

科研基盤B

「実行時自動チューニング機能付き 疎行列反復解法ライブラリの エクサスケール化」 — プロジェクト概要 —

片桐孝洋

東京大学情報基盤センター

第4回 自動チューニング技術の現状と応用に関するシンポジウム
2012年12月25日(火) 11:15~11:30
東京大学 山上会館

Agenda

(片桐)

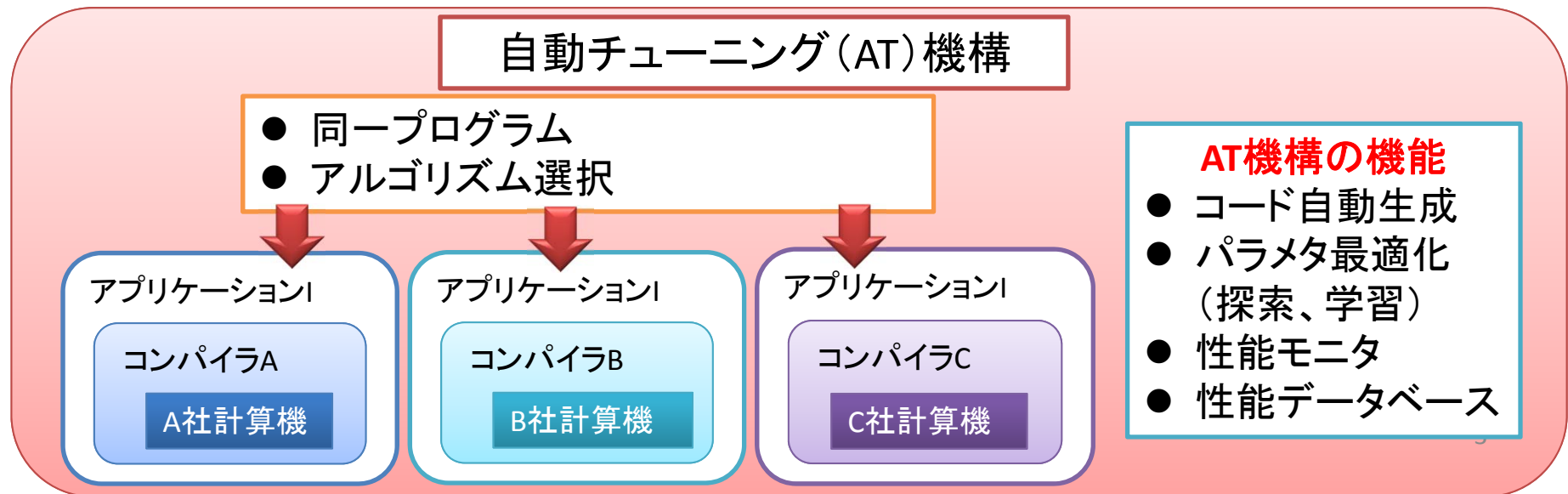
1. 性能可搬性とは
2. エクサスケールで必要になる
数値計算ライブラリの課題
3. 本基盤Bの研究計画

(日立中研 櫻井)

1. Xabclibの詳細

性能可搬性(Performance Portability)とは？

- 複数計算機環境で有効な最適化を提供するパラダイム
(HPCI 技術ロードマップ白書、数値計算ライブラリのための自動チューニング2012年3月)
 - 2000年頃から日本で使われている技術用語
 - 同一プログラムで、計算機が変わっても高性能を維持



NVIDIA
Kepler

Intel
Xeon Phi
(MIC)

…など、**エクサに
向けた多様な
新規ハードウェア
環境**に対応

エクサスケールで必要になる

数値計算ライブラリの課題 (HPCI 技術ロードマップ白書2012 年3 月)

課題: **10億並列性**を目指した

1. **ライブラリインターフェース (LI)**
2. **非均質プロセッサ対応 (HP)**
3. **通信量およびメモリアクセス回数の削減 (RCM)**
4. **演算精度 (CA)**
5. **低電力化 (LP)**
6. **耐故障性 (FT)**
7. **フレームワーク (FW)**

