

自立循環プロジェクト
VAV空調システムの実質的な省エネを実現するための
FPT法による設計・施工・調整・試験技術解説シンポジウム

FPT法による変風量空調システム(VAV空調システム)の
省エネルギー設計・施工・調整・試験方法に関する技術解説書
第1編・設計編 解説

2025年10月9日

講師: 吉田 治典
(京都大学 名誉教授・(特非)建築設備コミッショニング協会)

主催: 一般財団法人住宅・建築 SDGs 推進センター (IBECs)
後援: 特定非営利活動法人建築設備コミッショニング協会(BSCA)
一般社団法人住宅性能評価・表示協会

自立循環プロジェクトフェーズ7・8 (2021~2023年度・2024~2026年度)
P7: 建築設備の省エネ性能維持を目的とした初期調整等手法の実用化推進委員会
P8: 未評価技術の省エネルギー設計・調整・試験方法に関する検討委員会

※1 P7のみ
※2 P8のみ

委員長	吉田 治典	京都大学	委員	中山 浩 ※1	ダイキン工業株式会社
幹事/コンタクト	松下 直幹	株式会社コミッショニング企画	委員	松井 伸樹 ※2	ダイキン工業株式会社
幹事	澤地 孝男	国立研究開発法人建築研究所	委員	橋本 翔 ※1	ダイダン株式会社
幹事	赤嶺 嘉彦	国土交通省国土技術政策総合研究所	委員	玉田 義幸 ※2	ダイダン株式会社
委員	赤司 泰義	東京大学大学院	委員	鈴木 利幸 ※1	高砂熱学工業株式会社
委員	上野 貴広 ※2	北九州市立大学	委員	市川 侑 ※2	高砂熱学工業株式会社
委員	齋藤 卓三	一般社団法人住宅性能評価・表示協会	委員	長尾 祥太 ※1	東ブレ株式会社
委員	南雲 祐輝 ※1	一般財団法人ベターリビング	委員	伊藤 秀臣	東洋熱工業株式会社
委員	三浦 克弘 ※2	山口大学	委員	竹部 友久	株式会社日本設計
委員	関根 勉	アズビル株式会社	委員	今泉 潤哉 ※2	日本特殊陶業株式会社
委員	北村 義雄 ※2	株式会社NTTファシリティーズ	委員	林 義秀 ※2	パナソニック株式会社
委員	盧 炫佑 ※2	OMソーラー株式会社	委員	高田 勝	三菱電機株式会社
委員	古賀 修 ※1	関西電力株式会社	委員	齊藤 孝一郎 ※2	YKK AP株式会社
委員	三島 憲明 ※2	関西電力株式会社	委員/ワザ・バー	柳原 隆司	NPO法人建築設備コミッショニング協会
委員	矢野 美奈子 ※2	株式会社佐藤総合計画	専門委員	山田 博	NPO法人建築設備コミッショニング協会
委員	新村 浩一	三機工業株式会社	専門委員	吉原 毅	NPO法人建築設備コミッショニング協会
委員	塚本 将朗 ※1	新菱冷熱工業株式会社			

未評価技術に対する 省エネ評価法(FPT法)開発の背景とコミッシング

3

背景

➤ 省エネ法 VWV・VAVシステムの搬送エネルギーに関わる一次E算定法の現状

算定法の開発段階における調査（基整促36、受託者：設備工事業者4社、2011～2012年度）

- ①省エネ効果が確認できない事例が散見される
- ②省エネのための設計要件が未整備
- ③初期調整方法／機能性能試験方法が未整備

そこで、一次E算定法では安全側の（消費電力が多い）評価をしている。

→「空調負荷にポンプ・ファンの消費電力が比例する」 **圧力一定制御**



➤ 要望（ビルオーナー・設計者など）

「可変差圧制御」の効果を認めて欲しい。→ 任意評定による認定・評価など？

* 空気調和衛生工学会が出している「Webプロ(通称)」の**未評価技術**



(一財)住宅・建築SDGs推進センター (IBECs)に設置された

「建築設備の省エネ性能維持を目的とした初期調整等手法の実用化推進委員会」で手法を開発

その第一弾として、変流量二次ポンプシステム「VWVシステム」を対象

第二弾として、変風量空調システム「VAVシステム」を対象

4

認定・評価するには

- さまざまなVWV制御法・VAV制御法があるが
- 適合性判定の評価法はシンプルかつ最も安全側
- **大きな省エネ余地がある**



- **認定・評価するには？（＝課題）、どうすれば・・・**

- ・ 差圧・静圧一定制御を超える省エネ効果が得られるVWV・VAV制御の

1. 省エネ設計方法を規定する

- ・ VWV・VAV制御の省エネ効果を支えるべき初期調整が履行されないケースが少なくない

2. 初期調整・試験の手順を規定する

5

具体的には、

1) 設計方法・設計要件の規定

- ・ **性能設計によるVAV空調システムの設計方法と要件** ← **仕様設計ではない**
- ・ 初期調整・完了検査に必要な**測定ポイント・センサ要件**
- ・ **消費エネルギー推定方法**

吉田

設計性能を規定する ← OPR（発注者要件）

2) 初期調整方法と性能検証方法の規定

- ・ 設計性能を達成するための具体的な**初期調整方法**
- ・ 竣工前に設計性能を確認するため**機能性能試験法と合否判定方法**
- ・ 消費エネルギー**推定値の補正計算方法**

松下

初期調整＝機能性能試験(Functional Performance Testing:FPT)



コミショニングプロセス

6

コミッショニングとは？

- ・発注者要件（OPR : Owner's Project Requirement）を明確にして、
- ・それを達成するために、設計図書のレビュー、施工中の検査、設計変更の精査、完成したシステムの機能性能試験（Functional Performance Testing）、適正化などを行い、発注者要が求める性能を達成する品質管理プロセスである。

【ASHRAEの定義】

「プロジェクトの引き渡し（性能）を高めるために品質に重点をおいたプロセスである。このプロセスは、施設とそのシステムや部品の全てが発注者要件（OPR）を満たすように、企画・設計、施工、試験、運転、保守されていることを検証（verify）し文書化することに重点をおいている。」

7

設計フェーズ（性能設計）

- ・発注者要件書(Owner's Project Requirement)
→ どういう設計性能を目指すのか+そのための要求事項
- ・設計主旨文書
→ OPRに沿った設計主旨や意図を明確化
- ・設計図書のレビュー
→ OPRに沿った設計レビュー

施工フェーズ（機能性能試験 FPT : Functional Performance Test）

本来、コミッショニングではFPTを施工中から竣工後1～3年かけて行う

1. 機能性能試験（施工期間中）

- ・竣工前に実施する機能性能試験と調整
- ・竣工前の実負荷のかからない非運用状態で行う短期の試験と調整
- ・竣工前にできるシンプルでテンポラリな試験

2. 機能性能試験（竣工後1～3年）

- ・竣工後に行う機能性能試験と適正化
- ・竣工後、実負荷がかかっている最低1年実施
- ・長期の収集データを用いた試験（データ分析で判定）で適正化も実施

本FPT法では施工期間中に実施できる試験1.に限定する

8

1. はじめに
2. 用語の定義と解説

3. VAV空調システムの省エネとその課題

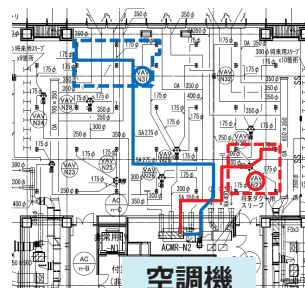
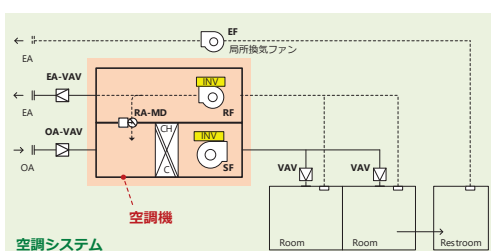
4. 対象とするVAV空調システムと省エネ評価の範囲
5. 省エネ設計法
6. FPT法によるVAV空調システムの搬送エネルギー削減計画書

11

3. VAV空調システムの省エネとその課題(1)

3.1 給気風量と圧力

- ・ ファンの消費電力は原理的に**風量×圧力にほぼ比例**する。
- ・ VAVでは風量制御による省エネがクローズアップされるが、**圧力も同じインパクトをもつ**
 - **圧力は軽視されがち**
 - **圧力が高くても室内環境には影響しないので注目されない**
- ・ VAVユニットの**適正開度信号に基づいてファン回転数（風量・圧力）を制御**する方法が登場
 - **必要最小限の圧力に制御**することが以前より適切にできるようになった
 - しかし、**複数VAVユニットからの増減要求に相反が生じる**こともあり課題はある



	施工図名称	BASサマリ名称	圧力感しい系統
AHU系統名	AC-11-C	同左	—
VAV系統名 (インテ)	VAV-N23	11-C-1	2番目に厳しい
	VAV-N24	11-C-2	
	VAV-N25	11-C-3	
	VAV-N26	11-C-4	
	VAV-N27	11-C-5	○
	VAV-N28	11-C-6	
	VAV-N29	11-C-7	
	VAV-N30	11-C-8	
VAV系統名 (ペリ)	VAV-N31	11-C-9	○
	VAV-N32	11-C-10	

