

13-IS03

## クラウド援用 CAE スキル継承システムに関する研究

奥田洋司（東京大学）

### 概要

本研究では、ASNARO システムを用いて、並列有限要素法構造解析アプリ FrontISTR のクラウドサービス化を行った。ASNARO システムの機能（パラメータ探索やデータベース管理など）を利用して、研究者が行うシミュレーション実行の手続きを自動化・簡略化できる環境を構築できた。また、クラウド援用 CAE システムの利用に関する知識伝承レベルの評価を行うため、解析モデル、ジョブ制御パラメータ、解析結果、タスクフローなどのデータをリザーバに蓄積し、CAE アプリのユーザ同士で共有する環境の準備を Web 上で行った。ユーザグループでのクラウド援用 FrontISTR システムの運用方法を整備し、知識伝承レベルの評価を今後進める必要がある。

### 1. 研究の目的と意義

#### 研究の目的

本研究は、先行して実施されている、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点公募型共同研究課題「マルチパラメータサーベイ型シミュレーションを支えるシステム化技術に関する研究」（平成 22～24 年度、代表：奥田洋司（東京大学））の成果をシーズとして提案するものである。この先行研究では、共同研究拠点のスーパーコンピュータや共同研究者が所有する PC クラスタなどから構成されるクラウド環境上で、有限要素解析や可視化ツールなどの様々な Computer Aided Engineering (CAE) アプリケーション（以下、アプリと表記）をクラウドサービス化できるグリッドミドルウェア『RCM』を開発した。現在、RCM はキャトルアイ・サイエンス社が開発した『ASNARO システム』によってラップされている。RCM を利用して、「不確実性を考慮した構造設計」、「風洞シミュレータを使ったシミュレーション教育」、「OCTA を使った高分子シミュレーション」といった実研究システムを構築し、そのシステムを Web Service 化することに成功した。本研究では、クラウド環境上で利用できるようにした CAE システムを『クラウド援用 CAE システム』と呼ぶ。

本研究では、クラウド環境上での CAE アプリ利用の利便性を引き続き向上させると共に、クラウド援用 CAE システムの利用形態をより深化させる

ことによって、CAE アプリ利用における「形式知としてのスキル継承」を可能にすることを目的とする。具体的には、解析モデル（幾何形状、メッシュ、境界条件、物性値、アルゴリズム制御パラメータなど）、ジョブ制御パラメータ（利用計算機情報、コンパイルオプション、並列数など）、解析結果（計算結果リスト、画像、エラーメッセージなど）、それらを取り扱うタスクフロー（解析に必要なデータの準備や転送、解析実行の一連の手続き）をクラウド環境上のリザーバに蓄積し、アプリのユーザ同士でそれらの共有を可能にする。

前述した先行のシーズ研究において、クラウド援用 CAE システムを実現するための基盤的な要素技術はグリッドミドルウェアの形で開発され、その有効性は幅広い CAE アプリを対象に既に実証済みである。本研究では、対象アプリと利用形態をある程度絞り込み、一方で、アプリのユーザ参加型の継続的なデータ充実化、運用体制への移行を目指す。そこで、アプリ利用や解析データ共有の活性化を図るといふ、同様の目的を有する産官学の研究委員会活動（「FrontISTR ユーザ会」の会員、一般社団法人日本計算工学会「GreenCAE 研究分科会」の会員など）と有機的な協力をを行う。研究目的の達成度は、リザーバ上に登録されたデータ数や利用回数、ユーザのコメントなどにより評価する。

