

東京都市大学 原子力シンポジウム
-日本の高速炉開発のゆくえ-

なぜ高速炉が必要か？

1. エネルギーと地球環境のトレンド
2. 高速炉開発の意義
3. 科学技術のリスク

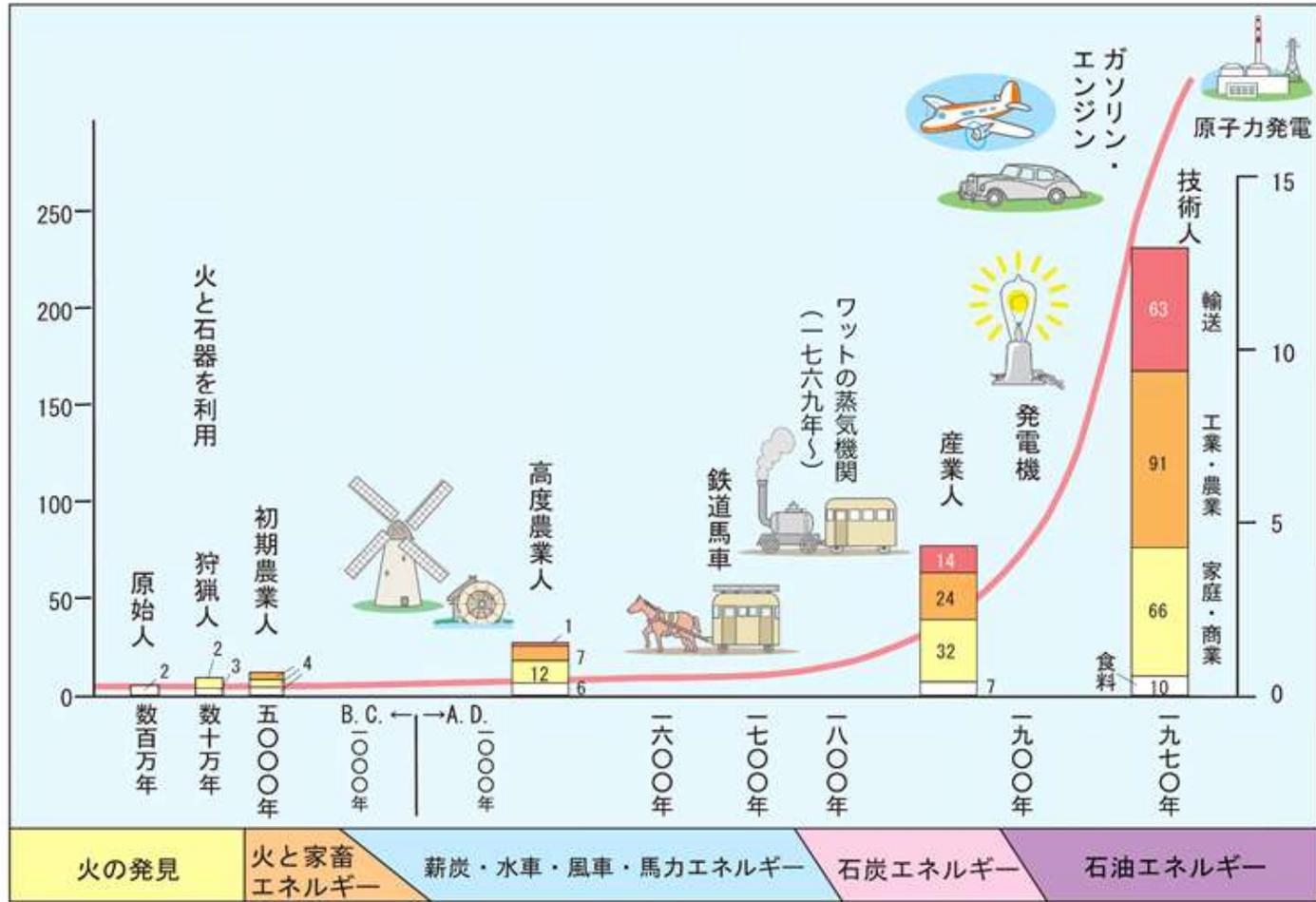
2017年7月20日

三菱FBRシステムズ株式会社
國 嶋 茂

1. エネルギーと地球環境のトレンド

1-1 人類とエネルギーのかかわり

一人あたり消費量（二〇〇〇キロカロリー/日）・棒グラフ



石油換算消費量（二〇〇万キロリットル/日）・曲線グラフ

原始人 百万年前の東アフリカ、食料のみ。
 狩猟人 十万年前のヨーロッパ、暖房と料理に薪を燃やした。
 初期農業人 B. C. 5000年の肥沃三角州地帯、穀物を栽培し家畜のエネルギーを使った。

高度農業人 1400年の北西ヨーロッパ、暖房用石炭・水力・風力を使い、家畜を輸送に利用した。
 産業人 1875年のイギリス、蒸気機関を使用していた。
 技術人 1970年のアメリカ、電力を使用、食料は家畜用を含む。

