

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

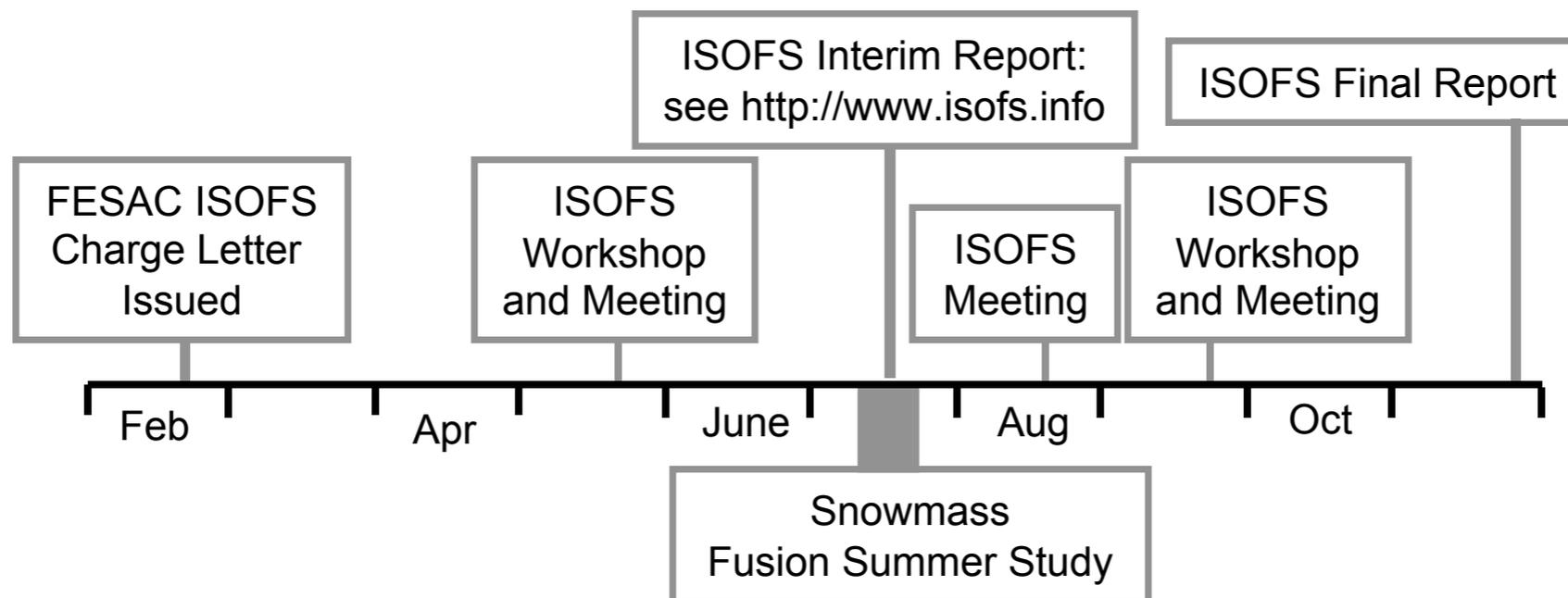
実験データとの比較による検証

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

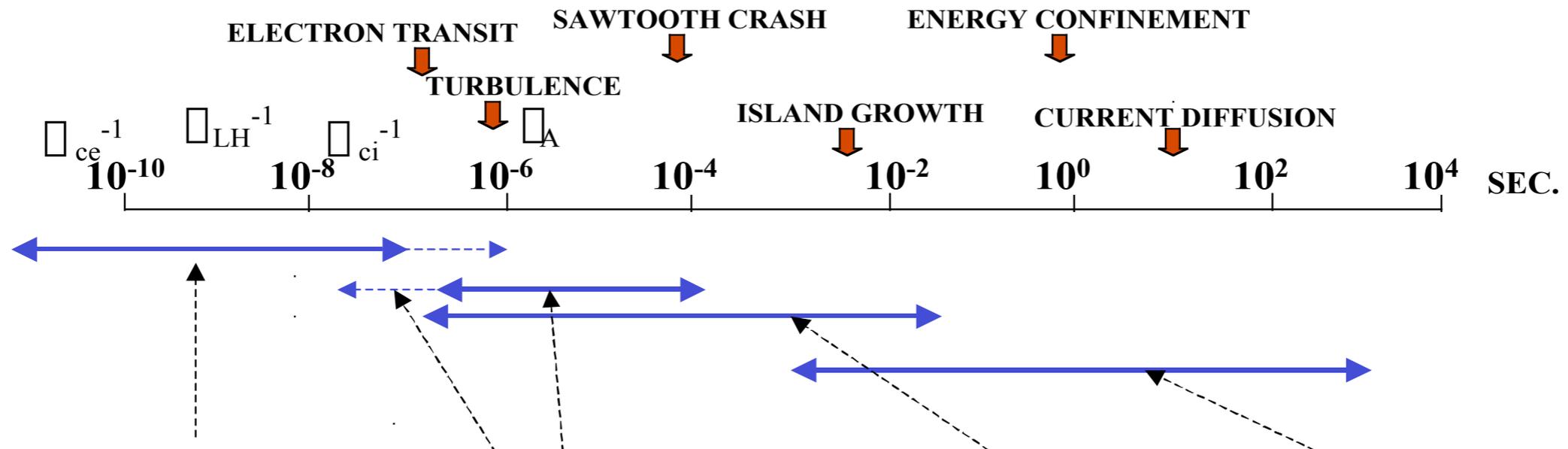
- 米国：Fusion Simulation Project
 - FESAC: Fusion Energy Science Advisory Committee
 - ISOFS Subcommittee
(Integrated Simulation & Optimization of Fusion Systems)



