発 行 所 日本機械学会 計算力学部門
お問合せ 03-3560-3505
ISSN 1340-6582

日本機械学会 計算力学部門

CMD Newsletter

COMPUTATIONAL MECHANICS

計算力学部門ニュースレター No.43 October, 2009

巻頭言

最適化技術の最新動向

山崎 光悦
金沢大学 理工研究域 機械工学系大学院 自然科学研究科システム 創成科学専攻

最適設計法は与えられた設計仕様の下で最善の設計解を得るための数理的方法である。CAE 利用による設計の普及と、数理最適化手法の進歩に支えられ、航空分野をはじめ、機械、土木、建築、電気など多くの設計分野での応用研究、実用設計への利用が急速に進んでいる。主に最近 10 年間程度の最適設計技術における研究・ソフトウエア開発の動向と、その利用技術の普及について、特に計算力学と関係の深い課題に焦点をあてて概観する。

形態最適化ーレベルセット法が主流に—

最適設計技術は構造設計分野での研究、実設計への応用の歴史が最も古い。通常、製品設計は対象とする設計変数で整理すると、寸法設計、形状設計、形態設計に分類され、順に難しくなるが、それら 3 つの最適設計が同時になされてはじめて真の最適化が達成される。寸法設計や形状設計は、特に構造設計では早くからその解法が最適性基準法や数理計画法を基礎として確立され、実用設計にも活用されている。最近の研究開発の関心事はもっぱら形態設計法にある。1990 年に発表された均質化法をかわきりに、より単純にマイクロセルの材料密度を設計変数とする SIMP 法〔1〕による形態設計に関する研究も進められ、三次元空間でのより現実的な形態設計には均質化法より格段に効率が良く、実用性の観点から製造上の制約や加工条件も考慮して形態設計ができるソフトも普及するに至った。また最近では、目的の対象をパラメータで表現することなく、固定したオイラー座標系において曲線や表面の計算を取り扱う関数を定義することで形状設計と形態設計を同時に達成するレベルセット法〔2〕や、最適化の過程で無限に小さな穴（バブル）を作成するバブル法〔3〕など新手法が開発研究の主流を占め、構造設計は勿論、振動や熱流体形態設計等、その応用分野は広がりつつある。

応答曲面近似ー実験計画法からクリギング法、RBF ネットワーク法、SVA 法へとシフト-

一方、CAE シミュレーション技術の普及とコンピュータ利用環境の向上によって、複数の基準、多分野の基準に基づく設計、いわゆる複合領域最適設計 MDO（Multidisciplinary Design Optimization）分野の開発研究、応用研究も活発である。流体解析や熱流動解析、高温液体が冷却によって固化する現象の解析、いわゆるマルチフィジックス現象の CAE 解析が盛んに実施されるようになり、それら 1 回の現象シミュレーションが非常に重い解析分野でも、最適設計の要求が強まり、その解決に向けた応答曲面近似法の研究も盛んである。

応答曲面法は、設計で考慮すべき応答と設計変数の関係が明確な関数形で与えられない設計問題の全域的な近似挙動関数を得る場合に用いられる。設計で考慮すべき挙動（応答）が複数の設計変数の影響を受けるとき、設計空間内の多くの設計点（サンプル点）の挙動データ（観測データ）をもとに、応答関数を適当な多項式で近似して表す〔4〕。よく利用される応答曲面法には、実験計画法にその基礎を置いているもの〔5〕、地球統計学、資源探査の分野で発達した近似法を最適設計に利用するクリギング法〔6〕、Radial Basis Function と呼ぶ基底関数をもとに近似式を構成する RBF ネットワーク法〔7〕、さらにはスプライン補間によって多項式近似する方法や SVA（Support Vector Approximation）法など、いずれも設計感度情報を用いずに設計に考慮すべき

応答と設計変数の近似関係を構築して効率的な最適設計を実施するためのものである。

非線形応答は一般に単峰性が保証されないことから、実験計画法で用いられる低次の多項式近似よりは、むしろクリギング法や RBF ネットワーク法など多峰性関数で応答曲面を近似する手法の研究が進められてきた。大域的な近似式が得られれば、広い設計範囲で有効であることは勿論であるが、今なお未解決の課題は如何にして少ないサンプル点の情報で、より近似精度の高い応答曲面を得るか、またそのときのサンプル点を設計空間上にどのように配置すれば良いかが研究の焦点となっているが、未だ決定打は見つかっていない。また精度の良い多峰性の応答曲面が構成できたとして、その多峰性関数の最小化アルゴリズムの開発も引き続き重要な課題である。

PSO や ACO など進化的最適化アルゴリズムの発展

従来からの最適性基準法や数理計画法とは分類を異にする遺伝的アルゴリズム GA に代表される進化的アルゴリズムの開発研究も引き続き堅調である。多峰性の激しい連続関数の最適化や離散変数からなる組合せ最適化、連続変数と離散変数からなる混合変数問題を効率良く求めるアルゴリズムの開発が、実用設計レベルで強く要求されるようになってきた。こうした設計問題の解決に最適化手法を適用する動きに呼応して、最適設計の効率を決定付ける大域的最適化アルゴリズムの開発が種々行われ、試されてきた。初期の頃から遺伝的アルゴリズム（GA）やシミュレーテッドアニーリング（SA）、免疫システムなど進化的アルゴリズムの利用が進み、大規模なシミュレーションを含む多目的最適化分野でもコンピュータ利用環境の急速な改善効果に支えられ、強引と思えるほど各種実設計も試されるようになった。その一方で、PSO （Particle Swarm Optimization）〔8〕,〔9〕, GRTA （Generalized Random Tunneling Algorithm）〔10〕や ACO（Ant Colony Optimization）〔11〕など多峰性の強い関数空間での大域的最適解をさらに効率良く、しかも着実に求めようとするアルゴリズムの開発も進められてきた。

PSO は GA などと同様、有望視されている同時多点探索法の１つである。PSO では、個体（Particle）が持つ最良の情報（p-best）と、その個体から形成される集団・群れ（Swarm）の最適値（g-best）から、過去の探索履歴を考慮して連続変数の多峰性関数の大域的最適解、あるいは準最適解を求める手法である。一方、ACO は蟻が餌を見つけたときに出すフェロモンによって最短経路を見つける行動にヒントを得た確率的な探索アルゴリズムである。PSO や ACO は、GA などの多点探索法と比べれば、高い精度で準最適解が得られることが期待できる。

多目的最適化－MOGA、MOSA から STOM へ－

異なる領域の複数の設計指標を同時に考える多基準（多目的）最適化問題や満足化設計の実用問題への適用の促進効果も期待できる。

多目的最適化では、パレート解の集合であるパレートフロントを効率的に求め、それを分かり易い形式で設計者に提示して意思決定をアシストするための方法論について種々の検討が加えられてきた。パレート最適解の探索法は、大きくはスカラー化法、対話型手法と進化的計算法に大別される。スカラー化法は簡単で便利なため実設計ではしばしば利用されるが、関数空間における設計解集合が非凸のパレートフロントとなる場合にすべての解集合が求められない危険性が残る。対話型手法の中で、満足化トレードオフ法 STOM〔12〕をベースとする効率的な分析手法も検討されている〔13〕。一方、MOGA や MOSA に代表されるように、GA や SA をベースとする進化的計算法では、多点同時探索のため最近はもっとも注目を集めているが、関数評価回数からみてまだまだ実用に耐えうる手法には成長してない。

なお、もう１つの潮流として、ばらつきや不確実性を考慮した設計、いわゆる信頼性設計やロバスト設計が大いに注目され、具体的な構造設計などにも活用されつつある点を忘れてはならない。紙面の関係で詳細は割愛するが、今後の発展と普及を期待したい。

文献

〔1〕Olhoff, N., Ronholt, E. and Schell, J., Topology optimization of three-dimensional structures using optimum microstructure. Structural Optimization, Vol.16（1998）, pp.1-18.

〔2〕Allaire, G., Jouve, F., and Toader, A.M., A Level-set Method for Shape Optimization. C. R. Math. Acad. Sci. Paris, 334-12（2002）, pp.1125-1130.

〔3〕Eschenauer, H.A., Kobelev, V.V., Schumacher, A.：The topological asymptotic for PDE systems: the elasticity case. Structural Optimization, 8:42.51, 1994.

〔4〕Myeres, R.H. and Montgomery, D.C., Response Surface Methodology-Process and Product Optimization Using Designed Experiments, John Wiley & Sons, New York,（1995）.

〔5〕Kashiwamura, T., Shiratori, M. and Yu, Q., Statistical Structural Optimization, Computer Aided Optimum Design of Structures V, Rome,（1997), pp.213-227.

〔6〕Jin, R., Chen, W. and Simpson, TW., Comparative Studies of Metamodelling Technique under Multiple Criteria, Structural Multidisciplinary Optimization, Vol.23（2001）, pp.1-13.

〔7〕山川宏編、最適設計ハンドブック、朝倉書店、(2003), pp.197-199.

〔8〕Parsopoulos, KE. & Vrahatis, MN., Recent Approaches to Global Optimization Problems through Particle Swarm Optimization, Natural Computing, Vol.1(2002), pp.235-306.

〔9〕北山哲士・荒川雅生・山崎光悦、Particle Swarm Optimization の基礎的検討と混合変数問題への適用、日本機械学会論文集（A 編）、71-706（2005）, pp.968-975。

〔10〕Kitayama,S.＆Yamazaki, K., Generalized Random Tunneling Algolithm for Continuous Design Variables, Trans. of ASME, Journal of Mecanical Design, 127-3（2005）, pp.408-414.

〔11〕Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, E.A., Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 26-1（1996）, pp.29 -41.

〔12〕Nakayama, H., Proposal of Satisficing Trade-Off Method for Multiobjective Programming, Journal of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol.20, No.1,（1984）, pp.29 - 35.（in Japanese）.

〔13〕北山哲士・荒川雅生・山崎光悦・山川宏、多目的最適設計におけるトレードオフ分析法、日本機械学会論文集（A 編）、75-754（2009）, pp.1828-1836.

トピックス

矢川元基先生の日本学士院賞受賞について

宮崎　則幸
京都大学 工学研究科（機械理工学専攻）

日本機械学会計算力学部門の初代部門長を務められた矢川元基先生（東洋大学教授・同計算力学研究センター長、東京大学名誉教授）が第 99 回の学士院賞を受賞されました。受賞式は平成 21 年 6 月 1 日に日本学士院において天皇皇后両陛下ご臨席のもとで行われました。

日本学士院賞は人文科学、社会科学、自然科学等、全ての学問領域において学術上特にすぐれた論文、著書その他の研究業績に対して与えられる日本の学術賞としては最も権威ある賞であり、毎年 9 件以内に授与されています。その創設は 1911 年にさかのぼります。さて、矢川先生の今回の受賞は「大規模・高精度計算科学に関する研究」のご業績に対してであり、渡邊　貞氏（理化学研究所次世代スーパーコンピュータ開発実施本部プロジェクトリーダー）との共同受賞の形となっております。

矢川先生のこれまでのご業績については良くご存じの方も多いとは思いますが、今回の受賞対象の「大規模・高精度計算科学に関する研究」のご業績について、学士院賞の受賞審査要旨を参考にしながら説明いたします。

矢川先生の最大のご業績は、構造解析、流体解析などに代表される計算力学を根底から見直し、大規模・複雑構造体の力学量の高精度解析を可能とする画期的な方法を先駆的に創出したことがあげられます。このご業績は下記のように大別されます。

（1）大規模並列計算力学の創出：計算力学が扱う対象は大規模複雑かつ精密化しています。このような問題を解決可能な、階層型領域分割法と動的負荷分散法を融合した大規模並列計算力学とよばれる方法を世界に先駆けて創出しました。従来と比較して 100 ないし 1000 倍の大規模問題を解析可能で、格段に計算効率の高い超並列計算システムを生み出すことに成功しました。実用面では、例えば、原子炉圧力容器のような機械･構造物に対して、確率論的破壊力学的研究の中にこの並列計算法を適用して、その破壊寿命の高精度評価システムを創出しました。

（2）フリーメッシュ法の創出：従来行われていたような要素作成法を必要としないフリーメッシュ法と呼ばれる画期的な方法を創出しました。本方法は、物体中に配置された多くの節点から、解くべき連立方程式を直接導き出すというものです。例えば、き裂成長解析や流体解析のような移動境界問題の解析に特に有効です。また、従来は不可能であったきわめて複雑な形状の場合や幾何学的特異性を含む場合にも、常に安定解を得ることに成功しました。これまでの計算力学のあり方そのものを抜本的に変える画期的な手法です。

（3）高精度解析手法としては、線形および非線形破壊力学の分野で高精度数値破壊力学という新しい分野の確立に寄与しています。とりわけ、実用上重要な三次元表面き裂の非線形解（塑性解）は世界で最高精度解とされています。また、物体中の欠陥を検出するといった非破壊検査問題は、逆問題と呼びますが、このような逆問題に計算力学とニューラルネットワークを組み合わせる新しい高精度同定法を創案しました。

以上の研究成果をもとに、世界最大規模の問題の解析が可能な大規模固体地球解析用並列計算ソフトウェアなど多くの重要なソフトウェアを開発しました。また、このような手法は日本発の汎用有限要素法ソフトウェアとして高い評価を受けている ADVENTURE をはじめ、著名なソフトウェアの中に組み込まれ世界中の研究機関・企業に広く採用されているだけでなく、その応用は、幅広く、医療、固体地球解析、地震・地盤解析などにまで至っています。

矢川元基先生

矢川先生の今回の学士院賞は、上記のような計算力学に関するこれまでのご業績を総合的に評価して授与されたものと考えられます。このように計算力学に関連した研究業績により学士院賞受賞したことは誠によろこばしいことであり、お祝い申し上げます。矢川先生に続いて、本計算力学部門で活躍されている研究者から将来、学士院賞のような権威ある賞の受賞者がでることを期待して、筆を置かせて頂きます。

第８回最適化シンポジウム 2008（OPTIS2008）

萩原　一郎
東京工業大学大学院（理工学研究科 機械物理工学専攻）

昨年 11 月 27 日、28 日の両日、東京工業大学大岡山キャンパスで第 8 回最適化シンポジウムが開催され、52 件の一般講演と山崎光悦教授（金沢大学）と Dr.Nick Tzannetakins（noesis solutions 社）による 2 件の特別講演があった。参加者は 98 名であった。

最適化は一つの重要な基盤技術として日本機械学会の中でも複数の部門で講演されているのを同好の士が一同に会し、徹底的に議論するという目的で 1994 年以来，2 年ごとに日本機械学会が主催するシンポジウムとして開催されている．第 5 回までは、計算力学部門，機械力学・計測制御部門，設計工学・システム部門の共催，バイオエンジニアリング部門の協賛として企画されていたが，第 6 回よりバイオエンジニアリング部門も共催のなかまいりした。

第 1 回目から今回の第 8 回目まで一貫して遺伝的アルゴリズム（GA）等の創発的手法による発表が最も多いが、第 1 回目から第 4 回目あたりまでは丁度均質化法による位相最適化法が実用化域に達した頃にあたり関連する多くの発表例が目を引くなど本シンポジウムは最適化のトレンドを知る格好の場である。今回も創発的手法によるものが 9 件と最も多いが、最近市販ソフトの充実などで増加している多目的最適化に関するものが 5 件、トポロジー最適化 5 件、複合材に関するもの 4 件などのほか数値解析技術に関するものも 8 件あった。企業からの発表も 52 件の内 10 件と比較的企業の占める割合は多いと言える。10 件の企業は、ソフトベンダーからのものが 7 件と多目的最適化中心に市販ソフトの充実を反映している。いずれも非常に興味深い内容で多くの熱心な議論があったがここで順不同でいくつか概要を紹介する。

1）室内の音場を制御する手法として幾何的な設計条件である音源配置を操作する手法とディジタルフィルタを用いて複数音間の位相干渉を利用する検討〔1〕。

2）原料調達から、製品の製造、配送、保管、販売という一連のビジネスプロセスは、すべて鎖（チェーン）のようにつながれているという観点から、それらを全体的に管理・統制しようとするサプライチェーンマネジメント適用におけるパラレルコンピューティングのための新しいアルゴリズムの提案〔2〕。

3）吉村らが開発した対話型多次元設計解可視化分析ツールで多数の設計変数、目的関数を持つ最適化問題などにおいて、多次元的に可視化することにより多目的最適化問題を多目的のまま扱い、運動と飛行性能との関係、および飛行性能どうしのトレードオフ関係を視覚的に捉え昆虫や鳥を模した羽ばたき飛行を利用した Micro Air Vehicle（MAV）への適用〔3〕。

4）無人・無索のシステム構成を持つ自律型水中ビークル AUV の 2 点間の移動の最適航行に関する検討がなされた。航行域の流れ外乱の分布が既知であれば、定常分布のみならず潮汐のように時間変動する流れ分布に対しても対応可能なものである。しかし実海域における実問題ではセンサー雑音、アクチュエータの誤作動や外乱分布における不確定性など、最適誘導航行の潜在的阻害要因が多く、最初に求めた最適誘導則の有効性が失われかねない。最適誘導航行の失敗を検知した時点からの最適性を保障する準最適誘導法について検討〔4〕。

5）従来では安全率などでバラツキが考慮されていたが、近年では、このバラツキを考慮した最適化を行うための各種手法が注目されている。設計変数のバラツキに対する出力値のバラツキを求めるためのロバスト性評価手法として Monte Carlo（MC）,First Order Second Moment (FOSM), Linear Model Monte Carlo (Linear Model MC) などの手法が、また同様に設計変数のバラツキにより制約条件を越える確率を求めるための信頼性評価手法として MC,First Order Reliability Method (FORM), Second Order Reliability Method (SORM) などの手法が知られている。これらについて計算回数、精度などについて議論〔5〕。

6）調和外力の方向や大きさが不確定である場合に、振幅や位相などの定常振動の応答量のばらつきを予測する半正定値計画問題の提案〔6〕。

7）ユーザとのインタラクションによって適合度関数を推定し、対象の最適化を行う手法として対話型遺伝的アルゴリズム （iGAs）が提案されている。iGA は、ユーザの主観的評価に基づいて感性情報の獲得とその解析を行う手法として知られており、嗜好が単峰性である問題に多く適用されている。これに対して嗜好が多峰性であり、その適合度値の優劣が顕著でない問題への iGA の実現の検討〔7〕。

8）配置設計問題は配置すべき要素間の位相的な位置関係を処理する必要があることから、組み合わせ最適化となる困難な問題として位置づけられている。しかしこれまで複合領域設計最適化（Multi-Disciplinary Design Optimization：MDO）からのアプローチは見られない。そこで MDO での分解法による階層的な最適化計算の考え方を導入した階層型最適化法について検討〔8〕。

9）複雑断面形状を有する自動車窓用ウエザーストリップの鋳型押出品を精度良く製造するためのダイ設計や逆解析による材料物性の推定、壁面境界条件の推定などに適用することを可能とする最適化解法の提案〔9〕。

10）製造方法や工程などより、ある積層ラミナの繊維配向

角度は設計値からバラつく。それを迅速に予測するために長方形積層板の自由振動、座屈荷重および静変形問題の感度式を級数解ベースで数式的に誘導〔10〕。

11）該当論文（11）の著者らによって先に提案されている、積層パラメータ空間上でのフラクタル性に着目したフラクタル分岐法（FRB）と効率的で大域的な最適化法ではあるが、これまで連続変数にしか使用されていない Kriging 法、それと MOGA（Multi-Objective GA）による最適化法を結合し、寸法と積層構成の複雑な最適化問題に適用可能な新しい設計法の構築〔11〕。

12）多目的進化的アルゴリズム（Multi-Objective Evolutionary Algorithm:MOEA）は、通常の勾配法と異なり、様々な問題に対して比較的安定して適用できることから、工学問題の多目的最適化法として現在では広く支持を得るようになっている。特に Multi-Objective Genetic Algorithm（MOGA）と呼ばれる MOEA のサブセットは有名で AMGA（Amga-based Micro Genetic Algorithm）も MOGA の一つである。しかし（1）多数の目的関数を有する問題に適用した場合のパレートフロンティアの発達の弱さ、（2）得られた解の大きなパラメータ依存性、などは残された課題である。また、（3）多数の評価計算が必要、（4）局所探索性能の弱さ、などの改善が強く要望されている。AMGA のアルゴリズムに大幅な改良を加えることで、解のパラメータ依存性の減少と解の発達速度の向上の検討（12）。

13）GA を中心とする進化的計算法を用いた多目的最適化 MOEA の主目的は、（1）探索点がパレート最適解を見つけること、（2）パレート最適解を目的関数空間に写像したパレートフロント上に可能な限り探索点を分散させること、単一目的の下での PSO（Particle Swarm Optimization）に対して、新たなパラメータを追加することなく、多目的最適化へ拡張でき、かつパレートフロント上の探索点間の多様性を考慮した多目的 Particle Swarm Optimization（Multi Objective PSO:MOPSO）を提案〔13〕。

14）新しいトポロジー最適化の方法として、フェーズフィールド法を利用した方法が提案されている。他方、近年、レベルセット法に基づく形状最適化が提案され、世界的に注目を集めている。この方法は、レベルセット関数と呼ばれる一次元高位の関数の等位面により形状を表現し、それをハミルトンヤコビ方程式に基づいて時間発展させることにより、最適化過程における形状変更を表現する。フェーズフィールド法の考え方に基づきレベルセット法による形状表現を用いたトポロジー最適化法の構築の試み〔14〕。

15）人間の調音生成能力の獲得学習にて考えられる調音制御を、逆動力学的手法による動力学系モデルの制御シミュレーションを通じて考察された。調音動力学系モデルは、人間の唇軟と関連筋及び骨構造をモデル化したもので、連続体としての口唇軟組織は質点及び粘弾性要素で構成する離散近似系として表現される。発声音の素である口唇運動情報を入力とした逆動力学問題の解として調音筋指令を求め、調音運動制御のシミュレーション〔15〕。

16）官能評価と流動解析を行なってアルミボトルの飲みやすさ評価。因子分析の結果、飲みやすさは「流出量の因子」と「調節量の因子」で構成されていることが確認された。この二つの評価を加味した飲みやすさ評価関数の定式化の提案と最適化結果の報告〔16〕。

17）LMI（線形行列不等式）に基づくシステム同定法を提案し、従来、主に最小二乗近似によってパラメータ推定が行なわれてきたシステム同定問題の多くが同定されるパラメータに関する連立 LMI（線形行列不等式）最適化問題に帰着されることが示された。提案手法を台湾国家地震工学研究センターの 3 層ベンチマーク構造の同定に提案手法の適用〔17〕。

以上、52 件の内の 17 件の紹介であるが、これ以外にも素晴らしい発表があったことは言わずもがなである。末筆ではあるが、本講演会の幹事としてご活躍頂きました東工大の轟章先生、梶原逸朗先生（現北海道大）、サイバネット（株）の石塚真一様他委員の方々にこの場を借りて感謝の意を述べたい。なお次回は設計工学システム部門が幹事部門となり明年開催の予定である。