#### 研究の意義

本研究の意義の一つは、公的な競争的資金などによりアプリが研究開発された場合、その成果を社会還元するための有力な方法となることである。従来は、「ソフトウェア公開」によって、実行モジュール、ソースコード、ユーザマニュアルなどの関連ドキュメントを Web から入手可能とすることが多い。開発者側としても、公開を通じてソフトウェアが広く普及することを望んでいる。また、研究開発されたアプリの有効性を保証する手段として、公開に勝る手段はないとも言える。しかしながら、公開の本来の実効を果たすことは容易ではない。仮に有益なソフトウェアが公開されたとしても、公開はプロジェクト終盤に実施されるので、ユーザを意識した利用方法の説明、質問・バグへの対応などのきめ細かい十分なサポート体制がない。その結果、ある程度ソフトウェアはダウンロードされるものの、普及するかどうかの検討段階に至ることなく、やがて開発者も去り、ソフトウェアは塩漬けにされてしまう。本研究では、クラウド環境上において、CAE アプリが計算機ハードウェア、グリッドミドルウェア、各種の計算データ、タスクフローと緊密に連携するため、アプリのユーザ同士の実際のかつ経験的な知見共有を促進し、ユーザによるソフトウェアの自立的なメンテナンス体制を整えることに貢献できる。

もう一つの意義は、情報基盤センターの計算機サーバ（研究室レベルの計算機サーバを含む）を E ラーニングのような、従来の CAE 教育に利用するだけでなく、CAE 知識のリザーバとして利用することである。本研究で対象とする CAE アプリには商用アプリも含めることができるため、情報基盤センターが導入している様々な商用アプリも対象とすることができる。情報基盤センターの計算機サーバを利用して、ソフトウェアベンダによる一過性の講習会では提供されない、計算データや解析経験の充実化、それらを通じた知的サービス提供が期待されるという点で意義は大きい。

## 2. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

### (1) 共同研究を実施した拠点名および役割分担

#### 拠点名

北海道大学, 東京大学

#### 拠点の役割

北海道大学と東京大学の情報基盤センターに導入されている ASNARO システムを利用して、クラウド援用 CAE システムが構築される。このとき、ASNARO システムを動作させるためのアプリケーションサーバ (ASNARO-Front サーバ) およびデータサーバ (ASNARO-DB サーバ) を両大学に設置することになる。また、本研究では、並列有限要素法構造解析アプリ『FrontISTR』を始め、数種類の CAE アプリを使用する。CAE アプリの並列計算サーバとして、北海道大学の HITACHI SR16000/M1 と Blade Symphony BS2000, 東京大学の Fujitsu PRIMEHPC FX10 を利用する。バッチ投入型の比較的大規模な計算は、並列計算サーバで実施する。メッシュ生成、可視化などの対話的な処理はネットワークの RTT やパケットロス率が使用感に大きく響く。そのため、クライアント PC との物理的距離が比較的近い、研究グループメンバーの研究室に設置されている PC クラスタを使用する。

本研究を遂行し、その成果を利用するためには、ASNARO システムが共同研究の実施拠点の手による運用体制のもとで継続的に利用できることが必要である。ソフト・ハードの両面から、北海道大学と東京大学の運用協力が必要とされる。

### (2) 共同研究分野

超大規模情報システム関連研究分野

### (3) 当公募型共同研究ならではの事項など

我が国で利用されている CAE アプリの多くが欧米製のものであり、国産 CAE アプリの普及と継続的なサポートの重要性がかねてより指摘されている。したがって、最近では、アプリの研究開発の段階から普及の方策を盛り込んだプロジェクトも見られるようになった。しかしながら、解析データや利用知識の収集・共有・利用を通じた、CAE アプリ利用におけるスキルの継承という観点が未だに欠けている。

商用グリッドサービスに目を向けてみると、い

くつかのクラウドサービスが始まっている。それらは演算とストレージの能力を提供するものである。特定のアプリ利用における利便性の向上、さらにはスキルの継承に着目したサービスはほとんどみられない。

これら二つの課題を解決し、クラウド環境を有効に利用して CAE アプリ利用におけるスキルの継承を可能にするため、本公募型共同研究を通じて、具体的なクラウド援用 CAE システムの利用、共同研究拠点の計算機リソースの利用、およびユーザによるデータ共有システムの構築と利用、その評価が必要である。

