

インタラクティブUIを備えた統合型設計解析ソフトウェアの開発

～次世代のインタラクティブな設計支援ソフトウェア～

1. 背景

ものづくりの現場ではCAD (Computer Aided Design) と呼ばれる設計のためのモデリングツールとCAE (Computer Aided Engineering) と呼ばれるコンピュータ上での設計を数値解析によって評価するシミュレーションのツールが広く用いられている。このようなソフトウェアによって試作品を作る手間を抑え、開発期間を劇的に短縮するコンカレント・エンジニアリングが可能となった。このようなツールは製造業を基幹産業とする日本にとって最も重要なソフトウェアの一つとして位置づけられる。

しかしながら、シミュレーションの結果は設計に十分有効に活用されているとはいえない。設計から解析までを行う手続きが煩雑で時間を要するために、解析結果からフィードバックを得ることが困難である。僅かな数の形状しか試すことができず、基本的にCAEは設計がうまく行くのかどうかを判断するためのみに使われるツールであり、解析の結果を参考にして設計が改善されるということが少なかった。

2. 目的

従来別々になされていた設計と解析を、インタラクティブに統合させたソフトウェアを新たに提案した。メッシュを連続的に変形させることで、リアルタイムに設計変更が解析結果に反映され、設計へのフィードバックを得ることができ、設計の改善ができる。

3. 開発の内容

様々な問題について有限要素法によるシミュレーション結果と2次元のインタラクティブなデザインを統合できるフレームワークを開発した。ここでは、未踏ユースの開発期間の中で実装した解析例を紹介する。

弾性体の変形解析

片持ち梁の応力解析が行われている(図1)。ミーゼス相当応力(物体中の単位面積にかかるせん断力をスカラー量で表した量。塑性破壊の基準となる)の大きさがコンターとして、色づけされて表示されている。変形後の梁の位置が辺として描画されている。色が赤いところは材料が塑性領域に達してしまっていて降伏してしまう部分を表示している。できるだけ赤い部分がないように初期形状を設定することで壊れない梁を作ることが可能

となる。実際の設計では軽量化するために肉抜きをする場合がある。今までは肉抜き部分の形状や大きさは設計者の勘によって定められており大変難しかった。しかし、このソフトウェアを用いることで肉抜きの形状を簡単に決定することができる。

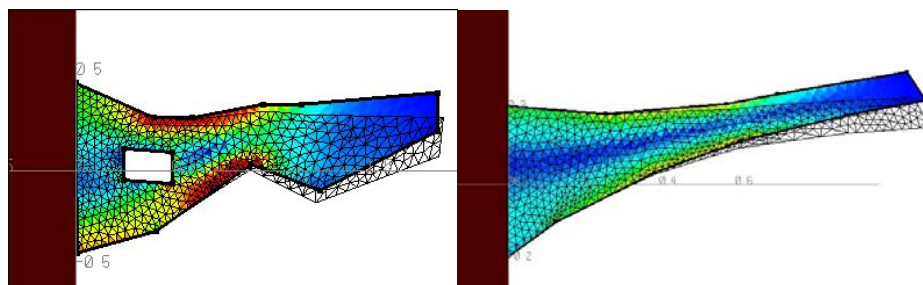


図 1 壊れない片持ち梁の設計。色は物体内部の力の大きさを表している。解析からの応答を得ながら梁の初期形状をデザインすることで、壊れないが軽い梁を作ることができる。

片持ち梁の変形後の形状のデザイン

片持ち張りの変形後の形状にあわせて、初期形状を決めるという例題を解くデモである（図 2）。左側の画面で初期形状が設計されており、右側の画面でその梁が重力のもとで撓んだのが解析されている。赤いラインで示されているのは目標となる形である。インタラクティブに変形後の形状が示されることによって変形後に目標形状となるような初期形状を定めることができる。

