

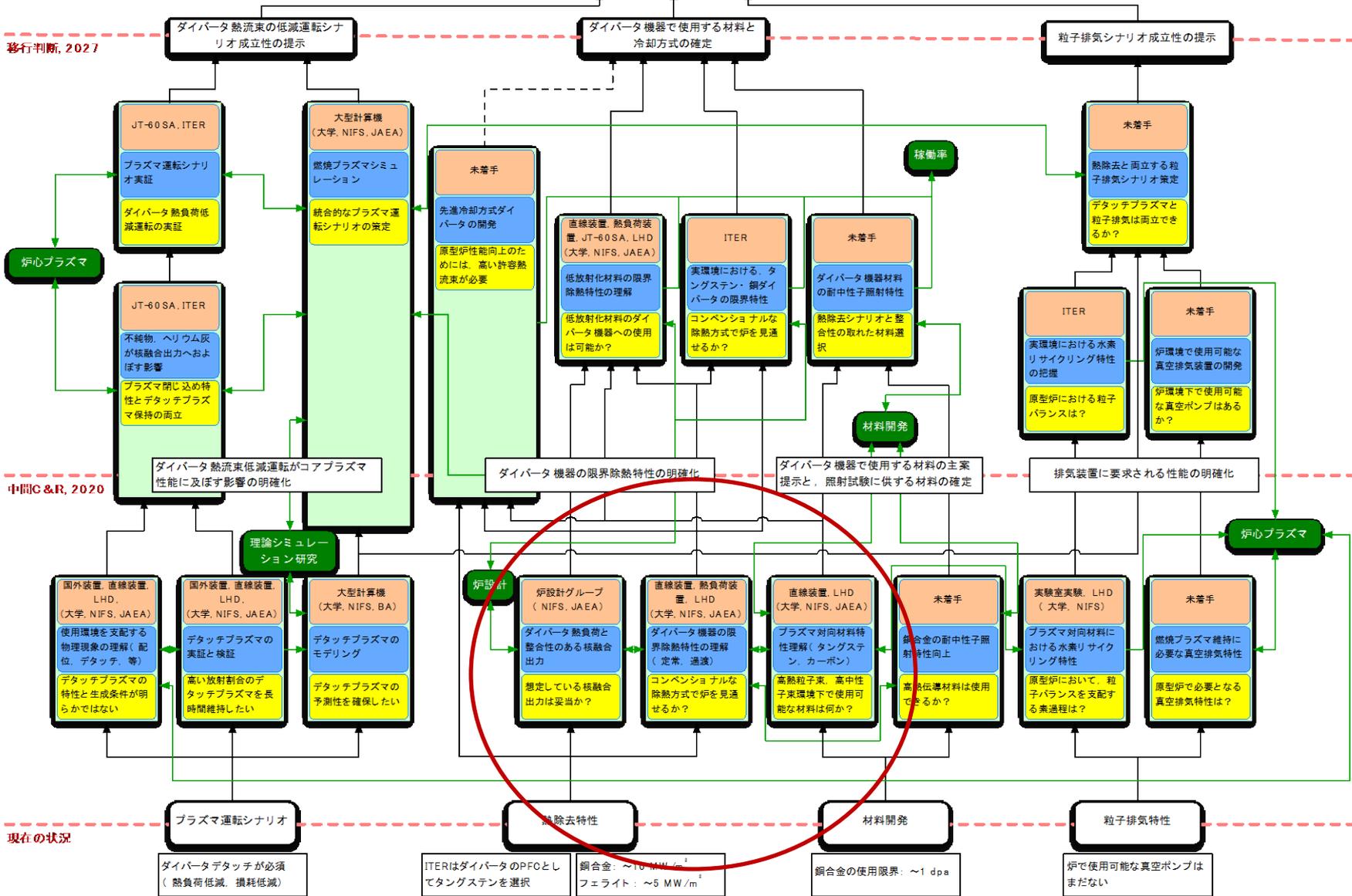
# ダイバータ 開発

原型炉に必要なダイバータ 設計の見通しを得る

移行判断, 2027

中間C&R, 2020

現在の状況



ダイバータデタッチが必須  
(熱負荷低減, 損耗低減)

ITERはダイバータのPF6として  
タンガステンを選択  
銅合金:  $\sim 10 \text{ MW/m}^2$   
フェライト:  $\sim 5 \text{ MW/m}^2$

