

機関番号：3 2 6 6 3

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2010

課題番号：1 9 5 0 0 0 8 5

研究課題名(和文) インターネットを利用したプラグイン型 CAE システム構築に関する研究

研究課題名(英文) Research on the Internet Plug-in typed CAE System

研究代表者

塩谷 隆二 (SHIOYA RYUJI)

東洋大学・総合情報学部・教授

研究者番号：7 0 2 8 2 6 8 9

研究成果の概要(和文): 並列計算機上に構築された CAE システムを ASP 化し, Web ブラウザからの簡易操作のみで大規模解析を実現可能とするシステムの構築を行った. サーバ側で稼働する CAE システムとして汎用 CAE システムである ADVENTURE システムを用い, HTML と CGI (Common Gateway Interface) を用いた CAE 作業の一連の管理, およびデータ送受信を実現し, GUI が必要となる作業にはリッチクライアント技術に属する Java3D ベースの Java アプレットを用いることで, 全ての作業を Web ブラウザ上で行うことが可能なシステムとした. 特に, 大規模解析を実現するため, ほぼ全ての処理をサーバ側で実行するシステムとし, サーバ・クライアント間のデータ通信量を効果的に抑えることで, 汎用的な CAE システムでは困難な規模である, 1,000 万自由度規模の 3 次元構造解析を Web ベースのシステムにおいて実現可能とした.

研究成果の概要(英文): We have been developing an advanced general-purpose computational mechanics system, named ADVENTURE, which is designed to be able to analyze a three dimensional finite element model of arbitrary shape over 100 million Degrees Of Freedom (DOF) mesh. The ADVENTURE_Solid has been successfully implemented on a single PC, PC clusters and MPPs with high parallel performances. Since the software has become a quite large system, it is not easy to install or operate the system on parallel machines by users. To solve this issue, in this project, the main system including solver part is operated on the remote server like a cloud computing and to operate such a system from a client PC through the network, the Web-based CAE system is developed. As a large scale analysis, one model of 10 Million DOF is performed.

交付決定額

(金額単位:円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|------------|-----------|---------|-----------|
| 2 0 0 7 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2 0 0 8 年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2 0 0 9 年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2 0 1 0 年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 総 計 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：シミュレーション工学, 計算機システム, 超高速情報処理, web コンピューティング, 並列計算

1. 研究開始当初の背景

(1) シミュレーション技術の現状

様々な工業分野において、科学技術計算による詳細なシミュレーションが可能となってきており、その果たす役割は大きくなってきている。このようなシミュレーション技術を CAE(Computer Aided Engineering)と呼び、より詳細(大規模)なシミュレーションをより短時間を実現するために、ハイエンドな並列計算機の導入が必要不可欠となってきている。そこで研究代表者らは、専用並列計算機だけでなく安価な PC を複数台利用する PC クラスタ型並列計算機上においても稼働する、汎用大規模 CAE システム ADVENTURE を開発し、オープンソースソフトウェアとして公開しその普及に努めてきた。このようなシステムを利用することにより、専用並列計算機にたよらずに、大規模シミュレーションが実現可能となってきている。

(2) 問題点

CAE システムの高度化により、その利用価値、範囲は非常に広まっており、また必要となるハードウェアについては、導入コストが低くなってきている。しかし、ソフトウェアの導入、管理、利用についてはまだそのハードルが高く広く普及するに至っていない。またハードウェアについても、PC クラスタにより、低価格での並列計算システムの導入は可能となってきているものの、並列システムとして稼働、運用するには依然、専門技術が要求される。

(3) 提案手法

そこで本研究では、図 1 に示すようなバックエンド並列計算機とフロントエンド PC を Web Computing 技術により結合し、PC から並列計算機上の CAE の利用を可能とするシステムを開発する。開発者は従来通り並列計算機上での CAE システムの開発、構築および運用を行い、ユーザは PC 上の Web ブラウザ程度の操作のみで、そのシステムの利用を可能なものとする。しかし、高度 CAE システムの操作は容易ではないため、Agent 技術の導入によりその簡易化を実現する。本研究で提案する Agent は、バックエンド計算機上の高度 CAE とフロントエンドユーザとの間に介在し動作するミドルウェアとする。

