原著論文

クラシファイアシステムを用いた 集合住宅の減築シミュレーション －獲得したルールと形態に関する考察－[†]

山邊 友一郎^{*1}・有吉 智彦^{*2}・谷 明勲^{*1}

近年、人口が減少段階に転じつつある日本において、既存の集合住宅の有効活用は重要な課題である。住戸の空スペースを活用し、建物の構成を変化させることで、魅力的な住空間に再生する手法として、減築が有望視されている。減築とは、既存の建物に対して、切り取る、抜けをつくる、などの建物のボリュームを減らす改修を行うことにより、住環境を向上させる手法である。本稿で論じるような集合住宅の配置計画を対象とする場合、膨大な解空間から限られた時間で準最適解を得るために、進化的計算手法を用いた研究が多数実施され、有効性が検証されている。本稿では、減築による既存集合住宅の再生を対象とする点及び、最適化手法としてクラシファイアシステムを適用する点に特徴がある。クラシファイアシステムはルール強化型の学習システムであり、進化の結果として減築後の住宅形態を得るのみではなく、進化の過程で用いる減築ルールを得られるため、どのような経過で減築を行ったかを追跡することが可能である。そこで本稿では、構築したシミュレーションにより減築ルールを獲得し、考察を加えることによって、クラシファイアシステムの有効性を検証することを第一の目的とする。次に、獲得したルールを用いて実際に集合住宅の減築を行い、得られた形態を対象として考察を行うが、設定した評価指標を目的関数として遺伝的アルゴリズムを適用して得られた形態を比較対象とすることにより、評価指標を満足する形態を獲得可能なルールを得られたか否かの検証を行うことを第二の目的とする。

キーワード：クラシファイアシステム、遺伝的アルゴリズム、集合住宅、減築

1. はじめに

近年、人口が減少段階に転じつつある日本において、既存の集合住宅の有効活用は重要な課題である。高度成長期に、主に郊外に整備された集合住宅では、入居者の減少により住環境のスラム化が危惧されている。そこで、これらの集合住宅の入居者数減少をメリットに転じさせるために、空スペースを活用し、建物の構成を変化させることで、魅力的な住空間に再生する手法として、減築[1]が有望視されている。減築とは、既存の建物に対して、切り取る、抜けをつくる、などの建物のボリュームを減らす改修を行うことにより、住環境を向上させる手法である。

本稿で論じるような集合住宅の配置計画を対象とする場合、想定される組合せの総数は膨大になり、また、個々の住居の住環境を評価し、全体の計画へ反映

する作業は非常に煩雑かつ困難である。このような組合せ爆発を起こすような問題に対して、膨大な解空間から限られた時間で準最適解を得る手法として、進化的計算手法を用いた研究が多数実施されている。中でも各種施設、住空間の配置問題を対象としたものとしては、遺伝的アルゴリズム[2] (Genetic Algorithm：以下GA)を応用した研究[3, 4, 5]、グラフ理論を応用した研究[6]、免疫システム型GAを応用した研究[7]などが実施され、有効性が検証されている。対して本稿では、今日の課題である減築による既存集合住宅の再生を対象とする点及び、最適化手法としてクラシファイアシステム[2] (Classifier System：以下CS)を適用する点に特徴がある。詳細は後述するが、CSはルール強化型の学習システムであり、進化の結果として減築後の住宅形態を得るのみではなく、進化の過程で用いた減築ルールを得られるため、どのような経過で減築を行ったかを追跡することが可能である。そこで本稿では、構築したシミュレーションにより減築ルールを獲得し、考察を加えることによって、CSの有効性を検証することを第一の目的とする。次に、獲得したルールを用いて実際に集合住宅の減築を行い、得られた形態を対象として考察を行うが、設定した評

[†] Simulation on Reduction Method for Multiple Dwelling Houses Using Classifier System –Discussion about rules and configuration obtained from the simulations–

Yuichiro YAMABE, Tomohiko ARIYOSHI and Akinori TANI

^{*1} 神戸大学

KOBE University

^{*2} 大林組

Obayashi Corporation

価指標を目的関数としてGA系の最適化手法であるパラメタフリー遺伝的アルゴリズム (Parameter-free Genetic Algorithm: 以下PfGA) [8]を適用して得られた形態を比較対象とすることにより, 評価指標を満足する形態を獲得可能なルールを得られたか否かの検証を行うことを第二の目的とする。

