

住棟種類の削減機能を持つ 応急仮設住宅の配置案自動作成プログラムの開発 Development of a Program to Support Emergency Temporary Housing with a Function of Reducing Types of Housing Unit

○永渕 智也^{*1}, 大西 康伸^{*2}
Tomoya NAGAFUCHI^{*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.

Summary: In the site planning of emergency temporary housing, it is necessary to reduce the number of housing unit types which consist of multiple houses. However, since reducing the number of housing unit types results in a decrease in the total area of housing units and a difference from the set ratio of housing unit types, it is necessary for a designer to spend a lot of time and effort in trial and error. In this study, we developed a new program with a function to automatically reduce the number of housing unit types in the arrangement plan created by the previous program. This study included the following three contents: 1) We proposed a method to reduce the number of housing unit types that have already been arranged by automatically selecting several types and rearranging them to make full use of the site area. In addition, we also proposed a method to reduce the number of housing unit types by manually selecting several housing units. 2) Based on the proposed methods, we developed a program that reduces the number of housing unit types in the arrangement plan created using previous programs. 3) By running the developed program on 20 sites of emergency temporary housing with different site shapes, we found that the number of housing unit types can be reduced to less than half.

キーワード: BIM; 配置計画; プレハブ; ユニット; ビジュアルプログラミング; 災害

Keywords: BIM; site planning; prefabrication; unit; visual programming; disaster.

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）で用いられることが多いプレハブ構法は、短期間で施工ができること、早期に着工が可能であること、供給能力が高いことが利点としてあげられる¹⁾。

田口らの研究²⁾では、福岡らの研究³⁾で提案した対話的手法^{注1)}に基づき、BIM ソフトウェア上で稼働する、遺伝的アルゴリズムによる最適化を導入したプレハブ応急仮設住宅の配置計画支援プログラム（以下、旧プログラム）を開発し、より多くの住戸や駐車場が配置された案を短時間で作成することを可能とした。しかし、プログラムが作成する配置案は、より多くの住戸配置を優先するため、複数の住戸が横一列に並んだ住棟の種類数が多くなる傾向にあり、種類数を手動操作で削減する作業に多くの手間がかかっていた。そこで本研究では、プログラムで作成した配置案の住棟種類数を削減する手法を提案し、それを自動化するプログラム（以下、新プログラム）の開発を目的とする。

2. 仮設住宅の配置計画における問題点

仮設住宅の配置計画において、より多くの住戸を確保し、住戸タイプ（6 型：1K、9 型：2K、12 型：3K）の比率（以下、住戸タイプ比率）を調整したうえで、「必要図面の数^{注2)}」、「施工効率性」、「部材コスト」の観点から住棟の種類数を抑える必要がある^{注3)}。しかし、住棟の種類数を抑えると、「敷地に配置可能な住戸は減少する」、「設定した住戸タイプ比率から乖離する」ことが生じ、これらは相反する関係であることが多い。そのため、バランスの良い配置案を試行錯誤の中で見つけ出す必要がある。

3. 新プログラムの開発方針

3.1. 住棟種類数の削減手法の提案

応急仮設住宅団地の敷地形状は多角形や凹凸がある場合が多く、敷地ごとに最適な住棟は異なる。そのため本研究では、以下に述べる住棟種類数を削減する仕様を提案する。プログラムが住棟の種類数を考慮せず、敷地形状に合わせてより多くの住戸を配置した案（以下、削減

前案)を対象に住棟種類数の削減を行う。削減前案を一度全て削除し、削減前案に用いられていた住棟種類数よりも少ない種類の住棟を自動で組み合わせ、全住棟を配置し直すこととする(図1)。削減前案に含まれる敷地形状に適した住棟を用いて住棟種類数を削減することで、削減後の敷地内に隙間が生まれにくくなる。

