

# 国として強力に推進する共通的に必要な要素技術の具体的内容及び国研等が取り組むべき具体的内容について (原型炉開発の取扱を含む)

---



内 閣 府

科学技術・イノベーション推進事務局



## 本日は議論いただきたい点

- フュージョンエネルギーの実現に向けて各国の開発競争が激化しているが、その実現に必須である重要な要素技術のいくつかにおいて、どの国も解決できていない技術課題が未だ複数存在。
- こうした技術課題を先行して解決した国が、世界のフュージョンエネルギーをリードすると考えられ、当面の政策の柱の一つとして、「共通的に必要な要素技術の開発を国が中心となって推進する」、とされたところ。
- 本日は、その進め方について、以下を中心にご議論いただきたい。
  - 国として強力に推進する共通的に必要な要素技術開発の具体的内容及びその推進体制
  - 国研等が取り組むべき具体的内容（原型炉開発の在り方を含む）

# 【参考】官民投資ロードマップにおける要素技術開発に関する記述

官民投資ロードマップ（フュージョンエネルギー分野）2026年7月21日 日本成長戦略本部決定（抄）

## 3. 官民投資促進に向けた課題と政策パッケージ【政策手段】

### (1)投資促進に向けた課題

＜必要な要素技術の確立に向けた研究開発フェーズ（今後5年間程度）＞

#### ○不確実性の要因

- ・技術開発の不確実性が最大の課題  
（プラズマ制御、炉材料、燃料サイクル、信頼性・保守性など、必要な要素技術の多くが未確立）
- ・多額の研究開発費を要する上に、現時点ではリターンの見通しを得ることは困難
- ・トリチウムの扱いなど、民間企業では研究開発が困難な課題も存在

### (2)講じるべき政策パッケージ

- ・ **フュージョンエネルギー実現に必要な要素技術の研究開発を国が中心となって強力に推進する**とともに、実現可能性があると考えられるフュージョン発電システムの技術開発を広く支援（QSTが中心となって進める実績のある方法で実現を目指す技術開発、スタートアップ等が進める様々な野心的な発電システムの実現に向けた技術開発、**共通的に必要な要素技術の開発(※)・確立・基盤整備**）

※要素技術の開発については、フュージョンエネルギーの実現に必要なだがどの国も解決できていない技術課題を我が国が先行して解決し、技術の不確実性を低減するとともに、優位性を確保。

# フュージョンエネルギーの実現に向けて解決すべき主な技術課題（要素技術）

- フュージョンエネルギーの実現に向けて、主に以下の要素技術について、まだ解決すべき技術課題が残されている。
- これらの技術課題を世界に先駆けて解決できるよう、国立研究機関が中心となって、強力に研究開発を推進することが必要ではないか。

## フュージョンエネルギーの実現に向けて解決すべき主な技術課題（要素技術）

### ①燃料サイクル技術

トカマク

ヘリカル

レーザー

トリチウム増殖、分離回収などを効率的に行う必要があるが、どの国も開発段階。特に、トリチウム増殖比を1より大きくするためには、トリチウム透過防止技術の開発、増殖機能材の性能向上、発電に必要な熱の取り出しを考慮したブランケット開発などが必要であり、技術的要求が高い（※十分な中性子遮蔽を維持しつつブランケット面積を最大化するには、とりわけインボード側では概ね1.3m以上ものブランケット厚が必要）。また、トリチウムの輸送・保管技術の開発も必要。

### ②炉材料技術

トカマク

ヘリカル

レーザー

フュージョン反応に伴い発生する高エネルギーの中性子は、材料中に弾き出し損傷を生じさせるとともに、材料中の元素が別の元素へ変換されることによってヘリウムや水素を生成する。これらに起因する脆化、体積膨張等に耐えるブランケット構造材料の寿命評価技術の確立が必要。また、強烈な熱流束に耐えうるプラズマ対向材料の開発も必要となる。

### ③遠隔保守技術

トカマク

ヘリカル

レーザー

ブランケットやダイバータ等は熱や中性子によりダメージを受けるので定期的な交換が必要。一方で、高エネルギーの中性子照射による放射化によって、炉心部だけでなくホットセル部も人が立ち入れない高放射線量環境となるため遠隔機器による保守が必要。

