

CIAJ 装置実装委員会／IEC SC48D国内委員会
コラボレーションセミナー

『IEC SC48D キャビネット/ラックの熱設計規格解説』

2022年 3月 16日

IEC SC48D WG5 エキスパート

NECプラットフォームズ 黒木 擁祐

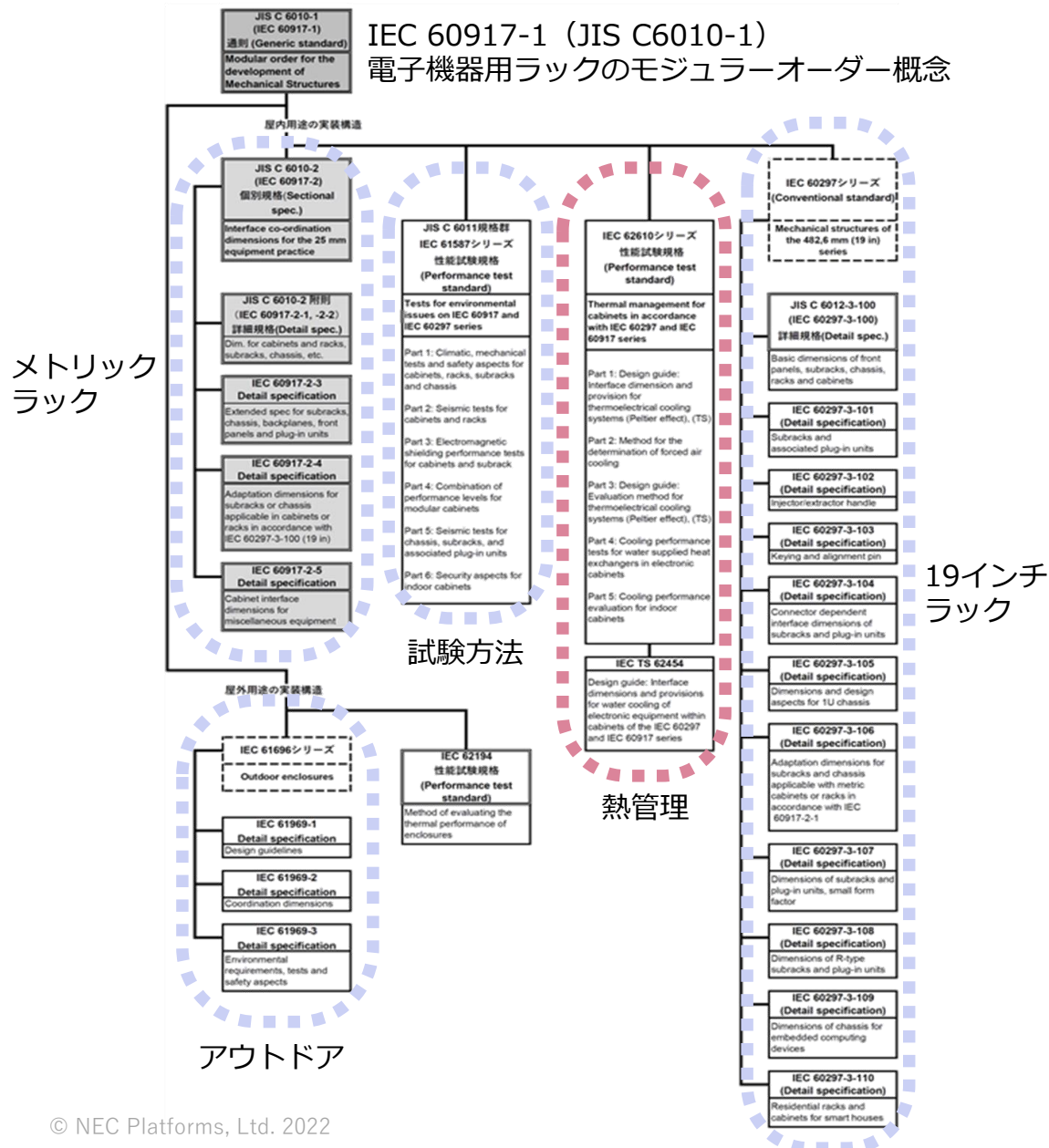
目次

- サーマルコンパチビリティについて
- IEC 62610-2 強制空冷構造の決定方法
- IEC 62610-5 屋内キャビネットの冷却性能
- IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス
- まとめ

サーマルコンパチビリティについて

IEC 62610規格シリーズを活用する上で重要となる、熱的互換性～サーマルコンパチビリティの考え方を解説します

IEC SC48D規格群の「熱管理」規格シリーズ



SC48DのWG5：サーマルマネジメント（熱管理）規格には、以下のものがあります。

IEC TS 62610-1 ペルチェ冷却ユニット寸法

IEC 62610-2 強制空冷構造の決定方法

IEC TS 62610-3 ペルチェ冷却評価方法

IEC TS 62610-4 水冷熱交換器の性能試験

IEC 62610-5 屋内キャビネット冷却性能

IEC 62610-6 エア再循環とバイパス

IEC TS 62454 水冷インターフェース寸法

IEC 62966-1 アイルコンテインメント機械的要求

IEC 62966-2 アイルコンテインメント流路分離

IEC 62966-3 アイルコンテインメントの安全性

サーマルコンパチビリティ～熱的互換性

"熱的互換性"とは何か？

寸法規格 IEC 60917-1（JIS C6010-1 モジュラオーダ概念）より

... 装置構成法は次の要求条件を満足することが必要となる：

- 最小エリア、領域内での部品の配置；
- 外形寸法、実装寸法（固定穴、とりしろなど）などに関する製品間の寸法互換；
- 次に示す製品の寸法互換とインタフェース寸法の決定：
 - 装置、ラック、パネル、キャビネットなどの製品の取付けにかかわる寸法
 - ドア高さ、部屋の高さ、領域など装置構成に関連した基本格子にかかわる寸法

様々な互換性：

- 寸法互換性
- 機械的互換性
- 熱的互換性
- 電源。。
- EMC。。
- 通信。。

この規格は、電子機器の機械構造に関するモジュラオーダの考え方の定義を示し、例えば、プリント配線板、部品、設備、備品、配置空間、建物などの工業生産物に対して機構インタフェースでの寸法互換を実現することを目的とする。

概念の対比：

寸法規格	熱管理規格
IEC 60917-1	IEC 62610-2
機械的構造	強制空冷構造
寸法互換性	熱的互換性
機構インターフェース	サーマルインターフェース
基準面	温度規定点
モジュラ格子	換気性能

キャビネット/ラックに実装された装置が熱的な問題を起こさないためには、サーマルコンパチビリティ（熱的互換）を実現する必要がある

熱的互換性規格 IEC 62610シリーズの概念

IEC 60917-1にてレベル1～4として実装される電子機器の階層構造が示されている。
これと同様に、IEC62610規格シリーズでは、熱的な側面に対して、階層構造概念を取り入れている。

- 機械的互換性

上位レベルに対するインターフェース条件

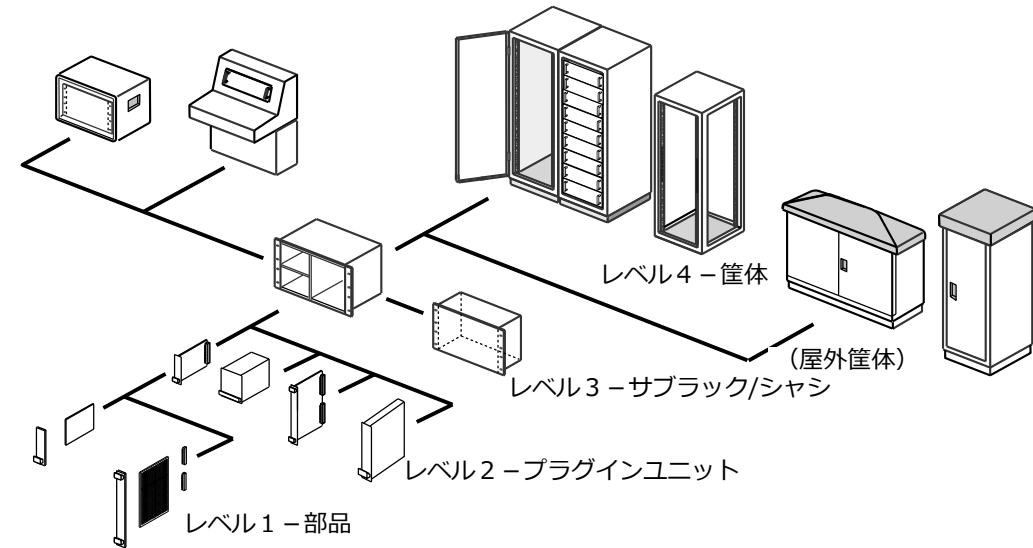
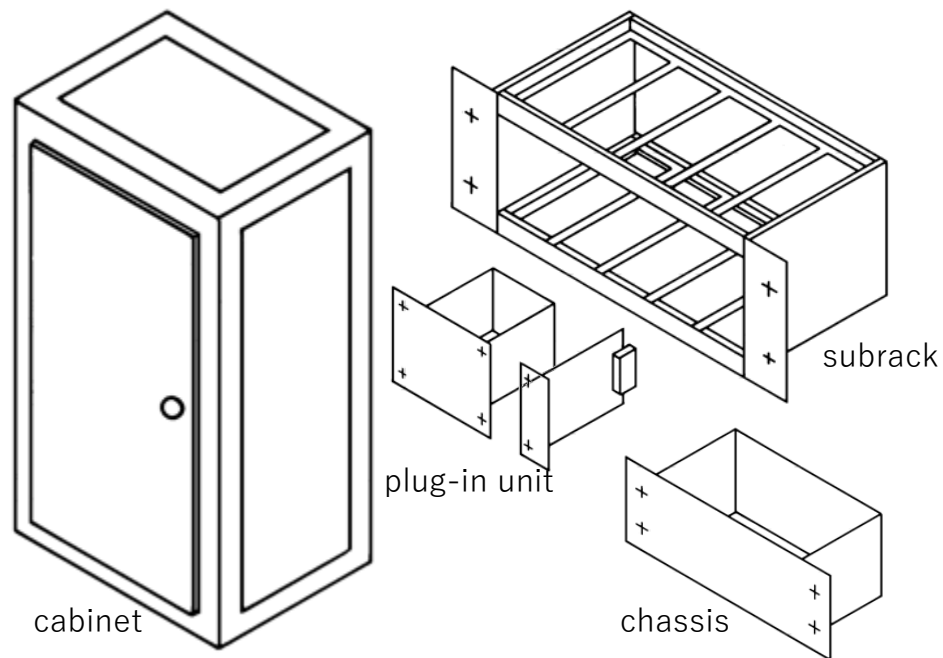
サブラック幅	→	キャビネット間口
取付けフランジ	→	キャビネット固定位置

- 熱的互換性

ユニットレベルの熱的条件（例. サブラック）

上位レベルで冷却されるもの（例. キャビネット）

サブラックの熱的条件 → キャビネットの冷却性能



電子機器の実装構造の階層

IEC 62610-2 強制空冷構造の決定方法

JIS C62610-2 電気及び電子装置用の機械的構造－屋内キャビネットの熱管理－

第2部：強制空冷構造の決定方法

IEC 62610-2:2018 Mechanical structures for electrical and electronic equipment –

Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series –

Part 2: Method for the determination of forced air cooling

規格の概要 ～課題と目的～

IEC62610-2序文より

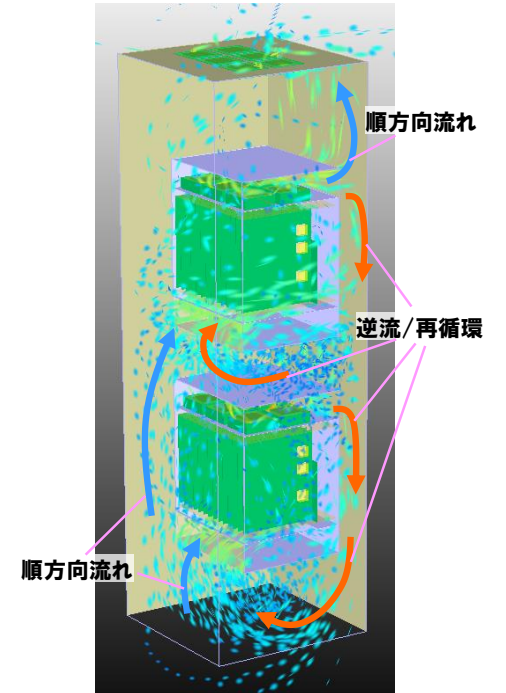
複数台のサブラック装置をキャビネット内に不適切に配置することは、エアフローの著しい不均衡。。。効果的な冷却を妨げ温度上昇をもたらす。。。キャビネット内での整合性のない空気の流れ、不要な温度上昇によって引き起こされる。。。

本規格は、キャビネットに強制空冷構造を適用する基本的で主要な方法を定義している。これは、アイルコンテインメントを用いたデータセンターのようなマシンルームの機器設置はもちろん、あらゆる電気電子機器キャビネットの熱設計に適用される。

