

統計モデル支援による工学設計の最適化 統合最適化システムiSIGHTとS-PLUS

エンジニアス・ジャパン株式会社 宮田悟志, 工藤啓治

1. iSIGHT とは何か

iSIGHT は米国エンジニアス・ソフトウェア社が開発を行う、統合最適化システムである。米国 GE(General Electric)社の複合領域最適化システム構築プロジェクト Engineous に由来し、タービン設計など GE 社内の各種製品開発への適用で高い実績を持つ。当時 GE のタービン設計部門では、構造解析・熱解析・空力解析・疲労解析等の各解析分野にまたがる数十のソフトウェアが利用されており、それらの入力データ生成・実行・計算結果の収集等の作業に、エンジニアは膨大な時間を費やしていた。そこに、エンジニアの替わりとなりこれらの機械的作業を代行する「ソフトウェアロボット」として初めて iSIGHT の原型が開発された。現在では、このソフトウェアロボットの概念の上に複合領域最適化や信頼性最適化・ロバスト最適化等の機能を積み重ねる形で、多機能・高機能化が図られている。

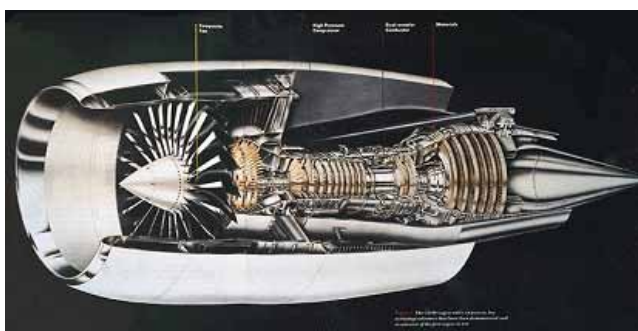


図1 GE90 ジェットエンジン

GE 社内での iSIGHT のサクセスストーリーの一つ。要求仕様を満たす設計を従来の 1/2 の期間で達成した。

2. 自動化・統合化・最適化

工学問題の最適化においては、通常、CAE(Computer Aided Engineering)と呼ばれる商用シミュレーションソフトが、自社開発の内製ソフトが利用される。最適化の過程では、これらソフトを自動実行させて最適化アルゴリズムが必要な応答データを自由に得られるようにする必要がある。この自動実行のしくみの定義を『自動化』と呼んでいる。一方、製品レベルやコンポーネントレベルの最適化では、複数のシミュレーションが必要になることも多い。例えば図1のタービン設計では、前述の通り、構造解析・熱解析・空力解析・疲労解析等の解析分野にまたがってシミュレーションプログラム群が起動される。また自動車の車体設計では、剛性、振動、音響、衝突、機構解析と多数の解析が必要になる。これら多分野にまたがる最適化は、工学的には『複合領域最適化 (MDO:Multi Disciplinary

Optimization)』と呼ばれる分野である。また実行されるシミュレーションは対象のもつ構造から、階層を持つマルチレベル問題として定義される場合もある(図2)。

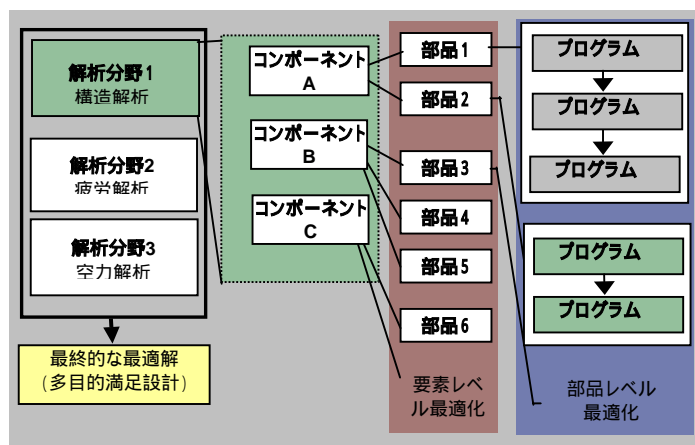


図2 複合領域・マルチレベル問題のイメージ

これら、複合領域問題とマルチレベル問題の構築を併せて iSIGHT では「統合化」と呼んでいる。

3.最適化のためのツール群

最適化という一般的なには数理計画法や、ヒューリスティック系の手法(遺伝的アルゴリズム等)がまず連想されるが、iSIGHT ではそれ以外に、実験計画法や近似手法、品質工学手法等の手法も最適化を達成する上での重要技術として位置付けている。



図3 iSIGHT の最適化ツール群

3.1 実験計画法・モンテカルロ法

最適化の過程はアルゴリズムによるブラックボックス的な過程であるが、設計上は「何故そうだったか」という理由づけが重要視される。この「何故」に答えるために、設計パラメータを振った場合の応答変動を調べることが行われる。この目的

で実験計画法やモンテカルロ法が使用される。

3.2 近似手法

工学問題最適化の特長として、一つの応答値を得るのに長時間の計算を要する問題が少なくないことが挙げられる。例えば衝突や流体解析では計算時間が1日を超える問題も珍しくない。そのため応答の評価回数の低減や評価の簡易化による時間を短縮の技術が実用上必須となる。この目的で近似モデルが利用される。

