

# 空間成長による間取り生成アルゴリズムの改善の検討

## 成長開始点、廊下成長方向、成長ルールの緩和について

○井上 誠\*<sup>1</sup> 平元 萌\*<sup>2</sup>

キーワード：建築計画 進化的計算 進化的多目的最適化

### 1. 背景と目的

建築の間取り計画において、現在は建築家の手により多数の条件を考慮して計画されている。そのため短時間に多くの間取りの提案をするのは困難である。また建築家の計画手法や方向性には一定のパターンや偏りが生じやすいこともある。計画は計画者の技術や知識によってその質や作成時間に大きく差があり、豊富な知識と経験が必要とされる。

これまで進化的計算を用いた建築空間計画の方法は様々<sup>1)</sup>ある。その中で問題の設定や評価方法の類似するものは谷垣らによる研究<sup>2)</sup>であるが、間取り作成の方法が異なっている。本研究では我々の進化的多目的最適化を用いた手法<sup>3-8)</sup>の間取り生成部分の3つの改善案を提案し、より多様な間取りの作成および部屋の配置計画においてのいくつかの評価項目に関するより良い間取りの作成方法を示すことを目的とする。建築計画は多くの制約や目的を伴うものであるので多目的問題として扱う。

### 2. 間取り生成アルゴリズム

#### 2.1 従来方法

今回提案するアルゴリズムの変更の基準となる従来の間取り生成アルゴリズムの概要を示す。

各部屋の成長開始点を  $m \times n$  のセルにランダムに配置をする(図1-左)。次に、各部屋の隣接セル8方向について1セル分成長させるが、まずは上下左右方向に成長させ、その後角(45度)方向に成長させる。各部屋を順番に成長させる(図1-中)。成長方向に他の部屋があり成長できなくなるまで各部屋は成長を続ける(図1-右)。

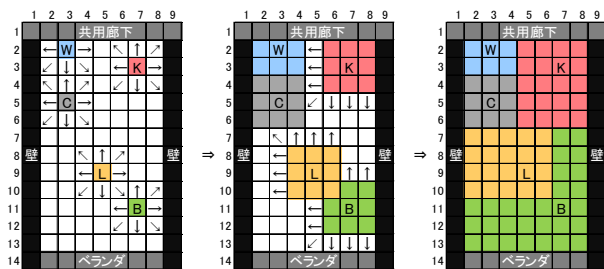


図1 従来方法成長例。

L:居間, K:台所, W:水周り, B:寝室, C:廊下

#### 2.2 従来方法の問題点

これまでの我々の間取り生成方法<sup>3-8)</sup>での問題点で改善の余地がある点は次の通りである。

1. 各部屋間に隙間(部屋が配置されなかった空間)ができる場合がある。
2. 無窓の居室ができる場合がある。
3. 廊下の幅が広すぎる場合がある。
4. 各部屋のアスペクト比が極度に大きい、また面積が大きすぎるあるいは小さすぎる場合がある。
5. 部屋形状が矩形、または矩形の角が一部欠けたL字、T字、十字などに限られる。

これらの問題点を改善するための方法を次に述べる。

#### 2.2 生成アルゴリズムの改善案

今回提案する方法は次の①~③の3つである。それぞれの従来方法からの変更内容とその成長例を図示する。

##### ①成長開始点の指定

従来方法では成長開始点は  $m \times n$  のセルにランダムに配置したものを、廊下と水周りを除く各部屋の成長開始点を共用通路側、壁側、ベランダ側から1セル分の範囲でランダムに配置する。廊下については共用通路側から1セル分の範囲でランダム配置、水周りについては窓を必要としないため、 $m \times n$  のランダム配置とする(図2)。