銅合金の使用限界:  $\sim 1 \text{ dpa}$

炉で使用可能な真空ポンプは  
まだない

## 銅合金に対する耐中性子照射特性の考え方を整理した

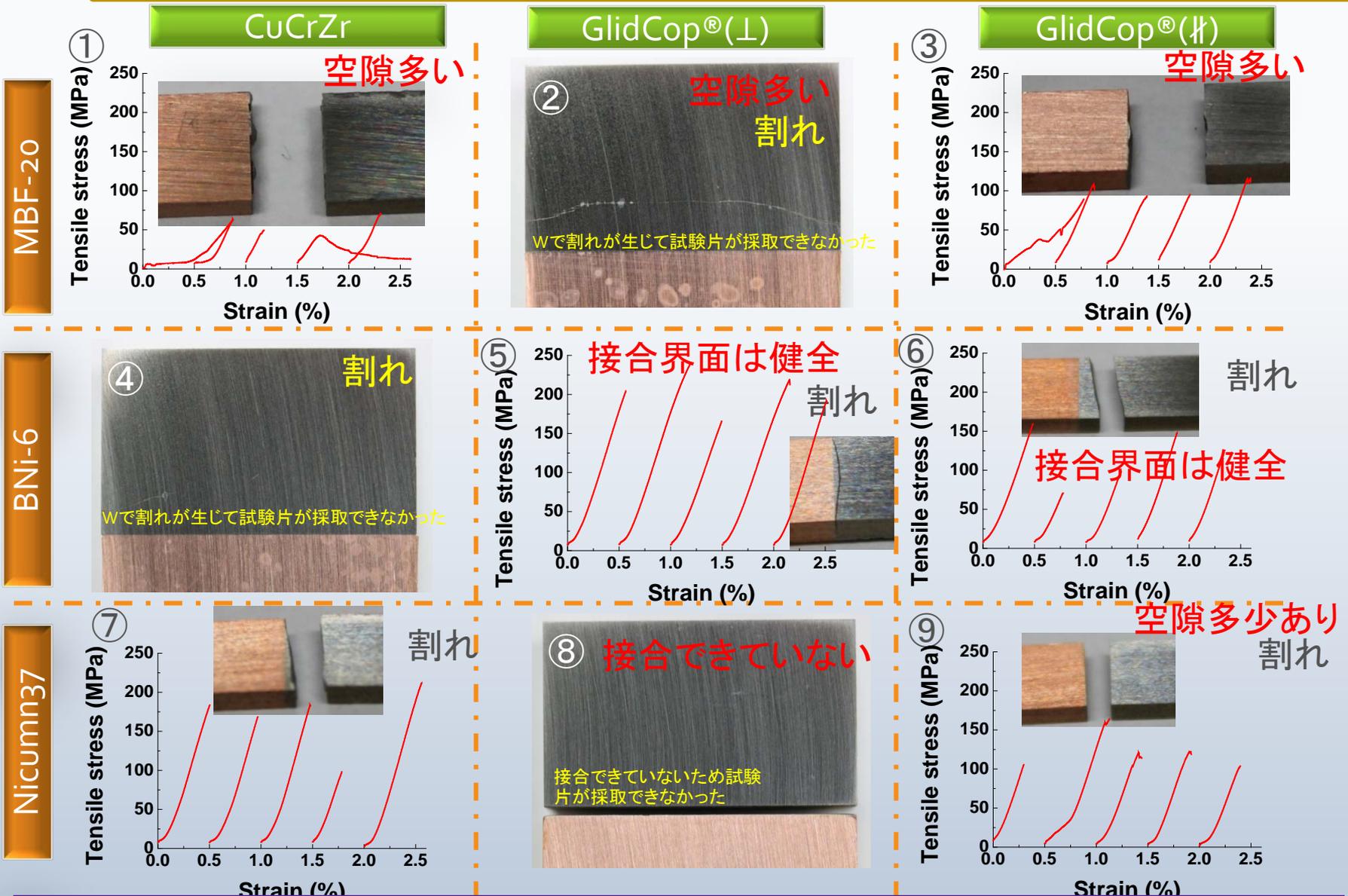
- ❑ 「照射誘起硬化/軟化」, 「核変換Heによる高温脆化」, 「核変換に伴う熱伝導率低下」, 「ボイドスウェリング」の順で限界照射量が上昇する. 機械的健全性を担保する場合, ODS-Cu(酸化物分散強化型)でも「照射誘起硬化/軟化」の限界照射量(~ 0.2dpa)で使用できなくなる.
- ❑ ダイバータの構造を銅合金以外の構造物で支えるのであれば, 機械的健全性を担保する必要が無いため, 「核変換Heによる高温脆化」の限界照射量(~ 6dpa)まで使用可能.
- ❑ ODS-Cu(酸化物分散強化型)はPH-Cu(析出強化型)と比較して耐照射安定性に優れる.
  - 耐照射誘起硬化/軟化限界照射量がPH-Cuの約2倍でその傾向が緩やか.
  - ボイドスウェリングは400°C, 100dpaで1%以下.

