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

伴場裕介[†] 小谷淳司[†,☆] 萩原将文[†]

本論文では，対話型の進化計算法を用いたインテリアレイアウト支援システムを提案する．従来のインテリアレイアウト支援システムでは，家具類などのレイアウトのみに関心が払われていたため，居住者の実際の使いやすさなどに関しての考慮は小さかった．そこで提案システムでは，居住者の行動を模倣しレイアウト案の評価を行う評価エージェントを用いている．これにより，レイアウト案の使いやすさの推定値として有用度を算出する．提案システムは，レイアウト案を仮想 3 次元空間内にユーザに提示するインタフェースを持ち，レイアウト案に対するユーザの評価と有用度に基づき進化的にレイアウト案を生成する．評価エージェントが仮想的にレイアウト案の中を移動・作業することにより，騒音量や通行の密集度合などが求められる．これらに基づきレイアウト案の有用度が算出される．ユーザは部屋のレイアウト案だけでなく，その中で行動する評価エージェントの動きも同時に観察できる．そのため，ユーザは部屋の使われ方を容易にイメージできる．システムの進行とともに，ユーザの好みや意図を反映し，かつ使いやすいレイアウト案が得られるようになる．評価実験により，ユーザの満足度が高く，要求にあったレイアウト案を得られることが確認されている．

An Interior Layout Support System with Interactive Evolutionary Computation Using Evaluation Agents

Yusuke Bamba,[†] Junji Kotani[†,☆] and Masafumi Hagiwara[†]

In this paper, we propose an interior layout support system using interactive evolutionary computation. The conventional system is only concerned with layouts of a room, and is not concerned with a usability of layouts. In the proposed system, layouts are evaluated using newly proposed evalution agents which bahave as virtual residents. As a result, a usefulness value can be calculated as an estimated usability for each layout. The proposed system has the interface to show layouts in a 3-D virtual reality space. The system evolutionarily generates layouts according to two factors: user's evalutation and usefulness values. Evaluation agents move and work virtually in the layouts. As the result of these activities, the system can estimate feature values such as a quantity of noise, a degree of passage jam and so on for each layout. In addition, the system calculates a usefulness value of each layout from these feature values. Since the user can observe not only layouts but also behaviors of evaluation agents, he/she can imagine the usage of layouts easily. Results of experiments show that the layouts that meet the user's demand are obtained.

1. はじめに

近年，インテリアレイアウトに対する関心が，あらゆる方面で高まってきている．オフィスレイアウトにおいては，業務の効率に影響するものとして，様々な形態のレイアウトが考案されてきている．また個人住宅では，自己主張の 1 つとして，インテリアレイアウトへの関心が高まり，個人住宅のインテリアを紹介した書物やインテリアレイアウトの指南書が多数出版されている．そこで本論文では，インテリアレイアウトに焦点をあてる．現在，コンピュータの発達にともなって，コンピュータを利用した様々なレイアウトツールが提案されている[1),2)]．しかし，一般にレイアウト作業はユーザの知識やセンスに任されている部分が多い．それゆえ，ユーザの負担を軽減し，かつ満足度が高いレイアウト案を得られるような自動設計システムが望まれている．

従来から人工知能を用いた自動設計ツールは存在する[3)〜6)]．しかし，これらの手法では，ヒューマンエラーが少なくなる利点はあるものの，多くのルールが

† 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University
☆ 現在，キャノン株式会社
Presently with CANON Inc.

必要であり，知識の獲得や蓄積が困難であるという問題がある．さらにユーザの曖昧な要求内容に応えることも困難である．また，人工知能とファジーを融合させた研究[7]についても同様に，良いレイアウトを得るためには多くの $if-then$ ルールが必要であり，知識の獲得や蓄積が困難である．

ほかには，概念空間という概念を整理するツールを用いて，デザイナに新しいデザインのアイデアを示唆したり，新しいイメージの発想を支援したりするようなシステムの研究もなされている[8)~10)]．しかし，これらの手法は，システムに対して意図を伝えることはできるが，明示的に記述できないような好みをデザインに反映させることは困難である．

一方，ユーザの好みや感性を扱うデザイン支援システムの手法として対話型進化計算法が知られている．対話型進化計算法は，ユーザの主観的評価を適応度に反映して進化的に最適解を探索するため，評価が人によって異なるような対象やユーザの好みや感性を反映させた設計や創造に対して有効である[11)]．対話型進化計算法を用いた研究として，照明デザイン[12)]，服飾デザイン[13)]，インテリアレイアウト支援[14),15)]などがある．特にインテリアレイアウトは多くの人が行う作業であるが，レイアウト後の使用状況の想像が困難である，やり直しが難しい，業務の効率や住心地に深く影響する，などの問題がある．そのため，インテリアレイアウト支援システムの重要性は高い．

従来型である文献 14) のシステムおよび，文献 15) のシステムは，家具類のレイアウトのみに関心が払われ，居住者の実際の使いやすさなどに関しての考慮は小さかった．その結果として，扉の前に机が設置されているなど，欠点のあるレイアウト案が提示された場合にそれをユーザ自身が排除するなどといった操作が必要であったり，レイアウト案が実際に使いやすいかどうかを判断することは困難であった．

