

高温ガス炉プラント研究会（RAHP）第16回定期講演会  
「脱炭素社会に向けて～高温ガス炉の開発動向～」  
2022.1.17 東京

# カーボンニュートラルに向けての 高温ガス炉の貢献

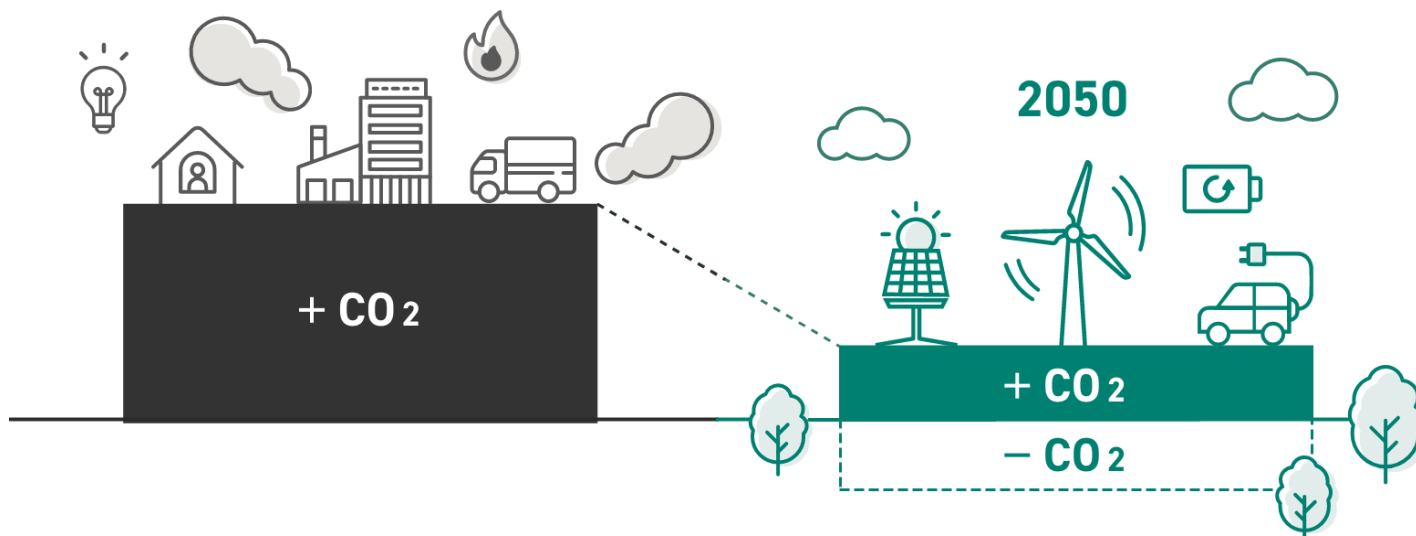
キヤノングローバル戦略研究所  
段 烽軍



キヤノングローバル戦略研究所  
The Canon Institute for Global Studies

# カーボンニュートラル

- COP21で合意された「パリ協定」(2015)で提出されたコンセプト「2℃目標を目指して、今世紀後半に人為的排出と除去の均衡」
- 欧州のプッシュとIPCC SR1.5の公表(2018)により、早期実現を目指す動きが広がる
- IPCC WGI AR6の公表(2021)により、1.5℃目標を目指して、2050年に実現することは主流になりつつある



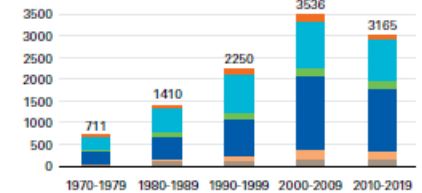
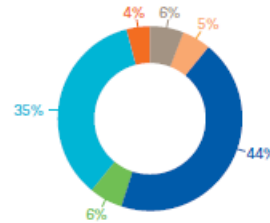
(Source: 環境省・脱炭素ポータル)

# カーボンニュートラル(サイエンス)

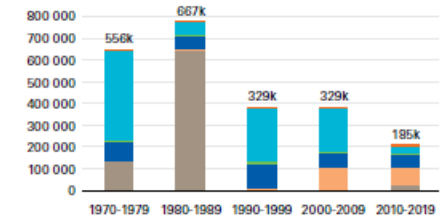
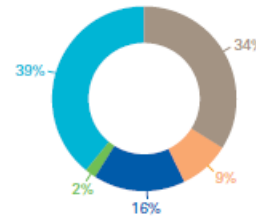
## WMO ATLAS OF MORTALITY AND ECONOMIC LOSSES FROM WEATHER, CLIMATE AND WATER EXTREMES (1970-2019)



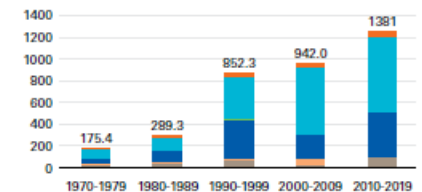
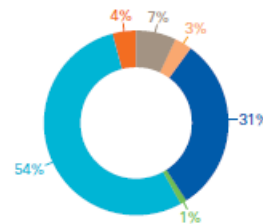
(a) Number of reported disasters  
Total = 11 072 disasters



(b) Number of reported deaths  
Total = 2 064 929 deaths



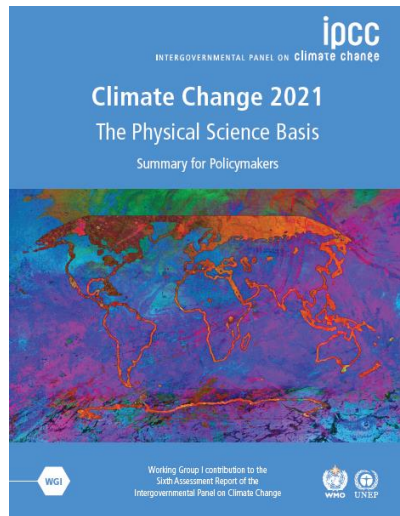
(c) Reported economic losses in US\$ billion  
Total = US\$ 3.6 trillion



■ Drought ■ Extreme temperature ■ Flood ■ Landslide ■ Storm ■ Wildfire

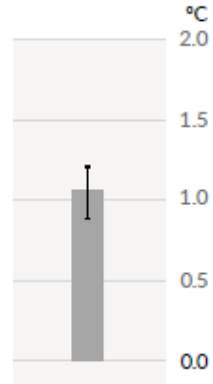
(Source: WMO)

# カーボンニュートラル(サイエンス)



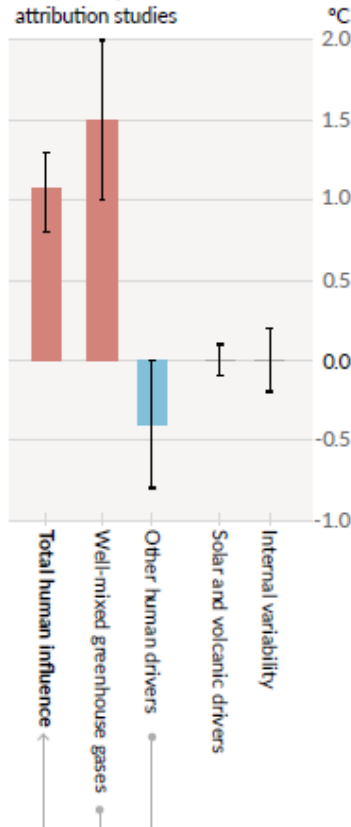
## Observed warming

a) Observed warming 2010-2019 relative to 1850-1900

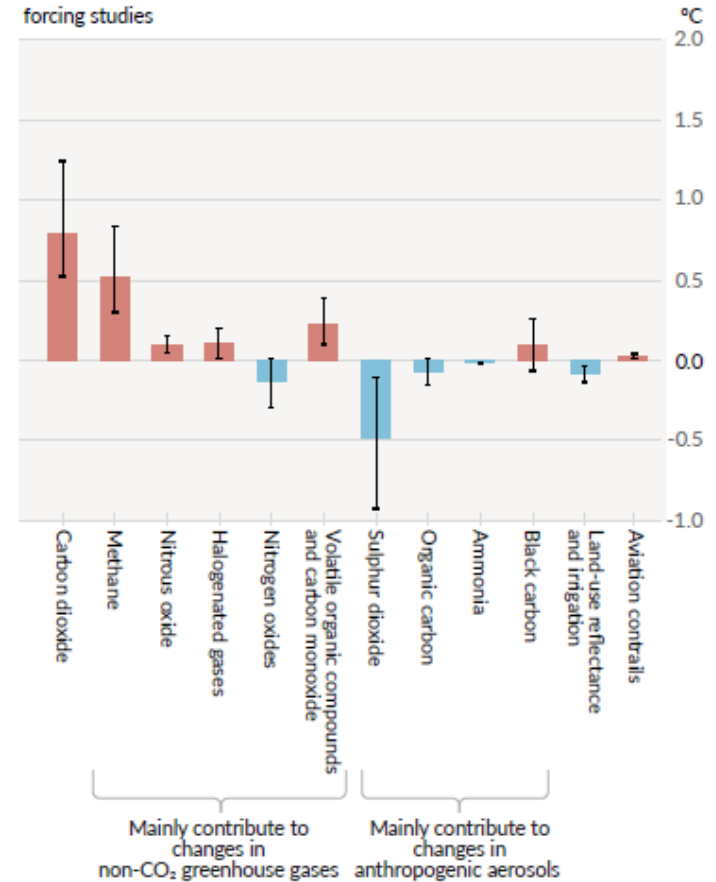


## Contributions to warming based on two complementary approaches

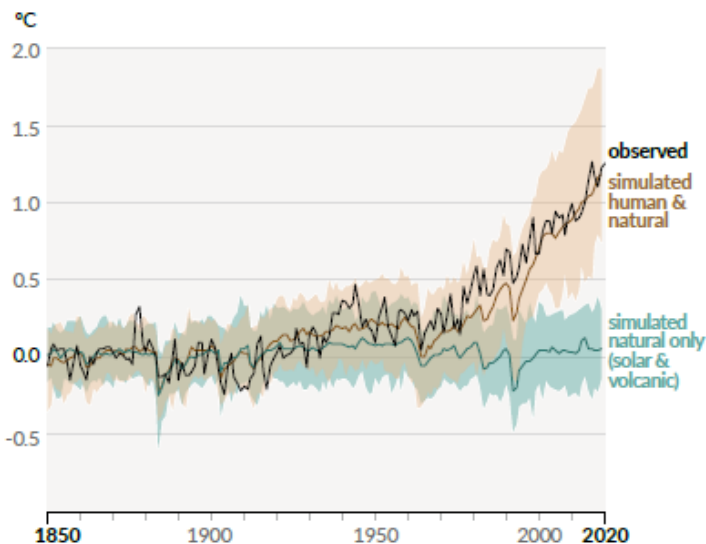
b) Aggregated contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from attribution studies



c) Contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from radiative forcing studies



b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)