### 3. 研究成果の詳細と当初計画の達成状況

#### (1) 研究成果の詳細について

##### クラウド援用 FrontISTR システムの構築

ASNARO システムを用いて、並列有限要素法構造解析アプリ FrontISTR のクラウドサービス化を行った (図 1 参照)。本研究では、クラウドサービス化された FrontISTR の環境をクラウド援用 FrontISTR システムと呼ぶ。ASNARO システムの機能 (パラメータ探索やデータベース管理など) を利用して、研究者が行うシミュレーション実行の手続きを自動化・簡略化できる環境を構築できた。

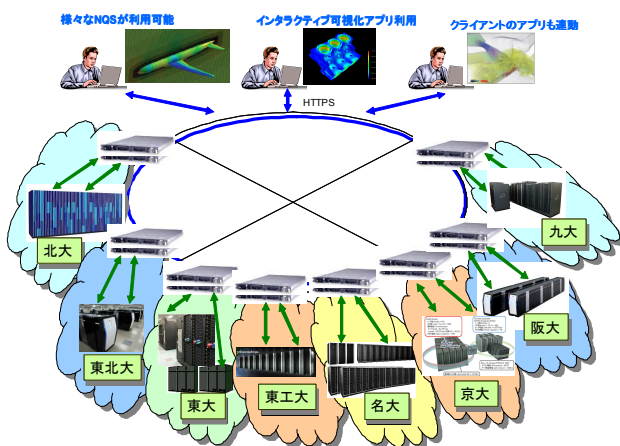


図 1 クラウド援用 CAE システムの概念図 (どの共同研究拠点の並列計算サーバでも利用可能な設計となっている。現在は、北海道大学および東京大学の並列計算サーバを利用可能である。)

#### ASNARO システムの概要

ASNARO システムはキャトルアイ・サイエンス社が開発し、先行研究のグリッドミドルウェア RCM をラッピングしている。アプリのクラウドサービス化だけでなく、データベースと連携した数値シミュレーションおよび計算結果のデータ管理を支援することも可能なシステムである。研究者は、数値計算を実行するためのシェルスクリプトを作成し、ASNARO システムに登録することによって、計算パラメータおよび計算結果をデータベースに登録できる。そして、データベースに登録した計算パラメータを使って数値シミュレーションやパラメータスタディが容易に行える。ASNARO システムは、ASNARO-Front サーバと ASNARO-DB サーバから構成される ASNARO サーバで動作する。図 2 に ASNARO システムの概念図を示す。

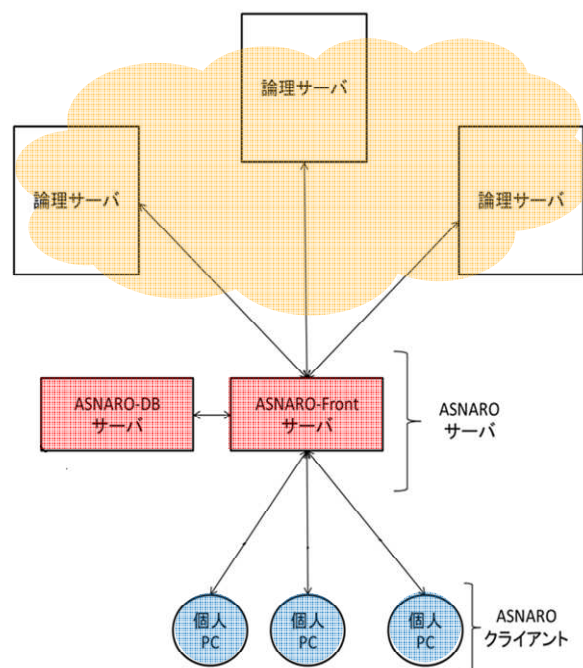


図 2 ASNARO システムの概念図 (ASNARO システムは、ASNARO-Front サーバと ASNARO-DB サーバから成る ASNARO サーバで動作する。ASNARO クライアントは、ASNARO サーバに要求を送信する。ASNARO サーバは、ファイルを論理サーバに転送したり、論理サーバで計算を実行したり、ファイルをデータベースに登録したりする。)

ASNARO クライアント（研究者が使用する PC）は、ASNARO サーバに要求を送信する。ASNARO サーバは、ファイルを論理サーバ（ここでは、共同研究拠点の並列計算サーバのことを指す）に転送したり、論理サーバで計算を実行したり、ファイルをデータベースに登録したりする。