2. 減築シミュレーションの対象モデル

本稿で対象とする集合住宅のモデルは, 中層の団地タイプを想定し, 桁行方向10スパン, 高さ方向10階の1棟辺り100戸の住戸を持つ片廊下型の集合住宅3棟が南北方向に配置されたものとする(図1参照)。尚, 本モデルでは, 階段などの縦動線の設置位置は考慮していない。居住者の転出などにより発生した空き住戸は, オープンスペースとして使用する。また, 図1の1, 10, 100, 200, 300の数字は住戸の位置に対応させた住戸番号を示し, 4章で述べるGAを用いたシミュレーションで使用する。尚, 本稿では最初に300戸存在した住居が, 150戸(50%)まで減少した状態を対象として減築シミュレーションを実行する。

図1 集合住宅の基本モデル(初期状態)

3. CSを用いたシミュレーション

3.1 CSの概要

CSは, Hollandにより提案された手法で, if-then形式で表されるルール群の相互作用によって自律的な分散処理を行うシステムである。図2にCSの概念図を示す。CSにおいては, クラシファイアは個々の「条件/行動ルール」を示し(以下, ルール), 多様なルールの集合をメッセージリストと呼ぶ(以下, ルール群)。ルールは通常1次元の記号列により記述されており, 前半は条件部, 後半は行動部により構成される。また, 詳細は後述するが, ルールは信頼度という値を持

図2 CSの概念図

つ, 信頼度はルールの評価に応じて増減し, ルールが選択される際に用いられる指標となる。システムの実行では, まず, 現在の環境を認識し, ルール群の中から環境が自身の条件部に適合するルールが選択される。次に, 選択されたルールの行動部に基づいて, 環境に操作が施される(図2中, 行為)。続いて, 環境に加えられた変化を評価し, 選択されたルールが持つ信頼度に正または負の報酬が与えられる。環境が変化した後には, 新たな環境条件に対して再びルールを選択する作業に戻り, 上記操作を繰り返し, ルール群を進化させる仕組みである。その他の操作としては, 世代の更新に伴い, 新規ルールの生成や, 報酬を得られないルールの淘汰, ルールが所持する情報の突然変異による変更などが行われる。このようにして, ルール群は世代の経過とともに更新され, その結果, 問題に適応したルール群が得られる。

3.2 シミュレーションシステム

システムのフローを図3に示す。以下では, 図3中の番号と対応させて内容を説明する。

- 1) 乱数を用いて第1世代で使用するルール群を生成する。また, 各ルールの信頼度は500を初期値とする。
- 2) 全ての住戸に入居者が居住している状態を初期状態とする。つまり, 南, 中, 北の3棟の全ての住戸(計300戸)に居住者が存在する状況である。
- 3) 減築シミュレーションを実行し, ルール群を進化させる。詳細を以下に示す。
 - 3.a) 乱数を用いて転出させる住戸を1つ選択する。ここで, 「転出」とは団地外への引越しのことであり, 住居があった場所は空き住戸となる。
 - 3.b) 3.b)~3.g)は, 居住者が存在する全住居について実行するため, 住居の数に応じてループを行う。つまり, 3.a)で行った1回の転出に対して, 団地内に存在する全ての住居が移動を行うものとする。ここで, 「移動」とは, 団地内での住居の引越しを意味する。3.b)では, 団地内に存在する住居の中から移動を行う住戸を1つ選択する。尚, 本

図3 システムのフロー

図4 準備されたルール群

システムでは、1回の転出につき他の全ての住居が移動を行う設定としたが、これは実際に減築を行う際にも1回の転出ごとに全ての住居が移動することを想定したのではなく、シミュレーションを実行することによって住居の移動に関するルールの進化を促すための措置である。実際の住居の移動は、総戸数の50% (150戸) まで住居が減少した後に、得られたルールを用いて行うことを想定している。

- 3.c) 3.b)で選択された住居の位置情報(存在する住棟における、西端からの距離、階数、隣接する住居の数)を把握する。
- 3.d) 3.c)で把握した位置情報を基にして、ルールの条件部を設定し、ルール群の中から条件部の対応する各値が一致するルールを選択する。ここで、ルール選択の基となるルール群については、住棟ごとに用意し、かつ、その住棟の残り住居数(10戸毎)に応じて10通りのルール群を準備する。これは、対象とする住棟や住棟内の住居数に応じて有効なルールが異なることを想定するためである。

よって、ルール群は3(住棟数)×10(住居数別)=30パターン存在する。また、各ルール群は棟名称と住居数に応じて名付けることとし、例えば、(北-100)ならば、北棟の住居数91~100の場合のルール群を示す(図4参照)。

