生物の形態形成と環境適応を模した住宅プラン生成システム に関する基礎的研究

A BASIC STUDY ON A HOUSE PLAN GENERATING SYSTEM IMITATING ORGANIC MORPHOSIS AND ADAPTATION TO ENVIRONMENT

水 嶋 克 典*, 小 松 幸 夫**

Katsunori MIZUSHIMA and Yukio KOMATSU

This study builds and verifies a house plan generating system imitating organic morphosis and adaptation to environment. This system consists of the space formation system imitating morphosis and the condition adaptive system imitating adaptation to environment. The cellular automata and the genetic algorithms of artificial life are used in both systems. The result of the verification experiment verified that this system operates effectively in the house planning of a general scale, although there are some problems. One of them is that under the tight or complicated design conditions, the efficiency of the best plan generation declines. It is thought in the observation of verification experiments that these problems are improved by the diversity of the space differentiates many rooms, the adaptation of the parameter of genetic algorithms for each design condition, and the change of the plan generation procedure for every layer.

Keywords : *morphosis, adaptation to environment, house, plan, artificial life, cellular automaton, genetic algorithm*
形態形成, 環境適応, 住宅, プラン, 人工生命, セルオートマトン, 遺伝的アルゴリズム

1. 研究の背景と目的

住宅設計において、実現可能な多くの住宅プランの検討や複雑な設計条件を満たす住宅プランの作成には、多くの人的資源を必要とする。これらの作業は、コンピュータを用いた自動設計による支援が適していると考えられる。これまで、プラン作成法に関する様々な研究が行われてきた。プランをモデル化して作成する手法は、吉田の直方体の空間を室数と設計条件に基づき分割する空間分割型モデルによるプラン作成の研究¹⁾²⁾³⁾、岡崎らの矩形室間の動線を最短にする空間連結型モデルによるプラン作成の研究などがある⁴⁾。一方、工学の分野では、生物指向アプローチに見られるように、自己成長、自己修復、自己認識、進化、適応など、生物の優れた機能を人工生命などの理論を用いて、人工物に適用する試みも進んでいる⁵⁾。建築分野では、青木のプラン作成と遺伝進化のアナロジーについての考察がある⁶⁾。これらを応用したプラン作成法として、村岡らの遺伝的アルゴリズムを用いた平面形状の最適化に関する研究⁷⁾、山邊らの人工生命を用いた住宅平面空間構成と立体構成に関する研究⁸⁾⁹⁾などがある。また、生物学の分野では、発生分子学などの進展により、モデル生物をはじめとした生物の身体を形作る形態形成の詳細も明らかになりつつある¹⁰⁾¹¹⁾。

本研究は、生物と住宅プランの構成と環境適応の類似に着目し、人工生命を用いて、生物が細胞分裂を繰り返すことにより身体を形作る形態形成と生物の環境適応を模した単位空間の分割増殖による空間連結型モデルを用いた住宅プラン生成システムの一例の構築、その動作検証と動作傾向の確認を目的とする。

2. 住宅プラン生成システム

2-1. 生物と住宅プランの類似

生物と住宅プランには、二つの類似がある。ひとつは、生物の身体構成と住宅プランの空間構成である。生物は、細胞分裂を繰り返し、分化、分裂制限、死滅など細胞を制御することにより、身体を構成し(形態形成)、生物の身体は、頭-胸-足などの身体構成要素の接続関係をグラフで表現することができる。同様に、住宅プランも、設計作業において、必要な空間が作成、接続され、完成されたものは、玄関-廊下-居間など空間の関係をグラフで表現することができる。もうひとつは、生物の環境適応と住宅プランの条件適応である。生物は、成長を調整することにより周辺環境に適応する。更に、世代交代による淘汰を繰り返し進化することにより、周辺環境に適応する。同様に、住宅プランは、設計条件を満足し、住宅を取り巻く環境に適応する必要があり、設計作業において、繰り返し修正、改良されることにより、設計条件に適合する。

2-2. システム構築と検証の方法

本研究における住宅プラン生成システムは、図1に示す様に、生物の形態形成システムと環境適応システムを模倣した空間形成システムと条件適応システムを組み合わせた遺伝的アルゴリズムにより、住宅プランを生成するシステムとする。

住宅の空間形成システムは、図2に示す様に、セルの配列変化(分裂)、周辺認知機能、条件判定機能により拡張したセルオートマトン、空間構成とセル分裂パターンを情報化した遺伝子を用いる遺伝的アルゴリズムにより、生物の形態形成システムを模倣する。

* 職業能力開発総合大学校建築システム工学科 講師・工修

** 早稲田大学理工学術院建築学科 教授・工博

Lect., Dept. of Architectural System Eng., The Polytechnic Univ., M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Science and Eng., Waseda Univ.,
Dr. Eng.

