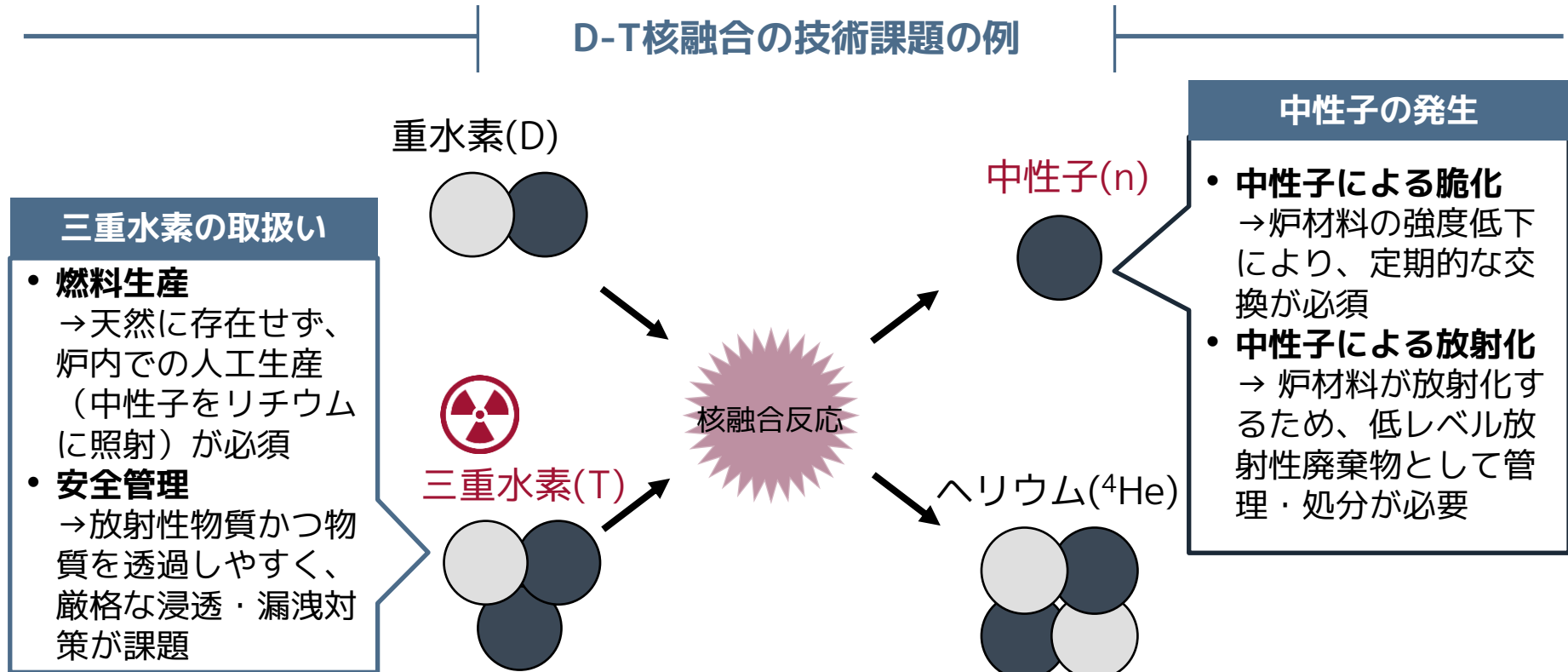


LINEAイノベーション 説明資料



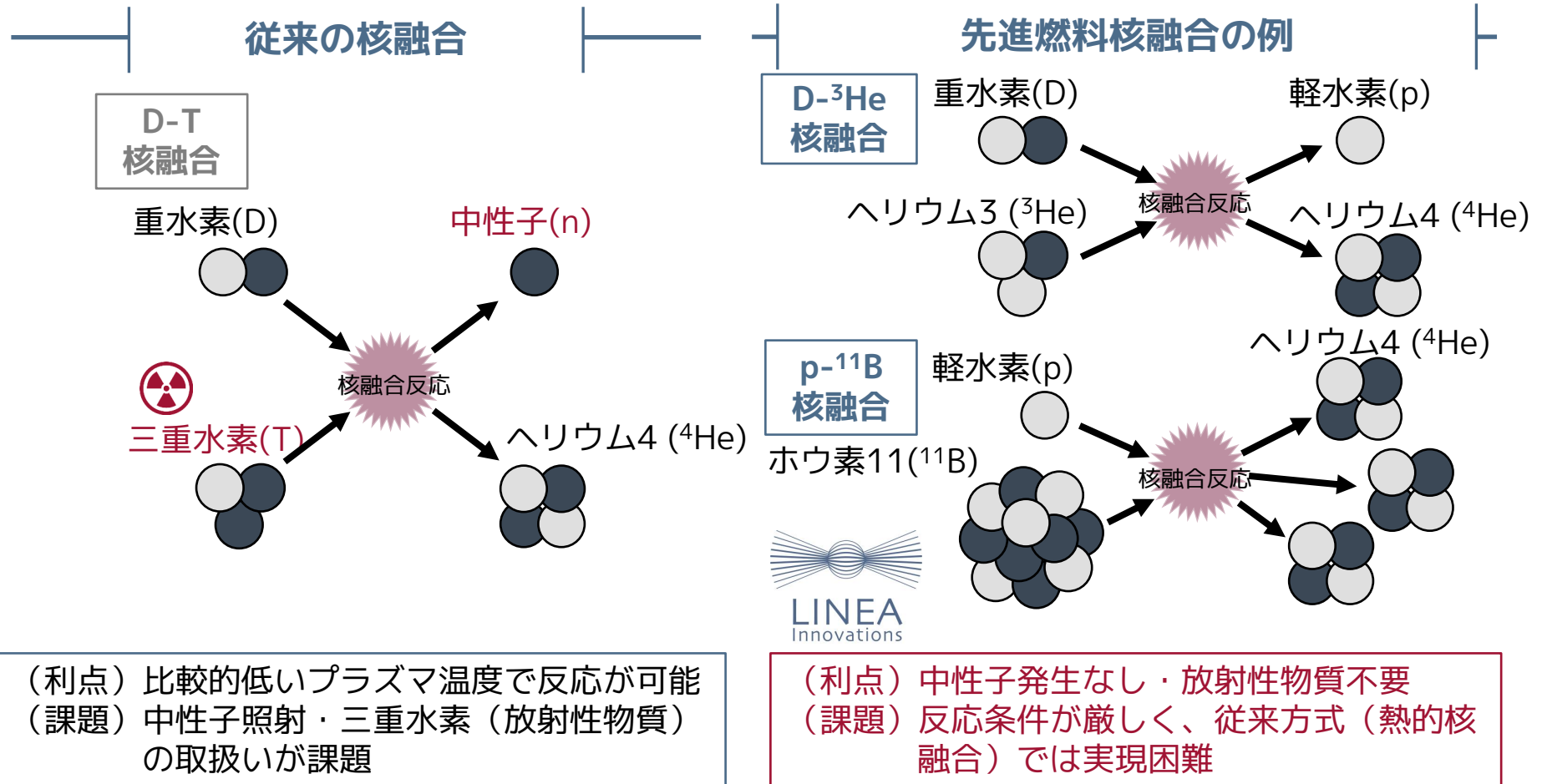
2025年10月15日
株式会社LINEAイノベーション

- 広く研究されているD-T核融合では、中性子の発生と三重水素（トリチウム）の取扱いが実用化上の課題



