令和２年度　ＢＡ協会オンラインセミナー

～ニューノーマル時代のビル空調（計測・制御）について～

空調･換気エネルギーと
運転制御･管理に関する今後の視点

2021.03.03

田 中　英 紀（名古屋大学）

MAKE NEW STANDARDS.
東海国立大学機構

名古屋大学

COVID-19と換気について

国内学会の情報発信

出典）空気調和・衛生工学会／新型コロナウイルス対策特別委員会,
商業施設，事務所に関係する皆様へ , 2020.12.09

建築物衛生法の室内環境基準

- CO_2濃度: 1,000ppm
- 室内温度: 17～28℃
- 相対湿度 : 40～70%

厚生労働省: 換気量30m³/(h･人)確保で感染を確実に予防できるということまで文献等で明らかになっているわけではないことに留意の上で、換気の悪い密閉空間には当たらない、としている。

換気の運用

- CO_2濃度の基準適合には 30m³/(h･人) 換気量が必要になる
- 30m³/(h･人)確保が感染対策として十分と言い切れない
- 適正温湿度が維持できる範囲でできるだけ換気量を増やす

温湿度の運用

- WHOの勧告(対住宅)をもとに暖房室温 18℃以上
- 呼吸器系疾病予防には: 相対湿度 40～60%

取入外気量の実態について

既存建物の実測結果

一般オフィスの換気回数

- 全風量(外気+循環空気)：６回/h
- 外気量：２回/h

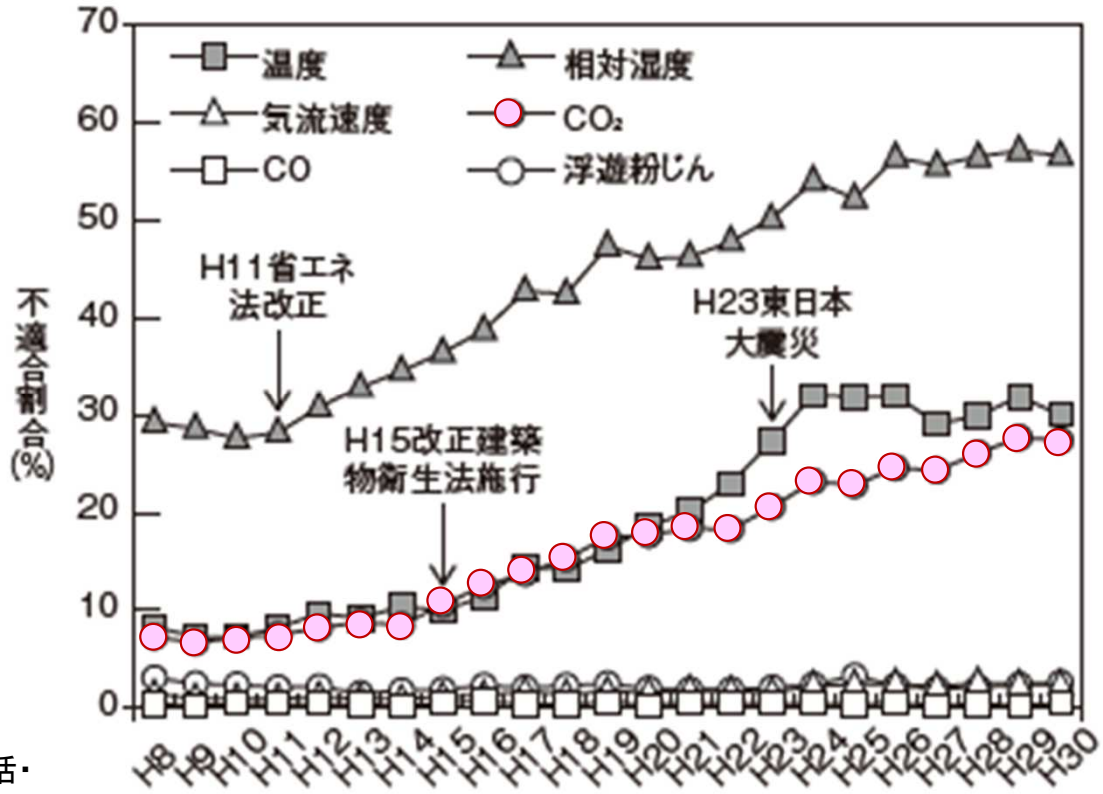
立ち入り検査

- CO2濃度の不適合割合
- 増加傾向
- 中央方式：15.0%(N=412※)
- 個別方式：20.3%(N=74※)

※東京都内調査による

フィルタの目詰まりによる外気量不足は、個別方式でメンテナンスが十分至らないと顕著になってくると考えられる。

全国特定建築物立入検査等状況調査による
空気環境測定項目別の不適合割合



引用）大澤元毅ほか,「建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究＜課題番号:H20・健危・一般・009＞平成21～22年度総括・分担報告」厚生労働省健康局総務課地域保健室82P, 168P 2011

取入外気量の実態について

BA協会における実態調査

出所）2020年度：ビルディング・オートメション協会調査による

新築オフィスビルの換気量

- 基準階面積 400～2,000㎡ 対象（個別方式 5件, 中央方式 5件）
- 換気回数2回/h を概ね確保
- 外気量 30㎥/(h･人)以上が概ね確保（Xビル：通常時にこれを下回る）

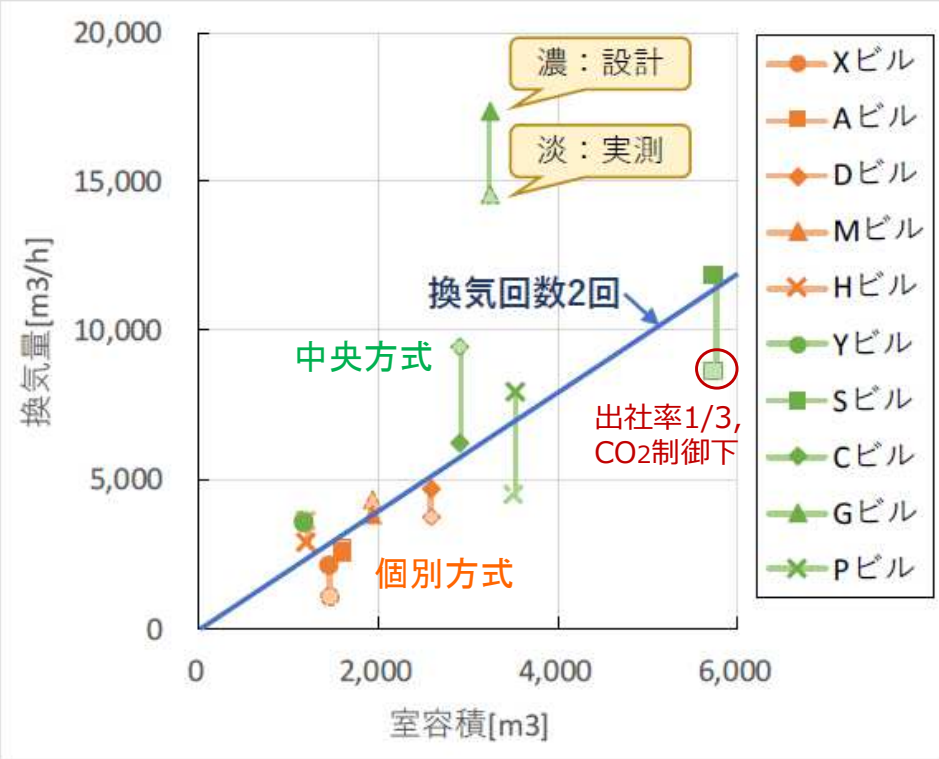


表４　在室一人当たりの換気量[㎥/(人h)]

ビル記号	X	A	D	M	H	Y	S	C	G	P
通常	20	52	93	86	90	45	24	63	146	64
コロナ禍	29	104	93	143	90	65	68	78	183	64

通常＝実測換気量[㎥/h]／在室人数（通常）[人]
コロナ禍＝実測換気量[㎥/h]／在室人数（コロナ禍）[人]

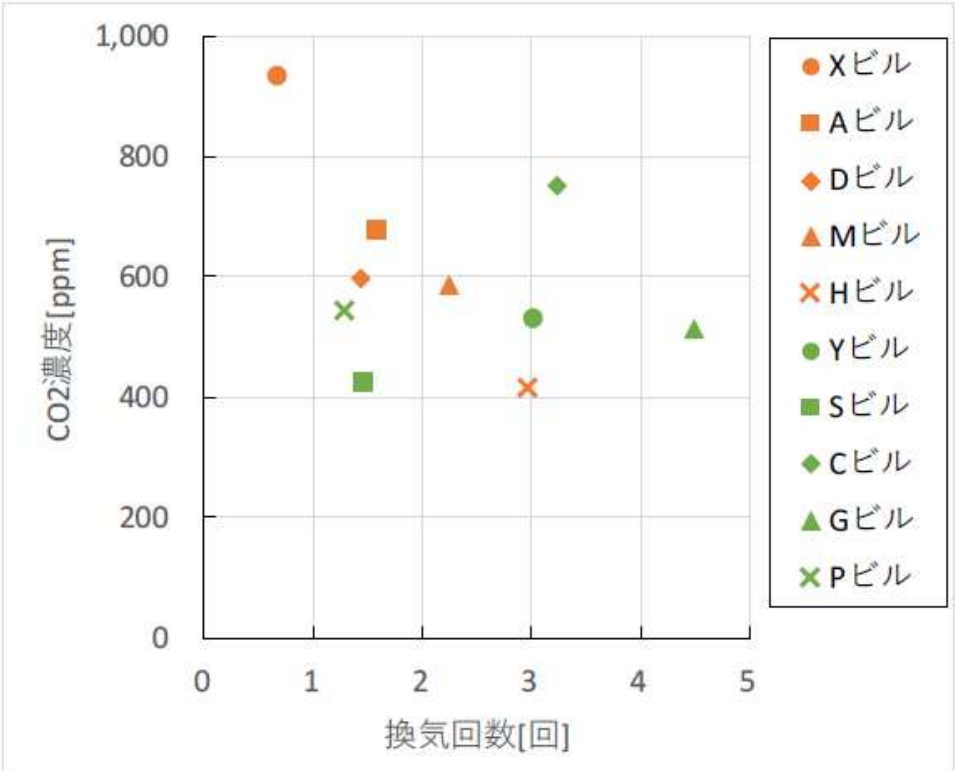
取入外気量の実態について

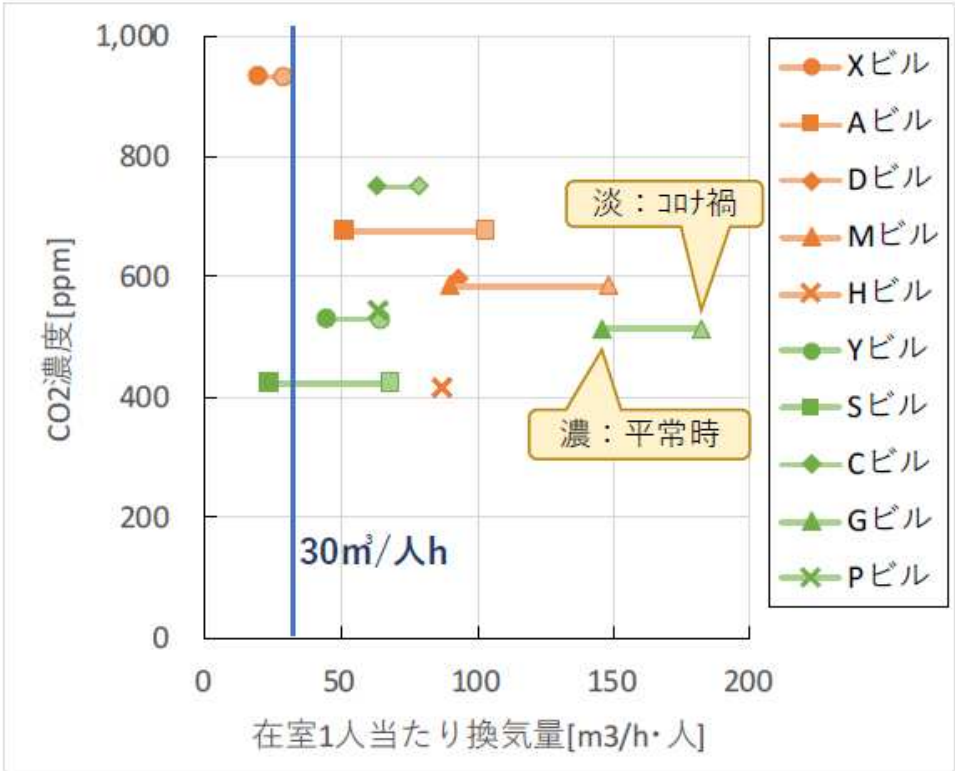
BA協会における実態調査

出所）2020年度：ビルディング・オートメション協会調査による

新築オフィスビルの換気量

- 基準階面積 400～2,000㎡ 対象（個別方式 5件, 中央方式 5件）
- 外気量 30㎥/(h・人)以上が概ね確保
- CO_2濃度の観点では良好な室内環境を維持