システムの構築において前提とした環境

クラウド援用 FrontISTR システムの構築において前提とした環境を以下に示す。

- ・ CAE アプリ：  
並列有限要素法構造解析アプリ FrontISTR
- ・ ASNARO クライアント：  
奥田研究室の PC
- ・ ASNARO サーバ：  
東大情報基盤センターの HP ProLiant ML115 G5
- ・ 論理サーバ：  
東京大学情報基盤センターの Fujitsu PRIMEHPC FX10, 研究室の PC クラスタ

システム的设计

クラウドサービス化の際に考慮する要件は、以下に示す a~e である。

- a. ユーザを共同研究のグループ単位で管理すること
- b. 共同研究を行うグループで計算結果を共有すること
- c. 実行手順を可能な限り自動化すること
- d. ユーザに使いやすい形で提供すること
- e. 柔軟にシステム改善できることである。

上述の要件 a と要件 b は ASNARO システムに備わる機能によって実現可能である。

残りの要件を満足するため、FrontISTR による構造解析シミュレーションの実行手順から「ASNARO システムを用いて自動化できる部分」と「人手によらなければならない部分」の切り分けを行った。以下に実行手順を示す。

[0] FrontISTR のインストール（既にインストール済みの場合は必要ない）

- ① FrontISTR のソースコードを用意する。
- ② ソースコードをコンパイルする。\*

[1] FrontISTR 解析用ファイルの用意

- ① 単一領域データ、解析制御データを用意する。
- ② ソルバなどの解析用パラメータを決める。

[2] 領域分割の実行（並列計算の場合）

- ① 分割する領域数を決める。
- ② 全体制御データと領域制御ユーティリティデータを作成する。\*
- ③ パーティショナの実行スクリプトを作成する。\*
- ④ パーティショナを実行する。\*

[3] FrontISTR による解析実行（並列計算の場合）

- ① 並列計算で用いる CPU の数を決める。
- ② FrontISTR の実行スクリプトを作成する。\*
- ③ FrontISTR を実行する。\*

ただし、\*印の部分は、ASNARO システムを用いて FrontISTR をクラウドサービス化することによって自動化できるようになる部分である。

FrontISTR をクラウドサービス化するためには、ASNARO コンポーネントと ASNARO ワークフローを作成する必要がある。

システムの実装

まず、数値シミュレーションを行うためのシェルスクリプト（起動ファイル）や入力ファイルなどを用意した。次に、ASNARO クライアントから ASNARO サーバにログインした。そして、用意したファイルを ASNARO サーバへ転送して、ASNA

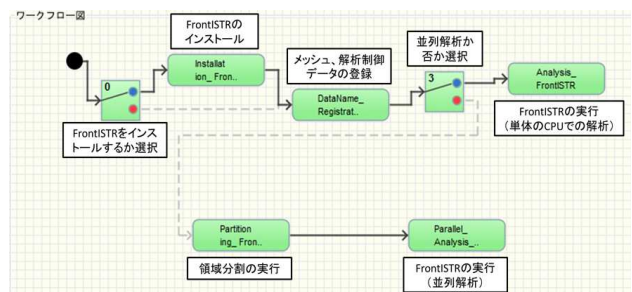


図 3 ASNARO システムを用いてクラウドサービス化された FrontISTR のワークフロー（黒丸がフローの開始、黄緑色がコンポーネント、矢印がフローの方向を示す）

RO コンポーネントを作成した。最後に、作成した ASNARO コンポーネントを組み合わせ、ASNARO ワークフローを作成した (図 3 参照)。

### システムの動作確認

いくつかの入力ファイルを用意し、クラウド援用 FrontISTR システムで構造解析シミュレーションを行い、設計した通りの動作となることを確認した。計算結果は ASNARO サーバ上で一元的に管理されるため、自分がどの共同研究拠点の計算機サーバで計算しているのかを意識することはない (図 4~図 10 参照)。

