

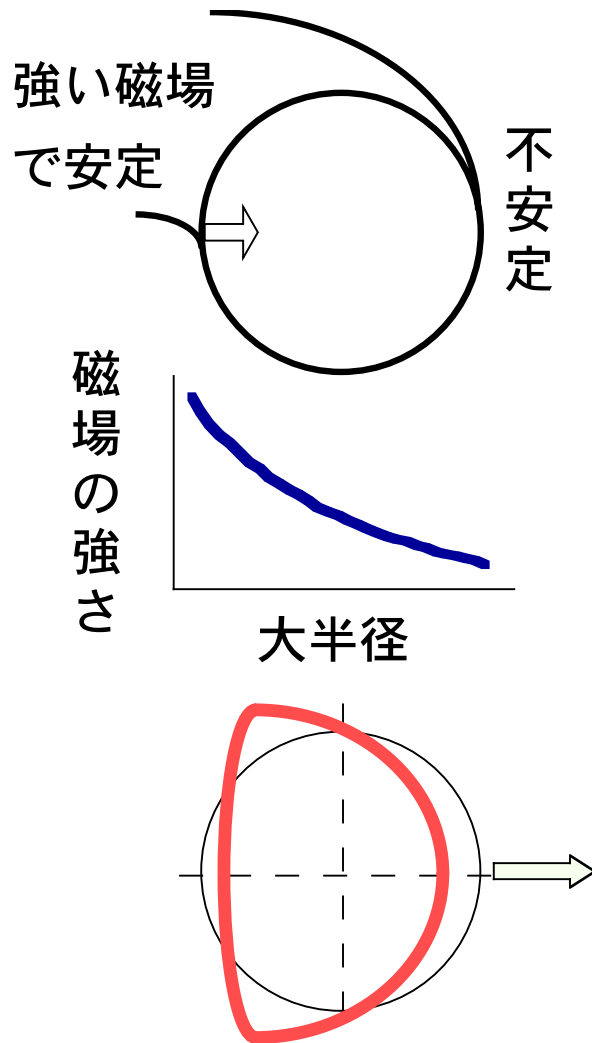
# 高ベータ値維持に関する研究の現状と将来

平成15年11月12日

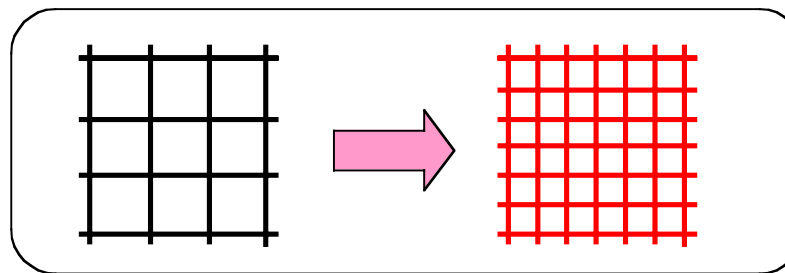
日本原子力研究所  
炉心プラズマ研究部 炉心プラズマ実験計測開発室

三浦 幸俊

# 高ベータにおける安定性



- 高ベータで発生する磁気流体的不安定性（MHD）の駆動源は磁力線方向の**電流**と磁力線に垂直方向の**圧力勾配**である
- プラズマ形状（楕円形度、三角形度）は高ベータでの安定性にとって重要であるが、決められた形状では**電流分布**と**圧力分布制御**が本質的であり、磁力線のねじれ（磁気シア）と磁気井戸が重要な働きをする



