

建築・都市空間の最適化

山邊 友一郎, 谷 明勲

神戸大学大学院工学研究科

yamabe@kobe-u.ac.jp, tani@arch.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

建築・都市の設計・計画では、快適性、安全性、意匠性、経済性などの諸要求を勘案し、種々の制約を考慮しながら効果的に設計目標を達成することが求められる。しかしこれは非常に困難な作業である。理由は複数存在するが簡単にまとめると以下の通りである。①建築・都市の構成要素は膨大な数、種類があり全てのパターンを検討することは不可能に近い。②実現すべき目標が多岐にわたり、その全てを同時に満たす解が存在するケースがほとんどない。③物理的に計測できる目標に加えて個々の人間の主観に関わる目標があるため、適切に評価することが難しいことなどである。

本稿では、①で述べた膨大な解候補から最適解を探索することの困難性を解決することを目的として行った研究成果を報告する。解が無数に存在する組み合わせ最適化問題に対して、効率的かつ実用時間内で解を探索する手法として、発見的最適化手法の1つである遺伝的アルゴリズム[1, 2] (以下GA) が有効である。GAは生物の進化の仕組みに着想を得たアルゴリズムで、複数の個体から適応度の高い個体を選択して交叉、突然変異などを繰り返し適用し、優れた解を探索する手法である。本稿ではGAを発展させたパラメータフリーGA[3]、多目的最適化を行うSPEA2 [4]を適用して研究を実施した成果を紹介する。筆者らはこれまで計画・構造・環境・生産など建築の様々な問題を対象とした最適化に関する研究を行ってきたが、本稿では建築・都市を対象として行った2つの研究事例を紹介し、まとめではスマートシティに関する最適化の適用性を考察する。

2. 集合住宅の最適化 [5]

本章では集合住宅を対象として建物形態及び複数の住戸の最適配置問題に取り組んだ研究事例を紹介する。設計変数は複数の住戸形状と集合住宅内での配置位置である。集合住宅のつくり方を図1に示す。まず北側の鉛直平面に住戸数分の玄関セルを配置する。次に各住戸は空間セルの増殖ルールに従って玄関セルから増殖を行い住戸の空間配置が完了する。全ての住戸の空間配置を終えると集合住宅の住戸配置が完了する。次に、配置された住戸形状に応じて住戸を支える梁・柱の構造部材及び、住戸の玄関をつなぐ廊下が設置されることにより集合住宅が形成される設定とした。尚、玄関セルの配置位置及び空間セルの増殖ルールは遺伝子情報により決定される。その対応関係を図2に示す。図2左に示すように、玄関セルはX, Y方向の座標情報に基づいて位置を決定する。配置された玄関セルは自身の水平4方向の近傍形(ノイマン近傍)に基づいて遺伝子情報から参照する情報の位置を決定し、そこ(遺伝子座)に記載されている情報に従って方向を決定し増殖する。これを規定回数繰り返すことにより住戸の平面配置が決定される。その後、GAを用いて様々な遺伝子情報(座標・

