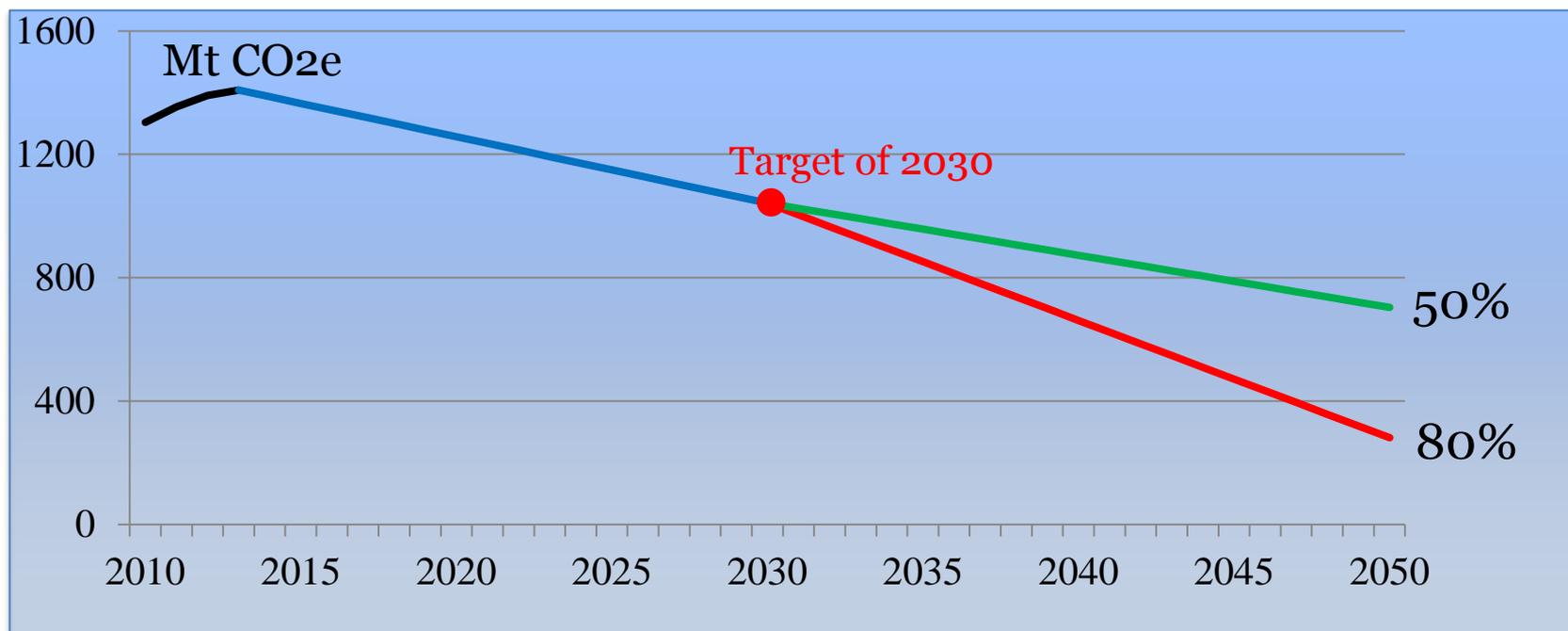


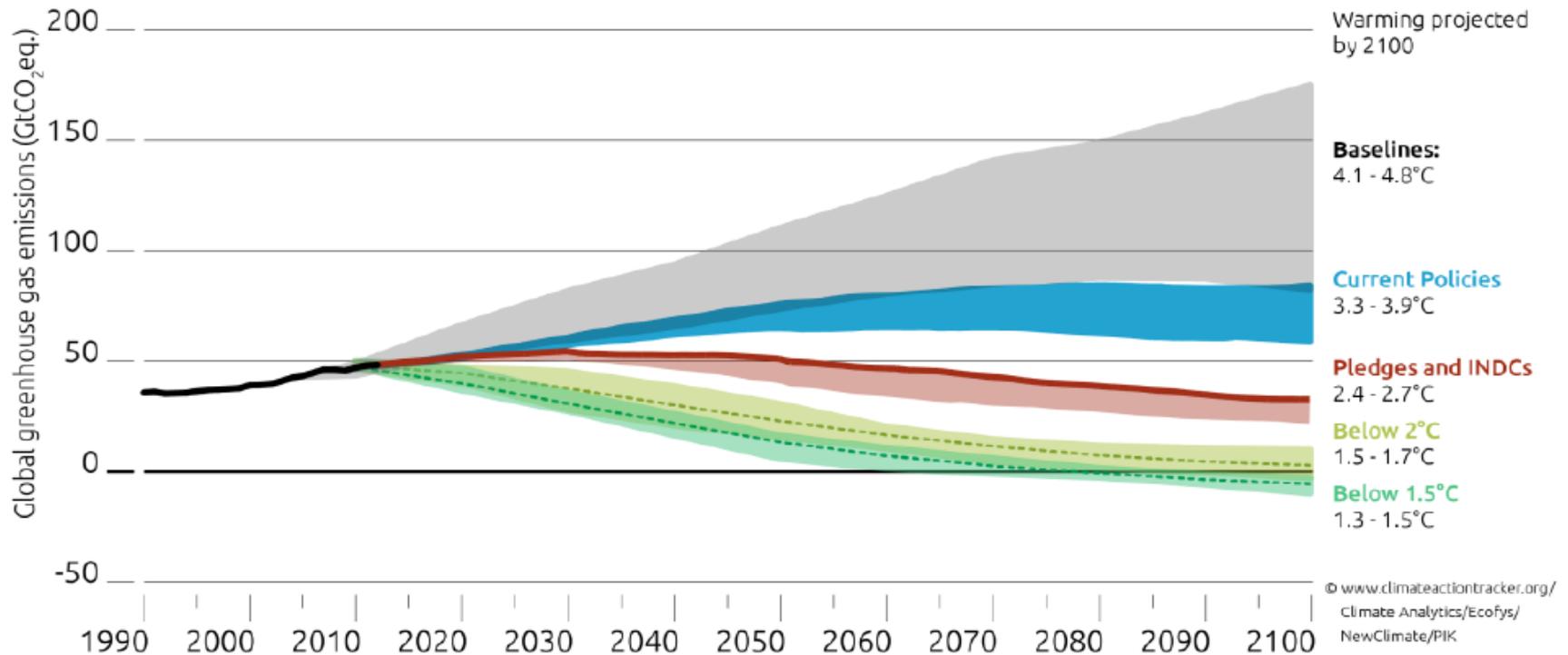
高温ガス炉の活用による 2050年80%削減シナリオ解析

キャノングローバル戦略研究所 段 烽軍



