原著論文

オフィス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[†]

河野 高英^{*1}・堤 和敏^{*2}

1. 目的

建築分野をはじめ様々なものづくりの分野において形状・形態はデザイナーの手によって考案されている。しかしながら、その発想範囲はデザイナー固有の教育・環境等の背景に依存しており、発想を制限されてしまう弊害が指摘されている。建築物のファサードは特に訪問者の印象を左右しデザインの良し悪しのイメージが非常に重要であるため、ファサードの成り立ちや歴史等の様々な研究・知識化が行われているが具体的なデザインイメージに結びつくシステムとはなっていない。そのためファサードのディテールまで表現し設計者の嗜好を考慮しつつ、設計者の従来の発想を打破するような新たな方向性のデザインを創生する発想支援システムがあれば有効である。

本研究の目的はオフィスのファサードを対象とし、設計者に新たなデザインに対する「気づき」を与える発想支援システムの開発を行うことである。既往研究では、IDEの評価個体数の違いについての検証を目的としたが、本稿では、効率良く多くのバリエーションのデザイン創生を目的とし、IDEをベースとし、多様性を持たせたアルゴリズムIDES(得点対話型差分進化：Interactive Differential Evolution with Score)を提案する。IDEと比較し、IDESの個体の多様性とシステムの有効性について検討を行う。

2. 手法

現存するオフィスの画像を収集し、比較分類することにより形態要素を58個抽出し、その58個の形態要素を個体ベクトルに置き換えることによりIDE、IDESのアルゴリズムに組み込み、VRMLを用いて3D画像によりファサードを表現するシステムを構築した。本システムの検証については主に建築を学んでいる被験者20人を対象に検証を行った。

3. 結論

多様性を持たせるために提案したアルゴリズムIDESはIDEと比べ重複のない異なるデザインが8割方創生された。また「とても良い(2点)」の個体はIDEと比べて2倍程出現させることができ、本システムの目的である発想支援として有効なアルゴリズムとなることを示すことができた。

形態要素の妥当性について様々なバリエーションを持ち、かつ現実的なデザインが創生されていることから既往研究で抽出した形態要素は妥当であるといえる。

キーワード：ファサード、発想支援、進化計算、差分進化

1. 背景・目的

建築分野をはじめ様々なものづくりの分野において形状・形態はデザイナーの手によって考案されてい

[†] A development on the design idea generation support system for the facade of the office building Proposal of IDES(Interactive Differential Evolution with Score)

Takahide KAWANO and Kazutoshi TSUTSUMI

^{*1} 株式会社 アーク情報システム

ARK Information Systems

^{*2} 芝浦工業大学

Shibaura Institute of Technology

る。しかしながら、その発想範囲はデザイナー固有の教育・環境等の背景に依存しており、発想を制限されてしまう弊害が指摘されている[1]。そのような弊害に対して進化計算を用いた発想支援システムが自動車分野[2]やグラフィックス分野[3]等の様々なものづくりの分野で研究されている。建築分野でも建物の配置計画[4]や形態を対象とした研究[1]が挙げられるが建物デザインの窓枠やテクスチャ等のファサードデザインまで考慮した研究は行われていない。建築物のファサードは特に訪問者の印象を左右しデザインの良し悪

しのイメージが非常に重要であるため、ファサードの成り立ちや歴史等の様々な研究・知識化が行われている[5][6][7]が具体的なデザインイメージに結びつくシステムとはなっていない。このため、ファサードのディテールまで表現し、設計者の嗜好を考慮しつつ、設計者の従来の発想を打破するような新たな方向性のデザインを創生する発想支援システムがあれば有効である。発想支援システムの構築においては、ユーザの評価値を外部から取り入れる必要があるため、できるだけユーザの負担を減らすことも重要な課題である。代表的な対話型進化計算としてIGA(Interactive Genetic Algorithm：対話型遺伝的アルゴリズム)が挙げられるが、全ての個体を絶対評価することによる評価者への心理的負担が課題となっている。一方、IDE(Interactive Differential Evolution：対話型差分進化)[8]は評価方法が一对評価により比較的容易とされ、IGAよりも収束が早いとされている。しかしその分、個体の多様性についてや本当は気に入らない個体であっても次世代に残さなければならないという疑問があった。

