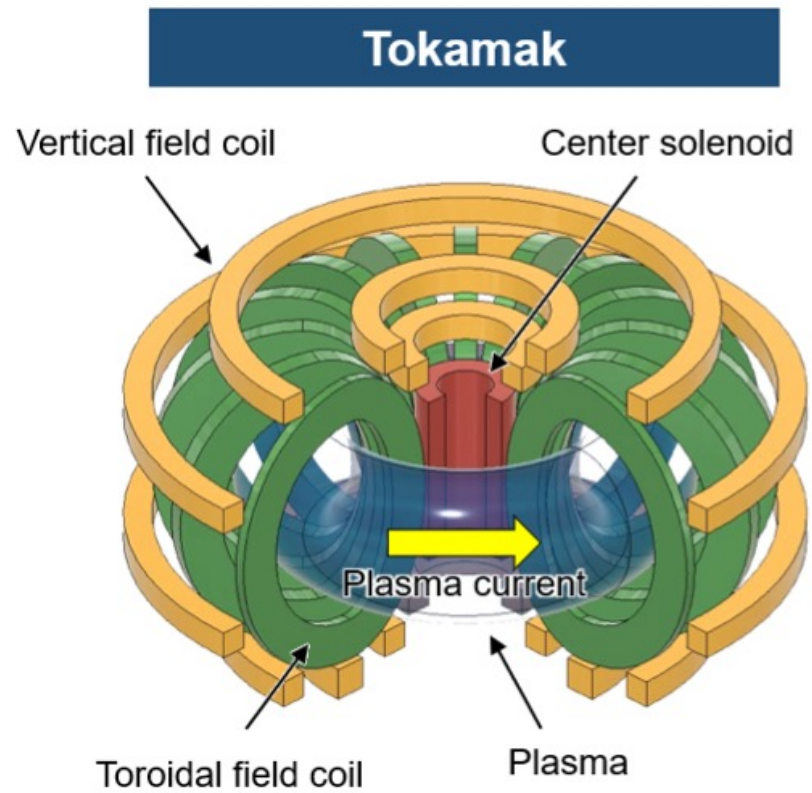


Helical Fusion社のFusion Pilot Plant: 設計の概要と安全性

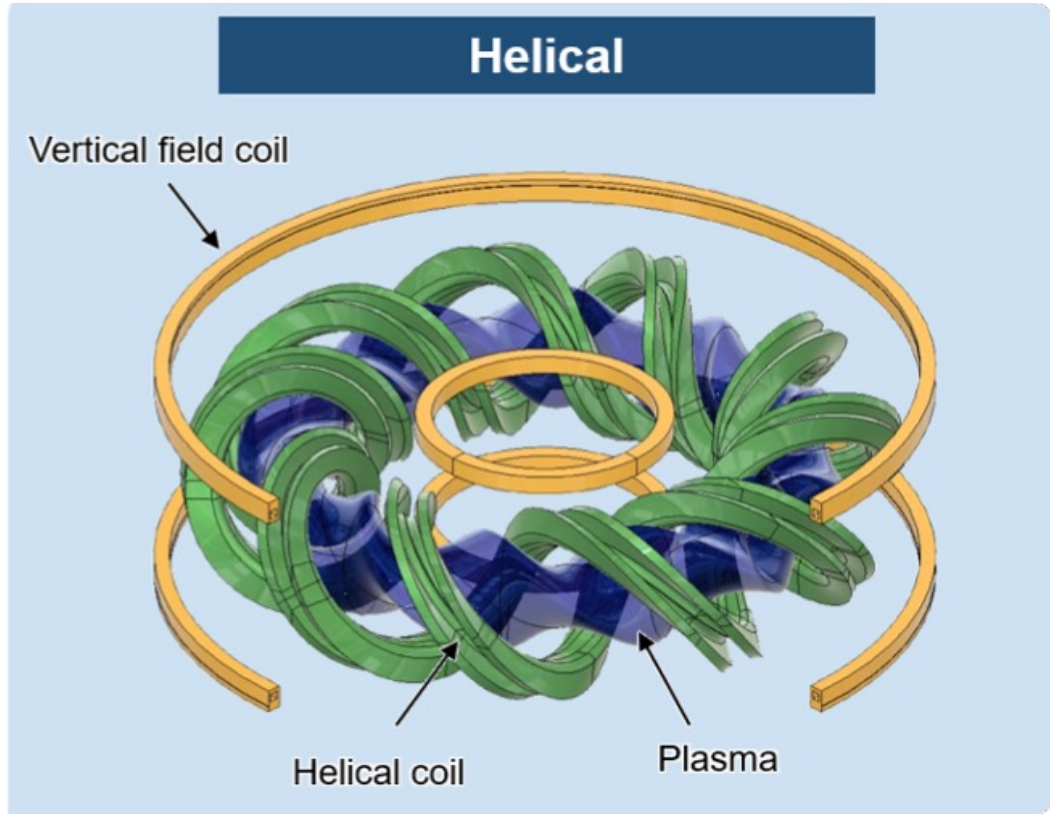
2024年9月17日

株式会社Helical Fusion

HF社のFusion Pilot Plantの特徴



- コイル(緑色)により環状の磁力線を作る
- プラズマに電流を流すことで、環状の磁力線を捻る
 - プラズマ性能 : 非常に高い
 - プラズマ保持時間: 短い

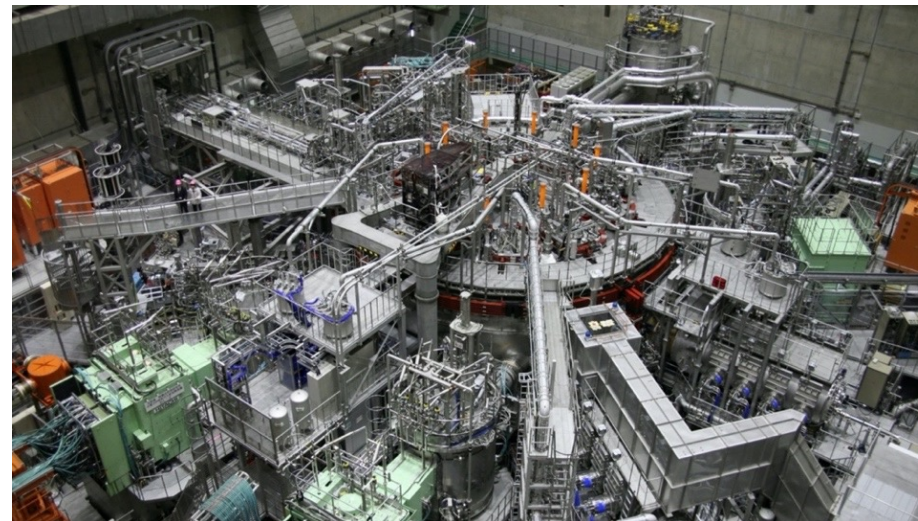


- コイル(緑色)自体をらせん状にすることで、環状の磁力線を捻る
 - プラズマ性能 : 高い
 - プラズマ保持時間: 非常に長い

HF社のFusion Pilot Plantの特徴

ヘリカル方式を採用:

- 日本生まれの国産技術
- 大型ヘリカル装置による確かな実証実績
 - プラズマ温度 1 億度
 - プラズマ連続運転3,000秒超など
- 優れたメンテナンス性
 - 高い稼働率の実現が可能 (80%)
 - ブランケット交換が現実的
- 世界で最も長い炉設計研究
- 核融合研との連携協定により開発加速



炉型の比較: FPPとJA-DEMO

項目	FPP	JA-DEMO ^(*1, 2)
プラズマ閉じ込め方式	ヘリカル	トカマク
燃料	重水素-三重水素	重水素-三重水素
大半径	7.8 m (ヘリカルコイル)	8.5 m
プラズマ加熱方式	高周波加熱(ECH)	高周波加熱(ECH) 中性粒子ビーム入射(NBI)
プラズマ加熱パワー	20 MW (Q=13)	88 MW (Q=17)
核融合出力	260 MW	1.5 GW
平均中性子壁負荷	0.65 MW/m ²	0.5 MW/m ²
正味電気出力	70 MWe	250~300 MWe
ブランケット	液体金属(Li-Pb-Sn) 自己冷却 非磁性低放射化高Mn鋼	固体増殖(Li ₂ TiO ₃ , Be ₁₂ Ti) 水冷却 低放射化フェライト鋼
第一壁・ダイバータ	自由表面液体金属(Li-Pb-Sn)	固体壁(タングステン)

