

平成 17 年 2 月 25 日

平成 16 年度 トーラス理論専門部会

東京 計算科学技術推進センター

核燃焼プラズマ統合コード構想 : BPSI

福山 淳

京都大学 工学研究科

内容

- 核燃焼プラズマ統合コード構想 : **BPSI**
- 現在の活動
- 今後の課題

核燃焼プラズマ統合コード構想

BPSI: Burning Plasma Simulation Initiative

ITER に向けて，自律性の高い核燃焼プラズマの定量的記述が必要

- プラズマ加熱の大部分が，密度と温度に依存する **粒子加熱**
- プラズマ電流の多くが，圧力勾配とポロイダル磁界に依存する **自発電流**
- プラズマ中心部では，燃料イオン密度と温度に依存する **粒子生成**

炉心プラズマの予測と制御手法の開発に向けて，
炉心プラズマ全体の放電時間全体にわたる
自己完結的な時間発展シミュレーションが必要

大規模シミュレーション

非線形物理現象の解明に大きな成果

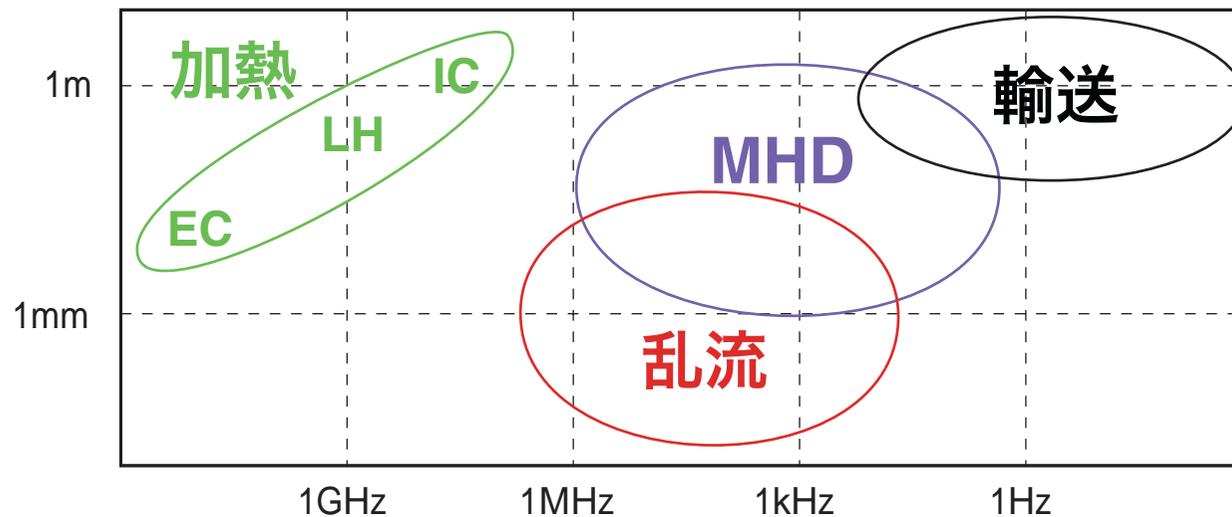
MHD不安定性，乱流輸送現象，波-プラズマ相互作用等

個々の現象を詳細に解析

核燃焼プラズマ統合シミュレーション

広い時間スケール：100GHz から 1000s

広い空間スケール：10 μ m から 10m



単一のシミュレーションコードでの解析は当面不可能

複数のコードを統合したシミュレーションが必要

核燃焼プラズマ統合コード構想の目的

多くの考え方を取り入れる

- 核燃焼プラズマ全体の時間発展を解析できる
 - 実験データとの比較による検証
 - 核燃焼プラズマの予測
 - 運転シナリオの最適化
- ITPA で欧米に対抗できる
- 新しい理論モデルを容易に検証できる
- 大規模シミュレーションの成果を組み込むことができる
- 実験家が容易に利用できる
- ヘリカル系にも拡張できる
- 並列分散処理により高速化できる

