

# 第126回研修会

## 脱炭素エネルギー社会の 確立に思うこと

令和4年4月23日

労働安全コンサルタント 井上順次

# 目次

1. 脱炭素化とは
2. カーボンニュートラル実現のために
3. これからのエネルギー

# 1. 脱炭素化とは

# はじめに

脱炭素化とは、低炭素の電源や再生可能エネルギーを利用してCO<sub>2</sub>の排出を削減・消滅させ、持続可能な環境に向けてビジネスや生活のあり方を見直すことを指します。

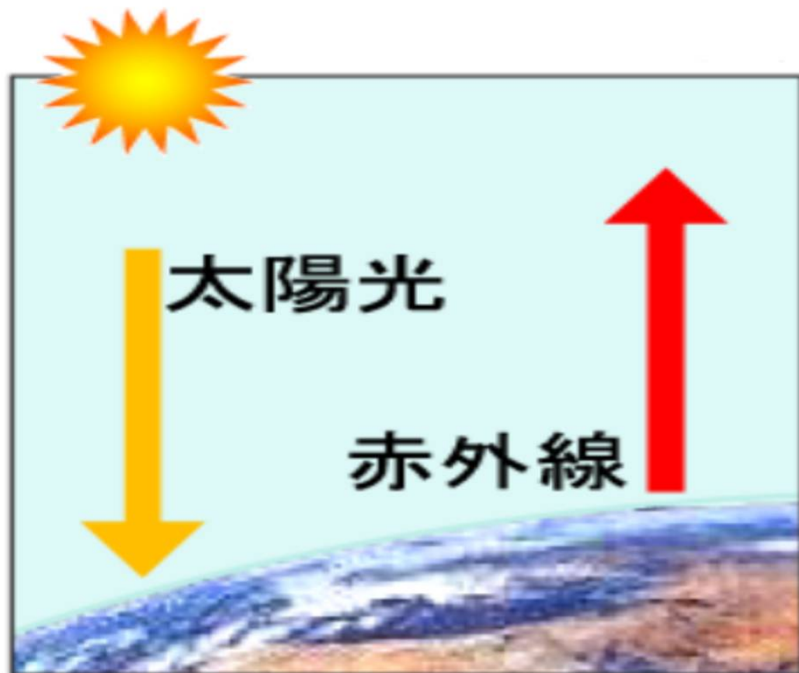
何故必要か

**地球温暖化を抑制するためには**、主に輸送と発電のために化石燃料を燃やして排出される温室効果ガスの量を減らすことが重要です。

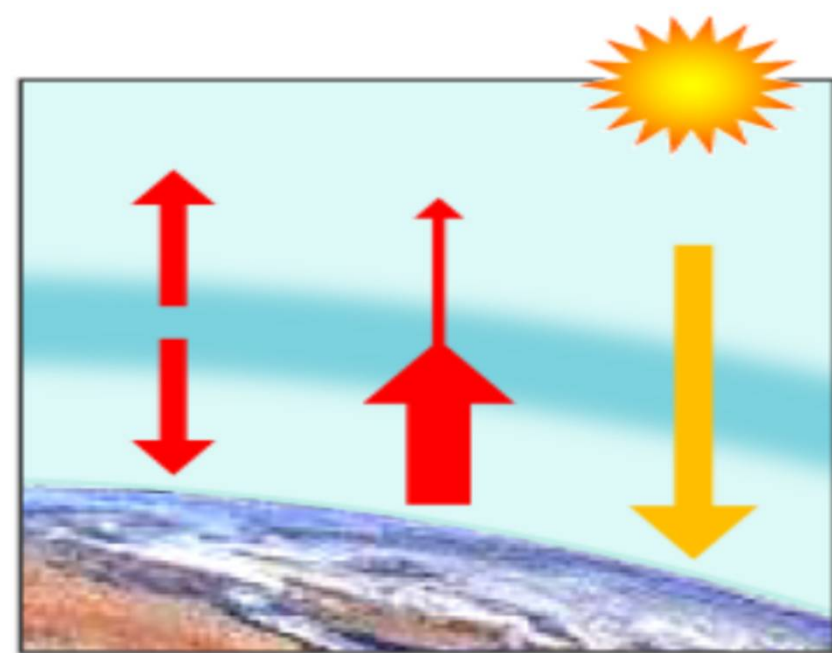
それは

温室効果ガスの排出量ネット・ゼロを達成することです。そのためには、**クリーンエネルギーへの切り替え**と、**化石燃料消費から電気への移行**が必要です。

# ■地球温暖化とは



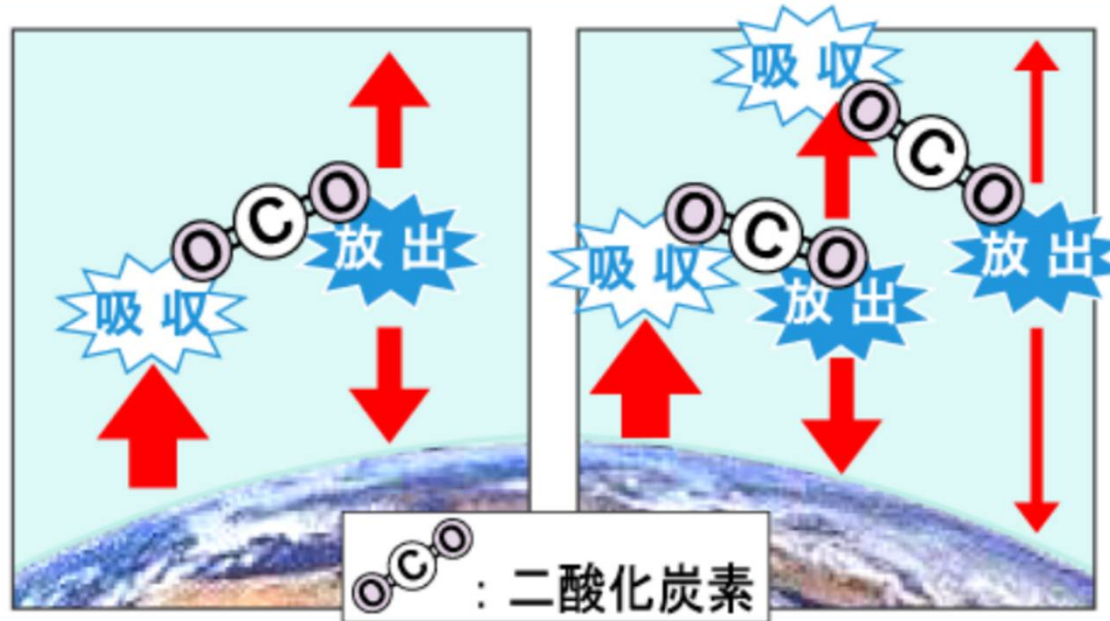
一般に、**物体は**、その温度が高いほどたくさんの**エネルギー**を**赤外線**として放出



**地表の温度は**、地表がうけとるエネルギーとちょうど同じだけのエネルギーを放出するような温度に決まる

地表は**太陽からのエネルギーと大気からのエネルギーの両方をうけとり**、この効果によって、**地表付近の平均気温はおよそ14°C**となる。もし、**地球に「温室効果」がなければ**、地表付近の**平均気温はおよそ-19°C**になることが計算される。

# ●CO<sub>2</sub>(二酸化炭素)が増えると温室効果が増える

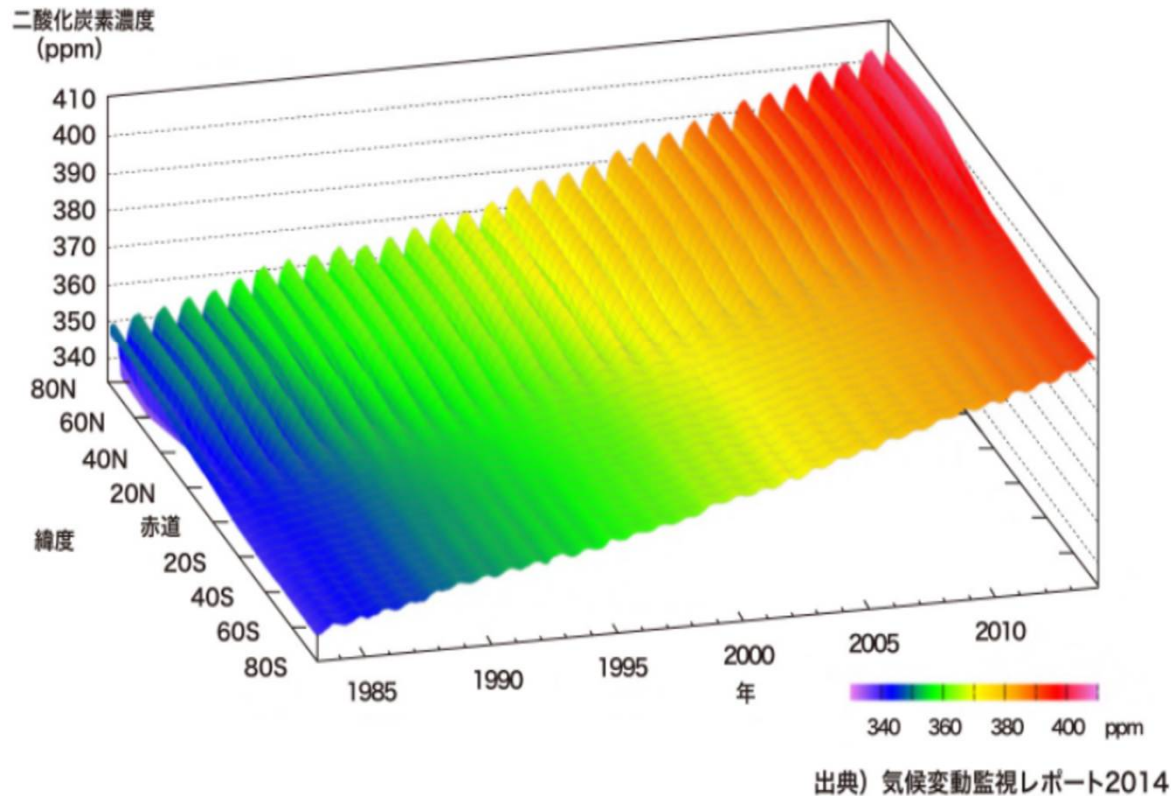


大気中における赤外線吸収、放出の主役は、水蒸気及びCO<sub>2</sub>などの微量な気体の分子

CO<sub>2</sub>分子からも赤外線が放出されている。その結果、CO<sub>2</sub>分子が多いほど、この吸収、放出がくりかえされる回数が増え、CO<sub>2</sub>分子による吸収・放出の回数が増えるたびに、上向きだけでなく下向きに赤外線が放出され、地表に到達する赤外線の量が増える。