- 3.e) 3.d)で選択されたルールの行動部に従い、3.b)で選択された住居が移動する。詳細は3.3節で述べるが、選択されたルールの行動部の各値に従って、まず、団地内での移動を行うか否かが決定され、移動する場合には、移動先の住棟を決定し、移動先住棟における位置を、西端からの距離、階数、隣接する住居数を参照して移動先の候補位置を決定する。但し、上記の条件に一致する候補位置が空き住戸でなければ移動は行わない。

- 3.f) 3.b)で選択された住居が移動を行った場合、後述する評価指標を用いて団地全体の住環境を評価し、住環境が改善された場合は、3.d)で選択され用いられたルールに正の報酬を与えることによってルールの信頼度は向上する。逆に住環境が悪化した場合は負の報酬を与え、ルールの信頼度は低下する。尚、本システムでは報酬の値は正の場合は+30、負の場合は-30と設定した。詳細は3.5節を参照されたい。

- 3.g) 3.a)による転出1回につき、全ての住居を順に移動させるため、3.b)~3.f)を全住居数分繰り返す。

- 3.h) 1回の減築シミュレーションでは、全住居の50%、つまり150戸まで住居を減少させる問題設定としているため、3.a)~3.g)を150回繰り返す。

- 4) 3)の減築シミュレーションにより得られたルール群を保存し、第2世代以降では、この保存されたルール群を初期ルール群として、3)の減築シミュレーションを実行する。
- 5) 3.a)における転出させる住居の位置を変化させ、様々な転出のパターンに対応可能なルール群を得るために、システムで使用する乱数生成関数の初期値を変更する。
- 6) 2)~5)を100世代繰り返し、シミュレーションを終了する。

以下に、本節で用いたCSに関する用語の定義を本システムに即してまとめる。

ルール：住居の移動で使用されるルールである。詳細は次節で述べるが、条件部と行動部からなり、また、信頼度という数値を持つ。

ルール群：複数のルールの集まりからなり、棟別、住居数別に30個用意される(図4参照)。

評価：住居が移動した場合、移動前と移動後での住環境を比較するために用いる指標である。3.4節で詳述するが、本稿では、各住居周辺の状況による指標（密度）と平行配置された住棟の内、南側に配置された住棟との住居の配置位置の関係性に注目した指標（開放性）を採用した。

信頼度：各ルールが持つ数値であり、全てのルールは初期状態では同じ信頼度の値をとり、シミュレーションの経過に伴って増減する。信頼度が高いと、そのルールは使用される確率が高まる仕組みを持つ。つまり、信頼度の高いルールとは、繰り返し使用され、かつ、住環境を向上させる結果が得られたルールであることを示す。

報酬：住居が移動を行った結果を評価して、用いられたルールの信頼度を増減させる正または負の数値である。つまり、用いられたルールによる移動によって、住環境が向上すれば正の報酬が与えられて該当するルールの信頼度は向上し、逆に住環境が悪化すれば、負の報酬が与えられ信頼度は低下する。

3.3 住居の条件／行動ルール

前節で述べたように、住居は所属する住棟の残り住居数に応じたルール群から、条件部に一致するルールを選択し、行動部に記述された内容に従って移動する。図5に住居のルールを示す。図5中、番号は記号列の要素番号を示し、□内の数字は要素の値域を示す。以下に番号1～3の条件部の詳細及び番号4～9の行動部の詳細を記す。尚、条件部の番号1～3は#（ワイルドカード）と呼ばれる状態を取ることができ、該当する番号においては全ての条件に対応することを示す。

番号1, 2は、移動する住居の所属する住棟内における位置を示し、図1のスパン番号-1, 階番号-1として定義する。

番号3は、対象とする住居の周囲に存在する住居数を示す。住居の周囲の定義としては、4近傍を取るノイマン近傍と、8近傍を取るムーア近傍を想定し、近傍形の取り方をパラメータとしてケーススタディを行う（図6参照）。尚、建物の端部に位置する住居では、周囲に存在する住居数が最大値にはならないことが想定されるが、本稿では特別な考慮は行っていない。

番号4は移動の有無を決定し、値が0の場合は、以下の番号5～9に従って選択する空き住戸に移動する。該当する移動先候補が存在しない場合は移動を行わず、複数存在する場合は、ランダムに移動先を選択する。また、番号4が1の場合は移動を行わない。