熱的な問題が発生しないようにキャビネットに実装する装置を決めるには、どんな条件をクリアすればいいのか？→サーマルコンパチビリティ

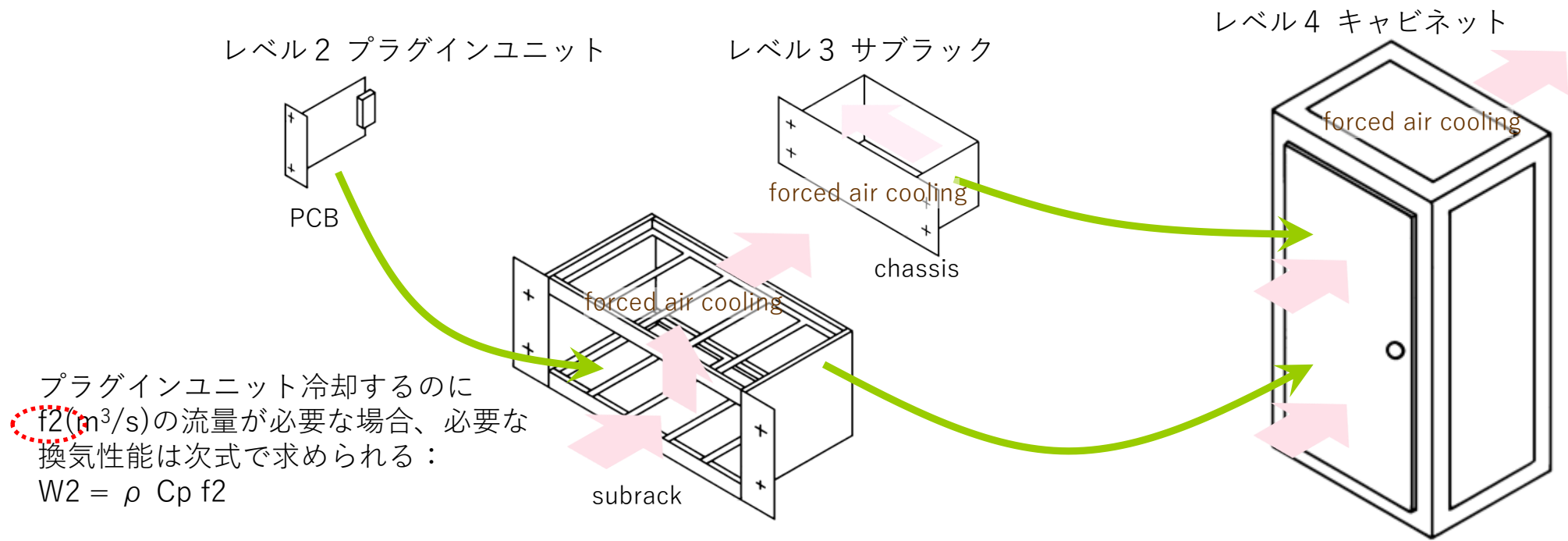


40Uだから2Uシャーシが20台入る？
→キャビネット内部が高温に



シェルフ装置をキャビネットに実装するだけで問題ない？
→キャビネット内部のエアフローがカオス

熱設計の階層構造

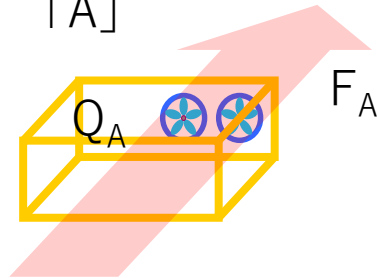


- ユニットの冷却機能をユニット自身で具備しているもの
- ▲ユニットの冷却機能を上位ユニットに求めるもの

				レベル2 プラグインユニット ▲	レベル3 サブラック ●	レベル4 キャビネット ●	レベル5 機械室等 ●
放熱性能	ユニット自体が具備する、下位ユニットを冷却する性能	規定点温度 流量 流速 換気性能	deg. C m³/s m/s W/K	—	T3 F3 U3 Θ3	T4 F4 U4 Θ4	T5 (F5) (U5) (Θ5)
発熱条件	下位ユニットも含むユニット自体の（最大）発熱条件	発熱量	W	Q2	Q3	Q4	—
放熱条件	ユニットが上位ユニットに求める放熱性能	規定点温度 流量 流速 換気性能	deg. C m³/s m/s W/K	t2 f2 u2 W2	t3	t4	—

熱的階層構造の実例 1

サブブロック「A」



熱的仕様「A」

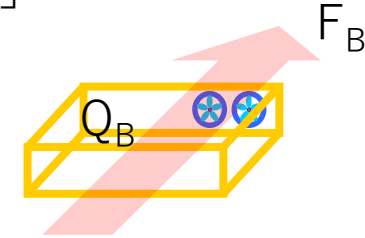
- 内部発熱量 Q_A : 200W
 - 許容最大吸気温度 T_{i-Amax} : 50 deg.C
 - 許容最大排気温度 T_{o-Amax} : 70 deg.C
- ⇒ 必要流量

$$\begin{aligned} F_A &= Q_A / (\rho * Cp * 20) \\ &= 200 / (1.06 * 1009 * 20) \\ &= 9.35 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 33.7 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

必要冷却性能 (換気性能と呼ぶ) Θ_A は、
以下のように求められる

$$\begin{aligned} \Theta_A &= \rho * Cp * F_A \\ &= 1.06 * 1009 * 9.35 * 10^{-3} = 10\text{W/K} \end{aligned}$$

サブブロック「B」



熱的仕様「B」

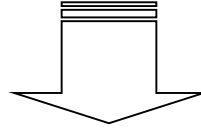
- 内部発熱量 Q_B : 150W
 - 許容最大吸気温度 T_{i-Bmax} : 50 deg.C
 - 許容最大排気温度 T_{o-Bmax} : 80 deg.C
- ⇒ 必要流量

$$\begin{aligned} F_B &= Q_B / (\rho * Cp * 30) \\ &= 4.7 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 16.8 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

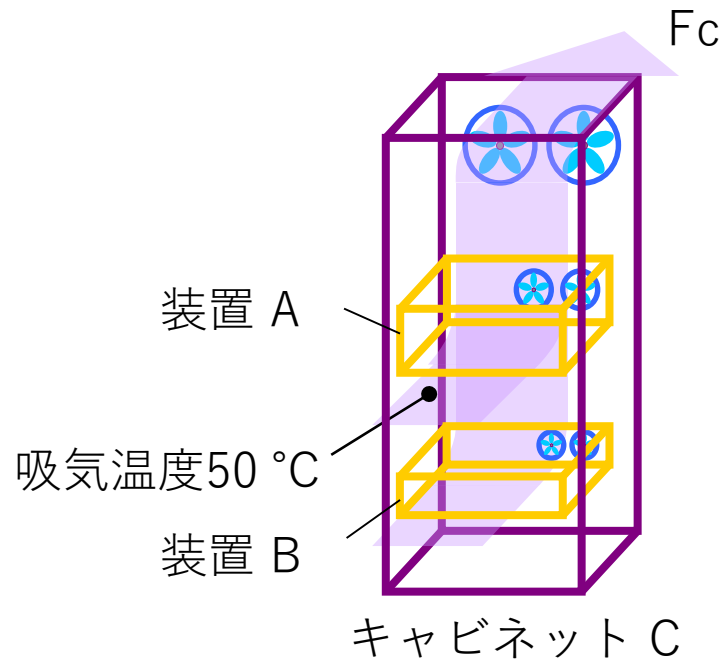
必要な換気性能は、

$$\Theta_B = \rho * Cp * F_B = 5\text{W/K}$$

熱的階層構造の実例 2



装置「A」と「B」が
キャビネット「C」に実装されるとき
必要な換気性能を求める



キャビネット「C」に求められる流量は

$$\begin{aligned} F_C &= 33.7\text{m}^3/\text{h} + 16.8\text{m}^3/\text{h} \\ &= 50.5\text{m}^3/\text{h} = 1.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

換気性能は、

$$\begin{aligned} \Theta_C &= \rho * C_p * F_C \\ &= 1.06 * 1009 * 1.4 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 15\text{W/K} \end{aligned}$$

これはつまり、

$$\Theta_C = 15\text{W/K} = 10\text{W/K} + 5\text{W/K} = \Theta_A + \Theta_B$$

したがって、

**熱的互換性を維持するには、上位階層が下位階層の
総和を上回る換気性能を保有する必要があります。**

IEC 62610-2 強制空冷構造の決定方法

流量の整合

サブラックやシャーシの単体の
冷却に必要な風量を

F3-i [m³/min]

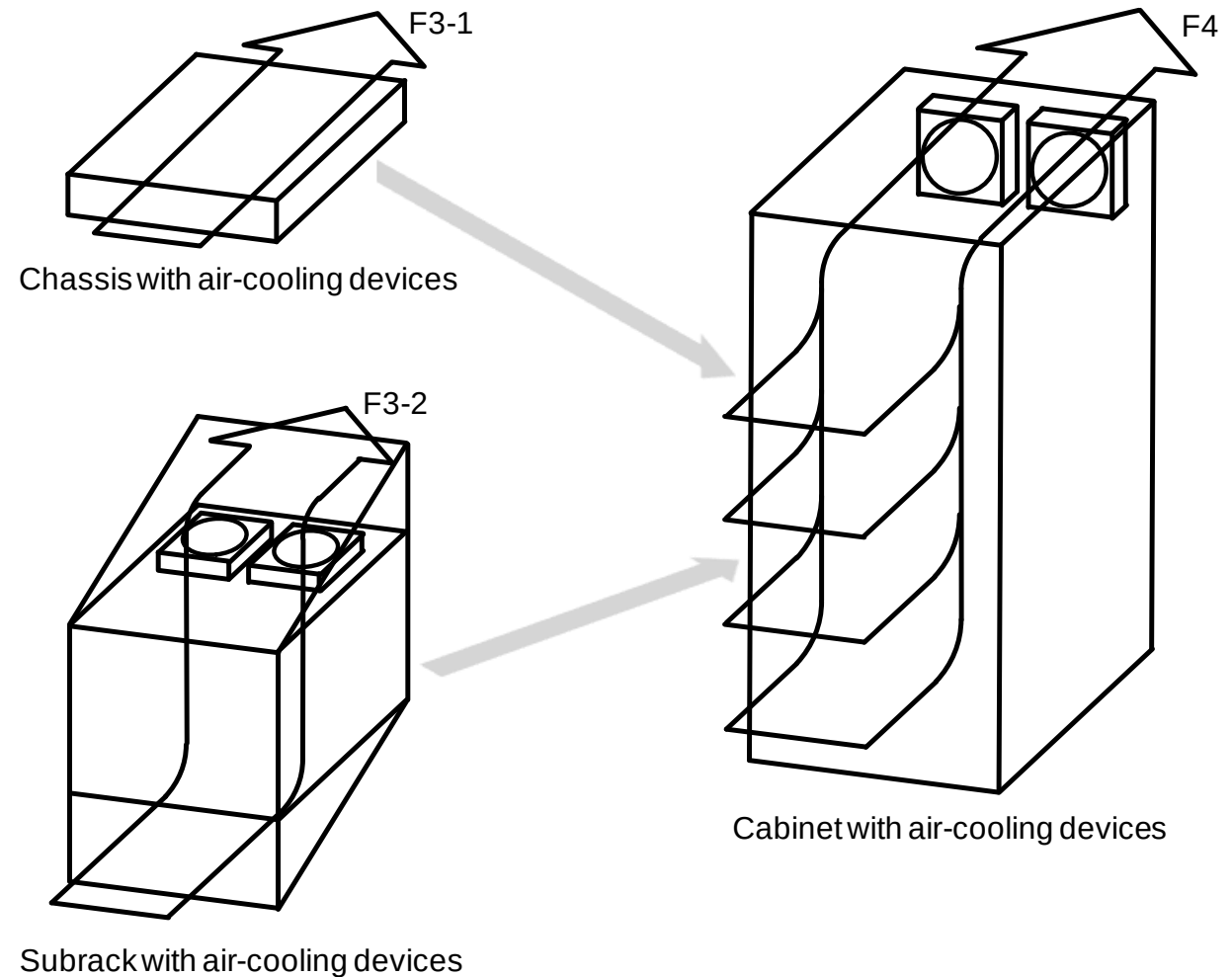
ファンユニットを付けた
空のキャビネットの風量を

F4 [m³/min]

とすると

次式を満たさなければならない

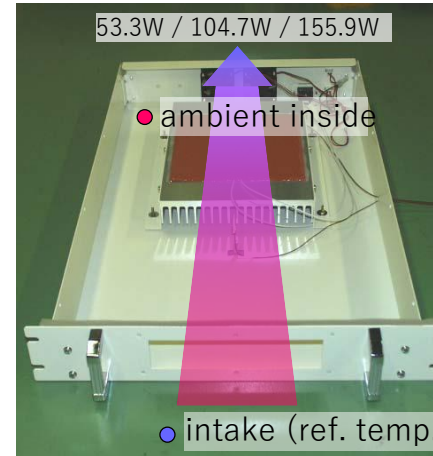
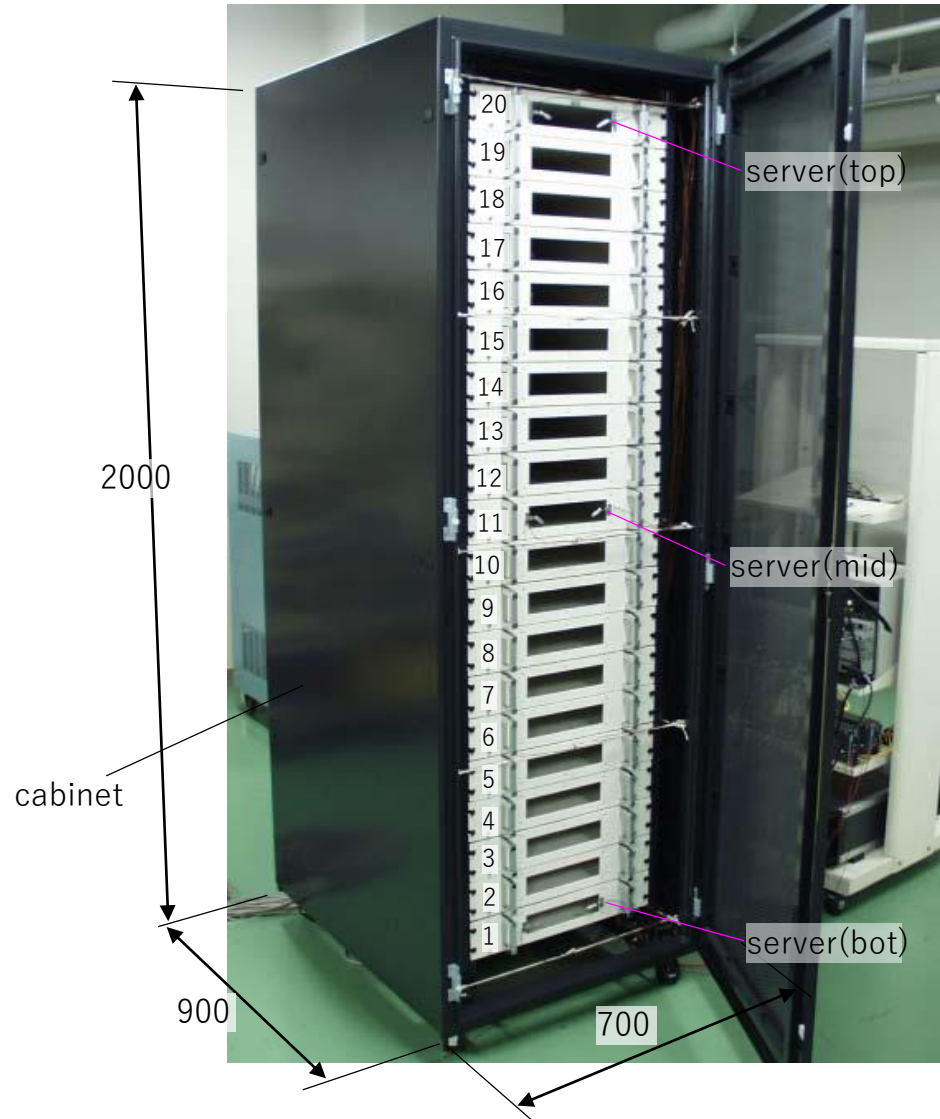
$$\sum_n F_{3-n} \leq F4$$