「該当論文」

〔1〕木下隆志、石塚真一：室内音響特性に着目した音源配置とディジタルフィルタの最適設計
〔2〕清水良明、池田昌史：大規模ロジスティックネットワーク設計のためのバイナリー型 PSO を援用した並列最適化
〔3〕犬塚一徹、山田知典、吉村忍：CFD と ADVENTURE_DecisionMaker を用いた小型人工飛翔体の羽ばたき運動の多目的設計
〔4〕金岡秀、浦環：潮流外乱中における自律型水中ビークルの最適及び準最適航行
〔5〕半澤昭光：実用性を考慮したロバスト性・信頼性手法を用いた最適化
〔6〕寒野善博、竹脇出：不確定動的外力を受ける構造物の半正定値計画法による応答限界解析法
〔7〕伊藤冬子、田中美里、廣安知之、三木光範、横内久猛：対話型遺伝的アルゴリズムにおける嗜好の多峰性および依存関係を考慮した個体生成方法の検討
〔8〕藤田喜久雄、河本将之、宮武宏彰：配置設計のための階層型最適化法に関する研究
〔9〕谷藤眞一郎：プラスチック成形加工における最適化解析
〔10〕趙希禄、成田吉弘：複合材料からなる対称積層長方形板の力学特性感度の級数解
〔11〕轟章、開城正登：複合材料構造最適化への MOGA を用いた効率的大域探査
〔12〕宮田悟志、Patrick Koch：多目的遺伝的アルゴリズム AMGA の提案
〔13〕北山哲士、荒川雅生、山崎光悦：非劣解の多様性を考慮した多目的 Particle Swarm Optimization
〔14〕山田崇恭、竹澤晃弘、西脇眞二、泉井一浩、吉村充孝：レベルセットモデルを用いた phase-field 法に基づく機械構造物の構造最適化
〔15〕金岡秀、五味裕章：調音運動系の逆動力学制御
〔16〕茅原崇徳、山崎光悦：アルミボトルの飲みやすさ評価法に関する検討（飲みやすさ評価関数とその最適化に関する提案）
〔17〕平元和彦、松岡太一、砂子田勝昭：LMI に基づくシステム同定法：台湾 NCREE ベンチマーク構造物の同定

JACM（日本計算力学連合）の紹介

宮崎　則幸
京都大学 工学研究科（機械理工学専攻）

JACM（ Japan Association for Computational Mechanics：日本計算力学連合）は、国際学術講演会（WCCM, APCOM, ECCOMAS, USNCCM）注）を運営する IACM （International Association for Computational Mechanics：国際計算力学連合）より、計算力学におけるアクティブな研究者を多数抱える日本の現状に見合った国際的な活動・貢献を行う組織を設立するよう要請があり、日本の計算力学関連学会に所属する研究者を広くカバーする組織として、2002 年 12 月 17 日に設立されました。初代会長は矢部孝教授（東京工業大学）が務め、運営委員の互選を経て 2009 年 4 月 1 日より京都大学の宮崎則幸が２代目会長に就任しました。

計算力学は広範な理工学分野を含む学問領域です。JACM は通常の学協会とは異なり、上記のような計算力学に関連した学問分野を含む学協会の緩い連合組織であり、現時点で、下記に示す 24 の学協会が JACM に参加しています。

日本機械学会、日本応用数理学会、日本シミュレーション学会、日本流体力学会、日本 AEM 学会、プラズマ・核融合学会、日本航空宇宙学会、日本塑性加工学会、プラスチック成形加工学会、日本熱物性学会、日本複合材料学会、日本生体医工学会、日本地震学会、日本金属学会、日本原子力学会、可視化情報学会、日本建築学会、情報処理学会、化学工学会、日本レオロジー学会、日本材料学会、日本ゴム協会、日本知能情報ファジイ学会、日本フルードパワーシステム学会

JACM のミッションおよび運営方針は下記のとおりです。

1）JACM は、IACM とつながりを持つ日本国内組織とし、IACM 主催の国際学術講演会（WCCM, APCOM, ECCOMAS, USNCCM）の企画（オーガナイズドセッションの企画など）に参画する。
2）同会議における招待講演、基調講演の提案を行う。
3）JACM は、国内の計算力学研究者が個人で参加する任意団体（友好団体）とし、国内の既存の学会とは独立した、一種のアンブレラ組織とする。
4）主として、ネットワーク、HP を活用して、コミュニケーションを図る。また、国内講演会やジャーナル発行などの活動は行わない。
5）JACM としての登録料は無料とする。
6）IACM 登録希望者には登録料納入を代行する。

計算力学は広い分野を包括する領域ですので、日本機械学会をはじめとする計算力学に関連した学協会からの運営委員のご協力を得ながら、JACM のミッションを遂行するとともに，日本の計算力学の発展に微力ながら貢献していきたいと考えております。とりわけ、日本機械学会の計算力学部門は約 5300 名の登録者を有する日本最大の計算力学関連の研究者・技術者集団です。今後とも、JACM の活動に対してご支援を賜りますようお願い申し上げます。

注）：WCCM, APCOM, ECCOMAS, USNCCM は、それぞれ下記のような略称です。

WCCM : World Congress on Computational Mechanics
APCOM:AsianPacificCongress on Computational Mechanics
ECCOMAS : European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering
USNCCM : US National Congress on Computational Mechanics

特集　最適化、最適設計

次世代設計理論・多目的設計探査の考え方

大林　茂
東北大学 流体科学研究所 流体融合研究センター

1、はじめに

筆者らのグループでは「多目的設計探査（MODE）」と名付けて、多目的最適化によるトレードオフ情報の提示により、設計空間の構造を俯瞰的に「可視化」することで、設計者が設計候補を選択できる方法を提案している。（冒頭の「次世代設計理論」は、CAE 懇話会田中氏に命名していただいた。）このニュースレターでは、この春に多目的設計探査の考え方をロバスト設計に発展させて博士号を取得された杉村氏の原稿も掲載予定なので、本稿では MODE の内容よりも、どうしてこのような考えに至ったのか、からはじめてみたい。

1980 年代、筆者が大学院生の頃、アメリカ航空宇宙学会に参加したついでに、ロックウェル・インターナショナル社の研究所を訪問したことがある。その際、幸運にも（厚かましくも）CFD++の開発で知られる Sukumar Chakravarthy 博士のご自宅に泊めていただいた。夕食後、Chakravarthy 博士がふと「数値流体力学（CFD）は本当に役立っているのか？」ということを話題にされた。当時は、CFD 興隆期であり、NASA もアメリカの航空宇宙関連各社も、膨大な研究予算をかけて In-house コードの開発を行っていた。Chakravarthy 博士ご自身も TVD 法の開発で有名になったところであった。自分を振り返ってみれば、3 次元 Navier-Stokes 方程式が解けるようになったばかりであり、目の前の問題が解けることに興奮していた時期である。シミュレーションができることがうれしくて、それがどう役立つかまでは何も考えていなかった自分にとって、「役に立つ計算をする」というこの会話は、実に新鮮なインパクトであった。

それ以来、計算がどのように役に立つのかということは、あらゆる研究テーマの底流となっている。CFD は何に役立つか？流れを予測するのに役立つ。なぜ予測したいのか？ある形（例えば翼）を考えたとき、それが要求（揚力、抵抗等）を満たしているか知りたいからである。なぜそんなことを知りたいのか？設計に役立てたいからである。従って、一例として、CFD は設計に役立たねばならない。

では、CFD がもっと設計に役立つには、どうしたらよいか？　CFD の精度を上げる、複雑形状の取り扱いを容易にする、等々の研究テーマが思い浮かぶ。しかし、これらは流れを予測することの範疇である。他の使い方はないのか？ある形に対する性能が分かるということは、形を変更したときの性能の変化も分かるということである。性能がよくなるように形状変更を行うには、どうしたらよいか？すなわち、CFD は最適化にも役立つはずである。このようにして最適化の研究に手をつけることになった。

最適化を始めた当初は、最適化によって設計の自動化ができると期待していた。しかし、すぐにそれは違うと考えるようになった。最適設計のプロセスは、最適化問題定式化→最適化計算→結果の検討のように、3 段階にまとめることができる。最適設計問題の定式化には、対象となる系のモデル化から、設計変数・制約条件・目的関数の選定まで含み、結果の検討では、解の最適性の検討から、設計変数・制約条件・目的関数の検討も行う必要がある。最適設計において最適化計算自体はほんの一部に過ぎない。最適化計算そのものは自動化できるにしても、定式化や検討のプロセスは自動化になじまない。

もう一つ気づいたことは、とりあえず最適解は役に立たないということである。何か最適化問題を設定して解いてみると、現実にはあり得ない解が出てくる。これは、問題設定に穴があるからである。最適化問題定式化→最適化計算→結果の検討の 3 段階を何度も循環させて、しばらく「モグラたたき」をしないと出てきた解は役に立たない。当たり前ではあるが、正しい問いを発しなければ、正しい答えは得られない、ということに気づいた。はじめから正しい問題設定をできないのは、問題に対する知識が足りないからである。すなわち、「モグラたたき」は学習なのである。最適化は学習ツールであり、設計問題の理解に役立つことができる。

この「モグラたたき」をもう少しに高尚に議論してみよう。設計は、意志決定を重要な要素として含んでいる。意志決定においては、知識が重要な役割を担う。古くから、知は力なりといわれている。一方で、知識が多ければよい決定が下せるかというと、必ずしもそうではない。物事について知っていることと、物事を決められることは別物である。そこで、知識と決定を橋渡ししてくれるツールが必要となる。それが最適化であると位置づけられている[1]。最適化はシミュレーション（予測）と対になっており、全体として図 1 のような循環する図が得られる。つまり、最適化は、設計における意志決定に役立たねばならない。

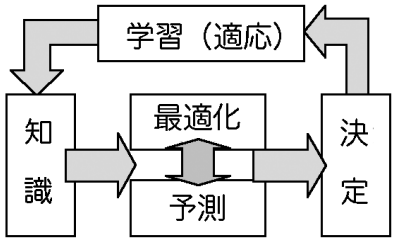


図 1　知識と決定をつなぐ（文献 1 を参考に作成）

2、設計空間の「見える化」

設計とは、要求を実現する形状を見出す一種の逆問題である。非常に単純化すると、我々は、基本となる形状にどのような力が発生するかという限られた知識を持っており、これをもとに要求を満たす形状はどうあるべきかという問題の答

えを予想する。この行為は、不完全な知識からの推論と位置づけることができ、アブダクションと呼ばれる。アブダクションとはパースによって導入された概念で、説明的な仮説を形成する過程（創造的洞察）であり、演繹や帰納に先立つ最も基礎的な推論の型である。設計という行為の核心部分で、アブダクションが重要な役割を果たすと考えられている[2]。

そこで最適化が設計の役に立つということの、もう一つの側面として、設計者のアブダクションに役立つということが考えられる。アブダクションに役立つには、さまざまな仮説を思いつくような「仕掛け」が必要である。仮説とは、たとえばさまざまな観察結果にある「パターン」を見出すことである。このことはアブダクションの「仕掛け」として、「パターン」を理解するための「可視化」の重要性を示唆している。

「可視化」をやさしく言い直した「見える化」という言葉がビジネス書で話題になっている。生産ラインの現場から広まった言葉で、もともとは現場で不具合が生じたときに、そのことがすぐに目で見て共有できるようにすることであった。「見える化」の成功により生産性が大きく改善されたので、企業活動の様々な場面に「見える化」を適用することが進められている。一般に業務内容を理解しにくい書類仕事などを、数値化・グラフ化などにより目に見える形にして、生産性を向上させようという活動である。

「見える化」をキーワードに、様々な本が出版されている。例えば、「見える化」そのものをタイトルにした本[3]では、「見える化」のバリエーションとして、見える化（目に飛び込んでくる）、視える化（掘り下げてより深く見る）、診える化（さらに細部を見る）、観える化（全体を俯瞰する）、の 4 つが挙げられている。言葉の遊びのようでもあるが、様々な場面でいろいろなものの見方が必要になるということを考えれば、言葉の言い換えにも奥深いものがある。さらに、企業に「見える化」を導入するときの 4 つの落とし穴として、IT 偏重、数値偏重、生産偏重（間接部門軽視）、仕組み偏重が指摘されている。一方で、「見える化」が育む 4 つのものとして、気づき、思考、対話、行動が挙げられている。これらから、「見える化」とは単にグラフ化することではなく、問題を共有し、認識し、理解し、対応を決定（！）するための活動であることが説明されている。

科学技術の分野では、コンピュータグラフィクスの発達により、シミュレーション結果を美しく表示することが可能になっている。シミュレーションやそれを用いた最適化も、設計という行為に役立つ「可視化」ができなければならない。このため、従来の CFD の「可視化」をそのまま用いるだけでは不十分である。「見える化」からのアナロジーでいえば、設計という問題を共有し、認識し、理解し、対応（設計案）を決定するための「可視化」が必要である。

筆者らのグループが提案する MODE の特徴の一つに、高次の設計空間を自己組織化マップ（SOM）により「可視化」する点が挙げられる。SOM は、提案者の名前を取ってコホネンネットとも呼ばれ、近年脚光を浴びているデータマイニングの一手法である。SOM は、教師なし学習のアルゴリズムを用いるフィードフォーワード型のニューラルネットモデルである[4]。

たとえば 3 目的最適化の近似パレート集合から目的関数空間の SOM を作る場合、各ユニットは 3 つの目的関数値に対応した 3 次元ベクトルを持っている。ユニットの類似度は、この 3 次元ベクトルのユークリッド距離で測られる。学習の結果、できあがった SOM 上では、ユニットの各成分（3 つの目的関数値）について、3 つの等高線図を作成することができる。その図を比較すると、トレードオフの有無などパレート面の構造が確認できる。設計空間から一様にサンプルして SOM を作れば、設計空間そのものを「可視化」することができる。

筆者らのグループでは、この SOM に代わるデータマイニングツールをいろいろ試してきたが、現在までのところ SOM に勝るツールは見つかっていない。その理由として、SOM が「可視化」ツールそのものであることが上げられる。すなわち、SOM は設計空間を「見える化」してくれる重要な設計ツールと位置づけることができる。設計にはもともと設計図という基本的な「可視化」ツールがあるが、これは形を「可視化」するものであって、機能を「可視化」するものではない。SOM により機能の「可視化」が可能になったといえよう。設計空間の「見える化」により、機能のトレードオフや設計変数の影響を見て取ることができるようになり、設計における意志決定に大いに役立つと期待される。

3、SOM を活用する

SOM による可視化には、さらにクラスタリングを組み合わせることができる。もともと SOM では近傍ユニットが似たもの同士になるので、SOM 上でクラスタリングを行うことは、もとデータからクラスタリングを行うよりはるかに容易である。クラスタの特徴をつかむことができると、設計空間における機能の大まかな傾向を理解することができる。

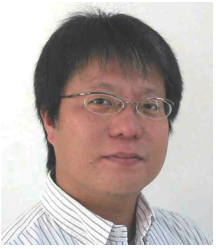
SOM を、より本格的に設計に役立てる、すなわち設計という問題を共有し、認識し、理解し、対応（設計案）を決定する、つまり設計空間をよりよく「見える化」するためには、どのように利用したらよいであろうか？その一つの答えは、SOM 上で得られたクラスタの特徴をより詳細に解析することである。

例えば、各クラスタをさらに可視化するために、各クラスタで目的関数の平行座標系表示を行うと、その特徴がよく分かる。また、各パラメータを各グループの個数が同じになるように大中小の 3 グループに分割する。各クラスタで各パラメータの大中小の割合をグラフ化し比較すると、特定のクラスタでは特定のパラメータが小さいなどの特徴が可視化され、それらから設計ルールが示唆される。あるいは、ラフ集合、決定木、相関ルールなどのデータマイニング法を適用してもよい。SOM の特定のクラスタに入るためには、どのような設計変数の組み合わせにしたらよいのかを、データマイニングによって調べると、ルールを導出することができる。

以上のような解析により、クラスタの特徴や設計空間の構造に関する知識がより詳細に得られ、設計空間の「見える化」が一層進展すると考えられる。

参考文献

[1] Zbigniew Michalewicz, Martin Schmidt : Matthew Michalewicz, Constantin Chiriac, AdaptiveBusiness Intelligence, Springer 2006.
[2] 冨山哲男：設計の理論、現代工学の基礎 15、岩波書店、2002.
[3] 遠藤功：見える化、東洋経済新報社、2005.
[4] コホネン：自己組織化マップ、改訂版、シュプリンガー・フェアラーク東京、2005.



設計者に役立つ設計探査とは？

杉村　和之
(株)日立プラントテクノロジー 研究開発本部 土浦研究所

日頃感じていることであるが、最適設計がどんな人にも支持されているかというと、？である。研究開発者に対しては有用な方法論になってきたと思うが、日々のルーチンワークに追われる設計者にとっては、まだまだその魅力や恩恵は感じられていないのではないだろうかと思う。そこで本稿では、設計者にも役立つ最適設計の在り方について考えてみる。

「最適設計」という言葉ほど、人によって解釈が異なるまま流通している言葉はない。わずかな数のパラメータサーベイからベストな設計案を選ぶだけで堂々と最適化したと称することは実際の開発現場では当たり前に行われているし、品質工学の分野で見られるようにばらつきを抑えないと最適化を名乗れないような場合もある。正しい解釈が何かはさておき、著者が役立つと考え実践している最適設計の方法論は、東北大学の大林教授が提唱されている多目的設計探査[1]であるので（本ニュースレターの p.7～p.8 を参照されたい）、この方法論を元に設計者にも役立つような展開を考えてみる。

多目的設計探査では、進化的計算法によってトレードオフ関係にある多数の最適解を得る。この過程で得られた設計データの分析（＝データマイニング）を通じて、設計空間構造に対する理解を深め、設計の意思決定に役立てる。この多目的設計探査の考え方をベースに、実設計で直面する「ばらつき」を考慮できるように機能拡張したものが、多目的ロバスト設計探査 (MORDE: Multi-objective Robust Design Exploration)の考え方である[2][3]。MORDE では、設計変数や目的関数などの設計パラメータに統計的な取り扱いを導入するとともに、一層複雑化した設計データ向けに分析手法を強化した点に技術的なポイントがある。このように書くと、少し設計者にも役立つようになってきた気がするが、どう役立つのかがまだまだ不明確である。

統計解析の分野に興味深い未来予測がある[4]。現代の科学技術を支える「理論」、「実験」、「数値解析」という 3 つの方法論に続き、「データ分析」という第 4 の方法論がこれから重要になるというパラダイムであり、なるほどと考えさせられる。確かに設計現場でも、顧客情報、CAD データ、製品仕様情報、事故事例など、日々増大するデータを如何に管理・分析・活用するかが重要になりつつある。この傾向は、設計探査においても同様で、最適化の作業よりもデータ分析にますます比重がおかれるようになってきている。このことは最適解そのものよりも、データ分析で得られる知見の方に、情報の価値がシフトしてきていることを示している。批判を恐れず著者の主観を述べると、最適化とデータ分析にかける力の割合は、1990 年代は 9:1、2000 年代 6:4、今後は 3:7 くらいの比率になるのではないかと思う。

データ分析から得られる知見が重要になるという視点で、あらためて最適設計が設計者にどう直接的に役立つかを調べてみると、設計根拠、設計マップ、設計基準といった最適設計結果の要約を形式知化した情報が大切であるということがわかってきた。例えば弊社では、石油・ガス分野で用いられるプロセス圧縮機を取り扱っているが、研究開発部門で開発した遠心圧縮機の形状仕様が、設計基準という形で設計部門が持つ自動設計ツールに組み込まれ、実機設計に有効利用されている。このような仕組みに新たに設計探査手法を適用すれば、最適化により合理的かつ全体俯瞰的に新しい圧縮機形状を見出し、データ分析により画一的でない目的別の緻密な設計基準を策定するといった展開が可能になり、研究開発者と設計者の双方にメリットのある最適設計となる。即ち、設計探査におけるこれまでのデータ分析は実施者本人の気づき支援（＝暗黙知の生成）に重点があったが、これからは上述したような形式知化が重要になり、それによって設計者に役立つ設計探査になるという結論である。

以上、設計者に役立つ設計探査の在り方について著者の考えを述べた。以下では、設計基準という形式知の策定を最終ゴールとした場合の、MORDE の適用手順の概略について、図 1 を参照しながら紹介したい。詳細について興味をもたれた方は、文献[2][3]を参照されたい（遠心ファンを対象に、量産ばらつきを考慮した効率と騒音に関する多目的ロバスト設計探査事例）。

MORDE の第一ステップは、(a)設計の計画である。設計変数、制約条件、目的関数を定め、設計問題を定義する。適切な設定を行うには幅広い専門知識や経験が必要で、現在のところ、最も人間の活躍が期待される部分である。

次のステップは、(b)設計空間のモデル化である。実験計画法を用いて評価サンプルを取得し、応答曲面モデルを構築する。 MORDE では応答曲面モデルとして予測精度に定評のある Kriging model を採用している。ばらつきを模擬するためには例えば数千点もの統計計算が必要となるため、応答曲面モデルの利用が必須となるが、ばらつきを考慮しないならば、必要に応じて本プロセスを省略することもできる。尚、本ステップでは設計空間全体に関する設計データ A を取得することができる。

続くステップでは、(c)多目的ロバスト最適化を実施する。製品特性はばらつくものと考え、その統計的な平均値と標準偏差を目的関数に設定し、多目的遺伝的アルゴリズムによる最適化を実施する。設計変数のばらつきに対する製品特性の応答は上述の応答曲面モデルを用いて高速に計算される。MORDE のアプローチでは、ピーク性能を追求した従来型の最適解も、品質工学的な最適解も得ることができる。尚、本ステップでは最適解データ B を取得することができる。

弊社では、最適化には自社開発および市販の最適化エンジンを使い分けている。頻繁に使う手法については内製ツール

化をすすめて運用コストを下げ、その他については機能数や使い勝手に優れた市販品を用いるという考えに基づいている。

最後のステップでは、(d)データマイニング（＝データ分析）を実施する。設計データ A を対象とした分析からはトレンド等の一般的な設計知見が得られ、最適解データ B を対象とした分析からは最適性を前提とした上でのトレードオフ制御に関する知見（条件付情報）が得られるという点に注意が必要である。データ分析には実に多くの手法があって途方にくれるが、工学設計に役立ちそうな代表的な手法について比較検討を行い、図 1 に示した標準的な手順を定めた。

