

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

Study on Arrangement Optimization for the Applied Genetic Algorithm of Emergency Provisional Housing Based on BIM

○原 好佑*¹, 大西 康伸*²
Kosuke Hara *¹, Yasunobu Onishi *²

*1 熊本大学大学院 自然科学教育部 博士前期課程

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, 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.

Summary: A previous study developed a program that automated the layout planning of emergency provisional housing which takes the longest time until starting construction. However, the created plan may reduce the number of dwelling units and parking spaces compared to the existing plans. Therefore, considering the slight differences in the angles and positions of dwelling units as well as parking spaces, this research developed a program based on the Genetic Algorithm (GA). The research is as follows: 1) In preparation for adopting the GA, the optimization problem, the design variables, and the evaluation functions were defined, and appropriate methods and execution parameters of GA were set according to running tests. 2) We developed an optimization program for area shape studied in BIM. The program also enables users to present not only the optimization results by the scatter plot in Excel, but also the layout plan in BIM based on one of three priority items: "Dwelling unit priority", "Orientation priority", and "Balance priority". 3) At 10 sites of an emergency provisional housing complex with different characteristics, we evaluated the number of dwelling units, parking spaces, and directions of the proposed layout plan based on each priority item compared to existing plans.

キーワード: 応急仮設住宅団地; BIM; 配置計画; 対話的; GA; 自動化

Keywords: Emergency provisional housing complex; BIM; Layout planning; Interactive; GA; Automation

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、現地調査から供給までに通常約 4 週間もの期間を要する。そのうち着工までの工程の約 1 週間は、配置案の作成と住戸の設計に費やされている。そこで、既往研究¹⁾では、着工までの工程で最も時間を要していた仮設住宅の配置案の作成期間の短縮を目指し、コンピュータによる自動実行と人の手動操作を組合せたプロセス（以下、対話的プロセス）により、これまで人が行っていた煩雑な作業を効率化した。一方、既往研究¹⁾で開発したプログラムでは、住戸や駐車場のエリア形状を任意に設定後、エリア内に住戸や駐車場を自動配置するが（以下、エリア内配置プログラム）、エリア形状に関わらず各エリアの上端から順に住戸と駐車場を配置するため、少しの位置や角度の違いにより配置数が大幅に減少する問題が生じていた。そのため設計者はプログラムの挙動を把握し、手作業による微調整によって適切な位置や角度を探らなければならなかった。このような設計者の負担を軽

減するため、本研究では解の探索を行うアルゴリズムとして遺伝的アルゴリズム（以下、GA）を自動配置プログラムに組み込むことで、前述した配置数が少なくなる問題の解決を目指す。具体的には、本研究での最適化問題を定義し、設計変数と評価関数を整理する。次に GA の手法と実行パラメータを選定し、配置最適化プログラムの開発を行う。

2. 既往研究

川瀬ら²⁾は GA を使い、設定されたパラメータに応じて団地内における住棟やコミュニティ施設などの施設配置を最適化する一連のシステムを提案した。ここで開発されたシステムは BIM を基盤としたシステムではないことから、プログラム実行前後の計画・設計プロセスから独立している点、多目的最適化における複数目的関数間のトレードオフ^{注1)}を考慮していない点から、本研究とは異なる。

小島ら³⁾、丸尾ら⁴⁾は日照・日射解析を環境性能評価

軸とし、GA を用いて不整形な敷地に適した集合住宅の設計手法について提案した。不整形な敷地を対象とし、制約条件として敷地条件を設定している点で参考になる。しかし、本システムも同様に BIM を基盤としたシステムでない点、複数目的関数間のトレードオフを考慮していない点から、本研究とは異なる。

3. 最適化問題の定義

最適化問題を解くためのアルゴリズムのうち、GA はメタヒューリスティック^{注2)}に分類される手法である。最適化問題における膨大な計算量に対して、GA は比較的少ない時間と計算量で効率的に最適解の近似解を求めることが可能である。

仮設住宅の最適な配置計画を行うにあたり、応急仮設住宅団地（以下、仮設団地）敷地内を住戸が配置される「住戸エリア」と駐車場が配置される「駐車場エリア」に分け、各エリア内に配置される住戸と駐車場の「位置」と「角度」の最適化を行う。住戸エリアにおいて考慮すべき条件として、「より多くの住戸数の確保」と「採光への配慮」の2つがあげられる。駐車場エリアにおいて考慮すべき条件として、「より多くの駐車台数の確保」があげられる。これらの条件を踏まえ、本研究では、仮設住宅の配置計画における最適な配置案の定義を、「住戸エリア内により多くの住戸が配置され、かつ住棟がより東西配置に近づく配置案」、「駐車場エリア内により多くの駐車場が配置される配置案」とする。