- ・ 三角形にして安定な場所（内側）に長く滞在する
- ・ 外側の不安定なところの磁場の力ゴが密になる

# 高ベータ・定常に必要な克服すべき課題

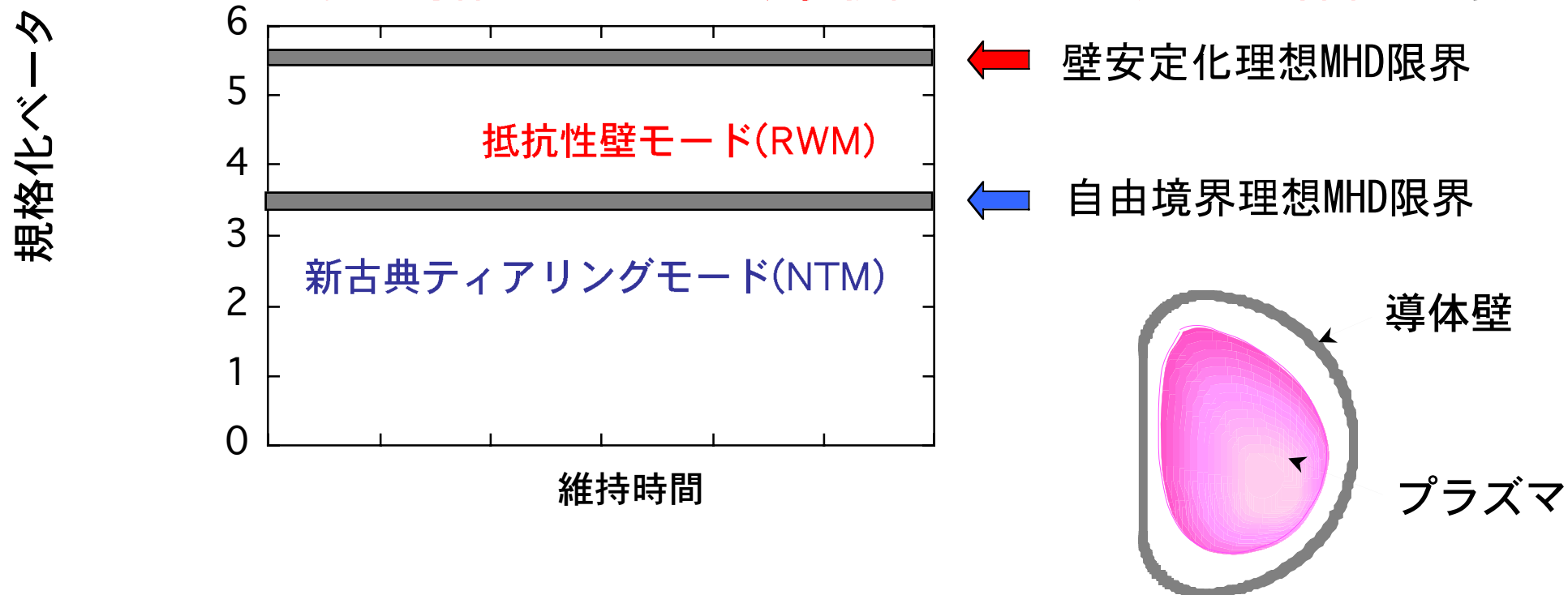
- 規格化ベータ値 ( $\beta_N$ ) は安定性と経済性の指標
- 高温の高性能プラズマでは高ベータ値を定常に維持するためには2つの課題

