

# ロシアのウクライナ侵略の影響から エネルギー確保の問題を考える

2022年11月14日

# 目次

---

1. エネルギー供給に関する基礎知識
2. エネルギー確保の課題
3. 世界のエネルギー事情(E); 資源論
4. 地球環境問題と再生可能エネルギー(E)
5. 経済性(E); 燃料価格と発電コスト
6. 安全性(S); 原子力発電
7. ロシアのウクライナ侵略の影響
8. 日本のエネルギー事情
9. 日本がとるべき長期的なエネルギー政策

---

# 1. エネルギー供給に関する 基礎知識

# 1.1 現代は大量のエネルギーが必要

## ■ 人間社会はあらゆる所でエネルギーを使っている

- ◇ 家庭； 空調(暖房、冷房)、照明、調理(加熱)、給湯(浴槽ほか)、冷蔵庫、洗濯機、掃除機、TV/Audio
- ◇ 製造業； 機械加工、材料製造、照明、空調、給水、搬送、建設機械
- ◇ 運輸； 陸上(自動車、電車)、海上(船舶)、航空(飛行機)
- ◇ 店舗； 照明、空調、冷蔵、物品搬送、エレベータ・エスカレータ・自動ドア
- ◇ 事務所； 照明、電子機器、空調、エレベータ
- ◇ 農水業； 温室、散水、薬剤散布、耕作機械、収穫物輸送、漁船
- ◇ 水道； 上水の供給(地方自治体の行政事業) 等々

 エネルギーは**現代社会の成立に欠かせない**

◇ 参考； 自然界の生命も生存のためにエネルギーが必要

➤ 植物は、太陽光からエネルギーを得て生体を形成(光合成)

呼吸(酸化)よりも光合成(炭酸同化)の方が生体形成分だけ多い

➤ 動物は、植物や自分より弱小な動物を食べて栄養分として蓄え、これを呼吸により酸化させて活動のエネルギーを獲得(燃焼熱)

➤ 動物の屍骸や枯れた植物の腐敗は土中のバクテリアの栄養摂取と呼吸(燃焼)

# 1.2 エネルギー資源が消費されるまで

## ■ エネルギー資源

- ◇ 薪、石炭、原油、天然ガス、水力、原子力(ウランなど)
- ◇ 太陽光、風力、地熱、バイオマス(動植物由来)、潮汐力、波力、海洋温度差
- ◇ 生産(採掘)されてから消費者に使われるまでに、様々な経路・段階を経る

## ■ 一次エネルギー総供給

- ◇ エネルギー資源の全供給量
- ◇ 最終エネルギー消費に、転換部門でのロスを加えたもの

## ■ 二次エネルギーへの転換

- ◇ **電気、都市ガス、石油製品**(重油、軽油、灯油、ガソリン、ナフサ、LPG等)、**蒸気**(加熱暖房用)など使い易い形に変える
- ◇ **転換部門**; 発電所、石油精製化学工場など
- ◇ 転換ロス; 輸送中のロス、発電ロス、転換部門での自家消費など

## ■ 最終エネルギー消費

- ◇ 消費者(産業、民生)が使用するエネルギー量
- ◇ 消費者における利用効率(運動エネルギー、有効熱量の割合)は考慮しない

# 1.3 主なエネルギーの転換・利用形態

## ■ 石油

- ◇ 主に石油精製の過程を経て、ガソリン、軽油などの**輸送用燃料**、灯油や重油などの**加熱用燃料**、ナフサなどの**石油化学原料**として供給
- ◇ 電力への転換（火力発電所の燃料として使用）の割合は小さい

## ■ 天然ガス

- ◇ **火力発電所の燃料**として使用し、電気エネルギーに転換
- ◇ **熱量を調整**した上で**都市ガス**（燃料）として消費者に供給

## ■ 石炭

- ◇ **火力発電所の燃料**として使用し、電気エネルギーに転換
- ◇ 製鉄に必要なコークス用**原料**として使用

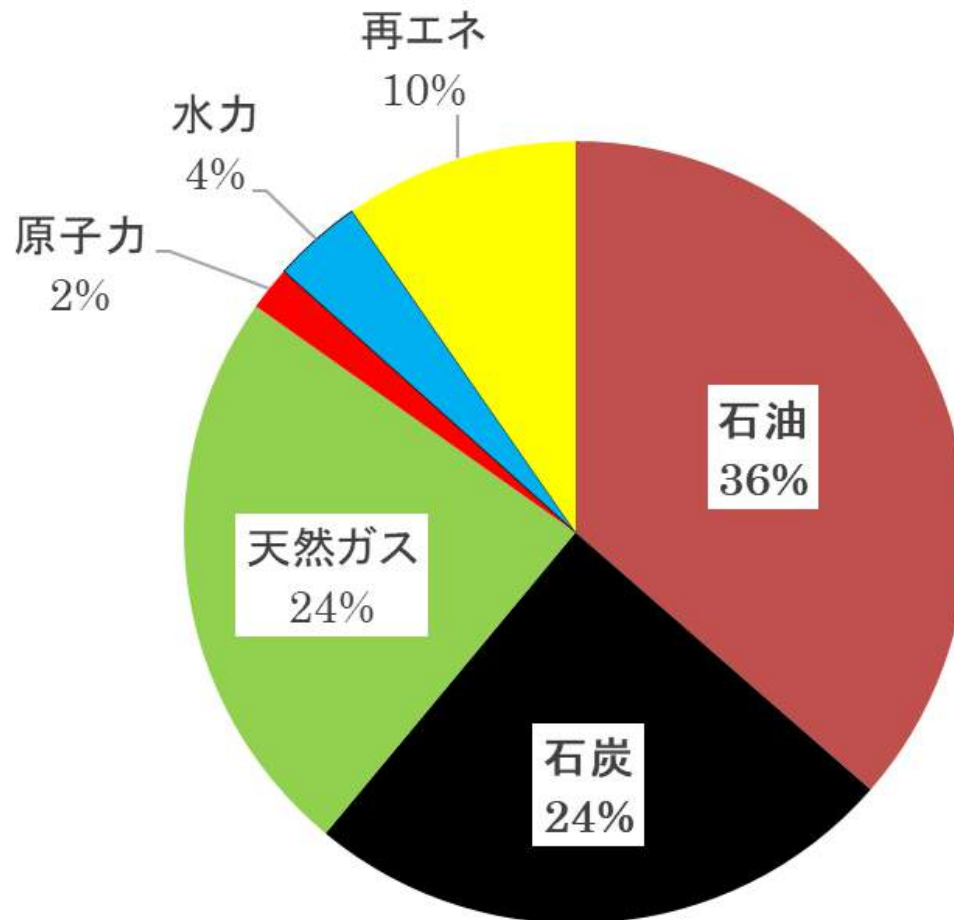
## ■ 原子力、再生可能エネルギー

- ◇ 殆どが**発電**に利用され、電気エネルギーで供給

## ■ 日本の一次エネルギー総供給を 100とすれば、最終エネルギー消費は **67程度**（2020年度）

# 1.4 一次エネルギー供給の構成(日本)

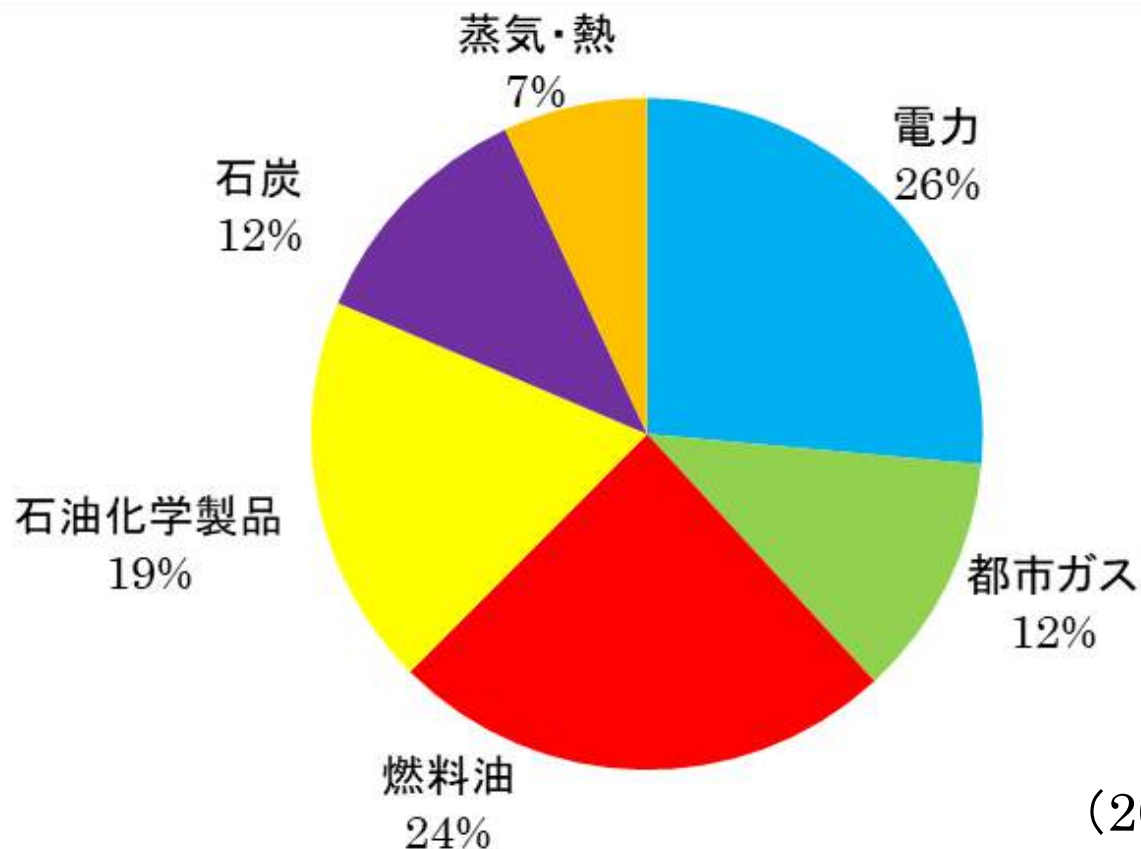
- 原子力の稼働率の低い2020年度の例
- 84%が火力燃料(化石燃料: 石油、石炭、天然ガス)、16%が非化石



(2020年度)

# 1.5 二次エネルギー供給の構成(日本)

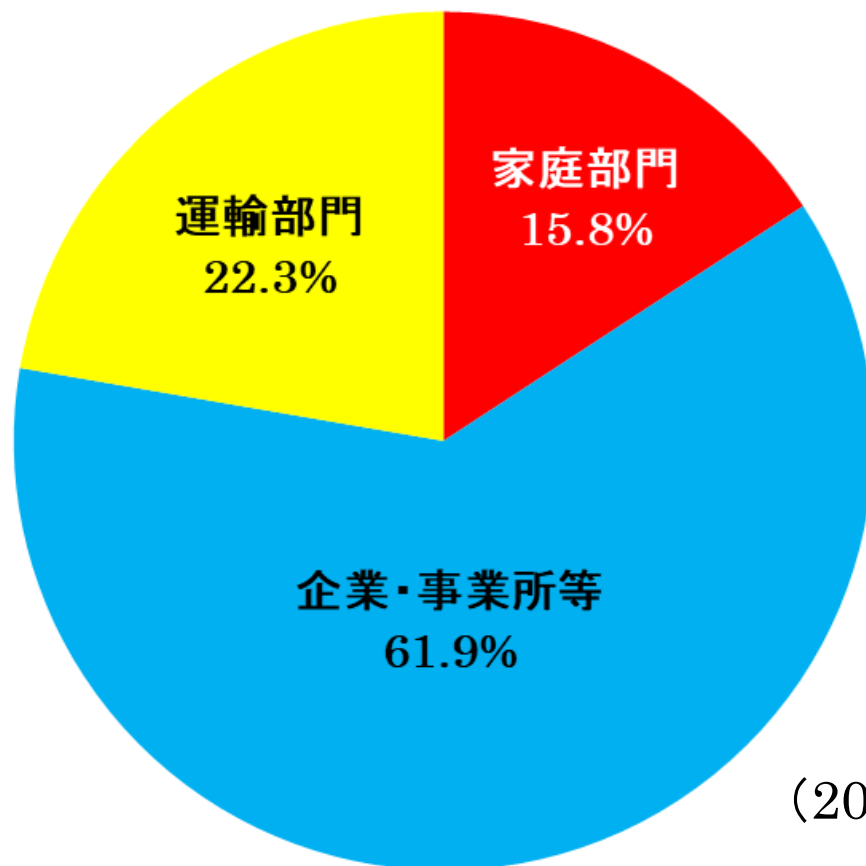
- 電気での供給が 26% → 電化率が 26%
- 燃料油(輸送用、直接加熱用)が 24%
- 石油化学製品となるものが 19%
- 石炭(燃料、原料)、都市ガスが、それぞれ 12%





# 1.6 最終エネルギー消費の構成(日本)

- 工場・事務所・店舗などの産業による消費が 62%
- 運輸部門による燃料としての消費が 22%
- 家庭の消費は 16%



(2020年度)

---

## 2. エネルギー確保の課題

# 2.1 エネルギー資源に求められる性質(1)


- 手に入り易いこと (Accessibility)
- 産業規模での生産量が得られること (Industrial scale)
- 枯渇することなく長期に利用できること (Sustainability)
- 調達費用が低位に安定していること (Low cost)
- 利用に伴う危険性がないこと (Safety)
- 国内自給率が高いこと (Self-sufficiency)
- 燃料の供給途絶に対する耐性、備蓄能力があること  
(Stockpiling capability in case of fuel supply disruption)
- 採掘に伴い環境破壊を生じないこと (Environmental compatibility)
- 廃棄物の影響を抑制管理できること (Waste controllability)
- 温室効果ガスを出さないこと (Carbon emissions free)

更に、...

# 2.1 エネルギー資源に求められる性質(2)

## ■ 発電に利用する場合には;

- ◇ 出力変動が無く、一定を維持できること (Stable power production)
- ◇ 負荷の変動に対して追従能力があること (Load following capability)
- ◇ 出力密度が高く設置面積が小さいこと  
(high power density with small site area)

 再生可能エネルギーの中でも、水力、地熱、バイオマス、廃棄物燃焼はこれらの条件に適合するが、太陽光や風力は適合しない

## ■ 原子力発電の場合にはこれらに加えて以下の条件が大切;

- ◇ 核不拡散性 (Safeguards for non-proliferation)
- ◇ 核セキュリティ (Security with physical protection of nuclear material)
- ◇ 国民理解 (Public acceptance)

# 2.2 各エネルギー資源の長所・短所

	石油	天然ガス	石炭	原子力	水力	太陽光	風力	地熱	バイオマス
国内自給	×	×	×	○	○	○	○	○	○
コスト	×	○	○	○	○	△	△	×	×
CO <sub>2</sub> 排出	×	×	×	○	○	○	○	○	○
規模・密度	○	○	○	○	○	×	×	×	×
持続性	×	×	×	○	○	○	○	○	○
備蓄性	×	×	×	○	○	×	×	○	×
負荷追従性	○	○	△	△	○	×	×	○	○
安定性	○	○	○	○	○	×	×	○	○
安全性	○	○	○	△	○	○	○	○	○
廃棄物	○	○	○	×	○	○	○	○	○
輸送用	○	○	○	×	×	×	×	×	×
発電用	○	○	○	○	○	○	○	○	○

## 2.3 エネルギーに係わる課題; S+3E

### ■ エネルギーの確保; **E**nergy supply

- ◇ **資源問題**; 化石燃料の賦存量(可採年数)、資源産出国(輸入先)の偏在、輸送ルートリスク、等々
- ◇ 国家間で政治的対立や紛争が発生すると、エネルギーの安定供給の可否が国の経済・社会に影響を与え、**安全保障**の問題となる
  - 国内自給できれば心配はないが、輸入が必要だと供給途絶のリスクあり

### ■ 地球環境問題への影響; Global **E**nvironmental Impact

- ◇ 化石燃料の燃焼は CO<sub>2</sub> を発生
- ◇ 今世紀末までの温度上昇(産業革命前と比較)を1.5°Cに抑えるためには、今世紀半ばでのカーボンニュートラル(実質的に排出量ゼロ)が必要

### ■ 経済性(エネルギー価格); **E**conomy

- ◇ 電気料金や燃料代は全ての産業経済と国民生活の維持に大きく影響

### ■ 安全性; **S**afety

- ◇ 国の地政学的な事情に応じ最適なエネルギーを選ぶにしても、そのエネルギーの利用に伴う安全性には十分な配慮が必要

---

# 3. 世界のエネルギー事情

3.1 石油

3.2 石炭

3.3 天然ガス

3.4 水力

3.5 原子力

# 3.1.a 石油の確認可採埋蔵量

■ **1兆7,324億バレル** (シェールオイルを除く在来型資源)

■ 可採年数 **53.5年** (2020年の石油生産量で割り算)

◇ **中東**が 48.3%

◇ 世界1位は**ベネズエラ**

◇ **次いで;**

➤ **サウジアラビア**

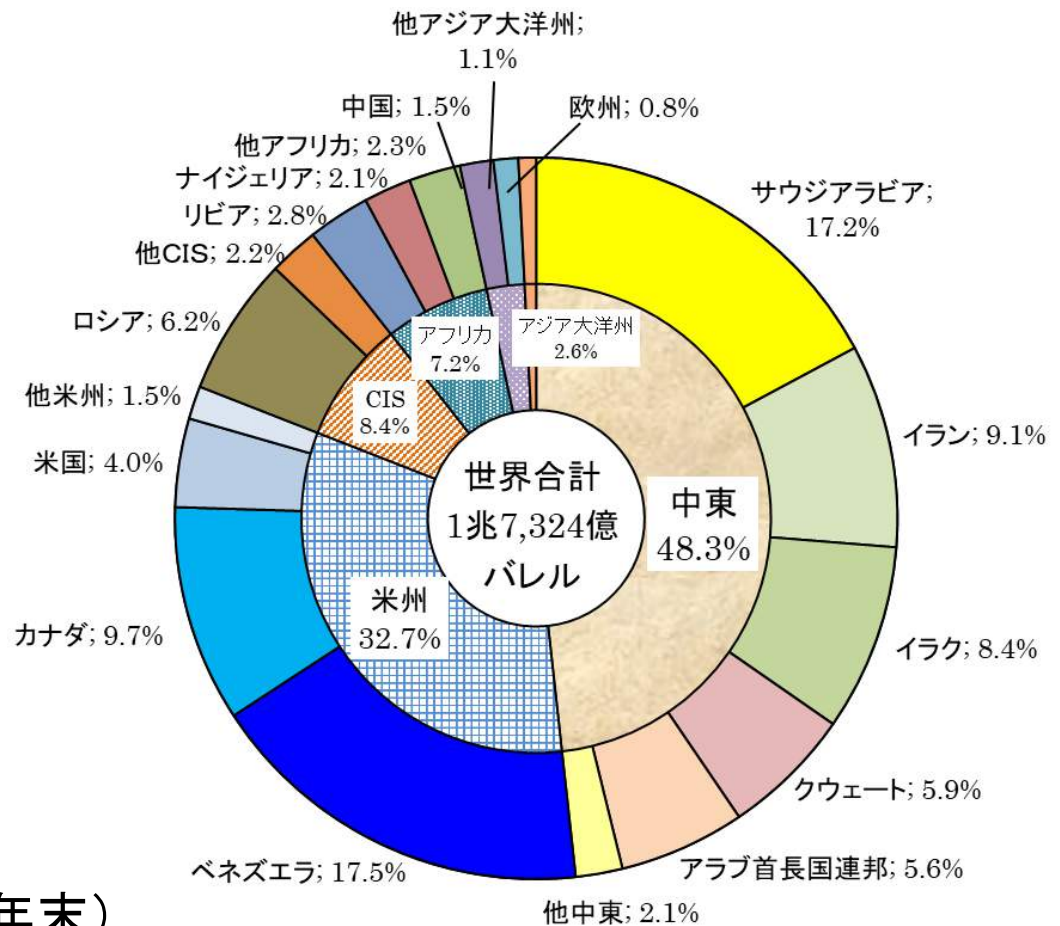
➤ **カナダ**

➤ **イラン**

➤ **イラク**

➤ **ロシア** (第6位)

◇ **ロシア**は世界の6.2%



(2020年末)

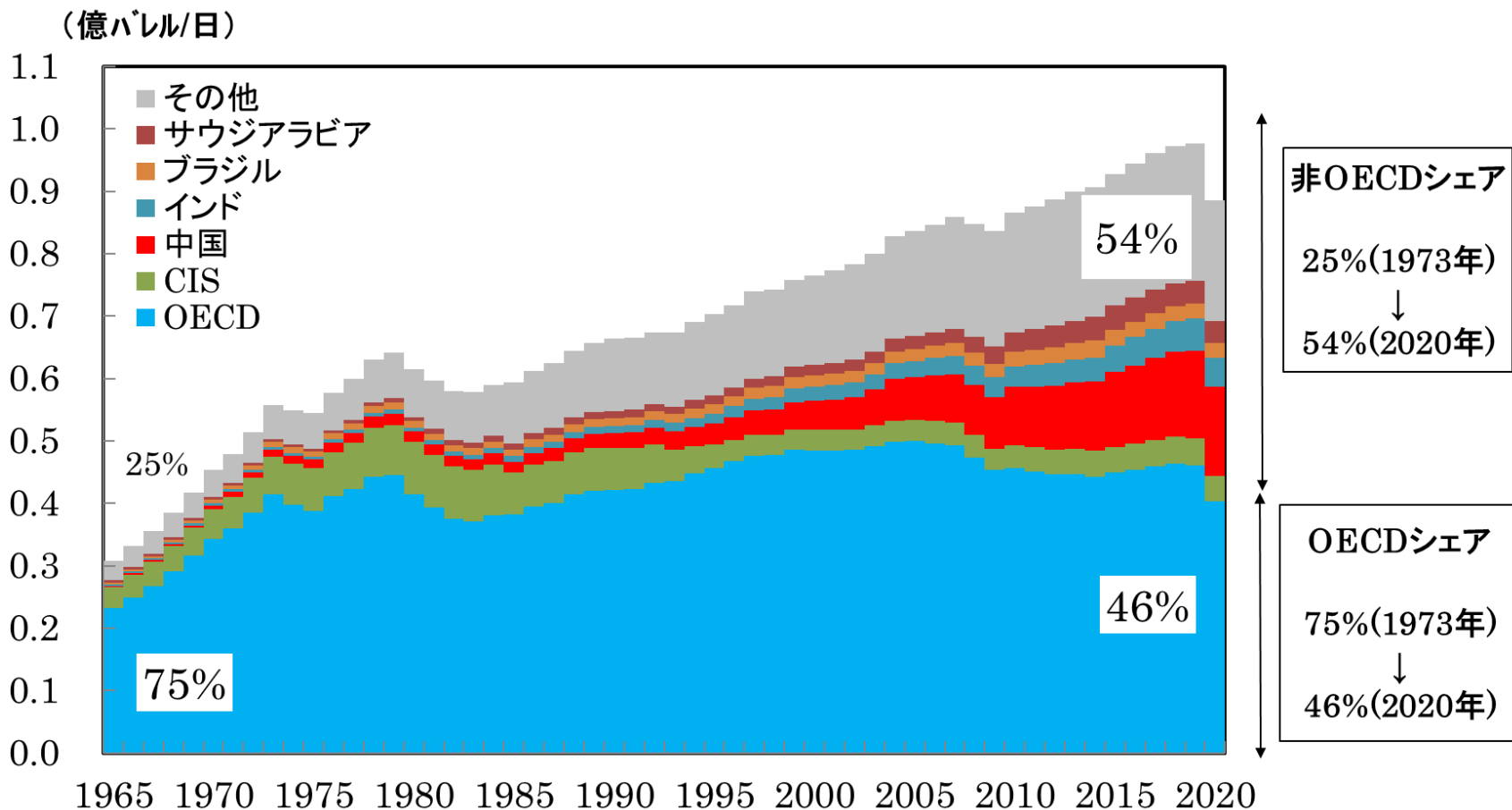


# 3.1.b 石油消費の推移(地域別)

■ **OECD諸国の消費量は近年は横ばい**

■ **非OECD諸国が中国を中心に堅調に消費を増加**

◇ 主な原因は増加する自動車燃料(65%)と石油化学原料(12%)としての消費

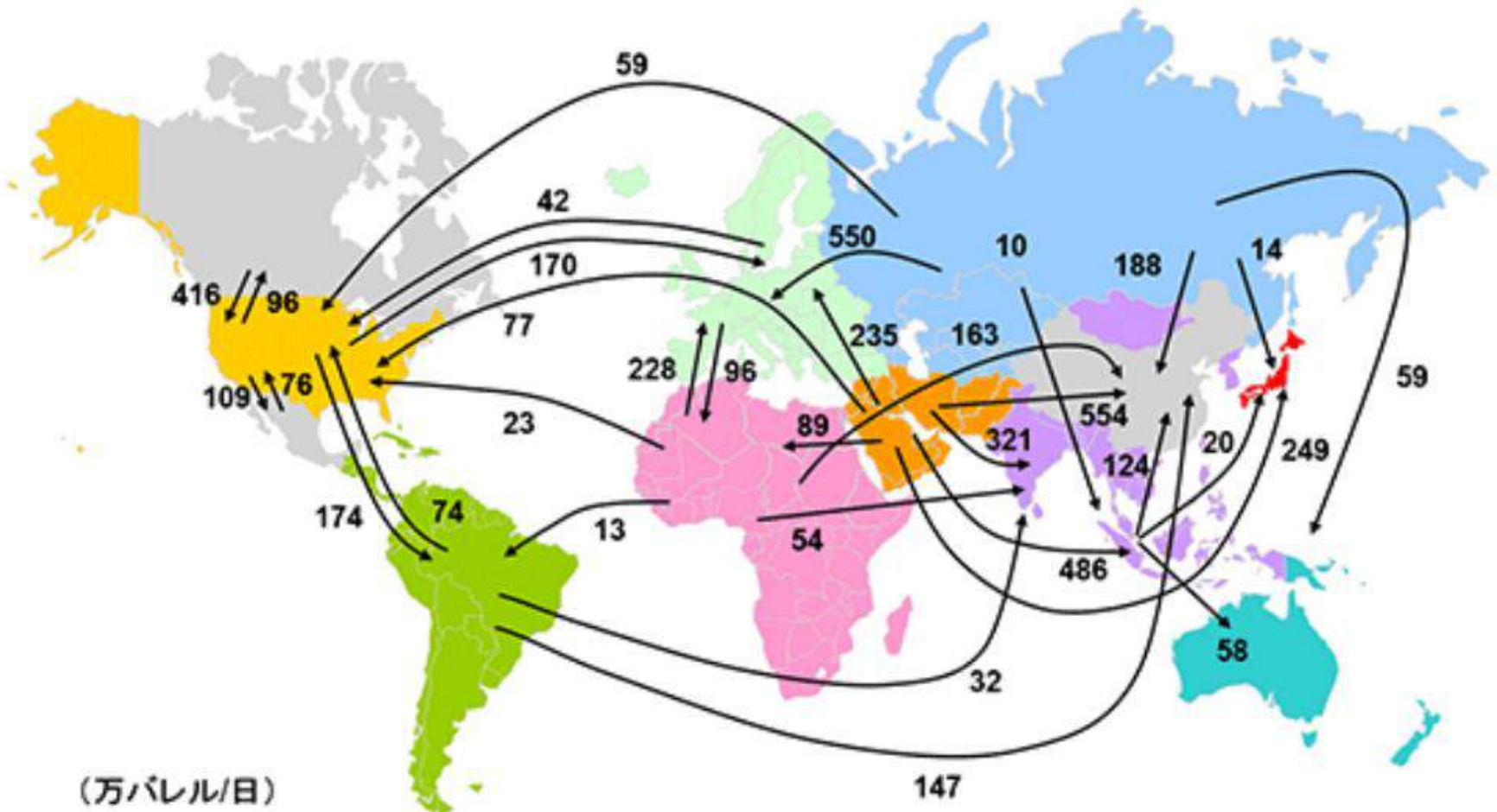


# 3.1.c 石油の貿易

■ 石油の貿易量；2020年に 6,629万バレル/日（生産量の7割）

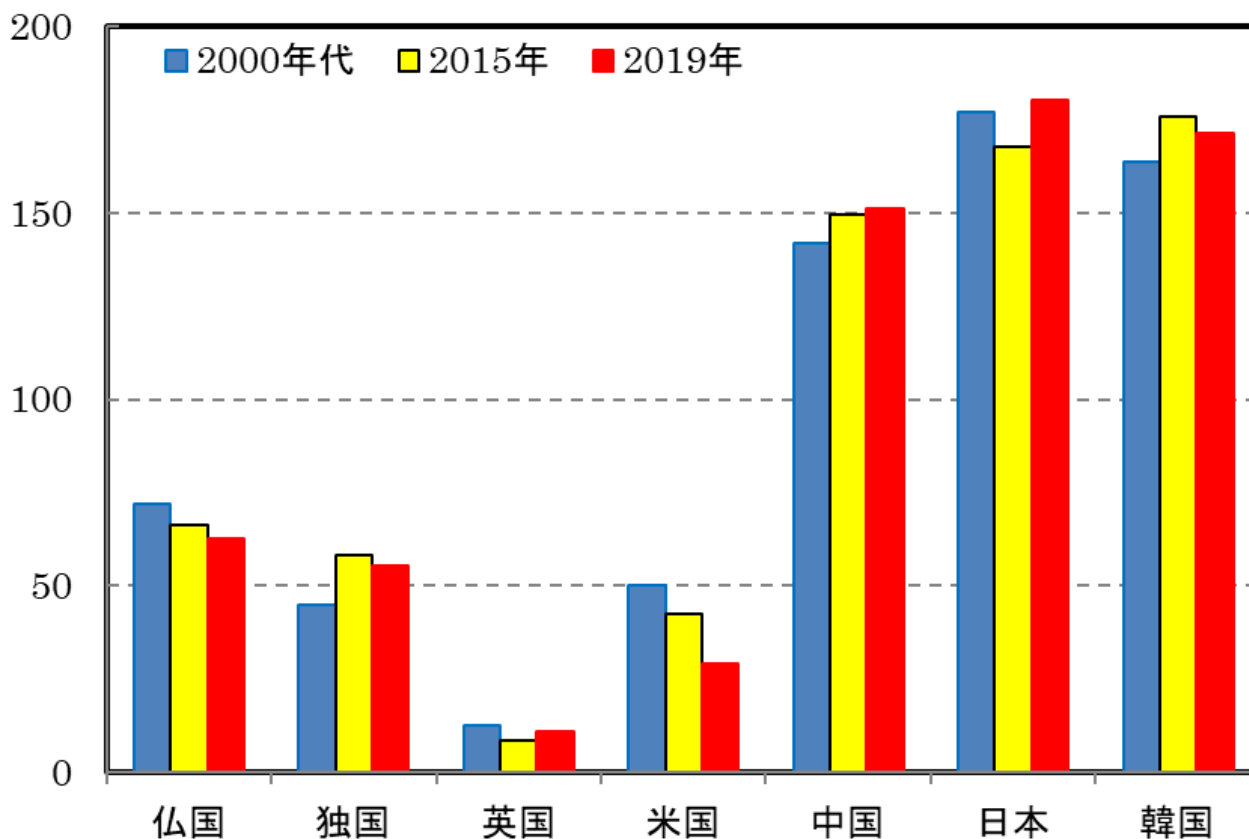
◇ **中東**の輸出は 2,221万バレル/日、その77%が**アジア大洋州**へ

◇ **旧ソ連諸国**の輸出は 964万バレル/日、その内 550万バレル/日が**西欧**へ



# 3.1.d 石油輸入のチョークポイント比率

- チョークポイント; 原油の海上輸送のルートにある狭い海峡
  - ◇ 例; **ホルムズ海峡、マラッカ海峡、バブ・エル・マンデブ海峡**、等々
- **チョークポイント比率**
  - ◇ チョークポイントを通過する輸入原油総量が総輸入量に占める割合