本研究における住宅プラン生成システムは、図6に示す様に、条件適応システムの評価を容易にするため、暗黙的制約条件寄りと考えられる制約条件を空間形成システムに組み込むことにより、評価段階にて、出来る限り暗黙的制約条件寄りの制約条件の評価を不要とする方針とした。設計条件の詳細と各種設定を図7と以下に示す。

2-5-1. 建築可能空間

建築可能空間に関する条件は、「住宅は建築可能空間内に収まる」であり、暗黙的制約条件である。敷地、法令、周辺環境などにより、建築可能空間が指定される。次に建築可能空間の設定を示す。

①建築可能空間は、敷地の建築可能な範囲を正方形の空間モジュールで分割する。②空間モジュール寸法は、単位空間モジュール(セル)と寸法とする。③座標は、第1象限内とし、多層の住宅プランの場合、層間に階高の差がある層を設定する。図7の1の例では、2層の建築可能空間を0層(1階)、1層(2階)と設定している。④空間モジュールに番号(空間モジュールNo.)を付ける。⑤建築可能空間の道路境界線に近い空間モジュールを接道空間モジュールとして設定する。

2-5-2. アプローチ確保

アプローチ確保の「住宅出入口から敷地外に出られる」は、暗黙的制約条件である。アプローチ確保の方法は、空間形成システムに組み込む2段階成長(①出入口(玄関)の成長と出入口から接道空間モジュールまで屋外通路を確保するためのアプローチを生成する[第1段階成長]。②住宅プラン全体は、出入口セルまたはアプローチの成長によりアプローチを確保した後に成長する[第2段階成長])を利用する。本研究において、アプローチ確保は、0層(1階)で行うこととした。

2-5-3. 室接続

室接続の「接続指定された室同士を直接連結して行き来できる」は、暗黙的制約条件である。室接続確保の方法は、①セルを単位空間モジュールとし、1辺の寸法を人が通行可能な開口部が設置できる3尺(910mm)程度とする。②室の接続を確実に確保するため、セル分裂方向には、ノイマン近傍を用いる。

2-5-4. 空間構成

住宅プラン生成システムにおいて、「空間構成」は、設計条件として指定されるため、空間構成の「指定された空間構成を再現する」内の「指定された空間構成」は、明示的制約条件であり、「空間構成を再現する」部分は、システムが、必ず実現しなければならない暗黙的制約条件であると考えられる。空間構成は、空間構成グラフに基づき、室番号、室略号、室属性、室階層、室規模、室接続、室隣接を空間構成コードで記述し、空間形成システムにて表現型にデコード、条件適応システムにより評価・適応させることで再現する。廊下は、空間形成システムにより、様々な規模と形状が作成可能なことから、廊下の室規模は、設計条件として許容できる最大数を指定する。

2-5-5. 外部開口方位

「指定された方位に外部開口部を有する」は、明示的制約条件である。指定された外部開口部は、指定された室の外部開口部が作成可能なセル(外部開口セル)の位置(方位)と数量を条件適応システムの開口判定により評価を行い確保する。図7の5. 外部開口方位に示す住宅プランは、居間・食堂[LD]の南側、台所[KT]の東側と南側の間口全長に、外部開口部が作成可能と判断する。

2-6. 解釈機構[空間形成システム]

解釈機構(空間形成システム)は、空間構成コードと遺伝子に基づき、

段階成長・セル分裂アルゴリズムなどを用いて、セルの分裂を繰り返すことにより、住宅プランをデコードする。

2-6-1. セルとセルの分裂

セルは、図8に示す様に、空間構成コード、遺伝子、属性を持ち、これらと建築可能空間や隣接セルなどの周辺環境の情報による分裂判定に基づき分裂する。

2-6-2. セル分裂アルゴリズム

セル分裂アルゴリズムを図9に示す。lは、セル分裂タイミングを示す0からlずつ増加する分裂ステップを表す。0～2分裂ステップの具体的なセルの分裂の動作を図10に示す。

図9. セル分裂アルゴリズム

図11. 段階成長アルゴリズム

- ①初めに、0層の建築可能空間にNo. 0セルを配置する。[$t \leftarrow 0$]
- ②時間(分裂ステップ)を進める。[$t \leftarrow t+1$]
- ③セルの番号順に、分裂判定により分裂を決定する。分裂判定については、後述する。
- ④全セルの分裂判定が終了した時点で、分裂可能セルの有無を確認し、分裂可能セルがあれば②に進み、なければセル分裂アルゴリズムを終了する。

2-6-3. 空間種類別セル分裂パターン

セル分裂により住宅を構成する空間を生成するためには、空間の種類毎に異なる分裂パターンを必要とする。本研究では、住宅を構成する空間を室、物入・バルコニー、アプローチ、廊下、階段に分類して、各空間に表1に示す分裂パターンを設定した。各空間の分裂パターンには、その空間の形成に必要な分裂可能な成長点と隣接セルなどに基づく分裂判定による差異を与え、空間構成コードにて、室属性として設定する。

2-6-4. 段階成長

住宅プランの設計条件の実現と成長を確実にするために、図11に示す2種類の段階成長を導入する。2段階成長は、アプローチを確実に確保するため、No. 0セルからアプローチセルを延ばし(第1段階成長)、アプローチを確保した後、成長(第2段階成長)を開始する。アプローチが確保できなかった場合、その遺伝子は致死とする。層別成長は、層毎の住宅プランの成長を確実にするために、層毎に最高評価値の遺伝子を遺伝子操作から保護して、次層のプラン成長を開始する。

2-6-5. 遺伝子[空間形成システム+条件適応システム]

