

エネルギーの社会的リスクと経済性

平成26年10月26日

筑波大学

システム情報系 教授

内山 洋司

発表内容

- はじめに
- 世界のエネルギー情勢
- エネルギーシステムの社会的リスク
- 日本のエネルギー政策と原子力発電
- 発電システムの経済性
- おわりに

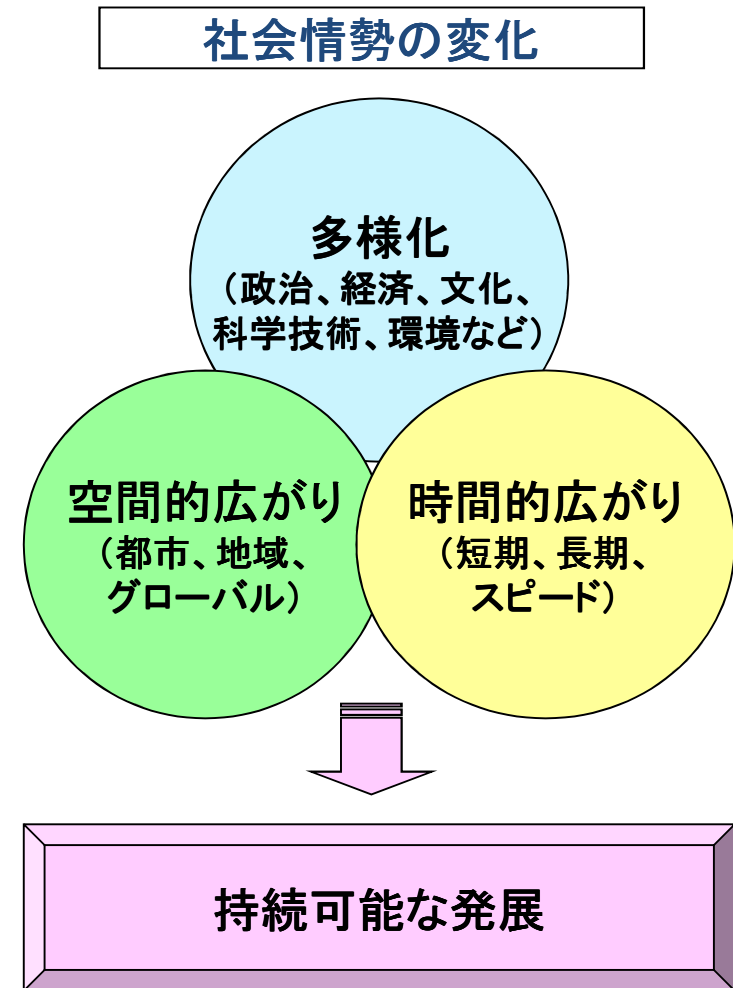
エネルギーを取り巻く国内外の社会情勢

【国際社会】

- ①グローバル化の進展
- ②人口増加と環境問題
- ③BRICs経済の発展
- ④食糧・資源の価格高騰
- ⑤シェールガス等の開発
- ⑥テロ活動と地域紛争

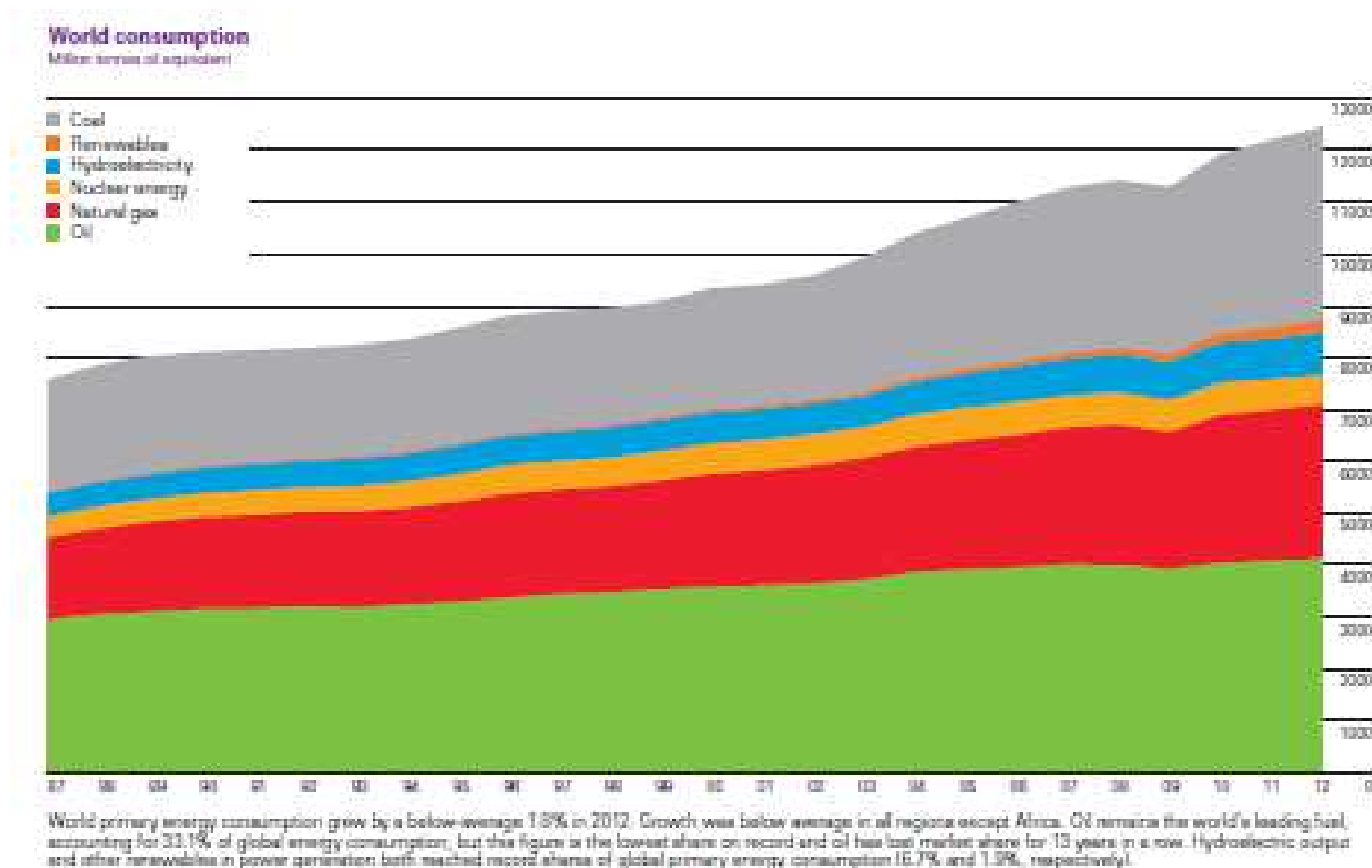
【国内】

- ①原子力事故後のエネルギー供給の構造変化
- ②食糧・資源・エネルギーの高い海外依存度
- ③サービス・ソフト産業が主の経済発展と高い貿易依存度
- ④アジア諸国重視の貿易関係
- ⑤社会基盤施設がほぼ完備し維持補修
- ⑥少子高齢化と福祉問題
- ⑦教育の多様化と多層化etc.



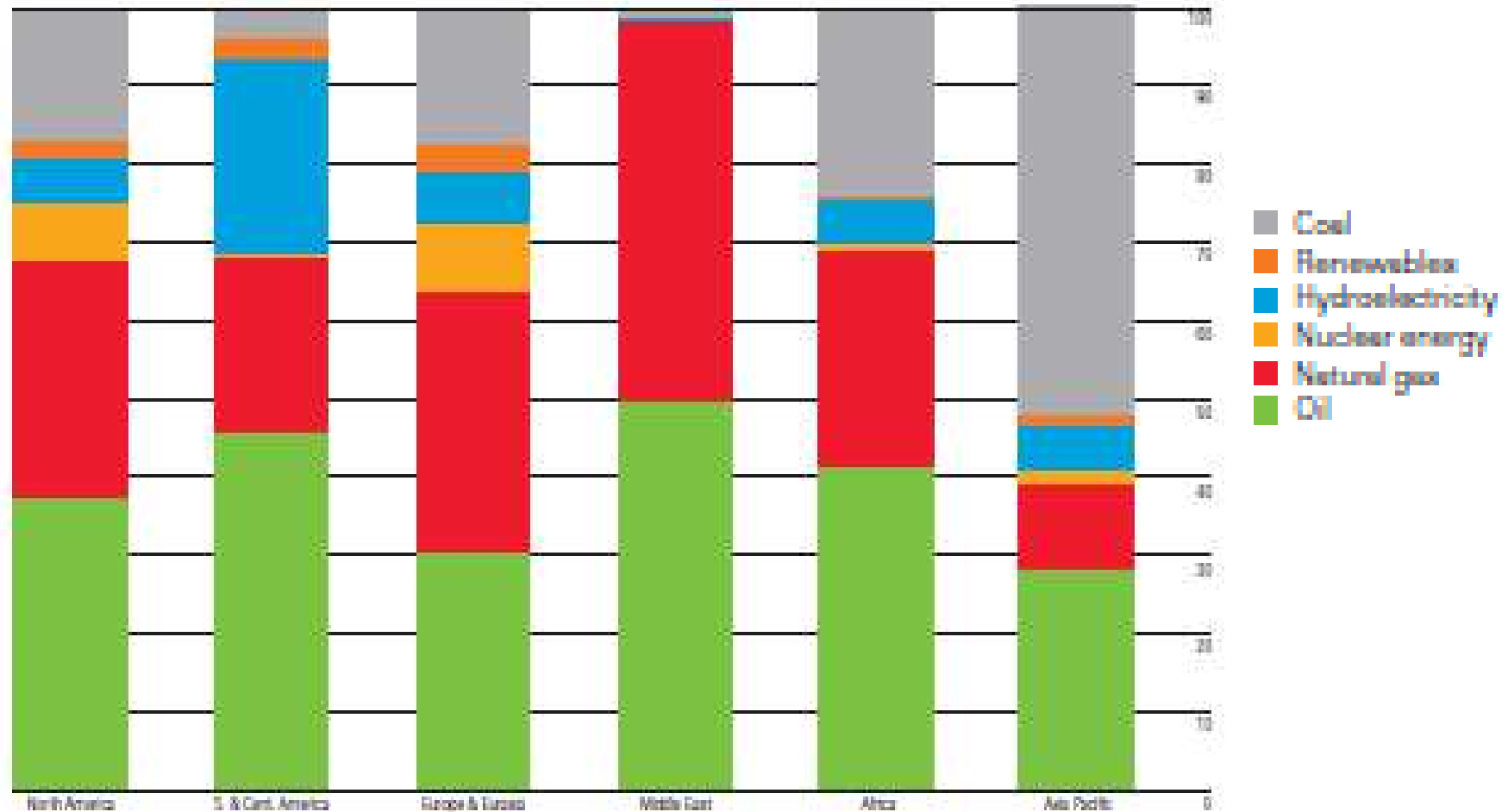
世界のエネルギー情勢

エネルギー源別に見た 世界のエネルギー供給の推移(1987-2012)



出典:BP統計2013

地域別に見たエネルギー供給構成



The Asia Pacific region accounted for a record 40% of global energy consumption and 50.9% of global coal consumption in 2012; the region also leads in oil and hydroelectric generation. Europe & Eurasia is the leading region for consumption of natural gas, nuclear power, and renewables. Coal is the dominant fuel in the Asia Pacific region, the only region dependent on a single fuel for more than 50% of total primary energy consumption. Natural gas is dominant in Europe & Eurasia, and oil is dominant in other regions.