# 3.2.a 石炭の確認可採埋蔵量

■ 確認可採埋蔵量 **1兆741億トン**

■ 地域的な偏りが少なく、世界に広く賦存

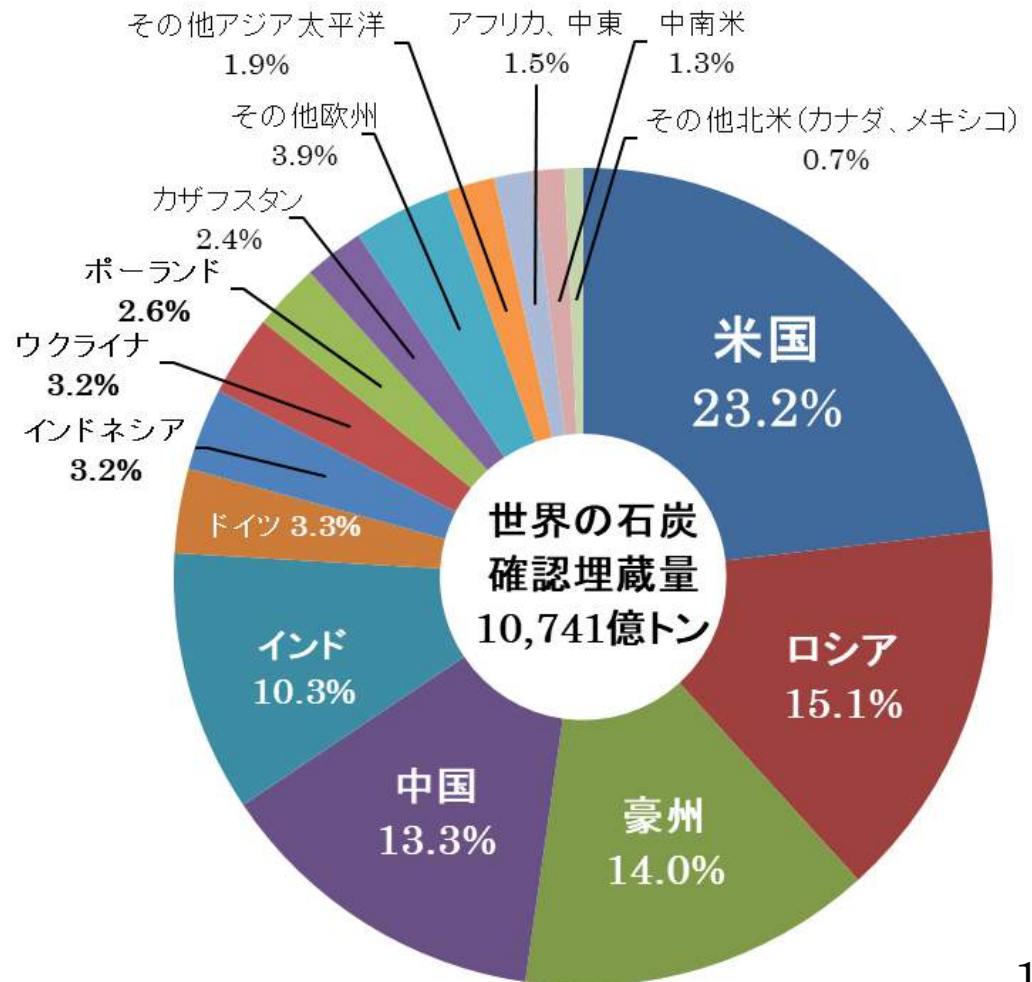
◇ 米国 23.2%(1位)

◇ **ロシア** 15.1%(**2位**)

■ 可採年数 **139年**

◇ BP統計2021年版

◇ 石油、天然ガスよりも長い



# 3.2.b 石炭消費量の推移(国別)

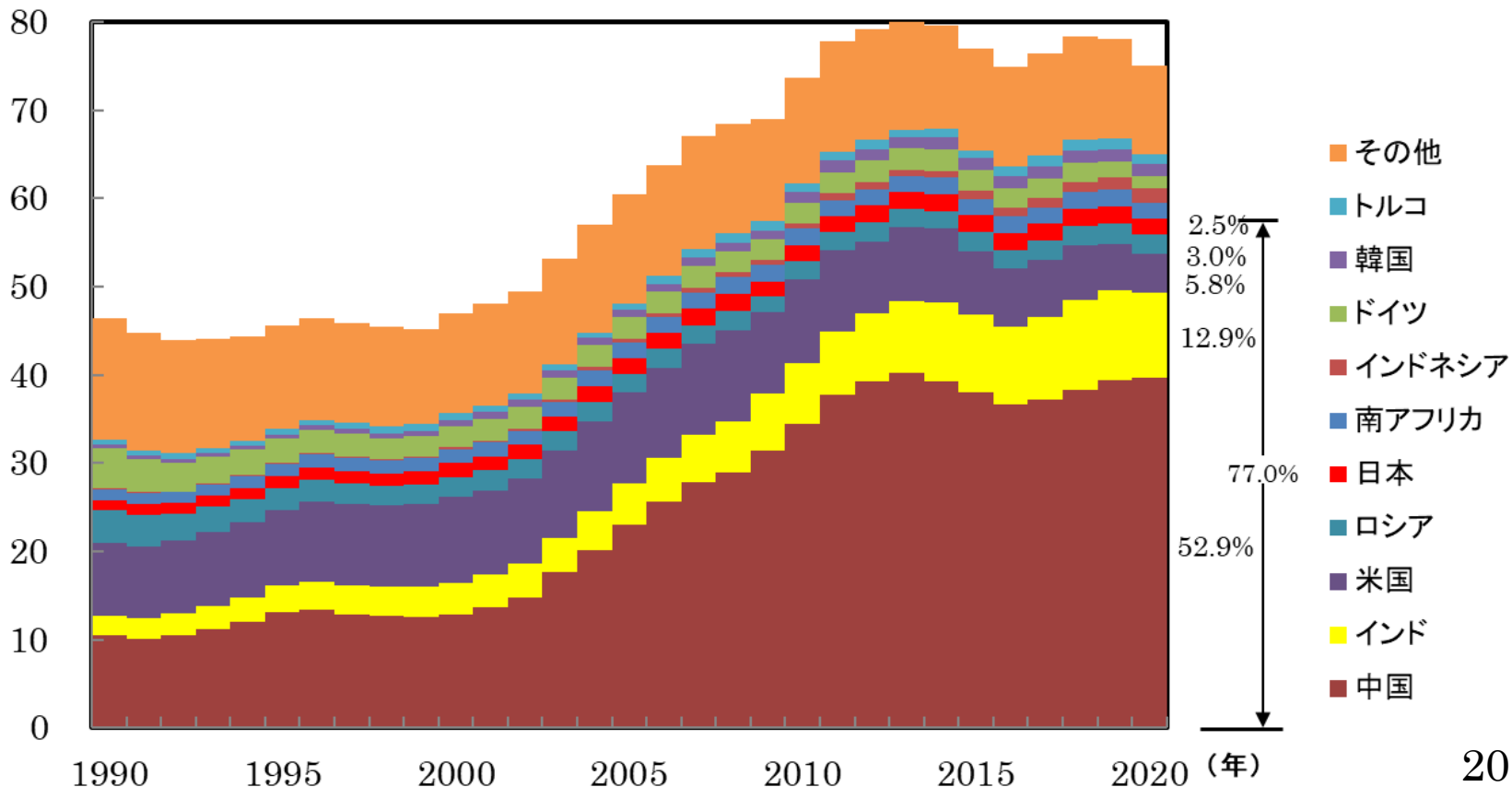
■ 2020年には 75億452万トン

◇ **中国** 52.9%    **インド** 12.9%    **米国** 5.8%    **ロシア** 3.0%

◇ 日本 2.5%    1億8,422万トン(世界の第5位)

■ 用途は 発電用(一般炭)66.6%    コークス製造用(原料炭)12.7%

(億トン)

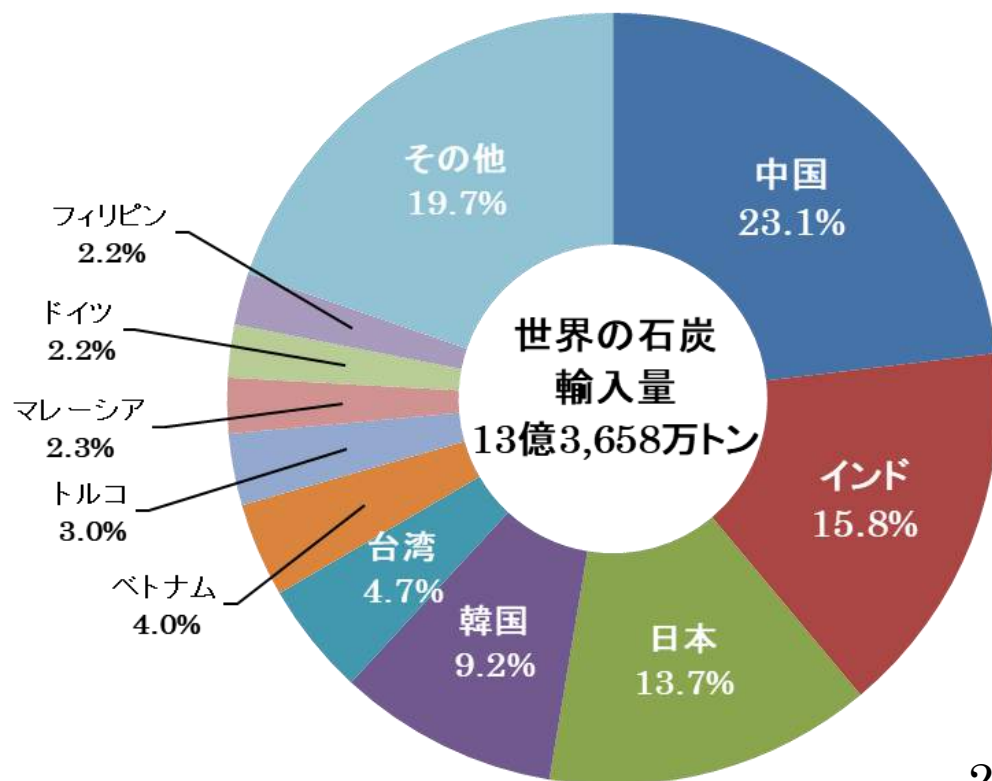
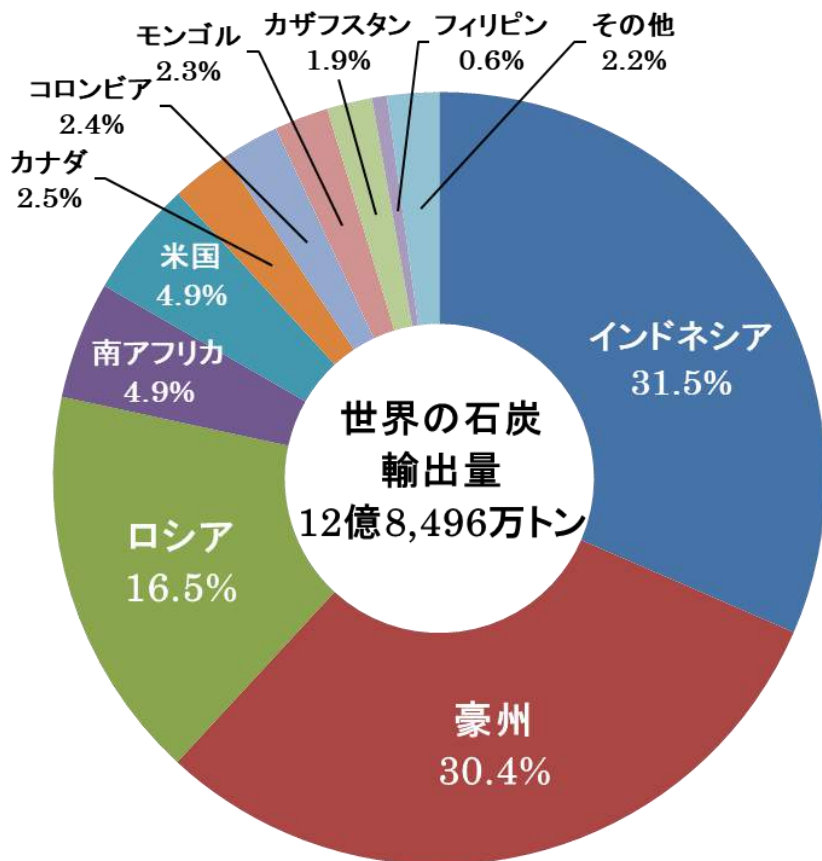


## 3.2.c 石炭の貿易

■ 貿易量は約13億トン/年（生産量75億トンの17%；自国内消費が主）

◇ 輸出国； **インドネシア、豪州、ロシア**が圧倒的（3カ国合計で8割近く）

◇ 輸入国； **中国、インド、日本、韓国、台湾、ベトナム**（いずれも火力発電用）



# 3.3.a 天然ガスの確認可採埋蔵量

■ 2020年末; **約188.1兆m<sup>3</sup>**

■ 可採年数 **48.8年** (シェールガスを除く在来型の資源量)

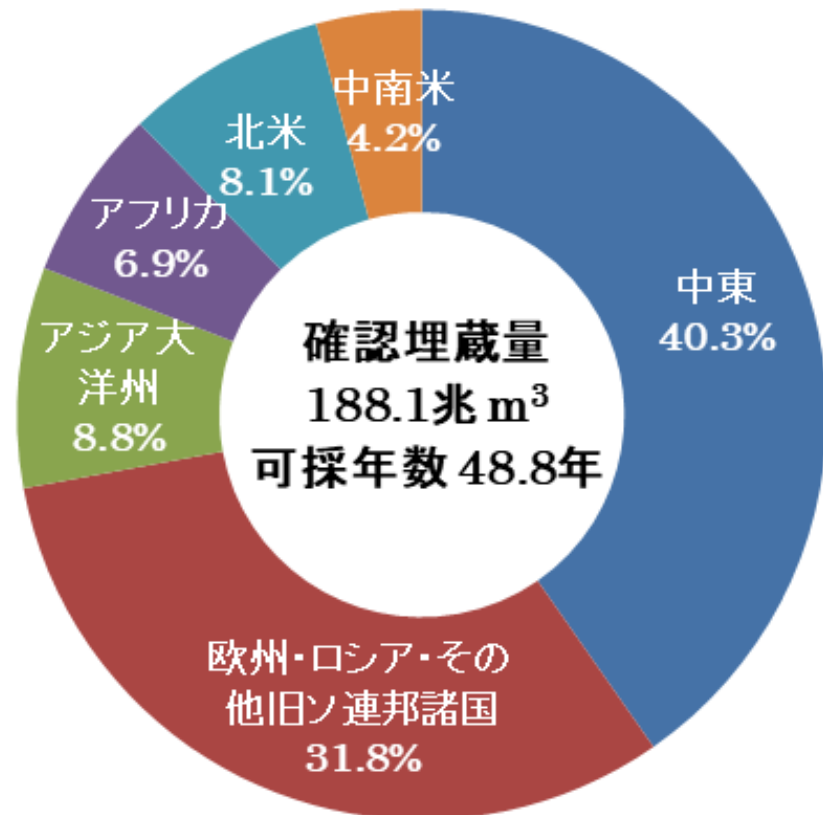
◇ **中東** 40.3%

◇ 欧州・旧ソ連諸国 31.8%

◇ **ロシア** 20%

➤ ロシアの天然ガス資源量は**世界1位**

➤ 従来は低価格で、米国のシェールガスと競合



# 3.3.b 天然ガス消費の推移(地域別)

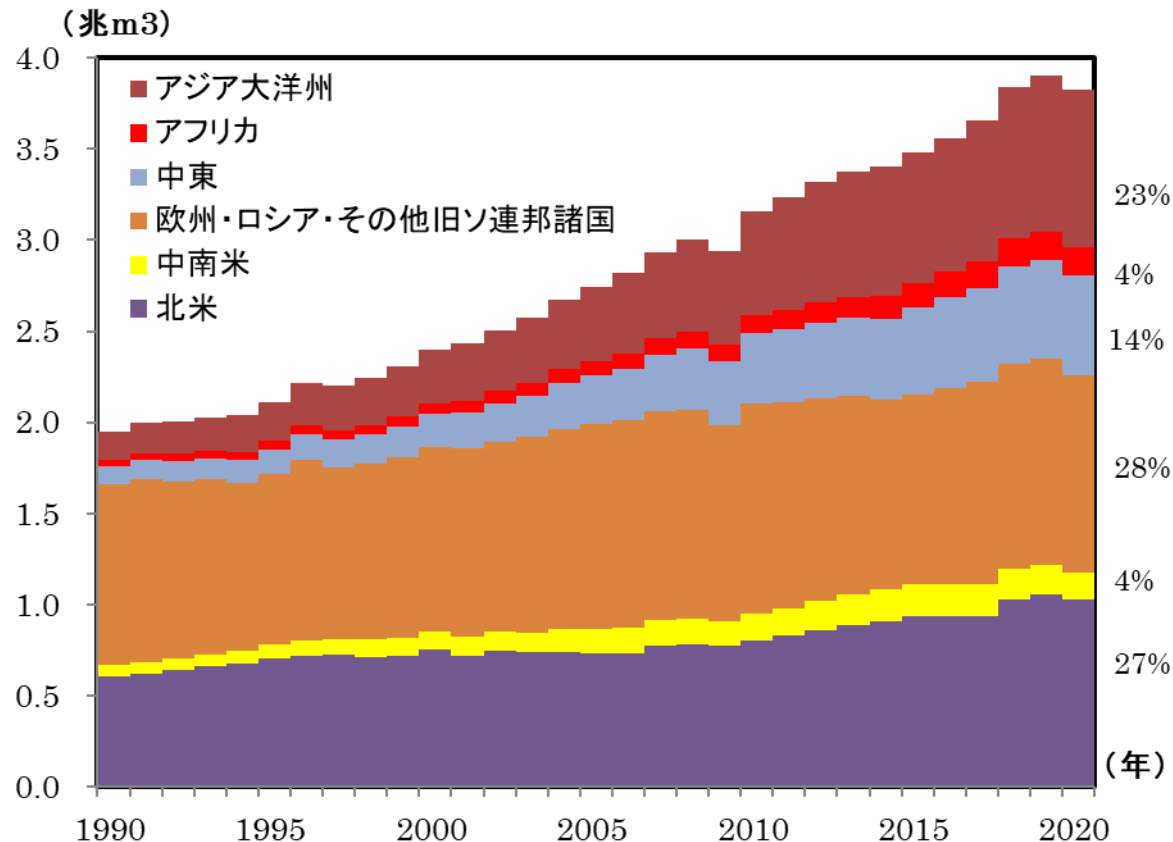
■ 2010年から2019年の間、**年率2.4%**で増加

◇ **北米、欧州・旧ソ連諸国**で世界の約**55%**

➤ 地域内で豊富に生産され、パイプラインで気体のまま大量に輸送

◇ **アジア**でも天然ガスの消費が急激に増加

◇ 2020年は、コロナ禍で前年比**2.1%**減少





# 3.3.c 天然ガスの貿易

■ 貿易量 2020年 1兆2,437億m<sup>3</sup> (生産量の3割; 自国内消費が主)

◇ **パイプライン**による取引; **61%**

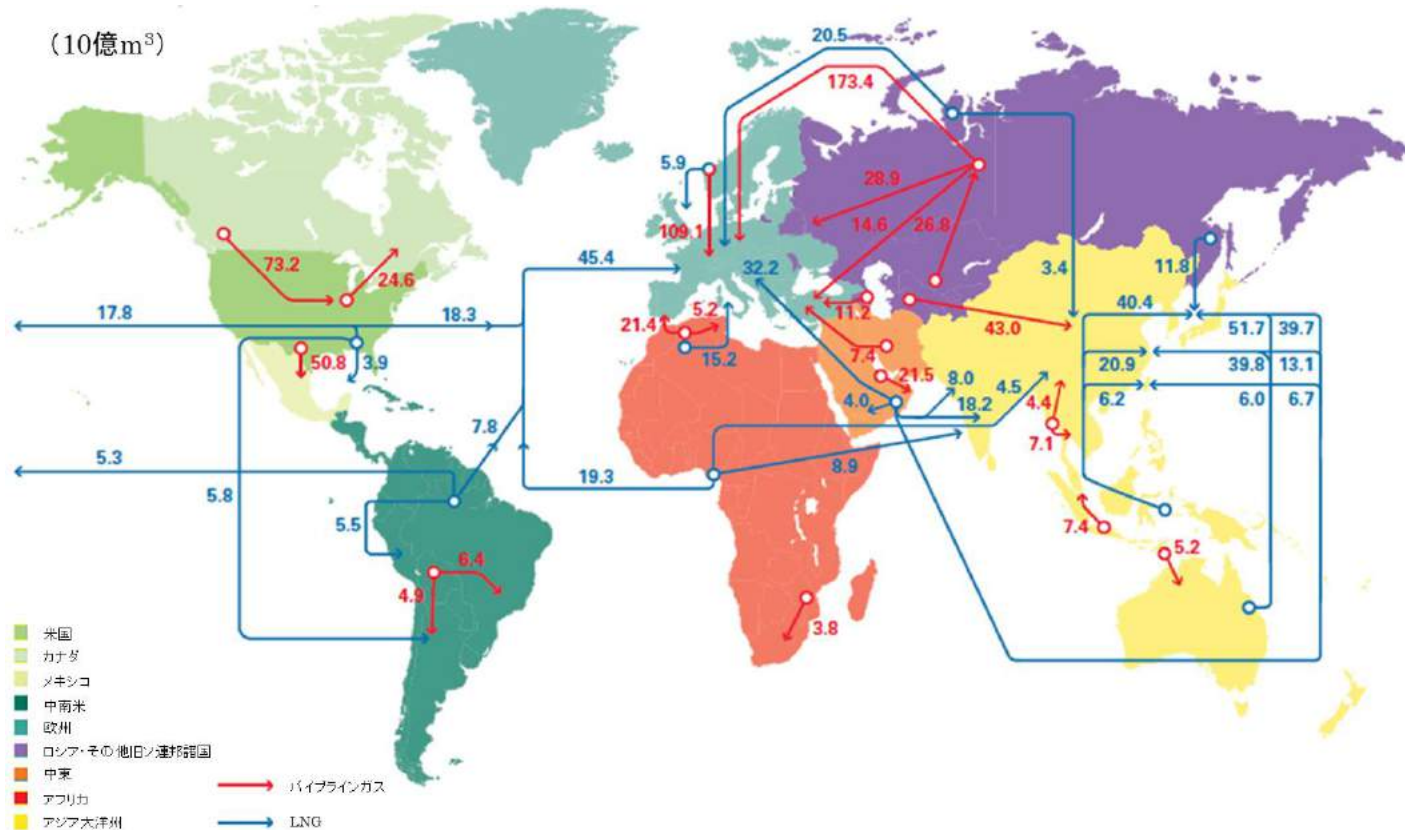
➤ 主な輸出国; **ロシア**、ノルウェー

主な輸入国; **ドイツ等欧州**

◇ **液化天然ガス(LNG)**による取引; **39%** (比率は少しずつ増加)

➤ 主な輸出国; 豪州、マレーシア、中東

主な輸入国; **アジア**



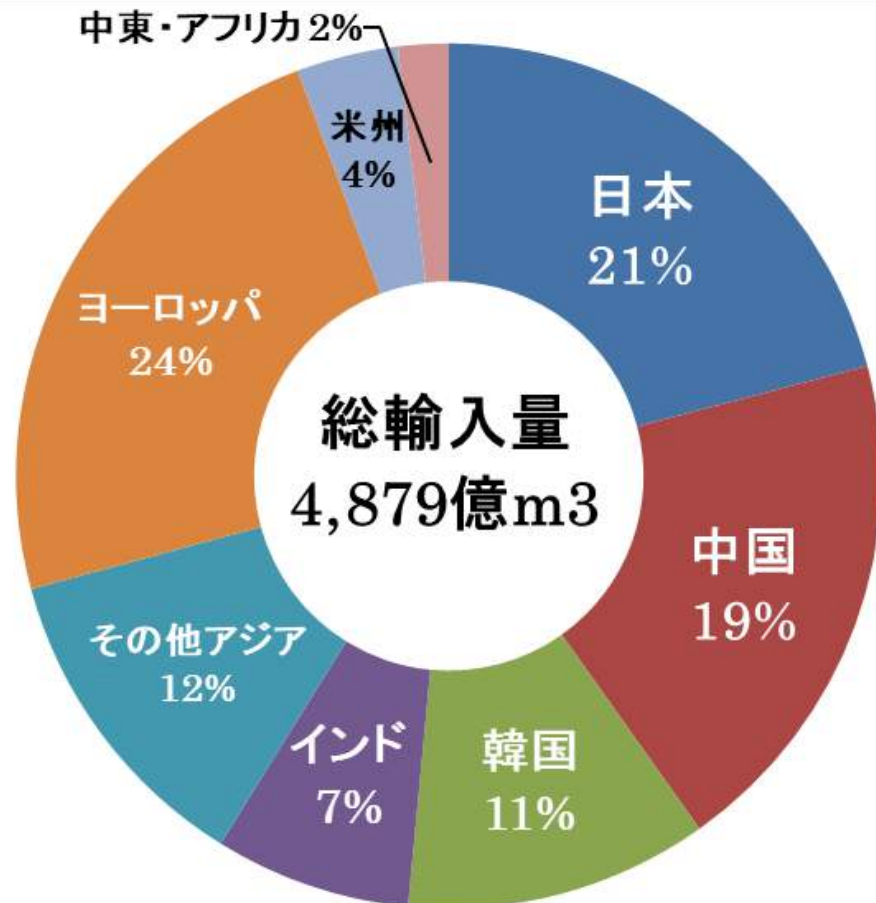
# 3.3.d 液化天然ガス(LNG)の輸入国

## ■ 主なLNG輸入国

◇ **日本向け 22%** アジア全体 69% (2019年)

## ■ シェールガス等、非在来型天然ガスの生産が急激に拡大

◇ 米国内では多くのLNG輸出プロジェクトを計画



# 3.3.e シェール革命

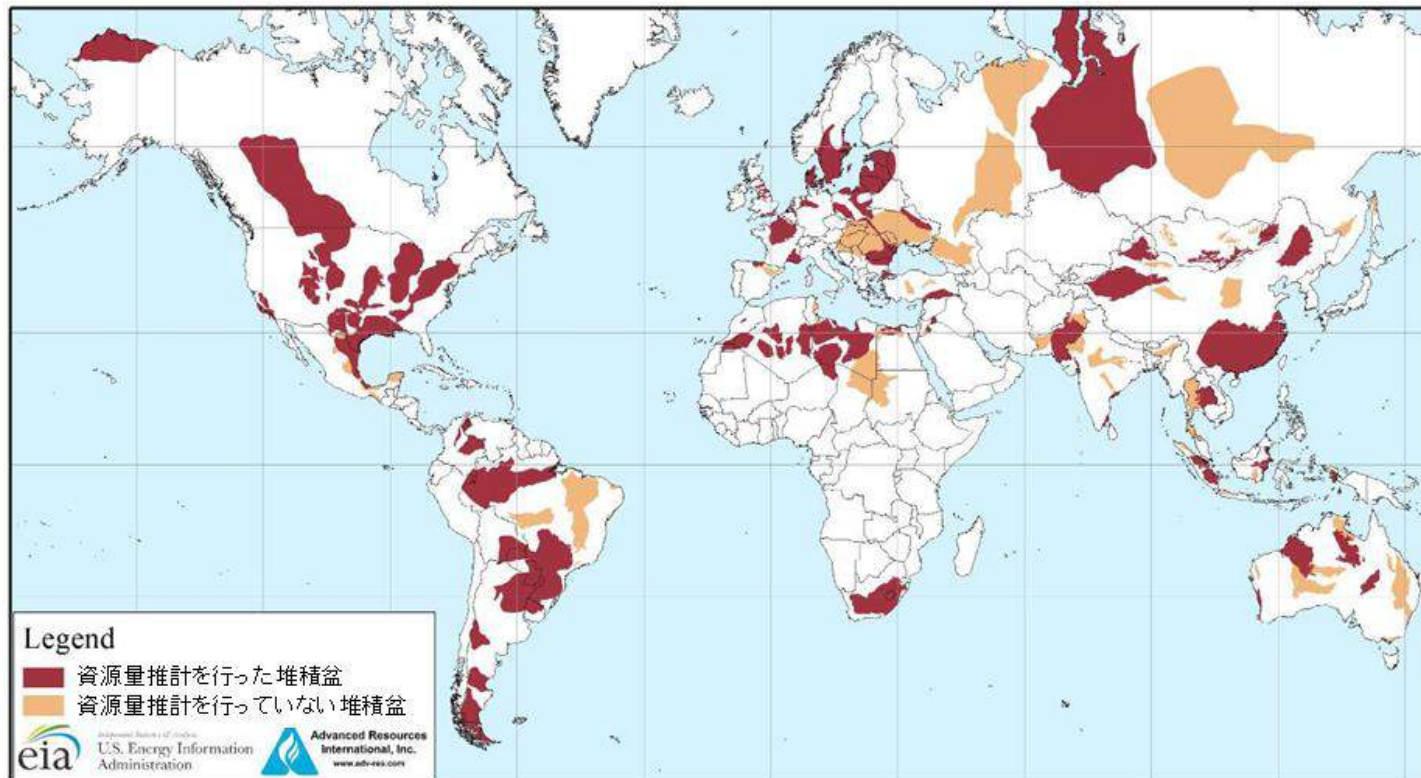
## ■ 米国エネルギー情報局 (EIA) の発表 (2015年9月);

◇ シェールオイルの可採資源量; 4,189億バレル

◇ シェールガスの技術的回収可能量; 214.4兆m<sup>3</sup>

➤ 評価対象国のみ合計だが、シェールガスは在来型天然ガスよりも多い

EIAによるシェールオイル・シェールガスの資源量評価マップ(2013年)



# 3.4.a 水力発電設備容量の推移

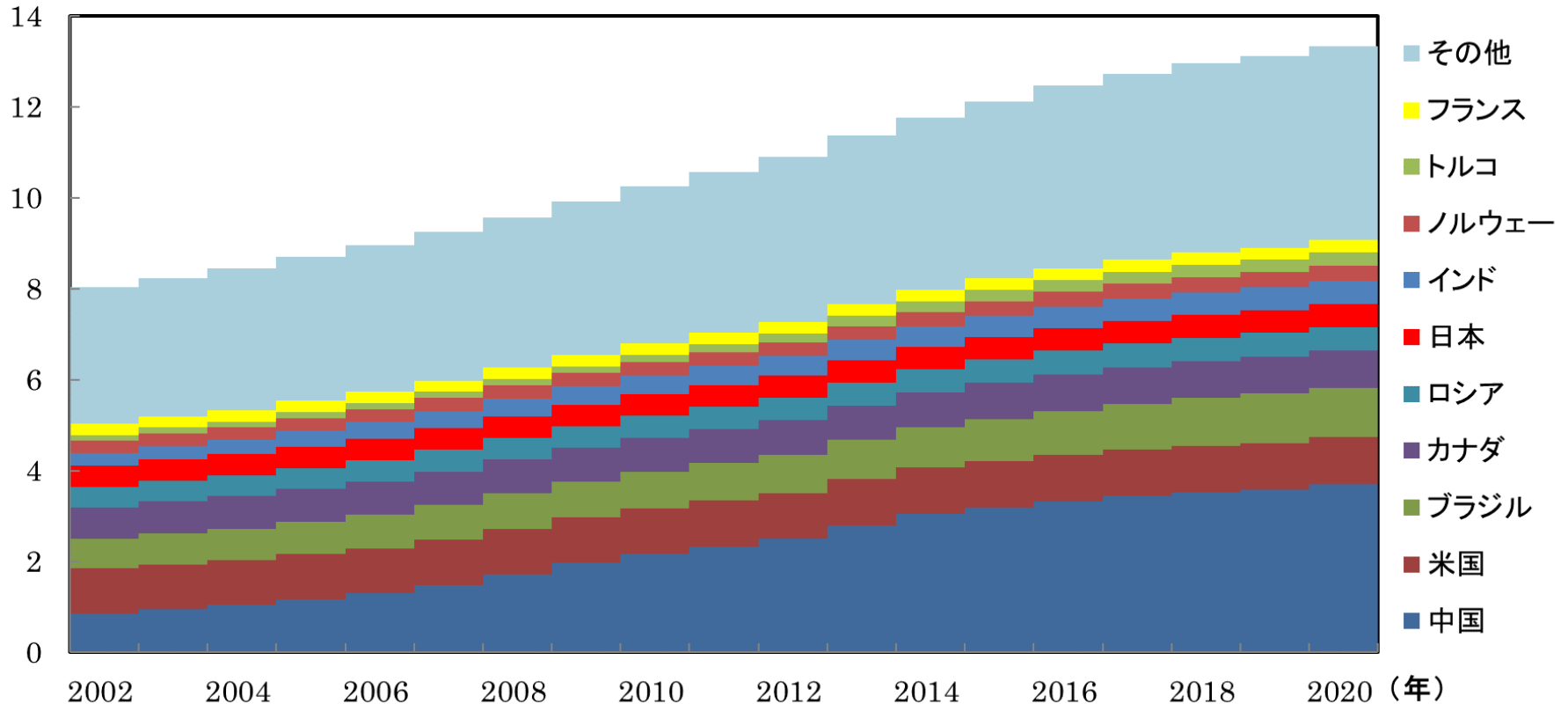
■ 世界全体で約13.3億kW(2020年) **先進国**の大規模ダム開発は**頭打ち**

◇ **中国**の水力発電設備容量は、過去10年間で2倍に増大(世界の約28%)

➤ 揚子江中流の三峡ダム発電所(全32基)は世界最大規模(2,250万kW)