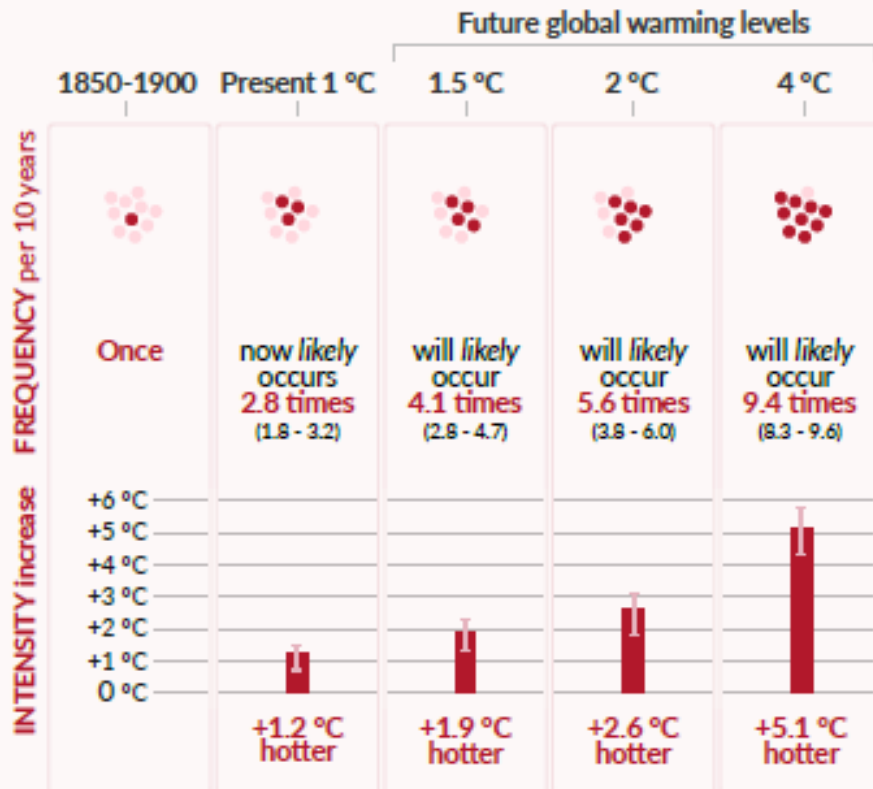
(Source: IPCC WGI AR6)

# カーボンニュートラル(サイエンス)

## Hot temperature extremes over land

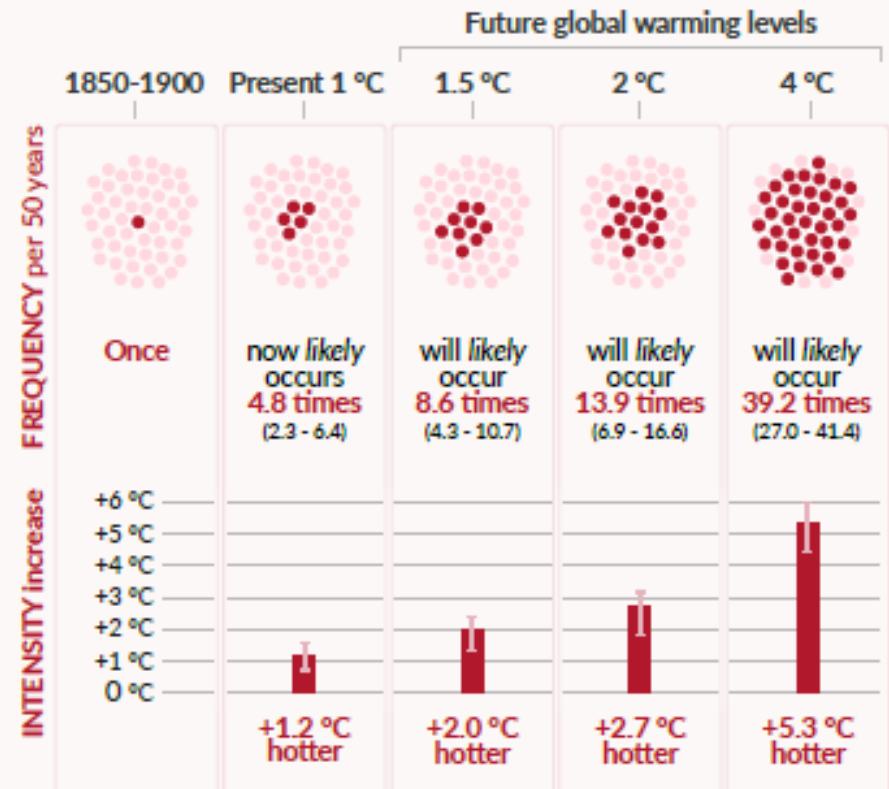
### 10-year event

Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred once in 10 years on average in a climate without human influence



### 50-year event

Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred once in 50 years on average in a climate without human influence



(Source: IPCC WGI AR6)

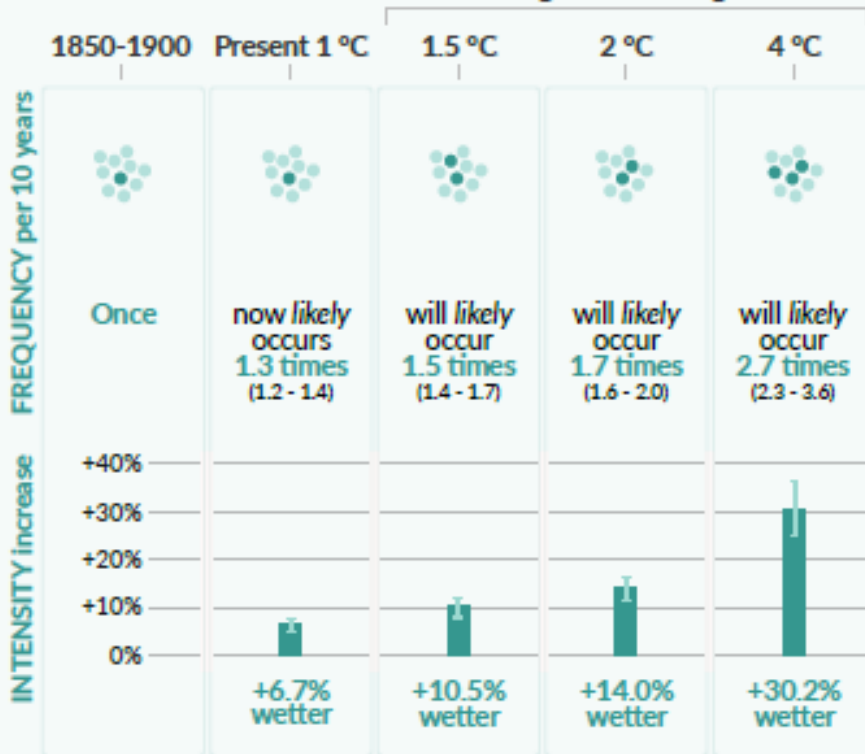
# カーボンニュートラル(サイエンス)

## Heavy precipitation over land

### 10-year event

Frequency and increase in intensity of heavy 1-day precipitation event that occurred once in 10 years on average in a climate without human influence

Future global warming levels

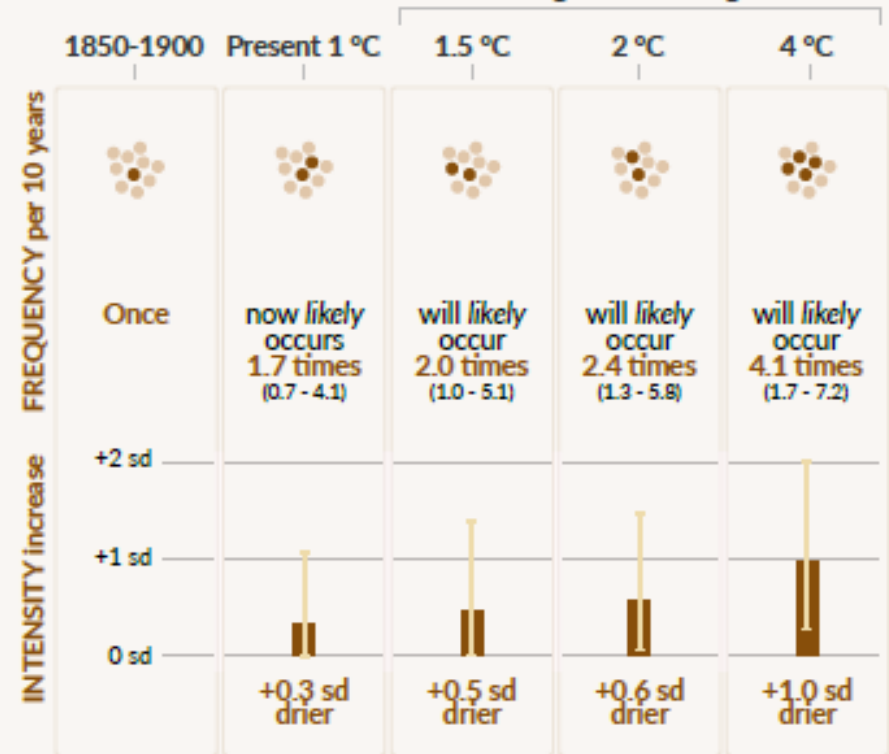


## Agricultural & ecological droughts in drying regions

### 10-year event

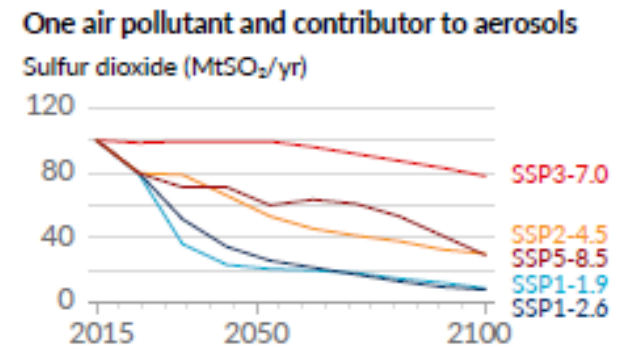
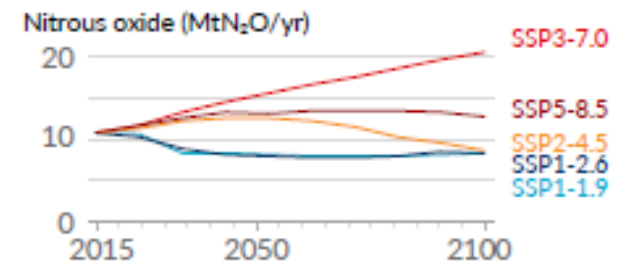
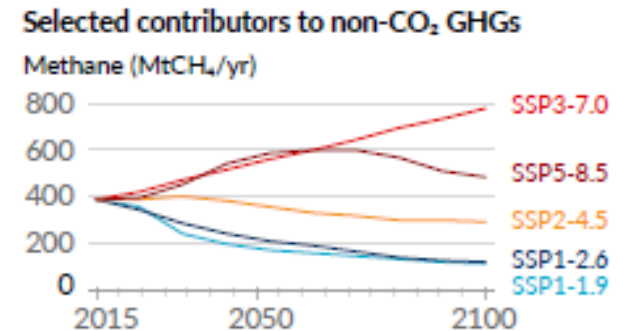
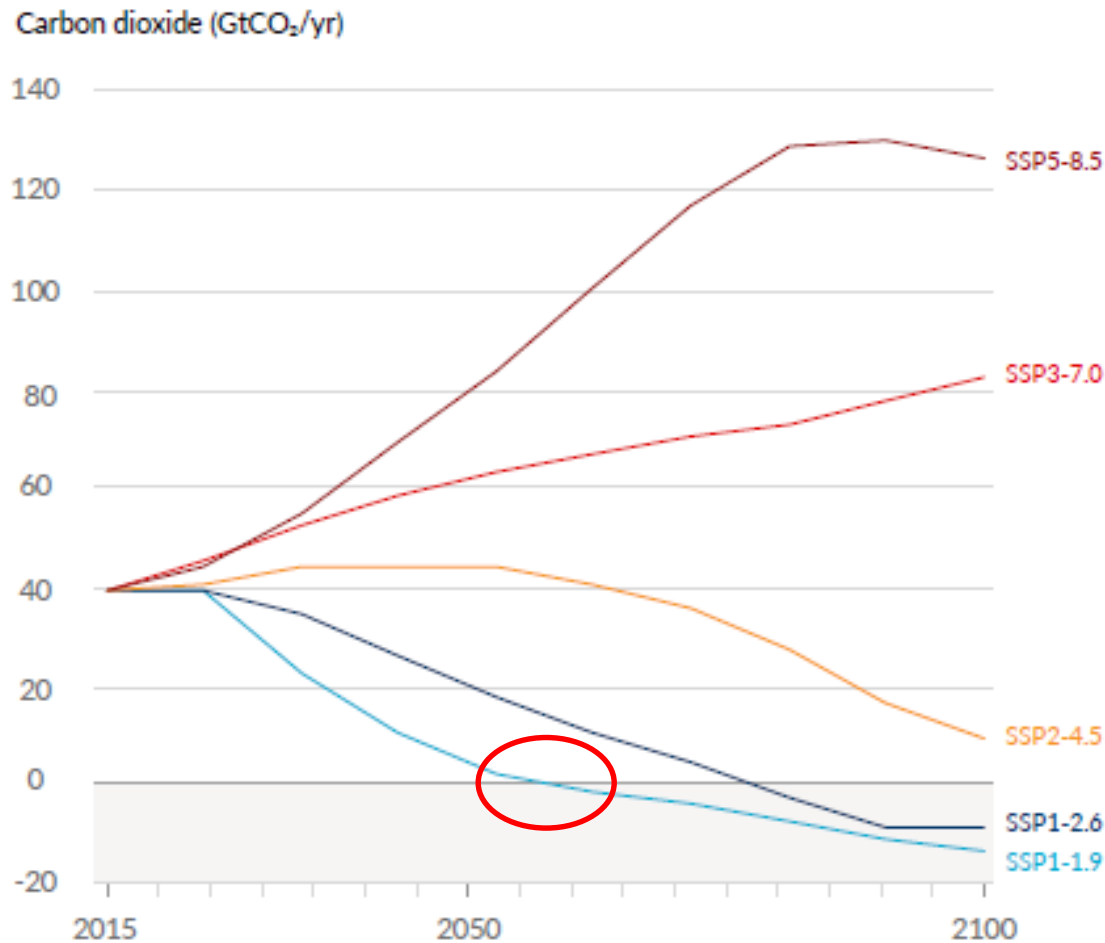
Frequency and increase in intensity of an agricultural and ecological drought event that occurred once in 10 years on average across drying regions in a climate without human influence