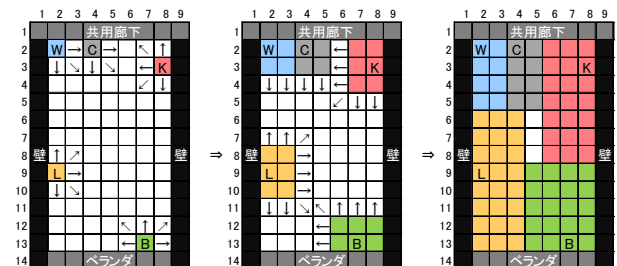


図2 改善案①成長例。

L:居間, K:台所, W:水周り, B:寝室, C:廊下

##### ②廊下の成長方向の制限

従来方法では廊下についても他の部屋と同様に8方向の成長したものを、廊下のみ成長を上下左右の4方向に限定する(図3)。また、各部屋の成長順序も変更し、従

来方法では居間、台所、寝室（1～3）、水周り、廊下の順での成長させていたものを、廊下、居間、台所、寝室（1～3）、水周りの順で成長を行うこととする。

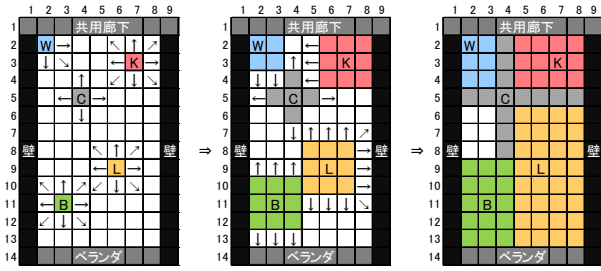


図3 改善案②成長例。

L:居間, K:台所, W:水周り, B:寝室, C:廊下

### ③部屋の成長制限の緩和

従来方法では成長方向に1つ以上のセルが他の部屋と隣接していた場合、その方向への成長は停止していたものを、セル単位で成長方向に部屋が無い場合の成長を可能とした(図4)。

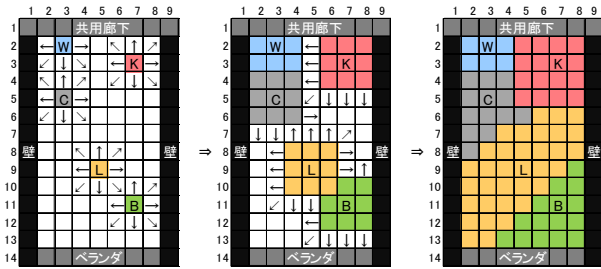


図4 改善案③成長例。

L:居間, K:台所, W:水周り, B:寝室, C:廊下

また、3つの改善案を全て含んだ改善案①+②+③についても実験を行う(図5)。

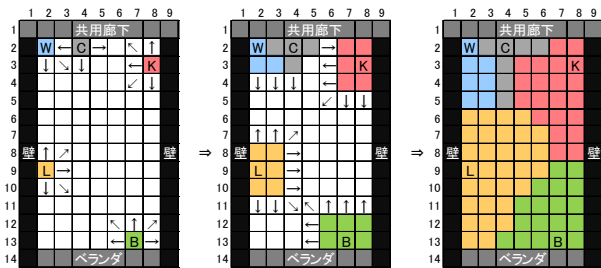


図5 改善案①+②+③成長例。

L:居間, K:台所, W:水周り, B:寝室, C:廊下

## 3. 実験方法

### 3.1 実験条件

1m×1mのセルを最小単位とし、住戸面積は12m×7mの84㎡とする。生成する部屋は、居間、台所、寝室3室、水周り、廊下とする。

評価項目は4目的とし、進化的多目的最適化(EMO)は多目的遺伝的アルゴリズム(MOGA)<sup>9)</sup>により行い、50試行、50世代、21個体、選択方法はルーレット選択、突然変異率は1%、交差率は100%、交差方法は一様交差、ニッチの境界閾<sup>9)</sup>は49/4とする。

