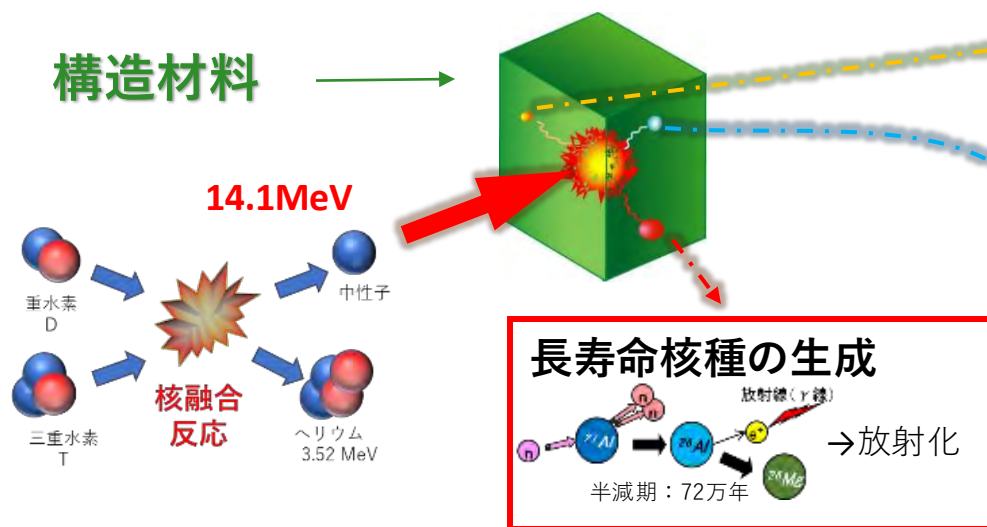


# DONES計画への参画と日本における核融合中性子源

## S8-2 DONES計画の現状と日本の参画

QST六ヶ所フュージョンエネルギー研究所  
核融合炉材料研究開発部  
春日井敦



**弾き出し損傷**

→ 固く・脆くなる

固くなって、伸びなくなる

脆く、割れやすくなる

ビリヤードのように原子が弾きだされて傷が入る

**原子炉ではなく核融合炉で顕著となる現象**

**核変換生成ガス元素** → より膨らむ・脆くなる

膨らむ (スウェリング)

へリウムや水素が材料中で発生する

✓ このような現象を完全に封じ込めることは極めて困難

**炉内実環境下(核融合中性子照射下)における材料の寿命を明らかにする必要がある**

何れにせよ、使用中の特性変化は免れない  
 → 特性変化量を把握するとともに、変化を前提とした構造健全性と寿命を保証する設計技術開発が必要

- **高速中性子に耐えられる材料開発・検証** → 日本で開発した低放射化フェライト鋼の耐久試験
- **核融合炉の建設前に中性子を作る** → 加速器を使った中性子源

# D-Li中性子源（IFMIFタイプ）の必要性

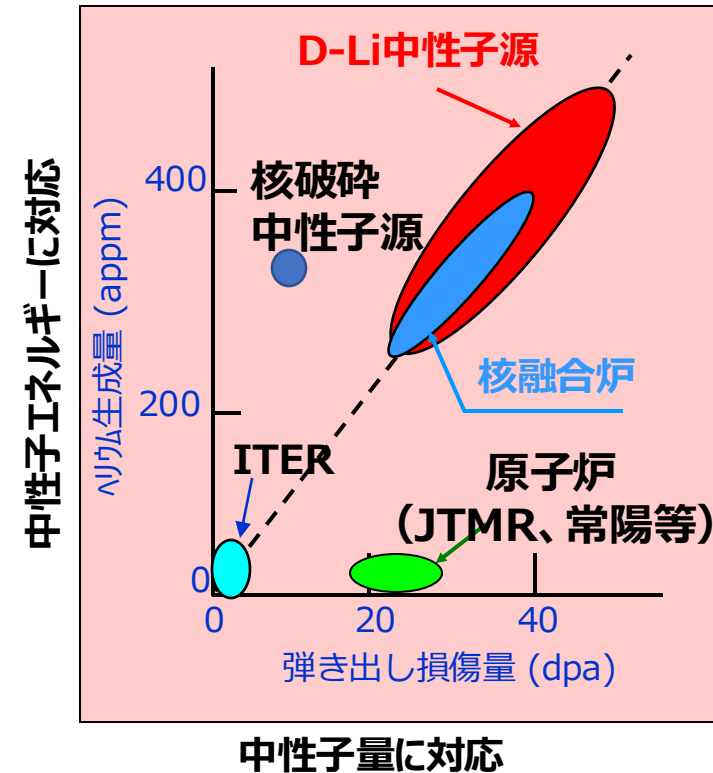
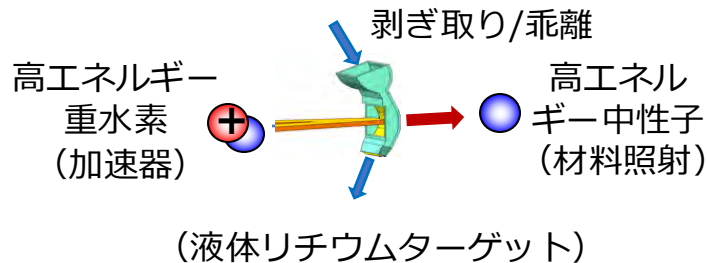
核融合炉では、14MeVという高エネルギー中性子が発生し、材料にダメージを与える可能性がある。核融合原型炉の建設には、核融合反応で発生する同じエネルギーと同じ量の中性子を材料に当てて、材料特性の健全性検証が不可欠。

