

ムーンショット目標10

未来社会を支えるフュージョン
エネルギーの早期実現に向けて

～ 目標10 研究開発体制の強化に向けて～

「ムーンショット目標10 プログラム強化に向けた研究交流会」
2025年 4月 8日

プログラムディレクター
吉田 善章

東京大学大学院数理科学研究科 特任教授
核融合科学研究所 名誉教授

ムーンショット目標10

「2050年までに、フュージョンエネルギーの多面的な活用により、地球環境と調和し、資源制約から解放された活力ある社会を実現」

核融合研究の課題とMS10の役割

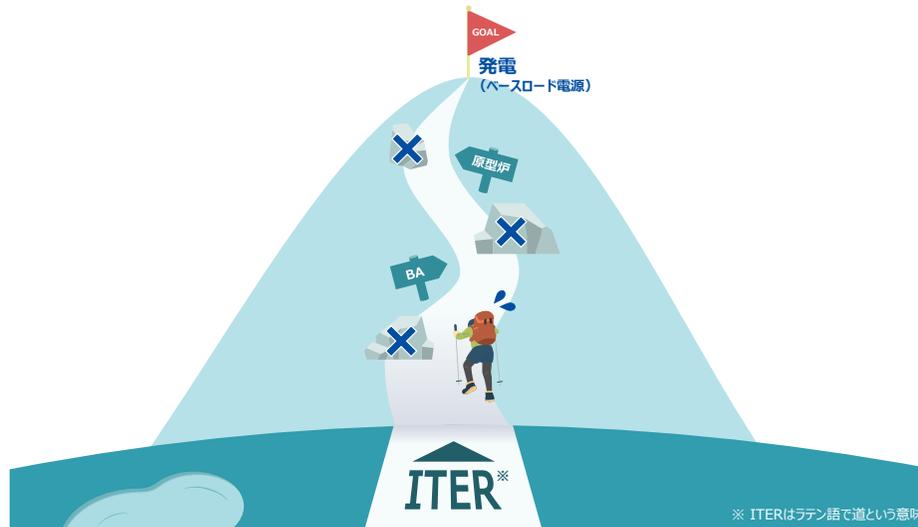
- フュージョンエネルギーの実用化に向けたスタンダードなシナリオはベースロード電源の開発
- 十分な実用性を見通すには、現在の科学知では不十分
- 炉心プラズマの理解の深化だけでなく、超伝導マグネットや炉材料等の高性能化やシステムとしての稼働率向上など、革新的な技術導入が必要
- MS10では、フュージョンエネルギーの多面的な利用を想定し、未来社会からのバックキャスト的なアプローチをとることで、広く展望を開き、これまでにない挑戦の中からゲームチェンジャーとなる破壊的イノベーションを生み出す
- ベースロード電源を目指すフォーキャスト型の研究開発に対しても、課題解決の選択肢を増やし、実現の早期化をもたらす相乗効果を生むものことを期待

マイルストーン

- 2050年までに、様々な場面でフュージョンエネルギーが実装された社会システムを実現する。
- 2035年までに、電気エネルギーに限らない多様なエネルギー源としての活用、加えて核融合反応で生成される粒子の利用や要素技術等の多角的利用など、フュージョンエネルギーの多様な応用可能性を実証する。

