

構造体としたファサードデザインの発想支援システムに関する研究

その4. 力学的性能を考慮した開口形状

○武田 侑也^{*1}

堤 和敏^{*2}

キーワード：形態創生 発想支援 ファサード ライフゲーム IDES 一対比較

1 はじめに

様々なものづくりの分野においてデザイナーがものの形態を考案・設計を行なっている。しかしながら人の発想範囲は無限にあるわけではなく、自身固有の教育や環境といった文化的背景に依存するため個人の差はあれ発想範囲が限られていると言われている。したがって、デザインの考案を繰り返すにつれて発想のマンネリ化という弊害が生じる可能性がある。このような問題に対しては、従来の発想範囲を超えたデザインを提案する発想支援システムの活用が有効であり、様々なものづくり分野において研究されている^{1) 2)}。

一方、建築分野においてもコンピュータ性能が向上したことで、高度な解析を用いた設計が可能となっている。近年では従来の柱梁といったフレーム構造に限らない、より自由な構造デザインの提案が求められている^{3) 4)}。

以上の背景から、本研究室では建築物のファサードそのものを構造体とした新たなデザインを提案する発想支援システムの構築を目指している。既報⁵⁾ではライフゲームに基づいて生成された開口デザインをユーザーの好みに応じて四角、丸、三角に整形化し、対話型進化計算系手法である IDES⁶⁾を用いて一対比較で評価を行っていた。しかしながら力学的評価については応力のコンター図を表示し、ユーザーがコンター図を見ながら一対比較を行うにとどまり、力学的評価はユーザーの感性に委ねられていた。

本報では、ライフゲームで得られたデザインにFEM解析を実行し、その結果を基に開口面積は変えず、応力が均等になるようにセルの移動を行い、より力学的合理性の高いデザインの提案を目指している。

2 開発システム概要⁵⁾

2.1 デザイン創生手法

ライフゲーム⁷⁾は1970年にイギリスの数学者ジョン・ホートン・コンウェイが考案した生命の誕生、進化、淘汰などのプロセスを簡易的なモデルで再現したシミュレーションゲームである^{8) 9)}。セル・オートマトンのもっともよく知られた例であり、初期状態と設定されたルールに応じてその後の状態が決定される。対象領域は格子状に分割され、一つの格子はセル（細胞）と呼ばれ、各セルには8つの近傍（ムーア近傍）のセルがある。各セルには「生」

と「死」の2つの状態があり、あるセルの次のステップ（世代）の状態は周囲の8つのセルの今の世代における状態と、設定された生死のルールにより決定される。本報では「生」のセルを開口、「死」のセルを壁と設定し、セルの生死は表1に示すルールに従うこととする。

上記のアルゴリズムに加えて、本システムはより建築的な開口デザインを生成するために、以下に示す2つの後処理機能を有している。

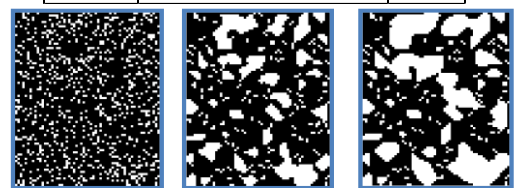
1) 小さすぎる開口をふさぐための機能

図1に示すように、ライフゲームのアルゴリズムだけでは建築の開口としては小さすぎる開口が生成されることがあるため、指定した面積より小さい開口をふさぐ機能を設けた。手法を以下に示す。

- それぞれの開口領域ごとにラベルを付け、領域の面積（セルの数）を数える。
- 面積が閾値以下の領域は壁に変更する（図2）。
閾値を指定することにより図3に示すような開口を有するデザインが得られる。

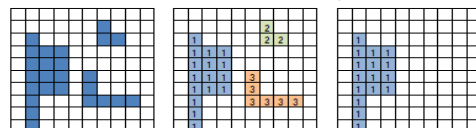
表1. 壁開口ルール

現在の状態	状態が開口である周辺の個体数	次の状態
開口	4以上	開口
	1～3	開口
	0	壁
壁	4以上	開口
	1～3	壁
	0	壁



(a) 初期状態 (b) 5世代目 (c) 10世代目

図1. ライフゲーム実行例



処理前 (a) ラベル付与 (b) 閾値以下
図2. 開口処理手順



(a) 処理前 (b) 閾値 5 (c) 閾値 10

図3. 開口処理実行

2) 創生された開口デザインを整形化する機能⁵⁾

ライフゲームで生成される開口デザインは不整形な形状に限定されるため開口の面積や位置を変えず四角、丸、三角に整形化する機能を付加した。実行例を図4に示す。

2.2 デザイン進化手法

対話型進化計算手法として、IDE (Interactive differential Evolution) が提案されている¹⁰⁾。この手法は評価方法が一对評価と容易であり、収束が早いことからユーザーの心理的負担は小さいとされている一方で、個体の多様性や評価方法には疑問がある。