遺伝子は、空間構成コードからセルの位置、成長方向、室生成のタイミング、廊下の分岐や長さの傾向など、住宅プランの形状を決定する成長に関する情報として生成され、遺伝子操作機構により、設計条件に適應する住宅プランを求めるために操作される。

(1) 遺伝子の構成と表現

遺伝子は、図12に示す様に、1つの位置遺伝子と層数分の遅延係数・分岐閾値遺伝子の組から構成される全体遺伝子と空間構成コードにより組数が決定する順序・遅延・分岐・方向・回転・室種類遺伝子を1組とした成長遺伝子により構成される。遺伝子の表現は、十進整数を用いる。

(2) 遺伝子の生成と機能

全体遺伝子である位置遺伝子は、住宅の出入口(玄関)セル(No. 0セル

図10. セルの分裂動作例

表1. 空間種類別セル分裂パターン

空間種類	分裂回数(分裂ステップ)				
	1	2	3	4	5
室 (居間、 食堂など)	成長制限ライン 分化セル 分化元セル	分化セル	室セルは、分化セルを 除いてすべて成長点 分化セルの形成成長点 成長制限ラインの分岐 元セル側は成長制限 を促進	室比率の指定がある場合、 先に指定室比率の表辺の長さ に達した辺の長さ、2×3の室 比率が設定されており、1の 分裂時点で指定)を基準に 分裂制限	室比率分裂制限により、 室比率を保持
物入・ バルコニー (クローゼット、 押入など)	室比率制限 ライン、 分化セル 分化元セル	物入・バルコニーセル はすべて成長点 分岐元セルと同室の セルに準じて分裂	奥行きが1モジュールより 大きいウォークイン クローゼットやバルコニー などは、室として設定	物入とバルコニーの違い 物入・下層にセルが必要 バルコニー・下層にセルが 不要	
アプローチ	分化セル 分化元セル	セルが分裂する成長点 を先端セルのみに設定	分岐せずに分裂を続行	利用できる成長遺伝子が なくなるため、アプロ ーチの先端セルが推定空 間モジュール上に達する と成長を停止	
廊下	分化セル 分化元セル	枝分かれした空間や ホール状の空間を作る ため、分岐成長により セルが分裂する成長点 を遺伝子情報により先 端セル以外にも設定	成長点を複数あるの で、分岐した空間、ホー ル状の空間、それが 組合した空間が生成可 能	廊下に十分に成長させ るため、遅延係数遺伝 子と遅延値遺伝子の組合 せによる遅延成長によ り、廊下から分岐する 室のセルが分岐を遅延 させる場合あり	廊下に分岐する成長遺 伝子すべてを使用した 場合(この場合は0)。廊 下の成長を停止 遅延係数遺伝子と遅延 値遺伝子の組合せにより 分岐位置に室セルを分 化する場合あり
階段	分化セル 分化元セル	次層に続くセルを最終 セルの分裂により行う ため、分裂の順序を成 長遺伝子に番号を付け る(順序遺伝子利用)こ とにより確保	階段セルは、2層分の セル(2階建ての場合 は、1階と2階)に分裂 図中の番号が分裂に 利用される順番の成長 遺伝子を表す	次層セルに分化 1 2 3 4 5	次層のセルが生存でき る空間(建築可能空 間、かつ、直下にセル 存在)があれば、最後 の階段セルは、次層 のセルを分裂

凡例: 同種セル分裂: 異種セル分裂: ●: 成長点, 〇: 分化元セル, 〇: 分化元室セル, □: 分化セル, □: 次分セル

1組の全体遺伝子

成長遺伝子組数は空間構成コードにより決定

図12. 遺伝子の構成

ル)が配置される0層の空間モジュールの番号を乱数によって生成し、図13の位置遺伝子の機能に示す様に0層の空間モジュールへの配置に用いる。同じく全体遺伝子である遅延係数遺伝子は、乱数により0~20を、分岐閾値遺伝子は、0~99を生成する。

成長遺伝子は、セル1回の分裂に1組が必要になる。分化する室のある室は、1つの分化室につき1つの分化室セルが分化するため、1組の成長遺伝子の追加が必要となる。成長遺伝子組数は室毎に以下の式により決定する。

①アプローチ以外の室

成長遺伝子組数 = 指定室セル数 + 指定接続室数 - 1 (1)

②アプローチ

成長遺伝子組数 = 0層の建築可能空間モジュール数 - 0層の指定室セル数合計 - 1 (2)

図7の空間構成コードから遺伝子を作成した例を表2に示す。

順序遺伝子は、階段など成長遺伝子の遺伝子操作機構における遺伝子操作時に順序の保護が必要な室で使用する。順序は、1～9で表し、成長遺伝子の順序を問題としない室は、0とする。遅延遺伝子は、乱数により0～99を生成し、図13の遅延成長に示す様に、遅延倍率として、遅延係数遺伝子と共に廊下セルの分裂時における遅延成長カウンターの算出に利用される。分岐遺伝子は、乱数により0～98を生成し、図13の分岐成長に示す様に、分岐閾値遺伝子との比較により、母廊下セル分裂時の成長点化の決定を行う。方向遺伝子は、母セルから分裂する娘セルの方向を決定するものである。分裂方向は、図13の方向遺伝子の機能に示す様に、ノイマン近傍の4方向を北(0)、東(1)、南(2)、西(3)とし、乱数により生成する。回転遺伝子は、セルの分裂を促進し成長を早めるため、方向遺伝子により決定した方向に娘セルが分裂できない場合、回転遺伝子の指定する方向に分裂を促す。回転遺伝子の指定する方向は、図13の回転遺伝子の機能に示す様に、(0)～(5)の6種類とし、乱数により生成する。室種類遺伝子は、図13の室種類遺伝子の機能の示す様に、母セルから分裂する娘セルの室セルの種類を決定する。住宅空間構成コードから接続する部屋を読み取り、乱数により組み込む遺伝子の組を決定することにより生成する。