(1) 自由境界理想MHD限界までに：

新古典ティアリングモード (NTM) の抑制が必要

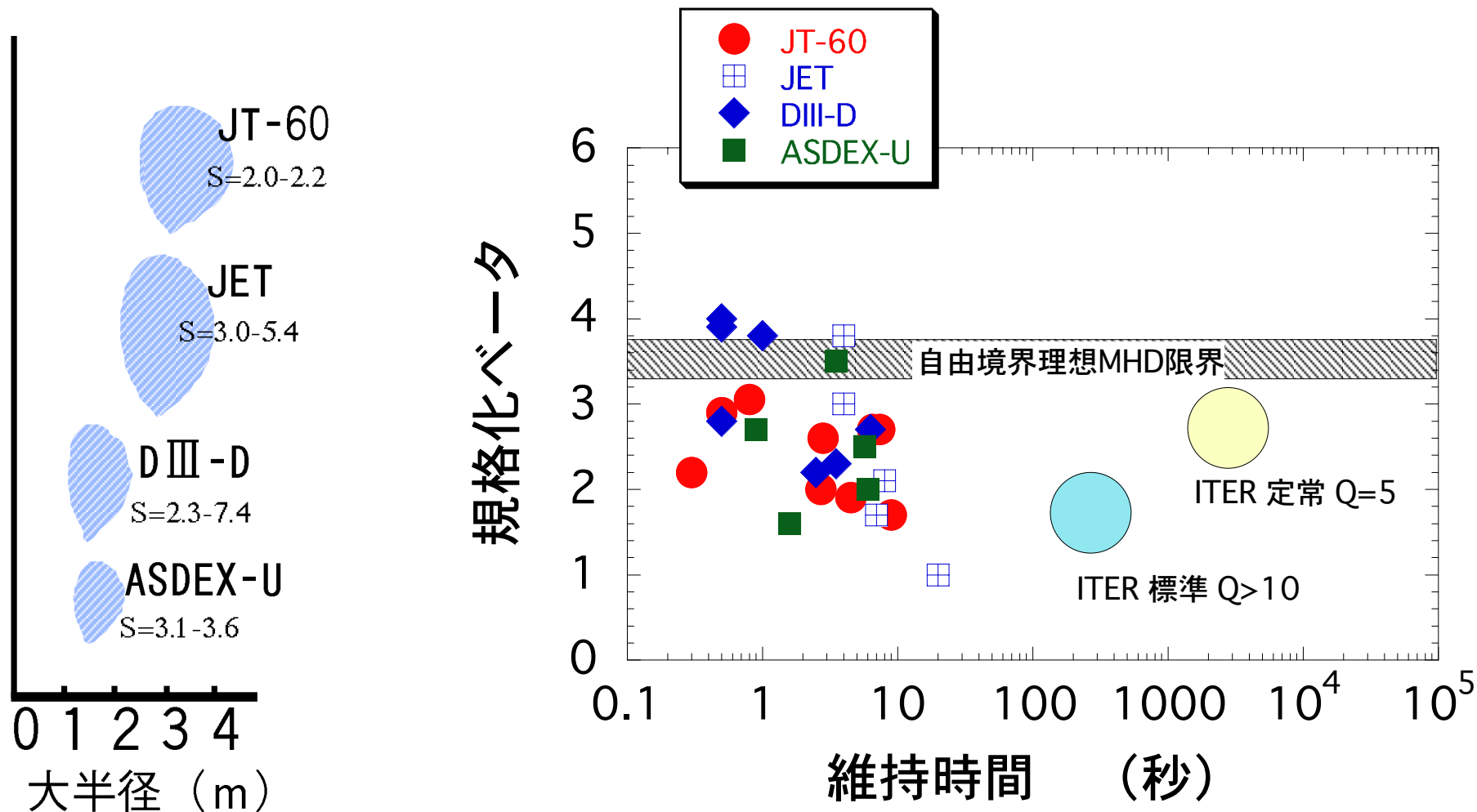
(2) 壁安定化理想MHD限界までに：

自由境界理想MHD限界を越えるためには導体壁が必要。しかし、完全導体ではないので、抵抗性壁モード (RWM) の抑制が必要



# 世界の研究の現状 ～準定常高ベータ値の向上～

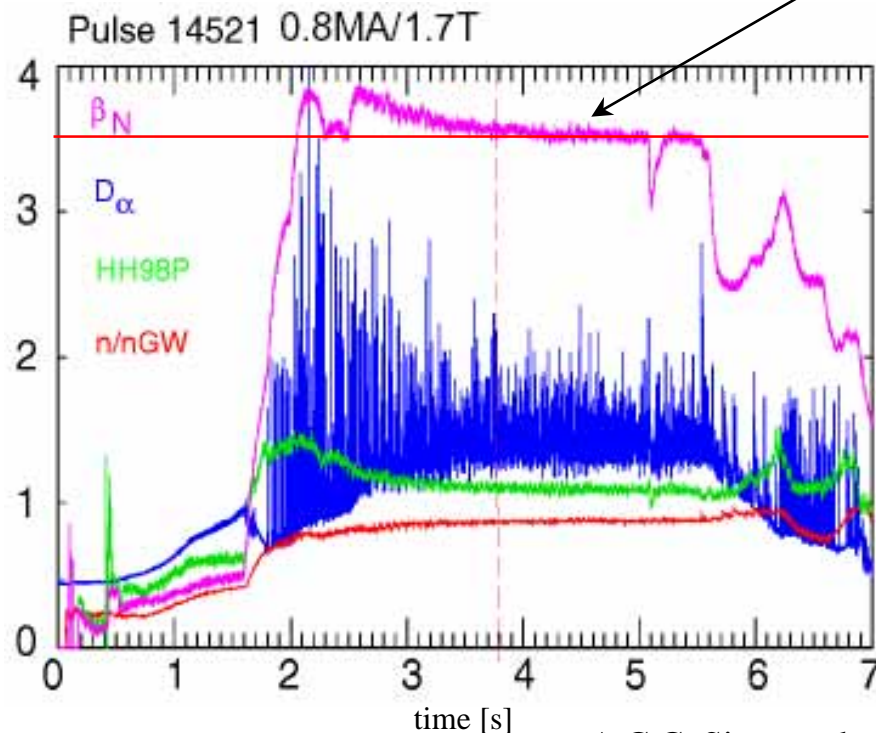
- 短時間であれば、 $\beta_N$ が4程度でも安定 → 長時間維持
- JT-60の最高値は $\beta_N \sim 3$  → 形状制御が必要（後に議論）
- しばしば、新古典ティアリングモードが制限 → 抑制が必要（後に議論）



# ASDEX-U と DIII-Dの高ベータ定常実験

## ASDEX-U (ドイツ)

$I_p=0.8\text{MA}$ ,  $B_T=1.7\text{T}$ ,  $q_{95}=3.5$ ,  $\delta=0.42$ ,  
 $\beta_N=3.5$ ,  $\beta_p=1.8$ ,  $HH_{y2}\sim 1.3$ ,  $n_e/n_{GW}\sim 0.9$   
 NTM、鋸歯状振動無し type II ELM