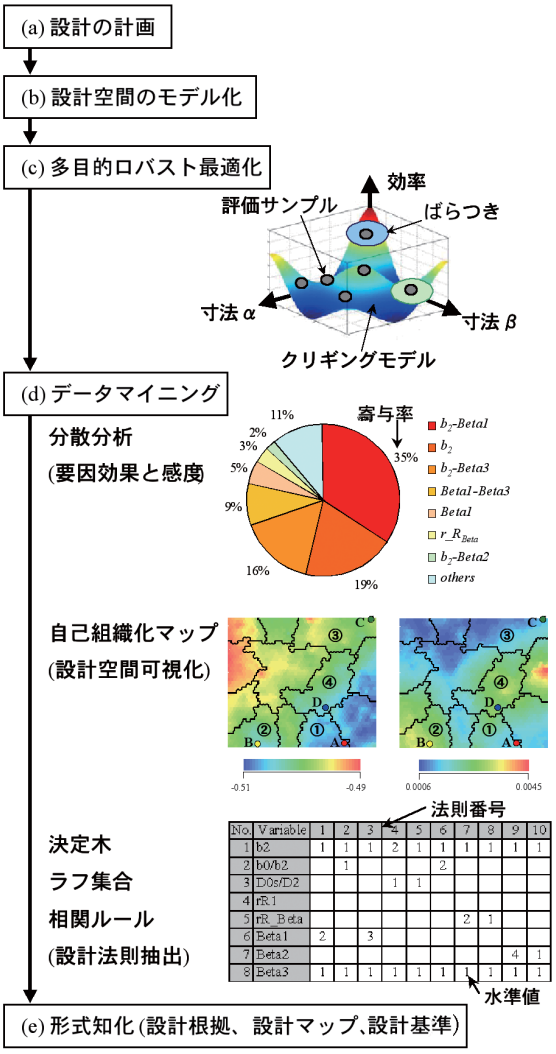


図 1　形式知創生を目指した MORDE の実施手順

まず、広い設計空間において着眼点を絞り込むために分散分析を実施する。分散分析を適用すると、設計変数が目的関数に対して持つ要因効果の種類（主効果と交互作用）ごとに感度（正確には寄与率）を同定できる。ここでいう感度には、非線形応答の大きさも含まれており、この点は、線形システムを仮定し、線形的な感度を評価する従来の設計理論とは異なる。多目的最適化ではトレードオフ矛盾を解決するために、設計変数単独の非線形効果や複数の設計変数間の交互作用を積極的に利用することがメリットとなるため、このようなアプローチを取る。分散分析によって重要な要因効果が明らかにされ、以降の各種データ分析の結果を解釈することが容易になる。

引き続き、分散分析で重要と判定された設計パラメータを中心に、自己組織化マップを用いて設計空間構造の可視化を行い、パラメータ間の相関関係を把握する。グラフによる可視化が困難な 4 変数以上の相関関係を 2 次元マップ上に一度に表現できる強力な手法であり、設計マップのたたき台としても利用できる。ただし相関の把握は視覚的な判断に基づいているため、定性的な議論には向いているが、設計パラメータの数が増えた場合に定量的な分析を行うのが困難になる。

定量的な分析をするために導入されたのが、設計法則抽出法である。設計法則とは所定の結果を導き出すための条件を if-then 形式で定量的に表したもので、即ち設計基準である。上述の検討で得られた知見も手助けに設計法則を分析することは最適となる理由など、いわゆる設計根拠を発見・理解するのにも役立つ。設計法則抽出法には、決定木、ラフ集合、相関ルールがあるが、それぞれ長所・短所があり目的に応じて使い分ける。一般に設計法則には精度があり、結果に対する精度を要求すると条件式が各論的でわかりにくくなり、精度に目をつぶると最大公約数的ではあるが理解しやすい条件式が見出される。決定木は最大公約数的な設計法則を 1 つ抽出し、精度は劣るものの設計問題の本質を理解しやすい。一方で、ラフ集合と相関ルールは精度を可変として分析することが可能で、多様な設計法則を抽出できるが、個々の法則が意味するところの解釈は難しい。

設計法則抽出においては、どのような結果を得たいのかを定義する必要がある。特定の目的関数を最適な水準とする設計法則はもちろん、多目的関数間の特定のバランスを実現するための設計法則も抽出できなければならない。これに対しては、希求ベクトルという概念を設計法則抽出法と組み合わせることを提唱している[2]。希求ベクトルというのは目的関数間の重み付けを示した方向ベクトルであり、目的関数空間内で設計者が目指したい方向を示す。この方向に近いデータにどのような法則性が潜んでいるかを分析することで、任意のトレードオフバランスを実現するための設計法則（設計基準）抽出が可能となる。

以上のデータ分析手法は、技術的に成熟していることもあって、市販ソフトウェアやフリーウェアを用いているが、工学設計への適切な応用の仕方には、まだ研究要素が残っている。

参考文献

[1] S. Obayashi, S. Jeong, K. Chiba, and H. Morino, Multi-Objective Design Exploration and its Application to Regional-Jet Wing Design, Transaction of the Japan Society for Aeronautical and Space Science, Vol. 50, No.167, pp.1 -8, 2007.

[2] K. Sugimura, S. Jeong, S. Obayashi, and T. Kimura, Kriging-Model-Based Multi-Objective Robust Optimization and Trade-Off Rule Mining of a Centrifugal Fan with Dimensional Uncertainty, JSME Journal of Computational Science and Technology, Vol. 3, No. 1, pp. 196-211, 2009.

[3] K. Sugimura, S. Obayashi, and S. Jeong, A New Design Method based on Cooperative Data Mining from Multi-Objective Design Space, JSME Journal of Computational Science and Technology, Vol.3,No.1, pp. 287-302, 2009.

[4] 北川,統計的モデリング―知識社会の基盤技術,数理システムユーザコンフェレンス 2007.

Altair OptiStruct による複合材最適化

山本　哲哉
アルテアエンジニアリング株式会社 HyperWorks 事業部

1　Altair OptiStruct の機能概要

Altair OptiStruct では、線形静解析や固有値解析、伝熱解析、疲労解析、音響周波数応答解析（構造－流体連成解析）など多彩な解析タイプを備え、さらにこれらの現象を考慮し、以下の最適化計算が可能である。

- ●トポロジー最適化
- ●トポグラフィー最適化
- ●形状最適化（パラメトリック・ノンパラメトリック）
- ●寸法最適化
- ●フリー寸法最適化
- ●材料定数最適化
- ●要素特性最適化

2　複合材料の最適化

軽くて丈夫な複合材料は以前より航空機や人工衛星、自転車フレーム、釣竿、ゴルフクラブのシャフトなどに使用されている。特に航空機では水平・垂直尾翼やフラップなどに多用され、複合材料の航空機重量に占める割合が非常に高い。最近では、エアバス社の A-380 で航空機重量の約 20%で複合材料が使用され、ボーイング社の B-787 では 50%強使用される予定である。今後もその割合は増加していく可能性もあり、また、自動車など上記以外の分野でも使用率が高くなってきている。

複合材料は各プライ厚や配向角、積層順によってその特性が大きく変化する特徴を持つため、より高性能な複合材料を得るためには多大な労力を要する試行錯誤が必要になる。

現在では、有限要素法により複合材料を用いた構造物の挙動を確認することが一般的に行われているが、あくまで与えられた複合材料による結果が得られるだけであり、「どのような複合材料が良いか」を得る技術が十分に確立されていないと考えられる。

OptiStruct による複合材最適化では、より良いプライ形状や積層数、配向角、積層順を求めることができる。ここではその機能と適用例を紹介する。

3　Altair OptiStruct による複合材最適化

OptiStruct による複合材最適化は以下の 3 つのステップを踏む。

[Phase 1]フリー寸法最適化

フリー寸法最適化では、各要素各プライに最適な板厚を求めることが可能である。不要な部分はほぼ 0 の板厚値が得られるため、これより各プライの形状、必要板厚を求めることができる（図 1）。

また、最適化計算により得られた各プライは各要素毎の最適板厚情報により自動的に 4 分割（分割数は変更可能）（図 2）され、各プライ形状を構築する。

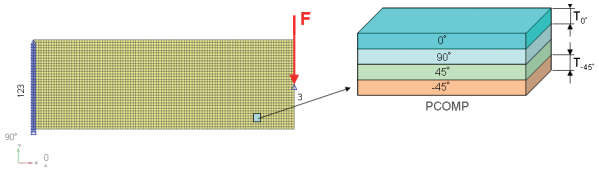


図 1　長方形形状での初期複合材配置

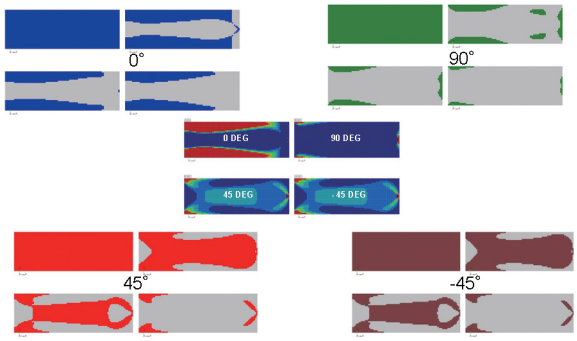


図 2　最適化による各配向角毎の形状を厚みを考慮し 4 分割

[Phase 2] プライバンドルのサイジング（寸法）最適化

Phase 1 により再分割された各プライはフリー寸法最適化によるなだらかな板厚分布を 4 つの板厚に分けているため、寸法最適化により、さらにより良い厚みを決定していく（図 3）。

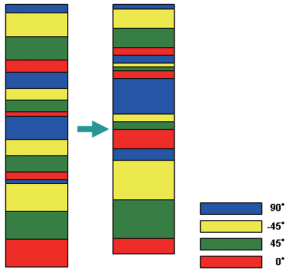


図 3　4 分割された各プライの厚みを最適化

このとき、許容最小プライの倍数になるよう板厚の設計変数には離散変数を用いることで、最小プライの積層結果が得られる（図 4,　図 5）。ここまでで、各プライ形状、積層数が得られる。

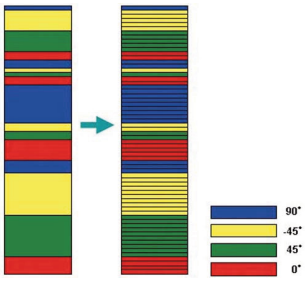


図 4　各プライの厚みを最小プライ厚で分割

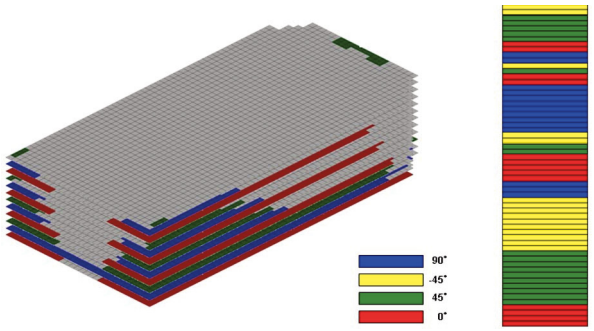


図５　積層のイメージ

[Phase 3] 積層順最適化

Phase 2 までの最適化計算は形や厚みを求めており、積層順に関しては考慮していない。Phase 3 でより性能を向上するような積層順を求める（図 6）。このとき、プライ間の配置関係（同一配向角の最大連続層数や+45 層と-45 層のペアリングなど）を考慮することが可能である。

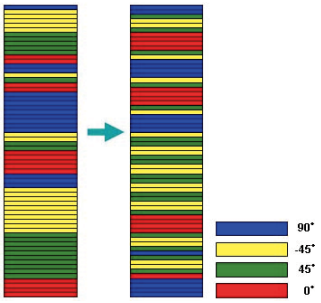


図６　積層順最適化による積層順結果

以上により最適な複合材料を求めることができた。

4、エアバス社 A-380 への適用事例

前述の通り、エアバス社の大型旅客機 A-380 には多くの箇所に複合材料が用いられている。ここでは、A-380 のドアサポートアーム（図 7）に用いられた複合材料の最適化事例について紹介する。

図７　A-380 のドアサポートアーム

ドアサポートアームは箱型構造になっており、ドアの重量に十分耐えられるように、まずその箱形内を補強するリブ形状と位置をトポロジー最適化により求めた。リブをモデリング後、前述の流れで複合材最適化を実施した（図 8）。

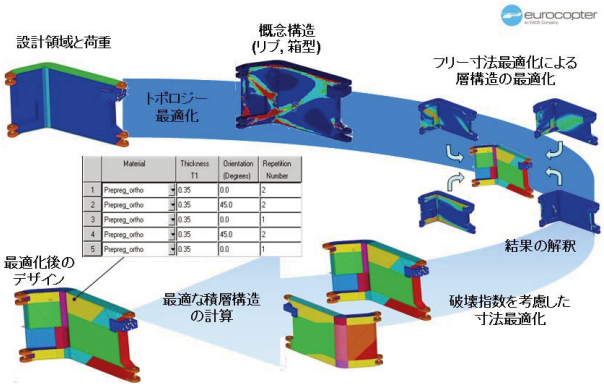


図８　最適化処理の流れ

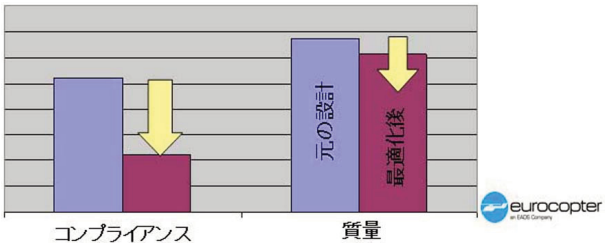


図９　初期データとの結果比較

結果としては、コンプライアンスを大幅に減少させながらも初期モデルよりも軽量化を実現できた（図 9）ことにより、無駄の少ない複合材料をドアサポートアームに適用可能にした。

また、本例以外にも航空業界において複合材最適化の使用が増えつつある。

5、最後に

弊社最適化製品である OptiStruct による複合材最適化では、プライ間の厚み関係や、最大／最小積層厚などの製造上の制約を考慮しながら、より現実的かつ良い性能の結果を得ることが可能である。また、複合材のみを求めるだけでなく、トポロジー最適化によるリブ配置や形状最適化によるリブ位置・形状の微調整も同時に行うことで、より設計工数の短縮と軽量化によるコスト削減が図れるものと考えられる。

弊社製品には OptiStruct のほか、積層材モデリングツールである HyperLaminate を有する HyperMesh や各層での結果の可視化が可能な HyperView、複合材料の衝撃・破断現象を考慮する陽解法ソルバー RADIOSS などがあり、エンジニアリングサービスを含めた複合材料シミュレーションに関する包括的なソリューションを提供している。

複合材料の適用が広がる昨今、弊社もこれまでの機能で満足せず、より多くの機能を追加し現実的かつ幅広い適用範囲を持つソフトウェアを提供していきたい。

次世代の最適化ツールに求められること

中本　伸吾
サイバネットシステム株式会社 アドバンスドソリューション統括部 PIDO 室

1.　はじめに

近年、シミュレーション技術やハードウェアの処理能力の向上に伴い、製品品質を向上する手法として最適設計支援ツール（以下 PIDO ツール：Process Integration & Design Optimization）を用いることが一般的となってきた。PIDO ツールの基本機能である自動化・統合化・最適化は、ユーザーの設計業務の効率化に寄与し、業務改革を実現してきた。しかしそれに伴い、市場には多くの PIDO ツールが存在するようになり、ユーザーが選定する際の差別化が非常に困難になっている。

もはや多目的最適化は、専用の PIDO ツールだけでなく、シミュレーションツールの最適化オプションにも搭載されるほど一般的な技術となり、差別化の要因ではなくなっている。また、設計空間を分析するための統計処理（ポスト）機能においても、必要なものは現時点である程度揃っており、これ以上の機能追加は特定の業界にフォーカスされた少数ユーザーが利用するものか、一般ユーザーでは理解することが難しい複雑な機能になってしまう。

それでは、これからの PIDO ツールには何が求められるのだろうか。我々が多くのユーザーと話し合いを重ねた結果、次のようなニーズが見えてきた。

1）求められた開発期間内に効率的に最適解を見つける
2）現実に起こる不確定要因（バラツキ）を考慮する
3）誰もが気軽に利用できる環境が用意されている

本記事では、これら 3 つの項目について、弊社取り扱い PIDO ツール OPTIMUS での実現性について言及する。

2.　効率を追求した最適化

まず、「求められた開発期間内に効率的に最適解を見つける」については、2 つの解決策が考えられる。まずは最適化手法自体が少ない計算回数で最適値を見つけられるようになることである。大域的最適化手法である遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm）などは、局所解に陥ることが少ない有効な手法として知られているが、計算回数が膨大となってしまう問題がある。そんな中、現在注目されているのが、内部的に実験計画法と応答曲面を利用して計算を効率化するハイブリッド型の最適化手法である。その代表的な手法として EGO（Efficient Global Optimization）が挙げられる。EGO では、まず始めにラテン超方格法を用いてサンプリングを行い、そのサンプリング点を元に応答曲面を作成する。そして、作成した応答曲面の精度を内部的に判断し、精度が悪い設計空間に対しサンプリングを追加して、応答曲面をアップデートする。これを複数回繰り返し、応答曲面の精度を一定以上にした段階で最適化を実行する。応答曲面を利用するためシミュレーションの実行回数を大幅に削減することが可能であり、実際に従来の遺伝的アルゴリズムと比較しても 5 倍～6 倍の高速化が可能なことが証明されている。また、一連の作業は全て EGO が自動的に実施するので、ユーザーが応答曲面の精度を気にする必要も無く、特別な知識が無くても利用可能である。他に同様のハイブリッド型の手法として、局所最適化手法の Adaptive Region 法や、多目的最適化手法の NSEA+（FAST）があるが、これらは OPTIMUS にて利用可能である。短い開発期間での成果が求められているユーザーにとって、計算回数を減らす工夫がされている手法が搭載されていることが重要なポイントになる。

2 つ目は、社内リソースをフル活用して最適化計算を高速化させることである。最適化計算はシミュレーションを複数回実行する必要があるので、もし 1CPU だけで計算する場合には、”1 回あたりの計算時間”×”繰り返し計算数”の所要時間が必要となる。これが、1 回あたりの計算時間が数十分かかる問題になった場合、最適解を算出するまでに数日間を要することになり、求められた開発期間に収束できない可能性がある。そこで活躍するのが、最適化計算の分散処理である。社内で空いている CPU やシミュレーションのライセンスを最大限に活用することにより、最適化計算の高速化を実現する。例えば、1 回当たり 20 分かかるシミュレーションを最適化計算で 700 回実行する場合、トータルで約 10 日必要となるが、4CPU を利用して分散処理をした場合は、通常の 1/4 の計算時間、つまり 2.5 日で最適化を実現することができる。限られた開発期間の中で、できる限り最適化計算を高速化させる取り組みとして、最も有効的な手段が分散処理である。

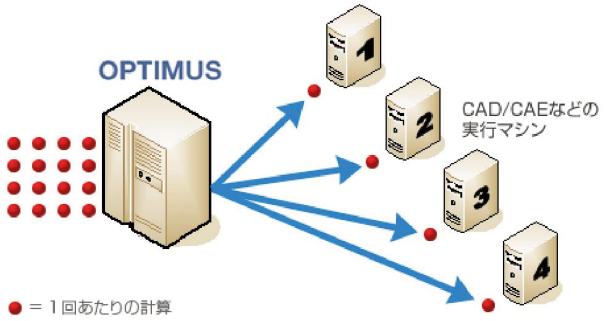


図 1　分散処理の実施例

3.　現実に起こる不確定要因（バラツキ）を考慮した最適化

通常シミュレーションでの計算結果は、公差に基づいて製造を行った際のバラツキや、製品を使用する際の気象条件の変化などは考慮されていない。このような理想状態で最適化を行って、制約ギリギリの最適解を導き出しても、バラツキが生じることで、本来求められている性能を発揮できない場合がある。最悪のケースになると、製品リコールということになり、多額の損害が発生することになる。このような問題に対処するのが、ロバスト・信頼性と品質工学手法である。入力のバラツキに基づいて確率論的な計算を行うロバスト・

信頼性計算は、これまでモンテカルロ法の利用が一般的であったが、計算回数が膨大となり最適化と組み合わせることは難しいとされてきた。実際にベンチマークを行った結果では、モンテカルロ法を用いてロバスト・信頼性を計算するためには、最低でも 100 回以上の計算回数が必要であり、厳密な精度を追求する場合は 500 回以上の計算が必要であった。この問題を解決する手法として OPTIMUS で採用しているのが、FOSM（First Order Second Moment）や FORM（First Order Reliability Method）、Importance Sampling といった内部的に近似を行うことで、計算回数を減らすことができる手法である。これらの手法は、モンテカルロ法の 1/50～1/100 の計算回数でロバスト・信頼性を評価することができるため、これまで取り組むことが難しかったシックスシグマデザインの実現を可能にした。

また、もう一つの製品のロバスト性を高める手法として、大手企業で多数採用されているのが品質工学（タグチメソッド）である。品質工学による設計では、直交表、SN 比・感度、分散分析表、要因効果図などの様々なステップを実施する必要があるが、それらは表計算ソフトなどを用いて、ユーザーが作成するのが一般的だった。しかし、複数の直交表の搭載や計算式に対応するためには、多くの工数がかかってしまっていた。その上、直交表に基づくシミュレーションの実行は、担当者が 1 ケースずつ手動でサンプリングをする必要があり、担当者は単純作業に多くの時間を費やしていた。これらの問題を解決することができるのが、OPTIMUS の品質工学機能である。本機能では、直交表への因子の自動割付から、シミュレーションの自動実行、そして要因効果図、分散分析表の表示まで、パラメータ設計に必要とされる全てのステップを自動化することができる。これによって、本質的ではない単純作業を削減し、設計検討の本質に注力することが可能になる。

4. 誰もが気軽に利用できる環境

一般的には PIDO ツールというと、「解析のエキスパートだけが利用する敷居が高いツール」と思われがちであるが、短期間で設計品質を向上し業務効率を改善することができる、という効果を考えると、製品設計に携わるできるだけ多くの開発者が利用することが望ましい。実際に、PIDO ツールで確認することができる、「どの入力値が目的に対し影響しているか」といった寄与度や、「A というパラメータが変化したときに、B はどうなるか」といったパラメータ同士の相関性は、設計者自身が確認することが理想的である。

実際、OPTIMUS の使い方自体は難しいものではなく、広く普及している設計者向け CAE よりも操作は簡単である。それにも関わらず、PIDO ツールの利用が難しいと考えられているのは、組み合わせて利用するシミュレーションツールとの接続が難解で、多くのノウハウが必要とされるからだろう。その点、OPTIMUS では「OPENNESS」をコンセプトに、誰もが簡単に利用できる開かれた環境を提供している。まず、シミュレーションとの接続部分については、シミュレーションとのインタフェースをカスタマイズすることができる UCA（User Customizable Action）を搭載しており、パラメータの設定や CAE のバージョン選択、OS 毎のコマンド入力を登録することができる。一度 UCA を作成すれば、後は社内の異なるユーザーやマシン間でも共有することができるので、設計者は完成された UCA を利用するだけで、すぐに最適化に取り組むことができる。また、一般的なシミュレーションツールの UCA については、OPTIMUS のユーザーであれば、弊社のホームページから無償でダウンロード可能である。（ANSYS、NASTRAN、ADAMS、STAR-CD など）

また、「設計者に新たなツールの操作を覚えさせたくない」といったユーザーには、Excel 等の誰もが扱えるツールから OPTIMUS を実行できる環境を提供している。OPTIMUS は構成ファイルが全てテキストベースになっており、Excel 等の外部ツールからバッチ実行することが可能になっている。この機能により、設計者は OPTIMUS の操作を全く意識せずに、Excel 上で入力の上下限値を設定し、あとは最適化実行ボタンを押すだけで、最適化を実現することができる。

