

情報デザイン共創環境を用いた集合住宅設計補助ツールの提案 Proposal for Apartment Design using Generative Design

○上野 諒介*¹, 渡辺 俊*²
Ryosuke UENO*¹ and Shun WATANABE*²

*1 筑波大学大学院 システム情報工学研究群 博士前期課程
Graduate student, System Information Engineering, University of Tsukuba

*2 筑波大学システム情報系教授・博士(工学)
Professor, System Information Engineering, University of Tsukuba, Ph.D.

キーワード：配置計画; 最適化; Dynamo
Keywords: Layout plan; optimization; Dynamo.

1. 背景と目的

CAD や BIM の普及に合わせて、近年では指定した制約条件やアルゴリズムに基づいてコンピュータにアイデアを生成させ、設計者がこれにフィードバックを行う「デザイン共創環境」と呼ばれる、人間とコンピュータによる対話的な設計のプラットフォームも注目されている。

本研究では BIM と連携したデザイン共創環境を用いて敷地形状に合わせた集合住宅のボリュームを自動生成するツールの作成を行った。ツールの作成を通してデザイン共創環境を用いた設計手法の 1 つを提示することを目的とする。

2. 既往研究

アルゴリズムによる建築設計を試みた研究は多数存在し、特に住宅施設の配置計画を対象としたものとしては、川瀬ら(2008)¹⁾や徳田ら(2007)²⁾の研究が挙げられるが、これらは BIM 及びデザイン共創環境を用いたものではない。本研究と同手法で建築設計の最適化を行った研究として応急仮設住宅を対象とした青戸ら(2022)³⁾、中規模オフィスビルを対象とした河野ら(2021)⁴⁾の研究が挙げられるが、対象施設や最適化を図る目的関数となる項目が異なる。また、本研究と同等の手法で集合住宅の配置計画と性能評価を行ったものとして梶原ら(2018)⁵⁾の研究が挙げられるが、これは単一目的最適化を重ねて実行することで多目的最適化を行っており、本研究では同時に複数の目的関数に対して最適化を行っている点が異なる。

3. 手法

本研究では BIM 上で集合住宅のパラメトリックなモデルを生成し、デザイン共創環境によってモデルの形態を定める各種パラメータの最適化を行う。BIM は Autodesk 社の Revit を採用し、モデル生成には Revit のアドオンである VPL 環境の Dynamo、モデルの最適化には

デザイン共創環境の Generative Design を用いる。同環境では多目的最適化が実行可能な上、アルゴリズムのオプションが複数存在し、設計の幅が広い利点がある。

4. モデルの生成

4.1. モデルの構成要素

本研究で扱うモデルでは、敷地を通貫するようにメイン動線を配置し、そこから住棟や駐車場を伴うサブ動線を派生させた、並行配置の形態を取ることにする(図 1)。

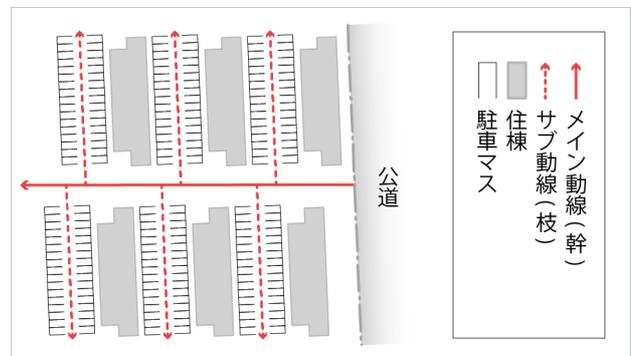


図 1 モデルの形態

4.2. 生成フロー

図 1 に示したモデルは、図 2 に示したフローによって生成される。主に 3 つのフェーズから成り、各フェーズにおいて住棟の延面積及び住棟のバルコニー面における単位面積当たり日射量(以降、日射量)を最大化するパラメータの探索を行う。

フェーズ 1 ではメイン動線軸とサブ動線軸の位置を決定し、延面積と日射量を間接的に最大化する。延面積の最大化では、それぞれ住棟と駐車マスを配置する「住棟スペース」と「駐車スペース」を、メイン動線軸とサブ動線軸の位置によって定まる領域に交互に割り当て、こ

