設計可能空間の再構築と解の絞り込みに基づく 機械システムの最適設計法*

吉村 允孝^{*1}, 泉井 一浩^{*1}

Optimum Machine System Design Based on Re-Construction and Contraction of Design Spaces

Masataka YOSHIMURA^{*2} and Kazuhiro IZUI

^{*2} Kyoto University, Dept. of Precision Engineering, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan

A design optimization method of machine products based on flexible design spaces is proposed, in which optimum design solutions are searched for by breaking through the barriers of limited feasible design spaces, such as are engendered by preconceptions of designers, by effectively expanding and contracting the design spaces. This method has two steps: (1) going back to design states where higher degrees of freedom for the design are included, and (2) contracting expanded design spaces and searching for the optimum design solution using design sensitivity analyses and hybrid genetic algorithms. Design information is represented by networked frame structures that, during processing, expand the design spaces so that far more design possibilities are included. Hierarchical coding methods for solving expanded problems by Genetic Algorithms are constructed, and hybrid-type Genetic Algorithms optimization and local search methods are proposed. The foregoing methods are applied to design problems of mechanisms for transporting an object in a working space having obstacles.

Key Words: Design Engineering, Optimum Design, Computer-Aided Design (CAD), Knowledge Engineering, Frame Model, Sensitivity Analysis, Genetic Algorithm, Mechanism

1. 緒 言

一般に最適化対象として工学設計問題をとらえると、構成要素間の物理現象などによる複雑な相互作用のため、多くは非線形な目的関数や制約条件をもった最適化困難な非線形計画問題となる。このような非線形計画問題においてより大域的な探索を効果的に行うための方法の研究が現在までも広く続けられてきている。生物の進化と遺伝現象をアナロジーした遺伝的アルゴリズム⁽¹⁾や、焼きなまし過程を模倣したシミュレーティッド・アニーリング法⁽²⁾など、近年は複数の探索点によるヒューリスティックな最適化により、最適化結果が初期点に左右されにくい大域的な探索が可能となってきた。このような最適化アルゴリズムは設計者の意思決定を支援してくれる大変有用なものであるが、これらによって得られた解は問題設定に大きく依存し、その設定を変えると解もがらりと変わってしまう場合がある。最適設計の問題設定は設計者自身のかんと経験によってなされることがほとんどで、

設定が狭い範囲の実行可能領域内の単なる寸法などのパラメータの操作に終始してしまうと、最適化が単なる詳細部分の改良に終わってしまう可能性もある。

本研究では、最適化問題において、既存の枠組みにとらわれないさらなる優れた設計解を得るために、設計者の先入観・固定観念を取除いた状態(これを“無の状態”と呼ぶこととする)から創成的な製品設計を行うという方法を考える。これを本研究では“無からの創成”として位置づける。“無からの創成”は設計に際して、まったく何も定義していない、既存決定事項がない状態から何かを生み出すということではなく、設計者の先入観がない状態、つまり設計におけるあらゆる可能性を含み、あらゆる選択肢を選ぶことが可能で、また設計に対して非常に幅広い視点をもった状態から設計を行っていくということを指している。したがって設計者は“無”に戻ることで設計対象について多様な可能性を導き出すことができ、よってこれが新たな革新的な解を得る下地となる。

このような非常に自由度の高い状態を作ること、設計問題に対する最適化手法の能力をより発揮させることにつながる。逆にまた“無からの創成”にとっても、この非常に自由度の高くなった“無の状態”からよりよい設計解を導き出すためには、その状態からい

* 原稿受付 1998年8月17日。

^{*1} 正員、京都大学大学院工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)。

E-mail: yoshimura@prec.kyoto-u.ac.jp

かに設計解を求めるかという解探索の手法も非常に重要であるといえる。つまり革新的な設計のためには、よりよい設計解を内在する最適化のための枠組みの構築と、優秀な解探索手法の両立が必要といえることができる。

