

核融合開発の現状と展望

要約版

2025年9月11日

桑原 敏行

1. 核融合の魅力

• 1. 燃料がほぼ無限

- 核融合に使う燃料（重水素やリチウムなど）は海水や鉱石に大量に含まれています。

• 2. 二酸化炭素を出さない

- 石油や石炭のように燃やす発電と違い、温暖化の原因になるCO₂をほとんど出しません。

• 3. 核廃棄物が少ない

- 核分裂（原子力発電）に比べて、放射性廃棄物の量や毒性がずっと少ないです。

• 4. 安全性が高い

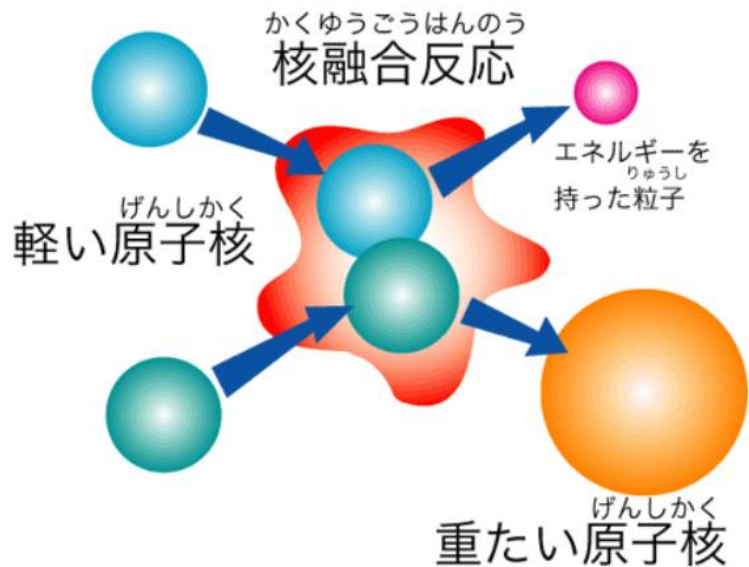
- 核融合は反応条件が非常に厳しいので、事故で暴走することがありません。
- もしトラブルがあっても反応はすぐ止まり、「メルトダウン（炉心溶融）」のような危険はほぼありません。

• 5. エネルギー不足の心配が減る

- ほぼ無限に近い燃料と安定供給が可能



2. 核融合の仕組み



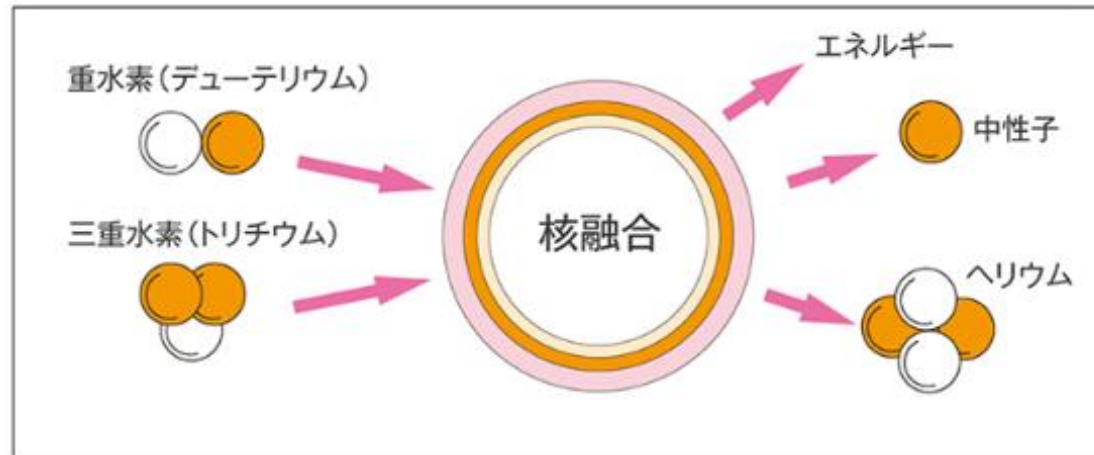
軽い原子の核(原子核)同士がくっついて、より重い原子核をつくる反応
例: 水素原子がくっついてヘリウムになる