本研究室では、IDE における上述の問題点を改善するために、現存個体数を2倍とし、さらに個体の優劣を考慮した IDES (Interactive differential Evolution with Score) を提案し、本システムのデザイン進化手法として採用している。IDES のアルゴリズムは図5に示す通りである。IDES では一対比較の際に被験者の嗜好に応じた得点を付与する必要があるため評価項目を設定し、評価者の嗜好に応じた得点を各個体に付与し、次世代の親個体の選定に反映させている。本システムでは応力解析結果をコンター図で表示することで、力学的性能を勘案しながらデザインの一对評価を行う。

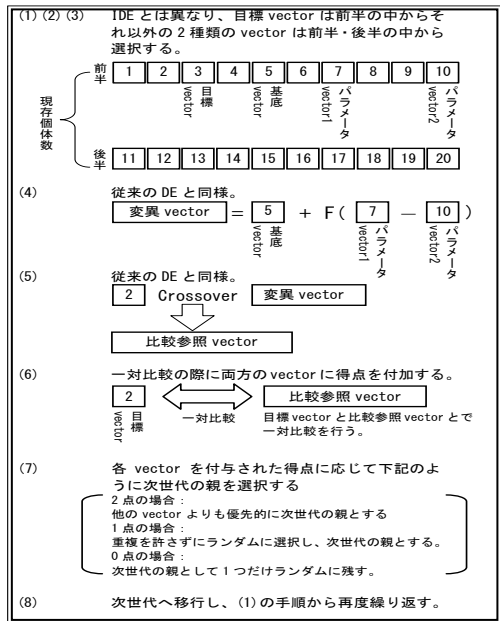


図5. IDES アルゴリズム図

2.3 セルの移動操作による力学的評価

ライフゲームを用いて生成された開口デザインの形状は不整形であり、FEM 解析で得られたコンター図 (図6) に示すように各開口近傍の応力分布は大きくバラついていて開口形状の力学的合理性は保証されない。

本報では、生成されたデザインをより力学的合理性の高いものとするために、FEM 解析による応力解析結果に基づいたセルの移動操作を実行する。手順を以下に述べる。

STEP1 生成されたデザインに FEM を実行し、各開口近傍セルの応力を把握する。

STEP2 各開口において、近傍の応力が小さい上位 $1/x$ (x は任意) のセルを消去する (図7(a))。

STEP3 各開口において STEP2 で消去された個数分のセルを、応力が大きい上位 $1/x$ のセルの近傍に新たに付加する (図7(b))。

以上の手順を任意の回数繰り返すことで、各開口の面積は変えずに開口近傍応力のバラつきが小さいデザインを生成する。

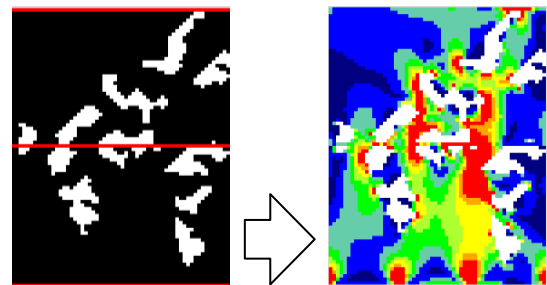
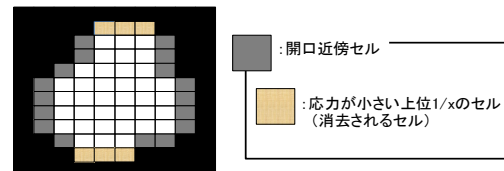
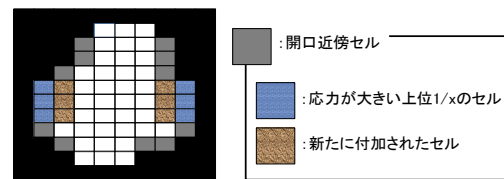