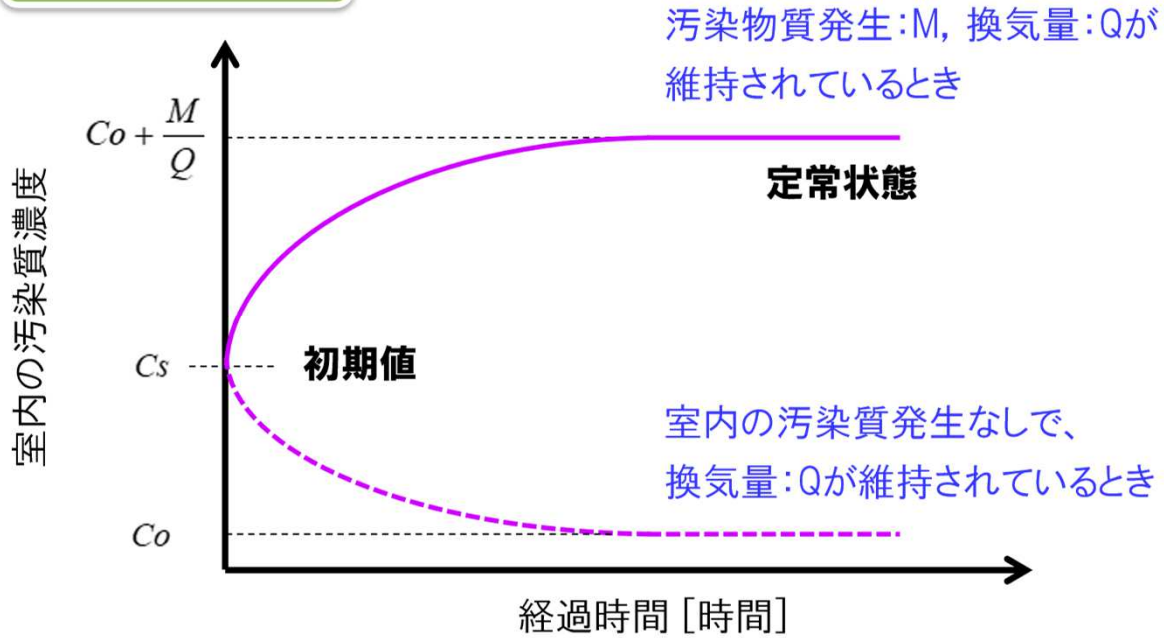
国内学会での検討

参考）空気調和・衛生工学会大会／ワークショップ③,
室内空気室のための必要換気量設計, 第2部, 山中俊夫,
換気規準_改訂案の概要について, 2020.09.18

SHASE 換気規準の改訂に向けて

- CO_2濃度: 外気濃度＋700 ppm
- 30 $m^3/(h\cdot人)$: 人間が事務作業程度の活動状態（CO_2発生量 0.02 $m^3/(h\cdot人)$で，室内CO_2濃度が外気濃度+700ppmの状態で算定された必要換気量（28.6 $m^3/(h\cdot人)$）を基にした値

ザイデルの式



室内濃度 C_p

$$C_p = Co + \frac{M}{Q} \qquad t \to \infty$$

必要換気量Q

$$Q = \frac{M}{(Cp - Co)}$$

Cp：室内の汚染質濃度 [m^3/m^3]
Co：外気の汚染質濃度 [m^3/m^3]
M ：汚染質発生量 [m^3/h]
Q ：換気量 [m^3/h]

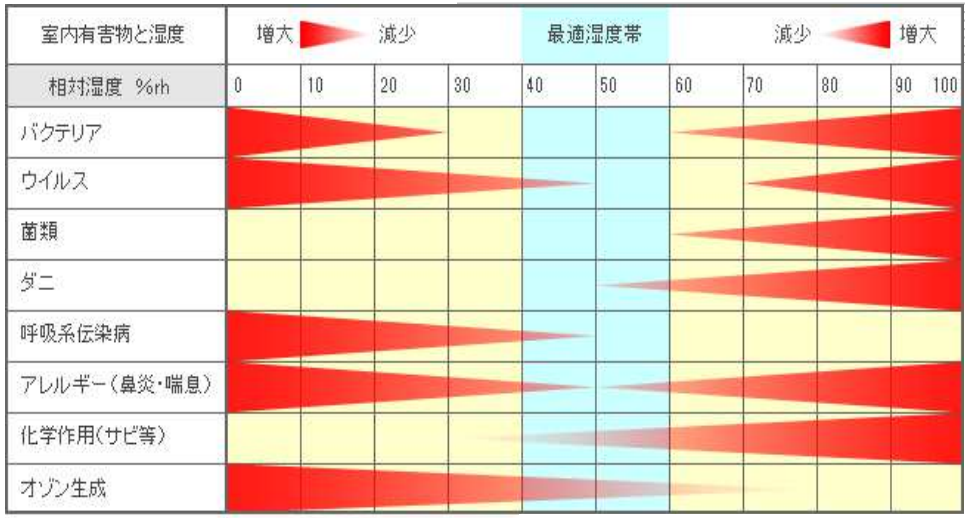
湿度管理について

室内相対湿度の実態

呼吸器系疾病予防の観点

- 相対湿度 40～60%
- RH40%以下：ウィルス活性化
  呼吸器系伝染病※増化

※インフルエンザ、結核など

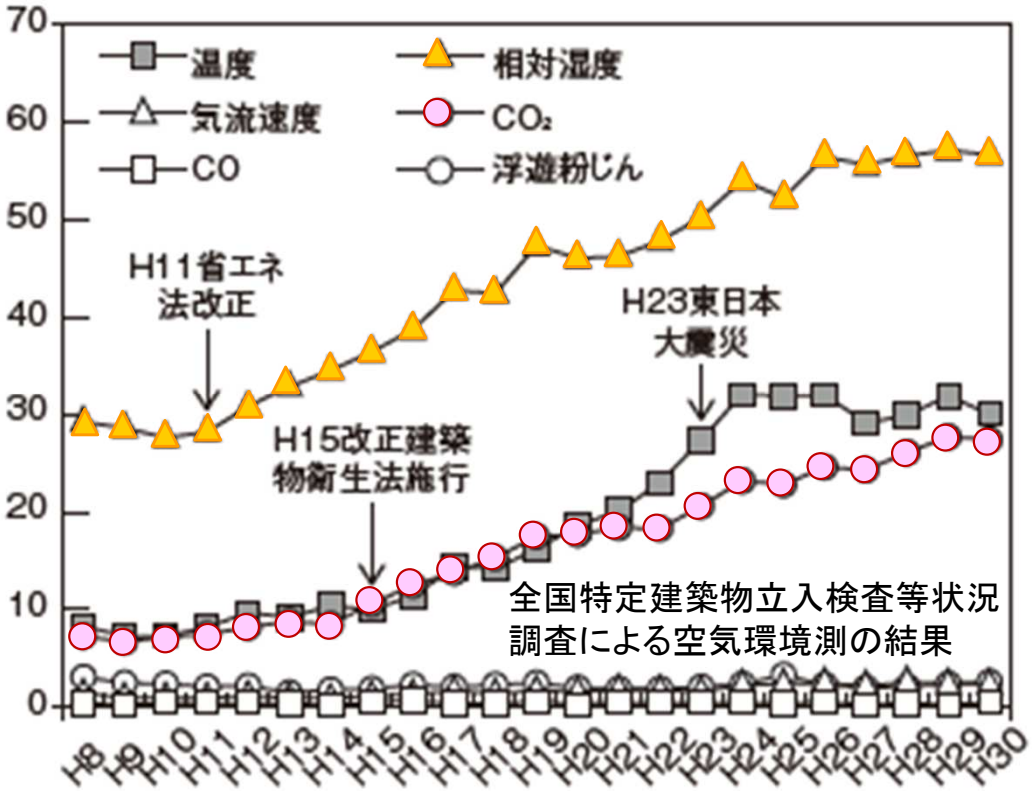


Source）ASHRAE、, 1985

立ち入り検査

- 相対湿度の不適合割合
- 漸増（半数以上が基準外）
- 中央方式：56.1%(N=412※)
- 個別方式：81.1%(N=74※)

※東京都内調査による



基準外は、加湿機能を伴わない個別方式で顕著に表れると考えられる。

引用）大澤元毅ほか,「建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究＜課題番号：H20・健危・一般・009＞平成21～22年度総括・分担報告」厚生労働省健康局総務課地域保健室82P, 168P 2011

外気量とプロダクティビティについて

換気量と学習効率

- ビデオ講義あとに確認テストを行って学習効率を測定
- 換気量と学習効果に相関性を確認

引用）後藤伴延，伊藤一秀：「若年層（16～22 歳）を対象とした温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討」，日本建築学会環境系論文集，No.655，pp.767-774，2010.9

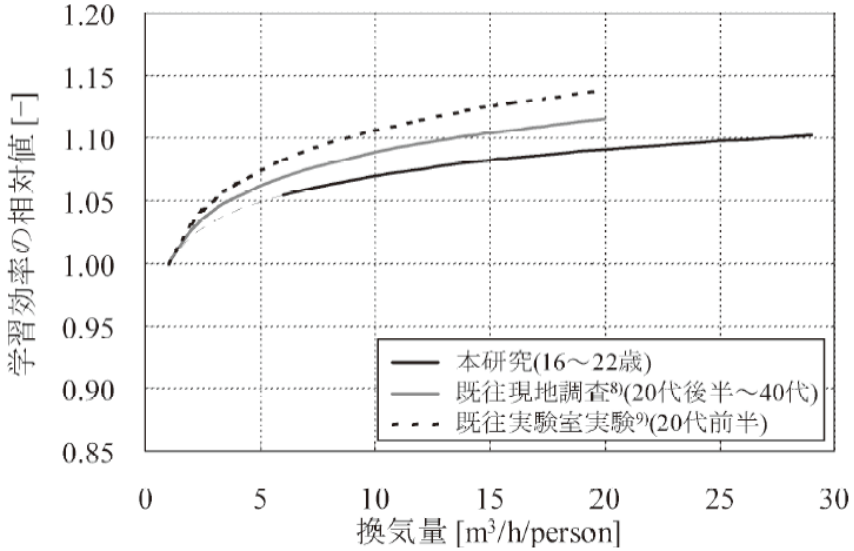


図 15　換気量と学習効率に関する既往研究との比較

CO2濃度と生産性

- ９種の能力を測定
  （Strategic Management Simulation）
- 高濃度で明らかに能力低下
- 集中力を伴う作業・情報検索濃度による差異が少ない