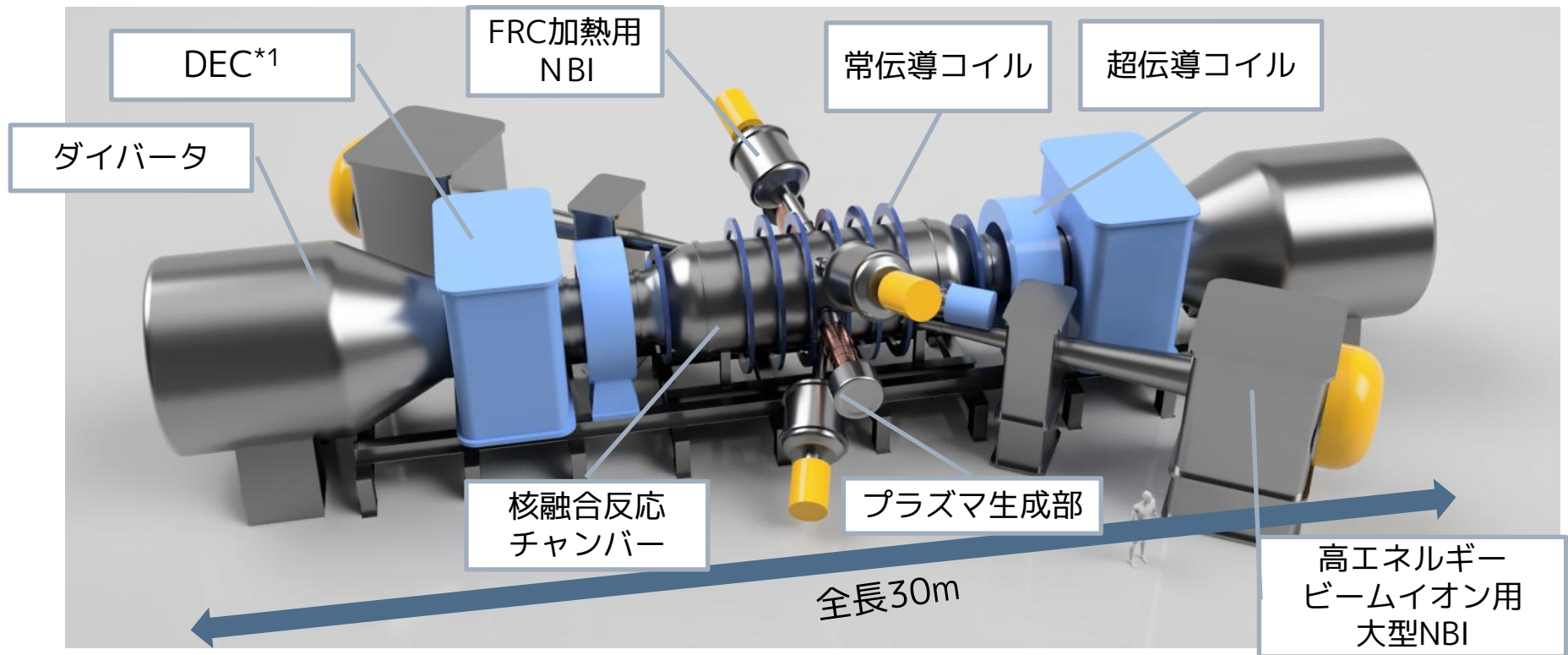
先進燃料核融合の特長と課題

- $p\text{-}^{11}\text{B}$ 核融合を含む先進燃料核融合は中性子が発生せず、放射性物質も不要な一方、反応条件が厳しく従来方式での実現は困難



- FRCミラーハイブリッド核融合炉では、全長30mで100MW級の電気出力を想定

FRCミラーハイブリッド核融合炉イメージ