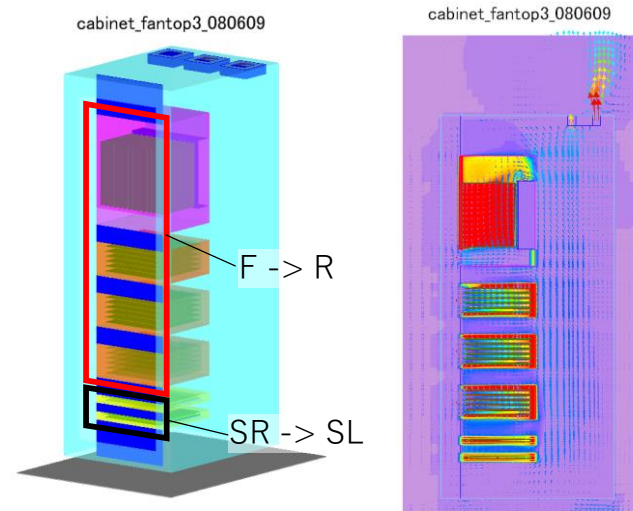
F3-n: Airflow volume of concerned n-subrack or chassis

F4: Airflow volume of empty cabinet

参考：検証実験と熱流体シミュレーション



サーバダミーの外観



熱流体シミュレーション

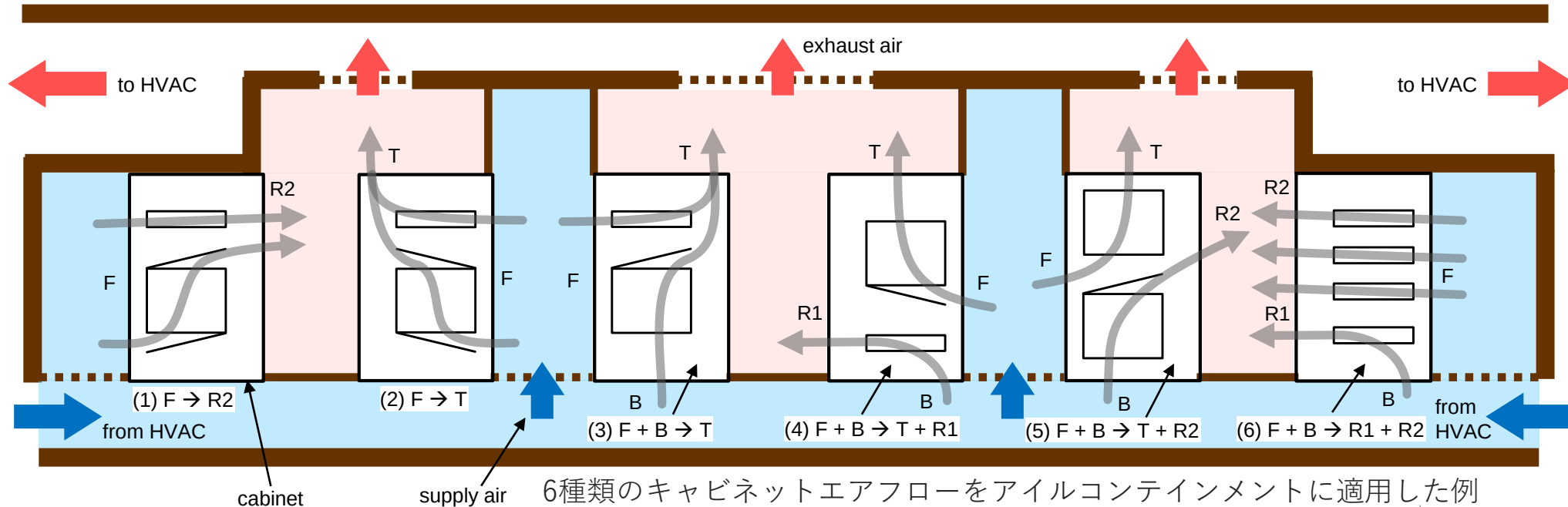
熱的互換性のためのエアフローパターンの制約

表1

サブラック又はシャシの機構を採用した機器のエアフローのパターン a)	キャビネットのエアフローのパターン b)
$F \rightarrow R$ $F + B \rightarrow R$	$F \rightarrow R2$ $F \rightarrow T$ $F + B \rightarrow T$ $F + B \rightarrow T + R1$ $F + B \rightarrow T + R2$ $F + B \rightarrow R1 + R2$

a) 強制空冷デバイスを備えたサブラック又はシャシ

b) 強制空冷デバイスを備えたキャビネット

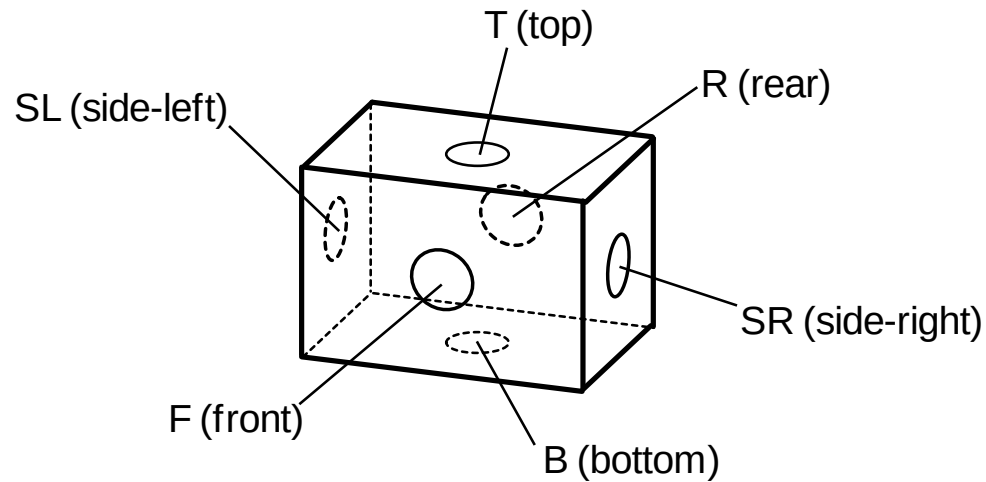


6種類のキャビネットエアフローをアイルコンテインメントに適用した例

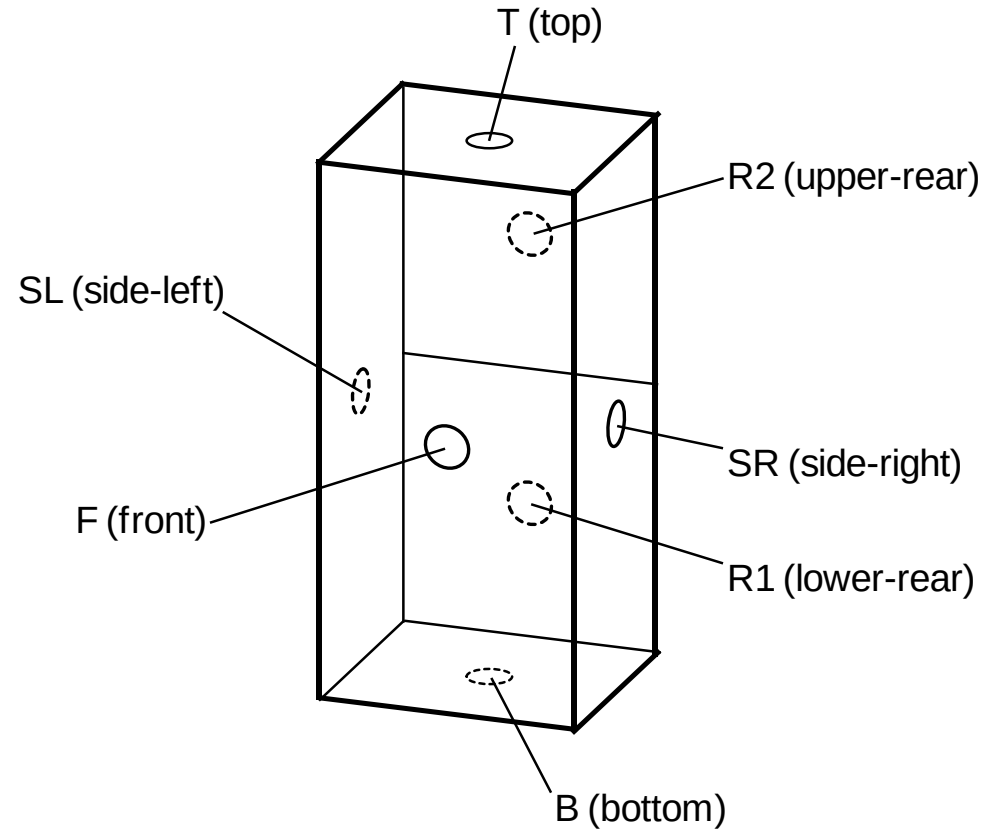
IEC 62610-2 強制空冷構造の決定方法

エアフローを示すための面の呼称

サブラック/シャーシ



キャビネット



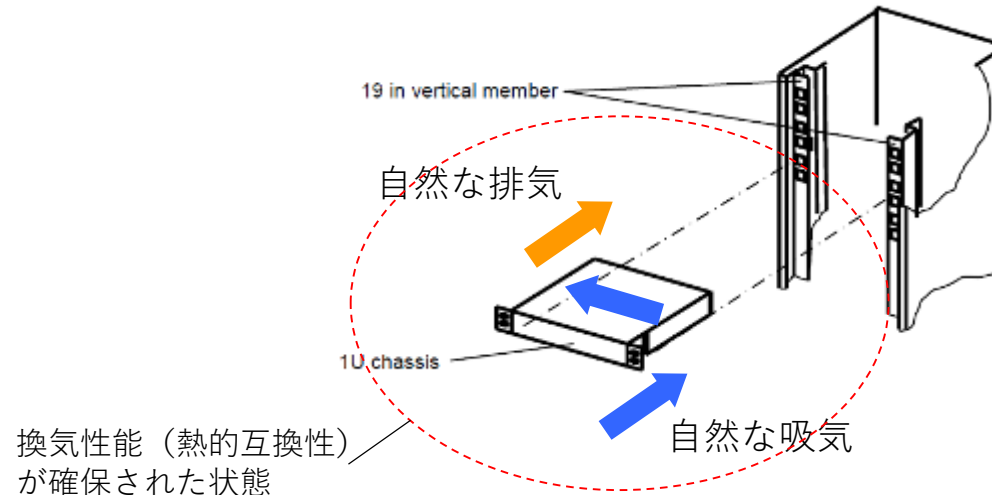
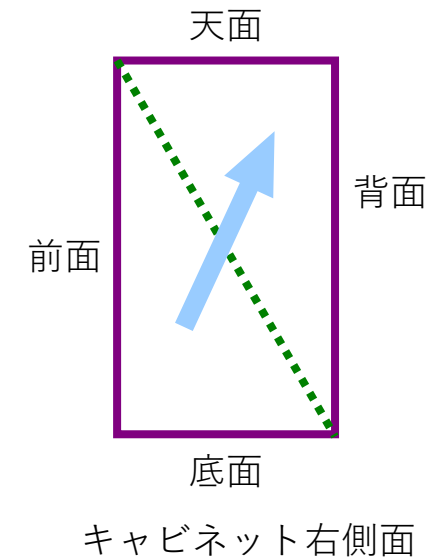
IEC 62610-2 強制空冷構造の決定方法

エアフローパターンを制限する理由

熱的互換性を実現するためには、吸気側（cold air）と排気側（hot air）を分離する必要があります。基本方針として、キャビネットの吸気面を「底面もしくは前面」、排気面を「背面もしくは天面」としています。

従って、吸気cold／排気hotを分離しにくいサブラック/キャビネットを排除する必要があります。

特に1U装置における、side-sideのエアフローに関しては、吸気/排気の構造的分離は難しいですが、キャビネットが熱的互換性を有していれば（必要な換気性能）排気の再循環が起こりにくくなります。



IEC 62610-2 要求事項

・規定点温度

強制空冷サブラック装置の場合、装置の吸気温度を「規定点温度」と呼ぶ。吸気口から30～50mmの位置で3～5か所の平均温度とする。

・推奨エアフロー

サブラック装置のエアフローは、 $F \rightarrow R$ または $F+B \rightarrow R$ とする。キャビネット装置のエアフローは、 $F \rightarrow R2$ 、 $F \rightarrow T$ 、 $F+B \rightarrow T$ 、 $F+B \rightarrow T+R1$ 、 $F+B \rightarrow T+R2$ 、 $F+B \rightarrow R1+R2$ の6パターンとする。（記号の意味は表1と図による）