これらの合計面積が敷地面積に占める割合を示す「充填率」を評価指標として最大化を図っている。これは住棟スペースの面積が住棟の面積に概ね比例することを前提としている。一方日射量の最大化では、バルコニーが真南に面しているとき年間の累計日射量が最大化されるとして、バルコニーの向き（＝サブ動線軸の法線ベクトル）と南北方向の成す角度を元（ Φ ）に評価を行っている。具体には両ベクトルの成す角度を Φ （ $:[0,180]$ ）としたとき、 $1 - \sin \Phi$ （ $:[0,1]$ ）を「南面指標」として算出し、これが 1 に近づくほどバルコニーの日射量が大きくなると判断している。

フェーズ 2 では、フェーズ 1 で決定されたゾーニングを元に駐車マス、住棟の基準階ボリューム、車路を自動で生成している。ここで、与えられたゾーニングに対して駐車マスや基準階ボリュームは一意的に配置されるため、ゾーニングによって基準階における床面積の最大化は自動的に達成される。

フェーズ 3 では、フェーズ 2 で生成された住棟の基準階ボリュームを高さ方向に階数分積み上げ、延面積や日射量の最大化を図るとともに、設計の最終的な形態を決定する。床面積の最大化は数理的な問題として次のように表現できる：「 n 個の住棟があり、 i 番目の住棟の基準階延面積が S_i 、階数が C_i のとき、 $S = \sum S_i * C_i$ を最大化する」。この最適化問題の制約条件は、 C_i の下限、上限値のほか、指定容積率から逆算した S の上限値である。一方日射量の最大化について、Dynamo で利用できるパッケージの Solar Analysis を用いて指定した日付の終日日射量を算出している。

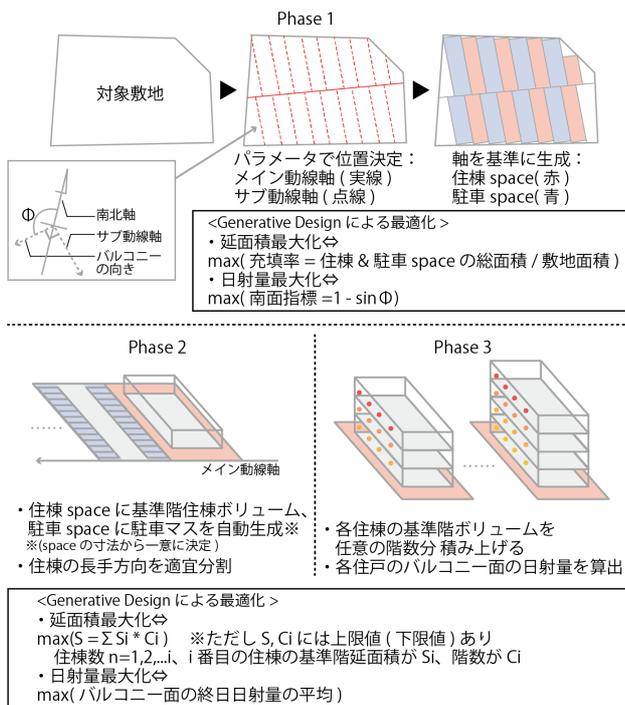


図 2 モデルの生成フロー

4.3. 敷地のゾーニングの最適化(フェーズ 1)

以降の節ではジオメトリの生成手法について、フェーズ 1,2 を中心に取り上げる。フェーズ 1 で扱うジオメトリはメイン動線軸とサブ動線軸が中心となる。メイン動線軸の配置では、動線が意図した道路に接続することが最優先事項となる。当モデルは確実にメイン動線が接する必要がある境界線 1 辺を手動で選択させ、後の作業工程に反映する手法を取っている(図 3)。ただしこの手法は敷地形状に凹角が存在する場合に適用不可である。続いてサブ動線軸の生成にあたり、住棟スペースと駐車スペースから構成される「ユニット」を定義する(図 4)。サブ動線軸はユニットの間口と同間隔で配置され、ユニットを反復させる際の基準線の役割を果たしている。なお、この基準線は各ユニットにおける車路の中心点ではなくユニット自体の原点に相当する(図 5)。

