

平成 30 年 5 月 10 日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2017

課題番号：25709051

研究課題名(和文) BIMを用いた建築設計情報のゲノム化と情報遺伝によるフロントローディングの実現

研究課題名(英文) Front Loading based on Information Inheritance of Building Design Genome Utilizing Building Information Modeling

研究代表者

樋山 恭助 (Hiyama, Kyosuke)

明治大学・理工学部・専任准教授

研究者番号：10533664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、設計初期段階におけるシミュレーションを用いた環境性能評価を実現するため、そのデフォルト設定値の適切な入力を支援するシステムの構築を目的とし実施した。この目的の下、デフォルト設定値の定義及び既存建築設計データからの導出方法を開発した。また、環境的建築設計のために必要となる種々のデフォルト設定値(例：自然採光設計用の窓面積率、自然換気設計用の目標自然換気回数等)のデータベースを、シミュレーションを用いて整備した仮想建築物データに基づいて作成した。

研究成果の概要(英文)：This research was carried out to develop a method to lead appropriate default values to implement a building performance modeling at an early stage of building design. The definition of the default values was discussed first. Then, the method to create the values was proposed. Some case studies were conducted to check the validity in the real building design. Additionally, databases of variable default values for sustainable building designs, e.g. window to wall ration for daylighting design and target air change rate for natural ventilation design, were created.

研究分野：建築環境デザイン

キーワード：BIM 建築環境 シミュレーション アルゴリズムックデザイン

1 . 研究開始当初の背景

建築業界の IT 化に伴い、近年、Building Information Modeling (以下、BIM) の導入が本格的に検討され始めている。BIM の導入は、建築設計の初期段階から、建築家が技術者、施主や施工者と精度の高い調整を進めることを可能にすることが期待されている(図 1)。結果、設計の意思決定の多くを設計初期段階に移行させるフロントローディングが可能となり、設計の高度化と効率化が期待されている。設備設計においては、フロントローディングの一環として、設計初期段階におけるシミュレーションの実施への期待が高い。特に、政府が目指す将来的な ZEB (ゼロ・エネルギー・ビル) の義務化の下では、高度な環境性能を実現する設計が求められ、必然的に設計早期段階におけるシミュレーションを用いた精緻な検討への需要が増すことが予測される。ただし、現状の設計初期段階におけるシミュレーションは、その未確定要素の多さ故に解析結果の精度は低い。結果として、設計の手戻りや設計後期段階における再計算が必要になることが多く、労力の増加に繋がる懸念され、フロントローディングに期待される設計の効率化と矛盾する。この矛盾を解決すべく、設計初期段階において精度の高いシミュレーションを実現するための技術開発が求められている。設計初期段階のシミュレーションの実施においては、設計変数以外の未確定要素に対して、設計者の勘に基づく暫定値として「デフォルト設定値」を入力する事となる。シミュレーション精度の低下は、この暫定的に入力されたデフォルト設定値が、設計の進行に伴い大きく変動することに起因していた。

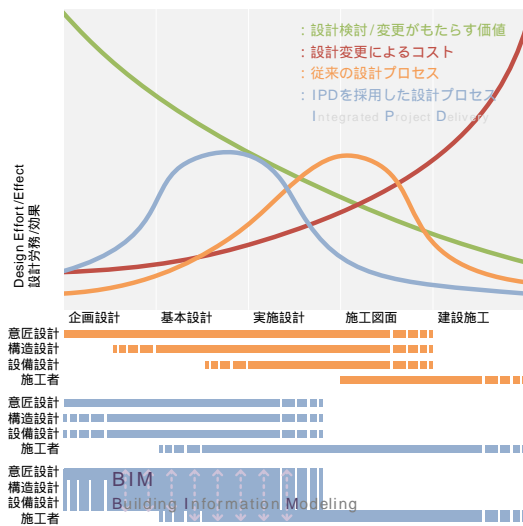


図 1 Macleamy Curve 設計労務/効果曲線

2 . 研究の目的

本研究課題は、このデフォルト設定値を、BIM により累積された既存の設計検討結果から統計的に導出することで、その適正を確保し、設計の進行に共なった変動を最小化する