世界エネルギー需給見通し(WEO2012)

世界のエネルギー需給の見通しを2年毎に想定し、エネルギー安定供給や地球温暖化対策を示唆するものとして毎年発行されている。

【使用モデル】 World' Energy Model(WEM)

- ・計量経済モデル、方程式数は約16,000本。
- ・世界を24カ国・地域に分割し、主要国は1国・1地域で構成されている。
- ・最終消費部門は、産業(鉄鋼、化学・石油製品、非鉄金属、紙・パルプ、その他産業)、運輸(自動車、鉄道、海運、航空)、民生(空調、給湯、調理、照明、電気器具)に分離されている。
- ・分析は、2008年(一部は2009年)を基準年として、2035年まで時系列で計算される。

【2009年－2010年のエネルギー環境政策の流れ】

● 気候変動枠組み条約(2009年12月のコペンハーゲン合意)

(合意内容)

- ・世界全体の温度上昇を産業革命以前より2℃以下を目指す。
- ・2020年まで100億ドルを毎年、先進国が途上国に温暖化対策資金として提供する。
- ・先進国は2020年までの排出目標を設定する。

(問題点)

- ・この合意を守るための具体的な削減方法は決められていない。
- ・エネルギー安全保障など他の政策が温室効果ガス排出に与える影響が不明である。

● G20首脳会合(2009年9月にピッツバーグで開催)

- ・無駄な消費を惹き起す非効率的な化石燃料への補助金を中長期的に見直さないし廃止する。

WEOのシナリオ

【想定における不確実性】

2035年までのエネルギー市場を考えると、経済成長、エネルギー価格、技術、資源には大きな不確実性がある。中でも政策による不確実性は高くシナリオによって将来を予測せざるを得ない。

【政策シナリオ】

(1) 現状政策シナリオ(Current Policy Scenario)

政策変化は考慮せず、既に行われている政策のみを反映させる。このシナリオはベースラインとして位置づけられ、新政策や温暖化抑制効果を相対的に判断するために作成される。化石燃料への補助金は、廃止を言及している国についてのみ廃止を想定している。

(2) 新政策シナリオ(New Policies Scenario)

各国が環境問題、エネルギー安全保障として掲げている政策を考慮している。約束の排出削減や化石燃料への補助金廃止も含めている。削減目標に幅がある国に対しては、最も野心的な目標を採用し、不確実性がある政策に対しては達成目標を取り上げていない。炭素の取引市場については穏健な成長を想定している。

(3) 450シナリオ(450 Scenario)

地球平均気温が産業革命以前よりも2℃を上限とし、コペンハーゲン合意での最大限の削減が完全に反映されているシナリオである。CO₂排出量は、新政策シナリオよりも低い値となる。

WEO報告書の概要(1)

【グローバルに見た新しいエネルギーについての描写が緊急に求められている】

- 世界のエネルギー市場と貿易の潜在的な拡大によってエネルギー地図はグローバルに変化しつつある。
- 新しい発展と政策から見て、世界のエネルギーシステムは持続可能な路線からまだ外れている。

【アメリカのエネルギーフローの潮流が変わりつつある】

- アメリカのエネルギー開発(シェールオイル・ガス)は重要であり、その影響は北アメリカを越えたエネルギー部門に与える。

【グローバル市場に免疫力はない】

- エネルギー的に自立した国はなく、異なる燃料、市場、価格の相互依存関係は強まっていく。

【世界中へエネルギー効率の青写真を示す】

- エネルギー効率は、政策決定者の手中にある鍵として広く認識されているが、最近では、その十分な経済効果の蓋をあける努力が欠乏している。
- 「効率的な世界シナリオ」は、エネルギー効率への投資障害を取り除くことで、ポテンシャルの紐をほどき、エネルギー安全保障、経済成長、環境において大きな発展を可能にする。
- 「効率的な世界シナリオ」を現実あるものにできる政策実施を提案する。

WEO報告書の概要(2)

【エネルギー効率改善だけでは、温暖化による気温上昇を2℃に抑えることは難しい】

- 報告書は、温暖化の制約目標である2℃までの上昇が難しく、それを実行するには毎年、かなりの費用が必要になることを示している。
- もし、世界が2℃目標を達成しなければ、そしてCCS技術が広く導入されなければ、化石燃料の確認埋蔵量の3分の1以上が2050年前には消費されてしまう。

【運輸部門のトラックは石油需要の増加に大きな影響を及ぼす】

- 新興国経済、特に中国、インド、中東における輸送部門の石油消費の増加は、「新政策シナリオ」ではOECDの需要を減少する一方で、石油需要を着実に高めていく。
- 非OPECの石油生産量は今後10年間に増加していくが、2020年以降の供給はOPECにかなり依存することになる。

【石油供給の多くはイラクの今後の成功に頼る】

- イラクは、政治状況の悪化がなければ、グローバルな石油供給の成長に最も大きな貢献をする。
- イラクは石油の輸出で2035年には約5兆ドルの収入を得る。それは年平均で2,000億ドルと、国の発展見通しを変える機会となる。

【金など鉱物資源とは異なり天然ガスには影がある】

- 天然ガスは、すべてのシナリオでグローバルな需要を成長していく唯一の化石燃料である。異なる政策下で成長を促すことになるが、地域によって成長の見通しは異なる。
- 非在来型ガス(シェールガス)は、2035年にはグローバルに見たガス生産で増加の半分を占め、中でも中国、アメリカ、オーストラリアで生産量が増加する。

WEO報告書の概要(3)

【石炭は選択する燃料として残るのか？】

- 石炭は、過去10年間グローバルなエネルギー需要増加のほぼ半分を賄ってきている。その増加速度は再生可能エネルギーよりも速い。

【もし原子力が縮退したとき、その代替エネルギーは何か？】

- 世界の電力需要はエネルギー全体でみた需要の2倍の速さで増大している。この需要を満たす挑戦として、発電部門の経年化した設備の更新にどの程度の投資が注がれるかが重要になる。
- 2011年の福島第一原子力発電所の事故によって原子力政策の見直しが世界で実施されたことにより、その開発規模は縮小されている。

【再生可能エネルギーの座は太陽光に】

- 水力の着実な増大、風力と太陽光の急激な増大は、グローバルなエネルギー構成に必須な電源としての再生可能エネルギーの地位を築いている(2035年までには、再生可能エネルギーは全電源の3分の1を占めるであろう)。

【全世界でエネルギー利用が可能になる継続的な努力が求められる】

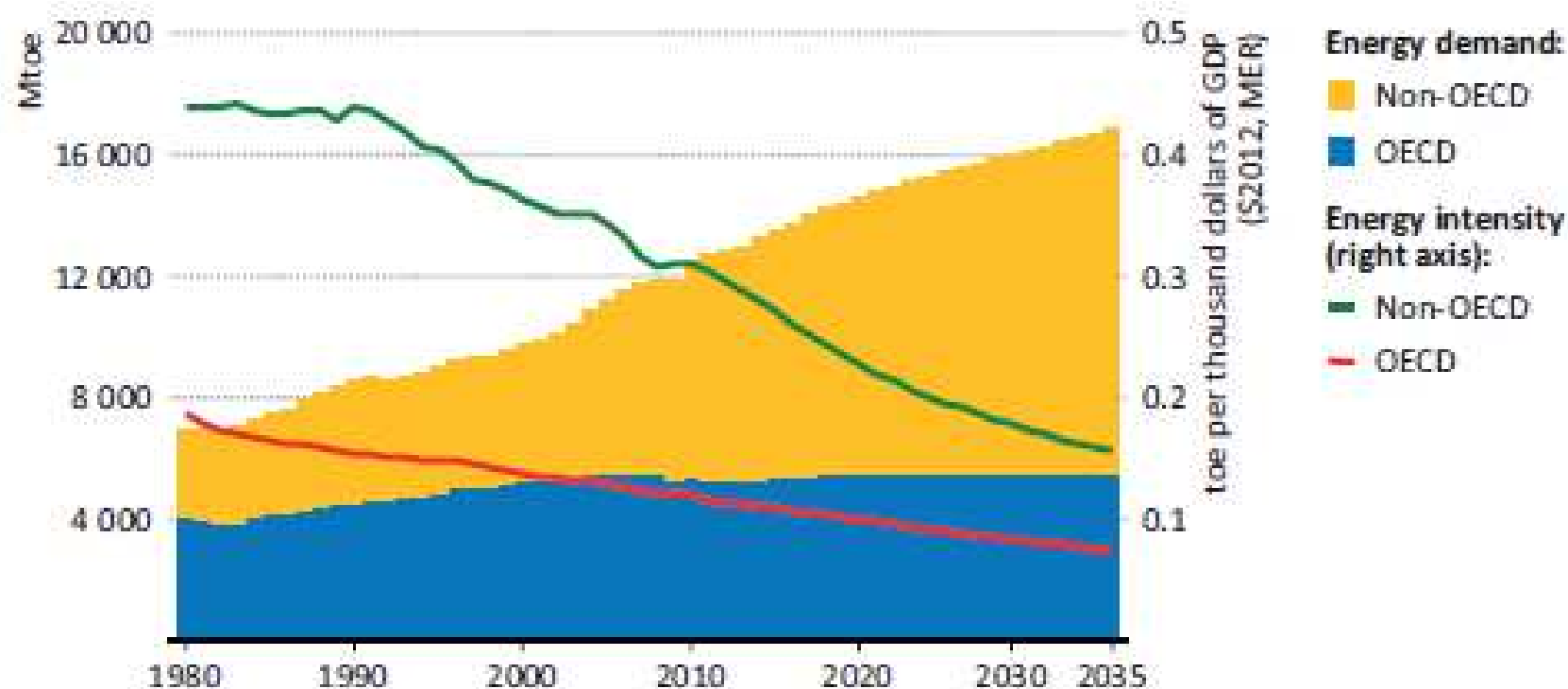
- 過去の進歩にも係わらず、13億人がまだ電気を利用しておらず、26億人が清潔な料理の設備を利用できないでいる。
- 近代的なエネルギー利用ができるようになるために政策決定者の判断を助ける目的で80カ国のエネルギー開発指標(EDI)を示した。

【水は、エネルギー以上に供給制約のある資源になりつつある】

- エネルギー生産に必要な水は、エネルギー需要の速さの2倍で増大している。
- 人口と経済成長が水資源の競争を強めている一方で、水は、エネルギー計画を実現あるものにする基準として、その重要性が増している。

エネルギー需要とエネルギー強度 (新政策シナリオ)

Figure 2.3 ▶ Primary energy demand and energy intensity in the New Policies Scenario



Note: toe = tonne of oil equivalent; MER = market exchange rate.

OECDと非OECDのエネルギー需要見通し (新政策シナリオ)

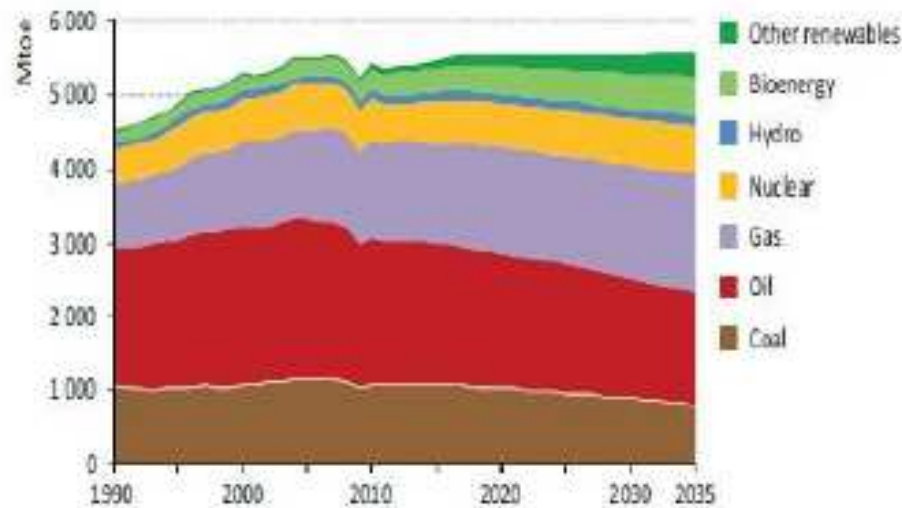


図 2.7 OECD 諸国の一次エネルギー需要 (燃料)

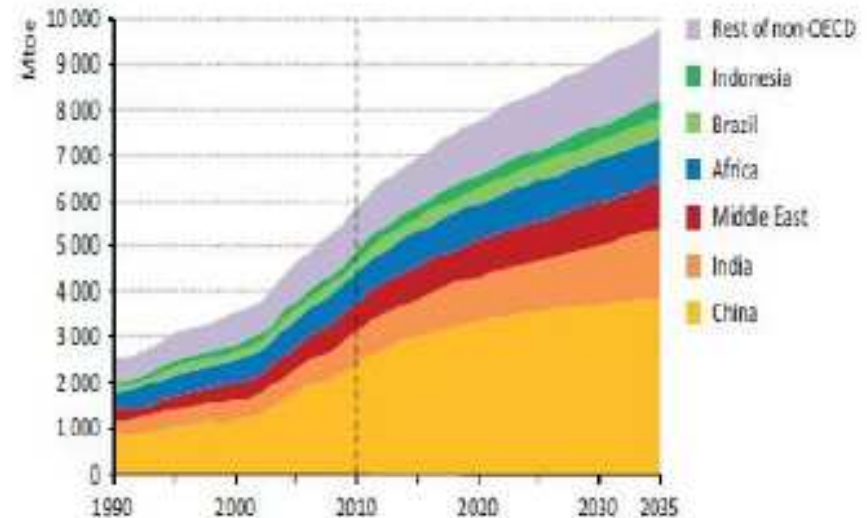


図 2.5 非 OECD 諸国の一次エネルギー需要 (地域)

