

令和8年4月27日

各報道機関文教担当記者 様

AI と仮想現実（VR）によるデジタルツインを用いた 空調エネルギー消費シミュレーションに成功

金沢大学融合研究域融合科学系の藤 瀨（とう しょう）特任助教は、自然科学研究科連携講座「空間計画学」の沈振江連携講座特任教授（兼 融合研究域・研究協力員）、自然科学研究科地球社会基盤学専攻博士後期課程の張雲天との共同研究により、**ルールベースの記号的 AI 計算と VR 技術を融合した、次世代の建築エネルギー評価モデル「VEEM-ZEB」を開発しました。**本モデルにより、ゼロエネルギービル（ZEB）（※1）の設計段階において、タスク・アンビエント空調（TAAC）（※2）の省エネルギー効果と室内の熱快適性を**リアルタイムに可視化・同時評価することが可能になりました。**

世界的な脱炭素化の進展を背景に、建築部門のエネルギー削減は喫緊の課題です。国内でも2030年までに新築建物のZEB基準達成が目標とされていますが、設計段階で空調方式の導入効果を直感的に検証できるツールはこれまで十分に存在していませんでした。本研究では、熱的快適性とエネルギー負荷を統合的に解析する独自の評価手法を構築し、VR空間上で設計条件を動的に変更しながら「省エネルギー性」と「居住者の快適性」を同時に検証できる設計支援環境を実現しました。その結果、TAACの導入により**年間平均7.62%の空調エネルギー削減効果**が確認されました。

本手法により、設計者は建物完成前に最適な空調方式を選択できるようになり、脱炭素化と快適性を両立した建築設計の実現が期待されます。本研究成果は、**次世代スマートビル**の設計基盤として**広範な応用が見込まれます。**

本研究成果は、2025年11月15日（英国時間）に、国際学術誌『Sustainable Cities and Society』に掲載されました。

【研究の背景】

近年、脱炭素化の進展に伴い、建築物のエネルギー消費削減が重要な課題となっています。ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB）の設計において、エネルギー効率と居住者の快適性を両立させることは、持続可能な建築を実現する上で極めて重要な課題です。しかし、従来広く用いられてきた静的シミュレーション手法では、設計段階における熱負荷や室内環境の変化を十分に評価することが難しく、設計判断に不確実性が生じやすいという課題が存在していました。特に、個人の作業空間と室全体を分けて制御するタスク・アンビエント空調（TAAC）システムについては、運用段階での省エネルギー効果は報告されているものの、設計段階で活用可能な評価手法が十分に整備されていませんでした。

そこで本研究では、設計段階から活用可能なデジタルツイン型評価モデルを開発し、空調の省エネルギー効果と快適性を事前に可視化・評価する手法の確立を目指しました。

【研究成果の概要】

本研究グループは、ZEB における TAAC システムを対象として、建築の設計段階（ex-ante）においてエネルギー消費量と室内熱快適性を同時に評価可能な、ルールベース型記号的 AI 計算駆動デジタルツインモデル「VEEM-ZEB」を構築しました。

本モデルは、タスク空調とアンビエント空調の熱負荷を明示的に分離し、PMV/PPD 指標に基づく熱快適性評価とエネルギー評価を統合的に実施できる点を特徴とします。さらに、VR と統合した可視化環境により、エネルギー消費量および快適性指標をリアルタイムに表示し、設計者が条件を操作しながら即時に評価結果を確認できる設計支援機構を実現しました。

また、標準化されたパラメータ設定に基づき、約 48,000 通りの設計・運転シナリオを体系的に生成・解析可能としました。四季条件、在室密度、行動モードの違いを考慮した感度分析およびオフィス空間での実証検証の結果、本手法により空調エネルギー消費量を約 7.0～8.5%削減でき、年間平均 7.62%の安定した省エネルギー効果が確認されました。

本研究の新規性は、従来運用段階に依存していた TAAC の性能評価を設計段階で実施可能とし、ルールベース型記号的 AI による可説明性・再現性の高い計算手法と、VR による直感的な可視化環境を統合した三層構造のデジタルツイン評価基盤を確立した点にあります。これにより、設計初期における空調方式や制御戦略の比較検討を定量的に行うことが可能となりました。

【今後の展開】

本研究成果は、建築物完成前の設計段階で空調方式の省エネルギー効果と室内快適性を同時に可視化・評価可能とするものであり、快適性と省エネルギー性を両立した合理的な ZEB 設計の意思決定支援ツールとして、建築設計実務への導入が期待されます。