この考えに基づき、本研究では、図1にその概念図として示すように、まず設計者が認識する設計空間を既存のものから広げ、設計対象に対するより広い視点と高い可能性をもつ、できるだけ“無”に近づいた状態として再構築する。そして、その広がった設計空間から最適な設計解を得るという、設計空間の拡張から解の絞り込みまでの一連の方法について述べる。

2. 設計空間の拡張

2.1 設計情報の表現

2.1.1 機械システムのモデル化 本研究では設計者のもつ既存の最適化の枠組である設計空間をもとに、これを無の状態に近づけ、より広い視点と高い可能性のある設計空間として拡張し、その再構築された設計空間からの最適化を目指している。まずそのためには設計情報を記述し、操作するためのモデルが必要である。

フレームモデル⁽³⁾はMinskyのフレーム理論⁽⁴⁾に基づく知識表現モデルであり、人間の心理学モデルの議論を体系化したものである。したがってフレーム理論自体は極めて概念的なものといえるが、これを設計情報の知識表現の枠組みに用いるものとして捉え、その特徴には、宣言形知識と手続き形知識の併用、一つ一つのフレームの独立性、階層構造、設計変数・状態変数の関係の把握の容易性などの点がある。

2.1.2 フレームによる機械システムの表現 そこで本研究ではこのフレームモデルを用いて設計情報

を機能面に注目した階層構造によって表現する。図2はその記述方法を示している。おのおのの丸印が一つのフレームを意味している。フレームにはその機能を変数で表現する変数が埋め込まれ、さらにその変数を算出するための手続きも記述してあり、これがさらに下位のフレームへのポイントとして働いている。最下層にはこのシステムの設計変数を記述するが、ただし機能面のみからなる階層構造では、設計者はモデルを理解しづらいため、システムを構成する部分構造(サブシステム)ごとに設計変数をまとめたフレームを用意する。このようにして設計者は、下位の設計変数から全体のシステムの目的・制約を示す最上位のフレームまでの、一連の設計情報のフレームによるネットワーク構造表現を作成する。

2.2 設計空間の拡張

このフレームモデルによって設計情報を記述すれば、その最下層の設計変数を動かすことによる、一応の最適化は可能である。これが既存の設計空間内での最適化といえる。本研究では、より革新的な設計を行うために、その設計空間自体を拡張し、より広い視野から設計を見つめ直す作業を行う。この作業は、以下の(a)から(e)の設計空間拡張のための一般形に基づくものである。

(a) 新設計変数生成形 図3に示すように固定されていたあるフレームのパラメータを設計変数として新しく考慮し、新しいフレームを作成する。設計変数が増加し、これによってそれまでの設計空間に新たな設計空間の部分空間が加わる。

フレーム表現されたモデルによって、あらゆる状態変数と各設計変数の支配関係とその関係の内容(関数の形状など)が明示されている。その中で設計者が固定していた、つまり定数と考えていたパラメータを発見し、新たな設計変数とする。吉村と木村⁽⁵⁾は、陰的制約の緩和方法として、この発見法を詳述している。

Fig. 1 Concept of the proposed method

Fig. 2 Representation of frame structure

Fig. 3 Creation of a new design variable

Fig. 4 Creation of a higher level design objective

Fig. 5 Giving a new idea for the design

(b) 上位目的生成形 一つの設計目的のみに着目してそれをいかに改善するかを考えているだけでは、すでに固執した設計空間内での設計解の探索を行っているといえる。よって図4に示すように、それまでもっていた目的が、本来は何のために設定しているのかを考え、そのシステムを設計する上位の目的を明示する。このことにより、問題の本質を理解し、また下記の(c)の過程による適切な対処法を提案することにも結びつく。

(c) 新視点生成形 図5のように、そのシステムに対して新しい評価の視点を与える。ある一つの固定された評価基準でのみシステムを設計するのではなく、システムを多面的な視点から捉え、それらを同時に評価することによって、総合的によりよい設計が可能となることが期待される。

