

地球温暖化抑制のための 世界共有ビジョンの実現にむけて



平成24年7月24日(火)
キャノングローバル戦略研究所



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

国内温暖化ワークショップ

「地球温暖化抑制のための世界共有ビジョンの実現にむけて」

日時：2012年7月24日（火） 13:00-18:00

会場：キヤノングローバル戦略研究所 大会議室(新丸ビル 11F)

<<プログラム>>

13:00-13:15 **ご挨拶 福井俊彦** CIGS 理事長

13:15-14:00 「世界共有ビジョンに向けた日米中の相互補完的協力」(45分)
段烽軍 CIGS 主任研究員

14:00-15:20 CIGS エネルギー2050 研究会報告 司会:段

1. 「エネルギー2050 研究会の概要」(5分)
段烽軍 CIGS 主任研究員
2. 「気候科学の再検討」(20分)
筒井 純一 電力中央研究所 上席研究員
3. 「エネルギービジョンの検討」(20分)
都筑 和泰・新藤紀一・黒沢厚志 エネルギー総合工学研究所
4. 「Z650 の経済性評価」(20分)
馬奈木 俊介 東北大学 准教授
5. 「国際協カスキームの設計」(20分)
横山 隆壽 CIGS 主任研究員

15:20-15:30 休憩

15:30-16:30 「地球温暖化対策と原子力エネルギーの将来」(60分)
湯原 哲夫 CIGS 研究主幹

16:30-18:00 総合討論及び総括 司会:湯原

1. 「日本のエネルギー需給の現状と見通し」(20分)
小宮山 涼一 東京大学 助教
2. 「国際協力の可能性」(20分)
上野 貴弘 電力中央研究所 主任研究員

18:00 閉会



段

①世界共有ビジョンに向けた
日米中の相互補完的協力

②エネルギー2050研究会
の概要

段烽軍
CIGS主任研究員

世界共有ビジョンに向けた 日米中の相互補完的協力

キャノングローバル戦略研究所
段烽軍

1

内容

-CIGSの世界共有ビジョン提案

排出パスウェー
エネルギービジョン
実現する途

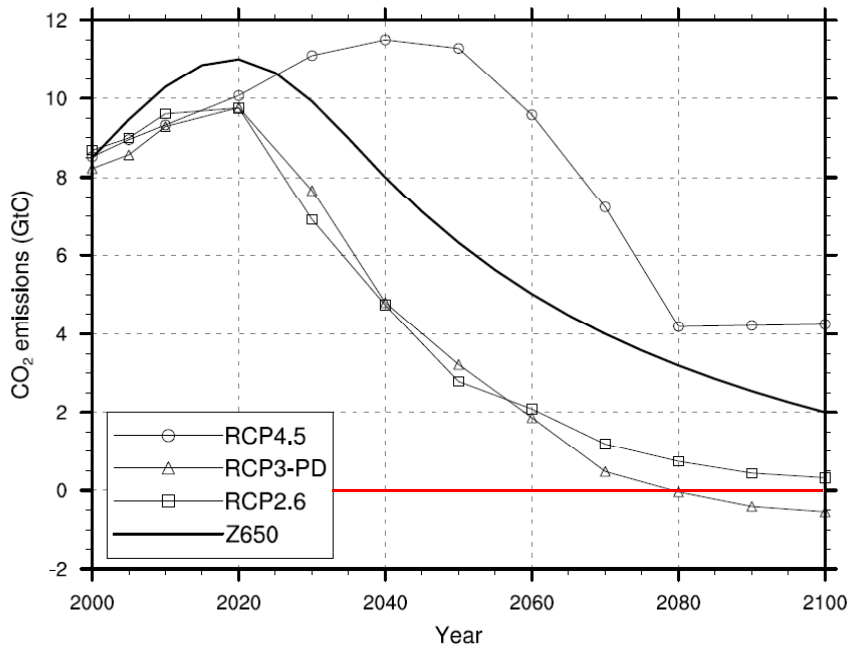
-ビジョン共有への専門家間討議

CIGS国際シンポジウム
CIGSワークショップ@ワシントン
清華大学との共同研究
中国シンクタンクとの交流

-ビジョン実現に向けた日米中関係と協力

2

CIGSの世界共有ビジョン提案 排出パスウェイ



Source: Matsuno et al.,
“Stabilization of the CO2
concentration via zero-
emission in the next century”,
presented at the CIGS
Symposium on Oct. 27, 2009

Z650 is located in the middle of the two RCP scenarios, therefore it could take the advantage of second best solution, i.e., to be more feasible than RCP2.6, and to have better climate performance than RCP4.5.

3

CIGSの世界共有ビジョン提案 排出パスウェイ

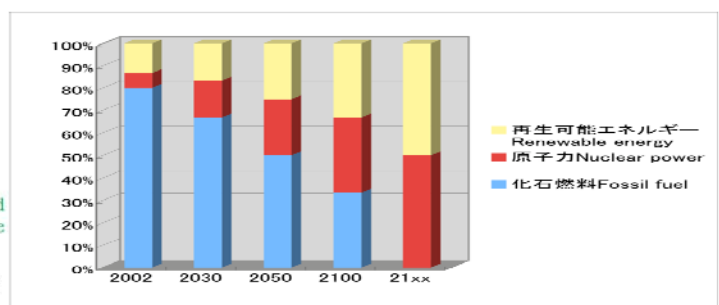
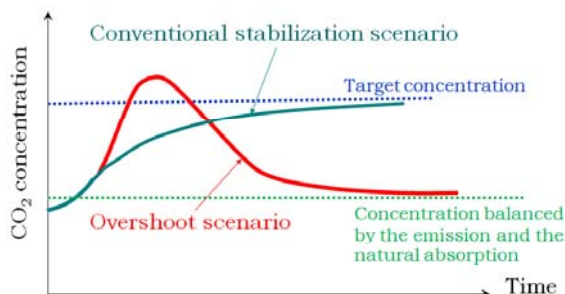
Scientific analysis based on

--- target of global mean temperature rise

to limit the global surface temperature rise to approximate 2°C compared to pre-industrial levels

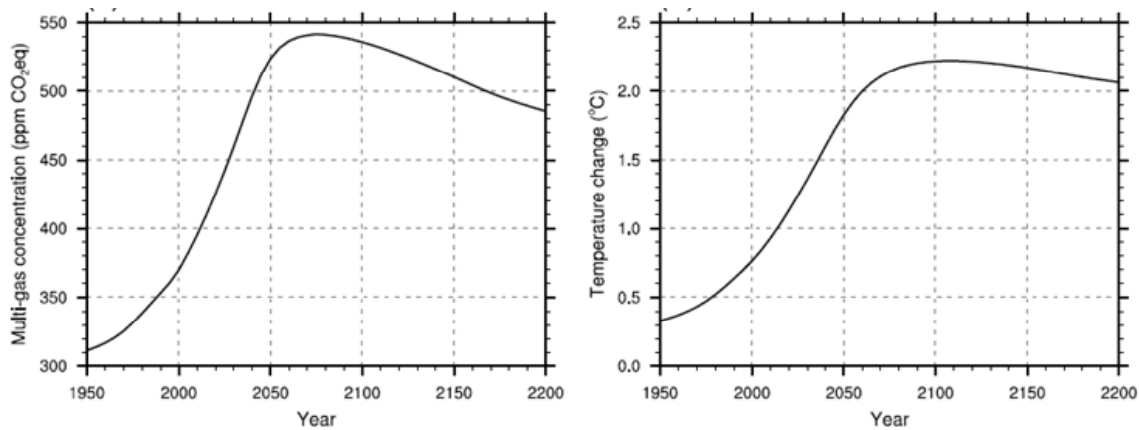
--- overshoot scenario with zero emission

to decrease the CO2 concentration by zero emission after a peak over the target concentration



CIGSの世界共有ビジョン提案

排出パスウェー



The environmental impacts taking into account of all the GHGs in the Z650 scenario.

Source: Matsuno et al., “Stabilization of the CO₂ concentration via zero-emission in the next century”, presented at the CIGS Symposium on Oct. 27, 2009

5

CIGSの世界共有ビジョン提案

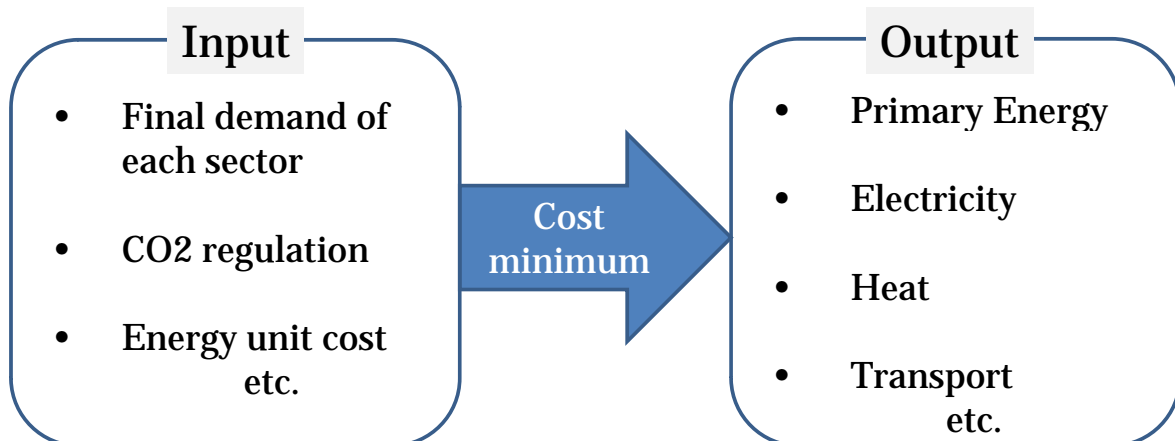
エネルギービジョン

Methodology

Global Energy System Optimization

Model

GRAPE* (Global Relationship Assessment to Protect the Environment)

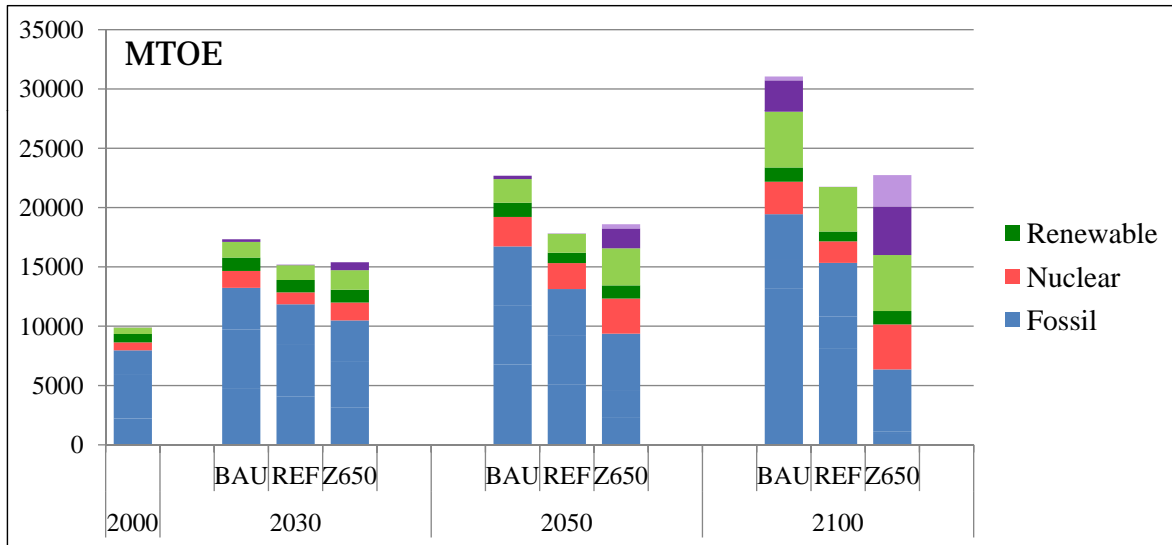


* Kurosawa et.al., Energy Journal, 157-175 (Kyoto Special Issue)

CIGSの世界共有ビジョン提案

エネルギービジョン

Total Primary Energy continuously increases up to 2100
 Less energy consumptions in REF and Z650
 More clean energy combination in Z650



Changes of Primary Energy Mixture in Z650 (Fossil: Nuclear: Renewable)
 7: 1: 2 (2030) → 5: 2: 3 (2050) → 3: 2: 5 (2100)

CIGSの世界共有ビジョン提案

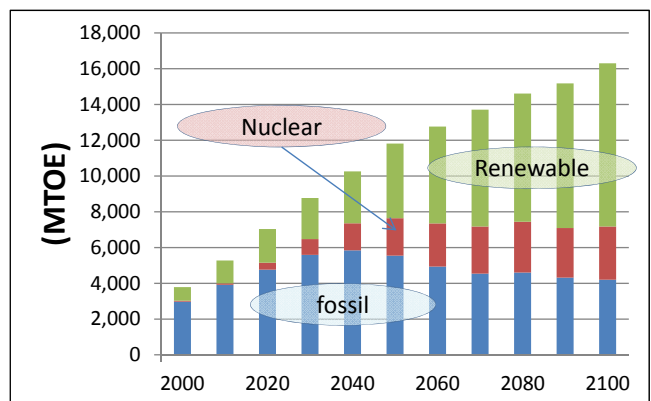
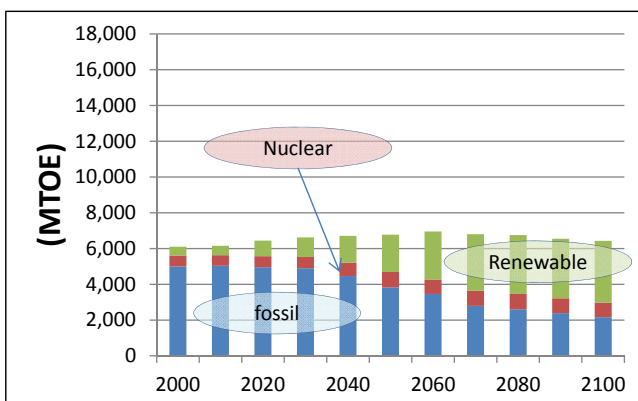
エネルギービジョン

Industrialized countries

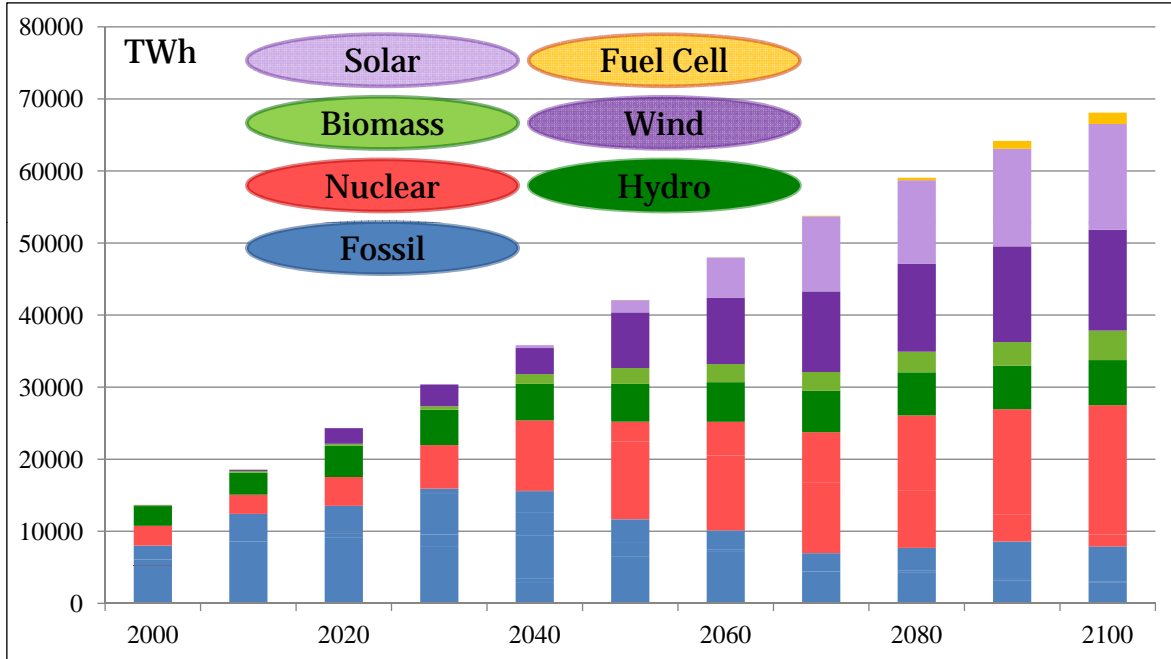
- Total Primary Energy is almost constant up to 2100.
- Share of fossil fuel gradually decreases
- Alternatively, share of renewable energy mainly increases

Developing countries

- Total Primary Energy continuously increases up to 2100
- Peak of fossil fuel consumption at 2040
- Both Nuclear and renewable energy increase remarkably



CIGSの世界共有ビジョン提案 エネルギービジョン

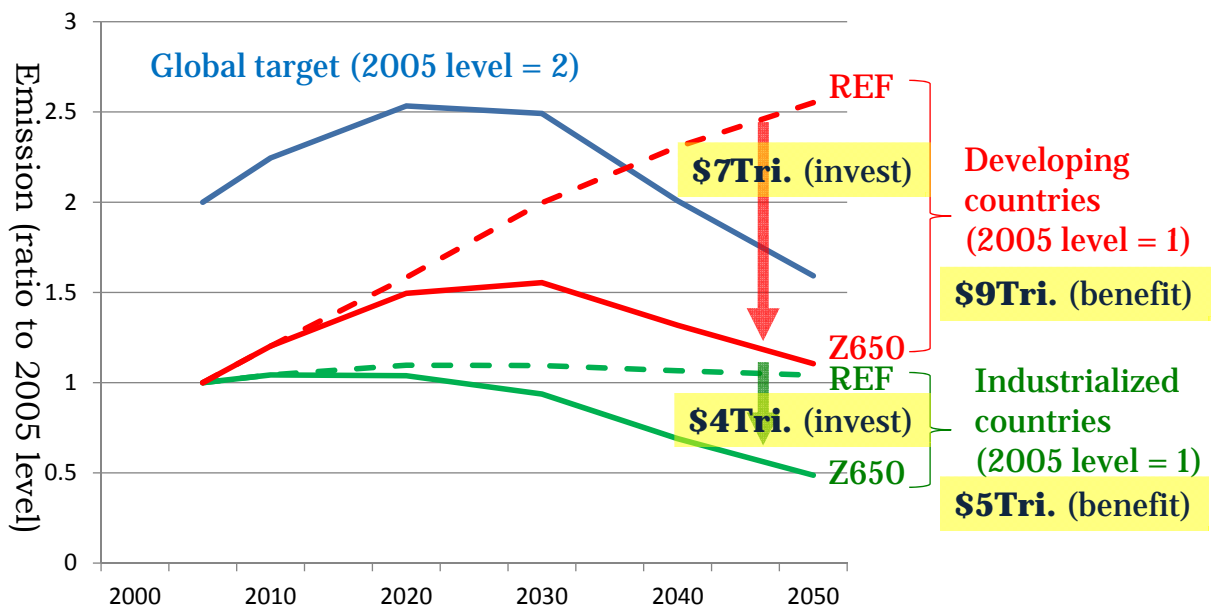


Nuclear Power Capacity (GWe)	2000	2030	2050	2100
		370	810	1,800

9

CIGSの世界共有ビジョン提案 実現可能性

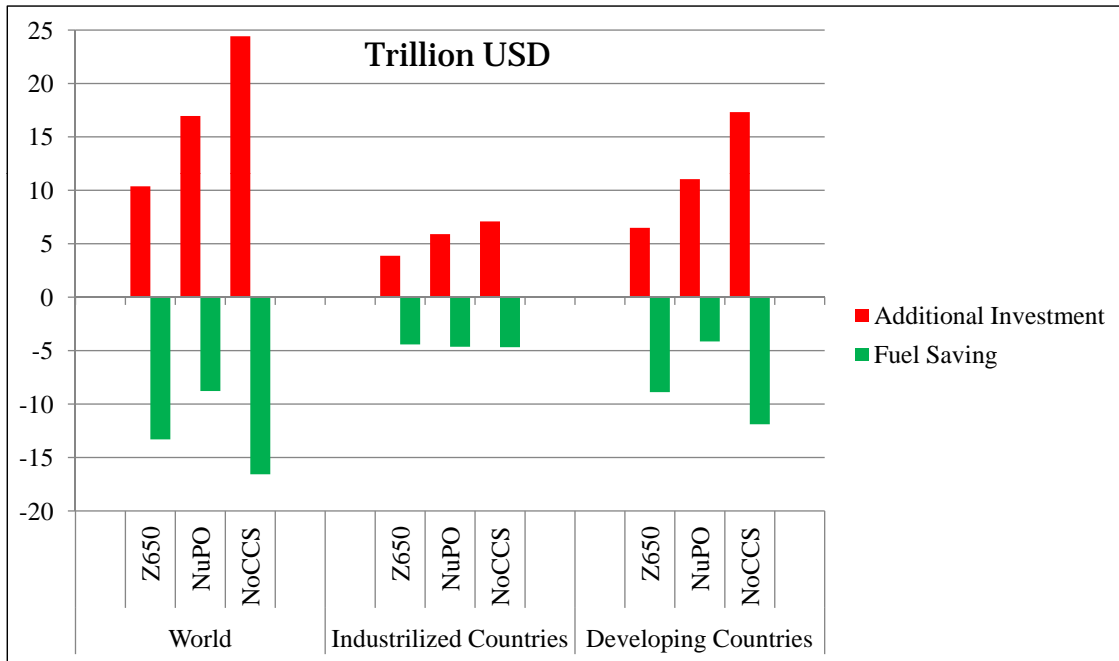
Additional Investments vs. Fuel Saving Benefits



9

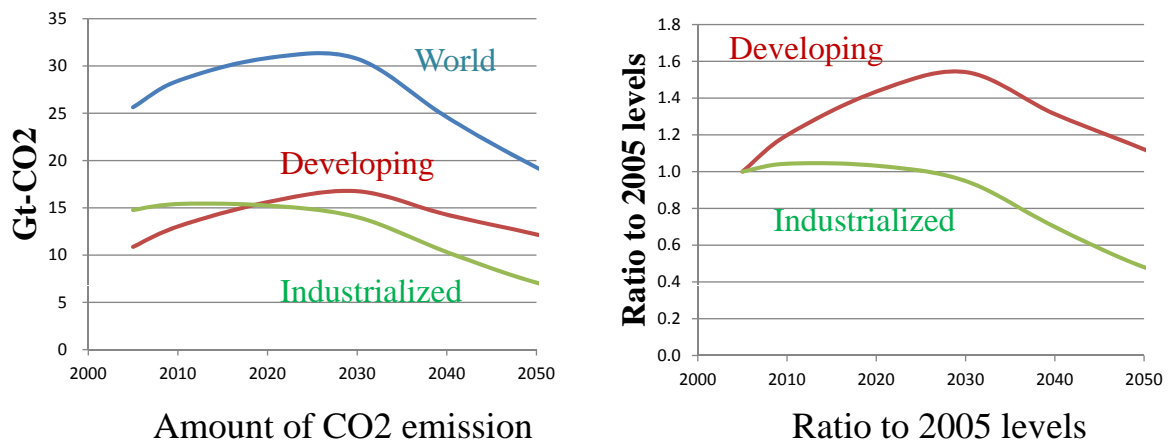
10

CIGSの世界共有ビジョン提案 実現可能性



11

CIGSの世界共有ビジョン提案 排出配分と衡平性



Industrialized countries peak out in 2010, and reduce their emissions by 50% in 2050 compared to the 2005 levels.
Developing countries peak out in 2030, and their emissions increase by 10% in 2050 compared to the 2005 levels.

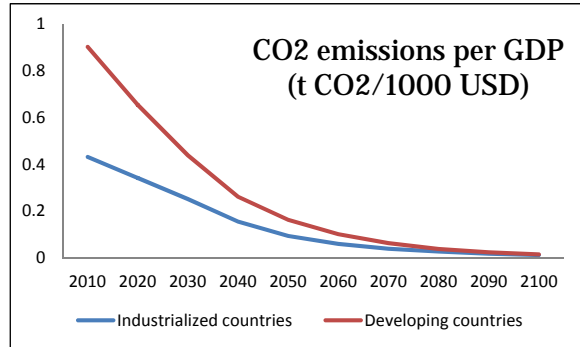
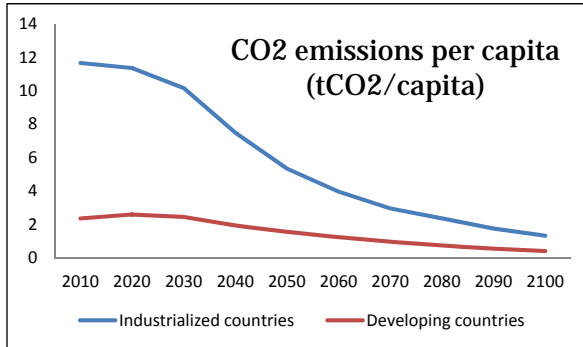
12

CIGSの世界共有ビジョン提案

排出配分と衡平性

Regional emissions and carbon intensities of Z650

Ratio to 2005 levels	2030	2050
World	1.20	0.75
Industrialized countries	0.95	0.48
Developing countries	1.54	1.12



Accumulative CO2 emissions per capita (2010-50)
 Industrialized countries: 375t Developing countries: 89t
 Accumulative CO2 emissions per GDP (1000USD) (2010-50)
 Industrialized countries: 10t Developing countries: 19t

13

CIGSの世界共有ビジョン提案

排出配分と衡平性

Major industrialized and developing countries

Ratio to 2005 levels	CO2 Emissions		CO2 Emissions per capita	
	2030	2050	2030	2050
World	1.20	0.75	0.94	0.53
Industrialized countries	0.95	0.48	0.89	0.47
USA	0.96	0.47	0.79	0.35
EU15	0.86	0.45	0.82	0.43
Japan	0.79	0.47	0.87	0.63
Developing countries	1.54	1.12	1.18	0.74
China	1.48	0.82	1.34	0.77
India	1.91	1.57	1.43	1.08
ASEAN	1.64	1.50	1.24	1.00

14

CIGSの世界共有ビジョン提案

排出配分と衡平性

Major industrialized and developing countries

Region	CO2 Emissions					
	2030			2050		
	Ratio to 1990 levels	Ratio to 2005 levels	Ratio to REF of 2030	Ratio to 1990 levels	Ratio to 2005 levels	Ratio to REF of 2050
World	1.60	1.20	0.82	1.00	0.75	0.46
Industrialized countries	1.05	0.95	0.89	0.53	0.48	0.48
USA	1.16	0.96	0.90	0.57	0.47	0.47
EU15	0.89	0.86	0.91	0.46	0.45	0.53
Japan	0.93	0.79	0.90	0.55	0.47	0.66
Developing countries	2.82	1.54	0.77	2.05	1.12	0.45
China	2.77	1.48	0.74	1.53	0.82	0.37
India	3.42	1.91	0.72	2.83	1.57	0.37
ASEAN	3.74	1.64	0.80	3.41	1.50	0.57

15

CIGSの世界共有ビジョン提案

排出配分と衡平性

Regional additional investments

BAU to REF	Additional Investments T\$ (2010-50)	Share in GDP (%)
World	11	0.28
Industrialized countries	2	0.09
Developing countries	9	0.55

REF to Z650	Additional Investments T\$ (2010-50)	Share in GDP
World	11	0.28
Industrialized countries	4	0.18
Developing countries	7	0.43

16

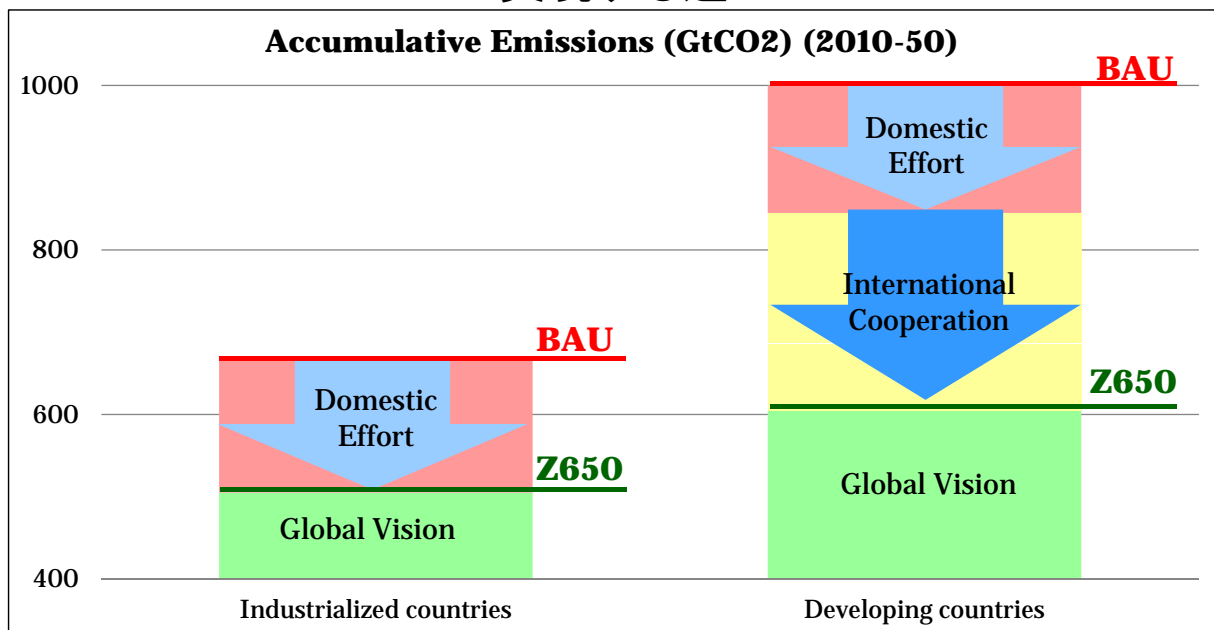
CIGSの世界共有ビジョン提案 実現する途

Ratios to 2005 levels		2005	2030	2050
REF	World	1.0	1.5	1.6
Z650	World	1.0	1.2	0.75
	Industrialized countries	1.0	1.0	0.5
	US		1.0 (0.8)	0.5 (0.4)
	EU15		0.9	0.4 (0.5)
	Japan		0.8 (0.6)	0.5 (0.2)
	Developing countries	1.0	1.5	1.1
	China		1.5 (2.1)	0.8 (2.3)
India	1.9 (2.7)		1.6 (4.1)	

Harmony in industrialized countries and Gap in developing countries

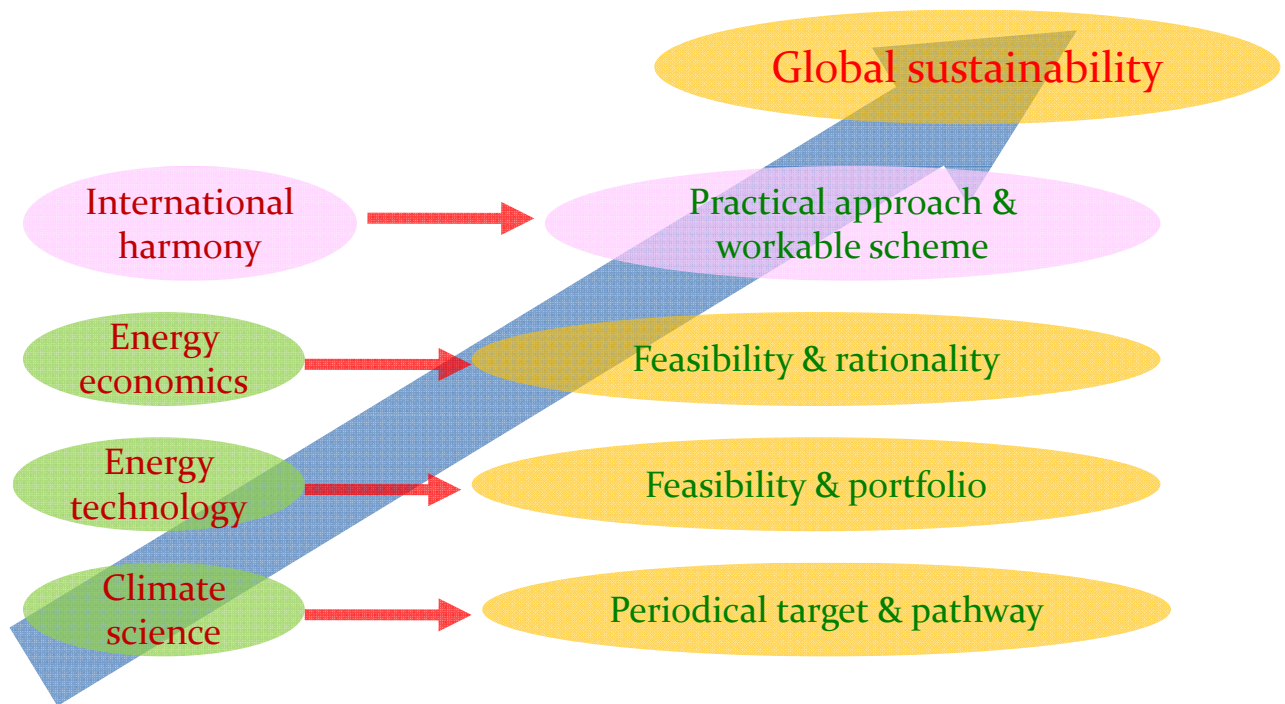
17

CIGSの世界共有ビジョン提案 実現する途



BAU: traditional development **REF:** energy conservation **Z650:** Low carbon vision
International cooperation is necessary to fill in the gap in developing countries from domestic initiative to low carbon vision

CIGSの世界共有ビジョン提案 パッケージ像



19

ビジョン共有のための専門家間討議

Second CIGS International Symposium (Sep. 16, 2011)
Main contributors

Country	Name	Position
China	Dadi Zhou	Former Director-General, ERI, NDRC
Italy	Calro Carraro	President, University of Venice Vice Chair of IPCC WGIII
France	William Ramsay	Senior Research Fellow, IFRI
USA	Susan Slolomon	Professor, MIT Former Co-Chair of IPCC WGI
Japan	Taroh Matsuno	Principal Scientist, JAMSTEC, IPCC WGI
	Yoichi Kaya	Director, RITE
	Masakazu Toyota	Chairman and CEO, IEE
	Mitsutsune Yamaguchi	Professor, the University of Tokyo, IPCC WGIII
	Taikan Oki	Professor, the University of Tokyo, IPCC WGII
	CIGS working group	

20

ビジョン共有のための専門家間討議

Common understanding

Considering the absence of clear vision on international agreement to combat global warming, we, specialists and persons in charge, came together with a sense of crisis. Through discussions on the new scientific knowledge on climate change and its suggestion, the new scenario of greenhouse gases emissions and the new international mechanism for realizing the scenario, we have reached the following common understandings.

1. To support the feasible scenario of greenhouse gas emissions on the basis of the climate change science while taking into account over shoot scenario.
2. To pursue the long-term global energy vision by the global optimization of mitigation costs of carbon dioxide under the energy related low carbon dioxide emission scenario. To welcome the vision that is balanced between additional investments and fuel saving benefits.
3. To promote the deployment of low carbon technologies through international cooperation based on an open, fair and efficient international mechanism. To share the will of realizing the energy vision in which economic growth and global warming control would co-exist.
4. The vision is to be shared through international discussions.

21

ビジョン共有のための専門家間討議

-中国

政策レベル

国家イノベーション発展戦略研究会

施策レベル

国務院参事室

共同研究

清華大学

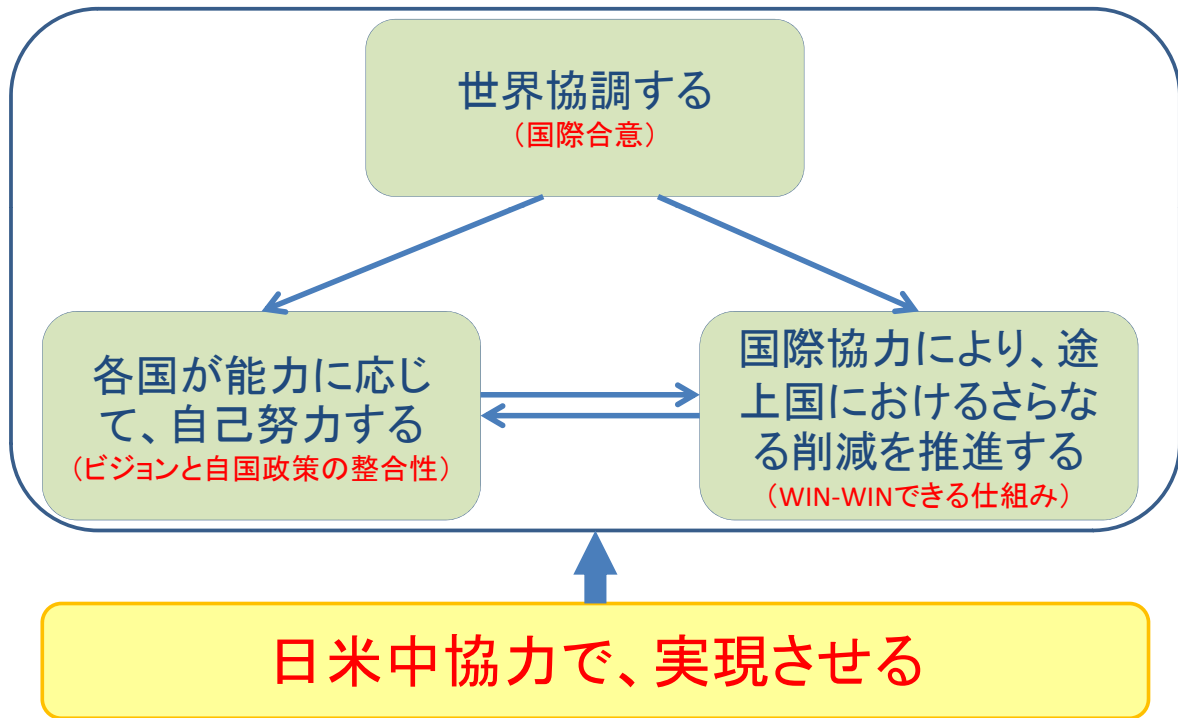
-米国

CIGSワークショップ@ワシントン

CSIS、C2ES、Eurasia、EDF

22

ビジョン実現のために

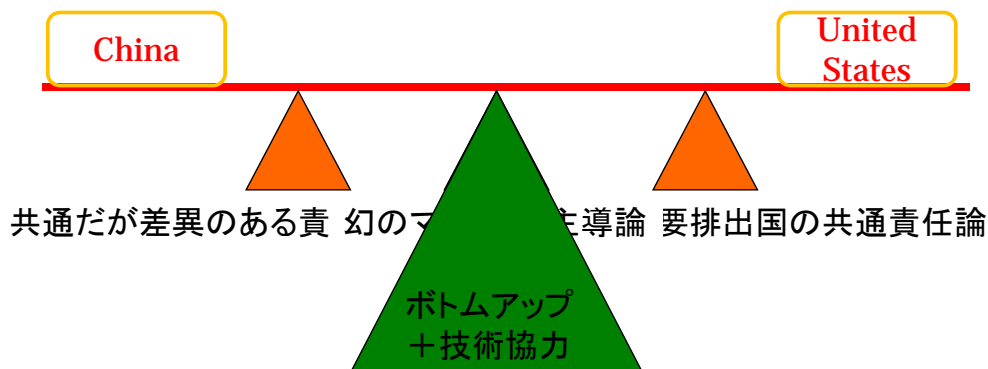


23

世界協調のために

-中心課題

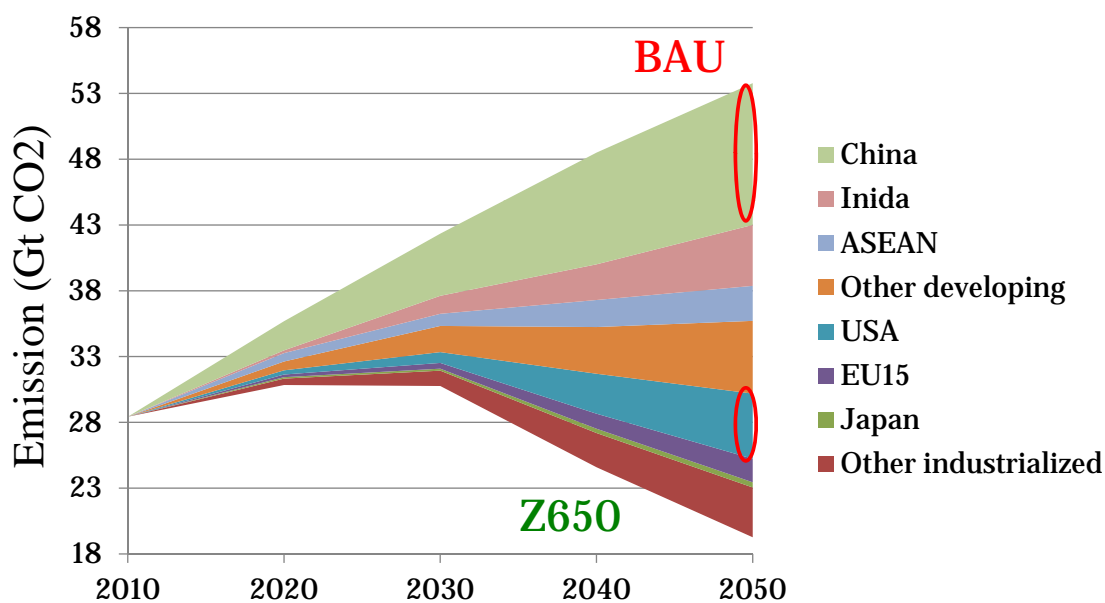
如何に中国と米国を動かす
バランスを取る支点が必要



日米中三カ国が、キーとなる

24

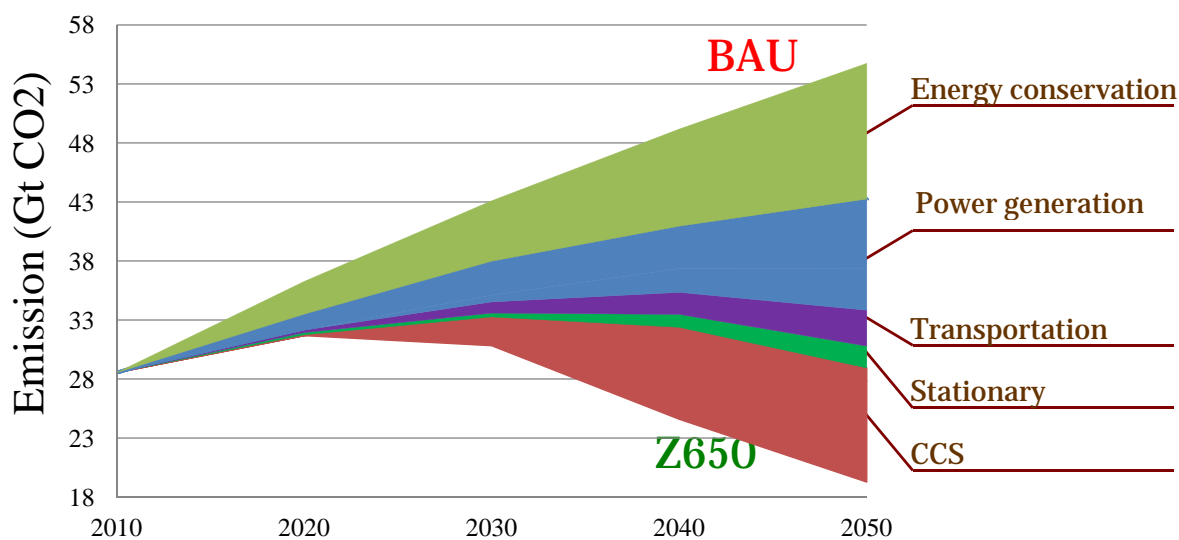
ビジョン実現のために(モデル計算より)