本技術は、オフィスや公共施設、教育・医療施設など多様な建築用途へ展開可能であ

り、効率的な空調設計の普及を通じてエネルギー消費削減と光熱費低減に貢献します。さらに、ルールベース型記号的 AI とデジタルツインを統合した事前評価手法として、建築環境工学および ZEB 設計研究の発展にも寄与すると考えられます。

本研究は、日本学術振興会（JSPS）の科研費（KAKENHI）「ワークスタイルを考慮した ZEB 化の省エネマネジメントを可視化する VR ツール」（番号：23K04156）による支援を受けて実施されました。

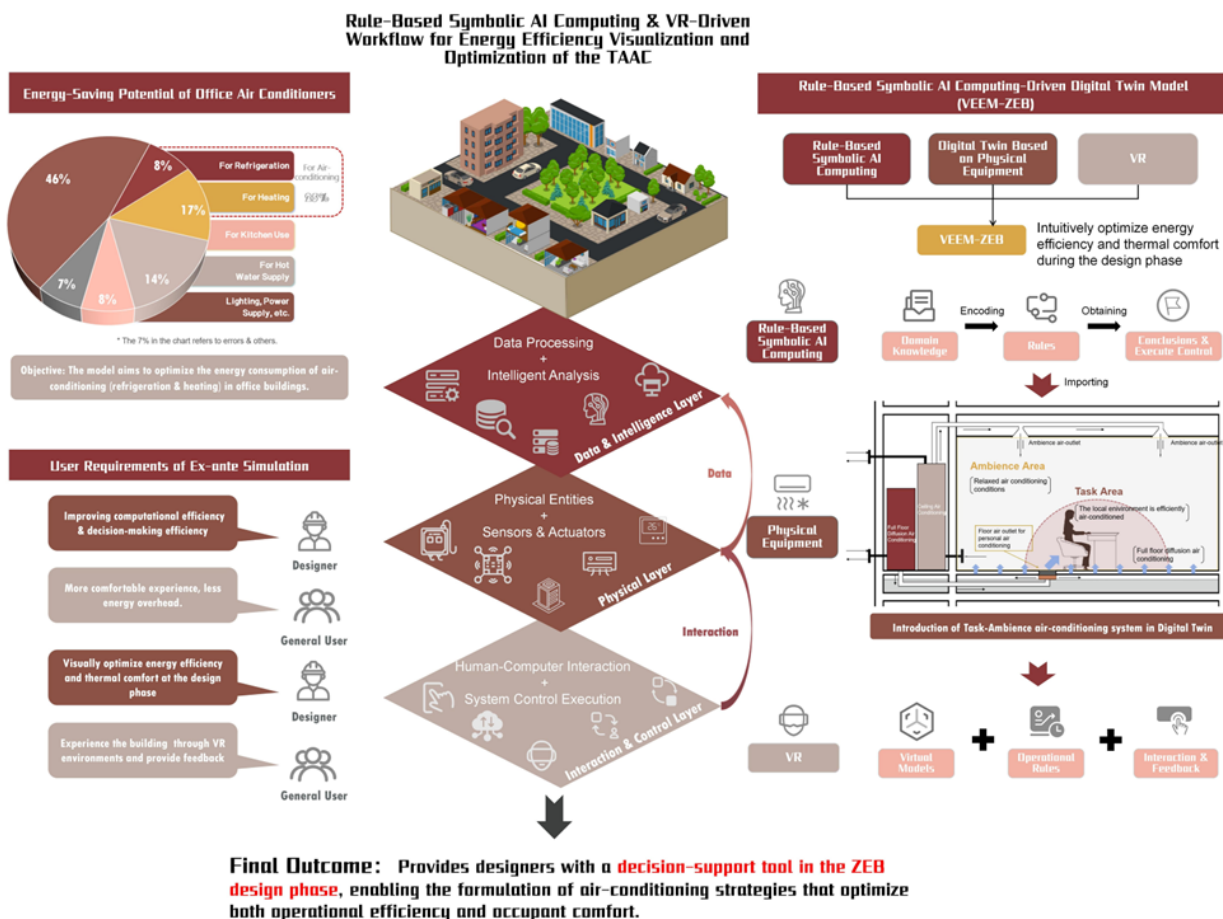
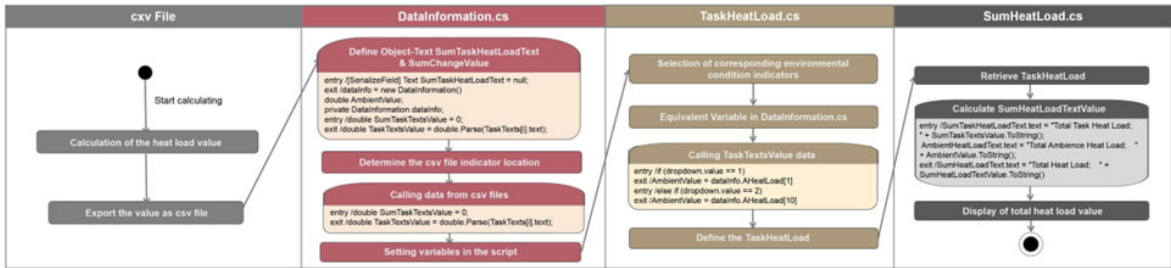
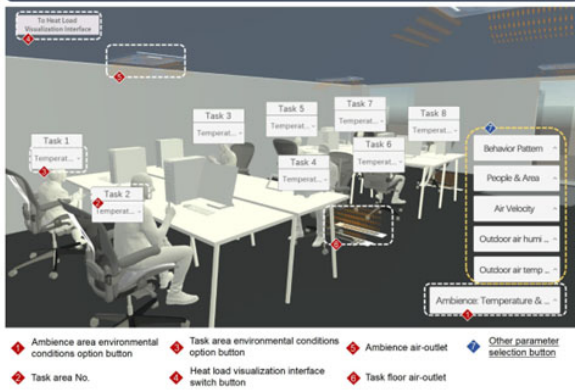