太陽で反応

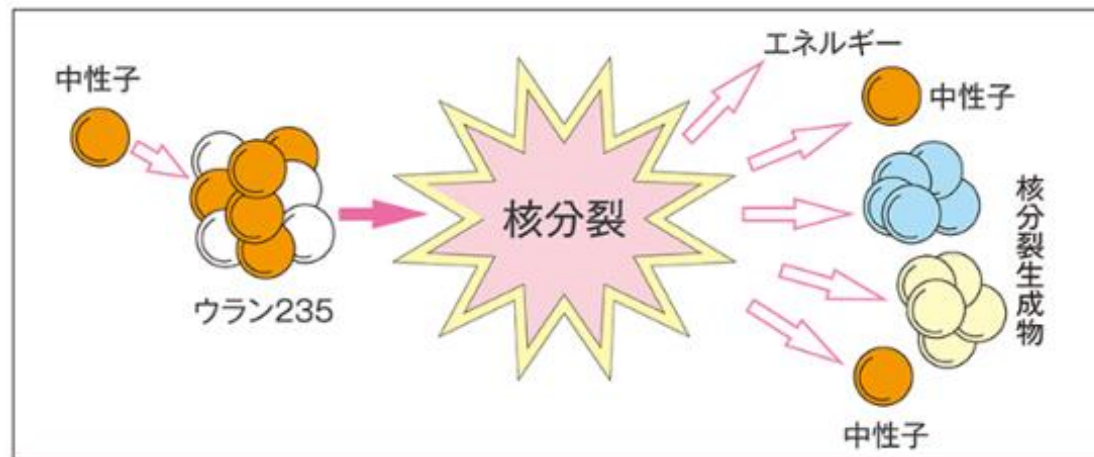
水素の原子核(陽子) 4個

→ ヘリウムの原子核1個 + エネルギー

核融合の原理



核分裂の原理

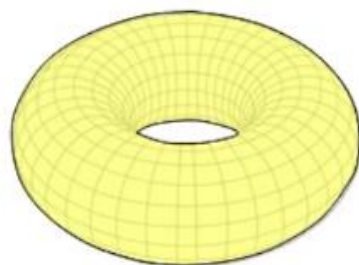


3. 核融合の方法

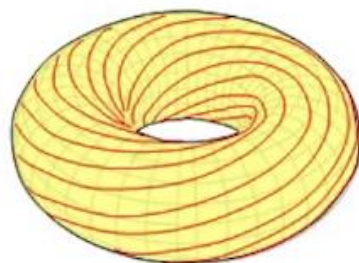
高温水素（プラズマ）を重力で閉じ込めるのが太陽
磁場や慣性で閉じ込めるのが人工の核融合炉

磁場方式

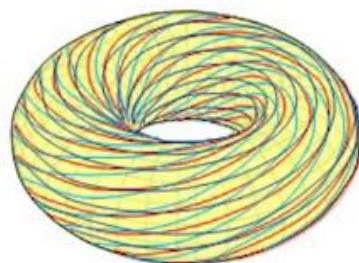
プラズマが磁力線を横切れないのを利用
ねじれピッチが異なる磁力線の
「多重カゴ」で覆って漏れを防ぐ