銅合金	室温での降伏強度	照射誘起軟化/硬化の境界温度	耐照射誘起硬化限界照射量	耐照射誘起軟化限界照射量	耐ボイドスウェリング特性 (Cu peak: 300-400°C)	核変換に伴う熱伝導率低下	核変換Heによる高温脆化
Pure-Cu	~60 MPa	---	~0.1 dpa	---	50dpa @400°C 25%	20% (10 dpa)	6 dpa @350°C
GlidCop® (ODS-Cu)	> 400 MPa	300°C	~0.2 dpa	1~2 dpa (緩やか)	100dpa @400°C 1%以下	20% (10 dpa)	(40appmを限界とする 7appm/dpaを仮定)
CuCrZr (PH-Cu)	> 400 MPa	280°C	~0.2 dpa	~1 dpa	100dpa @400°C 2%以下	20% (10 dpa)	
RAFM	~500 MPa	450°C	~30 dpa ( $\sigma_y$ ~1000MPa到達)	~60 dpa ( $\sigma_y$ ~200MPa到達)	125dpa @450°C 0.9%	---	---

GlidCop®を, 300°Cで温度変動なく使えば, 最も耐中性子照射性が高いことがわかった

# NIFSにおけるダイバータ開発研究(2/2)

## プラズマ対向材料特性理解 (Wアーマー材に最適な、ろう材と銅合金の組み合わせを評価した)



“GlidCop®とBNi-6の組み合わせがもっとも接合特性が良いとわかった”