これから数年で成果

核燃焼プラズマ統合コード構想

統合コード：フレームワーク

コアコードの開発・整備・公開

既存解析コードとの連携：インターフェース仕様の共通化
実験データベースとの連携：ITPA, JT-60, LHD, 中小型装置

新しい物理モデル：階層型物理モデル

時間スケールの異なる現象の間の相互作用

異なる空間領域の間の相互作用：コア・周辺プラズマ

新しい計算手法：ネットワーク分散並列処理

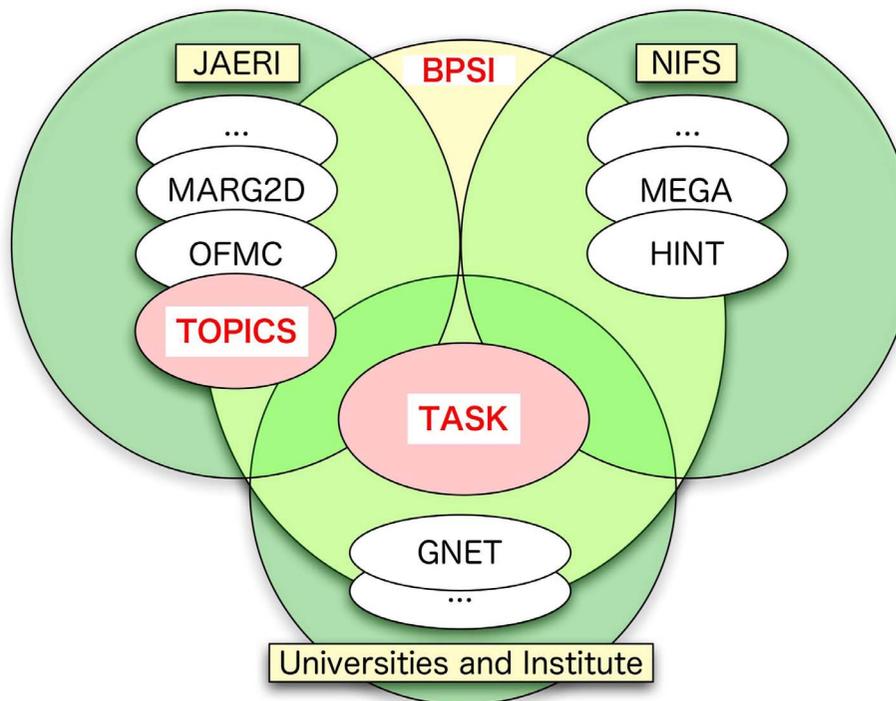
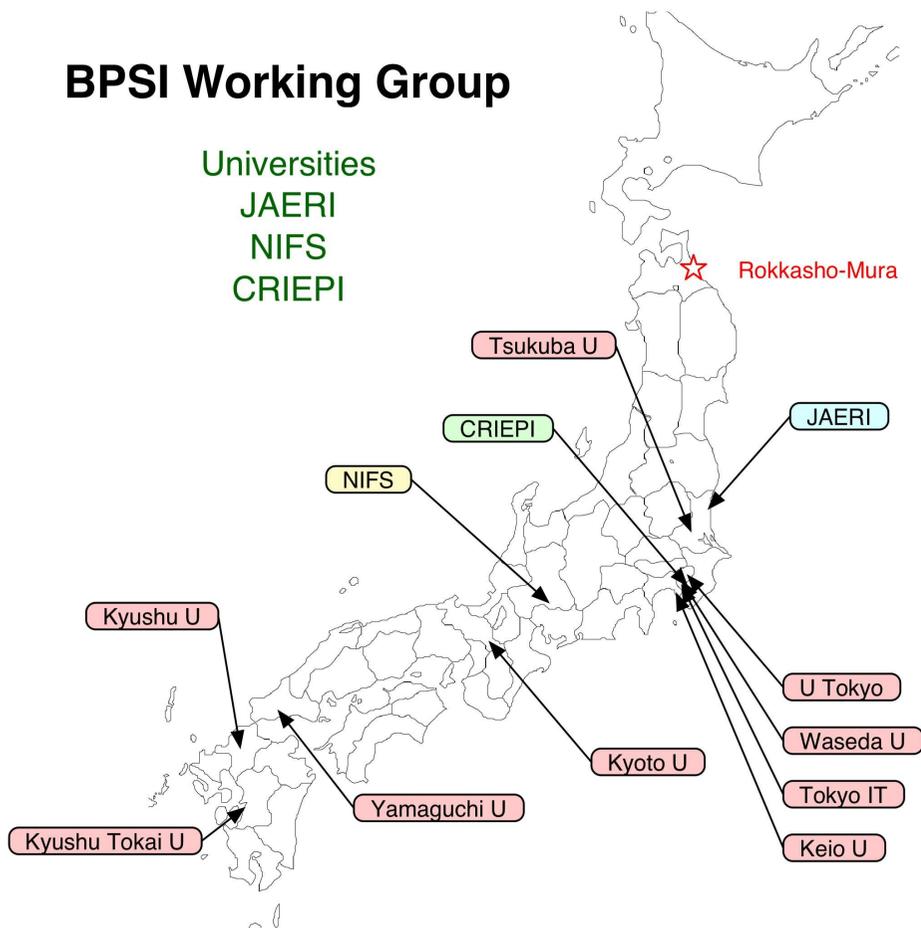
計算機クラスター間の連携：計算資源の有効利用
図形表示の高度化

