

「持続可能な発展について」

2000年1月24日

核融合の研究について

九州大学応用力学研究所

伊藤早苗

プロジェクト推進側からでなく一研究者として核融合研究を見つめ、見極め、見通してみたい。

目次

1. 核融合研究の歴史的流れ
2. 研究内容の現状の認識
国際的立場と役割の認識
3. 今後必要な研究と方向性
(知識や研究成果の普遍化へ)
4. 将来展望とその判断
(5W1H; What, When, Where, Who, Why, How)
5. 研究計画の評価と判断法
(計画遂行者と計画策定者の評価・判断の区別)
6. 国際協力と競争
(国策と国際社会での役割)
7. フロントランナー研究としての持続性

1. 核融合研究の歴史的流れ

研究史の展開

多種の閉じ込め方式 — 取捨選択

研究要件

- 核融合燃焼状態の実現
- 低い循環入力による維持
- より低い放射化など環境整合性

→ 一つを選択（トカマクによる燃焼実験炉）

実現パラメタが核融合パラメタに近付いた

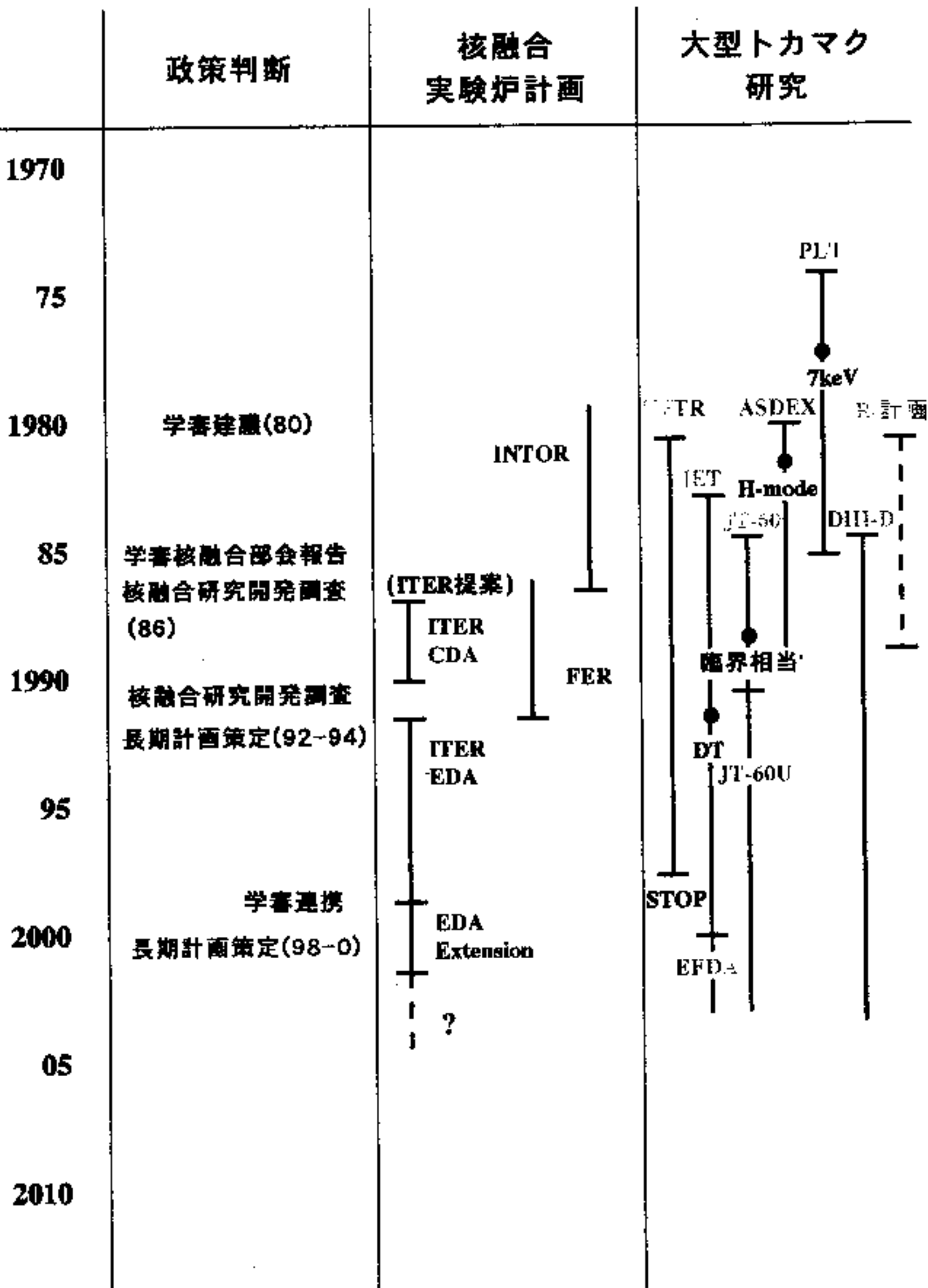
→ 現実性の認識

経験に基づく法則性や運転領域の知見の増加

