

BIM を利用したシステム建築の モジュラーコーディネーション支援手法に関する研究 Study on a Modular Coordination Support Method for Prefabricated Building using BIM

○黒岩 弦太*¹, 大西 康伸*²
Genta KUROIWA*¹ and Yasunobu ONISHI*²

*1 熊本大学大学院自然科学教育部 大学院生

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

*2 熊本大学大学院先端科学研究部 教授 博士 (学術)

Professor, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Ph. D.

キーワード：プレハブ；モジュール；設計プロセス；スケッチ；自動化；ビジュアルプログラミング

Keywords: Prefabricated; Module; Design Process; Sketch; Automation; Visual Programming.

1. 研究の背景と目的

システム建築は、「建物を構成する部材の寸法（モジュール）や形状、配置位置、設計・施工におけるプロセスを規格化する」、「工場で部材を大量生産する」、「現場で部材を組み立てることで建設する」という特徴を持った建築である¹⁾。部材の寸法や配置位置が規格化されていることから、低コスト・短工期を実現している。また、施主の要望に応じて部分的に部材の寸法や配置位置を変更することで設計の自由度を高めることはできるが、その割合が多いほどシステム建築の利点が得られないため、施主の要望とコスト・工期のせめぎ合いの中でバランスをとる必要がある。一方、同様の構法を用いた建築の中で、プレハブ建築があげられる。プレハブ建築はシステム建築に分類されるが、規格通りに設計するため、低コスト・短工期を重視した建築であると言える。

システム建築の設計・施工を行う大手企業である DL 社において、大まかな間取りを作成する企画設計段階では、営業担当者が施主の要望を取りまとめる打ち合せを行う。その際、要望に基づいて簡易な図面を手描きや 2 次元 CAD で作成するが、設計に関する技術的な知識に乏しいため、その後設計者が耐震性や経済性をバランスさせながら、システムモジュールにある程度則ったプランへ修正する。

一方、近年 BIM の導入による設計業務の効率化が図られている。BIM は予め作成された部材を組み合わせてモデリングを行うツールであり、それがシステム建築の特徴と合致するため、システム建築は BIM による設計支援の対象として適しているといえる。また、システム建築は寸法や配置位置が規格化されているため配置ルールを定めやすく、BIM モデリングの自動化による設計業務の効率化が可能であると考えられる。しかし、営業担当者による間取

り作成に BIM が利用されることはほとんどなく、その後の基本設計段階への情報の受け渡しは課題となっている。また、施主の要望とコスト・工期とのバランスを取る試行錯誤が、設計者の頭の中だけで行われている現状がある。

そこで、システム建築の設計の全過程において円滑に BIM を活用するために、a：施主の要望を BIM モデル（以下、要望モデル）に変換する方法、b：要望モデルから基本設計モデル（以下、システム建築モデル）を作成する方法、の 2 つを提案し（以下、プラン作成支援手法）、それに基づき BIM 上で稼動するプログラムを開発することを本研究の目的とする。さらに、システム建築モデルを基に、システム建築の各構成部材を配置したモデル（以下、実施設計モデル）へ変換する方法を提案し、そのプログラムを開発することで、BIM により自動化を促進する方向性を示す。

2. プラン作成支援手法の提案

2.1. 概要

プラン作成支援手法の概要を図 1 に示す。施主との打ち合せの際に作成した手描き図面から、要望モデルとシステム建築モデルをプログラムにより自動作成する。両プランの比較を行うため、BIM 上でトレーシングペーパーを用いるように、要望モデルとシステム建築モデルを重ねて配置することで両プランを比較する手法を提案する。BIM モデルを重ねる効果として、両プランの違いを確認しながら作業を行うことで、プランの擦り合わせが容易となることがあげられる。また、施主は設計者が調整した箇所の把握が容易となることがあげられる。



