

核燃焼プラズマ統合コード：米国・日本の状況と提案

京大原子核 福山 淳
九大応力研 矢木雅敏

核燃焼プラズマ解析の現状

米国：Fusion Simulation Project

統合コードの可能性

核燃焼プラズマの解析

● 実験

- 測定技術の進歩：高い空間分解能，高い時間分解能．プラズマ中電磁界測定
- 大型プラズマ実験：経費の増大，ショット数の減少
- ITER 核燃焼プラズマ：約10年後

● 理論

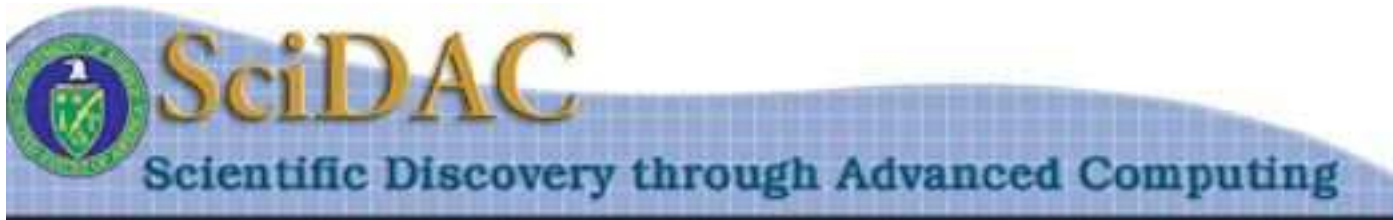
- 非線形現象・乱流現象の解明

● シミュレーション

- 計算資源の指数的增长，計算手法の発展，ネットワークの高速・大容量化
- 個々のプラズマ現象：さまざまなコードによる詳細な解析
- プラズマ全体：単一コードによる記述は当面困難
- 核燃焼プラズマ全体の時間発展シミュレーション：必要性，現実性