4. 住戸エリアにおける最適配置の条件整理

仮設住宅の配置計画における最適化問題に対して、本研究で用いる設計変数^{注3)}や評価関数^{注4)}の住戸エリアへの適用方法を示す（表1）。住戸を配置する際に住棟の基準となる線（以下、住棟配置線）を濡れ縁側の壁面とする。向かい合う住棟の1800mmモジュールの境界線は揃える必要がないため、x軸の水平方向の距離（以下、水平距離）は考慮しない。よって、住戸エリアの設計変数は、「r1: 東西軸と住棟配置線の角度」と「r2: X軸と住棟配置線の距離（以下、垂直距離）」の2つとする。各設計変数の「間隔」は、角度を1°単位、垂直距離を100mm単位に設定する^{注5)}。

住戸エリアの評価関数として2つを設定する。評価関数1は「1800mmモジュール数^{注6)}」による評価である。仮設住宅には3種類の住戸タイプが存在し、すべて1800mmモジュールで構成されるため、住戸を1800mmモジュールで代用して配置し、その数によって住戸数の評価を行い評価値の最大化を目指す。評価関数2は「東西配置に近い配置角度（以下、方位）」による評価であり、設計変数r1より算出し評価値の最大化を目指す。これら2つの評価関数に対し、最も良い配置案を1つ提示することは困難であるため、パレート最適化^{注7)}によって最適

表1 住戸エリア内配置最適における設計変数

変数名	設計変数 r1	設計変数 r2
	角度 θ (°)	垂直距離 y (mm)
制約範囲	$-90^\circ \leq \theta < 90^\circ$	$0 \leq y < \text{住棟間隔mm} + 5400 \text{mm}$ (住戸奥行)
間隔	1°	100 mm

解を求める。ただし、GA プログラムによって作成された解のうちパレート解は複数存在するため、類似した配置案が提示された場合選択が困難である。そこで、本研究では、住戸数が最大となる「【住戸数】優先の配置案」、東西配置に最も近い角度である「【方位】優先の配置案」、それらの均衡がとれた「【バランス】優先の配置案」の3案から選択が可能な仕様とする（図1）。

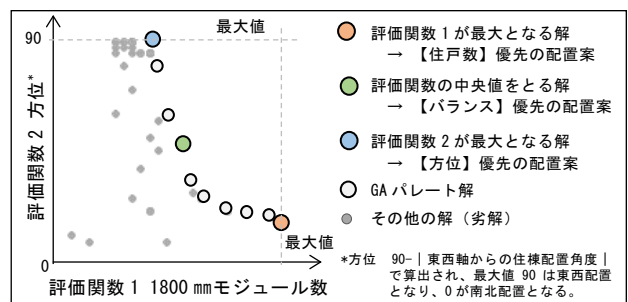


図1 住戸エリアにおけるパレート最適化

5. 駐車場エリアにおける最適配置の条件整理

駐車場は基準線から駐車場グリッド上に配置を行う。駐車場配置線の作成には、「p1: 東西軸と駐車場配置線 x の角度」と「p2: Y 軸と駐車場配置線 y の距離（以下、水平距離）」、「p3: X 軸と駐車場配置線 x の距離（以下、垂直距離）」の3つの設計変数を使用する（表2）。各設計変数の変化の「間隔」は住戸エリアと同様の考え方とし、角度を1°単位、水平距離、垂直距離ともに100mm単位に設定する^{注5)}。評価関数は、駐車場エリア内の最適化問題の定義に基づき「駐車台数」とし、エリア内に配置される駐車台数の最大化を目指す。

表2 駐車場エリア内配置最適化における設計変数

変数名	設計変数 p1	設計変数 p2	設計変数 p3
	角度 θ (°)	水平距離 x (mm)	垂直距離 y (mm)
制約範囲	$-90^\circ \leq \theta < 90^\circ$	$0 \leq x < \text{幅mm}$	$0 \leq y < (\text{車路幅mm} + \text{奥行mm} \times 2)$
間隔	1°	100 mm	100 mm

6. 遺伝子構成

GA のプログラムを記述する際に、遺伝子としての数の表現（以下、遺伝子表現）や遺伝子群の長さ（以下、遺伝子長）を決定する必要がある。通常、遺伝子は 2 進数を用いて表現される^{注8)}。各エリアの設計変数は配置線の角度と位置（垂直距離と水平距離）の 2 つに大別される。

住戸エリアの場合、角度は東西軸を基準として [-90°, 90°] の範囲であるが、自然数にするために設計変数から +90 した [0°, 180°] の範囲で 2 進数に変換したものを遺伝子表現とする。垂直距離は、100mm 間隔の変化で配置を行うため、「住棟間隔 (mm) + 5400mm (住戸奥行)」を 1/100 した値を 2 進数に変換したものを遺伝子表現とする。駐車場の場合、角度は住戸エリアと同様とする。垂直距離は、「車路幅 (mm) + 5000mm (駐車場の奥行) × 2」を 1/100 した値、水平距離は「駐車場幅 2500mm」を 1/100 した値を 2 進数によって表現する (図 2)。

