

---

# FOCUSスパコンでの FDAPⅢ Cluster Edition ベンチマーク性能評価

2022年12月

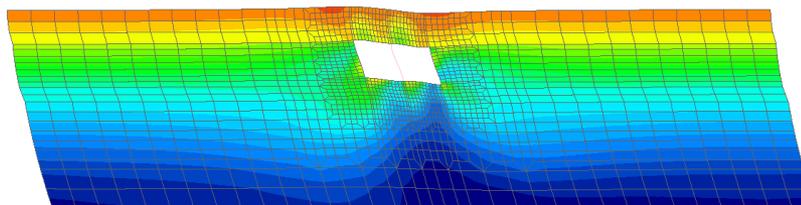
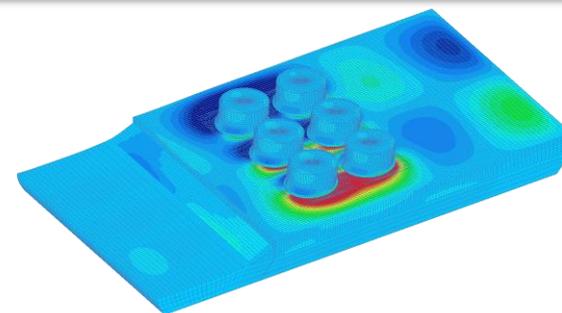
株式会社 アーク情報システム

# FDAPⅢ 概要

- 地盤-構造物連成モデルなどを対象とした3次元等価線形解析プログラム
- 周波数応答解析法に基づく過渡応答解析および定常応答解析が可能
- 材料特性のひずみ依存性および周波数依存性を考慮可能
- TDAPⅢの入力データをほぼそのまま利用可能

## 【適用対象例】

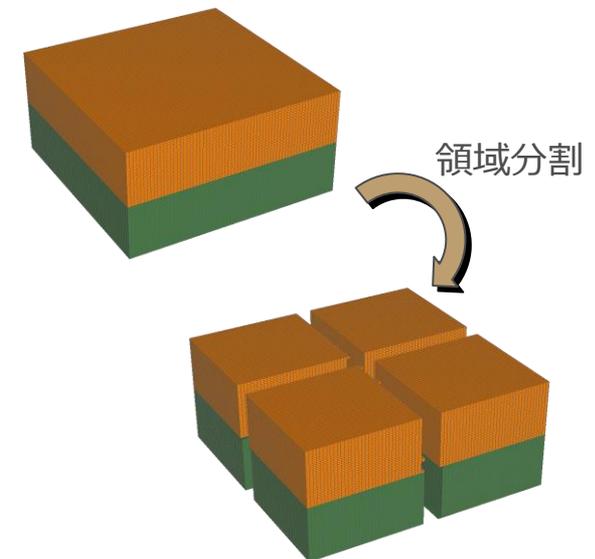
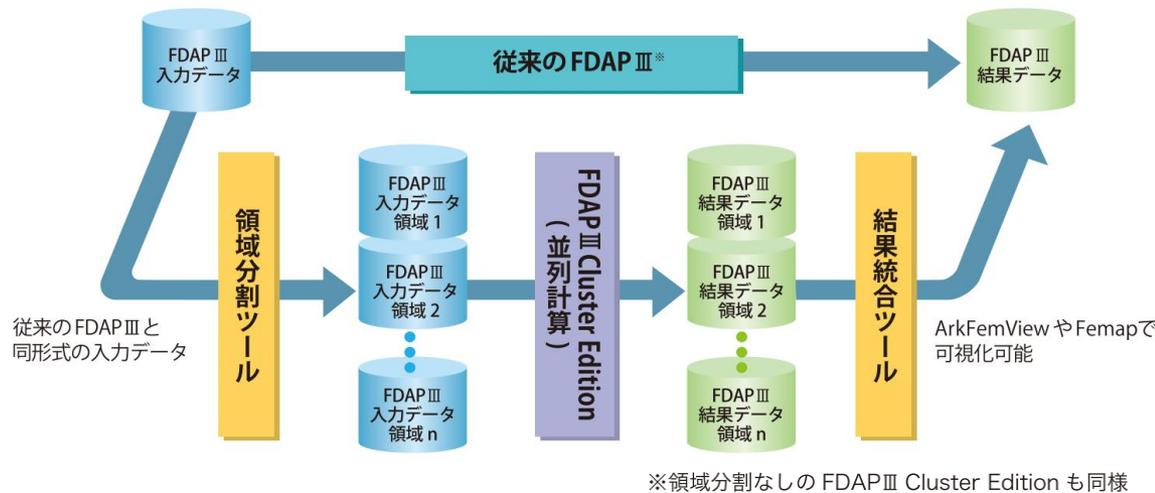
- 地中埋設構造物
- 原子力関連施設等重要構造物
- 盛土構造物
- トンネル



