

対話型進化計算法を用いた感性を反映する
デザイン支援システムに関する研究

2004 年度

是 永 基 樹

論文要旨

本論文は、感性が一般的に注目される時代に合わせ、感性を要する設計やデザインを支援するシステムの研究について述べたものである。

デザインや設計の要素である特定の物理量への感性の落とし込みには、感性とそれら物理量との関係を明らかにする必要がある。その解明に、従来のシステムでは、時間がかかる、あいまいで主観的な感性を具体的な設計やデザインに反映させることが困難であるなどの問題があった。一方、多種多様な要素が複雑に絡み合った知的作業の解決に有効な手法として対話型の進化計算法が注目されている。しかし対話型のシステムでは、一般的に利用者はシステムから提示される案について何度も評価を繰り返さなければならず、結果を得るまでに時間がかかることや利用者が疲労することが指摘されている。

本論文では、これからの新しいマルチメディア技術である感性情報処理、バーチャルリアリティ、対話型進化計算法を活用し、利用者の疲労を考慮しつつ、個人の嗜好を設計やデザインに具体的に反映させる実用的なシステムを構築する。

第1章では、本論文で用いた感性情報処理、バーチャルリアリティ、対話型進化計算法の研究と歴史的背景について述べた。

第2章では、本論文で構築する感性工学システムに共通する基本構成及び特徴を述べた。いずれのデザイン支援システムも、デザインや設計の要素の配置と配色に関する制約ルール、利用者がシステムと協調して効率的に設計やデザインを進めていくための対話型進化計算法を用い、また利用者が疲労を忘れて楽しんで作業できるようにバーチャルリアリティによってエンタテインメント性を付加したインタフェースを備える。

第3章と第4章では、設計やデザインを技術と芸術の交差領域と捉え、技術寄りの代表としてのインテリアレイアウト支援システム、芸術寄りの代表としてのフラワーデザイン支援システムについて述べた。利用者は、システムの提示する具体的な案についてエンタテインメント性のある仮想空間を用いたインタフェースを通して自由に視点を変えて鑑賞し立体的に案の特徴を把握して直感的に評価していくことで、専門的な知識や経験がなくともシステムと協調して無理なく知的作業を進めることができた。個人の好みや感性に基づいたデザイン要素の多い知的作業に対して、多種多様な利用者の感性を反映させた案が提示され、制約ルールの確率的選択やイメージスケールの利用、それに対話型進化計算法が効果的であることを確認した。

第5章では、以上の内容を総括し、本論文の成果をまとめた。

Summary of Dissertation

This study aims at developing systems to support designs, layouts, and other planning challenges that require Kansei.

First of all, the conversion of Kansei to specific quantities for designs needs the obvious relationship between Kansei and such values. This is too complicated to be solved by using conventional methods; artificial intelligence tools and neural network systems treating this issue take long time and hardly reflect personal Kansei in designs.

On the other hand, many researchers have focused on studying interactive evolutionary computation as one of effective approaches to solve the problems of mixing and matching a variety of elements in intellectual endeavors. However, it is often pointed out that the interactive system also take long time until the design drafts are shown and the users generally get tired after evaluating many drafts.

From the previous background, the proposed design support systems utilize cutting edge multimedia technologies that are virtual reality, Kansei information processing, and interactive evolutionary computation to reflect personal Kansei and to make users' actions comfortable.

Chapter 1 is the introduction of this study and describes the advanced technologies used in the systems and their research backgrounds.

Chapter 2 gives an outline of the concept and the basic structure of systems that are built concretely in this study. Each system has the restriction rules on locations and coloration, interactive evolutionary computation to enable users to create designs with the systems to process Kansei information, and the interface to make users enjoyable to cooperate with the systems.

In chapters 3 and 4, the details of two systems representing planning challenges that should contain art and engineering are shown. A series of experiments indicates that the systems are useful in helping users in intellectual endeavors and that the users can enjoy creative sophisticated designs reflecting individual Kansei demand without technical knowledge and experiences.

Chapter 5 is the conclusion of this dissertation, and summarizes the above-mentioned results.

目次

1 序論	1
1.1 はじめに.....	2
1.2 感性工学の研究の歴史.....	6
1.2.1 感性工学とは.....	6
1.2.2 感性工学の研究.....	10
1.3 対話型進化計算法の研究の歴史.....	13
1.3.1 対話型進化計算法とは.....	13
1.3.2 対話型進化計算法の研究.....	15
1.4 バーチャルリアリティの活用.....	17
1.5 本研究の目的と位置付け.....	19
1.6 本論文の構成.....	21
2 対話型進化計算法を用いた感性を反映するデザイン支援システム	22
2.1 多様な感性への対応.....	23
2.2 本論文のデザイン支援システムの基本構成.....	24
3 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	27
3.1 はじめに.....	28
3.2 インテリアレイアウトの基礎.....	30
3.2.1 インテリアの配置.....	30
3.2.2 インテリアの配色.....	31
3.2.3 散布度.....	31
3.2.4 環境管理学的知見.....	32
3.3 インテリアレイアウト支援システム.....	34
3.3.1 インタフェース.....	36
3.3.2 インテリアレイアウトのための知識.....	38
A. インテリアの配置に関する制約ルール.....	38
B. インテリアの配色に関する制約ルール.....	41

C. 散布度.....	43
D. 環境管理学的知見.....	44
3.3.3 対話型進化計算法の導入.....	44
A. インテリアの配置.....	46
B. インテリアの配色.....	54
3.4 コンピュータ実験.....	56
3.4.1 レイアウト結果.....	57
3.4.2 アンケート結果.....	65
3.5 結論.....	67
4 対話型進化計算法によるフラワーデザイン支援システム	68
4.1 はじめに.....	69
4.2 フラワーデザインの基礎.....	71
4.2.1 花の配置・生け花の形状.....	72
4.2.2 花の配色・生け花の色合い.....	74
4.2.3 イメージスケール.....	74
4.3 フラワーデザイン支援システム.....	78
4.3.1 インタフェース.....	80
4.3.2 フラワーデザインのための知識.....	81
A. 花の配置・生け花の形状に関する制約ルール.....	81
B. 花の配色・生け花の色合いに関する制約ルール.....	83
C. イメージスケール.....	84
4.3.3 対話型進化計算法の導入.....	87
A. 進化計算法.....	88
B. 配置ルールの選択確率とイメージスケール調整マップ.....	91
4.4 コンピュータ実験.....	92
4.4.1 デザイン結果.....	93
4.4.2 アンケート結果.....	96
4.5 結論.....	100
5 結論	101
謝辞	103

参考文献	105
付録 A イメージスケールを用いたインテリアの配色の初期化	115
付録 B インテリアレイアウト結果	118
付録 C フラワーデザイン結果	123

第 1 章

序論

本論文は、感性を要する設計やデザインをこれからの新しいマルチメディア技術を用いた非言語的な感性のコミュニケーションによって支援するシステムの研究について述べたものである。本章では、本論文に関連する研究とその歴史的背景について概観する。

まず 1.1 節では、感性や感性工学が注目されるに至った歴史的背景を振り返る。次に 1.2 節で、感性工学の基本的なシステムの概要と従来研究について述べる。その後、本論文で述べるシステムに利用する 2 つの技術について簡単にまとめる。1 つは人間の感性をコンピュータが理解して設計やデザインに反映させることを可能にした対話型進化計算法で、もう 1 つが人間とコンピュータの非言語的な感性のコミュニケーションを可能とし、対話型進化計算法の課題である人間の疲労を緩和する働きが期待できるバーチャルリアリティである。1.3 節で対話型進化計算法の概要と従来研究について述べ、1.4 節でバーチャルリアリティの概要と応用事例を紹介する。最後に 1.5 節で、本論文の構成を述べる。

1.1 はじめに

我が国の経済社会は、戦後のキャッチ・アップ過程において経済成長を最優先課題とし、科学技術を駆使して、今や世界第2位の経済大国となった。しかし、物質的な豊かさは十分に達成したものの、精神的な豊かさについてはまだまだである。より一層の精神的な豊かさ、感性豊かな社会を求める国民のニーズは高まってきている[1]。

そもそも我が国が発展の武器としてきた西洋の科学技術は、起源を遡れば精神的な豊かさを求めるためのものではないことが分かる。例えば、17世紀前半の哲学者であり数学者でもあるデカルトの心身二元論などは、科学技術の発達を進める引き金であっただけでなく、西洋社会のなかで物質世界と精神世界とを切り離す引き金でもあった[2][3]。物質世界では客観的・具体的な科学技術という方法論によって自然を扱い、精神世界においては主観的・抽象的な文化芸術によってさまざまな事象を扱うというように、社会が物質世界と精神世界に分けて扱われるようになっていった。さらに、かつて技術と芸術はともにアートと表現され、職人はその両方の才能を兼備し、技術者は芸術家であり、芸術家は技術者であったが、18世紀半ばの産業革命をきっかけに2つの才能は別々のものとして扱われるようになっていった。科学技術による量産ということが可能となり、技術者は量産を支えるものとして芸術から急速に離れていった。こうして科学技術は芸術と分裂して発達していった。

その後、科学技術と文化芸術を再統一する試みが行われ、その流れは今日のインダストリアルデザインへとつながっている。例えば、グロピウスは、機能的なものは美しいという思想のもとに、工業生産時代のデザイン、機能主義的な建築を目指した。1919年に彼が設立したバウハウスは、デザインと芸術を総合的に教育する総合造形学校として有名である[4]。17世紀に分かれた技術と芸術がデザインの追求を引き金に20世紀に約300年を経て再統合を迎えたのである。

一方我が国では、明治以来の西洋化によって、技術と芸術を分裂させ、和魂洋才が唱えられはしたが、西洋に追いつけ追い越せで、結果として精神的なものよりも物質世界の豊かさを追求してきたといえる。そして戦後復興期、朝鮮動乱によりもたらされた1950年代前半の特需景気により日本経済は活気づき、物質が溢れる大衆消費の時代を到来させた。一般家庭で電化が進み、次々と家電製品が登場した。

やがて、生活にゆとりが生まれ、安かろう悪かろうの時代から品質を求める時代、次には欲しい商品しか購入しない時代が到来する。この頃から、商品が機能や性能だけでなく

消費者の感性に答えていることが求められるようになった。バブル期に突入し、消費生活が成熟化すると、商品に要求される機能水準は、基本機能の上にさらに感性機能をも持ったものへと引き上げられた[5]。

その後バブルがはじけ、作れば売れた時代は遠く去り、価格は低くても質はバブル期から維持されたままであってほしいという消費者のニーズや感性に合った商品のみが求められるようになった。

さて、翻って我が国の西洋化の始まり以降における精神的な世界の進展について見てみる。日本建築、日本料理、染物などの日本の伝統や技術は、日本の精神世界の象徴の1つとして西洋化の中であって現代まで脈々と伝承されてきた。19世紀末の我が国の開国とともに、江戸時代の美術品や着物、生活習慣などが欧米に知られ、日本趣味が流行した。浮世絵は高く評価され、盛んに収集された。戦後も洋服に綿、麻、藍染が使われるなどの和ブームが起きた。

近年では、アニメや映画、ゲームなどの新しい文化が世界を席卷し始めている。こうした日本ブームは、「ジャパニーズ・クール」や「ジャパン・クール」と呼ばれている。マッグレイ[6]は、科学技術と文化芸術、利便性とデザイン性を巧みに調和させた商品・サービスを開発していく日本の独自性を、文化力として概念化し、注目すべきであると述べている。また彼は、日本が伝統的な文化に加えて、アニメ、ポップ・ミュージック、家電製品、建築、ファッション、食文化、アートと、さまざまな分野で現代世界における大衆文化の牽引役になっていると指摘している。また、80年代に経済大国であった日本は、90年代に文化面で新たな超大国になったと続けている。さらに彼は、クールな(かっこいい)この文化的パワーを計るために、国の経済力を計る国民総生産 GNP (Gross National Product) にならって国民文化力 GNC (Gross National Cool) という指標を作るならば、現代の経済社会において GNC は間違いなく過小評価されており、日本の国力は GNC を加味して評価すべきであるとも言う。GNC は、アメリカのクリントン政権で国防次官補を務め現在はハーバード大学ケネディースクール学長のナイが提唱するソフトパワー[7]の一種である。ソフトパワーは、文化的、思想的な魅力によって、大衆レベルで世界の人々の心や精神を捉え、ライフスタイルにも影響を与える力という意味で、ソフトパワーの強い国は他国にも影響を与えるなど経済的な価値以上のものがあると言われている [8]。このように、我が国の文化芸術は、世界に高く評価されるまでになっており、我が国の文化芸術が持つ精神世界の豊かさをうかがい知ることができる。しかし、このような海外に認められる力強い文化芸術を育み、着実にソフトパワーを蓄えてきた我が国において、精神的な豊かさが感じられないといわれるのは、自国のソフトパワーを十分に認識している人

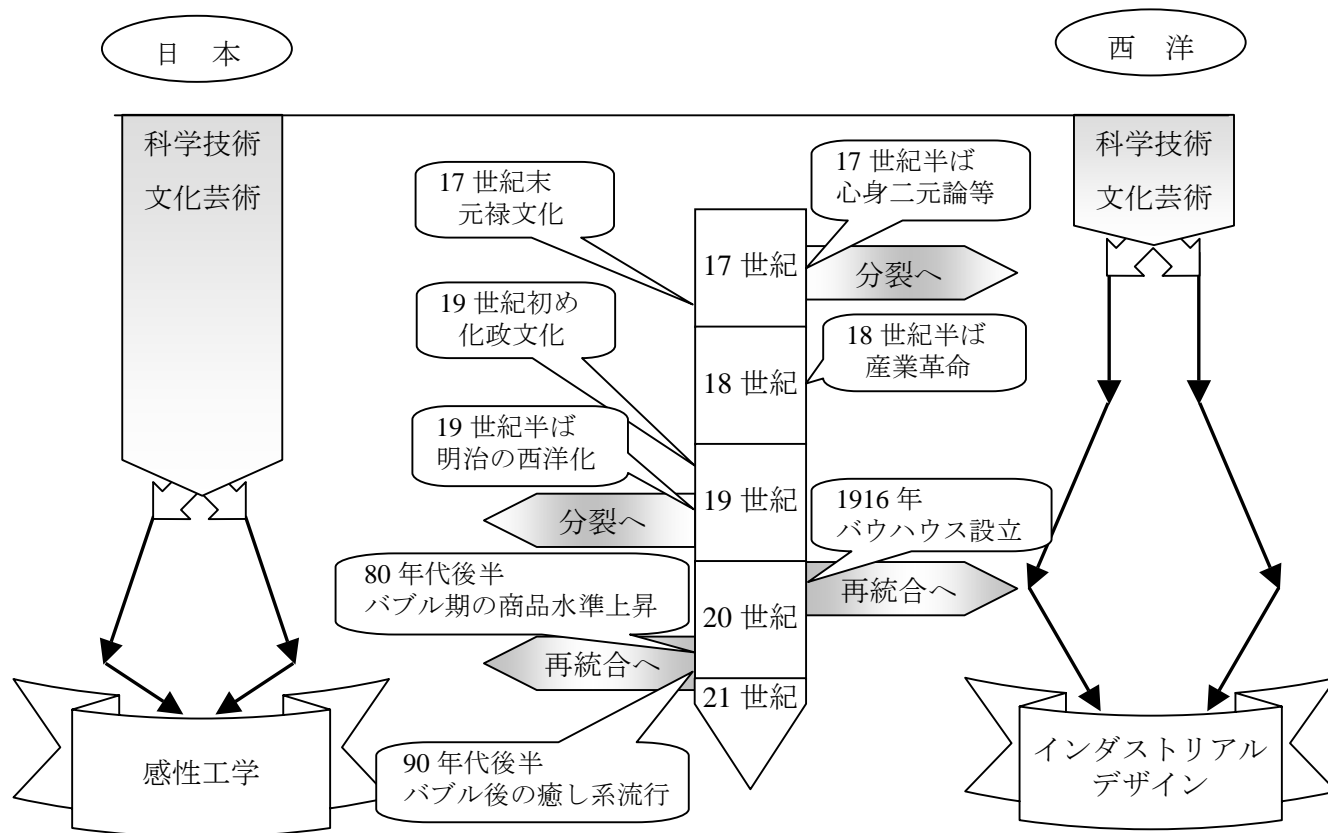


図 1.1 科学技術と文化芸術の分裂と再統合

が少ないためと考えられる。精神的な豊かさを追求するためには、ソフトパワーを重視し使いこなしていくことが必要と考えられる。

そして現在、バブル崩壊後の長引く不況で疲弊しきった社会で、商品に求められる感性機能が高度なものとなり、現代社会のストレスを解消し癒しを与える「エンヤ」の音楽や「あいだみつお」の文学、「たれパンダ」や「すしあざらし」といったキャラクター、それに自律型ロボット犬「AIBO」やアザラシロボット「パロ」などの癒し系製品のニーズが高まってきている。精神的な豊かさを追求するソフトパワーがこれまでになく重視されるようになってきている。またそれを使いこなす必要性が高まっている。言い換えれば、美しさや心地よさを感じさせる情報、つまり癒しの感性を刺激する情報（感性情報）が、これまでになく注目されるようになってきているということである。

企業の戦略は、機能や性能を第一に考える「まず商品ありき」のプロダクト・アウトから「まず顧客ありき」のマーケット・インやカスタマー・インへと大きく転換していった。学術面でも、1995年以降に信州大学繊維学部等に感性関連の学部や講座が設置され、1998年には日本感性工学会が設立されるなど、感性の研究と感性を刺激する製品の製造開発が

注目されるようになっていった。

昨今の、技術で差をつけにくく、また世界的なデフレ傾向の強い時代にあっては、機能競争や値引き合戦には限界があり、消費者のニーズや感性を的確にとらえ、それを商品に具体化できるかどうか極めて重要となっている。特に節約するところは節約し、気に入ったものであれば多少高額でも購入するという「選択的消費」や「こだわり消費」が現代の消費を象徴する中で、それは急務になっているといえる。このようにして、個性化と多様化が進み、一品種大量生産から多品種少量生産の時代、消費者の感性に即した商品しか生き残れない時代、精神世界の豊かさを追求する新たな時代へと変わってきた[9]。これによって、西洋化の始まりによって分裂していた技術と文化が、およそ100年ぶりに一体として扱われるようになったといえる。

こうした流れの中で、より豊かな感性情報を効率よく生み出すために、前述の「感性工学 (Kansei Engineering)」が我が国でますます発展した。近現代の本質的特徴の1つが、すべてを物質世界と精神世界に分離して、さらにそれを分化させていくデカルト的なやり方にあるとするならば、近現代を超えた新たな手法ということができる感性工学は、広島大学の長町（現在は国立呉工業高等専門学校校長）が1970年に始めた「情緒工学」などが発展してきたものである。1980年代、この手法は自動車、特に乗用車の分野に導入され、そのコンセプトからスタイリングまでの製品開発のプロセスを一変するに至った。現在、その応用分野は家電製品、その他へ広がり、また導入する企業もアメリカ、イタリア、オーストラリア、韓国、中国へと拡大しつつある[10]。また、日本語の「感性」という言葉は、そのまま国際語として使われている。これは、感性の対訳語として、*sensibility*、*feeling*、*comfort* といった単語が浮かぶものの、どれもぴったりにないため、1986年に行われたマツダの山本の世界自動車技術会議での講演やミシガン大学での講義において *Kansei* という日本語がそのまま使われたことにはじまっている[11]。日本語の「感性」は、諸外国の言葉にはない繊細さを有しており、秋の虫の音や夏の蝉時雨が欧米人には雑音にしか聞こえないという話は有名である。感性は日本人だけのものではないとしても、日本人の感性は繊細ということができ、近年、それが世界随所で求められているといえる[12]-[14]。

我が国が、経済大国としてだけではなくソフトパワー大国として復活するポテンシャルは十分にあるといえる。我が国が今後、伝統的な文化に限らず大衆文化を含めた芸術文化をどのように国際展開していくか、ソフトパワーをどう使いこなしていくかが、我が国の世界におけるプレゼンスに大きく関わってくると考えられる。

1.2 感性工学の研究の歴史

1.1 節で述べたように、科学技術と文化芸術を一体として扱う感性工学には、感性を刺激する情報（感性情報）を効率よく生み出す感性情報処理が期待されている。

ここでは、感性工学の基本的なシステムについて述べるとともに、感性工学がこれまで発展してきた約 30 年間の基礎研究及び応用研究の経緯について述べる。

1.2.1 感性工学とは

感性工学の定義はさまざまであるが、日本感性工学会の設立趣意書の中では、感性工学とは「人が示す『感覚から心理』までの反応（感性）に対して、工学の面から幅広くアプローチし、人間と人工環境の調和をめざして人間の感性を学際的に研修するとともに、その応用として、人にやさしい素材、分かりやすく使い易い製品、安心出来る生活空間の開発を支援するもの」であるとされている。また、感性工学の第一人者である長町[15][16]によると、感性工学とは「人間が持つ感性やイメージを具体的にモノとして実現するための設計レベルに翻訳する技術」であると定義されている。曖昧な“〇〇のようなもの”というのが感性であり、それに近いモノを実現するために、色は何色か、形状はどのような形か、機能は何が必要かなど、分析し、解釈して、最終的に製品を設計することが感性工学の役割である。また感性工学は、あくまでも感性やイメージとモノの間の翻訳技術であり、これまで商品開発に取り組んできた研究開発者やデザイナーの肩代わりを目指す技術というよりも、創造性を発揮する人間の思考・試行を加速し、商品化を効率よく的確に進めるための支援を目指す技術といえることができる。

加藤[17]によれば、デザイナーのデザイン過程は全行程の 70～80%が資料収集と分類整理であるという。またデザイナーは、デザインに関してどれだけの可能性があるかを検討するために、検討用資料としてバリエーション作りをせざるをえないことも多いため、デザイン案の作成に多くの時間を取られ、実際にデザイン案を創出するのに費やす時間は少なくなっているという。たくさんのデータの中から役立つものを集める絞込みを、デザイナーの判断基準を備えたコンピュータに代行させて処理することや、デザイン検討用資料の作成を、実物ではなくコンピュータ上で仮想的に行うことで時間を短くすることなどは、デザイナーの思考・試行を加速するためのデザイン支援システムとして感性工学の対象になる。

長町の感性工学の定義を図式化すると、図 1.2 のようになる。そして、この感性工学のシステムは、

- ①対象となる製品やデザインに関する感性語のデータベース
- ②設計やデザインに対応する形状や色のデータベース
- ③感性語を具体的な設計やデザインへ当てはめるためのルールベース
- ④指定された設計仕様をグラフィックスに描写するインタフェース

から構成されると考えられる[18][19]。なお、本論文でいうデザインとは、感性を要する設計の一部をなすデザインのことである。また設計とは、かつての技術的機能を目的としていた設計のことではなく、感性も目的に加えるようになった設計のことである。したがって設計とデザインには分野の重なる領域があり、感性工学はこの学際的な領域を対象と

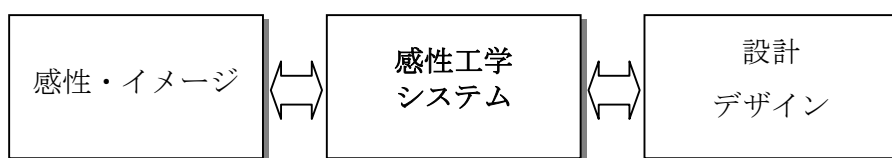


図 1.2 感性工学システム

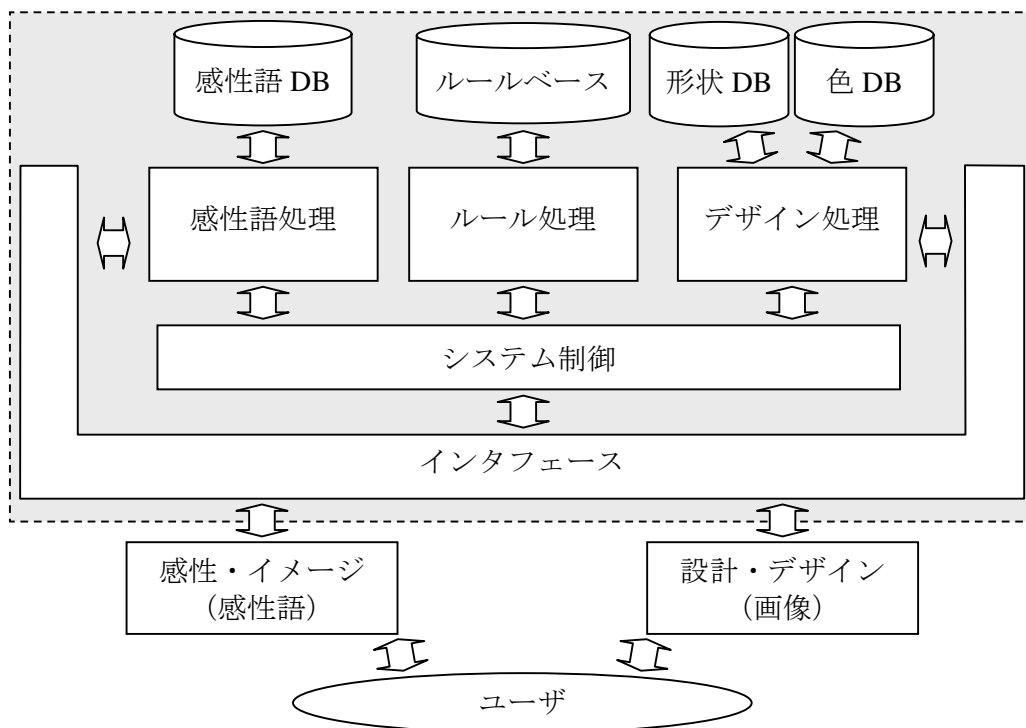


図 1.3 感性工学システムの構成（参考文献[19]より引用・改変）

している。本論文では、感性工学が対象とする領域について、純粋な技術や設計に近い部分と純粋な芸術やデザインに近い部分に分けられると考え、2つの言葉を併用する。図 1.3 に構成の例を示す。感性工学システムは、これらの構成要素を用いて、感性やイメージを設計やデザインに翻訳し、またはその逆に設計やデザインを感性やイメージに翻訳する。

名城ら[5]によれば、部品数が多く複雑な乗用車の開発管理を支援するのに導入された感性工学システムは、他の商品を開発する際にも利用できるだけの一般性があるという。ここで、乗用車の開発管理に導入された感性工学システムを一般的な感性システムとして簡単に触れておく。

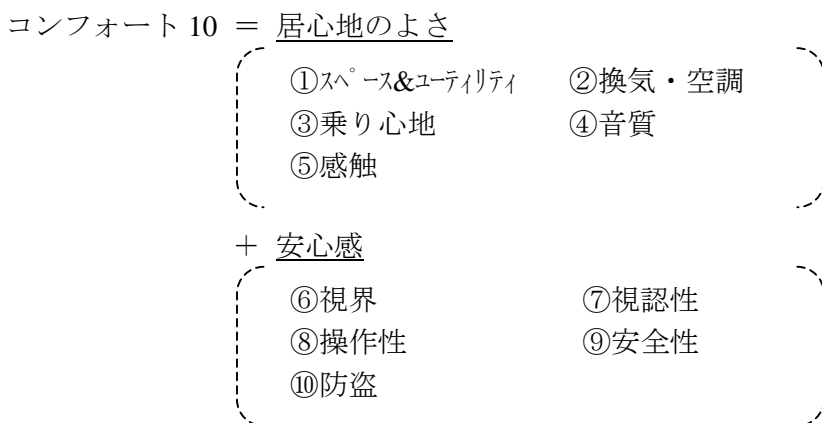
自動車のデザインと関わりのある感性の要素と感性のレベルをまとめると図 1.4 のようになる。自動車の商品コンセプトは、このような多種多様な要素を考慮して、具体的な形状や色へと反映されていく[20]。感性に訴える車として開発されたトヨタのセルシオ、日産のプリメーラ、マツダのロードスターは、いずれも、まずターゲットとする購入者を決め、次に感性を構造化し、ターゲットの感性に訴える商品コンセプト（感性コンセプト）を決めて商品開発が行われた。セルシオは高級、プリメーラはヨーロッパな快適さ、ロ

感性要素	低次 (生理的)	感性のレベル	高次 (情緒・心理的)
視覚	視界 表示系視認性		インテリアデザイン エクステリアデザイン
聴覚	走行音 異音		エンジン音 ドア開閉音 警報音 操作音
知覚	振動乗り心地		加速特性 シート座り心地 運動性能
触覚			機器操作感触 内装表皮材風合い
温冷覚			接触部温熱特性 車室気候特性
臭覚	異臭		空気清浄度 香り
複合感覚	乗降性		機器操作容易性 取り回し容易性 車室居住性 操作特性

図 1.4 自動車における感性の項目（参考文献[20]より引用・改変）

ロードスターは人馬一体をターゲットの感性コンセプト(0次感性コンセプト)にしていた。

日産は、プリメーラの開発において、快適さを実現するための課題を整理し、「コンフォート10」として重点開発課題を設定して、ヨーロッパな快適さ(0次感性コンセプト)の快適性の課題を10要素の技術的課題(1次感性コンセプト)に落とし込み、狙うヨーロッパ市場の特性や動向を判断して性能、数値、寸法に具体化した。アウトバーンで安定して、速く(200km/時)、快適に長時間走行できるようになくてはならないところなどから、最高速度220km/時、エンジン出力150馬力、空気抵抗係数0.29などの定量化が行われた。



マツダは、ロードスターの開発において、図1.5のように、人馬一体を、①タイト感、

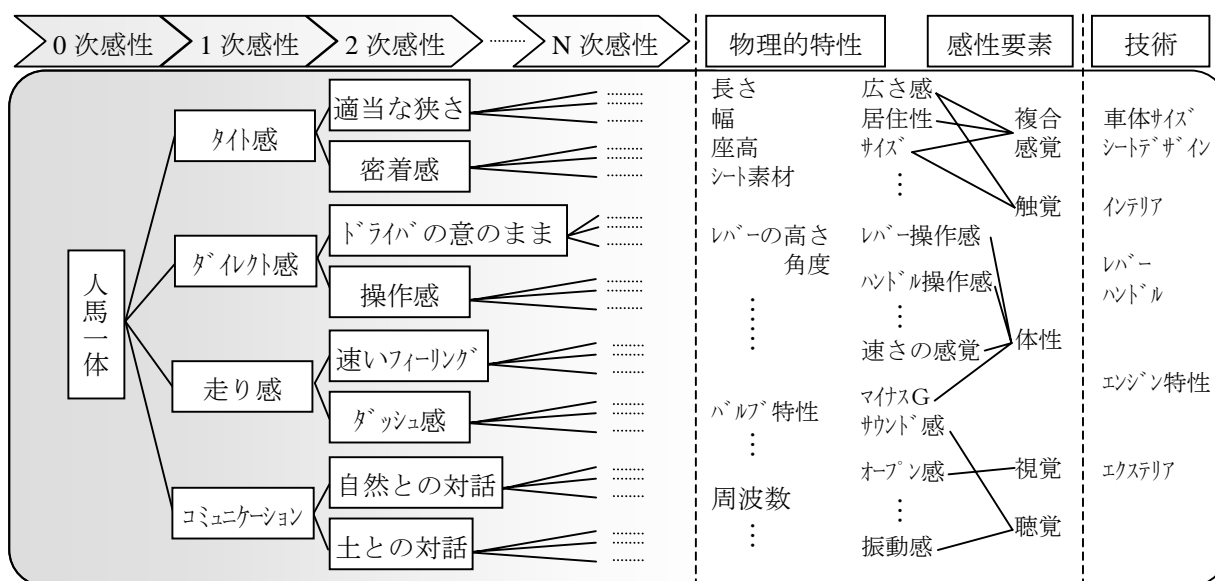


図1.5 マツダのロードスターの開発における感性コンセプトのブレイクダウン
(参考文献[19]より引用・改変)

②ダイレクト感、③走り感、④コミュニケーションの4つのコンセプトに分解して1次感性コンセプトにブレイクダウンし、さらに2次、3次と感性を突き詰めていくことで物理的特性特定の物理量を求めた。例えば、ドライバと車との密着感を表すタイト感は、ブレイクダウンすると適当な狭さという2次感性コンセプトにまとまり、車の長さは3.97m、2人乗りというように物理量を求めた。また、ダイレクト感は、その2次感性コンセプトのひとつとなるドライバの意のままという表現から、シフトレバーの長さ9.5cm、ストローク4.5cmという物理量を実験的に求めた。

以上のように、日産やマツダが用いた感性を物理量にブレイクダウンする方法は一般的に使うことができると考えられ、他の分野へも応用が期待できる。また、最終的に求める具体的な数値は感性とデザイン等との関係データベースがあれば、コンピュータによって得ることができ、さまざまな分野での感性の技術への落とし込みが期待できる。

1.2.2 感性工学の研究

感性工学の研究は、前述のように長町が1970年に始めた情緒工学がそのはじまりである[10][15]。その後、1986年に山本が感性工学を *Kansei Engineering* として海外に紹介し[11]、それ以降、感性工学の研究は次第に盛んになってきた。

バブル崩壊後の1990年代には感性工学は急速に注目されるようになり、1991年に通商産業省工業技術院大型プロジェクトとして「人間感覚計測応用技術」が開始され、翌1992年には文部省科学研究費重点領域研究として「感性情報処理の情報学・心理的研究」が開始された。1993年には政府として「ソフト系科学技術に関する研究開発基本計画」が閣議決定されるに至った[16]。しかし、感性関連の国家プロジェクトによって飛躍的に感性工学が発展したわけではない。

消費者の視点、消費者の感性に根ざした感性工学の研究は、学際的な分野で行われてきたが、日本発であるためにグローバルにはまだ緒が付いたばかりで、日本国内において地道にさまざまな分野で研究が行われてきた。感性工学の基礎研究としては、日本人の体型に関するデータの収集や満足感の計測などの人間工学的な研究[21][22]や、官能検査（官能評価）や感性評価についての研究[23]-[28]がある。また、感性の表現は言語によって認識されるという考え方[29]から、さまざまな対象に対する「住み心地がいい」「明るいイメージの」「都会的な」というような感性語での評価手法の研究[30]-[32]がある。一方で、人の感じ方はさまざまで、明るい光、低い音というような単純なものもあれば、かわいい人といった複雑な感じ方もある。前者の場合は感じ方に対応する物理的特性がはっきりして

おり、光のエネルギーが強ければ明るいと感じ、音の波の周波数が低ければ低音と感じる。後者の場合は、物理的な側面で量ることが難しく、どうしてかわいいと感じるのかを言葉で表現することさえ難しい。かわいい人という印象は、容貌、服装、言動、体形などの多数の要素が複雑に相互に関係して作り出されている。また、絵にも描けない美しさとか、言葉にならない驚きという言い方もあるように、感性は完全には言葉で表現しきれものでもないといえる[32]。このことから、例えば小林[33]-[35]は、できる限り少ない言葉または配色で感性の全貌を捉えようと、イメージをデータベース化した図 1.6 のようなイメージスケールの研究を行っている。またコンピュータのインタフェースとして、コマンドかメニューによる言語的なやり取りではなく、人間同士のように自然な非言語的な情報のやり取りができるような対話形式のインタフェース（感性インタフェース）が研究されている[36]-[38]。

応用研究としては、感性工学システムのルール処理にファジィ推論を用いたり、ルールベースの学習やシステム制御にニューラルネットワークや進化計算法などを用いたりして、設計やデザインを支援するシステムやそれらの検索を支援するシステム[39]-[61]、感

