

1. 担当PM

竹内 郁雄 PM(東京大学大学院 情報理工学系研究科 創造情報学専攻 教授)

2. 採択者氏名

チーフクリエイター: 梅谷 信行(東京大学大学院修士 2 年生)

コクリエイター: なし

3. プロジェクト管理組織

株式会社 オープンテクノロジーズ

4. 委託金支払額

2,969,683 円

5. テーマ名

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

6. 関連Webサイト

<http://ums.futene.net/>

7. テーマ概要

近年のものづくりの現場はIT化が進み、コンピュータ上で設計を行うCADや解析つまりシミュレーションを行うCAEなどのソフトウェアが必要不可欠となっている。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、これらのソフトのほとんどは欧米製で非常に高価である上、使用するためには高度な習熟が必要である。また大抵の場合において設計と解析は異なるソフトウェア上で実行され、入力データの移動や作成に多大な時間と労力がかかってしまう。僅かな数の形状しか試すことができず、解析結果に基づいた設計が十分行われていなかった。

そこで本プロジェクトでは設計と解析機能を高度に統合したソフトウェアをオープンソースで開発する。高度な統合とは単に同じソフト上で設計と解析機能を実現しただけではない。例えば設計変更の情報を活用することで従来の解析の大きなボトルネックであったメッシュ生成の手続きを大幅に高速化する。これにより、設計変更を解析結果にインタラクティブに反映させることが可能になる。

このインタラクティブ化により形を変えながら結果を見ることができ、形状の最適化に有効となる。また形状と応力などの物理量の相関が理解できるため設計に関する直感を養う効果も期待できる。このような革新的なソフトを使うことで日本の製造業を活性化させ世界にインパクトを与えられると考えている。

具体的な開発項目は以下のとおりである。

- 1.モデルの変形に追従してメッシュを変形させるアルゴリズムの開発。
- 2.動くメッシュ上のALE座標系における各種偏微分方程式の定式化、離散化、実装
- 3.様々な偏微分方程式を扱うことができる柔軟な解析のためのアーキテクチャの開発

現在、私が開発しているオープンソースの有限要素法ライブラリDelFEMに統合する形で提供される。

8. 採択理由

梅谷君の話を聞いて、CAD(設計)とCAE(解析)を統合したものが世の中にあまりないということにまず驚いた。これはそこを突いた提案である。梅谷君はまず5000~10000個程度のメッシュ規模の設計と解析が一体化して、インタラクティブに実行できるものをオープンソースで開発する。彼のつくった有限要素法のオープンソースDelFEM(公開済み)を拡張する形にするが、ソフトオープンソースとすることの戦略がしっかりしている。設計と解析が一体化したオープンソースソフトは世界で初めてのこと。

この規模でも中小企業とか、彼のいう貧乏なもの作りサークルとかには十分使えると思う。未踏期間中には教育に使えるレベルまで完成させることを目標にしているが、それでも役立つだろう。実際に彼はこれまで「貧乏な」人力飛行機サークルでの機体設計でさんざん苦労しただけあって、このようなシステムに必要なものがなんである

かをよく知っている。そこが強味である。有限要素法の数学的基礎を学ぶためにわざわざ海外の大学の数学科に留学したというのも梅谷君のガッツの現われた。大学院終了後、CAD系の会社に就職するとのことだが、ここで開発したソフトをオープンソースソフトとして十分に成長させるための礎を築いてほしい。

9. 開発目標

近年のものづくりの現場はIT化が進み、コンピュータ上で設計を行うCAD(Computer Aided Design)や解析、つまりシミュレーションを行うCAE(Computer Aided Engineering)などのソフトウェアが必要不可欠となっている。このようなソフトウェアは、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、これらのソフトウェアのほとんどは欧米製で非常に高価である上、使用するためには高度な習熟が必要である。また大抵の場合において、設計と解析は異なるソフトウェア上で実行され、入力データの移動や作成に多大な時間と労力がかかってしまう。結果として、僅かな数の形状しか試すことができず、解析結果に基づいた設計が十分行われてこなかった。

そこで本プロジェクトでは、設計と解析機能を高度に統合したソフトウェアを開発し、オープンソースソフトウェアとして公開する。高度な統合とは、単に単一のソフトウェア上で設計と解析機能を実現するだけではない。例えば設計変更の情報を活用することで、従来の解析の大きなボトルネックであったメッシュ生成の手続きを大幅に高速化する。これにより、設計変更を解析結果にインタラクティブに反映させることが可能になる。

このインタラクティブ化により、形を変えながら結果を見ることができ、形状の最適化を行う作業にとって有効なものとなる。また形状と応力などの物理量の相関が理解できるため、設計に関する直感を養う効果も期待できる。このような革新的なソフトウェアを使うことで、日本の製造業が活性化され、世界にインパクトを与えられられる。

