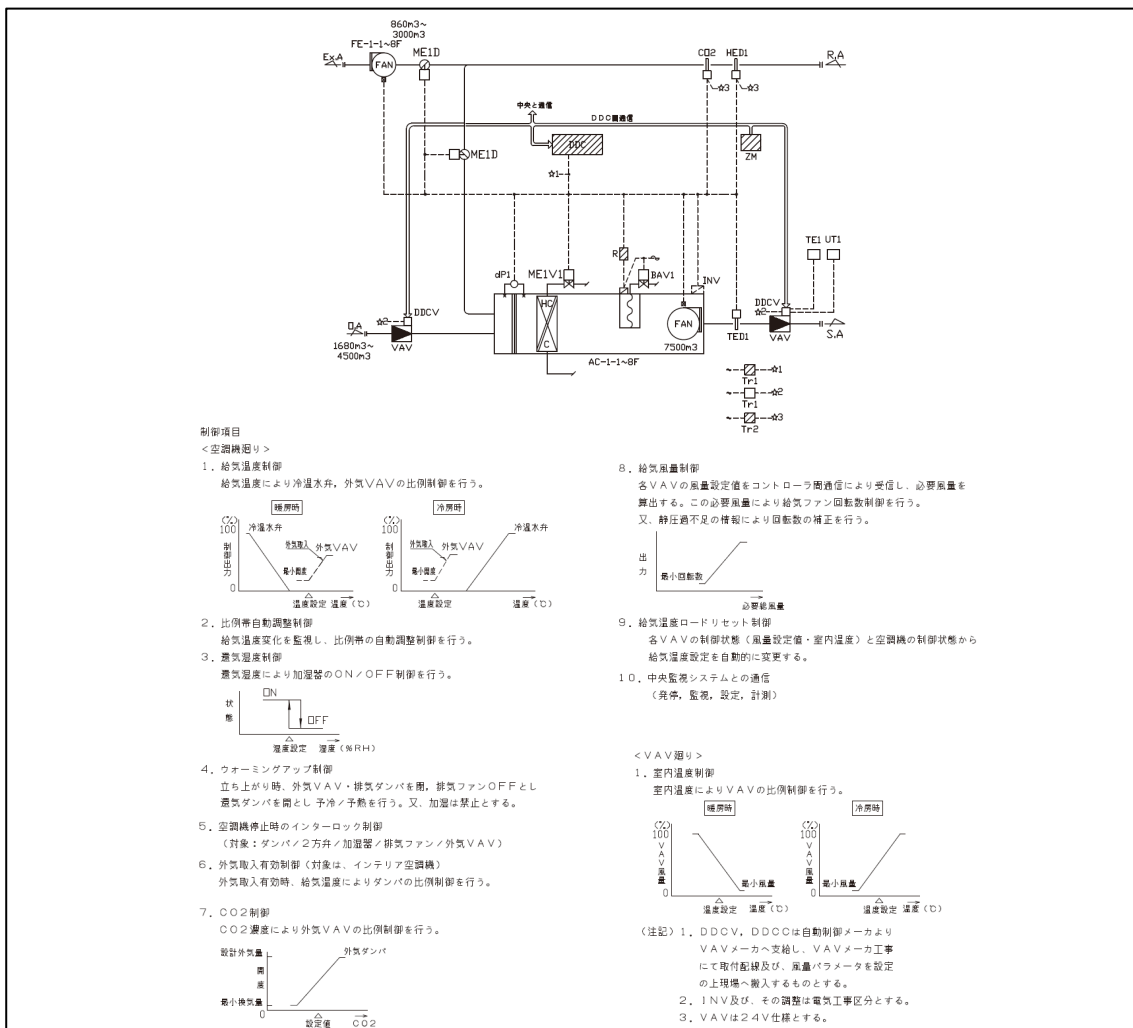


図 7.7.5 制御仕様書の例(VAVユニット要求風量制御) の例

表 7.7.1 制御パラメータ設定値一覧表の例

設計最大送風量	送風量		CMH
	給気送風機	動力	kW
		NV周波数	Hz
	還気送風機	動力	kW
NV周波数		Hz	
設計最小送風量	送風量		CMH
	給気送風機	動力	kW
		NV周波数	Hz
	還気送風機	動力	kW
NV周波数		Hz	