なお、本研究の削減手法では、複数の住戸エリアに同一の住棟を再配置することで、敷地全体での住棟種類数の削減を目指す。

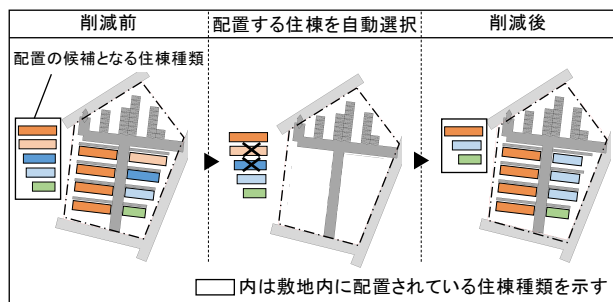


図1 住棟種類数の削減方針

3.2. 新プログラムの開発方針

「住棟種類数」、「住戸タイプ比率」、「住戸延べ面積」の3つは相反する関係であることから、同時に全てを考慮しながら配置案を作成するには多くの手間がかかる。そこで、設定した住戸タイプ比率から大きく乖離しない配置案の中から「住棟種類数」、「住戸延べ面積」の2つを考慮して設計者が配置案を選択することで住棟種類数を削減する方針とする。具体的には、削減前案に用いられた全ての住棟種類の中から配置する住棟種類の候補を自動で選定し、それらを組み合わせ、より住棟種類数の少ない配置案を複数作成する。その中から設計者が1つを選択することで削減を行う。なお、住棟種類数を削減した後、さらに削減を行いたい場合は設計者が配置する住棟種類の候補を手動で選定することや、新たに住棟種類を手動で作成することも可能である。また、本研究では住棟種類の組み合わせを決定する際、最適化を用いず決定木の考え方をを用いることで住棟種類の削減を行うこととする。

4. 新プログラムの開発

4.1. 新プログラムの概要

本研究では、開発にあたり BIM ツールとしてオートデスク社の Revit2023、プログラミングツールとして Dynamo2.13.1 を用いた。なお、Dynamo ではプログラミング言語の Python を併用した。また、配置に関する各種パラメータを設定する表計算ソフトとしてマイクロソフト社の Excel2019 を使用した。

新プログラムは、旧プログラムと同様に設計者が与えた条件に基づいて BIM パーツが自動配置される仕様で

あり、任意のタイミングで住棟種類数を削減する処理の実行が可能である。

4.2. 新プログラムを用いた住棟種類削減手順

旧プログラムで使用する BIM パーツに加えて、新たに3つの BIM パーツを追加した(図2)。新プログラムを用いた住棟種類削減手順を図3に示す。住棟種類削減手順として大きく3つの手順がある。

手順1: エリア指定パーツの配置

旧プログラムと同様の手順で敷地内に住戸を配置した後、「住棟種類削減エリア指定パーツ」を削減処理を行いたい住戸エリアに配置する。次に、住戸タイプ比率の許容範囲(設定した住戸タイプ比率から6型および12型が何%まで乖離していいか)を設定し、プログラムを実行する。

なお、配置する候補となる住棟種類を手動で選定する場合は、「指定住棟配置エリア指定パーツ」を削減処理を行いたい住戸エリアに配置し、配置する候補として住棟種類を「住棟指定パーツ」と重ねる。

手順2: 住棟種類上限値の設定

削減後の配置案の1つの住戸エリアに何種類までの住棟種類を配置するかを定める(以下、住棟種類上限値)。住戸エリアが複数存在し削減前案の住棟種類数が多い場合、住棟種類の組み合わせが膨大になりプログラム実行が終わらない場合があるため、住棟種類上限値を設けた。なお、どのように自動配置する住棟を選択するかについては3.3で詳細に述べる。

手順3: 配置案の選択

プログラムは、削減前案に配置されていた複数の住棟種類を組み合わせ、非常に多くの配置案を自動的に生成するが、その中から「住棟種類数評価^{注4)}」、「住戸延べ面積評価値(式1)」、「住戸タイプ比率評価値(式(2)、式(3))」の評価軸に基づき表1に示した3つの候補案を自動選定する仕様とした。その中から設計者が1つの配置案を選択する。なお、式(2)、式(3)における変数は、設計者が設定した住戸タイプ比率(6型:9型:12型= $r_{a6}:r_{a9}:r_{a12}$)と住棟種類削減後の配置案の住戸タイプ比率(6型:9型:12型= $r_{b6}:r_{b9}:r_{b12}$)より、 $r_{a9}=r_{b9}$ として r_{b6} および r_{b12} の値を算出した。評価軸については3.3で詳細に述べる。