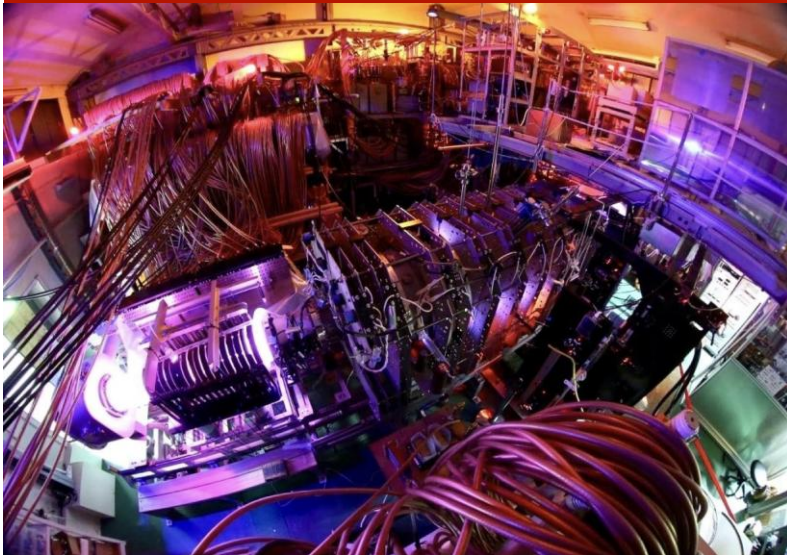


*1) DEC: Direct Energy Conversion(直接エネルギー変換器)

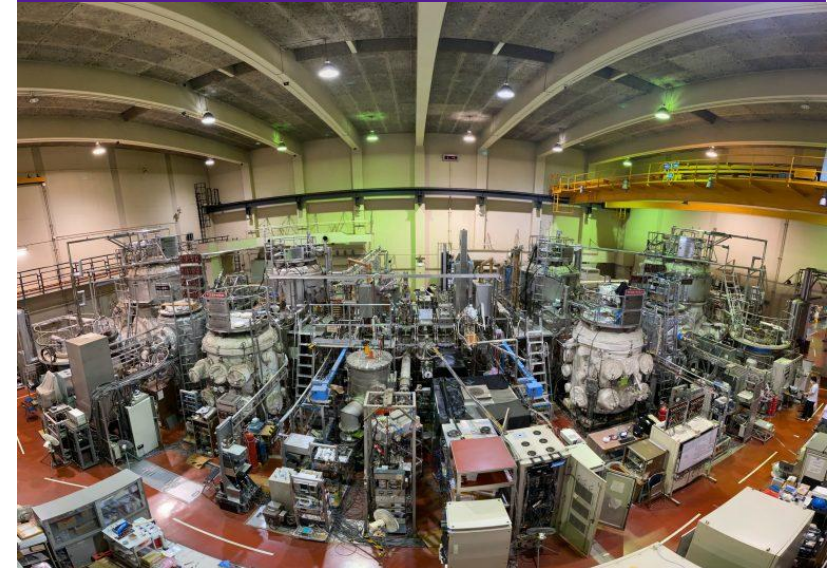
- 当社のFRCミラーハイブリッド方式の基礎となるFRC方式及びミラー方式において実績のある日本大学及び筑波大学と共同研究を通じ、2大学の設備・知見を有効に活用



