

対話型進化計算法を用いた建造物デザイン発想支援の基礎検討

アダム セラーク[†] 小 野 智 司[†] 中 山 茂[†]

建造物デザインにおける対話型進化計算法 (IEC) による発想支援の基本的な有効性を検証するため, 単純な個体表現および遺伝的操作のみを含む BioArchitect を提案する. BioArchitect は建造物の全体的, 概略的なデザイン案を提示し, デザイナは, 自身だけでは発想が困難な案を入手でき, デザインの骨子として利用できる. 実験により, BioArchitect がユーザの暗黙の嗜好を考慮して改善案を提案し, デザイン発想支援に有効であることを確認した.

A Fundamental Study on Idea Generation Support for Building Design Using Interactive Evolutionary Computation

ADAM SERAG,[†] SATOSHI ONO[†] and SHIGERU NAKAYAMA[†]

This paper proposes an idea generation support tool for building design called BioArchitect. BioArchitect is a simple method of interactive evolutionary computation (IEC) designed for early phase of building design. BioArchitect aims at enhancing designers' creativity by producing unpredictable proposals. A designer can get a favorite design idea that the designer hardly hits upon by himself, and start out making fine design in detail. Experiments show BioArchitect can extend the boundaries of designers' creativity. It should be noted that IEC basically has effectiveness for building design.

1. はじめに

建造物の設計において, 強度シミュレーションシステムや建造費見積システムなど, 様々な支援システムが開発されている^{1), 2)}. その多くは, 設計者が CAD を用いて作成した設計データに対して実用性, 実現性などの検証を目的としている. 機器配置の支援システムは研究されているものの³⁾, 建造物設計の初期におけるデザイン発想の支援システムは少ない. これは, 十分な知識・技術・センスを持ったデザイナーが作成する案よりも優れた案を, 計算機によって自動生成することが困難なためである. しかし, 習熟したデザイナーであっても, 白紙の状態からアイデアがすぐに湧くとは限らず, 生成できるイメージは, デザイナーの発想できる範囲内に制限され, 過去の経験や文化的背景に依存してしまう.

一方, 衣服デザインや 3 次元グラフィクスなどにおいて, 対話型進化計算法を用いてデザイン支援を行う方式が提案されている^{4)~6)}. 対話型進化計算法は,

遺伝的アルゴリズムや進化論的戦略などの進化計算法において, 個体の適応度の評価を人手で行う方式であり, 適応度の定義が困難で, 適切な探索の方向性が多岐にわたる分野で用いられる. デザイン発想支援において対話型進化計算法を用いることで, 設計者自身も明確化が困難な意図・嗜好を, 計算機が学習することが可能となり, 設計者の発散的思考を支援することができる.

本研究は, 建造物デザイン発想の分野において, 対話型進化計算法を用いた発想支援の実現に向けた一試みである. 本稿では, 建造物デザイン発想の分野における対話型進化計算法の基礎的な有効性を検証するために, Dawkins⁷⁾ によって提案された対話型進化計算法の先駆である Biomorph を応用した BioArchitect を提案する. BioArchitect は建造物の 2 次元形状のデザインを支援するシステムであり, 詳細なレベルでの設計支援を行うのではなく, 全体的, 概略的なデザイン案を次から次へと発展的に提示することで, デザイナー自身の発想能力の拡張を図る.

[†] 鹿児島大学工学部情報工学科

Department of Information and Computer Science, Faculty of Engineering, Kagoshima University

2. 提案する方式 BioArchitect

2.1 概 要

BioArchitect は、建造物の 2 次元形状案を提示することでデザイン発想支援を行うシステムであり、Biomorph における遺伝子表現を、建造物設計に適するよう変更したものである。Biomorph は、無性生殖生物の進化過程を模倣した提示案の作成と、ユーザによる良好な案（個体）の選択を繰り返すことでユーザの暗黙な嗜好に基づく虫をデザインする方式である。

本稿で提案する BioArchitect の実行画面を図 1 に、処理手順を以下に示す。最初に、6 個の個体をランダムに生成し、ユーザに提示する。次に、ユーザは提示された 6 個の個体から、最も好ましい個体を選択する。BioArchitect は、選択された個体をもとに、遺伝的操作を適用することで新たな 6 個体を生成する。上記のユーザによる選択および BioArchitect による個体生成の処理を 1 世代として繰り返すことで、ユーザの嗜好に合致した個体を順次生成し、ユーザが満足する個体を得た時点で終了とする。