● FDAPⅢは、大成建設株式会社と株式会社アーク情報システムの共同開発製品です。

# FDAPⅢ Cluster Edition 概要

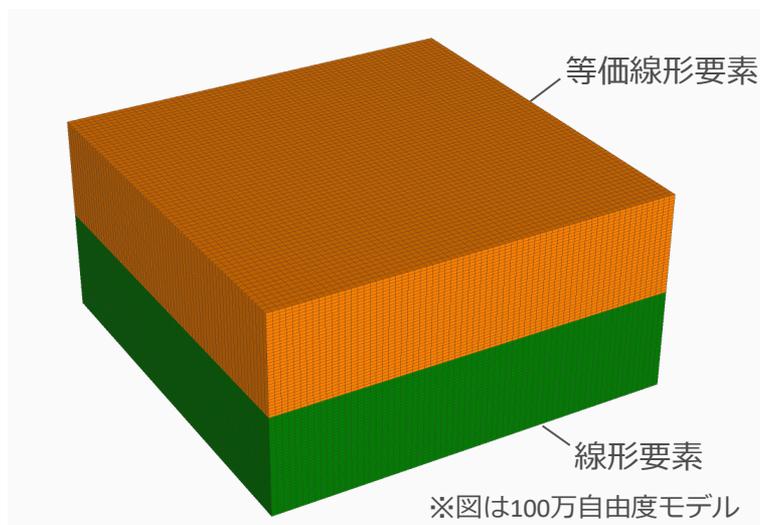
- 領域分割法に基づくMPI並列計算に対応したFDAPⅢ (3次元等価線形解析プログラム)
- 従来はメモリ不足などで解けない大規模モデルの解析が可能
- 計算時間の大幅短縮が可能
- 従来のFDAPⅢ入力データをそのまま利用可能



● FDAPⅢ Cluster Edition は、大成建設株式会社と株式会社アーク情報システムの共同開発製品です。

# ベンチマーク実施概要

- 3次元地盤の等価線形解析を対象
  - 64周波数ステップ, 等価線形解析2反復の実行時間を計測
  - 1ノードあたり最大8プロセスとして計測
- ※FOCUSスパコン zシステムは40コア/ノード



- 等価線形要素と線形要素の要素数比率は1:1
- モデル底面に底面粘性境界を設定
- モデル側方に側方粘性境界を設定
- 基盤より地震加速度を入力

## 【補足】

本ベンチマークでは、領域分割後の各分割領域に等価線形要素が均等に含まれるように設定した。特定の分割領域に等価線形要素が集中する場合は、その分割領域の計算処理がボトルネックとなり並列化効率が低下する可能性があるので注意する必要がある。

# ベンチマーク実施概要

## ● 計測環境

	FOCUSスパコンシステム
OS	CentOS 7.9
ノード数	24
CPU	Intel(R) Xeon Gold 6230 @ 2.10GHz
コア数/ノード	40
メモリ/ノード	192 GB
ノード間通信	Infiniband-EDR (100Gbps) ×1/ノード

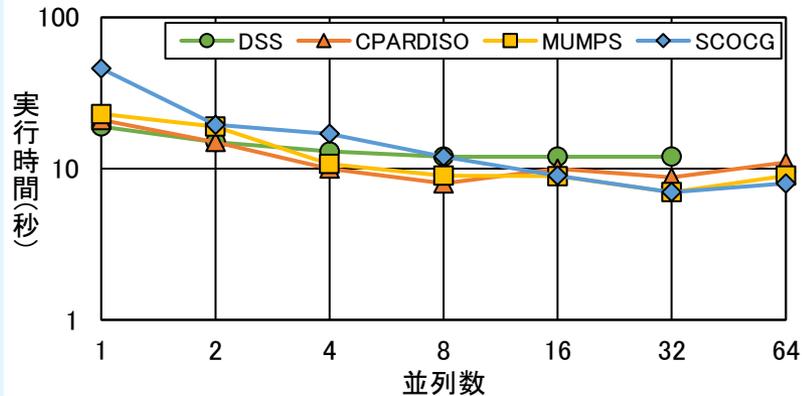
## ● 計測ケース

モデルサイズ	1万自由度、10万自由度、100万自由度、500万自由度
ソルバー	Intel MKL DSS、Intel MKL Cluster PARDISO、MUMPS SCOCG (点ヤコビ前処理付きCOCG法)
並列数	1、2、4、8、16、32、64