図6. ファサードデザインのコンター図



(a) セルの消去



(b) セルの付加

図7. セルの移動操作

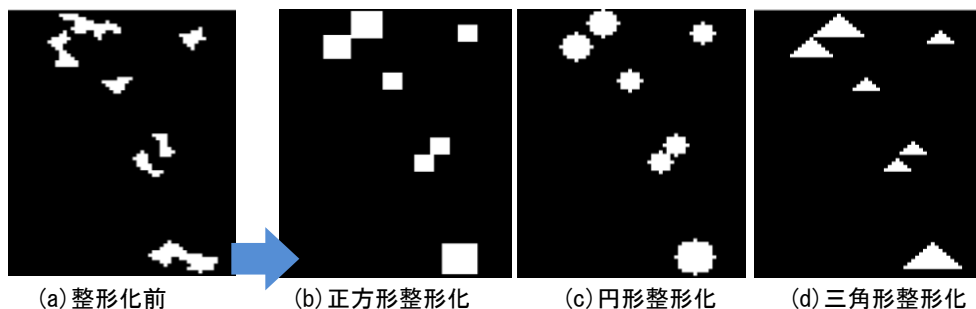


図4. 整形化実行例

3 実行例

本システムのフローチャートは図 8 の通りである。対象とする建物概要は図 9 に示す高さ 20m、スパン 6m の RC 壁構造 5 層建物である。各層床のメッシュ節点位置に荷重が作用するものとし、鉛直荷重のみのケースと鉛直荷重に加えて水平力を作用させたケースの実行例を示す。IDES パラメータ、部材パラメータを表 3 に示す。なお、ライフゲームの世代数に関しては、ユーザーの好みに応じて決定することとする。システム実行の過程で得られたファサードデザインの一部を図 10 に示す。

3.1 セルの移動操作

ファサード全体における開口面積の割合を 20%程度とした A-model、B-model（図 11）を対象にセルの移動操作の実行例について示す。セルの移動数は各開口近傍セルの数の 1/5 とし、移動操作を 5 回繰り返す。

3.1.1 鉛直荷重のみ

各層床のメッシュ節点位置に鉛直荷重のみ 5KN を作用させた実行結果として、各移動操作回数で得られたデザインの平均相当応力を図 12 に、コンター図を図 13 に示す。

A-model、B-model とともにセル移動操作を繰り返すことで開口近傍の相当応力のバラつきを小さくすることができ、全体の平均相当応力の減少につながっている。開口の形状としては、いずれも縦長に変動する傾向があることを確認できた。

3.1.2 鉛直荷重+水平荷重

各層床のメッシュ節点位置に鉛直荷重 5KN に加え、1KN の水平荷重を作用させた実行結果として、各移動操作回数で得られたデザインの平均相当応力を図 14 に、コンター図を図 15 に示す。鉛直のみのケースと同様に、両モデルともセル移動操作を繰り返すことで、全体の相当応力平均を減少することができた。開口の形状としては、微妙な違いはあるが鉛直荷重のみのケースと変動の傾向に大きな違いはなかった。

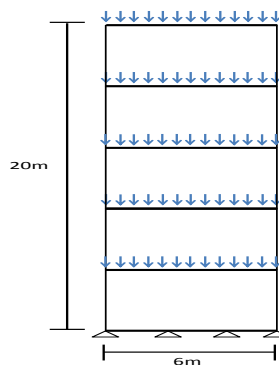
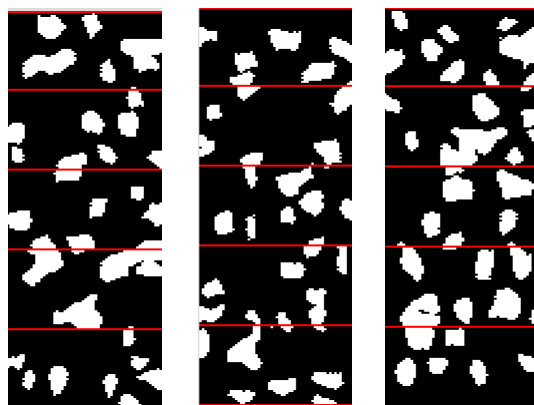