出展：原子力・エネルギー図面集 2016（総合研究開発機構「エネルギーを考える」より作成）

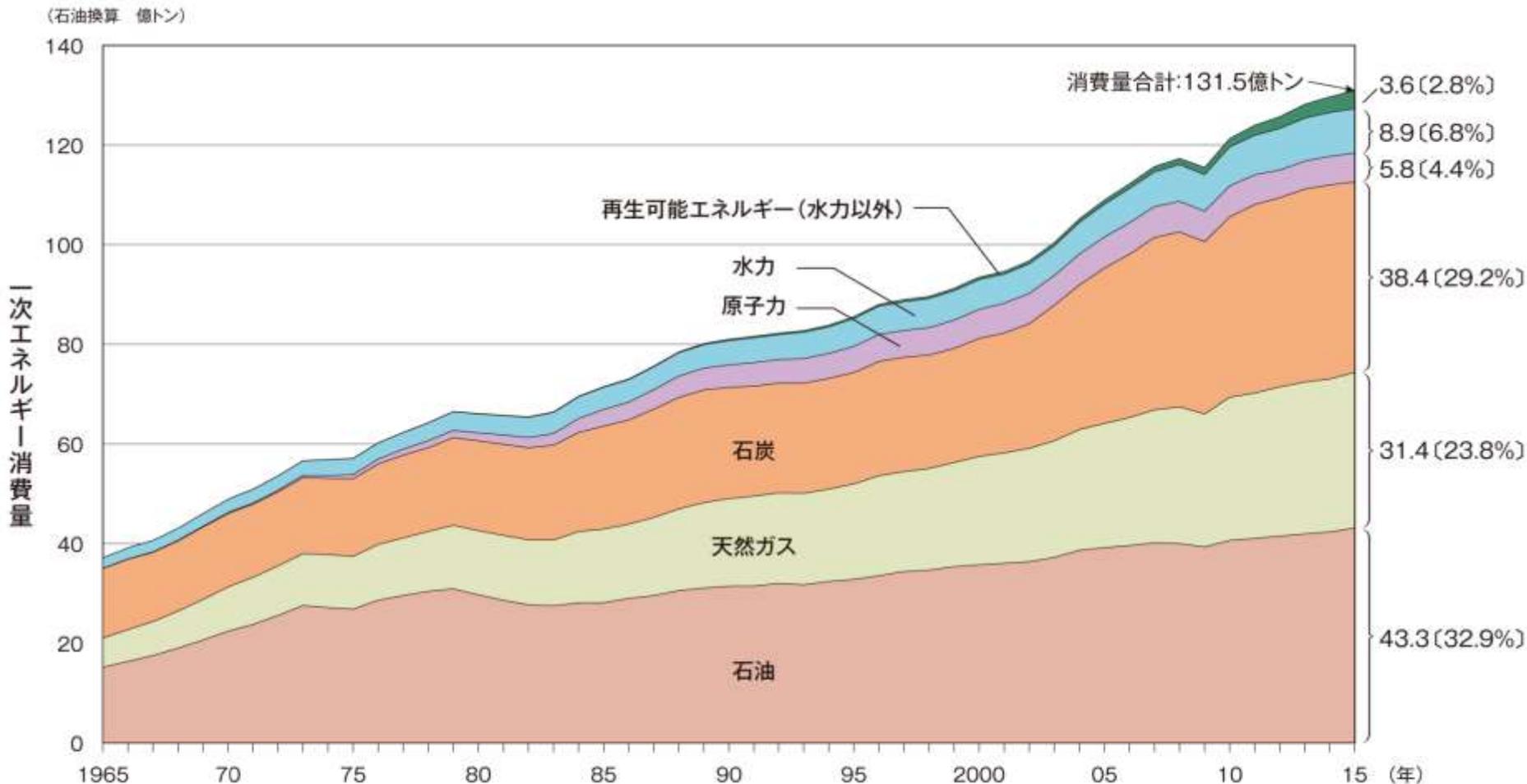
1-2 世界の人口予想



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

出展: 原子力・エネルギー図面集 2016 (UN「World Population Prospects, the 2015 Revision」より作成)

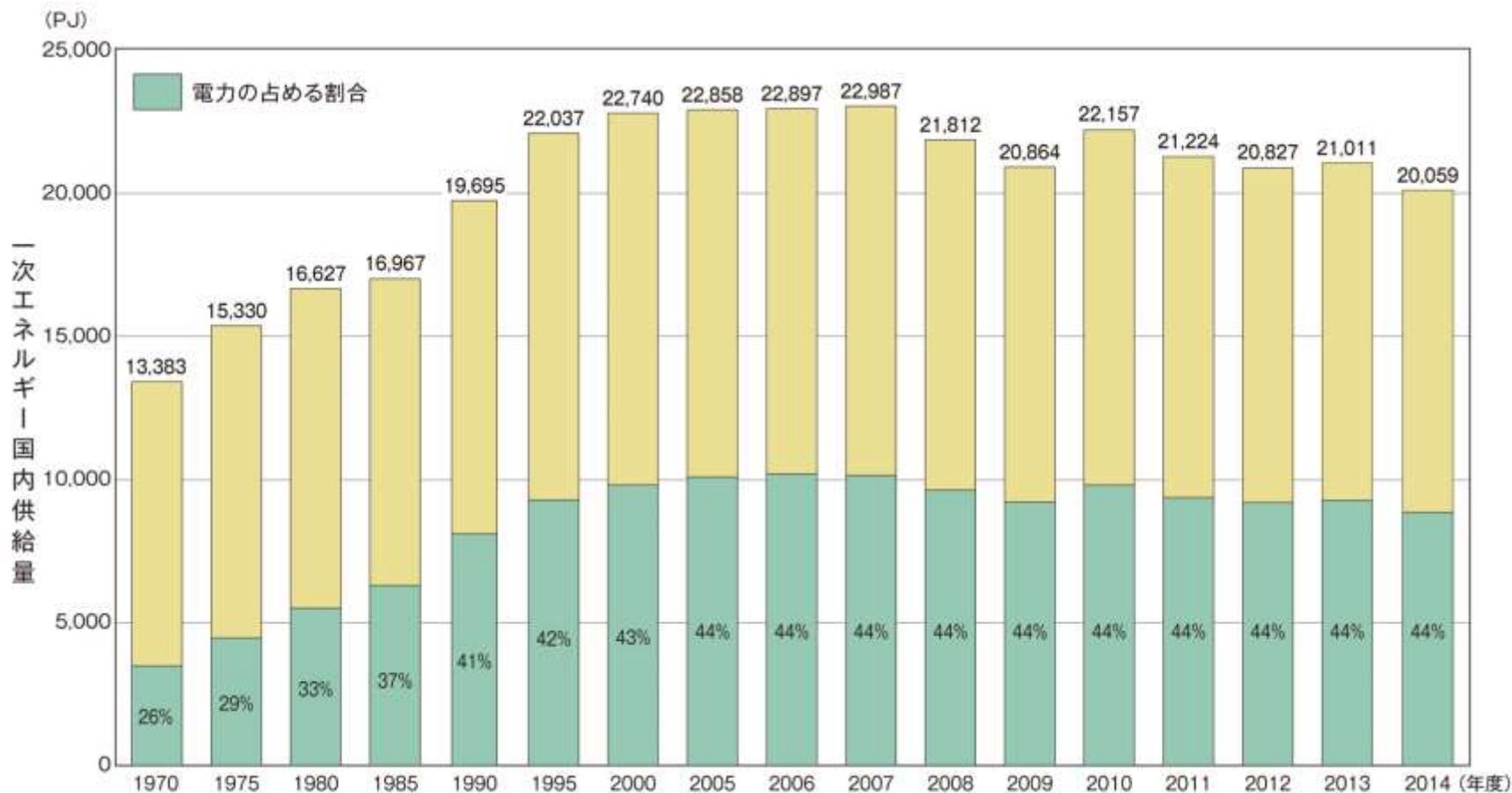
1-3 世界の一次エネルギー消費量の推移



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
 ()内は全体に占める割合

出展: 原子力・エネルギー図面集 2016 (BP統計2014)