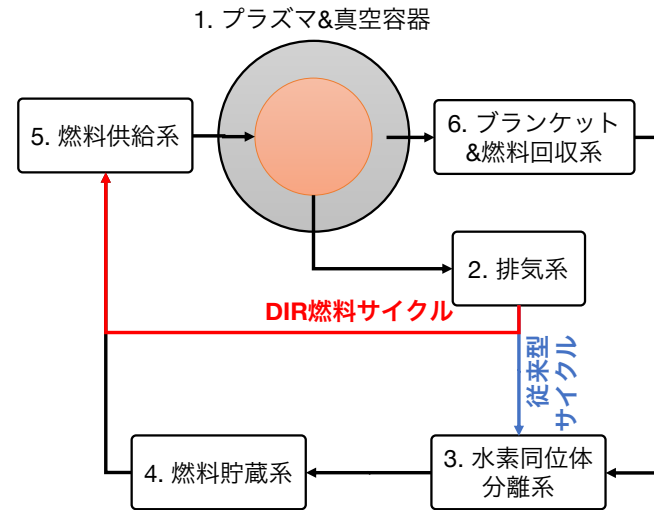
(*1) <https://www.qst.go.jp/site/fusion/nks-rensai-17.html>

(*2) Someya Youji+, Nucl. Fusion, 64 (2024) 046025.

ヘリカルFPPのハザード関連事項

トリチウム:

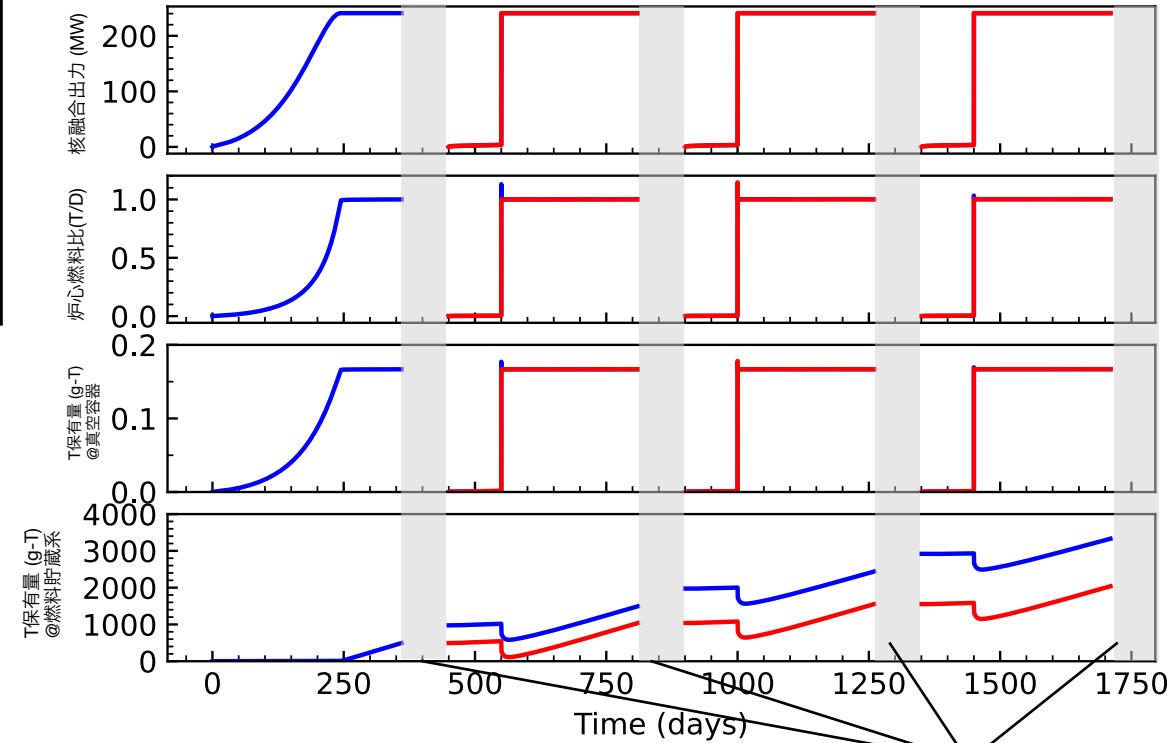
- DIR燃料サイクル
- 初期装荷トリチウム無し
 - ✓ DDスタートアップ
 - ✓ 外部からの燃料トリチウムの輸入なしも可能



- 液体金属ブランケットによる自己生産(想定TBR: 1.15)
- 燃料システム解析によると、第2期運転サイクルでフルパワーに到達見込み。第4期運転終了時におけるトリチウムの保有量は2~3 kg-Tの見込み
 - Tの保管場所は要検討
- トリチウムが移行しやすい水を1次冷却材に使用しない

定検を考慮したT無し起動における核融合出力、炉心燃料比、Tインベントリの経時変化

青線: 定検中T回収に関する楽観シナリオ; 赤線: 悲観シナリオ



定検期間

Nakamura+, to be presented at SOFT 2024.