増殖ルールに関する情報) を試行錯誤しながら目的関数を満足する解を探索する作業をコンピュータ上で実施する。

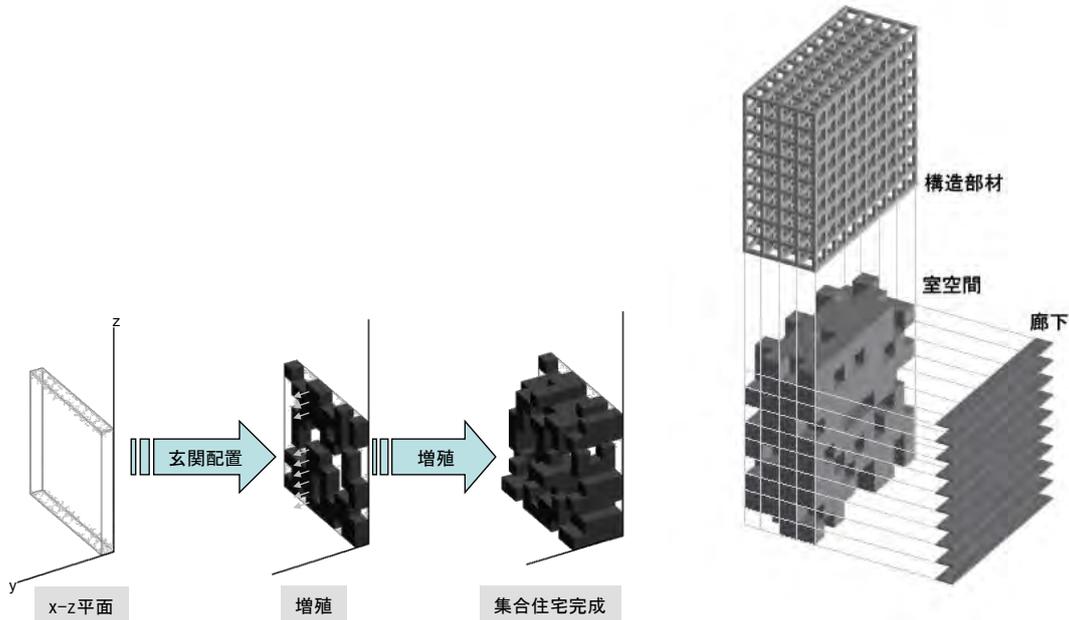


図1 集合住宅の作り方 (配置する住戸・構造部材・廊下)

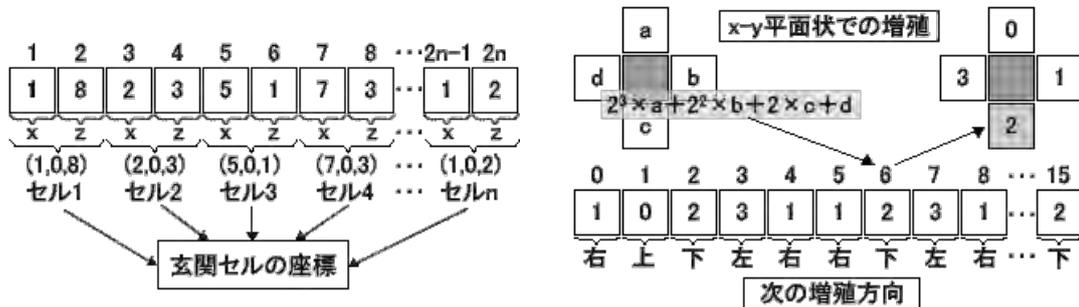


図2 設計変数と遺伝子情報の対応

目的関数は大きく分類すると 2 種類設定した。尚、目的関数は全て最大化問題となるように定義し、2 種類の評価は最適化システムを二重に適用することにより実装した。

目的関数① (開放性) : 住人の要望として通風, 採光を考慮して, 空間セルの東西南北天井面に他のセルが存在するかしないかを重みをつけて評価する。

目的関数② (Ev.2, 部材数, 廊下長) : 施主の要望として建築コストを下げるため, 使用する構造部材を減らし, 廊下の長さを短くするほど高く評価する。

以上の設定で最適化を実行した。配置する住戸の種類と数は, セル数 1, 2, 3, 4, 5 の住戸をそれぞれ 10 戸配置することにより集合住宅が形成される設定とした (図 3 参照)。GA のパラメータは内ループ (世代数 : 74, 家族数 : 10), 外ループ (世代数 : 10,000, 家族数 : 10) とした。図 4 に最適化システムの実施により得られた解を示す。設定した目的関数を満足するよう進化した結果として, 南面に向けて階段状に構成された空間配置が得られた。