②以外の部屋の成長順序は居間、台所、寝室1、寝室2、寝室3、水周り、住戸内廊下の順とした。

数値解析ソフトウェアはScicosLab-4.4.1を用いた。

### 3.2 評価に用いる目的

生成した間取りの評価は次に示す4目的で行い、各フィットネス値の最大値を1として正規化して求める。

#### 1) 床面積

住戸全体の床面積を84㎡とした場合の部屋の床面積の目標を居間20㎡、台所16㎡、水周り、9㎡、寝室3室各12㎡、廊下1㎡とする。

床面積 $a_i$ と目標床面積 $\hat{a}_i$ より各部屋のフィットネス値を図6のように定め、式(1)より住戸全体のフィットネス値を求める<sup>6)</sup>。

$$f^1 = \sum_{i=1}^7 f_i^1(a_i) \quad (1)$$

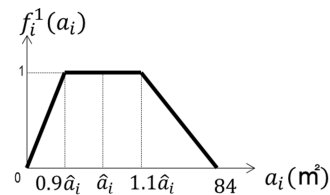


図6 床面積に関するフィットネス関数

#### 2) 部屋形状

部屋 $i$ の短辺長/長辺長比を $r_i$ として、図7のようにフィットネス値 $f_i^2(r_i)$ を求める。また部屋形状(床形状)の度合いとして $g_i^2$ を(床面積 $a_i$ )/(部屋 $i$ を全て含む最小の四角形の面積)とした。また各部屋について重み付け $w_i$ をする。これより部屋形状のフィットネス値を

$$f^2 = \sum_{i=1}^7 (w_i \times f_i^2(r_i) \times g_i^2) \quad (2)$$

とする<sup>6)</sup>。

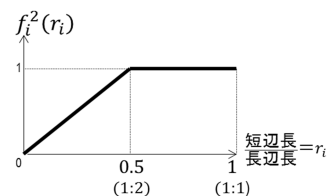


図7 部屋形状に関するフィットネス関数

### 3) 動線

居間、台所、廊下は通過経路として使用できるとし、寝室と水周りは通過経路にできないと設定する。これらの隣接関係毎に加点しフィットネス値とする<sup>6)</sup>。

### 4) 採光

各居室の床面積の1/7以上の窓面積でフィットネス値を1とする。数値の建築基準法第28条に拠る。窓は共用通路側で壁に1 m<sup>2</sup>/m、ベランダ側に2 m<sup>2</sup>/m取ることができ、部屋*i*の床面積を $a_i$ 、窓(採光)面積を $s_i$ とする<sup>6)</sup>。

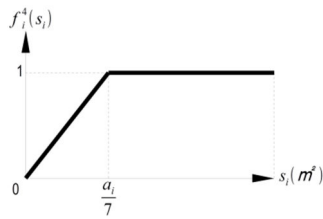


図8 採光に関するフィットネス関数

### 3.3 最適化の手順

まず各間取りの4目的の評価を行う。そして評価値に基づき4次元のパレートランキング<sup>10)</sup>およびニッチカウント<sup>9)</sup>を行い、これらから各個体の適応度を求める。その後ECの演算を行い、次世代個体を生成する。この流れを必要個体数が得られるまで繰り返し行い間取り生成部に返す<sup>7, 9)</sup>。

## 4. 実験結果及び考察

### 4.1 フィットネス値の世代による推移

実験により生成された間取りから、4目的の世代毎のフィットネス値を求め、改善案別の目的毎の特徴を見るために、各条件での第1世代から第50世代までのフィットネス値の50試行平均の推移を図9~13に表す。

50世代で計算を終了させたのは、それ以降目立った変化が見られなかったためである。本研究は対話型進化的計算の利用も考慮しているために世代数が多くならないようにタスクを設計している。