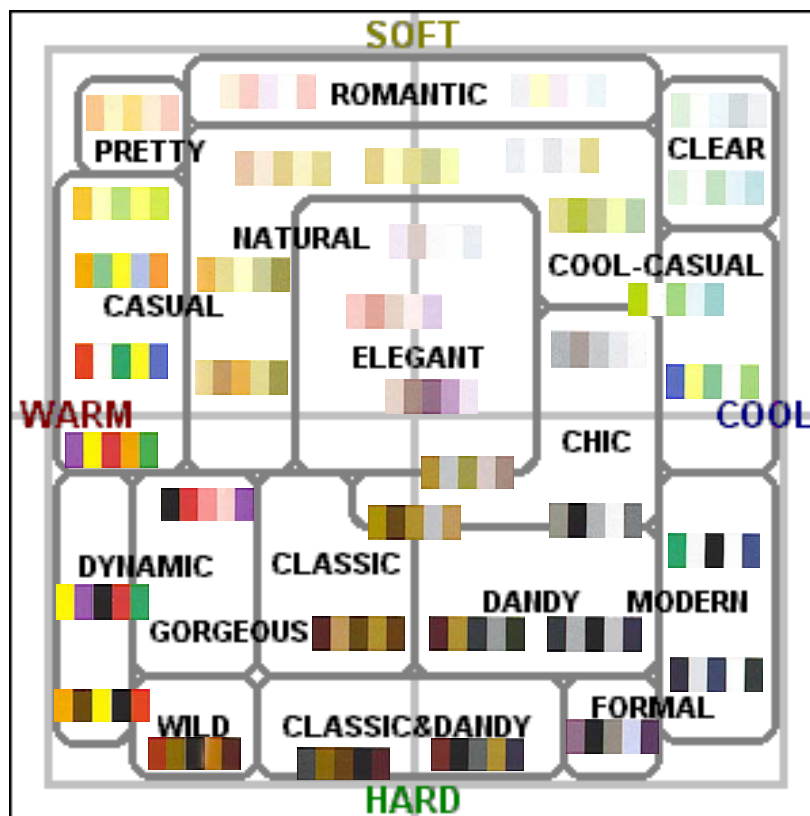


図 1.6 イメージスケールの例（参考文献[33]より引用・改変）

性を品質管理や作業評価に用いるシステム[62]-[65]などの研究が行われている。作曲を支援するシステムに至っては、研究段階のシステム[38][66][67]だけでなく、商品化されているものもある。1999年にヤマハが発売した「めっちゃらく作曲名人」は、ユーザがあらかじめ入力した感性語に対応した楽曲が自動生成されるシステムとして注目されている。

こうした研究以外にも、必要に応じてさまざまな方法で感性工学システムが開発されてきている[68]。永田[69]は、感性工学が人間生活全般を網羅するようなものになったとして、感性工学に関わる学会を多数示すとともに、日本人間工学会、日本感性工学会、及びヒューマンインタフェース学会での概況が表 1.1 に示すように感性工学関連でオーバーラップすることを示している。

表 1.1 感性工学関連学会のキーワード

学会	キーワード/セッション名
日本人間工学会	視覚 タッチパネル 交通 疲労 生体計測筋活動・筋作業 温熱バリアフリー 高齢者安全 騒音バーチャルリアリティ VDT 作業効率 医療・看護 認知・人間特性 組織 プラントと安全 ユーザインタフェース ユーザビリティ 感覚計測 生活空間と人間特性 動作・姿勢認知・制御
日本感性工学会	感性デザイン・工業デザイン・感性情報 ヒューマニクス 感性工学とビジネスモデル 感性工学と新製品開発 魅力工学 感性検索 感性計測・感性評価・感性デザイン工学 ディスクロージャ・感性事業・消費・住民参加型手法 感性ロボティクス 感性インタラクション 感性教育・カウンセリング マルチメディア情報処理 感覚工学・設計・官能評価・アパレル・ファッション・情報 風土工学 福祉医療工学 感性工房 感性素材 ファジィ・あいまいと感性 感性商品 感性マーケティング
ヒューマンインタフェース学会	インタフェースデザイン ユーザビリティ 視覚障害支援 バリアフリー 身体的コミュニケーション 出力デバイス マルチメディア 設計支援 手話・アニメーション 聴覚障害支援 コミュニケーション支援 感性・感覚 入力デバイス 対話発表 安全 人工現実間 ユーザ行動・モデル 実世界指向 交通インタフェース ノンバーバル 生理 認知 表情

1.3 対話型進化計算法の研究の歴史

異質かつさまざまな要素が複雑に絡み合った感性を反映させた設計やデザインのような課題の解決に有効な方法として対話型進化計算法が知られている[70]。対話型進化計算法の研究は、これまで感性工学の分野に限らず、さまざまな分野でなされてきた[71]。ここでは、対話型進化計算法の特徴とこれまでの研究の経緯について述べる。

1.3.1 対話型進化計算法とは

進化計算法とは、生物の進化をモデル化したアルゴリズムである。生物は種の存続のために自然環境に適応しようとし、環境にうまく適応できなければ種は滅び、環境に適応できると生物の存続と増殖が可能となる。そして、増殖によって、親から子孫へ、環境への適応度の高い優れた情報又は最適な情報が遺伝的に継承される。このように複雑な要素が関連した環境下で最適な情報のみが生き残るという仕組みを取り入れたアルゴリズムを進化計算法という。進化計算法の流れを図 1.7 に示す。進化計算法は、数多くの要因があってモデル化や最適化が困難な複雑な課題に適している。

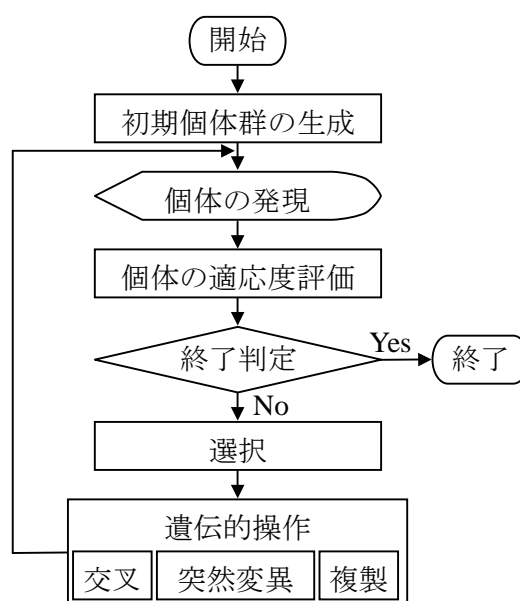


図 1.7 進化計算法

一方、一人一人の多様な感性を満足させるためには、個人の主観の違いに対応して挙動が変化する必要がある。市野ら[72]は、設計やデザインの支援を目的としたシステムには、設計やデザインに関する構成要素の特徴や知見を利用した手法と、ユーザの感性を取り込むインタフェースが必要であると提唱している。また、清水ら[73]や吉川ら[74]は、それぞれ感性工学の分野やヒューマン・インタフェースの評価で個人ごとの評価の重要性を指摘している。

進化計算法と個人ごとの評価を利用する方法として、対話型進化計算法が知られている。進化計算法には、遺伝的アルゴリズム (GA)、遺伝的プログラミング (GP)、進化戦略 (ES) などがあり、対話型進化計算法にも、対話型 GA や対話型 GP がある[75]。対話型進化計算法は、図 1.8 のように、図 1.7 の進化計算法における適応度評価を人間に置き換えて、人間の主観的評価に基づいてシステムを最適化させる方法である。アートに応用した場合を具体例にすると、利用者は、システムが進化計算法に基づいて作成した複数のイメージ群（ある世代の個体群）の中から、最も興味を引くイメージを選択したり、それぞれのイメージに主観的に評価を与えたりする。システムは、選択されたイメージや評価の高いイメージの因子となっている遺伝子を互いに交叉させたり、突然変異を起こさせたりして、新しい複数のイメージ（次世代の個体群）を作成する。

対話型進化計算法では、人間とコンピュータとの相互作用によって最適化が行われ、人間は心理空間上の目標（好み）とコンピュータからの出力との距離に応じて評価し、コンピュータは（進化計算法）はその心理空間上の距離尺度を評価値としてパラメータ空間を

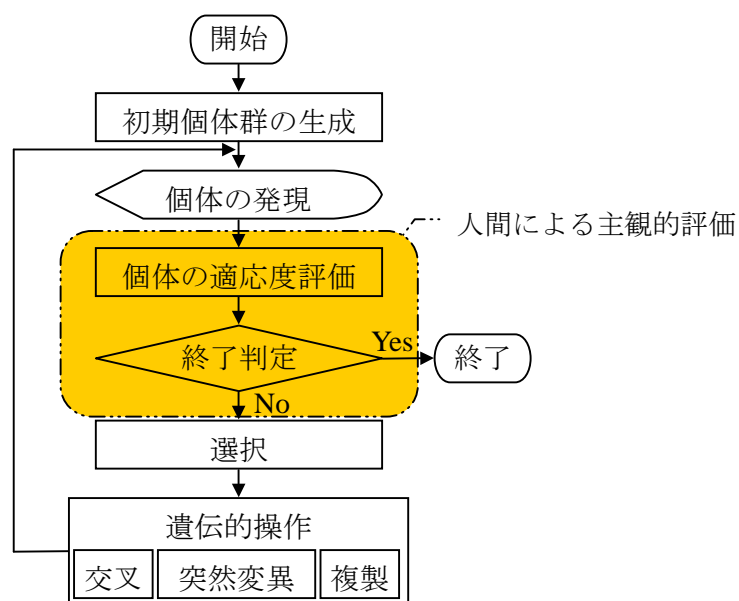


図 1.8 対話型進化計算法

探索する。ここで、人間の好みや距離尺度は時間とともに揺らぐものであるが、進化計算法の高いロバストと複雑な問題への適性によって、心理空間上の好みの近くに写像されるパラメータを求めることが可能となっている[71]。

また対話型進化計算法は、コンピュータの作成した感性的な設計やデザインについての利用者の目から見た主観的評価を適応度として進化的に最適解を探索することと、視覚的な評価をもとに操作できることから、利用者の好みや感性を反映させた設計やデザインといった知的作業に対して有効であると考えられている[76][77]。対話型進化計算法は、個人の感性に評価が委ねられるようなデザインや音楽などへの応用が期待されている。

1.3.2 対話型進化計算法の研究

対話型進化計算法の研究は、「利己的遺伝子」[78]の著者としても有名な進化生態学者ドーキンスが 1986 年頃に作成したブラインド・ウォッチメーカーというソフトウェア[79]がそのはじまりである。対話型進化計算法の研究は、そのアルゴリズムについての基礎研究としては、生物の進化の過程を詳細にモデルに組み込む研究[80][81]や応用研究の課題に応じてさまざまな計算法が研究されてきた[82]-[84]。応用研究としては、ひとつは芸術分野で行われ、他方で工学分野において行われてきた。

芸術分野で対話型進化計算法が研究されてきたのは、ドーキンスのブラインド・ウォッチメーカーが、ダーウィン進化論で唱えられた突然変異と淘汰を繰り返すことで、単純な形態から多様で複雑な形態を容易に作り出せることを示すために作成されたところに由来する。ブラインド・ウォッチメーカーは、Lシステムと呼ばれる植物の発達モデルの枠組みを利用し、そのパラメータを遺伝情報として品種改良を繰り返すシステムである。具体的には、ランダムに作った遺伝子を 15 個体分用意し、コンピュータの画面にそれぞれの遺伝情報に従って表現される線画を同時に表示したのち、利用者がその中から気に入った個体を選び、マウスを移動してクリックすると、画面が選ばれた個体の突然変異体に置き換わるという操作（1 世代分の品種改良）を繰り返していく。何回か繰り返していくうちに自己成長して画面に表示されるようになる複雑なさまざまなコンピュータ・グラフィックス（Computer Graphics: CG）は、昆虫のような生き物を連想させ、ドーキンスはこれらをバイオモルフと呼んだ。その後、ブラインド・ウォッチメーカーは、CG 作家のシムズ[85][86]やレイサム[87]などによって複雑な CG を容易に作り出す手法として応用された。また、3 次元の CG として工業製品や洋服のデザインなどを対象に、対話型進化計算法による支援システムの研究もされるようになってきた[44][71][88][89]。

このように、対話型進化計算法は、複雑な CG を制作する研究に由来するため芸術分野での応用に使われていたが、その後、工学分野でも活用されるようになってきている。例えば、人間の知覚矯正に応用する研究が行われている。これまで人間の知覚情報の補正は、その評価尺度の特性を専門家が判断して調整するということで行われてきたが、人間の感覚は主観的なものであり個人差があるはずで、個人ごとの評価が必要である。デジタル補聴器のパラメータ調整を、医師や技師による聴覚のオーディオグラムなどの特性の健聴者との比較によって行うのではなく、補聴器の利用者が自分の聞こえに基づいて補聴器の調整を行うシステムの研究[90]や、音声合成や声質変換を、声の印象を支配する声の高さ、大きさ、長さ、速度などの韻律情報の制御によって行うシステムの研究[91]などにおいて対話型進化計算法が応用されている。

1.4 バーチャルリアリティの活用

情報技術が発達し、情報機器の性能の向上と処理能力の増大によって、3次元のCGを使った表現が容易になった。現実世界の情報をデジタル化するなどして作り出されたコンピュータ内の仮想的な環境における経験が、あたかも本当の現実の環境で得た経験であるかのような感覚を持つことができるようになった。このようにコンピュータ等によって、人工的に作られた仮想的な環境を体験できる技術がバーチャルリアリティである。バーチャルリアリティは、人工知能の父と称され「心の社会」[92]の著者としても有名な米国のマサチューセッツ工科大学（MIT）のミンスキーなどによって技術的には20世紀半ば頃から研究されていたが、その概念は1968年にCGの父と言われるサザーランドにより「究極のディスプレイ」という論文で提案された。バーチャルリアリティは、MIT等の研究機関において人間がコンピュータに文字や言葉ではなく指や接触によって意志を伝えること（非言語的コミュニケーション）のできる技術として研究されてきた[93]。

1980年代末頃から、CAD/CAM（Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing）やCAE（Computer Aided Engineering）といった情報技術やアプリケーションによってデジタル化されていた製品の設計やデザインに、バーチャルリアリティが使われるようになり、仮想空間内で模擬実験しながらの設計やデザインが広く利用されるようになった[94]。仮想空間の中を人間の視点で歩く（ウォークスルー）（あるいは飛ぶ）などすることで、直感的にイメージを確認し理解することができるようになった。また、インタラクティブに創作活動を支援するシステムも見受けられるようになってきた[95]。松下電工においては、顧客の好みを商品に反映させようと、システムキッチンをはじめ、玄関や洋間、それに風呂など家の設計にバーチャルリアリティを用いて、キッチンなどを顧客に仮想空間内で疑似体験してもらおうシステムを実用化している[19]。キッチンについて疑似体験してもらった場合、顧客は仮想空間をウォークスルーして部屋の雰囲気を確認したり、ガスをつけたり水道のコックをひねったり、いろいろな疑似体験をすることができ、気に入った設計図が工場に送られて製造される。松下電工では、この感性工学システムが実用化されて、以前と比較すると、キッチンの成約が格段に増えたという[19]。大成建設でも仮想体感システムを戸建住宅販売の約80例に活用している。仮想現実を利用した感性工学システムは、利用者の感性に適合した製品を個別に効果的に開発することができると考えられる。

最近では、バーチャルリアリティは、映画や家庭用ゲームなどのエンタテインメント分野にも応用され、身近な技術となってきている[96][97]。2005年の日本国際博覧会（愛知万

博)は、自然の叡智をテーマとするとともに、バーチャルリアリティなどの次世代情報技術の徹底した実用化と新たな実験もコンセプトとしており、来場者はバーチャルリアリティを応用したウェアラブル・コンピュータを用いた屋外型の展示などバーチャルリアリティの最新応用事例を体験できる予定である。バーチャルリアリティのエンタテインメント性を工学に応用した研究としては、健康・福祉機器にバーチャルリアリティを使ってエンタテインメント性を持たせ、利用者のモチベーションを維持するというものがある[98][99]。また、この他にも、バーチャルリアリティの応用分野には、体験学習や技術習得のための教育分野[100]-[102]、医療現場での診断やリハビリを補助する医療分野[103][104]、危険地域などで遠隔操作によって作業をするテレロボット分野[105]、都市開発や交通整備などにおける環境評価分野[106][107]、芸能、建築、文化財情報などをデジタル化して保存しデータベース化するデジタルアーカイブ分野[108][109]等がある。

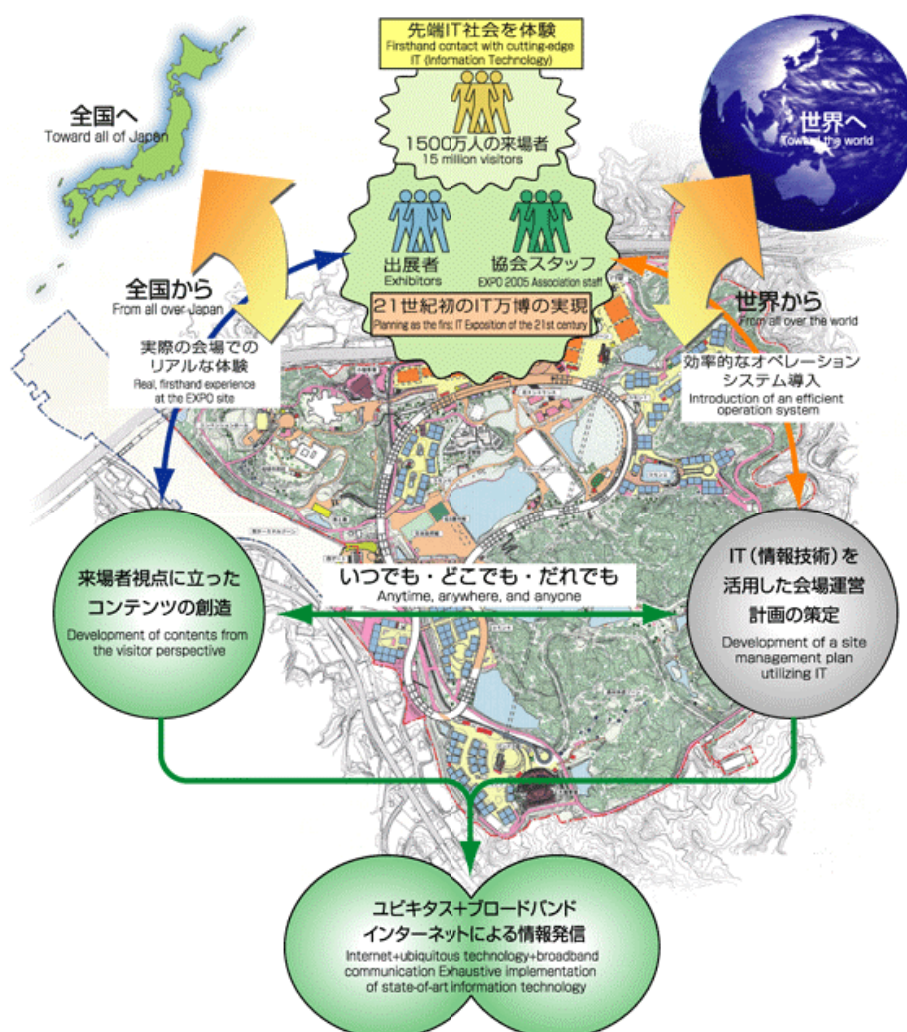


図 1.9 愛知万博の IT コンセプトと概要 (経済産業省資料より引用)

1.5 本研究の目的と位置付け

本研究は、言葉にすることの難しい感性やイメージを設計やデザインに反映させ、感性が要求される設計やデザインといった知的作業を支援する研究である。つまり感性やイメージを設計やデザインに翻訳する感性工学システムの研究である。

感性からモノへの流れではなく、モノから感性への流れを考えると、感性はモノの特性が原因となって結果として生じるものである。この因果関係から、感性やイメージを設計やデザインに翻訳する感性工学システムは逆推論を行うということになり厳密に言えば原理的には不可能ということが出来る[29]。優秀な営業担当者が顧客の望む商品を選び出す、デザイナーが顧客の好むデザインをするといった際も、彼らは逆推論をしているわけではなく、知識や経験からいくつもの順推論をして商品の仕様の選択や概形のスケッチをし、徐々に解に近づこうとしている。こうしたことから 1.2.1 節で紹介した乗用車の開発管理に導入された感性工学システムや 1.2.2 節で触れたようなこれまでの感性工学のシステムの多くは、感性のモノへの落とし込みを支援するためにモノの推定を行うのみ、つまりモノのコンセプトや仕様を提示するのみで、モノの細部や具体的な姿を示すものではなかった。または具体的な姿を示す感性工学システムでも形状のみや配色のみを扱うシステムがほとんどで、形状も配色も扱うものは、利用者の感性のモデル化や数多くの制約ルールが必要で時間がかかり、多くの利用者を対象とする汎用的なシステムではなかった。しかしながら、設計やデザインの支援には、形状も配色も扱うことが求められ、形や色の美しさを重視して完成後の姿をできるだけ具体的なデザイン案として画像で視覚的に示すことが必要とされる。また、感性やイメージを具現化させるためには利用者の発想の展開速度が重要といわれており[110]、システムのスピーディな処理が求められる。さらに、個人の嗜好は従来から工学的扱いが難しいとされているが[29]、個性化と多様化の時代にあっては差異性と多様性も重要である。

本研究では、こうした背景を踏まえ、感性が要求される設計やデザインといった知的作業を支援するために、これからの新しいマルチメディア技術であるバーチャルリアリティ、感性情報処理、対話型進化計算法を用いた感性工学システムを構築し考察する。本研究の有用性を示すための課題には、感性を要する設計やデザインの代表的な分野をテーマとして選ぶ必要がある。本論文では感性を要する設計やデザインを大きく技術又は設計寄りの分野と芸術又はデザイン寄りの分野の2つに分けて考え、それぞれから1つずつ、技術寄りの分野からインテリアレイアウトを課題とし、芸術寄りの分野から生け花（フラワーデ

ザイン) を課題とした。したがって具体的には、インテリアレイアウトとフラワーデザインの2種類のテーマについてシステムを構築し、それぞれのテーマにおいてシステムの感性情報処理能力の向上を目指すとともに、その有用性を検討する。インテリアレイアウトを支援するシステムは、制約ルールの確率に基づく選択(確率的選択)などを利用した実用的なシステム[52]を構築し検討する。インテリアレイアウト以上に、より感性が要求され、より多くのデザイン要素が含まれる知的作業であるフラワーデザインを支援するシステムは、制約ルールの確率的選択に加えて、小林[33]-[35]の研究する感性をデータベース化したイメージスケールを利用したシステム[61]を構築し検討する。

本研究と、これまでの設計やデザインの支援のための感性工学の研究との関係を図 1.11 に示す。対話型進化計算法などによって感性を要する設計やデザインを支援する研究は過去にも多くあったが、形状も配色も扱い、個人の好みを考慮し、具体的な完成案を利用者に視覚的に示すという実用性を念頭においた研究は見られなかった。本研究は、個人の感性に評価が委ねられるようなデザインや音楽などへの応用が期待されている対話型進化計算法、それに人間とコンピュータの対話に人間同士のような自然な非言語的コミュニケーションを可能とするバーチャルリアリティを用いて、言葉にすることの難しい感性やイメージを設計やデザインに反映させ、実用性の高い感性工学システムの実現を目指している。

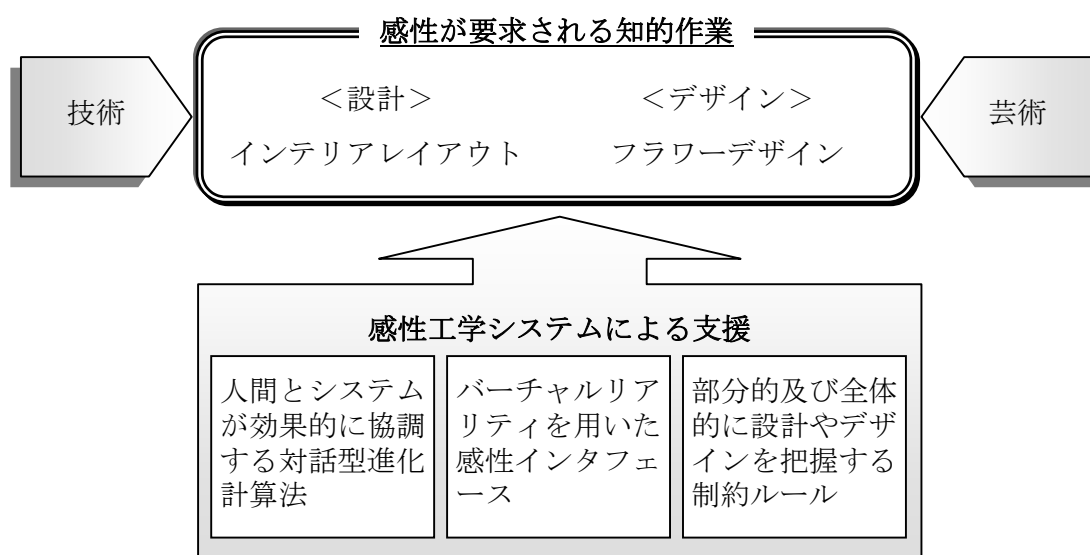


図 1.10 本研究の目的

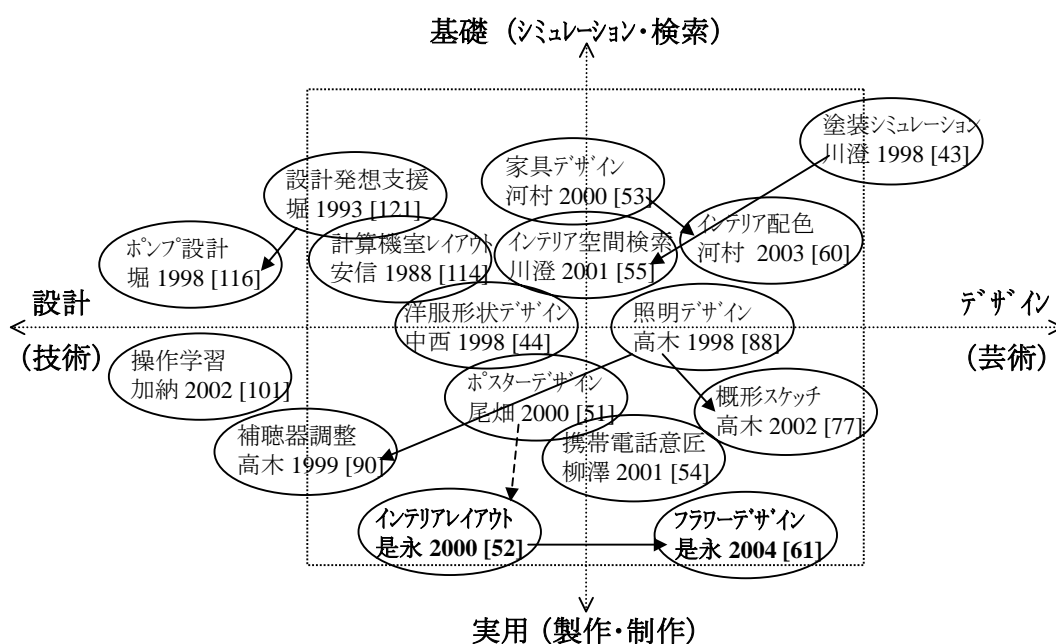


図 1.11 本研究の位置付け

1.6 本論文の構成

本論文は全 5 章から構成される。

第 2 章では、本研究で構築する 2 種類の感性工学システムに共通する基本構成及び特徴を述べる。いずれの感性工学システムも、テーマに関する基本的な配置と配色に関する制約ルールと、全体的なバランスを取る制約ルールを使用し、バーチャルリアリティを用いた感性インタフェースを備え、利用者がシステムと協調して効率的に設計またはデザインを進めていくことができる対話型進化計算法によって感性情報を処理している。

第 3 章と第 4 章では、具体的なシステムとして、インテリアレイアウト支援システム[52]とフラワーデザイン支援システム[61]について述べる。利用者が、システムの提示するレイアウト案についてエンタテインメント性のある仮想空間を用いたインタフェースを通して自由に視点を変えて鑑賞し立体的にレイアウト案の特徴を把握して直感的に評価していくことで、専門的な知識や経験がなくともシステムと協調して無理なくレイアウト作業を進め、好みのレイアウトを制作できることを確認している。個人の好みや感性に基づいたデザイン要素の多い知的作業に対して、多種多様な利用者の感性を反映させたレイアウト案が提示され、制約ルールの確率的選択やイメージスケールの利用、それに対話型進化計算法が効果的であることを確認している。

第 5 章で、本論文のまとめを行う。

第 2 章

対話型進化計算法を用いた感性を反映するデザイン支援システム

本章では、本研究で構築する感性工学システム、すなわち対話型進化計算法を用いたデザイン支援システムの概略を説明する。2.1 節ではこれまでのデザイン支援システムの研究との比較を述べる。次に 2.2 節で本研究のデザイン支援システムの基本構成及び特徴について述べる。

2.1 多様な感性への対応

現在の消費者の感性に即した商品しか生き残れない時代、人々が現代社会のストレスを解消し癒しを求め趣味に生活に精神世界の豊かさを追求する時代にあつて、感性を要するデザインや設計は人々の身近な関心事となってきた。商品のデザインは基本的にはデザイナーの考えた案を表現したスケッチ、CG、模型などを通して行われることが多く、デザイナーの役割はますます重要となってきた。メーカーはデザイナーの人数や働く時間を増やすことなく商品開発をしたいと試行錯誤しており、デザイナーの創造力を支援し試行にかかる時間を軽減するための感性システムの必要性が高まっている。また、消費者参加型のデザインや、趣味として手軽にセンスのある設計やデザインを制作し楽しみたいという知的作業への関心も高まっており、人々が専門的なセンスや知識に頼らずに創造的で感性あふれる設計やデザインをできるように支援する感性システムの需要も高まっている。

こうした中で、多数の要素によって複雑に構成される感性を把握するために、複数の特徴の相互関係の分析に用いられる多変量解析の各手法を利用してデザインを支援する研究や実践が数多く実施されている[111][112]。しかし、いずれも形や色の美しさが重要視されるものを対象とはしていない。また 1.4 節で述べたように、1980 年代末頃から製品の設計やデザインの情報化を行ってきた CAD/CAM や CAE などのアプリケーションは、デザイナーにとってコンピュータによって仮想空間内で製品の形や色を確認するだけでなく、近年は、デザイナーの概念を形状としてまとめていくためのツールとしても活用されてきている。しかし、感性的な部分については依然として専門的なセンスや知識によるところが大きく[113]、一般的な趣味などの用途には使いにくい。

一方、従来から、専門的な知識を必要とせずに、どのような利用者でも設計やデザインができることを目指した人工知能による自動設計支援ツールも開発されている。また、知識ベースのエキスパートシステム[114][115]のほか、フレームワークを用いて概念を明確にすることによる設計支援[116]、推論を用いたデザイン支援[117][118]などの研究もある。しかし、これらの手法では、数多くの制約ルールが必要で、知識の獲得や蓄積が難しい上に、さまざまな利用者の曖昧な主観的イメージを設計やデザインに反映させることも困難である。また、機械学習やニューラルネットワークなどを用いて、個人の感性をモデル化して扱う研究も行われているが[119][120]、これらの手法では各個人の感性のモデル化に時間がかかり、多くの利用者を対象とする実用的なシステムを構築することが困難である。

さらに、利用者に新しいデザインや設計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行われている。柿原ら[39]や杉本ら[121]は、利用者の概念をもとに設計対象の事例を概念空間上に配置することで、概念を整理し、新たな形状を生成して、発想を支援する概念空間形成型設計を提案している。また顧客要求を品質特性に変換する QFD (Quality Function Deployment: 品質機能展開)、機能向上を目指す VE (Value Engineering: 価値工学) や TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving のロシア語: 革新的問題解決理論) は、新製品の開発設計手法として注目され、研究が続けられている[122]。しかし、これらの手法では、利用者がシステムに対して明確に意図を伝えることができる場合には有効だが、明示できないような好みを設計やデザインに反映させることは困難である。

以上のこれらの研究には、形や色の美しさを重視して完成後の姿をできるだけ具体的なデザイン案として画像で視覚的に示すというデザイン支援に望ましいものもあるが、多様な感性に対応していなかったり、またはその逆に、多様な感性に対応していても、出力結果がデザイン案を直接的に画像で表現していなかったりするため、いずれも感性を刺激するような設計やデザインに活用しにくい。

そこで本研究では、製品の設計やデザインに個人の好みを反映させる仕組みとして、利用者がシステムと協調して効率的に設計またはデザインを進めていくことができる対話型進化計算法を活用し、インタフェースに立体的な画像を表示することが可能なバーチャルリアリティを使ったデザイン支援システムを構築し、その有用性を検討する。

2.2 本論文のデザイン支援システムの基本構成

1.2.1 項で述べたように、感性を技術へ落とし込むには、感性を物理的特性へブレイクダウンしていくか、感性と設計・デザインとの関係データベースを用いる。それにより、対象とする設計やデザインの特性ごとに特定の物理量を求めることができる。また設計やデザインをする上で、それぞれの特性には何らかの関連性や制約がある場合が多い。そこで、対話型進化計算法を用いたデザイン支援システムでは、感性工学システムの構成を継承するとともに、テーマに関する基本的な配置と配色に関する制約ルールと、全体的なバランスを取る制約ルールを用いる。したがって、システムの基本的な構成は次のとおりとなる。

- ①対象となる製品やデザインに関する感性語のデータベース
- ②設計やデザインの特性（形状や色）の制約ルール及びデータベース

③感性語と特性を関連付けるルールベース

④指定された設計仕様による出来上がりの案をバーチャルリアリティによって仮想空間内に描写し、利用者の主観的評価の入力を受け付けるインタフェース

対話型進化計算法は、利用者の主観的評価の入力により、設計やデザインの特性の制約ルールや感性語から導かれるルールを取捨選択しながら、設計やデザインの特性を決定し、利用者に複数の出来上がりの案を仮想空間内に立体的に表示する。利用者が出来上がりの案それぞれに主観的評価を与えると、ルールそのものやルールの組み合わせ方が変更されて、再びルールの取捨選択と設計やデザインの特性が決定され、仮想空間内に新しい複数の出来上がりの案が表示される。この作業が繰り返し行われることで、利用者が好む設計やデザインを得ることが期待できる。

ここで、ルールそのものやルールの組み合わせ方は設計やデザインの知識という見方ができ、システムは対話型進化計算法によって知識を経験的に更新していくことができる。あるいは、利用者とシステムの間で繰り返される作業は、システム内の知識を利用者の好みに適したものとカスタマイズしていく作業ということもできる。

また、設計やデザインの特性の制約ルールには、計算時間の短縮も考慮して、部分的な基本的なルールと、それらルールの全体的なバランスを取るルールの大きく 2 種類を用いている。これは、全体をトップダウン方式で理解するのではなく、小さなルールを積み上げて環境に適した対応を発揮するという人工生命の手法にヒントを得ている。例えば、米国のマサチューセッツ工科大学 (MIT) の人工知能研究所所長ブルックス[123]は、6 本足のロボットを作った。従来の人工知能を持つロボットは、自律的にまわりの状況を全て理解する知識を持つことを目指していたが、このロボットは、周囲全てを見るわけではなく、それぞれの足が障害物を避けたり、歩幅を調整したりする簡単な機能しか持っていない。しかし、足や触角の部分的な機能を協調させて、部屋を歩き回る、障害物を避けながら歩くといった動作を人工知能ロボットより簡単にこなす。この例から、全体を把握するには、把握する範囲によって情報量に大きな差があり非常に時間もかかってしまうが、部分的な情報処理とそれらの協調によって、全体的な処理をうまく効率的に行うことができる場合もあることが分かる。

なお、この対話型のシステムでは、利用者の好みの揺らぎや、利用者が多くの評価をしなければならないことによる利用者の疲労が課題として考えられるが、前者については、1.3.1 項で述べたように進化計算法の高いロバストと複雑な問題への適性はその要求に応えるため、問題とはならない[71]。後者については、対話型進化計算法の課題として一般

的に指摘されており、デザイン要素が多い場合には利用者はコンピュータと長時間協調して作業することになって疲労し、その有効性が発揮されにくいといわれている[71]。しかし、このシステムにおいては、インタフェースにバーチャルリアリティを用いているため、エンタテインメント性を備えており、健康・福祉機器に利用者のモチベーションを維持するためにバーチャルリアリティを導入した研究[98][99]の成果と類似の効果として、本研究のシステムの利用者が楽しみながら作業を無理なく続けられることが期待できる。

この対話型進化計算法を用いたデザイン支援システムによって、利用者は専門的な知識や経験がなくとも好みのセンスのある設計やデザインを得ることができるか、また利用者はシステムと協調して無理なくレイアウト作業を進めることができるかを、次章以降で具体的にシステムを構築して検討する。また、システムの構築に当たっては、感性情報処理能力の向上を目指して、設計やデザインの特性の制約ルールや感性語から導かれるルールなどに工夫を凝らす。