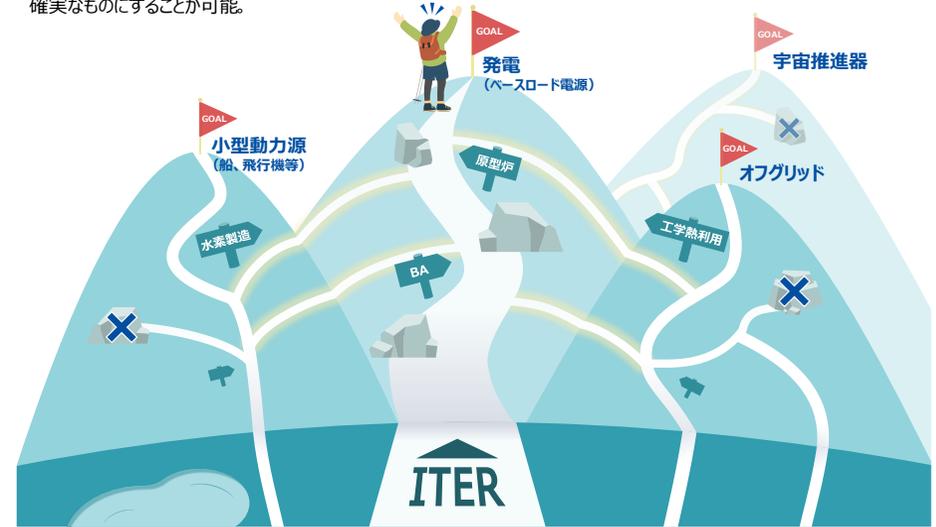
ムーンショット型研究開発制度との協働がない場合

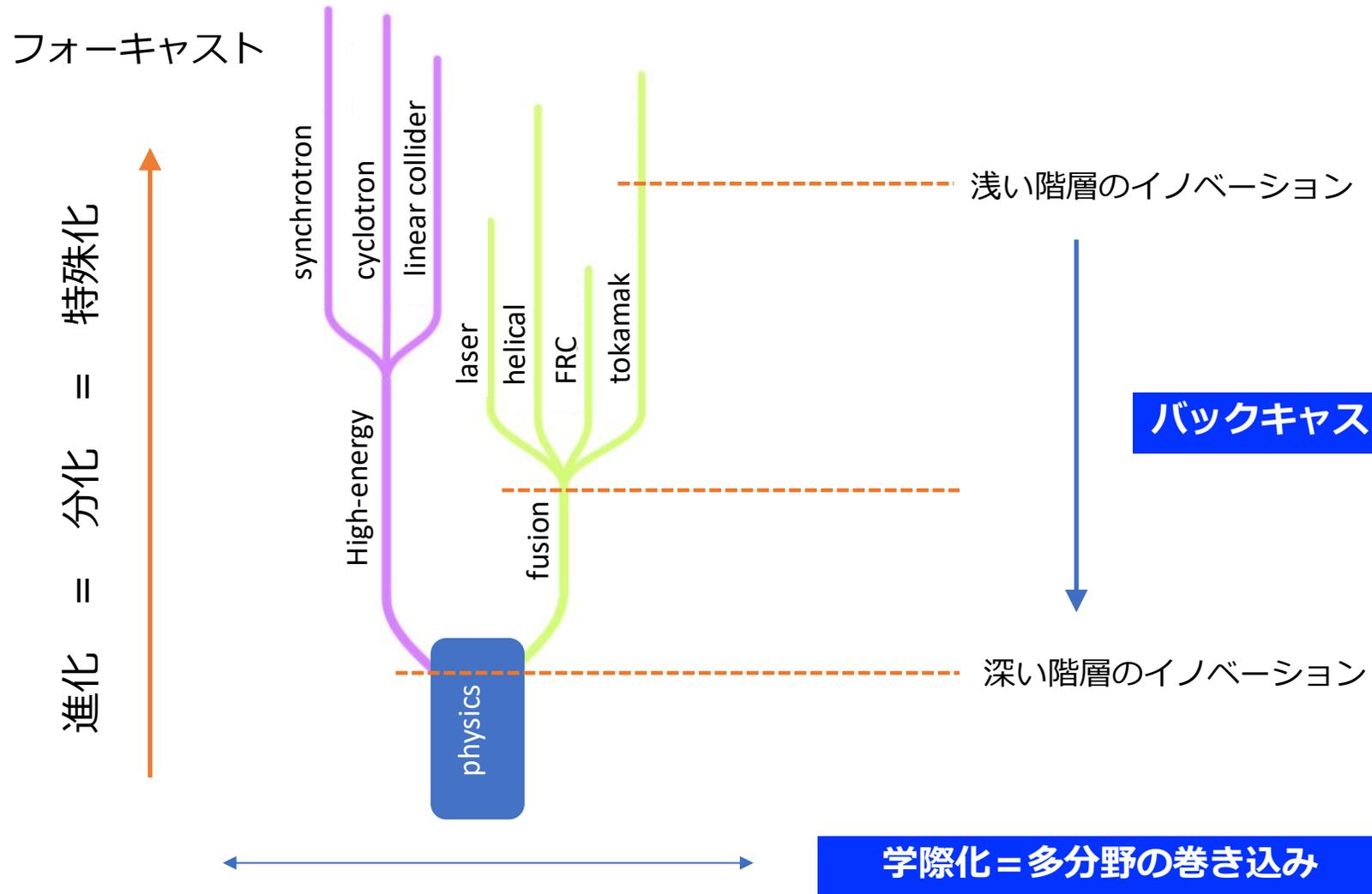
ITER*/BA/原型炉から発電へと続く道の途中で困難が生じたときに、代替手段がないため、社会実装が遅れる。



