

講義テキスト（全館空調&ルームエアコンの理解）

この講義で伝えたいのは、換気・全館空調が「何を実現しようとしているか」と、それを現実の建物で成立させるために、なぜ**圧損計算とダクト計画**、さらに**ファン設定の確認とファン特性の理解**、そして**風量測定と調整**が必要になるのか、という一連の筋道です。

結論から言うと、**空気は“均等に流れる”ことを前提にはいけない**。狙った性能を出すには、**経路と抵抗（圧損）**を設計し、最後は**測って整える**必要があります。

1. 換気・全館空調がやろうとしていること（目的を3層で整理する）

換気や全館空調の目的は大きく3つに分けて考えると整理しやすいです。

① 衛生（汚染の制御）

CO₂、臭気、VOCなどの「汚れ」を薄めて排出すること。

設計の出発点は **必要な外気量（換気量）** です。

「どの部屋に外気を入れて、どこから排気するか」「室内をどう通過させるか」まで含めて衛生が決まります。

② 熱（温度の制御）

暖房・冷房の熱を各室へ届け、温度差を小さくすること。

ここで押さえる基本は、**熱を運ぶには“空気を動かす”**しかないということです。

温度差のある空気を必要量だけ動かせないと、熱は届きません。

③ 水（湿度の制御）

湿度は温度よりも「**運転条件**」に左右されやすい領域です。

ただし全館空調の講義では、湿度は“議論の土台”として位置づけ、まずは **風量・経路・圧損** の設計思想を固めることを優先します。

2. 圧損計算がやっていること（何を積み上げているか）

圧損計算の本質は難しい式ではありません。やっていることは単純で、

- 直管
- 曲げ
- 分岐
- 末端（吹出口・吸込口、フィルタ等）

これらが生む抵抗を積み上げて、**その経路を空気が通るためにどれだけ“押す力”が必要か**を見ています。

言い換えると、圧損計算は「**空気の流れやすさ／流れにくさ**」を経路ごとに見積もる作業です。

ここで重要なのは、設計者がコントロールできる範囲（**自由度**）の大小です。

- **直管（長さ・径・材質）**は設計の影響が大きい
- **曲げ**は個数と曲げ方で効く
- **分岐**は形式で差が出やすい
- **末端**は製品特性が支配的で、自由度は小さめ

つまり、現場で苦しむ前に、**自由度の大きいところから抵抗を整える**のが合理的です。

3. 気密測定は「換気計画が成立する前提条件」の確認

パッシブハウスのベースになる考え方は、**漏気は防ぐ**ということです。**外皮（外壁など）の隙間**を介して空気が入り出ると、その分だけ**熱損失**が増え、計画した性能が崩れます。つまり、**気密**は「暖冷房が効きやすい建物」の土台です。

もう一つの重要な意味は、**気密が高いほど室内の空気の流れを制御しやすくなる**ことです。空調計画の信頼性は、もちろん**ダクト施工**の品質に強く依存しますが、それと同じくらい**建物の気密**にも依存します。

少し話はそれますが、講義ではこの点を押さえるために**気密測定**にも触れておきます（測定では**決定係数**や **αA 値**を確認し、測定として成立しているかを見ます）。

4. ファン特性を把握する（事前にファン設定とファン特性を理解する）

風量調整に入る前に、まず**ファンの設定とファン特性を最優先で確認**します。ここが曖昧だと、あとで設定や運転点が変わった瞬間に、配分も総量も崩れます。

この段階で「設定が固定されていること」と「その設定で出せる範囲（特性）が分かっていること」を揃えます。あわせて、**ファンの最大圧損（そのファンが押し切れる上限の静圧）**を把握し、**ファン特性を見ながらノッチ（出力段）設定が適切か**を確認します。

補足（確認項目）

- 風量の設定値（回転数・レベル等）を確認し、「どの設定で合わせるか」を固定する。
- その設定で確保できる機外静圧（＝押せる余力）を確認する。
- そのノッチ（出力レベル）で、計画風量時に必要な静圧が**最大圧損の範囲内**に収まっているかを確認する。

5. ダクト計画の役割（ダクトでできるのは「粗バランス」）

必要風量が置いて、ファン設定とファン特性の前提が固まったら、次は現場調整に頼りすぎないための土台作りです。

- ダクト計画は、見た目のためではなく
- **経路ごとの抵抗差を小さくして、偏りにくい土台を作ること**

つまりダクトでやるのは **粗バランス**です。

粗バランスが取れていれば、調整で足す抵抗は最小で済みます。

逆に、粗バランスが崩れた状態を調整だけで直そうとすると、どこかを大きく絞ることになり、「**計画風量が出ない**」問題を引き込みやすくなります。

6. ダクトだけでは揃わない（だから測定・調整は「計画風量で同一圧損」を目指す）

ダクト計画で抵抗差を小さくしても、現実には完全には揃いません。

施工誤差、曲げや分岐の作り方、末端の個体差などが重なり、**設計上は揃っているつもりでも、実測すると分岐ごとに流れ方がズレるのが普通です。**

ここで重要なのは、**ダクトだけでは最終的なつり合いは作れない**という前提です。そのため、現場で行う測定と調整は「**分岐ごとのつり合いを作る作業**」だと捉えるのが本質です。