- 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

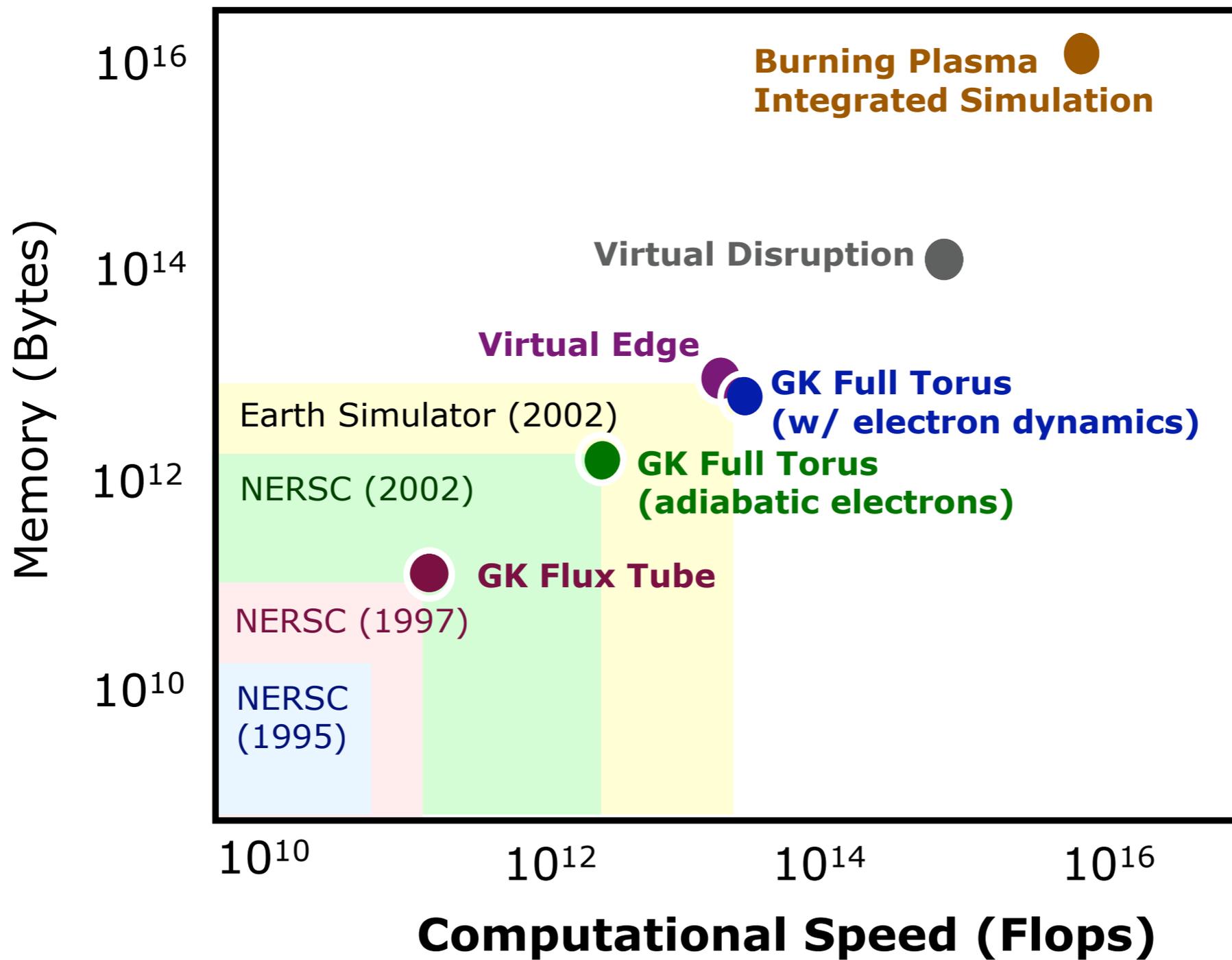
物理現象の時間スケール

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



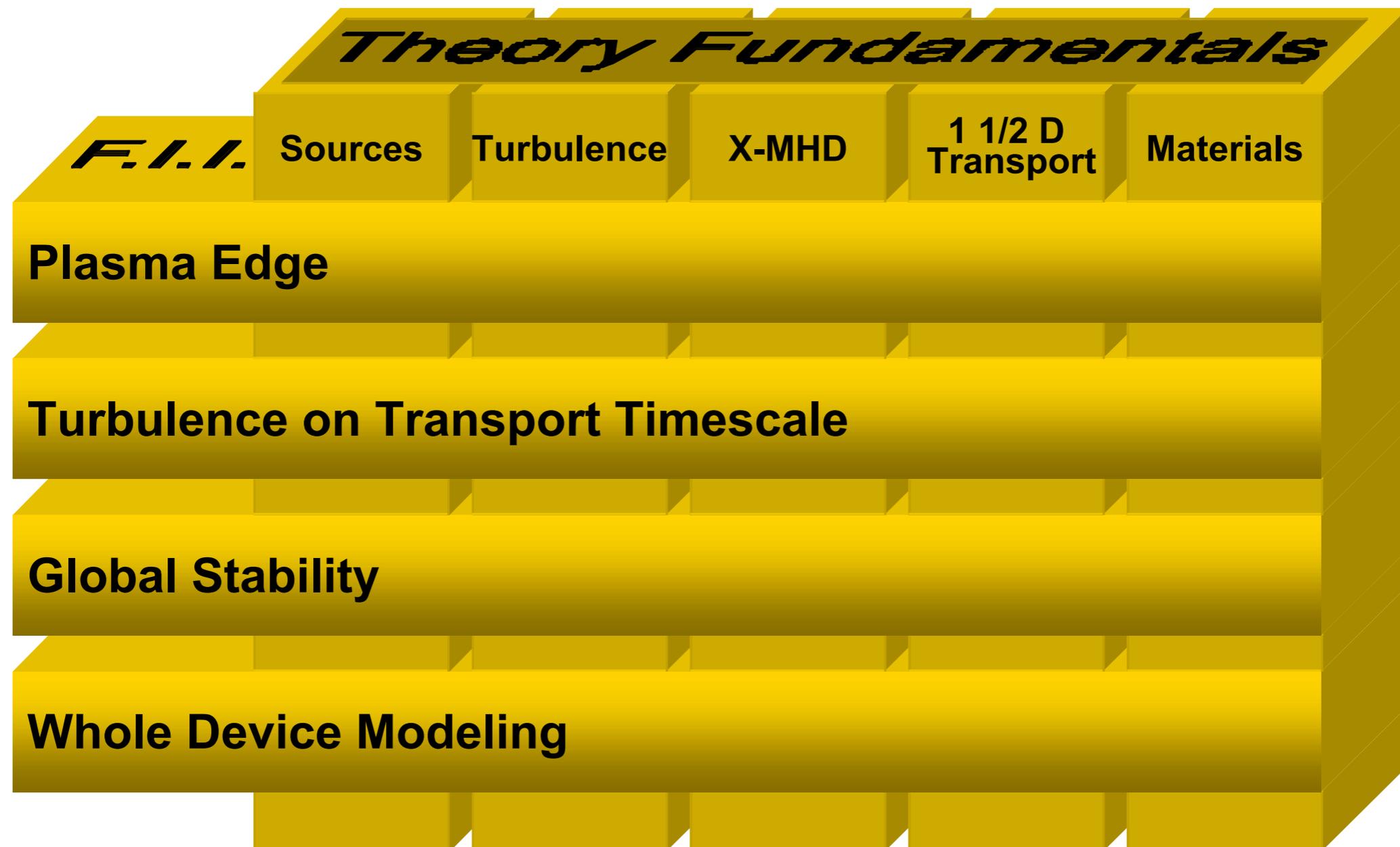
<p>Single frequency and prescribed plasma background</p> <p>RF Codes wave-heating and current-drive</p>	<p>Neglect displacement current, average over gyroangle, (some) with electrons</p> <p>Gyrokinetics Codes turbulent transport</p>	<p>Neglect displacement current, integrate over velocity space, neglect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