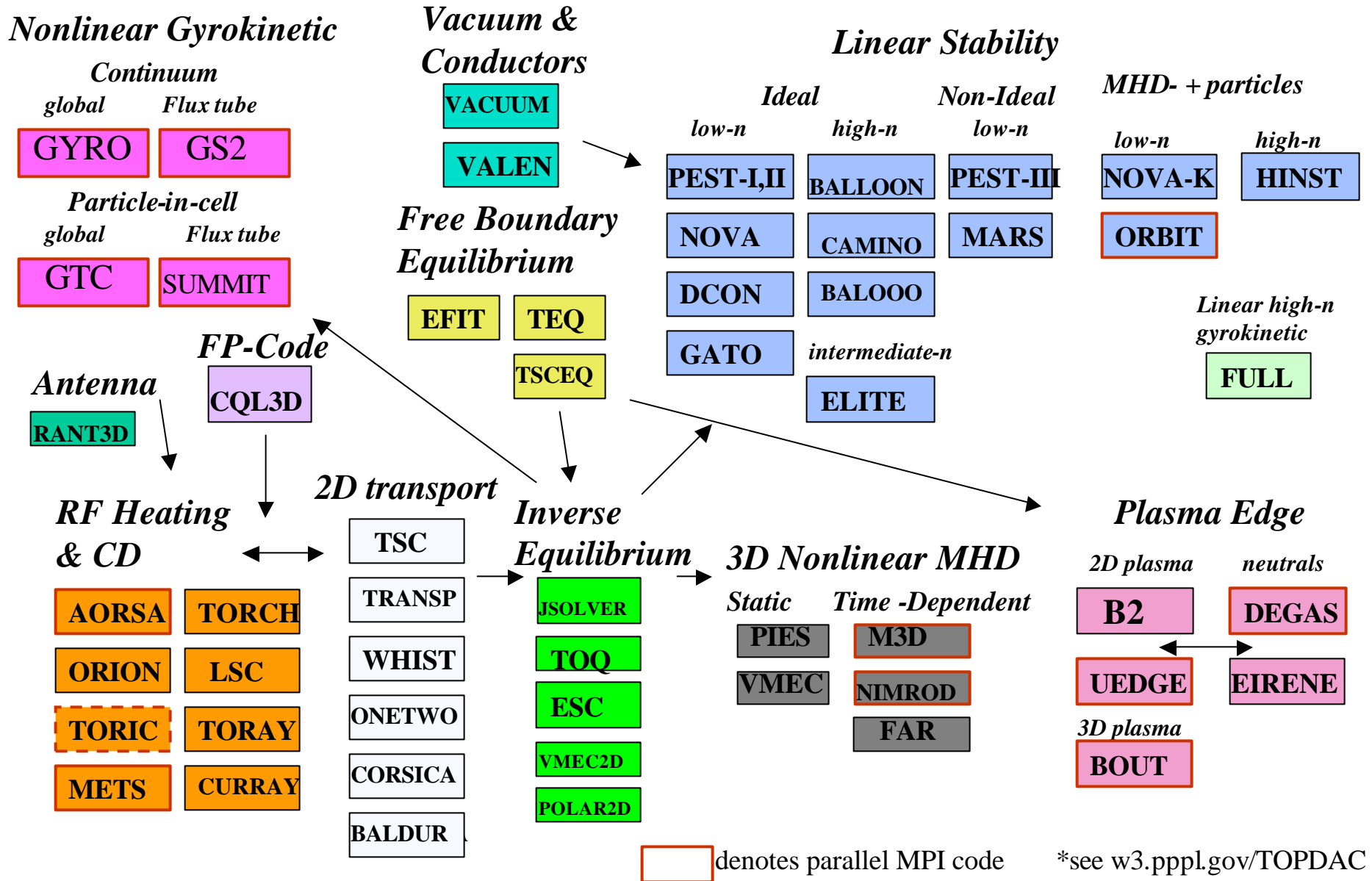
米国の状況

- **DOE/Office of Science/Office of Fusion Energy Science**
- **FESAC** (Fusion Energy Science Advisory Committee)
- **ISOFS** (Integrated Simulation and Optimization of Fusion Systems Subcommittee)
 - **02/22: Charge to FESAC**
 - **05/23: Presentation by simulation groups**
 - **07/12: First Report of Fusion Simulation Project**
 - 核燃焼プラズマの完全に予測的なシミュレーションと最適化が必要
 - トロイダル磁気核融合装置における放電プラズマの振る舞いを、関連するすべての時間・空間尺度にわたって正確に予言するという目標に向かって、5年以内に大きく前進する。
 - 課題解決 (核融合科学, 応用数学, 計算機科学)
 - モジュール開発 (拡張MHD, 乱流輸送, プラズマ端部, 外部源, 可視化)
 - システム統合
 - 提案: FY04-08, 20M\$/FY
 - **09/17-18: Fusion Simulation Project Workshop**



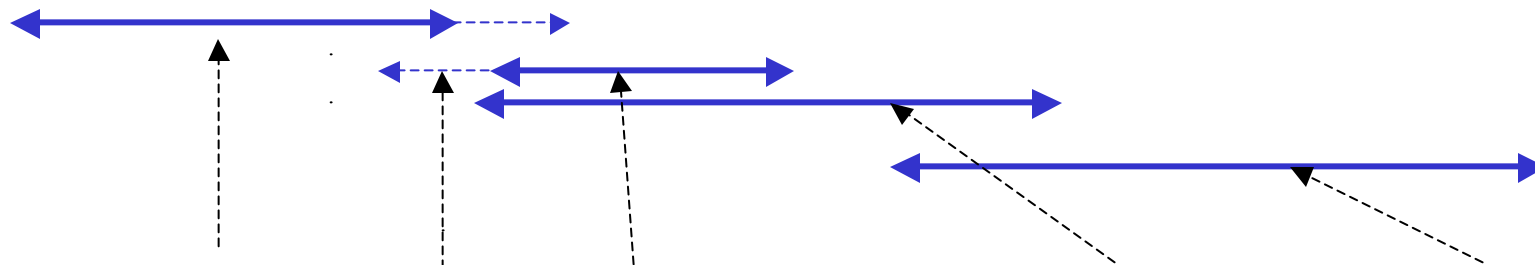
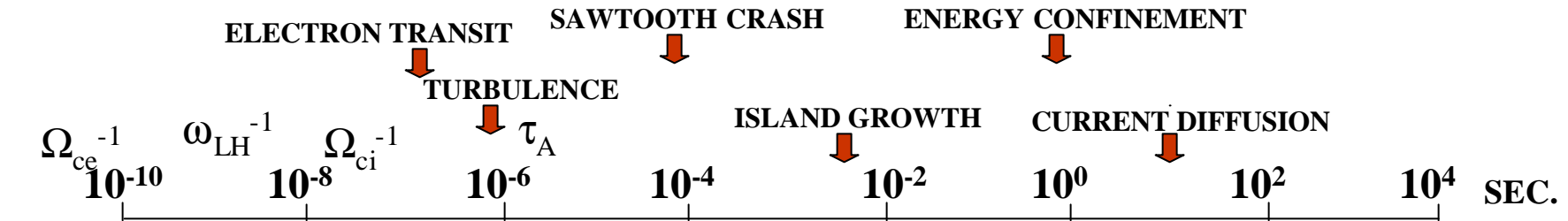
- **SciDAC** (2001-2005) (~60M\$/FY)
 - 先進科学計算, 基礎エネルギー科学, 生体・環境, 核融合エネルギー科学, 高エネルギー・核物理
- **核融合エネルギー科学** (~5M\$/FY)
 - 解析ツールの共同利用: 実験データ解析・可視化・ネットワーク
(NFC: National Fusion Collaboratory)
 - 多次元系における波-プラズマ相互作用
 - 磁気リコネクション
 - 電磁流体モデリングの拡張
 - 微視的プラズマ乱流
 - 周辺プラズマにおける原子物理
- **輸送コード協力** (NTCC: National Transport Code Collaboration)
 - モジュール・ライブラリ, 実験データベース・アクセス, ウェブでの実行