# ● 増え続ける温室効果ガス

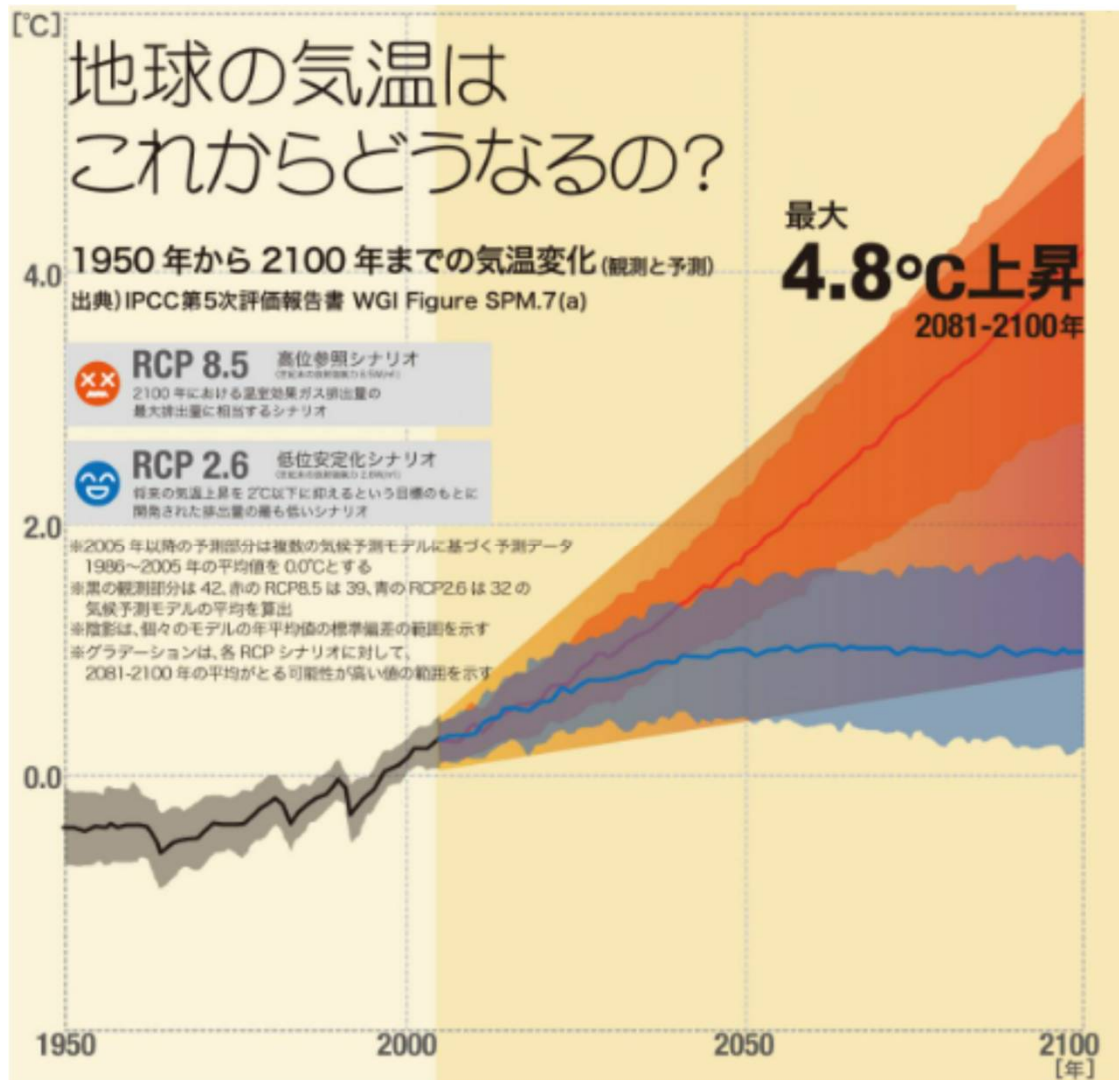
大気中の二酸化炭素濃度の推移（緯度別）



この二酸化炭素濃度は、産業革命前1750年の280ppmから2013年には400ppmを超え、実に40%以上も増加しており、IPCCでは、大気中の二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素は、過去80万年間で前例のない水準まで増加していると報告

※IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）：  
気候変動に関する政府間パネルの国際組織

# ●地球の気温の予測



1901~2000年の100年当たり**0.6°Cの上昇**。  
今後、温室効果ガス濃度がさらに上昇し続けると、**2100年末**には温室効果ガスの排出量が最も少なく抑えられた場合（RCP2.6シナリオ）でも**0.3~1.7°Cの上昇**、最も多い最悪の場合（RCP8.5シナリオ）の場合に**最大4.8°Cの上昇と予測**されている。

RCP（Representative Concentration Pathways（代表的濃度経路））：  
RCPに続く数値が大きいほど2100年における放射強制力\*が大きいことの意味  
\*放射強制力:地球温暖化を引き起こす効果のこと



# ■カーボンニュートラルを目指して

政府は2020年10月に**2050年までに『カーボンニュートラルを目指す』**と宣言しました。



『**カーボンニュートラル**』とは、  
**温室効果ガスの排出を**  
全体として**ゼロ**にすること



つまり

「**排出を**全体として**ゼロ**」とは、二酸化炭素をはじめとする**温室効果ガスの「排出量」**※から、植林、森林管理などによる**「吸収量」**※を差し引いて、**合計を実質的にゼロ**にすることです。

