4D Mini-Environment Air Conditioning System

4Dミニエン空調システム

応募者：㈱三菱地所設計
新菱冷熱工業㈱
芝浦工業大学

＜新菱イノベーションハブ3Fワークプレイス＞

床冷暖房とリバーシブルファンによる局所環境（ミニエンバイロメント）形成

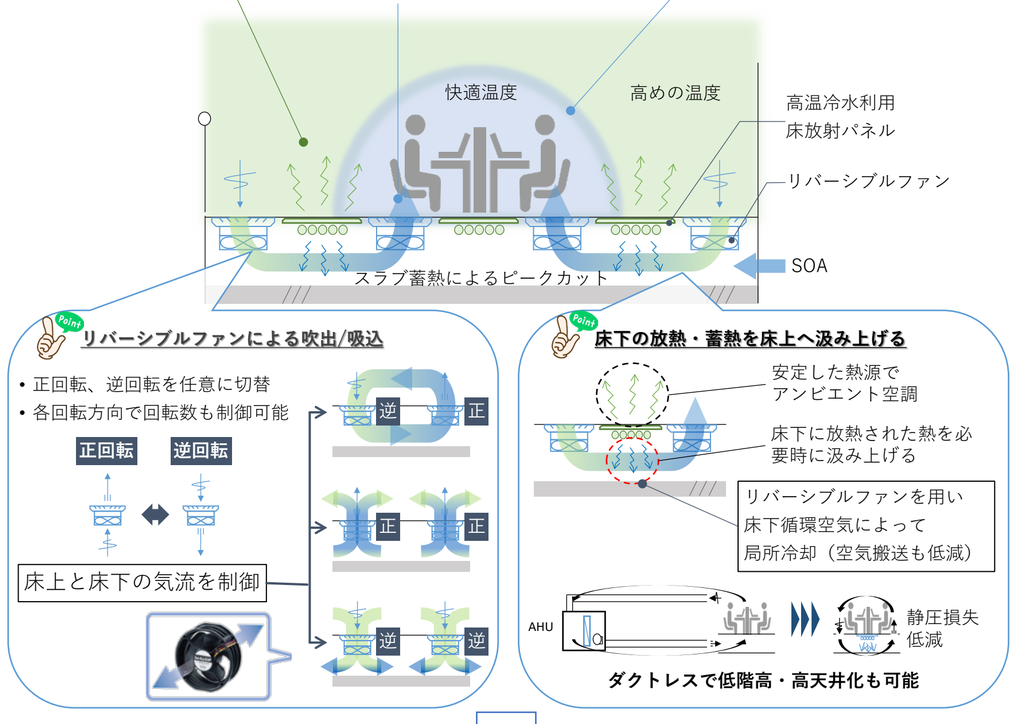
床放射空調システム
少ない温度ムラ・ドラフト感
アンビエント空調向き

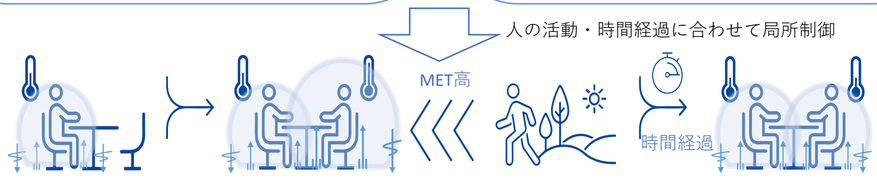
＋

床吹空調システム
気流感による清涼感
空気温度変更への即効性が高い
タスク空調向き

＝

ミニエン空調システム
双方の特長を活かし、局所的に
好みに応じた環境を形成することで
省エネルギーに貢献





空間(3D)と時間(1D)を操る4Dミニエン空調システム

＜4Dミニエン空調システム概要＞

カーボンニュートラルとZEBを取り巻く背景

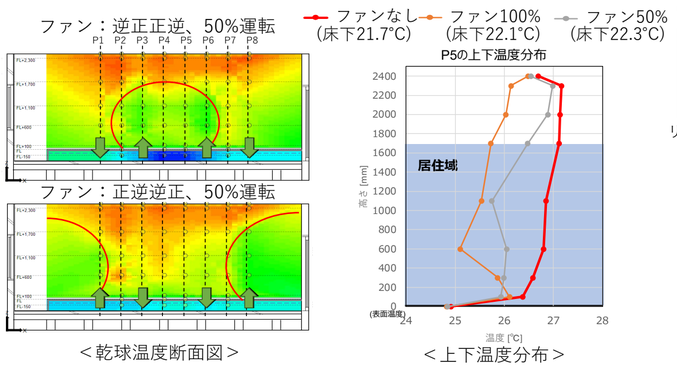
地球温暖化対策のため、2020年10月に「2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、2050年カーボンニュートラル（CN）、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した。2021年10月に閣議決定された地球温暖化対策計画では、業務部門において2030年度のエネルギー起源CO_2排出量を2013年度比51％削減するといった目標が設定されており、**建物でのエネルギー消費量を大きく減らすことができるZEBの普及がCNの実現**に向けて求められている。ZEBの設計案件も増えその課題も明らかになってきている。

