

研究者の視点から

「ZEB実現へのHolistic Approach」

- 発表目次
- ① 需要側と供給側
- ② 設計と運用
- ③ 個体と全体

北九州市立大学 准教授
上野貴広



はじめに 自己紹介

上野貴広 (Takahiro Ueno)

北九州市立大学国際環境工学部 准教授
(国立研究開発法人建築研究所 客員研究員、
早稲田大学理工学術院総合研究所 客員主任研究員を兼職)



九州大学大学院人間環境学府 博士後期課程 修了/博士(工学)
国立研究開発法人建築研究所研究員、
早稲田大学建築学科講師(任期付)を経て現職

主な研究テーマ

- 建築設備のコミッションング(Cx)&ファインチューニング(Ft)
- IoT機器を用いた簡易EMS・ナッジシステムの開発
- 地域・コミュニティの脱炭素化計画策定支援

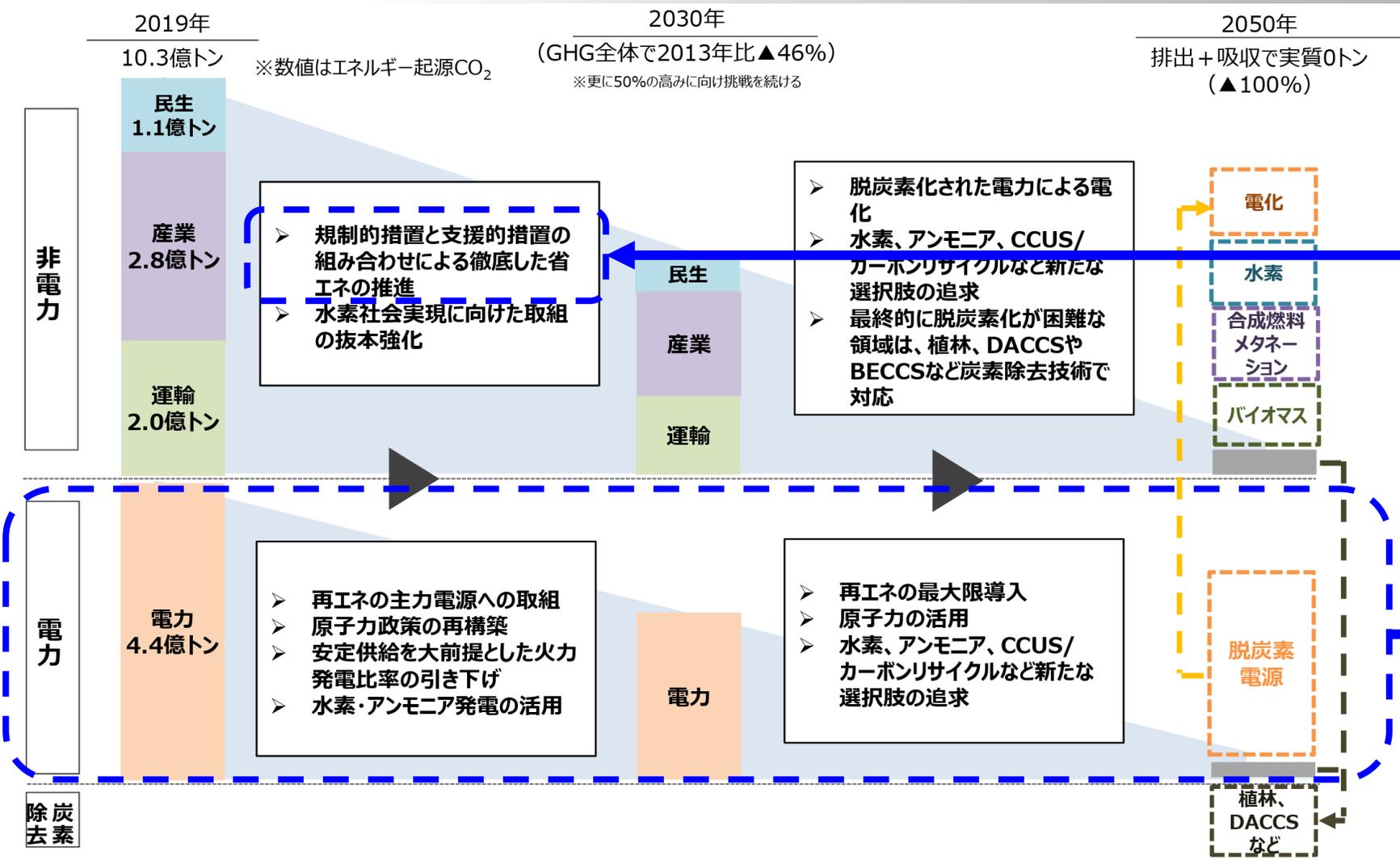
はじめに 本発表でお伝えしたいこと

本発表でお伝えしたいことは、まとめると**以下のような内容**になります

- ①設計時と運用時どちらにおいても、国内の他建物との比較のためにも年間一律の基準係数での評価も重要だが、**供給側まで反映させた総体的な評価が重要**
- ②個別分散式空調も含め、小規模建築物～大規模建築物まで建築設備の最適運用にはまだまだポテンシャルがある、**全建物共通で「可視化→分析化→最適化」が重要**
- ③最終的には1建築物から地域・都市、国全体の脱炭素化へと進んでいく
スモールステップとしての**離島等の独立小規模コミュニティのゼロエネ化の検討**

よろしく申し上げます

①需要側と供給側 政府による脱炭素ロードマップ



電力の脱炭素化にも供給側の取組だけでなく、省エネの推進といった**需要側の取組**が必要

需要側の省エネ評価にも供給側の取組を反映した**ものが重要**

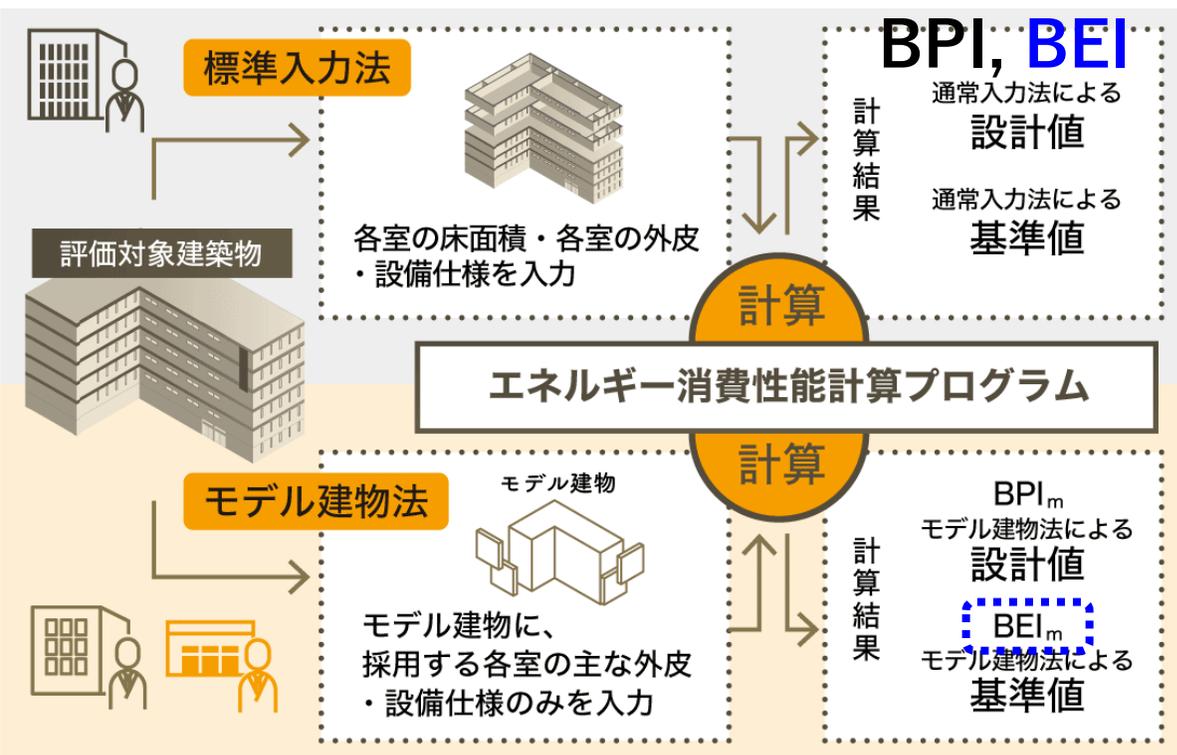
2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略におけるロードマップ※)

※)経済産業省, <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf> (閲覧日:2025/2/15)