ムーンショット型研究開発制度との協働がある場合

革新的な社会実装を目指す研究が先回りして成果を創出することで、ITER*/BA/原型炉から発電へと続く道をより確実なものにすることが可能。





研究開発構想を実現するために、異なる方向性をもつ2種類のプロジェクトを公募

「革新的な社会実装型(縦型)」

フュージョンエネルギーの具体的活用目標を挙げ、その**中心的な課題に挑戦する**プロジェクト

「革新的な要素技術型(横型)」

新しい技術の普遍性に注目し、「**縦型**」の展開を支える**基盤的課題に挑戦する**プロジェクト

47件の提案について2段階の審査を行い、最終的に下記の3件を採択した

星プロジェクト「超次元状態エンジニアリングによる未来予測型デジタルシステム」

様々な炉形式や、**多種多様な要素技術の性能を予測するデジタル技術の革新**によって、フュージョンエネルギー研究開発の加速に貢献する。**AI技術の革新と協創的なプロジェクト**を編成し、デジタル空間で様々な核融合システムの性能試験が行える**汎用プラットフォームの構築**に取り組む。

奥野プロジェクト「革新的加速技術による大強度中性子源と先進フュージョンシステムの開発」

アンペア級ビームの**革新的な加速器技術**を確立し、現在開発が進められている**核融合材料照射施設の10倍に達する中性子の発生量**を可能とすることで、核融合炉開発を加速する。さらに、**ビーム駆動型の核融合システムの可能性**を拡大する。