そこで本論文では，レイアウト案の「使いやすさ」を評価する評価エージェントを用いた新しいインテリアレイアウト支援システムを提案する．評価エージェントは，実際のレイアウト案の使用者を模倣するような行動をとるものである．この行動結果からレイアウト案の使いやすさを自動的に算出し，使いやすいレイアウト案を厳選しユーザに提示することにより，従来型システムの欠点を補うことが可能となっている．

以下，2 章で提案システムを説明する．計算機にシステムを実装し，評価実験を行った結果を 3 章で述べる．4 章を結論とする．

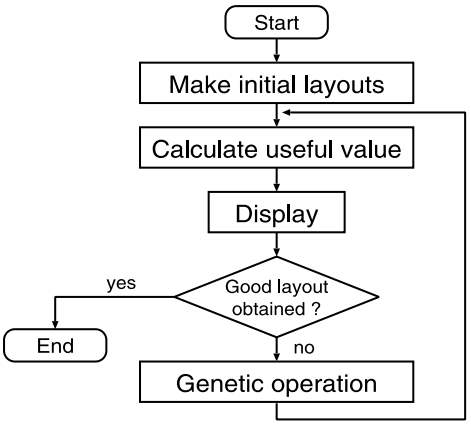


図 1 システムの流れ
Fig. 1 Flow of proposed system.

2. 提案システムの概要

提案システムは，レイアウト案を仮想空間内に提示するインタフェースを備え，評価エージェントとユーザの評価に基づく対話型進化計算法を用いている．**図 1** に提案システムの流れを示す．以下のその流れについて説明する．

ユーザは，あらかじめレイアウト対象の部屋の形や大きさ，使用する家具の種類や個数，部屋の使用者の行動パターンや，部屋の使用用途などのパラメータをシステムに入力する．これらは部屋の特性や用途を表すものであり，家具配置への制約や後述する有用度の算出などに用いられる．

まずシステムは，第 1 世代の個体集団としてランダムな初期レイアウト案を複数生成する．次いでそれぞれのレイアウト案に対し，システムはバックグラウンドで評価エージェントによる評価を行い，使いやすさの推定値である有用度を算出する．評価エージェントとはレイアウト案を使用する人間を模倣して行動するものである．有用度は，評価エージェントの行動によって計測される騒音や通行の混雑の度合いなどの部屋の性質により計算される．その後，有用度順にソートされたレイアウト案がコンピュータディスプレイ上に提示される．ユーザは，ユーザ自身の主観に基づいてそれぞれのレイアウト案に対する評価を行う．評価が終わると，ユーザの評価および有用度に基づきレイアウト案に遺伝的操作が施され，次世代のレイアウト案の集団が生成される．そして，再び評価エージェントの評価の段階に戻り，進化的なループが繰り返される．なお，レイアウト案は**図 2** のように鳥瞰される状態でユーザに提示されるが，ユーザはいつでも主観視

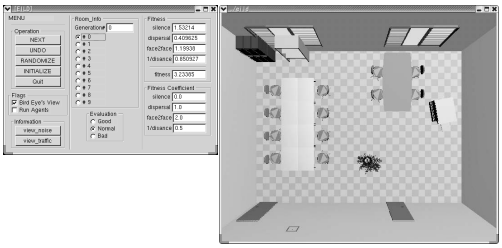


図 2 インタフェース
Fig. 2 Interface.

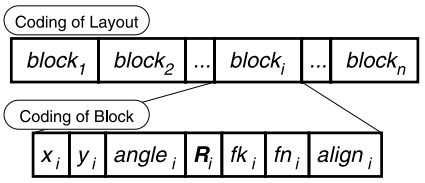


図 3 遺伝子コーディングの例
Fig. 3 An example of coding.

点に切り替えて，レイアウト案の中を仮想的にウォークスルーし，その中で行動する評価エージェントを間近に観察することもできる．

システムの進行とともに，ユーザの評価を反映し有用度が高いレイアウト案が次第に提示されるようになる．ユーザは，そのようなレイアウト案を観察することにより，新しいインテリアレイアウトのアイディアを得ることが可能になっている．

以降，2.1 節でシステムのインタフェースを，2.2 節で家具の配置を，2.3 節で評価エージェントについて，2.4 節で進化計算について説明する．

2.1 仮想空間によるインタフェース

図 2 に提案システムのインタフェースを示す．対話型進化計算法を用いたシステムではユーザとシステムのスムーズなインタラクションが重要である．そこで，提案システムではインタフェースとして CG（Computer Graphics）を用いたウォークスルー可能な仮想 3 次元空間を採用している．提案システムはシステム起動時には，ユーザにレイアウト案を鳥瞰した状態で提示する．ユーザは図 2 の Bird Eye's View のチェックをとることにより，いつでも鳥瞰図から主観視点に切り替えてレイアウト案の中を自由に歩き回ることができる．主観視点での移動はマウスとキーボードのどちらからでも行うことができる．これにより，ユーザは任意の視点からレイアウト案を観察することが可能となっている．また，Run Agents をチェックすることにより，評価エージェントの行動を仮想空間内にアニメーションで表示することもできる．ユーザはその行動を観察することによって，レイアウト案だけでは分からなかった部屋の使用状況を容易に想像することができる．