図1：ゼロ・エネルギー・ビルにおけるタスク・アンビエント空調の設計段階エネルギー性能を可視化するデジタルツイン評価フレームワーク

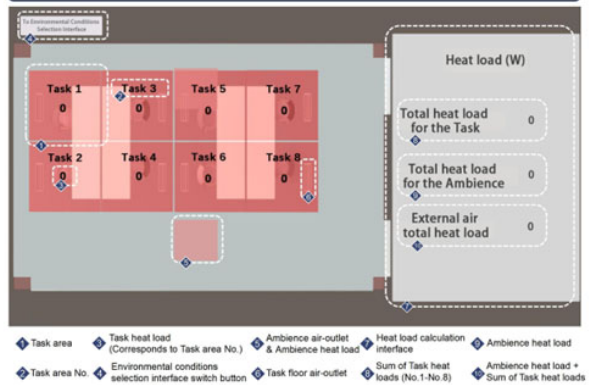
A. Calculator Script (DataInformation & SumHeatLoad) Activity Diagram



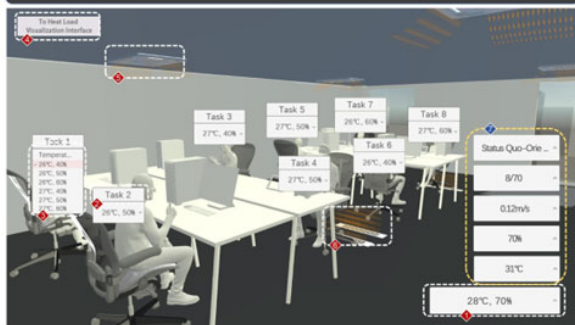
B. Environmental conditions selection interface



C. Heat load visualization interface

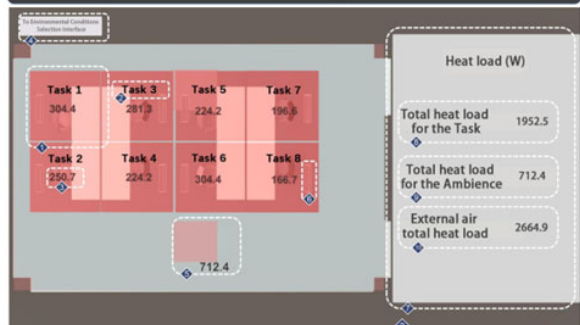


D. Environmental conditions selection interface operating procedure



- Step 1: Select the drop-down menu in [red diamond] and [blue diamond] as the environment setting value.
- Step 2: Select the temperature & humidity listed in the drop-down menu in [red diamond] as each Task air conditioning setpoint according to the Task area number listed in [red diamond].
- Step 3: [red diamond] and [blue diamond] start operation according to the Ambience & Task air conditioning set values and calculate the corresponding heat load value.
- Step 4: Press [red diamond] to switch to Heat load visualization interface to view the details of heat load value.