10. 進捗概要

当初の計画よりも大幅に進めることができた。10月からは未踏ユースがきっかけとなり、五十嵐UIプロジェクトでの共同研究を開始した。また、未踏ユースの開発内容と共同研究の内容を米国のCG分野でトップのジャーナルであるSiggraphへ投稿した。

11. 成果

本プロジェクトの開発成果は、設計と有限要素法解析がインタラクティブに統合されてシミュレーションから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のが一番の特徴である。

- 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として、スウェーデンの大学生が作った Phun (<http://www.phun.jp/>) や (株)プロメテック・ソフトウェアが作った 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。

12. プロジェクト評価

梅谷君の開発の原動力になったのは大学学部 1 年から 3 年まで夢中にやっていた人力飛行機の開発の経験である。毎年琵琶湖で行なわれていた「鳥人間コンテスト」を目指したものであったが、なにしろ予算が少ない。そのためもあって 100~300メートル

ル程度しか飛ばず参加チーム中の下位に甘んじなければならなかった（優勝チームの飛行距離は30Kmを超えた!）。つまり、学生時代にもものづくりの本物の現場を体験して悔しい思いをした。それを自分の研究のテーマにし、ついでに(?)未踏ユースでそれを爆発させたわけである。

人力飛行機のように軽量の素材を巧妙に組み立てないといけない状況では、実験も素材が破損する程度の限界条件で行なわなければならない。このような実験に、計算機パワーを活用できれば、高価な素材を使う必要がなくなる。人力飛行機に限らず、これからはものづくりの現場では、強力なのに安価になってきた計算機パワーを使うべきなのである。

竹内はCADとCAEの区別を恥ずかしながら、梅谷君のプロジェクトに関わるまでボンヤリとしか知らなかったのだが、なるほどCADとCAEが実時間で相互作用できれば素晴らしい。ものづくりばかりでなく、ものづくりに携わる「職人」の感覚を非常に手軽に会得できる手段を与えるものになる。

基盤となる有限要素法の数学について梅谷君はプロである。それはDelFEMというオープンソースのライブラリに結集されている。数学的にプロであるばかりでなく、それをいかに効率的にプログラミングするかについて非常に鋭い感覚と腕前を持っている。だからこそ、このような統合ソフトウェアを一貫性をもってつくれるわけだ。隅から隅まで知りつくしていなければ、ノートPCで対話的にこんなにサクサク動くシミュレーションを見せられるわけがない、デモで有限要素法の数学の難しい話、つまり水面下のあがきを一切見せないのは見事である。ついでに言うと、未踏の開発物と同時進行していた修士研究のテーマは多少の関連はあるが、別物である。まったく恐れ入る。

梅谷君は未踏ユースの採択をきっかけに急速に世界を広げた。2001年度未踏本体のスーパークリエイターである五十嵐健夫さん（現在、東大・情報理工学系研究科・准教授）に引っ張られ、JST ERATOの五十嵐デザインインタフェースプロジェクトに参加し、そこでも大活躍している。そのほかにも、あちこちの学会や企業からお呼びがかかって忙しい思いをしたようである。東大工学部の中でも、梅谷君の開発したシステムを教育に使う計画がもち上がったが、ちょっとのタイミングの差で、別の高価な教育ソフトが導入されてしまった。残念なことだ。しかし、来年度以降、あるいはほかの大学での活用への道は十分に視野に入っていると思う。

梅谷君は徹底したオープンソース主義者である。また、折々に得られたデモは動画にしてYouTubeにアップロードしている。PMレビューでも重宝した。彼のWebページは一見の価値がある。

とりとめのない書き方をしてしまったが、梅谷君は、計画よりもはるかに進んだ成果を生み出した。特に竹内が感心したのは、パイプなどのように、2次元の板を立体的に曲げた構造のシミュレーションまで踏み込んでくれたことである。ものづくりの現

場で圧倒的に多いこの領域まで手を伸ばしたことによって、梅谷君のシステムは一挙に現実世界に適応した CAD・CAE 統合システムに近づいた。ところで、竹内は、梅谷君のシステムは「統合」という言葉を使わずに、CAD・CAE 融合システムと呼ぶべきだと思う。ともかく前例のないシステムが素晴らしい性能をもって誕生した。

聞くと、もう少しの期間、大学でプログラミング三昧を楽しめるようになったという。まだまだシステムの肉付けが続くことが期待できる。

13. 今後の課題

インタラクティブな設計解析手法を世の中に普及させることで次のようなことが順番に達成されるようにすることが目標である。

1. 熟練の設計者でなくても、物の形と応力などの場の関係に対する直感を身につけることができる。
2. 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。
3. 工学的な知識はあまり無いが、感性のあるデザイナーの人にも高機能な物が作れる。
4. 大量生産の画一的なデザインではなく、消費者自らが個人に合わせた物をデザインできる。

このようなことを実現させるために、必要な開発要件としては、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である。