

空調設備のレジリエンス

東京理科大学
長井 達夫

はじめに

- 災害とレジリエンス・BCP
 - 感染流行時の空調設備対応
 - 空調設備の冗長性
 - 放射空調とレジリエンス
-

建築分野におけるresilience

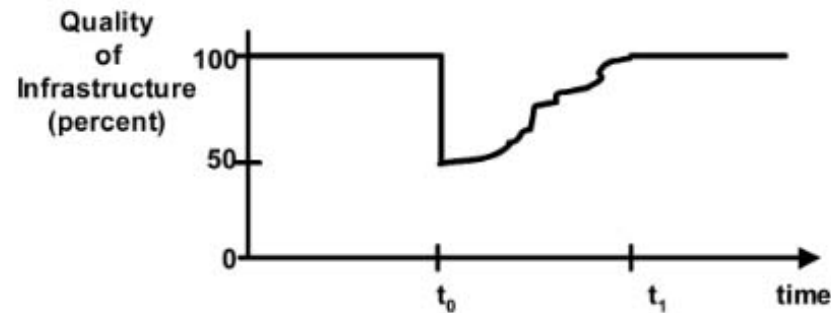


Figure 1. Measure of seismic resilience—conceptual definition.

Hence, community earthquake loss of resilience, R , with respect to that specific earthquake, can be measured by the size of the expected degradation in quality (probability of failure), over time (that is, time to recovery). Mathematically, it is defined by

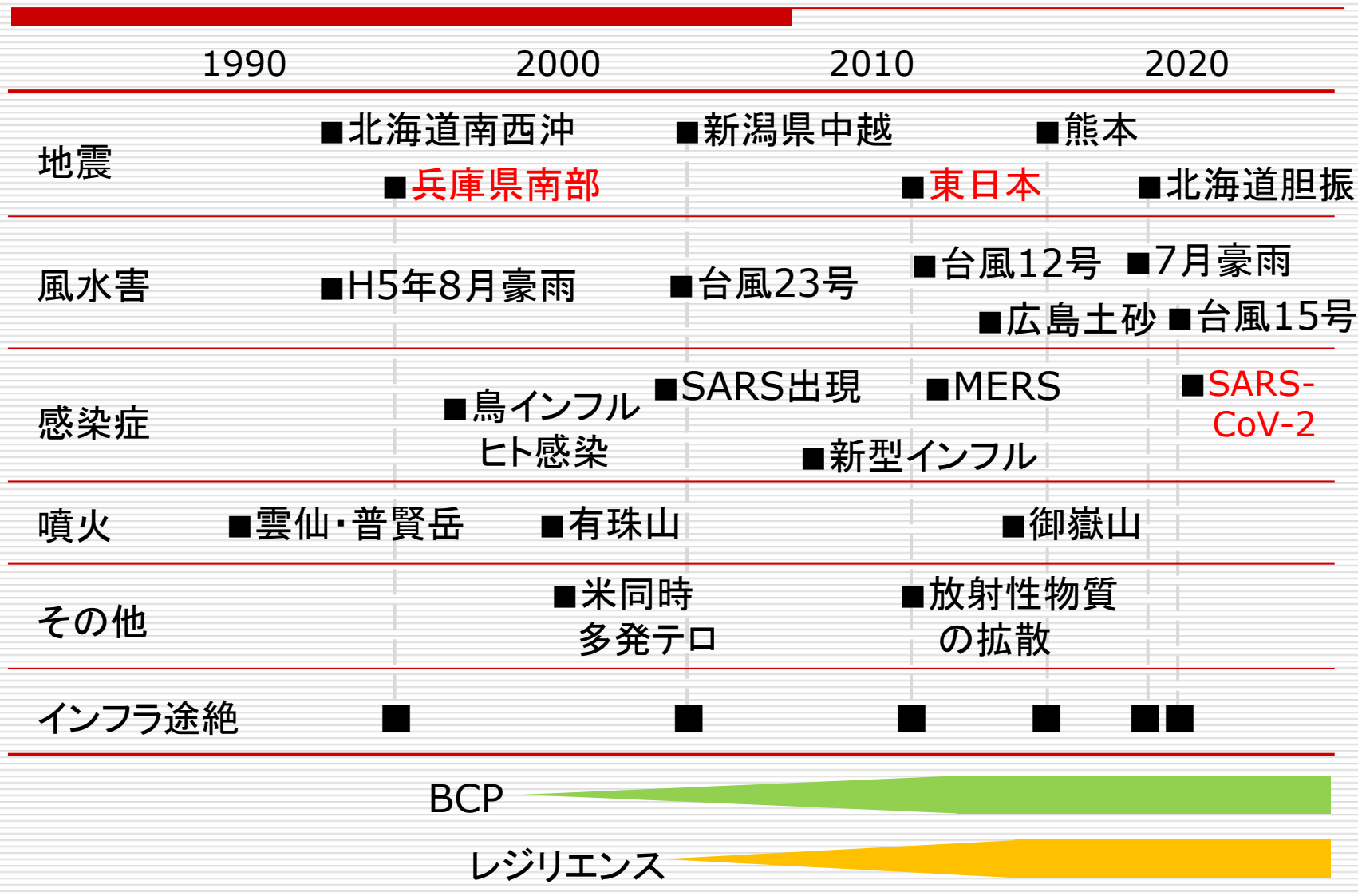
$$R = \int_{t_0}^{t_1} [100 - Q(t)] dt$$

Obviously, community seismic resilience must be measured in light of the full set of earthquakes that threaten a community and therefore must include probabilities of the

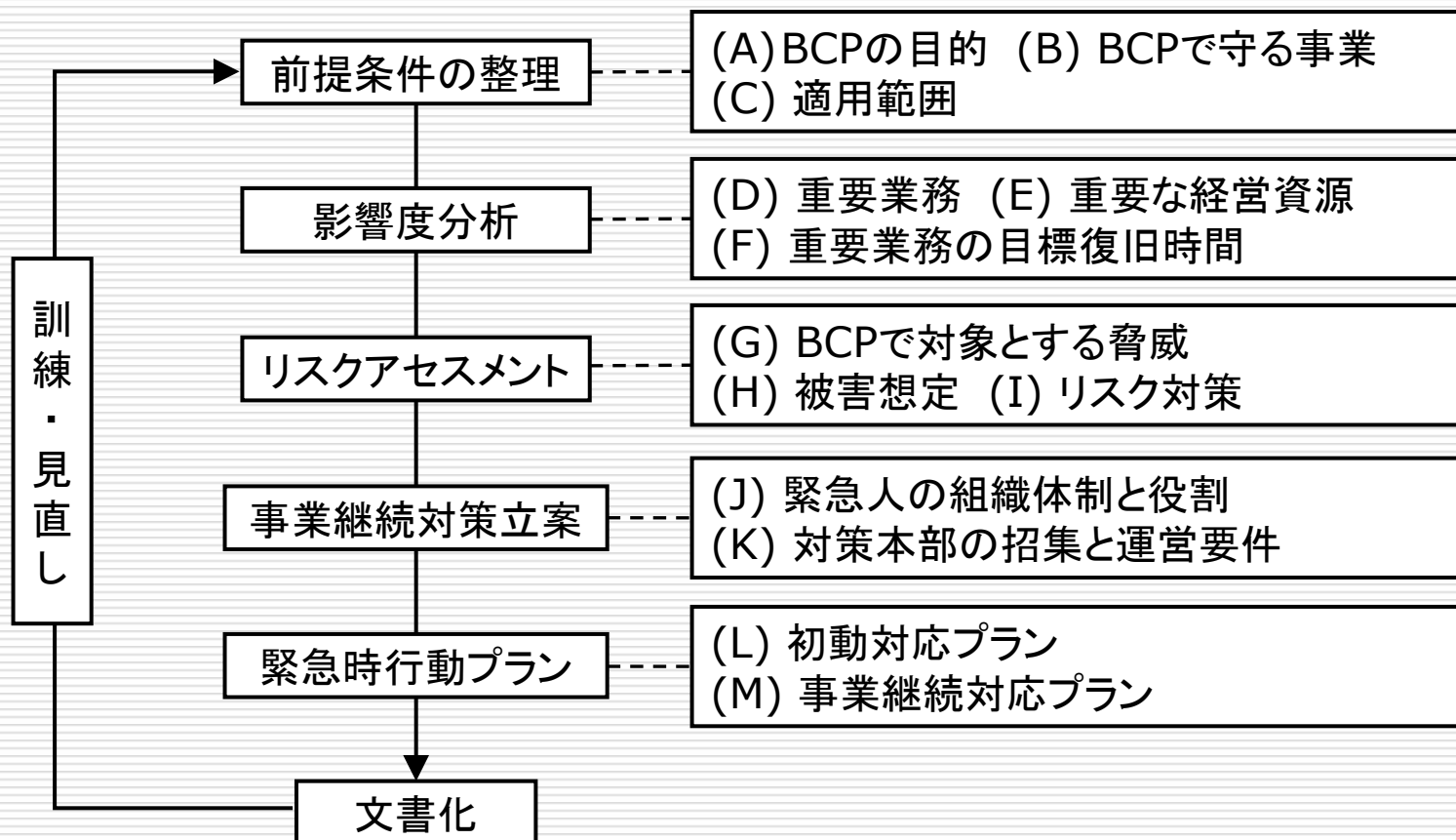
OECD報告書「レジリエントな都市」(2016)

Adaptive	過去から学んで行動する
Robust	ショックを吸収するシステム
Redundant	予期せぬニーズに対応する余力
Flexible	変化する状況に対応する
Resourceful	手持ち資源で緊急なニーズに対応する
Inclusive	多様な見方を取り入れられる
Integrated	境界を越えて協働できる