ユーザは，個々のレイアウト案に対し，自分の主観に基づき 3 段階の評価値 E を与える．ユーザ負担の軽減のため E は $\{-1, 0, +1\}$ のいずれかの値をとり，それぞれ「悪いと思う」「良いとも悪いとも思わない」「良いと思う」という評価を表す．ユーザは評価を終えると，NEXT ボタンを押すことにより，次世代のレイアウト案の生成をシステムに要求することができる．

2.2 家具の配置

ここでは，提案システムにおける家具の配置について説明する．レイアウト案の内部表現である遺伝子コーディングを説明した後，遺伝子を表現型であるレイアウト案に変換する手順を説明する．

2.2.1 レイアウト案の表現 — 遺伝子コーディング

レイアウト案は，ブロックと呼ばれる家具集団を単位に遺伝子コーディングされている．ブロックとは同種の家具が 1 個以上集まったものである．ブロックの典型的な例として，デスクを規則正しく配置するというオフィスなどでよく見られる島型配置がある．

レイアウト案は，部屋内に複数のブロックが配置されるという形で表現される．**図 3** にレイアウト案の遺伝子コーディングの例を示す．1 つのレイアウト案は複数のブロックのコードが連結したものである．

あるブロック i を表現するパラメータは図 3 の下段に示される．これらのパラメータについて説明する．x_i，y_i はそれぞれ，そのブロックの部屋に対する相対的な x 座標，y 座標である．$angle_i$ はブロックの回転角，$\boldsymbol{R_i}$ はそのブロックの形状を表す形状ルールであり，fk_i は構成する家具の種類，fn_i は構成する家具の個数である．$align_i$ はそのブロックの配置に追加の調整をするか決定するパラメータであり，$\{0, 1\}$ の 2 値からなる．$align_i$ が 0 であれば調整はされず，1 であれば近くの部屋の壁か他のブロックに接するように配置が調整される．これらの値は，初期レイアウト案ではランダムに設定され，システムの進行とともに進化的に変化していく．

次に，形状ルール $\boldsymbol{R}$ について説明する．ブロックは同種の家具を集めて配置したものであり，形状ルールはその形状を表したものである．従来型システムでの家具の配置は，基本的なレイアウト方式[17] から基本的な 8 つの配置ルールを抽出して用いている[14]．提案システムでは形状ルール $\boldsymbol{R}$ を構成するために，従来型システムで用いられた 8 つの配置ルールを基にして，任意の家具を対象としたサブルールを考案した．

表 1 サブルール
Table 1 Subrules.

ルール	規準家具に対する位置	規準家具に対する角度
s_1	前方	同じ向き
s_2	前方	逆向き
s_3	後方	同じ向き
s_4	後方	逆向き
s_5	右側	同じ向き
s_6	左側	同じ向き
s_7	右側	90 度左に回転
s_8	左側	90 度右に回転

表 1 にサブルールを示す．配置サブルールとは，ある家具を置く場合に，直前に置かれた規準となる家具に対する空間的関係を決めるものである．ブロックの形状ルール $\boldsymbol{R}$ は，これらのサブルールを 1 つ以上並べた環状リストにより構成される．初期レイアウト案での $\boldsymbol{R}$ は，ランダムに設定された長さであり，構成する各サブルールはランダムである．

ブロックを形成する際には，まず最初の家具を規準家具として配置し，2 番目の家具を環状リストの最初のサブルールに従って配置する．3 番目の家具は，2 番目の家具を規準家具として，環状リストの次のサブルールに従って配置する．このように，fn_i 個の家具が連鎖的に配置される．また，ある家具がサブルールに従って配置できない場合には，その家具を配置できる位置まで移動させて配置する．

2.2.2 レイアウト案の配置 — 遺伝子のデコード

図 3 に示す遺伝子は先頭のブロックから順に部屋に配置され，表現型である実際のレイアウト案が生成される．システムは以下の手順で，ブロック i の部屋への配置を行う．

(1) 中心が (x_i, y_i) になるように，部屋に配置する．
(2) $angle_i$ だけ回転を行う．
(3) $align_i$ が 1 で近くに部屋の壁か他のブロックがあれば，それに接するように移動される．
(4) 部屋の壁か他のブロックと重なるような配置であれば，近傍の重ならない位置に移動される．不可能ならば，重ならない家具のみが配置される．なお，このような場合でも遺伝子表現そのものは変わらない．