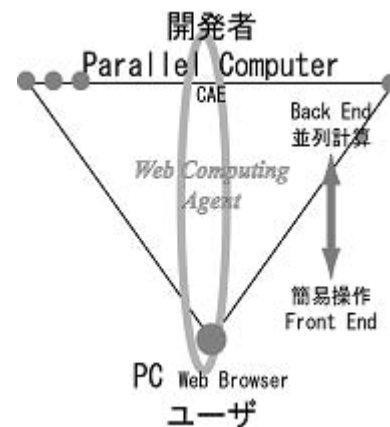


図 1 Front-Back End Computer and Web Agent System

2. 研究の目的

本研究の目的は、現状ではその導入、管理、操作の複雑、高度性から利用範囲が限られている、高度な CAE(Computer Aided Engineering)システムを広く普及させることを目的とし、Web Computing、Agent 技術を介することにより、ユーザを導入や複雑な操作から解放し、Web ブラウザの操作性と同程度の極めて簡易な操作のみによる利用の実現を目指す、インターネットを利用したプラグイン型 CAE システムの構築である。具体的には、バックエンド並列計算機とフロントエンド PC を Web Computing 技術により結合し、PC から並列計算機上の CAE の利用を可能とするシステムを開発する。開発者は従来通り並列計算機上での CAE システムの開発、構築および運用を行い、ユーザは PC 上の Web ブラウザ程度の操作のみで、そのシステムの利用を可能なものとする。

3. 研究の方法

本研究の特徴は、バックエンド(機能性)とフロントエンド(操作性)の完全な切離しにより、お互いからの制限を排除し、それぞれの特徴を活かした開発を行う一方、Web+Agent 技術によるそれらの密接な結合により、統一的利用を行う点である。従来の CAE システムでは、機能と操作性が密接に関連しているため、機能の高度化にともない、操作性についても高度、複雑化してきた。また簡易操作を目指す、その機能に制限をつけることとなり、実用に耐えられないデモンストレーション用程度のもとなっていた。そこで、高度な科学技術シミュレーションの結果をコンテンツとして Web 経由でユーザに提供し、ユーザ負担は Agent の支援により極力減らすことを目指し、コンテンツを生成する CAE 部分について、最先端技術を導入し高精度な大規模並列シミュレーションを実現し、

その結果を、ユーザは通常の Web コンテンツにアクセスする手順と同程度の手順により得ることを可能とする。このような高度化と簡易化の両極の進化を目指し、かつ結合する CAE システムの開発を行う。

この開発を実現するのが Agent 技術である。Agent はユーザとシステムとの関係を根本から変化させるものである。本研究における Agent は、多岐に渉る CAE 機能の中からユーザの解析意図に基づいて、必要な操作手順のみをテキストベースでユーザに提示することが可能である。この操作手順は知識処理に基づいてその都度生成され、またユーザの進捗を観察しており、不要な手順等に対して警告を発生し、自発的な情報提供することが可能である。またその提示方法は認知工学的な知見に基づきユーザの心理に配慮したものとなっている。自律的にユーザの挙動を観察、ユーザモデルをシステム内に構築、リアルタイムに更新、ユーザに対して能動的に、また選択的に必要な知識を提供することが可能である。この点が本システムのコンテンツ・プロバイダとしての機能を革新的なものにしている点である。

