

# ファン空冷ヒートシンクにおける 機能設計手法の研究

材料技術部門

設計支援部 増田幸男

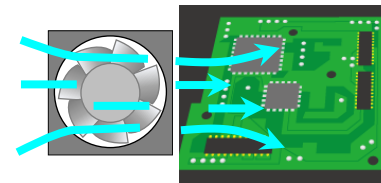
製品科学部 村澤智啓

# 背景

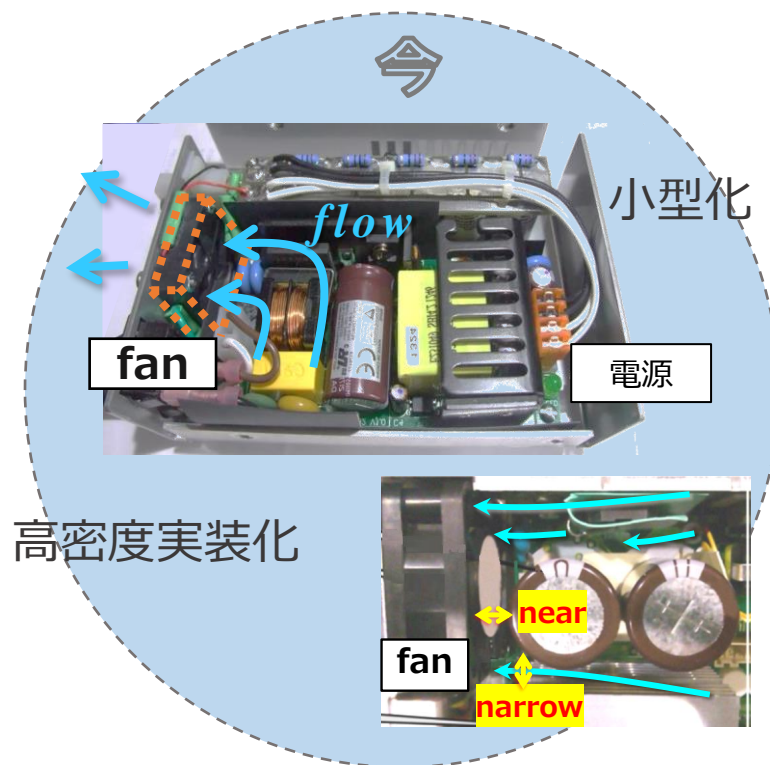
電子機器の冷却手法



空冷ファンによる強制空冷が広く採用



## ◆電子機器の昔と今



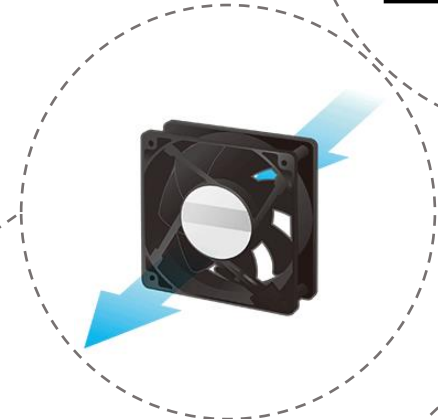
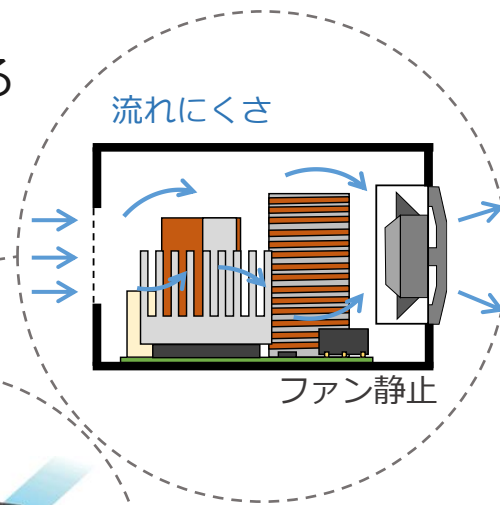
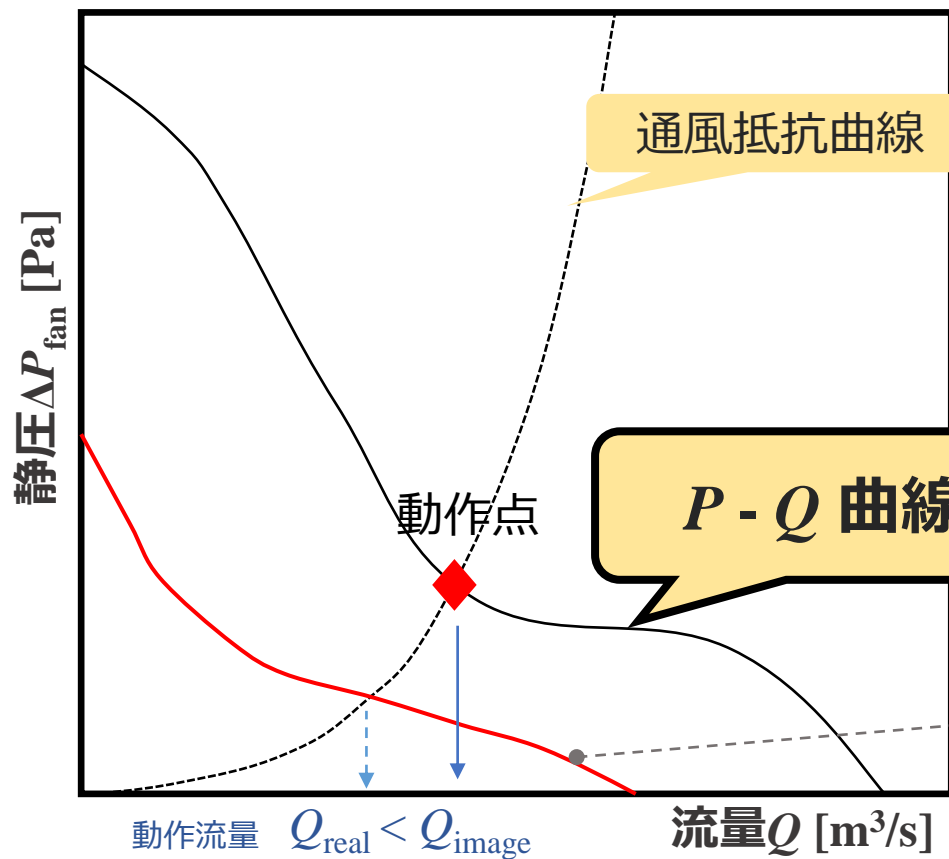
狭い環境に実装されたファンは  
カタログスペックからずれる**危険性**<sup>[1]</sup>