日本大学（FRC）

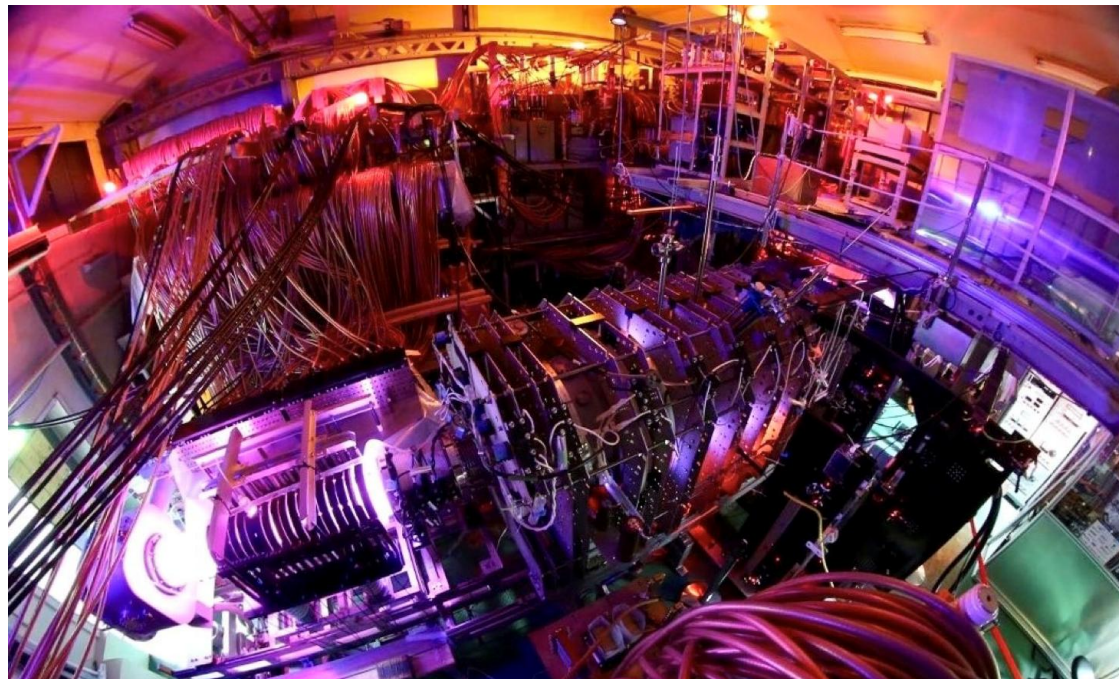


筑波大学（ミラー）



- 運用中の大型FRC装置を保有するのは世界でも日本大学、TAE Technologies（米）、Helion Energy（米）のみ*であり、多くの研究成果を発表

高効率核融合炉心プラズマ実験装置(FRC)



大型FRC装置へのCT (Spk) 入射によるFuelingに成功 (2016年)
FRCの衝突合体生成に国内で唯一成功 (2018年)
DD反応による核融合反応を確認 (2020年)