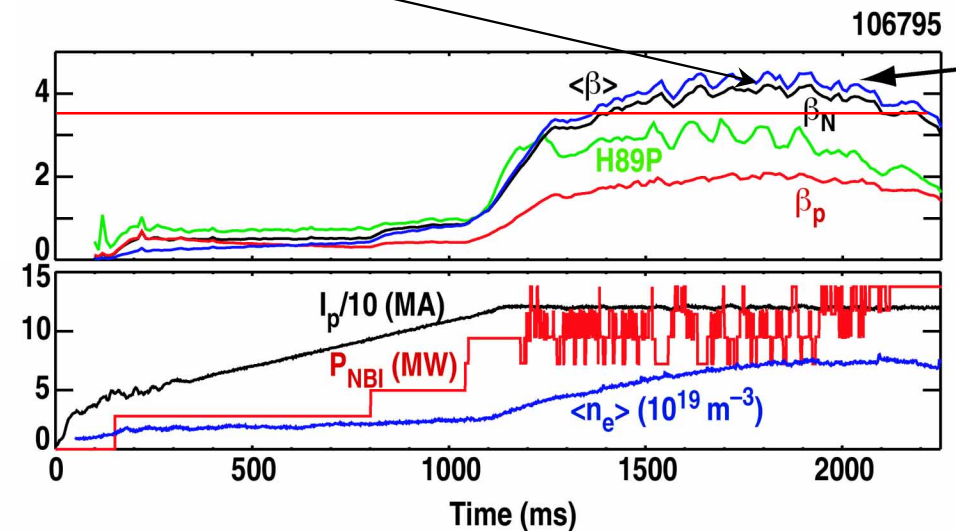


A.C.C. Sips, et al., **44** (2002) A151

## DIII-D (アメリカ)

$\beta_N=4$ に達しているがNTM発生により  
 最大ベータは制限されている

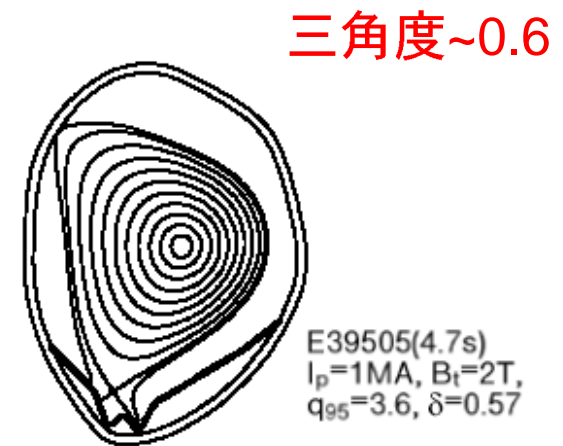
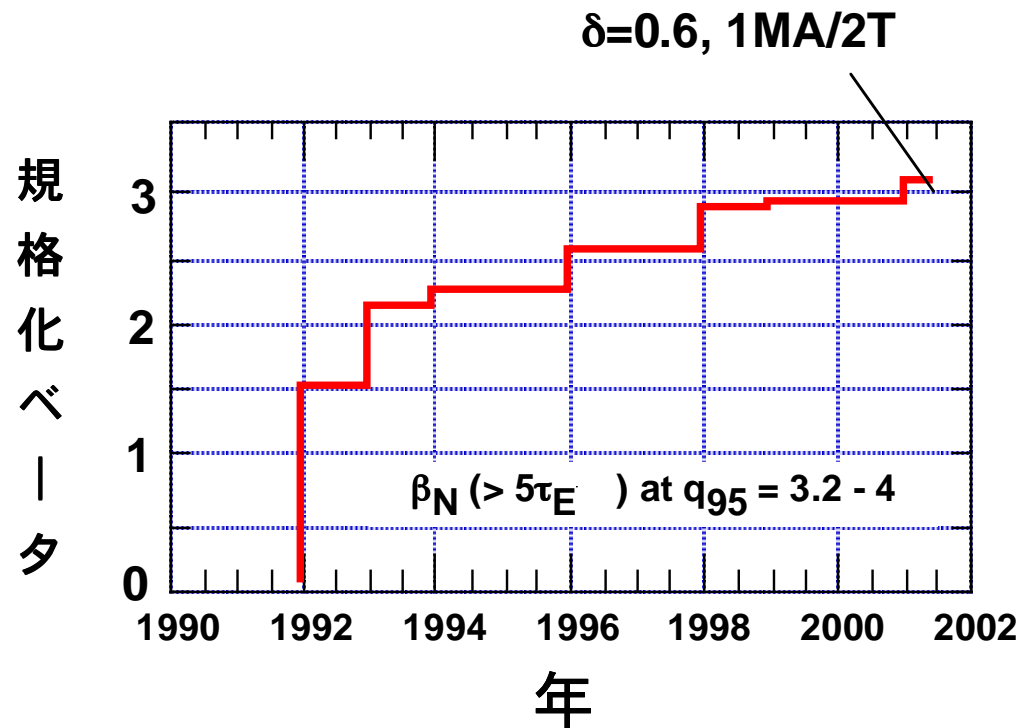
$\beta_N$