以上に示す手順1~3の順で住棟種類数を削減するが、手順3で住戸タイプ比率の許容範囲を満たした配置案が作成されなかった場合、必要に応じて手順1と手順2を繰り返す。

$$\text{住戸延べ面積評価値: } \sum_{n=1}^i (a_n \times b) \quad \text{式(1)}$$

i : 配置する住戸数 a : 住戸1戸の幅 b : 住戸1戸の奥行

6 型比率評価値： $f_6 = |r_{a6} - r_{b6}|$ 式 (2)

12 型比率評価値： $f_{12} = |r_{a12} - r_{b12}|$ 式 (3)

r_{a6} ：設計者が設定した 6 型の住戸タイプ比率

r_{a12} ：設計者が設定した 12 型の住戸タイプ比率

r_{b6} ：削減後の 6 型の住戸タイプ比率

r_{b12} ：削減後の 12 型の住戸タイプ比率

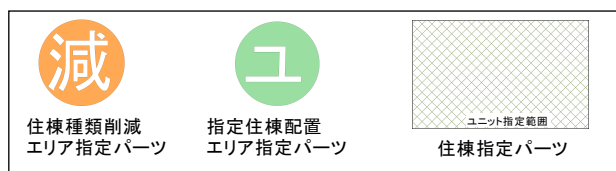


図 2 追加した BIM パーツ

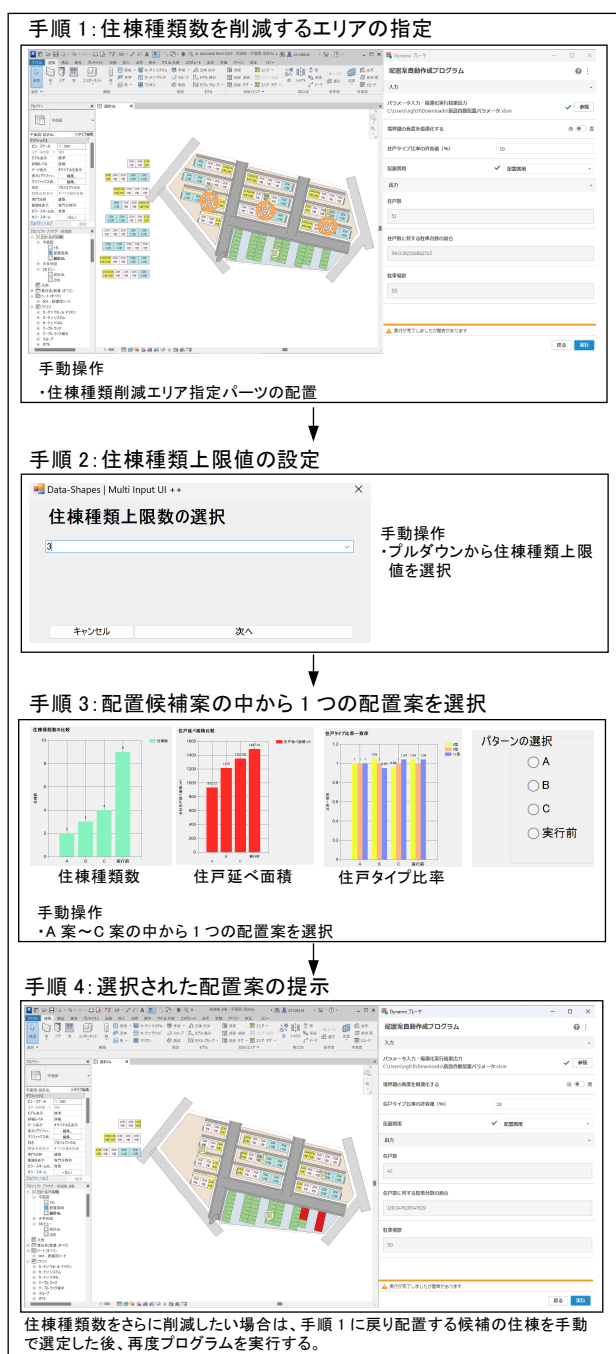


図 3 新プログラムを用いた住棟種類削減の操作手順

表 1 プログラムが提示する候補案と選定基準

候補案	選定基準
A 案	住棟種類数評価 1 位のうち、住戸延べ面積評価が最も高い
B 案	住棟種類数評価 1 位～2 位のうち、住戸延べ面積評価が最も高い
C 案	住棟種類数評価 1 位～3 位のうち、住戸延べ面積評価が最も高い