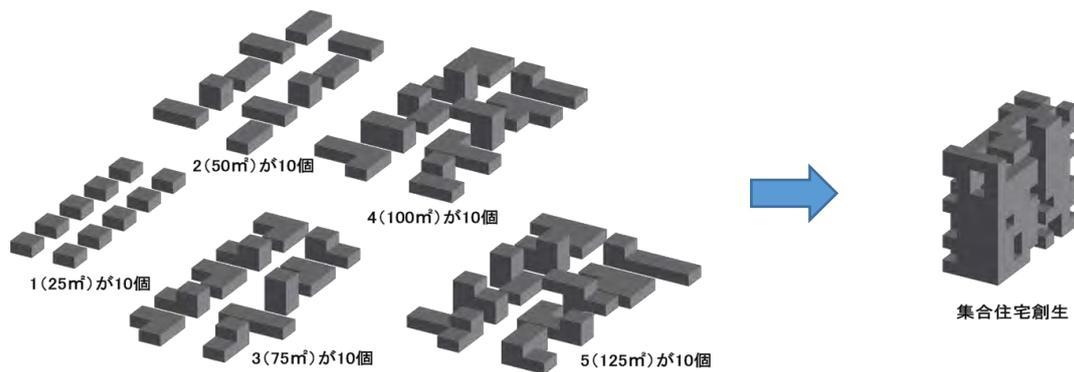


図3 配置する住戸の種類と数

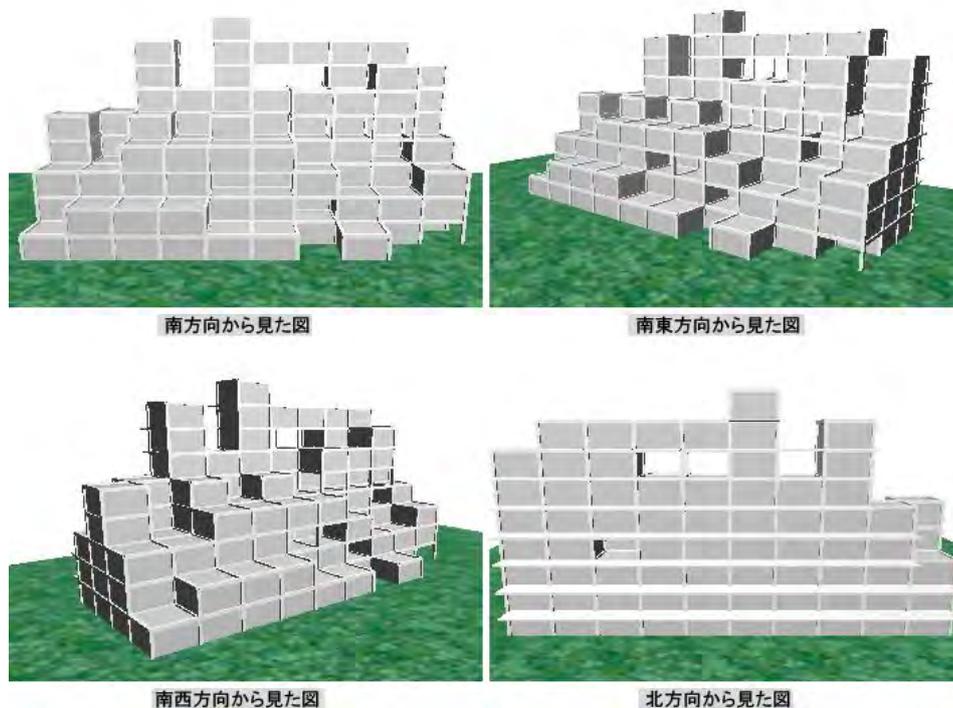


図4 実行結果

3. 住棟・道路配置の多目的最適化[6]

本章では住宅地を対象として複数の住棟・施設配置及び各住棟への接続道路の最適配置問題に取り組んだ研究事例を紹介する。設計変数は、住棟・施設の配置位置（2次元座標）と回転角及び、主要道路の配置位置である。配置方法は、まず主要道路を配置し、次に住棟・施設を配置する。さらに主要道路から各住棟・施設に接続する道路を配置することにより住棟・道路の配置位置を決定するという流れである。図5に対象敷地と配置する住棟・施設の形状、高さの種類を示す。敷地は100m×100mの正方形で2.5m×2.5mのセルで分割する。このセルを基本単位として各種施設の大きさ、形状を定義する。配置する施設の種類は住棟（形状はA, B, C, Dの4種類、高さは1, 2, 3層の3種類、配置形状は4種類の回転角で定義する）、公園、コミュニティーセンターである。図6にGAの基本

