

ライト設計システムの開発（第1報）  
設計パラメータ決定手法の開発

坂元康泰，佐々木憲吾，安部重毅，宮野忠文，野地英治

Development of Light Design System (1<sup>st</sup> Report)  
Development of Determination Method of Design Parameters

SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, ABE Shigeki, MIYANO Tadahumi and NOJI Hideharu

The main purpose of this research is proposing the concept of “Light Design System” and developing methods to realize advanced design process with ease. In this work, We have developed Determination method of design parameters. If all of design parameters and objectives are expressed as numerical values, we can get these relations intelligibly by this method. The proposed system is configured by 3 phases. In the first phase, we get input and output data by simulation or experiment. In the second phase, Neural Network learns these data and can map the relation between input and output data in all over the design space. In the last phase, Sequential Quadratic Programming method can express this relation as equations, which make easy for the preservation and reusability.

キーワード：数理計画法，非線形最適化，ニューラルネットワーク，CAE，シミュレーション，

1 緒 言

製造業は生産工程のコストダウンと高品質化を進めてきた。残るは設計工程の効率化と高度化である。本研究は、これらをライト（手軽）な感覚で実現する設計システムの概念の提案と手法を開発するものである。それは、従来は設計者が実施していた工程をコンピュータが代替する自動化機能により、中小企業の設計者にも広く利用できる枠組みを保有することを目指すものである。本設計システムを“ライト設計システム”と呼ぶことにする。

図1にライト設計システム全体の概念図を過去の研究との対比の視点から示す。昨年度までの研究<sup>1)</sup>において、実物からコンピュータモデルを作成する技術を開発した。これは、設計工程をデジタル化するための入口整備の位置づけである。それに比し、今年度からの研究は、作成されたコンピュータモデルを初期モデルとして用い、仕様を満足する、より良い形状を生成するための、設計工程の中核整備の位置づけとする。工程の位置づけは違うが、技術的にはどちらも逆工程であるという共通点がある。つまり、コンピュータモデル作成技術が従来のCAD/CAM技術とは逆であるためリバースエンジニアリングと呼ばれる。また、シミュレーションが形状を設定した後に特性を評価するものに対し、本研究では、その逆の、仕様を与えると、そ

れを満足する形状を決定するものである。ライト設計システムの先行概念は、ライトCAE<sup>2)</sup>による。これは、シミュレーション技術が高度・複雑になる（パワーCAE）につれ、簡単にシミュレーションする技術が必要となることを指摘している。

本研究全体で開発する主要技術は以下である。  
1) 設計パラメータ決定技術（本報での提案技術）  
2) 構造特性を満足する形状決定技術（次年度以降）  
3) 生産性を考慮した形状決定技術（次年度以降）  
1)では、形状が長さ、幅、厚みなどの設計パラメータ（数値）で表現することが可能な場合を前提として、設計パラメータと特性の関係を導出する技術を中心に開発する。2)では形状をパラメータで表現することが困難な自由曲面で構成される場合を前提として、形状の剛性、強度、重量などの構造特性を満足する形状

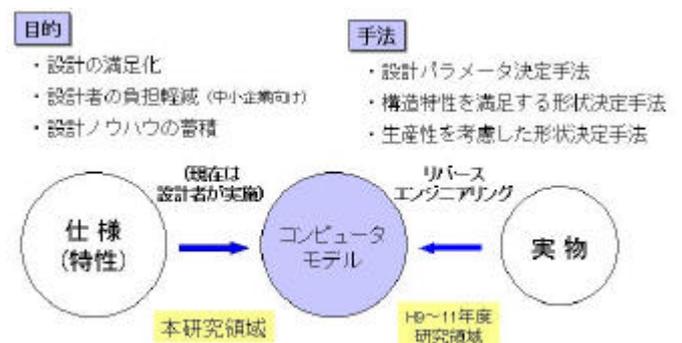


図1 ライト設計システムの概念

決定手法を新しく開発する .3)ではこれに生産性の要求を加えた満足化手法を開発する .