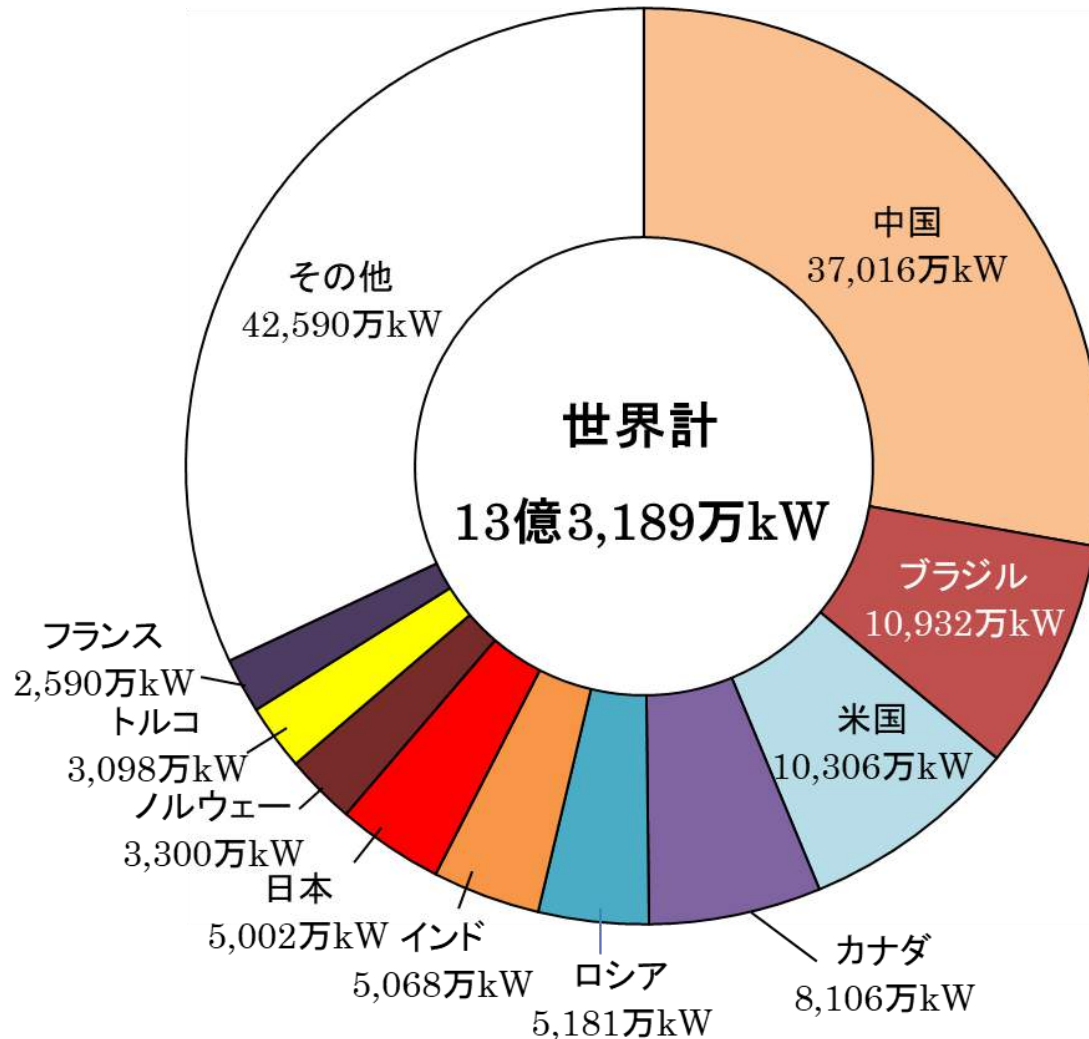
◇ 各国内での水力発電の割合; 中国 17%、**日本 8%**、**ノルウェー 93%**

(億kW)



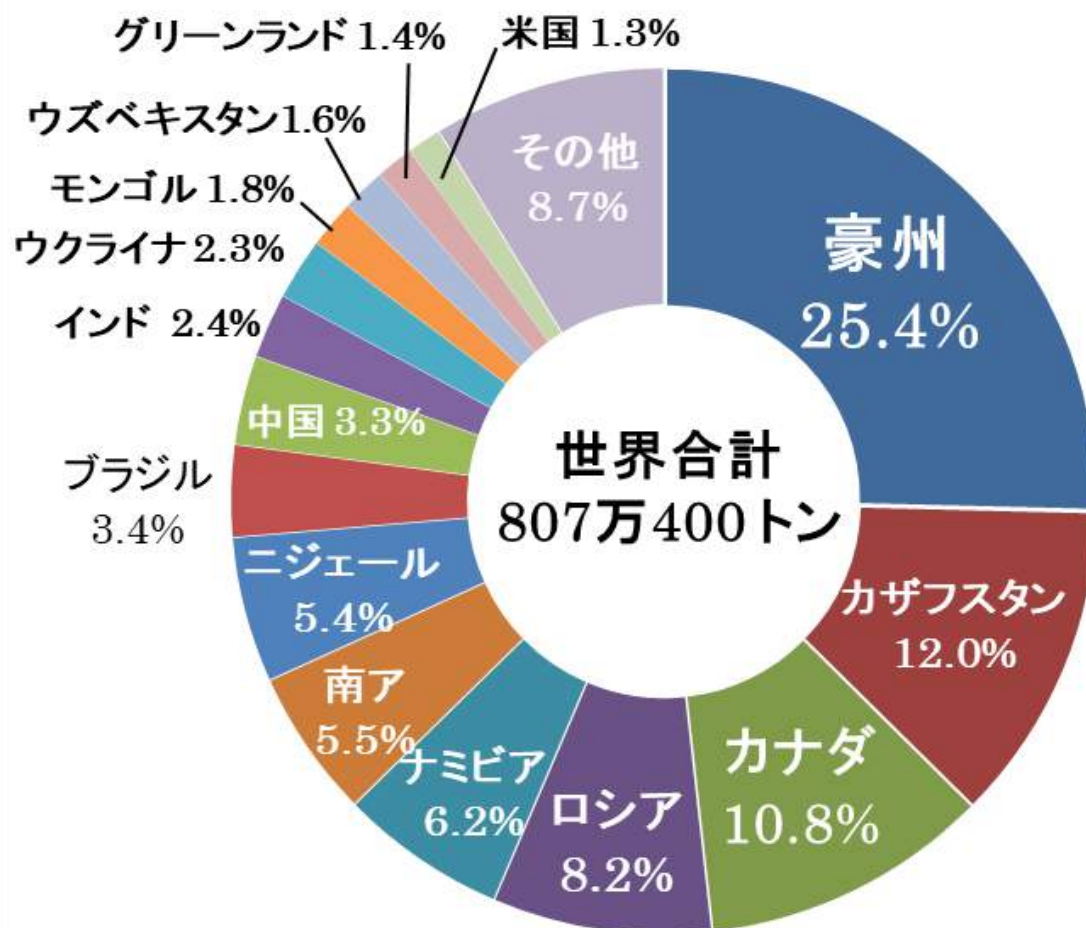
## 3.4.b 現在の水力発電設備容量

- 水力発電導入量の日本のシェアは 4%程度(第7位)



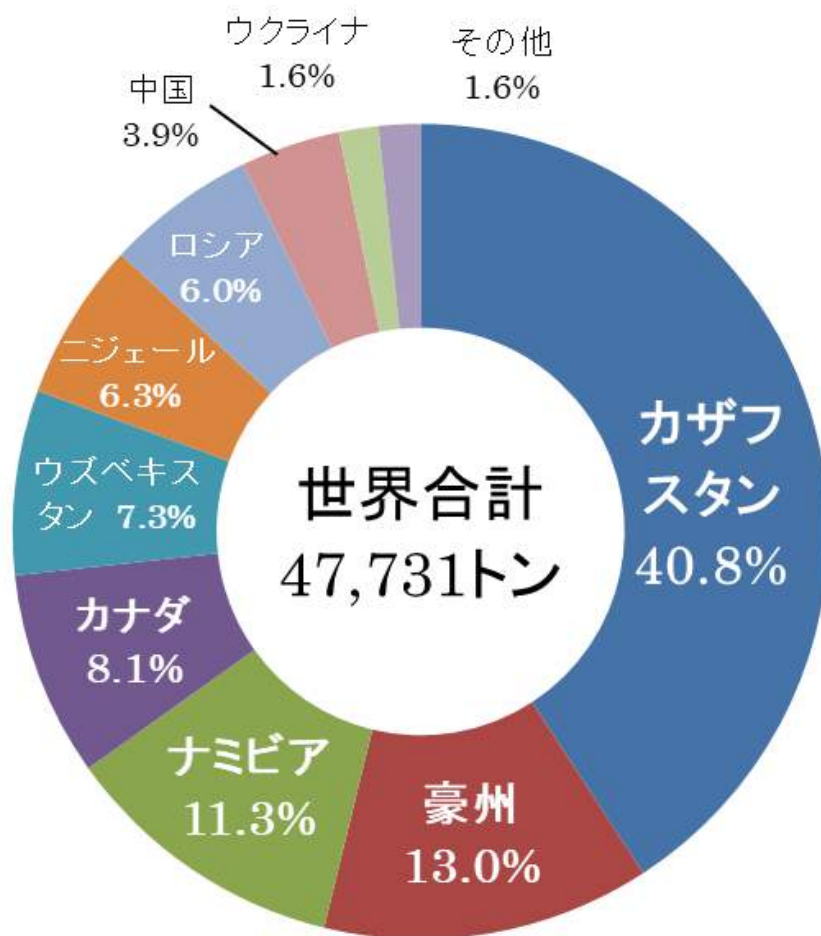
# 3.5.a ウランの既知資源量

- 100 USD/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>以下のコストで回収可能な埋蔵量(2019年1月1日)
- **豪州**が世界の1/4、世界に広く分布しており地域的偏在は無い



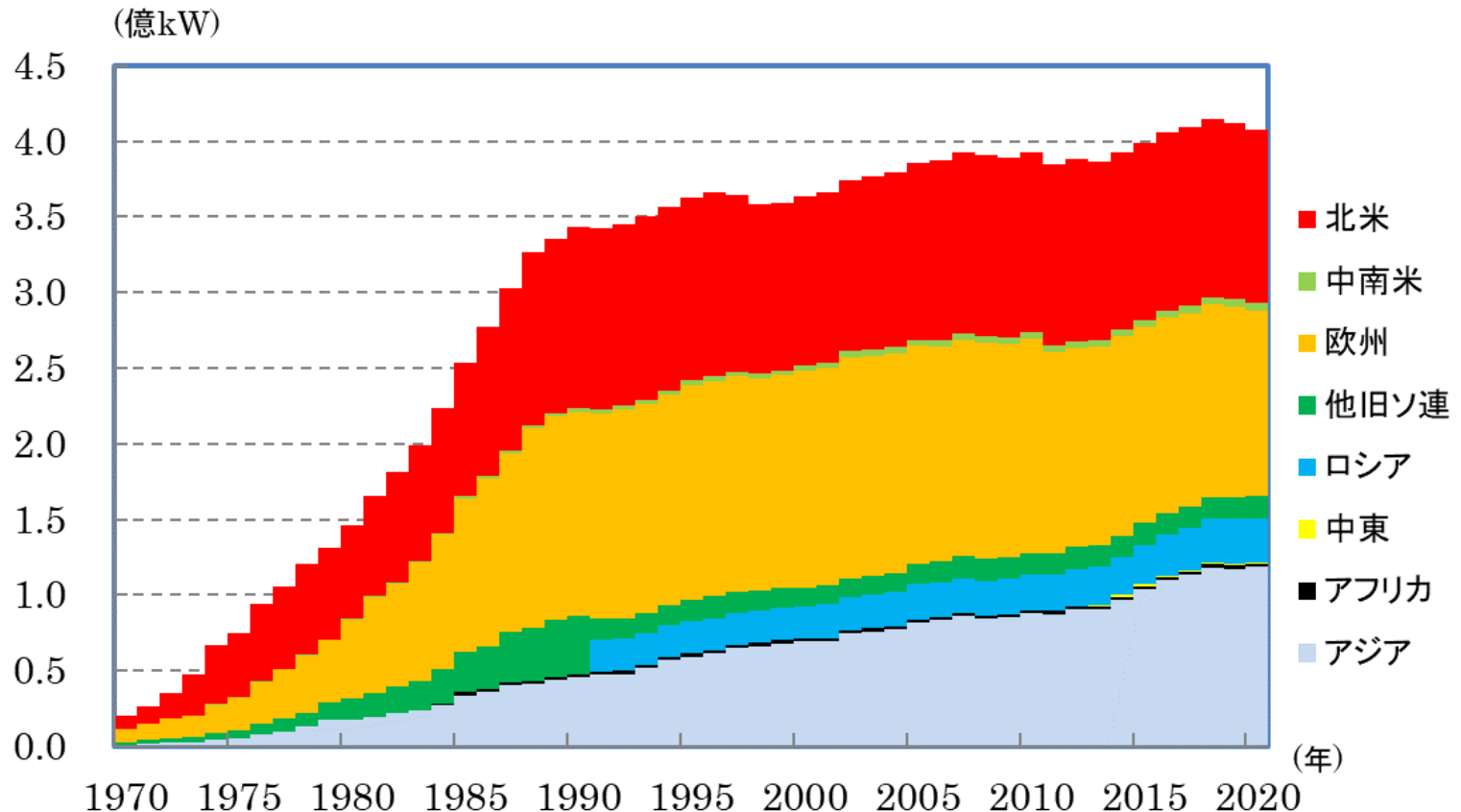
## 3.5.b ウラン資源の生産量（採掘量）

- 2020年のウラン生産量（採掘量；ウラン鉱石に含まれるウランの量）
- **カザフスタン**が4割を占め、その他広く生産されている



# 3.5.c 世界の原子力設備容量の推移

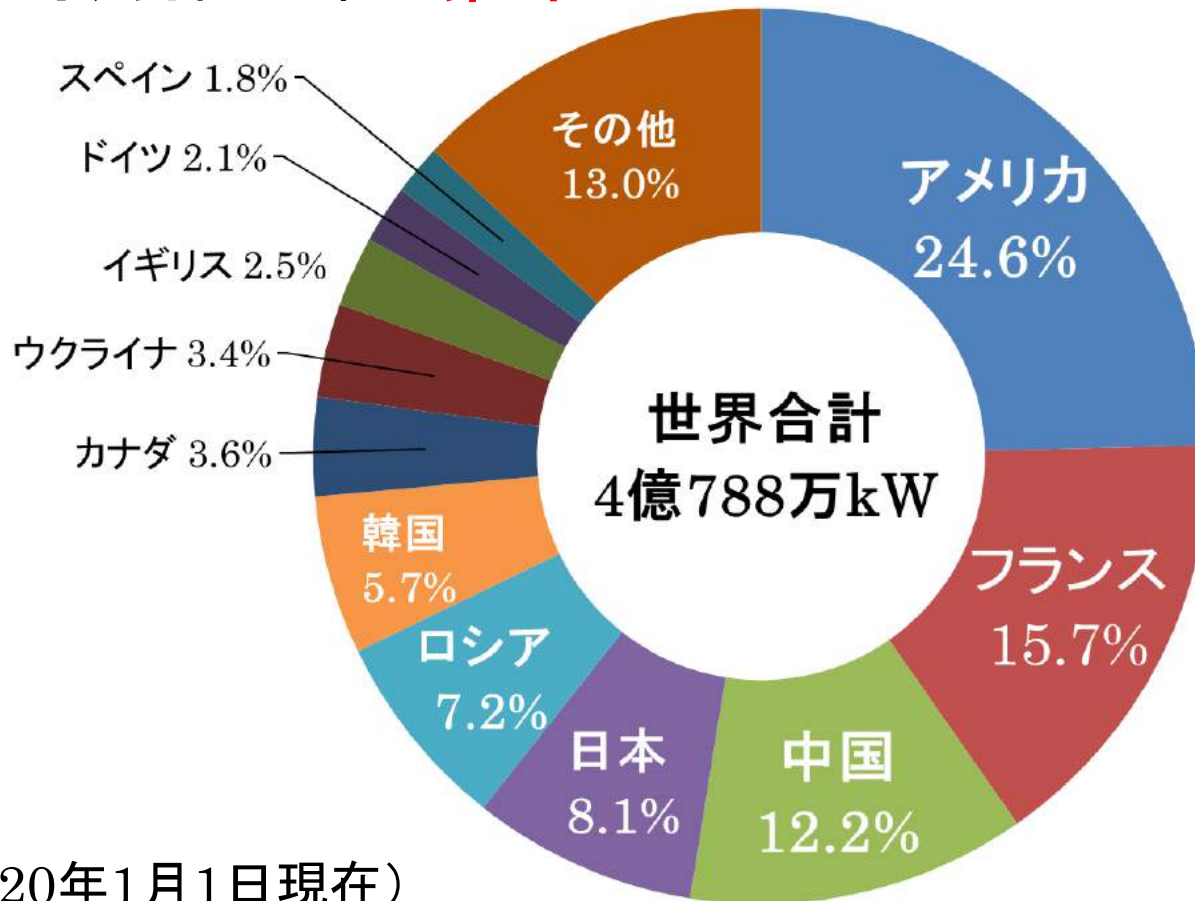
- 欧米、旧ソ連諸国は1980年代まで急速に増加し、以後停滞
- **アジア**は堅調に増加が続いている（当初は日韓台、今は**中国**）
  - ◇ 発電設備容量とは、定格運転の発電機出力(kW)
  - ◇ 実際にどれだけ運転しているかとは関係なく、運転可能な最大値





# 3.5.d 現在の各国の原子力発電設備

- 福島第一原発事故の前、日本は世界で**第3位**の設備容量
- その後日本では廃炉が増え、一方中国が次々と新設炉を運転開始した為、現在日本は**第4位**

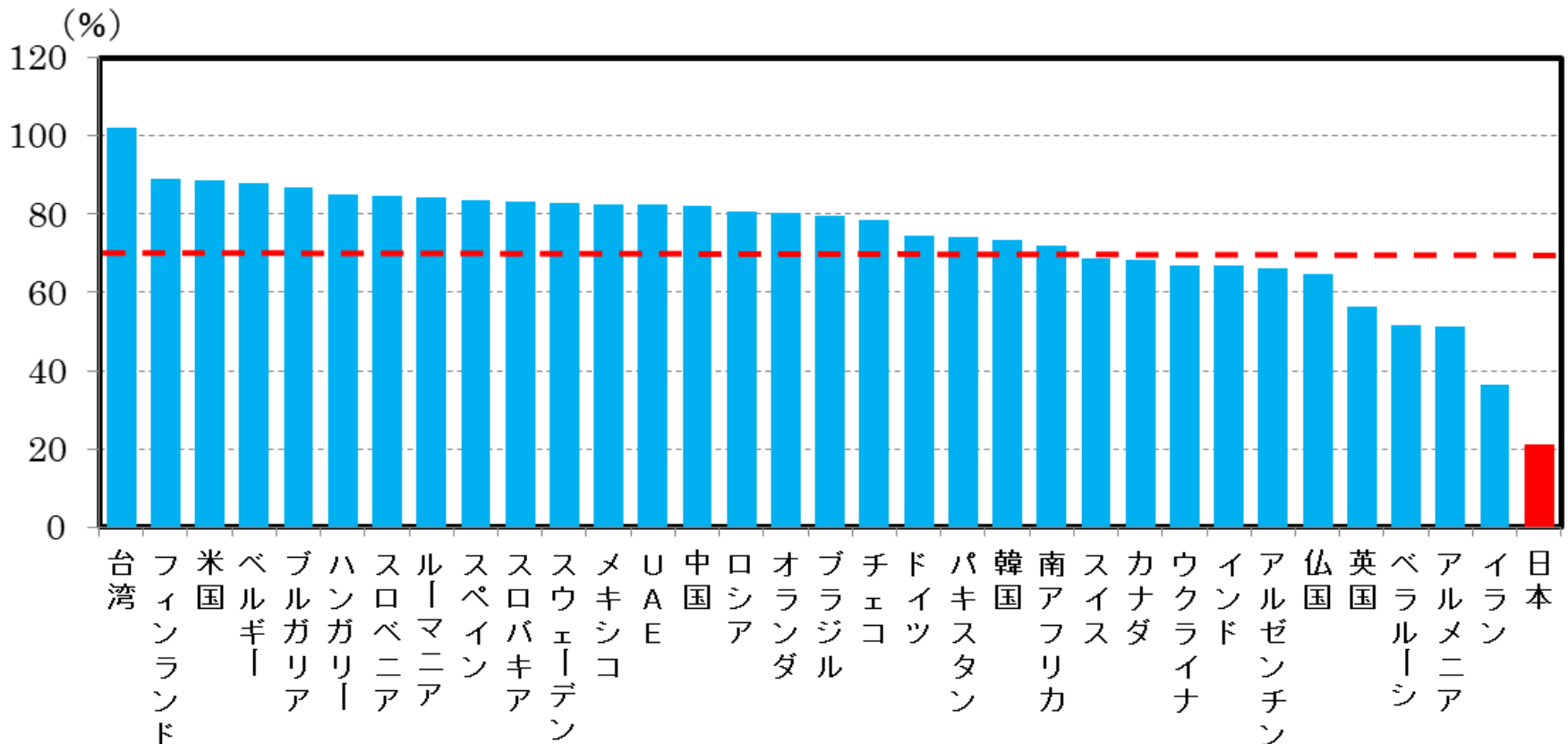


(2020年1月1日現在)

# 3.5.e 各国の原子力発電設備利用率

## ■ 2021年の各国の設備利用率を比較

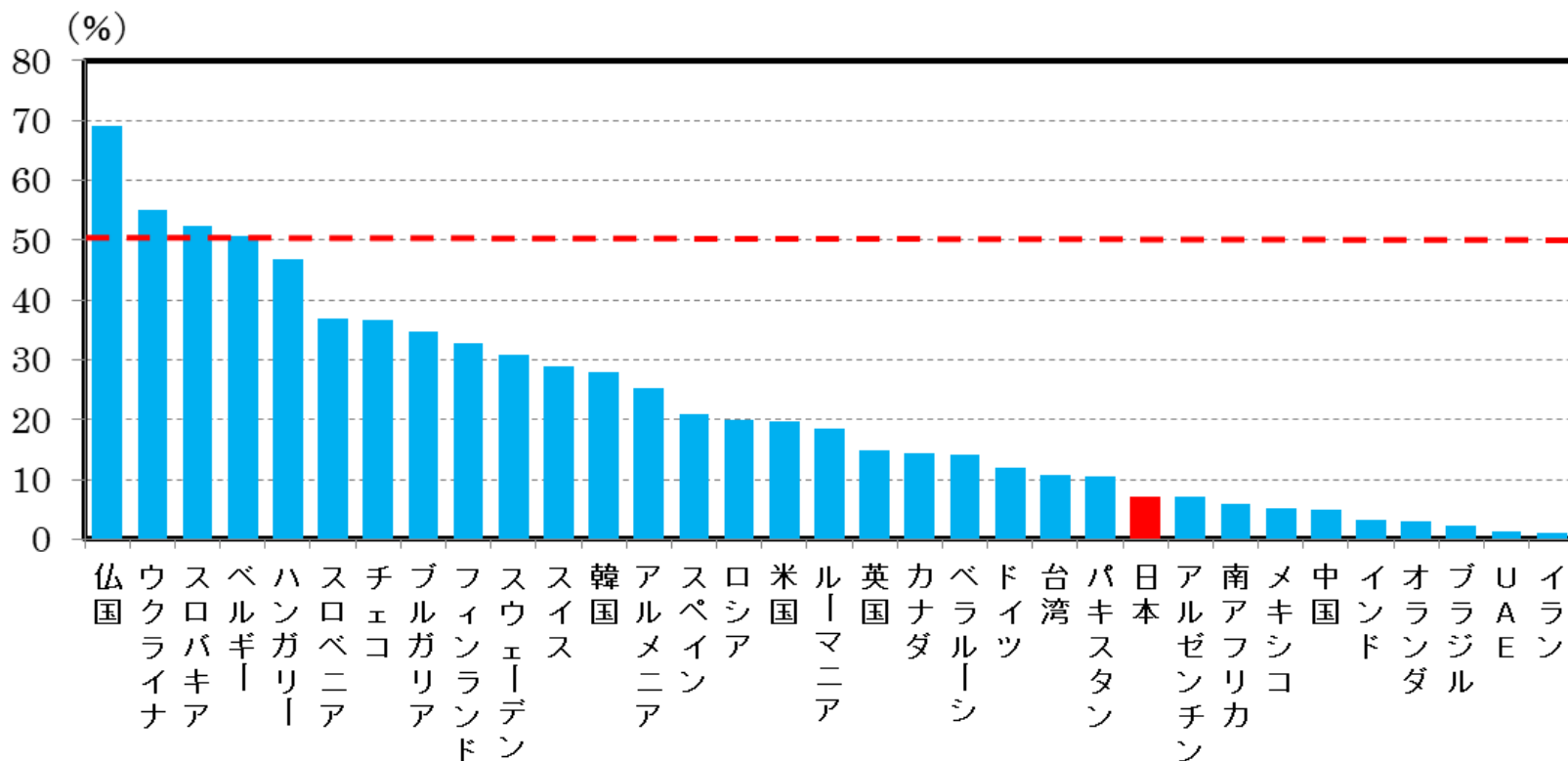
- ◇ 多くの原子力発電利用国が、70%以上の設備利用率
- ◇ 負荷追従している仏国さえ 65%
- ◇ **日本**は再稼働した既設炉が少なく、全原子力利用国の中で**最下位**



# 3.5.f 全発電量に占める原子力の割合

## ■ 原子力先進国も全発電電力量の中で見ると原子力の割合は様々

- ◇ **仏国**では原子力が7割を供給
- ◇ **ウクライナ、スロバキア、ベルギー**も原子力の割合が50%超と高い
- ◇ 次いで東欧諸国が高く、フィンランド、スウェーデン、スイスも30%程度
- ◇ 米国、ロシアは20%程度、中国は全体規模が大きく原子力の割合は5%



# 3.5.g 核燃料はリサイクルが可能

- 在来型エネルギー資源は燃えれば無くなる； **1回で終わり**



- 一方、原子力エネルギーは燃料の**リサイクル利用が可能**

- ◇ 原子炉は  **$^{235}\text{U}$ の核分裂連鎖反応**をちょうど臨界に維持し、一定の高出力を発生するもの（出力＝熱エネルギー発生率 J/s）
- ◇ 原子炉の**ウラン燃料の組成は大半が  $^{238}\text{U}$** なので、燃料の中では  $^{235}\text{U}$ の核分裂が進行しつつ、 $^{238}\text{U}$ が中性子を吸収して **Puに変換**している
- ◇  $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Pu}$ は核分裂しやすいので、燃料の中に生じた**Puの一部は炉心の臨界維持・燃焼（熱エネルギー発生）に寄与**している
  - 軽水炉では、新燃料が使用済燃料として取り出されるまでに発生する熱エネルギーのうち 2/3がウラン、1/3がPu によるもの
- ◇ 当然、**使用済燃料の中には Puが蓄積**している
  - そこで、使用済燃料はそのまま捨てずに再処理し、U、Pu と FP、MA とを分離し、回収したU、Puを燃料として再利用すれば、**燃料の節約**と、**廃棄物の削減**に役立つ

# 3.5.h 天然ウランの利用可能年数

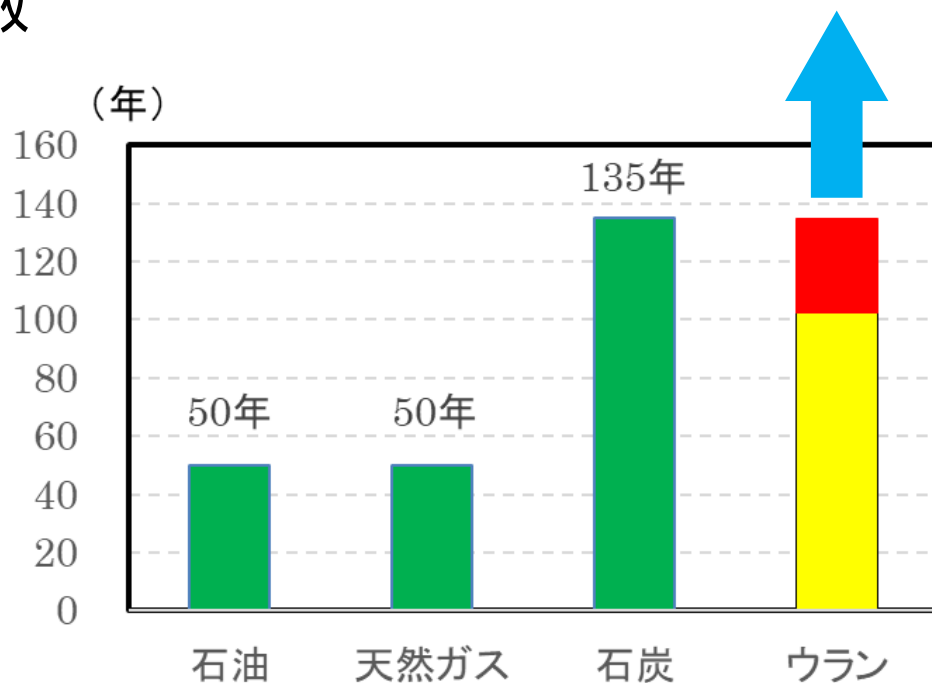
■ 天然ウランは  $^{235}\text{U} : ^{238}\text{U} = 0.7\% : 99.3\%$

◇ 利用可能年数(可採年数) = 確認可採埋蔵量 ÷ 現在の年間生産量

◇  $^{235}\text{U}$  しか使わなければ、燃料加工段階などでロスがあるため、天然Uの0.5%程度しか利用できず、その利用可能年数(=可採年数)に、火力発電用の化石燃料の可採年数と比べ優位性がない

◇ しかし  $^{238}\text{U}$  をPuに変えて使えば、天然Uの利用可能年数は100倍程度に延び、実質的に資源制約から解放

	天然ウランの利用率	利用可能年数
軽水炉 (ワンスルー)	0.5 %	約100年
軽水炉 (プルサーマル)	0.6 %	約120年
高速増殖炉	70 %	数千年



---

# 4. 地球環境問題と 再生可能エネルギー

4.1 地球温暖化

4.2 太陽光

4.3 風力

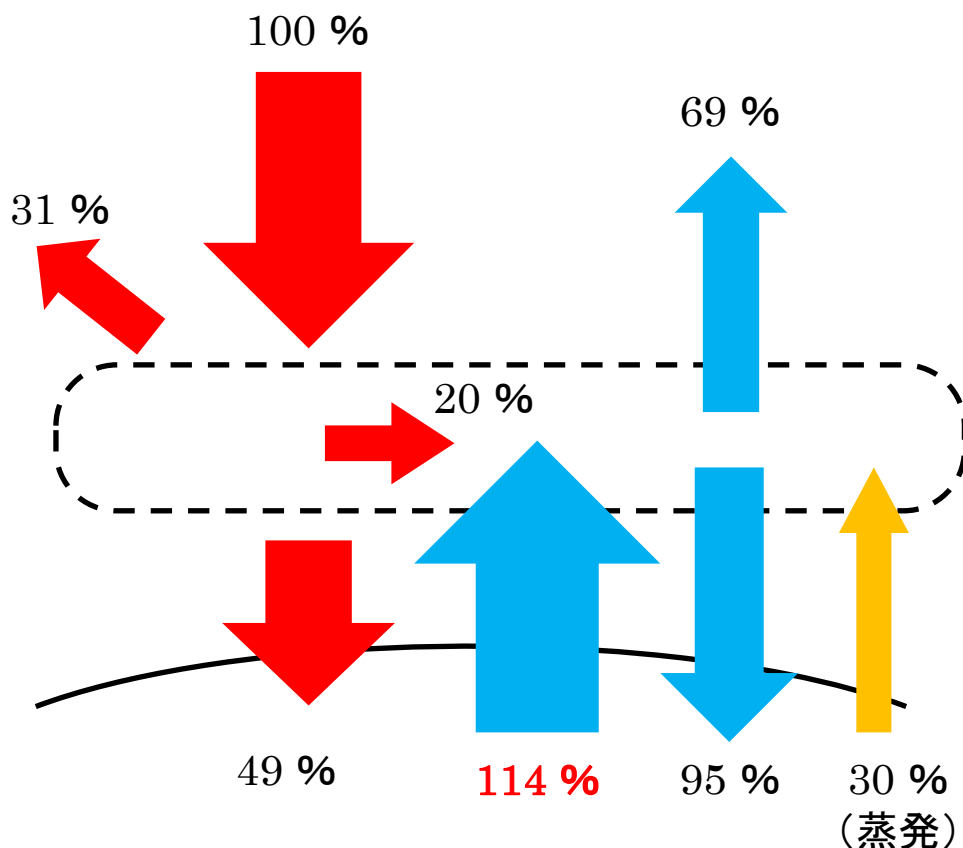
4.4 バイオマス

4.5 地熱

4.6 カーボンニュートラルの実現可能性

# 4.1.a 地球大気による温室効果

- **太陽放射**を受けても、大気が無ければ地上の平均温度は  $-19^{\circ}\text{C}$
- 大気による温室効果；
  - ◇ **地表と大気の間**では**太陽放射より多いエネルギーのやり取り**が起きている