M.R Wade et al., NF **43** (2003) 634

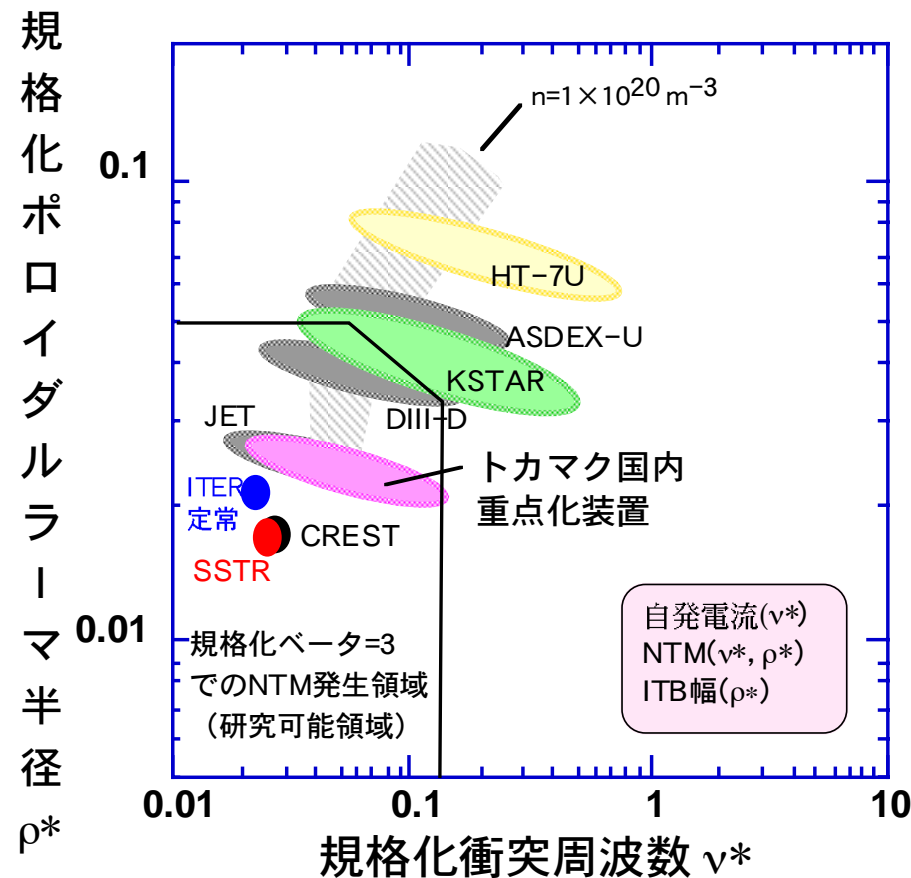
# JT-60での実績 ～準定常高ベータ値の向上～

- 現在のJT-60での準定常ベータ限界は $\beta_N \sim 3$ であり、三角形度を上げて達成している

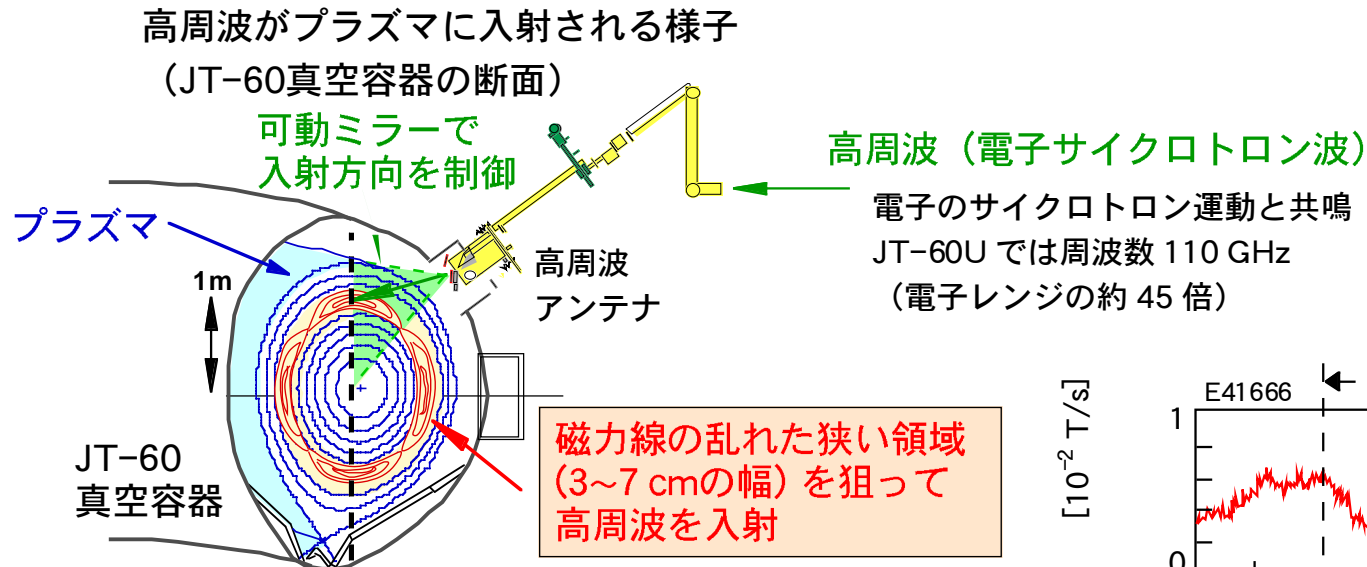


# ASDEX-U と DIII-Dは新古典ティアリングモード発生境界

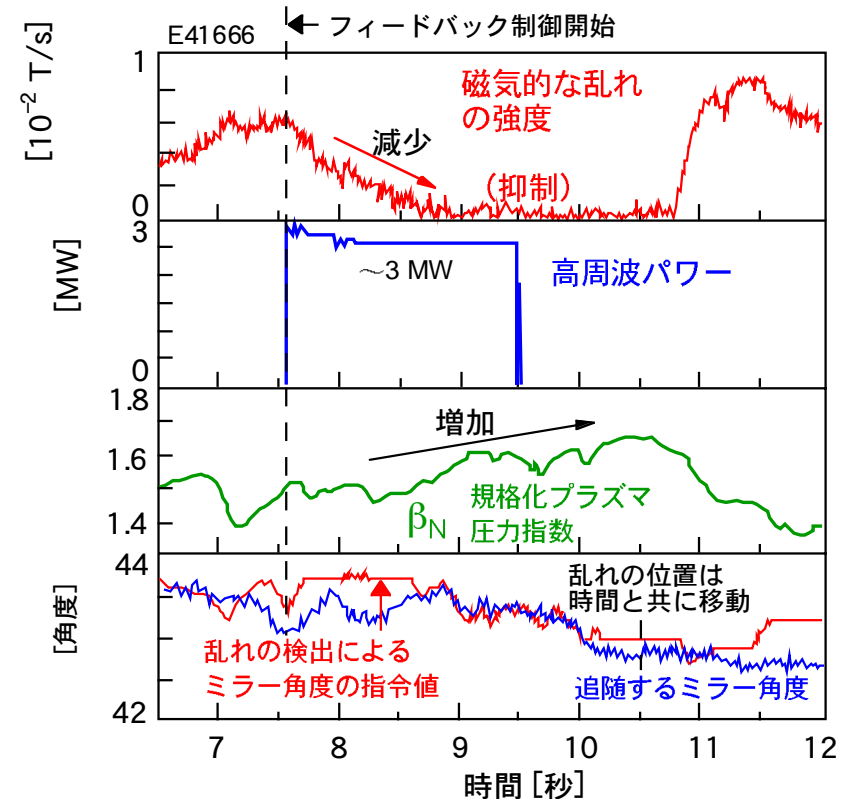
- 新古典ティアリングモードの克服の研究には、低い規格化衝突周波数、小さい規格化ポロイダルラーマ半径が必要である。つまり高温の大型装置（JT-60、あるいはトカマク国内重点化装置クラス）が必要。