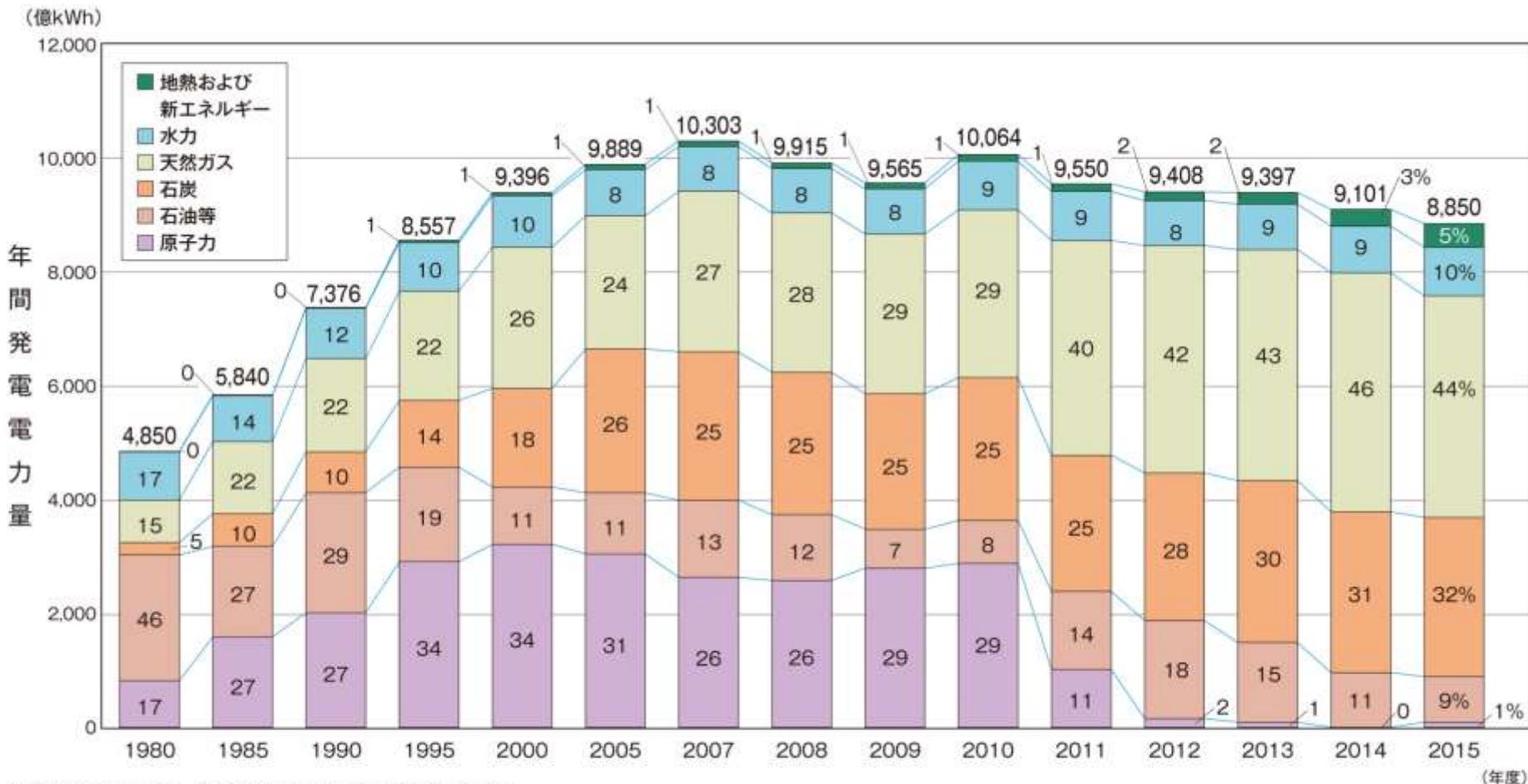
1-4 日本の一次エネルギー供給量の実績



(注) 1PJ(=10¹⁵J)は原油約25,800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール)

出展:原子力・エネルギー図面集 2016 (資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」より作成)