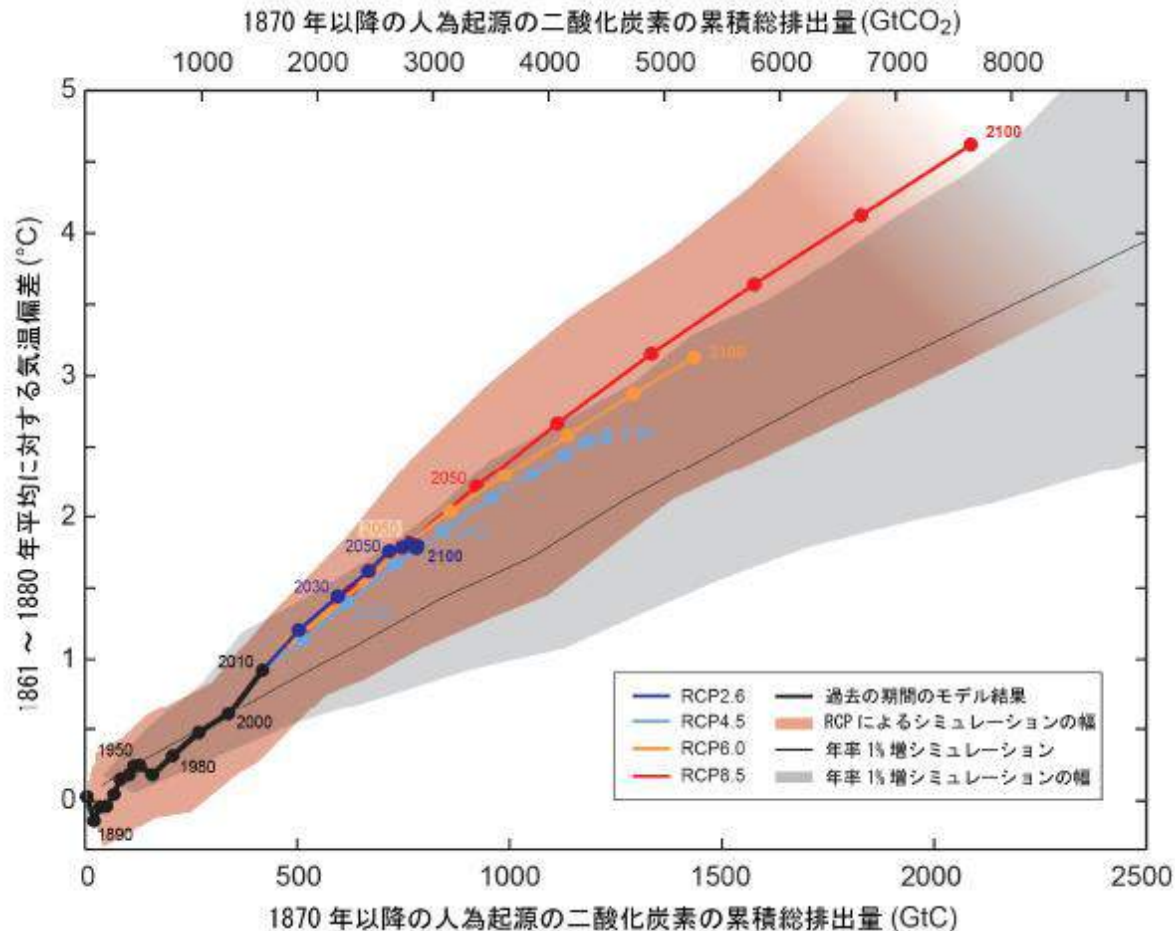


- ◇ 太陽放射の主成分は**可視光線**
  - 20%程度は雲や大気中で直接に吸収され、地上へ届くのは半分程度
- ◇ 地球放射は**赤外線**で大気が吸収し易いもの
  - 地球放射を一旦大気が吸収し、その後、宇宙(1/3)と地上(2/3)へ再放射
- ◇ 地上・海洋で**水蒸気**が発生
  - 大気に凝縮熱を与え降雨
  - この熱移動は30%程度
- ◇ 地上と大気の間**の熱交換量は144%**(=熱輻射114%+蒸発移動30%)
- ◇ **大気**の熱吸収が増えれば、温室効果が高まる****

# 4.1.b CO<sub>2</sub>の累積排出量と気温変化

■ 大気中のCO<sub>2</sub>濃度が増えると、地球放射を吸収して地表へ返す温室効果が高まる

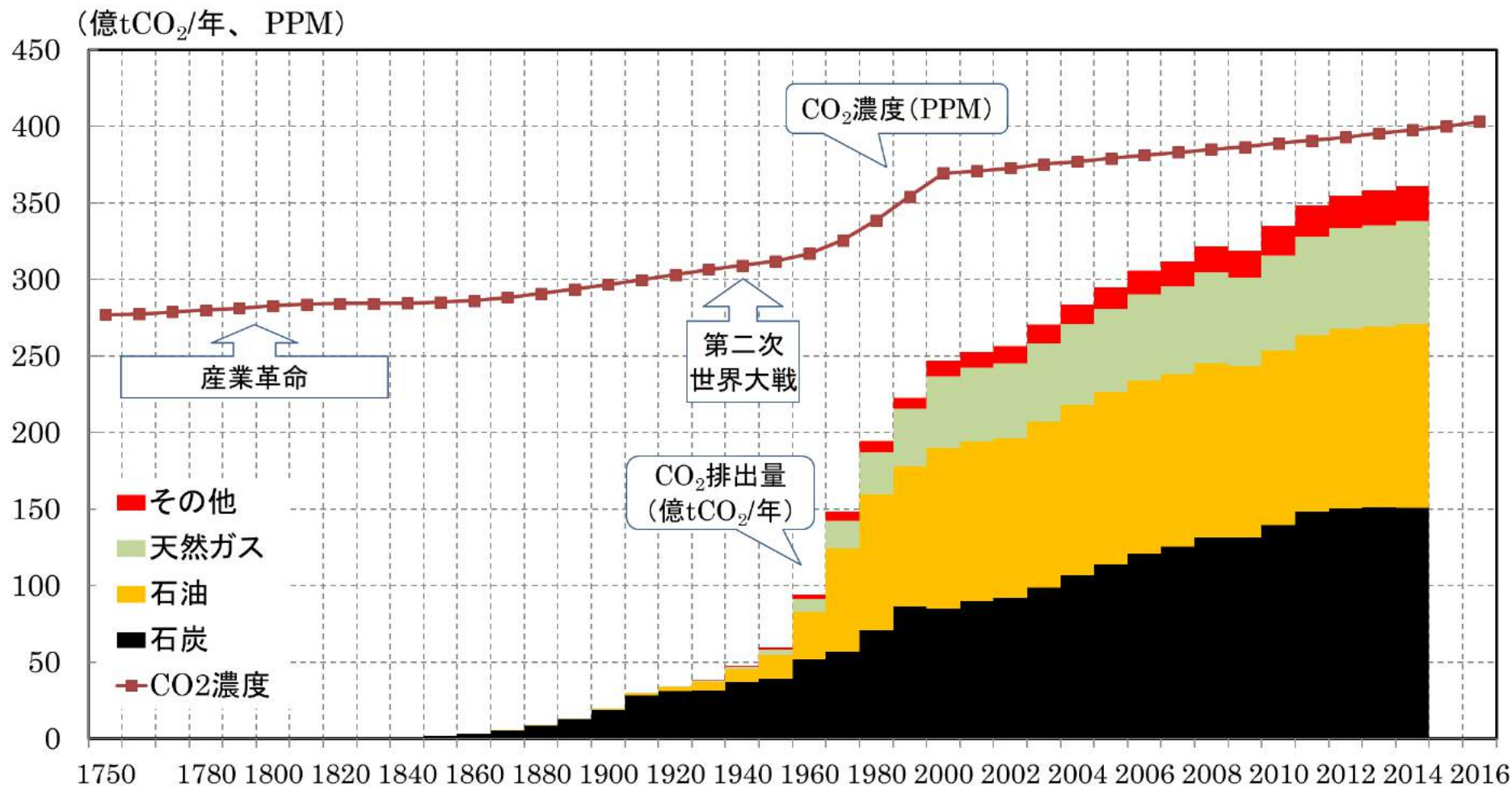
◇ これによる**気温上昇**は、産業革命以降の**CO<sub>2</sub>累積排出量**に比例 (IPCC)





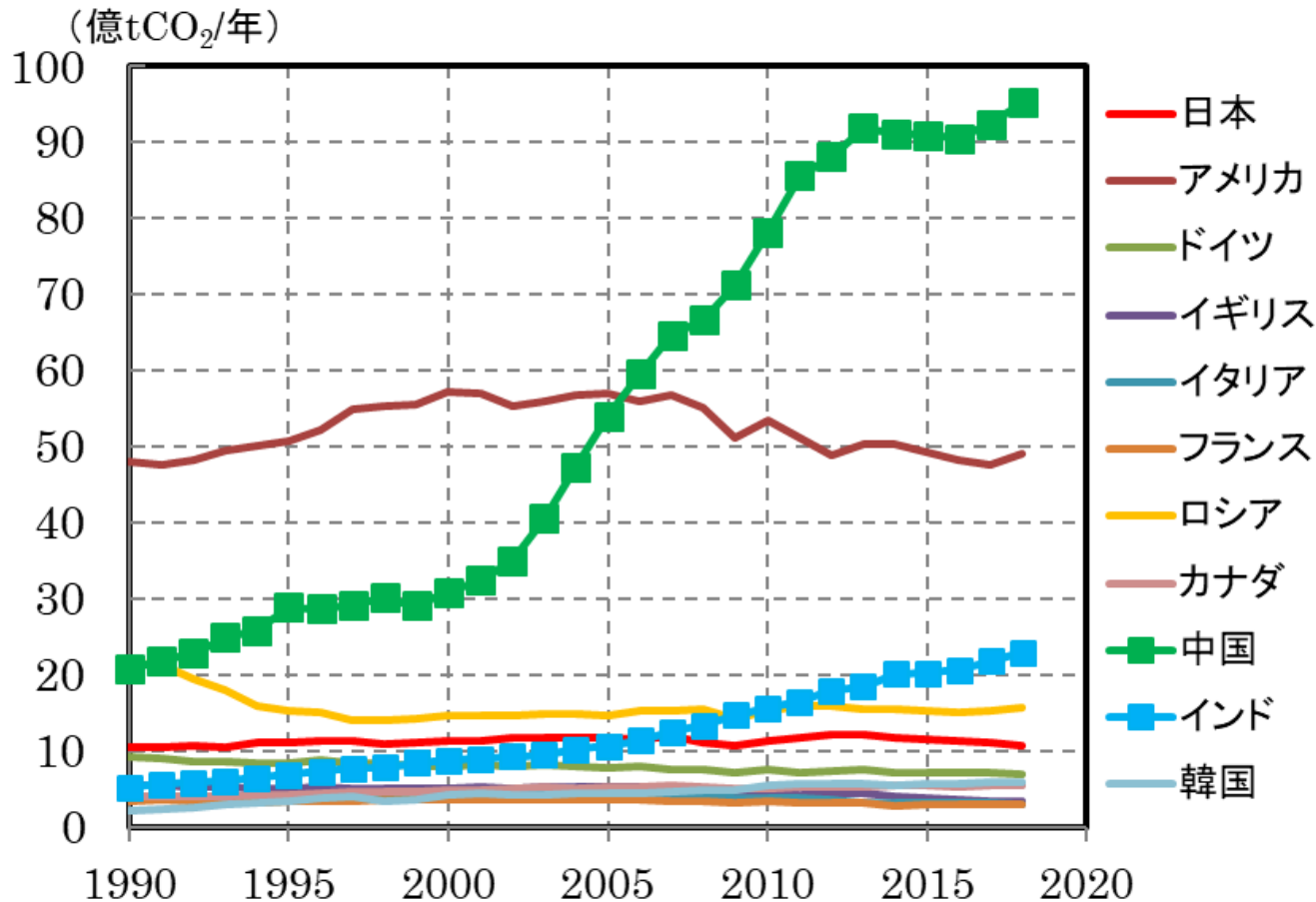
# 4.1.c CO<sub>2</sub>排出量と大気中CO<sub>2</sub>濃度

■ 産業革命以降、膨大な量の化石燃料を燃やし、CO<sub>2</sub>濃度が増加



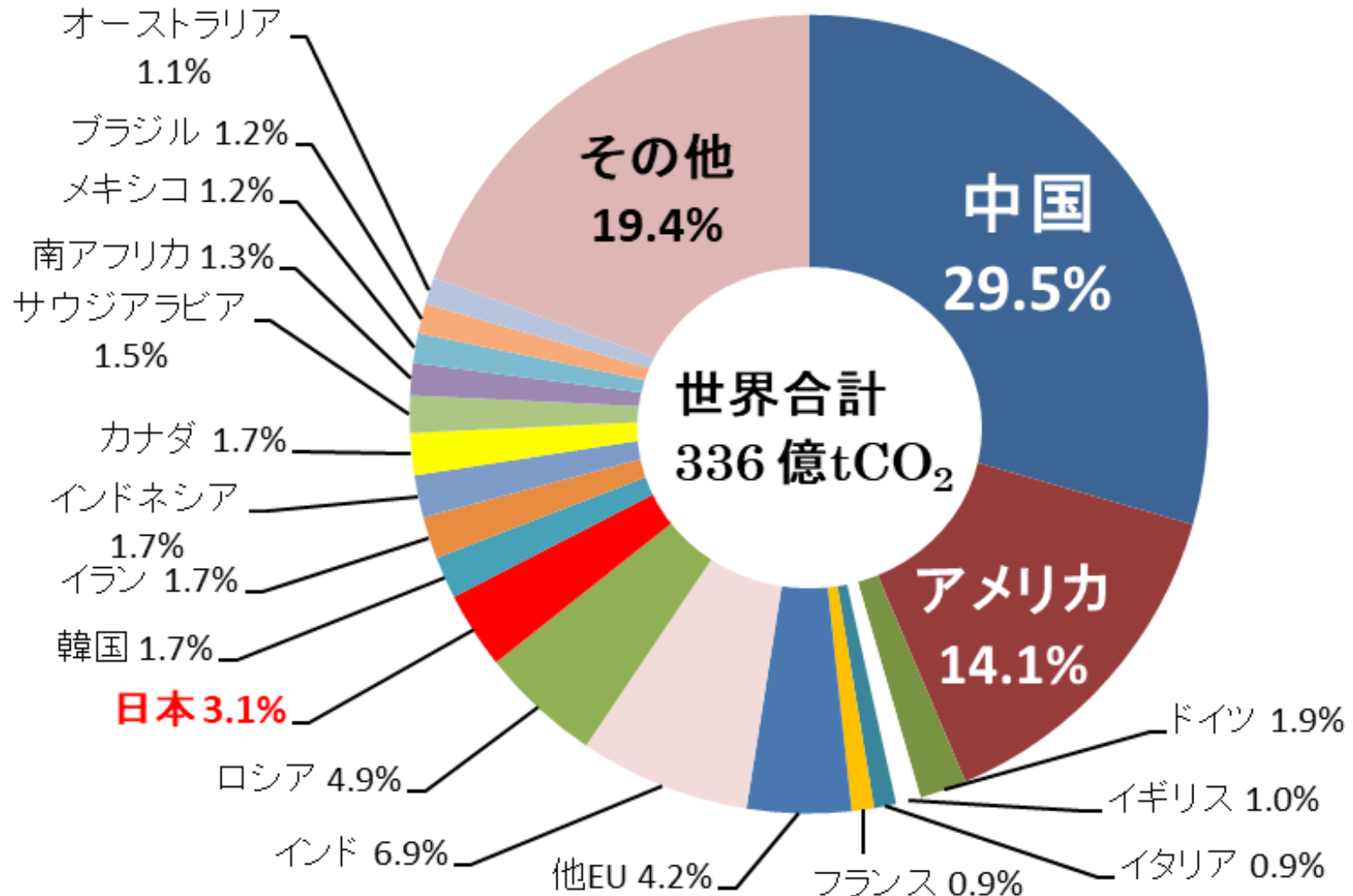
# 4.1.d 中国・インドのCO<sub>2</sub>排出量の増加■

- **中国**のエネ起源CO<sub>2</sub>排出は急増し、あっという間に米国を抜いた
  - ◇ 最近はやがて止まったか、様子を見る必要あり
- **インド**の排出量も急増しており、10年前に日露を抜いて増加中



# 4.1.e エネルギー起源CO<sub>2</sub>国別排出割合

■ **中国**が米国の2倍、**全世界の3割**に達しようとしている(2019年)

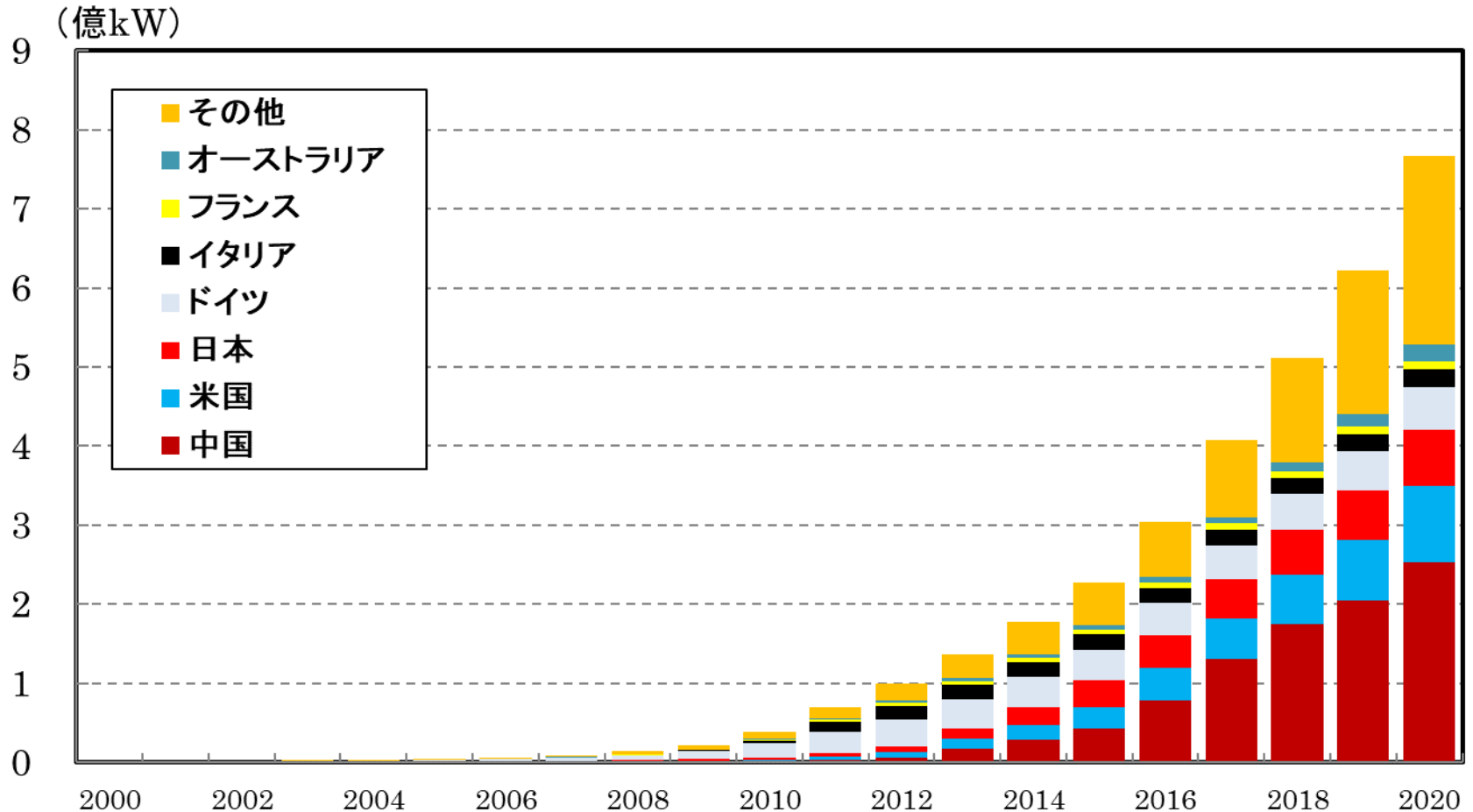


# 4.2.a 太陽光発電の設備容量の推移

■ 2019年 累積導入量 **7億6,724万kW**

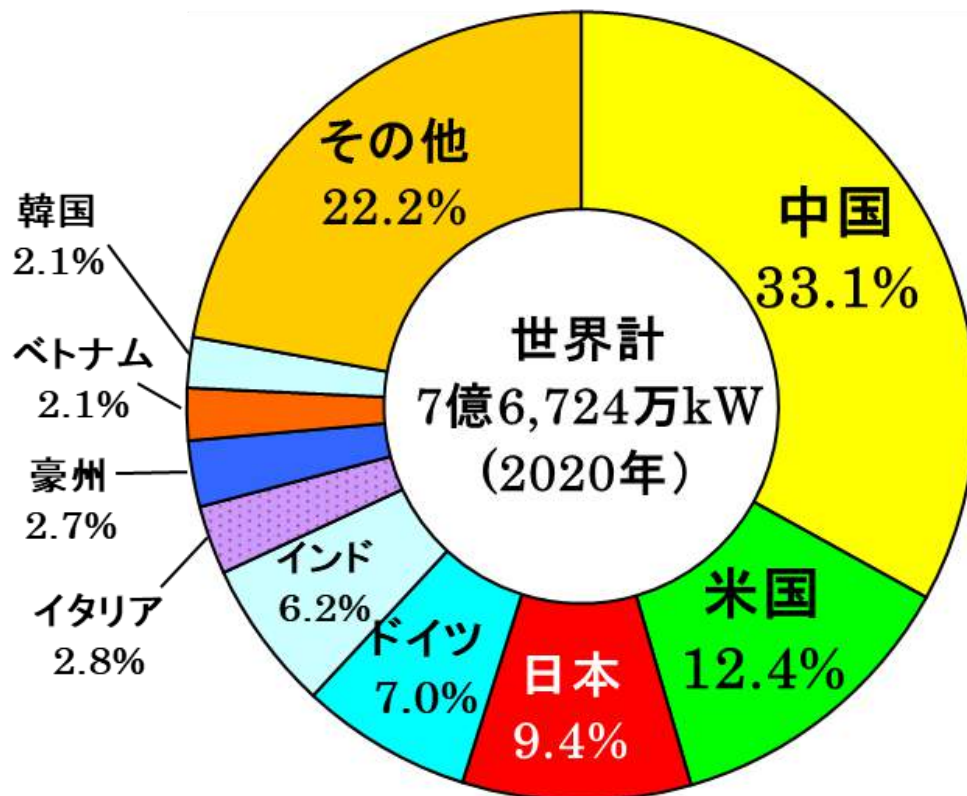
◇ 2000年前後に欧州でFIT導入； 太陽光発電の買取価格が高額設定

◇ ドイツ、イタリア、スペイン → 日本 → **中国** → 新興諸国に拡大



## 4.2.b 太陽光発電の設備容量の比較

- 日本は2003年末まで世界最大の太陽光発電導入国
- ドイツの導入量が急速に増加し、2004年に抜かれて世界第2位
- その後、再びドイツを抜いたが、中国・米国が急速に増加
  - ◇ 現在は、**中国が世界1位(2億5,364万kW)**、米国2位(9,550万kW)
  - ◇ 中国だけで世界の 1/3、米国の2.7倍
  - ◇ 日本3位
  - ◇ ドイツ4位
  - ◇ インド5位
  - ◇ その後は、イタリア、豪州、ベトナム、韓国

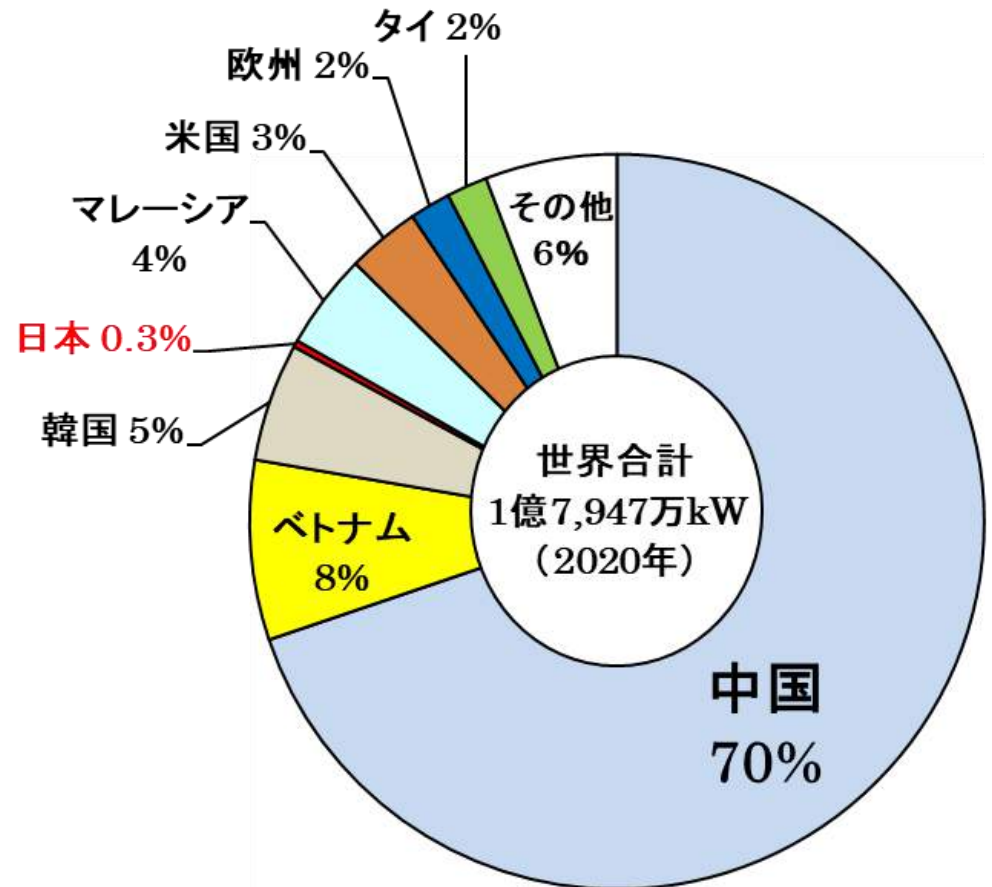


## 4.2.c 太陽電池の生産量の国別シェア

- 日本は2007年まで世界でトップ
  - ◇ 2013年をピークにシェアが減少
  - ◇ 2020年時点で、生産量の**シェアは僅か 0.3%**

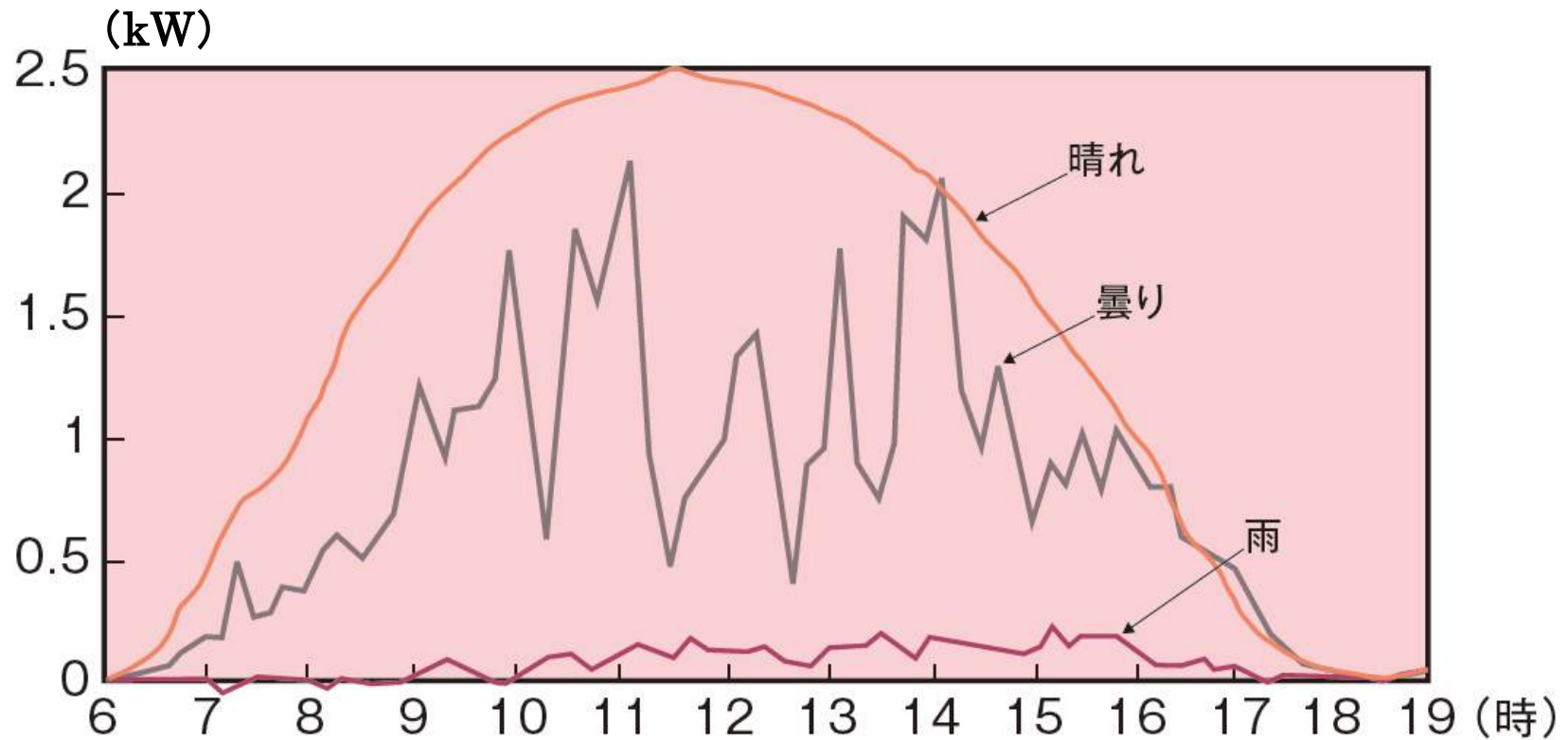
- 中国を始めとするアジアの企業が生産を拡大

- ◇ **第1位の中国は 70%**
- ◇ 韓国、マレーシアが続き、日本の10倍以上
- ◇ 世界合計で年間1.8億kWの生産



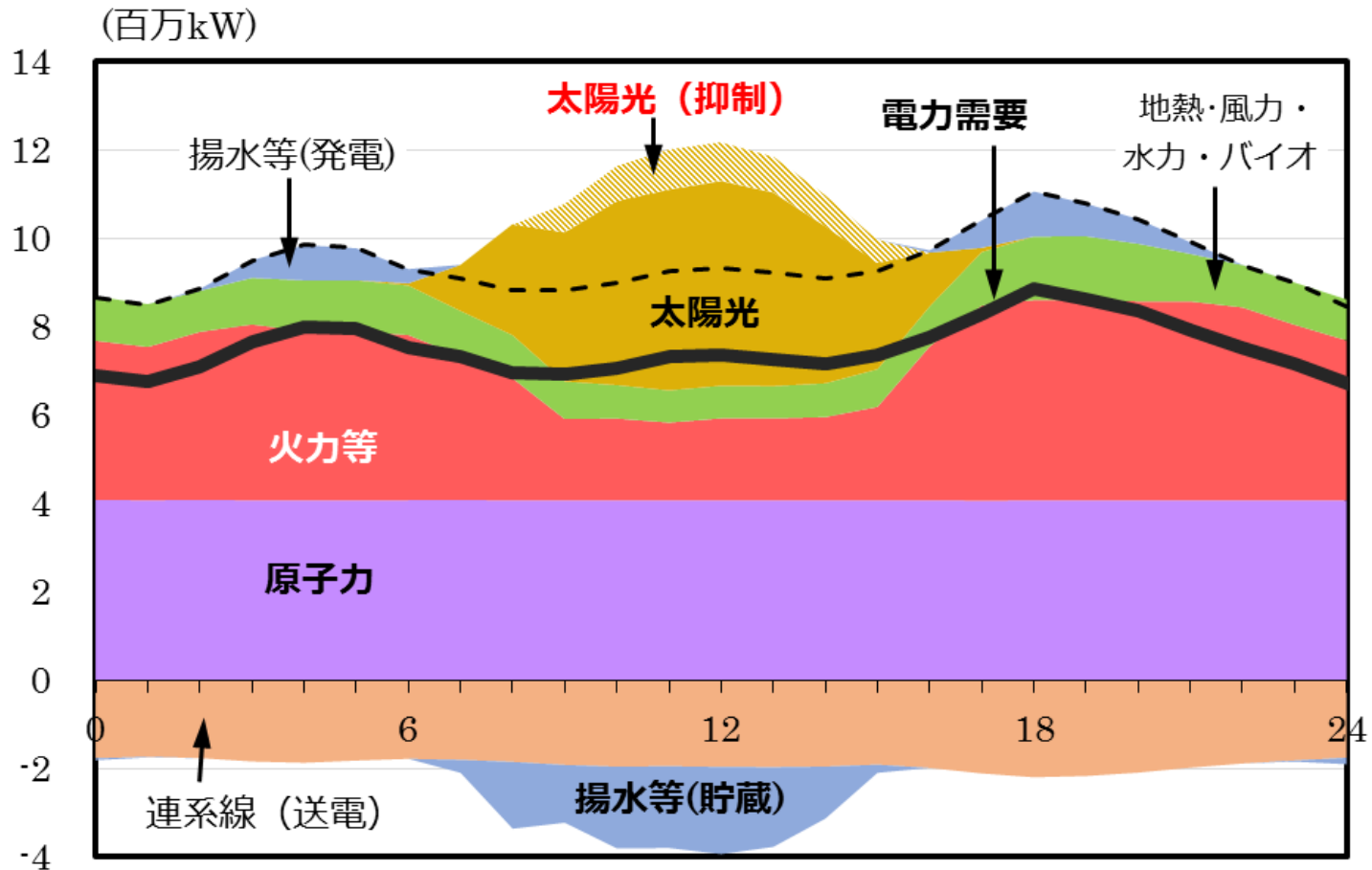
## 4.2.d 変動する太陽光発電

- 陽の沈む**夜**は発電できない
- 昼間の長さは**季節**に依存
- 昼間でも、**天候**により出力が不安定
  - ◇ 今後の導入拡大のためには、**系統安定化対策**が必須