・エアフロー流量条件

キャビネットの流量は、実装されたサブラック装置の流量合計以上でなければならない。

$$\sum F_{3-n} \leq F_4$$

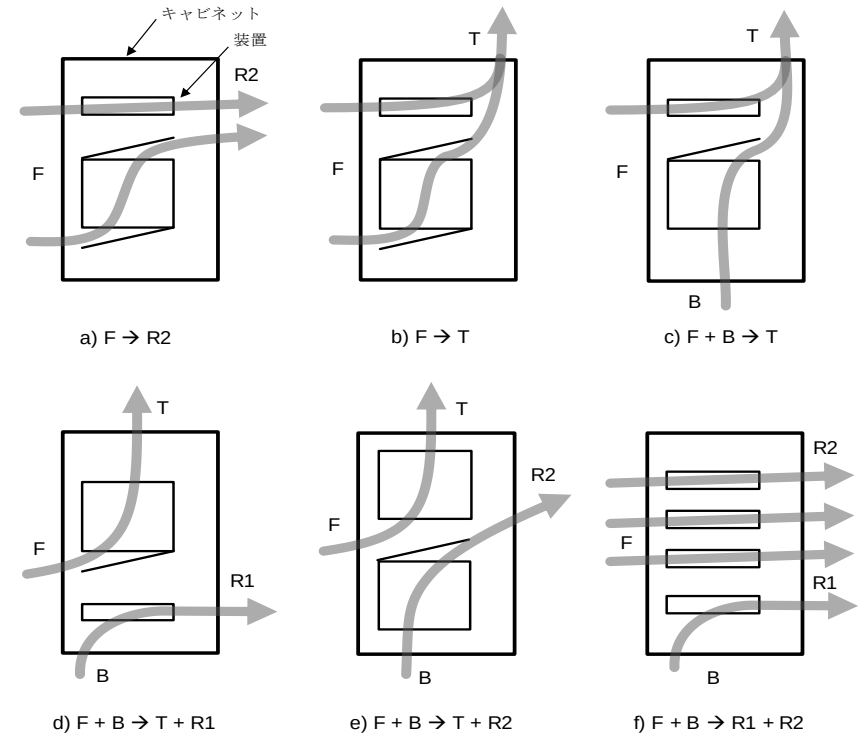
サブラック装置の流量合計
キャビネット流量

表 1ー推奨するエアフローの状態

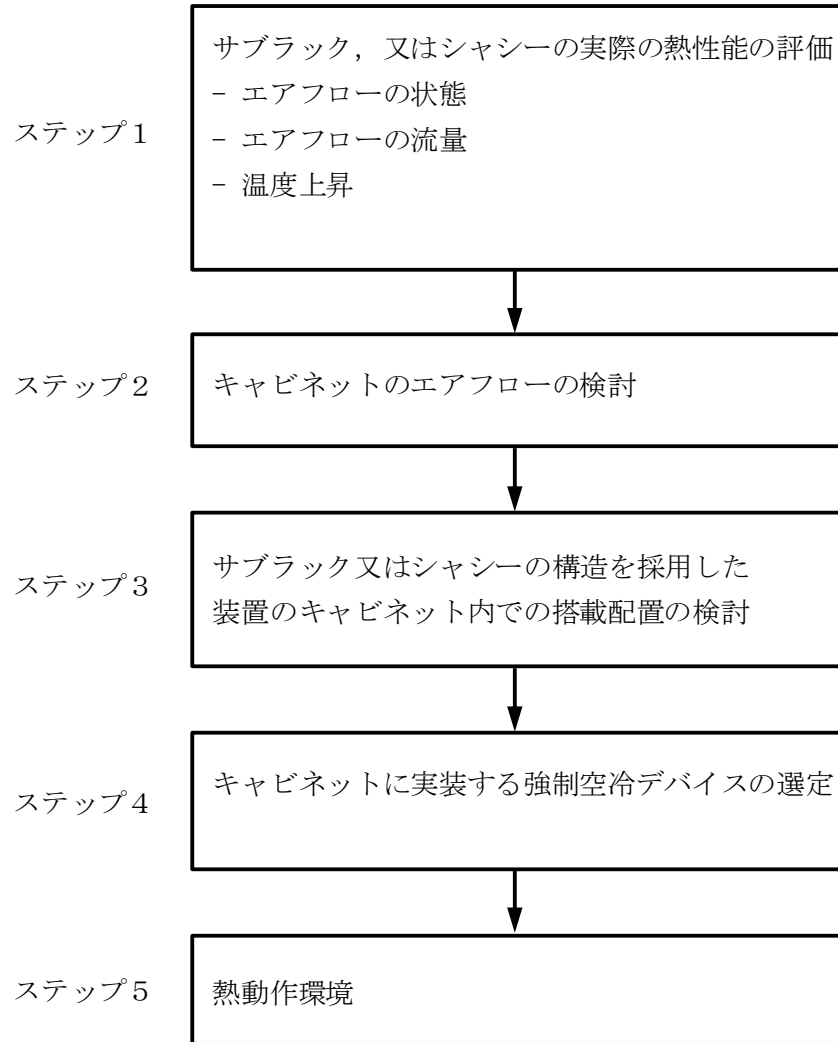
サブラック又はシャシーの構造を採用した装置のエアフローのパターン a)	キャビネットのエアフローのパターン b)
$F \rightarrow R$ $F+B \rightarrow R$	$F \rightarrow R2$ $F \rightarrow T$ $F+B \rightarrow T$ $F+B \rightarrow T+R1$ $F+B \rightarrow T+R2$ $F+B \rightarrow R1+R2$

a) 強制空冷デバイスを備えたサブラック装置又はシャシー装置

b) 強制空冷デバイスを備えたキャビネット



要求事項 ～エアフロー仕様決定の手順



キャビネットに搭載するサブラック又はシャシー装置の実際の熱性能評価のために，次の事項を考慮することが重要である。

- a) エアフローの状態（表1参照）
- b) エアフロー流量
- c) 動作温度範囲
- d) 温度上昇の許容値

キャビネットのエアフローを検討するために，キャビネットを設置する場所によって定まる動作環境に基づくエアフローを調査しなければならない。キャビネットのエアフローの状態は，表1の中から選択する。

キャビネットに搭載する全てのサブラック及び／又はシャシー装置が，表1の中から選択した同じエアフロー状態をもつことが理想的である。個々のサブラック又はシャシー装置のエアフロー状態が同一でない場合は，キャビネット内でのエアフローの不均衡を是正し，制御するために適切なエアフロー分割板又は整流板を用いて調整を行うことが可能である。

キャビネットに装備する強制空冷デバイスは，サブラック及び／又はシャシー装置から提供される合計のエアフロー流量（F3-n）と同等又はそれを超えるキャビネットのエアフロー流量（F4）を保証するように選定しなければならない。

個々のサブラック又はシャシー装置の熱動作環境は，それぞれの装置の仕様によって規定されている $T_{3-n(\min)} \sim T_{3-n(\max)}$ の値によって決定する。キャビネットに搭載した個々のサブラック及び／又はシャシー装置の吸気温度は，4.2に規定する規定点温度“ T_{3-nr} ”を正確に反映して，動作温度範囲 $T_{3-n(\max/\min)}$ の範囲に収まらなければならない。

$$T_{3-n(\min)} \leq T_{3-nr} \leq T_{3-n(\max)} \quad (\text{各装置に対して})$$

エアフロー仕様の検討事例 1

キャビネット選定例

あるシステムの機器構成と、各機器の温度条件やエアフロー条件リストを示します。

項番	装置仕様		エアフロー							温度条件		
	装置名	サイズ	発熱量	吸気	排気	パターン	ファン	推定流量	排気温度上昇	規定点	低温	許容温度
1	IP処理サーバ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
2	データサーバ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
3	ホームサーバ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
4	切り替えサーバ	2U	600 w	フロント	リア	F → R	80角×25厚×2	70 m3/h	27.2 度	フロント	10℃	35℃
5	変換サーバ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
6	DNSサーバ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
7	DNSサーバ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
8	FTPサーバ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
9	ディスプレイ/KB	2U	23 w	—	—	—	—	—	—	—	5℃	35℃
10	L2スイッチ	1U	30 w	左側面	右側面	SL → SR	40角×20厚×2	10 m3/h	9.5 度	左側面	0℃	40℃
11	サーバスイッチ	1U	26 w	—	—	(B → T)	—	—	—	—	10℃	35℃
12	サーバスイッチ	1U	26 w	—	—	(B → T)	—	—	—	—	10℃	35℃
13	タイムサーバ	1U	40 w	—	—	(B → T)	なし	—	—	周囲	0℃	50℃
14	ゲートウェイ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
15	ゲートウェイ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
16	ゲートウェイ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
17	ゲートウェイ	1U	465 w	フロント	リア	F → R	40角×28厚×3	50 m3/h	29.5 度	フロント	10℃	35℃
18	L2スイッチ	1U	30 w	左側面	右側面	SL → SR	40角×20厚×2	10 m3/h	9.5 度	左側面	0℃	40℃
19	L2スイッチ	1U	30 w	左側面	右側面	SL → SR	40角×20厚×2	10 m3/h	9.5 度	左側面	0℃	40℃
	合計	21U	5920 w					650 m3/h	28.9 度			

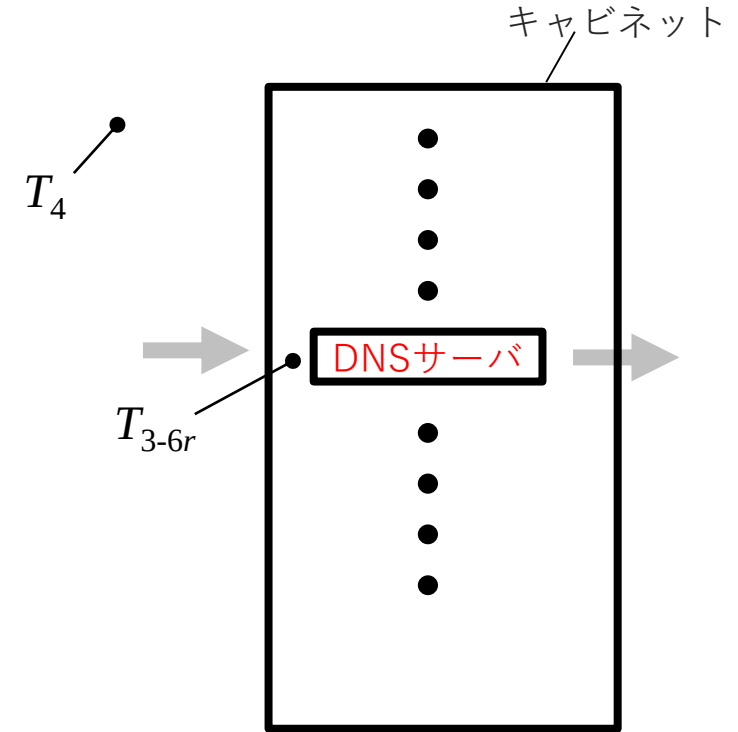
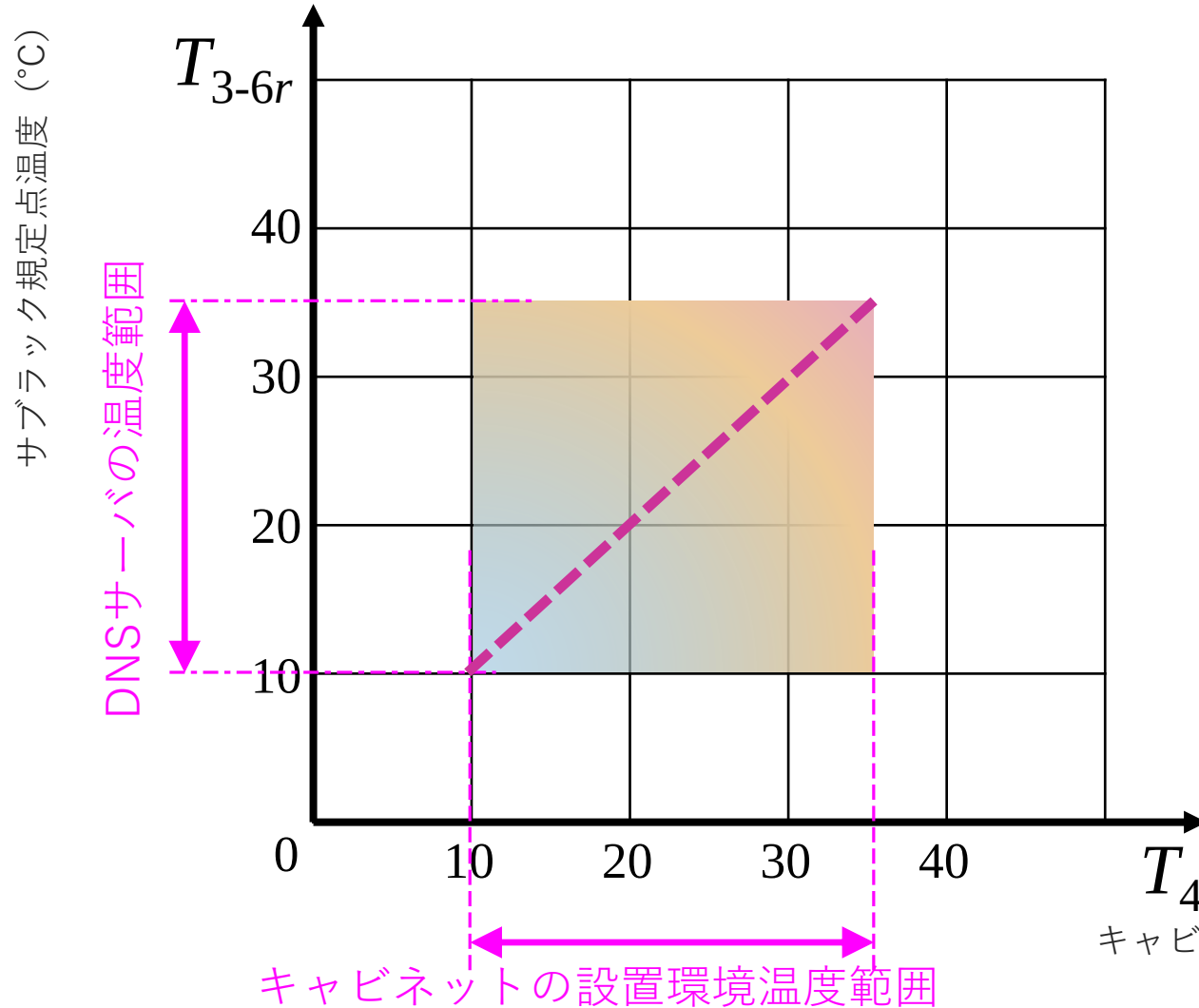
熱設計ガイドに則り、各機器の「エアフローパターン」、「流量」、「排気温度」を整理しています。

機器の流量を合計すると650m3/hになっています。

機器の温度条件は、高温側の厳しいもので35℃となっています。

エアフロー仕様の検討事例 2

キャビネット流量 F_4 がサブラック流量合計を上回っている“ $\sum F_{3-n} \leq F_4$ ”とき、サブラック規定点温度はキャビネット規定点温度と等しくなる“ $T_{3-nr} = T_4$ ”



キャビネットのエアフロー仕様検討結果

- ◆ キャビネットに必要なエアフロー流量は、650 m³/h以上である
- ◆ キャビネット装置の周囲温度は、10°C～35°Cとする必要がある
- ◆ キャビネットのエアフローは推奨パターンから選択する