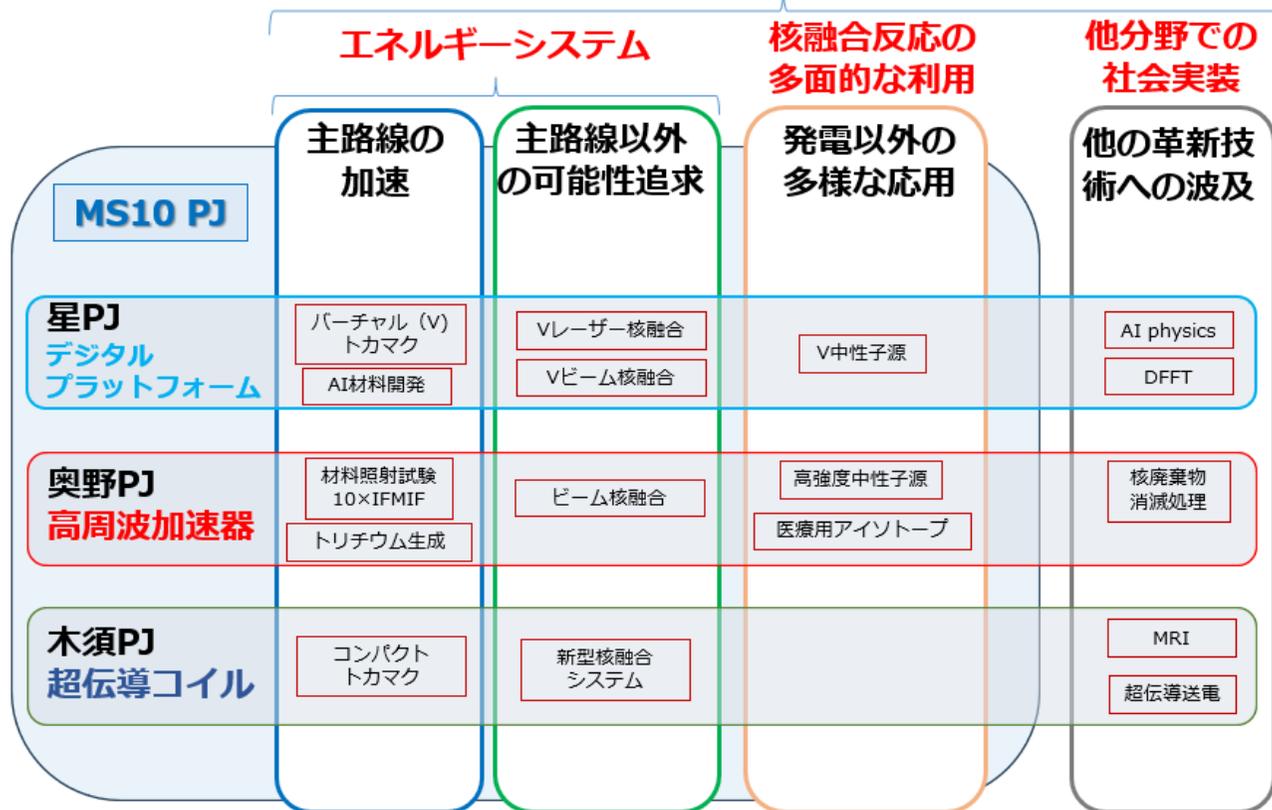
木須プロジェクト「多様な革新的炉概念を実現する超伝導基盤技術」

強磁場超伝導マグネットの破壊的イノベーションによって、トカマク型核融合炉の**コンパクト化**に限らず、他の炉形式の可能性を拡大する。**高温超伝導材**を用いた40T級の高磁場コイルを世界に先駆けて実証し、さらに**量産技術を確立**することによって、**超伝導マグネット技術**でフュージョンエネルギーの勝ち筋を掴む。

フュージョンエネルギーの社会実装に向けた、4つの研究開発カテゴリーを想定

1. 主路線(トカマク型核融合炉によってベースロード電源を実現)を加速するイノベーション
2. 主路線以外の革新的核融合炉方式によって多様な用途のエネルギープラントを実現するイノベーション
3. 核融合反応をエネルギープラント以外に応用する技術のイノベーション
4. フュージョンエネルギーの要素技術を他の分野に応用するスピナウト型の社会実装

MS10が生み出すイノベーション



横型のプロジェクトから、縦展によって、社会実装の具体的な成果を生む。

24年度の公募・選考の振り返り

- 魅力的な要素研究を含みながら、プロジェクト全体としては、合理性、整合性、国際的競争力、社会実装へ向けた戦略性などの観点から採択に至らなかった「縦型」プロジェクト提案があった
- 分野間のwin-winの連携構築、既存施設利用の促進などについて、議論・協議が不足していた

望ましい提案 **出口戦略不明** **要素検討不足** **システム完成済**

	提案1	提案2	提案3	提案4
<p>【レイヤー①】 革新的な社会実装 フュージョンエネルギー技術の 社会生活への応用</p> <p>フュージョンエネルギー以外にも荷電粒子や中性子利用、排熱エネルギー利用等</p>	<p>ベースロード電源</p> 	<p>燃料システム</p> <p>出口不明瞭</p> 	<p>オフグリッド電源</p> 	<p>宇宙推進</p> 
<p>【レイヤー②】 革新的な閉じ込め方式 社会実装を可能とするフュージョン エネルギーシステムの具体化</p> <p>磁場閉じ込め核融合にとらわれず、多様な革新的核融合システム等。</p>	<p>トカマク炉</p> 	<p>トカマク炉</p> 	<p>革新的方式</p> 	<p>システム完成済が前提</p> 
<p>【レイヤー③】 革新的な要素技術 核融合システムの早期実現の 鍵となる挑戦的要素技術の確立</p> <p>核融合炉システムの早期実現に向けた革新技術や大きな汎用性もって他の技術分野に革新的な波及効果をもたらす破壊的イノベーション等</p>	<p>破壊的イノベーション</p> <p>高温超伝導</p> <p>先進ブランケット</p> <p>先進ダイバータ</p>	<p>先進材料</p> <p>同位体分離</p>	<p>検討不十分</p> 	<p>磁場設計</p> <p>構造設計</p>

- 24年度の方針を踏まえつつ、25年度は**3つの方針を加えて公募・選考**を実施

【24年度公募】※ムーンショット目標10 フュージョンエネルギー国際ワークショップ(2024.1.31)

① **革新的な社会実装** (Big picture, Vision with Action)

既存の枠組みにとらわれない発想や革新的な要素技術をシステムとして統合、社会システム

② **挑戦的な研究開発** (Moonshot for Fusion Energy)

果敢な挑戦でありつつも明確な結論が導かれる客観性、方法論の妥当性、民間資金の導入

③ **仲間を集める** (If you want to go far, go together.)