12

3. VAV空調システムの省エネとその課題(2)

3.2 給気風量と給気温度

- 給気温度の制御（**給気温度リセット制御**）は搬送動力の省エネに深く関係
→ この制御が不適切で**過大風量**となる**非省エネ運転**がしばしばみられる
- 最適なのは**L字制御**（通称） ただし**冷風モード時**

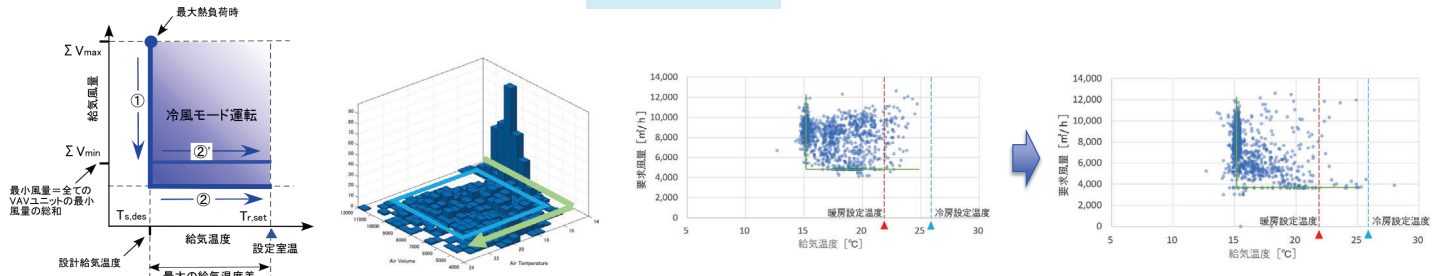


図 L字制御の概念図（注：給気温度の軸は右図と左図とで逆）

図 VAV制御の調整前と調整後の給気温度と風量の発生散布図

しかし、VAVの最小風量を意図的に風量を多くして設計することもある。例えば、

- 低風量時の空気の停滞感や室内の温度ムラが生じることを防ぐ
- CO2濃度など室の空気質を適切に維持するための風量を確保する
- 制気口に結露が生じないようにするために冷風時の給気温度を高くする

13

3. VAV空調システムの省エネとその課題(3)

3.3 熱負荷性状の異なる複数室の室温制御

- 本来VAV空調システムは様々な熱負荷変動に対して適応性が高い、しかし、
- 例えば、大面積の事務室系統に不定期に使用する会議室や内部発熱が少ない役員室などが併存
→ 両者の熱負荷性状が大きく異なるため給気温度制御が適切に稼働せず
室の過冷却や過熱の状態が生じることがある
- VAVシステムといえども適切なゾーニングが必要**

3.4 給気・還気・排気・取入外気のエアバランス

- 空調系統の**エアバランスが崩れると**、以下のような不具合が生じることがある
 - 新鮮空気量や換気量が不足して空気環境が悪化
 - 新鮮空気が過剰になって空調機の処理熱量が増え非省エネ
 - 室やゾーンの室内圧力と外界圧力の差が大きくなり過ぎて室への漏気が増え非省エネ
 - 階段や廊下など非空調ゾーンから想定外の空気流入出が生じ非省エネ
- **エアバランスへの設計配慮が不可欠**

14

3. VAV空調システムの省エネとその課題(4)

3.5 室温制御と空気質

- ・ VAVシステムで制御できるのは室温のみ
→ 各室の湿度、CO2濃度などの厳密な制御はできない
-
- ・ 各室の空気質（CO2濃度等）の個別制御が必要なら別途ダクトが必要
- ・ 空気環境維持のため温度差を小さくして風量を多めに供給するような設計をすると非省エネ

15

3. VAV空調システムの省エネとその課題(5)

3.6 暖房とVAVシステム

- ・ VAV空調システムは冷房用として開発されたシステム
- ・ 暖房時には次のような不具合発生の可能性がある（基本ペリメータゾーンで発生する）

- 供給風量が減ったときに上下温度分布が大きくなり居住域の気温が不適切になる
- 室の利用度が増すと人や照明・事務機からの内部発熱が増えて暖房負荷が減り供給風量は少なくなるが、人が増えるので空気質維持のために風量を増やす必要がある → 矛盾
- 冷房要求が生じる室が発生することがある → 過熱状態になる

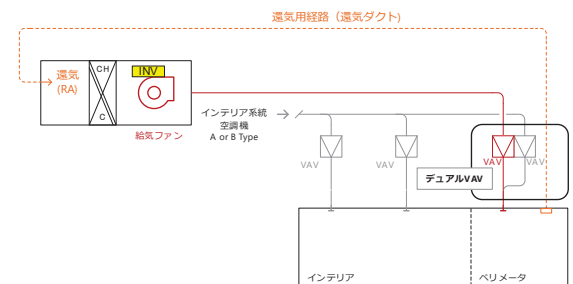
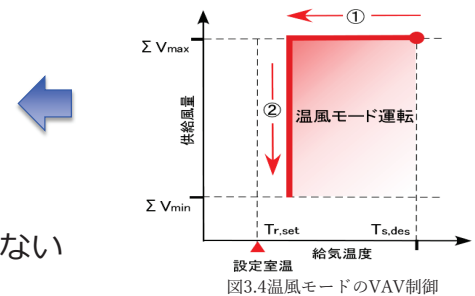
- ・ これを防ぐため例えば下記のような設計対応が必要
 - 熱負荷処理をする別のシステム（例えばファンコイルなど）を設ける
 - 末端にレヒータを設けて各室への給気温度を変えられるようにする
 - 上限温度差を防止するように給気温度を制御する
 - ペリメータレス化する

16

3. VAV空調システムの省エネとその課題(6)

3.6 暖房とVAVシステム

- ・ 温風モードでは上下温度分布の解消のために熱負荷が減っても供給風量を減らさないという制御（逆L字制御）がなされる
- ・ 温風モードでは搬送動力の削減効果が少ない。
→ **温風モード時の搬送動力の削減は評価しない**
- ・ 同一システムのシステムでは冷房か暖房かどちらかしか対応できない
→ 最近、暖房モードのペリメータ系統と冷房モードのインテリア系統のVAVユニットを併設した「**デュアルVAVユニット**」を設置し、冷暖両方の要求を満たすことができるようにする工夫がみられる



17

1. はじめに
2. 用語の定義と解説
3. VAV空調システムの省エネとその課題

4. 対象とするVAV空調システムと省エネ評価の範囲

5. 省エネ設計法
6. FPT法によるVAV空調システムの搬送エネルギー削減計画書

18

対象システム要件(1)

【システム要件】

1) 空気循環方式

- ・ 給気用制気口が空調室の高所にあるような空気循環方式のVAVシステムを対象
- ・ **床吹出空調方式は対象外** → 暖房時に上下温度分布が付きやすく小風量運転が困難
→ 暖房時の搬送動力削減は評価の対象としない

2) 給気ファンの回転数制御

- ・ 給気ファンの回転数は各VAVの要求風量を積算した**全供給風量とVAVユニットの開度情報**に基づいて制御する機構とする

3) 各室・各ゾーン（以下、各室という）への給気量制御

- ・ VAVユニットの給気量は設定室温により制御する
- ・ 共用部分などの給気には**CAVユニットを併設**してもよい。

4) 還気ファンの回転数制御

- ・ 還気ファンを有する場合は、**エアバランスの適切な維持**を図るために給気ファンの回転数制御の情報と連携して回転数制御を行う。

19

対象システム要件(1)

【システム要件】

5) 局所排気ファン

- ・ 空調ゾーンやトイレなどの非空調空間の**局所排気ファンは原則として固定回転数**とする
→ **外気導入量と連動して可変とする場合**はファンの回転数制御やVAVユニットによってエアバランスを取るように制御
- ・ 複数のVAV空調システムに対して**共用となる局所排気ファン**の場合
→ 運用時間外に一部の空調機が停止された場合の**エアバランスに配慮した制御法**を採用

6) 外気取入量

- ・ 空調対象室の空気質の維持のためとトイレなどの局所換気を考慮した外気取入風量とする
- ・ 外気取入れは次のような方法がある
 - a. 外気ガラリと空調機を直接ダクトで接続する
 - b. ダクト圧損が大きいために外気取入用の給気ファンを別に設ける
 - c. 外調機に接続したダクトで供給する
- ・ いずれの場合も**要求外気量が維持出来るようにVAVユニットなどの風量制御機構を設ける**

20

対象システム要件(2)

【システム要件】

7) 余剰排気ファン

- ・ 余剰空気は還気ファンの後流側からダクトで直接外界に排気する場合と、余剰空気用の排気ファンを別途設けて排気する場合とがある
- ・ いずれの場合も、**エアバランス保持のために風量を適切に制御する機構を設ける**

8) エアバランス

- ・ 上記した給気・還気・換気・外気取入のエアバランスは、ファンの回転数制御に加えて、**適切な個所にVAVやCAVユニット、MDなどを設けて制御**できるようにする