図 1 プラン作成支援手法の概要

なお、施主の要望に基づいた図面は、手描きや 2 次元 CAD 等により作成される場合があるが、本稿では最も難易度の高い手描き図面からの支援を試みた。

2.2. プラン作成支援手法の手順

次にプラン作成支援手法の手順を図 2 に示す。事前準備として、要望に基づき作成した手描き図面を二次元ベクターデータへと変換（以下、ベクター化）する。

次に、二次元ベクターデータから、要望モデルとシステム建築モデルの 2 つの BIM モデルを自動作成して重ね合わせる。その際用いるプログラムは本研究にて開発する。その後、両プランの部屋の面積や縦横比などの違いを確認しながら、システム建築モデルの壁の位置を移動することでプランの擦り合わせを行う（図 3）。

最後に、完成したシステム建築モデルを対象に開発プログラムによりシステム建築の各構成部材を自動配置することで、実施設計モデルを自動作成する。

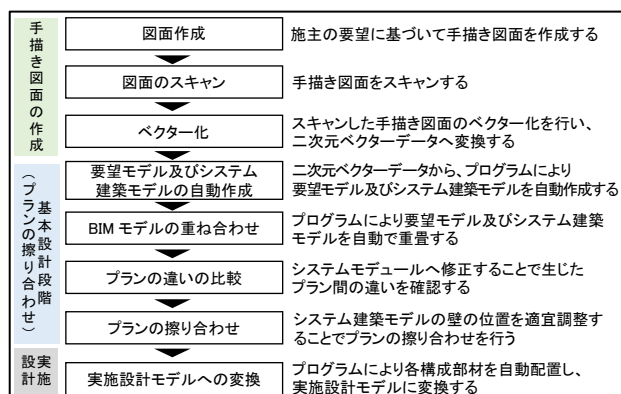


図 2 プラン作成支援手法の手順(手描きの場合)

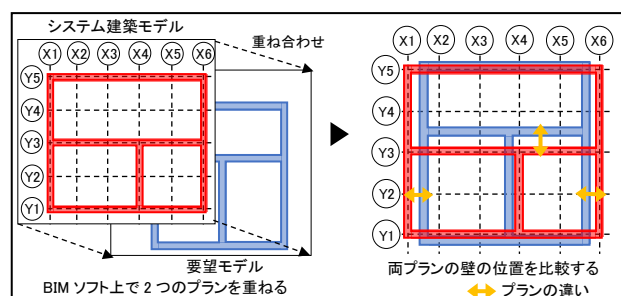


図 3 BIM モデルの重畳による比較のイメージ

3. 手描き図面のベクター化に関する検証

3.1. 検証の概要

要望モデルとシステム建築モデルは二次元ベクターデータを基に作成するため、手描き図面から CAD 図面への高い精度での変換が必要である。そこで、手描き図面の作成方法の組み合わせ（筆記具、用紙、定規の有無）9 種類^{注 1)}、図面のスキャン方法 2 種類、計 18 種類のベクター化精度について検証した（表 1）。手描き図面の作成者による結果の違いを確認するため、4 名の被験者（建築学生）を対象として検証した。なお、ベクター化にはオートデスク社の AutoCAD のアドオン機能である Raster Design 2023 を

使用した。

3.2. 検証結果とその考察

ベクター化の精度に関する評価の結果、サインペンは全項目で精度が高い結果となり、他の筆記具と比較して唯一定規を用いずに高精度でベクター化できた。一方、ボールペンは 6 項目中方法 12 の 1 項目において、シャーペンは 6 項目中方法 13、14、15、18 の 4 項目において被験者によってベクター化の精度に差が生じた。その要因として、手描き図面の作成の際に描いた線が擦れている、直線でない、という 2 つがあげられる（図 4）。スキャン方法^{注 2)}によってベクター化の精度に違いは見られなかったが、カメラの方が手軽にスキャンを行えることが考えられる。以上を踏まえ、プラン作成支援手法での図面作成およびスキャン方法を表 2 に示す。