世代を超えた研究開発、関連人材の巻き込み、技術の蓄積・連結、国際連携の促進



【25年度公募に向けて】※国家戦略の改定も見据え、検討

① **実証に向けた技術の統合** (Big picture, Vision with Action)

2030年代の発電実証の達成や、小型動力源等の多様な社会実装に向けた用途の実証

② **マイルストーンの設定** (Moonshot for Fusion Energy)

一定の資金と期限を設定し、マイルストーンの達成状況に応じて絞り込み

③ **国研等との連携** (If you want to go far, go together.)

研究開発費に加え、共用施設・設備の使用料・共同研究費を合わせて措置

- 斬新なアイデアをお持ちの研究者や技術者、さらに研究基盤を有する研究機関の代表が一堂に会し、プロジェクトの提案を具体化する足掛かりとして、本日、ポスターネットワーキングを開催
(本発表の例示は、あくまで限られた例であり、他の独創的なアイデアの提案も大歓迎)
- いずれの提案も、**最初に通過すべきステージゲートを「マイルストーン」として具体的に示し、そのマイルストーンを達成するための研究開発計画が重要。**

1) 革新的核融合方式

- フュージョンエネルギー研究開発「主路線」：重水素(D)と三重水素(T)を燃料とするトカマク型核融合炉によるベースロード電源開発
- 主路線以外の様々な核融合反応および装置方式を、包括的に「革新型核融合方式」とここでは呼ぶことにする
- D-D、D-³He、P-¹¹Bなどの核融合反応、多様な磁場閉じ込め方式、レーザー爆縮方式、ビーム駆動方式、ミュオン触媒核融合、等
- 核融合反応の多様な応用（オフグリッドのエネルギー源や生成粒子の応用など）を目指したの革新的なフュージョンエネルギー利用

2) 革新的材料

- フュージョンエネルギーシステムを成立させるためには、高性能な材料開発が重要課題「材料を制する者は技術を制する」
- 極めて高い熱流束、高エネルギー粒子（DT核融合炉の場合は14MeV中性子）、強磁場、極低温の様々な極限仕様環境
- 様々な物理特性（低放射化、高融点、低熱膨張、高熱伝導、非磁性、長寿命など）の要件を満たすことが必要
- フュージョンシステムのコンパクト化、高性能化を目指すとき材料仕様の要件は一層厳しくなる