第3章

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

本章では、対話型進化計算法を用いたデザイン支援のための具体的なシステムであるインテリアレイアウト支援システムの研究について述べる[52]。

このシステムには、レイアウト案を仮想空間内に提示するエンタテイメント性のあるインタフェース、インテリアレイアウトの知識と特性を扱うための配置と配色の制約ルール、それに制約ルールの全体的なバランスを取って配置の特徴を捉えるための散布度[124]が用いられている。また、人間と環境の関わりを扱う環境管理学の考え[125]-[127]も導入され、環境管理学にもとづいた評価や室内環境の改善が可能となっている。制約ルールにはルールが使われる確率として選択確率が与えられる。選択確率と散布度は利用者による評価に従って更新される。インテリアレイアウトは家具の位置関係や環境管理学的な要素による評価に利用者からの対話的評価を加えたものにしたがって進化的に求められ利用者に提示される。利用者が提示されるレイアウト案に対して対話的に評価を繰り返していくことで、システムは次第に利用者の好みや感性を反映させたレイアウト案を提示するようになる。利用者は専門的な知識や経験がなくとも、システムと協調してレイアウト作業を進めることでセンスのある好みのインテリアレイアウトを製作することができる。

3.1 節で本研究の背景と目的について述べ、3.2 節でインテリアレイアウトの基礎的な知識や特性を説明する。その知識や特性を用いた本研究の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 3.3 節で説明する。コンピュータにシステムを実装しての評価実験の結果を 3.4 節で示し、システムの有用性を 3.5 節で述べる。

3.1 はじめに

近年、住宅メーカーには少子高齢化による人口の停滞や環境エネルギー問題への対策として100年住宅を目指す動きがある。住宅業界は新築市場から中古市場へ目を向けるようになり、リフォームやデザインなどのインテリアレイアウト関連が重視されるようになってきている。古くから西洋には、住居を洞穴と同じ空間と考え、インテリアを変えることによって石の固まりの中で快適に暮らすという発想がある。建物が数十年にわたる寿命を持つのに対して、生活要求はもっと短いタイムスパンで変化するため、インテリアレイアウトへの関心が高い。

また一方で、現在、あらゆる分野でグローバル化や情報化に伴って構造改革が必要となっている。企業などの組織は経営戦略に固定資産や人材といった資産の効率的な運用を含めるようになり、計画的にオフィスをメンテナンスするなどレイアウト計画への関心が一般的に広がってきている[128]。オフィスは、働く人々にとっては知的で快適な生活ができること、企業にとっては質の高い生産が確保できること、そしてさらには経営姿勢、考え方が表現されていることが基本とされている[129][130]。オフィス人口が多くなり滞在時間も長くなる中で、より快適なオフィス環境づくりが重要な課題となっている。

このような情勢を踏まえ、対話型進化計算法を用いたデザイン支援システムの具体的なシステムの応用のひとつとして、ここではオフィスのインテリアレイアウトを課題とする。オフィス空間をレイアウトするにあたっては、他の空間との関連性、オフィスを使用する組織の構成、人間の感性などが考慮される。コンピュータの利用によって、これらを踏まえた多数のインテリアの配置や配色の組み合わせを探索することができ、またバーチャルリアリティを利用したインタフェースによる感覚的な操作や3次元画像を使った表現などが可能である。

近年は、バーチャルリアリティを利用したCAD（3次元CAD）が、インテリアレイアウトにも広く使われてきている。家の建築設計を例にとると、設計図面は紙の上の2次元の絵であり、さらにその解読には専門的知識や経験が必要である。そのため、設計図面をもとに居住者と設計者が打合せをするには困難がきまとう。居住者は、レイアウトした空間を完成する前にあらかじめ体験することができれば、使い勝手や雰囲気を検討することができ、レイアウトイメージも明確になる。また居住者は、レイアウトイメージが明確になれば、設計者との意志の疎通をさらにスムーズに行うことができる。こうしたところから、2次元の設計図面ではなく3次元的に設計をみることができ3次元CADは広く

使われるようになっている。今後は、さらに高度なコンピュータ等の情報技術が利用可能になると考えられている[131][132]。しかし、こうしたこれまでの3次元CADによるレイアウト作業は基本的には専門家のセンスや知識に任せられ、居住者の感性を直接反映させたレイアウトを得ることは困難である。福田ら[133]は、利用者が要求するインテリアのパーツをデータベースから読み込んで仮想空間内に3次元的にインテリアレイアウトを構築し、機能や環境を疑似体験することが可能なシステムを提案している。しかし、このシステムにおいてもパーツの配置も含めた基本レイアウトについては専門的知識を持った設計者が行う必要がある。また鹿倉ら[134]は、建築設計業務の一部である照明設計において、屋外からの太陽光を考慮した照度計算や電力エネルギーの評価も行うツールを提案しているが、こちらも器具の選択や配置はデザイナーの設計力に委ねられている。これまでのシステムやツールでは、依然として感性的な部分については専門的なデザイナーのセンスや知識によるところが大きい[113]。

本研究では、オフィス空間のインテリアレイアウトについて、利用者の感性を直接的に反映させるためにバーチャルリアリティを利用した対話型進化計算法を用い、環境管理学の考えも導入したインテリアレイアウト支援システムを構築し、その有用性について検討する。

本研究のシステムでは、インテリアレイアウトに関する知識として、色や形といった設計の構成要素の特性を扱うための制約ルールと散布度[124]を用いる。また、インテリアの配置と配色に用いる制約ルールには選択確率が与えられ、家具に使われるルールは確率的に決定される。制約ルールの選択確率と散布度は利用者による評価にしたがって更新され、インテリアレイアウトは更新された制約ルールや家具の位置関係や環境管理的な要素にもとづくシステムによる評価に利用者による主観的な評価を加えたものに従って進化的に求められる。利用者が提示されるレイアウト案に対して対話的に評価を繰り返していくことで、システムは次第に利用者の感性を反映したレイアウト案を提示するようになる。そのため、システムは多様な利用者の好みや感性に応えることができ、利用者は専門的な知識や経験なしにシステムと協調してレイアウト作業を進めることができる。さらに環境管理学の考え[125]-[127]が導入されており、環境管理学にもとづいた評価や室内環境の改善も可能となっている。

3.2 インテリアレイアウトの基礎

小原ら[135]は、インテリアレイアウト作業に必要な設計要素や基本的な寸法についてまとめている。インテリアレイアウトは、他の空間との関連性から決まるものであり、それは機能的な理由や、社会的地位や身分を考慮したもの、文化的な習慣から決まる。場合によっては環境管理学的知見にもとづくこともある[136]。

ここでは、インテリアレイアウトの配置、配色、環境管理学的知見の基礎について述べる。また、本研究のシステムにおいて、レイアウトの全体的なバランスを取るために配置の特徴を捉える値として用いる散布度についても述べる。これらをインテリアレイアウトのための知識としてシステムに導入する方法については3.3.2節で説明する。

3.2.1 インテリアの配置

山本[137]は、図3.1のようなレイアウトの型が機能的な理由や文化的な習慣などの組織のあり方に従って組み合わせられることでインテリアの配置は決まるとしている。また、歩くために必要な幅には最低でも70cmが必要と解説している。インテリアの配置は、家具どうしが物理的に重ならないというだけでなく、家具と家具の間隔や、機能的または文化的理由による家具の相互関係なども考慮する必要がある。

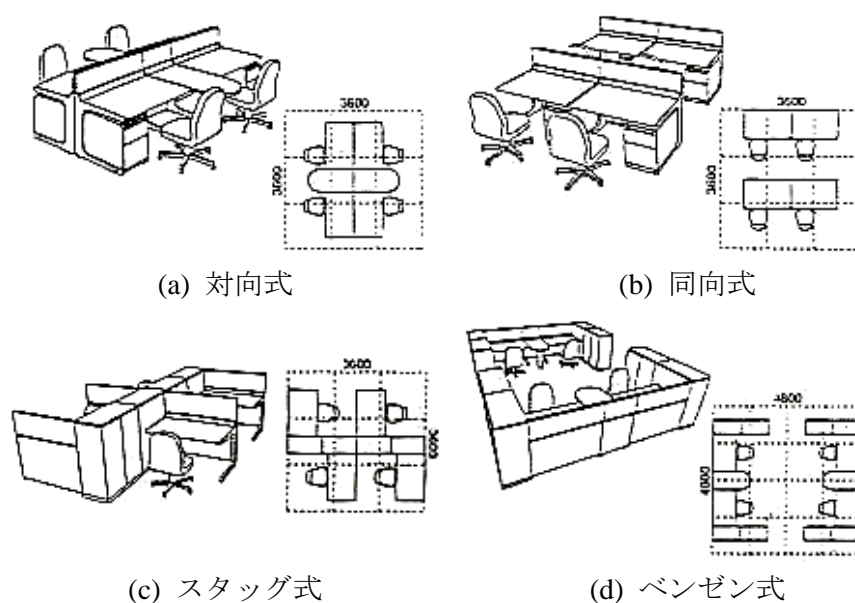


図3.1 レイアウトの型 (参考文献[137]より引用)

3.2.2 インテリアの配色

小林[33]-[35]は、インテリアによく使われる色として図3.2に示すものを紹介している。また、渋川ら[138]は、部屋の床、壁、天井の色と家具との間に一般的な配色ルールがあるとしている。インテリアの配色は、多くの場合、いくつかの汎用的な色と一般的な配色ルールによって決まることが分かる。

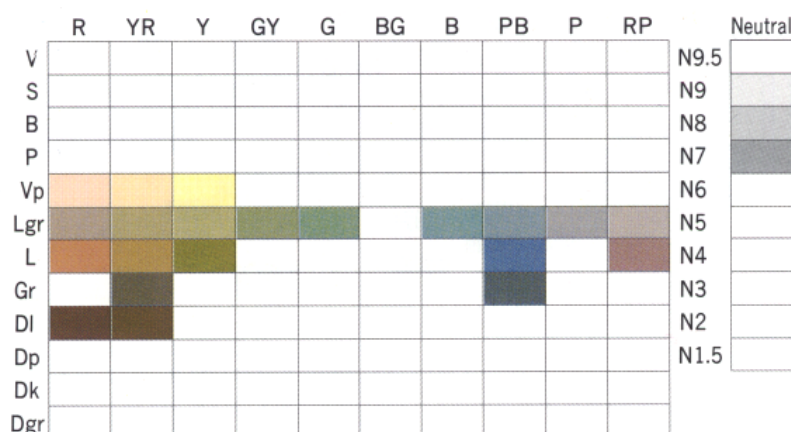


図 3.2 インテリアによく使われる色 (参考文献[33]より引用)

3.2.3 散布度

散布度とはデータのばらつき具合を表す統計量のことである。散布度には、平均、分散、歪度、尖度の4つの値がある。

歪度と尖度について、あまり馴染みがないと思われるので、簡単に説明する。歪度と尖度は、分布について平均や分散以外の特性を知りたい場合などに利用され、図3.3に示すような特性を表す。正の歪度は分布が正の方向へ延びる非対称な側面を持つことを示し、負の歪度は逆に分布が負の方向へ延びる非対称な側面があることを示す。尖度は正規分布(尖度=3)との比較において、分布曲線が相対的に鋭角であること、相対的になだらかであることを示す。

データ $X_i (i=1, 2, \dots, N)$ の平均、分散、歪度、尖度は以下のとおり定義される。

$$\text{平均 } \mu = \sum X_i / N \tag{3.1}$$

$$\text{分散 } \sigma^2 = \sum X_i^2 / N - \mu^2 \tag{3.2}$$

$$\text{歪度 } \gamma_1 = \sum (X_i - \mu)^3 / (N\sigma^3) \tag{3.3}$$

$$\text{尖度 } \gamma_2 = \sum (X_i - \mu)^4 / (N\sigma^4) \quad (3.4)$$

また、ここで散布度をこれら4つの値の重み付き和として定義する。なお、異なる次元の統計量の和は学術的には意味のないことであるが、西[139]の研究において、平均の差、分散の差などの異なる次元の統計量の重み付き和が現場の統計的課題に実学的に有効に働くことが示されている。本論文では重みは4つの値の桁の位が一様に合うように定める。

$$\text{散布度 } disp = a_1\mu + a_2\sigma^2 + a_3\gamma_1 + a_4\gamma_2 \quad (3.5)$$

a_1, a_2, a_3, a_4 : 定数

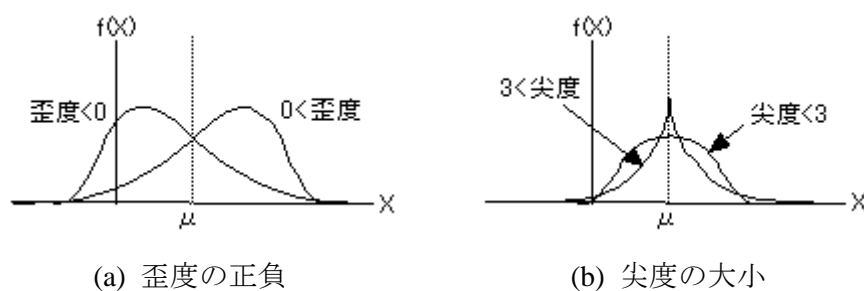


図 3.3 歪度と尖度

3.2.4 環境管理学的知見

インテリアレイアウトは機能的な理由や文化的な習慣だけでなく環境管理学にもとづくこともある。本研究のシステムでは環境管理学にもとづいた評価を導入し、また室内環境の改善を行うことができる。室内環境の改善については3.3.2節に後述する。

人間は常に架空高圧電線や地球による磁場の影響などを受けて生活している。これら環境の変化は生理や心理現象に大きな影響を及ぼすと考えられている。環境管理学は、環境が変われば思考や行動が変わると考え、環境を自然に合わせて改善し理想に近づけることを目的とした学問である。人間と環境の関わりを扱う環境管理学は、シンガポールの近代都市計画や香港の香港上海銀行ビルの設計、経営コンサルティングに使われている[126][127]。オフィスにおける環境管理学的知見としては、図3.4に示すような環境管理学的に部屋の中での好ましい位置というものがある。風通しの良さや動きやすさなどから、出入口から部屋の中心を通り対角線方向に抜ける領域が机や椅子の位置として良いとき

れる。領域の幅は全幅の 1/3 程度である。扉が北側にある場合は、出入口から部屋の中心までの領域となる。

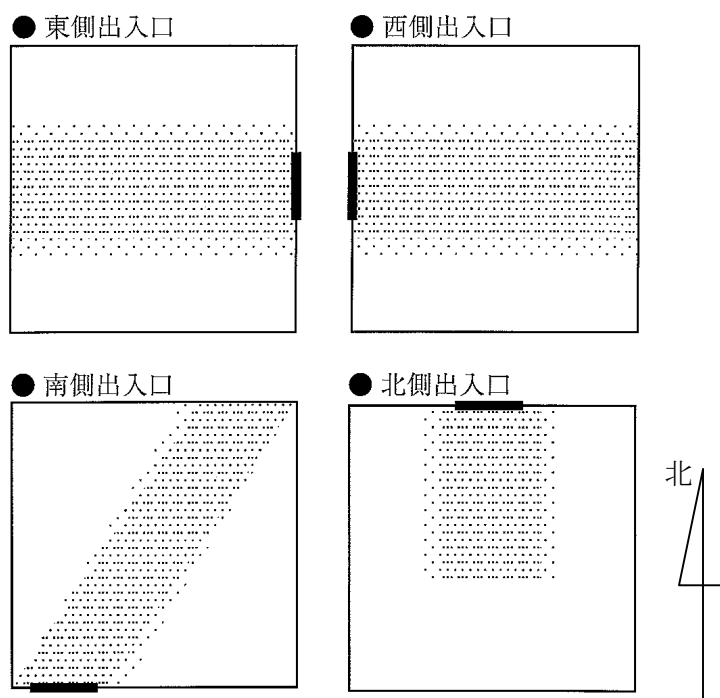


図 3.4 部屋の中で環境管理学的に好ましい位置

3.3 インテリアレイアウト支援システム

近年は、バーチャルリアリティを活用した設計によって、レイアウトした空間の配置だけでなく配色についても、雰囲気や想像に任せることなく実際に画面に表示される3次元の画像を目にしながらいアウトを行えるようになってきている。しかし、レイアウト探索空間が広い得られる解は多数に及び、レイアウト作業は依然として利用者のセンスや知識に任されている。また、従来の手法では、多様な個人の感性や流行による感性の変化などには対応が難しい。

図 3.5 に本研究のインテリアレイアウト支援システムの概略図を示す。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、インテリアレイアウトのための知識と進化計算法を用いている。インテリアレイアウトのための知識には、インテリアレイアウトの基礎を踏まえた、配置と配色に関する局所的な制約ルールや大局的に家具の位置を捉えるための散布度、人間と環境の関わりを扱う環境管理学の考えなどが含まれる。システムが多くのレイアウト候補の中から知識にもとづいて次々に選び出したレイアウト案に対して、利用者は対話的に評価を繰り返していく。利用者の評価に従ってシステム内の知識が更新されていき、システム内の知識は次第に利用者に応じてカスタマイズされていく。システムは更新された知識にもとづいて利用者の好みや感性を反映したレイアウト案を提示するようになる。また、環境管理学の考えにもとづいた室内環境の改善も可能となっている。システムはさまざまな利用者の感性に応え、利用者は専門的な知識や経験がなくとも、システムと協調してインテリアレイアウト作業を進めることができる。

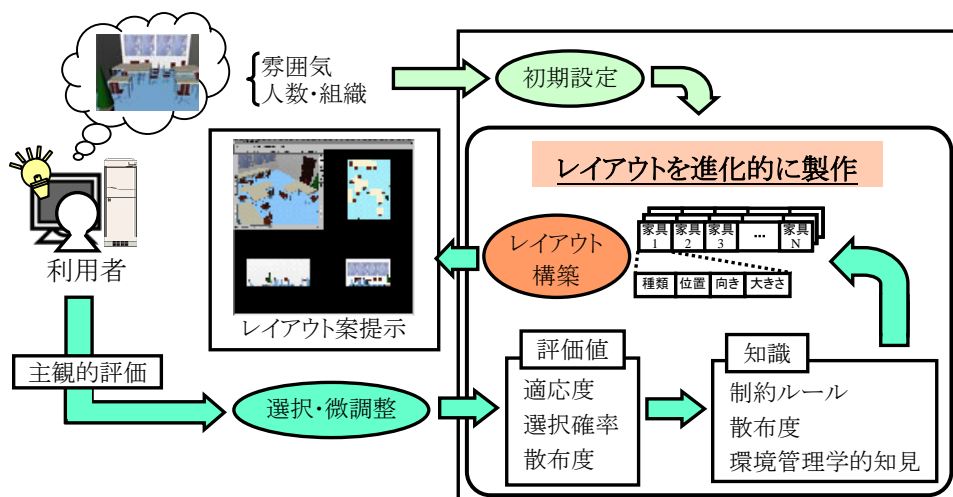


図 3.5 インテリアレイアウト支援システム

図 3.6 にシステムのさらに具体的な流れを示す。あらかじめ利用者は部屋を使う人数、組織のあり方を示すコミュニケーション風土、雰囲気を想定し、想定内容をシステムに入力する。配置される家具の数は利用者の想定した人数分と同じかそれ以上に設定され、またコミュニケーション風土に関するコミュニケーション度と配色に関する制約ルールが初期化される。システムは、このようにして想定内容にしたがって初期設定された知識にもとづいて、インテリアレイアウトを構築し、適応度が上位のいくつかのインテリアレイアウトを案として利用者に提示する。利用者はレイアウト案を配置と配色のそれぞれに取捨選択の評価を与え、また必要に応じて配置や配色の微調整を行う。利用者は、全てのレイアウト案の評価を終えたところで、新しい配置、新しい配色のレイアウト案の製作をシステムに命令する。システムは、入力された利用者の評価にしたがって各レイアウト案

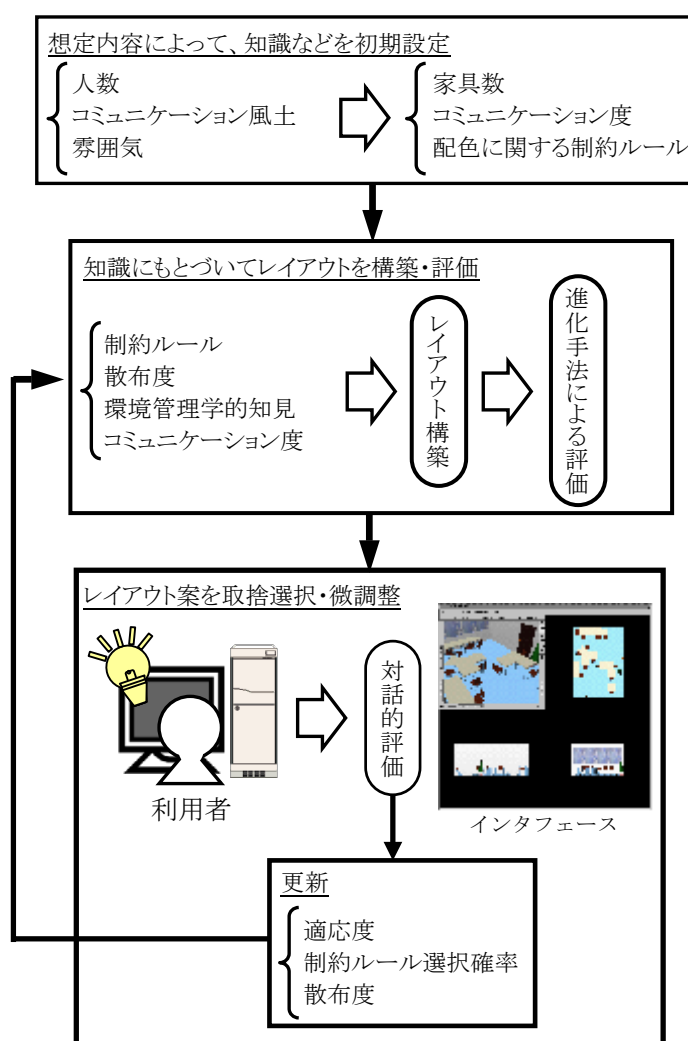


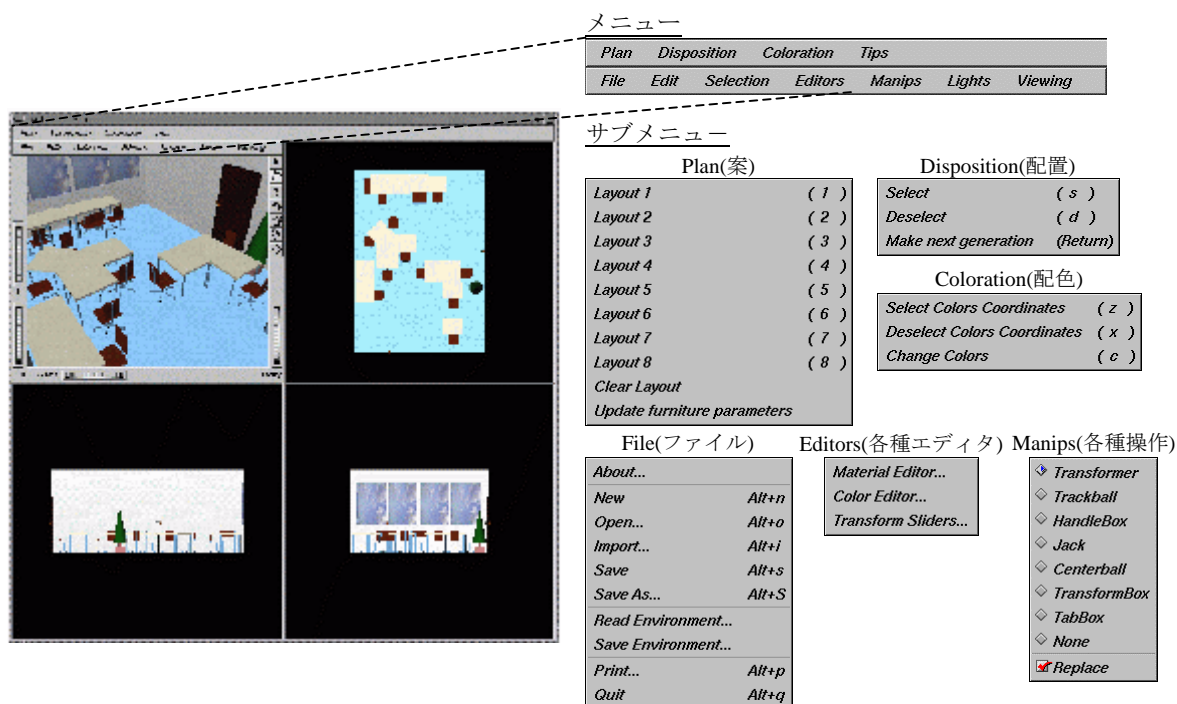
図 3.6 インテリアレイアウト支援システムのフローチャート

の適応度を再評価するとともにシステム内の知識を更新し、新しい知識と遺伝的操作によって新しい配置、新しい配色のレイアウトを構築して利用者に提示する。このように、利用者とシステムは対話的にレイアウト作業を進めていく。

3.3.1 インタフェース

図 3.7 に本研究のシステムのインタフェースを示す。

円滑に対話的なレイアウト作業を進めることが重要であるため、表示画面にはバーチャルリアリティを用いたウォークスルー可能な仮想空間と三方向からの見取図を備え、レイアウトを判定しやすくしている。部屋の床、壁、天井の色を変えたり観葉植物を部屋の中に置いたりした場合に、部屋の雰囲気をつータルに評価するには、図面だけで考えるよりも3次元画像の表現を使うと効果的である。インテリアレイアウト案は仮想空間内に提示され、利用者は仮想空間内を自由に歩きまわり多くの視点によって明確にレイアウトのイメージを把握することができる。利用者はレイアウトの評価をスムーズに繰り返していくことができる。また、利用者がひらめきや思いつきによってレイアウトの変更を行いたい場合には、微調整を行うことができる。サブメニューからエディタもしくは操作を選択す



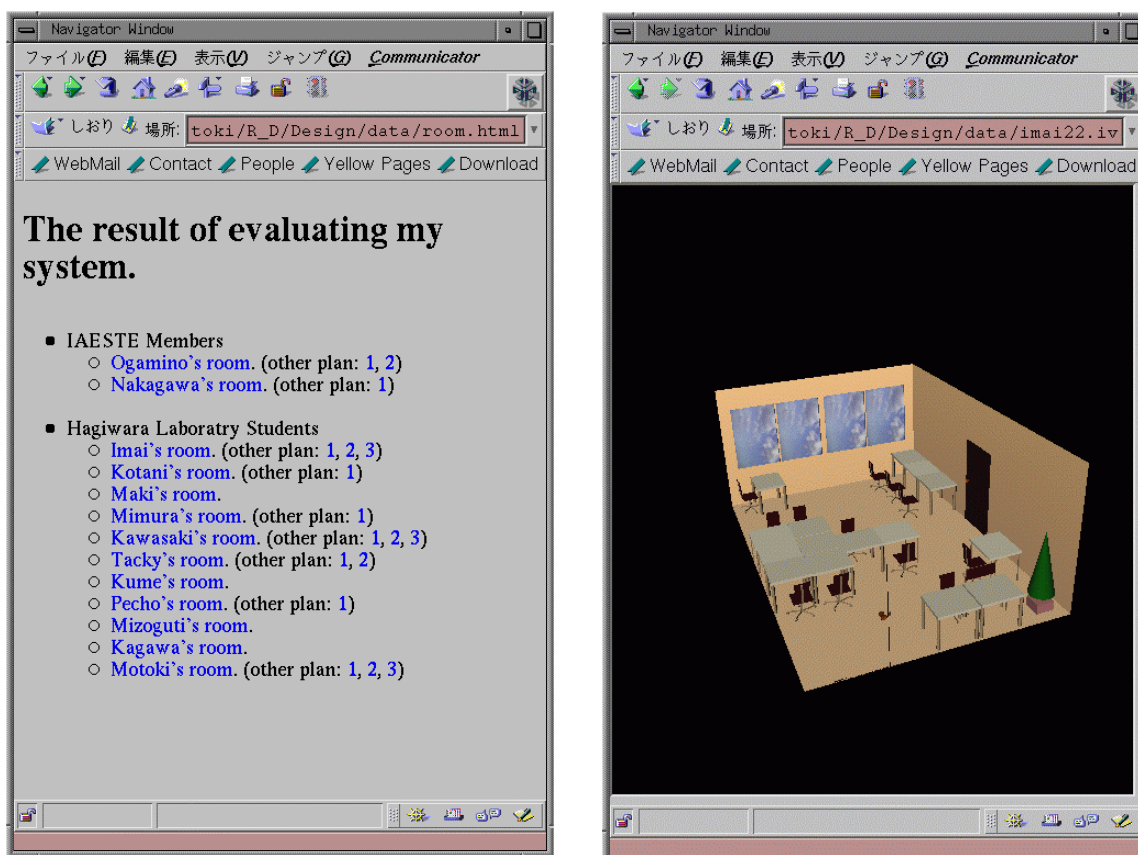
(a) 表示画面

(b) メニューとサブメニュー

図 3.7 インテリアレイアウト支援システムのインタフェース

ることで、家具の位置や大きさ、向きの微調整が可能である。さらに、メニューのファイルから **Save** を選びインテリアレイアウト案を保存することができる。インテリアレイアウト案は VRML ファイルフォーマットの 3 次元データで保存されるため、図 3.8 に示すようにインターネットのウェブを介して複数人でレイアウトを検討することが可能である。VRML とインテリアレイアウトのデータ構造については 3.3.3 節で説明する。

また、メニューとサブメニューは、利用者がレイアウト案の配置や配色を評価したり微調整したりするのに使われる。メニューの **Plan** からレイアウト案を選択すると表示画面にレイアウト案が表示される。メニューの **Disposition** は、配置を取捨選択する **Select** と **Deselect**、新しい配置のレイアウトを製作する命令を与える **Make next generation** というサブメニューを含む。Coloration は、配色を取捨選択する **Select** と **Deselect**、新しい配色のレイアウトを製作する命令を与える **Change Colors** からなる。またレイアウト案の配置や配色の微調整は **Editors** と **Manips** を使って行い、途中でレイアウト案を保存したい場合には **File** から **Save** を選ぶ。



(a) レイアウト例選択画面

(b) レイアウト例の表示

図 3.8 Web ブラウザによるレイアウト例の表示

3.3.2 インテリアレイアウトのための知識

本研究のシステムは、インテリアレイアウトを構成する色や形の特徴を扱うために、インテリアレイアウトのための知識として、配置と配色に関する制約ルール、散布度、環境管理学的知見による要素を用いる。システムは、利用者との対話の中で、配置と配色に関する制約ルールの組み合わせ方や散布度の値といった知識を更新していく。

ここでは、システムに用いる配置と配色に関する制約ルール、散布度、環境管理学的知見について述べる。知識の更新については、3.3.3 節の対話型進化計算法についての説明の中で述べる。また、コミュニケーション風土やコミュニケーション度についても、レイアウトを評価する際に用いるものであるため 3.3.3 節で述べる。

A. インテリアの配置に関する制約ルール

配置の制約ルールには、家具どうしが物理的に重ならないというだけでなく、家具の位置や家具相互の関係などに関する制約を表したルールを用いる。

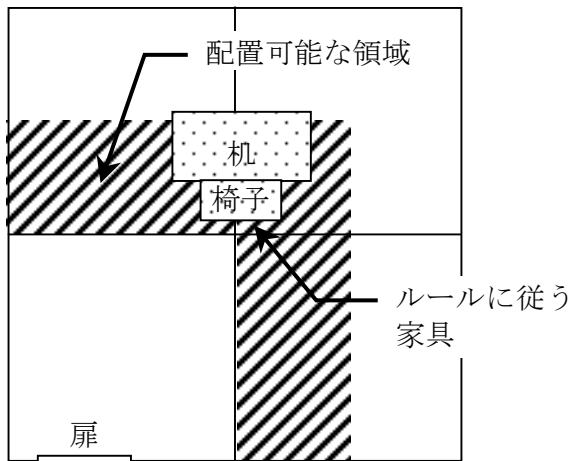
安信ら[114]は単純な配置に関する知識をベースにしたエキスパートシステムを開発しており、本論文でも配置に関する知識を抽出し制約ルールにすることとする。基本的な配置の制約ルールとして、図 3.1 のようなレイアウトの型をもとに次の 8 つの局所的な配置ルールを用いる。また、机と椅子は 1 つの組と考え、机を配置ルールに従って配置した後に、椅子を机に合わせて配置する。椅子だけの場合には配置ルール 1 もしくは 2 に従う。

- 配置ルール 1： 扉から離れた場所に壁から離して置く
- 配置ルール 2： 扉から離れた場所に壁際に置く
- 配置ルール 3： 机を隣り合わせて右に置く
- 配置ルール 4： 机を隣り合わせて左に置く
- 配置ルール 5： 机を向かい合わせに置く
- 配置ルール 6： 机を縦に並べて前に置く
- 配置ルール 7： 机を縦に並べて後ろに置く
- 配置ルール 8： 机を背中合わせに置く

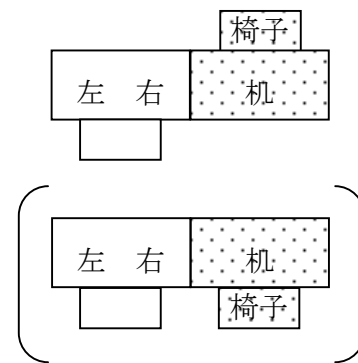
図 3.9 に配置ルールの具体例を示す。なお、配置ルール 1 に従う机の壁からの距離や、配置ルール 6~8 のいずれかに従う机と他の家具との距離には、歩くために必要な幅 70cm を空ける。図 3.10 に配置ルールの適用例を示す。図中の番号の順に配置ルールに従って

家具を配置している。8つのルールだけでは家具どうしの物理的な重なりを完全に排除することが難しいが、レイアウトについての利用者の発想を豊かにするため、また不都合があれば微調整が可能なことから、配置ルールは8つにとどめる。