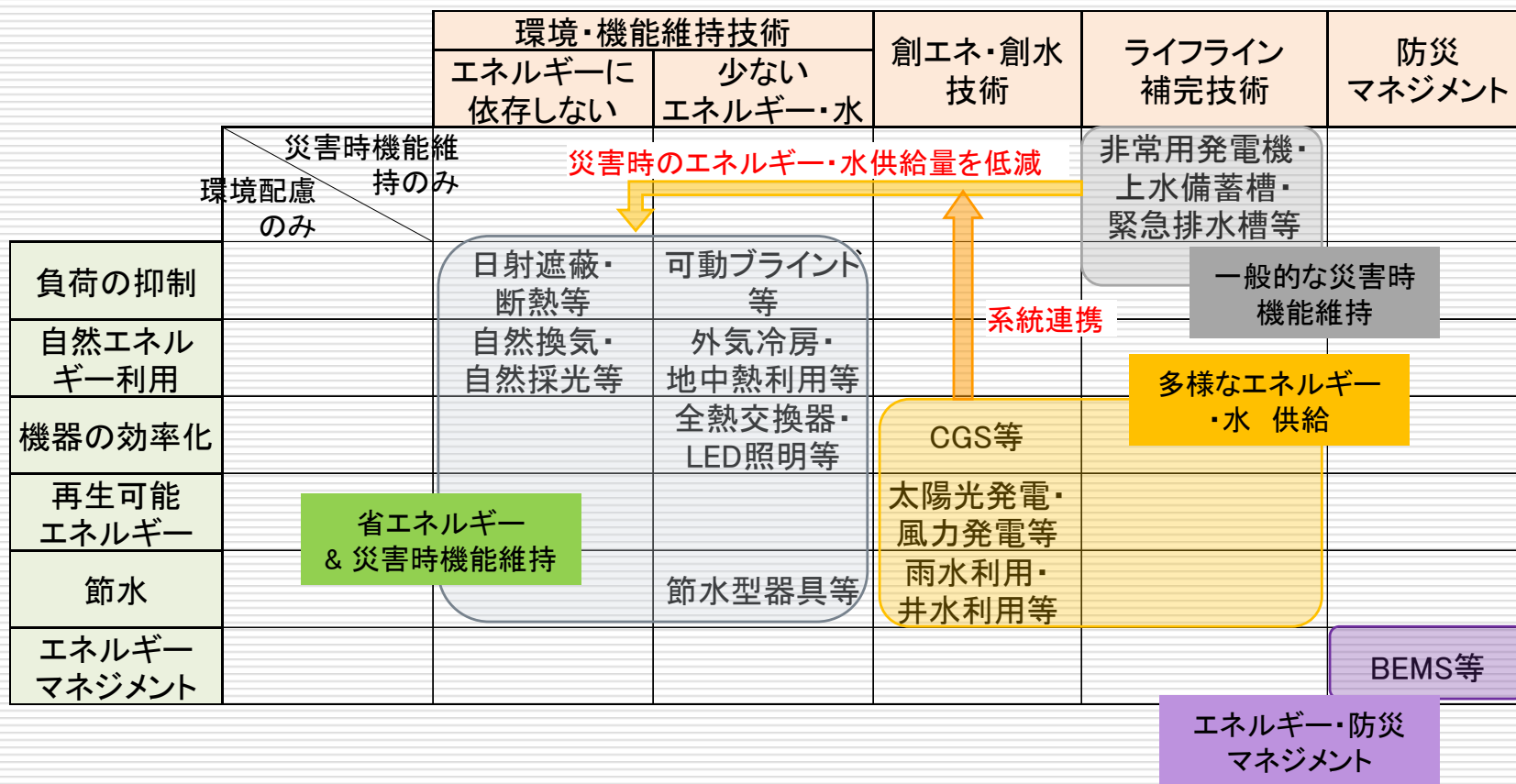
最近30年間の災害等のリスク発生



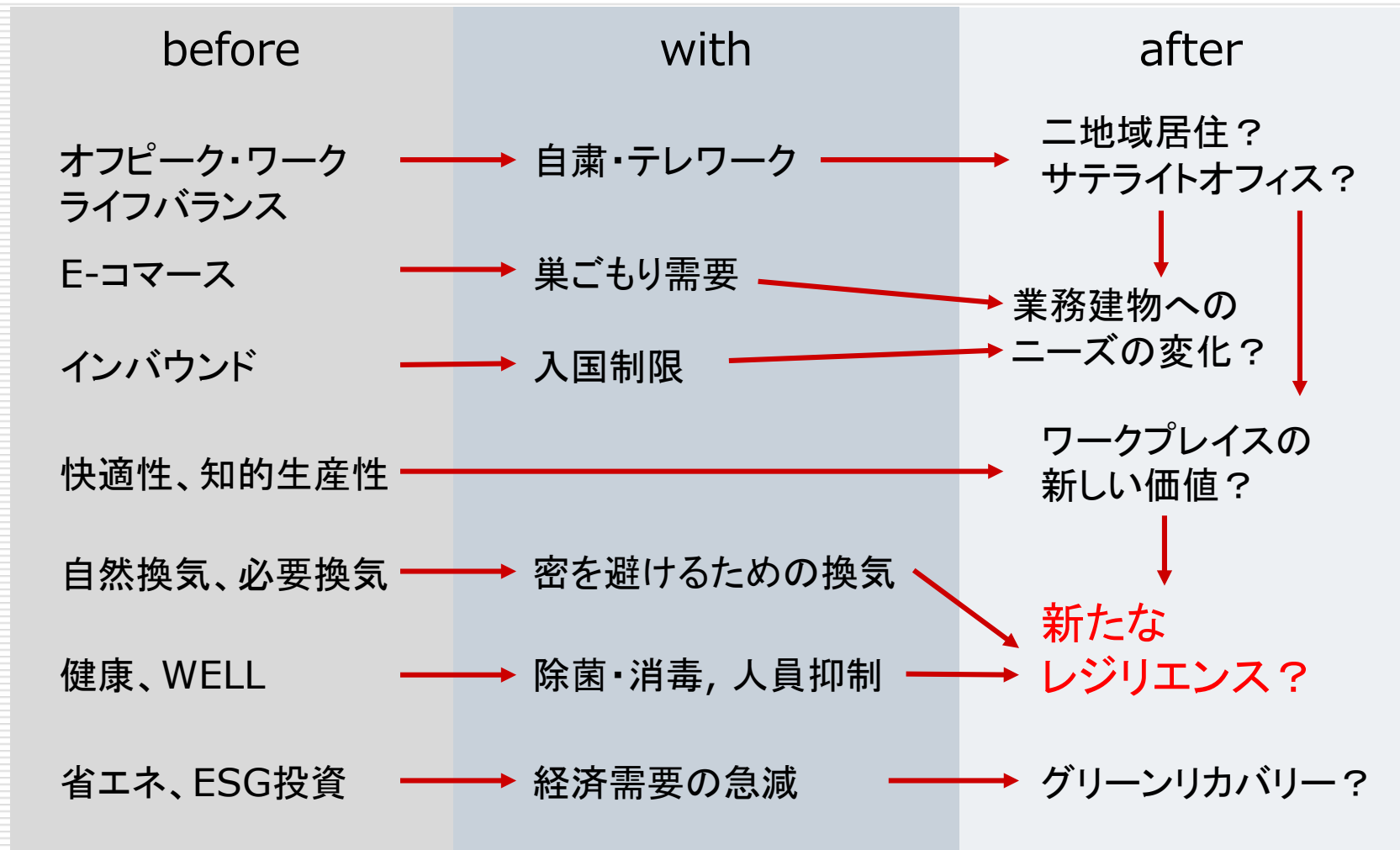
BCPの策定手順



平常時の環境配慮と災害時の機能維持



COVID-19前後の変化



感染流行時の空調設備対応

(ASHRAE Building Readinessの例)

ASHRAE Building Readiness

General Information

- [Building Readiness Intent](#)
- [Building Readiness Team](#)
- [Building Readiness Plan](#)

Epidemic Conditions in Place (ECiP)

- [Systems Evaluation](#)
- [Building Automation Systems \(BAS\)](#)
- [Increased Ventilation](#)
- [Increased Ventilation Control](#)
- [Building and Space Pressure](#)
- [Pre- or Post-Occupancy Flushing Strategy](#)
- [Upgrading and Improving Filtration](#)
- [Energy Savings Considerations](#)
- [Exhaust Air Re-entrainment](#)
- [Energy Recovery Ventilation Systems](#)
- [Operation Considerations](#)
- [UVGI Systems](#)
- [Domestic Water & Plumbing Systems](#)
- [Maintenance Checks](#)
- [Shutdown a Building Temporarily-FAQ](#)
- [System Manual](#)
- [Reopening During Epidemic Conditions in Place](#)

Post-Epidemic Conditions in Place (P-ECiP)

- [P-ECiP: Prior to Occupying](#)
- [P-ECiP: Operational Considerations once Occupied](#)
- [P-ECiP: Ventilation](#)
- [P-ECiP: Filtration](#)
- [P-ECiP: Building Maintenance Program](#)
- [P-ECiP: Systems Manual](#)