T. Asai et al, Nucl. Fusion 57, 076018 (2017)

T. Asai et al, Nucl. Fusion 59, 056024 (2019)

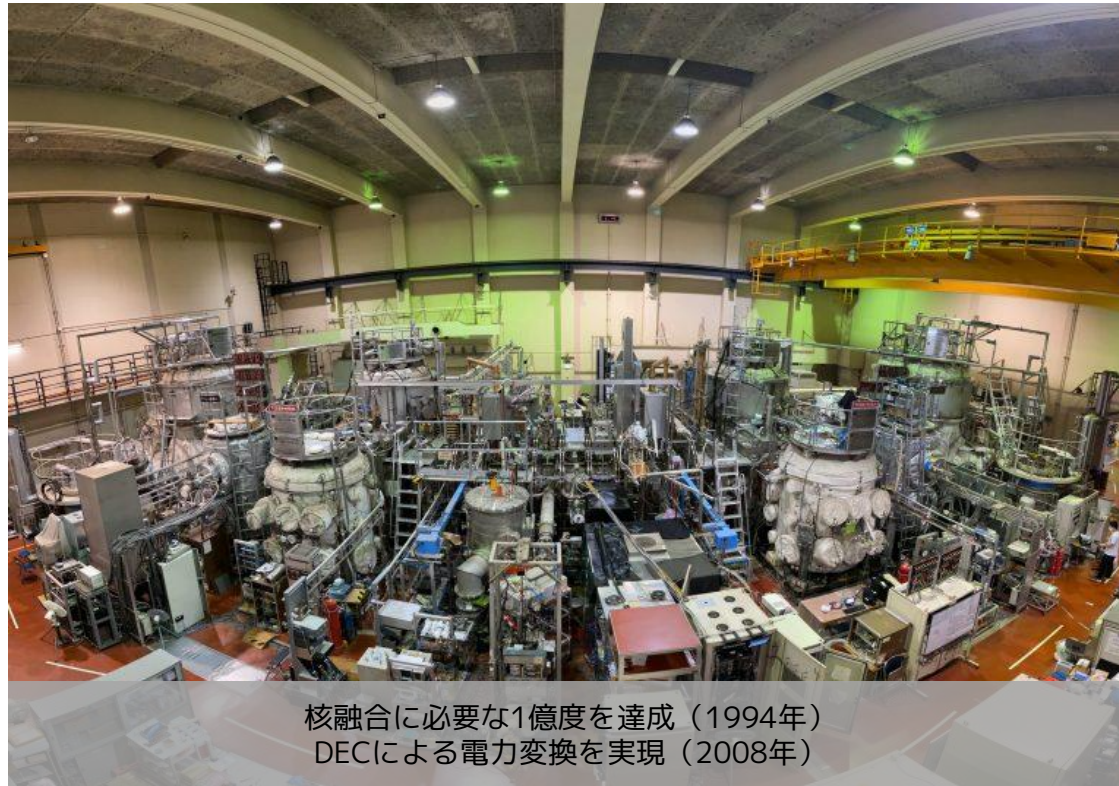
T. Asai et al, Nucl. Fusion 61, 096032 (2021)

*) IAEA/FFDB(Fusion Facility Database)においてField Reversed Configurationに分類されている装置を列挙

Privileged and Confidential

- 筑波大学は、世界最大規模のタンデムミラー型装置GAMMA 10/PDXを有しており、数多くの研究成果を発表

世界最大のタンデムミラー型装置GAMMA-10/PDX



核融合に必要な1億度を達成（1994年）
DECによる電力変換を実現（2008年）

M. Inutake, et al., Phys. Rev. Lett. 55, 1939 (1985)

T. Tamano, Phys. Plasmas 2, 2321 (1995)

Y. Yasaka et al, Nucl. Fusion 48, 035015 (2008)

技術優位性（他の閉じ込め方式との比較）

- トカマク／ヘリカル・レーザーともにD-T反応を利用するため、共通して中性子の発生、トリチウム取扱いの課題あり
- 当社は $p\text{-}^{11}\text{B}$ 反応を利用するためこれらの課題に直面せず

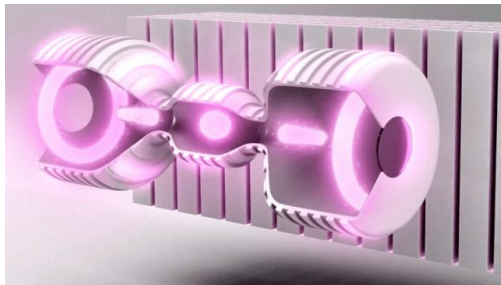
	トカマク／ヘリカル		レーザー		FRCミラー(当社)
形式	熱的核融合		熱的核融合		非熱的核融合
利用反応	D-T反応		D-T反応		$p\text{-}^{11}\text{B}$ 反応
中性子発生	×	有	×	有	○ 無
放射性物質*	×	有	×	有	○ 無
商用発電に必要なQ値イメージ	Q ~ 30 発電に利用する熱機関の効率が低い		Q ~ 100 電力からレーザーへの変換効率向上が鍵		Q ≤ 10 DECのエネルギー変換効率が高いため
実応用に向けた工学的課題	△ • 中性子の発生 • トリチウムの取扱い		△ • 左記と同様の課題 • 電力効率が高く高頻度照射可能なレーザー開発		○ • 使用材料にも自由度あり • 装置構造がシンプルになりメンテナンス性も高い