表 1 手描き図面のベクター化評価の結果

表1-1 描きと図面のスケッチに評価の結果					評価			
方法	筆記具	用紙	定規使用	スキャン方法	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4
1	サインペン (太さ 1.8mm)	白紙	有	スキャナー	○	○	○	○
2				カメラ	○	○	○	○
3			方眼紙	有	スキャナー	○	○	○
4		カメラ			○	○	○	○
5		無		スキャナー	○	○	○	○
6			カメラ	○	○	○	○	
7	ボールペン (太さ 0.7mm)	白紙	有	スキャナー	○	○	○	○
8				カメラ	○	○	○	○
9			方眼紙	有	スキャナー	○	○	○
10		カメラ			○	○	○	○
11		無		スキャナー	×	×	×	×
12			カメラ	×	×	△	×	
13	シャーペン (太さ 0.5mm 濃さ 2B)	白紙	有	スキャナー	△	×	△	△
14				カメラ	△	○	○	○
15			方眼紙	有	スキャナー	△	×	△
16		カメラ			○	○	○	○
17		無		スキャナー	×	×	×	×
18			カメラ	×	×	△	×	

被験者によって評価に差が出た項目

○: すべての線が途切れることなくベクター化できている

△: 途切れている箇所がある

×: ベクター化できていない線がある

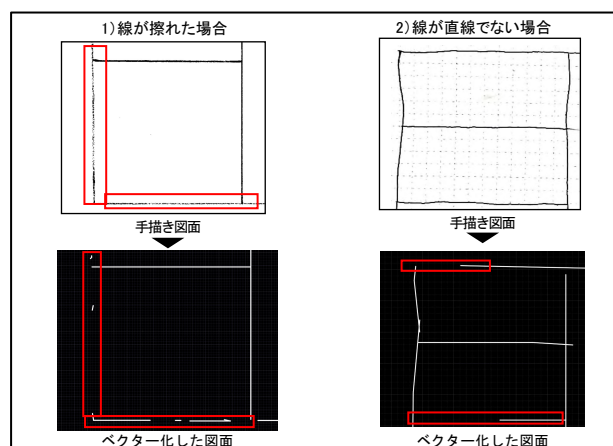


図 4 ベクター化の精度に差が生じた要因

表 2 提案手法で採用する方法

項目	筆記具※	用紙	定規の使用	スキャン方法
採用する方法	サインペン (0.6mm) ^{注 3)}	どちらでも可 (方眼紙推奨) ^{注 4)}	どちらでも可	Cam Scanner

※定規を用いる場合のみシャーペン (2B、0.5mm)・ボールペン (0.7mm) も使用可能

4. プログラムの開発

提案したプラン作成支援手法に基づき、要望モデルとシ

システム建築モデルを自動作成するプログラム（以下、プログラム 1）および実施設計モデルの自動作成のため、システム建築の各構成部材を自動配置するプログラム（以下、プログラム 2）の開発を行う。

本研究では、BIM ソフトウェアとして Revit2023（以下、Revit）、開発環境として Dynamo2.13.1（以下、Dynamo）とプログラミング言語の Python3.8.10（以下、Python）を使用した。またデータの入出力ツールとして Excel2022（以下、Excel）を使用した。

4.1. プログラム 1 の開発

提案したプラン作成支援手法に基づき、プログラム 1 を開発した。プログラム 1 を用いたプラン作成手順を図 5 に示す。プログラム 1 では、手描き図面から作成した二次元ベクターデータに基づき要望モデルを自動作成し、次に要望モデルの壁の位置をシステムモジュールに則って修正したシステム建築モデルを自動作成する。その後、重畳して配置された 2 つの BIM モデルの違いを比較しながらプランの擦り合わせを行い、プランを確定する。プランの大幅な変更（部屋の追加・削除等）が必要な場合は、プログラムの実行によりシステム建築モデルを削除し、要望モデルの床オブジェクトを手動で複製・削除する。これらのプラン作成は、全て同一のプログラムを用いて行うため、実行前の要望モデルやシステム建築モデルの配置状況に応じて異なる処理が行われる仕様である。以下にプログラム 1 で実装した機能の詳細を示す。

