

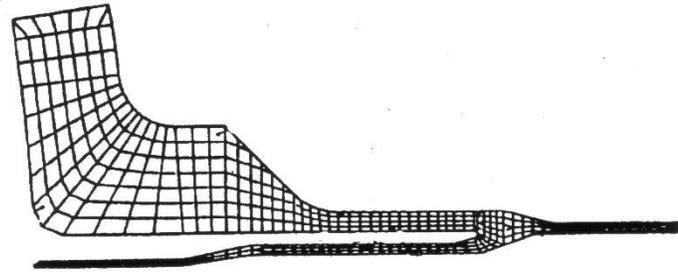
原子力耐震課題へのADVENTUREの関わり の経緯

吉村 忍

東京大学 名誉教授
大学院新領域創成科学研究科 特任教授

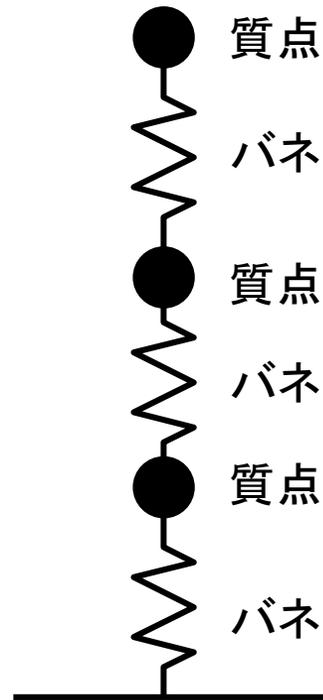


小規模簡易工学モデル vs 大規模3次元詳細モデル



中心軸 CL

ノズルの2次元軸対称モデル
(数百自由度モデル)
による応力解析



質点

バネ

質点

バネ

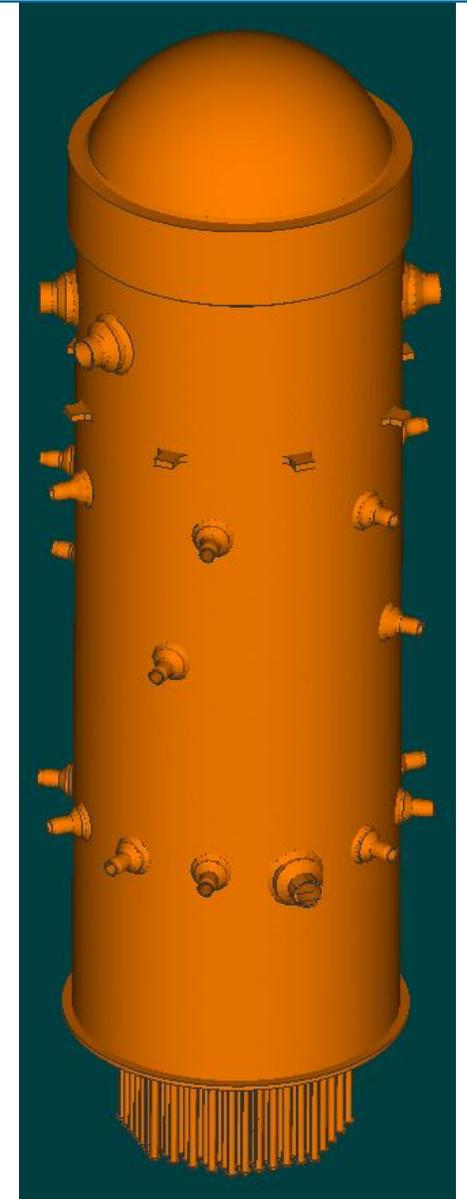
質点

バネ

集中質量系モデルによる
原子力発電所の地震応答解析

小規模簡易工学モデル

原子炉圧力容器の
3次元詳細形状モデル



ADVENTUREプロジェクト開始時(1997)の背景

- 日本の計算力学学术界に長年あった、日本発汎用計算力学(CAE)ソフトウェアを作ろうという大きな機運
 - たとえば、非線形FEM構造解析システムFINAS(1976~)
 - 汎用3次元流体解析システム α -Flow(1993~)
- 多様な並列計算機の登場・普及と既存の汎用計算力学ソフトウェアの並列化に向けた苦悩
- 大学への大型競争的研究資金の投入開始
 - 1995年 科学技術基本法制定
 - 1996-2000年度 第1期 科学技術基本計画

1997年 日本学術振興会 未来開拓学術研究推進事業 開始

1997年 同事業「**計算科学**」分野 採択5テーマ(7チーム)の一つとして、

1997.8-2002.3 「**設計用大規模計算力学システム開発**」プロジェクト

(ADVENTUREプロジェクト)が採択された！

ADVENTUREプロジェクトにおいて1997年に設定した目標

次世代の汎用計算力学システムが解決すべき課題

- 丸ごと詳細解析機能(1千万~1億自由度以上)
- 数百~数千、数万の超並列環境で高い並列処理性能
- 多様な並列分散環境への移植性の容易さ
- 単一現象の解析ばかりでなく、構造一流体などの各種連成解析や、設計解析を並列分散環境で自由自在に行えること



ADVENTURE システムの研究開発
(先進計算科学の汎用化)

ADVENTUREプロジェクトの経緯(1)

1997.8–2002.3

日本学術振興会 未来開拓学術研究推進事業「計算科学」分野

「設計用大規模計算力学システムの開発」プロジェクト

➡ 超並列対応ソルバ:HDDM法 ➡ 超並列かつ頑健ソルバHDDM + BDD法へ

2000.4–2002.3

日本機械学会RC112「次世代計算力学システムに関する研究」分科会

➡ 2000.12 ADVENTURE Ver. β (オープンソース)のリリース、無料公開

2002.3 ADVENTURE Ver.1(オープンソース)のリリース、無料公開

➡ 2002 ADVENTURECluster(商用版)(超並列かつ頑健ソルバ:CGCG法)を
アライドエンジニアリングが販売開始

2002.4–現在

自主独立した産学連携のオープンソースCAEソフトウェア開発プロジェクト
(ADVENTUREプロジェクト)