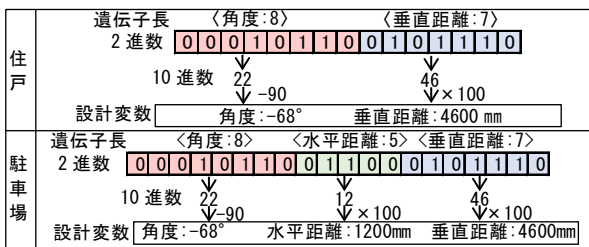


図 2 住戸および駐車場エリアにおける遺伝子表現の例

7. 手法の決定

本研究では GA の手法とパラメータを決定するために、入手した東日本大震災において実際に建設された 10 の配置図の中から代表的な敷地形状と考えられる 3 つ (TI, OM, TBI)^{注9)} を対象に総当たりプログラム^{注10)} と表 3 に示す 8 つのプログラム (以下、gp) および表 4 に示す 3 つの実行パラメータ^{注11)} (以下、gv) を用い、以下に示す比較を行う。まず、各 gv を設定した gp を 100 回ずつ自動実行し、「a: gp のパレート解集合 100 セット」を出力する。次に、「b: 総当たりプログラムのパレート解集合」を参照し、a の 1 セットのパレート解集合が b といくつ一致しているかを数える (以下、一致数)。そして、「A: 一致数 100 回分の平均値」、「B: 一致数 100 回分の標準偏差」の 2 つの指標を算出する。A が多ければ、出力するパレート解集合が総当たりプログラムにより近いことがわかり、B が小さいほど、平均値にばらつきが少なく安定して総当たりプログラムに近いパレート解が得られることがわかる。続いて、「C: a の 1 セットごとに b のパレート解の両端を取得したときの回数 (以下両端取得した回数)」を算出する。C からは多目的最適化による解が収束しているかがわかる。表 5 より、全ての gp において gv2 が「最も良い値」の数が多かった。次に、gv2 における各 gp を比較する (表 6)。ここで「制約条件」、「選択」、「交叉」の各手法を評価するため、「同じ手法を含む gp の A、B、C を敷地ごとに正規化した値」の和を算出した (表

7)。その結果、「引き戻し法」、「ルーレット選択」、「一様交叉」が良い結果を得た。以上より、gp6、gv2 を採用する。

表 3 検証する GA プログラム

プログラム	制約条件	選択	交叉
gp1	デスペナルティ法	エリート保存	二点交叉
gp2		ルーレット選択	一様交叉
gp3		ランキング選択	二点交叉
gp4	引き戻し法	エリート保存	二点交叉
gp5		ルーレット選択	一様交叉
gp6		エリート保存	二点交叉
gp7		ランキング選択	一様交叉

*網掛けは採用した手法

表 4 検証する実行パラメータ

実行パラメータ	生成数(個)	世代数(個)	交叉率(%)	突然変異率(%)
gv1	50	50	80	20
gv2	100	50	80	20
gv3	50	100	80	20

*網掛けは採用した手法

表 5 gp と gv の組み合わせごとの評価指標の値

gp と gv	敷地	A: 一致数の平均値			B: 一致数の標準偏差			C: 両端を取得した回数		
		TI	OM	TBI	TI	OM	TBI	TI	OM	TBI
gp1	gv1	7.10	10.60	9.40	3.20	2.70	4.00	88	95	68
	gv2	4.60	12.80	19.57	2.80	1.00	2.53	95	100	38
	gv3	4.49	11.60	13.79	2.59	1.90	3.78	96	99	29
gp2	gv1	8.50	10.40	9.80	3.90	2.20	4.60	87	98	82
	gv2	3.90	12.10	17.98	1.90	1.10	4.54	98	100	57
	gv3	4.44	10.90	13.45	2.19	1.70	4.85	90	98	58
gp3	gv1	8.50	9.80	10.00	3.30	3.60	4.90	88	93	71
	gv2	6.10	11.80	20.51	4.30	2.90	3.10	97	97	20
	gv3	6.25	10.80	14.48	3.59	3.80	3.30	96	88	26
gp4	gv1	8.20	11.00	9.80	2.70	2.80	4.30	91	98	77
	gv2	5.10	11.70	16.47	3.50	2.00	4.37	88	99	25
	gv3	4.90	10.70	12.29	3.46	3.10	4.23	94	96	39
gp5	gv1	7.60	11.00	9.40	3.30	2.40	3.30	89	97	78
	gv2	5.50	13.90	18.61	2.00	1.20	2.67	100	100	33
	gv3	5.29	11.80	14.38	2.06	3.00	3.98	93	96	34
gp6	gv1	7.90	11.20	10.70	2.30	1.70	3.40	86	99	86
	gv2	14.70	13.10	17.70	2.80	1.30	3.80	82	99	92
	gv3	9.00	11.40	11.80	2.60	1.80	3.80	93	100	93
gp7	gv1	10.20	11.40	11.20	3.10	2.90	3.90	89	98	82
	gv2	5.63	11.30	16.60	2.40	5.10	6.60	94	85	84
	gv3	11.60	10.90	9.80	4.10	4.60	4.70	84	85	70
gp8	gv1	8.90	10.20	10.30	2.70	3.50	3.50	83	92	83
	gv2	4.50	12.90	13.65	1.70	2.20	3.62	94	100	31
	gv3	5.21	11.20	13.65	1.97	3.20	3.62	90	94	31