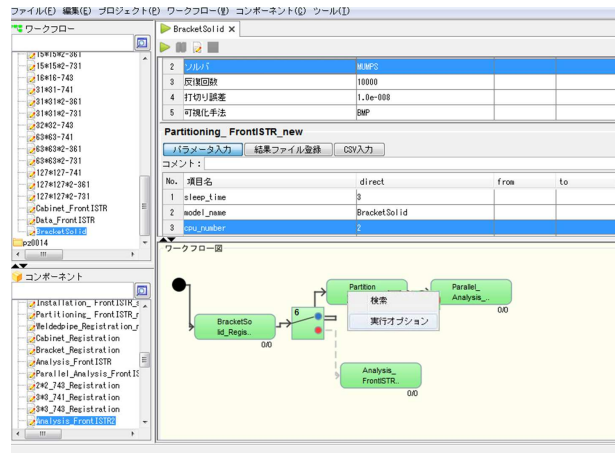


図 5 ASNARO クライアントでのクラウド援用 FrontISTR システムの実行画面 (各コンポーネントを右クリックし、実行オプションを選択する。)

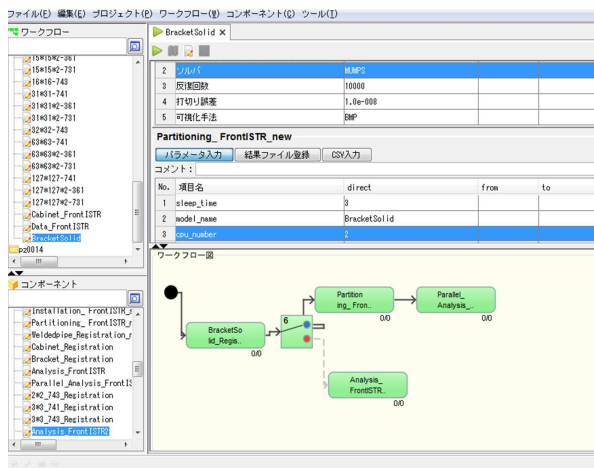


図 4 ASNARO クライアントでのクラウド援用 FrontISTR システムの実行画面 (黄緑色がコンポーネントである。図のワークフローは、解析メッシュの登録コンポーネント、解析領域のパーティショニングコンポーネント、FrontISTR による並列計算コンポーネントから成る。)

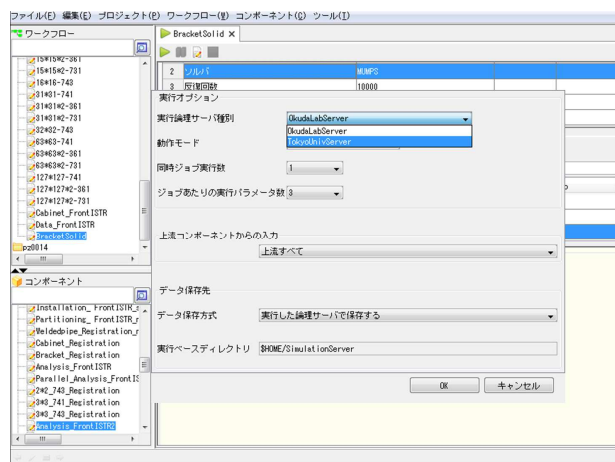


図 6 ASNARO クライアントでのクラウド援用 FrontISTR システムの実行画面 (実行オプションとして、論理サーバを選択できる。図のコンポーネントでは、東京大学情報基盤センターの Fujitsu PRIMEHPC FX10, 奥田研究室の PC クラスタを選択できる。)