2.2 遺伝子表現

BioArchitect では、DNA を構成する塩基を模倣した 'A'、'C'、'T'、'G' の 4 種類の構成要素を、1 列に並べることで個体を構成する。一般に、進化計算法では、個体を構成する要素を遺伝子と呼ぶことから、本稿では個体の構成要素 'A'、'C'、'T'、'G' を遺伝子と呼ぶ。遺伝子列は GTYPE であり、GTYPE から生成される形状が PTYPE となる（図 2）⁸⁾。

GTYPE から PTYPE への変換は、遺伝子列に従って原点から x 軸の正方向を進行方向として描画を行い、描画後の図形を x 軸および y 軸について対称と

なるよう複製する。各遺伝子による描画方法を以下に示す。4 種類の遺伝子が存在するが、'T' と 'G' の描画方法は同じであるため、実質的には 3 種類の遺伝子が存在することになる。

A：現在の進行方向に 45 度を加算する。

C：現在の進行方向から 45 度を減算する。

T, G：現在の進行方向に線分を 1 本描画する。

BioArchitect は建造物に関する知識を持たないが、進行方向の修正量を 45 度にし、建造物としての尤度および実用性の向上を図っている。デザインは建造物に関する知識を持ち、容易にデザイン案の修正を行えるため、BioArchitect が出力する案が建造物として実用的でない場合も、発想支援の観点では有用である。

2.3 遺伝子操作

BioArchitect における遺伝子操作は、挿入、削除、

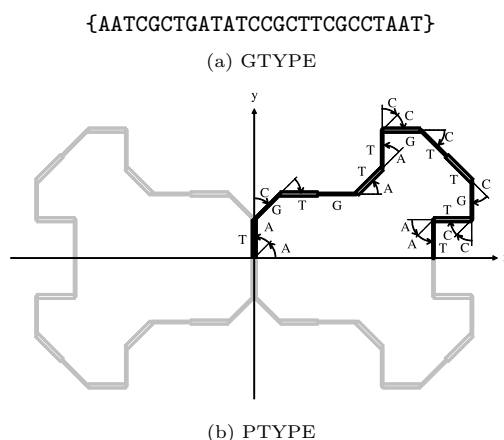


図 2 GTYPE と PTYPE の例

Fig. 2 Examples of GTYPE and PTYPE.

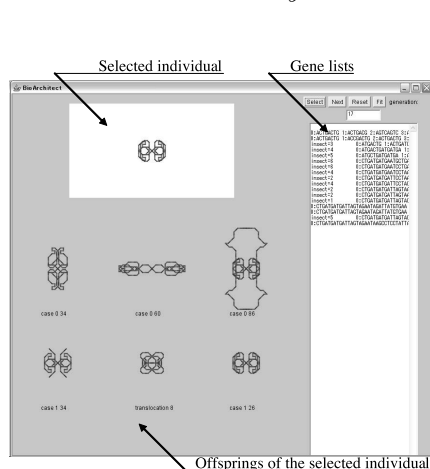


図 1 BioArchitect の実行画面

Fig. 1 Sample image of BioArchitect.

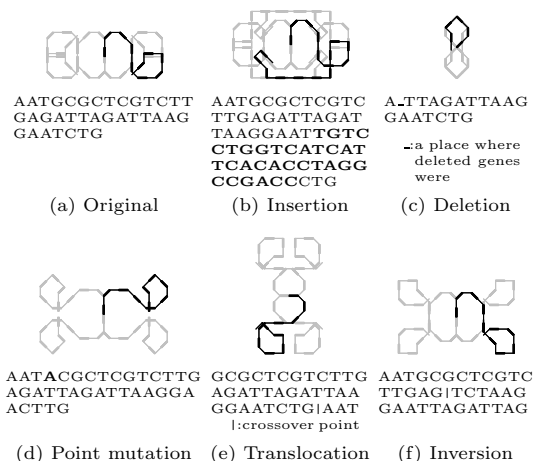


図 3 遺伝子操作例

Fig. 3 Examples of genetic operation.