2.3 評価エージェントと有用度

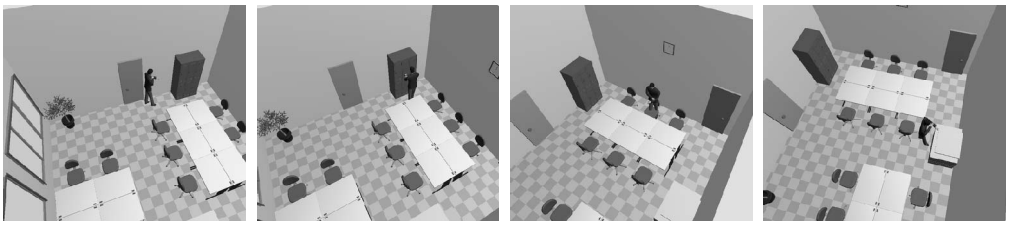
評価エージェントは，実際のレイアウト案の使用者を模倣した行動を行い，ユーザに代わってレイアウト案に内在する問題を洗い出す．評価エージェントの移動と作業をまとめて行動と呼ぶことにする．提案システムでは，部屋の用途にあった行動をする評価エージェントが想定使用人数分用意される．これらの評価エージェントの一定時間の行動によって，騒音源や通行の混雑などの部屋の性質が測定される．これにより，有用度と呼ぶレイアウト案の「使いやすさ」の推定値が算出される．有用度の算出は，レイアウト案の生成時に評価エージェントを描画せずバックグラウンドで行われるが，ユーザはいつでも評価エージェントの行動をアニメーションとして観察することも可能である．次に評価エージェントの行動と，有用度の説明を行う．

2.3.1 評価エージェントの行動

評価エージェントの作業は一般的には家具の前で行われる．作業地点は騒音源となり，作業場所によって発生する騒音量が定められている．たとえば，デスクの前での作業に比べ，コピー機での作業の方が大きな騒音が発生する．騒音源から評価エージェントまでの距離が長い場合や，背の高い家具が途中にある場合には，評価エージェントが聴く騒音は小さくなるように設定されている．

評価エージェントの移動可能な空間には，家具が置かれていなく，家具や壁から一定の距離 d が離れているという条件が必要である．本システムでは，評価エージェントは部屋全体を格子状に分割した格子点上を移動するが，人間が通ることのできる通路の幅は約 0.70 m であるという知見に基づき[17]，d =0.35 m とし格子間隔も同じ 0.35 m に設定している．移動の経路の決定には A*アルゴリズムを用いている[16]．このアルゴリズムはグラフサーチと呼ばれる発見的探索システムのアルゴリズムであり，現在位置から目標地点までの格子点を結んだ経路の中から，最短経路を求めることで移動経路を決定している．また，作業決定はマルコフ過程により確率的に行われ，直前の作業の結果として次の作業が決定する．なお，これら一連の行動は入室から退室まで 5,000 ステップの間行われ，これら一連の行動をアニメーションとして観察した場合に要する時間はおよそ 60 秒である．

図 4 に評価エージェントの行動の例を示す．この評価エージェントは，デスクワークをする部屋の使用者の行動を模倣したものである．まず，エージェントはドアから現れる（図 4 (a)）．次にロッカーに移動してしばらく作業を行い（図 4 (b)），自分のデスクに移動する（図 4 (c)）．そこでしばらく作業するが，ときどきコピー機や部屋の外に移動してデスクに戻ってくるという行動をとる（図 4 (d)）．最後にある程度時間が経過すると，デスクから離れ，ドアに移動しそのエージェントの全行動が終了する．なお評価エージェントの作業対象に関しては，デスク，テーブル，ロッカー，



(a) 出現 (b) ロッカーでの作業 (c) デスクでの作業 (d) コピー機での作業

図 4 エージェント行動の例
Fig. 4 Example of an agent's behaviors.

コピー機，書類棚の 5 種類となっている．

エージェントの作業の種類や行動パターンは，事前にパラメータファイルに定義され，システムに読み込ませる形式をとっている．したがって，パラメータファイルの書換えにより，エージェントに関する詳細なカスタマイズも容易に可能である．

2.3.2 有 用 度

ある部屋のレイアウトが使いやすいかどうかには様々な規準がある．オフィスの様々な用途や家庭での用途などを考慮すると，使いやすさの要素として以下に示す性質があげられる．

- **到達性** U_r：すべての家具に到達可能であること
- **静粛性** U_s：作業中に周囲が静かであること
- **非密集性** U_d：通行が狭い箇所に密集しないこと
- **対面性** U_f：作業中に他の人と会話ができる位置にいること
- **巡回性** U_n：移動総距離が短いこと

提案システムは，評価エージェントを一定時間だけ行動をさせることによりこれら 5 つの性質を測定し，有用度を算出する．有用度 U は次式から計算される．

$$U = U_r(a_s U_s + a_d U_d + a_f U_f + a_n U_n) \quad (1)$$

ここで，a_s，a_d，a_f，a_n は重み付けのための定数である．部屋の使用用途によって，どんなレイアウトが使いやすいかという規準は異なる．たとえば，リビングルームや会議室では人と人が顔を合わせやすいレイアウトが望まれるが，研究室や自習室では逆である．このような違いは，提案システムでは評価エージェントの行動の設定および各定数の値を変えることにより対応する．以下，各性質の算出について説明する．

到達性を表す U_r は，すべての評価エージェントがすべての家具に到達可能であれば 1 をとり，そうでなければ 0 をとる．

静粛性を表す U_s は，静粛さを求める作業をしているエージェントが受ける単位時間あたりの騒音の平均値であり，静粛さを求める作業をしているエージェントがいるときにだけ算出される．なお静粛性を必要とする作業に関しては，パラメータファイルにより作業対象家具ごとに設定できる．

$$U_s = \frac{\sum_{t=0}^{t_{max}} \sum_{i=1}^{A_{max}} \sum_{j=1, j\neq i}^{A_{max}} O_i(t) noise_{ij}(t)}{1 + t_{max} A_{max} \sum_{t=0}^{t_{max}} \sum_{i=1}^{A_{max}} O_i(t)} \quad (2)$$