核融合炉は、核分裂炉よりも発生する中性子エネルギー（14MeV）が高く、材料中のヘリウム生成量が多い。

原子炉……発生する中性子のエネルギーが低い  
既存の中性子源……パルスのため発生する中性子の量が少ない



大電流重水素ビームを液体リチウムに当て、核融合反応と同程度の高エネルギー中性子を連続的に大量に生成できる新しいタイプの核融合中性子源

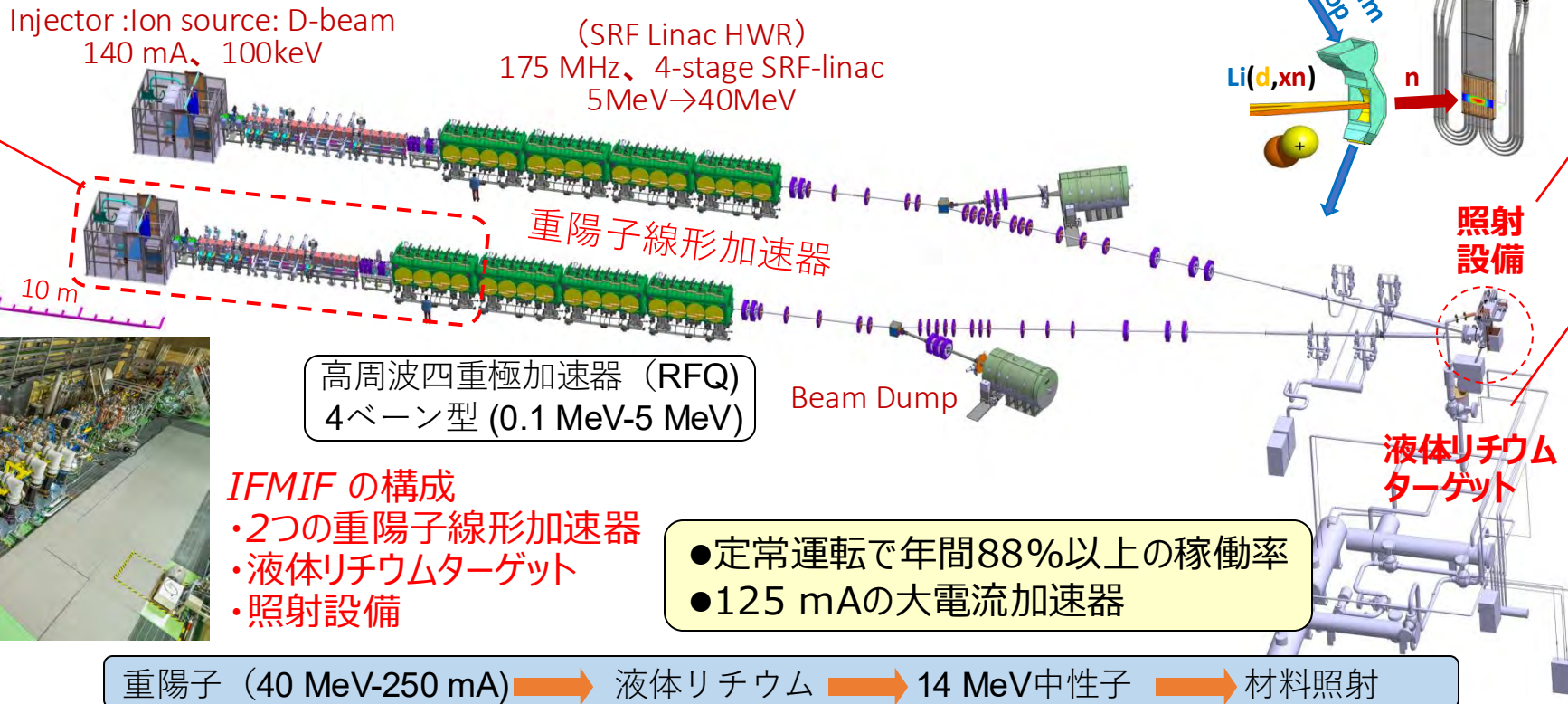
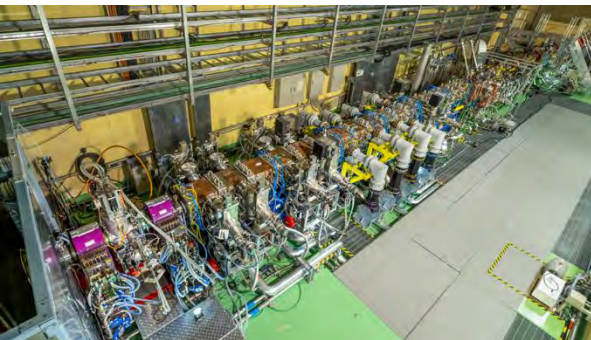


## IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility)

加速器駆動型中性子源  $\text{Li}(d,n)$  反応による中性子材料照射の研究開発、核融合炉の運転に必要な安全性、材料、施設の許認可等に用いる

BA活動の下、  
六ヶ所研で実施中

加速器の低エネルギー部と初段のSRFを工学実証 (LIPAc)



### IFMIF の構成

- ・2つの重陽子線形加速器
- ・液体リチウムターゲット
- ・照射設備

- 定常運転で年間88%以上の稼働率
- 125 mAの大電流加速器

BA活動の下、大学等との共同研究を中心に実施済み

BA活動の下、大洗で実施済み一部、六ヶ所で継続

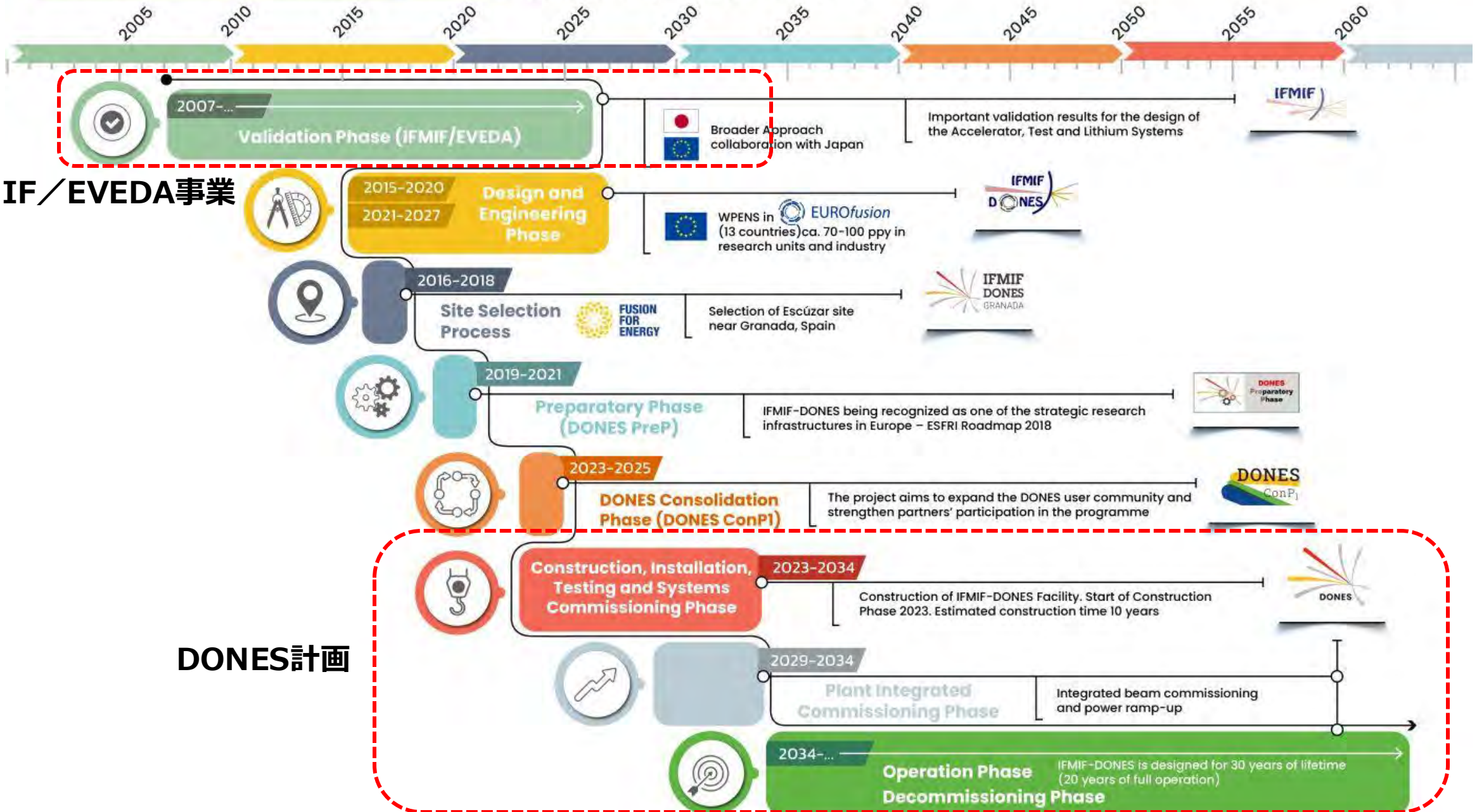
実規模の液体リチウムループで流動性能を工学実証 (ELTL)



- 日欧はIFMIF/EVEDAの知見をベースに、それぞれ独立に加速器を1ラインにした中性子照射施設を検討
- 日本は、核融合中性子源A-FNSのR&Dと設計活動を実施し、2020年に概念設計書が完成
- 欧州は、DONESの概念設計を2018年に完成させ、スペインを始めとした欧州10カ国でDONES-Prep (準備活動) を実施し、組織体制や法的問題を検討。

# DONES Programme Phases

The objective of the DONES Programme is not only for building the IFMIF Facility... but also to operate and to exploit it!!



