

BIMによる応急仮設住宅の配置検討支援プログラムの開発

Development of a Program to Support an Arrangement of Emergency Temporary Housing Using BIM

○田口 正法*¹, 大西 康伸*²
Masanori TAGUCHI*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, GSST, Kumamoto University

*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士 (学術)

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

キーワード：応急仮設住宅団地；プレハブ；配置計画；自動配置；GA；ビジュアルプログラミング

Keywords: Emergency Temporary Housing; prefabrication; layout planning; automatic placement; GA; visual programming.

1. 研究の背景と目的

災害発生後に供給される応急仮設住宅（以下、仮設住宅）は、自宅に住めなくなった人に一日でも早く仮住まいを提供することが目的である。仮設住宅の供給には最短約4週間もの期間を要し、そのうち約1週間は配置案の作成と住戸の設計に費やされている。

福岡らの研究¹⁾では、配置案作成の期間の短縮を目的とし、BIMツール上で稼働する自動配置プログラムを開発した。煩雑な作業に対するコンピュータによる自動実行と一意には決まらない作業の人による手動操作の組み合わせによる対話的手法を提案し、仮設住宅の配置計画を効率化した。原らの研究²⁾では、遺伝的アルゴリズム（以下、GA）を用い、手動で設定した住戸（または駐車場）を配置するエリア（以下、配置エリア）内での住戸（または駐車場）の位置と角度の最適化を自動配置プログラムに取り入れ、配置数の増加を目指した。

しかし、福岡らの研究¹⁾、原らの研究²⁾で開発したプログラム（以下、旧プログラム）は3つに分かれているため、設計者が各プログラムの挙動を理解し、目的に応じて使い分ける必要があった。また、プログラム毎に必要な手動操作の方法が異なっていた。加えて、敷地内のどのあたりに住戸や駐車場を配置するかというゾーニング検討を支援する機能や、集会場、受水槽、浄化槽、ごみ置き場（以下、集会場その他施設）の配置検討を支援する機能がないため、配置エリアや集会場その他施設のレイアウトが設計者の思い通りにならないことや、思い通りにできても手動操作が煩わしいという問題があった。

そこで本研究では、3つの旧プログラムを統合するとともに、住戸および駐車場の配置エリアのゾーニング検討支援と集会場その他施設に関する配置検討支援を可能とする配置検討支援プログラムを開発する。考える行為に集中するために、単なる操作時間を可能な限り削減し、実行結

果が一目で理解できるような機能を実装する。

2. 配置検討支援プログラムの開発方針

2.1. 手動操作の簡略化と統一

旧プログラムでは、配置エリアの境界線を手動で作図する「面の描画」に多くの手間と時間を要していた。そこで本研究では、「面の描画」をなくし「点または線の配置」による配置エリアの自動作図機能を実装する。具体的には、幹線道路や任意の境界線を設定するBIMパーツ（以下、境界線BIMパーツ）で囲まれた領域（以下、エリア配置可能領域）内に住戸や駐車場、空地のエリアを指定するBIMパーツ（以下、エリア指定BIMパーツ）を配置しプログラムを実行することで、配置エリアの自動作図を行う（図1）。

また旧プログラムでは、集会場その他施設の配置検討を支援する機能がないため、配置角度の調整や干渉する住戸や駐車場の削除を手動で行う必要があり多くの時間を要していた。そこで本研究では、提示された集会場その他施設を敷地内に移動させる「点の配置」を行いプログラムを実行することで、配置角度を自動調整する機能や干渉する住戸や駐車場を自動削除する機能を新たに実装する（図2）。

以上の配置検討に関する手動操作を「点の配置」として統一することで、角度調整を必要とせず、BIMパーツをスタンプのように使用するという単純な操作のみで配置検討を可能とする。

