

戦略的省エネルギー技術革新プログラム  
フェーズ名：実用化開発

# ヒューマンファクターと人工知能を 用いた次世代建物設備制御システム の開発

プロジェクト実施者：株式会社竹中工務店  
共同研究先等：SBテクノロジー株式会社、HEROZ株式会社

プロジェクト事業実施期間：2019年12月～2022年2月



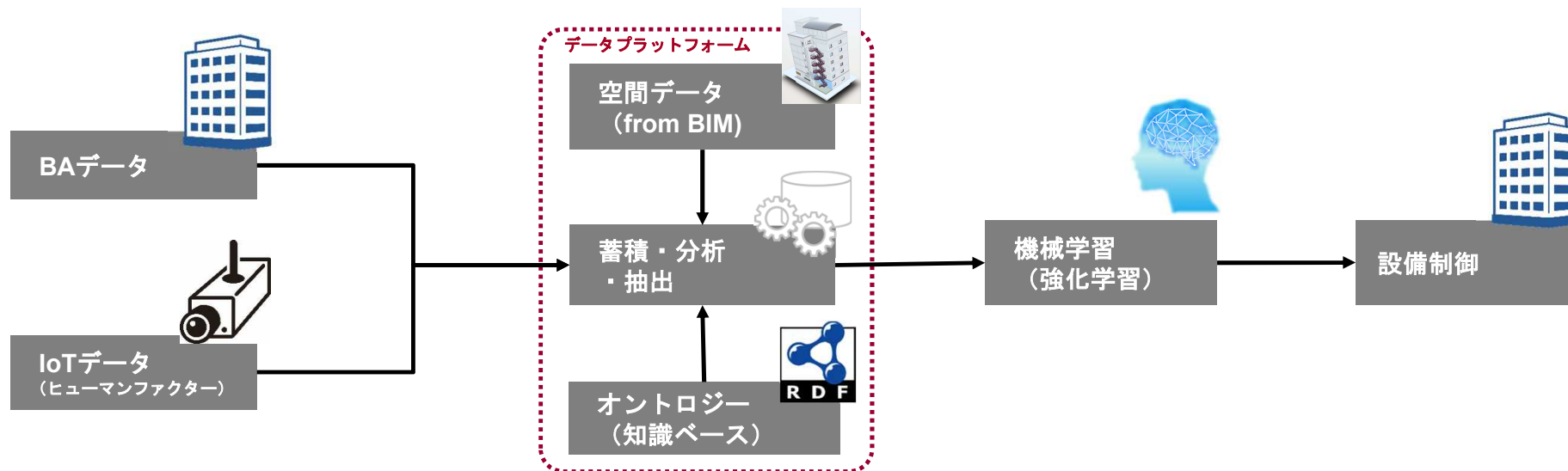
## 【狙う市場とその状況、課題】

- Society5.0の実現によって、エネルギー関連の装置や設備をネットワーク化することで、個別の機器・設備等をそれぞれ制御するだけでなく、エネルギーシステムとして統括的に捉え、最適化を図ることで、エネルギーの徹底的な活用が実現するといわれている。
- ZEBをはじめとした、建物設備システムの高度化が進んでいるが、それらの運用は非常に大変なことが知られている。
- ビル管理人員の不足・高齢化が問題になっている。

➡ AIによる業務負荷の低減と、遠隔監視や遠隔制御による解決を図る

## 【目的、目標】

- IoTとAIにより、建物設備システム全体の最適化を図ることで、省エネ・快適性の向上と、ビル管理業務の効率化を実現する技術の実用化
- 建物設備システム（BA）のデータに加え、IoTから抽出したヒューマンファクターや、BIMから抽出した空間データ等を活用し、機械学習エンジン（強化学習）による設備制御最適化を試みる。





## 2-1.研究開発体制と実施計画

技術開発責任者  
粕谷貴司

株式会社 竹中工務店(提案者)

2019年度：70百万円  
2020年度：134百万円  
2021年度：76百万円

- (1) 遠隔制御対象の建物設備システムの開発
- (2) ヒューマンファクター抽出技術の開発と評価
- (3) ゲートウェイの開発と評価
- (4) 建物設備向けAI学習エンジンの評価