(3) 遺伝子の利用

遺伝子は、No. 0セルの配置時に、位置遺伝子が利用される以外は、セルの分裂毎に、そのセルの室の成長遺伝子が昇順で使用される。セルが分裂できない場合は、次の同室セルの分裂に利用される。廊下セルの分裂には、層毎に用意されている全体遺伝子の遅延係数・分岐閾値遺伝子と成長遺伝子を合わせて利用する。

2-6-6. 分裂判定

セルの分裂は、敷地、空間構成、遺伝子、属性、セルの置かれた環境、分裂条件に基づき判定される。分裂判定の詳細は、図14に示す。

表2. 遺伝子生成例

遺伝子種類	室名	組数	遺伝子セット
全体遺伝子	玄關 [ET]	3	030581500 056832101 088983209
	廊下 [CR]	9	013472303 012931502 058432101 003523401 071260001 012550201 009450005 060180501 015553204
	居間・食堂 [LD]	17	066551402 099291102 063043502 085261402 080682102 079781502 089251502 021911302 000291202 072693202 073963102 015522202 045122107 003302202 013040406 063750302 000962302
成長遺伝子	台所 [KT]	7	076262503 065982203 044130203 037583403 042040403 085063403 017582003
	洗面所 [LV]	6	005500104 000583104 016700304 055041004 030400504 017341408
	便所 [WC]	1	2782305
	物入1 [SR1]	1	6983306
	物入2 [SR2]	0	—
	浴室 [BR]	3	003853408 092852108 067740508
	アプローチ [AP]	1	21792109

2-6-7. 住宅プランの成長

解釈機構(空間形成システム)による図7の住宅空間構成コード(外部開口方位指定も含む)と表2の遺伝子生成例を用いた住宅プランの成

図15. 住宅プラン成長例

長例を図15に示す。

2-7. 評価[条件適応システム]

評価は、室毎に室成長と外部開口を評価後、両評価値を合計し、室毎の評価値をすべて合計することにより、住宅プラン全体の評価値を算出する。また、アプローチが確保できない場合は致死とし、評価値は0とする。

2-7-1. 室成長評価値

室成長評価値は、遺伝子をデコードした個体(住宅プラン)の環境(建築可能空間)に対する成長の適応を評価する値である。住宅空間構成コードに指定する指定室のすべてが完全に成長した場合、環境適応度(評価値)を最高とする。室成長評価値は、アプローチと廊下を除いた室毎に、住宅空間構成コードに指定されたセルがすべて生成された場合を100とし、式(3)により算出し、それらの合計とする。

$$\text{室毎の室成長評価値} = \frac{\text{生成されたセル数}}{\text{空間構成コードにより指定されたセル数}} \times 100 \quad (3)$$

2-7-2. 外部開口評価値

外部開口評価値は、外部開口部を必要とする指定室において、外部開口部が作成可能なセル(外部開口セル)の位置(方位)と数を評価する値である。具体的には、図8の5. 外部開口方位に示す様に、外部開口セルが必要な方位に四方位の合計が100になるように値を設定する。これを指定外部開口値とする。外部開口評価値は、指定外部開口値毎に式(4)により算出し、それらの合計とする。式(4)の指定方位辺セル数は、空間構成コードにより指定された室規模と室比率を基準に、実際に生成された室の方向を考慮して、完全に成長した室の方位辺セル数とする。指定外部開口値毎の、

$$\text{外部開口評価値} = \frac{\text{指定方位辺に生成された外部開口セル数}}{\text{指定方位辺セル数}} \times \text{指定外部開口値} \quad (4)$$

2-8. 遺伝子操作機構[条件適応システム]