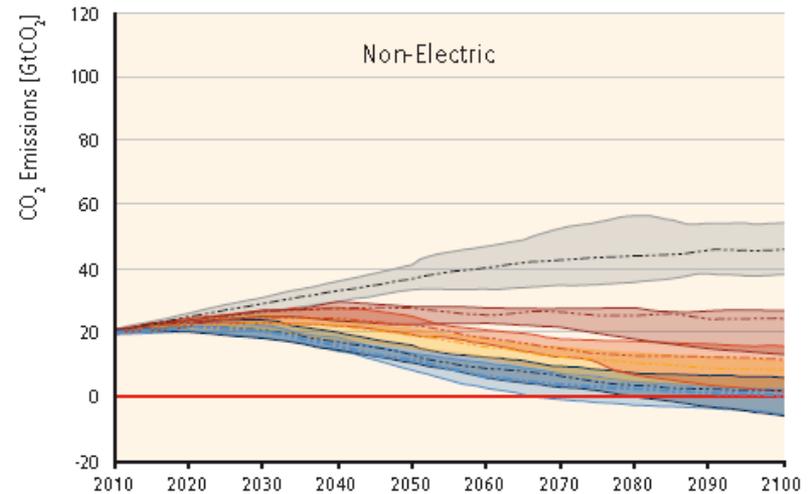
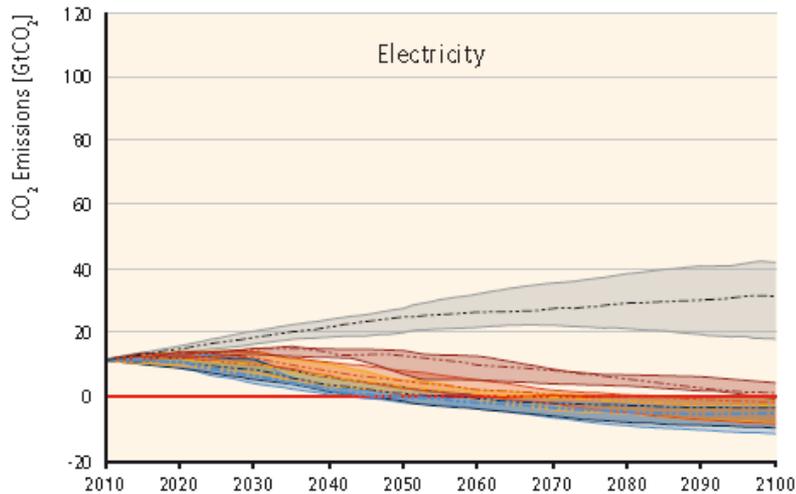
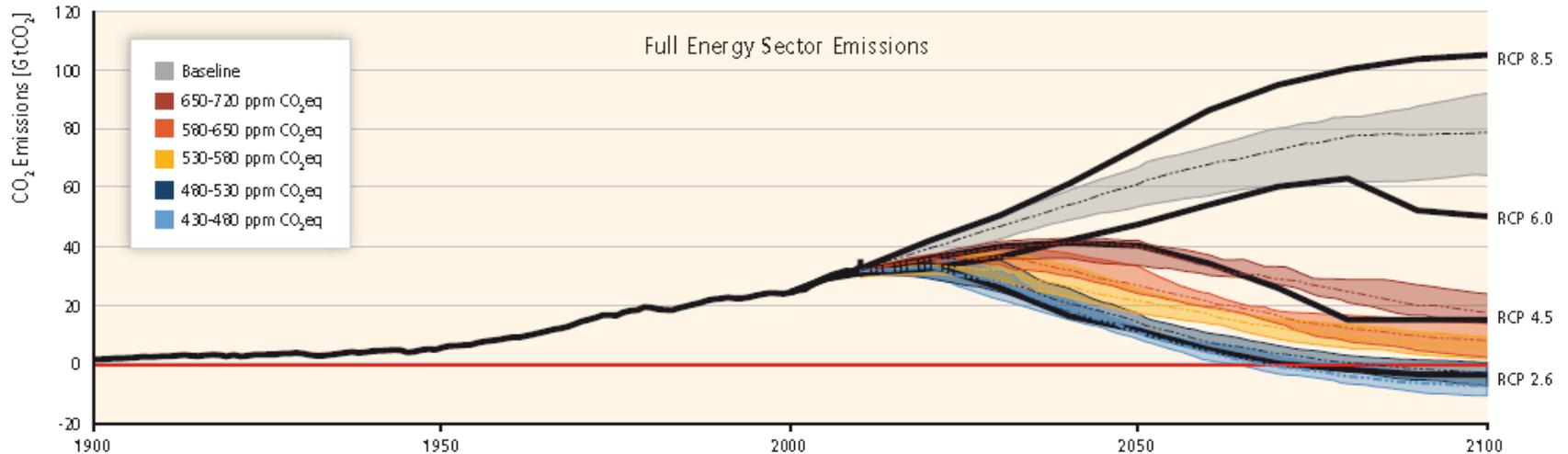
大幅削減の必要性