※人為的なもの

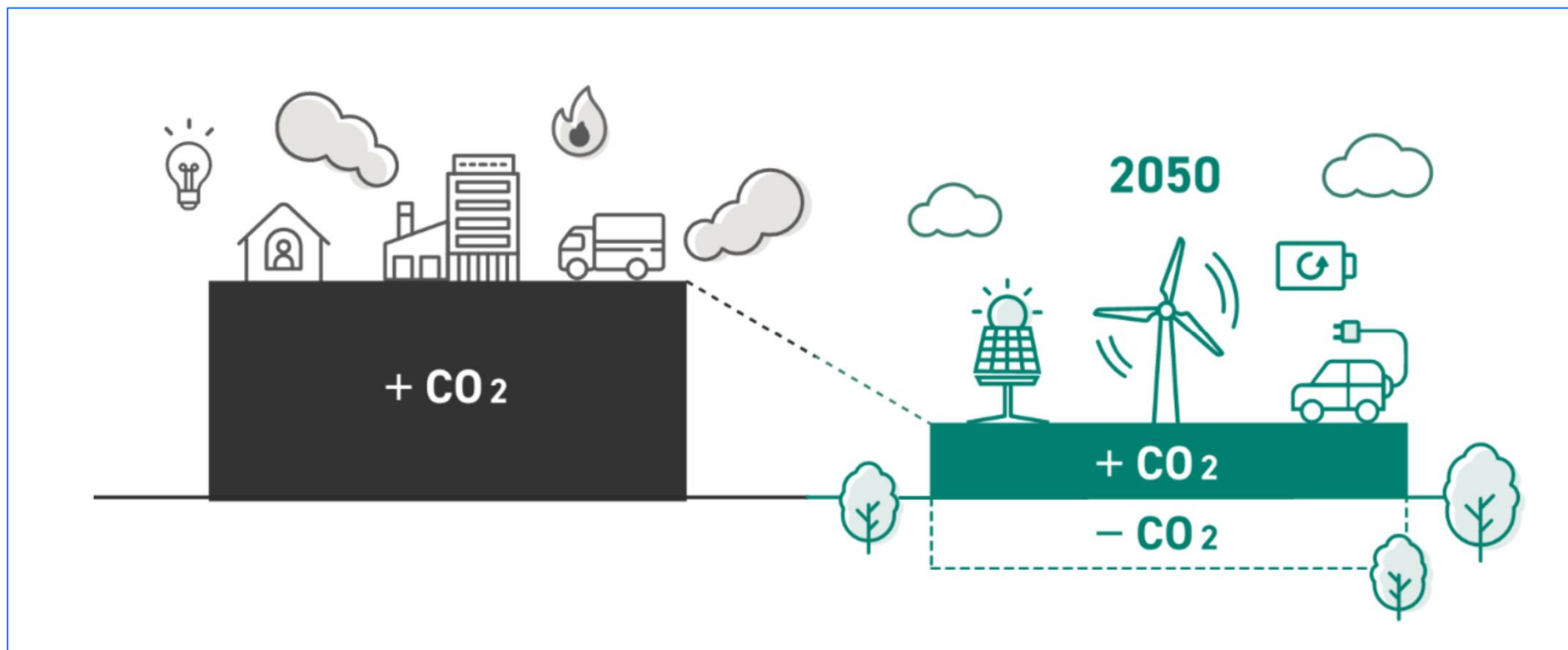


すなわち

# ●カーボンニュートラルとは

『温室効果ガスの排出量』 = 『吸収量』

を均衡させることです。



## 2. カーボンニュートラル実現のために

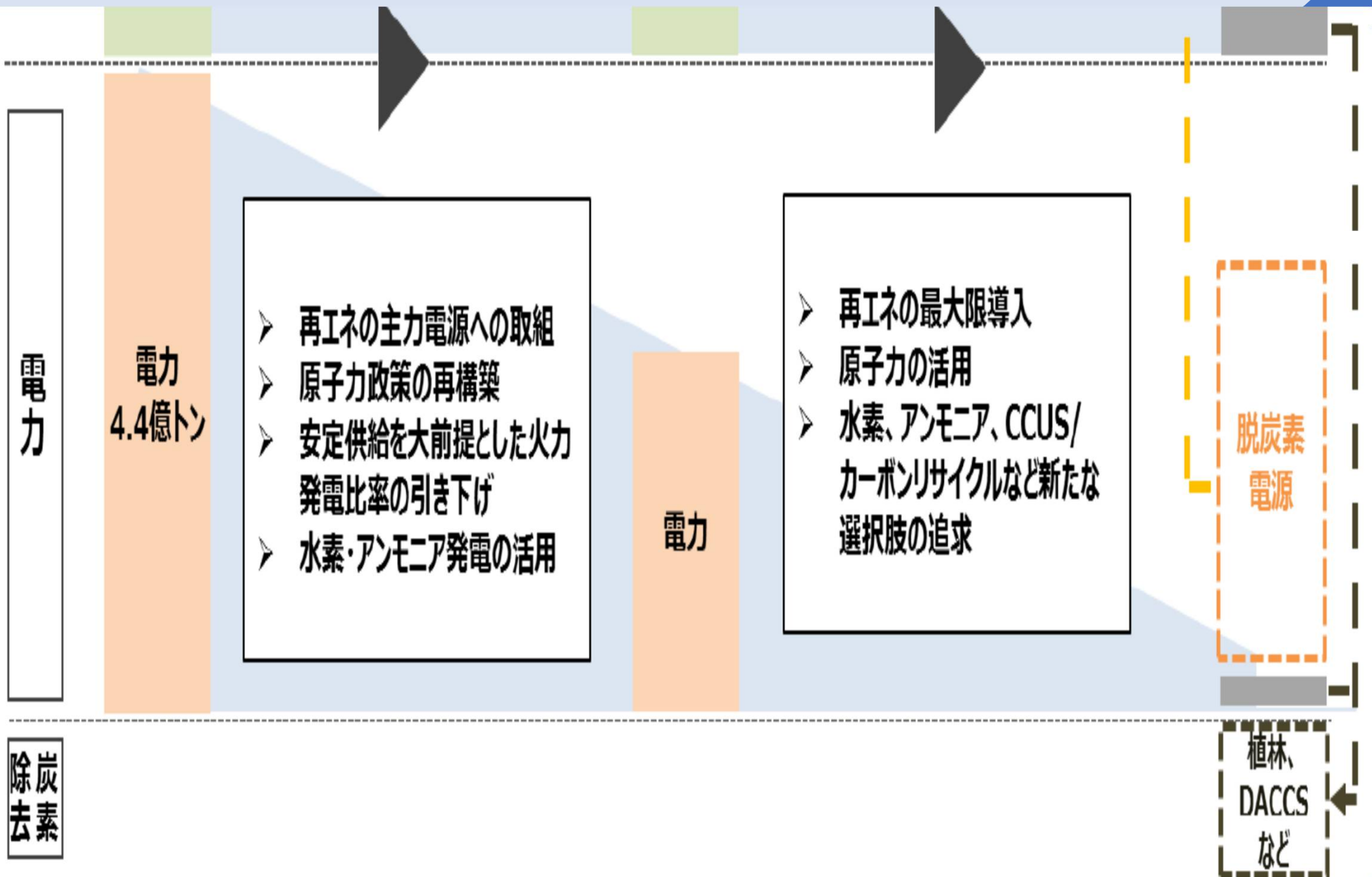
# ●2050年カーボンニュートラルの実現

**2050年の電力需要は**、産業・運輸・業務・家庭部門の電化によって、**一定程度の増加を要する**。電化で対応できない熱需要には、水素などの脱炭素燃料、化石燃料からのCO<sub>2</sub>の回収・再利用も活用することとなる。

● 電力部門は**再生可能エネルギーの最大限の導入**及び**原子力の活用**、さらには**水素・アンモニア**、**CCUS**などにより**脱炭素化を進め**、**脱炭素化された電力**により、電力部門以外の脱炭素化を進める。

※ 「CCUS」とは、「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」の略で、分離・貯留したCO<sub>2</sub>を利用しようというものです。

- 電化の進展により**約3～4割電力需要が増加**することが見込まれる中、膨大な電力需要を賄うには、政策の選択肢を狭めることなく、最大限導入する再エネの他、**原子力、水素・アンモニア、CCUS／カーボンリサイクル**など**脱炭素化**のあらゆる選択肢を追求する重要性が示唆されている。



## ■ 「ライフサイクルCO2」とは

モノが**生まれてから廃棄されるまで**一連の流れのなかで**排出されるCO2をすべて含めて考え**よう、というのが「**ライフサイクルCO2**」です。



つまり

モノが工場などで**製造されている時だけではなく、原材料を集めたり精製したりする時や、消費者によってモノが使用されている時、モノが廃棄される時**にもCO2排出されます。



また

エネルギーに関しても、**発電所が稼働しているときだけでなく、発電所が建設されてから廃棄されるまで、また燃料が採掘されてから輸送・加工というプロセスをたどり、最後に廃棄物として処理されるまで、CO2は常に排出**され続けています。



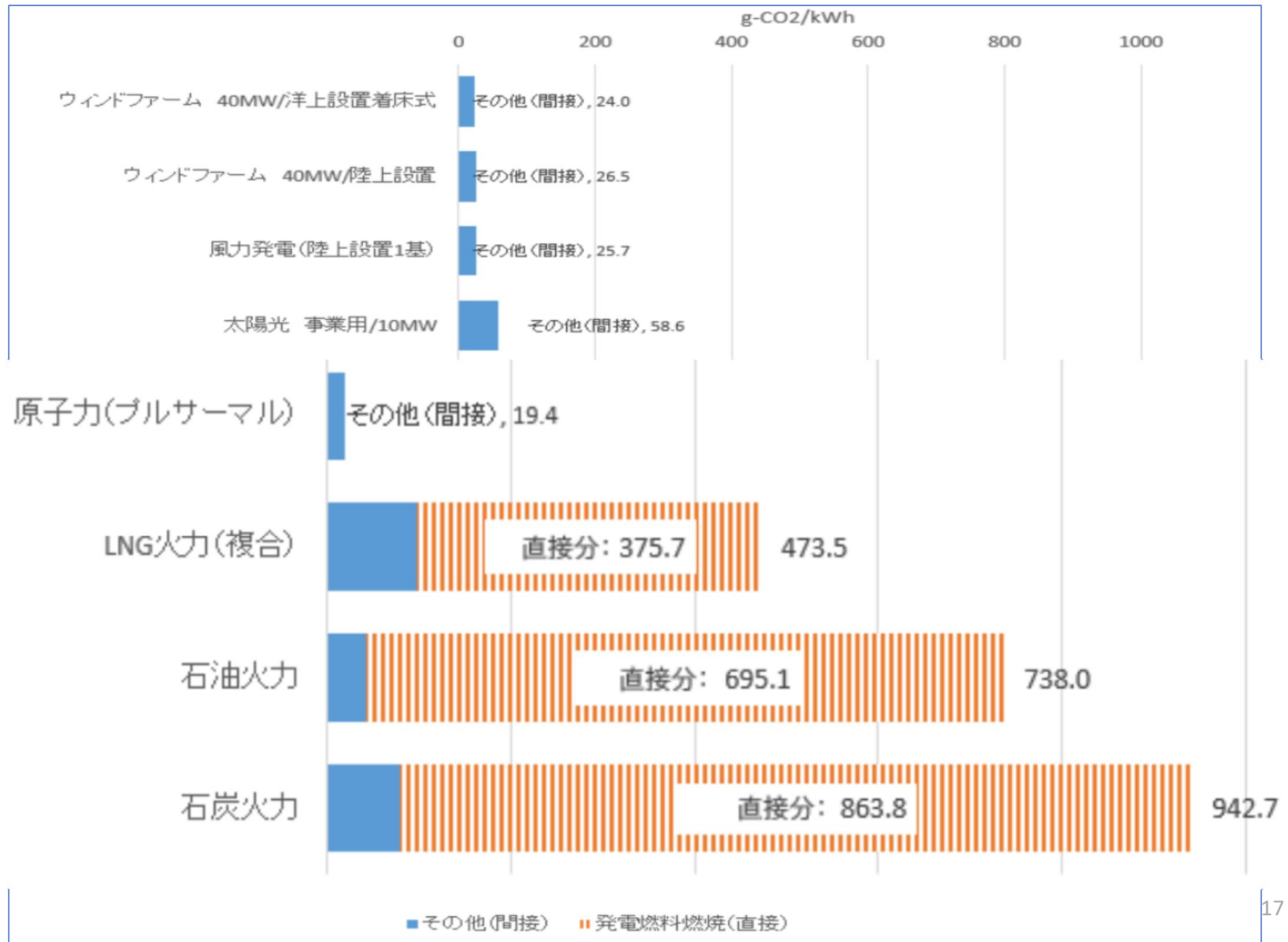
**ここで**

日本の**各電源**（電気をつくる方法）について、それぞれの**ライフサイクルCO2排出量**がどうなっているのかを見てみると



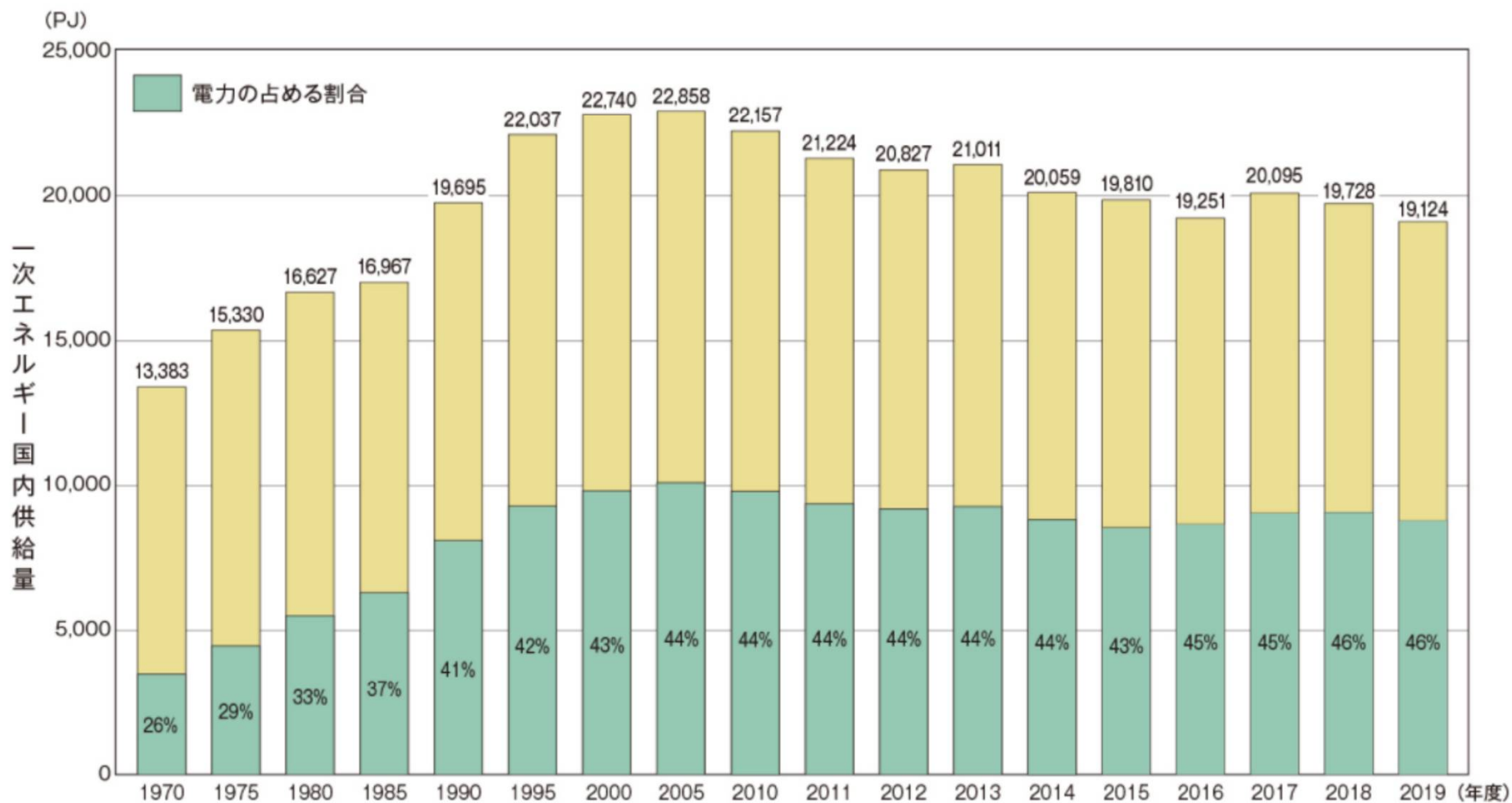


# 各種発電技術のライフサイクルCO2排出量



# ●一次エネルギーに占める電力の比率（電力化率）

## 一次エネルギーに占める電力の比率（電力化率）



(注) 1PJ(=10<sup>15</sup>J)は原油約25,800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール)