本研究の目的はオフィスビルのファサードを対象とし、設計者に新たなデザインに対する「気づき」を与える発想支援システムの開発を行うことである。既往研究[9]では、IDEの評価個体数の違いについての検証を目的としたが、本稿では、効率良く多くのバリエーションのデザインの創生を目的としている。そのため、IDEの疑問解決策として、評価個体数は変えずに現存個体数(図9、図10)と次世代個体選択方法を変更したアルゴリズムIDES(得点対話型差分進化：Interactive Differential Evolution with Score)を提案し、IDEと比較し、IDESの個体の多様性とシステムの有効性について検討を行う。

2. 本研究・システムの流れ

本研究の流れについて述べる。

- 1) オフィスビルデザインを構成する要素(形態要素)を、収集したオフィスビルの写真を比較分類することにより抽出する。
- 2) 抽出した形態要素のデータをIDE、IDESの個体vectorの値としてシステムの構築を行う。
- 3) IDESの効率性を検証するため、IDEとIDES両方を本システムに適用しバリエーションについてどちらが発想支援システムとして有効であるかを検証した。

次に本システムのフローについて述べる。

- 1) 建物の幅や階高、スパン数等の建物の形状基礎パラメータ(※1)を入力し建物外形を決定する。

表1 形状基礎パラメータ表(各部位については図2参照)

各部位	パラメータ名	概要
全体	建物幅	建物の幅
	建物奥行	建物の奥行
	階数	建物の階数
	非対称位置	非対称デザイン時の境目となる柱の位置
中間階	屋上囲い壁の高さ	屋上の設備隠しの壁の高さ
	上階デザイン	中間階のデザインと異なるデザイン
	開始階	インパターンの開始階
	階高	上階、中間階の階高
1階	幅	端部を除いた建物の幅
	階高	1階の階高
	開口位置	開口部の位置(スパンの位置)
	1階端部の幅	1階端部の幅
端部	立ち上り部高さ	立ち上り部の高さ
	端部の幅	上階、中間階の端部の幅
	梁成	
	柱幅	
部材	スラブ厚	スラブの厚さ
	間口方向スパン数	間口方向のスパン数
	奥行方向スパン数	奥行き方向のスパン数
	パネル分割数	1スパンにおけるパネルの分割数
	壁厚	壁の厚さ
	カーテンウォール厚	カーテンウォールの厚さ

- 2) IDE、IDESにより形態要素の個体vectorを用いてランダムに複数のデザイン(親デザイン(目標vector)と子デザイン(比較参照vector))を生成する。
- 3) 生成されたペアのデザイン(親デザイン(目標vector)と子デザイン(比較参照vector))について一対比較を行い、良い方を次世代の親デザインとする。
- 4) 3)を繰り返し行う過程でユーザにとって適切なデザインが出た場合に終了とし、選んだデザインの微調整を行うことも可能としている。ただし、本論ではIDESのバリエーションの検証の為、終了条件は10世代と限定している。

本システムに適用した形状基礎パラメータを表1に示す。

3. 形態要素

既往研究[9]で行った、オフィスビルのファサードを創生するために必要な形態要素の抽出は以下の手順である。

- 1) インターネット上のサイト[10]から現存する中高層のオフィスビルの画像を約1000枚入手した。収集した画像から効率よくデザインを抽出するためにファサードを分割する。今回収集した画像の中

※1 形状基礎パラメータ：本システムは建物の規模(平面の形状、立面の形状)が決まった後で実行するものである。そのため本システムでは平面・立面形状を決定する要素(固定値)を形状基礎パラメータとして定義する。また、各部位の分割については3章2)の手順において収集したオフィスビル画像から共通してデザインを分割できる箇所を詳しく検討して決めた。

図1 非対称デザインの
画像

図3 単純ファサード図

図4 パネル分割図(立面)

図2 ファサード分割図

図5 凹凸図(平面)

図6 端部形状図(平面)

には左右非対称の画像(図1)も存在するため図2に示す2種類に分割した。

- 2) 特殊なデザイン同士の比較には意味が無いので特殊なデザイン要素を省き、必要最低限の開口部のみ存在する抽象化されたファサードモデル(図3)を作成し、それぞれの画像と比較し異なる点を抽出した。

例) 1階と上階の壁色が異なる

- 3) それぞれの異なる点についてデザイン的に変化がみられる内容を具体的に抽出した。

例) 1階と上階の壁色が異なる

⇒上階：青系統の色，テクスチャ

⇒1階：コンクリートのような質感の灰色に近いテクスチャ

- 4) 3)で得られた相違点を形態要素，4)で得られた具体的な相違点をカテゴリとしてまとめ，58個の形態要素を採用した。

例) 1階と上階の壁色が異なる

⇒「部位間の色違い」「壁のテクスチャ」

青系統の色合いのテクスチャ

⇒カテゴリ[青系統]