*網掛けは各 gp の中で最も良い値

表 6 各 gp と gv2 の組み合わせごとの評価指標と正規化した値

検査項目	敷地	A: 一致数の平均値 (正規化した値*1)			B: 一致数の標準偏差 (正規化した値*2)			C: 両端を取得した回数 (正規化した値*1)		
		TI	OM	TBI	TI	OM	TBI	TI	OM	TBI
gp1	gv1	4.60	12.80	19.57	2.80	1.00	2.53	95	100	38
	gv2	(0.06)	(0.58)	(0.86)	(0.58)	(1.00)	(1.00)	(0.72)	(1.00)	(0.25)
	gv3	3.90	12.10	17.98	1.90	1.10	4.54	98	100	57
gp2	gv1	(0.00)	(0.31)	(0.63)	(0.92)	(0.98)	(0.51)	(0.89)	(1.00)	(0.51)
	gv2	6.10	11.80	20.51	4.30	2.90	3.10	97	97	20
	gv3	(0.20)	(0.19)	(1.00)	(0.00)	(0.54)	(0.86)	(0.83)	(0.80)	(0.00)
gp3	gv1	5.10	11.70	16.47	3.50	2.00	4.37	88	99	25
	gv2	(0.11)	(0.15)	(0.41)	(0.31)	(0.76)	(0.55)	(0.33)	(0.93)	(0.07)
	gv3	5.50	13.90	18.61	2.00	1.20	2.67	100	100	33
gp4	gv1	(0.15)	(1.00)	(0.72)	(0.88)	(0.95)	(0.96)	(1.00)	(1.00)	(0.18)
	gv2	14.70	13.10	17.70	2.80	1.30	3.80	82	99	92
	gv3	(1.00)	(0.69)	(0.59)	(0.58)	(0.93)	0.69	(0.00)	(0.93)	(1.00)
gp5	gv1	5.63	11.30	16.60	2.40	5.10	6.60	94	85	84
	gv2	(0.16)	(0.00)	(0.43)	(0.73)	(0.00)	(0.00)	(0.67)	(0.00)	(0.89)
	gv3	4.50	12.90	13.65	1.70	1.20	3.62	94	100	31
gp6	gv1	(0.06)	(0.62)	(0.00)	(1.00)	(0.95)	(0.73)	(0.67)	(1.00)	(0.15)

*1 最大値 1 最小値 0 になるように正規化 $\frac{x-x_{min}}{x_{max}-x_{min}}$ *2 最大値 0 最小値 1 になるように正規化 $\frac{x-x_{max}}{x_{min}-x_{max}}$

表 7 「同じ手法を含む gp の A、B、C を敷地ごとに正規化した値」の和

制約条件	選択	交叉	
デスペナルティ法	19.85	25.06	20.21
引き戻し法	21.31	16.10	20.95

以上で述べた GA の手法や実行パラメータが優位になったと思われる理由を以下に述べる。「制約条件」に関して、引き戻し法^{注12)} はデスペナルティ法^{注13)} に比べ制約範囲外の値を淘汰させることなく生成した解を保持することができるため、安定したパレート解が得られたと推察する。しかし、生成数が多いほどその差は縮まる傾向があるため、gv2 を採用した場合僅差となったと考えられる。「選択」に関して、ルーレット選択^{注14)} はランキング選択^{注15)} に比べ評価の低い個体も選択する可能性を残すことができるため、より広域的に探索され解の多様性

を保持できたと推察する。「交叉」に関して、二点交叉^{注16)}と一様交叉^{注17)}の結果にほとんど差がなかった。一方、実行パラメータに関して、世代数より生成数を大きくする方が初期解やパレート解をより多く生成する点や交叉させる個体が多い点で、解の収束につながったと考えられる。