9) ペリメータゾーンのVAV

- ・ ペリメータ系統は、冬期に時間と場所によって**冷房と暖房の要求が同時に生じる**ことがある
- ・ このようなゾーンにはファンコイルなど**別途熱負荷を処理する設備**やペリメータゾーンのVAVユニットにインテリアゾーンのVAVユニットを併設し（デュアルVAVと称される）、**冷暖どちらの要求にも対応できるように考慮**することが望ましい

対象システム要件(2)

【システム要件】

10) 外気冷房

- ・ **外気冷房が可能なシステムであっても本解説書の対象**ではあるが、それが通常の冷暖房運転時の障害にならないようにする
- ・ ただし**外気冷房期間の省エネは本解説書の対象外**
→ 外気冷房による省エネは、別途、評価方法を検討予定

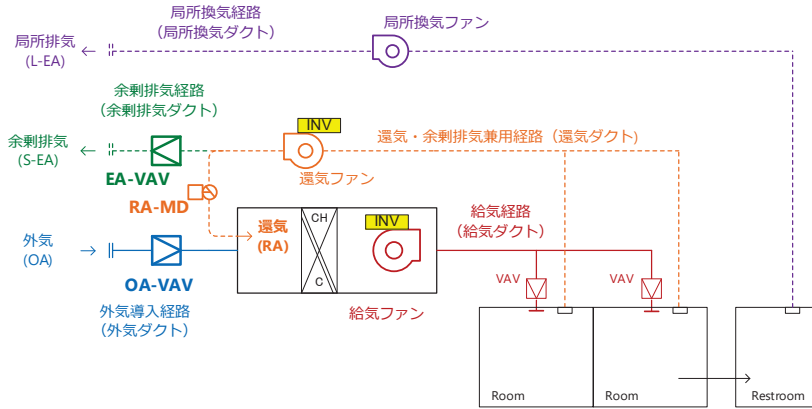
11) CO2濃度による外気風量制御

- ・ CO2濃度によって外気量を可変に制御するシステムも本解説書の対象であるが、これによる**省エネも本解説書の対象外**とする
→ CO2濃度による外気取入量削減による省エネも、別途、評価方法を検討中
- ・ 本FPT法では、外気風量を制御できるシステムであっても**設計定格風量（一定）として搬送エネルギー量を評価し初期調整も定格風量で行う**

対象とするVAV空調システム構成(1)

本FPT法が評価対象とするシステムは限定的

Type-A (基本形) 還気ファンを有するシステム

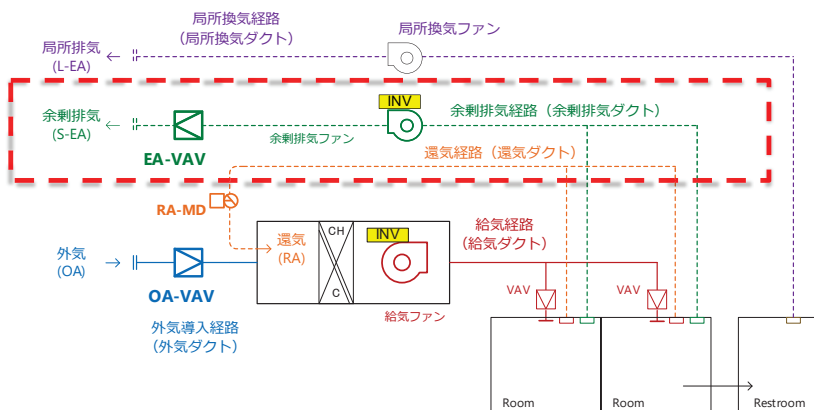


- ・ 外気 (OA) 取入風量は**OA-VAVユニットで制御**
 - 設計外気量一定
 - OA風量が可変の場合はCO2濃度により制御 (最小値は換気排気量となる)
- ・ 余剰排気ダクトには**EA-VAVユニット**を設け、 (=OA量 - 換気量) として演算した風量になるように制御
- ・ AHUへの**還気ダクト**には**MD**を設けて要求OA量が得られるように制御 (OA-MD全開時に抵抗をつける)
- ・ **局所換気ファンは (原則) 固定速**
- ・ 還気ファンが空調機に組み込まれている場合もこのTypeとする

23

対象とするVAV空調システム構成(2)

Type-B1 還気ファン無・余剰排気ファン有 + 余剰排気別経路

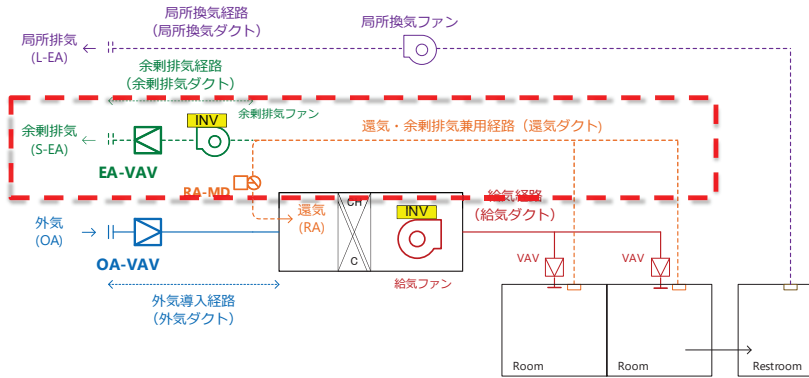


- ・ **余剰排気ダクトとファン、EA-VAVユニットを設けたシステム**
- ・ 外気 (OA) 取入れの設備と制御に関してはType-Aと同じ。
- ・ EA-VAVユニットの制御もType-Aと同じ。
- ・ AHUへの還気ダクトに設けるMDの制御もType-Aと同じ。
- ・ 局所排気ファンは固定速とする。

24

対象とするVAV空調システム構成(3)

Type-B2 還気ファン無・余剰排気ファン有+還気と余剰排気は兼用経路

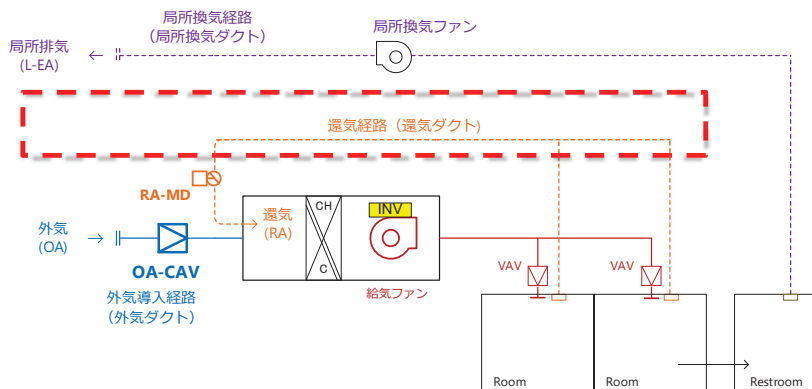


- 還気ダクトと余剰排気ダクトが兼用
- 余剰排気ファンとEA-VAVユニットとを設置
- 外気 (OA) 取入れの設備と制御に関しては Type-Aと同じ。
- EA-VAVユニットの制御もType-Aと同じ。
- AHUへの還気ダクトに設けるMDの制御も Type-Aと同じ。
- 局所排気ファンは固定速とする。

25

対象とするVAV空調システム構成(4)

Type-B3 還気ファン無・余剰排気ファン無

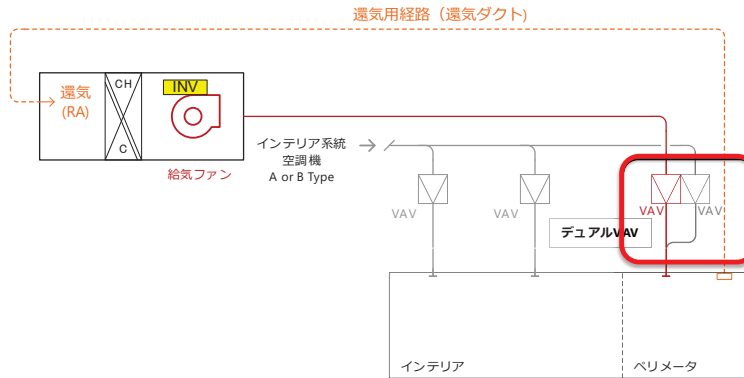


- 還気ファンも余剰排気ファンもない
- 取入外気は全て局所換気ファンで排気
- 外気導入量制御は、Type-Aと同じ
- AHUへの還気ダクトに設けるMDの制御は Type-Aと同じ。

26

対象とするVAV空調システム構成(5)

Type-C 外気取入無・還気・余剰排気・換気ファン無



・空気循環のみ

- ・ペリメータゾーン用のAHUシステムでは冷・暖の要求に対応するために**デュアルVAV**とすることがある

27

VAV空調システム構成のType分け 特徴整理

Type	還気ファン	排気ファン	余剰排気ファン	外気取入ファン	備考
A	◎可変	○固定	—	△(可変)	基本型
B1	×	○固定	◎可変(固定)	△(可変)	還気ファンなし・余剰排気ダクトあり
B2	×	○固定	◎可変(固定)	△(可変)	還気ファンなし・余剰排気ダクトなし
B3	×	◎可変(固定)	×	△(可変)	余剰排気ダクトなし
C	×	×	×	×	主としてペリメータゾーン用