『*ZEB*』の設計を行って見えてきた課題

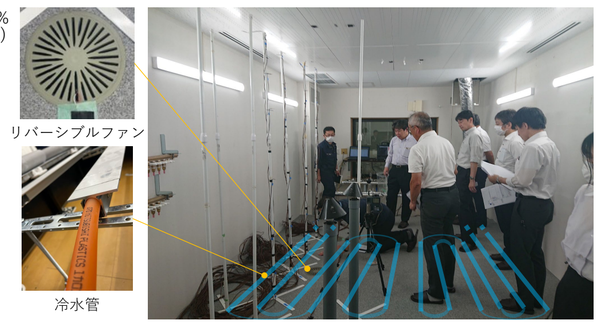
＜4Dミニエン空調を導入し『*ZEB*』を達成した新菱イノベーションハブ＞

課題解決のための実証実験

2023年夏、実大温熱環境試験室（W6.7m x D3.2m x H2.7m）において実証実験を行った。



＜乾球温度断面図＞　＜上下温度分布＞



＜実大実験室と実験機器設置イメージ＞

実験結果

・リバーシブルファンによるミニエンバイロメント空間の構築を確認

→　ファンの制御（正逆・風量）により異なるミニエンを構築が可能、上下温度分布でも居住域のみを空調できることを確認

→　夏季は居住者付近で吹出し、冷房と気流感を与える。冬季は居住者付近で吸込み、上部にたまった暖気を下降させる。

・床下からの熱の汲み上げ状況の確認

→　床下への空気循環をすることで同水量でも放熱量が約２倍となり、必要時に床下より熱を取り出し、**約17W /㎡の冷房増強を確認**

２つの『*ZEB*』の課題解決　～『*ZEB*』のその先へ～

・『*ZEB*』の課題①　発電電力＞消費電力の必要性

大量の太陽光発電設置で発生する余剰電力への効果的な対応が求められる

→　太陽光発電の出力制御対応

電力会社により逆潮流拒否される事例も多く、その場合蓄電池設置を余儀なくされる

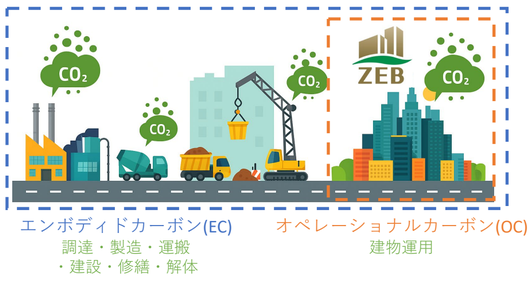
→土日等、出力＞消費の発電電力をいかにうまく使うかが課題

逆潮流拒否

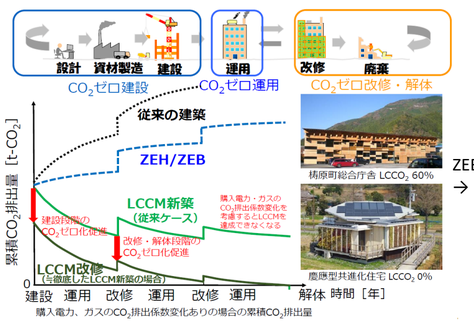
＜太陽光発電の出力制御＞

・『*ZEB*』の課題②　OCだけでなくECの低減の必要性

世界中でCN達成のため、エンボディドカーボン（EC）の重要性が説かれている。日本でもゼロカーボンビル推進会議が発足され、ECの重要性が議論されている。将来、太陽光発電などにより電力のCO_2原単位が小さくなってくることが予想されるため、オペレーショナル＝未来の削減に加え、エンボディド＝現在の削減の重要性が大きくなっている。『*ZEB*』のようなオペレーショナルカーボン（OC）のみの評価に加え、ECの対応を行わないと、CNの達成はできない。