遺伝子操作機構は、致死遺伝子を除いた生き残り遺伝子が集団サイズ(150個体)の2/3(100個体)以上になった時点で動作する。2/3より

表3. 遺伝的アルゴリズムのパラメータ

設定項目		設定内容			
表現手法	実数値表現				
初期化手法	ランダム実数値初期化				
削除手法	全削除				
再生手法	複製不定状態生成(致死を除いた世代交代)				
適応度手法	線形正規化(1位～同一評価値は同位)				
選択手法	ルーレット方式選択(生き残り遺伝子を対象)				
オペレータ名	オペレータの内容	開始時(第1世代)		終了時(第300世代)	
		適用率 (%)	突然変異率 (%)	適用率 (%)	突然変異率 (%)
第1オペレータ	一様単位遺伝子交換 1対(2つ)の次世代遺伝子候補の全体遺伝子と室毎の成長遺伝子セットを乱数により50%の確率で入れ替える。	50	-	30	-
第2オペレータ	玄関・廊下・階段以外 室単位遺伝子スクランブル・方向回転突然変異 乱数による突然変異率の確率で、玄関・廊下・階段以外の各室の成長遺伝子セットをスクランブルし、スクランブルした室の遺伝子組の方向・回転遺伝子を乱数による突然変異率の確率で、乱数による突然変異を起こす。	10	50	30	75
第3オペレータ	玄関・廊下・階段 室単位遺伝子スクランブル ・分岐方向回転突然変異 ・分岐確率突然変異・遺伝係数突然変異 乱数による突然変異率の確率で、遺伝係数遺伝子と分岐確率遺伝子の突然変異を起こし、100%確率で玄関・廊下・階段の成長遺伝子セットをスクランブルし、スクランブルした室の分岐・方向・回転遺伝子を乱数による突然変異率の確率で、乱数による突然変異を起こす。	30	50	30	25
第4オペレータ	No.0セル位置クリップ 位置遺伝子と室毎の成長遺伝子とを、開始時と終了時の比率から以下の式を用いて算出 比率 = 開始時比率 + (終了時比率 - 開始時比率) × 世代数 / 300	10	-	10	-
集団サイズ	150				
世代数	300				
その他の手法	エリート保存戦略(生き残り遺伝子数のみの評価値上位遺伝子を保存)				
その他	各世代における適用率と突然変異率は、開始時と終了時の比率から以下の式を用いて算出 比率 = 開始時比率 + (終了時比率 - 開始時比率) × 世代数 / 300				

表4. 異なる建築可能空間規模による実験の設定と結果

実験		1-1 7×7=49	1-2 8×8=64	1-3 9×9=81
設定	建築可能空間			
	空間構成コード (括弧内は指定セル数)	9室+アプローチ(47)	9室+アプローチ(47)	9室+アプローチ(47)
結果	外部開口方位 試行回数	1,000	1,000	1,000
	予定最高評価値 プラン生成試行回数	402	988	988
結果	最高評価値 プラン生成試行回数	40.2%	96.8%	99.8%
	平均評価値 平均世代数	991.68 240.50	998.92 73.83	999.99 48.53
結果	最高評価値 プラン例	第420試行 150世代 No. 79	第313試行 210世代 No. 14	第173試行 40世代 No. 132
	最高評価値 プラン例	第594試行 119世代 No. 31	第764試行 74世代 No. 54	第504試行 109世代 No. 81
結果	最高評価値 プラン例	第860試行 118世代 No. 56	第925試行 25世代 No. 58	第885試行 66世代 No. 79

凡例 ■:接道空間モジュール □:一般空間モジュール M:セル(上部記号:部屋略号、下部数字:生成順序)
ET: 玄関, CR: 廊下, LD: 居間・食堂, KT: 台所, LV: 洗面, 脱衣室, WC: 便所, SR1: 物入1, SR2: 物入2
BR: 浴室, AP: アプローチ

小さい場合は、致死遺伝子を乱数により新たに生成した遺伝子に置き換え、解釈機構に集団サイズの遺伝子型を渡し表現型の評価を続ける。生き残り遺伝子が集団サイズの2/3以上の場合、評価値から線形正規化により適応度を算出する。適応度に基づき、エリート保存戦略とルーレット方式選択により、次世代遺伝子候補を選択する。次世代遺伝子候補は、適応率に基づきランダムに表3に示す第1～4オペレータを適用す

る。各オペレータの内容、その他のパラメータも表3に示す。遺伝子操作は、室の遺伝子の構成を保存するため、主に室毎の遺伝子セット単位で一様交差とスクランブルを行う。遺伝子の構成・機能、エリート保存戦略などにより、遺伝子の微小変化では、室の分化位置や形状がほとんど変化しないことが予備実験により確認されたため、本研究では、比較的大きな突然変異率を用いて集団の多様性を確保している。

3. 検証実験

住宅プラン生成システムの動作検証と動作傾向を確認するため、本研究で作成した住宅プラン生成プログラムを用いて、異なる建築可能空間規模と建物規模の設計条件により住宅プランを生成する実験、リフォーム対応の検証として、建築可能空間と建物が同規模となる（建築可能空間モジュール数＝室指定セル数）設計条件により住宅プランを生成する実験、複数層の住宅プラン生成の検証として、2階建て住宅プランを生成する実験を行う。実験は、試行前に予定最高評価値として、住宅プランが生成された際に得られる最高評価値を空間構成コードと外部開口方位指定から式(3)と式(4)を利用して求め、予定最高評価値の住宅プランが生成された時点でその試行を終え、新たな試行を開始し、予定最高評価値が得られなかった試行は、最高評価値プランを試行結果とする。実験毎に1,000回試行し、それらの試行の結果について、予定最高評価値プランの生成数(率)と生成されたプランの分析を行う。

3-1. 異なる建築可能空間規模の実験

建物規模は一定で、異なる建築可能空間規模の住宅プランを生成する。

実験の設定を表4上部に示す。建築可能空間は、7×7、8×8、9×9モジュールとし、空間構成は、1種類の空間構成を用い、外部開口方位は、居間・食堂[LD]に南を、台所[KT]に東を指定する。