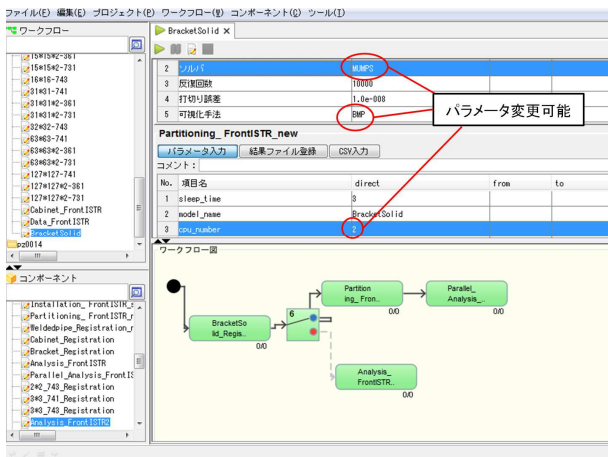


図 7 ASNARO クライアントでのクラウド援用 FrontISTR システムの実行画面 (各コンポーネントの計算パラメータは変更可能である.)

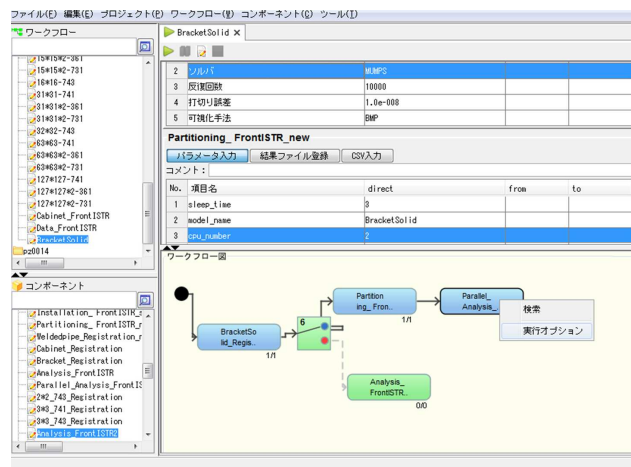


図 9 ASNARO クライアントでのクラウド援用 FrontISTR システムの実行画面 (コンポーネントの実行が正常に終了すると、コンポーネントの色が青色に変わる。全てのコンポーネントが正常に終了した後、FrontISTR による並列計算コンポーネントを右クリックして、検索を選択する.)

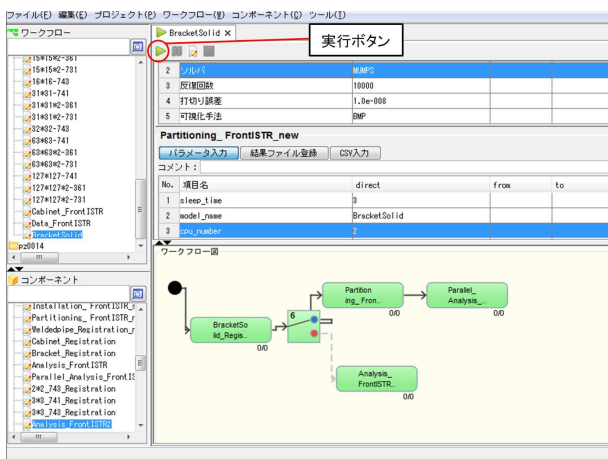


図 8 ASNARO クライアントでのクラウド援用 FrontISTR システムの実行画面 (実行ボタンをクリックすると、構造解析シミュレーションが実行される.)

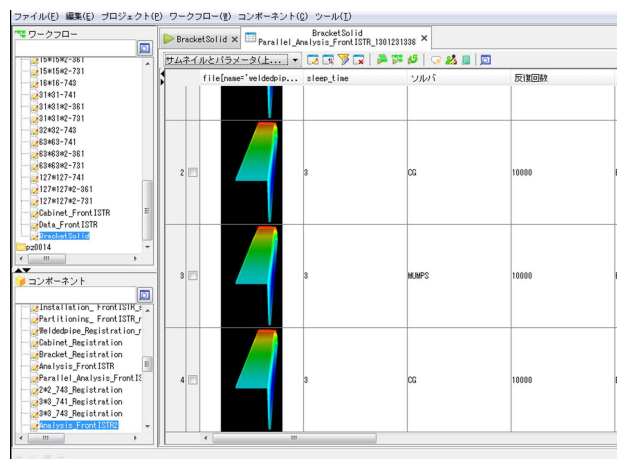


図 10 ASNARO クライアントでのクラウド援用 FrontISTR システムの実行画面 (検索が終わると、Bitmap 画像で計算結果を確認することができる。図に表示されているのは、ブラケットモデルの Mises 応力の分布である.)