## 2 設計パラメータ決定手法

### 2.1 最適化手法とは

設計における意志決定の実態は多種多様であるが、その中で設計者は何らかの基準を設定し、いくつかの設計案の中からこれを最適にするもの、もしくはそれに近いものを選択している場合が多い .そして、これを合理的に設計を進めようという思想は古くからあり、最適設計と呼ばれている<sup>3)</sup> .

最適化手法を概観する .最適設計システムに使用されている主な数理的最適化手法は、図2に示すように3つに分類される .そして、最も一般的な手法は数理計画法である .この方法は目的関数を直接的に最小化する方法で、直接法と呼ばれ汎用性に富む方法である .

一方、最近、非線形現象を対象とすることができる新しい最適化計算方法であるニューラルネットワーク (Neural network) などを使用した先進的アルゴリズム (ソフトコンピューティングあるいはモダンヒューリスティックスとも呼ばれる) がある .これは、よい (最適解に近い) 解を、実用的な計算コストで探索する技法である .このとき、実行可能性や最適性を保証することは不可能でもよい .「計算上の複雑さ」の概念が開発されるにつれて、最適性を追求するという大義名分よりも、ヒューリスティック技法を探索するほうが、より理にかなったものであると受け入れ始めた<sup>4)</sup> .

さらに、最適性規準法がある .これは、数理計画法のように目的関数を明確に持ち、これを最小化するものではなく、最適性を間接的に保証する何らかの規準を仮定し、その規準を満足するように構造物を設計する方法である .本ライト設計システム全体ではこれら数理計画法、先進的アルゴリズム、最適性規準法の中から一つずつ、システムの目的に適合する手法を選択したものとなる .

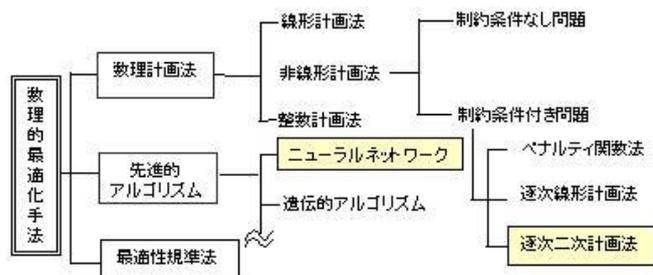


図2 最適化手法

### 2.2 設計パラメータ決定手法の構成

ライト設計システムでは、ある個別の設計問題での特性を最適化するための設計パラメータの導出という視点からではなく、設計問題について、対象とする設計空間全体について設計パラメータと特性の関係を導出することを目的として、最適化手法を用いることにする .それは、前者が“点設計”であるのに対し、後者は“空間設計”とも言え、本システムで得られた関係式を設計ノウハウと捉え、今後の設計問題のために保存・再利用することを重要視するからである .設計パラメータ決定手順を図3に示す .まず、Step1 で設計パラメータと設計者が得たい特性について、いくつかのデータを実験あるいはシミュレーションを用いて取得する .このとき、対象とする設計空間全体を網羅するようにデータを取得することが好ましい .次に、Step2 でこれらのデータを教師用データとしてニューラルネットワークに学習させる .学習したのちは、ニューラルネットワークは与えられた設計空間内の設計パラメータ~特性の関係を簡単な積和演算で出力することができ、これを可視化することにより設計空間全体の把握が可能となる .さらに、最適な特性となる設計パラメータ値を得ることも可能である .Step3 では、逐次二次計画法を用いて Step2 で観察した結果から設計パラメータ~特性の関係式の構造を仮定し、その係数を同定する .最終結果は設計パラメータ~特性の関係を式として把握する .以下、Step2 と Step3 の順に手法及び適用事例を示す .

