

# プラズマのフローと構造研究ユニットの提案 (#15)

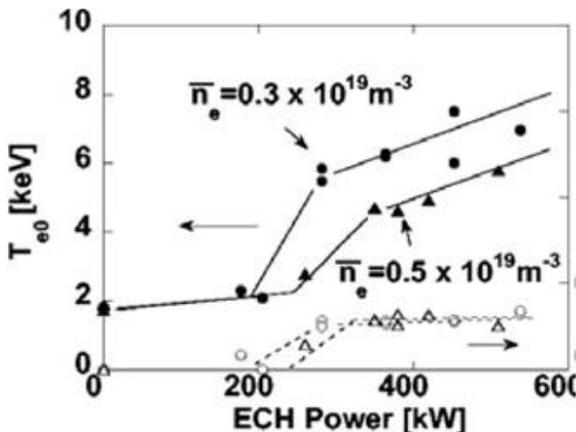
高橋裕己

# 提案の背景

- 核融合炉心プラズマ研究において、**高性能プラズマ**の定常制御が重大な目的の一つ。
- 高性能プラズマの実現において、閉じ込め改善が重要なキーワード。
- 閉じ込め改善プラズマの特性は良く調べられてきたが、**何が閉じ込め改善モード遷移をトリガーするのは**は実験的な検証が十分ではない。-> **何が閾値を決めているのか？**
  - ✓ **1982年のASDEXでのHモード発見以来**、加熱というグローバル量での表現。
    - > 加熱の変化 -> フラックス・勾配・フローの変化 -> 何がどう変わると遷移が起こる？
  - ✓ スケーリングでの表現 (質量効果、金属壁効果などを取り入れて改良)。
  - ✓ グローバル量とローカル量を結びつける試みもおこなわれている。

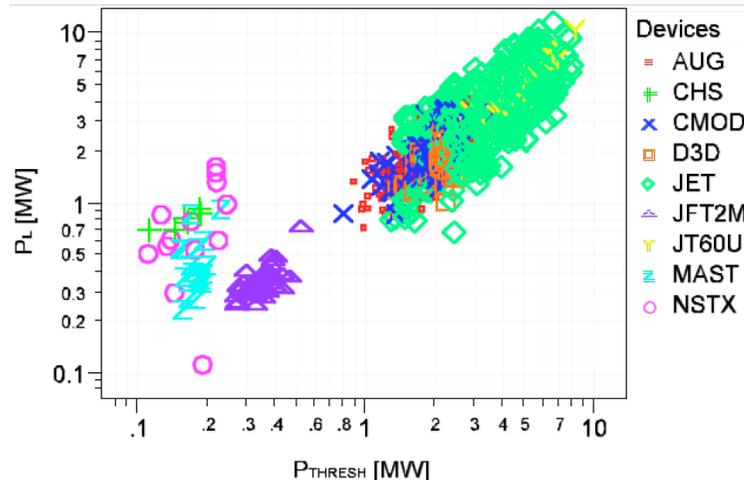
## LHDのe-ITB遷移の例

T. Shimosuma+, PPCF (2003)

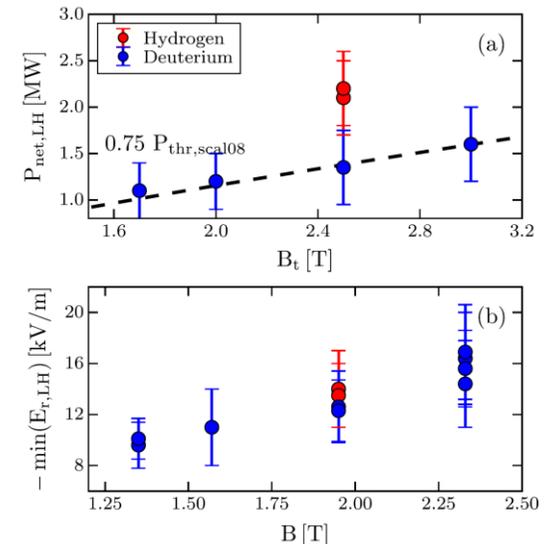


## ITERへのP\_LH外挿研究

Y R Martin+, J. Phys. (2008)



