

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	Architectural Design Approach Facilitating Energy Simulation as Design Performance Modeling
氏 名	WEN LIWEI
<p>Facing the increasing demand on energy efficiency and sustainability certificate, building energy/performance simulations are increasingly required to be integrated into the early design stages because that the design decisions made in these stages significantly impact the final performance of buildings. These simulations performed in the concept and schematic design stages for informing design decisions are named as design performance modeling (DPM) by American Institute of Architects (AIA). However, the numerous uncertainties on design parameters during the early design stages complicate the integration of DPM. In addition, insufficient intelligence approaches which can be used to inform design decisions based on the analysis results also impedes the exertion of the effect of DPM in guiding the design towards better performance.</p> <p>The main purpose of this thesis is to develop flexible approaches for facilitating the high accuracy and efficiency implementation of DPM towards performance-based design decisions making. To achieve this goal, we conduct the study in two aspects. The first aspect is to develop approaches for assigning robust default values which are defined as tentative values for uncertain design parameters required by DPM for discussing a target design variable. The other aspect is to develop an efficient approach for performing DPM and informing the corresponding design decisions.</p> <p>This thesis is constituted as follows.</p> <p>Chapter 1 firstly presents the research background, purpose, and the construction of this thesis. The following review study in this Chapter focuses on simple building performance evaluation tools which are supposed as tools for performing DPM in this study. The reason is that these simple tools can be used to perform DPM with less detailed building information as inputs. The necessary inputs of ten simple tools and their organization measures are reviewed to search the inputs which are difficult to be accessed in design practice. An additional criterion is that these inputs have an influential impact on the evaluation results. Consequently, window configuration including rough window area and window geometry, and natural ventilation information including air change rate and rough natural ventilation strategies are selected as the support objects of this thesis.</p> <p>Chapter 2 describes an approach developed for supporting the default value assignment of rough window area which is represented as window-to-wall ratio (WWR) and generally required in the beginning stages of design process. It is realized by the creation of recommended WWR maps based on the analysis results of integrated simulation investigations and optimizations. A case study is conducted to create recommended WWR maps in Japan. The novelty of the proposed maps is to show architects with the recommended setting direction of WWR towards which building performance becomes better in contrast to global optimal default values. According to the integrated simulation results from case study, the distribution of the optimal WWR under varying design conditions exhibits three overall patterns: (i) As the WWR decreases, the CO₂ emissions decrease. (ii) An appropriate WWR value exists (30-50 %) at which the CO₂ emissions are minimized. (iii) As the WWR increases, the CO₂ emissions decrease. Therefore, three options of a small, moderate, or large default WWR value are available from the created maps according to the characteristic of new projects.</p> <p>With the design progressing, the default WWR value mentioned in Chapter 2 can be replaced by the actual design value. Therefore, Chapter 3 develops an efficient approach for performing DPM to assist the</p>	

determination of optimal window geometries including window height, window width and window location on the wall. A procedure for creating the response surfaces between window geometries and building performance by combining the analysis results of dynamic daylighting simulation which is performed to analyze the daylight use and energy simulation is developed. The response surfaces can not only show architects with the optimal solution but also help architects to understand to what extent they can widen or narrow the window geometry without significantly decreasing the building performance. The novelty of the proposed procedure is to address the enormous number of simulations for exploring the surface features. It is realized by the adoption of the link between daylight factor (DF) and continuous daylight autonomy (cDA). In case studies, the daylighting simulation tool of DAYSIM and energy simulation tool of EnergyPlus are used to create response surfaces. With the proposed link, the number of dynamic daylighting calculation which trends to time consuming is limited to be only one. In addition, the lighting electric saving can also be calculated using the results from DAYSIM and EnergyPlus simulations. The impact of COPs for the cooling/heating systems on the features of the response surface can be easily determined. Higher COP results in a narrow selectable design range of window geometry in case where the same percentage of building performance degradation is acceptable. The proposed method is also validated in this Chapter.