### ④高効率プラズマ加熱装置

トカマク

ヘリカル

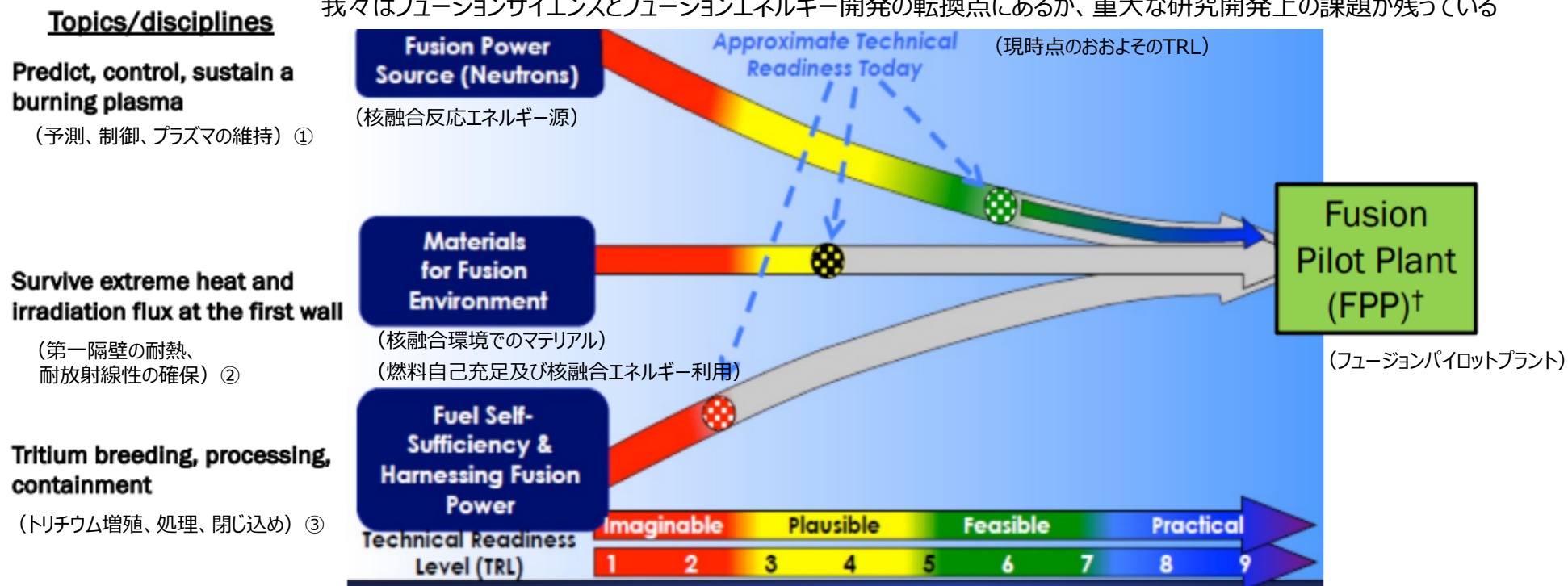
中性粒子入射加熱装置及び高周波加熱装置ともに、更なる電力効率化及び高出力化が必要。

## 【参考】 米国エネルギー省によるTRLの現状認識

- ✓ 比較的①プラズマ関連技術は研究開発が進んでいるが、②炉材料や③トリチウム取扱・増殖等の燃料サイクルについては、技術成熟度は国際的にも非常に低い状況であり、フュージョンエネルギーの実現のためにはこれらを引き上げる必要がある。

### We are at an inflection point between fusion science and fusion-energy development, but significant R&D challenges still remain

我々はフュージョンサイエンスとフュージョンエネルギー開発の転換点にあるが、重大な研究開発上の課題が残っている



5 <sup>†</sup>As defined in the 2021 NASEM report [Bringing Fusion to the U.S. Grid](#), i.e., >50 MWe net electricity for >3 continuous hours with timely path to 1 full-power year; on the path to commercial viability.  
Figure adapted from presentation by M. Wade at APS-DPP [community planning workshop](#) (2019).