【先進国 (OECD)】

- エネルギー需要の伸びは極めて小さい。
- 供給源は石油が減り天然ガスとバイオエネルギーや太陽光と風力が伸びる。

【新興国と途上国 (非OECD)】

- エネルギー需要は2035年に現在の1.5倍以上になる。
- 主な消費国は、中国、インド、中東、ブラジル、アフリカ諸国。

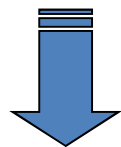
まとめ

- 世界の人口は70億人以上にも増え、その数はさらに増えていくと予測されており、世界人口を支えるためには、エネルギーを大量に供給していかざるを得ない。
- 省エネや高効率技術の開発が進んでいても、世界のエネルギー消費は増加基調にあり、2030年には現在の5割近くにまで増加すると予測されている。
- 太陽光や風力といった再生可能エネルギーの開発は重要ではあるが、世界のエネルギー消費の85%以上を供給している化石燃料を代替できる見通しはない。ある程度の量は原子力で代替する必要がある。
- エネルギー源や技術は普及が進むと経済性は高まるがリスクは拡大していくため、リスク低減と安定供給に向けた対策が必要になる。

エネルギーシステムの社会的リスク

「リスク社会」に生きている

- 「安全はただ」、「お任せ社会」から「明日にも何か望ましくない事態に遭遇するかもしれない」
- 社会を取り巻く閉塞感と将来への不安が広がり、多くの社会現象を通じてリスクは、われわれの日常の健康・安全問題から経済不況・雇用問題、地域から地球環境問題、高齢化社会の進行と福祉年金制度の破綻への不安、次世代の生存への不安にまで広くかかわりをもってきている。



リスクを客観的に認識・分析し事前事後の対策によって安全を重視した社会を築いていく能力を身につける。

リスクの種類と事例

	事象	
	影響範囲と被害規模が比較的小さい	影響範囲と被害規模が大きい
事故	交通機関(自動車、鉄道、船舶)、工場災害、橋梁、火災、爆発、通信途絶、ハンググライダー、放射性物質の漏洩	大型タンカー事故、原子炉重大事故、大規模化学プラント事故、大型ダムが決壊、
テロ・戦争	小規模軍事衝突、小規模内乱	核兵器、生物兵器、化学兵器、テロ行為
自然災害	豪雨、冷害、暴風、異常乾燥	大洪水、台風、大干ばつ、地震、津波、大規模火山噴火、巨大隕石落下
感染症	結核、マラリア、梅毒・淋病	パンデミック(BSE、鳥インフルエンザ、新型インフルエンザ)、HIV／AIDS
生物	生物資源の乱獲、干潟の喪失、電磁界影響	多様性喪失、機能喪失、遺伝子組換え植物の意図的拡散、熱帯林破壊
化学物質	食品添加物、アスベスト、浮遊粒子状物質、NOx、光化学スモッグ	環境ホルモン、海洋汚染、酸性雨
気象・気候	猛暑、極寒、気象予報	地球温暖化、エルニーニョ、オゾン層破壊、砂漠化
経済	株取引、燃料価格の高騰、敵対的買収、	経済恐慌、
生活	食品中毒、離婚、育児、入試、就職、医療ミス、賭博、宝くじ、テクノストレス、	
社会	風評被害、過失責任、性風俗、犯罪	大停電
情報	情報ウイルス、迷惑メール、キャッシュカード偽造、マスコミ誤情報	大規模サイバーリスク