ここで t_{max} は最大時間ステップ数であり，A_{max} は評価エージェント数を表す．$noise_{ij}(t)$ は時刻 t に評価エージェント i が評価エージェント j から受ける騒音量を表す．$O_i(t)$ は i 番目の評価エージェントが静粛性を求める作業中をしていれば 1 をとり，そうでなければ 0 をとる関数である．

非密集性を表す U_d は，部屋における通行量が集中するノードの数の逆数である．このノードとは，部屋を格子状に分割して得られる格子点のことである．各ノードは隣接する 8 つのノードとリンクを結んでおり，評価エージェントはこのノード上を移動する．ただし家具がある部分に関してはノードが生成されない．U_d は，次式により求められる．

$$U_d = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{N_{max}} traffic(i)} \quad (3)$$

ここで N_{max} は全ノード中，隣接するノード数が 2 つ以下のノードの数であり，$traffic(i)$ は，ノード (i) での全時間を通じた総通行量が 2 度以上であれば 1 を，そうでなければ 0 を返す関数である．

対面性を表す U_f は，次式により求められる．

$$U_f = \frac{\sum_{i=1}^{A_{max}} \sum_{j=1, j\neq i}^{A_{max}} F(i,j)}{A_{max}(A_{max}-1)/2} \quad (4)$$

ここで $F(i,j)$ は 2 つの評価エージェント i と j がお

互い顔を合わせられるかを示す関数であり，全時間を通じて適切な距離と角度をとれる状態になることがあれば 1，そうでなければ 0 をとる．例外として，評価エージェントの人数が 1 人の場合は対面性は算出されない．

巡回性を表す U_n は，1 回の移動の平均距離の値の逆数であり，次式により求められる．

$$U_n = \frac{\sum_{i=1}^{A_{max}} P_{max}^i}{\sum_{i=1}^{A_{max}} \sum_{j=1}^{P_{max}^i} d_i^j} \tag{5}$$

ここで，P_{max}^i は評価エージェント i の移動の回数であり，d_i^j は評価エージェント i の j 番目の移動の距離である．

2.4 進化計算

提案システムでは，1 つの個体が 1 つのレイアウト案を表し，複数の個体によりある世代の個体集団が表される．各個体に対するユーザの評価値と有用度によって，その適応度が決定される．適応度に基づいて個体集団に遺伝的操作が行われ，次世代の個体集団が生成される．ここでは，適応度の計算方法および遺伝的操作の詳細について説明する．

2.4.1 適応度

1 つの個体には，そのレイアウトの良し悪しを表す適応度がそれぞれ設定される．適応度 f は，簡単化のため有用度とユーザによる評価を 1：1 で足し合わせた次式で表される．

$$f = U + E \tag{6}$$

ここで，U は有用度，E はユーザによるそのレイアウトに対する評価値である．

2.4.2 遺伝的操作

提案システムでは，ユーザの評価が完了したあとにその世代の個体集団に遺伝的操作を行い，次世代の個体集団を生成する．遺伝的操作として，まず適応度に基づいて選択淘汰が行われ，次いで交叉・突然変異がそれぞれ設定された確率に基づいて行われる．提案システムではそれぞれの操作に以下の方法を用いている．

- **選択**：ルーレット選択，エリート保存
- **交叉**：2 個体間でブロックを交換
- **突然変異**：当該ブロックをランダムに変異

3. 実験

提案システムの有効性を検証するために評価実験を行った．

表 2 部屋の使用用途別重み定数
Table 2 The use of the room.

	コミュニケーション重視	個人作業重視	1 人暮らし
a_s	0.0	2.0	0.0
a_d	1.0	1.0	1.0
a_f	2.0	-1.0	0.0
a_n	0.5	0.5	1.0

表 3 遺伝子操作パラメータ
Table 3 Parameters about genetic manipulation.

交叉率	突然変異率	個体数	終了条件
0.8	0.1	10	10 世代

3.1 実験環境

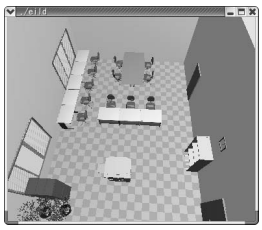
インテリアレイアウトデザインの専門知識を持たない被験者 18 人に対し，実際に本システムを使用してもらいレイアウト作成実験を行った．実験項目は評価エージェントの有効性の検証，進化計算の有効性の検証，および支援システムとしての有効性の検証の 3 項目を行った．レイアウト対象となる部屋は，横 9 m 縦 6.5 m，想定使用人数約 10 人のオフィス，横 4.5 m 縦 7.0 m，SOHO 用のオフィス，横 12 m 縦 6.5 m，想定使用人数約 16 人の比較的大きなオフィス，ワンルームマンションの一室の 4 種類を用意した．部屋の使用用途としては，コミュニケーション重視のデスクワーク用途，個人重視のデスクワーク用途，1 人暮らし用途の 3 種類を用意した．本来この定数は，あらかじめ目標とする利用形態を想定してシステム開始時に設定するものである．これらの設定を**表 2** に示す．被験者にこれらの設定を選んでもらい，自分の好みに合うようなレイアウト案を提案システムによって作成してもらった．予備実験から求めた各遺伝子操作パラメータを**表 3** に示す．

