



COMPUTATIONAL MECHANICS

計算力学部門ニュースレター No.29

October, 2002



CIP法とレーザー飛行機

矢部孝

東京工業大学 大学院理工学研究科 機械物理学専攻

我々が、シミュレーションしかやっていないと思われている方が多いので、実験もやっているということも含めて、最近の研究を紹介したい。燃料を燃やす代わりにレーザーでロケットを推進するアイデアは、1972年にKantrowitzが提案したとされている。現在も米国を中心として盛んに行われている。レーザー推進にも色々あるが、最もオーソドックスなものは、金属を照射してこれからの蒸発の反作用を用いるものである。MyraboとNASAのグループは、お碗に枝のついた（金管楽器の弱音器のイメージ）ノズル内の空気を加熱して噴出させるもので、最も安定して飛翔でき、世界最高高度到達記録を持つ方法である。このときに用いたレーザーは炭酸ガスレーザーで、出力100ジュール、繰り返しは毎秒100程度である。

我々の研究室は、CIP法を17年前に開発して以来、常に、世の中のアウトサイダー的な道を歩んで成功してきた。レーザー推進もこれと同じアプローチを取ることにした。このアイデアは、1976年という昔にさかのぼる。筆者がまだ、若かった頃である。このときに、レーザー核融合で物体を有効に加速する方法を思いつき論文を書いた。残念ながら、このアイデアはレーザー核融合では開花しなかったが、20数年の時を超えて今蘇った。このアイデアの検証には、CIP法による計算が大きな威力を発揮し、素人実験屋である筆者に力を与えてくれた。

この実験結果は、日経新聞、テレビ東京、Nature Science Update, New York Timesをはじめとする世界7カ国の40を超えるメディアで取り上げられた。その理由は、今までのアメリカの研究と全く異なった方向に皆の目を向けたからであ

る。面白いことに、これだけ話題に上った研究であるが、科学研究費を初めとする色々な研究費申請に全滅した。ある研究費の審査では、「実用化が疑わしい」とのコメントがあった。我々はCIP法を提案したときに同じ反応を受けたので、懐かしい感慨にふけているところである。この「実用化が疑わしい」研究の一端を皆様にご紹介させていただけるのは光栄です。

何が面白いのか？

我々の研究がなぜ面白いのかというと、水を燃料としたところにある。水は、豊富に存在し、環境にもやさしい。まずは、その加速の原理から紹介しよう。通常、金属を蒸発させると、この反作用で金属が加速される（図1上）。この効率は、かなり悪い。金属の質量をM、速度をVとし、蒸発した金属の方をm、vとすると、運動量保存 $MV=mv$ が成り立つ。すると、両者の運動エネルギーの比は $MV^2/mv^2=m/M$ となる。

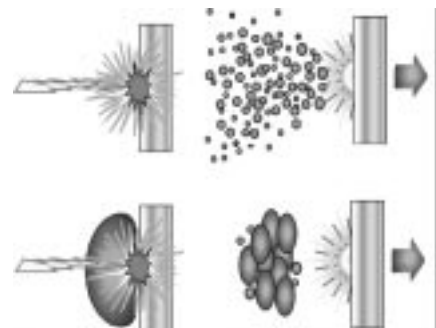


図1 (上) 通常の蒸発の反作用による加速、(下) 透明体を通じたレーザーは、透明体を吹き飛ばす。

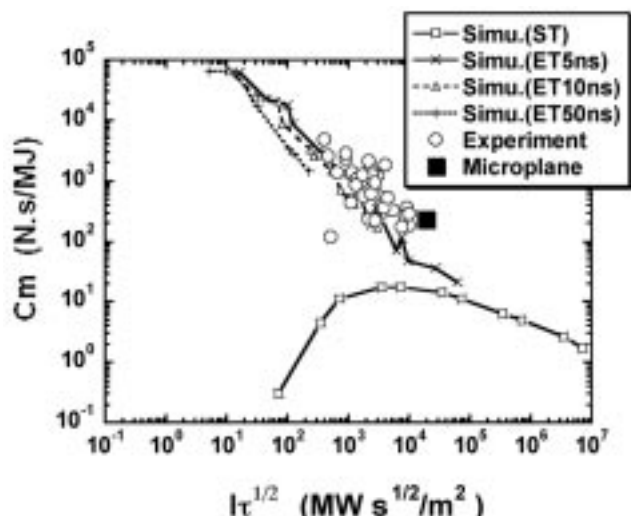


図2 STは単に蒸発の反作用のみ。ETは透明体を付加した場合。縦軸は反応係数で、金属の得た運動量(N.s)をレーザーエネルギーで割ったもの。

$M \gg m$ だと、ほとんどのエネルギーは蒸気が持って行く。

これが分かれば効率を上げるにはどうしたら良いかは自明である。そう、噴出する物質を重くすれば良い。それは難しいから、透明な固体を用いるというのが、筆者の1976年の論文である。レーザーは透明体を通過し、金属のみを蒸発させる(図1下)。金属は透明体で蓋をされ噴出しようがないので、透明体を押しつけねばならない。これは、蒸気の場合よりも質量が重いので効率が格段に上昇するのである。どのくらい上昇するかは、図2を見れば明らかである。透明体をつけた方が、数桁も加速が上昇している。

しかし、透明体が固体(図2の場合はガラスやアクリル)だと、一度レーザーを照射すると、はがれて飛んでゆくの、もう二度と使えない。1回しか使えないのでは、加速機構としてあまり関心が向かないのは当然である。そこで、固体の代わりに水を使った。詳細はAppl.Phys.Lett. 80, (2002) 4312を見ていただくこととし、水はアクリルやガラスのもう一桁弱効率が良く、また液体なので連続的に供給可能である。また、空中には相当な量の水が存在するので、途中で補充ができる。この方法により、アメリカのわずか200分の1のレーザーしかない貧乏研究室が、世界を一歩リードする結果を出すことができた。図3は、4センチの紙飛行機をレーザーで照射して、飛ばした時のストロボ写真である。この紙飛行機の後端には、3ミリ角のアルミが貼ってあり、この上に水滴をつけた。当然、水滴がないとびくともしなかったのは言うまでもない。Natureのホームページで"it's the ultimate in classroom one-upmanship"と誉められた(?) 所以である。

何に使えるのか?

地球温暖化へ

たかが、紙飛行機と言わないで欲しい。我々の紙飛行機はすぐに実用に供することができる。それは、大気中の炭酸ガスの三次元時間分解計測である。紙飛行機にプリズムのような反射板さえ積めば、これにレーザーを反射させ、反射波の時間遅れから距離が分かり、吸収率から炭酸ガス濃度が分か

る。多数の紙飛行機が乱舞すれば、一瞬のうちに、炭酸ガスの三次元構造が分かる。まさにNature曰く "Fleets of them one day buzz around atmosphere..."である。もちろん、この飛行機は、別の波長のレーザーで推進力を与えられる。ラジコンの小型飛行機でも可能であるが、ラジコンを多数飛ばせることはまず危険である。墜落すると、人命にもかかわる。紙飛行機が、ぶつかって問題になるようなことはありえないし、無くなっても問題ない。

水を駆動するレーザーをどう集光するか。フレネルレンズをご存知だろうか? 読書用拡大鏡(薄っぺらいもの)やOHPの拡大に用いられている"アレ"である。これは、ガラスのレンズと違い、紙のように薄くて小さくできる。これを紙飛行機自身に取り付けておけば、こちらから集光しなくても自動的に集光してくれる。

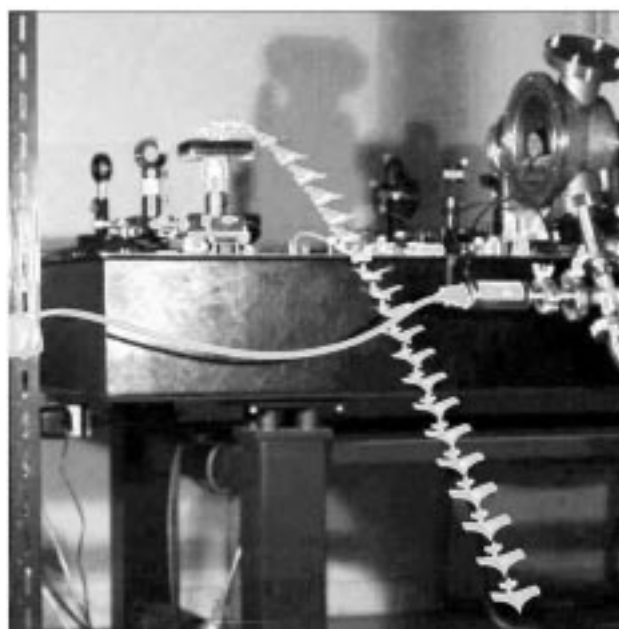


図3 一発のレーザー照射で飛ぶ4センチの紙飛行機。

成層圏旅客機

飛行機とロケットの違いは皆さんご存知ですね。ここで、一例を挙げよう。B777の重量は260トン、燃料は8トン。巡航速度は0.93C、燃焼ガスの速度は1.44Cである。ここで、Cは音速。これは運動量保存則を満たしていないように見える。これは間違いで、飛行機は空気を取り込んでいる。例えば、1000kmの距離を、1m²の吸い込み口から空気を吸い込んだとして、10分の1の大気でも、100トンの空気を吸い込むことになる。これも一緒に燃焼させて噴出させているので、ちゃんと運動量は保存している。飛行機は、燃料を調達しながら飛ぶことが利点である。

一方、ロケットは最初から全部持って行かねばならないので、燃料だけが馬鹿でかい飛行物体になる。だが、飛行機では速度を上げようとする、抵抗は速度の二乗で増えるので、空気の薄い上空で飛ばす必要がある。しかし、空気が薄いと今度はジェットエンジンが燃焼しなくなる。

これを解決するのがレーザー駆動水エンジンである。大気

中には十分な水がある。たとえ、百分の1の大気（高度30kmくらい）でも、十分に調達できる。また、燃やす必要がないので、余分な燃料はいらない。また、エネルギーが外から与えられることを考えると多少は効率を犠牲にして噴出速度を上げれば水も少なくて済む。エネルギーは衛星からのレーザーで供給できる。

これに必要なレーザーは、計算によると、1から10MJであり、1MJの核融合用レーザーをアメリカで建設中であることを思えば、「実用化が疑わしい」とは思えない。このエネルギーを賄う太陽電池パネルも、現在の技術でも数十メートル四方で十分である。

人体内極微航行体

レーザーの応用はこれだけではない。図4のような応用も考えられる。X線を体外から照射し、血管内を移動する船に当たる。船には、X線を集光するフレネルレンズが備わっている。数年前にすでに、1AのX線を100分の1に集光することに成功している（強度は1万倍になっている）。このX線は、人体に対して10センチ程度の透過率があるのでスカスカであり、ほとんど吸収されず安全である。これに必要なX線をシミュレーションから見積もると、1ナノジュール（1億分の1ジュール）となり、人体への安全基準をクリアする上に、現在でも調達可能なX線源である。我々に残されたの

は、実際にこれを実証するだけなのに、どこからもお金を出してもらえないし、会社も興味を示さない。困ったものだ。今は、CIP法で稼いだ資金を流用して、アイデアだけの貧乏実験で勝負をするしかないと思っている。

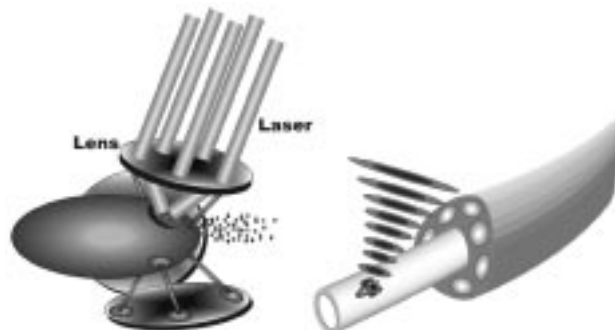


図4 (左)血管内を航行する船。フレネルレンズが周囲について、X線を集光する。(右)体外からのX線が血管内の船に集光される。

上で述べた以外にも、通信用飛行船のレーザー駆動やマイクロロボットの駆動、マイクロタービンなどもやっています。研究室のホームページにどんどん情報が出ておりますので、いつもご覧いただければ幸いです。10年後にこの記事が、懐かしく思い出されるよう、今、この時期に書かせていただきました。最後まで、読んでくださった方に感謝します。