E. Heat load visualization interface operating procedure



- Step 1: In the [red diamond] Task area, check the [blue diamond] Task number and [red diamond] Task area heat load.
 - Step 2: [red diamond] interface shows the heat load [red diamond] total heat load of Task area (No.1-8), [red diamond] total heat load of Ambience area, and the combined heat load [red diamond] [red diamond].
 - Step 3: The value is displayed on the [red diamond] screen when air outlets [red diamond] and operate. If one stops, the corresponding heat load is 0.
 - Step 4: Press [red diamond] to switch to the Environmental conditions interface to adjust temperature & humidity or pause the air outlet.
- *All values are based on temperature & humidity from the Environmental conditions interface.

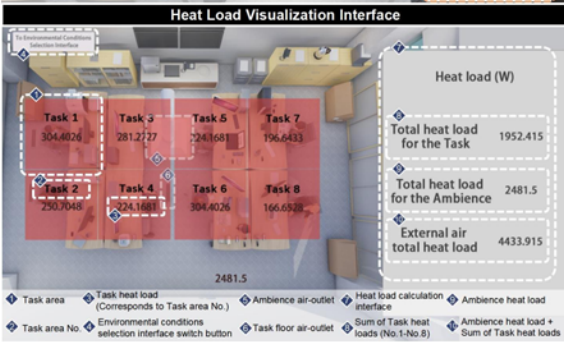
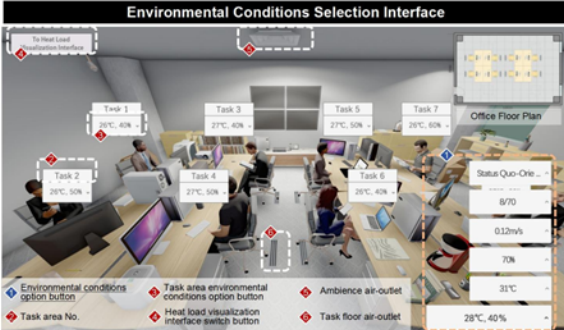
図 2：設計段階のエネルギー評価を支援するルールベース型デジタルツインのユーザーインターフェースと操作フロー

External environmental settings

Item	Abs Temp	Sat Vap Press	Vap Press	Abs Hum	Spec Enth
Unit	K	Pa	Pa	kg/kg(DA)	kJ/kg(DA)
Value	304.15	4246.03	2972.221	0.01992	82.16

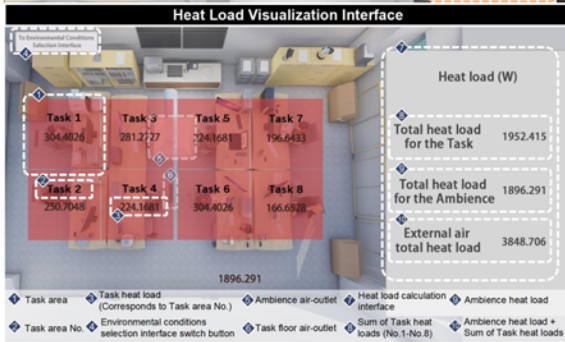
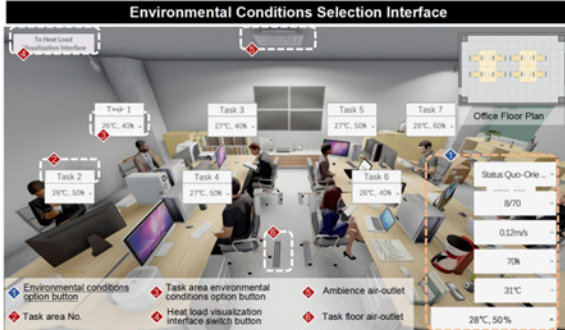
A. Ambience Temperature 28°C & humidity 40%

Task & Ambience Environmental Setpoint									
	Ambience	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	Task 6	Task 7	Task 8
T (°C)	28	26	26	27	27	27	26	26	27
H (%)	40	40	50	40	50	50	40	60	60