ることで、設計初期段階におけるシミュレーション精度を向上させるシステムを構築することを目標とした。

本研究では、建築を構成する各情報を“遺伝子”と捉え、設計プロセスは、この遺伝子情報を最適化させるものと捉える。従来の 2 次元設計図面は、描画を人が視覚認識することで建築の要素を認知していた事に対し、オブジェクト指向データベースに基づく BIM による設計図面は、建築要素(柱・壁・空調機 etc.) の情報そのものの集合となるため、遺伝子と同様に構成要素による設計データの分析が可能となる。つまり、従来の 2 次元設計図面では不可能だった、既存設計データの要素分解と統計的な情報処理が可能となる。この技術は、最適化された設計情報は経験知として次の設計に継承されるに止まっていた既存の設計プロセスを変革し、要素分解された設計情報(遺伝子)から、次の設計の初期モデル(ゲノム)を構成することで、直接的に既往の検討結果を継承することを可能とする。本研究では、この技術を用い、設備設計で必要となる、設計初期段階におけるシミュレーションのデフォルト設定値を導出するシステムの構築を目的とした。

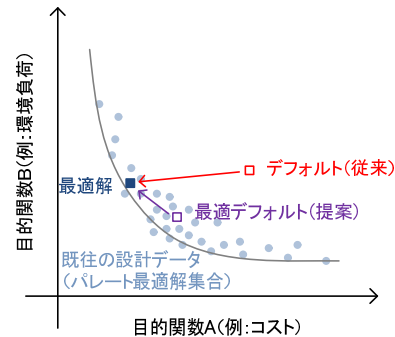


図 2 統計処理のイメージ

理想的な設計データ集合はそれぞれに優劣の無いパレート最適解集合であり、この中央値をデフォルトとすることで、あらゆる設計の帰結にもロバスト性を確保する。

3 . 研究の方法

本研究は、まずシミュレーションに利用するデフォルト設定値の最適化アルゴリズムの開発を実施した。次に、自然採光や自然換気といった今後の環境的建築物の設計において、その効果の最大化を図る必要がある設計要素に関して、最適設計を実現するデフォルト設定値の検討を実施した。

4 . 研究成果

まずデフォルト設定値の最適化アルゴリズムを開発した。ここで、デフォルト設定値は以下のように定義した。

「建築の性能の確認のためにシミュレーションを行う際、シミュレーションは設計者にデータ入力を要求する。シミュレーションの実施が最適化を目的とする場合、その目的関

数を最大化（若しくは最小化）するために、検討の対象とする設計変数は一定の幅を持って設定される。入力データは、この設計変数として定義されるものと、その他の固定化された値とに分類される。この固定値は、シミュレーション実施以前の検討で決定されていけば問題ないが、それ以外の場合は、暫定的な値を入力する必要がある。この暫定的な値を、本研究ではデフォルト設定として定義する。」

次に、このデフォルト設定値を BIM で応用するため、設計データベースを利用し、新規プロジェクトにおけるクラス定義のデフォルト設定を導出する方法を提案した。デフォルト設定値が、最適化探索時のパレート最適解集合の重心に位置するように、式 1 のようにしてデフォルト設定値 ($D_{n+1,j}$) は、案件 i における仕様 j の値 $P_{i,j}$ との偏差をデータベース内の仕様 j の最大値と最小値で基準化した値の二乗和 F^2 を最小にする値として定義する。ここで仕様とは、窓面積率・窓寸法等、設計プロセス内で決定していく設計変数の対象を意味する。なおデフォルト設定値は既存のデータベースから自動的に生成することを意図している。このため、データベースが更新され、その集合の形態が変化するに伴い、デフォルト設定も自動的に更新されていく。

$$F^2 = \sum_j \sum_i W_i W'_i \left(\frac{D_{n+1,j} - P_{i,j}}{P_{\max,j} - P_{\min,j}} \right)^2 \quad (式 1)$$