引用）Usha Satish, et al., “Is CO2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO2 Concentrations on Human Decision-Making Performance”, Environmental Health Perspectives, Vol.120, No.12, 2012.12

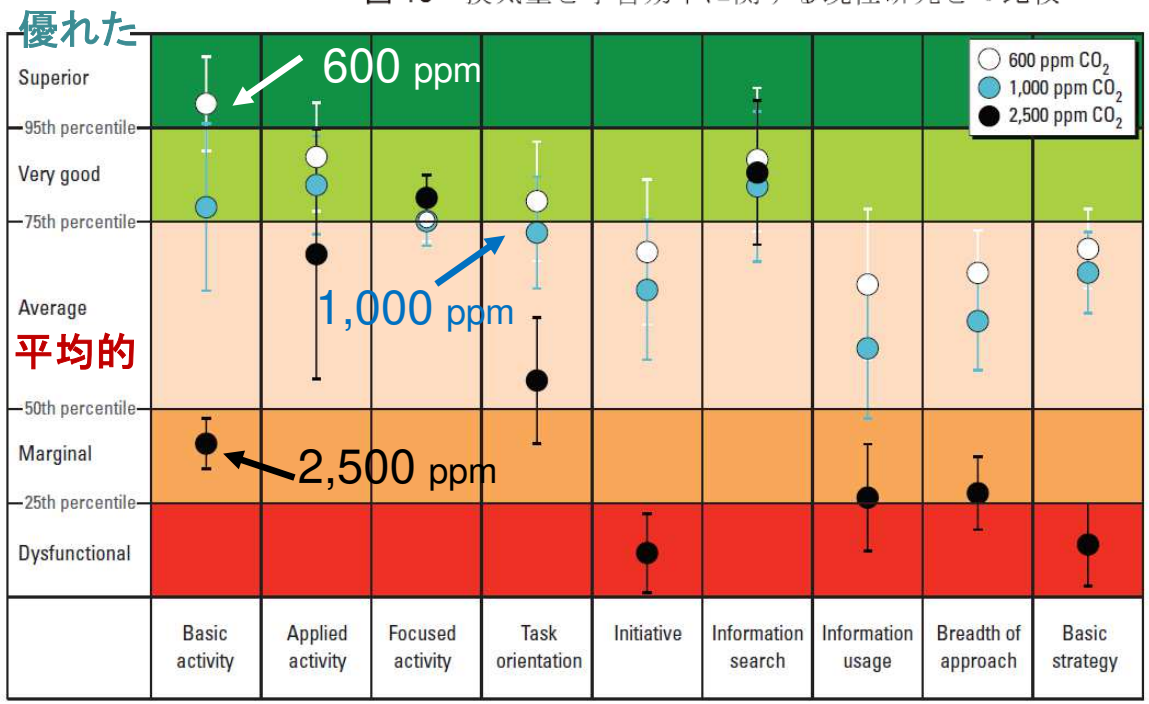


Figure 2. Impact of CO_2 on human decision-making performance. Error bars indicate 1 SD.

在宅勤務による影響

参考）建築物のエネルギー消費量計算プログラム(非住宅版), 標準入力法, 事務所モデル(10,000 ㎡) の平面プラン

計算対象建物

- 延床面積： 約4,500㎡（3階建て）
- 建物使用者: 280名

対象建物基準階平面図

空調・換気の方式

- ビル用マルチ型パッケージ(EHP)
- 全熱交換器（中間期は窓開け停止）
- 冷房期：26℃、50%（6~9 月）
- 暖房期：22℃, 40%（12~3 月）

計算条件

- テレワーク率： 0%, 15%(42人), 30%(84人), 50%(140人)
- 設計外気量30 ㎥/(h・人): 定風量(×280人), CO_2制御(×出勤者数)
- 内部発熱の減少: 減少人員数＋コンセント電力650W×減少人員数

外気量とエネルギー消費

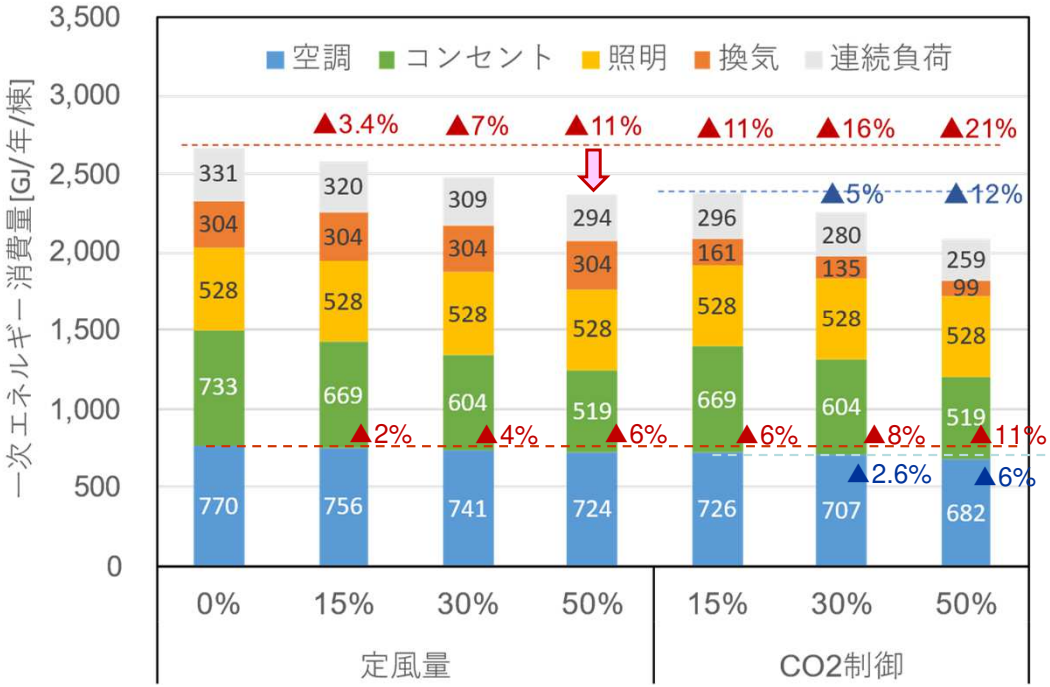
在宅勤務による影響

時差出勤場合は建物稼働時間
が長くなり増加の可能性もあり

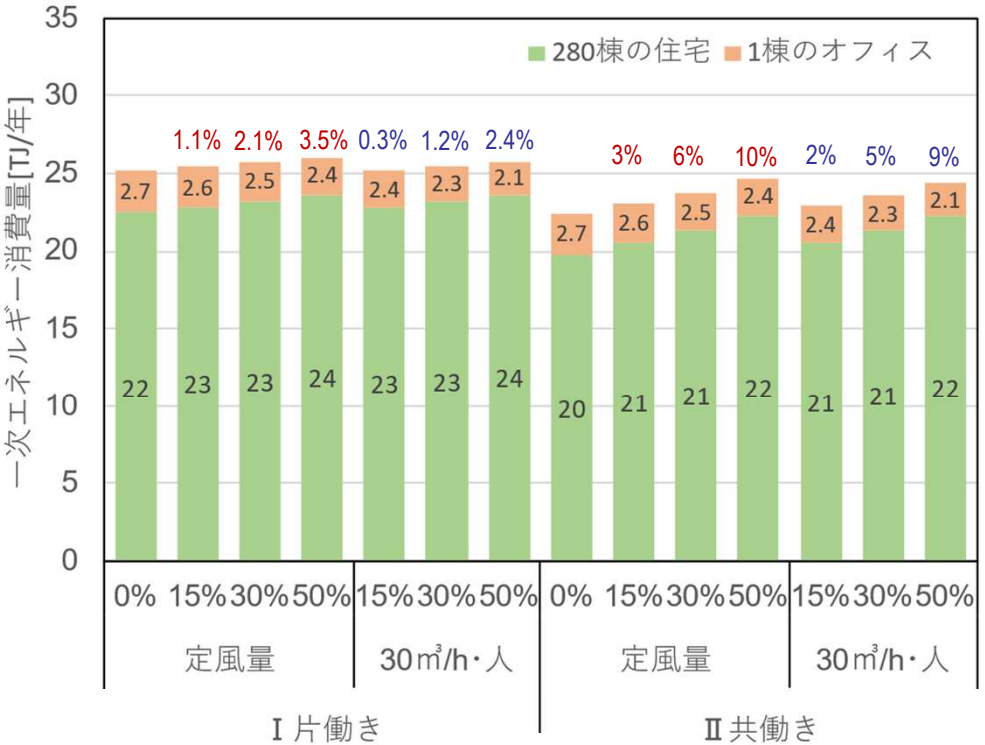
エネルギー消費

- オフィス全体のエネルギーは減少（空調・換気・コンセントが減少）
- テレワーク率 50%, 外気定風量：オフィス全体で 1割減 ※検討仮定の範囲内で

オフィス＋使用者(280名)の住宅 トータルで 3.5-10%増加



熱負荷計算：HASP/TES, 電力消費：LCEMツール等にて算出
※中間期は空調・全熱交換器は停止（窓開け換気）



※120㎡戸建住宅, NHK国民生活時間調査をもとに生活パターン作成

外気量”増”による影響

空調システム

- 空冷ビル用マルチ型パッケージ(EHP)
- 外気処理空調機（OAHU）
- 中間期：24℃、50% (5,10月)
- 冷房期：26℃、50% (6~9月)

導入外気量条件

- 30 ㎥/(h･人), 40 ㎥/(h･人)

シミュレーションツール

- MicroHASP/TES（熱負荷）
- LCEMツール lab改良版※

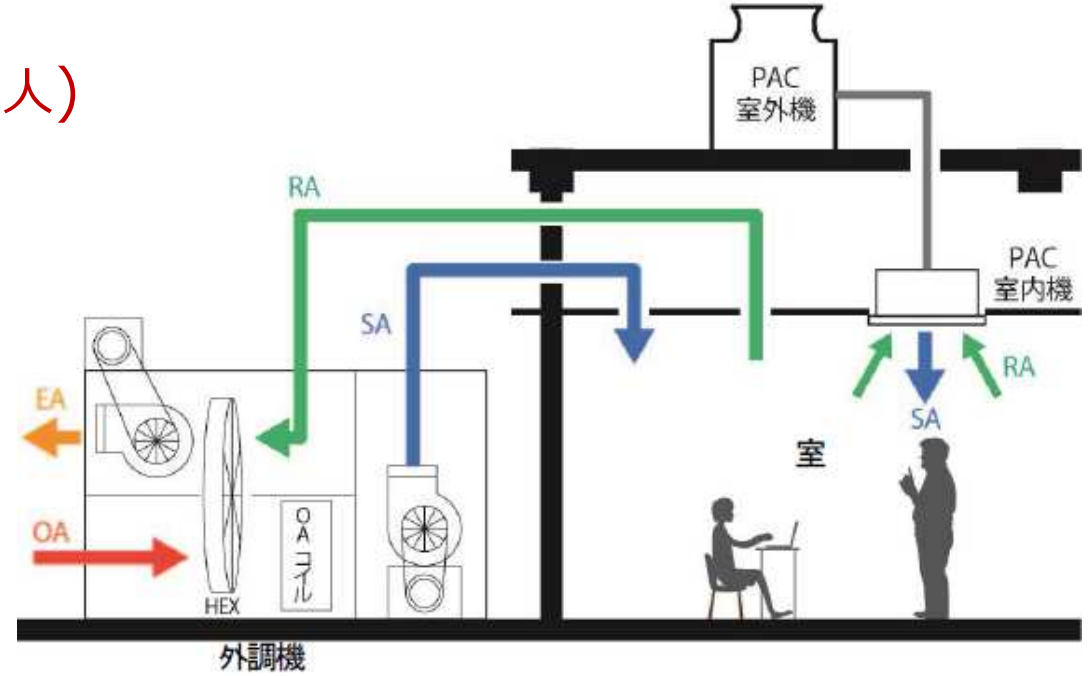
※外調機･EHP連携負荷処理モデル構築，未処理室負荷による室環境変化を計算し次時間の機器処理に反映，dt=10分