⚠ 熱トラブル

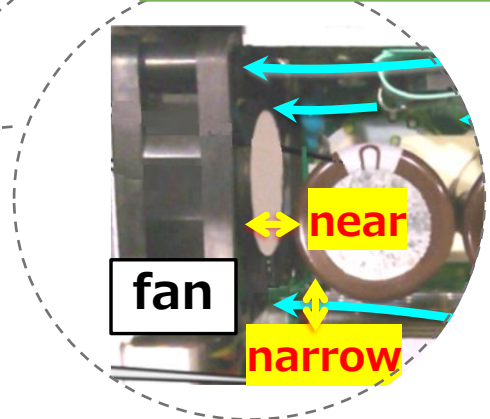
[1]菅沼, 薄型筐体内での小型軸流ファンにおける流入流れの制限によるP-Q曲線への影響, 日本機械学会熱工学コンファレンス2019講演論文集, Vol. 2019, 0149.

# ファン性能 (P-Q曲線) と課題

ファンの送風性能はP-Q曲線 (風量-静圧特性) で定義される



狭い環境に実装



⚠ 空冷不足による熱トラブル  
設計時に予測したい

# 実施内容

ファン近傍に障害物が実装された状態において  
機能設計段階で役立つ熱設計手法を検討

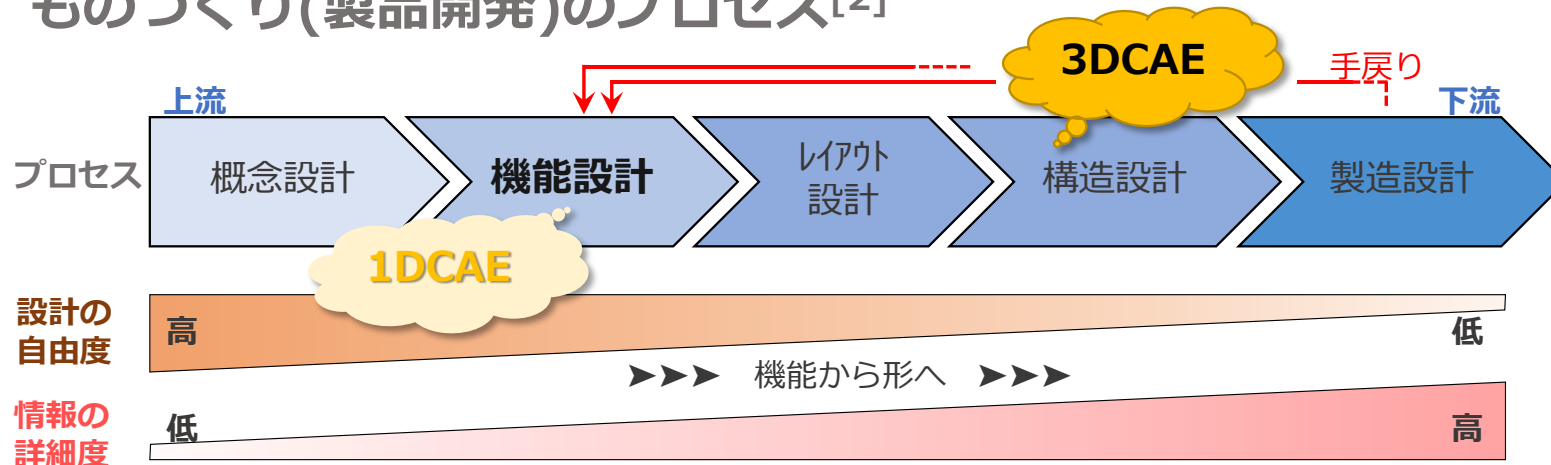
1DCAE

対象とするシステム全体を  
機能ベースで表現し 評価解析を行う

