

# 核融合炉と核分裂炉の違いを学ぼう

## 概要

富山高等専門学校  
高田英治

# 目次

- 中性子の特性と核分裂炉、核融合炉との関連
- 使用される反応と生成物
- 構成
- 資源
- リスク
- 現在および今後の開発

# 核分裂炉、核融合炉における中性子の役割

- 核分裂炉

- 炉心内で連鎖的に核分裂反応を起こし、エネルギーを発生する
- 中性子数の制御によって核分裂炉の出力は制御される

- 核融合炉

- プラズマ内での反応によって中性子が発生する。発生した中性子は周囲のブランケット領域に入射し、吸収反応、散乱反応を通じてブランケット材料にエネルギーを付与する

# 単位核子当りの結合エネルギー

- $^{56}\text{Fe}$ で最大
- 軽原子核が融合して質量数56以下の大きい原子核に
  - 結合エネルギーが増加=エネルギーレベルは低下=エネルギーが発生
- 重い原子核が分裂して質量数56以上の軽い原子核×2個に
  - 同じくエネルギーが発生

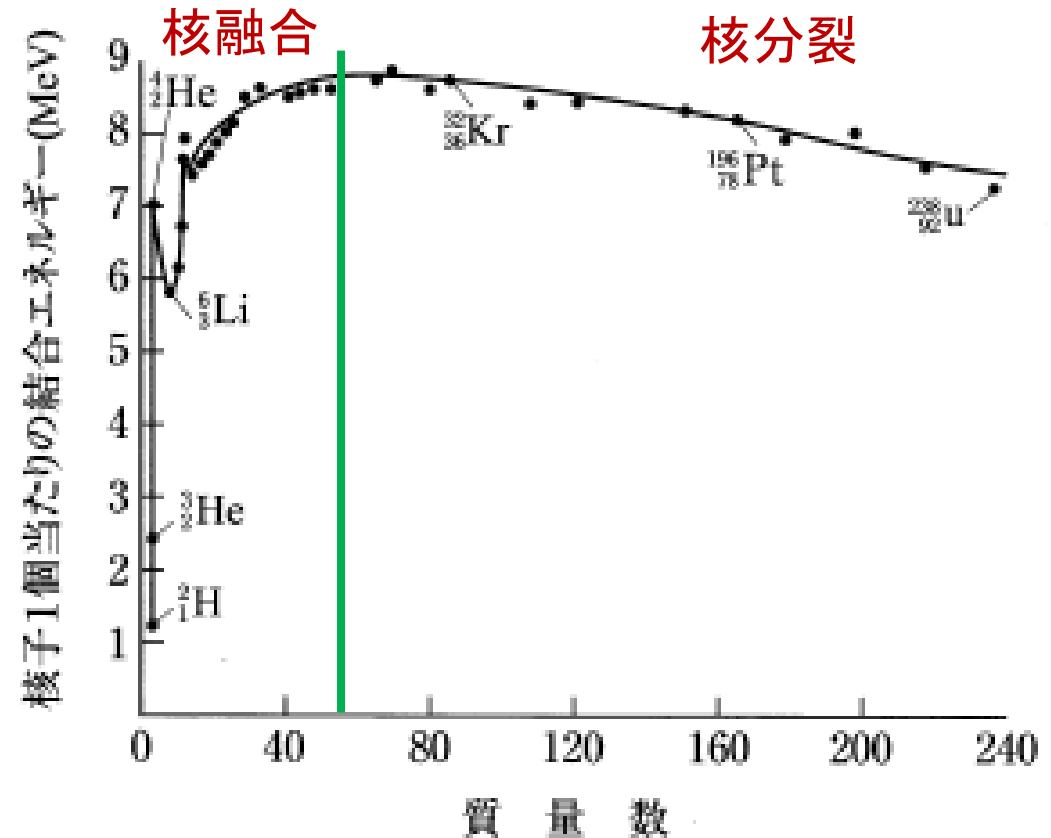


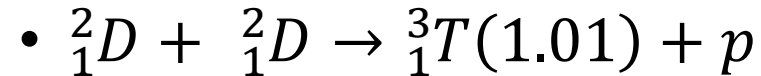
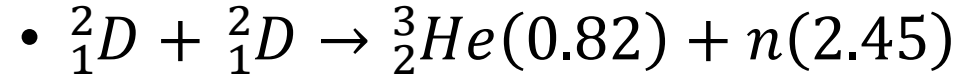
図 5-9 結合エネルギーと質量数  
(出典) 石川友清：「放射線概論」，通商産業研究社