5. 最後に

PIDO ツールは自動化・統合化・最適化の基本機能でユーザーに受け入れられていたが、時代と共にツールは進化するものである。今利用している PIDO ツールが、本当に自分たちにとって最良であるのか、PIDO ツールを利用することが目的になってしまい、自分たちの本当にやりたいことに制約を課してしまっていないか再確認してもらいたい。本記事で紹介した通り、開発期間の短縮・不確定要因の考慮・簡単に利用できる環境を用意している OPTIMUS は、ユーザーのニーズを解決することができる唯一の PIDO ツールである。

また付け加えておきたいのが、PIDO ツールを取り扱うベンダーの対応力である。PIDO ツールは、様々な CAE ツールと連携して使用することができるため、ベンダーが多くの CAE ツールとの接続のノウハウを持っているかが非常に重要となる。よって、構造・流体・電気・光学・化学など、幅広いソリューションをそのベンダーが持っていることが望ましい。さらに、教育体制においても、ツールの操作を習得するだけのものではなく、最適化初心者のために最適化の基本知識を習得できるものや、上級者向けには最適化手法の使い分けを習得できるハイエンドなセミナーなど、幅広い層に提供されていることが重要となる。それらをカバーしているベンダーは、最適化の考え方を社内に浸透させたいといった啓蒙活動や、最適化技術をもっと高めたいといったユーザーのニーズに対応できるからだ。PIDO ツールを選定する場合は、ツールの機能だけではなく、ベンダーの対応力にも是非注目してほしい。

参考文献

（1）DONALD R. JONES, MATTHIAS SCHONLAU, WILLIAM J. WELCH, Efficient Global Optimization of Expensive Black-Box Functions, Kluwer Academic Publishers（2008）

（2）OPTIMUS ホームページ（http://www.cybernet.co.jp/optimus）

（3）山川宏編、最適設計ハンドブック、朝倉書店、（2003）

（4）Noesis Solutions NV, Theoretical Background for OPTIMUS（2008）

（5）半澤昭光、実用性を考慮したロバスト性・信頼性手法を用いた最適化、第八回最適化シンポジウム（2008）

構造最適設計ソフトウェアの最新動向

竹内謙善（左） 古屋耕平（右）
株式会社くいんと

1、はじめに

有限要素法に代表される数値解析手法と数理的な最適化手法を組み合わせて、構造物の形状あるいは位相形態を自動的に決定する構造最適化手法は、実製品の設計、開発においてその有用性が広く認知されるようになってきた。著者らはそれらの中でも、比較的新しい手法である位相最適化とノンパラメトリック形状最適化を中核機能とする構造最適設計ソフトウェア OPTISHAPE-TS の開発を行ってきた。本稿では、このソフトウェアに実装されているいくつかの機能の適用例と最新の動向について紹介する。

2、位相最適化

2.1 不安定現象の抑制

連続体の位相最適化は 1988 年に Bendsøe & Kikuchi により紹介され、その後さまざまな分野への適用が研究された。近年では構造と流体、電磁場等のマルチフィジックス問題への応用も行われている〔1〕。これまでの課題の一つとして、材料の有無が交互に現れるチェッカーボード現象や最適解のメッシュ依存現象など、数値計算上の不安定現象の回避が挙げられる。これらの問題に対して①有限要素の弾性テンソルを節点密度のべき乗関数で内挿する方法、②感度の平滑化等で不安定現象が抑制できることがわかってきた。さらに近傍の節点密度同士に連続性を持たせ、より不安定現象を抑制する方法として、③H1 勾配法〔2〕と呼ばれる平滑化法が提案されている。OPTISHAPE-TS では上述の①②③を採用しており、図 1 に示すように、滑らかな位相が得られるよう工夫している。

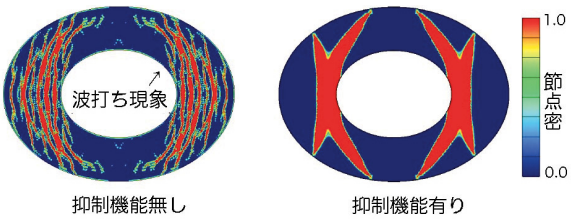


図 1 不安定現象の抑制機能による結果の差異

2.2 製造要件を考慮した位相最適化

位相最適化は、初期構造に対して大幅な構造変更が可能な反面、製造が困難な結果や、構造が複雑で製造コストが高くなる結果が得られることがある。OPTISHAPE-TS では製造が容易な構造を得るために、例えばある方向に対して等しい断面を持たせる（等断面）、などの製造要件を考慮した位相最適化が可能である。図 2 は C アームの剛性最大化の結果で、押出し材で製造できるよう円周方向に等断面の製造制約を課している。このように製造要件を考慮することで製造が容易で軽量、高剛性な構造形態を得ることができる。

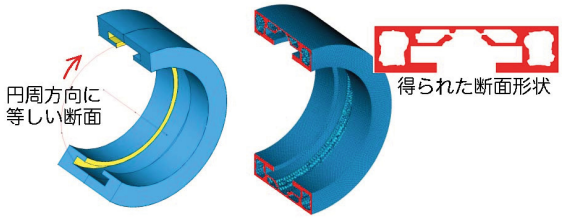


図 2 製造要件を考慮した C アームの位相最適化結果

2.3 動的問題への適用

位相最適化の動的問題への適用例は、静的問題と比較して少ない。その大きな理由は、動的問題では剛性と質量の比が重要になるため、中間的な密度分布や、構造物全体の密度がゼロに近い分布が発生しやすく、設計上有用な解が得にくいためである。このような問題を避けるために OPTISHAPE-TS では固有振動数最大化の際に、質量の影響を考慮しつつ、モード変形に対する静剛性を向上させ固有振動数を増加させる方法が利用できる〔3〕。これにより中間密度が低減でき、部材のレイアウト検討が容易になる。

図 3 にケーシングの固有振動数最大化の結果を示す。図 3（a）は通常の位相最適化結果で、拘束点付近に材料が残る結果となっている。図 3（b）は静剛性も併せて向上させる方法の結果で、補強部材が現れている。本法では質量の影響も考慮しており、運動エネルギが最大となる中央部には補強部材が配置されていない。固有振動数は図 3（a）のほうが高い。しかし、構造検討の場面では図 3（b）が望まれる場合もあり、OPTISHAPE-TS では、必ずしも最適ではなくても解析者の所望に沿えるよう、簡単な設定でどちらの解でも得られるようになっている。

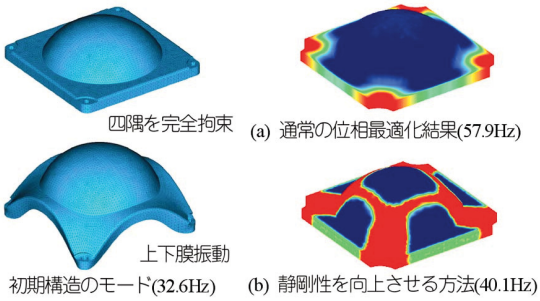


図 3 ケーシングの固有振動数最大化

3、力法によるノンパラメトリック形状最適化

OPTISHAPE-TS には商用ソフトウェアとしては唯一、力法によるノンパラメトリック形状最適化機能が実装されている。力法は 1994 年に畔上〔4〕によって提案された形状最

適化手法である。これは初期形状から最適形状に至る形状の変化を写像関数で表現し、その写像関数に対して最適化を行う手法である。最近の力法の適用例としては、疲労強度向上のために乗用車のサスペンション部品に適用した事例〔5〕や、音振性能向上を目的としてトランスミッションに適用した事例〔6〕等が報告されている。

3.1　形状変動制限機能

力法による形状最適化では、表面形状を自由に変動させることができるため、一般的なパラメトリック形状最適化よりも自由度の高い最適化を行うことができる。しかし一方で、解析者が想定していない形状変化が生じて、位相最適化と同様に製造上の問題が発生することがある。著者らは力法による形状最適化の過程で、形状の変動に一定の制限を加えるために以下のような機能を開発し、総称して形状変動制限機能と呼んでいる。

・抜き勾配を考慮して型抜き可能な形状に制限する機能
・三角形・四角形パッチによる設計領域の定義
・シェル要素の面外方向の変動を制限する機能
・ソリッド要素の肉厚を一定以上に保持する機能
・ソリッド要素の肉厚変化が一定となるように制限する機能
・軸対称形状を維持する機能
・回転対称形状を維持する機能

形状変動制限機能の適用例として、自動車ロードホイールの解析例を図 4 に示す。自動車ロードホイールの多くは、鋳造または鍛造によっておおまかに成型された後、旋盤等による機械加工、塑性加工を経て製品となる。そのため、全体として型抜き可能な形状（アンダーカットの無い形状）で、且つ最小肉厚にも制限がある。リム部は旋盤による機械加工を考慮して軸対称形状を維持し、スポーク部は図 4）b）に示すような回転対称性を維持しなければならない。これらの条件は、先に挙げた各種の形状変動制限機能により実現することができる。自動車ロードホイールへの力法の適用は、比較的早期に報告〔7〕されていたが、現在では形状変動制限機能が充実したことで、より簡単に適用できるようになった。

3.2 固有振動数による形状同定解析

有限要素モデルの力学特性、例えば固有振動数を実験値あるいは、より精密な有限要素モデルと一致するように修正したいという要求が、解析実務でしばしば生じる。OPTISHAPE-TS では、多数の制約条件を効率よく取り扱うことができるようになっており〔8〕、このような用途に有力なツールとなっている。

PC 用ハードディスクケースへの適用例を図 5 に示す。この適用例では最初に実形状に忠実な詳細解析モデルが作成された。しかし、そのような詳細モデルを組み合わせて PC 全体の解析モデルを構築すると解析規模が大きくなり過ぎる懸念がある。そこで、可能な限り形状を簡略化した簡易モデルに置き換えられた。その際、PC 全体モデルの解析精度を極力損なわないように、簡易モデルの固有振動数を詳細モデルに一致させるべく、力法による形状最適化が適用された。最適化前の形状（図 5（b））では、4 個の固有振動数が詳細モデルに比べてそれぞれ約 10%の誤差があったが、最適化後の形状（図 5（c））では 0.1%以内の精度で詳細モデルと一致している。この最適化解析に要した計算時間は 10 回の固有振動解析を含めて約 5 分であった。

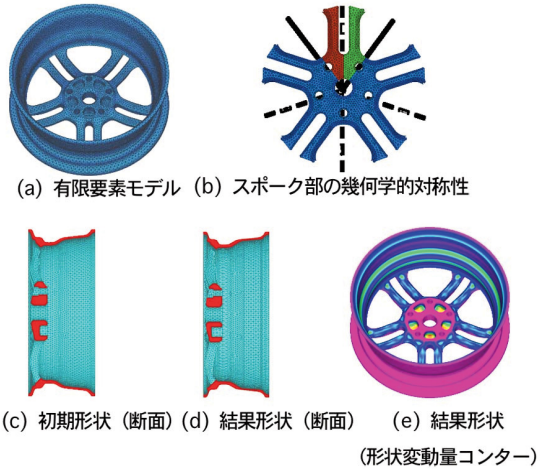


図 4　ロードホイールの形状最適化

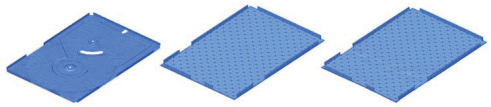


図 5　ハードディスクケースの形状最適化

4、まとめ

本稿では著者らが開発している構造最適設計ソフトウェア OPTISHAPE-TS の適用例と最新動向を紹介した。位相最適化もノンパラメトリック形状最適化も当初は奇抜な手法と考えられがちであったが、現在では実務において一定の評価が定着した。今後も実務に役立つソフトウェアとして開発を進めていきたい。

参考文献

〔1〕野村ほか : 電磁界と構造力学に関する多領域多目的トポロジー最適化, 機論 73-734, A (2007) , pp. 1111-1119.
〔2〕野々川ほか : 連続体の位相最適化問題に関する平滑化解法、第 56 回理論応用力学講演会講演論文集 (2007) , pp.295-296.
〔3〕古屋ほか : H1 勾配法に基づく位相最適化の振動問題への適用, Dynamics & Design Conference 2008 CD-ROM 論文集 No.08-14 (2008) , pp.462-1 - 462-6.
〔4〕畔上秀幸 : 領域最適化問題の一解法, 機論 60-574, A (1994) , pp.1479-1486.
〔5〕長谷高明, 畔上秀幸 : サスペンション部品の疲労強度に関する形状最適化の検討, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.123-08 (2008) , pp.15-18.
〔6〕松岡貴範, 平野芳則, 河上哲也 : マルチパフォーマンス・スーパーカーを支えるパワートレインの音振技術, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.101-08 (2008) , pp.1-4.
〔7〕丸山新一, 吉田宣隆, 畔上秀幸 : 形状最適化技術の自動車部品への応用, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 No.90-04 (2004) , pp.1-4.
〔8〕竹内謙善 : 固有振動数に基づく形状同定解析, 日本応用数理学会 2006 年度年会講演予稿集 (2006) , pp.152-153.

実務指向の最適化ツール：modeFRONTIER の方向性

大谷　朝彦
（株）シーディー・アダプコ・ジャパン

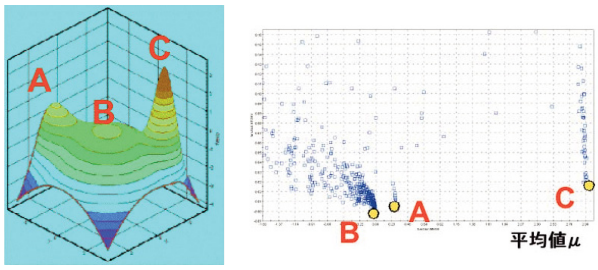
1. はじめに

1999 年に欧州で産声をあげた modeFRONTIER は、商用として世界で初めて多目的最適化用に設計されたツールとして登場した。弊社が日本国内で販売を開始した 2001 年当時、「多目的最適化」をご存知であった方は設計実務レベルではまだ少数であり、それどころか「最適化」を実務に適用すること自体に懐疑的な方も多かったと記憶している。ところが今では「多目的最適化といえば modeFRONTIER」とご指名頂けるまでになり、隔世の感がある。この短期間のうちに modeFRONTIER がかくも市場で高くご評価頂けるようになったのは、開発元の ESTECO 社（本社イタリア トリエステ）が常に実務者の声に鋭敏な感度と高い技術力で応じて来たからに他ならない。本稿ではその modeFRONTIER の多彩な機能と使用法をご紹介する。

2. 多目的ロバスト設計最適化（MORDO）

設計実務においては、原材料や製造過程で生じる各種のばらつきが特性に与える影響を抑えるため、いわゆるロバスト設計最適化が必要とされる。ロバスト性評価法のひとつとして、設計パラメータを確率変数として扱い、特性の平均値（μ）と標準偏差（σ）を評価する手法が用いられるが、それらを線形加重和法によりスカラー量化して単目的関数の問題とする従来のロバスト設計最適化手法は、探索性能上の問題が指摘されている[1]。そこでそれらを別々の多目的関数の問題とすることにより、性能とばらつきのトレードオフ問題として扱うことが推奨される[2]。

modeFRONTIER は MORDO（Multi Objective Robust Design Optimization）と称し、2003 年にリリースした Ver.3.0 より同機能を実装している[3]。それにより図 1（a）のような特性に対して μ: 最大化、σ: 最小化の多目的最適化をおこなうと、図 1（b）のように特性の μ と σ のトレードオフ関係（パレート最適解）を求めることができる。

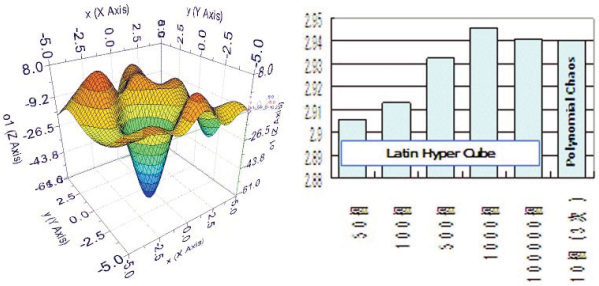


(a) 対象関数　　(b)　最適化結果
図 1　多目的ロバスト設計最適化例題と解探索結果

3. Polynomial Chaos

上記のように確率変数を用いたロバスト設計最適化の難点は計算回数の多さである。比較的少数で済むとされるラテン超方格法を用いても、各探索点ではロバスト性評価のために相当数のサンプリングを要するので、最適解を探索するには総計で数万回もの実計算回数を要することも珍しくない。そこで応答曲面法を適用して実計算回数を抑制し、最適解を近似的に探索する手法が一般に用いられるが、近似精度の問題がつきまとう。

それに対してロバスト性の評価に要するサンプル数を低減するために、modeFRONTIER では特殊な直交多項式: Polynomial Chaos [4]を採用した。図 2（a）に示す対象関数の中央（[X,Y]=[0.17,0.31]）付近の出力の σ 値を、ラテン超方格法と Polynomial Chaos（3 次式）とで比較した結果を図 2（b）に示す。ラテン超方格法では 10 万個のサンプルを要した σ 値が Polynomial Chaos では僅か 10 個で得られている事が解る。実計算によるロバスト設計最適化の適用可能領域は、昨今の計算工学の進歩とあいまって着実に広がりつつあると言えよう。



(a) 対象関数　　(b) σ の算出値の比較
図 2　Polynomial Chaos によるサンプル数低減効果[5]

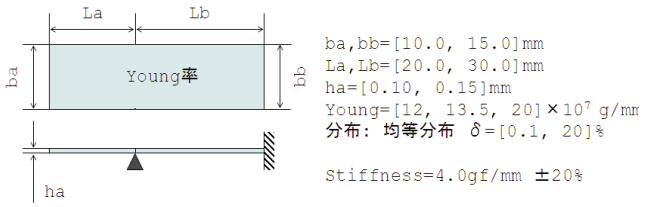
4. 多目的許容差設計　（略称: 逆 MORDO）

ロバスト設計と同様に重要なのは許容公差の決定である。通常、品質とコストとのかね合いにより許容公差は決定される。これまで実験計画法と分散分析にもとづく従来手法や 3D CAD にアドオンされた公差解析ツールなどが用いられてきたが、「特性のロバスト性は確保しつつ、規格内に収まる設計変数の中央値と最大許容公差との組み合わせを探索する」という、いわゆる多目的の許容差設計問題に対応することは困難であった。

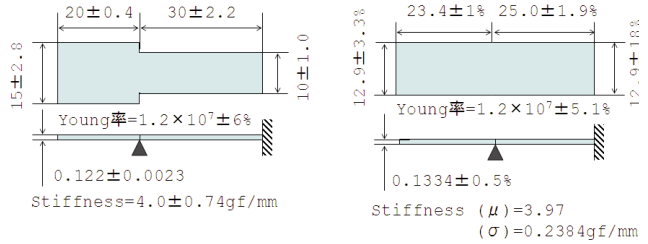
modeFRONTIER では前述の MORDO 機能における確率変数の確率分布尺度（正規分布の σ や均等分布の δ）を変数で指定できるので、それらを目的関数に指定することで上記のような多目的許容差設計問題も扱うことが可能である。

例えば図 3（a）に示す板バネの剛性の最適設計をする場合、従来手法で許容差設計をおこなうと図 3（b）に示すような解がひとつ得られる。これに対し modeFRONTIER では、図 3（d）にパレート最適解を多次元解析チャートで示

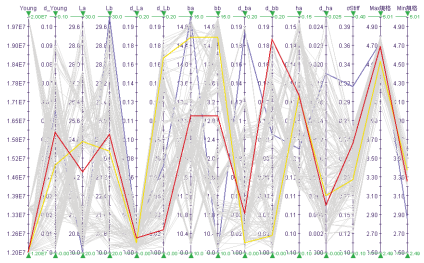
したように多様な解が得られるので、その中から例えば製造のし易さを考えて、図 3（c）のような板幅が均一な仕様を選択する、というように現実問題に即した議論と仕様検討が可能になる。



(a) 例題の定義と解探索範囲



(b) 従来手法の最適解　(c) 逆 MORDO の解の例



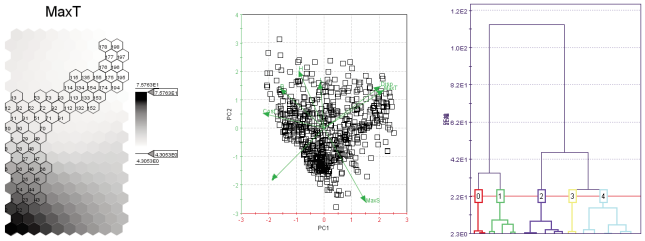
(d) パレート最適解の多次元解析チャートでの表示例

図 3　多目的許容差設計の一例

5. 多変量解析機能

昨今の解析技術の進歩をもってしても、現実的には、複雑な製造・造形要件を全て加味して解析がおこなえる訳ではない。最適化で得られる解は解析モデル上での最適解に過ぎず、実務上の様々な事情や各種要件が障害となって、そのままの仕様で製造できないことも多い。そのような場合に、解の特性をよく把握した上で代案を提示できることが実務では必要になる。

したがって最適化ツールは、単に解を探索するだけではなく、解空間からより多くの良質な情報を設計者に提供できるように、高度で使い易いポスト処理機能を豊富に装備していなければならない。modeFRONTIER はその要請に応えるべく、多くの統計解析機能に加え下記のような多変量解析機能を豊富に搭載している。



(a) SOM　(b) PCA　(c) デンドログラム

図 4　多変量解析結果の表示例

（1）自己組織化マップ （SOM）
（2）階層的クラスタリング
（3）分割最適化クラスタリング: K-means 法
（4）主成分分析 （PCA）
（5）多次元尺度構成法 （MDS）

表示例として図 4（a）に SOM（パレート最適解を表示）、図 4（b）に PCA のスコア、図 4（c）に階層的クラスタリング結果を示す。

6. 進化的デザイン

応答曲面近似を用いて、出力特性に関して何らかの物理式を求めたい場合がある。通常は、予め多項式形状を指定して回帰的に各項の係数を求めるが、式の形状が不明な場合は対応が困難である。modeFRONTIER には、多項式に使用する演算子だけを指定すれば多項式形状が探索される機能が搭載されているので、例えば実測値を取り込んで物理式を予測するという使用法が可能である。図 5 にその設定画面を示す。

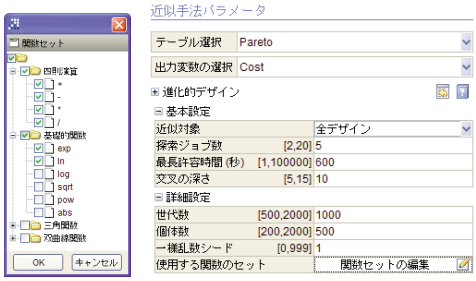


図 5　進化的デザインの設定画面

7. おわりに

modeFRONTIER の使命は、単なる解の探索ツールとしてではなく、何故その解が最適なのか、物理的理由に遡り設計原理抽出のためのヒントを提供するツールとして、真に実務にお役立て頂けるようになることと、考えている。その方向を目指し、今後も使い易く高度な各種機能を充実させていく所存である。紙面の都合上、本稿ではご紹介できなかったが、modeFRONTIER には他にも実務にお役立て頂きたい機能が多種多様に搭載されている。ご興味をお持ち頂ければ幸いである。