Chapter 4 describes a developing approach from an earlier study for supporting the data filling associated with natural ventilation. This approach is achieved by showing the maps of target air change rate. It is defined as an air change rate at which the increase in cooling effect from natural ventilation reaches the maximum value. The ultimate purpose of this Chapter is to create the world target air change rate maps for facilitating the early natural ventilation design. However, it is necessary to confirm the robustness of target air change rate under the representative conditions of building model and construction specifications in advance of the maps creation for a country. Therefore, this Chapter reports the availability of this method in China. Case studies are firstly conducted to examine the robustness of the target air change rate using a typical Chinese office building model with representative operation conditions in five climate zones of China. Then, the target air change rate and natural ventilation potential maps from China are created based on the verified method to inform the air change rate and rough natural ventilation strategy. For example, well organized natural ventilation strategies with an air change rate above 3ac/h are required in the Hot Summer and Warm Winter zone and Temperate zone under moderate internal gains condition. These strategies are particularly suggested for cities in the Temperate zone with warm climate due to the higher available cooling potential.

For final conclusions, Chapter 5 summarized the main findings of this study and recommended key areas for further studies.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 730 号	氏名	温 麗維
最終試験担当者		主 査	小金井 真
		審査委員	泉 秀明
		審査委員	福代 和宏
		審査委員	藤田 正則
		審査委員	樋山 恭助
		審査委員	金 炫兌
【論文題目】			
Architectural Design Approach Facilitating Energy Simulation as Design Performance Modeling (建築設計初期段階におけるエネルギーシミュレーションの効率化に関する研究)			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】			
<p>地球環境問題が広く認識される現代において、日本における CO2 排出量の多くを占める民生部門における一次エネルギー消費量を低減する方策の提案は喫緊の課題となる。この課題の下、日本政府が ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル：年間を通じた1次エネルギー消費量が正味でゼロとなる建築物) を新築建築物の標準とする意欲的な目標を掲げる等、社会的な機運は高まりつつあり、居室者が快適な環境を享受しながらも、空調や照明といった建築設備におけるエネルギー使用量を最小化する建築物を実現する建築設計手法の確立が求められている。現在、目標とする環境性能と省エネ性能を両立させる建築設計プロセスの議論が学識者及び実務者の間で重ねられており、まずは建築の大枠が議論される設計初期段階において、建築物にかかる負荷を抑制するための躯体形状や仕様、また自然エネルギーの活用を検討することの重要性が、社会の共通認識として広まりつつある。一方で、実際に設計において、この建築物の躯体仕様最適化や自然エネルギー利用の最大化を実現するための基盤技術は十分に発達しているとは言い難い。具体的には、建築物の環境性能を評価するためには建築エネルギーシミュレーションが必要とされるが、建築物の概要が議論される設計初期段階において、最終的に建設される建築物の仕様に関して未確定な情報が多いことが、その実現の障壁となっている。本研究は、この課題を背景とした、建築設計初期段階における意思決定の際に参照とする建築環境性能を分析するシミュレーション技術の高度化に供するものとなる。</p> <p>第1章では、研究背景として、建築設計初期段階における環境系シミュレーション技術の社会需要、及び社会普及のために必要とされる技術開発要件をまとめており、審査論文が対象とする研究内容と論文構成を明示している。本研究では、建築仕様の多くが未確定となる設計初期段階において、シミュレーションを実施するために必然となる暫定的な入力値をデフォルト設定値と定義し、その適切な選択手法を開発している。また、本研究が対象とする学術領域の調査の結果、その研究対象としては、シミュレーションの精度に与える影響が特に大きく、研究開発に対する社会的な需要が大きい窓計画と自然換気計画を選定している。</p> <p>第2章では、「DPM (Design Performance Modeling) における最適窓面積率情報を提供するための推薦窓面積率マップの作成法の提案」として、建築物の外皮面積に対する窓の割合となる“窓面積率”に関するデフォルト設定値の適切な選択手法を提案している。標準的なオフィス建築物モデルを用いた膨大なケーススタディの下で、建築物の省エネルギー性を最大化する窓面積率の決定に高い感度を示す要素を分析している。結果、地域性(気象条件)と昼光利用の結果によりそのエネルギー使用量と冷房負荷へ大きく影響を与える照明設備仕様の二つの要素が、窓面積率推奨値の決定の主要因となることを解明し、この二要素</p>			