・配置ルール1



・配置ルール3



・配置ルール5



・配置ルール7

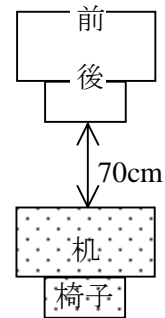


図 3.9 配置制約ルールの具体例

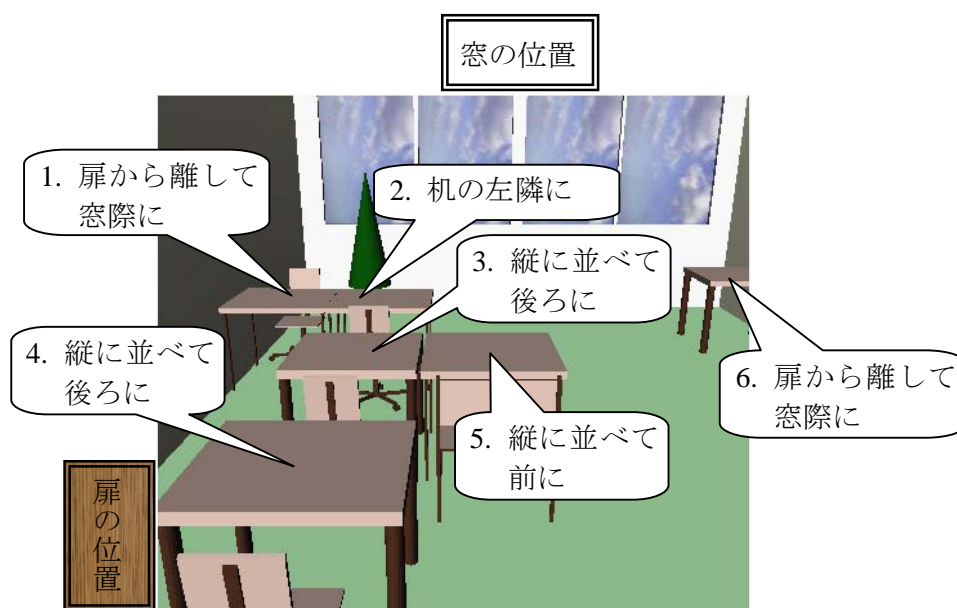


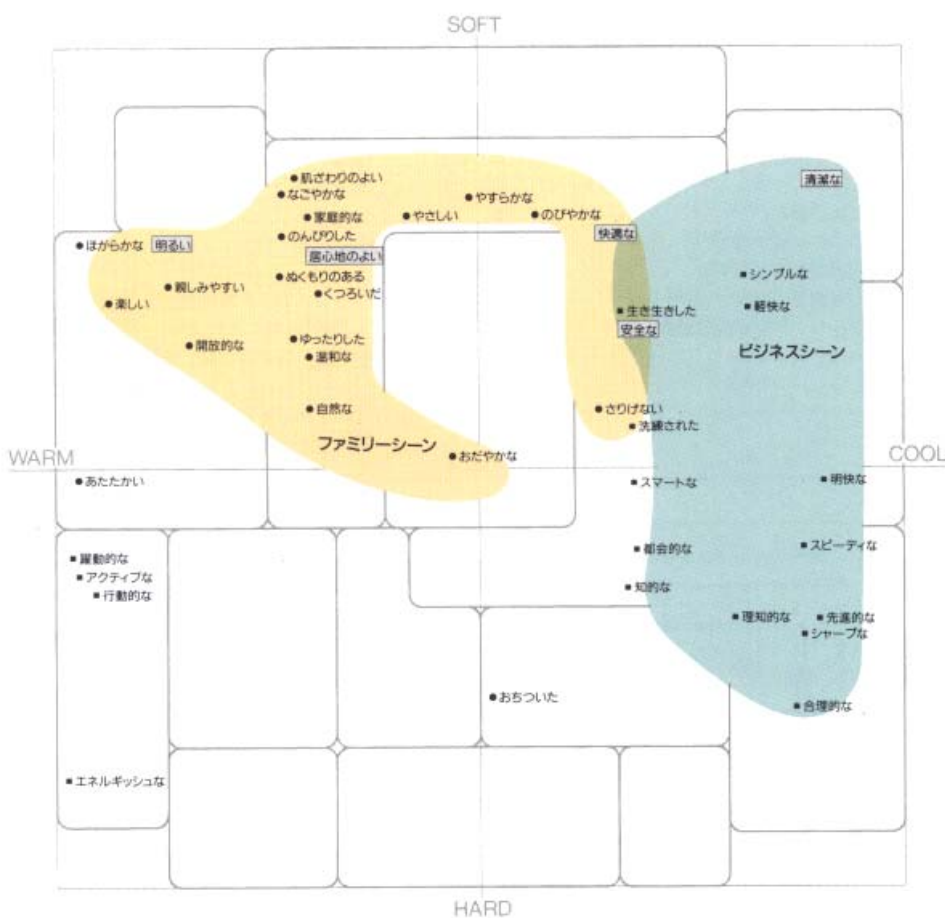
図 3.10 配置制約ルール適用例

この他にも、家具の配置において考慮すべきこととして、組織のあり方を示すコミュニケーション風土による家具の相互関係がある。これについては、対話型進化計算法において個体の適応度を評価する際に、コミュニケーション度による評価を導入することによって対応するようにしており、3.3.3 節で説明する。

B. インテリアの配色に関する制約ルール

3.2.2 節で述べたようにインテリアの配色は汎用的な色と配色ルールによって決まる。

本研究のシステムでは、図 3.2 に示したインテリアによく使われる色と、小林[33]-[35]がイメージスケールを使って調査した図 3.11 に示すビジネスマンのファミリーシーンとビジネスシーンのイメージ調査結果をもとに、インテリアレイアウトのイメージにふさわしい色として図 3.12 に示す 15 個の基本色を汎用的な色として用いる（基本色の制約ルール）。また、イメージスケールのインテリアの配色への利用についての詳細は付録 A で説明するが、イメージスケールは色とイメージの関係をデータベース化したものであることから、インテリアレイアウトのイメージにふさわしい感性語は色それぞれに応じて図 3.12 の左側に並ぶ「1.やさしい～15.スマートな」といった言葉になる。床、天井、壁に用いる



●=ファミリーシーン ■=ビジネスシーン □囲みは両方で選ばれた言葉

図 3.11 ファミリーとビジネスのイメージ (参考文献[33]より引用)

	(天井)	壁(と天井)	床
1.やさしい	赤	淡桃	茶
2.家庭的な	赤	茶	茶
3.自然な	黄緑	黄緑	茶
4.肌ざわりのよい	赤	黄	黄緑
5.都会的な	青	白	緑
6.しなやかな	赤	白	緑
7.快適な	灰	黄	緑
8.ナチュラルな	緑	黄	緑
9.やすらかな	緑	黄	緑
10.理知的な	灰	青	緑
11.都会的な	青	灰	青
12.洗練された	青	白	青
13.シンプルな	白	灰	青
14.合理的な	青	灰	青
15.スマートな	青	白	青

図 3.12 インテリアに望ましい基本色と感性語

色はこれらに限定し、床の色は右側の色、壁の色は中央の色、天井の色は、「1.やさしい～9.やすらかな」では中央の色を「10.理知的な～15.スマートな」では左側の色を用いる [138]。

配色ルールは、部屋の床の色と家具との間にある一般的な配色ルールをもとに [138]、ここでは次の 6 つの基本配色ルールを家具の配色に用いる。

- 配色ルール 1： 机脚、椅子脚、机上是床と同色
椅子布地は床より濃茶系
- 配色ルール 2： 机脚、椅子脚は床より薄茶系
机上、椅子布地はさらに薄茶系
- 配色ルール 3： 机脚、椅子脚は床より濃茶系
机上、椅子布地は床より薄茶系
- 配色ルール 4： 机脚、椅子脚は床と同色
椅子布地は床より濃茶系、机上是ベージュ
- 配色ルール 5： 机脚、椅子脚は床より薄茶系
椅子布地はさらに薄茶系、机上是ベージュ
- 配色ルール 6： 机脚、椅子脚は床より濃茶系
椅子布地は床より薄茶系、机上是ベージュ

ここで、茶系色は床の色の色相角度を 18° にすることで求め[140]、濃色は床の色の RGB 値をそれぞれ 0.25 減算し、薄色は RGB 値をそれぞれ 0.2 加算して求める。以上の基本色と配色ルールを組み合わせることでインテリア配色を行う。

C. 散布度

配置ルールは局所的な基本的なルールであり、それらのルールの全体的なバランスを取ってレイアウトのばらつき具合を捉えるための尺度として散布度を用いる。

柴田ら[50]はさまざまな角度で撮影された街路景観やオフィス空間の静止画像を用いて、イメージと、明暗と色、方向、位置の 3 つの物理的特性との対応関係を分析している。ここでは、静止画像を 9 つの正方形領域に分割して、領域ごとに色の平均値や局所自己相関特徴量などを計算している。

本研究のシステムにおいても、図 3.13 に示すように、オフィスを上方から見て 3×3 の区画に等分割し、家具の配置を定量的に数値化する手段として、全体と各区分の計 10 箇所の散布度を用いる。なお、各区分の散布度は各区分の中心を原点として求め、領域内に家具が存在しない場合には求めない。また、各家具の 2 次元の位置座標 (x, y) について、 x と y に不変の相関関係はないと考えられ、それぞれ独立に式(3.1)~(3.5)によって散布度を計算し、10 箇所における計 20 個の値の和をレイアウトの散布度とする。

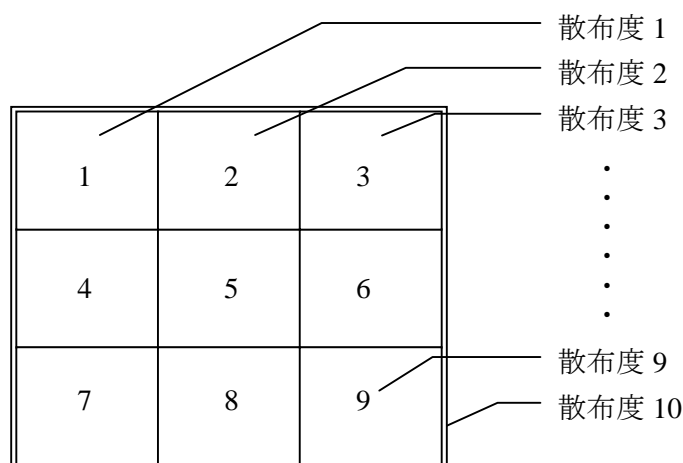


図 3.13 散布度を求める領域

D. 環境管理学的知見

本研究のシステムでは、環境管理学的に適切なインテリアレイアウトを得るために、配置や配色に環境管理学的知見を応用する。

配置については、図 3.4 に示した環境管理学的に好ましい位置に机や椅子を持ってくるということ以上に、例えば、扉や窓と机や椅子との位置関係によっては次のような問題を抱える環境が形成されると考えられており、改善する必要がある[125][126]。

- ・窓を背にしたり扉を真正面にしたりして机を置く。
→その机に着く人はストレスを感じる。
- ・作業する位置の背後に大きな窓や出入口のドアがある。
→その組織の統率が難しくなる。

このような配置をしないことが一番だが、別の対策として、パーティションを作ったりカーテンやブラインドをつけてそれらの関係を緩和したり、観葉植物を配置したりする方法がある。システムでは、提示するレイアウトに以上のような関係を含む場合には、扉や窓と机や椅子との間に観葉植物を配置することによって室内環境を改善する。また 3.2.4 節で述べた環境管理学的に好ましい机や椅子の位置は、対話型進化計算法において個体の適応度を評価する際に、環境管理学から見た評価というものを導入することによって対応するようにする。詳しくは 3.3.3 節で説明する。

基本色と配色ルールについては、環境管理学的知見に従って、床の色をグリーン系もしくは茶系に、机の色を明るい色にすることとする。また、床がブルー系の場合は、家具を明るい色にすると良いとされるため、システムでは床がブルー系のときには配色ルール 1 を使わないようにする。

3.3.3 対話型進化計算法の導入

対話型進化計算法は、3.3.2 節で述べたシステム内のインテリアレイアウトのための知識（配置と配色に関する制約ルール、散布度、環境管理学的知見）を 3.3.1 節で述べたバーチャルリアリティを用いた感性インタフェースを通して利用者の主観的評価に従って更新することで利用者の好みに適したものへとカスタマイズしていき、システムが利用者の好みのレイアウト案を得られるようにしている。

図 3.14 に配置と配色に関する知識である制約ルールと散布度についての更新の概略を

示す。制約ルールには確率的にどのルールが使われるかを定める選択確率が与えられ、散布度には各個体を散布度の観点から評価するための基準となる値が与えられる。これらは、新しくレイアウトが作られる前に利用者の対話的評価と進化手法によって毎回更新される。また、1つのインテリアレイアウトを1つの遺伝子とし、遺伝的操作を繰り返すことでインテリアレイアウトを進化的に求めていく。インテリアレイアウトは、散布度、家具の位置関係、コミュニケーション風土、環境管理学の各視点からの評価に、利用者からの対話的評価を加えたものにしたがって選択淘汰され、利用者に応じてカスタマイズされた制約ルール選択確率や散布度にもとづいて利用者の好みや感性を反映したレイアウト案が進化的に求められる。

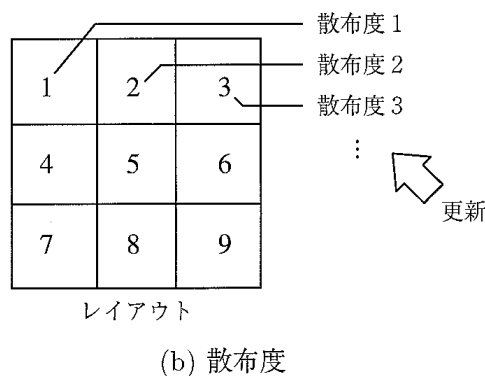
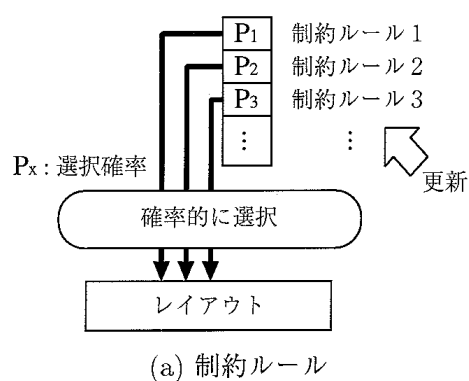


図 3.14 制約ルールと散布度の更新

オフィス空間のレイアウトを決める要素として、家具の数に関する人数など組織の構成は人間の感性よりも何よりも第一の課題であり、インテリアの配置を配色と切り離して考えることも必要となる。そのため本研究のシステムでは、インテリアレイアウトを配置と配色の2つに分けて考える。ここでは知識の更新を含め、配置と配色のそれぞれについて説明する。

A. インテリアの配置

家具配置は配置ルールとレイアウトの遺伝子によって決定する。家具配置の初期状態は、家具それぞれの配置ルールのみから構築する。各家具がどの配置ルールに従うかは選択確率に従って確率的に決まる。初期値として選択確率には等しく値を与える。

以下、(1)で進化計算法における適応度やインテリアレイアウトの遺伝子コーディングとその遺伝子の遺伝的操作について述べ、(2)で配置ルールの選択確率と散布度の更新について説明する。

(1) 進化計算法

a. 個体の適応度

個体 p の適応度 E_p は、家具の位置や相互関係と、システムの持つ知識としての散布度と各個体の散布度の差、コミュニケーション風土による要素、環境管理学的な考え、利用者による主観的評価から求める。コミュニケーション風土は、チームワークを重んじるか個人を重んじるかといった組織のあり方である。組織のあり方と家具配置とは密接な関係にあるため[128]、レイアウトの適応度にコミュニケーション風土の考えを導入している。適応度の計算式を式(3.6)に示す。利用者の判定による総体的評価を掛け合わせることで、利用者による評価は世代によらず適応度に大きく反映する。利用者が必ずしも最初からは感性を把握しきれていない場合にも対応が可能である。

$$E_p = \sum_{i=1}^4 w_{1i} F_{pi} \times \prod_{j=1}^2 w_{2j} G_{pj} \quad (3.6)$$

E_p : 適応度、 w_{1i} , w_{2j} : 定数

部分的評価 $\left\{ \begin{array}{l} F_{p1} : \text{個体}p\text{のレイアウトにおける机どうしの距離に関する評価} \\ F_{p2} : \text{個体}p\text{のレイアウトにおける机と扉の距離に関する評価} \\ F_{p3} : \text{個体}p\text{のレイアウトにおける散布度に関する評価} \\ F_{p4} : \text{個体}p\text{のレイアウトにおけるコミュニケーション度の評価} \end{array} \right.$

総体的評価 $\left\{ \begin{array}{l} G_{p1} : \text{個体}p\text{のレイアウトについての環境解理学から見た評価} \\ G_{p2} : \text{個体}p\text{のレイアウトについての利用者の判定による評価} \end{array} \right.$

以下に、机どうしの距離の平均 F_{p1} 、机と扉の距離の平均 F_{p2} 、散布度差の逆数 F_{p3} 、コ

コミュニケーション度 F_{p4} 、環境管理学からみた評価 G_{p1} 、利用者の対話的な判定による評価 G_{p2} について説明する。

机どうしの距離の平均 F_{p1} は次のように求め、家具の位置関係を評価する値として適応度に加える。

$$F_{p1} = \frac{1}{N_{p\text{desk}}(N_{p\text{desk}} - 1)} \sum_{i=1}^{N_{p\text{desk}}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{p\text{desk}}} D_p(i, j) \quad (3.7)$$

$N_{p\text{desk}}$: 個体 p のレイアウトにおける机の数

$D_p(i, j)$: 個体 p のレイアウトにおける机 i と机 j の距離

机と扉の距離の平均 F_{p2} は次のように求める。最も近い扉との距離を用い、その扉の出入口としての重要度で重み付けする。家具の扉からみた位置関係を評価する値として適応度に加える。

$$F_{p2} = \frac{1}{N_{p\text{desk}}} \sum_{i=1}^{N_{p\text{desk}}} w_{p\text{door}}(i) D_{p\text{door}}(i) \quad (3.8)$$

$N_{p\text{desk}}$: 個体 p のレイアウトにおける机の数

$w_{p\text{door}}(i)$: 個体 p のレイアウトにおける机 i と最も近い扉の重要度

$D_{p\text{door}}(i)$: 個体 p のレイアウトにおける机 i と最も近い扉との距離

散布度はインテリアレイアウトに関するばらつき具合を捉えるための尺度として用いる。システムの持つ知識としてのシステム内の散布度が対話的評価によって更新され、その散布度と各個体の散布度との差の逆数 F_{p3} を適応度に加えることにより、利用者の望む配置、散布度に近いレイアウト案が提示されるようになる。 F_{p3} は次のように求める。

$$F_{p3} = 1 / \left| \frac{Sc_{\text{system}} - Sc_p}{N_{p\text{desk}}} \right| \quad (3.9)$$

$N_{p\text{desk}}$: 個体 p のレイアウトにおける机の数

Sc_{system} : システム内の知識としてのレイアウトの散布度

Sc_p : 個体 p のレイアウトにおけるレイアウトの散布度

コミュニケーション風土を表す値としてコミュニケーション度 F_{p4} を次のように定義する。利用者がチームワーク重視を想定する場合には対向式と類似のレイアウトの型が多く用いられる個体の評価が高くなり、個人重視を想定する場合にはその逆となる。ただし、利用者がコミュニケーション風土を考慮しない場合は $F_{p4} = 0$ とする。

- ・チームワーク重視の場合

$$F_{p4} = \frac{1}{N_{p\text{desk}}} \sum_{i=1}^{N_{p\text{desk}}} C_{p\text{front}}(i) \quad (3.10)$$

$N_{p\text{desk}}$: 個体 p のレイアウトにおける机の数

$C_{p\text{front}}(i)$: 個体 p のレイアウトにおける机 i の前方に対向にある机の数

- ・個人重視の場合

$$F_{p4} = 1 / \left(\frac{1}{N_{p\text{desk}}} \sum_{i=1}^{N_{p\text{desk}}} C_{p\text{front}}(i) \right) \quad (3.11)$$

$N_{p\text{desk}}$: 個体 p のレイアウトにおける机の数

$C_{p\text{front}}(i)$: 個体 p のレイアウトにおける机 i の前方に対向にある机の数

環境管理学からみた評価 G_{p1} と利用者の対話的な判定による評価 G_{p2} によって適応度は変更され、進化過程での選択淘汰に反映される。 G_{p1} は次のようにして決定される。

$$G_{p1} = \left(1 + 1/N_{p\text{desk}}\right)^{N_{p\text{favorite_desk}}} \quad (3.12)$$

$N_{p\text{desk}}$: 個体 p のレイアウトにおける机の数

$N_{p\text{favorite_desk}}$: 個体 p のレイアウトにおいて環境管理学的に望ましい位置にある机の数

また、 G_{p2} は次のような区間で決定される。ただし、利用者から同一世代のいずれにも評価が行われなかったレイアウトや利用者に提示されないレイアウトについては、利用者の判定による評価は考慮する必要がなく $G_{p2} = 1$ とする。

- ・同一世代内に利用者による良い評価のレイアウトがあった場合

$$G_{p2} = \begin{cases} G_{p2\text{good}}(1, 2) & \text{(良いレイアウト案について)} \\ G_{p2\text{good_else}}(0, 1) & \text{(それ以外のレイアウト案について)} \end{cases} \quad (3.13)$$

- ・同一世代内に利用者による悪い評価のレイアウトがあった場合

$$G_{p^2} = \begin{cases} G_{p^2bad} (0, 1) & \text{(悪いレイアウト案について)} \\ G_{p^2bad_else} (1, 2) & \text{(それ以外のレイアウト案について)} \end{cases} \quad (3.14)$$

b. 遺伝子コーディング

本研究のシステムでは、家具を図 3.15 のようなデータ構造、木構造で表す。これらの構造は VRML 1.0 に準拠している[141]。VRML (Virtual Reality Modeling Language)は、インターネット上で3次元仮想空間を作成するためのファイル形式のデファクト・スタンダードである。図 3.15 において、Shape によって家具の形状、Transform によって家具の3次元座標変換（位置、向き、大きさ）、Material によって材質（色、模様、質感）が定められる。

図 3.16 にインテリアレイアウトの遺伝子コーディングと、家具ひとつの遺伝子コーディングを示す。インテリアレイアウトの遺伝子は、インテリアレイアウトを構成する家具の遺伝子を家具の数だけ連結させた構造となっている。家具の遺伝子には、家具の種類と3次元座標変換（位置、向き、大きさ）が1次元にコーディングされている。ここで家具の種類は Name、向きは Angle と表す。また位置と大きさは、レイアウトする空間の天井方向を Y 軸として、X 座標値と Y 座標値でそれぞれ Px、Pz と Sx、Sz と表す。なお本研究では、材質（色、模様、質感）は遺伝子に含めない。インテリアレイアウトの遺伝子長は可変であるため、家具が多くデザイン要素が多い場合にも対応できる。

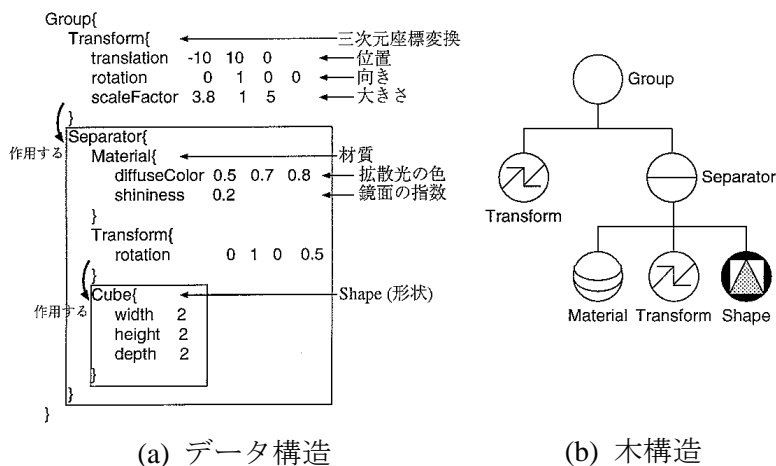


図 3.15 VRML1.0 に準拠した構造

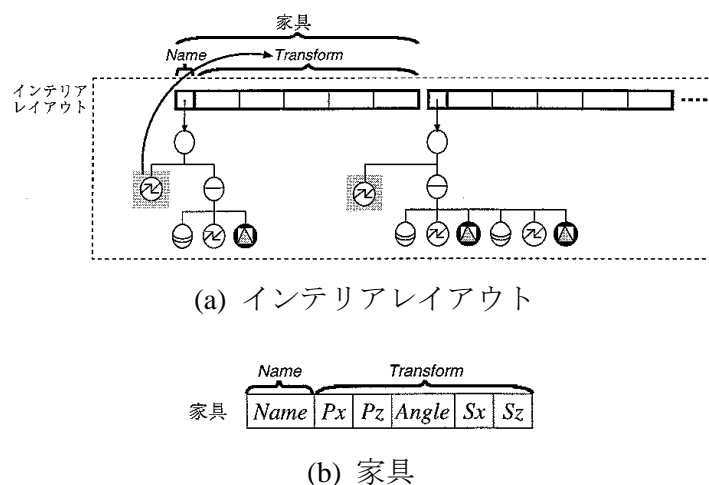
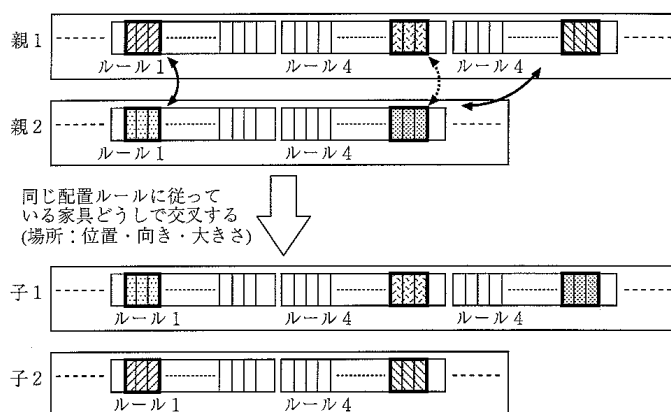


図 3.16 遺伝子コーディング

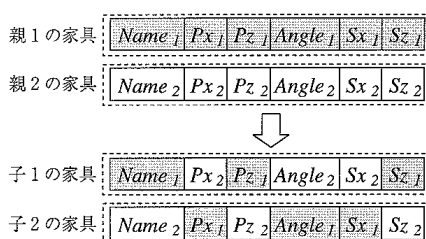
インテリアレイアウトは家具と同じ図 3.15 (b) のような木構造で表すことができるため、1次元ではなく木構造の遺伝子にすることも考えられる。しかし、家具が多くデザイン要素が多い場合には、VRML データが大きくなりすぎる可能性があるため、3.3.2 節で述べたインタフェースとして重要なウォークスルーの3次元処理が重くなり、利用者に不快感を与え実用に堪えられなくなることが考えられる。そこで、インテリアレイアウトの遺伝子は、家具の木構造の一部を1次元にコーディングした遺伝子を家具の数だけ連結させた構造とした[142]。この1次元の遺伝子の一部を入れ換えたり改変したりすることによって遺伝的操作を行う。

c. 遺伝的操作

システムの知識と利用者の判定に従って、適応度の高い個体ほど次世代に子孫を残すように遺伝的操作を行う。1個体は1つのインテリアレイアウトである。図 3.17 に交叉の概略図を示す。交叉は同じ配置ルールに従った家具どうしの3次元座標変換（位置、向き、大きさ）に作用し、位置、向き、大きさの部位を交換することによって行う。家具の種類と制約ルール選択確率は、親1から子1へ親2から子2へというように親から子へ引き継がれる。子の遺伝子が持つ位置、向き、大きさの部位がどちらの親から継承されるかは一様の50%の確率で決まる。同じルールに従った家具に限定することで、異なった性質の配置場所への家具配置を抑制し、家具配置の制約ルールという知識を重視している。また、突然変異は3次元座標変換（位置、向き、大きさ）に作用する。どの部位に変異を起こすかは一様の確率で決まる。



(a) インテリアレイアウト



(b) 家具

図 3.17 交叉の概略図

遺伝的操作を行った結果、家具が制約ルールに従わない配置場所へ置かれたり、家具どうしが物理的に重なったりするなどの問題が起こる可能性がある。これらの問題を解決するために、遺伝子をレイアウト表現にデコードする前段階としてインテリアレイアウトの遺伝子の各家具位置を決めている部位に操作を加える。各家具が制約ルールに従った配置になるようにコーディングを修正し、また各家具の重なりを判定し重なっていることが認められた場合には家具を平行移動させ重なりのない配置になるようにコーディングを修正する。レイアウトに対して交叉や突然変異といった遺伝的操作を行うことによって、システムが多様で斬新なレイアウトを提示することを可能としている。

(2) 配置ルールを選択確率と散布度

中西[44]は対話型進化計算法を用いた研究において、遺伝子座が取り得る 11 個の値、対立遺伝子それぞれに対してポイントを与え、これをもとに確率的に遺伝子座の値を変えている。利用者が選択した候補案を構成した対立遺伝子それぞれに対して一定のポイントを与えることで、各対立遺伝子が選ばれる確率が変動し、利用者の望むデータの組み合わせを持つ遺伝子型が現れる可能性を高めている。

同様に本研究のシステムでは、制約ルールごとに選択確率を与え、利用者との対話的な取捨選択の繰り返しなどによって選択確率を更新する。これにより利用者の選んだレイアウトに関係する制約ルールが選択される確率が高くなり、利用者が望む制約ルールに従った家具から成るインテリアレイアウトが提示されるようになる。

配置ルール 1~8 の選択確率は式(3.15)により利用者の対話的な判定による評価 G_{p3} をもとに更新される。これによって利用者の評価は配置に関するシステム内の知識に反映される。

$$P'_{p\ pos} = P_{p\ pos} \times G_{p3} \quad (3.15)$$

$P'_{p\ pos}$: 判定後の個体 p のレイアウトに関する配置ルールの選択確率

$P_{p\ pos}$: 判定前の個体 p のレイアウトに関する配置ルールの選択確率

G_{p3} : 個体 p のレイアウトに対する利用者による評価

ここで G_{p3} は G_{p2} と同様に利用者による評価に従って次のように決定される。ただし、利用者から同一世代のいずれにも評価が行われなかったレイアウトや利用者に提示されないレイアウトについては、利用者による評価は考慮される必要がなく $G_{p3}=1$ とする。さらに、遺伝的操作によって新しく構築されたレイアウトの適応度が良くなった、もしくは悪くなった場合にも、そのレイアウトに使われている制約ルールの選択確率を変更する。また配置ルールの選択確率がある一定値を下回った場合は、その家具に使う配置ルールを確率的に再決定する。

- ・同一世代内に利用者による良い評価のレイアウトがあった場合、または、進化後の適応度が進化前よりも良かった場合

$$G_{p3} = \begin{cases} G_{p3\ good} (1, 2) & \text{(良い又は良くなったレイアウト案について)} \\ G_{p3\ good_else} (0, 1) & \text{(それ以外のレイアウト案について)} \end{cases} \quad (3.16)$$

- ・同一世代内に利用者による悪い評価のレイアウトがあった場合、または、進化後の適応度が進化前よりも悪かった場合

$$G_{p3} = \begin{cases} G_{p3\ bad} (0, 1) & \text{(悪い又は悪くなったレイアウト案について)} \\ G_{p3\ bad_else} (1, 2) & \text{(それ以外のレイアウト案について)} \end{cases} \quad (3.17)$$

適応度の計算に用いる散布度にもこの手法を適用する。システムは、利用者から何らかの評価を受けたレイアウトについて散布度を求め、その値と知識としてのシステム内の散

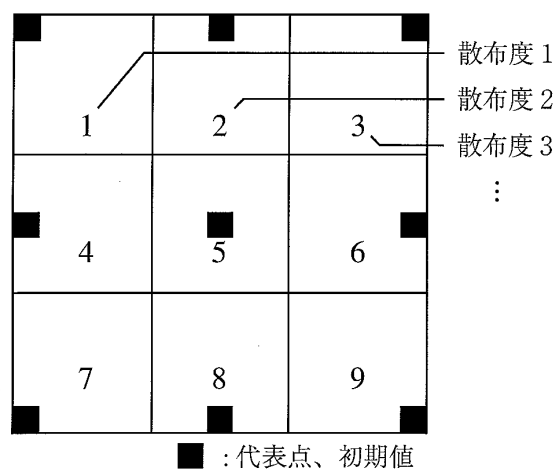


図 3.18 散布度の初期値

布度の値との差分によって、システム内の散布度の更新を行う。また、世代数に従って更新の幅は減少する。更新式を式(3.18)に示す。この考え方は、ニューラルネットワークの重み付けの更新と同じである[143]。システムは、利用者による評価を教師信号として、配置、散布度について利用者の望む知識を学習していく。散布度の初期値には、図 3.18 に示したオフィス空間を等分割する 3×3 の区画それぞれからの 9 つの代表点から求まる散布度を用いる。

$$Sc'_{system} = Sc_{system} + (Sc_{user} - Sc_{system}) \times f(N_{pg}) \times G_{p4} \quad (3.18)$$

Sc'_{system} : 判定後のシステム内の散布度

Sc_{system} : 判定前のシステム内の散布度

Sc_{user} : 利用者から評価を受けた個体 p のレイアウトの散布度

$f(N_g)$: 減少関数

N_{pg} : 個体 p の世代数

G_{p4} : 個体 p の利用者による評価

ここで G_{p4} は利用者による評価に従って次のような区間で決定される。ただし、利用者から同一世代のいずれにも評価が行われなかったレイアウトや利用者には提示されないレイアウトについては、利用者による評価を考慮する必要がなく $G_{p4} = 0$ とする。

- ・ 同一世代内に利用者による良い評価のレイアウトがあった場合

$$G_{p4} = \begin{cases} G_{p4_{good}} (0, 1] & \text{(良いレイアウト案について)} \\ G_{p4_{good_else}} [-1, 0) & \text{(それ以外のレイアウト案について)} \end{cases} \quad (3.19)$$

- ・同一世代内に利用者による悪い評価のレイアウトがあった場合

$$G_{p4} = \begin{cases} G_{p4bad} [-1, 0) & \text{(悪いレイアウト案について)} \\ G_{p4bad_else} (0, 1] & \text{(それ以外のレイアウト案について)} \end{cases} \quad (3.20)$$

B. インテリアの配色

インテリアの配色は、基本色の選択と配色ルールの選択、さらにそれらの組み合わせによって決定される。それぞれが選択される確率は、初期値として利用者の想定内容に沿った値が与えられ、利用者による主観的な評価によって更新される。これにより提示されるインテリアレイアウトには利用者の好みの色と好みの配色ルールが使われるようになる。

15色からの基本色の選択確率は式(3.21)によって更新され、配色ルール1～6の選択確率は式(3.22)によって更新される。これによって利用者による評価 G_{p5} をもとに配色についての選択確率は更新され、利用者の評価は配色に関する各制約ルールが使われる確率に反映させる。

$$P'_{p\ col1} = P_{p\ col1} \times G_{p5} \quad (3.21)$$

$$P'_{col2} = P_{col2} \times G_5 \quad (3.22)$$

$P'_{p\ col1}$: 判定後の個体 p のレイアウトの基本色の選択確率

$P_{p\ col1}$: 判定前の個体 p のレイアウトの基本色の選択確率

$P'_{p\ col2}$: 判定後の個体 p のレイアウトの配色ルールの選択確率

$P_{p\ col2}$: 判定前の個体 p のレイアウトの配色ルールの選択確率

G_{p5} : 個体 p のレイアウトに対する利用者による評価

ここで G_{p5} は既に述べた利用者による評価 $G_{p2} \sim G_{p4}$ と同じく次のような区間で決定される。ただし、利用者から同一世代のいずれにも評価が行われなかったレイアウトや利用者に提示されないレイアウトについては、利用者による評価を考慮する必要がなく $G_{p5}=1$ とする。

- ・同一世代内に利用者による良い評価のレイアウトがあった場合

$$G_{p5} = \begin{cases} G_{p5good} (1, 2) & \text{(良いレイアウト案について)} \\ G_{p5good_else} (0, 1) & \text{(それ以外のレイアウト案について)} \end{cases} \quad (3.23)$$

- 同一世代内に利用者による悪い評価のレイアウトがあった場合

$$G_{p^5} = \begin{cases} G_{p5bad} (0, 1) & \text{(悪いレイアウト案について)} \\ G_{p5bad_else} (1, 2) & \text{(それ以外のレイアウト案について)} \end{cases} \quad (3.24)$$

3.4 コンピュータ実験

被験者として理工学部生 4 人と理工学研究科大学院生 8 人に、インテリアレイアウト支援システムについて次のような手順で実験を行ってもらった。

- (1) あらかじめレイアウトする部屋を使う人数、組織のあり方、そして作りたいと思う部屋の雰囲気を想定する。
- (2) 想定内容をシステムに入力する。部屋の雰囲気は図 3.12 に示したインテリアレイアウトのイメージにふさわしい感性語から選択する。
- (3) 仮想空間内に提示されたレイアウト案をウォークスルーなどによって体験する。
- (4) レイアウト案について、配置と配色の 2 つの観点から個人の好みや感性にしたがって評価（取捨選択）する。どちらともいえない場合は取捨選択しない。
- (5) システムに対して新しいレイアウト案の構築を要求する。
- (6) 30 世代まで、上記のステップ(3)～(5)を繰り返し試行する。途中で、好みのレイアウト案が提示された場合には、レイアウト案を保存し世代数を記録する。最後にアンケートに答える。


表 3.1 に評価実験のパラメータを示す。試行錯誤の結果、進化計算法の個体数を 100、選択方法は、個体数の 80%を比例ルーレット方式、20%をトーナメント方式とした。比較用システムは非対話型のシステム（非対話型進化計算法システム）とし、本研究のシステムの評価実験と同じパラメータでレイアウト案を製作した。さらに、非対話型で進化計算法も用いずに制約ルールと散布度のみによってレイアウト案を構築するシステム（非対話型非進化計算法システム）により、本研究のシステムの評価実験を通して得られるインテリア案の総数と同じだけの 3000 個のレイアウト案を製作し、本研究のシステムと比較した。