委託

委託

HEROZ株式会社



2019年度：12百万円  
2020年度：10百万円  
2021年：8百万円

- (5) 建物設備向けAI学習エンジンの開発

SBテクノロジー株式会社

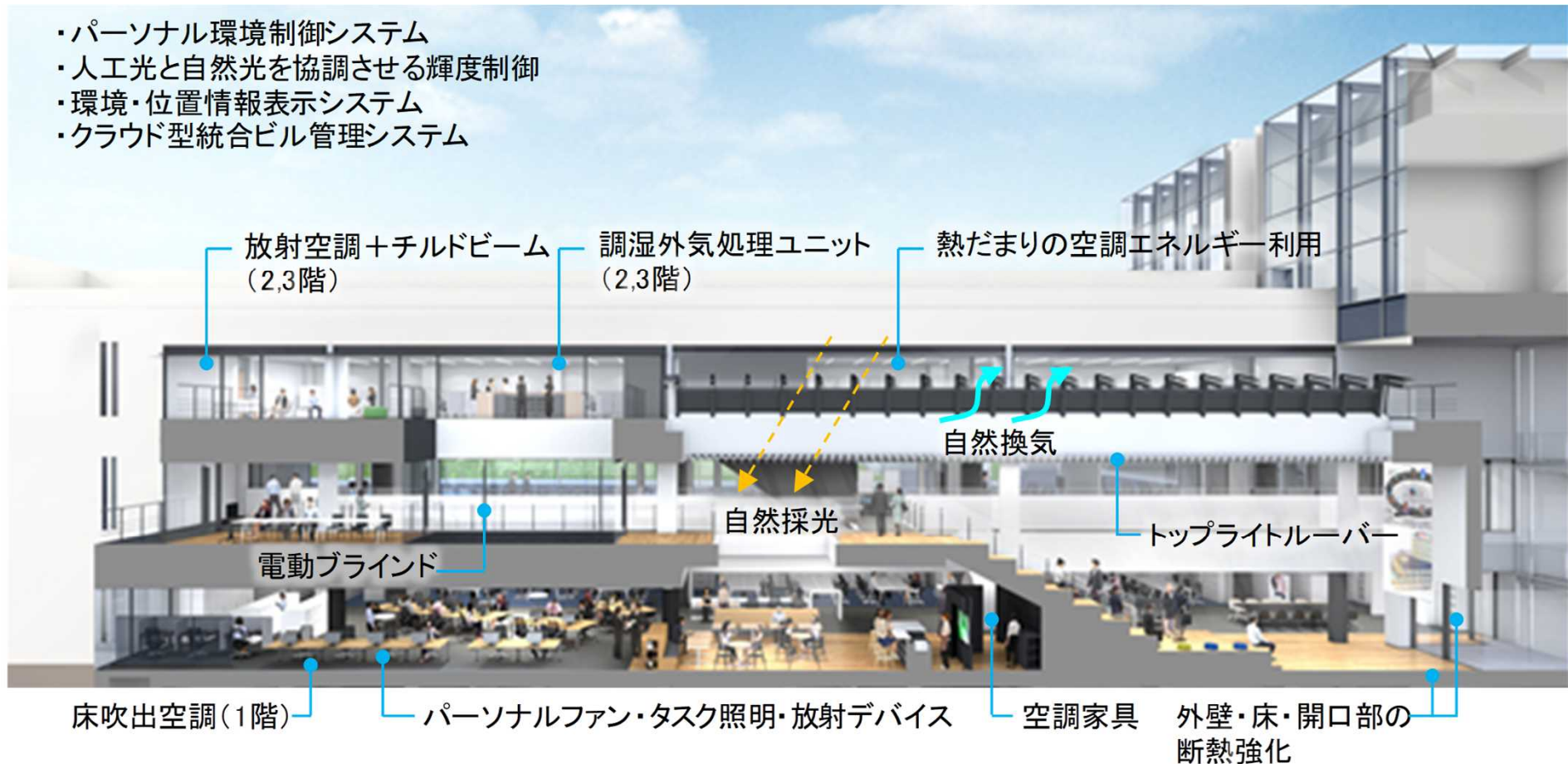
SB Technology

2019年度：12百万円  
2020年度：52百万円  
2021年度：15百万円

- (4) データプラットフォームの設計・構築

技術開発項目	2019年	2020年	2021年
(1) 遠隔制御対象の建物設備システムの開発	設計 → 改修工事 BIM作成	改修工事 → データ分析 表示システム開発 → 評価	改修工事 → データ分析 表示システム改修 → 評価
(2) ヒューマンファクター抽出技術の開発	技術調査 → 仕様検討 ビルプロ開発	設計 → 開発 クラウド実装 → 評価	システム改修 → 評価
(3) ゲートウェイの開発	技術調査 → 仕様検討	設計 → 開発 → 評価	運用 システム改修 → 評価
(4) データプラットフォームの設計・構築	要件整理 → 基本設計	詳細設計 → 開発 → 評価	運用・評価 マニュアル整備
(5) 建物制御用AI学習エンジンの開発	モデル設計 要件整理	モデル検証 → 運用・評価	モデル改修 → 運用・評価
<b>研究開発費 (NEDO負担額) (単位：百万円)</b>	<b>70.8 (47.2)</b>	<b>134.9 (89.9)</b>	<b>76.4 (50.9)</b>