調整の狙いは、単に各室の数字を揃えることではありません。

風量を合わせる＝分岐先ルートの圧損を揃えること。

ここで目指しているのは、**各ルートが「計画風量」を流れたときに、同じ圧損（同一圧力損失）になる状態**です。

その状態に近づけることで、配分が安定し、再現性が上がります。

また、**末端（吹出口）**の選定では、末端カタログにある**P-Q線図（風量-圧損特性）**を確認し、**計画風量で何Paの圧損**になる末端なのかを把握します。末端の圧損が大きくばらつくと、同一圧損を目指す設計・調整が難しくなり、配分が不安定になります。

7. 風量を上げ下げすると何が問題になるか（風量レンジの落とし穴）

圧損は、風量が増えるほど急に大きくなります。

このため「低風量でうまくいった調整」が、高風量では別の結果を生むことがあります。

誤解されやすい点を整理します。

- ・ 風量が変わると「配分が崩れる」と言いがちだが、主題はそこではない
同じファンに複数経路がつながる場合、風量を上げ下げしても配分は理屈の上では大きく変わりにくい。
- ・ 本当に説明したい問題：**低風量での調整が、高風量で“効きすぎて”計画風量を潰す**
低風量では、ダンパーを絞っても「風量が出ているように見える」。
しかしその操作は、経路に抵抗を追加している。
高風量に上げた瞬間、その追加抵抗が急に重くなり、ファンが押し切れず**計画した総風量が出ない**。

結果として、「**配分は整えてあるのに総量が足りない**」という状態になります。

つまり、問題は配分の崩れよりも、**調整のやり方次第で“計画風量が出ない設計”になってしまう**ことです。

最後に：設計者がコントロールすべき順番（全館空調の本筋）

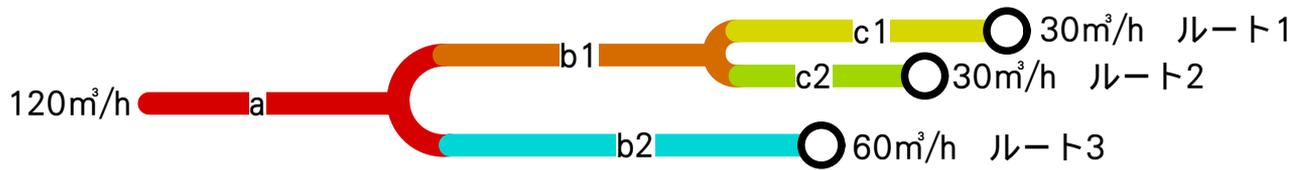
1. 目的（汚染・温度・湿度）を分け、必要風量を置く
 2. 経路と抵抗を考える（圧損計算）
 3. 前提条件を確認する（気密）
 4. ファン設定とファン特性を確認する（風量設定と機外静圧）
 5. ダクトで粗バランスを取る（抵抗差を小さくする）
 6. 測って調整する（計画風量で同一圧損/分岐ごとのつり合いを作る）
 7. 風量レンジで破綻しないか確認する（低風量調整→高風量で詰む、を避ける）
-

8. ルームエアコンのアプローチ（全館空調とは別系統の考え方）

ここからは、全館空調の“搬送系（ダクト・風量・圧損）”とは別に、**ルームエアコン**を扱うときに理解しておくべき論点です。

- サーマオフが頻発しやすい（除湿が不安定）
 - 循環の難しさ（サーキュレーションファン：LDK→各室の循環という考え方。各室負荷が大きいほど難易度が上がる）
 - 温度差が無ければ熱は送れない
-

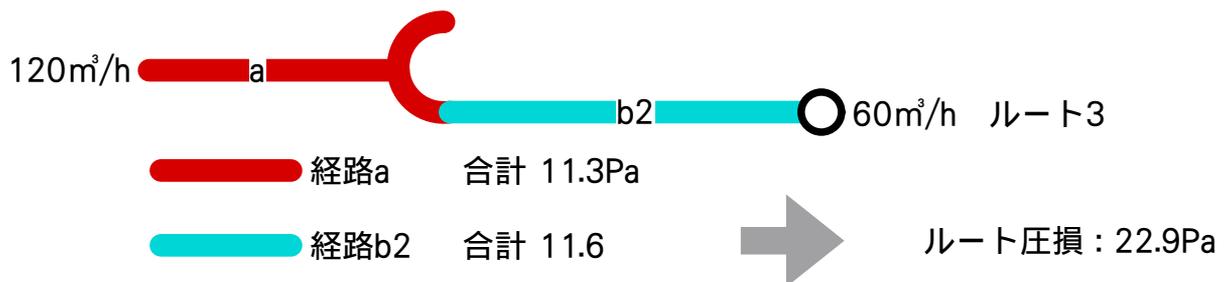
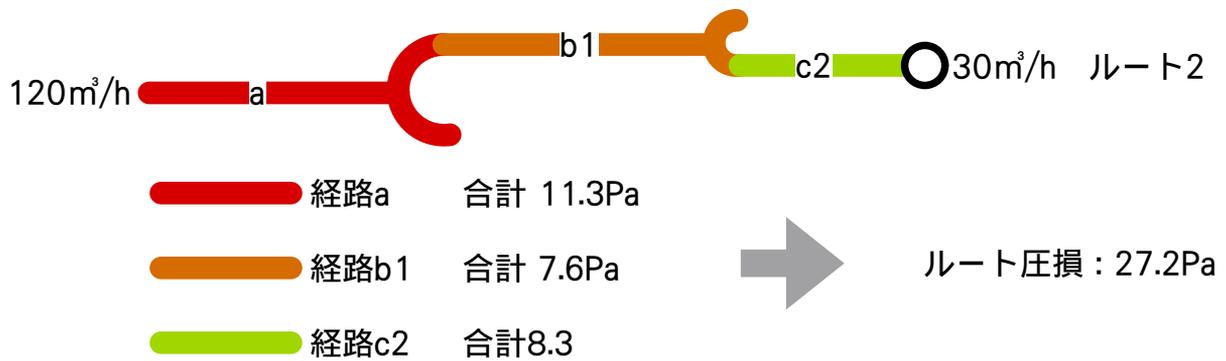
圧損計算 (SA・RA共通)