# 核分裂炉で用いられる反応

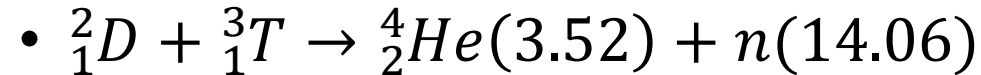
- 核分裂を起こしやすい核種:  ${}^{235}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{233}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{239}_{94}\text{Pu}$
- ${}^{235}_{92}\text{U} + \text{n} \rightarrow [{}^{236}_{92}\text{U}] \rightarrow \text{FP}_1 + \text{FP}_2 + \nu \cdot \text{n}$
- ${}^{233}_{92}\text{U} + \text{n} \rightarrow [{}^{234}_{92}\text{U}] \rightarrow \text{FP}_1 + \text{FP}_2 + \nu \cdot \text{n}$
- ${}^{239}_{94}\text{Pu} + \text{n} \rightarrow [{}^{240}_{94}\text{Pu}] \rightarrow \text{FP}_1 + \text{FP}_2 + \nu \cdot \text{n}$ 
  - FP: Fission Products = 核分裂生成物
  - $\nu$ : 1回の核分裂当たり発生する中性子数: 3~5
  - $[{}^{236}_{92}\text{U}]$ 、 $[{}^{234}_{92}\text{U}]$ 、 $[{}^{240}_{94}\text{Pu}]$ : 中性子を吸収後、一時的に存在する核: 複合核
- 1回の核分裂当り200MeVのエネルギーが発生