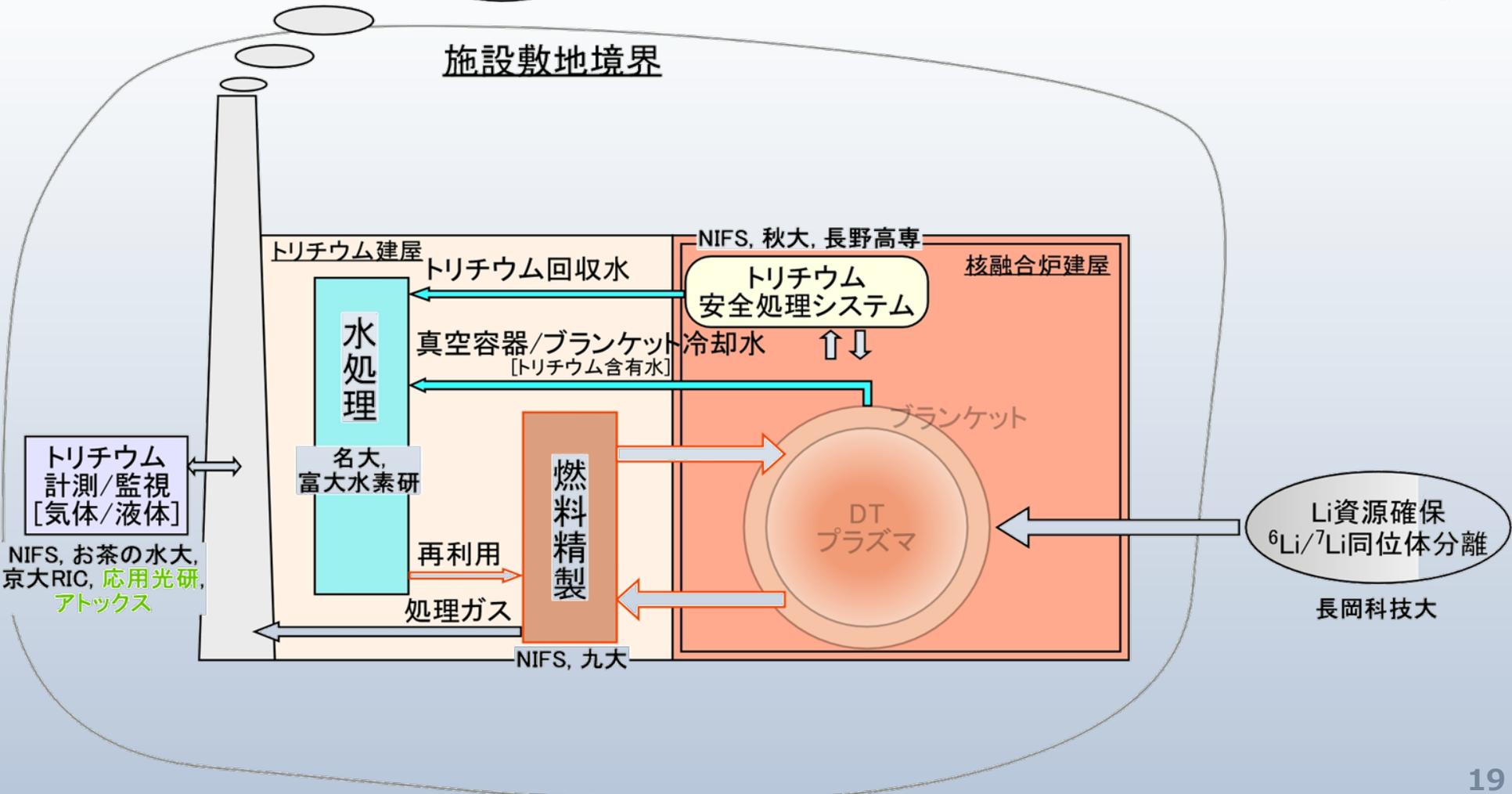


# NIFSにおける燃料システムと安全性研究への取り組み(1/2)

NIFSにおけるトリチウム理工学研究の広がり  
～燃料サイクルから<sup>6</sup>Li分離、環境/生体影響まで～

トリチウム環境動態研究  
放射線生体影響研究

NIFS, 九大RIC, 京大原子炉, 名大, 原研原科研, 弘大, 琉大, 山形大, 藤田保衛大, 環境研, 広大原医研, 茨大, 産医大, 国立保医院, 九環協



## 全国大学機関との共同研究を通じたトリチウム及び<sup>6</sup>Li関連の基礎研究課題

### 核融合炉の安全性と安全研究に関する取り組み[生体影響・環境放射線/放射能研究]

<b>トリチウム生体影響</b>	笹谷めぐみ	広島大学	低濃度トリチウムおよび低線量放射線の生物影響解明に向けた新たな試み
<b>環境トリチウム研究: データベース構築、 環境モデリング研究</b>	杉原真司	九州大学	植物有機結合型トリチウム(OBT)を組み込んだ環境トリチウム移行挙動モデル
	上田晃	富山大学	東濃地域の地下水・降水モニタリング
	古川雅英	琉球大学	沖縄諸島の降水・陸水の地球化学的特徴
<b>環境放射線・放射能 研究</b>	横山須美	藤田保衛大	長期的環境モニタリングにおける土岐地区のバックグラウンド放射線の変動要因の解明
	細田正洋	弘前大学	岐阜県東濃地域における自然放射線・放射能の実態調査
	飯本武志	東京大学	放射線施設の放射線環境影響評価に関する安全戦略に関する研究

### 核融合燃料システム開発に関する取り組み[赤字はトリチウム取扱施設を有する大学機関]

<b>燃料循環システム: 気体状/液体状水素 同位体分離研究、燃 料精製研究</b>	杉山貴彦	<b>名古屋大学</b>	原型炉燃料サイクルを目指した水素同位体分離技術の開発
	奥野健二	<b>静岡大学</b>	ヘリカル原型炉システム設計をめざしたトリチウム輸送ダイナミックスの解明
	古藤健司	九州大学	多塔式圧カスイング吸着法水素同位体分離装置の性能検証
	松本広重	九州大学	プロトン伝導性酸化物を用いた水素同位体分離
	田口明	<b>富山大学</b>	多孔質ポリマー担持白金触媒の合成と特性評価
<b>安全取扱研究</b>	江角直道	長野工専	マイクロ波大気圧プラズマによる炭化水素の燃焼
<b>トリチウム計量研究: 液体状/気体状トリチ ウム計測</b>	古田悦子	お茶の水大学	プラスチックシンチレータを用いた新型トリチウム水モニターの開発
	河野孝央	NIFS	立ち上がり時間弁別法を用いた高感度トリチウムガスモニターの性能評価
<b>リチウム6分離濃縮</b>	鈴木達也	長岡技科大	イオン交換によるリチウム同位体分別効果の発現と同位体分離への応用