感染流行中と流行後のフェーズに分けて、既存建物の設備の運転方法と運転状態の確認方法について具体的な方策・手順を示したドキュメント

感染流行時・流行後の運用方策

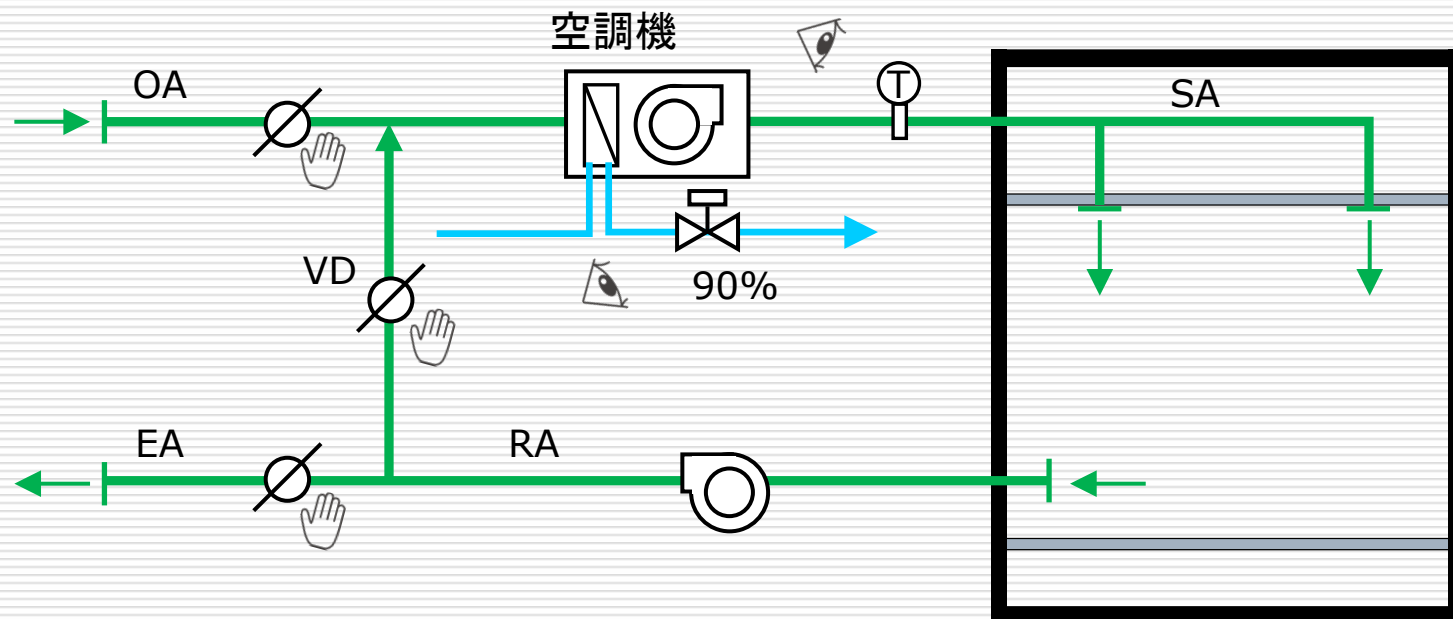
- 設計図書、メンテナンス記録等の収集
- 制御システムの仕様の確認、調整前の状態の記録・保存
- 運用の確認・変更
 - 導入換気量の増大
 - 室圧制御(正圧・負圧の適正化)
 - 非在室時の換気実施(3回分で95%源)
 - フィルターのアップグレード
 - 人員低減・建物閉鎖時の「不在時モード」への移行
 - 屋外排気の外気取入口への混入防止(陽性者収容時)
 - 全熱(顕熱)交換器における排気→給気への混入防止
 - UVGI(紫外線殺菌照射)の利用
- フィルターを元に戻すかどうかの検討、元の設定値に戻すための再調整
- 次期の流行に備えた監視・制御システムの構築

導入外気量の増大

□ 室内温湿度維持のための能力・流量・圧損増大への考慮

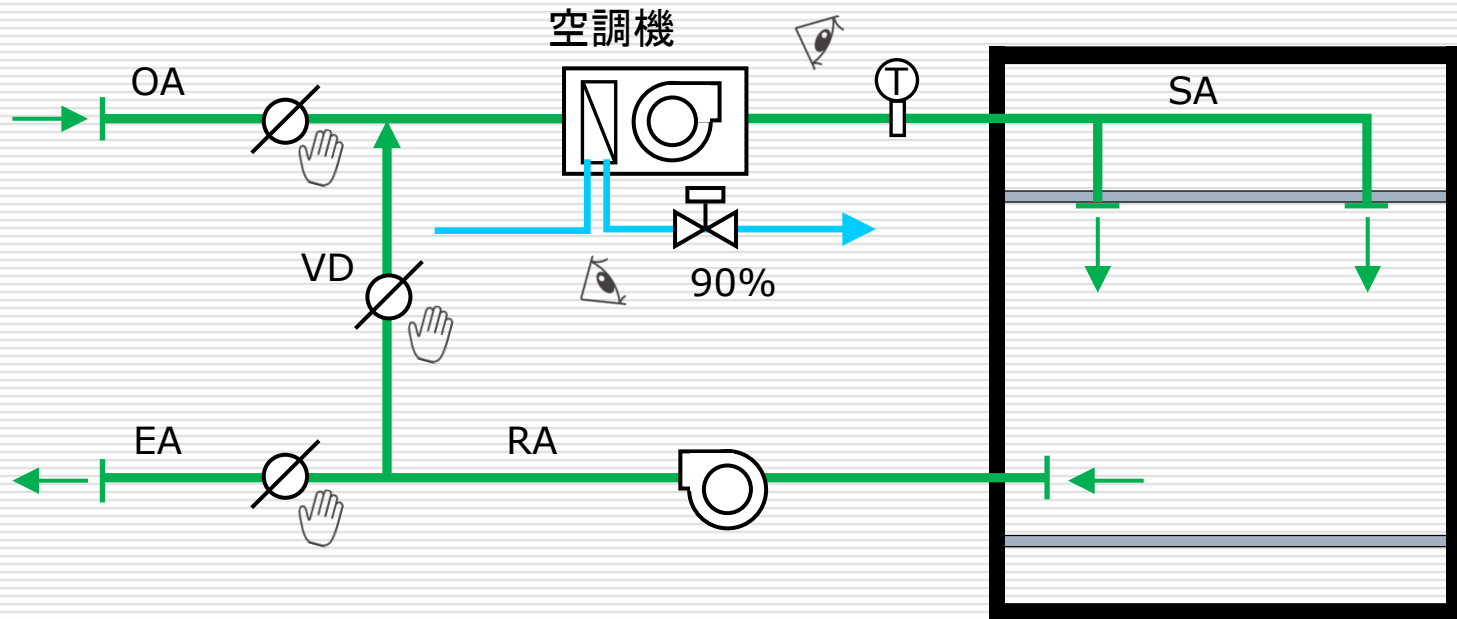
Percent OA	EAT DB / WB	CHW GPM	Coil Pressure Drop (Ft H2O)	Total Capacity (MBH)	Sensible Capacity (MBH)
20	78.43 / 69.31	88.64 流量	7.06	541.29 能力	292.45
30	79.64 / 70.80	95.82	8.14	596.98	306.33
40	80.84 / 72.64	107.15	9.99	671.74	320.33
50	82.04 / 73.64	113.49	11.10	712.95	333.99
60	83.24 / 75.00	121.01 × 2	12.49 × 3	768.22 × 2	347.89
70	84.44 / 76.30	131.79	14.61	826.98	361.82
80	85.63 / 77.57	139.60	16.24	881.63	375.69
90	86.81 / 78.80	151.96	18.99	941.36	389.49

導入外気量の増大



- ❑ 冷水バルブ開度<90% かつ 給気温度=設定どおり なら、15minごとに3%ずつダンパーを外気増側へ調整(上記条件を満たさなければ逆方向に調整)
- ❑ 給気温度リセット制御等は解除した状態で調整する
- ❑ 室圧制御に悪影響がないことが前提

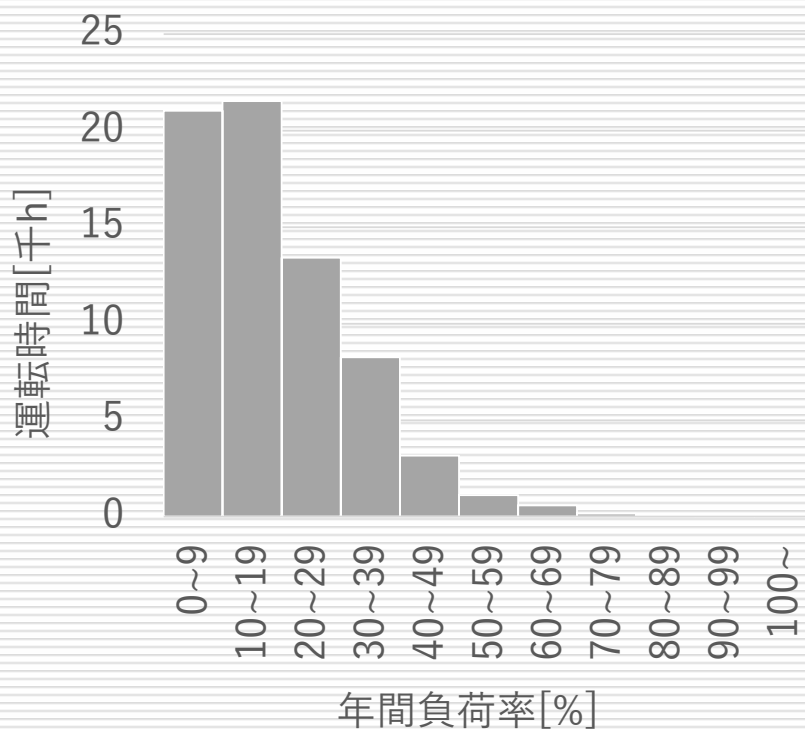
導入外気量の増大



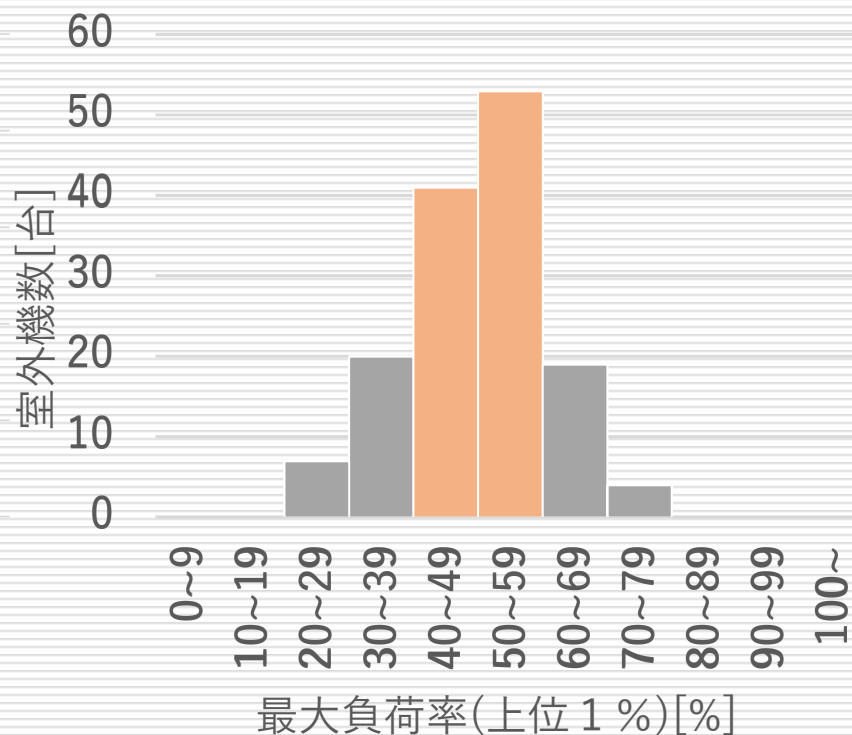
- 感染流行が起きてからの仕様変更("Resouceful")は現実的か？
- 余裕(Redundant)を持った設計が重要では？
 - 風量、圧損 → ファン・ポンプの、VAV・VWV制御
 - 能力 → 各機器の容量選定法の見直し