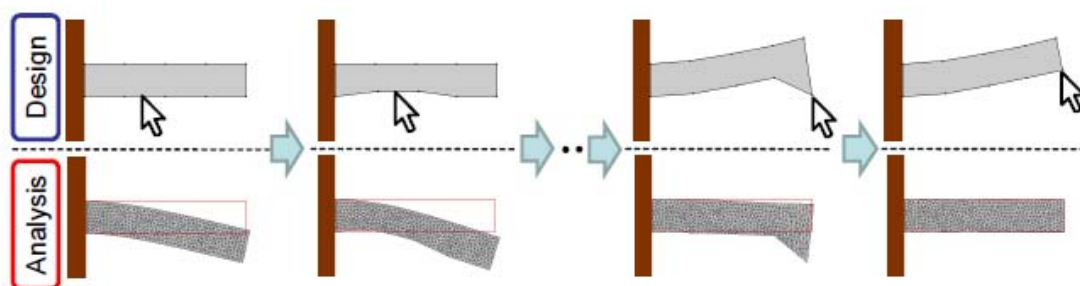


図 2 片持ち梁の変形後の形状のデザイン。変形後に赤い枠で示された形状になるような初期形状を決めることができる。

弾性体の振動解析

地震に耐えられる建物を作ったり、風によって引き起こされる周期的な力に耐えたり、ジェットエンジンのブレードのような回転機械の部品を設計したりする時、常に共振の現象が起こらないか設計者は注意しなければならない。このソフトウェアを用いることで、常に加振されている状況で形状を変形させながらその応答を得ることで、共振を避けるようなデザインをすることができる。

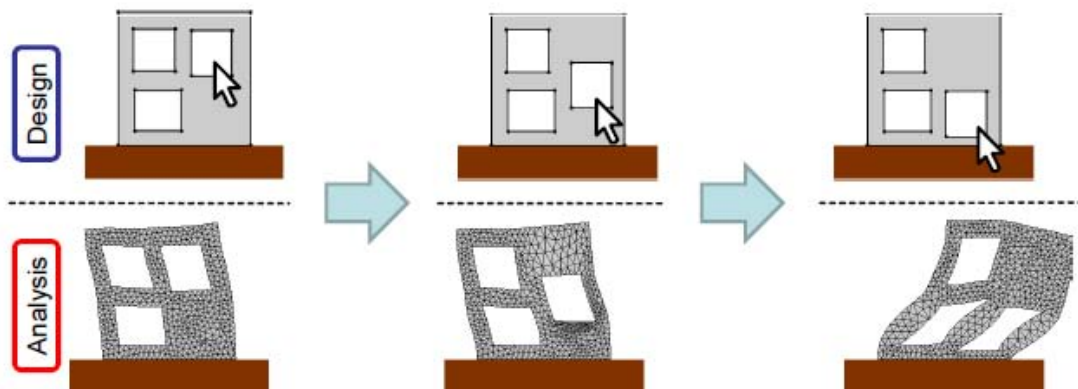


図 3 共振しない形状のデザイン。地面が定周波数で振動している際の建物の過応答解析を行った。建物の固有振動数と地面の固有振動数が近くなってしまった場合は、共振現象により変位が拡大し、建物は破壊される。共振を避けながらデザインすることができる。

シェル状構造物の変形解析

シェル状構造物についても、インタラクティブな設計と解析の融合を行った。例としたのはテーブルクロスとエアバックの解析である。テーブルクロスの解析では重力によって布が垂れ下がり、襞を作る様子がデザインインタラクティブに解析されている。また、エアバックの解析では2次元の膜を、空気を入れることで膨らませた後の形状を見ながら、型紙のデザインを決めることができる。

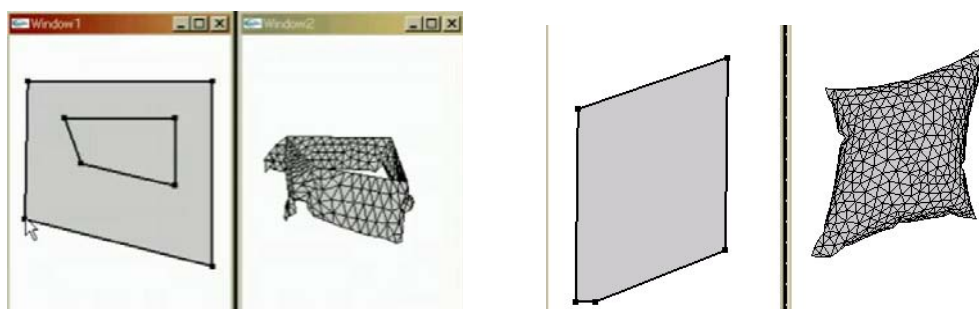


図 4 シェル状構造物の解析。テーブルクロスのインタラクティブなデザイン(右)。風船のインタラクティブなデザイン(左)