- ・パーソナル環境制御システム
- ・人工光と自然光を協調させる輝度制御
- ・環境・位置情報表示システム
- ・クラウド型統合ビル管理システム

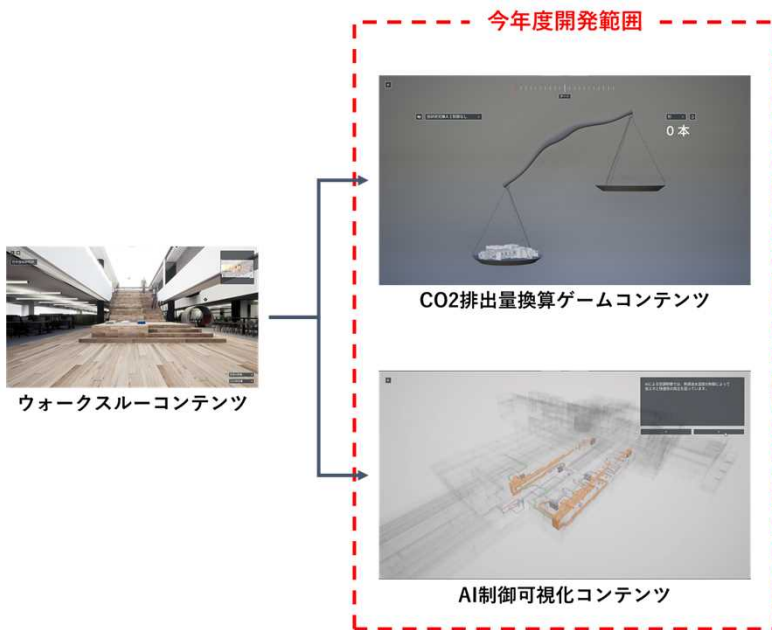


## 2-2.研究開発内容（1）遠隔制御対象の建物設備システムの開発

- 1) 本開発に必要な設備改修と追加を実施し、十分なデータ（特徴量）の同定と、効果量の正確な計測を実施
- 2) 行動変容の促進を目的としたサイネージコンテンツを開発し、データプラットフォームと連携させた
- 3) 展示会におけるアンケートによって、省エネのための行動変容につながるという結果を得られた

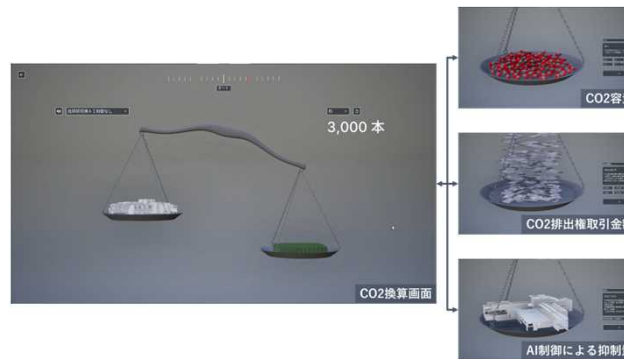
### 開発したコンテンツ群

→ BIMとデータプラットフォームを用いて開発



### カーボンニュートラルへの行動変容を促す可視化コンテンツ

→ ゲーミフィケーションも取り入れつつ、CO2の可視化を実施



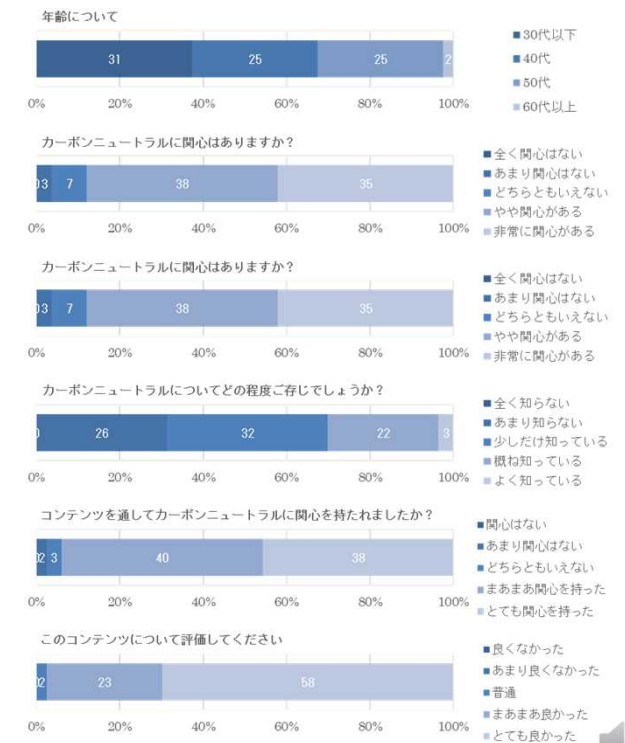
### シーンスクロール型のAI制御可視化コンテンツ

→ 本開発でやっている内容を分かりやすくアニメーション化



### サイネージコンテンツに対するユーザ評価

→ 78%がカーボンニュートラルに関心を持ったと回答



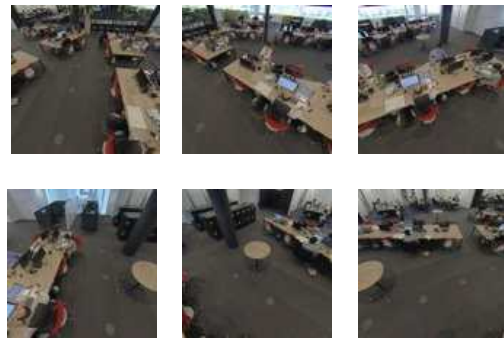


## 2-2.研究開発内容（2）ヒューマンファクター抽出技術の開発

- 1) 人数および着衣量を、全方位カメラとオフィス用にチューニングした独自AIを用いて推定するシステム開発  
(2020年度の計測精度：人数カウント→87%、着衣量→77%、2021年度は姿勢検出も実施)
- 2) 取得したデータの分析を目的とした処理プロセスをシステム化