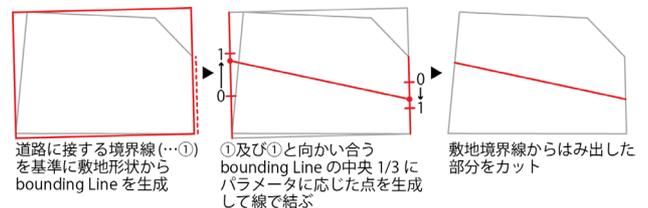


図 3 メイン動線軸の配置

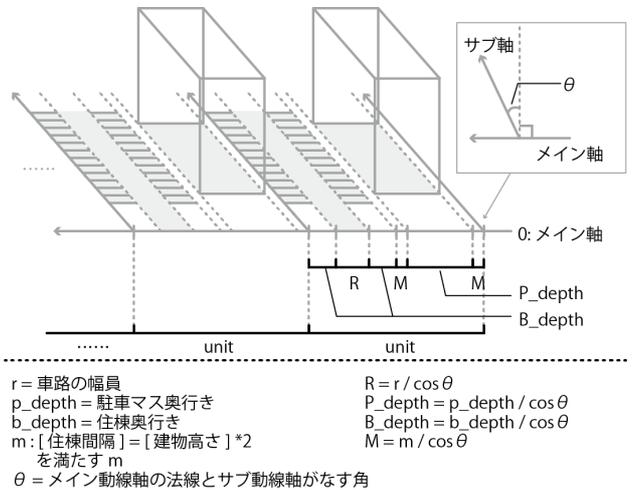


図 4 ユニットの定義

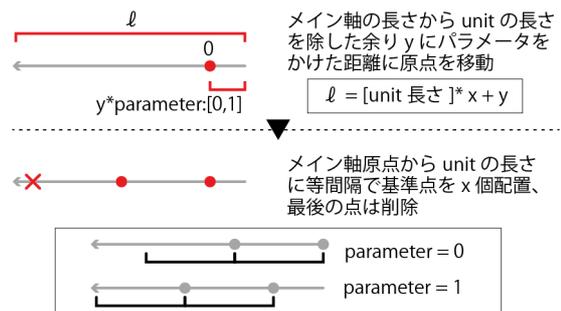
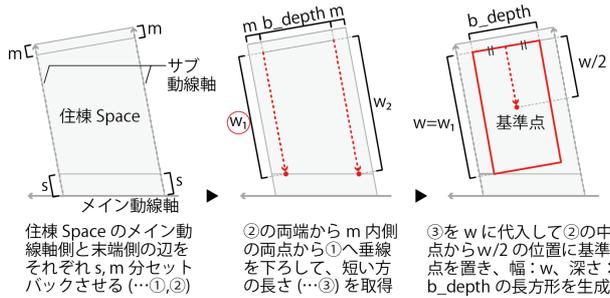


図 5 サブ動線軸派生点の生成

4.4. 基準階の最適化(フェーズ 2)

フェーズ 2 では住棟の生成手法を取り上げる。配置する住棟の寸法を定めるため、住棟スペースに対して図 6 のように矩形領域(住棟エリア)を生成する。敷地形状によっては住棟エリアのサブ動線軸方向が過大となるため、適宜分割して適当なスケールに収めている(図 7)。分割数は、予め住棟幅の最大長(…①)を設定し、基準領域の長辺から①を除いた値以上の最小の整数を用いている。



r = 車路の幅員
 b_depth = 住棟奥行き
 m : [住棟間隔] = [建物高さ] * 2 を満たす m

θ = メイン動線軸の法線とサブ動線軸がなす角
 $s = (r/2) / \cos\theta$

図 6 住棟エリアの生成

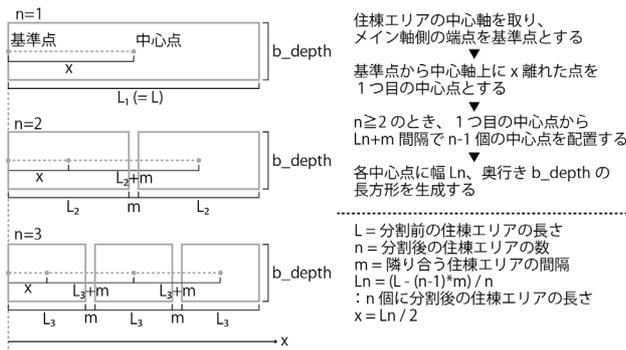


図 7 住棟エリアの分割

続いて配置する住棟の規格を設定する。片廊下型のアプローチ方式を取り、両端には共用部となる階段や EV の設置を想定している(図 8)。各住戸の床面積は、奥行きを全住戸で統一する一方で、間口寸法を変化させることで調整する。今回は単身世帯を想定した間口 5m の住戸と家族世帯を想定した間口 9m の住戸の 2 タイプを設定した。なお住戸の各タイプの間口、及びタイプ数は任意に変更することができる。