点突然変異, 転座, 逆位の 5 種類である。まず, 遺伝子列において, 1 つの遺伝子間位置 P をランダムに選択する。次に, 5 種類の遺伝的操作をランダムに選択し, 適用する。それぞれの遺伝的操作の概要を以下に, 図 3 (a) にそれぞれの遺伝的操作を行った例を図 3 (b) ~ (f) に示す。

挿入: ランダムな個数の遺伝子をランダムに発生させ, P に挿入する。図 3 (b) において, 太字で示された遺伝子列が挿入された遺伝子列である。

削除: P からランダムな個数の遺伝子を削除する。図 3 (c) において, ‘.’ は削除された遺伝子列が存在した場所を示す。

点突然変異: P の次の 1 つの遺伝子をランダムに変更する。図 3 (d) において, 太字で示された遺伝子が変更された遺伝子である。

転座: P の前後の遺伝子列を交換する。図 3 (e) において, ‘|’ で示された箇所が P である。

逆位: P 以降の遺伝子列の順序を逆にする。

なお, BioArchitect は, “AAAA” や “CA” など, プロートの原因となる無駄な遺伝子列を含みうるが, 無駄な遺伝子列は探索の多様化を促進するため⁽⁸⁾, 系統的な削除は行わないものとした。

3. 評価実験

「創造性支援は個人の創造性を支援できることが基本であり, その場合, 支援の効果はまずその個人の実感として評価すべきである」という考え⁽⁹⁾ に従い, 建築学専攻の修士課程大学院生 9 人を対象に, アンケートによる主観評価を行った。本実験では, 「図書館」のデザインを課題として提示し, まず, ユーザの選択を考慮せずにランダムにデザイン案を提示するシステムを利用してもらい, 次に, BioArchitect を利用してもらうものとした。被験者には 2 つのシステムの内容, 違いについて説明せずに, それぞれのシステムを, 100 世

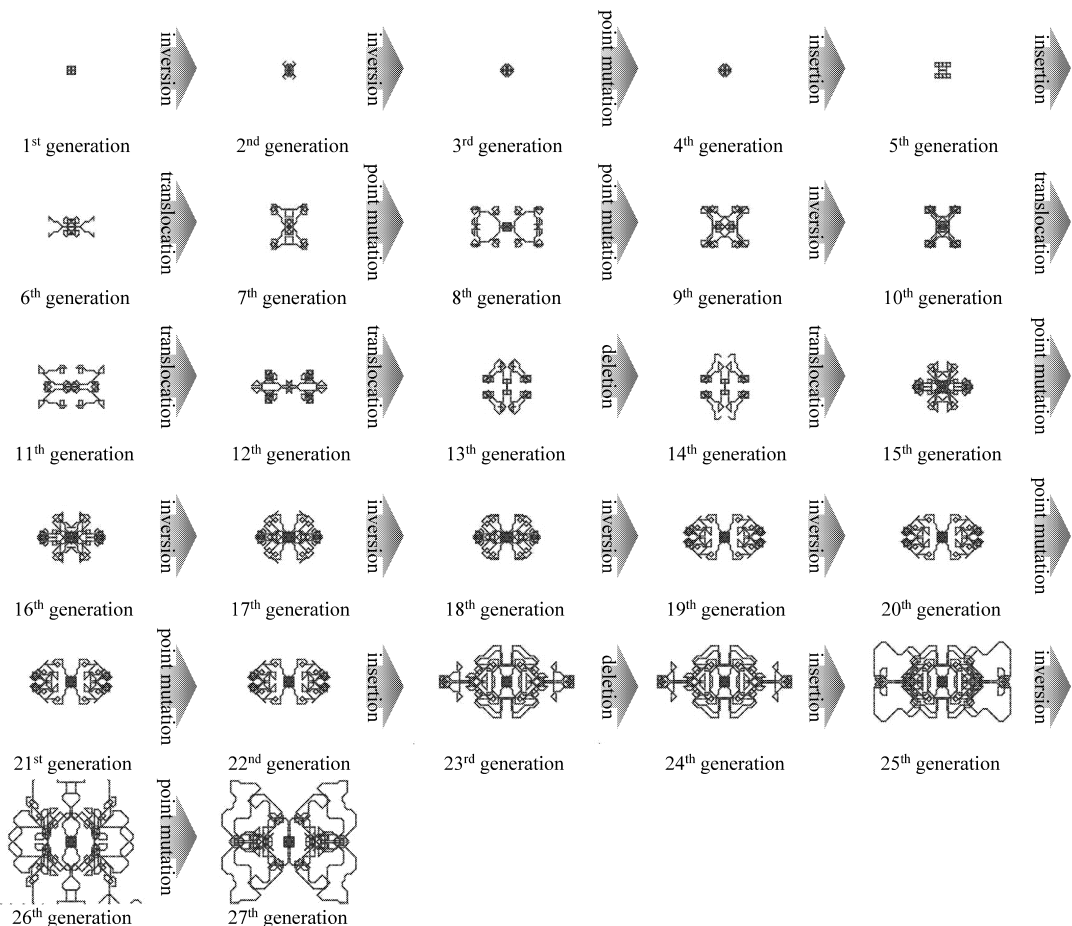


図 4 BioArchitect を用いた進化過程の例

Fig. 4 Evolution process example by using BioArchitect.