流体解析

風洞実験をコンピュータ上でインタラクティブに形を変えながら行うデモである。カルマン渦、境界層の剥離、浮力の発生、流体抵抗の発生箇所などが流体解析から分かるほか、形状を変えながらそれらの現象を観察することで、目的の機能を満たす物体の形を設計することができる。翼の設計、流路の設計、ドアミラーの設計など強い流れに常にさらされるよう

な物体の設計に役にと考えられる。

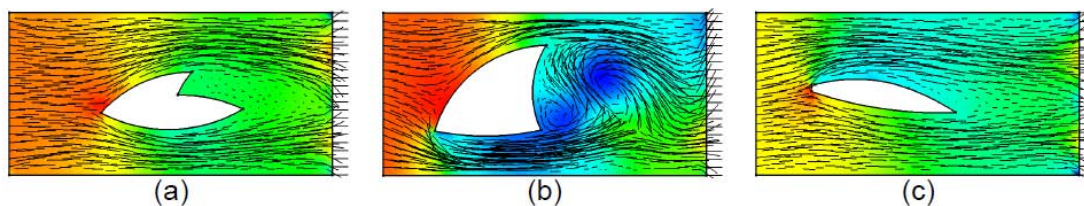


図5 インタラクティブに形状変形できる流体中の形状のデザイン。(a)では境界層が剥離しているのがわかる。また(b)ではカルマン渦列が発生している。(c)では物体の下側の圧力が上側よりも高くなり揚力が発生しているのがわかる。

熱流体解析

自然対流問題のような複雑な問題では設計方針を立てづらい。このような問題に対してもインタラクティブな形状変形とリアルタイムフィードバックが有効であると考えてデモを生成した(図6)。温まりやすい(冷めにくい)ティーポットの設計、室内やサーバールームのエアコンや送風機のレイアウト、PCの中の気流解析に役に立てられる。

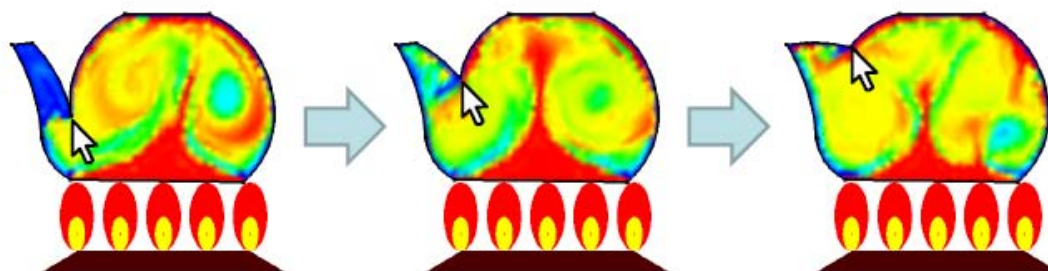


図6 インタラクティブに形状変形できる熱流体解析。自然対流によってティーポット内の熱が拡散してく様子をポットの外形を変えながら見ることができる。

音場解析

音の伝播の支配方程式である波動方程式を特定の周波数領域で表現した方程式である、Helmholtz 方程式をインタラクティブに変形できる領域内で解析している(図7)。室内音響システムやコンサートホール、音響ソナーの設計、航空機のステルス設計、吹奏楽器(笛やオカリナ)の設計に役に立てられる。

