

核燃焼プラズマ統合コード 構想

福山 淳 (京大工)

矢木雅敏 (九大応力研)

準備会, インフォーマルミーティング,
小研究会等に参加頂いた方々

核燃焼プラズマ統合コードとは

- さまざまな考え方

実験家：実験全体を再現し予測するシミュレーションコード

理論家：新しい階層モデルを取り入れた統合コード

シミュレーション家：

第1原理にもとづいてプラズマ全体を記述するコード

モデリング家：新しい理論モデルを容易に検証できるコード

ITPA家：米欧に対抗できるシミュレーションコード

LHD家：ヘリカル系にも適用できるシミュレーションコード

小型装置家：容易に利用できるシミュレーションコード

計算科学者：新しい計算技法を具体的に応用したコード

今回の統合コード構想

- なるべく多くの考え方を取り入れる
これから数年で成果

平衡・輸送コードをベースにした
磁気核融合プラズマ時間発展解析コード

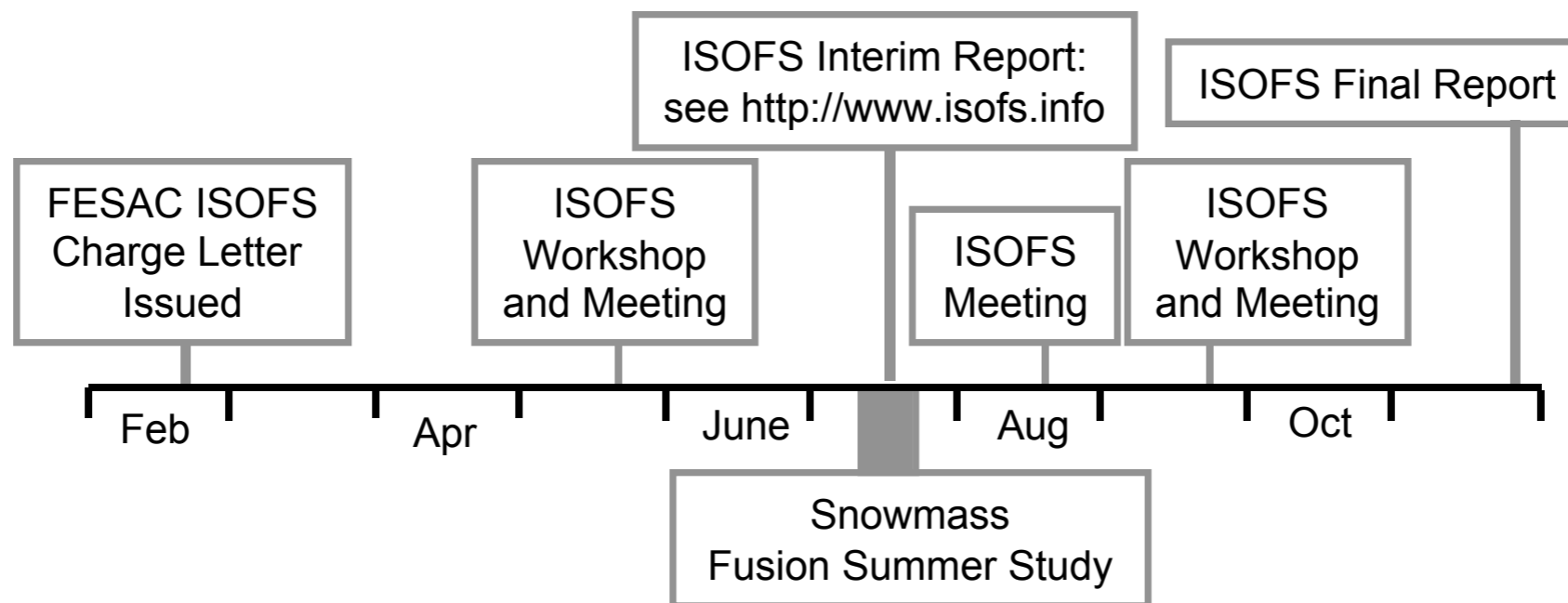
実験データとの比較による検証

核燃焼プラズマの予測

運転シナリオの最適化

米国・欧州の状況

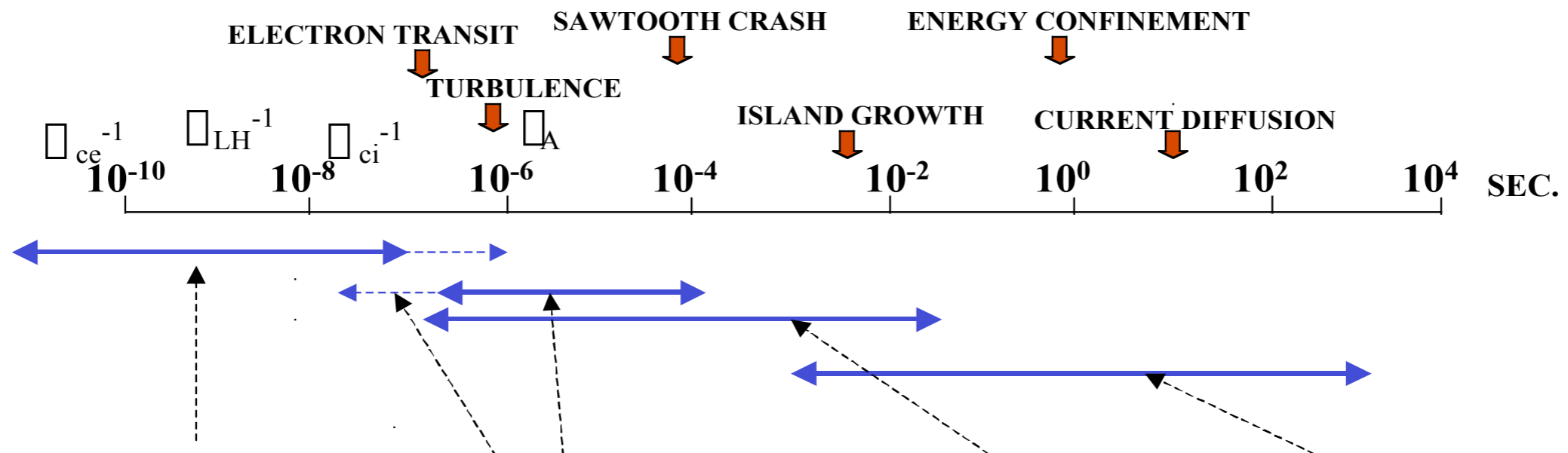
- 米国：Fusion Simulation Project
 - FESAC: Fusion Energy Science Advisory Committee
 - ISOFS Subcommittee
(Integrated Simulation & Optimization of Fusion Systems)