4. 研究成果

システム全体を通しての操作性および実用性を調べるために、約 11,000 自由度の小規模モデル (L-Shape Model) と、大規模モデルとして約 470 万自由度モデル (Flanged-Pipe Model (Large)) および約 1,000 万自由度モデル (Flanged-Pipe Model (Huge)) の静応力解析を行った。各モデルのメッシュ情報、自由度数、表面パッチ情報、および各データのファイルサイズを表 1 に示す。有限要素としては、4 面体 2 次の 3 次元ソリッド要素を用いており、メッシュ表面は 3 角形により構成されている。境界条件として、全てのモデルに対し、片端面を固定し、もう一方の端面に曲げ荷重を付加した。表の Model file において、IGES は形状定義、Mesh はメッシュの要素構成節点番号と節点座標値、Displacement は解析結果である節点変位量、および Eqv. stress は解析結果である節点相当応力を含んだテキスト形式のファイルサイズである。また、Surface file では、Patch は表面パッチにおける 3 角形要素の構成節点番号と節点座標値、Patch group は表面パッチの 3 角形要素を同一面ごとにグループ分けする情報、Displacement と Eqv. stress はそれぞれ表面パッチ上の節点に関する変位量と相当応力を含んだテキスト形式のファイルサイズを示している。

はじめに ADVENTURE システムベースの CAE システムである、単一 Windows マシン上で動作する ADVENTURE on Windows との比較を行った。ここで、ADVENTURE on Windows におけ

表 1 Sizes of analysis models

| Model | L-shape | Flanged pipe (Large) | Flanged pipe (Huge) |
|----------------------|----------|----------------------|---------------------|
| Elements | 2,159 | 996,684 | 2,275,194 |
| Nodes | 4,002 | 1,599,037 | 3,501,541 |
| DOFs | 11,037 | 4,704,900 | 10,345,692 |
| Triangles on surface | 1,096 | 285,398 | 503,098 |
| Nodes on surface | 550 | 142,699 | 251,549 |
| Model file | | | |
| IGES | 35.5 KB | 68.7 KB | 68.7 KB |
| Mesh | 201.7 KB | 113.4 MB | 264.6 MB |
| Displacement | 225.6 KB | 92.0 MB | 202.6 MB |
| Eqv. stress | 92.8 KB | 40.1 MB | 89.1 MB |
| Surface file | | | |
| Patch | 25.2 KB | 8.7 MB | 15.9 MB |
| Patch group | 8.0 KB | 1.9 MB | 3.3 MB |
| Displacement | 21.8 KB | 5.6 MB | 9.8 MB |
| Eqv. stress | 7.5 KB | 1.9 MB | 3.4 MB |

表 2 Runtime(sec) of each procedure

| Model | Local | Remote | | |
|-----------------|---------|---------|--------------|-------------|
| | L-shape | L-shape | Pipe (Large) | Pipe (Huge) |
| Make mesh | 32 | 19 | 378 | 1115 |
| Send IGES | - | 0.05 | 0.2 | 0.2 |
| AdvTriPatch | 3.8 | 0.2 | 135.8 | 417.4 |
| AdvTetMesh | 2.0 | 0.6 | 190.6 | 610.0 |
| Extract surface | | 0.01 | 31.8 | 67.1 |
| Set B.C. | 18 | 24 | 29 | 39 |
| Recv. model | - | 0.1 | 3.0 | 7.0 |
| 1st Render | | 0.0 | 0.7 | 3.6 |
| Pick object | | 0.0 | 2.7 | 6.0 |
| Send BC | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FEM Solve | 16 | 8 | 540 | 1340 |
| Make Adv. data | | 0.06 | 24.3 | 51.7 |
| AdvMetis | 0.1 | 0.1 | 22.7 | 40.6 |
| AdvSolid | 2.9 | 1.6 | 472.0 | 1204.4 |
| Extract data | | 0.3 | 10.4 | 23.0 |
| Visualize | 9 | 10 | 27 | 54 |
| Recv. model | - | 0.1 | 10.0 | 27.0 |
| 1st Render | | 0.2 | 3.2 | 7.7 |
| Total | 75 | 60 | 974 | 2548 |

