

# 高温超伝導ヘリカル装置計画に対する期待と要望 Expectation and request to High-temperature Superconducting Helical Device

橋爪秀利

HASHIZUME Hidetoshi

東北大学 工学研究科

Graduate School of Engineering, Tohoku University

## 1. はじめに

現在、核融合科学研究所に設置されている大型ヘリカル装置（LHD）によるプラズマ閉じ込め実験では、プラズマ温度上昇に向け軽水素から重水素に変更した実験を開始しており、成果が出つつある状況となっている。

一方、マックスプランクプラズマ物理研究所のヴェンデルシュタイン7-X装置（W7-X）によるプラズマ閉じ込め実験も非常に良い成果をあげており、ヘリカルシステムによる核融合実現への期待が世界的に高まりつつある。

このような状況の中、核融合科学研究所を中心に次期装置の議論が積極的に進められており、将来の核融合炉の実現という視点からは、ダイバータへのアクセスが容易なヘリオトロン／トルサトロンが有望であると思われる。

## 2. 期待と要望

莫大な予算が必要となる核融合炉研究においては、将来に向けた道筋を明確に示し、国と国民の理解を得ることが不可欠である。したがって、次期装置の計画においては、図1に示すような未来に向けてのロードマップを描くことができるように知恵をしばるべきであり、次期装置だけでは成し得ない課題についても同

時に議論することが重要である。

少なくとも将来のヘリカル型核融合炉導入に向けては、以下のような課題を解決する必要性があると思われる。

- 1) ローソン条件の満足（トカマク型ではITERで実証される）と長時間連続運転
- 2) 核融合炉として機能するための工学的課題の解決（例として）
  - ・複雑な形状を有する超伝導マグネットの製造
  - ・高熱負荷に対応できるダイバータの設計製作
  - ・トリチウム増殖ブランケットの設計製作
- 3) 経済性が成立する見込みなどの社会的受容性の向上

したがって、第一に、次期装置は1)の条件を満足させるための重要なステップとなる装置であることが必要不可欠であり、

- ・ヘリカル炉設計をもとに次期装置の提案がなされていること
- ・磁場配位の最適化等のプラズマ閉じ込め性能の向上を目指していること

が重要な条件となる。これらを満足させるために高温超伝導マグネットを導入する計画となっており、ヘリカル型核融合炉用マグネットに高温超伝導体を適用するためのキーの一つであるコイル電流密度は、図2に示すようにかなりアグレッシブなスペックとなっている。

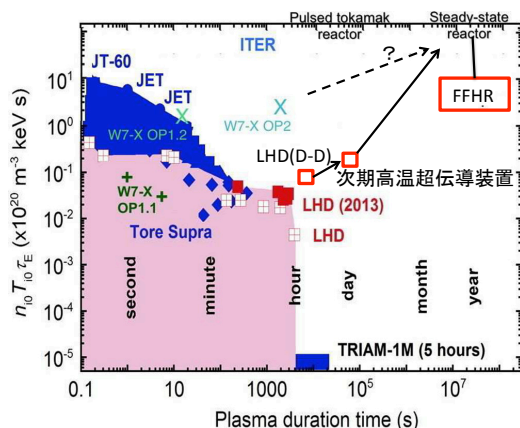


図1 プラズマ閉じ込め性能の比較[1]

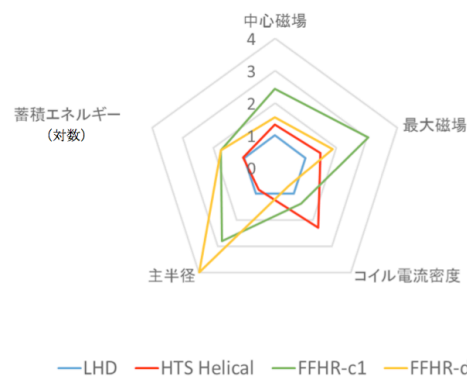


図2 超伝導マグネットの性能比較[2]

### 3. 次期計画と並行して実施すべき研究例

#### 3.1 超伝導体の接合技術の高度化

高温超伝導体接合性能の向上を図3に示す。接合部分の熱処理・温度管理・接合応力管理を行うことにより、接合抵抗が減少すると同時に、再現性のある接合性能が得られるようになってきている。また、核融合科学研究所との共同研究を通して、100 kA級のレーストラック型高温超伝導マグネットを製作し、接合抵抗値1.8 nΩ (9 pΩm<sup>2</sup>)の性能を得ている[3]。さらに、2列4層のブリッジ接合の一括接合においても3 pΩm<sup>2</sup>の接合性能が得られている[4]。