BPSI: Burning Plasma Simulation Initiative

大学, NIFS, JAERI の共同研究

BPSI Working Group

Universities
JAERI
NIFS
CRIEPI



BPSI の活動

- **1st Stage**

- **Development of standard dataset and module interface**
- **Integrated simulation of multi-physics**
- **Validation of modules with experimental results**
- **Transport simulation in 3D helical configuration**

- **2nd Stage**

- **Integration of existing and newly-developed modules**
- **Global integrated simulation (Core+Edge, Transport+RF+MHD,...)**
- **Validation of modules with direct numerical simulation**
- **Integrated simulation in 3D helical configuration**

- **3rd Stage**

- **Integrated simulation including startup and termination**
- **Full integrated simulation of burning plasmas**

米国の状況

- **NTCC** (National Transport Code Collaboration)

<http://w3.pppl.gov/NTCC/>

- 輸送コード, モジュールライブラリ

- **SciDAC** (Scientific Discovery through Advanced Computing)

<http://www.osti.gov/scidac/fes/>

- Plasma Microturbulence Project, Extended MHD Modeling, Wave-Particle Interaction, National Fusion Collaboratory, Computational Atomic Physics, Magnetic Reconnection

- **Center for Extended Magnetohydrodynamic Modeling: Jardin**

- **Center for Gyrokinetic Particle Simulation of Turbulent Transport in Burning Plasmas: W. Lee**

- **FSP**: (Fusion Simulation Project)

- **Integrated Simulation of Edge/Boundary Region including ELMs**

- **Integrated Understanding of How Electromagnetic Waves Affect Plasma Profiles & Stability**

欧州の状況

- **EFDA Task Force: Integrated Transport Modelling (Dec. 2003)**
<http://www.efda-taskforce-itm.org/>
- **Topics**
 - Area #1: Identification of Codes & Models
 - Area #2: Interfacing Procedure and Numerical Support
 - Area #3: Code Validation and Benchmarking
 - Area #4: ITER Integrated Scenario Activity.
- **Projects**
 - **The Code Platform Project (CPP)**
 - **The Data Coordination Project (DCP)**
 - **Five Integrated Modelling Projects (IMPs)**
 - Equilibrium and linear MHD stability, Non-linear MHD and disruptions, Transport code and discharge evolution, Transport processes and micro-stability, Heating, current drive and fast particles

最近の動向

- **2004/11/05:**
Satellite Meeting to IAEA FEC 2004 on Collaborative Activity between the Integrated Fusion Modelling Initiatives
 - EU, US, JP
- **2005/05/03-05:**
Joint ORNL/Indiana University Workshop on Computational Frameworks for Fusion
 - Workshop for the broad purpose of starting a dialog between fusion researchers that are involved in integrated computational modeling and the developers of computational frameworks for scientific applications.
- **2005/09/12-14?:**
US-Japan JIFT Workshop on Integrated modeling of multi-physics in fusion plasmas
 - Kyushu University