以上のように、キャビネットに機器を実装したシステムにおいて、熱的互換性（サーマルコンパチビリティ）を確保するための冷却条件を導出することができる。

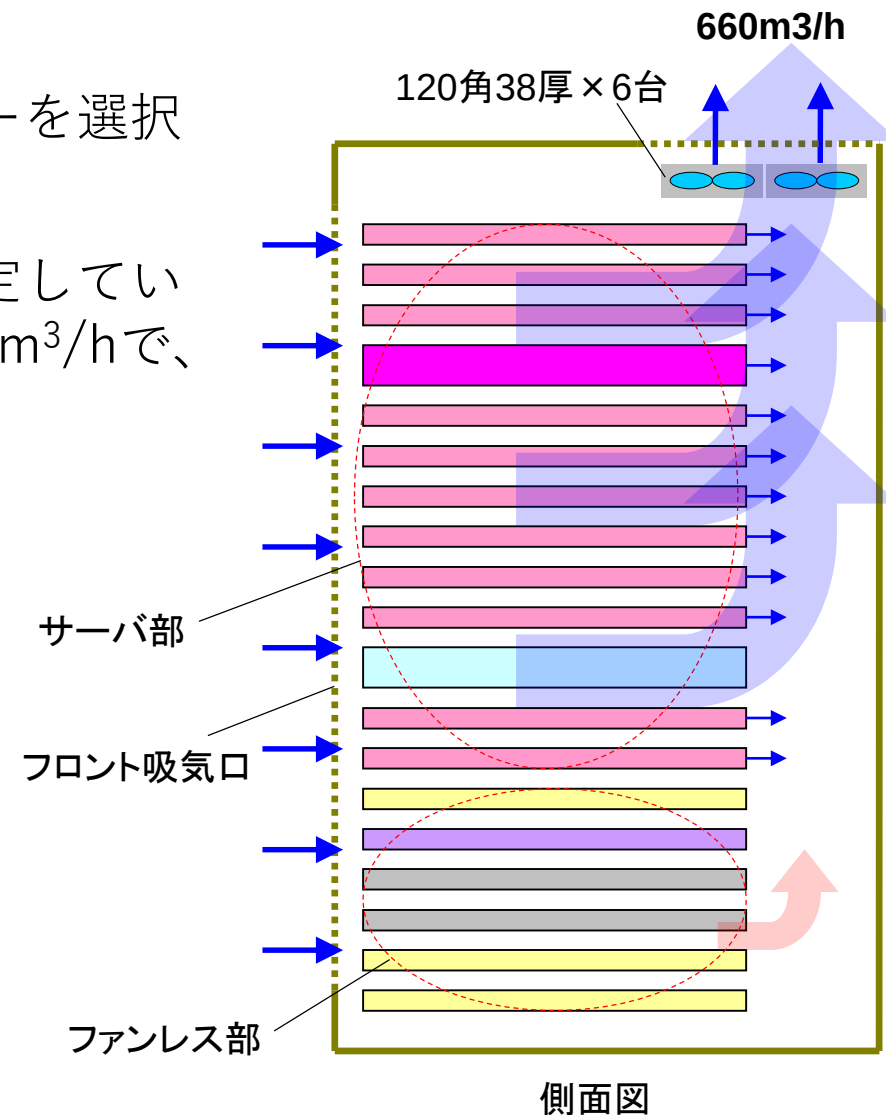
キャビネット選定例

■キャビネットのエアフロー

フロント＋リア下吸気、天面排気のエアフローを選択しています。記号は「F → T」となります。

■キャビネットのファンは120角38厚×6台を選定しています。このときemptyキャビネットの流量は660m³/hで、必要換気性能を上回っています。

キャビネット
温度測定風景

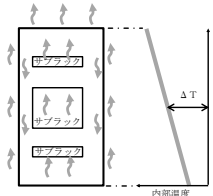
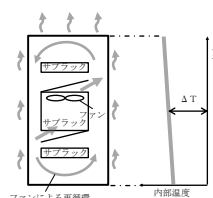
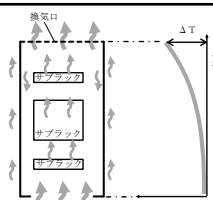
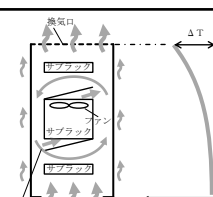
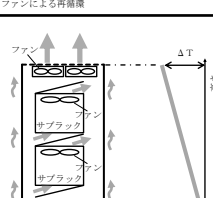


IEC 62610-5 屋内キャビネットの冷却性能

JIS C 62610-5 : 2021 電気及び電子装置用の機械的構造－屋内キャビネットの熱管理－
第5部：屋内キャビネットの冷却性能

IEC 62610-5:2016 Mechanical structures for electrical and electronic equipment-
Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series-
Part 5: Cooling performance evaluation for indoor cabinets

キャビネットの放熱経路

タイプ	放熱経路の定義	開口	送風機	換気	参考図	放熱性能の計算式
A	換気口をもたず，送風機をもたないキャビネット。キャビネット外面からの自然対流と放射によって放熱される	密閉	なし	なし		$Q_S = h_S \times A \times \Delta T_S$ Q_S 放熱量 h_S 熱伝達率 (8W/m²K) A キャビネット表面積 ΔT_S 表面温度上昇
B	換気口をもたず，内部かくはん用の送風機をもつキャビネット。キャビネット内面は強制対流，外面は自然対流と，内外面の放射によって放熱される。		あり			
C	換気口から自然対流によって放熱され，加えてキャビネット表面から自然対流と放射によって外部に放熱されるキャビネット	換気	なし	自然		$Q = Q_S + Q_V$ $Q_S = h_S \times A \times \Delta T_S$ $Q_V = \rho \times C_p \times u \times A_p \times \Delta T$ Q_V 換気による放熱量 ρ 空気の密度 (1.2kg/m³) C_p 定圧比熱 (1005 J/kgK) u 自然換気の空気流速 A_p キャビネット上面表面積 ΔT 内部空気の温度上昇
D	送風機をもつサブブラック及び／又はシャーシが実装されたキャビネット		あり			
E	キャビネットのトップカバー，ボトムカバー又はリアカバーに送風機が実装されたキャビネット			強制		$Q = Q_S + Q_V$ $Q_S = h_S \times A \times \Delta T_S$ $Q_V = \rho \times C_p \times F \times \Delta T$ F キャビネット送風機流量 ΔT 排気温度上昇

IEC 62610-5 屋内キャビネットの冷却性能

冷却性能を概算する効果と目的

- 筐体の冷却性能を見積もる。e.g. このキャビネットの冷却性能は2.3kWです
- キャビネットの冷却メカニズムを分類する
- 冷却メカニズムごとの冷却性能の計算方法を定義する
- IEC 60297 および IEC 60917で定義されているキャビネットの放熱性能を例示する
 - キャビネットメーカーは製品の冷却性能を明示できる
 - システム設計者は機器を収容するためのラックを選定できる

(例)

キャビネット寸法			通常設計 ($\Delta T=10$)			高温設計 ($\Delta T=20$)		
幅W	奥行D	高さH	密閉筐体	自然換気	強制換気	密閉筐体	自然換気	強制換気
600 mm	600 mm	2000 mm	210 W	1100 W	3600 W	410 W	2900 W	7100 W
800 mm	900 mm	2200 mm	330 W	2300 W	3700 W	660 W	6000 W	7400 W
600 mm	600 mm	1200 mm	130 W	740 W	3500 W	260 W	2000 W	7000 W

注. 強制空冷のファン流量は1000m³/hとしている

IEC 62610-5 屋内キャビネットの冷却性能

屋内キャビネットの冷却性能見積～概念と算出方法

①冷却性能の概念

Q_v (ventilation) : 換気放熱量 (自然対流換気、強制空冷)

Q_s (surface) : 表面放熱量 (convection対流 & radiation輻射)

キャビネットの総放熱量 Q は、

$$Q = Q_v + Q_s$$

②冷却性能の算出方法

- ・キャビネットサイズを決める
- ・密閉か換気かを定める
- ・換気の場合、自然空冷か強制空冷かを定める
- ・自然空冷の場合、換気流速をグラフから求める
- ・ Q_v が求まる
- ・ Q_s を算出する

⇒温度上昇 $\Delta T = 10$ または 20 のときの放熱性能 Q が求まる

IEC 62610-5 屋内キャビネットの冷却性能

屋内キャビネットの冷却性能見積～算出方法詳細

■ 温度上昇の考え方

内部温度上昇 ΔT とキャビネット表面温度上昇 ΔT_s の関係 $\Rightarrow \Delta T_s = \Delta T / 2$

■ 温度レベル

キャビネットの許容温度上昇は内部機器によって変わるため、以下のクラス分けを行う。

一般温度レベル： $\Delta T = 10^\circ\text{C}$

高温許容レベル： $\Delta T = 20^\circ\text{C}$

■ 換気キャビネットの流速

自然対流によって発生する換気キャビネットの流速は、キャビネット高さによって変化する。

ある条件において算出した流速の値をグラフに示し、換気量算出の一助とする。

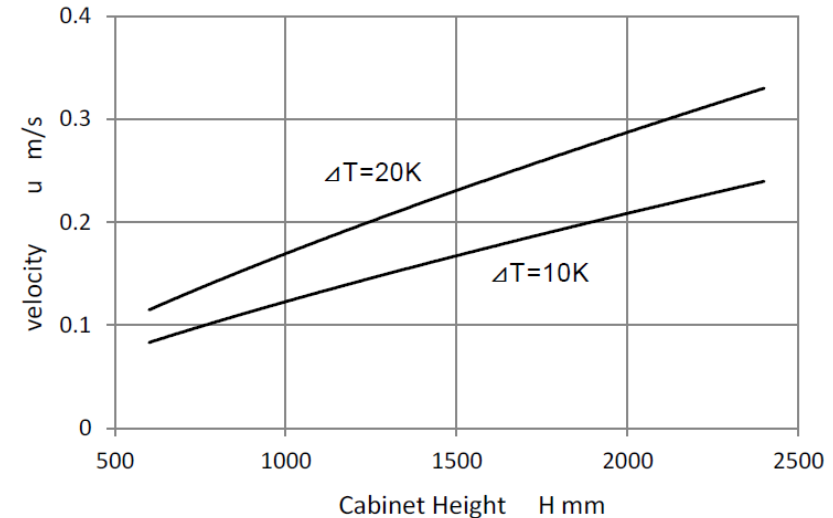
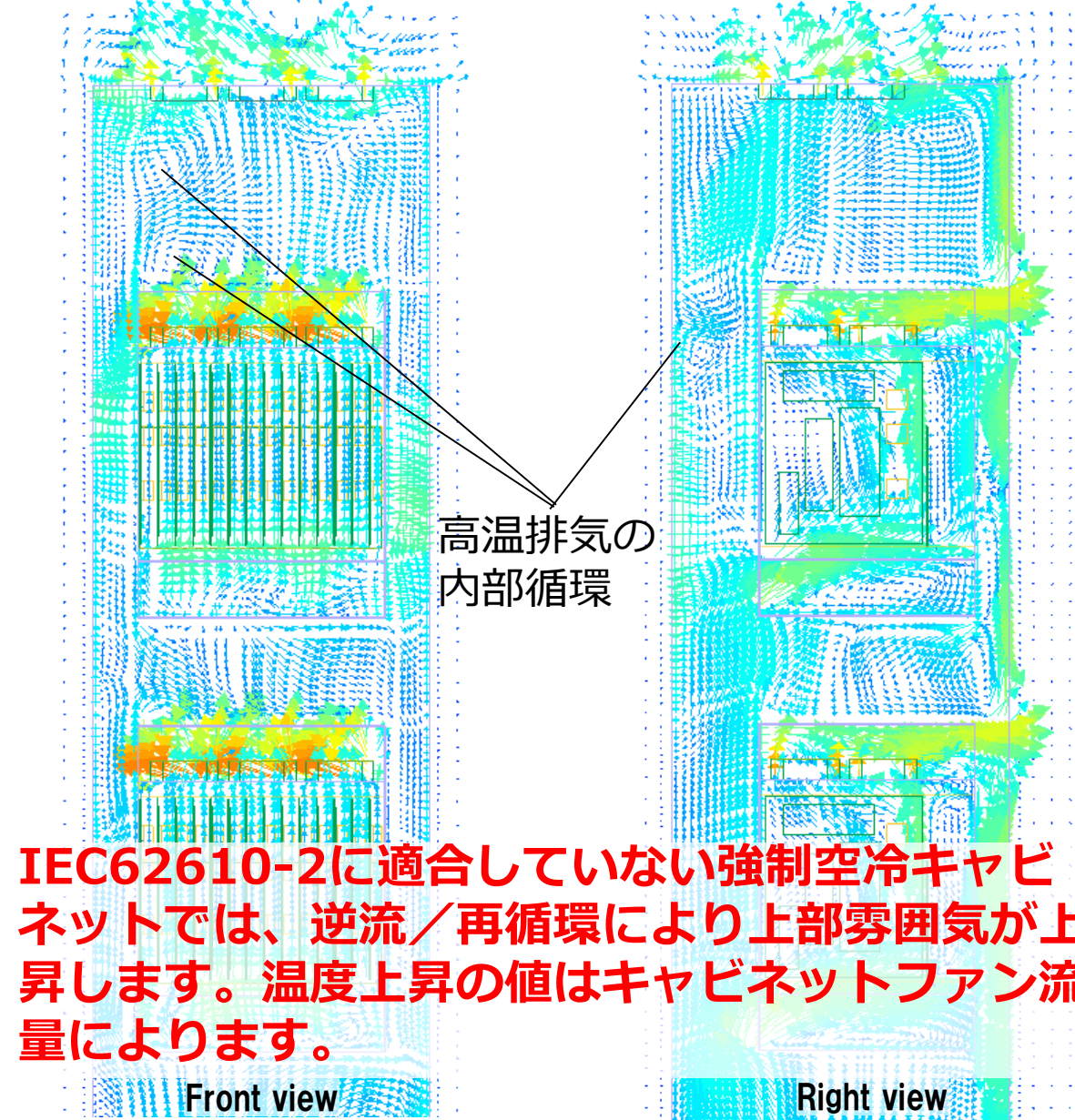
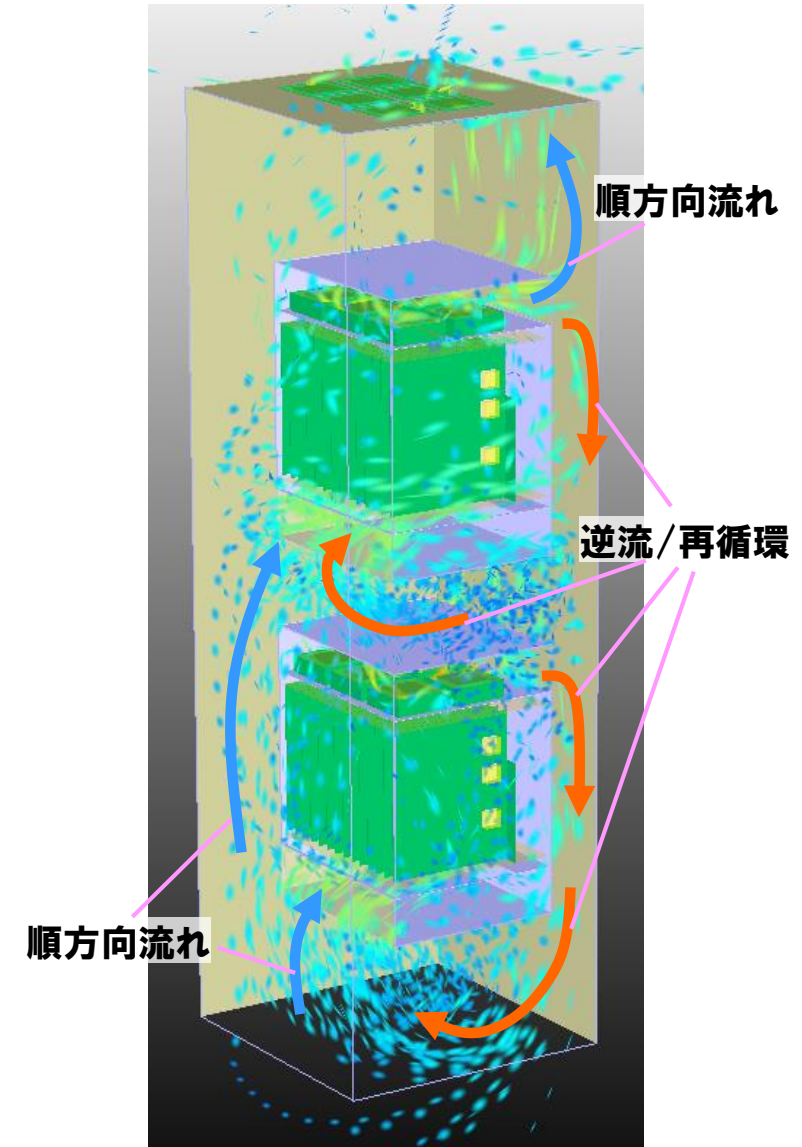