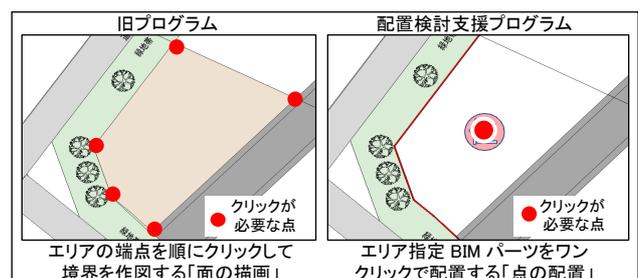


図1 配置エリア作成の手動操作の比較

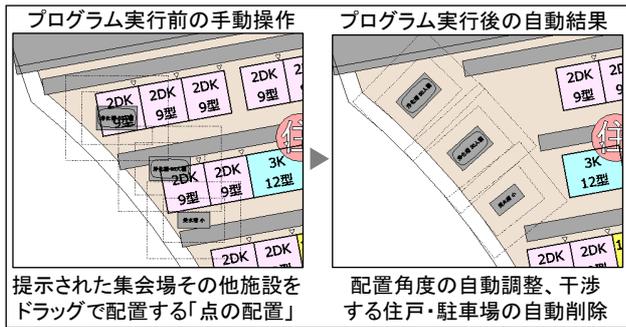


図2 集会場その他施設の角度の自動調整機能

2.2. 自動実行結果の表示の統一

旧プログラムでは、駐車場や集会場その他施設など要素ごとにプログラムの実行結果の表示方法が異なり、一目で配置ルールを満たしているかどうか分かりにくいという問題があった。そこで本研究では、「不足分の提示」、「注意を促す表示」を統一した(図3)。「不足分の提示」では、駐車場数、集会場その他施設の配置数と自動配置される住戸数を比較し、不足している場合は敷地外にその数の分だけ提示する。また注意を促す表示として、敷地内に余剰に配置されている駐車場または集会場その他施設、幹線道路と接続していない車路やアクセス通路を赤くハイライトする仕様とした。

これにより、設計者が自動実行結果に対し、どの要素を手動で変更すべきかを直感的に理解することが可能となった。



図3 自動実行結果の表示の統一

2.3. プログラムの統合

旧プログラムでは、配置可能な概数を把握するための配置案(以下、初期案)を作成する旧プログラム1、幹線道路の変更に伴う再配置案を作成する旧プログラム2、配置エリア内の最適化を行う旧プログラム3の3つのプログラムを用いて、配置案を作成していく。本研究では、3つの旧プログラムを統合することで、初期案の作成から集会場その他施設の配置調整支援までを1つのプログラムで行うことを可能とする。

プログラムの統合に伴い、住戸数と駐車場数の比率(以下、駐住比率)を満たす住戸エリアと駐車場エリアの境界線の位置の最適化(以下、境界線最適化)と配置エリア内の住戸数または駐車場数を最大化する配置位置の最適化(以下、配置最適化)の目的の異なる2つの最適化を1つのプログラムで行う仕様とした。最適化には原らの研究²⁾

と同じく、解の探索を行うアルゴリズムとしてGAを用いる。また、エリア配置可能領域内に配置されているエリア指定 BIM パーツの個数に応じて、目的の異なる2つの最適化処理が1回の実行で同時に行われる仕様とした。住戸と駐車場のエリア指定 BIM パーツを1つずつ配置した場合は、設計者が設定した駐住比率とプログラムが提示する配置案の駐住比率との差を最小化するエリア境界線の位置を算出し、住戸と駐車場を自動配置する(図4)。住戸または駐車場のエリア指定 BIM パーツを1つ配置した場合は、当該エリア内において配置数が最大化される位置に住戸または駐車場を自動配置する。