特集 マクロ・モデリング

特集の企画にあたって

工藤啓治

エンジニアス・ジャパン株式会社

構造解析やCFDなどを日々設計業務で利用している解析担当者や設計者によっては、そのモデル作成の工数が業務工程の多くの割合を占めるだけでなく、ボトルネックとさえなっている場合が少なくない。自動メッシュ機能が発達している現在においても、本質的な状況が変わっていないことは、ボクセル法やメッシュレス技術といった、メッシュ作成に煩わされる必要のない技術への関心や需要がたいへん大きいことからもうかがえるのではなからうか。メッシュ生成に関して克服すべき課題はいろいろあると考えられるが、その中でも「パラメトリックなFEMモデル構築」は、設計プロセスを大幅に改善するための技術課題の一つとしてたいへん重要である。なぜならば、“パラメトリックではないモデル”で作業を行っている場合の問題点を列記してみるとよい。

- 1) 常に対話型でのモデル作成操作を強いられ、形状変更にたいへん手間がかかる。
- 2) 寸法や座標を変えた場合の他の部分への影響が把握しにくいいため、設計変更の際にはたいへん注意深い操作が要求される。

- 3) 構築手順が、作成者のノウハウやスキルに依存し、他の技術者への移管や他のモデルへの適用が容易ではない。

この数年、3次元CADが広く導入されてはいるものの意外とまだパラメトリック設計は実現されておらず、上記の状況が現実という企業も多いと聞く。

一方、“パラメトリックなモデル”を構築できた場合のメリットは、下記のようにたいへんに大きい。

- 1) パラメータをファイルに記述することにより、形状変更が容易になり、自動変更が可能となる。
- 2) 寸法や座標を変えた場合の他の部分への影響を明確に把握でき、設計変更が容易である。
- 3) 設計変更構築手順が、合理的になるため、他の技術者への移管や他のモデルへの適用が容易になる。

特に、上記1)で述べた、パラメータによる自動変更が可能になる場合には、従来の対話型での操作による変更だけではなく、マクロファイルを利用した変更が可能になるため、外部からバッチ処理的に自動変更できることになる。これに

より、設計プロセスの自動化が可能になるため、対話型での繰り返し作業が一切不要になり、作業工数が劇的に削減される。さらには形状最適設計や寸法交差を考慮したロバスト設計など、あるいは究極的には自動設計へのアプローチが一気に開けることになる。

本特集では、このパラメトリック設計を可能にする技術として、マクロ機能やモーフィングに焦点を当て、それら技術やノウハウを有するCADやメッシュジェネレータのソフ

トウェアベンダー様各社に執筆いただきました。各記事内容は、メッシュ作成一般に関する多様な技法やノウハウも含んでおり、興味のある方にはたいへん参考になる内容となっています

最後に、お知らせとして、2003年度年次大会計算力学部門のオーガナイズド・セッションの一つとしても本テーマを取り上げる予定ですので、本特集をきっかけにしてたくさんご応募いただくことを期待します。



CAE プリポストプロセッサ「SOFY」のモーフィング機能活用による開発プロセスの効率化

中川 謙
アイジェニー インターナショナル(株)

1. はじめに

最近の自動車開発におけるCAEは、開発の支援ツールといった役割から、更なる期間短縮達成の手段として、開発初期で性能を保证するための実験ツールといった役割を期待されている。ここ数年以内に開発期間が現在の2/3に短縮され、CAEのみで実質的に開発が進行し、実験は開発終了時の確認ツールになると予測される。

しかし、開発初期では部品の3次元CADデータが無いので、これまでのようにCADデータからのメッシュ切りで、モデルを作成することはできない。従って、開発初期でCAEを適用するための課題は、どのようなモデルを、いかに作成するかである。本稿では自動車業界を例に、開発初期のモデル作成技術として注目されているモーフィング（形状徐変）を紹介する。

2. 開発初期での性能検討とモデル作成

図1に開発プロセスとCAE適用時期を示す。現状では構造や部品の3次元CADデータを取り込んでモデルを作成しているため、実験と同等な性能検討ができる詳細モデルを用いたCAEの適用は、ある程度構造設計が進んだ時点からであった。

開発初期でCAEを適用するには、大きく分けて2つのアプローチが考えられている、一つはFOA(First Order Analysis)¹⁾で代表されるアプローチで、これは簡単な梁モデルを作り、構造の特性だけをパラメータスタディにより把握し、骨格構造の性能保証を目的としている。しかし、この方法の活用には性能の力学的なメカニズムに関する知識や経験と、梁要素に関する特性の理解が必要であること、また、衝突初期のメンバ折れモードは把握できても、実験の代替となるような結果は得られないといった課題もある。もう一方は従来解析の前倒しであり、これに必要な詳細モデルはレガシー（旧型車）モデルを活用する方法であり、モーフィングで代表されるアプローチである。

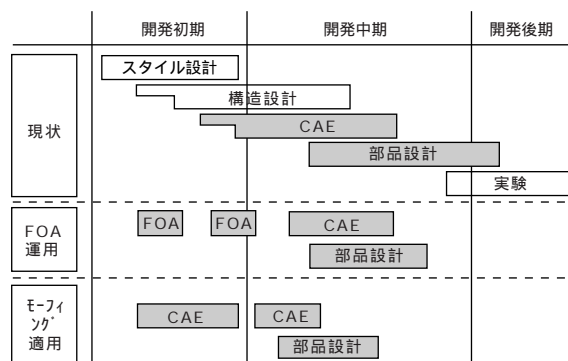


図1 開発プロセスとCAE適用時期

図2に開発初期におけるモデル作成プロセスに関して、従来とモーフィングを用いた場合について示す。従来は3次元CADデータを元に面データでメッシュを切り詳細モデルを作成していたので、構造のCADデータがある程度完成した時点でないと詳細モデルが作成できなかった。開発初期で入手できるデジタルデータはスタイルの外形データのみであり、他にはパッケージング情報や車体各部の構造に関する構想情報である。構造がトポロジー的に同等であるなら元の形状を伸縮や回転、形状フィッティングより新たな形状に作り替えてしまうモーフィング技術と要素メッシュをベースとしたモデル作成機能を用いて、詳細モデルを作るプロセスが実現できる。

モーフィングはモデル作成技術における最近の注目技術であり、主なプリシステム開発会社も機能の追加を発表している²⁾。また、モーフィング機能の活用事例もいくつか報告されている³⁾。以下にモーフィング機能では、現在最も能力が高いと称されるSOFY⁴⁾のモーフィング機能を紹介する。

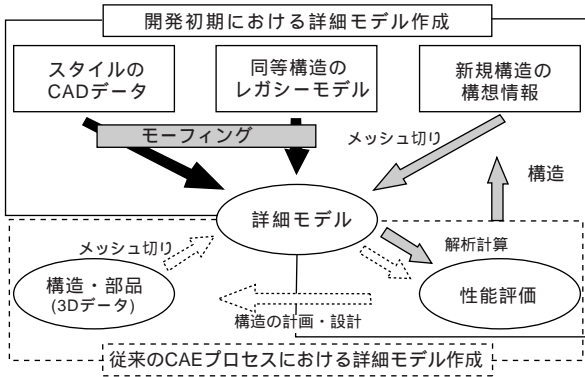


図2 モデル作成の位置付け

3. SOFYのモーフィング機能

SOFYのモーフィング機能には直接形状に変更方法を定義するフリーモーフィングと、6面体で区切られた領域に定義するドメインモーフィングの2つがある。フリーモーフィングにはフロートコントロール、スナップ・ツー・カーブの機能が用意されており、いずれもパラメトリックな形状変更が可能である。以降、適用例を用いてこれらの機能を示す。

3.1 フロートコントロール この機能は位置が変化する部分(Moveable)を、形状が変化する部分(以下、Deformable)と形状は変化しないが剛体的に移動する部分(以下、Control)に分けて定義し、Deformable部を徐変させる機能である。図3に自動車のタイヤハウス部とガスフィルターチューブの貫通穴、リアコンビランプ取付け用作業穴を持つクォーターパネルを示す。派生車ではリアコンビランプが新設され、作業穴は変形しないが位置が移動する場合を想定する。周りの形状が変形しても元の位置や形状に保ちたいガスフィルター貫通穴の節点、及び位置を変更するランプ取付け用作業穴の節点をControl部として定義する。図4にモーフィング後の形状を示す。操作は作業穴を示す局所座標系を動かすことで固定部からの線形補間で伸び縮み、ねじりを加えDeformable部を変形させる。貫通穴を示す局所座標系に何も操作しなければ元の形状、位置は保持される。

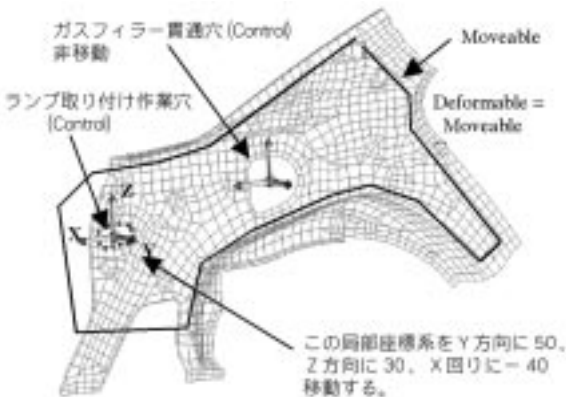


図3 フロートコントロールモーフィング(変形前)

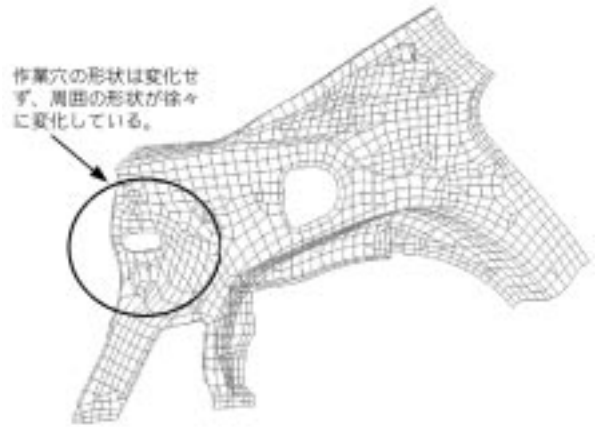


図4 フロートコントロールモーフィング(変形後)

3.2 スナップ・ツー・カーブ この機能は移動前の形状を表すソースカーブを、移動後の形状を表すターゲットカーブに一致させるようDeformable部を徐変させる機能である。図5に自動車のルーフモデルとソース、及びターゲットカーブを示す。ルーフ表面のキャンバー(曲率)が変更された場合を想定してルーフパネルをDeformable部に定義し、両カーブをSnap Controlで定義すると、ルーフ中央部がターゲットカーブに一致するようDeformable部が変形する。