COP21までに各国が提出した自主目標の合計は、2°Cシナリオに乗って
いなく、2100年における気温上昇は2.7°Cになる予測



(Source: Climate Action Tracker)

大幅削減の課題



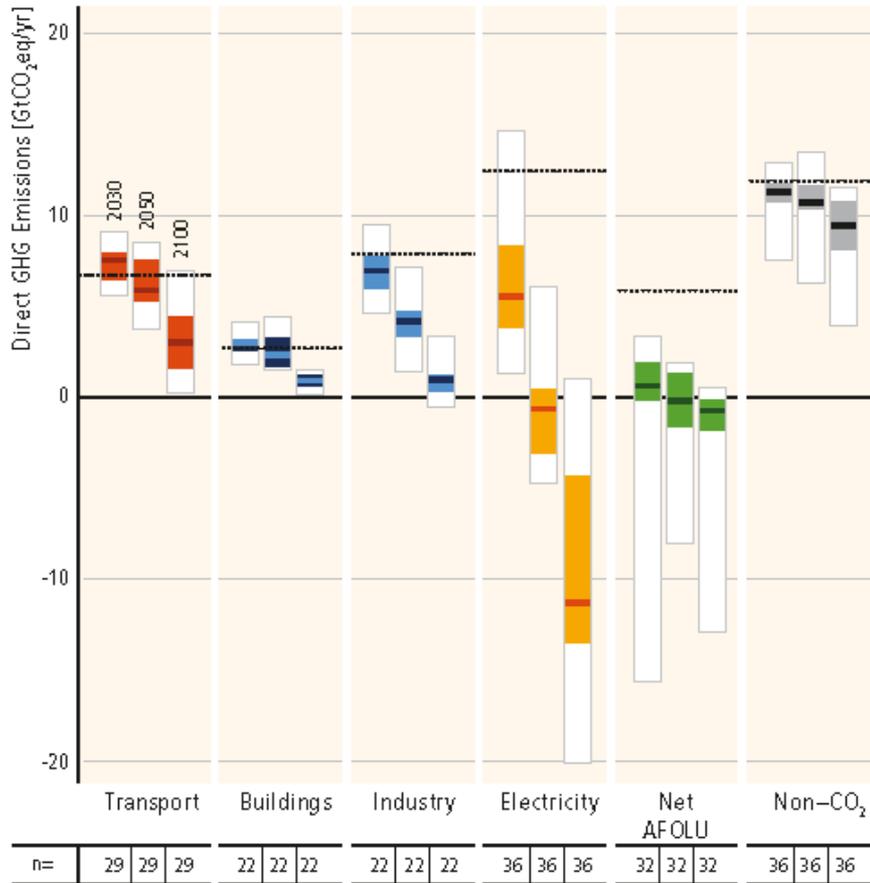
(Source: IPCC AR5 WGIII Chapter 6)

技術の制約により、電力部門以外の排出は、特に今世紀後半に大幅削減の中心課題になる

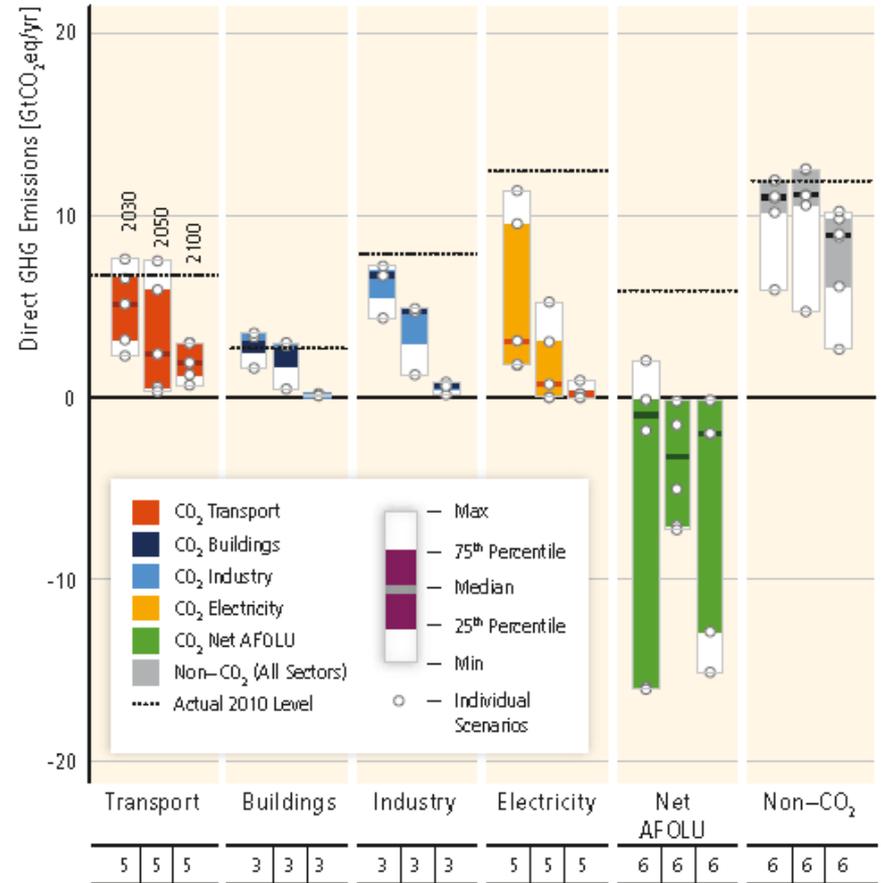
大幅削減の課題

450ppmシナリオにおける部門別温室効果ガス排出

450 ppm CO₂eq with CCS



450 ppm CO₂eq without CCS



(Source: IPCC AR5 WGIII Chapter 6)