機器容量に関するRedundantと「過剰」

PACの稼働率の実態

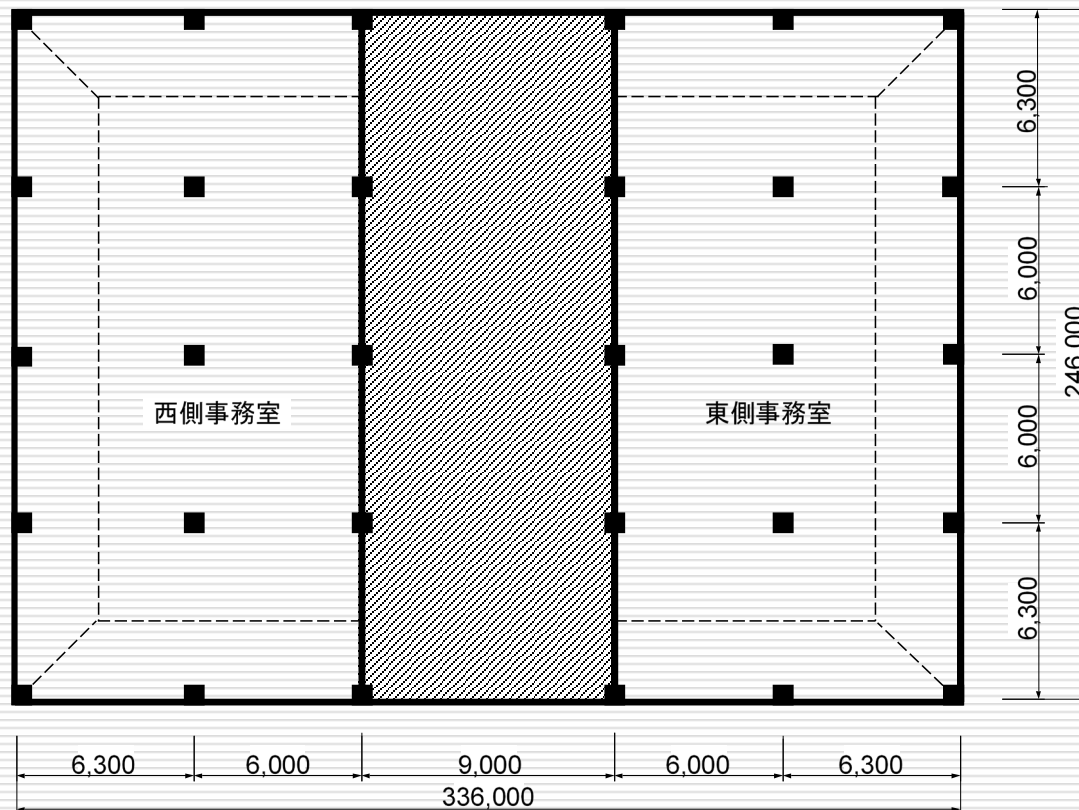


あるホテル(客室)1物件の
室外機の年間負荷率(冷房)



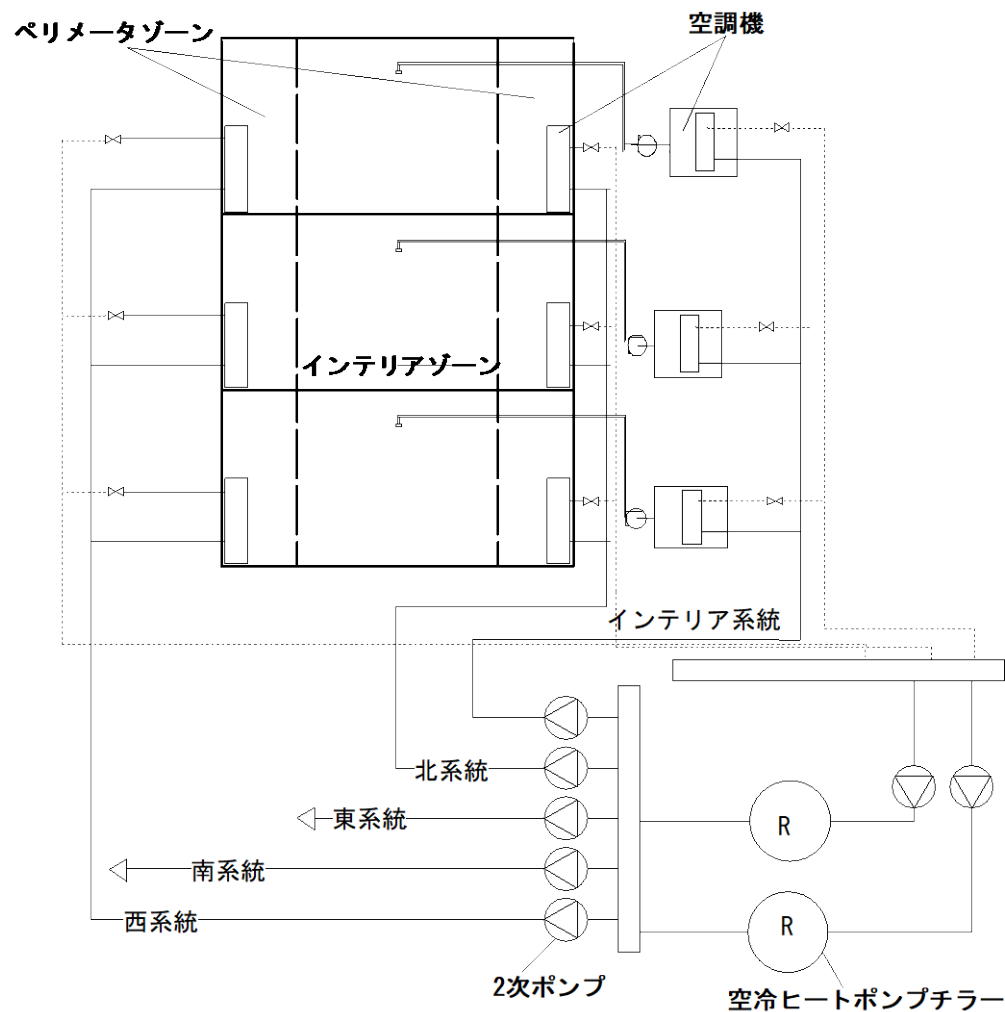
ホテル(客室)12物件の室外機
最大負荷率(上位1%)(冷房)