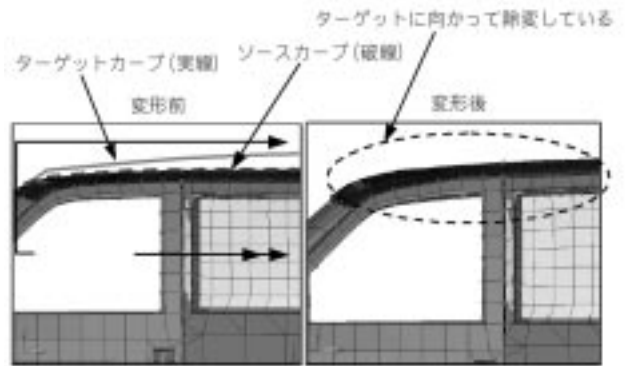


図5 スナップ・ツー・カーブモーフィングの適用例

3.3 ドメインモーフィング この機能は構造全体を複数の6面体ソリッド(Domain)に分割し、このDomainを変形することにより構造を変形するSOFY独自の機能である。以下にスナップ・ツー・カーブ機能を併用し、ハイルーフ化を想定して、センターピラー傾斜(内外、前後)を変更する場合を示す。図6に車体のレガシーモデルと変形部分に沿うよう作成したDomainを示す。

図7に変形前のDomainと変形前後のピラーとルーフに相当するソース及びターゲットカーブを重ねて示す。まず、Domain自体をスナップ・ツー・カーブで変形し、Domainの変形を車体構造に反映させる。図8にモーフィング適用前後のモデルを示す。図よりターゲットカーブに沿って変形していることが判る。

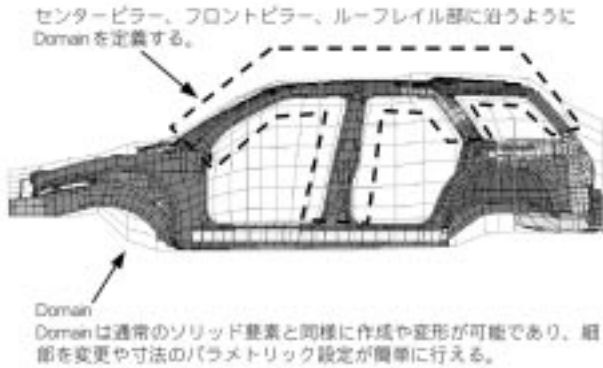


図6 車体のレガシーモデルとDomain

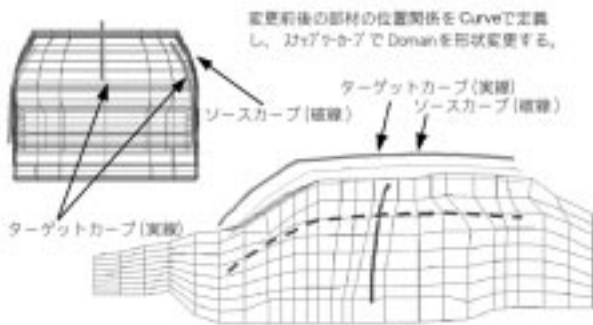


図7 Domain、ソース及びターゲットカーブ

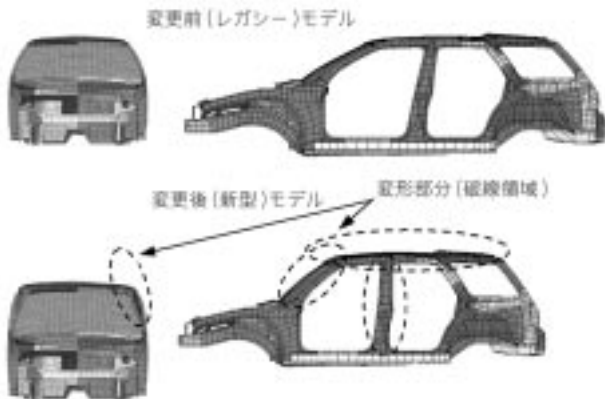


図8 ドメインモーフィングの適用例

4. まとめ

- 1) 開発期間短縮にはCAEの前倒しがポイントであるが、従来のモデル作成プロセスであるCADデータからのメッシュ作成では部品CADデータがない開発初期では詳細モデルが作れないため、実験と同等な結果を前提としたCAEの適用には限界があることを示した。
 - 2) 部品のCADデータがなくても開発初期の段階で得られるスタイルデータと同等な構造のレガシーモデルがあれば、モーフィング機能を適用することで詳細モデルが作成できることを示した。
 - 3) SOFYのモーフィング機能について概説し、スナップ・ツール・カーブとドメインモーフィングを用いることで車体モデルを簡単に作成できることを示した。
- 以上より、部品の3次元CADデータがない開発初期においても、モーフィングを用いて詳細モデルを作成可能である。

参考文献

- 1) 西垣 他：初期設計での解析と環境対応、自動車技術会 2002 春季講演会、車体構造設計技術の新展開フォーラム資料
- 2) 2001HyperMesh ユーザー会議
- 3) 安木、渡辺：自動車開発での衝突計算の応用、TOYOTA Technical Review Vol.51 No.1 Jun.
- 4) SOFY オンラインマニュアルより





ICEM CFD によるパラメトリックモデルの解析システム

佐々木 隆
有限会社アイセム・シーエフディー・ジャパン

1. はじめに

製造業を中心に設計部門でのCAEの活用が検討、導入されはじめています。解析の専門家でない設計部門でCAEを活用するための方法のひとつとして寸法等のパラメーター変更による容易な解析システムの構築があります。既存の3次元CADを利用することにより新たに解析ツールを学習する必要がなく、慣れたGUIと操作性により解析モデルを作成することができます。3次元CADが導入されていないもしくは解析対象を限定する場合は簡易形状作成ツールを用意すると便利です。以下にICEM CFDが提供するいくつかの簡易形状およびメッシュ作成ツールを紹介します。

2. 解析モデルのための形状

ICEM CFDではパラメーターの変更によりすばやく容易にモデルが作成あるいは更新できることを前提に開発を行っています。また、最適化ツールや感度解析と組合せることによって自動化率が高く設計に適したシステム構築ができることも重要と考えています。

2 - 1 . 既存3次元CAD

3次元CADの形状作成機能とパラメーター手法は著しく進歩しています。これらの機能はCAD本来の目的ばかりでなく簡易モデル作成にとっても有益です。CADユーザーであれば学習時間も必要ありません。ICEM CFDのダイレクトインターフェイスは3次元CADの形状作成やパラメーターの変更をCAD上でを行い、さらにメッシュ情報を付加してメッシュ生成モジュールを起動します。例としてFig.1にCATIA V5の中に埋め込まれたICEM CFDのメニューを示します。

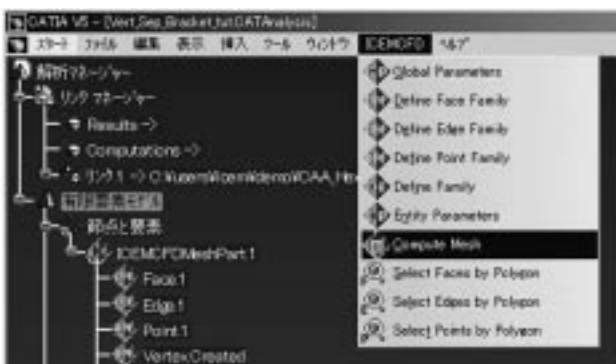


Fig.1. ICEM CFD Hexa CAA V5 Based

2 - 2 . 簡易形状作成モジュール

簡易形状ツールの構築には少なからず工数が発生します

が、解析対象を限定することにより扱いやすい環境を提供することができます。またユーザーの要求に対して比較的柔軟に対応できることも特徴のひとつです。

ICEM CFD Comak - 3次元CADシステムICEM DDNをベースにした簡易形状作成モジュールです。航空宇宙の分野では約10年前から活用されています。

ICEM CFD Cabin Modeler - 自動車の車室内の空調解析用簡易形状作成モデルです。約180ものパラメーターの変更と噴出し/吸込み位置を任意に指定することができます。Fig.2およびFig.3にCabin Modelerの全体画面とパラメーター変更メニューを示します。

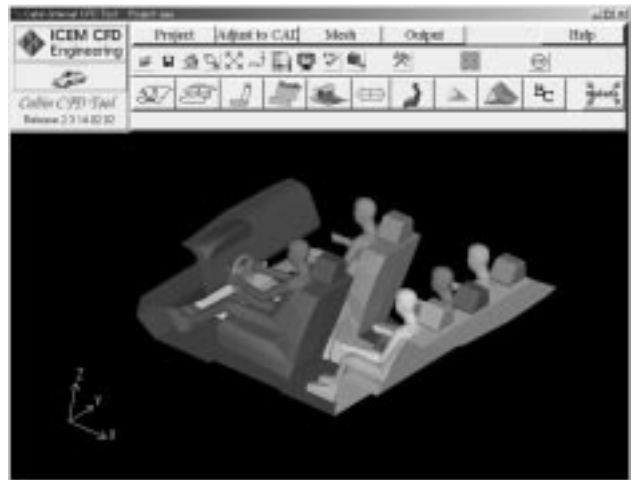


Fig.2. ICEM CFD Cabin Modeler

3. 自動メッシュ生成モジュール

用意された形状に対して効率的で品質の高いメッシュをすばやく作成する必要があります。ICEM CFDではいくつかのメッシュモジュールを提供しております。

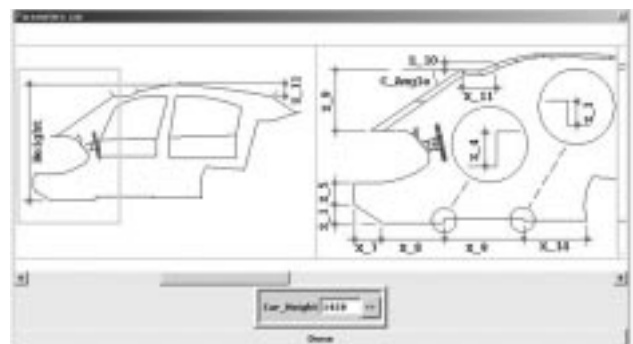


Fig.3. Parameters in Cabin Modeler

ICEM CFD Hexa - ブロッキング手法による六面体メッシュ生成モジュールで、差分法および有限要素法のメッシュをサポートしています。流体解析のために壁面境界層を考慮した要素を自動的に生成する機能を完備しています。ブロッキング手法を採用しているため、メッシュのパターンを変えない程度のパラメーター変更であれば自動化することも可能です。Fig.4にICEM CFD Hexaで作成されたメッシュのサンプルを示します。

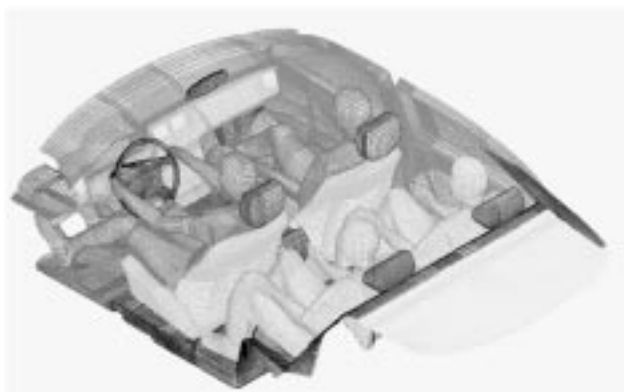


Fig.4. Hexa mesh for climate control

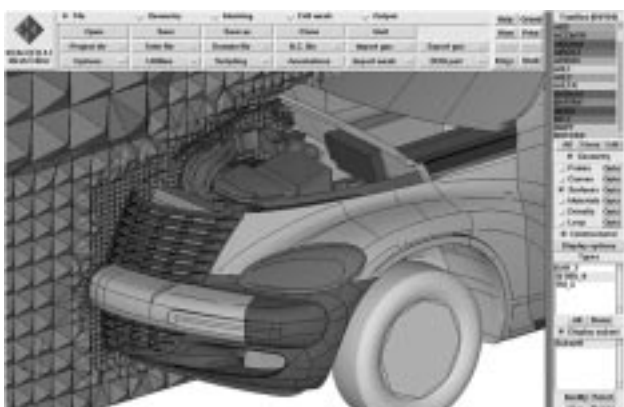


Fig.5. Tetra mesh for underhood model

ICEM CFD Tetra - オクトツリーをベースとした手法を採用した四面体生成モジュールで、形状表面の三角形メッシュを作ることなくボリウムメッシュと表面メッシュを同時に全自動で生成できます。メッシングのための設定は各線、面、特定の空間にメッシュサイズをダイレクトCADインターフェイスもしくは簡易形状作成ツールで指定します。流体解析のオプションとしてプリズム型五面体を指定された表面上に自動的に生成することができます。Fig.5にICEM CFDで作成されたメッシュのサンプルを示します。