運輸、産業、民生部門の排出は、全体低炭素化のネックとなっている

大幅削減の課題

部門別温室効果ガス排出

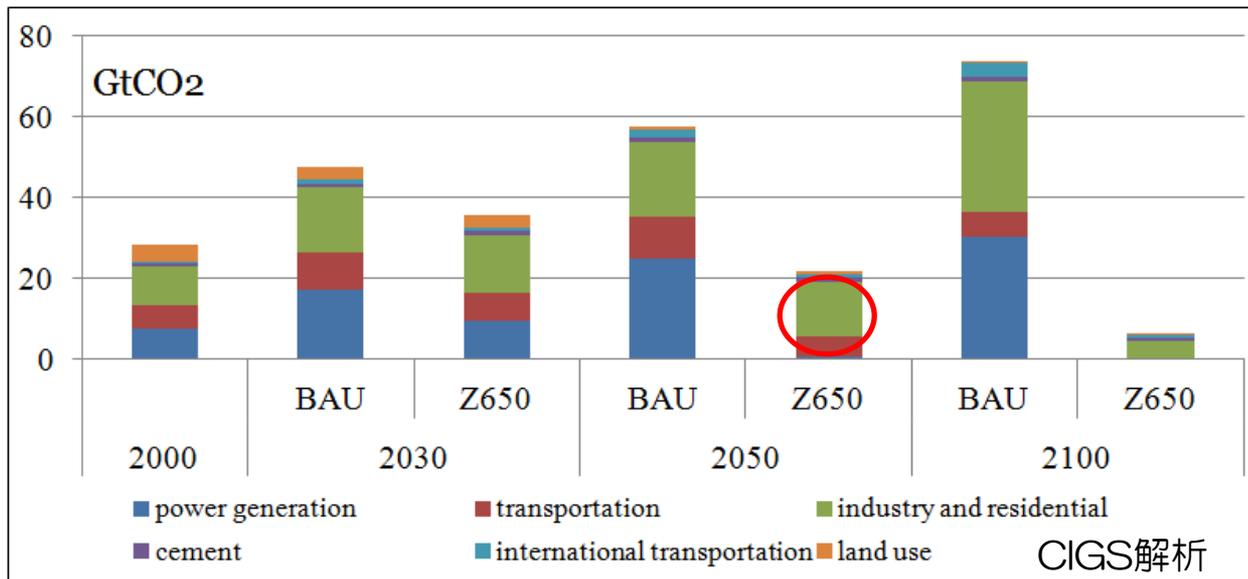
Figure 1.5

Global CO₂ emissions by sector and scenario



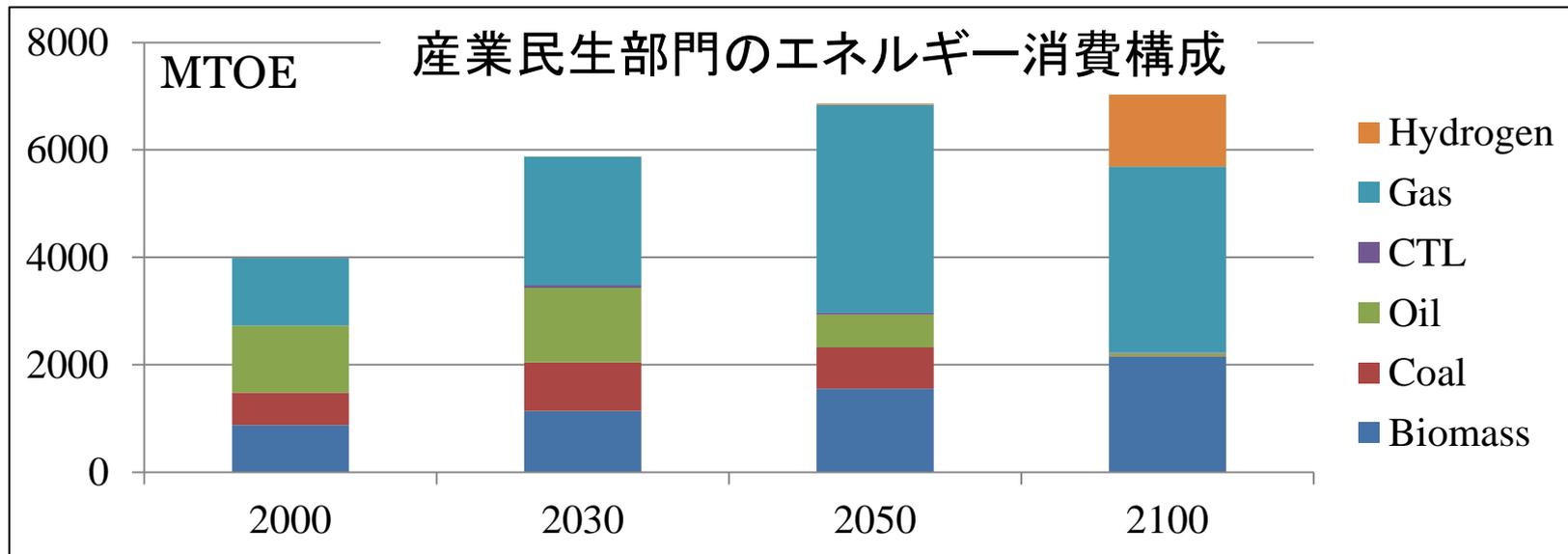
Note: CO₂ emissions in this graph are accounted for in the sector, where the CO₂ is physically emitted.