実施内容

- ▶ 機能を検証 (実測)
- ▶ 機能を定義 (予測式)
- ▶ 機能ベースの1DCAE (計算)

【参考】ものづくり(製品開発)のプロセス<sup>[2]</sup>

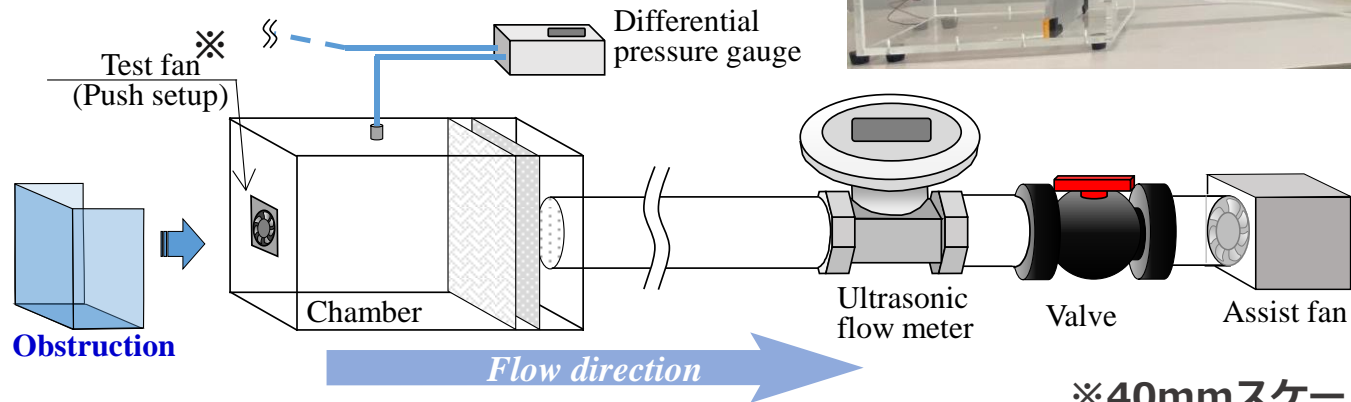


[2] 日本機械学会, “1DCAEレクチャシリーズ設計のための1DCAE概念と実現技術”(2020), 日本機械学, pp7-10.

# 実測でのP-Q曲線の取得

## ● 試験風洞の作製

規格<sup>[3]</sup>に準拠した計測システムに基づくもの

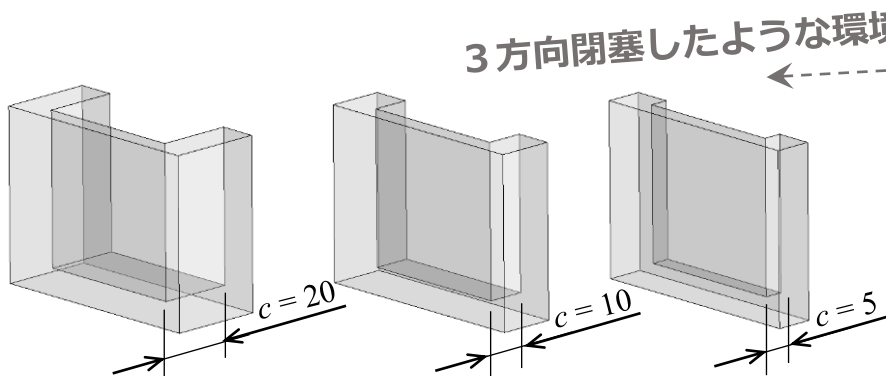
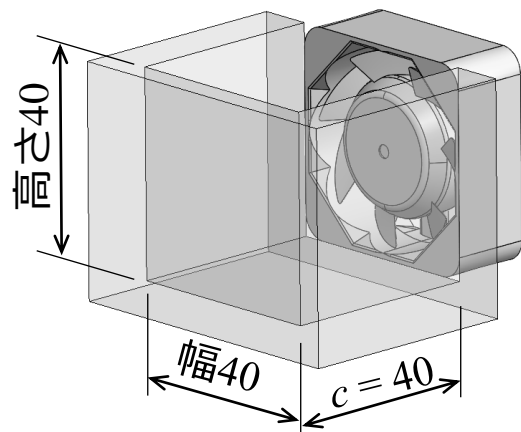