ライブラリインターフェース:

- 既存アプリケーションプログラムからの移行コスト低減
- ヘテロジニアスアーキテクチャでも、同じAPI提供
- ノード数増加に伴う最適データ分散が変わっても、同一API提供

非均質プロセッサ対応:

- メニーコアとアクセラータを同時に使う方式やフレームワーク開発
- アクセラータに向くアルゴリズム
- 数値計算ライブラリの記述言語
- 上記を実現する自動チューニング方式

通信量およびメモリアクセス回数の削減:

- 通信最適化
 - AllgatherやAllreduce等の集合通信がないライブラリ(要アルゴリズム変更)
 - 通信(回数またはデータ転送量、またはその両方)最小限のアルゴリズム
 - 通信量が増えてもレイテンシの影響を削減し通信時間を削減する通信方式
- 演算量が増えても通信量やメモリアクセス回数を削減するアルゴリズム
- 上記を実現する自動チューニング方式

演算精度:

- 高精度計算(大規模並列化に伴う演算精度保証)
- Byte/Flop減少に伴う単精度・倍精度混合演算および精度保証
- 精度確認機能
- 精度の自動チューニング

低電力化:

- 数値計算ライブラリレベルでの低電力化機能の検討
 - 例: 演算パターンに適応した周波数の切り替え
 - 例: 電力を考慮したジョブスケジューリング、および、動的なハードウェア選択機能、とライブラリの連携
- 上記を実現する自動チューニング方式

フレームワーク:

- 主要領域のアプリ開発共通基盤により、開発コストを低減
- アプリ開発者、計算機科学者とのコデザイン
- アプリに必要な共通的な機能モジュールのパッケージ化
- 共同開発、コミュニティの醸成

耐故障性:

- 数値計算ライブラリレベルでの耐故障機能の検討
 - 例: 分散行列におけるパリティノード

エクサスケールで必要になる

数値計算ライブラリの課題 (HPCI 技術ロードマップ白書2012 年3 月)

課題: 10億並列性を目指した

1. ライブラリインターフェース (LI)
2. 非均質プロセッサ対応 (HP)
3. 通信量およびメモリアクセス回数の削減 (RCM)
4. 演算精度 (CA)
5. 低電力化 (LP)
6. 耐故障性 (FT)
7. フレームワーク (FW)

ライブラリインターフェース:

- 既存アプリケーションプログラムからの移行コスト低減
- ヘテロジニアスアーキテクチャでも、同じAPI提供
- ノード数増加に伴う最適データ分散が変わっても、同一API提供

非均質プロセッサ対応:

- メニーコアとアクセラータを同時に使う方式やフレームワーク開発
- アクセラータに向くアルゴリズム
- 数値計算ライブラリの記述言語
- 上記を実現する自動チューニング方式

通信量およびメモリアクセス回数の削減:

- 通信最適化
 - AllgatherやAllreduce等の集合通信がないライブラリ(要アルゴリズム変更)
 - 通信(回数またはデータ転送量、またはその両方)最小限のアルゴリズム
 - 通信量が増えてもレイテンシの影響を削減し通信時間を削減する通信方式
- 演算量が増えても通信量やメモリアクセス回数を削減するアルゴリズム
- 上記を実現する自動チューニング方式

演算精度:

- 高精度計算(大規模並列化に伴う演算精度保証)
- Byte/Flop減少に伴う単精度・倍精度混合演算および精度保証
- 精度確認機能
- 精度の自動チューニング

低電力化:

- 数値計算ライブラリレベルでの低電力化機能の検討
 - 例: 演算パターンに適応した周波数の切り替え
 - 例: 電力を考慮したジョブスケジューリング、および、動的なハードウェア選択機能、とライブラリの連携
- 上記を実現する自動チューニング方式

フレームワーク:

- 主要領域のアプリ開発共通基盤により、開発コストを低減
- アプリ開発者、計算機科学者とのコデザイン
- アプリに必要な共通的な機能モジュールのパッケージ化
- 共同開発、コミュニティの醸成

耐故障性:

- 数値計算ライブラリレベルでの耐故障機能の検討
 - 例: 分散行列におけるパリティノード

構成員

- 代表者

- － 片桐 孝洋 (東京大学・情報基盤センター)

- 研究分担者

- － 田中 輝雄 (工学院大学・情報工学部)

- － 黒田 久泰 (愛媛大学・理工学研究科)

- － 岩下 武史 (京都大学・学術情報メディアセンター)

- － 佐藤 雅彦 (核融合科学研究所)

- － 大島 聡史 (東京大学・情報基盤センター)

- 連携研究者

- － 須田 礼仁 (東京大学・情報理工学系研究科)

- － 今村 俊幸 (理化学研究所・計算科学研究機構)

- － 櫻井 隆雄 (日立製作所・中央研究所)

研究計画

概要

- エクサスケール環境では、高並列マルチコアCPUに加え、演算アクセラータを持つ非均質計算機環境になると予想されている
 - MPI + X の実行環境
 - ノード内はスレッド並列化 + 演算アクセラータ実行
 - ノード外はMPIでプロセス並列化
 - ハイブリッドMPI実行
- 実行時自動チューニング(AT)技術の方式研究
 - 対象
 - 疎行列反復解法
 - 上記を用いる数値計算ライブラリとシミュレーション
 - 実用アプリケーションで求められる実行時ATの要求要件を調査のうえ同定
 - エクサスケール化を達成する実行時AT方式を開発
- エクサスケール環境における高効率実行のための数値計算用AT基盤ソフトウェアの確立

研究の要点

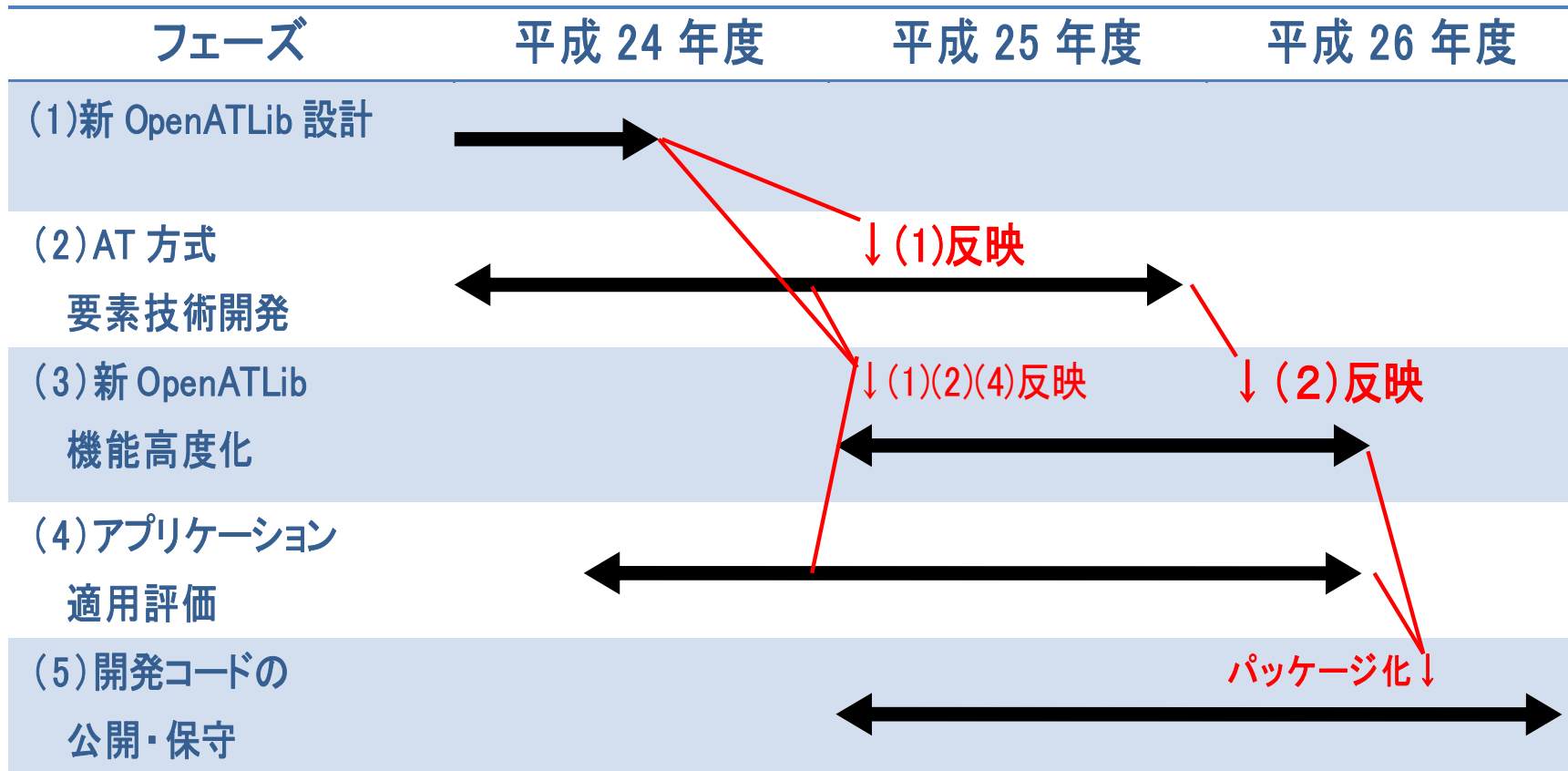
- **OpenATLib** (既開発の疎行列反復解法用AT基盤)のハイブリットMPI化およびATの技術開発
- 研究開発項目
 1. **OpenATLibのMPI実装:**
OpenATLib、および、Xabclibで実装されている数値反復解法をMPI化 (MPI実装)
 2. **XabclibのGPU(メニーコア)化:**
GPU(メニーコア)化に対応するため、疎行列-ベクトル積などの主要演算をGPU(メニーコア)化
 3. **分散APIの開発:**
MPIの通信時間を最小化する、ライブラリインターフェースの開発
 4. **分散APIで機能するAT方式開発:**
上記分散APIで必要となるAT機能の開発