8. 配置最適化手法の提案

前項の条件を踏まえた本研究で提案する GA プログラムのフローを図3に示す。Step2 でパラメータに基づいた初期解が生成され、Step3~5 で各個体の評価を行う。50 世代終了した時点で評価の高い値がパレート最適解によって算出され、配置案が提示される。

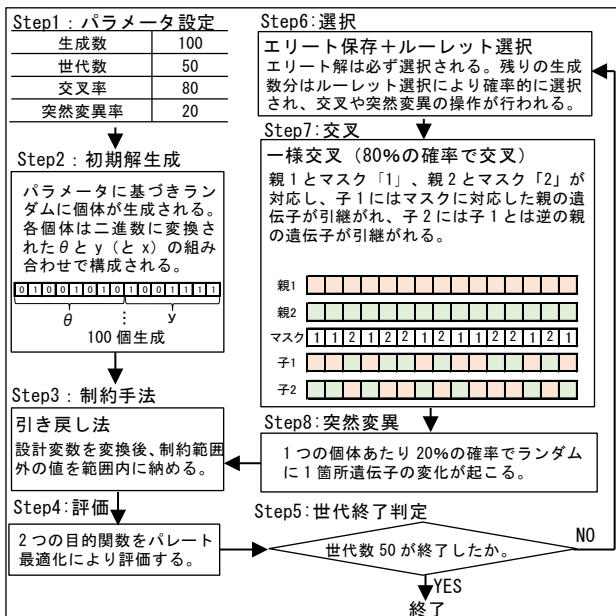


図3 GAプログラムのフロー

9. GA を用いた配置最適化プログラムの開発

本研究では、BIM ツールとして Revit2019(以下、Revit)、開発環境として Revit 上で動作する GAE (Graphical Algorithm Editor) である Dynamo2.0.3 (以下、Dynamo) を用いた。Dynamo 上では、標準のノード及びプログラム言語の Python スクリプトを使用した。GA は全て Python を用いてコーディングした。また、データの入出力を目的として Excel2016 (以下、Excel) を使用した。

手動操作によるエリアの配置やパラメータの設定などにより設計者の意図を反映しつつ、GA による最適化結果を BIM に提示するプログラムを作成した(図4)。案から条件を自動的に読み取り、案に最適化結果を自動的に反映できることは、BIM 上で最適化プログラムを動作させる利点である。プログラムを用いた配置計画の手順を図5に示す。配置最適化プログラムを実行すると、選択した優先項目に従った配置案が Revit に提示され、同時に Excel 上に最適化結果として「設計変数と評価関数の値」と「評価関数の散布図」が表示される。また必要に応じ

て、住戸エリアの優先項目の変更による配置案の再作成を行うことで、複数案の検討が可能である。

その他補助的な機能として、提示された配置案に対し、〈手順1〉にて住戸や駐車場の「配置方向指定」を行い、プログラムの再実行を行うことで、角度を固定した状態で位置のみの最適化を行うことができる。また GA を実行する度に別の解が生成されるため、提示された結果が最適でないと感じた場合や、配置方向指定を行った場合に、〈手順2〉にて「最適化結果の更新」機能を使用し、