## P\_LHとE\_rの比較, M. Cavedon+, NF (2020)



# 個人的な興味

- 閉じ込め改善モードへの遷移機構が興味の対象。  
電極バイアスによる遷移実験 -> **トルクの能動制御**

## 新古典粘性による電場分岐理論

- **新古典イオン粘性**由来のダンピング力の極大値  
-> フロー増大を伴う閉じ込めの遷移

$$\frac{2 \langle r \rangle}{\sqrt{\pi} p_i} \langle J_\rho \rangle B_0 = -\Pi_{p,n} - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{1 + 2q^2}{v_t / \langle r \rangle} \Theta v_{in} M_p,$$

$$\Pi_{p,n} = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \sum_{m,n} \varepsilon_{mn}^2 m(m - nq) f(M_p, m, n, q, \partial p / \partial r, \partial T / \partial r)$$

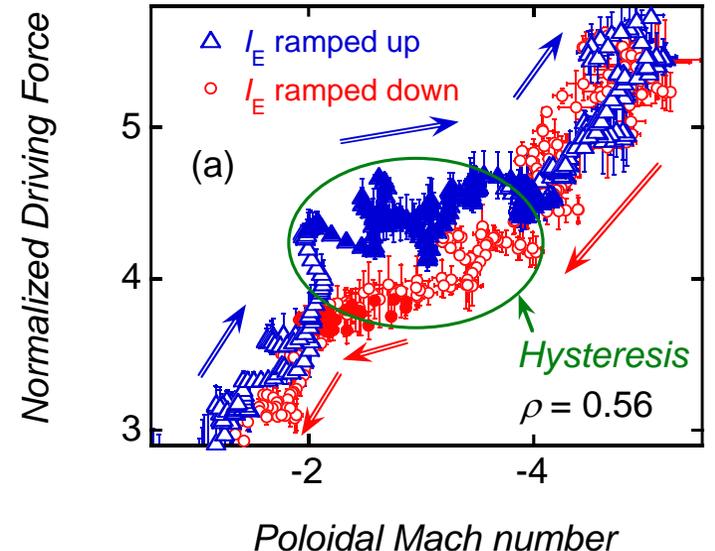
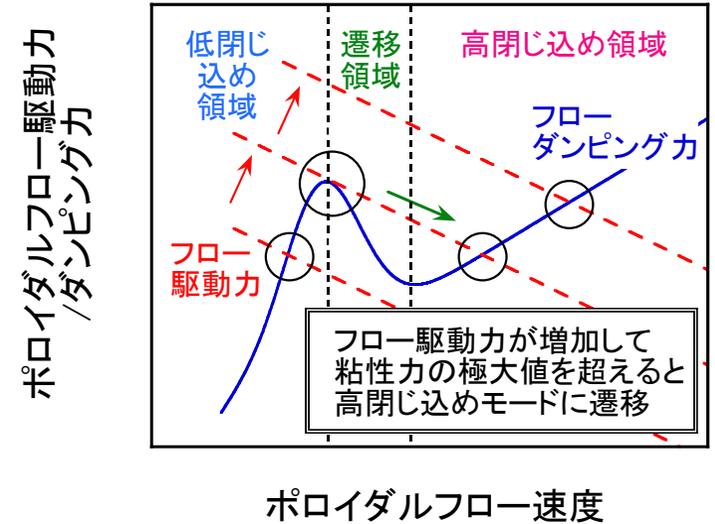
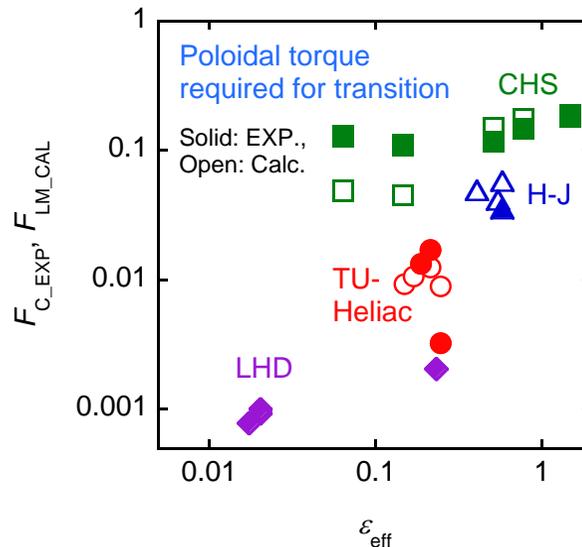
## 様々な装置での比較研究