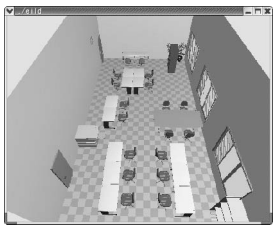
個体数 10，終了条件 10 世代としたのは，レイアウトとしてナンセンスな個体，たとえば到達性が 0 の個体（到達できない家具がある）などをあらかじめ評価エージェントにより除外し，ユーザによる評価回数を減らすことによって，可能な限りユーザの疲労軽減を図るためである．また，本実験では進化計算の有効性の検証のために，最終世代の 10 世代まで計 100 レイアウトをユーザに評価してもらう．ただし，もし評価途中で満足するレイアウトが得られた場合は，その世代を終了世代と考え，そのときの世代数および，経過時間を表記しておいてもらった．

3.2 実験結果

3.2.1 得られたレイアウト案

図 5 (a) は，想定人数約 10 人のオフィスのレイアウ


(a) 個人作業重視（第 5 世代）


(b) 個人作業重視（第 7 世代）


(c) コミュニケーション重視（第 3 世代）

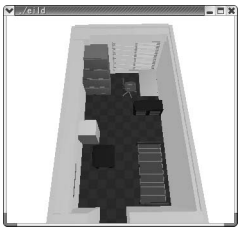

(d) ワンルーム（第 10 世代）

図 5 得られたレイアウト案
Fig. 5 Obtained layouts.

表 4 実験で用いたパラメータ（図 5）
Table 4 Parameters used in the experiments (Fig.5).

図	(a)	(b)	(c)	(d)
想定使用人数	8〜10	14〜16	4〜6	1
使用家具種類 (個数)	デスク (8〜10) ロッカー (1) コピー機 (1) 観葉植物 (0〜2) 書類棚 (1) テーブル (1)	デスク (14〜16) ロッカー (1) コピー機 (1) 観葉植物 (0〜2) 書類棚 (1) テーブル (1)	デスク (4〜6) ロッカー コピー機 (1) 観葉植物 (0〜2) 書類棚 (1) テーブル (1)	デスク (1) 箪笥 (1) テーブル (1) 観葉植物 (0〜1) 冷蔵庫 (1) ラック (1)
部屋の用途	個人作業	個人作業	コミュニケーション	1 人暮らし

トを行った結果である．このレイアウトでは，個人作業を重視したレイアウト案を得ることを目的とした．ユーザに対してもこの目的を伝え，ユーザの主観で提案システムを使用してもらった．結果として，図 5 (a) に示されるように，個人作業を行いやすい横 1 列のデスク配置と，その中心に簡単なディスカッションをするスペースを持つレイアウト案が得られた．

図 5 (b) は，想定使用人数約 16 人のオフィスレイアウトを行った結果である．この実験でも同様に個人作業を重視したレイアウト案を得ることを目的とした．図 5 (b) に示されるように，机が互いに背を向け合う配置や，壁際に隣接する配置が多く見受けられるレイアウト案が得られた．

図 5 (c) は，想定使用人数約 4 人の SOHO 用の部屋でコミュニケーションを重視したレイアウト案の作成結果である．図 5 (c) に示されるように，机が 1 つにまとまったレイアウト案が得られている．

図 5 (d) は，ワンルームマンションなどで見られるような 1 人暮らし向けの部屋のレイアウトの例である．この実験での評価エージェントには，オフィスのレイアウトとは異なった行動が設定されている．また，用いる評価エージェントも 1 つであるため，静粛性，対面性は定義されない．この実験では非密集性と巡回性が重要視されているため図 5 (d) のように，どの家具へもほぼ等距離で行け，かつ壁際に家具を隣接させたレイアウト案が得られた．

なお，それぞれの部屋に配置される家具の詳細について**表 4** に示す．実際にはこれだけの数の家具を用いることでバリエーションに富む様々な組合せのレイアウト案の作成が可能となっている．

3.2.2 評価エージェントの有効性

評価エージェントの有効性を検証するために，生成されるレイアウト案に対する満足度，および実際にレイアウト案を考える場合と比べての被験者の心理的，肉体的疲労軽減の 2 つの観点から実験を行った．レイアウト案に対する満足度に関しては被験者に「とても満足」,「満足」,「普通」,「あまり良くない」,「良くない」の 5 段階で評価してもらった．ここで満足度とは，部屋の用途に対しての主観的な合致度とし，その旨をあらかじめ被験者に伝えておいた．また，被験者の疲労軽減に関しても実際に頭の中で考える場合と比べて「大いに軽減される」,「軽減される」,「どちらともいえない」,「増加する」,「大いに増加する」の 5 段階で評価してもらった．評価エージェントなしの場合にも同様の評価を行った．**図 6** に満足度の分布比較，**図 7** に疲労軽減に対する分布比較を示す

また，実験結果から得られた満足度の平均値，平均所要時間および平均世代数に関して評価エージェントの有無について t 検定を適用した．**表 5** にその結果を示す．3 つの項目すべてに関して，99%の信頼区間

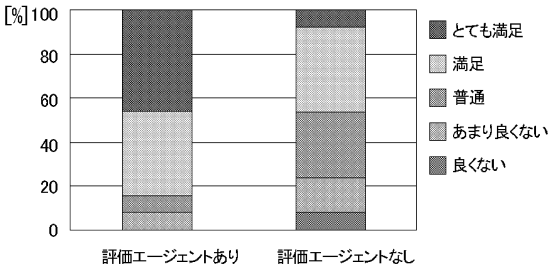


図 6 評価エージェントの有無による満足度分布の比較
Fig. 6 Comparison of degree of satisfaction by evaluation agent's existence.