# 新古典ティアリングモードの実時間抑制制御の実証



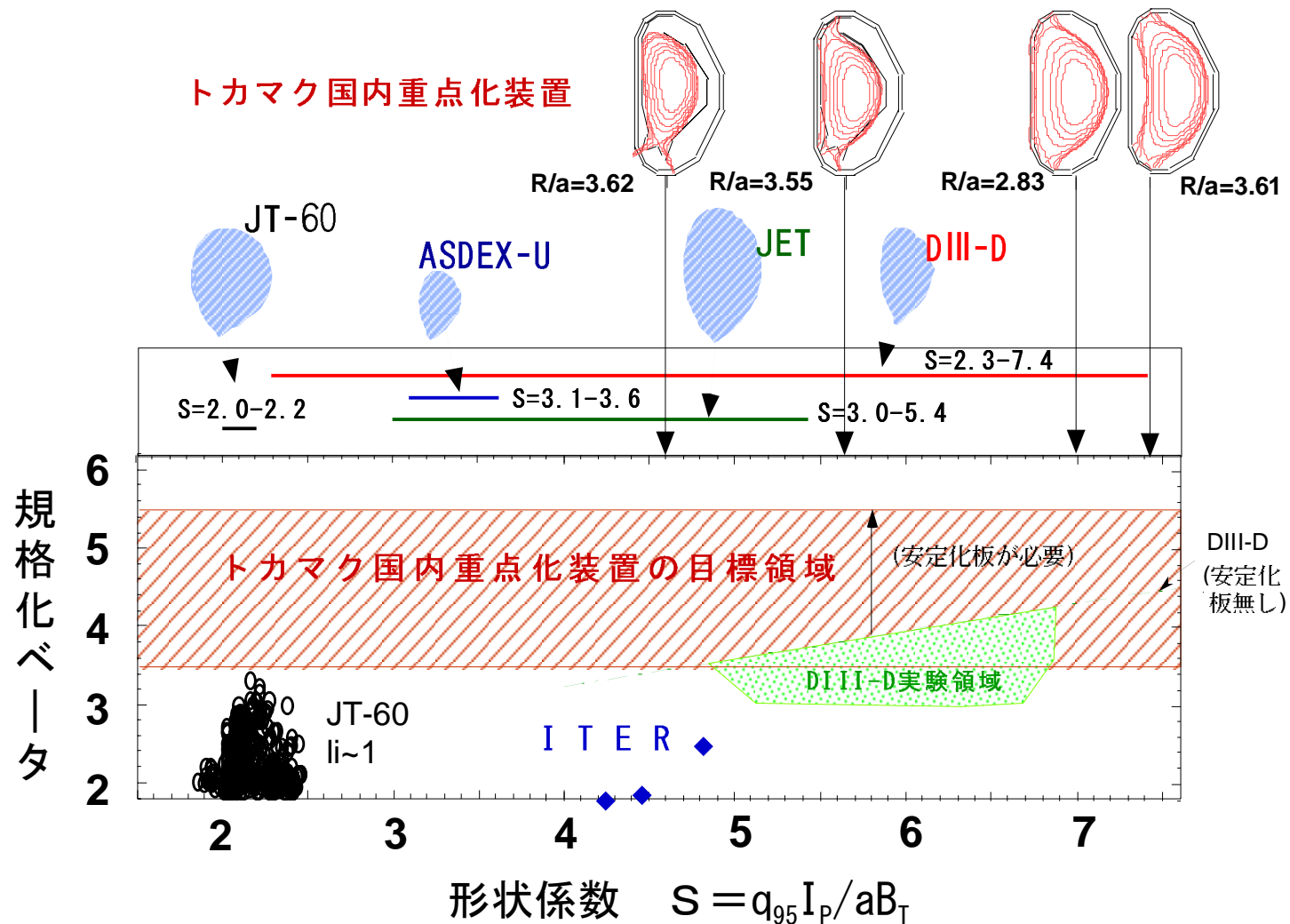
電子サイクロトロンの高周波  
により局所的に電流を発生さ  
せ、実時間で新古典ティアリ  