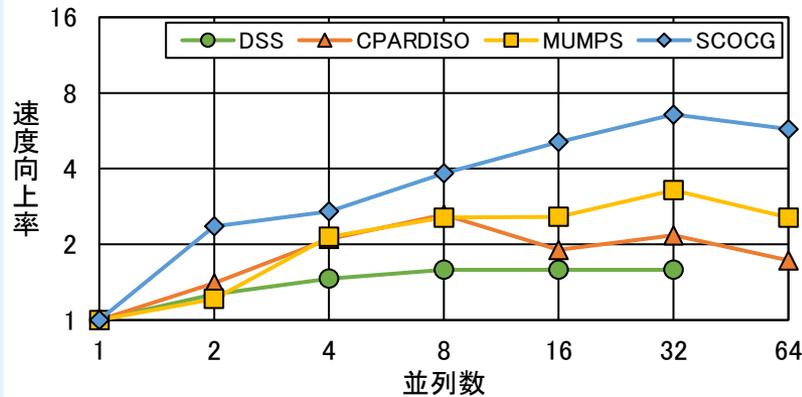
※DSSはMPI並列処理に対応していないため領域分割せずスレッド並列とし、32並列まで計測

# ベンチマーク結果 (1万自由度)

## ■ 実行時間 & 速度向上率

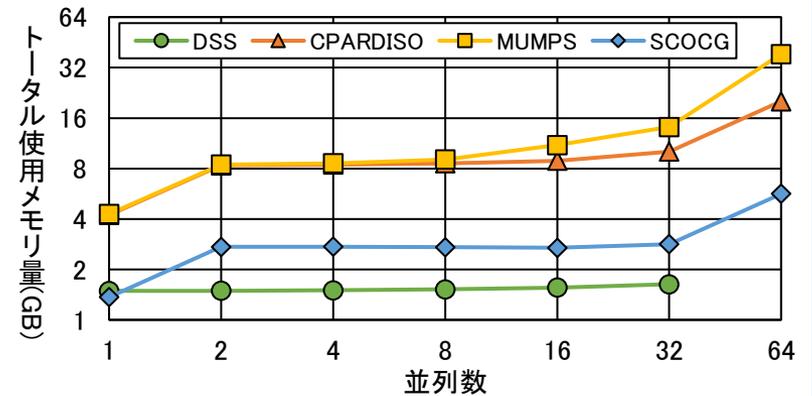


(a) 実行時間

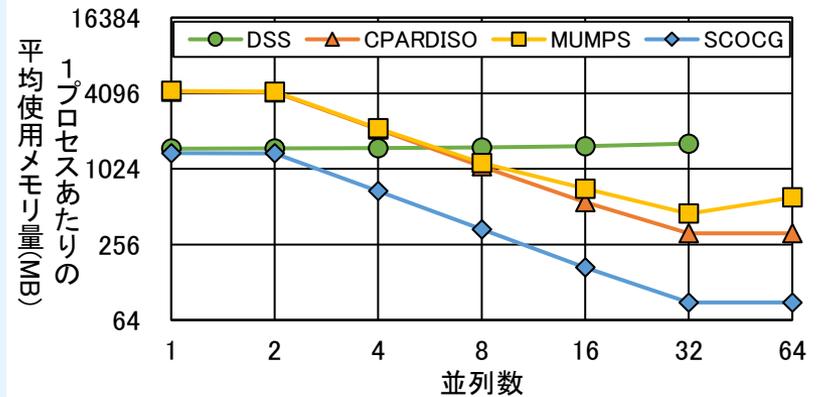


(b) 速度向上率

## ■ 使用メモリ量



(a) トータル使用メモリ量