3) 革新的システム

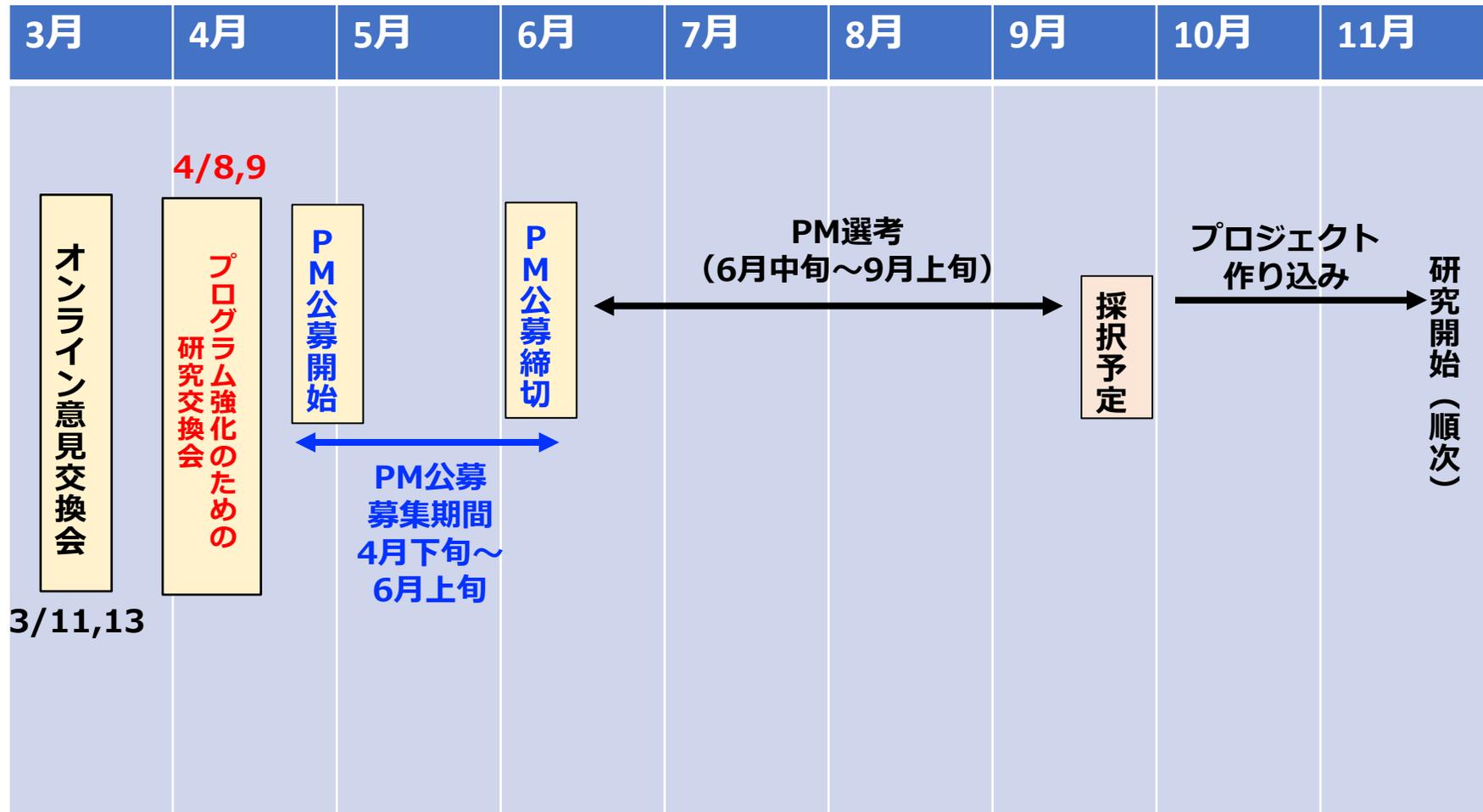
- フュージョンエネルギーシステムは、多数のサブシステムを統合して成立する複雑系、それぞれが極限的な性能を要求
- トカマク型核融合炉の場合、磁場システム（超伝導マグネットと冷却システム）、ダイバータ、真空システム、ブランケット、トリチウム循環システム、プラズマ加熱システム、プラズマ計測・制御システム、様々な電源システムなど
- 多数のシステムを統合して設計、製作・据え付けし、安全に運転する技術のイノベーションも必須
- 革新的核融合方式では、これらとは異なるサブシステム（例えば、直接発電や水素製造システムなど）のアイデアも可能