→ 設計の基礎

プラズマの学術的理解は萌芽期だが、多種の個物の知識が集積

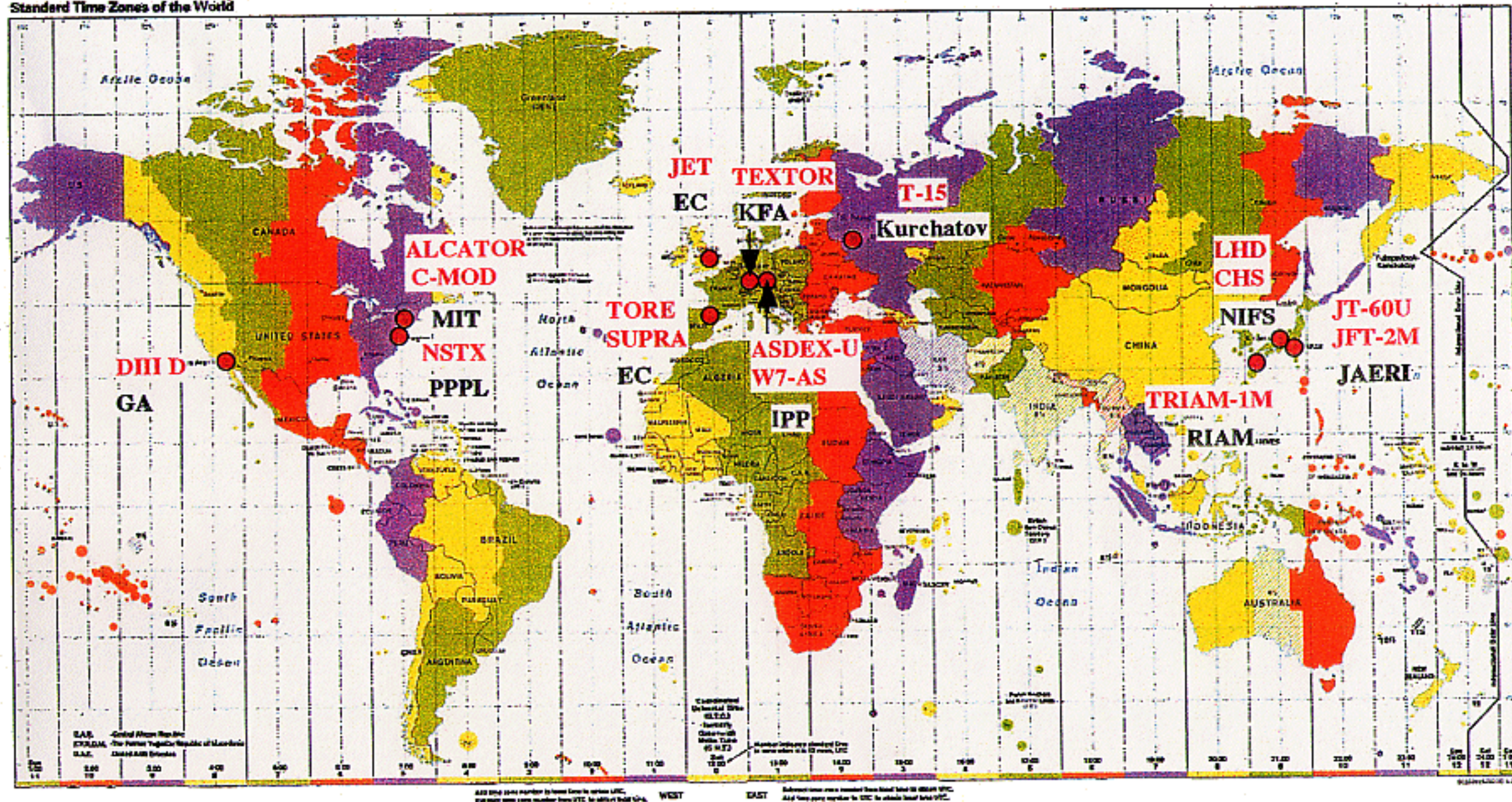
→ 普遍法則化へ



	相補的 大型研究	欧米の動向	Supporting Experiments
1970			Fundamental Research ディスラプション (崩壊)
75			高入力・高温での τ_E の 低下 (L-mode) 密度限界 電流値限界
1980			H-modeの発見
85	ヘリカル ステラレータ LHD 設計 オルタナティブズ プラ研整理	Mirror MFTF-B STOP EBT STOP C MOD	H-mode 電場分岐理論
1990	NIFS 建設	エネルギー開発研究 米トカマクー本化 (コロンボ報告)	各種改善閉じ込め 状態の発見 TRIAM-1M1h放電
95	W7X (ドイツ) 実験	欧州核融合プログラ ム評価 (バラバスキ報告) 米核融合学術研究へ	内部輸送障壁 ステラレータ H-mode CHSヘリカル 内部障壁確認
2000	NSTX		
05	実験	EU ITER建設? FP6	
2010			