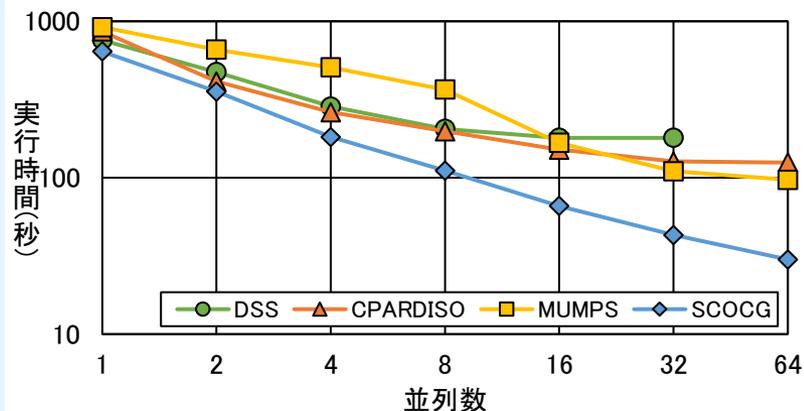


(b) 1プロセス当たりの平均使用メモリ量※1

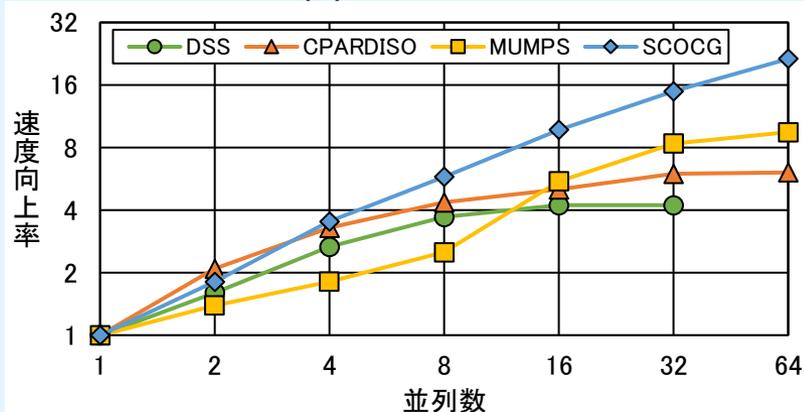
※1 DSSはスレッド並列のためトータル使用メモリ量とする

# ベンチマーク結果 (10万自由度)

## ■ 実行時間 & 速度向上率

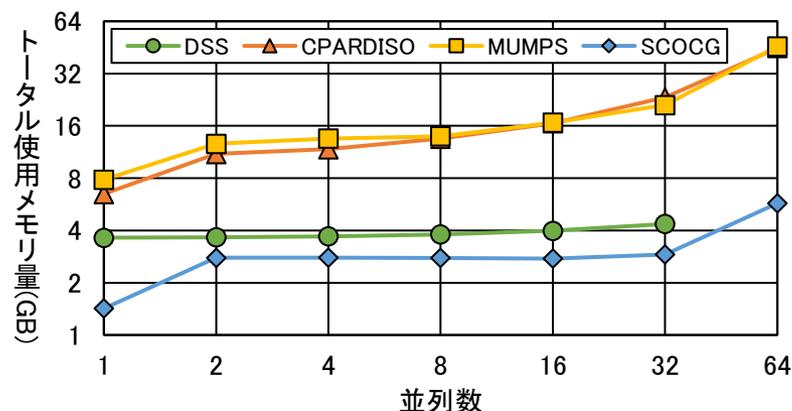


(a) 実行時間

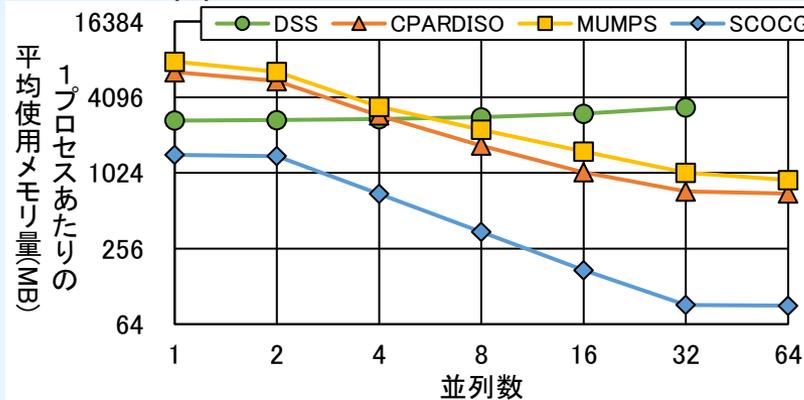


(b) 速度向上率