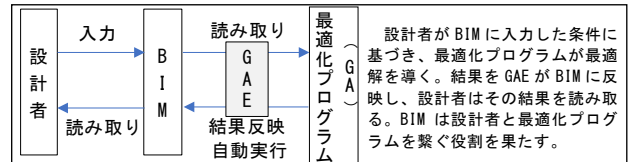


図4 設計者と遺伝的アルゴリズムと BIM の関係

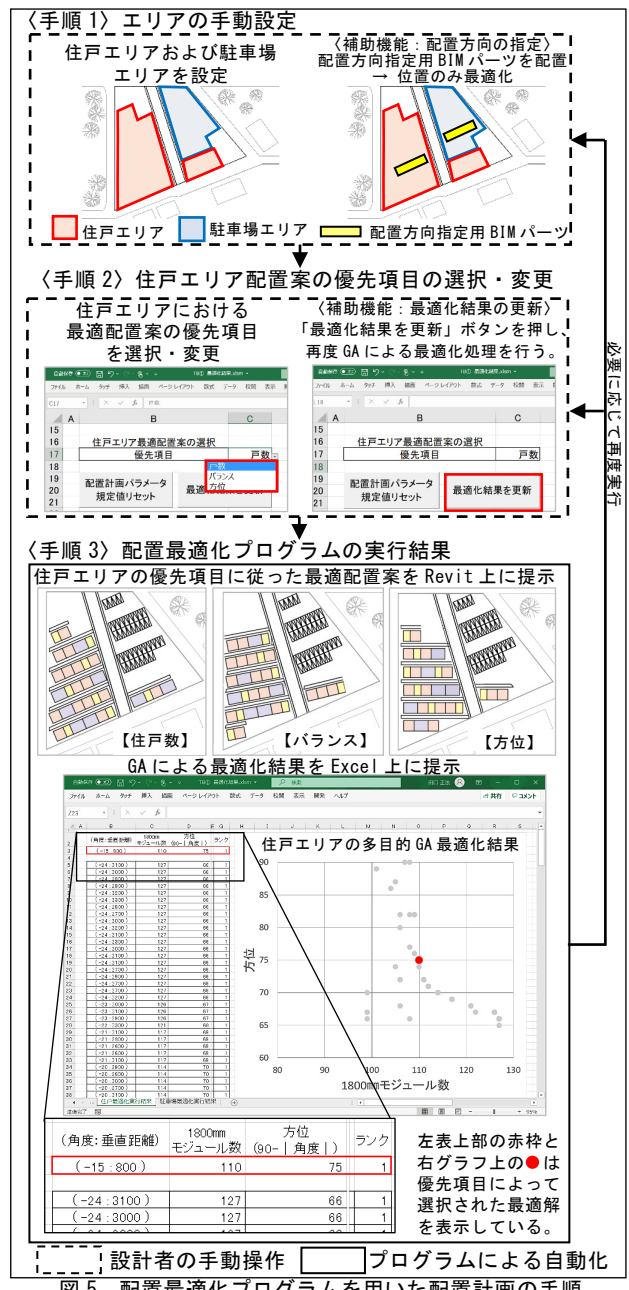


図5 配置最適化プログラムを用いた配置計画の手順

プログラムの再実行を行うことで、新たな GA による最適化結果を提示することができる。

10. 実施案とプログラム案の比較検証

入手した東日本大震災において実際に建設された 10 の仮設団地（以下、検証敷地）を対象に、実施案と配置最適化プログラムを用いて作成した 3 種類（住戸数優先、バランス優先、方位優先）の配置案（以下、プログラム案）の「住戸数（各住戸エリアの合計）」、「方位（各住戸エリア）」、「駐車台数（各駐車場エリアの合計）」、3 つの比較検証を行い、考察を行う。本検証では、実施案と同等の配置計画パラメータとエリアの設定を行い、方向指定の補助機能は使用しないこととする。

全検証敷地における結果の一覧表とプログラム案ごとの散布図を以下に示す（表 8、図 6）。住戸数優先のプログラム案では、全ての検証敷地において実施案以上の住戸数を確保することができた。しかし、検証敷地 4、9、10 において方位が実施案よりも低かった。バランス優先のプログラム案では、検証敷地 1、2、3、4、6、8、9 において両方の評価値が実施案以上であった。しかし、検証敷地 5、7 において住戸数が実施案よりも低く、検証敷地 10 において方位が実施案よりも低かった。方位優先のプログラム案では、全ての検証敷地において完全東西配置（方位：90、玄関が真北を向いた状態）となった。しかし、検証敷地 3、4、5、7、8 の住戸数は、実施案未満であった。以上より、各優先項目に基づく自動配置案作成プログラムが意図通りに作動していることが確認できた。また、どの優先項目でも住戸数・方位ともに評価が実施案以上である検証敷地 1、2、6、住戸数と方位のトレードオフが生じた検証敷地 3、4、5、7、8、9、10 の 2 つに分類することができた。これは、「どの優先項目でも結果が大きく変わらない敷地」と「優先項目が有効に機能する敷地」の 2 つが存在することを意味している（図 7）。

また駐車場の配置では、駐車場がある全ての検証敷地において、実施案より多くの駐車台数を確保することができた。一方、住戸エリアのアクセス通路や駐車場エリアの車路が周辺の幹線道路と接続していないプログラム案が一部提示されたため、幹線道路とエリア内通路のアクセスを前提条件とした多目的最適化を行う必要がある。

