

宮城教育大学 オンライン対話会 2020.8.11

# 原子力エネルギーと核融合開発

阿部 勝憲

東北大学・八戸工業大学名誉教授

シニアネットワーク東北

# 自己紹介

- 1943年 青森県八戸市 生まれ 八戸高校卒業
- 1968年 東北大学大学院 原子核工学専攻修士修了
  
- 1968年～ 東北大学 金属材料研究所 勤務  
(その間1983年より1年間 文部省在外研究員として米国リバモア研究所滞在)
- 1987年～2007年 東北大学 工学研究科 勤務
- 2007年～2015年 八戸工業大学 勤務  
(2015年より シニアネットワーク東北で活動)
  
- 専門分野： 原子炉材料(構造材料の高温強度、照射効果)  
核融合炉材料(低放射化材料、ブランケット材料)

# 講演内容

I. エネルギーと環境の課題

II. 原子力発電の特徴と原子燃料サイクル

III. 核融合炉開発

# I. エネルギーと環境の課題

## (1) エネルギーセキュリティ、自給率

日本の自給率、震災による変化

## (2) 地球温暖化対策、温室効果ガスの削減

温室効果のしくみ、各種電源のCO<sub>2</sub>量

## (3) ベースロード電源の役割

電力需要への対応

## (4) エネルギー政策 “3E + S”

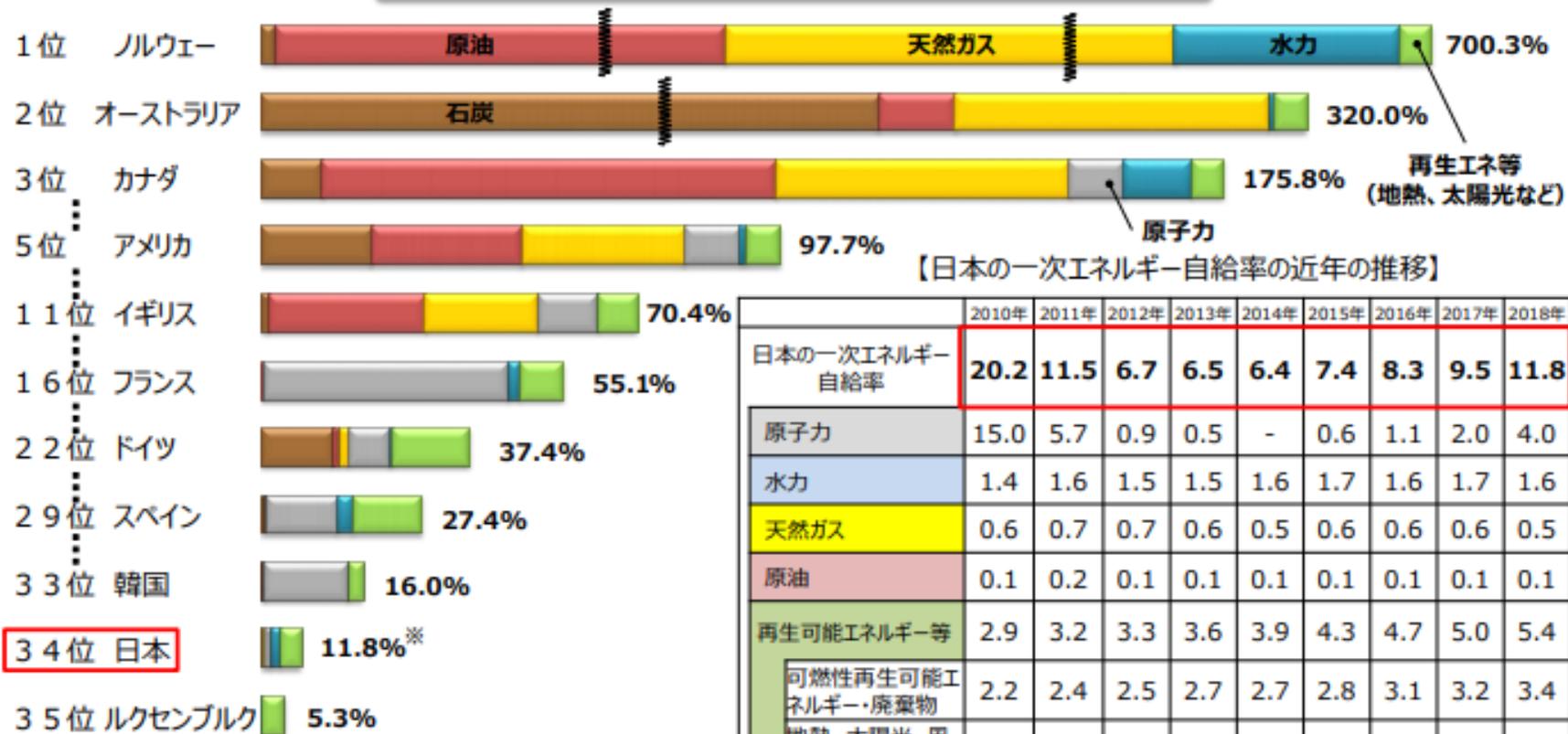
エネルギーミックス、2030年度の目標、原子力の役割

# (1) エネルギーセキュリティ、自給率

## エネルギー安定供給：主要国の一次エネルギー自給率の推移

- 震災前（2010年：20.2%）に比べて大幅に低下。OECD 35か国中、2番目に低い水準に。  
※ IEAは原子力を国産エネルギーとして一次エネルギー自給率に含めており、我が国でもエネルギー基本計画で「準国産エネルギー」と位置付けている。

OECD諸国の一次エネルギー自給率比較（2018年）



【日本の一次エネルギー自給率の近年の推移】

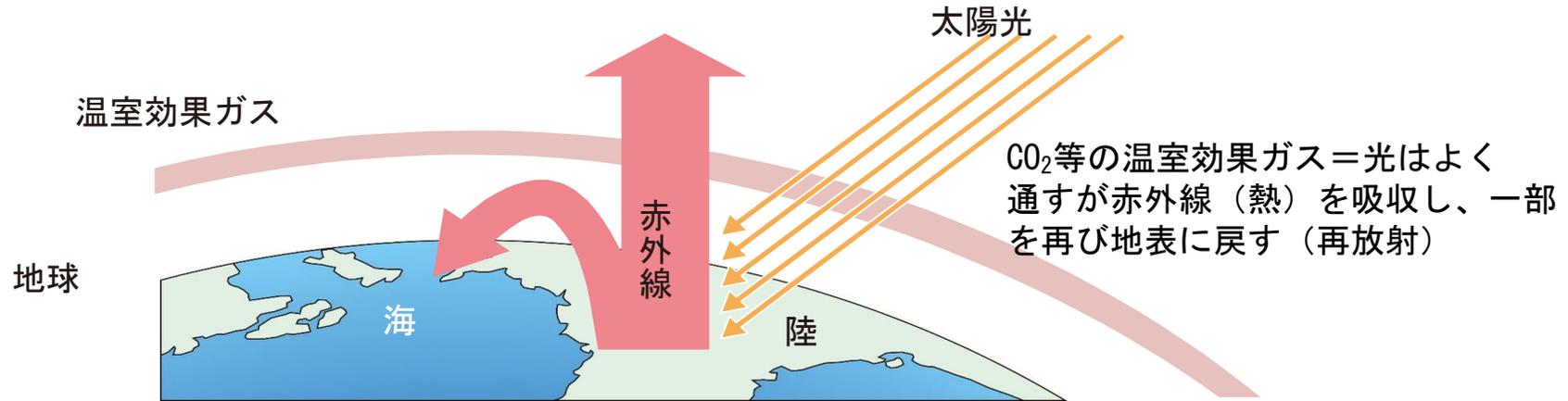
|                  | 2010年 | 2011年 | 2012年 | 2013年 | 2014年 | 2015年 | 2016年 | 2017年 | 2018年 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 日本の一次エネルギー自給率    | 20.2  | 11.5  | 6.7   | 6.5   | 6.4   | 7.4   | 8.3   | 9.5   | 11.8  |
| 原子力              | 15.0  | 5.7   | 0.9   | 0.5   | -     | 0.6   | 1.1   | 2.0   | 4.0   |
| 水力               | 1.4   | 1.6   | 1.5   | 1.5   | 1.6   | 1.7   | 1.6   | 1.7   | 1.6   |
| 天然ガス             | 0.6   | 0.7   | 0.7   | 0.6   | 0.5   | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 0.5   |
| 原油               | 0.1   | 0.2   | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.1   |
| 再生可能エネルギー等       | 2.9   | 3.2   | 3.3   | 3.6   | 3.9   | 4.3   | 4.7   | 5.0   | 5.4   |
| 可燃性再生可能エネルギー・廃棄物 | 2.2   | 2.4   | 2.5   | 2.7   | 2.7   | 2.8   | 3.1   | 3.2   | 3.4   |
| 地熱、太陽光、風力、その他    | 0.7   | 0.8   | 0.8   | 0.9   | 1.2   | 1.4   | 1.6   | 1.8   | 2.0   |

