

構造形成・持続性ユニット成果報告
CHD-U検討の進展

山口裕之

磯部光孝、清水昭博、小川国大、高橋裕己、長壁正樹、
本島巖、佐竹真介、市口勝治、村瀬尊則、田上裕之、
中川翔、長原一樹、柳原悠人、奴賀秀男、佐藤雅彦、
關良輔、武村勇輝、Hao Wang、Jialei Wang、沼波政倫、登田慎一郎、
森高外征男、矢内亮馬



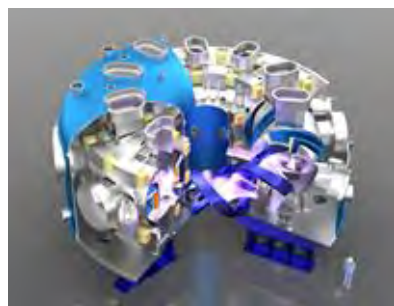
核融合研におけるプラズマ実験装置の計画

2025年度ユニット成果報告会

2026/06/16

～2025年

学術研究基盤LHD計画



LHD

$R=3.9\text{m}$, $B=3\text{T}$

- 文部科学省「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想-ロードマップ2023-*」に、核融合科学研究所が中核機関となる「超高温プラズマの『マイクロ集団現象』と核融合科学」計画が掲載。
- 本計画における新規プラズマ装置CHD-Uの具体化を推進するため、物理検討および設計活動を行ってきている。

2026年～2035年

*学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想－ロードマップ2023－
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/1423056_00026.htm

超高温プラズマの「マイクロ集団現象」と核融合科学

2026年～



CHD (既存装置)

$R=1\text{m}$, $B<2\text{T}$

設計・R&D・建設

運転を継続

2031年～

CHD-U

$R \geq 1.5\text{m}$, $B \geq 1.5\text{T}$

CHD-U候補として検討してきたヘリカル装置方式（一部）



CHD-U検討体制の広がり (2025年度)

2025年度ユニット成果報告会

2026/06/16



- 2025年度は所内8ユニット+技術部、所外3大学からCHD-U検討への参画があった。(+3ユニット、+1大学)

メタ階層ダイナミクス

プラズマ-量子プロセス

位相空間乱流

複合大域シミュレーション

可知化・センシング

構造形成・持続性

プラズマ-複相間輸送

超伝導・低温工学

NIFS技術部

京都大学

名古屋大学

九州大学

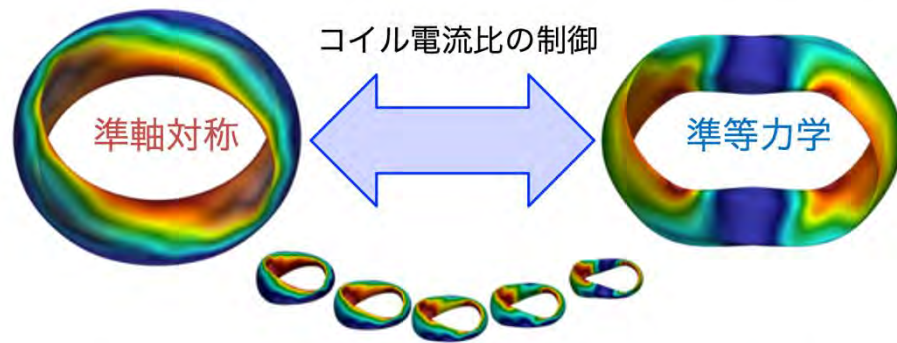
- 微視的不安定性・乱流
- 中性粒子ビーム入射加熱
- 電子サイクロトロン加熱
- 新古典輸送
- MHD平衡、安定性
- 高エネルギー粒子駆動現象
- リミター・ダイバータ検討
- 工学設計・本体設計・R&D
- 有効エネルギー
- 重イオンビームプローブ計測

CHD-U候補配位について（概要）

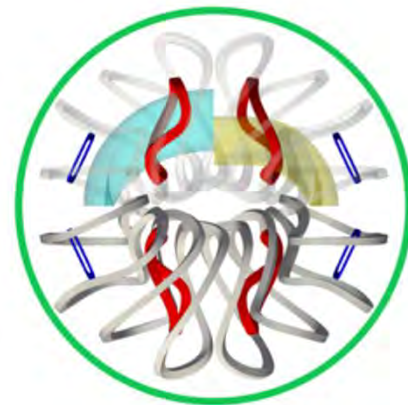
2025年度ユニット成果報告会

2026/06/16

閉じ込め磁場の隠れた対称性を操作することのできる革新的な装置概念「**可変対称性トラス**」を考案。



- 物理特性のコントラスト*が高い**準軸対称配位**と**準等力学配位**の組合せを選択。
- トカマクとの比較研究を視野に入れ、高い軸対称性を実現可能なトロイダル周期数2を選択。