	名称 (対象室名)	制御装置	設計 最大)風量 (CMH)	最小風量 (CMH)
制御装置 1		VAV CAV MD		
制御装置 2		VAV CAV MD		
制御装置 3		VAV CAV MD		
制御装置 4		VAV CAV MD		
制御装置 5		VAV CAV MD		
制御装置 6		VAV CAV MD		
制御装置 7		VAV CAV MD		
制御装置 8		VAV CAV MD		
制御装置 9		VAV CAV MD		
制御装置 10		VAV CAV MD		
制御装置 11		VAV CAV MD		
制御装置 12		VAV CAV MD		

7.8 データ計測

7.8.1 必要となるデータ

各テストを実施するために必要となるデータを表 7.8.1 に示す。

表 7.8.1 性能試験に必要な計測データ

必要データ テスト	空調機運転状態	給気ダクト静圧	給気風量 (ファンINV 周波数)	VAV ユニット要求風量	給気温度
TEST-1：給気ダクト静圧と送風量との関係の検証	■	■	■		
TEST-2：VAV ユニット要求風量と送風量の関係の検証	■		■	■	
TEST-3：送風量と給気温度の関係の検証	■		■		■

7.8.2 データ収集

必要データは、計測計量計画に基づく計測器または仮設計測器を通じて収集する。

- 給気風量：INV 周波数設定信号から送風機回転数を求め、送風機性能曲線（機器完成図書）より送風量を読み取る。あるいは、対象空調機系統の全 VAV ユニット風量、CAV ユニット風量の合計値とする。
- 送風機動力：該当送風機の電力量計の出力信号より積算電力量データを収集し、計測時間間隔に合わせその時間間隔での電力量とする。
- 給気温度、還気温度：中央監視盤からの瞬時値を読み取り、計測時間間隔に合わせその時間間隔での平均値を算出する。
- 給気ダクト静圧：中央監視盤からの瞬時値を読み取り、計測時間間隔に合わせその時間間隔での平均値を算出する。
- VAV ユニット風量：対象空調機系統の全 VAV ユニットの計測風量を中央監視盤からの瞬時値を読み取り、計測時間間隔に合わせその時間間隔での平均値を算出する。この風量には対象空調機系統の全 CAV ユニットの風量を加え、その風量は、中央監視盤からの瞬時値を読み取るか、中央監視での計測がない場合は完成図書の風量とする。
- VAV ユニット要求風量：対象空調機系統の全 VAV ユニットの要求風量を中央監視盤から

の瞬時値を読み取り、計測時間間隔に合わせその時間間隔での平均値を算出する。この風量には対象空調機系統の全 CAV ユニットの要求風量を加え、その風量は、中央監視盤からの瞬時値を読み取るか、中央監視での計測がない場合は完成図書風量の風量とする。

- ・ 空調運転の運転開始状態の立上り運転モード、運転終了状態の停止運転モード時の計測データは評価対象としない。

7.8.3 計測機器

各テストを実施するために必要となるデータを表 7.8.2 に示す。

表 7.8.2 計測器の条件

測定項目	単位	センサー精度	レンジ	センサーの例
温度	℃	±0.3℃	0～50℃	熱電対
湿度	%	±5%RH	0～100%	簡易湿度計
ダクト静圧	Pa	±1%	0～1000Pa	微差圧計（ダクト内と大気圧の差圧）
電力量	kWh	±2%	機器の定格消費電力による	クランプ式電力量計
風速	m/s	±3%	0.1～50m/s	簡易型熱線式風速計

7.8.4 計測時間間隔期間及び計測期間

計測時間間隔及び計測期間は、次のいずれかであるとする。

- ・ 1 時間間隔のデータを 1 年間連続して計測する。
 - 中央監視装置によるデータが利用できる場合等
- ・ 1 分間隔のデータを、次に示す時期に 1 週間程度連続して計測する。
 - 夏期（7 月下旬などの冷房負荷が大きい時期）
 - 中間期（10 月上旬などの冷房負荷が小さい時期）
 - 冬期（1 月下旬などの暖房負荷が大きい時期）

7.9 試験方法

7.9.1 TEST-1 給気ダクト静圧と送風量との関係の検証 (タイプ B、C)

このテストでは、空調機の給気風量と給気ダクト静圧の関係を検証する。

STEP 1) データの収集

各空調機について、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 空調機運転状態 (ON-OFF)
- ・ 給気ダクト静圧
- ・ 空調機の給気風量
 - 風量の計測がされていない場合は、ファンインバータ周波数から推定する。