<p>経路a</p> <p>ダクト管 Φ125/3m 120m³/h</p>	合計 11.3Pa	5.3Pa +	<p>曲げ Φ125/90° ×2 120m³/h</p>	1.0Pa +	<p>分岐 ζ: 1.11 120m³/h</p>	4.9Pa
<p>経路b1</p> <p>ダクト管 Φ100/3m 60m³/h</p>	合計 7.6Pa	4.1Pa +	<p>曲げ Φ100/90° ×2 60m³/h</p>	0.6Pa +	<p>分岐 ζ: 1.11 60m³/h</p>	3.0Pa
<p>経路b2</p> <p>ダクト管 Φ100/4m 60m³/h</p>	合計 11.6	5.4Pa +	<p>曲げ Φ100/90° ×4 60m³/h</p>	1.2Pa +	<p>端末 (吹出口) ζ: - 60m³/h</p>	5Pa (仮)
<p>経路c1</p> <p>ダクト管 Φ100/3m 30m³/h</p>	合計 6.3	1.0Pa +	<p>曲げ Φ100/90° ×4 30m³/h</p>	0.3Pa +	<p>端末 (吹出口) ζ: - 30m³/h</p>	5Pa (仮)
<p>経路c2</p> <p>ダクト管 Φ75/2m 30m³/h</p>	合計8.3	2.8Pa +	<p>曲げ Φ75/90° ×2 30m³/h</p>	0.4a +	<p>端末 (吹出口) ζ: - 30m³/h</p>	5Pa (仮)

経路毎に圧損を積み上げて集計します。

ルート毎の集計&調整

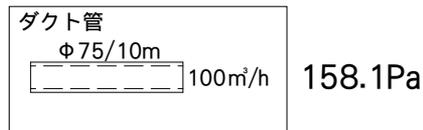
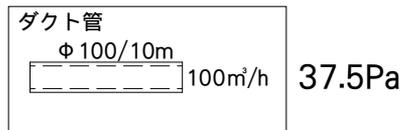
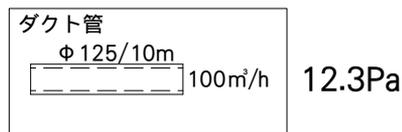
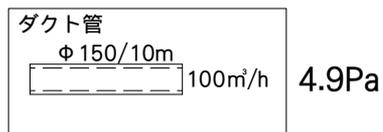


ルート毎に経路の圧損を積み上げて集計します。

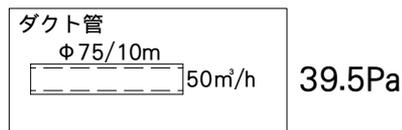
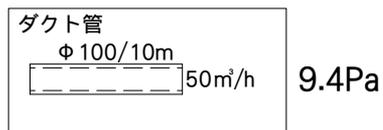
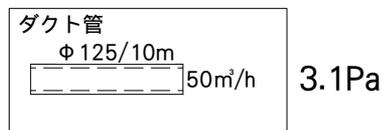
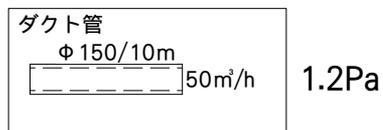
ファンの特性(P-Q線図) と見比べて静圧が妥当かチェック

風量に応じたダクト選定

ダクト径による静圧の比較1 (ダクト長10m・風量100m³/h)



ダクト径による静圧の比較2 (ダクト長10m・風量50m³/h)