Future global warming levels



(Source: IPCC WGI AR6)

# カーボンニュートラル(サイエンス)



(Source: IPCC WGI AR6)

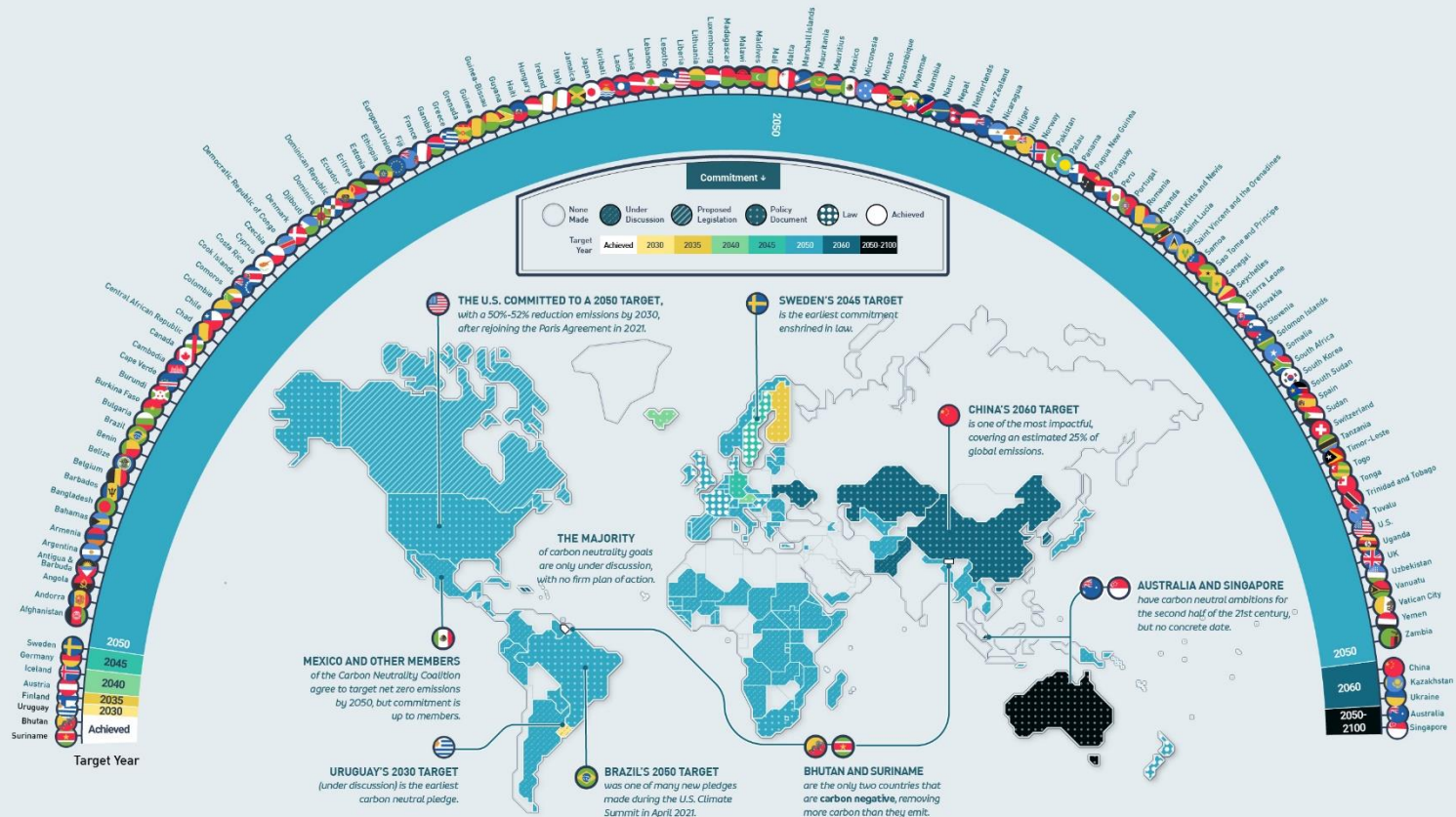


# カーボンニュートラル(政治)



## RACE TO NET ZERO CARBON NEUTRAL GOALS BY COUNTRY

Which countries have made a carbon neutral pledge?  
This map breaks down pledges by target year and level of commitment.



Presented by

**motivepower**  
Ideas, implemented



**VISUAL  
CAPITALIST**

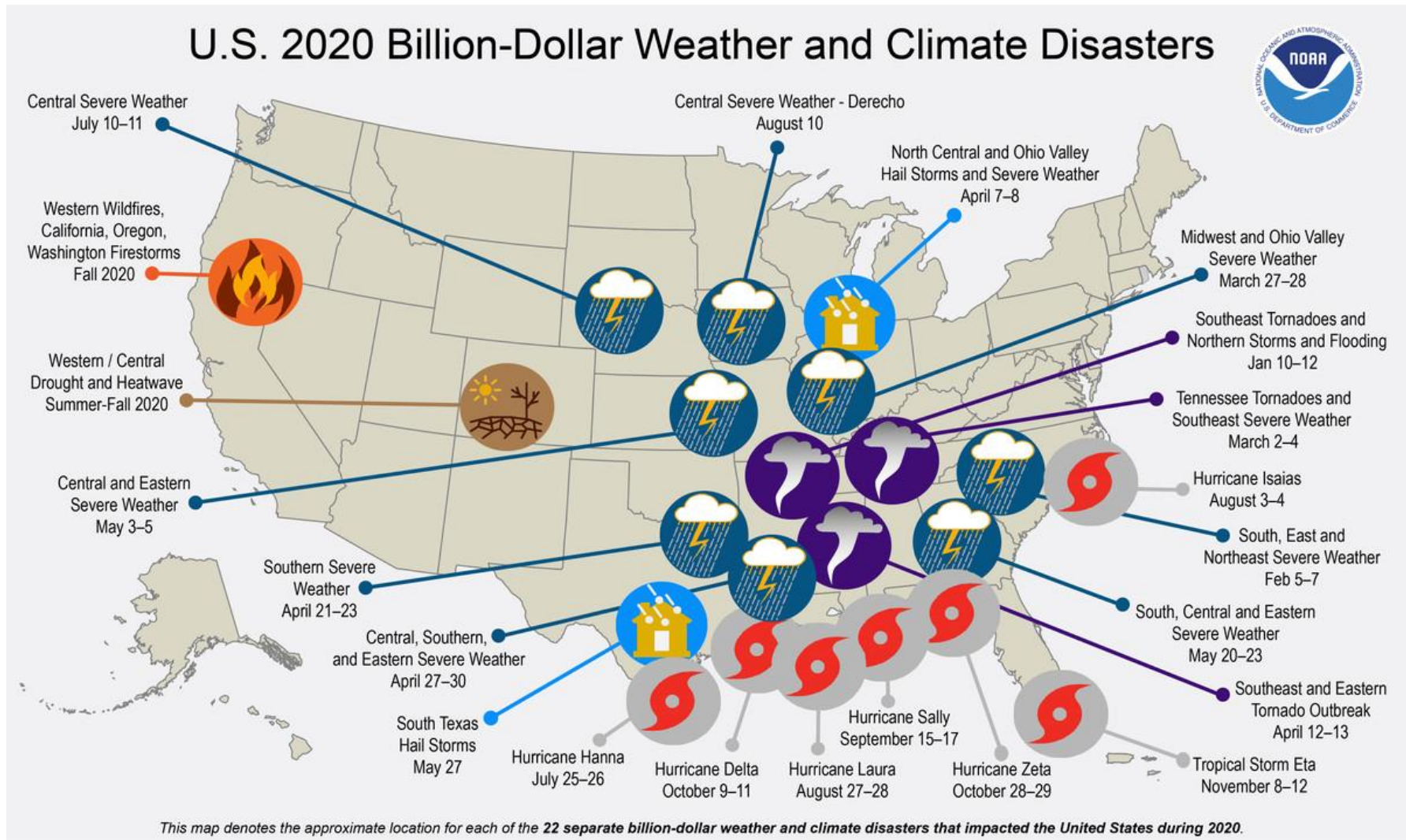
f @visualcapitalist @visualcap visualcapitalist.com

SOURCES: Energy and Climate Intelligence Unit, Carbon Neutrality Coalition, Climate Action Tracker

(Source: Visual Capitalist)



# カーボンニュートラル(政治)



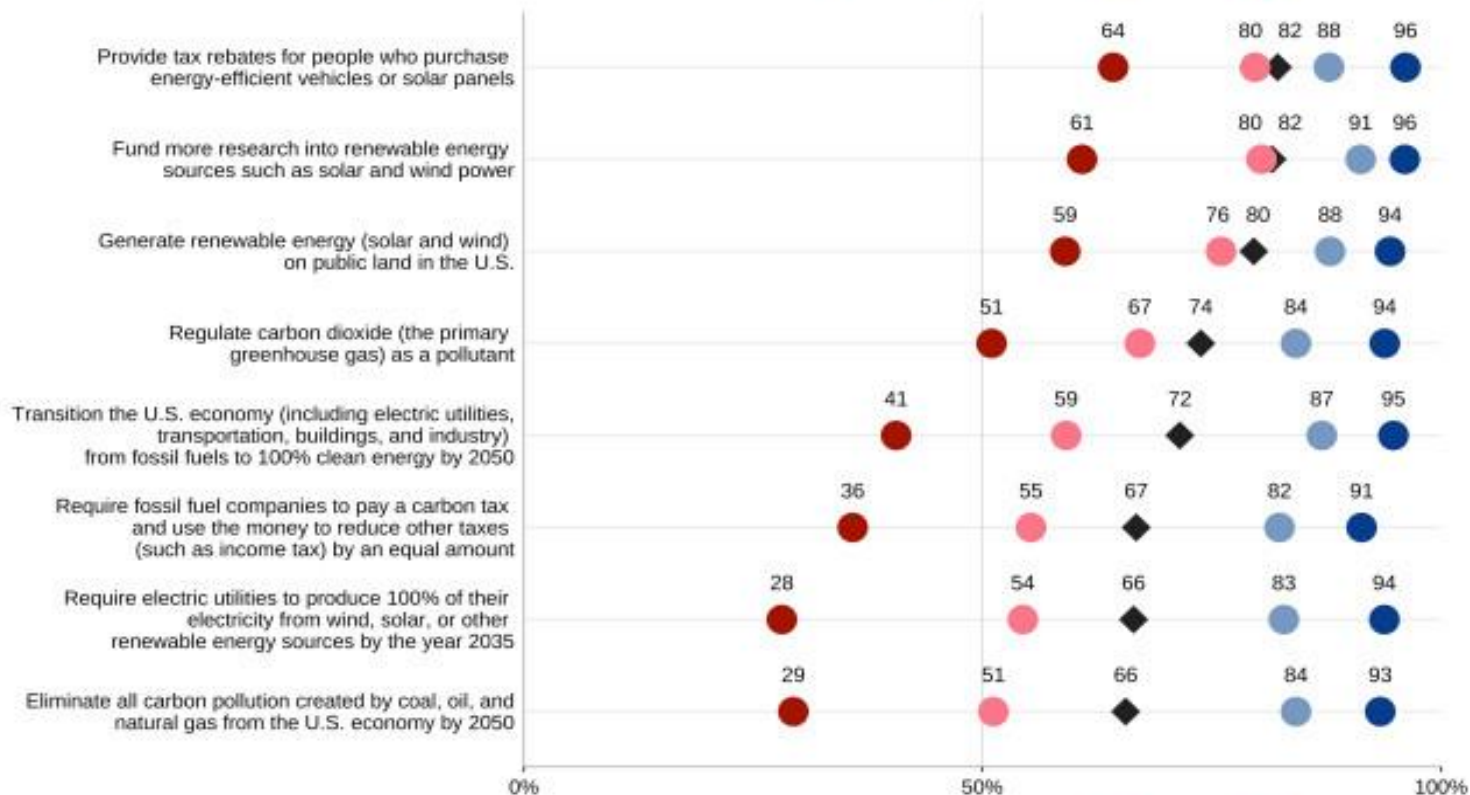
(Source: NOAA)