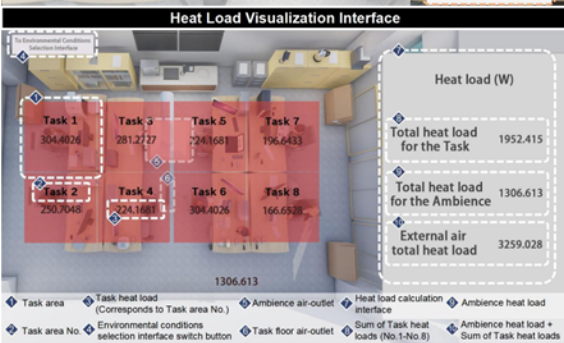
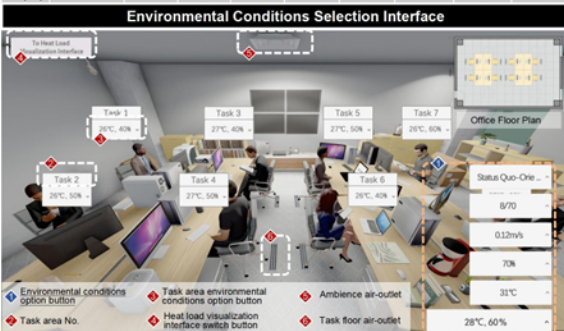
B. Ambience Temperature 28°C & humidity 50%

Task & Ambience Environmental Setpoint									
	Ambience	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	Task 6	Task 7	Task 8
T (°C)	28	26	26	27	27	27	26	26	27
H (%)	50	40	50	40	50	50	40	60	60



C. Ambience Temperature 28°C & humidity 60%

Task & Ambience Environmental Setpoint									
	Ambience	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	Task 6	Task 7	Task 8
T (°C)	28	26	26	27	27	27	26	26	27
H (%)	60	40	50	40	50	50	40	60	60



D. Ambience Temperature 28°C & humidity 70%

Task & Ambience Environmental Setpoint									
	Ambience	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	Task 6	Task 7	Task 8
T (°C)	28	26	26	27	27	27	26	26	27
H (%)	70	40	50	40	50	50	40	60	60

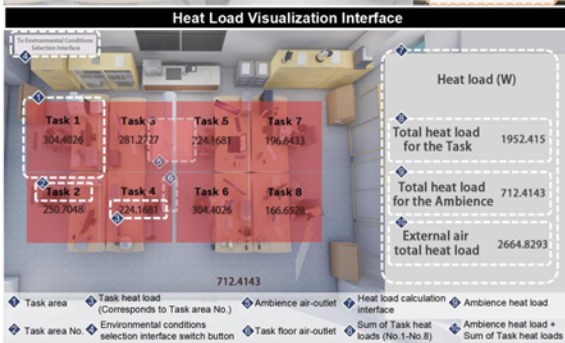
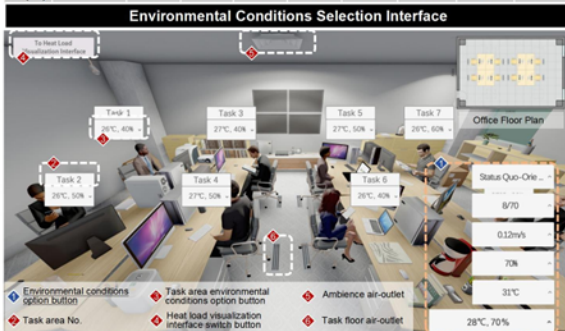


図3：ルールベース型記号的 AI 計算駆動デジタルツイン (VEEM-ZEB) におけるタスク・アンビエント環境設定とインターフェースによる熱負荷可視化

【掲載論文】

雑誌名： *Sustainable Cities and Society*

論文名： Rule-based symbolic AI computing-driven digital twin model for ex-ante energy evaluation of task-ambience air conditioning systems in zero-energy buildings

(ゼロ・エネルギー・ビルにおけるタスク・アンビエント空調の設計段階エネルギー事前評価のためのルールベース記号的 AI 駆動デジタルツインモデル)

著者名： 滕 瀟, 沈 振江, 張 雲天

(Xiao Teng, Zhenjiang Shen, Yuntian Zhang)

掲載日時： 2025 年 11 月 15 日 (英国時間)

DOI： 10.1016/j.scs.2025.106947

【用語解説】

※1：ゼロエネルギービル (ZEB)

年間の一次エネルギー消費量を実質ゼロにすることを目指した建築物。

※2：タスク・アンビエント空調 (TAAC)

作業エリア (タスク) と周辺空間 (アンビエント) を分けて制御する空調方式。

【本件に関するお問い合わせ先】

■ 研究内容に関すること

金沢大学融合研究域融合科学系 特任助教

滕 瀟 (とう しょう)

TEL：076-234-4755

E-mail：riendyteng@se.kanazawa-u.ac.jp

■ 広報に関すること

金沢大学先端科学・社会共創推進機構 特任准教授

山崎 輝美 (やまざき てるみ)

金沢大学融合系事務部総務課企画総務係

義本 慎也 (よしもと しんや)

TEL : 076-264-5920

E-mail : yugosomu@adm.kanazawa-u.ac.jp