Regional reduction
China and USA are the key regions

25

ビジョン実現のために(モデル計算より)



Sectoral reduction
Energy saving, Power generation and CCS are the key technologies

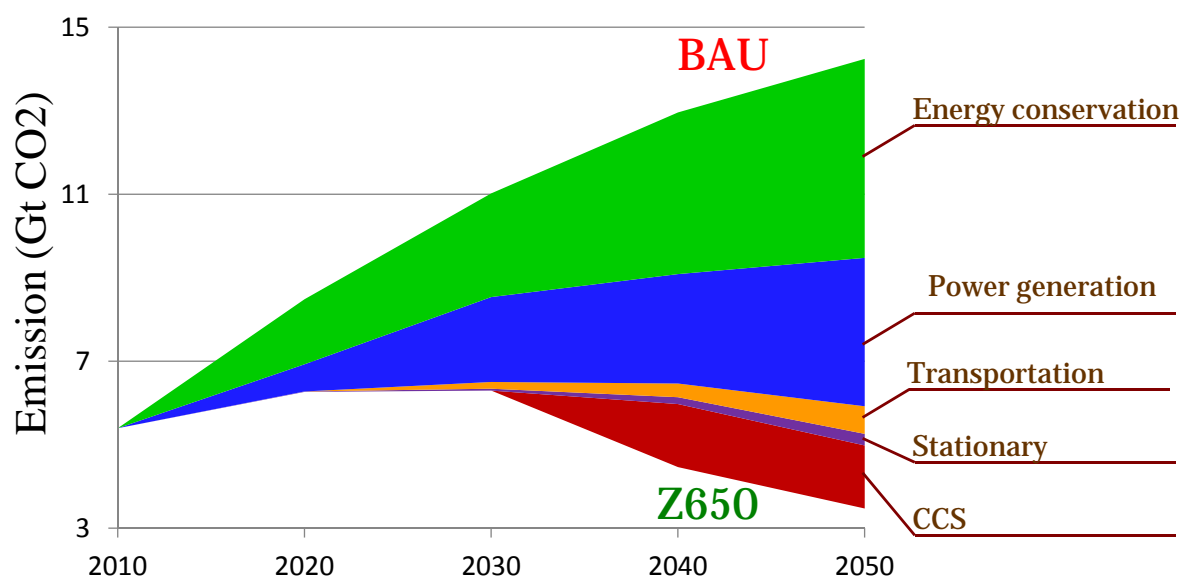
26

ビジョン実現のために(モデル計算より)

Target	United States		Japan		China	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
CO2 Emission (Ratio to 2005 levels)	0.96	0.47	0.79	0.47	1.48	0.82
Emission Intensity (tCO2/GDP)	0.28	0.09	0.12	0.06	0.40	0.12
Energy Intensity (TOE/GDP)	0.12	0.09	0.05	0.04	0.20	0.13
Energy Mix (FF: NE: RE)	8: 1: 1	5: 2: 3	7: 2: 1	6: 2: 2	6: 2: 2	4: 3: 3
Power Generation (FF: NE: RE)	7: 2: 1	3: 4: 3	4: 4: 2	3: 4: 3	4: 3: 3	2: 4: 4
Portfolio	Energy Conservation Energy Conversion CCS		Energy Conservation Energy Conversion		Energy Conservation Energy Conversion CCS	

27

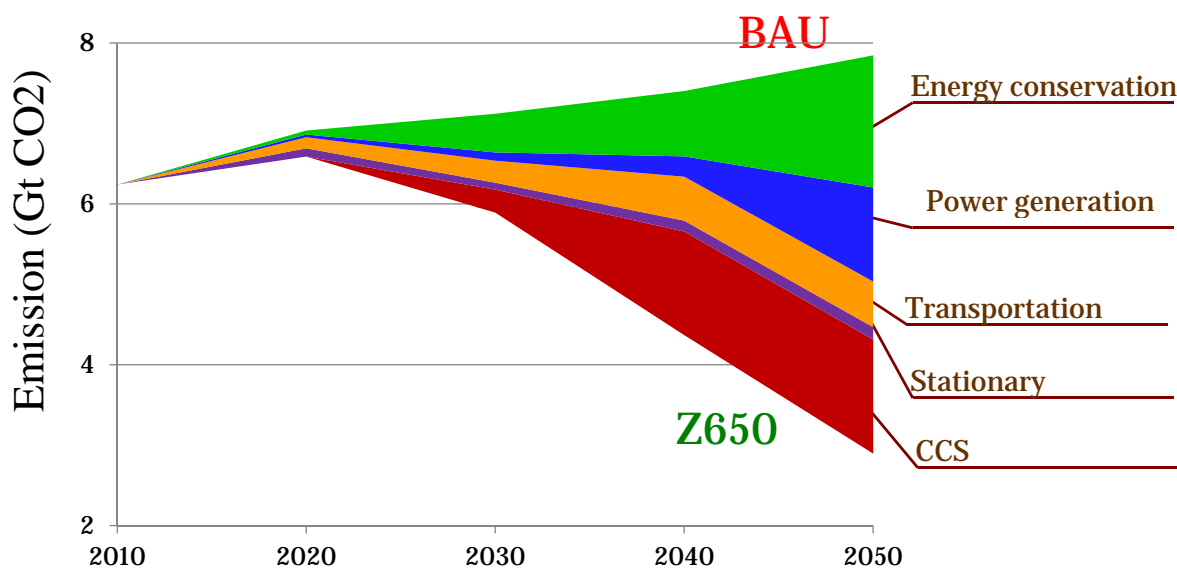
ビジョン実現のために(モデル計算より)



China

Reduction rate in 2050	Energy Saving	Power Generation	Transportation	Stationary	CCS
	44	33	6	3	14

ビジョン実現のために(モデル計算より)

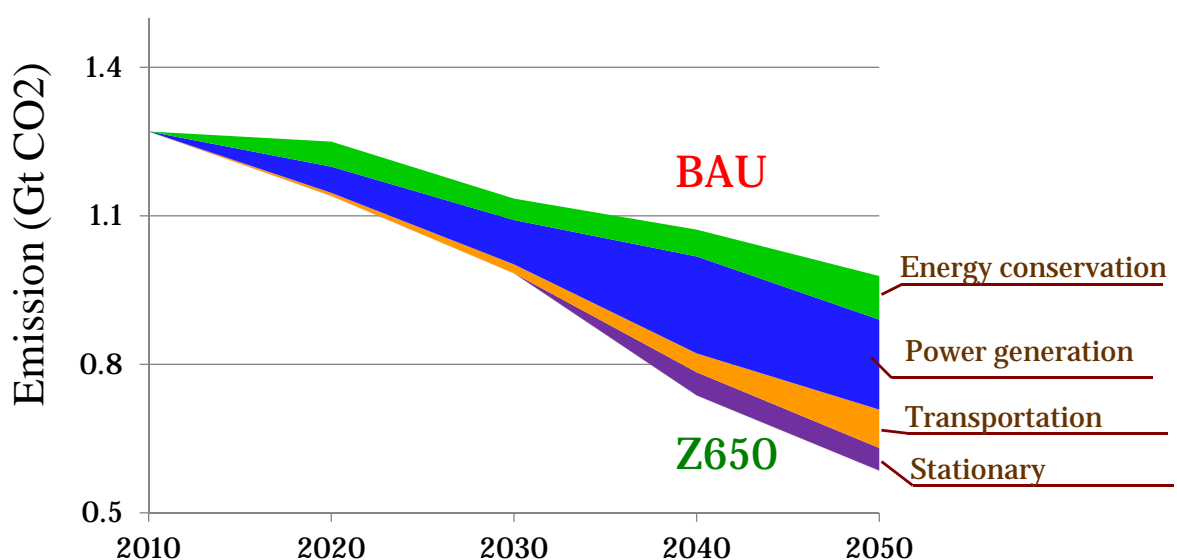


USA

Reduction rate in 2050	Energy Saving	Power Generation	Transportation	Stationary	CCS
	33	24	11	3	29

29

ビジョン実現のために(モデル計算より)



Japan

Reduction rate in 2050	Energy Saving	Power Generation	Transportation	Stationary	CCS
	22	46	18	12	0

30

自己努力のモチベーション (日本)

- 製造業中心の産業構造
産業競争力=技術力+省エネ
- エネルギー事情
資源が乏しい(海洋開発?)

自己努力のモチベーション (米国)

- 産業構造調整
エネルギー輸出産業振興
省エネによる産業競争力向上
- 生活スタイルの維持
クリーンエネルギーによる多消費を支え

自己努力のモチベーション (中国)

- ローカル環境汚染の抑制
環境被害の甚大さ(GDPの7%) (曲格平2005による)
- エネルギー事情
資源単一(石炭)
自給率低下

自己努力の限界 (日本)

	Baseline ($\Delta 4\%$ from 1990)	Previous Target ($\Delta 7\%$ from 1990)	Current Target ($\Delta 25\%$ from 1990)
Real GDP		$\Delta 0.6\%$ in 2020 (depressing)	$\Delta 3.2\%$ in 2020 (depressing)
Unemployment rate		$\Delta 0.2\%$ (rise)	$\Delta 1.3\%$ (rise)
Private plant investment		$\Delta 0.1\%$	$\Delta 0.4\%$
Disposable income		$\Delta 40,000\text{JP¥/yr}$ Per household	$\Delta 220,000\text{JP¥/yr}$ Per household
Utility costs		$\Delta 30,000\text{JP¥/yr}$ Per household	$\Delta 140,000\text{JP¥/yr}$ Per household
Marginal abatement cost	35-62 US\$/tCO₂ Cannot be compared simply due to the different models	15,000Y¥/tCO₂ If putting the cost into energy price, it would make a rise by 30JP¥/l for gasoline	82,000Y¥/tCO₂ If putting the cost into energy price, it would make a rise by 170JP¥/l for gasoline

Based on an assumption of a 1.3% annual growth of Real GDP

Source: "Long term outlook for energy demand and supply", METI, Aug. 2009

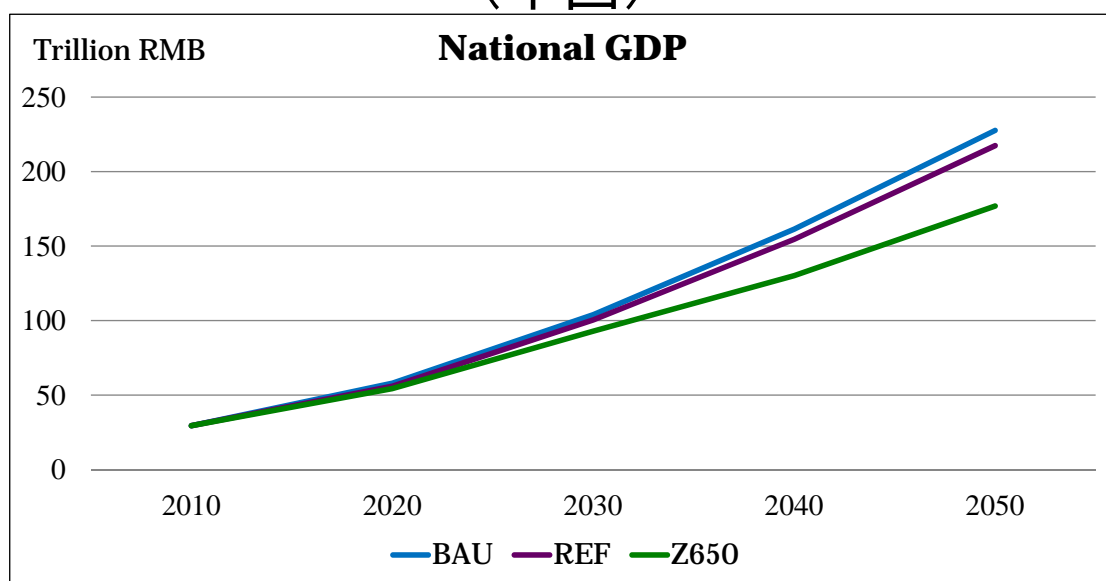
自己努力の限界 (米国)

Scenarios	Average costs (allowance prices) (2005 \$/ton CO2)		
	2020	2030	2050
Cap and trade (APA)	24	39	102
Without international offsets	49	80	209

Data source: "EPA analysis of the American Power Act"

35

自己努力の限界 (中国)



清華大学との共同研究により

36

WIN-WINの可能性 (日米中の補完関係)

-Parties

United States: Natural Resources Power, Number One Economy

China: Human Resources Power, Number Two Economy

Japan: Technology Power, Number Three Economy

-Technology capacities

United States: Shale Gas, SMR, Battery

Japan: End Use Efficiency, Clean Coal

-Natural Resources capacities

United States: Coal, Shale Gas

China: Coal

-Human Resources capacities

China: annual 4,000,000 graduates of science and engineering

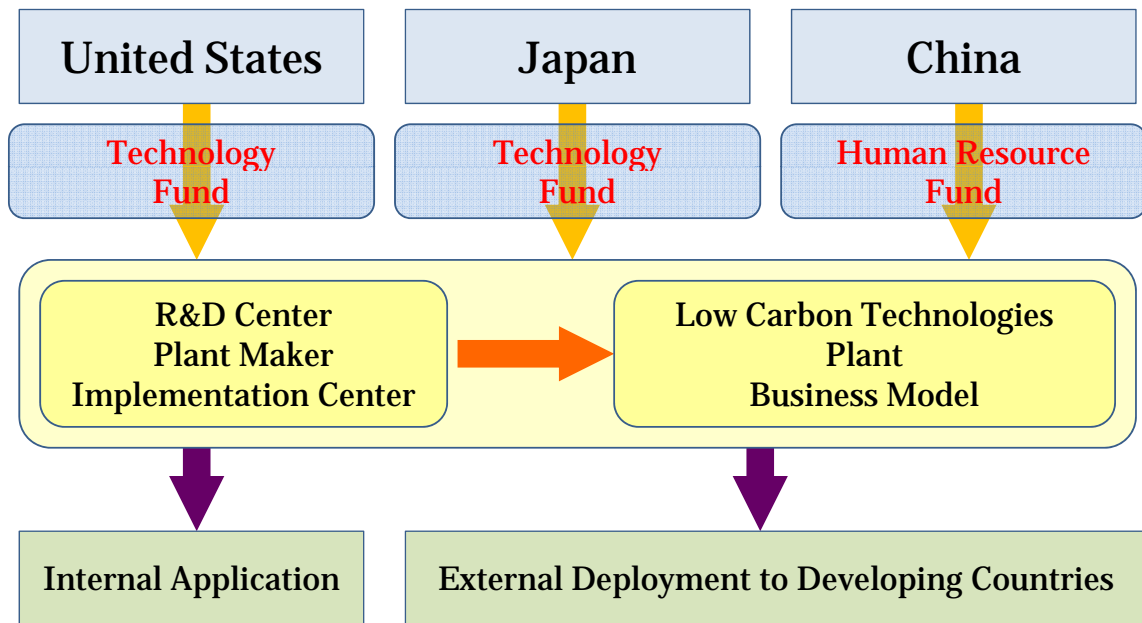
37

WIN-WINの可能性 (日米中の補完関係)

	China	Japan	United States
Resources Potential	△	×	○
Technology Capacity	×	○	△
Human Resources	○	×	△
Economic Capacity	○		

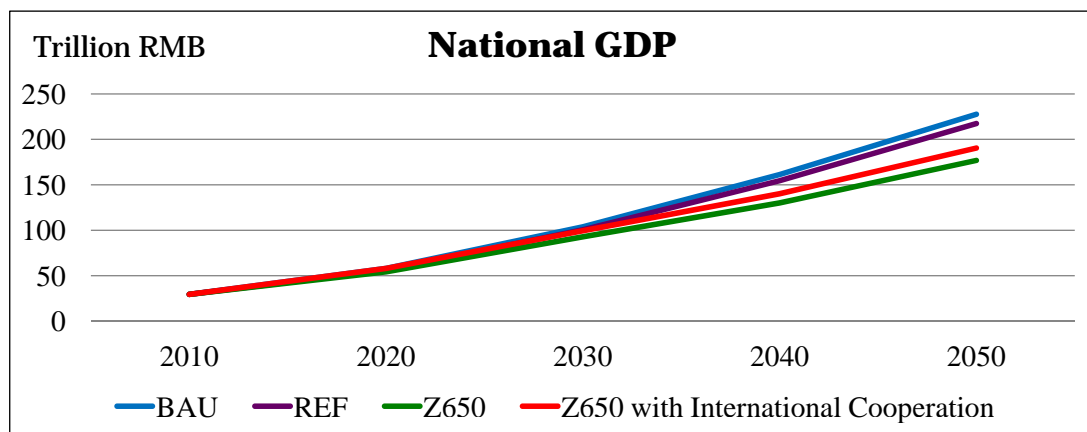
38

WIN-WINに向けて (日米中の補完的協カイメージ)



39

WIN-WINに向けて (協力の中国国内効果例)



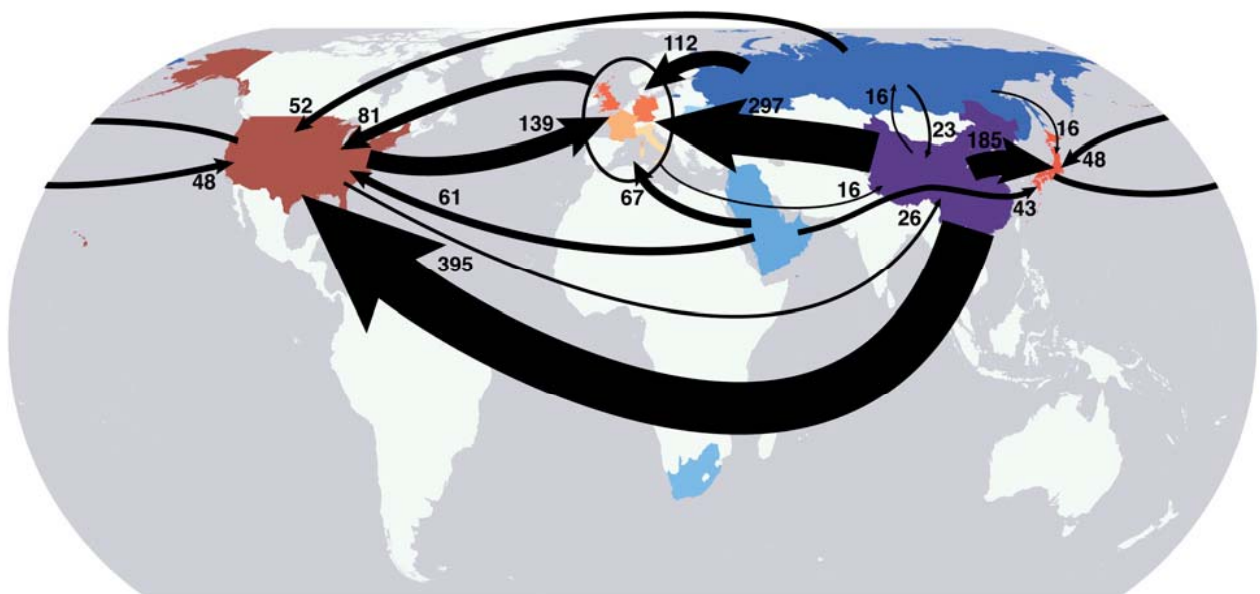
Scenario	2020	2030	2040	2050
REF	-3.6	-3.3	-4.2	-4.5
Z650	-6.4	-10.6	-19.3	-22.3
Z650 with International Cooperation	0.2	-4.2	-13.1	-16.3

WIN-WINに向けて (協力の期待する効果)

- 日本
 - 産業立国→技術立国
 - エネルギーセキュリティの確保
- 米国
 - 産業活性化(資源産業と製造業)
- 中国
 - ローカル環境改善
 - 産業構造の調整(ローカーボン産業)
 - エネルギーセキュリティの確保
- 国際
 - 温暖化抑制
 - アジア太平洋地域の安定
 - 途上国支援(ローカーボン成長方式の確立)

41

なぜ日米中なのか (相互依存関係)



Source: Steven J. Davis and Ken Caldeira (2010), "Consumption-based accounting of CO₂ emissions", PNAS, vol. 107, no. 12, 5687-5692

42

結論

-CIGSの世界ビジョン提案について、専門家間が討議を通じて、共有しつつある。

-その実現する途において、国際協力がキーとなる。

-温暖化抑制に向けて、日米中に相互依存と相互補完関係がある。

-日米中のWIN-WIN協カスキームの構築は、世界ビジョンの実現に大きく貢献できる。

-協カスキームの構築に向けて、専門家間のさらなる討議が期待される。

CIGSエネルギー2050研究会 概要

キャノングローバル戦略研究所
段 烽軍

1

エネルギー2050研究会(CIGS)メンバー

- メンバー

湯原哲夫、段烽軍、横山隆寿、青柳由里子 CIGS

松井一秋、黒沢厚志、新藤紀一、都筑和泰 エネルギー総合工学研究所

氏田博士 東京工業大学

大山 健 エナジス

藤井康正、小宮山涼一 東京大学

馬奈木俊介 東北大学

瓦谷ローバート孝一

(外部協力メンバー)

筒井純一、上野貴弘 電力中央研究所

(アドバイザー)

松野太郎教授 海洋研究開発機構

2

これまでの研究内容と結果

- 温室効果ガスの総排出量と排出曲線設定
Z650シナリオ作成及び気候影響評価
長期的な気候被害を避けながら短期的に多くのCO₂を排出できる
- エネルギー工学モデルによるエネルギー構成の予測
Z650を制約条件として、世界全体最適化
既存あるいは見通しのある技術に基づいて実現できるエネルギー構成
地域間衡平性のある排出配分
- エネルギーシステムの経済性分析
追加投資と省エネメリットの試算
世界及び地域毎に、追加投資を省エネメリットでカバーできる
- 国際協カスキームの構築
低炭素エネルギー技術普及を中心とした国際協カスキームの考案

3

2012年研究課題

- Z650シナリオに関する気象科学の再検討
長期影響、不確実性等
- 工学モデルによるエネルギービジョンの検討
エネルギー社会像
技術の感度解析
- 経済モデルによるZ650シナリオの評価
緩和策と被害を統合した経済評価
- 国際協カスキームの構築
低炭素エネルギー技術普及を中心とした国際協カスキームの考案
- ビジョン共有の可能性
日本の解析、中国の解析、米国との交流

4




筒井

気候科学の再検討

筒井 純一
電力中央研究所
上席研究員

Memo

Handwriting practice lines consisting of 20 horizontal dashed lines spaced evenly down the page.



気候科学の再検討

地球システムモデルによる Z650シナリオの気候復元性の検討

電力中央研究所 環境科学研究所

上席研究員 筒井純一

2012年7月24日

 電力中央研究所

© CRIEPI

1



 電力中央研究所

概要

◆Z650の要点

➤ Matsuno et al. (2012) Part 1, Part 2

◆地球システムモデル(CESM1)による詳細計算

➤ ゼロ排出後の温度応答に注目

Z650の論文

Matsuno, Maruyama, and Tsutsui (2012, Proceedings of the Japan Academy, Ser. B, 印刷中)

“Stabilization of atmospheric carbon dioxide via zero emissions — An alternative way to a stable global environment”

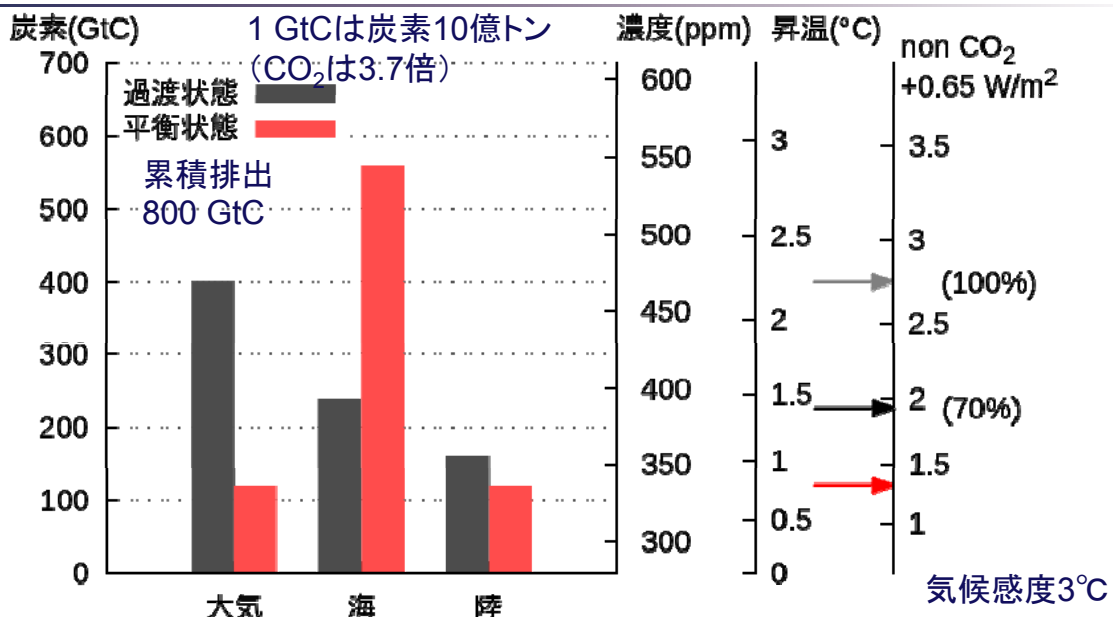
Part 1: Examination of the traditional stabilization concept.

21世紀前半のCO₂排出増加を許容しつつ、長期的な気候変化リスクを回避する考え方を提唱。CO₂のみの強制力の場合で、従来の濃度安定化と新しいゼロ排出安定化を比較。

Part 2: A practical zero-emissions scenario.

非CO₂強制力を考慮して、「2050年半減」の観点からゼロ排出安定化の利点を示し、現実的な排出パスとしてZ650を提示。

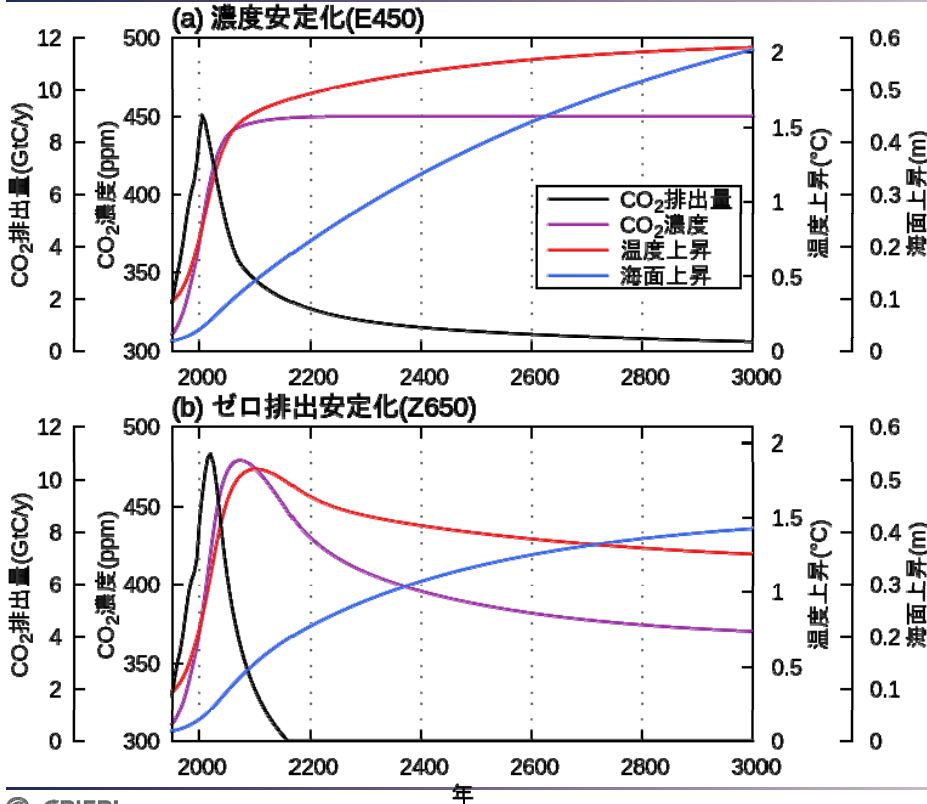
人為起源CO₂の蓄積と温度応答



排出ゼロの下で平衡に向かう過程 → 「ゼロ排出安定化」

一時的には排出されたCO₂の半分程度が大気に蓄積されるが、温度が平衡値に達するには時間がかかる。時間の経過とともに、海洋が大半のCO₂を吸収し、濃度、温度とも低下する。

濃度安定化とゼロ排出安定化

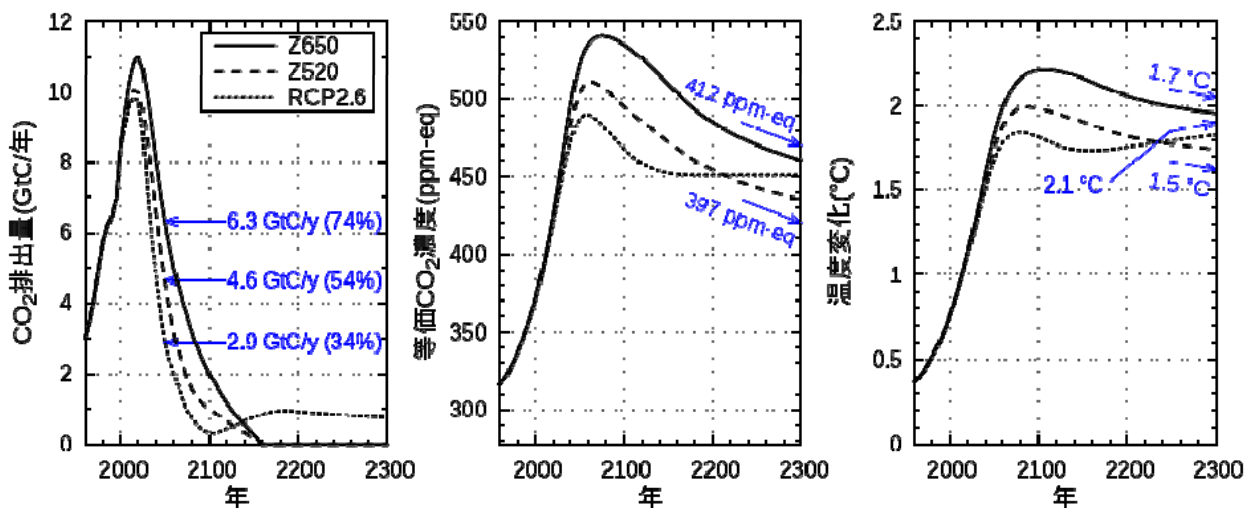


非CO₂なし、海面上昇は海水の熱膨張のみ。

濃度安定化は、自然吸収とバランスする人為排出が何百年も続くことを暗に仮定。

排出をゼロにすれば、温度は低下し、海面上昇も抑制される。

2°C制約の観点からの比較



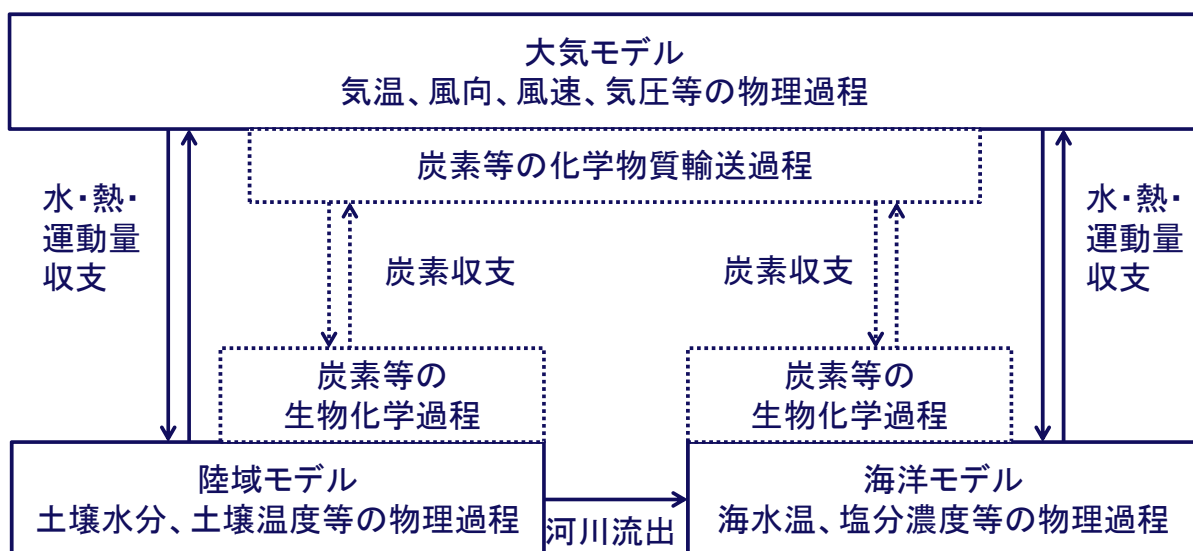
濃度安定化(RCP2.6準拠)では、遠い将来の目標達成のために、近い将来に厳しすぎる排出削減を課すことになる。温度目標が、変化の遅いグリーンランド氷床融解の制約による場合は、一時的な目標超過を許容して、さらに多くの排出が可能。(Z520とZ650の名称は、GtC単位での21世紀中の排出量を表す。)

Z650の温度変化の論点

- ◆ 21世紀前半の比較的急激な温度上昇への適応。
 - 気候感度が想定以上に高い場合のリスク管理。
- ◆ ゼロ排出達成後の気候復元(温度低下)がどの程度期待できるか。
 - 自然のCO₂吸収による濃度低下と、平衡状態に向かう温度応答の兼ね合いによる。
 - 非CO₂強制力の推移にも依存。

これまでの検討では、簡易気候モデルを使用。

地球システムモデルCESM1



野原ほか(2012, 電中研報告)

大気海洋結合モデル(実線)に生物化学過程(点線)を結合し、気候の変化と炭素循環(海洋と陸域生態系によるCO₂吸収)を詳細に計算。

CESM1は米国大気研究センターで開発された最新の地球システムモデル。

CESM1の概要

◆空間解像度

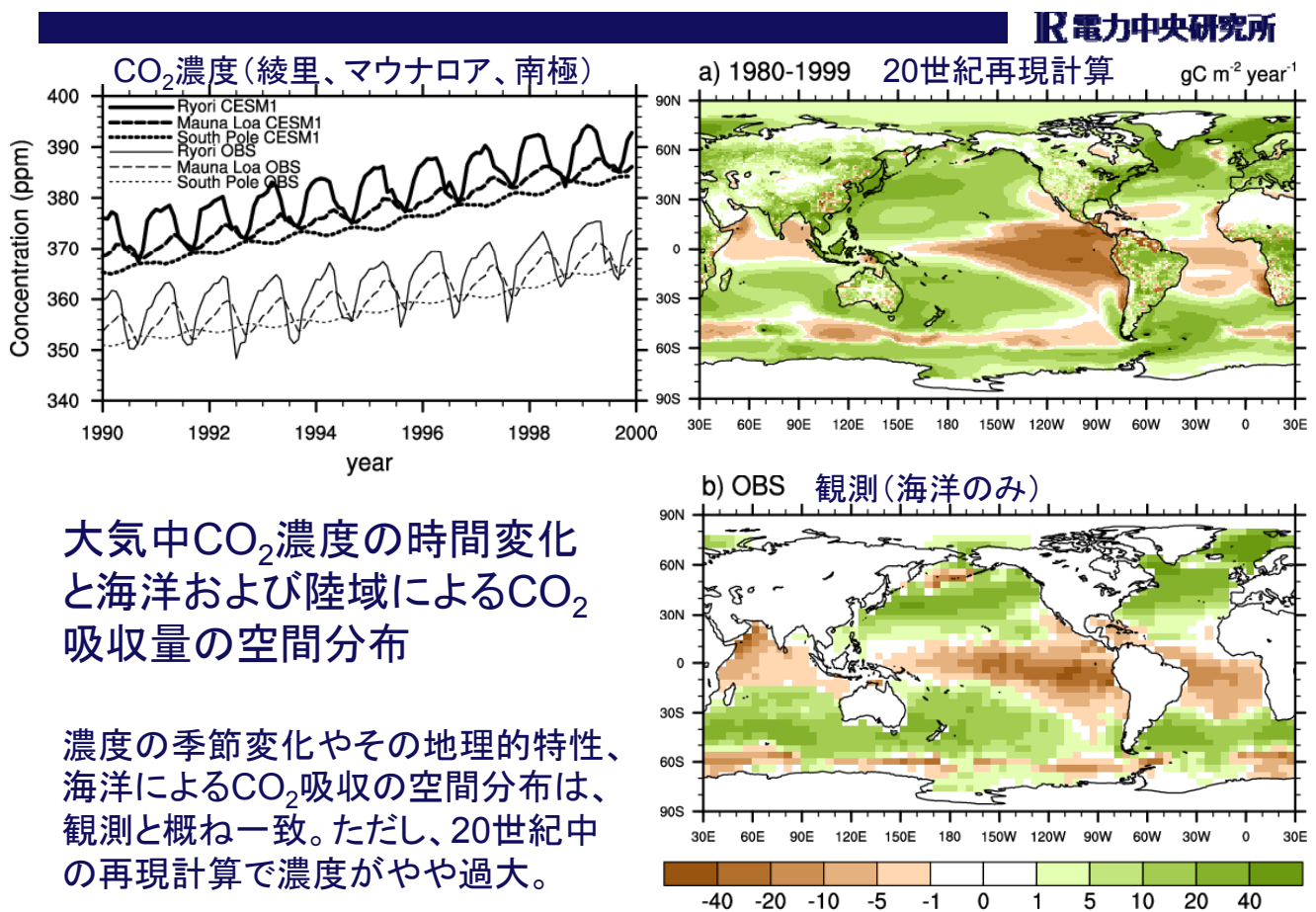
- ▶ 水平: 約1度、鉛直: 大気26層、海洋60層

◆海洋の生物化学過程

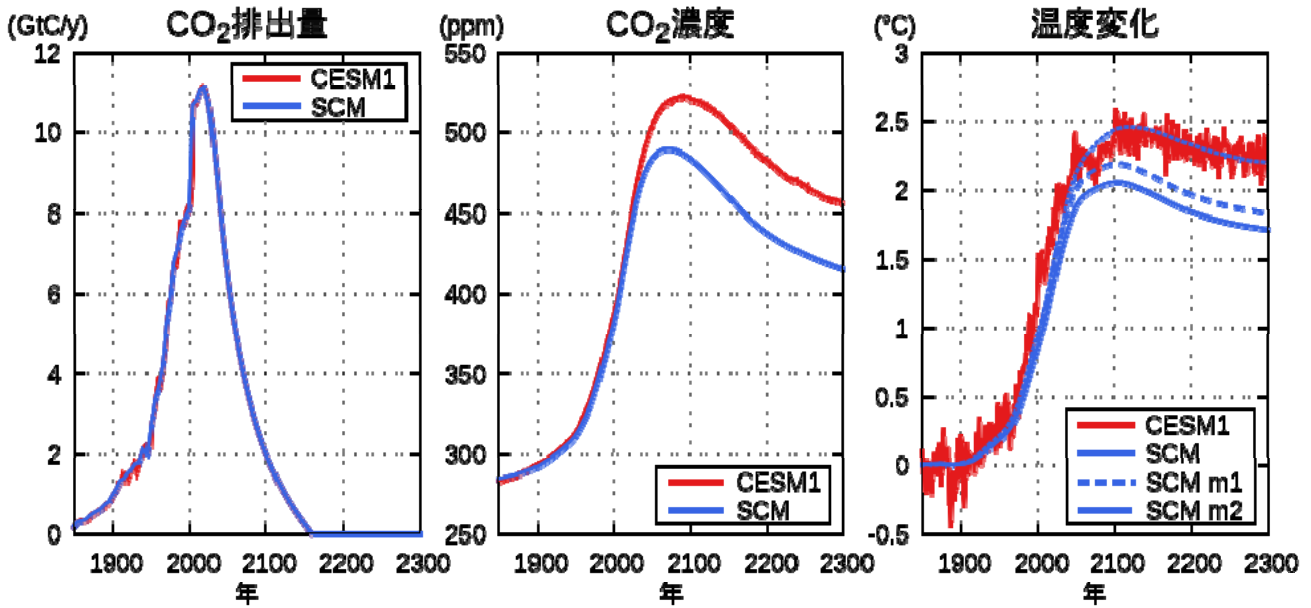
- ▶ 炭酸系の化学平衡
- ▶ 生物活動による化学物質の変遷

◆陸域の生物化学過程

- ▶ 窒素制限を含む炭素循環
- ▶ 光合成・呼吸・有機物分解が、気温・降水量・日射量などに依存



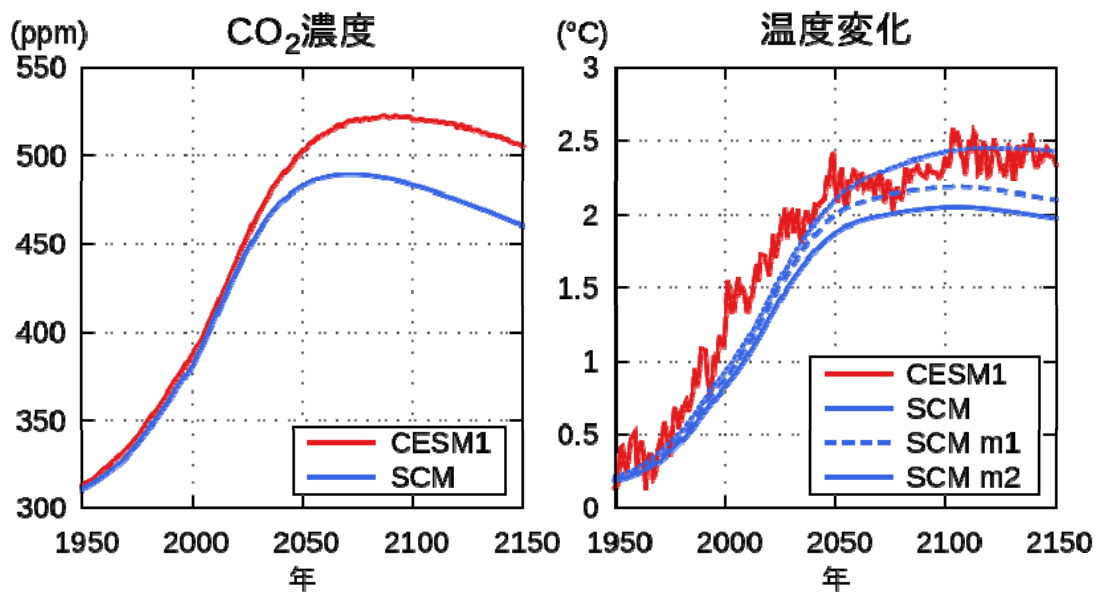
CESM1と簡易モデルの比較



CO₂排出: 2000年まで過去の実績、05年以降Z650、00-05年遷移期間
非CO₂: RCP 2.6

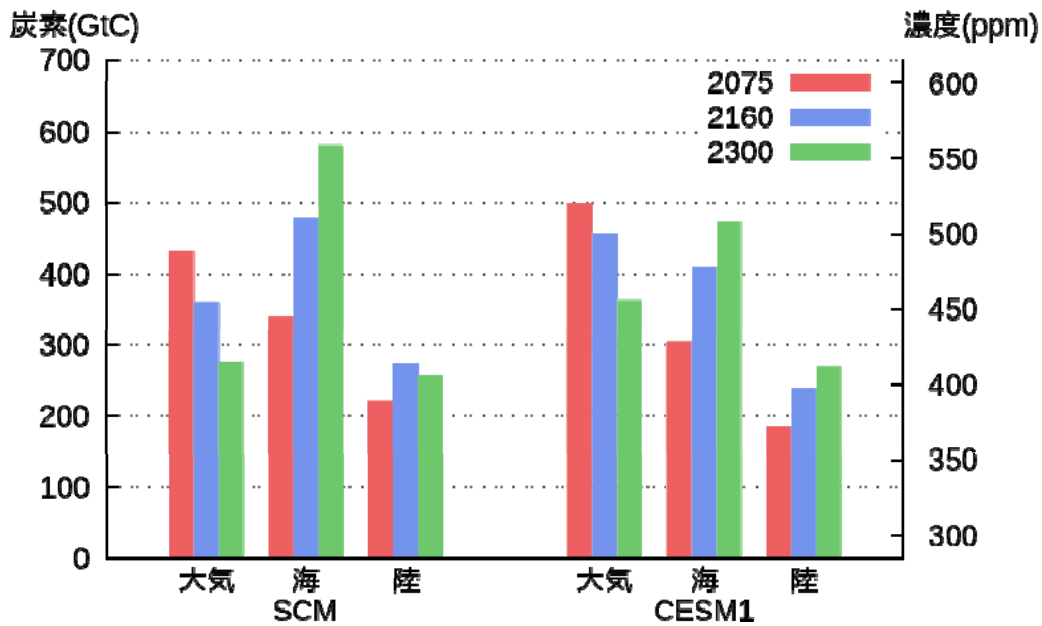
SCM: 簡易気候モデル(SEEPLUS)、気候感度3°C
SCM m1: 気候感度をCESM1の値(3.2°C)に調整
SCM m2: CESM1の濃度から、気候感度3.2°Cで計算