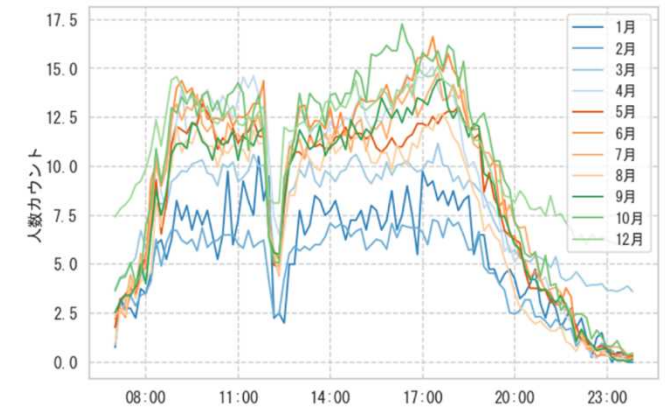
全方位カメラ（6台）による撮像



画像の切り出し・展開。重複除去・位置情報の特定



AIによる推定（人数、着衣量）



各月の人数カウント値（平均）の時系列変化

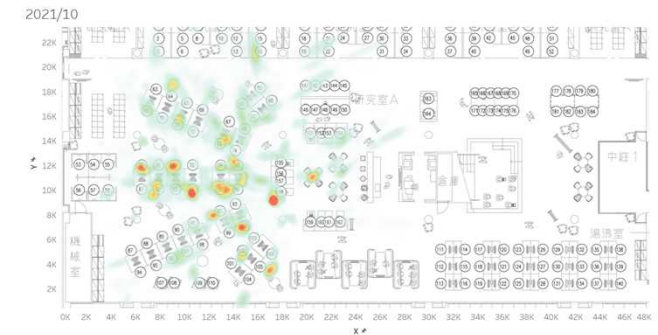


姿勢検出の結果（2021年度）

### 2021年度のモデルにおける複数カメラ統合（6台）の評価結果

人数	TP	FP	FN	Recall	Precision	F値
308	158	105	153	0.52	0.59	0.54

- False Negative (FP: 検出すべき人が検出されなかった) については、画像の明度差と什器の影響（人が見切れてしまうこと）が大きい。カメラ設置や撮影パラメータの設定に注意を払う必要がある。
- 実環境でのファインチューニングを実施すれば精度向上が可能であることは明らか。