※全ての候補案は、設定した住戸タイプ比率の許容範囲(任意の範囲に設定可能)内に含まれる

4.3. 住棟種類削減処理の流れ

本研究で開発した住棟種類削減機能は、3 つの異なる処理を担う部分から構成される。住棟種類削減機能の全体の処理と詳細な処理の流れを図 4 に示す。各 Step の詳細な処理を以下に示す。

Step A の処理では、既に配置されている住棟の分類に関する処理を行う。削減前案に含まれる全住棟^{※5)}の情報を取得し、住棟種類の組み合わせを作成する準備として住戸エリアの分類および住棟種類の分類を行う。処理 02、03 では幹線道路との接続関係を考慮した住戸エリアおよび住棟種類の分類を行う。プログラムが自動で作成する配置案はコミュニティに配慮した住戸並びとなるよう幹線道路から近い順に 6 型、9 型、12 型となるように住棟を構成しているため、住棟に対して幹線道路が右側にあるか左側にあるか、あるいは両側にあるかによって住戸エリアおよび住棟種類を分類する必要がある。

Step B の処理では、住棟種類の組み合わせによる配置案作成に関する処理を行う。設計者が設定した住棟種類上限値に基づき、住棟種類の組み合わせ数だけ配置案を作成する。処理 05 では、分類したエリア毎に配置案作成に用いる住棟種類を 1 つもしくは複数選出し、全てのエリアで選出した住棟種類を組み合わせることで配置案を作成する。右側もしくは左側に幹線道路があるエリアに配置する住棟を選出する際、処理 02、03 で分類した住棟種類の中から選出するが、両側に幹線道路があるエリアに関しては住戸の並び順に配慮する必要がないため、全ての住棟種類の中から選出する。処理 06-a、処理 06-b では住戸面積優先型と比率優先型の 2 種類の方法によって配置案を作成する。ある住棟種類の組み合わせに対して配置方法の異なる 2 種類の配置案を作成することで、住戸延べ面積評価の高い配置案と住戸タイプ比率評価の高い配置案が得られやすくなる。結果として、プログラムが 1 度の実行で作成する配置案の数は処理 05 で算出した組み合わせ数の 2 倍の数となる。

Step C の処理では、配置候補案の選定を行い設計者が選択した配置案の提示に関する処理を行う。処理 07 では処理 06 で作成された配置案の中から配置候補案として 3 つの配置案を選定する。選定方法として、まず全ての配置案で 6 型、12 型それぞれの比率評価値を算出し、設定した住戸タイプ比率の許容範囲の範囲内に含まれる配置案のみを選定する。次に住棟種類数評価に基づき配置案のグループ分けを行い、各グループ内で住戸延べ面積評