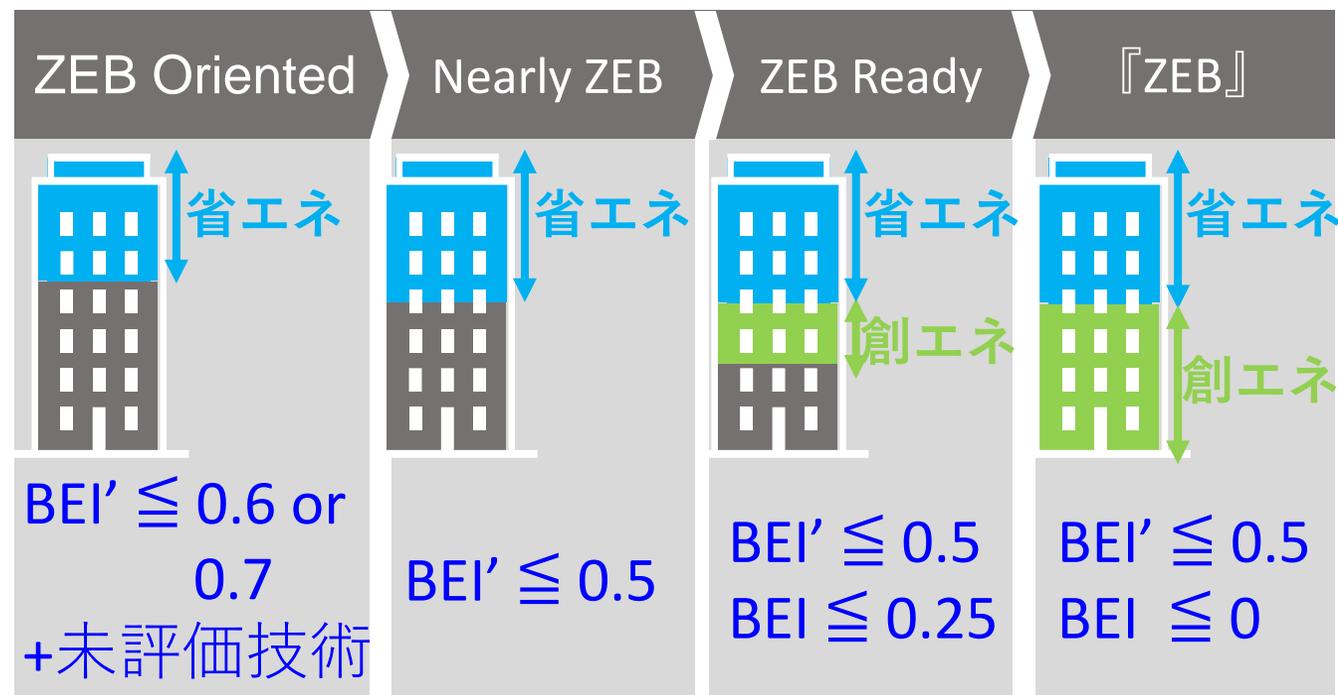
①需要側と供給側

系統側の削減は設計時の省エネ性能評価に反映されていない

2030年以降の新築基準となる『ZEB基準の水準』はZEB Oriented



BEI' : 太陽光発電の創エネ量を除いたBEI



エネルギー消費性能計算プログラム(WEBプログラム)※

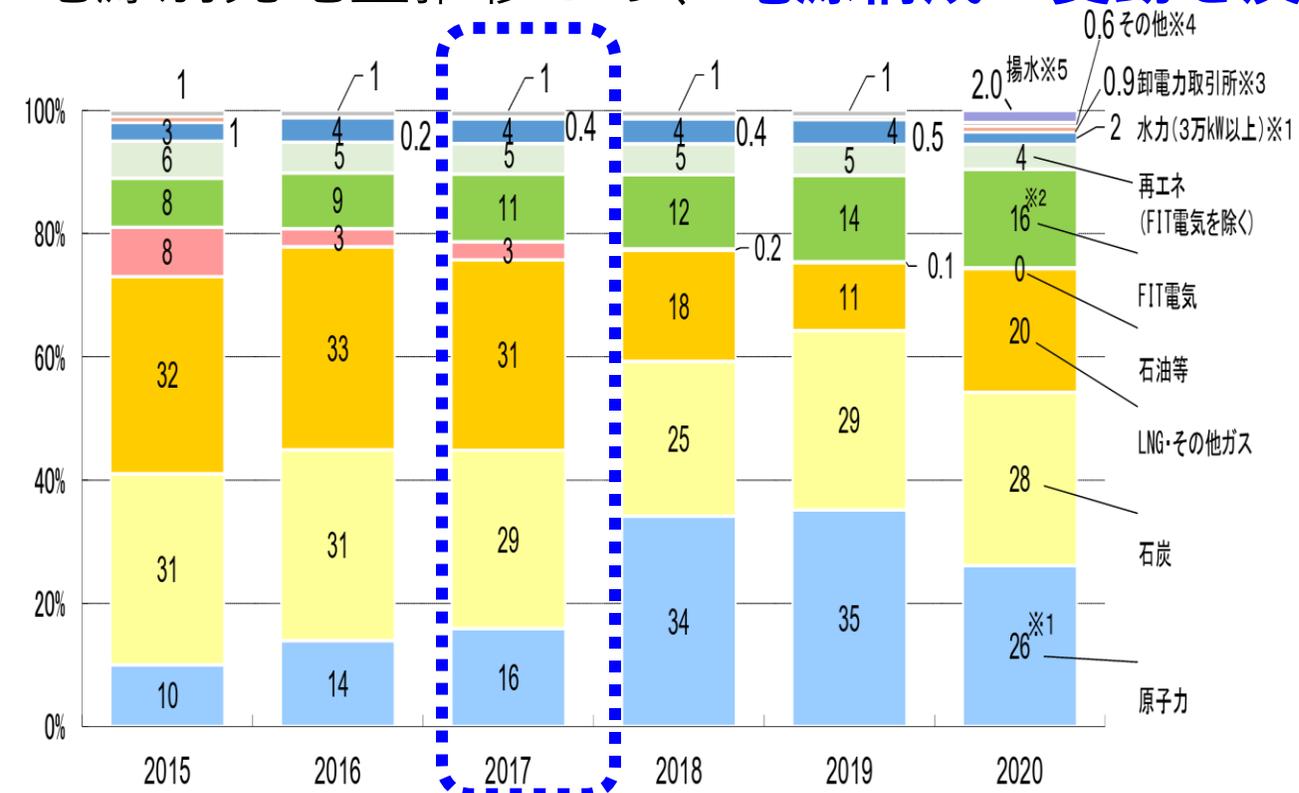
ZEB(Net Zero Energy Building)とBEI

WEBプログラムは省エネ適判の申請や手続きが全国でスムーズに進むよう開発、2013年時点の標準的な設備仕様に基づいた基準値、省かれた現実の要素等も

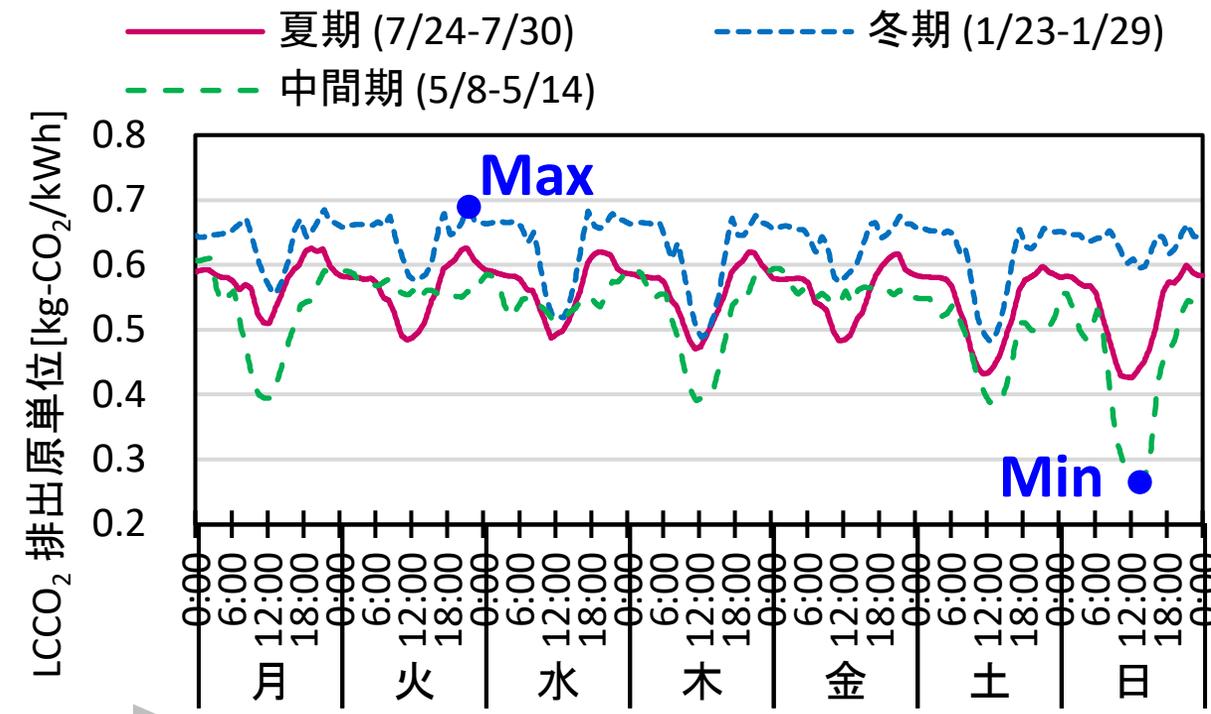
※)非住宅建築物に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム, <https://building.lowenergy.jp/program> (閲覧日:2025/2/15)

①需要側と供給側 動的係数

BEIの計算では**供給側の係数は全国年間で一律の値**
 電源別発電量推移から、**電源構成の変動を反映したLCCO₂排出係数**を作成※1)



2015年度～2020年度までの電源構成推移※2)



代表週におけるLCCO₂排出係数

年間の**最高値は最低値の2倍以上**であり、1日内の**変動も大きい**。

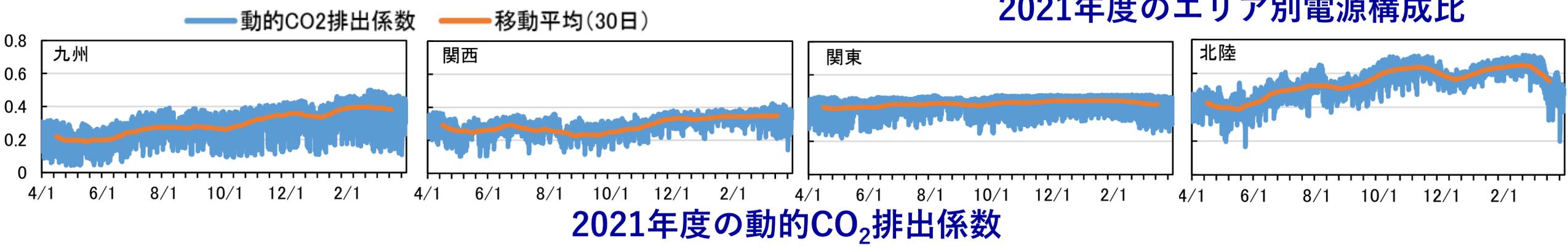
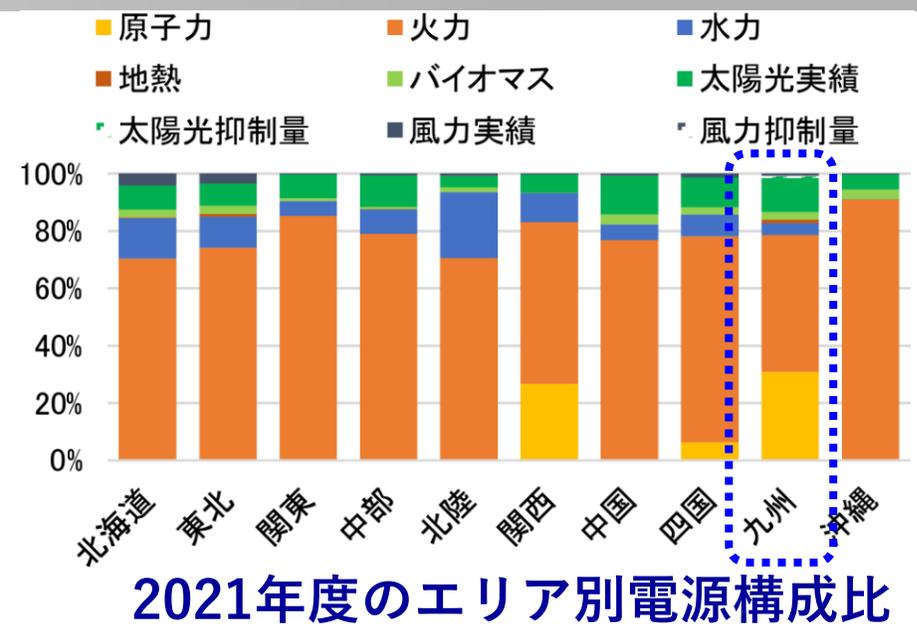
※1) 上野貴広ら, 日本建築学会環境系論文集, No.85, Vol.778, pp.993-1003, 2020.12