弊社ホームページ（http://www.cdaj.co.jp）

参考文献

[1] 下山幸治、大山聖、藤井孝蔵: 高効率かつ利便性に優れたロバスト最適化手法の開発―多目的シックスシグマ手法　日本機械学会　設計工学・システム部門講演会講演論文集 2005（15）pp.237-240（20050802）
[2] Mattia Ciprian, Valentino Pediroda, Carlo Poloni: Multi Criteria Decision Aiding Technologies to Select Designs After Robust Design Optimization, EMO 2007, LNCS 4403, pp.619-632
[3] modeFRONTIER ユーザマニュアル第 18 章
[4] Valentino Pediroda, Lucia Parussini, Carlo Poloni （Univ. Of Trieste）, Sumeet Parashar, Nader Fateh （ESTECO North America）, Mauro Poian （ESTECO）: Efficient Stochastic Optimization using Chaos Collocation method with modeFRONTIER, SAE Paper 2008-01-1429
[5] CDAJ 数値解析アカデミー理論講座 最適化概論 多目的ロバスト設計最適化の基礎コース テキスト

部分最適化とシステム最適化、その運用方法とシステム化の重要性

天野　康弘
エンジニアス・ジャパン株式会社

今日のデジタル・エンジニアリングを利用した製品開発および生産技術環境では、設計者やエンジニアは数種類のCAD、多くのシミュレーションソフト、そして複数のPDMシステムに代表されるデータ管理システムやデータベース、またそれに係わるオフィスツールに代表される多くのアプリケーションがそれぞれ独立に利用されています。しかし、実際の設計現場では、それらアプリケーションをシームレスに統合する事により設計システムの構築が出来ると考えられています。

特に欧米の設計現場では、システム化を行う事で、部分最適化ではなくシステム最適化を行い、設計当初からシステム全体の品質安定を考慮し、効率よく行う設計システム構築をFiper/Isightベースで構築、運用しています。

欧米と日本の設計力

一般的に、欧米は設計システム力、日本は“すり合わせ”や、“匠”に代表されるように、生産技術力と言われています。

その傾向は、国土交通省自動車交通局技術安全部調査課がHPで発表しているリコール届出の不具合発生原因別調査での国産車と輸入車比較からもその傾向が見えます。

この調査では、全体の届け出の約7割が設計要因とされ、残り約3割が製造要因となっており、設計要因のトップが評価基準の甘さとあり、全体の5割を占めています。製造要因では、製造工程不適切が全体の1割強となっています。

この数字を、国産車、輸入車で比較も行っており、その傾向は国産車より輸入車の設計要因が低く、逆に製造要因では国産車の方が低くなっている、このことからも設計システム力の欧米、生産技術の日本と言えると思われます。

システム最適化とシステム化

欧米における設計プロセスでは、最終的な製品全体の性能や特性を目的とした設計プロセスが構築され運用されており、これは量産設計からTailor Made的な一品生産製品まで、そのプロセスは同じプロセスを行っています。

この設計プロセスの大きな特徴としては、設計当初にシステム全体の特性や性能、品質を把握し絞り込みを行う事で、後工程での設計変更や設計バリエーションを最小限にとどめるメリットがあり、その設計プロセス短縮化や設計バリエーションへの対応を可能としています。

特に欧米の航空産業では、このプロセスが採用されており、その効果は計り知れないもとなっています。

下記に示す、ジェットエンジンのタービンブレードでは、最適化前のタービンブレード（図1）は良く一般的に見受けられるタービンブレードですが、最適化後（図2）は通常の設計では信じられない形状となっています、この最適化は、通常設計変数として選ばれない設計値までも最適化の設計変数として取扱い、流体解析での効率と剛性に対して、寄与率の高い設計変数を厳選して行うことにより、形状最適化されたタービンブレードとなっています。

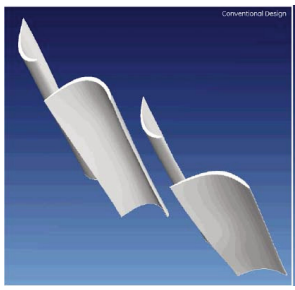


図１　オリジナル

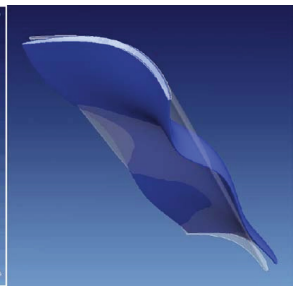


図２　最適化後

しかし、タービンブレードは複数のブレードを組み合わせ使用されます、その場合組み合わされるブレードや、その境界条件を含めた設計空間を考慮してシステム最適化を行わなければ、最終的な製品の特性や性能を向上させることが出来ないのです。

システム最適化後（図3）の結果では、波打ったタービンブレードと通常のタービンブレードが交互に並んでいます、これは単体でのブレードの最適化の際に、境界を含み設計されている事が解ります。

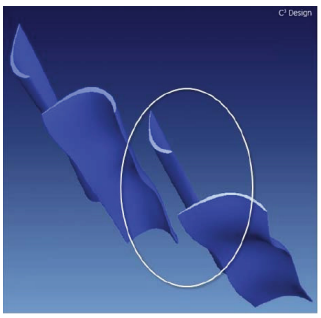


図３　システム最適化

システム最適化は、設計者やエンジニアが考えて設計出来るものではありません、それは単体ブレードだけでも数百の設計パラメータがあり、熱・流体解析、構造解析などを考慮すると、そのパラメータの数は手動で行っていては製品開発サイクルが数十倍になると容易に判断できます。

この設計プロセスは、自動化と最適化を組み合わせたシステム構築を行う事で実現しています、図4にその設計プロセスワークフローを紹介します。

この設計プロセスワークフローは、部品単位や解析の内容によってサブプロセスワークフローを構築し、マスタープロセスワークフローでシステム最適化を行っています、このシステムの構築によりエンジニアリングセンスを超えた設計が実現されるのです。

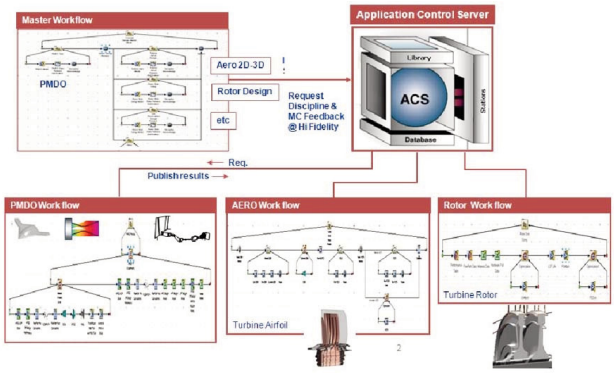


図４　ジェットエンジン設計プロセスワークフロー

設計リードタイムの短縮

このタービンブレードの設計では、設計システム自動化・最適化とともに PDM との連携が大きな役割を行っています。設計プロセスフローベースに管理された設計関連データが、PDM ですべて管理されており、仕様変更や新規設計段階において、過去の設計データと特性や性能を組み合わせることで、設計前にシステム特性の評価を終えている、すなわち目的や機能をキーワードに PDM から検索された機能、特性データを含んだ部品を、組み上げることで実現できるシステムとなっています。

これにより、彼らの顧客から要求仕様が届いた段階で、製品の概要、そしてコストまで判断でき、顧客要求をも満足させる設計システムです。勿論、その仕様に基づいた詳細なシミュレーションと設計は行わなければいけませんが、目的が明確ですのですべての設計パラメータの計算は行う必要がなく、過去の結果から寄与の高い設計パラメータをチューニングするだけとなるのです。

これらのシステムは、すべて Fiper/Isight で構築されており、その特徴を下記に紹介します。

独自の協調設計環境の構築

Fiper は、製品開発に利用される一般的な設計ツールやシミュレーションツール、創出される大量のデータやファイルをサービス指向アーキテクチャ（SOA）の手法に基づき Web アプリケーションサーバーと汎用データベースを持いて統合的に管理、自動実行できる環境を構築する設計システム基盤です（図 5）。

Fiper により、データやシステムが統合化、自動化されるだけでなく、部門間、組織間、企業間でのデータや設計プロセスの共有、標準化をも実現されます。

Fiper は、標準的に用意されたコンポーネント（インターフェース）以外に、標準装備のコンポーネント・ジェネレータや一般的なアプリケーションで公開されている API により、ユーザーやパートナー会社が、各種設計用アプリケーションツール、内製コード、各種 PDM やデータベースなどをコンポーネントとして独自に開発、共有できるとともに設計プロセス内で活用できます。その結果、協調的な統合設計環境を柔軟に構築、修正することができます。

また、Fiper のデスクトップ・システム（クライアント）である、Isight との連携によりデスクトップ環境からエンタープライズ環境にわたりエンジニアリング・プロセスの自動化、統合化、最適化をシームレスかつスケーラブルに可能とします。Isight 上で構築されたプロセスは、単独でデスクトップシステムとして Isight 上で実行することも、上位互換システム Fiper との連携により Fiper サーバー上で実行することも可能です。

ユーザー独自で開発されたコンポーネントも Fiper と Isight の双方で利用することができ、バージョンやフォーマットの違いを意識することなく設計プロセスフロー上で自由に利用することができます。　これにより既存資産、システム、データ、そしてプロセスを活用した協調設計システム環境が構築でき、コストパフォーマンスに優れた製品を迅速に市場に投入することを可能にします。

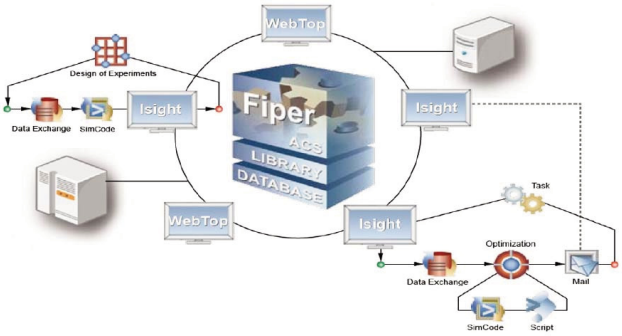


図５　Fiper を基盤とした協調設計環境

エンジニアリング・プロセスの自動化、統合化、最適化

Fiper/Isight は、アプリケーション間の連携を行う“つなぐ”ための機能として、各種コンポーネントを標準もしくはオプションで装備しています。設計プロセスフローは、各種コンポーネントをキャンバスにドラッグ・アンド・ドロップやカット・アンド・ペーストすることにより容易に構築することができます。またこれらのコンポーネントを用いて作成された設計プロセスフロー内で報告書を作成し、メールで報告書を送信といった手順をイメージ通りに構築でき、容易に修正することも可能です。

Fiper/Isight では、設計プロセスフローの構築、構築された複数の設計プロセスフロー間でのパラメトリックデータのマッピングによるプロセスフローの連結、そして連結統合化されたプロセスフローの自動実行化により、製品設計の工数および人的ミスの削減そして、開発のリードタイムの短縮と製品の性能・品質の向上を同時に実現することができます。

構築された設計プロセスフローに品質工学に代表される DFSS（シックスシグマ設計）やタグチメソッド、モンテカルロ法、実験計画法（DOE）、最適化、近似モデルなどの手法を活用し、設計空間の把握、よりよい設計点の探索、さらに高信頼性、高品質な製品の設計を実現します。また VDD（Visual Design Driver）や EDM（Engineering Data Mining）等の対話型ポスト処理ツールにより、複数の観点で設計空間の確認ができ、設計空間上のトレードオフ解析、感度解析、寄与度解析によりパラメータと結果の相関関係を理解し評価できるため、最良な設計値を決定するための指針を与えます。

構造最適設計の技術向上と効率化の両立

高岡　秀年（左）塚本　昌美（右）
株式会社ヴァイナス 技術３部

1. はじめに

自動車、航空宇宙、造船、建設機械、工作機械などの様々な業界において、CAE は製品の開発・設計に必要欠くべからざる技術として普及し、設計上流において、強度・剛性・耐久性・振動特性等の構造性能を評価するために用いられてきた。さらに、環境・エネルギー・資源問題への対応のため、軽量化と構造性能を徹底して追求する動きが顕著になり、設計課題を解決するための CAE の活用がより強く求められるようになった。

しかし、現状では、熟練技術者が既存構造をベースにしたパラメトリック・スタディにより設計案を求め、詳細設計においては FEM 解析の結果を図面にフィードバックする従来の設計の延長線上で CAE を活用するだけでは設計目的をスピーディに達成することが困難になってきた。また、設計手法や CAE 活用方法が標準化され、構想設計段階から詳細設計段階まで慣れ親しんだ開発フローを再構築するのもハードルがかなり高い。

こうした中で注目を集めているのが汎用解析ソルバを利用したノンパラメトリック構造最適設計である。本稿では、ドイツ FE-DESIGN 社による開発以来 10 年以上に渡りドイツ自動車開発の第一線で活躍し、日本においても急速に普及が進んでいるノンパラメトリック構造最適設計システム TOSCA（トスカ）を取り上げ、基本機能と特長を概観し、適用事例を紹介する。

2. TOSCA による最適設計プロセス

TOSCA は汎用解析ソルバと連携して最適化を行う為、計算時間の殆どがソルバによる解析時間であり、最適化が非常にスピーディである。ソルバは、ABAQUS、ANSYS、Marc、MSC Nastran、NX Nastran、NX Nastran Desktop、PERMAS に対応する。そして、設計で使用の FE モデルをそのまま最適化できる為、TOSCA の操作習得のみで設計実務への即応が可能であり、既存の CAE 環境のまま開発フローに組み込むことが出来る。

図１に、TOSCA による最適設計プロセスを示す。はじめに部品が存在しても良い領域を設計領域とした FE モデルを作成し、トポロジ最適化により不要な要素を削り基本特性の優れた設計案を得る。構想設計では、この設計案をベースに図面もしくは CAD モデルを作成する。CAD モデル作成時には、TOSCA のスムース機能により IGES/STL データを出力し利用が可能である。次の詳細設計段階では、形状最適化により高応力や疲労危険部位の表面形状を移動（モーフィング）し、応力や累積損傷度を同時に満足する形状を得ることが出来る。

2009 年秋にリリース予定の TOSCA 7.0 の新 GUI「TOSCA ANSA environment」では、メッシュツール ANSA の機能を利用し、①モデルを見ながらの最適化タスク設定機能、②トポロジ最適化結果のリメッシュ機能、③荷重・境界条件の継承機能が搭載される。これにより、従来は TOSCA の外で行なっていたトポロジ最適化結果の CAD データ出力から確認解析までの作業が、新 GUI の中で 1 プロセスにて可能になる。また、トポロジ最適化から形状最適化へ連続的に最適化が行なえるので、より一層の業務効率向上が可能となる。

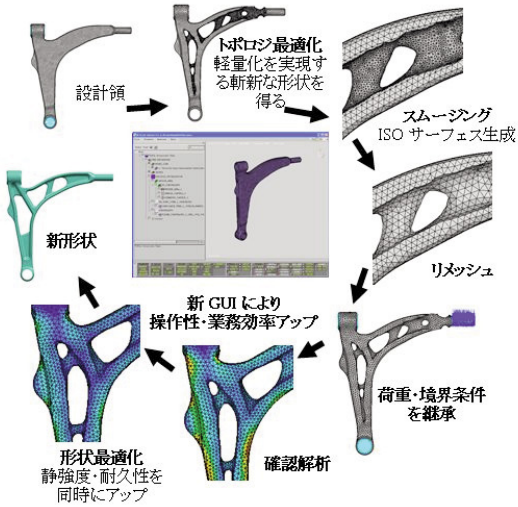


図１　TOSCA7.0 の最適設計プロセス

3. ノンパラメトリック・トポロジ最適化で限界突破

基本特性の優れた設計案を開発の初期に得て、試行錯誤や設計の出戻り作業の削減に効果を発揮するのが、ノンパラメトリック・トポロジ最適化である。図２は、風力タービンのギア支持架台であるが、風車の大型化による設計荷重の増大に、旧形状の構造様式では対応しきれず、開発も困難を極めた。そこで、設計上流において基本特性の優れた構造を得るために、TOSCA のノンパラメトリック・トポロジ最適化が用いられ、新形状は、構造様式が大きく変わり、単位設計荷重当り 40%の軽量化を達成し、材料コスト低減にも貢献している。

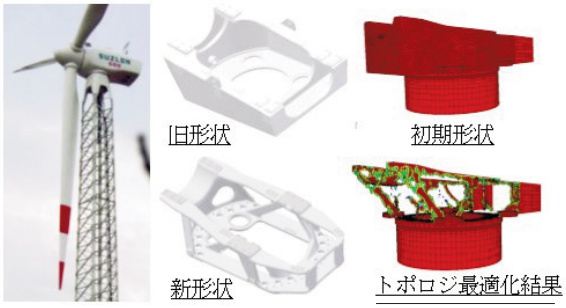


図２　風力タービンのギア支持フレーム（Suzlon Energy 社）

4. 汎用解析ソルバによるスピーディな最適化

図３は、自動車シャシー部品における最適化による板厚変化を示している。他部品の取付部を除いた部品全体の板厚が変化しているが、普段使用しているプリプロセッサで節点グループを作り、TOSCA にてグループを指定するだけで、このような大規模な形状変更が可能である。更に、非線形解析による塑性歪と疲労強度解析による累積損傷度を“同時に”最適化を行なっており、飛躍的な設計業務効率向上を実現した。

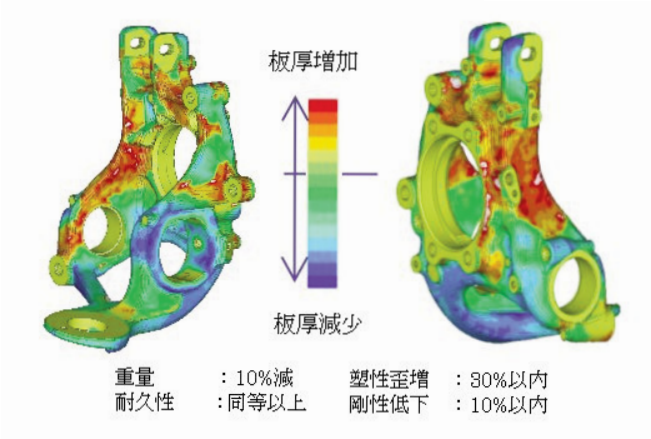


図３　シャシー部品 10%軽量化
最適化による板厚の変化量分布図（AUDI AG 社）

5. 非線形解析と製造条件考慮で更にスピードアップ

TOSCA は汎用解析ソルバにしているので非線形解析結果を考慮した最適化が可能である。図４は２つの材料特性の違うブロックに荷重を負荷した現象で最も剛性と体積の効率が優れた形状を示している。この検討では、下部の鉄板に上部の補強材の入ったゴム・ブロックの端部を下方に荷重負荷した現象を模擬し、ゴム材の非線形特性と鉄板との接触を考慮している。従来は、接触による現象の変化は、実験や解析による結果から、要因を分析し、改善を繰返す方法で進めており、設計期間短縮や性能向上に限界があったが、非線形に対応したノンパラメトリックな検討が出来る TOSCA により大幅な設計業務の効率化が実現できた。

また、図５は TOSCA の製造制約のひとつである型抜き条件を考慮した最適化検証例である。TOSCA はその他に要素固定領域の設定、打抜き条件、部品干渉回避等の製造条件を考慮した最適化が可能であり、設計実務に耐えうる詳細な最適化形状を得ることが出来る。

6. 騒音低減、音響・振動特性の改善がより効率的に

TOSCA は、固有振動数解析・周波数応答解析に対応し、騒音低減、音響・振動特性向上に高い効果を発揮する。モードトラッキング、各モードの周波数域のコントロール、必要な周波数帯の応答和等、便利な機能を備えている。図６は、音響・構造連成解析の最適化の事例である。加振点の上面の鉄板の形状を変更することで、箱内の音圧を約 92%軽減に成功した。

7. おわりに

TOSCA の基本機能と特長を概観し適用事例を紹介したが、最適化ツールを持っているだけでは最適設計はできない。対象となる製品を理解して適切な解析仕様を設定し蓄積されたノウハウを利用して初めて、効率的な構造最適設計が可能である。

弊社の構造最適設計は、自動車メーカー・航空機メーカー出身の設計実務経験を積んだエンジニアを核に、製品のさらされる環境を理解して設計仕様を検討し、ドイツ自動車設計の現場で 10 年以上に渡り蓄積された最適設計ノウハウに照らして、最も適切な最適設計プロセスを設定する為、従来に比べ短期間で軽量化と構造性能アップを達成することが可能である。

尚、TOSCA の機能や適用事例、弊社コンサルティングサービスについて、弊社 Web：http://www.vinas.com にて更に詳しく紹介しているので参照いただければ幸いである。

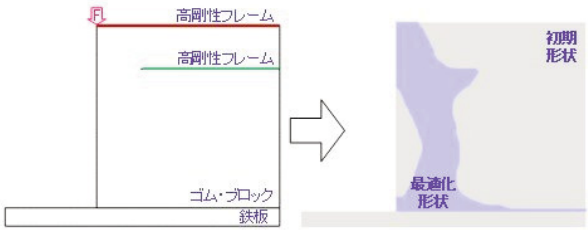


図４　ゴム・ブロックの非線形のトポロジ最適化例

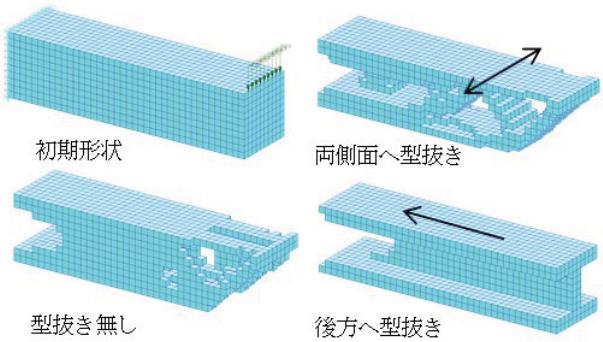


図５　製造条件　型抜きの例

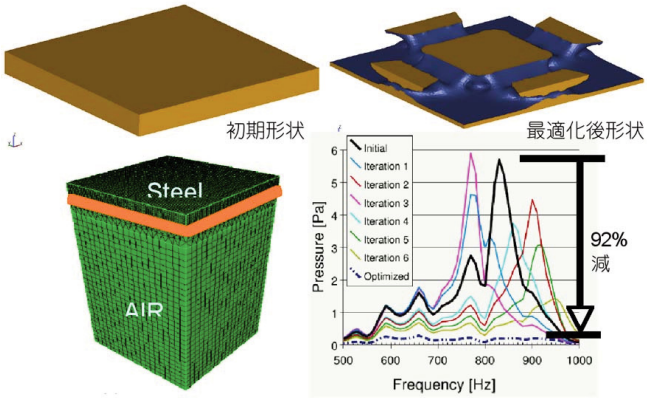


図６　音響・構造連成の最適化例

CAE の自動処理オーサリングシステム

西浦　光一
インテグラル・テクノロジー株式会社

1. 自動化を妨げる背景とそれを解決する特許技術

CAE によるシミュレーション実験は、市販されているソフトウエアを含め多種多様なソフトウエアが、オペレータの操作の下、その機能を最大限に発現しながら、製品の評価を行うべく実働している。ソフトウエアには、文書作成ソフト、表計算ソフト、CAD ソフト、CAD データ修正ソフト、メッシュ作成ソフト、ソルバー、結果処理ソフト、データベース等がある。一般には、これらソフトは使用方法において、独自のメニュー体系での使用となっており、使いこなしのための熟練技能が必要となる。また、それらソフトウエアが稼働するコンピューターはネットワークで結合されているためネットワーク環境下での効率的な運用が必須となる。まとめると、