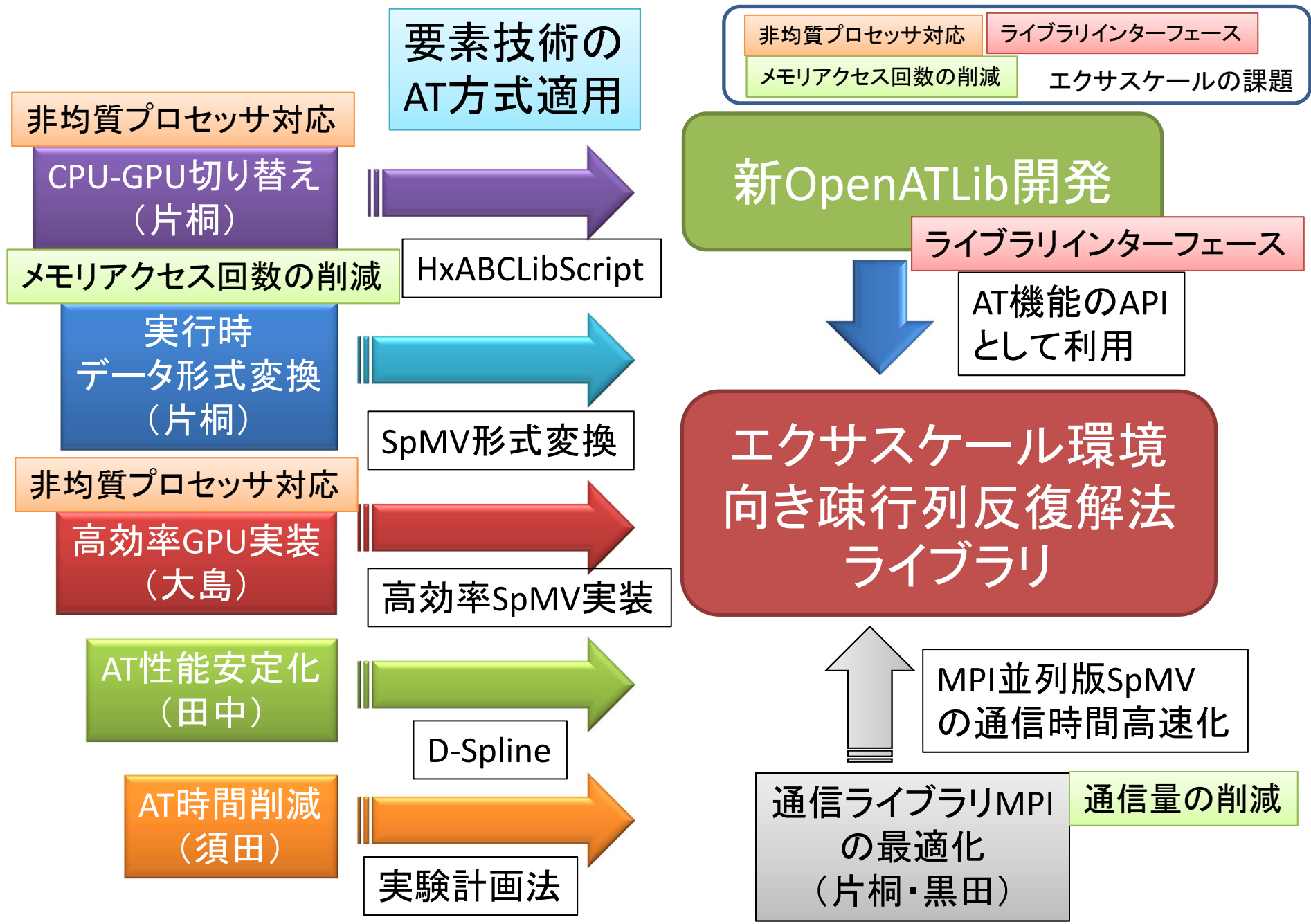
研究計画の概要

- AT方式開発グループ、数値計算ライブラリ適用グループ、アプリケーション適用グループの3グループを編成
 - エクサスケール化を達成する、実行時AT機能の仕様策定、実装、および性能評価
- CPUとGPU(メニーコア、インテルMICを含む)の非均質計算機環境でのAT評価
- 開発工程を5フェーズに分ける
 - 平成24年度
 - 非均質計算機対応、ハイブリッドMPI実行対応のAT機能を実現する新OpenATLibの設計
 - 平成25年度以降
 - 設計をもとにプロトタイプを開発
 - AT仕様を高度化
 - 広範な適用対象の要求要件を満たす実行時AT機能を実現
 - 平成26年度
 - 開発したOpenATLibのソースコードをフリーソフトウェアとして公開

開発フェーズと工程

表： 開発フェーズと工程





図：新OpenATLib開発と既存要素技術の適用

● 統括 片桐孝洋(東大 准教授)

● AT方式開発グループ(ATMD)

【非均質計算サブグループ】

★片桐孝洋(東大 准教授、代表): 新OpenATLib実装、ハイブリッドMPI最適化
大島聡史(東大 助教、分担): GPU実装、高効率SpMV実装

【理論研究サブグループ】

★田中輝雄(工学院大 教授、分担): d-splineによるAT性能安定化
須田礼仁(東大 教授、連携): 実験計画法によるAT時間削減

仕様の提示、AT機能要求

仕様変更、AT方式の実装

AT方式適用
性能評価

● 数値計算ライブラリ適用グループ(NLAG)

★黒田久泰(愛媛大 准教授、分担): 疎行列反復解法ライブラリ適用
今村俊幸(理研 チームリーダー、連携): 固有値ライブラリ適用

仕様・実装変更
実性能の提示

AT方式の適用評価

実性能の提示

● アプリケーション適用グループ(APAG)

★岩下武史(京大 准教授、分担): 電磁気シミュレーション適用
佐藤雅彦(核融合研 助教、分担): 陰解法MHDコード適用

図: 本研究における分担者・連携者と具体的な役割