※2) 九州電力, https://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0364/5488/data_book_2021_all_c.pdf (閲覧日:2025/2/15)

①需要側と供給側 研究事例紹介：動的係数の地域比較

岡田らは※) **エリアごとの火力発電による動的CO₂排出係数**を作成している

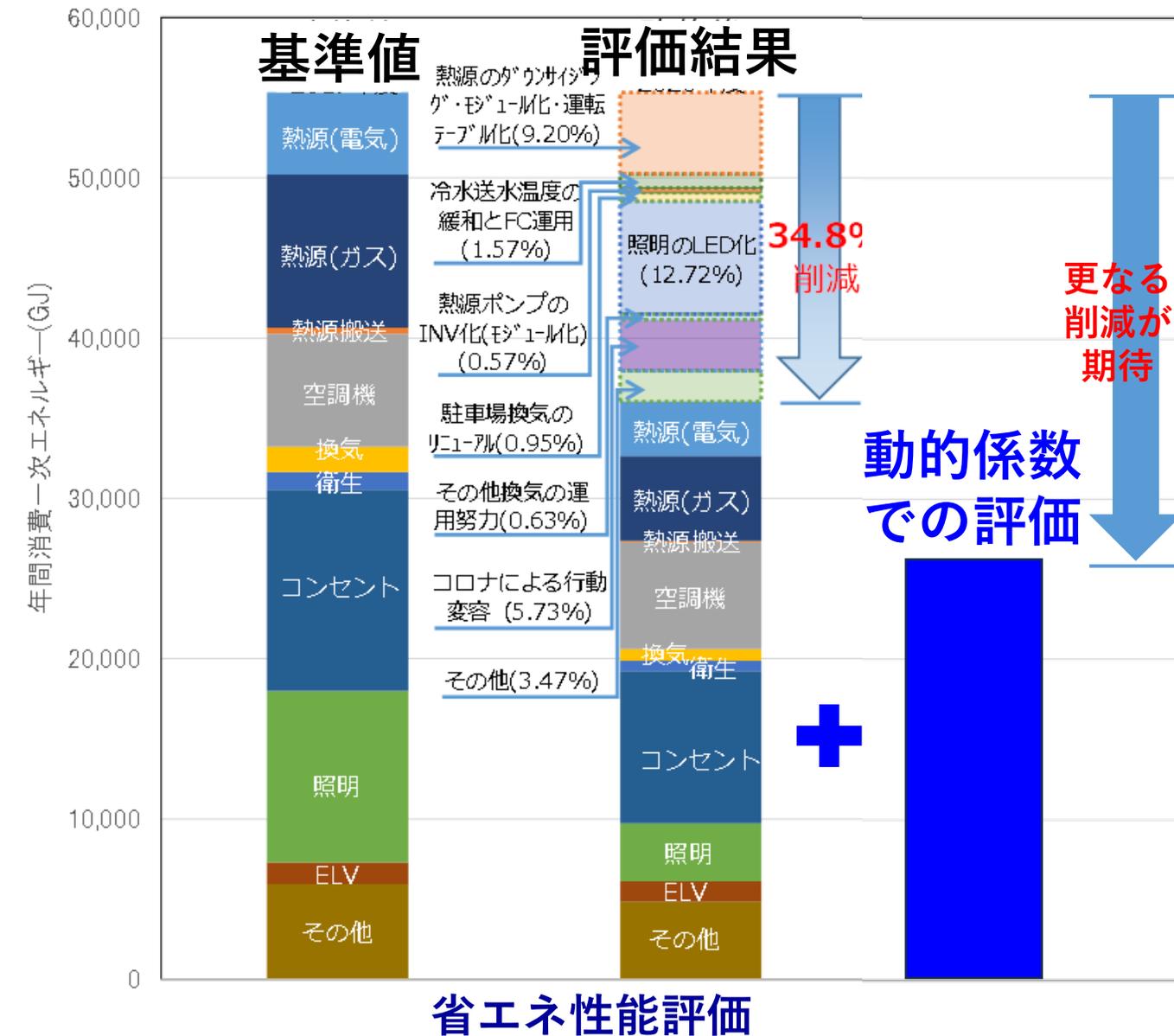
対象は太陽光発電の拡大が進む**九州エリア**、原子力発電が稼働する**関西エリア**、基準的なエリアとして**関東エリア**、水力発電が多い**北陸エリア**の4つ



九州エリアは他エリアと比べ**短期的な変動が大きい**
また**他エリアよりも動的CO₂排出係数が比較的小さい**

※)岡田 健志ら、大成建設技術センター報, No.56, ID=03, 2023.12

①需要側と供給側 運用時の省エネ性能への反映



設計時と運用時どちらにおいても、国内の**他建物との比較**のためにも、**基準の係数での評価**も重要

+
実際の省エネ性能として、**現実を反映した動的係数での評価**も併記

九州は国内での**再エネ普及の先行地域**

省エネ・低炭素な建物や地域をPRしていくためにも、**供給まで含めた総体的な評価**が重要

②設計と運用

電腦建築最適化 世界選手権(WCCBO)

【省エネ運用の巧拙評価の課題】

- 設備システムの仕様が異なる
- 執務者の行動が異なる
- 躯体の熱的特性が異なる

リアリティの
高い建築を
シミュレーションで
表現

誰が空調設備を
一番うまく運用できるか
勝負しましょう



選手権サイト※)

◆第二回 電腦建築最適化 世界選手権(WCCBO2)

開催日：2024年10月1日～11月1日

参加チーム数：62

主催：IBPSA (International Building Performance Simulation Association), Japan Regional Affiliate

協賛：空気調和・衛生工学会 ビル管理システム委員会
エミュレータによる建物運用情報技術の試験法
検討小委員会

◆第一回 電腦建築最適化 世界選手権(WCCBO1)

開催日：2019年6月7日～8月7日

主催：社団法人 空気調和・衛生工学会

空調設備委員会 熱環境システム動的設計法検討小委員会

②設計と運用

WCCBO第二回の運用対象設備

ソフトウェア上の電脳建築の個別分散式空調と全熱交換器※)の夏と冬の1週間の運用を競う

室外機の特性

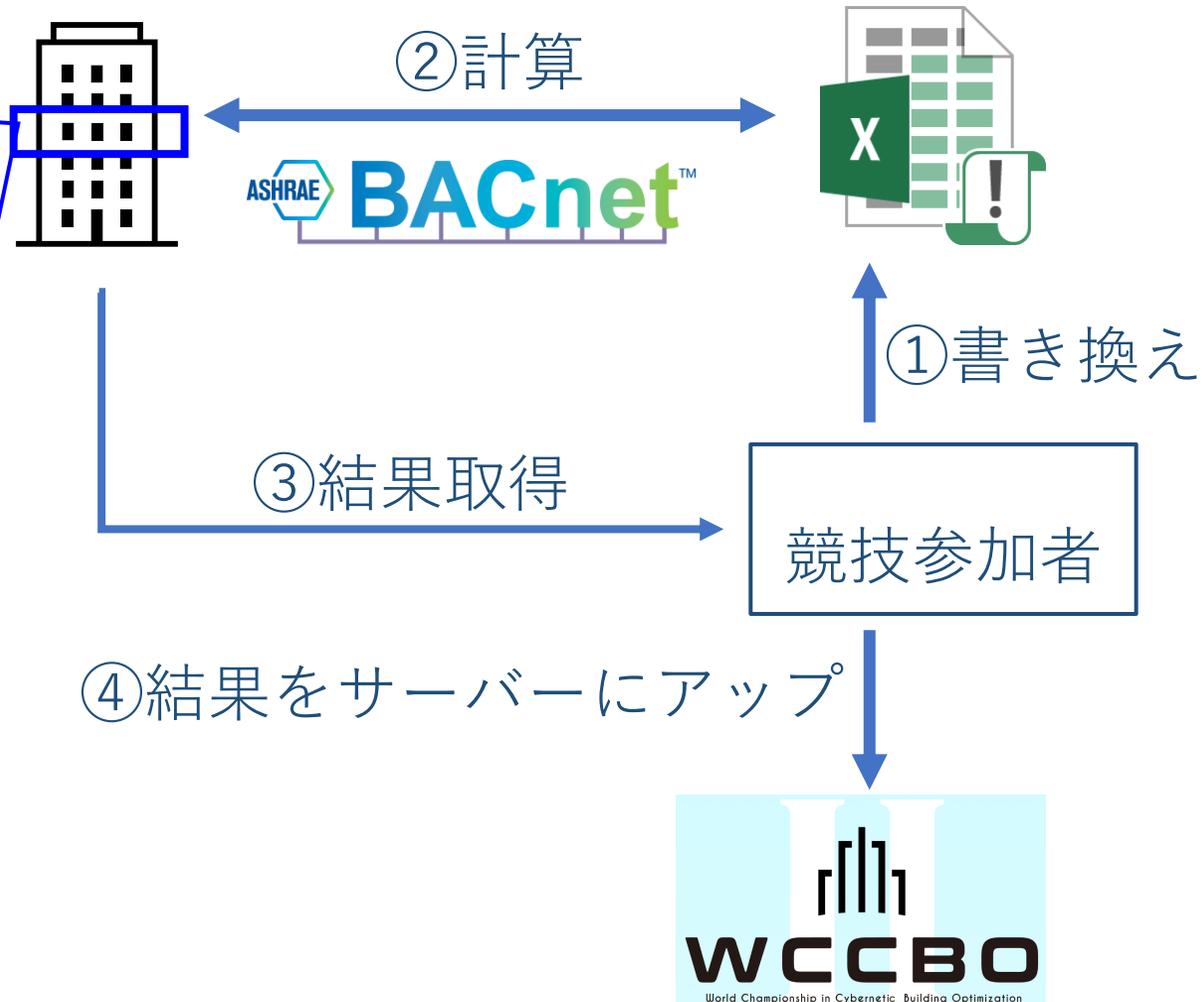
-	VRF1	VRF2	VRF3	VRF4
Cooling capacity [kW]	40.0	22.4	33.5	22.4
Cooling electricity [kW]	12.5	6.07	9.74	6.07
Heating capacity [kW]	45.0	25.0	37.5	25.0
Heating electricity [kW]	13.1	6.32	10.0	6.32
Air flow rate [m ³ /min]	210	218	187	218
Electricity [kW]	0.58	0.52	0.42	0.52