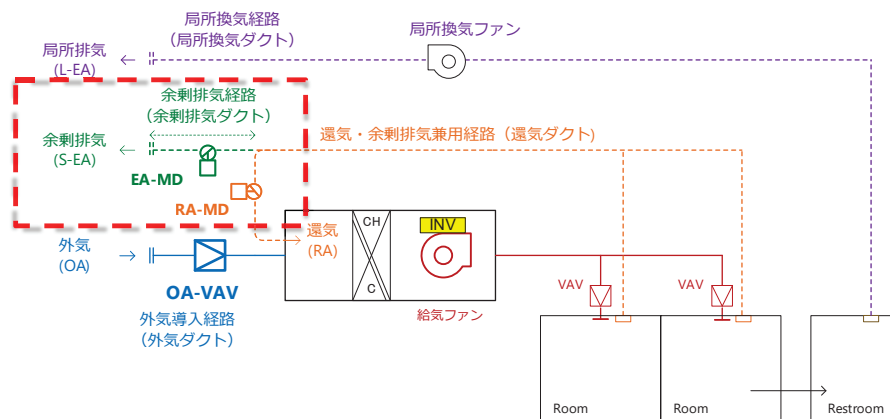
◎回転数制御あり ○回転数制御なし △設置する場合がある（原則回転数制御あり）。

➤ A、B1~3は、それぞれ外気取り入れファンを有する場合もある

28

対象外とするシステム

- ・ 還気と余剰排気のダクトが兼用のシステムで、余剰排気ファンが設置されていない**Type-B2と似た構成**のシステムが実システムに見られる
- ・ このシステムは、還気ダクトの経路が長く抵抗が大きいと外界に対する室内圧力が相当高くなるため**室からの漏気が多くなって非省エネ**となることから本FPT法では非推奨（**評価対象外**）とする



29

1. はじめに
2. 用語の定義と解説
3. VAV空調システムの省エネとその課題
4. 対象とするVAV空調システムと省エネ評価の範囲

5. 省エネ設計法 （仕様設計 → 性能設計）

6. FPT法によるVAV空調システムの搬送エネルギー削減計画書

30

5.1 ゾーニングと空調システムの構成

31

5.1 ゾーニングと空調システムの構成 (1)

5.1.1 ゾーニング

- ・ 室の熱負荷性状や利用形態による適切なゾーニングと系統分け
- ・ 特殊な熱負荷や使用条件となる会議室や役員室などがある場合
→ 制御が安定かつ適切となるように熱負荷を別途処理するための配慮

(1) 建築的配慮

- ・ ペリメータゾーンの熱負荷に大きな不均質がある場合は、
→ 庇を設ける、外壁や窓の断熱性を増す、ダブルスキンとする、などの建築的な工夫によりできる限り、時間的にも空間的にも熱負荷を均質化するように配慮

(2) 設備的配慮

- a. 使用しない室のVAVユニットが完全閉止できるようにする
- b. 熱負荷特性の異なる室はファンコイルなど別途熱処理をするシステムを設ける
- c. 冷暖房の同時発生への対応
→ デュアルVAVユニット設置など

32

5.1 ゾーニングと空調システムの構成(2)

5.1.2 システム構成

- 各ゾーンの熱負荷の特性、維持環境、種々の要求条件などにより、**A～CのシステムType**のどれが当該ゾーンに最も適するかを判断

5.1.3 最小風量設定値

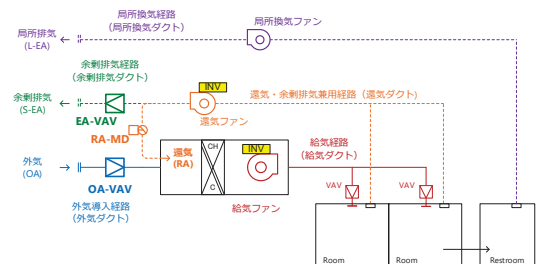
- 風量が少ないときの運転に必要な設計配慮**に言及されることが少ない
 - VAVユニットの**最小風量設定値**
 - 回転数制御を行う**給気ファン**や**還気ファン**の**最小風量**を設計で明確に規定する
- VAVユニット自体が風量調整できる最小値 = **VAVユニット供給限界最小風量** (VAV本体の風速計測限界値が該当する) → VAV定格風量の**10～20%程度**
- 必ずしもこの最小風量まで絞ることはできない。例えば、
 - 各室の環境条件 (CO2濃度など) を維持する**外気量を確保**するため
 - 室内空気の停滞感をなくすための**循環風量を確保**するため
 - 供給空気を絞ると還気ファンの風量が極少になり**ファンが振動や過熱**が起きる

33

5.1 ゾーニングと空調システムの構成(3)

5.1.3 最小風量設定値

- 設計者が**最小風量を定める**
- 例示 (Type-A～C)



【例Type_A1】各室の必要外気量を基に最小風量設定値を規定する方法

- 空調機で取り入れる外気量をVAVユニットの定格風量で按分して**各VAVユニットの最小風量設定値**を定める
- 給気ファンの最小風量**を定める
- 還気ファンの最小風量**を定める → サージング域の検討
- 局所換気ファンの(最小)風量**を定める

特質)

- 室の熱負荷が減ってVAVユニットがon-off運転の状態になると**外気導入量が不足気味の運転になることがある**

34

5.1 ゾーニングと空調システムの構成(4)

【例 Type_A2】 同一空間ゾーン内の必要外気量を基に最小風量設定値を規定する方法

- 壁で仕切られた室（同一空間ゾーン）に複数のVAVユニットがある場合は、**ゾーンが必要とするトータルの外気量を基にした制御（風量総和制御）**と呼ばれることがある）

特質)

- VAVユニットの最小風量設定値がVAVユニット供給限界最小風量にできるので**風量制御範囲が広くでき室温の制御性が良い**
- ゾーンの熱負荷が減って複数のVAVユニットがon-off運転になっても**（閉止運転する率が高くなっても）ゾーン全体では外気供給量が確保**できる
- ファンの最小風量はA1の方法よりも小風量で運転できる確率が高くなり、より**大きい搬送動力の省エネ**になる
- 局所的な過冷や過熱という不具合が減らせる

35

5.1 ゾーニングと空調システムの構成(5)

【例 Type_A3】 室の最小空気循環量を基に最小風量設定値を規定する方法

- 室空気の停滞感をなくすために、例えば、**最小風量設定値を定格風量の50%**などとして定める
- 循環空気量が多くなるので、【例-A1】のように還気ファンの最小風量を考慮する必要はほぼ生じない

特質)

- VAVユニットの風量制御範囲が狭くなるため**室温の制御性が悪い**
- 最小風量が大きいため**省エネ性が損なわれる**

【例-B～C】 省略

36

5.2 給気ダクト系とファンの設計

37

5.2 給気ダクト系とファンの設計(1)

5.2.1 VAVユニットの選定と要求事項

VAVユニットは**制御機構を付属**したものとして定義し設計する

(1) 定格風量（最大給気風量）

最大給気風量 = $Q / (\text{給気温度定格値} - \text{室内温度設計値})$

(2) 最小風量比

- VAVユニットが**安定的に供給できる下限風量**の機器定格風量に対する比率(通常は10%程度)
→ 最小風量は、ユニットの風速センサーが精度よく計測できる最低風速(1m/s程度)と対応

(3) VAVユニット前後の稼働最小差圧

- 稼働最小差圧** → VAVユニットが適切に稼働する最小レベルの前後差圧（一般に20Pa程度）

(4) VAVユニット前後の稼働最大差圧と騒音

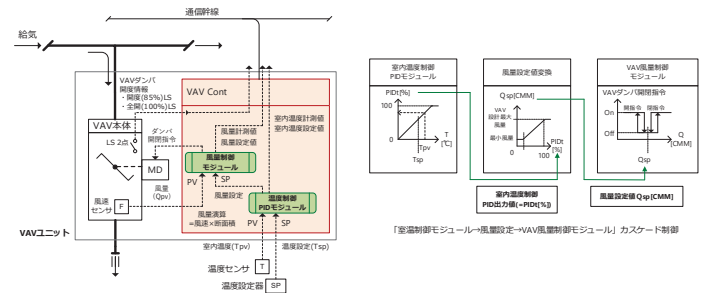
- 設計最大差圧と騒音レベルを明記**
- VAVの発生騒音が問題になる場合は騒音発生量を求めてダクト系の騒音設計を行う

38

5.2 給気ダクト系とファンの設計(2)

制御機能

- 室温のPI制御機構
 - ΔT から風量設定値に変換する温度制御モジュールと、この値を用いてダンパ開度の制御指示を行う風量制御モジュールを設けた制御（**カスケード制御**）であること
 - **初期調整実施のために風量による開度指示ができることが必要**
- 空調停止信号によりVAVユニットを**全閉にする機能を有する**
- 出力信号** 以下の信号（合計6つ）を発信するように設計図書で規定
 - 全開信号(100%)と適正開度信号(一般に85%)**（リミットスイッチによる）
 - VAVユニットの静圧過不足判定に用いる
 - 室温の現在値と設定値**
 - 風量設定値（要求風量）と実測風量**



39

5.2 給気ダクト系とファンの設計(3)