番号5, 6, 7, 8において、番号5, 6, 8は番

番号	条件部			行動部					上段：ノイマン近傍 下段：ムーア近傍
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	0-9	0-9	0-4 0-8	0, 1	0-9	0-9	0-2	0-4 0-8	0-14
	西端からの距離	階数	隣接する住居数	移動するか否か	西端からの距離	階数	住棟	隣接する住居数	番号の選択

図5 住戸の条件／行動ルール

図6 隣接住居の定義

図7 番号9の説明

号1, 2, 3と同様である。番号7は、0, 1, 2をそれぞれ南, 中, 北棟と対応させる。

番号9は、番号5, 6, 7, 8の内、どの項目を有効とするかを決定するものであり、全組合せ数($2^4=16$ 通り)から全てを無効とする1パターンを除いた15通りから選択する（図7参照）。例えば番号9が1の場合、移動先候補を選択する際には、番号6の階数のみを参照して移動先を決定する。

3.4 集合住宅の評価

前節により住居が移動した後、以下の指標に従って集合住宅の住環境を評価し、用いたルールに報酬を与える。尚、両指標とも最大化問題として定義する。

ev.1(密度)：各住居に対して、前節で述べた隣接住居数と同様の手法により算出し、図8に示す評価関数により適応度 μ_1 を算出する。周囲に他の居住者が少ないほど、生活騒音の減少、周辺でのオープンスペースの確保が期待できるため、隣接住居数が少ないほど評価が高くなる設定とした。集合住宅全体としての評価ev.1は、全住居についての μ_1 の平均値として、式(1)を用いて算出する。尚、Nは集合住宅の全住居数とする。

$$ev.1 = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_1 i}{N} \quad (1)$$

図8 密度の評価

図9 開放性の評価

ev.2(開放性)：各住居に対して、南側の住棟の同じ位置にある住戸を中心としたムーア近傍に住居が存在する場合に、図9に示す重み係数を考慮して合計を求め(開放性算出値)、図9に示す評価関数を用いて適応度 μ_2 を算出する。南側正面近傍にある住居が少ないほど、眺望の確保、プライバシーの保護の観点から、住環境が向上することを期待する評価指標である。集合住宅全体としての評価ev.2は、ev.1と同様、全住居に関する μ_2 の平均値として、式(2)を用いて算出する。

$$ev.2 = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_{2i}}{N} \quad (2)$$

EV(総合評価値)：本稿ではev.1とev.2の両指標により求められた評価値を相乗平均により統合する(式(3)参照)。これは、両者が平均的に高い評価値を取ることを目指すためである。

$$EV = \sqrt{ev.1 \times ev.2} \quad (3)$$

3.5 ルールのパラメータ設定

CSでは、住居の移動前と比較して評価値が上昇したか否かにより使用したルールを評価し、正または負の報酬を与える。その他、ルールに対して加える操作、パラメータ設定を以下に示す。

1) 初期設定：図4に示す各ルール群内に存在するルール数は1,000とする。また、各ルールの信頼

度の初期値は500とする。

- 2) ルールの選択と使用：条件部に一致するルールが複数存在する場合には、各ルールの信頼度の値と#(ワイルドカード)の数に応じて、確率的に1つを選択する。つまり、信頼度が高いほど、#が少ないほど選択される確率が高くなる。また、使用されたルールの信頼度は2%減少させる。これは、同じルールが何度も選択されることを防ぐ仕組みである。
- 3) ルール再生1：#を持つルールが選択された場合、条件部の#をこの時の条件部の入力値に置換したルールを生成する。
- 4) 報酬の付与：ルールを使用した結果、評価値が上昇した場合は、信頼度に30を加算し、減少した場合は30を減算する。
- 5) 突然変異：住居の移動を50回行うごとに、信頼度が450以下でかつ、そのルールの使用回数が5回以上のルールの行動部を乱数により再設定し、信頼度を500に初期化する。
- 6) 消去：住居の移動を50回行うごとに、信頼度が400以下のルールを消去する。
- 7) ルール再生2：#を含まないルールの中から信頼度の高いものを数個選択し、条件部を全て#に置換したルールを生成する。

上記操作は、2)、3)、4)に関してはルールの選択、使用時に環境変化に応じて行われる操作であり、5)、6)、7)に関しては環境変化とは独立に実行される操作である。尚、上記の各種パラメータの設定に関しては、いくつかの試行を基に設定したものであるが、パラメータの値が変化すると当然シミュレーションの実行結果にも影響を及ぼすものであり、問題設定に応じて適切な値を設定することが必要である。