室内機の特性

Indoor unit type	C56	C71
Nominal cooling capacity [kW]	5.6	7.1
Nominal heating capacity [kW]	6.3	8.0
Air flow rate [m ³ /min]	15.5	22.0
Electricity [kW]	0.043	0.072

全熱交換器の特性

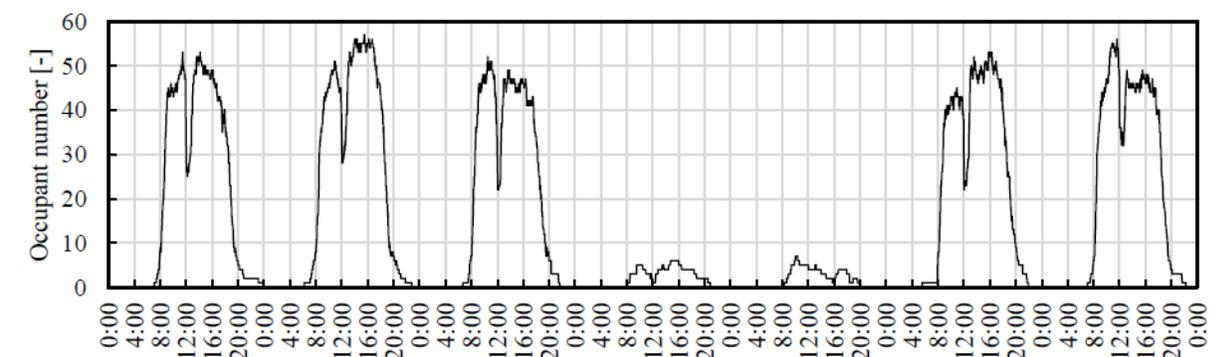
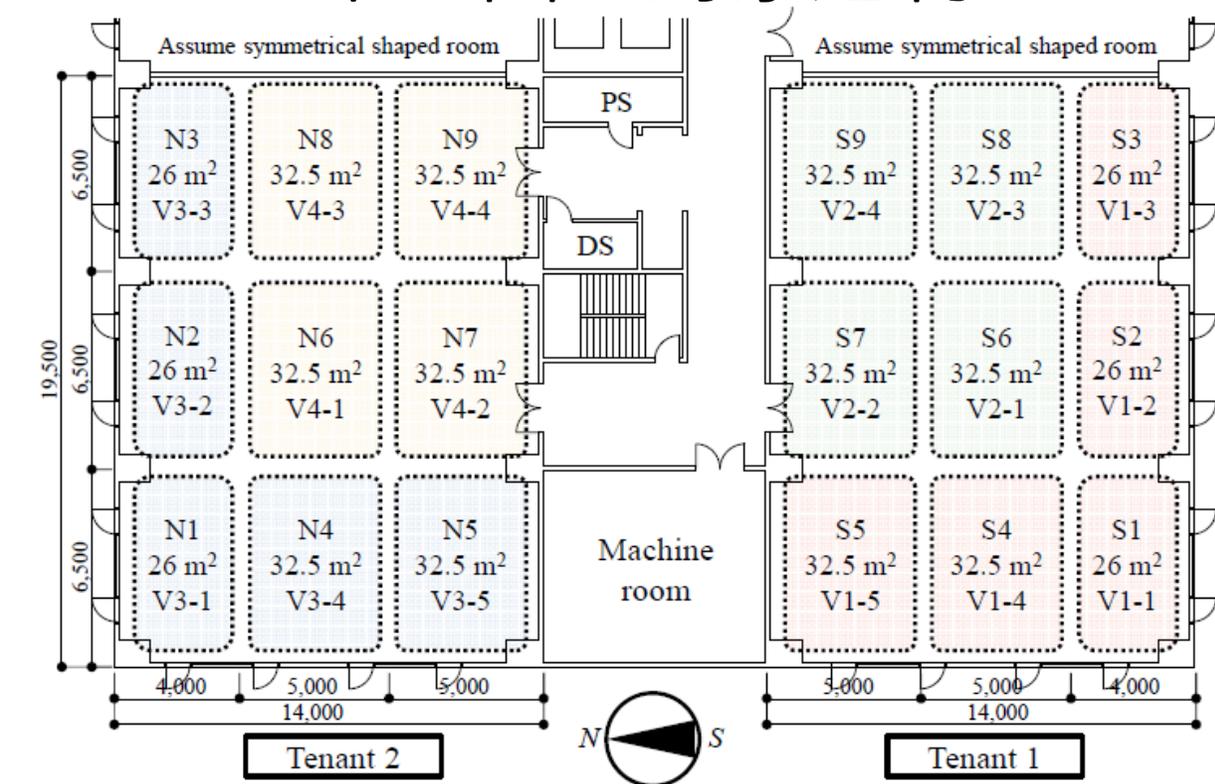
Ventilation unit type	HX150	HX250
Ventilation air flow [CMH]	150	250
Sensible efficiency [%]	74.0	70.0
Latent efficiency [%]	64.5	63.0
Electricity [kW]	0.075	0.100



※) WCCBO, <https://www.wccbo.org/ja/reference.pdf> (閲覧日:2025/2/15)

②設計と運用

WCCBO第二回の対象建物



上：空調ゾーニング、下：執務者数の変動※)

※) WCCBO, <https://www.wccbo.org/ja/reference.pdf> (閲覧日:2025/2/15)

- 計算期間は北西と南西に面した**2つの事務室**(それぞれ別のテナントが入居)
- 各室の床面積は273m²、内部に間仕切り無し
- VRFシステムは4系統、各ゾーンに小型の全熱交換器を設置
- 窓の合計面積は南・北が15.96m²、西側が10.64m²

- 全部で概ね80人程度の執務者
- 一人ずつ別々にモデル化されており、**異なった行動パターンと温冷感**を有する
- 執務者がどのように入退室するかは確率的に決まる
- **残業をして夜まで残る執務者**や、**土日に出勤して働く執務者**もいる