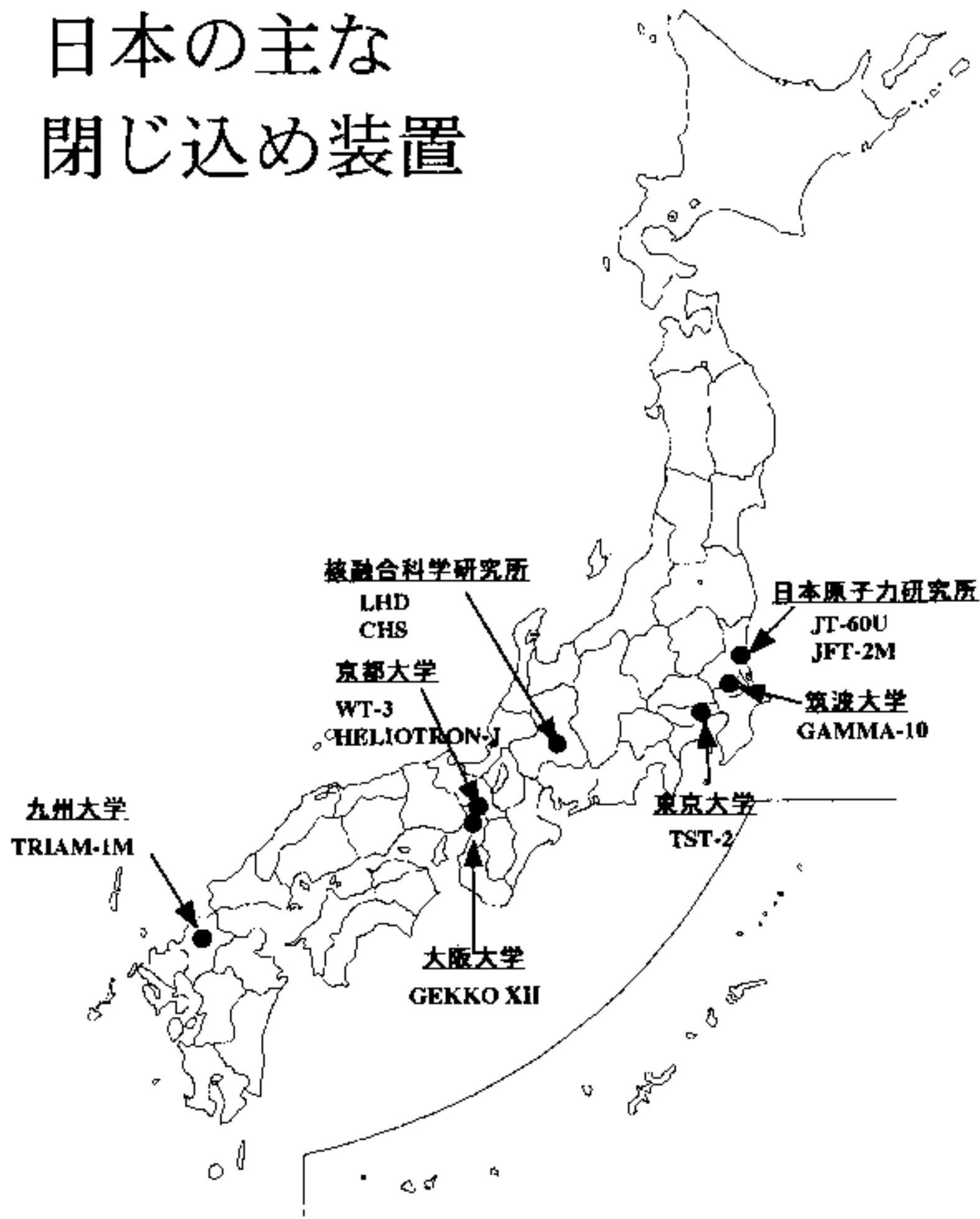
世界の装置 (代表的トカマク、ステラレータ)

Standard Time Zones of the World



3大トカマク JET, JT-60U, TFTR(シャットダウン)

