

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420864

研究課題名(和文) 構造健全性評価のための大規模シミュレーション結果の分析

研究課題名(英文) Server-Side Screening and Data Analysis of the Huge Simulation Results for Evaluation of Structural Integrity

研究代表者

山田 知典 (Yamada, Tomonori)

東京大学・人工物工学研究センター・准教授

研究者番号：40401145

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では重要構造物の大規模耐震シミュレーションにおけるポスト処理の高度化の観点から、詳細結果分析のために必要な注目領域(Region of Interest: ROI)を網羅的に発見するためにサーバーサイドにおいて計算結果のスクリーニングを部品単位に行う手法を提案し、数値例によってその有効性を示した。具体的には、サーバーサイドにおいて実行される大規模シミュレーションにより得られる計算結果から、複雑構造物を構成する各部品の変形・応力等の構造健全性評価に係わる物理量の特徴を抽出し、その時空間データの類似性や独立性に係わる分析とROIの特定をクライアント環境において実行するための検討を行った。

研究成果の概要(英文)：Nowadays the visualization of the huge result data obtained by the large scale simulation is one of the main bottlenecks through all the simulation procedures because the large scale simulation is conducted on the computing servers such as supercomputers and the visualization of the result data is done usually on the local client environment. To avoid time consuming transfer of the result data from the computing server to the local client side, we propose a technique for the server-side screening of the result data in advance of the transfer of huge result data. Here, the representative quantities of interest are extracted in each component of the assembled structure and illustrated in simple graphs and heat maps.

研究分野：原子力学

キーワード：大規模シミュレーション 可視化 分析

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災における福島第一原子力発電所事故を契機として、「想定外」の外的事象発生時の重要構造物の構造健全性評価が注目を集めている。事象発生時の重要構造物全体の構造健全性を担保するためには、実験による検証が不可能である以上、先端計算機資源を活用した大規模シミュレーションが必要不可欠である。そのため、世界最高水準スーパーコンピュータ「京」上における大規模シミュレーション技術の研究開発のような構造健全性評価技術の高度化が進められてきた^[1]。一方で、大規模シミュレーションを用いた構造健全性評価プロセスにおいては、計算結果の詳細な分析が十分に行われているとは言い難い。ここで計算結果の分析手段としては、文字列、もしくは数値データとして得られるシミュレーション結果を解析者にわかりやすく提示する手法として可視化が広く行われている。しかし重要構造物の耐震シミュレーションによって得られる時空間に分布した物理量を単一の静止画像に可視化しただけでは現象を理解することは難しく、全体の動画から解析者が注目領域 (Region of Interest : ROI) を見つけ出し、視点移動や断面抽出を行う方法が従来から利用されている。これらの作業は大規模・複雑形状を有する構造物では困難を極める。例えば事前に想定される評価箇所 (例えば原子炉では制御棒挿入性など) の健全性予測のような、分析箇所を限定できる場合には人手をかけて分析することも可能であるが、数千万点の部品から構成される大型プラントの解析では、大規模シミュレーションにより得られる膨大な計算結果から「想定外」の箇所の機能喪失等の発生を予測することは作業者の限界を超えており、事前の ROI 特定は不可能である。現在では、構造健全性評価のための大規模シミュレーションは複雑構造を持つ主要機器全体を模擬できる数億自由度規模に達している^[2]。この規模の解析で出力される時系列の物理量を保存したファイルは数～数十テラバイト程度となっているため、従来可視化プロセスで使用していたワークステーションクラスの計算機では、特にストレージ容量や可視化の際のメモリ使用量が不足してしまう。流体シミュレーション分野を中心としてサーバーサイドでの大規模オフライン可視化に関する研究も進められているが、主に画像作成ベースの手法であることには変わりはないため、重要構造物の構造健全性の評価に必要な ROI の効率的かつ網羅的な発見手法が必要となっている。

2. 研究の目的

本課題では重要構造物の大規模耐震シミュレーションにおけるポスト分析処理の高度化の観点から、可視化などの詳細分析のために必要な ROI を網羅的に発見するために、シミュレーションを実行するサーバーサイ

ド (スーパーコンピュータ上) において計算結果のスクリーニングを部品単位に行う手法を提案し、数値例によってその有効性を示した。具体的にはサーバーサイドにおいて実行される大規模シミュレーションにより得られる計算結果から、複雑構造物を構成する各部品の変形・応力等の構造健全性評価に係わる物理量の特徴を抽出し、その時空間データの類似性や独立性に係わる分析と ROI の特定をクライアント環境において実行するための検討を行った。HPCI 戦略プログラム分野 4. 次世代ものづくり課題 5「原子力施設等の大型プラントの次世代耐震シミュレーションに関する研究開発」で得られた原子力施設の大規模耐震シミュレーション結果を対象として、原子力施設を構成する各部品の変形・応力・剛体運動成分等の構造健全性評価に係わる物理量の特徴をスーパーコンピュータ上においてデータマイニングし、その時空間データの類似性や独立性に係わる多変量空間分析をクライアント環境において実行するための方法論を確立するとともに、その方法論を実装した分析支援ツールを開発し、これをオープンソースコードとして公開した。

3. 研究の方法

本課題では大規模シミュレーションから得られる膨大な結果データの分析支援の実証を行うため、要素技術の研究開発と分析支援ツールの開発を行った。開発したツールは設計用大規模計算力学システム ADVENTURE プロジェクトホームページよりオープンソースコードとして公開した。