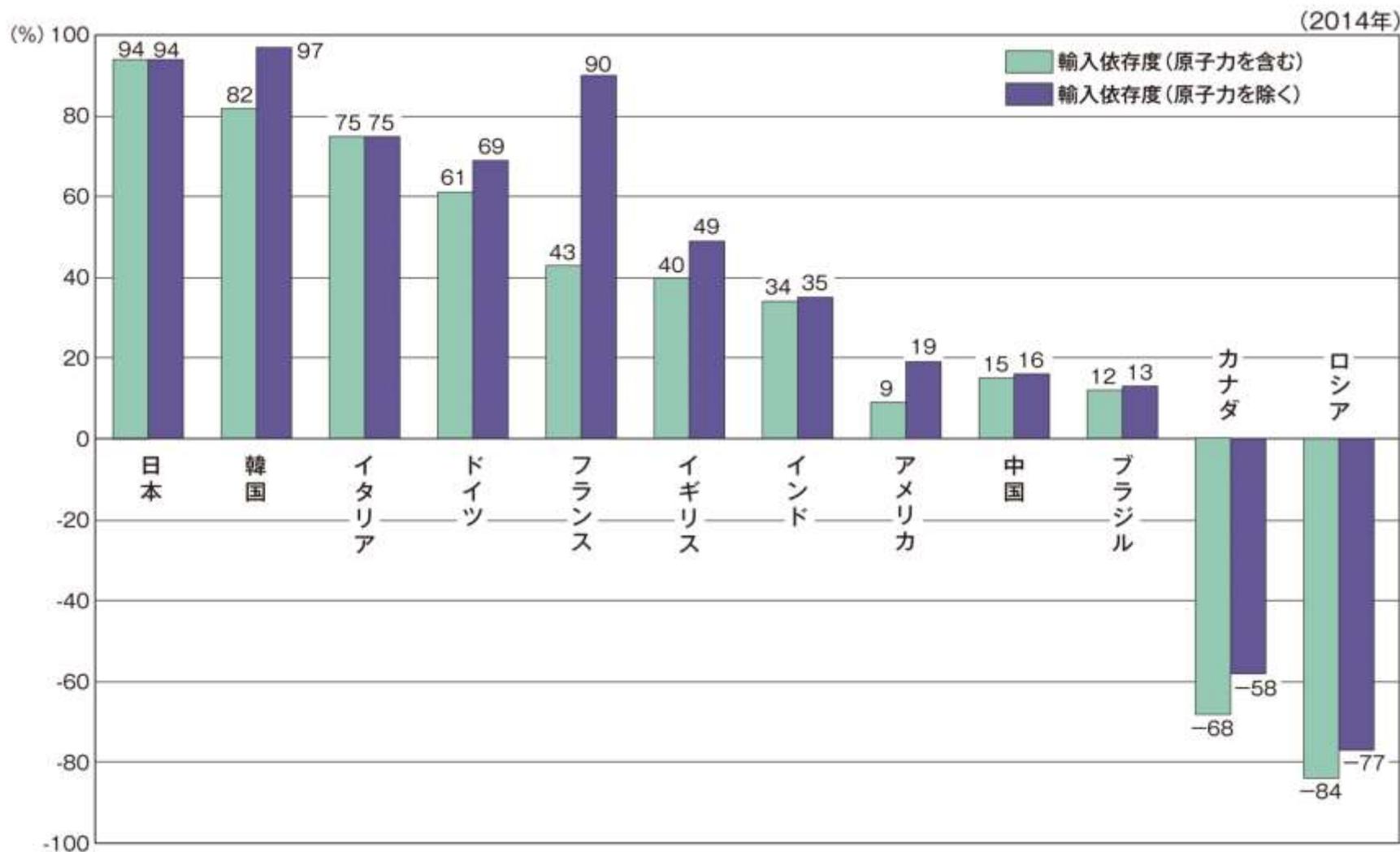
1-5 日本の電源別発電電力量の実績



(注) 石油等にはLPG、その他ガスおよび瀝青質混合物を含む
 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
 発電電力量は10電力会社の合計値(受電を含む)
 グラフ内の数値は構成比(%)

出展: 原子力・エネルギー図面集 2016 (電気事業連合会調べ)

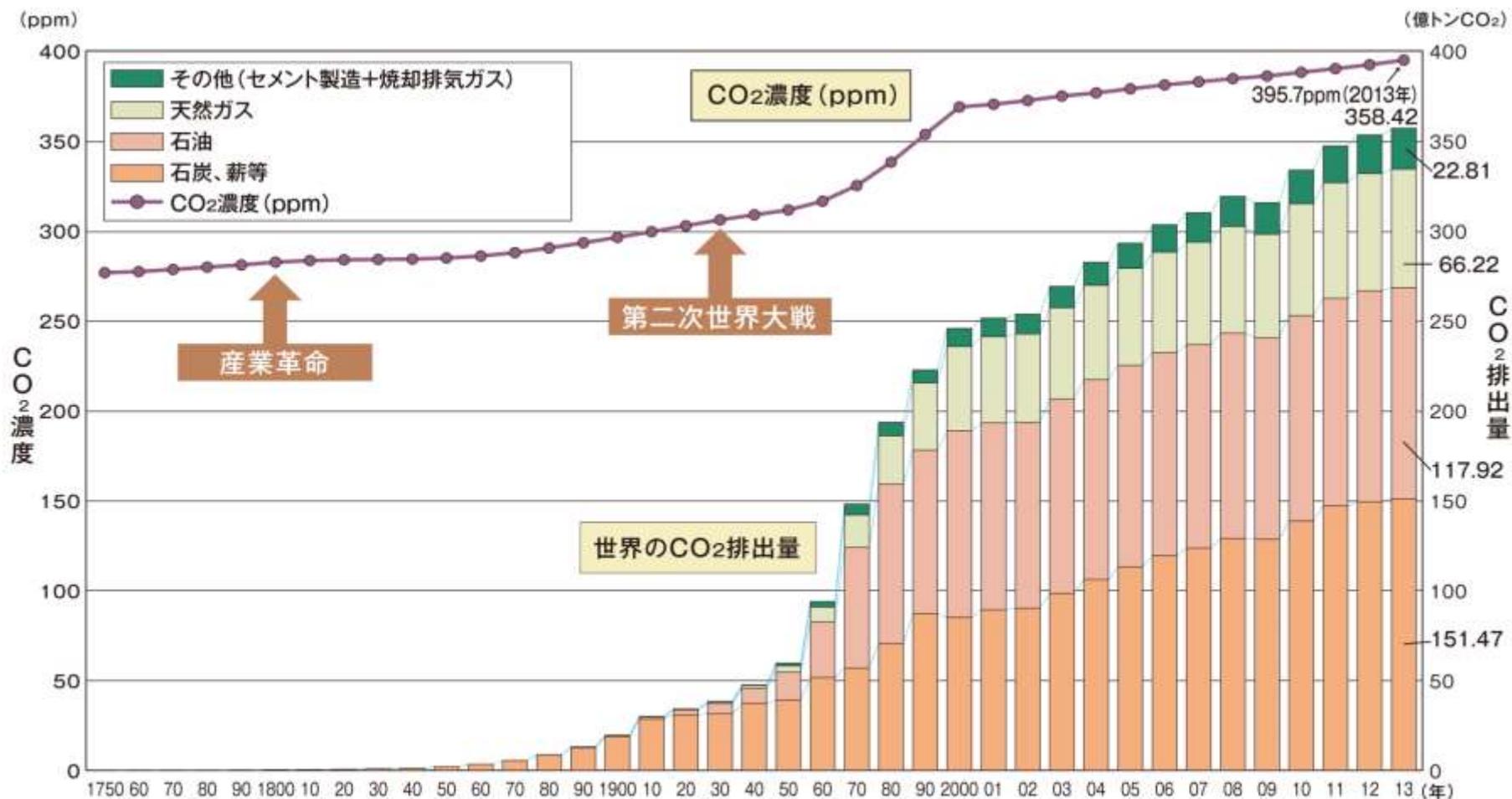
1-6 主要国のエネルギー輸入依存度



(注) 下向きのグラフは輸出していることを表す

出展: 原子力・エネルギー図面集 2016 (IEA「WORLD ENERGY BALANCES (2016 Edition)」より作成)