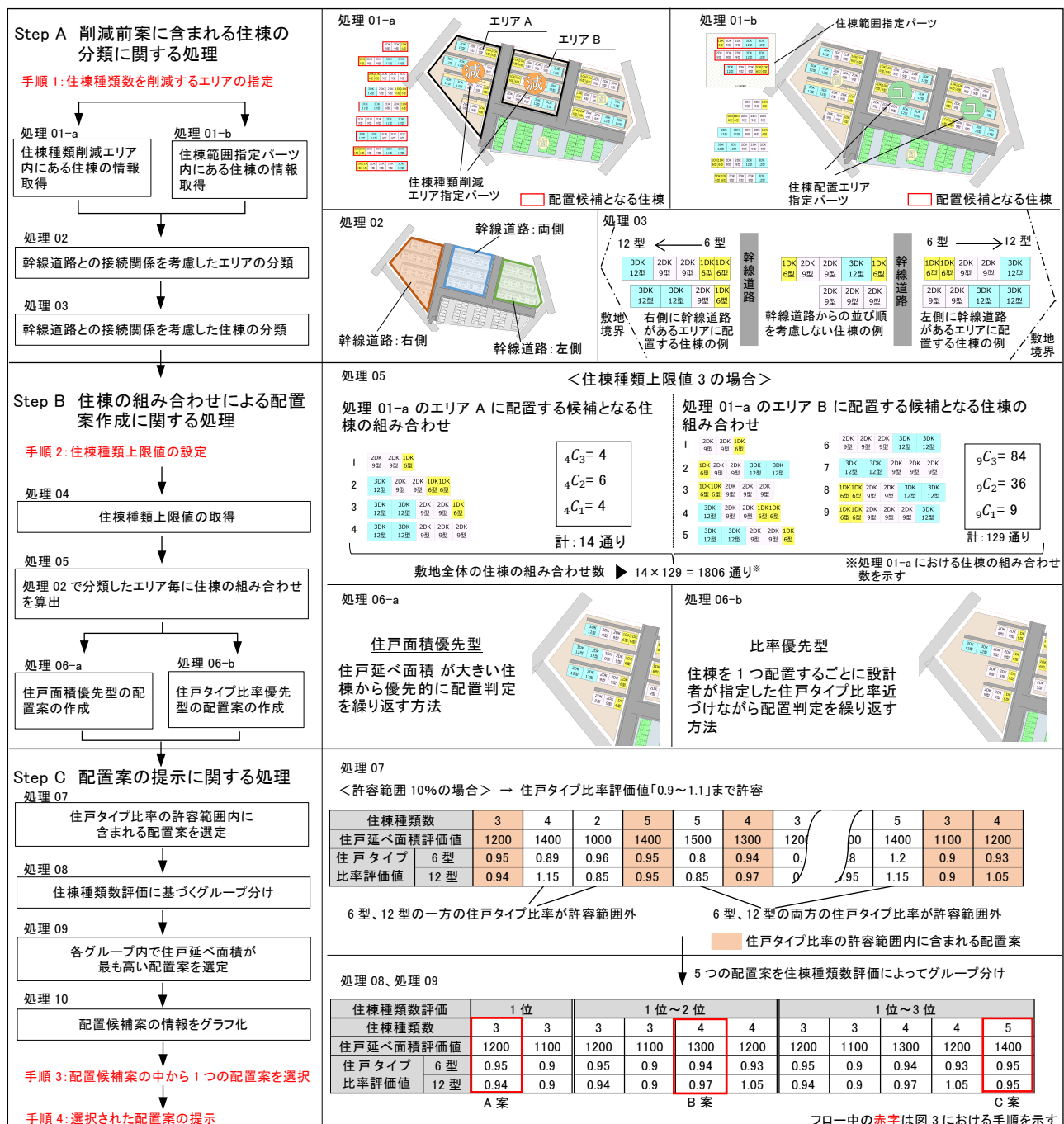


図 4 住棟種類削減機能の詳細なプログラム処理の流れ

価が最も高い配置案を配置候補案とする。なお、各グループ内では住棟種類数に関わらず住戸延べ面積が最も高い配置案が配置候補案として選定されるため、A~C 案で同じ配置案が配置候補案として選定される場合がある。

5. 新プログラムの評価と考察

5.1. 評価方法

実際に施工された仮設住宅団地から選定した 20 敷地^{注 6)} に新プログラムが住戸および駐車場を配置するのみで人が手を加えていない配置案（以下、初期案）を作成する。次に初期案に対してさらに新プログラムを実行する

ことで、住棟種類数を削減した配置案（以下、住棟種類削減案）を作成する^{注 7) 注 8)}。本稿では、以下の 2 点について比較評価を行い新プログラムにおける住棟種類削減機能の有効性を検証する。評価 1: 「住棟種類削減案の住棟種類数」に関して、初期案と住棟種類削減案の住棟種類数を比較する。評価 2: 「プログラムによる配置候補案」に関して、プログラムが自動選定した配置候補案の住戸延べ面積および住戸タイプ比率一致率（式（4））を比較する。

$$\text{住戸タイプ比率一致率: } f = 1 - |f_6 + f_{12}| \quad \text{式 (4)}$$

評価結果の一覧を表2に、作成された配置案の一例を図5に示す。

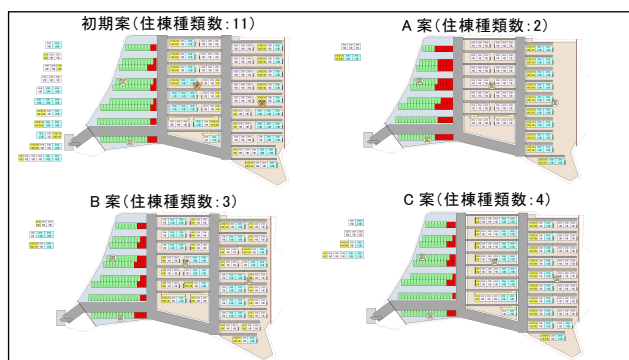


図5 評価のため作成した配置案の例(HS 仮設団地)