3.3 品質工学手法

製品が完成するまでには、寸法公差、材料物性のバラツキ、製造工程能力のバラツキ等々、製品性能を設計仕様から引き離す多くの要因が存在する。これらバラツキが引き起こす問題を設計初期段階において予測・解決する手法として、品質工学手法や信頼性解析手法が使用される。

3.4 最適化手法

ユーザが抱える問題は、設計変数の数、制約条件の有無、変数のタイプ、問題の線形性・非線形性、設計可能領域の大きさ等から多くの種類が存在する。iSIGHTはこれらの多様な問題に答える為に10を超えるアルゴリズムを用意し、アドバイザー機能を介して、ユーザが問題に応じて、最適化手法を簡単に選択出来る様にしている。

4. 工学問題の最適化における統計解析支援

前述の通り、工学問題の最適化ではコンピュータシミュレーションが使用されるため、一般に統計分野で言われる様な誤差が入ることはない。またサンプルを得ようとすれば、原理的には任意の数と条件のサンプルを得ることが出来るという点も異なる点と言える。工学問題最適化での統計解析の利用は、

- ・ データマイニング的用法
- ・ 説明変数と被説明変数間のモデル構築

の2つが現在は多いと思われる。

4.1 データマイニング的用法

OR等の計画科学の分野では、目的関数や制約関数は明示的に与えられる場合が多い。これは解くべき問題の特徴が事前によく把握されていることを意味する。一方CAE等を利用した工学問題の最適化では、目的関数や制約関数式は明示的に与えられない場合の方が多い。シミュレーションを実行しつつ徐々に情報が集められ、最適解の探索が絞り込まれて行く。また利用者の期待を含んだ形で制約値が与えられることが多く、許容領域(実行可能解)の存在は不明のまま最適化が開始される場合すら存在することも特徴である。これには、複雑な複合領域システムの最適化を検討している場合、多数の設計変数下に多数の制約関数が存在する形になり、問題の取り扱い初期では許容領域の存在を明確に言及することは困難という背景がある。

このような状態でアルゴリズム任せで求解させると、計算に失敗したり無意味な解しか得られないという現象が起こる。そこで問題の素性を分析し、最適化問題を適切に定式化し直すツールとして、データマイニングの適用が考えられる。筆者らは、

判別分析を利用した設計検討領域の確立法を提案している[1,2]。検討開始初期には、制約条件を満足可能な設計点が非常に少なく、最適化以前に定量的な改善の指針出しも困難であったが、S-PLUSを使用した判別分析により、最適化検討が可能に設計検討領域を確立することが出来た例である。

4.2 モデル構築

工学問題のシミュレーションが長時間の計算を要し、その為に近似モデルが重要となることは前述の通りである。例えば柏村らは直交表にもとづくサンプリング結果から、直交多項式形の推定式を作ることを提案している[3]。筆者らはS-PLUSのStepwise関数で多項式モデルを構築することで、データサンプリング手法に強く依存せずかつ高精度の近似モデルを作ることを提案している[4,5]。一般に3次以上の高次の項は、教師データへの適合度は高めても予測に使用することは危険であることが多いが、S-PLUSでは、モデルの精度検証を行う仕組み作りをS言語で容易に書くことが出来る。そのためモデル構築とその妥当性の評価を平行に進めることが出来、近似モデル構築環境として有用である。

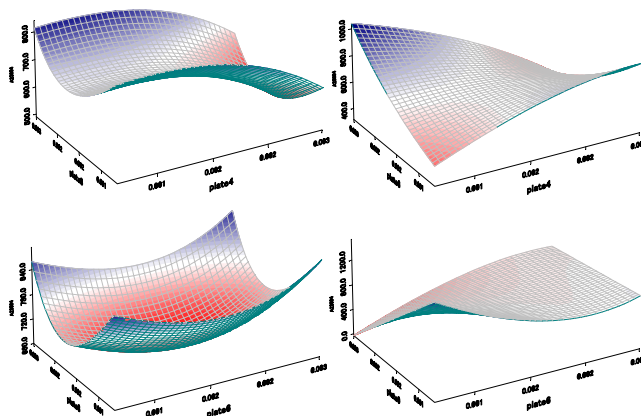


図4 S-PLUSで作った近似モデル
鉛直軸は車衝突時の乗員最大加速度、水平2軸は重要部品の寸法

5. まとめ

iSIGHTの概要紹介と、最近の工学問題最適化における統計解析の利用例を簡単に紹介した。解析事例の詳細については、ユーザ会での発表をご覧いただきたい。

参考文献

[1] Tomoaki Aasako, Hiroshi Miyagawa, Computational Design of Aircraft Engine using Multi-Disciplinary Optimization Technique, International Council of the Aeronautical Science 2002, ICAS, pp.239.1-239.8
[2] 宮田, 工藤, 浅子, 宮川, 設計最適化における統計的手法の利用, 最適化シンポジウム 2002, 日本機械学会, pp.339-pp.344
[3] 柏村, 白鳥, 于, 実験計画法による非線形問題の最適化 統計的計設計支援システム, 朝倉書店, 1998
[4] 宮田, 工藤, 大規模 CAE 問題に対する最適化手法の提案 iSIGHT Stepwise RSM による衝突シミュレーションの最適化, 自動車技術会 2001 年春季大会講演論文集 No.25-1, pp.5-pp.8
[5] 塩沢, 岩津, 島田, 山岸, 応答曲面法による疲労寿命予測, CAO フロントニア 2002 講演集, エンジニアス・ジャパン, 2002