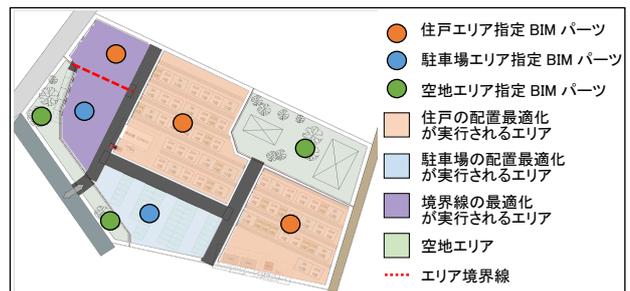


図4 境界線最適化と配置最適化の手動操作

3. 配置検討支援プログラムの開発

3.1. 開発環境

配置検討支援プログラムの開発環境には、BIM ツールとしてオートデスク社の Revit2021、ビジュアルプログラミングツールとして Dynamo2.6.1、複雑な図形処理と最適化を行うためのプログラミング言語として Python を使用した。また、データの入出力を目的として、マイクロソフト社の Excel2019 を使用した。

3.2. 配置検討支援プログラムの開発

配置検討支援プログラムでは、複数の旧プログラムに共通していた分岐処理を統合し、各 BIM パーツの配置の有無や配置数、配置位置に応じて、プログラムの処理のステップ毎に処理実行の有無を判定する仕様とした。そのため、事前に想定したいくつかの手動操作に対応する全ての処理を包含するプログラムとした。プログラムの処理の流れを図5に示す。

Step11「GAによる住戸、駐車場の位置の配置最適化」では、住戸エリアと駐車場エリアで異なる配置方法で最適化を行う。住戸エリアでは、住棟に対して垂直方向の距離を設計変数とし探索を行う。駐車場エリアでは、グリッド状に配置を行うため、水平距離と垂直距離の2つの設計変数の組み合わせの探索を行う。

Step13「GAによる境界線最適化」では、配置した住戸と駐車場のエリア指定 BIM パーツを結ぶ線に対して垂直にエリア境界線が配置され、駐住比率評価が最小となるエリア境界線の配置座標の探索を行う。この際、住戸と駐車場

の配置位置の最適化を行えないため、住戸と駐車場の各エリアのバウンディングボックスの中心を基準として住棟配置線または駐車場配置線を配置し、住戸と駐車場の配置位置を決定する。

また、配置検討支援手法の計画手順を図6に示す。

4. 配置検討支援プログラムの評価

4.1. 比較検証の概要

2名の被験者を対象に、旧プログラム1~3と配置検討支援プログラムを用いて実際に施工された仮設団地の敷地(以下、検証敷地)の配置案(以下、実在案)の再現を行う。配置案作成時間と配置数の比較検証を行い、配置検討支援プログラムの有効性を考察する。検証の概要を表1に示す。

4.2. 評価結果

全15検証敷地の配置案作成平均時間の被験者2名の平均値を図7に示す。配置検討支援プログラムは配置案の作成時間全体で31%減少した。内訳として手動操作は55%減少し、逆に自動実行は64%増加した。操作時間が大幅に

短縮された理由として、配置検討支援プログラムにおける操作の簡略化と統一、自動実行結果の表示の統一が、計画者の意図を配置案に反映させる手間の削減に寄与したと考えられる。一方、配置検討支援プログラムでは最適化の処理が繰り返し行われており、このことが自動実行の時間の増加の原因になっていると考えられる。

実在案、旧プログラム、配置検討支援プログラムの配置案における住戸と駐車場の配置数を表2に示す。被験者Aは15検証敷地中8敷地、被験者Bは15検証敷地中10敷地で配置検討支援プログラムの住戸および駐車場の配置数が旧プログラムを上回る結果となった。住戸および駐車場エリアの境界線の位置の最適化や、住戸と駐車場の配置段階で集会場その他施設の配置の同時検討が容易になったことによって、敷地面積の有効活用が可能となり配置数が増加したと考えられる。一方、配置検討支援プログラムの配置案が実在案の配置数を上回ることが少ない結果となった。これは実在案において部分的に配置ルールが満たされていないことに起因しており、実務で利用するためには、柔軟な配置ルールの設定を可能にする必要がある。