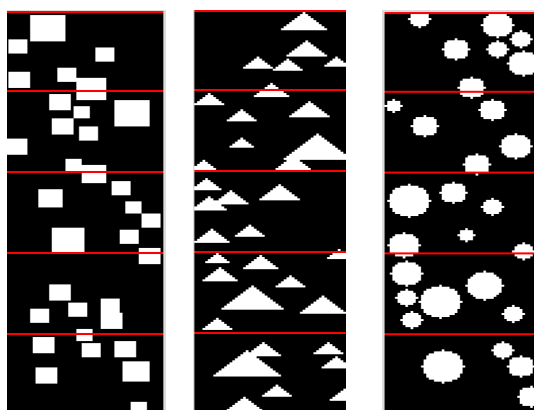
表 3. IDES、部材パラメータ

IDES/パラメータ	
個体数	20
親選択数	10
交叉率	0.05
最終世代	10
部材パラメータ	
ヤング率 (N/mm ²)	20600
ポアソン比	0.17
厚さ (cm)	10
節点荷重 (KN)	5

図 9. 対象建物概要



(a) セル移動操作で得られたデザイン



(b) 整形化で得られたデザイン

図 10. システム実行過程で得られたデザイン(一部)

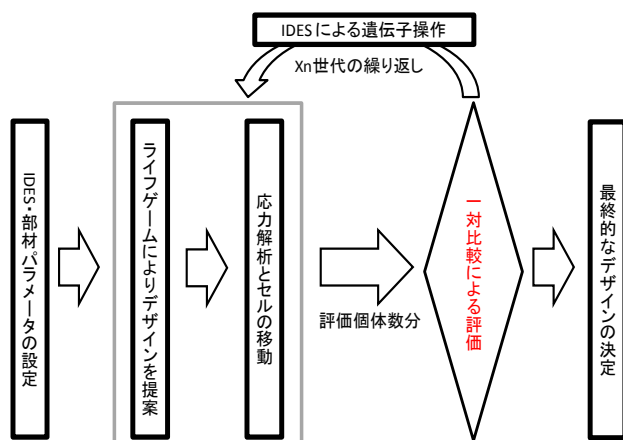
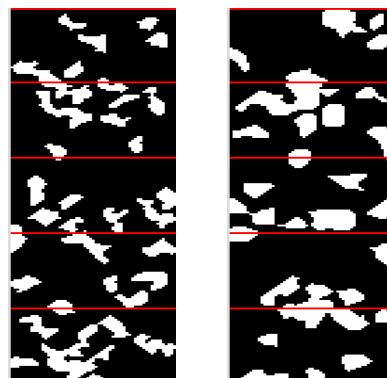


図 8. システムフロー



(a) A-model

(b) B-model

図 11. セルの移動操作実行モデル（処理前）

4 結論

ライフゲームで生成されたデザインにFEM解析を実行し、その応力解析結果に基づいたセルの移動操作を実行することで、より力学的合理性の高いデザインの一対評価を行う発想支援システムの開発を行なった。

得られた結論を以下に述べる。

- 1) FEM による応力解析結果に基づいたセルの移動操作を実行することで応力状態が改善でき、初期状態よりも力学的合理性の高いデザインを提案することができた。
- 2) IDES は得られたデザインを得点付一対比較することで、発想を打破する、また好みのファサードデザインを得る手法として有効であると思われる。
- 3) セルの移動操作を繰り返すことで、開口形状は縦長に変動する傾向があることが確認できた。