以上の規格に基づき、それぞれの住棟エリアの寸法に対して基準階床面積が最大化されるよう住戸の配置パターンを検討する。この処理には Autodesk 社によって公開されている Dynamo で利用可能なアルゴリズムの一つである PackCuboids を用いる。PackCuboids は「コンテナ」として指定した直方体の中に、指定した寸法の直方体を可能な限り多く詰め込む処理を行う。そこで住棟エリアを階高まで立ち上げた直方体をコンテナとした上で、コンテナに詰め込む直方体を住戸の規格に合わせることで任意の住棟エリアに対して規格に沿った寸法の住戸を最大多数配置することができる(図 9)。この配置パターンは与えられた住棟エリアに対して一意に定められる。



図 8 住棟の規格

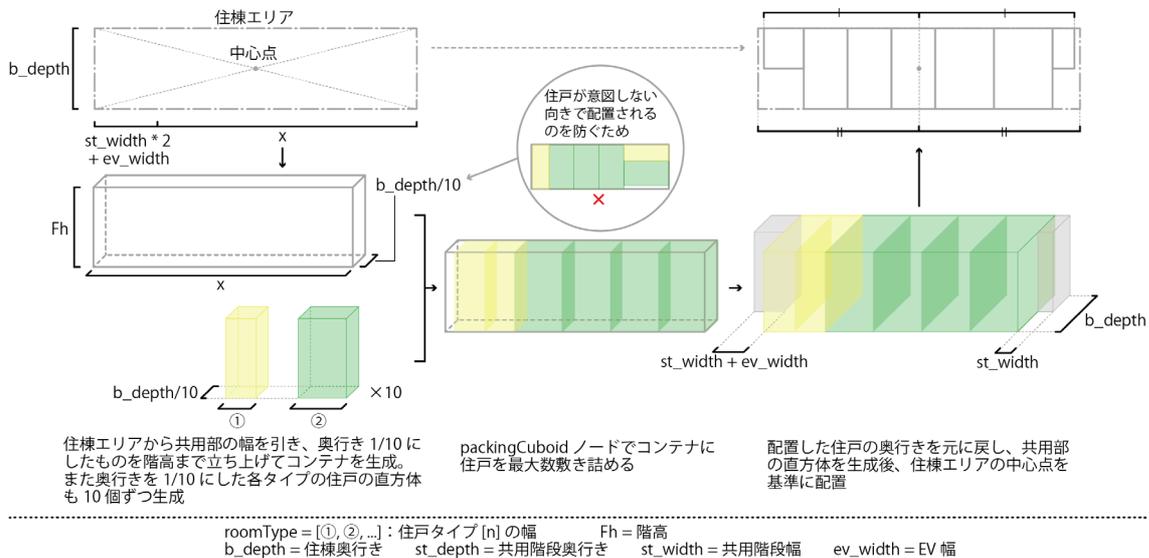


図 9 住棟エリアに対する住棟の割り当て

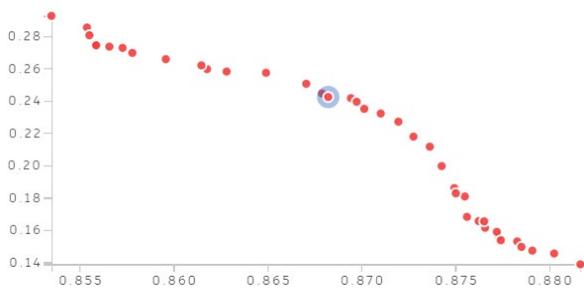


図 10 実行結果(横軸=充填率, 縦軸=南面指標)