# 核融合炉材料開発と規格・基準策定

稼働率と保守性

重照射領域での健全性実証

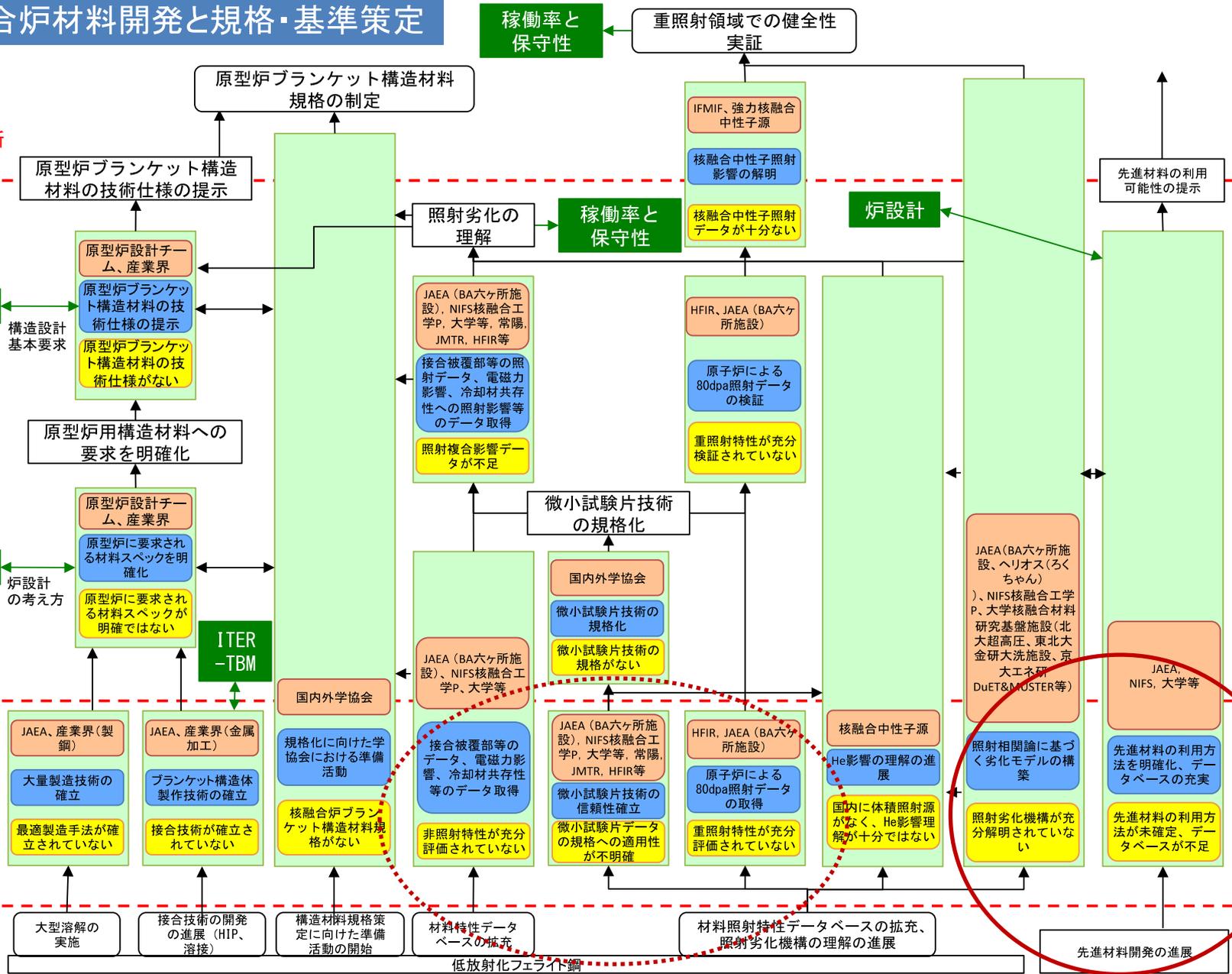
移行判断 (2027)

炉設計

炉設計

中間C&R (2020)

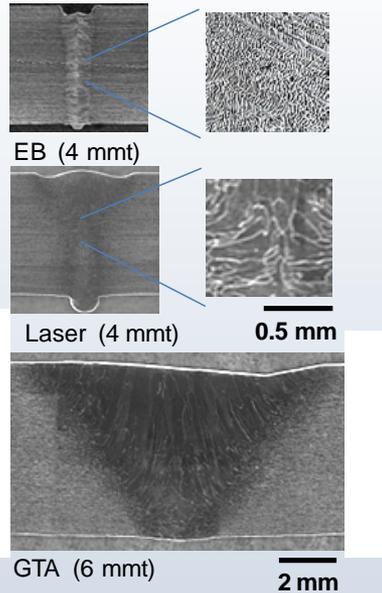
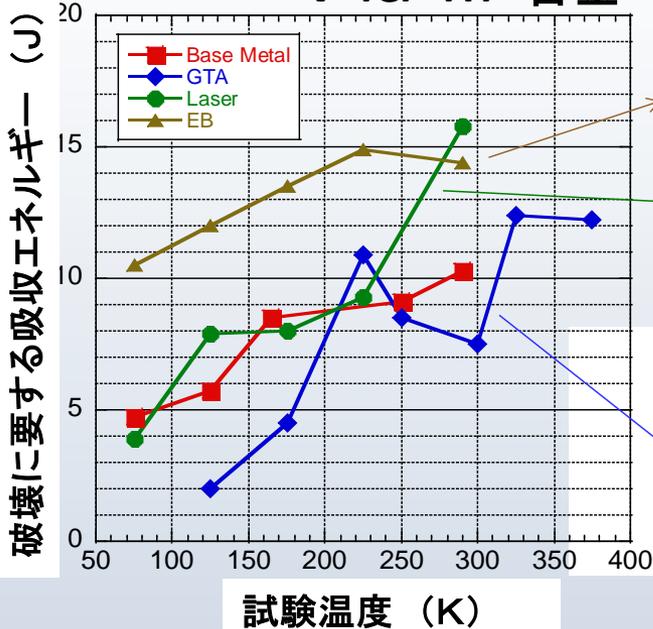
H17推進方策以降の進捗