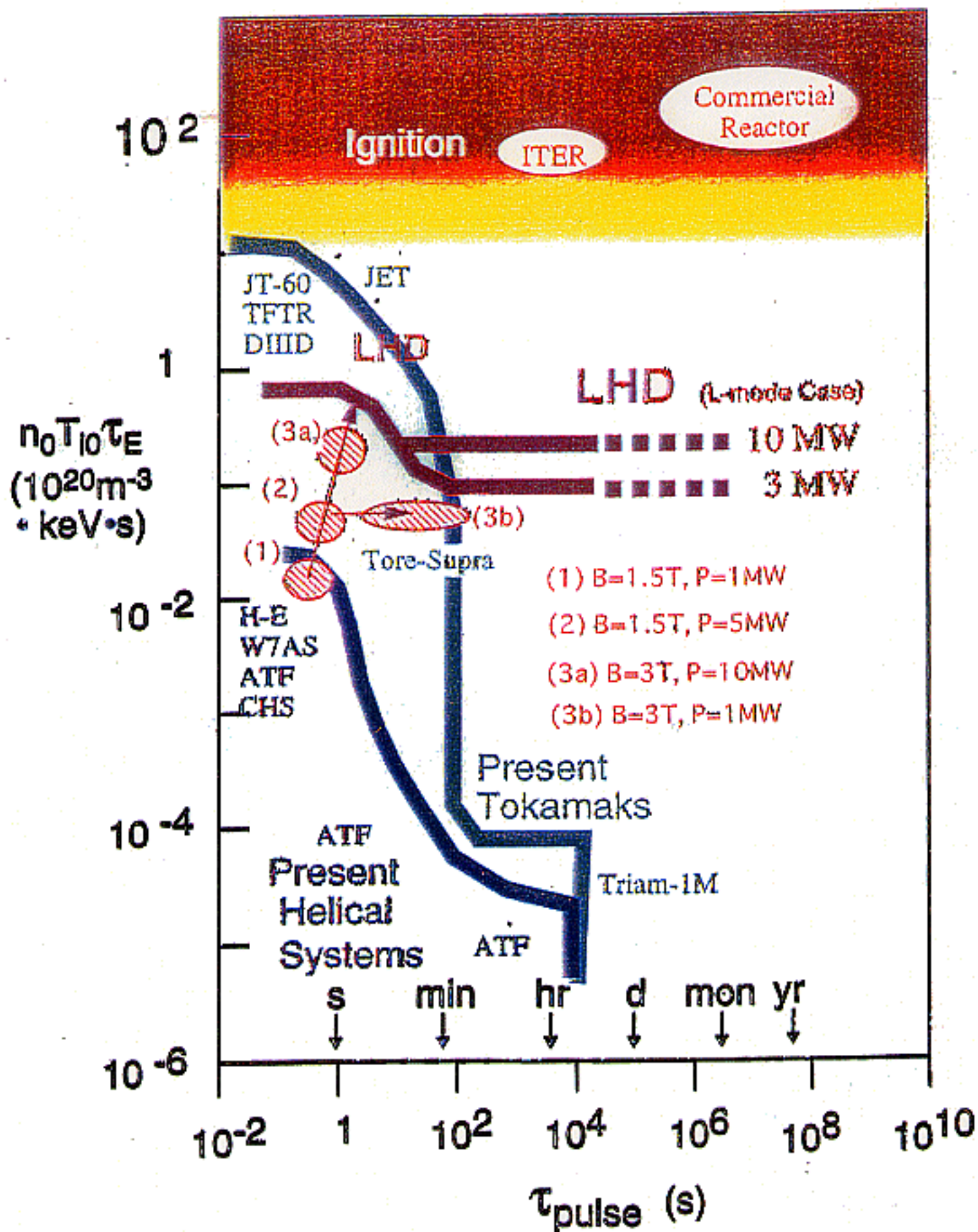
日本の主な 閉じ込め装置





プラズマの性能と維持能力の進歩

Progress to Steady-State Operations



2. 研究内容の現状の認識

現在の研究

燃焼プラズマ実現のための閉じ込め研究

H-modeの発見

データ・ベース作りと経験則

定常プラズマを得る循環パワーの低減化

High- β_p -mode

ヘリカル系の研究