WCCBO第二回の成績評価手法

執務者は空調運用による室内環境条件と自身の温冷感に基づき、時々刻々で確率的に不満を表す、その条件は以下4つ

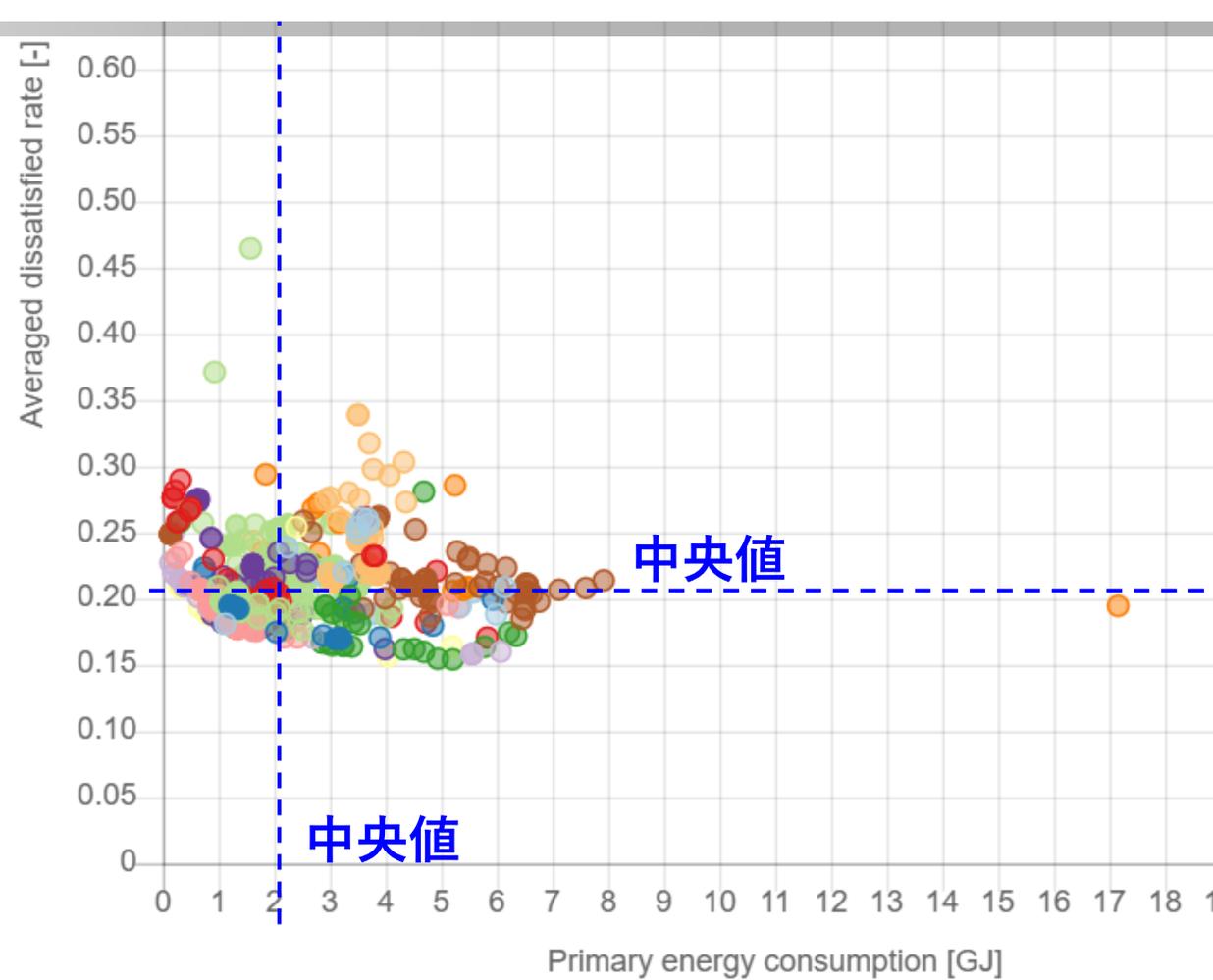
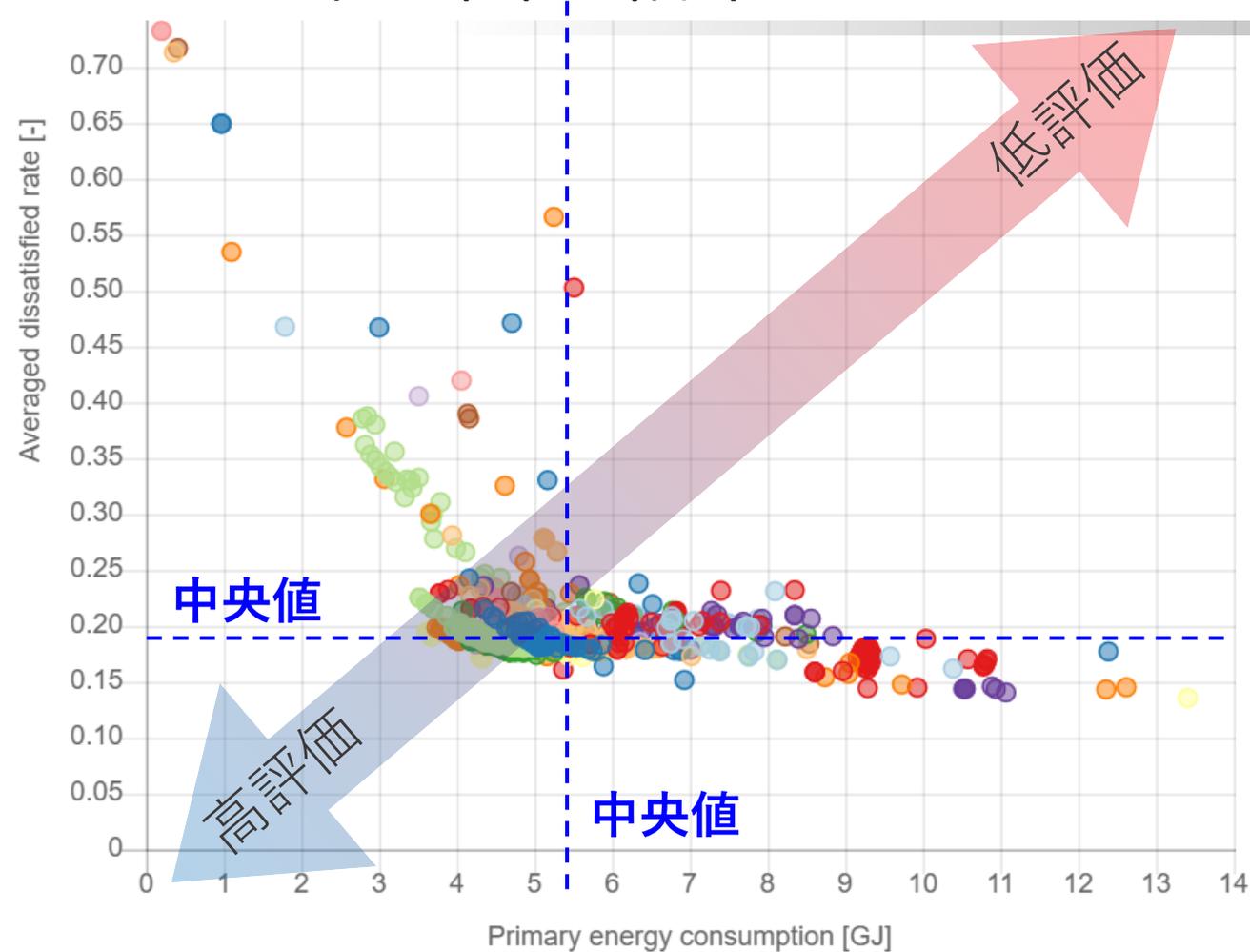
1. 熱環境が暑い／寒い
2. 冷たい気流が体に直接にあたる
3. 上下方向の温度分布が大きい
4. 換気不足で空気が汚れる

夏と冬の1週間の、エネルギー性能と快適性の両面での運用改善として、「エネルギー消費量」と「不満足率」の両方を削減させる設定値や制御方法を検討する

(競技終了3日前に、最終成績を計算するための共通の乱数シードが競技者に配布、競技者間で気象や執務者行動の条件が共通化され、公平性が担保
この共通の乱数シードを用いた計算結果により最終の順位を決定する)

②設計と運用

WCCBO第二回の結果から



計算結果(左：夏、右：冬)(チーム毎に色分け)※

成績が大きくばらついている、上位者は中央値から夏は30%、冬は50%省エネな運用
同じ建物でも運用制御によって**エネルギー性能と快適性に大きな差**が生じる

※) WCCBO, <https://www.wccbo.org/score/index.php> (閲覧日:2025/2/15)

②設計と運用

BI-Techによる建物省エネ性能診断・ナッジシステムの開発

WCCBOでは**計算結果を取得して運用の評価や改善**が可能だったが、
実際は**多くの中小規模ビルにおいてBEMSの導入に障壁**がある

Behavioral Insights × **Technology**

行動科学的知見 × **AI・IoT**



安価なIoTデバイスによる計測
+
スマホアプリによるナッジ

既存建築物に安価かつ用意に導入可能な「**可視化→分析化→最適化**」システムを開発
することで、お金をかけずに

- ・ **省エネ**の促進
- ・ **健康で快適なオフィス環境**の維持
- ・ 機器更新の**自動診断**
- ・ オフィス環境の**ビッグデータ**蓄積
の実現を支援する

②設計と運用 システムの構成

IoTデバイスはWifi通信によるリアルタイムのデータ取得が可能である

空気質
気流
温湿度



室内環境計測IoT機器

照度
在室人数



AIカメラIoT機器

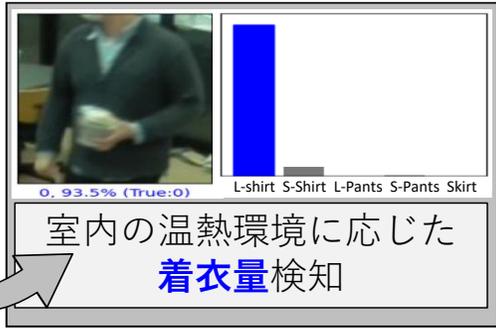
消費電力



消費電力計測IoT機器



AI応用技術を使った画像解析

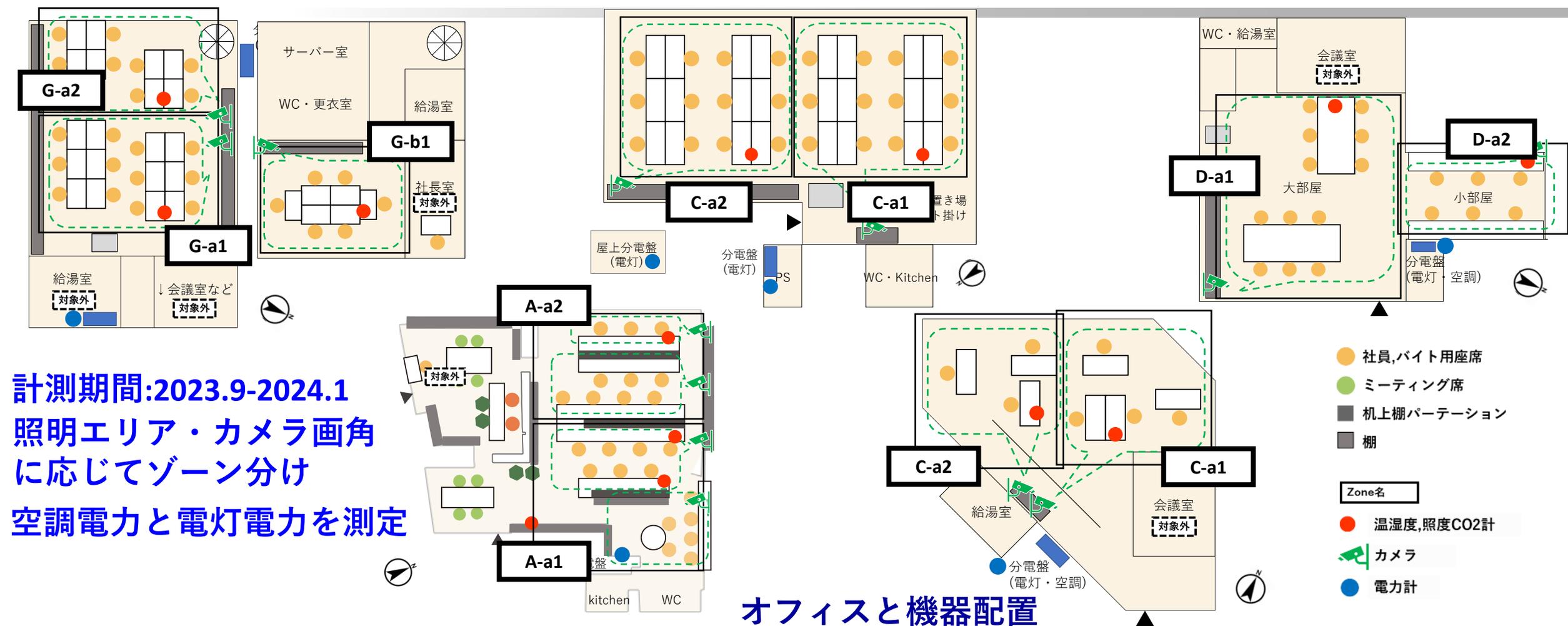


試作アプリ画面

デバイス内でAI解析により文章データ化し、解析後の画像はその場で破棄することで、オフィスのセキュリティに配慮している

②設計と運用

実テナントオフィスビルへの実証実験

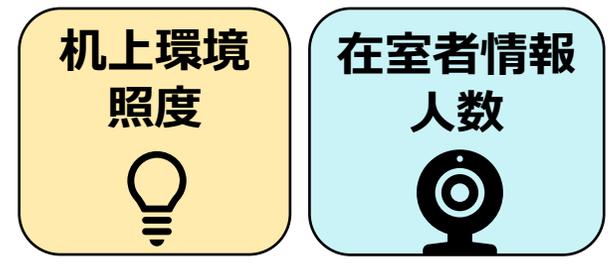


名称(面積順)	オフィスG	オフィスA	オフィスE	オフィスC	オフィスD
延床[m ²]	203(1F:133 2F:70)	200	102	101	77
所在地	神奈川県川崎市	東京都豊島区	東京都千代田区	東京都新宿区	神奈川県川崎市
形態	自社オフィス	テナント	テナント	テナント	自社オフィス