- 欧州：統合コードに向けて理論・シミュレーションの再編成

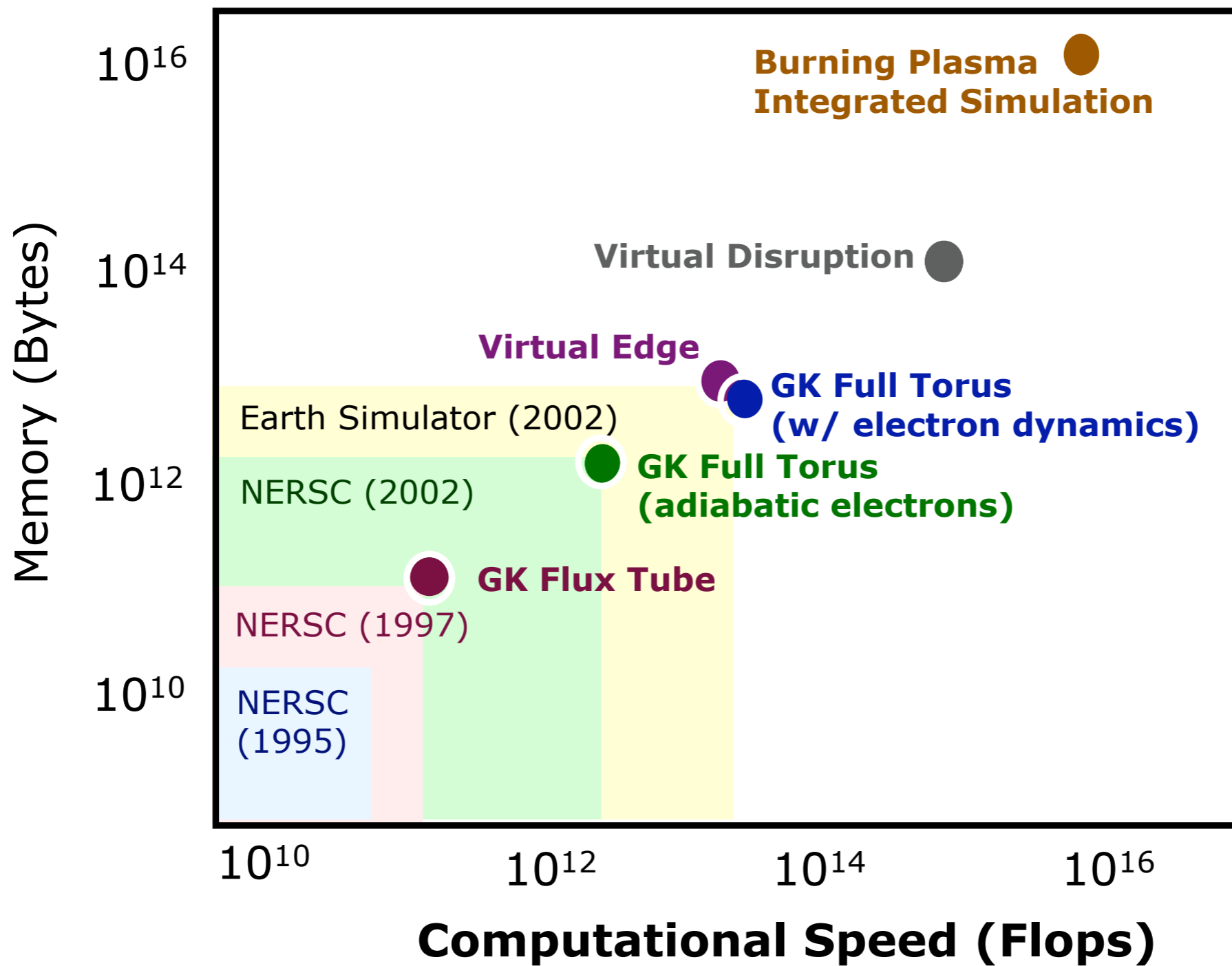
物理現象の時間スケール

Typical Time Scales in a next step experiment
with $B = 10 \text{ T}$, $R = 2 \text{ m}$, $n_e = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $T = 10 \text{ keV}$