## ■ 使用メモリ量



(a) トータル使用メモリ量

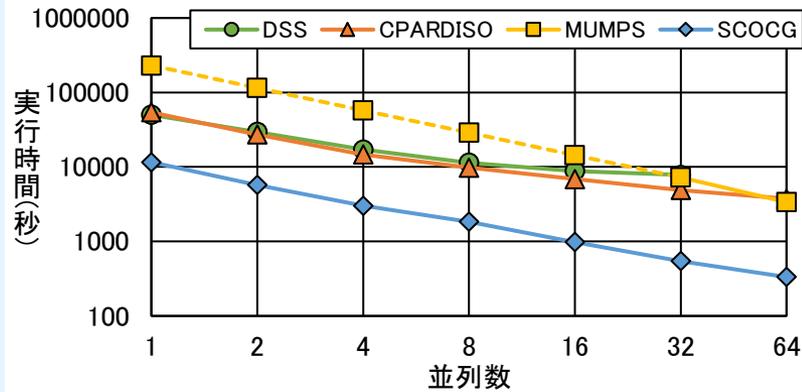


(b) 1プロセス当たりの平均使用メモリ量※1

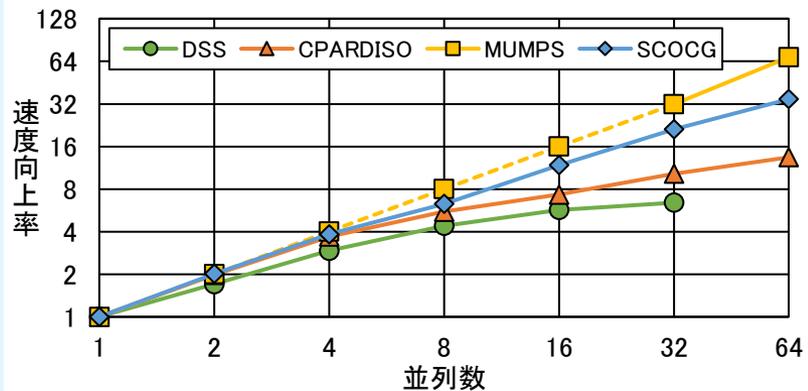
※1 DSSはスレッド並列のためトータル使用メモリ量とする

# ベンチマーク結果 (100万自由度)

## ■ 実行時間 & 速度向上率



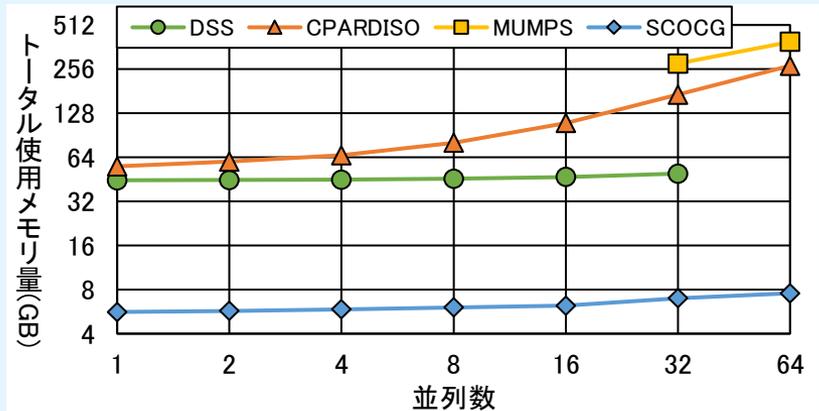
(a) 実行時間