*) 放射性物質の燃料利用及び放射性廃棄物の発生の両方を指す

技術優位性（他のFRC方式との比較）

- サーマル核融合によるD-³He反応を目指すHelion Energyや、FRCの高磁場化によるビームイオンの閉じ込めを指向するTAEと異なり、当社はミラー方式と複合させることにより、p-¹¹B反応の高い成立性を実現

Helion Energy



特徴

衝突合体FRCのパルス圧縮で点火を目指す／電磁誘導発電SUとしていち早くプラズマ温度1億度達成

利用反応

D-³He/サーマル核融合

実応用に向けた 工学的課題



p-¹¹Bより条件は緩和されるが、D-³Heであってもパルス圧縮によるサーマル核融合は難易度高

TAE Technologies



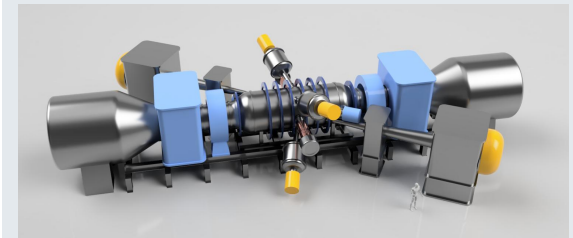
ビーム駆動FRCによりp-¹¹B燃料による核融合を目指す

p-¹¹B/ビーム駆動核融合



FRCの高磁場化によりビームイオン閉じ込めを目指すと推測されるが、閉じ込め効率低下のジレンマ

当社



高密度ターゲットの形成（FRC）と高エネルギーイオンの閉じ込め（ミラー）によるビーム駆動核融合