②設計と運用 省エネ性能の可視化、分析化

可視化した運用データを分析し、**3つの省エネ施策**を検討

①照明消し忘れ検知



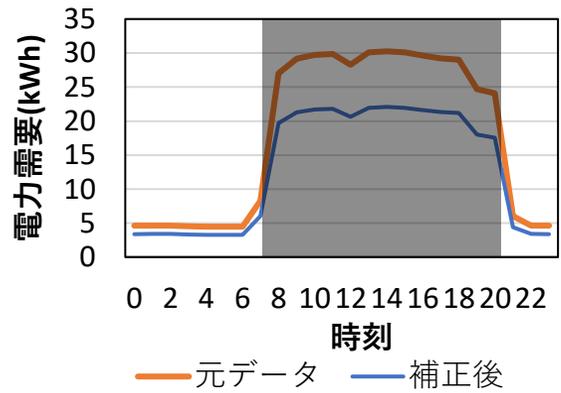
判定条件

照度が200lx以上 & 人体検知0人が
9分間継続した場合に通知

10分以降から、次に人を検知する
まで、照明を消灯すると想定

②閉業時間電力の削減

閉業時間基準原単位を超える場
合は基準まで減らすと想定

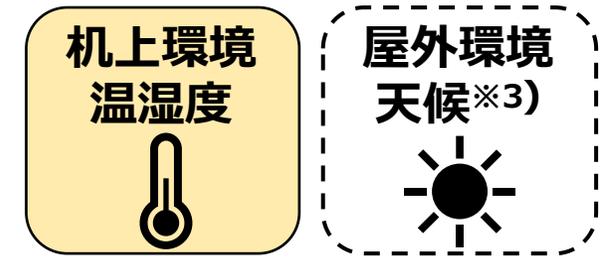


基準原単位

大規模ビルの標準電力需要データ※1)
に補正値を乗じて原単位を作成

$$\text{補正値} = \frac{\text{DECC10月電力需要平均値}^{*2)} \text{ 7.356 (kWh/m}^2 \cdot \text{月)}}{\text{標準電力需要平均値}^{*1)} \text{ 10.03 (kWh/m}^2 \cdot \text{月)}} = \underline{\underline{0.73}}$$

③窓からの通風による空調停止



判定条件

屋外が快適な場合、窓開け換気を行う
外気温湿度が快適範囲内
天気コード:晴れ、曇り
屋外風速:10m/s以下
室内エンタルピ>外気エンタルピ (冷房期)

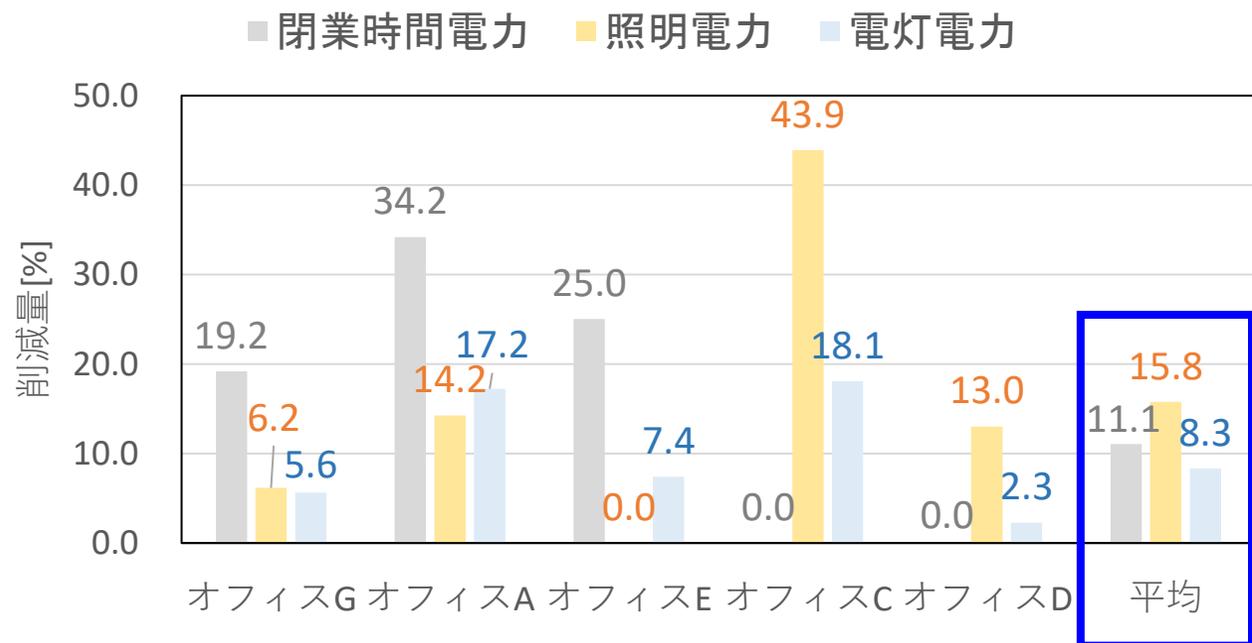
屋外快適時間が過去1時間の6割以上
を占める場合、快適判定を出し空調
を止めて窓を開けると想定

※1) 空気調和・衛生工学会：都市ガスコージェネレーションの計画・設計と運用, 2015,04月, pp.270-274
 ※2) 日本サステナブル建築協会：DECC, 入手先: <https://www.jsbc.or.jp/decc/>, (最終閲覧日2023/12/4)
 ※3) Location and time:JMA API, 入手先: <https://open-meteo.com/en/docs/jma-api>, (閲覧日:2025/2/15)