「過剰設計」によるエネルギー増加



滝沢のオフィス標準問題
所在地: 東京
基準階床面積: 826.56m²
対象: インテリア×2ゾーン
ペリメータ×6ゾーン

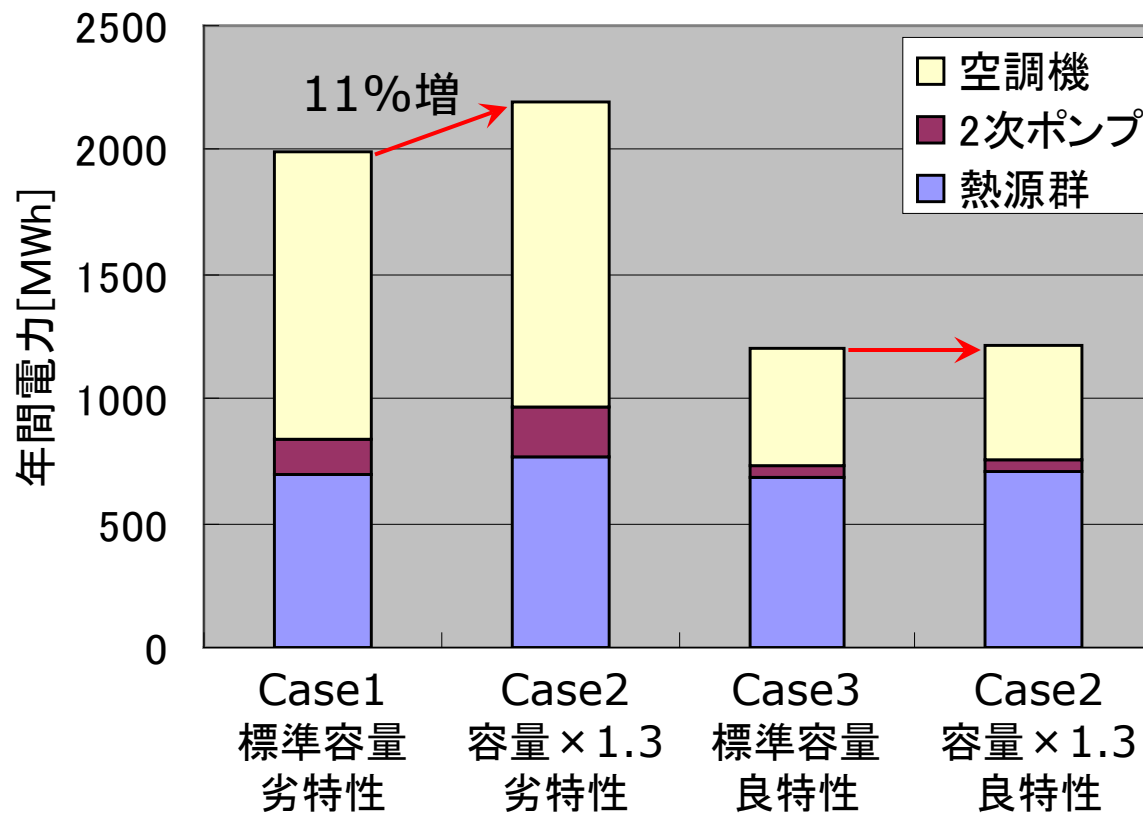
「過剰設計」によるエネルギー増加



	Case1 標準	Case2 容量1.3倍
空調機	CAV	CAV
2次ポンプ	定流量 1台/1系統	定流量 1台/1系統
熱源	2台	2台

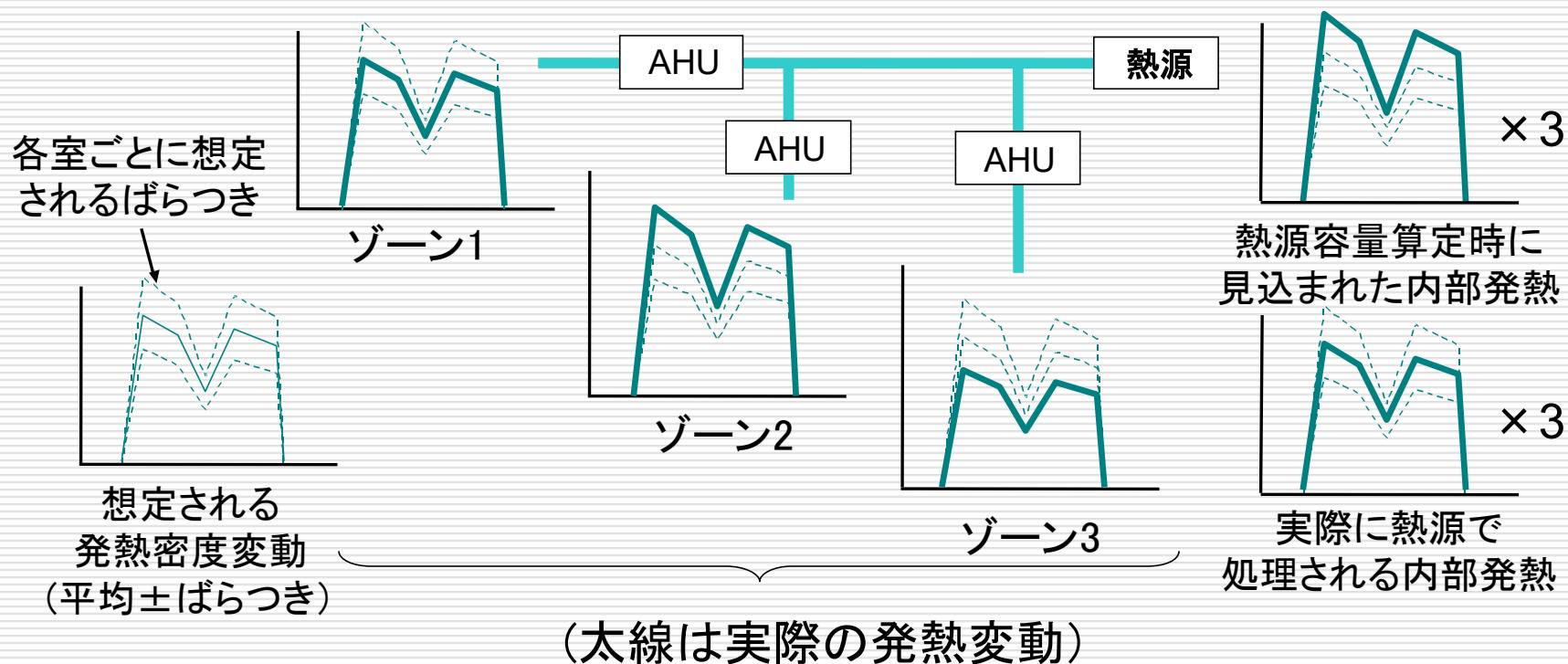
	Case3 標準	Case4 容量1.3倍
空調機	VAV	VAV
2次ポンプ	変流量 2台/1系統	変流量 2台/1系統
熱源	3台	3台