IFMIF/EVEDA事業

DONES計画

# DONES(核融合中性子源)計画の概要

フュージョンエネルギーの早期実現を目指し、日欧のBA(幅広いアプローチ)活動の実績※を踏まえた、欧州の核融合中性子源(DONES: Demo Oriented NEutron Source)計画。核融合炉等の構造材料の開発に必要な中性子照射試験を実施する。※国際核融合材料照射施設に関する工学実証・工学設計活動(IFMIF/EVEDA)

## ●概要

- IFMIF/EVEDAを基にしたスペイン・クロアチアの核融合中性子源計画。
- 建設予算総額7億ユーロ。建設費のうち、スペイン50%、クロアチア5%、欧州25%程度(予定)を負担。
- 照射キャパシティは、建設費及び運転費の貢献に応じて決定。

## ●経緯

- |             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| 2018年       | 概念設計報告書が完成                    |
| 2019年～2021年 | 欧州10カ国による準備会合(日本はオブザーバーとして参加) |
| 2023年3月     | DONES運営委員会(SC)が発足             |

## ●参加極

スペイン、クロアチア

※その他、日本、欧州、イタリア、ドイツ、フランス等18カ国がオブザーバー

## ●建設地

スペイン(グラナダ)

## ●スケジュール

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| ・2022～2033年：建設期 | ・2034～2053年：運用期 |
|-----------------|-----------------|



EU 原型炉で使用される材料認可等のために必要な核融合中性子場を模擬できる中性子照射施設

IFMIFへのアップグレードも想定

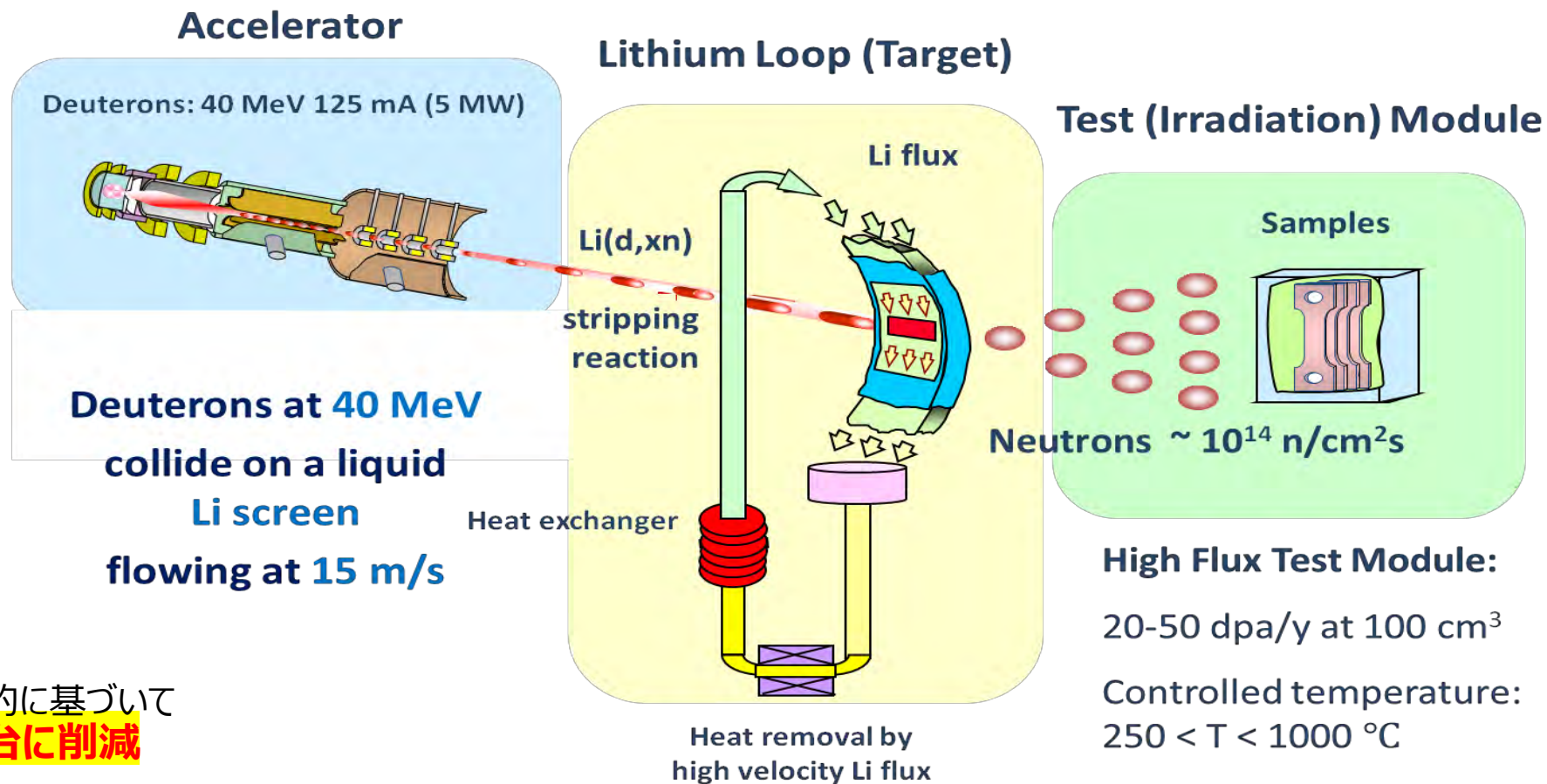
- EU原型炉のロードマップにおいて最優先事項に位置付け
- EUの戦略目標として欧州研究インフラ戦略フォーラム (ESFRI) のロードマップに含まれる 施設