-> 広範な磁場構造, パラメータ

## 不確定パラメータ

-> 仮定、妥当性?

$T_i$ 計測、フロー (電場) 計測、  
中性粒子とのフリクシオンによる  
運動量損失、モデル依存、、、



# 目的と実施内容

これまでの興味 (個人規模)・・・フロー、粘性、遷移

-> **研究領域の拡大 (ユニット規模での組織的研究)**・・・フローが閉じ込めに及ぼす影響・役割

➤ モデル、装置によらない統一解釈は?

-> 無次元量での整理 (マッハ数、規格化粘性)

-> さらに抽象化、一般物理

**閉じ込め、遷移、分布の変化 = 構造の変化**

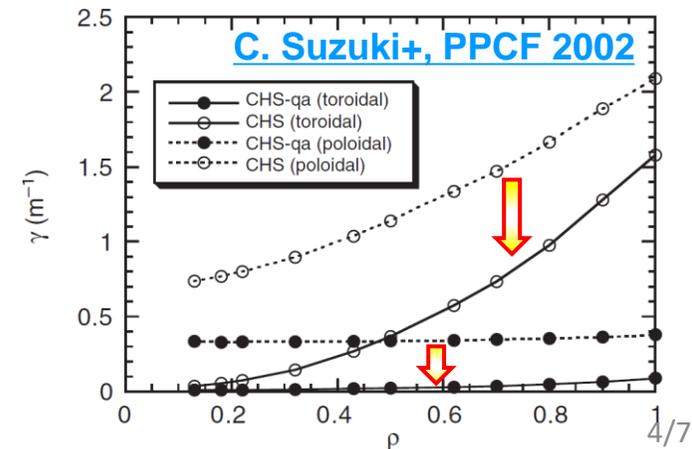
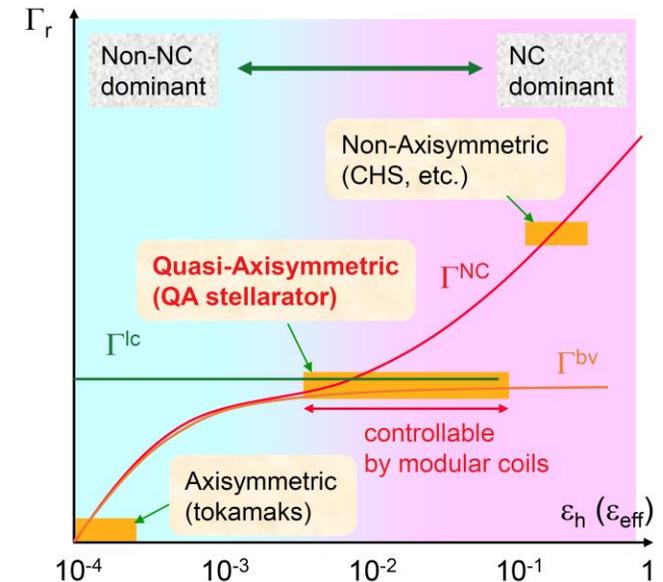
**フロー生成による構造形成、構造形成によるフロー生成**