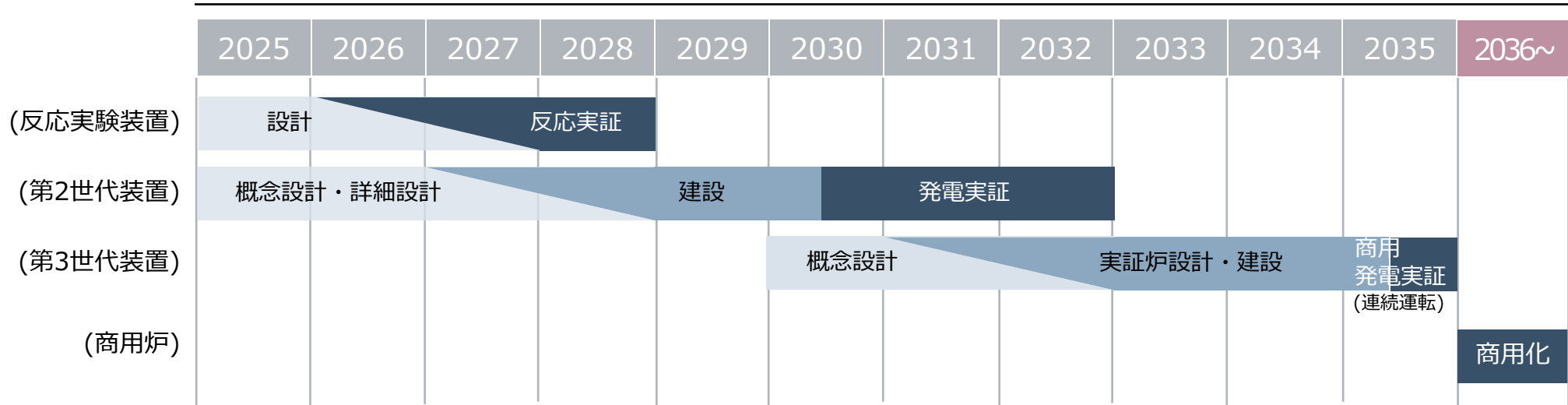
p-¹¹B/ビーム駆動核融合



FRCによるターゲット形成とミラーによるビームイオン閉じ込めと役割を分離したことで高い成立性を実現

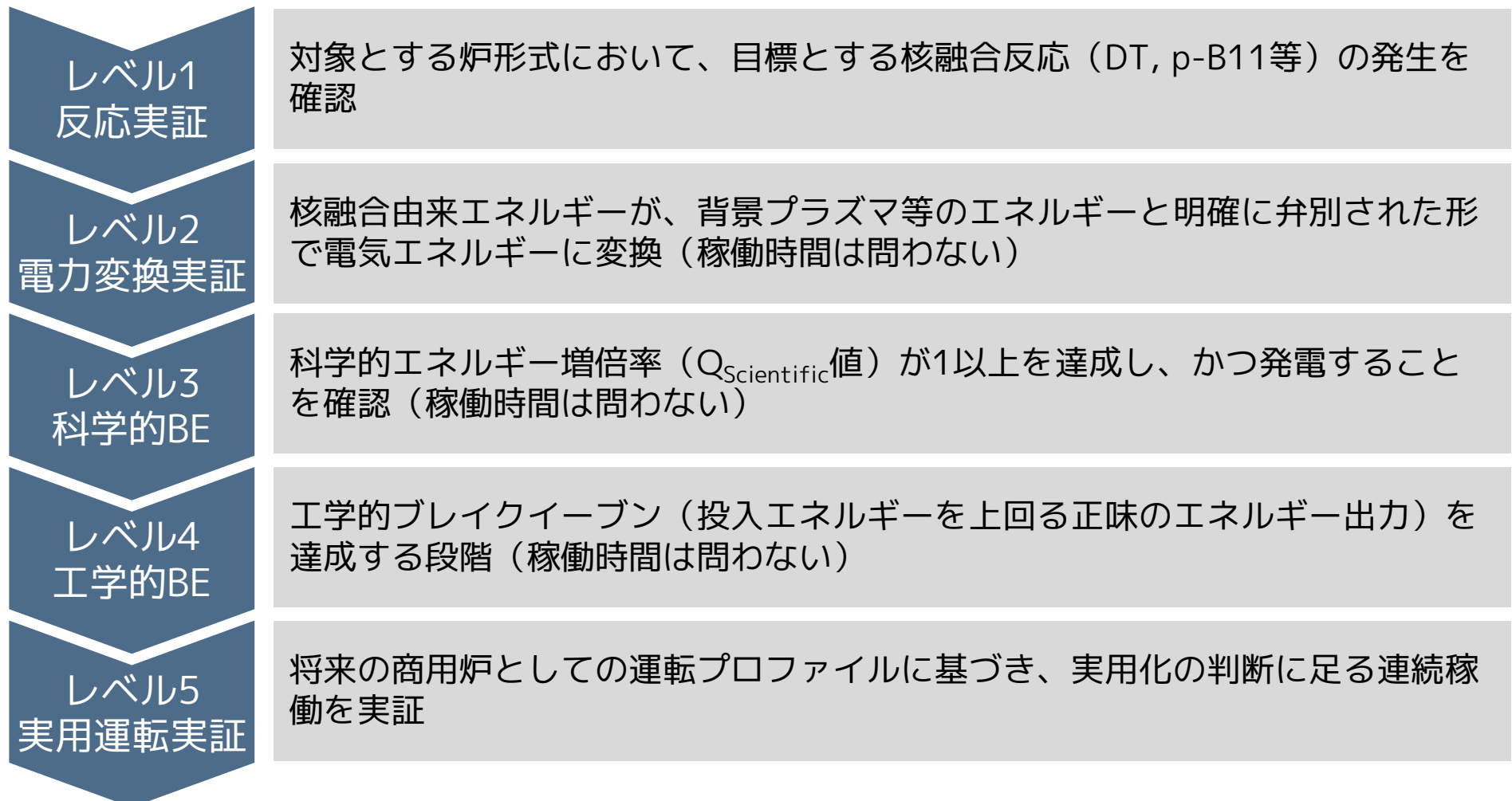
- 商用化に向け、反応実証（2027年頃）、発電実証（2031年頃）、商用発電実証（2035年頃）のステップを計画

開発計画



*) 計画は今後変更される可能性があります

- 「反応実証」から「実用運転実証」まで、開発マイルストーンを5段階で明確に定義し、着実な社会実装を推進（レベル2～5はいずれも「発電実証」）



- 装置の世代毎に段階的に実証レベル及び性能を引き上げる計画

	実証LV	運転時間	$Q_{\text{scientific}}^{*2}$	$Q_{\text{Engineering}}^{*3}$
反応実証装置	1	1秒未満	<1	N/A
第2世代装置	3	1秒未満	>1	<1
第3世代装置	5	連続	>1	>1
商用炉初期型	5	連続	>1	>1