的なフローチャートを示す。0. パラメーター設定, 1. 初期集団生成, 2. 遺伝子情報を解読して住棟・道路配置を行う, 3. 評価を行い各個体の適応度を求める, 4. 各個体の適応度を参照し, 選択淘汰・交差・突然変異などの遺伝的操作を行う, 5. GA の世代数をもとに終了判定を行う, という流れで最適化を実行する。図7に設計変数と遺伝子情報の対応関係を示す。各住棟・施設は対応する遺伝子情報をもとに自身の配置位置及び配置角度を決定する。

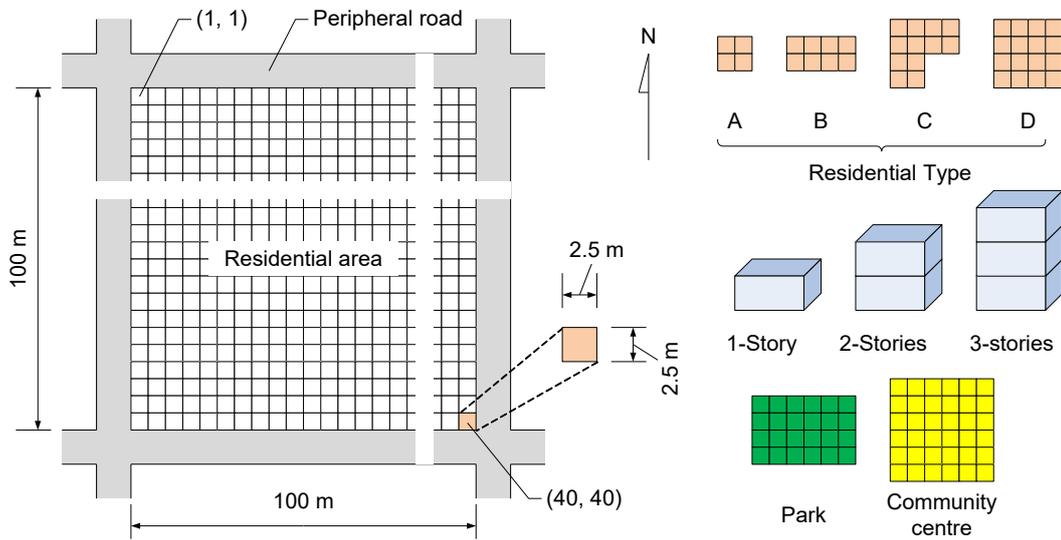


図5 問題設定 (敷地と配置する住棟・施設)