【出典】IEA「World Energy Balances 2019」の2018年推計値  
※日本のみ「総合エネルギー統計」の2018年速報値

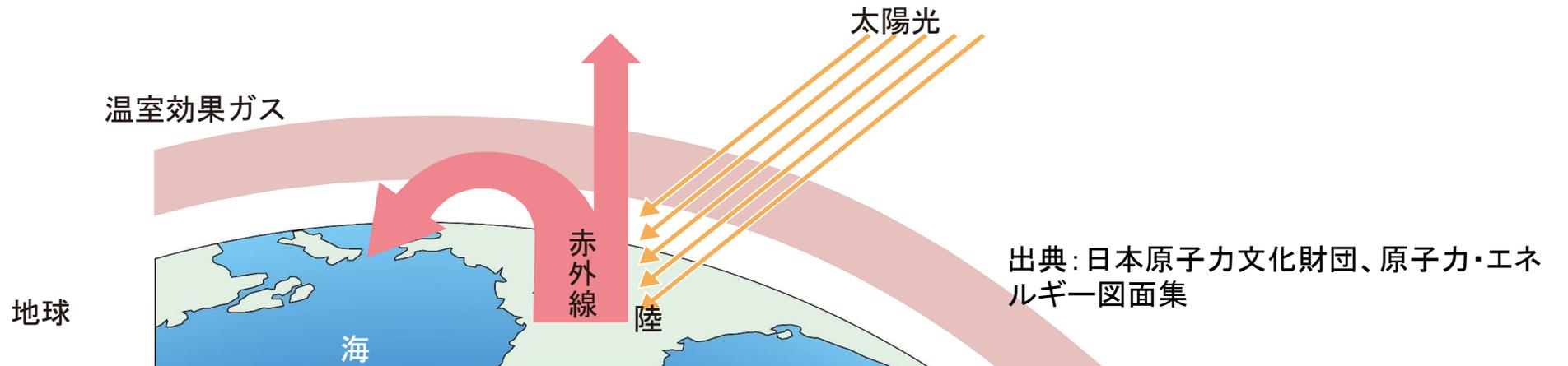
※四捨五入の関係で合計が合わない場合がある。

## (2) 地球温暖化対策、温室効果ガスの削減

### 温室効果のしくみ

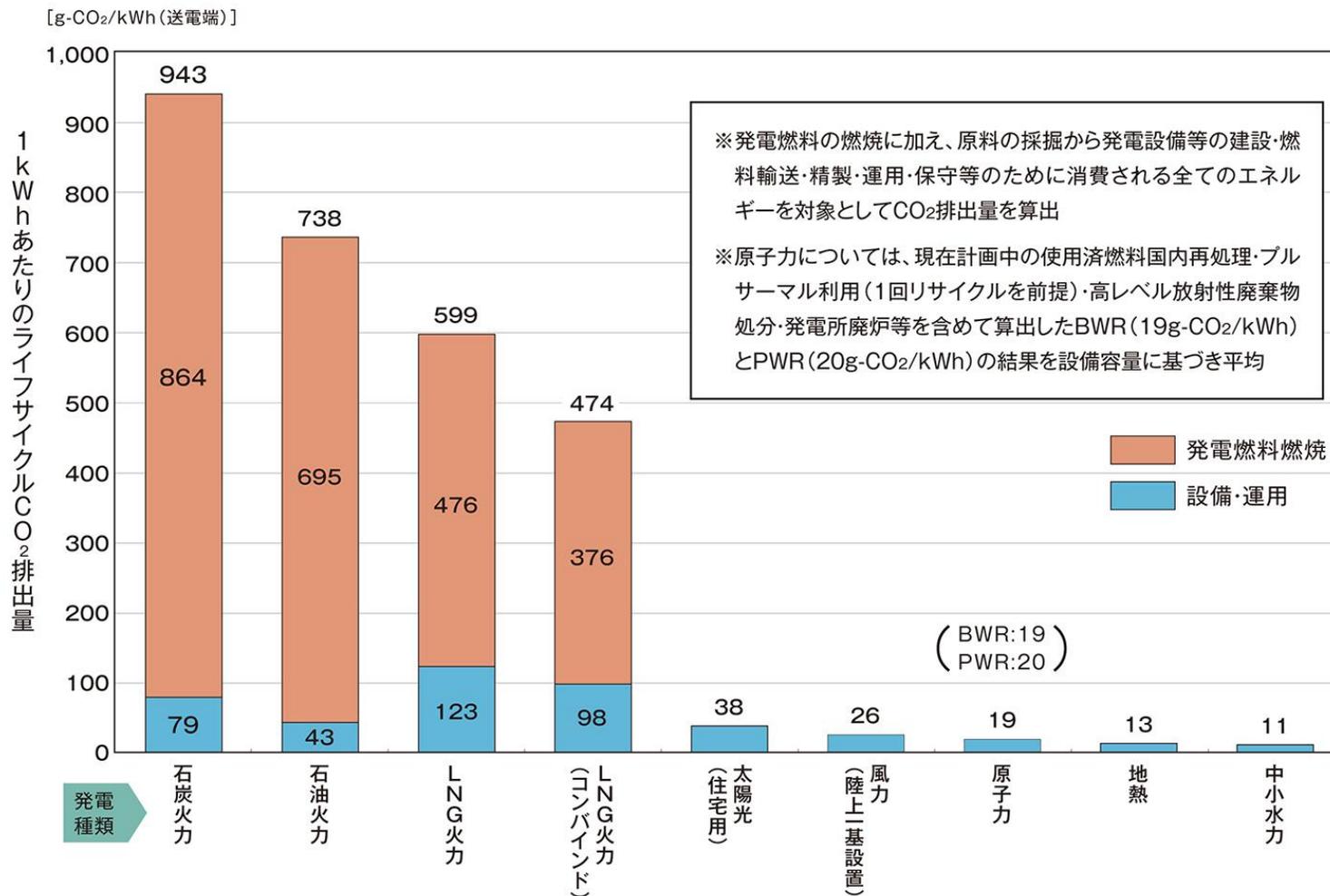


温室効果ガスが増加すると



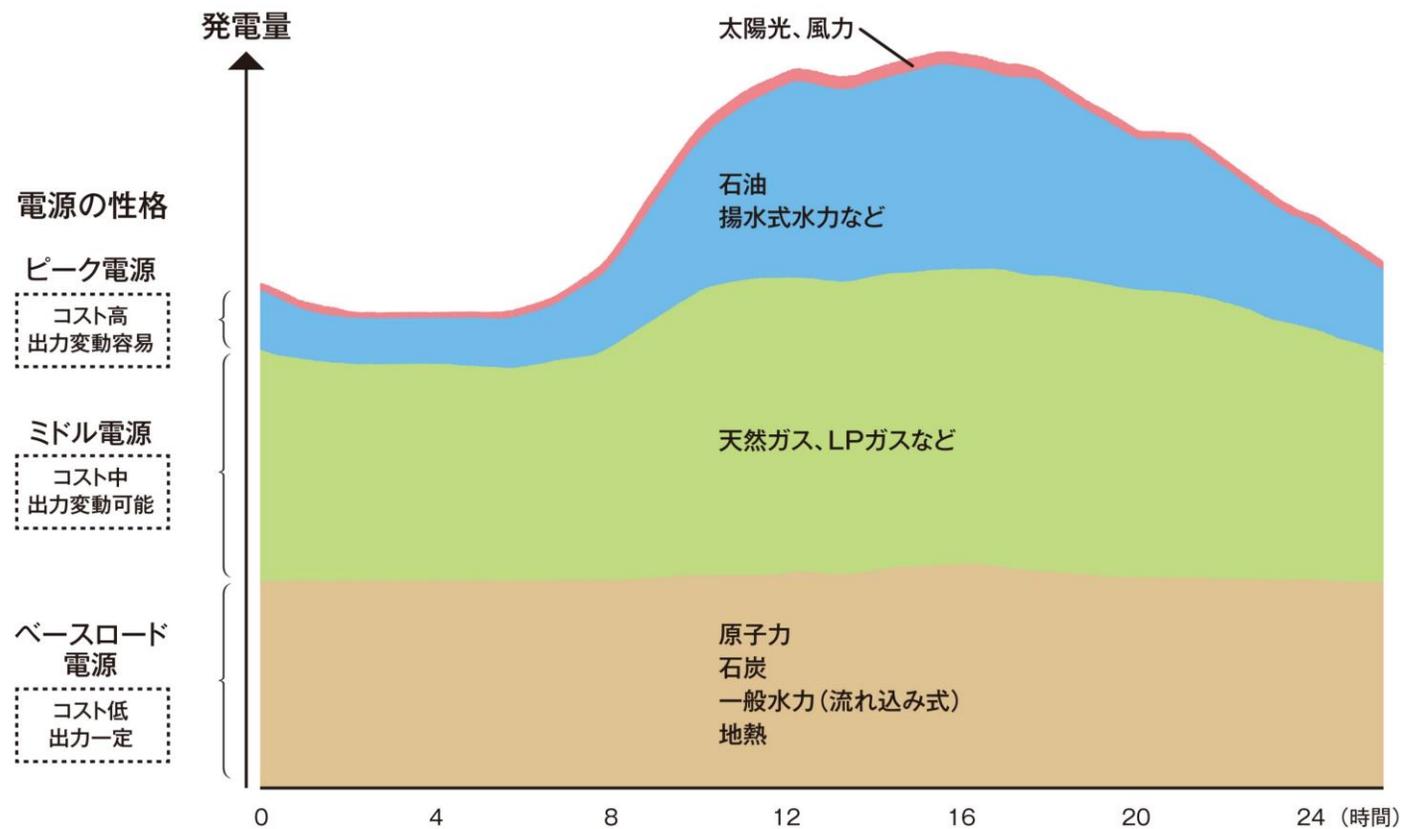