＜エンボディドカーボンとオペレーショナルカーボン＞



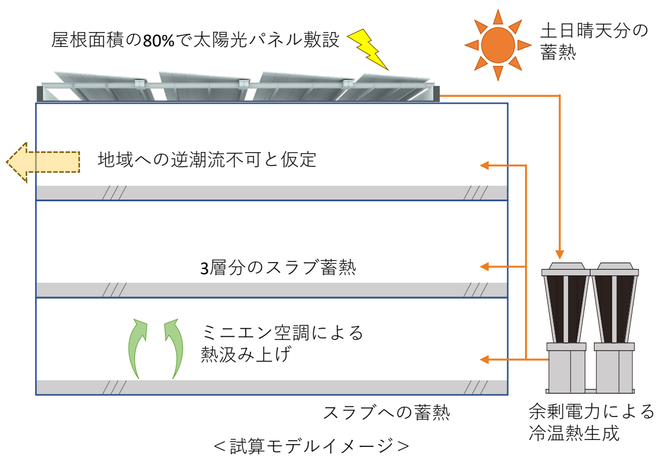
ZEBの累積CO_2排出量
→『*ZEB*』は十分ではない

＜（一社）日本サスティナブル建築協会、LCCM住宅・建築物研究開発委員会、LCCM理論深化・将来推計部会より＞

『*ZEB*』の課題解決①　発電電力＞消費電力　への対応

『*ZEB*』を達成している３階建の新菱イノベーションハブをベースにして、全面的に本システムを採用したものとして試算を行った。コンクリートスラブに余剰電力の中心である、**発電電力＞消費電力となる土日晴天時発電量の109%の蓄熱**（約400Wh/㎡）**が可能**になる。これをミニエン空調により熱を汲み上げ**平日のピークカットに貢献**する。

試算条件
・3階建を基にした試算
・床下からの熱の汲み上げ想定は17W/㎡
・スラブ厚さ150mmとし、屋上全面に太陽光パネル敷設を仮定
・屋上太陽光パネル敷設率80%、パネル能力70W/㎡
・太陽光パネル発電量3.3kWh/kw日
・太陽光パネル発電電力利用による冷暖房COP3.0
・蓄熱温度18℃、放熱後温度22℃にてスラブに蓄熱（Δt=4℃）
・コンクリート比重：2300kg/㎥
・コンクリート比熱：1.05KJ/kg℃
・ただし、現状の新菱イノベーションハブでは、敷地内の別棟にて太陽光発電を利用できているため蓄熱は行っていない



＜試算モデルイメージ＞

快適な空調空間の構築

4Dミニエン空調の制御のコンセプト

リバーシブルファンの個別制御性と赤外線センサーを利用することで、より自由な空調制御が可能となる。そこで、さらなる快適な空調空間の構築のため、空間に加え時間軸の概念を制御に取り入れ、リバーシブルファンの制御を行う