TASK コードの特色

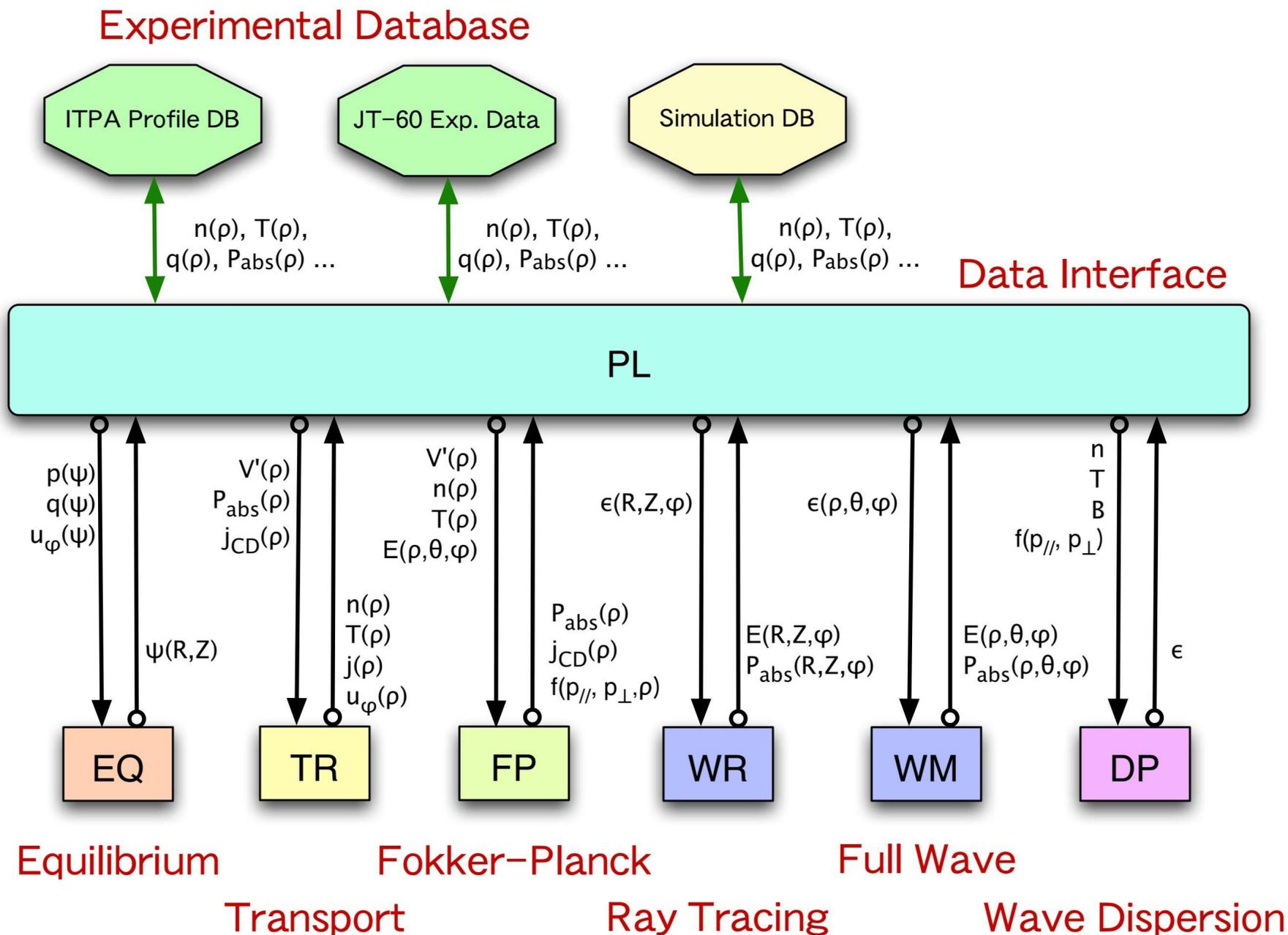
- トカマクの時間発展シミュレーション
 - モジュール構造の統合シミュレーション
 - 様々な加熱・電流駆動機構
 - 高い移植性
 - ヘリカル系への拡張
 - MPI ライブラリを用いた並列分散処理
 - 実験データベースの利用
- 核燃焼プラズマ統合コード構想のコアコード
 - 最小限の統合コード：モジュールは交換可能
 - インターフェースの標準化：実装の検証
 - 利用者の拡大：マニュアル等の整備

TASK コード

- **T**ransport **A**nalyzing **S**ystem for tokama**K**
- **モジュール**

TASK/EQ	2次元平衡解析	固定境界，トロイダル回転効果
TR	1次元輸送解析	拡散型輸送方程式，輸送モデル
WR	幾何光学的波動解析	EC, LH: 光線追跡法，ビーム追跡法
WM	波動光学的波動解析	IC, AW: アンテナ励起，固有モード
FP	速度分布解析	相対論的，軌道平均，3次元
DP	波動分散解析	局所誘電率テンソル，任意速度分布
LIB	共通ライブラリ	行列解法，特殊関数
PL	分布データ変換	磁気面座標 ↔ 実座標，分布データベース
EX	2次元平衡解析	自由境界，有限要素法
TX	1次元輸送解析	流体型輸送方程式，輸送モデル
WA	線形安定性解析	波動解析，MHD不安定性，運動論的效果

TASK コードの新しい構成



データ交換の標準化

- **モジュール間で交換するデータの標準化**
 - 座標系
 - 装置データ
 - 磁界データ
 - 計量データ
 - 流体プラズマデータ
 - 運動論的プラズマデータ
 - 波動電界データ
 - 光線追跡データ
- **モジュール間のデータ交換に用いるプログラムインターフェース**
 - サブルーチン引数によるデータ交換
 - 構造体データの利用 (F95)
 - 配列データ動的割当 (F95)
 - データベースの利用 (実験データ, シミュレーションデータ)