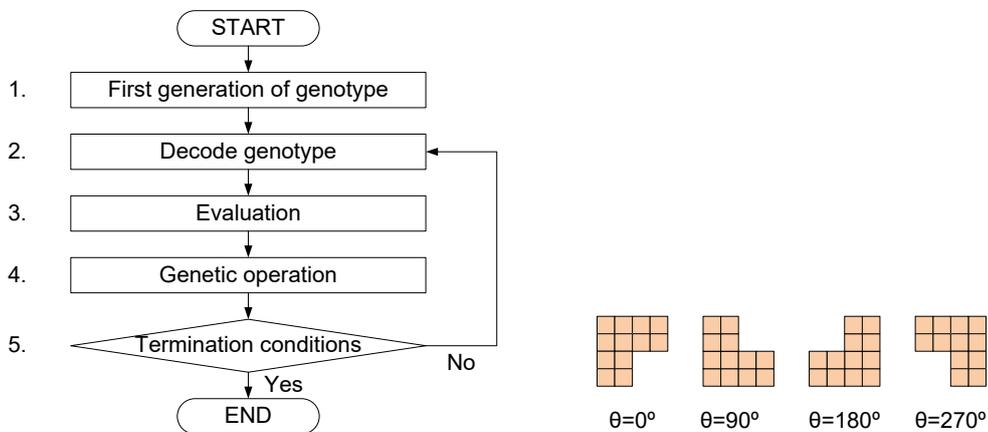


図6 最適化のフローチャート

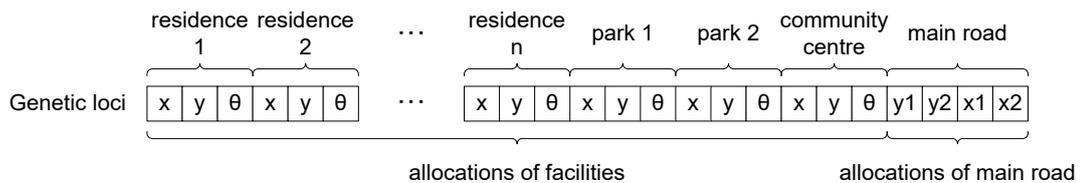


図7 設計変数と遺伝子情報の対応

制約条件を1種類と目的関数を3種類設定した。尚, 目的関数は全て最大化問題となるように定義した。

制約条件：住棟の敷地からのみ出し、他の住棟との重複、接道の確保の3種類を考慮する。

Ev.1 (利便性)：各住棟から公園及びコミュニティセンターとの距離を合計し、値が小さいほど高く評価する。

Ev.2 (採光性, 周辺環境)：住棟周囲の開放度を求め値が高いほど高く評価する。

Ev.3 (経済性)：道路の総延長距離が短いほど高く評価する。

以上の設定で最適化を実行した。SPEA2のパラメータは世代数：30,000、個体数：50、アーカイブ数：50である。図8に得られたパレート解の3次元分布図及び2次元投影図を示す。また、図9に得られた分布図で特徴的な位置にある解1~6を選択し、その施設配置を示す。選択した解の分布図上での位置及び住棟・施設の配置パターンを比較することにより、各目的関数と配置パターンの関係性、目的関数相互の関係性が理解できる。

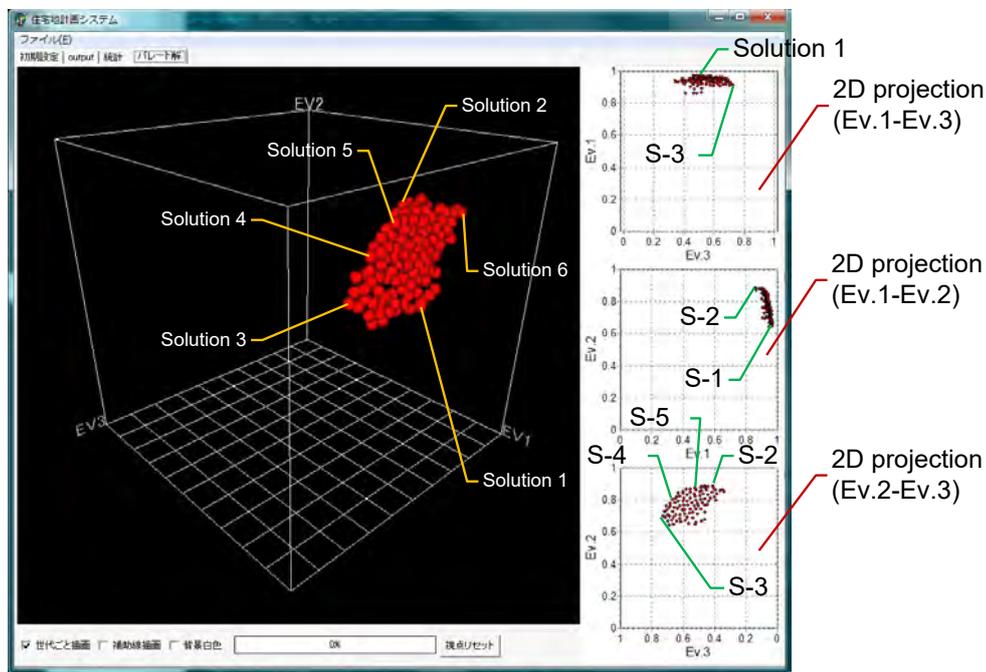
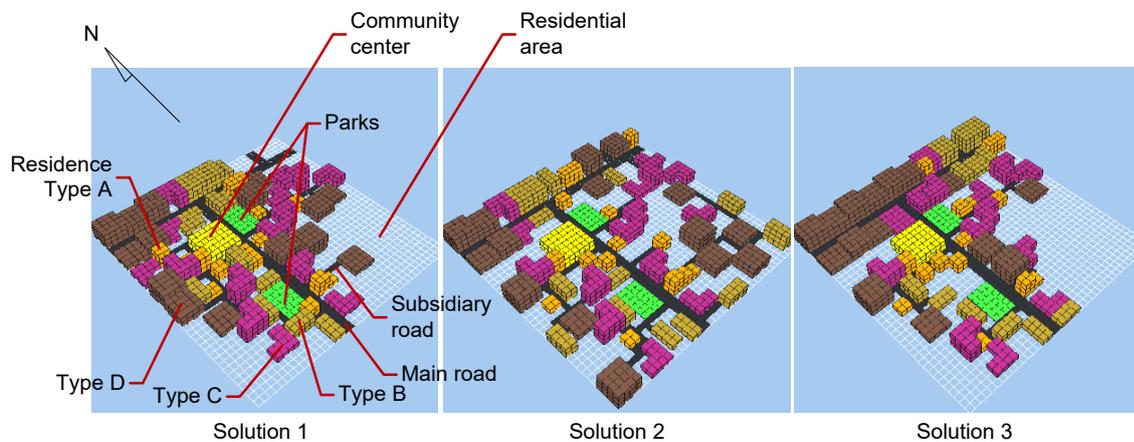