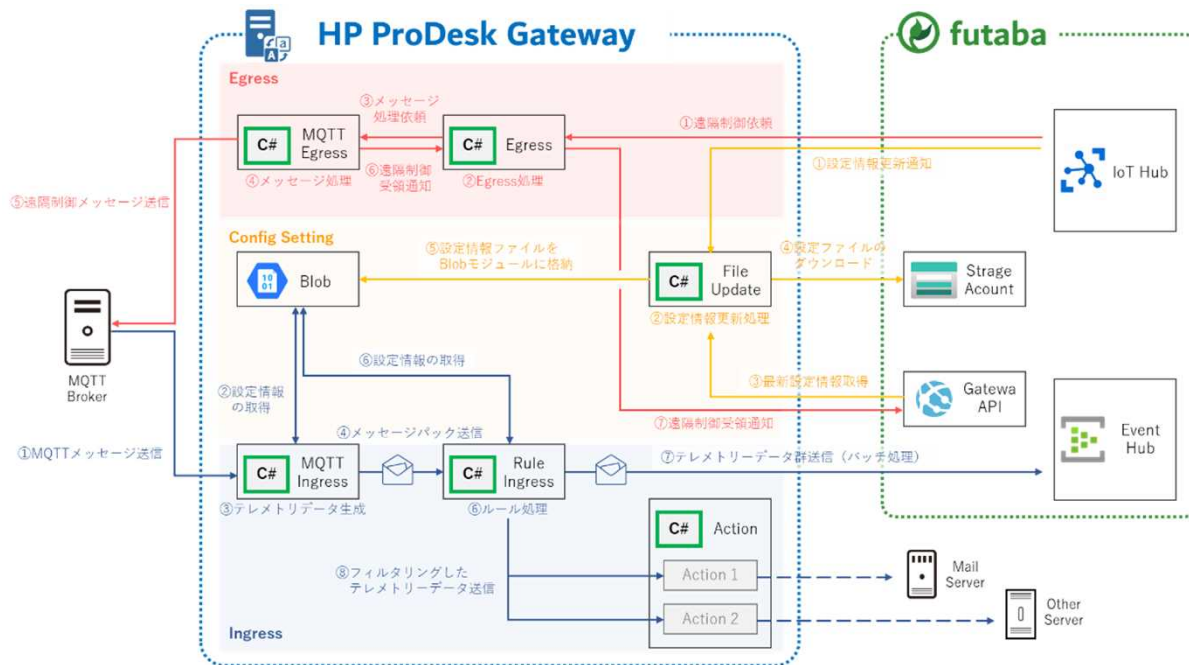
推定位置のヒートマップ表示（図の左側が計測対象）



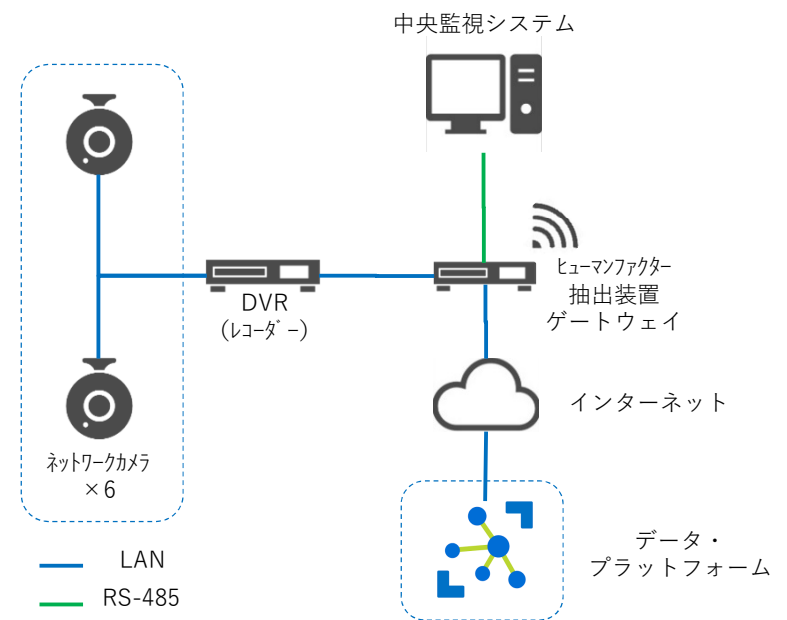
## 2-2.研究開発内容（3）ゲートウェイの開発

- 1) 建物設備システムやIoTの情報をデータプラットフォームに連携するゲートウェイを設計  
「Azure IoT Edge※」を利用した参考実装をパートナー各社に展開し、標準機として実装
- 2) 本開発で外注した仕様を元に神田通信機が製品化を行った。本開発以外にも7件ほどの導入実績がある。