表 3.1 進化計算法の評価実験パラメータ

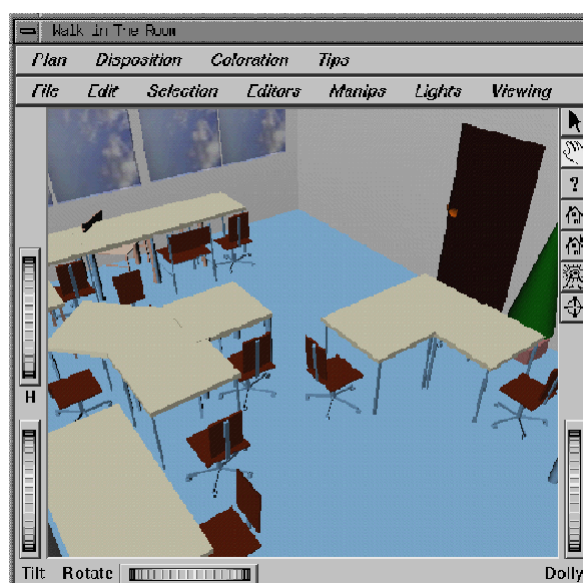
項目	値	項目	値
個体数	100	w_{11}	0.75
交叉率	0.8	w_{12}	0.25
突然変異率	0.1	w_{13}	10000
コピー率	0.1	w_{14}	10
		w_{15}	0.1
		w_{21}	1.0
		w_{22}	1.0
項目	値		
G_2	1.3 or 1/3		
G_3	1.4 or 1/1.01		
G_4	± 1 or ∓ 0.001		
G_5	2.0 or 1/2.0		

3.4.1 レイアウト結果

本研究のシステムによる実験の結果、多種多様なレイアウト案が製作され、利用者が保存したレイアウトとして図 3.19~3.22 のようなものが得られた。図 3.19 は、「12 人の研究者が、コミュニケーション風土を特に考慮しない組織に属し、理知的な雰囲気の中で研究している」という想定内容を入力として対話的に進化させ、28 世代目に得られたレイアウト結果である。図 3.20 は、「15 人の社員が、コミュニケーション風土を特に考慮しない企画部で、洗練された雰囲気の中で働いている」という想定内容を入力として対話的に進化させ、22 世代目に得られたレイアウト結果である。図 3.21 は、「8 人の社員が、チームワークを重視して、やすらかな雰囲気の中で働いている」という想定内容を入力として対話的に進化させ、10 世代目と 26 世代目に得られたレイアウト結果である。図 3.22 は、「3 人の学生が、個人重視の、都会的な雰囲気の中で勉強している」を入力として対話的に進化させ、10 世代目と 27 世代目に得られたレイアウト結果である。

想定項目	値
人数	1 2人
コミュニケーション風土	特に考慮しない
雰囲気	理知的な 

(a) 入力想定内容

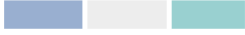


(b) 提示世代 : 28

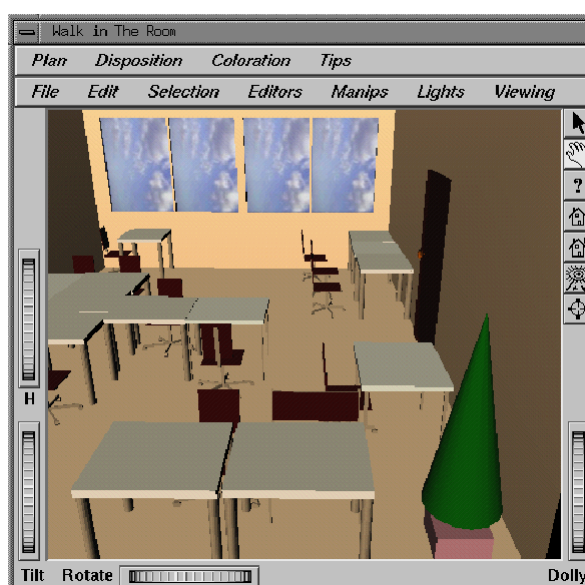
アンケート項目	よくない	あまりよくない	普通	満足	とても満足
配置					
配色					
雰囲気					
レイアウト					
新概念の想起					
発想支援					
ウォークスルー					

(c) アンケート結果

図 3.19 レイアウト結果例 1

想定項目	値
人数	15人
コミュニケーション風土	特に考慮しない
雰囲気	洗練された 

(a) 入力想定内容



(b) 提示世代 : 22

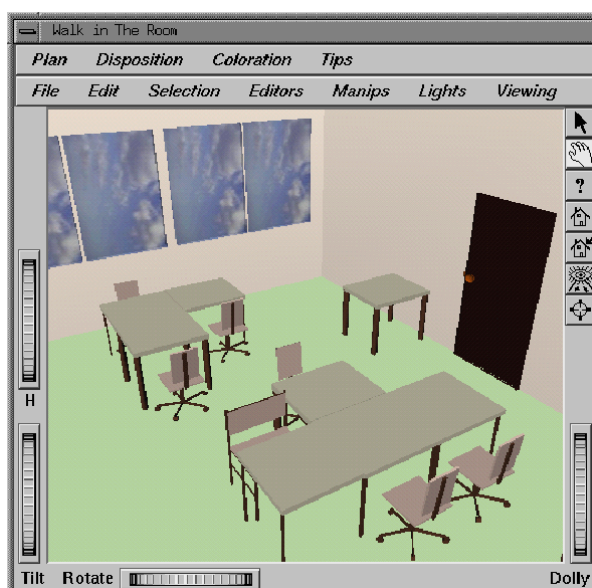
アンケート項目	よくない	あまりよくない	普通	満足	とても満足
配置					
配色					
雰囲気					
レイアウト					
新概念の想起					
発想支援					
ウォークスルー					

(c) アンケート結果

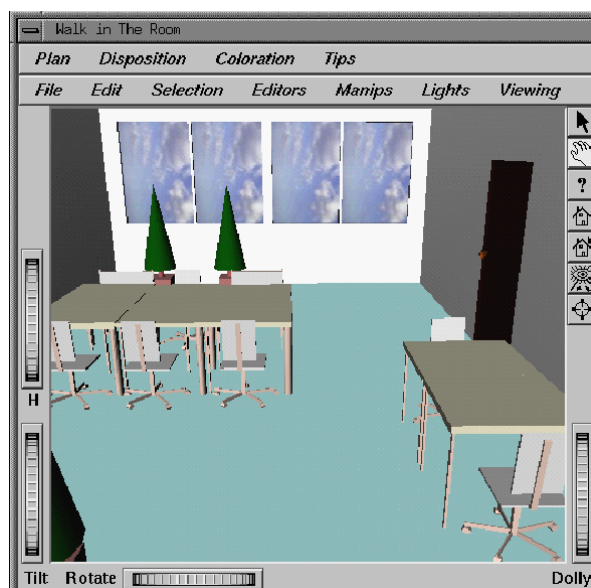
図 3.20 レイアウト結果例 2

想定項目	値
人数	8人
コミュニケーション風土	チームワーク重視
雰囲気	やすらかな 

(a) 入力想定内容



(b) 提示世代 : 10



(c) 提示世代 : 26

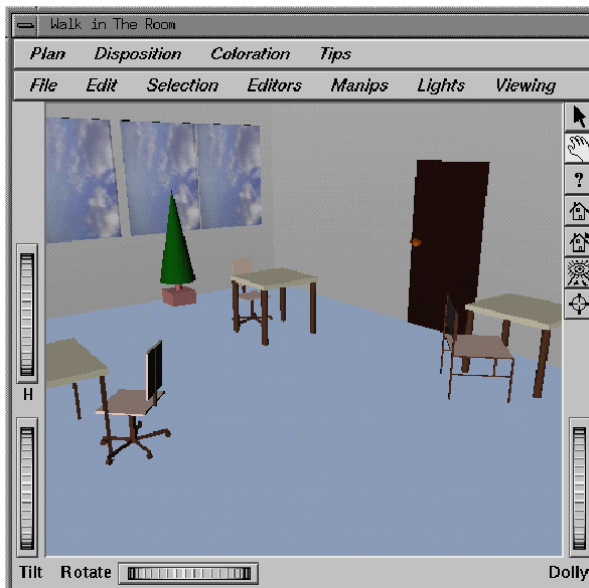
アンケート項目	よくない	あまりよくない	普通	満足	とても満足
配置					
配色					
雰囲気					
レイアウト					
新概念の想起					
発想支援					
ウォークスルー					

(d) アンケート結果

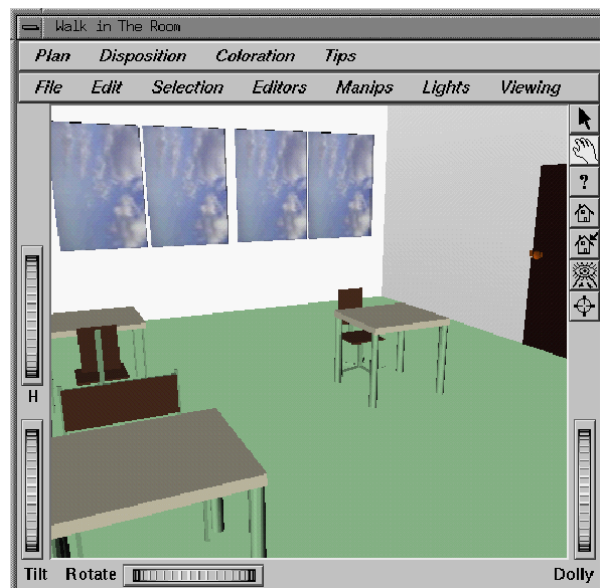
図 3.21 レイアウト結果例 3

想定項目	値
人数	3人
コミュニケーション風土	個人重視
雰囲気	都会的な 

(a) 入力想定内容



(b) 提示世代 : 10




(c) 提示世代 : 27

アンケート項目	よくない	あまりよくない	普通	満足	とても満足
配置					
配色					
雰囲気					
レイアウト					
新概念の想起					
発想支援					
ウォークスルー					

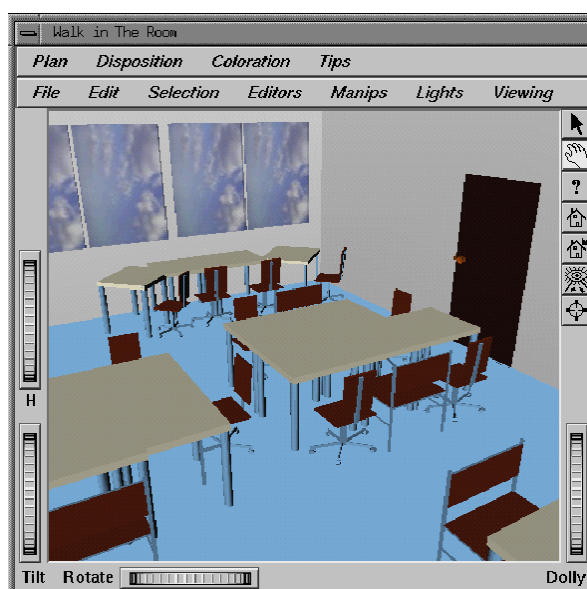
(d) アンケート結果

図 3.22 レイアウト結果例 4

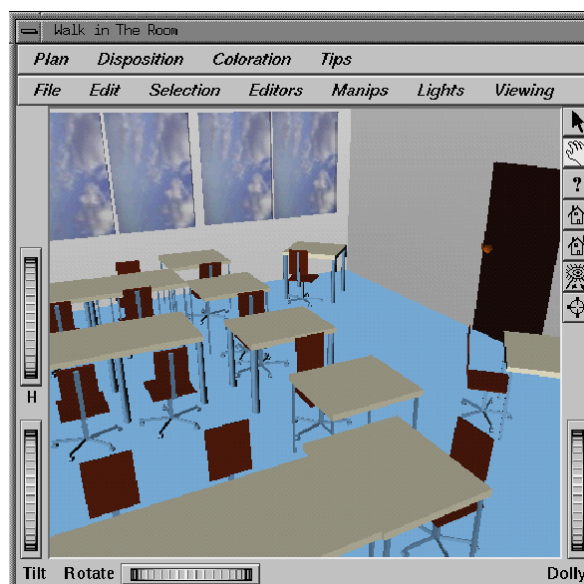
次に、非対話型進化計算法システムで得られたレイアウト例を図 3.23～3.24 に示す。図 3.23 は図 3.20 と同じ条件で行った結果であり、図 3.24 は図 3.22 と同じ条件で行った結果である。図 3.23 は、26 世代目に得られた中心付近にまとまったレイアウト結果と 27 世代目に得られた周辺に散らばったレイアウト結果である。図 3.24 に示したような少人数の場合は除き、利用者による評価が入力されない非対話型の場合はさまざまな方向性のレイアウトが混在して複数提示された。利用者による評価は、システムに同じ方向性のレイアウトを提示させるようにしており、システムの知識の更新と進化計算法の適応度に総体的評価として大きく作用しているといえる。また利用者による評価は利用者の主観を反映させたレイアウト案の構築に有効であるといえる。

想定項目	値
人数	15人
コミュニケーション風土	特に考慮しない
雰囲気	洗練された 

(a) 入力想定内容



(b) 提示世代 : 26



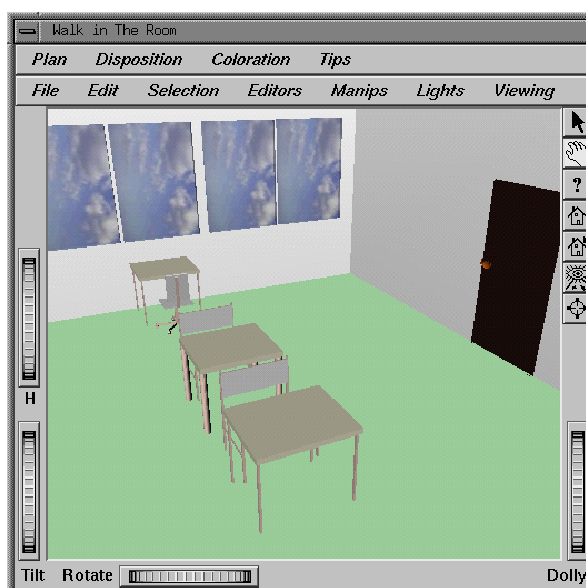
(c) 提示世代 : 27

図 3.23 レイアウト結果例 5

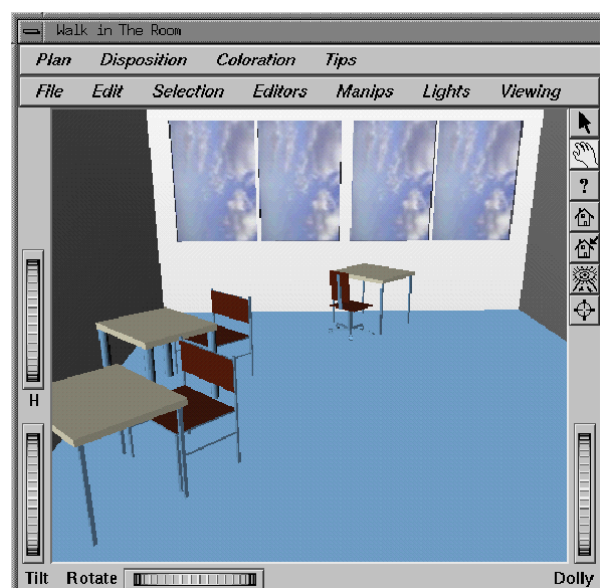
(図 3.20 と同じ条件、非対話型進化計算法システムによるレイアウト結果)

想定項目	値
人数	3人
コミュニケーション風土	個人重視
雰囲気	都会的な 

(a) 入力想定内容



(b) 提示世代 : 9




(c) 提示世代 : 12

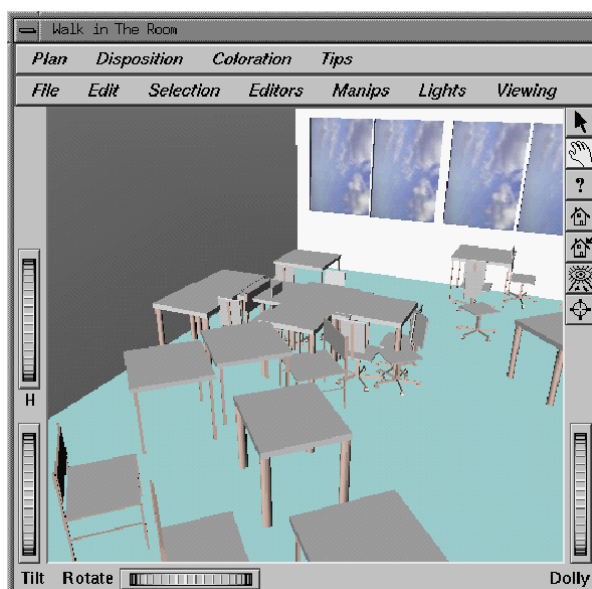
図 3.24 レイアウト結果例 6

(図 3.22 と同じ条件、非対話型進化計算法システムによるレイアウト結果)

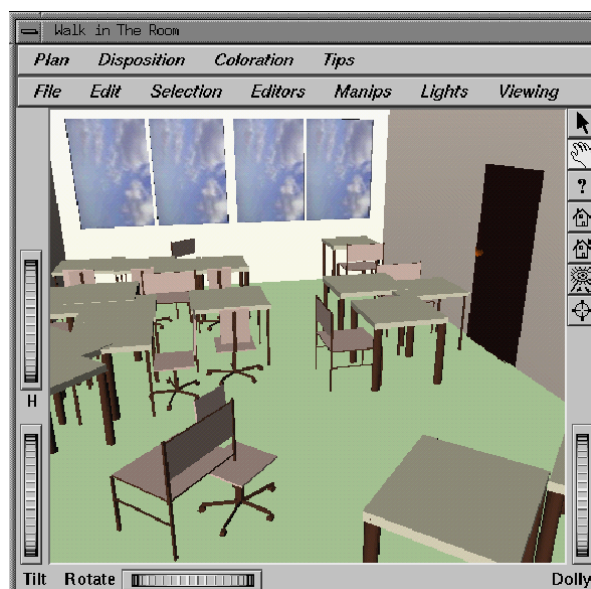
もうひとつの非対話型非進化計算法システムで得られたレイアウト例を図 3.25～3.26 に示す。図 3.25 は図 3.20 や図 3.23 と同じ条件で行った結果であり、図 3.26 は図 3.22 や図 3.24 と同じ条件で行った結果である。非対話型で進化計算法も用いずに製作したインテリアレイアウトは、家具の位置が初期値として与えられる散布度に従って一箇所に集中するといったことはないものの、家具の重なりが多く都合が悪い。非対話型進化計算法システムで得られた図 3.23～3.24 に比べても不適切なレイアウトである。本研究のシステムや非対話型非進化計算法システムによるレイアウト結果と比較して不適切な配置が多いことが分かる。インテリアレイアウトの支援において進化計算法が効果的に働いているといえる。

想定項目	値
人数	15人
コミュニケーション風土	特に考慮しない
雰囲気	洗練された 

(a) 入力想定内容



(b) 提示例 1



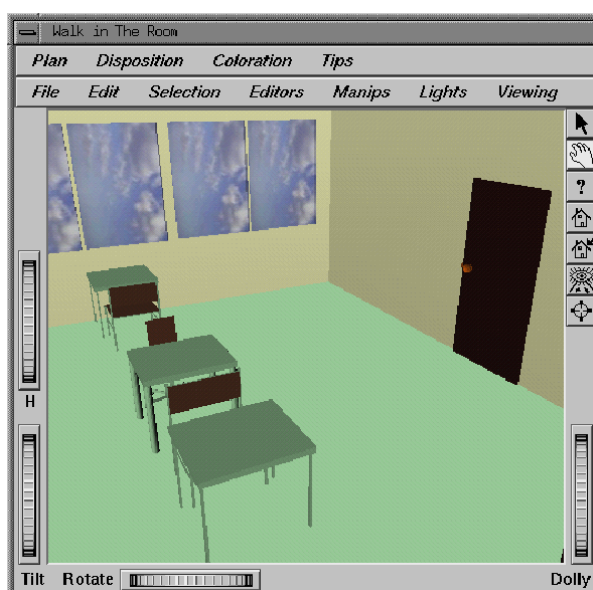
(c) 提示例 2

図 3.25 レイアウト結果例 7

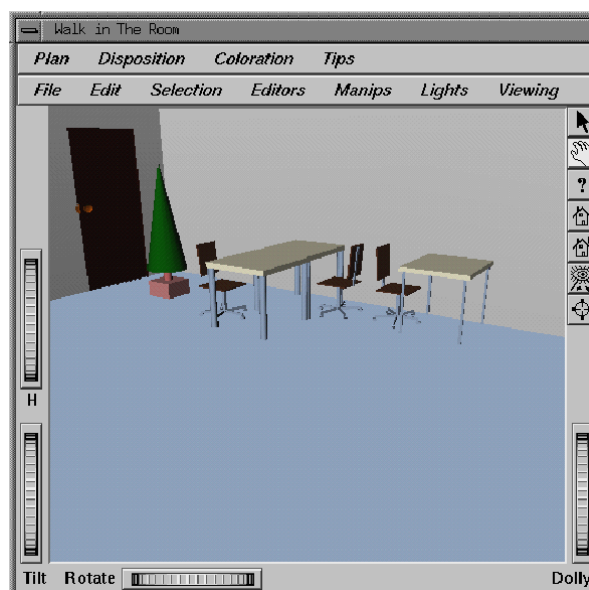
(図 3.20、図 3.23 と同じ条件、非対話型非進化計算法システムによるレイアウト結果)

想定項目	値
人数	3人
コミュニケーション風土	個人重視
雰囲気	都会的な 

(a) 入力想定内容



(b) 提示例 1



(c) 提示例 2

図 3.26 レイアウト結果例 8

(図 3.22、図 3.24 と同じ条件、非対話型非進化計算法システムによるレイアウト結果)

3.4.2 アンケート結果

本研究のシステムについてのアンケート結果は図 3.19～3.22 に示したようなものである。アンケート結果の集計を図 3.27 に示す。

アンケート項目は、比較用システムと比較して、本研究のシステムで対話的に作成したレイアウトについて配置、配色、雰囲気の満足度、トータルに見た際のレイアウトに対する満足度、それに利用中に新しいレイアウトがひらめいたか、このシステムが発想支援として役立ったか、ウォークスルーは役に立ったかについてである。

被験者の感想は次のようなものであった。

- ・ウォークスルー等で多方向からの視点によってレイアウトをイメージしやすかった。
- ・最初は漠然としていたイメージが固まってきた。
- ・新しいレイアウトのイメージがわいた。
- ・思ってもみなかった好ましいレイアウトができた。
- ・世代が進むにつれて好みを反映したレイアウトが提示されるようになって感じた。
- ・ゲームのようで面白かった。時間がかかるが苦にならなかった。
- ・判断基準をどのようにすべきか迷った。
- ・家具の種類が少ないように感じた。
- ・レイアウトの微調整は操作が面倒だった。
- ・さらに多様な配色ができれば良かった。

また、比較用システムについては、本研究のシステムと比較すると好みのレイアウト案が表示されることもあるものの、好みでないレイアウト案が多く表示されるため、相対的に本研究のシステムと同等又はそれ以下という感想が聞かれた。

利用者は、インテリアレイアウトについて専門的な知識や経験がほとんどなくとも、本研究のシステムと協調して、一人では発想困難なインテリアレイアウトを無理なく製作することができた。システムは、利用者から高く評価されることが確認された。

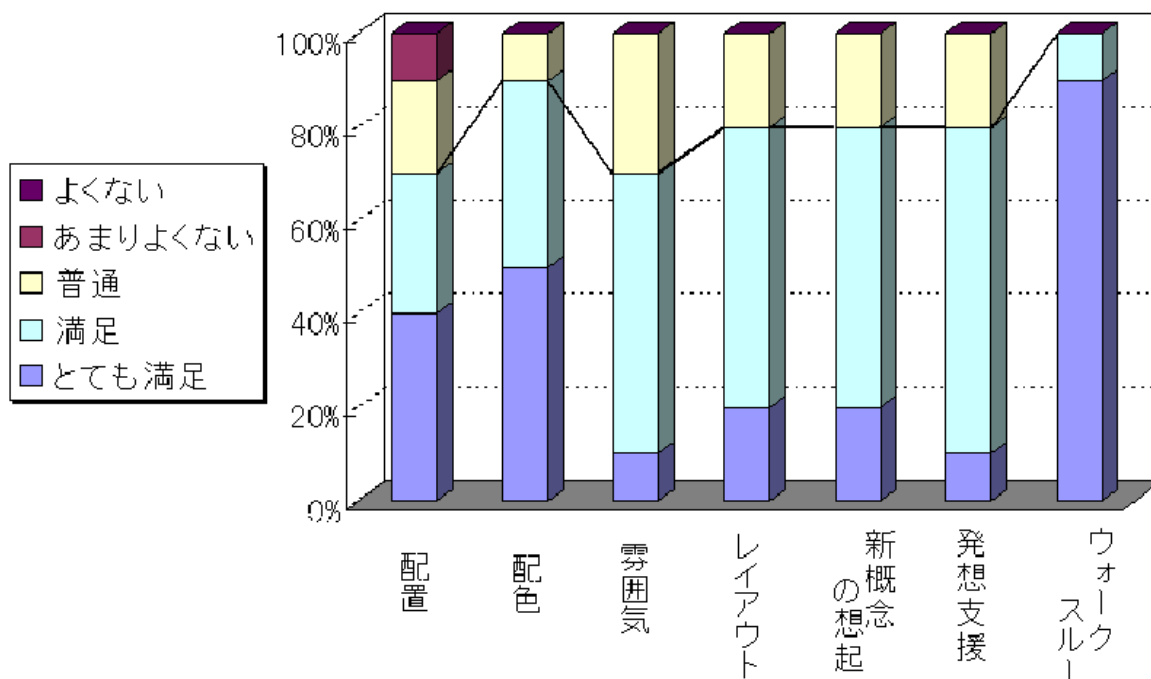


図 3.27 アンケート集計結果

3.5 結論

本研究では、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構築した。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、対話型進化計算法とインテリアレイアウトのための知識を用いている。配置と配色に関する制約ルールや家具のばらつき具合を捉えるための散布度、人間と環境の関わりを扱う環境管理学の考えをインテリアレイアウトのための知識としている。利用者の評価に従って知識が更新されていくことで、知識は次第に利用者に応じてカスタマイズされていき、システムは利用者の好みや感性を反映したレイアウト案を提示するようになる。

評価実験によりシステムが利用者の感性を反映した多様で斬新なレイアウトを提示できること、発想支援システムとして役立つことが確かめられた。また利用者が、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無理なく知的作業を進められることが確認された。本研究のシステムに、インテリアレイアウト支援システムとしての汎用性と利便性が確認された。対話型手法による知識の更新と進化計算法の適応度調整が利用者の感性を反映させたインテリアレイアウト支援に有効であること、進化計算法が効果的に機能することが確認された。

なお、本研究のシステムの評価では、全ての被験者が家具の配置という作業を経験したことがありインテリアレイアウトを評価することが難しくなかったことから、専門的な知識を持った利用者に効果があるか確認していない。次章では、インテリアレイアウトよりもデザイン要素が多く、高い感性を要する、評価の難しい知的作業への対話型進化計算法の応用例について説明する。

第4章

対話型進化計算法によるフラワーデザイン支援システム

本章では、対話型進化計算法を用いたデザイン支援のための具体的なシステムであるフラワーデザイン支援システムの研究について述べる[61]。

このシステムには、デザイン案を仮想空間内に提示するエンタテイメント性のあるインタフェース、フラワーデザインの知識と特性を扱うための生け花の特徴量と花の配置と配色に関する制約ルール、それに生け花の雰囲気や花の配置や配色を総体的に扱うためのイメージスケール[33]-[35]が用いられている。制約ルールにはそれぞれの使われる確率として選択確率が与えられている。また、利用者が作業中に起こしかねない好みの揺らぎを調整するイメージスケール調整マップが導入されている。選択確率とイメージスケール調整マップは利用者による評価に従って更新される。フラワーデザイン案は花の位置関係や色合いなどによる評価に利用者からの対話的評価を加えたものにしたがって進化的に求められ利用者に提示される。提示されるデザイン案に対して利用者が対話的に評価を繰り返していくことで、システムは次第に利用者の好みや感性を反映させたデザイン案を提示するようになる。利用者は専門的な知識や経験がなくとも、システムと協調してデザイン作業を進めることでセンスのある好みのフラワーデザインを制作することができる。

4.1 節で本研究の背景と目的について述べ、4.2 節でフラワーデザインの基礎的な知識や特性を説明する。その知識や特性を用いた本研究の対話型進化計算法によるフラワーデザイン支援システムを4.3 節で説明する。コンピュータにシステムを実装しての評価実験の結果を4.4 節で示し、システムの有用性を4.5 節で述べる。

4.1 はじめに

近年、経済の高度化、多様化などに伴い、消費生活の成熟化、個性化が進み、一品種大量生産から多品種少量生産の時代へと変わるとともに、個人の感性を重視した設計やデザインが重要となってきた[9]。また、現代社会のストレスを解消し癒しを与えるコンテンツやロボットなどのニーズが高まってきている。そのような中で、一般家庭では、古くは古代ギリシャ時代から人と密接に関係し人に安らぎを与えてきた花が、趣味や教養として幅広く楽しまれるようになってきた。日本の伝統芸能としての生け花や西洋で発達してきたフラワーアレンジメント、ブーケ、コサージュ（これらを総称して以下フラワーデザインとする）を楽しむ愛好家が増えてきている。人間の感性を反映させる設計やデザインの支援はこのようなところでも要求されるようになってきている[12]-[14]。

個人の感性に評価が委ねられるようなデザインや音楽などの制作を支援するシステムとしては、CAD/CAM や CAE[94]、人工知能による自動設計支援ツール[114]-[118]、ファジィ推論を用いたシステム[51]、対話型進化計算法を用いたシステム[52]などが研究されてきた。しかしフラワーデザインのような3次元で制作する芸術活動を支援するシステムについての研究はほとんど見られない。これまでにロボットに生け花を作らせる研究が行われているが[144]、実際の花を使うため、さまざまなデザイン案を利用者に提示するのに時間やコストがかかり、利用者の生け花を支援することは困難である。

そのような利用者の好みや感性を反映させた設計やデザインといった知的作業に対しては対話型進化計算法が有効であると考えられている[76][77]。第3章で述べたインテリアレイアウトへ対話型進化計算法を応用したシステムでは、利用者は専門的な知識や経験がなくとも好みのセンスのある設計やデザインを得ることができ、また利用者はシステムと協調して無理なくレイアウト作業を進めることができた。

しかし対話型進化計算法は、一般的には知識の少ない利用者以外には効果的でないという問題点や、デザイン要素が多い場合には概して利用者はコンピュータと長時間協調して作業することになって疲労して有効性が発揮されにくいといった問題点が指摘されている[71][76]。第3章のインテリアレイアウト支援システムについては、誰もが家具の配置という作業を経験したことがあり、インテリアレイアウトの評価は難しくはないことから、専門的な知識を持った利用者には効果があるかどうかの確認をしていない。インテリアレイアウトよりもデザイン要素が多く、高い感性を要する、評価の難しい知的作業への対話型進化計算法の応用例を研究することには意義がある。

そこで、本研究では、フラワーデザインが注目される情勢も踏まえ、対話型進化計算法を用いたデザイン支援システムの具体的なシステムの応用のひとつとして、感性機能が要求され、多くのデザイン要素が含まれる知的作業であるフラワーデザインを課題とする。特に、フラワーデザインの中でも自由度が高く、高い感性が要求される日本古来の生け花を対象とする。フラワーデザインについて、バーチャルリアリティを利用して、専門知識や経験のある利用者も専門知識や経験のない利用者も生け花を直感的に無理なく進められるように支援する対話型進化計算法によるフラワーデザイン支援システムを構築し、その有用性について検討する。

本研究のシステムは、フラワーデザインに関する知識と特性を扱うための生け花の特徴量と花の配置と配色に関する制約ルール、それに生け花の雰囲気や花の配置や配色を総体的に扱うためのイメージスケール[33]-[35]を用いる。また、花の配置と配色に用いる制約ルールには選択確率を与え、花に使われるルールを確率的に決定する。さらに、利用者が作業中に起こしかねない好みの揺らぎを調整するイメージスケール調整マップを導入する。制約ルールの選択確率とイメージスケール調整マップは利用者による評価にしたがって更新される。フラワーデザイン案を更新された制約ルールや花の位置関係や色合い（生け花の特徴量）などにもとづくシステムによる評価に利用者による主観的な評価を加えたものに従って進化的に求め、利用者に提示する。提示されるデザイン案に対して利用者が対話的に評価を繰り返していくことで、システムは次第に利用者の感性を反映したデザイン案を提示するようになる。そのため、システムは多様な利用者の好みや感性に応えることができ、利用者は専門的な知識や経験なしにシステムと協調してデザイン作業を進めることができる。

4.2 フラワーデザインの基礎

生け花には草月流や池坊などさまざまな流派があり、また図 4.1 のようないくつかの生け花のつくりがあり、それぞれデザイン様式が異なる。さらに個性によっても花の配置や色合いが微妙に変わるため、生け花には多種多様なデザインとデザイン要素がある [145]-[151]。これらに共通する生け方の基本を、本研究のシステムにおけるフラワーデザインのための知識としてデザインの制約ルールや適応度の計算に用いる生け花の特徴量に利用する。導入についての詳細は 4.3.2 節で説明する。

ここでは、まず生け花の入門書[152][153]を参考に生け花の基本となる素材（花材）に与えられる役割と生け方のかたちや色合いについて説明する。生け花を構成する基本要素は、形、大きさ、傾き、色合い、花材の距離関係などで、大きく分類すれば、形状と色に分けることができる。そのため説明も花材の配置と配色に分けて述べる。その後、生け花の特徴量と初期入力される生け花の雰囲気を経験的に扱うために用いるイメージスケールについて説明する。

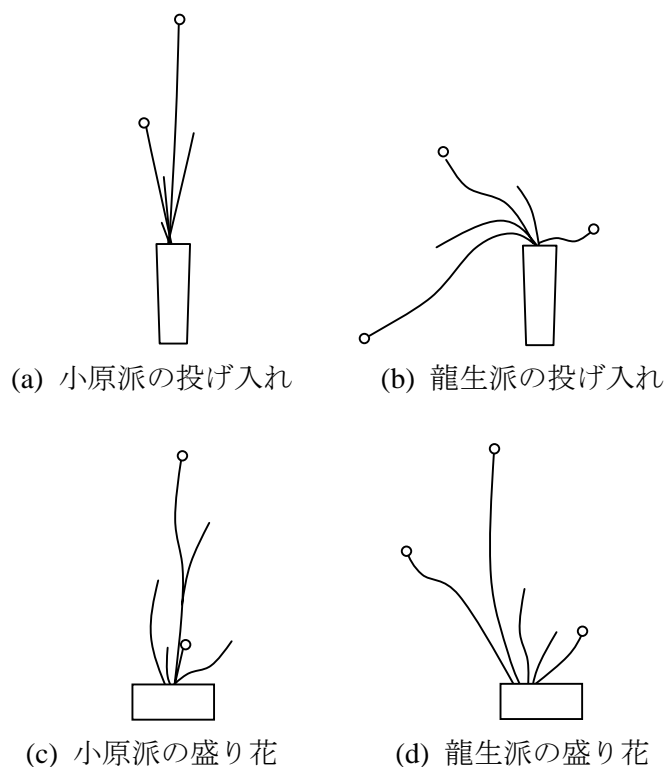


図 4.1 生け花のデザイン様式

(文献[146][147]より引用・改変)

4.2.1 花の配置・生け花の形状

生け花において、花材には、生け花の骨格となる「役枝」またはそれらを補助する「あしらい」という役割が与えられている。図 4.2 のように、基本は、役枝は 3 本で不等辺の逆三角錐を構成し生け花の骨組みとなる。流派によって役枝の呼び方が異なるが、主役の枝を真（天）、脇役の枝を副（人）、控えの枝を体（地）という。あしらいは役枝それぞれをデザイン的に補助する花材で、使われないこともあるが、1～6 本が 3 本の役枝に囲まれた範囲に配される。役枝が決まれば、あしらいも決まることから、以下は役枝の決め方について述べる。

まず、役枝の長さは、真が基本となる。真の寸法は、花材を入れる器（花器）の長さを基本としており、花器の長さの 1.5～2 倍となる。花器の長さとは花器の高さと花器の口の直径との和で定義される長さである。次に、副の寸法は真の $1/2 \sim 2/3$ の長さとなり、体は副の $1/2 \sim 2/3$ の長さとなる。そして、あしらいの長さは、それぞれが補助する役枝のおよそ半分の長さとなり、花器と花材全体のバランスを取る。