$P_{i,j}$: 案件 i における仕様 j の値

$D_{n+1,j}$: 蓄積データ数が n 個の時の新規プロジェクト $n+1$ に設定する仕様 j のデフォルト設定値

W_i : データの新旧に依存する案件 i の重み係数

W'_i : 設計の進捗に依存する案件 i の重み係数

$P_{\max,j}$: データベース内の仕様 j の最大値

$P_{\min,j}$: データベース内の仕様 j の最小値

このデフォルト設定値導出手法の効果を確認するため、最適化問題で扱われる例の多い窓設計問題を対象としたケーススタディを実施した。自動生成するデフォルト設定の対象は窓に関する設計変数とする。例えば、窓面積率 (WWR) を対象とした場合、図 3 に示すように窓が配置されるファサード方位数、及び採光用の主方位別に異なるデフォルト設定値が得られた。また、式 1 にある重み係数 W_i の意義を確認した。一例として、ケーススタディ中の一条件における最適化計算の結果を図 4 に示す。全探索を実施した最適値と、他の条件による最適解からデフォルト設定値を重み無しに用いて導出した値では、一定の乖離を持つ。一方で、最適化対象の建築条件と同様の条件を持つ設計解に重みを付けてデフォルト設定値を導くことで、

その値が最適解に近づくことが確認された。

Number of Façade with Windows

	n.d.	1	2	3
Main Direction for Daylight				
n.d.	32.5	36.7	32.5	28.3
N	33.3	37.5	33.2	29.2
E	33.1	37.3	33.0	29.0
S	31.7	35.8	31.8	27.5
W	31.9	36.0	32.0	27.7

図 3 WWR デフォルト設定値

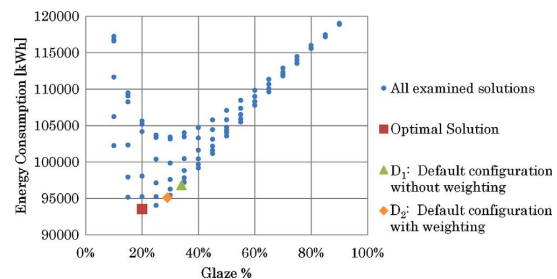


図 4 重み係数設定の意義

前述したケーススタディは建築自体の仕様を対象とした検討となるが、デフォルト設定値は立地条件（気候条件、開放可能な窓方位）にも影響を受ける。そこで、これらの条件別にデフォルト設定値を導出する手法も開発し、シミュレーションによる暫定的なデータに基づくデータベースも整備した(図 5)。

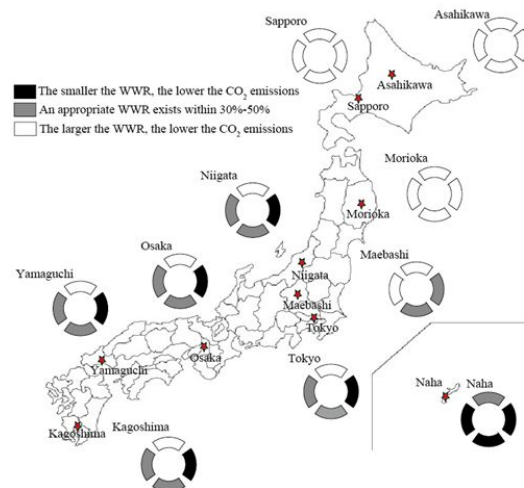


図 5 日本における方位別の WWR デフォルト設定値提案

なお、現時点では十分な実在建築のデータベースが整備されていないため、研究代表者らがシミュレーションを用いて暫定的に構築したデータベースを下に検討を進めたが、実際のデータベースが整った際は、これらを置き換えることで、研究課題が意図するゲノム化（デフォルト設定値化）した建築設計情