# (2) 地球温暖化対策、温室効果ガスGHGの削減

## 各種電源別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量



# (3) ベースロード電源の役割

## 電力需要に対応した電源構成



# (4) エネルギー政策 “3E+S”

## エネルギーミックス～3E+Sの同時実現～

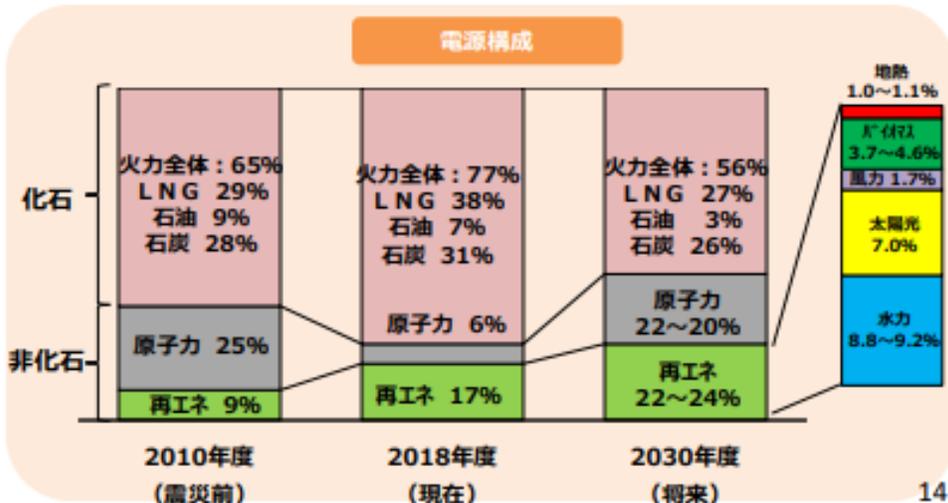
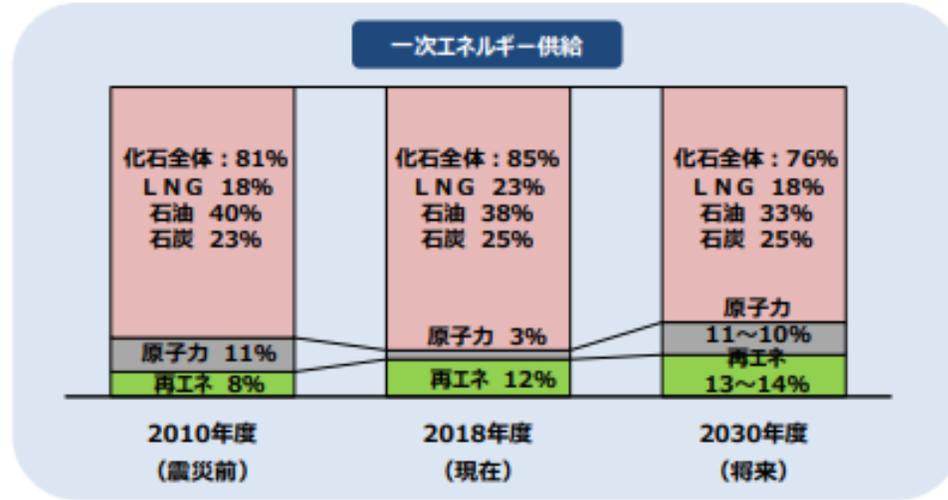
<3E+Sに関する政策目標>