システムの有限要素開発研究への利用

適用事例として、クラウド援用 FrontISTR システムを使ってシェル要素とソリッド要素の計算精度および計算時間の比較を行った。扱った解析モデルを図 11 に示す。

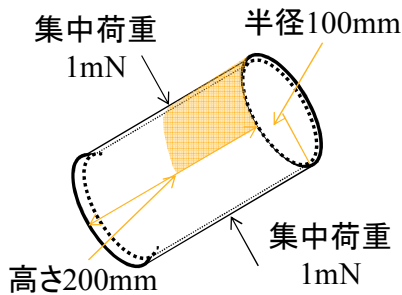


図 11 Pinched Cylinder モデル (解析対象となるのは黄色の 1/8 対称モデルである。Bucalem, M.L. and Bathe, K.J., *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.36, pp.3729-3754, (1993).)

ワークフロー上の解析メッシュ登録コンポーネントを変更することによって、メッシュの粗密に対する数種類の要素の計算を行った。比較したのは、六面体 8 節点ソリッド要素, 3 節点三角形シェル要素, 4 節点四角形シェル要素, 9 節点四角形シェル要素である。図 12 に側面の節点数を変更した場合の計算精度を示す。また、図 13 に側面の節点数を変更した場合の計算時間を示す。

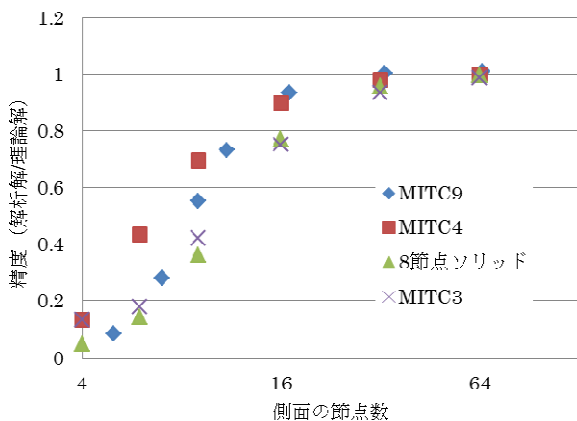


図 12 メッシュの規模による計算精度の違い

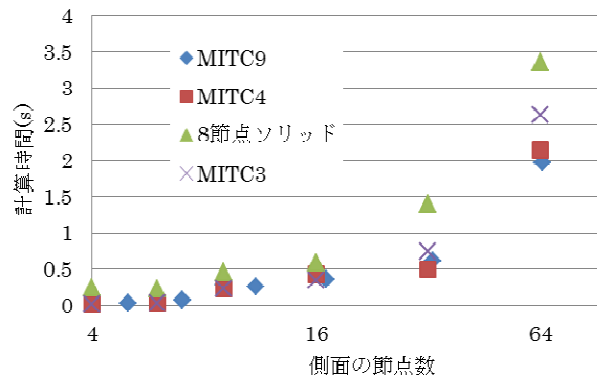


図 13 メッシュの規模による計算時間の違い

並列計算サーバ上にログインして構造解析シミュレーションを実行する場合と比べて、図 12 や図 13 の計算結果を効率的に得ることができた。これらの結果から、構造解析の研究者がこのシステムを有限要素開発に利用できることが確認できた。

クラウド環境上に蓄積するデータの準備

FrontISTR ユーザ会および GreenCAE 研究分科会と協力して、FrontISTR ユーザ会のホームページ (URL : <http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/>) を作成し、Web 上にリザーバを設置した (図 14 参照)。このリザーバを利用し、解析モデル、ジョブ制御パラメータ、解析結果、タスクフローなどのデータをクラウド環境上のリザーバに蓄積し CAE アプリのユーザ同士で共有する準備を行った。