ICEM CFD AutoHexa - 簡易モデルとメッシュ作成をひとつにまとめたモジュールです。形状（オブジェクト）には制約がありますが、六面体の自動メッシュ生成が可能です。このモジュールを用いた専用解析ツールも提供しております。

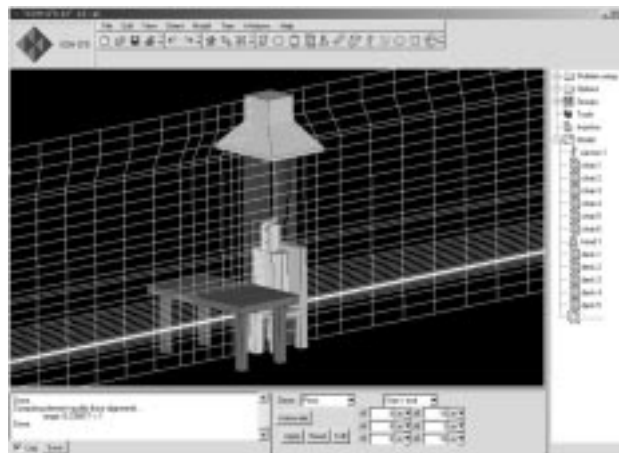


Fig.6. Object based modeling and meshing

4. 最適化設計

CADもしくは簡易形状作成ツールおよび自動メッシュと最適化ツールと組み合わせることにより、設計に適したシステムを構築することが可能です。Fig.7はブレーキクーリングのCFD解析システムの例です。

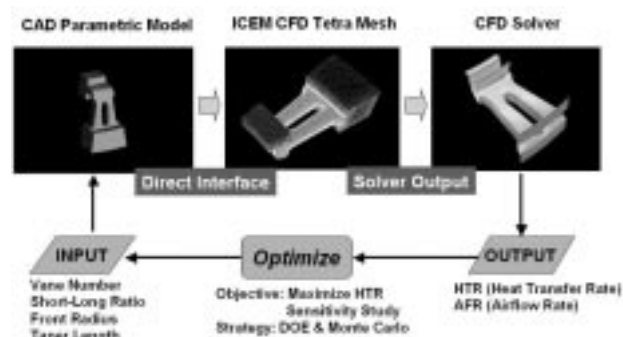


Fig.7. CFD analysis cycle for design optimization

5. おわりに

設計部門へのCAEの展開はまだまだ多くの問題を抱えていますが、ICEM CFDが提供するダイレクトCADインターフェイスあるいは簡易形状作成モジュールおよびメッシュ作成を利用することにより設計部門へのCAE導入がよりスムーズに行うことができます。

今回紹介した内容以外にもICEM CFDではいくつかのシステムやモジュールがあります。詳細は以下のサイトをご覧ください。

製品紹介 <http://www.icemcfd.com/products/index.html>
 連絡先 info@icemcfd.co.jp



流体解析用メッシュジェネレータ Gridgen による自動メッシュシステムの構築

～ Glyph スクリプト機能を用いたマクロモデリング

～大西慶治（左） 澤 芳幸（右）
株式会社ヴァイナス CFD 技術部

1. Gridgen とは

流体解析用メッシュジェネレータ Gridgen はジェット戦闘機の研究開発用として米国 General Dynamics 社や NASA 等の費用により開発された。操作性とメッシュ品質に優れ、米国の民間企業や研究・教育機関などで豊富な利用実績を誇り、航空・重電機器業界では事実上の標準メッシュジェネレータとして認識されている。

Gridgen は 1997 年まで米国内のみに使用が制限されていたが、現在では日本でも利用できるようになった。その高い信頼性により日本の航空宇宙技術研究所において、次世代超音速機（SST）の CFD 設計用に可視化ツールである FIELD-VIEW と共に標準ツールとして採用されており、さらに自動車、電気電子、化学など多分野での開発利用が加速されている。日本国内では(株)ヴァイナスが独占販売・サポート権を有している。

2. 高品質メッシュジェネレータ Gridgen の機能と概要

Gridgen は、Open 型の Pre-Processor として、CAD データの取り込みからソルバへのメッシュデータ出力までをサポートし、流体解析あるいは構造解析のための構造格子・非構造格子を高品質に生成する機能を標準装備している。

2.1 ユーザインターフェース

各モジュールで共通のメニュー構成を採用し、操作感覚の統一がなされている。また、操作ガイド・指示メッセージや品質情報・選択リストなどを表示するウィンドウ、さらにはオンラインヘルプといった各種ナビゲーションにより、ユーザの操作を多角的にサポートする。

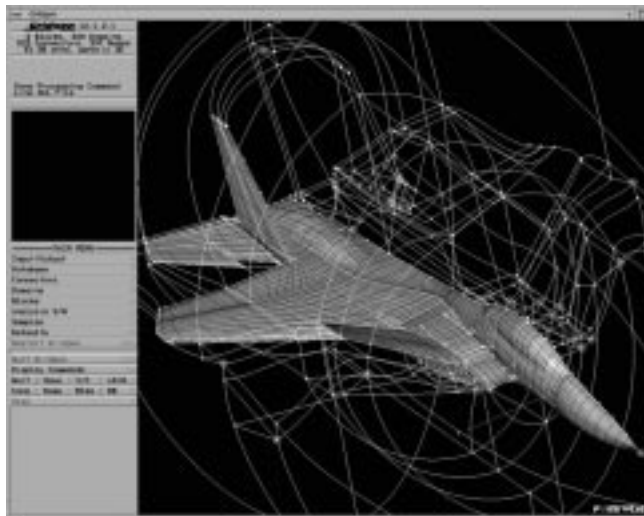


図1 Gridgen 操作画面

2.2 CAD データインターフェース

CAD データとの確実な接続を可能とし、CAD サーフェスを忠実に再現できる。また、複雑形状によく見られるような、多数のギャップやオーバーラップの存在する CAD 面上へ直接サーフェスマッシュを作成することができるため、メッシュ生成の前処理段階で必要だった莫大な CAD 面のヒーリング作業を必要としない。

2.3 メッシュ生成とコントロール機能

Gridgen は優れたメッシュ生成機能と高いコントロール性を有している。エッジラインでの緻密な格子幅制御と格子点分布設定機能を備え、加えて Steger-Sorenson 法ならびに Hilgenstock-White 法を基準とした楕円型方程式によるスムーズ機能ならびに双曲型格子生成法を搭載しており、格子幅・格子分布ならびに壁直交性を保ったまま、品質の良いメッシュを自動的に作成することが可能である。また非構造格子においては、空間に均質な格子点を分布させることができる Delaunay 法を採用している。これらの計算格子を用いることで、解析を精度良く行うことができる。

空間メッシュに関しては、ヘキサ・プリズムの他にハイブリッドメッシュへも対応し、ソルバの機能や特長を考慮の上、外部流解析における高品質な境界層メッシュや、複雑な曲率をもつ物体表面から内部へのテトラメッシュ生成など、豊富な機能の選択肢から問題に最適なメッシュを作成できる。

2.4 形状変更機能

Gridgen では形状変更や寸法変更に伴う自動再メッシュ機能（モーフィング機能）を備えることで、設計パラメータスタディに対する格子生成を効率良く行えるようになっている。

2.5 品質チェック / ソルバインターフェース機能

品質チェックには Jacobian ・アスペクト比 ・スキューネスなどの指標値をヒストグラム ・ハイライト表示することができ、問題個所の特定を容易に行うことができる。また、多種の市販 CFD ソルバへの出力インターフェースを標準装備しており、ソルバへ確実にデータを受け渡せるなど、作業効率を向上する機能が充実している。

3. Glyph スクリプト言語によるマクロモデリング

最新バージョンの Gridgen V14 からはマクロ機能が大幅に強化され、スクリプト言語 Glyph によりユーザ独自の自動メッシュ生成システムを構築できるようになっている。Glyph

ではGridgenの緻密な格子点制御メニューコマンドだけではなく、汎用スクリプト言語であるTcl/Tkの関数群を直接利用することができる。また、Gridgenの操作手順を自動記録する機能も備えており、熟練技術者の手順を記録したマクロを用いてシステムを構築することが可能となっている。

自動メッシュ生成システムを製品ごと設計仕様ごとに構築することにより、繰り返し作業を大幅に低減できるなど、多様な自動化・効率化のニーズに対応することができる。

4. Glyphによるマクロモデリングの例

4.1 航空機高揚力装置解析用テンプレート

自動格子生成システム (GridNAVI-HLS)

航空機設計におけるCFD解析はその重要性がますます増している。CFD解析では品質の高いメッシュを作成することが非常に重要であるが、メッシュ生成には高度なノウハウを必要とし、膨大な時間と手間がかかっている。航空宇宙技術研究所ではこの状況を改善するため、航空機用自動格子生成システムの開発を行っている。ヴァイナスは過去数年間、計算情報基盤技術開発室(松尾室長)と共に自動化システムの要求分析から環境整備、開発などに携わり、GridNAVI-HLSではシステムの受託開発を行った。

GridNAVI-HLSで使用するシステムGUIと各トポロジのメッシュ図(CH型・O型)を図2に示す。

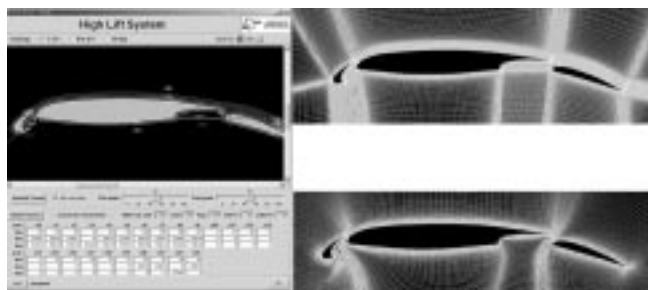


図2 システムGUI画面および作製メッシュ

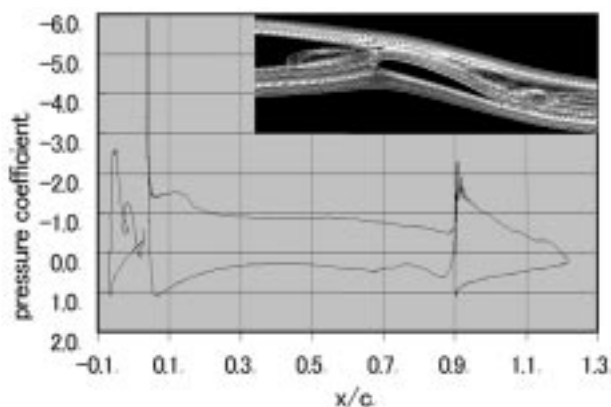


図3 FINE/Turboによる圧力係数解析結果およびFIELDVIEWによる可視化例

GridNAVI-HLSでは翼部品の位置調節および格子点数・格子幅がパラメータとなっており、実用性を考慮して問題に適したトポロジが選択できる仕様となっている。これにより後流域の解析には翼後縁付近の格子密度を、境界層の解析には翼形状表面付近の格子密度を自動的に高めることができる。

なお、これらの操作パネルは前述のようにスクリプト言語を用いて作成されているため、入力パラメータ追加・削除や、メッシュ分割数や分布の直接設定、パネルの追加などはユーザが容易に行える。現在は基本的なシステムの精度検証が終了し、3次元化の作業に着手している。