# カーボンニュートラル(政治)

## Most registered voters, including Republicans, support climate-friendly energy policies

- % "strongly" or "somewhat" support -

◆ All Reg Voters ● Lib D ● Mod/Con D ● Lib/Mod R ● Con R



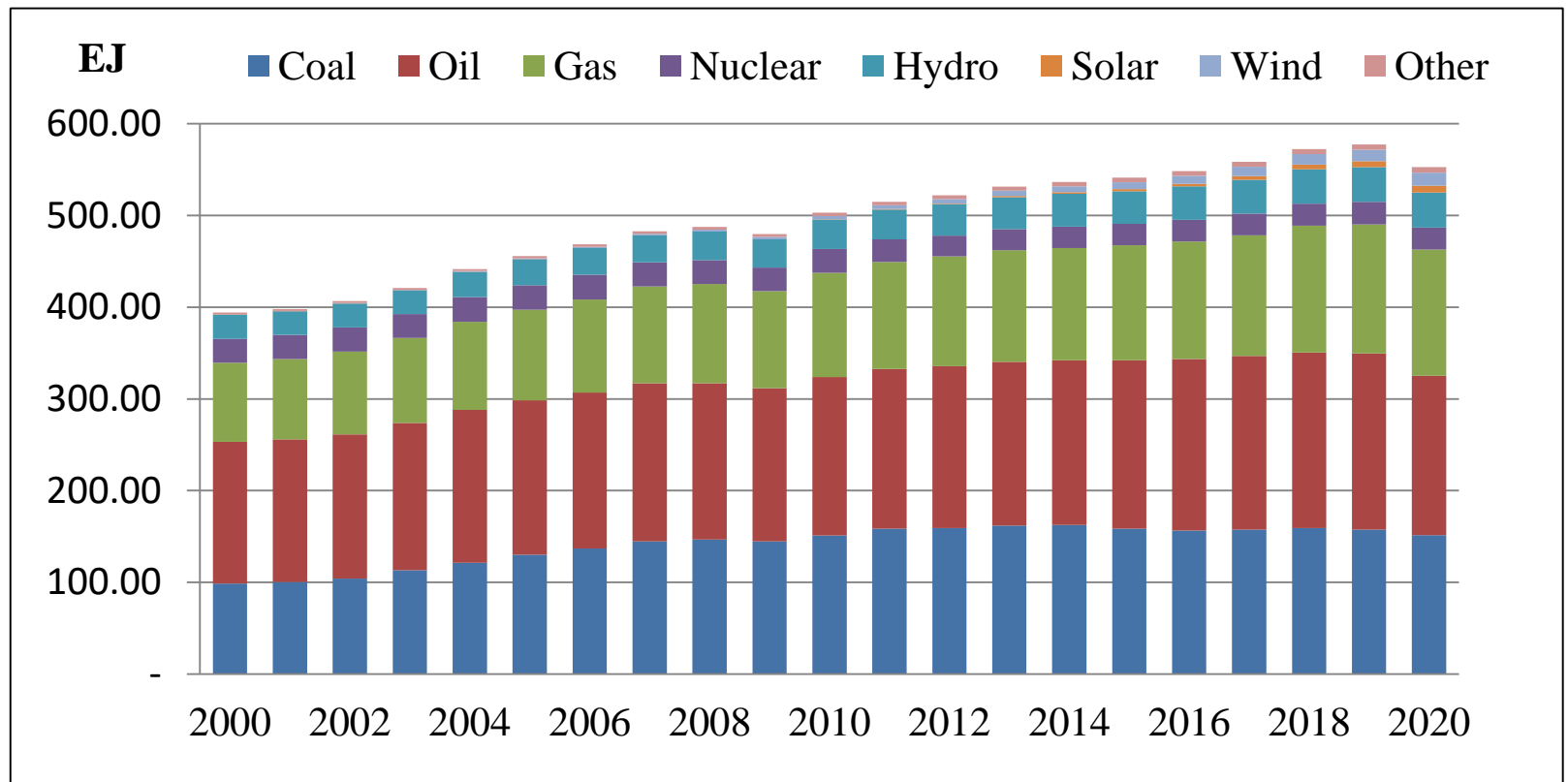
How much do you support or oppose the following policies?  
December 2020.



(Source: Politics and Global Warming)

# カーボンニュートラル(現実)

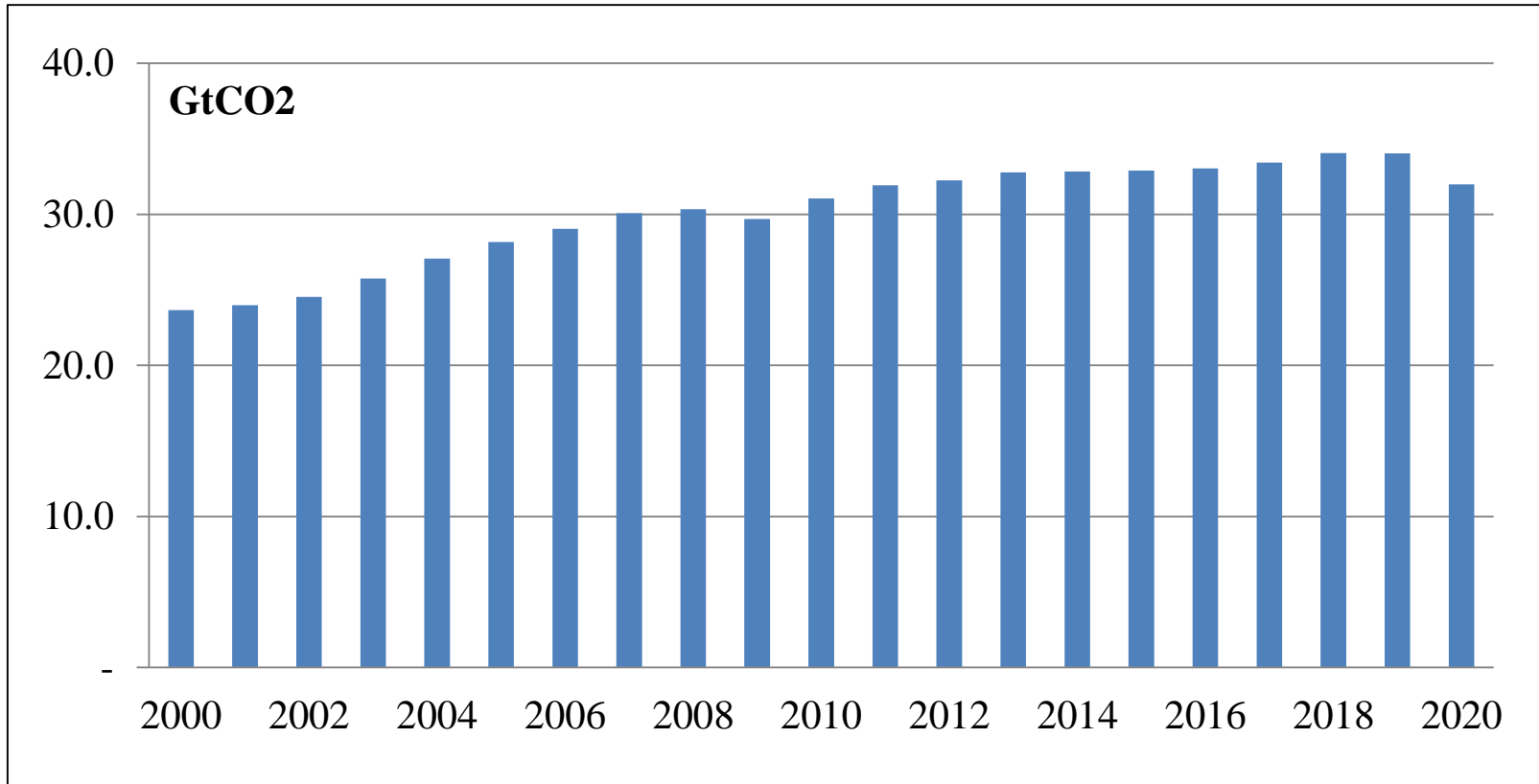
- 経済成長に伴い、世界のエネルギー消費が増加し、将来も増加していくと予測



Global Primary Energy Consumption (Based on BP data)

# カーボンニュートラル(現実)

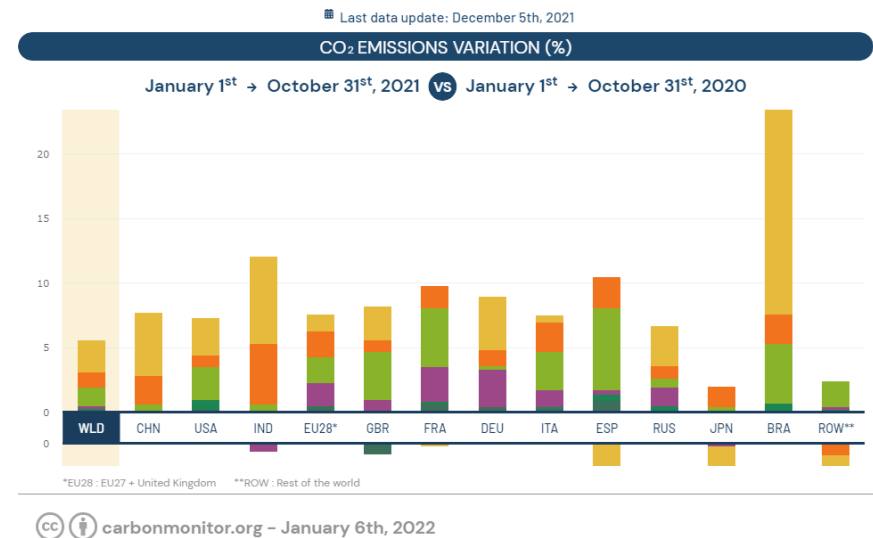
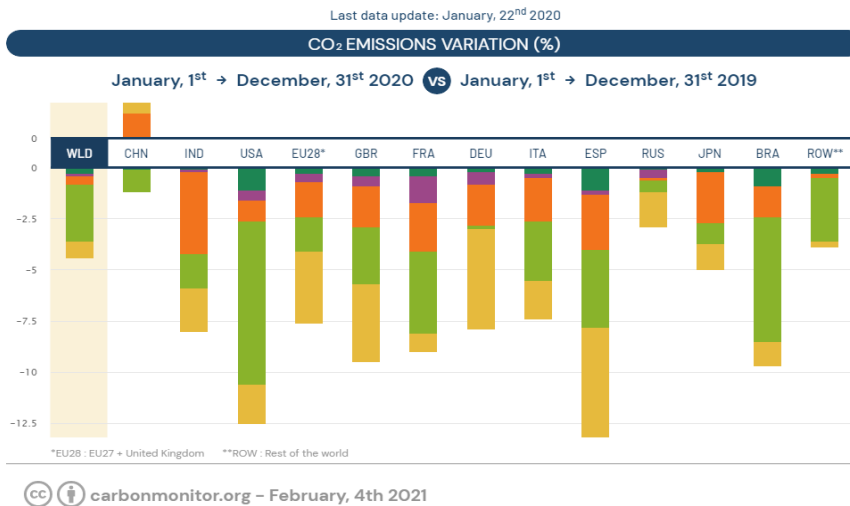
- エネルギー消費の増加に従い、CO<sub>2</sub>排出量も増加している