実験結果を表4下部に示す。最高評価値プラン例は、実験毎に乱数により選択した3例をあげる。実験1-1に比べ1-2、1-3の最高評価値プラン生成率が高く、平均世代数も実験1-1～3で減少している。これは、建築規模に対し建築可能空間が大きくなると、プランの成長が容易になるため、予定最高評価値が得られるプランの種類が多くなるためと考えられる。また、建築可能空間に余裕があるにもかかわらず、アプローチがあまり生成されず接道空間モジュール寄りにプランが生成される傾向がある。これは、アプローチがプラン本体の生成を妨害することが一因と考えられる。

3-2. 異なる建物規模の実験

建築可能空間は一定で異なる建物規模の住宅プランを生成する。

実験の設定を表5上部に示す。建築可能空間は、12×10モジュールとし、空間構成は、異なる空間規模の3種類の空間構成を用い、外部開口方位は、居間・食堂[LD]、洋室1[ER1]、洋室2[ER2]に南を、台所[KT]に東を指定する。

実験結果を表5下部に示す。最高評価値プラン例は、実験毎に乱数により選択した3例をあげる。実験2-1と2-2に比べ、2-3の最高評価値プラン生成率が極端に低下し、平均世代数が建物規模と共に増大し実験1と同様な傾向が見られ、アプローチに関しても、実験1と同様の傾向が見られる。

表5. 異なる建物規模による実験の設定と結果

設定・結果	2-1	2-2	2-3
建築可能空間	7室(40)+アプローチ	8室(52)+アプローチ	9室(70)+アプローチ
空間構成コード (括弧内は指定セル数)	0. ET: 0.00, 2.0102, 0107, .99 1. CR: 1.00, 5.99, 02030405, .99 2. LD: 0.00, 16.0404, 0607, .03 3. KT: 0.00, 6.0203, .99, .02 4. LV: 0.00, 4.0202, .99, .99 5. WC: 0.00, 2.0102, .99, .99 6. BR: 0.00, 4.0202, .99, .99 7. AP: -1.00, 99.99, .99, .99	0. ET: 0.00, 2.0102, 0109, .99 1. CR: 1.00, 7.99, 0203040506, .99 2. LD: 0.00, 16.0404, .99, .03 3. KT: 0.00, 6.0203, .99, .02 4. ER1: 0.00, 12.0304, .99, .99 5. LV: 0.00, 4.0202, .99, .99 6. WC: 0.00, 2.0102, .99, .99 7. SR1: 0.00, 2.0102, .99, .99 8. BR: 0.00, 4.0202, .99, .99 9. AP: -1.00, 99.99, .99, .99	0. ET: 0.00, 2.0102, 0111, .99 1. CR: 1.00, 9.99, 020304050607, .99 2. LD: 0.00, 16.0404, .99, .03 3. KT: 0.00, 6.0203, .99, .02 4. ER1: 0.00, 12.0304, .99, .99 5. ER2: 0.00, 12.0304, .99, .99 6. LV: 0.00, 4.0202, .99, .99 7. WC: 0.00, 2.0102, .99, .99 8. SR1: 0.00, 2.0102, .99, .99 9. SR2: 0.00, 2.0102, .99, .99 10. BR: 0.00, 4.0202, .99, .99 11. AP: -1.00, 99.99, .99, .99
外部開口方位	居間・食堂・南、台所・東	居間・食堂・洋室1・南、台所・東	居間・食堂・洋室1・洋室2・南、台所・東
試行数	1,000	1,000	1,400
予定最高評価値	800	1,100	1,400
最高評価値	800	1,100	1,400
予定最高評価値プラン生成回数	1,000	999	258
プラン生成率	100.0%	99.9%	25.8%
平均評価値	800.00	1099.98	1374.81
平均世代数	5.23	30.86	257.18
結果	第14試行 7世代 No. 70	第46試行 34世代 No. 53	第4試行 81世代 No. 78
最高評価値プラン例	第505試行 7世代 No. 48	第426試行 44世代 No. 102	第55試行 89世代 No. 7
	第994試行 5世代 No. 108	第774試行 6世代 No. 74	第606試行 76世代 No. 30

凡例 ■: 接道空間モジュール, □: 一般空間モジュール, ■: 室区画
 ET: 玄関, CR: 廊下, LD: 居間・食堂, ER1: 洋室1, ER2: 洋室2, KT: 台所, LV: 洗面・脱衣室, WC: 便所
 SR1: 物入1, SR2: 物入2, BR: 浴室, AP: アプローチ