STEP 2) 給気風量と給気ダクト静圧の関係の分析

計測した給気風量と給気ダクト静圧の値を使用して、図 7.9.1 に示すグラフ (縦軸：給気ダクト静圧、横軸：送風量 (給気風量)) を作成する。

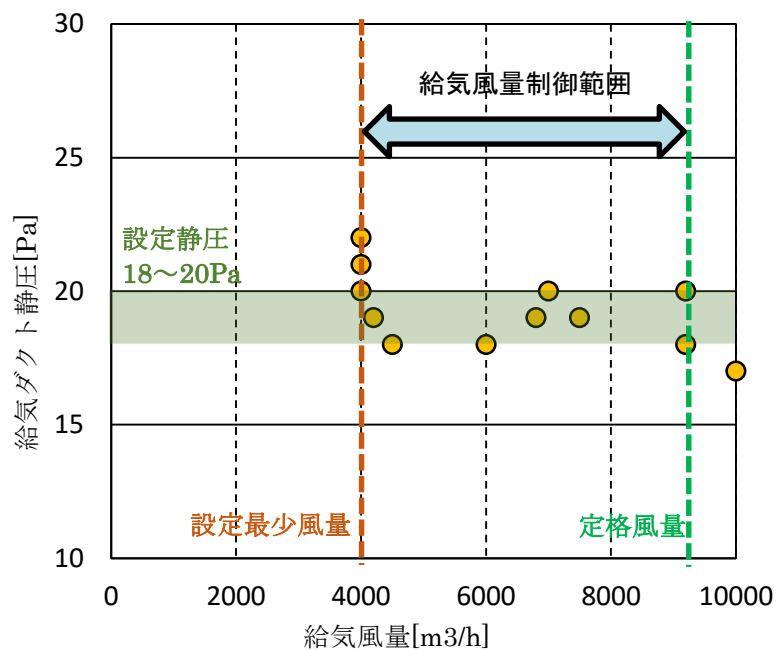


図 7.9.1 給気ダクト静圧と送風量の関係の例

STEP 3) あるべき性能の把握

「制御パラメータ設定リスト」に記載されている設定静圧を確認し、前 STEP で作成したグラフ上に記入する。

STEP 4) 性能の判断

実測データから得られた給気ダクト静圧の変化と設計時に想定した設定値を比較して、設計意図通りに動いているかどうかを判断する。特に確認すべき点を以下に示す。

- ・ 給気風量が定格風量から設定最小風量の範囲内において、給気ダクト静圧が設定静圧範囲内で制御されているか。
 - 給気風量が設定最小風量と等しい場合は、これ以上風量を絞ることができなくなり、給気ダクト静圧が設定範囲を超えて大きくなる可能性がある。従って、給気風量が設定最小風量と一致する場合のデータを除いて、計測データの 95%以上が設定静圧範囲内に収まっていれば「適」と判断する。

7.9.2 TEST-2 VAV ユニット要求風量と給気風量との関係の検証 (タイプ D、E)

このテストでは、空調機の給気風量が要求風量どおりに制御されているかを検証する。

STEP 1) データの収集

各空調機について、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 空調機運転状態 (ON-OFF)
- ・ 空調機の給気風量
 - 風量の計測がされていない場合は、ファンインバータ周波数から推定する。
- ・ VAV ユニット要求風量 (対象空調機系統の全数)
 - CAV ユニットがあれば、その風量 (計測されていない場合は完成図書の設定風量とする) も収集する。

STEP 2) VAV ユニット要求風量と給気風量の関係の分析

VAV ユニット要求風量と CAV ユニット風量の和を求め、図 7.9.2 に示すグラフ (縦軸: VAV ユニット要求風量と CAV ユニット風量の和、横軸: 空調機の給気風量) を作成する。

