

(10) 対話形式による数値最適設計の前処理および後処理について

PRE- AND POST-TREATMENT FOR OPTIMUM DESIGN BY CONVERSATIONAL PROCESSING

杉本博之*

山村和人**

Hiroyuki SUGIMOTO, Kazuto YAMAMURA

Main program for usage of ADS is developed to increase its usability. ADS is the optimization program for engineering design. The main program developed in this study has pre- and post-treatment capabilities. Generally it is rather difficult to find the good initial design. In this program the initial design supplied by the user is improved by the method based on ACCESS-2 of Miura. Also over-riding ADS default parameters can be done by conversational processing. After finishing the optimization, it is sometimes necessary to recalculate by changing the parts of the initial conditions. Using this program, user can do these process by conversational processing. These conversational processings are thought to give a helpfull guidance to the users and are expected to increase the efficiency of optimization process.

Key Words : Optimization Program, Pre- and Post-treatment, Conversational Processing, ADS.

1. まえがき

工業のそれぞれの分野で設計の実務に携わっているエンジニアが、当面必要とする解析法あるいは設計法のプログラムを、自ら作成する機会は少ないと考えられる。目的に適う既成のプログラムを購入するか、外注に出すかであろう。外注に出す場合は、自分が使い易いようになり細かく指示できるが、既成のプログラムはなかなかそうはいかない。先ずマニュアルをしっかりと読み、プログラムの目的、内容が自分の目的に合うものかどうかを確認する必要があるし、データの構成等使い方を理解する必要がある。出力が正しいものかどうかの検討も重要な課題である。既成のプログラムは、信頼性が高く、かつ使い易さが望まれる所以である。

最適設計法は、工業設計の意志決定のための手段としては、有力な方法の一つと考えられる。それらはおおむね数値計画法から構成されるが、理論的には馴染みの薄い数値であり、これらのプログラムを一般のエンジニアが作成することは少ない。ADS (Automated Design Synthesis)¹⁾は、そのような現場のニーズを背景に作成されたプログラムである。

ADS (version-3)²⁾は、9種類の変換法、5種類の極値探索法、および8種類の1次元探索法を内部に持つ最適設計のためのプログラムである。ユーザーは、与えられた設計問題に応じて、これらの方法を組合せ、最も有効な最適化手法を構成することができる。ADSは、ユーザーからコールされるサブルーチンで

* 工博 室蘭工業大学助教授 工学部土木工学科 ** 工修 新日本製鉄(株) 設備技術本部

あるので、ユーザーは設計問題を解析するプログラムの他に、ADSのコール文を含むメインプログラムを作成する必要がある。解析のためのプログラムが設計問題毎に異なるのは当然であるが、メインプログラムは、設計問題に関係なく共通する部分が多い。そのため、共通する部分のみをまとめて汎用メインプログラムとしてADSと共に用意できると、ADSの使用性が向上するものと考えられる。

そこで、ADSの使用性、効率性を向上させるのを目的として、初期値改良、対話によるADS内部のパラメーターの変更、および対話による再計算の実行の3つの機能を有するメインプログラムの開発を試みたのでここに発表する次第である。

以下、2.でADSの概要、3.で汎用メインプログラム、4.で対話形式による前処理、5.で対話形式による後処理について説明する。

2. ADSの概要

対話による前処理、後処理を説明する前に、ADSの概要を簡単に説明しておく。

ADSは、次の一般的な最適化問題を解くプログラムである。

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

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

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

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

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

ここで、 $F(X)$ は目的関数、 $g_j(X)$ は不等号制約条件、 $h_k(X)$ は等号制約条件、 X は設計変数、および x_i^U 、 x_i^L は設計変数の上下限值である。また、設計変数は連続変数であり、目的関数と制約条件は連続関数である。

このような問題を、ADSは変換法、極値探索法および1次元探索法を適当に組合せて解く。ADSの基本的な構成を図に示すと図-1のようになる。

ADSは、ユーザーが作成したプログラム中で、次のコール文によりコールされる。

CALL ADS (INFO, ISTRAT, IOPT, IONED, IPRINT, IGRAD, NDV, NCON, X, VLB, VUB, OBJ, G, IDG, NGT, IC, DF, A, NRA, NCOLA, WK, NRW, IWK, NRIWK)