コンクリートのような灰色テクスチャ

⇒カテゴリ[コンクリート，灰系統]

抽出した形態要素については管理上，2種類のグループに分けている。

第1形態要素：建物の形に大きく起因するもの

第2形態要素：建物のデザインに大きく起因するもの(部位毎に設定)

ファサードは単位スパン内で複数のパネルで構成されている。パネルデザインについて本システムでは開口が存在する壁パネルとカーテンウォールパネルのどちらかを部位毎に適用させている。図4にパネル分割図を，表2(a)，(b)に形態要素・カテゴリの一覧とその概要を示す。また，表2(a)，2(b)の形態要素表で用いる凹凸図，端部形状図，正面形態図を，図5～7に示す。

図7 正面形態図(平面)

表2(a) 形態要素表(第1形態要素)

第1形態要素				※	No	第2形態要素		※	
部位間の凹凸関係(上中間階基準)									
1	1階	凹状態	図5参照	0	13	壁の 光沢	光沢無し	壁に光沢無し	0
		平行		1			光沢有り	壁に光沢が存在する	1
							強い光沢有り 壁に強い光沢が存在する		
2	端部	凹状態	図5参照	0	部位間の色違いの有無				
		平行		1					
3	パネル 構成	凸状態		2	14	上階	同一	基本色と同一	0
		カーテンウォールパネル		0			濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
4	1階の 構成	開口部+壁パネル		1	15	中間 階	薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
		カーテンウォールパネル		0			同一	基本色と同一	0
5	端部(上 中間階) の構成	開口部+壁パネル		1	16	1階	濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
		中間階と同様のパネル構成		2			薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
6	端部(1階) の構成	処理なし	図6参照	0	17	端部	同一	基本色と同一	0
		斜めに後退		1			濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	2
							同一	基本色と同一	0
							濃い	基本色各RGB値を20%減したもの	1
							薄い	基本色各RGB値を20%増したもの	

※の値はカテゴリ値を表している

表 2 (b) 形態要素表 (第 2 形態要素)

非対称側第1形態要素				※	No	非対称側第2形態要素				※
12	正面の面形態	平行	図7(a)参照	0	26	部位間の色違い	同一	基本色と同一	0	
		斜め右		1			濃い	基本色の各RGB値を20%減したものの	1	
		斜め左		2			薄い	基本色の各RGB値を20%増したものの	2	
		山型		3	27	壁のテクスチャ	無し	テクスチャ無し	0	
		谷型		4			御影石	コンクリートのような材質(黒系統)	1	
		曲面		5			コンクリート	コンクリートのような材質(灰系統)	2	
					28	パネル分割	タイル	煉瓦のようなパターンが存在する材質	3	
					分割無し		単位スパン内に1つの開口	0		
						分割有り	単位スパン内に幾つかの開口	1		