実際の風景



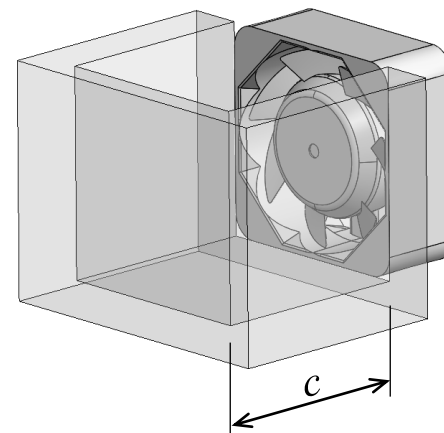
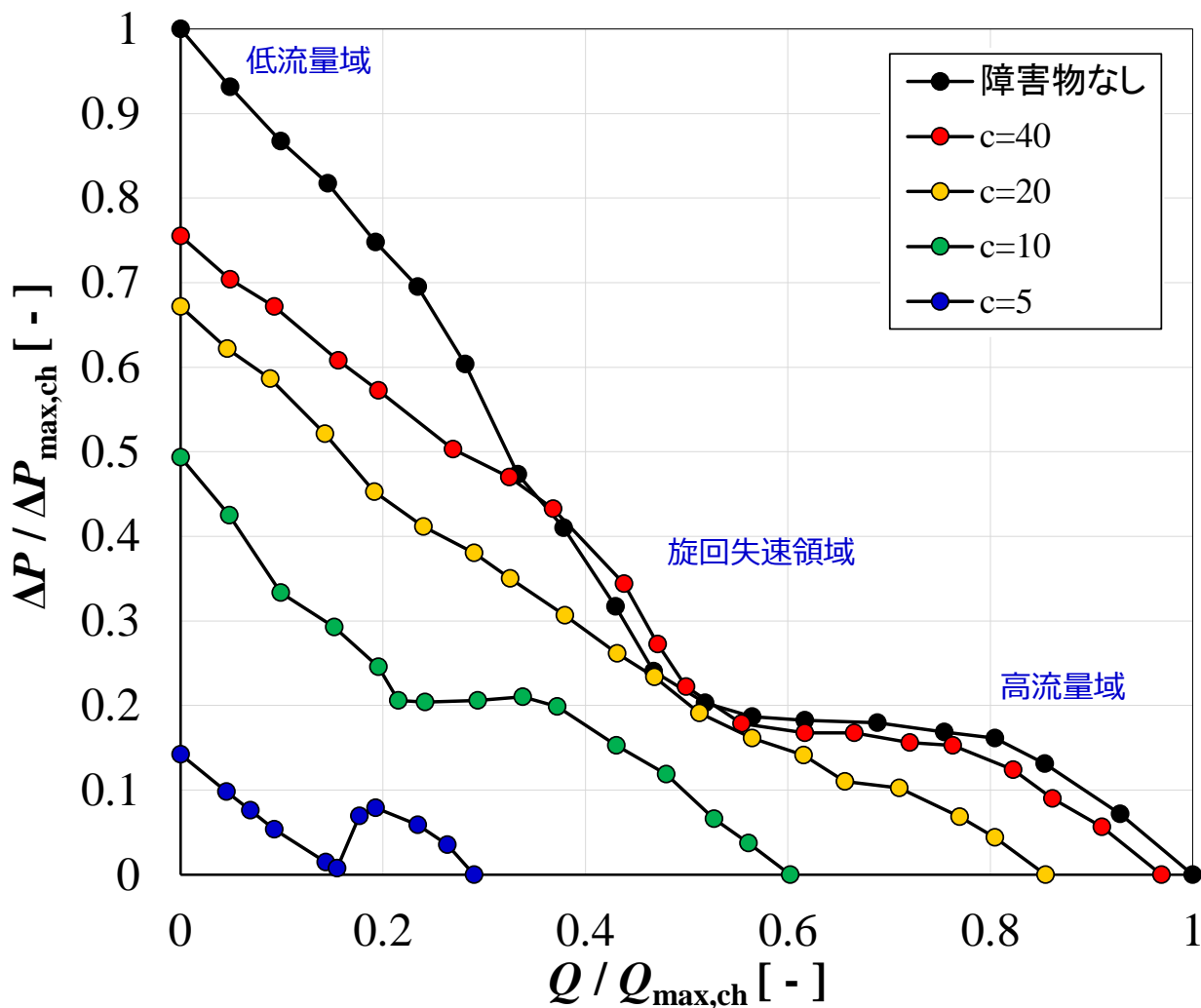
※40mmスケールのファン