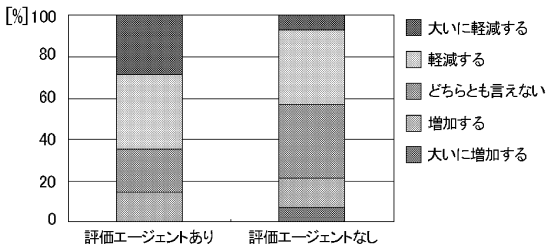


図 7 評価エージェントの有無による疲労軽減に対する分布の比較
Fig. 7 Comparison of degree of reduction of incidence by evaluation agent's existence.

表 5 評価エージェントの有無による満足度平均所要時間および平均世代数の比較
Table 5 Comparison of degree of satisfaction,average necessary time and generation number by evaluation agent's existence.

	満足度	平均時間 [分]	平均世代 [世代]
エージェントあり	4.23	22.7	7
エージェントなし	3.23	31.9	9

表 6 最終レイアウト案に対する平均有用度
Table 6 Degree of satisfaction to the obtained layout.

	平均有用度
評価エージェントあり	3.95
評価エージェントなし	3.11

において有意水準が棄却されている．今回の実験において被験者が評価したレイアウト総数は，表 5 の平均世代数から約 70 個となる．

最後に評価エージェントの有無による最終レイアウト案の有用度の比較を**表 6** に示す．評価エージェントなしの場合は通常有用度が算出されない．しかし，本実験においてはユーザが得た最終レイアウト案に対してだけ評価エージェントを用いることにより，評価エージェントなしの場合の有用度を算出した．

また，主観的，定性的な評価としては，

- 評価エージェントの行動を観察することにより，レイアウトを見ただけでは分からなかった配置の欠点が分かることが多々あった，
- （評価エージェントがない場合では）ドアの前や絶対行けない場所に家具が配置されることがあった，
- （評価エージェントがない場合では）机の向きがバラバラで統一感に欠ける，

などが被験者からあげられた．

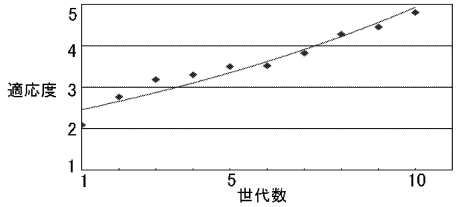


図 8 平均適応度の推移
Fig. 8 The transition of average fitness.

なお，疲労軽減の実験については，疲労が軽減するとはあまり思わないと答えた人の多くが実験対象にワンルームを選んでいる．その理由としては，狭いスペースの配置に関しては配置パターンがほぼ決められているため，システムを用いなくても簡単にレイアウト案を思いつくことができるという意見が多かった．

3.2.3 進化計算の有効性

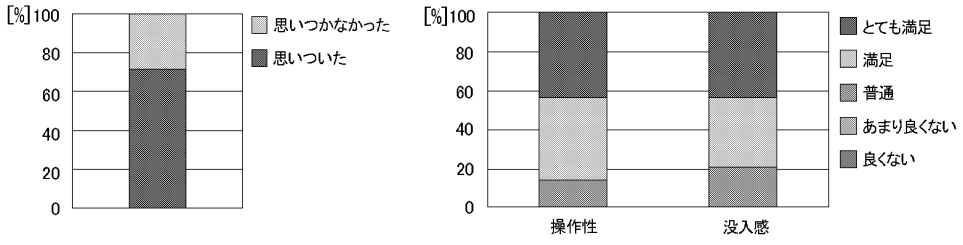
進化計算の有効性を調べるために，各世代の平均適応度を調べた．10 世代までの平均適応度の推移を**図 8** に示す．

3.2.4 支援システムとしての有効性

支援システムとしての有効性として，システム使用後，被験者に以下の質問について答えてもらった．

(1) システムを使用する中で，レイアウトに対する新しいアイディアを思いついたか．
(2) レイアウト案の仮想現実感から，実際の部屋を使っているような没入感はあったか．
(3) システムの操作性は満足のいくものか．

設問 (1) については「はい」か「いいえ」で答えてもらい，どのようなアイディアを思いついたのかを記述してもらった．この結果約 7 割の被験者が新しいアイディアを思いついたと回答し新しいアイディアの内容については机の配置方法が多数を占めた．設問 (2), (3) については 5 段階で評価をとった．これらの結果を**図 9** に示す．ほぼ 8 割以上で満足いくという結果が得られ，ユーザからは「ウォークスルーすることにより，実際にレイアウト内にいるような没入感を得ることができた」などの意見が得られた．



(a) アイディア着想に対する満足度分布　(b) 没入感，操作性に対する満足分布

図 9 支援システムとしての有効性の検証
Fig. 9 Verification of the effects on a support system.