5.2.2 給気ダクト設計

(1) ダクト圧損

- ダクト設計の基本
- VAVユニットが風量を調整してくれるのでダクト設計は適当でいい**と考えない
- 系全体の圧力バランスが適切でかつ搬送動力の削減になるように設計**

例えば、

- VAVが遠方でダクトルート上の圧損が特に大きい場合にはダクト径を拡大して圧損低減
- 空調機に近く圧損が他と比して小さすぎればダクトを迂回させて抵抗増

注) 最遠のVAVユニットが最大圧損になるとは限らない

(2) VAV発生騒音対策

- 騒音対策が必要と判断されればダクト騒音対策
- VAVの騒音発生を抑える目的で**各VAVユニットの手前にVDを設けない（効果がない）**

40

5.2 給気ダクト系とファンの設計(4)

5.2.3 給気ファンの選定

- 最大給気風量とダクト系の最大圧損 により選定

1) ファンの設計風量（最大給気風量=定格風量）

- 当該系統の熱負荷合計（同時最大熱負荷負荷）をもとに算出する。

*** 配下のVAVの合計定格風量としない**

$$V_{s,load} = 3600 \times \frac{q_{s,all}}{\rho c_{p,a} (T_{set} - T_s)}$$

2) ファンの必要静圧（定格静圧）

- 通常、室内と外界の圧力が等しいという条件を課して設計
- ダクト圧損 に、空調機の機内抵抗、外気取入ダクトの圧損などを加えて定める。
- 機内抵抗の中のフィルタの圧損は、初期圧損の1.5倍

$$\Delta p_{R,s,FAN} = \Delta p_{VAV,min} + \Delta p_{R,s,duct} + \Delta p_{R,AHU} + \Delta p_{OA,duct} + \Delta p_{room}$$

5.2 給気ダクト系とファンの設計(5)

5.2.4 給気ファンの最大・最小回転数

1) 最大回転数

- 商用周波数より高い周波数で運転する回転数を定格とすることがある。

2) 最小回転数

- 円滑な回転が阻害されない下限が設けられている（例：15Hz等）
- 最小回転数を大きく設定し過ぎるとVAVで風量を絞っても省エネにならない
- できるだけ最小回転数を小さく設定し、その値を設計図で指示する。

5.2.5 ファンの電動機とインバータ

- ファンに付属する**電動機とインバータの効率にも配慮**し高効率の機器を選択する。
- いずれも回転数制御時、つまり**部分負荷時には効率が減じる**が、現状、これに関する情報提供が進んでいないので、それぞれ**定格時の効率で評価する**

5.3 ファン回転数 と 給気温度の制御

43

5.3 ファン回転数と給気温度の制御(1) 給気ファン回転数制御-1

5.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線

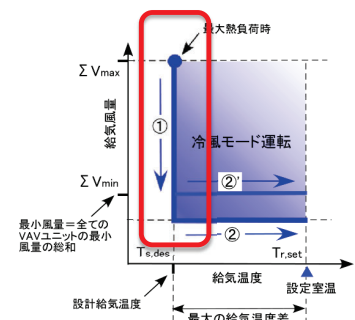
- ・ タクト系圧損 $\propto$ 風速² → **給気風量が減ればファンの必要圧力は急激に減る**
ファンの供給風量 = 各VAVユニットの要求風量の合計
- ・ ファンの回転数は**必要な風量と最小静圧を維持するように制御**するのが省エネ上最適

<従来の変風量制御>

- ・ ファン吐出圧力、主ダクト長約2/3圧力、末端圧力による圧力一定制御など。
→ (課題) 圧力過多、末端位置は特定しづらい、中間にあるVAVの風量不足が起きることがある

<現在の標準的な制御>

- ・ 当該系統下のVAVユニット群の**フィードフォワード制御**
 - ・ **要求風量**
 - +
 - ・ **VAVユニット群の静圧過不足判定による圧力補正**



44

5.3 ファン回転数と給気温度の制御(2) 給気ファン回転数制御-2

5.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線 (続き-1)

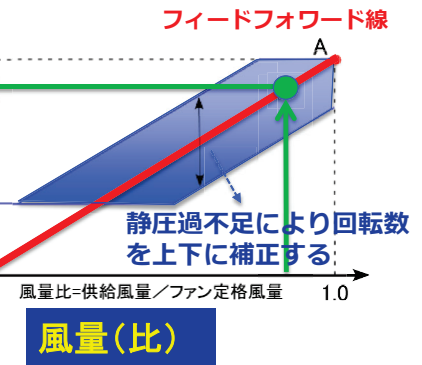
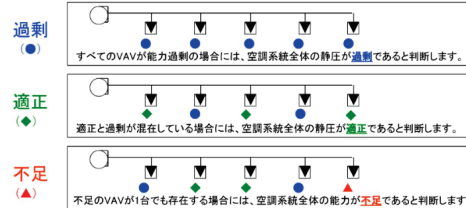
1) 要求風量によるフィードフォワード制御

- 要求風量 = Σ (各VAVユニットの要求風量) に対して、給気ファンの回転数比を決めるフィードフォワード制御
→ **フィードフォワード(FF)線**

2) 静圧過不足補正制御

- 各VAVユニットの**静圧過不足をダンパの全開位置 (100%) と適正開度位置 (85%) のリミットSWの2接点で判定**
- 全VAVの静圧過不足状態**から回転数比を上方または下方に補正

給気静圧状態		
VAVダンパ開度で判断		
~85%	85~100%	100% (全開)
↓	↓	↓
過剰	適正	不足



- 回転数を下方補正
- 回転数は現状維持
- 回転数は上方補正

回転数が上方に補正される頻度が高い非省エネな運転が多く見られる

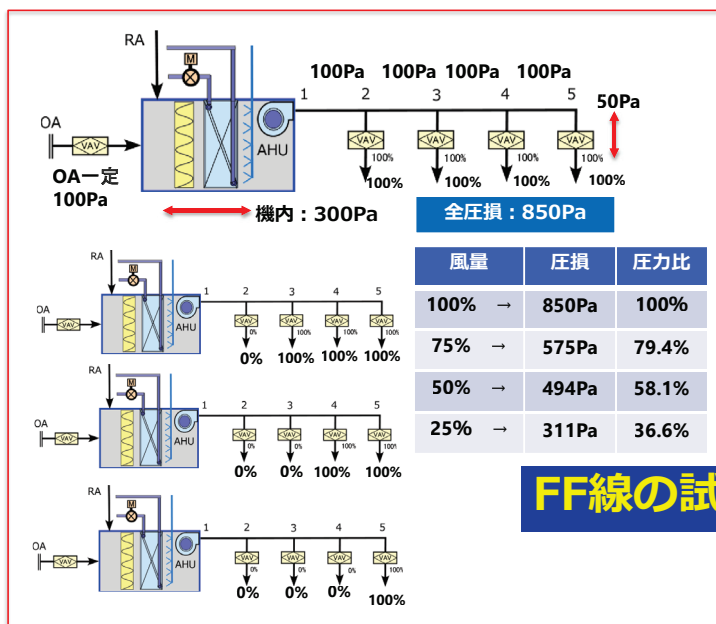
→ **FF線の上限を定めて、回転数補正は下方にしか働かないようにしたい**

45

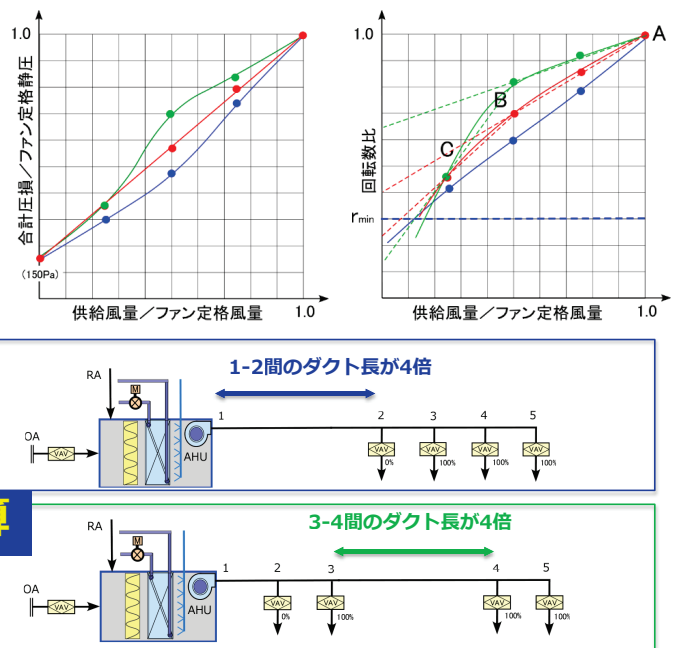
5.3 ファン回転数と給気温度の制御(3) 給気ファン回転数制御-3

5.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線 (続き-2)

3) 風量とファン回転数に関する考察 (圧損の考察)