## ● 狭い環境を模擬する筐体型障害物を実装



ファン正面間距離 4種類( $c = 40, 20, 10, 5$  mm)

# 実測結果

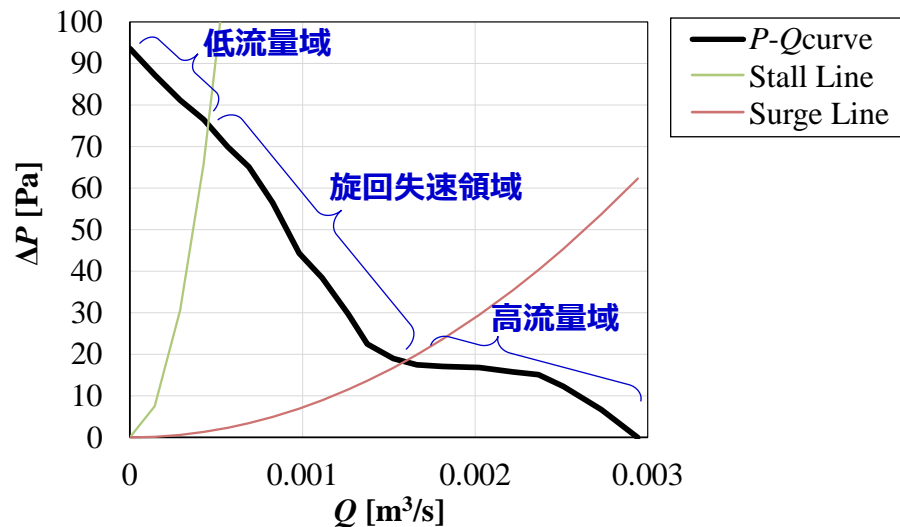


- ファン正面間距離が狭くなるほど、右肩下がりの勾配が緩やかになる傾向があった。
- $c$  のそれぞれで圧力低下の範囲が異なっていた。  
( $c=40$ : 低流量域のみ,  
 $c=20$ : 低流量域と高流量域が,  
 $c=10, 5$ では, 全領域)

# 経験式からの算出を検討

ASME論文<sup>[4]</sup>より、小型ファンの $P-Q$ 曲線は3領域に分けられ、次の関係があることが計測から示されている。

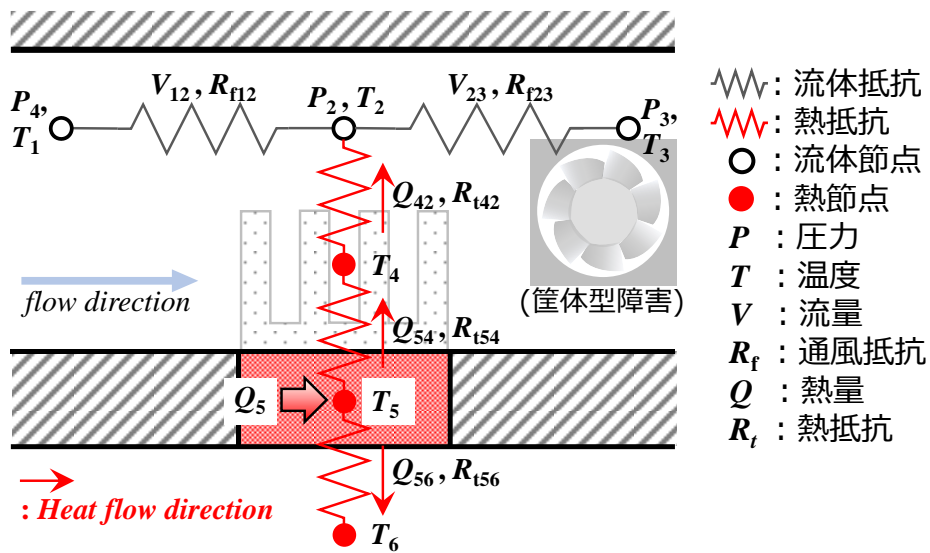
低流量域	: $P_s = P_{smax}$	$R_*$ : 切片 $S_*$ : 傾き
旋回失速領域	: $P_s = R_L - S_L Q^{0.2}$	
高流量域	: $P_s = R_H - S_H Q^2$	