- BA活動のIFMIF/EVEDA事業の成果をベースに設計
- 2014年のEUロードマップにおいて、DEMOの要件はより小型の中性子源で満たすことができると結論づけ、IFMIFから仕様を簡素化

## IFMIF-DONESの主な技術的特徴

IFMIFの中間工学設計とコスト削減の目的に基づいて

- フルエネルギー (40 MeV) **加速器1台に削減**
- フルサイズのIFMIFテストセル：
- フルサイズのIFMIFリチウムループ：
- 使用する照射モジュールの数を削減：**トリチウムのオンライン測定が不要、配管・ケーブル類が大幅に簡素化。=> 高フラックスモジュールのみ**
- 施設内での照射済み物質 (モジュール、ターゲットなど) の取り扱いを最小限にする：**照射済み試験片は外部施設に移送する=> PIE無し**
- 核融合以外の、科学研究や産業応用利用も検討 (原子核実験、重陽子実験、RI製造等)



## 国際的な議論

- ✓ 2022年4月28日に開催されたBA運営委員会において、欧州代表団長であるガリバ副総局長から、欧州におけるDONESの議論の進捗が説明されるとともに、日本の参加への期待が表明された。
- ✓ 2022年12月15日に、イタリア・パドバで開催されたBA運営委員会のマージンにおいて、第1回DONES会合が開催され、日本はDONES計画に関心を示し、2023年初めに設立されるDONES運営委員会（SC）にオブザーバーとして参加する意向を表明した。DONES会合は、スペイン、クロアチア、EU及び日本による共同作業部会（JWG）を設置し、DONES計画への日本の参加可能性を検討することに合意した。JWGには技術サブグループと法務サブグループを設置して具体的に議論。
- ✓ その後、5回のDONES会合を経て、2025年4月に日本の参画シナリオについて合意。

## 国内の議論

文科省 第34回核融合科学技術委員会（2023年7月24日） 資料6（文科省資料）

### 核融合中性子照射試験

核融合中性子源（A-FNS）による原型炉ブランケットの構成要素やコンポーネントの核融合中性子照射試験を行い、それぞれの機能を検証する。また、A-FNSによる核融合中性子照射試験を開始するまでは、**欧州が計画する核融合中性子源（DONES）に参画してデータを取得することも想定する。**

➡ **DONES計画の進展も踏まえ、核融合中性子源についても、アクションプランの各課題の推進策とともに原型炉戦略タスクフォースで検討する。**

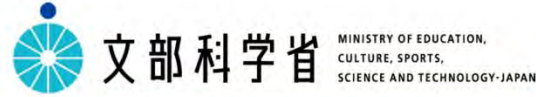
DONESの進捗を踏まえ、DONESを用いた照射データ取得に関して検討

2025年2月に開催された第41回核融合科学技術委員会において、DONESによる照射データ取得シナリオを紹介

# 政府として正式にDONES計画への参加を表明

## ● 2025年5月7日に文科省から報道発表

### 報道発表



令和7年5月7日

フュージョンエネルギーの早期実現を目指し、  
欧州の核融合中性子源 (DONES) 計画に参画します

フュージョンエネルギーの早期実現を目指し、スペインのグラナダで建設中の  
欧州の核融合中性子源 (DONES) 計画に参画します。

参画に向けた協力覚書 (MoC) について、日本側署名 (大阪・関西万博にて5月  
12日に行われ、野中文部科学副大臣が署名予定) 及びスペイン側署名 (グラナダに  
て5月19日に行われ、スペイン科学・イノベーション・大学省モラン大臣が署名  
予定) の後、日本の参画が正式に決定します。

(同時配布: 青森県政記者会、三沢記者会、茨城県政記者クラブ)

(1) 2025年5月12日に  
大阪万博スペインパビリオンにて日本側・  
野中文科副大臣が協力覚書に署名



(2) 2025年5月19日に  
グラナダにてスペイン側・モラン スペイン  
科学技術大臣が協力覚書に署名



## 枠組みと貢献

- 日・スペイン科学技術協力協定(2010年9月署名)における「日本・文部科学省とスペイン科学・イノベーション・大学省との間の  
DONES計画の共同開発に関する協力覚書」
- 日本は建設費の5%程度を負担予定。