る境界条件設定と解析結果可視化では、本システムで開発した Java アプレットを元に構築した Java アプリケーションが使用されているため、それら GUI が必要な部分の 3 次元グラフィックス処理性能は基本的に同等である。

表 2 に、ADVENTURE on Windows の結果 (Local/L-Shape) および本システムの結果 (Remote/L-Shape) を示す。表は、メッシュ生成 (Make mesh)、境界条件設定 (Set B.C.)、FEM 解析 (FEM Solve)、および解析結果可視化 (Visualize) の 4 工程における所要時間を表している。時間はマウスやキーボード操作の時間も含んだものであり、その下には主な処理ごとの内訳を示している。ただし、境界条件設定ではピッキングによる面の選択と値の設定を 2 回、解析結果可視化では表示する

スカラー値として相当応力を選択するなどを行っており、その他の工程ではわずかなパラメータ値の入力とマウスによるボタン操作程度である。なお、ADVENTURE on Windowsにおける処理ごとの内訳は、明らかな箇所のみ示している。

ここで表において、Set B.C.における Extract surface はメッシュからの表面情報抽出であり、FEM Solve における Make Adv. data はソルバ入力用ファイルの作成、および Extract data はメッシュ表面上の解析結果データ抽出に要した時間を表している。1st Render は Java3D によるシーングラフの作成と描画に要した時間を示しており、物体の回転などを行った後の再描画に要する時間はこの時間よりも短くなる。また、Send IGES は形状定義ファイルのサーバへの送信に要した時間、Set B.C. の Recv. model は CGI 経由で表面パッチと表面パッチグループ情報のサーバからの受信に要した時間、および Visualize の Recv. model は CGI 経由で表面パッチと表面パッチ上の節点変位量と節点相当応力のサーバからの受信に要した時間である。データの通信量は表 1 に示す当該ファイルサイズに相当する。

表より、メッシュ生成や FEM 解析など計算負荷が高い処理については、サーバ側の高性能な計算機を利用する本システムの優位性を見ることができる。境界条件設定と解析結果可視化ではデータの送受信が生じるため、ADVENTURE on Windows と比較して若干遅くなっているが、一連の CAE 作業における総解析時間では本システムの方が高速であった。本システムでは、必要となる入出力ファイル類が全てサーバ上で処理されており、クライアントとサーバ間での通信がほとんど発生しないため、約 1 万自由度の小規模問題に対して、クライアント端末にインストールされた CAE システムと同程度の時間で解析を実現することに成功した。

次にクライアント端末単体では解析不可能な規模として、約 470 万自由度と約 1,000 万自由度のモデルを用いた解析を行った。表 2 に、各処理に要した時間を示す。AdvMetis と AdvSolid においては、470 万自由度モデルではサーバ側の PC を 8 台、1,000 万自由度モデルでは 16 台による並列処理を行い、その他の処理はサーバ側でも 1 台による逐次処理を行った。図 2 に解析結果を PC 端末で可視化した画面を示す。表より、一連の静応力解析の工程を、単一 PC では解析が困難な規模である 470 万自由度モデルにおいて約 16 分、および 1,000 万自由度モデルにおいて約 42 分で終わることに成功した。また、大規模解析で高負荷な処理となるメッシュ生成および FEM 解析は、使用する ADVENTURE システムと計算サーバの性能に依存するが、実用的な