安全性(Safety)  
安全性が大前提

**自給率  
(Energy Security)**  
震災前(約20%)を更に上回る概ね25%程度

**経済効率性(電力コスト)  
(Economic Efficiency)**  
現状よりも引き下げる

**温室効果ガス排出量  
(Environment)**  
欧米に遜色ない温室効果ガス削減目標



## (4) エネルギー政策 “3E+S”

〈我が国で原子力発電を利用する理由〉

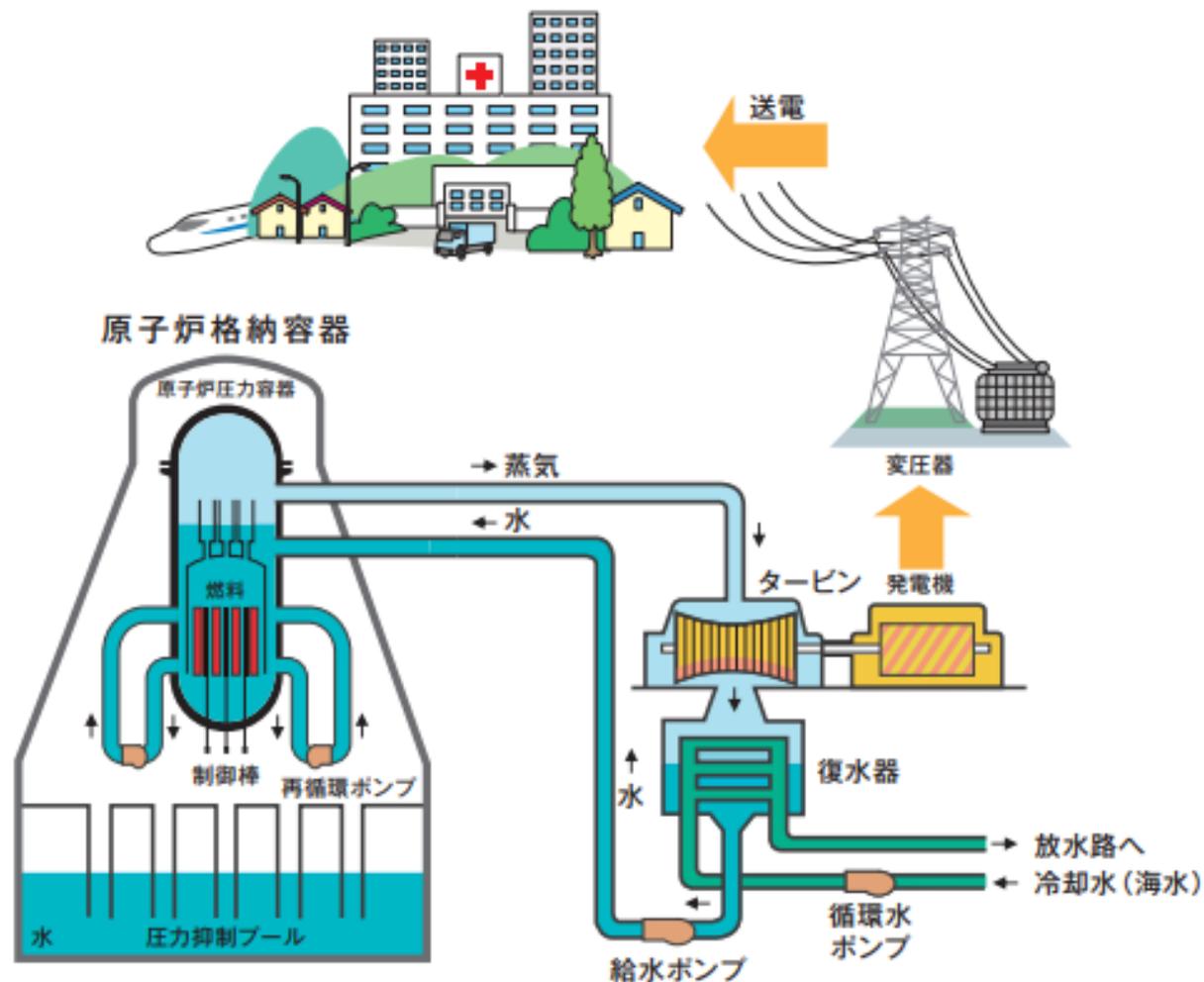
- CO<sub>2</sub>排出量が少なく温暖化対策になる
- 燃料のウラン資源量が化石燃料(石油)に比べて豊富
- ウランの輸入先が安定で多方面である
- 準国産エネルギー源としての特徴(後述)
- 供給安定性(季節や時間帯)とエネルギー密度が高い
- 経済性に優れる(事故を起こさないことが前提)

## II. 原子力発電の特徴と原子燃料サイクル

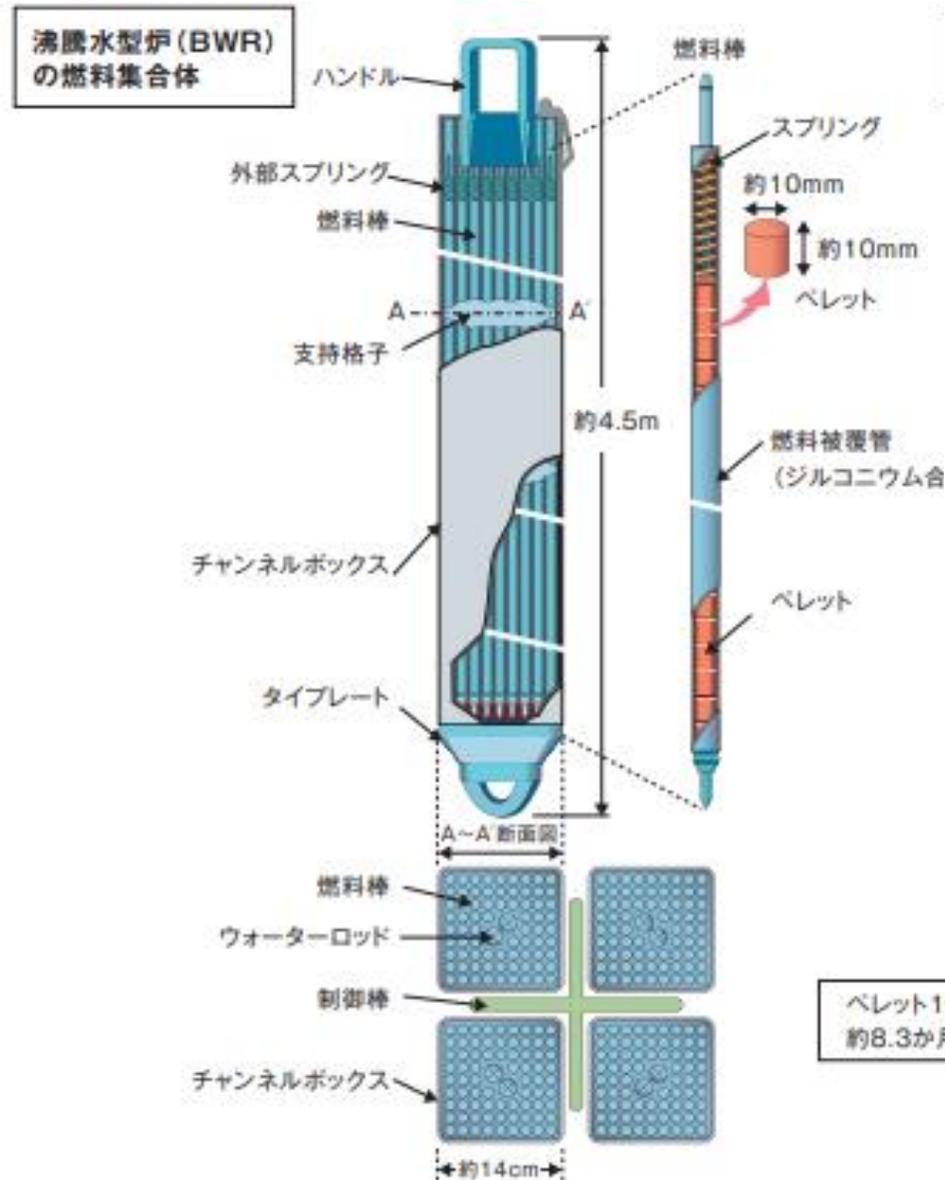
- (1) 原子力発電のしくみ
- (2) ウラン燃料と核分裂反応
- (3) 原子力発電所の安全の仕組み
- (4) 原子燃料サイクル
- (5) 放射性廃棄物
- (6) 準国産エネルギー源としての原子力

# (1)原子力発電のしくみ

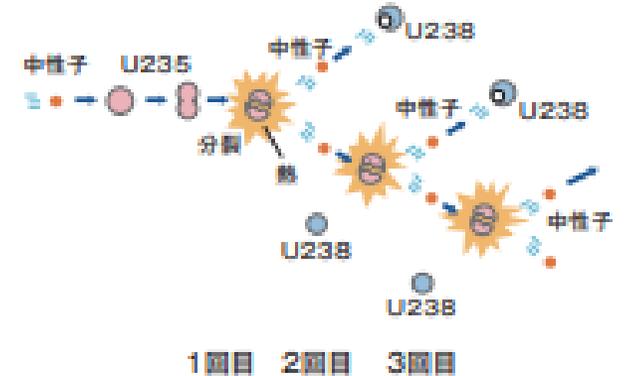
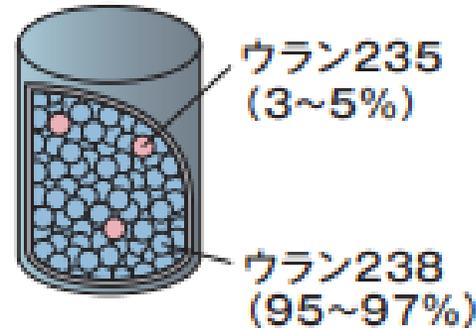
## 沸騰水型炉 (BWR) 原子力発電のしくみ