リスクの広がり

●多様化

技術事故、自然災害、システム災害、労働災害、テロ、
環境、医療・医薬品、生物(伝染病、害虫)、食品、
化学物質、金融、情報

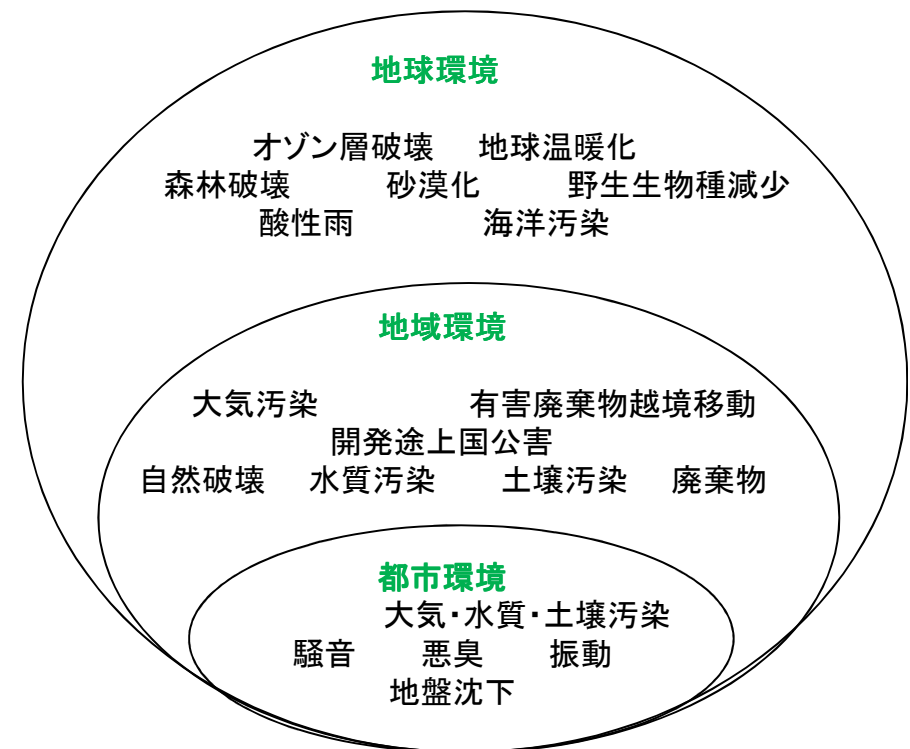
例:環境リスクの空間的広がり

●空間的

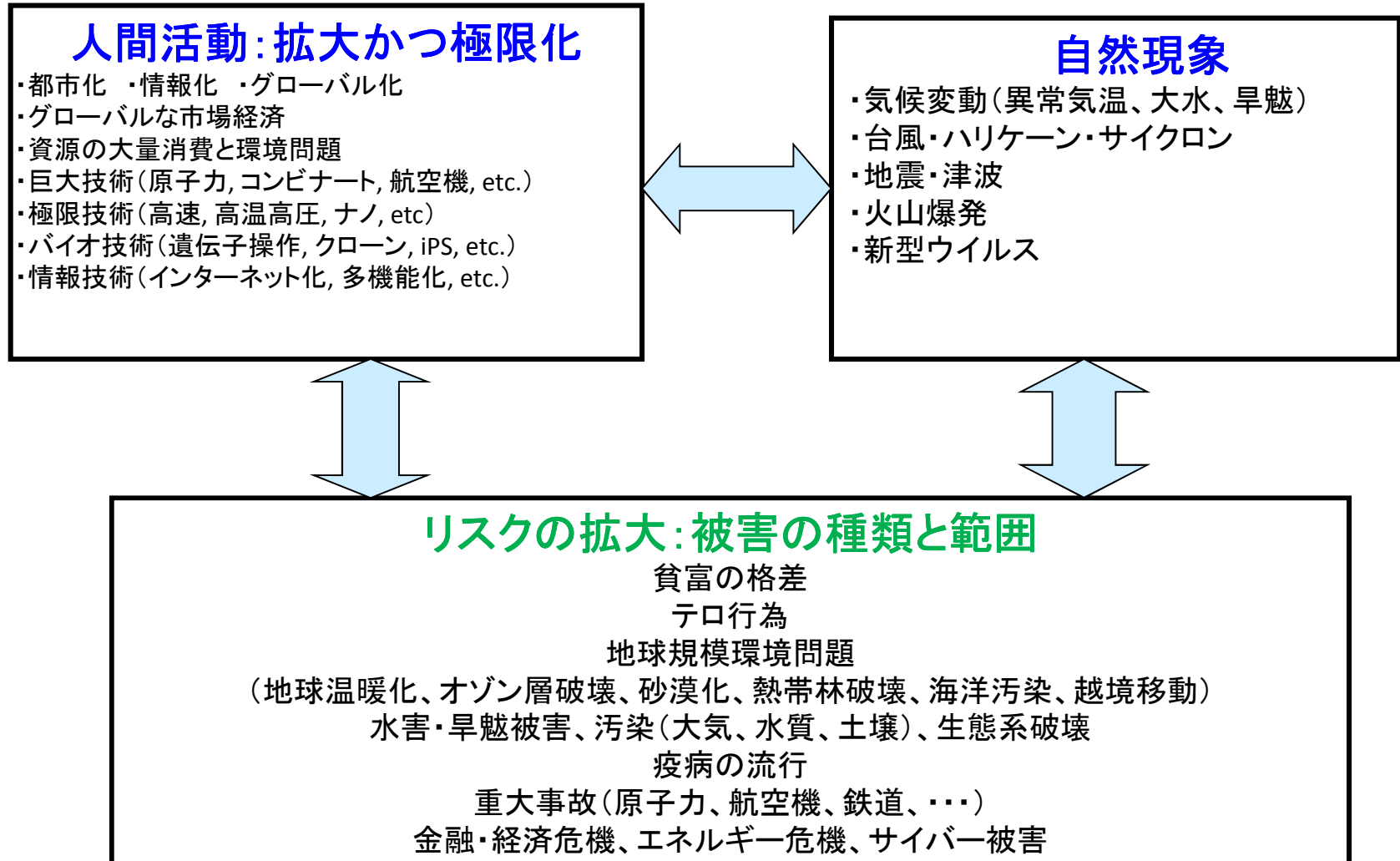
都市、地域、グローバル

●時間的

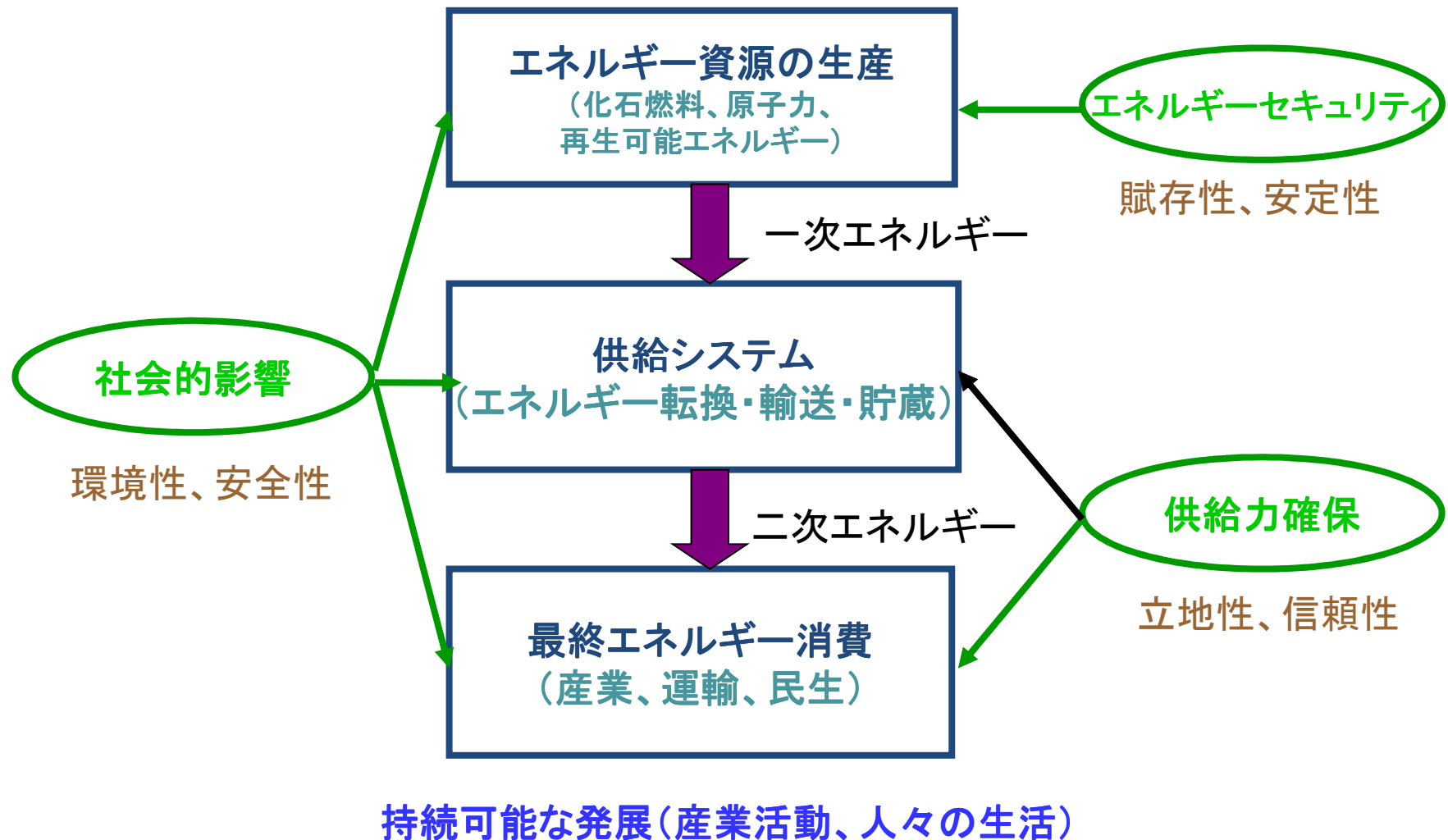
短期、長期、超長期



リスクの拡大：人間活動と自然現象との複合化



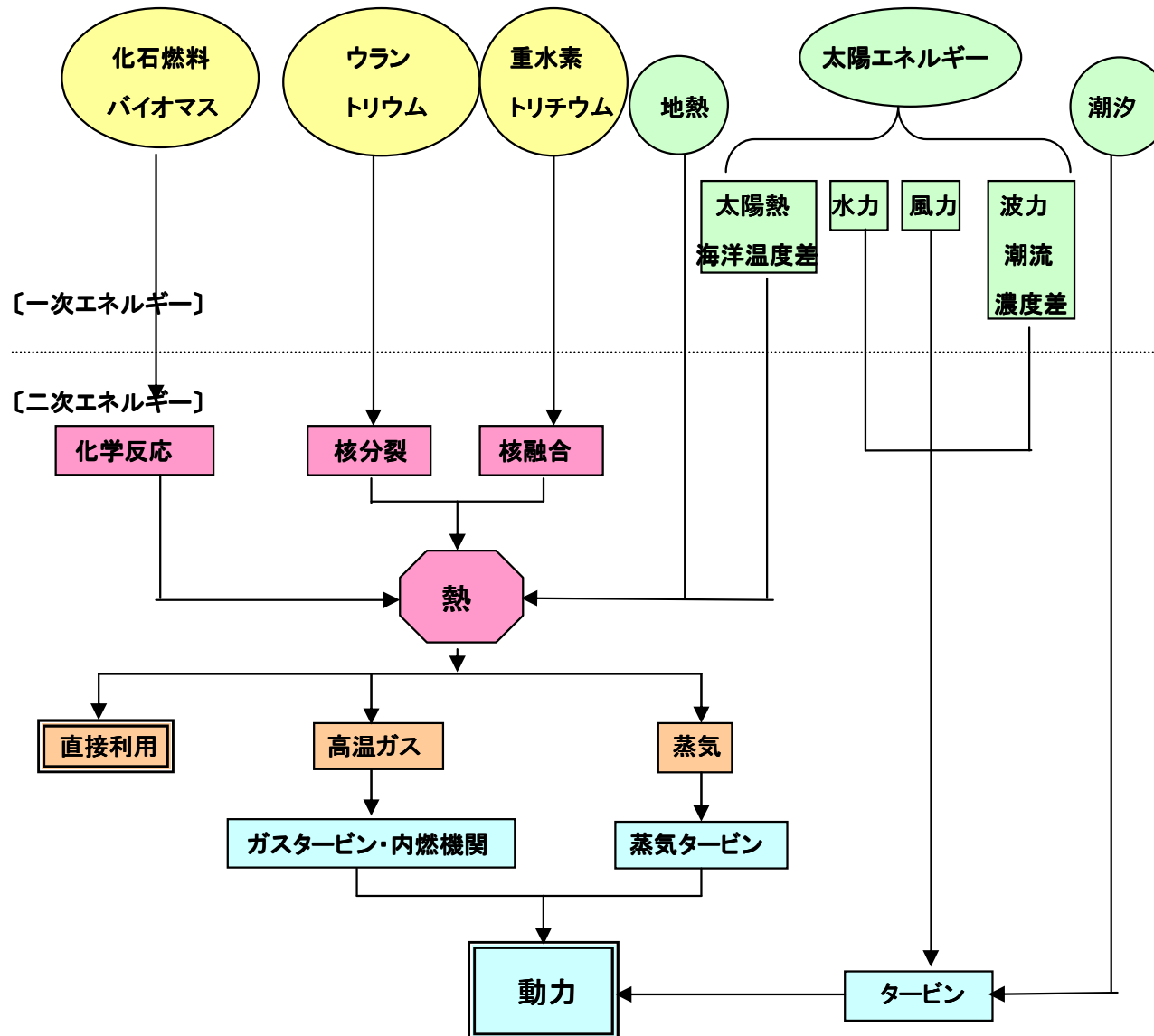
エネルギー供給の基本要件



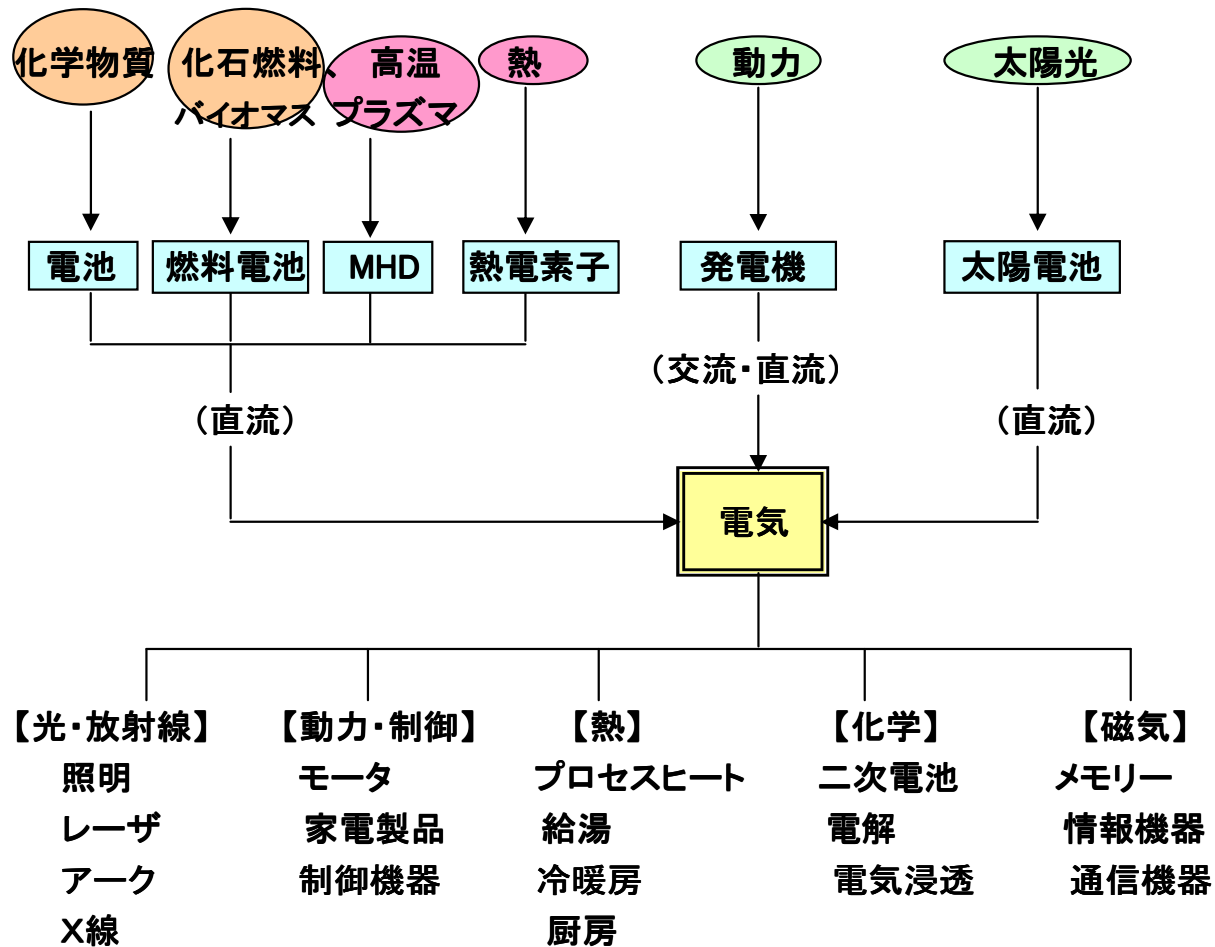
基本要件とは

- **エネルギーセキュリティ**: 安定した資源調達
賦存量 (豊富で安価な資源)
安定性 (安定した供給と価格)
- **供給力確保**: 信頼できる供給
立地性 (地元が受け入れる供給設備の整備)
信頼性 (信頼性の高い設備運用)
- **社会受容性**: 環境性と安全性の確保
環境性 (環境影響の最小化)
安全性 (安全な管理システム)

エネルギー・動力変換



電気への変換



熱は大きなエネルギー源

容器に入った質量 m [kg]の水を5度だけ上昇させるために必要な熱と等価な仕事を、水の容器を持ち上げたときの高さで計算せよ。



熱 位置エネルギー
5度上昇 = 高さ？



m [kg]の水を5度だけ上昇させるために必要なエネルギー Q は、

$$Q = 4.1868m \Delta T = 4.1868 \times 5m = 20.934m [\text{kJ}]$$

これを重力仕事に変換し、高さ H を求めると、

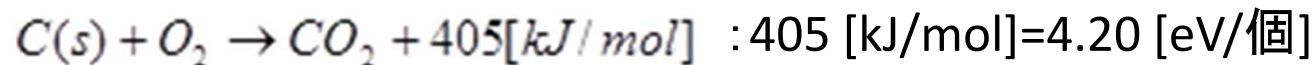
$$H = Q / (mg) = 2.134 [\text{km}]$$

となる。

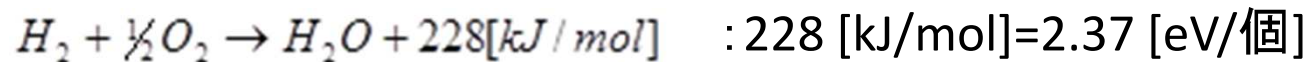
化学反応と核反応の違い

【化学反応】

- 炭素の燃焼反応

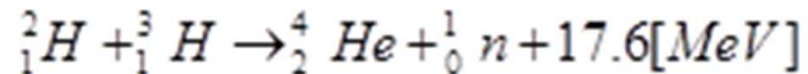


- 水素の燃焼反応

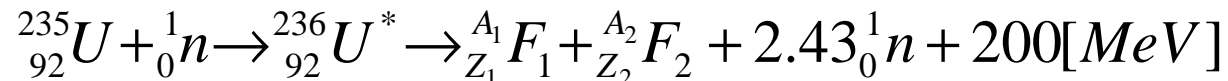


【核反応】 $E = mc^2$: E:エネルギー、m:質量、c:光速 ($3 \times 10^{10} \text{cm/s}$)

- 核融合反応(D-T反応)