第2形態要素(開口部+壁パネル)				※	No	非対称側第2形態要素(開口部+壁パネル)				※
開口部のプロポーション(図4(b))					開口部のプロポーション(図4(b))					
29	上側	30%	階高の30%の高さの壁	0	39	上側	30%	階高の30%の高さの壁	0	
		35%	階高の35%の高さの壁	1			35%	階高の35%の高さの壁	1	
		40%	階高の40%の高さの壁	2			40%	階高の40%の高さの壁	2	
30	下側	梁	梁と同成の高さの壁	0	40	下側	梁	梁と同成の高さの壁	0	
		1.2*梁	梁の1.2倍の高さの壁	1			1.2*梁	梁の1.2倍の高さの壁	1	
		1.5*梁	梁の1.5倍の高さの壁	2			1.5*梁	梁の1.5倍の高さの壁	2	
31	側面側	30%	単位パネル幅の30%の壁	0	41	側面側	30%	単位パネル幅の30%の壁	0	
		50%	単位パネル幅の50%の壁	1			50%	単位パネル幅の50%の壁	1	
		70%	単位パネル幅の70%の壁	2			70%	単位パネル幅の70%の壁	2	
32	開口部とパネルの凹凸	凹な状態	パネル面に対してZ方向に窓が凹な状態	0	42	開口部とパネルの凹凸	凹な状態	パネル面に対してZ方向に窓が凹な状態	0	
		平行な状態	パネル面に対してZ方向座標が等しい状態	1			平行な状態	パネル面に対してZ方向座標が等しい状態	1	
		凸な状態	パネル面に対してZ方向に窓が凸な状態	2			凸な状態	パネル面に対してZ方向に窓が凸な状態	2	
33	開口部縁の色	黒	開口部(窓)縁の色が黒	0	43	開口部縁の色	黒	開口部(窓)縁の色が黒	0	
		白	開口部(窓)縁の色が白	1			白	開口部(窓)縁の色が白	1	
		茶	開口部(窓)縁の色が茶	2			茶	開口部(窓)縁の色が茶	2	
第2形態要素(カーテンウォールパネル)					非対称側第2形態要素(カーテンウォールパネル)					
周囲カーテンウォールのプロポーション(図4(c))					周囲カーテンウォールのプロポーション(図4(c))					
34	上側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	44	上側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	
		20%	階高の20%の高さのカーテンウォール	1			20%	階高の20%の高さのカーテンウォール	1	
		30%	階高の30%の高さのカーテンウォール	2			30%	階高の30%の高さのカーテンウォール	2	
35	下側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	45	下側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	
		20%	階高の20%の高さのカーテンウォール	1			20%	階高の20%の高さのカーテンウォール	1	
		30%	階高の30%の高さのカーテンウォール	2			30%	階高の30%の高さのカーテンウォール	2	
36	側面側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	46	側面側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	
		30%	単位パネル幅の30%の壁	1			30%	単位パネル幅の30%の壁	1	
		50%	単位パネル幅の50%の壁	2			50%	単位パネル幅の50%の壁	2	
37	中心の色	クリア	若干青みがかった透過色	0	47	中心の色	クリアー	若干青みがかった透過色	0	
		クリアブルー	青みがかった透過色	1			クリアブルー	青みがかった透過色	1	
		メタリックブラック	黒い透過色	2			メタリックブラック	黒い透過色	2	
38	周囲パネル順位	縦横同位置	上下,左右側のカーテンウォールが同位置	0	48	周囲パネル順位	縦横同位置	上下,左右側のカーテンウォールが同位置	0	
		縦方向最前面	左右側のカーテンウォールが凸状態	1			縦方向最前面	左右側のカーテンウォールが凸状態	1	
		横方向最前面	上下側のカーテンウォールが凸状態	2			横方向最前面	上下側のカーテンウォールが凸状態	2	

1階第2形態要素				※	No	1階第2形態要素				※
開口部のプロポーション(図4(b))					周囲カーテンウォールのプロポーション(図4(c))					
49	上側	30%	階高の30%の高さの壁	0	54	上側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	
		35%	階高の35%の高さの壁	1			20%	階高の20%の高さのカーテンウォール	1	
		40%	階高の40%の高さの壁	2			30%	階高の30%の高さのカーテンウォール	2	
50	下側	梁	梁と同成の高さの壁	0	55	下側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	
		1.2*梁	梁の1.2倍の高さの壁	1			20%	階高の20%の高さのカーテンウォール	1	
		1.5*梁	梁の1.5倍の高さの壁	2			30%	階高の30%の高さのカーテンウォール	2	
51	側面側	30%	単位パネル幅の30%の壁	0	56	側面側	無し	カーテンウォールが存在しない	0	
		50%	単位パネル幅の50%の壁	1			30%	単位パネル幅の30%の壁	1	
		70%	単位パネル幅の70%の壁	2			50%	単位パネル幅の50%の壁	2	
52	開口部とパネルの凹凸	凹な状態	パネル面に対してZ方向に窓が凹な状態	0	57	中心の色	クリアー	若干青みがかった透過色	0	
		平行な状態	パネル面に対してZ方向座標が等しい状態	1			クリアブルー	青みがかった透過色	1	
		凸な状態	パネル面に対してZ方向に窓が凸な状態	2			メタリックブラック	黒い透過色	2	
53	開口部縁の色	黒	開口部(窓)縁の色が黒	0	58	周囲パネル順位	縦横同位置	上下,左右側のカーテンウォールが同位置	0	
		白	開口部(窓)縁の色が白	1			縦方向最前面	左右側のカーテンウォールが凸状態	1	
		茶	開口部(窓)縁の色が茶	2			横方向最前面	上下側のカーテンウォールが凸状態	2	

4. IDE・IDESの概要

4.1 IDE

DE(Differential Evolution)とはvector[8](方向量,ここでは形態要素値を持った個体)の差分を加味して新たな個体を生成していくアルゴリズムであり,IDEはそれに対話性を持たせたもので親(目標vector)と生成した子(比較参照vector)を評価者が一対比較していき,選ばれた個体を次世代の親として個体を生みだしていくものである。以下にDEの手順を参考文献[8]より引用し,図8にそのアルゴリズムを示す。なお,本システムではカテゴリが連続的なものではないため重み(F)を0.5としカテゴリ範囲内で変動させるよう調整をおこなっているが,変異vectorの値がカテゴリ範囲を超えた場合は差分の符号を反転させている。

