

(40) 数理最適設計支援システムの開発
DEVELOPMENT OF THE ASSIST SYSTEM FOR
MATHEMATICAL DESIGN OPTIMIZATION

山村 和人* 杉本 博之**
Kazuto YAMAMURA Hiroyuki SUGIMOTO

Design Optimization by computers makes it possible not only to improve the quality and efficiency of designs but also to discover novel designs beyond human capabilities. Therefore, mathematical optimization techniques and the assist system for design optimization has been developed.

The system is based on techniques in which structural analysis, such as the finite element method, is combined with the Non-Linear Programming. And it is possible to use the program interactively to define the mathematical model of optimization, to execute and to control optimization, and to graphically treat. This paper describes the above system.

*Key Words: optimization, finite element method, non-linear programming
computer system*

1. はじめに

計算機による最適設計は、設計の質即ち最適性と効率の向上、限界設計の追求、経験によらない新しいデザインの創出を可能にする。そのため当社においても最適化手法、特に連続体形状最適化と複合材料構造最適化を中心とした手法、最適解の信頼性ならびに効率を上げる手法、ならびにソフトウェアの開発に取り組んできており、それらを統合した対話型の最適設計支援システム「NS-opt」を開発した。^{1), 2)}

本システムは有限要素法あるいは一般の設計式と非線形計画法を組み合わせた手法をベースとしており、最適設計のための数理モデルの構築から最適化結果の図化処理までを対話型で行うことができる。

本報告ではこの最適設計支援システム「NS-opt」の概要について紹介する。

2. 数理最適化問題

工学設計問題は、一般には数理計画問題として次式のように定式化できる。

$$\text{○目的関数: } F(X) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{○制約条件: } g_j(X) \leq 0 \quad (j=1 \sim m) \quad (2)$$

$$h_k(X) = 0 \quad (k=1 \sim l) \quad (3)$$

* 新日本製鐵株式会社 技術開発本部プロセス技術研究所機械技術研究部 (〒299-12 富津市新富20-1)

** 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 (〒050 室蘭市水元町27-1)

$$x_{i^L} \leq x_i \leq x_{i^U} \quad (i=1 \sim n) \quad (4)$$

$$\text{○設計変数: } X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (5)$$

ここで、 $g_j(X)$ は不等号制約条件、 $h_k(X)$ は等号制約条件、 x_{i^L} 、 x_{i^U} は設計変数の上限値と下限値、 m 、 l 、 n はそれぞれ不等号制約条件数、等号制約条件数、設計変数総数を示す。この問題を解くため汎用の非線形数値計画法プログラムを使用した。³⁾ 設計問題を上記の形で表すことができれば基本的に最適設計が可能である。本システムは目的関数や制約条件式は直接的に式で定義することも、有限要素法等による構造応答から間接的に定義することもできる。

3. 数値最適設計支援システムの基本的考え方

数値最適設計は通常の構造解析とは違い、設計変数や目的関数、制約条件等を定義する必要があり、普及には使いやすいシステムが不可欠である。そこで、以下のような特徴をもつシステムを構築した。

- (1) 設計モデルの構築から、最適化解析、図化処理までを一貫してできる対話型システムとする。
- (2) ワークステーション上で使用できるようにする。
- (3) 設計者の意思が反映させやすいシステム、即ち設計変数、目的関数、制約条件が自由に設定でき、それらのデータベース化、機能のカスタマイズ化がある程度できる。
- (4) 汎用的な有限要素法と非線形計画法を有し、種々の問題に対して柔軟に対応できる。
- (5) 数値モデルや最適解の信頼性向上にかかる最新技術を盛り込んだシステムとする。
- (6) 最適設計のプリ・ポストプロセッシング機能（最適化の履歴グラフ、解析結果図化表示）を有する。