IEA ETP2012

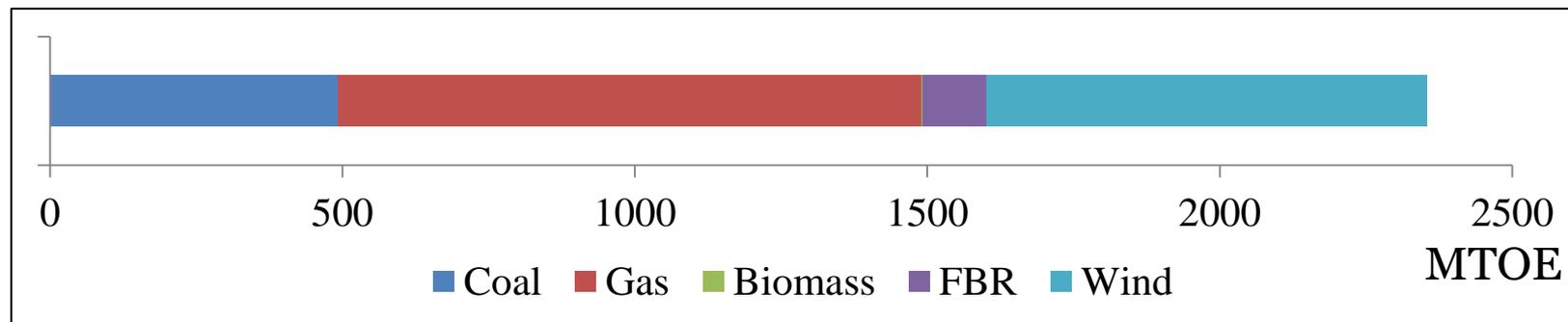


CIGS解析

大幅削減の課題



2100年における水素製造エネルギー消費

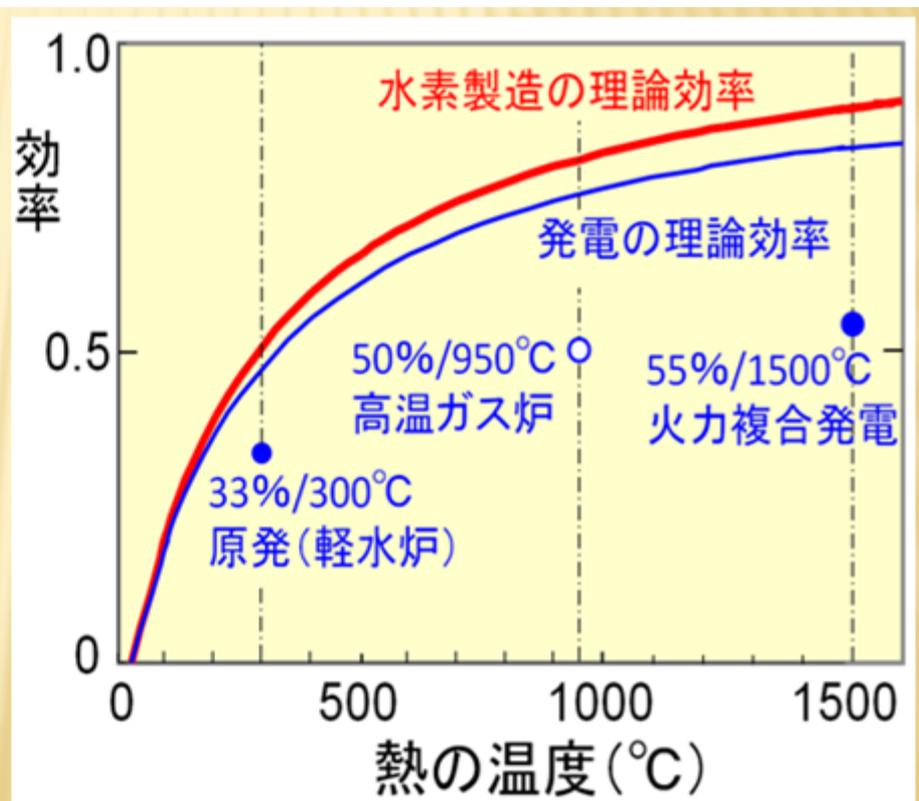
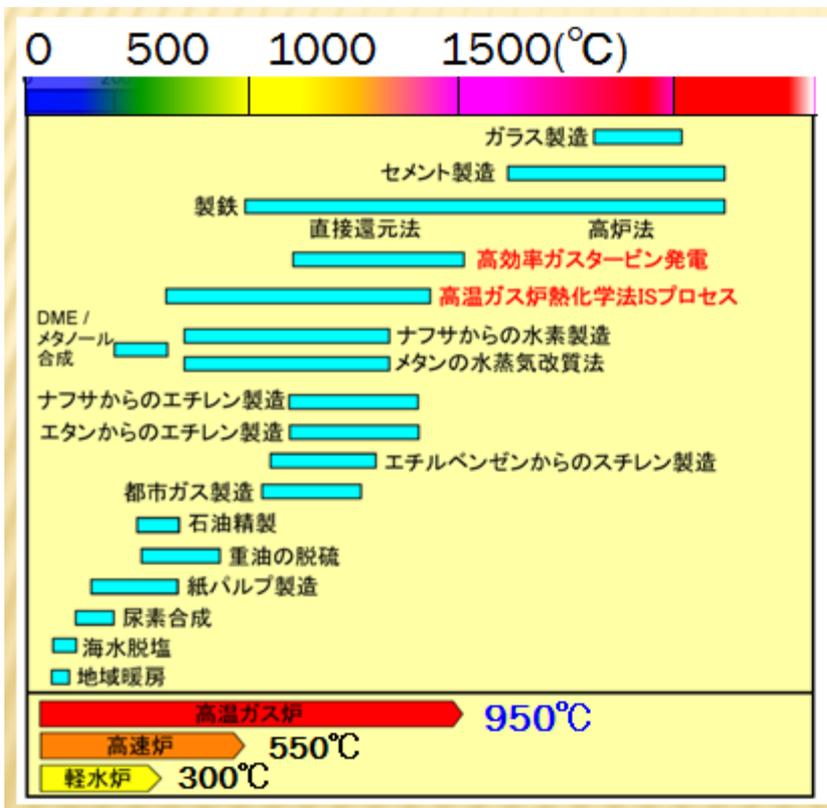