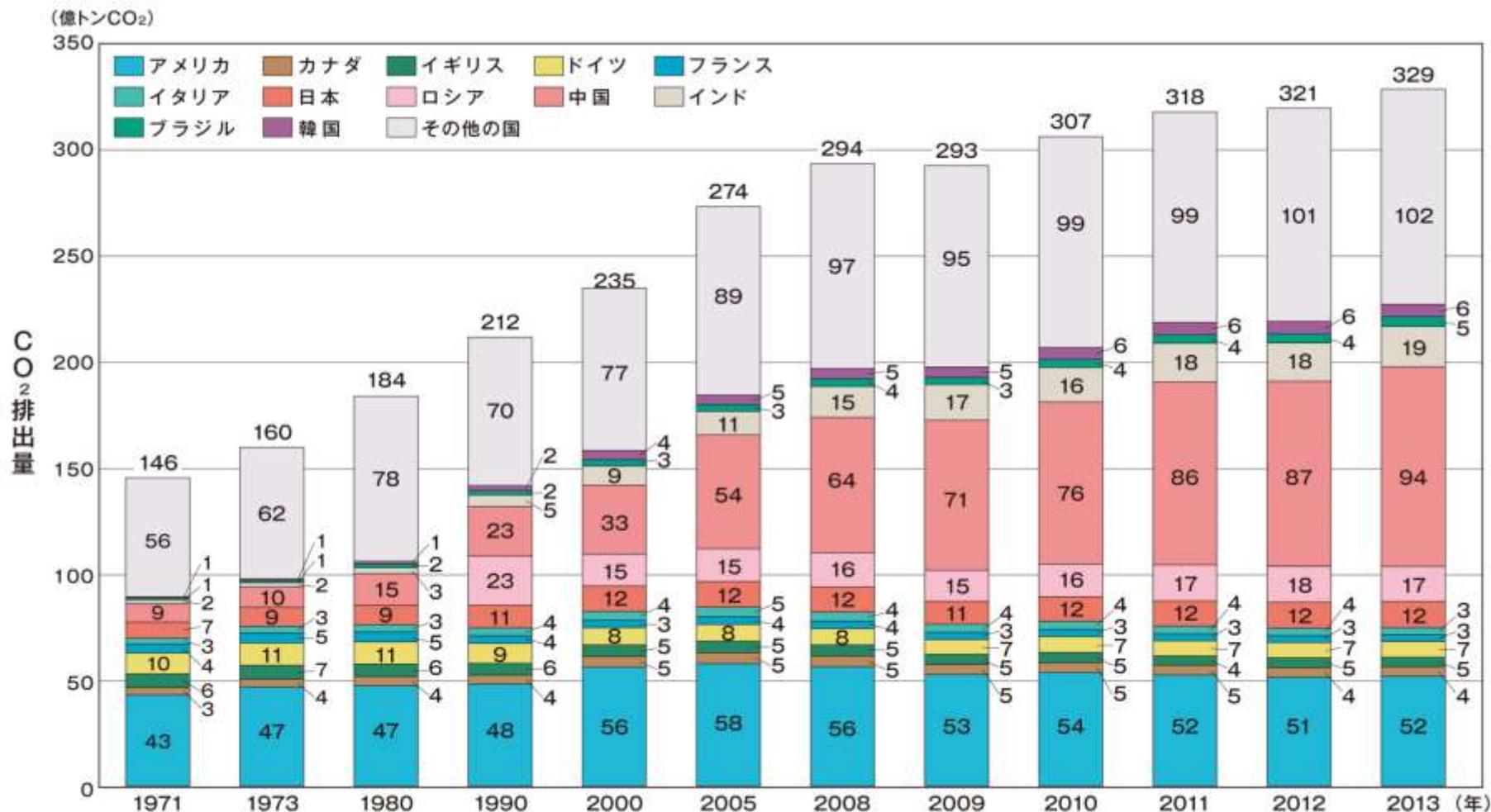
1-7 世界のCO₂排出量と大気中のCO₂濃度の変化



(注)四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

出展:原子力・エネルギー図面集 2016 (CDIAC「Global Fossil-Fuel Carbon Emissions」他より作成)