風量が2倍 → 圧損4倍

風量が3倍 → 圧損9倍

2乗で圧損爆上がり！！

【演習】

演習1 それぞれのルートでの圧力損失を求めてクリティカルパスを探そう

演習2 ルート1とルート2の圧損を同じにするために端末の調整をしよう

演習3 10ページの資料から各ダクトの1m辺りの圧力損失を求めてみよう

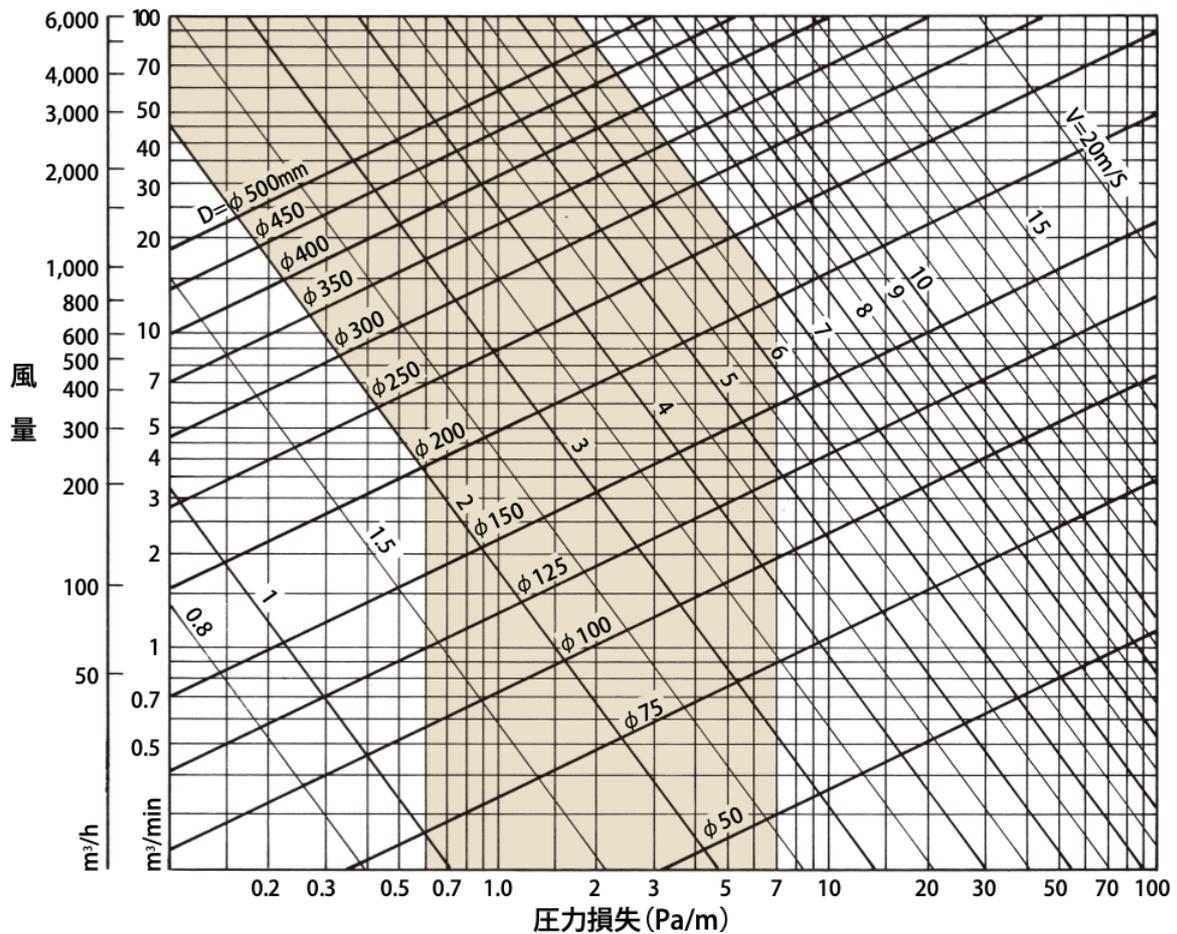