## ●一次エネルギーと二次エネルギー

**一次エネルギーとは、自然界から得られた変換加工しないエネルギーのこと**です。種類はさまざまあり、石油や石炭、天然ガス、ウランのような採掘資源から太陽光、水力、風力といった再生可能エネルギー、さらには薪や木炭なども含まれます。

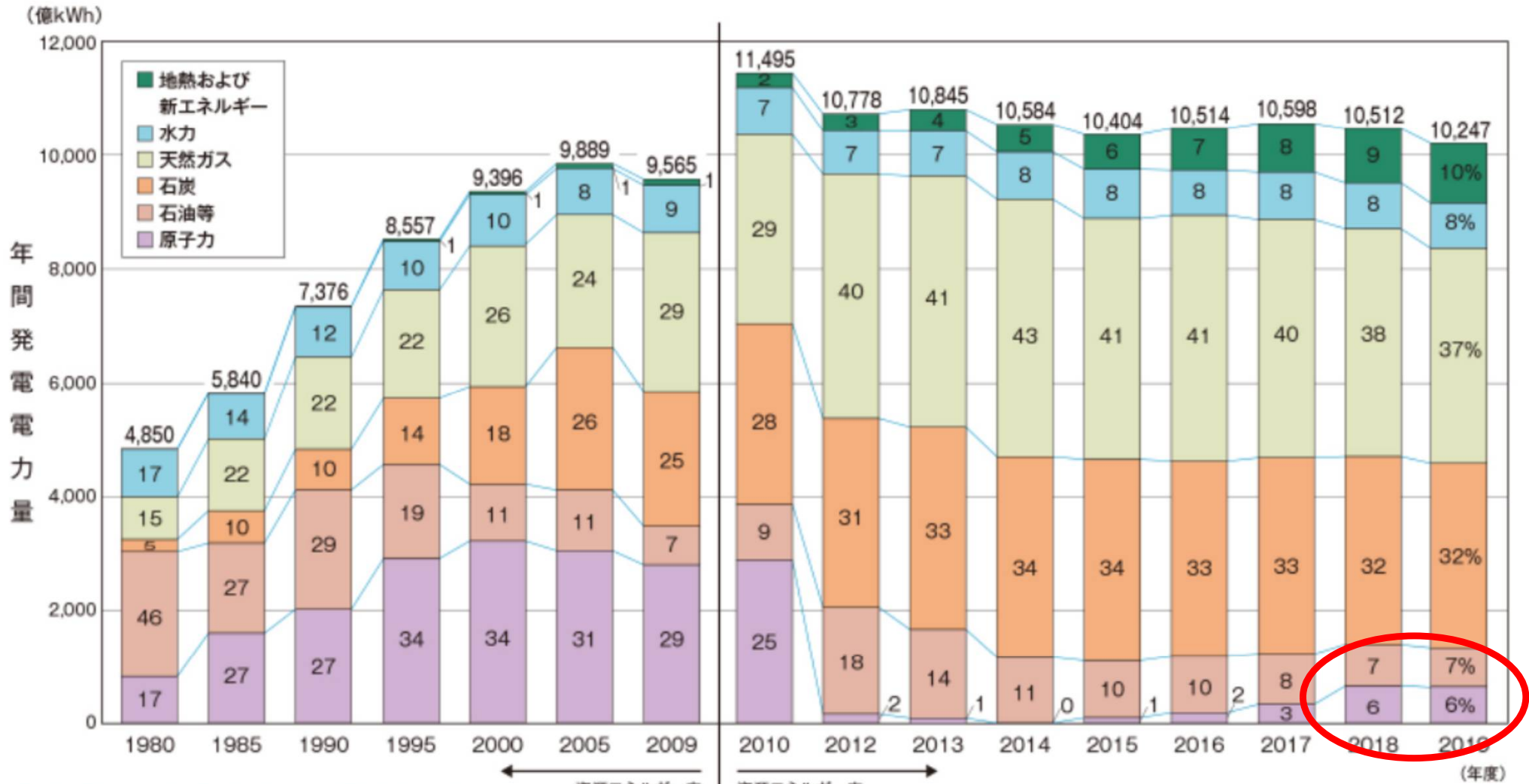
**二次エネルギーとは、一次エネルギーから変換加工して得られたエネルギーのこと**をいいます。人間社会では、自然界に存在するエネルギー源をそっくりそのまま利用することは、**ほぼ不可能**です。そのため、発電、精製、乾留などといったさまざまな加工を行って、**エネルギーを利用可能な形にする必要があります**。

二次エネルギーとしてわかりやすいのは発電所で作られる電気ですが、原油から精製されて作られるガソリンや天然ガスから作られる都市ガスなどもこれにあたります。最近注目されている**FCV（燃料電池車）の燃料として使われる水素**は自然界にも存在しますが、燃料として使用されるものは原油などから取り出されているため**二次エネルギーに含まれます**。

## ●電力化率とは

**電力化率（でんりょくかりつ）とは、一次エネルギー総供給量のうち発電用に用いられるエネルギーの比率（%）をいいます。**機械系の産業やサービス業、家庭部門ではエネルギー消費量に占める電力の比率が高いため、産業構造が素材系から機械系にシフトしたり、民生部門のエネルギー消費量の増加率が他の部門よりも大きい場合には、国全体としての電力化率が高まる傾向があります。

# 電源別発電電力量の推移



(注) 石油等にはLPG、その他ガスおよび遷青質混合物を含む  
四捨五入の関係で合計値が含まない場合がある  
グラフ内の数値は構成比(%)

# 原子力発電所の現在の運転状況

電力会社	発電所名	運転状況	原子炉型式	
北海道電力	泊発電所	1号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		2号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		3号機	停止中 (定期検査中)	BWR
東北電力	東通原子力発電所	1号機	停止中 (定期検査中)	BWR
東北電力	女川原子力発電所	1号機	廃止措置中	BWR
		2号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		3号機	停止中 (定期検査中)	BWR
東京電力	柏崎刈羽原子力発電所	1号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		2号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		3号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		4号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		5号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		6号機	停止中 (定期検査中)	BWR
		7号機	停止中 (定期検査中)	BWR

# 原子力発電所の現在の運転状況

電力会社	発電所名	運転状況	原子炉型式
東京電力	福島第一原子力発電所		
	1号機	廃止	BWR
	2号機	廃止	BWR
	3号機	廃止	BWR
	4号機	廃止	BWR
	5号機	廃止	BWR
	6号機	廃止	BWR
東京電力	福島第二原子力発電所		
	1号機	廃止措置中	BWR
	2号機	廃止措置中	BWR
	3号機	廃止措置中	BWR
	4号機	廃止措置中	BWR
日本原子力発電	東海第二発電所	停止中（定期検査中）	BWR
	東海発電所	廃止措置中	GCR
中部電力	浜岡原子力発電所		
	1号機	廃止措置中	BWR
	2号機	廃止措置中	BWR
	3号機	停止中（定期検査中）	BWR



# 原子力発電所の現在の運転状況

電力会社	発電所名	運転状況	原子炉型式
中部電力	浜岡原子力発電所		
	4号機	停止中（定期検査中）	BWR
	5号機	停止中（定期検査中）	BWR
北陸電力	志賀原子力発電所		
	1号機	停止中（定期検査中）	BWR
	2号機	停止中（定期検査中）	ABWR
日本原子力発電	敦賀発電所		
	1号機	廃止措置中	BWR
	2号機	停止中（定期検査中）	PWR
日本原子力研究 開発機構	高速増殖原型炉		
	もんじゅ	廃止措置中	FBR
	新型転換炉 ふげん	廃止措置中	ATR
関西電力	美浜発電所		
	1号機	廃止措置中	PWR
	2号機	廃止措置中	PWR
	3号機	停止中（定期検査中）	PWR

# 原子力発電所の現在の運転状況

電力会社	発電所名	運転状況	原子炉型式	
関西電力	大飯発電所	1号機	廃止措置中	PWR
		2号機	廃止措置中	PWR
		<b>3号機</b>	<b>運転中</b>	PWR
		4号機	停止中（定期検査中）	PWR
関西電力	高浜発電所	1号機	停止中（定期検査中）	PWR
		2号機	停止中（定期検査中）	PWR
		3号機	停止中（定期検査中）	PWR
		<b>4号機</b>	<b>運転中</b>	PWR
四国電力	伊方発電所	1号機	廃止措置中	PWR
		2号機	廃止措置中	PWR
		<b>3号機</b>	<b>運転中</b>	PWR

# 原子力発電所の現在の運転状況

電力会社	発電所名	運転状況	原子炉型式
中国電力	島根原子力発電所 1号機 2号機 3号機	廃止措置中 停止中（定期検査中） 停止中（定期検査中）	BWR BWR ABWR
九州電力	玄海原子力発電所 1号機 2号機 3号機 4号機	廃止措置中 廃止措置中 停止中（定期検査中） <b>運転中</b>	PWR PWR PWR PWR
九州電力	川内原子力発電所 1号機 2号機	<b>運転中</b> <b>運転中</b>	PWR PWR