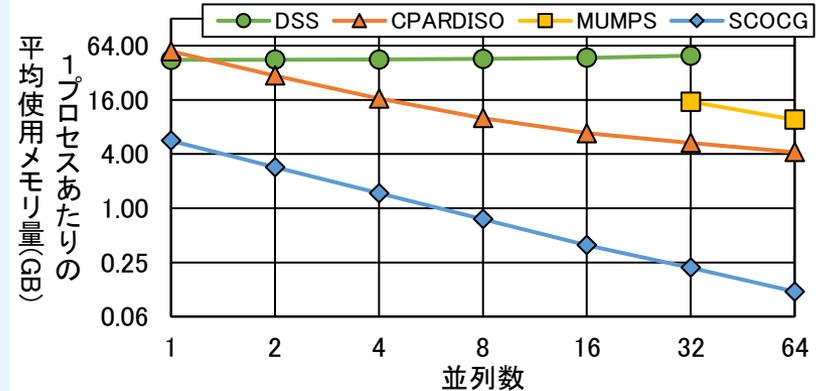
(b) 速度向上率

※MUMPSは1~16並列でメモリ不足のため32並列結果から推測

## ■ 使用メモリ量



(a) トータル使用メモリ量



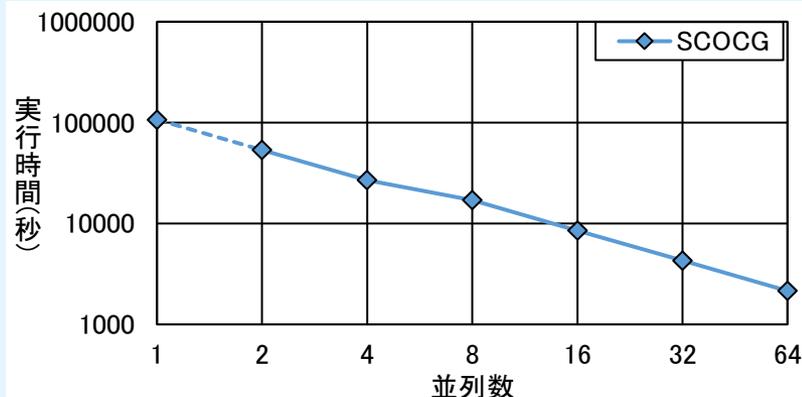
(b) 1プロセス当たりの平均使用メモリ量※1

※1 DSSはスレッド並列のためトータル使用メモリ量とする

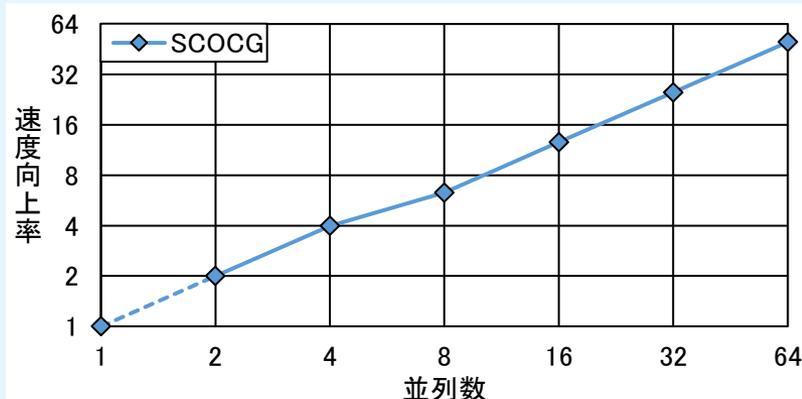
# ベンチマーク結果 (500万自由度)