ユニットが独自に開発した最適化コードにより、対称性の異なる2つの磁場配位を高精度に実現できるコイルを設計（世界初）。

➔ CHD-U候補配位の一つとして具体化。

- H. Yamaguchi et al., 29th IAEA-FEC2023
- 山口裕之 他 第40回プラズマ・核融合学会年会
- H. Yamaguchi et al., ISHW2024

*ブートストラップ電流、トロイダル粘性、軌道トポロジー等。

CHD-U候補配位について（コイル設計手法）

2025年度ユニット成果報告会

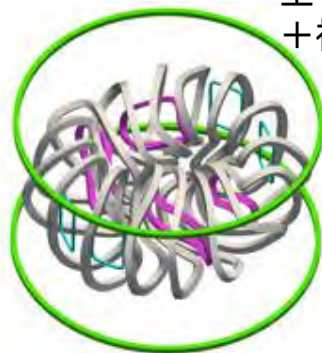
2026/06/16

1. 磁気面形状最適化により準軸対称（QA）配位を生成
2. モジュラーコイルをQA配位生成に最適化
3. 磁場柔軟性を高める補助コイル系を追加
4. 準等力学的（QI）配位を生成できるように、補助コイル系の形状・電流値を最適化。
 - 高トロイダルミラー配位を初期条件に設定
 - 新古典拡散および局所捕捉イオンの軌道損失を最小化する方向に最適化（非直接的なQI最適化）

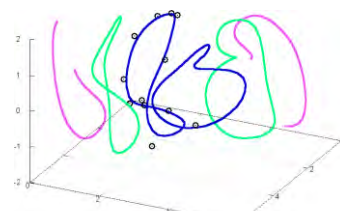
主モジュラーコイル



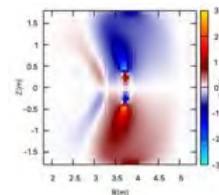
主モジュラー
+補助コイル系



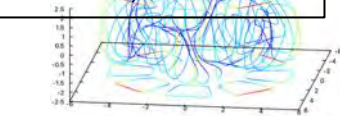
B-spline coil shaping



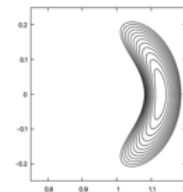
Vacuum B -field



Physics & engineering metrics: magnetic well, iota, coil-to-coil distance, etc.