Global Energy Related CO<sub>2</sub> Emissions (Based on BP data)

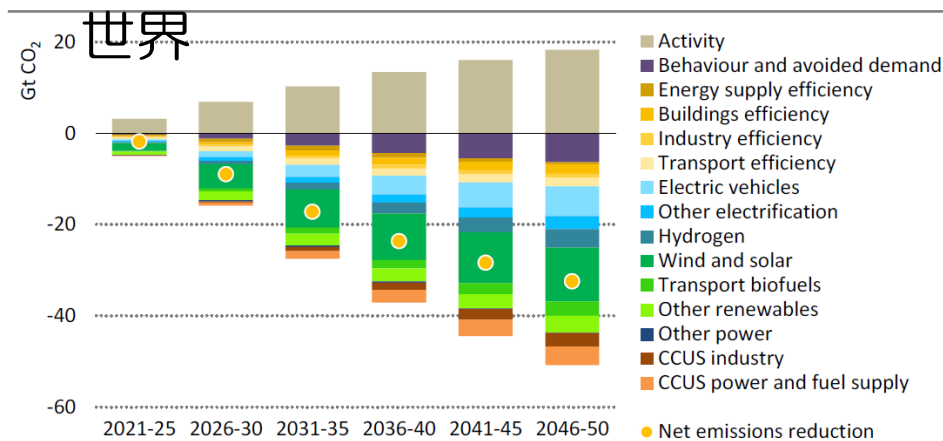
# カーボンニュートラル(現実)

- 新型コロナの影響で2020年のCO2排出は減少したが、経済活動再開により2021年にまた増えている。

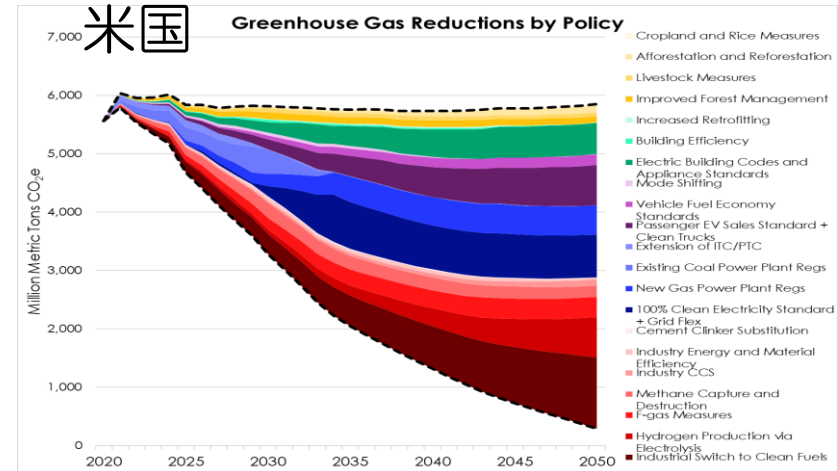


(Source: Carbon Monitor)

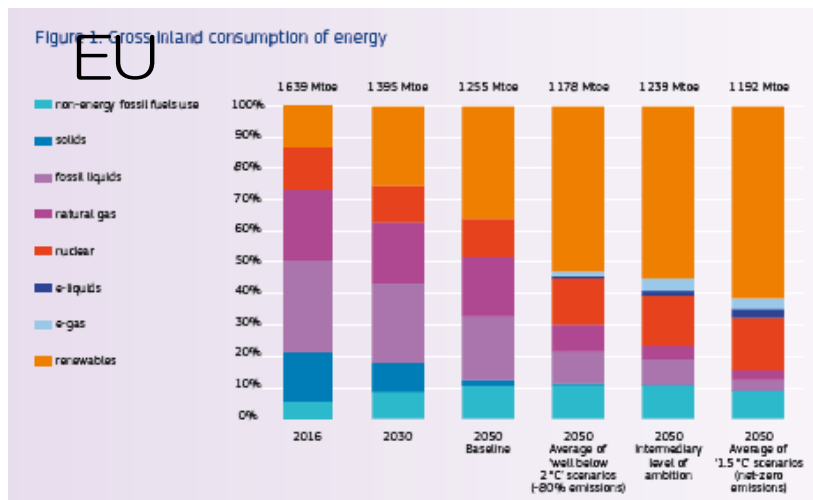
# カーボンニュートラル(理想像)



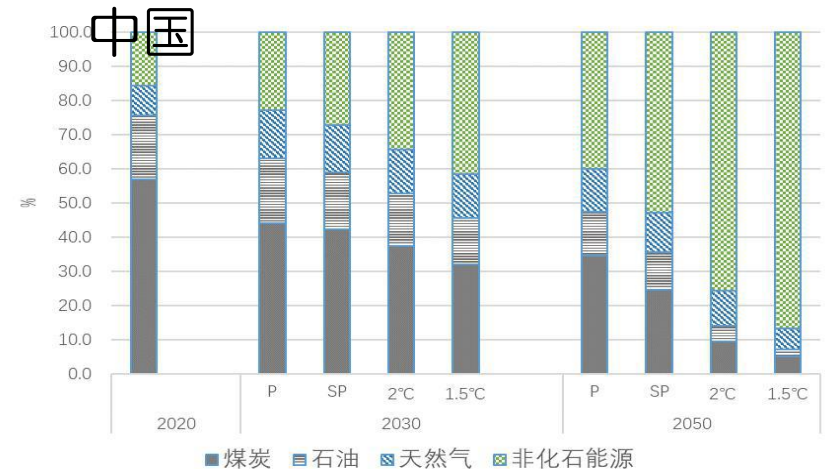
(Source: IEA "A Global Pathway to Net-Zero CO<sub>2</sub> Emissions in 2050")



(Source: Energy Innovation "A 1.5°C NDC for Climate Leadership by the United States")



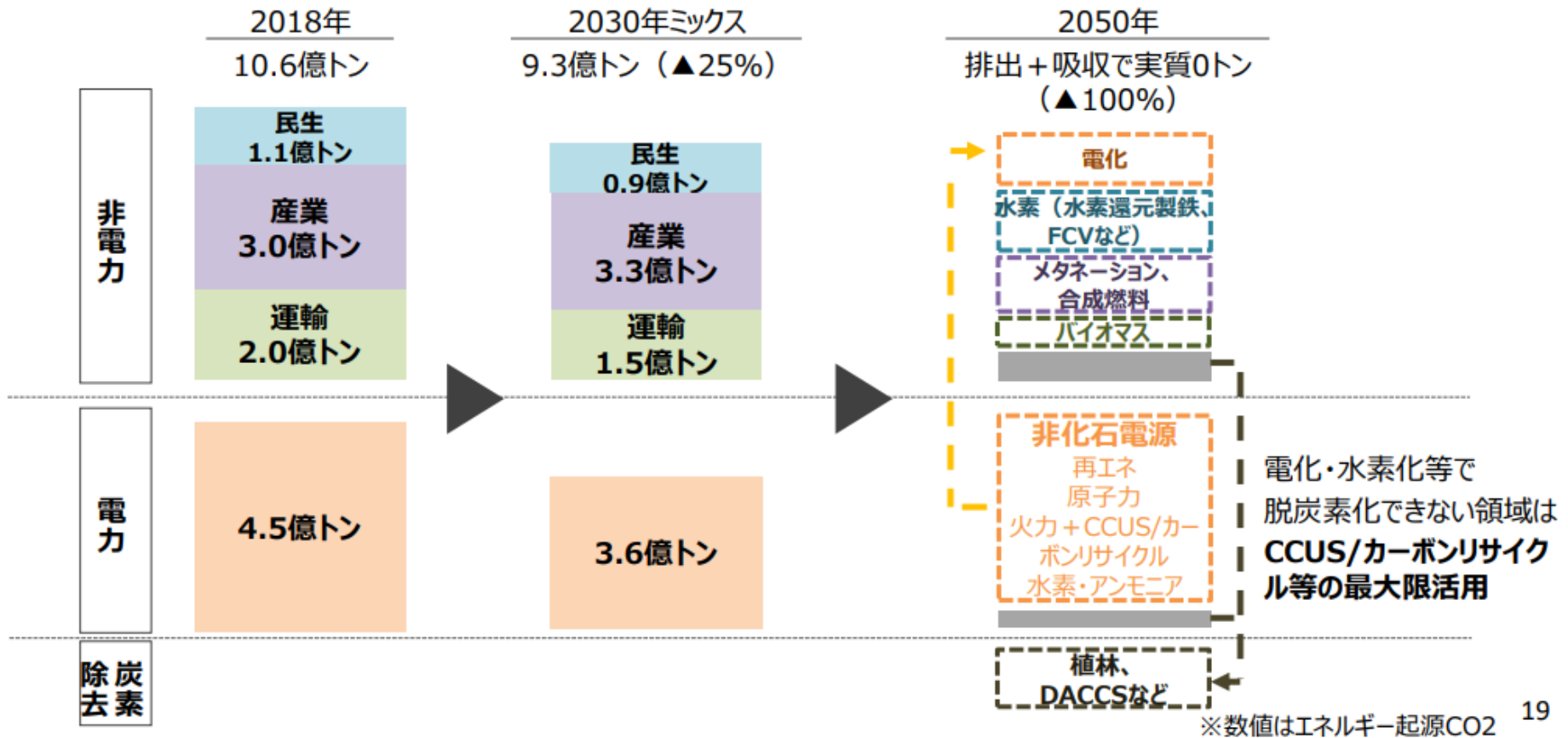
(Source: IEA "Going to Climate-Neutral by 2050")



(Source: Jiankun He "A Study on China's Low Carbon Development Strategy and Transformation Pathway")