報の情報遺伝が実現する。

WWR は、特に自然採光設計において重要な情報となる。デフォルト設定値はシミュレーションの初期値であり、その値は設計の進行と共に更新されていくことを前提とする。近年の採光設計においては年間シミュレーションを用いた評価指標（例えば Daylight Autonomy）を用いて最適化することが一般的となった。ただし、計算機技術が劇的に発展したとはいえ、現時点では年間シミュレーションにはそれなりの計算負荷がかかり、最適化計算における繰り返し計算の回数を最小化する方策が必要である。そこで、本研究のデフォルト設定値の最適化が有効に作用すると共に、本研究課題では昼光率と Daylight Autonomy の対応を同じく既往建築設計の情報から引き継ぎ窓配置に対応した応答局面を作成することで、その最適化の計算負荷を大きく抑制する手法を開発した。

環境的建築の実現においては自然換気設計も重要であり、本研究課題が意図するシミュレーションによる設計を進める際の適切なデフォルト設定値の導入が必要とされる。そこで、自然換気に関しても同様の検討を進め、設計開始時点に必要なデフォルト設定値としての目標換気回数と、換気設計を進めるにあたり用いる情報として net Thermal Autonomy を定義し、それぞれに関して既存データからの導出手法の開発とデータベースの整備を実施した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

- [1] 樋山恭助, BIM と建築環境解析技術の連携とフロントローディング, 計算工学 19, pp.3083-3086, 2014
- [2] Kyosuke Hiyama, Assigning Robust Default Values in Building Performance Simulation Software for Improved Decision-Making in the Initial Stages of Building Design, The Scientific World Journal; Recent Advances on Building Information Modeling (BIM), pp.1-11, 2015
- [3] Kyosuke Hiyama, Leon Glicksman, Preliminary design method for naturally ventilated buildings using target air change rate and natural ventilation potential maps in the United States, Energy 89, pp.655-666, 2015
- [4] Kyosuke Hiyama, Liwei Wen, Rapid response surface creation method to optimize window geometry using dynamic daylighting simulation and energy simulation, Energy and Buildings 107, pp.417-423, 2015
- [5] 樋山恭助, 佐藤慶直, デイライトオートノミーを用いたペリメータ領域における昼光照明可能性の検証, 日本建築学会技術報告集 22, pp.189-193, 2015
- [6] Liwei Wen, Kyosuke Hiyama, A Review: Simple Tools for Evaluating the Energy Performance in Early Design Stages, Procedia Engineering 146, pp.32-39

- [7] Mika Nomura, Kyosuke Hiyama, A review: Natural ventilation performance of office buildings in Japan, Renewable and Sustainable Energy Reviews 74, pp.746-754, 2017
- [8] 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 145, pp.304-17, 2017
- [9] Liwei Wen, Kyosuke Hiyama, Target Air Change Rate and Natural Ventilation Potential Maps for Assisting with Natural Ventilation Design During Early Design Stage in China, Sustainability. 2018; 10: 1448

〔学会発表〕(計4件)

- [1] Kyosuke Hiyama, Leon Glicksman, Investigation of Link between Air Exchange Rate and Operational Frequency of Cooling Systems to Create a Design Target for Natural Ventilation during the Early Stages of Building Design, the 2nd Asia conference of International Building Performance Simulation Association; ASim2014, 名古屋大学, 2014-11-28
- [2] 温麗維, 樋山恭助, Design Performance Modeling における窓面積率の設定手法に関する研究 その1 設計条件が窓面積率の最適値に与える影響の考察, 日本建築学会大会, 東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市), 2015-09-04
- [3] 樋山恭助, 温麗維, Design Performance Modeling における窓面積率の設定手法に関する研究 その2 窓形状に対する建築性能応答曲面の簡易生成法の提案, 日本建築学会大会, 東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市), 2015-09-04
- [4] Liwei Wen, Kyosuke Hiyama, Influence of Design Conditions on the Distribution of Optimal Window to Wall Ratio for a Typical Office Building in Japan, Building Simulation and Optimization 2016, England, 2016-09-12

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

樋山 恭助 (HIYAMA, Kyosuke)

2013-2015 年度: 山口大学・工学部・准教授

2016-2017 年度: 明治大学・理工学部・専任准教授

研究者番号: 10533664