4.2 Blade Master V1

(ターボ機械回転翼用CFDメッシュ完全自動生成ツール)

Blade Masterは回転翼のCFDメッシュを簡単に作成する目的で、Gridgenのマクロ機能を用いてヴァイナスが開発した専用アプリケーションである。Gridgenアドオンプログラムの第1弾として、ターボ機械回転翼用自動メッシュジェネレータ「Blade Master V1」として2002年8月にリリースされた。Blade Master V1では、点列やCADデータを元に、基礎的な回転翼の3次元形状に対して、設計パラメータを入力するだけで熟練解析技術者と同レベルの高品質メッシュを効率よく自動生成することができる。Gridgenの高品質・ロバストなメッシュ生成機能をフル活用しているため、多くの翼形状変更案に対し高い解析精度を得るための高品質メッシュを短時間で作成できるのが特長である。

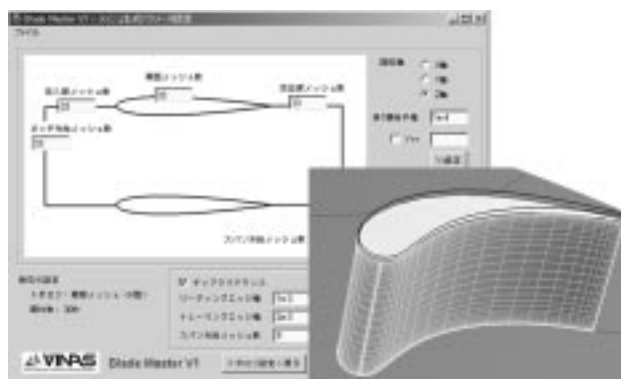


図4 Blade MasterシステムGUI画面および作製メッシュ

4.3 最適化設計支援ツールとの連携

近年、流体機械の最適設計システムが注目を集めている。最適設計ではパラメータ駆動による計算格子の自動再生成が重要な要素となるため、メッシュ生成の高速性&高信頼性がキーポイントとなる。

タービン翼列の3次元的スタッキング形状の最適化を目的とし、(株)CRCソリューションズと協業の上、Gridgenと最適設計支援ツールiSIGHTとを接続した事例では、iSIGHTからコントロールされるパラメータによりGlyphスクリプトが実行され、完全自動で解析格子を作成した。一般的なPCを用いて数十秒で計算格子を再生成することに成功しており、最適化システムループの構築と計算時間短縮に大きな役割を果たした。

5. まとめ

Gridgenでは、非構造格子への対応やCADデータとの親和性、双曲型方程式による自動メッシュ生成やパラメータスタディ機能としての再メッシュ機能などの改良を重ね、計算格

子作成作業の効率化を進めている。最新バージョンでは新たにマクロ言語機能が追加され、Open型のPre-Processorとして設計現場におけるCFD業務効率化に必要な新たな提案を行っている。

今後も設計・開発現場のニーズに応え、使い勝手の向上や最先端技術の導入など、さらに実務能力を追求したCFD環境を提供して行きたい。



形状最適化のための寸法駆動3Dモデリング手法の紹介

八木将司
株式会社 電通国際情報サービス
エンジニアリングサービス1部

1. はじめに

昨今のコンピュータ技術の進展、とりわけハードウェアの進歩により、形状最適化問題を解くにあたり3D CADと応力解析ツール(CAE)と最適化ツール(CAO: Computer Aided Optimization)とを複合的に利用し、問題を解くことが多くなりました。これらのツールを使いこなす際、重要なポイントが2点あります。1点目は最適化ツール側において、どのような最適化手法を用いて問題を解くかであり、2点目が最適化ツール側で振られたパラメータを受け取る3D CAD・CAE側において、安定して形状が変更されると同時にFEMモデルも変更される必要があることです。

本稿では後者のポイントである安定して寸法駆動できる3Dモデルの作成方法並びにMeshモデルの作成方法のポイントを紹介します。尚、本稿で紹介する3D CAD・CAEツールの利用法はI-deasを題材とさせて頂きました。

2. 3D CADとCAEの連携の現状

以前のCAEツールは、要素・節点は手動で作成し、また、境界条件は節点に対して1つ1つ直接設定するなど、手間がかかっていました。と同時にパラメータを変化させたい場合も自動で変更させることは、なかなか困難でした。

しかし、近年では、設計データの3次元化が進むにつれ、3D CADで作成したジオメトリをCAEに活用するようになってきました。CAE側で、ジオメトリを取り込み、それに対して直接要素分割を行ったり、境界条件を付与したりすることができるようになりました。

また、I-deasのように3D CADとCAEの連携が強く図られている場合には、ジオメトリに対し1度条件設定を行うと、その後の形状寸法の変更が、要素分割に自動的に反映され、境界条件等の設定も再設定する必要がなくなりました(図1)。

形状最適化を行うには、CAOツールにより導き出されたパラメータを自動的に3D形状モデルやFEMモデルに反映させていく必要があるため、I-deasのような3D CADとCAEが密に連携しているツールの利用が不可欠になってきます。

<参考文献>

横山・澤・藤川、「Open Pre-Processing - Gridgenによる自動メッシュ生成」、(社)自動車技術会講演会前刷集(2001)
Steinbrenner, et. al., "Fast Surface Meshing on Imperfect CAD Models", 9th Meshing Roundtable (2000)
Chawner, et. al., "Hybrid Grid Generation for Complex Geometries Using Gridgen", 7th International Conference on Grid Generation (2000)

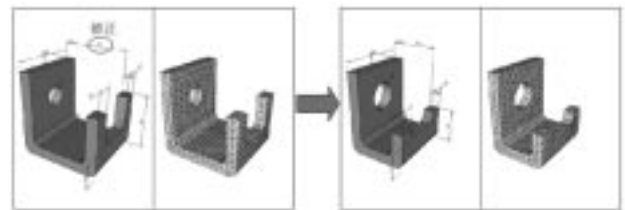


図1 3D CADモデルとCAEモデルの連動

3. 最適化のための寸法駆動モデリングのアプローチ

これより先、3D形状を寸法駆動させて最適化を行う場合に、3D CAD及びCAEでどのようなモデリング方法でアプローチすればよいかを説明していきます。

アプローチの方針はCAD側とCAE側とで、2つに分かれます。

CAD側の方針は、目的の寸法の駆動に併せて形状が完全に更新される必要があります。そのための形状モデリング手法です。

一方、CAE側の方針は、安定した3Dモデルに対して、要素分割の設定を行います。形状変更に伴って変更される要素分割の状態が、解析結果の精度に大きな影響を与えないような手法です。

4. 安定した3Dモデルの履歴のタイプ

ここでは、寸法駆動した際にエラーなく更新される(完全更新)CAD側での3Dモデリングの手法について説明します。

形状を作成していく際に作られる履歴のタイプは大きく2つの形式、Bushy型とVine型とに分かれます。(図2)

Bushy型では、履歴は、製品形状の機能等で関連する部位ごとに大きな固まりとして枝が分かれています。はじめ、それらの部位は機能などの単位で、別々の部品として作成していきます。最終的な製品形状にするには、機能単位で作成した部品を互いに結合したり、CUTして構築していきます。

Vine型は、履歴の形が一直線となっています。これはベースとなる部品上に1つ1つ履歴を積み重ねていき、最終的な製品形状にしていく形です。

履歴をさかのぼって寸法の修正を行う場合、Bushy型の場合、形状の更新を行うと、その影響範囲が他の枝部分には及ばず、必要最低限の範囲でとどまります。

一方Vine型の場合は修正した部位以降の履歴を全て再構築する必要があり、影響が連鎖的に伝播していきます。

両者を比較すると、形状更新の際の影響範囲が少ないBushy型の方が安定した履歴構造であると言えます。尚、I-DEASはどちらの履歴構造にも対応しています。

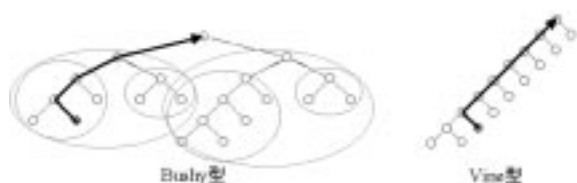


図2 Bushy型とVine型の履歴構造

5. ソリッドモデリング手法とサーフェスモデリング手法

3D CADにおいてジオメトリを作成する方法として2つのアプローチがあります。サーフェスモデルをベースとした作成方法と、ソリッドモデルをベースとした作成方法です。

サーフェスモデリングアプローチは、予めサーフェス形状を作成しておき、それらをお互いに縫合していくことによって、形状を構築していく方法です。

一方、ソリッドモデリングアプローチは、スケッチ面に2次元断面を作成し、それを使用して押し出したり、削り出したりしながら、ソリッド形状を組み合わせて形状を構築していく方法です。

形状構築に関しては、サーフェスモデリングアプローチの方が直感的で、どのように形状を表現するかを思考することが容易です。しかし、履歴のステップ数が多くなり易く、またVine型の履歴になり易くなります。

ソリッドモデリングアプローチは、フィーチャ単位で形状を作成していくため、履歴のどの部分がどの形状を表すのか、後から判断しやすくなります。そのため、後から修正や変更が容易です。また、履歴が少なく済み、Bushyツリーになり易くなります。ただし、自由曲面等の表現方法は難しくなります。

パラメータの変更を前提にした最適化のための3Dモデリング手法としては、ソリッドモデリングアプローチが有利になることが多いと考えられます。

6. 履歴を少なくする3Dモデル手法

ここでは、スケッチ面に含まれる2D断面を纏める工夫で、履歴のステップ数を減らす手法を以下に紹介します。

例として、図3の様な平面上から押し出す円筒と四角柱の高さが異なる形状を考えます。この場合、高さが異なるので、通常はそれぞれのスケッチ面を別に作成し、押し出すという操作を繰り返します。このためそれぞれ別の履歴となります。ここで、円筒と四角柱の断面寸法が寸法駆動する場合、円筒・四角柱をそれぞれ押し出した履歴2箇所に戻って寸法修正を行うこととなります。履歴を修正する箇所が増えるごとに前の修正箇所の影響が後の修正箇所に思わぬ影響を与える

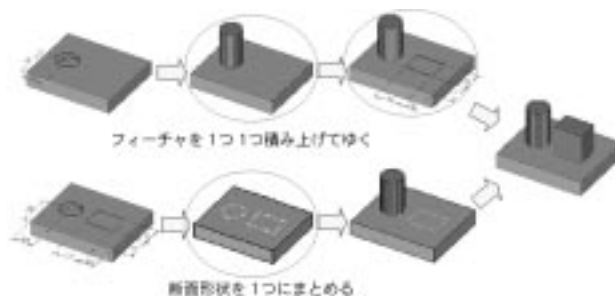


図3 履歴をまとめる手法

ケースが増えていきます。

それに対し、円筒と四角柱の基礎となる2次元断面を先に同時に作成しこれを1つの履歴としてまとめます。その基本履歴からそれぞれを押し出します。この場合、寸法の変更は基本履歴に戻って修正すればよいこととなります。この場合、修正箇所は1つですので、その後の形状更新による影響を最小限にとどめることができます。

このように、1方向に構築する断面形状を先に1つの履歴としてまとめて作成する工夫で、修正する箇所を減らし、安定した履歴構造とすることができます。

7. CAE側での手法

これより先はCAE側でのモデリング手法です。3Dモデルの形状変更に伴って再生成される要素分割の状態が、解析結果の精度に影響を与えないようなメッシュモデルの作成がポイントです。

まず、使用する要素分割方法を検討します。要素分割の手法は2つあります。フリーメッシュ手法とマップトメッシュ手法です。フリーメッシュは、ユーザが要素長を設定して、ソフトウェア側に自動で分割を行わせる手法です。一方、マップトメッシュは、形状に対してユーザがエッジ上の分割数を指定することによって要素分割を行う手法です。