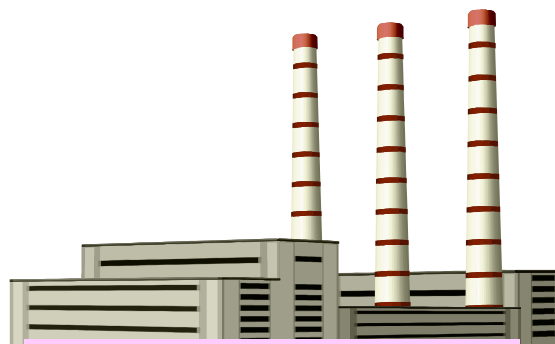
- 核分裂反応(ウランの分裂)



電力供給のエネルギー源



原子力発電

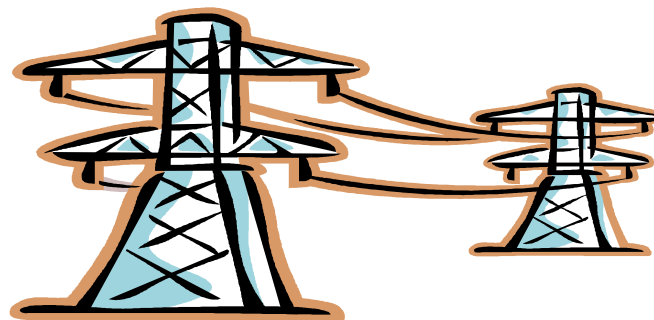


火力発電



バイオマス発電

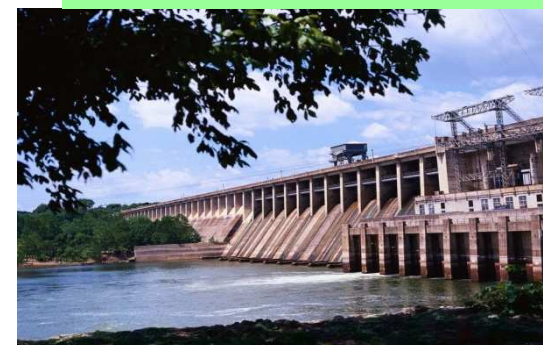
風力発電



太陽光発電



水力発電



風力、水力、水蒸気の出力度

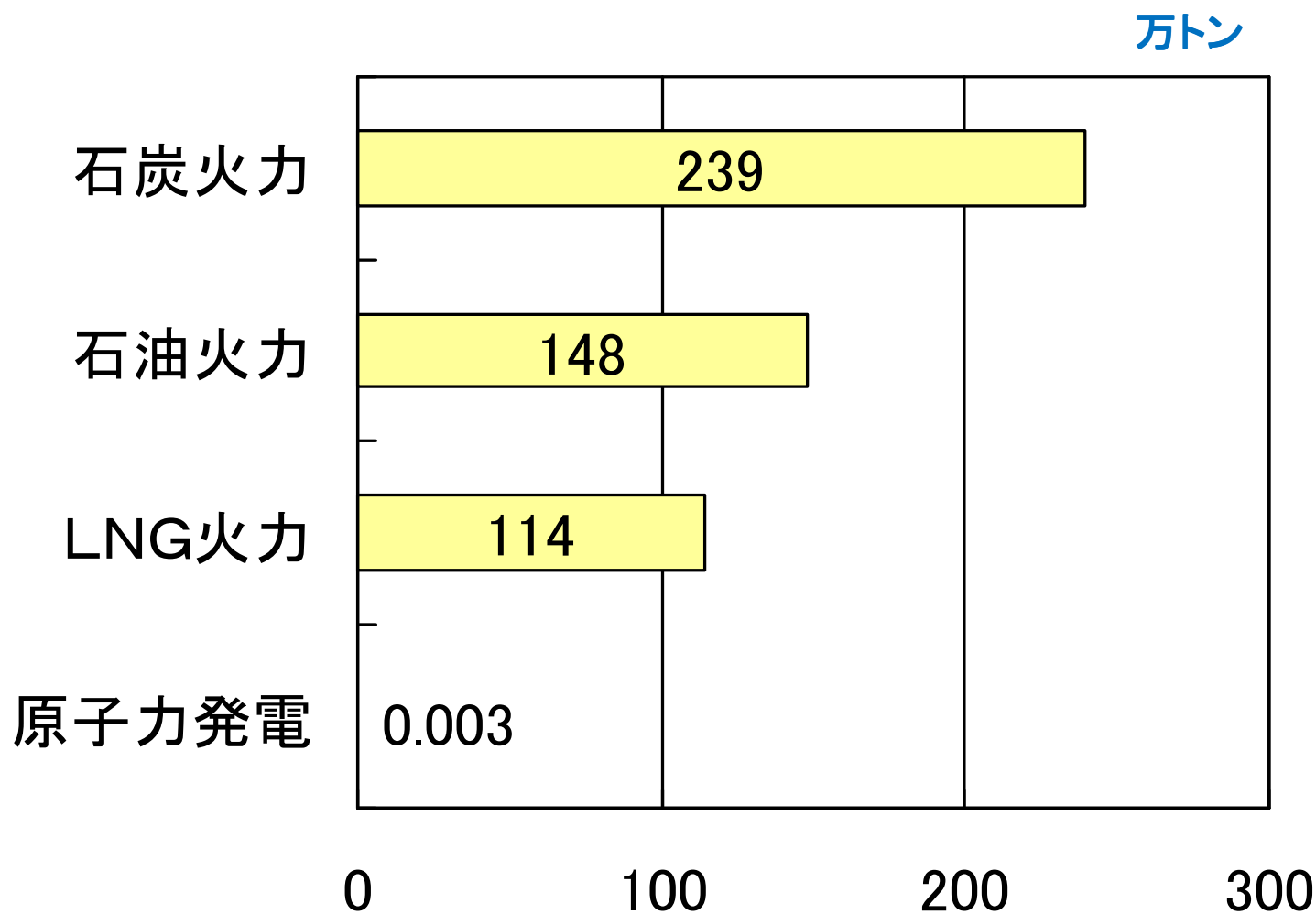
エネルギー源		比重量 [kg/m ³]	流体速度 [m/s]	出力密度 [kW/m ²]	(倍率)
風力 (風速毎秒20m)		1.29	20	5.16	(1)
水力 (有効落差100m)		1,000	44.3	43,500	(8,400)
水蒸気 (超々臨界圧)		74	400	2,370,000	(460,000)
参考	太陽光	—	—	0.947	(0.18)
	地熱	—	—	0.017	(0.003)

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

注) 太陽光と地熱は、地表面積あたりの出力密度

発電プラントの燃料消費量

(発電出力100万kW、設備利用率80%)



基本要件からみた化石燃料、原子力、再生可能エネルギーの特徴

	化石燃料	原子力	再生可能エネルギー
エネルギーセキュリティの確保 (賦存性、安定性)	<ul style="list-style-type: none">・石炭を含めた資源量は豊富でコストは安価。・価格変動が大きく供給途絶への不安がある。	<ul style="list-style-type: none">・プルトニウムを含めた資源量は豊富でコストは安定かつ安価。・燃料途絶の不安は小さい。	<ul style="list-style-type: none">・資源量は潜在的に豊富だがコスト高。・供給途絶がない
供給基盤の整備 (供給力、信頼性)	<ul style="list-style-type: none">・燃料を供給するインフラ施設の整備。・設備の信頼性と負荷への追従能力に優れている。・発電設備の電気の質も高い。	<ul style="list-style-type: none">・核燃料サイクル施設の整備。・設備の信頼性は高い。・発電設備の電気の質は高い。	<ul style="list-style-type: none">・季節、週、日で出力が変動する。・太陽光や風力など間欠的エネルギーによる発電施設の場合、出力、電圧、周波数に変動がある。
社会的な受容 (環境性、安全性)	<ul style="list-style-type: none">・大気汚染物質と温室効果ガスの放出。・タンカーの座礁、ガス爆発、炭坑事故の不安がある。	<ul style="list-style-type: none">・放射性廃棄物の隔離。・重大事故と核拡散問題への不安がある。	<ul style="list-style-type: none">・最もクリーンで安全とされている。

外部性とは

●外部効果 (External Effect)

現実の価格に反映されていないが第三者に影響を及ぼしうる要因

●外部性 (Externality)

外部効果による影響の大きさ

●外部費用 (External Cost)

外部性を価格に適切に内部化するために金銭価値換算したもの

【外部経済と外部不経済】

生産者や消費者(政府も含む)というある経済主体の経済行動が市場機構の外で、他の経済主体の行動に影響を与えることをいう。

外部経済(正の外部性): ある経済主体の行動が、他の経済主体に対して好ましい(正の)影響を与えること、すなわち他の家計の効用(満足)を増大させるとき、あるいは他の企業の生産増加に寄与するときの外部効果をいう。

外部不経済(負の外部性): ある経済主体の行動が他の家計の効用を減少させたり、あるいは他の企業の生産費用を増大させたりという好ましくない影響を与えることをいう。

エネルギー供給における外部性

● 環境問題に係る外部性

大気汚染物質、温室効果ガス及び放射性物質の排出による環境・健康影響問題

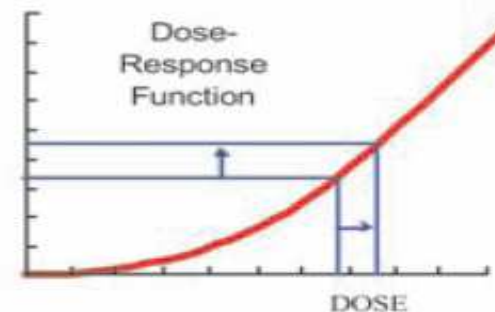
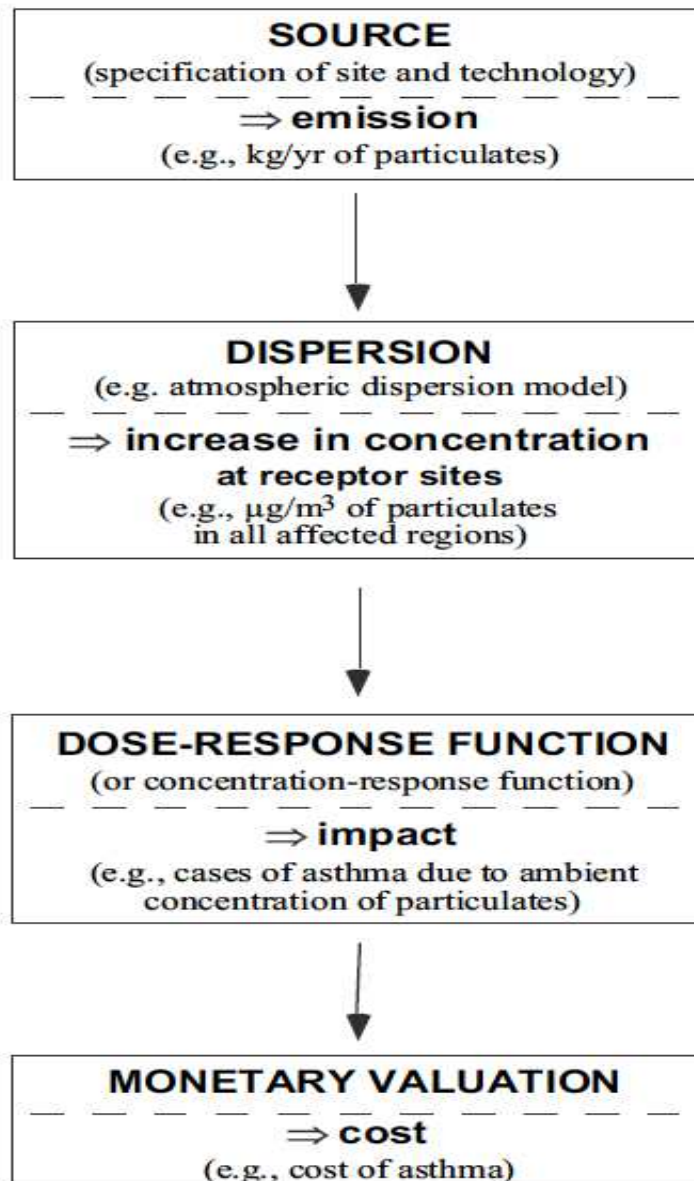
- ・公害問題（大気・水・土壌汚染、廃棄物、騒音）
- ・地球温暖化問題
- ・放射性物質の排出