演習4 12ページ上段の資料から120m³、40%出力時の静圧を求めてみよう

演習4 ファンの風量を120m³から480m³に変更した場合の静圧の変化について考えて見よう

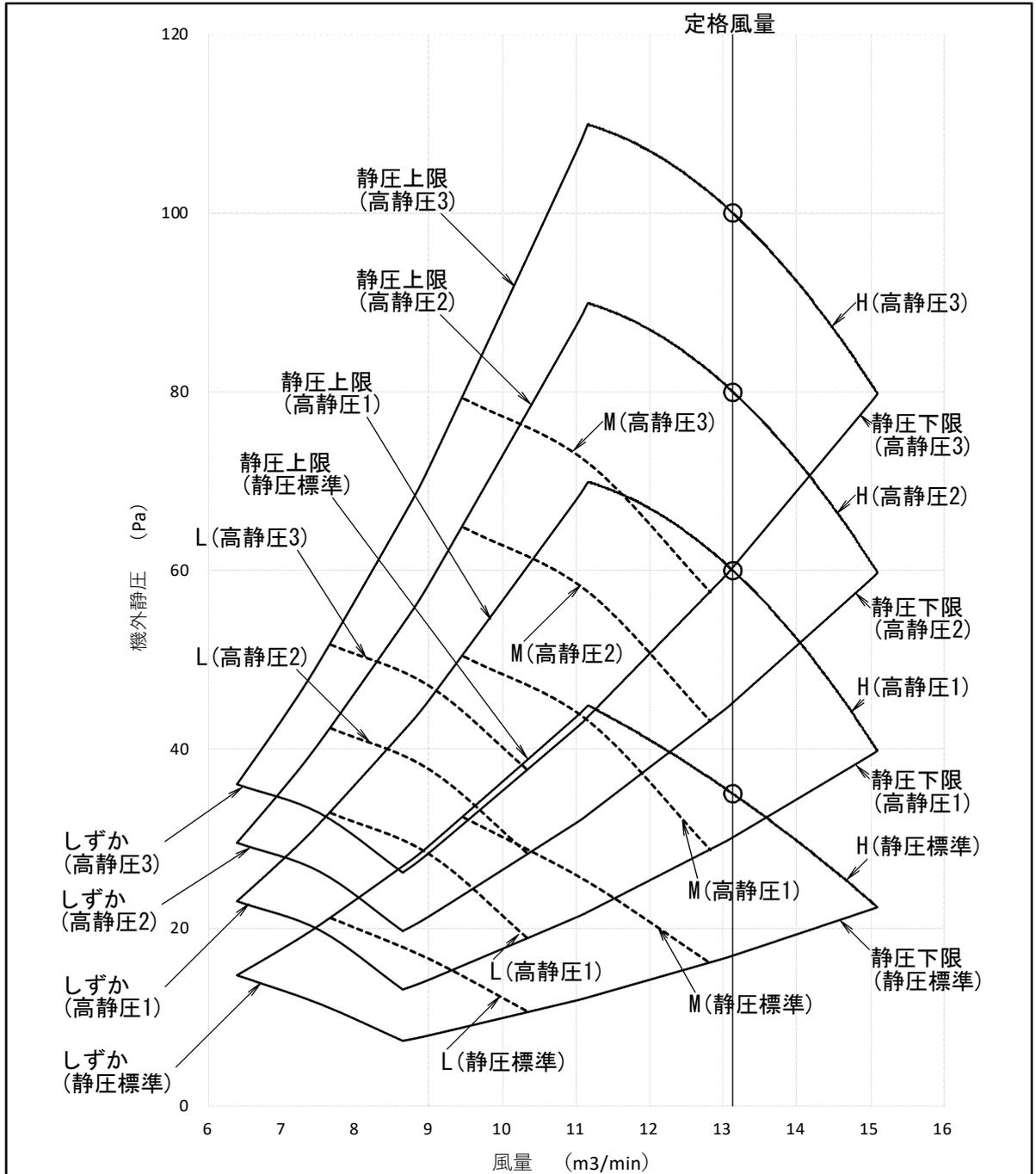
演習5 P11の資料から480m³の風量の場合の静圧を求めてみよう

タイロンガラスダクトフレキシブル (各タイプ共通)