4. 結　　論

本論文では，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を提案した．提案システムは，レイアウト案を仮想空間内に提示するインタフェースを備え，評価エージェントとユーザの評価に基づく対話型進化計算法を用いている．評価エージェントとはレイアウト案を使用する人間を模倣して行動するものであり，その行動によって部屋の使いやすさの推定値である有用度が計算される．レイアウト案に対するユーザの評価およびそのレイアウト案の有用度に基づき，進化計算の適応度が決定される．システムの進行とともに，ユーザの評価を反映し有用度の高いレイアウト案が提示されるようになる．

評価実験により，提案システムがユーザの要求する条件を満たしたレイアウトを提示できることや評価エージェントによる有効性が確認された．ユーザは，仮想空間を備えたインタフェースを通してインテリアレイアウトのイメージを明確に把握し，専門的な知識や経験なしにシステムと協調して作業を進められることが確認された．

今後はシステムの完成度をより高める．そのため，配置アルゴリズムの改良，およびユーザによる微調整機能の追加，さらに，各パラメータの最適化を行う予定である．

参 考 文 献

1) 福田知弘，長濱龍一郎，野村淳二：VRML を利用したネットワーク型インテリアプランニングシステム，電子情報通信学会技術研究報告，MVE96-67, pp.45–51 (1996).
2) 鹿倉智明，小林茂雄：私でも設計できます照明設計支援ツール，照明学会誌，Vol.83, No.1, pp.32–35 (1999).
3) 安信千津子，渡辺俊典，山中止志郎：計算機室機器レイアウトシステムの開発，人工知能学会誌，Vol.3, No.1, pp.32–39 (1988).
4) Chun, W.H. and Lai, E.M.: Intelligent critic system for architectural design, *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, Vol.9, No.4, pp.625–639 (1997).
5) Iwasaki, Y.: Qualitative reasoning and the science of design, *IEEE Expert*, Vol.12, No.3, pp.2–4 (1997).
6) 則竹茂年，古橋　武，加藤彰一，内川嘉樹：オフィスレイアウトの事例活用システムのための事例のインデックス化および事例検索知識の獲得，日本ファジィ学会誌，Vol.9, No.4, pp.485–495 (1997).
7) 市野順子，田野俊一：デザイン描画を支援するユーザインタフェース，電子情報通信学会論文誌 D-Ⅱ，Vol.J82-D-Ⅱ，No.10，pp.1693–1709 (1999).
8) 柿原　要，長田聡宏，大川剛直，薦田憲久：概念空間形成型設計によるキャラクタデザインシステム，情報処理学会論文誌，Vol.37, No.6, pp.1227–1234 (1996).
9) 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，Vol.8, No.5, pp.575–582 (1993).
10) 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，NC98-18, pp.63–70 (1998).
11) 高木英行，畝見達夫，寺野隆雄：対話型進化計算法の研究動向，人工知能学会誌，Vol.13, No.5, pp.692–703 (1998).
12) 青木　研，高木英行：対話型 GA による 3 次元 CG ライティングデザイン支援，電子情報通信学会論文誌 D-II，Vol.J81-D-II, No.7, pp.1601–1608 (1998).
13) 中西泰人：選好関数を用いた対話型進化システムの制御と評価，人工知能学会誌，Vol.13, No.5, pp.704–711 (1998).
14) 是永基樹，萩原将文：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.41, No.11, pp.3152–3160 (2000).

15) 宮田良子，岸本達也：対話型進化計算法を用いたインテリアのデザイン支援システムに関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-2 分冊，p.547 (2002).
16) Hart, P.E., Nilsson, N.J. and Raphael, B.: A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths in Graphs, *IEEE Trans. Systems Science and Cybernetics*, Vol.SSC-4, No.2, pp.100–107 (1968).
17) 山本棟子：インテリアデザイン入門，オーム社 (1981).

(平成 16 年 11 月 24 日受付)
(平成 17 年 9 月 2 日採録)



伴場　裕介

1979 年生．2004 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業．

小谷　淳司

1977 年生．2000 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業．2002 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了．同年キヤノン（株）入社．



萩原　将文（正会員）

1982 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業．1987 年同大学大学院博士課程修了．工学博士．同年同大学助手．以来，ニューラルネットワーク，ファジィシステム，進化計算，感性工学の研究に従事．現在，同大学教授．1991〜1992 年度スタンフォード大学訪問研究員．1986 年丹羽記念賞，1987 年電子情報通信学会学術奨励賞，1990 年 IEEE Consumer Electronics Society 論文賞，1994 年安藤博記念学術奨励賞，1996 年日本ファジィ学会著述賞，2003 年日本感性工学会技術賞，2004 年同学会論文賞，2005 年日本知能情報ファジィ学会貢献賞受賞．電子情報通信学会，日本知能情報ファジィ学会，人工知能学会，電気学会，日本神経回路学会，感性工学会，日本デザイン学会各会員．IEEE シニアメンバ．現在，IEEE CIS Japan Chapter，Vice Chair，日本知能情報ファジィ学会副会長．