# 核融合炉で用いられる反応

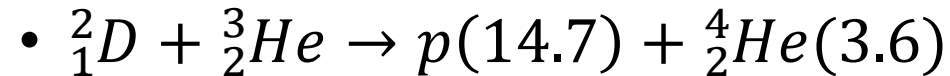
- DD反応



- DT反応

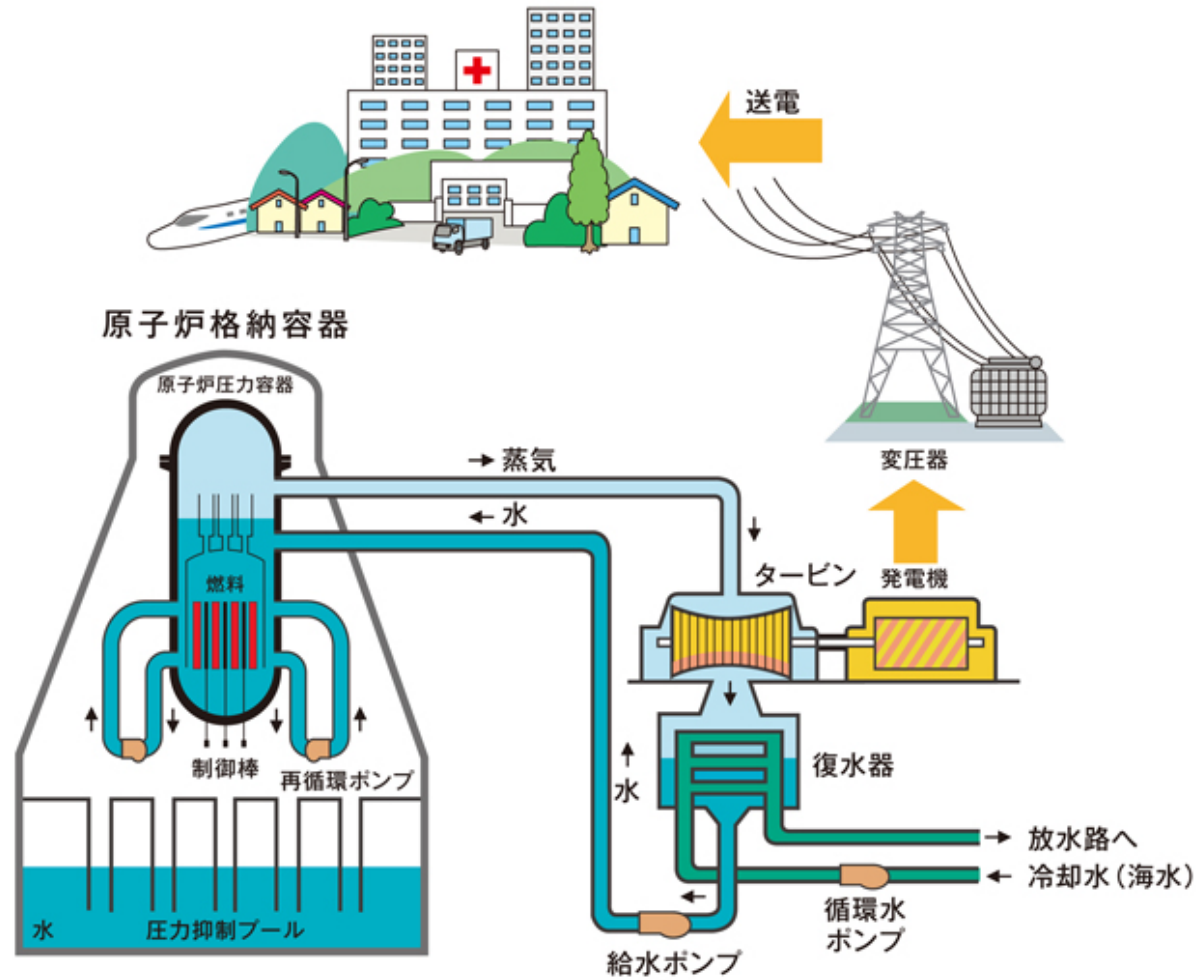


- D<sup>3</sup>He反応

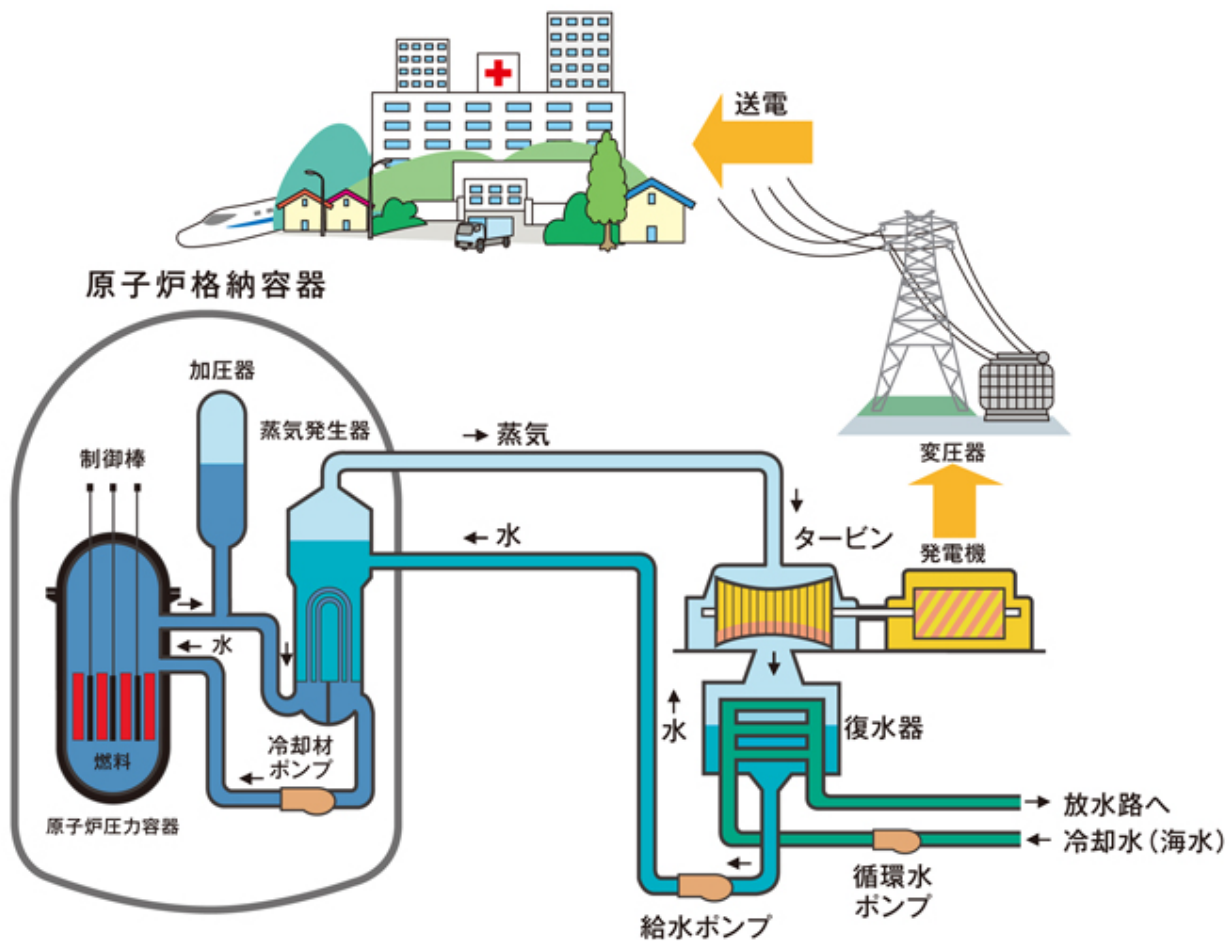


-----  
DD反応炉でも、DD反応によってTが生成されるため、二次的にDT反応が発生する。

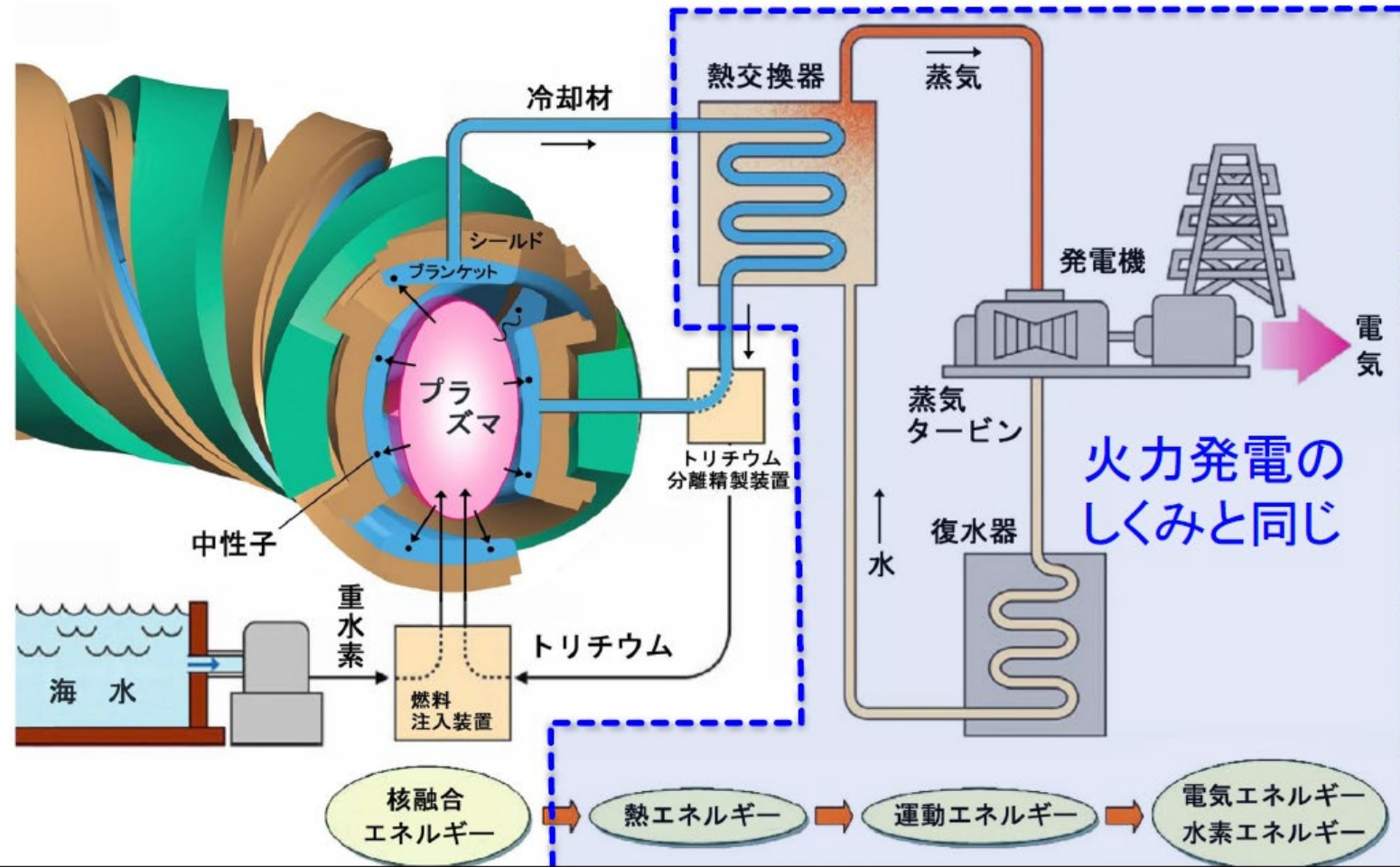
# 沸騰水型炉 (BWR) 原子力発電のしくみ



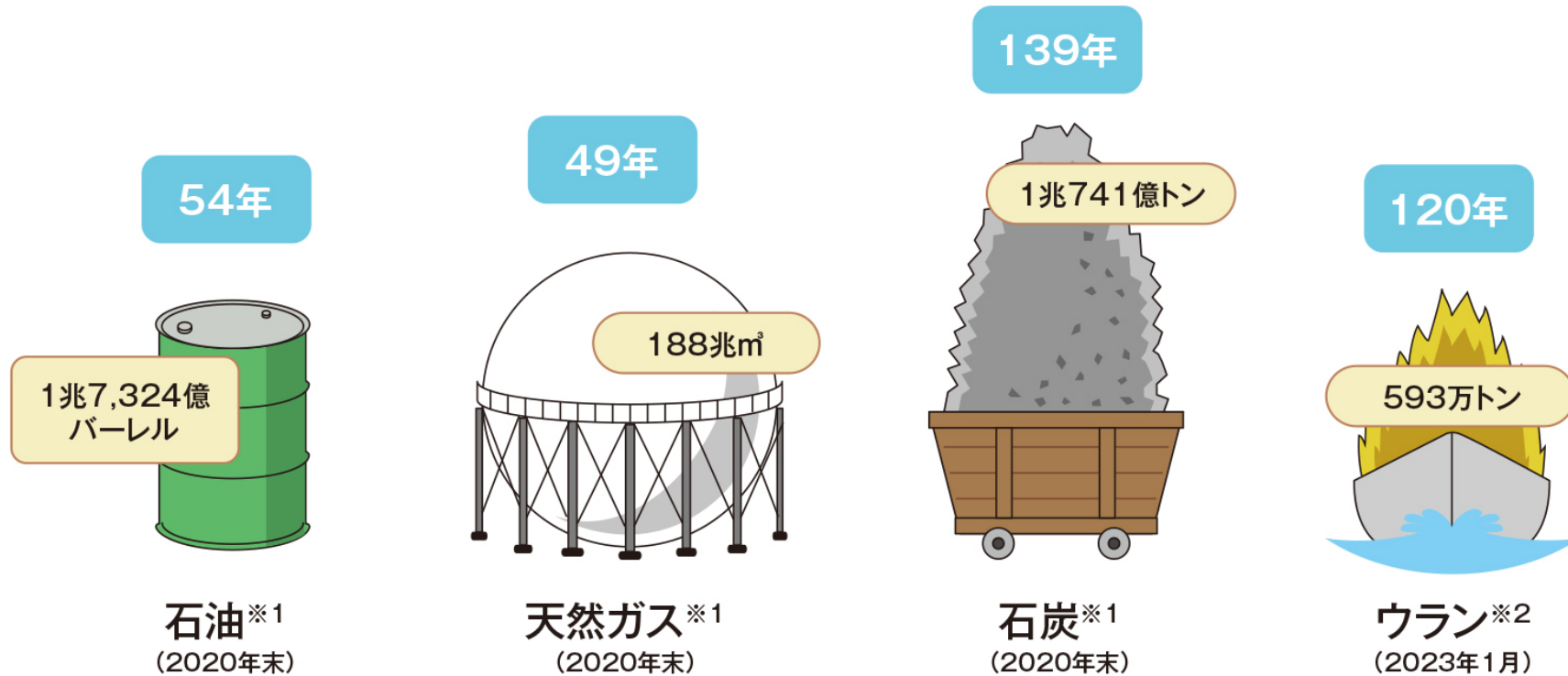
# 加圧水型炉 (PWR) 原子力発電のしくみ



# 核融合炉の構成



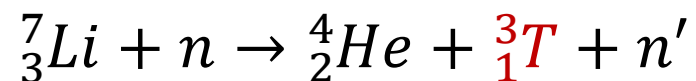