実行制御の標準化

- 各モジュールの実行を制御するため，モジュール XX には例えば以下のようなプログラムインターフェースが必要

XXINIT	初期化（標準値設定，設定ファイル読込）
XXPARM(P)	パラメータ設定（ namelist 型入力）
XXPROF	初期分布の設定（空間分布の設定）
XXEXEC(DT)	時間発展の実行（時間ステップの設定）
XXGOUT(P)	図形出力（図表示コマンド指定）
XXSAVE	実行結果のファイル出力
XXLOAD	実行結果のファイル読込
XXTERM	実行の終了

TASK コードの今後の課題

- **短期課題** :

- **コード構成の変更** : インターフェースの統一 (データ , 実行 , ユーザー)
- **データ交換インターフェース仕様の策定**
- **ソースプログラムの公開** : CVS による開発
- **モジュール連携の検証** : EQ/TR/WR/FP/DP : 定常運転シナリオ
- **簡易マニュアルの作成**
- **TASK/EQ の改良** : $q(r)$ vs. $j(r)$

- **中期課題** : 1 年後

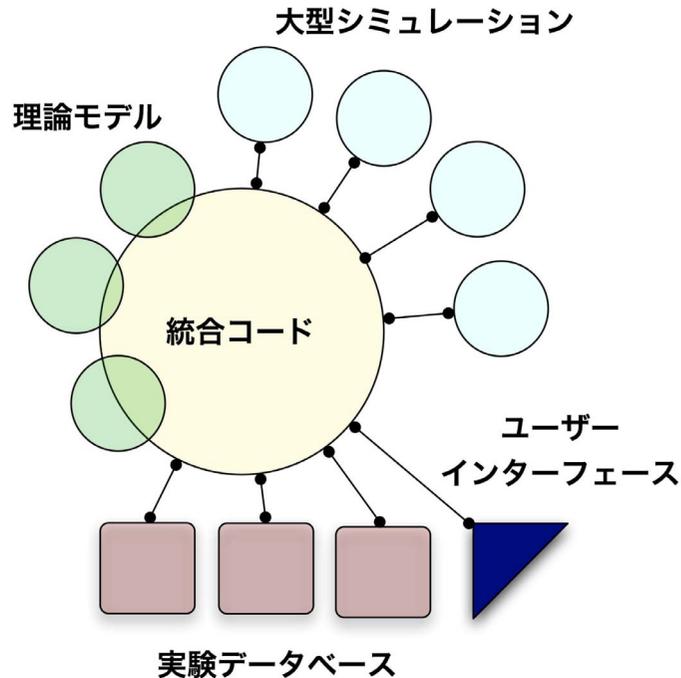
- **輸送モデルの改良** : ITG+KBM : ITPA 分布 DB との比較 , JT-60U 実験データ
- **自由境界平衡モジュール TASK/EX の導入** : プラズマ立ち上げ
- **流体型輸送モジュール TASK/TX の導入** : エッジプラズマモデル
- **LHD における電流分布時間発展** (NIFS 共同研究 : 代表 中村)
- **波動加熱・電流駆動の改良** : 局所波動減衰 vs. 軌道平均準線形拡散
- **FORTRAN90 への移行** , 並列処理の拡大 , クラスタ間連携

ヘリカル系プラズマ統合コード

- **LHD 実験共同研究** : H16
 - **LHD プラズマ実験のための統合コード開発**
- **LHD 計画共同研究** : H17–H20
 - **ヘリカル系プラズマ実験のための統合コード開発**
 - 研究代表者 : 中村祐司 (京大エネ科)
 - 世話人 : 山田弘司 (核融合研)
 - 研究協力者 : 中島, 横山, 鈴木, 山田, 居田, 渡邊, 榊原, 舟場, 福山, 村上
 - **目的** :
 - **TASK** コードをコアモジュールとし, **MHD** 平衡モジュールなどを必要に応じて取捨選択できるモジュール群を有機的に組み合わせたソフトウェアシステムの構築
 - ヘリカル系プラズマ実験のための統合シミュレーション環境の開発・整備
 - 欧米における統合コード開発計画に対する国際的競争力
 - 実際の **LHD** 実験データ解析の結果を統合コード開発にフィードバック

まとめ

● 核燃焼プラズマ解析コードの枠組み



- 理論モデルの導入
- 大型シミュレーションとの連携
- 実験データベースとの比較による検証
- 計算資源利用の効率化
- 全国的な研究協力の組織化

● 今後の目標

- **インターフェース策定**：データ交換，実行制御
- **コードの整備**：モジュール連携，新モジュール開発
- **利用者の拡大**：マニュアル作成，ソース公開，利用説明 web
- **対象の拡大**：ITPA, JT-60, LHD, ST, RFP