1950-2150年の変化傾向



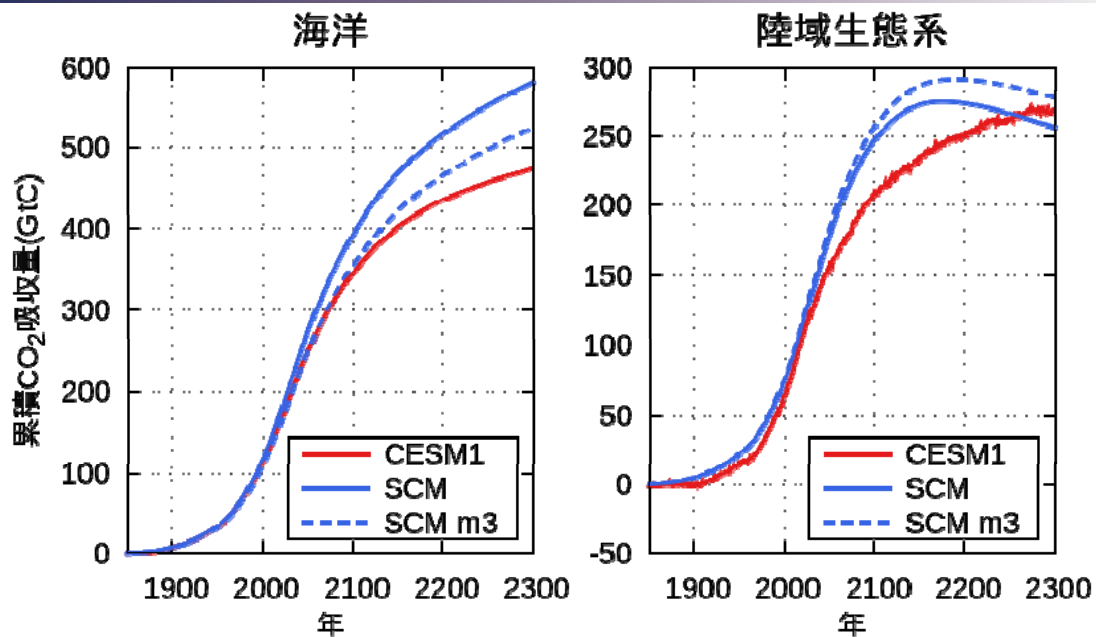
2030年頃までは、濃度差は小さいが、温度応答に大きな違いがある。

人為起源CO₂蓄積量の推移



大気の蓄積量は、2300年時点で86 GtCの差(41 ppmの濃度差)。
 21世紀後半以降、大気で減少、海で増加する傾向は共通。
 CESM1では、陸域のバイオマスが増加する傾向。

CO₂吸収の温度依存性(試算)



海洋の吸収量の差は、大気・海洋表層間のCO₂交換に関する温度依存性を考慮したテストケース(SCM m3)で、半分程度になる。ただし、陸域の差は拡大。陸域の吸収量は、もともとモデル間のばらつきが大きい。

まとめ

◆ ゼロ排出後の温度応答

- CESM1による詳細計算でも温度は低下する。
- モデル間の差は自然のCO₂吸収量(炭素循環)と気候感度に起因。
 - 気候復元について、簡易モデルはやや楽観的。

◆ 今後の検討課題

- 気候復元に関する平均的な傾向と不確実性。
 - より多くの地球システムモデルの傾向を比較。
- 21世紀前半の急激な変化に対するリスク評価。
 - 過渡応答に関する気候感度の不確実性考慮。

エネルギービジョンの 検討



都筑・新藤・黒沢

都筑 和泰
新藤 紀一
黒沢 厚志

(財)エネルギー総合工学研究所

エネルギービジョンの検討

(財)エネルギー総合工学研究所
都筑 和泰、新藤 紀一、黒沢 厚志

0

本発表の内容

- はじめに
- 計算の基本的な考え方
- エネルギービジョン
 - 社会・需要想定
 - BAUのエネルギー構成
 - Z650のエネルギー構成
- 原子力の導入が進展しない場合の影響評価
- まとめ

1

はじめに

- ・ 昨年6月の国内ワークショップでは、
 - ・ Z650が実現見通しのある技術の組み合わせで成立すること
 - ・ 投資と燃料節減がバランスしていることを示した。
- ・ 今回は下記の2点を中心に説明

「エネルギービジョン」の明確化

社会想定への提示

Z650を実現するための技術構成を、需要を含めて議論

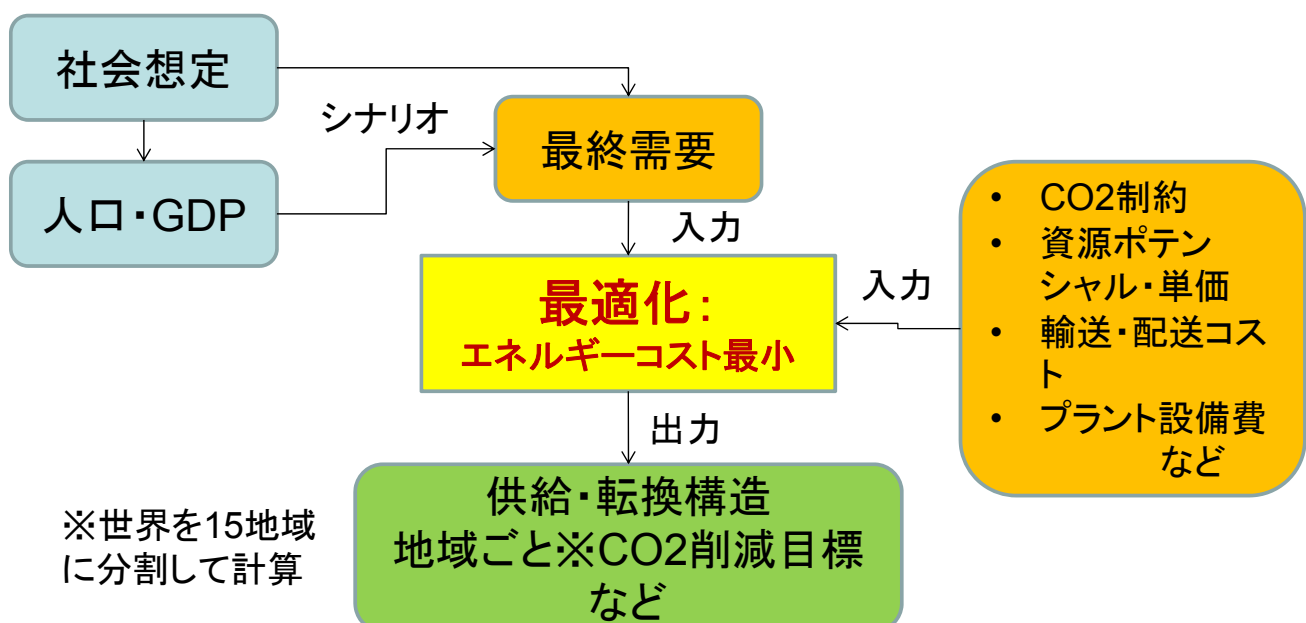
原子力の影響評価

原子力をフェーズアウトさせた場合の影響を分析

1. 計算の基本的な考え方

GRAPE (Global Relationship Assessment to Protect Environment)

エネルギーシステム最適化モデル



2. 社会・需要の想定

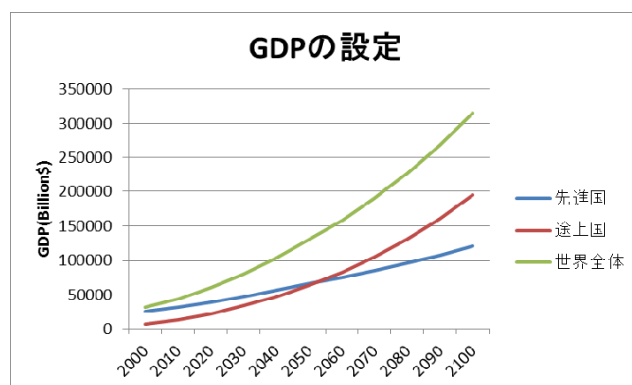
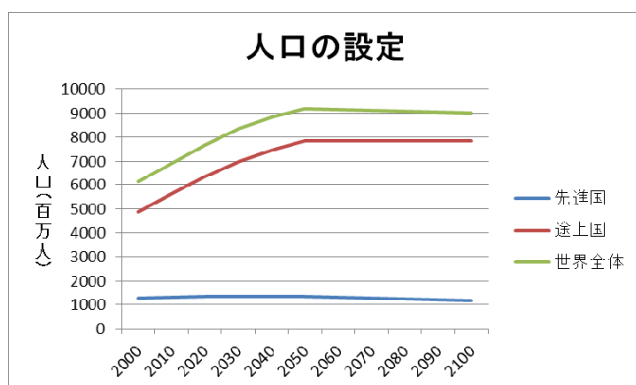
(1) 社会・経済想定

- 人口は国連の中位推計程度(2050年90億人)
- 世界全体が協調
- 先進国は着実に成長

(成長率は2010年頃は約2%/年、その後漸減し、2100年では約1.3%/年)

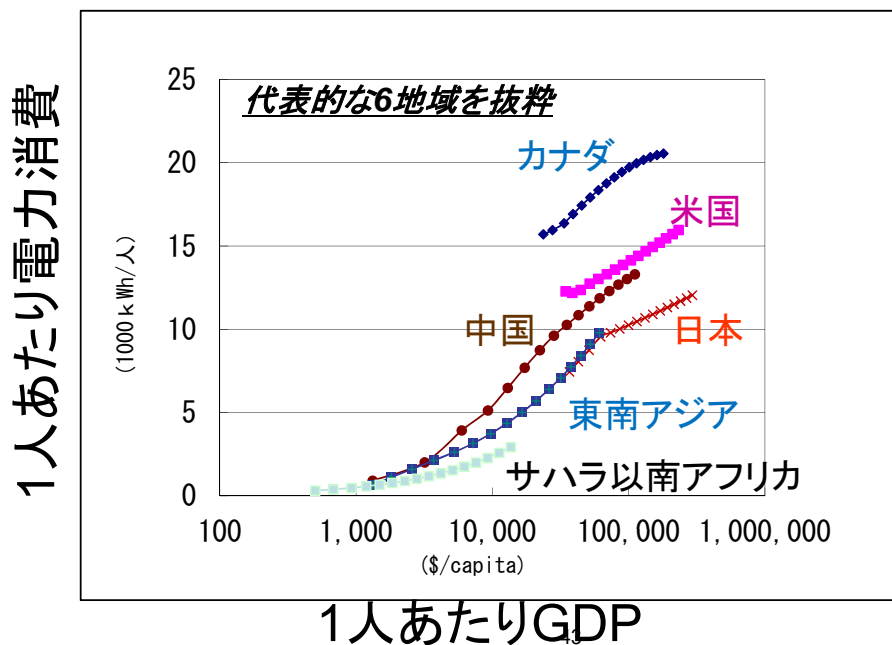
- 途上国は急速にキャッチアップ

(2010年頃は約5%/年程度、2050年で約2.5%、2100年では約2%)



(2) エネルギー消費の設定

- ◆ 一人あたりGDPの上昇とともに、エネルギー消費量も増加
- ◆ 一人あたりGDPの増加とともに、エネルギー効率も上昇
- ◆ 寒冷地はエネルギー消費が相対的に大きい



(3) 最終需要の想定

◆ 先進国は各部門ともほぼ横ばい:

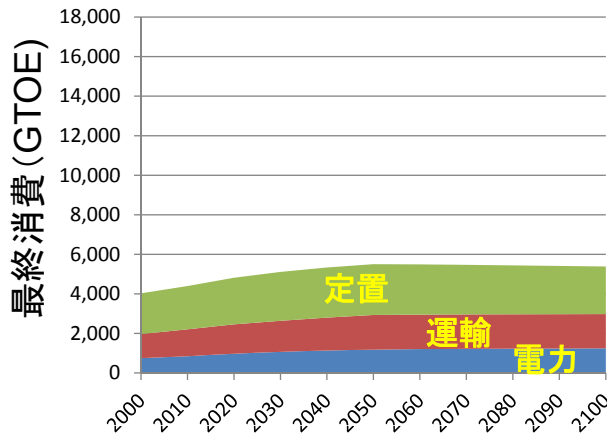
GDPは増加

効率向上、人口減

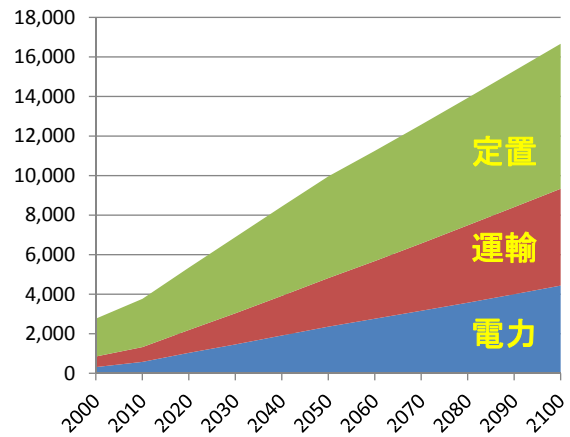
◆ 途上国の需要は各部門とも単調増加:

2050年には2000年の需要の約3倍

	電力	非電力
産業	電力	定置
民生	電力	定置
運輸	運輸	



先進国

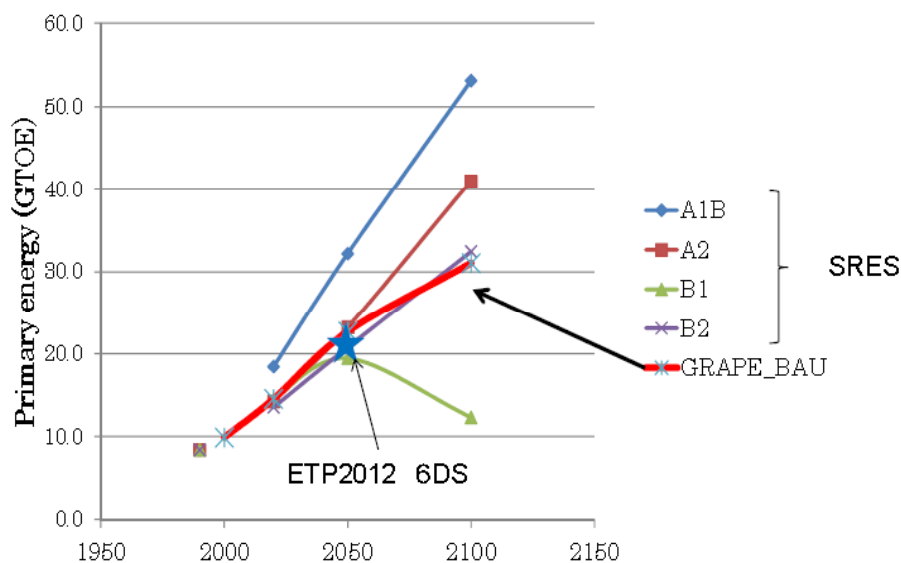


途上国

6

(4) 他のモデルとの比較

GRAPEの総需要は中庸な設定である



・A1~B2: IPCCが2000年に発行した、SRES(Special Report on Emission Scenario)のシナリオ。グローバルor地域重視、経済重視or環境重視の組み合わせで4シナリオを提示

・ETP2012 6DS: IEAのEnergy Technology Perspective2012における、なりゆきシナリオ。⁷
 この他に、よりCO2を削減する4DS、2DSシナリオがある。

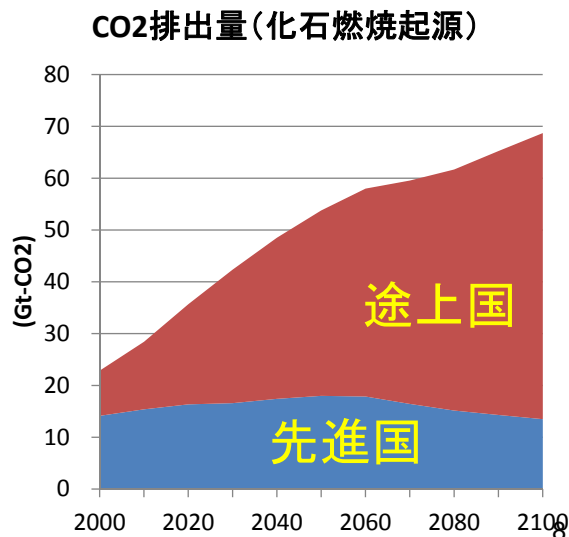
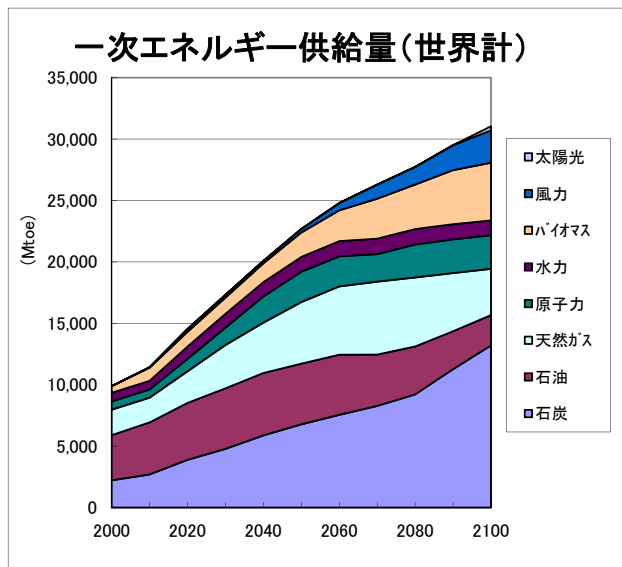
3. BAUのエネルギー構成

◆ 化石中心のエネルギー構成

今世紀は十分供給可能。ただし、2150年で総資源量の5～7割を消費
需給バランスの変化に関わる価格変動は考慮していない。

◆ CO2排出

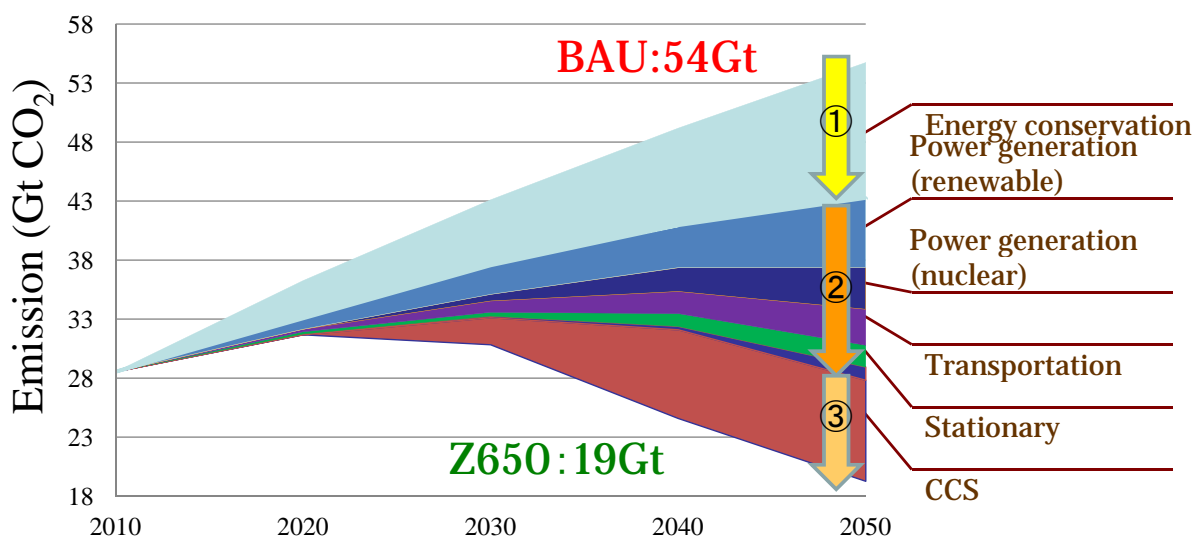
2050年54Gt(1990年の約2.5倍)。



4. Z650のエネルギー構成

CO2制約を実現するためには、下記の3点が重要

- ① 消費エネルギーそのものの低減
- ② 非化石エネルギー(原子力、再生可能)のシェア向上
- ③ 二酸化炭素の回収・貯留



4. 1 省エネルギーシナリオ

(1) 基本的考え方

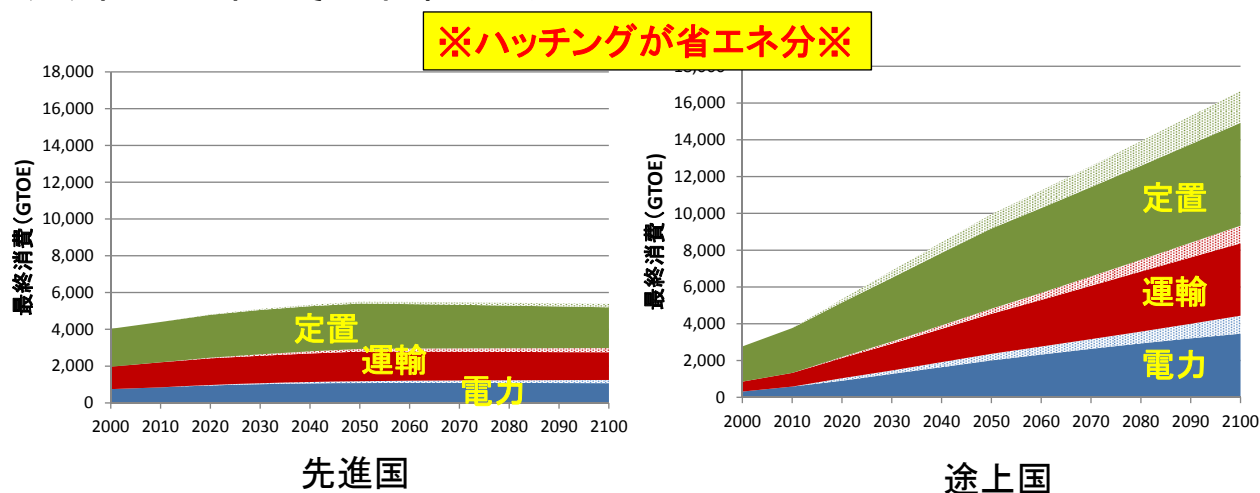
- 生産や消費者効用は保持しつつ、エネルギー効率を向上
- 機器の買い換え時に、高効率の機器が着実に普及。半強制的な措置・社会構造の変革は想定しない。

(2) 想定技術

- 産業
 - 高効率プロセス(鉄鋼、化学、セメントなど)
- 民生
 - トップランナー家電、住宅断熱、LED照明、BEMS、HEMS など
- 運輸。
 - 燃費向上、ハイブリッド など。

10

(2) 省エネ率とその位置づけ



- 途上国は、新規導入機器が中心になる分、省エネ率が高い。
先進国:約6%、途上国:約14% @2050年
- 世界の省エネはWEOのNew Policyシナリオ(現在予定されている政策・計画(未実施を含む)が着実に履行されることを想定)と同程度
- 日本の省エネは、中環審の低位シナリオと同程度。すなわち、現行ですすでに取り組み、あるいは想定されている対策・施策を継続

11

4. 2 供給側の低炭素技術(CCSを含む)

供給側の主要な技術は下記の通り

これらのうち、割安なもの(コスト増加に対するCO2削減量が大きいもの)から導入が進む

(1) 電力

- 原子力
- 風力・太陽光
- 火力+CCS

(2) 運輸

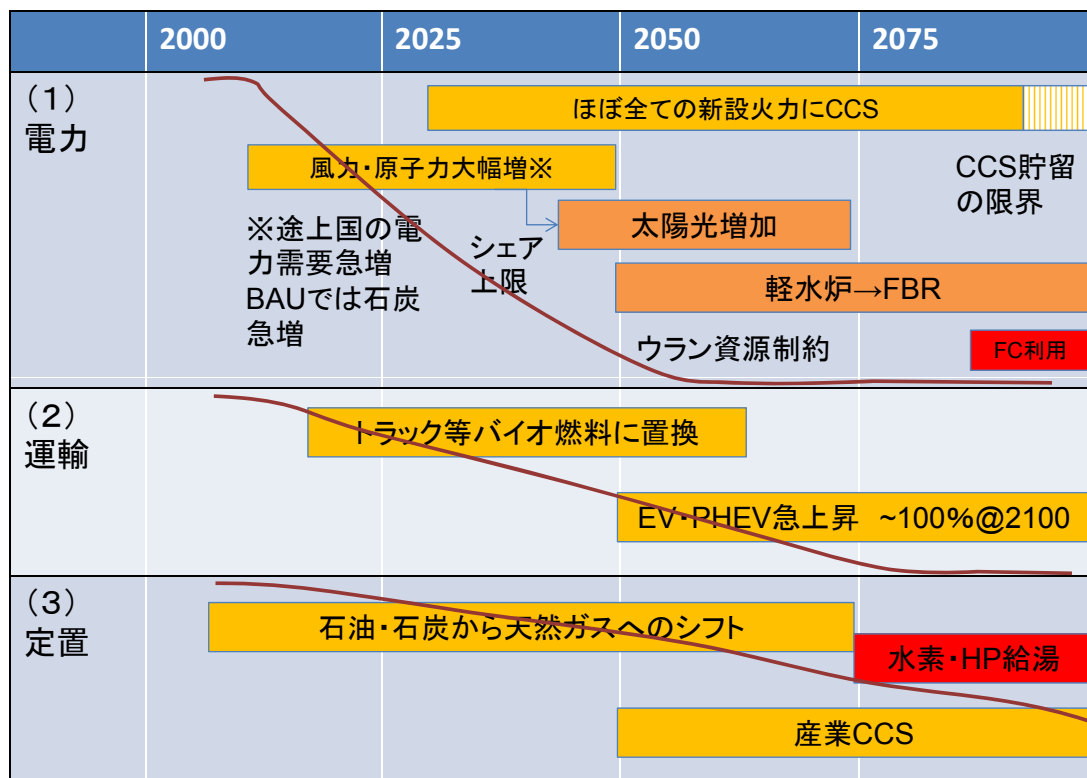
- プラグインハイブリッド、電気自動車
- バイオ燃料

(3) 定置＝産業・民生の熱源

- 燃料シフト(天然ガスの利用)
- バイオマス
- 水素利用
- 産業CCS

12

4. 3 CO2対策技術概観



図中の曲線はCO2削減率(Z650の排出/BAUの排出)のイメージ

4. 4 主要技術の評価

1) 風力と原子力の急増

2050年までの平均増加量

原子力:36GW/年(稼働率85%)

風力:90GW/年(稼働率25%)

これらは原子力の導入期の50GW/年(1980年代前半)、最近の風力の導入速度40GW/年と比べ、桁違いに大きい値ではない。

2) CCSの実用化

- ◆ 欧米でそれぞれ10程度の実証プロジェクトが進行中(2011.7現在)
- ◆ CCSプラントの発電コストはもとのプラントの4割~5割増しとされており、炭素価格の状況によっては十分な競争力をもち得る
- ◆ 欧米のロードマップでは、2015年頃に回収の商用化、貯留の実規模試験を想定(2011.7現在)

3) バイオ燃料

- ◆ 残渣とエネルギー作物だけでもポテンシャルは十分
- ◆ トラックや航空は電気への移行は困難であり、バイオ燃料によるCO2削減に期待。

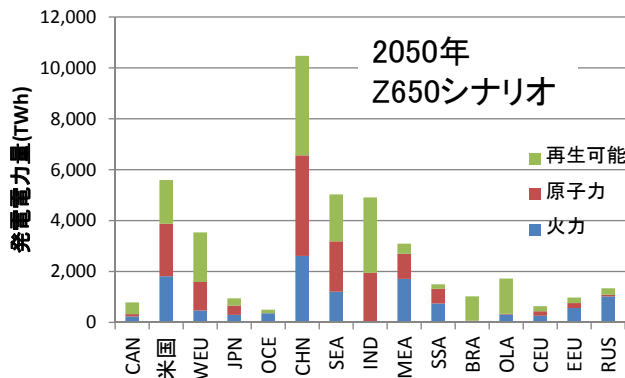
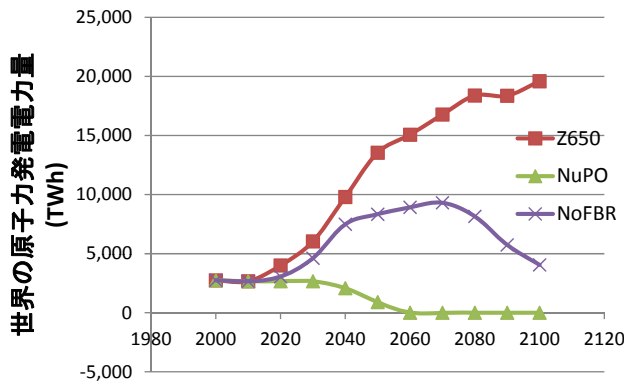
14

5. 原子力の導入が進展しない場合の影響評価

- 福島第一原子力発電所の事故により、世界の原子力の導入に何らかの影響が生じる可能性がある。
- ケーススタディ※として、原子力フェーズアウトケース(2010年以降世界全体で新設無し、既設炉50寿命について検討
- 同様に高速増殖炉(FBR)の導入が全く進まない場合についても評価。

※震災後の各国の反応を見ると、世界の原子力計画にはそれほど大きな変動はないようではあるが、極端ケースとして検討を進めることとした。

5. 1 原子力発電量の概況



<原子力制限なし>

- 2030年までの増設速度は現状の新設計画と同等
- 2030年以降、原子力導入速度が加速。
- 増設が大きいのは、主に中、印、東南アジアなど

<原子力フェーズアウト>

- 既設炉の寿命は50年に設定されており、原子力の発電規模が顕著に下がるのは2030年頃

<FBRなし>

- 2050年頃は約4割減
- 2080年以降急減

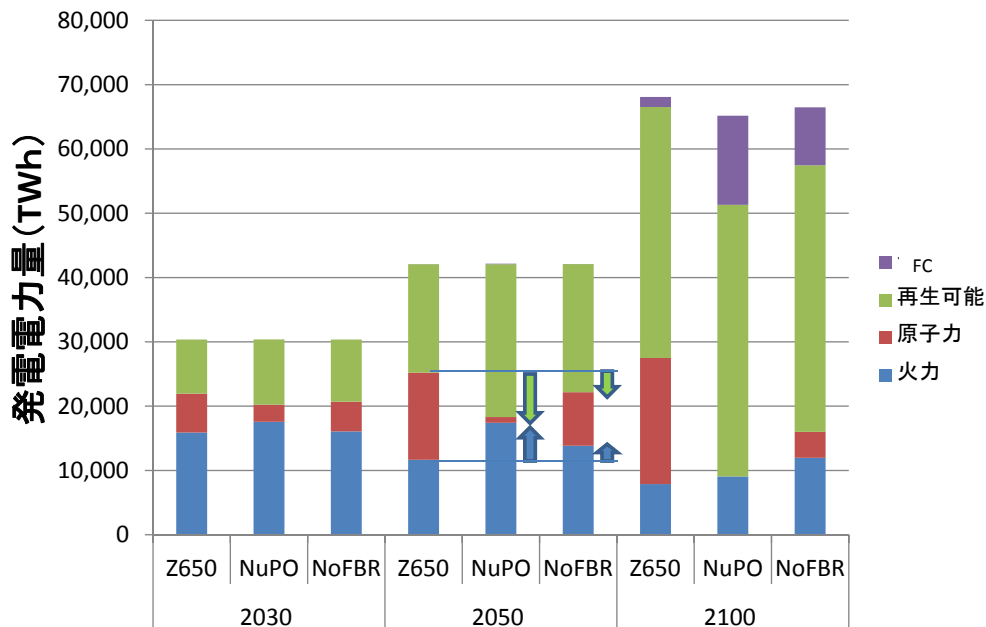
16

5. 2 発電構成への影響

2050年前後：原子力の減少分は火力と再生可能（主に太陽光）で代替

2100年前後：再生可能や火力の伸びしろは小さい。

原子力の減少分は、主に燃料電池(FC)で代替



17

5.3 コスト評価

GRAPEの設定では 原子力~CCS火力<太陽光<<FC

◆ 中期的(~2050年前後):

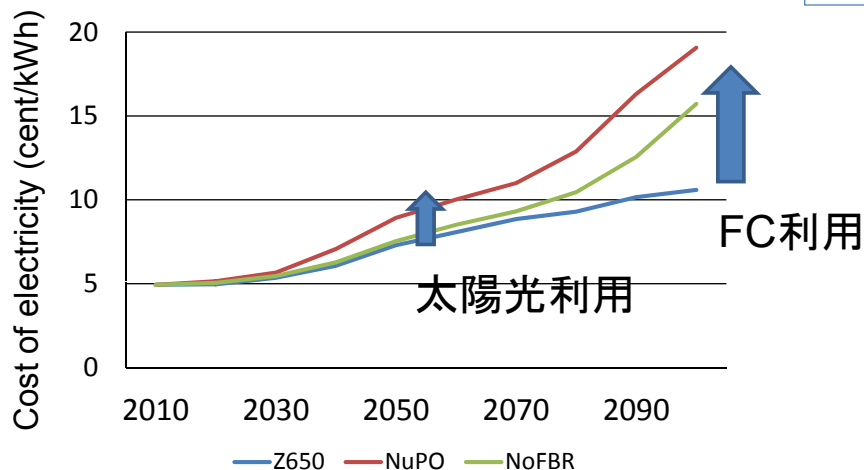
✓ 主に太陽光の増加により約10%コスト増

太陽光のコスト低減
化石燃料の調達
CCSの実施

◆ 長期的(~2100年):

✓ FCの大規模利用による、コスト大幅増

再生可能エネルギー
大規模利用に関わる
技術・経済的不確定性



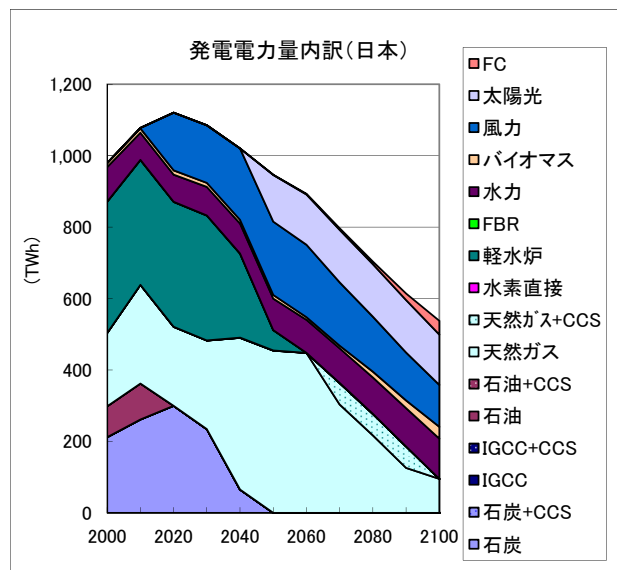
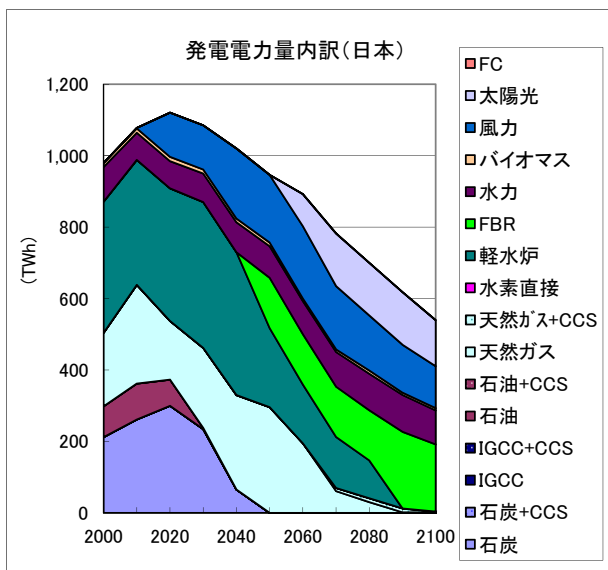
18

5.4 日本への影響

天然ガス火力の大幅増

太陽光の導入時期が2050年に前倒し

世界全体最適化の中で、日本の排出制限が若干緩和



コスト影響は限定的であるが、天然ガス消費増や、電源多様性低下に伴うリスクは増加

まとめ

- ◆ BAUシナリオは、途上国の急速な成長を化石燃料を中心に実現すること想定している。エネルギー消費量は中庸。
- ◆ Z650を実現するための当面の主要課題は、途上国の急増する需要への対応
 - ◆ 高性能機器の普及
 - ◆ 風力、原子力の急増
- ◆ 2030年以降に新設するほとんど全ての火力にCCSを設置することを想定。早期実用化に向けた研究開発が必要。
- ◆ 原子力をフェーズアウトさせると、2050年では10%程度の電力コスト増となる。ただし、化石燃料の高騰、CCSや太陽光の技術開発の停滞があれば、影響は大幅に増加。
- ◆ 長期的にCO₂削減を行うためには、原子力は重要なオプション。原子力フェーズアウト、高速増殖炉なしシナリオとも、大幅なコスト増につながる。

20

Memo

A series of horizontal dashed lines for writing.