Figure 4 - Velocity of natural convection as a function of cabinet height

Eタイプ（強制換気キャビネット）のシミュレーション例



IEC62610-2に適合していない強制空冷キャビネットでは、逆流／再循環により上部雰囲気上昇します。温度上昇の値はキャビネットファン流量によります。



IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

JIS C 62610-6 : 2021 電気及び電子装置用の機械的構造－屋内キャビネットの熱管理－
第6部：屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

IEC 62610-6:2020 Mechanical structures for electrical and electronic equipment –
Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series –
Part 6: Air recirculation and bypass of indoor cabinets

IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

■ キャビネット放熱における再循環問題

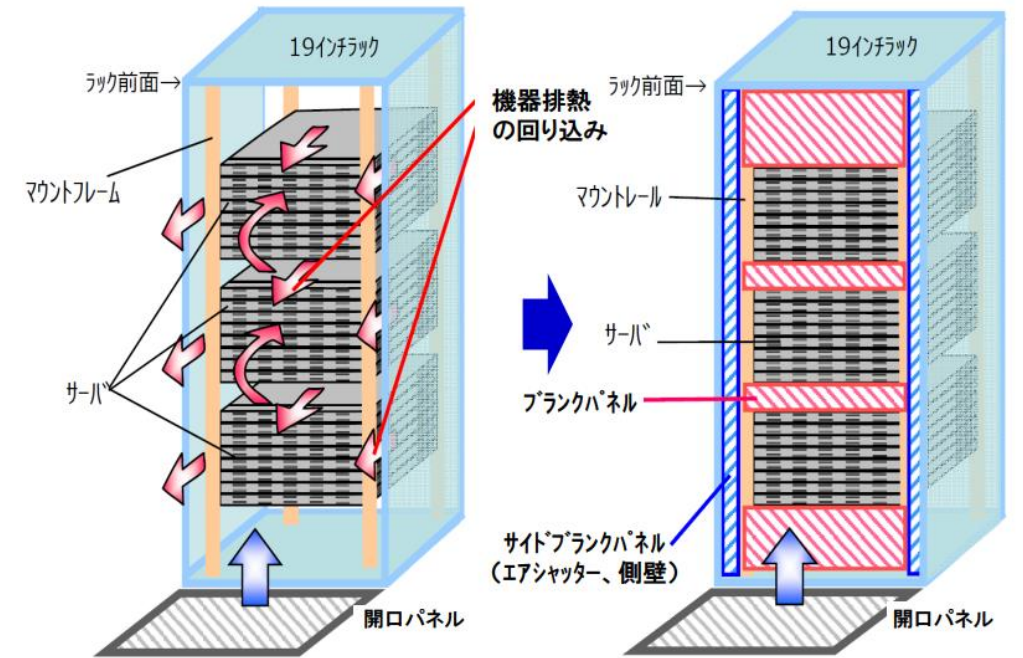
データセンターの19インチラックなどで、逆流（再循環）防止対策が推奨されている。→どの程度塞げばよいのか？

■ 再循環流量の測定方法

どのぐらいの流量が逆流しているのか、対策をするとどの程度改善するのか。流量の測定方法が難しい。→簡単な測定方法はないのか？

■ キャビネットの気密性能基準

データセンターに設置するキャビネットを、逆流防止性能（気密性能）により選定したい。→気密性能を比較する基準はないか？



NECフィールドイング資料より抜粋

この規格は、

キャビネット内部に発生する不適切なエアフロー：再循環やバイパスを定量化するための測定方法、再循環の度合いを分類するものです。

IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

規格の概要

この規格は、サブラックやシャシ装置が実装されたキャビネットにおける、強制空冷エアフロー品質指標として、**RC（リサーキュレーション：再循環）**と**BP（バイパス）**のレベルと測定法を規定しています。規格では、次の項目を規定しています。

- a)キャビネット装置の冷却における再循環とバイパスの定義
- b)再循環率RCsのレベル
- c)キャビネットに実装される強制空冷サブラック/シャシ機器の再循環率RCsの定義式
- d)キャビネット装置全体の再循環率RCrおよびバイパス率BPrの定義式
- e)再循環率RCs及びバイパス率BPrの算出に必要な各部温度の測定方法の要求事項

キャビネットは、屋内に設置されフロントドアや底面から吸気されリアドアや天井面に排気されるキャビネットへの適用を前提としています。しかし、屋外に設置されフロントやリアに熱交換器やエアコンなどの冷却機器を有するキャビネットにも適用することができます。

キャビネットにおけるエアフローの再循環率は、キャビネットに実装されている個々のサブラックもしくはシャシ装置それぞれに対して、及び、キャビネット全体に対して定義されます。

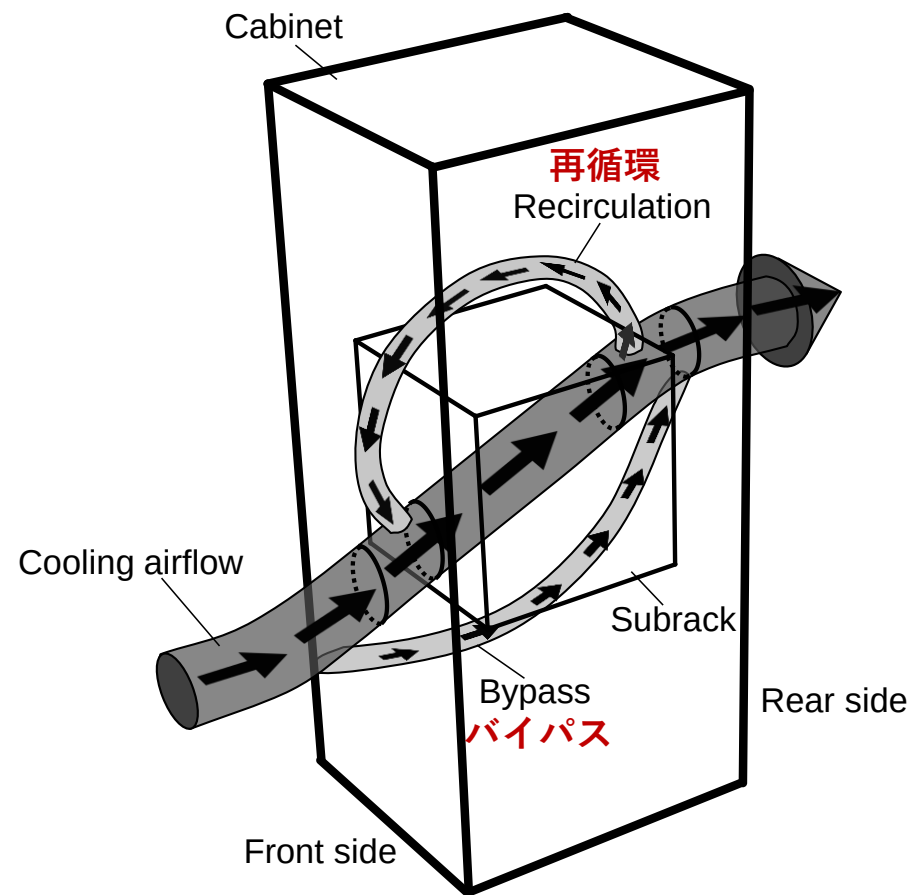
IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

再循環とバイパス

サブラックが実装されたキャビネット内部のエアフローを模式的に表したものを図に示しています。

キャビネット装置は、前面もしくは底面から吸気されサブラックの吸気口からサブラック内部を冷却し、サブラック排気口から排気され、キャビネット背面もしくは上面から排気されます。

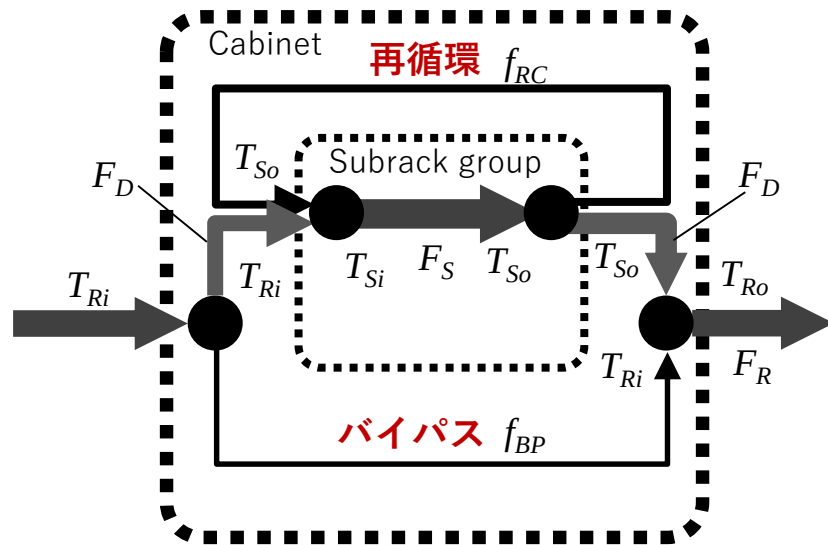
キャビネット吸気の一部はサブラックを通過せずに直接キャビネットから排気される**バイパス流量**となり、サブラック排気の一部はキャビネットから直接排気されずに再度サブラック吸気に帰還する**再循環流量**となります。



キャビネット内部エアフローの模式図

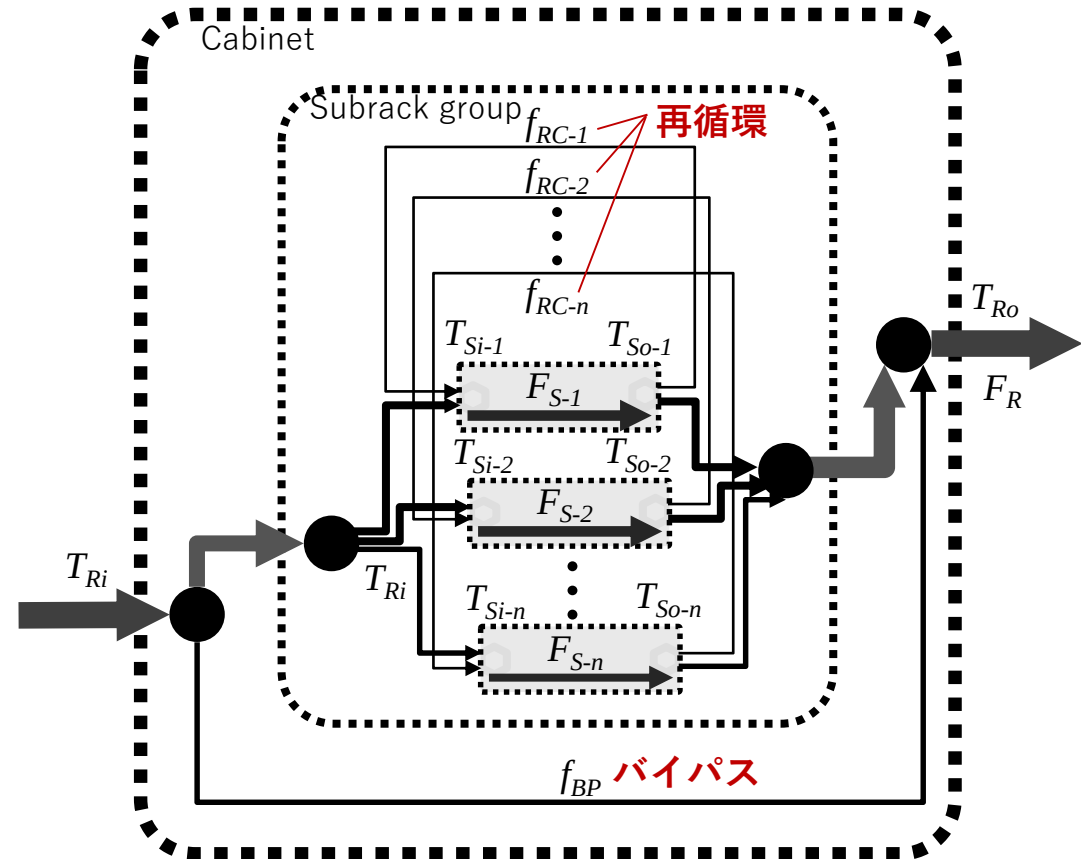
IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

キャビネット内部のエアフローを表すダイアグラム



a) Diagram of all subracks as a subrack group

サブラック全体をひとまとめでしたエアフローダイアグラム



b) Diagram of an each subrack

各サブラックのエアフローを示したダイアグラム

IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

再循環率の定義

サブラック再循環率 RC_s は、複数のサブラック/シャシ装置が実装されたキャビネット装置において、 n 番目のサブラックの内部を通過する流量 F_{S-n} に対する、 n 番目のサブラック装置の排気がキャビネット内で再循環して n 番目のサブラック装置の吸気に戻る流量 f_{RC-n} の比率を表す。
 n 台のサブラック/シャシがキャビネットに実装される場合に、各サブラック/シャシに対してそれぞれのサブラック再循環率 RC_s が以下の式により定義される。

$$RC_s = \frac{f_{RC-n}}{F_{S-n}}$$

f_{RC-n} サブラック装置の再循環流量
 F_{S-n} サブラック装置の流量

キャビネット再循環率 RC_r は、キャビネットに実装されるすべてのサブラック/シャシ装置全体、つまりサブラック群に対する再循環率であり、以下の式により定義される。

$$RC_r = \frac{f_{RC}}{F_S} = \frac{\sum_n f_{RC-n}}{\sum_n F_{S-n}}$$

F_S サブラック群の流量
 f_{RC} サブラック装置の再循環流量
 F_{S-n} n 番目のサブラック装置の流量
 f_{RC-n} n 番目のサブラック装置の再循環流量

IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

流量比率による温度比率の導出

再循環率RCとバイパス率BPは、サブラックやキャビネット流量に対するリーク流量の比であるが、実は温度差の比率として表現することができる。循環流路においてエアフローの流れだけで熱が移動する場合、エネルギー保存則においては流量と温度は相対的な関係にあるからである。