### ブランケット構造材としての低放射化バナジウム合金

#### 接合技術の高度化

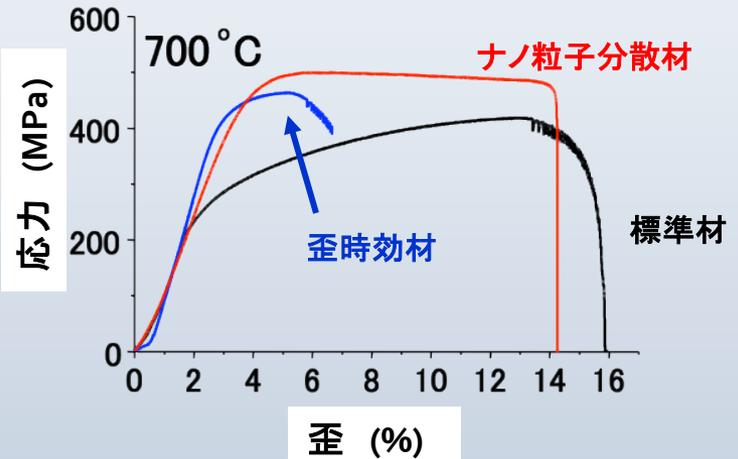
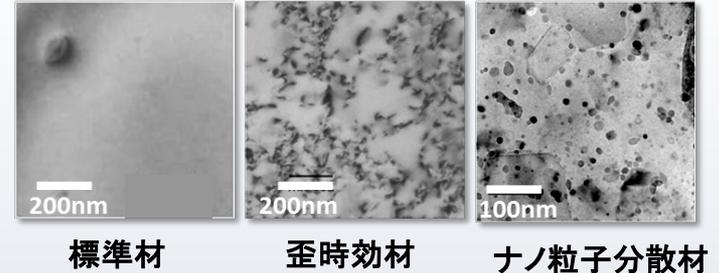
#### V-4Cr-4Ti 合金



GTA: アーク溶接  
Laser: レーザー溶接  
EB: 電子ビーム溶接

#### 組織制御による高温強度の改善

#### V-4Cr-4Ti 合金

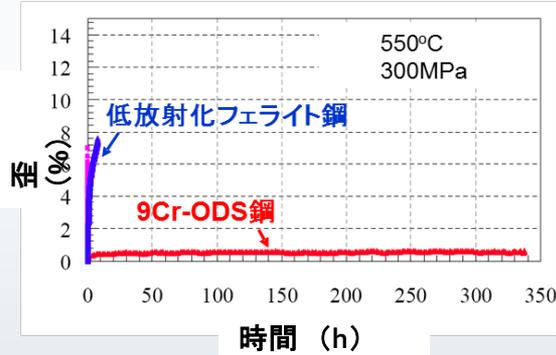


- ◆ 3種類の溶接技術を確立
- ◆ 種々のブランケット構造要素に適用可能
- ◆ 電子ビーム溶接が破壊強度の高いことを実証 (緻密な接合部組織を形成)

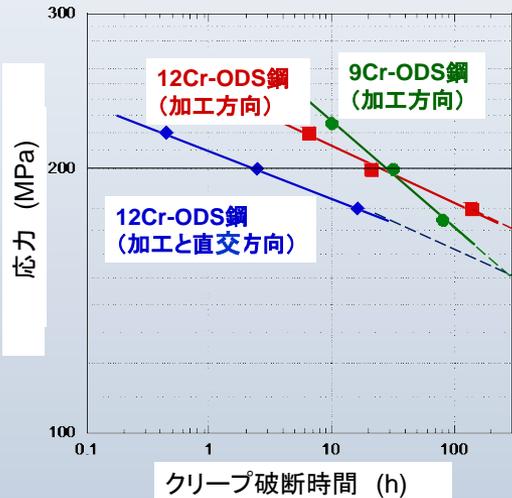
- ◆ 歪時効により高温強度が上昇
- ◆ ナノ粒子分散により、さらに延性が向上
- ◆ ブランケットの高温使用の見通しを得た

### 低放射化フェライト鋼の強化材としての 9Cr, 12Cr 酸化物分散強化鋼 (ODS鋼)

#### クリープ強度の比較



低放射化フェライト鋼に比べ、ODS鋼はクリープ変形はるかに小さい



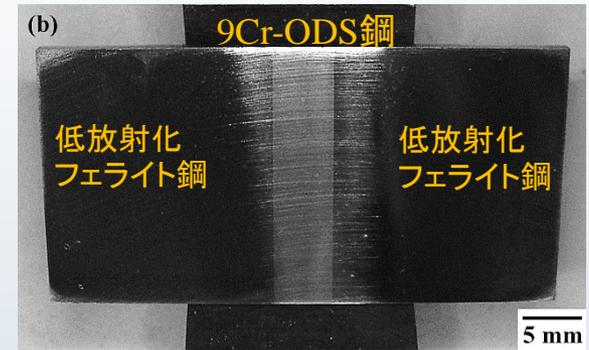
ブランケット設計領域では、12Crのほうが、9Crより優れる

(予測)