Major U.S. Toroidal Physics Design and Analysis Codes (TOPDAC*)



Typical Time Scales in a next step experiment

with $B = 10 \text{ T}$, $R = 2 \text{ m}$, $n_e = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $T = 10 \text{ keV}$



Single frequency and prescribed plasma background	$\frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ average over gyroangle, (some) with electrons	$\frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ integrate over velocity space, neglect electron inertia	$\frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ integrate over velocity space, average over surfaces, neglect ion & e ⁻ inertia
RF Codes	Gyrokinetics Codes	Extended MHD Codes	Transport Codes
wave-heating and current-drive	turbulent transport	device scale stability	discharge time-scale
(Batchelor)	(Nevins)	(Schnack)	(Kritz)

トカマク輸送コード

- **ITPA** (International Tokamak Physics Activity)
 - **ITER Physics R&D (CDA)**: Profile DB, Transport Modeling
 - **ITER Physics R&D (Extended CDA)**: w/o US
 - **ITPA (CTA, Construction)**:
 - Profile DB: Public (1998), Closed (WG member)
 - Transport Modelling, Transport Barrier
 - Steady-State Operation Scenario
- **国内**
 - **天野・岡本コード** : NIFS, 小川
 - **TOPICS** : 原研
 - **TASK** : 京大原子核

原研におけるTOPICS関連解析コード

輸送解析コード：TOPICS、1.5D定常・非定常輸送解析コード

TOPICSと結合されているコード：

2D平衡コード、1D輸送コード、

加熱コード：ECH/ECCD、LH()、IC()

MHD安定性コード：バルーニング、メルシエ、テアリング

TOPICSと弱く結合されているコード：

OFMCコード：NBIのdeposition、リップル損失

理想MHD安定性コード：ERATO-J

抵抗性MHD安定性コード：

ダイバータコード：5点簡易モデルコード、

SONIC (ダイバータ流体、中性粒子・不純物モンテカルロ)

電流駆動解析コード：ACCOME

TOPICSと結合されていない主なコード (NEXT研究関連)：

乱流輸送ジャイロ粒子・流体コード

MHD粒子・流体コード

ダイバータ粒子コード

TASK code system

- Transport Analyzing System for tokamaK: 京大原子核
- **Components**
 - **EQ** : 固定境界平衡解析 (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)
 - **WR** : 幾何光学波動伝播解析 (EC, LH: ビーム追跡法)
 - **WM** : 波動光学波動伝播解析 (IC, AW: 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 (各種速度分布)
- **under development**
 - 自由境界平衡解析
 - 流体型輸送解析
 - 2次元輸送解析
 - 運動論的線形安定性解析

提案：磁気核融合プラズマ統合コード

- 平衡・輸送コードを中心にした磁気核融合プラズマ時間発展解析コード
 - コアコードの公開（どこまでがコアか？）
 - インターフェースの公開（データ，プログラム，ファイル等）
 - 利用法の公開（マニュアル，実験との比較，データ可視化）
- 多方面との協力
 - 理論解析との協力：新しい理論の取り込み，Critical issues
 - 実験解析との協力：実験データの取り込み，使いやすい利用環境
 - 計算科学との協力：数値計算法，並列化，ネットワーク化
- 実施体制
 - 当面はボランティア
 - ITPA，核融合研共同研究，原研協同研究
 - 科研・特定領域研究：会合費，設備，人件費
 - 日米協力