VMEC



Coil-shaping-based optimization code OPTHECS

H. Yamaguchi, 23th ISHW, (Warsaw, 2022)

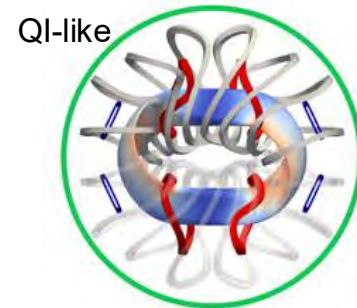
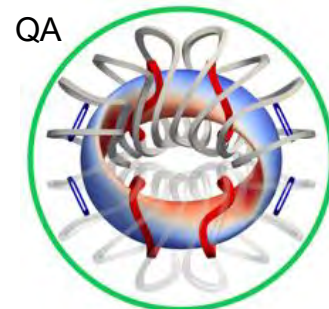
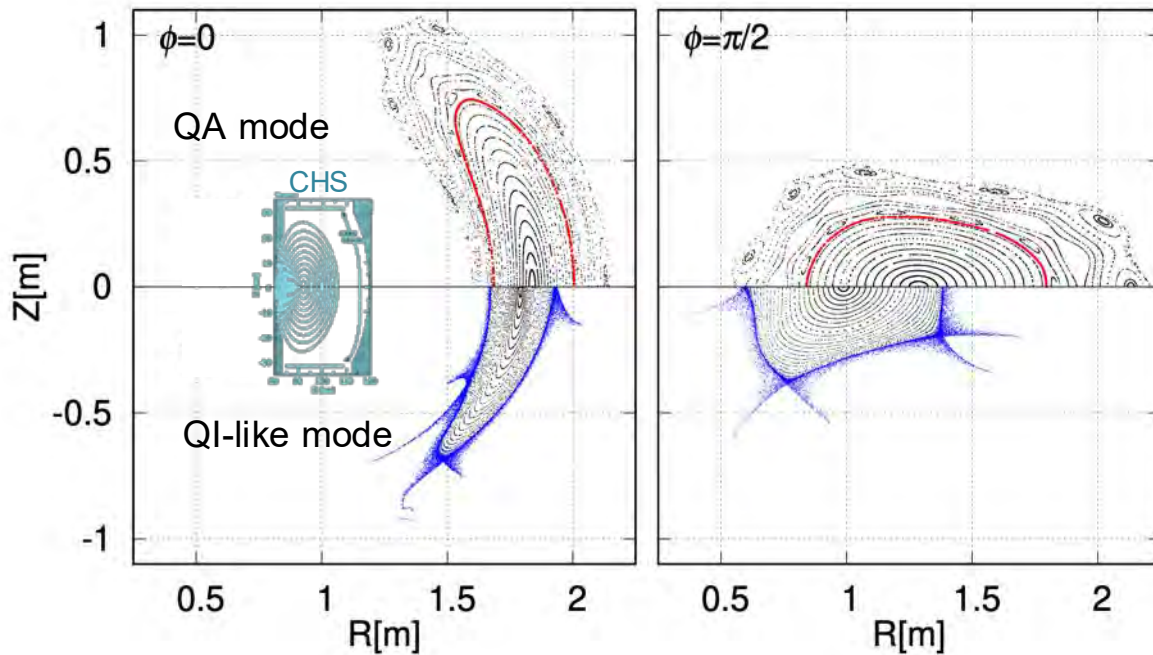
H. Yamaguchi et al., 29th IAEA FEC (London, 2023)