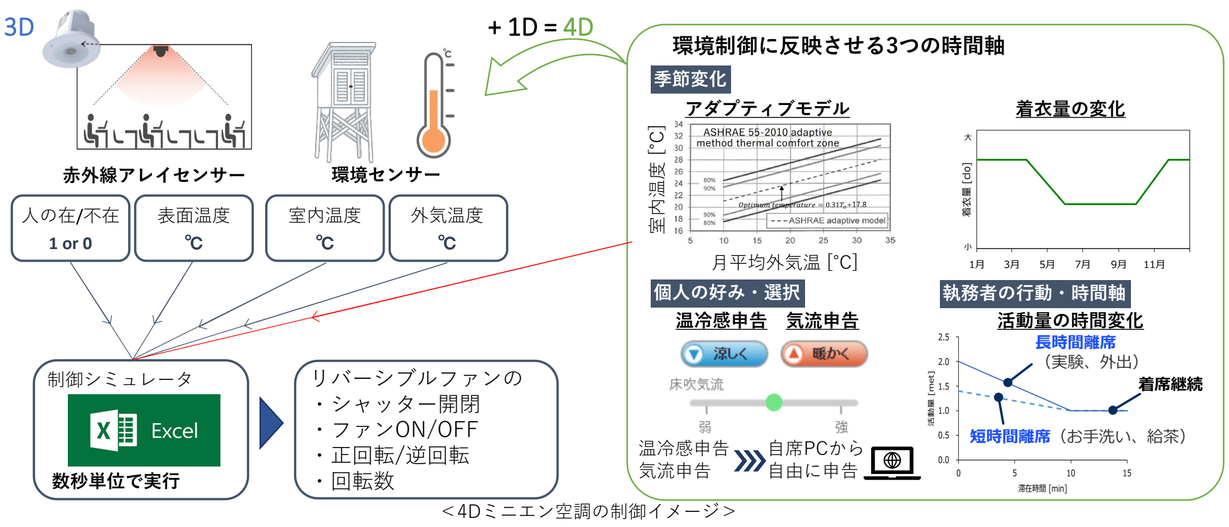
3D　①赤外線アレイセンサーによる検知情報
人感センサーによる在・不在に応じたファン制御を行い、滞在積算時間10sec以上で在席と判断、在席者付近のファンのみを稼働、ミニエン空間を構築

3D　②環境センサーからの物理情報
制御にはPMV（室内温度、相対湿度、平均放射温度、気流、着衣量、活動量）を活用し、室内温度以外の5要素の値からPMV=0となる温度を求め、ミニエン制御の目標値とする

+ 1D = 4D　③季節変化に対応
アダプティブモデルを活用し、人間の環境への適応を考慮。また季節による着衣量の変化をPMVに勘案

+ 1D = 4D　④個人の好み・選択
個人の温冷感申告と気流申告を、活動量と風量設定値に反映。申告後の経過時間や離席を感知し、一定時間後に申告を中央値に自動設定

+ 1D = 4D　⑤執務者の行動・時間軸に対応
滞在時間が短いうちは活動量を大きく設定し、徐々に静座の活動量に戻す。離席時間が短い場合は活動量の増加幅を低減し、PMVの計算に反映



＜4Dミニエン空調の制御イメージ＞

個々人のその時々の快適な空間の構築 + 『*ZEB*』のその先を目指したCNの実現に寄与

『*ZEB*』の課題解決②　OCだけでなくECの低減への対応

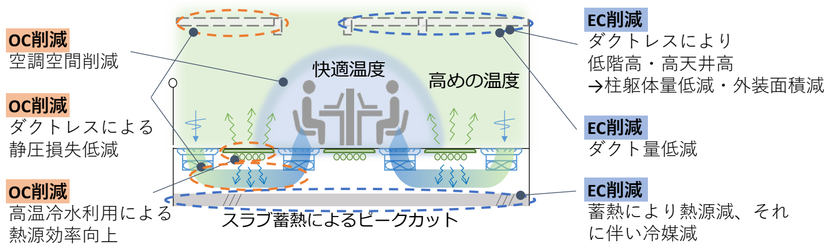
OCの低減に加え、ECの低減効果の試算を行った。本システムには、送風動力の低減やタスクアンビエントによるOCの削減に加えて、ダクトレスによる階高低減やピークカットによるECの削減効果もあり、カーボンニュートラルへ貢献する。

階高低減による2.0%の建築ECの削減
・柱躯体量低減・外装面積減 (9.5 %減) による削減 [2]