Z650の経済性評価



畠瀬・馬奈木

畠瀬和志
神戸大学
馬奈木俊介
東北大学

Z650シナリオの経済性評価

—DICEモデルによる分析—

畠瀬和志(神戸大学)

馬奈木俊介(東北大学)

キヤノングローバル戦略研究所

2012-7-24

分析手法

1. DICEモデルによるシミュレーション
2. 3つの政策シナリオについて基本的な計算を行った
 - 「Z650」「500 ppm安定化」「C450 ppm安定化」の3つのシナリオについて計算
3. 費用便益分析を行った

DICEモデルの概要

- Yale UniversityのWilliam D. Nordhausが開発
 - 「DICE」とは、Dynamic Integrated model of Climate and the Economyの略。
- 全期間の効用 U を最大化する最適化モデル

$$\max_{c(t)} \sum_{t=1}^T U[c(t)](1+\rho)^{-t} \quad \rho: \text{時間選好率}; c: \text{一人当たり消費}$$

- CO₂蓄積モデルには、大気1層・海洋2層のボックスモデルを採用
- 温暖化被害は被害関数「 $a_1 Te(t)^{a_2}$ 」(Te: 気温上昇)を用いて経済モデルにフィードバック

3

DICE方程式の概略(経済的要素)

$$\text{Max} \sum_{t=0}^T \left[(1+\rho)^{-t} L_t \log \left(\frac{C_t}{L_t} \right) \right] \quad \text{Eq. 1. 目的関数(効用最大化)}$$

ρ : 時間選好率; C : 消費; L : 労働

$$K_t = (1 - \delta_K) K_{t-1} + I_{t-1} \quad \text{Eq. 2. 資本蓄積}$$

C : 資本; I : 投資

$$Y_t = A L_t^{1-\gamma} K_t^\gamma \quad \text{Eq. 3. 生産関数}$$

A : 全要素生産性

$$Y_t = C_t + I_{t-1} \quad \text{Eq. 4. マクロ経済恒等式}$$

Y : 総生産

4

DICE方程式の概略(気候変動要素)

$$Q_t = \frac{Y_t}{1 + A_2 T e_t^{A_3}}$$

Eq. 5. 温暖化被害込みの総生産
 Q : 被害込み総生産; $T e$: 気温上昇
 A_2, A_3 : 温暖化被害関数のパラメータ

$$E_t = \sigma_t (1 - \mu_t) Y_t$$

Eq. 6. CO₂排出関数
 E : CO₂排出量、 σ : 排出係数

$$CC_t = \beta E_t + (1 - \delta_{CC}) CC_{t-1}$$

Eq. 7. 大気中のCO₂蓄積量
(大気1層、海洋2層のボックスモデル)
 CC : CO₂蓄積量; β, δ_{CC} : パラメータ

5

シミュレーションの計算条件

- シミュレーションのシナリオは「C500」「C450」「Z650」の3種類とする
 - 各シナリオの制約条件以外は、共通のパラメータ(以下)を使用
- 経済モデル・CO₂排出モデルのパラメータ設定にはDICE-2010のデフォルト設定を使用
- 気候モデルのパラメータ設定にはDICE-2007のデフォルト設定を使用
 - 被害関数にもDICE-2007のデフォルト設定を用いる

6

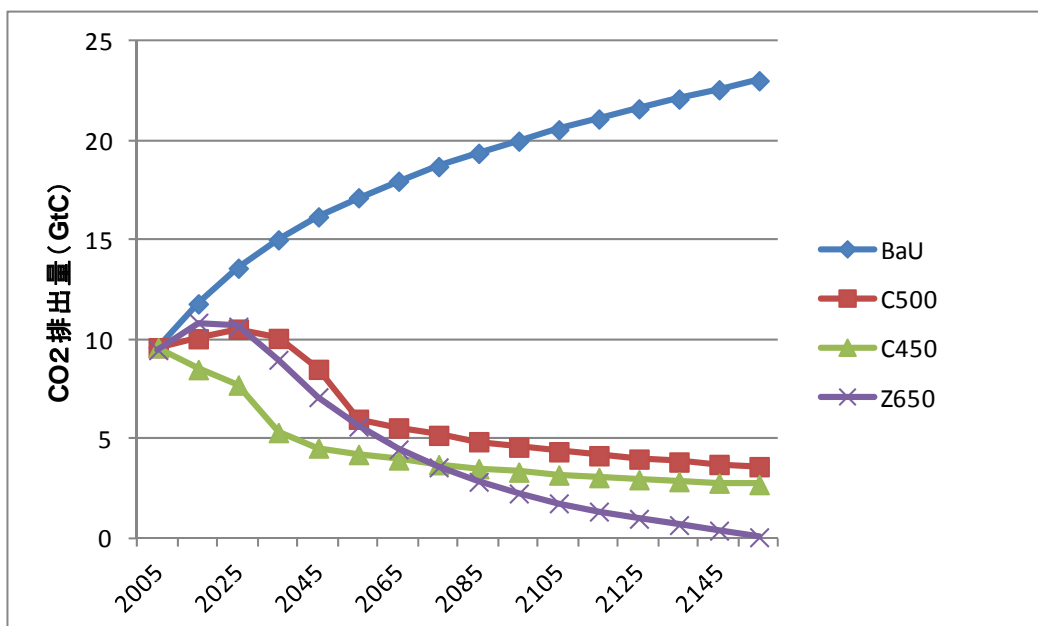
シミュレーションのシナリオ

シナリオ名	説明
C500	CO ₂ 濃度の上限を500ppmに制限
C450	CO ₂ 濃度の上限を450ppmに制限
Z650	CO ₂ 排出量をZ650シナリオの排出量に固定

7

計算結果：CO₂排出量（長期）

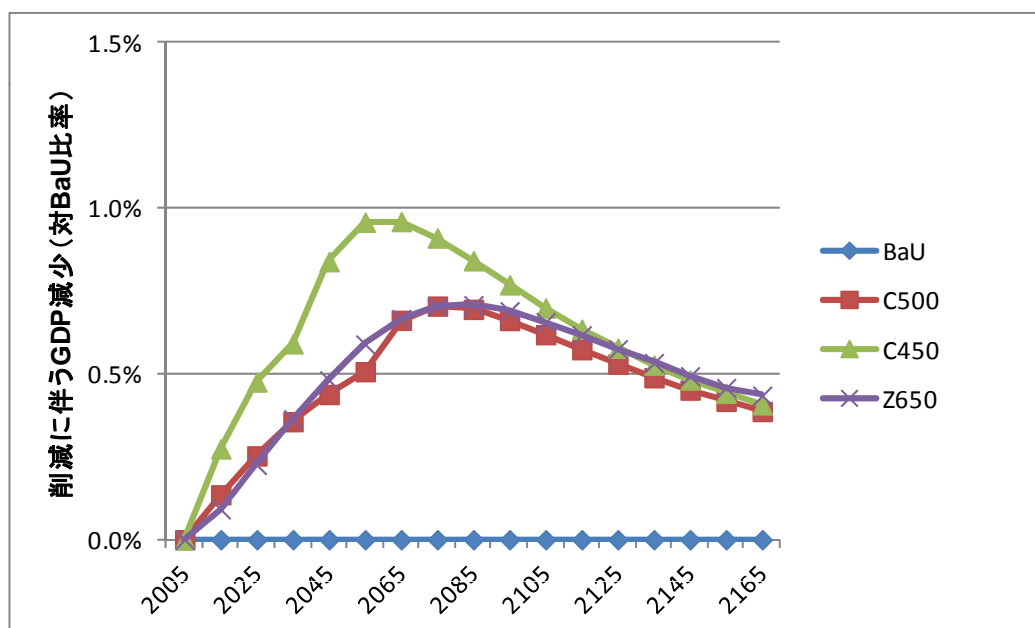
- Z650シナリオの排出量は22世紀半ばにはゼロに近づく。他方、C500とC450は22世紀もCO₂排出が続く



8

計算結果：CO₂削減に伴うGDP減少

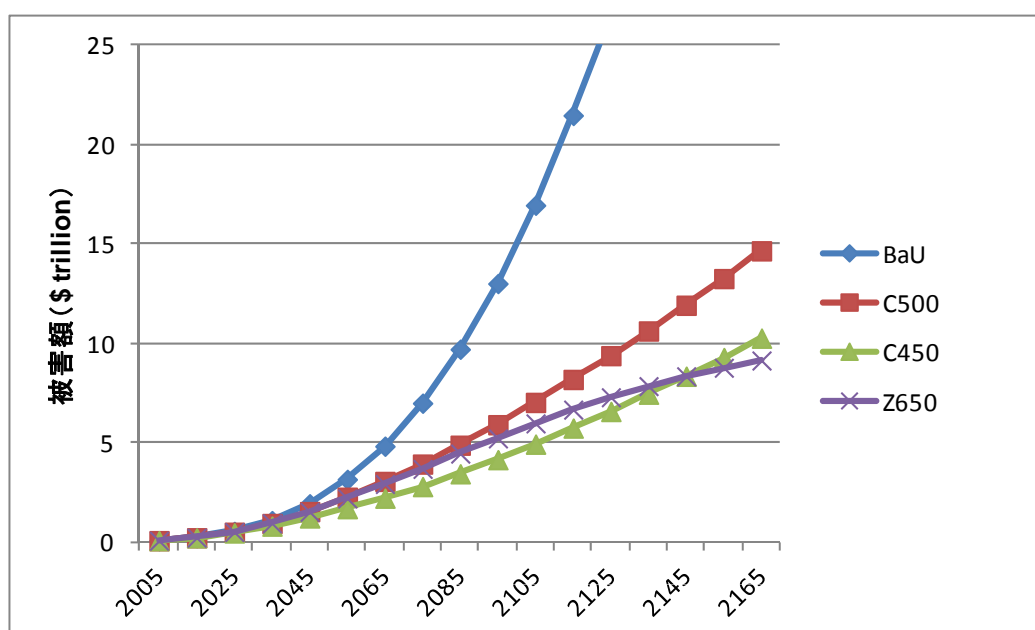
- Z650シナリオによるGDP減少は、C500と同程度である。C450のGDP減少はずっと大きい。



9

計算結果：温暖化による被害額

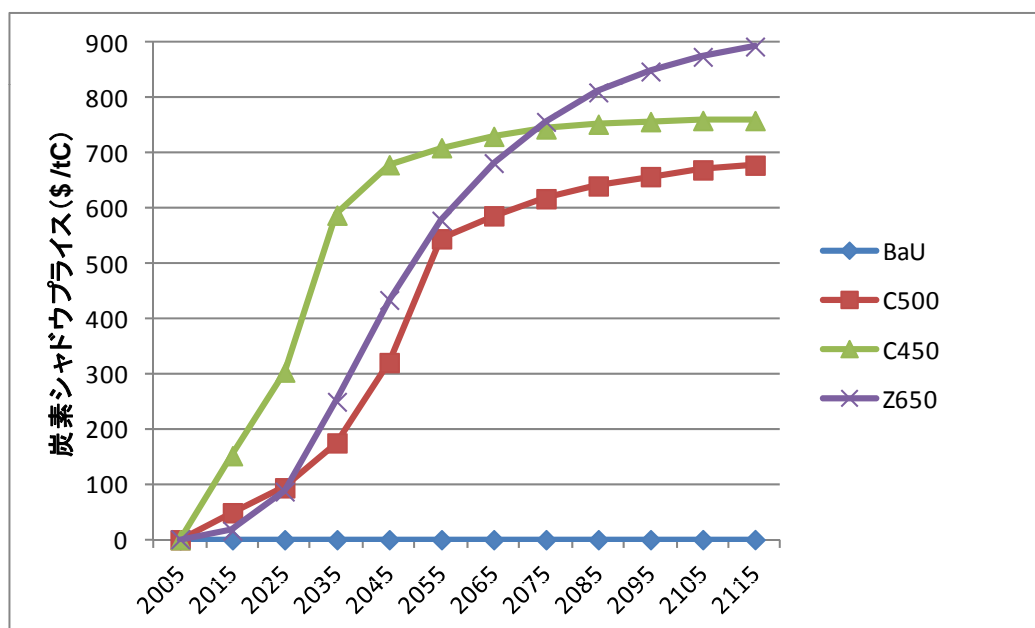
- Z650シナリオの被害額は、21世紀はC500と同程度であるが、22世紀後半にはC450の被害額を下回る。



10

計算結果：炭素シャドウプライス

- Z650の炭素シャドウプライス(限界削減費用)は21世紀前半はC500に近いが、21世紀後半には大きくなる。



11

「被害費用込みGDP」の計算

- Sustainable Developmentの指標として、温暖化被害を反映させたGDPを計算。
- 計算式：

$$Q(t) = \frac{Y(t)}{1 + D(t)}$$

$$D(t) = A_2 T e_t^{A_3}$$

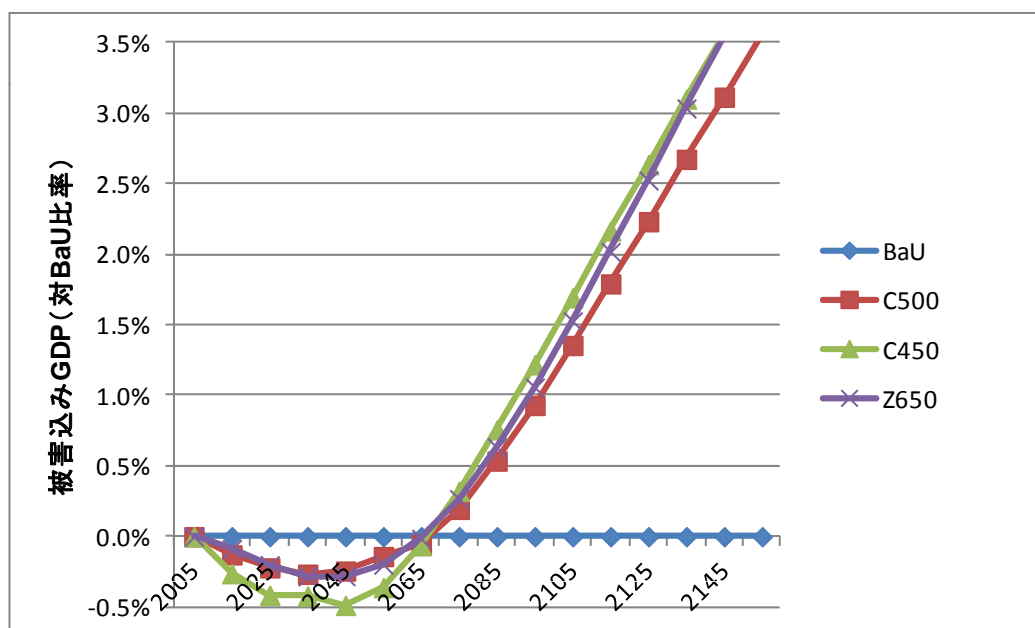
$Q(t)$: 被害費用込みGDP

$D(t)$: 被害関数 (A_2 、 A_3 : パラメータ)

- パラメータにはDICE-2007モデルの値を使用

計算結果：被害費用込みGDP

- Z650シナリオの被害費用込みGDPは、21世紀前半の減少が小さく22世紀以降の増加が大きい。



13

費用便益分析

- 各シナリオの[便益－費用]の総和の割引現在価値として評価

- 計算式：

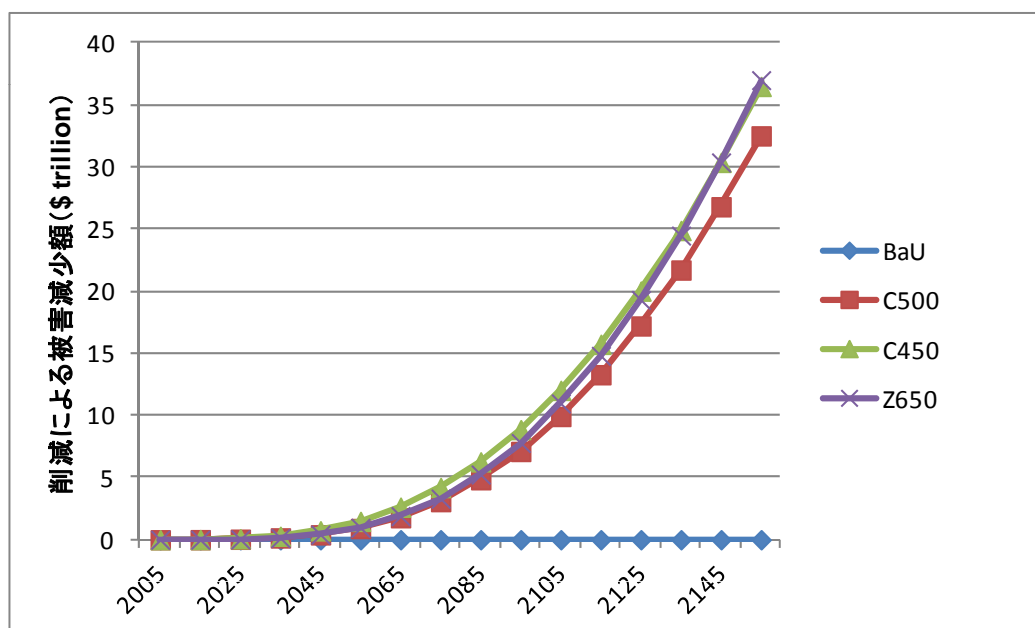
$$\sum_{t=2005}^T \frac{\text{削減による被害減少}(t)}{(1+r)^t} - \sum_{t=2005}^T \frac{\text{削減費用}(t)}{(1+r)^t}$$

r : 割引率

- 次ページ以降では、便益(削減による被害減少)と費用を別々にグラフ化し、最後に[便益－費用]の総和を示す

費用便益：削減による便益（割引なし）

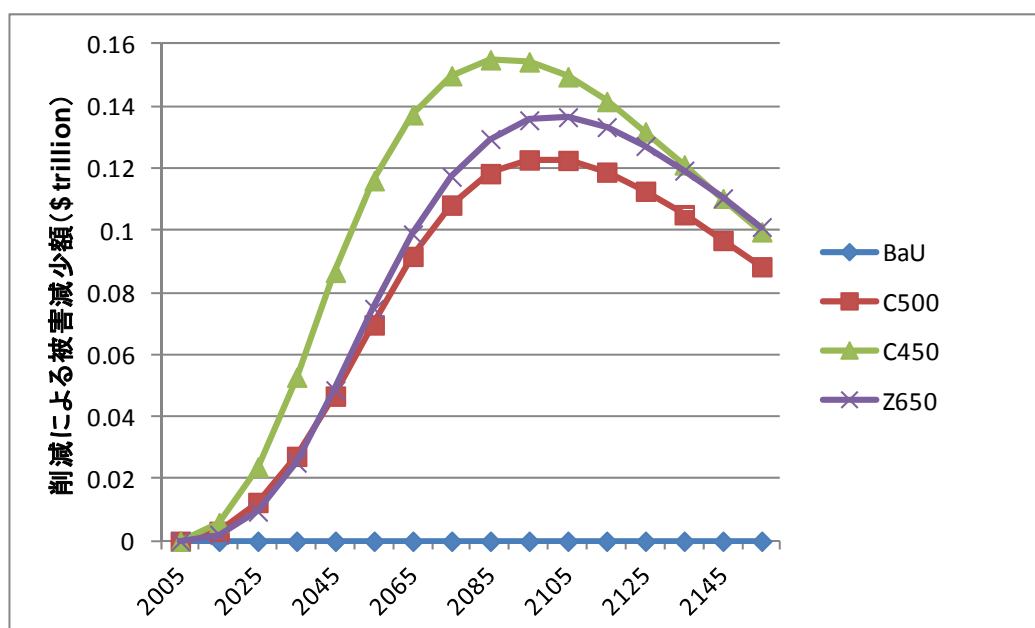
- Z650シナリオの被害減少（削減による便益）は、22世紀後半にはC450より大きくなる



15

費用便益：削減による便益（割引あり）

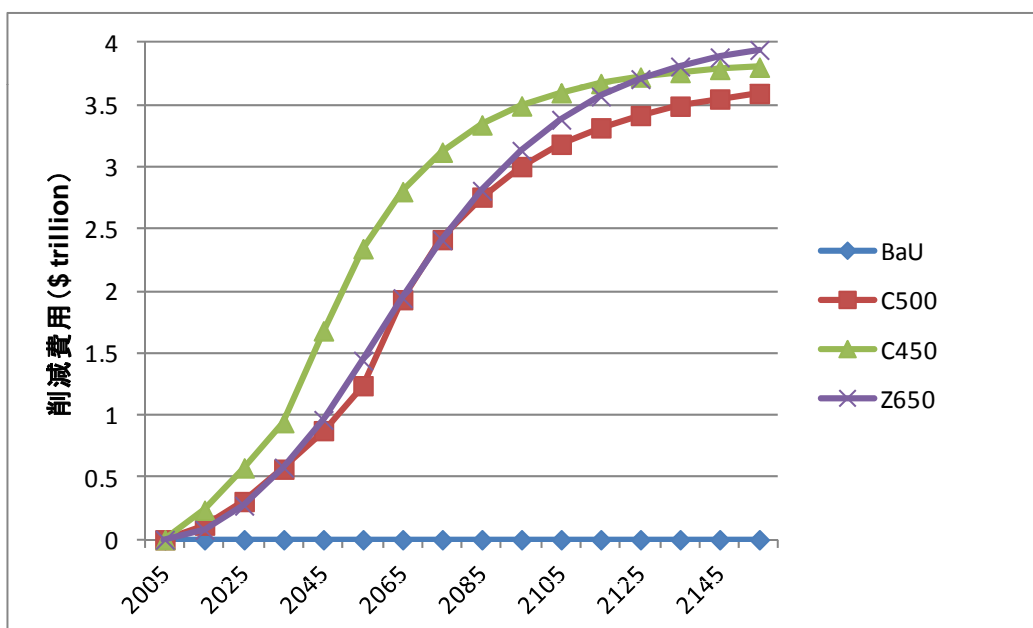
- 現在価値で見た被害減少（削減による便益）は、2100年頃が最も大きい。



16

費用便益：削減費用（割引なし）

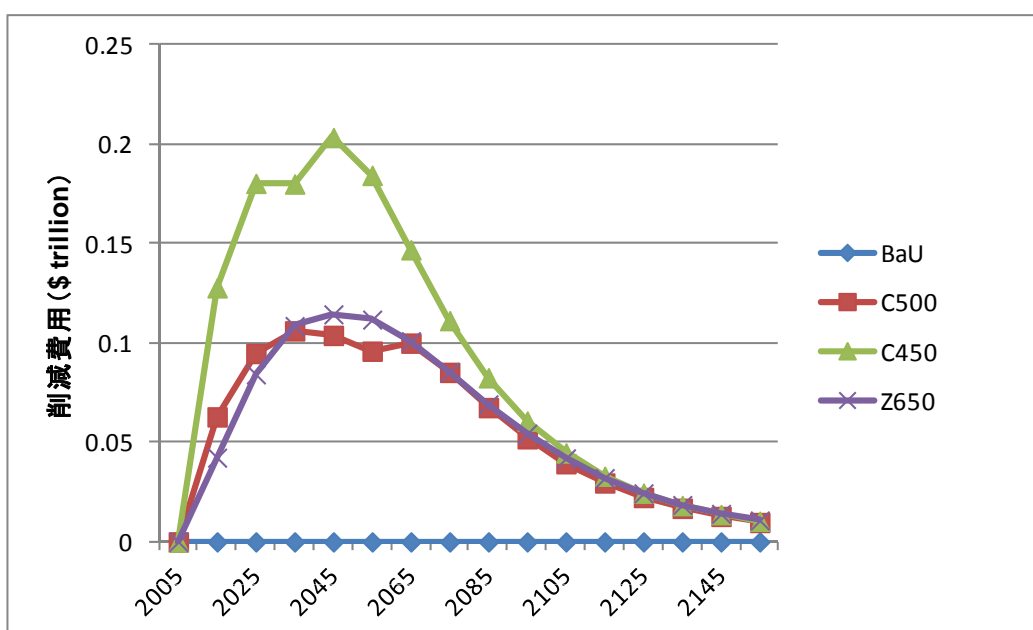
- BaUのGDPと各シナリオのGDPの差として計算。Z650の削減費用は、21世紀中はC500と同程度である。



17

費用便益：削減費用（割引あり）

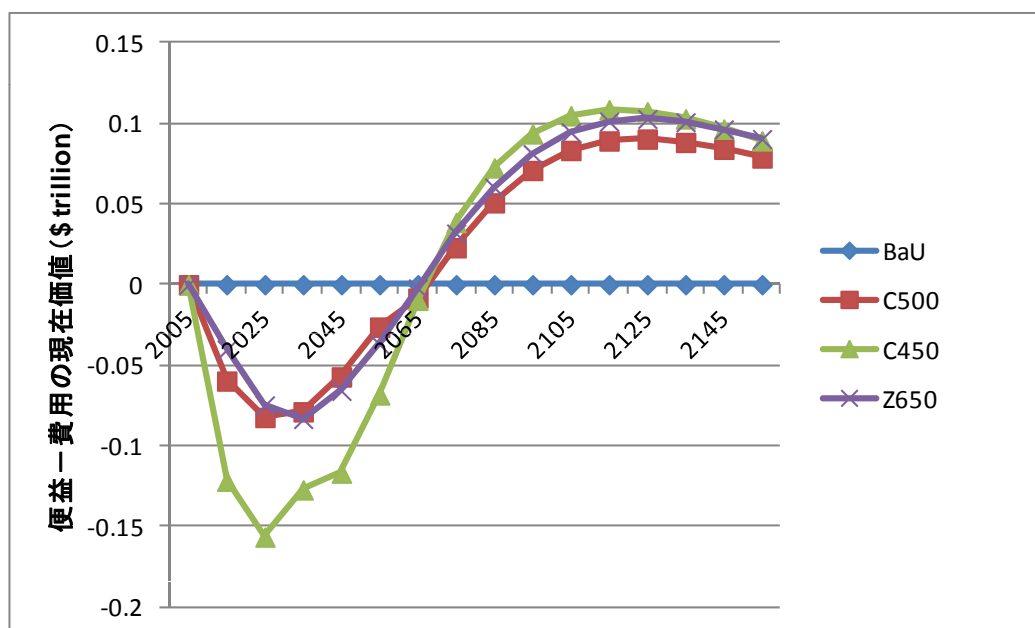
- 割引により現在価値に直すと、C450の削減費用はC500とZ650よりかなり大きくなる。



18

費用便益：便益－費用の各時点の値

- 21世紀前半は費用が先行して[便益－費用]はマイナスであるが、時間に伴い便益が上回りプラスの値になる。



19

費用便益：便益－費用の総和

- 以上で求めた各シナリオの[便益－費用]の現在価値を累積的に足し合わせた
 - この値が大きいほど政策として有利とみなせる
- 以下の表においては、Z650がほぼ全ての足し合わせで有利になっている

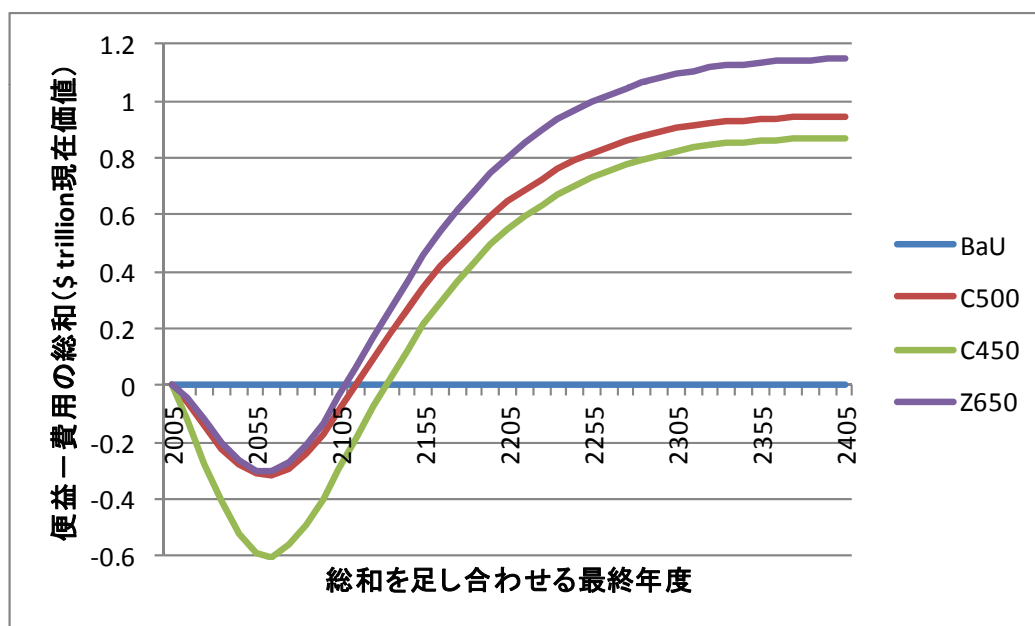
足し合わせる年度	～2055	～2105	～2155	～2205	～2305
C500	-0.30	-0.08	0.35	0.65	0.90
C450	-0.59	-0.29	0.21	0.55	0.82
Z650	-0.30	-0.04	0.46	0.80	1.10

単位：\$ trillion (割引現在価値)

20

費用便益：便益－費用の総和(グラフ)

- 前ページに示した値を10年単位でグラフにした。やはりZ650が足し合わせ値のほぼ全部で有利になっている。



21

結果のまとめ

- DICEモデルにより、気候モデルで計算されたCO₂濃度と温度上昇を概ね再現出来た
 - 経済モデルに付属する簡易気候モデルの再現精度の問題は重要(排出パスに影響するため)
- Z650によるGDP減少(=対策費用)は、C500と同程度である
- 費用便益分析で各シナリオの優位性を評価すると、Z650 > C500 > C450の順となる
 - Z650は21世紀前半の対策費用が小さく、21世紀後半以降の被害低減効果が大きいため
 - C450は21世紀前半の対策費用が大きい

22

今後の作業予定

- 今回はDICEで計算したが、今後は多地域モデルのRICEも運用する
 - RICEとは「Regional dynamic Integrated model of Climate and the Economy」の略
- 多地域モデルのRICEにより、各シナリオにおける地域毎の政策効果を分析
 - 排出量、削減費用、気候ダメージなどを計算
 - 先進国と途上国におけるインパクトの違いを見る
- DICEとRICEを使い分け、Z650シナリオの政策効果を総合的に評価する

国際協カスキームの 設計



横
山

横山 隆壽
CIGS主任研究員

国際協カスキームの設計

-低炭素排出技術移転のための二国間取組の枠組み-

CIGSワークショップ

2012年7月24日

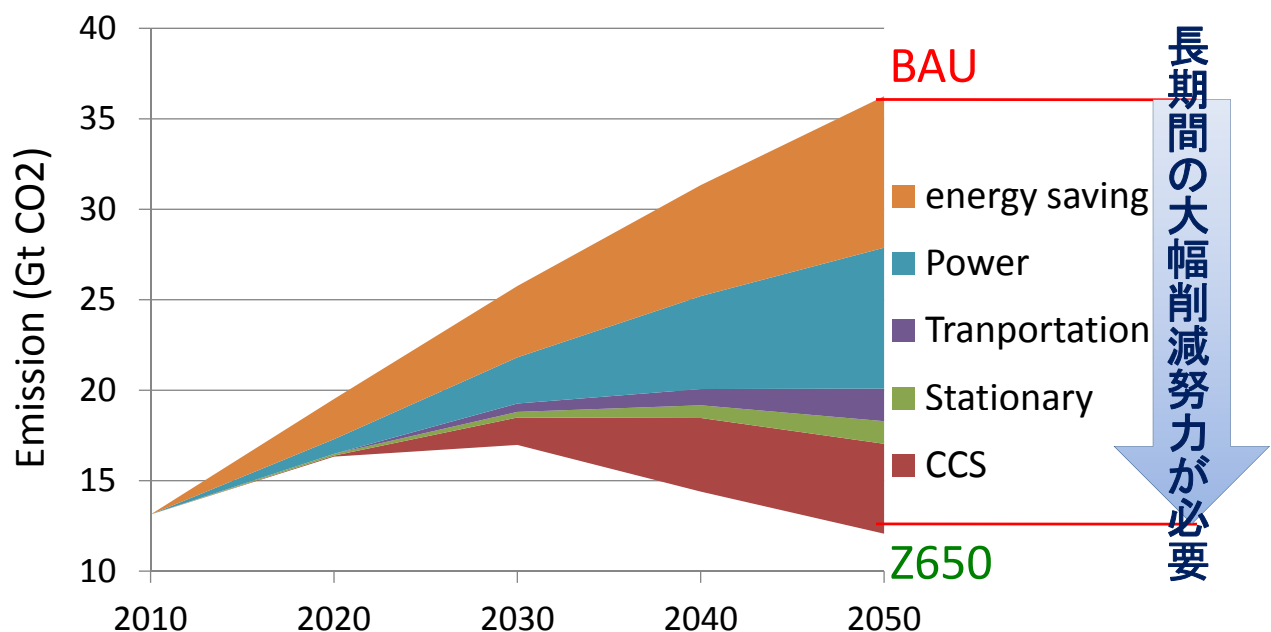
Takahisa Yokoyama

Canon Institute of Global Studies

yokoyama.takahisa@canon-igs.org

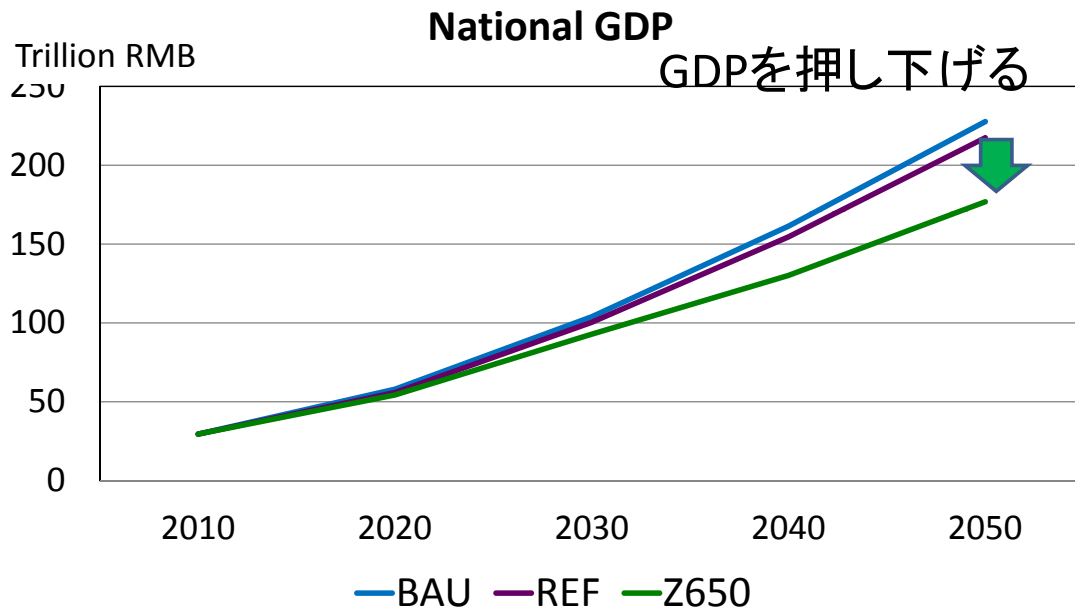
1

GRAPE解析結果： 途上国におけるエネルギー技術のポートフォリオの展望



✓発電部門のCO2削減が最大のかなめ

一方、CO2排出削減のGDPへの影響は：例 中国



The economic performances of the three scenarios were examined by economy-energy technology coupled model. Slight influence for REF and significant influence for Z650.

Z650パスウェイによるGHG排出削減のために

1. 長期目標 (Z650パスウェイ):

- ✓ 25% 削減 (2050年:2005年比)
- ✓ すべての国・機関に適用

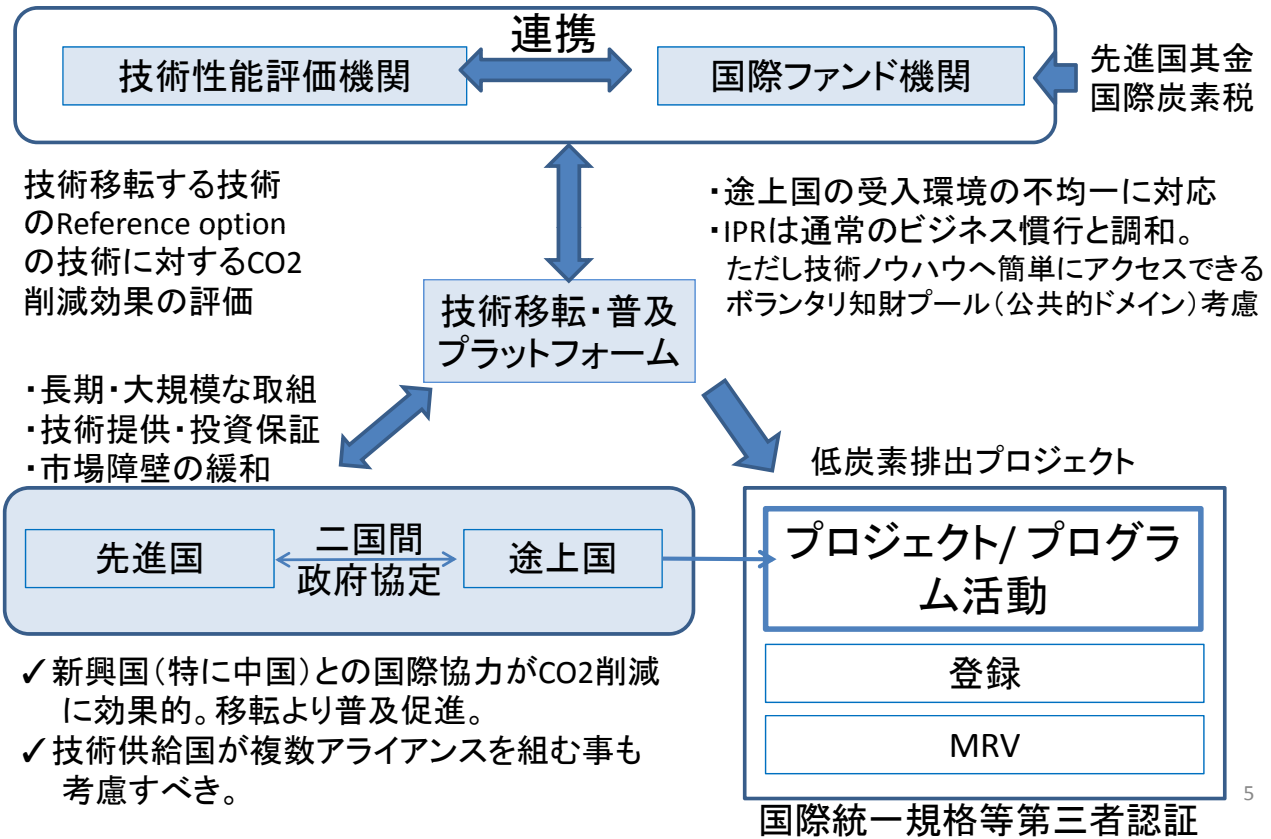
2. GHG排出削減と費用

- ✓ 背景: GRAPE解析結果
 - 累積削減量: 2480億トン (2010-2050)
 - 追加投資額: 7兆USD (先進国⇒途上国へ一部支援)
途上国のGDP損失を緩和するような財政支援

3. 国際協カスキーム (=技術移転・普及のための基本的枠組):

- ✓ 二国間の政府主導による技術移転・普及の枠組
- ✓ 目的: 先進国側が、技術移転に必要なプラットフォームを提供する(技術、財政、投資環境)。途上国の技術移転の受入れ環境の不均一に対応。技術と連携したファイナンス。
- ✓ 構成要素: 二国間協定に基づく技術移転・普及プラットフォーム
 - 技術の性能評価機関
 - 技術移転に特化した国際ファンド
 - MRV: 国際規格(例 ISO)CO2削減量推定

国際協カスキーム：二国間協定に基づく技術移転・普及



Within the UNFCCC 技術移転と背景

- ✓UNFCCCの中で、途上国が気候変化に適応し、かつ緩和するため、途上国を財政的および技術的に支援することが合意。
- ✓複数の条項で先進国が途上国に対して財政および技術提供を通して支援することが義務とされている。

- ・ 技術移転の役割・先進国の義務
UNFCCC Article 4 of the UNFCCC : Technology transfer
Kyoto Protocol Article 10 (c)
- ・ Bali Action Plan Article 1(COP13, 2007):
「技術開発および移転」の中心的役割を再確認

UNFCCC : 技術移転と背景

ARTICLE 4 COMMITMENTS

Article 4.1 (c): Promote and cooperate in the development, application and diffusion, including transfer, of technologies, practices and processes that control, reduce or prevent anthropogenic emissions of greenhouse gases

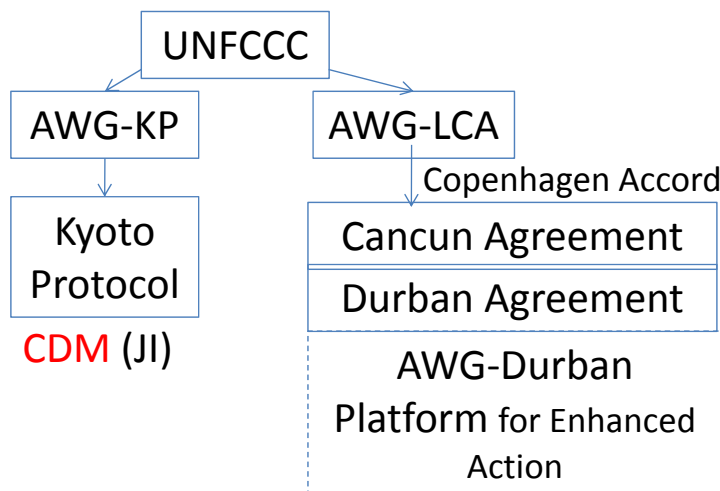
Article 4.3 : The developed country Partiesshall provide new and additional financial resources to meet the agreed full costs incurred by developing country Parties in complying with their obligations

Article 4.5 : The developed country Parties ... shall take all practicable steps to **promote, facilitate and finance**, as appropriate, the transfer of, or access to, environmentally sound technologies and knowhow to other Parties, particularly developing country Parties, to enable them to implement

Article 4.7 : The extent to which developing country Parties will effectively implement their commitments under the Convention will depend on the effective implementation by developed country Parties of their commitments under the Convention related to financial resources and transfer of technology

先進国は技術移転を含めた財政源を提供、途上国約束実現程度は先進国からの財政源・技術移転の結果次第

UNFCCC'の交渉現状と技術移転



成果:

✓ **NAMAs:**

GHG排出削減のために自国でのプロジェクト/政策を策定 (自主的削減目標/計画)

✓ **Green Climate Fund:**

US \$ 30 billion Fast-start finance between 2010 and 2012

途上国へ2012年~2020年まで年間US 1000億ドル提供

✓ **MRV** 緩和行動に関する

✓ **Registry** fNAMAsの記録のため

✓ **Technology mechanism**

✓ **Standing committee on finance**

2015年作業完了 : 2020年 発効

すべての国・機関に適用できる、条約の下で法的効力を持つプロトコル、他の法的制度、又は合意された成果 (para2, 1/CP.17)

CDM, NAMAs, Technology Mechanismの概要

	CDM Clean Development Mechanism	NAMA Nationally Appropriate Mitigation Actions	Technology Mechanism
概要	途上国におけるCDMプロジェクトはCERが付与される。CERは市場で取引可能であり、GHG排出削減をコミットした先進国はこのCERを自国のGHG削減達成に用いることができる。 (http://cdm.unfccc.int/about/index.html)	自主的なGHG削減行動。途上国の場合、国際的支援を受けるとともに、UNFCCCガイドラインに基づく国際的MRV。(decision 1/CP.16 (para 61).)	緩和・適応行動の支援、国情、優先度に応じた各国ニーズの決定、異なるテクノロジーサイクルの段階(R&D、実証、採用、普及・移転)で国際的義務に調和した行動の加速の実施を促進及び気候技術センター・ネットワークから構成。 (decision 1/CP.16 (para 117)
現状	✓ 累積CERs発行数: > 2,150,000,000 ((2005)~2012末推定)	✓ 現在50カ国から計画提出(エネルギー供給、産業、輸送、ビル、廃棄物、農業および林業部門)。 ✓ 52のNAMA活動のうち、実施段階にあるのは2件。他は提案/計画および構想段階。	2012年に運営開始
GHG削減ポテンシャル	21.5億トン以上 ((2005)~2012末推定)	2012 – 2020 (15-30% against BAU): > 40,000 Mt CO ₂ eq	将来の実効性は不明

CDM, NAMAs, TMへの期待は

(技術移転の仕組みと明示されなくとも、機会提供として)

- ✓ 可能なCO₂(GHG)削減量は低い
 - CDM: 21.5億CO₂eqトン以上(2005- 2012)
 - NAMAs : > 40,000 Mt CO₂ eq (2012-2020 :15 - 30% against BAU) :
(Transfer, Transport and Mobility, giz)
 - Technology Mechanism: まだ、動き出していない。将来の実効性不明。
- ✓ 財源の継続可否/規模の確保は不確実(=活動の継続性?)
 - fast-start 300億USD(2010 – 2012)
 - GCF年間1000億USD(2020まで)(The Advisory Group : it is challenging but feasible) 2020以降 ?
- ✓ 時間: 新たなアプローチまで8年(CDM, NAMAs, TMで対応か?)