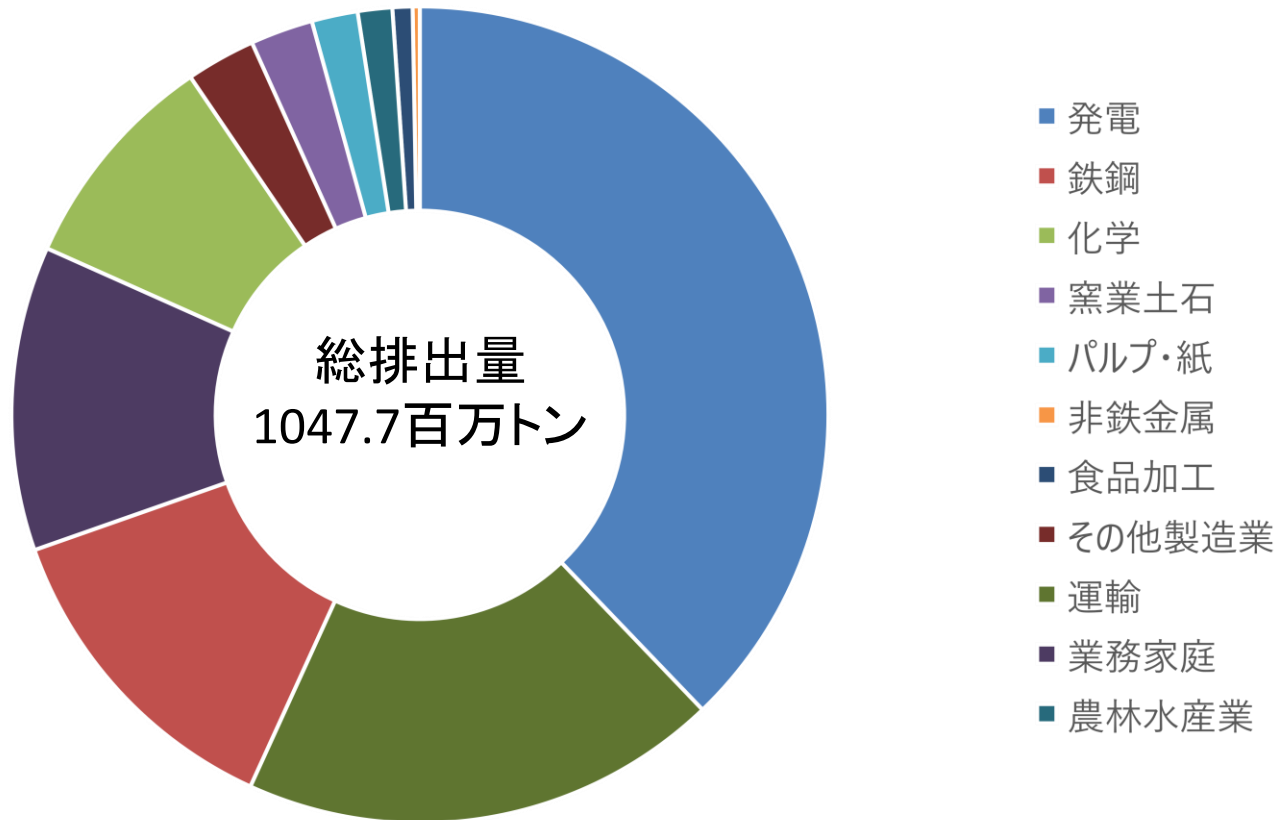
# カーボンニュートラル(理想像)



(Source: 総合資源調査会基本政策分科会資料)

# カーボンニュートラルに向けて

## 日本の2019年燃料燃焼CO2排出量



(Source: 環境省「日本国温室効果ガスインベントリ報告書2021」)

# カーボンニュートラルに向けて

- 電力（燃料燃焼CO<sub>2</sub>の37.8%）  
再生可能エネルギーの最大限導入  
原子力の活用  
化石燃料火力のCCS化  
火力の燃料転換（水素・アンモニア）
- 非電力（燃料燃焼CO<sub>2</sub>の62.2%）  
最大限電化  
燃料転換（水素・アンモニア）  
原子力の活用

これらを30年弱の間に実現するには、ラージカルイノベーションが重要だが、ブルーブンテクノロジーと既存産業基盤の利活用も大切

# 問われる原子力

## Key Findings: Flexible Nuclear Energy for Clean Energy Systems



- Flexibility: *“The ability of nuclear energy generation to economically provide energy services at the time and location they are needed by end-users. These energy services can include both electric and non-electric applications utilizing both traditional and advanced nuclear power plants and integrated systems.”*
- **Operational flexibility:** There is an established body of knowledge surrounding current sources of flexible nuclear energy and its constraints.
- **Product flexibility:** Innovation can increase the flexibility of existing nuclear reactors to produce both clean electricity and beneficial non-electric products.
- **Deployment flexibility:** Advanced reactors will present even more opportunities for flexibility in nuclear systems at various scales.

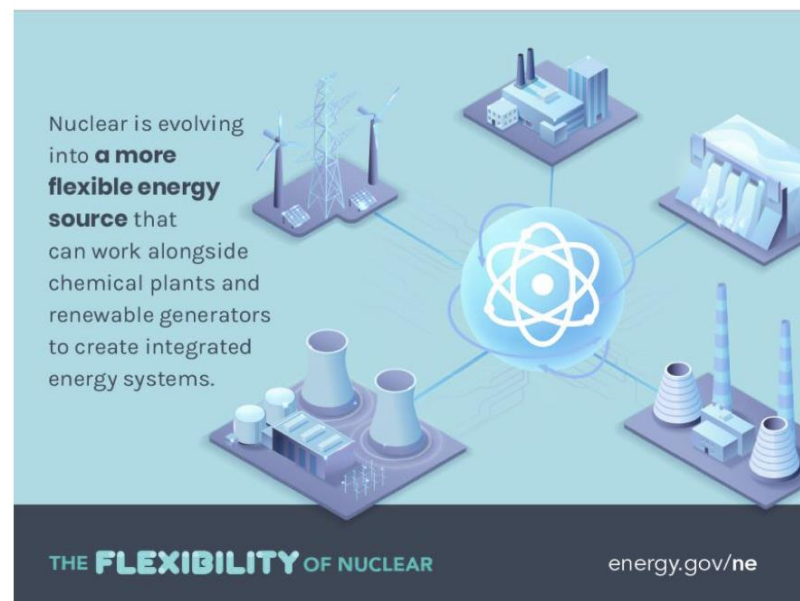
**Nuclear flexibility can enable other clean energy generators.**

<https://www.nice-future.org/flexible-nuclear-energy-clean-energy-systems>



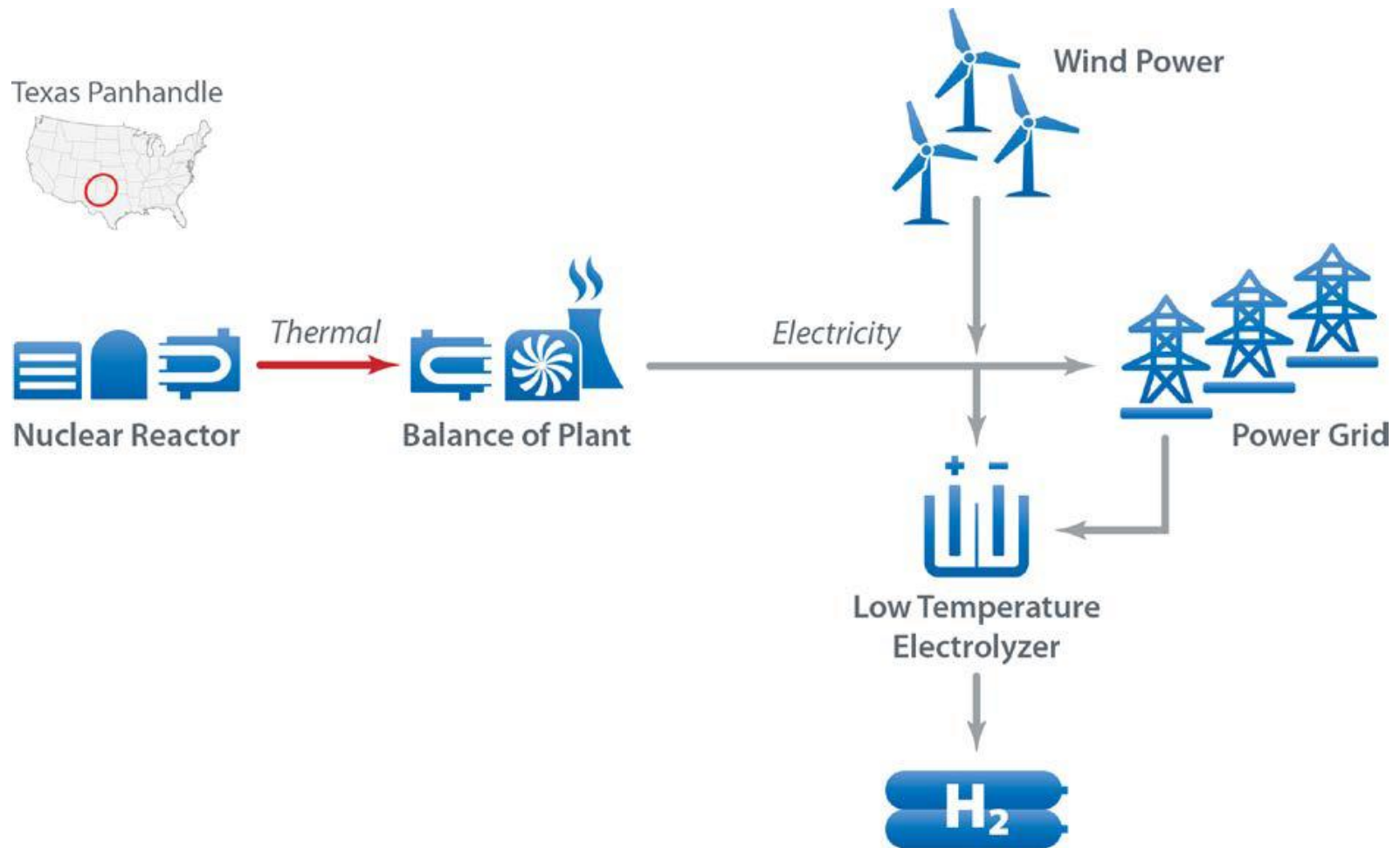
**FLEXIBLE NUCLEAR CAMPAIGN**  
FOR NUCLEAR-RENEWABLES INTEGRATION

A CAMPAIGN OF THE CLEAN ENERGY MINISTERIAL



(Source: Nice Future)

# 問われる原子力



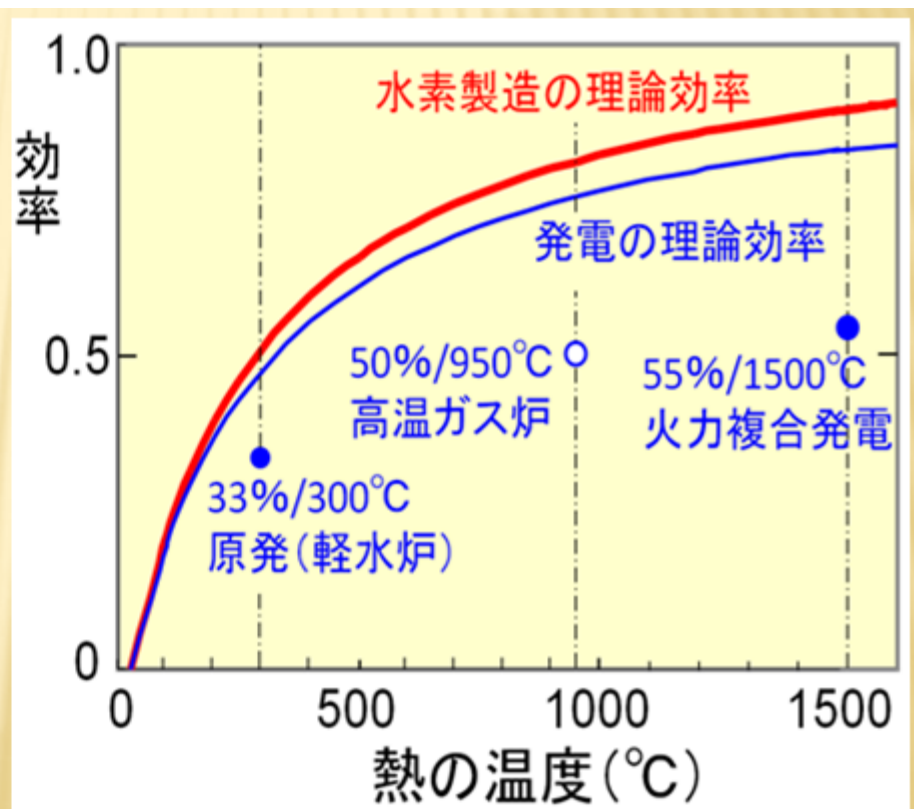
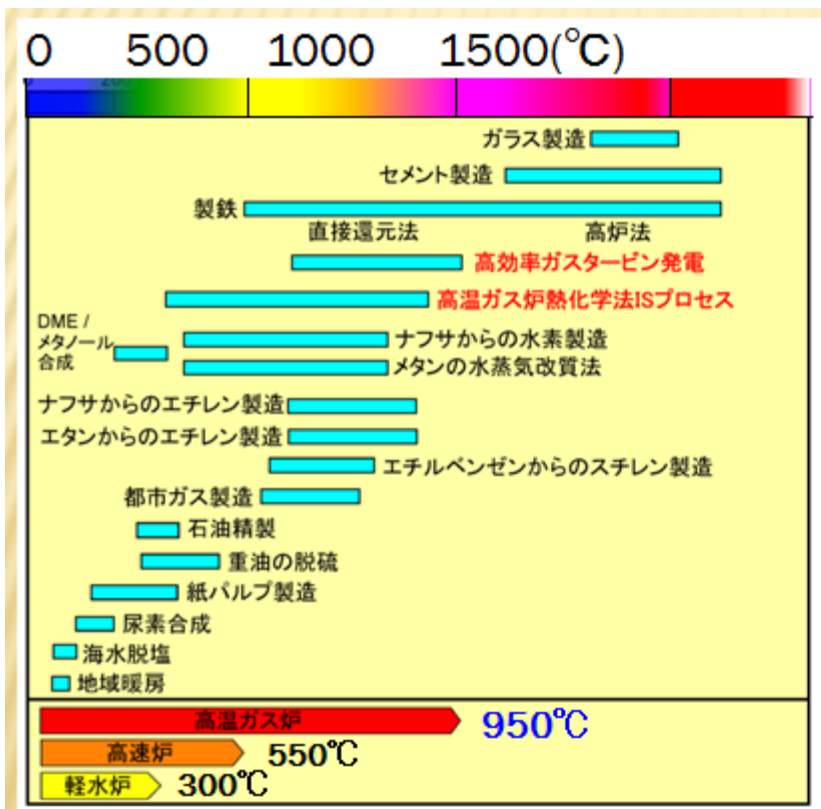
(Source: M. Ruth et. Al. “The Economic Potential of Nuclear-Renewable Hybrid Energy Systems Producing Hydrogen”)