ソフトウェア側に自由に分割を行わせる分、フリーメッシュの方が精度的にばらつき可能性が大きくなります。

それに対して、マップトメッシュを使用する場合、分割数をユーザがコントロールできるため精度をある程度保持することが可能です。しかし、分割数を入力する時点で、形状を六面体として認識させる必要があります。そのために、ジオメトリをパーティションすることによって、幾つかのボリュームに分割しなければならないケースが多く発生します。ボリューム分割を始め、分割数の定義にも多くの工数がかかりますが、解析精度が要求される場合には、マップトメッシュを使用する方が結果のばらつきが少なくなります。

この様に、パーティションを入れてボリューム分割したモデルをノンマニフォールドモデルと呼びます。中身が詰まった形状内の1つのエッジを3つ以上のサーフェスが共有する状態で、世の中で現実には存在しない形状です。ノンマニフォールド形状の場合もボリューム分割の履歴が残るので、寸法駆動に追従し、最初に設定したエッジの分割数で再度要素分割を自動で行わせることが可能になります。

解析精度を保つにはマップトメッシュ手法が有利になりますが、フリーメッシュ手法でも、ある基準値を設けて、それ

を満たすようにソフトウェア側で要素次数を上げるP法や、要素分割を細かくしていくH法などのアダプティブ法を使用することによって、ユーザの要素分割状態にあまり依存せず分割する方法があります。この手法を用いるとフリーメッシュでも解析精度を一定に保つ効果があります。

8. おわりに

本稿では、形状最適化のための3Dモデル並びにメッシュモデルの作成時にあたってのポイントを述べてきました。

本稿で述べたかったポイントをまとめます。

- ・ CAD/CAEの連携の良いソフトウェアを利用する。
- ・ 寸法駆動しても完全更新できる3Dモデルを構築する。
- ・ 解析結果がばらつかない安定した品質の良い解析モデルを作成する。
- ・ 最適化を実行する前に、上記内容を満たす適切なモデリング手法を検討する。

最後に、本稿により読者が3D CAD・CAE・CAOツールを用いて、形状最適化をする際のひとつの参考にしていただければ、幸いです。

講演会



第15回計算力学講演会

(計算力学部門 企画)

宮崎則幸
九州大学

開催日 2002年11月2日(土)～4日(月)

会場 鹿児島大学工学部共通棟(鹿児島市)

講演会最新情報の入手 会場へのアクセス方法、学術講演プログラム、宿泊等の最新情報は下記ホームページで公開しておりますのでブックマークして定期的に確認をお願いいたします。なお、ホームページの閲覧が困難な方は80円切手を貼付した返信用封筒を同封の上、学会事務局までお申し込み下さい。

講演会 HP

<http://www.mech.kyutech.ac.jp/comp/15th-keisan/index.htm>

講演・討論時間

一般講演：15分(講演10分、討論5分)

特別講演(1)

日時 11月2日(土) 13:00～14:00

場所 稲盛会館

講演題目 「メッシュレス法の現状と将来」

講師 矢川 元基(東京大学 教授)

特別講演(2)

日時 11月3日(日) 13:00～14:00

場所 稲盛会館

講演題目 「幕末薩摩の技術革新 工業化の情報革命」

講師 原口 泉(鹿児島大学 教授)

ビデオ特別講演

日時 11月4日(月) 13:00～13:45

場所 第4室

講演題目 "History of Computational Fluid Dynamics"

講師 Dr. F. H. Harlow, Los Alamos National Laboratory, USA

フォーラム(話題提供件数、企画者、日時、場所)

F01 計算力学におけるグリッドコンピューティング(5件)

青木尊之(東工大)

11月2日(土) 9:00-12:00 第7室

F02 並列処理技術の現状と課題(5件)

萩原一郎(東工大)

11月2日(土) 14:15-17:15 第7室

F03 計算力学教育を考える：現在と近未来(5件)

吉村忍(東大)

11月3日(日) 9:00-12:00 第7室

F04 ポリマの大変形挙動・破壊に関するモデリングとシミュレーション(5件)

志澤一之(慶大)、納富充雄(明大)、岡田裕(鹿児島大)、富田佳宏(神戸大)

11月4日(月) 9:00-15:00 第7室

F05 電磁流体解析関連技術(6件)

金山寛(九大)

11月2日(土) 14:15-17:15 第8室

F06 境界要素法の新しい解析技術 最新動向(6件)

田中正隆(信州大)、松本俊郎(信州大)

11月4日(月) 9:00-12:00 第8室

オーガナイズドセッション(講演件数、オーガナイザー、日時、場所)

(1) 原子力の革新的技術と計算力学(10件)

矢川元基(東大)、栗原良一(原研)、石原正博(原研)

11月3日(日) 9:00-11:45 第8室

(2) 材料の塑性挙動の構成式のモデル化とシミュレーション(12件)

長岐滋(東京農工大)、渡辺修(筑波大)、山田貴博(横

- 国大) 今谷勝次(京大)
11月4日(月)9:00-12:00 第2室
- (3) 材料の微視組織とその形成過程のモデル化とシミュレーション(11件)
富田佳宏(神戸大) 仲町英治(阪工大) 中曽根祐司(東理大)
11月2日(土)9:30-15:00 第2室
- (4) 塑性に関するマルチスケールモデリングとシミュレーション(15件)
大橋鉄也(北見工大) 渋谷陽二(阪大) 志澤一之(慶大) 長谷部忠司(同志社大)
11月2日(土)15:30-18:00 第2室
11月3日(日)9:00-10:00 第2室
11月4日(月)13:00-14:00 第2室
基調講演 塑性変形における転位の交差と原子空孔発生/蔵元英一(九大)
- (5) 電子デバイス実装・電子材料と計算力学(32件)
宮崎則幸(九大) 于強(横国大)
11月3日(日)14:15-17:30 第8室
11月4日(月)9:00-15:45 第3室
- (6) 熱工学における分子シミュレーション(7件)
鶴田隆治(九工大) 岩城敏博(富山大) 小原拓(東北大)
11月2日(土)14:15-16:15 第6室
- (7) 混合モードき裂の数値解析(4件)
菊池正紀(東理大) 岡田裕(鹿児島大)
11月4日(月)13:00-14:00 第6室
- (8) メッシュフリー法とその周辺技術(25件)
野口裕久(慶大) 萩原世也(佐賀大) 長島利夫(上智大)
11月2日(土)10:00-18:00 第4室
11月3日(日)9:00-10:30 第4室
基調講演 メッシュフリー法の歩みとこれから - グローバル/ローカルな観点から / 野口裕久(慶大)
- (9) 数値流体関連振動騒音解析技術(7件)
萩原一郎(東工大) 金子成彦(東大)
11月3日(日)10:15-12:00 第5室
- (10) 感性領域のデジタル設計(6件)
萩原一郎(東工大) 高田一(横国大) 松岡由幸(慶大)
11月2日(土)10:00-11:45 第8室
- (11) 境界要素法とその周辺技術(12件)
田中正隆(信州大) 松本敏郎(信州大) 天谷賢治(東工大)
11月4日(月)13:00-16:20 第8室
- (12) 逆問題解析手法の開発と最新応用(14件)
田中正隆(信州大) 久保司郎(阪大) 井上裕嗣(東工大)
11月3日(日)10:45-17:00 第4室
- (13) 電子・原子シミュレーションに基づく材料特性評価(16件)
渋谷陽二(阪大) 北村隆行(京大) 東健司(阪府大)
11月3日(日)10:00-17:00 第2室
- (14) 流体・構造・制御の複合問題解析と最適化(バイオエンジニアリング部門合同企画)(17件)
大林茂(東北大) 轟章(東工大) 太田佳樹(道工大) 和田成生(北大) 安達泰治(神戸大) 山口隆美(東北大)
11月2日(土)14:15-17:00 第1室
11月3日(日)9:00-11:45 第1室
基調講演1 航空機まわりの非定常遷音速空気力の計算とフラッタ解析 / 中道二郎(航技研)
基調講演2 タイヤの流体・構造連成解析へのSPHの適用 / 小石正隆(横浜ゴム)
- (15) 大規模連成解析と関連話題(8件)
金山寛(九大) 塩谷隆二(九大)
11月2日(土)9:30-11:45 第1室
- (16) ネットワーク分散オブジェクトの利用技術(8件)
奥田洋司(東大) 藤岡照高(電中研)
11月4日(月)9:30-11:45 第1室
- (17) 構造形態創生の理論と応用(9件)
大森博司(名大) 三井和男(日大) 大崎純(京大) 本間俊雄(鹿児島大)
11月2日(土)9:30-12:00 第6室
- (18) 計算科学における日本発ソフトウェア(8件)
矢川元基(東大) 秋葉博(アライドエンジニアリング)
11月4日(月)13:00-15:15 第1室
- (19) ハイパフォーマンス・コンピューティング(12件)
吉村忍(東大) 奥田洋司(東大)
11月3日(日)14:15-17:30 第1室
- (20) 界面と接着・接合の力学(17件)
池田徹(九大) 古口日出男(長岡技大)
11月3日(日)9:30-16:45 第6室
- (21) 破壊・損傷に関する最近の解析・シミュレーション技術(8件)
西岡俊久(神戸商船大) 藤本岳洋(神戸商船大)
11月4日(月)9:30-11:45 第6室
- (22) マクロ・メゾ・マイクロ・ナノスケールを繋げるマルチスケール計算力学(12件)
岡田裕(鹿児島大) 大野信忠(名大) 高野直樹(阪大) 寺田賢二郎(東北大)
11月3日(日)14:15-17:30 第3室
- (23) CIP法の新展開と応用事例(18件)
矢部孝(東工大) 肖鋒(東工大)
11月4日(月)9:00-15:45 第4室
- (24) 回転機器内部熱流動現象のシミュレーション(5件)
鳥居修一(鹿児島大) 村田章(東京農工大)
11月4日(月)13:00-14:15 第5室
- (25) 電子機器内部の熱流動現象(8件)
鳥居修一(鹿児島大) 石塚勝(富山県立大)
11月4日(月)14:15-16:15 第6室
- (26) 流体の数値計算法とその応用(12件)

登坂宣好 (日大) 近藤典夫 (日大)

11月3日 (日) 14:15-17:30 第5室

(27)設計・開発における計算力学 (27件)

鳥垣俊和 (日産) 渡辺隆之 (鶴岡高専) 萩原世也 (佐賀大) 岡田裕 (鹿児島大)

11月2日 (土) 9:30-17:45 第5室

11月3日 (日) 9:00-10:00 第5室

一般セッション (講演件数、日時、場所)

(1) ソフトコンピューティング (6件)

11月2日 (土) 9:30-11:00 第3室

(2) 衝突・ダイナミクス (4件)

11月2日 (土) 11:00-12:00 第3室

(3) 音響・振動 (5件)

11月2日 (土) 14:15-15:30 第3室

(4) 破壊・応力解析 (5件)

11月2日 (土) 15:45-17:00 第3室

(5) 非線形現象 (5件)

11月3日 (日) 9:00-10:15 第3室

(6) 地震・ヒューマンダイナミクス (5件)

11月3日 (日) 10:30-11:45 第3室

(7) CFD (9件)

11月4日 (月) 9:15-11:45 第5室

(8) 生産技術 (5件)

11月4日 (月) 14:30-15:30 第5室

部門賞授賞式および懇親会

(登録者無料)

日時 11月3日 (日) 18:00 ~ 20:30

参加登録

参加登録の手続きは当日受付で行います。登録料は以下のようになっています。

会員 10000 円、会員外 15000 円、学生員 2000 円、会員外学生 3000 円

ただし、会員、会員外には講演論文集を含みますが、学生員、会員外学生には講演論文集を含みません。

講演論文集 会員・登録者特価 5000 円、定価 8000 円

論文集の残部がある場合、講演会終了後頒布いたします。

宿泊・航空券の予約等 上記講演会のホームページをご参照下さい。

講演会に関する問い合わせ先 日本機械学会計算力学部門
担当 野口明生 / 電話 (03) 5360-3500 / Fax (03) 5360-3508 /
E-mail : noguchi@jsme.or.jp