また、この操作を行った後は、その新しい視点を評価するため、このフレームから下位に新しいフレーム構築を構築する必要がある。このとき、この視点でシステムの性能を良好にするために、設計変数としてみないしなかったパラメータが発見される場合などがあり、これより(a)の新設計変数の生成や次の(d)、(e)の手続きが誘発されることになる。

(d) 代替案提示形 図6のように、フレームの一部を別のものに置き換える、つまりシステムを構成する一部のフレームの代替案を提案する。このような

Fig. 6 Giving alternative subsystems

代替案を多数列挙することによって、全体のシステムとしては非常に多くの形態をとることが可能となる。これにより図6の下図のように設計可能領域の部分空間に新しいサブシステムによる部分空間が加わることになる。

(e) 変数の範囲拡張形 フレームを構成するパラメータの範囲を改めて見直す。システムを構成しているパラメータの中に、本来はもっと広い範囲の値をとることができる変数が、狭い範囲の側面制約に囲まれているものがある場合などは、その範囲をもう一度設定し直す。つまり設計可能領域の一つの部分空間の外枠が外側に広がるといえる。

3. 解の絞り込み

2章で設計空間を拡張した結果、それは最適設計問題としては非常に複雑な問題になっているといえる。そこでこのような問題を処理する方法を考える必要がある。

3.1 感度解析による設計空間の絞り込み ここではまず解の多峰性を緩和させ、よりよい最適解に到達するために、感度解析による設計変数の一時的選別を最適化アルゴリズムに組み込んで、問題を一定期間ごとに一時的に単純化する方法を示す。

3.1.1 方法の流れ 次のように表される一般的な最適化問題

$$\Psi_0(\mathbf{x}) \rightarrow \min \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Psi_j(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (j=1, 2, \dots, l) \quad \dots\dots\dots (2)$$

を扱う場合について、この方法の手順を以下に述べる。ここで l は制約関数の個数である。

1. 下式で表される目的関数に対する m 個の各設計変数の感度 s_i (i は設計変数の番号) を求める。

$$s_i = \frac{\partial \Psi_0}{\partial x_i} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots\dots (3)$$

2. 設計変数を感度の大きい順に並びかえる (i 番めの設計変数 x_i が k 番めに感度が大きかったとするとその設計変数を $x_{k,i}$ と呼ぶこととする)。

3. 感度の大きいものから、その設計変数 $x_{k,i}$ を次の

最適化ルーチンで最適化対象として扱う確率 p_k を次のように定める。

$$p_k = \exp[-ak] \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで a は変数の順番による確率曲線の大きさを決定する定数である。

4. 確率 p_k で設計変数 $x_{k,i}$ を取捨し、この単純化された問題について最適化を行う。選択されなかった設計変数については一時的に定数として扱う。

5. システム全体のすべての設計変数を一度でも操作したか、および最適化が収束したかを判断する。両方とも満たしていれば終了し、そうでないならば(4)で求めた設計変数の値を次の初期点として、(1)に戻る。

3・1・2 感度解析を用いる方法に対する考察 単純化された小問題を解いていくことで、設計変数の多さからくる多峰性は緩和され、最適化アルゴリズムは、局所解を避けてより確実に設計点を最適解に近づけることができる。

注意点として、各設計変数の単位系が異なる場合は、目的関数への影響度を調節するために規格化を行う必要がある。本研究ではその設計変数の側面制約の幅で設計変数を割ることで、規格化を行っている。

以上の方法により、一応の最適解は求まるが、設計変数の目的関数に対する感度を計算するためには、設計変数が連続的であるという前提が必要である。離散変数を含んだ一般的な問題に対応するため、本研究では次に遺伝的アルゴリズム(以下GA)を用いた探索の適用法を考えることにする。