中心課題: 化石燃料を代替する低炭素熱供給

CIGS解析

高温ガス炉の可能性

Possibility of Heat Supply by HTGR



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

Possibility of Heat Supply by HTGR

Summary for HTGR

- **Completely Safe Nuclear!!!**
 - Fukushima never happens even in long-term total station blackout
 - No operator actions needed
 - Cooling to land. Anyway confine FP.
- **Cost is competitive!!!**
 - Similar or Cheaper than LWR
 - Electricity + Desalination
- **High-level waste can also be confined!!!**
 - Spent fuel contains FP stably for long term

政府のINDC

-2030年に温室効果ガスを、2013年比で26%削減(エネルギー起源CO2を25%削減)

-一次エネルギー構成

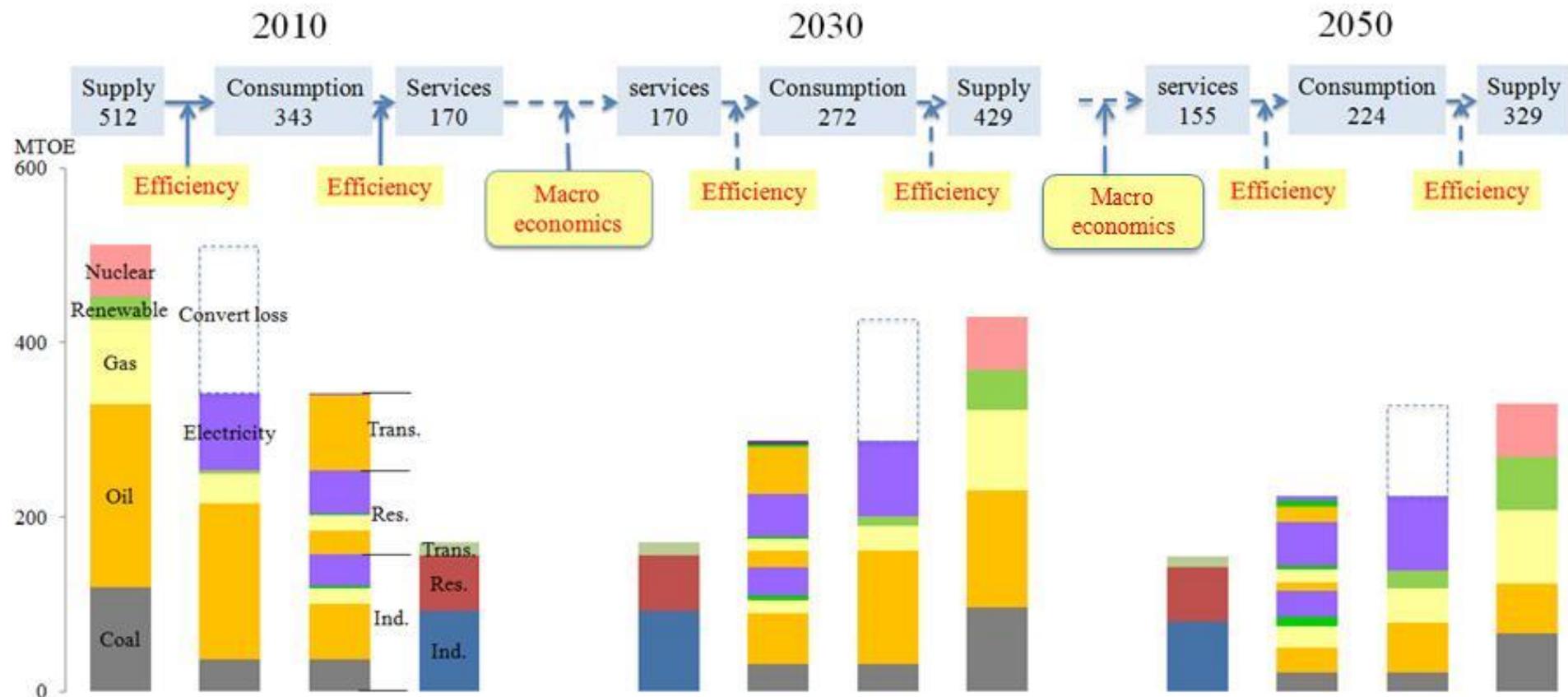
	石炭	石油	天然ガス	原子力	再生可能エネルギー	合計
MTOE	113	145	81	49	63	452
%	25	32	18	11	14	100
	化石75			原子力11	再生可能エネルギー14	

-電源構成

	石炭	石油・ガス	原子力	水力	バイオ	風力	太陽光	地熱	合計
TWh	276	320	224	96	45	18	75	12	1065
%	26	30	21	9	4.2	1.7	7	1.1	100
	化石56		原子力21	再生可能エネルギー23					

エネルギーフローによりINDCの延長

- 人口とマクロ経済の予測により、必要エネルギーサービスを仮定
- 効率向上の予測により、エネルギー需要を算出
- 既存インフラ条件とエネルギー基本計画に基づいてエネルギー供給を試算



CIGS解析

INDCとその延長

(Power Generation)

	Total (TWh)	Fossil Fuel			Nuclear	Renewable Energy					
		Coal	Oil	Gas		Hydro	Solar	Wind	Ocean	Geothermal	Biomass
2010	1006	252	75	295	292	86	11				
		62%			29%	9%					
INDC 2030	1065	276	320		224	96	75	18	-	12	45
		56%			21%	23%					
2050	1000	170	290		224	96	80	50	10	20	60
		46%			22%	32%					

INDCとその延長

(Total Primary Energy)