# 高温ガス炉の可能性(伝統的)

Operational Flexibility	炉心にある黒鉛の大熱容量とアウトレットバイパスによる出力調整	○
Product Flexibility	高効率発電、産業プロセスヒート(蒸気)、高効率水素製造	○
Deployment Flexibility	固有安全性により適地広い、モジュール型でニーズに応じてスケール調整	○



# 高温ガス炉の可能性(伝統的)



(Source: 小川益郎、CIGSエネルギー2050研究会シンポジウム2014)

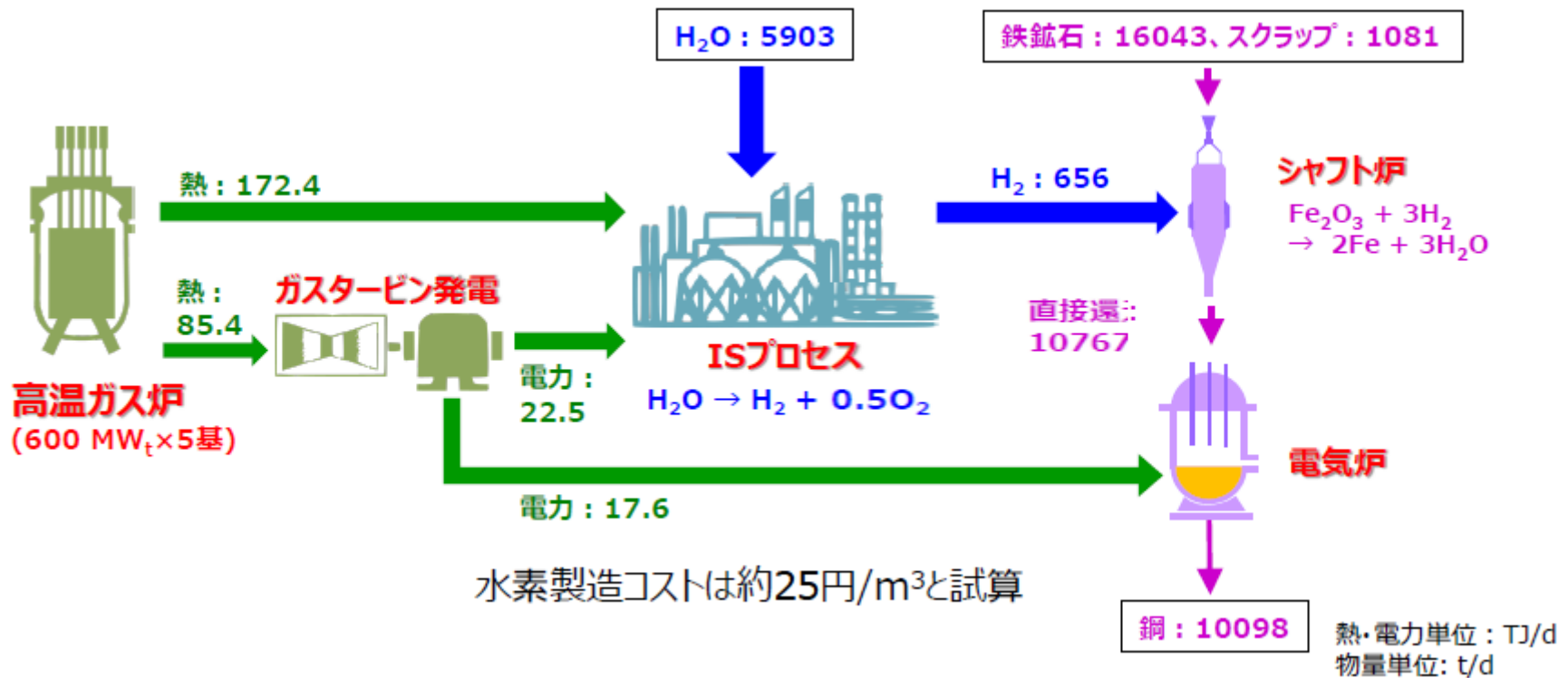
# 高温ガス炉の可能性(伝統的)

1トン当たり水素製造のエネルギー需要  
(発電効率40%で計算)

	低温電解	高温電解	IS法
電力需要	50-55MWh	35MWh	10MWh
熱需要	-	11MWh	61MWh
合計(熱)	125-137.5MWh	98.5MWh	86MWh

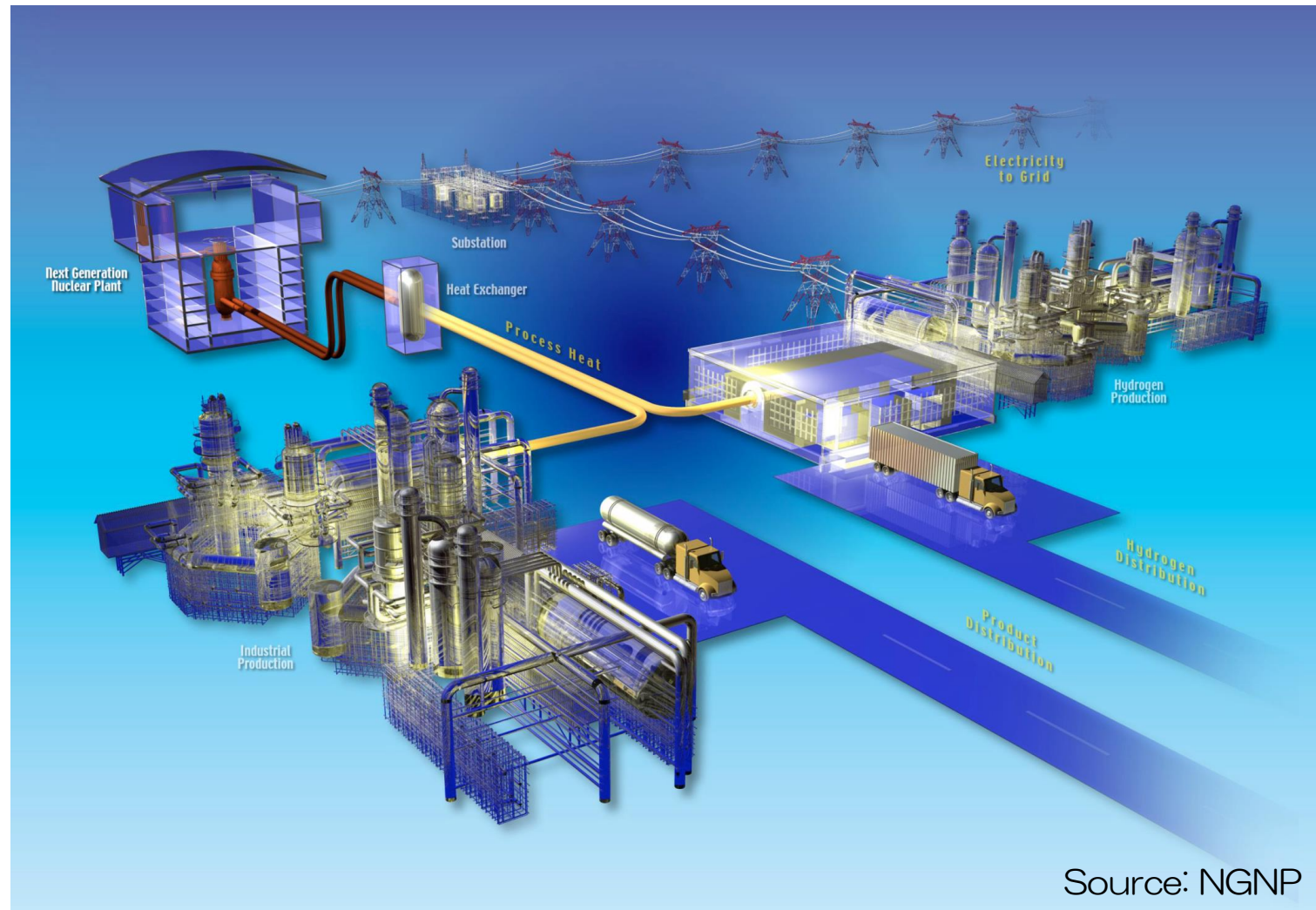
(Source: JISEA, JAEA)

# 高温ガス炉の可能性(伝統的)



(Source: JAEA)

# 高温ガス炉の可能性(伝統的)



# 高温ガス炉の可能性(オンデマンド?)

- 既存産業基盤の活用例:

石炭火力発電の代替: アウトレット蒸気のスペックは既存亜臨界石炭火力と同等

既存高炉製鉄の脱炭素: 炭素循環製鉄

既存化学産業への熱と原材料供給: ハーバー・ボッシュ法アンモニア製造

# 高温ガス炉の可能性(オンデマンド?)

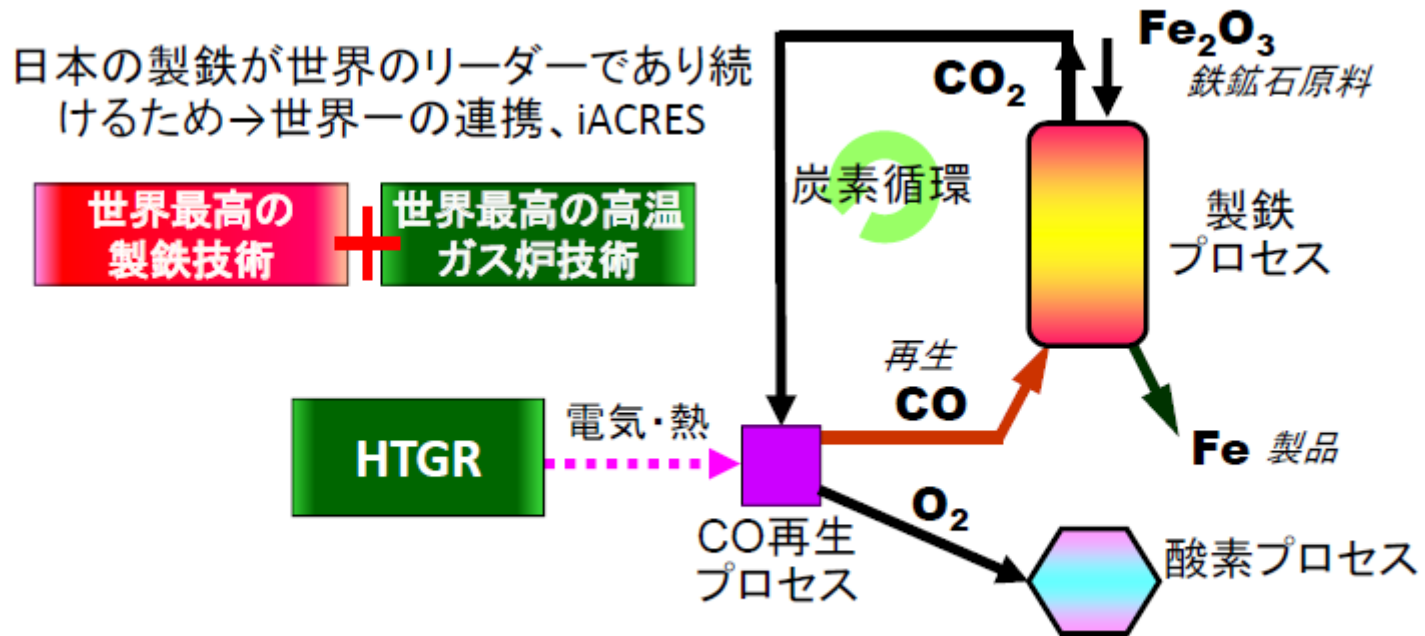
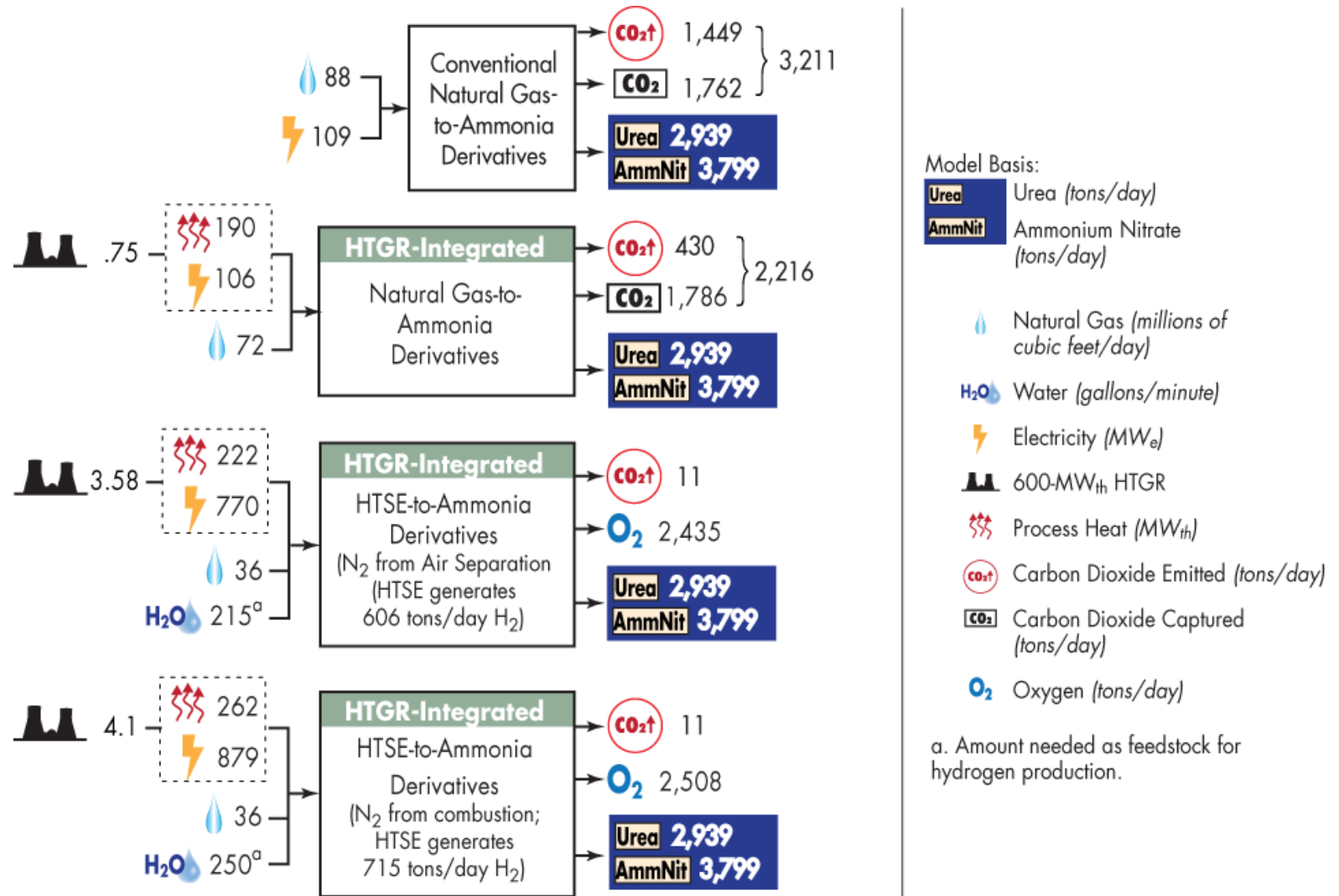


Fig. 炭素循環型スマート製鉄システム,iACRES

(Source: 加藤之貴、CIGSエネルギー2050研究会シンポジウム2014)



# 高温ガス炉の可能性(オンデマンド?)



(Source: M. G. Mckellar "Next Generation Nuclear Plant Industrial Process Heat Applications and Economics")

# 高温ガス炉の貢献ポテンシャル

## 高温ガス炉の生産能力

1基600MWt(90%の稼働率、40%の発電効率)

年間発電量:1892GWh

年間熱供給:0.407MTOE

年間水素製造:5.958億m<sup>3</sup>

	用途	削減効率 (万トン/基)
産業	化石燃料代替のために、熱供給	101
	石炭代替のため、水素製造	84
民生	化石燃料代替のために、熱供給	95
運輸	石油代替のため、水素生産	233
発電	石炭火力発電所代替	157

# 高温ガス炉の貢献ポテンシャル

## 2050年80%削減シナリオ解析

### 部門別取組と排出量

		総量	電力	産業	民生	運輸	ガス炉基数
INDC延長		6	2.6	2.2	0.6	0.6	
高温ガス炉の利用	運輸部門の水素代替			-0.17		-0.6	33
	産業熱供給			-1.15			114
	製鉄用水素供給			-0.18			22
	民生熱供給				-0.4		42
その他	発電の石炭ガスシフト		-1.1				
結果		2.4	1.5	0.7	0.2	0	

必要な高温ガス炉:211基（100万KW軽水炉51基相当）

(Source: 段烽軍、CIGS地球温暖化シンポジウム2016)

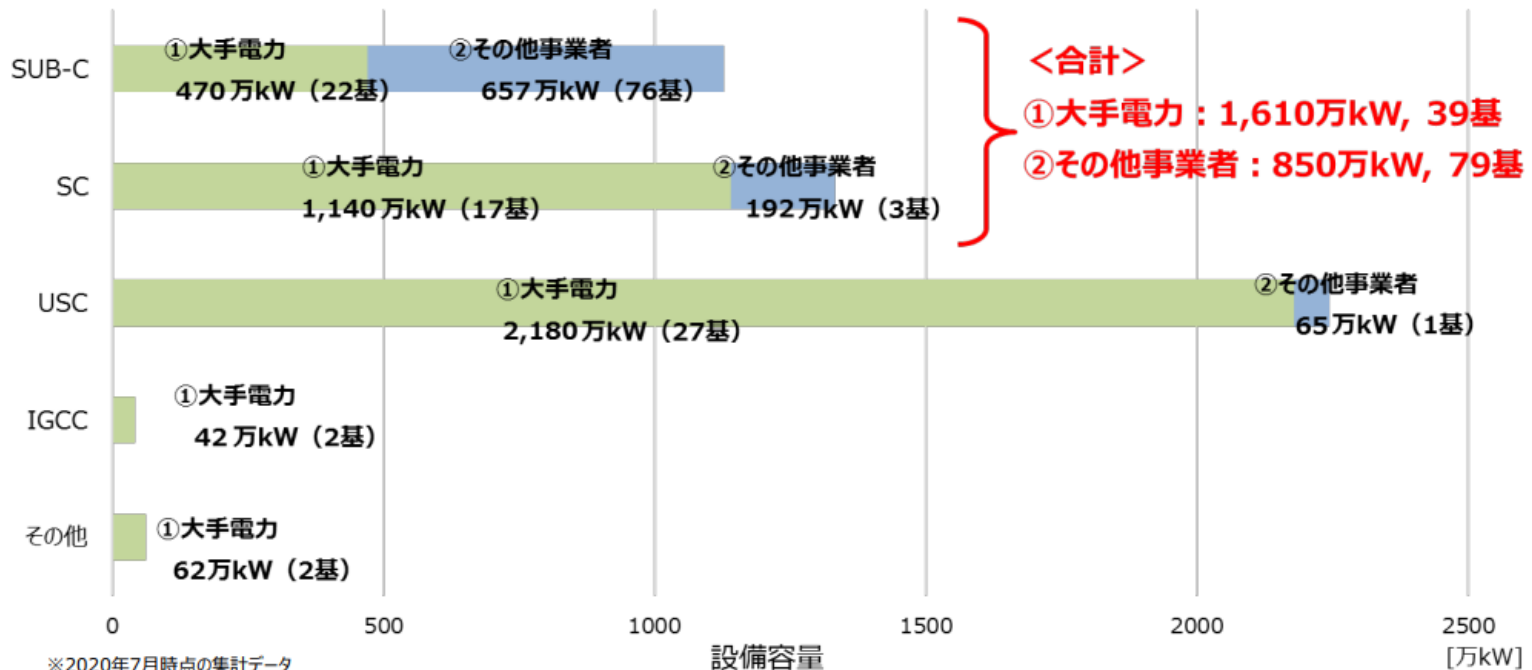
# 高温ガス炉の貢献ポテンシャル

## 石炭火力発電所代替

- 発電事業者が保有する**石炭火力**※<sup>1</sup>は、2020年7月時点で**150基（約4,800万kW）**。  
そのうち、**大手電力**※<sup>2</sup>が保有する石炭火力は**70基（約3,900万kW）**。

※1:電気事業法に規定する発電事業者が保有する特定発電用電気工作物で石炭を主燃料とするもの。

※2:旧一般電気事業者に加え、電源開発、旧一般電気事業者や電源開発が共同出資する共同火力を含む。



※2020年7月時点の集計データ

※①大手電力：旧一般電気事業者、電源開発、旧一般電気事業者や電源開発が共同出資する共同火力

※②その他事業者：売電のみ行う大手電力以外の事業者、自社工場での使用など売電以外を行う大手電力以外の事業者（例：製鉄業（製鉄、化学、製紙、セメント））

※グラフ中の「その他」は、PFBC（加圧流動床複合発電方式）。

# 高温ガス炉の貢献ポテンシャル

## 石炭火力発電所代替

- 直接代替

設備容量の単純計算

4800万kW → 600MWt 200基

- アンモニア混焼→専焼

アンモニア必要量: 約1億トン\*

アンモニア製造能力: 600MWt 3基 → 2500t/day\*\*

必要基数: 単純計算600MWt 約330基

(\*: 燃料アンモニア導入官民協議会中間とりまとめ)

\*\* : INL/EXT-10-19037)

# カーボンニュートラルに貢献するために

- 政策目標との整合性

2050年カーボンニュートラルの実現から逆算して、  
ロードマップの作成

- 官民連携による早期実証

アメリカのARDP

イギリスのAMR RD&D

- メーカーとユーザーの連携



Thank You Very Much  
For Your Attention!

[fengjun.duan@canon-igs.org](mailto:fengjun.duan@canon-igs.org)