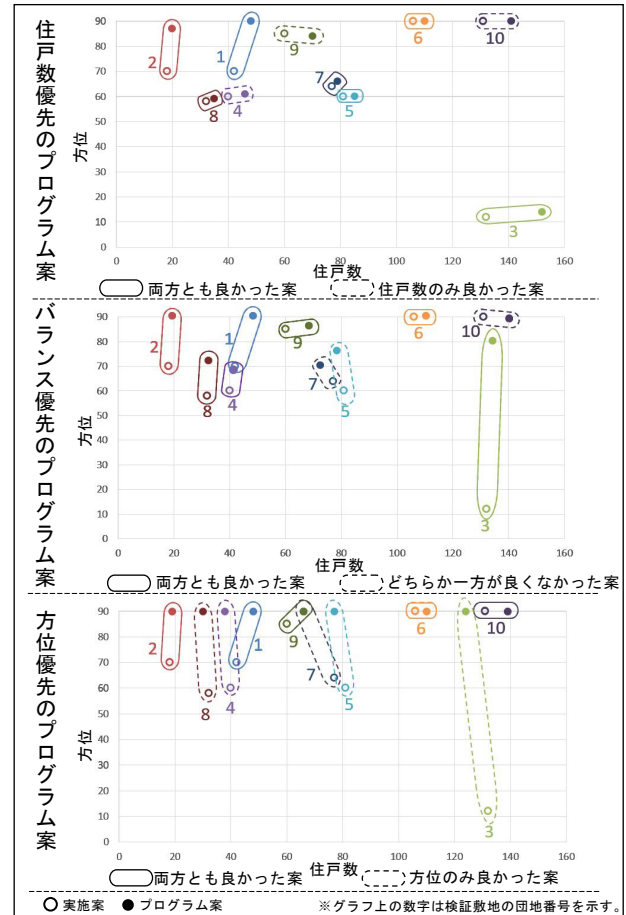


図 6 プログラム案の検証結果散布図

表 8 全検証敷地における検証結果の一覧

No	評価項目 団地名	実施案				プログラム案										駐車台数(台)
		住戸エリア			駐車台数(台)	住戸エリア										
		住戸数(戸)	1800mmモジュール数	方位		住戸数優先			バランス優先			方位優先				
				住戸数(戸)	1800mmモジュール数	方位	住戸数(戸)	1800mmモジュール数	方位	住戸数(戸)	1800mmモジュール数	方位				
1	OM 北仮設団地	42	126	70	31	48	144	90	48	144	90	48	144	90	36	
2	OM 南仮設団地	18	54	70	—	20	59	87	19	58	90	19	58	90	—	
3	HS 仮設団地	エリア1	198	12	89	152	206	13	134	175	80	124	162	90	91	
		エリア2	198	12		152	247	14		227	34		207	90		
	合計	396			453				402			369				
4	TY 仮設団地	エリア1	72	60	—	46	73	61	41	67	65	38	60	90	—	
		エリア2	48	60		46	64	59		55	68		53	90		
	合計	120			85	137			122			113				
5	SS 仮設団地	エリア1	66	60	45	85	66	60	78	55	76	77	54	90	52	
		エリア2	174	60		85	187	61		180	74		177	90		
	合計	240			253			235			167					
6	ST 仮設団地	エリア1	80	90	—	110	88	90	110	88	90	110	88	90	—	
		エリア2	80	90		110	87	90		87	90		87	90		
	エリア3	143	90	110	157	90	110	157	90	110	157	90	—			
	合計	303			332			332			332					
7	TB1 仮設団地	エリア1	110	64	77	79	110	64	72	101	70	66	90	90	85	
		エリア2	120	64		79	127	66		114	70		108	90		
	合計	230			237			214			198					
8	TI 仮設団地	32	95	58	32	35	104	59	32	96	72	30	90	90	33	
9	SK 仮設団地	エリア1	123	85	57	70	150	84	68	147	86	66	145	90	59	
		エリア2	52	85		70	60	6		56	85		53	90		
	合計	175			210			203			198					
10	OI 仮設団地	エリア1	80	90	135	141	83	90	140	83	90	139	83	90	143	
		エリア2	204	90		141	208	88		204	89		199	90		
	エリア3	108	90	141	130	88	140	129	89	128	90	143				
	合計	392			421			412			410					

*1 方位:住棟配置がより東西配置に近いほど高評価となる(|90-東西軸からの住棟配置角度|)。最大値 90 は完全な東西配置となり 0 が完全な南北配置となる。
*2 網掛けは実施案の評価値未満のものを示す。

ると考えられる。

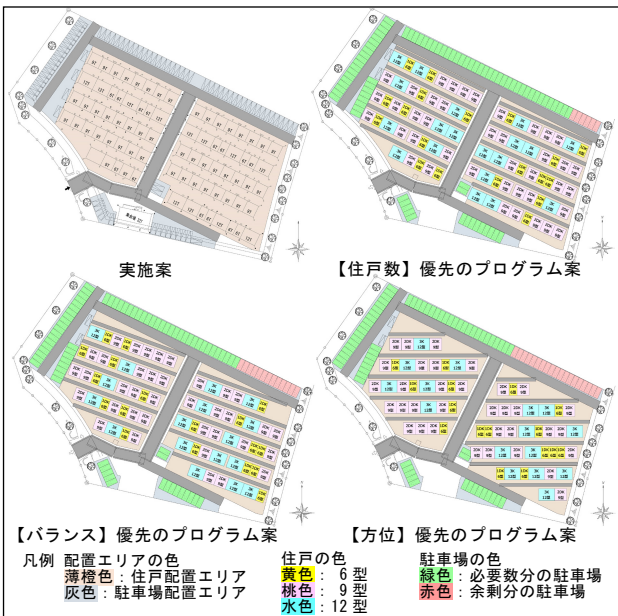


図7 トレードオフが生じた検証敷地の例 (TB1 仮設団地)