U.S. DEPARTMENT OF  
**ENERGY**

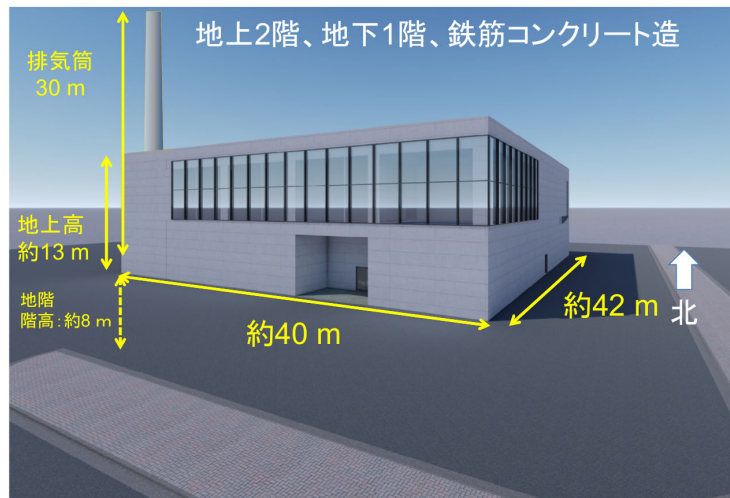
Office of the  
UNDER SECRETARY  
FOR SCIENCE & INNOVATION



# 要素技術の研究開発を推進する体制について

- 前述した要素技術の研究開発を強力に推進するにあたっては、QSTが中核的な実施機関となり、産学官のオールジャパンの体制で実施することが適当ではないか。
- また、こうした研究開発を迅速かつ強力に進めるため、燃料システム安全試験施設などの必要な施設・設備を、これまで進めてきているフュージョンイノベーション拠点の整備とも連動しつつ、速やかにQSTに整備すべきではないか。
- こうした取組を進めることにより、将来的には、QSTが我が国のフュージョンエネルギー関連技術のプラットフォームとしての役割を果たしていくべきではないか。

燃料システム安全試験施設のイメージ  
(概念設計段階)



燃料システム安全試験施設の部屋構成

- 9 -

| 1 階   |                      | 2 階   |                                |
|-------|----------------------|-------|--------------------------------|
| 区域種別* | 室 名 称                | 区域種別* | 室 名 称                          |
| 非管理   | 一般エリア(風除室、ロビー、トイレ他)  | 非管理   | 居室Ⅰ～Ⅲ                          |
|       | 中央制御室                |       | 産学連携協力室                        |
|       | 空調機械室                |       | コールド実験室(兼工作室)                  |
|       | 電気室                  |       | 仮眠室、更衣室、会議室、トイレ他               |
| 管理    | 入退域管理室               | 管理    | ホット実験室Ⅱ、Ⅲ<br>(少量トリチウム取扱用フード設置) |
|       | 放射線モニター室             | 地階    | 管理                             |
|       | 廃棄物保管室               |       | ホット実験室Ⅳ(実験装置設置)                |
|       | 排気設備室                |       | ホット実験室Ⅴ(排液タンク、トリチウム水処理設備)      |
|       | 特殊機器室(ヘリウム冷凍機、無停電源等) |       | ホット実験室Ⅵ(多核種使用可)                |
|       | ホット実験室Ⅰ(多核種取扱可)      |       |                                |
|       | 操作室Ⅰ**(大量トリチウム取扱室)   |       |                                |
|       | 操作室Ⅱ**(安全設備室)        |       |                                |
|       |                      |       |                                |

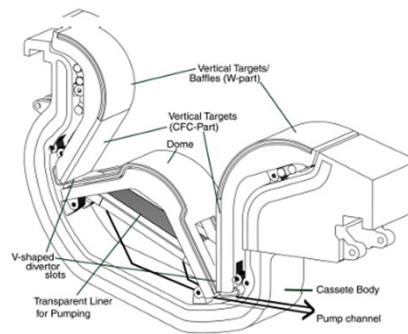
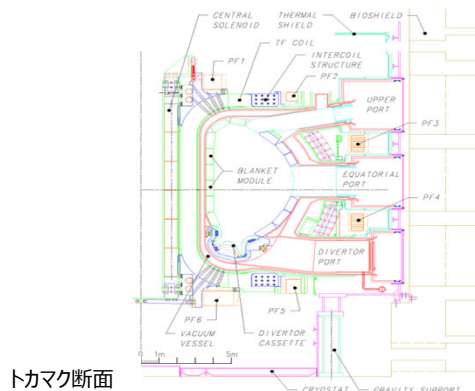
\*非放射線管理区域と放射線管理区域の種別分け  
\*\*操作室Ⅰ及びⅡは1階から2階まで吹抜け構造  
操作室Ⅰトリチウム取扱量：～36 PBq (約100g)