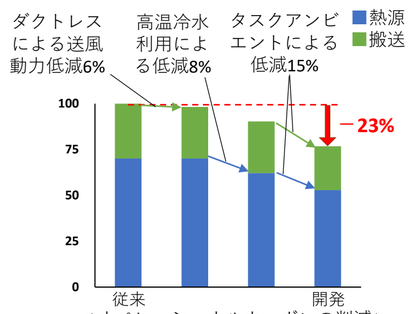
ダクトレス・ピークカットによる9.0%の設備ECの低減 [3]
・ダクトレス化により2.4%の設備ECの低減 [4]
・ピークカットによる熱源縮小と冷媒量減により10.6%の設備ECの低減 [5]
・床放射パネルの追加により4.0%の設備ECの増加 [6]

従来空調から23.0%のOCの低減
・ダクトレスによる静圧損失低減により6.0%の送風動力の低減 [7]
・2次側の高温冷水利用により空調エネルギー8.0%の低減 (熱源効率の向上) [8]
・タスクアンビエントにより空調エネルギー15.0%の低減 (空調空間の削減)[9]

試算条件
1) 床放射により同等の天井高確保前提で通常4200mの階高を3800mmとした。
2) 建築ECの削減量はコストベース試算による
3) 設備のCO２構成割合はMJD類似設計物件においてCIEBSのTM65に準拠して算出した値を利用
4) 空調機二次側をダクトレスとして、全体ダクト量を15%低減（MJD類似物件試算）
5) ピークカットによる熱源・冷媒低減割合は20%低減とした（ヒートポンプ蓄熱センター公開値）
6) 床放射のアルミニウム重量はメーカー値（リサイクルアルミ70%）
7) 2017/9空気調和衛生工学会　秋元ら　ZEBを目指した中規模事務所ビルの計画と検証
8) 2014/9空気調和衛生工学会　平須賀ら　顕熱処理コイルを利用した高温冷水活用による省CO2空調システムの開発
9) Fred S. Bauman, and Edward A. Arens: Task/Ambient Conditioning Systems-Engineering and Application Guidelines,Center for Environmental Design Research, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996.10



＜４Dミニエン空調のホールライフカーボン削減＞



＜オペレーショナルカーボンの削減＞

新菱イノベーションハブにおけるミニエン形成の確認

4Dミニエン空調を実装した新菱イノベーションハブの3階において実証実験を行った。

実験結果

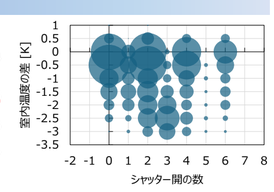
・ミニエン形成を確認

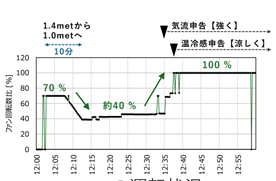
→　シャッターの開閉数に伴い、アンビエント域とタスク域の温度差を確認。効率的に空間を冷房できていることを確認

・リバーシブルファンの制御確認

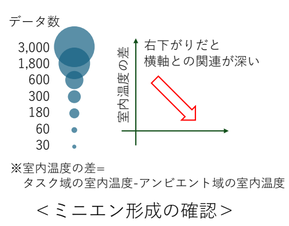
→　リバーシブルファンが執務者の代謝量や温冷感申告に応じて回転数比を制御できていることを確認

＜3階平面図＞





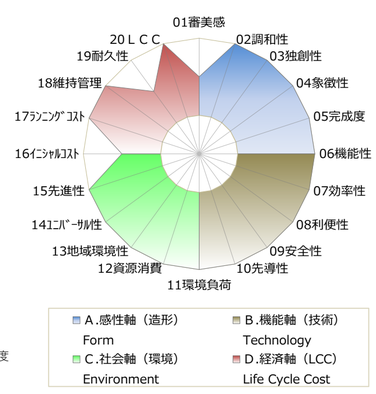
＜ファンの運転状況＞



※室内温度の差＝
タスク域の室内温度-アンビエント域の室内温度

＜ミニエン形成の確認＞

評価表



２つの『*ZEB*』の課題解決＋快適な空調空間の構築　＝　4Dミニエン空調システム