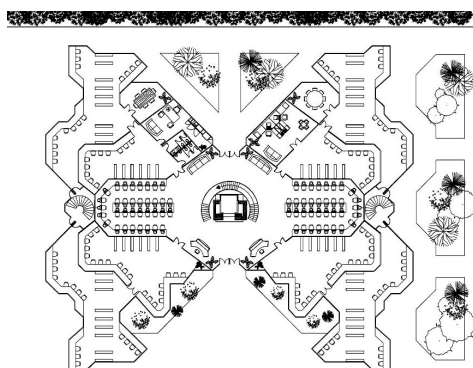


図5 BioArchitect の出力をもとに作成したデザイン(1)
Fig.5 Example design made from BioArchitect output.

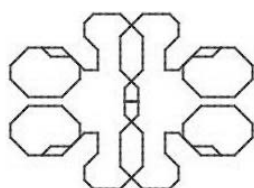


図 6 BioArchitect の出力例 (2)

Fig. 6 Another example of BioArchitect output.

代繰り返し行うか、気に入った案が得られるまで利用
するものとした。アンケート調査では、BioArchitect
を利用することによって、「設計作業を効率化できる
か」「発想能力を拡張可能か」「予測しなかった解を出
力したか」の3項目について、7段階で評価を行った。

被験者の 1 人が、BioArchitect を用いて図書館をデザインした過程を図 4 に、得られた出力をもとに一般の CAD を用いて作成した詳細なデザイン案を図 5 に示す。このデザインを作成した被験者は、17 世代頃からの BioArchitect の出力案が蝶のようであることに着目し、以後は主に、左右に羽を広げたようなデザイン案を選択していた。また、複雑な形状の壁際に、様々な机と椅子の配置パターンを生成でき、多様な用途に対応が可能となることに着目していた。図 4 の 27 世代目および図 5 を比較すると、BioArchitect が出力した特徴的な形状が活かされていることが分かる。また、他の被験者が BioArchitect を用いた結果を図 6 に示し、図 6 をもとに作成した詳細なデザイン案を図 7 に示す。図 5 とは異なる多様なデザイン案が得られていることが分かる。

ランダムにデザイン案を出力するプログラムと BioArchitect の比較では、9 人の被験者全員から BioArchitect の方が有用であるとのコメントを得た。デザイナーの試行錯誤を考慮しない案の提示は、デザイナーの内面的努力の妨げとなる危険を含むが、BioArchitect における試行錯誤は、設計者の暗黙の嗜好、意図

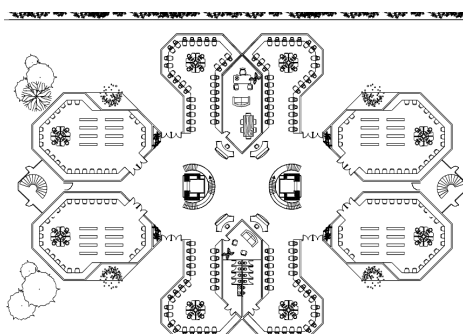


図 7 図 6 をもとに作成したデザイン (2)

Fig. 7 Another example design made from Fig. 6.

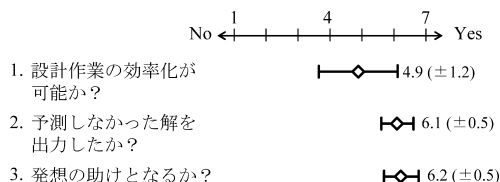


図 8 アンケート結果
Fig. 8 Results of questionnaires.

を組み入れて代替案，改善案を提示することで，デザイナーにとって受け入れ可能な案を提示できると考える。

また、BioArchitect についてのアンケート結果の平均を図 8 に示す。エラーバーは 95%の信頼区間を表す。図 8 から、BioArchitect を利用することで、設計作業の効率化を行うことができるとは限らないが、設計者の予想の範囲外の案を提示することで、発想支援を行えることが分かる。

この結果は、野口らが提唱するデザイン発送支援における要件，すなわち「デザインや設計には必ず試行錯誤が含まれ，容易に結果を出すことを支援するのではなく，思考に欠けていた要素や方法を気づかせることが重要である」⁹⁾ という点に合致すると考える。