4. GAを用いたシミュレーション

本稿では、交差率、突然変異率などの遺伝的パラメータの設定が不要なPfGAを用いる。システムは、図10に示すフローチャートに従って実行される。最適化の対象は、50%(150戸)減築後の形態とした。尚、パラメータ設定としては、家族(PfGAにおいて、2つの子個体、2つの親個体の集まりを指す名称)数を10、終了世代数を50,000とした。ここで、終了世代数の設定は、複数の試行を行い、解がある程度収束することを目安として設定した。

- 1) 乱数を用いて第1世代の遺伝子集合を生成する。
- 2) 遺伝子型(記号列)を表現型(集合住宅モデル)にデコードする。本稿では減築後に150戸の住居が存在する状態を想定するため、遺伝子型の設計方法は、遺伝子座を150用意し、各々に集合住宅内における

図10 PfGAのフローチャート

位置情報を重複しないように設定した。尚、位置情報は図1で示した1～300の住戸番号と対応させる。

- 3) 表現型を評価し適応度を算出する手法は、3.4節で述べた密度、開放性に関する評価指標を用い、同様に相乗平均を用いて総合評価値とする。
- 4) 交差、淘汰、突然変異などの遺伝的操作を加えて、次世代遺伝子集団を生成する。
- 5) 設定した終了世代まで2)～4)のループを繰り返す。

5. 実行結果及び考察

隣接住居数の数え方、用いた最適化手法をパラメータとして、表1に示す4例のケーススタディを実行した。ここで、GAに関しては、使用する乱数系列を変化させて複数回のシミュレーションを行い、得られた評価値が最も良かったものを結果として採用した。尚以下では、ムーア近傍を用いてCSによるシミュレーションを行ったCase1の結果を基にして、得られたルール群に関する考察を行い、次に、CSとGAの両システムを用いて得られた減築後の形態や評価値に関する比較を、隣接住居数の数え方としてムーア近傍を用いた場合と、ノイマン近傍を用いた場合のそれぞれについて考察を行う。

5.1 CSで獲得したルールについて (Case1)

Case1では、隣接住居数の数え方をムーア近傍として、図3に示すフローチャートに従い、ルール群を

表1 ケーススタディ

	隣接住居数の数え方	最適化手法
Case1	ムーア近傍	CS
Case2	ムーア近傍	GA
Case3	ノイマン近傍	CS
Case4	ノイマン近傍	GA

100世代進化させた。表2に、Case1のシミュレーションより得られたルール群から、信頼度が上位30位までのルールを、棟別、住居数別に並べ替えたものを示す。

ここで、信頼度が高いということは、そのルールが多数回使用され、設定した評価を高める方向に住環境が変化したことを示す。上位30位では信頼度は612～1,019の間に分布している。表2中、所属ルール群の項目はルールが図4で示したルール群のどれに所属するものであるかを示し、条件部、行動部の数字は、3.3節で示した番号に対応する箇所のルールを示し、番号下部に図5と対応させて簡単な説明を付した。尚、番号9は番号5～8の中からどの項目を有効にするかを選択するもので、無効となる番号5～8の部分には-の記号を付した。例えば、信頼度が1位で1,019であるルールは、中棟の住居数が80～90の状態に対応するルール群に属し、西端からの距離は#なの

表2 Case1で得られたルール(上位30)

所属 ルール 群	条件部			行動部						信 頼 度
	1 距離	2 階数	3 隣接	4 移動	5 距離	6 階数	7 住棟	8 隣接	9 選択	
南-80	1	3	7	0	-	-	-	6	3	617
南-80	3	6	7	0	-	-	2	6	9	614
南-70	5	#	6	0	-	-	0	5	9	918
南-70	6	8	6	0	-	-	1	2	9	820
南-70	4	8	6	0	-	-	1	2	9	651
南-70	3	8	6	0	-	-	-	5	3	649
南-70	3	4	6	0	-	0	1	5	13	613
南-60	8	0	4	0	-	-	-	3	3	648
中-100	2	3	8	0	4	-	-	7	6	622
中-90	#	3	8	0	-	-	1	7	9	1,019
中-70	6	8	6	0	-	2	-	-	1	666
中-70	#	1	6	0	-	-	0	6	9	612
中-60	7	1	3	0	-	0	-	-	1	791
中-60	1	7	4	0	-	-	1	3	9	694
中-60	5	#	5	0	5	-	2	-	5	614
中-50	9	8	3	0	-	-	1	2	9	775
中-40	9	1	1	0	9	-	-	0	6	820
中-40	9	3	2	0	-	-	-	1	3	762
中-40	7	6	2	0	-	-	-	1	3	746
中-40	0	1	1	0	-	-	-	8	3	661
中-40	1	9	2	0	-	-	-	1	3	650
中-40	0	2	2	0	-	-	-	1	3	649
中-40	0	7	2	0	-	-	2	4	9	627
中-40	3	2	2	0	-	-	-	1	3	614
北-90	1	1	8	0	-	-	-	7	3	660
北-90	1	1	8	0	-	-	2	7	9	624
北-70	#	4	6	0	-	-	1	2	9	707
北-70	6	1	6	0	-	-	2	5	9	683
北-70	1	2	6	0	-	-	-	5	3	617
北-70	8	5	6	0	-	-	2	5	9	614