<http://adventure.q.t.u-tokyo.ac.jp>とadv-info@q.t.u-tokyo.ac.jpの立上げ

➡ <https://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp>とadv-info@sys.t.u-tokyo.ac.jp

ADVENTUREプロジェクトの経緯(2)

2002.7–2009.3

日本原子力研究所 計算科学技術推進センター(現 JAEA システム計算科学センター)との
協力研究

「ADVENTUREシステムのITBLシステムのコミュニティソフトウェア化」

2002.12–2008.9, 2009.4–2013.3

地球シミュレータへの展開、地球シミュレータ2への展開(代表:塩谷隆二准教授(九大))

「バーチャル実証試験のための次世代計算固体力学シミュレータの開発」

「安全・安心な持続可能社会のための次世代計算破壊力学シミュレータの開発」

2005.7–2008.3

文科省革新的シミュレーションソフト開発プロジェクト(代表:加藤千幸教授(東大))

「革新的連成シミュレーションシステム」への展開 → 大型給水ポンプの
流力振動・騒音解析

2008.10–2013.3

文科省イノベーション基盤シミュレーションソフト開発プロジェクト(代表:加藤千幸教授)

「マルチ力学解析システムREVOCAP」への展開 → REVOCAPシステム

ADVENTUREプロジェクトの経緯(3)

2007.10–2013.3

JST-CRESTマルチスケール・マルチフィジクス統合シミュレーション(領域代表: 矢川元基教授)

「**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: 吉村忍)

- ➡ スーパーコンピュータ「京」に向けた研究開発
- ➡ **ADVENTURE 2開発・公開**

2011.4–2016.3

HPCI戦略プログラム・分野4「次世代ものづくり」(代表: 加藤千幸教授)

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**」(課題代表: 山田知典(JAEA))の中核に参画

HPCI戦略プログラム・分野3「防災・減災に資する地球変動予測」(代表: 今脇資朗博士(JAMSTEC))

課題「**都市全域の地震等自然災害シミュレーション**」(課題代表: 堀宗朗教授(東大))に参画

2011.9–2017.3

JST-CRESTポストペタスケール高性能計算に資するシステム・ソフトウェア技術の創出

「**ポストペタスケールシミュレーションのための階層型領域分割型数値解**

法ライブラリ開発」(代表: 塩谷隆二教授(東洋大)) ➡ **Lex_ADVシステム公開**

ADVENTUREプロジェクトの経緯(4)

2014.12–2020.3

文科省 フラッグシップ2020プロジェクト(ポスト「京」プロジェクト)

重点課題⑥「**革新的クリーンエネルギーシステムの実用化**」(代表:吉村忍)

のうち、サブ課題A:**石炭ガス化**、サブ課題C:**洋上風力発電ファーム**の中核として参画

2020.4–2023.3

文科省 富岳成果創出加速プログラム

「**スーパーシミュレーションとAIを連携活用した実機クリーンエネルギーシステムのデジタルツインの構築と活用**」

(代表:吉村忍)