「過剰設計」によるエネルギー増加



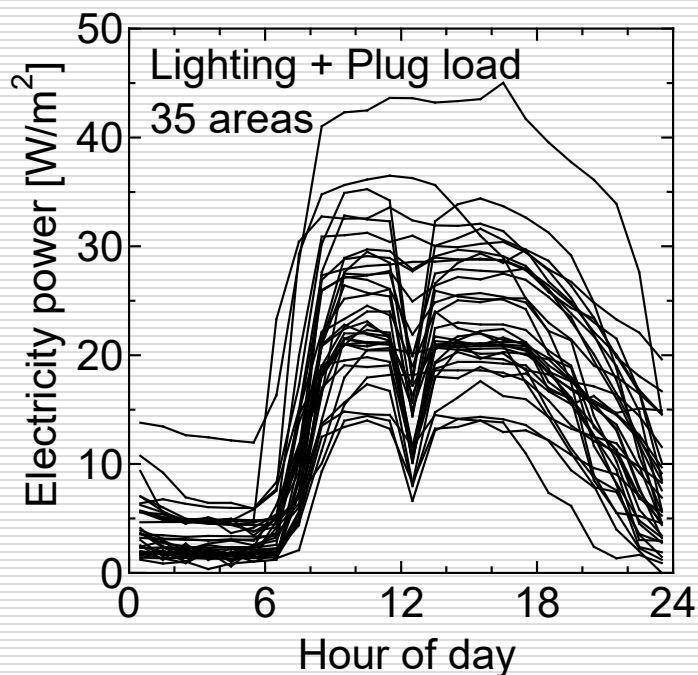
→容量に関するRedundancyは必ずしも省エネルギーに反しない

空調機と熱源の余裕度の相違

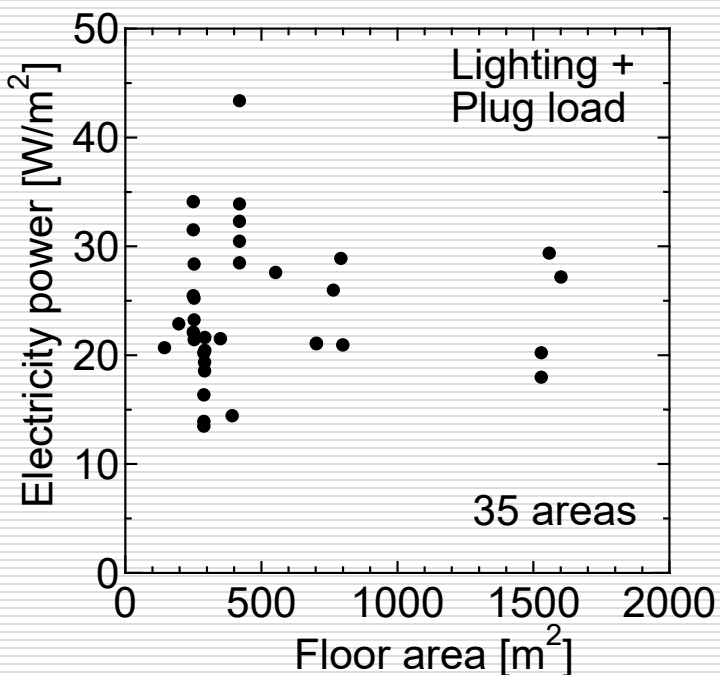


→現状の最大熱負荷計算法では、熱源において相対的に「過剰」に容量選定をしているのではないかな？

事務室の照明+コンセント発熱密度のばらつき

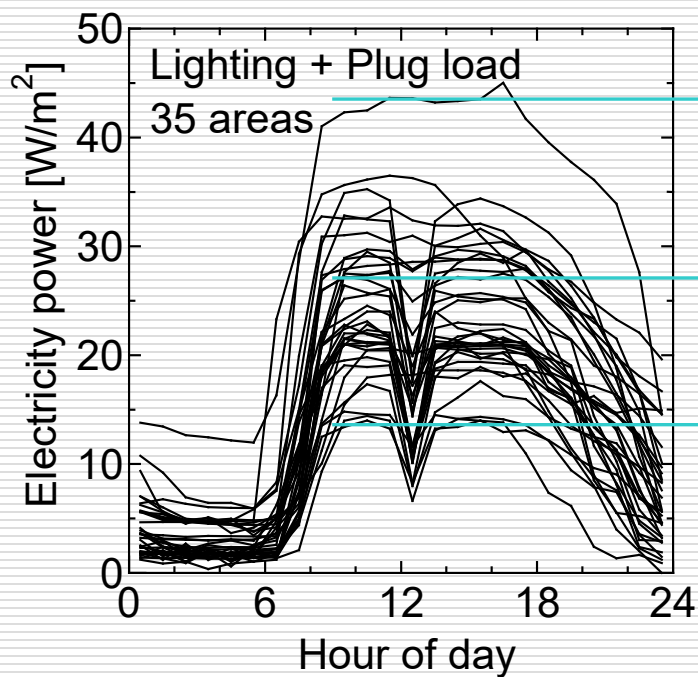


各室の平均日変動

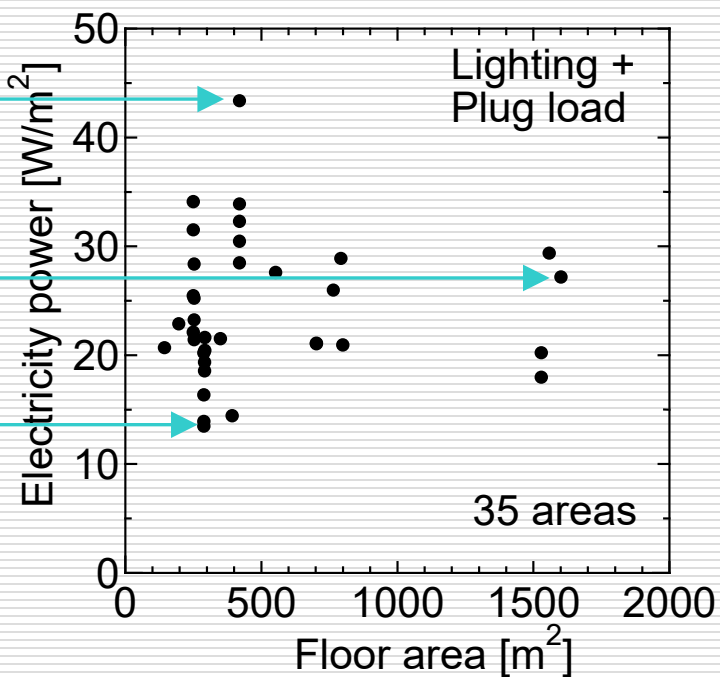


床面積vs日中平均発熱量

事務室の照明+コンセント発熱密度のばらつき

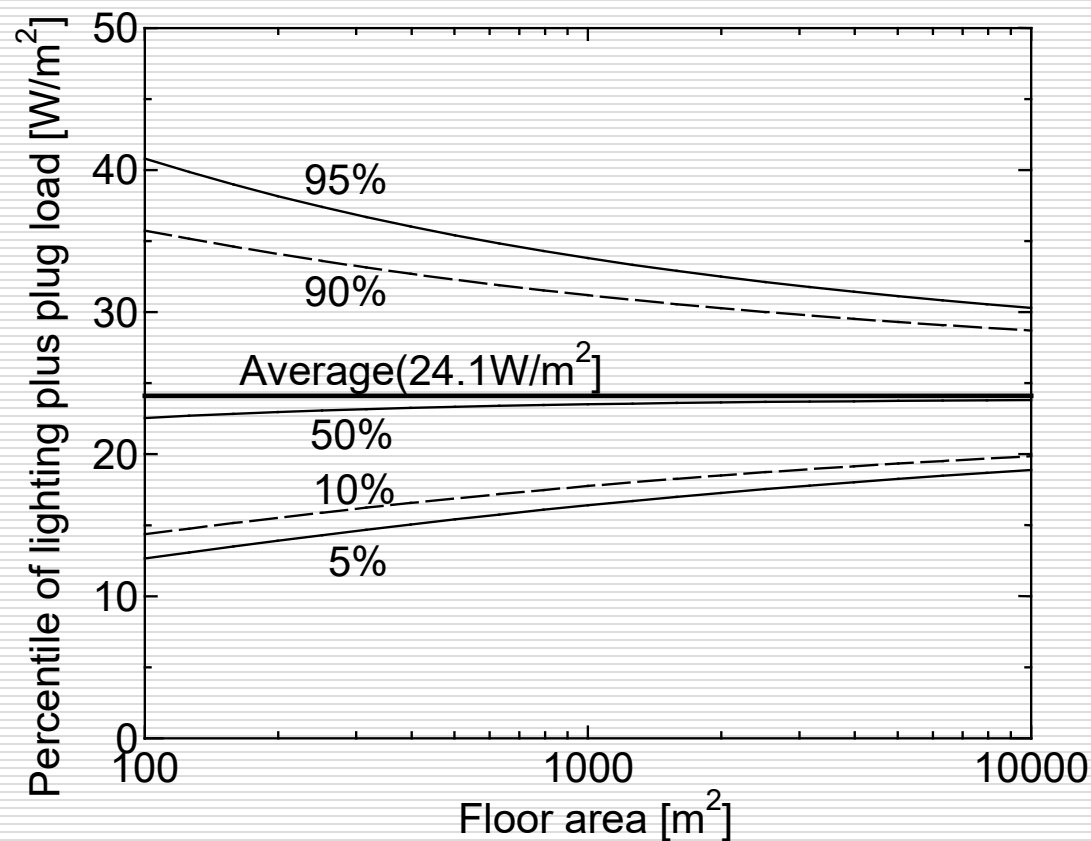


各室の平均日変動



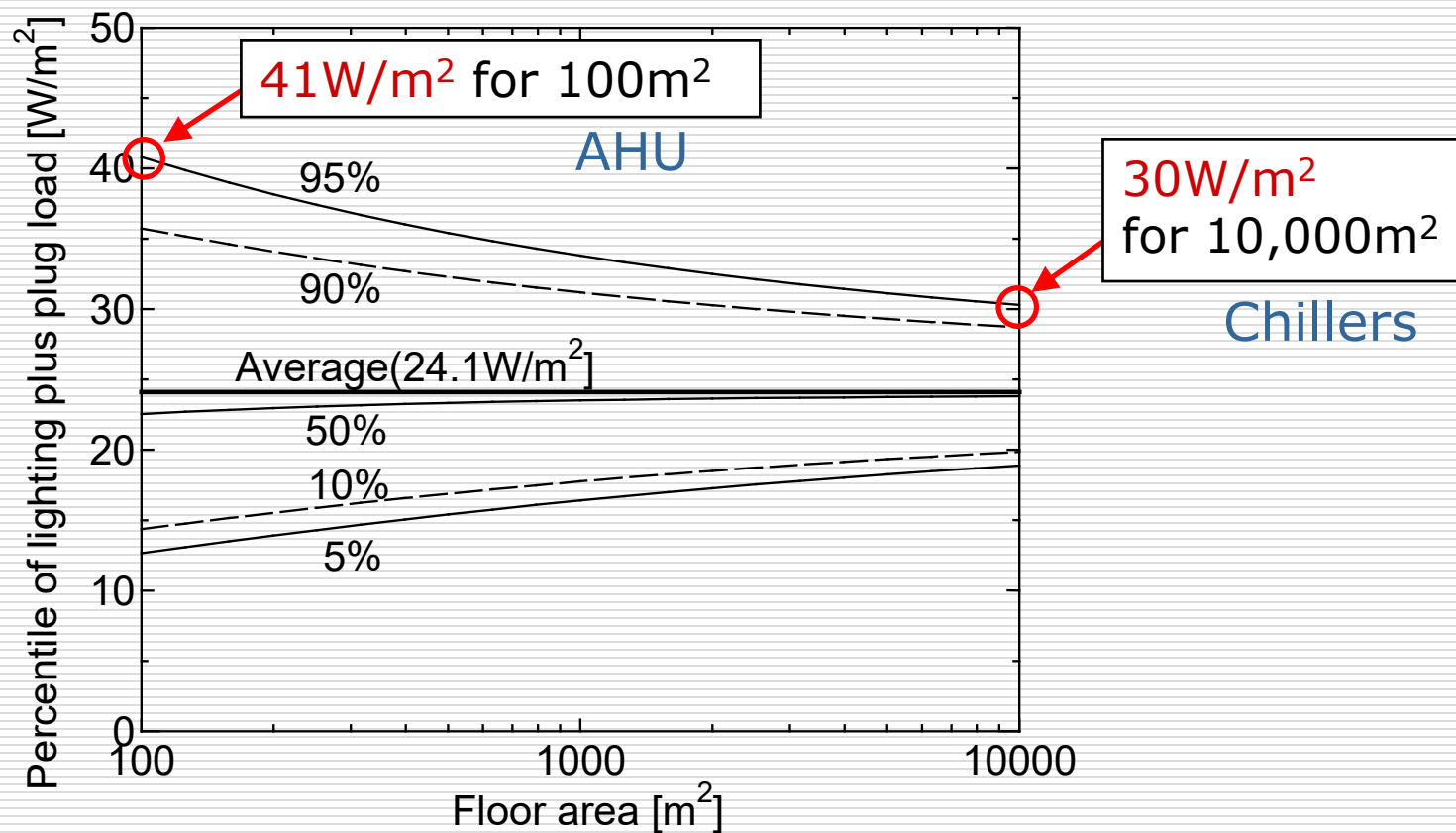
床面積vs日中平均発熱量

対象床面積と内部発熱密度のパーセンタイル



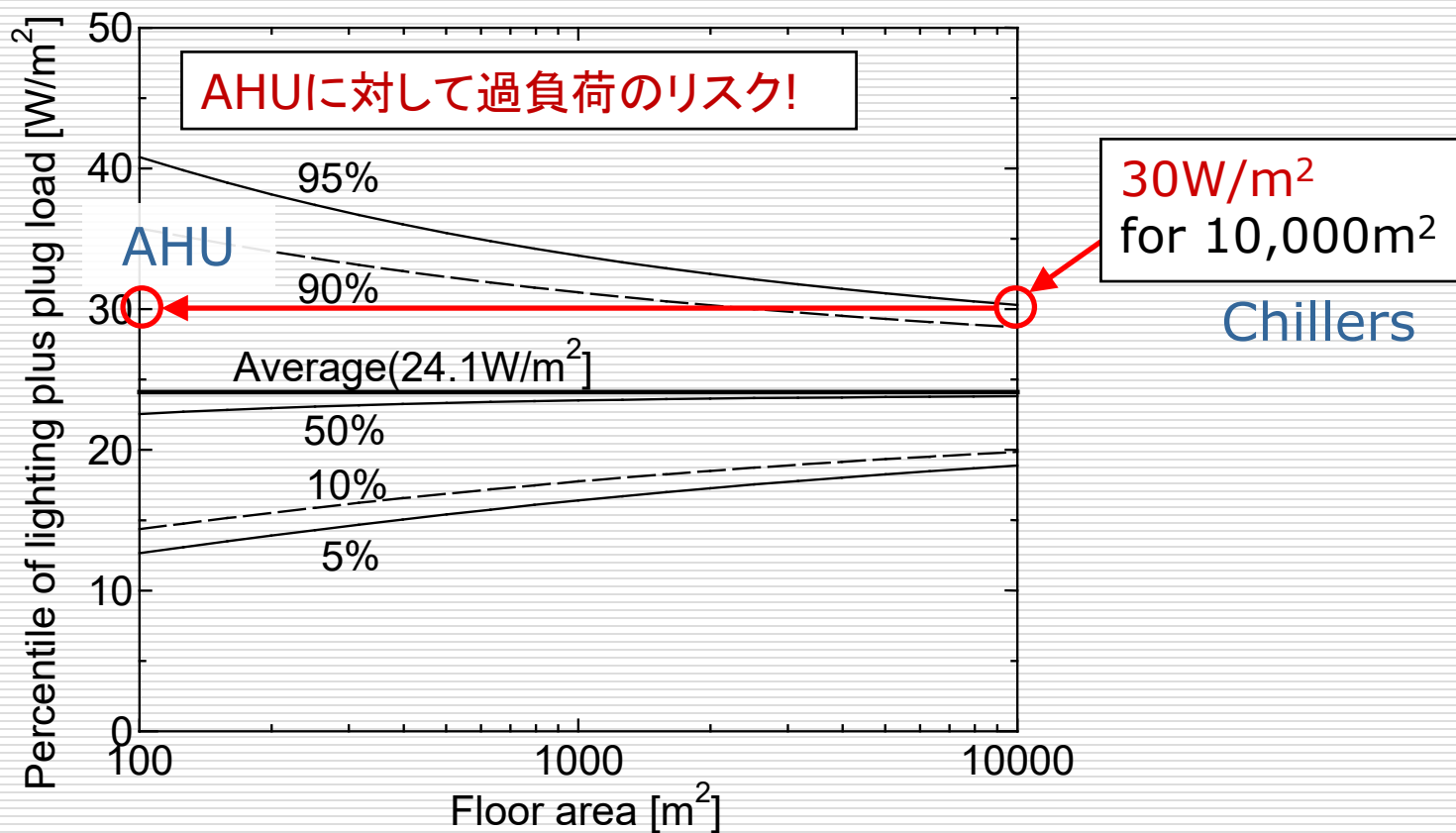
照明+コンセントの日中平均発熱密度のパーセンタイル

対象床面積と内部発熱密度のパーセンタイル



照明+コンセントの日中平均発熱密度のパーセンタイル

対象床面積と内部発熱密度のパーセンタイル



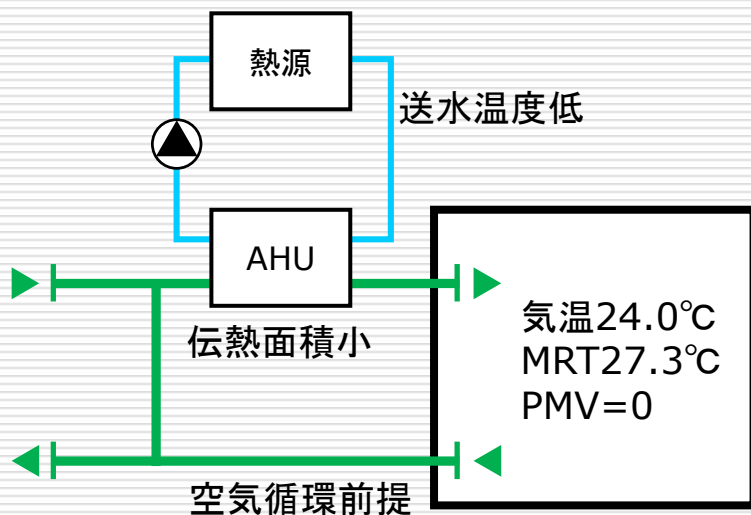
照明+コンセントの日中平均発熱密度のパーセンタイル

機器容量に関するRedundantと「過剰」

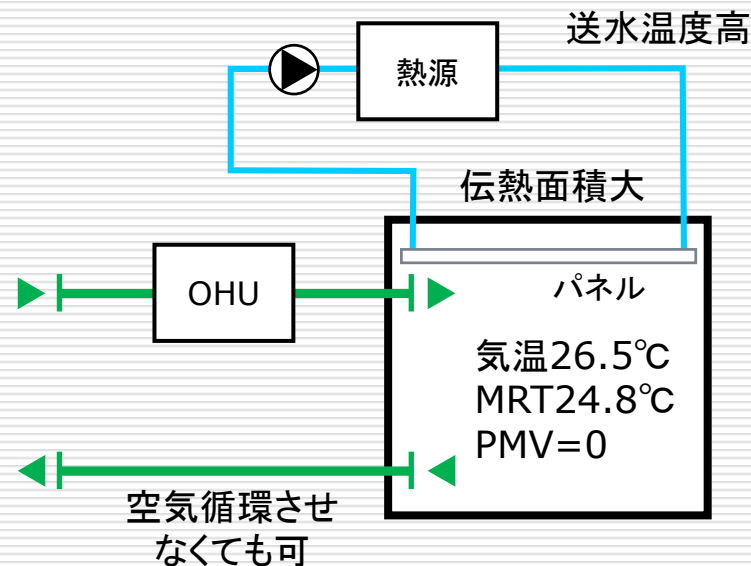
- 容量に余裕がある ≠ 過剰設計(エネルギー的に)
- 端末機器(AHU等)と熱源とで余裕度を揃えるべき
- 過剰設計の悪さが出るところ(熱源・搬送動力、制御性等)と出ないところ(HEX等)の仕分け

放射空調とレジリエンス