で全ての距離に対応し(番号1), 階数は3(番号2), 隣接住居数は8(番号3)という条件に一致する住居が移動対象となる場合, 中棟の(番号7)隣接住居数7(番号8)に該当する場所に移動を行うルールである。

信頼度が上位30までのルールの所属ルール群を棟別に分類すると, 南棟が8, 中棟が16, 北棟が6であり, 中棟からの移動が住環境(今回設定した評価項目)の向上に貢献したことがわかる。また, 住居数に着目すると中棟は30~100という広範囲のルールがよく使用されているのに対して, 南棟では50~80, 北棟では60~90の範囲に限られていることから, 中棟における活発な移動が読み取れる。また, 住居数が90~100の状況で信頼度が高いルールが存在しないのは, 空き住戸数がある程度増加するまでは移動先の選択肢が少ないため, 全体の住環境を向上させるルールの発見が困難であることによると考える。

各ルールの条件部に着目すると, 番号1, 2, 3の条件に該当する住戸が移動するため, 空き住戸になりやすいと言える。ここで, 少数ではあるが, 条件部の#に注目すると, 番号1が#となるルールが中棟では2つ存在し, 番号2はそれぞれ3と1であるため, 中棟の階数1と3の層は水平方向に空き住戸が並びやすく, 同様に北棟の階数4の層, あるいは, 南棟の距離5や中棟の距離5の縦方向の位置にも空き住戸が並びやすい特徴を持つルールとなっている。

行動部に着目すると, 番号4は全て0であり, 移動を行うルールのみが高い信頼度を獲得している。また, 番号9によるルールの選択により, 番号5, 6は1割程度, 番号7は5割程度しか参照されていない。これは, 移動先を選択する際に, 西端からの距離や階数などにより移動先を限定せず, 住棟と隣接住居数のみを参照して大まかに移動先を選択することを意味しており, 移動先を厳密に指定してしまうと, 状況によっては移動可能な空き住戸が存在する可能性が低くなり, 繰り返し使用されることで信頼度を上げるCSの仕組み上, 汎用性が低いと判断されるためであると考える。

番号7に関しては, 南棟からは中棟へ移動するルールが目立ち, 北棟からは自身の他の位置へ移動するルールが半数を占める。中棟では, 住棟を指定して移動を行うルールは少数であり, 隣接住居数などの他の条件に合致する空き住戸を全棟から探索して移動を行う傾向が読み取れる。

番号3, 8の隣接住居数に注目すると, 7→6, 4→3など番号3の値から1を引いたものが番号8の値であるルールが多数存在する。また, 所属ルール群の住居数が減少するほど, 番号3, 番号8の値も減少す

る傾向も読み取れる。これより, 移動を行う際の状況が変化しても, 各住居が現在の隣接住居数を若干改善する移動先を選択することで, 住棟全体としての住環境を向上させたことがわかる。

5.2 形態の比較(ムーア近傍, Cases1, 2)

図11にCase1のシミュレーションで得られたルール群を用いて50%の減築を行った結果を示す。また, 図12にGAによるCase2の実行結果を示す。

Case1の結果からは, ①中棟の住居が少ない②塔状に住居が並ぶ③南棟, 北棟では外周部に住居が並び, その内側に空き住戸が並ぶ, などの特徴が見られた。①の特徴に関しては, ev.2(開放性)の影響によるものと考えられる。中棟の住居が減少することにより, 北棟の住居の前面が開放され, 同時に, 南棟の住居により開放性が阻害される中棟の住居が減少するためである。②, ③に関しては, ev.1(密度)の影響が大きい。上下に連続し, 左右に空き住戸が配置されることにより, ムーア近傍内に存在する住居数は2となるため, 配置パターンとして有利となるためである。また, 外周部は元々ムーア近傍内に存在する住居数が少ないため, あえて移動する必要性が小さいと考えられる。