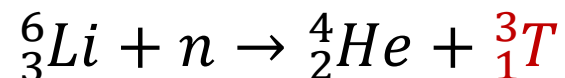
# 世界のエネルギー資源確認埋蔵量



(注) 可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量  
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

# 核融合炉の燃料資源

- 海水からの回収：ほぼ無尽蔵に存在（原子力白書、平成4年版）
- 海水中濃度：重水素33ppm、リチウム0.17ppm
- トリチウムは天然にはほとんど存在しないため、海水からリチウムを回収し、リチウム化合物の状態です核融合炉ブランケットに配置し、下記のような反応によりトリチウムを生産する



# リスクに関する核分裂炉、核融合炉の比較

| 項目       | 核融合炉                               | 核分裂炉                               |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|
| 反応形態     | 連鎖反応でない                            | 連鎖反応                               |
| 炉心構造     | 複雑（リンク構造、極低温の断熱など）                 | 簡単                                 |
| 発熱密度     | 小（～3MW/m <sup>3</sup> ）            | 大（～50MW/m <sup>3</sup> ）           |
| 放射性廃棄物種類 | 放射化物に種類が限定され、半減期を短くできる             | 核分裂生成物を含み半減期が長い                    |
| 構造物の放射化  | 大：中性子が14MeV、発生エネルギーあたりの中性子数は軽水炉の5倍 | 燃料集合体以外は小                          |
| 燃料サイクル   | 炉内で完結                              | 所外も必要                              |
| 保守       | 炉心内機器の定期的交換が必要<br>炉心内線量率が高い        | 燃料以外は基本的に交換の必要なし<br>燃料を除去すれば線量率は低い |