（1）独自のメニュー体系による操作の煩雑さの回避
（2）熟練技能の伝達
（3）ネットワーク間連動による解析進捗管理

をどのように処理するかが自動化の課題となる。

課題（1）の、独自のメニュー体系であるが故の操作の煩雑さに対しては、複数の固有プログラムに対して、複数の固有プログラム間で共通な同一の操作が使用可能であり、操作が簡単で容易な処理プログラムを提供する特許〔出願中〕で対応している。

課題（2）の熟練技術への対応については、ノウハウを必要な時に必要なタイミングでオペレータに提示することを定義した特許 3382934 号で対応している。本特許では解析手順をメッシュ作成ステップ、材料定義ステップ、境界条件設定ステップ等を有するステップ分けをしてオペレータに解りやすい手順を提供することも含んでいる。またメッシュを、必要な形状に修正する機能については、形状を定義する稜線をパターンマッチング等で特定し、特定された形状に対して、必要なメッシュを自動生成する特許（出願中）で対応している。

解析を運用する過程において、コンピューターをネットワークで結合して、一つの仕事を完結させる仕組みが必要となる（課題 3）。この件に関してはデータを連動させながらワークを完結させるシステムを提供している（出願中）。また、ネットワーク間においては、それぞれのコンピューターがデータをリアルタイムに保有しながら、解析の手順に従った進捗管理を行う必要がある。この件に関しては特許 3762776 号で対応している。

弊社においては、自社特許と積極採用した高学歴技術者（博士）を主体とする技術陣により、いままで存在しなかったシステムを産業界に提供し、CAE 積極採用による製品開発スピードアップ、試作低減による地球環境のクリーン化に貢献するシステムを提供している。

2. 自動化を実現する人材について

弊社では、オペレータ技能をソフトに置き換える技術を開発し、提供している。そのために一番重要なことは、人材採用と人材育成と考えている。この秋には、従業員の半数が博士採用となる。存分に能力を発揮できる環境のもと、顧客に対して満足度を上げた製品の納品を行うべく日々議論し、将来の CAE が向かうべく方向に邁進している。

一方、大学との共同開発も積極的にすすめ、大手企業が取り組めないような課題を深く掘りすすめる環境も提供している。また、従業員の国内外の発表も奨励しており、博士或いは修士、学士が自己の研究意欲も発現できる場も提供している。

3. 「NAVIA」による解析進捗管理システム

弊社のシステムは商品名 NAVIA という名前で市販されている。図 1 に示すように、CAE の仕事を最初から最後まで完結するためには、文書作成ソフトによる解析計画あるいは、解析結果レポート作成、三次元 CAD による図面作成、CAE ソフトウエアによる、有限要素モデル作成、解析処理、必最適化処理トを行うことになる。

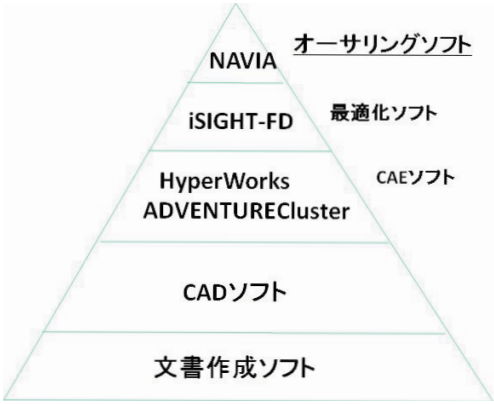


図 1　「NAVIA」オーサリングシステムの概念

NAVIA は、図 1 に示すソフトウエアを、一本のソフトウエアのようにつなぎ合わせ、そのタスクフローをネットワーク経由で行えるようにする一種のオーサリングシステムである。この技術は、特許 3762776 号等を用いて実現している。事例を図 2 に示す。

本事例では、CAD データの読込タスク、CAD データの CAE モデル作成形状への自動修正タスク、メッシュの自動作成を行うタスクからなっている。本例では、メッシュ作成の基準となるソフトウエアに HyperMesh を用いている。階層構造メニューを NAVIA で実現し（図 2）、HyperMesh の画面上に常駐させている。NAVIA メニューから HyperMesh を制御し、HyperMesh の機能を用いて CAD データを読み込ませる。

次に、CAD データを修正する修正プログラムを HyperMesh の画面上に常駐している NAVIA から起動・実行させ、その結果を HyperMesh に読み込ませ、HyperMesh の機能を用いてメッシュを自動生成させている。境界条件も、NAVIA メニューから HyperMesh の境界条件設定機能を制御し行う。解析モデルが作成できると、自動的に解析用のインプットファイルを作成し、サーバーに存

在している RADIOSS にデータを送り、RADIOSS を自動実行する。

本事例では示していないが、HyperView を解析終了後、自動起動させ結果処理を行なわせることも可能である。また、レポート作成も自動化でき、決められたフォーマットでレポートを Microsoft Excel 等で作成することも可能である。

また、HyperMesh で作成されたメッシュをさらに自動修正する機能も開発しており、ユーザニーズに合ったメッシュを提供するタスクを、図 2 のメニュータスクに追加することも可能にしている。この修正ソフトは、HyperMesh の機能で作成されたデータを修正するよう、C++で別途開発したプログラムである。この外部プログラムを、図 3 のように HyperMesh 上に常駐している NAVIA メニューから制御し、HyperMesh 機能を中心に様々な外部プログラムを自動実行して、より高精度な解析モデルを短時間で作成することを可能にしている。

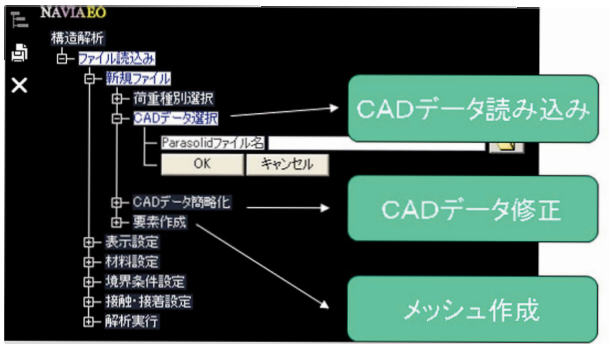


図 2　個別プログラムの階層構造実行

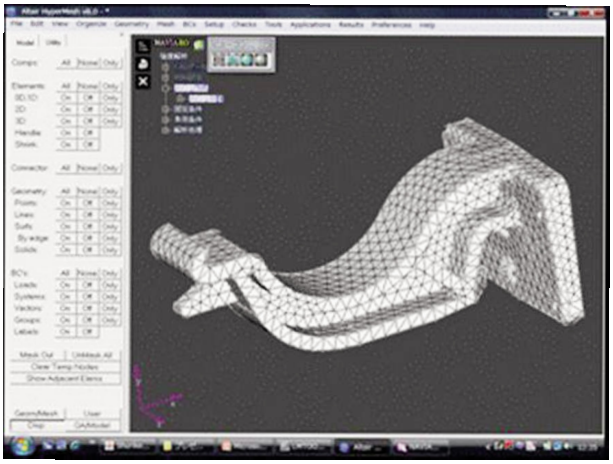


図 3　HyperMesh 上に図 2 のメニューを載せた状態

4. メッシュコントロール

有限要素法の解析結果は、メッシュ形状に左右されると言っても過言では無い。

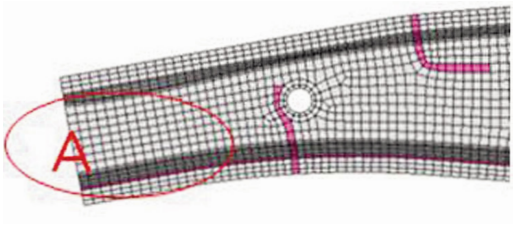


図 4　メッシュ修正の考え方

図 4 のメッシュモデルでは、A 部は綺麗なメッシュパターンとなっているが、部品の真ん中部分、穴部周りではメッシュの向きが大きく乱れている。このような場合、メッシュの向きを稜線にそった方向に修正し、全ての部分のメッシュが、A 部のような流れとなるよう修正するシステムを提供している。この技術の実現のためには、出願中の特許を活用していることは前述したとおりである。

この技術を用いれば、自動車のボデイメッシュ修正を自動で行うことが可能にある。図 3 の事例は、メッシュ形状の修正結果は示していないが、モデル中に存在する三角形をモデル外に追い出すことを行った事例として示している。図中の太線は、三角形要素をモデルの外に追い出す時に用いた軌跡を示すものである。

メッシュ修正技術には、特徴線、特徴形状をパターンマッチングで見つけるという技術（出願中）が使われている。これによれば、メッシュ修正のみならず、特徴部位を自動抽出し、特徴部位に境界条件を自動付与することも可能となる。

5. 個別機能とオーサリング機能の関係

前項 4 で述べた個別機能は、図 1 に示すオーサリング機能で管理されるメッシュ作成ソフトを補佐する機能として、NAVIA で自動制御を行うタスクとして実現することも可能である（出願中）。一方、NAVIA のオーサリング機能とは別に、対象ソフトに常駐してメッシュ修正を行うことも可能にしている。

6. メッシュ数削減システム

コンピューターの能力の飛躍的な増大と、3 次元 CAD の性能向上・有限要素法メッシャの性能の向上により、大抵の CAD 形状に対してメッシュは作成できるようになってきたが、メッシュ数増大のため、計算時間がかかりすぎる弊害もでてきている。この課題に対して、東洋大学矢川研究室と、精度を落とさずに、メッシュ数を削減するシステムの実用化を行っている。

7. まとめ

インテグラル・テクノロジー（株）のオーサリングソフト NAVIA は、自社特許の CAE 進捗管理システム等により、メッシュ生成ソフト、解析ソルバー、結果処理ソフト、文書作成ソフト、表計算ソフト等のソフトを、階層構造メニューでネットワークを介しても自動制御し、解析対象部品の選択、部品のメッシュ生成、部品の自動組立、境界条件付け、特殊メッシュの自動修正までを自動で行えるシステムを提供している。

本システムは、HyperWorks、ADVENTURECluster, iSIGHT-FD 等多数のソフトで稼働可能である。

8. その他

人間の視覚に相当する技術開発を深度化し、ソフトオペレータ無しのメッシュ自動作成システムを構築していきたい。博士課程の方で興味ある人は連絡いただきたい。

弊社ホームページ：http://www.integral-technology.co.jp/

参考論文

1. Hirokazu Nishiura, The automated modeling system for FEA analysis by Navia Integral, WCCM8

多点同時最適化法
―Particle Swarm Optimization 法―

宮下　朋之
早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科（総合機械工学専攻）

最適化手法，Optimization Method，Particle Swarm Optimization

数学的に定式化された設計問題に対して、最適化手法により設計解を得ることができ、多くの最適化手法が考案され、商用・無償のソフトウエアにて利用できる。このような状況においては、設計改善にとどまらず、設計のブレークスルーを指向し、ボトルネックとなっている制約条件や、設計目的の多様化を反映した多目的な設計問題を取り扱うためにも活用されてきている。一方で、多くの手法が利用できる状況においては、それらの手法の選択基準や広い設計空間にわたり大域的に最適性のある設計解を求めることが課題となってきている。

近年、複数の探索を同時に実施することにより、その過程の情報を活用し、大域的な最適解を得ることを目的として、各種の探索法が構築されている。簡素なアルゴリズムではあるが、その性能が高く注目されている手法として、Particle Swarm Optimization 法（PSO）が存在する。本稿では、筆者らが提案する PSO の改善法を説明し、基本的な特性や性能について説明することとする。

n 変数のベクトル $\mathbf{x}=[x_1, \ldots, x_n]^T$ を p 個設け個体と呼ぶ。式(1)の演算により x を更新し探索空間を探索する方法が PSO の基本演算である[1]。

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} + \Delta\mathbf{x}^{(k)} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}\Delta\mathbf{x}^{(k+1)} = & \quad w\Delta\mathbf{x}^{(k)} \\ & + c_1 r_1 \left(\mathbf{x}^{personal-best} - \mathbf{x}^{(k)}\right) \\ & + c_2 r_2 \left(\mathbf{x}^{global-best} - \mathbf{x}^{(k)}\right)\end{aligned} \tag{2}$$

ここにおいて、$\mathbf{x}^{personal\text{-}best}$（以後は $\mathbf{x}^{pb}$）と $\mathbf{x}^{global\text{-}best}$（以後は $\mathbf{x}^{gb}$）は、それぞれ、探索履歴の情報として、個体における最良値を得た際の設計変数ベクトル、全世代における最良値を得た際の設計変数ベクトルであり、PSO を適用した結果として得られる解を示している。また、w および c_1,c_2 は計算を実行するにあたり定めることが必要とされるパラメータであり、r_1,r_2 は[0,1]の一様乱数である。また、計算の終了条件は、式(1)をすべての固体に適用し、設計変数ベクトルを更新することを繰り返し、この繰り返しを世代と称し、ある設定世代に達した場合に終了することとする。

PSO はこのような簡便な計算により良好な探索を実行するものの機械設計ように挙動制約条件の取り扱いが必要とされる問題には工夫を要する。例えば、挙動制約条件を満たさない場合には、Δx を強制的に 0 とする方法が提案されているが、安易に 0 とすることにより探索性能を悪化することが認められた。これは、式(1),(2)を変形することにより、x^{gb} と x^{pb} の内分点を静的安定点として考えた振動子を記述する運動方程式と類似性がみとめられ、すなわち、x^{gb} と x^{pb} の内分点の近傍を世代数の増加とともに振動することにより探索が進められることに起因し、振動状態の振動子の速度 Δx を 0 とすることにより探索そのものを阻害する要因となるものと推測できる。

そこで、本研究では、傾斜投影法の演算過程において使用される探索方向を活性な挙動制約条件を線形化し、その線形化挙動制約条件面に投影することにより一時近似の意味において、探索方向を変えることを提案している。

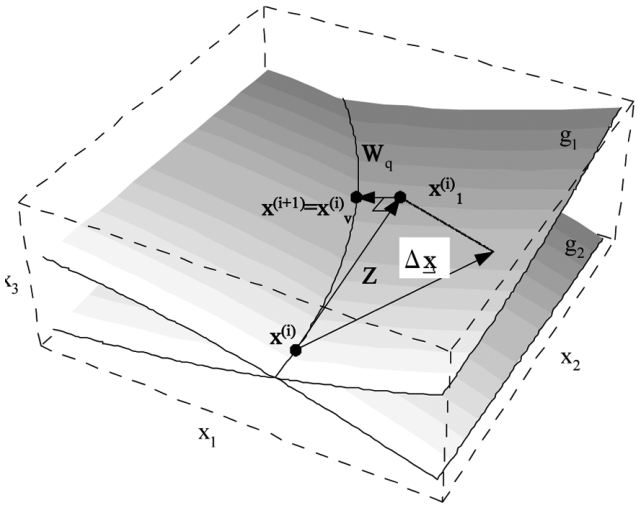


図 1　探索方向の投影

図 1 は、2 つの挙動制約条件により構成される設計空間を概念図として示したものである。探索方向を投影し、新たな探索点を算出した場合には、図 1 中の $\mathbf{x}^{(i)}{}_1$ のように、非線性の影響により、凸な境界面を構成する場合には、実行不可能な設計変数となるため、傾斜投影法においては、許容空間内への引き戻しを実行するが、PSO に活用する場合には、x^{pb} や x^{gb} に記録しないこととしている。これは、それらの周辺に引き戻されることになるためである。射影演算は式(3)-(6)により実施する。

$$\mathbf{Z}(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{P}_q(\mathbf{x})\cdot\nabla\mathbf{x}}{\left|\mathbf{P}_q(\mathbf{x})\cdot\nabla\mathbf{x}\right|} \tag{3}$$

$$\mathbf{P}_q(\mathbf{x}) = \mathbf{I} - \mathbf{U}_q(\mathbf{x})\cdot\left[\mathbf{U}^T{}_q(\mathbf{x})\cdot\mathbf{U}_q(\mathbf{x})\right]^{-1}\cdot\mathbf{U}^T{}_q(\mathbf{x}) \tag{4}$$

$$\mathbf{U}_q(\mathbf{x}) = \left[\mathbf{u}_1, \cdots, \mathbf{u}_q\right]^T \tag{5}$$

$$u_j = \left[\frac{\partial g_j}{\partial x_1}, \cdots, \frac{\partial g_j}{\partial x_n}\right]^T \tag{6}$$

最適化手法を検証するためにいくつかの既知の設計問題において検証をしている。そのうちの一つについて以下に説明する事とする。一般的に設計問題は無限に定式化され、そのすべてに対して検証することは不可能であり、また、設計問題の特性も数学的に明らかにされるにいたってはおらず、限定的な検証であるように思われる。また、多くの最適化手法は設定値を内包する物が多く、本提案手法も例外では無く、３つの設定値を有している。既存の研究例として設定値を計算中に適合的に変化させることより設定を使用者へ要求する負担を軽減する方法がある。提案手法はこれらのパラメータ低減法をいくつか実装しているが、以下に示す結果と同様な傾向を見せている。ここでは、これらの設定値を変動させた結果を示すこととした。

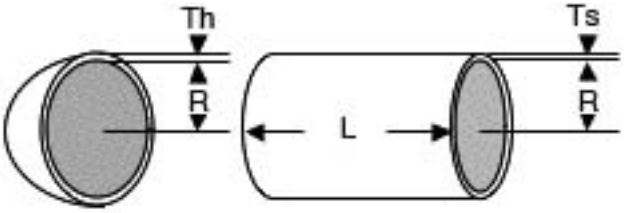


図２　Sandgren の容器の設計問題

$$g_1 = \frac{T_s}{0.0193R} \geq 1 \qquad g_2 = \frac{T_h}{0.00954R} \geq 1$$

$$g_3 = \frac{6.096}{L} \geq 1 \qquad g_4 = \frac{\pi R^2 L}{-\frac{3}{4}\pi R^3 + 21.24} \geq 1$$

$$\min f = 37981.2T_sRL + 108506.3T_hR^2 + 193207.3T_s^2L + 1210711T_s^2R$$

計算例は４変数問題（2 変数は連続変数、2 変数は連続変数を離散化した離散変数である。）の Sandgren(2)の容器の設計問題を例とし、10 回の試行の平均値を示す。また、この問題は、制約条件の関数形を等価に変形することにより取り扱いが容易になる側面があるものの、それぞれは、物理量を表す指標であり、CAE ソフトウエアなどの利用を考慮し、取り扱いが容易になるような変形はしていない。

図３、４は従来の PSO 及び提案手法の結果として、得られた解の目的関数値の平均値とその回りの分散値を示している。両者を比較すると、平均値が全体的に改良 PSO の方が低くなり、良い値が得られていることと、分散値が低い部分が存在し、同じ程度の目的関数値を持つ解が得られていることがわかる。改良を加えた PSO が良好に機能しているものと考えることができる。

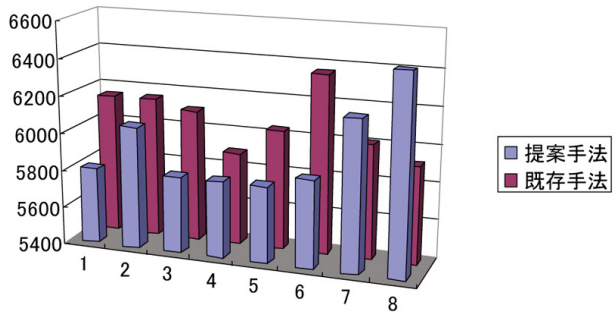


図３　パラメータの相違における最適解の向上

このように非常に簡便な設計変数の更新手順により、多点探索が実施され、その中では、最良値の設計変数値のみが情報交換されている。目的関数の感度は使用されていないにも関わらず、本稿では省略したが、他の多点探索による最適化手法と比較しても性能の良い側面があり、また、多点探索による恩恵としての大域性を考慮した探索も可能である。

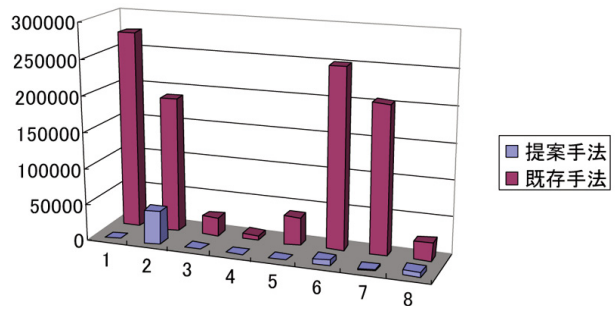


図４　パラメータの相違における最適解の変動

最後になるが、一般的に、多点による同時的な最適化手法では、制約条件及び目的関数の評価回数が多くなる傾向があり、特に CAE ソフトウエアなどによる時間を要する評価が伴う場合には、開発時間などの制約が活性となってくる側面があり課題であることを付しておく。

(1) J.Kennedy, R.Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proc. IEEE on Neural Networks, 1995
(2)Sandgren, E., "Nonlinear Integer and Discrete Programming in Mechanical Design Optimization", Journal of Mechanical Design, 112- 2, (1990), 223-229.
(3) G.Venter, J. Sobieszczanski-Sobieski, Multidisciplinary optimization of a transport aircraft wing using particle swarm optimization, Struct. Opt., 2003
(4) I.C.Trelea, The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection, Information Processing Letters, **85**, 2003, 317-325.