ングモードの抑制に成功





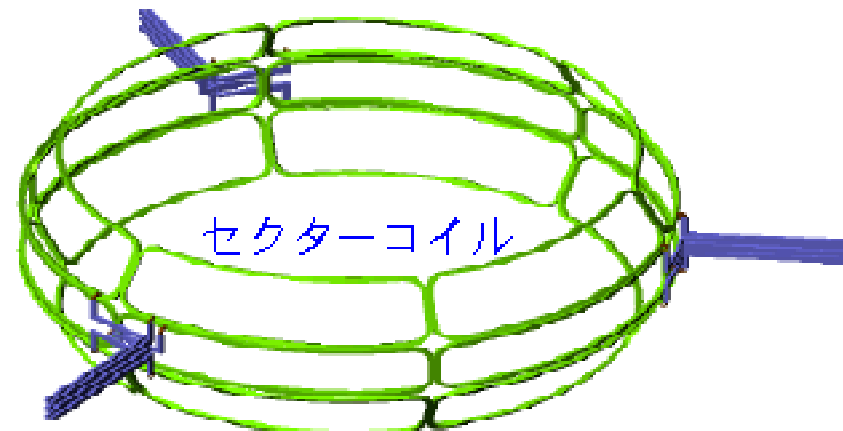
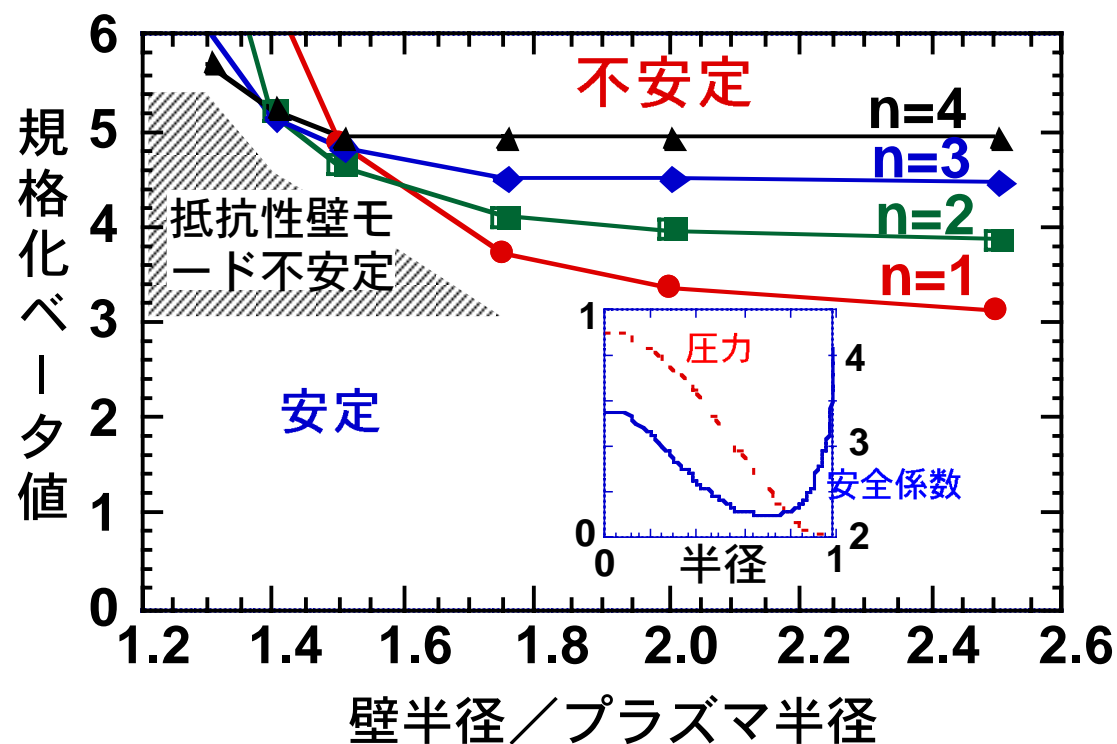
# 形状効果（楕円度、三角度）の最適化