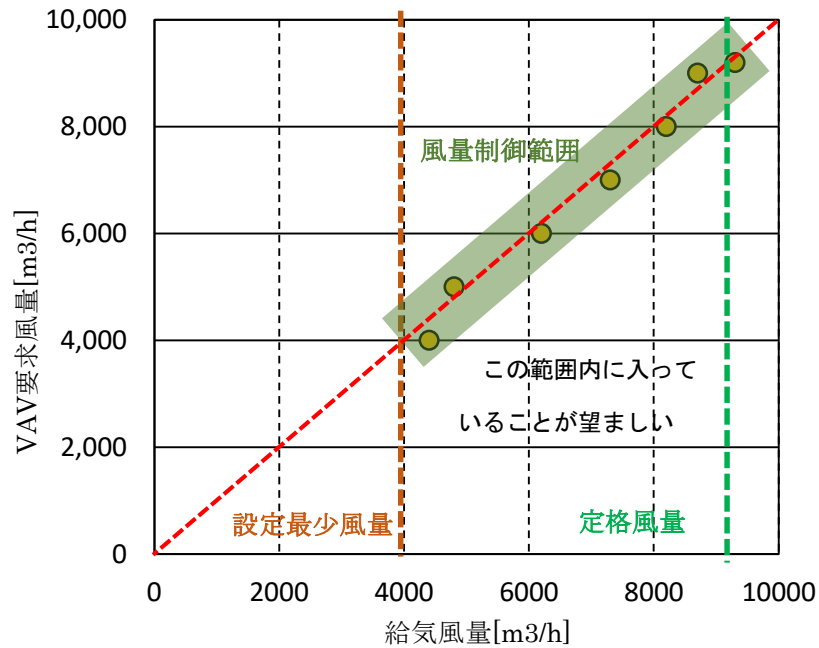


図 7.9.2 VAV ユニット要求風量と CAV ユニット風量の和と空調機の給気風量の関係の例

STEP 3) あるべき性能の把握

制御パラメータ設定リスト等に記載されている風量制御範囲、定格風量、設定最小風量を前STEPで作成したグラフ上に記入する。

STEP 4) 性能の判断

実測データから得られた要求風量と給気風量を比較して、両者に著しい差が無いことを確認する。特に確認すべき点を以下に示す。

- 空調機の給気風量が、VAV ユニット要求風量と CAV ユニット風量の和と一致しているか。
- 給気風量と要求風量の差の最大値が、定格風量の±5%以下であれば「適」と判断する。

7.9.3 TEST-3 給気風量と給気温度との関係の検証（タイプ A、C、E）

このテストでは、給気設定温度の自動リセットを行った際の空調機の給気風量と給気温度の関係を検証する。

STEP 1) データの収集

各空調機について、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 空調機運転状態（ON-OFF）
- ・ 給気温度
- ・ 給気風量
 - 風量の計測がされていない場合は、ファンインバータ周波数から推定する。

STEP 2) 給気風量と給気温度の関係の分析

給気風量と給気温度の計測値より、図 7.9.3 に示すグラフ（縦軸：給気温度、横軸：給気風量）を作成する。

- ・ 起動後 1 時間のデータ、休日のデータは分析対象外とし除外する。
- ・ 夏期と冬期では VAV ユニットの動きが異なるので、別々に作成する。（例：夏期 7～9 月、冬期 12～2 月）

また、夏期・冬期・中間期の代表日における VAV 風量と給気温度の時刻別推移を示すグラフ（縦軸：VAV 風量、給気温度、四時軸：時刻）を作成する。さらに、VAV 風量と室温偏差（室温計測値－室温設定値）の関係を示すグラフ（縦軸：室温偏差、横軸：VAV 風量）を作成する。