役枝の傾きも真が基本となる。副と体の傾きは真と全体のバランスから決まる。例えば、真が正面から向かって左側（陰や主位と呼ぶ）にあって、副が右側（陽や客位と呼ぶ）にある場合には、体は左側になってバランスを取る。また、真も副も陰にあれば、体は陽の

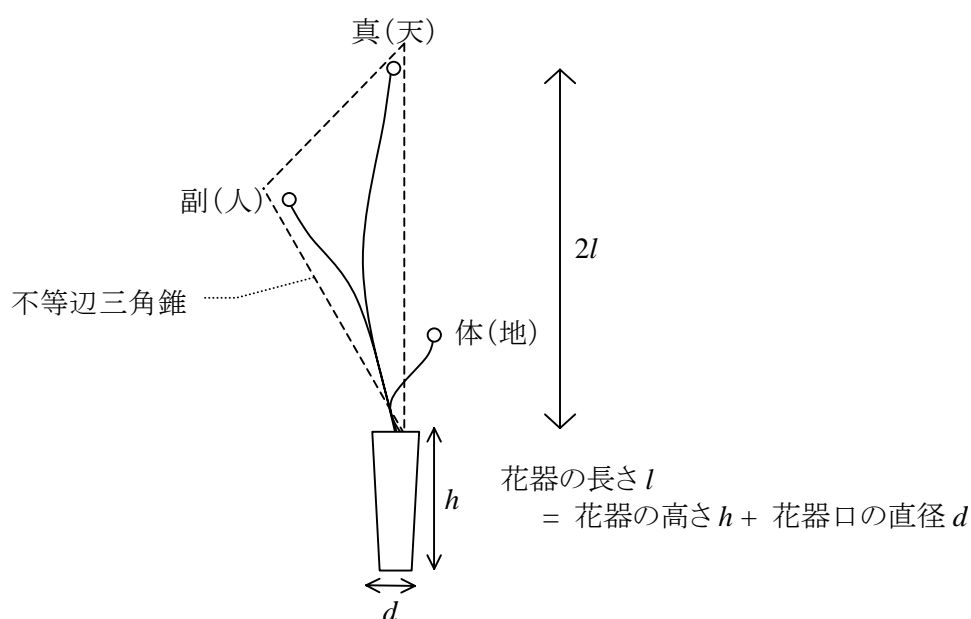


図 4.2 生け花の構成 (文献[152]より引用・改変)

位置でバランスを取る。なお、ここでバランスというのは、左右対称や均一な位置関係ではなく、役枝が不等辺の逆三角錐を構成するように、各花材がお互いに補完しあってアンバランスな美しさを醸し出すまとまりのことである。具体的な傾きとしては、どの流派も基本的には図 4.3 に示すような角度を取る。もちろん、役枝の傾きもあしらいの傾きも、これらの角度に定まるわけではなく、全体のバランスとの関係で多少変化する。また、角度だけでなく、花材の挿す位置も変わる。また、バランスは役枝に使う花材の種類にも関係している。例えば、真や副に木物が使われれば体には木の花や草花が使われ、真や副に草物が使われれば体には草花が使われる。

このように各花材は、それぞれ異なる長さ向きでアンバランスに独立に配され、花材に木物や草花の自然な取り合わせが使われることで、生け花の自然感や生命感を引き出している。また、蔓や枝などの線状の花材が区切る生け花のまわりの空間や花材と花器との調和などが全体のバランスに関係する。こうしたさまざまなデザイン要素が作品全体の雰囲気を作り出す。

生け花の形状の特徴量には、生け花の長さ、左右への傾き具合、花材の位置関係などが考えられる。

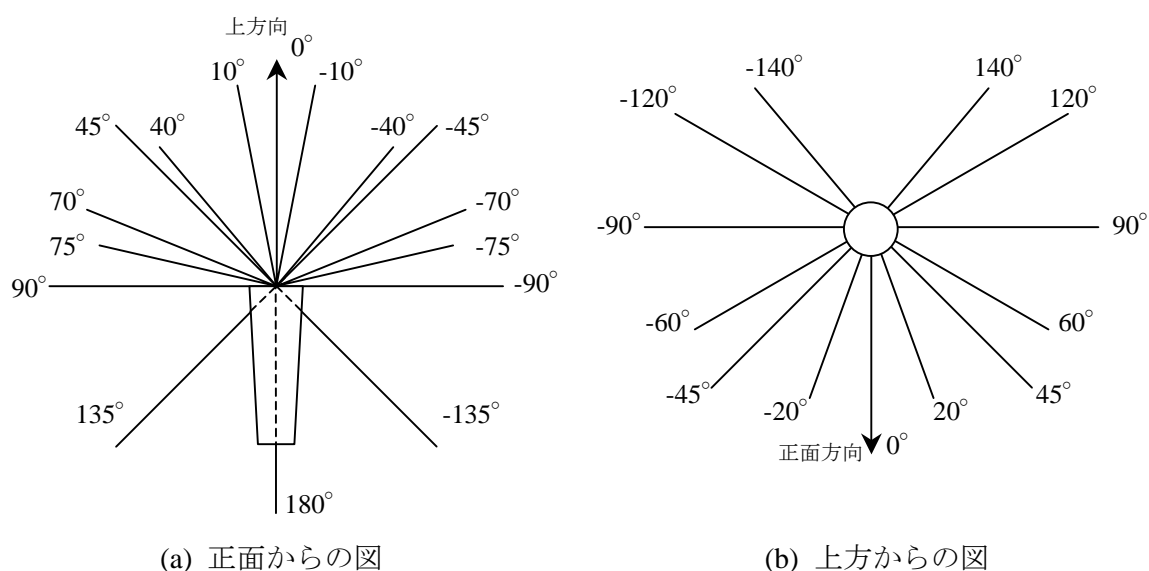


図 4.3 花材の角度 (文献[147]より引用・改変)

4.2.2 花の配色・生け花の色合い

生け花の色合いについての特徴量には、色彩学の見地から、RGB 色空間よりも、色相 H と彩度 S の HS 色空間における特徴量が適している[154][155]。

4.2.3 イメージスケール

イメージスケールとは、小林[33]-[35]がさまざまなイメージをデータベース化した図 1.6 に示したものである。イメージスケールは、ファッションやインテリア、製品デザインなど、数多くの分野におけるカラーデザイナーや美大教員等によるカラーイメージ調査をもとに、さまざまな配色や形状の特徴を、感性語と呼ばれる印象を表現した形容詞に結び付けることで、ひとつの感性空間で捉えている。配色や形状の特徴と感性語の結び付きというのは、具体的には、カラーイメージ調査において、赤みのある色と明るい色、赤と黒、白と明るい色などの配色の特徴と、安定、不安定、垂直、水平、外へ膨らむ、内へ反るなどの形の特徴が、それぞれ特定の感性語に結び付けられたものである。イメージスケールは、この結び付けられた配色の特徴、形状の特徴、感性語が、「Warm（暖かい）-Cool（冷たい）」と「Soft（軟らかい）-Hard（硬い）」を座標軸とする 2 次元平面上のある一箇所に配置されて作られている。そのため、イメージスケールは、イメージのデータベースのような機能を果たし、感性語のイメージスケール上の座標から配色や形状の特徴を導くことや、逆に配色や形状の特徴から感性語を導くことが可能となっている。工業製品の総体的な印象の把握や、感性語から配色や形状の特徴を導くことにも利用することができる。また、複数の形状や配色をひとつの感性空間において比較することができる。

イメージスケールは、感性語をいくつかまとめた図 1.6 や図 4.4~4.7 に英語で表記したような領域（イメージパターン）を持っており、このイメージパターンによって、形状や配色を大まかに分類する。例として、インテリアの形のイメージスケールを図 4.5 に示すとともに、名画を分類したイメージスケールを図 4.6 に示す。

またイメージスケールにおいて、形状や配色の特徴は、イメージパターンとは別に、イメージスケールの 2 つの軸で分けられた 4 つの区分の方向に対応して顕著となることが知られている。その特徴を図 4.7 及び表 4.1~4.2 に示す[33]-[35]。

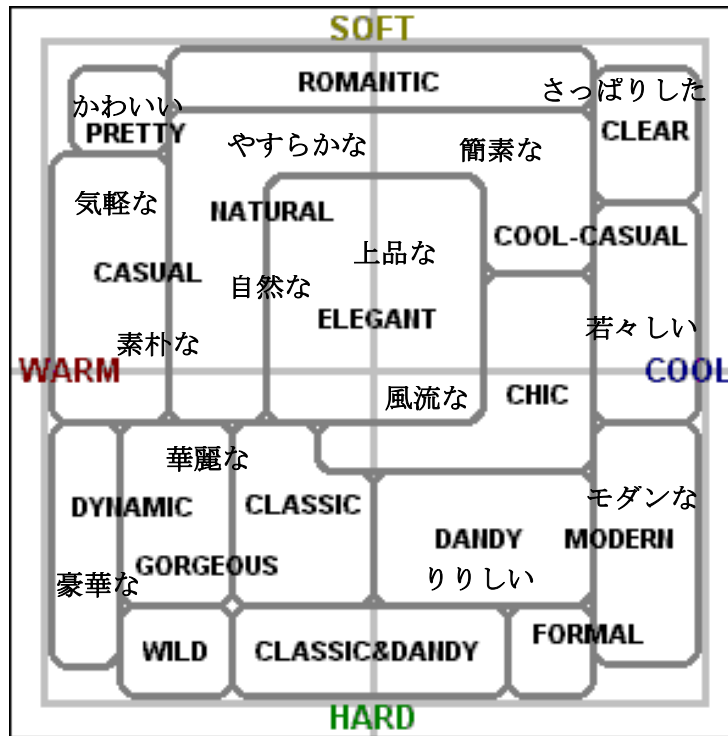


図 4.4 イメージスケールの例 (感性語とイメージパターン)
(参考文献[33]より引用・改変)

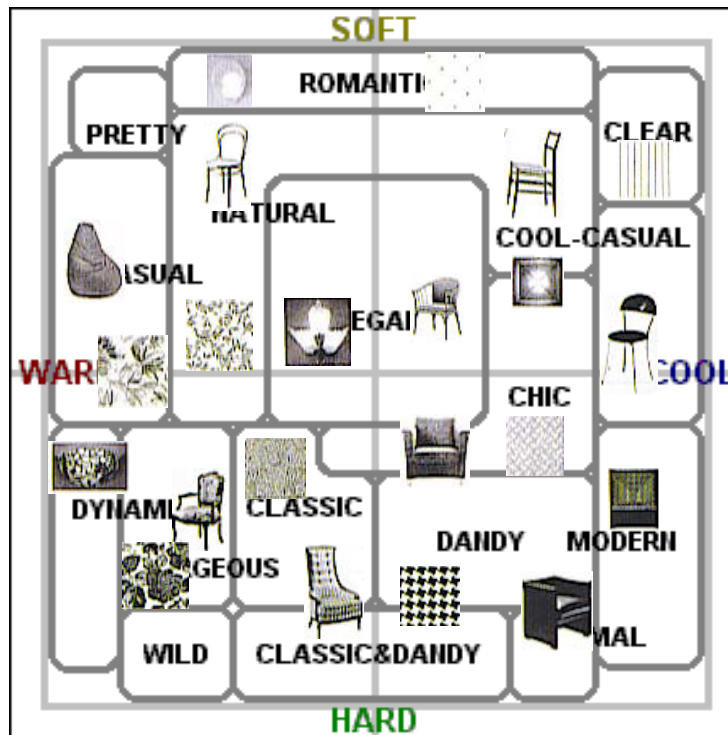


図 4.5 イメージスケールの例 (インテリアの形) (参考文献[33]より引用・改変)

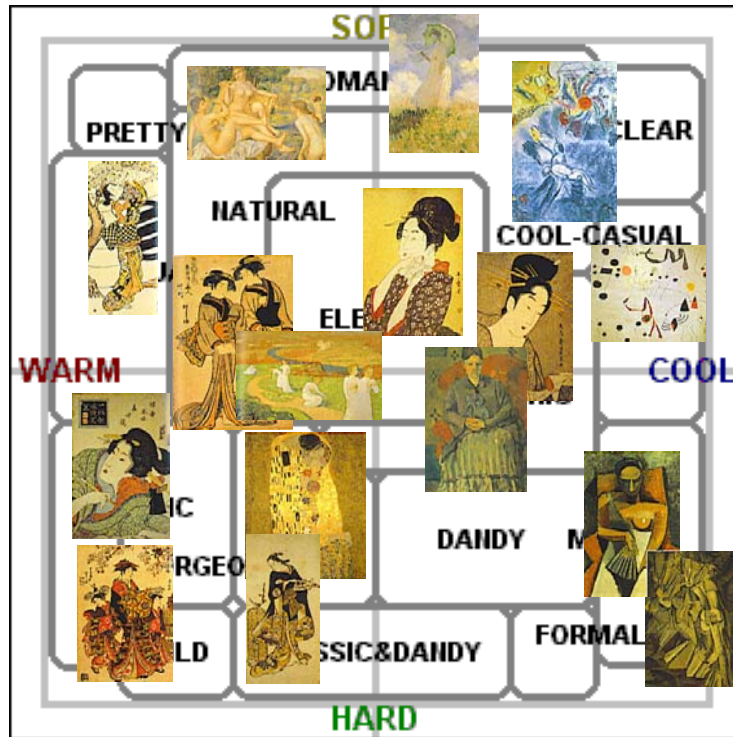


図 4.6 イメージスケールの例（浮世絵と印象画）（参考文献[33]より引用・改変）

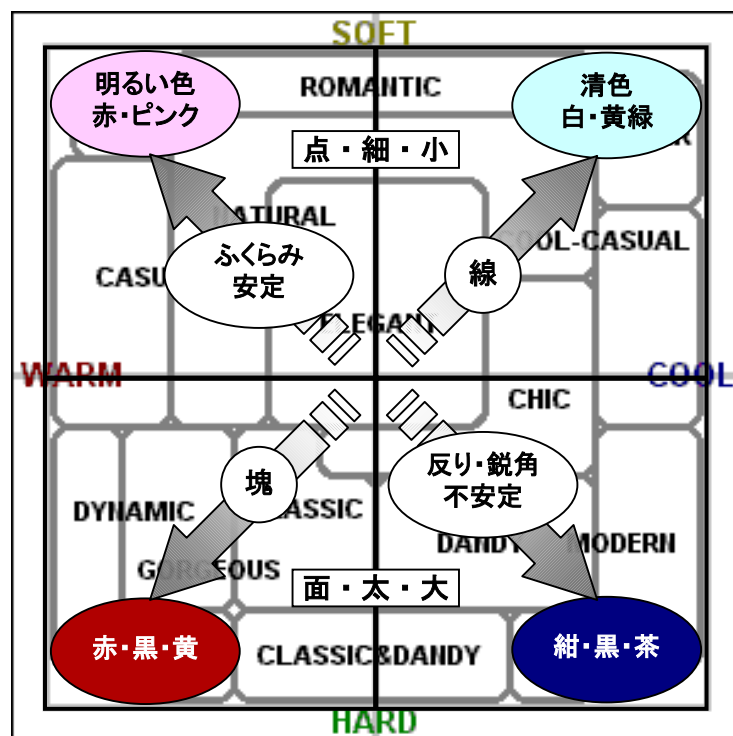


図 4.7 イメージスケールの4区分と形状や配色の特徴
（参考文献[33]-[34]より引用・改変）

表 4.1 イメージスケールの4区分と形状の特徴

区分	形状の特徴
Warm-Soft 面	ふくらみ、安定、小さい
Warm-Hard 面	ボリューム、塊的な、充実した
Cool-Soft 面	繊細、線的な、軽快な
Cool-Hard 面	反り、不安定、角張り

表 4.2 イメージスケールの4区分と配色の特徴

区分	配色の特徴
Warm-Soft 面	赤みのある色と明るい色
Warm-Hard 面	赤と黒、暖色系、派手
Cool-Soft 面	白と明るい色
Cool-Hard 面	黒と紺、寒色系、落ち着き

4.3 フラワーデザイン支援システム

フラワーデザイン支援システムは、第3章のインテリアレイアウト支援システムと外形的には類似した構成となっている。しかしフラワーデザインはインテリアレイアウトに比べてデザイン要素が多く、内部の計算方法には異なる点が多い。

図4.8に本研究のフラワーデザイン支援システムの概略図を示す。システムは、フラワーデザインの知識を備え、生け花の雰囲気を総体的に扱うためにイメージスケールを用い、利用者の疲労を考慮して効率的に利用者の評価をシステムに取り込むように改良された対話型進化計算法と、デザイン案を仮想空間内に提示するエンタテインメント性のあるインタフェースを備える。フラワーデザインのための知識には、さまざまなデザイン要素の基礎となる生け花の基本的なルール（配置と配色に関する制約ルール）やイメージスケールなどが含まれる。システムが多くのデザイン候補の中から知識にもとづいて次々に選び出したデザイン案に対して、利用者はインタフェースを通してシステムと対話的に評価を繰り返していく。システムは利用者からの評価にもとづいて知識を更新していく。こうしてシステムと利用者が対話的にフラワーデザインを進めていくと、次第にシステム内の知識が利用者向けのものとなっていく。システムは利用者の好みや感性が反映されたデザイン案を提示するようになる。利用者は専門的な知識や経験がなくともシステムと協調してフラワーデザイン作業を進めることができる。

図4.9にシステムのさらに具体的な流れを示す。あらかじめ利用者は生け花の雰囲気と

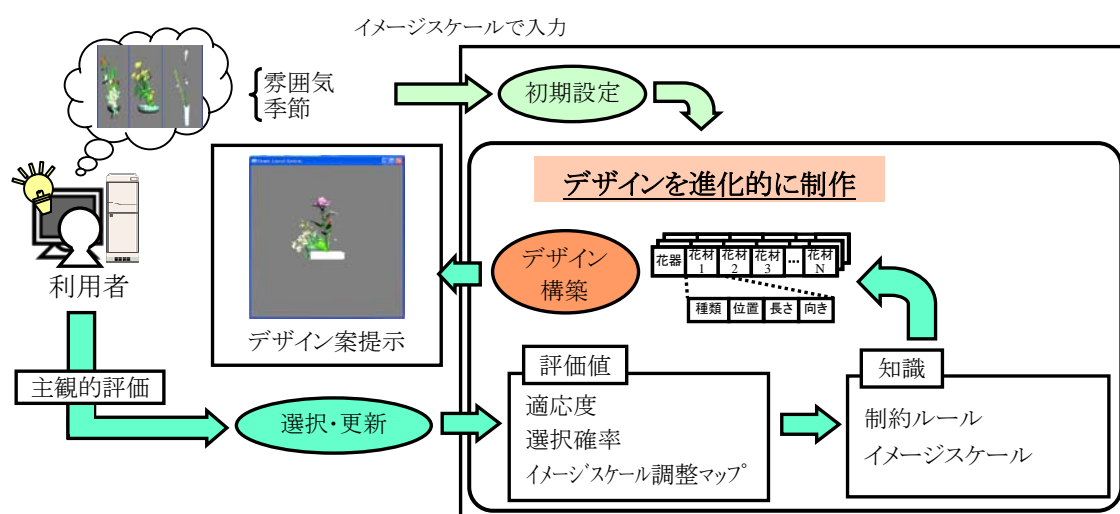


図4.8 フラワーデザイン支援システム

季節を想定し、想定内容をシステムに入力する。システムはイメージスケールを通して入力された雰囲気を利用者の想定している雰囲気に適った配置や配色の特徴に変換し、各選択確率などのシステム内の知識を初期化する。そして、システムは初期設定された選択確率にしたがって制約ルールを選択し、制約ルールにもとづくデザイン案をいくつか制作して利用者に提示する。利用者は提示されたデザイン案それぞれに対話的に評価を与え、全ての評価を終えたところで、新しいデザイン案の制作をシステムに要求する。システムは利用者から入力された評価に応じて各デザインの適応度を再評価するとともに選択確率とイメージスケール調整マップを更新し、改めて選択確率と遺伝的操作を用いて新しいデザイン案を制作して利用者に提示する。このように、利用者とシステムは対話的にデザイン作業を進めていく。

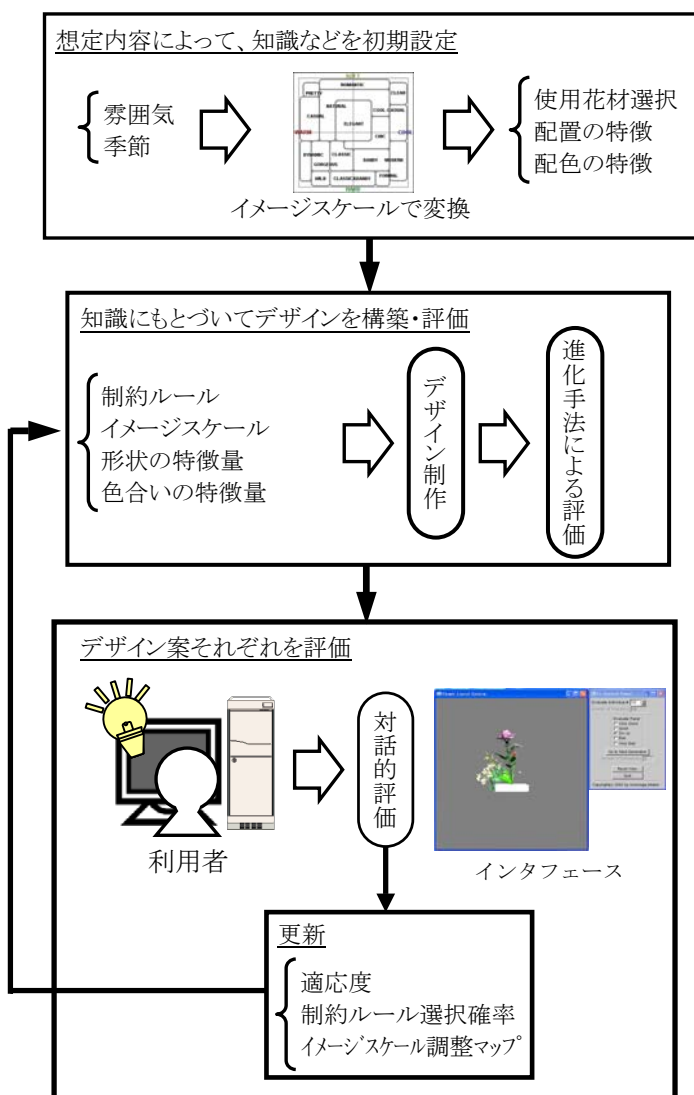


図 4.9 フラワーデザイン支援システムのフローチャート

4.3.1 インタフェース

図 4.10 に本研究のシステムのインタフェースを示す。インタフェースは、デザイン案を仮想空間内に提示するバーチャルリアリティを用いたデザイン提示画面と、利用者がシステムに評価や命令を入力するための画面から成る。

利用者は、①の画面の仮想空間内にあるデザイン案を3次元的に動かして視点を変えて鑑賞し、デザイン案を立体的に把握して直感的な評価を③の評価入力のためのパネルからシステムに入力する。視点を変える操作に不慣れで視点が分からなくなってしまった場合には⑦のボタンを押すことで視点を元に戻すことができる。そして利用者は、②の表示する個体の番号を変更することで、システムが制作した全てのデザイン案を鑑賞し、評価が全て終わったところで、⑤のボタンを押して新しいデザイン案を制作するようシステムに命令する。このように、利用者はシステムから提示されるデザイン案について評価を繰り返していくことでデザイン作業を進めていく。また、インタフェースは花材情報を表示



図 4.10 フラワーデザイン支援システムのインタフェース

する機能を備え、利用者は、④のボタンを押してデザイン案に使われている花材の名前などを知ることができる。このように利用者が楽しみながら無理なくシステムと協調してフラワーデザイン作業を行えるように、エンタテインメント性を高めている。

4.3.2 フラワーデザインのための知識

齊藤ら[155]は、野草の撮影画像を用いて、野草の形状情報から4個、色情報から6個の特徴量を求め、野草を自動的に認識するシステムを提案している。本研究のシステムにおいても、このシステムと類似した特徴量を用いる。本研究のシステムは、フラワーデザインを構成する花材の配置や配色の特徴を扱うために、フラワーデザインのための知識として、配置と配色に関する制約ルール、配置の特徴量、配色の特徴量、生け花の雰囲気や花の配置や配色を総合的に扱うためのイメージスケール[33]-[35]を用いる。システムは、利用者との対話を通して、配置と配色に関する制約ルールの組み合わせやイメージスケールの調整などの知識を更新していく。

ここでは、齊藤らのシステムに触れつつ、システムに用いる配置と配色に関する制約ルールと特徴量、それにイメージスケールについて述べる。システム内の知識の更新については、4.3.3節の対話型進化計算法についての説明の中で述べる。

なお、システムで使う役枝の本数は3本とし、あしらいの本数 n は選択確率 $P_{s/n}$ にもとづいて選択することとする。また、システムで使う花材の種類 s は、あらかじめシステムが用意した四季折々の花材のうち初期入力された季節のものの中から、それぞれの選択確率 P_s にもとづいて選択し、真と副には枝木や草を使い、体には草や花を使うこととする。また、花器の種類 v はあらかじめシステムが用意した花器の中から選択確率 P_v に基づいて選択することとする。

A. 花の配置・生け花の形状に関する制約ルール

花の配置は、花材の長さ、挿す位置、傾き具合で基本が定まり、生け花の基本的な形状は、そのような花材の長さや位置関係に加えて、生け花の特徴量によって定まる。まず、花材の長さや位置関係の決め方について述べたあと、生け花の特徴量について説明する。

(1) 花材の長さや位置関係

役枝の真・副・体の長さをそれぞれ a 、 b 、 c とすると、図 4.2 をもとに、役枝の長さ

は、花器の高さ h と花器の口の直径 d より、次のように求める。

$$a:b:c = 1:\frac{2}{3}:\frac{4}{9} \quad (4.1)$$

$$a = 2(h + d) \quad (4.2)$$

あしらいの長さは、それぞれが補助をする役枝の長さの半分とする。各花材の長さは、花器に合わせてこれらの条件を制約ルールとして自動的に計算される。

花材の位置関係については、花材の挿さる位置とその傾き具合に関わる。花材の傾き具合については、図 4.3 の花材の角度をもとに、生け花の正面を Z 方向、上方向を Y 軸とする 3 次元座標系において、Z 軸回りと Y 軸回りに次の傾斜ルールを用いる。ただし、Z 軸回りは Y 軸方向を 0° 、Y 軸回りは Z 軸方向を 0° とする。

Z 軸回り傾斜ルール 1 :	$135 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 1 :	$140 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 2 :	$90 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 2 :	$120 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 3 :	$75 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 3 :	$90 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 4 :	$70 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 4 :	$60 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 5 :	$45 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 5 :	$45 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 6 :	$40 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 6 :	$20 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 7 :	$10 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 7 :	$0 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 8 :	$0 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 8 :	$-20 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 9 :	$-10 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 9 :	$-45 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 10 :	$-40 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 10 :	$-60 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 11 :	$-45 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 11 :	$-90 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 12 :	$-70 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 12 :	$-120 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 13 :	$-75 \pm 5^\circ$	Y 軸回り傾斜ルール 13 :	$-140 \pm 5^\circ$
Z 軸回り傾斜ルール 14 :	$-90 \pm 5^\circ$		
Z 軸回り傾斜ルール 15 :	$-135 \pm 5^\circ$		

役枝 3 本それぞれの Z 軸回りの角度と Y 軸回りの角度は、Z 軸回り傾斜ルール 1~15 の選択確率 P_{saZ} 、 P_{sbZ} 、 P_{scZ} と Y 軸回り傾斜ルール 1~13 の選択確率 P_{saY} 、 P_{sbY} 、 P_{scY} にもとづいて求められる。各ルールが持つ 10° の角度の幅の中からは一様の確率に基づき選択される。なお、挿さる位置に近い複数の花材が同じ傾斜ルールを使うと、花材が重なる場合がある。その際には、花材が重ならないようにいずれかの花材の傾斜ルールを変更

することとする。

(2) 生け花の形状の特徴量

生け花の形状の特徴量については、齊藤らのシステムが用いる形状情報が輪郭の大きさ、複雑さ、モーメント、円形度の4つであることを参考にして、次の6つを用いる。すなわち、生け花の大きさを表す体積 V 、傾きなどの安定性を示す重心ベクトル \mathbf{G} 、花材の広がり具合を示す各花材間の角度の余弦値の平均 W 、形状の複雑さを現すモーメント M の4つの値を特徴量とする。生け花の部分的な花材の長さや位置関係に、生け花全体を表すこれらの特徴量に加わることで、生け花の基本的な形状が定まる。各特徴量は、それぞれ次のように求める。

$$V = \sum_i^N Sl_i \quad (4.3)$$

$$\mathbf{G} = \frac{\sum_{i=1}^N Sw_i \mathbf{Sp}_i}{\sum_{i=1}^N Sw_i} \quad (4.4)$$

$$W = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \frac{\mathbf{Sp}_i \cdot \mathbf{Sp}_j}{|\mathbf{Sp}_i| |\mathbf{Sp}_j|}}{\sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N 1} \quad (4.5)$$

$$M = \frac{1}{V} \left| \sum_{i=1}^N (\mathbf{G} - \mathbf{Sp}_i) \right| \quad (4.6)$$

ここで、 N は花材の数、 Sl_i 、 Sw_i 、 \mathbf{Sp}_i は花材 i の長さ、大きさ（体積）、位置ベクトルを表す。なお、重心ベクトル \mathbf{G} のY座標に対するX座標又はZ座標の比が黄金分割 1.618 を超える場合は花材が左右又は前後に偏りすぎているものと見なす。

B. 花の配色・生け花の色合いに関する制約ルール

齊藤らのシステムは、図 4.11 のように HS 色空間を 10×10 の区画に等分割し、草花の色画素における2次元ヒストグラムを計算して、最大分布区画の座標値 (x, y) 、2番目の分布区画の座標値 (x, y) 、最大分布区画とその4近傍区画を含めた頻度数、2番目の分布区画とその4近傍区画を含めた頻度数の6つの値を色の特徴量としている。本研究のシステムに

においても、HS 色空間を 10×10 の区画に等分割し、花材の色画素における 2 次元ヒストグラムを計算して、次の 4 つを色合いの特徴量とする。

C_{1x} : 最大分布区画の x 座標値

C_{1y} : 最大分布区画の y 座標値

C_{2x} : 2 番目の分布区画の x 座標値

C_{2y} : 2 番目の分布区画の y 座標値

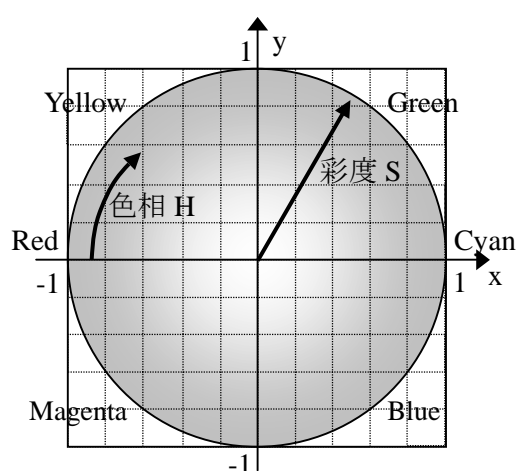


図 4.11 HS 色空間の分割

C. イメージスケール

生け花の形状と色合いに分けて説明してきたが、生け花の印象とデザインとの関わりを考えると、生け花の印象は形状と色合いの 2 つの因子だけで定まるとは考えにくい。生け花の印象を、鑑賞者に聞いてみると、配色について質問した場合と形状について質問した場合とでは異なった答えが返ってくる。また、それらは全体の印象と必ずしも一致しない。色合いが似ていても花材に何が使われているかによって印象が変わってくる。また生け花の経験者にとっては花材の使い方や空間の使い方によって生け花の印象が大きく変わってくる。そこで、生け花の印象を、花材の配置や色合いなど、さまざまな因子に分解して分析する要素還元論的なアプローチで捉える方法を導入することが考えられる。しかし、そのようなアプローチは、理論的にも実際のデータ取得においても極めて困難である。そこで、本研究のシステムでは、生け花の印象を総体的なものとして捉えるためにイメージスケールを用いる。

本研究のシステムは、イメージスケールを用いて、まず初期入力された利用者が想定する生け花の雰囲気感性語 e と結び付く生け花の形状の特徴を求める。例えば、感性語 e が図 4.4 の「かわいい」の場合には、そのイメージスケール上の座標は区分としてはWarm-Soft面になる。そしてこの座標における形状の特徴は表 4.1 にしたがえば「小さくふくらみのある三角形」のような形状であり、この形状の特徴が表れやすくなるように、あしらいの粗密（本数の選択確率） P_{svm} 、花器の選択確率 P_v 、役枝 3 本それぞれのZ軸回り及びY軸回りの角度の選択確率 P_{saZ} 、 P_{saY} 、 P_{sbZ} 、 P_{sbY} 、 P_{scZ} 、 P_{scY} を初期設定する。つまり感性語 e が「かわいい」の場合は、本数は少なく、かわいらしい花器が使われやすくなるようにである。また感性語 e がCool-Soft面にある「さっぱりした」であれば、表 4.1 にしたがって生け花が線的に軽快なイメージになるように、横に広がりやすくするという具合である。具体的に、図 4.12 のイメージスケールに示す 8 種類の特徴の異なる花器を用いた場合の初期値の例を表 4.3 に示す[35]。これら各選択確率 P_{svm} 、 P_v 、 P_{saZ} 、 P_{saY} 、 P_{sbZ} 、 P_{sbY} 、 P_{scZ} 、 P_{scY} は、後述する式(4.15)によって利用者の評価に応じて更新される。

色合いに関してもイメージスケールを用いて、初期入力された利用者が想定する生け花の雰囲気感性語 e と結び付く生け花の色合いを求める。求め方は、図 1.6 に示すようなイメージスケール上に配置された配色の中から、感性語 e と同じ座標を持つ配色を選択する方法を取る。例えば、感性語 e として「モダンな」が初期入力された場合には、システムは、黒と白と紺の縞の配色をフラワーデザインのイメージとして選択する。生け花の色合いの特徴量 C_{1x} 、 C_{1y} 、 C_{2x} 、 C_{2y} を求めたのと同様に、その配色の色画素における 2 次元ヒストグラムを計算することで、利用者があらかじめ想定した雰囲気に対応する次の 4 つの特徴量を求める。

C_{e1x} : 最大分布区画のx座標値

C_{e1y} : 最大分布区画のy座標値

C_{e2x} : 2 番目の分布区画のx座標値

C_{e2y} : 2 番目の分布区画のy座標値

システムは、これらを生け花の評価の際に用いる。ここで利用者がデザイン作業中にあらかじめ想定した雰囲気好み揺らがないとも言いきれない。好みの揺らぎは、2.2 節で進化計算法の高いロバストと複雑な問題への適性によって問題とならないと述べたが、生け花にはデザイン要素が多種多様に含まれるため、システムはイメージスケール調整マップを用いる。イメージスケール調整マップとは、HS 空間を等分割する 10×10 の区画に対応する 10×10 のマップであり行列 T で表す。行列 T は、システム内の知識と同様に、利