自動車用防振ゴムにおけるノンパラメトリック最適化

岩崎　健一郎
株式会社ブリヂストン 防振ゴム技術開発部 試験・解析ユニット

1. 防振ゴムの概要

自動車用防振ゴムは、エンジンマウントやサスペンションブッシュに代表される構造部材で、一般的な乗用車には 30～40 個程度が装着されている。これ等の多くはインシュレータ部（主にゴム製）とブラケット部（主に金属製で一部樹脂製）から成り、例えばエンジンマウントでは、エンジン重量の支持，振動伝達の低減，エンジン動き量の規制、等の機能を担っている。この為、インシュレータ部にはバネ減衰特性や耐久性が、ブラケット部には固有値や強度が、それぞれ基本性能として求められる。

この防振ゴムの開発において、CAE は開発設計ツールとして広く活用され、必須アイテムとなっているが、加えて近年では CAO (※1) 、特に形状最適化へのニーズが高まっている。

図１　エンジンマウントの代表例

図２　サスペンションブッシュの代表例

2. 防振ゴムへの形状最適化の適用性と「TOSCA」(※2) の導入

形状最適化手法は、大別するとパラメトリックとノンパラメトリック（トポロジー，シェイプ）の 2 種が知られており、一般的に下記プロセスをとる。

◆ パラメトリック最適化

<1>CAD⇒<2>メッシュ⇒<3>計算⇒<4>CAD パラメータ調整⇒<2>

◆ ノンパラメトリック最適化

<1>CAD⇒<2>メッシュ⇒<3>計算⇒<4>メッシュ調整 (※3) ⇒<3>

ここでは、それぞれの特徴から最適化限界とプロセス効率の 2 点を中心に、防振ゴムへの形状最適化の適用性を考えてみる。

先ず最適化限界については、形状表現の自由度が重要である。一考として線形仮定の強度最適化を取り上げると、その本質は歪集中を分散させる方法論に他ならない。ここで、歪は変位勾配であることから、分散させるには変位分布を平滑化する、ひいては剛性の連続性を備えた形状が理想となる。然るに現在、防振ゴム等の工業系機能部品は、パラメータ主体の CAD で設計されることが多く、その利便性の反面、形状は直線と円弧に支配され、剛性の連続性を得にくい傾向がある。ここにパラメトリック最適化を適用しても、その形状表現内の自由度で高い最適化限界を望むことには本質的な困難がある。その点、ノンパラメトリック最適化では、形状表現がメッシュの為、スプライン的自由度による剛性の連続性を得ることが可能で、高い最適化限界を持つこととなる。

次にプロセス効率であるが、防振ゴムの場合、ループの自動化が鍵となる。パラメトリック最適化では、ゴム材料の CAE に必須となる良品質な 6 面体メッシュの自動作成を実現するメッシャーが現存しないこと、及び比較的容易に CAD エラーが起きることにより、ループの自動化が困難な現状がある。一方ノンパラメトリック最適化では、作成済みのメッシュを調整する為、CAD やメッシャーの制限を受けることなくループの自動化が容易で、プロセスを効率良く回すことが可能である。

以上より、防振ゴムの形状最適化にとってはノンパラメトリック最適化の適用性が高く、加えてゴム材料を扱うことから CAE に独自ノウハウがあり、非線形への対応と外部ソルバーとの連携も必須となる。これ等の全てに対応出来るものとして、弊社では「TOSCA」を選定している。

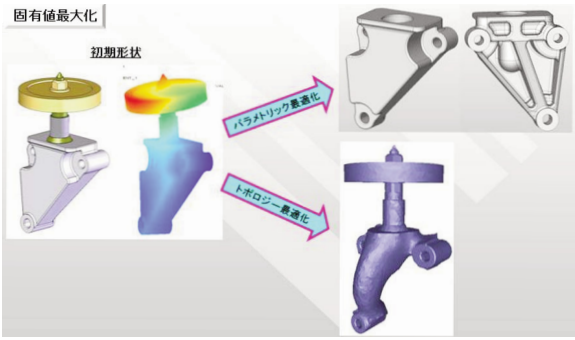


図３　パラメトリック最適化とトポロジー最適化の比較事例

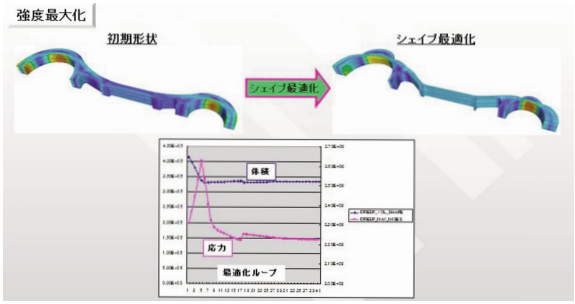


図４　シェイプ最適化の事例

3. 弊社における「TOSCA」の活用事例

1）ブラケット部の強度最適化

一般にトポロジーは応力を扱えない為、強度最適化を目的とする場合は応力最小化目的のシェイプ最適化を適用するのが正道である。しかし本事例では、先ず剛性最大化目的のトポロジー最適化により設計コンセプトを見極めた上で、次に応力最小化目的のシェイプ最適化により形状詳細を絞り込むステップを踏んでいる。この 2 ステップアプローチは、初めからシェイプ最適化のみで応力最小化を図るよりも最適解の妥当性が高いケースが多い。

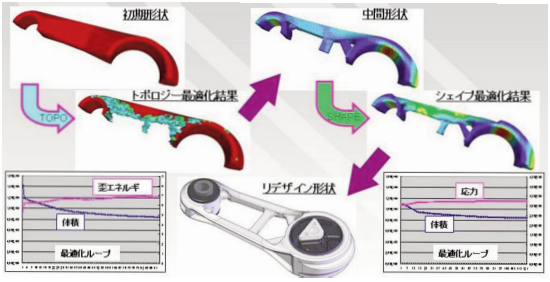


図５　トポロジー ⇒ シェイプの 2 ステップアプローチ

尚、最初のトポロジー最適化で着目すべきは歪エネルギの推

移である。図 6 に示されるグラフには段階的な上昇が顕れており、これを世代（GA の世代とは異なることに注意）と表現すると、それはトポロジー変化と密接にリンクしたものとなり、そこで適切な世代を選択してシェイプ最適化に繋げることが重要である。

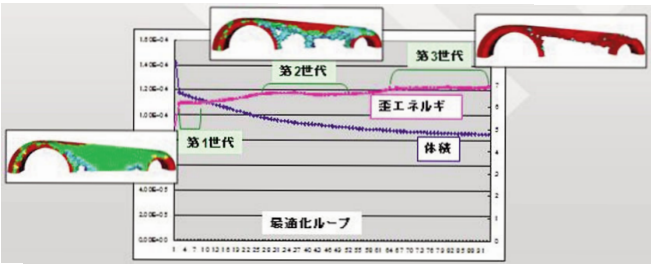


図 6　第 1 ステップにおけるトポロジーと歪エネルギの推移

2）インシュレータ部の耐久性最適化

耐久性最適化では応力最小化目的のシェイプ最適化が主体となる。活用方法は様々だが、何れも非線形や接触，多目的最適等が有用であり、「TOSCA」ならではの活用となっている。

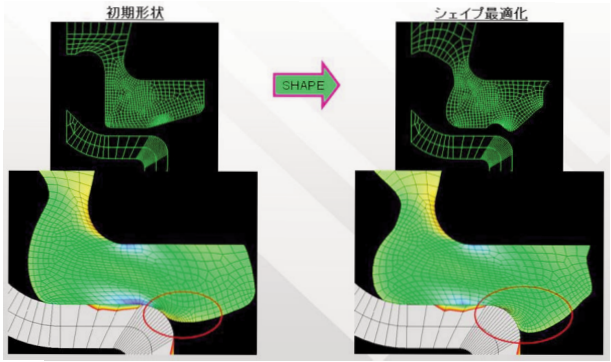


図 7　接触部の応力低減を実現する新形状を創出した事例

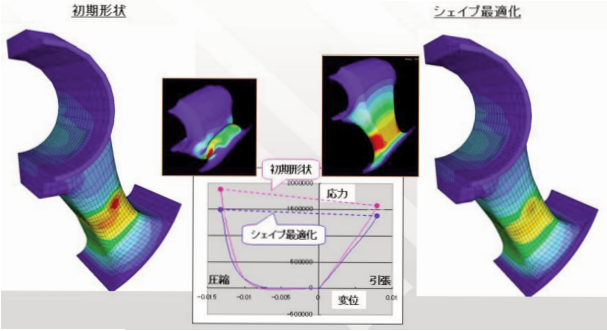


図 8　往復入力における応力をバランス良く低減した事例

4. ノンパラメトリック最適化の課題

上述の様に、多くの場面で防振ゴムに適用出来るノンパラメトリック最適化「TOSCA」だが、以下に示す様な課題もある。また実戦性を意識すれば、ロバスト最適化への対応やリバースエンジニアリングとの融合等も必然的課題になるであろう。これ等はノンパラメトリックであるが故の特徴という面も強く、今後の進化を期待しつつも、課題と上手く付き合うノウハウも必要である。

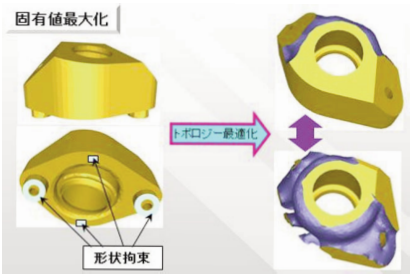


図 9　トポロジー最適化が発散するケース

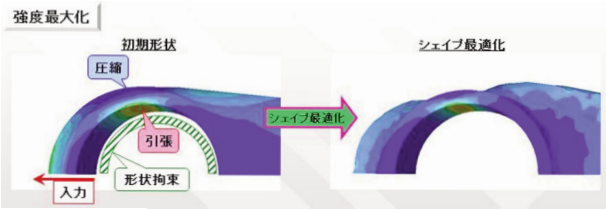


図 10　シェイプ最適化で最適解が得られないケース

5. CAO の効用を引き出すエンジニアの力量

この様な課題を認識した上で効用を最大化するには、目的を明確に意識することが重要である。言うまでもないが、CAO の目的は活用そのものではなく、エンジニアが成し得る以上の効果をあげることであり、設計性能を極限まで引き上げ、設計検討を効率化することが実現してこそ CAO の価値があると言える。この為、一連の設計開発の中で、CAO が優位な場面を選択実施することが望ましい一方で、無用に拘り過ぎると逆効用や浪費を招きかねない点、留意が必要である。（このことは CAE の黎明期と似た面を持つ。CAE を杓子定規に活用すると、望ましくない結果を招き易いことを経験をされた諸氏も多いのではないだろうか。）

例えばインシュレータの設計要件として、耐久性の他に複数のバネ特性や製造制約がある場合、全てを目的関数と制約関数に課すよりも幾つかは設計変数の制約とした方が効果的である。また上述の課題がネックの場合も同様な方法で回避出来ることも多い。そして、これを適正に成し得る為に必要なものは、最適化アルゴリズムの理解と純粋なエンジニリングノウハウである。両者は競合するものではなく協調すべきであり、CAO は CAE と同様あるいはそれ以上に、エンジニアの力量が顕れるツールと言えよう。

6. 結言

現在、地球的規模の環境保護から、自動車を含む多くの業界は本格的な軽量化時代を迎えつつあり、近い将来、CAO が CAE と同様の必須アイテムになっていくことは想像に難くない。その中で、高いパフォーマンスが期待出来るノンパラメトリック最適化は、従来設計の殻を破り、次世代へのナビゲーターに成り得るポテンシャルを秘めていることを実感している。

（参考）

※1：「CAO」は、本稿では狭義に最適化ソフトの活用と定義する。

※2：「TOSCA」は、独 FE-Design 社製の商用最適化ソフトである。

※3：トポロジーは要素密度を、シェイプは節点位置を調整する。

（引用）

本稿は、日刊工業新聞社 機械設計 2008/9 月号における筆者の記事内容から多くを引用している。

プラスチック CAE と最適化技術

東川　芳晃
住友化学株式会社 樹脂開発センター

1．はじめに

プラスチック製品の設計・製造は、従来は、熟練技術者や技能者の経験と勘による試作・修正の繰り返しにより実施されるのが一般的であった。1980 年頃から実用化され始めた CAE（Computer　Aided Engineering、計算機支援工学）技術を用いて、プラスチック成形過程を数値化・可視化し、仮想試作による事前評価、最適化が可能となった。CAE 技術は、プラスチック製品開発の世界に大きな技術革新をもたらしたといえる。熟練技術者がどんどん少なくなっていく中で、CAE は現在多くのプラスチック関連企業において必須のエンジニアリングツールとして利用されている。最近の技術動向については、ＣＭＤニュースレター NO. 41 の特集記事〔1〕を参考にされたい。

プラスチック製品開発のプロセスで使用される、製品設計 CAE（メカニカル CAE 技術を高分子材料に応用）と、成形加工 CAE（高分子材料専用）の技術をあわせてプラスチック CAE と呼び、筆者らは、1981 年から、プラスチック材料メーカーとして必要なプラスチック CAE 技術の開発に取り組んできた。本技術は、顧客の製品開発や成形加工の技術支援および社内の製品・材料開発支援に活用している〔2〕〔3〕〔4〕。2000 年には、汎用の計算機支援最適化（CAO：Computer Aided Optimization）ソフトウエア iSIGHT（エンジニアス・ジャパン㈱）と構造解析、衝撃解析や射出成形解析など CAE ソフトウエアを統合し、製品設計、射出成形金型設計等の自動化、最適化技術の開発に着手し、プラスチック製品最適設計技術の開発・システム構築を行ってきた〔5〕。本稿では、その中から自動車内装部品の最適設計事例と射出成形金型のランナー・ゲートの最適設計に関する事例について紹介する。

2．自動車内装部品の最適設計事例

1）衝撃エネルギー吸収リブ構造最適化

自動車の乗員保護のため、たとえば、米国の自動車の衝突安全に関する法規、FMVSS201（車室内衝撃に対する乗員保護）においては HIC（Head Injury Criterion：頭部損傷臨界値）なる評価指標を用いて、事故時の乗員頭部の二次衝突（車室内衝突）時の、頭部の安全を確保する緩衝性能を規定している（HIC≦1000）〔6〕。

本事例〔7〕の内装部品（ピラーガーニッシュ）についても、この HIC 値をできるだけ小さくなる設計が求められる。ピラーガーニッシュの緩衝性能は、部品裏側に配置された衝突エネルギー吸収リブの構造によって制御される。本事例では、リブ構造体のリブの厚みは変えずに、縦リブと横リブの位置、間隔を調整し、衝撃エネルギー吸収能力ができるだけ高くなるリブ構造を衝撃解析技術と CAO 技術を用いて検討した。材料は、物性値が異なる 3 種類の耐衝撃性ポリプロピレンを用いた。

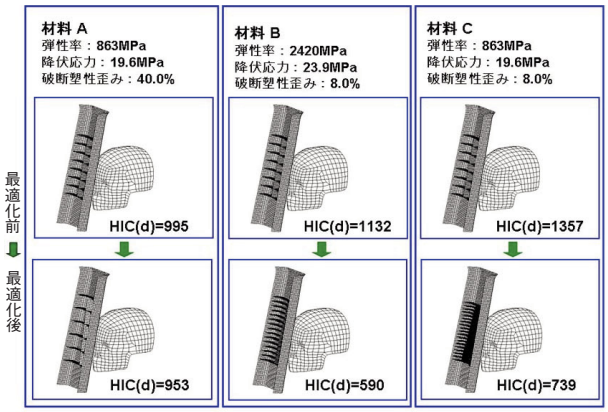


図１．最適化前と最適化後のリブ構造と HIC（ｄ）値の比較

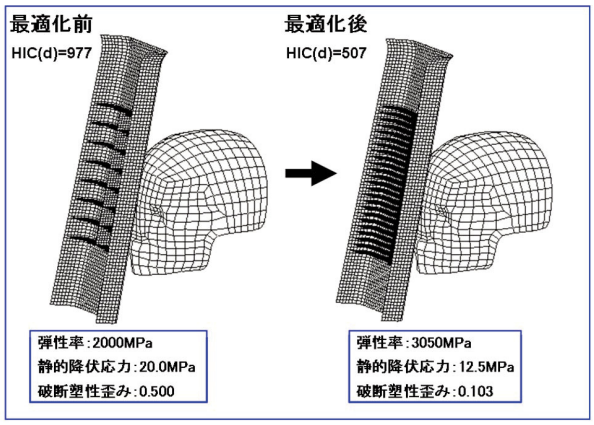


図２．リブ構造と材料物性の同時最適化結果

形状モデルの自動作成・修正については、モデル作成ソフトウエア Hyper Mesh 4.0（アルテアエンジニアリング㈱）のマクロ機能を用いた自作プログラムにより実施した。解析では、内装部品の単体試験を再現すべく、質量 4.54kg の FMH（Free Motion Headform）を 6.7m/sec でピラーガーニッシュに衝突させて、その際に得られる FMH 重心での合成加速度と時間変化の関係から HIC(d)を算出した。衝撃解析ソフトは LS-DYNA version 950（㈱JSOL）を用いた。最適化支援ソフトは iSIGHT version 5.5 を、最適化手法は Response Surface Method と Modified Method of Feasible Directions の組合せを用いた。

同一の初期構造から、HIC（d）を可能な限り小さくなる様に最適化した 3 種類の材料のリブ構造を、図 1 に示す。初期構造の解析結果は、リブ構造が同一であっても、材料物

性の違いにより、衝撃緩衝能力（HIC 値）が異なることを示している。また、最適化後の結果は、材料の物性に応じて最適な衝撃吸収リブ構造が存在することを示している。

2）リブ構造と材料物性の同時最適化

次に、リブ構造と材料物性を設計変数とし、リブ構造と材料物性の同時最適化を行った結果を図２．に示す〔8〕〔9〕。用いたソフトウエアは前の事例と同じである。得られた結果は、ピラーガーニッシュに求められる衝撃エネルギー吸収能力を高めるための、理想的な材料物性およびリブ構造の設計指針を示していると思われる。このように材料物性と製品形状を同時に最適化するには、人力では困難であり、今回紹介したモデル作成・修正まで含めた全自動最適化技術は大変有効である。

３．射出成形金型のランナー・ゲートの最適設計

射出成形金型のキャビティ（製品部）に溶融樹脂を流し込むランナー・ゲートの設計は、金型設計において、最も基本的かつ重要な設計作業のひとつである。特に多点ゲートの場合は、成形品の変形・反りの低減、ウエルド部（溶融樹脂の合流部）の発生位置制御、型締力の低減（成形機のダウンサイジング）等々のため、ゲートの数、位置、サイズを最適化して、金型内への樹脂の流入バランスを調整する必要がある。

以下、ランナー・ゲートの位置・寸法の全自動最適化技術の事例を紹介する〔10〕〔11〕〔12〕。設計対象としては、四角い孔が中央部にある２点ゲートの射出成形品（1000mm×800mm）である。型締力の低減を図りつつ、決められた領域（図３）にウェルドラインが発生するように、ランナー・ゲートの位置・寸法の最適設計を行った。紙面の都合で割愛したが、実際には本ステップで得られた最適化結果をベースに、さらにランナー、ゲート寸法、位置、製品厚みのバラツキを考慮したロバスト設計を実施した。

射出成形解析ソフトウエアは Moldflow Plastics Insight version 5.0（Autodesk Inc.）最適化支援ソフトウエアは iSIGHT version 8.0 を用いた。最適化手法は Adaptive Simulated Annealing を用いた。材料はポリプロピレン（MFR：30）を用いた。モデル作成、ゲート位置修正は、前述の衝撃解析の事例と同様に、自作プログラムにより全自動で行った。

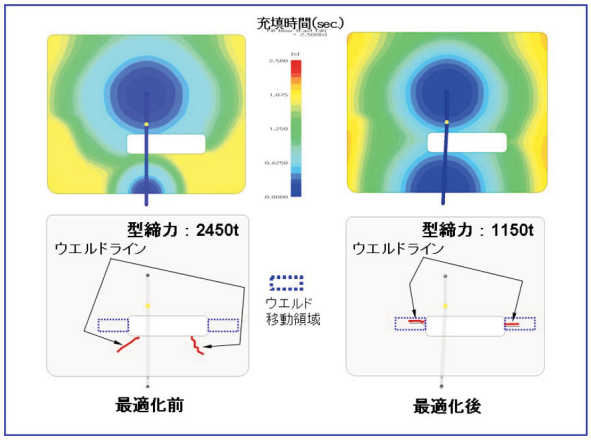
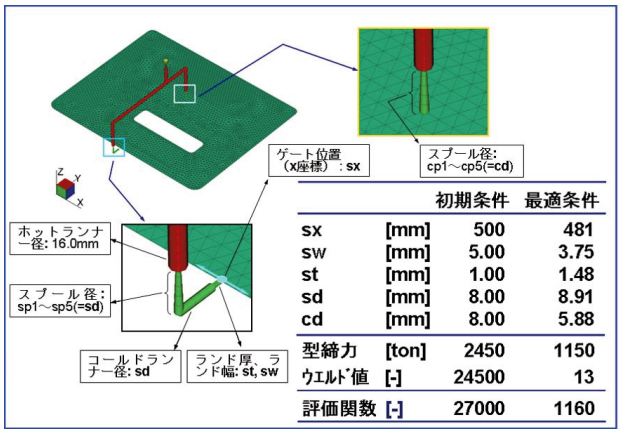


図３．ランナー・ゲートの最適化前と最適化後の流動解析結果の比較（上図はフローパターン、下図はウエルドライン位置、ランナー・ゲート位置を示す）



		初期条件	最適条件
sx	[mm]	500	481
sw	[mm]	5.00	3.75
st	[mm]	1.00	1.48
sd	[mm]	8.00	8.91
cd	[mm]	8.00	5.88
型締力	[ton]	2450	1150
ウエルド値	[-]	24500	13
評価関数	[-]	27000	1160

図４．射出成形品の最適化モデル形状と最適化前（初期条件）と最適化後（最適条件）の設計変数、型締力、ウエルド値の比較

最適化後の結果を図３と図４に示す。ゲート、ランナーの最適化によりウェルドラインは指定領域に発生し、型締力も初期条件の約 1/2 程度まで低減している。

４．終わりに

プラスチックＣＡＥ技術は、1980 年代の第１世代（黎明期～発展期）、1990 年代の第２世代（成熟期）を経て、2000 年代の第３世代（第２発展期／CAE と CAO の統合、自動化、最適化技術）へと進化してきた。本稿で紹介した第３世代の CAE 技術は、プラスチック製品開発を従来以上に効率的に推進するための支援技術としてだけでなく、第２世代の CAE 技術ではあまり実用的でなかった材料開発支援技術として、すなわち製品の仕様を満たす材料物性を最適化する技術としての実用性もでてきた。製品構造と材料物性を同時に最適化する設計が可能となれば、製品の品質、性能のより一層の向上が期待できる。第３世代の技術は、来るべき第４世代の技術（現在開発途上にある高分子材料設計 CAE 技術との統合により、材料物性を介して分子構造から製品物性を予測し、逆に製品物性から最適な分子構造を予測する技術）に不可欠な技術であると考える。今後益々プラスチック CAE 技術は発展していくと思われる。