INFOは、ADSをコールする前は-2か0であり、-2の場合は内部のパラメーターを変更することができる。ISTRATは変換法、IOPTは極値探索法、IONEDは1次元探索法をそれぞれ特定する。これらのオプションを表-1~3に示した。これらの表に示した手法の内、文献を付記していない手法については文献5)に詳しい。IPRINTは出力内容を指定し、IGRADは微係数の計算法を指示する。NDVは設計変数の数、NCONは制約条件の数、Xは設計変数の値、VLB、VUBは設計変数の上下限值、OBJは目的関数の値、Gは制約条件の値である。IDGは制約条件が等号か不等号、線形か非線形かを指示する。NGTは微係数を計算する制約条件の数、ICは微係数を計算する制約条件の番号、DFは目的関数の微係数、Aは制約条件の微係数である。NRA、NCOLAは配列Aの大きさを指示する。WK、IWKはADS内で用いられる実変数および整変数のための配列であり、内部で設定しているパラメーターもこの中に格納されている。NRWK、NRIWKはそれらの配列の大きさを指示する。

最適化の過程には、各手法に共通するパラメーターと各手法独自のパラメーターとがある。収束の判定に関するパラメーター等が前者に属するし、例えば、逐次線形計画法におけるムーブリミット等が後者に属する。

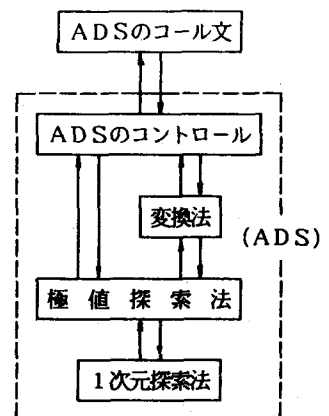


図-1 ADSの基本構成

表-1 変換法のオプション

ISTRAT	変換法
0	変換せずに、直接極値探索法を実行する。
1	外点ペナルティ関数法。
2	一次拡張内点ペナルティ関数法。
3	二次拡張内点ペナルティ関数法。
4	三次拡張内点ペナルティ関数法。
5	拡張ラグランジュ係数法。
6	逐次線形計画法。
7	内接超球法 ^{a)} 。
8	逐次二次計画法。
9	逐次凸計画法 ^{a)} 。

表-2 極値探索法のオプション

IOPT	極値探索法
1	Fletcher-Reeves の共役方向法。
2	D F P 公式による可変計量法。
3	B F G S 公式による可変計量法。
4	可能方向法。
5	修正可能方向法。

表-3 1次元探索法のオプション

IONED		1次元探索法
無制約関数	制約関数	
1	5	黄金分割法。
2	6	黄金分割法+多項式近似。
3	7	囲い込み+多項式近似。
4	8	多項式近似。

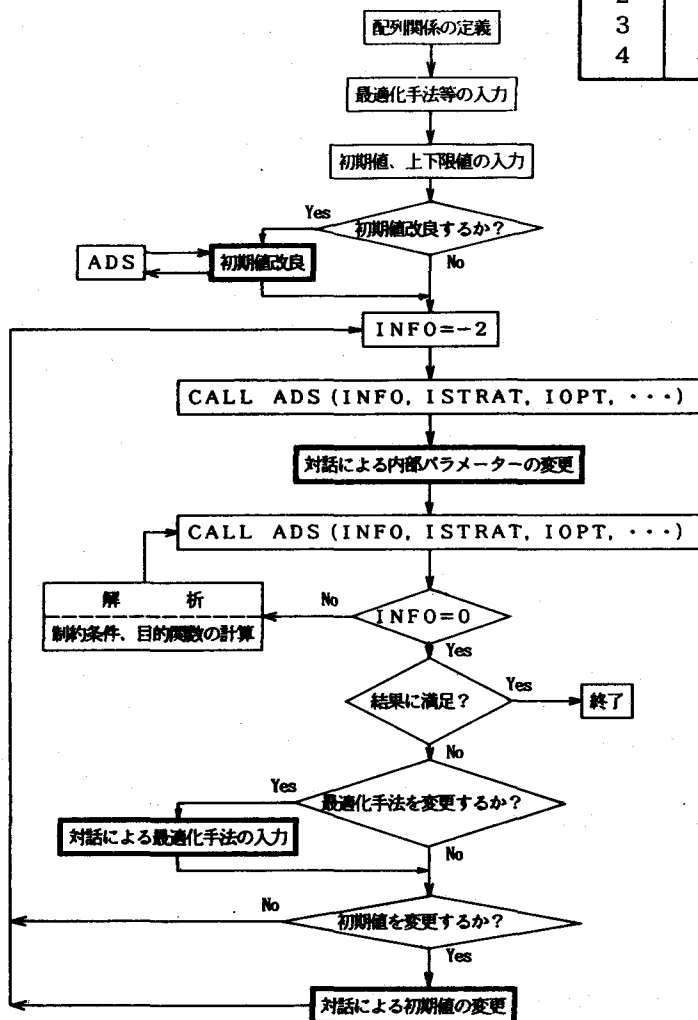


図-2 前処理および後処理の流れ図

A D Sは、その内部に38の実数パラメーター、7の整数パラメーターパラメーターを持っている。それらは最も適当と思われる値に自動的に設定されるが、ユーザーは問題の応じて自由にそれらの値を変えることができる。