## 4.2.e 太陽光発電の出力抑制

- 太陽光導入量が多い九州では、昼間の太陽光の出力増加に対し、火力の出力低下・揚水・他地域送電だけでは調整が困難となり**太陽光の出力を抑制**することあり（春、秋の低需要期の好天日）





# 4.3.a 風力発電の設備容量の推移

## ■ 2020年 7億4,269万kW

- ◇ 1位 **中国** (28,832万kW)、2位 **米国** (12,232万kW)、3位 **ドイツ** (6,285万kW)
- ◇ これら 3ヶ国で世界の 64%

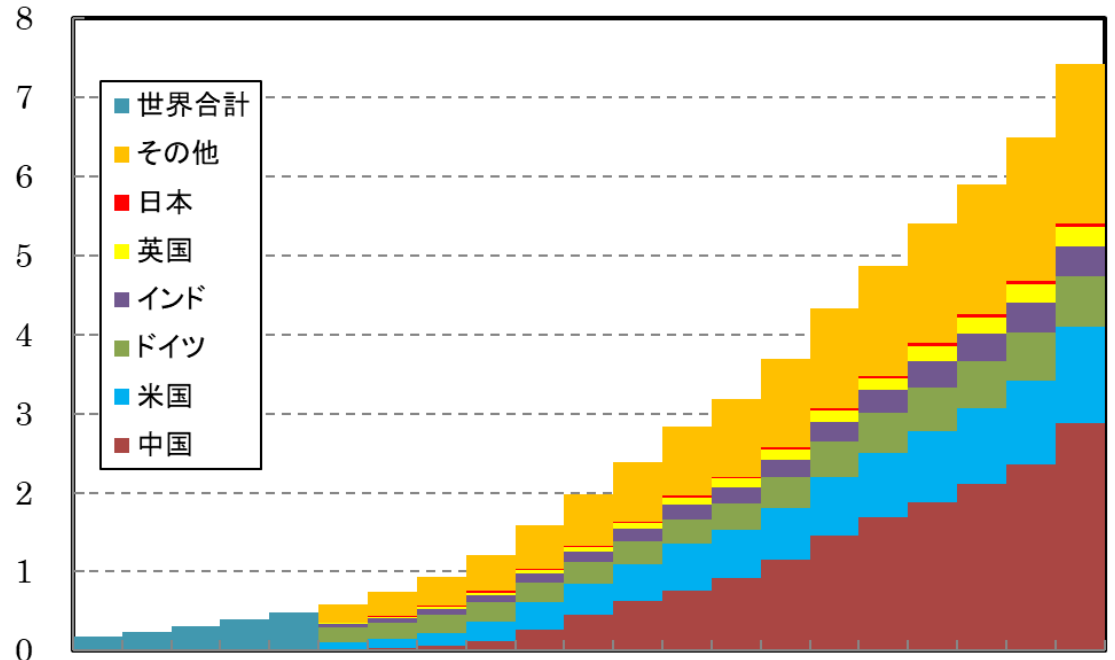
## ■ 洋上風力発電も拡大; 2021年末時点で、世界合計4,818万kW

- ◇ **英国**が熱心で、従来は世界の洋上風力発電は欧州諸国の沖合に集中

- ◇ **中国**も積極的;

- 2021年のみの追加設置は世界1位 (+1,269万kW)
- 2021年末の累積導入量で英国を抜き世界1位 (1,975万kW)

(億kW)



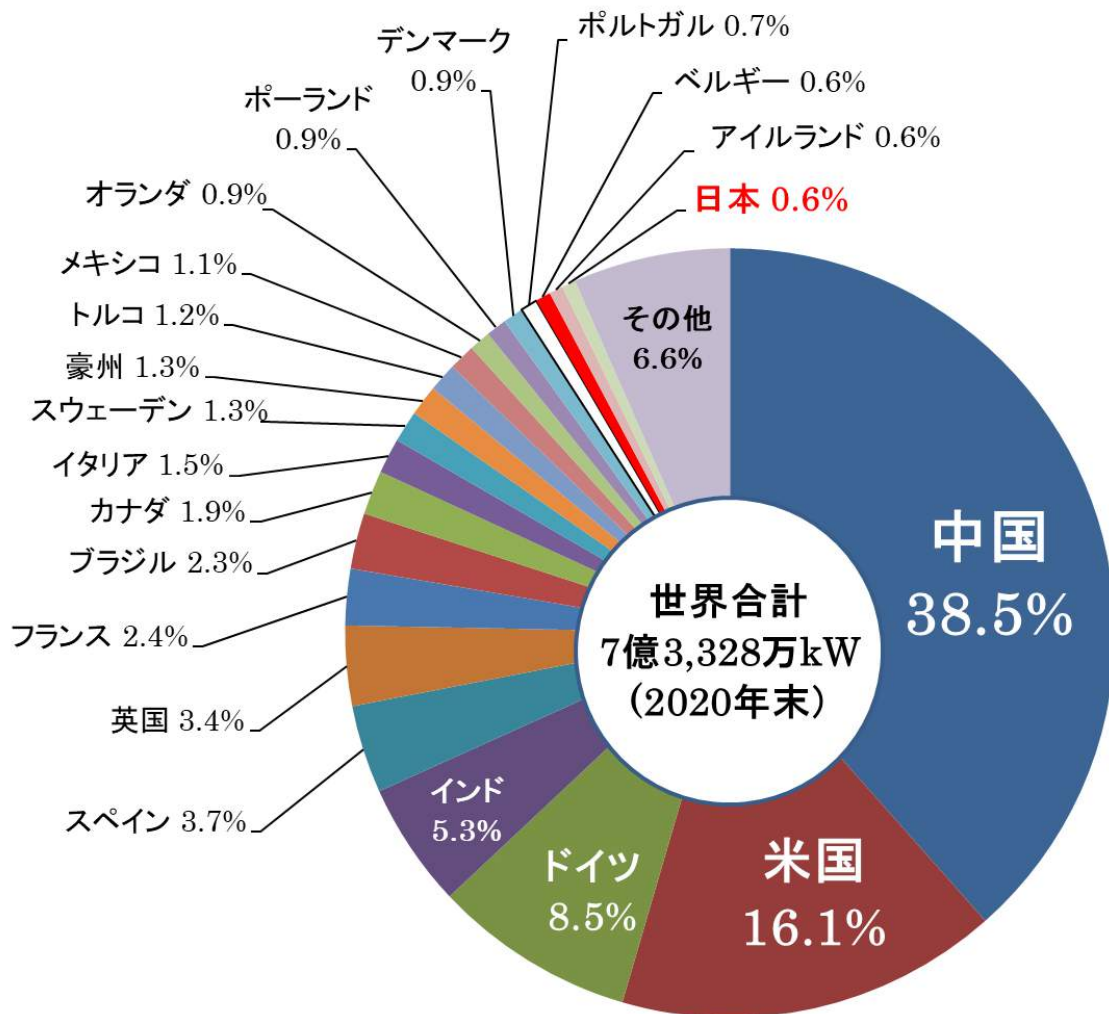
# 4.3.b 風力発電の設備容量の比較

## ■ 日本は、2020年末時点で世界第21位

◇ 諸外国に比べて平地が少なく、地形も複雑で、風が安定しない

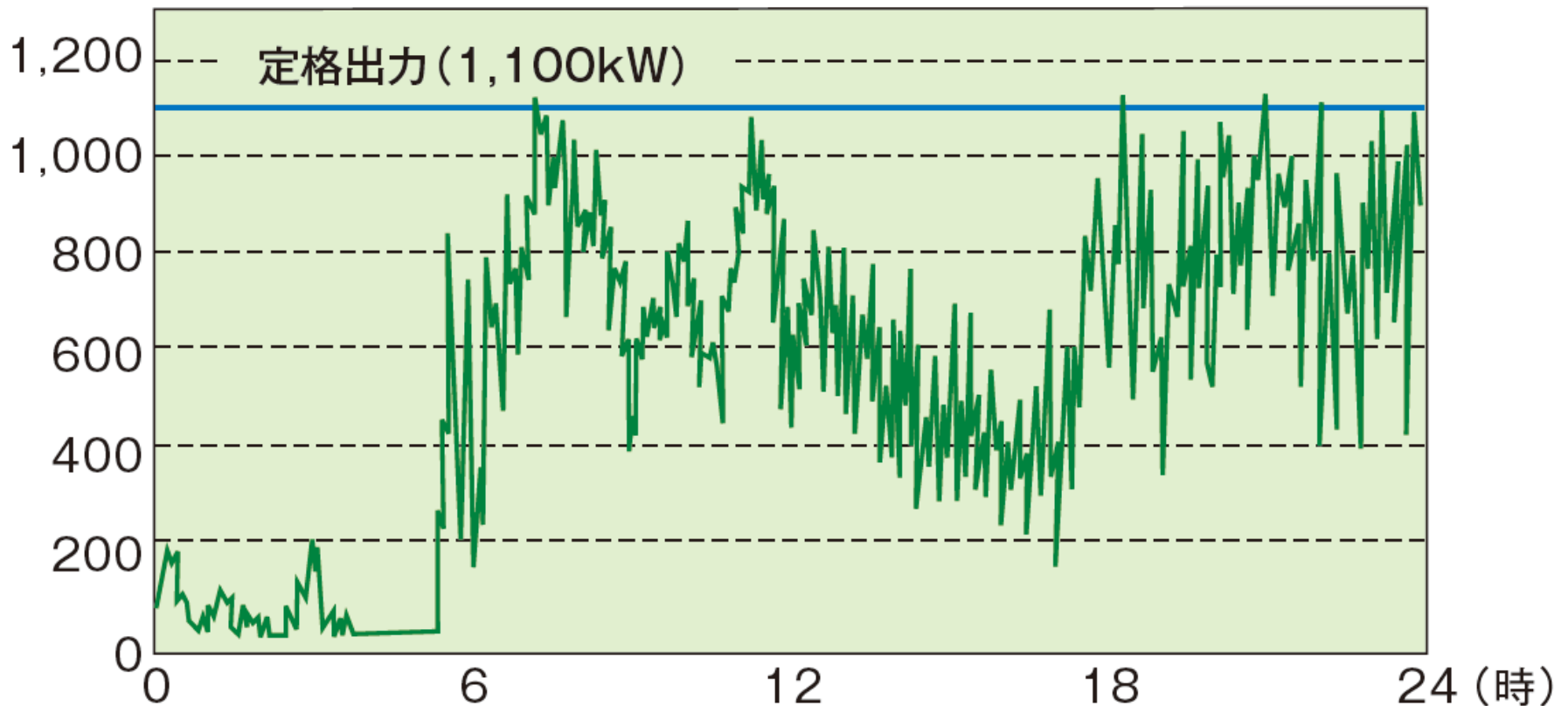
◇ 中国のシェア 38.5%

◇ 日本のシェア 0.6%



## 4.3.c 変動する風力発電

- 昼夜を問わず風は吹くが、変動は激しい
- 事業化の観点から風車発電機は**1地域に纏めて設置**され、風況に応じて一齐に変動



# 4.3.d 太陽光発電・風力発電の特徴

	太陽光発電	風力発電
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・枯渇せず永久に持続</li> <li>・発電時にCO<sub>2</sub>を排出しない</li> <li>・可変費(燃料費)が無い</li> <li>・需要地でも屋上などに立地可能</li> <li>・需要の多い昼間に発電</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・枯渇せず永久に持続</li> <li>・発電時にCO<sub>2</sub>を排出しない</li> <li>・可変費(燃料費)が無い</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>エネルギー密度が低い</b></li> <li>・広大な森林伐採、山地開発が行われる</li> <li>・夜間は発電できない</li> <li>・昼の長さは季節に依存</li> <li>・昼間も天候(晴天/降雨)に依存</li> <li>・晴天でも雲の移動により出力が変動 → <b>需要に応じた調整不可能</b></li> <li>・立地点での雇用効果が極小</li> <li>・相対的に設備コストが高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>エネルギー密度が低い</b></li> <li>・広い地域に風車が林立する景観</li> <li>・天候(風速)に依存</li> <li>・天候は季節に依存</li> <li>・風速の変化により出力が変動 → <b>需要に応じた調整不可能</b></li> <li>・風車の回転により騒音が発生</li> <li>・立地点での雇用効果が極小</li> <li>・相対的に設備コストが高い</li> </ul>
設備利用率	<b>12%</b>	<b>20%</b>
敷地面積 for 100万kW級 原子炉1基代替	58 km <sup>2</sup> (≒山手線内の面積)	214 km <sup>2</sup> (山手線内の面積の3.4倍)

# 4.4.a バイオマスエネルギーとは

## ■ 動植物由来の有機物(バイオマス)をエネルギー源として利用

◇ **植物由来**は生育過程でCO<sub>2</sub>を吸収； 燃焼させても**カーボンニュートラル**

## ■ 2020年度 日本のバイオマスエネルギー利用量

◇ 原油換算 **1,766万kl** ； 一次エネルギー総供給量の **3.8%**

総合エネルギー統計の「バイオマスエネルギー」と「廃棄物エネルギー」の合計

◇ **主に廃棄物の焼却**によるエネルギー利用

## ■ バイオマス原料

◇ 製材業； 林地伐採の残材、製材・木工の**廃材**

◇ 建築業； 木造建築時の廃材

◇ 製紙工場； **黒液**、廃材、セルロース、古紙

◇ 農林業； **農作物残渣**(稲藁、粃殻、麦藁、とうもろこし残渣、バガス；サトウキビの搾りかす)、糖・澱粉、甘藷、菜種、パーム油(やしの実から得る)

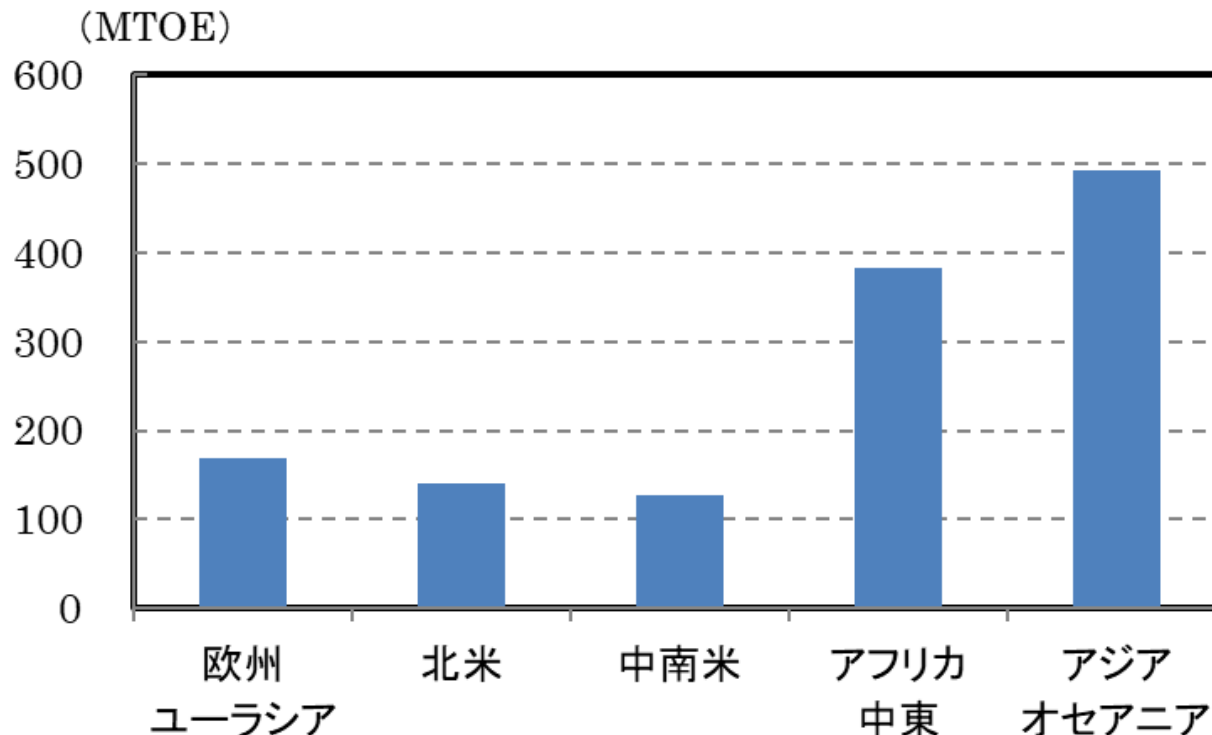
◇ 畜産業； 家畜排泄物(鶏糞、牛豚の糞尿)

◇ 食品産業； 食品加工廃棄物、水産加工残渣

◇ 生活系； 下水汚泥、し尿、事務所・家庭(厨房)のゴミ、食用油

## 4.4.b 世界のバイオマス利用

- 世界全体； 一次エネルギー総供給の **9.1%** (2019年)
- **開発途上国** (非OECD諸国)； 平均 **11.6%**
  - ◇ 薪や炭 → 経済成長でバイオマス比率は低下 (→ 灯油、電気、都市ガス)
- 米国や欧州等の **先進国** (OECD諸国)； 平均 **5.7%**
  - ◇ 気候変動問題への対応からバイオマス導入を推進
  - ◇ バイオ燃料の生産・消費による自然環境や食料市場への影響が課題



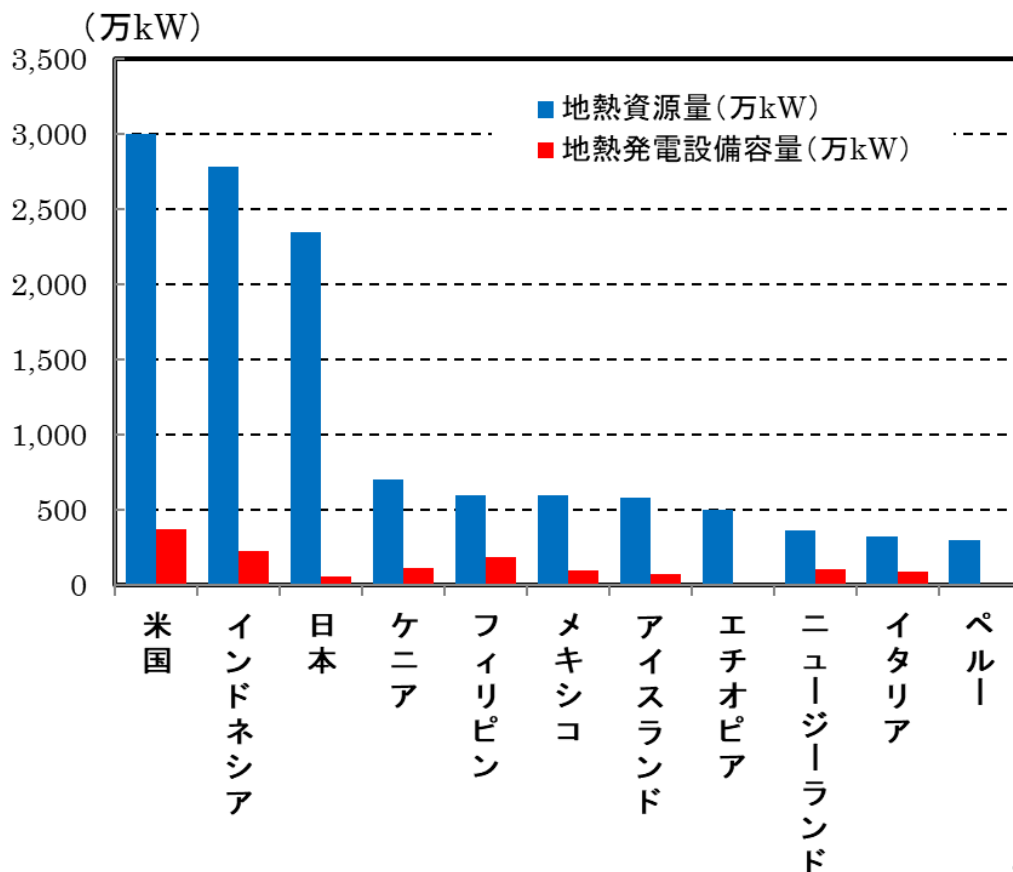
# 4.5.a 地熱発電の資源量と設備容量

■ 地熱発電は、地表から地下深部に浸透した雨水などが地熱によって加熱され高温の熱水として貯えられている地熱貯留層から、坑井により地上に熱水・蒸気を取り出しタービンを回し発電

- ◇ CO<sub>2</sub>排出量がほぼゼロ
- ◇ **低廉で安定的な発電が可能なベースロード電源**
- ◇ 国内 **61万kW** (2020年末)  
東北・九州を中心に20数箇所
- ◇ **資源量は世界第3位**  
(2,347万kW)

■ 地熱発電の導入の課題

- ◇ **開発**に係るリスクやコスト
- ◇ **温泉事業者**を始めとする地域の理解
- ◇ 開発から発電所の稼働までに**10年を超える**期間が必要



# 4.5.b 地熱発電の設備容量の推移

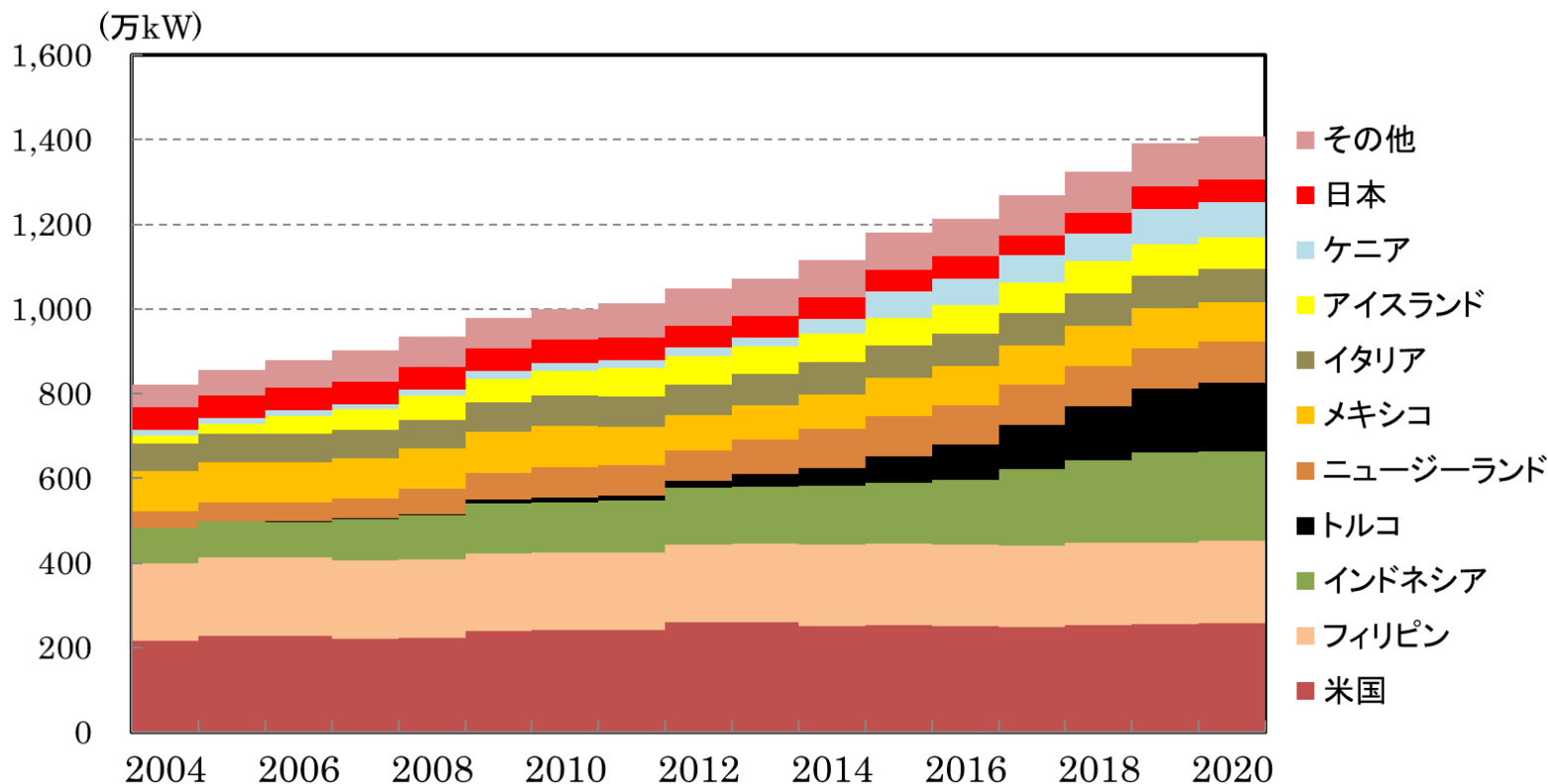
## ■ 世界合計 1,408万kW (2020年)

◇ 1位 **米国** 約259万kW      2位 インドネシア 約213万kW

◇ インドネシア、ニュージーランド、アイスランド、トルコ、ケニアで、大幅に増大

**ケニア**では、総発電量に占める地熱発電の割合が約46% (2019年)

◇ 欧州では地熱利用できる地域が少なく、イタリアやポルトガルの一部



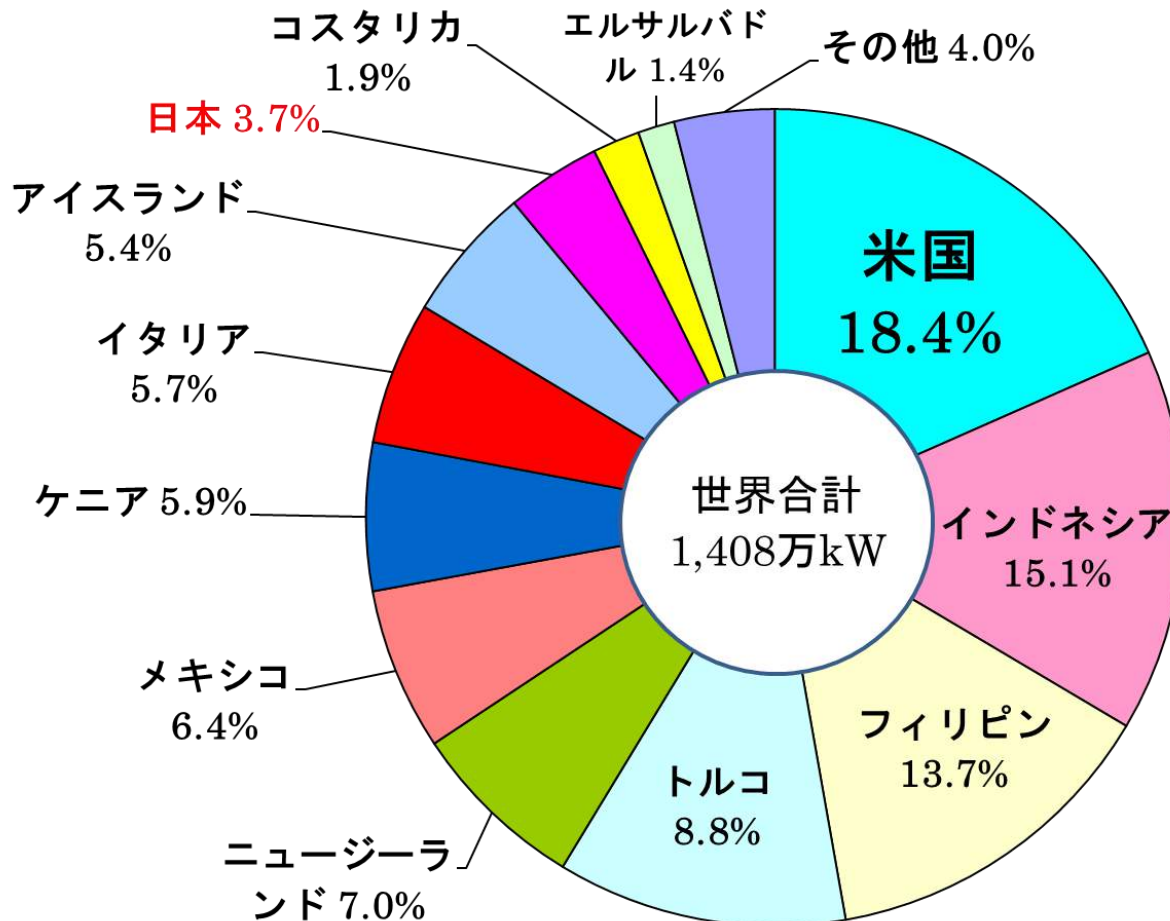


# 4.5.c 地熱発電の設備容量の比較

## ■ 日本の地熱発電設備 52万5,000kW

◇ 世界の中で、日本のシェアは 3.7%で、アイスランドに次いで**第10位**

◇ 過去10年間以上にわたり、殆ど変化せず



(2020年末)