計算対象建物

- 同建物モデル 基準階×10階

■外調機給気条件　※( )内は冷水コイル出口空気条件

中間期型	梅雨期型	夏期型	梅雨期型	中間期型
5/1～6/10	6/11～7/23	7/24～9/3	9/4～10/15	10/16～10/30
外調機20℃（再熱なし）	外調機16℃（再熱なし）	外調機16℃（12℃+再熱）	外調機16℃（再熱なし）	外調機20℃（再熱なし）



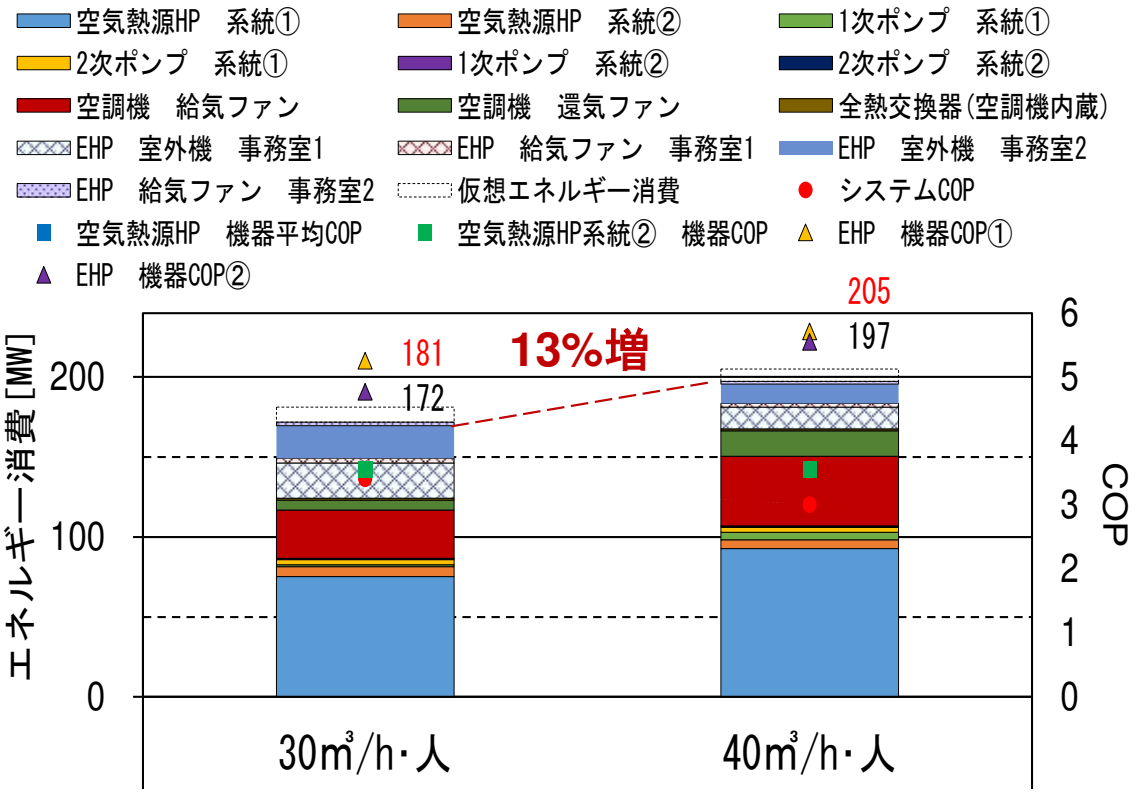
外気量とエネルギー消費

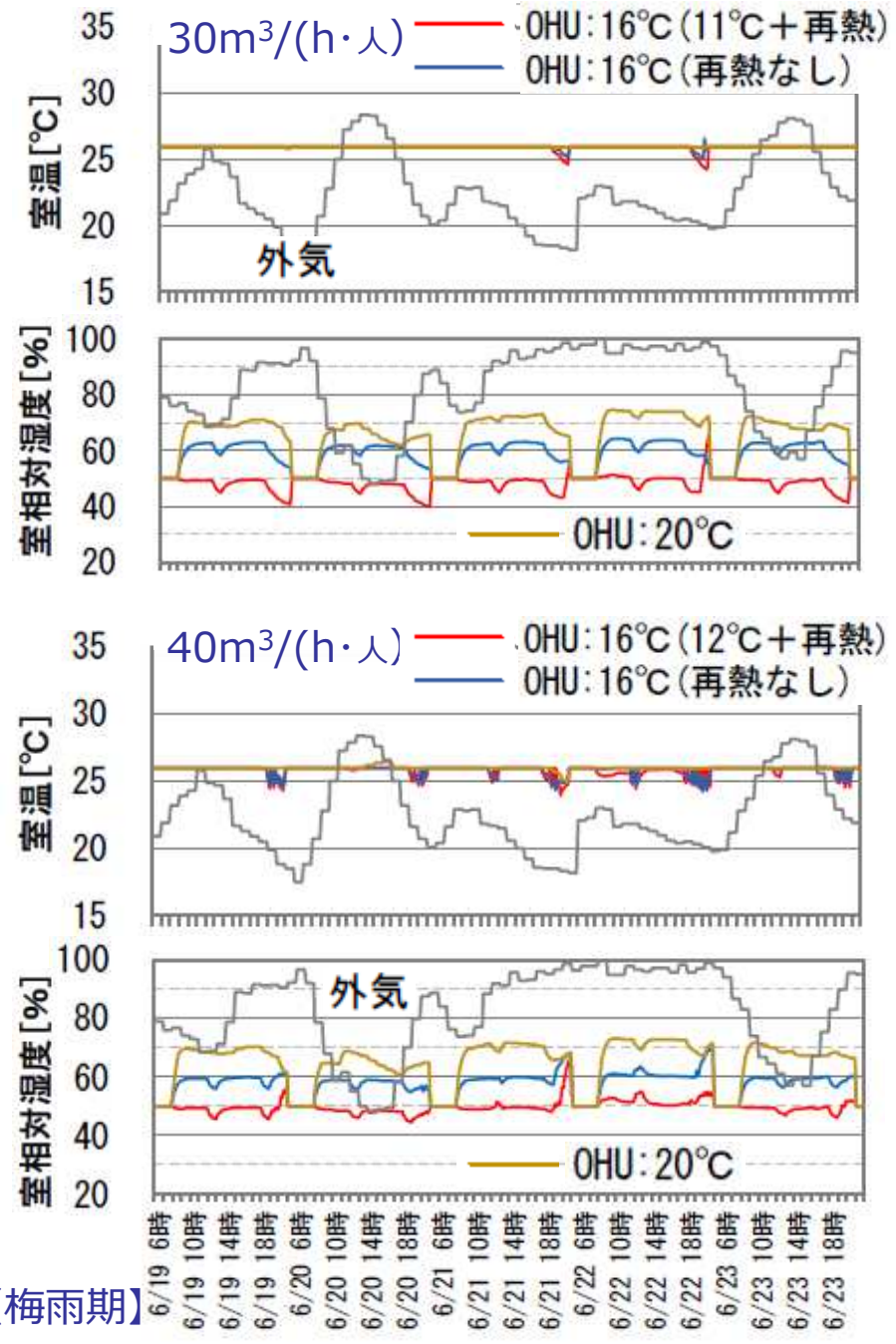
外気量”増”による影響

エネルギー消費

- 30 ㎥/(h･人)→ 40 ㎥/(h･人)
- 13%増（5月～10月）

→今後は温暖化･HIの影響も受ける





【梅雨期】

今後の外気導入システム

適応力と調整力

COVID-19の経験から

- 外気導入量の増加や全外気運転が求められた
- 平常時と非常時の 機能両立

➢ 外気冷房制御 の備え、柔軟なモード切換（設定値変更を含む）

（換気ユニットであっても、風量増モードを備えた 外気冷房・CO_2制御 機能付）

- 中央式では モード切換のスムーズさ，分かりやすさ が重要
- 状態値が容易に確認できること(ダンパー開度，外気風量 or その代替値など)
- 外気量の見える化 (ユーザ:緑/赤，管理者:CO_2濃度→lag伴う,外気量，動圧，風速)

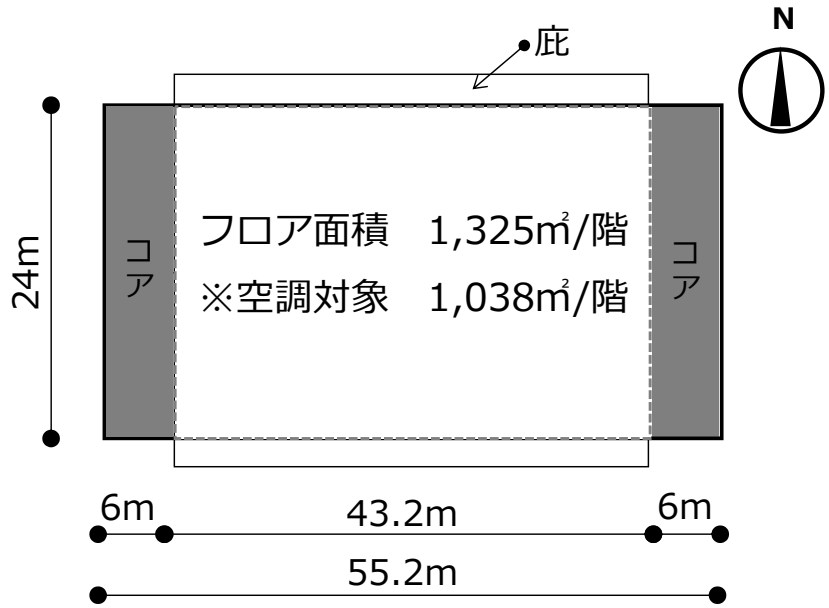
→ メンテサイン や 性能検証データに活用，運転改善が容易に

→ ZEB(カーボンニュートラル)，知的生産性の向上に寄与

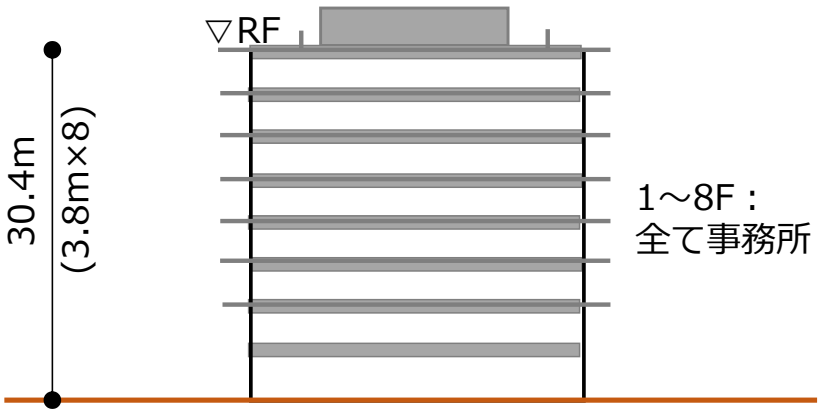
➢ スポット外気供給 欲しい量を欲しい所へ：ダクト経路・制御の再考

今後の建物熱負荷特性

出典）シンポジウム「超低炭素建築を支える空調システムと設計・制御」
配布資料，空調システムの設計・評価検討小委員会，
空気調和設備委員会，空気調和・衛生工学会，2019.12.12