石炭ガス化、洋上風力発電システムの研究開発を推進

➡ **ADVENTURE 3**を開発

2023, 2024, 2025年度HPCIシステム一般利用研究課題

「**定格運転及び暴風時の浮体式洋上風車の後流特性, 累積疲労損傷及び極限強度の解析**」

2024.5–2027.3

NEDO先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム

「**浮体式洋上風力発電のHPCとAI連携活用型解析技術の基盤開発**」

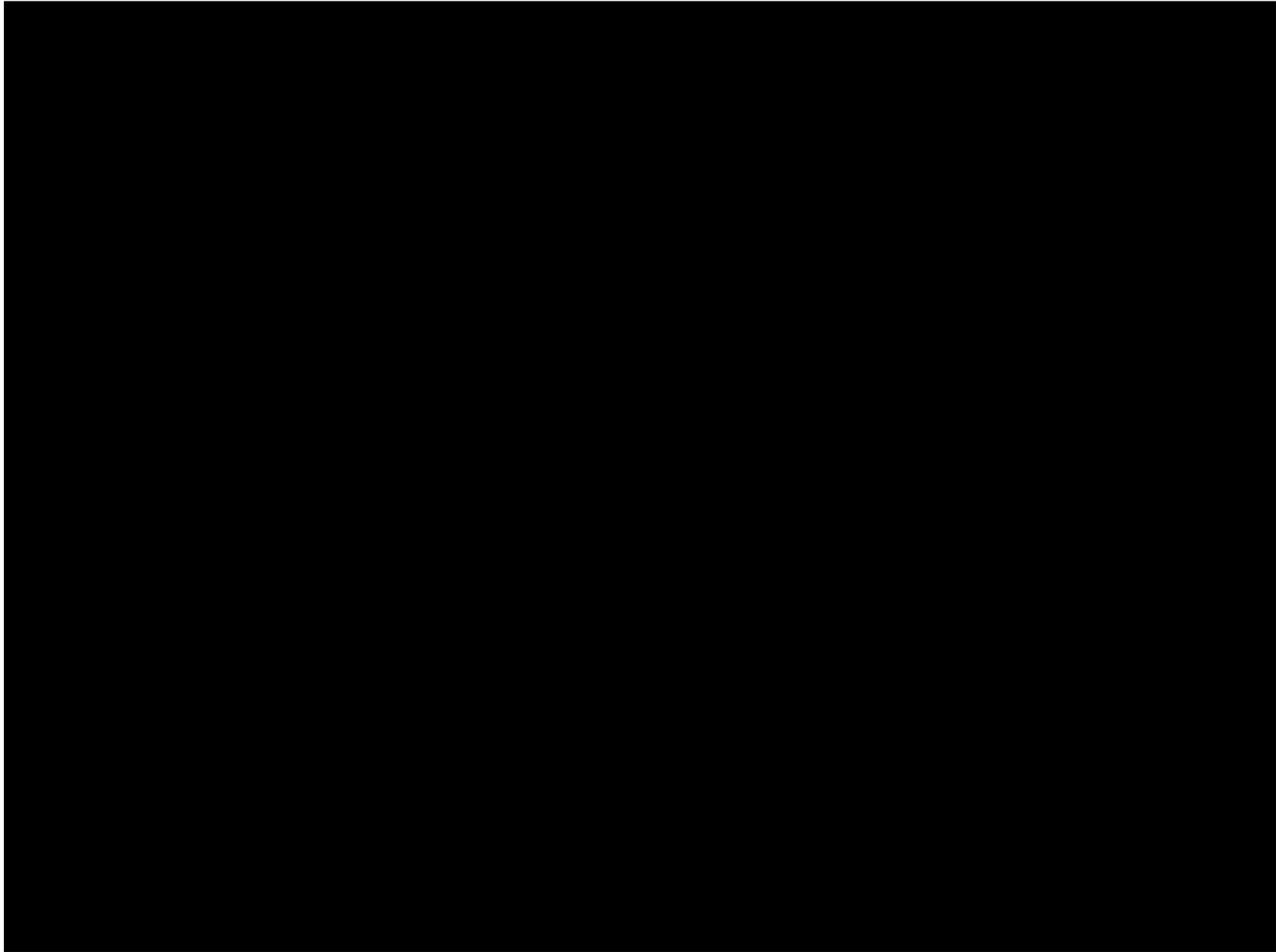
2002.4–現在

様々な産業界(自動車、電力、鉄鋼、重工、情報機器など)の実用問題への応用研究(商用コード、オープンソースコードともに)

2007年7月16日新潟県中越沖地震時の東京 電力柏崎刈羽原子力発電所の5号機(BWR5) と7号機(ABWR)の地震応答解析

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“, 日本原子力学会和文論文誌, 11(3) (2012), 203-221.

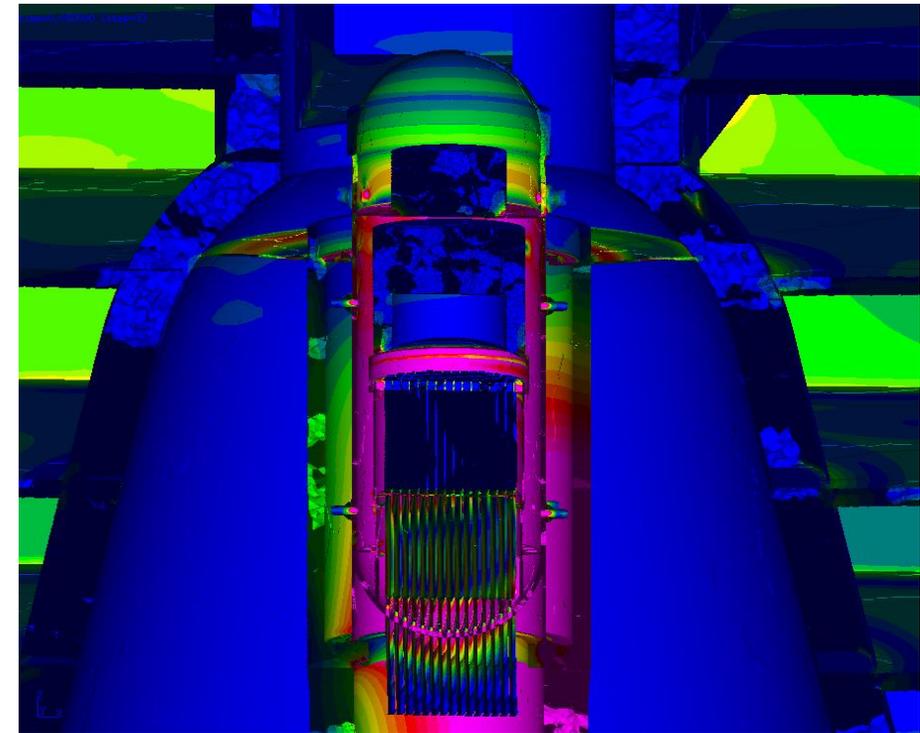
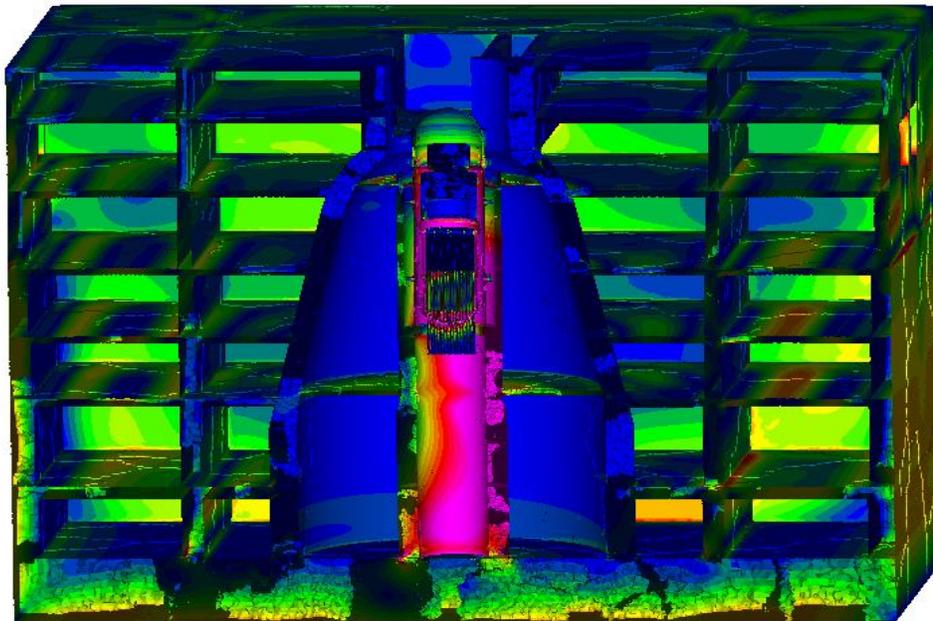
S. Yoshimura, K. Kobayashi, H. Akiba, S. Suzuki, M. Ogino, “Seismic Response Analysis of Full Scale **BWR** Using 3D FEM”, Journal of Nuclear Science and Technology, 52(4) (2015), 546-567.