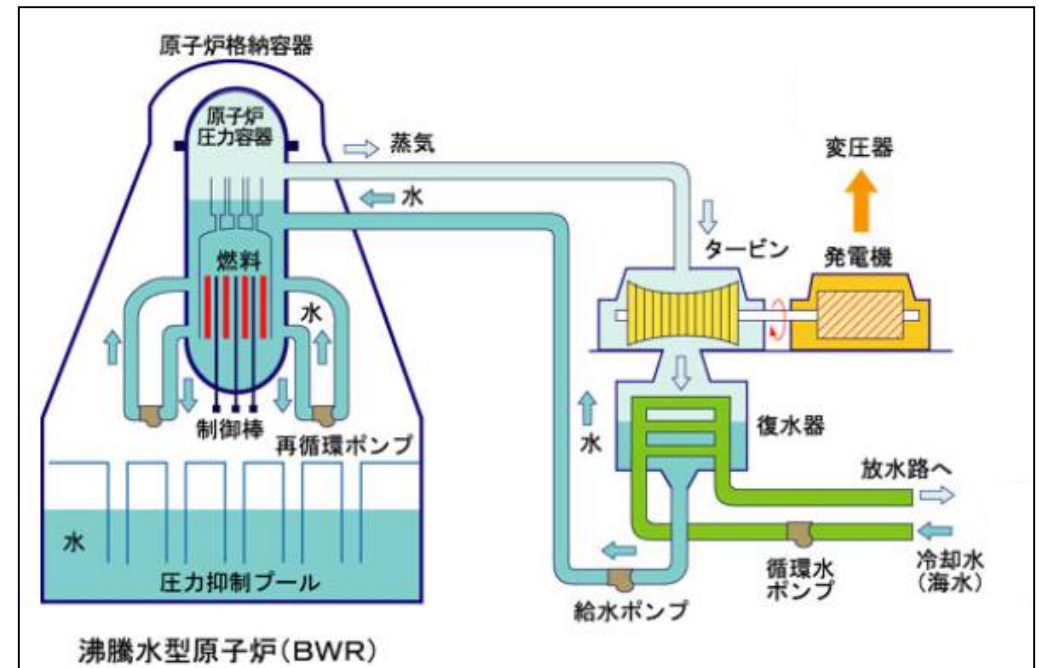
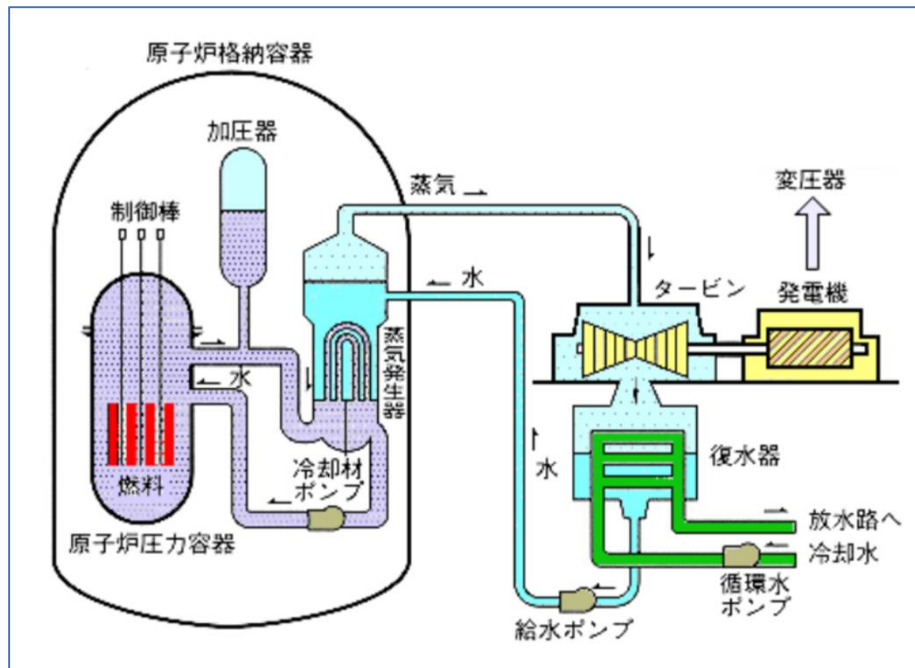
# PWR原子力発電所とBWR原子力発電所比較