➤ フローの能動的かつ広範囲の制御が求められる機能。

➤ 求める機能・研究着手の即時性の点において、NIFS 基盤のPFとしてCFQSが候補。学術研究の橋渡し。

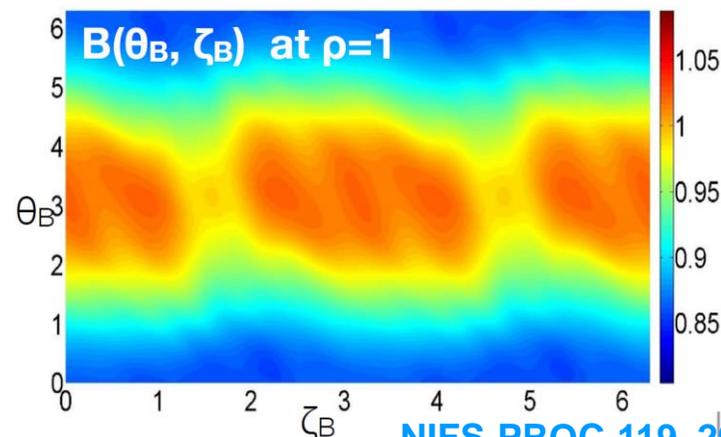
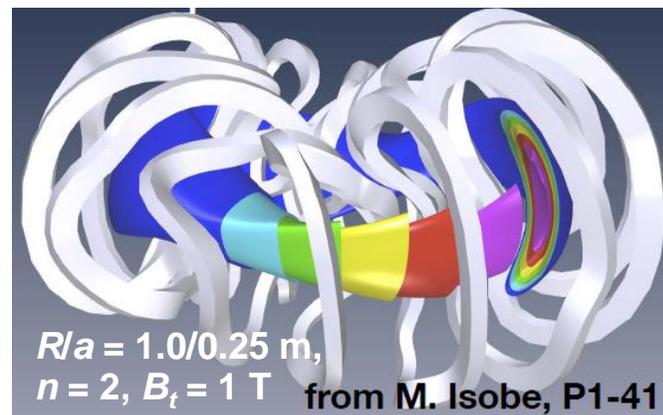
-> PFでPoP実験を行いつつ、並行してJT60-SAやW7-X等の大型装置での実証実験、さらに蓄積した知見を次期装置の物理戦略に取り入れる。

● 装置がレディ (時間・お金)。技術部との相互協力体制。



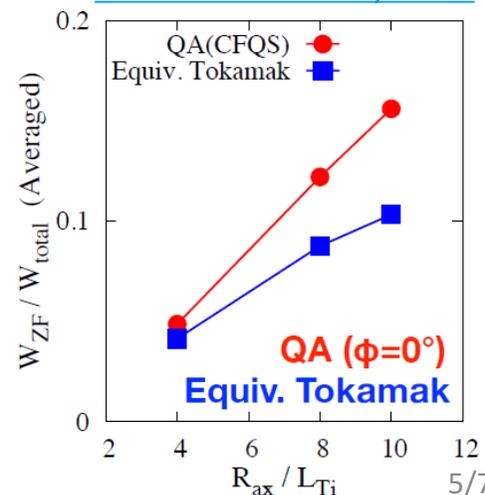
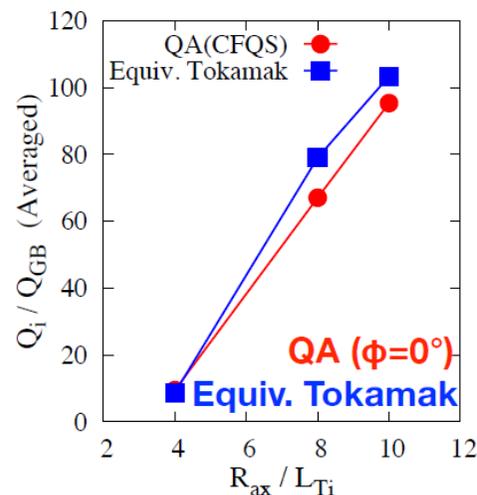
# 想定PF; CFQS