UNFCCCの仕組みでは長期的大幅削減は期待できない!

outside the UNFCCC 技術移転の現状

「どのように技術が国から国へ動いているのか？」

先進国から途上国への(革新的)技術の移転・普及の流れは期待できるのか？

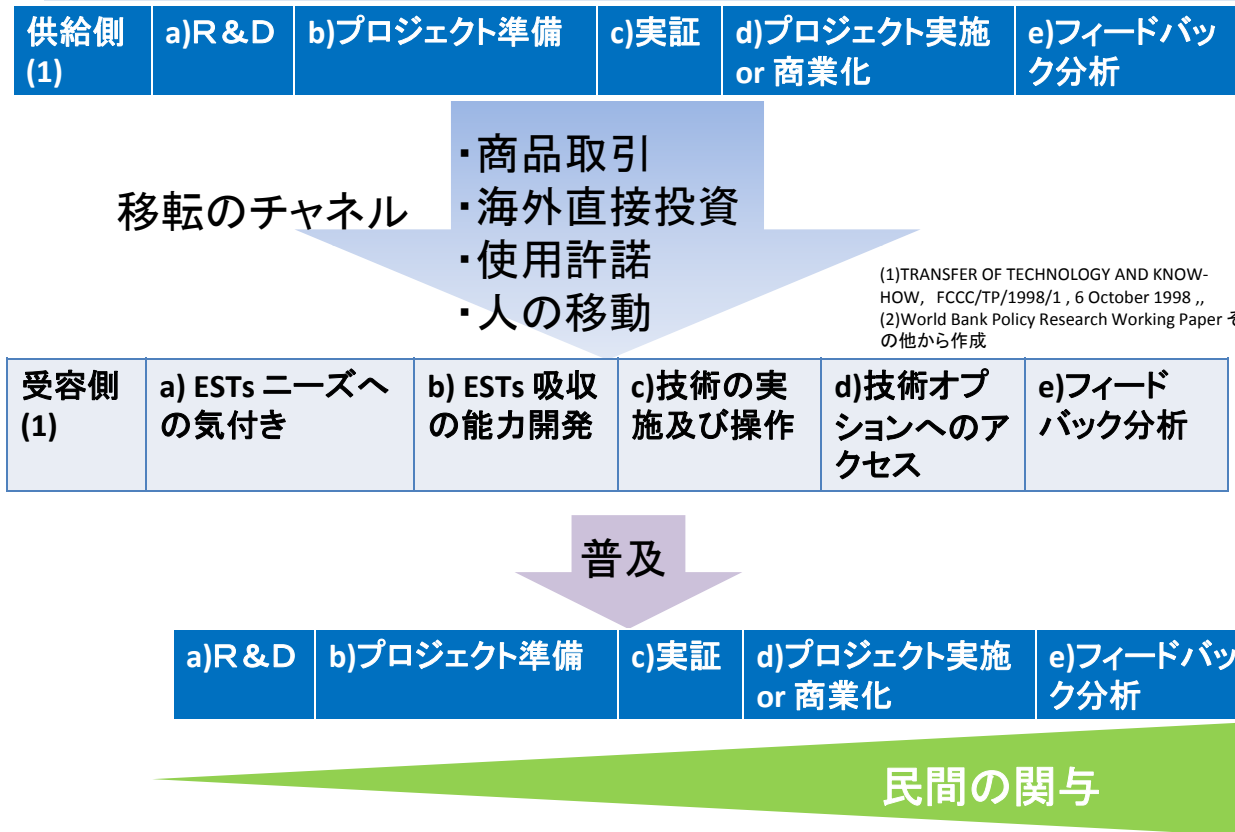
11

「技術移転」の定義

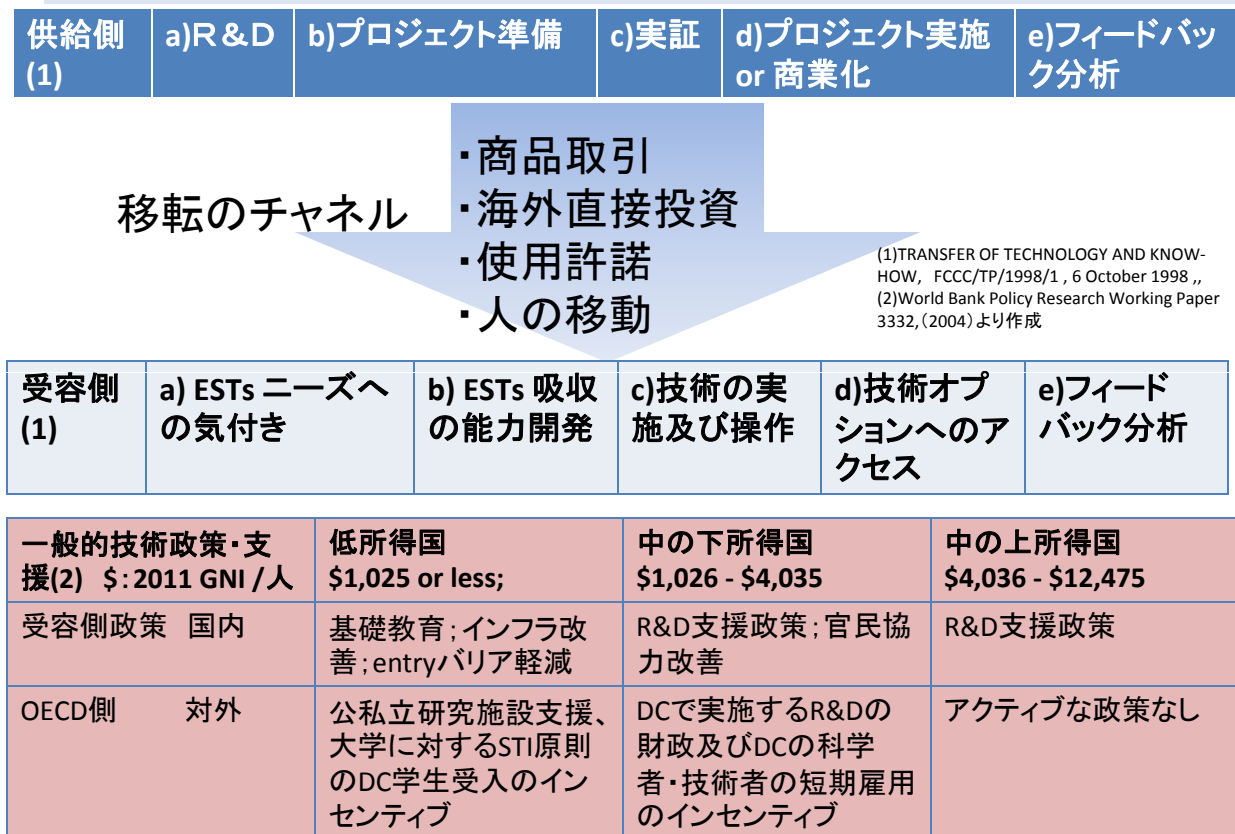
- ✓ UNFCCC:特に定義はない
- ✓ IPCC:技術普及や技術協力を含み広義
- ✓ CDMからの演繹:CDMのホスト国で従来使われていない装置あるいは知識
- ✓ WBCSD:技術移転は技術普及の同義語
- ✓ 技術移転 = 技術普及/国産化(現地生産)
- ✓ 技術普及は受動的行為、一方、技術移転は協定を含む積極的行為で異なる。(K.Ramanathan,UNESCAP)

○技術移転は、ある事業体(国)から他事業体(他国)へ技術(物理的資産、ノウハウ、技術知識など)を動かす。技術普及を含む。

一般の技術移転・普及のイメージ図



技術移転のための政策・支援



技術移転の可否・推進に影響する要因

○技術移転は不均一なプロセス

✓どのような技術を

- ・技術の発展段階(研究、実証、商用化など)
- ・技術の種類(製品、ノウハウ、情報など)
- ・産業部門別

✓どのようなチャネルを通して

- ・移転のチャネル(商品取引、海外直接投資、使用許諾、人の移動など)

✓どこへ

- ・途上国の特性(ニーズ、吸収能力、市場、国際商取引の法制度(例 IPR保護)、財政政策、情報へのアクセス、インフラ整備状況など)

○財源が不可欠

“One size fits all” approachはできない

技術移転・技術革新はどこで？

- ✓ 1997年KP採択後、気候緩和技術革新は急増(**)
- ✓ 世界3ヶ国に集中—日本、ドイツ、米国—世界の発明の60%.
- ✓ 新興国も無視できない.中国及び韓国—世界発明の約15%.
- ✓ 国際的技術移転のほとんどは先進国間で行われている(全ての輸出された発目の73%).
- ✓ 先進国から新興国への輸出には限りがあるが(22%),特に中国向けが増加.
- ✓ OECDからNon-OECD向けの技術輸出の3/4は中国。

Origin / Destination	OECD (2000-2005)	Non-OECD(2000-2005)
OECD	73 % (77 %)	22 % (16 %)
Non-OECD	4 % (6 %)	1 % (1 %)

・13の気候緩和技術(lighting, wind,electric&hybrid,insulation,heating, solar,marine,cement,geothermal,hydro.methane,biomass,waste)に着目した解析結果。但し()内は一般の全ての技術

・EPO Worldwide Patent Statistical Database (PATSTAT)の基づく統計解析結果

*Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies: A Global Analysis, Antoine Dechezleprêtre†, et al

**Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies: A Study Drawing on Patent Data

Antoine Dechezleprêtre†, et al (2008)

トップ12の発明国 (2000 - 2005)

国	順位	世界の発明の平均シェア %	高付加価値発明の平均シェア % (順位)	トップ3の発明分野
JAPAN	1	37.1	17.4 (2)	All technologies
USA	2	11.8	13.1 (3)	Biomass, insulation, solar
Germany+	3	10.0	22.2 (1)	Wind, solar, geothermal
China	4	8.1	2.3 (10)	Cement, geothermal, solar
S.Korea	5	6.4	4.4 (6)	Lighting, heating, waste
Russia	6	2.8	0.3 (26)	Cement, hydro, wind
Australia	7	2.5	0.9 (19)	Marine, insulation, hydro
France+	8	2.5	5.8 (4)	Cement, electric & hybrid, insulation
UK+	9	2.0	5.2 (5)	Marine, hydro, wind
Canada	10	1.7	3.3 (8)	Hydro, biomass, wind
Brazil	11	1.2	0.2 (31)	Biomass, hydro, marine
Netherlands	12	1.1	2.1 (12)	Lighting, geothermal, marine
TOTAL		87.2	77.2	(+: EU 27ヶ国で世界の24%)

Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies: [A Global Analysis](#), Prepared for the Review of Environmental Economics and Policy, Antoine Dechezleprêtre†, Matthieu Glachant+, Ivan Haščič*, Nick Johnstone*, Yann Ménière+

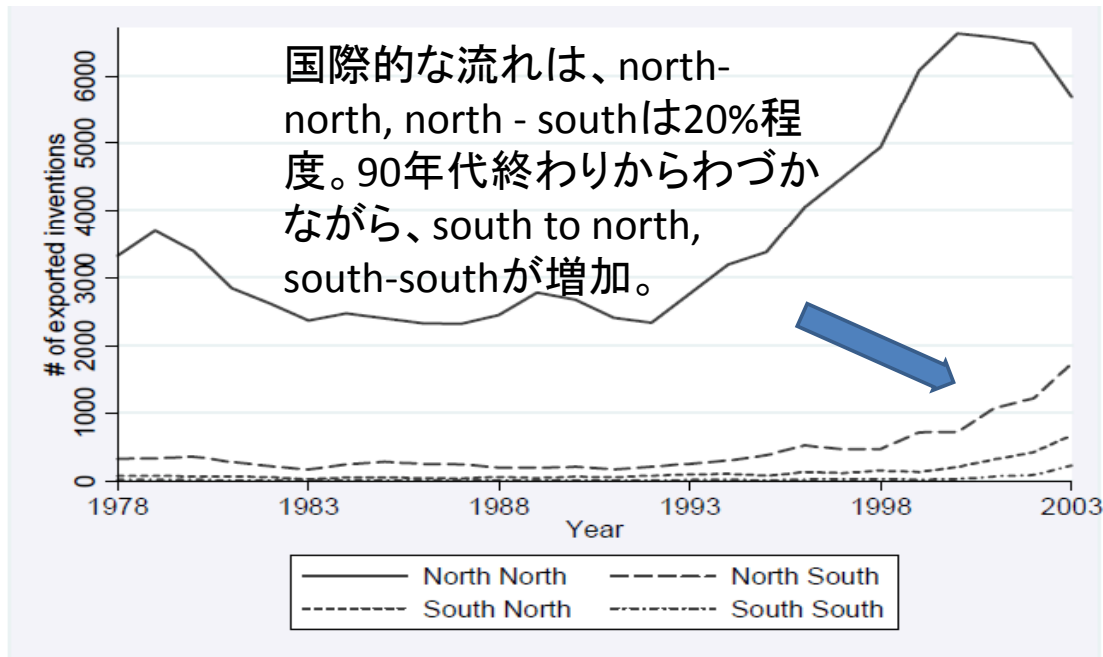
新興国の技術革新に占める割合(1998-2003)

2003年に新興国は気候緩和技術の163.%。90年代半ばから増加傾向。

	World rank	Average % of world inventions.	Most important technology classes (decreasing order)
China	4	5.8 %	Cement, geothermal, solar, hydro, methane
South Korea	5	4.6 %	Lighting, ocean, hydro, biomass, cement
Russia	6	4.2 %	Geothermal, cement, hydro, CCS, ocean
Brazil	10	1.1 %	Ocean, building
Taiwan	18	0.6 %	Ocean, lighting
India	30	0.2 %	Cement
Mexico	34	0.1%	Ocean
South Africa	53	0.3%	Cement, geothermal, solar, hydro, methane

Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies: [A Study Drawing on Patent Data](#), Antoine Dechezleprêtre†, et al (2008)

技術の流れの国際的トレンド(1978-2003)



In this graph, "North" countries are Annex 1 countries and "South" countries are non-Annex 1

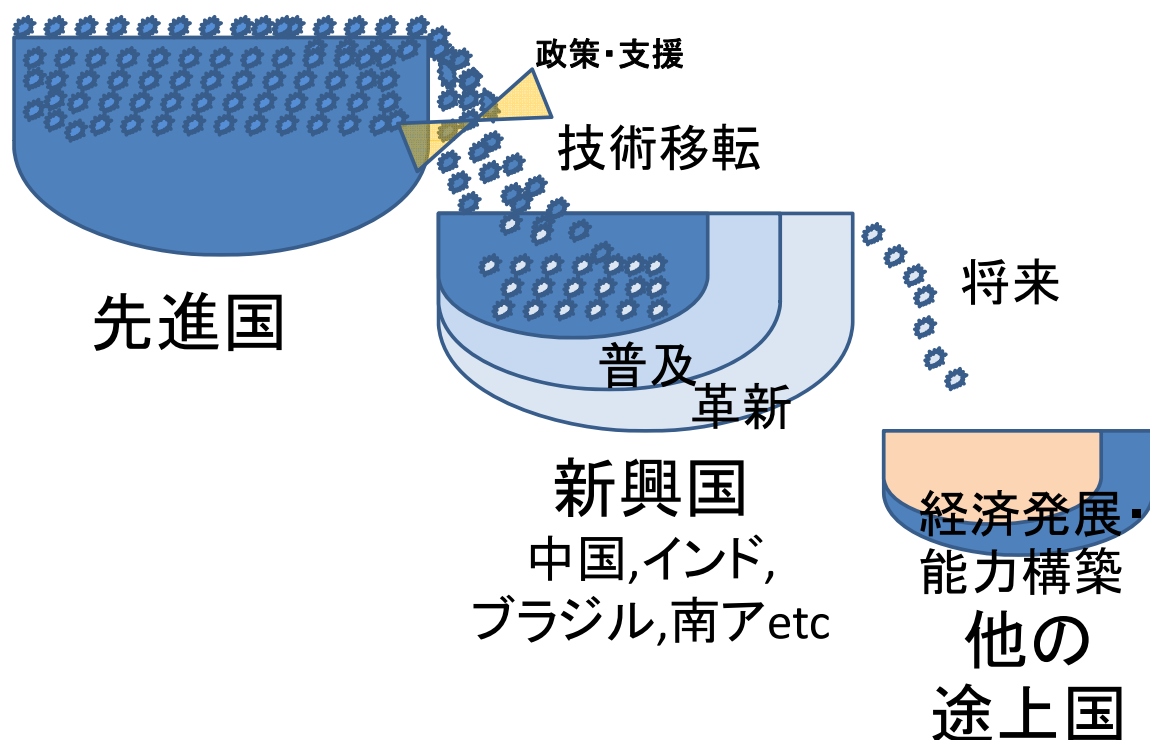
Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies on a Global Scale: A Study Drawing on Patent Data, Final Report, December 2008, Antoine Dechezleprêtre, Matthieu Glachant, Ivan Hascic, Nick Johnstone, Yann Ménière

新興国がクリーンテクノロジー普及の先導

- 新興国の技術輸出と生産能力は増加:
 - 中国:再生可能エネルギー生産、太陽光発電、風力など世界をリード(Suntech, Sinovel, China Wind Systems and Gold Wind (wind energy)).
 - インド:クリーンエネルギー分野で世界をリード (Suzlon, Tata-BP)。風力発電規模(容量)は世界5位。
 - ブラジル:バイオ燃料で世界をリード。Petrobras (エネルギー・炭素貯留研究へファンド提供し、バイオ燃料技術開発)。

一方、新興国以外の途上国にとっては、
能力構築と経済発展が優先されるべき課題

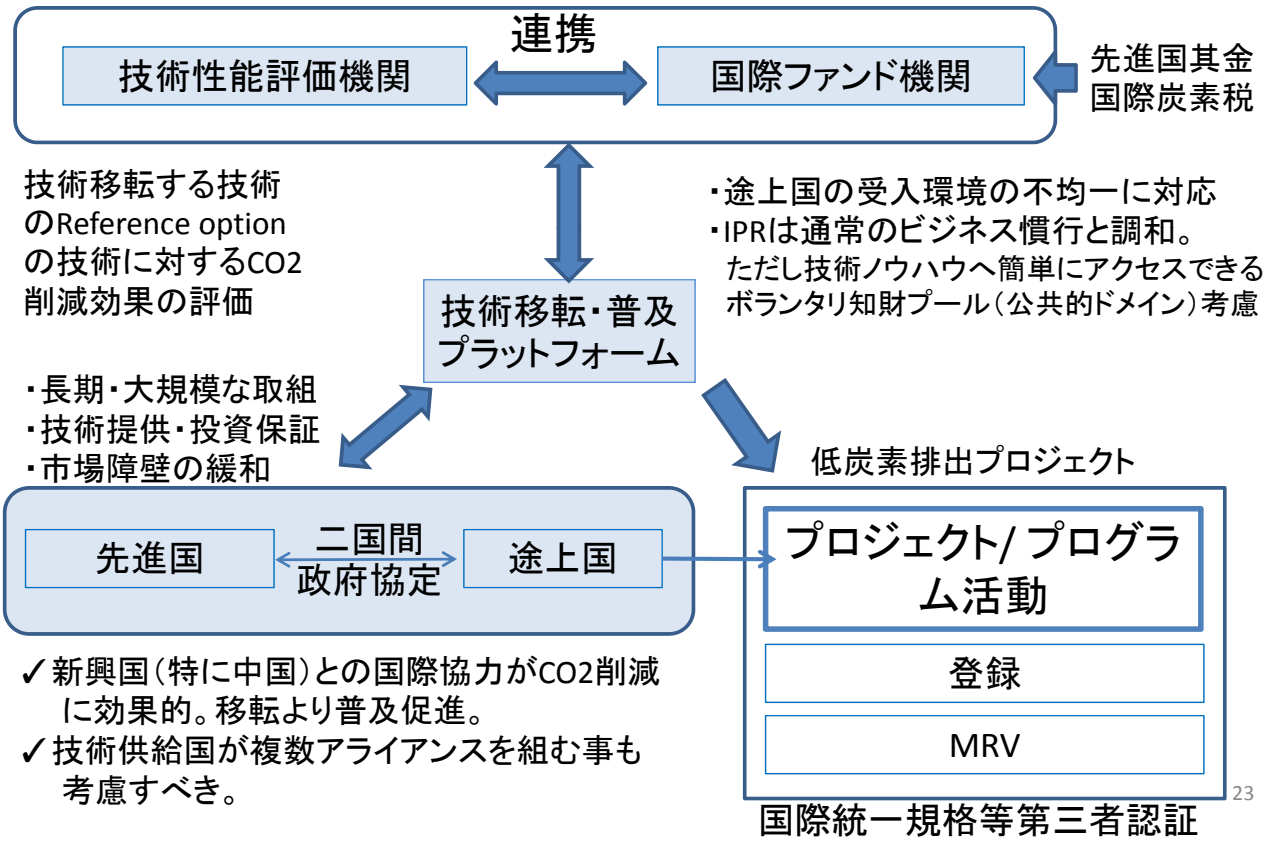
技術移転・普及・革新のカスケード



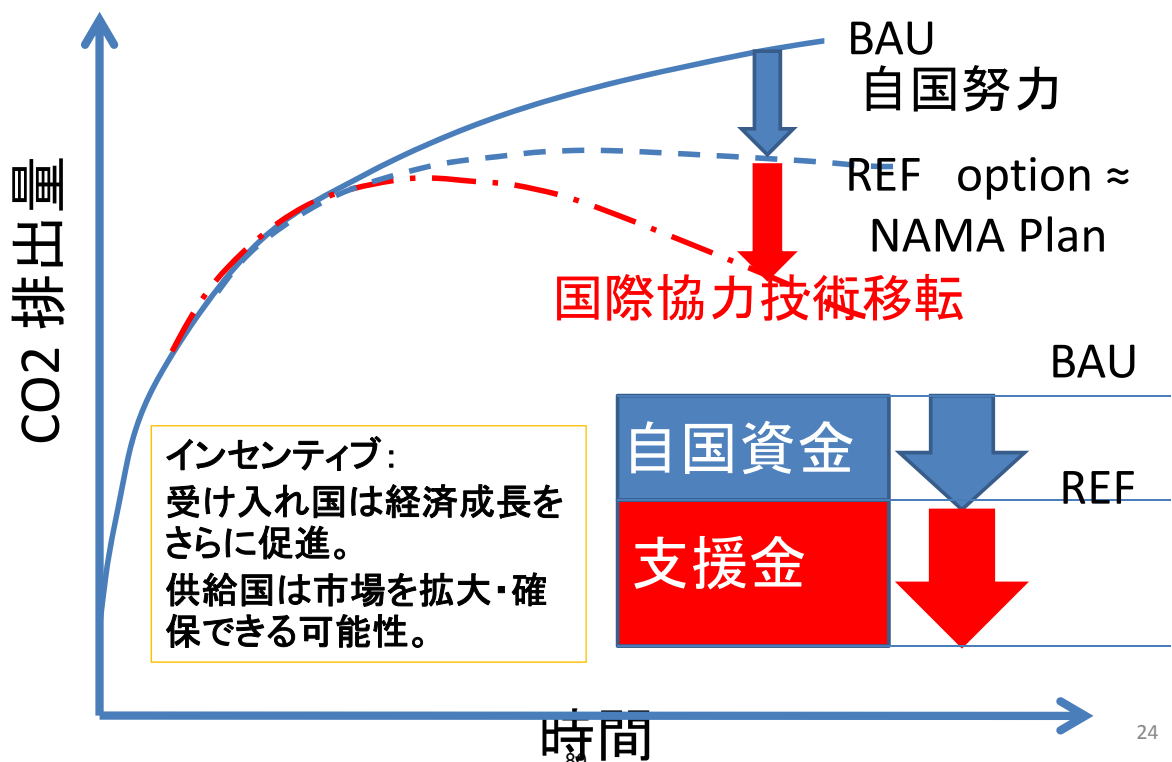
提案： 新たな技術メカニズムに必要な要件

- ✓ GRAPE解析結果に基づく、reference option の性能(CO2削減ポテンシャル)を越える技術の導入 ⇒ 技術性能評価機関の設置
- ✓ 長期的・大規模な取組 ⇒ 政府間協定に基づく事が必要
- ✓ 長期的・大規模な技術・知見共有・革新の取組 ⇒ 大規模な財政投資(地域、グローバルレベル)のための国際ファンド機関の設置
- ✓ 技術移転・普及のバリアの緩和 ⇒ 政府関与が必要
- ✓ 途上国の技術受入環境等の不均一性 ⇒ 効果的支援のためのコーディネーションやマネジメント目的の技術移転・普及プラットフォームの設置。
技術、財政、投資環境、官民・民民連携などを支援。
- ✓ 既存の二国間財政援助仕組みは注目すべき (AFD, EIB, JICA, KFB) ⇒ 二国間スキームには既存のチャンネルがある ⇒ 技術移転・普及と財政支援は連携
- ✓ 技術移転・普及の現状を促進 ⇒ 技術移転・普及の流れは先進国から新興国へ ⇒ 新興国に重点。(技術移転・普及のカスケード効果を狙う。)
- ✓ IPR問題 ⇒ IPRは技術移転の最大のバリアではない(TNA結果)
⇒ IPRは通常ビジネス慣行と調和するように扱う。但し、可能な限り技術ノウハウへ簡単にアクセスできるボランティア知財プール(公共的ドメイン)考慮。

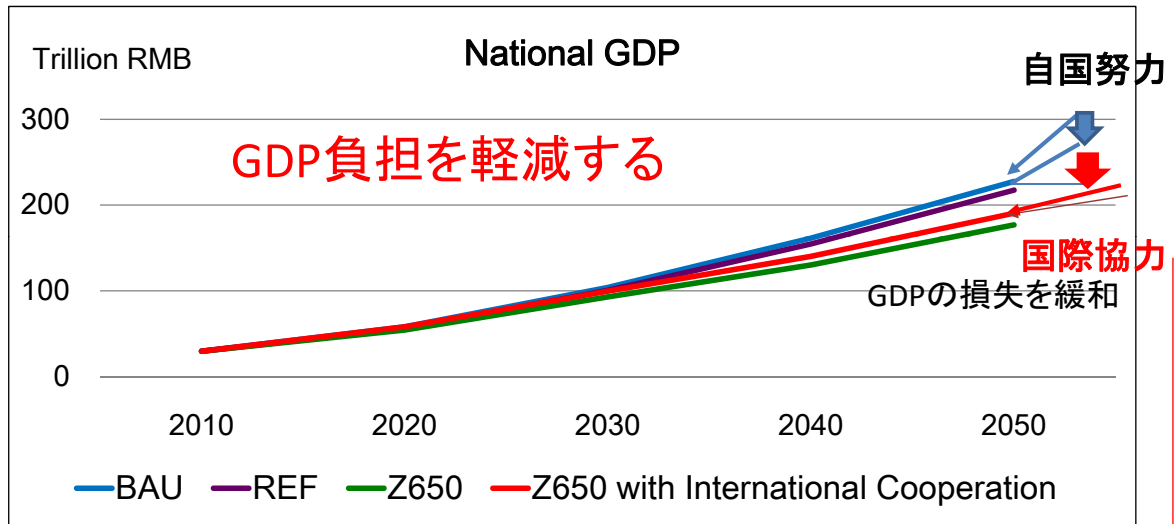
国際協カスキーム: 二国間協定に基づく技術移転・普及



技術移転の期待する成果



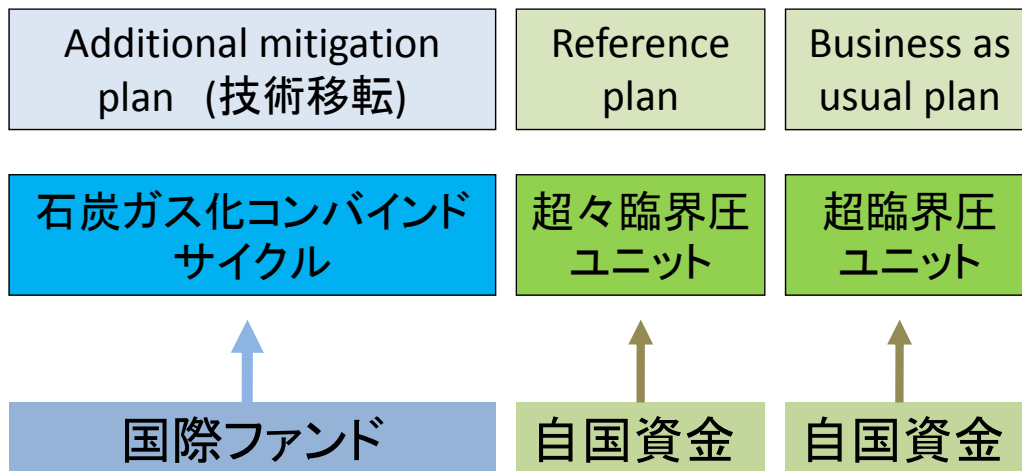
省エネのレベルを超える大幅なCO2排出削減はGDPに負の影響 (対 BAU)



Scenario	2020	2030	2040	2050
REF	-3.6	-3.3	-4.2	-4.5
Z650	-6.4	-10.6	-19.3	-22.3
Z650 with International Cooperation(*)	0.2	-4.2	-13.1	-16.3

(*)シナリオ: 2010-2020に石炭火力、鉄鋼、セメント、石油精製、化学工業、製紙業に対して新技術導入による国際支援をする。

例: 低炭素排出技術移転・普及のための支援イメージ



例: 発電効率 超々臨界圧ユニット 41-43%: IGCC 45 – 48 % (1300°C級GT)

事例 中国における石炭火力発電についてボイラ-タービン式石炭火力の立地計画をIGCCで代替する場合の単純化したケース

	2008	2020	2035	2050	Remarks
a. 想定発電電力量 TWh	2790	4040	5091	4700	1
b. 総発電容量 GW	601	842	1083	1022	
c. 発電効率 %	35.2	37.5	39	40	2
d. 石炭消費量 Mt	681.6	927.6	1122.6	1010	From a&c
e. 微粉炭火力のCO2 Mt	2699	3673	4445	4000	d*3.96
f. 微粉炭火力新設 GW		413	868	1022	(リプレイス+新設)
g. IGCCで代替 GW		413	868	1022	d&e
h. CO2 reduction Mt		333	542	520	Reduction from e

1: Based on the EEI scenario in “China’s Low Carbon Development Pathways by 2050”

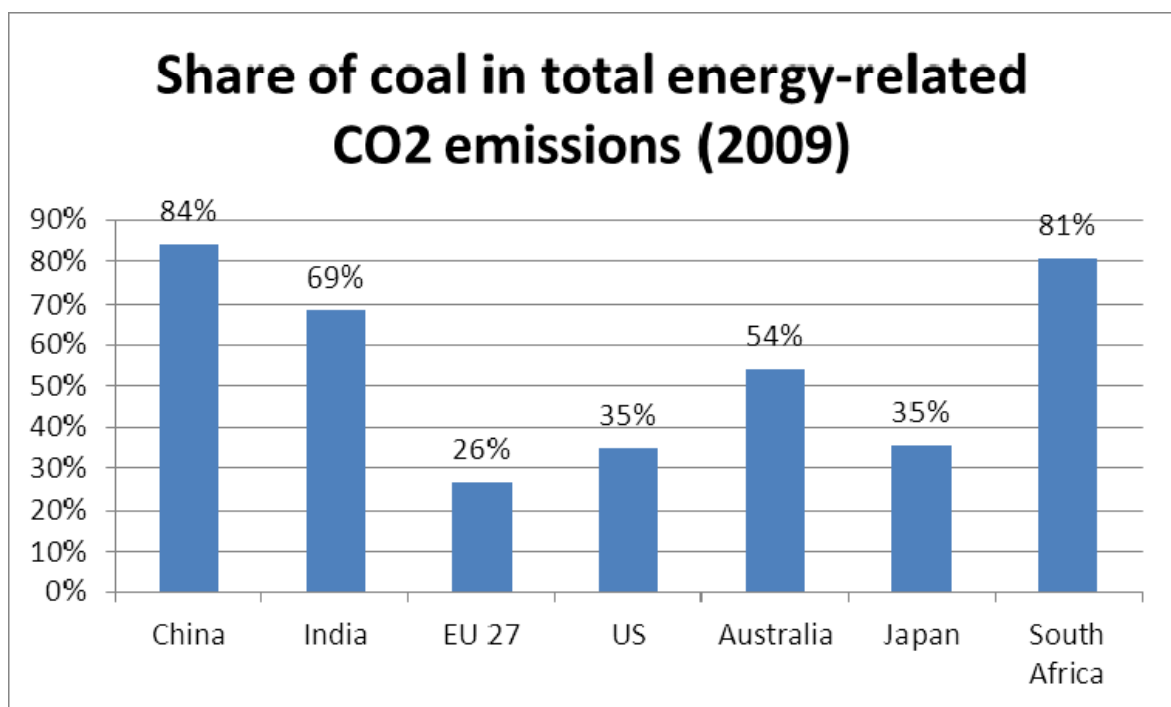
2: The final target of coal fire plant in EEI scenario is the USC and SC, the thermal efficiency is assumed to be 40%

3: It is assumed that all of the current plant in 2008 will be scraped and rebuilt by 2050 with the same speed

4: The efficiency of IGCC is assumed to be 46% according to the data from Nakoso, Japan

5: The capacity is calculated based on the same operating ratio of pulverised coal fired power plant (about 53%).

途上国- 気候変化は石炭問題



Source: Energy Information Administration

地球温暖化対策と 原子力エネルギーの将来

湯原哲夫
CIGS研究主幹



湯原

Memo

A series of horizontal dashed lines for writing.