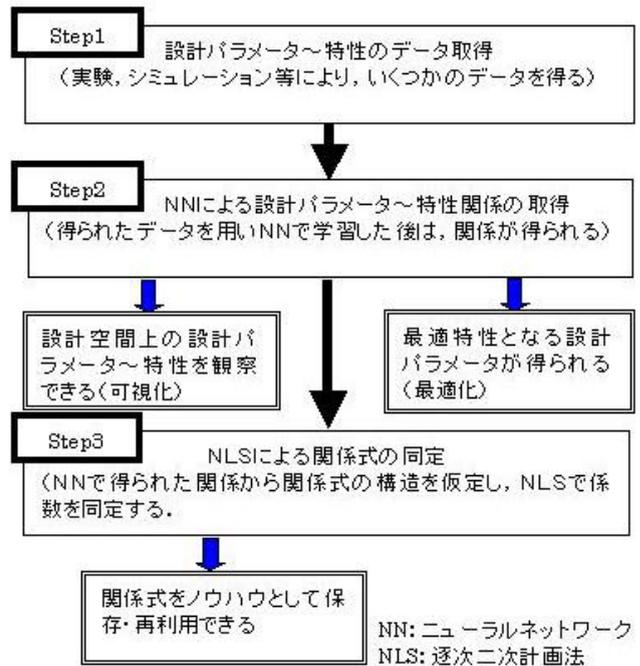


図3 設計パラメータ決定手法のフローチャート

### 3 設計パラメータ～仕様を構築する技術

#### 3.1 ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークは、生物の神経回路網を模倣した構造を持ち、いくつかの解から学習し、これに類似した条件の問題に対する近似的な解を求める方法である。我々はこれを形状計測において、実物表面上のランダムな点群データから自由曲面を生成する手法に用いてきた<sup>1)</sup>。そして、これが任意の写像関係を実現すること、ランダムなデータでよいことなどの特性を持ち、設計問題にも好ましいことがわかった。本設計システム内では、Step1 で得られたデータを元に、設計パラメータ～特性の関係を曲面として表現することに用いる。

#### 3.2 適用事例（熱伝達係数の推定）

本手法を評価するため、熱解析に用いるパラメータの同定を行ってみる。例えば、ピストン解析においては、ソリッドモデルの作成後、熱解析や強度解析などのシミュレーションが実施されているが、本解析を困難とさせていることの一つとして、解析に用いる材料特性などがわからないため正しくシミュレーションできないことがある。特に、熱伝達係数は物理量ではなく、文献等から得られない上に、条件の違いにより値がかなり違うものである。また、熱流速値も実験による測定が容易ではなく、適切な値を与えることが困難なものとなっている。これらのパラメータを推定し、正しい熱解析結果を得る方法は、図4に示すように、仮にこれらのパラメータを与えて、シミュレーションを実行し、その応答である各点温度  $T_{sj}$  が実験で得られている各点温度  $T_{ej}$  と一致するようにパラメータを変更することを繰り返すことである。しかしながら、本問題は熱バランスを取る問題であり、解析担当者が妥当な繰り返し回数で適切にパラメータを変更し、正しい解析結果を得ることは困難であった。そこで、本問題に対し、ニューラルネットワークの写像技術を用い、実験温度  $T_{ej}$  に最も近い温度分布を与える熱流速  $q_i$  や熱伝達係数  $h_i$  を推定することを実施した。

本手法によるパラメータ決定法を図5に示す。まず、熱流速や熱伝達係数を変化させ、熱解析をまとめて実行する。これにより、入力変数としての熱流速、熱伝達係数と出力変数としての各点温度のデータが取得できる。ここでは初期データとして4つのデータを用いた。このデータをニューラルネットワークに学習データとして与える。学習し終えたニューラルネットワー

クは設計パラメータ空間での入力～出力の関係を把握していることになる。そして、実験で得られている各点温度との最小誤差となる熱流速値と熱伝達係数も算出可能となる。この値を用いて熱解析を再実行する。誤差値が指定した値以下あるいは変化しなくなるまでこれを繰り返す。本問題では、誤差値はデータ数6個でほぼ収束し、妥当なパラメータが得られた。