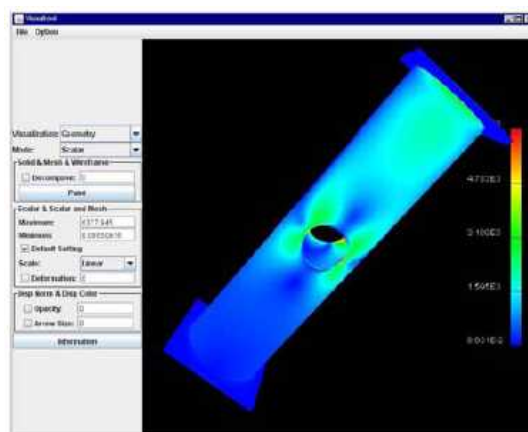


図 2 Visualize the result of a flanged pipe model

時間内に実現可能であることがわかる。

表に示す時間はマウス操作などを含んでいるが、1 つの工程全体の時間と主な処理ごとの内訳の総和との差にそれらの時間の程度を見ることができる。本システムでは、GUI 部分以外はわずかなパラメータ入力とボタン操作によって利用できるため、1,000 万自由度規模のモデルにおいても小規模モデルと同程度の操作性が得られた。ただし、GUI 部分では、物体の描画に要する時間が物体の回転などを行うマウス操作時間に含まれているため、解析規模の増大に伴ってそれらの時間も増加している。

ここで、表 1 より、470 万自由度モデルと 1,000 万自由度モデルのメッシュファイルと解析結果ファイルの大きさは数百 MB レベルとなっている。しかし、本システムではメッシュと解析結果からの表面情報抽出をサーバ側で実施するため、1,000 万自由度モデルにおいてもダウンロードすべきファイルサイズはその 1/10 以下に抑えることに成功した。また、Java3D によって描画する要素数は 1,000 万自由度モデルにおいても 50 万三角形程度であり、比較的無力である今回のクライアント端末においても移動・回転・拡大縮小などの操作を対話的に行なうことが可能であった。なお、Java アプレットの使用最大メモリを 256MB と設定していたため、Java アプレットにそれだけのメモリを確保できる環境であれば、本システムを用いることで、1,000 万自由度規模の解析を実現可能である。

クライアントインターフェースを Web ブラウザとし、HTML+CGI を用いた CAE 作業の一連の管理、及びデータ送受信を実現し、GUI が必要となるモジュールには、Java+Java3D を用いたシステムを構築した。インターフェースとして Java3D を導入する事により、より複雑な機能を実装し、Web Computing を利用し CAE システムにアクセスし、ブラウザの操作のみで大規模並列計算を実現した。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(2)研究分担者(0)

(3)連携研究者(0)

[雑誌論文](計10件)

Ryuji SHIOYA, Masao OGINO, Kei FUJINO, Hiroshi KANAYAMA and Hiroshi KAWAI, Development of Parallel CAE System for Large Scale Problems Based on Computer Network, Journal of Advanced Materials Research, Vols. 33-37, pp.907-912, 2008, 査読有り.

塩谷隆二, 荻野正雄, 河合浩志, 三好昭生, 大規模解析のための Web ベース CAE システムの開発, Transactions of JSCES, Vol.2007, 20070020, pp.1-8, 2007, 査読有り.

[学会発表](計45件)

Ryuji SHIOYA, Masao OGINO and Hiroshi KAWAI, Parallel CAE System for Large Scale Problems Based on Computer Network, BWCCA-2010 (The Fifth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications), 2010.11.4, Fukuoka, JAPAN.

Ryuji SHIOYA, Masao OGINO, Kei FUJINO, Hiroshi KANAYAMA and Hiroshi KAWAI, Development of Parallel CAE System for Large Scale Problems Based on Computer Network, 7th Int. Conf. on Fracture and Strength of Solids 2007, 2007.8.28, Urumqi, China.

[図書](計3件)

塩谷隆二, 朝倉書店, 計算力学理論ハンドブック, 第21章 BEMとFEMのためのパネルクラスタリング法と階層行列, 2010, pp.569-587.

吉村忍, 塩谷隆二, 荻野正雄, 丸善, 計算力学シミュレーションハンドブック 超ペタスケールコンピューティングの描像, 2009, pp.118-124.

塩谷隆二, 朝倉書店, 計算力学ハンドブック, 2007, pp.186-199.

[その他]

ホームページ等

<http://www2.toyo.ac.jp/shioya/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

塩谷 隆二 (SHIOYA RYUJI)

東洋大学・総合情報学部・教授

研究者番号: 70282689