3・2 遺伝的アルゴリズムによる解の絞り込み

GAでは多数の個体によって拡張された設計空間を探索し、GAオペレーションによりその設計空間が絞り込まれていくが、拡張された設計空間の最適化問題では、システムは階層的な構造をもっており、まずそのためのコーディング法とそれに対応する遺伝的オペレータを定める必要がある。

3・2・1 コーディング法 フレーム表現モデルの遺伝子形へのコーディングは、図7に示す方法により行う。一つの個体はグローバル遺伝子とローカル遺伝子という2種類の遺伝子情報をもっている。グローバル遺伝子とは、フレームの代替案の選択を示す構造情報と、それに影響されない同格な設計変数によって構成されるものである。またローカル遺伝子とは代替案の下位にあたる変数で、その個数も代替案によって異なるものである。

3・2・2 遺伝的オペレータ

1. 多目的再生戦略 設計空間が拡張された結

Fig. 7 Correspondence between the phenotype and the genotype

Fig. 8 Reproduction strategy of the proposed genetic algorithm

果、設計者に複数の視点がもたらされた場合、対象問題は多目的最適化問題となるが、できる限りパレート解上の解候補を多数得た後に、その中から設計者の選好構造に基づいて最良の解を選択することが望ましい。

そこで本研究では、ベクトル評価遺伝的アルゴリズム⁽⁶⁾を基にした、図8のような多目的再生戦略を採用する。つまり全個体群の中から各々の目的関数の適応度ごとに定めた個体数だけルーレット選択により再生を行い、これを部分個体群とする。この部分個体群を混ぜ合わせて次世代の個体群が形成される。

2. 交叉 次に交叉は、図9にその例を示すとおりに行う。まず離散的な変数と連続的な変数のグローバル遺伝子は普通の一様交叉と同様の方法により交叉させる。つまり交叉させる世代の個体群の中から両親となる二つの個体を選び出し、各遺伝子座ごとにランダムにどちらかの両親から遺伝子の値を受け継ぐ。上位のグローバル遺伝子である構造情報に支配されるローカル遺伝子は、図9中の丸印で示すものである。丸印の中の数字がその変数の個数を示しているが、その

Fig. 9 Crossover of individuals having global and local variables

複数のローカル遺伝子はその共有する一つの上位の遺伝子とセットとなって交叉を行う。つまり上位の遺伝子を受け継ぐ子の個体に、そのローカル遺伝子すべての値がそのまま受け継がれることとする。

ここで、設計最適化問題では制約条件が存在し、交叉を行った結果、その制約を犯す個体が生まれる可能性があることに注意すべきである。そこで、交叉を行い、もし子の個体が制約を犯しておれば交叉に戻り、もう一度交叉をやり直すこととする。制約をクリアしていれば次の個体の交叉に移る。

3. 突然変異 構造情報の遺伝子を一定の確率(突然変異率)のもとで、その設計変数の側面制約内のランダムな何らかの別の値に変化させる。はじめに個体突然変異率 p_{m1} に基づいて、その個体に突然変異を起こすかどうかを決定する。そしてその個体を突然変異させると決定されれば、各遺伝子座は遺伝子突然変異率 p_{m2} に基づいて突然変異をするかが決定される。代替案情報をもつ遺伝子が突然変異すると、ローカル遺伝子は代替案情報に支配される設計変数であるため、それまで保持していた値は意味がなくなる。したがって、代替案情報の遺伝子が突然変異するとき、同時にセットとしてその下位の変数をすべてランダムな値に初期化する。続いて、代替案に影響されないグローバルな遺伝子も突然変異に移る。

この際、交叉と同様に、制約を満たさない致死遺伝子の発生を避けるために、もし突然変異によって制約を満たさない個体になった場合は、制約を満たすまでランダムな値を再度与え直すことを繰り返す。