トーラス
プラズマ



一重の
磁力線カゴ
隙間から漏れる



多重の
磁力線カゴ
この図は3重
実際は無限重

磁場方式核融合炉
2つの磁場のねじり方
直径10~20メートル



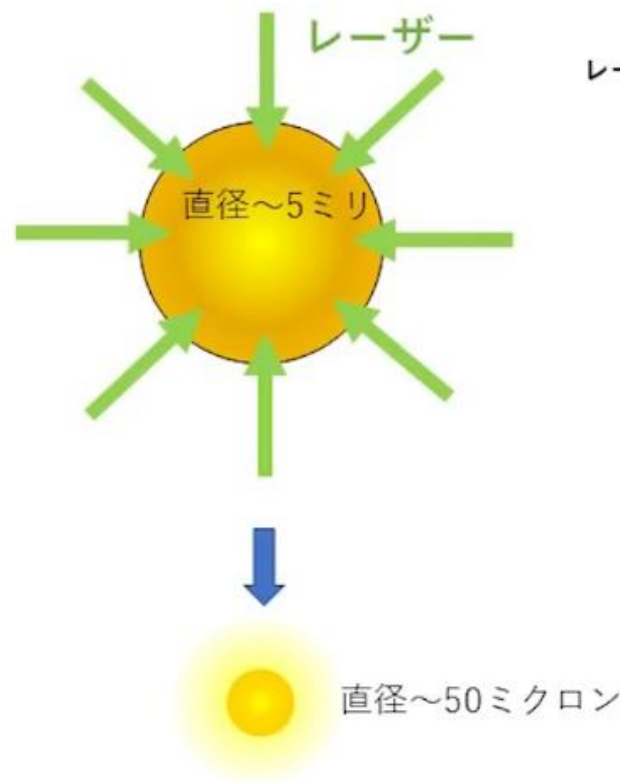
↑電流を流してねじる
または
↓コイルをねじっておく



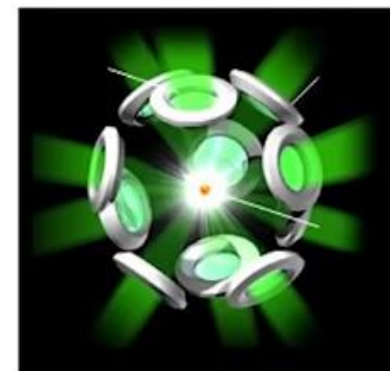
装置イメージ図は「核融合エ
ネルギーのきほん」（誠文堂
新光社刊、2021年）による

慣性方式（～レーザー方式）

数ミリの燃料球をレーザー等で瞬間加熱+圧縮
質量があるのですぐには飛び散れない（慣性効果）
100億分の1秒で核融合→それを繰り返す



レーザー磁場方式核融合炉のイメージ



大阪大学レーザー科学研究所

4. 核融合開発プロジェクトの現状

| 順位 | プロジェクト名 | 主な方式 | 物理的規模・装置重量等 | 参加国・組織 | 目標出力/Q値 | 投資予算／費用規模 |
|----|------------------------------|--------------|--|---|---|---|
| 1 | ITER (国際熱核融合実験炉) | トカマク方式 | 約30m高さ、重量約23,000トン、プラズマ体積約840m ³ IAEA +10 | 約35カ国 (EU、米・中・日・韓・印・露 など) Cinco Días ウィキペディア | 入力50MWに対し500MW出力 (Q ≈ 10) を目指す | 建設費は€20–25 B (約2.7–3.3兆円) に達する可能性あり Le Monde.fr Cinco Días |
| 2 | JT-60SA (日本・欧州共同) | スーパートカマク | 重さ約2,600トン、JT-60SAはITERの約半分サイズ、プラズマ体積も約1/5 Business Insider ウィキペディア | 日本 + EUの共同体制 | ITER運転前の最強トカマク装置 (Q未公開) | 数百億円規模と推定 (間接費込) ウィキペディア |
| 3 | NIF (アメリカ国立点火施設) | レーザー点火 (ICF) | 世界最大・最強のレーザー系ICF施設 | 米国主導 | 2022年に成果として科学的ブレイクイーン (入力2.05MJ → 出力3.15MJ、Q ≈ 1.5) 達成 ウィキペディア | 建設費は当初の4倍超、数十億ドル規模 (完成は2009年) ウィキペディア |
| 4 | SPARC (CFS/MIT) | 高磁場HTSトカマク | プラズマ体積は約20m ³ (ITERの約1/40) / 磁場12T (ITERは5.3T) Reddit ウィキペディア | 民間主導 + MIT | Q > 2 (2027年に達成予定)、最大140MWの融合熱出力を想定 ウィキペディア Frontiers | スタートアップ資金で数億ドル～十数億ドル規模と推定 |
| 5 | HH70 (Energy Singularity/中国) | HTSトカマク | 比較的小型で、完全HTS磁場系の初トカマク (2024年に運転開始) ウィキペディア | 中国プライベート企業 | 将来的にQ > 10目標 (2027年以降) を計画 | 商業資金ベースで小規模 |

現在の段階では、核融合の商用化は2050年以降になりそうだが、民間の活力でこれが早まるか可能性はないのか

「どのくらい早まるか」は条件次第で、現状の技術進展スピードを考えると数十年を一気に短縮するのは難しいものの、5～15年程度の前倒しなら現実的にありえます。

1. なぜ民間参入で早まる可能性があるのか

- **資金の即時投入**
国家プロジェクトは予算審議や国際調整で進行が遅れがちですが、民間は投資判断が速く、一気に数千億円規模を投入できる。
- **小型・多様なアプローチ**
ITERのような巨大炉ではなく、小型モジュール型（SPARCやHelionなど）は1～5年ごとの試作→改良が可能。
- **技術融合のスピード**
AIによるプラズマ制御最適化、新素材開発、3Dプリント部品など、最新技術を即応用できる。
- **競争原理**
SpaceXやTeslaと同様、複数企業が競争することで「失敗を恐れずに早い試行」が生まれる。

2. 現状の商用化予測

- ・ 国家主導型(ITERベース)
実証炉:2050年前後 → 商用炉:2060年前後
- ・ 民間小型炉アプローチ(有望ケース)
実証炉:2035~2040年 → 商用炉:2040~2045年
- ・ 非常にうまくいった場合(資金+技術ブレイクスルー)
実証炉:2030年代前半 → 商用炉:2040年前後