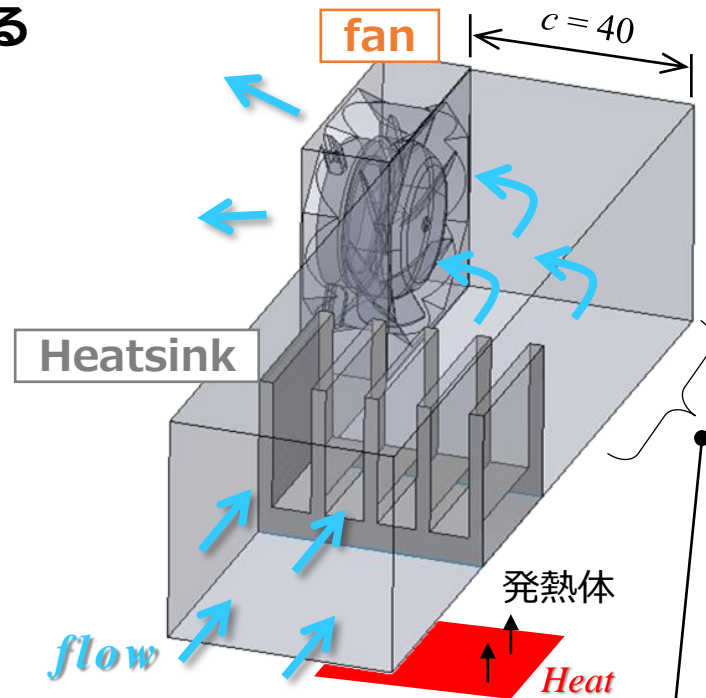
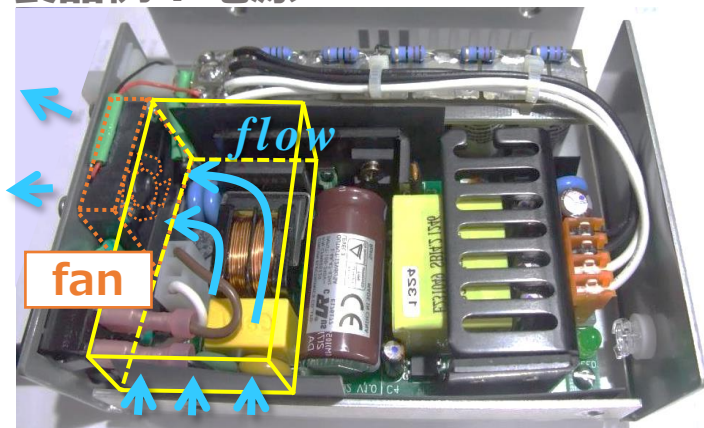
この経験式を応用し、筐体型障害物を実装した実測結果から、3方向が閉塞されたケースにおけるファンと障害物の距離に関する**予測式の構築**を試みた。