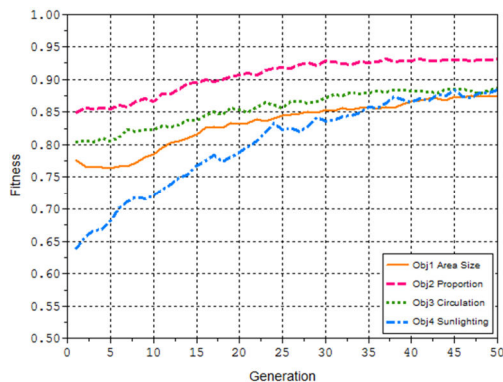


図9 従来方法によるフィットネス値の推移

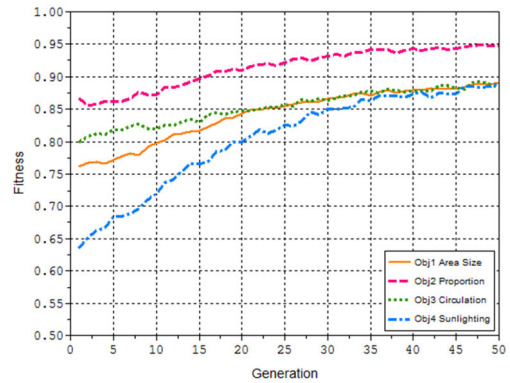


図10 改善案①によるフィットネス値の推移

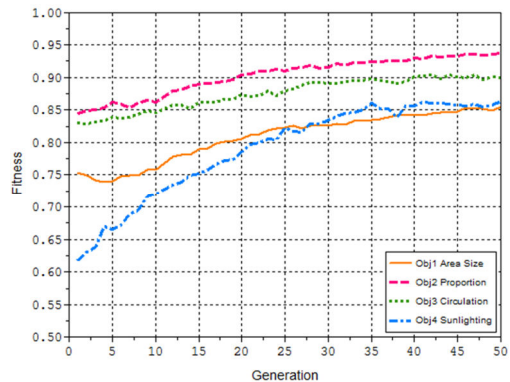


図11 改善案②によるフィットネス値の推移

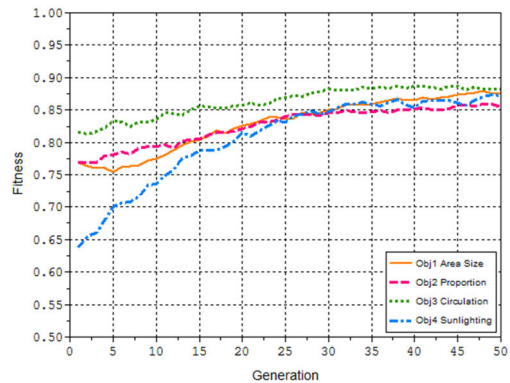


図12 改善案③によるフィットネス値の推移

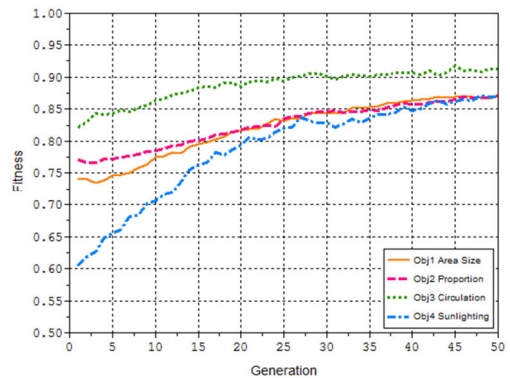


図13 改善案①+②+③によるフィットネス値の推移

## 4.2 生成された間取り

実験によって生成された間取りを観察し、それぞれの提案方法が特徴的に機能したと思われる間取りを幾つか作成例として取り出し、図14~18に示す。Lが居間、K台所、Bの3室が寝室、Wが水周り、Cが廊下、白色が隙間を示す。なお、記号の位置は成長開始点ではない。今回用いたMOGAでは十分な多様性は得られなかったが、EMOアルゴリズムを変更すればより多様な解が得られる可能性はある。本研究では「多様」を表現形としての間取りのバリエーションがあるという意味で使っている。