## (2)ウラン燃料と核分裂反応



ウラン235の割合が低く、中性子がウラン238に吸収される等の理由により核分裂が一定の規模で継続する

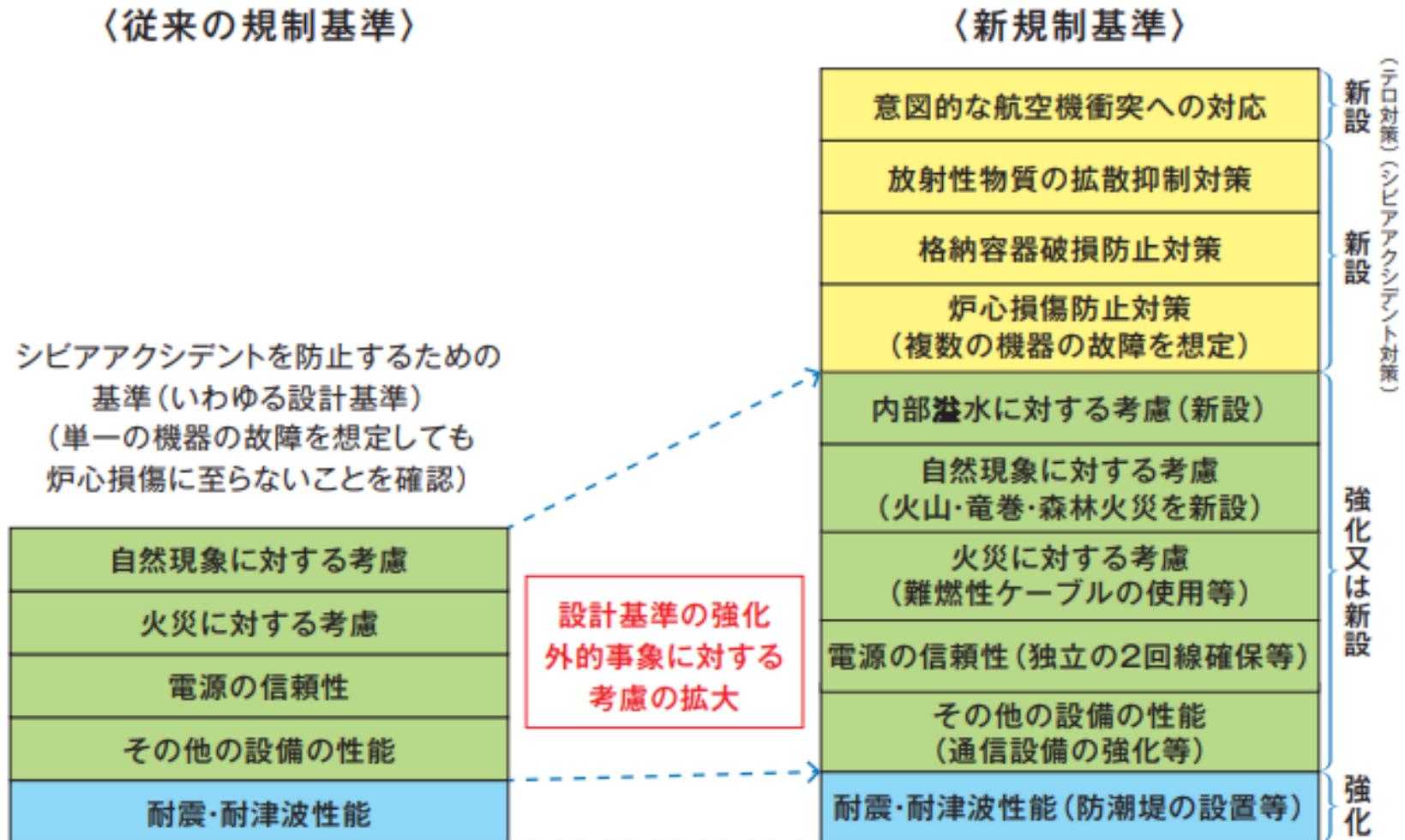


ペレット(ウラン酸化物のセラミックス固体)内で、ウラン235が核分裂して、主に核分裂生成物の運動エネルギーが熱エネルギーとなる。

天然ウラン(U235が約0.7%、U238が約99.3%)から濃縮によりウラン燃料(U235が約3~5%)をつくる。

# (3) 原子力発電所の安全の仕組み

## 原子力発電所の新規制基準





# (5) 放射性廃棄物

## 日本で発生する廃棄物の量

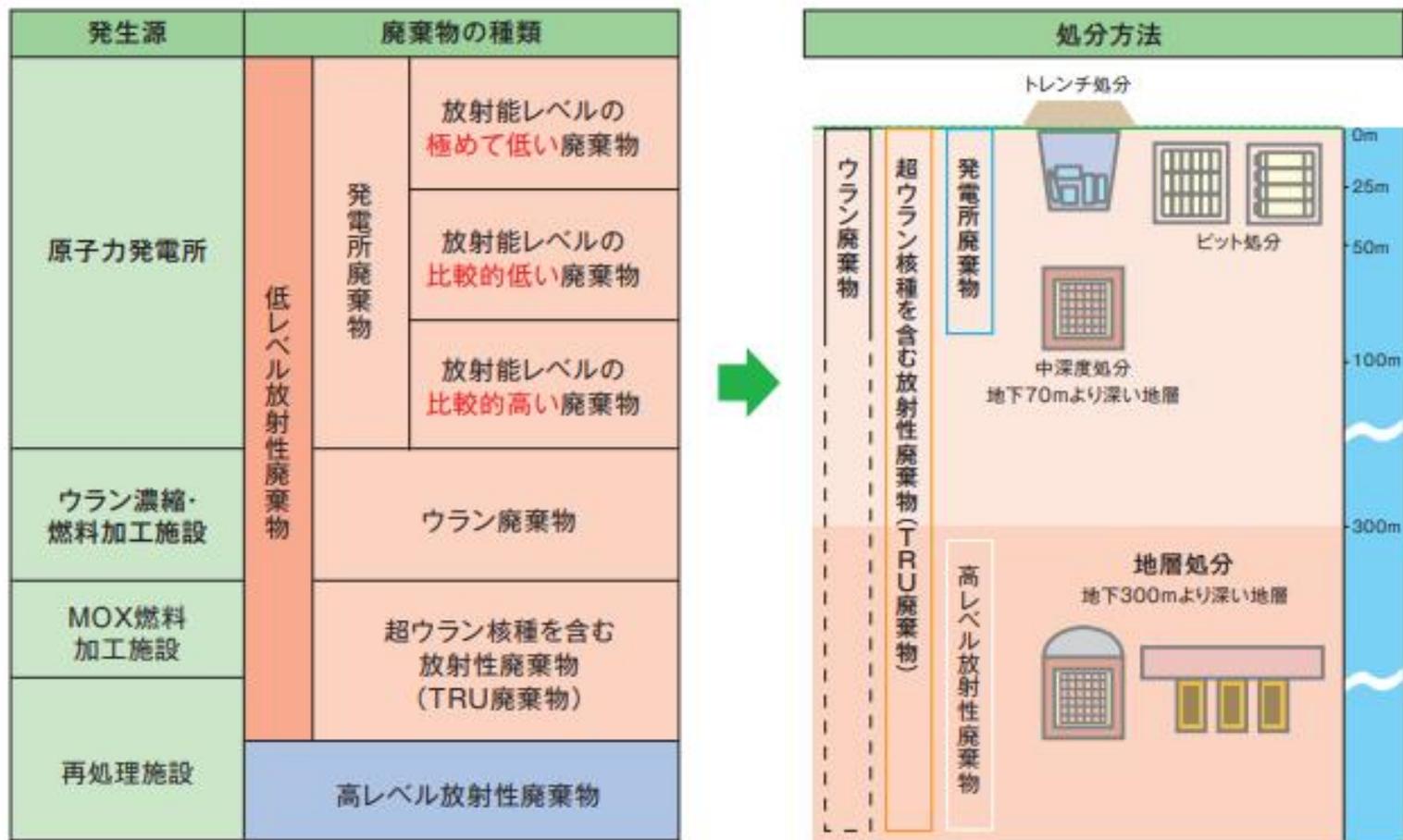
|        | 発生廃棄物量(トン/日)                              |           | 備考             |
|--------|---|-----------|----------------|
| 一般廃棄物  | 主に家庭から排出される生ゴミ、粗大ゴミ<br>およびオフィスから排出される紙くず等 | 117,057   | 平成29年度実績       |
| 産業廃棄物  | 事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、<br>廃プラスチック、廃酸、廃アルカリ等   | 1,060,274 | 平成28年度実績       |
| 放射性廃棄物 | 原子力施設の運転、保守等に伴って<br>発生する放射性の廃棄物           | 高レベル 1.4  | 平成12~18年<br>推定 |
|        |   | 低レベル 44   | 平成29年度実績       |