# 4.6.a 世界のエネルギー需要の将来

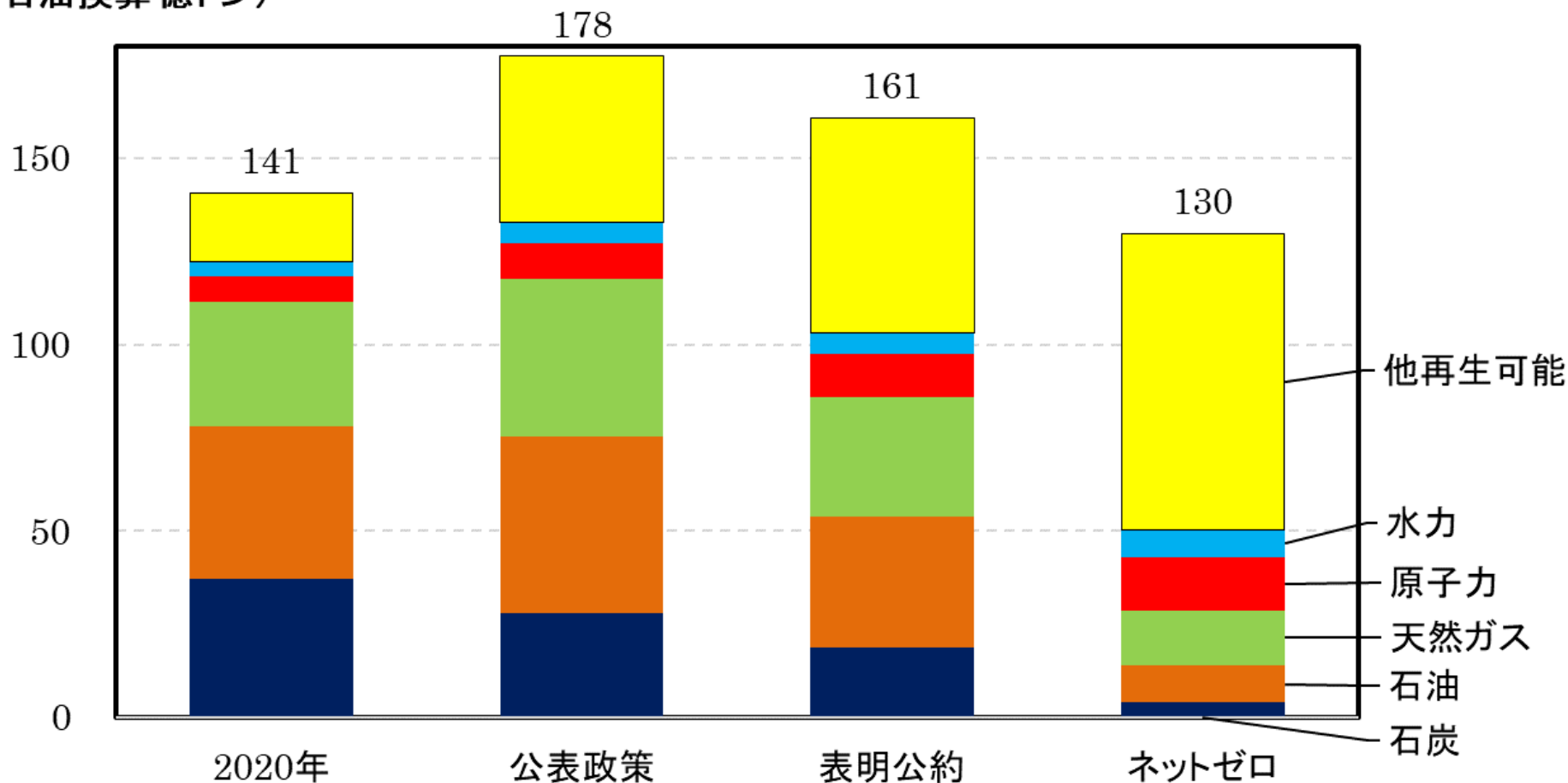
- IEA (国際エネルギー機関) が将来シナリオを想定し、エネ需要を予測
  - ◇ **公表政策シナリオ** (Stated policy scenario) は、各国が発表した**現在の政策**を反映したケース
  - ◇ **表明公約シナリオ** (Announced pledged scenario) は、各国が決定した貢献 (NDC)、長期的なネットゼロ目標が期限内に完全に達成されるケース
  - ◇ **ネット・ゼロ・シナリオ** (Net zero emission by 2050 scenario) は、気温の上昇を**1.5°C**に抑えつつ持続可能な開発シナリオを**逆算**したもの
- **2050年の世界の一次エネルギー供給量は2020年比で;**
  - ◇ 公表政策シナリオでは 1.26倍 (石油換算178億トン)
  - ◇ 表明公約シナリオでは 1.14倍 (石油換算161億トン)
  - ◇ ネット・ゼロ・シナリオでは 0.92倍 (石油換算130億トン)
  - ◇ 各国が約束したGHG排出削減目標では「**1.5°Cの追及**」に**届かない**
- **エネルギー源別**に見ると ネット・ゼロ・シナリオは 2020年比で;
  - ◇ 石炭 0.11倍      石油 0.25倍      天然ガス 0.44倍
    - 石炭は主に発電や産業用で、容易に天然ガスや再エネに置換可能
    - 石油は主に自動車用で、他のエネルギーに変えるのは容易でない
  - ◇ **水力 1.96倍      原子力 2.06倍      その他の再生可能エネ 4.31倍**

# 4.6.b GHG実質排出ゼロは実現可能か

■ IEA(国際エネルギー機関)による **2050年のエネルギー需要予測**

◇ 各国が約束したGHG排出削減目標では「**1.5°Cの追及**」に届かない

(石油換算 億トン)



## 4.6.c 各国の2030年目標(COP26)

- 産業革命前からの気温上昇を**1.5°C**以内に抑えるためには、**2030年**時点のCO<sub>2</sub>排出量を**2010年比で45%減**とする必要がある
- COP26に提出された各国のNDCは；
  - ◇ 英国 2030年に2010年比68%減、2035には年78%減
  - ◇ EU 1990年比55%減(2010年比では45%減程度と推定)
  - ◇ 米国 2005年比50～52%減(2010年比では45%減程度と推定)
  - ◇ 日本 **2013年比**46%減  
日本の基準年2013年の排出量は 2010年より **8%多い**
  - ◇ 中国 2030年までに排出量を減少に転じ、  
**GDP当たり排出量**を2005年比65%以上削減
  - ◇ インド **GDP当たり排出量**を2005年比33～35%削減
- パリ協定批准済**192カ国・地域**の集計では、2010年比**13.7%増**
- このままでは今世紀後半に気温上昇は**2.7°C**に至る

## 4.6.d 各国の脱炭素の達成時期(COP26)

- 産業革命前からの気温上昇を1.5°C以内に抑えるためには、2050年までにCO<sub>2</sub>排出量を実質ゼロ(カーボンニュートラル)とする必要があるとされるが、各国が表明する自国での達成時期は;

- ◇ 先進国(EU、英国、米国、カナダ、日本); **2050年**

- ◇ 中国・ロシア・サウジアラビア・ブラジル; **2060年**

- ◇ インド; **2070年**

- カーボンニュートラルを実現するには;

- ◇ 大幅な省エネ

- ◇ 確信を持ってないほどの技術革新

- ◇ エネルギー価格の高騰

が必要で、絵には描けてもその実現を保証できる国はあるまい

- **10年ごとの達成時期のズレが意味することは何か**、注意が必要

## 4.6.e グラスゴー気候合意(COP26)

- 産業革命前からの平均気温上昇を**1.5°C**に抑える努力を追求
  - ◇ 排出削減対策を講じていない**石炭火力発電**を段階的に削減
  - ◇ 化石燃料に対する非効率な**補助金**の段階的な廃止
    - accelerating efforts towards the phasedown of unabated coal power and phase-out of inefficient fossil fuel subsidies
  - ◇ しかし各国のNDCを統合しても不足で、**2022年末までに再検討・強化**
  - ◇ その他のGHG排出量も2030年までに削減を求める
- 先進国から開発途上国への**毎年1,000億ドル**の資金支援の約束が守られておらず、これを早急に実現し2025年まで続ける
  - ◇ 1,000億ドル/年を大きく増やす必要もある
- **排出枠の取引ルール**
  - ◇ 新興国の一次エネルギー生産に対して、脱炭素技術の採用に先進国が協力(技術提供、資金支援など)した場合に、排出量低減分の一部を貰える(国家間の合意に基づく割合)。
  - ◇ 2013年以降の排出量削減枠があれば流用可能

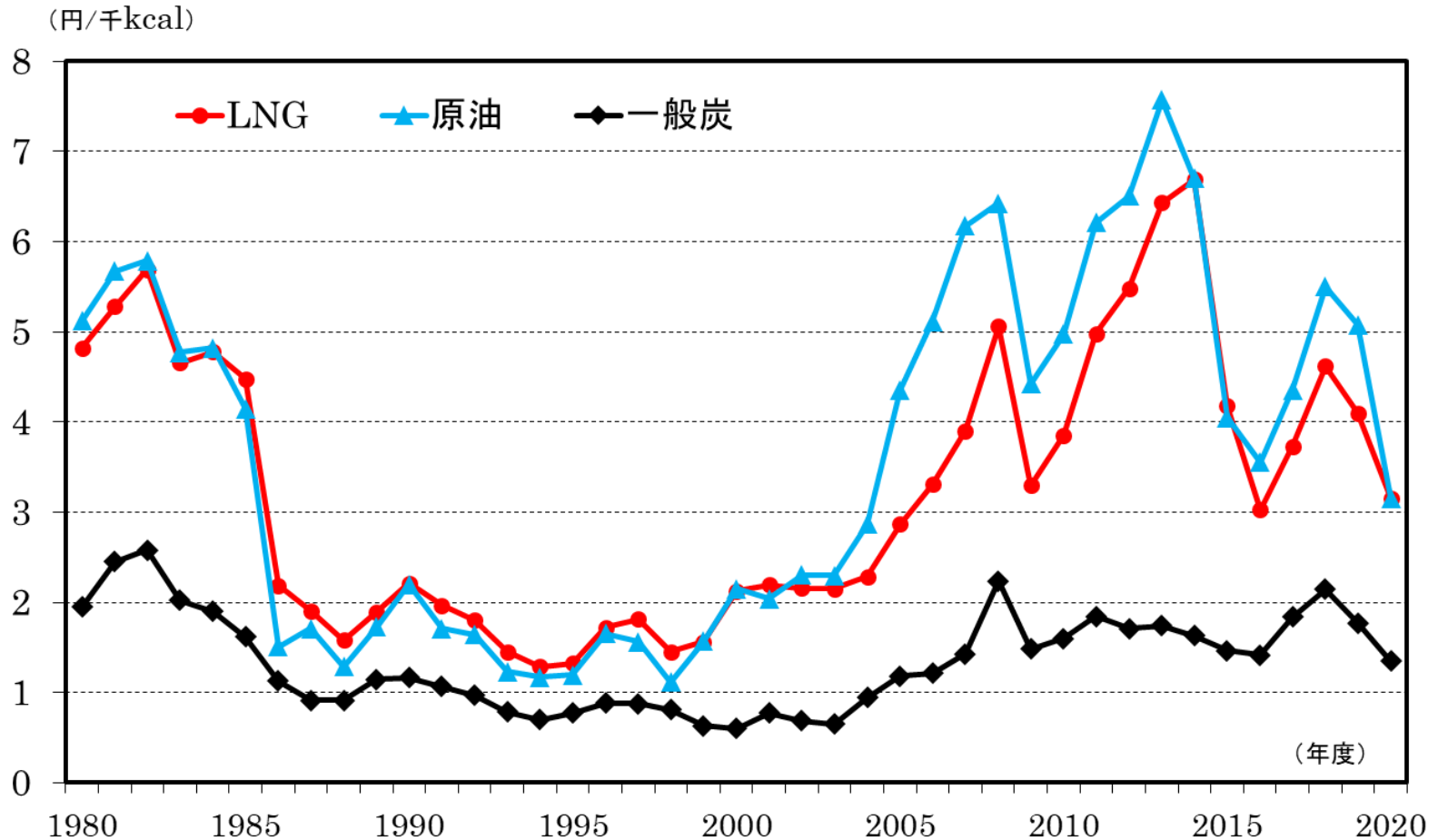
---

# 5. 経済性

(燃料価格と発電コスト)

# 5.1 化石燃料価格の推移(2020年まで)

- 日本到着のCIF価格を**同一の発熱量**1,000kcal(1cal=4.18J)当たりで比較; LNG、石油、石炭(一般炭)
- **石炭の価格優位性**は明白





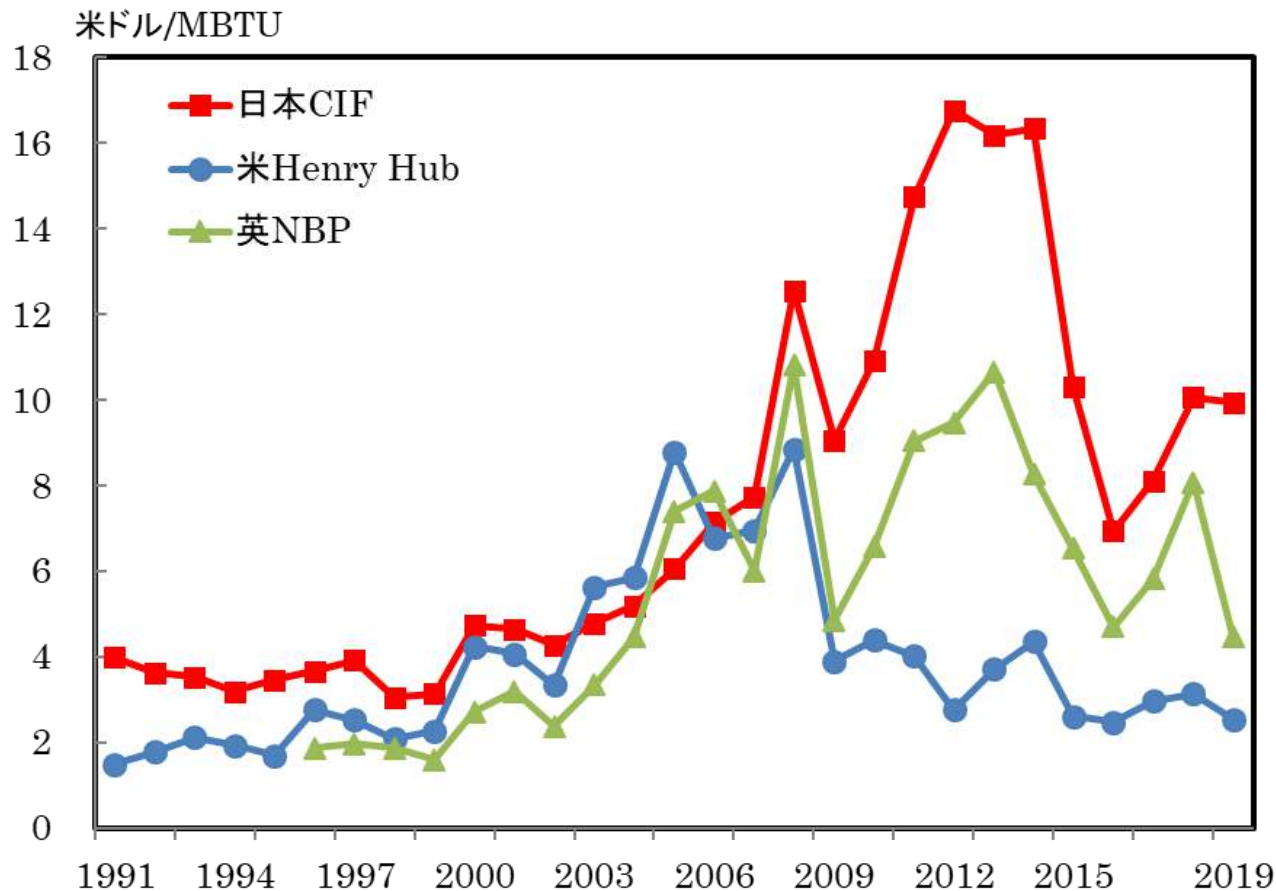
## 5.2 天然ガス価格指標の比較

■ 日本向け天然ガス(CIF価格)は欧米と比べ異常に高い

◇ 日本到着; 10~16ドル/MBTU

◇ 英国内; 4~8ドル/MBTU (NBP)

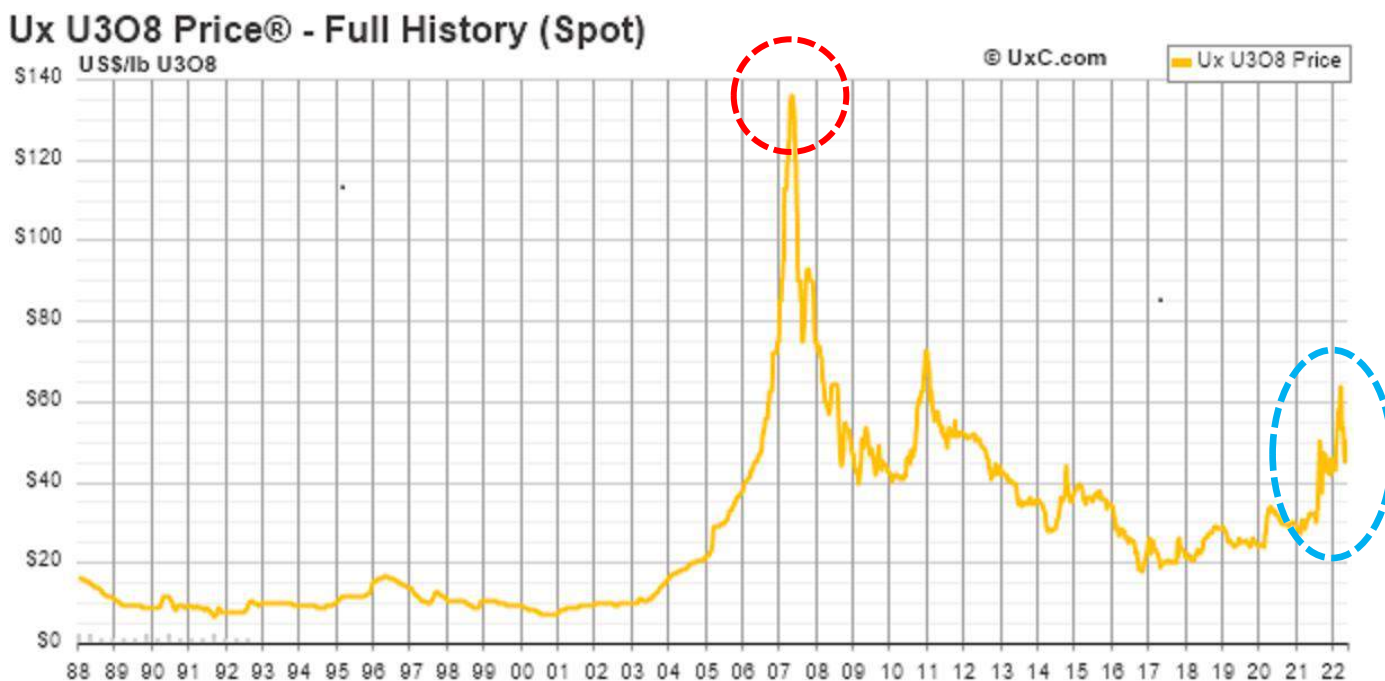
◇ 米国内; 3ドル/MBTU (Henry Hub)



# 5.3 ウラン資源価格の推移 (ドル/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)

## ■ ひとたび需給が逼迫すればトレーダが入り急騰する市場

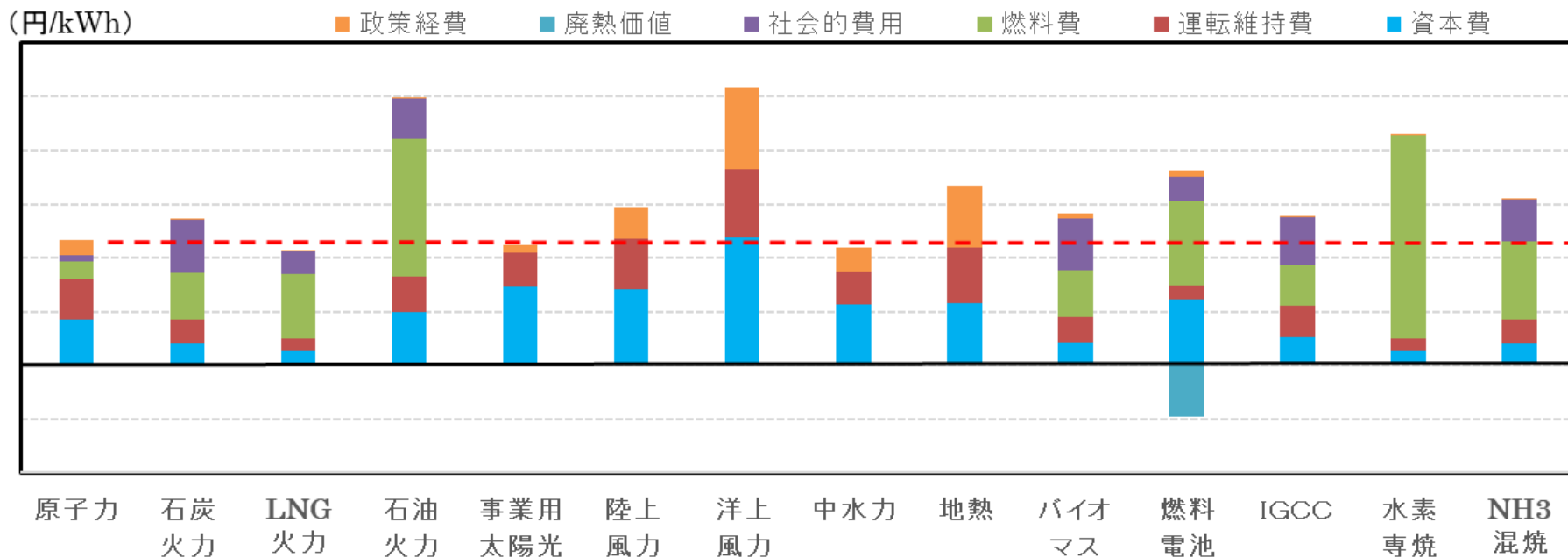
- ◇ 1980年代後半～2000年代初頭は 10 US\$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>程度
- ◇ 2003年頃から価格上昇し、2007年には**一時期 136 US\$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>**
  - ウラン鉱山の出水事故などで供給不安
  - 解体核高濃縮ウランからの供給や民間在庫取崩し等の二次供給の減少
- ◇ その後、リーマンショックによる世界的な経済の停滞、福一原発事故で下落したが、世界的な原子力回帰で最近再び上昇傾向 (~60 US\$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)



# 5.4 発電コストの比較(2030年)

## ■ 経産省発電コスト検証WG報告(2021年8月)

- ◇ 2030年運転開始の新規建設; **供用期間中の均等化原価**(総発電原価)
- ◇ 各電源がそれぞれ現実的な最大の利用率で運転できる場合の単独コスト
  - ▶ 原子力・石炭・LNG:70%、水力;60%、太陽光;17.2%、風力;25.4%
- ◇ 原子力の事故処理費が上がり得るが、感度は1兆円当たり0.04円/kWh
- ◇ 原子力は他の電源と比べ遜色ない競争力(経済性)を持っている
- ◇ 太陽光が初めて原子力より安くなったと評判



# 5.5 限界システム費用の比較(2030年)

## ■ 個別電源の追加による他電源や送電系統への影響を考慮した電源別の限界システム費用の分析

◇ エネ基の提案する2030年の電源ミックスを前提(電力供給 9,340億kWh)

➢ 天然ガス20%、石炭19%、石油2%、**原子力20~22%**、水素・アンモニア1%

➢ **再エネ36~38%**(太陽光14~16%、水力11%、風力5%、バイオマス5%、地熱1%)

◇ 結果はバラバラで、提案された電源ミックスは市場の最適解ではない

➢ **太陽光 19.9円/kWh**

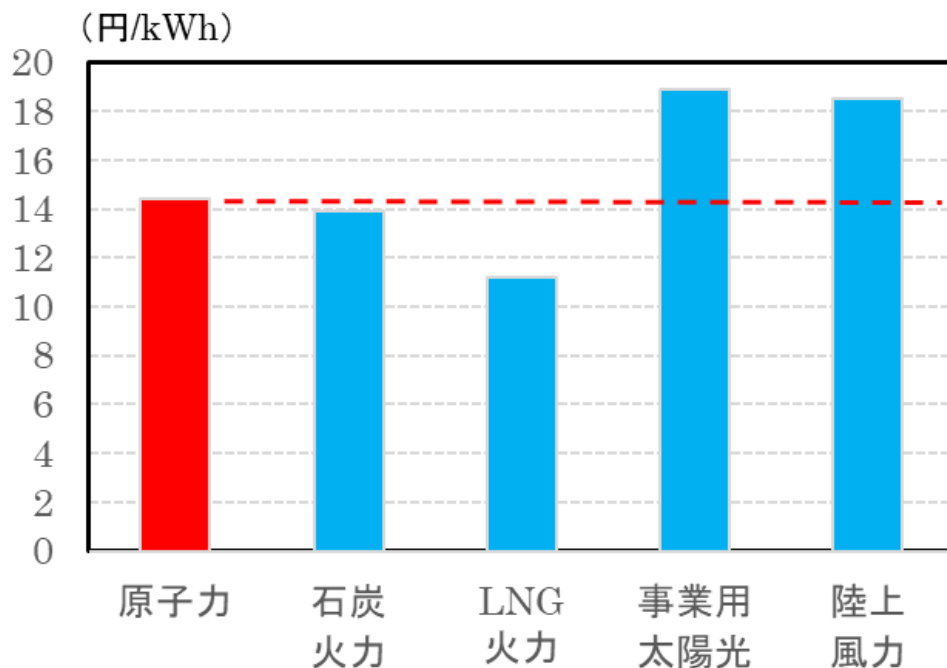
➢ **風力 18.9円/kWh**

➢ **原子力 14.5円/kWh**

## ■ 国民負担を最小化できる最適な電源構成が重要

◇ 原子力を増、再エネを減

◇ 再エネの中では、昼間しか発電できない太陽光より、風力を増やすべき



# 5.6 炭素排出ゼロの最適電源構成

## ■ 東京大学 藤井康正教授；2020～2120年の**発電費用合計**（現在価値換算）を**最小化する最適な電源構成**を求め発表

- ◇ 2050年以降のCO<sub>2</sub>排出ゼロ、電力需要は一定（919TWh/年）
- ◇ 長期にわたる将来の計算で**送電制約を無視**（遠隔立地の洋上風力に有利）
- ◇ **太陽光とバッテリーの価格低下**を楽観的に想定

原子力	4,000 \$/kW	ウラン	40～290 \$/lbU <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
太陽光	1,400～900 \$/kW	洋上風力	2,500 \$/kW
バッテリー	200～50 \$/kWh		

## ■ 線形計画法による計算結果

- ◇ 脱原子力よりも、**原子力上限なしの方が総費用が小さい**
- ◇ 最適電源構成；

**脱原子力では風力が7割、 原子力上限なしでは原子力が7割**

- ◇ 発電単価は原子力の方が再エネより高いが、例えば太陽光が働ける昼間などは供給過剰で市場価格が下落する一方、原子力は市場価格がある程度以上高く維持された時間にも発電できることから、最適容量は大きくなる

---

# 6. 安全性

## (原子力発電)

# 6.1 原子力発電の安全性の再構築

- **福島第一原発の事故**は、以下のような**想定外の事故シーケンス**；
  - (1) 冷却手段を全て失えば炉心溶融
  - (2) その際に格納容器の昇圧を抑制できなければ大量の水素が建屋内に漏洩
  - (3) その結果、酸素の存在する原子炉建屋内で水素爆発が発生
  - (4) 格納容器を損傷すれば放射性物質の放出により周辺環境を汚染
- 設計において外部電源は初めから期待しておらず、また、**地震だけであれば安全に冷温停止**していた
  - 事態を深刻化させた主因は、**異常な大きさの津波**を共通原因として、海水ポンプエリアと電気設備を破壊あるいは浸水して、全ての冷却手段を喪失したこと
- 従って、**津波再来に対する適切な防護策**を施せば；
  - ◇ 深層防護(Defense in depth)、多重バリア(Multiple barriers)、フェールセーフ(Fail safe)、工学的安全施設(Engineering safety features)等々の技術に基づく安全機能が働き、福島第一原発と同様な事故の発生は防げる
  - ◇ それでも、万一の再発を想定して；
    - 事業者によるサイト内での重大事故(SA)対策の強化
    - 国・自治体によるサイト外での防災体制の強化

 **頑健な原子力の安全性を再構築**

# 6.2 原子力と他の社会リスクを比較

## ■ 2003年 安全目標専門部会報告

- ◇ 定性的目標;
  - 日常リスクを有意に増加させない
- ◇ 定量的目標;
  - **個人の平均死亡リスク <  $10^{-6}$ /年**

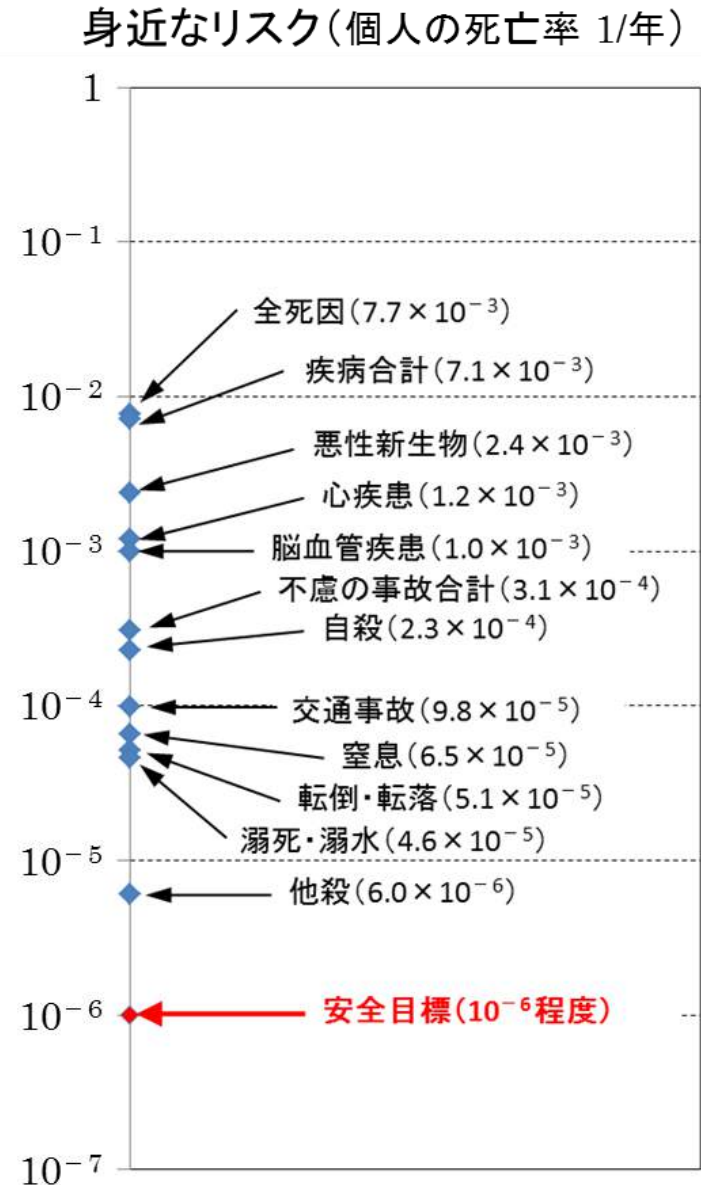
## ■ 2006年 性能目標検討分科会報告

- ◇ 安全目標から、十分に保守的な前提で性能目標を導出 → 設計には便利
  - **炉心損傷頻度 CDF <  $10^{-4}$ /年**
  - **格納容器損傷頻度 CFF <  $10^{-5}$ /年**

## ■ 2013年 原子力規制委員会

- ◇ 事故後の長期避難の弊害に配慮
  - **Cs-137放出量が100TBqを超過する頻度 <  $10^{-6}$ /年**

## ■ 他の社会リスクと比較するには**死亡リスクの評価が必須**





---

# 7. ロシアのウクライナ侵略 の影響

# 7.1 ロシアのウクライナ軍事侵略

- **安全保障理事会の常任理事国**たる大国ロシアが、自国の安全保障に懸念ありと称して先に隣国へ軍事攻撃
  - ◇ **国連憲章**2条4項の武力不行使の原則に違反する侵略戦争
  - ◇ **ジュネーブ条約**(1977年第一追加議定書;ロシアも締約)が禁止する文民に対する攻撃(無抵抗の民間人を殺戮)、民用物への攻撃(民間集合住宅、エネルギーインフラ施設等を砲爆撃)、危険な力を内蔵する工作物である**原発への攻撃**など**重大な違反行為**
  - ◇ 大統領たる人物がこれはネオナチとの戦いと平然と**嘘をつき自国民を騙す**
  - ◇ ソ連崩壊時のブタペスト覚書に基づき核兵器をロシアへ渡し、世界第三位の核兵器国から**非保有国**となった国に対し**核兵器使用をほのめかす**
- **ロシアの不法行為に対する国連の対応**
  - ◇ ロシア軍の即時撤退を求める安保理の決議案に対しロシアは**拒否権を発動**
  - ◇ 国際ルールを全く守らないロシアに対し、**国連総会**ではロシア軍の**無条件撤退を求める非難決議**に圧倒的に多数の国が賛同
- **自由主義陣営がとったロシアへの**経済制裁****
  - ◇ その影響は**全世界**にはね返り、**食料の供給危機**と**エネルギー一価格高騰**は、経済全体に悪影響を招いている

## 7.2 ウクライナの原子力施設

### ■ 稼働可能な原子力発電所4ヶ所、合計15基の原子炉を保有

- ◇ 全て**ロシア製**加圧水型軽水炉(VVER)；100万kW13基、42万kW2基
  - その内9基は 1986年4月のChornobyl原発事故後も建設工事を継続して完成
  - 当初の運転期限に近づいたものから20年間**延長**し、2回目の延長も準備中
  - ロシア設計を**西欧側の安全基準に適合**させるため、安全性向上対策を実施
- ◇ 旧ソ連製黒煙減速軽水冷却チャンネル型炉(RBMK)は **Chornobyl原発**の4基だけで**全て廃止**し、事故を起こした4号は石棺の上に新シェルター設置
- ◇ ロシアによる天然ガス供給中断やクリミア半島の奪取・併合以来、ロシアへのエネルギー依存を見直し、原発の**核燃料調達を米国WH社に変更**
- ◇ 使用済燃料のロシアでの再処理もやめ、乾式の**長期中間貯蔵施設**を設置

### ■ 国内電力供給における原子力への依存度が高い

- ◇ **電力供給の50%以上が原子力**で、スロバキア(4基のVVER、3基の新設計画あり)と世界第2位の原発依存度を競っている(第1位は仏国)
- ◇ 原子力発電電力量で世界7位、保有基数で世界の9位あたり
- ◇ 大型炉(100万kW級)2基と、SMR(16万kW)6基の新規建設計画がある