## 文科副大臣の挨拶

- 近く改定される予定のフュージョンエネルギーイノベーション戦略のもと、新たに始めるプロジェクトがこのDONES計画となる。
- 関係各国と連携し、ITER、BA、DONESを推進していく。

## 文科省審議官の挨拶

- フュージョン・イノベーション戦略改定においては、新たな取り組みの一つとして国際連携を強化していく計画である。
- 我が国としては、スペイン、クロアチアおよび関係国とも密に連携し、新たな国家戦略の下、DONES計画を着実に推進していきたい。

# 多国間国際DONES協定（MIDA）に実施機関が署名

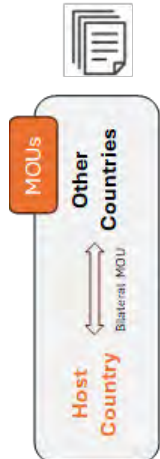
## DONESの国際枠組み

- 政府間の協定は、日・スペイン科学技術協力協定の下での研究覚書（他国も同様でスペイン政府とのバイのMoU）
- DONESの法的枠組みが堅牢ではないため、マルチの協定として位置付けることとした。
- 約半年の間で内容と条件を関係機関で調整。
- 各国の実施機関（DONES Espana、RBI、QST、F4E、INFN）で、マルチの国際協定を締結。



### スペインとの協定

#### 1st Layer



日本国政府  
(文科省)  
大臣署名  
MoC

#### 2nd Layer



QST  
理事長署名

### 実施機関間多国間協力



QST : 具体的な取り決め

2025年11月21日に  
スペイン・マドリードのスペイン政府庁舎  
内で日本側・小安QST理事長が国際  
DONES協定に署名  
文科省や駐スペイン日本大使等も同席



完成したDONESサイト管理研究棟

- 統合プログラムチーム（PT）は約60名に拡大（esDONES, F4Eからの派遣）今後100名以上を目指す
- 欧州域内でEUROfusionを中心に実施されていた活動はDONESに引き継がれた。
- 管理研究棟は4月末に完成し、本体棟工事の起工式が5月19日に実施された。



DONESサイト全景・遠くにはシエラネバダ山脈が見える



グラナダ大学とCIEMATによる  
DONES研究・R&D棟

5月19日に開催されたDONES起工式  
(スペイン副首相、科学イノベ大臣、駐スペイン日本大使、地元自治体知事等による)



- 文科省核融合科学技術委員会原型炉開発総合戦略タスクフォースにおいて示されたアクションプランにおける従来のA-FNSのみを用いた計画では、2043年から照射試験開始とされており、「ITERサイズ原型炉」の工程には材料照射試験が間に合わなくなった。
- そこで、DONES計画に参画することにより、「ITERサイズ原型炉」の発電実証までに14MeV中性子照射試験を実施し、運転認可を得ようとするものである。

## ●技術目標

### ①十分な強度と照射量の中性子源

核融合炉内の環境を模擬した十分な強度と照射量の中性子源を提供すること（40MeV-125mAの大電流ビームにより、高エネルギー(14MeV)中性子を生成）

### ②材料照射試験データ

核融合炉等の設計・許認可・建設・安全運転のための材料照射試験データを獲得すること（構造材料開発に必要な10dpa※以上の中性子照射量による材料照射試験を実施）

※displacements per atomの略。物質を構成する原子がどれだけ弾き出され損傷するかを表す単位。

# DONESの照射キャプセルの試験片の内訳と照射スケジュール

キャプセル容器

曲げ靱性試験片

引張試験片 (微小平板)

5種類のF82Hの試験片  
 (母材と溶接部、総試験片数 72個)  
 温度条件 300、400、500°C  
 照射量 10dpa、20dpa  
 照射後試験 (PIE) は日本で実施予定

日本が使用を要求しているキャプセルは、  
 年間8.4dpaの照射が可能。  
 DONES全照射能力の8.1%に該当。

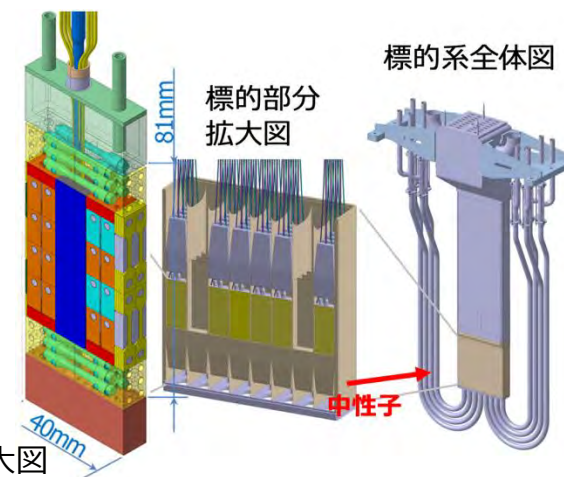
c1r1	c2r1	c3r1	c4r1	c5r1	c6r1	c7r1	c8r1
c1r2	c2r2	c3r2	c4r2	c5r2	c6r2	c7r2	c8r2
c1r3	c2r3	c3r3	c4r3	c5r3	c6r3	c7r3	c8r3
c1r4	c2r4	c3r4	c4r4	c5r4	c6r4	c7r4	c8r4