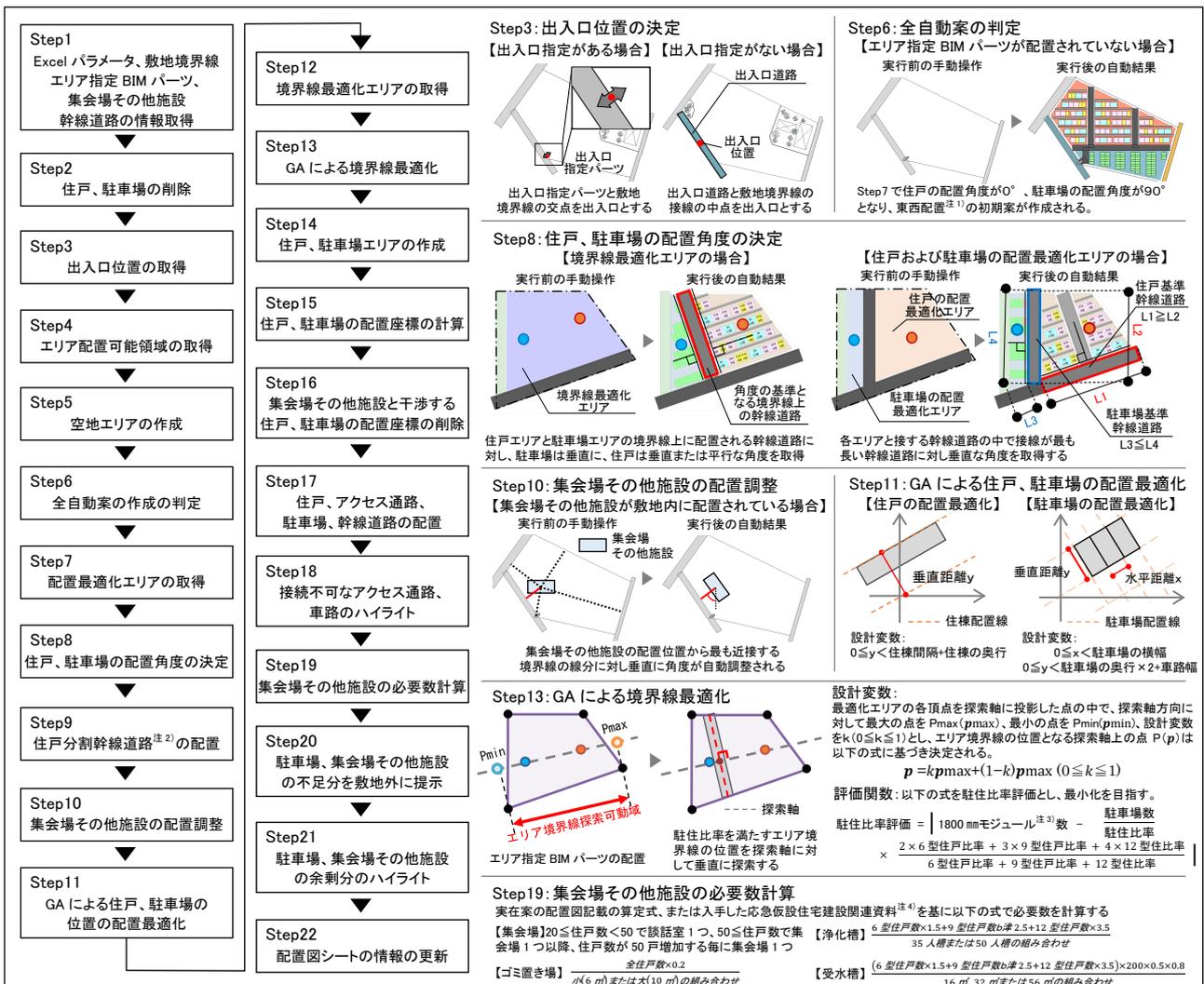


図5 配置検討支援プログラムの処理の流れ

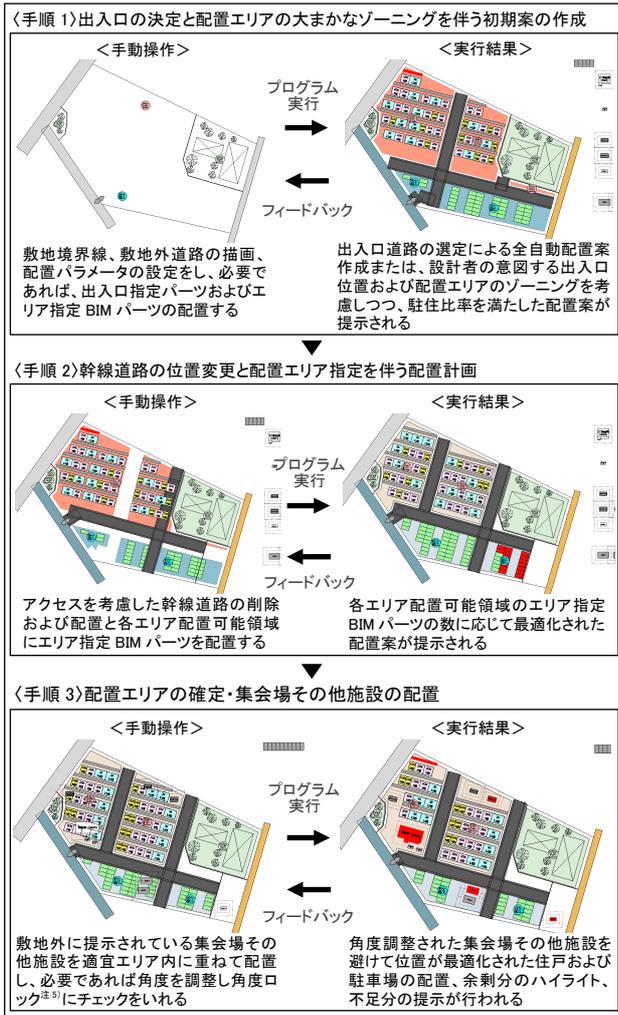


図6 配置検討支援手法の配置計画手順

表1 比較検証の概要

検証目的	旧プログラムと配置検討支援プログラムを用いて様々な敷地規模や敷地形状の実在を再現する。要した時間や配置数を比較することで、配置検討支援プログラムが、配置案作成時間を短縮しつつ配置数を確保できることを示す。	
検証敷地	入手した実在敷地から敷地形状の特徴と敷地規模に偏りなく選定した15敷地	
被験者	被験者 A: 建築計画を専攻する修士2年、BIM 使用歴4年 被験者 B: 建築計画を専攻する修士1年、BIM 使用歴3年	
検証手順	旧プログラム	1) 旧プログラム1の実行(初期案の作成) 2) 幹線道路の配置 3) 旧プログラム2の実行(幹線道路の変更に伴う再配置案の作成) 4) 配置エリアの描画 5) 旧プログラム3の1回目実行(エリア内配置を行う配置案の作成) 6) 配置方向指定 BIM パーツの配置 7) 旧プログラム3の2回目実行(配置方向に即した配置案の作成) 8) その他施設の配置一部駐車場削除
	配置検討支援プログラム	1) 配置検討支援プログラムの1回目実行(全自動案の作成) 2) 住戸エリア指定 BIM パーツと駐車場指定 BIM パーツの配置 3) 配置検討支援プログラムの2回目実行(エリア位置指定した配置案の作成) 4) 配置検討内容に伴い適宜、以下の3つの操作を行う ・幹線道路 BIM パーツ、境界線 BIM パーツの配置(配置エリア分割) ・配置方向指定 BIM パーツの配置(住戸と駐車場の配置方向の指定) ・集会場・その他施設の配置 5) 配置検討支援プログラムの3回目実行(手動操作に即した配置案の作成) 6) 実在案を再現するまで4)と5)を適宜、繰り返す
プログラム実行のPC環境	システムモデル	HP Z27 SFF G4 Workstation OS Windows10 Pro CPU Intel(R)Xeon(R)E-2104G @ 3.20GHz メモリ 16GB グラフィックボード NVIDIA Quadro P620 モニター HP Z23n G2(23 インチ、1.920 × 1.080 FullHD)