■ 送風特性 (各タイプ共通) 直管部の送風特性



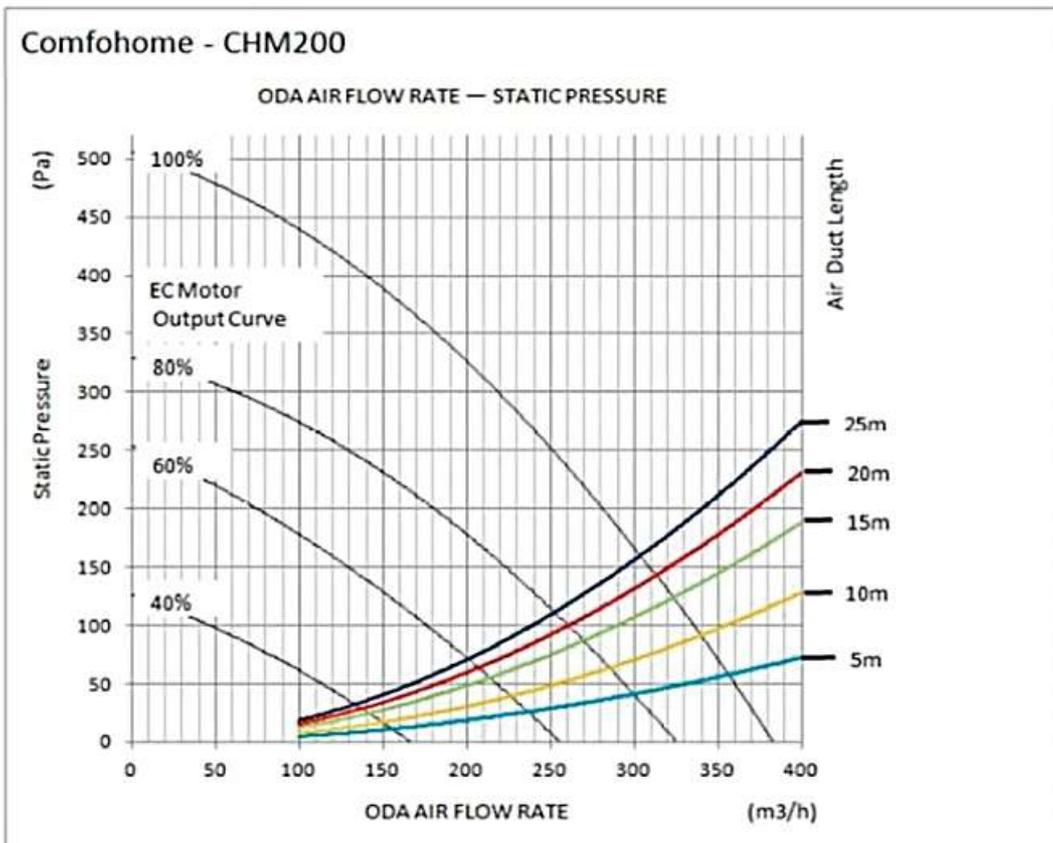
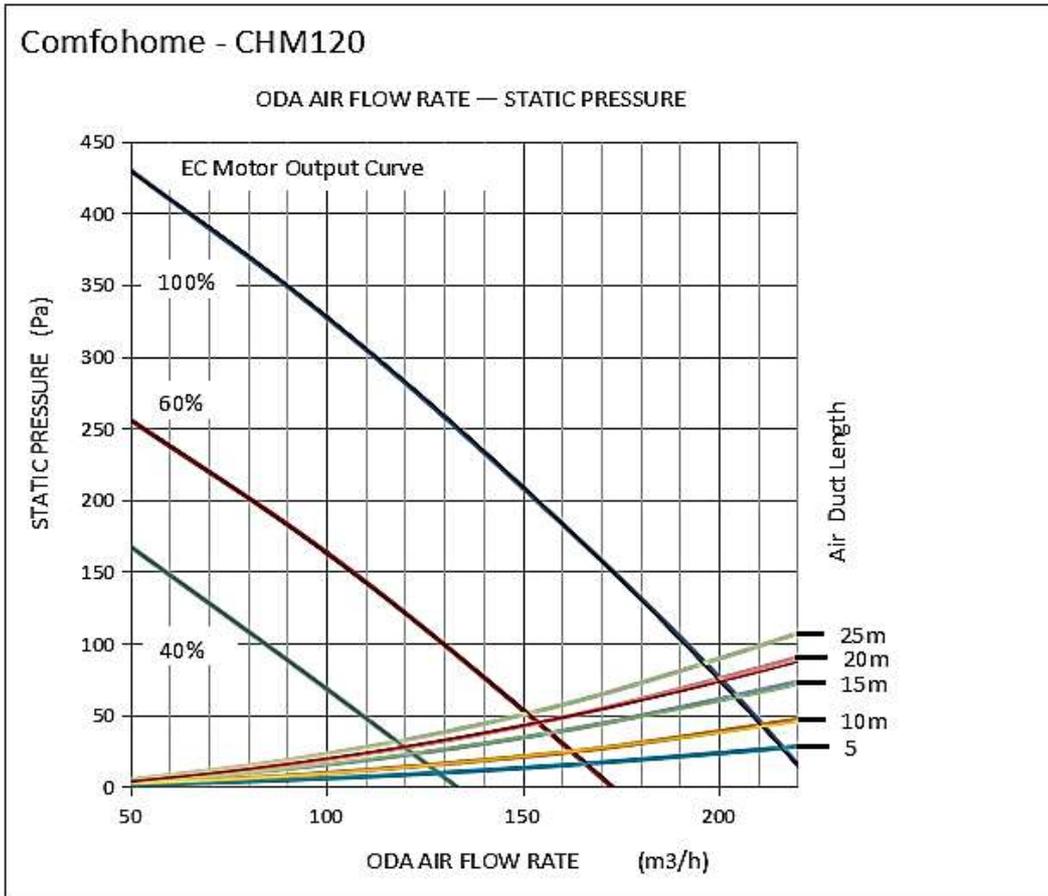
※ グラスダクトは自己保持能力が劣るため、通常の施工では自重によるうねりやたわみが生じるのが普通です。
 圧力損失の計算時には、この分の安全率を見込んでください。 は推奨選定範囲です。



- ・ダクト設置（パターンJ）での風量と静圧の特性を示しています。
- ・静圧設定は室内ユニット電装品のスイッチ（SW904-3, 4）で設定できます。
- ・静圧設定は「標準」「高静圧1」「高静圧2」「高静圧3」の4種から設定できます。
- ・接続する機器の抵抗に応じて設定を行ってください。
- ・工場出荷時は「標準」で設定されています。
- ・乾き風量での特性を記載しています。

△						名称		<冷暖房兼用フリービルトイン型 ルームエアコン> インバータータイプ		F403ALV ファン特性	
△						FAN CHARACTERISTICS					
受注番号 ORDER NO.		製作数 QUANT.		発行日 DATE	YR MO DA	尺度 SCALE	ダイキン工業株式会社 DAIKIN INDUSTRIES, LTD.	元図番 ORG DWG. NO	4D121701		
						単位 UNIT		mm	図番 DWG. NO	4D121701 -F403ALV	