ADVENTUREの結果の例

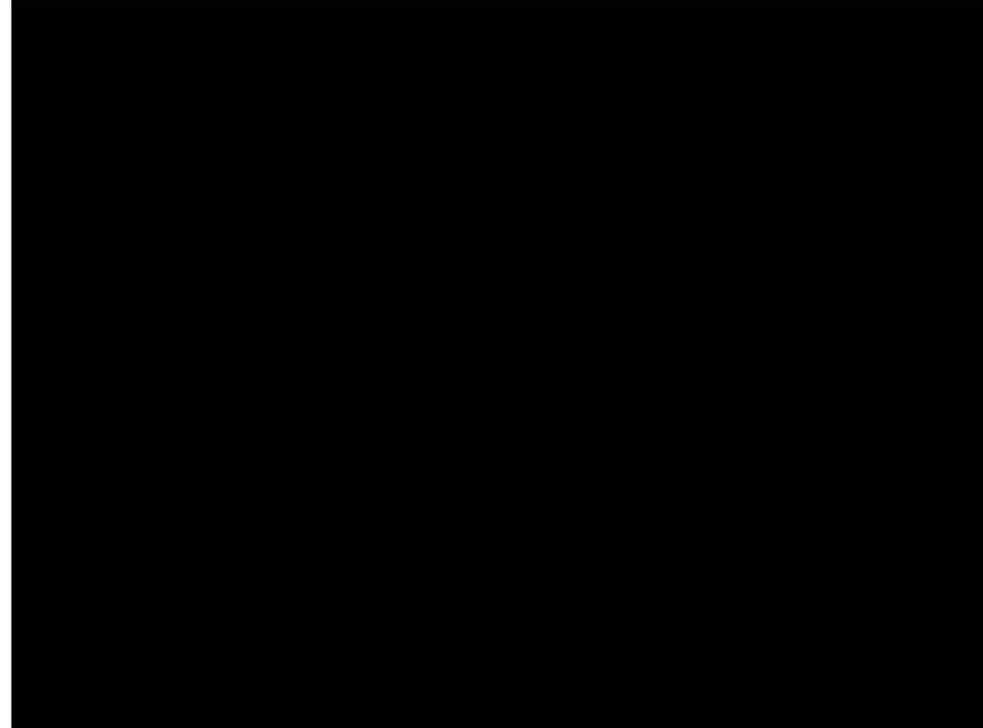
直下型地震を受けるBWR原子炉建屋－炉容器結合2億自由度モデルの
地震応答解析

time=0.030000 (step=3) (色:相当応力表示、変形は10倍に拡大)