磁場配位操作性能の検証

2025年度ユニット成果報告会

2026/06/16

主磁場配位の磁力線ポアンカレプロット

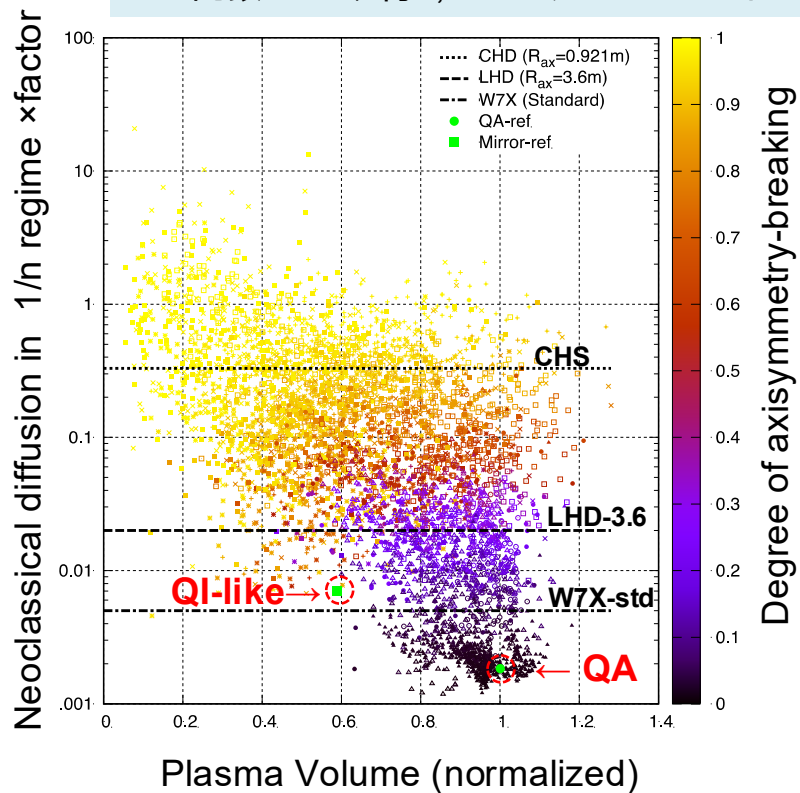


Variations of magnetic configurations

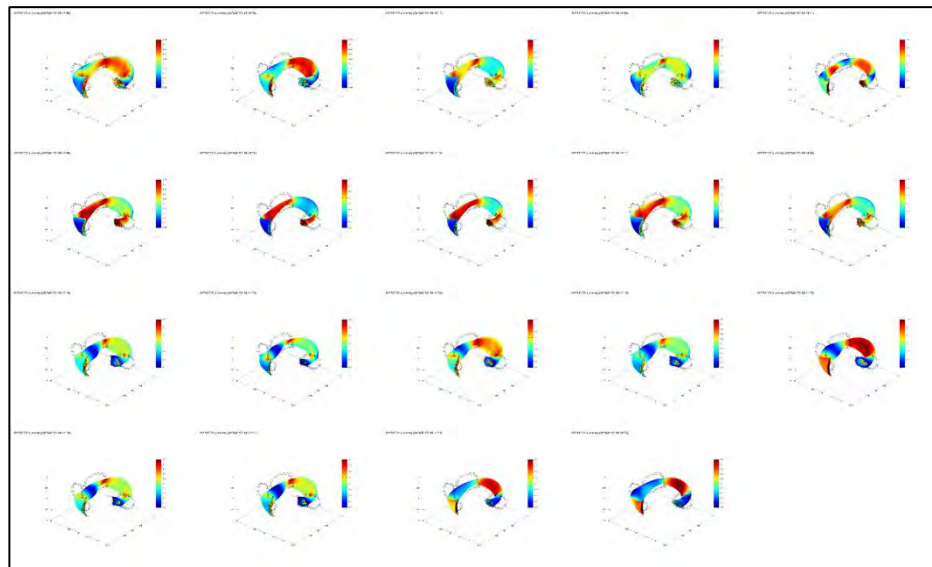
2025年度ユニット成果報告会

2026/06/16

■ 乱数により約5,000パターンのコイル電流比を生成し、磁場配位の特性を整理



Examples magnetic configurations

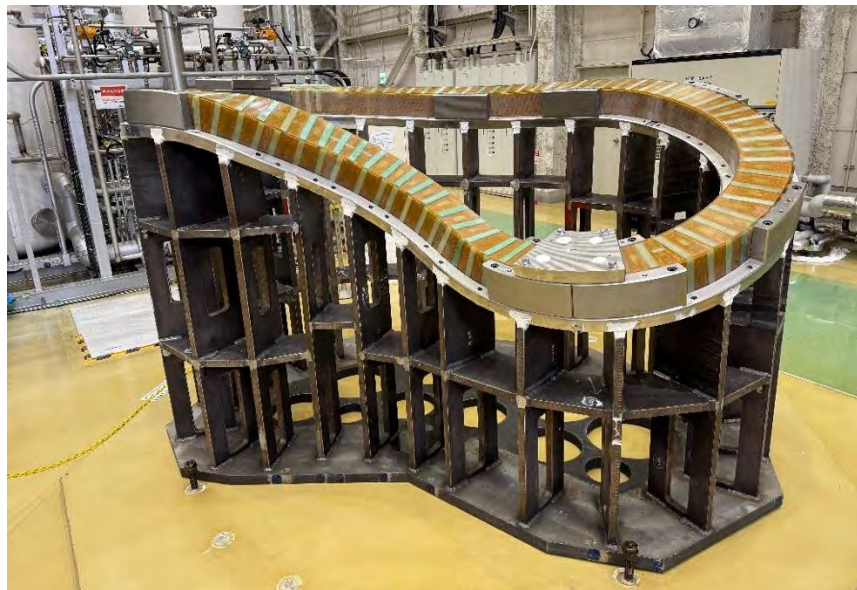


Yamaguchi et al., ISHW2026

モジュラーコイルプロトタイプの製作

2025年度ユニット成果報告会

2026/06/16



M. Isobe et al., ISHW2026

- 2026年3月に完成、NIFSに設置済み。

- 次期装置**CHD-U**の検討を推進した。
- 可変磁場配位によるプラズマのマクロ・ミクロ状態の操作と観測が可能な「可変対称性トーラス方式」に基づき、物理・工学検討を行った。
- コイル電流比の自由度を活かし、生成可能な磁場配位の網羅的な探索を行った。
 - 新古典輸送、プラズマ体積、磁気シア等の広範なパラメータ
 - 準軸対称、高ミラー、逆位相ミラー配位など、多様な磁場強度パターンが存在
- モジュラーコイル製作技術確立へ向けて、プロトタイプの製作を実施。

今後の課題

- 計測系の具体化、特にシミュレーションと連携した位相空間計測の検討
- 真空容器、電磁力支持、ポートを統合した本体設計と **R&D**
- リミタ・ダイバータ検討の詳細化