静圧-風量特性曲線



ダクト計画：用語と数式（講義テキスト付録）

位置づけ 本資料は「講義テキスト（全館空調&ルームエアコンの理解）」の付録として、圧損計算と風量調整の“共通言語”を最小セットでまとめたものです。

目的 この書類の目的は、圧損計算に必要な数値や計算式を提示することです。

前提条件

- 空気密度 ρ は一定（例：1.2 kg/m³）。
 - ここで扱う式はすべて**円形ダクト**を前提とする。
 - 分岐の損失は形状だけでなく流量比・径比にも依存するため、カタログ値が無い場合は「暫定値+調整余白」で扱う。
-

0) 用語 (最小セット)

用語	意味 (要点)	関連する記号・式
直管摩擦 (摩擦損失)	直管の内面摩擦による損失。長いほど増える。	記号： $\lambda, L, D, \Delta p_f, q$ 式： $\Delta p_f = \lambda \frac{L}{D} q$
局部損失	曲げ・分岐・端末など「形状・流れの乱れ」で生じる損失。	記号： $\zeta, \Delta p_m, q$ 式： $\Delta p_m = \zeta q$
動圧 (速度圧)	速度に由来する圧力。多くの損失式で基準となる圧力。	記号： q, ρ, v 式： $q = \frac{\rho v^2}{2}$
静圧	ファンが系に与える圧力 (押し出す力)。ダクト・部材を通る過程で圧力損失として消費される。	記号： Δp_{fan} (供給側の外部静圧) 式：— (概念)
圧力損失 (圧損)	ダクトや部材で消費される圧力 (静圧が減る量)。	記号： $\Delta p_f, \Delta p_m, \Delta p_{terminal}, \Delta p_{damper}$ (損失の内訳) 式：—
1mあたりの圧力損失 (Pa/m)	直管1mあたりの圧力損失。ルート比較に便利。	記号： $\Delta p_f, L, \lambda, D, q$ 式： $\Delta p_f / L = \lambda \frac{1}{D} q$
クリティカルパス	最も圧損が大きい (= 必要差圧が最大の) 経路。調整の基準。	記号：— 式：— (概念)
風量調整 (バランス)	各経路の風量を狙い値に近づける調整。必要に応じて他ルートを絞って合わせる。	記号： Q 式：— (操作：ダンパ/端末で調整)

1) 記号と単位（最初に固定）

記号	読み	内容
ρ	ロー	空気密度 [kg/m ³]
Q	キュー	風量（体積流量）[m ³ /s]（※実務では m ³ /h をよく使う）
Q_h	キュー・エイチ	風量（体積流量）[m ³ /h]
D	ディー	内径 [m]（※「呼び径」と混同しない）
A	エー	断面積 [m ²]
v	ブイ	平均風速 [m/s]
Δp	デルタ・ピー	圧力差（一般記号：損失も含む）[Pa]
Δp_f	デルタ・ピー・エフ	直管摩擦による圧力損失 [Pa]
Δp_m	デルタ・ピー・エム	局部損失による圧力損失 [Pa]
Δp_{fan}	デルタ・ピー・ファン	ファンが系に与える外部静圧 [Pa]
Δp_{total}	デルタ・ピー・トータル	システムの総圧力損失 [Pa]
Δp_{path}	デルタ・ピー・パス	経路（1ルート）の総圧力損失 [Pa]
$\Delta p_{terminal}$	デルタ・ピー・ターミナル	端末（吹出口等）の圧力損失 [Pa]
Δp_{damper}	デルタ・ピー・ダンパー	絞り（ダンパ等）による圧力損失 [Pa]
L	エル	直管長さ [m]
q	キュー	動圧（速度圧）[Pa]
λ	ラムダ	摩擦係数（Darcy摩擦係数）[-]
ζ	ゼータ	局部抵抗係数（曲げ・分岐・端末など）[-]

2) 風量 Q ・風速 v ・ダクト径 D の関係

径が効く理由を説明する基礎。風量 Q (m³/s) を風速 v (m/s) に変換する (m³/h を使う場合は $Q = Q_h/3600$) 。

$$Q = Av, \quad A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

3) 動圧 (速度圧) q : 損失式の基準

損失は多くの場合 q を基準に表現できる。

$$q = \frac{\rho v^2}{2}$$

4) 直管摩擦 (Darcy-Weisbach)

直管の摩擦損失。Pa/m (1mあたりの圧力損失) にすると、ルート同士の比較がしやすい。

$$\Delta p_f = \lambda \frac{L}{D} q = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2}$$

Pa/m (1mあたりの圧力損失) :

$$\frac{\Delta p_f}{L} = \lambda \frac{1}{D} q = \lambda \frac{1}{D} \frac{\rho v^2}{2}$$

(参考: Q と D で書くと「径が効く」ことが分かる。 Q を一定とすると Q^2 も定数となり、 $\Delta p/L \propto 1/D^5$ となる)

$$\frac{\Delta p_f}{L} = \lambda \cdot \frac{8\rho}{\pi^2} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \Rightarrow \Delta p/L \propto 1/D^5 \quad (Q \text{ 一定のとき})$$

5) 局部損失 (曲げ・分岐・端末)