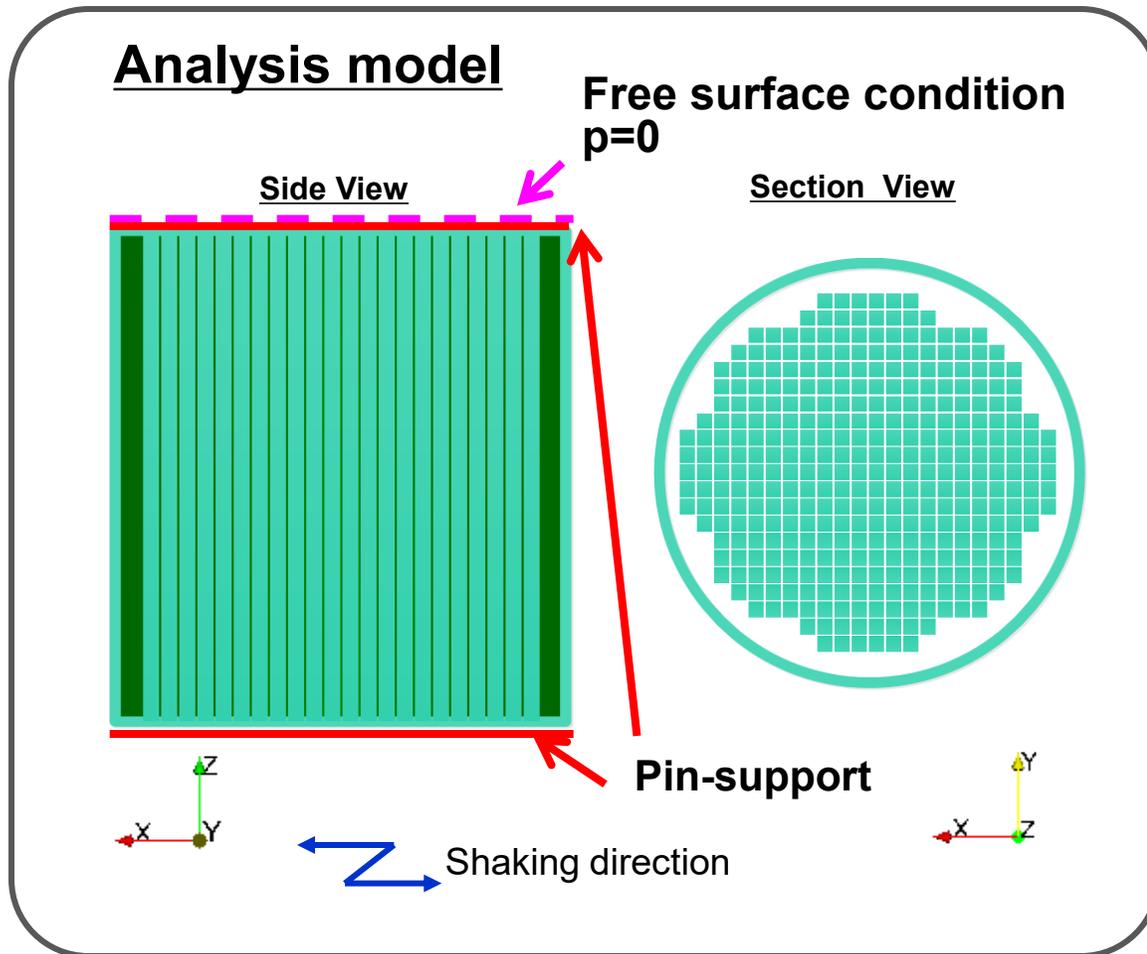
原子炉燃料集合体の地震応答解析

NUPEC, Seismic Proving Test of the Reactor Internals of BWR, Report of Proving Tests on the Reliability for Nuclear Power Plant, (1988)



- **No. of Fuels:** 368
- **Condition:** Normal temperature and pressure
- **Organization:** NUPEC (Nuclear Power Eng. Corp.)
- **Year:** 1986