FF線の試算



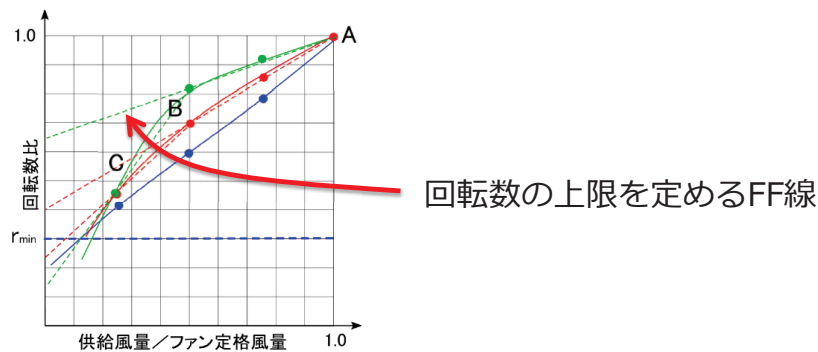
46

5.3 ファン回転数と給気温度の制御(4) 給気ファン回転数制御-4

5.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線（続き-3）

4) 回転数の上限値を定めるフィードフォワード線（FF線）の求め方

- FF線の形状は、ダクト経路や各VAVユニットの給気量に依存する**曲線**になる
→ 一意に、あるいは代表するFF線として定めることは易しくない
- 実システムの制御アルゴリズムは直線として構築されている
→ 何とかして下図の点線のような**直線のFF線**としたい
- 設計段階で**搬送動力の推定を行うためにFF線が不可欠**



47

5.3 ファン回転数と給気温度の制御(4) 給気ファン回転数制御-4

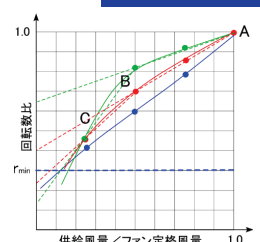
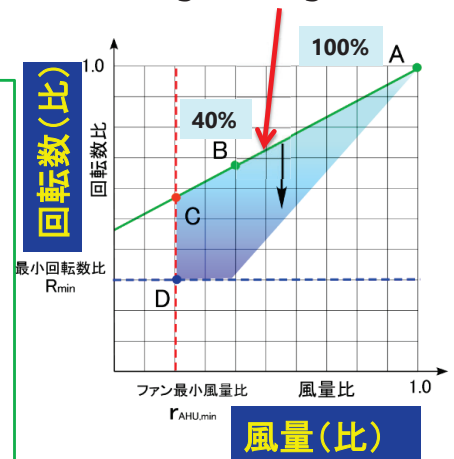
5.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線（続き-3）

4) 上限フィードフォワード線（FF線）の求め方

【FF線の決め方】

- 定格風量比における回転数比を1.0とし**点A**を定める。
- 風量比40%の場合のダクト圧損**を、ダクト末端のVAVユニットから順に定格風量を配分して求める（**先詰めによる圧損計算**と呼ぶ）
→ 40%とするのは経験知であり合理的に決めたものではない
- 空調機ファンの必要静圧を求め、**ファンの特性曲線からこの静圧と風量に対する回転数比**を見出し**点B**とする
- 直線ABをフィードフォワード（FF）線として、一次式の係数a,bを求める（右図の緑線）

$$n_s = a r_s + b$$



- このFF線は、どのような風量でも回転数が不足しない**上限回転数**
→ **本FPT法では回転数を下方にしか補正しない**
- この式の係数a,bを設計図の自動制御図に記載する**
- このFF線を用いて年間消費エネルギーを推定する方法は後述する

48

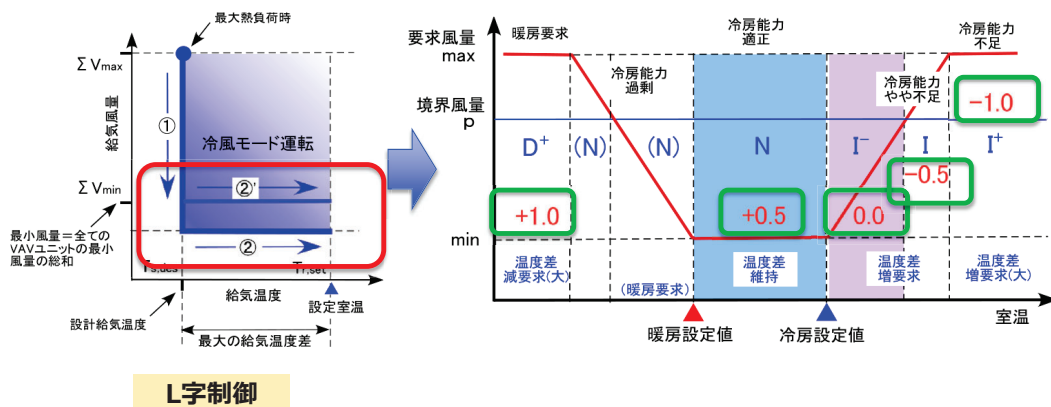
5.3 ファン回転数 と 給気温度の制御

49

5.3 ファン回転数と給気温度の制御(5) 給気温度制御-1

- VAVユニットの処理顕熱負荷 $\propto$ 風量 $\times$ (給気温度差 = 給気温度と室温との差)
「給気温度差 $\rightarrow$ 大 $\Rightarrow$ 風量 $\rightarrow$ 少」 $\rightarrow$ ファンの搬送動力の省エネ
- 熱負荷が小さくなると最小風量まで絞っても過冷（過熱）になることがある
 $\rightarrow$ 給気温度のリセット（逐次補正）が必要
 $\rightarrow$ 熱負荷が“少”のときに給気温度差を小さくして適切な室温制御を可能にする

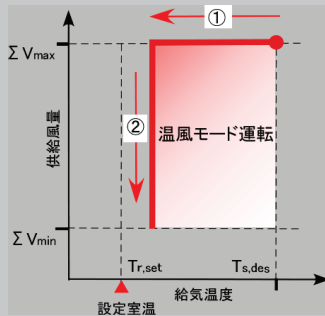
【冷風モードの場合】



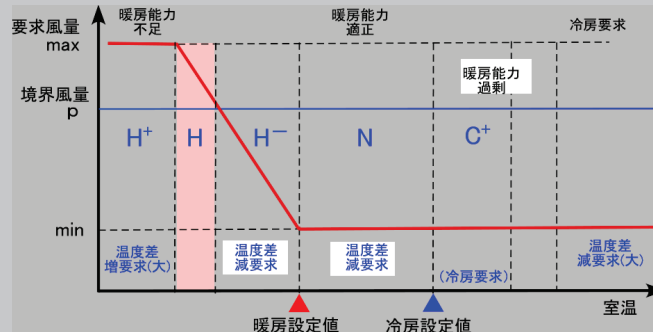
50

5.3 ファン回転数と給気温度の制御(5) 給気温度制御-1

【温風モードの場合】



逆L字制御



51

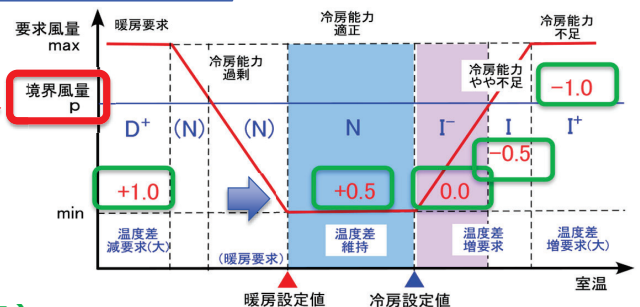
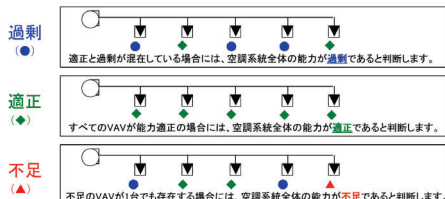
5.3 ファン回転数と給気温度の制御(6) 給気温度制御-2 給気温度リセット制御

・各VAVの制御状態判定 (冷風供給時のデフォルト値例)

I ⁺	: 温度差増要求	-1.0℃	← 給気温度を1.0℃下げる
I	: 温度差増要求	-0.5℃	← 給気温度を0.5℃下げる
I ⁻	: 温度差増要求	0.0℃	← 給気温度を維持する
N	: 温度差維持	+0.5℃	← 給気温度を0.5℃上げる
D ⁺	: 温度差減要求	+1.0℃	← 給気温度を1.0℃上げる

各VAVユニットは様々な要求状態になる

全VAVユニットの能力過不足をチェックして判断する



デフォルト値による運転は、

- ・ 境界風量閾値が大きい (風量は多めに制御される)
- ・ 温度差を維持してもいい状況(N)であっても給気温度差を小さくし風量を増す運転になる

つまり、非省エネの運転となる (搬送動力の削減よりも室内環境向上を優先?)