出典: 日本原子力文化財団、原子力・エネルギー図面集

# (5) 放射性廃棄物

## 放射性廃棄物の種類と処分の概要

放射能レベルに応じた深度や障壁（バリア）を選び、トレンチ・ピット処分、中深度処分、地層処分に分けて処分が行われる。

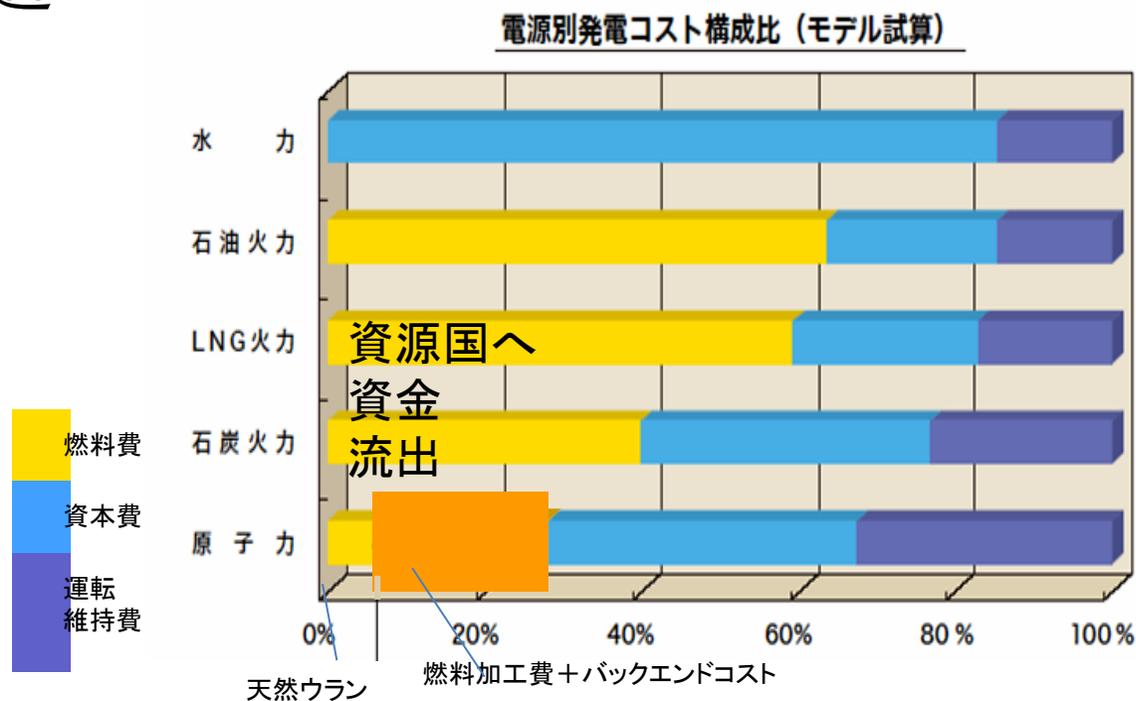


## (6) 準国産エネルギー源としての原子力

- 天然ウラン原料は輸入
- 国内で濃縮  
日本原燃濃縮工場
- 国内で燃料集合体製造  
原子燃料メーカー
- 備蓄性に優れる

- 国内で使用済み燃料からプルトニウム取り出し再利用可能

日本原燃再処理工場



図の出典: 資源エネルギー庁資料

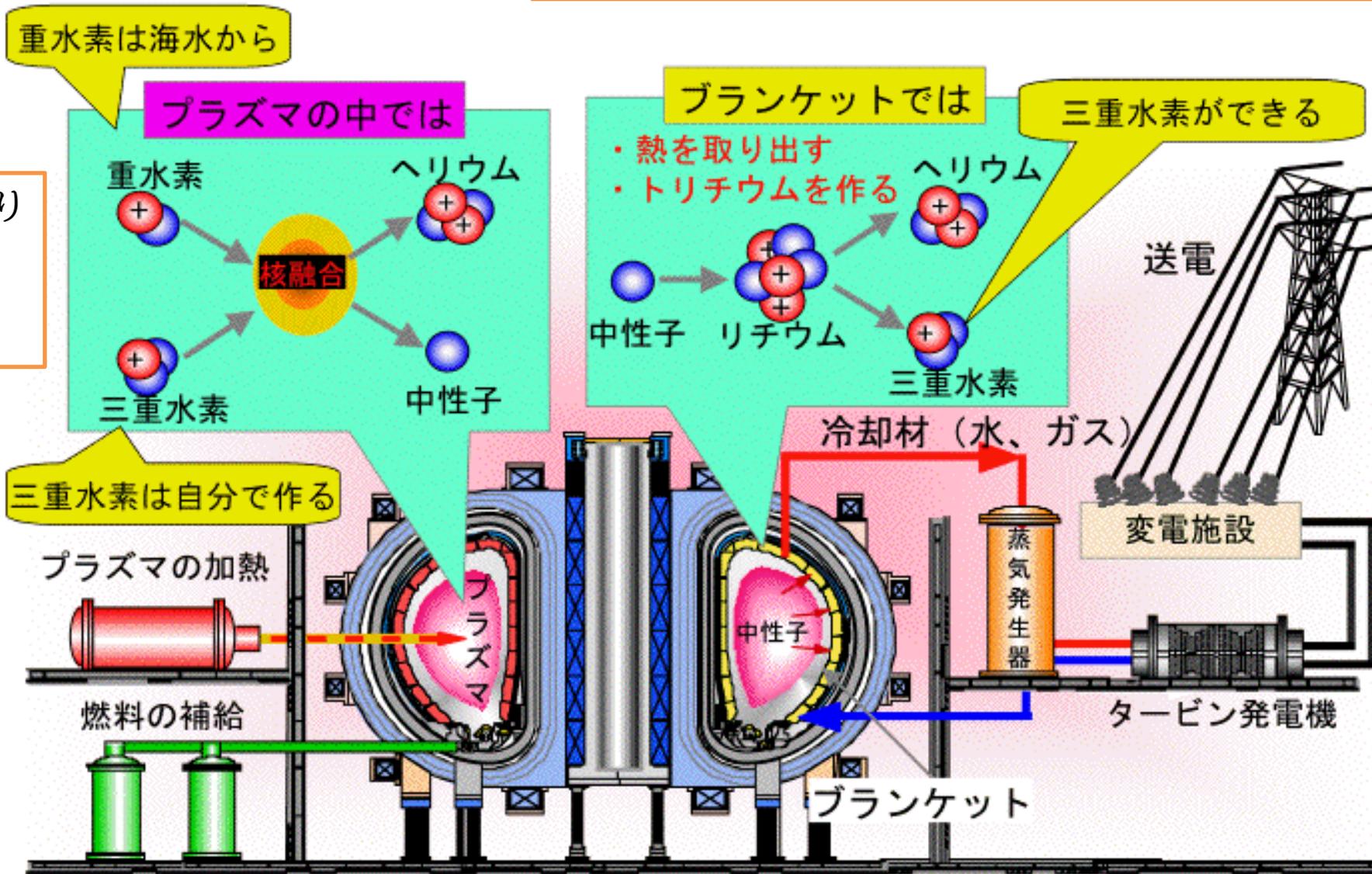
# III. 核融合炉開発

- (1) 核融合炉のしくみ
- (2) 核分裂炉と核融合炉の比較
- (3) 核融合エネルギーの段階的開発戦略
- (4) 国際熱核融合実験炉 (ITER) 計画
- (5) 原子力技術との関係