プラズマ物性の変化の理論的基礎付け

1982年：ASDEX（トカマク）

でのH-modeの発見

個物の発見

帰納

1987年：電場分岐と揺動抑制

理論構成

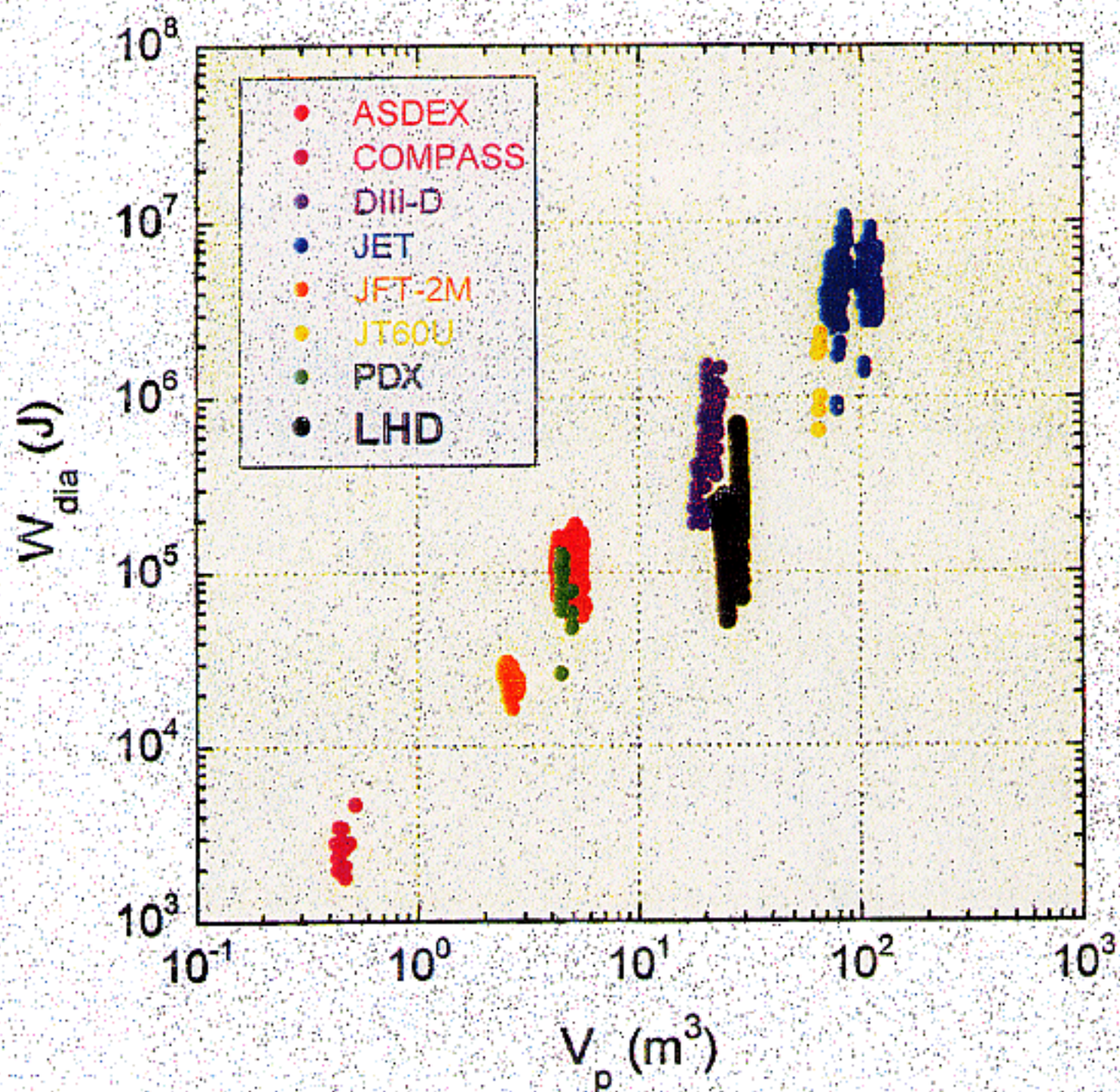
演繹

1998年：CHS（ヘリカル系）

普遍化

での内部輸送障壁の発見

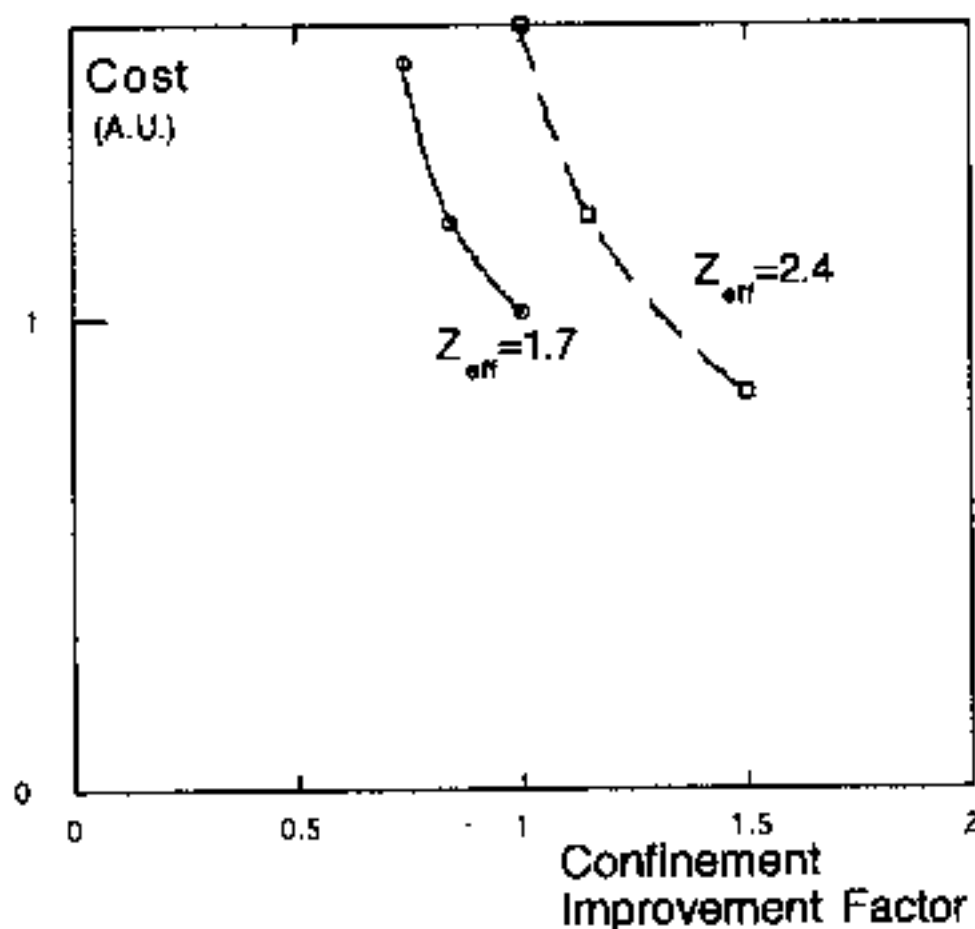
トカマク・Hモードデータベース



併せてLHDの初期データも示す。(1999.12現在)