※ <https://azure.microsoft.com/ja-jp/products/iot-edge/>



MQTT（ビルコミ）と連携するゲートウェイの機能構成の例  
（それぞれの機能モジュールはコンテナであり、容易に機能拡張ができる）

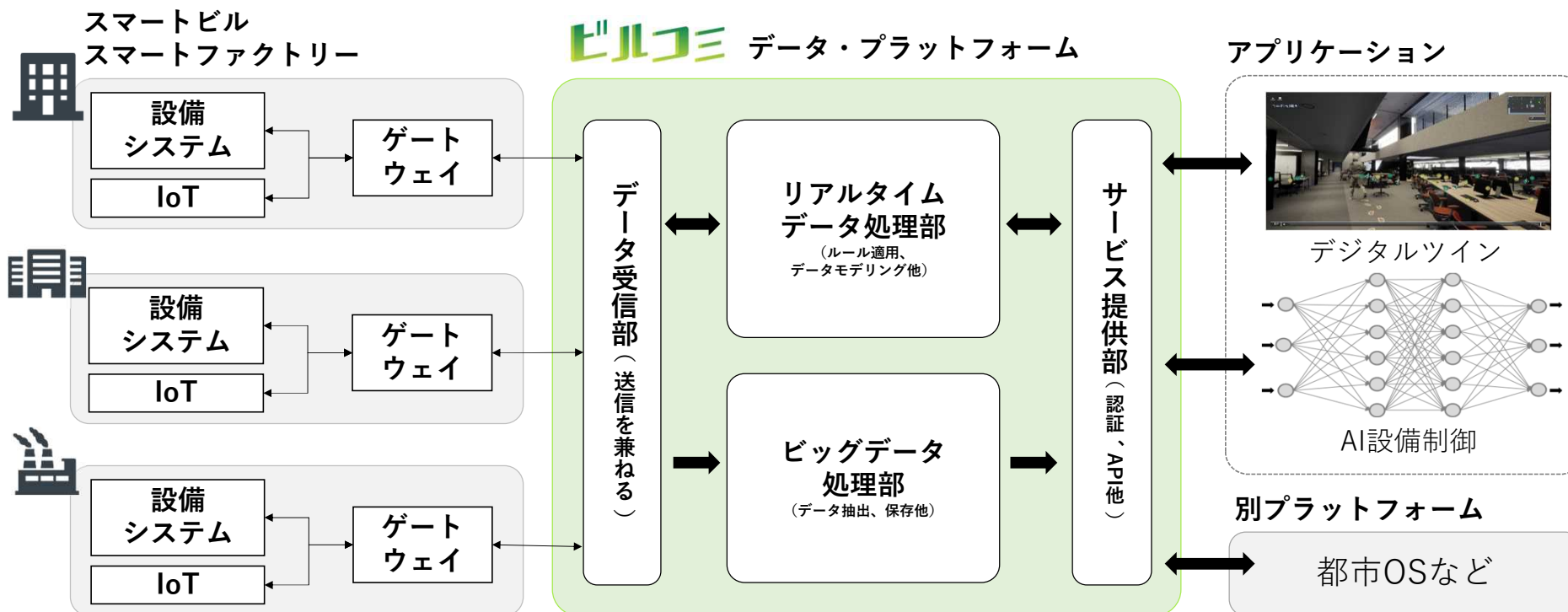


ヒューマンファクター抽出システムを介した  
ゲートウェイのシステム構成の例



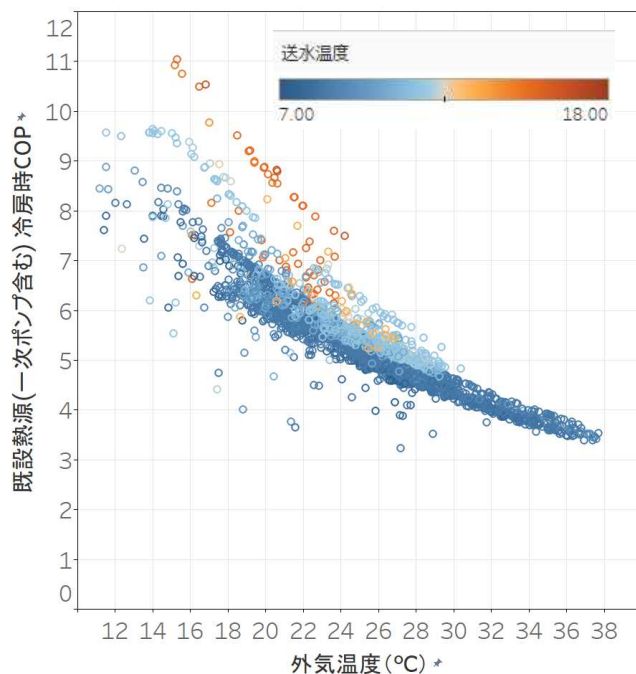
## 2-2.研究開発内容（4）データプラットフォームの設計・構築

- 1) スマートビル、スマートファクトリーのデータプラットフォーム（ビルコミ）として必要な堅牢性、拡張性を備えたアーキテクチャを設計、仕様を元にクラウドで実装
- 2) 運用フローを考慮し、各種の設定ツールを用意するとともに、各種PaaS（Azure Digital Twins等）を適用することで、可用性やメンテナンス性向上、運用コスト低減を実現した

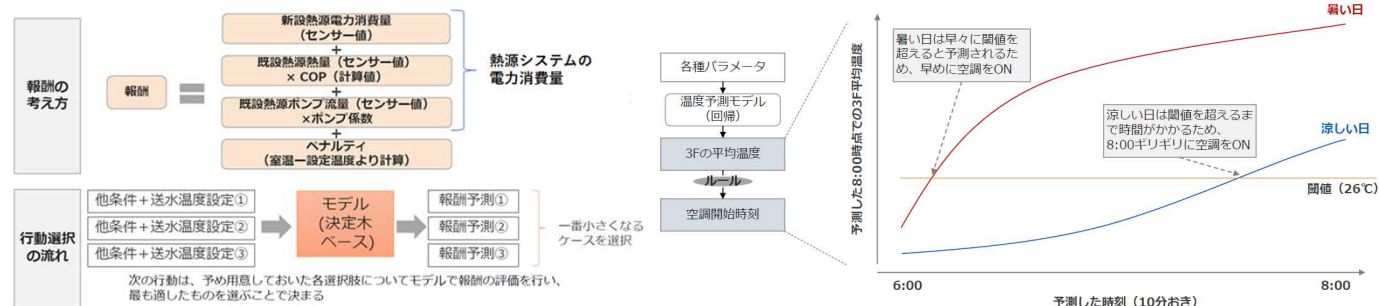




- 1) 空調制御のための予測・強化学習モデルを考案、ビルコミを用いて制御を試行。
- 2) モデル設計においては、熱源システムの消費電力を最小化しつつ、対象エリアにある各部屋の室温及び湿度が維持できるように報酬や制約条件を設けた。空調開始時刻についても最適化を実施。
- 3) 年間を通して検証したところ、適用先では10.6%のエネルギー削減効果があることがわかった。