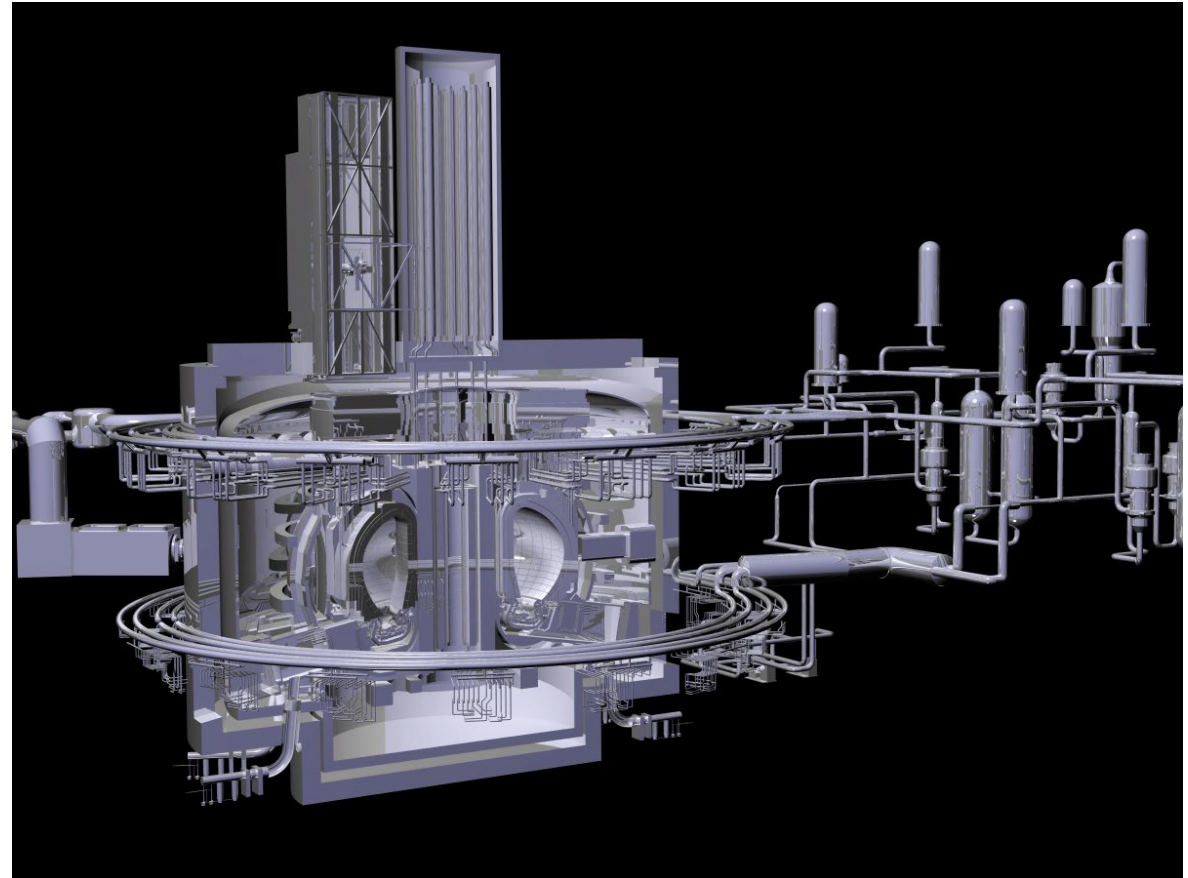
# 核融合炉の現状と今後の開発

- 現状

- ITER(実験炉)建設中
- ITERを補完する意味でJA-60SA等の運転・データ解析
- スタートアップによる商用化を目指した開発

- 今後の開発

- DEMO(原型炉)
- スタートアップによる炉の進捗は



(<https://demo.qst.go.jp/reactor/index.html>、QST)

# 核分裂炉の現状と今後の開発

- 小型軽水炉の開発
  - コスト削減と短工期
  - 安全性の向上: 受動的な安全システム(自然循環による炉心冷却)、コアキャッチャー(Core Catcher)等
- 高速炉型、高温ガス炉型なども開発
- 福島第一原発事故の影響
  - 地球規模での環境問題等を受け、海外では従来から原子力利用の拡大が検討されてきた。
  - 日本国内では福島第一と同じBWRでも再稼働が徐々に進みつつある。
  - S(Safety)+3E(Energy Security, Economic Efficiency, が必要。