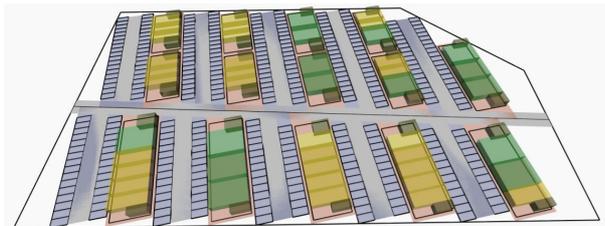


図 11 ゾーニングに基づく基準階ボリューム生成

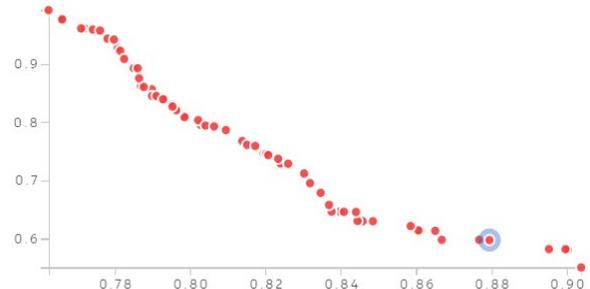


図 12 変更後の結果(横軸=充填率, 縦軸=南面指標)

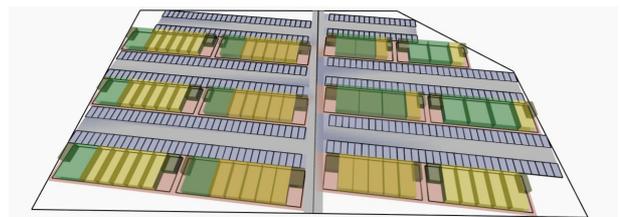


図 13 変更後の基準階ボリューム形態

5. Generative Design によるフェーズ 1 の実行

続いて Generative Design を用いて、目的関数となる指標に基づいてモデルのパラメータを最適化した。本報告ではフェーズ 2 までの結果を検討する。

最適化するパラメータには、メイン動線軸の始点と終点それぞれの位置、左右のサブ動線軸の基準位置、メイン動線軸の法線とサブ動線軸の成す角度($[-15,15]$)の計 5 つが含まれる。対して、評価指標には充填率と南面指標の 2 つを設定し、いずれも最大化問題として定義する。Generative Design では最適化に遺伝的アルゴリズムが採用されており、最適化における初期集団の個体数は 20、世代数は 50 と設定した。以上の設定による結果を図 10 に示す。また図中の青丸で示した解に対してフェーズ 2 を実行した結果を図 11 に示す。モデル中の灰色のボリュームが階段及び EV、黄色と緑色のボリュームが、それぞれ間口が 5m と 9m の住戸に相当する。目的関数とした 2 つの評価指標は本来相反する指標ではないが、今回は敷地形状や接道する境界線の位置から、両者にトレードオフの関係が見られた。原則として敷地境界線とサブ動線軸の法線の成す角度が小さいほど、住棟スペース及び駐車スペース末端部の余白が小さくなり、充填率が大きくなるためである。なお図中の解は全て互いに優劣関係のないパレート解集合に含まれており、最終的な設計案の選択は設計者の選好に依存する。ここで、接道する境界線を変更して敷地形状の短手方向にメイン動線を配置した際の解とモデルを図 12,13 に示すと、一部の解は変更前モデルの解集合に対して支配的であることが読み取れる。フェーズ 1 において設計者が意図的に設計案に介入できるのは接道する境界線の選択のみであるが、この選択が結果に大きく影響を及ぼすことが確認された。

6. まとめ

本研究ではデザイン共創環境を用いて集合住宅のモデルを作成し、複数の評価指標の最適化を行った。

本研究の趣旨は敷地に対する設計の唯一解を求めることでなく、対話的な設計手法により多様な解を生成することにある。前節で接道境界線の選択によっては一方のパレート解集合が他方に支配されるケースを示したが、実際には立地条件や接続道路の性質により、必ずしも前者の設計案が後者に劣るとは限らない。本研究の手法ではデザイン案を定める過程において、ツールと設計者による提案とフィードバックの応酬が重要となる。

[参考文献]

- 1) 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，日本建築学会近畿支部研究報告集，No. 48，109-112，2008.05
- 2) 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. 611，83-91，2007.01
- 3) 青戸優二・大西康伸：住環境に配慮した応急仮設住宅の配置案自動作成プログラムの開発 BIM による応急仮設住宅団地の自動設計プログラムの拡充 その 12，日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)，113-114，2022.09
- 4) 河野佳奈・金多隆・岩村雅人・塩見理絵・唐牛弦：建物の改修を見据えたパラメトリック設計の多目的最適化の活用可能性，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，125-126，2020.09
- 5) 梶原康平・小島一志・岡山敏哉・廣川数馬・丸尾翔真・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 4 報 密集市街地の建替えをケーススタディとした光井戸を用いた低層部の照度改善，日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)，321-322，2018.09