我が国の中期エネルギー戦略と 原子力利用のあるべき将来

キヤノングローバル戦略研究所

2012-7-24

湯原哲夫

1

目次



1. 2030年の認識と中長期エネルギー戦略
2. 『意志』に基づくエネルギー・環境政策
3. 原子力政策に係る提言
 - 3-1 原子力ビジョン総論(「日本モデル」の再構築)
 - 3-2 既設軽水炉の安全性向上等に係る提言
 - 3-3 新型炉開発(大型炉、SMR)に係る提言
 - 3-4 原子燃料サイクル・FBRに係る提言
 - 3-5 原子力規制に係る提言

2



「中期エネルギー政策と原子力の将来 ～福島事故を踏まえた展開～」

(通称「明るい原子力の未来」、
または「こういう時こそ堂々と正論を構築する」)

CIGSエネルギー2050研究会
特別検討グループ 2012.4～2012.7

～討議参加者～

- | | |
|-------------------------|---------------|
| 田中 知(再処理研究) | 岡 芳明(新型軽水炉研究) |
| 飯田 式彦(次世代炉4S開発) | 宮口 治栄(軽水炉設計) |
| 波木井 順一(規格基準) | 伊藤 裕之(軽水炉安全) |
| 早瀬 佑一(燃料・プラント・再処理、CIGS) | |
| 湯原 哲夫(新型炉設計基準、CIGS) | 青柳 由里子 (CIGS) |

3

2030年における3つのシナリオ 国家戦略室がエネルギー・環境会議に提出した2030年の電源構成



	2010年	ゼロシナリオ		15シナリオ	20-25シナリオ
		追加対策前	追加対策後		
原子力比率	26%	0% (▲25%)	0% (▲25%)	15% (▲10%)	20~25% (▲5~▲1%)
再生可能 エネルギー比率	10%	30% (+20%)	35% (+25%)	30% (+20%)	25~30% (+15~20%)
化石燃料 比率	63%	70% (+5%)	65% (現状程度)	55% (▲10%)	50% (▲15%)
非化石電源 比率	37%	30% (▲5%)	35% (現状程度)	45% (+10%)	50% (+15%)
発電電力量	1.1兆 kWh	約1兆 kWh (▲1割)	約1兆 kWh (▲1割)	約1兆 kWh (▲1割)	約1兆 kWh (▲1割)
最終エネルギー 消費	3.9億 kl	3.1億 kl (▲7200万 kl)	3.0億 kl (▲8500万 kl)	3.1億 kl (▲7200万 kl)	3.1億 kl (▲7200万 kl)
温室効果ガス 排出量 (1990年比)	▲0.3%	▲16%	▲23%	▲23%	▲25%

※比率は発電電力量に占める割合で記載。
括弧内は震災前の2010年からの変化分。

4



エネルギー環境会議における2030年における3つのシナリオ(電源構成)

(1)2030年の発電構成:原子力発電の構成を現状2010年26%、現行基本計画2030年50%に対して、

2030年0%,15%,20~25%の3案を提示。

(2)二酸化炭素の削減は1990年比で2030年16%~25%の削減となる。

これ迄の政府方針2025年25%、2050年80%から後退。

(3)GDPへの影響は現行基本計画に比べて、大きい

(RITEのシミュレーション, 積み上げ・発電コスト、産業の海外移転)

2030年 原子力発電の 比率	2030年GDP への波及 (RITE)	化石燃 料	再生可 能エネ ルギ	CO2の削 減(1990 年比)	GDP累積減 少額(~2030 年)
0%	-7.6%	65%	35%	16%~23%	500兆円
15%	-5.2~-8.9	50~54	31~35	-23	338~
20~25%	-2.4	53	22	-25	158

福田ビジョン洞爺湖サミット 2050年80%削減は2030年40%削減に相当
鳩山ビジョンは2020年25%削減, 2050年80%削減から内挿すれば2030年40%

現行の基本計画: 2030年電源原子力50%、再生可能エネルギー20%、化石燃料30%
現状の電源構成: 2010年原子力26%、再生可能エネルギー10%、化石燃料63%
現状の総1次エネルギー供給: 2009年原子力12%、再生可能エネルギー3%、化石燃料82%

3Eの視点は不可欠 (1)エネルギー安全保障(2)地球環境対策(3)経済成長



1. 2030年の認識と中長期エネルギー戦略

中期エネルギー目標における2030年の認識と エネルギー政策への視点



1. 2030年世界のエネルギー状況

- 世界の人口は80億人を越え、GDPは倍増する。エネルギー需要も激増する。
- 国際的な枠組みによる温室効果ガスの削減が進まない(2020年迄は制約なく、それ以降の国際的枠組みが出来たとしても、その効果は2030年以降)。地球温暖化の影響が顕在化する。
- エネルギーと資源をめぐる紛争がたえず、資源ナショナリズムが高まる。我が国への化石燃料輸送の不安定性が増す。
- 化石燃料依存率80%が世界レベルで続き、石油はピークアウトし、天然ガス・石炭の消費が増大する。世界的に化石燃料は逼迫し、不安定な供給を想定せざるを得ない。

2. 2030年へ向けたエネルギー政策の基本

- エネルギー政策の基本は「エネルギー安全保障」であり、エネルギー自給率向上と非化石エネルギーへの転換がその基本。
- 地球環境・地域環境のため、低炭素技術導入と民生・産業における省エネルギーが不可欠な課題
- エネルギー供給は再生可能エネルギーと原子力エネルギーの利用拡大、産業・民生における省エネルギー、運輸における新燃料への転換が重点課題。

7

地球温暖化抑制と世界の長期エネルギービジョン



1. 日本政府の提案と公約

- (1) 福田首相洞爺湖サミット「2050年世界全体で50%削減、先進国は80%削減」
- (2) 鳩山イニシアティブ「日本国内 2020年1990年比25%削減」

2. 国際的な合意

- (1) COP15 & 16: 先進国が途上国温暖化対策を支援のため、2010-12に300億ドルを拠出、2020年までに毎年1000億ドルを拠出する。
- (2) COP16: 日本は京都議定書延長からの離脱。

3. 海外からの排出枠の購入

2010年までに政府が1500億円かけて1億トンの、電力業界は2.5億トンの、鉄鋼業界は5600万トンの購入済みで、電力・鉄鋼分は6000億～8000億円と推計。

原子力発電が稼働しない場合さらに数千万トンの排出枠の追加調達が必要。一方、排出量取引価格は2008年のピーク時の10分の1に下落したこともある。

4. 新しい枠組みの必要性和提案

国際的に混迷し、出口が見つからないまま、漂流するおそれすらある。

新たな枠組みは、

- (1) 世界全体の二酸化炭素排出量曲線の共有
- (2) 世界全体での最適化にもとづく、各国排出量の設定
- (3) CO₂削減と経済成長が両立するエネルギー構成
(投資とベネフィットのバランス)に基づき、
- (4) 先進国の発展途上国への支援の仕組みを示すもの。

8

1.(3) 「地球温暖化対策で世界が共有するエネルギービジョン」

1. 新たな枠組み：新しい「排出曲線＋世界全体で最適化＋国際協力の仕組み」

- (1) 温室効果ガス(主としてエネルギー起源二酸化炭素)の総排出量の設定(「GHG濃度安定化450ppm&2°C」から「オーバーシュート&ゼロエミッションシナリオ」(総排出量650GtC, 2°C)と二酸化炭素排出曲線の設定→Z650
- (2) 排出曲線の制約下で世界全体で最適化(コストミニマム)するエネルギー構成と結果としての各国の排出分担(2050年先進国50%減、途上国10%増)
- (3) このエネルギー構成に対する追加削減費用と省エネメリットのバランス(追加投資が燃料削減メリットとバランス)するエネルギー構成
- (4) 低炭素エネルギー技術普及のメカニズム(途上国支援のための技術移転とその在り方、京都議定書における追加性の削除 とカーボン市場における投機性の排除)。

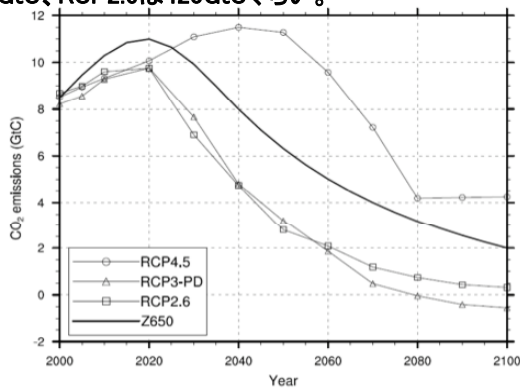
2. 先進国と途上国2030年&2050年のCO₂削減比率と 総一次エネルギー供給構成

	2030年		2050年	
	CO2排出削減 2005年比	エネルギー構成 比率	CO2排出削減 2005年比	エネルギー構成 比率
世界	20%増	7:1:2	25%減	5:2:3
先進国	5%増	7:1:2	50%減	6:1:3
途上国	54%増	6:1:3	10%増	5:2:3

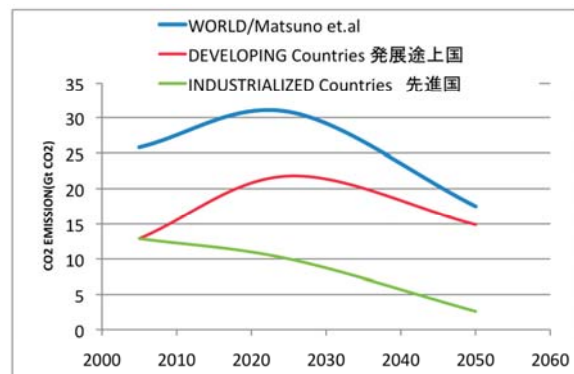
エネルギー構成は、化石燃料:原子力:再生可能エネルギーの比率

9

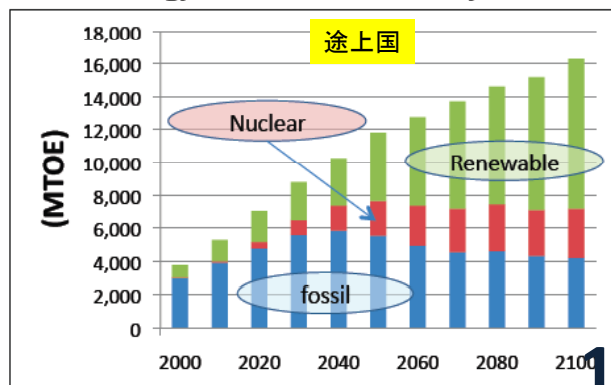
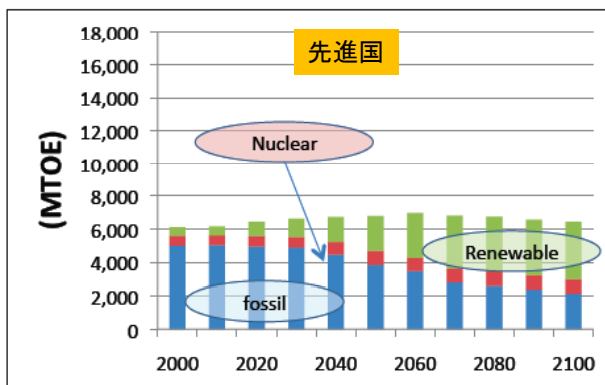
松野らの温暖化効果ガスの排出曲線Z650
提案するZ650シナリオによる21世紀中CO₂排出パスを他のRCPシナリオと比べる。Z650は21世紀中の総排出量が650GtC、RCP2.6は420GtCぐらい。



Z650は世界全体で守る削減曲線(青色)
先進国が約束通り2050年80%削減すれば
途上国の排出分は赤線の様になる。



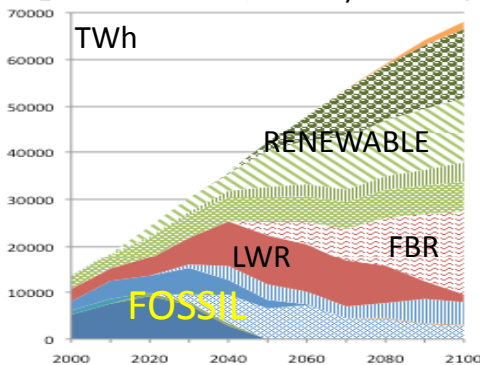
世界全体で最適化されたエネルギー構成



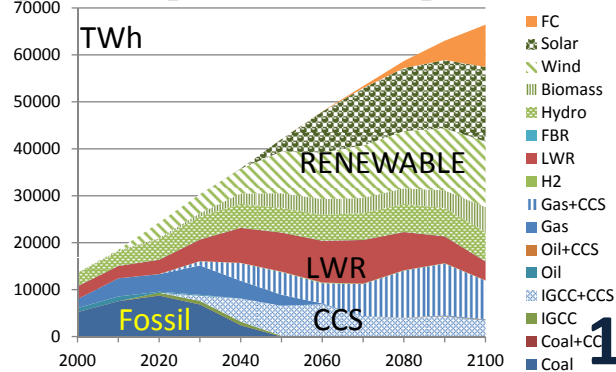
1.(4) 温暖化抑制と成長の両立への条件Z650制約下の最適エネルギー構成

1. 濃度450ppm安定化曲線に比べて、かなり緩和されたZ650 排出削減カーブにも関わらず、温暖化抑制と成長を両立させるエネルギー構成には(1)天然ガス・石炭火力発電とCCS(炭素隔離貯蔵) (2)原子力の役割が不可欠である。
2. 原子力は長期的にはウラン資源の枯渇性から、持続可能な高速増殖炉サイクル(使用済み燃料を再処理し、プルトニウムを燃料とする)が不可欠である。
3. 原子力フェーズアウト、CCSなしの場合、投資とベネフィットが大きくバランスを崩し、その影響は特に途上国で顕著に現れる。
4. 削減シナリオZ650では原子力、CCS、再生可能エネルギーの3者が応分に分担しており、特に電力エネルギーで見ると3者はそれぞれ1/3を担っている。
5. また電力エネルギー源は2050年頃には「CO₂排出無し」を達成するとしている。

【原子力-軽水炉(LWR) + 高速増殖炉(FBR)】



【FBRのないケース】



11

1. (5) 長期エネルギー戦略に求められるもの

1. エネルギー安全保障

中長期的にエネルギー供給は不安定化し、又化石燃料は逼迫することを前提にせざるを得ない。再生可能エネルギーと原子力によって自給率を高め、地球温暖化への対処から高効率で低CO₂排出の火力(クリーンコールやコンバインドサイクル)への転換による低炭素社会を構築して、危惧されるエネルギー危機やエネルギー紛争を回避しなければならない。

2. 地球温暖化対策

中長期的には厳しい鎖となって、先進国の産業はさらに低成長と海外移転を余儀なくされる。

3. エネルギー技術への期待

原子力開発技術と再生可能エネルギー技術では周回遅れの現状を認識し、産業基盤の再構築をはかるべき。

原子力は国家基幹技術であり、福島事故の反省の上に立って、新世代の原子力エネルギー技術を推進すべき。

一方、CCS(Carbon Dioxide Capture and Storage)も極めて重要になって来る。

12



2. 『意志』に基づくエネルギー・環境政策

13

2. 『意志』に基づくエネルギー・環境政策(1)



世界のエネルギー・環境政策に係る基本認識

- 化石燃料を巡る国家間の摩擦を回避し、世界全体として安定的な経済成長を維持しながら、地球温暖化も抑制できる『シナリオ』の構築・遂行が必要
- 上記は、単なるエネルギー源の開発のみでは達成不可能であり、以下の同時達成が必要
 - ① 中国等、主要国の省エネルギー化の促進
 - ② 市場原理、及び各国の自然環境やエネルギー需要形態に即した再生可能エネルギーの最大限の利用
 - ③ 世界規模での原子力エネルギーの最大限の活用
 - ④ 化石燃料の有効利用と実質ゼロエミッション化の達成



日本の責務は

- 世界に対しては①～④を、また国内では②&③を達成すること
- その為には「ポスト福島原子力平和利用政策」の再構築と、「2050年以降も持続可能なエネルギー政策」の構築が必要

14



「ポスト福島原子力平和利用政策」における基本認識

(視点-1)原子力の安全性の“大幅向上”の実現

- 世界の日本への期待は「脱原子力」ではなく、福島事故の経験を反映した“どこよりも安全な原子力技術”の確立・提供

(視点-2)海外途上国、特にアジア・太平洋諸国(含む中国)のCO2排出量削減&セキュリティ向上への積極的な寄与

- 日本のCO2削減ノルマを、省エネ代の少ない日本国内のみで達成することは無理
 - ・・・海外途上国への火力(効率UP)・原子力技術支援による「二国間カーボンオフセットクレジット」の必要性
- 海外途上国の求めに応じた原子力プラント輸出、早期建設・運転の実現による域内エネルギーセキュリティへの貢献



今回は軽水炉の安全性改善及び国際化に係る施策を提言

15



(視点3)「今世紀中の気候変動2°C以下」を達成可能なCO2排出量削減シナリオの構築・実行

- ・低炭素社会に向けた総合的・複合的なエネルギー対策の推進
- ① 再生可能エネルギーの最大限の利用
 - 市場原理に基づく取捨選択(環境に即し効率的な再生可能エネの見極め)・・・日本では地熱&小型水力
 - 電池技術開発&大規模導入による不安定性緩和
- ② 原子力エネルギーの最大限の活用(アジア等への支援含)
 - 新世代原子炉技術(Ⅲ⁺/Ⅲ⁺⁺世代炉、Ⅳ世代炉)
 - 放射性廃棄物問題の解決
- ③ 化石燃料の有効利用促進と実質ゼロエミッション化の同時達成
 - 発電効率Upによるアジアの石炭⇒ガス転換促進の支援
 - Clean Coal技術の開発(IGCC/CTL等)
 - CCS技術の確立及び(海外での)事業化



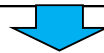
今回は新型炉や廃棄物問題に対する取り組み等の施策を提言

16



(視点4) 国家安全保障上の視点から見た原子力エネルギー及び原子力技術維持の意義・必要性

- ① 欧米に比して著しく脆弱な日本のエネルギーセキュリティを脱原子力/減原子力のムードに流されて更に危険に晒す『愚』を犯すべきでない
 - 原子力発電はあくまでも「エネルギー基本計画」の数値を目指すべき
- ② 周辺を友好的/平和的とは言い難い核兵器保有国(中国・ロシア・北朝鮮)に囲まれているとの現実を直視し、「核の潜在能力」を自ら放棄するとの「誤ったメッセージ」をそれらの国に送るべきではない
 - 核の平和利用に徹しながら、核燃料サイクル路線を堅持し再処理技術の完成を目指すべき



本視点の結論は他の提言に含める

17

(補足2-1) 日本及び世界で利用可能な自然エネルギーの総量は？

- 太陽エネルギー: 世界中の全ての住宅及び公共施設に太陽電池を設置しても供給量は電力需要の最大10%程度
 - 世界のエネルギー消費 1.6×10^{13} J/Secを賄うため世界の5箇所
の砂漠に合計 8.1×10^5 km²の太陽光パネル要(基幹部送電線敷設距離10000km超過で約8000兆円建設費要)
- 地熱エネルギー: 世界の火山帯にある電力に変換可能なエンタルピーは世界のエネルギー消費の16%(日本、インドネシア、アイスランドを含み世界10箇所に集中、送電費用は太陽エネルギー同様膨大)
- 時間利用率と貯蔵: フランス政府「エネルギー2050」では風力及び太陽光の時間利用率を各20%、11%し、その分、電力貯蔵施設が必要と結論

- 捕獲-輸送-貯蔵のプロセスが必要で、最初の捕獲プロセスにブレイクスルーには必要 (EPRI 1022782、2011/6によれば、現状のアミン溶媒・CO₂圧縮法では、エネルギー損失が30%)
- また、輸送及び貯蔵には相当のインフラ投資が必要なのだから少なくとも2030年以前に有意な量のCCSを期待するのは適切でない
- 貯蔵には安定な滞水層・ガス層が必要・・・日本の場合は貯蔵場所を海外に確保した上で、液化CO₂をタンカー輸送することとなるので非現実的 ⇒ CO₂制限の為に将来的に日本でのPhase Outが余儀なくされるのは「火力発電」であり、再生エネルギーと原子力の必要性・必然性はより高くなる



3. 原子力政策に係る提言 (クリーン・ニュークリア・イニシアティブ作戦)

- 3-1 原子力ビジョン総論 (「日本モデル」の再構築)
- 3-2 既設軽水炉の安全性向上等に係る提言
- 3-3 新型炉開発 (大型炉、SMR) に係る提言
- 3-4 原子燃料サイクル・FBRに係る提言
- 3-5 原子力規制に係る提言

3.1 (1) 世界各国の原子力政策の比較



- 核武装国(米・仏)・・・軍事核と原潜・空母の動力炉開発を基にその延長上で原子力ビジネスを展開。商用原子炉では燃料供給 & 原子炉安全設計の点で米・仏の2か国が世界をリードし競合中
- ロシア・・・国内原子力産業の基盤強化と主にアジアへの輸出展開を目標(核燃料-原子炉-使用済燃料処理のパッケージ化に強み)
- 中国・・・導入軽水炉技術の大量展開(運転中15基、建設中26基)に加え、全炉型を対象に新型炉開発を実施中。アジア・アフリカを対象に原子力発電の輸出産業化との戦略・・・「近い将来の民生用原子力大国」化
- 韓国・・・エネルギー自立(再処理/FBRへの挑戦)、「日本モデル」の追求と凌駕、産業政策としての原子力輸出(2030年までに80基、中国と「近い将来の民生用原子力大国」を競う)を目指す
- インド・・・技術導入による原子力発電所建設と、高速増殖炉からトリウム炉への長期的戦略を同時進行中



原子力は自国の基幹エネルギーとして、また輸出産業化により拡大成長中

21

3.1 (2) 民生用原子炉の世界市場の状況

- III+世代(シビアアクシデント対応炉)の原子炉開発は米・仏2か国に集中
 - 米: Passive大型炉(AP-1000等) + 小型モジュール炉(B&W等)の2面作戦
 - 仏: Active多重・多様化大型炉(EPR)に一本化
- ⇒ 潜在的大消費国(中国・インド)への米仏アプローチ激化
- 仏: 長期間に渡る漸東戦略・・・①対独協調 ⇒②WENRAを使った規制と標準による欧州制覇 ⇒③WENRAをIAEAに拡げて世界(中国・インド・アフリカ)に拡大中
- 米: 民間主導の(或いは民間を盾とした)対中国直接アプローチ・・・①AP-1000技術提供を餌とした中国側(SNPTC)との協力、②民間規格ASMEと民間認証制度(AIA-HSB(保険・検査会社))の導入、③ビルゲイツが中国と進めるSMR開発と第三国への輸出、等々
- インドに対しても米・仏は中国と同様なアプローチを実施中



プラント・基準・認証のセット化と、III+炉/IV世代炉による国際市場制覇の争いが展開されている

22

3.1 (3) 『福島事故』の原因と対策(1)



- 福島事故については、安全規制上の問題、事業者の体質上の問題、国及び事業者の危機管理体制上の問題等々、人的要素やソフト的要素に関する指摘・批判が多く見られるが、最も重要なものはやはり「技術的視点」
- 「技術的視点」から見た『福島事故』の原因は極めて明確
 - 津波の想定が甘く、電源系や冷却系の浸水・防水対策が不十分であった為、設計上想定していなかった長時間のSBO(全交流電源喪失)及びLUHS(最終ヒートシンク喪失)に陥り、炉心冷却機能が不足した
 - 設計想定以上の事故に備えたアクシデントマネジメント対策も準備していたが、外部事象による共通モード損傷や長時間のSBOは想定していなかった為、事故進行を遅らせ、影響を緩和する有効な「手段」の準備が不十分だった



『福島事故』は「安全要件」の設定不備と、それに対応した設備設計の不備によるものであり、本来は設計により避けられたもの

23

3.1 (4) 『福島事故』の原因と対策(2)



- 世界で展開中のⅢ+炉は『福島事故』のような炉心溶融を含む多様なリスクへの対処を主たる目的として開発された
- 仏新型炉(EPR)では、DEC(Design Extended Condition)としてSBO対策、航空機落下対策、炉心溶融対策、水素ガス対策等を設計条件に含めて徹底的に対策済み
- 米国では新型炉(AP-1000)での設計対応に加えて、9/11対策として既存炉にもB.5.b対策(テロ攻撃に備えたダメージコントロール的な緊急対応策)を実施済み
 - AP-1000ではPassive Safety化により非常時のAC電源を不要すると共に、航空機落下対策、炉心溶融対策、水素ガス対策等も設計対応済み
 - 既存炉ではテロ攻撃等により電源系や冷却系に大きな損傷を受けた場合でも、ポータブル機器(電源車・ポンプ車等)により炉心と使用済燃料プールの冷却を確保するよう準備済み



世界では『福島事故』に対して、

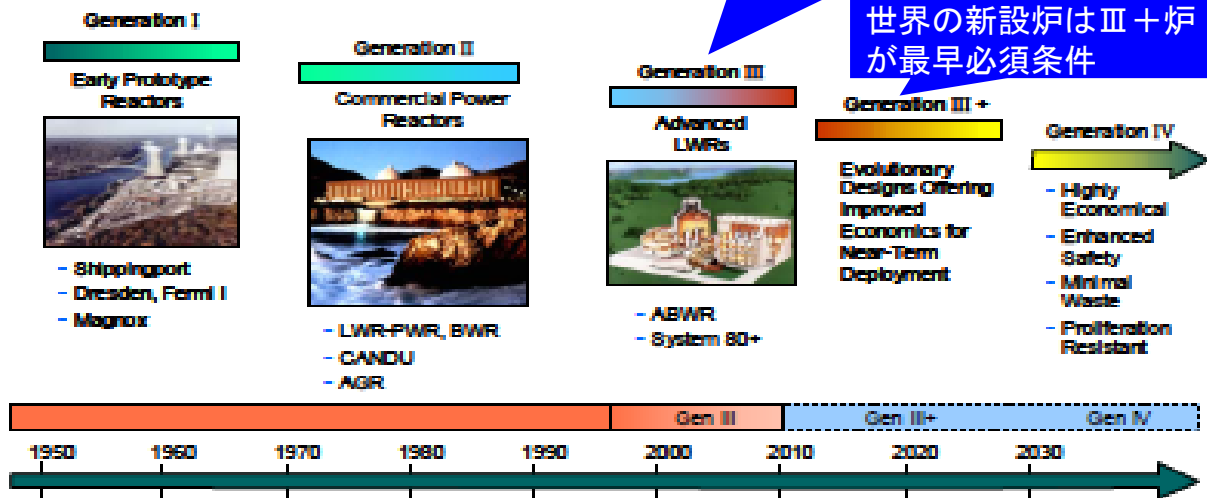
- 新型炉では設計段階から徹底的に対応済み
- 既設炉ではAdd-on設備により対応(米:実施済/仏:指示済)

24

3.1 (5) 世界に遅れてしまった日本の原子炉開発



(DOEの唱えるプラント開発段階)



A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems

- **リスクプロファイルの拡大に応じた安全設計“高度化”の流れ**
LOCA/反応度事故⇒SBO含むSA、自然災害⇒テロ・航空機衝突も考慮
- **旧式プラントも安全設計のUp Dating要・・・福島はこれが出来てなかった**

25

3.1 (6) 世界と日本の原子力政策の比較



(海外主要国の原子力政策)

(日本の原子力政策)

1. エネルギー源としての原子力の有効活用に対する一貫した姿勢
2. 原子力の“リスク”に対する謙虚な認識
3. 上記リスクをエンジニアリングにより克服しようとする明確な意思
4. 国際“商品”としての原子力の価値の最大化による「国益」の追求(EPR、AP-1000は国益そのもの)
5. 原子力を通じた中国を含む途上国との新たなアライアンスの可能性の追求

1. 3/11以前は左記の意識を共有していたが現在は曖昧
2. 海外に比べて規制側のリスク認識は大きく不足
3. SAに対する事業者の認識の不足、及び規制の「QA偏重」により、ピント外れの対策に多くのパワーを浪費
4. 国内市場への依存が強く、メーカーの商品企画力や開発意欲が不足
5. 海外アライアンスとの発想自体が不足

原子力政策の誤りが『福島事故』の原因であり、政府・事業者・メーカーの各々の姿勢に問題があった

26

3.1 (7) 日本原子力再生-日本の「コア技術」とは？



- 環境・エネルギー産業は日本の輸出基幹産業。アジアのエネルギー・インフラ整備事業は産業政策の中核であり、アジア各国の期待も大
- 途上国への『低炭素技術』の提供は、経済性・安定性・環境性に優れた火力&原子力発電技術の提供が基本
- 日本の原子力産業技術は商業用に特化し、製造技術やエンジニアリング技術の競争力は高く、材料・部品・機器等の信頼性も高い
- ウラン濃縮&再処理技術は独自技術を開発中で、商業化直前の段階。「国際競争力のある商業技術」としての確立が最重要課題
- 原子炉開発技術は、船用炉・重水炉(新型転換炉)・高速増殖炉・高温ガス炉を自主開発し、高い技術レベルを保持・・・「むつ」と「もんじゅ」は些細な開発段階のミスが祟って、商業化を断たれたものであり、原子力技術開発に対する「寛容度設定」の失敗



日本の原子力産業の特徴、即ち「コア技術」は、
・核不拡散に徹していること
・「燃料-炉-サイクル」のフルセットの技術を保持し、開発力も有していること

27

3.1 (8) 日本原子力再生-日本モデルの再構築



「日本モデル」の基本コンセプト

1. 「2050年度までにCO₂ 80%削減」(洞爺湖サミット合意)は先進国の共有課題 ⇒ CO₂フリーの原子力利用拡大を図るべき
2. 原子力によりエネルギーの安定性及び自給率をUpし、産業競争力・国民生活の維持及び国富流出の削減を達成すべき
⇒ 国家100年の計の強化である「燃料-原子炉-再処理」路線の再確認と自主・自立性強化を図るべき(損害賠償や燃料サイクル費用を含めても化石燃料に対する経済優位性あり)
3. 競争力の源泉である「プラント開発力」を次世代炉技術開発により強化すると共に、安全性の『基本』を自ら構築すべき
⇒ 自主開発により安全性向上への意識・意欲を向上させるべき
4. 日本の原子力の基盤として、高品質の機器製造技術と確実なプラント建設技術(納期遵守のエンジニアリング力)を堅持すべき
5. 併せてフロントエンド(燃料製造)の信頼性向上と新バックエンド技術(次世代再処理プロセス)の確立に向けた開発を行うべき
6. 独自開発をベースとしながらも、自身が主導権を持った国際強力はフレキシブルに志向してスピードアップを図るべき

28



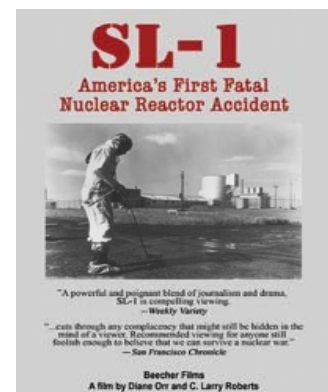
国民からの信頼回復、並びに原子力産業の努力を牽引するインセンティブ付与の切掛として下記のアジェンダを提案

1. CO₂削減と経済成長戦略を両立させるエネルギー戦略を明示すべき！
 - 原子力と再生エネに対する予断抜きFairな評価結果の提示
2. 原子力安全技術の“大幅”向上の為、以下を実現すべき！
 - 『福島』の教訓の活用・反映による世界の原子力への貢献
⇒ 既存炉でもⅢ+炉の安全性水準を達成する
 - 原子力再生の象徴として、国内(例えば青森県)で世界一安全性に優れた新型炉を建設する
 - より安全性に優れたリプレース炉の建設計画を提示する
 - 福島復興の財源としての原子力発電売電収入を活用する
 - 放射性廃棄物問題を、現状から延長可能な時間スパン(300年程度)で解決可能とする技術開発の見通しを得る
3. 国民からの信頼を回復できる規制と政策を実現すべき！
 - 意志決定の透明性(「顔」の見える政策決定プロセス)
 - 高い見識を持った専門家の責任と権限
 - 上記により「絶えざる安全性向上」を規制が先導すべき

29

(補足3-1)原子力安全問題の進歩 I : 決定論的安全設計の時代

- 1942年: Chicago Pile 1 (最初の原子炉)
- 1953年: 原子力の平和利用
- 1955年: プライスアンダーソン法(原子力損害保険)提案→1957年制定
- 1957年: WASH-740「事故確率を考慮せず、放出される放射性物質による死亡者数、障害者数、土地損害評価」
- 1961年: SL-1核暴走3名死亡(反応度事故)
- 1962年: 10CFR100「原子炉立地基準」(TID-14844 離隔距離の計算)
- 1967年: 10CFR50 App A, General Design Criteria「原子炉安全設計一般基準」以降Reg. Guide等が整備
- 1971年: LOFT Semi Scale (ECCS機能せず！)
- 1975年: WASH-1400(ラスムッセン報告、1977年期限切れのプライスアンダーソン法延長の有力な資料)
 - ・原子力発電所によるリスクは、他の一般災害のリスクに比して十分小さい
 - ・大LOCA(冷却材喪失事故)以外にも、小さな過渡事象から炉心溶融に至る可能性を無視できない
- 1979年: TMI事故(二次系給水ポンプの故障から炉心溶融→WASH-1400の妥当性実証、ヒューマンファクターに注目)



ABWR/APWR以外の日本の既存炉は本段階

30

(補足3-2)原子力安全問題の進歩Ⅱ:SA対策とPRAの発展

- 1979年:ケメニー報告「炉心溶融を影響を含めた事故発生確率やリスク評価の詳細研究を行うべき」
- 1980年:ロゴビン報告「潜在的な事故シーケンスに対する定量的リスク評価導入を含む安全規制見直しの基準変更が必要」
- 1982年:NRCがSARP(Severe Accident Research Program)公表
- 1985年:苛酷事故政策声明書
- 1986年:チェルノブイル事故(正反応度、安全文化)
- 1986年:安全目標政策声明書
- 1987,89年:NUREG-1150 1st, 2nd Draft
 - ・NRC規制活動におけるデータベース見直し
 - ・格納容器型式の異なる5つのプラントについて最新技術を用いたリスク解析
- 1989年:Generic Letterにて既設個別プラントの体系的な安全評価(IPE)要求
- 1990年:NUREG-1150 Final
- 1981~1985:第三次改良標準化(ABWR(高圧系強化(3系統化)、APWR、Ⅲ世代)
- 1991~1992:柏崎6/7号着工
- 80年代末、PIUS, SBWR, AP-600, PRISM等の中小型固有安全炉に開発着手
- 1991年:IPEEE要求(外部事象:地震、火災、洪水、強風、輸送及び近隣事故)



日本のABWR/APWRは本段階

THEORETICAL POSSIBILITIES AND CONSEQUENCES OF MAJOR ACCIDENTS IN LARGE NUCLEAR POWER PLANTS

A Study of Possible Consequences if Certain Assumed Accidents, Theoretically Possible but Highly Improbable, Were to Occur in Large Nuclear Power Plants



UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION

March 1957

WASH-740概要(決定論の推定)

- 500MWtの原子炉、180日間運転
- 核分裂生成物(FP)放出割合
 - － 格納施設内全FP放出・閉じ込め
 - － 格納施設より揮発性FPのみ放出
 - － 格納施設より全FPの50%放出
- 敷地境界:600m
- 気象条件、人口分布等から以下算出
- 死者:0~3400人
- 傷害:0~43000人
- 物的損害:50万ドル~70億ドル

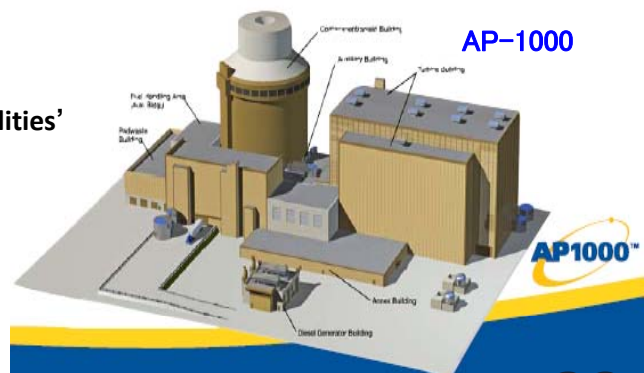
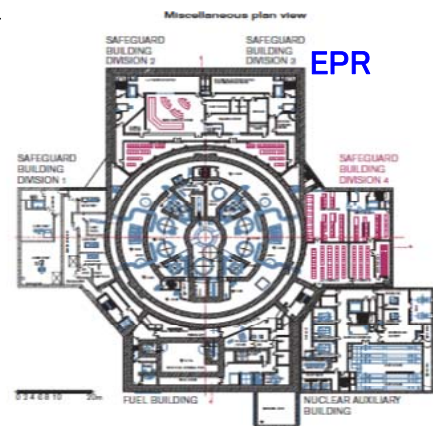
31

(補足3-3)原子力安全問題の進歩Ⅲ:テロ・外的事象対応

- 欧州:1990年代初頭よりEPR(仏→欧州→世界統一を目標、多重・多様性炉、航空機落下を含むテロ及び外的事象を含むシビアアクシデント対応、ECCS×4系統+SBO D/G×2台)
- 米国:1990年代初頭よりAP-1000(上記安全要件を受動機器で達成指向)
- 1995年:NUREG-1465(33年振りTID-14844見直し)
- 2001年9月11日:テロ→新たな安全要求(航空機衝突、EDMG-Extensive Damage Management GL)
- 2002年2月:NRCのICM Order(暫定補償措置命令)
- 2006年12月:NEI06-12 Rev.2 B.5.b Phase 2&3 Submittal Guideline(炉心、格納容器、使用済燃料プールの保護)
- 2007年:フラマンビル(EPR)発電所建設開始
- 2011年:福島第一事故
- 2012年:ヴォーグル発電所(AP-1000)建設許可
- 2012年:IAEA SSR 2/1 Design(元はEuropean Utilities' Requirement)



日本には本段階の原子炉は未だない



32

(補足3-4) III+新世代炉の先頭ランナー中国の現状(1)

中国-数年後には(15+26+6基、32/47はIII+炉)

中广核 CGN		Building A World-class Clean Energy Group						
Nuclear Power Units Being Built in Mainland China								
No	Owner	Approved units	Being Built	Province	Unit capacity	Unit type	FCD	Total
1	CGN/CPI	Hongyanhe 1/2/3/4/5/6	Hongyanhe 1/2/3/4	Liaoning	1080	CPR1000	2007-08-18,2008-03-28, 2009-03-07,2009-08-15	15 units 17540MW
2	CGN	Ningde 1/2/3/4	Ningde 1/2/3/4	Fujian	1080	CPR1000	2008-02-18, 2008-11-12,2010-01-08	
3		Fangchenggang 1/2	Fangchenggang 1/2	Guangxi	1080	CPR1000	2010-7-30, 2010-12-23	
4		Yangjiang 1/2/3/4	Yangjiang 1/2/3	Guangdong	1080	CPR1000	2008-12-16,2009-06-04	
5		Taishan 1/2	Taishan 1/2	Guangdong	1750	EPR	2009-12-21,2010-04-15	
6	CNNC	Fuqing 1/2/3/4	Fuqing 1/2/3	Fujian	1080	M310+	2008-11-21,2009-06-17, 2010-12-31	9 units 9200MW
7		Fangjiashan 1/2	Fangjiashan 1/2	Zhejiang	1080	CPR1000	2008-12-26, 2009-07-17	
8		Changjiang 1/2	Changjiang 1/2	Hainan	650	CNP600	2010-4-25, 2010-11-22	
9		Sanmen 1/2	Sanmen 1/2	Zhejiang	1250	AP1000	2009-04-19,2009-12-15	
10	CPI	Haiyang 1/2	Haiyang 1/2	Shandong	1250	AP1000	2009-12-28,2010-06-20	2 units 2500MW
11	High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR)							
Total			26 units	29240MW				
Approved for FCD			6 units	6820MW + HTGR				

33

(補足3-5) III+新世代炉の先頭ランナー中国の現状(2)

米→中のAP-1000の技術移転(国策会社SNTPC)

著作権保護のため画像削除

(補足3-6) III+新世代炉の先頭ランナー中国の現状(3)

Sanmen(三門):当初予定では来年運転開始・・・世界初のAP-1000

著作権保護のため画像削除

35

(補足3-7) III+新世代炉の先頭ランナー中国の現状(4)

仏→中のEPR技術供与、2号はRPV、SGも国産

Taishan 1&2, China



MAIN EQUIPMENT WORK

	Unit 1	Unit 2
Reactor Pressure Vessel	Mitsubishi Heavy Industries, Japan	DEC, China
Steam Generators (SG)	AREVA Chalon Saint Marcel, France	DEC: 2 SGs ; SEC: 2 SGs, China
Pressurizer	AREVA Chalon Saint Marcel, France	DEC, China
Main Coolant Lines	AREVA Creusot Forge, France + Nordon	AREVA Creusot Forge, France + Nordon
Reactor Coolant Pumps	AREVA Jeumont Solutions for Pumps and Mechanisms (JSPM), France	AREVA JSPM, France / Creusot (France+China)
Control Rod Drive Mechanisms	AREVA JSPM, France	Nordon
Heavy Component Supports	DEC, China	DEC, China

36

(補足3-8)原子力地政学(1) フランスの世界制覇への執念



- 1990年初頭:EPR構想(TMI、チェルノブイル経験からSA、地震、津波等外部事象、航空機落下等テロ対策も考慮、軽水炉終局形(4×100%のECCS+2×SBO D/G等)、世界標準化による量産でコストダウン(昔のNシリーズの再来))
- 1991&1993年:フランス規制当局安全要件
- 2000年9月: EUR 1st Draft (DEC導入等シビアアクシデント対応の標準)
- 2003: 独仏規制当局共同文書、WENRAで欧州共通安全目標へ(意図的差別化によるAP-1000欧州侵入を阻止)
- 2012年1月: IAEA SSR2/1 Design (EURを世界共通の規制基準に)



仏の戦略性と執念は米国も『悔しいが』認めざるを得ない
(NRC) General Design Criteriaの上に建増しを重ねたPatch Work Regulation by
Dr. Apostolakis (VTR SECY12-25)、でも実務的
(IAEA) Maybe, as Dr. Diaz said, “unqualified people of Comment allez-vous?”,
but the most influential international nuclear organization



日本にはこのような戦略・執念は勿論、発想自体が無かった

37

(補足3-9)原子力地政学(2)仏・中・米同盟と取り残された日本



互いに対立しながらも中国を媒介にした広義の「仏・中・仏同盟」を構築

- ユーラシア大陸を西側から浸食するIAEA (WENRA=AREVA & EDF) の枠組みと仏中協力
- 太平洋を跨いで進むWH(ASME)/SNTPCの米中協力と第三国へのAP-1000輸出(Ⅲ+原子炉)
- ビルゲイツが中国と進めるSMR開発と第三国への輸出・・・Ⅲ+原子炉(グリッドの小さな途上国へ売りやすい30~60万KWプラント、Passiveを活かせる熱出力)
- AP-1000/EPR等とそれに伴った規格開発(R.G.1.216(SA対応の格納容器設計基準)、R.G.1.217(航空機落下)、IAEA SSR 2/1(元はEUR(元はEDF/AREVAのEPR向け基準))

かたや日本は・・・

- **国内に上記に対抗しうるプラントや規格の開発無し・・・結果的に国内市場が日本原子力産業の成長を阻害した**
- **結果、中国・アジア諸国が中国製CAP-1000やCPR等で席卷された時も、日本国内には従来型Ⅱ/Ⅲ世代炉のみ、との現状**

38

3.2 (1) 既設軽水炉の安全性向上等に係る提言-1(SA対策)



(動機と背景)

- 福島事故は技術的には想定外事象(BDBE)に対する安全性評価と、それを反映した対策の欠如によるもの……内部事象と地震のみに着目し、それ以外の外部事象を軽視してきた
- PRA評価(確率論的リスク評価)により外部事象等に対する不備・弱点を明らかとし、それに対する強化対策を行えば、既存炉でも安全性の大幅な改善・向上が可能



(既設軽水炉に係る提言-1)

1. 下記を盛り込んだ既設炉向けSA対策基準の早期策定と実行

- 地震・津波、それ以外の幅広い外部事象(火山灰や河川洪水等)、内部事象(テロ等を含む)等に対するPRA評価を実施してプラント毎の脆弱性を把握し、それに対する安全性向上対策を継続的に実施する
- 本設設備の強化とポータブル設備配備を組合せたSA発生防止対策の実施(共通モード損傷に対する耐性を重視した多様性のある対策系)
- 「深層防護」に基づくSA時の影響緩和対策の実施……格納容器防護対策、デブリ対策、水素ガス対策、FP放出防止対策等
- 体制・管理面の強化や、事前準備・訓練の充実等、ソフト面での対策の強化

39

3.2 (2) 既設軽水炉の安全性向上等に係る提言-2(SA対策)



JSME
日本機械学会

発電用原子力設備規格
外部事象シビアアクシデント対策
設備設計ガイドライン
(BWR 編)

(201X 年版)

JSME X XXX-201X

(Ver.P-4A at 2012-05-30)

原専書面投票コメント反映版

発電用設備規格委員会

一般社団法人 日本機械学会

40

3.2 (3) 既設軽水炉の安全性向上等に係る提言-3(出力増強)



(動機と背景)