3. 汎用メインプログラム

本研究で作成した汎用メインプログラムの流れ図を図-2に示した。二重線で囲った部分が、前処理、後処理の部分である。それらについては次節以降で説明する。図-2の解析の部分は設計問題を解析するサブルーチンであり、ユーザーが作成する。解析というと、一般に応力、変位等システムの応答値の計算を頭に浮かべるが、A D Sサイドから見ると、解析は目的関数および制約条件式の値の計算を意味する。

汎用メインプログラムの中では、次のコール文により解析のためのサブルーチンS O L V E Rがコールされる。

CALL SOLVER (ICALC, A, DF, IC, NDV, NGT, NRA, NLINK, LKARY)

ここで、ICALC はS O L V E R内の手続きを指示するもので、=1は解析のためのデータの入力、=2は目的関数と制約条件の計算のみ、=3は目的関数とA D Sから指示された制約条件の微係数の計算、=4は解析結果の出力のみを意味する。A ~ NRA は前節の説明と同じである。それらの内、A、DF、IC、NGTは微係数を有限差分で計算する場合は値を定義する必要はない。NLINK、LKARYは設計変数間のリンクに関する引数である。

本研究の汎用メインプログラムを利用するA D Sのユーザーは、このサブルーチンS O L V E Rのみを作成すれば良いことになる。

4. 対話形式による前処理について

A D Sには、上述のコール文で示したように24の引数がある。これらの内、ユーザーがあらかじめ与える必要のある引数は、INFO、ISTRAT、IOPT、IONED、IPRINT、IGRAD、NDV、NCON、X、VLB、VUB、IDG、NRA、NCOLA、NRWK、NRIWKの16である。内部パラメーターの変更はあることを前提としているので、INFO=-2と代入文で設定した以外の15の引数の値は、入力ファイルを用意しそこから読むことにした。これらは必ず定義する必要がある値であるが、問題に応じて変わるので、代入文とすると問題が変わる度にプログラムを修正しなければならず不便であるので、入力ファイルからの入力とした。

内部パラメーターの変更はユーザーが指示するものであるが、どのパラメーターをいくつ変更するかは問題に応じてユーザーが判断するものなので、対話形式の入力とした。内部パラメーターの変更は、実数パラメーター、整数パラメーターの順に行われ、変更するパラメーターの番号が入力されると、それらの変更前の値が画面上に出力され、それを参考にしてユーザーが新しい値を入力する形式をとっている。

数理計画法は一般に、その信頼性、効率を初期値に依存するところが大きい。いくら良い数理計画法を用いても、初期値が悪いと最適解の近傍にさえ収束しないことがある。逆に、古典的な数理計画法を用いても、初期値が良いと効率よく真の最適解に収束させることができる。ユーザーには出来るだけ良い初期値を設定することを期待するが、良い初期値の推定はなかなか簡単にはできない。そこで、前処理の一部としてユーザーから与えられた初期値を改良する機能を考慮した。

初期値改良の理論⁶⁾は、三浦ら⁷⁾のNEWSUMT2の考え方を基本としている。結果だけを示すと、結局次の無制約最適化問題を、A D S中のB F G S公式による可変計量法で解いていることになる。式(3)の等号条件は考慮していない。

$$\text{目的関数} : \Phi(X, \gamma, \varepsilon) = \bar{F}(X) + \gamma \sum_{j=1}^m \tilde{g}_j(X, \varepsilon) \rightarrow \min \quad (6)$$

$$\text{制約条件} : x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad (i=1 \sim n) \quad (7)$$

$$\text{設計変数} : \quad X = \{x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n\} \quad (8)$$

ここで、

$$\tilde{g}_j(X, \varepsilon) = \begin{cases} -\frac{1}{\bar{g}_j(X)} & (g_j(X) \leq \varepsilon) \\ -\frac{1}{\varepsilon} \left\{ \left(\frac{\bar{g}_j(X)}{\varepsilon} \right)^2 - 3 \left(\frac{\bar{g}_j(X)}{\varepsilon} \right) + 3 \right\} & (\bar{g}_j(X) > \varepsilon) \end{cases} \quad (9)$$

また、

$$\bar{F}(X) = F(X^0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial F(X^0)}{\partial x_i} (x_i - x_i^0) \quad (10)$$

$$\bar{g}_j(X) = g_j(X^0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial g_j(X^0)}{\partial x_i} (x_i - x_i^0) \quad (j=1 \sim m) \quad (11)$$