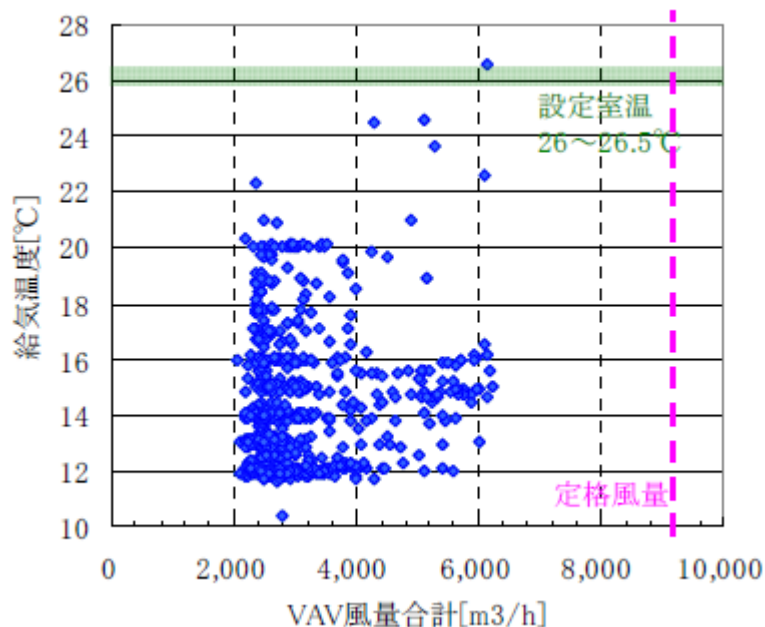


図 7.9.3 給気風量と給気温度の関係の例（冷房時）

STEP 3) あるべき性能の把握

制御パラメータ設定リスト等に記載がある給気温度最小設定値、給気温度最大設定値、定格風量、設定最小風量、室温設定値を前 STEP で作成したグラフ上に記入する。

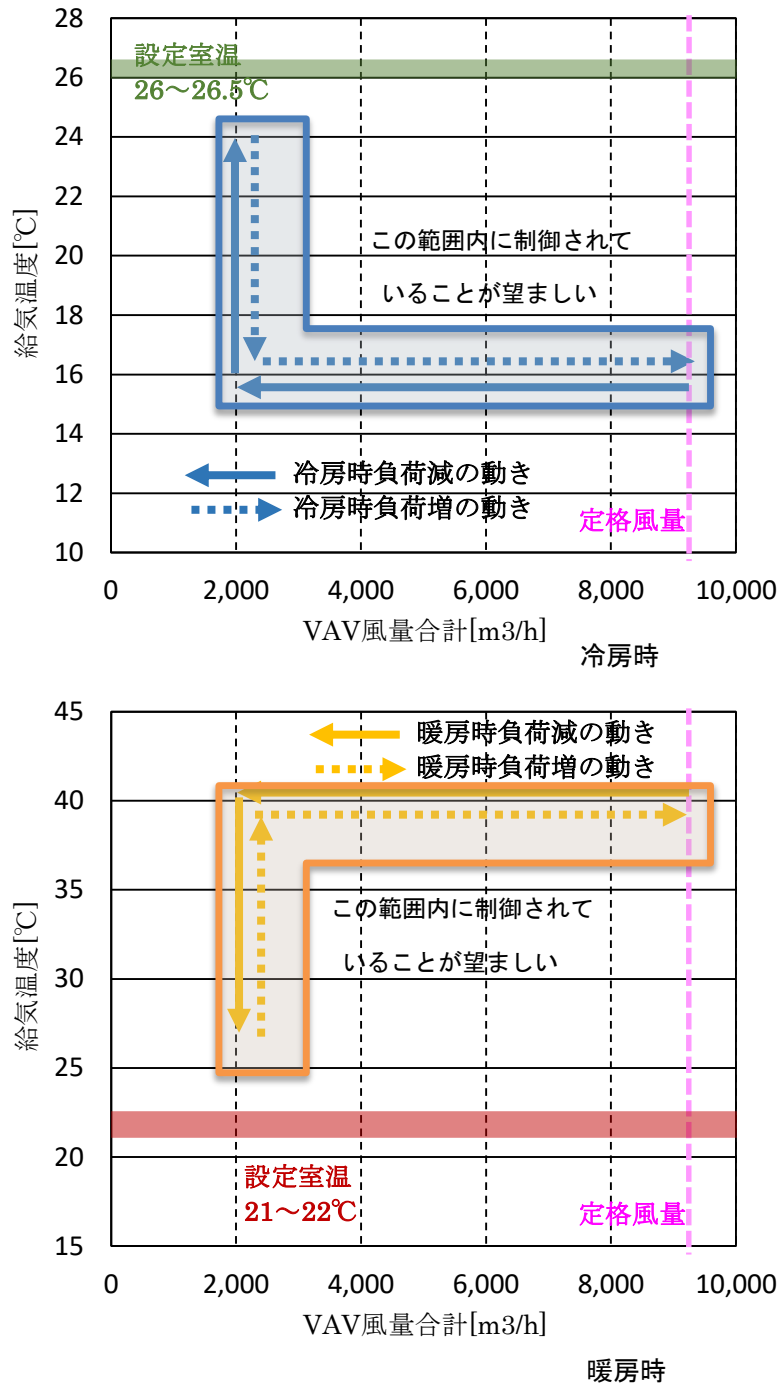


図 7.9.4 VAV 風量合計と給気温度の関係の例

STEP 4) 性能の判断

一般的に、給気設定温度の自動リセット制御が適切に機能した場合は、図 7.9.4 に示す L 字の範囲内にデータが収まるはずである。特に確認すべき点を以下に示す。

- ・ 実測データから得られた給気風量と給気温度は、図 7.9.4 に示す L 字の範囲内に収まっているかどうか。つまり、冷房の場合においては、冷房負荷が小さくなった場合、まず風量を絞って最小風量に達してから給気温度を上げるという挙動になっているか。
- ・ 定格風量を 100%として、80%~100%風量時の給気温度を抽出し、この給気温度が冷房においては最小設定値 +2℃以内、暖房においては最大設定値 - 2℃以内 に収まっているれば「適」と判断する。