プラズマの閉じ込め改善

プラズマ閉じ込めの改善が、燃焼実験炉のサイズ（コスト）を大きく低減する

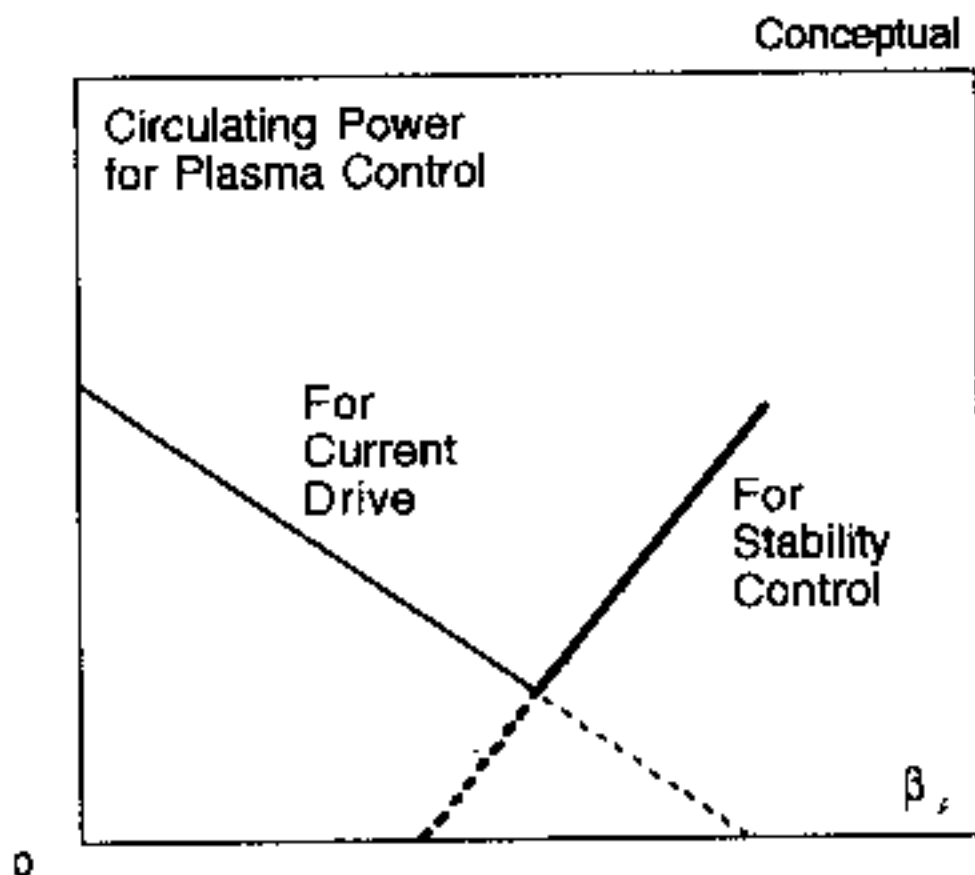


$$\$ \propto h^{-1.3}$$

プラズマ保持と循環入力が必要

トカマクの場合

トロイダル電流を維持するための入力、プラズマ圧力を上げると自発電流が生まれ、低下する。しかし、プラズマの不安定性を抑えるための入力が増加し、必要最小循環入力が決まる。