曲げ・分岐・端末など「形状で決まる損失」。

分岐は特に **流量比・径比・角度** で ζ が変わりやすい (例: 同径T分岐は大きめ、Y分岐は小さめになりがち) 。

$$\Delta p_m = \zeta q = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$$

(参考: Q と D で表すと概ね $\Delta p_m \propto Q^2/D^4$ 。 Q を一定とすると $\Delta p_m \propto 1/D^4$)

$$\Delta p_m \propto \frac{Q^2}{D^4} \Rightarrow \Delta p_m \propto 1/D^4 \quad (Q \text{ 一定のとき})$$

6) 総圧力損失の集計 (経路 Δp_{path})

$$\Delta p_{path} = \sum \Delta p_f + \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{damper} + \Delta p_{terminal}$$

- $\sum \Delta p_f$: 直管摩擦の合計
- $\sum \Delta p_m$: 局部損失の合計
- $\sum \Delta p_{damper}$: ダンパ等の合計 (調整用)
- $\Delta p_{terminal}$: 端末の圧力損失 (原則 1 箇所)

7) 風量調整 (バランス) の考え方

ポイント：運転点 (その瞬間の風量 Q と圧力 Δp の組) では「供給 = 消費」が成立する。

- 供給：ファン (熱交換器等) が系に与える外部静圧 Δp_{fan}
- 消費：ダクト・局部・端末・絞り (ダンパ等) で失われる総圧力損失 Δp_{total}

7-0) ファン特性 (ノッチ・P-Q線図・制御方式) を先に確定する

調整の前提：風量調整は「そのファンが、その設定で出せる運転点」の範囲でしか成立しない。したがって、調整前に**ノッチ (段)** と**制御方式**を確定し、**P-Q線図**で妥当性を確認する。

- **ノッチ (段)** が変わると、ファンの特性 (出せる風量・静圧) が変わる。調整は「どのノッチで合わせるか」を固定して行う。
- **P-Q線図**から、ノッチごとの特性と**運転点** (実際に出る Q と Δp) を読み取れる。
- **制御方式** (手動固定 / 差圧制御 / 風量制御など) を確認し、調整中・運用中にノッチが勝手に変わらない (統制が取れる) 状態を作る。

チェック項目 (最小)

- 現在のノッチ (段) / 回転数設定
- 制御が介入する条件 (運転モード、外気温、フィルタ目詰まり等)
- 計画風量時に必要な静圧が、P-Q線図上で無理のない範囲にあるか

7-1) 運転点の関係式（供給＝消費）

ここで言う「供給＝消費」は、ファンが与える外部静圧が、経路（ダクト＋局部＋端末＋絞り）での圧力損失として消費される、という意味。

この“つり合い”が成立する運転点（その瞬間の風量 Q と圧力 Δp の組）を基準に考える。

「静圧＝圧力損失」は、運転点において

$$\Delta p_{fan} = \Delta p_{total}$$

という意味で正しい。ここで

$$\Delta p_{total} = \sum \Delta p_f + \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{damper} + \Delta p_{terminal}$$

- Δp_f : 直管摩擦（本体の損失）
- Δp_m : 局部損失（曲げ・分岐など）
- Δp_{damper} : ダンパ等で“追加的に作る”損失（＝調整のための落とし所）
- $\Delta p_{terminal}$: 端末（レジスタ・吹出口等）の損失

7-2) なぜ風量が偏るか（放っておくと楽な道へ流れる）

同じ Δp_{fan} がかかるとき、抵抗の小さい経路ほど風量 Q が増える。実務上はダクト系の抵抗は概ね Q^2 則で増えるため、

- 抵抗が小さい経路： Q が増えやすい
- 抵抗が大きい経路： Q が出にくい

という偏りが起きる。

7-3) 調整とは何をしているか（クリティカルパス基準）

- **クリティカルパス**：最も厳しい（必要差圧が最大の）経路。ここは基本的に「開け気味」で基準にする。
- **その他のルート**：不足ではなく“過多”が起きやすいので、ダンパや端末で絞って合わせる。

調整後は多くの場合、

- クリティカルパス： Δp_{damper} が小さい（絞り少）
- その他： Δp_{damper} が大きい（絞り多）

となり、同じ Δp_{fan} で各ルートの Q を揃える。最終目標は、各ルートが「計画風量」で流れたときに同一の圧損（同一圧力損失）になる状態に近づけること。

7-4) 「低圧損≠正義」になる理由 (調整しろ)

ダクト側の圧損が小さすぎると、調整に使える Δp_{damper} (落とし所) が確保しづらく、設計風量に揃えるのが難しくなる。

逆に、端末やダンパで差圧を落としすぎると、局所流速が上がりやすく、騒音・ドラフトのリスクが増える。

まとめ：調整余白=差圧の落とし所をどこに持つか。ダクト計画は「計算」だけでなく「調整性」の設計。

8) まとめ

- **調整の前提**：ノッチと制御方式を確定し、**P-Q線図**で運転点の妥当性（計画風量が出るか／余裕があるか）を確認する。
- **風は楽な道に流れる** → クリティカルパスを基準に**他を絞る**。
- **低圧損=正義ではない** → 「どこで・どれだけ差圧を落とすか」という調整余白をきちんと確保することが大事。