## PWRの基本仕様

原子炉型式：加圧水方型炉  
電気出力：百万KW以上  
燃料：MOX燃料

## BWRの基本仕様

原子炉型式：沸騰水型炉  
電気出力：百万KW以上  
燃料：MOX燃料

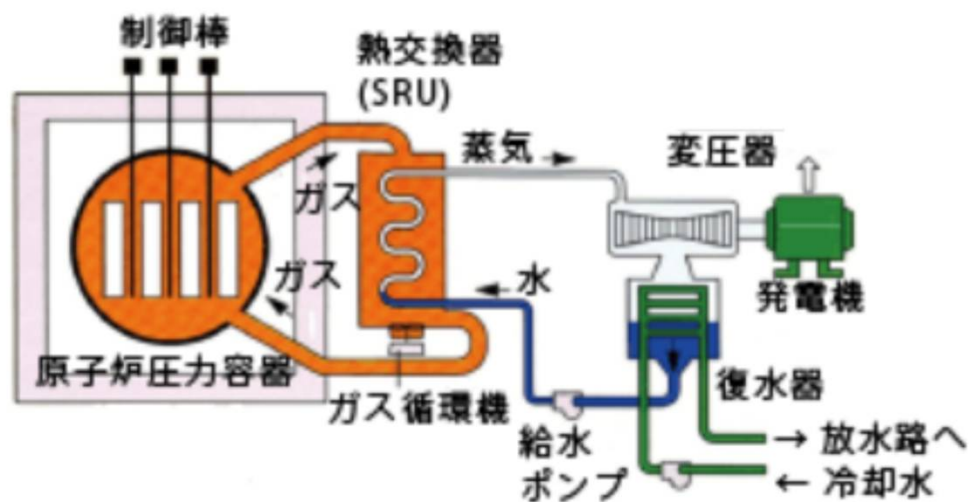


## GCRの基本仕様

原子炉型式：黒鉛減速・炭酸ガス冷却型

電気出力：16万6,000KW

燃料：天然ウラン

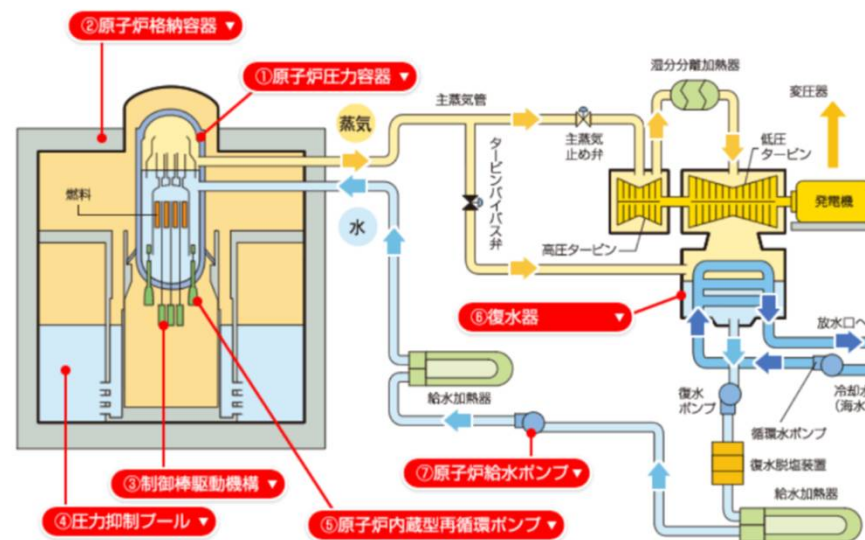


## A B W Rの基本仕様

原子炉型式：改良型沸騰水型

電気出力：16万6,000KW

燃料：低濃縮ウラン

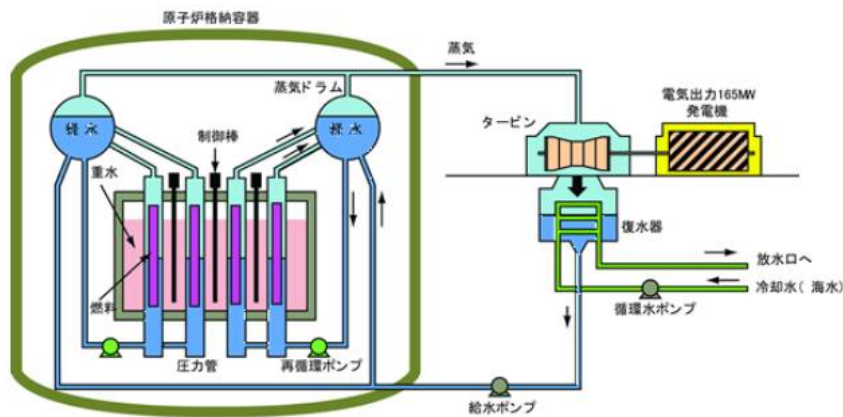


## A T R の基本仕様

原子炉型式：重水減速沸騰水型

電気出力：16.5万KW

燃料：プルトニウム－ウラン混合酸化物

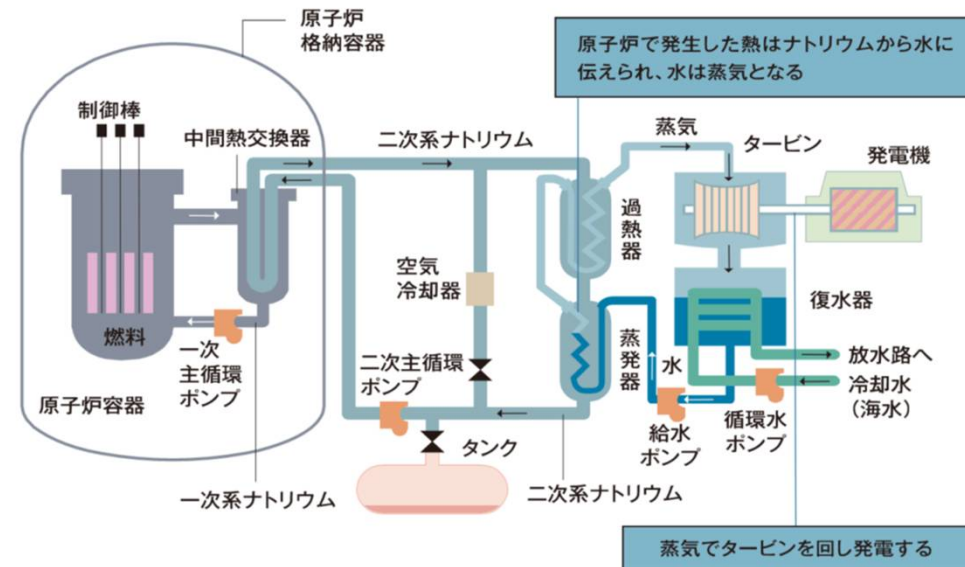


## もんじゅの基本仕様

原子炉型式：ナトリウム冷却ループ型

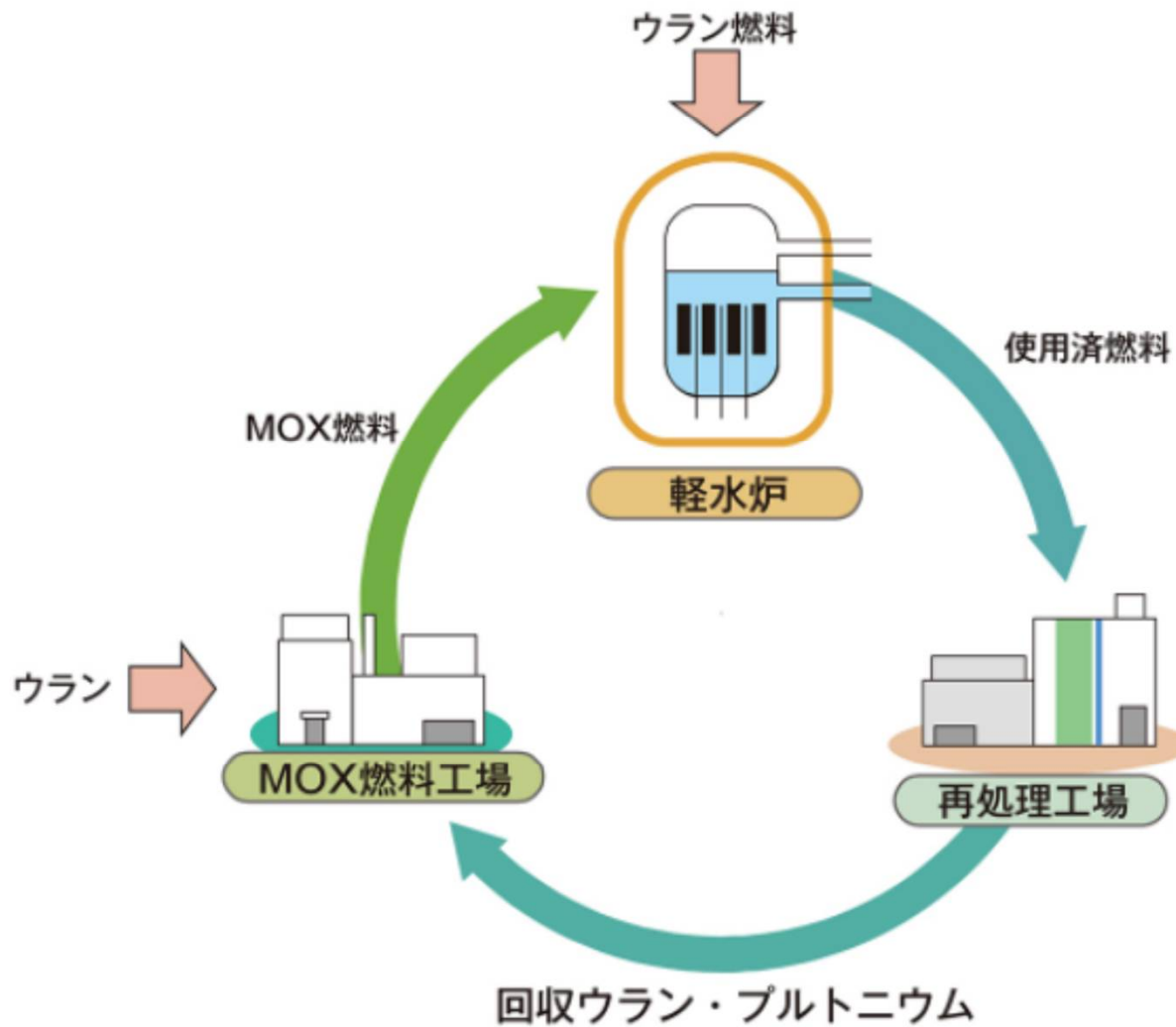
電気出力：28万KW

燃料：プルトニウム－ウラン混合酸化物





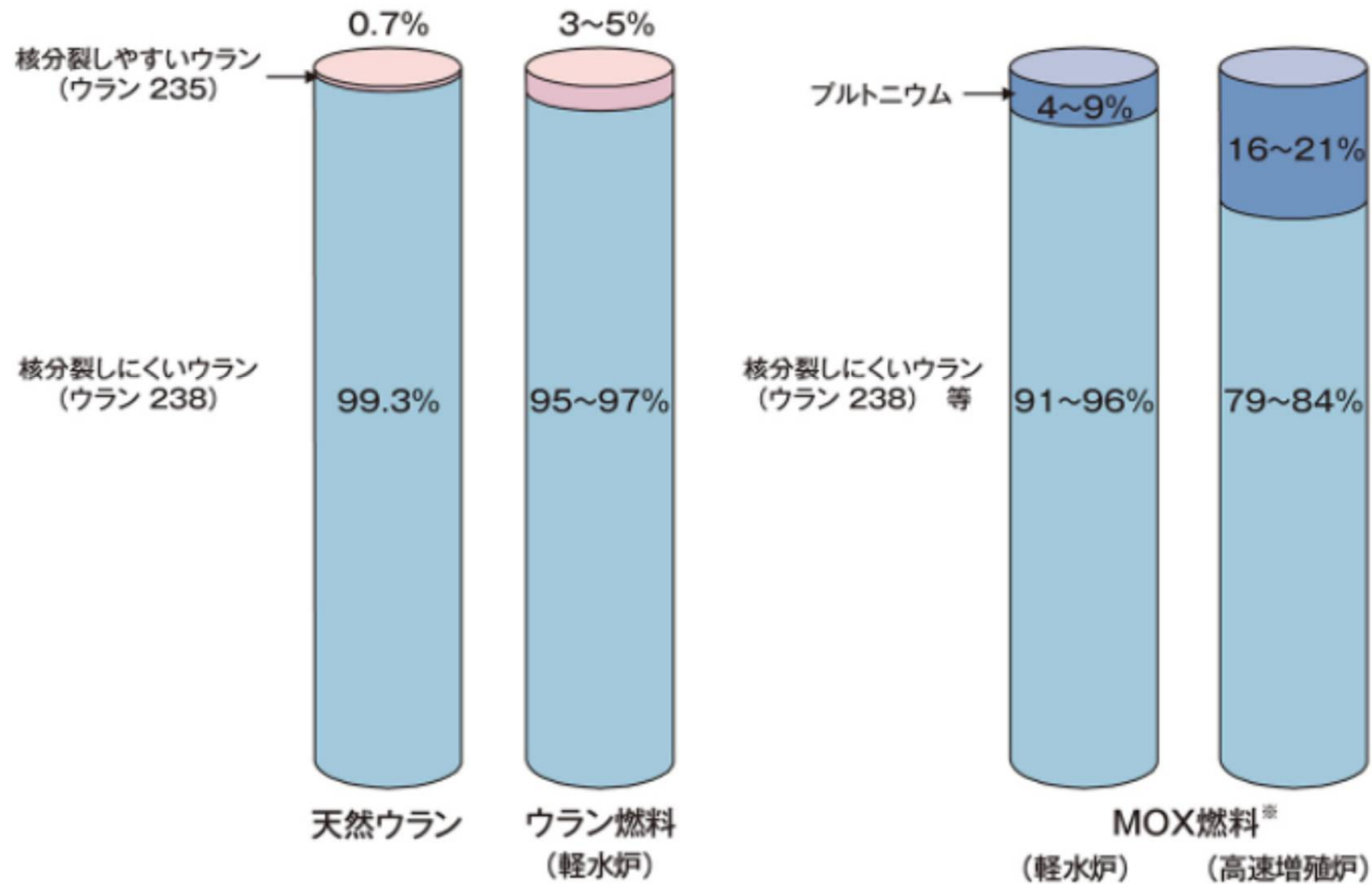
# プルサーマルのしくみ



(注) プルサーマル：軽水炉でMOX燃料を使用すること



# MOX燃料

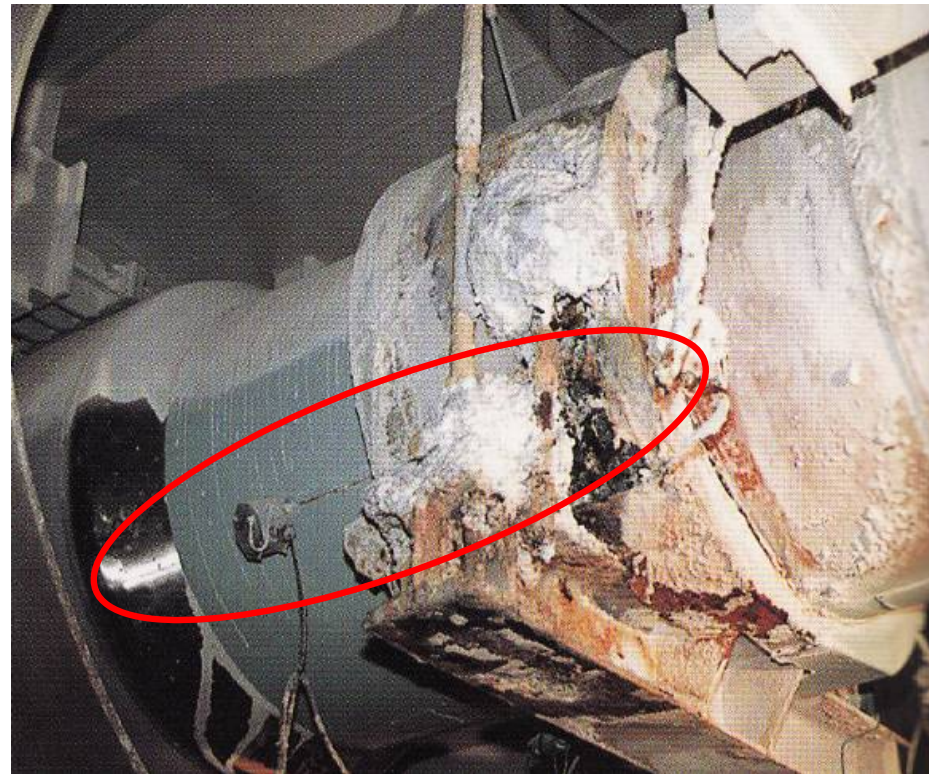
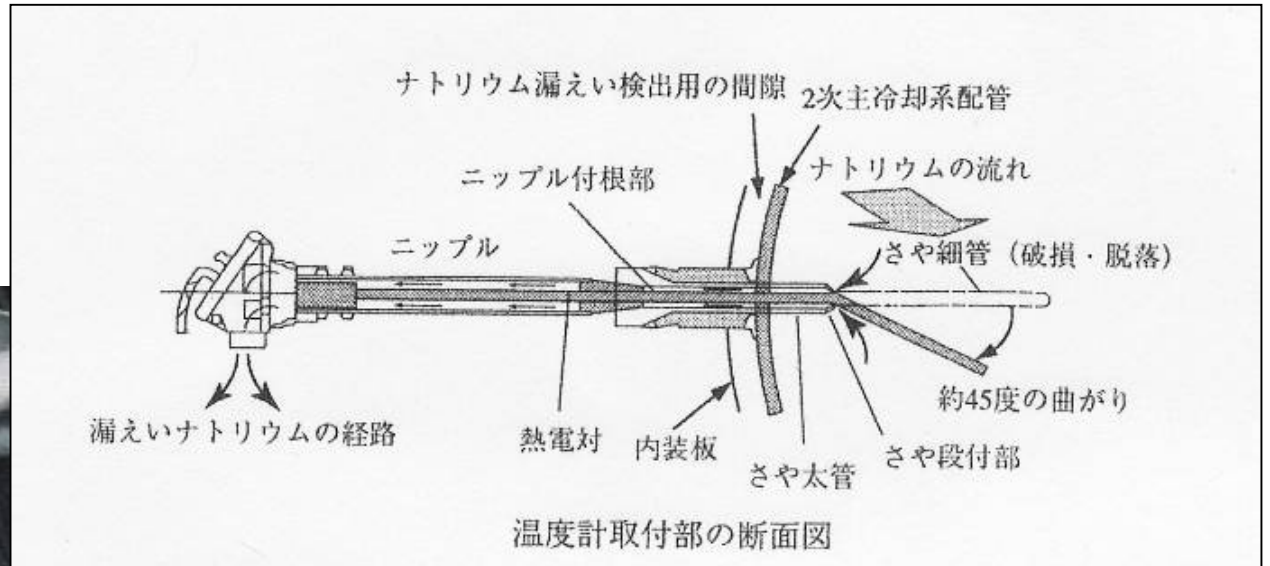