機能 1: 二次元ベクターデータの整形機能(図 5、手順 1)

二次元ベクターデータの整形を行う機能である。手描き図面を二次元ベクターデータに変換した際、a) 水平・垂直でない線分が作成される、b) 線分が 2 重に作成される、c) 線分の端部が結合していない、という問題により手描き図面作成者の意図と異なる図面となっていた。その問題を解消するため、機能 1 を実装した（図 6）。

機能 2: 2 つの BIM モデルの自動作成機能(図 5、手順 2a、2b)

要望モデルとシステム建築モデルの 2 つの BIM モデルを自動作成する機能である。整形した二次元ベクターデータを基に各部屋のアウトラインを抽出し、そのアウトラインに則して BIM の床オブジェクトを自動配置する。一方、システム建築モデルは二次元ベクターデータの線分を近くの通芯に移動させた位置に BIM の壁オブジェクトを自動配置する。システム建築は部材の配置寸法が規格化されているという特徴があるが、通芯上に配置されない壁も多く存在する。そのため、壁オブジェクトを通芯に寄せるかどうか判定する領域（以下、判定領域）を全通芯に作成し、判定領域内に位置する壁オブジェクトのみを通芯上に移動して自動配置される仕様とした。なお、判定領域の範囲はパラメータにより設定することが可能である（図 7）。