3次元FEMモデル

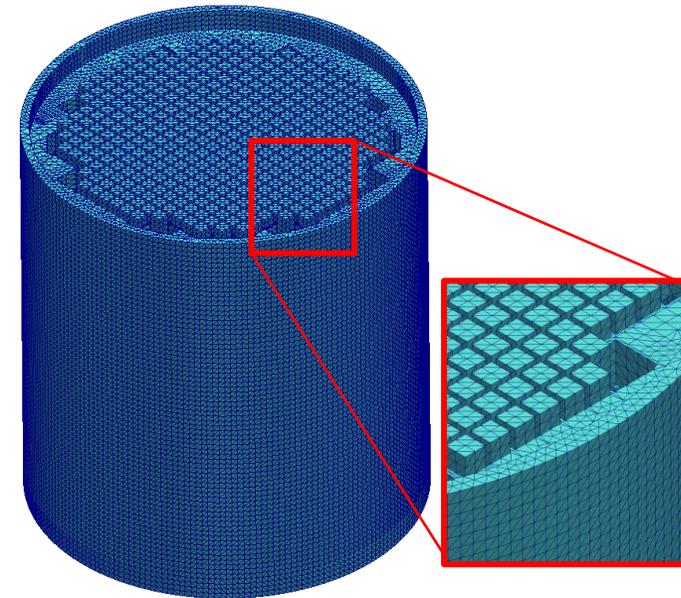


For structure domain

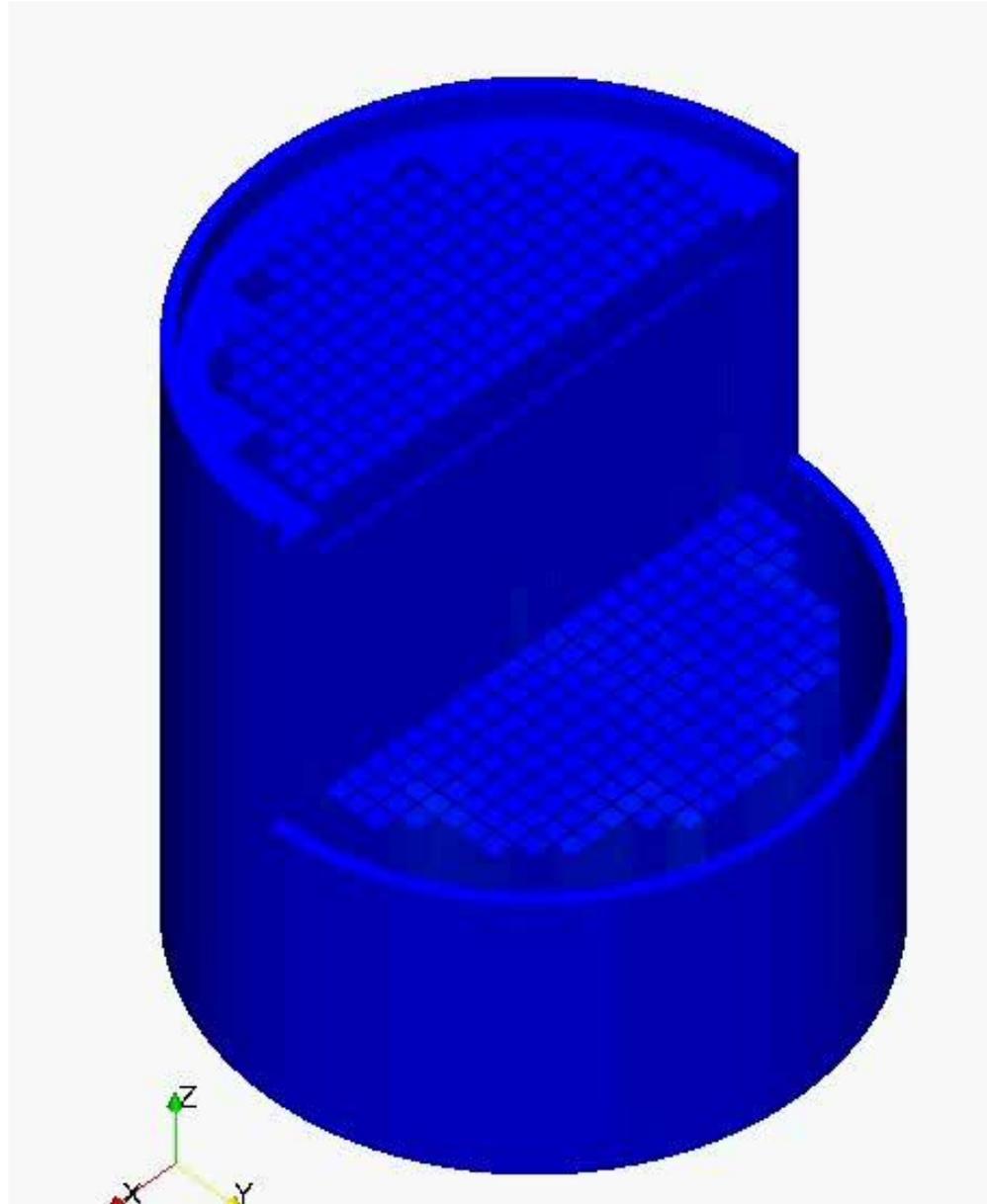
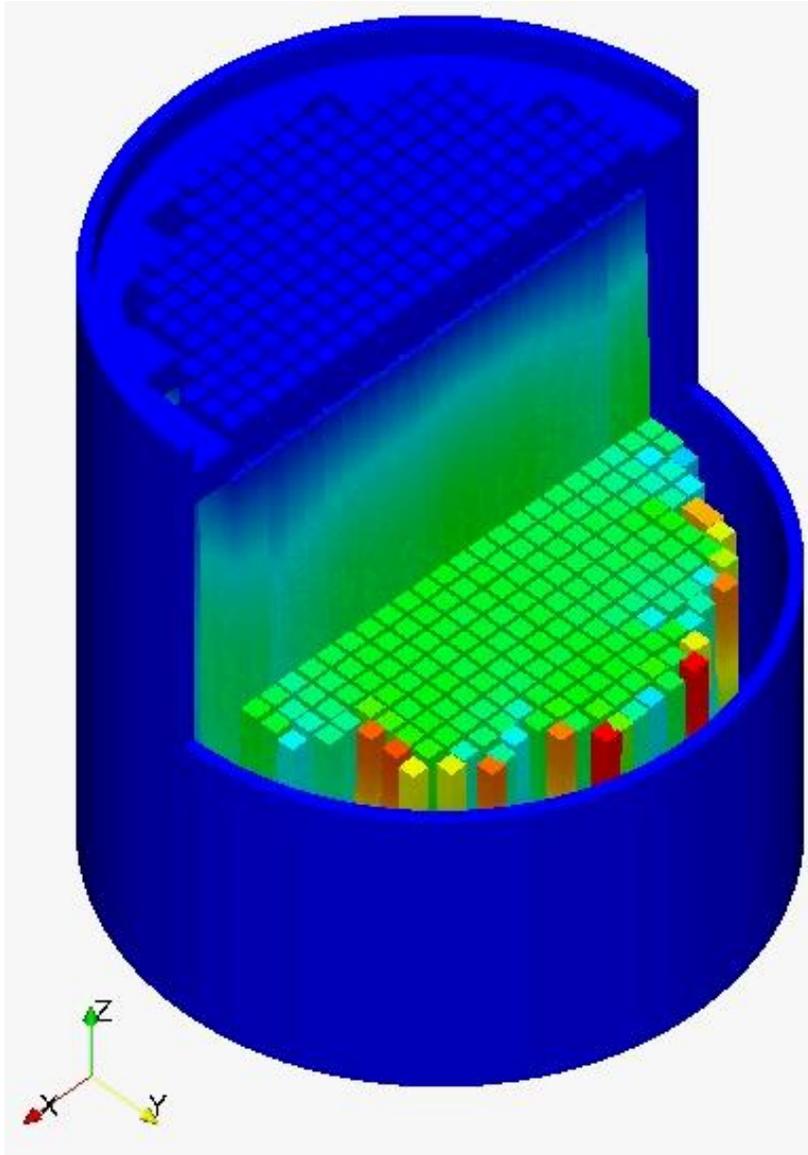
6 million DOFs