- JT-60における準定常ベータ限界 ( $\beta_N < 3$ ) はプラズマ形状の最適化で克服可能
  - JT-60での新古典ティアリングモードの抑制 + DIII-D等の形状効果と高ベータの達成
- ➡ 炉心級のトカマク国内重点化装置において  $\beta_N \sim 3.5$  を非誘導で達成可能



# 自由境界MHD安定性を越える高ベータ定常は未踏の領域

- 抵抗性壁モードの抑制（内部安定化制御コイル）
  - 真空容器内に設置したセクターコイルを用いたフィードバック制御により  $n=1, 2$  のRWMを安定化
  - 未踏の領域ゆえトカマク国内重点化装置で行うべきである



# 発電実証プラント

**JT-60**  $\beta_N=3$

- 形状効果（三角度のみ）
- NTMの抑制
- 低衝突頻度

**JET**  $\beta_N=3.8$

- 形状効果
- 低衝突頻度

**DIII-D**  $\beta_N=4$

- 形状効果
- RWMのフィードバック制御

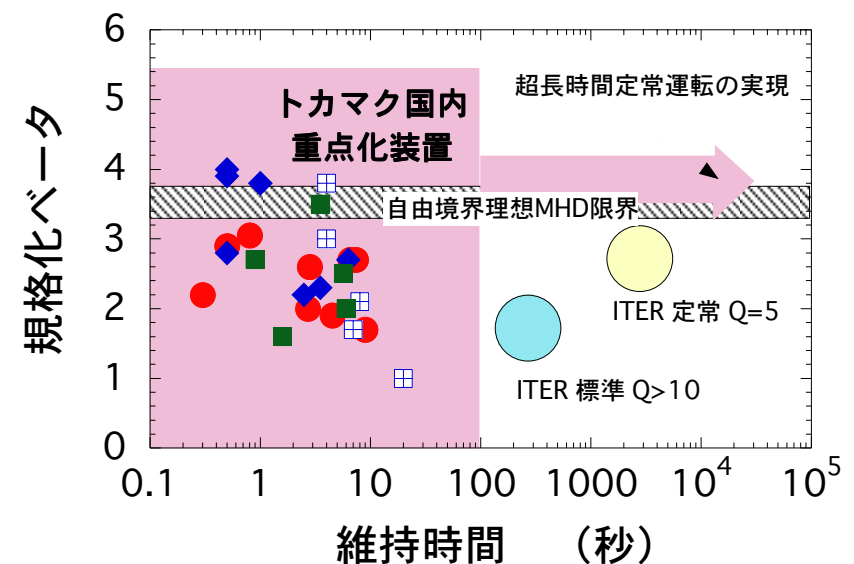
**ASDEX-U**  $\beta_N=3.5$

- 形状効果

**$\beta_N=3.5$  & 非誘導**

- 形状効果
- NTMの抑制
- 低衝突頻度
- RWMのフィードバック制御
- 長時間定常運転

## トカマク国内重点化装置の目標領域



# まとめ：高ベータ化の見通し

---

1) 完全非誘導高総合性能、新古典ティアリングの抑制(JT-60)

2) 形状制御による高ベータ (DIII-D等の実績)

=> 「規格化ベータ値=3.5&非誘導」の維持は臨界クラスのトカマク国内重点化装置によって十分射程内

=> 「発電実証プラントへの移行の判断基準として妥当」

3) 抵抗性壁モードの帰還制御でそれ以上のベータ値を定常で維持する事は未踏の領域

=> トカマク国内重点化装置で技術開発し発電実証プラントでインテグレーションすべき課題