表 4.3 感性語 e と結び付いた形状の特徴から求まる各種制約ルールを選択確率の例

感性語 e	各種制約ルールを選択確率 (単位 %)
かわいい	$P_{sv1} = 24, P_{sv2} = 19, P_{sv3} = 16, P_{sv4} = 16, P_{sv5} = 13, P_{sv6} = 11$ $P_{v1} = 100, P_{v2} = 0, P_{v3} = 0, P_{v4} = 0, P_{v5} = 0, P_{v6} = 0, P_{v7} = 0, P_{v8} = 0$ $P_{saZ} = (4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{saY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{sbZ} = (4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{sbY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{scZ} = (4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{scY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$
華麗な	$P_{sv1} = 17, P_{sv2} = 17, P_{sv3} = 17, P_{sv4} = 17, P_{sv5} = 17, P_{sv6} = 17$ $P_{v1} = 0, P_{v2} = 50, P_{v3} = 0, P_{v4} = 0, P_{v5} = 0, P_{v6} = 50, P_{v7} = 0, P_{v8} = 0$ $P_{saZ} = (4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{saY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{sbZ} = (4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{sbY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{scZ} = (4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{scY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$
さっぱりした	$P_{sv1} = 17, P_{sv2} = 17, P_{sv3} = 17, P_{sv4} = 17, P_{sv5} = 17, P_{sv6} = 17$ $P_{v1} = 50, P_{v2} = 0, P_{v3} = 0, P_{v4} = 0, P_{v5} = 0, P_{v6} = 0, P_{v7} = 0, P_{v8} = 50$ $P_{saZ} = (4.0, 6.0, 6.0, 6.0, 6.0, 7.2, 7.2, 9.0, 9.0, 9.0, 7.2, 7.2, 6.0, 6.0, 6.0, 4.0)$ $P_{saY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{sbZ} = (4.0, 6.0, 6.0, 6.0, 6.0, 7.2, 7.2, 9.0, 9.0, 9.0, 7.2, 7.2, 6.0, 6.0, 6.0, 4.0)$ $P_{sbY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{scZ} = (4.0, 6.0, 6.0, 6.0, 6.0, 7.2, 7.2, 9.0, 9.0, 9.0, 7.2, 7.2, 6.0, 6.0, 6.0, 4.0)$ $P_{scY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$
若々しい	$P_{sv1} = 17, P_{sv2} = 17, P_{sv3} = 17, P_{sv4} = 17, P_{sv5} = 17, P_{sv6} = 17$ $P_{v1} = 50, P_{v2} = 0, P_{v3} = 0, P_{v4} = 50, P_{v5} = 0, P_{v6} = 0, P_{v7} = 0, P_{v8} = 0$ $P_{saZ} = (4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{saY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{sbZ} = (4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{sbY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{scZ} = (4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{scY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$
モダンな	$P_{sv1} = 11, P_{sv2} = 13, P_{sv3} = 16, P_{sv4} = 16, P_{sv5} = 19, P_{sv6} = 24$ $P_{v1} = 50, P_{v2} = 0, P_{v3} = 50, P_{v4} = 0, P_{v5} = 0, P_{v6} = 0, P_{v7} = 50, P_{v8} = 0$ $P_{saZ} = (4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{saY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{sbZ} = (4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{sbY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{scZ} = (4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{scY} = (7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$

・花器を図 4.12 に示す 8 種類とした場合。

・ P_{saZ} 、 P_{saY} 、 P_{sbZ} 、 P_{sbY} 、 P_{scZ} 、 P_{scY} の配列要素は各傾斜ルールの順番に並ぶ。

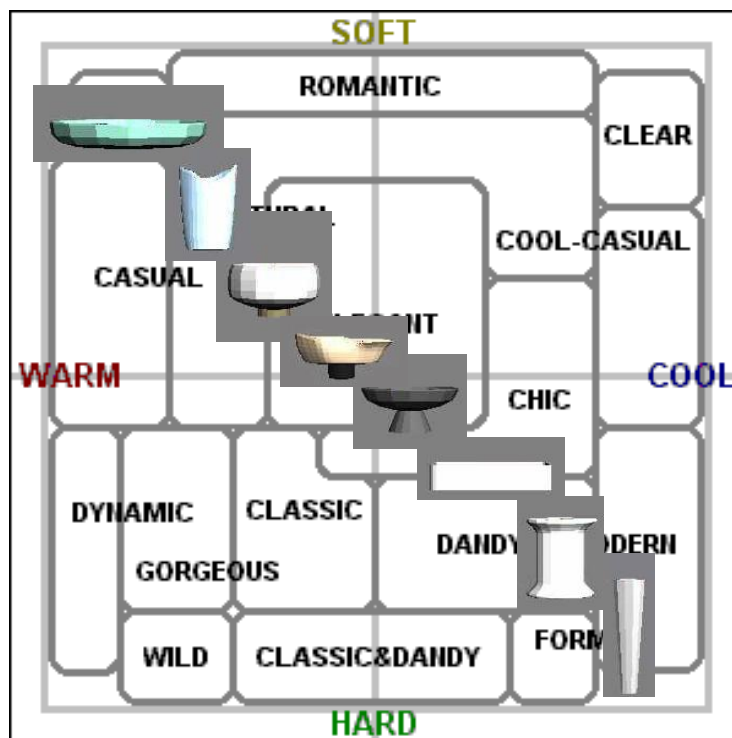


図 4.12 花器の例 (参考文献[35]より引用・改変)

ユーザーによる対話的な評価にしたがって更新される。生け花の評価に、利用者があらかじめ想定した雰囲気に対応する次の4つの特徴量 C_{e1x} 、 C_{e1y} 、 C_{e2x} 、 C_{e2y} だけでなく、イメージスケール調整マップも用いることで、好みの揺らぎがシステムに反映されるようになっている。

4.3.3 対話型進化計算法の導入

本研究のシステムは、1つのフラワーデザインを1つの個体として、ユーザーの評価を踏まえた適応度に従って遺伝的操作を繰り返していくことで、ユーザーの好みのフラワーデザインを進化的に求めていく。

第3章のインテリアレイアウト支援システムにおいては、インテリアの配置と配色を2つに分けて考えたが、本研究のシステムにおいては生け花の印象を総合的なものとして捉えるためにイメージスケールを導入しており、知識の更新を含め、生け花の形状と色合いはひとつとして考えている。進化計算法の個体の評価の説明においては、便宜上、生け花の形状と色合いに分けて説明する。

A. 進化計算法

(1) 個体の適応度

各個体の適応度は、生け花の特徴量を用いて計算する。個体 p の適応度 E_p は、生け花の色合いに関する適応度 E_{pc} と形状に関する適応度 E_{pf} から次のように求める。

$$E_p = U \cdot (R \cdot E_{pc} + E_{pf}) \quad (4.7)$$

ここで変数 R は、陽気さ、暖かさ、派手さを重視する場合には色を重視し、安定感やまとまり、静動感を重視する場合には形を重視するための重み付けである[156]。また、変数 U は、利用者による評価にしたがって、次のような区間で決定される。

$$U = \begin{cases} U_{good}(1, 2) & (\text{良い評価の場合}) \\ U_{bad}(0, 1) & (\text{悪い評価の場合}) \end{cases} \quad (4.8)$$

以下に、生け花の色合いに関する適応度 E_{pc} 、生け花の形状に関する適応度 E_{pf} について説明する。

a. 生け花の形状

個体 p の形状に関する適応度 E_{pf} は、利用者が初期入力する生け花の感性語 e に該当するイメージスケール上の4つの区分の方向に対応する形の特徴(表4.1)を利用した表4.4に示す関数 $f_v(x)$ 、 $f_g(x)$ 、 $f_w(x)$ 、 $f_m(x)$ と、個体 p の形状の特徴量である体積 V_p 、各花材間の角度の余弦値の平均 W_p 、モーメント M_p と、重心ベクトル G_p のY座標のX座標に対する割合である左右への傾き具合 Gyx_p を用いて、次のように求める。

$$E_{pf} = f_v(E_{pv}) + f_g(E_{pg}) + f_w(E_{pw}) + f_m(E_{pm}) \quad (4.9)$$

$$E_{pv} = \frac{V_p - V_{p\ ave}}{V_{p\ d}} \quad (4.10)$$

$$E_{pg} = \frac{Gyx_p - Gyx_{p\ ave}}{Gyx_{p\ d}} \quad (4.11)$$

$$E_{pw} = \frac{W_p - W_{p\ ave}}{W_{p\ d}} \quad (4.12)$$

表 4.4 形状に関する適応度に用いる関数

関数	区分	出力	
		入力 $x \geq x_{ave}$	入力 $x < x_{ave}$
$f_v(x)$	Warm-Soft 面	0.5	0.5
	Warm-Hard 面	1.0	0.0
	Cool-Soft 面	0.0	1.0
	Cool-Hard 面	0.5	0.5
$f_g(x)$	Warm-Soft 面	0.0	1.0
	Warm-Hard 面	0.5	0.5
	Cool-Soft 面	0.5	0.5
	Cool-Hard 面	1.0	0.0
$f_w(x)$	Warm-Soft 面	0.0	1.0
	Warm-Hard 面	0.5	0.5
	Cool-Soft 面	0.5	0.5
	Cool-Hard 面	1.0	0.0
$f_m(x)$	Warm-Soft 面	0.5	0.5
	Warm-Hard 面	1.0	0.0
	Cool-Soft 面	0.0	1.0
	Cool-Hard 面	0.5	0.5

$$E_{pm} = \frac{M_p - M_{p\ ave}}{M_{p\ d}} \quad (4.13)$$

ここで、表 4.4 及び式(4.10)～(4.13)において、添え字に *ave* とあるものは同一世代内の平均値、添え字に *d* とあるものは平均値から最も離れた値と平均値との差であり、式(4.10)～(4.13)は形状についての各特徴の同一世代内での度合いを表す。なお、式(4.11)は、生け花を正面から見た際の左右への偏り具合を表す。

b. 生け花の色合い

個体 p の色に関する適応度 E_{pe} は、感性語 e から導かれる色合いの色の特徴量 C_{e1x} 、 C_{e1y} 、 C_{e2x} 、 C_{e2y} と、個体 p の色合いの色の特徴量 C_{p1x} 、 C_{p1y} 、 C_{p2x} 、 C_{p2y} を用いて、HS空間における感性語 e の色合いと個体 p の色合いの相関が高ければ適応度が高くなるように、次のように求める。

$$E_{pc} = \frac{t(C_{p1x}, C_{p1y})}{(C_{e1x} - C_{p1x})^2 + (C_{e1y} - C_{p1y})^2} + \frac{t(C_{p2x}, C_{p2y})}{(C_{e2x} - C_{p2x})^2 + (C_{e2y} - C_{p2y})^2} \quad (4.14)$$

ここで、 $t(x,y)$ はイメージスケール調整マップの行列 T の (x, y) 要素を指す。イメージスケール調整マップの行列 T は、要素が全て 1 の行列で初期化され、選択確率と同様に後述する式(4.16)によって利用者の評価に応じて更新される。

(2) 遺伝子コーディング

フラワーデザインの遺伝子は、図 4.13 に示すように、花器の種類と、花材の種類、位置、長さ、向きが花材の数だけ 1 次元にコーディングされている。ここで花器の種類は *Vase*、花材の種類は *Name*、長さは L と表す。また上方向を Y 軸として、花材の位置は X 座標値と Z 座標値で P_x と P_z 、向きは Z 軸回りと X 軸回りで D_z と D_x と表す。なお、それぞれの花材の長さや向きに付いている添え字の数字は、各花材が従う制約ルールの種類を表す。

花材は VRML1.0 に準拠したデータとなっており、遺伝子上の位置、長さ、向きに応じて 3 次元座標変換されたものがインタフェースの仮想空間内に表示される。

(3) 遺伝的操作

本研究のシステムは、基本的には適応度の高い個体ほど次世代に子孫を残すように遺伝子を操る一般的な遺伝的アルゴリズムを用いる。ここでは、システムに固有の遺伝的操作として交叉と突然変異について説明する。交叉については、図 4.14 に示すように花器

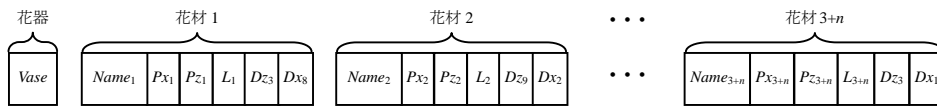


図 4.13 フラワーデザインの遺伝子コーディング

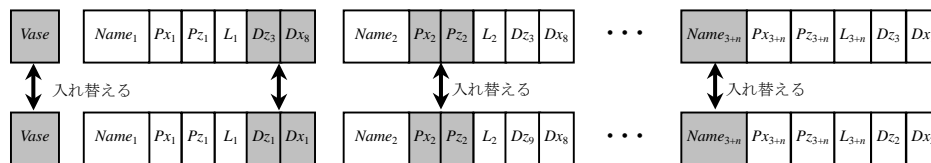


図 4.14 交叉の概略図

は花器同士の種類 *Vase* で行われ、花材は同じ長さの役枝同士、あしらい同士で位置 P_x 、 P_z や向き D_z 、 D_y に作用する。子の花材の向きがどちらの親から継承されるかは一様の確率で決まる。突然変異については、花器の種類 *Vase*、花材の種類 *Name*、向き D_z 、 D_y 、あしらいの数 n のいずれかを新たに選択確率にしたがって選ぶ操作を行う。また位置 P_x 、 P_z にも作用し、花器の口の範囲内の位置で一様の確率で決まる。どの部位に変異を起こすかは一様の確率で決まる。

なお、本研究のシステムでは、遺伝子操作の結果としてフラワーデザインの基礎に沿わないフラワーデザイン案は提示されないように工夫している。花材間の角度が 5° 以上ないフラワーデザイン案は花材ができてしまった場合には花材が重なっているものと見なして個体を致死としている。また重心ベクトル \mathbf{G} の Y 座標に対する X 座標、 Z 座標の比が黄金分割 1.618 を超えて左右に偏りすぎているフラワーデザイン案についても致死としている。このようにして利用者が余分なデザイン案の評価作業をせずに済ませるようにしている。

B. 配置ルールを選択確率とイメージスケール調整マップ

4.3.2 節で述べた各種制約ルールの選択確率 $\mathbf{P} = \{P_{svm}, P_s, P_v, P_{saZ}, P_{saY}, P_{sbZ}, P_{sbY}, P_{scZ}, P_{scY}\}$ 及び 4.3.3 節で述べたイメージスケール調整マップの行列 \mathbf{T} 及びの更新は、更新後の選択確率を \mathbf{P}_{new} 、更新後の行列 \mathbf{T} を \mathbf{T}_{new} すると、次のようになる。

$$\mathbf{P}_{new} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{P} \quad (4.15)$$

$$\mathbf{T}_{new} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{T} \quad (4.16)$$

4.4 コンピュータ実験

フラワーデザインの評価は芸術性が問われるため難しい。そこで本研究のシステムの評価実験では、専門的な知識を持った利用者にも効果があるか明示的に確認する。また結果についても統計的な評価を行う。

生け花についての専門知識のある 10 人の経験者（池坊流、草月流、小原流等）と専門知識のない 10 人の未経験者（OL、理工学部 4 年生、大学院 1 年生）を被験者として、本研究のシステム及び各種制約ルールの選択確率を 0~1 の乱数で初期化するシステム（比較用システム）の両システムについて、順番に被験者に次のような手順で実験を行ってもらった。なお、両システムの実験の順番はランダムとした。

- (1) あらかじめ作りたいと思う生け花の季節と雰囲気を選定する。
- (2) 想定内容をシステムに入力する。季節は四季を入力し、雰囲気はイメージスケールを使って入力する。
- (3) 仮想空間内に提示されたデザイン案を自由に角度を変えて鑑賞する。
- (4) 鑑賞したデザイン案を好みや感性に従って 5 段階で評価する。
- (5) システムに対して新しいデザイン案の構築を要求する。
- (6) 制限時間を 1 時間とし、上記のステップ(3)~(5)を繰り返し試行する。途中で、好みのデザイン案が提示された場合には、デザイン案を保存し世代数を記録する。最後にアンケートに答える。

また式(4.7)~(4.8)及び式(4.15)~(4.16)の U は、利用者によって与えられる 5 段階の評価にしたがって、一番良い評価の場合は 1.5、二番目に良い評価の場合は 1.2、普通の評価の場合は 1.0、一番悪い評価の場合は $0.67(=1/1.5)$ 、二番目に悪い評価の場合は $0.83(=1/1.2)$ とした。式(4.7)の変数 R は 1.0 とした。

表 4.5 に評価実験のパラメータを示す。試行錯誤の結果、進化計算法の個体数を 10 とし、選択方法は、個体数の 80%を比例ルーレット方式、20%をトーナメント方式とした。

花器には図 4.12 に示した 8 種類を用い、花材には生け花の入門書など[145]~[153]を参考にして生け花によく使われる 118 種類の草花を用いた。

表 4.5 進化計算法の評価実験パラメータ

項目	値	項目	値
個体数	10	突然変異率	0.1
交叉率	0.8	コピー率	0.1

4.4.1 デザイン結果

本研究のシステムによる実験の結果、多種多様なデザインが制作され、利用者が保存したデザインとして図 4.15～4.18 のようなものが得られた。図 4.15 は、経験者が「夏のあどけない生け花」という想定内容を入力としてデザインをシステムと対話的に進化させ、第 2 世代目に得られたデザイン結果である。図 4.16 は、経験者が「夏の気高い生け花」という想定内容を入力としてデザインをシステムと対話的に進化させ、第 11 世代目に得られたデザイン結果である。図 4.17 は、未経験者が「春の格調ある生け花」という想定内容を入力としてデザインをシステムと対話的に進化させ、第 7 世代目に得られたデザイン結果である。図 4.18 は、未経験者が「夏の優美な生け花」という想定内容を入力としてデザインをシステムと対話的に進化させ、第 7 世代目に得られたデザイン結果である。

また、本研究のシステム及び比較用システムで得られた被験者の好みのデザインの個数を経験者と未経験者に分けて表 4.6 に示す。表 4.6 について、一対の標本に対する平均の t-検定を行った結果を表 4.7 に示す。有意水準 0.05 で、経験者にも未経験者にも本研究のシステムの有効性が確認された。



図 4.15 デザイン結果例 1 (経験者、夏、あどけない、第 2 世代目)



図 4.16 デザイン結果例 2 (経験者、夏、気高い、第 11 世代目)



図 4.17 デザイン結果例 3 (未経験者、春、格調のある、第 7 世代目)



図 4.18 デザイン結果例 4 (未経験者、夏、優美な、第 7 世代目)

表 4.6 得られた被験者の好みのデザインの個数

被験者	本研究のシステム	比較用システム
経験者 1	3	2
経験者 2	11	0
経験者 3	9	1
経験者 4	9	0
経験者 5	2	1
経験者 6	9	0
経験者 7	3	2
経験者 8	2	2
経験者 9	6	5
経験者 10	6	4
未経験者 1	3	1
未経験者 2	3	1
未経験者 3	5	3
未経験者 4	1	3
未経験者 5	3	3
未経験者 6	3	3
未経験者 7	8	3
未経験者 8	3	2
未経験者 9	9	4
未経験者 10	3	0

表 4.7 被験者の好みのデザインの個数の t-検定結果

		本研究のシステム	比較用システム
経験者	平均	6	1.7
	分散	11	2.9
	観測数	10	10
	自由度	9	
	有意確率 (片側)	0.0061 < 有意水準 0.05	
未経験者	平均	4.1	2.3
	分散	6.3	1.6
	観測数	10	10
	自由度	9	
	有意確率 (片側)	0.015 < 有意水準 0.05	

4.4.2 アンケート結果

本研究のシステムについてのアンケート結果を経験者と未経験者に分けて図 4.19～4.20 に、比較用システムについてのアンケート結果を経験者と未経験者に分けて図 4.21～4.22 に示す。アンケート結果から「とても満足」及び「満足」の回答数に「普通」の回答数の半分を加えた数を求め、全回答数に対する比率について本研究のシステムの方が比較用システムに比べて高いかどうか片側検定した結果を表 4.8 に示す。デザイン全般について、有意水準 0.05 で、本研究のシステムが比較用システムに比べて経験者からも未経験者からも高い満足を得られたということが出来る。また、有意水準 0.1 では、本研究のシステムが比較用システムに比べて花材の選び方について経験者からも未経験者からも高い満足を得られたこと、配色について未経験者から高い満足を得られたことがいえる。なお、配置及び配色についてのアンケート結果から、本研究のシステムが、生け花の雰囲気を経験者のように扱える一方で、配置や配色といった生け花の特徴量ごとに扱うことに適しているとはいえないことが分かる。また、ここに見られるような利用者が生け花の特徴量ごとでは満足していなくともデザイン全般については満足しているという現象は、生け花のゲシュタルト性を表していると考えられる。

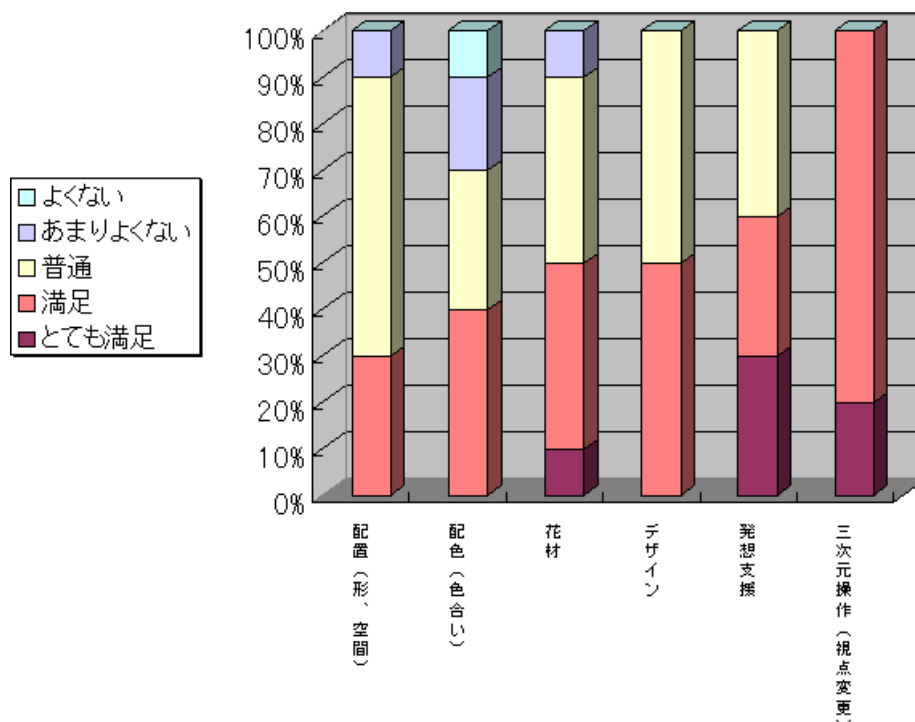


図 4.19 本研究のシステムについてのアンケート結果（経験者）

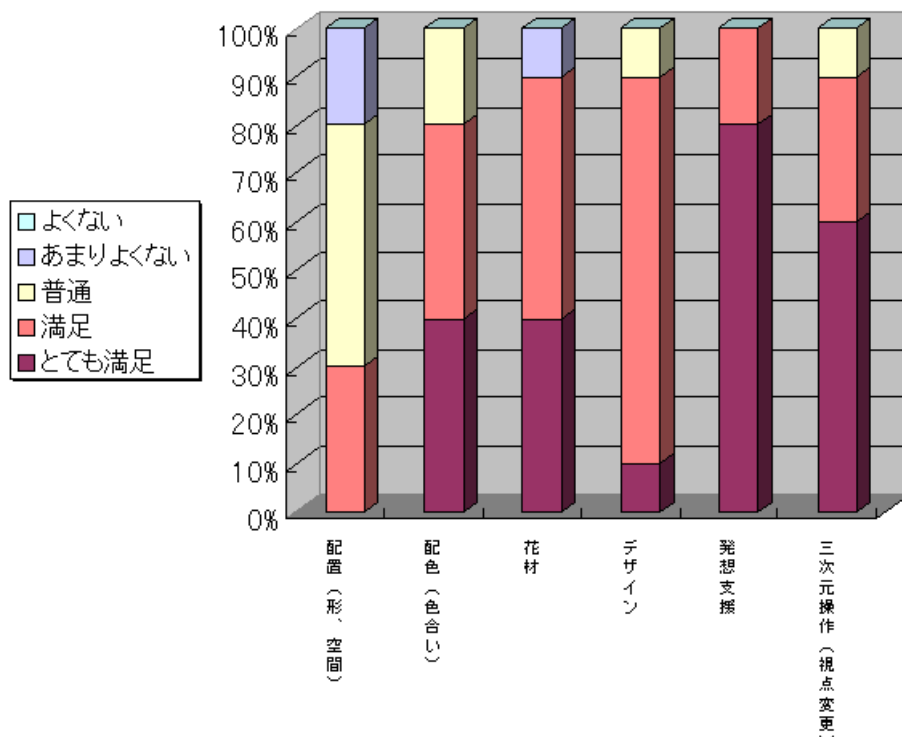


図 4.20 本研究のシステムについてのアンケート結果 (未経験者)

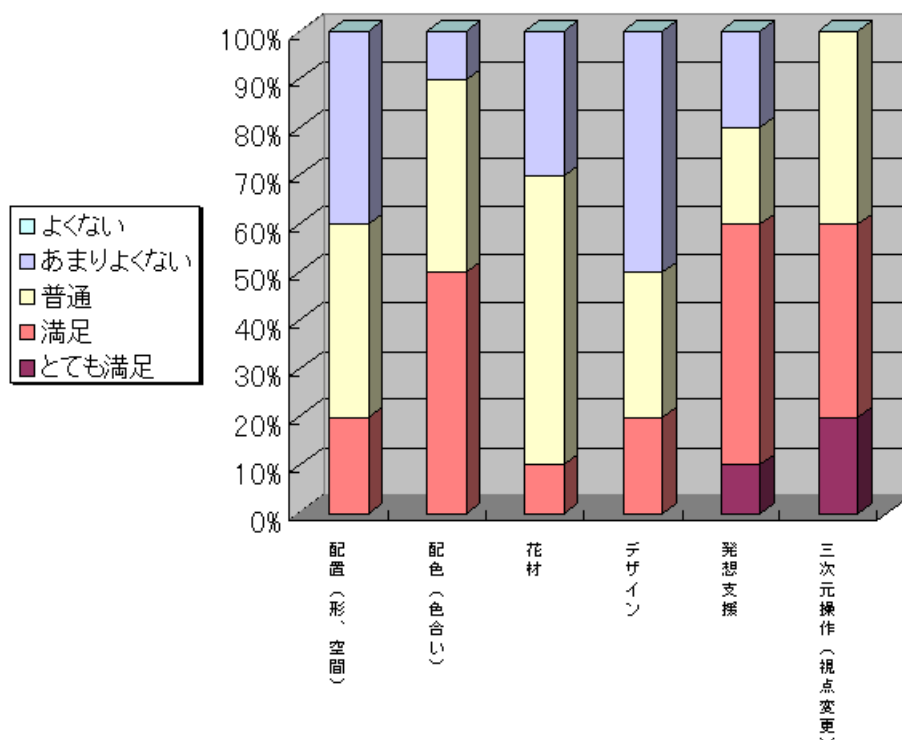


図 4.21 比較用システムについてのアンケート結果 (経験者)

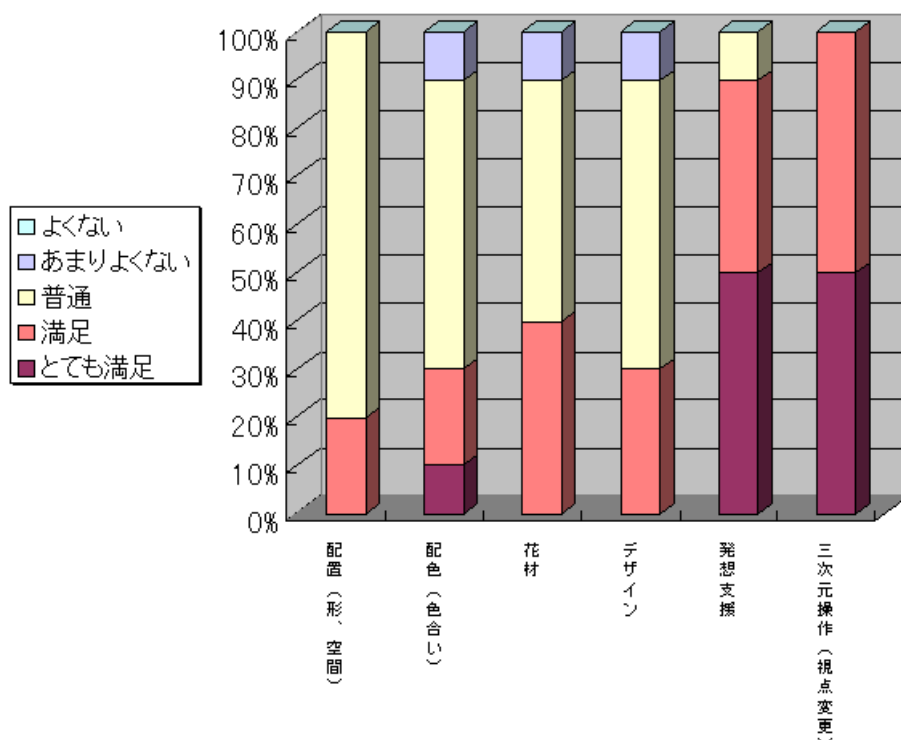


図 4.22 比較用システムについてのアンケート結果 (未経験者)

表 4.8 アンケート結果の検定結果

アンケート項目	有意確率 (片側)	
	経験者	未経験者
配置 (形、空間)	0.19	0.59
配色 (色合い)	0.76	0.06 ^{*2}
花材の選び方	0.09 ^{*2}	0.09 ^{*2}
デザイン全般	0.04 ^{*1}	0.03 ^{*1}

*1: 有意水準 0.05 で有意である。

*2: 有意水準 0.10 で有意である。

被験者の感想は次のようなものであった。

- ・作りたいと思った生け方のものが出てきた。
- ・好みの雰囲気の花が得られた。
- ・システムで仮想的に好みの生け花を作ってから、実際の生け花をすれば、花材の切りすぎなどによる失敗を防ぐことができ便利。また、購入する花材に迷うことがなくなる。
- ・今まで自分では生けたことがないような形がいろいろ出てきたので勉強になった。

- ・ゲーム感覚で操作でき、面白くて時間を忘れてしまった。
- ・花の色、長さ、位置を変更できるとさらによい。
- ・花材の数を自分で変えられるとよい。
- ・実際に生けようとする場面を背景できるとよい。

本研究のシステムを使うことで実際に高価な花を買わずにデザインを試行錯誤できる、季節の異なる時期のデザインを考えることができるなど、システムが経済的にも教育・学習の観点からも有用であることが分かる。

本研究のシステムが発想を支援するツールとして高く評価されたこと、視点を変えてデザインを鑑賞することができる仮想空間を用いたインターフェースがデザインの特徴を把握するのに役立つとともに本研究のシステムのエンタテインメント性を高めたことが分かる。

4.5 結論

本研究では、対話型進化計算法を用いたフラワーデザイン支援システムを構築した。システムは、フラワーデザインのための知識としてさまざまなデザイン要素の基礎となる生け花の基本的な配置と配色に関する制約ルールを使用し、生け花の雰囲気を経体的に扱うためにイメージスケールを用い、利用者の疲労を考慮して効率的に利用者の評価をシステムに取り込むように改良された対話型進化計算法と、デザイン案を仮想空間内に提示するエンタテインメント性のあるインタフェースを備える。

利用者とシステムがインタフェースを通して対話的にフラワーデザイン作業を進めていくと、利用者の評価に従ってシステム内の知識が利用者の好みや感性に適応したものへと更新されていき、システムは次第に利用者の要望するようなデザイン案を提示するようになる。

評価実験において、多種多様な利用者の感性を反映したフラワーデザイン案が提示され、それらの中には経験者でも思いつくことの難しい斬新なものもあった。利用者は、システムが提示してくるデザイン案についてエンタテインメント性のある仮想空間を用いたインタフェースを通して自由に視点を変えて鑑賞し立体的に特徴を把握して直感的に評価していくことで、専門的な知識や経験がなくともシステムと協調して無理なくデザイン作業を進め、好みのデザインを制作することができた。個人の好みや感性に基づいたデザイン要素の多い知的作業に対して、イメージスケールや制約ルールの確率的選択の利用と、利用者の評価を効率的にシステムに取り込むように改良された対話型進化計算法が効果的であることが確認された。

第5章

結論

本論文では、製品の設計やデザインに個人ごとの好みを反映させる仕組みとして利用者がシステムと協調して効率的に設計またはデザインを進めていくことができる対話型進化計算法を活用したデザイン支援システムについて述べた。

デザインや設計の要素である特定の物理量への感性の落とし込みには、感性とそれら物理量との関係を明らかにする必要がある。その解明に、従来の人工知能によるツールやニューラルネットワークなどを用いたシステムでは、時間がかかる、あいまいで主観的な感性を具体的な設計やデザインに反映させることが困難であるなどの問題があった。

一方で、多種多様な要素が複雑に絡み合った知的作業の解決に有効な手法として対話型進化計算法が注目され、個人の感性に評価が委ねられるような課題への応用が期待されている。しかし対話型のシステムでは、一般的に利用者はシステムから提示される案について何度も評価を繰り返さなければならず、利用者が疲労することが指摘されている。

本論文では、感性が要求される設計やデザインといった知的作業を支援するために、これからの新しいマルチメディア技術である対話型進化計算法、感性情報処理、バーチャルリアリティを用いて、利用者の疲労を考慮しつつ、個人の嗜好を設計やデザインに具体的に反映させる実用的な感性工学システムを構築し、その有用性を確認した。

対話型進化計算法の課題に対しては、人間とコンピュータの対話に人間同士のような自然な非言語的コミュニケーションを可能とし、またシステムにエンタテインメント性を付加するバーチャルリアリティを用いることで、利用者が無理なくシステムと協調して作業を進められるようにした。また感性情報処理として、形状や色合いなどさまざまなイメージをデータベース化したイメージスケールや知的作業の基礎にもとづいて人工生命の手法にヒントを得て構成したルールを用いることで、解の探索能力を向上させた。

第2章では、本研究で具体的に構築した2種類のシステムに共通する基本構成及び特徴を説明した。いずれの感性工学システムも、テーマに関する基本的な配置と配色に関する制約ルールと、全体的なバランスを取る制約ルールを利用し、利用者が疲労を忘れて楽し

んで作業できるようにバーチャルリアリティによってエンタテインメント性を付加した感性インタフェースを備え、利用者とシステムが協調して効率的に設計またはデザインを進めていくことができる対話型進化計算法を用いて感性情報を処理する。

第3章と第4章では、設計やデザインを技術と芸術の交差領域と捉え、具体的なシステムとして、技術寄りの代表としてのインテリアレイアウト支援システム[52]と芸術寄りの代表としてのフラワーデザイン支援システム[61]について述べた。利用者は、システムの提示する具体的な案についてエンタテインメント性のある仮想空間を用いたインタフェースを通して自由に視点を変えて鑑賞し立体的に案の特徴を把握して直感的に評価していくことで、専門的な知識や経験がなくともシステムと協調して無理なく知的作業を進めることができた。個人の好みや感性にもとづいたデザイン要素の多い知的作業に対して、多種多様な利用者の感性を反映させた案が提示され、制約ルールの確率的選択やイメージスケールの利用、それに対話型進化計算法が効果的であることを確認した。

いずれのシステムもレイアウト案やデザイン案を作ることを目的としているが、利用者は基本的にはシステムが示す案に評価を与えるのみであるため、設計やデザインに習熟していない者にとっては効果があったものの、利用者が自らレイアウト案やデザイン案を作ることのできる高度な専門家の場合には十分ではないと考えられる。アンケート結果から分かるように、経験者がさらに満足して利用できるように編集機能を工夫するなど考慮すべき点が残されている。例えば、インテリアレイアウト支援システムについては、操作をより簡単にする、家具の種類を作業の途中から増やすことができるようにするなどが考えられる。フラワーデザイン支援システムについては、花材の長さ、位置、数を調整できるようにするなどが考えられる。またシステムの内部の計算方法についてもシステム内の知識の更新方法についても、さらなる検討の余地がある。しかしながら、デザイン要素が多く、高い感性を要する、評価の難しい知的作業への対話型進化計算法の応用が有効であることが示され、実用性の高いシステムを構築することができたことから、感性に適ったさまざまな商品の開発において、本論文の対話型進化計算法による感性を反映するデザイン支援システムが効果的なアプローチの1つになると考えられる。

謝辞

本論文は、著者が慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程在学中に慶應義塾大学理工学部教授 萩原将文先生のもとで行った研究の成果をまとめたものです。学部時代より私にわたり終始多大なご指導ご鞭撻を賜りました萩原先生には心より感謝致します。修士課程終了後に社会人となり一度は大学を離れたものの、在職のまま再び入学して本研究が論文として結実しましたのも、萩原先生の親身なご指導があったからこそと確信しております。本当にありがとうございました。また本論文の作成にあたって、副査を快く引き受けてくださり、有益なご教授、ご意見を賜りました慶應義塾大学理工学部教授 小沢慎治先生、慶應義塾大学理工学部教授 大野義夫先生、慶應義塾大学理工学部教授 松岡由幸先生に深く感謝致します。

また在職のままでの博士課程在学についてご理解とご協力を賜りました勤務先の経済産業省大臣官房秘書課企画調査官 星野岳穂氏、経済産業省原子力安全・保安院企画調整課長 西山英彦氏、経済産業省通商政策局米州課長 貞森恵祐氏に深く感謝致します。

インテリアレイアウトについての考え方やレイアウト結果の評価については、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスで教鞭を取られていた頃から多忙な中を貴重なお時間を頂戴し多大なご指導ご鞭撻を賜りました九州大学産学連携センターデザイン総合部門教授 湯本長伯先生、そしてその生徒の皆様にも厚くお礼申し上げます。

フラワーデザインについての考え方やデザイン結果の評価については、経済産業省の通産池坊サークルにいられている東京かなめ会師範 関川晴美先生やその生徒の皆様にも厚くお礼申し上げます。さらに草月流や小原流等の華道サークルの皆様にも大変お世話になりました。ありがとうございました。

また、竹真流免許皆伝であり、母でもあり、フラワーデザインの研究と仕事と私生活に適切なお指導をいただきました是永洋子氏に深く感謝致します。

さらに、3次元データについて適切なお指導をいただきました株式会社スリーディー代表取締役 加納裕氏、株式会社スリーディー取締役 渡良井葉麻氏、イメージスケールにつ

いて有益なご意見をいただきました株式会社日本カラーデザイン研究所開発部プロジェクト・マネージャー 鈴木明彦氏にお礼申し上げます。

そして、慶應義塾大学工学部萩原研究室の先輩、同期、後輩を始めとした関係者の各位には一方ならぬご支援をいただきましたことを記し、ここに感謝の意を表します。

最後に、常に著者を支え続けてくれ、このような貴重な機会を与えてくれた父、職場や塾の皆様に深く心より感謝致します。

2004年7月1日

是 永 基 樹

参考文献

- [1] 通商産業省編, “近代化の忘れ物: 感性豊かな社会を目指して,” 共同通信社, 1994.
- [2] 安西祐一郎, “感性と認知情報処理,” 日本学際会議編, “感性と情報処理,” 共立出版, 1993.
- [3] 松行康夫, “近代科学の形成と還元主義的機械論科学の特質,” 東洋大学経営論集, No.60, pp.65-75, 2003.
- [4] 利光功, “バウハウス／歴史と理念,” 美術出版社, 1970.
- [5] 名城鉄夫, 大熊和彦, 田淵泰男, “感性商品の開発管理,” 中央経済社, 1994.
- [6] Douglas McGray, “Japan's gross national cool,” *Foreign Policy*, May/June, pp.44-55, 2002.
- [7] Joseph S. Nye, “Soft Power: The Means to Success in World Politics,” Perseus Books Group, 2004.
- [8] 田所昌幸, “ソフトパワーという外交資源を見直せ,” 中央公論, May, pp.120-128, 2003.
- [9] 大沢光, “感性工学と情報社会,” 森北出版, 2000.
- [10] 長町三生, “感性工学の基礎と応用,” 海文堂, 1993.
- [11] 山本健一, “日本の自動車産業,” 安国一, 池島政広, 長沢信也編, “トップが語る経営,” 亜細亜大学経営学部, pp.82-92, 1992.
- [12] 亀井且有, “工学における感性研究の紹介,” ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.3, No.4, pp.229-236, 2001.
- [13] Kenji Amaya, Armin Bruderlin, and Tom Calvert, “Emotion from motion,” *Graphics Interface 1996 Proceedings*, pp.222-229, 1996.
- [14] 猪岡光, 山本隆司, “アミューズメント・ロボット,” 計測と制御, Vol.40, No.9, pp.657-663, 2001.
- [15] 長町三町, “感性工学,” 海文堂, 1989.
- [16] 長沢伸也, “感性工学とビジネス,” 日本感性工学会誌, Vol.1, No.1, pp.37-47, 1999.
- [17] 田近伸和編, “パネル討議「情報社会と感性工学」,” 大沢光編, “感性工学と情報社会,” 森北出版, 2000.
- [18] 長町三生, “感性工学と新製品開発: 経営工学の現状と課題,” 日本経営工学会誌, Vol.41 No.4B pp.B66-B71, 1991.