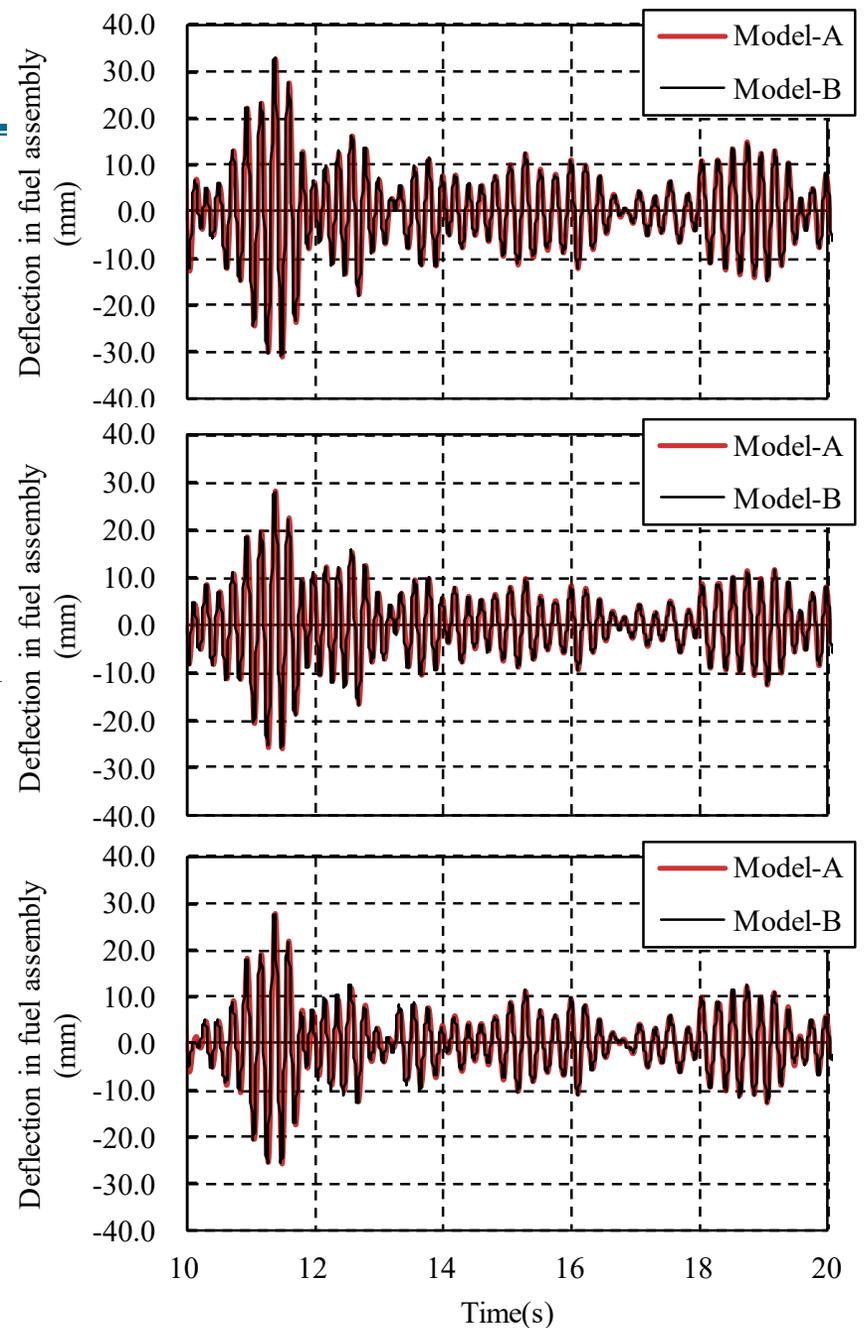
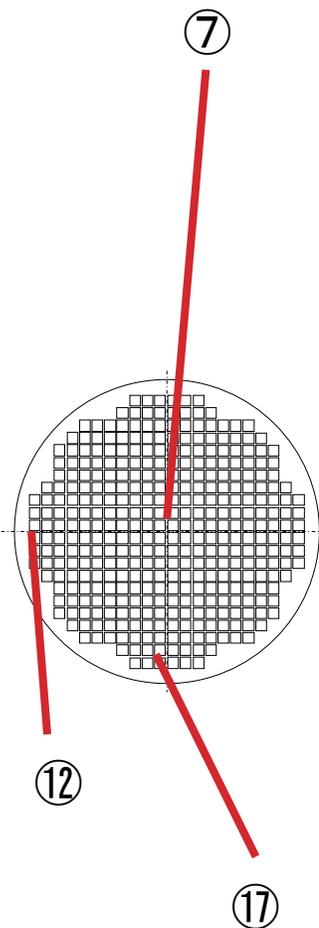
For fluid domain