- (1) 1 個体を目標 vector として取り出す,
- (2) 残りの個体から 2 個体をパラメータ vectors としてランダムに選択し両者の差分 vector を得る,
- (3) 残りの個体からランダムに,あるいは,ベスト個体を選び,基底 vector とする,
- (4) 基底 vector に重み付けした差分 vector を加え,変異 vector を求める,
- (5) 目標 vector と変異 vector を交差させて比較参照 vector を生成する,
- (6) 目標 vector と比較参照 vector を比べ,良い方を次世代の個体とする,
- (7) 以下(1)に戻って他の個体についても同様に次世代個体を生成する。

DEの手順^[8]

図8 IDEアルゴリズム図

4.2 IDES

従来のIDEでは,一対比較により,評価が単純であるが選ばれたvector同士の優劣の差がわからず,同等の評価値として扱っている,また本当は気に入らない個体であっても次世代に残さざるをえず効率が悪い。

本論ではユーザの評価する個体vector数は同じにするが現存個体数はIDEの2倍にし,一対比較後の次世代の個体選択について個体の優劣の差を考慮したアルゴリズムIDES(図9)を提案する。

下図の「(1) (2)…」はDEの手順^[8]の「(1) (2)…」と対応している
現存個体数とは各世代に存在する個体数を表す。(下図では20個)

図9 IDESアルゴリズム図

個体(オフィスビルのデザイン)

形態要素(枠内の数字は表2のNoを表す)

- ・各個体はそれぞれ 58 種類の形態要素のカテゴリ値を持つ。
- ・カテゴリ値の組み合わせに応じたデザインが創生される。

図10 IDEと形態要素の対応図

4.3 形態要素とIDE・IDESとの対応

ファサードデザインとDEの各vectorを対応させ、表2のカテゴリ値をvectorの要素値としている。対応概念図を図10に示す。

5. ファサードデザイン発想支援システム

本システムでは形態要素に立体的要素も含まれており、平面上だけでは表現しきれないため3DとしVRML[11](Virtual Reality Modeling Language)を利用し、そのコード出力プログラムを制作した。実際に創生されたデザイン例を図11に示す。

図11 創生されたデザインの例

図12 インタフェースフロー図

6. バリエーションの比較の検証

4.2で提案したIDESがIDEに比べてバリエーションにおいて有効であるかどうかの検証を行った。検証は主に大学内の教員・学生20人に対して行った。調査内容は被験者1人あたり、1世代につき10回の一対比較評価を従来のIDEとIDESの計2パターン行った。

IDESについて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、図12に示すインターフェースフローを構築し、表3のように得点を各個体に付与した。

検証の公平性を保つため、検証前後において被験者にはアルゴリズムの違い等については述べず、初期個体に関しても偶然高評価の個体が生成されることも考えられるため、初期個体は全て固定とした。終了条件に関しては世代数が10世代に達した時に終了とした。また、比較の際にIDEでは個体同士の優劣差を客観的に判断することができないため、最終世代に限り紙面にてそれぞれの個体についての嗜好度を「とても良い(2点)」「それなりに良い(1点)」「それ以外(0点)」として評価した。

表3 IDESの得点表

選択項目	概要	得点		
		選ばれた方	選ばれた方	両方
(1)どちらかを選ぶ(とても良い)	片方はとても好みだが、もう片方は好みではない	2	0	
(2)どちらかを選ぶ(それなりに良い)	片方はそれなりに好みだが、もう片方は好みではない	1	0	
(3)両方選ぶ(とても良い)	両方ともとても好みである(2つとも同評価)			2
(4)両方選ぶ(それなりに良い)	両方ともそれなりに好みである(2つとも同評価)			1
(5)片方も良いがもう片方も良い	両方とも好みであるがもう片方が好みである	2	1	
(6)両方選ばない	両方とも好みではない			0

7. 検証結果

7.1 IDEとIDESの出現個体数の比較

嗜好度毎の出現個体数からバリエーションについてIDEとIDESとを比較し、分析を行った。表4(a)は10世代目の目標vectorと比較参照vector、計20個体に対して評価者の嗜好度毎の出現個体数を集計したものである。