# 要素技術開発の進め方について

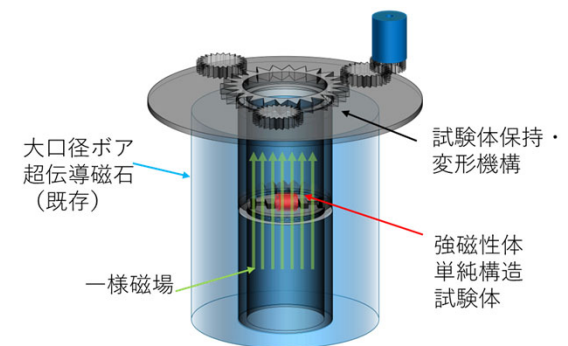
- 前述した要素技術の研究開発を進めるにあたっては、実用プラントに適用できるものを開発することが重要であり、実際の大きさ及び材料で製作可能か、高温・高圧・高放射線・高電磁力といった極限環境下で機能するか等を確認することが重要（いわゆる実規模技術開発が必要）。
- こうしたことから、QSTにおける要素技術の研究開発については、こうした実規模技術開発ができるよう、十分な予算的な手当てが必要。
  - ✓ 例えば、QSTの原型炉構想（Q-DEMO）への適用を念頭に技術開発を進めることにより、実用プラントに適用できるものを開発してはどうか。
- なお、要素技術の研究開発の詳細については、文部科学省の核融合科学技術委員会において技術開発戦略を策定し、それに基づいて推進することが適当ではないか。

## 工学設計・実規模技術開発

概念設計で求めた寸法が図面上でも成立するか、実際の大きさおよび材料で製作可能か、高温・高圧・高放射線・高電磁力といった極限環境下で機能するかを確認



ITER建設前の工学設計  
(Summary of the ITER Final Design Reportより)



一様強磁場下における強磁性体単純構造を用いた実験

研究開発の流れ

概念設計

工学設計

実規模技術開発（試作）

要素技術の獲得

# QSTの原型炉構想（Q-DEMO）の取扱いについて

- QSTは、発電実証に向けて、原型炉の概念設計を行い、Q-DEMOとして発表したところ。
- これについては、2030年代の発電実証を目指した構想として一定の合理性があるものと評価できるが、以下の課題があり、現時点では、建設に向けて進めることが適当とは言えないのではないか。
  - ①建設コストについてさらなる検討が必要
    - Q-DEMOの概念設計では建設費は約 2 兆円とされているが、高コストであり、米国NASEMレポートでフュージョンパイロットプラントの総建設コストは約60億ドル未満に押さえるべきと指摘されていることを踏まえれば、競争力のある発電システムの実現につながらないのではないか。
  - ②実施主体が不明確
    - QST単体では、フュージョン発電実証プラントの実施主体にはなりえないところ、現時点で実施主体が具体化されていない。
- こうしたことを踏まえ、Q-DEMO構想については、当面は、QSTにおいて工学設計を進め、それにより建設コストの精緻化・合理化を進めるとともに、並行して、実施主体の具体化を進めることが適当ではないか。