4. システムの基本構成と機能

4.1 全体構成

図1にシステムのプロック図を示す。システムは大きく4つの部分、即ち、全体制御部、最適化計算部、図化処理部、数値モデルデータベース部から構成される。

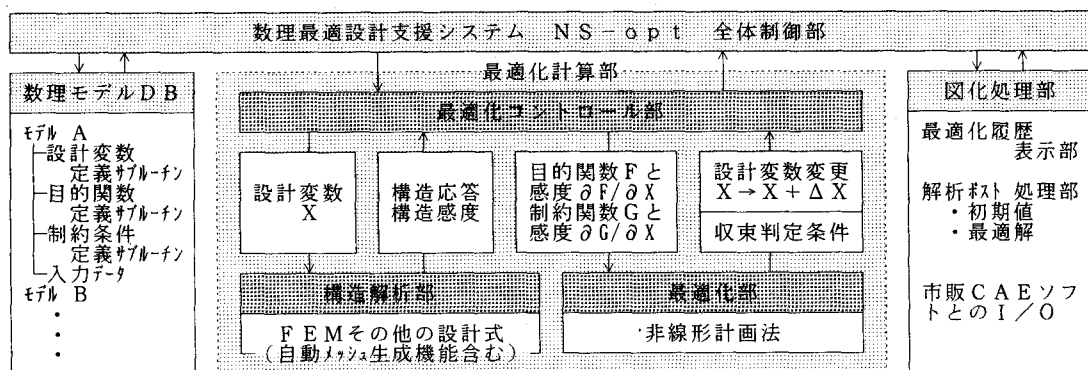


図1. 数値最適設計支援システムNS-optブロック図

全体制御部は他のモジュールを有機的に結びつけ、対話型のオペレーションを実現する部分である。ここでは、数値モデル（目的関数、設計変数、制約条件）の構築、データの入力、解析の実行、最適化計算過程の制御、計算履歴のグラフ表示、最適化結果の図化処理の流れを一元的に管理する。

最適化計算部は本システムの中心となる部分であり、構造解析部、最適化部、及びそれらを制御する最適化コントロール部から成る。構造解析部はFEMを中心としているが、ユーザー側で自由に構造解析法の定義ができる。また2次元連続体形状最適化を行う場合のFEMの自動メッシュ生成機能を有する。⁴⁾ 最適

化部は汎用の非線形計画法による最適化計算を行う部分である。最適化コントロール部は構造解析部と最適化部の間でデータをやり取りしつつ計算を進める部分であり、他の機能として初期値の改良機能をもつ。これはNEWSUMT法を用いてランダムに設定した初期値から真の最適化に近づくよりよい初期値を求める部分である。⁵⁾ 図化処理部は目的関数、制約関数、設計変数の変化をグラフで表示する最適化履歴表示部と2次元FEM解析結果である応力や変位を表示する解析ポスト処理部からなる。

4. 2 機能

表1にNS-optの機能を整理して示す。

表1. 数理最適設計支援システム「NS-opt」の機能概要

(1)適用問題	①2次元骨組構造最適設計 ②2次元・軸対称弾性構造最適設計 ③3次元シェル構造最適設計	④2次元・軸対称熱伝導場最適設計 ⑤積層複合材料構造最適設計 ⑥一般設計式による最適設計
(2)構造解析機能	①2次元骨組構造解析FEM ②2次元・軸対称弾性解析FEM ③3次元シェル構造解析FEM ④2次元・軸対称熱伝導場解析FEM ⑤積層複合材料構造最適設計	: 2節点線形ビーム・トラス要素 : 4節点・8節点4辺形要素 : 4節点4辺形要素 : 4節点・8節点4辺形要素 : 梁, シリンダー, 圧力容器 他
(3)最適化機能	①非制約問題 : DFP, BFGS公式による可変計量法 他 ②制約問題 : SLP, GRG, SQP, SUMT+BFGS 他	
(4)数理モデル 設定機能	プログラム方式 (fn: 数理モデルファイル名) *数理モデル定義 *データ定義 ①DESIGN.f: 設計変数定義 ①fn.dat1: FEMデータ ②OBJECT.f: 目的関数定義 ②fn.dat2: 最適化データ ③CONSTR.f: 制約条件定義 ③fn.dat3: ユーザー定義データ ④SOLVER.f: ユーザー定義構造解析プログラム, ユーザー作成設計式	
(5)前処理機能	①形状最適化対応2次元自動メッシュ生成プログラム ②初期値改良機能	
(6)後処理機能	①最適化履歴グラフ : 設計変数, 目的関数, 制約条件 推移 ②2次元簡易図化処理機能: メッシュ図, 変形図, 応力分布図, 主応力ベクトル図 ③MARC用図化処理プログラムMENTATとのインターフェース	
(7)対話型 処理機能	①メニュー&マウスピックアップ方式による対話型インターフェース ②対話型最適化コントロール機能 ③FEMによる通常解析機能+最適化機能	
(8)システム環境	SUNワークステーション, UNIX, FORTRAN, C	

5. 最適化処理のフロー

図2は本システムによる最適化計算の流れを示す。まず、構造解析手法の選択を行い、次に最適設計のための数理モデルを定義、データの入力、数理モデルプログラムのコンパイル、最適化計算の実行、計算過程のグラフ表示、計算結果の図化処理の順で行う。

本システムでは表1に示すように各種の構造解析手法を有しており最初に選択する。これにより当該するFEMとリンクした数理モデル定義用のサブルーチンが自動的に設定される。