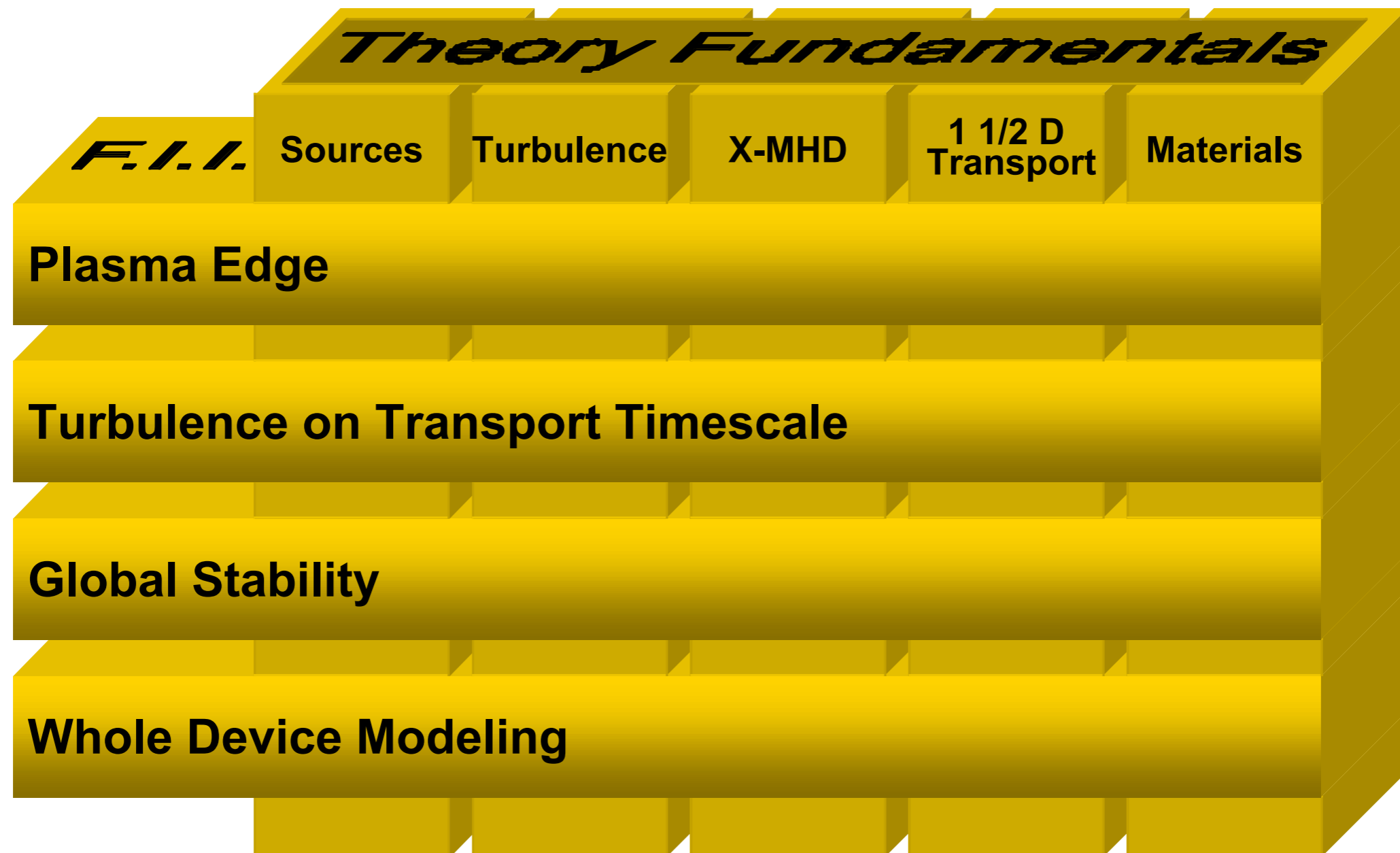
| | | | |
|---|---|---|--|
| Single frequency and prescribed plasma background | Neglect displacement current, average over gyroangle, (some) with electrons | Neglect displacement current, integrate over velocity space, neglect electron inertia | Neglect displacement current, integrate over velocity space, average over surfaces, neglect ion & electron inertia |
| RF Codes wave-heating and current-drive | Gyrokinetics Codes turbulent transport | Extended MHD Codes device scale stability | Transport Codes discharge time-scale |