第16回計算力学講演会のご案内

「日本機械学会計算力学部門」

富田佳宏

神戸大学大学院自然科学研究科システム機能科学専攻

開催日 2003年11月22日 (土) - 24日 (月)

会場 神戸大学工学部共通講義棟

(神戸市灘区六甲台町1-1)

第16回計算力学講演会は、第14、15回講演会の開催地、北国北海道と南国鹿児島の間際に位置する、神戸にて開催するよとの、部門長からの要請により、この度のご案内を差し上げる運びとなりました。開催場所の神戸大学は、古い歴史を持つ美しくエレガントな港町神戸の六甲山の山懐に抱かれ、大阪湾を眺望出来る風光明媚なところに位置しており、昨年で創立100周年の節目を経て、次世代の知の創造に向けて新たな挑戦を始めております。会場となる工学部は、新しい大学院棟の建設がほぼ完成し、今年から全面的な改修が進行しております。皆様をお迎えするときには、まだ、工事現場状態のところもございますが、ご容赦下さいますようお願い致します。神戸は、海、山など恵まれた自然環境と都市の活気とくらし、歴史・文化が共存し、温泉や酒蔵など多様な魅力に富んだまちです。震災を経て、美しい町並みを取り戻したエキゾチックな神戸の街、神戸港、異人館街、旧居留地、ハーバーランド、神戸大橋、有馬温泉、神戸ワイン、神戸牛、

灘の酒等が皆様方の多様なご期待にお応え出来るものと存じます。

講演会の準備の方は、開催日、会場が決まり、実行委員会が立ち上がった状態です。今後、フォーラム、オーガナイズドセッション、ワークショップ等の企画を会員の皆様方へお願い致します。また、研究発表募集に際しては多数の方々からのお申し込みを期待致しております。実行委員一同、計算力学に関わる異分野で研究をされている皆様との交流と有益な討論の場となりますよう準備を進めてまいります。皆様のご支援とご協力のほど宜しくお願い申し上げます。

連絡先：

富田佳宏

神戸大学大学院自然科学研究科

システム機能科学専攻

657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

Tel:078-803-6125 Fax:078-803-6155

E-mail: tomita@mech.kobe-u.ac.jp

URL: <http://solid.mech.kobe-u.ac.jp>



2003年度年次大会部門関連企画

山田勝稔
徳島大学工学部機械工学科

2003年度年次大会が徳島大学常三島キャンパスにおいて2003年8月5日～8日の日程で開催される予定です。今回、当部門からは下記の11件のオーガナイズド・セッションが企画されています。奮ってご投稿いただきますようよろしくお願い致します。

1. オーガナイズド・セッション：解析・設計の高度化・最適化
(幹事、設計工学システムと共同企画)
オーガナイザー(4名)：
山崎光悦(金沢大学)
TEL: 076-234-4666、FAX: 076-234-4668
E-mail: yamazaki@t.kanazawa-u.ac.jp
多田幸生(神戸大学)
TEL: 078-803-6241、FAX: 078-803-6391
E-mail: tada@ms.cs.kobe-u.ac.jp
荒川雅生(香川大学)
TEL: 087-864-2223、FAX: 087-864-2031
E-mail: arakawa@eng.kagawa-u.ac.jp
轟章(東京工業大学)
TEL: 03-5734-3178、FAX: 03-5734-3178
E-mail: atodorok@ginza.mes.titech.ac.jp
2. オーガナイズド・セッション：境界要素法とその周辺技術
(単独)
オーガナイザー(3名)：
田中正隆(信州大)
TEL: 026-269-5120、FAX: 026-269-5124
E-mail: dtanaka@gipwc.shinshu-u.ac.jp
松本敏郎(信州大)
TEL: 026-269-5122、FAX: 026-269-5124
E-mail: toshiro@gipwc.shinshu-u.ac.jp
天谷賢治(東工大)
TEL: 03-5734-2856、FAX: 03-5734-3216
E-mail: kamaya@a.mei.titech.ac.jp
3. オーガナイズド・セッション：逆問題研究の最前線
(単独)
オーガナイザー(3名)：
田中正隆(信州大)
TEL: 026-269-5120、FAX: 026-269-5124
E-mail: dtanaka@gipwc.shinshu-u.ac.jp
久保司郎(阪大)
TEL: 06-6879-7304、FAX: 06-6879-7305
E-mail: kubo@mech.eng.osaka-u.ac.jp
4. オーガナイズド・セッション：多相流体計算法の最前線
(単独)
オーガナイザー(2名)：
矢部孝(東工大)
TEL: 03-5734-2165、FAX: 03-5734-2165
E-mail: yabe@mech.titech.ac.jp
肖鋒(東工大)
TEL: 045-924-5538、FAX: 045-924-5538
E-mail: xiao@es.titech.ac.jp
5. オーガナイズド・セッション：直交格子に基づいた計算力学の新展開
(単独)
オーガナイザー(2名)：
青木尊之(東工大)
TEL: 03-5734-3667、FAX: 03-5734-3276
E-mail: taoki@gsic.titech.ac.jp
小野謙二(東大)
TEL: 03-5841-8982、FAX: 03-5802-4860
E-mail: keno@iml.u-tokyo.ac.jp
6. オーガナイズド・セッション：マクロ、モーフィング機能による形状モデリング
(単独)
オーガナイザー(1名)：
工藤啓治(エンジニアス・ジャパン)
TEL: 045-477-3300、FAX: 045-477-3301
E-mail: kudo@engineous.co.jp
7. オーガナイズド・セッション：計算力学の検証問題と可視化技術
(単独)
オーガナイザー(2名)：
田中伸厚(茨城大学)
TEL: 0294-38-7029、FAX: 0294-38-5047
E-mail: tanaka@mech.ibaraki.ac.jp
矢部孝(東京工大)
TEL: 03-5734-2165、FAX: 03-5734-2165

E-mail: yabe@mech.titech.ac.jp

8. オーガナイズド・セッション：第一原理計算・分子動力
学法による材料強度評価

(幹事、材料力学と共同企画)

オーガナイザー(2名)：

渋谷陽二(大阪大学)

TEL: 06-6879-7310、FAX: 06-6879-4121

E-mail: sibtani@mech.eng.osaka-u.ac.jp

齋藤賢一(関西大学)

TEL: 06-6368-1437、FAX: 06-6388-8785

E-mail: saitou@ipcku.kansai-u.ac.jp

9. オーガナイズド・セッション：流体情報学の展開

(流体工学(幹事)と共同企画)

オーガナイザー(3名)：

大林 茂(東北大学)

TEL: 022-217-5265、FAX: 022-217-5265

E-mail: obayashi@ieee.org

早瀬敏幸(東北大学)

TEL: 022-217-5253、FAX: 022-217-5265

E-mail: hayase@ifs.tohoku.ac.jp

寺坂晴夫(東北大学)

TEL: 022-217-5266、FAX: 022-217-5265

E-mail: terasaka@ifs.tohoku.ac.jp

10. オーガナイズド・セッション：エレクトロニクス実装
工学

(熱工学(幹事) 材料力学と共同企画)

オーガナイザー(3名)

石塚 勝(富山県立大学)

TEL: 0766-56-7500、FAX: 0766-56-6131

E-mail: ishizuka@pu-toyama.ac.jp

于 強(横浜国立大学)

TEL: 045-339-3862、FAX: 045-331-6593

E-mail: quang@swan.me.ynu.ac.jp

三浦英生(日立製作所)

TEL: 0298-32-4237、FAX: 0298-32-2808

E-mail: hmiura@merl.hitachi.co.jp

11. オーガナイズド・セッション：イメージベースト連成

バイオメカニクス解析

(パイオエンジニアリング(幹事) 材料力学、流体工学と
共同企画)

オーガナイザー(5名)

山口隆美(東北大学)

TEL: 022-217-6958、FAX: 022-217-6959

E-mail: takami@pfsi.mexh.tohoku.ac.jp

安達泰治(神戸大学)

TEL: 078-803-6155、FAX: 078-803-6155

E-mail: adachi@mech.kobe-u.ac.jp

吉川暢宏(東京大学)

TEL: 03-5452-6159、FAX: 03-5452-6159

E-mail: yoshi@telu.iis.u-tokyo.ac.jp

大島まり(東京大学)

TEL: 03-5452-6205、FAX: 03-5452-6205

marie@iis.u-tokyo.ac.jp

鈴木克幸(東京大学)

TEL: 03-5841-6527、FAX: 03-3815-8360

E-mail: katsu@k.u-tokyo.ac.jp



総務委員会からのお知らせ

田中伸厚
総務委員会幹事(茨城大学)

1. 新設技術委員会のご紹介

計算力学部門では研究領域を代表する技術委員会を設置して
ております。下記の既設技術委員会、

- ・電子材料、電子・情報機器関連技術委員会
- ・パソコンの利用技術委員会
- ・計算固体力学技術委員会
- ・熱工学関連技術委員会
- ・最適設計技術委員会
- ・計算力学教育技術委員会
- ・計算力学の歴史年表編纂技術委員会

に加えて、新たに2つの技術委員会が設置されることにな
りました。以下にご紹介いたします。

電磁流体解析関連技術委員会

委員長 金山 寛(九大)

幹事 田上 大助(九大)

活動概要 電磁場、流れ、それぞれの解析技術の発展は
従来まで独立に行われることが多く、そのため連成問題の研
究ではそれぞれの分野の発展が十分考慮されていない状況も
見受けられる。本技術委員会を立ち上げることにより、両分
野の交流を促進し、大規模連成問題の研究に弾みをつけたい
と考えている。具体的には1)電磁流体解析および関連技術の

基礎的な調査・研究、2)産業界における実用問題への適用、などを行う。

流体関連技術委員会

委員長 谷口 伸行(東大)

幹事 小野 謙二(東大)

活動概要 計算力学部門における流体シミュレーションに関連する技術、応用分野への研究支援を行う。流体シミュレーションは機械工学に限らず理工学の広い分野に適用されており、また、構造・設計、燃焼・化学プロセスなどの複合問題のニーズも大きい。学会会議などの学会間活動を支援して、これらの計算力学と流体工学の学際的な研究展開を図る。

2. 部門企画のお知らせ

一昨年的大幅な部門運営要綱の改訂を受けて、部門活動の評価方法が変更されました。これに対応するためには、講習会や講演会など評価対象となる活動を今まで以上に増やす必要があります。今年度は、例年通りの部門ミニ企画や講習会に加え、以下のような競技会の開催を計画しております。

1) 計算力学ベンチマーク問題作成コンテスト

計算力学の各分野で、新しい手法を開発したときに何らかのベンチマークテストが必要です。しかし、以前のテストはすべて時代遅れとなっており、これに即した新しい例題を作

成する必要があります。そこで、部門から例題のアイデアを募るための競技会を開催したいと思います。問題は一般より公募し、競技会で応募者のプレゼンテーションおよびポスターセッションを行います。結果は投票により判断し、Webページに公開を目指します。競技会は、流体部門、固体・構造部門などいくつかの部門で独立に行うことを予定しております。

2) 動画(アニメーション)コンテスト

近年のコンピュータの発達によりパソコンでも十分な動画を作成することが可能となってきました。第15回計算力学講演会より実施されますビジュアライゼーション優秀表彰は静止画が対象ですが、このような動画についても競技会を開催し優秀作品を表彰することは、可視化技術の向上の意味でも重要だと思われま

また、現在企画されている講習会には以下があります。

3) 講習会「パソコンによる三次元画像処理入門」(部門長 矢部孝)

(詳細は、日本機械学会誌10月号をご参照ください。)