参考文献

〔1〕日本機械学会 CMD ニュースレター NO.41 p .1～21（2008）
〔2〕桝井, 東川, 左海, 菊地, 臼井：住友化学, 1984-Ⅱ, 70-86 (1984)
〔3〕東川：高分子, Vol.40, No.11, 756（1991）
〔4〕長田, 菊地, 中村, 東川, 原：住友化学, 1992-Ⅱ, 68-86 (1992)
〔5〕東川, 広田, 永岡：住友化学 2004-II 23 (2004) http://www.sumitomo-chem.co.jp/cgi-bin/research/list.cgi
〔6〕近藤, 安木：自動車技術会学術講演会前刷集 No.31-99, 13－16（1999）
〔7〕広田, 東川：成形加工 '02, 151（2002）
〔8〕広田, 東川：成形加工シンポジア '02, 263-264（2002）
〔9〕Yoshiaki Togawa and Tomoo Hirota: SAE Technical Paper No. 2005-01-1682（2005）
〔10〕東川, 広田, 永岡：成形加工 '03, 331（2003）
〔11〕Shinichi Nagaoka, Tomoo Hirota and Yoshiaki Togawa: SPE ANTEC 2004, 3438-3442（2004）
〔12〕広田, 東川：成形加工 '05, 245-246（2005）

会 告

計算力学技術者２級
（固体力学分野の有限要素法解析技術者）
認定試験対策講習会
（計算力学部門企画）

●開催日（いずれも同じ内容で開催）
1（九州地区会場）行事 No. 09-822009 年 11 月 6 日（金）
2（関西地区会場）行事 No. 09-832009 年 11 月 13 日（金）
3（関東地区会場）行事 No. 09-842009 年 11 月 14 日（土）
4（東海地区会場）行事 No. 09-852009 年 11 月 21 日（土）

●会場，講師，定員
1（九州地区会場）行事 No. 09-82：定員 80 名（申込先着順）
九州大学（箱崎キャンパス）創造パビリオンゼミナール室
〔福岡市東区箱崎 6-10-1〕
2（関西地区会場）行事 No. 09-83：定員 45 名（申込先着順）
大阪科学技術センター B101 号室
〔大阪市西区靱本町 1-8-4〕
3（関東地区会場）行事 No. 09-84：定員 150 名（申込先着順）
慶應義塾大学（矢上キャンパス）
14 棟創想館 B2 マルチメディアルーム
〔横浜市港北区日吉 3-14-1〕
4（東海地区会場）行事 No. 09-85：定員 150 名（申込先着順）
名古屋大学工学研究科 IB 電子情報館大講義室
（名古屋大学東山キャンパス西地区）〔名古屋市千種区不老町〕

●聴講料
4 会場にて開催されますが、いずれも同じ内容です。聴講料は一つの行事の金額です。会員 10,000 円会員外 12,000 円学生員 4,000 円一般学生 5,000 円。いずれも教材 1 冊分代金を含みます。開催日の 10 日前までに個人ページでのお申し込み及び入金が完了するようお申し込み下さい。以降は定員に余裕がある場合、当日受付を致します。なお、入金後はキャンセルのお申し出がありましても返金できませんのでご注意下さい。

●申込方法
8 月 17 日（月）より受付を開始致します。講習会の詳細内容、申し込み方法等につきましては、本会 HP をご参照下さい。
本会 HP（http://jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm）

《問い合わせ先》
杜団法人日本機械学会 計算力学部門 担当職員 熊谷理香
電話：03-5360-3505、Fax : 03-5360-3509、
E-mail：kumagai@jsme.or.jp

計算力学技術者２級
（熱流体力学分野の解析技術者）
認定試験対策講習会
（熱工学部門〈幹事部門〉、流体工学部門、計算力学部門合同企画）

●開催日（いずれもほぼ同一の内容で開催）
1. （関東地区会場）行事 No. 09-87
2009 年 10 月 31 日（土）、11 月 1 日（日）
2. （東海地区会場）行事 No. 09-88
2009 年 H 月 14 日（土）、15 日（日）
3. （関西地区会場）行事 No. 09-89
2009 年 11 月 14 日（土）、15 日（日）

●会場、講師、定員
1. （関東地区会場）行事 No. 09-87：定員 100 名（申込み先着順）
東京工業大学大岡山キャンパス百周年記念館〔東京都目黒区大岡山 2-12-1〕
2. （東海地区会場）行事 No. 09-88：定員 50 名（申込み先着順）
名古屋工業大学 3 号館 M3 講義室〔名古屋市昭和区御器所町〕
3. （関西地区会場）行事 No ・09-89：定員 55 名（申込み先着順）
大阪科学技術センター 701 室〔大阪市西区靱本町 1-8-4〕

●聴講料
3 会場にて開催されますが、いずれもほぼ同一の内容です。聴講料は一つの行事の金額です。会員 15,000 円，会員外 18,000 円，学生員 6,000 円，一般学生 7，500 円。
いずれも教材 1 冊分代金を含みます。開催日の 10 日前までに聴講料が着金するようお申し込み下さい。以降は定員に余裕がある場合、当日も受付をいたします。なお、聴講料入金後は取り消しの声申し出がありましても、聴講料はご返金できませんのでご注意下さい。

●申込方法
8 月 17 日（月）より受付を開始いたします。講習会の詳細内容、申し込み方法等につきましては、本会 HP をご参照下さい。
本会 HP（http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm）

《問い合わせ先》
社団法人日本機械学会 熱工学部門 担当職員 村山ゆかり
電話：03-5360-3500，Fax : 03-5360-3508
E-mail：murayama@jsme.or.jp

部門からのお知らせ

第２２回計算力学講演会のご案内

山崎　光悦
金沢大学 理工研究域 機械工学系

開催日：2009 年 10 月 10 日（土）～12 日（月）
会　場：金沢大学角間キャンパス自然科学本館（石川県金沢市角間町）（会場へのアプローチ
http://www.nst.kanazawa-u.ac.jp/approach.html）
講演会ホームページ：
http://www.jsme.or.jp/conference/cmdconf09/

お誘いのご挨拶

第 22 回計算力学講演会を金沢大学角間キャンパスにて、上記日程で開催する運びとなりました。金沢大学は平成 20 年度に従来の学部学科制を廃止し、人間社会学域、理工学域、医薬保健学域の 3 学域 16 学類、新たな組織へと生まれ変わりました。新しい組織の下、新キャンパスにおいて、多くの皆様のご参加を心よりお待ちしております。

本講演会では、2 件のフォーラム、23 件のオーガナイズドセッションと一般セッション合せて、 408 件の講演（基調講演を含む）が予定されております。ソウル国立大学機械・航空工学科の Yoon Young Kim 先生、金沢 21 世紀美術館館長の秋元 雄史氏、Imperial College の Ross Ethier 先生をそれぞれ特別講師として招待し、3 件の特別講演を予定しました。活発な議論や情報交換を期待しております。講演会プログラムは、HP にて公開しております。

特別講演

2009 年 10 月 10 日（土） 13:00～14:00
題目：「Unified Multiphase Modeling and Topology Optimization for Acoustic, Poroelastic and Vibroelastic Systems」
講師：Prof. Yoon Young Kim, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University
2009 年 10 月 11 日（日） 13:00～14:00
題目：「新しい市民社会と現代アート—町、ひと、アート」
講師：金沢 21 世紀美術館館長　秋元雄史氏
2009 年 10 月 12 日（月） 13:00～14:00
題目：「Biomechanics in Glaucoma: Insights from Computational Studies」
講師：Prof. C. Ross Ethier, Head, Department of Bioengineering, Imperial College London

フォーラム

F-1 「構造物の健全性評価と計算力学技術」
企画：矢川元基（東洋大）、塩谷隆二（東洋大）
司会：塩谷隆二（東洋大）
講師：河合浩志（東大）、藤田大輔（テクノスター）、室谷浩平（東洋大）、土居博昭（原子力安全基盤機構）、入部綱清（プロメテック・ソフトウェア）、江澤良孝（東洋大）
F-2 「JCST （Journal of Computational Science and Technology）国際フォーラム」
企画：金山寛（九大）、岡田裕（東理大）
司会：岡田裕（東理大）

チュートリアル

「CAE ソフトウェアによる有限要素解析体験」

オーガナイズドセッション

OS-01. 固体物理／流体物理のマルチフィジックス／マルチスケール解析
OS-02. 流体の数値計算手法と数値シミュレーション
OS-03. CIP 法および関連手法の最新応用
OS-04. GPGPU による計算力学
OS-05. 大規模並列・連成解析と関連話題
OS-06. メッシュフリー／粒子法とその関連技術
OS-07. 境界要素法の高度化と最新応用
OS-08. 逆問題解析手法の開発と最新応用
OS-09. 材料の組織・強度に関するマルチスケールアナリシス
OS-10. 電子・原子・マルチシミュレーションに基づく材料特性評価
OS-11. フェーズフィールド法とその応用
OS-12. 界面と接着・接合の力学
OS-13. 破壊力学とき裂の解析・き裂進展シミュレーション
OS-14. 衝撃・崩壊問題
OS-15. 電子デバイス・電子材料と計算力学
OS-16. シリコン強度とシミュレーション
OS-17. フォトニック・フォノニック構造の設計とシミュレーション
OS-18. 社会・環境・防災シミュレーション
OS-19. 計算ソリッドバイオメカニクス
OS-20. 細胞・生体分子の計算バイオメカニクス
OS-21. 計算力学と最適化
OS-22. 次世代 CAD/CAM/CAE/CG/CSCW/CAT/C-Control
OS-23. 感性領域の計算力学の援用
OS-24. 一般セッション

部門表彰式

日時：10 月 11 日（日） 14:00～14:30

★特別講演に引き続き部門表彰式を行います。

懇親会

日時：10 月 11 日（日） 18:30～20:30

会場：KKR ホテル金沢（金沢市大手町 2-32、http://www.kkrhotelkanazawa.gr.jp/）

★講演会の参加登録者は無料です。講演会場より送迎バスが出ます。

参加登録費

会員（正員・准員）は 10,000 円、会員外は 15,000 円。登録費には講演論文集（CD-ROM）を含みます。学生員は 2,000 円、会員外学生は 3,000 円。学生員・会員外学生の登録費には講演論文集（CD-ROM）は含まれません。

★参加登録費は当日会場にて申し受けます。

講演論文集（CD-ROM）

講演論文集は CD-ROM で発行されます。複数をご入用の方および学生員・会員外学生の登録者で希望される方には受付で販売いたします。会期中参加登録者特価は 5,000 円です。講演会に参加されない方で講演論文集をご希望の方は申込書を http://www.jsme.or.jp/gyosan0.htm からダウンロードし、必要事項を記入して、代金を添えてお申し込みください。講演会終了後に発送いたします。会員特価は 5,000 円、会員外は 8,000 円です。なお、本講演会終了後は講演論文集の販売はいたしません。入手希望の方は講演会にご参加いただくか、 または開催前に予約申込みをしてください。

講演会に関する問合せ先

社団法人　日本機械学会　総合企画グループ
計算力学部門事務担当　熊谷理香
〒160-0016　東京都新宿区信濃町 35 信濃町煉瓦館 5F
電話 （03） 5360-3505／FAX （03） 5360-3509
E-mail: kumagai@jsme.or.jp
実行委員会　委員長　山崎光悦　または　幹事　坂本二郎
金沢大学理工学域機械工学類
〒920-1192　石川県金沢市角間町
Tel　&　Fax: （076）234-4668
E-mail: yamazaki@t.kanazawa-u.ac.jp、または sakamoto@t.kanazawa-u.ac.jp

2010 年度年次大会の部門企画について

渡辺　崇
名古屋大学 大学院 情報科学研究科（複雑系科学専攻）

2010 年 9 月 5 日（日）を市民開放行事にあて、9 月 9 日（木）まで、名古屋工業大学（466-8555 名古屋市昭和区御器所町）において、2010 年度年次大会が開催される予定です。2010 年度は、キャッチフレーズとして、「社会変革を技術で廻す機械工学」をかかげ、それにまつわる主要テーマとして、「マイクロ・ナノ工学」、「安全・安心を支える機械工学」、「エコロジーパラダイムシフト」の 3 つを挙げて，企画を進めています。この原稿の執筆時（2009 年 8 月 5 日）において、計算力学部門では、部門横断型の企画を中心に、以下のオーガナイズドセッションを、実施する予定でおります。

オーガナイズドセッションとオーガナイザ一覧

（○は、筆頭オーガナイザ）

・マイクロ・ナノ材料システムの力学と強度・機能評価
Mechanics and Strength/Functional Evaluation of Micro and Nano Material Systems
○ 成田史生（東北大、 TEL/FAX 022－795-7342, narita@material.tohoku.ac.jp）
荒井政大（信州大）、真田和昭（富山県立大）、倉敷哲夫（大阪大学）（計算力学部門／材料力学部門）

・流体情報学と流体機械
Fluid Informatics and Fluid Machinery
○ 古川裕之（名城大、TEL 052－789-4785，FAX 052－832-1235，furukawa@ccmfs.meijo-u.ac.jp）
白山晋（東京大）、大林茂（東北大）、渡辺崇（名古屋大）（計算力学部門／流体工学部門）

・解析・設計の高度化・最適化
Innovation and Optimization of CAE and Design
○ 山崎光悦（金沢大、 TEL 076-234-4666、 FAX 076-234-4668、 yamazaki@t.kanazawa-u.ac.jp）
西脇 眞二（京都大）、轟 章（東京工業大）、下田昌利（湘南工科大)、片峯英次(岐阜工専）、北山哲士（金沢大）（設計工学・システム部門／計算力学部門）

・マイクロ・ナノスケールの熱流体現象
Micro/Nanoscale Thermal and Fluid Phenomena
○ 新美智秀（名古屋大、TEL 052-789-2791、FAX 052-789-3124、 niimi@mech.nagoya-u.ac.jp）
渡邉崇（名古屋大）、小原拓（東北大）、米村茂（東北大）、山口浩樹（名古屋大）（流体工学部門／熱工学部門／計算力学部門）

・締結・接合部の力学と評価
Mechanics and evaluation methods for joint structures
○ 服部敏雄（岐阜大、TEL / FAX 058－293－2503/058－293－2491 hattori@gifu-u.ac.jp）
泉 聡志（東京大）、佐藤千明（東京工業大）、久保田祐信（九州大）、宮下幸雄（長岡技術科学大）（機械材料／材料加工部門／計算力学部門／材料力学部門）

・安心・安全を支える CFD シミュレーション
CFD Simulation for Safety and Security
○ 山本誠（東京理科大、 TEL 03-5228-8362、 FAX 03-5213-0977）（計算力学部門／（流体工学部門： ジョイント依頼中））

他にも、実験・計算流体力学や，バイオエンジニアリング関連の部門などにおいて，調整中のセッションがあります。今後、適宜、ホームページ等でご確認いただければ幸いです。

また、特別行事として、最先端フォーラム、ワークショップ、新企画行事，部門同好会、その他、部門企画の市民フォーラムや若手向けの行事なども考えております。これらの行事につきまして、皆様のご意見や思い付きなどがございましたら、ぜひともお寄せください。こちらの締め切りは、2009 年 12 月上旬です。よろしくご検討のほどお願いいたします。

名古屋工業大学は、名古屋の中心にあるとともに、歴史的建造物を含む名古屋を代表する美しい公園に隣接しております。この素敵な場で、計算力学部門会員同志、機械学会会員同志で、積極的な情報交換が出来ることを期待しております。

＜申込・問合せ先＞
渡辺崇（名古屋大学大学院情報科学研究科複雑系科学専攻）
TEL/FAX 052－789-4785、
watanabe@media.nagoya-u.ac.jp

2010 年度計算力学部門講演会

大橋　鉄也
北見工業大学 工学部 機械工学科

2010 年度の計算力学部門講演会は 2010 年 9 月 23 日（木）から 25 日（土）までの 3 日間、北海道北見市で開催されます。

本講演会もこれまでと同様、充実した活発なものとなるようオーガナイズドセッション、ワークショップ、一般セッションなどを予定しております。この他に、フォーラム、チュートリアルなども皆様方からのご提案をもとに企画してゆきたく考えておりますのでご協力をよろしくお願い申し上げます。また、開催時期が例年よりも早くなっておりますのでご留意願います。

普通、皆様はあまり訪問する機会のない地域での開催になるので、写真つきで大学や付近の自然の紹介をしては如何かというご提案を広報委員幹事の先生からいただきました。私の理解している範囲で若干のご紹介を致します。

写真 1　講演会場とアトリウム

会場（写真 1）となる北見工業大学は学生数約 2000 名の小規模な単科の国立大学法人で、工科系大学としては日本で最北、最東に位置しており、学生の約半数は北海道出身者で占められております。開催場所となる北見市の周囲には広大な畑地、酪農地が広がり、稲作地帯とはまた異なった景観をなしております。最寄りの女満別（めまんべつ）空港に向かって降下する際には、機上から大小の湖沼と知床・阿寒などの山なみとともに畑地のパッチワーク模様を楽しむことができます。

写真 2　雄阿寒岳中腹からの阿寒湖眺望

写真 3　知床峠のエゾシカ

北見市を含むオホーツク地方、特にオホーツク海沿岸は、かつて北海道の先住民族が豊かな暮らしを営んだ[1]地域の一つでもあります。彼らの文化はほとんど失われてしまいましたが、北海道各地の地名にはまだ多くの「アイヌ語」[2]起源のものが残っています。世界自然遺産に指定された「知床」[3]のほかに、大雪山や阿寒（写真 2）など、北見市から車で 2 時間内外でゆくことが出来る地域では、野生動物の影も濃く（写真 3）、多くの川には鮭の遡上を見ることが出来ます。講演会の開催される 9 月下旬は海産物、農産物の豊富な時期でもあります。知的な楽しみや挑戦、はたまた試練のあとには北海道らしい食事や近場の温泉、奥深い自然の一端などをお楽しみ頂けるものと思います。

[1] 司馬遼太郎，「オホーツク海道－街道を行く 38」，朝日文芸文庫，および，北方民族博物館ウエブサイト，http://hop-pohm.org/

[2] たとえば，知里真志保，「地名アイヌ語小辞典」，北海道出版企画センター刊。

[3] 知床の動植物，地質，考古などについては「しれとこライブラリー」①～⑨，北海道新聞社刊などをご参照下さい。

連絡先：
（委員長）大橋鉄也
北見工業大学工学部
〒090-8507 北見市公園町 165
Tel.: 0157-26-9227，Fax.:0157-26-9227
E-mail: ohashi@newton.mech.kitami-it.ac.jp
（幹事）三戸陽一
北見工業大学工学部
〒090-8507 北見市公園町 165
Tel.: 0157-26-9208，Fax.:0157-23-9375
E-mail: ymito@mail.kitami-it.ac.jp

第 87 期　計算力学部門　委員名簿

部門長	大林　茂	東北大学
副部門長	辰岡正樹	日本アイ・ビー・エム（株）
幹事	梅野宜崇	東京大学
運営委員	寺本　進	東京大学
	東川芳晃	住友化学（株）
	大島伸行	北海道大学
	小原　拓	東北大学
	中村正行	信州大学
	渡辺　崇	名古屋大学
	北　栄輔	名古屋大学
	稲垣昌英	豊田中央研究所
	伊藤泰則	新日本製鐵（株）
	倉前宏行	大阪工業大学
	中谷敬子	大阪府立工業高等専門学校
	山口康隆	大阪大学
	花原和之	神戸大学
	多田直哉	岡山大学
	大石篤哉	徳島大学
	石原大輔	九州工業大学
	牛島邦晴	九州産業大学
	白崎　実	横浜国立大学
	松田昭博	筑波大学
	宮地英生	（株）ケイ・ジー・ティー
	玉山雅人	（独）宇宙航空研究開発機構
	田辺　誠	神奈川工科大学
	高倉大典	（株）ＩＨＩ
	平郡久司	（株）ブリヂストン
	榊原洋子	東京電機大学
	往岸達也	（独）産業技術総合研究所
	廣畑賢治	（株）東芝
	渡辺昌俊	（株）日立製作所
	天谷賢治	東京工業大学
	山本　誠	東京理科大学

総務委員会

委員長	大林　茂	東北大学
幹事	梅野宜崇	東京大学

広報委員会

委員長	大林　茂	東北大学
幹事	白崎　実	横浜国立大
幹事	東川芳晃	住友化学（株）

事業企画委員会

委員長	辰岡正樹	日本アイ・ビー・エム（株）
幹事	寺本　進	東京大学

年次大会担当委員会（2009）

委員長	山本　悟	東北大学
幹事	西村文仁	岩手大学

年次大会担当委員会（2010）

委員長	渡辺　崇	名古屋大学
幹事	北　栄輔	名古屋大学

計算力学講演会担当委員会（2009）

委員長	山崎光悦	金沢大学
幹事	坂本二郎	金沢大学

計算力学講演会担当委員会（2010）

委員長	大橋鉄也	北見工業大学
幹事	三戸陽一	北見工業大学

表彰担当委員会委員会

委員長	大野信忠	名古屋大学
幹事	田村善昭	東洋大学

計算力学技術者認定支援委員会

委員長	大林　茂	東北大学
幹事	高野直樹	慶應義塾大学
幹事	高木　周	東京大学

電子材料、電子・情報機器関連技術委員会

委員長	池田　徹	京都大学
幹事	小金丸正明	福岡県工業技術センター

最適設計技術委員会

委員長	山崎光悦	金沢大学
幹事	多田幸生	神戸大学

計算力学教育技術委員会

委員長	山田貴博	横浜国立大学
幹事	澁谷忠弘	横浜国立大学

設計工学関連技術委員会

委員長	萩原一郎	東京工業大学
幹事	松岡由幸	慶應義塾大学

社会・環境・防災シミュレーション技術委員会

委員長	吉村　忍	東京大学
幹事	北　栄輔	名古屋大学

英文誌編修委員会

委員長	金山　寛	九州大学
副委員長	岡田　裕	東京理科大学

【部門所属研究会】

A-TS 01-09　逆問題解析手法研究会

主査	久保司郎	大阪大学

A-TS 01-13　九州地区計算力学研究会

主査	萩原世也	佐賀大学

A-TS 01-15　マルチスケール計算固体力学研究会

主査	大橋鉄也	北見工業大学

A-TS 01-18　感性領域のデジタル化推進研究会

主査	萩原一郎	東京工業大学

A-TS 01-19　電磁流体解析関連技術研究会

主査	金山　寛	九州大学

A-TS 01-20　複合領域における設計探査研究会

主査	大林　茂	東北大学

A-TS 01-21　癒し工学研究会

主査	北岡哲子	東京工業大

《各行事の問い合わせ、申込先》

日本機械学会計算力学部門担当　熊谷理香　E-mail: kumagai@jsme.or.jp
〒160-0016　東京都新宿区信濃町 35 番地　信濃町煉瓦館 5F　TEL 03-5360-3505　FAX 03-5360-3509

計算力学部門ニュースレター　No. 43 : 2009 年 10 月 1 日発行
編集責任者：広報委員会委員長　大林　茂
ニュースレターへのご投稿やお問い合わせは下記の広報委員会幹事までご連絡ください。
広報委員会 幹事　東川芳晃
住友化学株式会社 樹脂開発センター
〒299-0295　千葉県袖ヶ浦市北袖 2 番地 1
TEL：0436-61-5138　FAX：0436-61-5127　E-Mail：togawa@sc.sumitomo-chem.co.jp

印刷：生々文献サービス／〒151-0053 東京都渋谷区代々木 2-36-6／TEL.03-3375-8446／FAX 03-3375-8447／E-mail: seiseibunken@nifty.com