# 7.3 ロシアによる原子力施設攻撃

## ■ ロシアがウクライナの原子力発電所を攻撃した理由（推定）

- ◇ ウクライナ国内の**電力供給の停止**は侵略する上で効果的な作戦の一つ
- ◇ ウクライナの電力供給は**原発依存度が高く**、原発は**効率的な目標**
- ◇ その際、原発を破壊してしまったのでは放射能がロシアにも拡散する可能性があることを**軍の上層部**は理解し、**管理下に置く**ことで充分と考えた筈
- ◇ しかし原発の占拠を命ぜられた**前線部隊**はその**手段に熟慮を欠いた**恐れ
- ◇ ザポロージェ原発を砲撃した経緯はそのようなものと推定

## ■ 停止しているチョルノービリ原発への侵攻

- ◇ **周辺にはウクライナ軍が展開せず**、侵攻地点の一つに選定
- ◇ しかし**前線の部隊は放射能による重汚染の状況を理解せず**、装甲車を走らせ、野営し、塹壕を掘るなど実施したとの報道あり
- ◇ 兵士に直ちに健康被害が出る可能性は低いが、**放射能の内部取り込み**による預託線量評価、バイオアッセイ、身体・衣類・機材の除染などが必要

## ■ 原子力研究施設への攻撃

- ◇ 破壊による外部への放射能影響は小さいであろうが、**脅し**が意図と推定

# 7.4 エネルギー輸出で復活したロシア

■ ソ連崩壊時の凋落からエネルギービジネスを通じて大国に復帰

## ■ 石油

- ◇ 資源量; 世界の6.2% 第6位
- ◇ 生産量; 1,094万バレル/日 世界の12% 第3位
- ◇ 輸出量; 823万バレル/日 世界の11% **第3位**

## ■ 石炭

- ◇ 資源量; 世界の15% 第2位
- ◇ 生産量; 世界の5% 第6位
- ◇ 輸出量; 世界の18% **第3位**

## ■ 天然ガス

- ◇ 資源量; 世界の20% 第1位
- ◇ 生産量; 7,017億m<sup>3</sup> 世界の17% 第2位
- ◇ 輸出量; 2,413億m<sup>3</sup> 世界の**24%** **第1位**

## ■ 原子力発電

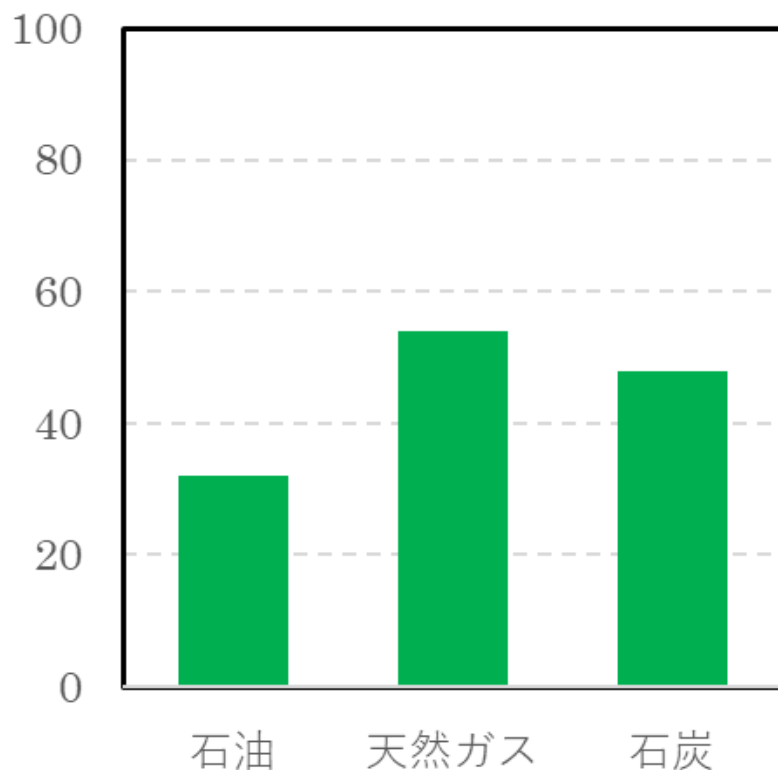
- ◇ **国内**で34基の原発を運転し(第5位)、3基を建設中、11基の建設計画
- ◇ 海外に**多数の原発を輸出**
  - ▶ インド、イラン、中国、トルコ、ベラルーシ、インド、バングラデシュ

# 7.5 ロシアと欧州の相互依存(エネルギー)

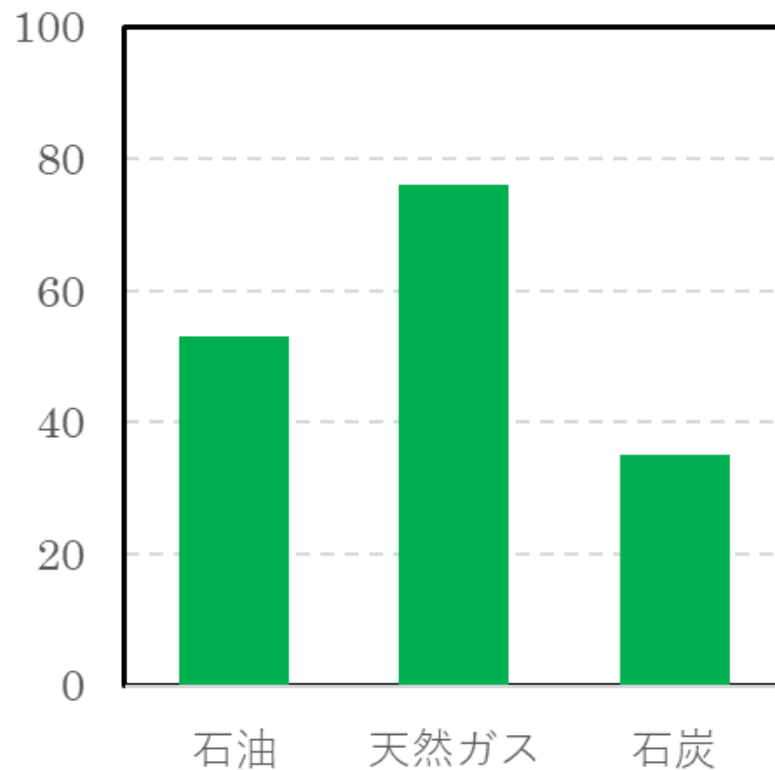
- 欧州のエネルギー確保にとって、ロシアは**重要な輸入元**
- ロシアにとっても、欧州は**重要な輸出先**； **影響は大きい筈**だが

(2021年)

欧州のロシア依存度 (%)



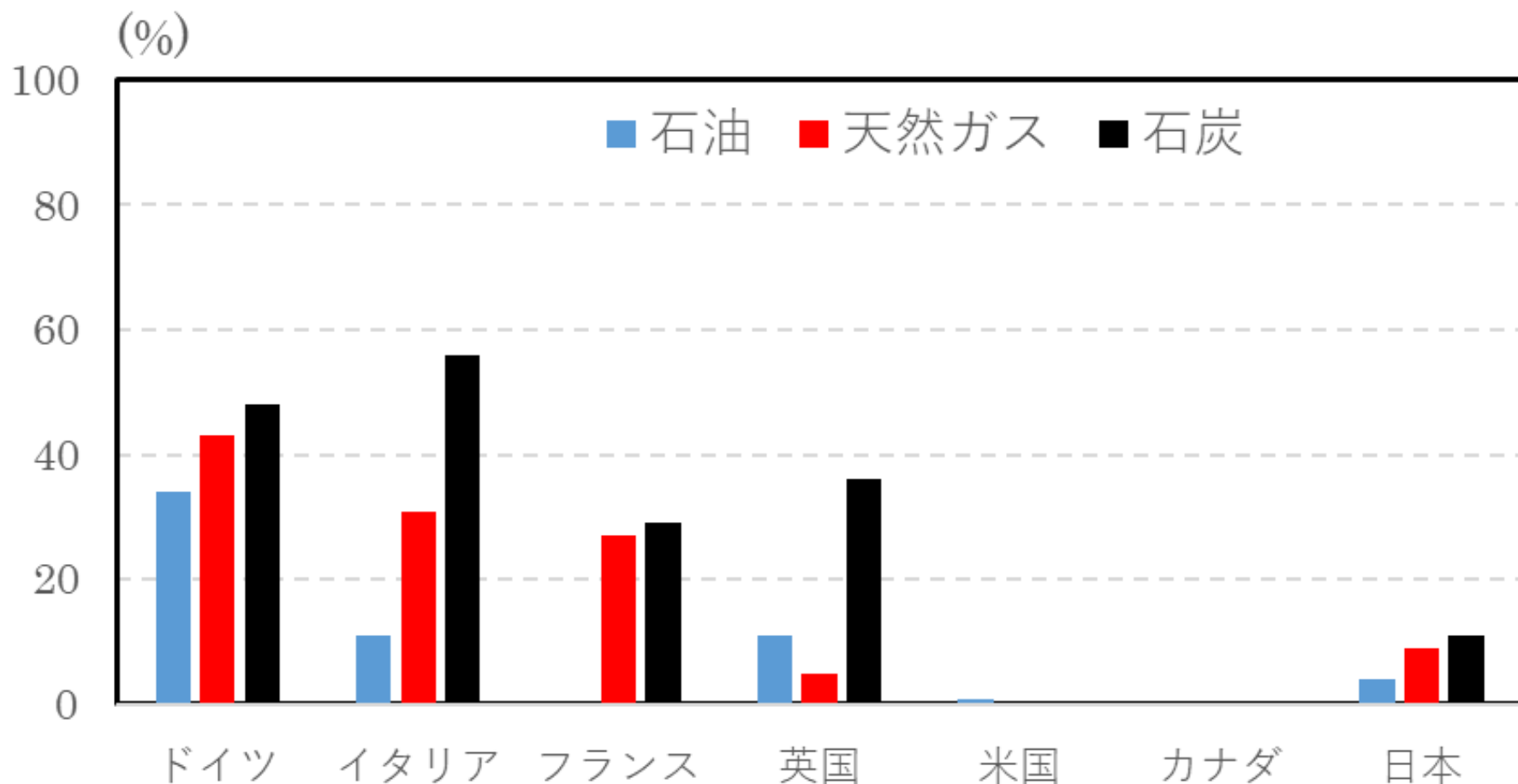
ロシアの欧州依存度 (%)



# 7.6 G7諸国のロシア依存度(エネルギー)

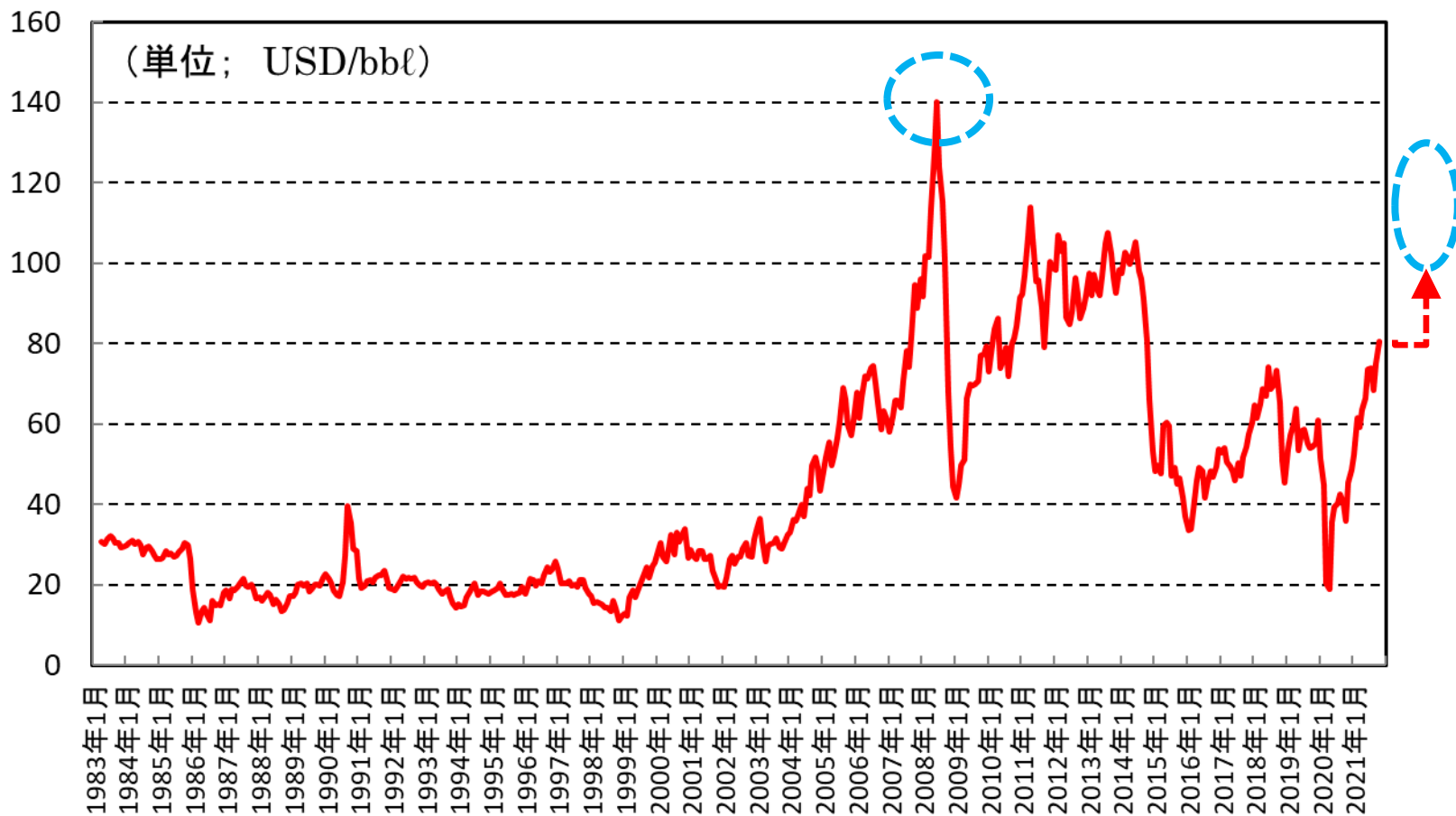
■ 各国が輸入するエネルギー資源のロシア依存度(2020年)

◇ 陸続きの**独・伊・仏**はロシアに依存、**米・加**はほぼロシア依存無し



# 7.7 原油価格 (WTI)

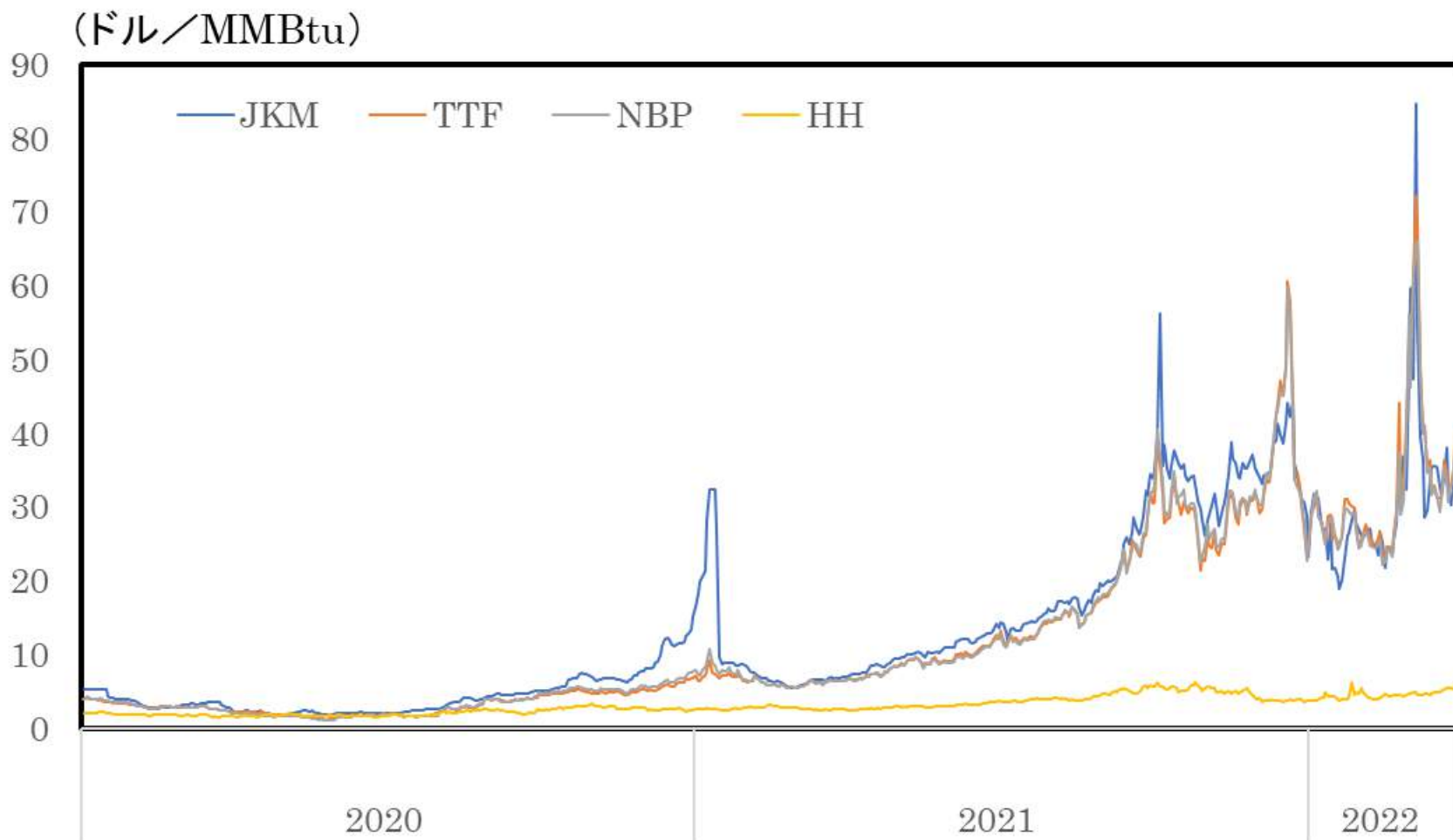
- 原油価格は、市場環境（**景気**による需給、消費国の**在庫**）、**OPEC**の意志決定、**OPECプラス**の協調減産、**米国シェールオイル**、最近では**コロナ禍**、**対ロシア経済制裁**などに影響されて激しく変動





# 7.8 天然ガス価格

- 2021年から上昇し始め、2022年の対ロシア経済制裁で高騰
  - ◇ 欧州 (TTF、NBP)、アジア (JKM) は**10倍以上**、米国 (HH) でも2倍



# 7.9 石炭価格

## ■ 2021年に石炭価格が上昇

◇ 天候不順で欧州の風力発電が低下、豪州の石炭の積出し機材の不具合

## ■ 一旦下がったが、ロシアのウクライナ侵略で再び**急騰**

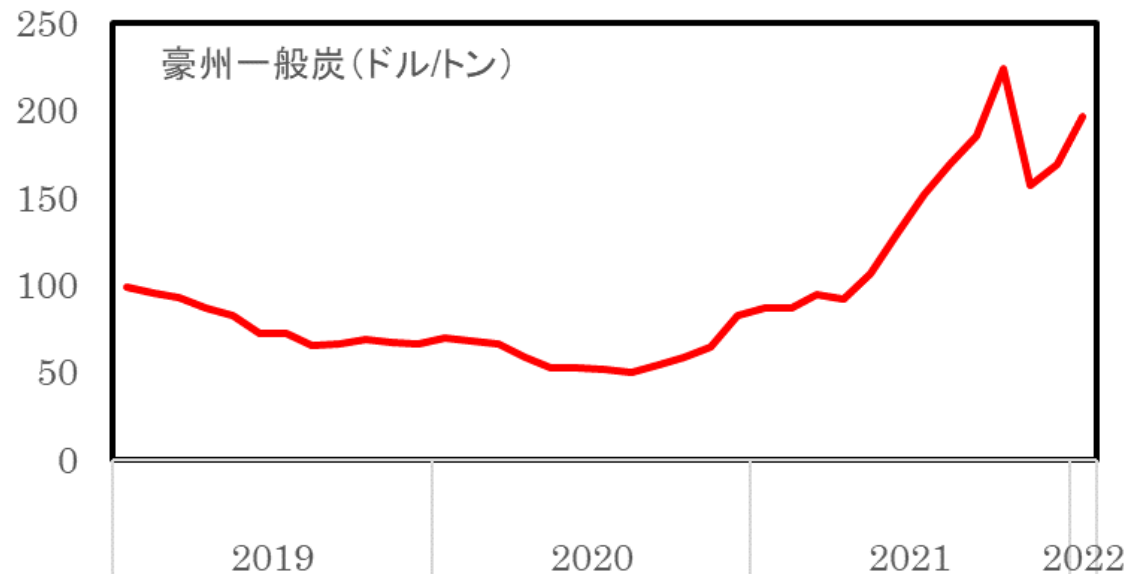
◇ **インドネシアや豪州の輸出拡大は困難**な状況にある

➤ インドネシアでは、国内の石炭需給がひっ迫し、海外輸出を一時制限

➤ 豪州では、新型コロナで炭鉱の人員不足、記録的な豪雨で操業に支障

◇ 一般炭価格は2022年  
3月上旬に一時400  
ドル/tを超過

◇ ドイツなどの脱石炭の  
見直しもあり石炭価格  
は従来の2~3倍に高  
止まりを予想

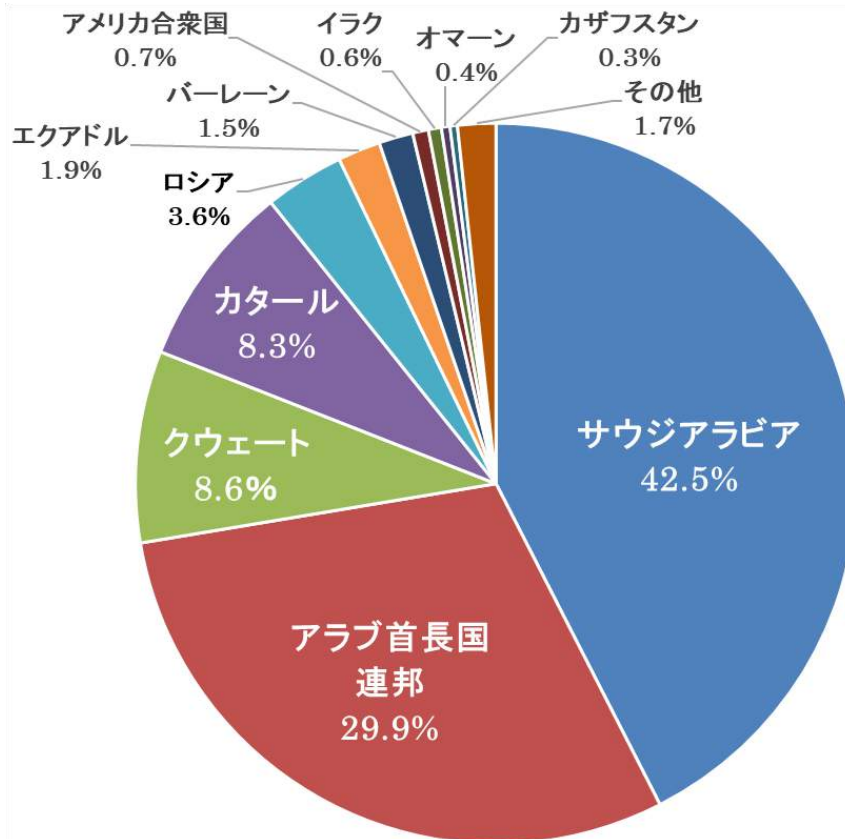


---

## 8. 日本のエネルギー事情

# 8.1.a 原油の輸入元

- 近年の日本の石油需要は 1.7億kl/年 程度； **300万バレル/日**
  - ◇ その99.6%を輸入； **自給率0.4%**
  - ◇ 輸入は中東からが圧倒的； **中東依存度92.0%**
  - ◇ **ロシアから 3.6%**

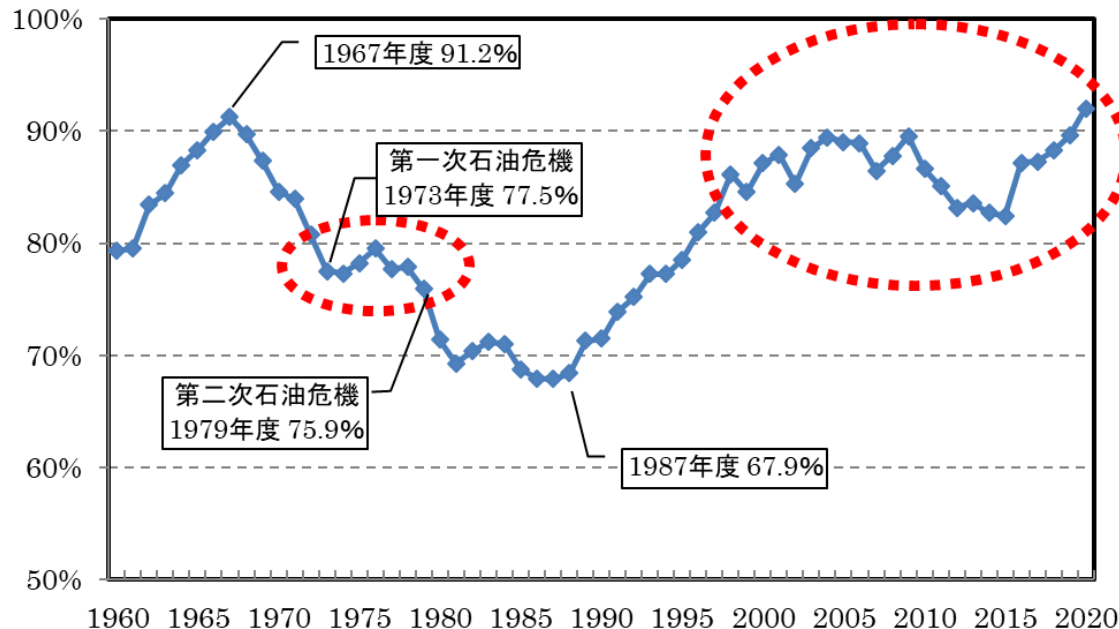


日本の原油輸入量  
1億3.646万kl(2020年度)

# 8.1.b 原油輸入の中東依存度

■ 日本の原油輸入の**中東への依存度**は、石油危機の頃よりも増え、今日では 87~90%に**高止まり**

- ◇ 輸入元の多角化を図り、中国やインドネシアからの原油輸入を増加
  - 1967年度 91.2% → 1987年度 67.9% しかし、2009年度 89.5%
- ◇ 2010年代、サハリンや東シベリア・太平洋石油パイプライン(ESPO)経由の輸入拡大で極東ロシアからの輸入が増加し、中東依存度は低下傾向
- ◇ しかし、2016年度には極東ロシアを始めとするアジア地域からの輸入が減少し、中東依存度は再度上昇に転じ、2020年度には 92.0%



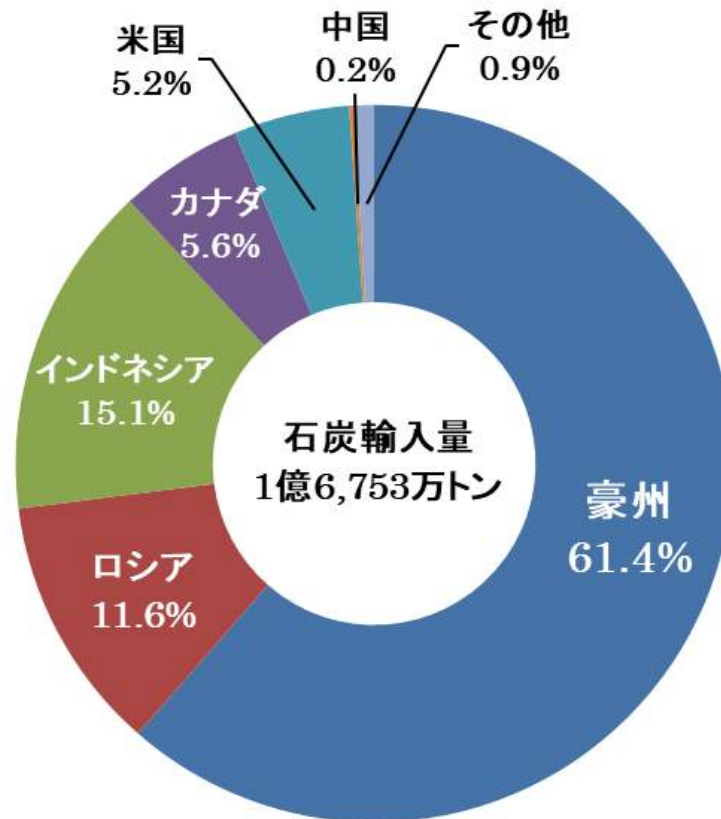
## 8.2 石炭の輸入元

■ 石炭の需要は 1.8億トン/年程度で、その **99.6%を輸入**に頼る

◇ 輸入元は、圧倒的に**豪州(61.4%)**、2位が**ロシア(11.6%)**

➤ 一般炭の輸入元； 豪州(68.3%)、ロシア(14.6%)、インドネシア(11.5%)

➤ 原料炭の輸入元； 豪州(49.9%)、インドネシア(21.0%)、米国(10.2%)、カナダ(9.79%)、ロシア(6.4%)



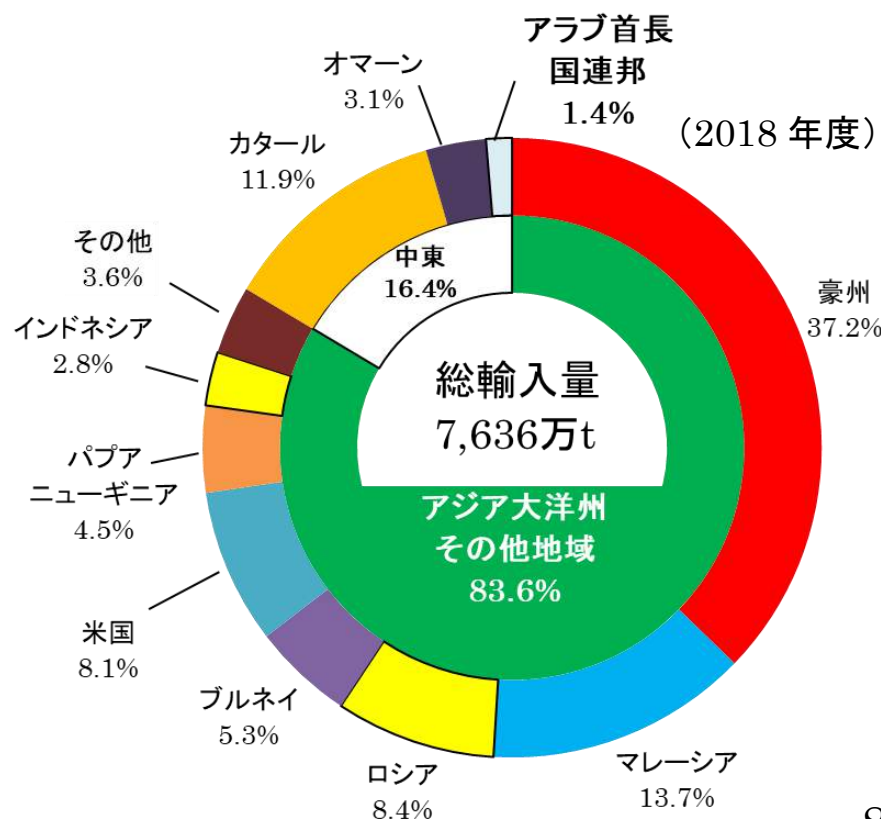
(2020 年度)

# 8.3 天然ガスの輸入元

## ■ 天然ガスの需要は 8,000万トン/年程度

- ◇ その**98%を輸入**に頼る; 自給率 2%
- ◇ 中東依存度16.4%; 中東以外の地域から 83.6 %
- ◇ 最大の輸入元は豪州(37.2%)、次いで、マレーシア(13.7%)、**ロシア(8.4%)**
- ◇ 2017年1月 **米国からシェールガス**