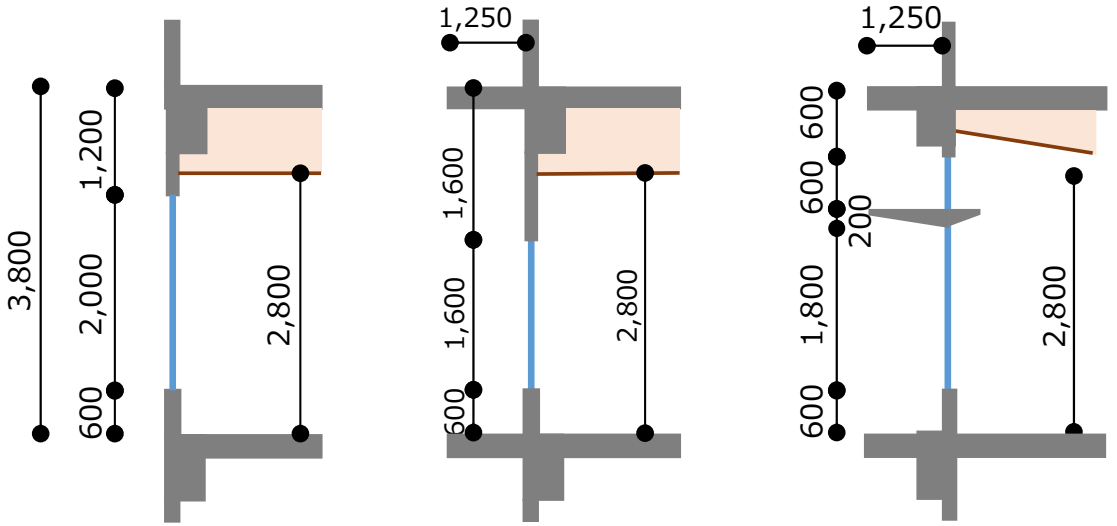


モデル建物平面図



モデル建物断面図

地上8階建て，延べ床面積：10,600㎡，空調面積8,300㎡



「既存建物」	「省エネ建物」	「nZEB」
窓面積比率：53% (2.0m^{H}連窓)	窓面積比率：42% (1.6m^{H}連窓)	窓面積比率：63% (1.8m^{H}連窓＋欄間0.6m^{H})
単板普通ガラス 6mm (K＝4.9W/㎡･K)	← 同左	複層ガラス (Low-e＋普通) (相当K＝1.8W/㎡･K)
明色ブラインド (開閉閾値233W/㎡)	← 同左	ブラインドなし (常開)

南面窓回り断面図

建物熱負荷特性：計算ケース

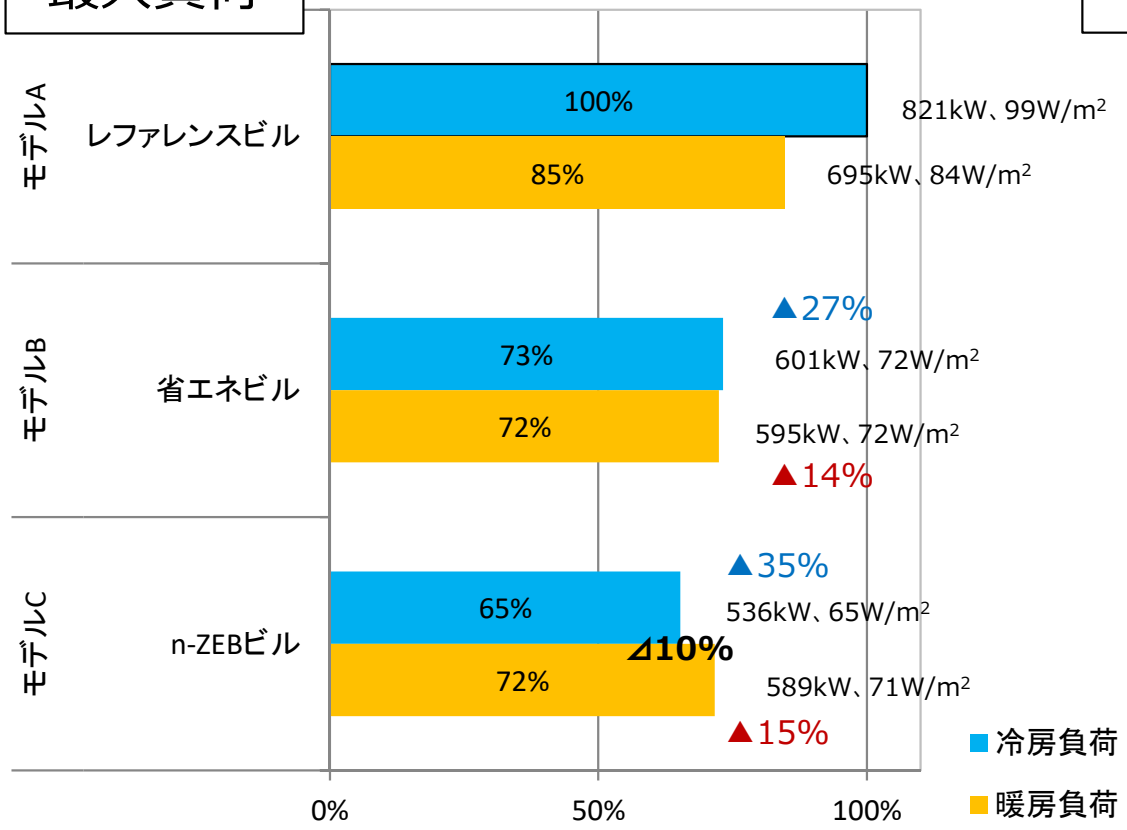
		モデルA　（既存建物の仕様）	モデルB　（省エネ建築の仕様）	モデルC　（低炭素建築の仕様）
階高、天井高		階高　3.8m　　天井高　2.8m		
外皮性能	外壁	断熱厚：25mm　(K＝0.9W/㎡･K)	断熱厚：50mm　(K＝0.6W/㎡･K)	断熱厚：50mm　(K＝0.4W/㎡･K)
	窓面積比率	窓面積比率：53% (高さ2.0m連窓)	窓面積比率：42% (高さ1.6m連窓)	窓面積比率：63% (高さ1.8m連窓＋欄間0.6m)
	窓ガラス仕様	単層ガラス6mm　(K＝4.9W/㎡･K)		複層ガラスLow-ε (相当K＝1.8W/㎡･K)
	ブラインド	明色ブラインド　(開閉閾値233W/㎡)		連窓(中庇下)：ブラインドなし　(常開) 欄間：明色ブラインド(開閉閾値233W/㎡)
	すきま風 (24h一定)	0.20 N/h	0.15 N/h ※ソフトの制約により最大負荷計算は0.10 N/h	0.10 N/h
	庇	なし	あり　（庇の出1.25m）	
内部発熱	照明	14W/㎡　(750Lx) Hf照明	4.3W/㎡　(500Lx) LED+自動調光	1.6W/㎡　(500Lx) LED+自動調光+ﾌﾞﾗｲﾝﾄﾞ制御
	機器発熱	20W/㎡	15W/㎡	10W/㎡
	待機電力	5W/㎡ (夜間のみ)		2.5W/㎡(夜間のみ)
	人員	0.1人/㎡		
	発熱補正	冷房設計時100%　　暖房設計時50%　　年間計算時80%で補正		
外気導入	外気量	30m^3/(h･人)		
	外気カット	あり　予冷、予熱時間帯（5月～10月:1時間、11月～4月:2時間）		
	CO_2制御	なし		
空調条件	室使用時間	9:00～19:00（10時間）　※平日のみ		
	空調運転時間	冷房時(5月～10月)：8:00～19:00(予冷1時間)　　暖房時(11月～4月)：7:00～19:00(予熱2時間)		
	室内温湿度	夏期(6月～9月)：26℃/50%　冬期(12月～3月)：22℃/40%　中間期(4月,5月,10月,11月)：24℃/45%		

※機器発熱は、時刻スケジュールにて上記数値の50%を考慮

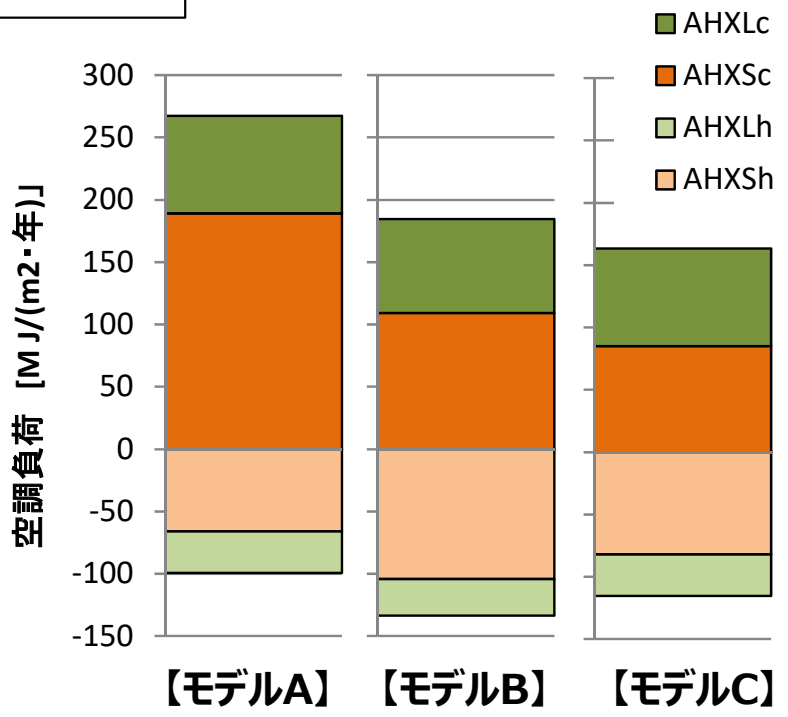
最大熱負荷・期間熱負荷の傾向

最大負荷

※モデルAの冷房負荷を基準(=100%)



年間負荷



【モデルA】	【モデルB】	【モデルC】
	▲31%	▲39%
冷房：267.3	冷房：184.5	冷房：163.5
暖房： 99.1	暖房：133.4	暖房：115.1
	+35%	+16%