11. 提案手法を用いた配置案の作成所要時間

本研究で開発した配置最適化プログラムを使用し、3種のプログラム案を作成する所要時間は、一団地あたり設計者のエリアの入力操作と Excel のパラメータ変更に平均で約 10 分、プログラムの実行に平均で約 5 分を要した注18)。GA を用いた配置最適化プログラムによって、最適化処理と自動配置を行うことができ、手動操作によるエリア内のより良い位置と角度の探索の必要がなくなることで、設計者による配置案作成の所要時間の短縮が見込まれる。

12. 研究の成果と課題

本研究の成果として、1) 設計変数と評価関数の整理と GA を用いた最適化プログラムの仕様の提案、2) GA を用いた配置最適化プログラムの開発およびその結果を BIM に提示するプログラムの開発、3) 実施案より最適な配置案作成が可能であることの確認の 3 つがあげられる。

課題として、1) 幹線道路から住戸へのアクセスを考慮した配置案の作成、2) 幹線道路や配置エリアの位置及び形状の最適化、3) 設計プロセス全体への GA を用いた最適化の波及の 3 つがあげられる。

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) 多目的最適化問題の各目的関数の間において、一方をよくすると他方が悪くなること。
注2) 解くべき問題を限定せず、比較的広範囲の問題を解くこ

とを目的とした最適化手法。

- 注3) 寸法や角度などの設計に関する変更可能なパラメータ。
注4) 最適化問題に基づく最適な条件を数値化し、評価するための関数。
注5) 本研究では設計変数を 2 進数で扱うため、スピードが担保されない桁数にならないよう考慮した。
注6) 住戸タイプは 6 型 (間口 3600 mm)、9 型 (間口 5400 mm)、12 型 (間口 7200 mm) の 3 つによって計画される。1800 mm 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7) 各解に対して各評価関数の値が良い他解の数を数え上げ (重複計上しない)、その数が少ない順にランクを定め解の評価を行う。最終世代では、ランクが同率 1 位の解集合つまりパレート解集合として提示されたものの中から解を選択することができる。
注8) 設計変数を 2 進数で表現すると、交叉・突然変異のコーディングが容易であるため。
注9) 各敷地の特徴を以下に示す。TI: 多角形で内部に凸な角を持つ敷地 (入手した 10 敷地中 3 敷地)。OM: 多角形で細長い敷地 (同中 3 敷地)。TB1: おおよそ矩形で長辺ないし短辺が南北軸に対し角度を持つ敷地 (同中 4 敷地)。
注10) 全ての設計変数の組み合わせに対し、配置可能な住戸数と駐車場台数を算出するプログラム。
注11) 100 戸程度の配置案の自動作成が 5 分程度の実行時間で終了することが実用上現実的である。その際、GA が候補として生成する案は 5000 程度であったことから、これを gv の上限とした。
注12) 交叉や突然変異によって設計変数が制約範囲から外れた場合、設計変数の値から制約範囲の最大値を減算することで制約範囲内に数値を収め解として保持する手法。
注13) 交叉や突然変異によって設計変数が制約範囲から外れた場合、その解の評価値を強制的に 0 とし評価を下げることで、解を選ばれにくくする手法。
注14) 評価値によって選択される確率を決め、それに基づきランダムに解を選択する手法。
注15) 評価値が高い個体から順に選択する手法。
注16) 遺伝子を表現する 2 進数の列を 2 か所で切り分け、遺伝子を交互に入れ替える方法。
注17) 遺伝子を表現する 2 進数の列をランダムに生成されたマスクパターンに応じて遺伝子を交互に入れ替える方法
注18) 同様の条件で総当たりプログラムを実行すると 1 時間を要する。そのため、配置計画の試行錯誤の中で何度も実行することを想定すると、総当たりプログラムは不向きであると考えた。

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
- 2) 川瀬隼也、山邊友一郎、谷明勲、「遺伝的アルゴリズムを用いた住宅地施設最適配置システムに関する研究: 道路配置を考慮した最適化」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 467-468、2008
- 3) 小島一志、岡山敏哉、河野良坪、「アルゴリズムを用いた集合住宅の設計手法の提案と環境性能評価 第 1 報 不整形な敷地を対象とした日照解析による住棟配置の最適化」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 315-316、2018
- 4) 丸尾翔真、岡山敏哉、河野良坪、「アルゴリズムを用いた集合住宅の設計手法の提案と環境性能評価 第 2 報 不整形な敷地を対象とした日光率解析による住戸配置の最適化」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 317-318、2018
- 5) 穴井宏和、「数理最適化の実践ガイド」、講談社、2013