1-8 主要各国のCO₂排出量

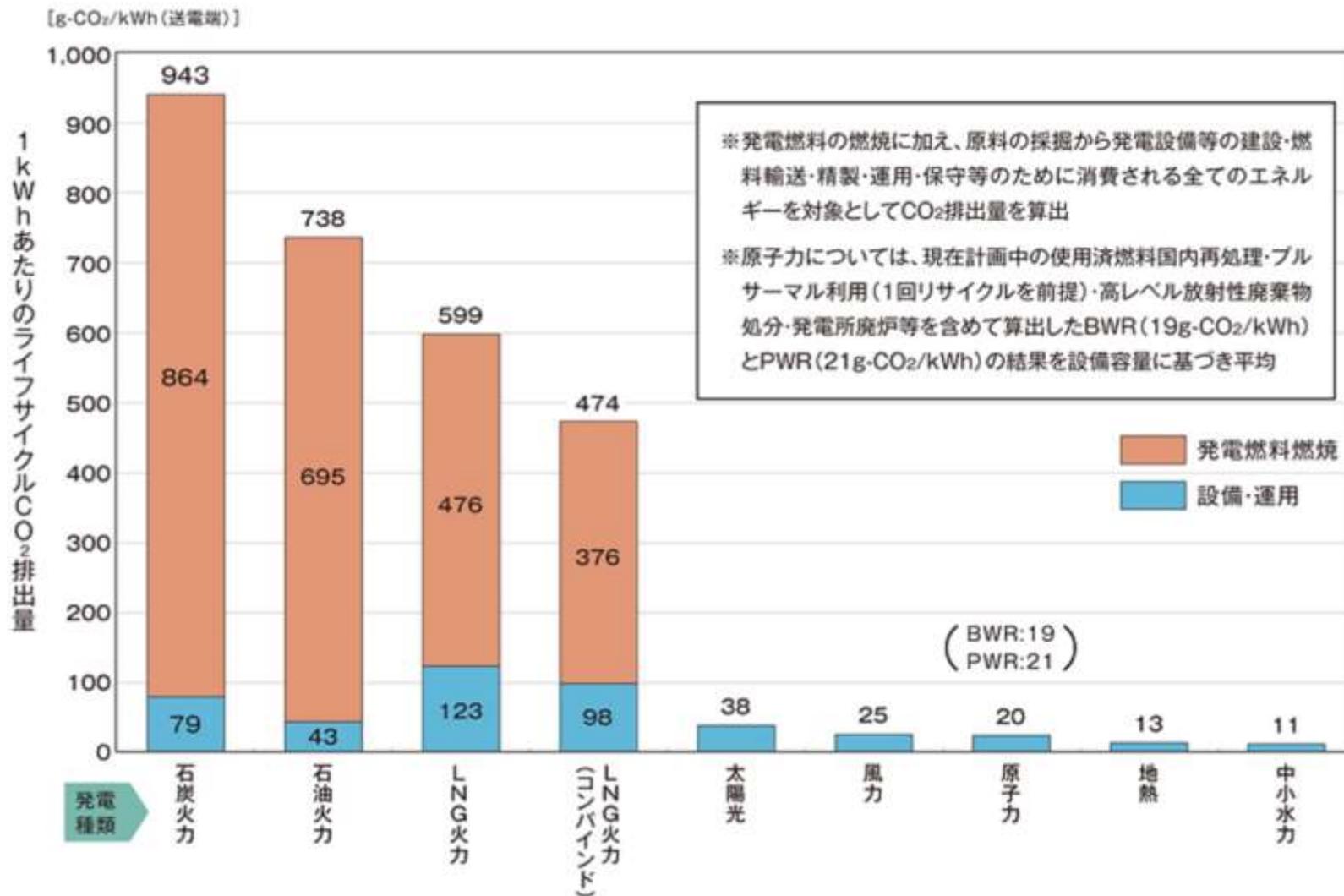


(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
 ロシアについては1990年以降の排出量を記載。1990年以前については、その他の国として集計

出展：原子力・エネルギー図面集 2016 ((一財)日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧2016」より作成)

2. 高速炉開発の意義

2-1 各種電源のCO₂排出量



出展：原子力・エネルギー図面集 2016 ((一財)電力中央研究所「日本の発電技術のライフサイクルCO₂排出量評価(2010.7)」より作成)

2-2 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

出展: 原子力・エネルギー図面集 2016 (※1: BP統計2016、※2: OECD・IAEA「Uranium 2016」より作成)

2-3 新エネルギーへの期待

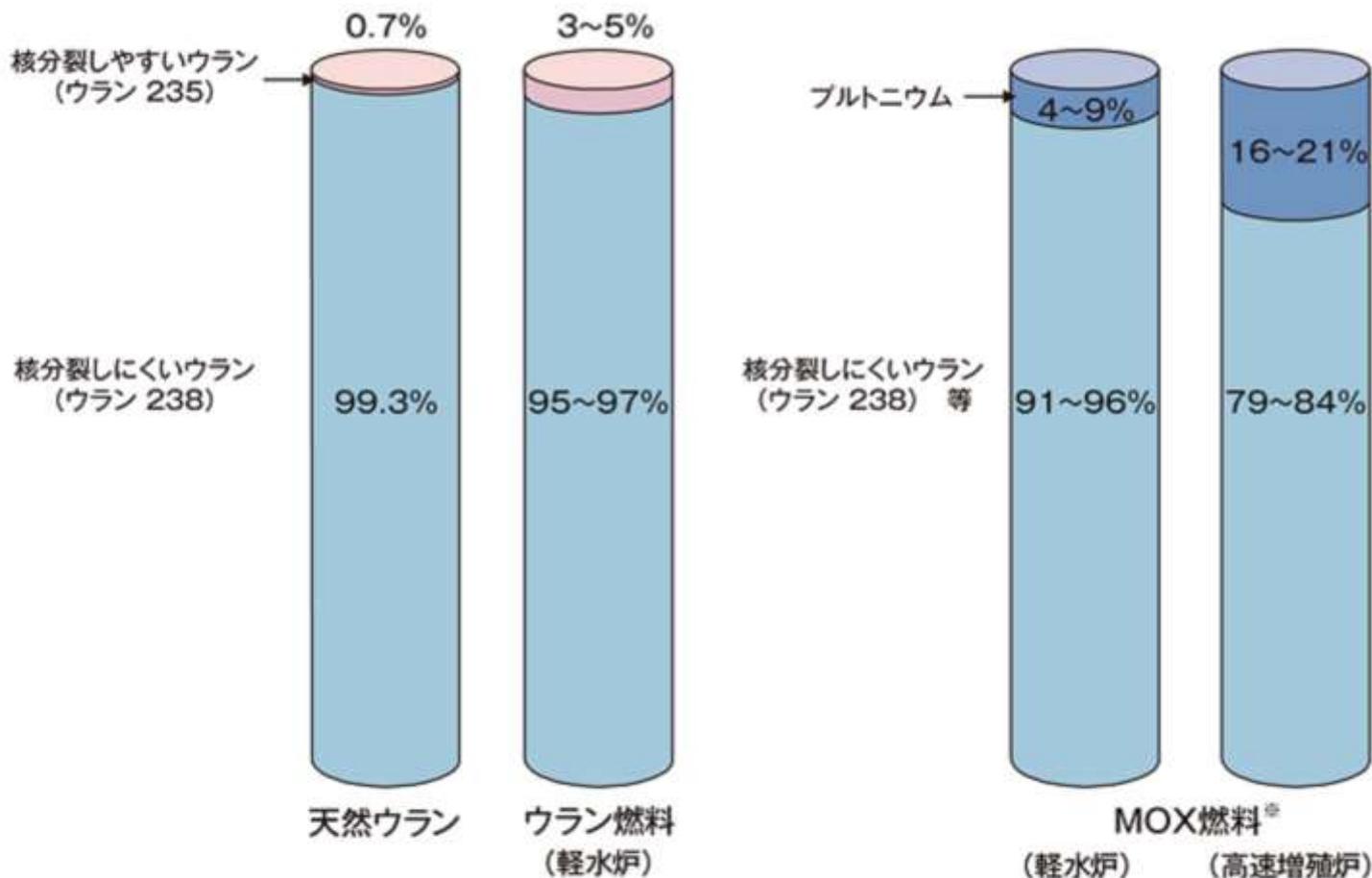
	太陽光発電	風力発電	廃棄物発電 (バイオマス発電を含む)
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ○ 枯渇する心配がない ○ 発電時にCO2等を出さない ○ 需要地に近いため送電ロスがない ○ 需要の多い昼間に発電 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 枯渇する心配がない ○ 発電時にCO2等を出さない 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 発電に伴う追加的なCO2の発生がない ○ 新エネルギーの中では連続的に得られる安定電源
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ○ エネルギー密度^{※1}が低く、火力・原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要 ○ 夜間は発電できず、さらに雨、曇りの日は発電出力が低下し不安定 ○ 設備にかかるコストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ○ エネルギー密度が^{※1}低く、火力・原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要 ○ 風向き・風速に時間的・季節的変動があり、発電が不安定 ○ 風車の回転時に騒音が発生 ○ 風況の良い地点が偏在 ○ 設備にかかるコストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 発電効率が低い ○ ダイオキシンの排出抑制対策や焼却灰の減量化等の更なる環境負荷低減が必要
必要な敷地面積 ^{※2}	100万kW級原子力発電所1基分を代替する場合		
	約58km ² 山手線の面積とほぼ同じ	約214km ² 山手線の面積の約3.4倍	
設備利用率	12%	20%	