図8 得られたパレート解の分布



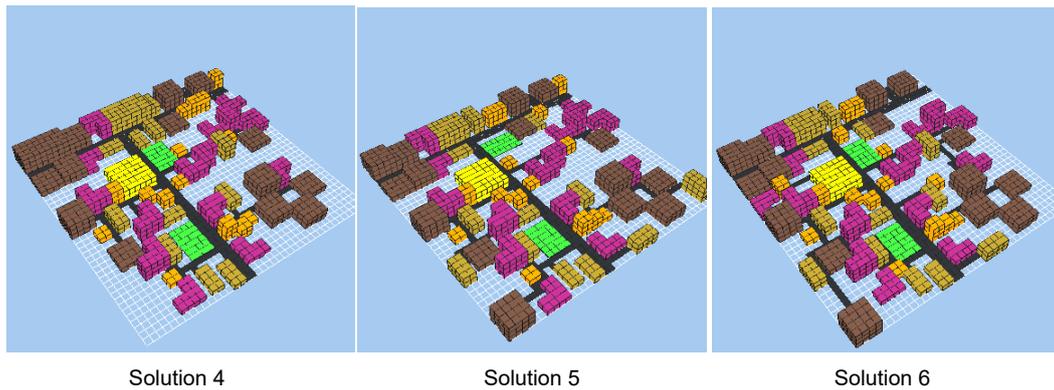


図9 解1~6

4. まとめ

本稿では、最初に建築の諸問題に対する最適化システム適用の意義について述べ、次に具体的な適用例として集合集宅での住戸の配置問題及び、団地での住棟・道路の配置問題への適用例を示した。最適化システムの適用にあたっては、①モデル化、②最適化手法、③目的関数の3つを適切に設定する必要があるが、本シンポジウムのテーマである「スマートシティ」への適用を考慮してもポイントは変わらないと考える。①スマートシティの多様性を過不足なくモデル化し、②最適化手法を選定し、③実現に向けての課題を抽出してコンピュータでも処理できる形式で目的関数として定義できれば、最適なスマートシティを提案するツールあるいは計画支援システムとして有効に活用できると考える。

参考文献

- [1] 北野弘明編著：遺伝的アルゴリズム②，産業図書株式会社，1995.
- [2] Goldberg, D. E.: Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.
- [3] 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，pp.512-521，1999.
- [4] Eckart Zitzler, Marco Laumanns and Lothar Thiele: SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm, Technical Report 103, Computer Engineering and Communication Networks Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, pp.1-19, 2001.
- [5] 斎藤暁，谷明勲，山邊友一郎，河村廣：人工生命の手法を用いた建築空間創生－多重最適化の効率化に関する検討－，第28回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集（論文），pp.181-186, 2005.12
- [6] Yuichiro Yamabe, Shunya Kawase and Akinori Tani: Optimization system for facility placement in residential areas using multi-objective genetic algorithms, Proc. of the 13th ICCCB, Paper 187, pp.1-6, 2010.