安全規制に関するご提案

<前提>

- ◆ フュージョン・システムには原子炉等規制法(炉規法)は適用されず、RI法をベースとした安全規制が適用されると理解

<課題>

- ◆ 現行のRI法には通常時の放射線防護は規定されているが、**事故防止や影響緩和の規定がない**
 - ✓ 第33条に「危険時の措置」が定められているが、事故防止や影響緩和に関してハードウェアに求められる規定がない
- ◆ 初号機建設時点で全ての規格を確定させることは難しい

<提案>

1. RI法への追加規定
2. 機器に関する規制の柔軟性の確保
3. 材料に関する規制の柔軟性の確保
4. 国産の安全解析コードの必要性

安全規制に関するご提案

1. 事故防止や影響緩和に関する規定

- ✓ JT-60SA等の既存装置に現在進行系で適用されている従来のRI法との連続性を考慮する必要性
- ✓ 放射性物質の量、それを駆動するエネルギーは、炉型、構造材料、冷却材の選択によって大きく異なる



- ✓ (i)放射性物質のインベントリと(ii)放射性物質を駆動するエネルギーの数量に応じたグレーディングの導入が望ましい
 - 第1回TFでの指摘に近い(資料1-2, 第2回TF)



安全規制に関するご提案

2. フュージョン・システムを構成する機器についての規制の柔軟性

- ✓ 現状では、様々なプラズマ閉じ込め方式、ブランケット方式、構造材料の選択肢が並立
- ✓ 特定の機器に関する規程を設けるのは、炉形式間の競争の阻害につながるおそれ
- ✓ いずれの炉形式も研究開発途上段階であり、今後、プラズマ閉じ込め方式、機器、材料に破壊的イノベーションが発生する可能性は否定できない



- ✓ KPIをクリアする限りにおいて、様々な機器を実装することが可能な、柔軟な規制が望ましい
 - ✓ KPIの例:
 - ✓ 通常時の従事者および公衆の被ばく線量
 - ✓ 事故時の従事者および公衆の被ばく線量
 - ✓ 放射性物質の環境放出量
 - ✓ Etc.

安全規制に関するご提案

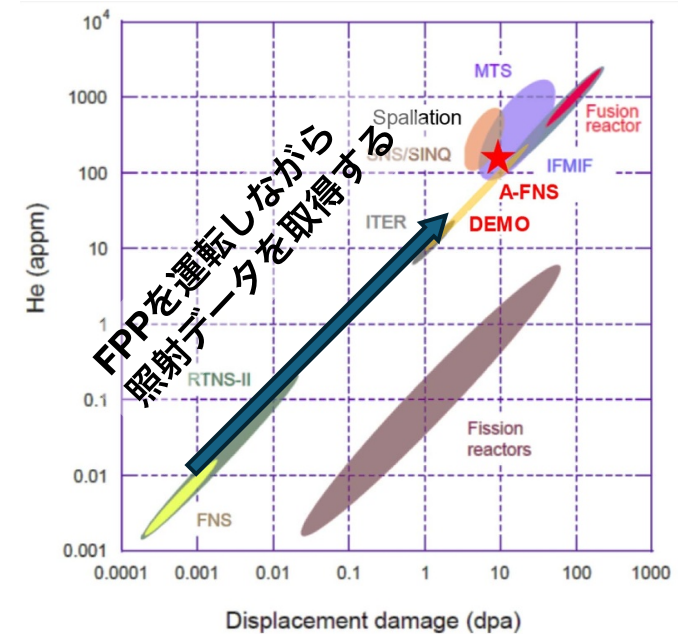
3. フュージョン材料についての規制・基準の柔軟性

- ✓ 現状、14 MeV中性子の材料照射データが不足
- ✓ JA-DEMOやEU-DEMO設計では、それぞれA-FNSやDONESで材料照射データを取得する方針
- ✓ しかし、フュージョン・システムのDT運転を2030年代に実現するには、A-FNSやDONES計画とタイムラインが合わず、コンポーネント材料の照射データが得られない
- ✓ フュージョン・システムのDT運転経験がないので、安全率の設定が難しい



- ✓ 炉を稼働しながらの材料照射データの取得を認める規制基準が望ましい
- ✓ DTフュージョン運転の経験がない現状では、BA活動で検討されている確率論的構造設計手法の確立に大きな期待を寄せている

野澤 他, プラズマ・核融合学会誌 100 (2024) 77.



Ochiai+, Nucl. Fusion 61 (2021) 025001.

Humanity evolves with nuclear fusion