# 熱流体抵抗網法による検討

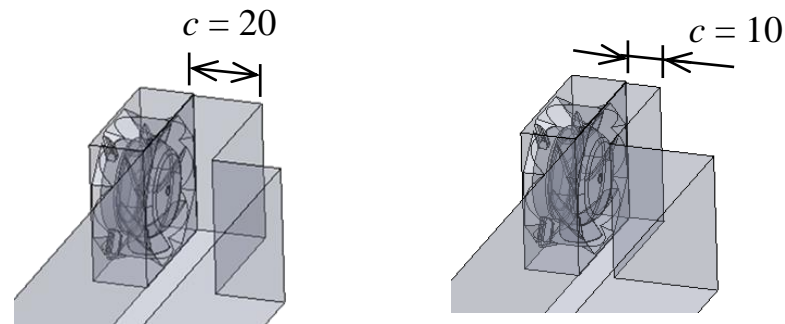
## ● 検討する機能モデル ファンと発熱部品とヒートシンクの熱設計を考える



製品例：電源



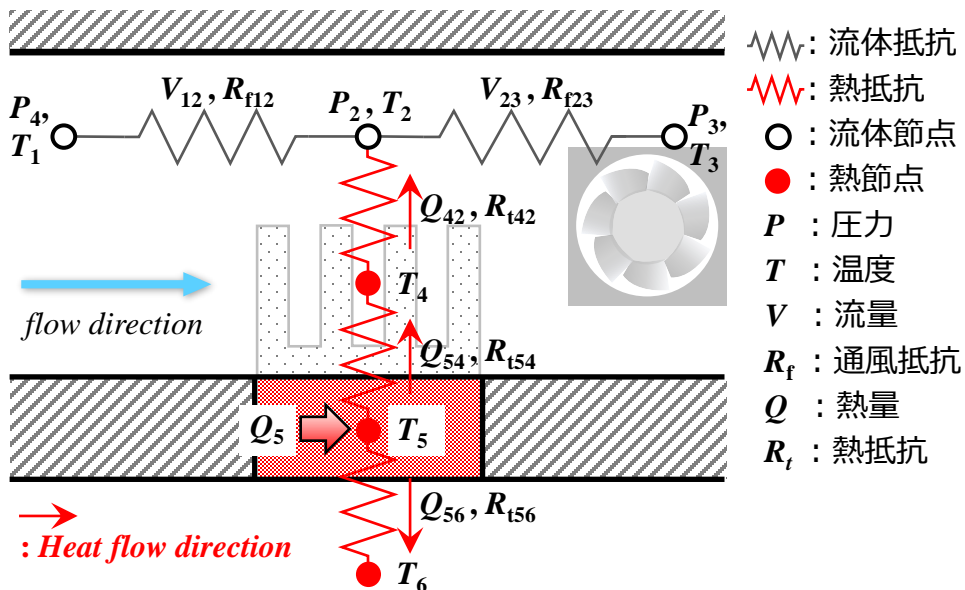
筐体状に閉塞された場合を想定



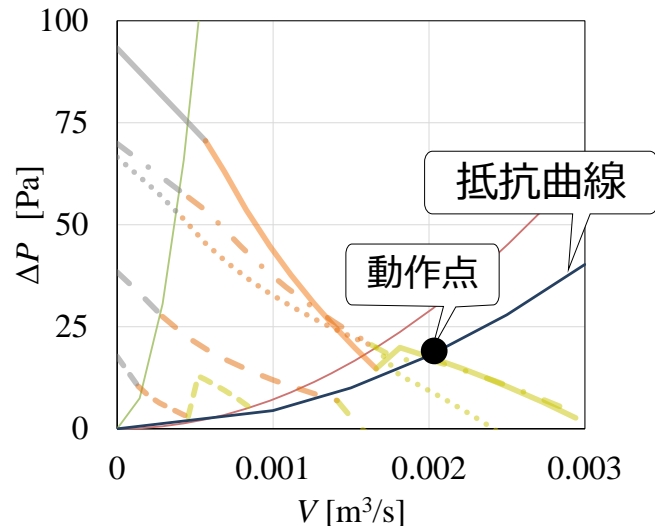


# 熱流体抵抗網法による検討

## ● 機能モデルの解説



■ 筐体障害物実装でのP-Q曲線及び通風抵抗曲線



### ファン性能と通風抵抗からファンの動作点を導出

圧力損失 [Pa]	$\Delta P = R_{f12f23} V^2$
通風抵抗 [Pa · s <sup>2</sup> /m <sup>6</sup> ]	$R_{f12f23} = (\zeta_{duct} + \zeta_{hs}) \frac{\rho}{2A^2}$
管摩擦係数 (ブラジウスの式)	$\zeta_{duct} = f \frac{L}{d} \quad f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad \zeta_{hs} = \frac{C(1-\beta)}{\beta^2}$
ファンの動作点 [m <sup>3</sup> /s]	$V_{12-23} = \frac{\sqrt{4(S_{H,NO} - R_{f12f23}) R_{H,NO}}}{2(S_{H,NO} - R_{f12f23})}$

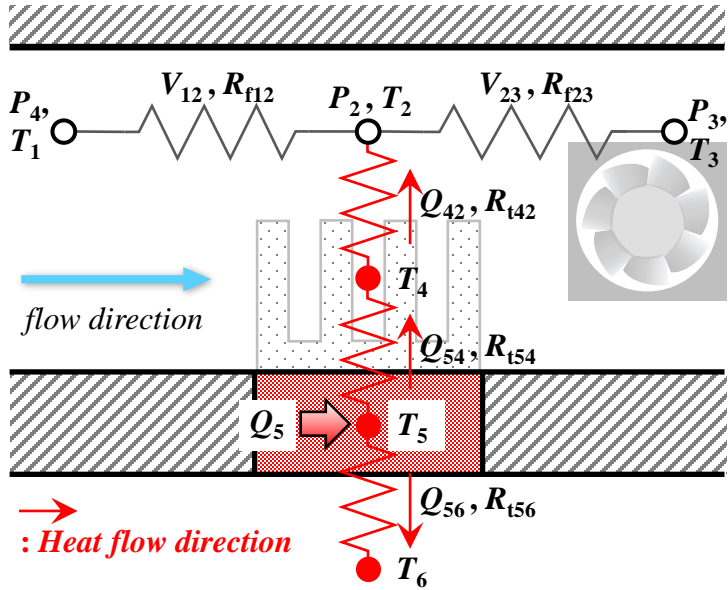
### 発熱体の温度を求める

オームの法則, キルヒホッフの法則, 質量保存則, エネルギー保存則

hs熱伝達率 [W/m <sup>2</sup> K]	$h_m = 0.037 \left( \frac{u_{ave}}{d \cdot 0.25} \right)^{0.8} Pr^{1/3} k$
熱抵抗 [K/W]	$R_{t54} = \frac{d}{\lambda A_{heat}} \quad R_{t42} = \frac{1}{h_m A_{hs}} \quad R_{t56} = 10$ (自然対流)
外気温 [°C]	$T_1 = T_6 = 20$
節点における各種方程式	$\begin{aligned} (T_5 - T_4)/R_{t54} + (T_5 - T_6)/R_{t56} &= Q_5 \\ (T_4 - T_5)/R_{t54} + (T_4 - T_2)/R_{t42} &= 0 \\ \rho c_p V_{12} T_1 - \rho c_p V_{23} T_2 + (T_4 - T_2)/R_{t42} &= 0 \end{aligned}$