注) その後、しかるべきタイミングで、スタートアップ等の研究開発等の進捗状況も踏まえつつ、国として集中的に支援する発電実証プロジェクトを決定する。



## 本日の議論のまとめ（案）

1. フュージョンエネルギーの実現に向けて、主に以下のように、どの国も解決できていない技術課題が存在。これらの技術課題を世界に先駆けて解決できるよう、国立研究機関が中心となって、強力に研究開発を推進するべき。  
①燃料サイクル技術、②炉材料技術、③遠隔保守技術、④加熱装置
2. 前述した要素技術の研究開発を強力に推進するにあたっては、QSTが中核的な実施機関となり、産学官のオールジャパンの体制で実施することが適当。また、こうした研究開発を迅速かつ強力に進めるため、燃料システム安全試験施設などの必要な施設・設備を、これまで進めてきているフュージョンイノベーション拠点の整備とも連動しつつ、速やかにQSTに整備するべき。
3. また、要素技術の研究開発は、実用プラントに適用できるものを開発することが重要であり、実際の大きさ及び材料で製作可能か、高温・高圧・高放射線・高電磁力といった極限環境下で機能するか等を確認することが重要（いわゆる実規模技術開発が必要）。こうした観点から、十分な予算を確保し、例えば、QSTの原型炉構想（Q-DEMO）への適用を念頭に技術開発を進めることにより、実用プラントに適用できる技術を開発するべき。
4. QSTにおける原型炉構想（Q-DEMO）については、2030年代の発電実証を目指した構想として一定の合理性があるものの、建設コストや実施主体に課題を有することから、現時点では、建設に向けて進めることが適当とは言えない。当面は、QSTにおいて工学設計を進め、それにより建設コストの精緻化・合理化を進めるとともに、並行して、実施主体の具体化を進めることが適当である。  
（その後、しかるべきタイミングで、スタートアップ等の研究開発等の進捗状況も踏まえつつ、国として集中的に支援する発電実証プロジェクトを決定する。）

## 【参考】原型炉に関するコスト比較について

|                | Q-DEMO<br>(第一期) | 軽水炉<br>(従来の原子力)        | 軽水炉<br>(SMR)<br>(カナダ)  | 高温ガス炉<br>(SMR)<br>(米国) | 高温ガス炉<br>(SMR)<br>(中国) | ナトリウム冷却<br>高速炉<br>(SFR) (米国) | 鉛冷却高速炉<br>(LFR)<br>(SMR)(ロシア) | トリウム溶融<br>塩炉<br>(MSR)<br>(中国) |
|----------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 熱出力            | 50万kW           |                        |                        | 200MW                  | 250MW                  |                              | 700 MW                        |                               |
| A.電気出力         | 20万kW           | 120万kW                 | 300MW×4<br>=120万kW     | 80MW×4<br>基<br>=32万kW  | 210MW                  | 345MW=34.5万kW                | 300MW=30万kW                   | 2MW=0.2万kW                    |
| B.建設費          | 2兆円             | 5,496億円                | —                      | 24億ドル<br>≒3864億円       | 30億元<br>≒720億円         | —                            | 1000億ルーブル<br>≒2000億円          |                               |
| (プロジェクト費)      |                 |                        | 209億カナダドル<br>≒2兆4000億円 |                        |                        | 40億ドル<br>≒6440億円             |                               | 30億元<br>≒720億円                |
| 建設費単価<br>(B/A) | 1000万円/kW       | 45.8万円/kW<br>(エネ庁資料より) | —                      | 483万円/kW               | 17万円/kW                | —                            | 67万円/kW                       | —                             |

出典：文部科学省調べ

## 【参考】 「フュージョンエネルギーの社会実装に向けた取組の在り方」(抜粋) 発電実証の実施主体のあり方について

### 「フュージョンエネルギーの社会実装に向けた取組の在り方」(令和8年4月8日 フュージョンエネルギーの社会実装に向けた基本的な考え方検討タスクフォース) 抜粋

- 発電実証の実施主体は、発電実証を着実に実施できる者であるとともに、その成果をスムーズに社会実装につなげられる者であることが重要であり、以下であることが必要である。
  - ① 商用化を実際に担うことが想定される事業者が参画する等、発電実証の成果が事業化に直結する形で活用される体制となっていること。
  - ② フュージョン発電実証プラントを建設・運用できる技術・ノウハウ・組織体制・資金力を有していること（フュージョン発電実証プラントは、高度かつ大規模な技術体系であることから、必要な技術・ノウハウを有していることに加えて、全体を統合・調整し大規模プロジェクトを推進できる能力を有し、運転に伴い発生する放射化物等の管理を含め、責任をもって確実に安全を確保することができる体制であることが必要である）。
- 注) フュージョンエネルギーの研究開発について技術的蓄積を有するQSTと、将来の事業化を目指す民間企業が共同で新たに実施主体を組成することも一案と考えられる。

# 【参考】米国DOE Fusion Science & Technology Roadmap (2026年6月) 抜粋

## Core Challenge Areas



### Structural Materials Science & Technology

The design, development and qualification of materials, structures and systems that can withstand the high neutron flux, thermal loads and environmental stresses of a fusion power plant. It includes research on physical and mechanical properties, manufacturing and qualification of materials that form the core vessel, support structures and in-vessel components.