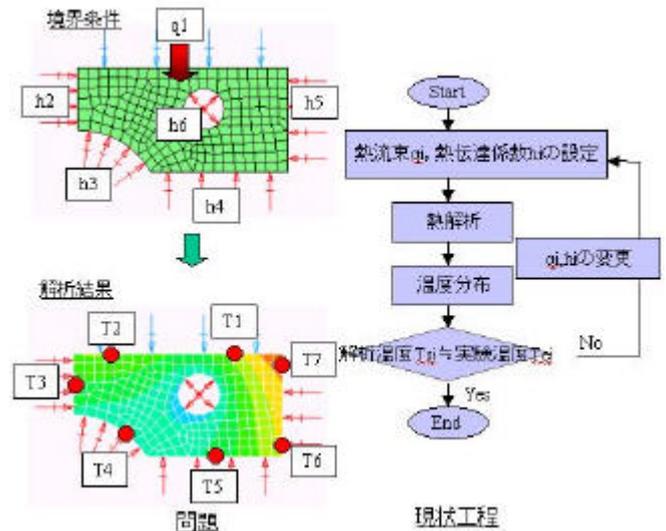


図4 熱伝達係数の推定問題と現状方法

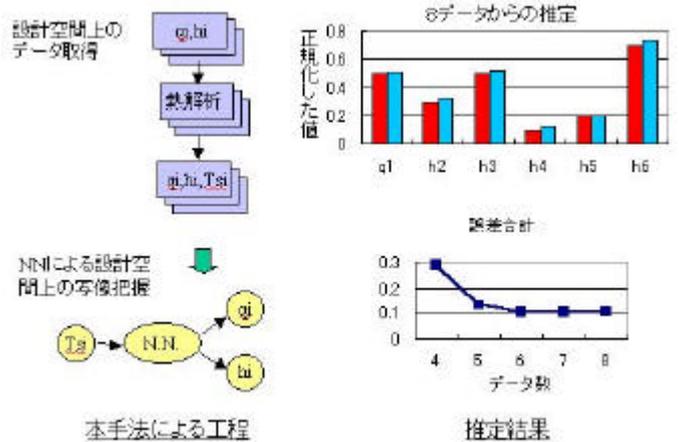


図5 熱伝達係数の推定方法と結果

## 4 関係式を作成する技術

### 4.1 非線形計画法

非線形計画法とは、一般の非線形最適化問題を現在の点における部分問題として二次計画問題で近似してゆき、求める最適解に収束するような点列を生成する反復法である。その中で、逐次二次計画法(Sequential Quadratic Programming 法, 以下 SQP 法)は、現実問題の多くを占める制約付き非線形最適化問題に対し、最も効率的な手法とされる。本設計システムでは、この SQP 法を式の未定係数を決定することに用いる。ま

ず、式の構造が不明な場合にはStep2 を実行し、設計空間全体の設計パラメータ～特性の関係を観察し、関係式の構造を仮定する。そして、得られている出力値と関係式の出力値の差の2乗和が最小となるよう係数を決定する非線形最小2乗和問題として扱う<sup>5)</sup>。これにより、設計パラメータを入力として特性を出力とする式が得られ、その後は実際にシミュレーションをしなくてもこの関係式がシミュレータの役割を担うことになる。

#### 4.2 適用事例（バーの座屈開始点の定式化）

本手法を評価するため、インパクト・バーの設計問題を取り扱う。これは、自動車用ドアの側面衝突保護用としてドア内部に用いるものである。バーの特性としては外部からの衝突荷重に対する耐荷重値、エネルギー吸収量がある。ここで、設計パラメータとして、バーの長さL、厚みt、直径D、材料特性としての降伏応力 $\sigma_y$ を用いる。これらと特性値としての耐荷重値やエネルギー吸収量の関係も導出可能だが、今回、本現象を複雑な問題としている座屈開始点を用いる。