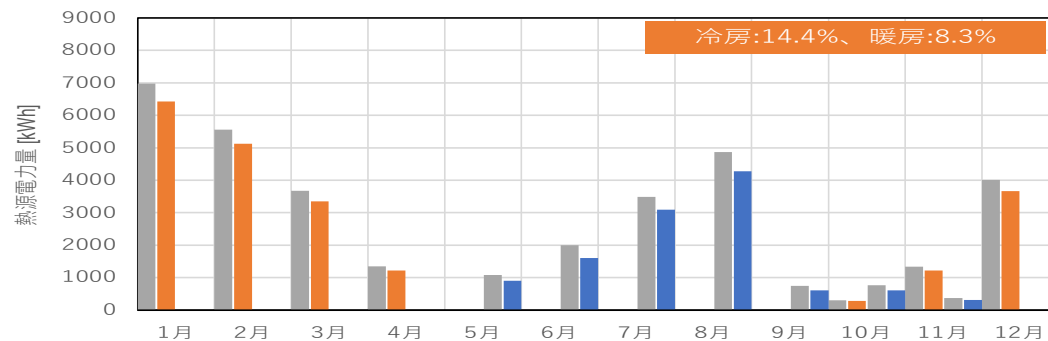


【冷房時】熱源SCOPと送水温度の関係



施策① 熱源送水温度の最適化

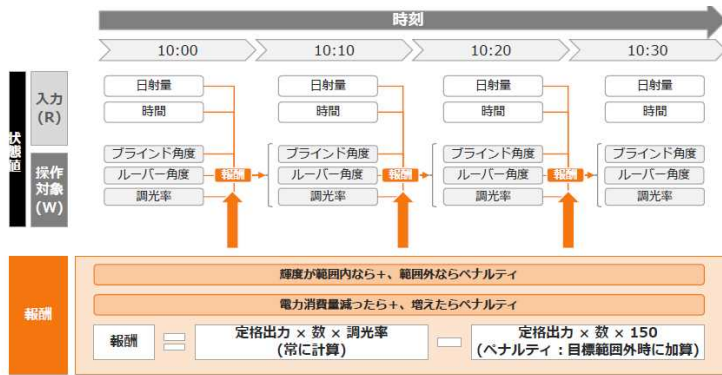
施策② 空調開始時刻の最適化



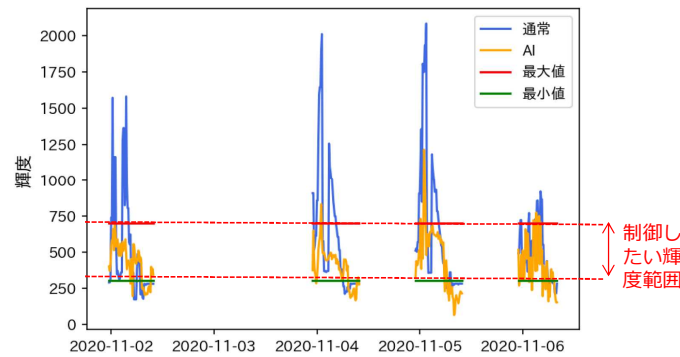
熱源システム電力消費量のAI制御と通常の比較（1年の実績をもとに算定）



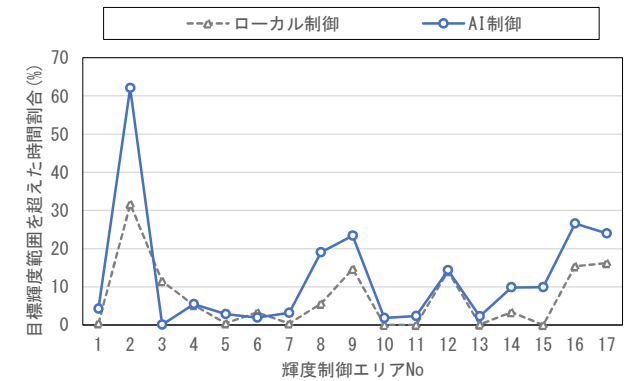
2) 照明制御のための予測・強化学習モデルを考案、ビルコミを用いて制御を試行した。対象エリアでは年間で29.3%のエネルギー削減の効果があった。