4. 局所探索 本研究では、GA の探索の補完として、有効許容方向法を用いた局所探索を行う。つまり GA によって大域的に設計空間を探索して、最適解の近傍を得、そこから局所探索によって最適解を得ることができると期待される。具体的には、交叉・突然変異を終えた個体の下位のローカル遺伝子およびグローバル遺伝子のうちの連続変数の部分をこの有効許容方向法によって最適化を行う。また多目的最適化に対応して、再生で用いた目的関数の数だけ個体群を確率

Fig. 10 Four-bar linked mechanism

Fig. 11 Initial conditions of a frame structure

的に部分個体群に分割し、その部分個体群ごとに、対応する目的関数を用いて各個体を有効許容方向法によって最適化する。

3.3 解の絞り込みについての考察 以上のように本研究では、感度解析により最適化問題の逐次単純化を行う方法と、GA による方法について述べた。このうち前者の特長として、山登り法に近い方法であるため、収束性に優れているという点がいえる。逆に後者は、代替案の選択とその下位のパラメータの最適化を同時に行うことができる。ただし、ヒューリスティックな解法であるため、前者に比べ計算機の負荷が大きくなる。両者を組合せることによって、より素早く確実に最適解を得る可能性が考えられるが、これについては最終節の展望でも触れる。

4. 適用例

第2, 第3章で説明した方法の有効性を、平面リンク機構を例にとって調べた。平面リンク機構は複雑な挙動を比較的単純な構造で実現できることから、さまざまな産業機械や身の回りの機械製品に非常によく利用されている機械システムといえる。ここでは、図10のような障害物の存在する平面内で、物体を運搬する四節リンク機構の総合について扱うことにする。これを感度解析による方法と、ハイブリッド形 GA を用いた方法について述べていくことにする。

4.1 感度解析による設計空間の絞り込み法

4.1.1 初期設計情報の記述 まず初期段階の設

計情報をフレームモデルにより表現する。図 11 はその構造を示している。ただし最下層の、設計変数のみを表すフレームを省略している。

目的関数は物体を運ぶ目標点として、目標点との軌跡の誤差を評価の基準とし、各目標点から軌跡上の最も近い点への距離 L の合計をとる。また制約関数は、四節機構が成立し、クランク角 α が 360° 回転するための条件と、機構動作時に障害物と衝突しない条件からなる。ここで障害物との衝突回数は、動作時間を 100 分割し、そのそれぞれの時刻で障害物とリンクが交差した回数をカウントすることで求める。

これら目標点との誤差、衝突回数の条件は、下位のフレームである「機構の軌跡」がもつ、クランクが 360° 動いたときの先端部および各節点の位置の値から算出される。さらに「機構の軌跡」も同様に、この「機構の軌跡」の下位のフレームである、それぞれのリンクの値から求められる。

なお、ここでは目標点の座標を (1.0, 0.6), (1.3, 0.7) の 2 点、障害物を (1.1, 0.3), (1.0, 0.5), (1.3, 0.6), (1.4, 0.3) で囲まれる領域とし、初期設計解は、リンク長を $l_0=0.5$, $l_1=0.2$, $l_2=0.45$, $l_3=0.3$, $l_{n-1}=0.3$, $l_{n-2}=0.4$ (l_n はリンク n の長さ)、固定点の座標を (0.0, 0.0), (0.5, 0.0), リンク 4 の折れ曲がり点の角度を 60° , -30° とした。

4.1.2 設計空間の拡張 ここで次のように設計空間の拡張を行う。

1. 上位目的の生成 「目標点との誤差」の上位の目的として、「運搬機構の製作」が得られる。

2. 新視点の生成 この上位の目的から運搬機構製作に必要な視点として、「製造コスト」が得られる。さらに「製造コスト」を算出するための下位のフレーム構造を構築する。製造コストには原材料費、加工費、組立費などが含まれるが、ここでは原材料費によってこれを代表させることとし、土台部分の長さその他の各アームの全長から計算する。