52

5.3 ファン回転数と給気温度の制御(6) 給気温度制御-2 給気温度リセット制御

各VAVユニットの要求状態

各VAVの制御状態					トータル 制御状態
I+	I-/I	N	(N)	D+	
○	~	~	~	×	1
×	○	×	×	×	2/6
×	~	○	×	×	3
×	○	~	○	×	8※1
×	×	○	~	×	3
×	×	×	○	×	4/7
×	~	~	~	○	5
○	~	~	~	○	9※2

○: 該当するVAVが1つ以上存在する
×: 該当するVAVが存在しない
~: 該当するVAVの有無は無関係

※1 不定状態(給気温度変更なし)
※2 多数決で以下のように決定
{ (1のVAV数) > (5のVAV数) ⇒ 1
(1のVAV数) < (5のVAV数) ⇒ 5
(1のVAV数) = (5のVAV数) ⇒ 8

給気温度の増減値[℃]

空調機 制御モード	トータル制御状態							
	1	2	6	3	4	7	5	8
冷房中	-1.0	0.0	±0.5	+0.5	+0.5	+1.0	0.0	
外気冷房	-1.0	0.0	±0.5	0.0	+0.5	+1.0	0.0	
中間期	-1.0	0.0	0.0	+0.5	+1.0	0.0		
暖房	-1.0	-0.5	-0.5	0.0	±0.5	+1.0	0.0	

※ ±は、小風量・多風量の設定によって変更値が異なることを示す

- 冷風モード時に給気風量を可能な限り最小に制御できるようにするため**設計図書に下記を明記**する。
 - 冷房・暖房の設定室温（両者が近接し、冷房・暖房の設定温度の間隔がゼロに近くなならないように配慮することを明記）
 - 制御パラメータ設定においては、**給気温度リセットの増減値をデフォルト値によることなく、搬送動力削減の観点から適切な値に調整することの指示**
 - 運用時に、上記のような不具合が生じる設定に変更されてしまわないような注意事項
 - 在室者が室温を自由に設定できないような設計配慮

5.4 エアバランスと給気系以外の設計

5.4 エアバランスと給気系以外の設計(1)

- 給気系以外のエアバランスが軽視されやすいが、還気・排気・外気取入などのエアバランス設計配慮も重要
- エアバランスが不適切だと次のような不具合が発生する。
 - 必要な**外気取入れ量が確保できず**室の空気環境が悪化する
 - 室と外界との間に想定外の**漏入・漏洩が発生**して非省エネになる
 - トイレやパントリーなどで適切な**局所換気量が確保できない**
- こうした不具合を防ぐには、ファンの運転制御に加えて、**周辺のダクト設計や制御ダンパの設置ならびに制御に関する設計配慮**が不可欠である。



適切なエアバランスとは？

- VAVにより給気風量に変化しても室と外界の圧力差が（ほぼ）ゼロになる
- 還気・排気・取入外気などを（ほぼ）設計通りの風量に維持する

55

5.4 エアバランスと給気系以外の設計(2)

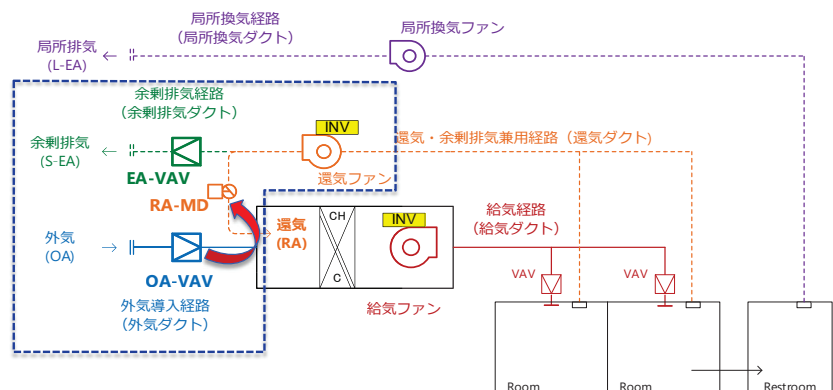
5.4.1 Type-Aのエアバランスと必要な設計配慮（給気系を除く）

➤ 還気ダクト

- 壁などで**区画された室（ゾーン）**があれば還気ダクトにMDを設置して**還気を閉止**する

➤ OA-VAV・EA-VAV・RA-MD

- 外気取入れダクトにOA-VAVユニット**を設ける
- 空調機に接続される還気ダクトに**モータダンパ**を設け**OA-VAVユニットが適正開度になるように制御**する
- EA-VAVユニット**を設ける



56

5.4 エアバランスと給気系以外の設計(2)

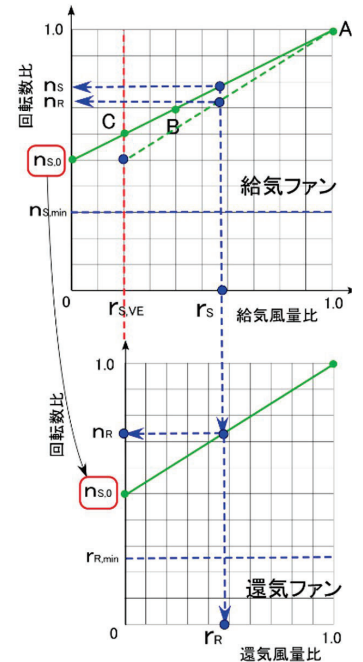
5.4.1 Type-Aのエアバランスと必要な設計配慮 (給気系を除く)

➤ 外気取入 (OA) ファン

- 外気取り入れダクトが長く抵抗が大きい場合は外気取入ファンを設ける (けてもよい)
- ファンは空調機ごとに単独に設置するか複数の空調機に共用ファン1台を設ける
- 外気取入量を確保するためにOA-VAVを設け、これが適正開度となるように外気取入ファンを回転数制御する

➤ 給気・還気ファンの最小風量と回転数制御

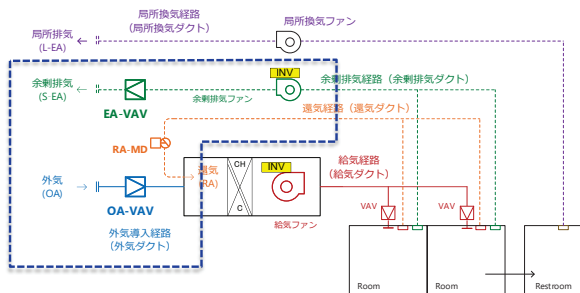
- 還気ファンの回転数は給気ファンの回転数から一次式で定め、連動制御する
- つまり還気ファンのFF線は給気ファンのFF線から従属的に決まる
→ FF線は還気ファンの消費エネルギー計算に必要



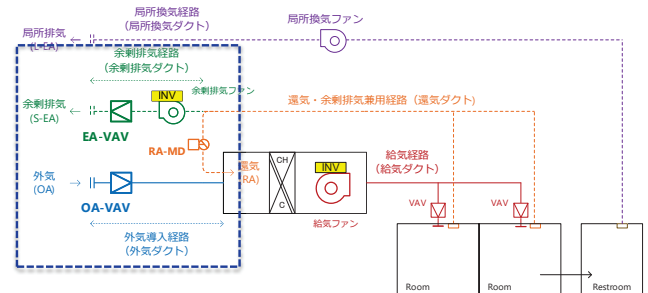
57

5.4 エアバランスと給気系以外の設計(2)

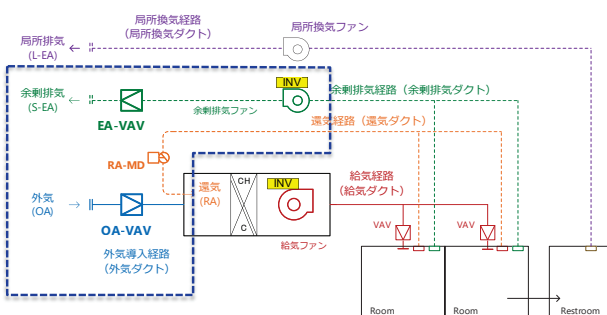
5.4.2 Type-B1のエアバランスと必要な設計配慮



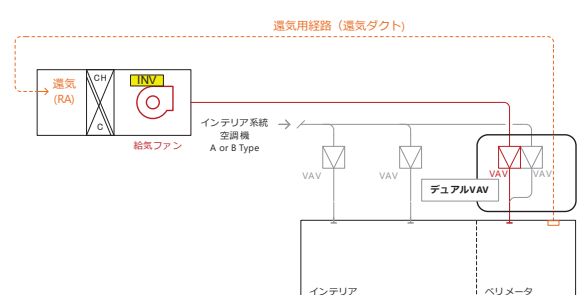
5.4.3 Type-B2のエアバランスと必要な設計配慮



5.4.4 Type-B3のエアバランスと必要な設計配慮



5.4.5 Type-Cのエアバランスと必要な設計配慮



58

5.5 ファン消費電力の推定

59

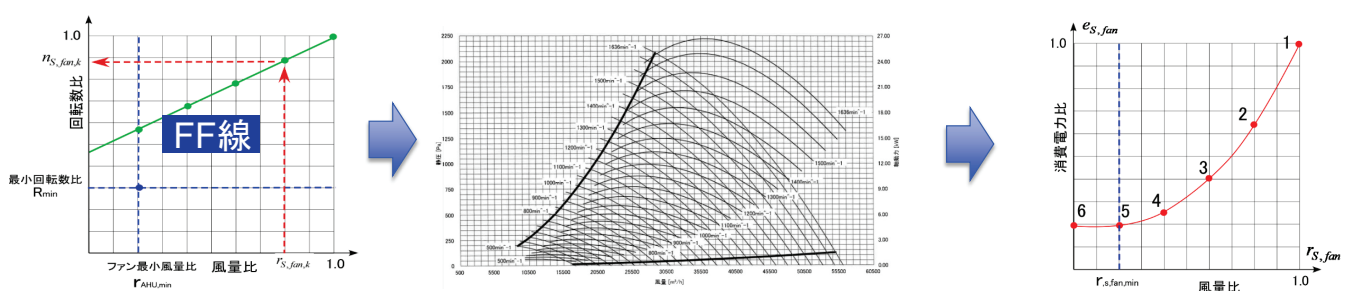
給気ファンの消費電力推定方法(1)