- 世界で初となる**準軸対称性ヘリカル装置 (QAS)**。
- 外部導体による**プラズマの安定維持**+準軸対称による**良好な閉じ込め**。トカマクとヘリカルの良い所取り
  - > **核融合研究の共通の課題解決に貢献**
  - & トカマクコミュニティへの訴求力**
- NIFSとSWJTUの国際共同研究 (コミット 50:50)
- 総研大- SWJTUの共同学位プログラム
  - > 双方の学生が、双方の機関の研究に参画
- 建設が最終段階。2022年ファーストプラズマの予定



NIFS-PROC-119, 2021

- 外部導体: プラズマの定常保持に有利
- 準軸対称:
  - ✓ 低トロイダル粘性のため**フロー生成に有利**
  - ✓ トカマク級の閉じ込め
- 4ペアの独立したコイル電源+TFコイル
  - ✓ **磁場構造・粘性・フローを広範囲で制御**



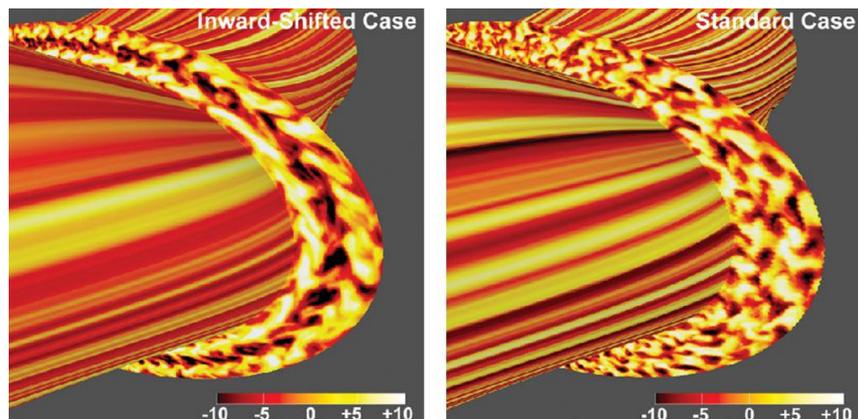
# こういったことに興味がある人と一緒に研究を進めたい

**キーワード:** フローと構造に関連した、『(非) 対称性・保存量、遷移、粘性、トポロジー』

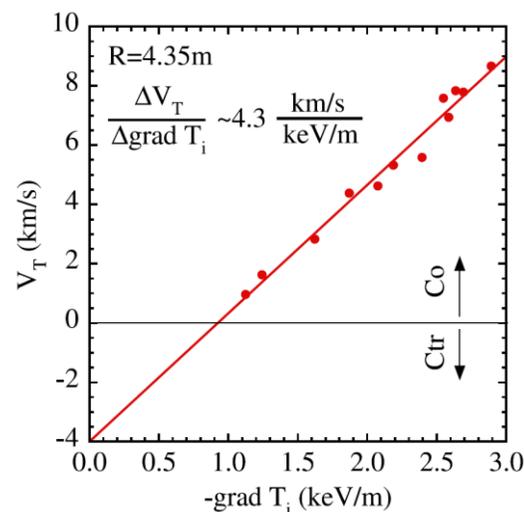
**具体的には、**

- アクチュエータ (加熱、磁場・電場) でのフロー駆動による構造形成 (プラズマ分布、揺動)。
- プラズマの構造形成に伴うフロー生成のダイナミクス (自発回転、ポロイダルショック、輸送行列の非対角項に起因したフロー形成、乱流とZF形成など)。
- フローを考慮した磁場閉じ込め最適化研究 (モデリング・装置設計研究)。

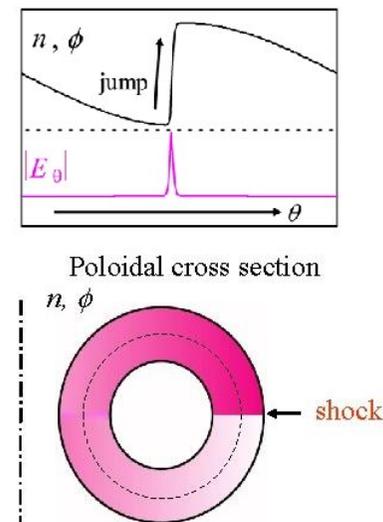
**ZF形成に伴う乱流抑制,**  
**T.-H. Watanabe+, PRL 2008**