- 米国においては既設プラントのUp Ratingを推進し、大きな効果を上げている。NRCは福島事故以降もUp Ratingを積極的に認可
- 日本においても以前は盛んに議論されていたが、3/11以降は「お蔵入り」の状態
- しかし、タービン効率Up(熱出力一定)によるUp Ratingであれば、事故時のリスクは変わらず、温排水にも影響無いので、新規の電源確保よりも非常に簡便で効果的な対策



(既設軽水炉に係る提言-2)

1. 新設プラント建設のスローダウン・凍結に対する代替策として、既設軽水炉のUp Ratingを積極的に推進すべき
 - 事業者のUp Ratingに対するモチベーションを高める制度的・法的な支援制度の検討・構築すべき
 - 第一段階としてタービン効率UpによるUp Ratingを推進すべき(+10%程度)
 - 加えて第二段階として原子炉系を含むUp Ratingに向けた各種検討を推進すべき(更に+10%以上程度)

41

3.3 (1) 新型炉開発に係る提言-1(基本方針)



(動機と背景)

- 国外新設炉は中国、米国とも“Ⅲ+炉”(AP-1000, CAP-1000, CPR(Chinese EPR))で、国内既存開発炉はSpec.上は見劣り・・・「ABWR/APWRは30年前の商品」との認識
- 国内は立地難で「多数基立地/沿岸同一サイト」が不可避 ⇒ 共通要因故障を誘発する外部事象(地震・津波等)起因のリスクが常に支配的で、それらに対する高度な耐性は海外からの導入技術では不十分
- 日本のテロ対策上の不備(「対策準備無しでの情報公開」との慣行)を克服する為にも、安全対策のより一層の強化が必要



(新型炉に係る提言-1)

1. 「実証済の枯れた技術を買う」との思考からの卒業・・・新型炉開発により原子力を「改良標準化技術」から「真の自前技術」へ！
2. 「IPEEEや EDMG(B.5.b)を回避」との過去の清算・・・ IPEEEや EDMG(B.5.b)を既存の安全対策と統合して、新型炉開発にBuilt in ⇒ DBA対策からBDBA対策へのシームレスな安全対策移行を実現する

IPEEE: 地震・火災等の外部事象に対するプラント個別のリスク評価
EDMG: 炉心損傷発生時の影響緩和対策を言い、B.5.b対策と同義
DBA: 設計ベース事故、 BDBA: Beyond DBA

42

3.3 (2) 新型炉開発に係る提言-2(プラントコンセプト)



(動機と背景)

- AP-1000やESBWRのPassive化の徹底、或いはEPRのActive多重化の徹底を超えるPlant Conceptの構築が必要
- 福島の教訓を「強み」に変えると共に、日本独自の「強み」も反映した差別化が必要
- その為には従前の「次世代軽水炉」ではアピール度不足であり再考要



(新型炉に係る提言-2)

1. AP-1000 やEPRに対する技術的Advantageの構築
 - Passive +Activeハイブリッド安全系(対AP-1000・EPR)
 - 最終ヒートシンクの多様化(対EPR)
 - 耐震性の大幅改善(対AP-1000/EPR)
 - 「避難不要」を可能とする事故後無漏えいの達成(対AP-1000)
 - 「二重格納容器」以外の航空機落下対策(対AP-1000・EPR)
 - 中央制御室機能の多重性確保(対AP-1000・EPR)
2. 日本の素材・部品技術力を活かしたプラントコンセプトの構築
 - 格納容器用高性能鋼板の開発による大型炉への「事故時自然空冷式」鋼製格納容器の適用
 - Fly by wireとFly by lightの併用による多様性を要する制御・計測系の採用

43

3.3 (3) 新型炉開発に係る提言-3(海外市場対応)



(動機と背景)

- 市場確保(産業化へのインセンティブ)及び「二国間カーボンオフセットクレジット」の為にも途上国へのパッケージ輸出は必須条件
- 途上国の日本への期待大だが、日本の原子力業界は海外PJの準備・経験が不足



(新型炉に係る提言-3)

以下を含む「包括的」フルターンキーの実現

1. 許認可制度・規格・認証のパッケージ化
 - 日本発規格の必要性・・・優れた機器製造能力・部品/材料供給力を最大限に活用する為には何が有利か？から発想する
 - ASME/AIA制度との可換性確保等による現実的な対応
 - パッケージ化検討結果を国内制度の見直しにもフィードバック
2. 現地での調達・工事・エンジニアリングの「障害」の克服
 - フィンランド(AREVA)や台湾龍門(GE)の反省の反映
 - コスト・品質・納期を最適化する“Buy where we build”™(WEC)と“日本内作”とのベストバランスの追求
3. 損害賠償制度の確立
4. 燃料供給と使用済燃料等バックエンドの整備
 - IAEAやロシアとの共同保管の可能性

44

3.3 (4) 新型炉開発に係る提言-4(開発体制)



(動機と背景)

- 今までの国策に基づく新型炉開発は技術的には成功しても商業化には尽く失敗しており「構造的問題」がある
- メーカー間の競争があるとエネルギーが内向きに消費される
- また、そのような状況が各々提携する海外メーカーに利用される恐れ



(新型炉に係る提言-4)

1. メーカー間の垣根を越えた国策民営会社による自主開発
 - 国内リソースの集中と十分な開発資金の確保
 - 特定メーカーや海外メーカーの過大な影響力の回避
2. 国策民営会社化による「公設公営」から「公設民営」への変換
 - 開発自主性の確保とコスト意識・スケジュール意識の徹底
 - 上記による開発・市場投入のスピードアップ
3. そうは言いながら当面の現実的対応としては海外メーカーとの協力による技術開発の可能性も否定しない
 - … 例えば、JAP-1000(WEC/東芝)やJ-EPR(AREVA/三菱)等の可能性(但し、それでは本当に競争力のある基幹産業には育たない恐れもあり一長一短であるが…)

45

3.3 (5) 新型炉開発に係る提言-5(小型炉への取り組み)



(動機と背景)

- 今回のSMR(Small Module Reactor)ブームは本物なのか？過去にもチェルノブイル後の80年代末期にPIUS・PRISM・SBWR・AP-600等、最初のブームがあったが同様にならないか？を冷静に判断すべき
 - 技術的な新しさはあるのか？
 - DOEの意志は“Change the Game”(公設民営化)なのか？



(新型炉に係る提言-5)

1. (取り組むのであれば)狙いや市場を明確化し、それに即した開発計画を立案すべき
 - ① ニッチ市場狙いのSMR(東芝4S・韓国SMART他):
 - (燃料輸送の困難な)遠隔地対応や海水淡水化対応等、ターゲットの絞り込みと、その後の市場展開等に関するリサーチの徹底
 - ② 大型炉との競合狙いのSMR(B&W-mPOWER他):
 - 大型炉との“同等発電単価”の検証方法の確立
 - 初号機オーナー確保の為にリスク低減策やインセンティブの検討
2. 但し、より本質的には以下の「志向」の違いを再度検討すべき
 - (海外)出力小として安全裕度を高めることを志向
 - (日本)(立地確保が困難なため)一貫して出力大の大型炉を志向

46

3.4 (1) 原子燃料サイクル・FBRに係る提言-1(現状認識)



(現状認識)

- 「安定化無しの直接地層最終処分」の困難さが明確になりつつある
 - Blue Ribbon Commissionの“America’s Nuclear Future”が示すものは「従来考えていた「暫定」とはとても呼べない程の長期の乾式貯蔵」との現実 ⇒ヤッカマウンテンの「行き詰り」
- 処理・処分方法の「望ましさ」の順は常識的にも下記
 - 「直接処分」<「ガラス固化」<「分離、変換」
- 現状のAREVAガラス固化再処理技術が民生利用の最終形ではない
 - 更なる分別・減容・処分のための安定化技術がありうる
 - 下記の核種変換を行う為にはMA分離技術の実用化が必要である
- 高速炉を用いた核種変換・短寿命化の可能性はある
 - 高速中性子で長寿命核種を変換すれば、保管管理期間を管理可能な範囲内(300年～1000年程度)に出来る可能性がある
 - 加えて高速炉導入によりウラン資源の有効利用も可能となる
 - …「軽水炉の2倍程度のコストで無尽蔵のエネルギーを確保できる」との魅力は依然として失われていない
- 再処理施設の稼働と技術課題の克服が必要
 - 六ヶ所再処理工場の現実的な処理能力(例えば800t→400t)を踏まえて、第二再処理工場の開発と独自技術体系の構築を始める必要がある

47

3.4 (2) 原子燃料サイクル・FBRに係る提言-2(基本路線)



(動機と背景)

- スーパーフェニックス閉鎖以降は、高速炉に対し「長寿命放射性廃棄物消滅研究用の炉」としての役割を期待
 - フェニックスでは2004年まで、プルトニウム燃焼(CAPRA計画)及びアクチニド消滅処理(SPIN)の研究を実施
 - 仏は2006年6月28日法にて「分離・変換に関わる研究開発は次世代炉開発と一体で進める」と明記
- 消滅処理により管理期間を300年～1000年に出来るが、以下が課題
 - 「TRUと対象FPを使用済燃料から高効率(99.9%)で分離する方法が工学的には未確立」「科学的には可能でアメリシウム分離は現実的だが、キュリウム分離は非常に困難」
 - 放射能の高い 燃料製造には遮へいセルが必要で燃料製造コスト高

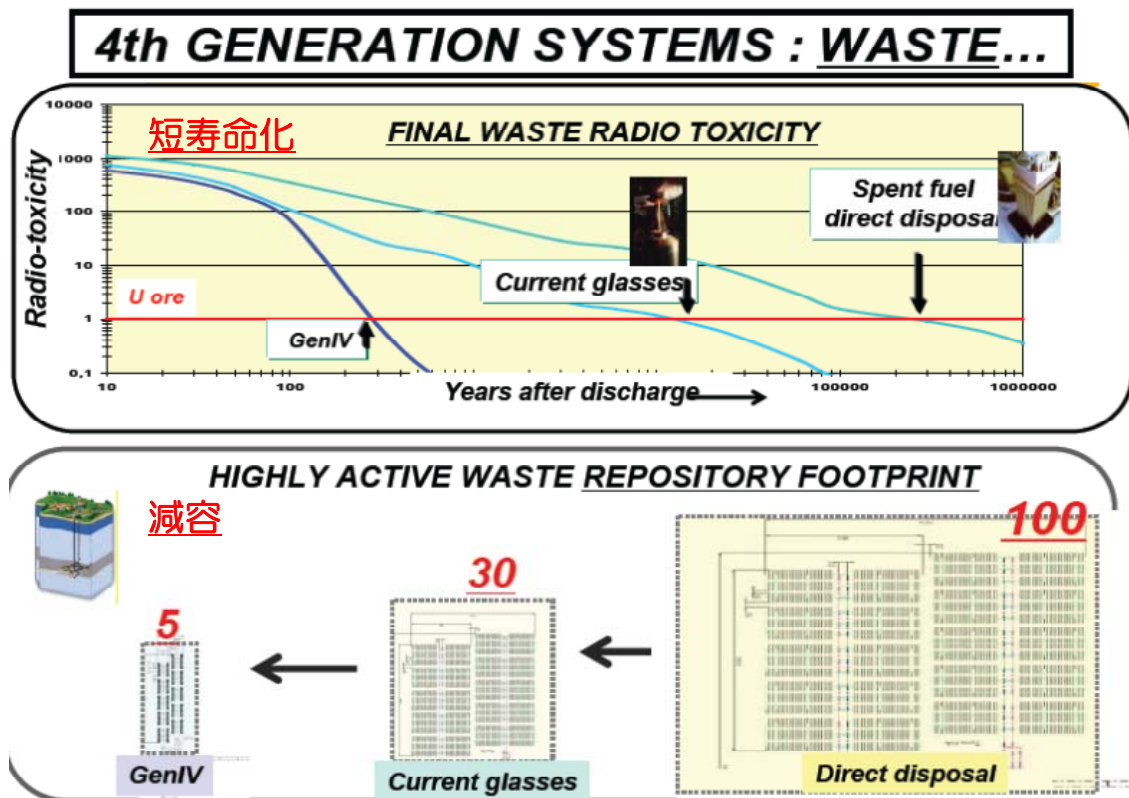


(燃料サイクル・FBRに係る提言-1)

1. 全量再処理を前提とする燃料サイクル路線の堅持を再確認すべき
2. 第二再処理工場に向けた抜本的・多角的な検討の開始すべき
3. 高速炉による消滅処理研究とMA分離研究を本格化すべき
 - 難易度高く共、原子力の最大の課題の解決には不可避と認識
 - 消滅処理研究を「もんじゅ」の新たなミッションに加える

48

3.4 (3) 原子燃料サイクル・FBRに係る提言-3(補足説明)



49

3.4 (4) 原子燃料サイクル・FBRに係る提言-4(処分等)

(燃料サイクル・FBRに係る提言-2)

- 高レベル放射性廃棄物処分サイトの早期決定の為、サイト選定作業を全日本的に加速させるべき
 - コミュニケーション手法等を駆使したパブリックアクセプタンスの獲得
 - フランス・ロシア等の実績を参考に、法律に基づき段階的に準備を進めることも検討すべき
- 「非核兵器保有国ながら核燃料サイクル施設を有する」との我が国の特徴を、アジア・太平洋地域の原子力エネルギー展開に活用する『方策』を追求・模索すべき
 - 近い将来、中国を中心としたアジア・太平洋地域が民生用原子力の中心地帯になるのは確実(製造技術国・大規模利用国・導入国・ウラン資源国(カザフ、モンゴル、オーストラリア))⇒ 域内における(燃料供給、再処理とも併せた)廃棄物処分の国際的フレームワークの構築を目指す
 - 同時に相互依存関係の強化による自国及び域内のセキュリティ向上を狙う・・・反面国益に裏打ちされた強い「意志」がなければ流される儘になるので要注意

3.4 (5) 原子燃料サイクル・FBRに係る提言-5(アジア連携)

アジア原子力エネルギー地政学に係る東京大学田中知教授の提案



欧米偏重ではなく、ロシアを含むアジア各国とのバックエンドを中心とした国際協力を推進すべき

- 原子力エネルギー利用を軸としたアジア地域での将来の日本の立ち位置と貢献
- 中国、インドへの国際協力
- ロシアエネルギー戦略への特徴的協力
- 韓国使用済燃料措置への協力
- カザフスタン、モンゴルへの協力、資産価値化
- 豆満江河口付近共同開発
- 南シナ海、ベトナム東海地域でのベトナムを軸とした協力
- インド原子力協力の早期締結

51

3.4 (6) 原子燃料サイクル・FBRに係る提言-6(FBR)



(動機と背景)

- FBRにはプルサーマルとの代替候補があるため燃料サイクル以上に将来計画が流動的となっている
 - 欧米のFBR開発はMA処理にほぼ限定されている
 - しかし、ロシア・インド・中国等は動力炉としての開発を継続中
 - 日本では3/11の影響により実証炉開発が大幅スローダウン中
- しかし2050年以降も原子力エネルギーを利用し続ける為には、トリウム又はプルトニウムの利用が必須
 - トリウムは核拡散抵抗が高いが、増殖比はプルトニウムに大きく劣る
 - トリウム炉としては溶融塩炉が有力視されるが、FBRのような技術・経験の蓄積は無く、開発に多くの時間を要することが予想される



(燃料サイクル・FBRに係る提言-3)

1. 長期原子力計画におけるFBRの必要性・重要性を再認識すべき
2. Na冷却との特徴を活かしたプラント新概念を構築すべき
 - Naの高熱伝導率を活かした完全自然循環による事故時冷却系設計
 - Naの高沸点や「低圧」設計との特徴を活かし、事故時の冷却材喪失を最小限として、炉心の露出・溶融を生じない1次系設計
 - 万一の炉心溶融時にも水素・水蒸気の発生が無いことを活かした「ノーベント&FP放出無し」、即ち「避難不要」を達成可能な格納容器設計

52

3.5 (1) 原子力規制に係る提言-1(規制原則の共有)



“The safe and secure **use** of radioactive materials and nuclear fuels for **beneficial civilian purposes** is made possible by the agency’s adherence to the following principles of good regulation: independence, openness, **efficiency, clarity**, and reliability. In addition, regulatory actions are effective, realistic, and timely.”

NRC Principles of Regulation from Strategic Plan Fiscal Years 2008-2012



(原子力規制に係る提言-1)

1. 「原子力利用あつての『規制』との当り前の認識を共有すべき」
 - 規制と推進一体体制から規制を分けたNRCの場合でも原則
 - TMI後の「規制のための規制」が「長期低迷」を招いたとの米国の経験を活かすことが重要
2. 「科学的、合理的で透明な意志決定、名前のある責任者の決断」が世界中から見えるようにすべき
3. 安全への寄与の少ないコンプライアンス主義より「安全技術・安全要件」を重視する風土を醸成すべき

53

3.5 (2) 原子力規制に係る提言-2(規制-体制改革の方向性)



(原子力規制に係る提言-2)

1. 原子力利用の健全な発展と安全規制への信頼回復を図るべき
 - 規制庁全職員に対し、前頁の規制の目的と役割の徹底を図るべき
 - 「迅速且つ予測可能な」規制の強化を図るべきであり、意志決定プロセスの透明性と責任を明示すべき
 - 絶えざる安全性の向上を規制が先導すべきであり、その為、事業者を「動機付け」する規制(現場の良心や安全性向上の動機を後押しする規制)を目指すべき
2. 規制側と事業者が原子力安全を巡り真剣な議論を戦わせる透明な“仕組み”の構築を図るべき
 - 相撲の土俵上の力士(規制側と事業者)の真剣な取組(やりとり)を観衆が見守るイメージ。規制側にも単なる“お上”の威光でなく事業者と対等に安全をめぐる戦える実力と責任ある体制が必要。
 - 加えて審判団として『第3者監視委員会』制度を設けるべき
3. 実効性の高い規制を目指すべき
 - 耐震バックチェック・QA・PLM・ストレステスト等の「ペーパーワーク規制」から脱却すべき
 - 根本的な安全要件を軽視して、QAや構造計算・材料といった手段に執着する「偏り」を是正すべき

54



(原子力規制に係る提言-3)

1. 規制制度の国際的な透明性を確保すべき
2. 安全規制への人的リソースの優先配分を可能とすべき
 - 海外規制機関によるプラント設計認証等の国際的な規制システムの活用も検討すべき
 - 規制の性能・機能規定に対する仕様規定として、民間規格・基準の活用をより一層推進し、その為、民間規格策定団体への必要な支援を行うべき
 - 工認や溶検に関する民間認証システムの活用を推進すべき
3. 絶えず最新知見の取り込みを行い、蓄積された経験とエンジニアリングに基づく規制を行うべき
4. 下記を通じて規制技術の蓄積・向上を図るべき
 - 新型プラントの設計認証(DC)審査の実施
 - 原子力プラント輸出に際しての途上国への規制システム「移植」
5. 下記を通じて規制の為の「専門家」の育成を図るべき
 - 「実務経験の蓄積」を含めた人材育成のBuild in⇒より高度な専門家を育成して安全規制の実効性・効率性を向上
 - 要素技術に留まらないプラント技術の専門家を育成⇒例えば産業界出身の大学研究者等が専門職大学院で規制人材を育成する等(10人/年でも10年で100人を確保可)

日本のエネルギー 需給の現状と見通し

小宮山 涼一
東京大学 助教



Memo

A series of horizontal dashed lines for writing a memo.

国内温暖化ワークショップ
「地球温暖化抑制のための世界共有ビジョンの実現にむけて」
キヤノングローバル戦略研究所、2012年7月24日(火)

日本のエネルギー需給の現状と見通し

東京大学 助教 小宮山涼一

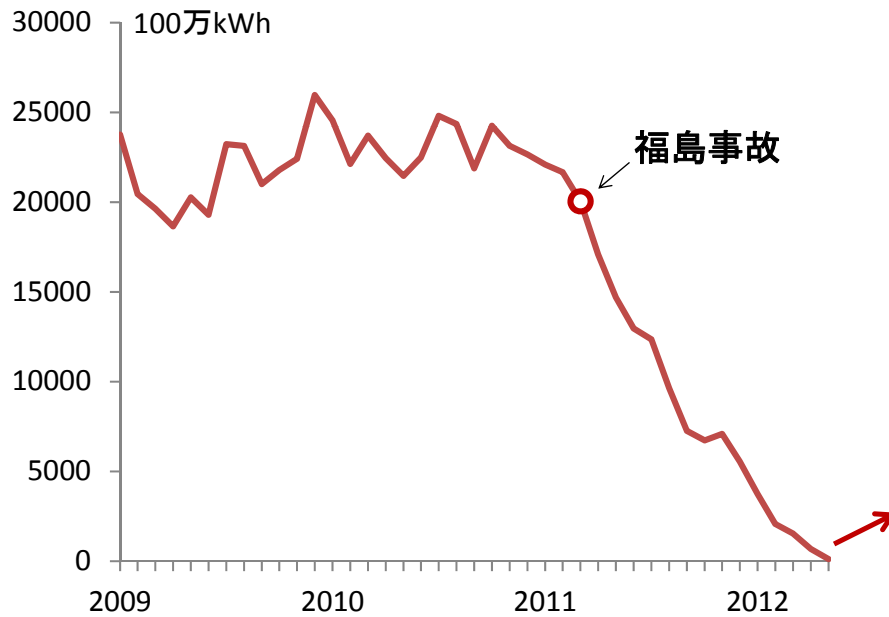
1

内容

- 日本のエネルギー需給の動向
- 日本のエネルギー需給の展望

2

低迷する日本の原子力発電



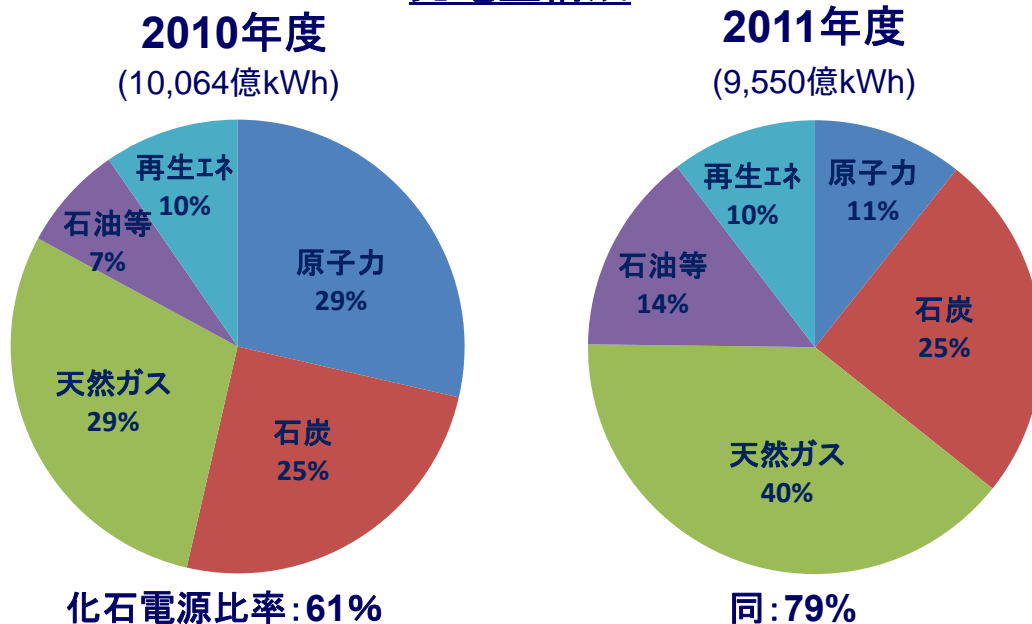
(出所) 経済産業省「電力調査統計月報」より作成

3

原発事故で高まる化石エネルギーの役割

化石燃料発電の比率は2010年度の6割から2011年度は8割に上昇

発電量構成



(出所) 電事連資料より作成

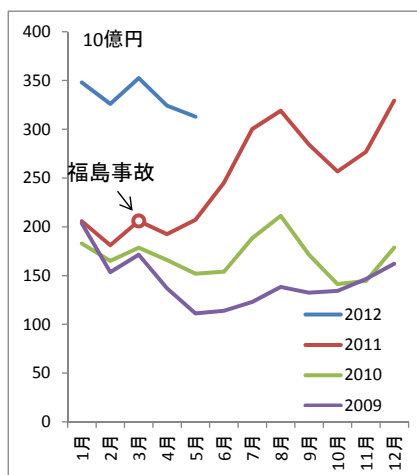
4

原発停止で急増する火力発電の燃料費

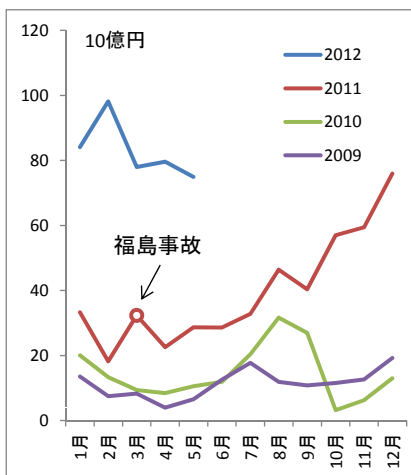
- 原発稼働停止で急増する火力発電の燃料費
- 燃料費増加で国富流出、国民負担の増加
 2011年度:2.3兆円増 (1.8万円/人)、電力1kWhあたり2.4円増
 2012年度(見込み):3.1兆円増 (2.5万円/人)

発電用燃料費(10電力会社計)

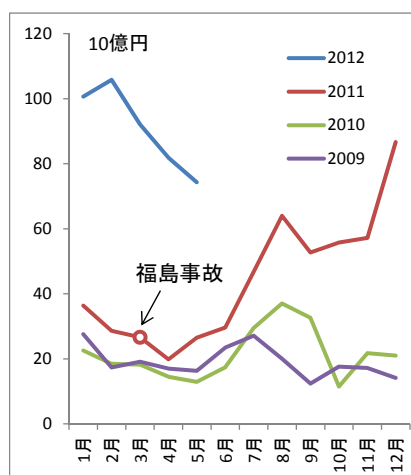
天然ガス(LNG)



原油



C重油

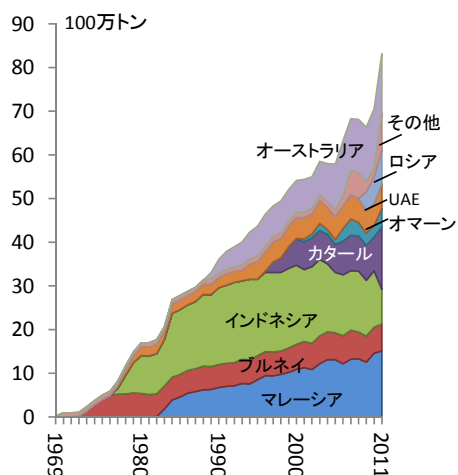


出所) 経済産業省「電力調査統計月報」、財務省編「日本貿易月報表」、経済産業省編「資源・エネルギー統計月報」より作成

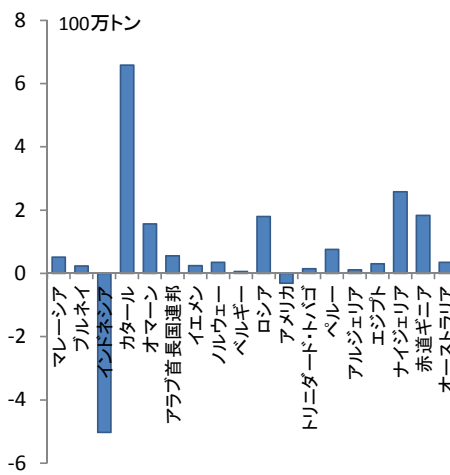
原発事故で高まる天然ガスの役割

- 原発停止で火力発電への依存は9割以上 - ガス42%、石油22%、石炭28%
- 2011年度の福島原発事故に伴いLNG輸入量が急増
- カタール、西アフリカ地域等からのスポット調達で短期で供給増加
 カタールからの輸入(2011年推定): 長期契約600万トン程度(うち中部電力400万トン)、スポット調達700万トン程度
- 米シェールガス、欧州の不況が間接的に日本向け供給増を下支え

LNG輸入量



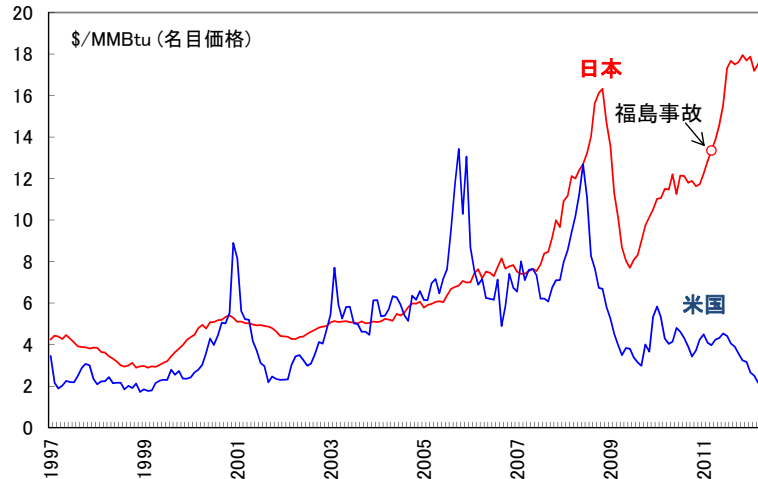
LNG輸入増加量(11年度-10年度)



(出所) 財務省編「日本貿易月報表」、経済産業省編「資源・エネルギー統計月報」

高騰する天然ガス価格

- 日本のガス価格は、売主への牽制材料少なく(国産資源、パイプラインガス輸入等)、原油価格・スポット需給の影響大。原発も貴重な牽制材料。
- 油価上昇、原発低迷による価格交渉力低下、震災後の需給逼迫懸念によるスポット価格高騰うけ、日本のLNG価格急騰。
- 原発再稼働遅延、LNG需要が今後も高水準の場合、高値圏推移の可能性大。



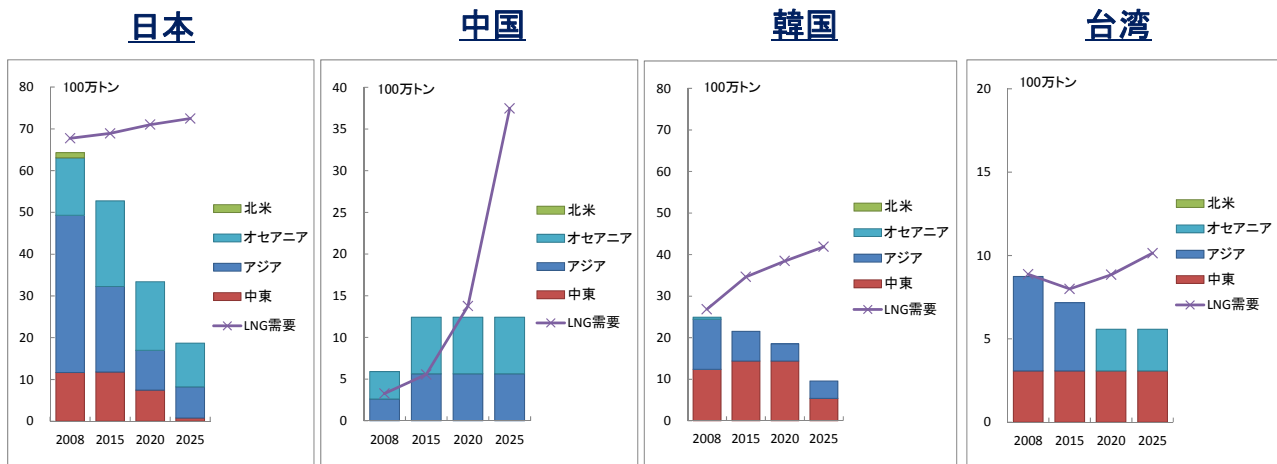
(出所)EIA/DOE統計, 財務省編「日本貿易月報表」

7

アジアで増加する天然ガス需要

新規契約・価格改定を迎える日本のLNG契約は、原発低迷、アジアの長期的な需要増等で、売主主導での価格交渉の下、高値での契約更新の可能性大

* 棒グラフが長期契約量、折れ線がLNG需要見通し



(出所)LNG需要:エネ研「アジア/世界エネルギーアウトルック」、長期契約:事業者ホームページ等より作成

液化天然ガス(LNG)の長所と短所

長所

- 地球環境(CO2排出少)、地域環境(SOx、NOx少)に優しい
- 石油資源に比較して、非在来型資源を含め、天然ガス資源量が豊富
- 石油に比較して、輸入源の分散化を達成

短所

- 石油と違い、事業化には液化、気化、貯蔵施設等への多額の設備投資が必要
 - LNG貿易は長期契約が主で硬直的(スポット取引は世界のLNG貿易の2割程度)
 - LNG価格は石油価格リンクが主流(日本:原油リンク、欧州:石油製品リンク)
- 備蓄量が極めて限定的(日本では約20日分、石油は国備・民備で約200日分)
 - 緊急時の国際的協調行動の取決め(IEAの石油備蓄放出等)が存在しない
 - 余剰生産能力(原油ではサウジの余剰生産能力)が存在しない

→ LNGは政策面、物理面で石油に比較して緊急時対応能力がぜい弱

9

ホルムズ海峡

- 核開発疑惑での欧米の制裁発動を受け、イランが海峡封鎖を警告
- 世界の原油生産の2割、LNG生産の3割(カタル、UAE)が通過する要衝
- 日本の年間石油輸入の8割強(85%)、同LNG輸入の2割(18%)が通過
- 海峡封鎖の場合、更なる価格高騰、供給不安のリスク大



(出所)EIA/DOE

	LNG生産能力* (世界計2.7億トン)	LNG輸入量依存度(日本)** **2012年5月(輸入計:689万トン)
カタル	7,700万トン (世界の29%)	18% (124万トン) 買主(契約量)、契約期間 中部電力(400万トン)、1997年~2021年 東京ガス(35万トン)、1998年~2021年 大阪ガス(35万トン)、1998年~2021年 東北電力(52万トン)、1998年~2021年 関西電力(29万トン)、1998年~2021年 中国電力(12万トン)、1998年~2021年 東京電力(20万トン)、1998年~2021年 東邦電力(17万トン)、1998年~2021年
UAE	560万トン (世界の2%)	5% (37万トン) 買主(契約量)、契約期間 東京電力(430万トン)、1994年~2019年

*2010年末

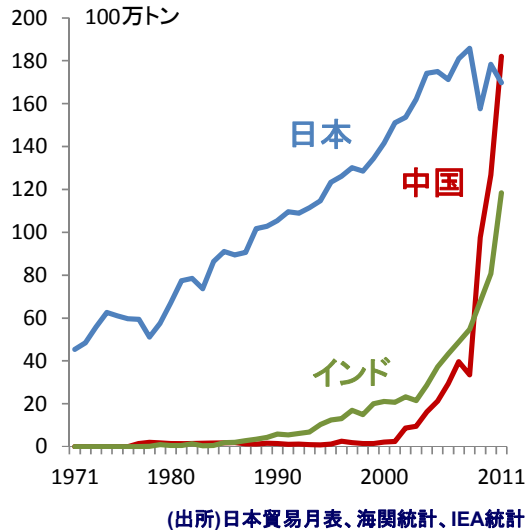
(出所)資源・エネルギー統計月報、各事業者ホームページ等より作成

10

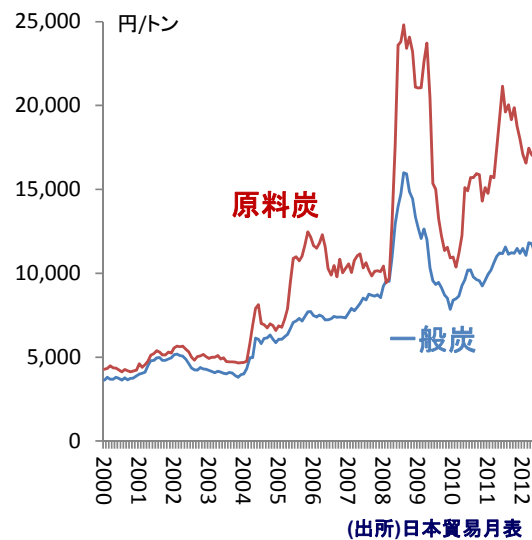
急増する中国の石炭輸入

- 輸送インフラのボトルネック、石炭価格の内外価格差等を背景に、中国の石炭輸入が急増
- 中国は2011年に石炭輸入量で日本を抜き、世界最大の石炭輸入国に
- 2010年代中頃には、中国の石炭輸入が4億トンに達するとの見解もあり、日本の輸入価格の上昇圧力として作用する可能性

日中印の石炭輸入



石炭輸入CIF名目価格(日本)



11

原発停止の経済へ影響

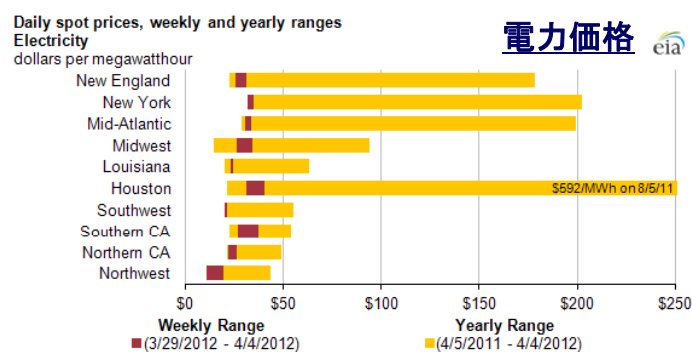
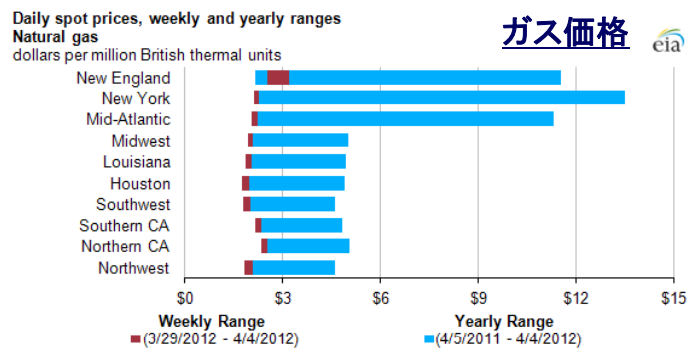
(出所) (一財)日本エネルギー経済研究所「短期エネルギー需給見通し」2011年12月22日

電力制約なし(原発あり)ケースと比較(2012年度)

- ・化石燃料輸入増: 2.0兆円増
- ・発電用燃料増: 2.3兆円増 (2.5円/kWh相当)
- ・GDP: 1.8%ポイント減 (9.1兆円減、年度ベース)
- ・鉱工業生産指数: 3.4%ポイント減
- ・失業者数: 10万人増

価格低下が進む米ガス価格、電力価格(2011年度)

- 多くの州でガス価格(ガス火力コスト)低下により、電力価格も大幅に低下
- 米天然ガス価格の大幅安で、化学産業の生産拡大、電力価格も低下し製造業復活



(出所)EIA/DOE

13

再生可能エネルギー導入の課題

- 供給の不安定性(天候などの自然環境に依存)
- 低いエネルギー密度(供給量不足、物理的制約)
- 経済性(高コスト)⇒技術開発の促進、普及促進策
- 系統安定化対策(大量導入)⇒スマートメータ、蓄電池

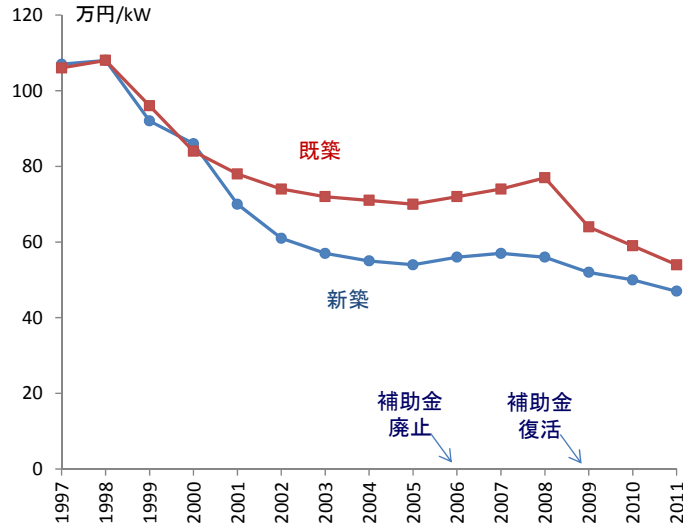
特に太陽光・風力発電は出力が自然環境に依存、電力系統に大量導入された場合、電力安定供給に影響が生じる可能性(電圧上昇、潮流変動、余剰電力、周波数調整力への対策が必要)

風力を中心とした再生可能電源の大規模導入が進むドイツでは、風力余剰出力の地域間融通、出力抑制等、スペインでは、再生可能エネルギーの出力把握・出力抑制等により対応の方向。

14

太陽光発電コスト

- 2011年の価格は1997年に比較し約50万円低下。
- 2006年度以降、補助金廃止、原料(シリコン)不足等で、価格が上昇。2009年に補助金復活後、価格は再度低下傾向。