4 million DOFs

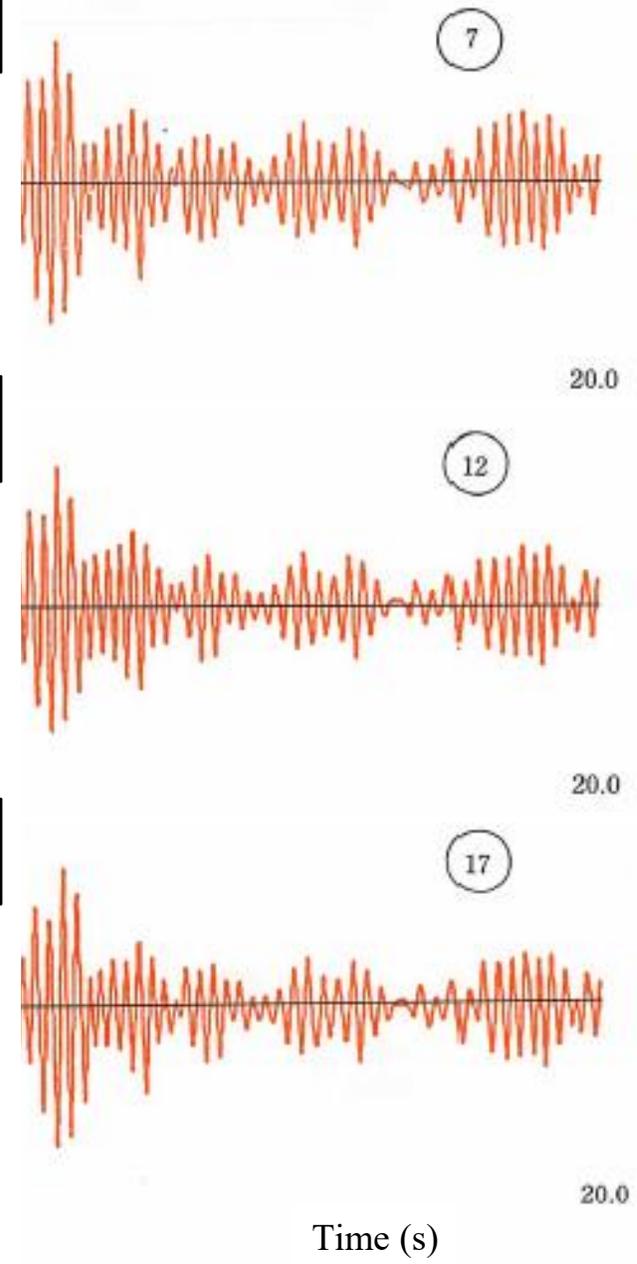


BWRの燃料集合体の地震応答解析





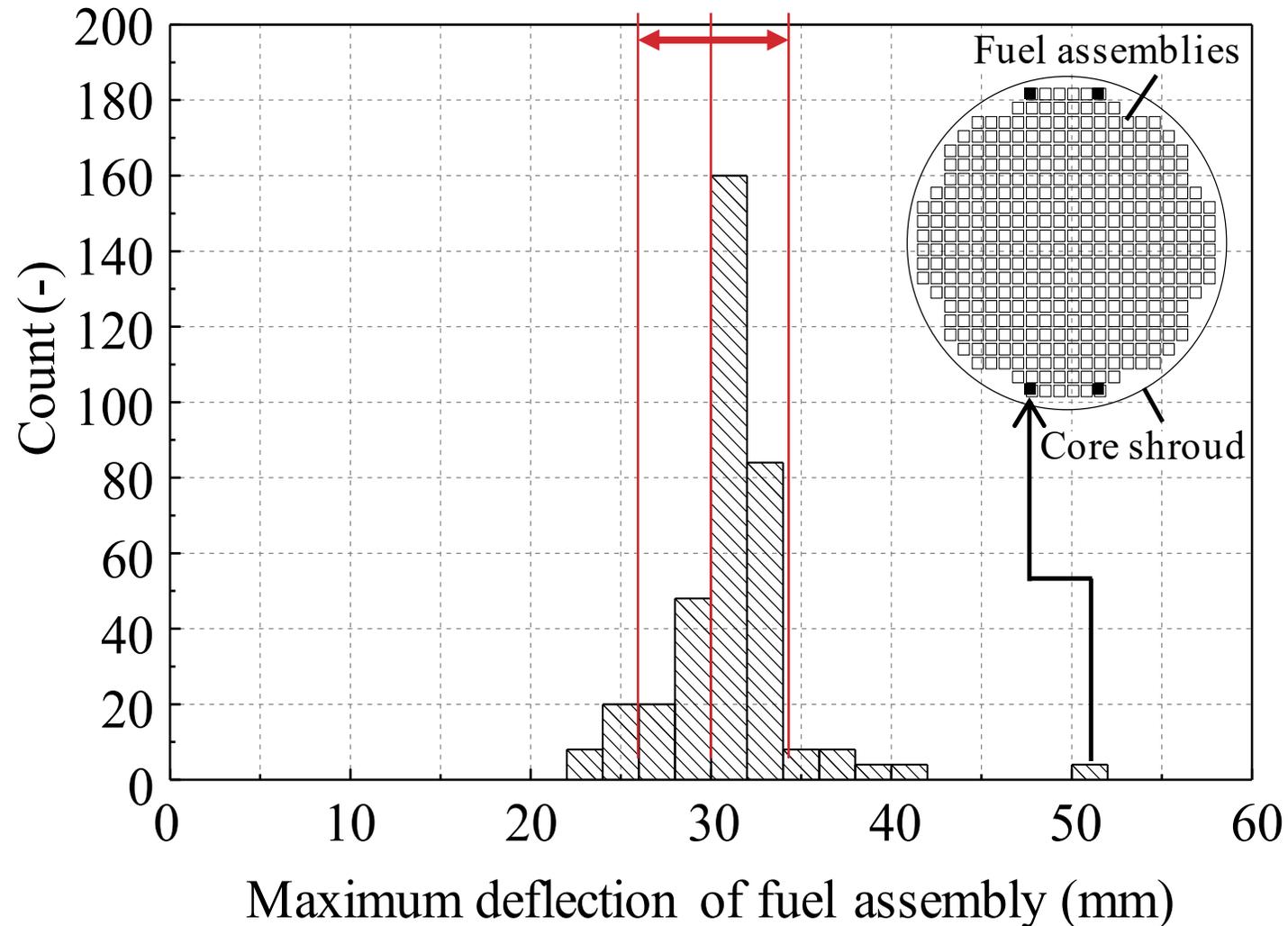
Calculated deflections of Model A and Model B



Measured deflections

燃料集合体の挙動

The standard deviation of the maximum seismic deflections was 4mm, and 68% of fuel assemblies in the core were within ± 4 mm of the mean value.





S.Kataoka, S.Minami, H.Kawai, T.Yamada, **Shinobu YOSHIMURA**, A Parallel Iterative Partitioned Coupling Analysis System for Large-Scale Acoustic Fluid-Structure Interactions, Computational Mechanics, Vol.53, No.6, pp.1299-1310, 2014.

T.Yamada, **Shinobu YOSHIMURA**, Y.Koide, S.Onitsuka, T.Iijima,, Verification and Validation of Dynamic Response Simulation Codes for BWR Fuel Assemblies Under Seismic Loading, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol.167, pp.25-31, 2018.

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震本震時の 東京電力福島第一原子力発電所1号機の応答解析

吉村忍, 宮村倫司, 山田知典, 秋葉博, 清浦英明, “3次元有限要素法による2011年東北地方太平洋沖地震本震時の東京電力福島第一原子力発電所1号機の応答解析(第1報:解析手法の開発とモデル構築及び解析性能検証)”, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.18, No.3, pp.135-159, 2019.

吉村忍, 宮村倫司, 山田知典, 秋葉博, 清浦英明, “同上(第2報:固有値解析による基本特性把握と地震応答解析結果)”, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.18, No.3, pp.160-190, 2019).

T.Miyamura, **S. YOSHIMURA**, T.Yamada, Feasibility Study of Full-scale **Elastic-plastic** Seismic Analysis of a Nuclear Power Plant, Bulletin of the JSME, Mechanical Engineering Letters, Vol.6, No.6, 19-00281, 2019.