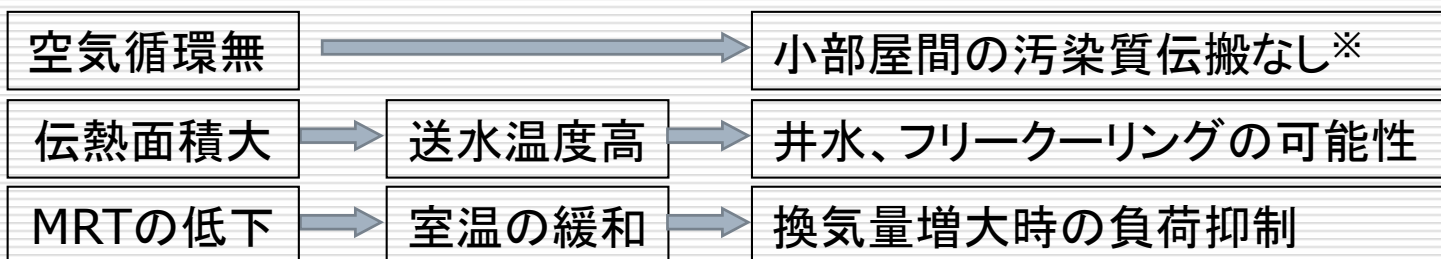
対流式と放射式



(対流式)

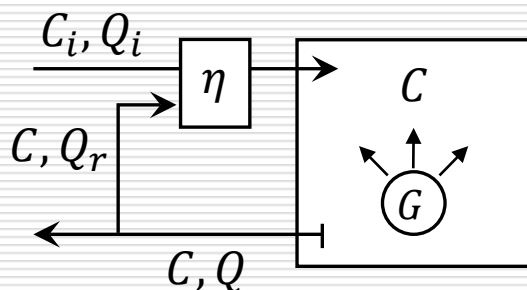


(放射式)



※ SARS-CoV-2に関しては、現在のところ、還気による室間の感染拡大リスクは極めて低いと考えられている

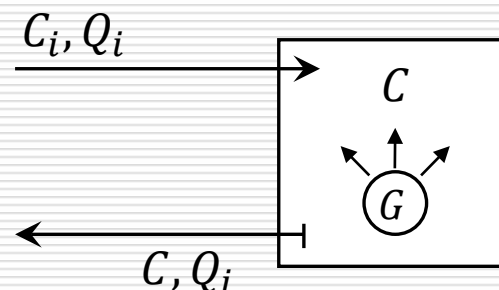
循環の有無と除塵性能



$$C = \frac{G + C_i Q_i (1 - \eta)}{Q_i + Q_r \eta}$$

$$= 0.035 \text{ mg/m}^3$$

(循環・フィルターあり)



$$C = \frac{G + C_i Q_i}{Q_i}$$

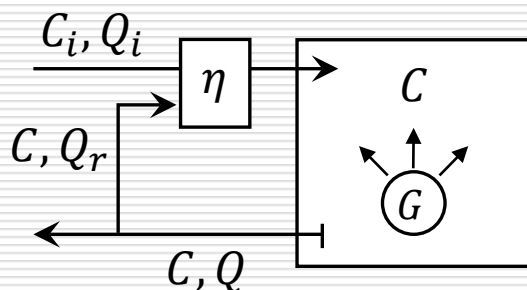
$$= 0.067 \text{ mg/m}^3$$

(循環・フィルターなし)

外気量 $Q_i = 30 \text{ m}^3/\text{h人}$, 人員密度 0.2 人/m^2 , 給気風量 $Q = 6 \text{ 回/h}$,

$C_i = 0 \text{ mg/m}^3$, $G = 2 \text{ mg/h人}$, 天井高 2.8 m , 除塵効率 $\eta = 0.5$

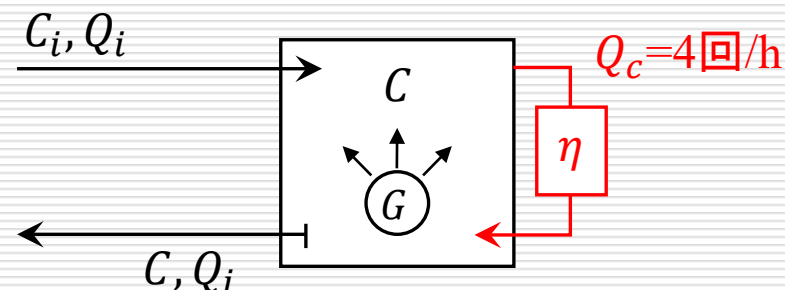
循環の有無と除塵性能



$$C = \frac{G + C_i Q_i (1 - \eta)}{Q_i + Q_r \eta}$$

$$= 0.035 \text{ mg/m}^3$$

(循環・フィルターあり)



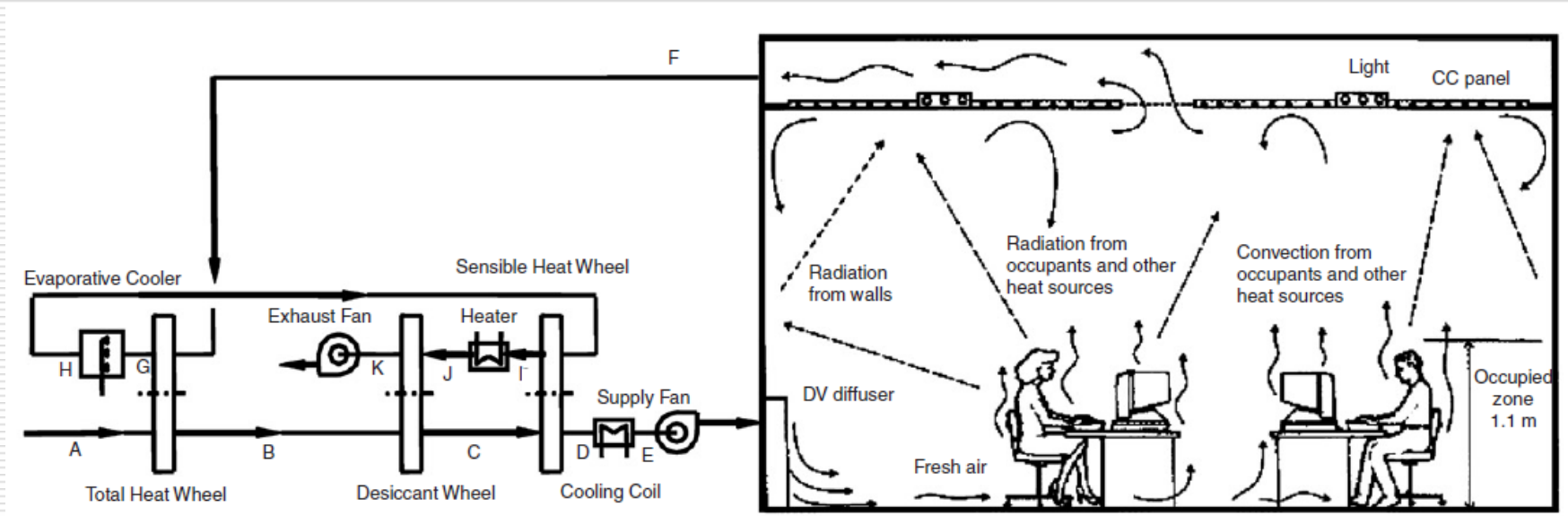
$$C = \frac{G + C_i Q_i}{Q_i + Q_c \eta_c}$$

$$= 0.034 \text{ mg/m}^3$$

(循環・フィルターあり)