素を考慮した推奨窓面積率の提示手法を提案している。本章の成果は、日本の推奨窓面積率マップとして建築設計の実務において利用可能な形にまとめられている。本資料は、本研究の主目的となるデフォルト設定値の提供と共に、日本における省エネ建築物の窓面積率に関して、その設計方針を建築家が視覚的に理解できる建築設計資料として有用である。

第3章では、「最適窓形状情報を提示するための窓形状に対する建築性能応答局面の簡易生成法の提案」として、少ない計算負荷で高精度な分析が可能な計算ロジックの開発を実施している。窓計画は、空調設備と照明設備のエネルギー使用量の両方に影響を与えるため、その検討には空調設備設計用のエネルギーシミュレーションと、照明設備設計用の光環境シミュレーションの両方を行う必要があり、必然的にその計算負荷と労力が大きくなる傾向にある。本章では、設計変数の変化に伴う建築性能の変化を把握する応答曲面を数回のシミュレーション結果から作成することで、窓寸法・配置の最適化におけるシミュレーション回数の抑制を達成している。建築物の窓設計においては、建築設計の開始段階で窓面積率の目安を検討した後、具体的な寸法や配置を検討していくことが多い。第2章における提案は、この内の窓面積率の決定に寄与する技術の開発であり、本章（第3章）の開発技術が後段階に来る窓寸法と配置の決定に寄与することで、本論文では建築設計初期段階における窓設計に関する一連の意思決定を支援する技術開発となっている。

第4章では、「自然換気初期設計を支援するための目標換気回数と自然換気ポテンシャルマップの作成」として、自然換気計画における目標換気回数に関するデフォルト設定値の適切な選択手法を提案している。本章ではまず、建築物の運用時のCO₂排出量を効果的に抑制するために必要とされる自然換気性能を目標換気回数と定義し、その決定手法を標準的なオフィス建築物モデルを用いた膨大なケーススタディの下で検討している。この結果から、必要とされる自然換気性能の決定に高い感度を示す要素を分析し、地域性と建物用途を考慮した目標自然換気回数の算出手法を検証している。また、実務における研究成果の活用を意図し、設計資料の整備を実施しており、その成果は中国における目標換気回数と自然換気ポテンシャルマップとして整備されている。本マップは、建築条件（立地、内部発熱量）に対応した自然換気の目標と効果の類型化を可能としており、このマップ自体が建築設計資料として有用な情報を備えている。

第5章では上述の研究成果をまとめ、その研究展開の可能性に言及することで総括としている。

【公聴会における主な質問内容】

(1) 研究成果の展開、特に建築設計初期段階における活用に関して；(2) 既往の研究との違い、特徴；(3) 研究対象として窓配置情報と自然換気性能情報を対象とした理由；(4) エネルギーモデリングタイプに関する区分の詳細に関して；(5) 建物性能簡易評価ツールを研究対象に選んだ理由；などに対する質問があった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より、本研究は実用性、創造性、有効性、信頼性ともに優れ、博士（工学）の学位論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格と判定した。

【関連論文の発表状況】

- 1) Liwei Wen, Kyosuke Hiyama, A review: simple tools for evaluating the energy performance in early design stages, *Procedia Engineering*, Volume 146, 2016, Pages 32-39
- 2) Liwei Wen, Kyosuke Hiyama, Makoto Koganei, A method for creating maps of recommended window-to-wall ratios to assign appropriate default values in design performance modeling: A case study of a typical office building in Japan, *Energy and Buildings*, Volume 145, 15 June 2017, Pages 304-317
- 3) Kyosuke Hiyama, Liwei Wen, Rapid response surface creation method to optimize window geometry using dynamic daylighting simulation and energy simulation, *Energy and Buildings*, Volume 107, 2015, Pages 417-423