3. 新設計変数の生成 機構の軌道計算で、それまではリンク 0 の両端の節点の位置を固定していたが、これを柔軟化し、その x, y 座標を新しい設計変数として生成する。

4.1.3 最適化 この拡張された設計空間をもとに、設計変数の目的関数に対する感度解析による設計空間の絞り込みを行い、最適解を求めた。

表 1 は最適化の結果を示している。感度解析を用いないタイプ 1 では、問題の強い非線形性のため、軌跡は目標点をとらえられず、有効な解を出せずに終わっている。これに対し感度解析を用いたタイプ 2 では、

Table 1 Comparison between the result optimized without sensitivity analysis (Type 1) and the result with sensitivity analysis (Type 2)

	Error (m)	Cost (yen)
Type 1	0.0843	1020
Type 2	0.0013	879

うまく目標点をとらえる軌跡が得られた。したがって、感度解析が設計空間の絞り込みの方法の一つとして有効であることがわかった。

4.2 ハイブリッド形 GA による絞り込み法

4.2.1 設計空間の拡張 次にハイブリッド形 GA を用いた方法を述べる。離散的設計変数やサブシステムの代替案の提示が可能であるので、前節の例に加え、さらに次のように設計空間は拡張することができる。

1. 代替案の提案 リンク 4 部の折れ曲がり点を、一つの点のものから、三つの点のものまで、三つの代替案を提案する。

2. 新しい視点の生成 GA の多目的最適化性能を試すために、新しい視点として、さらに運搬物を支持したときの「たわみ」の大きさを評価に加える。

3. 新設計変数の生成 「たわみ」は、機構の姿勢、リンクの断面二次モーメント、ヤング率から計算される。断面二次モーメントはリンク棒の断面形状から算出できるが、初期状態では断面形状についてはパラメータとしてみていなかった。しかし、この状態になると、「材料コスト」と「たわみ」の両面で最適化するためには、断面形状を設計変数として扱えばよいことは容易に理解できる。さらに同様にヤング率の設定という必要性が出てきたため、材料の選定という別の設計変数も提案される。このように、新視点の生成により新設計変数が生成され、設計空間はさらに拡張される。

断面形状は円形、中空円形、四角形、中空四角形、 H 型、 I 型の六つの形状を代替案として設定する。さらに円柱の半径、中空円形の内径・外径などが、この代替案の下位変数とされる。また材料は、鋼、鋳鉄、アルミ合金、マグネシウム合金を離散変数として設定する。

また同時にこれらの変更はコストのフレームにも反映される。

4.2.2 最適化 以上で拡張されたフレーム構造を図 12 に示す。この拡張された設計空間の中でハイブリッド形 GA による最適化を行った。ここで、この問題の目標点の座標を (0.9, 1.4), (1.3, 1.5), (1.2,

Fig. 12 Expanded frame structure

Fig. 13 Optimized four-bar linked mechanism

1.6)の3点, 障害物を(1.2, 0.7), (1.6, 0.7), (1.3, 1.2), (1.6, 1.3)で囲まれる領域とした。制約関数は前述のとおりである。ただし, $4 \cdot 2 \cdot 1$ 項で制約として扱った障害物との衝突回数は, ここでは目的関数に組入れた。したがって, 目的関数は目標点からの誤差, たわみ, コスト, 障害物との衝突回数の四つとなる。また, これらの目的関数はより小さい値になるほど優れた値であるが, GAの適応度計算のために, 指数関数により最大化問題に変換を行っている

図13に得られた最適な機構を, そして表2にはおのおのの評価関数の値を示している。障害物をよけ, 三つの目標点をきっちりととらえた機構が得られている。

Table 2 Optimized objective functions

Error	Cost	Deflection	Collision
0.009 m	543 yen	0.196 mm	0 times

Fitness of error relative to objective points

Fig. 14 Distribution of individuals in a pre-expanded design space

Fig. 15 Distribution of individuals in an expanded design space

設計空間の拡張の効果の確認を図14と15で行っている。初期段階では目標点からの誤差のみの評価で最適化し, 図14のような分布が得られている。この中から最も適応度の高い個体を設計解として選ぶことで