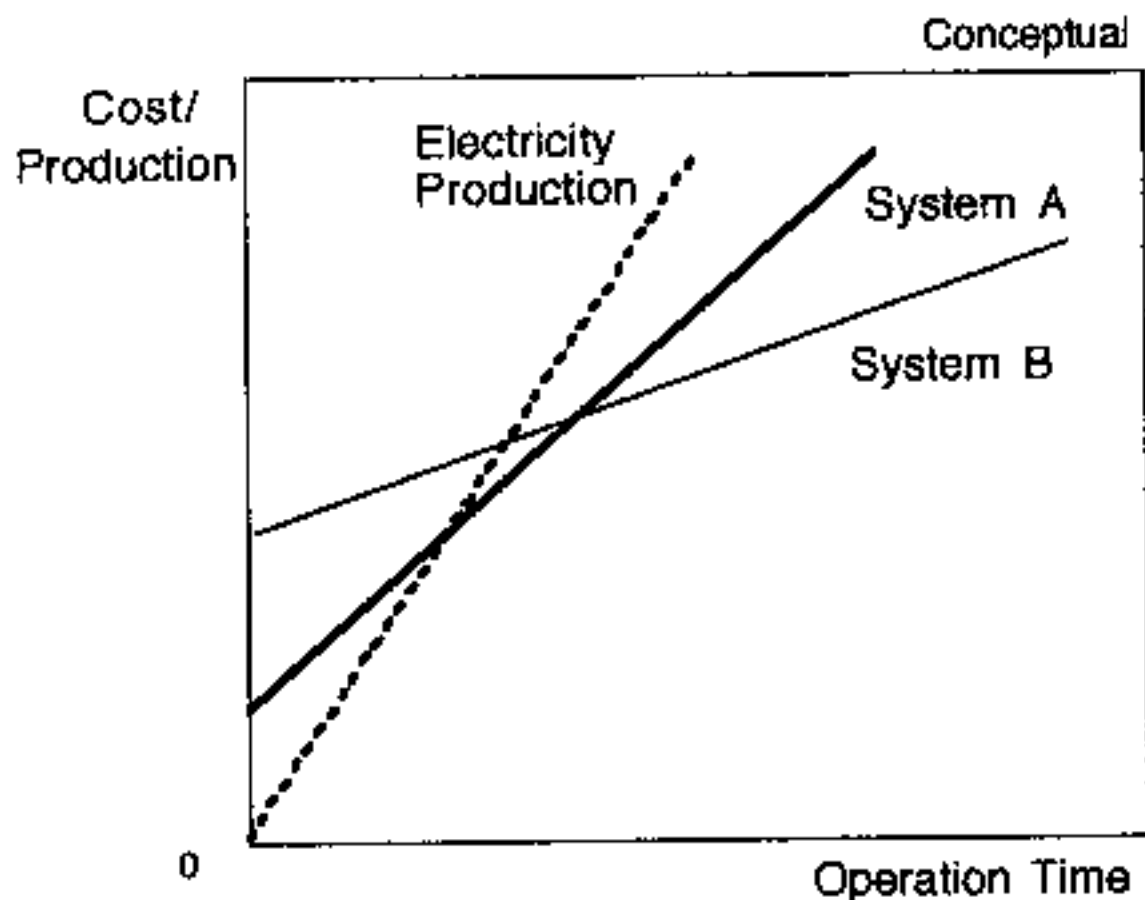
$$\beta_p = \frac{\text{Plasma Pressure}}{\text{Poloidal Magnetic Field Pressure}}$$

炉への科学基盤の提供（炉形式の選択基準）

建設コスト

運転コスト

定常維持のための循環入力



Regime of Improved Confinement and High Beta in Neutral-Beam-Heated Divertor Discharges of the ASDEX Tokamak

F. Wagner, G. Becker, K. Behringer, D. Campbell, A. Eberhagen, W. Engelhardt, G. Fussmann, O. Gehre, J. Gernhardt, G. v. Gierke, G. Haas, M. Huang,⁽¹⁾ F. Karger, M. Kellhacker, O. Klüber, M. Kornherr, K. Lackner, G. Lisitano, G. G. Lister, H. M. Mayer, D. Miesel, E. R. Müller, H. Murmann, H. Niedermeyer, W. Poschenrieder, H. Rapp, H. Röhr, F. Schneider, G. Siller, E. Speth, A. Stäbler, K. H. Steuer, G. Venus, O. Vollmer, and Z. Yü⁽²⁾

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM-Association, D-8046 Garching, München, Germany
(Received 8 August 1982; revised manuscript received 1 October 1982)

A new operational regime has been observed in neutral-injection-heated ASDEX divertor discharges. This regime is characterized by high β_p values comparable to the aspect ratio A ($\beta_p \approx 0.65A$) and by confinement times close to those of Ohmic discharges. The high- β_p regime develops at an injection power ≈ 1.9 MW, a mean density $\bar{n}_e \approx 3 \times 10^{11}$ cm⁻³, and a $q(a)$ value ≈ 2.6 . Beyond these limits or in discharges with material limiter, low β_p values and reduced particle and energy confinement times are obtained compared to the Ohmic heating phase.