図6にバーのシミュレーション結果を示す。負荷子を下方に移動させたとき、中心部に座屈が生じていることがわかる。本グラフは横軸が負荷子の変位量、縦軸が耐荷重値を示しており、エネルギー吸収量はこのカーブが作る面積となる。座屈が始まると耐荷重が低下し、エネルギー吸収量が小さくなるため、座屈開始点を遅らせることが特性向上に繋がる。観察結果より、座屈開始点を最大耐荷重値より5%低下した負荷子変位量yとして表現し、これと設計パラメータの関係式を導出することとする。

図7に、本手法により座屈開始点を推定した結果を示す。今回設計パラメータを替え、21回シミュレーションを実行し、データを取得した。この結果を用い、シミュレーション結果と関係式の最小2乗和が最小

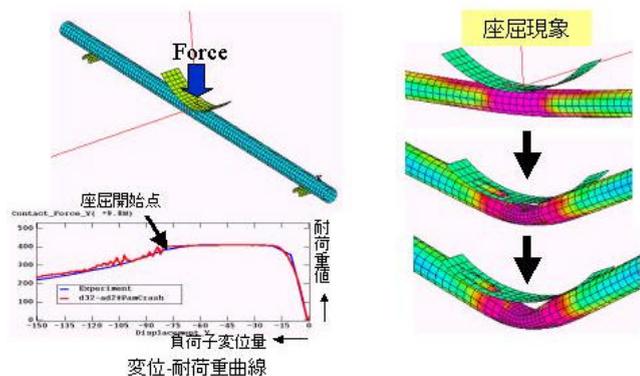


図6 インパクト・バーの座屈解析となる係数 $k_1$ を逐次二次計画法により決定する。ここ

で、式の構造を先に指定する必要があるが、今回、設計パラメータ(L, t, D,  $\sigma_y$ )の積結合とした。本手法による結果、座屈開始点yが厚み/直径<sup>2</sup>の関係式となることがわかった。本問題領域では、一般に技術知識として座屈現象が厚みと直径に関係することが知られていたが、本手法により式の形にすることが可能となる。

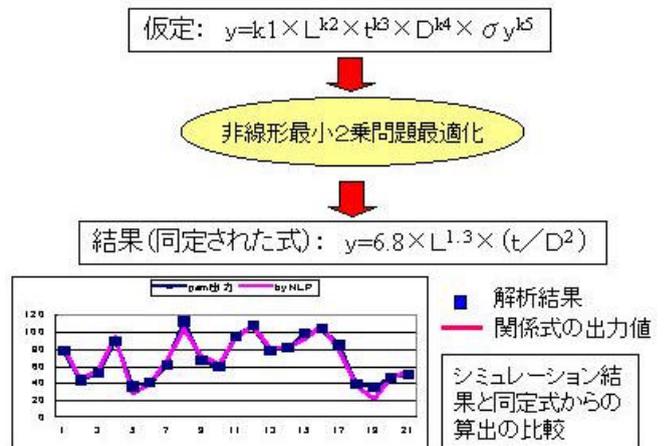


図7 インパクト・バーの座屈開始の推定

### 5 結 言

設計工程をライト（手軽）な感覚で実現するライト設計システムの概念を提案した。そして、形状が設計パラメータ（数値）で表現することが可能な場合に、これらと特性の関係を導出する技術を新たに開発した。これは、2つのモジュールからなる。モジュール1では、ニューラルネットワーク技術により設計空間全体の設計パラメータ～特性の関係を把握する。モジュール2では、関係式の構造を仮定し、非線形計画法を用いてその係数を同定する。得られた関係式は保存・再利用しやすい形式となる。本システムをいくつかの設計問題に適用し、その有効性を示した。

### 文 献

- 1) 坂元他: 広島県西部工技研究報告, No41(1998), 21, No42(1999), 48, No43(2000), 1
- 2) 栗山: 自動車技術, 9733918, Vol. 51, 79, (1997)
- 3) 山川: 最適化デザイン, (1993), 5, 培風館
- 4) colin R. Reeves 編: モダンヒューリスティックス, (1997), 7, 日刊工業新聞社
- 5) ASNOP研究会編: 非線形最適化プログラミング, (1991), 77, 日刊工業新聞社