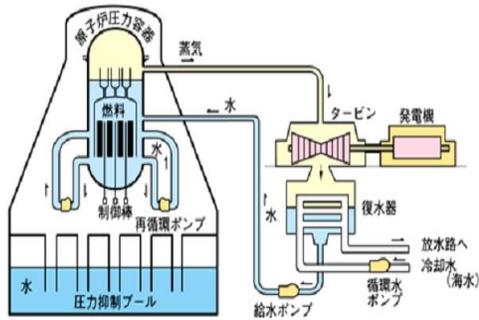
# (1) 核融合炉のしくみ

プラズマ(ほぼ真空に近い)内で核融合反応を起こし、主に中性子の運動エネルギーをブランケットで熱に変換する。

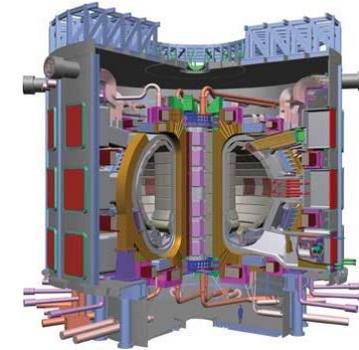
超伝導マグネットによりプラズマをドーナツ型容器に閉じ込めて、約1億度に加熱する。



## (2) 核分裂炉と核融合炉の比較



核分裂炉



核融合炉

少ない

CO<sub>2</sub>排出量

少ない

ウラン

- ・増殖炉により数十倍
- ・海水からの回収

燃料資源

重水素と3重水素

- ・重水素(海水から)
- ・リチウム(鉱物、海水から)