5.2. 住棟種類削減案の住棟種類数の評価結果

初期案に対する住棟種類削減案の住棟種類数の割合（以下、住棟種類数割合）を図6に示す。はじめに検証敷地ごとの住棟種類数割合に着目する。住棟種類数割合の平均は0.48であり、住棟種類を5割以下に削減することができた。住棟種類割合の最小はSKのA、B案で0.17、最大はKTのC案で0.87であったことから、住棟種類の削減の割合は敷地によって変化すると言える。そこで、住戸エリアの規模ごとに住棟種類数割合の平均を求めると、規模小の平均は0.52、規模中は0.40、規模大は0.38であったことから、規模が大きくなるにつれて削減の割合は増加する傾向にあると言える。

次に住棟種類数割合に着目すると、21 敷地中 7 敷地（TT、TY、MS、MY、OY、SS、TB3）で配置候補案に差が見られなかった。理由として、住戸タイプ比率の許容範囲が小さいため（本研究の検証では 10%（MS、OY、HK を除く））、許容範囲内に含まれる配置案が少なく、さらにそれらが全て同じ住棟種類数であったことが考えられる。

5.3. プログラムによる配置候補案の評価結果

初期案に対する住棟種類削減案の住戸延べ面積の割合（以下、住戸延べ面積割合）の箱ひげ図^{注9）}を図7、住棟種類削減案の住戸タイプ比率一致率の箱ひげ図を図8に示す。はじめに住戸延べ面積割合に着目する。配置候補案ごとの住戸延べ面積割合の平均を比較すると、A 案～C 案の順に 0.86、0.92、0.94 であり、住棟種類数が増えるにつれて住戸延べ面積が増加する傾向にある。理由として、住棟種類数が増えることで敷地の窪みや隙間に配置できる住棟が増えるからであると考えられる。

次に住戸タイプ比率一致率に着目する。配置候補案ごとの住戸タイプ比率一致率の平均を比較すると、A 案～C 案の順に 0.91、0.86、0.87 であり、住棟種類数と住戸タイプ比率一致率に相関は見られないと言える。理由として、組み合わせる住棟次第では少ない住棟数でも住戸タイプ比率一致率が高い場合があることが考えられる。

表2 評価結果の一覧

災害名		東日本大震災																	熊本地震	北海道胆振東部地震	西日本豪雨	長野豪雨
敷地名		HS	KT	OM北	TS	TT	TY	YT	MS※2	MY	OY※1	SK	SS	ST	TB1	TB2	TB3	TI	KS	HK※1	MS2	SW
住戸エリア面積		7828	1604	3547	5504	1924	2161	3694	2110	9334	5607	3075	2923	3329	3706	3423	2451	1550	6901	1462	2876	2475
住戸エリア規模		大	小	中	中	小	小	中	小	大	中	中	小	中	中	中	小	小	大	小	小	小
住棟種類数	A案	2	3	4	3	4	3	2	4	4	2	1	2	2	2	3	4	3	3	2	2	1
	B案	3	3	5	4	4	3	3	4	4	2	1	2	3	2	4	4	4	4	3	3	2
	C案	4	5	6	5	4	3	3	4	4	2	3	2	3	4	5	4	4	5	3	3	3
	初期案	11	6	8	10	6	6	5	7	8	3	6	4	10	7	9	6	6	11	6	10	5
住戸延べ面積（㎡）	A案	2391	612	1254	1720	768	700	1050	642	3898	2654	1166	1234	1400	1604	1400	1001	700	3324	379	1166	933
	B案	3033	612	1322	2294	768	700	1302	642	3898	2654	1166	1234	1536	1604	1468	1001	787	3480	437	1264	1021
	C案	3198	671	1380	2343	768	700	1302	642	3898	2654	1341	1234	1536	1672	1516	1001	787	3538	437	1264	1137
	初期案	3305	661	1448	2469	758	778	1361	768	3995	2654	1351	1273	1614	1691	1439	1098	826	3645	700	1341	1264
住戸タイプ比率一致率	A案	0.9	0.82	0.9	0.8	0.84	1	1	0.66	0.87	0.87	1	0.9	1	0.92	1	0.88	1	0.94	0.72	1	1
	B案	0.84	0.82	0.91	0.9	0.84	1	0.82	0.66	0.87	0.87	1	0.9	0.84	0.92	0.92	0.88	0.84	0.87	0.72	0.82	0.88
	C案	0.86	0.82	0.92	0.91	0.84	1	0.82	0.66	0.87	0.87	0.84	0.9	0.84	0.93	1	0.88	0.84	0.97	0.72	0.82	0.9
	初期案	0.96	0.28	0.92	0.9	0.5	0.86	0.73	0.6	0.92	0.96	0.92	0.83	0.93	0.16	0.83	0.9	0.69	0.9	0.2	0.73	0.7