5.5.1 顕熱負荷に対する消費電力推定方法の手順（給気ファン）

- ・ 顕熱負荷と風量は比例するとする（近似）（= 給気温度差一定 ← 実際はそうではない）
- ・ 風量比 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0（合計5点）に対する回転数比をファンのFF線をもとに見出す
- ・ ファン特性線図から（あるいはモデルを用いて）この5点に対する軸動力を見出す
- ・ モータとインバータの効率を0.9として、軸動力からこれら5点に対する消費電力を見出し、それを定格消費電力（風量比1.0の電力）※で除して消費電力比を見出す

※ 設計で選定したモータの定格値ではないことに注意

- ・ 風量比から消費電力比を見出す3次回帰式を作成（ただし風量比0の値は0.2と同じ値とする）
- ・ WEBプログラム（通称）に3次式の係数を用いて年間一次消費エネルギーを推定する

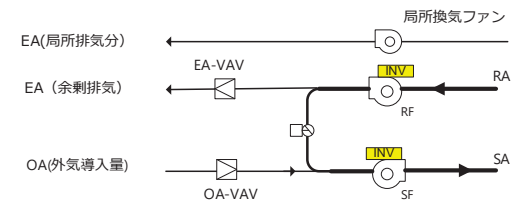


60

給気ファンの消費電力推定方法(2)

5.5.2 還気風量に対する消費電力推定方法の手順（還気ファン）

- 1) 還気風量 = SA風量 - OA風量、最小風量 = 局所換気風量
- 2) 還気ファンのFF線をもとに5点の軸動力
- 3) 以下、給気ファンと同じ



5.5.3 外気取入・余剰排気・局所換気ファン

- ・ CO2制御のような外気風量を制御するシステムは対象としていない
- ・ 外気取入・余剰排気・換気ファンはそれぞれ定格風量となるため**固定速ファン**として推定
→ CO2濃度制御で外気取入量を可変とした場合の省エネは別途協議中

5.5.4 年間1次エネルギー消費量

- ・ WEBプログラムにより年間の一次エネルギー消費量を求める
- ・ 冷房負荷に対してのみ一次エネルギー消費量を求める

5.6 初期調整に必要なデータと計測器

5.6 初期調整（機能性能試験）に必要なデータ

- ・ システムを意図通り稼働させるには**初期調整**が必要 ← いわゆる試運転調整とは異なる
- ・ 初期調整では、VAVユニットの開度やファンのインバータ周波数などを指示して消費電力を計測するなどの作業が必要
- ・ VAVユニットの計測値の確認、運転条件設定の操作・設定に**自動制御メーカーのツールを用いることが不可欠**である
→ **特記仕様書で、初期調整時にこの計測器を提供することを指示する**
- ・ 試験や検証に必要な計測データも、中央監視装置（広義のBEMS）の常設ポイントとして収集できることもあれば、現地でテンポラリーに計測装置を設置しなくてはならないこともある
- ・ これらの**指示や計測作業に必要となる事項について設計図書で規定**する
- ・ 計測ポイントの要求事項については6章で規定する

63

1. はじめに
2. 用語の定義と解説
3. VAV空調システムの省エネとその課題
4. 対象とするVAV空調システムと省エネ評価の範囲
5. 省エネ設計法

6. FPT法によるVAV空調システムの搬送エネルギー削減計画書

64

FPT法によるVAV空調システムの搬送エネルギー削減計画書 概要(1)

搬送エネルギー削減計画書 仕様規定 → 性能規定 による設計

FPT法

- ・ VAV空調システムシステムを適切に設計
- ・ 竣工前に設計内容に添った初期調整
- ・ 省エネ設計とその配慮について設計者が根拠を示して説明する文書の作成・提出を求める
→ Cxにおける「設計主旨文書」に相当
- ・ 第6章では、「搬送エネルギー削減計画書」の書き方を解説
 - 【要件】 FPT法が求める必須事項
 - 【指針】 設計者の判断や裁量で決める際に配慮すべき事項
 - 【記載項目】 計画書に記載すべき、設計の主旨、システム構成・機器仕様、計測ポイント、エネルギー消費量など

65

FPT法によるVAV空調システムの搬送エネルギー削減計画書 概要(2)

➤ 搬送エネルギー削減計画書の記載項目

- 6.1 FPT法が対象とするVAV空調システムのゾーニングと構成
 - 6.1.1 ゾーニング
 - 6.1.2 VAV空調システムの構成
 - 6.1.3 最小風量設定値
- 6.2 給気ダクト系とファンの設計
 - 6.2.1 VAVユニットの選定と仕様指示
 - 6.2.2 給気ダクトの設計
 - 6.2.3 給気ファンの選定
 - 6.2.4 給気ファンの最大・最小回転数
 - 6.2.5 ファンの電動機・インバータの効率
- 6.3 ファン回転数と給気温度の制御
 - 6.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線の決定
 - 6.3.2 空調機の給気温度制御
- 6.4 エアバランスと給気系以外のシステム
- 6.5 ファン消費電力の推定
 - 6.5.1 熱負荷比から給気ファンの消費電力比を推定する回帰式
 - 6.5.2 還気風量比に対する還気ファンの消費電力を推定する回帰式
 - 6.5.3 外気取入・余剰排気・換気ファンの年間一次エネルギー消費量
 - 6.5.4 可変速ファンの年間一次エネルギー消費量
- 6.6 初期調整に必要な測定センサ
 - 6.6.1 常設センサによる必要計測ポイント
 - 6.6.2 テンポラリな風量計測ポイント
 - 6.6.3 自動制御メーカーのツールを用いた計測・操作
- 6.7 初期調整・機能性能試験に関する特記仕様
- 6.8 その他

66

記載項目例1 6.1.2 VAV空調システムの構成

6.1.2 VAV空調システムの構成

【要件】

VAV空調システムは、4.1で記したいずれかのシステム構成（Type）とし、それぞれのシステム要件を満たすものとする。

【指針】

システム構成Typeは風量変化時にもエアバランスが達成できるかどうかをよく見極めて選定する。

【記載項目】

VAV空調システムの系統毎に下記を記載する。ただし、同じシステム構成であればまとめてよい。

1. システムのTypeと構成： システム系統図を示して「4.3 対象とするシステムの基本構成」のうちどのTypeであるか記載する。
2. 空気循環方式： 空気循環方式を記載する（床吹出口方式でないことも明記）。
3. エアバランス： 風量制御において、どのようにシステム全体のエアバランスを保持する設計になっているかを説明する。
4. CAVユニットの有無： 共用部分などの給気にCAVユニットを併設している場合はその個所と風量などについて説明する。
5. 共用部の局所換気用排気ファン： 複数系統のVAV空調システムに対して共用部の局所換気用排気ファンが共通である場合、その発停や風量制御方法について説明する。
6. 外気取入方式： 外気取入が固定風量かCO2制御などによる可変風量制御か、外気取入ファンが有るかないか、などについて説明する。
7. 外気冷房： 外気冷房も可能な設計であればその想定期間を記す。外気冷房期間はVAVの搬送動力の省エネ対象期間から除外する。外気冷房期間にも、外気導入や余剰排気の適切な風量制御ができエアバランスが保てる設計になっていることを説明する。
8. CO2制御： 室内空気や還気のCO2濃度により外気取入量の制御を行うシステムであれば、その制御方法と、それがシステム全体のエアバランスに悪影響を与えないものであることを説明する。
9. その他： システム構成について、上記以外の設計配慮や対策があれば記載する。

67

記載項目例2 6.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線の決定

6.3.1 給気ファンの回転数制御とフィードフォワード線の決定

【要件】

給気ファンの回転数は、給気風量比に対する回転数比を一次関数（FF線）によるフィードフォワード制御とそれを補正する静圧過不足補正制御により制御するものとする。設計では、FF線の係数を決定し、それを用いて一次消費エネルギーの計算を行う。また、同じ系統内に熱負荷が特異となるような室が存在すると回転数の補正制御が不具合を起こすことがあるので、そうした室を回転数制御の判定対象から除外するよう設計で配慮する。

【指針】

一般にフィードフォワード線は曲線になるが、近似的に直線で求めることとする。また、回転数比の補正制御は、この式で求める回転数比よりは常に小さくなる側にしか補正しないような制限をかける。

【記載項目】

1. フィードフォワード線の係数： 5.3.1で解説した方法によりフィードフォワード線の係数a、bを定め明記する。
2. 回転数比の補正制御は、この直線で求めた回転数比より小さい方向にしか補正しないように制限をかけるよう設計図で指示する。
3. 熱負荷が特異な室： 系統内に熱負荷が特異になる可能性のある室は、回転数比の補正制御の判定対象室から除外するよう設計図で指示する。
4. その他： 給気ファンの回転数制御に関して、上記以外の特記事項があれば記載する。

68

END