※MOX (Mixed Oxide) 燃料:プルトニウムとウランの混合燃料で、軽水炉のプルサーマル計画や高速増殖炉などで使用される

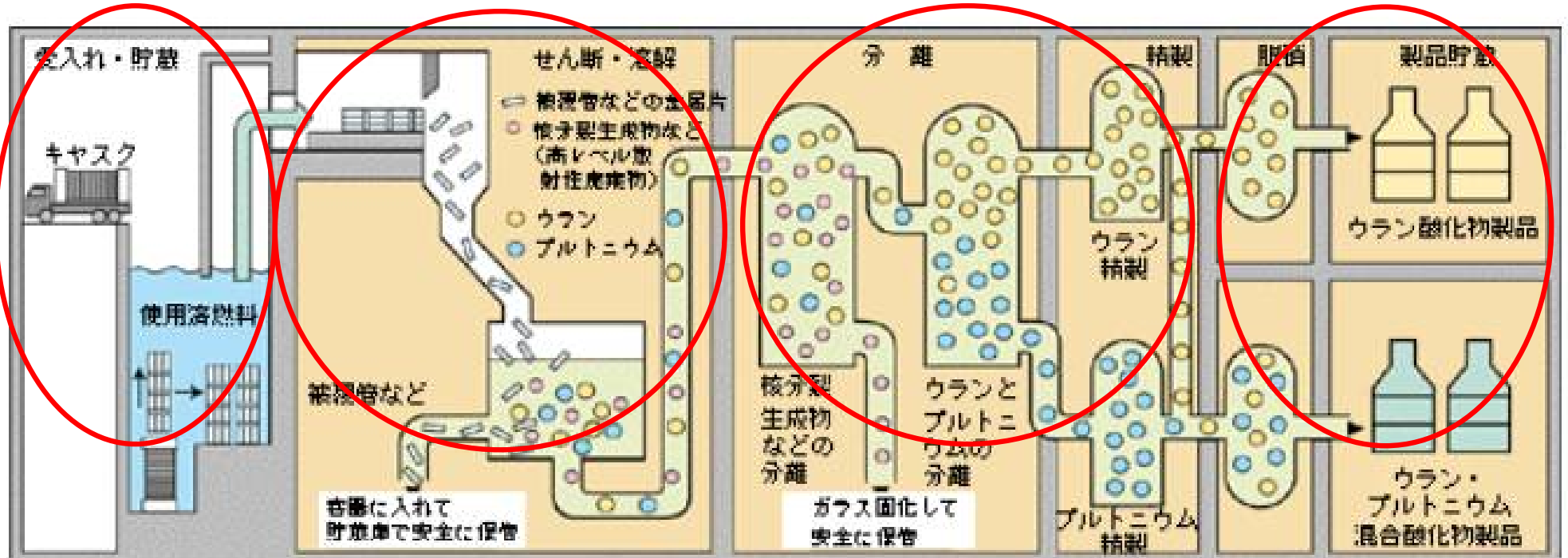
# ● 高速増殖炉もんじゅ



# ■ ナトリウム漏洩事故状況



# ■ 六ヶ所村再処理工場の再処理工程



【受入れ・貯蔵】  
使用済燃料を原子力発電所と再処理工場のプールで合計4年以上貯蔵する。放射能の量は数百分の1に減衰される。

【せん断・溶解】  
使用済燃料を3〜4センチの小片に切断する。切断は外部から遠隔で操作する。切断された使用済燃料を溶解槽で硝酸により溶かす。

【分離】  
溶解液をウラン溶液、プルトニウム溶液、核分裂生成物（高レベル放射性廃棄物）などに分離する。

【精製】  
ウラン溶液及びプルトニウム溶液それぞれから、さらに微量の核分裂生成物などを除去する。

【脱硝】  
ウラン溶液、ウラン・プルトニウム混合溶液からそれぞれ硝酸を取り除く。

【貯蔵】  
ステンレス製容器に封入し、建物内の専用貯蔵庫に貯蔵する。

# ●再処理工場（六ヶ所村）



# 3. これからのエネルギー

## ■ エネルギー基本計画の概要（資源エネルギー庁）

### ● 原子力の社会的信頼の獲得と、安全確保を大前提として原子力の安定的な利用の推進

① 安全最優先での再稼働

② 使用済燃料対策

③ **核燃料サイクルの確立**：六ヶ所再処理工場の竣工と操業に向けた官民一体での対応、**プルサーマルの一層の推進**

④ 最終処分：北海道2町村での着実な実施

### ● 研究開発の推進

① 国際連携を活用した高速炉開発の着実な推進、

② **核融合研究開発**

日本では高速炉「もんじゅ」（福井県）の廃炉が16年に決まり、実用化への見通しが立たなくなっている。**高速炉は、使用済み核燃料からプルトニウムを取り出し再利用する日本の「核燃料サイクル政策」に不可欠の施設**で、計画参加を通して**将来の国内建設に必要な技術の獲得を目指す**。

日本の高速炉と再処理工場を巡る主な動き

1977年 4月	常陽初臨界
93年 4月	使用済み核燃料再処理工場が着工
94年 4月	もんじゅ初臨界
95年12月	もんじゅでナトリウム漏れ事故
2010年 5月	もんじゅ運転再開、3か月後に事故で停止
16年12月	もんじゅの廃炉が決定
22年度上期	再処理工場が完成、23年度内に稼働へ



日米協力が成功しても、すぐに国内で高速炉を新設できるわけではない。**ナトリウム漏れ事故を起こした「もんじゅ」の失敗への不信感は根強い。東京電力福島第一原発の事故以降、原子力開発への世論の逆風もある。**国は原発を「重要なベースロード（基幹）電源」としているが、新增設の方針を明示していない。