## ■ 世界のLNG貿易に占める日本の輸入割合は 20.9%(2020年度)



# 8.4 日本のロシア依存脱却の実現性

- ロシアからのエネルギー資源輸入の縮小を目指す欧州諸国に合わせ、日本政府もエネルギーの**ロシア依存脱却**の方針を表明
  - ◇ しかし、欧州より低いとはいえ原油輸入の4%、天然ガス輸入の8%、石炭輸入の10%をロシアに依存する現状(統計は2020年)からの転換は、**代わりの輸入元の確保**を必要とし、それは欧州諸国とも競合して容易ではない
  - ◇ 輸送部門での**石油ニーズ**は避けられず、発電部門での原油利用の回避は必要だが、今冬・来夏の**電力供給危機**が予想されそれは難しい
  - ◇ 鉄鋼・セメント分野での**石炭ニーズ**は避けられず、一方、発電部門でもエネルギー価格上昇対策として石炭利用は避けられない
  - ◇ **天然ガス**の消費節約は発電・都市ガス・工業利用のいずれも極めて難しい
- 欧州との競合、資源価格の高騰に鑑み；
  - ◇ 万一の場合に備え**原油備蓄(国家備蓄)**を回復
  - ◇ 利用を控えても**石油火力の設備を維持**
  - ◇ 特に、安易な**石炭火力**の設備廃止など言語道断
  - ◇ **サハリンの権益**の放棄は自らを苦しめ、中国を利し、ロシア制裁とならない
- エネルギー資源が極端に乏しい**日本の生き残り方策が重要**



---

# 9. 日本がとるべき長期的な エネルギー政策

# 9.1 第6次エネルギー基本計画

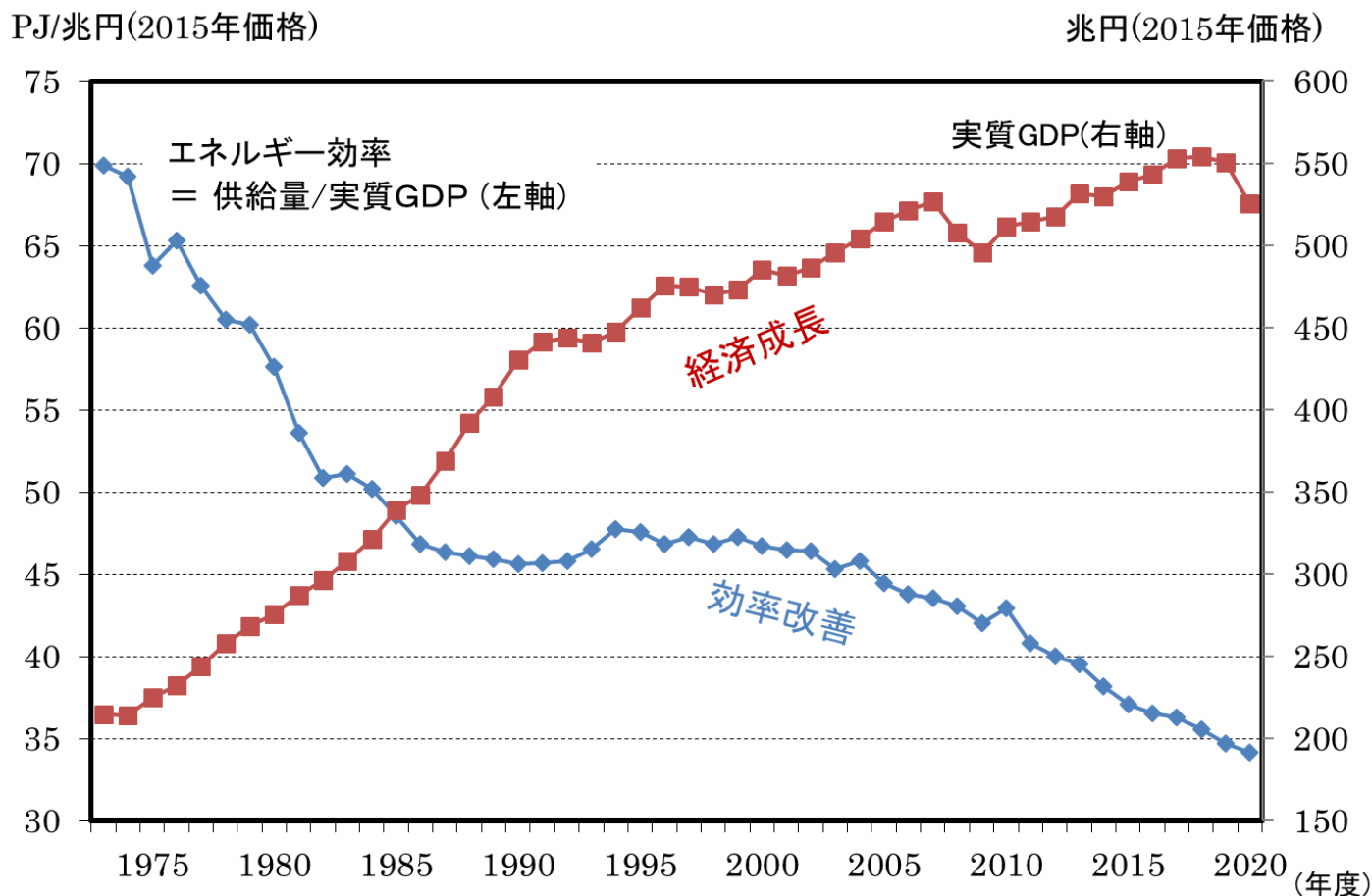
- 令和3(2021)年10月22日閣議決定(第5回改定)
- **2030年度**におけるエネルギー需給の見通し;
  - ◇ 一次エネルギー供給; 4億3,000万kl
    - 再エネ22~23%、原子力9~10% → **エネルギー自給率30%程度**
  - ◇ GHG排出量(吸収源対策も考慮) → 2013年度比で**全GHG排出46%減**
  - ◇ 電力供給; 9,340億kWh
    - 天然ガス20%、石炭19%、石油2%、水素・アンモニア1%
    - 再エネ36~38%(太陽光14~16%、水力11%、風力5%、バイオ5%、地熱1%)
    - 原子力20~22% → **低炭素電源比率58%**
  - ◇ 電力コスト; 8.6~8.8 兆円/年(再エネ及び化石燃料の価格低下を想定)  
発電単価; **9.9~10.2 円/kWh**(旧ミックスでは9.4~9.7円/kWh)
- **2050年の記述**; 原子力については矛盾した記載
  - ◇ 2050年に向けて、「**可能な限り原発依存度を低減する**」 3ヶ所
  - ◇ 複数シナリオの選択肢として、「**必要な規模を持続的に活用していく**」 1ヶ所
  - ◇ 電源構成(参考値)
    - 再エネ 50~60%、原子力+CCS火力 30~40%、水素・NH3火力 10%

# 9.2 エネルギー効率の推移

## ■ GDP(兆円)に対する一次エネルギー供給量(PJ)の推移

◇ 1973年度 70 PJ/兆円 → 2020年度 半分の 34 PJ/兆円

◇ **エネルギー効率の改善が進展**している



# 9.3 エネルギー効率の国際比較

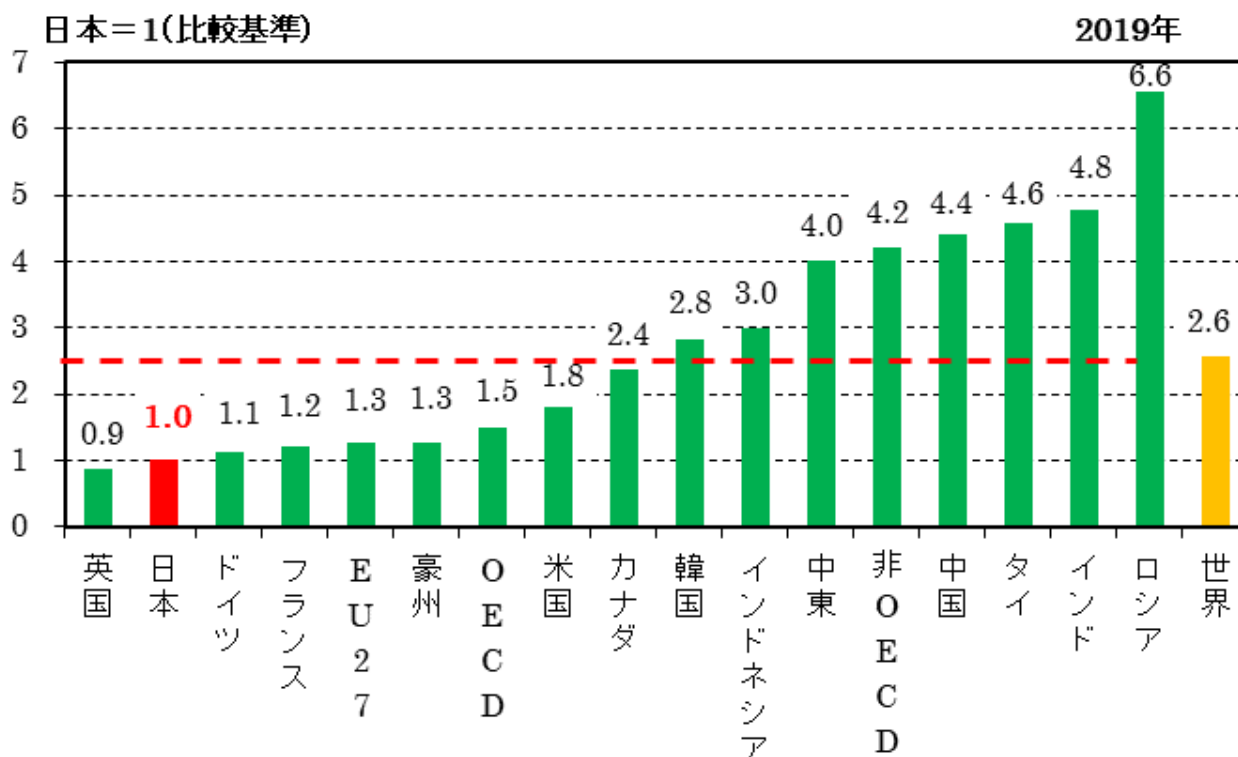
## ■ GDP当たりエネルギー消費量を日本を基準 (=1) に主要国と比較

◇ 日本は、石油危機を教訓に、省エネ、エネルギー利用効率の向上に努力

➢ 東日本大震災前、原子力をフル稼働していた際は英国より低く優等生だった

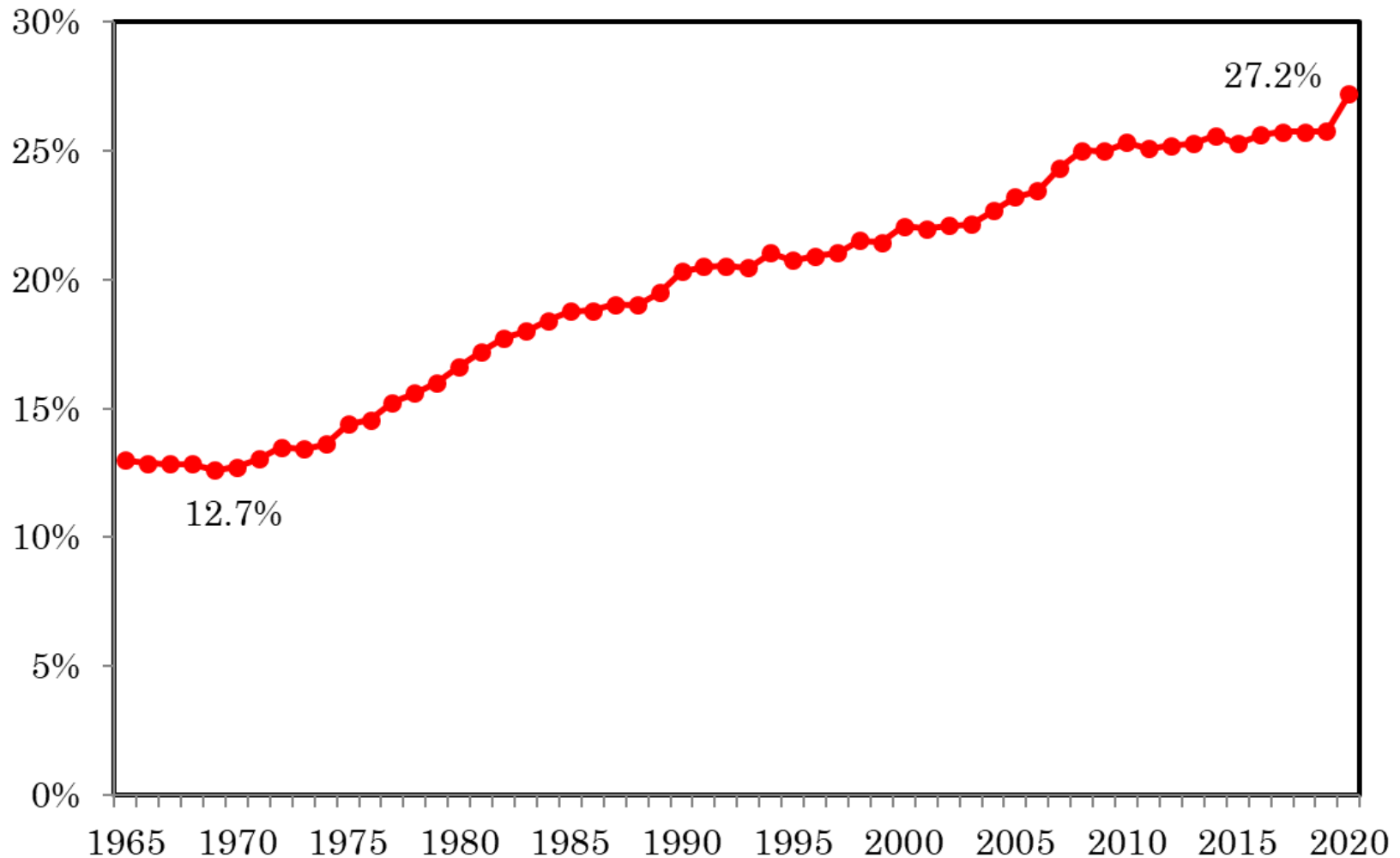
◇ 現在でも、世界平均の 0.4倍 米国・カナダの 1/2 中国・インドの 1/4.5

➢ 省エネの進む欧州と同等にある



# 9.4 電化率の推移

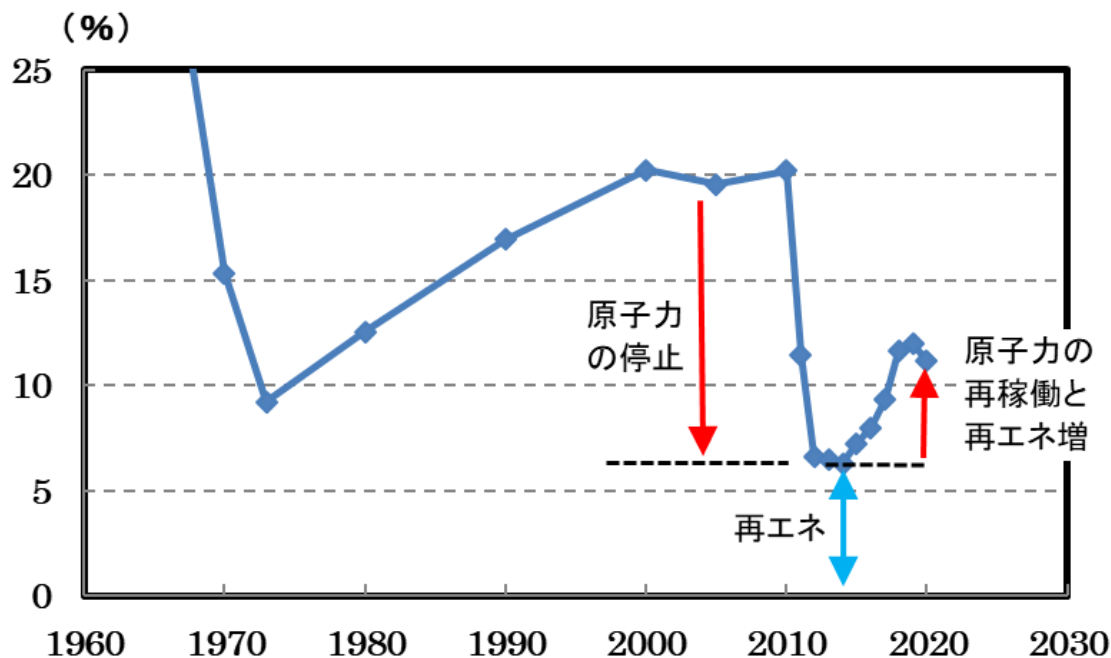
- 電化率 (%) = **電力消費** / **最終エネルギー消費** × 100
- 1970年度に12.7%、2020年度は27.2%と**倍増**



# 9.5 日本のエネルギー自給率の推移

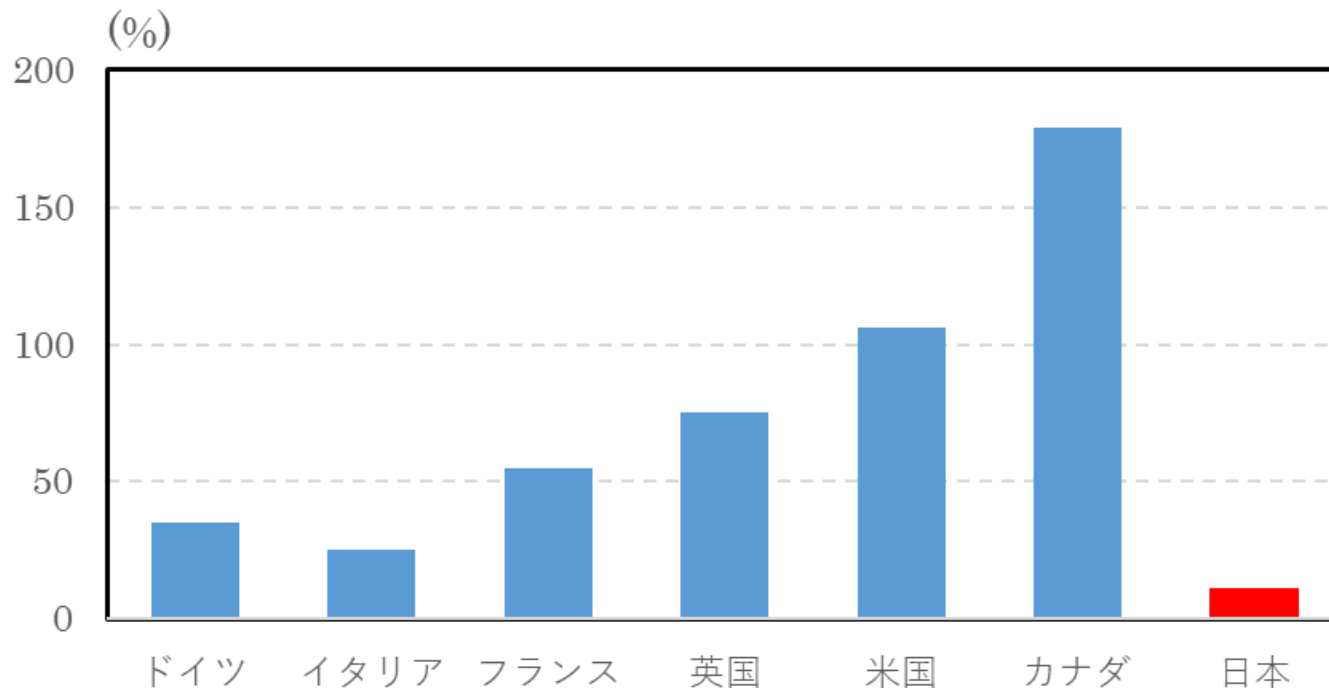
## ■ エネルギー自給率とは 1次エネルギーのうち国内確保できる比率

- ◇ 1960年度には主に**石炭や水力**など**国内資源**により自給率は 58.1%
- ◇ その後、高度経済成長期にエネルギー需要が増大する中、**石炭から石油**へ燃料転換が進み、石油が大量に輸入されて自給率は大幅に低下
- ◇ **石油ショック**後に普及拡大した**天然ガス**も、ほぼ全量が海外からの輸入
- ◇ 2014年度は**原子力**の発電量がゼロになったこともあり、過去最低の 6.4%
- ◇ **再生可能エネルギー**の導入や原子力発電所の**再稼働**で徐々に回復中



# 9.6 G7各国のエネルギー自給率

- G7各国のエネルギー自給率は様々で、ロシア影響が分かれる
  - ◇ **米国**は石油、ガス、石炭の全てで輸出国、**カナダ**はガスを除き輸出国
  - ◇ **仏国**は天然資源は乏しいが、原子力利用が効いている
  - ◇ **英国**は北海油田を持ち(石油単独の自給率101%)、原子力も効いている
  - ◇ **ドイツ**は石炭を産出するが(石炭単独の自給率54%)、原子力が無い**イタリア**と共にエネルギー自給率が50%に遠く届かない
  - ◇ **日本**は天然資源が乏しく、原子力の再稼働が遅れ、絶望的



# 9.7 期待される水素は2次エネルギー

- 水素の酸化(燃焼)は**発熱反応**で、炭素の燃焼の代替となる
  - ◇  $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 394 \text{ kJ/mol}$
  - ◇  $H_2 + (1/2)O_2 \rightarrow H_2O + 286 \text{ kJ/mol}$
- 水素利用はカーボンニュートラル実現に向けた**有力な手段の一つ**
  - ◇ 水素燃焼発電; 火力発電の燃料
  - ◇ 水素還元製鉄; 鉄鉱石( $Fe_2O_3$ )の還元(製鋼)にコークスの代わりに使用
  - ◇ 燃料電池; 自動車の駆動(FCV)
  - ◇ 合成燃料の製造; 船、航空機の燃料
- しかし、水素は単体では資源として存在せず(電気と同じ**2次エネルギー**)、どうやって作り出すかが問題
  - ◇ **グリーン水素**; 再エネで発電した電気を使い水を電気分解(簡単だが高い)
  - ◇ **ブルー水素**; 石炭と高温水蒸気との反応や、天然ガス( $CH_4$ )の改質で水素を抽出し、発生する $CO_2$ は回収・貯留(CCSは**海外依存**)  
(注)  $CO_2$ を回収しなければ**グレー水素**、回収を海外に依存すれば**自給率が低下**
  - ◇ **イエロー水素**; 原子力(**高温ガス炉**)の熱を利用し化学反応で水を分解



# 9.8 世界の原子力は将来増加する予想

## ■ 原子力先進国

- ◇ 早期に運転開始した原発の退役が進む
- ◇ 一方、ウクライナ情勢等を受け、新規建設再開の機運が高まっている
  - 米国、仏国、英国、カナダ、フィンランド、韓国、等々

## ■ 新興国

- ◇ 経済発展に向け多くの新規建設計画あり
  - 中国、ロシア、インド、UAE、トルコ、バングラディッシュ、エジプト、等々

## ■ 権威ある多くの機関が2050年頃の原子力の大幅増加を予想

- ◇ 現状(2021年末)は **3億9,000万kW**
- ◇ 国際原子力機関(IAEA)の高予測は2050年に **8億7,000万kW**
- ◇ 国際エネルギー機関(IEA) 2040年に **5億kW以上**
- ◇ 米国DOEのエネルギー情報局(EIA) 2050年に **5億kW程度**
- ◇ 日本エネルギー経済研究所(IEEJ) 2050年に **5億kW以上**
- ◇ IPCCの1.5°C目標の特別報告書は、2050年に**最大5倍**(2010年比)



2050年頃には 現状の**1.5倍~2倍**に増える予想

# 9.9 日本のエネルギー確保の課題と対策

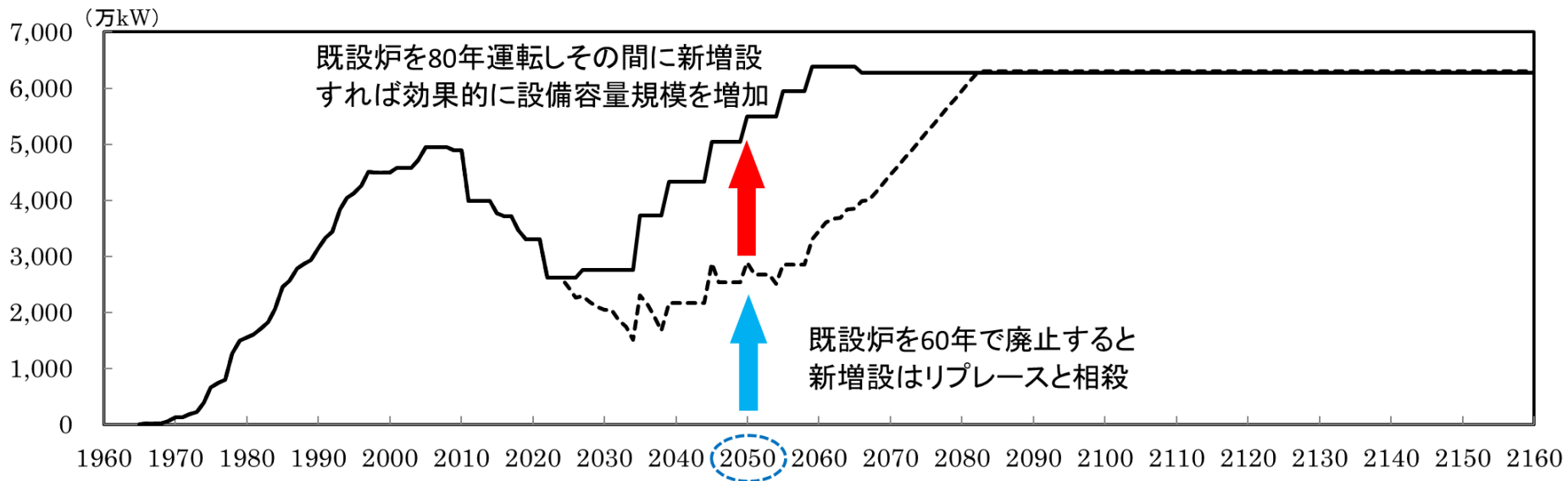
- 長期的な脱炭素のニーズは変わらないものの、**第6次エネルギー基本計画は策定時点での前提が崩れている**
  - ◇ 特に「原子力依存度は可能な限り低減する」とした基本方針は見直すべき  
→ 岸田首相のリードで**GX実行会議**が**原子力活用の方針**
  - ◇ 福島第一原発事故の後に急速に拡大された**電力自由化**の仕組みは、競争激化で供給予備力の低下を招き、電力供給の危機を招来  
→ 原子力の新規建設投資を誘導できる方策が必要
- 従来の中東リスク認識に加え、脱ロシア依存も必要となり、**再生可能エネルギーの利用**を促進しつつ、**原子力発電を持続的に活用**し、更に**その規模を拡大**して行くことが、我が国のエネルギー安全保障とカーボンニュートラルを同時に実現するために必須
  - ◇ **当面は火力**；化石燃料の確保、火力発電設備の維持
  - ◇ **原子力**の再稼働、供用期間延長と新增設、核燃料サイクルの完成
  - ◇ **再生可能エネルギー**の拡大；**但し**、お天気任せで変動し、負荷の変化に追従できない太陽光・風力への対策、太陽電池・風車発電機の国産化が重要

# 9.10 日本の原子力の建設実績と将来

- これまでに建設した全数； **57基**
- 2011年東日本大震災の前までに3基を廃炉し、運転中54基
  - ◇ 2010年の総発電電力量の内、原子力 28.6%
- 東日本大震災以降に21基廃炉し、現在**33基** 3,323.5 万kW
  - ◇ 建設工事中**3基**を加えると**36基** 3737.6 万kW
  - ◇ 36基の再稼働の進捗状況
    - **再稼働したものの10基**
    - 新規制基準への適合性審査に**合格したものの未稼働 7基**
    - 新規制基準適合性の**審査中10基**
    - **未申請9基**
- 現在は棚上げとなっているが、更なる新增設の計画がある
  - ◇ 2011年時点で**4基**が**安全審査中、準備工事開始済み**
  - ◇ **未着手**ながら公表されている新設計画が**5基**
- 新規計画の再開には、**革新的な次世代炉の開発**が好ましい
  - ◇ 大型次世代軽水炉、小型モジュール炉、高速炉、高温ガス炉、等々
  - ◇ 原子力の持続的活用には、**核燃料サイクル**が重要

# 9.11 既設炉の長期運転と新增設

- 既設炉を60年で順次廃止すると、今から取り組む**新增設は設備容量の低下と相殺**してしまい、2050年の倍増に遥かに届かない
- 既設炉を**長期に**運転して維持しつつ、**その間に新增設**を行えば、効果的に原子力発電規模を増加できる（米国は80年運転へ）



# 9.12 日本の原発は攻撃対象となるか

## ■ 日本の電力供給における**原発依存度は高くない**

- ◇ 日本は電力需給規模が大きく、原発停止の影響は大きくない
- ◇ 原発依存度の高い電力会社も、近隣電力会社と送電線が連系
- ◇ 原発が全停してすら停電しなかった実績あり
- ◇ 電力供給を断ちたかったら、もっと効果的な攻撃目標がある・・・

## ■ 他国を侵略するには、まず制空権、制海権の確保が重要

- ◇ 巡航ミサイルや弾道ミサイルの発射は、空自・海自の基地や司令部など、**迎撃手段を潰す**ことが最初の目標
- ◇ 戦闘能力を持たない一般国民の頭上にミサイルを撃ち込むことは降伏を促せるが、勝者側も**戦争犯罪**
  - 戦時国際法により、降伏者、一般民間人、医療関係施設、食料生産設備、堤防、火力・水力・**原子力発電所**などは**攻撃目標として禁止**されている
  - しかし、このような国際ルールを平然と踏みにじる国があることも事実・・・

# 9.13 原子力施設側の対策

- 核物質及び原子力施設の防護は事業者には義務付けられている
  - ◇ 核物質や放射性物質が**テロリスト等に渡り悪用**されることを防ぐ
    - 核物質の盗取、不法移転、盗取した核物質を用い核爆発装置を製造
    - 放射性物質の発散、発散装置の製造； **汚い爆弾**
  - ◇ 原子力施設や放射性物質の輸送への**妨害破壊行為**により一般公衆を危険に陥れることを防ぐ → これらの防護体制は国際標準にも合致
- しかし、他国からの軍事力を用いた侵略、巡航ミサイルや砲撃による**武力攻撃**では、いかに堅牢に構築された原子炉建屋と言えども、命中すれば最悪の場合原子力災害に拡大する可能性あり
  - ◇ **国民保護法**、国民の保護に関する基本指針、国民保護業務計画は、かかる場合の**原子炉の運転停止**を定めている
  - ◇ 原子炉の運転停止は、**国の指示、道府県知事の要請、事業者の自主判断**に基づき実施
  - ◇ 但し、発電を停止しても**炉心と使用済燃料プール**には大量の放射能が内蔵
  - ◇ 周辺環境へ放射能を放出する事態に対しては、自然災害等に起因した過酷な事故の影響を抑えるサイト内での**重大事故対策**、サイト外での**原子力防災活動**（周辺住民の避難など）と同じ対策をとる

# 9.14 皆さんはどう考えるか

- 地球温暖化は真実か（気温実測値は右肩上がりに修正されている）
- 温暖化が事実としても、原因が人為起源CO<sub>2</sub>排出と断定できるか
- 原因が人為起源CO<sub>2</sub>排出にあることが正しいとしても；
  - ◇ **発電以外の分野**で顕著なCO<sub>2</sub>排出抑制が実現できるか
  - ◇ **CCUS**（CO<sub>2</sub>を大規模かつ長期に回収・利用・隔離貯蔵）は実現できるか
  - ◇ お天気任せの**変動再エネ**（太陽光、風力）が本当に主力電源化できるか
  - ◇ EV社会が、太陽光・風力の**変動補償**と協調できるか
  - ◇ 世界は、2030年までにCO<sub>2</sub>排出量の2010年比45%減を実現できるか
  - ◇ 世界は2050年までに**カーボンニュートラルを実現**できるか
  - ◇ 脱炭素の為にはエネルギー価格が幾ら上がっても良いか
- 原子力の扱いをどうすべきか
  - ◇ **欧米**は原子力に回帰し、**新興国**は経済発展のため原子力導入を目指す
  - ◇ 日本も原子力発電と核燃料サイクルを積極的に活用して行くべきか
  - ◇ 原子力を持続的に使って行くには**国民の理解**が必要で、それには福島事故の教訓を反映して**安全性**が圧倒的に向上したことを知らねばならない
- 日本を取り巻く地政学的リスクが実際に発生したらどうするか

# (余談) 有事への備え

- **近隣の地政学的リスク**から、日本が紛争に巻き込まれない保証は無く、そのような場合に如何に対処するか事前の検討が必要

- ◇ 中国の台湾進攻； 米国から支援を求められる
- ◇ 北朝鮮の南進； 米軍は日本から出撃する
- ◇ 尖閣諸島の争奪； 中国との直接対決となる
- ◇ 北方領土での紛争； ロシアとの直接対決となる
- ◇ 中東における紛争； 日本の輸送船団を守る必要

- **最も重要な対策は平時からの国の政策**

- ◇ 攻撃の抑止力となる**圧倒的に優位な通常戦力**の保有
- ◇ 友好国との**集団的安全保障体制**の確保
- ◇ **平和外交**の徹底(紛争の解決手段としての戦争の放棄)
- ◇ **エネルギー自給率**の向上(エネルギー安全保障)
- ◇ **食料自給率**の向上
- ◇ **原子力の平和利用**の堅持(核武装は経済制裁を招く)



---

**本日の講義はここまで**