具体的な手順としては数千万点の部品から構成される大型プラントにおいて、i) 構成部品単位での代表物理量抽出技術の研究開発、ii) 得られた代表物理量の変量空間分析技術の研究開発、を行った。i) では大型プラントの構成部品単位での代表物理量抽出の手法 (部品内での物理量分布を適切に表現する最大値、相対値、標準偏差等) を検討すると共に、クライアント環境で動作するプロトタイプコードの実装を行った。ii) では代表物理値の時系列データを基に、部品間の相関・相異性を解析者に分かりやすく提示する可視化手法の開発・実装を行った。この際、対象とする結果データは 100 本の燃料集合体を模擬したベンチマーク問題、及び、JST CREST マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション分野「原子力発電プラントの地震耐力予測シミュレーション」(代表者:吉村忍、実施年度:2007-2012年度)において既に得られている 2 億自由度沸騰水型原子炉モデルを対象とした。

4. 研究成果

これまで構成部品単位での代表物理量抽出技術の研究開発と得られた代表物理量の変量空間分析技術の研究開発を行ってき

た。前者においては2億自由度沸騰水型原子炉モデルを対象として有限要素モデルの入力データの一つである部材ごとに異なる材料物性IDを拡張して利用することによって、個々の構成部品の代表物理量の時系列データを取得するモジュール開発を行った。後者の代表物理量の多変量空間分析技術では、個々の構成部品において全時刻歴中で最大値を取る代表節点の時刻歴データを離散フーリエ変換によって加工するなど、クライアント環境においてその挙動を把握可能なデータマイニング技術の検討を行った。開発した技術は100本の燃料集合体を模擬したベンチマーク問題、及び、炉内構造物を含んだ2億自由度沸騰水型原子炉モデルに適用し、その有効性を評価・検証した。ベンチマーク問題ではサーバーサイドからクライアント環境へのデータ転送時の合計ファイルサイズを71.2GBから21.0MBに低減することが可能であることを示した。また、2億自由度沸騰水型原子炉モデルでは応力集中箇所等のROIを本開発技術により容易に把握可能であることを例証した。開発したコードは、計算の最適化、チューニング等を行った後に設計用大規模計算力学システムADVENTUREの一つのモジュールとして一般公開を行った

<引用文献>

山田知典, 塩谷隆二, 吉村忍, 原子力発電施設の大規模耐震シミュレーションの進展, シミュレーション, 30-2, 2011, pp. 65-69.
吉村忍, 小林敬, 秋葉博, 鈴木智, 荻野正雄, 3次元有限要素法による沸騰水型原子炉のフルスケール地震応答解析, 日本原子力学会論文誌, 11-3, 2012, pp. 203-221.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4件)

K. Arai, K. Yodo, H. Okada, T. Yamada, H. Kawai, S. Yoshimura, Ultra-Large Scale Fracture Mechanics Analysis Using a Parallel Finite Element Method with Submodeling Technique, Finite Elements in Analysis and Design, 査読有, 105, pp.44-55, 2015, DOI: 10.1016/j.finela.2015.07.006.
S. Yoshimura, T. Yamada, H. Kawai, T. Miyamura, M. Ogino, R. Shioya, Petascale Coupled Simulations of Real World's Complex Structures, IACM Expressions, 査読無, No.37, pp.9-13, 2015.
T. Yamada, K. Yodo, Y. Wada, S. Yoshimura, Server-Side Screening and Network Visualization of Huge Simulation Results, 査読有, Key

Engineering Materials, 713, pp 254-257, 2016,
DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.713.254.

山田知典, 野口紘一, 淀薫, 和田義孝, 藤井秀樹, 吉村忍, 大規模耐震シミュレーション結果のサーバーサイドスクリーニング, 日本計算工学会論文集, 査読有, 20160023, pp.1-7, 2016,
DOI: 10.11421/jscses.2016.20160023

[学会発表](計 6件)

山田知典, 野口紘一, 淀薫, 吉村忍, 大規模振動シミュレーション結果のサーバーサイドスクリーニング, 第19回計算工学講演会, 広島国際会議場(広島県広島市), 2014.6.11-13.

T. Yamada, S. Yoshimura, A reaction force computation scheme for contact analysis with quadratic tetrahedral elements, 11th World Congress on Computational Mechanics, Barcelona, Spain, 2014.7.20-25.

山田知典, 金子栄樹, 淀薫, 吉村忍, 複雑アセンブリ構造物のネットワーク可視化, 日本機械学会第27回計算力学講演会, 岩手大学工学部(岩手県盛岡市), 2014.11.22-24.

T. Yamada, S. Yoshimura, Balancing domain decomposition method with additive Schwartz framework and diagonal scaling for peta scale computing, The 18th International Conference on Finite Elements in Flow Problems (FEF2015), Taipei, Taiwan, 2015.3.16-18.

S. Yoshimura, T. Yamada, Y. Koide, S. Onitsuka, T. Iijima, Full Scale Simulation-based Study on Dynamic Response of BWR Fuel Assemblies under Seismic Loading, Proceedings of ASME 2015 Pressure Vessels & Piping Conference, Boston, U.S.A., 2015.7.19-23.

T. Yamada, S. Yoshimura, Simulation Technologies of Structural Finite Element Analysis Towards 2020+, The 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics (IWACOM-III), Ryogoku, Tokyo, Japan, 2015.10.12-14, KFC Hall & Rooms(東京都墨田区).

[図書](計 1件)

T. Yamada, S. Yoshimura, High-Performance Computing for Structural Mechanics and Earthquake/Tsunami Engineering, Springer, 2016.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0件）

○取得状況（計 0件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp>

6．研究組織

(1)研究代表者

山田 知典（YAMADA, Tomonori）

東京大学・人工物工学研究センター・

准教授

研究者番号：40401145