表4 個体数の比較

(a)重複有							(a)重複無						
評価者	IDE			IDES			評価者	IDE			IDES		
	良い	とても良い	それなりに良い	良い	とても良い	それなりに良い		良い	とても良い	それなりに良い	良い	とても良い	それなりに良い
No01	2	13	5	6	5	9	No01	1	5	1	4	4	9
No02	9	11	0	3	6	11	No02	1	2	0	1	5	8
No03	10	10	0	14	2	4	No03	6	5	0	12	2	4
No04	2	12	6	9	1	10	No04	2	3	1	8	1	10
No05	14	6	0	9	5	6	No05	4	2	0	8	5	6
No06	0	15	5	4	11	5	No06	0	12	5	3	9	5
No07	1	17	2	7	4	9	No07	1	9	2	6	4	9
No08	7	9	4	5	10	5	No08	1	1	1	5	7	5
No09	1	8	11	2	11	7	No09	1	2	4	2	10	6
No10	10	8	2	1	9	10	No10	6	5	2	1	8	10
No11	7	9	4	3	9	8	No11	3	3	1	3	9	7
No12	6	11	3	9	7	4	No12	3	5	2	5	6	4
No13	4	10	6	4	8	8	No13	2	4	5	4	7	7
No14	6	9	5	7	3	10	No14	4	4	4	7	3	10
No15	6	9	5	8	5	7	No15	4	6	3	7	5	7
No16	4	8	8	2	7	11	No16	4	6	5	2	5	11
No17	7	7	6	7	7	6	No17	2	2	4	4	6	6
No18	8	8	4	8	4	8	No18	5	6	4	8	4	7
No19	10	5	5	8	3	9	No19	6	4	2	7	3	9
No20	11	9	0	17	3	0	No20	4	5	0	16	3	0
平均	6.25	9.70	4.05	6.65	6.00	7.35	平均	3.00	4.55	2.30	5.65	5.30	7.00

図13 似通った個体

3段階の嗜好度合いについてIDEでは「それなりに良い(1点)」の個体が一番多く出現しており良いと評価された個体は全体の8割であった。

IDESでは3段階の嗜好度合いそれぞれに平均的に個体が出現している。

また、IDEで創生された個体の中には図13のようにほぼ似通った個体が多数存在している。表4(b)は似通った個体は同じものとしてカウントせず、再度集計し直したものである。

その結果、従来のIDEでは半数近くが似通った個体であることが判明した。一方、IDESでは大部分の個体が重複しておらず、多くのバリエーションを持つ個体が創生されていることがわかる。

7.2 IDESによる得点付与の効果

表4(b)からIDE、IDESの「とても良い(2点)」と「それなりに良い(1点)」の平均出現個体数の出現比率を比較すると、IDEでは「とても良い(2点)」の方が「それなりに良い(1点)」の7割しか出現していない。一方、IDESでは両方の嗜好度合共に同程度出現して

図14 各世代における個体数の推移

表5 各世代の「とても良い」の出現数

評価者	世代数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No01	0	1	2	3	3	5	4	4	3	6
No02	1	0	0	0	0	1	2	5	3	3
No03	6	5	8	7	6	5	6	8	11	14
No04	2	3	4	3	0	4	2	5	7	9
No05	4	5	14	10	7	13	6	7	10	9
No06	0	3	4	1	2	2	3	5	2	4
No07	2	3	2	4	3	4	3	2	6	7
No08	4	2	6	4	4	3	5	1	3	5
No09	7	13	6	9	7	7	10	7	3	2
No10	6	5	4	4	7	2	3	1	2	1
No11	8	8	6	6	6	5	5	4	8	3
No12	3	4	3	5	9	10	10	10	10	9
No13	4	1	1	1	1	5	3	3	1	4
No14	2	4	6	10	8	8	2	7	8	7
No15	7	8	8	10	9	6	7	5	1	8
No16	3	4	6	5	4	5	4	5	2	2
No17	3	0	3	6	6	9	7	9	9	7
No18	6	2	5	6	6	4	6	8	7	8
No19	5	8	8	6	8	8	9	8	7	8
No20	16	15	14	13	15	16	19	16	12	17
Average	4.45	4.70	5.50	5.65	5.55	6.10	5.80	6.00	5.75	6.65