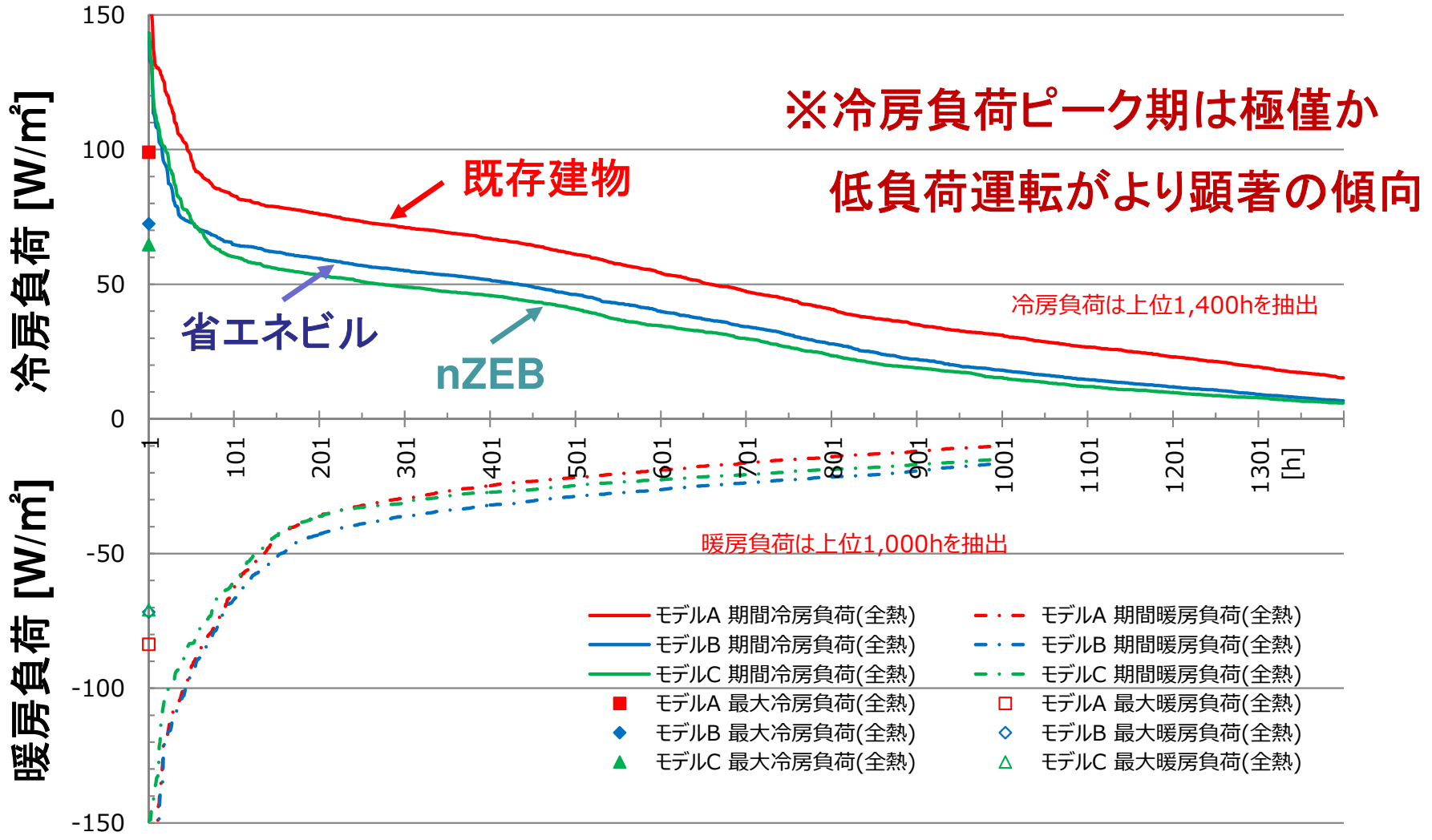
※最大熱負荷計算： SHASE便覧第14版準拠

※期間熱負荷計算： NewHASP/ACLD

	最大冷房負荷									
	建物最大時刻	室負荷			外気負荷			室負荷＋外気負荷		
		顕熱	潜熱	顕熱比	顕熱	潜熱	顕熱比	顕熱	潜熱	顕熱比
		SH	LH	SHF	SH	LH	SHF	SH	LH	SHF
		[W/m²]	[W/m²]	[-]	[W/m²]	[W/m²]	[-]	[W/m²]	[W/m²]	[-]
モデルA (レファレンスビル)	12時	59	10	**0.86**	8	23	**0.25**	67	32	**0.68**
モデルB (省エネビル)	13時	35	7	**0.83**	8	23	**0.26**	43	30	**0.59**
モデルC (n-ZEBビル)	13時	27	7	**0.79**	8	23	**0.26**	35	30	**0.54**

※顕熱比(SHF)の低下

期間熱負荷の傾向

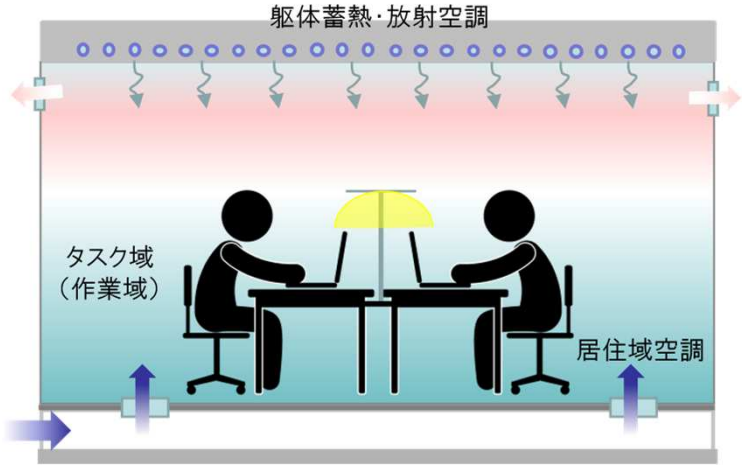


デュレーションカーブ（単位面積当たり空調負荷（室＋外気））

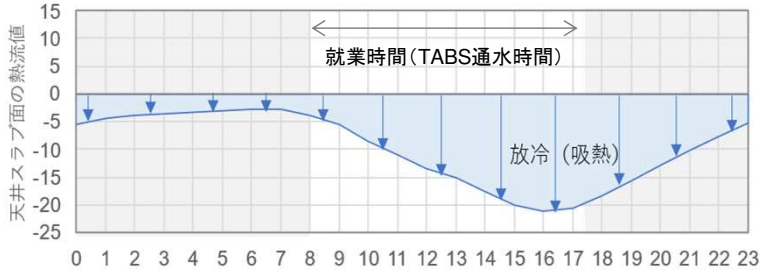
今後の視点①

nZEBの熱負荷対応

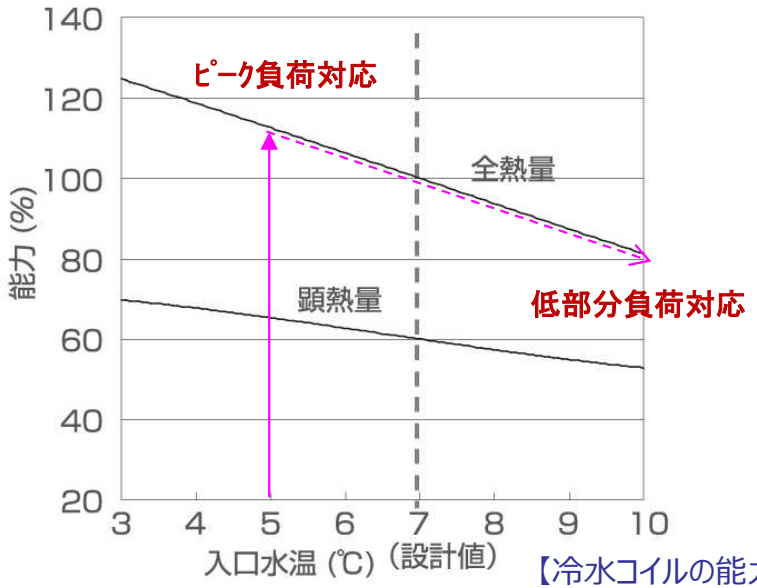
- 暖房/冷房比率：上昇 → 暖房エネルギー性能の重要性
- 室SHF：低下，外気負荷比：上昇 → 効率的な潜熱・外気処理
- ピーク負荷（ﾋﾟｰｸﾎﾟｲﾝﾄ対応・平準化） → 予冷運転時間，送水温度



TABS (Thermo-Active Building Systems) の例



冷房時放熱パターンイメージ (冷房)



【冷水コイルの能力】

<条件:風量・水量一定>
コイルサイズ　W36 8 7×1620−SF 1台　　風速（基準値） 2.82 m/s
冷却時コイル入口空気条件　乾球温度 DB=28.0 ℃　湿球温度 WB=21.0 ℃
主管内水速（基準値） 1.47 m/s　　コイル入口水温（基準値） 7 ℃

新晃工業(株), 各種条件による空調機用冷却コイルの能力変化,
https://www.sinko.co.jp/product/technical-column/02/

今後の視点②

複数空調方式の連携システム

- 外気処理＋室負荷処理
  （室負荷側：PAC, ターミナルAHU, FCU, 放射空調 etc）

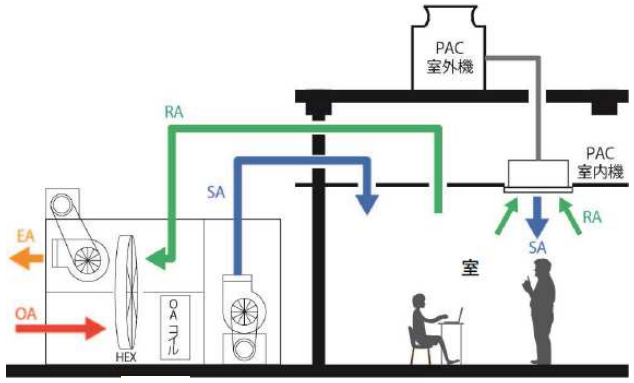
➢ 合理的な熱負荷処理分担・期間性能を考慮した設計・制御

制御関連の事項

- ex.外調機＋室内機：外調機の吹出設定値
  （外調機の給気条件で負荷分担(装置容量)、運用の室内環境が変わる）
- ex.放射空調システム：季節・時刻毎の負荷分担量の調整
  （送水温度, 流量, TABSでは運転時間帯の制御）
- ex.潜熱・顕熱分離空調：各装置の熱処理をどの温度帯・どの熱源機でするか
  （熱源機の分離or集約、冷温水カスケード利用、再エネ・排熱利用）
- ペリメータ部の放射熱・ドラフト対応：何を検出し・何を作動させるか
  (在所と放射温をカメラ検知・判断し、ターミナルVAV, 分散型機器 を動作させるなど)