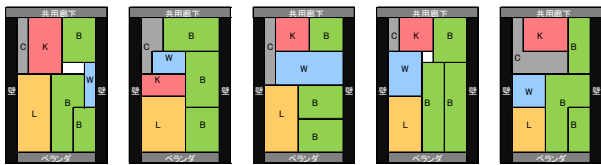


図14 従来方法での間取り平面

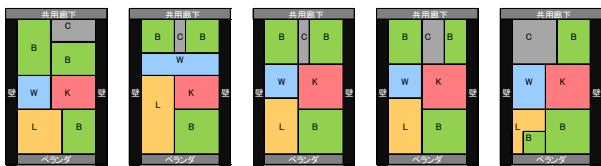


図15 改善案①での間取り平面

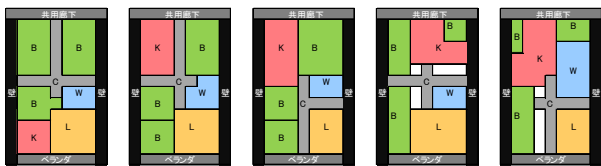


図16 改善案②での間取り平面

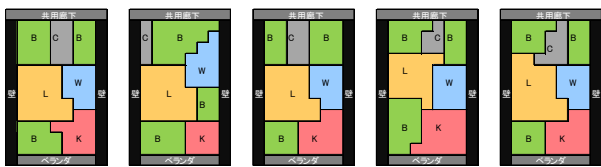


図17 改善案③での間取り平面

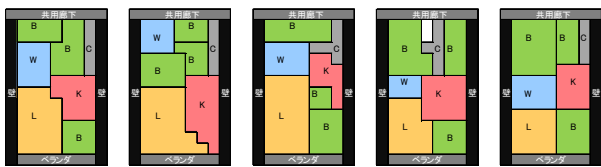


図18 改善案①+②+③での間取り平面

## 4.3 符号検定

従来方法と各改善案①から③までと①+②+③との有意

差の有無を、各目的について第5世代から第50世代まで5世代毎に符号検定<sup>11)</sup>を用いた結果を表1に示す。危険率は5%を用いる。

表1 符号検定

目的1:床面積 目的2: 部屋形状 目的3:動線 目的4:採光

B:従来方法に対し良い有意差があることを示す。

W:従来方法に対し悪い有意差があることを示す。

	世代→	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
①	目的1							B			
	目的2							B		B	
	目的3										
	目的4										
②	目的1	W	W	W	W	W		W	W	W	
	目的2										
	目的3	B	B	B	B	B				B	
	目的4										
③	目的1		W								
	目的2	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
	目的3	B	B								
	目的4										
①+②+③	目的1	W		W							
	目的2	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
	目的3	B	B	B	B	B	B			B	
	目的4										

## 4.4 考察

改善案①では成長開始点の配置範囲を変えたが、それにより、部屋形状が従来方法に比べて矩形になりやすく、また部屋間の隙間が発生し難い傾向があることが図15で分かる。部屋が共用通路側、壁側、ベランダ側から形成されるため、無窓になる居室も少なくなっている。また、廊下に関しても共用通路側に繋がる割合が高くなった。図10のフィットネス値の推移から見られるように従来方法に比べ、第50世代の時点での目的1床面積や目的2部屋形状のフィットネス値の平均は高い。符号検定では改善案①の従来方法に対する悪い有意差は見られなかった。第50世代の時点での有意差があるとは言えないが、第35世代の時点で目的1床面積と目的2部屋形状に関して良い有意差が見られる(表1)。

改善案②は廊下の成長方向の制限により、図16で見られるように従来と比べ、細長い廊下らしい形状となり、十字に別れるようになった。しかし、それに伴い隙間が生じやすくなったため、目的1床面積のフィットネス値が減少した(図11)。また、目的3動線のフィットネス値が全世代で高い傾向にあるのは、廊下が長く伸び、廊下を通じて各部屋へのアクセスが可能になったためだと考えられる。改善案②での成長順は廊下が他の部屋よりも先であるため、廊下は僅かではあるが長くなる。そのため各部屋の床面積が減少し、目的1床面積のフィットネス値の平均がわずかながら悪化したと考えられる。

改善案③は部屋の成長制限の緩和により、部屋間の隙間が生じ難くなり、多様な間取りが生成されるようになった。しかし、同時に生活や施工面で不都合になる程、部屋形状が矩形からかけ離れることもある(図17)。ま