Model of L- to H-Mode Transition in Tokamak

Sanac-I. Itoh

Institute for Fusion Theory, Hiroshima University, Hiroshima 730, Japan

and

Kimitaka Itoh

Plasma Physics Laboratory, Kyoto University, Kyoto 611, Japan

(Received 28 October 1987)

A new model of L- to H-mode transition in tokamak plasmas is presented. Nonambipolar particle losses determine the consistent radial electric field near plasma periphery. A "cusp-type catastrophe" among the radial electric field, particle flux, and edge gradients is found. At the transition, plasma loss can take multiple values for one profile of density and temperature near the edge. A critical edge condition for the transition is obtained.

Electron Thermal Transport Barrier and Density Fluctuation Reduction in a Toroidal Helical Plasma

A. Fujisawa,¹ H. Iguchi,¹ T. Minami,¹ Y. Yoshimura,¹ H. Sanuki,¹ K. Itoh,¹ S. Lee,¹ K. Tanaka,¹ M. Yokoyama,¹ M. Kojima,¹ S.-I. Itoh,² S. Okamura,¹ R. Akiyama,¹ K. Ida,¹ M. Isobe,¹ S. Morita,¹ S. Nishimura,¹ M. Osakabe,¹ A. Shimizu,¹ C. Takahashi,¹ K. Toi,¹ Y. Hamada,¹ K. Matsuoka,¹ and M. Fujiwara¹

¹National Institute for Fusion Science, Oroshi-cho, Toki-shi, 509-52 Japan

²RIAM, Kyushu University, Kasuga, 816 Japan

(Received 16 October 1998)

A thermal transport barrier resulting in a high central electron temperature of ~ 2 keV is established in the core of electron-cyclotron-resonance heated plasmas of the Compact Helical System Heliotron/Torsatron. The formation of the barrier is correlated with the reduction in the density fluctuations and with a structural change of the radial electric field profile at the barrier location. The results suggest that the decrease in fluctuation should contribute to a reduction of anomalous transport and a drastic increase in electron temperature at the barrier. [S0031-9007(99)08825-0]

現在の研究とDEMO炉心とのつながり

プラズマは遷移する

(単純外挿できない可能性)

燃焼プラズマの物性は非燃焼プラズマと連続的につながるか。

炉への科学基盤の提供 (炉形式の選択基準)

建設コスト

運転コスト

定常維持のための循環入力

環境整合性

低中性子炉

国民的受容性、国民感情、世代

3.1 今後の研究

核融合炉心、炉システムの研究

(炉心の普遍的現象の探究)

プラズマ燃焼状態の研究 ; プラズマ研究
物性 (定数) の外挿性の理解 (性能)
定常制御性の確認 (循環入力)

炉材料・炉工学の研究 ; 技術発展
段階的な研究計画策定の必要性

システム・インテグレーション
(設計統合) ; 総合科学化
既存の科学技術 (財産) の存続も必要

高温プラズマの物理

21世紀: 流転する自然の探究 (認識)
; ヘラクレイトス
20世紀: 自然の究極の構成要素の探究
; デモクリトス

3.2 今後の研究の方向性

学術的普遍化

プラズマ：多種（多岐）の個物の知識集積
→ 普遍法則 （予見と実現）未踏領域

炉工学：（例；材料工学）
→ 照射試験やシミュレーションの統合等によるsystematicな方法論へ

科学・技術（総合体系も）の伝承

研究体制（genericな研究のできる）

ITER実行部隊（サイト集中）

タスクと予算の裏付けのしっかりした物理R&Dグループ（研究の自主性の為）

研究グループ・コンソーシアム
（研究内容の普遍化、知識のシェア、
人材の交流と協力競争）

4. 将来展望と判断（例）

What	ITER	helical, etc. support tokamak
When	2001～長計、解凍、省庁統合（日本） 2003～FP6（EU）	
Where	日本 可能性 （イタリー、イベリア半島？、カナダ）	
Who	世界チーム （All Japan）	建設機関と 研究コンソシアム
Why	燃焼プラズマ の実現 （物性・システム として未知）	科学・技術財産の 伝承、学問の進歩
How	建設プロジェクトと研究プログラムの 両輪 全体体制（合併・吸収、コンソシアム などの工夫）	