高レベル廃棄物  
低レベル廃棄物

- ・消滅技術、低放射化

放射性廃棄物

高レベル廃棄物はない  
低レベル廃棄物

- ・低放射化材料開発

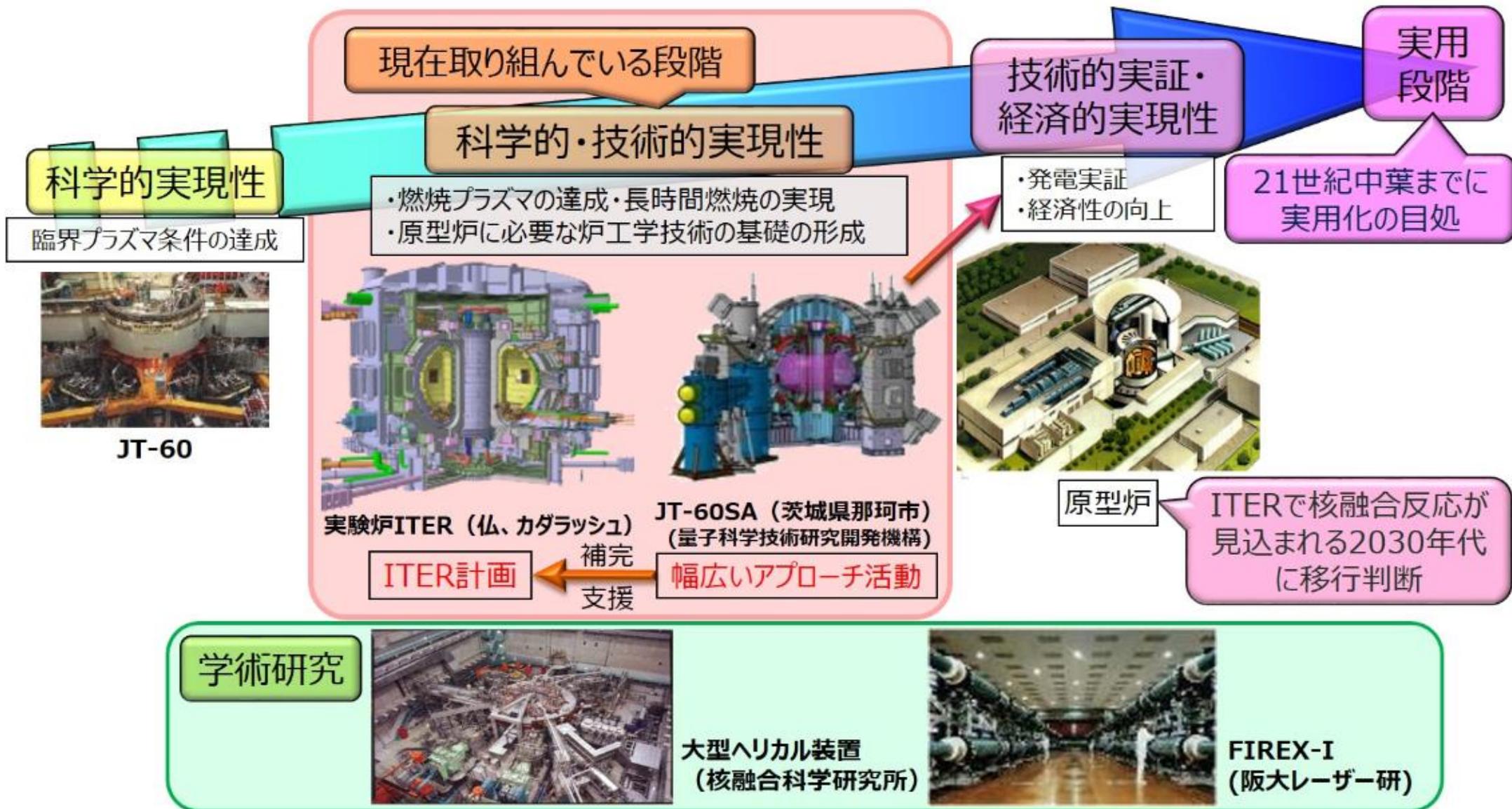
- ・早期に実用化
- ・軽水炉  
高経年化対策
- ・高速炉

技術的課題

- ・はるかに難しく、  
ようやく実験炉ITER計画
- ・実用化には材料開発など

実用化には経済性

# (3) 核融合エネルギーの段階的開発戦略



# (4) 国際熱核融合実験炉 (ITER) 計画

核融合出力

500MW

燃焼時間

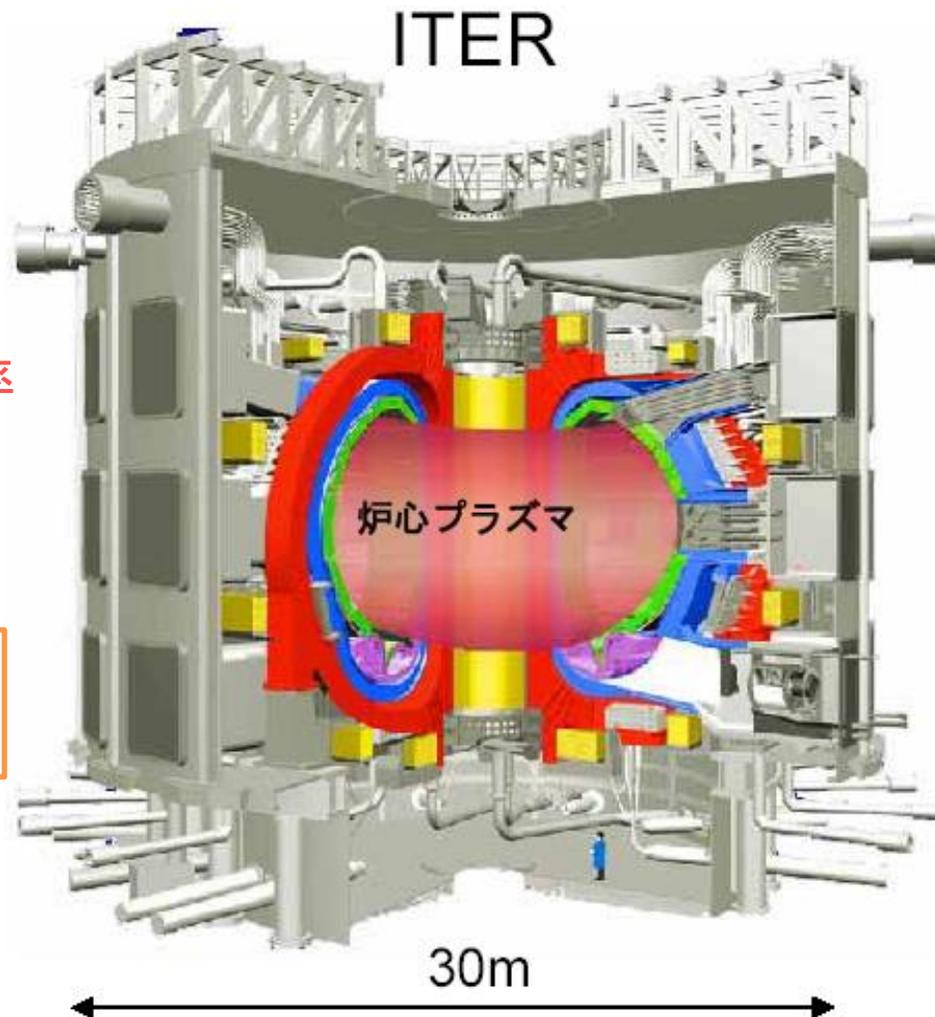
300秒～定常

エネルギー増倍率

( $Q = \text{出力} / \text{入力}$ )

5以上

日本がEUと並んで主導的な役割



・ITER国際機構

リーダー: 池田要 / 本島修 / B.ピゴ (仏)、  
(副) 多田栄介

・参加国

日本、EU、米、ロシア、  
中国、韓国、インド

・スケジュール

設計 —2004

建設 2010—2025

実験 2025—

(前半: 物理、後半: 工学)

・建設地

カダラッシュ (仏)

サテライト

六ヶ所 (日本)

# ITER建設サイト全景（撮影：2020年5月）

出典：量子科学研究機構/核融合部門HP



## (5) 原子力技術との関係

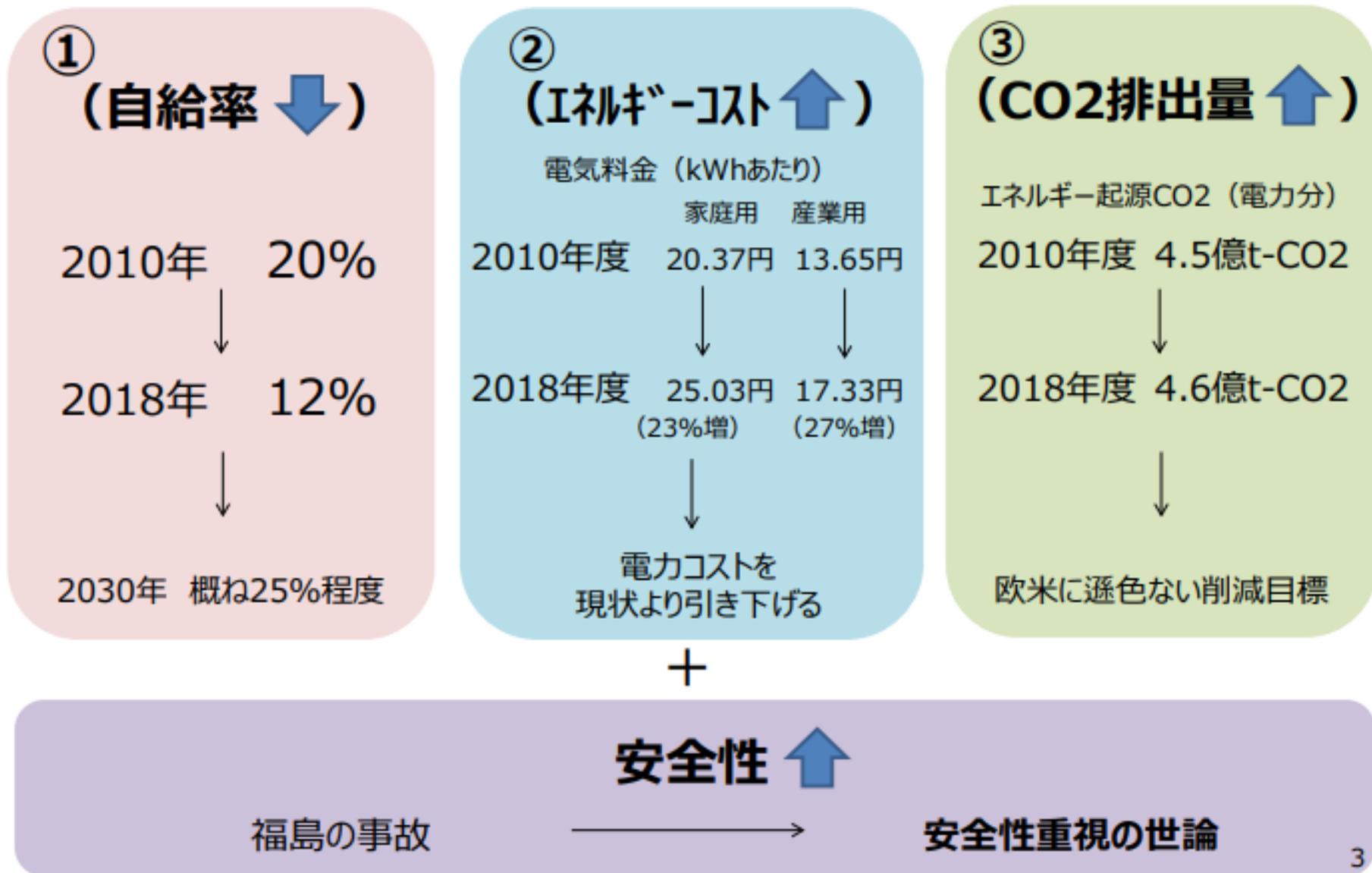
核融合開発には原子力技術・産業が着実に進むことが必要

- 原子炉工学技術(冷却・除熱技術、耐熱材料、発電技術など)
- 大型構造物・超電導マグネット製作・システム設計
- 放射線・RI取り扱い技術(トリチウム燃料、遮蔽、放射化廃棄物など)
- 試験用原子炉(候補材料やブランケット機器の中性子照射試験)  
など

# 講演のまとめ

- ・ 3E+Sをバランス良く実現できるエネルギーミックスにおいて、準国産エネルギー源としての原子力の役割が欠かせない。
- ・ 新規性基準の審査をクリアした原子力発電所の再稼働を進めることが重要。東北地方では東北電力女川2号機が規制委員会の審査に合格し(今年7月)、地元説明会も開始された。
- ・ 将来のエネルギー源として開発が進められている国際熱核融合実験炉ITERは本体組み立てが始まり(今年7月)、2025年の実験開始を目指している。

## 2011年東日本大震災及び福島第一原発事故後の変化



## 【参考】各国・地域の原発利用