た、目的2部屋形状の評価は矩形であるほど良い値としたため、図12に見られるように部屋形状のフィットネス値は低くなった。目的3動線のフィットネス値は少し上昇しており、部屋が矩形で無くなったために複数の部屋に隣接する傾向が幸いしたと考えられる。

改善案①+②+③は図18のように廊下が比較的上側に配置され、隙間もできにくい。また、壁からの1セル内の成長開始点の初期配置のため、無窓の居室もでき難い。部屋形状の凹凸により多様な間取りの生成も可能となった。しかし、部屋形状が矩形にならないことなどが影響し、図13のように目的2部屋形状のフィットネス値は従来ものものと比べ劣っている。目的3動線のフィットネス値は従来方法よりも全世代で上回っている。これは廊下が十字になり部屋へのアクセスが良くなったことや部屋の成長制限の緩和で隙間が発生し難くなったこと、それに伴い通過経路となる部屋が隙間を埋めて動線が確保できたことによるものだと考えられる。符号検定の改善案①+②+③の目的3を見ると多くの世代で従来方法と比べて良いという有意がある。しかし、目的2部屋形状については悪く有意差が示された(表1)。

古い団地等の間取りでは、玄関から直にDKに面して廊下を経由しないものもある。玄関部分以外で廊下が機能する間取りでも良い。一方で廊下が不要な間取りもあるが、設定上、廊下が少なくとも1セルはできる。

## 5. まとめ

改善案①(成長開始点の指定)によって目的1床面積と目的2部屋形状が多少向上し、隙間と無窓居室が比較的少ない間取りが生成できた。改善案②(廊下の成長方向の制限)によって目的3動線が向上し、廊下形状が比較的改善された間取りが生成できた。改善案③(部屋の成長制限の緩和)によって目的3動線が多少改善され、部屋形状が多様な間取りが生成できた。改善案①+②+③によって目的3動線が改善され、試行毎にばらつきはあるものの、2.2で挙げた幾つかの問題点を改善する間取りが生成できた。

## 6. 今後の課題

今回の提案法によって部屋形状に凹凸が多く生じた間取りは、目的2部屋形状のフィットネス値が低くなるが、間取りの多様性は増加し、隙間もでき難くなっているため必ずしも悪いとは言えない。間取りの多様性や隙間に対する評価関数を検討が必要である。また、今回は予め設定した4目的で評価を行ったが、ユーザの好みや建築家の主観による評価をするために主観評価実験も行う必要がある。