DONESの照射キャプセルの配置

疲労試験片

疲労き裂進展試験片

破壊靱性試験片

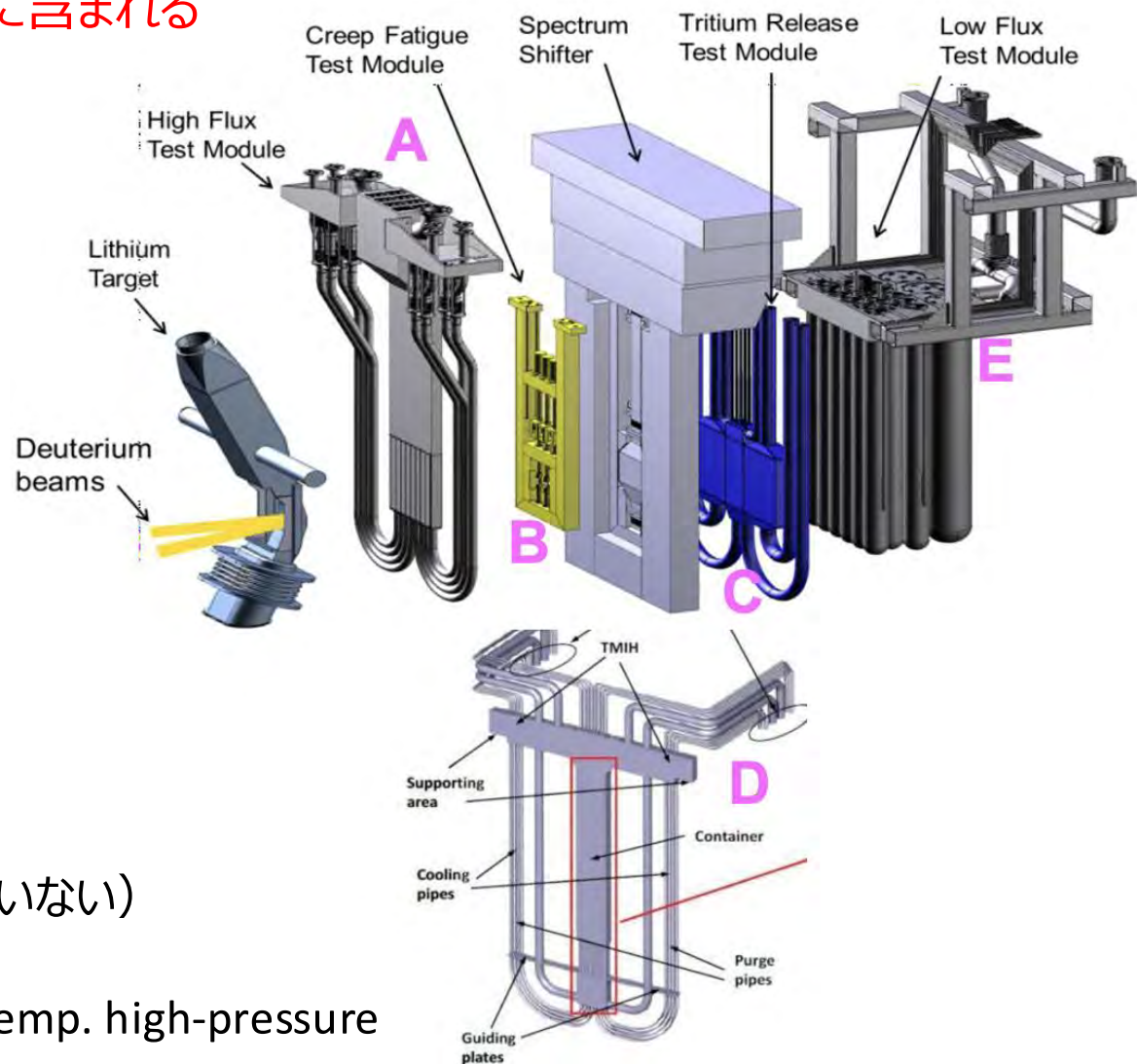


照射キャプセルの拡大図



# DONES活用における問題点 (ベースラインに含まれないもの)

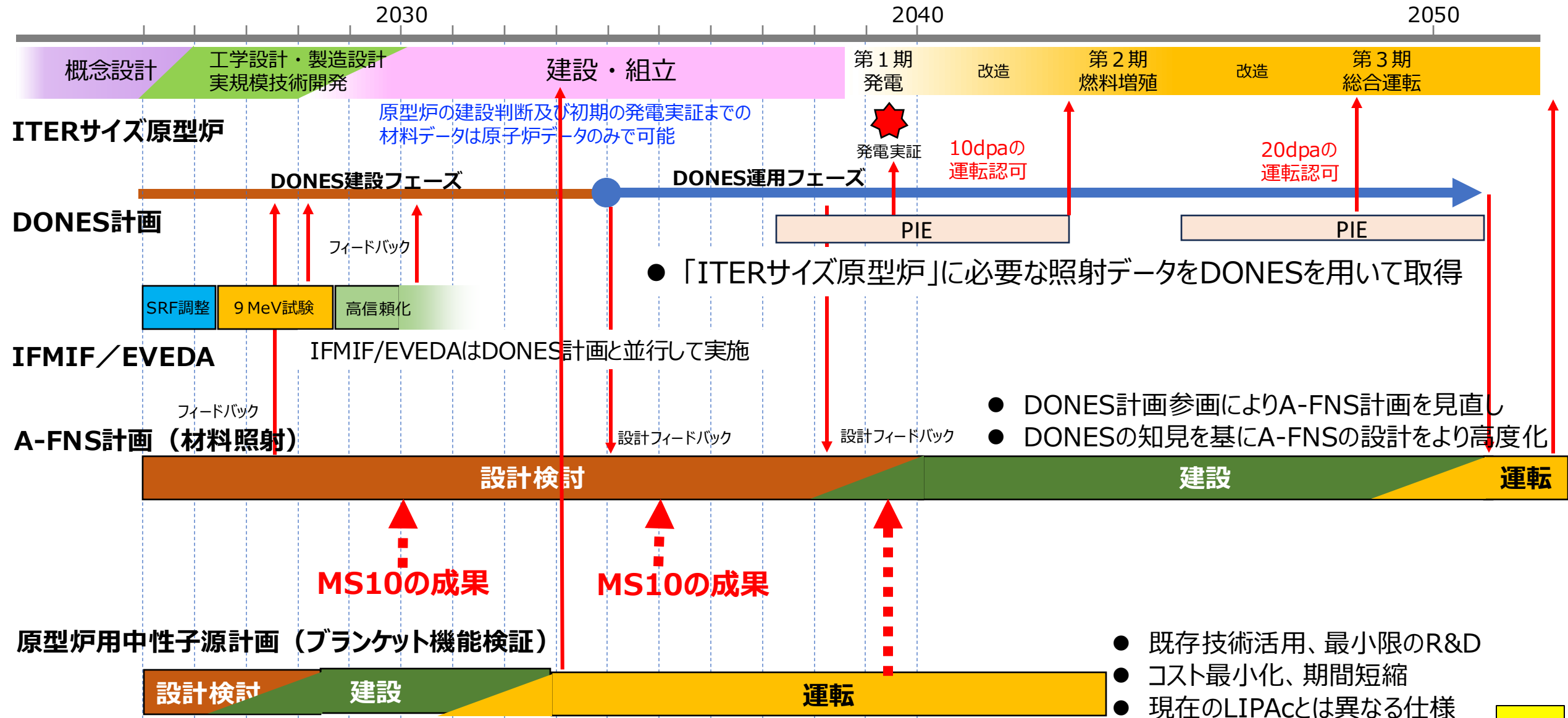
- **High Flux Test Modules (HFTM; A)** ←これだけがベースラインに含まれる
- **Creep Fatigue Test Module (CFTM; B)**
- Model Blanket Module (MBM)
- In-situ Ceramic Breeder Irradiation Module (ICBIM; C) for:
  - ❑ Ceramic Breeder materials (300 - 1000 °C)
- Liquid Breeder Validation Module (LBVM; D) for:
  - ❑ Liquid breeder materials
- Test Module for superconductors irradiated at cryogenic temperature
- Low Flux Test module (LFTM; E)
- **PIEもDONESには含まれていない**  
→日本の試験片は六ヶ所でPIEを行う計画



## QSTとして必要とする試験

- Divertor materials irradiation (HFTMでできるが確保されていない)