表6 各世代の「それ以外」の出現数

評価者	世代数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No01	12	11	7	10	11	9	8	11	11	9
No02	12	13	12	12	10	10	10	9	11	11
No03	9	8	4	6	7	10	4	4	5	4
No04	11	13	7	8	7	6	10	10	7	10
No05	8	7	6	7	8	6	9	8	8	6
No06	11	11	6	9	7	11	12	4	8	5
No07	14	8	9	10	9	8	10	10	7	9
No08	4	11	6	6	11	8	6	10	7	5
No09	10	4	4	5	1	2	2	5	7	7
No10	8	11	10	9	6	9	9	11	10	10
No11	8	3	9	6	5	7	9	9	5	9
No12	11	8	13	9	5	5	6	5	7	5
No13	10	10	12	14	8	8	7	8	7	8
No14	12	9	5	5	9	6	7	6	7	10
No15	11	4	3	4	3	5	8	8	7	7
No16	7	8	5	9	8	9	10	7	7	11
No17	11	10	6	9	7	5	11	10	6	6
No18	8	6	8	7	5	5	5	4	5	8
No19	12	7	8	9	8	7	9	9	9	9
No20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Average	9.50	8.10	7.00	7.70	6.75	6.80	7.60	7.40	7.05	7.45

いる。また「とても良い」と評価された個体数はIDEの2倍であった。このことはIDESでの得点付与がユーザの嗜好反映に有効であることを示している。

7.3 世代数の経過による個体数の推移

各世代におけるIDESの嗜好度合い毎の出現個体数について分析を行った。表5は「とても良い(2点)」について各世代毎の出現個体数を集計したもので、表6

表7 IDE・IDESの検証時間(分)

評価者	IDE	IDES	差
No01	27	24	3
No02	15	16	-1
No03	19	26	-7
No04	16	25	-9
No05	26	26	0
No06	32	27	5
No07	14	15	-1
No08	25	25	0
No09	11	15	-4
No10	27	28	-1
No11	14	16	-2
No12	22	29	-7
No13	25	24	1
No14	18	20	-2
No15	15	17	-2
No16	32	33	-1
No17	15	16	-1
No18	20	21	-1
No19	19	22	-3
No20	14	14	0
Average	20.30	21.95	-1.65

は「それ以外(0点)」について同様に集計したものである。図14は表5、表6の世代毎の平均出現個体数をグラフ化したものである。「とても良い(2点)」については世代数を経る毎に評価者による程度の差はあれ、出現個体数が若干上昇傾向にあることがわかる。「それ以外」については初期個体の関係で1世代目の出現個体数が若干多く出ているが、評価者の嗜好を反映させることにより出現個体数が補正され、継続して一定数(7個前後)出現している結果となった。

7.4 システムの評価時間の比較

表7はIDEとIDESの10世代、計100個体に対する評価時間(単位:分)を計測したものである。IDEに比べてIDESの方がインタフェースが複雑な為、平均しておよそ2分程IDESの方が時間がかかっているが、1回の対比較に換算すると1.2秒であり、時間による心理的負担の影響は無いと考えられる。

7.1節~7.4節の検証結果からIDEは収束性に優れている反面、多様性に欠けるが、IDESは多様性に優れており発想支援として有効であることがわかる。

8. まとめ

本稿ではオフィスビルのファサードデザインを対象として設計者に新たな発想を喚起させるきっかけを与えるデザイン発想支援システムの構築を行った。既存するオフィスビルの画像を収集し、比較分類することにより形態要素を58個抽出し、58個の形態要素を個体vectorに置き換えることによりIDEアルゴリズムに組み込み、VRMLを用いて3D画像によりファサードを表現するシステムを構築した。そして本システムに

多様性を持たせるためにIDESを提案し、IDEと比較することによりIDESの個体の多様性とシステムの有効性について、被験者20人を対象に検証を行った。

以下に得られた結論を述べる。

1) 本システム(IDES)の有効性について

本稿で多様性を持たせるために提案したアルゴリズムIDESは表4よりIDEと比べ重複のない異なるデザインが8割方創生された。また「とても良い(2点)」の個体はIDEと比べて2倍程出現させることができ、本システムの目的である発想支援として有効なアルゴリズムとなることを示すことができた。

2) 形態要素の妥当性について

表4、図11から様々なバリエーションを持ち、かつ現実的なデザインが創生されていることから既往研究[9]で抽出した形態要素は妥当であるといえる。

今後の課題を述べる。図14に示されるようにIDESでは「とても良い(2点)」のデザインがIDEに比べて2倍程度創生されている反面、「それ以外(0点)」のデザインが「とても良い」の出現個体数以上出現している。「それ以外(0点)」と評価されるデザインの出現頻度を抑えつつ、多様性のあるファサードを創生しシステムの満足度を向上させる事が必要である。また、今回バリエーションに対してIDESの有効性を検証したが、実際にシステムが「きづき」を提供できるかどうかの是非についても検証していく必要がある。