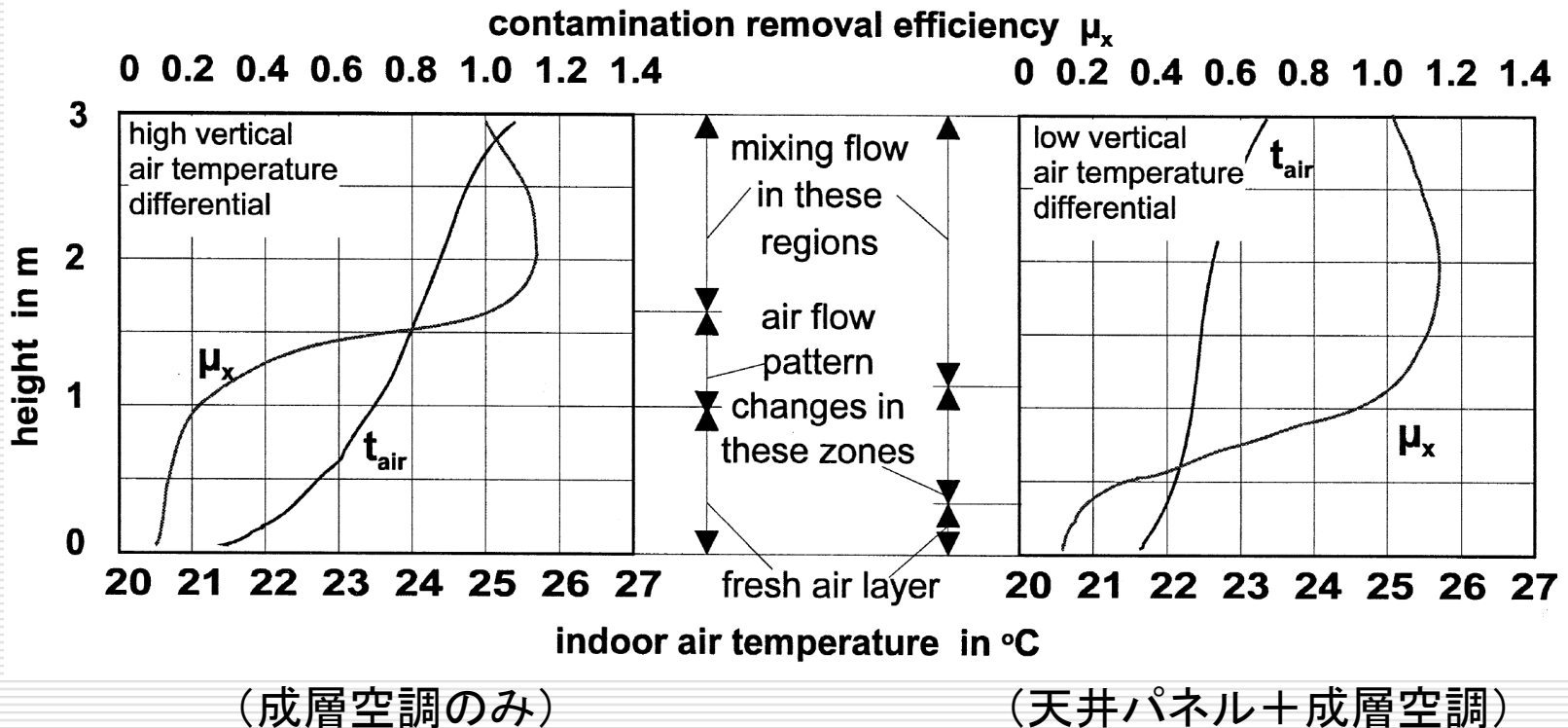
外気量 $Q_i = 30 \text{ m}^3/\text{h人}$, 人員密度 0.2 人/m^2 , 給気風量 $Q = 6 \text{ 回/h}$,
 $C_i = 0 \text{ mg/m}^3$, $G = 2 \text{ mg/h人}$, 天井高 2.8 m , 除塵効率 $\eta = 0.5$

天井パネル＋成層空調(Hao2007)



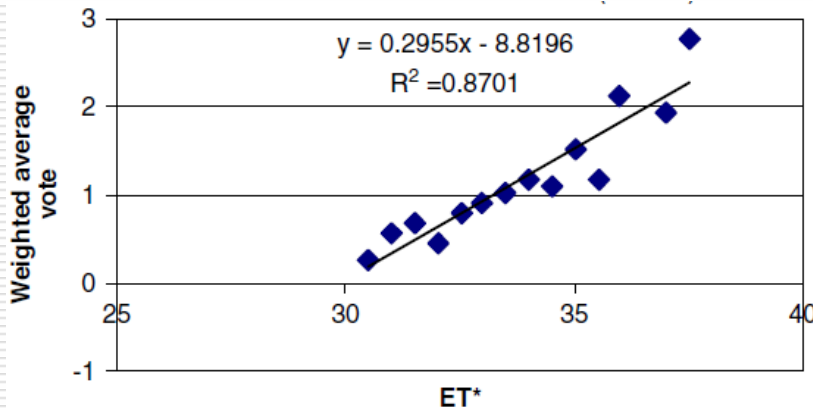
- ❑ 成層空調(新鮮外気導入)による換気効率の向上
- ❑ 放射パネルによる快適性の向上
- ❑ デシカント除湿による夏期のカビ等による汚染の防止

天井パネル＋成層空調時の温度成層と換気効率

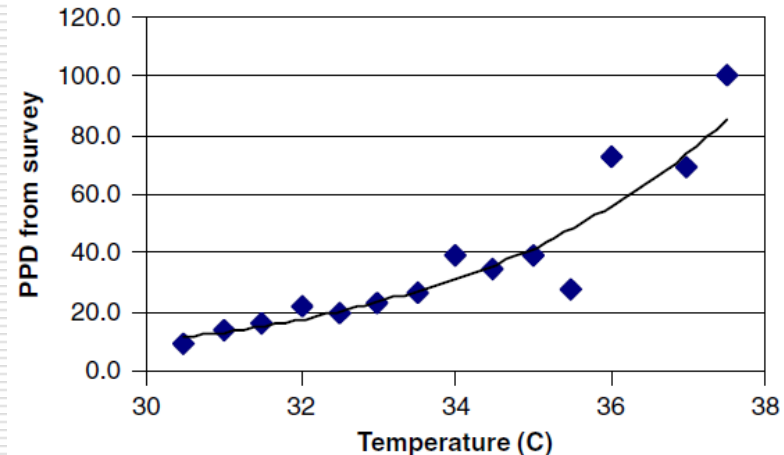


- ❑ 成層空調のみ → 上下温度分布大 → 換気効率↑ (快適性↓)
- ❑ 天井パネル＋成層換気 → 温度分布小 → 換気効率中 (快適性↑)

フリークーリングの可能性 (Memon2008)



ET*と温冷感申告の関係

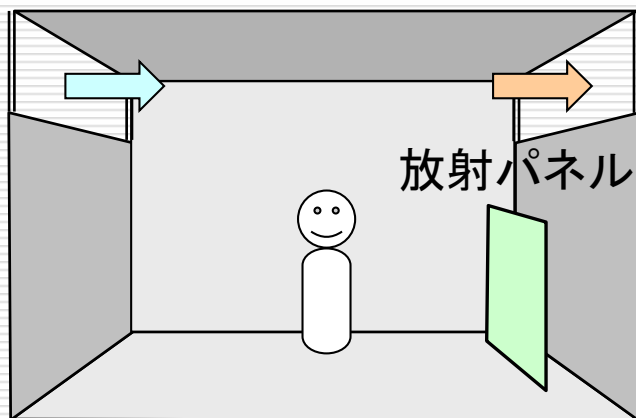


教室での申告に基づくPPD

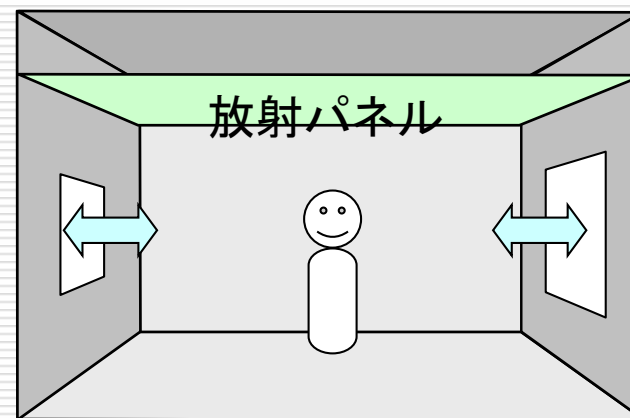
- ❑ 中立 $ET^* = 29.9^\circ\text{C}$
- ❑ 従来式の設定温度 $= 26^\circ\text{C}$
- ❑ 放射冷暖房はCTを利用 (2ACHの外気?も処理)
- ❑ CTで処理できなくてもシーリングファンでしのぐ
- ❑ 従来方式に対して80%の省エネ率

自然換気との併用に関する研究事例

- アンビエントを自然換気、タスクを放射パネルとするもの(宋・金・加藤・村上ら)
- 住宅における通風併用放射冷房(宿谷・岩松ら)



自然換気併用タスク放射冷房



開放空間の放射冷房

空調設備のレジリエンス

- リスクの多様化 → 新たなBCP対応
- 合理的にレジリエンスを実現するための技術力
- 室内環境の質、ワークスペースの価値の再認識
- カーボンニュートラルに向けたニーズの切迫



環境・設備技術者の果たす役割と責任