Suwa らは、デザインの思考過程において、アイデアスケッチは、単にデザイナー自身の内部にあるイメージを明確化するだけでなく、自らが描いたスケッチによって新たなアイデアが展開していくと指摘している¹⁰⁾。BioArchitect では、自らが描いたスケッチ、すなわち対話的に生成したスケッチに加え、これを派生させた複数のスケッチからも新たなアイデアが展開する可能性があり、通常のデザイン過程よりも新たな発想を得る機会が増していると考ええる。

4. おわりに

対話型進化計算法を建造物設計に応用した BioArchitect を提案し、被験者 9 人による評価実験を行った。BioArchitect はきわめて単純な個体表現および遺

伝的操作のみを含むが、対話型進化計算法の本質である、ユーザの暗黙の嗜好、条件を採り入れた改善案、代替案の提示が可能である。すなわち、本稿の実験により、建造物設計における対話型進化計算法の発想支援方式としての基礎的有効性を確認したと考える。

今後、建造物設計の知識の付加、3次元形状への拡張に加え、デザイナーが選択だけでなくより自由な修正、描画を行えるよう BioArchitect を拡張することで、より実用的なデザイン発想支援システムを実現する。

参 考 文 献

- 1) 加藤泰正, 本間俊雄: 環境振動に関する床スラブ設計支援システムの開発, 日本建築学会技術報告集, Vol.7, pp.169-174 (1999).
- 2) Watson, I. and Perera, S.: Case-Based Design: a Review and Analysis of Building Design Applications, *Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol.11, No.1, pp.59-87 (1997).
- 3) 伴場裕介, 小谷淳司, 萩原将文: 評価エージェントを用いた対話型進化計算法によるインテリアレイアウト支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.11, pp.2804-2813 (2005).
- 4) Takagi, H.: Interactive Evolutionary Computation — Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, *Proc. IEEE*, Vol.89, No.9, pp.1275-1296 (2001).
- 5) Lee, J.-H., Kim, H.-S. and Cho, S.-B.: Accelerating Evolution by Direct Manipulation for Interactive Fashion Design, *Proc. 4th Int'l Conf. on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, Vol.4, No.1, pp.343-347 (2001).
- 6) 西野浩明, 高木英行, 宇津呂孝一: 対話型進化計算を用いた創作支援型3次元モデル, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J85-D-II, No.9, pp.1473-1483 (2002).
- 7) Dawkins, R.: *The Blind Watchmaker*, W.W. Norton & Company (1985).
- 8) 伊庭育志: 進化論的計算の方法, 東京大学出版会 (1999).
- 9) 野口尚考, 永井由佳里: デザイン発想支援システムは何を支援しうるのか?, 人工知能学会全国大会, 2E1-03 (2004).
- 10) Suwa, M., Purcell, T. and Gero, J.: Macroscopic analysis of design process based on a scheme for coding designer's cognitive actions, *Design Studies*, Vol.19, No.4, pp.455-484 (1998).

(平成 17 年 10 月 19 日受付)

(平成 18 年 5 月 9 日採録)



アダム セラーク

2001 年クイーンズランド工科大学建築学部卒業。学士 (建築学)。2002 年クイーンズランド大学大学院情報技術専攻修士課程修了。修士 (情報技術学)。2006 年鹿児島大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。修士 (工学)。現在、同博士後期課程在学。空間認識, 思考, 言語について興味を持ち, デザイン, 図式推論への応用に興味を持つ。情報技術に基づくデザイン発想支援やデザイン自動化, 建築の国際化に関する研究に従事。



小野 智司 (正会員)

1997 年筑波大学第三学群情報学類卒業。1999 年筑波大学大学院修士課程理工学研究科修了。2002 年同大学院博士課程工学研究科修了。2001 年日本学術振興会特別研究員。2003 年より鹿児島大学工学部情報工学科助手。博士 (工学)。機械学習, 群知能, 点字翻訳, 設計・計画支援等の研究に従事。電子情報通信学会, ヒューマンインタフェース学会, 情報知識学会各会員。



中山 茂 (正会員)

1977 年京都大学大学院博士課程修了。同年上智大学助手, 1981 年京都工芸繊維大学助手, 1987 年兵庫教育大学助教授, 1997 年より鹿児島大工学部情報工学科教授。京都大学工学博士。1996 年情報文化学会賞受賞, 2000 年九州工学教育協会賞受賞。主として, 量子情報工学, 群知能, 分散オブジェクト, 進化的アルゴリズムの研究に従事。電気学会, 電子情報通信学会, システム制御情報学会各会員。