**非対角項によるフロー形成、自発回転, M. Yoshinuma+ NF 2009**



**高速フロー形成時のポロイダルショック, N. Kasuya**



# 研究の拡がり

流れと構造形成は普遍的な現象

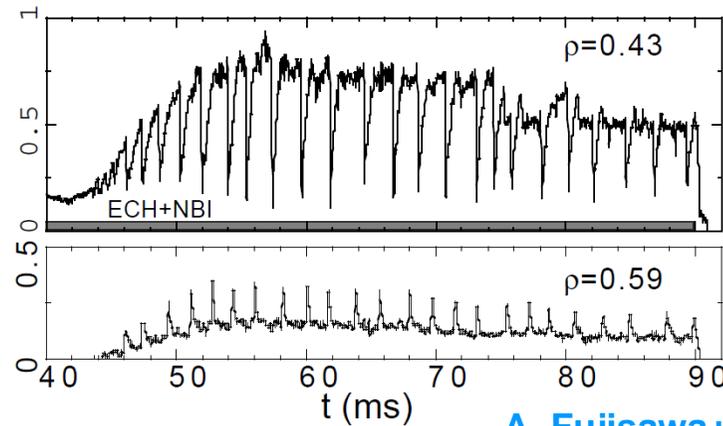


他分野との連携

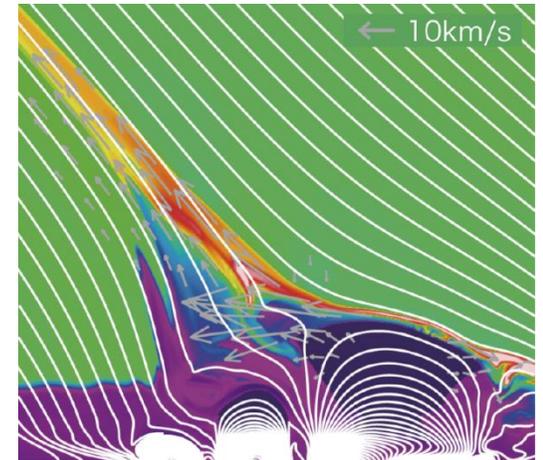
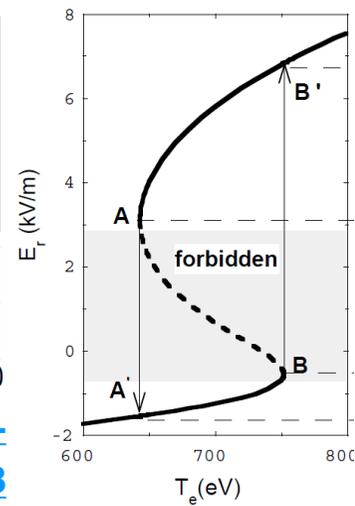
- 遷移閾値近傍のダイナミクス (パルセーション)、プラズマの自己制御機能 -> 生体の機能維持メカニズム
- 回転と運動量輸送 -> 星の形成、降着円盤
- 周辺フロー制御・磁場トポロジー制御は磁力線のつながり変わりの物理 -> 太陽の磁気RCに伴うプラズマ流

## 共同利用機関・教育機関としての役割

- 多様な研究テーマを内包 -> 広い研究の間口、すそ野
  - ・学際研究の展開、
  - ・コミュニティの多くの人々が研究に関わることができる、
- 小回りが利き実験テーマの回転が速い小・中規模PFでの国際連携研究 -> 全体を見る経験、国際的視点・リーダーシップの涵養
  - ・若手研究者の人材養成、学生の教育に貢献



A. Fujisawa+  
PRL 1998



<https://hinode.nao.ac.jp/KakenStudy-SOLARC-2.shtml>