- In-situ creep-fatigue testing
- Activated corrosion products (ACP) evaluation under high-temp. high-pressure water (DONESでは高温高圧水は想定していない)
- Tritium breeding experiments (日本のTBMのサブモジュール体系試験は困難)

# DONES計画を含めた中性子源計画



- DONES計画に正式に参画し、DONES運営委員会のメンバーとして承認された。
- 協力覚書（MoC）に署名し、日本が得る照射能力と貢献を定めた。
- 「国内実施機関」としてQSTが指定され、多国間国際DONES協定にQSTが署名。今後スペインの実施機関とQST間の具体的な実施取決に向けて調整を進める。（現金貢献、人的貢献）
- DONES計画に参画することで、「ITERサイズ原型炉」にのF82Hの中性子照射20dpaまで行う。しかし、試験片や使えるキャプセルには制限があり、最小限の試験しかできない。
- 一方、国内における材料照射用中性子源A-FNS計画については、建設時期は後ろ送りされるものの、設計活動を継続し、DONESを支援するとともに、第3期以降の照射試験や商業炉の先進材照射を行う。
- 当面は材料照射はDONESに特化し、ブランケット機能検証は六ヶ所研に計画する原型炉用中性子源を用いて早期に試験を開始する計画。（詳細は、S8-3「QSTにおける核融合中性子源の検討」）