*1) 計画は今後変更される可能性があります。

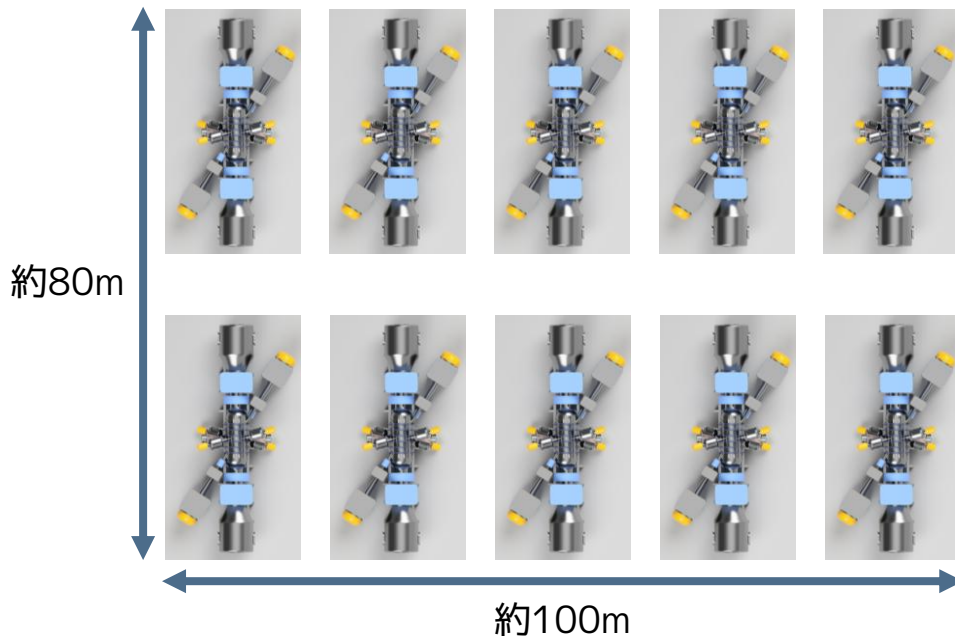
*2) $Q_{\text{Scientific}}$ = 核融合出力 / プラズマに投入したエネルギー

*3) $Q_{\text{Engineering}}$ = 発電端電力 / 構内消費電力 = 発電端電力 / (発電端電力 - 送電端電力)

- 商用炉の実施主体としては、電力事業者（グリッド送電）及びエネルギー多消費事業者（自家消費）を想定

電力事業者（グリッド送電）

10基並列して1GW級を実現
フットプリントも従来発電所と同等



エネルギー多消費事業者（主に自家消費）

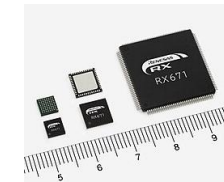
無公害であり立地制約が少ない特長を活かした
オンサイト・オフグリッド発電所

想定例

電力
直接利用



電炉*1



半導体製造*2



データセンタ

水素
オンサイト
製造



高炉*3



プラント熱源*4

メタン・
アンモニア
製造



都市ガス



プラント熱源*4

※写真はあくまで説明目的です。

*1) Payton Chung from DC, USA, CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>)をトリミング加工
*2) Robert00127, CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)をトリミング加工
*3) 松岡明芳, CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)をトリミング加工
*4) tayorinai eye, CC BY-SA 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0>)

効率的な p-11B 反応場形成

- FRCミラーハイブリッド方式により非熱的核融合を起こせる効率的な反応場形成が当社核融合炉実現のキーポイント
- 前例のない革新的な方式であり、実証を通じて実績を示す必要あり
- 前記の反応実証や第2世代装置を通じて実証予定

NBI

- 高エネルギービームイオンを生成するNBI（中性粒子ビーム入射装置）は、核融合研究分野で実績はあるが、大電流、高エネルギーのNBI製作技術を獲得する必要

DEC

- p-11B反応で生成する α 粒子から電気エネルギーを取り出すためDEC（直接エネルギー変換装置）が必要
- 今までの核融合研究において多様な形式のDECが提案されてきたが、研究段階に留まるものが多く、今後の研究開発・実証が必要

連続運転

- 連続運転に伴う諸課題（NBI、DECをはじめとする除熱、損耗対策等を含む）

- 開発資金のみならず施設利用、装置建設用地、出口戦略を見据えたアンカーテナンシー等も期待

開発資金

- 発電実証を行う第2世代装置および商用実証を行う第3世代装置の開発・建設費用
- NBIやDEC等キーコンポーネントの開発費用
- 民間調達が基本路線だが、呼び水として政府支援を期待するもの
- 政府支援としては補助金・基金等以外にも、出資等リターンを求める形態も想定

アンカーテナンシー・買取制度

- 核融合発電電力の政府による一定の調達保証（アンカーテナンシー）や固定価格買取制度を予め保証することで民間投資を促進
- 核融合SUの資金調達・IPOにおいて重要

施設利用

- NBI（中性粒子ビーム入射装置）やDEC（直接エネルギー変換装置）等のキーコンポーネントの開発・試験について国研(QST/NIFS)・大学等の支援・知見利用・試験設備等施設利用を期待

商用実証用地

- 商用実証を行う第3世代装置等の建設場所の提供