表6. 異なる規模（建築可能空間規模＝建物規模）による実験の設定と結果

設定・結果	3-1	3-2	3-3
建築可能空間	6×6=36	2×2+7×6=46	3×5+7×6=57
空間構成コード (括弧内は指定セル数)	0. ET: 0.00, 2.0102, 01, .99 1. CR: 1.00, 2.99, 02030405, .99 2. LD: 0.00, 16.0404, .99, .03 3. KT: 0.00, 6.0203, .99, .02 4. LV: 0.00, 4.0202, .99, .99 5. WC: 0.00, 2.0102, .99, .99 6. BR: 0.00, 4.0202, .99, .99	0. ET: 0.00, 2.0102, 01, .99 1. CR: 1.00, 5.99, 0203040506, .99 2. LD: 0.00, 16.0404, .99, .03 3. KT: 0.00, 6.0203, .99, .02 4. ER1: 0.00, 6.0203, .99, .99 5. LV: 0.00, 4.0202, .99, .99 6. WC: 0.00, 2.0102, .99, .99 7. BR: 0.00, 4.0202, .99, .99	0. ET: 0.00, 2.0102, 01, .99 1. CR: 1.00, 5.99, 020304050607, .99 2. LD: 0.00, 16.0404, .99, .03 3. KT: 0.00, 6.0203, .99, .02 4. ER1: 0.00, 6.0203, .99, .99 5. ER2: 0.00, 5.0303, .99, .99 6. LV: 0.00, 4.0202, .99, .99 7. WC: 0.00, 2.0102, .99, .99 8. BR: 0.00, 4.0202, .99, .99
外部開口方位	居間・食堂・南、台所・東	居間・食堂・洋室1・南、台所・東	居間・食堂・洋室1・洋室2・南、台所・東
試行数	1,000	1,000	1,200
予定最高評価値	800	1,000	1,200
最高評価値	990	824	22
予定最高評価値プラン生成回数	990	824	22
プラン生成率	99.0%	82.4%	2.2%
平均評価値	799.7	995.64	1162.88
平均世代数	44.03	124.05	298.81
結果	第45試行 6世代 No. 59 第528試行 6世代 No. 32 第712試行 35世代 No. 55	第254試行 117世代 No. 68 第536試行 59世代 No. 40 第794試行 283世代 No. 41	第61試行 77世代 No. 32 第424試行 294世代 No. 85 第527試行 150世代 No. 53

凡例 ■: 接道空間モジュール, □: 一般空間モジュール, ■: 室区画
 ET: 玄関, CR: 廊下, LD: 居間・食堂, KT: 台所, ER1: 洋室1, ER2: 洋室2, LV: 洗面・脱衣室, WC: 便所, BR: 浴室

3-3. 異なる規模（建築可能空間規模＝建物規模）による実験

住宅プラン生成法のリフォームへの応用を考慮して、建築可能空間

と建物と同規模となる条件（建築可能空間モジュール数＝室指定セル数）にて、3種類の規模の異なる住宅プランを生成する。

実験の設定を表6上部に示す。建築可能空間は、 6×6 、 $2 \times 2 + 7 \times 6$ 、 $3 \times 5 + 7 \times 6$ モジュールとし、空間構成は、それらに対応した3種類の空間構成を用い、外部開口方位は、居間・食堂[LD]、洋室1[ER1]、洋室2[ER2]に南を、台所[KT]に東を指定する。

実験結果を表6下部に示す。最高評価値プラン例は、実験毎に乱数により選択した3例をあげる。実験3-1と3-2に比べ、3-3の予定最高評価値プラン生成率が極端に低下している。実験2と同じく部屋数の多いプランの予定最高評価値プラン生成率が低い。この実験は、廊下から分岐する室数が、実験2-1～3と同じであり、実験2とこの実験から、廊下から分化する室数が増えると、最高評価値プラン生成率が低下することがわかる。これは、本研究で構築した住宅プラン生成システムでは、廊下から分化する室の増加に伴い、これらの室が成長後に高い評価値を得るための適当な間隔と向きを得ることが難しくなるためと考えられる。

3-4. 2階建て住宅プラン生成実験

複数層住宅プラン生成の検証として、2階建て住宅プランを生成する。

建築可能空間は、表7上部に示す1階（0層）と2階（1層）の規模がほぼ同等な2層とし、空間構成は、一般的な戸建て住宅の空間構成である4LDK+αの空間構成を用い、外部開口方位は、居間・食堂[LD]、和室[JR]、洋室1のバルコニー1[BL1]、洋室2のバルコニー2[BL2]に南を、台所[KT]に東を指定する。

実験結果を表7下部に示す。予定最高評価値を得た試行がなかったため、評価値上位3位の試行結果を生成プラン例としてあげる。

この実験では、第422試行において2375の評価値を得られ、予定最高評価値に近いプランを得ることができた。また、プラン生成率と平均評価値が低い原因として、1階（0層）のプランが予定最高評価値を得ていない状態で、2階（1層）のプランを生成する試行が多いことが考えられる。

4. まとめ

検証実験により、本研究にて構築した住宅プラン生成システムは、設計条件が厳しく、複雑になることによるプラン生成率の低下などの問題はあがあるが、一般的な住宅規模において動作することが確認された。

また、システムの構築を通して、生物の形態形成と環境適応を模した単位空間の分裂増殖による空間連結型モデルによる住宅プラン生成システムに関する設定とアルゴリズムの一例を示すことができた。

検証実験の観察と結果から、住宅プラン生成システムの予定最高評価値プラン生成率を高めるためには、次に示す改良が有効と考えられる。

- ①集団内における廊下など多くの室が分化する室の成長分化パターンの多様性を高める。
- ②すべての設計条件に共通な遺伝的アルゴリズムのパラメータではなく、個々の設計条件に適応したパラメータを用いる。
- ③1階（0層）の評価値が高い遺伝子を保存し、それらと2階（1層）の遺伝子を組合わせて試行を行うなど層別成長の手順を変更する。