上記の特徴と, 前節で示した獲得されたルールを併せて考察すると, ①に関しては, 中棟からの移動が活発に行われるというルールの傾向とよく対応している。②, ③に関しては, 表1で示した上位30位までのルールでは明確に読み取ることができなかったが, 上位100位までのルールにおける番号1, 2の分布を見ると(図13参照), 両者共に0, 9が少なく1, 8が多いという特徴が観察された。

次に, CSを用いて得られたCase1の結果とGAを用いて得られたCase2の結果について述べる。Cases1, 2で得られた減築後の住居形態を比較すると, 上記の①~③の特徴は, 両者に共通して存在することが認められる。また, 得られた形態の評価値に関しては, 総合評価値の差はGAを用いて得られた形態のほうが0.024高い評価値となる配置パターンが得られた。GAによる最適化は, 150戸の減築後の住居配置パターンそのものをパラメータとして最適化を行うのに対し, CSではシミュレーションを通して減築ルールを進化させ, 得られたルールの適用により住居配置パターンを得るという間接的な手法であるが, GAの結果と比較して差の少ない結果が得られたことより, 獲得したルールは本稿で設定した問題及び評価指標に対して有効であったと考える。

図11 Case1の実行結果(ムーア近傍, CS)

図14 Case3の実行結果(ノイマン近傍, CS)

図12 Case2の実行結果(ムーア近傍, GA)

図15 Case4の実行結果(ノイマン近傍, GA)

図13 番号1, 番号2の分布

5.3 形態の比較(ノイマン近傍, Cases3, 4)

図14にCase3のシミュレーションで得られたルール群を用いて50%の減築を行った結果を示す。また、図15にGAによるCase4の実行結果を示す。

Case3の結果からは、①中棟の住居が少ない②南棟、北棟において千鳥格子状に住居が並ぶ③南棟、北棟では外周部に住居が並ぶ、などの特徴が見られた。①、③の特徴に関してはCase1と共通であるが、②に

関しては隣接住居数の捉え方をノイマン近傍に変更したことによるものと考えられる。つまり、住居に関して上下左右が空き住戸となると、ノイマン近傍を考慮すると隣接住居数は0になり、評価指標を満たしやすくなるためである。次に、Case4のGAによる結果からは、上記の①と②の特徴は読み取れるが、③の特徴はCSによる結果ほどは明確ではなかった。②に関しては、南棟及び北棟だけでなく、中棟でも千鳥格子状に住居が配置される特徴が読み取れ、そのため、中棟にもある程度の数の住居が配置された分、南棟、北棟における外周部の住居配置が減少したと考えられる。また、得られた形態の評価値に関しては、GAの方が0.011高い結果となり、ムーア近傍を用いたCases1, 2の結果よりもその差は小さかった。しかし、得られた形態の特徴の差異はCases3, 4の方が大きいと考える。つまり、Case3のCSでは中棟の住居数を減らすこ

とにより評価値を高める傾向が強いのに対し、Case4のGAでは千鳥格子状に住居を配置するという傾向が強く認められる。

6. 結論

本稿では、既存の集合住宅における住環境を改善する手法である減築を対象として、CS、GAという2つの進化的計算手法を用いたシミュレーションを実行し、以下の結論を得た。

- 1) 本稿で構築したシステムにより、CSでルール群を進化させ、獲得されたルールを用いて、設定した評価を満たす形態を得ることができた。
- 2) CSで獲得されたルールを分析することにより、減築の各段階での住居の移動を検証し、減築手法に関する指針を得ることが可能である。つまり、中棟の住居を減らす、外周部の住居を残すという指針は全Caseに有効な手法と言え、内部の配置パターンに関しては、近傍形の取り方によって、棟状に並べる、あるいは、千鳥格子状に配置するなど、有効な手法が異なることを示した。
- 3) CSとGAにより得られた結果の比較を通して、CSは減築の過程を追跡できる利点がある反面、最終的に得られる形態のみを比較すると、評価値の向上という観点からは、本稿の設定ではGAの方が有利な結果が得られた。
- 4) 今後の課題としては、減築ルール、評価手法の妥当性の検証や、空スペースを活用した居住空間の拡張操作などを取り入れることにより、より柔軟性のある空間構成手法を導入することがあげられる。