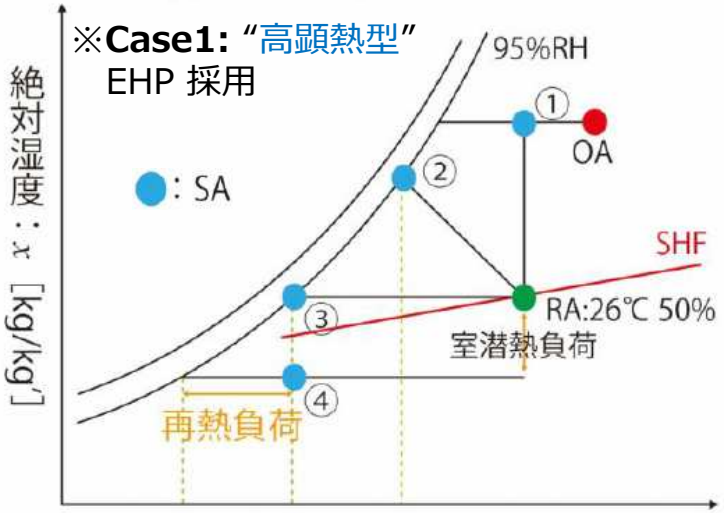
中央・個別の複合空調システム

室負荷分担と室内環境



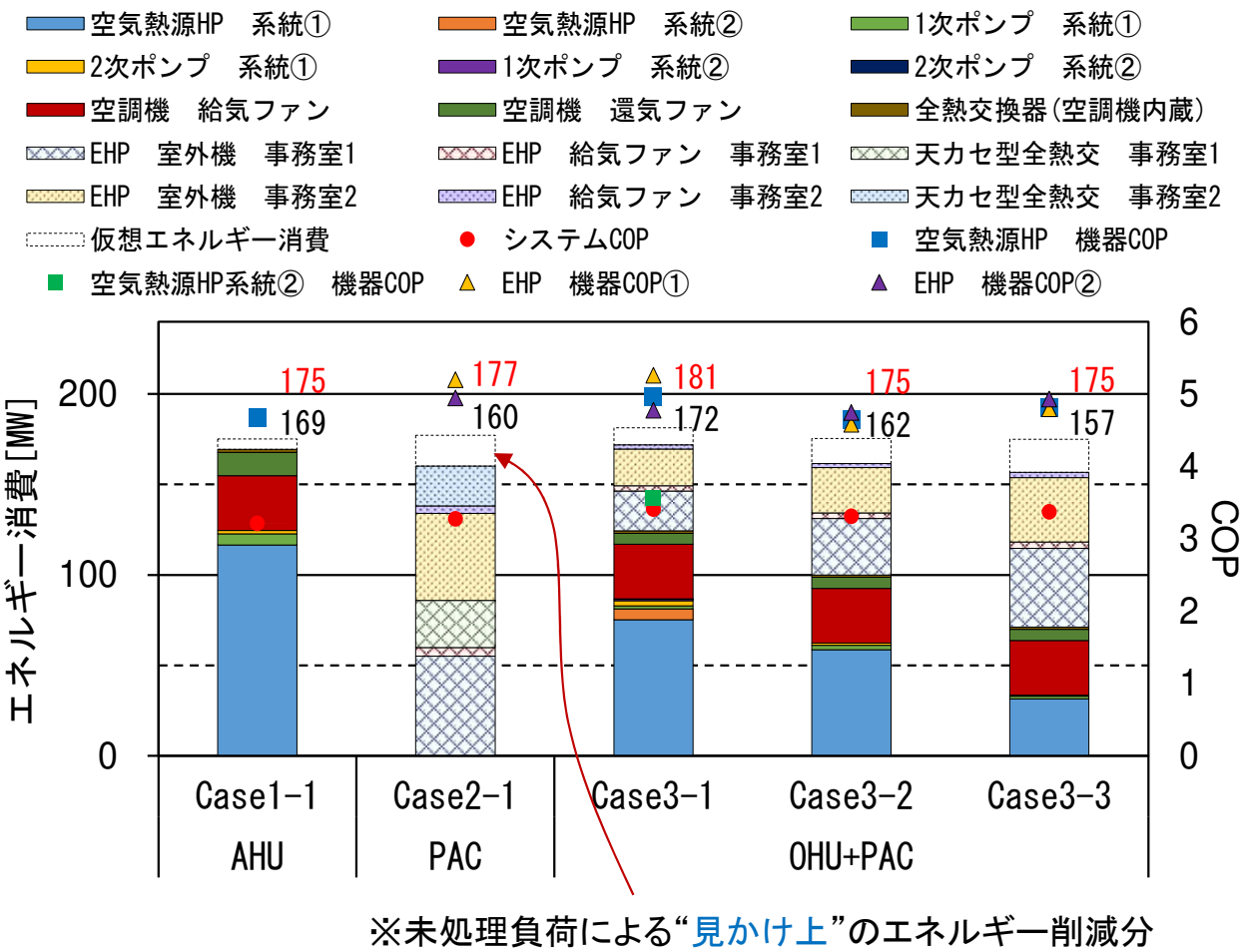
OHU

①：等温吹出
②：等エンタルピー吹出 【Case-3】
③：等絶対湿度吹出 【Case-2】
④：室潜熱処理型吹出 【Case-1】※



【OHU選定】

- 見かけ上のエネルギー削減 (室環境 低下)
- 設計・制御で室負荷分担・室環境は変化



※未処理負荷による“見かけ上”のエネルギー削減分

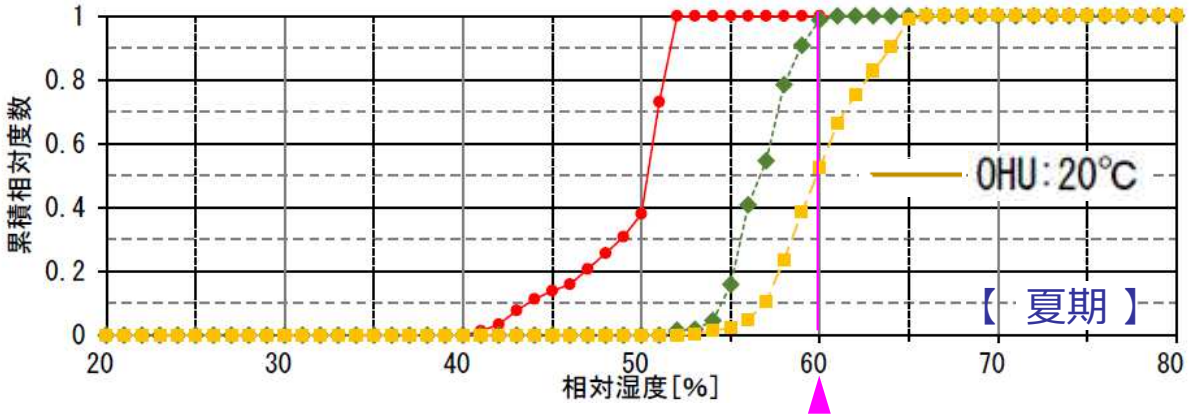
熱負荷分担と室内環境

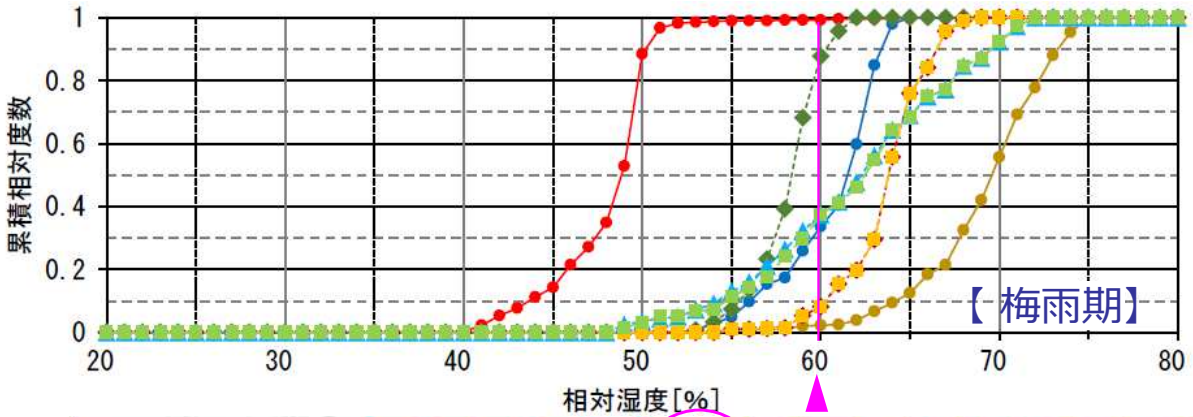
各期の室環境Check

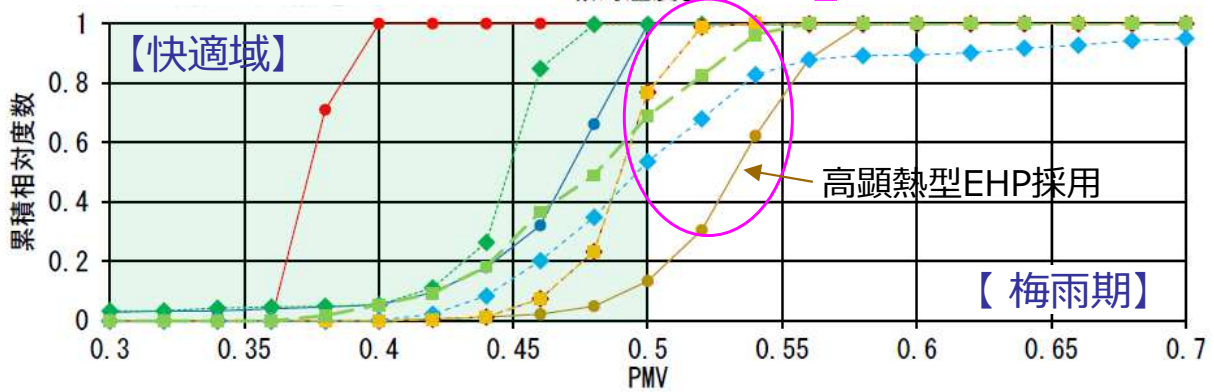
●：SA
①：等温吹出
②：等エンタルピー吹出【Case-3】
③：等絶対湿度吹出　【Case-2】
④：室潜熱処理型吹出　【Case-1】

Case3-1 OHU:16℃(11℃+再熱)
Case3-1 OHU:20℃
Case3-2 OHU:20℃
Case3-3 OHU:20℃

Case3-1 OHU:16℃(再熱なし)
Case3-2 OHU:16℃(再熱なし)
Case3-2 OHU:送風
Case3-3 OHU:送風







今後の視点③

制御システムの高度化・多様化

- 従来制御の見直し・改良（既存技術の高度化）

  ➢ 柔軟な制御設定値の自動変更（送水・給気関連の目標値）

  →ex.2管式AHU暖房で ペリ:暖・インテリア:冷をVAV開度，給気温上下で対応

- 新時代オフィスのあり方・働き方、WELL追求への対応

  ➢ タスク＆アンビエント→ スポット（スモールエリア対応化）＆アンビエント

- AI制御への対応（AI判断が不安定供給・故障等につながらないか監督）

  ➢フールプルーフ指向のスーパーバイザリ制御 の考え方

- 運用改善・適正化への対応（機能確認・性能検証には手がかかる）

  ➢フェイルセーフ指向の自己補正型制御 の考え方

- カーボン・ニュートラル時代への対応

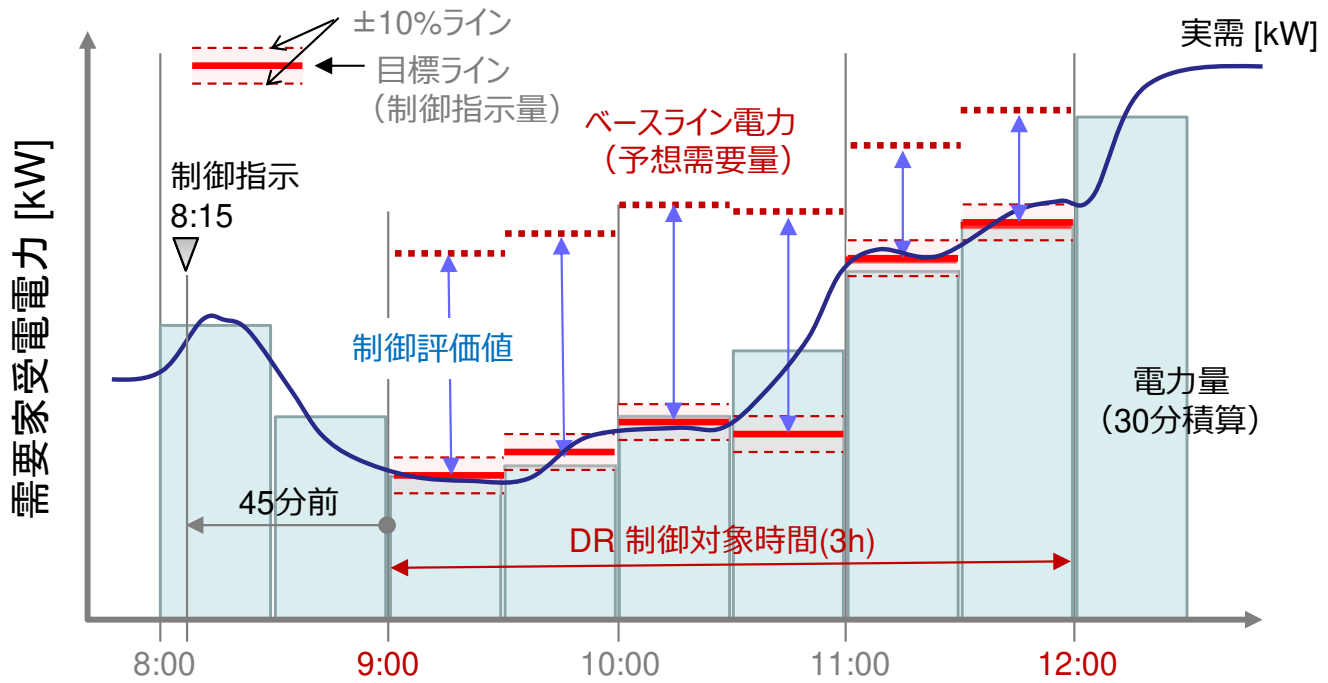
  ➢ビル空調の再エネ利用制御，VPP対応 DR制御 手法構築

VPP・DR制御について

需給調整市場

- 2021年4月の開設に向けて準備中
- 2021年度: 三次調整力②, 2022年度: 三次調整力① 運用開始予定
- 三次調整力② :応動時間45分以内, 継続時間3時間
- DR制御成功判定：目標ライン±10%以内で実需が収まること
- 空調系のリソース（３次調整力①②）