積極的なご参加をお願いいたします。また、引き続き、講習会や研究会の積極的な提案をお待ちしております。総務委員会幹事(田中)までご連絡をお願い申し上げます。

研究分科会・技術委員会の報告

電子材料, 電子・情報機器関連技術委員会活動報告

委員長: 宮崎則幸(九州大学大学院工学研究院)

幹事: 于 強(横浜国立大学工学部)

本技術委員会の実質的な活動は、研究開発事業部所属のRC-181「エレクトロニクス実装における信頼性設計に関する研究分科会」(2002年5月よりRC-202「電子デバイス/電子実装における信頼性に関する研究分科会」に引き継がれている)と重複する。なお、RC-181およびRC-202の概要については学会の下記HPに掲載されているのでそちらを参照していただきたい。

<http://www.jsme.or.jp/kenkyu1.htm>

このような理由で、本技術委員会では、特に調査・研究活動は行わずに、各種講演会のオーガナイズドセッションの企画・実施を主要な任務としている。したがって、委員長と幹事のみで運営し、委員は任命していない。

2001年度以降の委員会活動は下記の通りである。

(1) 2001年8月27日～30日に福井市で開催された2001年度年次大会に、材料力学部門、熱工学部門と協力して「IT時代における機械工学の果たすべき役割(電子実装を中心として)」と題するワークショップを実施した。

(2) 2001年11月28日～30日に北海道大学で開催された第14回計算力学講演会において「電子デバイス実装・電子材料と計算力学」と題するオーガナイズドセッションを企画し、はんだ接合、パッケージ、接合技術、単結晶材料等で合計25件の一般講演があった。電子デバイス実装・電子材料に関連した強度、伝熱、流動等の内容が含まれ、機械工学の横型部門としての当部門の特色が出たオーガナイズドセッションとなった点は特筆すべきであろう。

(3) 2002年9月25日～27日に東京大学で開催される2002年度年次大会に材料力学部門、熱工学部門と協力して「エレクトロニクス実装工学」と題するオーガナイズドセッションを企画することとした。

(4) 2002年11月2日～4日に鹿児島大学で開催される第15回計算力学講演会において「電子デバイス実装・電子材料と計算力学」と題するオーガナイズドセッションを企画し、合計32件の講演が予定されている。



計算力学技術者基準と認定

吉村 忍

東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻

日本機械学会「計算力学技術者基準と認定に関する検討委員会」委員長

計算力学部門「計算力学教育認定検討技術委員会」委員長

1. これまでの経緯

2000年4月 8月に設置された計算力学部門の将来問題検討委員会における議論がきっかけとなって、同年8月に当部門に「計算力学教育認定検討技術委員会」が設置され、「計算力学技術者基準と認定」に関する検討がスタートした。その後、2002年3月からは、当部門メンバーが中心となり、これに関連部門（材料力学、設計工学・システム、バイオエンジニアリング、熱工学、流体工学、機械力学・計測制御）及び研究開発推進センターからの推薦委員を加えて、工学教育センター設立準備運営委員会のもとに「計算力学技術者基準と認定に関する検討委員会」が設置され、検討が進められてきた。現在、議論は継続中ではあるが、その中から出てきた具体的なイメージについて、紹介しよう。

2. 検討の背景

計算力学分野の研究・開発は2つの大きな流れに分けられよう。1つは「進化」というキーワードによって括られるべき動きであり、HPC (High Performance Computing)、非線形解析、自動解析、メッシュレス解析、連成解析などが含まれる。もう1つは「大衆化」というキーワードによって括られるべき動きであり、高性能かつ廉価で使い易いPCやOSが普及し、その環境で汎用計算力学ソフトウェアが利用できるようになり、急速にユーザー層が広がってきている。

計算力学ソフトウェアの年間出荷本数等からラフに推定すると、日本国内で数万～10万人規模の計算力学ユーザーがいると思われるが、その中には力学理論や有限要素法の理論に関する知識を十分に持たないユーザーも多く含まれると推察される。ところが、GUIが整備されてデータ入力が簡便になり、解析結果がきれいにCG表示されようとも、現実には計算力学ソフトウェアをブラックボックス的に利用することはまだできない。一見するともっともらしい解析結果を得ることができたとしても、境界条件の設定間違い、あるいは不適切な要素分割などによってまったく間違っているかもしれないという危険性を常にはらんでいる。

3. 技術者基準と認定のイメージ

標記委員会では現在次のようなイメージのものを検討している。まず、入門、初級、中級、上級の4段階のレベルを議論している。入門レベルというのは、計算力学ソフトのオペレータを対象とするもので、初級というのは、簡単な線形の力学問題を計算力学ソフトを用いて解くことができ、大はそれの結果を出さないレベルを考えている。中級は非線形解析を行えるレベル、上級は、理論を理解し、設計業務を遂行できる、あるいはコード開発を行えるレベルを考えている。さらに、各レベルの中で「計算力学手法と力学分野の2つの視

点の組み合わせによる分類」、すなわち、有限要素法による固体力学解析、とか差分法による熱流体解析などといった分類を考えている。

国際的には、上級レベルに対応する資格として、1983年に英国で設立されたNAFEMSという団体のRegistered Analystという技術者認定制度があるので、上級レベルについては、それとの相互認証を目指して準備して行くことが重要と認識している。一方、それ以外の資格については世界的にも類例が存在しないので、日本が率先して整備し、国際標準に育てていくことが重要であろう。

具体的には、技術者基準とその認定試験プログラムが定められ、コンピュータ、力学、計算力学それぞれの基礎知識とソフトウェアを用いた解析技能の両面から資格認定を行うことになろう。これと並行して、学会が関連部門の協力を得て計算力学技術者の総合教育プログラムを準備し、その中で問題集・テキスト、講習会などを提供していくことになるだろう。また、これらと、大学独自の計算力学教育プログラムやソフトウェアベンダーの提供するソフトウェア講習会等を相互補完的に活用しながら、計算力学技術者の教育と認定を行っていくことになろう。

4. 効用

このような技術者基準の設定によって次の2つの効用を期待している。第1は、計算力学技術者の品質保証という側面である。従来、計算力学ソフトウェアは多くの不特定多数のユーザーによって様々な工学問題へ適用されることによって、信頼性が確認され、あるいはその経験がフィードバックされ改良されることによって品質が保証されてきた。このような計算力学ソフトウェアの品質保証に加えて、本資格認定制度によって解析者の品質保証がなされることによって、はじめて計算力学解析結果の信頼性が担保されることになる。

第2に、計算力学技術者の社会的地位向上、社会的認知という側面である。本資格認定制度を通じて、計算力学技術者の社会的価値が高まるばかりでなく、彼らを採用する研究機関や企業側にとっても、一定レベルの知識・技能を期待できるようになると考えられる。

5. パイロットスタディー

テキスト、講習会、試験などの実施方式に関してより詳細な検討課題を探るべく、2002年度内にFEMの固体力学解析の初級レベルを対象としたパイロットスタディーを実施する予定である。本試みに対して、会員諸氏より忌憚のないご意見をいただければ幸いである。

部門役員名簿

部門長	矢部 孝	(東京工業大学)	[幹事]	大石篤哉	(徳島大学)
副部門長	宮崎則幸	(九州大学)	計算力学講演会担当委員会(2002)		
幹事	田中伸厚	(茨城大学)	[委員長]	宮崎則幸	(九州大学)
運営委員会委員			[幹事]	岡田 裕	(鹿児島大学)
	黒田明慈	(北海道大学)	計算力学講演会担当委員会(2003)		
	中橋和博	(東北大学)	[委員長]	富田佳宏	(神戸大学)
	尾田十八	(金沢大学)	[幹事]	安達泰治	(神戸大学)
	畑 俊明	(静岡大学)	表彰担当委員会		
	山下博史	(名古屋大学)	[委員長]	田中正隆	(信州大学)
	徳田正孝	(三重大学)	[幹事]	畔上秀幸	(豊橋技術科学大学)
	滝 佳弘	(名城大学)	計算力学企画・普及委員会		
	渋谷陽二	(大阪大学)	[委員長]	矢川元基	(東京大学)
	今谷勝次	(京都大学)	[幹事]	白鳥正樹	(横浜国立大学)
	森西晃嗣	(京都工芸繊維大学)	将来問題検討委員会		
	三宅俊也	(株)神戸製鋼所)	[委員長]	宮崎則幸	(九州大学)
	富田佳宏	(神戸大学)	[幹事]	畔上秀幸	(豊橋技術科学大学)
	阿部武治	(岡山大学)	計算力学教育認定検討委員会		
	尾崎公一	(岡山県立大学)	[委員長]	吉村 忍	(東京大学)
	赤星保浩	(九州工業大学)	[幹事]	長嶋利夫	(上智大学)
	萩原世也	(佐賀大学)	電子材料、電子・情報機器関連技術委員会		
	鈴木章彦	(石川島播磨重工業(株))	[委員長]	宮崎則幸	(九州大学)
	坂田信二	(株)日立インダストリーズ)	[幹事]	于 強	(横浜国立大学)
	横野泰之	(株)東芝)	パソコンの利用技術委員会		
	萩原一郎	(東京工業大学)	[委員長]	藤井孝蔵	(宇宙科学研究所)
	吉村 忍	(東京大学)	[幹事]	姫野龍太郎	(理化学研究所)
	山本 誠	(東京理科大学)	最適設計技術委員会		
	佐藤和浩	(富士重工業(株))	[委員長]	山崎光悦	(金沢大学)
	井上裕嗣	(東京工業大学)	[幹事]	多田幸生	(神戸大学)
	姫野龍太郎	(理化学研究所)	計算力学教育技術委員会		
	松尾裕一	(航空宇宙技術研究所)	[委員長]	白鳥正樹	(横浜国立大学)
	宮地英生	(株)ケイ・ジー・ティー)	[幹事]	三好俊郎	(東海大学)
	海保真行	(株)日立製作所)	計算力学の歴史年表編纂技術委員会		
	川上 崇	(株)東芝)	[委員長]	矢部 孝	(東京工業大学)
	宮内敏雄	(東京工業大学)	[幹事]	萩原一郎	(東京工業大学)
総務委員会			電磁流体解析関連技術委員会		
[委員長]	矢部 孝	(東京工業大学)	[委員長]	金山寛	(九州大学)
[幹事]	田中伸厚	(茨城大学)	[幹事]	田上大助	(九州大学)
広報委員会			流体関連技術委員会		
[委員長]	矢部 孝	(東京工業大学)	[委員長]	谷口伸行	(東京大学)
[幹事]	天谷賢治	(東京工業大学)	[幹事]	小野謙二	(東京大学)
[幹事]	工藤啓治	(エンジニアス・ジャパン(株))	熱工学関連技術委員会		
事業企画委員会			[委員長]	稲室隆二	(京都大学)
[委員長]	宮崎則幸	(九州大学)	[幹事]	中部主敬	(大阪府立大学)
[幹事]	肖 鋒	(東京工業大学)			
年次大会担当委員会(2002)			<< 各行事の問い合わせ、申込先 >>		
[委員長]	吉村 忍	(東京大学)	日本機械学会計算力学部門担当	野口明生	
[幹事]	長嶋利夫	(上智大学)	〒160-0016 東京都新宿区信濃町35番地	信濃町煉瓦館5階	
年次大会担当委員会(2003)			TEL 03-5360-3503 FAX 03-5360-3508		
[委員長]	山田勝稔	(徳島大学)	E-mail noguchi@jsme.or.jp		

計算力学部門ニュースレター No.29: 2002年10月15日発行

編集責任者: 広報委員会委員長 矢部 孝

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 工藤啓治

エンジニアス・ジャパン株式会社 マーケティング・テクニカルサポート

〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-5-5 住友不動産新横浜ビル

TEL: 045-477-3300 / FAX: 045-477-3301 / E-mail: kudo@engineous.co.jp