スキル継承についての評価

クラウド援用 FrontISTR システムの FrontISTR ユーザ会への公開が遅れており、研究室内のメンバー11名での評価となったが、システム利用におけるスキル継承について評価した。具体的には、クラウド援用 FrontISTR システムの利用に関わる知識伝承レベルの評価 (登録されたタスクフロー、解析データ、結果データなどの数、研究・教育双方の観点からのユーザーコメント) を行った。同時に、問題点の洗い出しも行った。



図 14 FrontISTR ユーザ会のホームページに設置したデータリザーバ（ホームページに設置したデータリザーバを利用して、クラウド環境上に蓄積していくデータを準備している。）

## (2) 当初計画の達成状況について

対象とする CAE アプリを絞り込み、ASNARO システムを用いてクラウドサービス化を行った。具体的には、並列有限要素法構造解析アプリ FrontISTR のタスクフロー・データリザーバのシステムの詳細設計を行った。また、グリッドミドルウェア RCM から ASNARO システムへの移行を行った。さらに、クラウド援用 FrontISTR システムの構築を行った。さらに、共同グループ内で課題の洗い出しを行い、問題点の解決に取り組んだ。システムの構築に関して、当初の計画を達成することができた。

FrontISTR ユーザ会でのクラウド援用 FrontISTR システムの利用に関わる知識伝承レベルの評価に関して、当初の計画より遅れた。解析モデル、ジョブ制御パラメータ、解析結果、タスクフローなどのデータを蓄積するリザーバを準備することはできた。また、研究室内のメンバーでスキル継承について評価した。しかしながら、

FrontISTR ユーザ会（会員数：113 名，参加企業数：65 社，2014 年 1 月 6 日まで）において、どのようにシステムを運用していくのかを検討するのに予想以上に時間を要した。

## 4. 今後の展望

FrontISTR ユーザ会でのクラウド援用 FrontISTR システムの運用方法を整備し、知識伝承レベルの評価を進める必要がある。解析モデル、解析フローの登録・共有・利用の促進（ユーザー会・委員会・学会での情報発信を含む）につなげる。また、スキル継承を評価する一方で、商用アプリのクラウド援用 CAE システムの設計・実装も行う必要がある。

## 5. 研究成果リスト

(1) 学術論文（投稿中のものは「投稿中」と明記）なし

(2) 国際会議プロシーディングス  
なし

(3) 国際会議発表  
なし

(4) 国内会議発表

・奥田洋司, 早田浩平, 橋本学, 上島豊, クラウド CAE システムを用いた効率的な有限要素モデリング, 日本計算工学会第 18 回計算工学講演会, 2013.

・井原遊, 築山英治, 上島豊, 橋本学, 奥田洋司, クラウドコンピューティングを用いた効率的な構造解析支援システムの開発, 日本計算工学会第 19 回計算工学講演会, 2014 (6 月 13 日発表予定).

(5) その他（特許, プレス発表, 著書等）

### ユーザ会

・第 1 回 FrontISTR 研究会, 東京大学生産技術研究所, 2013 年 3 月 25 日.

・第 2 回 FrontISTR 研究会, 独立行政法人海洋研究開発機構地球シミュレータセンター, 2013 年 5 月 14 日.

・第 3 回 FrontISTR 研究会, 東京大学生産技術研究所, 2013 年 5 月 22 日.



・第 4 回 FrontISTR 研究会, 東京大学柏キャンパス, 2013 年 6 月 26 日.

・第 5 回 FrontISTR 研究会, 東京大学生産技術研究所, 2013 年 7 月 29 日.

・第 6 回 FrontISTR 研究会, 埼玉県産業技術総合センター, 2013 年 9 月 3 日.

・第 7 回 FrontISTR 研究会, 東京大学生産技術研究所, 2013 年 12 月 3 日.

・第 8 回 FrontISTR 研究会, 神戸大学, 2013 年 10 月 18 日.

・第 9 回 FrontISTR 研究会, 神戸大学, 2013 年 11 月 1 日.

・第 10 回 FrontISTR 研究会, 東京大学生産技術研究所, 2014 年 2 月 21 日.