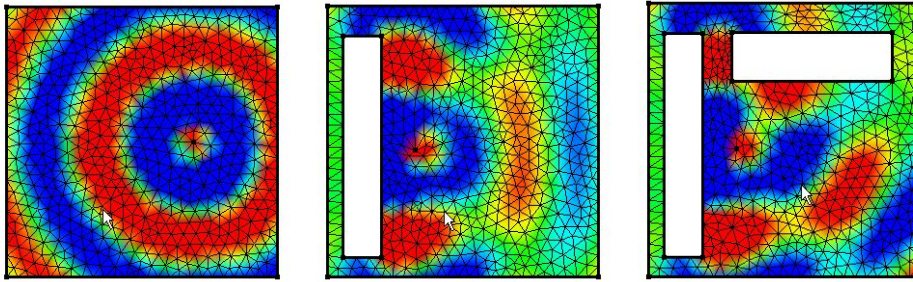


図7 音が障害物によって反射し、干渉する様子をリアルタイムに障害物の形状や位置を変えながら見ることができる。

4. 従来の技術との相違

- 一般的に「CAD と CAE が統合された」と言われるソフトウェアとの違い
「CAD と CAE が統合された」と一般的に言われるソフトウェアは単純に CAD と CAE が1つのソフトウェアに別々の機能として実現されただけである。CAD によるモデリングをした後に CAE による解析を行うことには何ら変わりはなく、もちろんインタラクティブに結合されている訳では無い。その点 CAD とリアルタイムの FEM がリアルタイムに統合されて、CAD によるモデリング中に CAE による解析が行われているのは新しい。
- リアルタイム物理エンジンとの違い
スケッチベースのモデラーと物理シミュレーションを融合させたソフトウェアの例として、スウェーデンの大学生が作った Phun (<http://www.phun.jp/>) やプロメテック・ソフトウェア(株)が作った OE-Cake (<http://www.octaveengine.com/casual/oecake/>) のようなソフトウェアが挙げられる。これらは剛体解析であったり粒子による解析であったりするので、弾性体を扱えないし、設計に役に立つような真面目で精度の高いシミュレーションをすることはできない。本システムの特徴は設計用途で使えるような有限要素法を真面目に解いた精度の高い解がリアルタイムでインタラクティブに得られることである。
- リアルタイムの有限要素法の既存の研究との違い
うまく有限要素法の解析アルゴリズムを工夫すればリアルタイムで有限要素法の解析ができることは知られていた。しかしその応用例はバーチャル手術やバーチャル彫刻などの研究レベルに留まっており、具体的に役に立つ応用例が見つからない状態であった。本開発で既存の研究と違うのは、設計変更にリアルタイムで有限要素法の解析結果が反映される点である。これにより実際の設計にも役に立つ、大きな価値を創出することを示した。

5. 期待される効果

設計変更が解析にリアルタイムで反映され、その設計変更が良かったのか悪かったのかを瞬時に判断することができるので、形状と解析結果の因果関係が理解できるようになり、設計に対する方針を立てることができる。これによって素早く最適に近い設計をすることが可能となる(最適設計)。また、設計者が常識にとらわれることなく、詳細設計に入る前段階でもっと自由に物の形を模索して設計できる(Early Stage of Design)。それに加え、変形後の形状がさだめられているような制約の厳しい設計についても効果を発揮する(拘束条件の大きな設計)

このようなソフトウェアは教育用のツールとしても有効である。このソフトウェアを使用することで、形状から物体内部の応力や流速などの場の関係を感じ覚的に予測できるようになるからである。このような場を予想する力は、現場で長年実際に物を作って壊すことを繰り返して培われるものであった。しかし、このソフトウェアは計算機上でそのようなエンジニアリングセンスを速く習得することを可能とする。最近問題となっている技術の継承についても、このツールを使うことで解決可能だと考えられる。

6. 普及の見通し

現在、車や電化製品などの工業製品は急速に多品種小生産化が進んでいる。このような流れの行き着く先は、一人一人が自分に合った物を自分でデザインしてカスタマイズするような社会だと考えられる。デザインするソフトウェアにとって重要なニーズは工学的な知識を持たない一般ユーザーでも高機能な物が自由に設計できるよう支援することである。インタラクティブな設計と解析の結合はそのような状況に必須の技術であり、今後このコンセプトは間違えなく普及していこうと考えている。現在の開発内容はライブラリの実装に留まっているが、今後ソフトウェアとして GUI の整備、更なる高速化、開発/使用マニュアルの整備などをして、更に広めていく予定である。

7. 開発者名

梅谷 信行 (東京大学 新領域創成科学研究科 修士2年)

(参考)開発者 URL <http://ums.futene.net/>