※1:住戸タイプ比率の許容範囲を15%に上げた敷地
※2:住戸タイプ比率の許容範囲を20%に上げた敷地

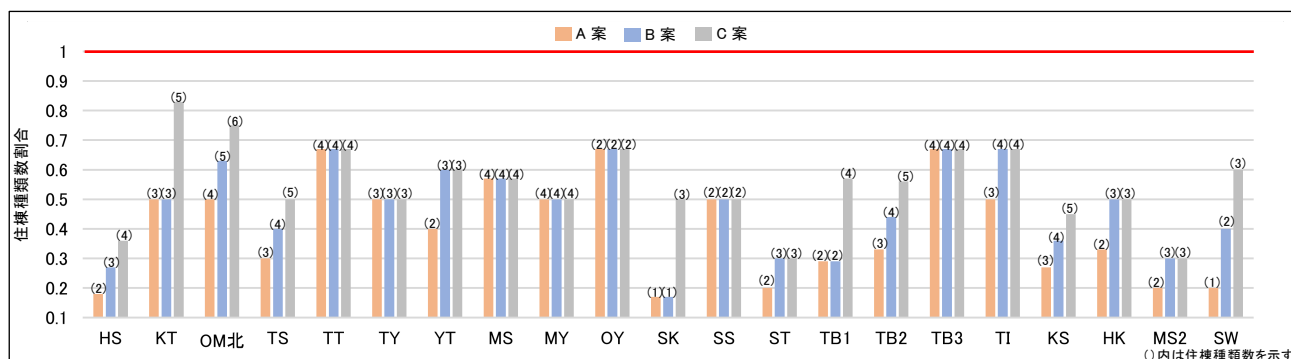


図6 検証敷地ごとの住棟種類数割合

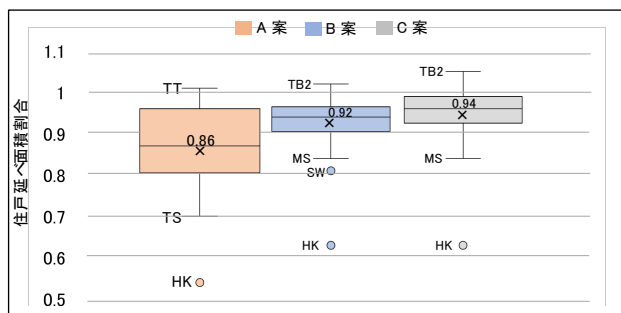


図 7 住戸延べ面積割合の箱ひげ図

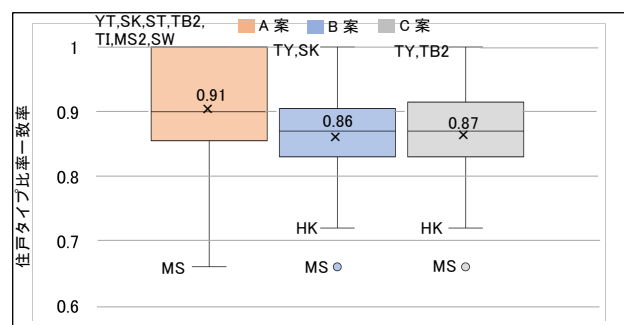


図 8 住戸タイプ比率一致率の箱ひげ図

6. 研究のまとめ

本研究では、プログラムが自動作成した住棟で構成された配置案に対して、住戸タイプ比率の許容範囲内で住棟種類数を削減するプログラムの開発を行った。また、住棟種類削減案の住棟種類数の評価を行い、その結果、住棟種類削減機能を用いることで住棟種類数を 5 割以下に削減できることを明らかにした。