②設計と運用

分析による最適化効果の推定

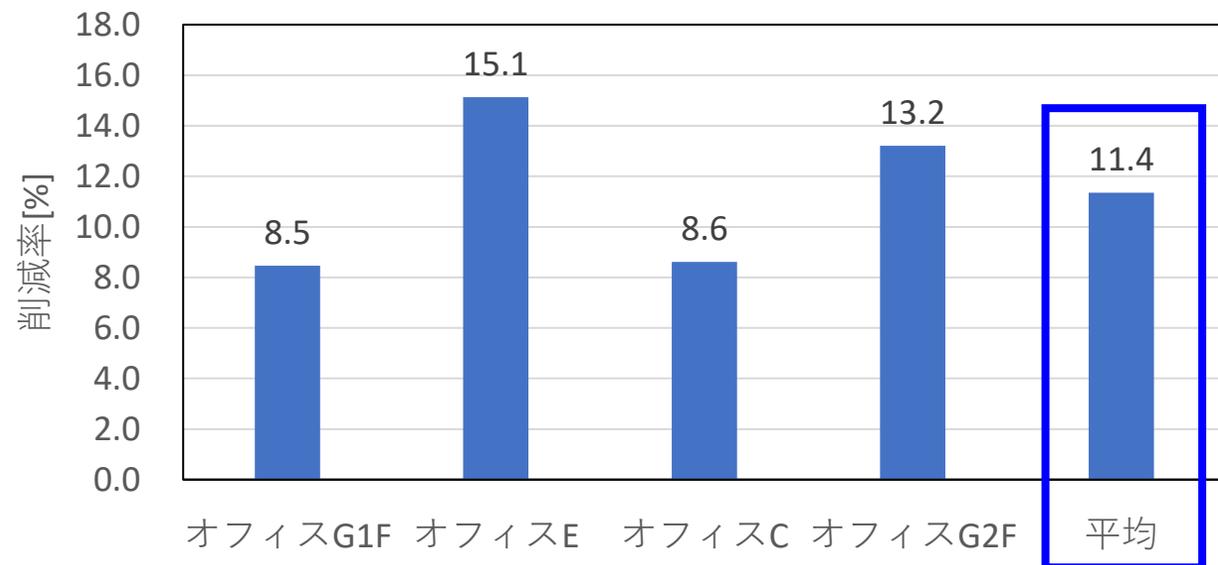
省エネ施策を100%実施できた場合の削減率を推定した



電灯電力削減率まとめ

5つのオフィスの平均削減率は、**閉業時間電力が11.1%、照明電力で15.8%、電灯電力全体で8.3%**だった

10月の**窓からの通風**による**空調電力の平均削減率は11.4%**だった



10月空調電力削減率まとめ

現在、**システムの改良と九州内での実証実験**を進めている

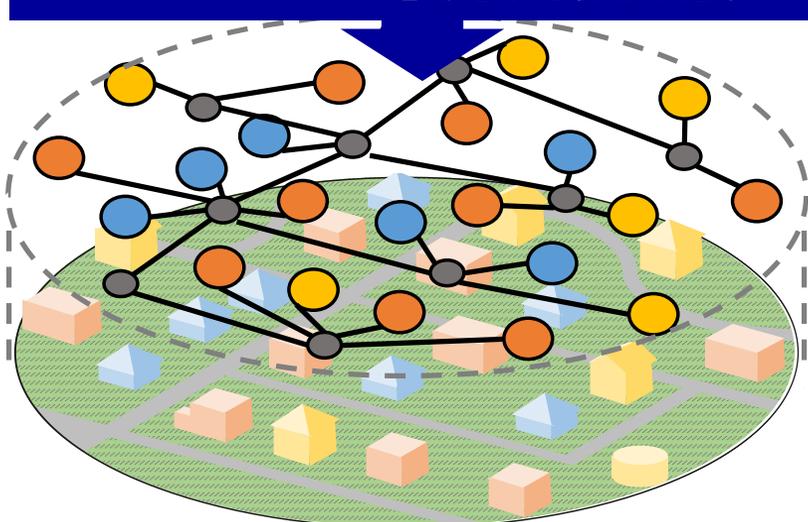
③ 個体と全体

ゼロ・エネルギー・コミュニティ (ZEC) の検討

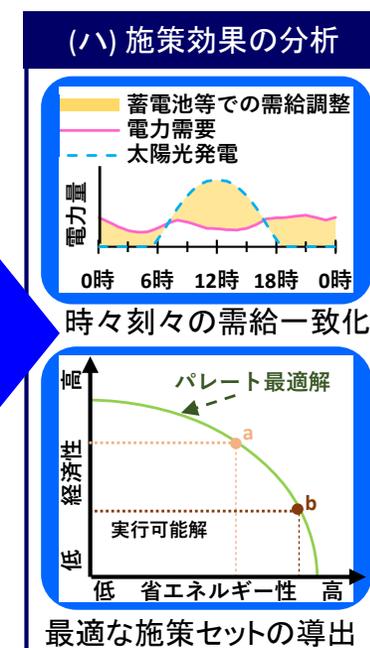
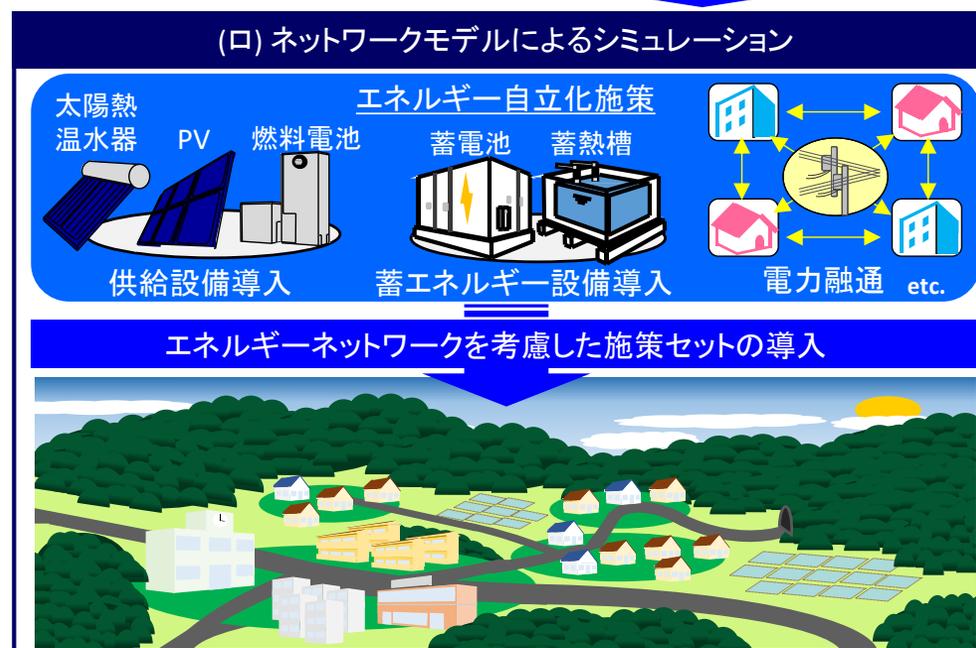
エリアエネルギーマネジメントにより、建築物個々への施策を超える**省エネ効果**を生み出せないか、**ZECを達成する現実的なロードマップ**が示せないかを検討している



エネルギーネットワークを考慮した最適な施策セット



エネルギーネットワークに基づくコミュニティのゼロエネ化

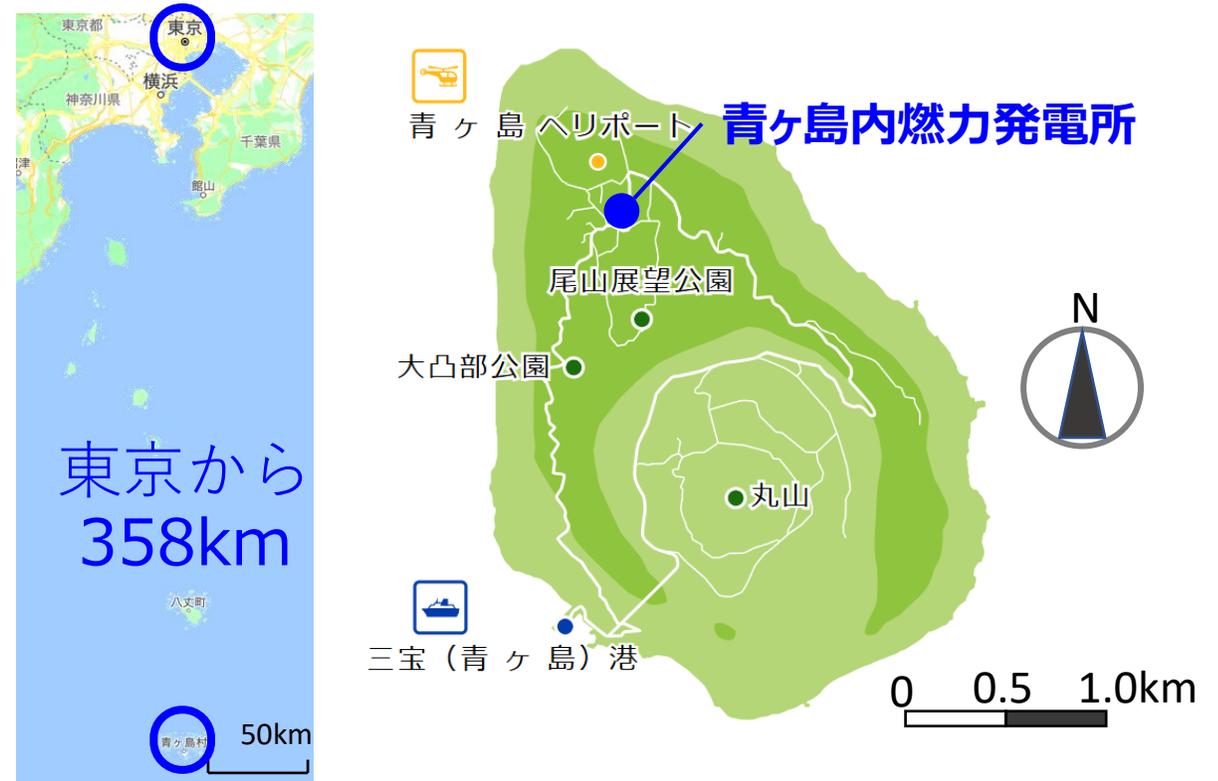


研究フロー

③ 個体と全体 実測調査に基づくシミュレーション

スモールステップとして、**独立した小規模コミュニティである離島を対象に検討している**
対象離島の概要

対象離島	青ヶ島（東京都青ヶ島村）												
地域区分	4地域												
面積	5.96km ²												
人口	169人												
世帯数	118世帯												
住民の年齢構成	<table border="1"> <caption>住民の年齢構成</caption> <thead> <tr> <th>年齢層</th> <th>割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20代</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>30代</td> <td>24%</td> </tr> <tr> <td>40代</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>50代</td> <td>29%</td> </tr> <tr> <td>60代以上</td> <td>29%</td> </tr> </tbody> </table>	年齢層	割合	20代	8%	30代	24%	40代	11%	50代	29%	60代以上	29%
年齢層	割合												
20代	8%												
30代	24%												
40代	11%												
50代	29%												
60代以上	29%												
建物用途	住居系：56% 事務所系：42% 商業施設系：2%												



青ヶ島の位置と地図※1)※2)

- 内燃力発電所でのディーゼル発電によって島内電力を供給
- ・燃料の輸送費が割高になり**本土での発電と比べて高コスト**
 - ・**発電所の不具合時に電力が供給できない**

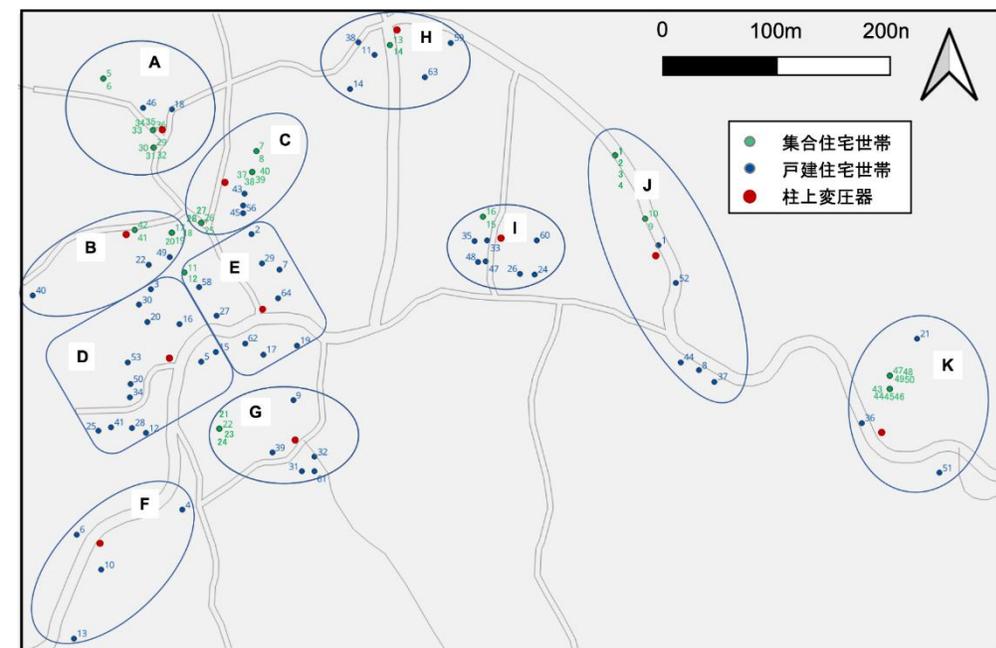
※1) Googleマップ ※2) 東京宝島うみそら便, <https://www.islandaccess.metro.tokyo.lg.jp/island/aogashima/>