参考文献

- 1) 吉田勝行：直方体分割図の電算機による作成法と設計計画への適用性に関する研究(Ⅰ)－直方体分割図の機械的な作成法とそのプログラム化－，日本建築学会論文報告集，第293号，pp. 105-115，1980. 7
- 2) 吉田勝行：直方体分割図の電算機による作成法と設計計画への適用性に関する

表7. 2階建て住宅プラン生成実験の設定と結果

実験		4
設定・結果	建築可能空間	1階(0層) $10 \times 7 = 70$ 2階(1層) $10 \times 8 = 80$ 合計 150
	空間構成コード (括弧内は指定セル数)	1階: 10室(70) 2階: 12室(74) 合計: 22室(144) 0. ET: 0. 00 2. 0102. 01 .99 1. CR1: 1. 00 8. 99 0203040509. 99 2. LD: 0. 00 20. 0405. 06 .99 3. JR: 0. 00 16. 0404. 07 .99 4. LV: 0. 00 4. 0202. 08 .99 5. WC1: 0. 00 2. 0102. 99 .99 6. KT: 0. 00 8. 0204. 99 .99 7. CL: 0. 00 2. 0102. 99 .99 8. BL: 0. 00 4. 0202. 99 .99 9. ST: 2. 0001. 4. 99 .10 .99 10. CR2: 1. 01 6. 99 11121314. 99 11. ER1: 0. 01 16. 0404. 151619. 99 12. ER2: 0. 01 12. 0304. 1720. 99 13. ER3: 0. 01 12. 0304. 18 .99 14. WC2: 0. 01 2. 0102. 99 .99 15. SD: 0. 01 6. 0204. 99 .99 16. CL1: 0. 01 6. 0204. 99 .99 17. CL2: 0. 01 2. 0102. 99 .99 18. CL3: 0. 01 2. 0102. 99 .99 19. BL1: 0. 01 4. 0104. 99 .99 20. BL2: 0. 01 4. 0104. 99 .99
設定	外部開口方位	居間・食堂 和室 洋室1のバルコニー1 洋室2のバルコニー2 南; 台所: 東
	試行回数	1,000
	予定最高評価値	2,400
	最高評価値	2,375
	予定最高評価値プラン生成試行回数	0
	予定最高評価値プラン生成率	0.00%
結果	平均評価値	2224.25
	平均世代数	300.00
	生成プラン例 (括弧内は評価値)	第422試行 300世代 No. 0 (2375) 第846試行 300世代 No. 0 (2360) 第865試行 300世代 No. 0 (2342)

凡例 ■: 狭道空間モジュール, □: 一般空間モジュール, ■: 浴室, ▲: 階段出入口
 ET: 玄関, CR1: 廊下1, LD: 居間・食堂, JR: 和室, LV: 洗面・脱衣室, WC1: 便所1, KT: 台所, CL: 押入
 BR: 浴室, ST: 階段, ER1: 洋室1, ER2: 洋室2, ER3: 洋室3, WC2: 便所2, SD: 書斎
 CL1: クローゼット1, CL2: クローゼット2, CL3: クローゼット3, BL1: バルコニー1, BL2: バルコニー2

- 研究(2)－直方体分割図の種類とそれを母体としたラインプランに納め得る設計計画上の条件－，日本建築学会論文報告集，第295号，pp. 103-113，1980. 9
- 3) 吉田勝行：非線形計画法による直方体分割図を母体とした最適平面の作成方に関する研究(Ⅰ)－非凸計画による最適規模の割付法とそのプログラム化－，日本建築学会論文報告集，第314号，pp. 131-142，1982. 4
 - 4) 岡崎甚幸，伊藤明宏：逐次近似型室配列・通路モデルの研究，日本建築学会論文報告集，第339号，pp. 90-100，1984. 5
 - 5) 上田完次：生物志向型生産システム，工業調査会，1994. 9
 - 6) 青木義次：プラン作成と遺伝進化とのアナロジー－室配置問題の遺伝進化アルゴリズムによる解法－，日本建築学会計画系論文集，第481号，pp. 151-156，1996. 3
 - 7) 村岡直人，青木義次：遺伝的アルゴリズムによる平面形状の最適化と設計ノウハウの獲得，日本建築学会計画系論文集，第497号，pp. 111-115，1997. 7
 - 8) 山邊友一郎，河村廣，谷明勲：人工生命理論による住宅平面空間構成，日本建築学会近畿支部研究報告集，pp. 565-568，1996
 - 9) 山邊友一郎，河村廣，谷明勲：知的人工生命の手法を用いた建築的立体構造形成(多重最適化システムによる最適解と初期乱数の影響)，第20回情報システム利用技術シンポジウム論文集，pp. 415-420，1997
 - 10) Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, Peter Walter: 細胞の分子学 第4版，ニュートンプレス，2004. 12
 - 11) 日経サイエンス編集部編：別冊日経サイエンス146 崩れるゲノムの常識 生命科学の新展開，日経サイエンス社，2004. 10

(2006年1月6日原稿受理，2006年8月29日採用決定)