設計が終わっていた。図 15 は設計空間を拡張した後の、解候補の分布状況を示している。座標軸として目標点からの誤差、たわみと製造コストをとっているように、設計空間は多次元的に拡張されている。この拡張された設計空間で、解探索途中で得られたすべての非劣解の中から設計者の選好にあった個体を設計解として採用すればよいことになる。

5. 結 言

本研究は設計空間を拡張することによって、設計者の先入観で固定された狭い空間の中での最適解の壁をブレイクスルーする手法を示し、さらにその状態から効果的に最適解を導き出すという一連の方法を提案した。まとめると以下のとおりとなる。

1. 設計情報をフレームのネットワーク構造によって表現し、設計空間を拡張するためのフレームの操作を示すことにより、設計に非常に多くの可能性を含ませた、いわば無に近い状態をもたらす方法を述べた。
2. 拡張された設計空間から、感度解析を用いた設計空間の絞り込み法を提案した。
3. 拡張された問題を遺伝的アルゴリズムで解くための階層的なコーディング法を示し、遺伝的アルゴリズムと局所探索法をハイブリッドさせたアルゴリズムを提案した。
4. 以上の方法を障害物の存在する平面の運搬機構に適用し、設計者に初期の視点以外の評価項目と、非常に多くの選択可能な状態を与え、その中から最適な機構を求めた。

6. 展 望

本研究では設計空間の拡張から解の絞り込みまでの一連の方法について述べてきたが、さらにこの方法の発展の方向性として、次のようなものが考えられる。

- (1) 設計空間拡張作業の支援 設計空間の拡張の自動化や、解の改善を大きくもたらす拡張のための

システムと、無駄な拡張を評価するシステムを構築することにより、効果的に拡張作業を行うことができると思われる。

- (2) 効率的な解の絞り込みの支援 さらに設計空間の拡張が続く、今回示したような大域的探索手法のみでは対応が不可能な場合、大域的探索手法を用いずに、あるいはこれと併用して、さらに効率的に解を絞り込んでいく方法を考案する必要がある。本研究では感度解析による、問題の逐次単純化法を提案したが、このように何らかの評価基準を用いれば最適設計解導出の確実性と効率を高めることができると考えられる。

- (3) 構造的にまったく異なるものを創成する方法 本研究では、既存の設計モデルをもとにした設計空間の拡張であったため、完全な無の状態に戻れたわけではなく、それに近づくことで終わっていたといえる。つまりこのような初期モデルに依存しない構造を含めた設計空間の拡張法を考える必要がある。

文 献

- (1) 坂和正敏・田中雅博, 遺伝的アルゴリズム, (1995), 1-32, 朝倉書店.
- (2) Kirkpatrick, S., Gelat, C. D. and Vecchi, M. P., Optimization by Simulated Annealing, *Science*, **220**-4598 (1983), 671-680.
- (3) 吉川弘之・富山哲男, インテリジェント CAD(上)-理念とパラダイム, (1989), 142-181, 朝倉書店.
- (4) Minsky, M. (Winston, P. H. 編), A Framework for Representing Knowledge, *The Psychology of Computer Vision* (1975), New York, McGraw-Hill [白井良明・杉原厚吉共訳, コンピュータビジョンの心理, (1979), 237-332, 産業図書].
- (5) 吉村允孝・木村充志, 設計・生産情報の同時的処理にもとづく製品設計の進化的最適化, 機論, **61**-583, C (1995), 1249-1256.
- (6) Schaffer, J. D., Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms, *Proc. First Int. Conf. Genetic Algorithms Their Appl.*, (1985), 160-168.