必要な計算資源



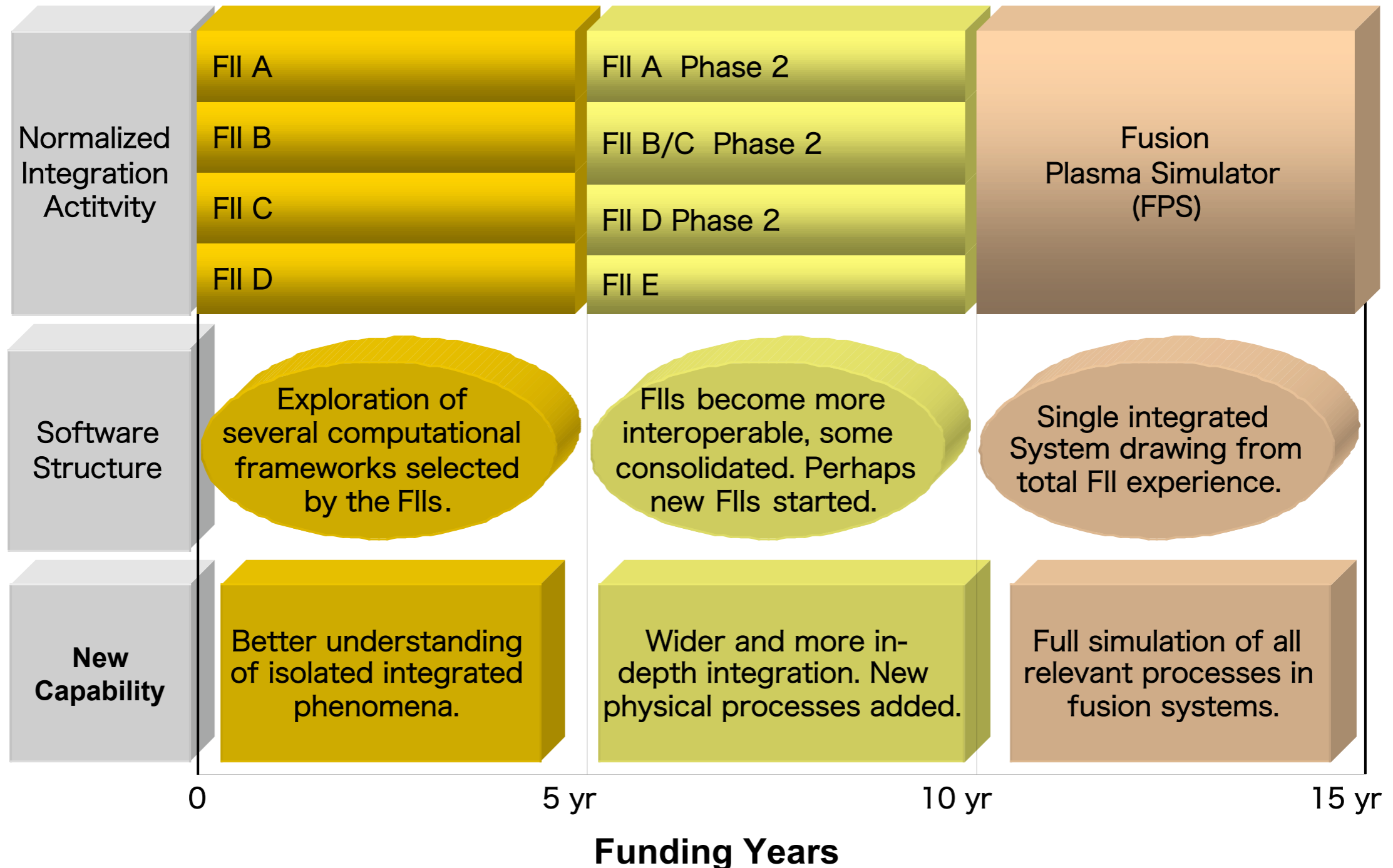
米国 FSP の主要課題

Focused Integration Initiatives are built from Fundamentals of varying complexity with selected algorithms using interoperable software



米国 FSP のロードマップ

We expect a 15 year timeline is required to produce the FPS



統合コード構想

- **コードの統合化**
 - プラズマ全体を記述するコードの枠組み
 - 使いやすい計算コード
- **新しい物理モデルの開発**
 - 核燃焼プラズマの記述に必要な物理モデル
 - 異なる時間スケールをもつ現象の相互作用
- **新しい計算技術の導入**
 - 超並列分散処理
 - データ可視化

コードの統合化

- コアコードの公開
 - Open source
 - TASK/EQ,PL,TR,DP,WR,WM,FP
- モジュール間インターフェースの共通化
 - 仕様策定WG
 - TOPICS/NTCC/MDSPlus
- モジュールの改良・開発
 - 流れ, 平衡, 中性粒子, 不純物
- 利用法の改善
 - マニュアル, 実験との比較