加えて、住戸タイプ比率の許容範囲にある配置案のみを配置候補案として提示するという仕様により、「住戸タイプ比率」を解消したうえで、「住戸延べ面積」、「住棟種類数」の 2 つのみを考慮しながら配置計画を行うことができ、設計者の負担を減らすことができると考えられる。1 度の実行で 1 つの配置案を表示する旧プログラムに対して、プログラムが自動作成した複数の配置候補案の中から設計者が 1 つを選択するという、より高度な対話的計画機能を備えたプログラムになったと考えられる。

本研究では、住棟種類数を削減する方法として既に配置されている住棟を組み合わせで再配置するという手法を提案した。しかし、住戸エリアの種類が増えると、住棟種類の組み合わせ数が膨大となりプログラムの計算時間が飛躍的に長くなることから、1 つの住戸エリアに配置する住棟の種類数に上限を設けた。問題として、全ての住棟種類の組み合わせによる配置案を作成できず、より最適な配置案が作成される可能性を排除していることがあげられる。

上限値を低く設定しても計算が終わらない場合は、全てのエリアで同時に削減処理を行うのではなく、例えば 2 つのエリアを対象に削減処理を繰り返すことや、手動で選定した住棟種類のみを敷地内に並べて削減するなど

のプログラムの運用方法での解決が考えられる。

本研究の課題として、仮設住宅の配置計画の実務経験がある被験者を対象とした新プログラムの検証や、決定木を用いない最適化アルゴリズムの導入があげられる。また、本研究では、旧プログラムと同様に住戸が直線に並ぶ住棟のみを対象として住棟種類数の削減を試みた。近年、住環境の向上という観点からコミュニティが発生しやすい住棟の配置が求められている。展望として住環境に配慮した多様な形態の住棟に対応したプログラムへの改良、および仕様の提案があげられる。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP21K04415 の助成を受けたものです。また、大和ハウス工業株式会社及び大和リース株式会社の関係者の方々には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) 福岡らの研究では配置案作成に関わる「煩雑な作業の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」の組み合わせを対話的手法と定義した。
- 注2) 同じ住戸タイプを同数含む住棟についても、住戸の並びが異なると図面は別途必要となる。
- 注3) 一般社団法人プレハブ建築協会会員企業である大和ハウス工業株式会社及び大和リース株式会社へのヒアリング結果による。また、東日本大震災以降に建設された仮設団地のうち、入手した全 40 敷地における住棟種類数の平均が 3.45 であったことから、住棟種類数を抑える必要があると分かる。
- 注4) 敷地全体の住棟種類数が少ないほど高評価とする。
- 注5) プログラムが自動作成する配置案に用いられる住棟は、含まれる各住戸タイプの数と同じであれば、同じ並びになる仕様のため、削減前の配置案においても既に住棟の種類数は抑えられている。
- 注6) 実際に施工された東日本大震災以降の仮設住宅団地の敷地。本稿では仮設住宅団地の敷地名をアルファベット 2 文字もしくはアルファベット 2 文字に漢字もしくは数字を組み合わせた名前で表現している。
- 注7) 1 つのエリアに配置する住棟の上限値を 4 にした場合、多くの敷地で実行処理が終わらなかったため、上限値を 3 としてプログラムを実行した。
- 注8) 住戸タイプ比率の許容範囲を 10%としてプログラムを実行し、範囲内にある配置案がない場合、5%ずつ許容範囲を上げながら再度実行を行った。
- 注9) 第 3 四分位数から四分位範囲×1.5 倍を足した値以上、第 1 四分位数から四分位範囲×1.5 倍を引いた値以下を外れ値とした。

【参考文献】

- 1) 大水敏弘、「実証・仮設住宅 東日本大震災の現場から」、学芸出版社、2013
- 2) 田口正法、大西康伸、「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」、日本建築学会第 44 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (DVD)、pp.287-290、2021.12
- 3) 福岡伶大、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