※1 エネルギー密度:単位面積あたりでどれくらい発電できるかを表す数値

※2 第1回低炭素電力供給システム研究会(平成20年7月)

出展:原子力・エネルギー図面集 2016

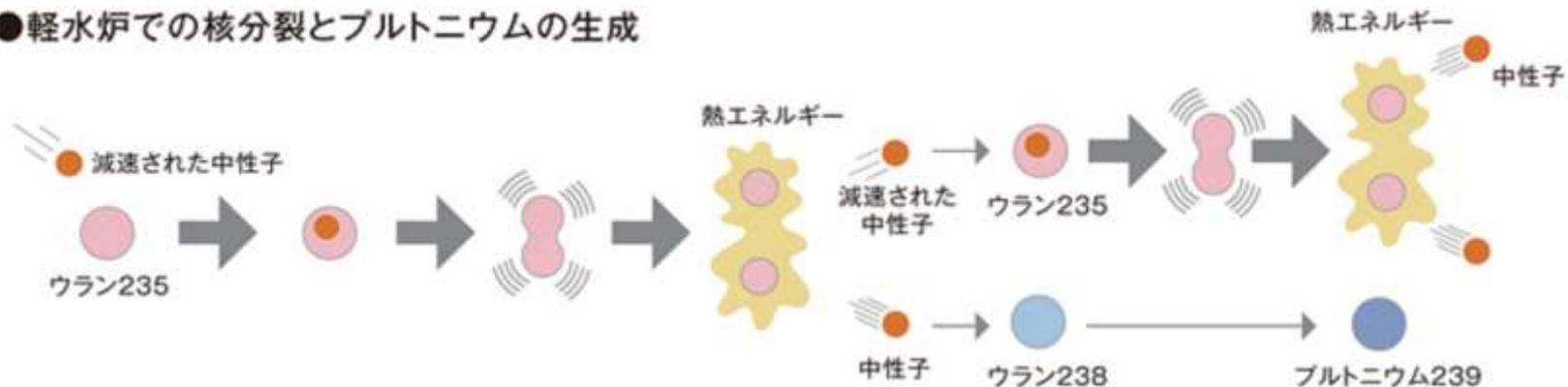
2-4 天然ウランと原子力発電用燃料



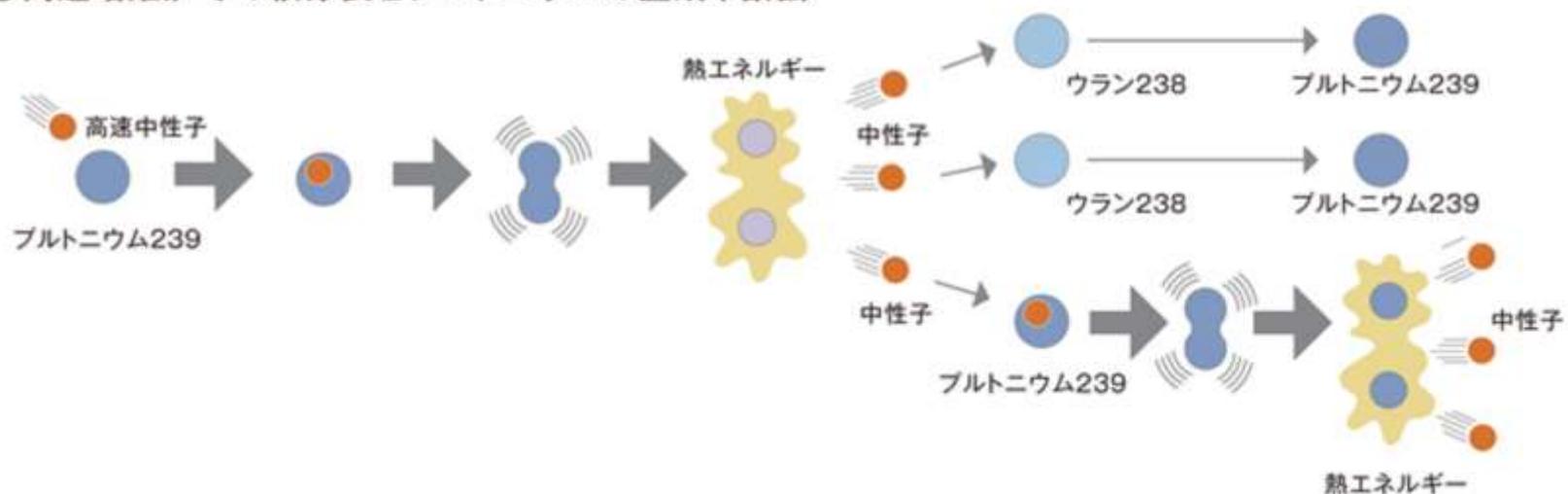
※MOX (Mixed Oxide) 燃料:プルトニウムとウランの混合燃料で、軽水炉のプルサーマル計画や高速増殖炉などで使用される