※公表資料を元にJSTで作成(2025/4)、現時点で計画変更されたプログラム有

● 国内外の核融合プログラムの動向を把握しながら、目標10との連携及び成果の社会実装を目指す

地域	プログラム	炉形式	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2040	2050		
日本	ムーンショット10プログラム	限定せず	前期5年					後期5年					▲マイルストーン(10年目)					
国際協力	ITER(新ベースライン)	トカマク	建設										総合試験		研究運転			
	IFMIF/EVEDA IFMIF-DONES	ビーム 中性子源	IFMIF/EVEDA (125mA, 40MeV)				システムコミッショニング、総合試験						研究運転					
日本	JT-60SA	トカマク	装置増強		研究運転(統合研究段階)						研究運転(拡大研究段階)							
	JA-DEMO	トカマク	概念設計		工学設計・実規模規模技術開発						製造・建設		運転					
	HYPERION計画	レーザー	学術フロンティアの開拓: 高いエネルギー密度状態の量子科学				HYPERION計画				レーザー・ベレット・炉壁・エネルギー変換開発		HYPERION-T		HYPERION			
	京都フュージョニアリング	トカマク	[FAST] 概念設計		工学設計・サイト選定/認可・建設						運転開始							
	Helical Fusion	ヘリカル	Fusion by Advanced Superconducting Tokamak		[FPP]小型装置による実証				研究運転50-100MW				商業化100MW					
	LINEA Innovations	ミラー	【ロードマップ未発表、Key technology: FRCミラー/ハイブリッド炉、ビーム駆動型核融合炉】															
	EX-Fusion	レーザー	要素技術統合検証路		連続中性子発生検証		発電実証炉											
	BLUE LASER FUSION	レーザー	【ロードマップ未発表、Key technology: 高効率CBCレーザー、Optical enhancement cavity】															
米国	フュージョンエネルギー戦略2024	磁場閉じ込めレーザー等	【マイルストーン型核融合開発プログラム】 原型炉までの科学技術ギャップの解消・商用炉の準備・外部連携の活用						Commonwealth Fusion Systems, Focused Energy Inc., Thea Energy, Inc., Realta Fusion Inc., Tokamak Energy Inc., Type One Energy Group, Xcimer Energy Inc., Zap Energy Inc.				民間主導のパイロットプラント					
	Commonwealth Fusion Systems	トカマク	[SPARC, 建設]		[SPARC, Q>1]						ARC(電力供給~200MW級)							
	Thea Energy, Inc.	ステラレータ	ステラレータ-用大規模 HTS planar コイル製作・制御						【ロードマップ未発表、ステラレータ型中性子源】									
	Type One Energy Group	ステラレータ	【ロードマップ未発表、Fusion Pilot Plant (FPP)】															
	TAE Technology	FRC	[C-2W/NORMAN]		[COPERNICUS]				[DA VINCI]				100MW級商用炉					
	Helion Energy	FRC	[Polaris]		[8th Prototype]		電力供給-50MW											
	Realta Fusion Inc.	ミラー	【ロードマップ未発表】															
	Zap Energy Inc.	Zピンチ	[FuZE]															
	Focused Energy Inc.	レーザー	【ロードマップ未発表、Fusion Pilot Plant (FPP)】															
Xcimer Energy Inc.	レーザー	装置サイズ削減		概念設計		実機サイズ機器		実機試験						発電実証炉				
英国	英国政府の核融合戦略	球状トカマク	PHASE1: 概念設計		PHASE2: クリティカル技術の実証						PHASE3: 建設				[STEP] 電力供給100MW			
	Tokamak Energy Inc.	球状トカマク	[ST40]		[Demo4] (HTS, 20K)				核融合出力									
中国	磁場閉じ込め核融合ロードマップ2020	トカマク	[CRAFT] 建設		[EAST] 研究運転・高性能化、先進PFC、高性能定常運転						[BEST] 燃焼プラズマ(Q>5), 定常運転(Q>1)				[PFPP] 1GW発電炉			
			[Comprehensive Research Facility for Fusion Technology]						[CFEDR] 定常運転 (Q>30, TBR>1, >2GW, > 50 dpa)									
韓国	第4次核融合エネルギー開発振興計画	トカマク	[KSTAR & ITER] 基礎研究と新エネルギー技術開発						新エネルギー技術開発(設計・製作・デザイン完成)				DEMO		FPP			

- 募集期間：4月下旬～6月上旬、選考期間：6月中旬～9月上旬



研究開発費に加え、共用施設・設備の使用料・共同研究費を合わせて措置

実規模技術開発のための試験施設・設備群の整備

- 実証試験設備については、国際競争が激化する中、**発電実証への寄与**が高く、特定のユーザーの用途だけでなく、アカデミア・民間企業等からの**幅広く活用される設備**を優先して整備。⇒**令和6年度補正予算に100億円を計上**

磁場閉じ込め型



慣性閉じ込め型

- ① 高効率レーザー核融合燃焼模擬試験装置
 - 1-1. 核融合燃焼模擬試験装置
 - 1-2. 核融合燃料高密度圧縮装置
- ② 繰り返しレーザー核融合試験装置
 - 2-1. 繰り返し核融合試験用レーザー装置
 - 2-2. 繰り返し核融合反応試験装置
- ③ デジタルツイン高効率レーザーフュージョン試験装置



中核的施設共同利用の強化

- 国内で**共同利用できる施設やサポート体制を活用した効率化**をはかり、マイルストーン達成を支援
- 共同利用できる施設の利活用し、目標10での重複を避け**効率的な開発投資**を実施
(国研施設の利用の要否は各研究開発内容により異なり、共同利用は提案の必須要件ではありません)

出典) 2025年2月14日
MS10 キックオフシンポジウム

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略
よりJSTで一部抜粋して作成