今後の課題

発想支援システムとしての有効性の検証や、より効果的な力学的評価の提案が今後の課題である。

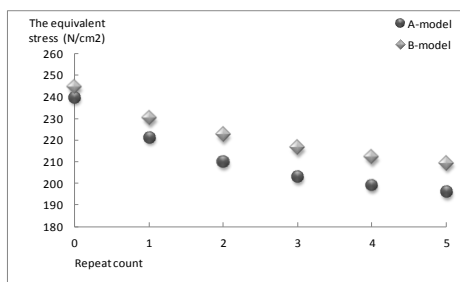


図 12. 相当応力推移

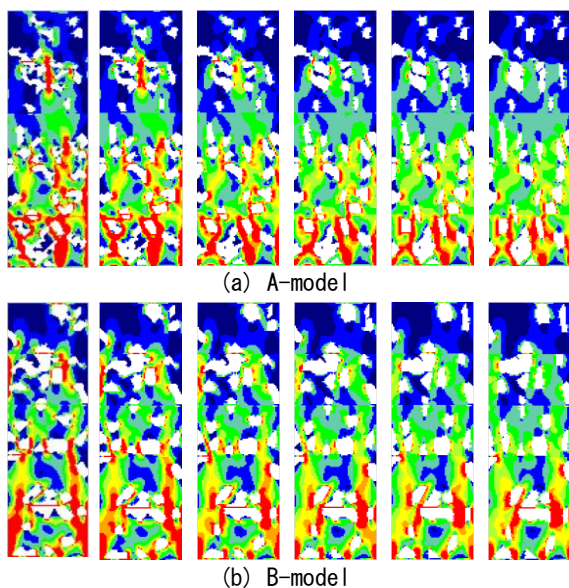


図 13. コンター図推移

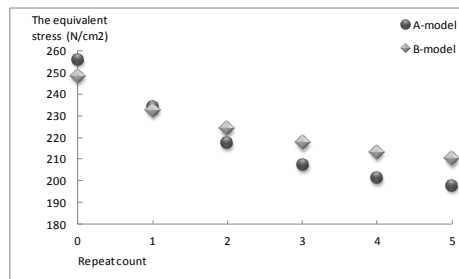
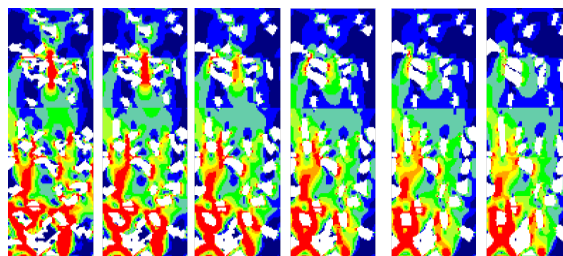
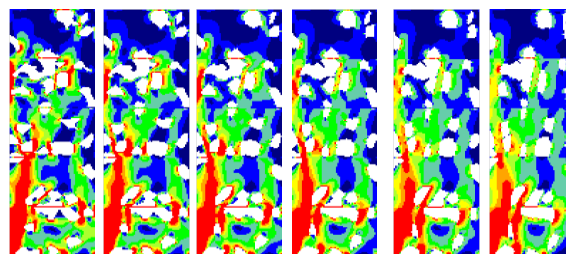


図 14. 相当応力推移



(a) A-model



(b) B-model

図 15. コンター図推移

【参考文献】

- 1) 杉本 雅則, 堀 浩一, 大須賀節雄, 設計問題への発想支援システムの応用と発想過程のモデル化の試み, 人工知能学会誌 vol8 no5, 575-582, 1993 年 9 月
- 2) 寺岡 照彦, 対話的なイメージ入力インタフェースに基づくデザイン発想支援, 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング 98(128), 63-70, 1998 年 6 月
- 3) GA JAPAN 5-6/2006 No.80, A.D.A. EDITA Tokyo Co
- 4) 日経アーキテクチャ, 魅せる開口のディテール, A.D.A. EDITA Tokyo Co, 日経 BP 社
- 5) 武田侑也, 堤 和敏, 構造体としてのファサードデザインの発想支援システムに関する研究 その 3. ライフゲームを用いた開口デザインの生成と力学的評価, コロキウム構造形態の解析と創生 2012 投稿予定
- 6) 河野 高英, 堤 和敏, オフィスビルのファサードを対象としたデザイン発想支援システムの開発 IDES(Interactive Differential Evolution with Score)の提案, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.23, pp.380-389, 2011 年 8 月
- 7) Garden Martin, "Mathematical Games." 'The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game 'life'. Scientific American, October 1970
- 8) 赤間世紀, 人工生命, 工学社出版
- 9) 服部桂, 人工生命の世界, オーム社
- 10) 高木 英行, Denis Pallez, 対比較ベース対話型差分進化, 進化計算シンポジウム2009 講演論文集, 245-251, 2009 年 12 月

*1 芝浦工業大学 大学院生

*2 芝浦工業大学環境システム学科 教授 工博