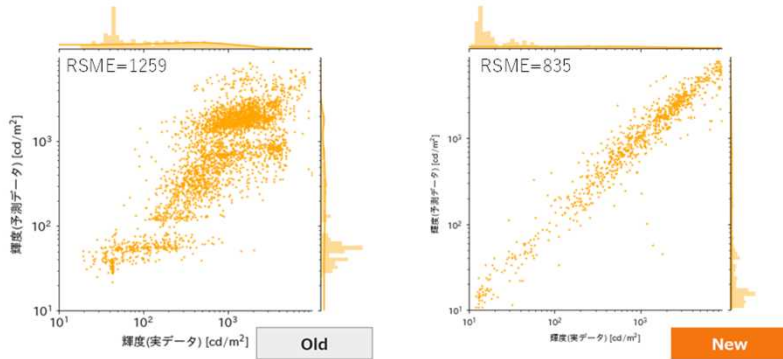
照明AI（強化学習）による制御プロセス



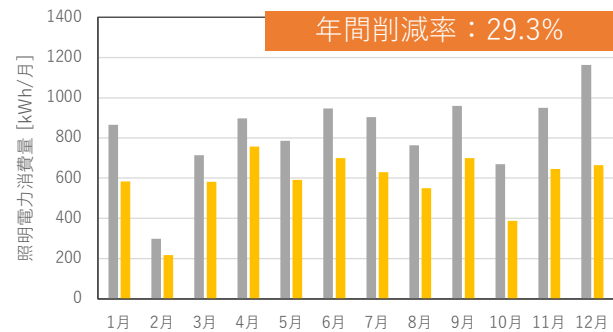
AIによる制御指示



ローカル制御とAI制御の輝度制御状況比較



室内輝度予測モデルの精度向上（2021年度）



ローカル制御とAI制御の年間エネルギー消費量の比較

- AI制御の対象となるエリアは、トップライトや窓から昼光利用できるエリアとなる。これは、実証建物では照明全体の約6割に相当する。
- 昼光の影響があまりないインテリア部は、調光率の操作は起こっておらず全体の4割程度。したがって、照明電力全体としては、削減率は、**17.6%**



## 3-1.研究開発成果

個別研究項目	最終成果
(1) 遠隔制御対象の建物設備システムの開発	① AIの学習、精度向上に十分なデータ（特徴量）の同定と、効果量の正確な計測完了 ② 行動変容を促進するコンテンツの改良完了 ③ 行動変容による省エネ効果の確認完了
(2) ヒューマンファクター抽出技術の開発	① 360カメラを用いた計測システムと仕様検討と実装完了 ② ビルプロのモデリング性能、予測性能の向上
(3) ゲートウェイの開発	① 製品化のための仕様検討完了 ② 製品試作機の完成
(4) データプラットフォームの設計・構築	① スマートビル用のデータプラットフォームの開発 ② サービス化を目指したシステムの堅牢性、拡張性向上 ③ 実際のシステム運用を想定した機能・フローの改善 ④ サードパーティーによるAPI連携：5件以上
(5) 建物制御用AI学習エンジンの開発	① 空調の電力消費量を20.6%削減 ② 照明の電力消費量を29.3%削減

### 【省エネルギー効果の試算】

建物用途		事務所	商業	
原単位(MJ/m <sup>2</sup> 年) 加重平均 <sup>※1</sup>		1,381	1,879	
エネルギー消費量の割合(%) <sup>※2</sup>	空調(熱源+水搬送)	33.7%	31.9%	
	照明	21.3%	22.0%	
エネルギー消費原単位(MJ/m <sup>2</sup> 年) <sup>※3</sup>	空調			
	冷房	323	468	
	暖房	143	131	
	照明	294	413	
本開発技術による省エネルギー効果(%)	空調	冷房	14.4%	14.4%
		暖房	8.3%	8.3%
	照明	17.6%	0.0%	
省エネルギー(MJ/m <sup>2</sup> 年)	空調	冷房	46	67
		暖房	12	11
	照明	52	0	
合計(MJ/m <sup>2</sup> 年)		110	78	
平均(MJ/m <sup>2</sup> 年)		94		

※1…出典『建築物エネルギー消費量調査報告【第41報】』, 日本ビルエネルギー総合管理技術協会

	2025年		2030年	
	国内	国外	国内	国外
指標A (効果量)	0.0024 kL/(m <sup>2</sup> ・年)	-	0.0024 kL/(m <sup>2</sup> ・年)	-
指標B (導入量)	736 万 m <sup>2</sup>	-	1,947 万 m <sup>2</sup>	-
省エネルギー効果量 (kL/年) 費用対効果目標量	1.8万kL/年	-	4.7万kL/年	-

※国外展開も可能な技術だが市場規模が明確でないため計上していない

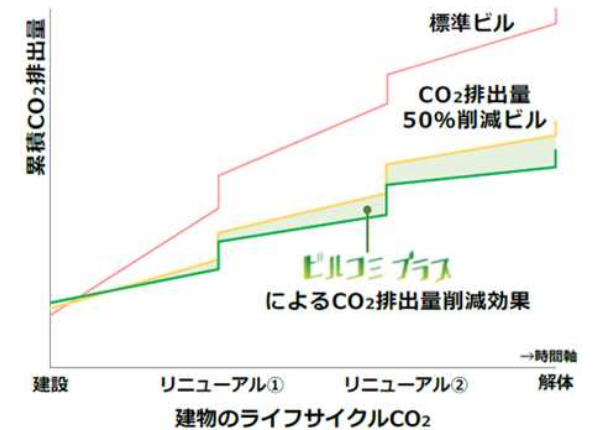


## 3-2. 今後の展望

新たな実証ビルに大規模に適用を行い、開発技術のサービス化を推進しています。



在地	江東区新砂1丁目3-3
用途	事務所
階数／構造	7階建／鉄骨造
延床面積	12,695.47㎡（改修後）
設計・施工 （改修）	竹中工務店
改修工期	2021年9月～2022年7月
既存建物竣工	1999年



<https://www.takenaka.co.jp/news/2022/10/01/>