TASK code system

- **T**ransport **A**nalyzing **S**ystem for tokama**K**
- **I**ntegrated **C**ode

| | | | |
|--------------|-----------|---------------------------------------|--|
| TASK/ | EQ | Fixed boundary equilibrium | toroidal rotation |
| | PL | Profile data interface | Exp. data, ITPA Profile DB |
| | TR | Diffusive radial transport | $n_s, u_{s\phi}, T_s, B_\theta, E_\phi$ |
| | DP | Wave dispersion relation | various velocity distributions |
| | WR | Ray and beam tracing | EC, LH |
| | WM | 3D full wave analysis | IC, AW, eigenmodes |
| | FP | Velocity distribution analysis | 3D, relativistic, bounce averaged |
| | EX | Free boundary equilibrium | Start up, Shut down |
| | TX | Fluid-like transport analysis | $n, \mathbf{u}, T, \mathbf{E}, \mathbf{B}$, including SOL |

Interaction between TASK modules

- Output\Input variables

| | EQ | PL | TR | DP | WR | WM | FP |
|----|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|--|
| EQ | — | $\psi(R, Z)$ | | | | | |
| PL | $p, j, u_\phi(\psi)$ | — | metric | $n, T, u_\parallel, \mathbf{B}(\mathbf{r})$ | | metric | metric |
| TR | | $n, T, j, u_\phi, \psi(\rho)$ | — | | | | |
| DP | | | | — | \leftrightarrow ϵ | \leftrightarrow ϵ | |
| WR | | | $P_{\text{abs}}(\rho)$ | | — | | $\tilde{\mathbf{E}}, \tilde{\mathbf{B}}(\mathbf{r})$ |
| WM | | | $P_{\text{abs}}(\rho)$ | | | — | $\tilde{\mathbf{E}}, \tilde{\mathbf{B}}(\mathbf{r})$ |
| FP | | | $P_{\text{abs}}, j_{\text{CD}}(\rho)$ | $f(v_\parallel, v_\perp, \rho)$ | | | — |

- Modules with 3D configuration for helical system: WM, WR
- Modules with MPI parallelization for computer cluster: WM, FP

新しい物理モデルの開発

- MHD・輸送階層化モデル
- アイランドがある場合の輸送
- 流れが取り入れた平衡・輸送
- ETB/SOL モデリング
- 高速イオンに起因する現象
- . . .

新しい計算技術の導入

- 並列化

- 計算機クラスター
- スーパーコンピュータ

- ネットワーク化

- グリッドコンピューティング
- 計算機資源の有効利用

- データ可視化

- 並列化
- 遠隔利用 (VisiGrid)
- OpenGL

実施体制

- **さまざまな形で活動を行う**
-
- **核融合研共同研究**
- **科研費（特定領域， 基盤研究B）**
- **九大応力研研究会**
- **原研協同研究**
- **原研 NEXT 研究会**
- **ITPA国内会合**
- **日米ワークショップ**

活動の内容 1

- Step 0

- コアコードの整備 (今年度中)
- 全国のコード調査 (今年度中)
- 新しい物理課題の抽出 (今年度中研究会)
 - 統合コードに組み込めるか
 - 流れのある輸送
 - MHD Event と輸送
 - アイランドのある輸送
 - 高エネルギー粒子とMHD
- インターフェースの議論 (今年夏まで)

活動の内容 2

- Step 1

- インターフェースの仕様策定（今年秋）
- コードの統合化
- 新しいモデルの導入
- 新しい計算技術の導入

- Step 2

- 新しいモデルの統合コードへの組み込み
- 実験データとのインターフェース
- 大規模数値シミュレーションとのインターフェース

統合コードへの参加

- **コアコードの利用**
 - 物理モデルの検証, 実験との比較
 - コードのベンチマークテスト
 - コアコードで計算された配位・分布を利用
 - 自分のコードをコアコードのモジュールに
- **核燃焼プラズマのシミュレーションに必要な物理モデル**
 - 物理モデルの開発
 - 物理モデルの検証
- **新しい計算技術**
 - 並列分散処理, データ可視化
- **ホームページ** : <http://p-grp.nucleng.kyoto-u.ac.jp/bpsi/>
 - メイリングリスト, 掲示板