**世界は温暖化対策として原子力に注目し、経済性を高めた次世代炉の開発を積極的に進めている。**今回の日米協力を、世界の新たな潮流に主体的に加わる好機ととらえていくことが大切である。

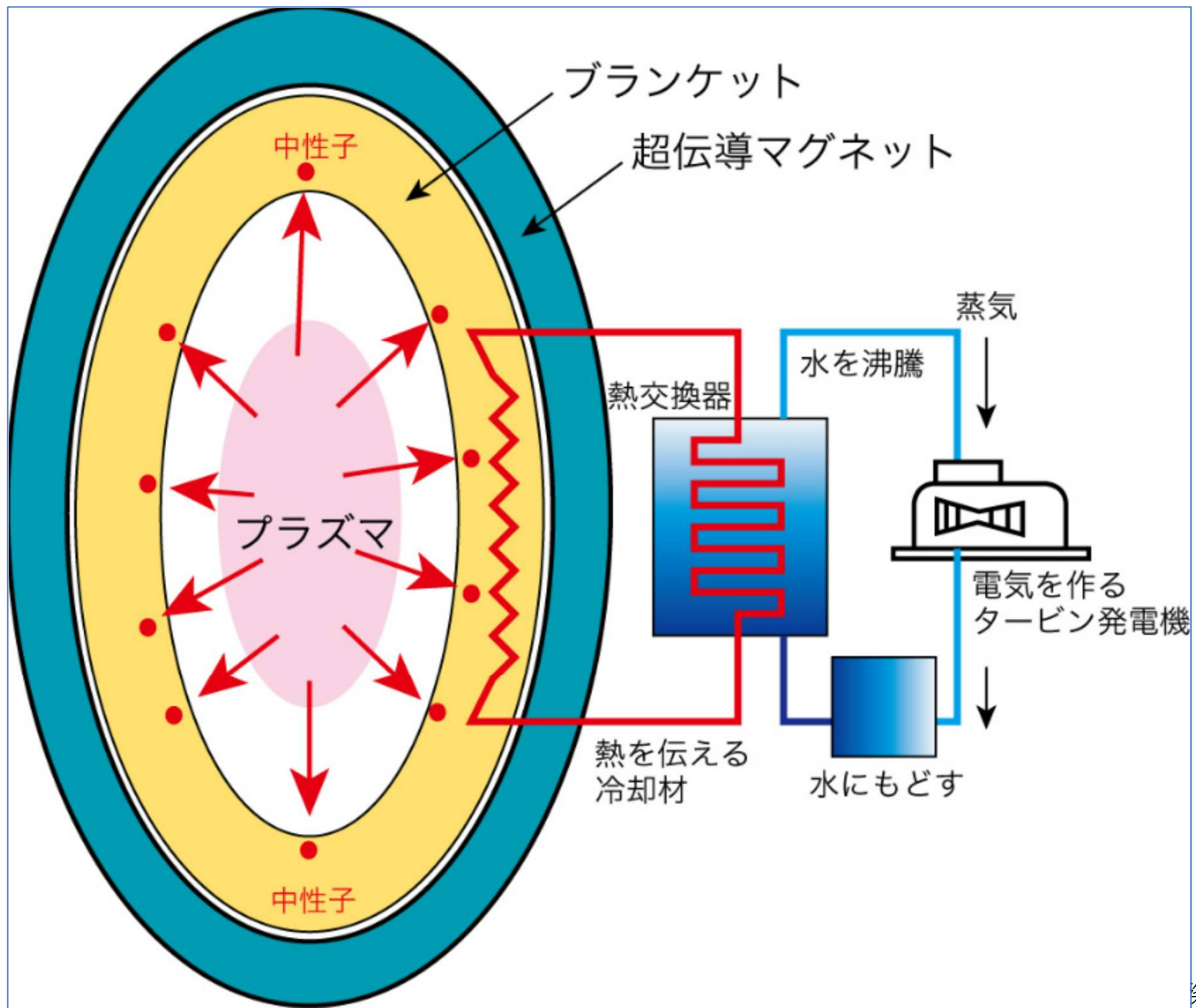
## ■地球に太陽を

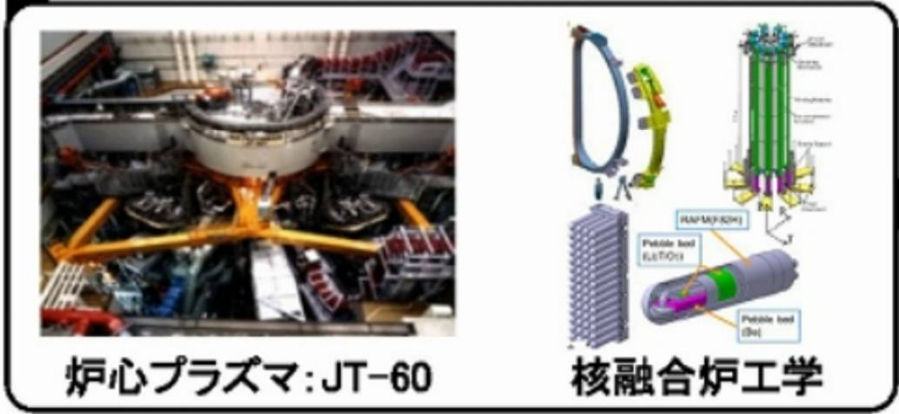
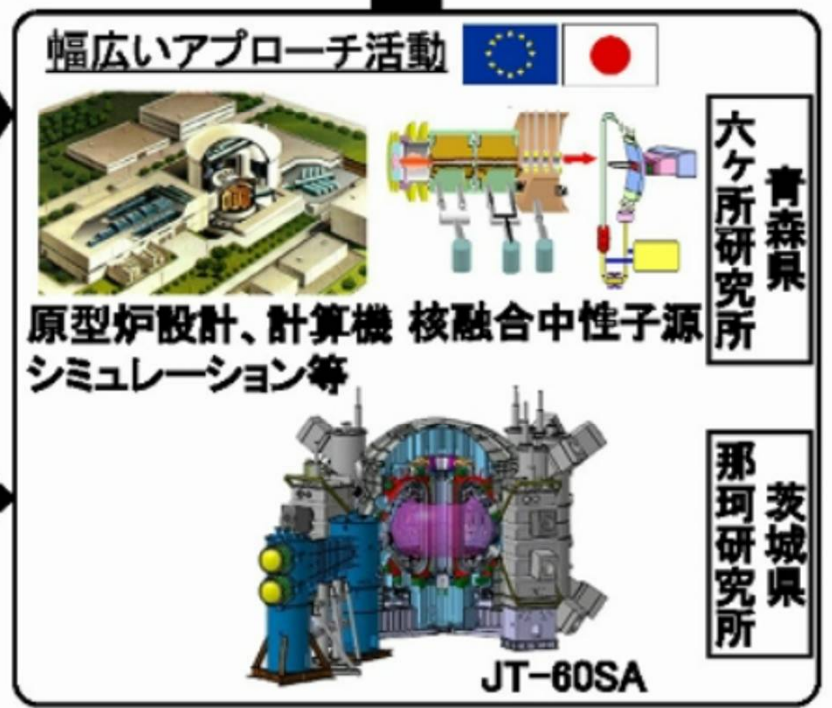
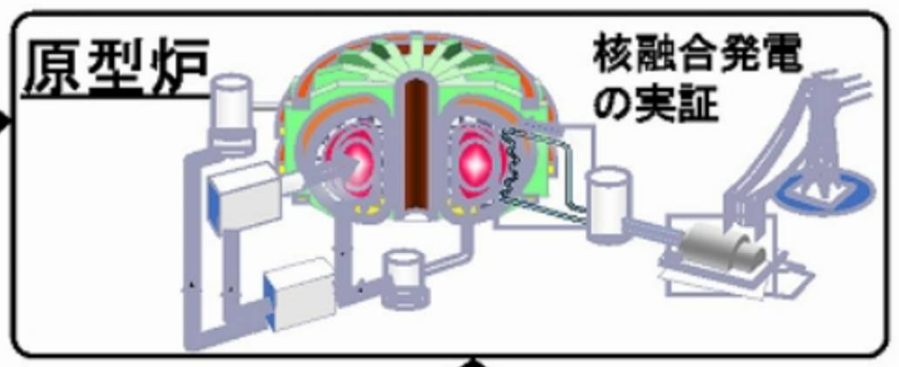
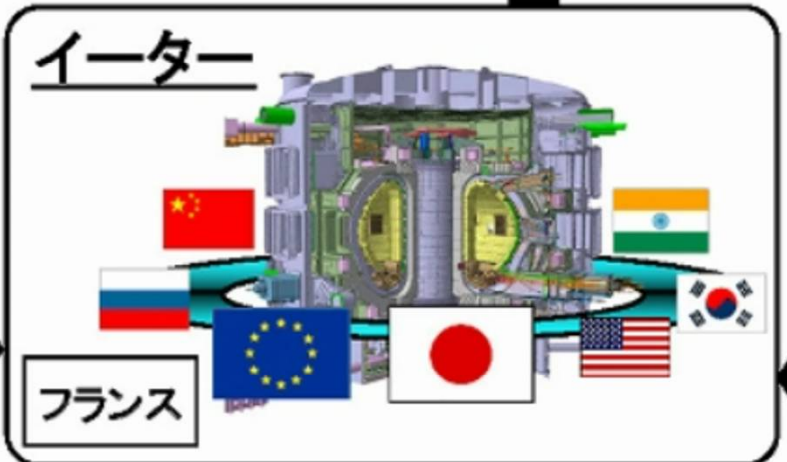
**カーボンニュートラル**（温室効果ガス排出量実質ゼロ）の**実現が不可避とされる2050年頃をターゲット**に、QSTは、**太陽が輝く源である核融合を地上で起こす研究開発にも精力的に取り組む**。石炭、石油、原子力などの従来エネルギー源に比べ、**核融合は、燃料が地球に無尽蔵にあり、CO<sub>2</sub>排出がなく地球環境に優しく、高レベル放射性廃棄物を出さず、反応を容易に停止できる優れた安全性を有し、実現が期待されるエネルギー源**だ。

**核融合は、軽い原子核同士が結合して重い原子核となる反応だ。**核融合を起こすには、正の電荷による斥力に逆らって原子核同士を近づけるために、原子核を高エネルギー状態にする必要がある。高エネルギー状態の原子核を大量に作るには、原子核と電子がバラバラになったプラズマが適している。地上で起こし易い核融合は、水素の同位体である重水素と三重水素の反応であり、それには1億度以上の高温プラズマが必要だ。

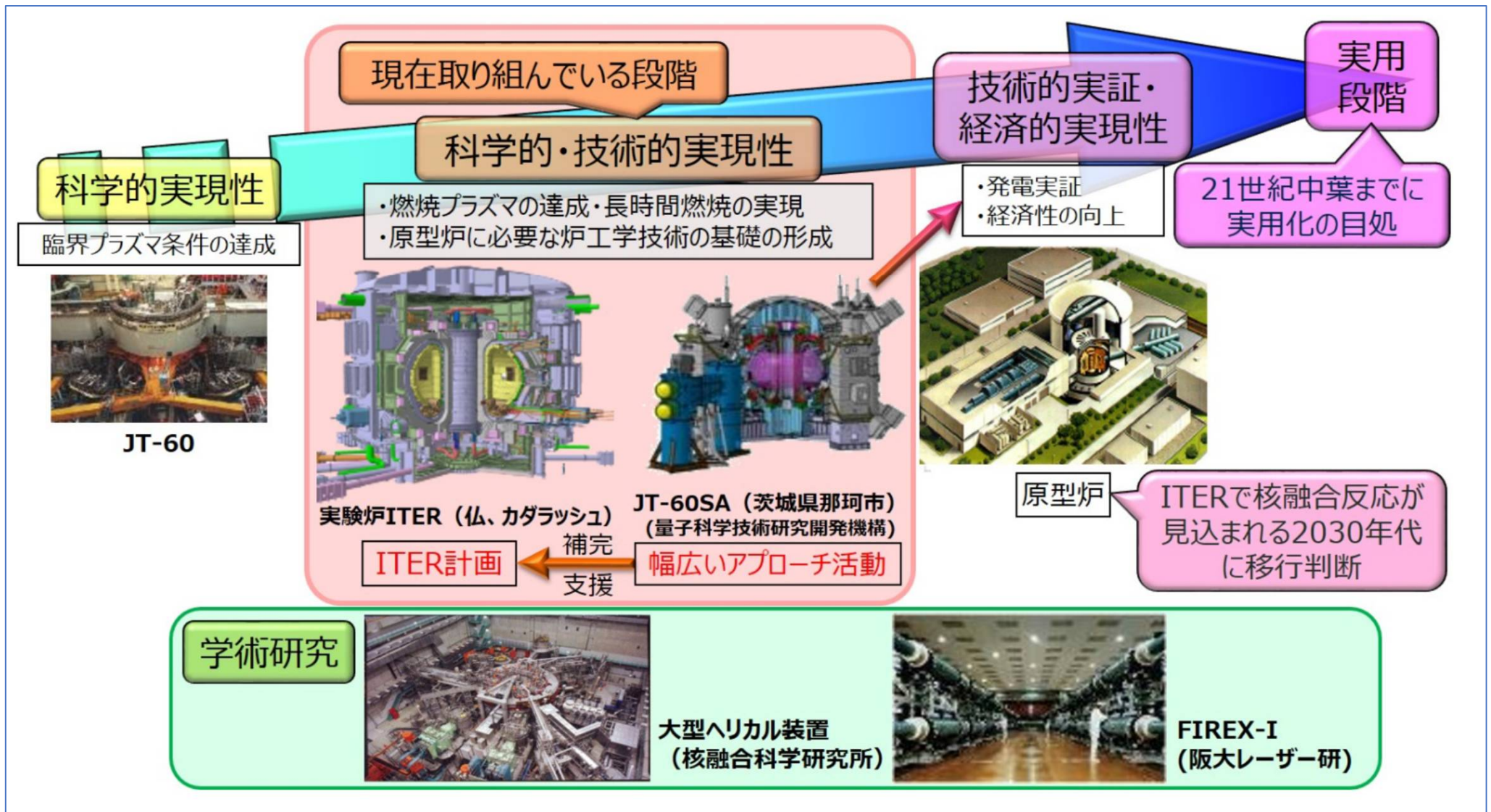
**QSTは、**電磁石を用いてドーナツ状の磁力線のカゴを作り、その中に高温プラズマを安定的に閉じ込める「**トカマク方式**」の研究開発で世界を牽引している。

これまで、核融合炉工学に加え、「**試験装置**」JT-60にて、**エネルギー増倍率**（高温プラズマ生成に用いたエネルギーに対する核融合による出力エネルギーの比）の**世界記録1.25を達成し、核融合エネルギー実現の可能性を科学的に検証した**。現在は「**実験炉**」として、日・欧・米・露・中・韓・印の7極の国際協力の下、重水素と三重水素を用いて持続的な核融合燃焼を実証するイーター（**ITER**）**計画をフランスで進行中だ**。





# 核融合発電の仕組み



# 第126回研修会

## 『脱炭素エネルギー社会の確立に思うこと』

ご清聴ありがとうございました