● 社会経済的な外部性

エネルギー安定供給上のリスク、社会的・制度的リスク、核拡散・核テロ等のリスク要因の顕在化による社会経済的な波及影響問題

- ・「市場の失敗」
- ・エネルギーセキュリティ問題
- ・重大事故
- ・核拡散問題

リスク評価の例（環境リスクの構造）



ExternEにおける外部性の検討項目

外部性の項目		石炭火力	石油火力	リサイクル	天然ガス	原子力	水力	太陽光	風力
大気汚染	健康影響（公衆）	●	●	●	●			●	
	建築素材	●	●	●	●			●	
	穀物	●	●	●	●			●	
	森林	●	●	●	●				
	淡水魚類	●	●	●	●				
	野生生態系	●	●	●	●				
	視界影響								△
温室効果ガス	地球温暖化	●	●	●	●	●		●	●
化学物質	健康影響(職業人)							△	
排水	生態系	△	△	△	△				
土地利用	野生生態系 農業,森林,水資源		△		△		△ △		
放射性物質	健康影響(職業人,公衆)					●			
事故	職業人,公衆影響	△	△	△	△	●			
騒音	健康影響	△	△		△		△		△
採掘処理輸送	個別特有の影響	△採掘	△	△	△				

●データあり △データなし

影響経路分析法

汚染物の放出（発生源の排出量）

（一次汚染物質：CH₄, N₂O, SO₂, NO, SPM, HCl）



移送・拡散モデル（周辺地域への濃度分布）

二次汚染物質を含む

（大気汚染物質：オゾン、H₂SO₄, NO₂, HNO₃, NH₄Cl、硫化・硝酸エアロゾル）



環境影響の被害規模（死亡、疾病、損傷）

（エンドポイント：公衆の健康、職業人の健康、農作物、森林、生態系、建設素材）



経済的価値付け（被害総額）

顕示選好法：代替法、トラベルコスト法、ヘドニック法、

表明選好法：仮想評価法（CVM）、仮想行動法（CB）、仮想ランキング法（CR）、コンジョイント法（CA）

火力発電システムの損害額(推定値)

IAEA,2000		石炭火力		石油火力		ガス火力	
		微粉炭,蒸気T, ESP,FGD, low NOx		ガスタービン複合、1%S ESP,FGD, low NOx		ガスタービン複合 Low NOx	
汚染物質	外部単価 Euro/kg	放出 g/kWh	損害額 mEuro/kWh	放出 g/kWh	損害額 mEuro/kWh	放出 g/kWh	損害額 mEuro/kWh
温室ガス (CO ₂ 等価)	0.029	940	27.3	621	18.0	430	12.5
粒子状物質	15.4	0.2	3.1	0.02	0.3	Ng	0.0
SO ₂	10.2	1.0	10.2	1.0	10.2	Ng	0.0
NO _x	16.0	2.0	32.1	1.0	16.0	0.7	11.2
有害金属、 砒素	171	$\doteq 2 \times 10^{-5}$	$\doteq 3.4 \times 10^{-3}$		Ng		Ng
有害金属 (カドミウム)	20.9	$\doteq 1 \times 10^{-6}$	$\doteq 2.1 \times 10^{-5}$		Ng		Ng
固体、 液体廃棄物	?	?	?	?	?	?	?
土地利用	?	—	?	—	?	—	?
合計値	—	—	72.7	—	44.5	—	23.7

出典: IAEA-EU-ExternE(2000)

原子力発電システムの外部性評価結果の概要

(mECU/kWh)

国名	サイト, 出力	技術	燃料原産地	発電			発電以外の段階			小計
				健康影響	事故	その他	健康影響	地球温暖化	その他	
ベルギー	Doel	PWR (オープン)	EU外	0.4	0.001-0.35	-	3.5	0.02-0.7	0.12	4.0-4.7
ベルギー	Doel	PWR (クローズ)	EU外	0.4	0.001-0.35	-	3.5	0.02-0.6	0.1	3.9-4.6
ドイツ	ドイツ南西部、1375MW	PWR	カナダ	0.18	0.003	-	4.2	0.1-2.7	-	4.4-7.0
フランス	1300MW	PWR	フランス			-				2.5
オランダ	Borssele, 449MW	PWR	フランス	0.11	-	-	7.2	-	-	7.3
イギリス	Sizewell, 1,300MW	PWR	EU外	0.08	0.0029	-	2.1	0.04-1.6	-	2.2-3.8

出典: IAEA-EU-ExternE(2000)

水力の評価結果の概要

(mECU/kWh)

			発電			他の段階※2		
	サイト・規模※1	技術	アメニティ	生態影響	その他	人間の健康	その他	小計
AUT	Greifenstein 293MW	自流式	Nq	Nq	0.7-8(便益) ※3	0.04	Nq	0.6-8(便益) ※3
FR	LaCreuse	貯水式	6.01	Nq	Nq	0.01	Nq	6
GR	Nestos 420MW	貯水式	0.1	3.7	0.31	1	-	5.1
IT	Alta Veltellina(8Power plant) 680MW	貯水式	0.01	2.9	0.1	0.25	-	3.4
NO	Sauda 517MW	自流式	2.3	-	0.03	0.04	-	2.3
PT	Lourizela 5MW	貯水式	Nq	Nq	0.03	0.21	0.01-0.12	0.2-0.5
SE	Kilpen 28MW	自流式	-	-	-	-	-	0.04-7.2

※1カッコ内＝発電規模MW（以下同様）、※2他の段階＝発電以外の燃料サイクル（以下同様）、※3（便益）はマイナスの費用とする。

出典：IAEA-EU-ExternE(2000)

風力発電と太陽光発電の評価結果の概要

【風力発電】

(mECU/kWh)

	サイト・規模	発電			他の段階		
		騒音	視界への影響	その他	人間の健康	その他	小計
DE	Nordfriesland 11.25MW	0.064	0.06	Ng	0.31	0.03-1	0.37-1.3(0.47-0.67)
DK	Tuno Knob5MW off-	4*10 ⁻³	Ng	9*10 ⁻³	0.5	0.1-3	0.6-3.6(1-1.6)
DK	Fialdene9MW	0.02	0.2	2*10 ⁻³	0.3	0.1-0.2	0.6-2.5(0.9-1.3)
ES	Cabo Villano3MW	8*10 ⁻³	Ng	0.95	0.8	0.02-0.7	1.7-2.7(1.8-1.9)
GR	Andros1.6MW	1.12	Ng	0.14	0.9	0.03-1.14	2.2-3.3(2.4-2.6)
NO	Vikna2.2MW	Ng	Ng	0.003	0.4	0.06-2.1	0.5-2.5(0.5-1.1)
UK	Penrhyddlan3.1MW	0	Ng	0	0.8	0.03-1.3	1.2-2.4(1.3-1.5)

【太陽光発電】

出典: IAEA-EU-ExternE(2000)

	サイト・規模	視界への影響	地球温暖化	人間の健康	その他	小計
DE	Nordfriesland 11.25MW	Ng	0.2-7.7	0.9	0.02	1.1-8.1(1.9-3.3)
DK	Tuno Knob5MW off-	Ng	0.2-7.0	0.3	0.02	0.6-7.6(1.4-2.8)

バイオマス発電の評価結果の概要

(mECU/kWh)

				発電			他の段階		
	サイト・規模	技術※1	ソース ※2	人間の健康	地球温暖化	その他	地球温暖化	その他	小計
AU T	Reuthe1.2MW W CHP	S E	W	23.8	0.02-0.8	0.2	Ng	Ng	24-25-24
DK	Ribel1MW CHP	G	B	8.6	0.3-11	0.4	-0	6.5	3.2-15(12-14)
DE	Tubingen20MW CHP	F	F	23	0.1-3	0.2	0.06-2.2	3.9	27-32(28-29)
ES	Almazan20MW	F bg	F l	12.5	3-111	0.2	1.2	0.06-2.2	17-127(29-52)
FI	Fressal7MW CHP	F E	W	5.1	0.3-10	0.6	0.03-1.0	1.1	7-18(8-11)
FR	Aibi40MW	BG	E	5.3	0	0.12	0.07-2.5	0.14-0.41	5.6-8.1(5.9-6.7)
GR	Orchomenos30MW	A	E	6.5	0	0.06	0.7-2.5	0.12	7-9(7-8)
GR	Orchomenos40MW	Ga	E	1.5	0	0.06	0.5-1.8	0.12	1.7-3.4(1.8-2.2)
GR	Orchomenos20MW	Ga	A	2.6	0	0.08	0.04-	-	2.7-2.8(2.7-2.7)
GR	Crete30MW	A	E	2.9	0	0.04	0.8-2.8	0.04	2-5.7(3.3-3.9)
GR	Crete40MW	Ga	E	0.9	0	0.12	0.6-2	0.04	1-3.0(1.2-1.6)
GR	Crete10MW	Ga	A	1.1	0	0.12	0.01-0.4	-	1.2-1.6(1.2-1.3)
NL	Amsterdam20MW	P, E, N, F	E	1.3	0	0.2	0.1-3.8	1.9	3.6-7.3(4.0-4.8)
NL	Ernshaven36MW	BC	E	2.4	0	0.2	0.1-4.1	2.5	5.1-9.1(5.6-6.5)
NO	Tofre5MW	S E	W	2.2	0	0.2	Ng	Ng	2.4
PT	Figueira17MW	S E	W	10.5	0	0.6	0.03-1.4	5.9	15-30(17-18)
PT	Figueira17MW	S E	E	7.8	0	0.6	0.07-2.7	4.3	11-29(14-15)
SE	Norkoping100MW	S, E, SC	W	1.7	0	0.03	0.05-1.9	0.8	2.5-4.3(2.7-3.0)
UK	Eggborough8MW	Ga E	W	2.7	0	0.1	0.06-2	2.1	5.1-7.2(5.3-5.7)

※2 W=木材残渣、E=Energy crops、A=農業残渣、B=汚泥からのバイオスラリー、l=褐炭

出典: IAEA-EU-ExternE(2000)

今後の外部性評価

- 評価手法の体系化

- わが国の独自手法を確立する

- 大気汚染物質の影響評価

- 地域での影響評価を支援するデータベースの整備
(統計的生命の価値等に関する多角的な調査研究)

- 温室効果ガスの影響評価

- 対策コスト法を基本とした対処
(損害費用の推計は科学的に不確実性が高い)