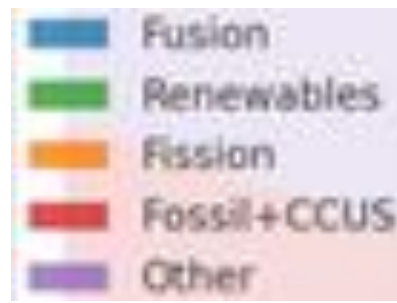
3. 早期商用化を阻む主な壁

- ・ 燃料(三重水素)供給の確立:天然にはほぼ存在せず、増殖や製造ルートの整備が必要
- ・ 耐放射線材料の開発:中性子照射に耐えられる構造材が必須
- ・ 規制・安全認可の遅さ:特に新型炉は法律や基準の整備から必要になる
- ・ 送電網やインフラとの統合:発電した電力を大量に安定供給するための社会整備

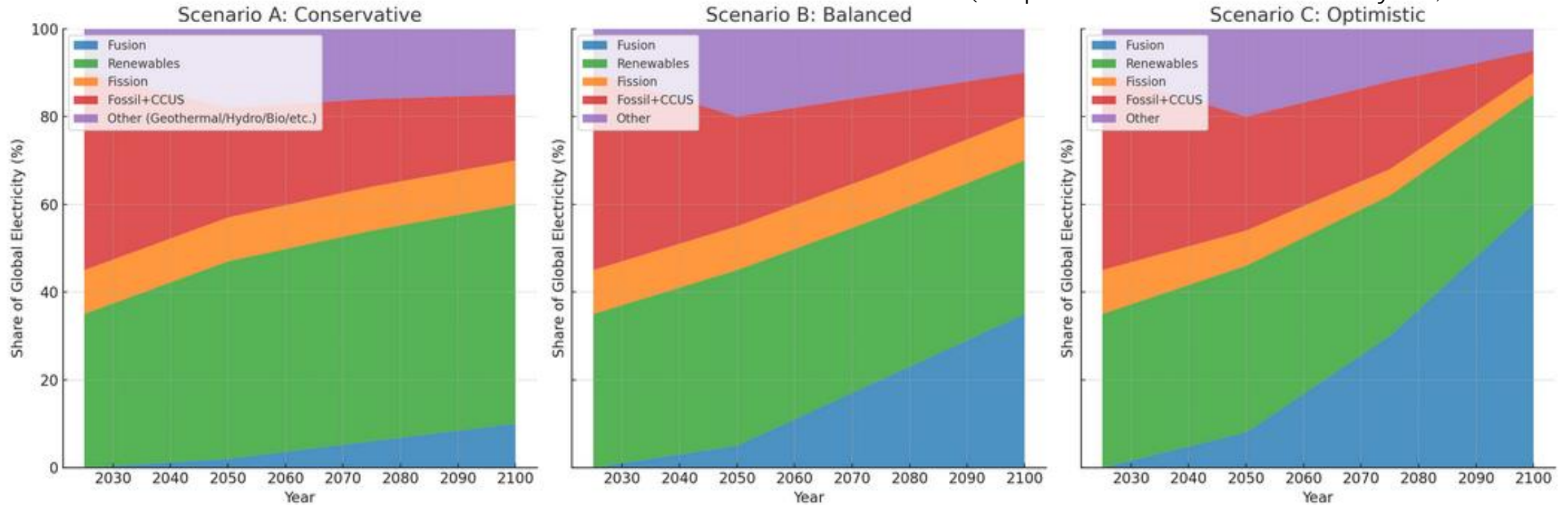
まとめると、民間の活力で商用化が5~15年早まる可能性は十分あるが、40年分の短縮は物理的に厳しいです。

ただし、民間が2030年代に実証炉を成功させれば、2060年説は一気に古い予測になるかもしれません。

5. 将来展望



核融合 (Fusion)
再エネ (Solar+Wind+Other VRE)
既存原子力 (Fission)
化石 (with CCUS)
地熱/バイオ/水力等
(Dispatchable renewables & hydro)



- 現実的には**：2050年時点で核融合が電力の主要な柱になる可能性は「低～中」。多くの主要シナリオでは**再エネが電力の大半 (= 多数派)** を占め、原子力 (分裂) は補完、化石は大幅に縮小する想定です。
- ただし**：民間のスタートアップが想定以上に早く成功すれば、核融合は**2040–2050年**にかけて一部市場で急速に拡大する (Moderate～Highシナリオ)。しかしその場合でも**技術・規制・コストの3条件すべてを満たす必要**があり、確実ではありません。