### Plasma-Facing Components and Plasma-Materials Interactions

The design and testing of materials, structures and systems that can withstand the high neutron flux, thermal loads and environmental stresses of a fusion power plant. It includes research on physical and mechanical properties, manufacturing and qualification of materials that directly interact with the plasma. It includes solid and liquid metal walls, advanced composites, chamber and divertor design and technology along with the understanding of plasma-material interactions needed to manage challenges such as erosion, fuel retention and dust.



### Advancing Confinement Approaches

The physics and engineering of creating, sustaining and controlling high-performance burning plasmas. It includes turbulence and transport, stability, coupling, core-edge integration and disruption avoidance, with the goal of achieving fusion-relevant confinement regimes and sustained energy output.



### Fuel Cycle and Tritium Processing

The technologies and processes needed to produce, handle and recycle fusion fuels in a closed loop. It includes exhaust and separation systems, storage and inventory control, accountancy and development of supporting technologies like permeation barriers and detritiation systems.



### Blanket Science & Technology

The development of blanket concepts (e.g., solid, liquid, molten salt), materials compatibility studies, thermal hydraulics, tritium transport modeling and integrated testing to validate performance and maintainability.



### Fusion Plant Engineering & System Integration

The design and integration of the entire plant system, beyond the fusion engine. It includes balance-of-plant technologies such as power conversion and plant-wide control systems, as well as remote maintenance and robotics. It also includes the codes, models, tools and platforms for fully integrated power plant modelling.

Figure 6. The core Challenge Areas

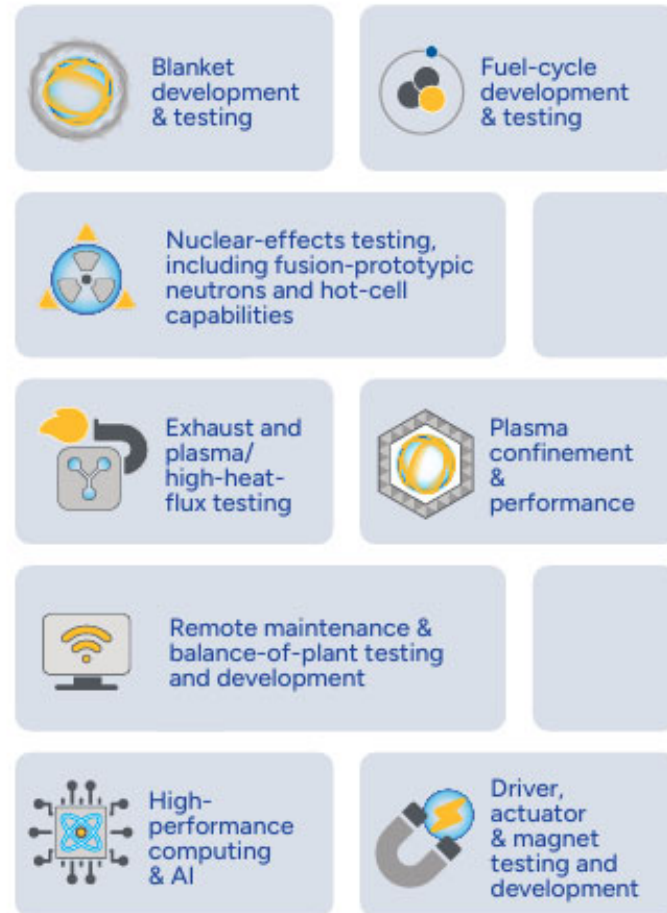


Figure 4. Eight distinct infrastructure streams critical for progress towards the development of fusion power plants have been identified.