参考文献

- [1] 団地再生研究会：団地再生のすすめ，マルモ出版，2002。
- [2] John H. Holland：ADAPTATION IN NATURAL AND ARTIFICIAL SYSTEMS, MIT PRESS. 1994.
- [3] 青木義次，村岡直人：遺伝的アルゴリズムを用いた地域施設配置手法，日本建築学会計画系論文集，No.484，pp.129-135，1996。
- [4] 阪野明文，宗本順三，吉田哲，岩田伸一郎：大学キャンパス逐次立替計画における総床面積と補正立面面積の推移シミュレーションー遺伝的アルゴリズムを用いた二目的最適化ー，日本建築学会計画系論文集，No.529，pp.203-210，2000。
- [5] 河野正浩，谷明勲，山邊友一郎，河村廣：人工生命の手法を用いた群建築形態形成の共進化システムーGAsを用いた形態最適化と評価関数最適化ー，第28回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，pp.187-192，2005。
- [6] 神山直之，瀧澤重志，加藤直樹：フロアプランの列举に基づく2階建て住宅の室配置アルゴリズム，日本建築学会環境系論文集，No.601，pp.65-72，2006。
- [7] 徳田光弘，本間俊雄，松永安光，有吉弘輔，西村一成，平野公平，小佐見友子：遺伝子操作を導入した模擬育種法による低層集合住宅配置計画における設計支援の可能性，日本建築学会計画系論文集，No.611，pp.83-91，2007。
- [8] 木津左千夫，澤井秀文，足立進：可変な局所集団の適応的探索を用いたパラメータフリー遺伝的アルゴリズムとその並列分散処理への拡張，電子情報通信学会論文誌，D-II，情報・システム，II-情報処理，pp.512-521，1999。

(2010年12月15日 受付)

(2011年6月3日 採録)

[問い合わせ先]

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

神戸大学大学院工学研究科建築学専攻

山邊 友一郎

TEL：078-803-6016

E-mail：yamabe@kobe-u.ac.jp

著者紹介

やまべ ゆういちろう
山邊 友一郎 [正会員]

1998年神戸大学大学院自然科学研究科博士課程前期課程建設学専攻修了。同年(株)小笠原設計入社, 2003年神戸大学工学部助手, 2007年同大学院工学研究科助教, 2010年同准教授, 現在に至る。主として, 建築構造を対象とした最適化問題や資源循環シミュレーションの研究に従事。日本建築学会, 日本計算工学会, 日本知能情報ファジィ学会各会員。博士(工学)。

ありよし ともひこ
有吉 智彦 [非会員]

2009年神戸大学大学院自然科学研究科博士課程前期課程建設学専攻修了。同年(株)大林組入社, 現在に至る。大学院では, 主として, 遺伝的手法を用いた建築物の形態形成に関するシミュレーションの研究に従事。現在は建築事業部に所属し, 施工管理の業務に携わる。修士(工学)。

たに あきのり
谷 明勲 [正会員]

1980年神戸大学大学院工学研究科修士課程建築学専攻終了。1982年神戸大学工学部助手, 1994年同助教, 2005年同教授, 2007年神戸大学大学院工学研究科教授, 現在に至る。主として建築構造物の知的制御や最適化問題, 建築性能モニタリングに関する研究に従事。日本建築学会, 日本知能情報ファジィ学会, 人工知能学会, 日本計算工学会等会員。博士(工学)。

Simulation on Reduction Method for Multiple Dwelling Houses Using Classifier System - Discussion about rules and configuration obtained from the simulations -

by

Yuichiro YAMABE, Tomohiko ARIYOSHI and Akinori TANI

Abstract :

Recently, in Japan, utilizing methods on the stock of dwelling houses become an important issue to be solved in the society where population is shrinking. In order to resolve the problem, "Reduction Method" is considered to be one of the effective methods. Reduction method is used in order to improve dwelling environment by reducing building volume.

In case of location problems of dwelling houses, researches on evolutionary computation methods are studied and its effectiveness for obtaining an optimal solution from enormous solution space in a short time is also clarified. In this paper, simulation systems of reduction method on dwelling houses are developed by using Classifier System: a reinforcement learning system. By using a classifier system, layout plans of dwelling houses are obtained as results of simulation, and rules of reduction method are obtained, therefore, processes of reduction method can be observed. Furthermore, a reduction simulation is also performed using Genetic Algorithm and the layout plans of dwelling houses created by the rules of reduction method are verified and discussed by comparing with the plans obtained as a result of Genetic Algorithm simulation.

Keywords : Classifier systems, Genetic algorithm, Dwelling houses, Reduction method

Contact Address : **Yuichiro YAMABE**

Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University
1-1, Rokkodai, Nada, Kobe, 657-8501, JAPAN
TEL : 078-803-6016
E-mail : yamabe@kobe-u.ac.jp