# 熱流体抵抗網法による検討

## ● 機能モデル・Excelによる温度予測



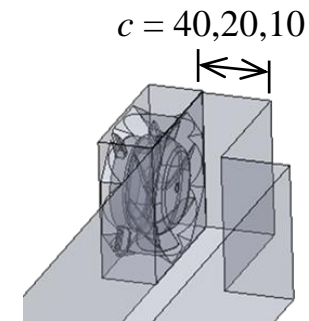
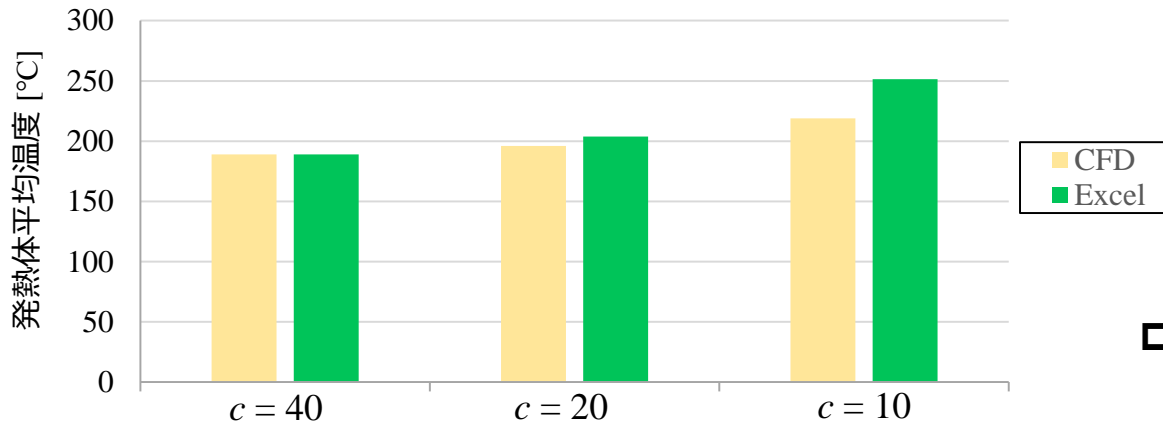
- : 流体抵抗
- : 熱抵抗
- : 流体節点
- : 熱節点
- $P$  : 圧力
- $T$  : 温度
- $V$  : 流量
- $R_f$  : 通風抵抗
- $Q$  : 熱量
- $R_t$  : 熱抵抗

## 発熱体の温度を求める Excelシート

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following sections:

- 初期条件, 境界条件, データ入力**: Input parameters for fan distance, duct length, and heat generation.
- 通風抵抗を求める**: Calculations for duct and fan resistances.
- ファンの送風量を求める**: Calculation of fan flow rate based on pressure drop.
- ヒートシンク周りの熱を求める**: Calculation of heat sink temperatures.
- 通風抵抗曲線作成**: A graph showing pressure drop ( $\Delta P$  [Pa]) versus flow rate ( $V$  [m<sup>3</sup>/s]).
- 動作点計算**: A table showing the operating point where the fan curve intersects the system resistance curve.
- 温度の算出計算**: Final calculation of component temperatures.

## ■ 50Wの部品発熱を想定した時の1DCAEと3DCAEとの比較



□ ファン近傍に障害物が実装された状態の予測式を熱流体抵抗網法に組み込むことができた

# 成果と今後の展望

## 成果

- ▶ 機能を検証 ▶ 機能を定義 ▶ 機能ベースの1DCAE を実施した。
- 筐体障害物がファン近傍に実装された状態において、以下の成果を得た。
- ✓ 実測でのP-Q曲線を取得できるようになった。
  - ✓ (解析も同様)
  - ✓ 傾向を捉えた予測式を導出できた。
  - ✓ 熱流体抵抗網法による機能ベースの1DCAEに落とし込むことができた。

## 今後

- 解析での成果と予測式の導出について、学会論文への投稿を予定（2報）
- 多種ファンでのCFDによる性能予測と定式化を実施
- スケールを問わない障害物設置時のファン性能予測モデルを検討
- 1DCAEと実測との整合性を評価
- 1D-CAEツール(OpenModelica)の活用を検討