- [19] 長町三生, “感性工学の役割とその方法論,” 日本感性工学会誌, Vol.1, No.1, 1999.
- [20] 財団法人画像情報教育振興協会編, “マルチメディア標準テキスト 基礎・要素技術／システム編,” 画像情報教育振興協会, 1997.
- [21] 生命工学工業技術研究所編, “設計のための人体寸法データ集,” 日本出版サービス, 1996.
- [22] 松永久, 中沢弘, “満足感計測のための基礎的研究,” 人間工学, Vol.34, No.4, pp.191-201, 1998.
- [23] 高島靖弘, “感性品質の計測技術: 香りの官能評価と心理・生理的効果,” 品質, Vol.25, No.1, pp.34-40, 1995.
- [24] 坂本博, “感性の哲学,” 篠原昭, 清水義雄, 坂本博編, “感性工学への招待: 感性から暮らしを考える,” 森北出版, 1996.
- [25] 松下裕, 宮腰淳一, “多属性評価における相互作用の分割表現: 情報量規準によるモデルと分散分析によるモデルとの比較,” 日本ファジィ学会誌, Vol.12, No.1, pp.94-104, 2000.
- [26] 井上正之, “感性情報処理の評価: 感性工学における評価,” 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.11, pp.1521-1525, 2000.
- [27] 稲垣照美, 犬塚浩二, 安久正紘, 赤羽秀朗, 阿部宣男, “ホタルの発光パターンにおける $1/f_n$ ゆらぎ現象と癒し効果,” 日本機械学会論文集C編, Vol.67, No.657, pp.365-372, 2001.
- [28] 大山正, 宮埜寿夫, 山田寛, “色と形の類似性知覚に対する多次元尺度法の適用,” 柳井晴夫, 岡太彬訓, 繁柘算男, 高木廣文, 岩崎学編, “多変量解析実例ハンドブック,” 朝倉書店, 2003.
- [29] 森典彦, “デザインの工学的な方法,” 設計工学, Vol.33, No.6, pp.191-196, 1998.
- [30] 木多道宏, 奥俊信, 舟橋国男, 紙野桂人, “都市景観における色彩の評価構造に関する研究,” 日本建築学会計画系論文集, Vol.502, pp.147-154, 1997.
- [31] 棟近雅彦, 三輪高志, “感性品質の調査に用いる評価用語選定の指針,” 品質, Vol.30, No.4, pp.96-108, 2000.
- [32] 中森義輝, “感性データ解析,” 森北出版, 2000.
- [33] 小林重順, “カラーリスト: 色彩心理ハンドブック,” 講談社, 1997.
- [34] 小林重順, “カラーシステム,” 講談社, 1999.
- [35] 小林重順, “実践カラーデザイン,” 講談社, 2000.
- [36] 市村匠, 石田与志, 良和也, 大枝真一, 杉原亮宏, “並列砂時計ニューラルネットワーク

- クと情緒生起手法を用いた感情指向型インタフェースの応用,” ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.3, No.4, pp.225-238, 2001.
- [37] 渡辺正人, 吉田哲也, 才脇直樹, 土方嘉徳, 西田正吾, “イメージに基づいた Web ページデザイン支援システム,” ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.3, No.4, pp.287-297, 2001.
- [38] 徳丸正孝, 村中徳明, 今西茂, “感性インタフェースを用いた対話型編曲システム,” 感性工学研究論文集, Vol.1, No.2, pp.73-80, 2001.
- [39] 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ーデザインシステム,” 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.6, pp.1227-1234, 1996.
- [40] 渡辺誠, “腕時計デザインにおける段階型思考過程モデル,” デザイン学研究, Vol.42, No.5, pp.17-25, 1996.
- [41] 小松由香, 亀井且有, “ファジィ理論によるハンカチデザインの感性評価,” 電気学会論文誌, Vol.117-C, No.7, pp.934-939, 1997.
- [42] 加藤俊一, “感性情報処理応用: 感性データベースシステム,” 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.1, pp.49-52, 1998.
- [43] 川澄未来子, 内山祐司, 辻紘良, 石原利員, “カラーシミュレータによる塗装深み感の評価と設計への応用,” 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.4, pp.528-534, 1998.
- [44] 中西泰人, “選考関数を用いた対話型進化システムの制御と評価: 遺伝的プログラミングのデザイン支援システムへの応用,” 人工知能学会誌, Vol.13, No.5, pp.704-711, 1998.
- [45] 長尾光悦, 山本雅人, 鈴木恵二, 大内東, “インタラクティブ GA に基づく画像検索システムの評価,” 人工知能学会誌, Vol.13, No.5, pp.720-727, 1998.
- [46] 杉本富利, 西尾研一, 本多中二, “IGA のための心理的尺度に基づいたファジィ推論による適合度割当て法,” 人工知能学会誌, Vol.13, No.5, pp.739-745, 1998.
- [47] Kim Don-Han, 北島宗雄, 原田昭, “感性指向製品におけるメンタルモデル計測を用いたデザイン支援システム,” デザイン学研究, No.126, pp.21-30, 1998.
- [48] 市野順子, 千川文子, 田野俊一, “ユーザの感性推定によるデザイン描画支援システムの評価,” ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.665-672, 1998.
- [49] 岩田修一, “感性に基づく機械工学,” 日本機械学会誌, Vol.102, No.965, pp.216-220, 1999.
- [50] 柴田滝也, 加藤俊一, “街路の景観画像データベースのイメージ語による検索,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-I, No.1, pp.174-183, 1999.

- [51] 尾畑貴信, 萩原将文, “感性を反映できるカラーポスター作成支援システム,” 情報処理学会論文誌, Vol.3, No.41, pp.701-710, 2000.
- [52] 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.10, No.41, pp.3152-3160, 2000.
- [53] 瀧沢重志, 河村広, 谷明勲, “対話型進化計算法による家具デザイン: 遺伝的プログラミングによるユーザーの嗜好の定量化と予測,” 日本建築学会・情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.175-180, 2000.
- [54] 柳澤秀吉, Vlaho Kostov, 福田収一, “印象語による意匠設計支援方法の開発,” 日本機械学会論文集C編, Vol.67, No.657, 2001.
- [55] 倉橋哲郎, 国分三輝, 古西浩之, 向江秀之, 井口弘和, 川澄未来子, “ニューラルネットワークを応用した感情理解型設計支援システム,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.100, No.713 (HIP2000 55-63), pp.9-14, 2001.
- [56] 村山浩之, 萩原将文, “感性を反映できるフォント自動作成システム,” 感性工学研究論文集, Vol.2, No.1, pp.73-78, 2002.
- [57] 賀川経夫, 西野浩明, 宇津宮孝一, “配色に基づくデザイン支援ツールに関する一考察,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.534 (HIP2002 43-53), pp.1-6, 2002.
- [58] Jimwoo Kim, Joeun Lee, and Dongseong Choi, “Designing emotionally evocative homepages,” International Journal of Human-Computer Studies, Vol.59, No.6, pp.899-940, 2003.
- [59] 堤和敏, 宇野暁子, “居室インテリアを対象とした感性デザイン支援システムの研究,” 日本建築学会・情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.37-42, 2003.
- [60] 田川和正, 谷明勲, 河村広, “対話型進化計算法を用いた建築物内装デザインシステムの開発,” 日本建築学会・情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.43-48, 2003.
- [61] 是永基樹, 萩原将文, “対話型進化計算法によるフラワーレイアウト支援システム,” 日本感性工学会 (採録決定).
- [62] 長沢伸也, “感性工学と品質管理: 品質管理は感性工学を目指す,” 品質, Vol.29, No.4, pp.6-18, 1999.
- [63] 福田和彦, “食品検査における画像処理,” 非破壊検査, Vol.48, No.11, pp.734-738, 1999.
- [64] 長田典子, 宇佐美照夫, 眞鍋佳嗣, 井口征士, “品質評価のためのビジュアルシミュレーションによる真珠の表現,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.1, pp.206-214, 1997.

- [65] 奥本泰久, 中馬越幸次, “バーチャルヒューマンモデルと感性工学による溶接の作業性評価,” 溶接学会論文集, Vol.21, No.2, pp.234-242, 2003.
- [66] 畦原宗之, 海老原祐, 鬼沢武久, “作り手のイメージを反映させた楽曲生成システムに関する研究,” 感性工学研究論文集, Vol.1, No.2, pp.66-72, 2001.
- [67] 徳丸正孝, 山下一美, 村中徳明, 今西茂, “パートナー型編曲システム “HASCAP” における編曲者の主観的曖昧性を含む音楽的知識の導入について,” 日本ファジィ学会誌, Vol.10, No.5, pp.876-887, 1998.
- [68] Mitsuo Nagamachi, “Kansei engineering as a powerful consumer-oriented technology for product development,” *Applied Ergonomics*, Vol.33, No.3, pp.289-294, 2002.
- [69] 永田雅典, “感性工学に関わる動向,” 豊田合成技報, Vol.44, No.1, pp.2-7, 2002.
- [70] Haym Hirsh, Wolfgang Banzhof, John Koza, Conor Rya, Lee Spector, Christian Jacob, “Genetic programming,” *IEEE Intelligent Systems and Their Applications*, Vol.15, No.3, pp.74-84, 2000.
- [71] 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.
- [72] 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, Vol.J82-D-II, No.10, pp.1693-1709, 1999.
- [73] 清水義雄, “感性と感性工学,” 篠原昭, 清水義雄, 坂本博編, “感性工学への招待: 感性から暮らしを考える,” 森北出版, 1996.
- [74] 古川歩, 西村武, “HI 評価への適性と得られる主観量に基づいた 3 種の主観量測定法の比較,” 計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース研究論文集, Vol.5, No.1, pp.5-14, 1995.
- [75] John Koza, Forrest Bennet, David Andre, Martin Keane, and Frank Dunlap, “Automated synthesis of analog electrical circuits by means of genetic programming,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol.1, No.2, pp.109-128, July 1997.
- [76] 北野宏明, “遺伝的アルゴリズム 4,” 産業図書, 2000.
- [77] 西野浩明, 高木英行, 宇津宮孝一, “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, Vol.J85-D-II, No.9, pp.1473-1483, 2002.
- [78] Richard Dawkins, “The Selfish Gene,” Oxford University Press, 1990.
- [79] Richard Dawkins, “The Blind Watchmaker,” Longman, 1986.
- [80] Potts Craig, Terri Giddens, and Surya Yadav, “The development and evaluation of an improved genetic algorithm based on migration and artificial selection,” *IEEE Transactions*

- on Systems, Man and Cybernetics, Vol.24, No.1, pp.73-86, 1994.
- [81] Motoki Korenaga and Masafumi Hagiwara, "Modified genetic programming based on elastic artificial selection and improved minimum description length," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.2348-2353, 1998.
- [82] John Koza, Forrest Bennet, David Andre, Martin Keane, and Frank Dunlap, "Automated synthesis of analog electrical circuits by means of genetic programming", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.1, No.2, July 1997.
- [83] John Koza, Martin Keane, Matthew Streeter, William Myrdlowec, Jessen Yu, and Guido Lanza, "Genetic Programming IV: Routine Human-Competitive Machine Intelligence," Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [84] Rick Riolo and Bill Worzel, "Programming Theory and Practice," Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [85] Karl Sims, "Artificial evolution for computer graphics," ACM Siggraph Conference Proceedings, Computer Graphics, Vol.25, No.4, pp.319-328, 1991.
- [86] Karl Sims, "Interactive Evolution of Dynamical Systems," Francisco Varela and Paul Bourguine (editors), "Toward a Practice of Autonomous Systems: Proceedings of the First European Conference on Artificial Life," MIT Press, 1992.
- [87] Stephen Todd and William Latham, "Evolutionary Art and Computers," Academic Press, 1992.
- [88] 青木研, 高木英行, "対話型 GA による 3 次元ライティングデザイン支援," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-II, No.7, pp.1601-1608, 1998.
- [89] Hiroaki Nishino, Hideyuki Takagi, Sung-Bae Cho, and Kouichi Utsumiya, "A 3D modeling system for creative design," International Conference on Information Networking, pp.479-486, 2001.
- [90] 大崎美穂, 高木英行, "対話型 EC 組み込み補聴器フィッティングシステムの構築と評価," ファジィシンポジウム講演論文集, Vol.15, pp.381-384, 1999.
- [91] Yuji Sato, "Voice conversation using evolutionary computation," Intelligent Processing of Manufacturing of Materials, pp.342-348, 1997.
- [92] 安西祐一郎訳, Marvin Minsky, "心の社会," 産業図書, 1990.
- [93] マルチメディア・インターネット事典, <http://www.kaigisho.ne.jp/literacy/midic/index.html>.
- [94] 竹田陽子, "プロダクト・リアライゼーション戦略: 3次元情報技術が製品開発組織に与える影響," 白桃書房, 2000.

- [95] G.Hatano, N.Okada, and H.Tanabe (editors), "Affective Minds," Elsevier Science B.V., 2000.
- [96] 岩谷徹, "アミューズメントゲームにおける VR 活用," 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.3, pp.297-300, 1997.
- [97] 間瀬健二, "サイバーコミュニケーションとアミューズメント," 精密工学会誌, Vol.66, No.2, pp.205-208, 2000.
- [98] 大須賀美恵子, "高齢者の心身活性化をめざした VR," 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.8, No.2, pp.81-86, 2003.
- [99] 塚本一義, 和田隆広, "ヘルスケアのための VR スポーツシステム," 画像ラボ, Vol.14, No.5, pp.6-9, 2003.
- [100] 米村貴裕, 長江貞彦, 徳山和宏, "Java Applet を用いたリアルタイムバーチャルコミュニティゾーンの構築," Vol.4, No.7, pp.458-460, 1999.
- [101] 加納裕, "バーチャルリアリティを用いた作業習熟システム," 自動車技術, Vol.56, No.12, pp.82-86, 2002.
- [102] 対馬勝英, "エンタテインメントにおける AI 技術," 人工知能学会誌, Vol.19, No.1, pp.35-42, 2004.
- [103] Laura Pierucci and Enrico Del Re, "An interactive multimedia satellite telemedicine service," IEEE Multimedia, Vol.7, No.2, pp.76-79, 2000.
- [104] 関喜一, "視覚障害者のための VR 技術の動向," 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.8, No.2, pp.64-69, 2003.
- [105] 大山英明, 前田太郎, 舘暲, "SF と科学技術におけるレイグジスタンス型ロボット操縦システムの歴史," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.59-68, 2002.
- [106] 北嶋克寛, 遊佐洋子, "リアルタイム景観シミュレータのための形状のグルーピングと多重表現に基づく描画時間の短縮," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-D-II, No.2, pp.311-320, 1994.
- [107] Hirokazu Kato, Mei Yu, and Yoshitugu Hayashi, "Proposing social capitalization indices of street blocks for evaluation of urban space quality," Built Environment, Vol.29, No.1, pp.25-35, 2003.
- [108] デジタルアーカイブ推進協議会, "デジタルアーカイブ白書 2003," デジタルアーカイブ推進協議会, 2002.
- [109] Alonzo Addison, "Emerging trends in virtual heritage," IEEE Multimedia, Vol.7, No.2, 2000.

- [110] 畠中兼司, “総合的デザイン支援ツールの構築に向けて,” デザイン学研究, No.84, pp.25-30, 1991.
- [111] 朝野熙彦, “入門多変量解析の実際,” 講談社, 1999.
- [112] 古田誠, 水上真, 萩原祐志, “屋外製品のデザインイメージの定量化,” 三菱重工技報, Vol.24, No.4, pp.361-363, 1985.
- [113] 板谷尚哉, 川澄未来子, 古橋武, “認知情報量と表示情報量の関係に関する一考察,” ヒューマンインタフェースシンポジウム CD-ROM 論文集, 2001.
- [114] 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.
- [115] Hon Wai Chun, Edmund Ming-Kit Lai, “Intelligent critic system for architectural design,” IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, Vol.9, No.4, pp.625-639, 1997.
- [116] 西岡靖之, 中須賀真一, 堀浩一, “製造を考慮した対話型設計支援システム: エア駆動型ポンプ設計への適用,” 人工知能学会誌, Vol.13, No.2, pp.300-311, 1998.
- [117] Yumi Iwasaki, “Qualitative reasoning and the science of design,” IEEE Expert, Vol.12, No.3, pp.2-4, 1997.
- [118] 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.
- [119] Shangfei Wang, Enhong Chen, Jing Hu, and Xufa Wang, “Kansei-Oriented Image Retrieval,” Lecture Notes in Computer Science, Vol.2252, pp.377-388, 2001.
- [120] 村上智子, 折原良助, 末田直道, “適応的なパラメタによる概念学習のためのモデルの構築,” 人工知能学会全国大会, 2001.
- [121] 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.
- [122] 川面恵司, 須賀雅夫, “創造的工学設計の方法,” 養賢堂, 2003.
- [123] Rodney Brooks, “A Robot That Walks: Emergent Behaviors from a Carefully Evolved Network,” MIT AI Lab Memo 1091, 1989.
- [124] 浅野晃, “統計学関係の講義,” <http://kuva.mis.hiroshima-u.ac.jp/~asano/kougi-j.html>.
- [125] 小林祥晃, “ビジネスに活かす風水術,” 廣濟堂出版, 1995.
- [126] 小倉一夫, “風水とデザイン,” INAX, 1992.
- [127] 小林将利, “風水流オフィス・店舗レイアウト術,” 近代中小企業, Vol.32, No.10, pp.86-91, 1997.

- [128] 社団法人日本建築学会, “人間環境: よりよい環境デザインへ,” 朝倉書店, 1998.
- [129] 社団法人ニューオフィス推進協議会編, “ニューオフィス化推進についての提言,” ニューオフィス推進協議会, 1993.
- [130] 社団法人ニューオフィス推進協議会編, “ニューオフィス化の指針,” ニューオフィス推進協議会, 1993.
- [131] 渡邊朗子, “サイバー時代の空間設計デザイン,” 日経 BP 社, 1998.
- [132] Declan Butler, “Computing 2010: from black holes to biology,” *Nature*, Vol.402, 1999.
- [133] 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.
- [134] 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.
- [135] 小原二郎, 加藤力, 安藤正雄, “インテリアの計画と設計,” 彰国社, 1986.
- [136] 住友商事株式会社, “家具及びファシリティマネジメント情報提供サイト BiO-NET,” <http://www.bio-net.ne.jp/>.
- [137] 山本棟子, “インテリアデザイン入門,” オーム社, 1981.
- [138] 渋谷育由, 高橋ユミ, “インテリア配色事典,” 河出書房新社, 1991.
- [139] 西次男, “平均値の治療群間バランスをとる割付,” 日本計量生物学会シンポジウム講演予稿集, pp.43-48, 2002.
- [140] James Foley, Andries van Dam, Steven Feiner, and John Hughes, “Computer Graphics Principles and Practice,” Addison-Wesley, 1992.
- [141] VRML 1.0 Specification, <http://www.virtpark.com/theme/vrml/>, 1995.
- [142] Les Howard and Donna D'Angelo, “The GA-P: a genetic algorithm and genetic programming hybrid,” *IEEE Expert*, pp.11-15, 1995.
- [143] 萩原将文, “ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム,” 産業図書, 1994.
- [144] 廣田薫, 小沢和浩, 保坂春恵, 早川雅史, “ファジィ推論を用いた華道ロボット,” 日本ファジィ学会誌, Vol.1, No.1, pp.132-139, 1989.
- [145] マミフラワーデザインスクール, “フラワーアレンジメント,” 講談社, 1997.
- [146] 小原豊雲, 小原夏樹, “カラー独習小原流いけばな,” 主婦の友社, 1984.
- [147] 吉村華泉, “カラー独習龍生派いけばな,” 主婦の友社, 1984.
- [148] 勅使河原宏, “カラー独習草月流いけばな,” 主婦の友社, 1986.
- [149] 池坊専永, “カラー独習池坊いけばな,” 主婦の友社, 1982.
- [150] 旧嵯峨御所華道総司所, “カラー独習嵯峨御流いけばな,” 主婦の友社, 1983.

-
- [151] 池田昌宏, “カラー独習古流いけばな,” 主婦の友社, 1986.
- [152] 廣田英子, “いけ花入門,” 金園社, 1989.
- [153] 敬風社編, “いけばな入門基本と実技,” 講談社, 1989.
- [154] 千々岩英彰, “色彩学,” 福村出版, 1983.
- [155] 齊藤剛史, 金子豊久, “花と葉による野草の自動認識,” 電子情報通信学会論文誌,
Vol.J84-D-II, No.7, pp.1419-1429, 2001.
- [156] 上田善弘, 近江源太郎, 福田邦夫, 横井政人, “花の色彩事典,” 講談社, 1989.

付録 A

イメージスケールを用いたインテリアの配色の初期化

第3章で述べたインテリアレイアウトへ対話型進化計算法を応用したシステムでは、インテリアの配色は、基本色の選択と配色ルールの選択、さらにそれらの組み合わせによって決定される。それぞれが選択される確率は、初期値として利用者の想定内容に従った値が与えられ、利用者の対話的な評価によって更新される。ここでは選択確率の初期化について説明する。

図 3.12 に示した基本色と感性語は、図 3.11 に示したビジネスマンのファミリーシーンとビジネスシーンのイメージ調査結果から選んだ感性語と図 3.2 に示したインテリアによく使われる色をもとにイメージスケールを使って求めたものである。

また、図 3.12 に示した基本色と感性語は、イメージスケール上で大きく次の3種類に分類することができる。

Warm-Soft : やさしい、家庭的な、自然な、肌ざわりのよい

Cool-Soft : 都会的な、しなやかな、快適な、ナチュラルな、やすらかな、理知的な

Cool-Hard : 都会的な、洗練された、シンプルな、合理的な、スマートな

各基本色の選択される確率は、利用者の想定した雰囲気はこれら3種類のどの分類かに従って、表 A.1～A.2 のように設定される。想定された雰囲気と同じ分類の基本色は選択されやすく、イメージスケール上で対極にある分類の基本色は選択されにくくなる。また、利用者の想定した雰囲気の基本色は同じ分類の基本色に比べて2倍選択されやすくなる。

表 A.1 基本色選択確率の初期化

想定した雰囲気	感性語	比	確率
Warm-Soft の場合	やさしい	1.3	0.10
	家庭的な	1.3	0.10
	自然な	1.3	0.10
	肌ざわりのよい	1.3	0.01
	都会的な	1.0	0.076
	しなやかな	1.0	0.076
	快適な	1.0	0.076
	ナチュラルな	1.0	0.076
	やすらかな	1.0	0.076
	理知的な	1.0	0.076
	都会的な	1/2.6	0.029
	洗練された	1/2.6	0.029
	シンプルな	1/2.6	0.029
	合理的な	1/2.6	0.029
	スマートな	1/2.6	0.029
Cool-Soft の場合	やさしい	1.0	0.060
	家庭的な	1.0	0.060
	自然な	1.0	0.060
	肌ざわりのよい	1.0	0.060
	都会的な	1.3	0.077
	しなやかな	1.3	0.077
	快適な	1.3	0.077
	ナチュラルな	1.3	0.077
	やすらかな	1.3	0.077
	理知的な	1.3	0.077
	都会的な	1.0	0.060
	洗練された	1.0	0.060
	シンプルな	1.0	0.060
	合理的な	1.0	0.060
	スマートな	1.0	0.060


表 A.2 基本色選択確率の初期化

想定した雰囲気	感性語	比	確率
Cool-Hard の場合	やさしい	1/2.6	0.027
	家庭的な	1/2.6	0.027
	自然な	1/2.6	0.027
	肌ざわりのよい	1/2.6	0.027
	都会的な	1.0	0.071
	しなやかな	1.0	0.071
	快適な	1.0	0.071
	ナチュラルな	1.0	0.071
	やすらかな	1.0	0.071
	理知的な	1.0	0.071
	都会的な	1.3	0.093
	洗練された	1.3	0.093
	シンプルな	1.3	0.093
	合理的な	1.3	0.093
	スマートな	1.3	0.093

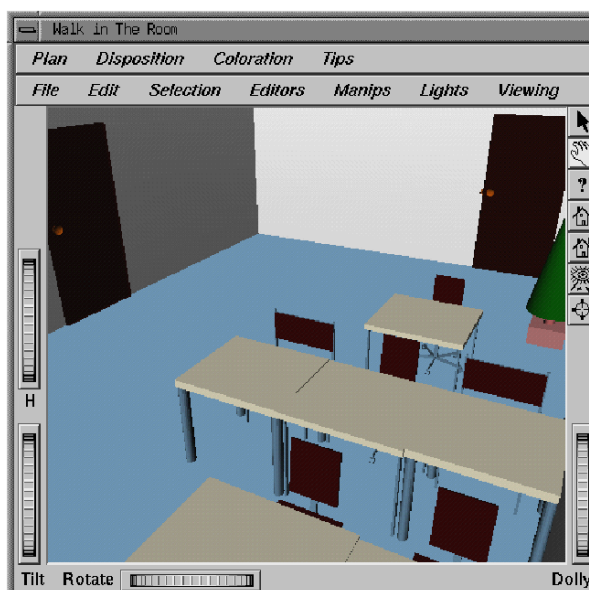
付録 B

インテリアレイアウト結果

本研究のインテリアレイアウト支援システムで得られた結果から 3.4.1 節のレイアウト結果に特に示さなかったものをいくつか掲載する。多様で斬新なレイアウト結果が得られたことが確認できる。

想定項目	値
人数	5人
コミュニケーション風土	特に考慮しない
雰囲気	ナチュラルな 

(a) 入力想定内容



(b) 提示世代 : 7

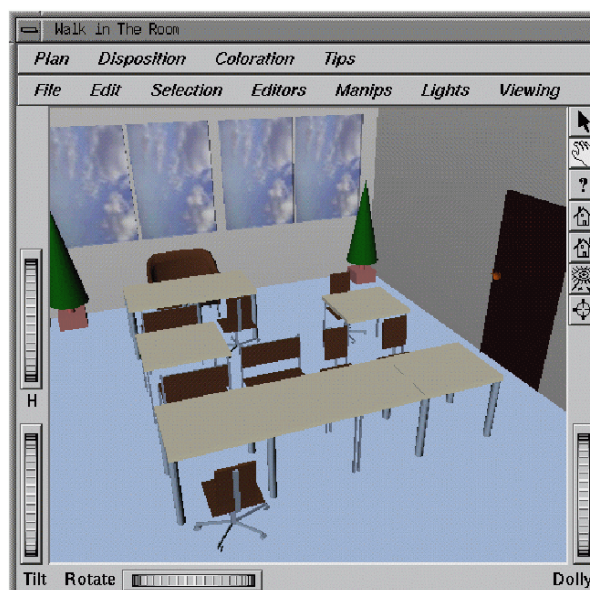
アンケート項目	よくない	あまりよくない	普通	満足	とても満足
配置					
配色					
雰囲気					
レイアウト					
新概念の想起					
発想支援					
ウォークスルー					

(c) アンケート結果

図 B.1 レイアウト結果例 9

想定項目	値
人数	8人
コミュニケーション風土	個人重視
雰囲気	都会的な 

(a) 入力想定内容




(b) 提示世代 : 24

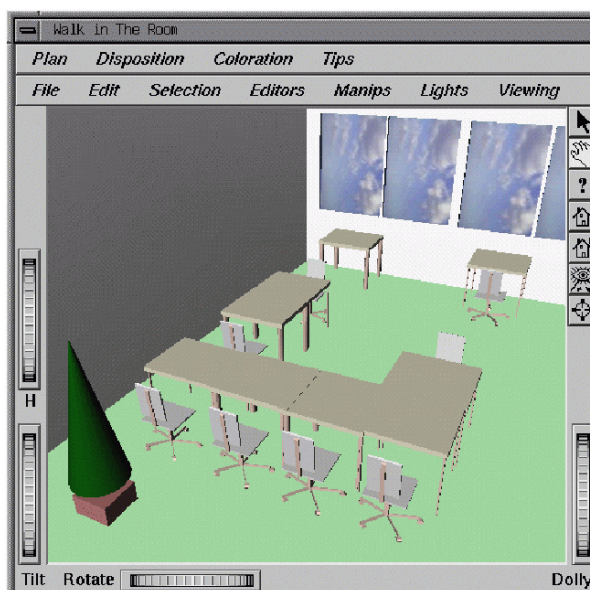
アンケート項目	よくない	あまりよくない	普通	満足	とても満足
配置					
配色					
雰囲気					
レイアウト					
新概念の想起					
発想支援					
ウォークスルー					

(c) アンケート結果

図 B.2 レイアウト結果例 10

想定項目	値
人数	8人
コミュニケーション風土	チームワーク重視
雰囲気	やすらかな 

(a) 入力想定内容




(b) 提示世代 : 16

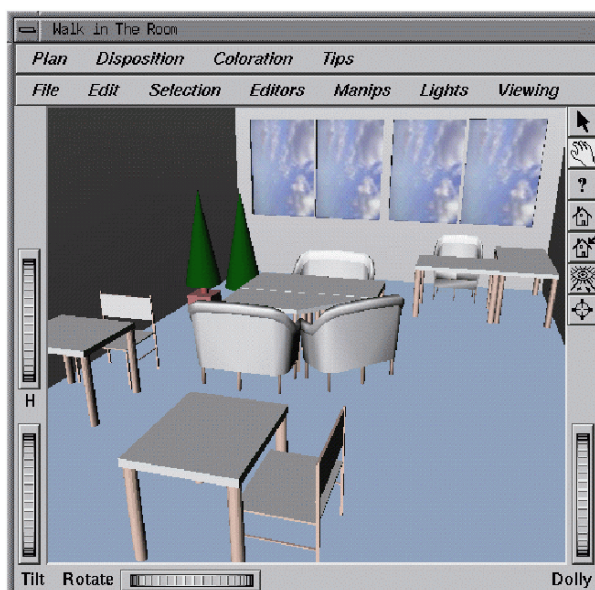
アンケート項目	よくない	あまりよくない	普通	満足	とても満足
配置					
配色					
雰囲気					
レイアウト					
新概念の想起					
発想支援					
ウォークスルー					

(c) アンケート結果

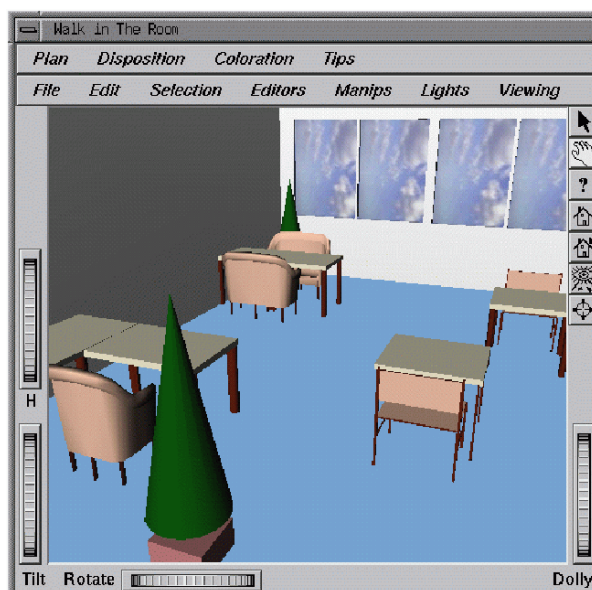
図 B.3 レイアウト結果例 11

想定項目	値
人数	6人
コミュニケーション風土	特に考慮しない
雰囲気	シンプルな 

(a) 入力想定内容



(b) 提示世代 : 10



(c) 提示世代 : 11

アンケート項目	よくない	あまりよくない	普通	満足	とても満足
配置					
配色					
雰囲気					
レイアウト					
新概念の想起					
発想支援					
ウォークスルー					

(d) アンケート結果

図 B.4 レイアウト結果例 12

付録 C

フラワーデザイン結果

本研究のフラワーデザイン支援システムで得られた結果から 4.4.1 節のデザイン結果に特に示さなかったものをいくつか掲載する。多様で斬新なデザイン結果が得られたことが確認できる。



図 C.1 デザイン結果例 5 (経験者、春、ナチュラルな、第 4 世代目)



図 C.2 デザイン結果例 6 (経験者、夏、風流な、第 4 世代目)



図 C.3 デザイン結果例 7 (未経験者、冬、可憐な、第 3 世代目)



図 C.4 デザイン結果例 8 (未経験者、春、合理的な、第 7 世代目)