表2 実在案と旧プログラムと配置検討支援プログラムの配置案の住戸と駐車場の配置数の結果一覧

検証敷地		HS	OM南	OM北	SP	TK	TS	TT	YT	SA	SS	TB1	TB2	UK	US	KS															
		住	駐	住	駐	住	駐	住	駐	住	駐	住	駐	住	駐	住	駐														
実在案		132	89	18	-	42	-	18	18	148	131	96	96	46	-	89	26	233	233	81	45	77	77	66	67	21	3	12	10	90	90
旧プログラム	A	100	67	15	-	40	-	12	23	111	122	91	64	29	-	67	27	214	183	64	16	63	64	59	9	17	0	5	9	84	80
	B	135	61	14	-	40	-	12	16	122	108	88	68	36	-	74	11	215	119	78	33	62	52	44	20	13	0	4	8	100	79
配置検討支援プログラム	A	114	74	17	-	44	-	16	20	132	117	100	96	41	-	79	24	231	204	63	31	57	71	59	57	18	3	13	9	116	112
	B	114	72	17	-	44	-	20	17	130	93	92	97	41	-	79	19	234	177	62	29	58	67	71	57	18	3	13	8	109	110

A: 被験者 A、B: 被験者 B、住: 住戸数、駐: 駐車場数、-: 存在しない、□: 旧プログラムより多く配置された配置検討支援プログラムの値

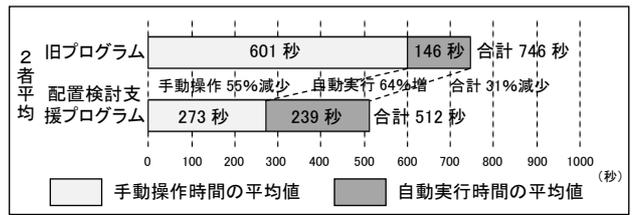


図7 全15検証敷地の配置案の作成時間の合計の平均値

7. 研究の成果と課題

本研究の成果として、目的ごとに分離していた3つの自動配置プログラムを1つのプログラムへ統合し、手動操作の簡略化および統一、自動実行結果の表示の統一によって、住戸および駐車場エリアのゾーニング支援とその他施設の配置検討支援が可能となった。設計の思考プロセスをシームレスに支援し、対話的プロセスをより円滑に進めることを可能とする、配置検討支援プログラムを開発したと言える。課題として、1) 配置エリア形状やアクセス条件を考慮した多様な駐車場の配置、2) 配置図作成のための寸法や注釈の自動作図機能の拡充、の2つがあげられる。

なお、本研究は科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号 21K04415)の一環として実施した。

謝辞

大和ハウス工業株式会社、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) 仮設住宅の住棟が東西軸に平行となる配置。
- 注2) 配置ルールにより、仮設住宅の住戸は幹線道路から玄関までの距離を50m以内にする必要があるため、住戸エリアが50mを超えない最低本数の幹線道路を設ける。
- 注3) 住戸タイプは6型(間口3600mm)、9型(間口5400mm)、12型(間口7200mm)の3つによって計画される。1800mmモジュールはこれら住戸タイプの間口寸法の最大公約数である。
- 注4) 一般社団法人プレハブ建築協会発行の仮設住宅団地の建設方針や配置ルールをまとめた資料。
- 注5) 集会場その他施設の角度を設計者が指定する場合に用いる。

参考文献

- 1) 福岡怜大、大西康伸、「対話的計画機能を実装したBIMによる仮設住宅配置案の作成手法に関する研究」、日本建築学会第42回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(DVD)、pp.48-53、2019.12
- 2) 原好佑、大西康伸、「BIMおよび遺伝的アルゴリズムを用いた応急仮設住宅の配置最適化に関する研究」、日本建築学会第43回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(DVD)、pp.376-379、2020.12