  熱負荷抑制(設定温変更, 送風など),蓄熱槽, EHP群(容量制御), 熱源置換(電気→燃料式) etc

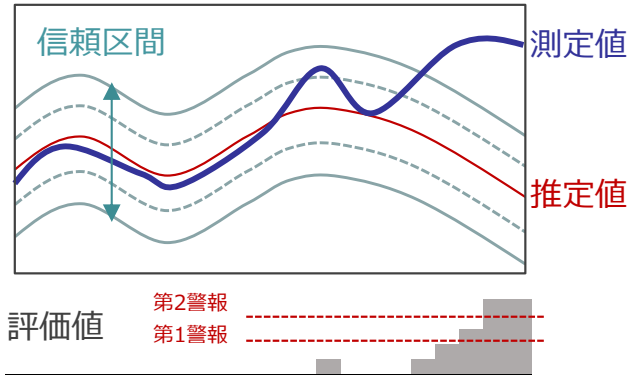


VPP・DR制御について

診断技術（既存）

AI異常予兆検知システム

- 時系列の状態変化データをもとに診断
- FNNによるファジイ非線形回帰を用いて正常状態の学習モデル(誤差伝搬法)で連続的に異常状態検出



異常検知イメージ

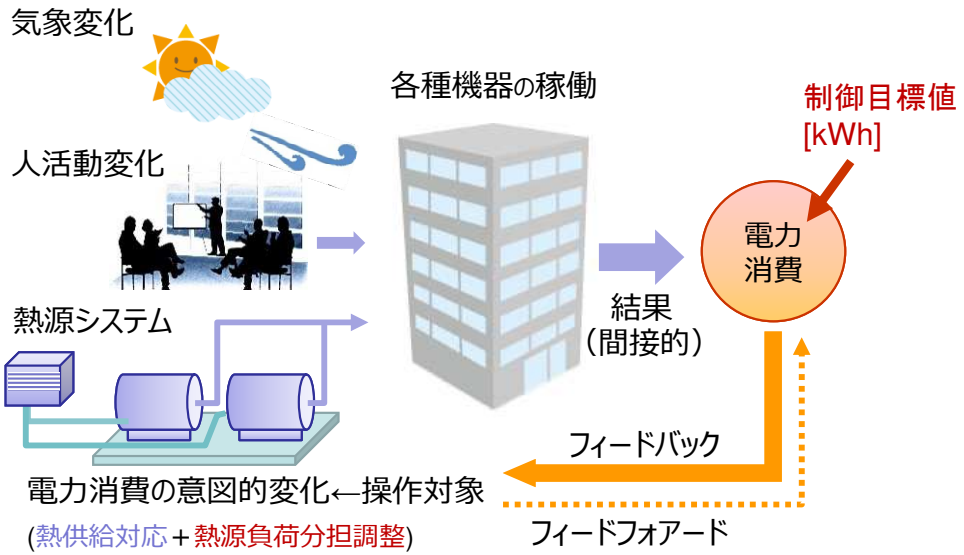
DR制御（応用）

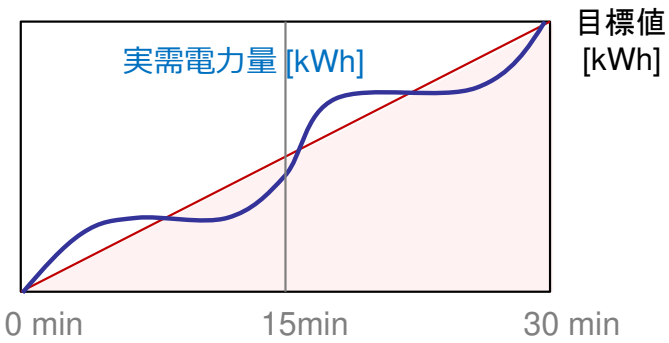
複合熱源システム(電気式→燃料式熱源機)

将来的には水素など

- 熱源負荷の乗せ換え運転は高度な運転技術が必要（自動制御対象）

→流量調整，熱源台数制御，応動時間や熱負荷変動を考慮した熱源機スタンバイ





需要家受電電力・デマンド [kW]

今後の視点④

使われるBEMS構築

- マネジメント・ツール機能の充実

➢管理目的に応じた KPI モニタリング 機能

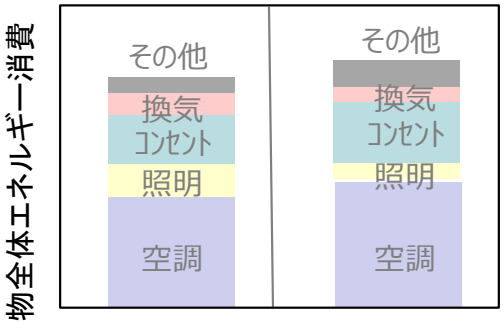
→建物全体評価(エネルギー消費・CO_2排出), ｼｽﾃﾑ性能, WELL指標, 総合的経済指標

- 何を、どう管理・判断すれば良いか明確化：UD指向

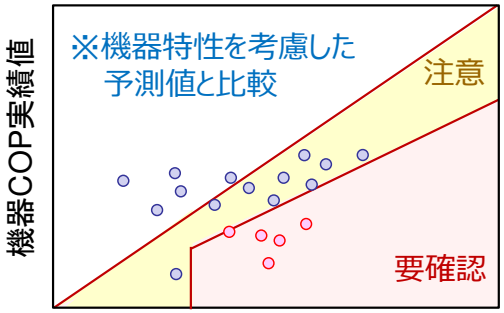
→ex.ソリューション業務の分析内容が日常的な性能・適正挙動の管理項目

- 部分最適から全体最適へ：全体性能が確認できる指標

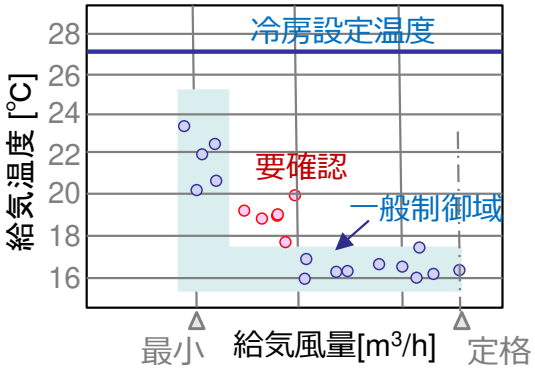
→ex. 冷水温度緩和：熱源動力:減, 往還温度差:減？, 水搬送流量：増?



建物エネルギー性能確認チャート



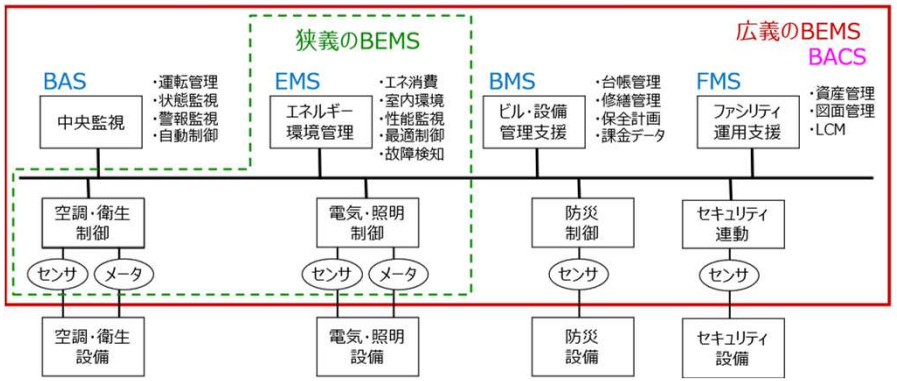
熱源機性能確認チャート



VAV挙動確認チャート

今後の視点⑤

使えるBEMS構築



- 本来のBEMS機能の追加

➢施設管理支援機能の拡充, AI活用

→最適制御, BOFD, メンテ・改修

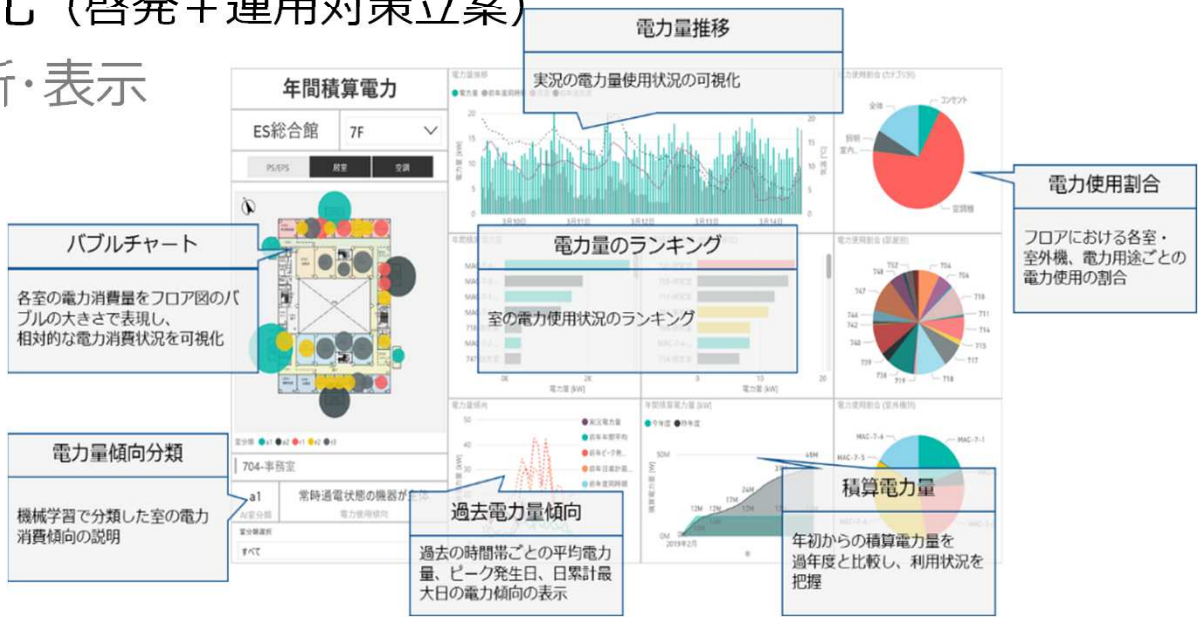
- BEMS×AI×BMS or BIM (機器DB)連携

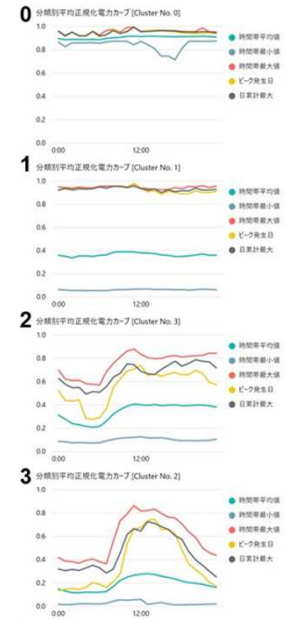
→エネルギー消費≒運転時間, 性能劣化診断, 年式・仕様確認, メンテ・改修計画

- 制御用ログの有効活用（検知した在室人数→スペース配分計画, 換気量見直し）

- 見える化（啓発＋運用対策立案）

→AI分析・表示





本日のトピックス

１．換気とエネルギー

- COVID-19と換気について
- 取入外気量の実態について
- 外気量規準の見直しについて
- 湿度管理について
- 外気量とプロダクティビティについて
- 外気量とエネルギー消費
- 今後の外気導入システム

２．運転制御・管理に関する今後の視点

- 今後の視点① nZEBの熱負荷対応
- 今後の視点② 複数空調方式の連携システム
- 今後の視点③ 制御システムの高度化・多様化
- VPP・DR制御について
- 今後の視点④ 使われるBEMS構築
- 今後の視点⑤ 使えるBEMS構築

Fin

CAMPUS PLANNING & ENVIRONMENT
MANAGEMENT OFFICE

NAGOYA UNIV.