MTOE	Coal	Oil	Gas	RE	Nuclear	Total	Eff.	CO ₂ (Gt) Reduction
2010	120	210	96	26	60	512	33%	1.2
	83%			5%	12%			
INDC 2030	113	145	81	63	49	452	38%	0.93 -23%
	75%			14%	11%			
2050	66	57	84	73	49	329	47%	0.59 -51%
	63%			22%	15%			

2050年に、エネルギー起源CO₂は、2013年比で52%削減になる

2050年目標

- 2007年、安倍首相(当時)による国際社会への提唱
世界全体のGHG排出量を現状から2050年までに半減
- 2008年7月29日閣議決定した低炭素社会づくり行動計画
日本としても、2050年までの長期目標として現状から60~80%の削減を掲げて、世界に誇れるような低炭素社会の実現を目指すことが必要である
- 2009年7月ラクイラサミット
我々は、先進国全体で温室効果ガスの排出を、1990年又はより最近の複数の年と比して2050年までに80%またはそれ以上削減するとの目標を支持する
- 2012年4月閣議決定した第四次環境基本計画
長期的な目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す
- 2013年9月改正温対法附帯決議
2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指すという長期的な目標を前提とした地球温暖化対策計画を策定」
- 2014年4月閣議決定したエネルギー基本計画
2050年には世界で温室効果ガスの排出量を半減し、先進国では80%削減を目指すという目標を同時的に達成していくことも求められている
- 2015年7月UNFCCCに提出したINDC
約束草案は、我が国が掲げる「2050年世界半減、先進国全体80%減」との目標に整合的なものである

80%削減を達成するために

部門別エネルギー起源CO2排出(億トン)

	総量	電力	産業	民生	運輸
2005	12	4.0	3.8	1.7	2.5
2030年INDC(CIGS試算)	9.3	4.1	2.7	0.9	1.6
2050年INDC延長(CIGS試算)	6	2.6	2.2	0.6	0.6
2050年80%削減目標	2.4	?			

更なる削減のオプション

電力部門

CCS導入、低炭素/カーボンフリーエネルギー利用の拡大

産業部門

CCS導入、低炭素燃料転換、原子力の熱利用

民生部門

低炭素燃料転換

運輸部門

電気自動車(EV)の普及、低炭素燃料転換、燃料電池自動車(FCV)の導入

オプションと課題

更なる削減量 3.6億トン

CCS導入

世界最大のCCSプロジェクト: 米国Kemper(年間300万トン)、豪州Gorgon(年間300 - 400万トン)

輸送需要: 年間LNG輸入量9000万トン弱

再生可能エネルギーの拡大

ベースロードの確保

広い面積の必要

100万KW石炭火力(赤)の代替に

80%稼働率、年間CO₂ 排出700万トン

必要な面積

太陽光発電(青)

風力発電(緑)



オプションと課題

更なる削減量 3.6億トン

低炭素燃料転換

石炭→天然ガス:削減量の限界

バイオ燃料:ポテンシャル

水素:製造用一次エネルギー

原子力利用の拡大

原発利用の拡大:安全性、社会合意形成

原子力熱供給:技術、社会合意形成

80%削減シナリオ解析

INDC延長シナリオにおける部門別エネルギー消費とCO2排出

	エネルギー消費(MTOE)						CO2排出億トン
	石炭	石油	ガス	再生	原子力	電力	
電力	44		45	42	49		2.6
産業	22	29	24	15		30	2.2
民生		10	15	6		50	0.6
運輸		18		10		6	0.6

シナリオ1: 高温ガス炉の最大導入

産業プロセスヒートと民生用熱の直接供給と水素製造
運輸の化石燃料を水素代替し
天然ガスを電力部門に回し、石炭代替
直接還元製鉄導入で、石炭を水素代替
削減目標まで、脱炭素効率順に導入

シナリオ2: 高温ガス炉+原発リプレイス

シナリオ1をベースに
再稼働する原発を順次にリプレイス・スケールアップし、石炭火力発電代替

シナリオ3: 高温ガス炉+原発リプレイス+CCS導入

シナリオ2をベースに、天然ガス発電にCCS導入

高温ガス炉の導入効果

高温ガス炉の生産能力

1基600MWt(90%の稼働率)

年間熱供給:0.407MTOE

年間水素製造:5.958億m³

	用途	基数	CO2削減量 (億トン)	削減効率 (万トン/基)
産業	化石燃料代替のために、熱供給	114	1.15	101
	石炭代替のため、水素製造	63	0.53	84
民生	化石燃料代替のために、熱供給	42	0.40	95
運輸	石油代替のため、水素生産	33	0.77	233

シナリオ1

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)

シナリオ1

2050年電源構成

	Total (TWh)	Fossil Fuel			Nuclear	Renewable Energy					
		Coal	Oil	Gas		Hydro	Solar	Wind	Ocean	Geothermal	Biomass
INDC 延長	1000	170		290	224	96	80	50	10	20	60
		46%			22%	32%					
シナ リオ1	1000			460	224	96	80	50	10	20	60
		46%			22%	32%					

2050年一次エネルギー構成とCO2排出

MTOE	Coal	Oil	Gas	RE	Nuclear	Total	Eff.	CO ₂ (Gt) Reduction
INDC 延長	66	57	84	73	49	329	47%	0.59
	63%			22%	15%			-51%
シナ リオ1	17	9	79	73	135	313	50%	0.24
	34%			23%	43%			-80%

シナリオ1

メリット

環境目標の実現: 80%削減

エネルギーセキュリティ向上: 自給率37%→64%

化石燃料輸入コストの低減:

石炭: \$150/t → \$10.5B(1.2兆円)

石油: \$40/b → \$13.2B(1.5兆円)

ガス: \$15/MMBtu → \$3.0B(0.3兆円)

課題

ガス炉の導入スケール:

3.11前の全原発に相当

30年間211基

ベースロード電源の確保:

再生可能エネルギーに蓄電池

天然ガス備蓄を増加によりベースロード利用

→ 高温ガス炉ポテンシャルシナリオ

シナリオ2

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
	民生熱供給				-0.08		9
その他	原発のリプレイスとスケールアップ		-1.6				
結果		2.4	1.0	0.88	0.52	0	

必要な高温ガス炉: 156基 (100万KW軽水炉38基相当)

シナリオ2

電源構成:再稼働する原子炉を全てリプレースして、5000万KWの容量を維持し、稼働率を90%にすることで、全電源(1000TWh)の40%にできる

	Total (TWh)	Fossil Fuel			Nuclear	Renewable Energy					
		Coal	Oil	Gas		Hydro	Solar	Wind	Ocean	Geothermal	Biomass
INDC 延長	1000	170		290	224	96	80	50	10	20	60
		46%			22%	32%					
シナ リオ2	1000			280	400	96	80	50	10	20	60
		28%			40%	32%					

2050年一次エネルギー構成とCO2排出

MTOE	Coal	Oil	Gas	RE	Nuclear	Total	Eff.	CO ₂ (Gt) Reduction
INDC 延長	66	57	84	73	49	329	47%	0.59
	63%			22%	15%			-51%
シナリオ2	22	13	58	73	151	317	49%	0.24
	29%			23%	48%			-80%

シナリオ2

メリット

環境目標の実現: 80%削減

エネルギーセキュリティ向上: 自給率37%→71%

化石燃料輸入コストの低減:

石炭: \$150/t → \$9.4B(1.1兆円)

石油: \$40/b → \$12.1B(1.4兆円)

ガス: \$15/MMBtu → \$15.5B(1.8兆円)

課題

ガス炉の導入スケール:

30年間156基

原子力依存度:

電源の4割

一次エネルギーの5割弱

→原子力ポテンシャルシナリオ

シナリオ3

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			-0.33			33
その他	原発のリプレイスとスケールアップ		-1.6				
	火力発電にCCS導入		-0.9				
結果		2.4	0.1	1.7	0.6	0	

必要な高温ガス炉: 66基 (100万KW軽水炉16基相当)

シナリオ3

電源構成:シナリオ2と同じ、すべての天然ガス火力発電にCCS導入で、回収率90%の仮定で、電力分門の排出は、0.1億トンになる

	Total (TWh)	Fossil Fuel			Nuclear	Renewable Energy					
		Coal	Oil	Gas		Hydro	Solar	Wind	Ocean	Geothermal	Biomass
INDC 延長	1000	170		290	224	96	80	50	10	20	60
		46%			22%	32%					
シナ リオ3	1000			280	400	96	80	50	10	20	60
		28%			40%	32%					

2050年一次エネルギー構成とCO2排出

MTOE	Coal	Oil	Gas	RE	Nuclear	Total	Eff.	CO ₂ (Gt) Reduction
INDC 延長	66	57	84	73	49	329	47%	0.59
	63%			22%	15%			-51%
シナリオ3	22	32	82	73	114	323	48%	0.24
	42%			23%	35%			-80%

シナリオ3

メリット

環境目標の実現: 80%削減

エネルギーセキュリティ向上: 自給率37%→58%

化石燃料輸入コストの低減:

石炭: \$150/t → \$9.4B(1.1兆円)

石油: \$40/b → \$6.8B(0.8兆円)

ガス: \$15/MMBtu → \$0.1B(0.1兆円)

課題

ガス炉の導入スケール:

30年間66基、年間2基 ← ○

原子力依存度:

電源の4割

一次エネルギーの35% ← ○

CCSの実用化 ← 現状世界年間規模は約4000万トン

→原子力利用による大幅削減の現実シナリオ

シナリオまとめ

MTOE	Coal	Oil	Gas	RE	Nuclear	Total	Eff.	CO ₂ (Gt) Reduction
2010	120	210	96	26	60	512	33%	1.2
	83%			5%	12%			
INDC 延長	66	57	84	73	49	329	47%	0.59
	63%			22%	15%			-51%
シナリオ1	17	9	79	73	135	313	50%	0.24
	34%			23%	43%			-80%
シナリオ2	22	13	58	73	151	317	49%	0.24
	29%			23%	48%			-80%
シナリオ3	22	32	82	73	114	323	48%	0.24
	42%			23%	35%			-80%

高温ガス炉の開発ビジョン

- ①最も高効率な原子力エネルギーの利用
 - ・熱電供給炉80%効率、産業用プロセスヒート供給炉
- ②最も安全な原子炉システム；
 - ・炉心溶融のない原子炉システム
- ③最も少ない高レベル廃棄物
 - ・高燃焼度と高効率一桁少ない廃棄物 ⇒高速炉と併用で300年で無毒化可能性の追求を

-
- ④負荷追従性に優れる:不安定な再生可能エネルギーとのマッチングが良い
 - ・ガスタービンによる発電
 - ⑤地域の小型分散型原子炉システムにふさわしい(スモールモジュラー炉; SMR)
 - ・都市近接が可能、地域の熱電供給
 - ⑥多様な燃料源:ウランだけでなくトリウムを燃料にできる。

長期課題 ⑦高速増殖ガス炉の可能性 ⑧ **CCS + HTGR= CCU**

まとめ

- 今世紀末まで気温上昇を 2°C 以内に抑えるために、現状計画以上の大幅な削減が必要
- 省エネと低炭素発電技術だけで、大幅削減が実現できない
- 産業民生と運輸の低炭素化には、高温ガス炉が貢献できる
- 政府の2030年INDCの延長上には、2050年の削減率は、2010年比で50%になる
- 80%との大幅削減目標の実現には、原子力が大きく貢献できる
- 原子力発電と同時に、高温ガス炉の熱利用は、大幅削減を可能にする