提案した手法では、同一平面上で要望モデルとシステム

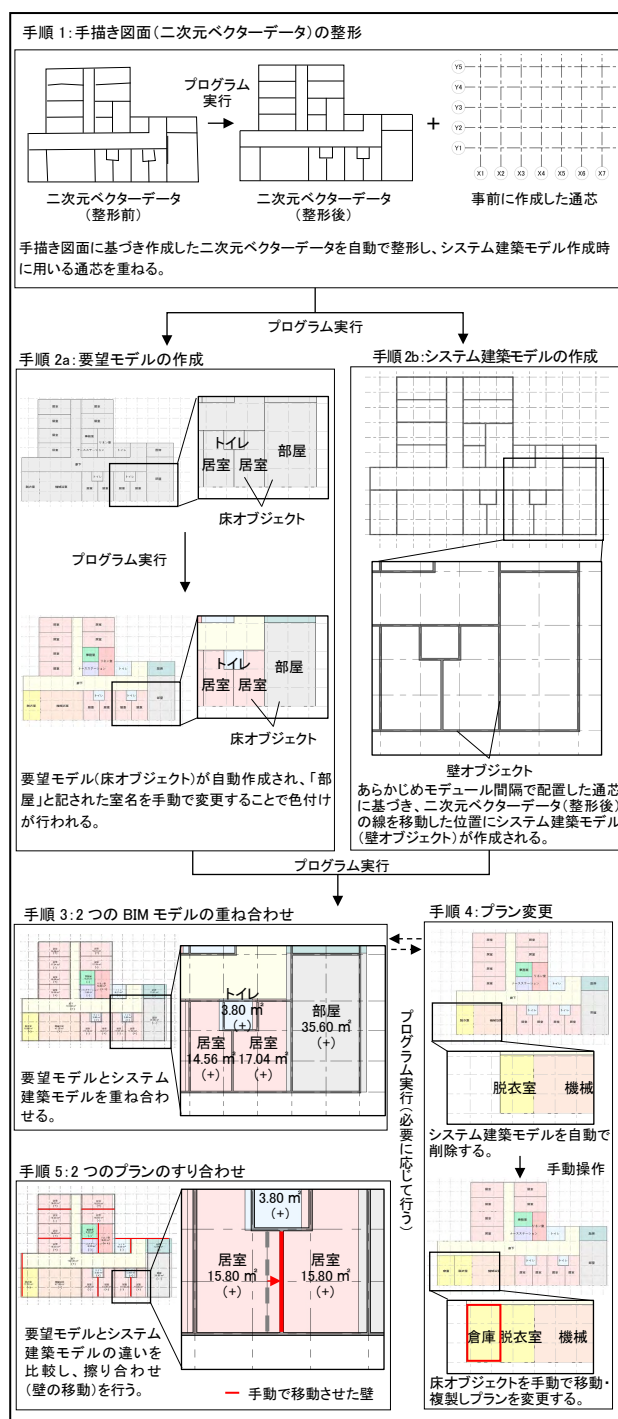


図 5 プログラム 1 を用いたプラン作成手順

建築モデルを重ねることでプランの比較を行うため、2 つの BIM モデルを容易に判別できる必要がある。そこで、要望モデルは床オブジェクトで、システム建築モデルは壁オブジェクトで作成することで、2 つの BIM モデルの判別を容易にする。加えて、設計者が手動で設定した部屋名に基づき要望モデルの床オブジェクトの色付けを行うことで、プラン検討時の部屋の用途ごとの判別を容易にする。

機能 3: 面積増減の可視化機能(図 5、手順 3)