- 原子力事故の推計と核燃料サイクルの外部性評価

- ・ 重大事故の事象の大きさと影響範囲に不確実性が高い。
 - ・ 低線量被曝に関する科学的な調査・研究
 - ・ 放射線影響に対する社会的コンセンサス

- 経済的価値付けに関する統計データの整備

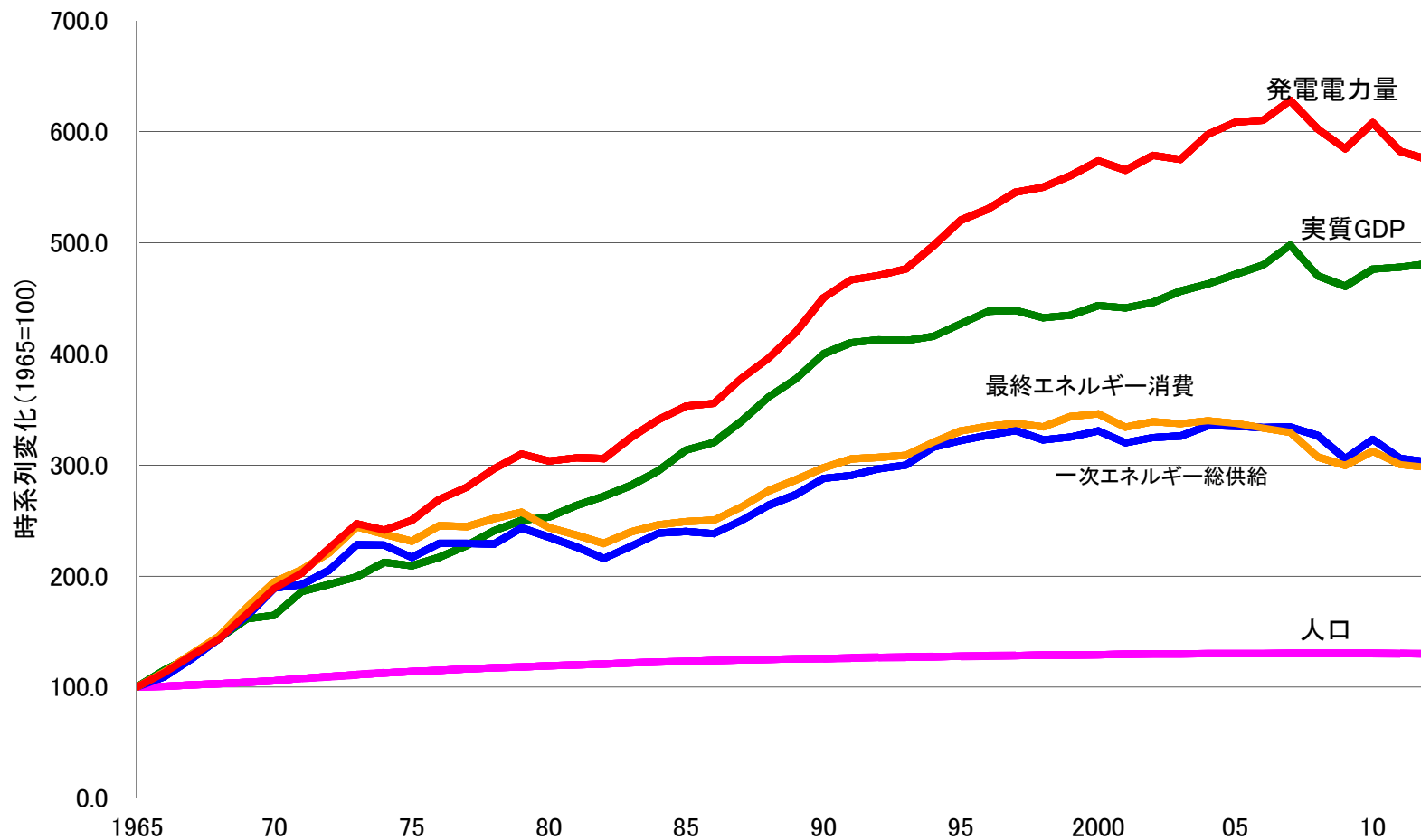
- 経済活動への内部化(税制、制度)

まとめ

- エネルギー政策は、エネルギーの基本要件を経済性を考慮しながら満たすことである。
- 熱は非常に大きなエネルギーであり、高温高压になるほど動力変換の価値は高まり、効率性と経済性が向上していく(ただし市場の確保が前提条件)。
- エネルギー源には利点と欠点がある。欠点となるリスクは負の外部効果であり、外部費用として経済活動に内部化していく努力が必要になる
(現状の推計には不確実性が大きい)。
- 特定のエネルギーが社会に普及しその量が増えると、経済性は高まるがリスクが拡大する。

日本のエネルギー政策と原子力発電

日本のエネルギー・電力需要の推移



出典：(財)日本エネルギー経済研究所編『エネルギー・経済統計要覧』データより作成

エネルギー・電力産業を取り巻く情勢変化

● エネルギー需要(市場)の変遷

- ・高度成長(～1973年:第一次石油危機まで)
- ・停滞期(1973～1986:石油危機による省エネの促進と産業構造の変化)
- ・安定成長(1986～1996:バブル経済)
- ・停滞期(1996～2008:経済の低成長と地球環境問題)
- ・下降期(2008～):リーマンショック、企業の海外進出、原子力事故)

● 環境・安全性の問題

- ・地球温暖化問題(1988:IPCCの設置、1997:京都議定書、経団連環境自主行動計画、2006:ポスト京都議定書の枠組、2009:経団連低炭素社会実行計画)
- ・原子力問題(1979:TMI事故、1986:チェルノブイリ事故、1995:もんじゅNa漏洩、2011:福島第一原子力発電所事故)

● エネルギー・電力市場の自由化

- ・特定地点での電力小売事業を制度化(1995)
- ・特別高圧需要家を対象とする部分自由化(1999)
- ・部分自由化の範囲を拡大(2003)
- ・完全自由化(2016)

エネルギー・電力需要の動向

- 産業のソフト・サービス化が一層進展

新興国における素材・製造産業の発展

産業部門のエネルギー需要は減少

- 産業活動が海外に移転

円高の影響と新興国の経済成長を求めて盛んになる企業の海外進出

産業部門のエネルギー需要は減少

- 地球温暖化対策によるCO₂排出削減

民生・運輸部門でのCO₂排出抑制の強化

民生・運輸部門での省エネルギーが進展

- 原子力発電停止以降の節電対策

省電力化と再生可能エネルギーの大量導入(FIT)で夏季の最大電力が低下

新規の電源開発が不要



- 当面、エネルギー需要はマイナス成長、電力需要は横這い
- 企業による供給設備の投資減退(既設設備の寿命延伸)
- ゼロサム市場での分散型技術導入

エネルギー政策の課題

● エネルギー政策の基本方針

エネルギー安全保障、原子力発電の位置づけ、地球温暖化対策

● エネルギーの安定供給の確保

エネルギー安全保障を考えた化石燃料供給

● 放射性物質の除染と事故炉の処理処分

避難者の早期帰宅と地元関係者への補償

汚染水対策と発電所内と周辺部の除染

事故炉からの燃料取り出しとその後の廃炉措置

● 災害に強いエネルギー供給基盤の整備

危機管理と防災対策、電力融通システム、非常用電源、分散型エネルギー供給

● 省エネ型社会への転換

省エネ製品・省エネ技術の普及、導入促進策、自治体など関連組織の役割

● 補完電源として天然ガスと再生可能エネルギーの導入拡大

LNG複合発電やコージェネレーションの普及、固定価格買取制度の適切な運用、系統連携に係る環境整備、コスト低減、地域特性に応じた導入支援

● エネルギー産業の活動強化

エネルギー産業の自由化による国内外で市場競争力あるエネルギー利用製品と供給技術の開発、スマートコミュニティーの発展

発電所認可出力(2012年2月)

単位: 万kW

	水力	火力	原子力	再生可能エネ	合計
一般電気事業者	3,560 (1,183力所)	12,574 (110力所)	4,634 (15力所)	58.0	20,827
その他電気事業者 *	857 (61力所)	1,065 (20力所)	262 (2力所)	6.8	2,191
自家発	457 (447力所)	4,938 (2,504力所)	0	238.0	5,632
合計	4,874 (1,691力所)	18,577 (2,634力所)	4,896 (17力所)	302.8	28,650

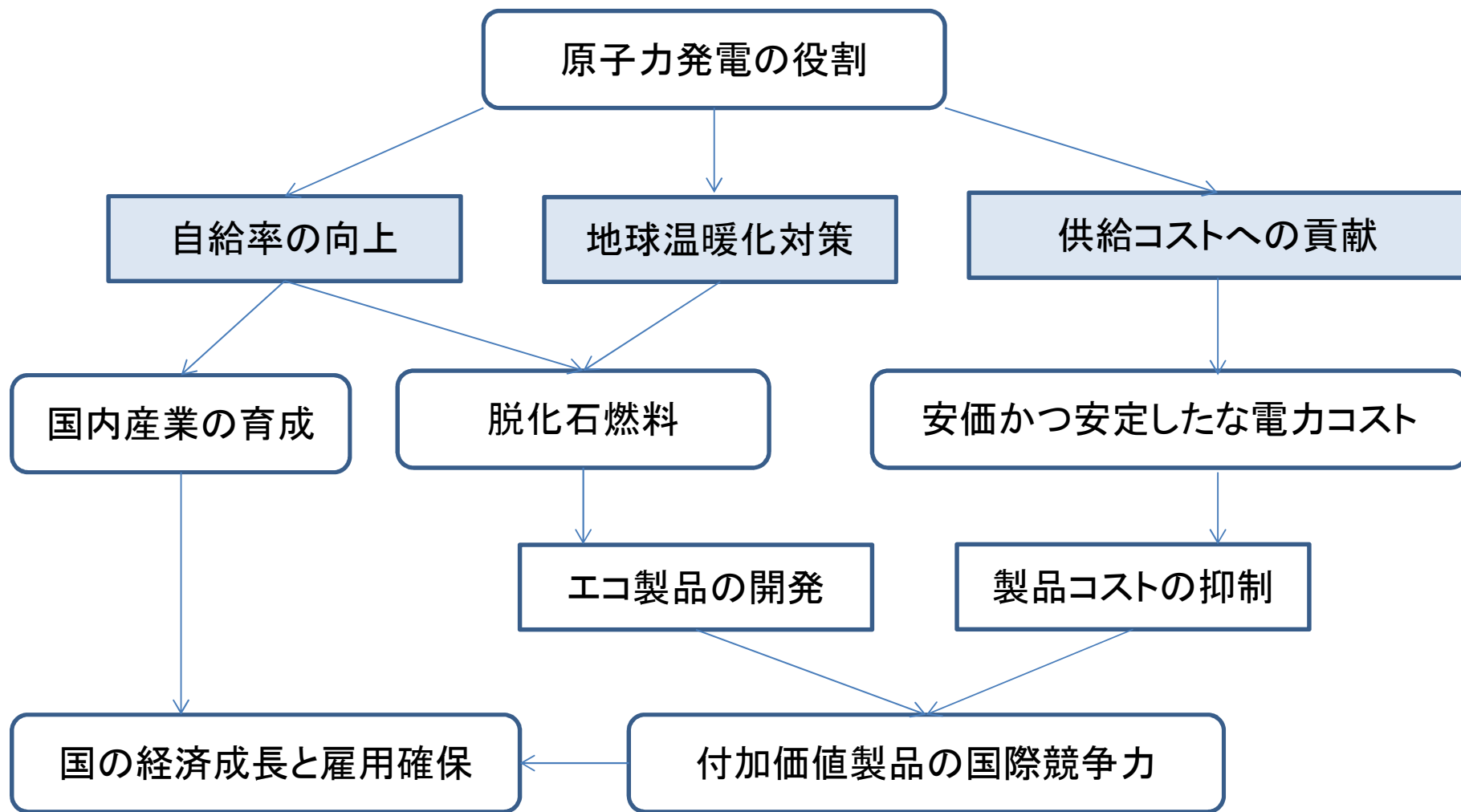
* 卸電気事業者、特定電気事業者、特定規模電気事業者

出典: 経産省資源エネルギー庁電力統計から作成

原子力発電の供給能力

- 設備量では17%
- 電力量では約35% (年設備利用率80%で計算)

事故前の原子力発電の役割



長期時系列産業連関表(TSIO)について

【特徴】

- 対象年:1970年, 1973年～2000年(計29時点)
- 部門数:内生部門155, 最終需要部門13, 付加価値部門8
- 価格表示:名目価格(部門別デフレーターによる実質化が可能)
- エネルギー資源部門, 電力部門を細分化

【作成手順】

- 接続産業連関表に対して部門概念の統合、レベルの調整等を行い、基準年の表を作成(70, 75, 80, 85, 90, 95, 2000年)
- 中間年の表に対して付加価値部門、最終需要部門を調整した後、前後の基準年の投入構造を重み付けRAS法によって反映させ、中間部門を確定
- SNA68年基準GDPに準拠して全体のレベルを調整
- 部門別デフレーター作成

GDPボラティリティの計測

- 最終需要一定の下での原油価格変動

- 生産費用の変動(当該産業)

- 価格波及(全産業)

- 付加価値率の変動(全産業)

- GDPの変動

原油価格変動がもたらす全産業への価格波及効果

$$\Delta \mathbf{p}^i = \left[\left[\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}) \mathbf{A} \right]^{-1} \right]^T \cdot \hat{\mathbf{M}} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \Delta \mathbf{p}^M$$