2-5 ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂

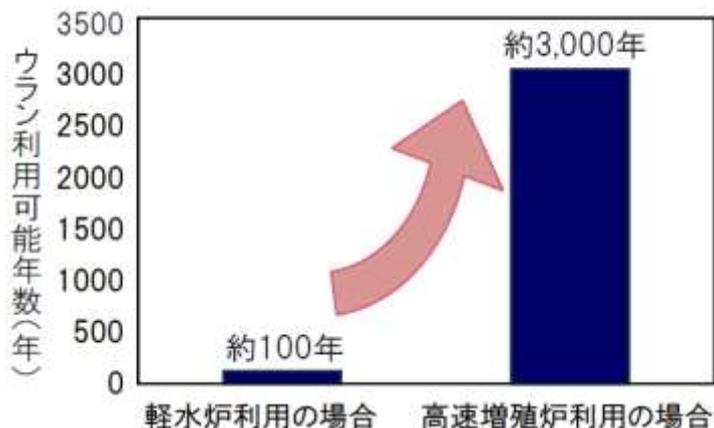
●軽水炉での核分裂とプルトニウムの生成



●高速増殖炉での核分裂とプルトニウムの生成(増殖)



2-6 資源の利用効率向上と廃棄物の減容化・有害度低減



使用済燃料に含まれる主要核種(ウランを除く)

核種	プルトニウム Pu-239	主なマイナーアクチノイド(MA)			
		ネプツニウム Np-237	アメリシウム Am-241	アメリシウム Am-243	キュリウム Cm-244
半減期 (年)	24,100	2,140,000	432	7,380	18
発熱 (W/g)	0.002	0.0002	0.11	0.007	2.8

1) ウラン資源の利用効率向上



2) 高レベル放射性廃棄物の減容化



3) 高レベル放射性廃棄物の有害度低減

出展: 文部科学省 原子力科学技術委員会 もんじゅ研究計画作業部会(第12回) 参考資料より作成

3. 科学技術のリスク

3-1 科学技術のリスク

人命に関わるリスク

<リスク要因>

(1) 事故

- ① 交通機関事故(自動車、航空機、列車、船舶、他)
- ② 爆発事故
- ③ 転落事故、他

(2) 戦争 ⇔ 国家安全保障

- ① 食料・水
- ② エネルギー(労働力、資源)
- ③ 欲望(富、権力)
- ④ 思想(宗教、政治)、他

(3) 事件(殺人、自殺、他)

(4) 疾病(癌、脳疾患、心臓疾患、ウィルス感染、他)

(5) 自然災害(地震、津波、台風、猛暑、寒波、他)

- 科学技術によってリスク要因を解消又は軽減することが可能
- 一方、科学技術がリスク要因を生み出す元にも成り得る

科学技術のメリット／デメリット ⇒ 全てをリスクで評価

☆ 利用した場合のリスク

★ 利用しない場合のリスク(一般的には評価されない)

3-2 ラスムッセン報告書

ノーマン・C・ラスムッセン / Norman Carl Rasmussen
(1927年～2003年)

- 米国の物理学者(専門は原子力工学)
- 確率論的安全評価 (Probabilistic Safety Assessment, PSA) の父とされる
- 1958年にマサチューセッツ工科大学(MIT)教授に就任
- 1974年に当時のアメリカ原子力委員会(U.S.AEC)が、原子炉事故の確率論的評価結果をWASH-1400報告書として公表。これはMITのラスムッセン教授指導のもとにまとめられたことから、「ラスムッセン報告書」と呼ばれている
- 確率論的安全評価：原子力施設において発生する可能性のある事故を対象に、その発生頻度とその事故がもたらす影響の大きさを数値で推定し、施設の安全性を総合的に評価

$$\text{リスク(R)} = \text{事故の発生確率(P)} \times \text{事故の結果(C)}$$

各種事故による個人の死亡リスク
(WASH-1400)

(米国平均 1969)

事故の種類	死者数	死亡リスク 確率(1/年)
自動車	55,791	3×10^{-4}
転落	17,827	9×10^{-5}
火災	7,451	4×10^{-5}
溺死	6,181	3×10^{-5}
毒物	4,516	2×10^{-5}
銃火器	2,309	1×10^{-5}
機械(1968)	2,054	1×10^{-5}
水上輸送	1,743	9×10^{-6}
飛行旅行	1,778	9×10^{-6}
落下物	1,271	6×10^{-6}
感電	1,148	6×10^{-6}
鉄道	884	4×10^{-6}
雷	160	5×10^{-7}
トルネード	91	4×10^{-7}
ハリケーン	93	4×10^{-7}
その他	8,695	4×10^{-5}
全事故合計		6×10^{-4}
100原子力発電所の 事故	0	3×10^{-9}

出展：日本原子力学会誌 Vol.17, No.2 (1975) ラスムッセン報告書の概要(都甲 泰正)より作成

3-3 原子力利用のリスク

◇ 高速炉の開発 ⇔ 原子力の長期利用 (ここでは、原子力=原子力発電とする)

原子力〔推進派 vs 反対派〕 ≠ エネルギー確保に原子力〔必要 vs 不要〕



科学技術で解決不可能 (思想の問題)



科学技術で解決可能

- 安全神話の崩壊
⇒ 技術に「神話」は無い

航空会社のチェックインカウンターで、「これから私が乗る飛行機は墜落しませんか?」と尋ねたら...

- 技術的アプローチ
⇒ あらゆる内部事象、外部事象 (外部ハザード) を想定
事故の発生確率を工学的に無視し得るレベルまで低減

- ☆ 原子力を利用した場合のリスク
重大事故の発生、放射性廃棄物の処理・処分、核拡散
- ★ 原子力 (高速炉) を利用しない場合のリスク
エネルギー資源を巡る国際的緊張、地球温暖化の進行
エネルギー供給の不安定性、経済活動の停滞

産業を基盤とした街づくり

- 自動車産業
- 造船産業
- 電機産業
- 原子力産業、他

どのような社会を実現したいかによってリスクの内容と大きさは異なる

【参考】財務省貿易統計

2007-2016年 (10年間) の原油 / 天然ガスの輸入額 ⇒ 約111兆円 / 約48兆円

なぜ高速炉が必要か？

原子爆弾救護報告書

長崎医科大学助教授 物理的療法科部長 第11救護隊長 永井 隆(1908-1951)
昭和20年8月～10月の救護活動についての学長あての報告書

第10章 結 辞

<下記URLよりご参照ください>

<http://www-sdc.med.nagasaki-u.ac.jp/abcenter/nagai/>

MOVE THE WORLD FORWARD