必要な計算資源



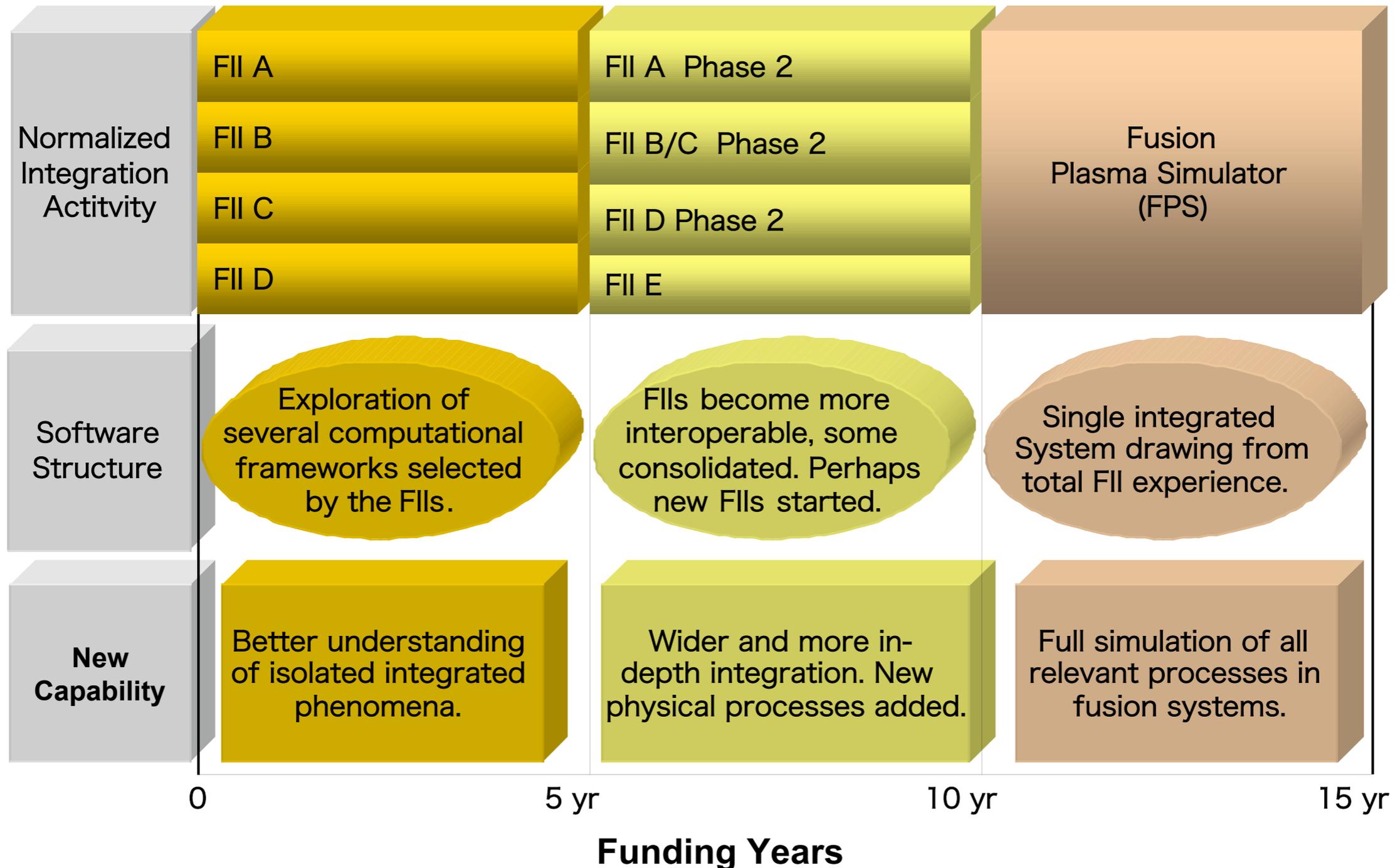
米国 FSP の主要課題

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