フィットネス値は世代毎の平均値での検証に留まった

が、今後はパレトランクやハイパーボリュームでの評価を行う。多様性についても目的関数空間と表現型との両方で定量的に検証する。

## 謝辞

本研究はH26-28年度科学研究費基盤研究(C)(研究課題番号:26350032)の助成を受けたものである。

## 【参考文献】

- 1) Kamlesh Dutta & Siddhant Sarthak, "Architectural space planning using evolutionary computing approaches: a review," *Artificial Intelligence Review*, 2011, Volume 36, Issue 4, pp.311-321.
- 2) 谷垣進也, 谷明勲, 山邊友一郎, 「多重最適化による動線及び室形態の最適化システム—室接続に複数経路を有する場合における住宅室配置の最適化—」日本建築学会第30回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 論文, 東京, 2007, pp.7-12.
- 3) 井上誠, 平元萌, 「空間成長による間取り生成アルゴリズムの成長開始点の検討」2014年度日本建築学会大会(近畿) 学術講演会梗概集, 神戸, 2014, 11002, pp.3-4.
- 4) Makoto Inoue and Hideyuki Takagi, "EMO-based Architectural Room Floor Planning," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2009)*, San Antonio, Texas, USA, 2009, pp.524-529.
- 5) 井上誠, 高木英行, 「空間配置案生成手法と進化的多目的最適化手法を用いた建築間取り案作成支援システム」人工知能学会論文誌, 24巻1号, 2009, pp.25-33.
- 6) 井上誠, 高木英行, 「空間配置生成手法と進化的多目的最適化手法を用いた建築間取り最適化—集合住宅における6部屋と住戸内廊下の配置—」日本建築学会第31回情報・システム・利用・技術シンポジウム, 報告, 東京, 2008, pp.163-166.
- 7) Makoto Inoue and Hideyuki Takagi, "Layout Algorithm for an EC-based Room Layout Planning Support System," *IEEE Conference on Soft Computing in Industrial Applications (SMCia/08)*, Muroran, Hokkaido, Japan, 2008, pp.165-170.
- 8) 井上誠, 高木英行, 「進化的空間計画のための計算幾何モデル」電子情報通信学会総合大会, 北九州, D-8-29, 2008, p.137.
- 9) Kalyanmoy Deb, "Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms," John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- 10) Carlos M. Fonseca and Peter J. Fleming, "Genetic algorithms for multiobjective optimization: Formulation, discussion and generalization. In Proc. of 5th ICGA'93, 1993, pp.416-423.
- 11) 中川聖一, 高木英行, 「パターン認識における有意差検定と音声認識システムの評価法」日本音響学会誌, Vol.50, No.10, 1994, pp.849-854.

\*1 秋田工業高等専門学校 環境都市工学科  
准教授 博士(工学)

\*2 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学課程

# A Study on improvements for Floor Plan Generation Algorithm Based on Spatial Growth

Growth starting point, corridor growth direction and loosen growth rule

○Makoto INOUE\*<sup>1</sup> Megumu HIRAMOTO\*<sup>2</sup>

Keywords : architectural planning, evolutionary computing, evolutionary multi-objective optimization.

## Summary

There are various methods of architectural floor planning using evolutionary computation ever. We propose three improvements for floor plan generation part of our method using an evolutionary multi-objective optimization. The purposes of this study is that, in the deployment plan of the room and create a wider variety of floor plans, to illustrate how to create a better floor plan for the evaluation some items.

Floor generation algorithm of the conventional method is as follows. First, growth starting point of each room is placed at random in the cell of  $m$  by  $n$ . Next, the grown vertically and horizontally adjacent cells, its starting point is grown angularly thereafter. Each room grows in order. Each room continue to grow until it is no longer able to grow there are other rooms in the growth direction.

Our proposal methods are ① specifying the growth starting points, ② restriction of the corridor growth direction and ③ loosen growth restriction of rooms. In addition, ① + ② + ③ which contain all of the three improvement proposals is also experimented.

Experimental conditions are as follows. A cell of 1m by 1m is smallest unit; dwelling unit area is 84 square meters of 12m × 7m; generating rooms are a living room, a kitchen, three bedrooms, a water area and a corridor. Objective 1 is the floor plan area, objective 2 is room floor shape, objective 3 is circulation and objective 4 is sun lighting. Multi-objective genetic algorithm is used as evolutionary multi-objective optimization. The settings are 50 samples, 50 generations, 21 individuals, roulette wheel selection, mutation rate 1%, crossing rate 100% and uniform cross method.

Experiments obtained fitness values of each generation of four objectives. 50 attempts average of the fitness value of up to the 50th generation were drawn as plots. Some floor plans were extracted as examples created from the floor plan of each condition. Significant differences, between the previous method and proposal methods ①, ②, ③ or ① + ② + ③, were tested by sign test each five generation up to the 50th generation for each objective.

Proposal method ① improves objective 1 floor area and objective 2 room floor shape, and generates the floor plan is relatively less clearance and no window room. Proposal method ② improves objective 3 circulation and generates the floor plans is relatively improved corridor shape. Proposal method ③ improves objective 3 circulation and generates the floor plans has which various room shapes. Proposal method ① + ② + ③ improves objective 3 circulation and generates the floor plans to improve the problems.

---

\*1 Assoc. Prof., Department of Civil and Environmental Engineering, Akita National College of Technology, Dr. Eng.

\*2 Student, Department of Architecture and Civil Engineering, Toyohashi University of Technology