ここでは、エアフローに関連する値を用いて、理論的にサブラック及びキャビネット内の特定の温度上昇の比率を導出する方法をしめす。

$$T_{Si} \cdot F_S = T_{So} \cdot f_{RC} + T_{Ri} \cdot (F_S - f_{RC})$$

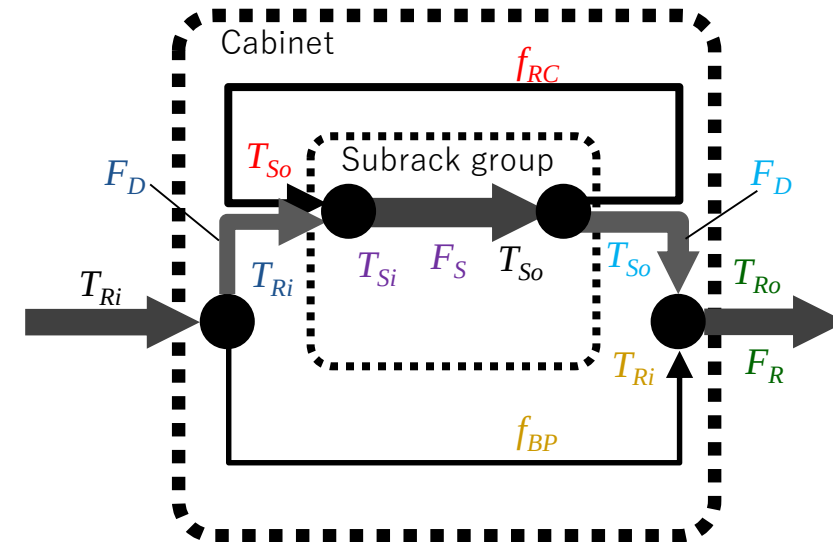
$$T_{Si} \cdot F_S - T_{Ri} \cdot F_S = T_{So} \cdot f_{RC} - T_{Ri} \cdot f_{RC}$$

$$\therefore RC_r = \frac{f_{RC}}{F_S} = \frac{T_{Si} - T_{Ri}}{T_{So} - T_{Ri}}$$

$$T_{Ro} \cdot F_R = T_{Ri} \cdot f_{BP} + T_{So} \cdot (F_R - f_{BP})$$

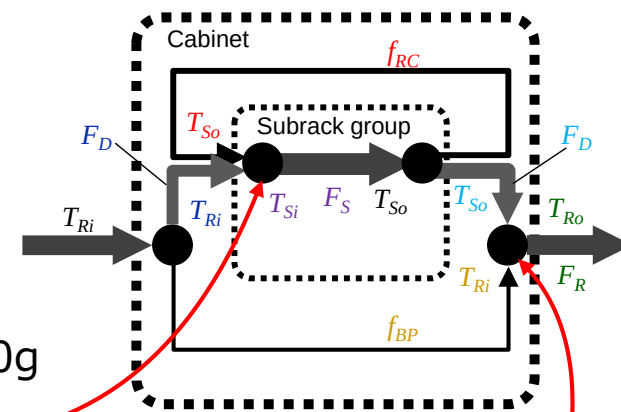
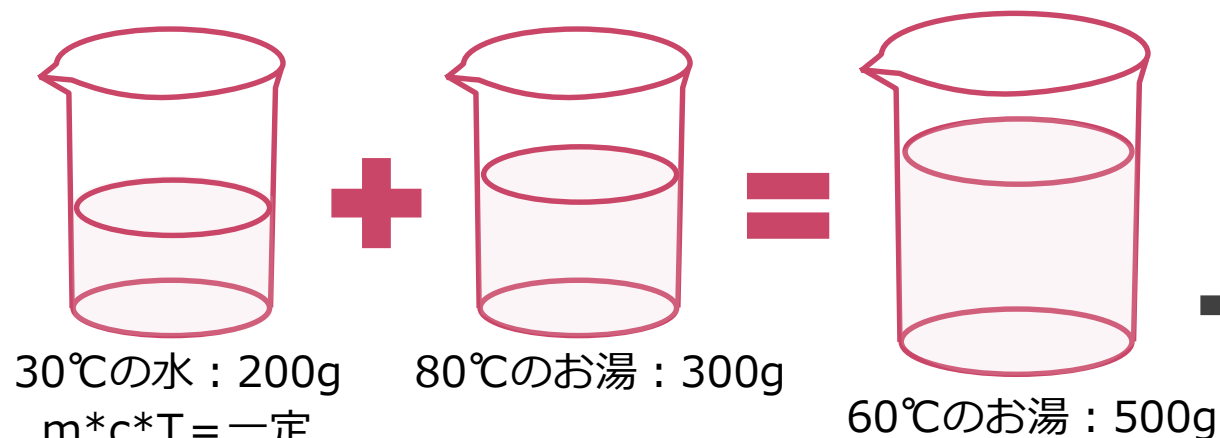
$$T_{Ro} \cdot F_R - T_{So} \cdot F_R = T_{Ri} \cdot f_{BP} - T_{So} \cdot f_{BP}$$

$$\therefore BP_r = \frac{f_{BP}}{F_R} = \frac{T_{So} - T_{Ro}}{T_{So} - T_{Ri}}$$



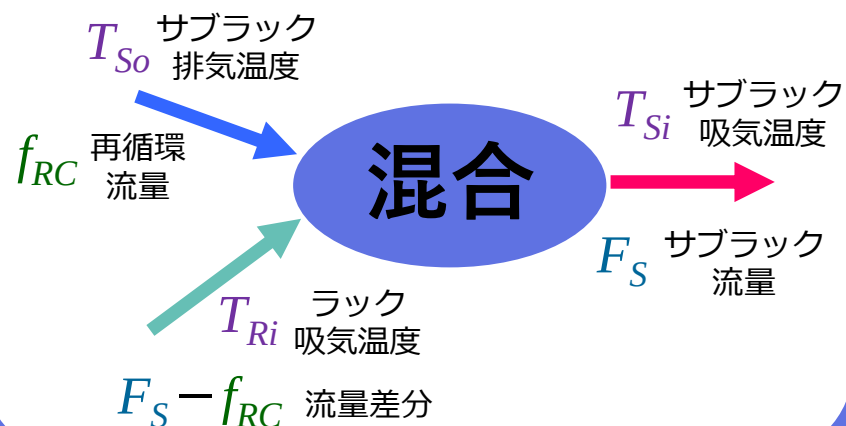
サブラック再循環率RCsに関しても同様に導出できる。

参考) 混合エアフローのエネルギー収支



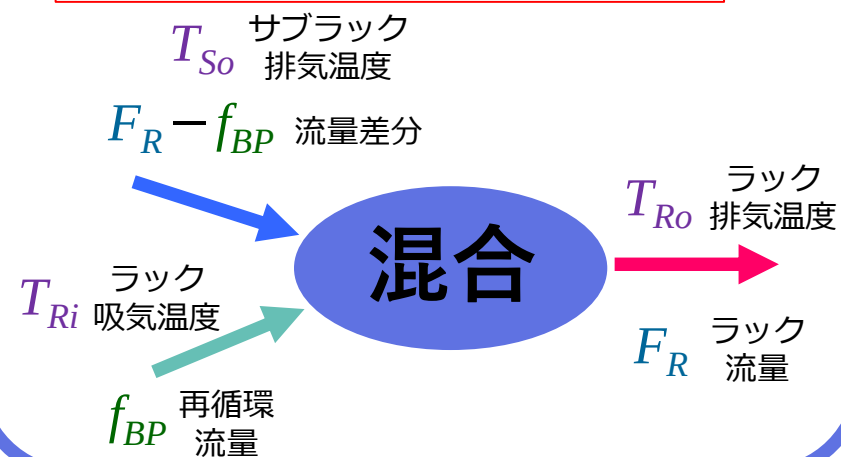
● 吸気側

$$T_{Si} \cdot F_S = T_{So} \cdot f_{RC} + T_{Ri} \cdot (F_S - f_{RC})$$



● 排気側

$$T_{Ro} \cdot F_R = T_{Ri} \cdot f_{BP} + T_{So} \cdot (F_R - f_{BP})$$



IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

再循環レベル

再循環レベルはサブラック/シャシまたはキャビネットのエアフロー再循環の程度を示しており、サブラックの再循環率RCsまたはキャビネットの再循環率RCrの値に応じてレベルRL1～RL4で表す。

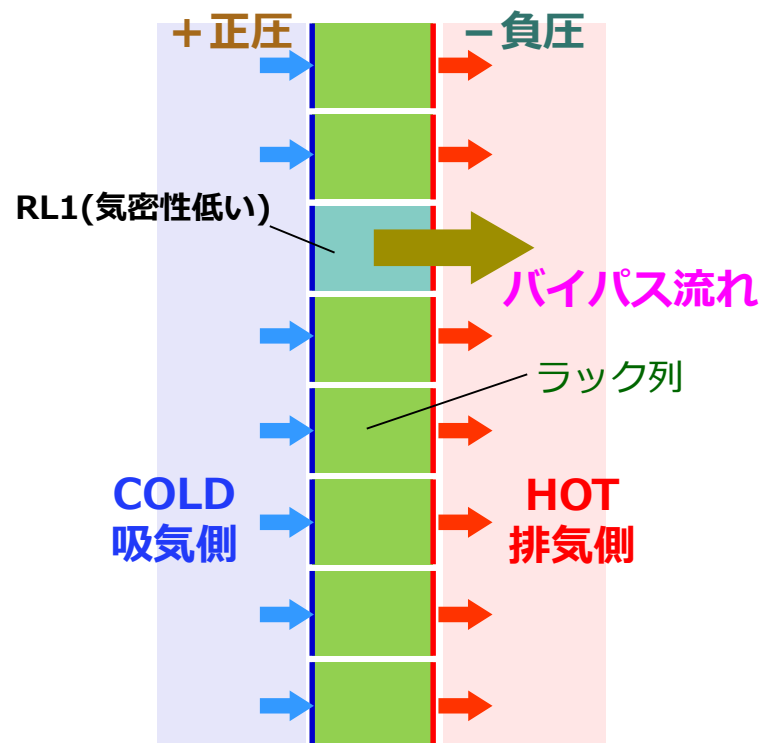
再循環レベル	再循環率（RCs又はRCr）
RL4	0% ～ 10%
RL3	10% ～ 20%
RL2	20% ～ 33%
RL1	33% ～

IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

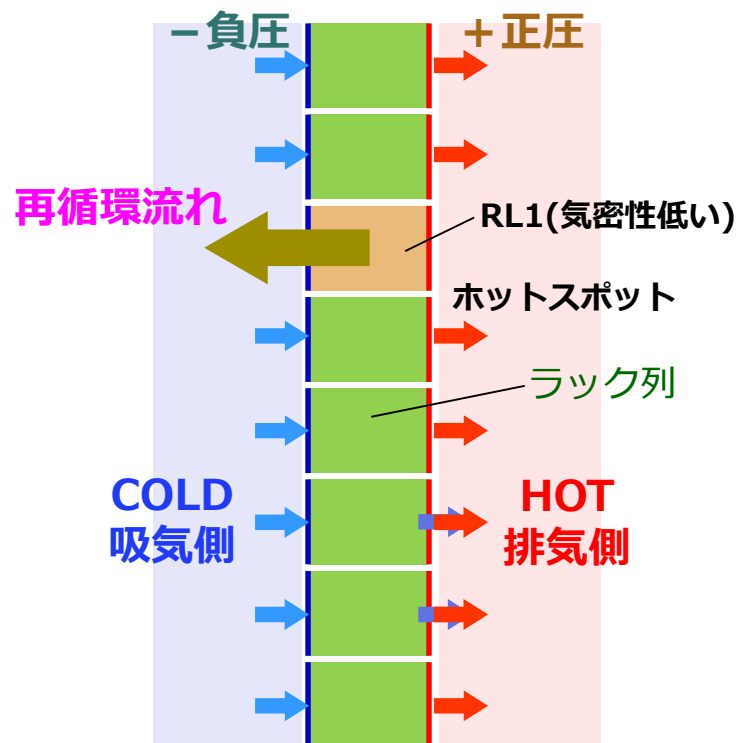
再循環レベルの活用

データセンターにおける各キャビネットの気密性にばらつきがある場合、例えば気密性が高いラック列の中にRL1レベルの気密性の低いラックがあると、ルーム全体空調の問題が、ホットスポットとして顕著に現出しやすい。

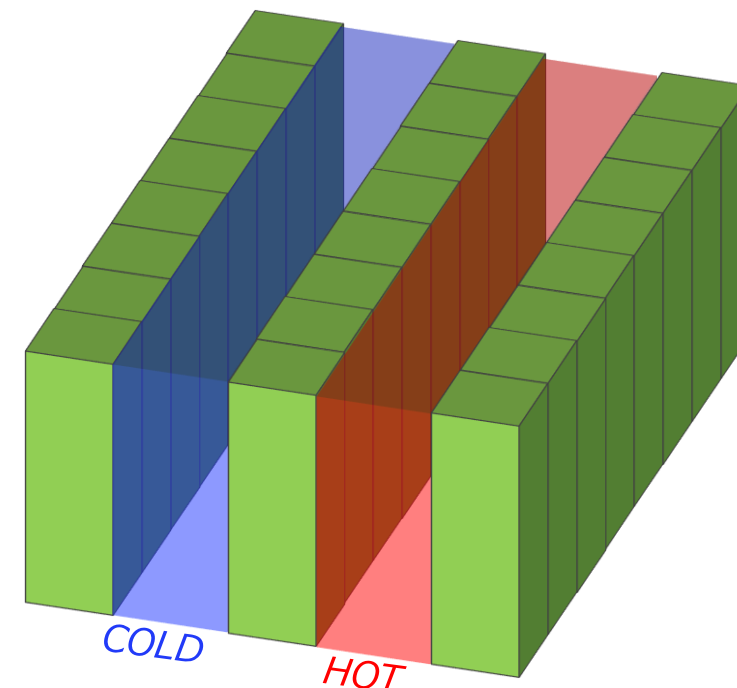
再循環レベルを統一することで、均等な流量配分を実現できる



ルーム空調のバイパス



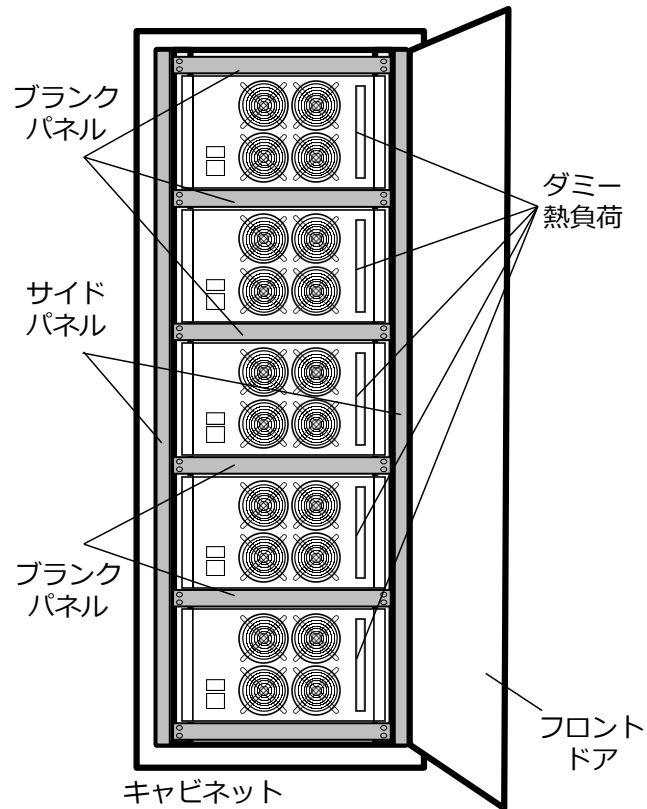
ルーム空調の再循環



データセンターのキャビネット列の例

IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

再循環率とバイパス率の測定例



Object	No	TR_i ℃	Average ℃	No	TR_o ℃	Average ℃		
Cabinet	1	25.1	25.0	1	38.4	38.1		
	2	25.0		2	38.9			
	3	24.9		3	37.0			
Object	No	TS_i ℃	Average ℃	No	TS_o ℃	Average ℃	RCs	RC level
DTL 1	1	29.6	27.2	1	38.1	41.0	13.8 %	RL3
	2	26.6		2	44.4			
	3	27.3		3	40.5			
	4	25.3		-	---			
DTL 2	1	32.6	28.6	1	39.3	42.3	20.8 %	RL2
	2	26.8		2	47.4			
	3	29.6		3	40.2			
	4	25.4		-	---			
DTL 3	1	28.2	26.7	1	38.5	40.5	10.6 %	RL3
	2	26.6		2	43.9			
	3	26.5		3	39.2			
	4	25.3		-	---			
DTL 4	1	27.3	26.0	1	36.6	40.0	6.6 %	RL4
	2	26.6		2	45.3			
	3	24.9		3	38.1			
	4	25.1		-	---			
DTL 5	1	25.8	26.1	1	37.5	39.7	7.3 %	RL4
	2	26.2		2	42.8			
	3	26.4		3	38.9			
	4	25.9		-	---			