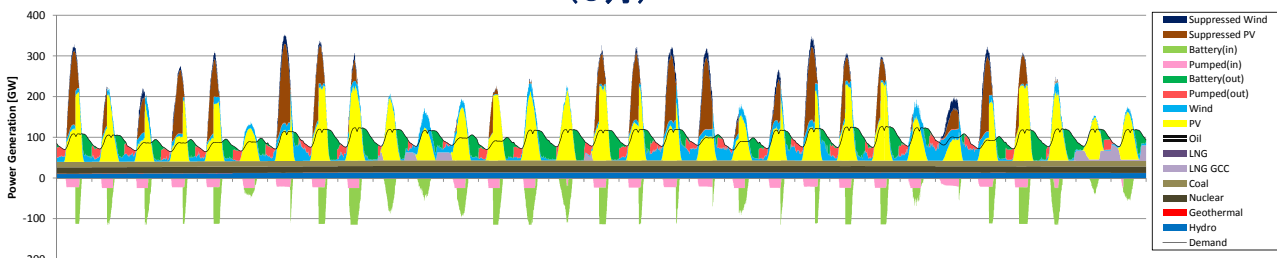


(出所)新エネルギー財団、太陽光発電普及拡大センター

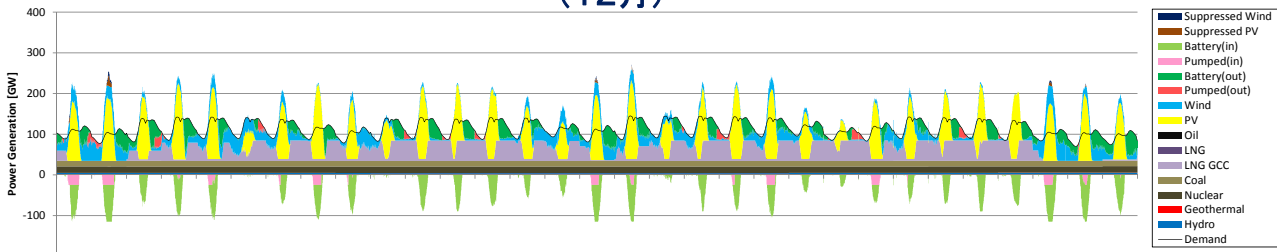
再生エネ大量導入時の電力需給(日本)

- 蓄電池, 揚水発電, LNG複合火力等の負荷追従運転, 太陽光・風力の出力抑制等、従来とは異なる需給運用が必要
- 再生可能エネルギー導入拡大も考慮に入れた今後の電力市場(発送電分離)のあり方に関する検討も重要(予備率確保、電力流通設備への投資等)

(5月)



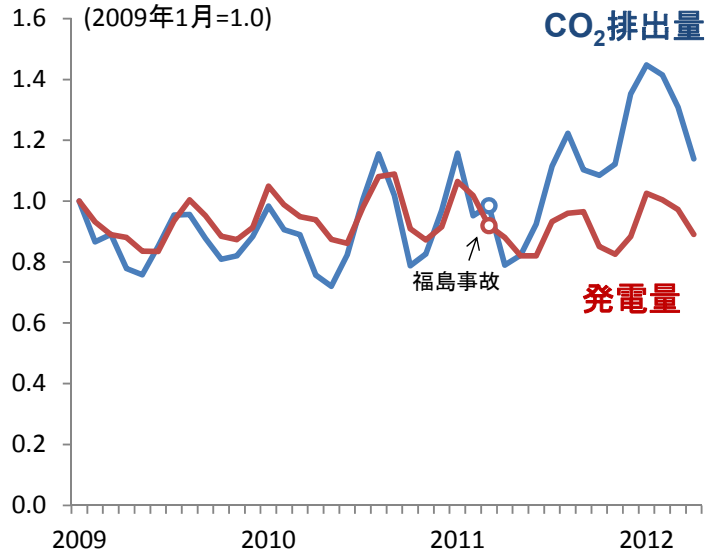
(12月)



(出所)小宮山涼一, 藤井康正「太陽光発電, 風力発電の大量導入と日本の最適電源構成に関する分析」電気学会論文誌B (電力・エネルギー部門誌), Vol. 132, No. 7, pp639-647(2012)

原発停止で増加する発電部門のCO₂

2011年度、節電により夏冬の発電量は減少。一方、火力発電の増加に伴い、発電部門のCO₂排出量は大きく増加



(出所) 経済産業省「電力調査統計月報」より試算、作成

17

2030年の電源構成の選択肢

原子力依存度低減、エネ安全保障確保、温暖化対策強化、コスト増・空洞化抑制

	原子力	再生可能	火力	コジェネ	省電力 (2010年度比)
選択肢(1)	0%	35%	50%	15%	約1割
選択肢(2)	15%	30%	40%	15%	約1割
選択肢(3)	20-25%	25-30%	35%	15%	約1割
参考シナリオ	35%	25%	25%	15%	約1割
基本計画(福島前)	約50%	約20%	30%	0%	

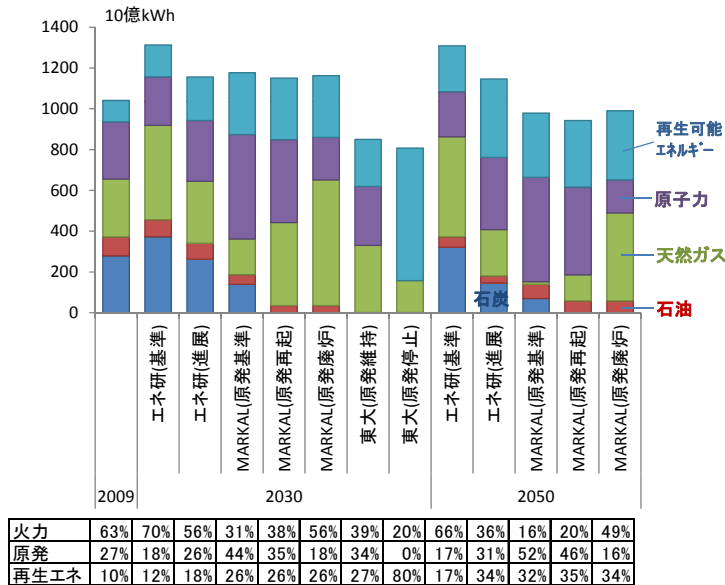
(出所) METI基本問題委員会資料より作成

- 不確実性高まる国際エネルギー情勢 (中東情勢, 新興国の需要増, 非在来資源の動向)
⇒エネルギーの選択に多様性を確保し、環境変化への柔軟な対応も重要な視点
- 電力市場改革と新長期目標の整合性確保も必要

18

発電構成

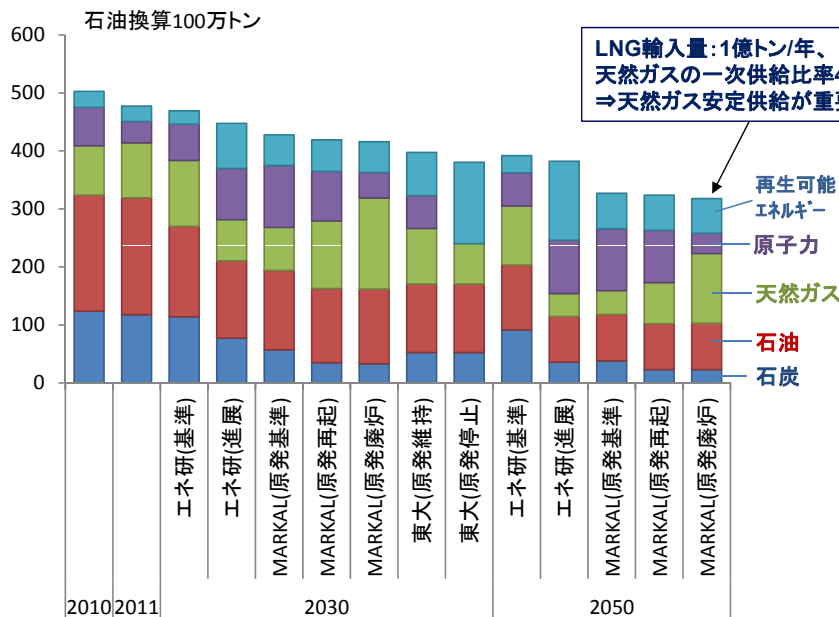
原発依存度低減、再生可能エネ比率の増加は発電コストの上昇をもたらす。
 発電コスト：2009年 10円/kWh
 ⇒ 16円/kWh (「東大(原発維持)」)、27円/kWh (「東大(原発停止)」)



* 「エネ研」: アジア/世界エネルギーアウトルック2011
 「MARKAL」: 小宮山ほか「統合型エネルギー経済モデルによる2050年までの日本のエネルギー需給の分析」エネルギー・資源学会誌, Vol.33, No.2, pp.34-43(2012)
 「東大」: 小宮山, 藤井「太陽光発電, 風力発電の大量導入と日本の最適電源構成に関する分析」電気学会論文誌B, Vol. 132, No. 7, pp639-647(2012)
 ** 「MARKAL」「東大」は、CO2制約(2030年90年比30%減、2050年同60%減)の下で計算。
 *** 原発の想定: 「エネ研」(基準)現状維持(進展)基本計画、「MARKAL」(基準)基本計画(再起)2020年以降新設(廃炉)60年経過後廃炉、「東大」(維持)現状維持(停止)全基停止
 *** * MARKALの火力にはCCS付発電も含まれる

一次エネルギー供給

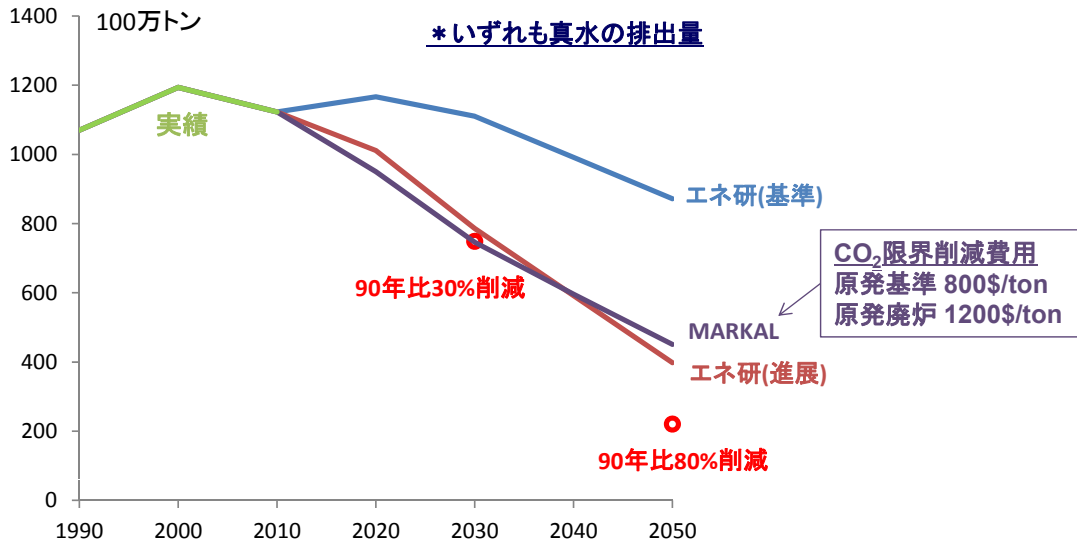
- 原発依存度が低下する場合、再生可能エネルギーや天然ガスの比率が増加
- その場合、天然ガスや電力の安定供給確保(備蓄等のインフラ整備)が必要



* 「エネ研」: アジア/世界エネルギーアウトルック2011
 「MARKAL」: 小宮山ほか「統合型エネルギー経済モデルによる2050年までの日本のエネルギー需給の分析」エネルギー・資源学会誌, Vol.33, No.2, pp.34-43(2012)
 「東大」: 小宮山, 藤井「太陽光発電, 風力発電の大量導入と日本の最適電源構成に関する分析」電気学会論文誌B, Vol. 132, No. 7, pp639-647(2012)
 ** 「MARKAL」「東大」は、CO2制約(2030年90年比30%減、2050年同60%減)の下で計算。
 *** 原発の想定: 「エネ研」(基準)現状維持(進展)基本計画、「MARKAL」(基準)基本計画(再起)2020年以降新設(廃炉)60年経過後廃炉、「東大」(維持)現状維持(停止)全基停止

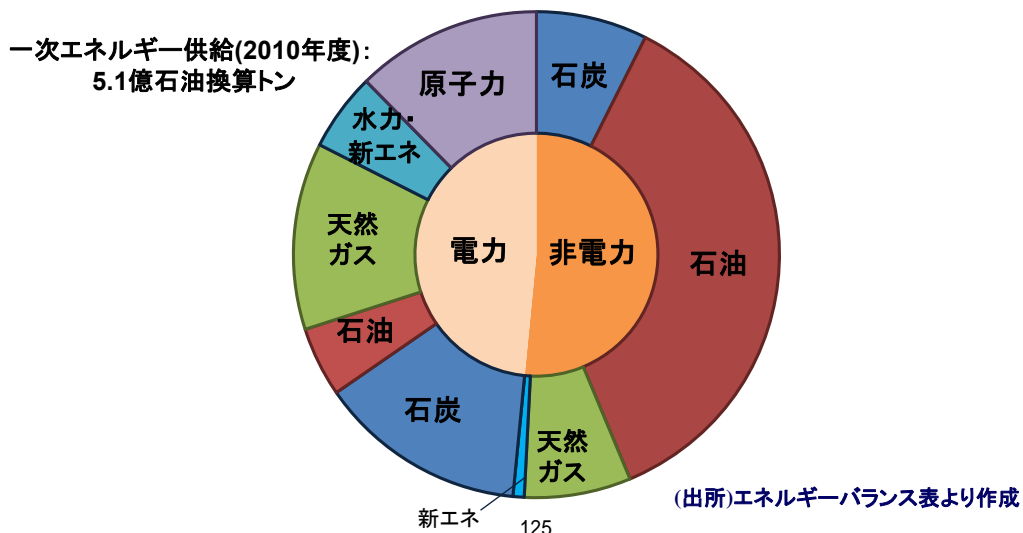
CO₂排出量

- 原発依存度低下、CO₂削減を同時に進める場合、再生可能エネルギーやCCS等の導入が拡大、克服すべき技術的ハードルは高い
- 既存の高効率技術の海外展開による排出クレジットの活用等も有効な手段



日本のエネルギー供給 (電力、非電力)

- 電力部門は原子力、水力等で温室効果ガス抑制。しかし一層の拡大にも限界
- 非電力部門の大部分が化石燃料(非電力の化石消費 | 産業:5割、運輸:3割)
 → 環境、安定供給を考えれば、特に非電力部門の省エネ、新エネ導入が不可欠
 ex. 高効率産業プロセス、コジェネ、高温ガス炉(水素製造)、バイオ燃料、次世代自動車、公共交通システム等



日本のエネルギー政策の方向性

原子力ガバナンスの再構築、原発の安全性向上：

国による原発へのコミットメントの明確化(原賠法(事業者責任、免責事項)の見直し、バックエンド等)、安全性の検証、最高水準での安全性実現

資源・燃料の安定供給確保：

LNGの安定供給確保と価格低減(シェールガスのLNG輸入、露パイプラインガス輸入の検討等)、国内ガスパイプライン網の整備

再生可能エネの普及拡大：

再生エネの産業化、自然環境と調和した社会の構築、固定価格買取制度等の支援策拡充

電力システム改革：

大規模集中型の見直し、自然災害に強い分散型システム(スマートグリッド、蓄電池)の導入、発送電分離を含む電力事業形態のあり方に関する検討、原子力事業の電力市場改革への調和、広域的インフラ形成(東西融通)

省エネ推進と支援策：

エコポイント制度、スマートシティ・コミュニティなど

国際協力の可能性

上野 貴弘
電力中央研究所
主任研究員



上野

Memo

Handwriting practice lines consisting of 20 horizontal dashed lines.



国際協力の可能性

電力中央研究所 社会経済研究所

主任研究員 上野 貴弘

CIGSワークショップ

2012年7月24日

 電力中央研究所



 電力中央研究所

本プレゼンテーションの背景・目的・構成

- ◆ 背景： ビジョン／シナリオを実現するには、「国際交渉を通じた多国間の合意」と「新興国における技術導入」が不可欠
- ◆ 目的： これらについて、発表者の最近の研究成果をご紹介し、皆様の議論に貢献すること
- ◆ 構成：
 - (1) 国際交渉の動向分析(スライド3～14)
 - (2) 中国における技術導入(シェールガスを事例に)(スライド15～23)

(1) 国際交渉の動向分析

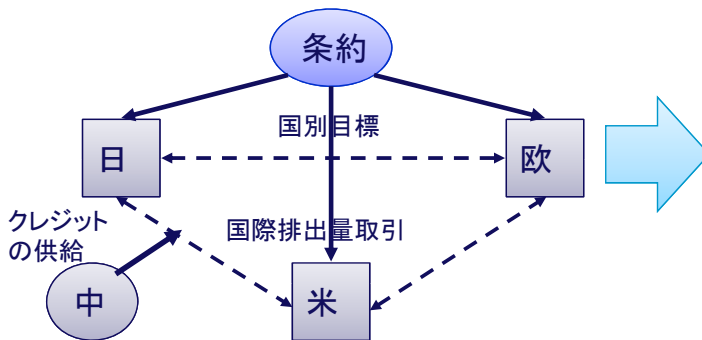
カンクン合意（2010年、COP16）

- ◆ 合意のステータス
 - UNFCCCの正式な合意。ただし、法的拘束力ある枠組みではない
 - 京都議定書継続の可能性を排除するものではない
- ◆ 合意内容
 - コペンハーゲン合意をほぼ踏襲。大枠のみを与えて、詳細化は今後
- ◆ 合意の主要要素
 - 長期目標： 温度上昇を2度以内とすることを目指して、大規模削減が必要であることを確認
 - 排出抑制： 先進国については経済全体の排出目標を留意(take note)、途上国については排出抑制行動(NAMA)を留意。目標や行動の内容については、各国が自ら情報を提出(つまり、交渉しない)。計測・報告・検証(MRV)で透明性確保。先進国に対しては、目標との関連で排出量の国際評価・レビュー(IAR)のプロセスを設立。途上国に対してはNAMAに対する国際的な協議と分析(ICA)を実施
 - 資金・援助： 新規の資金を2010年から2012年までの間に約300億米ドルを先進国全体で提供。さらに、条件付きで、2020年までに年間1000億米ドルの資金動員を約束
 - 技術： 技術開発と移転を強化するために、「技術メカニズム」を設立

ボトムアップアプローチへの転換

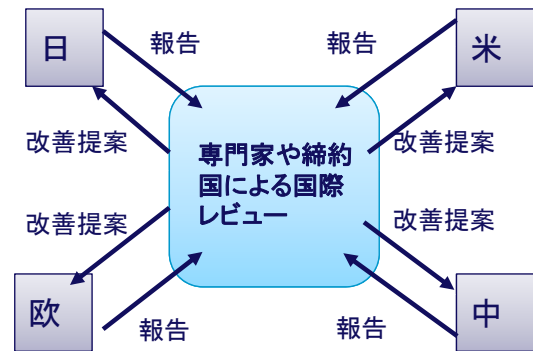
トップダウンアプローチ：排出量の国際目標
+ 国際排出権取引

- ・ 国際合意による国別排出上限+目標達成のために国際排出権取引を導入。各国は国際目標達成のために国内法を制定。罰則あり



ボトムアップアプローチ：国内政策(=行動)
の国際レビュー

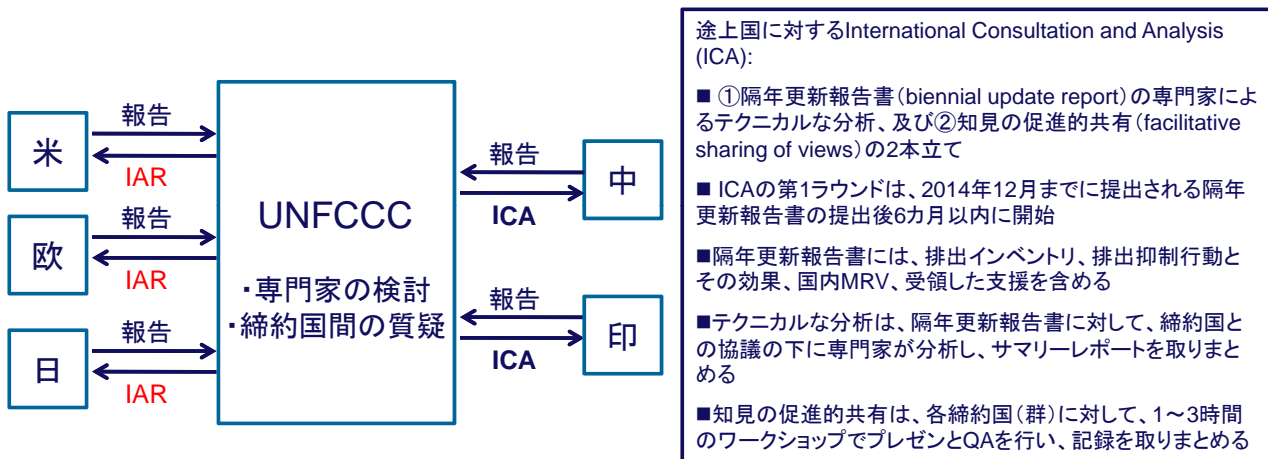
- ・ 各国はそれぞれの政策を立案・実施。国際的な場で相互の国内政策をレビューして、問題点を探し出し、各国の政策改善を促進



ボトムアップアプローチの考え方

- ◆ ① 基本的な定義(=国内政策が先行)：各国の国内政策を起点として、それを国際合意に位置づける
- ◆ ② 結果よりも行動：排出目標という将来の「結果」よりも、目標に向けた「行動(=政策実施)」を重視
- ◆ ③ 国際レビュー：国際条約の下での厳格な遵守ではなく、政策実施に関する各国の報告を国際的な場でレビューし、透明性を向上
- ◆ ノーベル経済学賞を受賞したトーマス・シェリング教授ら、米国の研究者が中心となって、概念を形成

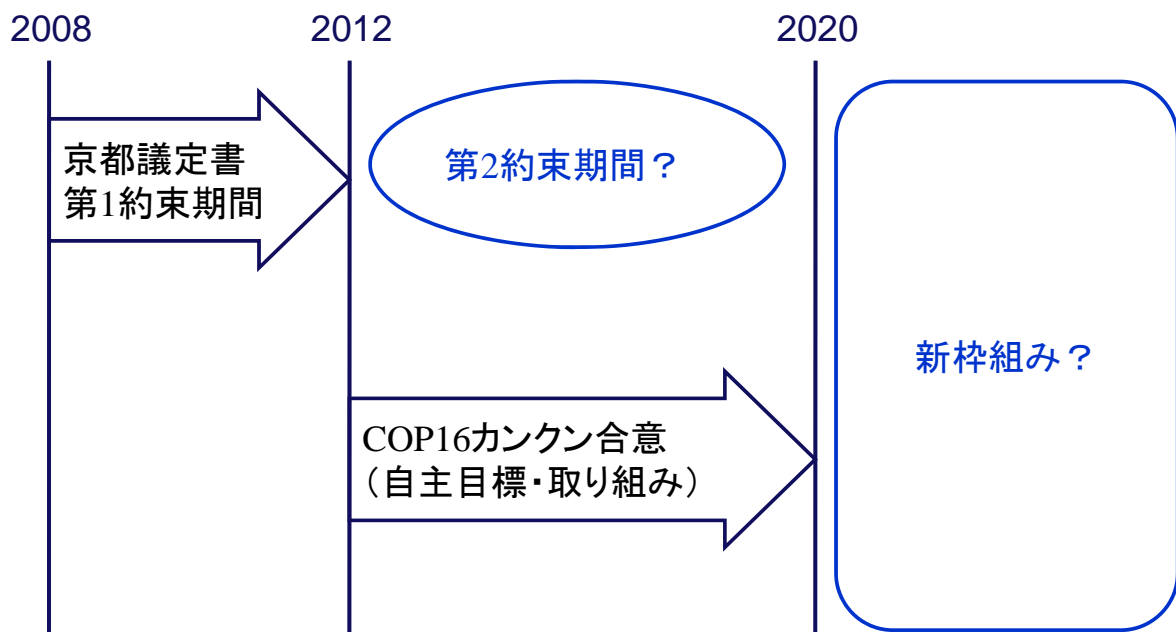
(参考) カンクン合意における ボトムアップアプローチの詳細



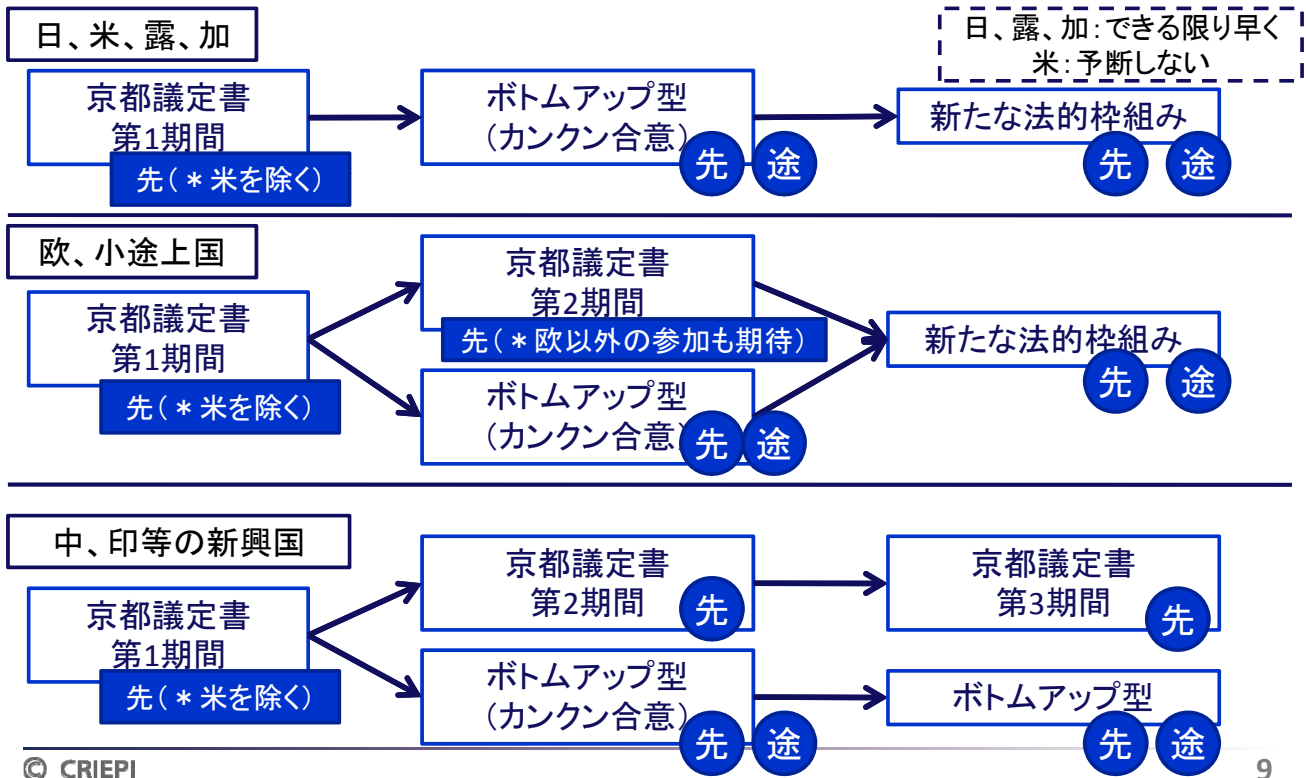
先進国に対するInternational Assessment and Review (IAR) :

- ①隔年報告書 (biennial report) の専門家による テクニカル・レビュー、及び②数量化された国別排出削減目標の実施に対する多国間評価の2段階
- IARの第1ラウンドは、2014年1月1日までに提出する隔年報告書の提出2ヶ月後。以後、2年ごとに実施
- 隔年報告書には、数値目標、目標達成に向けた取り組み(国内対策&市場ベースのメカニズムの利用)、途上国支援の詳細を含める
- テクニカル・レビューは、隔年報告書に対して、専門家がレビューを行い、レビュー報告書を取りまとめる
- 多国間評価は、条約の補助機関会合にて、隔年報告書とレビュー報告書に基づき、各先進国に対するQ&Aを行い、記録を取りまとめる。(取りまとめられた記録の扱いは不明。)

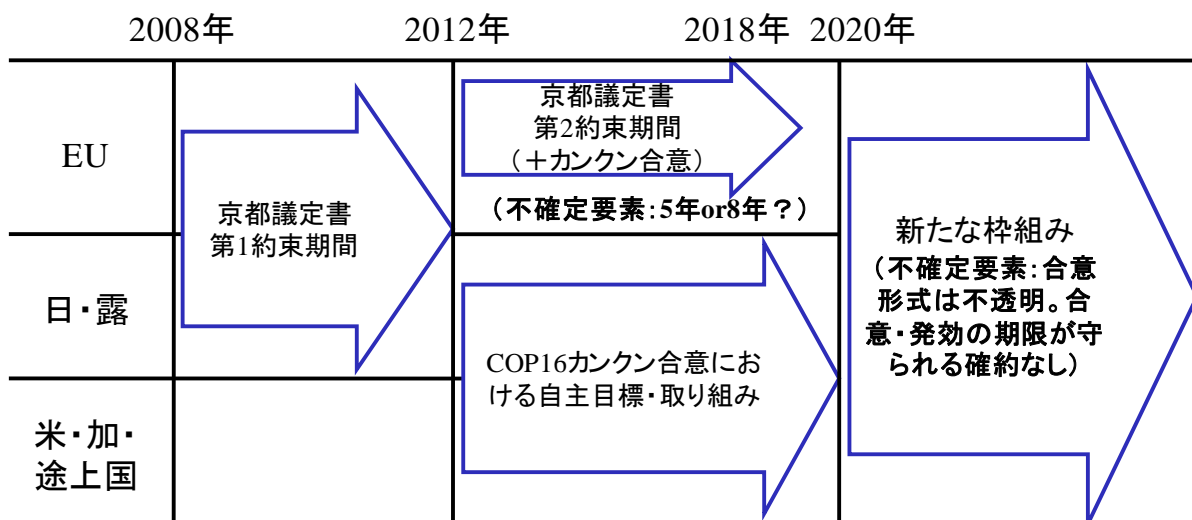
COP17における2つの主要論点



COP17に向けた国家間の意見の相違



COP17の合意



COP17における4つの主要合意

- ① 全ての国が参加する新たな枠組みを2015年に採択、2020年までの発効目指すというダーバン・プラットフォーム。交渉の場として、ダーバンプラットフォーム作業部会を設立
- ② 京都議定書の第2約束期間(5年あるいは8年; COP18で年数・削減目標などの改正を採択予定)
- ③ カンクン合意における各国の自主的な温室効果ガス削減対策の測定・報告・検証のルール採択
- ④ 途上国支援の「緑の気候基金」設立

新枠組みをめぐる対立と不確定要素

- ◆ 新枠組みの法的な選択肢をめぐる交渉最終局面の対立
 - 欧州、小島嶼国等：a protocol, or another legal instrument（議定書、またはその他の法的文書）
 - インド：a protocol, another legal instrument **or a legal outcome**（議定書、その他の法的文書、または**法的成果**）
 - 最終的な合意： a protocol, another legal instrument or **an agreed outcome with legal force**（議定書、その他の法的文書、または**法的効力をもつ合意された成果**）
- ◆ 法的効力が法的拘束力を意味するのかを巡って、今後も解釈の対立が残る。COP17後の両者のアナウンスに違いあり
 - EU: 法的拘束力ある新たな枠組みが約束されたとアピール
 - インド: 法的拘束力ある枠組みに入ることはあり得ないと主張
- ◆ 合意(2015年)と発効(2020年まで)にも壁
 - 交渉期限が守られないことは、UNFCCCで頻発。2015年という合意期限も守られない可能性あり
 - 合意しても、米国が議会の承認を得て批准できるか不透明。米国が批准しないと、中印も動かない可能性。その場合、新合意は発効できない

COP17合意と今後の展開についての2通りの読み方

新興国の台頭に伴う国際政治の構造変化を捉える2つの視点(最近の外交の文献に基づく)

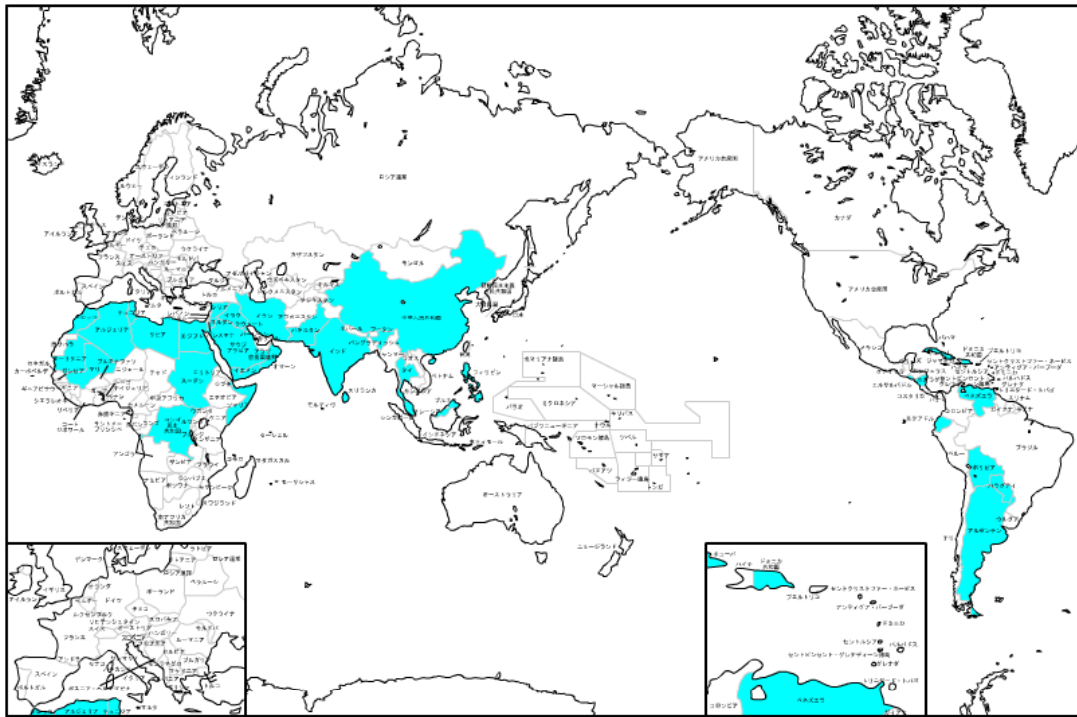
①先進国の指導力低下、及び主権への制約を避ける新興国の台頭によって、G8もG20も機能しなくなる指導国なき「Gゼロの世界」

②新興国も先進国が築いた国際秩序に加わることに利益を見出し、協調して諸課題の解決にあたるようになるという「多国間のルールを基盤とする国際秩序の拡大」

2つの視点で温暖化枠組みの動向を解釈

	概要	COP17 直前まで	COP17 の結果	2020 年以降の枠組み
G-ゼロの世界	主権制約を嫌う新興国の台頭で国際協調が困難化	主権制約を回避するボトムアップ型のカンクン合意で決着	ダーバンプラットフォームは、対立を糊塗した合意で、対立構造は継続	エネルギーへの主権制約となる大規模削減を新興国等が徹底拒否。ボトムアップ型を継続
多国間のルールを基盤とする秩序の拡大	新興国が欧米的な秩序に加わり、国際協調が拡大	先進国はこの世界観をもって交渉に臨むも失敗	ダーバンプラットフォームは、主権を制約する国際協調へ向かう転換点	交渉は一筋縄にはいかないが、大規模削減のための法的拘束力ある枠組みに移行

途上国連合の分裂@2012年5月ボン会合



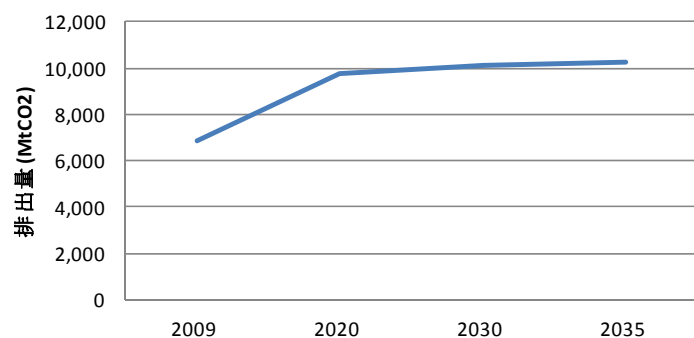
まとめ

- ◆ COP17の合意で、2013年からの枠組みが固まった
- ◆ 2020年以降の新枠組みについては、交渉開始が合意されたものの巨大な不確実性が残る
- ◆ 特に、新興国台頭下における国際秩序全般(温暖化対策に限らない)のあり方に、温暖化の国際枠組みも左右される
- ◆ 2012年の第1回交渉(5月@ボン)では、中身の交渉に全く入ることができず、その背景には、途上国連合の分裂があった

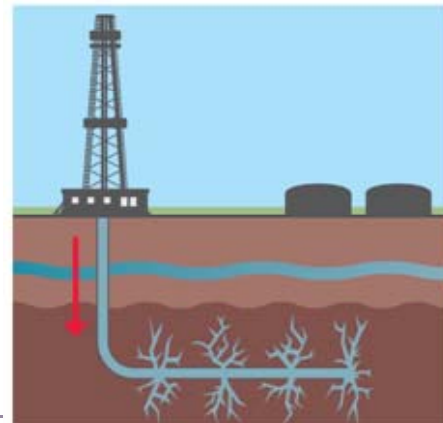
②技術移転(シェールガスを事例に)

中国によるシェールガスの開発技術の獲得可能性 (背景と目的)

中国の温室効果ガス排出量は、天然ガス発電が拡大すれば、2020年以降は頭打ちに。新枠組みへの交渉スタンスを左右



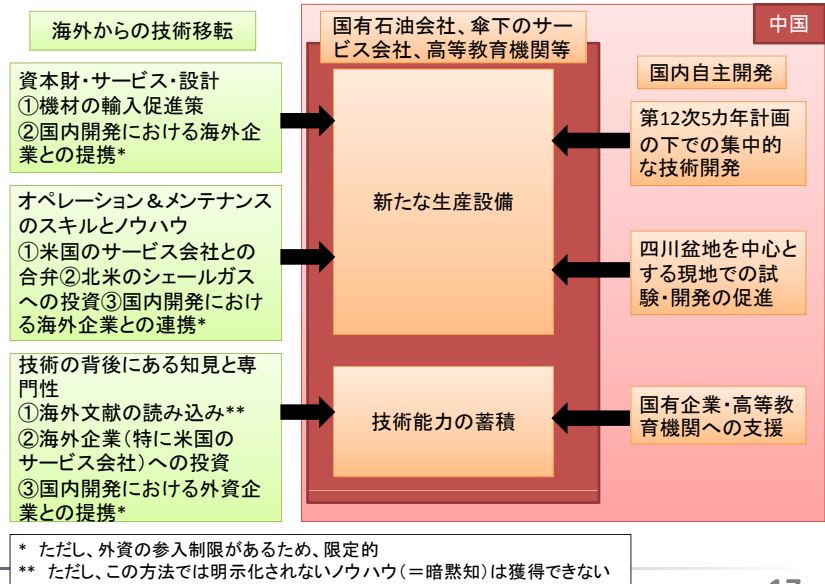
目的：シェールガス開発の最大のネックは、開発技術の獲得
⇒ 中国における開発技術の現状と獲得に向けた取り組みを調査



中国によるシェールガスの開発技術の獲得可能性 (主な成果)

成果①: 従来型の石油・ガス、及び炭層メタンの開発を通じて、一部の技術は蓄積しているが、シェールガス開発に必要な高度な技術は未獲得(次スライド)
(※中国語の技術文献調査による)

成果②: 第12次5カ年計画(2011~5年)の下、2020年の生産本格化に向けて、自主技術開発と海外からの技術移転を加速中
設備を構築できても、シェールガスの商業化に不可欠な暗黙知を蓄積できるかが不透明



中国によるシェールガスの開発技術の獲得可能性 (中国による技術獲得状況)

	獲得状況	不足部分
①探鉱技術	反射法地震探査技術がシェールガス開発にも応用されている	探震資料の分析能力が不十分である
②水平掘削技術	国内の技術で実現可能であり、在来型の油ガス田に適用されている	長距離の多分岐型の水平抗井の技術が遅れている。また、多分岐型の水平抗井の制御メカニズムを捉え切れていない
③坑井仕上げ技術	チュービング搬送による穿孔や水ジェット噴射穿孔が、国内の油ガス田で広範に適用されている	水平裸坑向けのスライディングスリーブを用いる坑井仕上げ・分段破碎技術が遅れている
④水圧破碎技術	国内の油田ガス田の増産に広く使用されており、多段階破碎、再破碎、スリックウォーター破碎の経験を蓄積している	貯留層を保護できる破碎流体が未開発である。海外のシェールガス開発で用いられることが多い同時破碎技術を有していない
⑤破粉による亀裂の観測・分析技術*	初歩的な検討しか行われていないが、最近、あるシェールガス井で微小地震波法が行われた	地震識別、総合予測、亀裂の観測の全てが探索段階である。亀裂の観測に有効な三次元垂直地震断面法と微小地震波法について、データ収集・処理・解釈能力が遅れている。

まとめ

- ◆ 中国においては、設備導入と国産化はスムーズに進みやすい ⇒ モノのキャッチアップは早い
- ◆ しかし、「使い方」を習得するまでには、一定の時間がかかる。モノの導入速度が高いために、「使い方」の未熟さに伴う弊害が表面化しやすい
- ◆ 中国を含む新興国において、大規模かつ加速的な低炭素技術導入を行う際には、モノだけではなく、「使い方」を含めた対応が必要

参考文献

- ◆ 上野貴弘・杉山大志(2012)「COP17の結果と今後の温暖化対策の国際枠組み―指導国なきGゼロ化する世界と2020年以降の新枠組みへの示唆」電力中央研究所報告、Y11028。
- ◆ 上野貴弘・鄭方婷・Jane Nakano・星野優子(2012)「中国はシェールガスの開発技術を獲得できるか」電力中央研究所報告、Y11031。
- ◆ いずれも、下記リンクよりダウンロードできます。
http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/cgi-bin/report_reference.cgi

Memo

Lined writing area consisting of horizontal dashed lines.



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