設計領域  
(10,000h 以上)

ODS鋼の併用により、高温クリープ強度の大幅な改善が見込まれる

#### 接合技術の開発

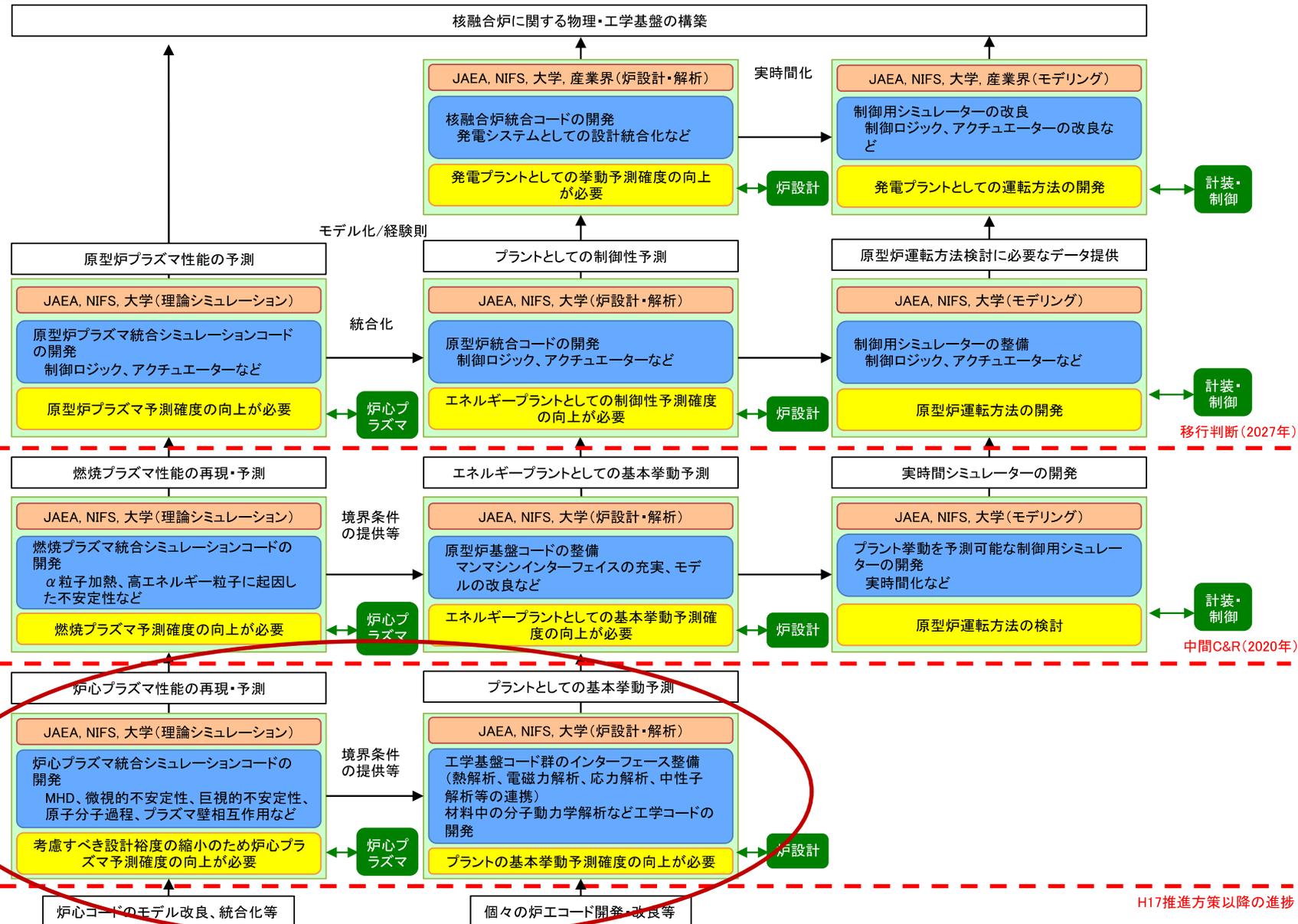


低放射化フェライト鋼と9Cr-ODS鋼のHIP接合

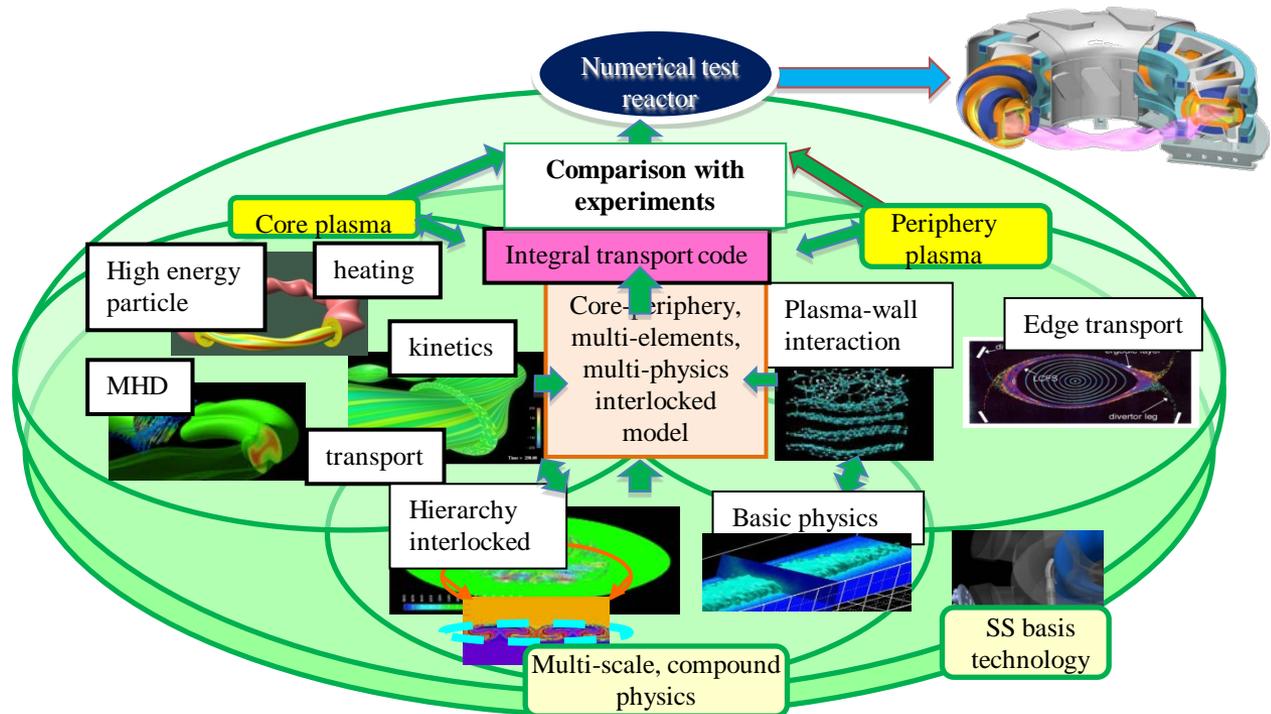
300MPa 以上の良好な接合強度を確認

低放射化フェライト鋼とODS鋼を接合したブランケット製作の見通しを得た

# 理論・計算機シミュレーション研究



# 数値実験炉研究プロジェクト (Numerical Simulation Reactor Research Project)



- 目標：  
大規模シミュレーション研究を通じて、核融合プラズマ閉じ込めの**物理機構解明とその体系化**を行うと共に、理論と実験との協調の下、予測性を有するシミュレーションコード体系、**ヘリカル型の数値実験炉**の構築を目指す。

# Roadmap for NSRP

2<sup>nd</sup> mid-term

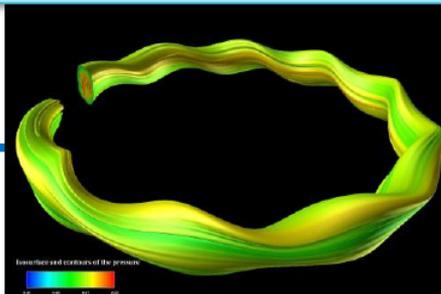
3<sup>rd</sup> mid-term

2010

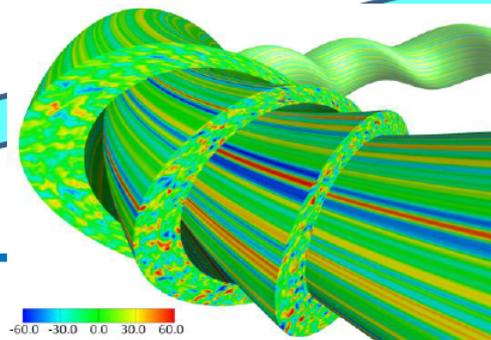
2016

2021

**Elucidation of physics elements covering fusion plasmas by means of numerical simulation** ( MHD equilibrium and stability, core transport, turbulence, energetic particle, heating, periphery plasma, plasma-material interaction)



**Integration of all physics elements by developing and applying multi-scale, multi-physics, and multi-layer models to burning plasmas**



**Construction of numerical test reactor to contribute the design of a helical DEMO reactor**