Object	Point	Value ℃	Point	Value ℃	RCr	BPr	RC level
A group of DTLs	TR_i	25.0	TR_o	38.1	12.1 %	16.6 %	RL3
	TS_i	26.9	TS_o	40.7			

IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

再循環率RCと吸気温度上昇の関係

サブラックの吸排気温度差を ΔT_E 、キャビネット吸気に対するサブラック吸気上昇を ΔT_I として、両者の関係式を求めてみる。

$$\Delta T_E = T_{So} - T_{Si}$$

$$\Delta T_I = T_{Si} - T_{Ri}$$

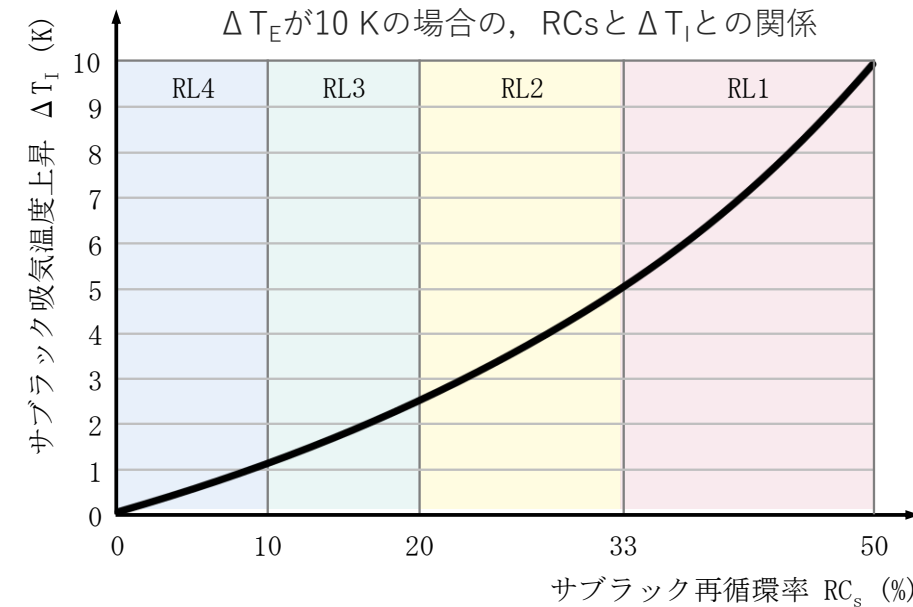
$$RC_s = \frac{T_{Si} - T_{Ri}}{T_{So} - T_{Ri}} = \frac{\Delta T_I}{\Delta T_I + \Delta T_E}$$

$$\frac{1}{RC_s} = \frac{\Delta T_I + \Delta T_E}{\Delta T_I} = 1 + \frac{\Delta T_E}{\Delta T_I}$$

$$\Delta T_I = \frac{\Delta T_E}{\frac{1}{RC_s} - 1} = \frac{RC_s}{1 - RC_s} \cdot \Delta T_E$$

排気温度上昇 ΔT_e を10度としてグラフをプロットすると、再循環レベルと温度上昇はこのような関係になる。

	吸気温度上昇 ΔT_i	再循環レベルRCs
理想的	～1度	～10%
一般的	1～2.5度	10～20%
許容値	2.5～5度	20～33%
範囲外	5度～	33%～

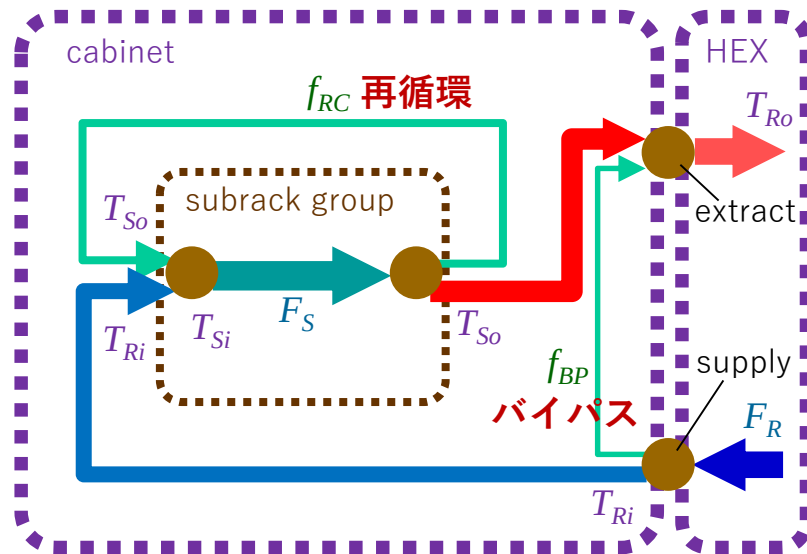


IEC 62610-6 屋内キャビネットのエア再循環及びバイパス

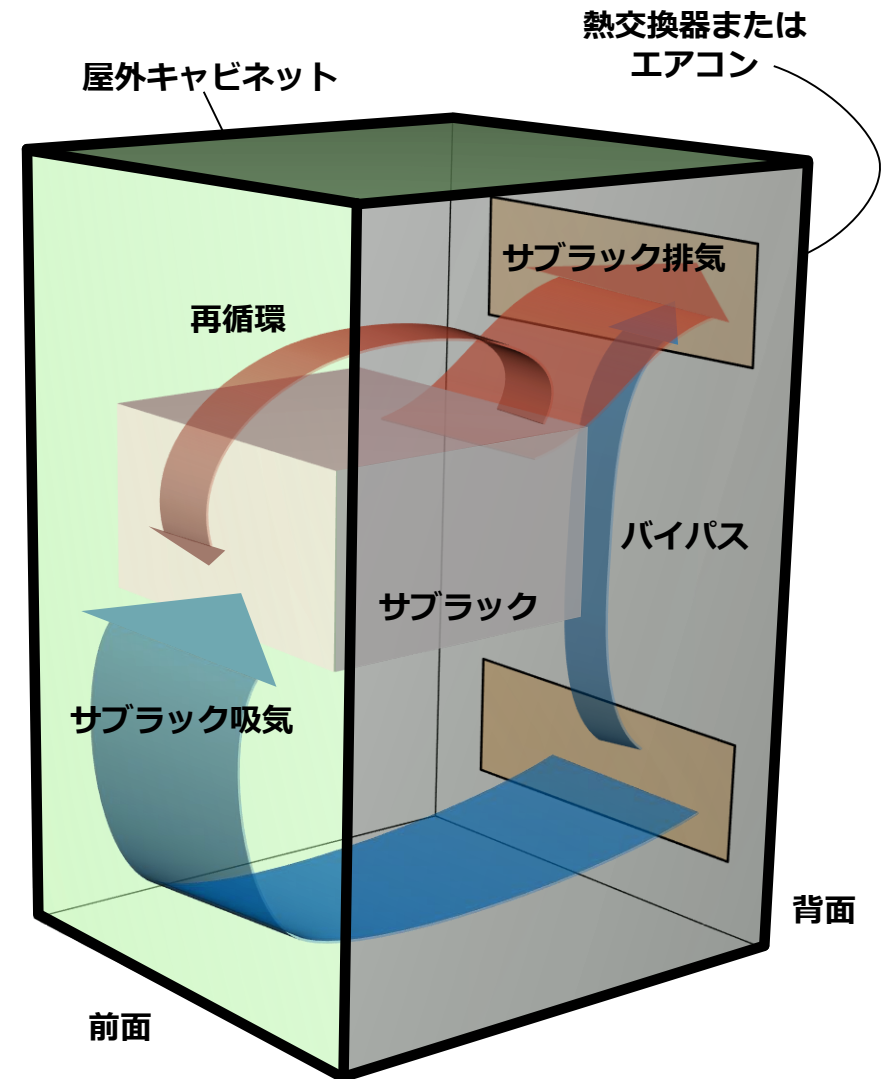
屋外キャビネットへの適用

屋外キャビネットに対しても、再循環率RCrとバイパス率BPrを適用することができます。

屋外キャビネット内に実装されたサブラック又はシャシは熱負荷であり、熱交換器又はエアコンは冷却ユニットです。屋外キャビネットと冷却ユニットの間の入口と出口は、屋内キャビネットの入口と出口に相当します。したがって、屋外キャビネットの再循環率RCr及びバイパス率BPrは、屋内キャビネットの式をそのまま用いて表すことができます。



屋外キャビネットのエアフローダイヤグラム



屋外キャビネットのエアフロー模式図

参考：屋外キャビネットの流量収支分析例

屋外キャビネット各部の温度測定

キャビネット内部を測定した結果を示します

内部発熱量	2000W	
HEX供給温度	T _{Ri}	42.5℃
HEX吸込温度	T _{Ro}	50.3℃
装置吸気温度	T _{Si}	45.0℃
装置排気温度	T _{So}	54.5℃

流量収支分析結果

IEC規格の方法で流量配分を算出します

・再循環率 RCr

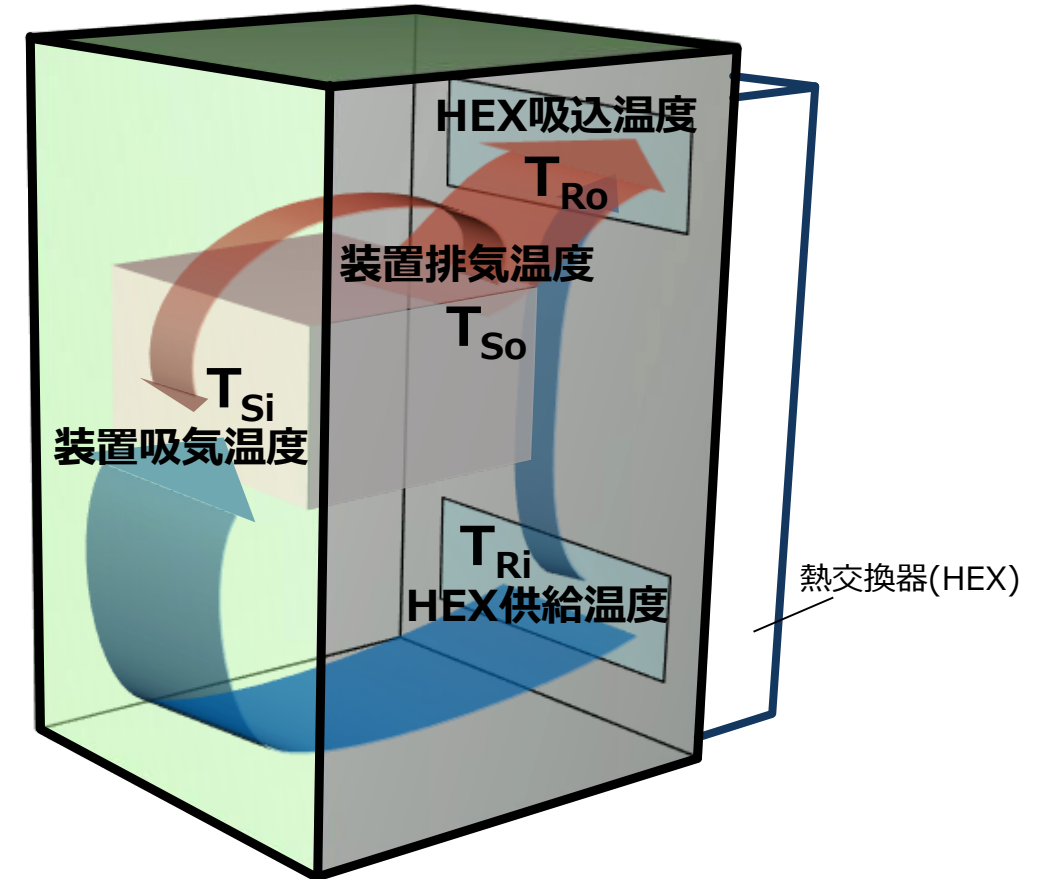
$$RC_r = \frac{T_{Si} - T_{Ri}}{T_{So} - T_{Ri}} = (45 - 42.5) / (54.5 - 42.5) = 20.8\%$$

装置流量のうち
21%は再循環している

・バイパス率 BPr

$$BP_r = \frac{T_{So} - T_{Ro}}{T_{So} - T_{Ri}} = (54.5 - 50.3) / (54.5 - 42.5) = 35.0\%$$

HEX流量のうち
35%はバイパスしている



熱交換器（HEX）付き屋外キャビネット内部のエアフロー

まとめ

- サブラック／キャビネットシステムには、機械的互換性規格に加えて熱的互換性規格がある
- キャビネット冷却は、熱的互換性規格を活用することで、運用中の熱的トラブルを回避することができる
- 熱的互換性規格への適合を推進することで、キャビネット装置のシステム構築が容易になる

ご清聴ありがとうございました

本資料の内容について

■ 無断転載禁止

- 本資料はセミナー参加者向けですので、複製、配布、無断転載はできません
- セミナー参加者の職場にて、情報展開や回覧は行っていただいて構いません
- 本資料のIEC/JIS規格に関する技術解説は、規格の代用として使用することはできません
IEC/JIS規格及び出版物は著作権があります

■ 免責事項

- 本資料の情報に基づく一切の行為について何ら責任を負うものではありません