参考文献

- [1] SERAG ADAM, 小野智司, 中山茂, 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, 情報処理学会論文誌 47 (8), 2764-2768, 2006年8月
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 加世田朋子, 小佐美友子, 藤井誠, 本間俊雄, 友清貴和, 低層集合住宅の発想支援システムを用いた配置計画・設計手法, 日本建築学会九州支部研究報告, 第48号, 2009年3月
- [5] 斎藤篤史, 松下 大輔, 宗元 順三, 帰納論理プログラミングを用いたファサード立面の形態要素の構成規則の獲得方法の研究, 日本建築学会計画系論文集 第583号 187-193 2004年9月
- [6] 小川次郎, 安野彰, 坂本一成, 都市型中高層建築の

- ファサードにおける形態構成, 日本建築学会計画系論文集, 第496号, 105-112 1997年6月
- [7] 横山点心, 奥山信一, オフィスビルのファサードにおける建築家の設計意図と実現方法, 日本建築学会計画系論文集, 第600号, 65-72, 2006年2月
- [8] 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
- [9] 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その1. IDE (Interactive Differential Evolution) 個体選択パターンの検討, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌) vol23, No1, 54-64, 2011年2月
- [10] オフィスジャパンネット, 2000年-2010年
http://www.oj-net.co.jp
- [11] 赤間世紀, VRML教科書, 工学社, 2007年7月
(2010年12月13日 受付)
(2011年4月21日 採録)
- [問い合わせ先]
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307
芝浦工業大学
堤 和敏
TEL: 048-687-5827
E-mail: tutumi@sic.shibaura-it.ac.jp

著者紹介

かわの たかひこ
河野 高英 [非会員]

平成21年芝浦工業大学システム工学部環境システム学科卒業。平成23年芝浦工業大学大学院工学研究科建設工学専攻修了。平成23年(株)アーク情報システムに入社。現在に至る。現在、進化計算手法を用いた発想支援システムに関する研究に従事。

つつみ かずとし
堤 和敏 [正会員]

1976年九州大学大学院工学研究科修士課程修了。1976年フジタ工業(株)に入社。建築構造の最適設計システム開発に従事後、2000年より芝浦工業大学環境システム学科教授。博士(工学)。建築構造の最適化、感性を考慮した形態創生・デザイン発想支援システムに関する研究に従事。日本知能情報ファジィ学会、日本感性工学会、日本建築学会の会員。

A development on the design idea generation support system for the facade of the office building Proposal of IDES (Interactive Differential Evolution with Score)

by

Takahide KAWANO and Kazutoshi TSUTSUMI

Abstract :

1. Purpose

In the various manufacturing fields including the building field, the form design is devised by the designer. However, the designer's idea range depends on his personal background such as education or environment, so it has been pointed out that his design idea is controlled by his background.

The facade of the building controls the visitor's impression, so the image of the design is very important. Various studies such as the constitutions or histories of the facade are performed, but the facade design support system has not been developed.

Therefore, if there is an idea generation support system which is defeating a conventional idea of the designer and expresses the detail of the facade, it would be effective.

The purpose of this study is to develop the idea generation support system giving "discovery" to the designer for the facade design of an office building.

The purpose of the previous research was to verify the difference in the evaluation number of individuals of IDE.

This study analyzes the form elements constituting a facade and proposes new algorithm IDES based on IDE, in order to create many various design forms efficiently.

The multiplicity of design by IDES and the effectiveness of the system are verified in comparison with those by IDE.

2. Methods

58 form elements are extracted by collecting and classifying the image of an existing office building. 58 form elements are replaced to the individual's vector of IDE and IDES, and became incorporated into IDE and IDES algorithms. 3D images of facades by IDE and IDES algorithms are expressed by VRML. The verification of this system was performed by 20 students learning architecture.

3. Conclusions

In IDES, 80% of all creations were created as different designs without duplicate compared with the IDE. IDES is effective algorithm as design idea support system, because the "very good" design was created about 2 times compared with the IDE.

The classification of form elements extracted in the previous research is proper, because the facade designs created by this system are realistic and diverse.

Keywords : façade design, idea generation support, IEC : Interactive Evolutionary Computation, DE : Differential Evolution

Contact Address : **Kazutoshi TSUTSUMI**

Shibaura Institute of Technology

307, Fukasaku, Minuma-ku, Saitama-shi, Saitama, 337-8570, JAPAN

TEL : 048-687-5827

E-mail : tutumi@sic.shibaura-it.ac.jp