※MUMPS,DSS,CPARDISOは全ケースメモリ不足

## ■ 実行時間 & 速度向上率



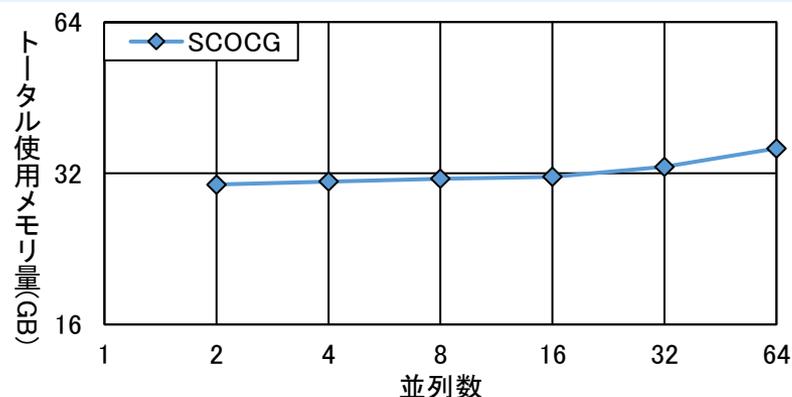
(a) 実行時間



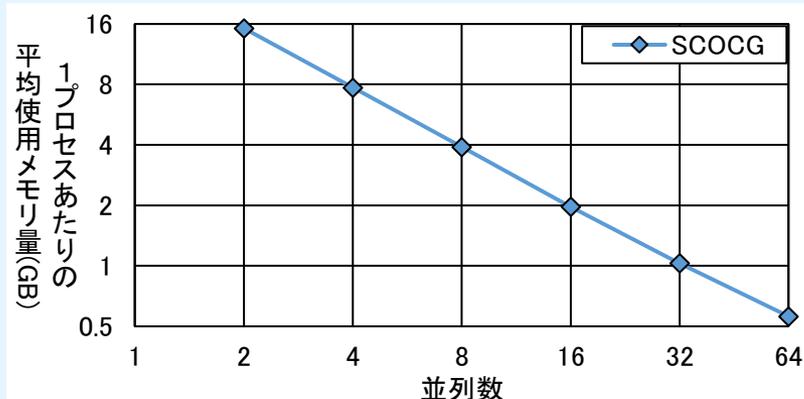
(b) 速度向上率

※SCOCGは1並列でメモリ不足のため2並列結果から推測

## ■ 使用メモリ量



(a) トータル使用メモリ量



(b) 1プロセス当たりの平均使用メモリ量

# まとめ



- 本テストケースでは、モデルサイズが大きいほど、並列化による速度向上が見られた。
- 直接法ソルバー（MUMPS, Cluster PARDISO, DSS）に比べて、反復法ソルバー（SCOCG）で高い速度向上率が得られた。本テストケースでは、速度向上率は、反復法SCOCGソルバー64並列の場合5.75～49.81倍、直接法Cluster PARDISOソルバー64並列の場合2.57～13.67倍であった。
- 反復法ソルバーでは解けない（収束しない）解析では直接法ソルバーを使う必要がある。本テストケース結果から、直接法ソルバーでも比較的高い速度向上率が得られることが確認できた。

## 【謝辞】

本ベンチマークではFOCUSスパコンを無償利用させていただきました。ここに深く感謝の意を表します。

FDAPⅢに関するお問い合わせ先：



株式会社 **アーク情報システム**

〒102-0076 東京都千代田区五番町4-2 東プレビル  
TEL: 03-3234-9232(営業直通) FAX: 03-3234-9403

# 補足：モジュールサイズ

- FDAP III Cluster Editionには、使用するメモリサイズに応じたモジュールサイズごとに実行ファイルが存在する。
- モジュールサイズごとに固定長配列のサイズも異なるため、使用する実行ファイルのモジュールサイズにより使用メモリ量が変化する。
- 本ベンチマークで使用した実行ファイルのモジュールサイズ（単位 MB）を以下に示す。

■ Intel MKL DSS 単位 MB

並列数	1万自由度	10万自由度	100万自由度	500万自由度
1	16384	16384	16384	16384
2	16384	16384	16384	16384
4	16384	16384	16384	16384
8	16384	16384	16384	16384
16	16384	16384	16384	16384
32	16384	16384	16384	16384
64	-	-	-	-

■ Intel MKL Cluster PARDISO 単位 MB

並列数	1万自由度	10万自由度	100万自由度	500万自由度
1	16384	16384	16384	16384
2	16384	16384	16384	16384
4	8192	8192	8192	16384
8	4096	4096	4096	16384
16	2048	2048	2048	16384
32	1024	1024	1024	16384
64	1024	1024	1024	16384

■ MUMPS 単位 MB

並列数	1万自由度	10万自由度	100万自由度	500万自由度
1	16384	16384	16384	16384
2	16384	16384	16384	16384
4	8192	8192	16384	16384
8	4096	4096	16384	16384
16	2048	2048	16384	16384
32	1024	1024	16384	16384
64	1024	1024	16384	16384

■ SCOCG 単位 MB

並列数	1万自由度	10万自由度	100万自由度	500万自由度
1	16384	16384	16384	16384
2	16384	16384	16384	16384
4	8192	8192	8192	16384
8	4096	4096	4096	16384
16	2048	2048	2048	16384
32	1024	1024	1024	16384
64	1024	1024	1024	16384

※ Intel MKL DSSとIntel MKL Cluster PARDISOは、ソルバー内部で確保するメモリはモジュールサイズに含まれない