一方、超音波接合法による接合技術の開発も進められており、25 mm<sup>2</sup>の接合を0.08秒で行い、従来の方法による接合と同等な接合性能が得られており[5]、今後の進展が期待される。

#### 3.2 革新的ダイバータの研究開発

ダイバータの高熱負荷の問題解決に向け、液体ダイバータやガスパフ固体ダイバータの研究が進められている。図4には、液体金属の流れを、MHD効果を利用して制御し最終的に4相（プラズマ／気体／液体／固体）連続ダイバータの概念図を示してある。現在、液体金属の流動制御の解析が進められている段階である[6]。

また、このようなダイバータシステムをヘリカル型核融合炉に適用する場合には、上下非対称のシステムの可能性の検討が不可欠となる。

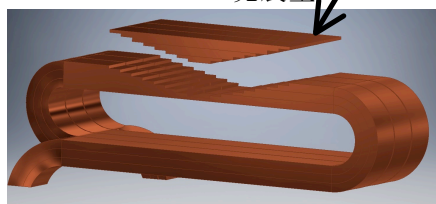
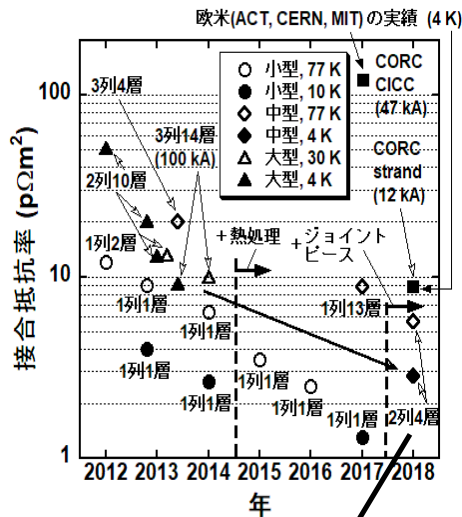


図3 接合部性能の進展図

#### 3.3 社会的受容性向上の模索

核融合炉の研究・開発には莫大な資金が必要であり、広く理解を得るためには核融合炉の必要性を強く示す必要がある。例えば、表1に示すように、原子力発電で発生するプルトニウムを除く超ウラン元素(MA)の核変換を考え、現在の核変換システムの第一候補であるADS（加速器駆動システム）と比較した場合、核融合炉は圧倒的に性能が良いことがわかる。またこの評価における核融合炉での核変換は、ダイバータ領域の一部を使って行っており従来の炉設計はほぼそのまま使用できるという利点もある[7]。また、トリチウム等の放射性物質に対する安全性の課題の解決も今後の課題と言える。

- [1] T. S. Pedersen et al., Physics of Plasmas **24** (2017) 055503.
- [2] 核融合研高畑一也氏より提供
- [3] S. Ito et al., Plasma and Fusion Res., **9** (2014) 3405086.
- [4] S. Ito et al., SOFT 2018, Sep. 16-21, 2018, Giardini Naxos, Italy, P2.100.
- [5] S. Ito et al., ASC 2018, Oct. 28-Nov. 2, 2018, Seattle, USA, 3LPo2C-01.
- [6] M. Kawamoto et al., Fusion Engineering and Design, **136** (2918), 415-419.
- [7] Y. Furudate, Progress in Nuclear Energy, **103** (2018) 28-32.

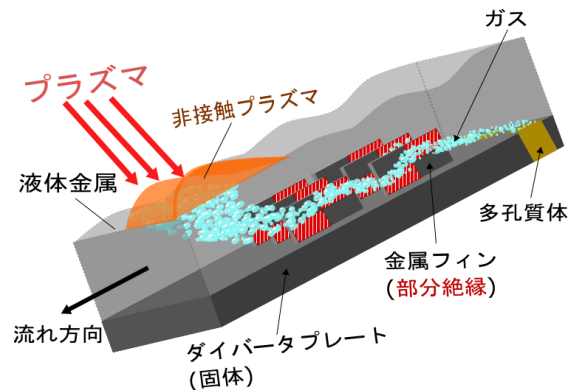


図4 4相連続型ダイバータの概念図

表1 ADS と核融合炉のMAの核変換性能の比較

	建設中			次期装置	
	名称	主要パラメータ			サポートファクタ
ADS	MYRRHA (ベルギー)	陽子ビーム 2.4MW	→ 12.5倍	30MW	10
核融合	ITER (フランス)	核融合出力 60万kW	→ 1.7~3倍	100~ 180万kW	22(100万kW)~ 40(180万kW)

サポートファクタ＝

核変換されるMAの質量/100万kWの原子炉1基から発生するMAの質量