システム建築モデルの各部屋の面積がどの程度増減したかを視覚的に示す機能である。システム建築モデルの各

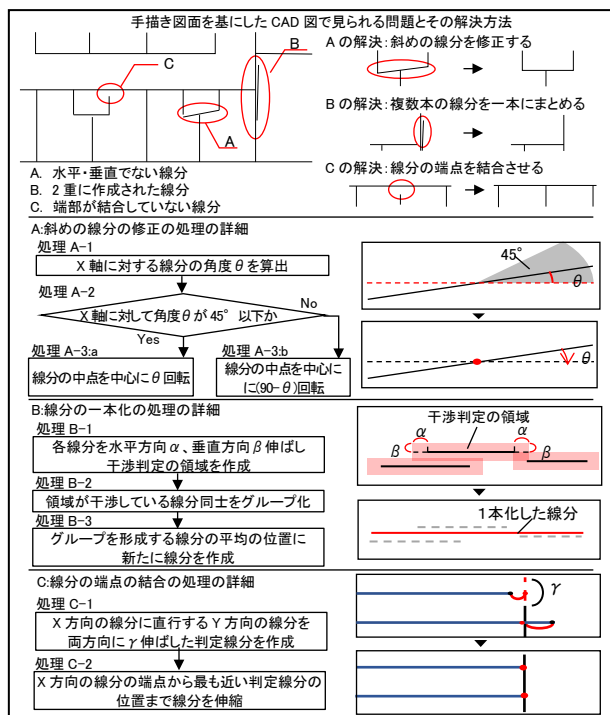


図 6 手書き図面に基づく二次元ベクターデータの整形機能

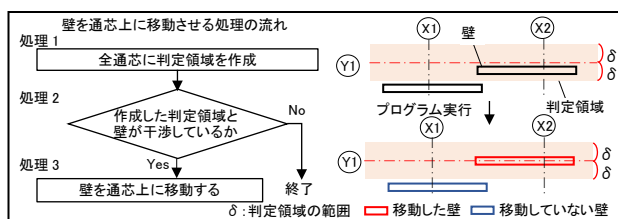


図 7 壁オブジェクトを通路上に移動させる処理

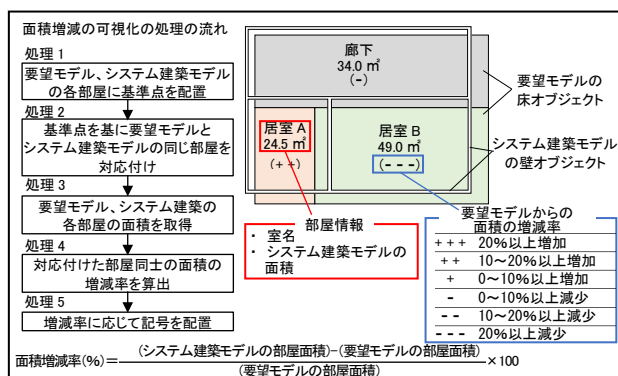


図 8 文字による部屋情報および面積増減の可視化機能

部屋に「室名」、「部屋面積」および「要望モデルからの面積の増減率を表す記号」の3つを自動で配置する(図8)。要望モデルの部屋面積からシステム建築モデルの部屋面積の増減度合いを示す記号を配置することで、施主の要望からどの程度部屋面積が変化したか直感的に判断できる。

4.2. プログラム 2 の開発

前節で開発したプログラム 1 を用いて擦り合わせを行うことで作成するモデルに基づき、システム建築の各構成部材(柱梁や外装パネル、窓など)を自動配置することで実施設計段階に使用するモデル(以下、実施設計モデル)を

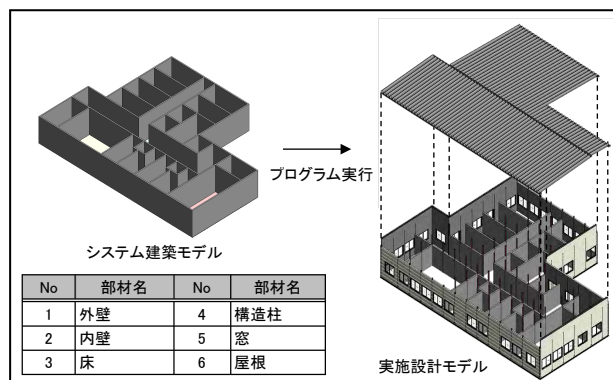


図 9 プログラム 2 実行の様子

自動作成するプログラム 2 を開発した(図9)。本研究では開発の第一歩として、主要な6種の部材の自動配置を行った。これにより、BIMを使用した基本設計段階から実施設計段階への円滑な移行が可能となる。

5. 本研究の成果と課題

本研究では、施主の要望したプランとシステムモジュールに則ったプランの違いを BIM を用いて可視化し、両プランの擦り合わせを行う手法の提案を行った。また、提案した手法に基づいて、プログラム 1 (2つの BIM モデルの自動作成及びその比較のための面積増減可視化を行うプログラム) と、プログラム 2 (確定したプランを基にシステム建築の各構成部材を自動配置するプログラム) の開発を行った。これにより、BIM を使ったモジュラーコーディネーションの一手法を提案できたと考える。

研究の課題として、本研究で開発したプログラムを実際のシステム建築の設計に使用することで、本手法を評価する必要がある。

謝辞

大和リース株式会社の関係者の方々には、研究を進めるにあたり貴重なデータをご提供いただくとともに、多大なご助言を賜りました。この場をお借りして御礼を申し上げます。

注釈

- 注1) 白紙に定規を用いずに描く組み合わせは、綺麗な直線を引くことが困難である点、正確な縦横比の図面作成が行えない点から検証の対象外とする。
- 注2) スキャナーとして EPSON 社の GT-X830、スキャナードライバーとして EPSON Scan を使用した。また、カメラは iPhone13、スキャナーアプリとして Cam Scanner を使用した。
- 注3) 追加検証により、より細かいペン先で精度の高いベクター化が行えるサインペンを明らかとし、0.6mm のペン先を採用することとした。
- 注4) 「サインペン・白紙・定規なし」の組み合わせによる検証は行っていないが、1) 綺麗な直線が描きやすいこと、2) 正確な縦横比の図面を作成しやすいこと、の2点から方眼紙の使用を推奨する。

参考文献

- 1) 林靖男、伊藤均、廣田実、加村久哉、「システム建築による建築生産性の合理化」、日本鋼構造協会、鋼構造論文集 1 巻 4 号、p1-16、1994.12