数理モデル（設計変数、目的関数、制約関数）の定義はDESIGN, OBJECT, CONSTRと呼ばれるサブルーチンをメニューにより選択しエディット機能を用いて作成する。それぞれのサブルーチンには、構造解析部から幾何データや応答（応力、変位等）の、また最適化部から設計変数、目的関数、制約関数の変数が引数で渡されるので、プログラムによって両者を結び付ける。

入力データは最適部のデータ（手法選択や初期値の定義等）、構造解析部のデータ（FEM解析条件等）及びユーザー定義のデータ（許容応力等を数理モデルサブルーチン内で定義）の3種類を設定する。

図2に示すように、最適化計算の実行は、①単純解析と最適化解析の選択、②初期処理（初期値改良）、③最適化の実行、④解析結果の評価及び再計算の順で行う。最適化の終了後、得られた結果（設計変数値、目的関数値、制約条件式の値）に満足するなら計算を終了する。満足しない場合は、対話形式により最適化

手法、内部パラメータ、初期値を変更して再計算を行う。

本システムでは設計変数、目的関数、制約条件式の推移を収束過程の任意の時点で見ることができる。従って収束状況を見ながら最適化を進めることができる。また、2次元・軸対称問題に限り簡易のポストプロセッサを有しており、メッシュ図、変形図、応力分布図・ベクトル図等を描画することができる。

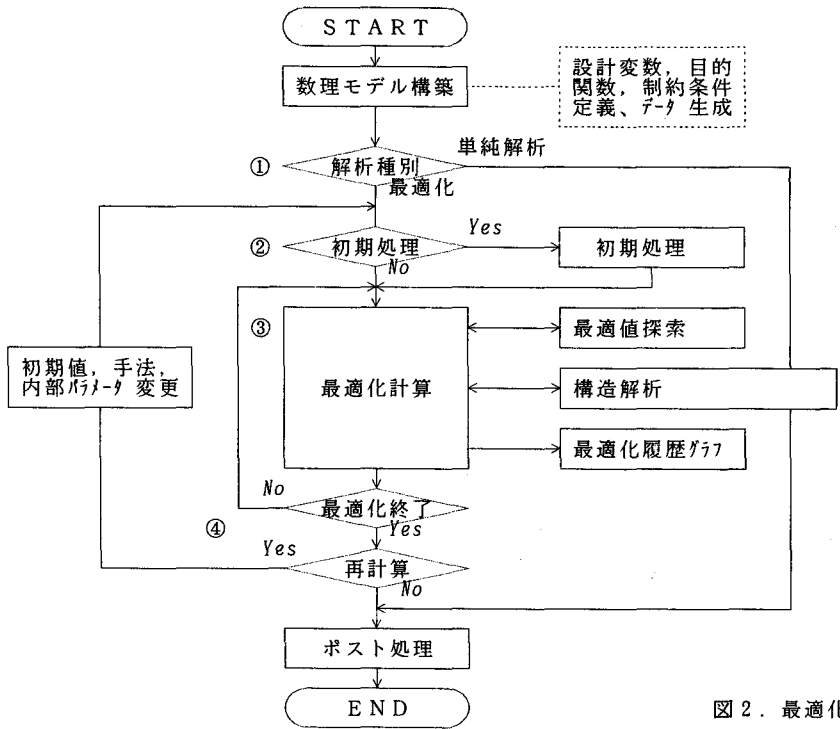


図2. 最適化解析の流れ

6. 最後に

数理最適設計は今後のCAEのトレンドを担う技術として発展するものと思われるが、現在最も大きな問題は数理モデル定義のためのプリプロセッサの開発があまり進んでいないことである。NS-optはその一つの考えを提示したものであり、各種方面において有効に使われている。今後はさらに構造解析機能の拡充、離散変数の扱いが可能なGA（遺伝的アルゴリズム）の導入、対話型機能の充実など、機能アップをさらに進めていくとともに、普及を目指した活動を展開していく予定である。

〔参考文献〕

- 1)山村和人、杉本博之、菊地匠：数理最適化技術とその構造設計への応用、新日鐵技報 第342号，pp.56-62, 1991
- 2)山村和人、杉本博之：連続体の形状最適設計の信頼性向上に関する一考察、日本機械学会シソボシム論文集，pp193-198 ム
- 3)Vanderplaats, G.N.: ADS - A FORTRAN Program for Automated Design Synthesis Ver.3 EDO, Inc. 1987
- 4)杉村朋之、杉本博之、山村和人：連続体の形状最適化に関する基礎的研究、土木学会第43回年次学術講演会資料，1988
- 5)山村和人、杉本博之：数理最適設計における初期処理に関する基礎的研究、日本土木学会北海道支部年次研究発表会資料，1988