③ 個体と全体

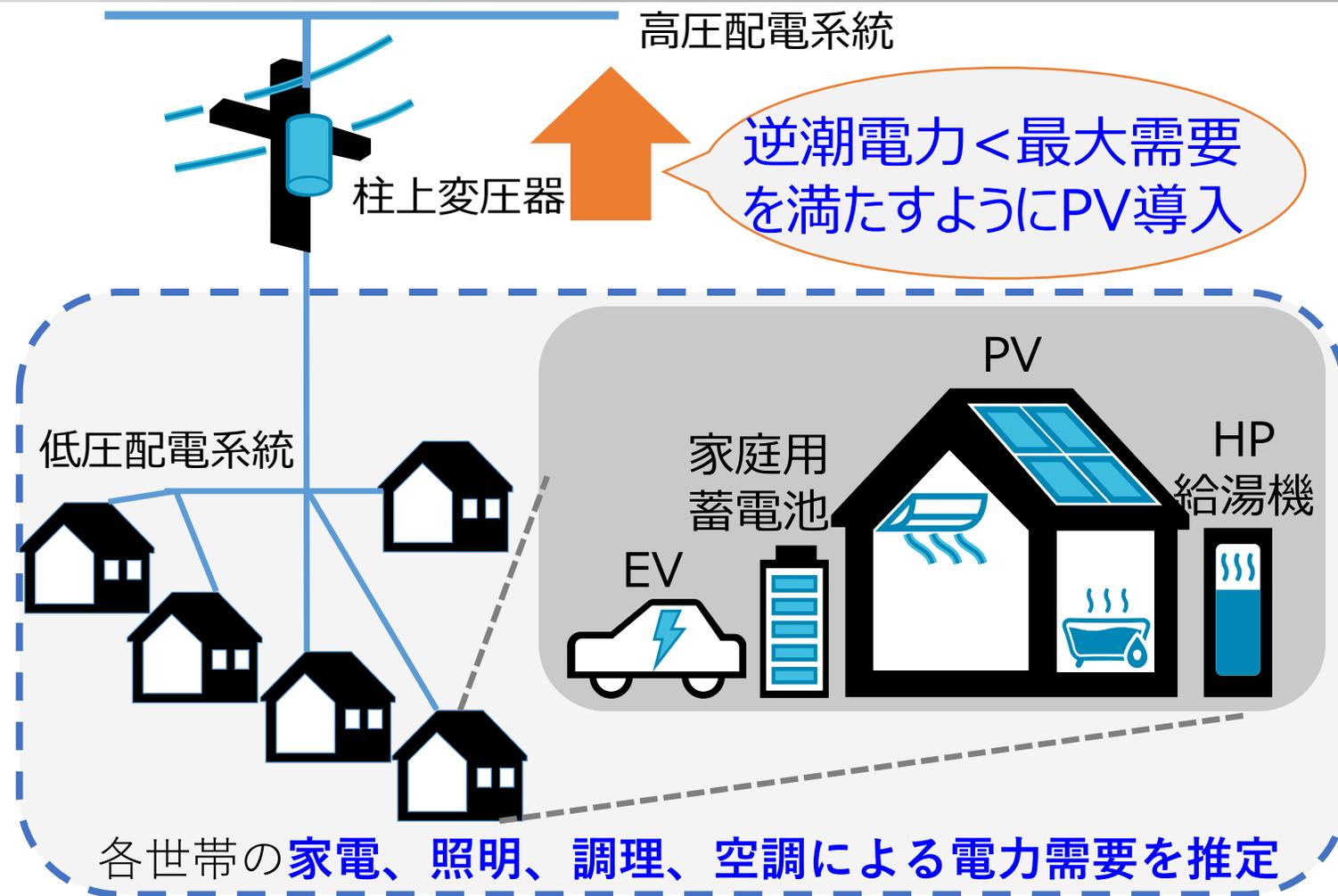
実測調査に基づくシミュレーションによるZECへの簡易アプローチ

調査概要

調査地域	東京都青ヶ島村
調査日	2022年11月10日～11日
調査方法	フィールド調査、役場職員へのヒアリング



柱上変圧器と世帯グループの位置



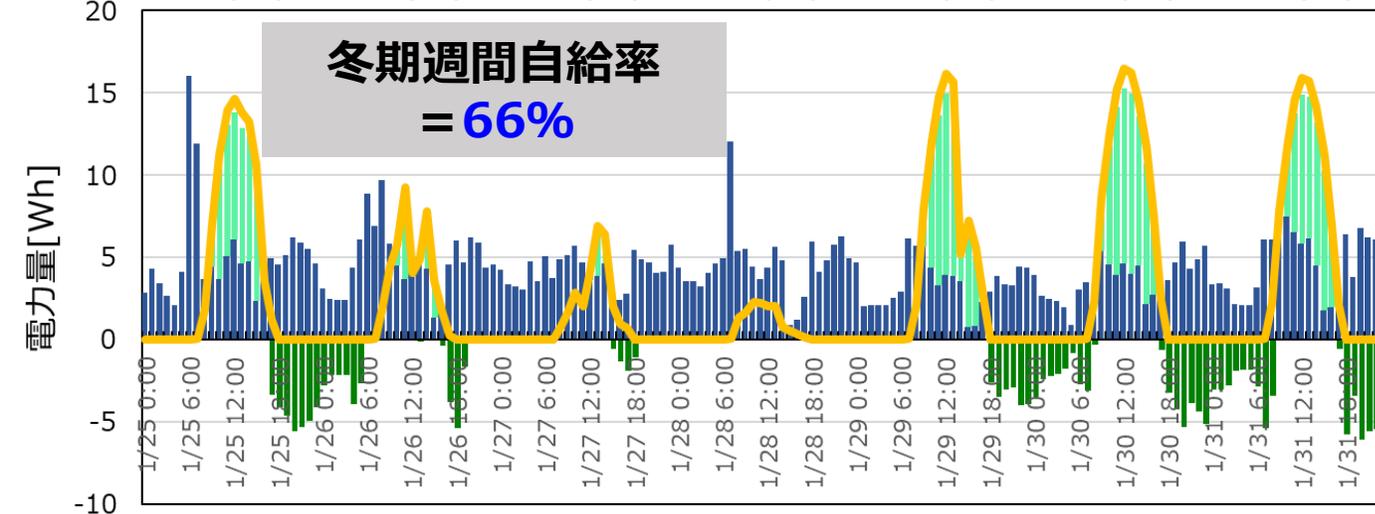
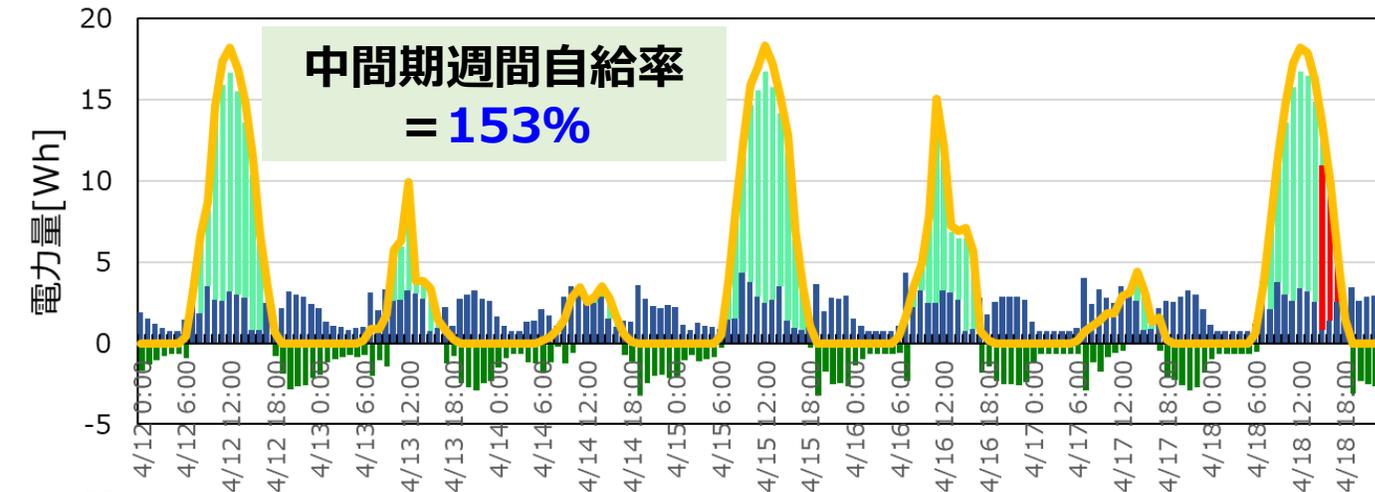
各世帯の家電、照明、調理、空調による電力需要を推定

ZECへの簡易アプローチ

簡易アプローチ：各世帯へのHP給湯機を前提として、PVや蓄電設備を現実的な範囲で普及させ、世帯グループ内でのPVによるエネルギー自立化を検討

③個体と全体 世帯グループ内での電力融通の検討

■ 電力需要量 ■ 逆潮流電力量 ■ 充電量 ■ 放電量 ■ PV発電量



冬期は**PVの発電量が不足**し、蓄電設備が十分でも**グループ内の電力需要を賄えない**

ZEC実現のためには、**他の世帯グループから柱上変圧器を越えての電力融通が必要**

潮流計算によって高低圧配電システムの運用制約を反映させたモデルを構築していく

対象フィールドを**北九州市の藍島**に変えて研究を進めていく

需要が大きい世帯グループの電力推移(上：中間期、下：冬期)

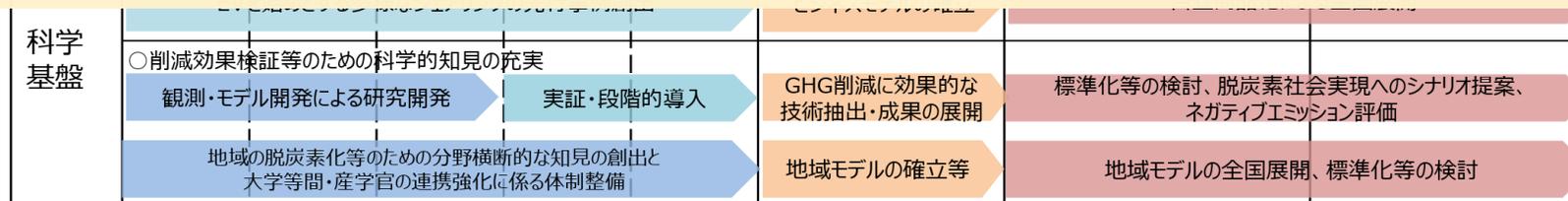
おわりに 本発表の最後に

⑭ ライフスタイル関連産業の 成長戦略「工程表」

- 導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
- 具体化すべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

本発表でお伝えしたいことは、まとめると**以下のような内容**になります

- ①設計時と運用時どちらにおいても、国内の他建物との比較のためにも年間一律の基準係数での評価も重要だが、**供給側まで反映させた総体的な評価が重要**
- ②個別分散式空調も含め、小規模建築物～大規模建築物まで建築設備の最適運用にはまだまだポテンシャルがある、**全建物共通で「可視化→分析化→最適化」が重要**
- ③最終的には1建築物から地域・都市、国全体の脱炭素化へと進んでいく
スモールステップとしての**離島等の独立小規模コミュニティのゼロエネ化の検討**



2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略における該当産業の工程表※)

※)経済産業省, https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_gaiyou.pdf (閲覧日:2025/2/15)

ご清聴、ありがとうございました。