式(6)の目的関数の γ はペナルティパラメーターであり、 ε は内点ペナルティ関数から2次拡張ペナルティ関数に移行する遷移点を与える値である。 ε は入力データで与えているが、制約条件の正規化が適当に行われていれば0.05で十分と考えられる。式(6)の最適解は γ の値により大きく変わる。一般的に γ の値が小さければ非許容領域か非許容領域と許容領域の境界付近の解を与えるし、 γ の値が大きいと許容領域の中央の解を与える。 γ の値を適当に設定することにより、初期値の改良ができると考えられるが、得られた改良初期値の良否の判断、および否と判断した場合の新しい γ の値の決定等を自動的に行うプログラムの作成は困難であるので、これらに対話形式の処理とした。

5. 対話形式による後処理について

最適設計の終了(ADSではINFO=0となった時)後、得られた結果を見て、その目的関数の値あるいはアクティブな制約条件の内容に満足できない場合がある。その場合は再計算を行う。その他、得られた結果に確信を持つために再計算を行うこともある。再計算を行う場合は、当然現在得られている設計のための初期条件を変える必要がある。その初期条件として、最適化手法、初期値、および内部パラメーターの3種類が考えられる。再計算をするかしないかの判断、それぞれの初期条件を変更するかしないかの判断、およびどのように変更するかは一連の作業であるが、そのためのプログラムを作成し自動化することは困難である。そこで、これらを一括して対話形式で処理することにした。図-2に従って後処理の流れを説明すると以下のようになる。

ADSの引数INFOが0になるとADSによる最適化の過程は終了する。その結果を画面に表示し、その結果に満足かどうかをユーザーに聞く。満足であれば計算は終了し、不満足であれば初期条件を変更して再計算を行う。まず最初に最適化手法の変更を行う。ここでは、ISTRAT、IOPT、IONED、およびIPRINTを順次変更する。IPRINTは最適化手法ではないが、最適化手法が変わるとADSの出力を変える必要があることもあるので、ここで変更することにした。

最適化手法の変更が終ると、次に初期値の変更を行う。初期値の変更を行う場合は、設計変数の番号が順に画面に表示されるので、ユーザーは今回試みる初期値を入力する。

最後は内部パラメーターの変更である。プログラム上では、前処理の内部パラメーターの変更と同じ部分を利用する。前処理で内部パラメーターを変更しても、図-2に示すように後処理の内部パラメーターの変更の前に、INFO=-2に設定するので、すべてのパラメーターの値は、ADSが自動的に設定する値になっている。

以上が、今回作成したプログラムの後処理の部分の説明である。最適設計を行う場合、1回の計算で満足できる解を得ることは一般に少ない。設計の信頼性を高めるためにも、数回の再計算は必要と考えられる。その再計算のための手続きを対話形式とすることにより、ユーザーに何を変更すべきかを指示することがで

き、一連の作業の能率が向上するものと考えられる。

6. あとがき

汎用最適化プログラムADSを長年使用した筆者らの経験を基にして、前処理と後処理の機能を持ったADSのためのメインプログラムを作成した。前処理としては初期値改良、内部パラメーターの変更、後処理としては最適化手法の変更、初期値の変更、および内部パラメーターの変更を考慮した。これらの処理はすべて対話形式としたが、対話形式とすることにより、(1)人間の判断力を有効に利用することができるので、プログラムの構成が簡潔になった、(2)ADS使用上の指針を計算の過程でユーザーに示すことができる、(3)一連の作業の能率が向上した。

なお今後改良を重ねて行く予定であるが、本文が他のプログラムの開発の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) Vanderplaats, G.N. and Sugimoto H.: GENERAL-PURPOSE OPTIMIZATION PROGRAM FOR ENGINEERING DESIGN, Computers and Structures, Vol. 24, No. 1, pp. 13-21, 1986.
- 2) Vanderplaats, G.N.: ADS-A FORTRAN PROGRAM FOR AUTOMATED DESIGN SYNTHESIS VERSION 3.00, Eng. Design Optimization, Inc., 1987.
- 3) Baldur, R.: Structural Optimization by Inscribed Hyper Spheres, J. Mech. Div. ASCE, Vol. 98, No. EM3, pp. 503-518, 1972.
- 4) Fleury, C. and Braibant, V.: Structural Optimization: A New Dual Method Using Mixed Variables, Int. J. Numer. Methods Eng., Vol. 23, pp. 409-428, 1986.
- 5) 山田善一編: 構造工学シリーズ 1 構造システムの最適化～理論と応用～, 土木学会, 1988.
- 6) 杉本博之、山村和人: 数値最適設計における初期値の改良について、第13回電算機利用に関するシンポジウム講演集, pp. 123-130, 1988.
- 7) Schmit, L.A. and Miura, H.: AN ADVANCED STRUCTURAL ANALYSIS/SYNTHESIS CAPABILITY-ACCESS2, Int. J. Numer. Methods Eng., Vol. 12, pp. 353-377, 1978.