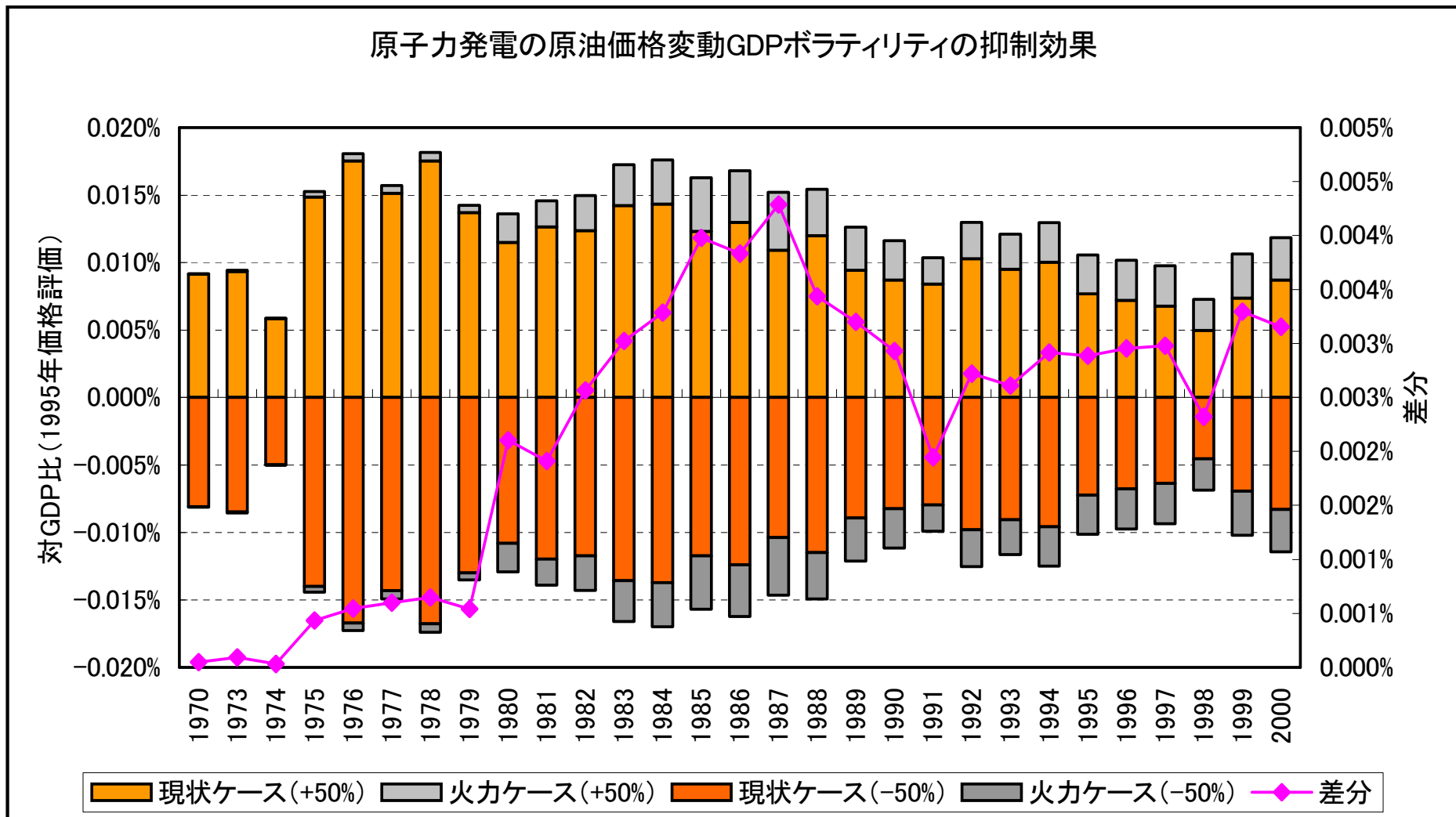
価格波及効果による付加価値率の変動

$$\Delta \mathbf{v}^i = \left[\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}) \mathbf{A}^T \right] \cdot \Delta \mathbf{p}^i$$

付加価値率の変動によるGDPボラティリティ

$$\Delta GDP = \mathbf{i} \cdot \Delta \mathbf{v}^i \cdot \mathbf{X}$$

原子力発電によるGDPボラティリティ抑制効果

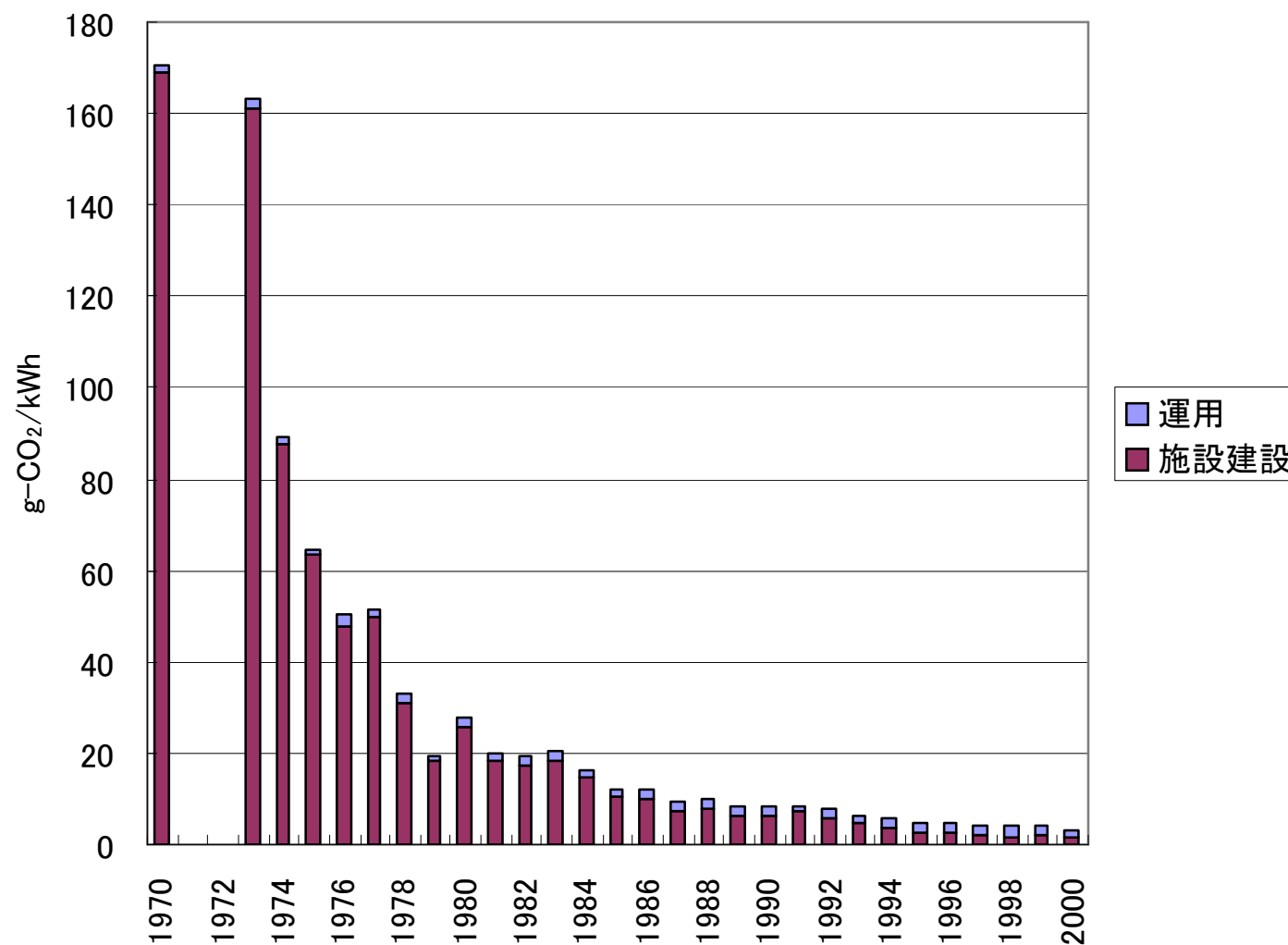


TSIOによるLCAバウンダリ:原子力発電事業

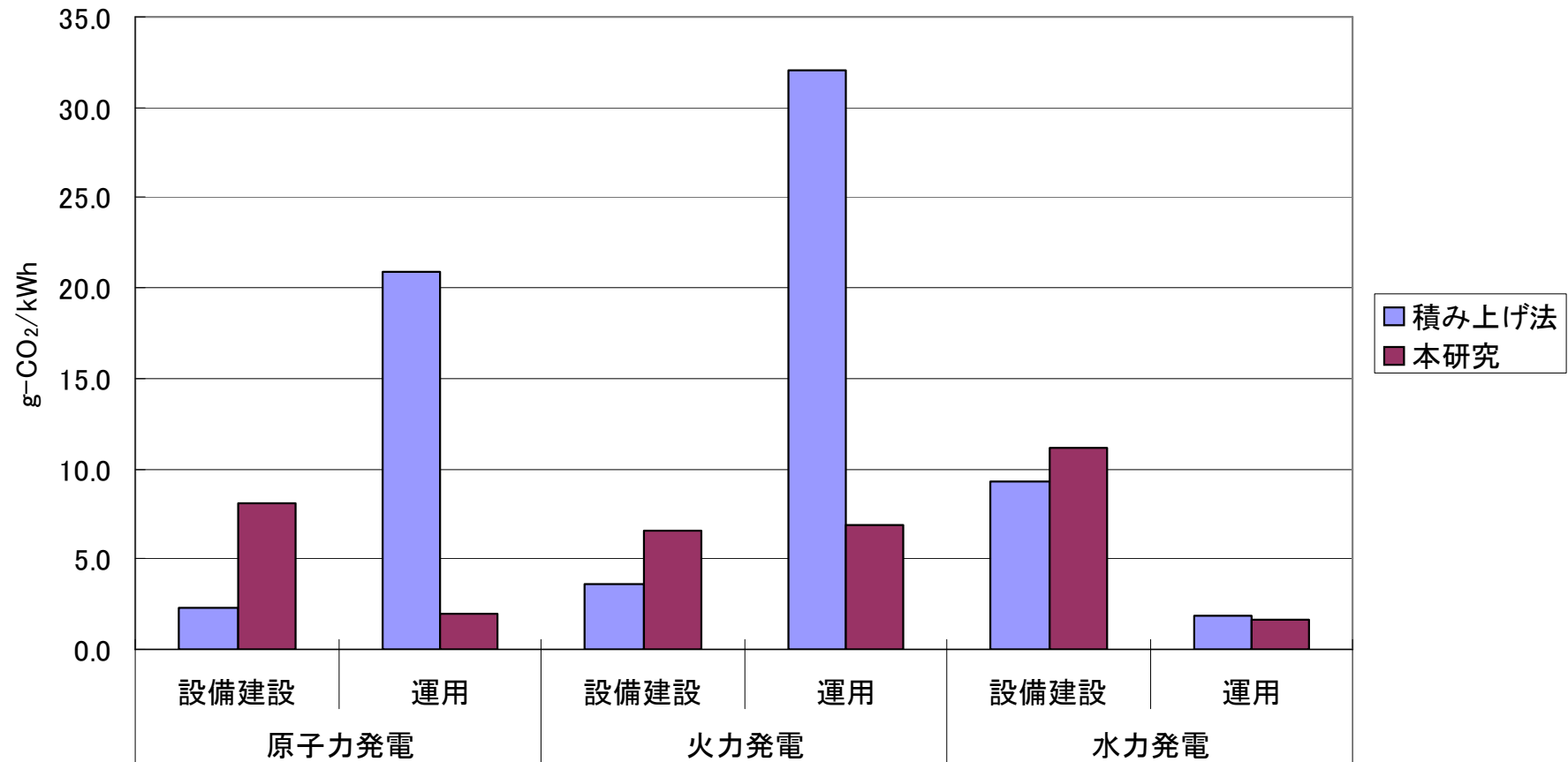


参考: 電力中央研究所研究報告: Y01006

発電電力量あたりのCO₂排出量(原子力)



積み上げ法との比較



間接影響を30年分もれなく評価した成果

参考: 電力中央研究所研究報告: Y01006
Y99009

福島県での原発停止と 再生可能エネルギー導入の影響

- 電力部門は県総生産額15兆円の11%と最大
(2005年産業連関表107部門)
- 原子力発電は県内事業用発電設備の48%
- 県の再生可能エネルギー推進ビジョン(2020年目標値)



【分析期間(2012～2040年)】

- 原発停止による直接間接の生産額減少
(2005年度:設備容量8,892MW、発電量49,227 GWh)
- 再生可能エネルギー導入の生産額増加
(設備は県外にて製造、施工・運用が県内にて実施:
2020年度まで建設し、その後2040年度まで運用)

福島県における 再生可能エネルギー導入目標

導入目標	2020年度目標		増加分(2012－2020)	
	原油換算(kl)	設備容量(MW) (発電量: 百万kWh)	原油換算(kl)	設備容量(MW) (発電量: 百万kWh)
太陽光発電	239,175	1,000 (1,051)	229,877	961 (1010)
風力発電	996,561	2,000 (4,380)	968,705	1,930 (4258)
うち洋上風力発電	597,936	1,000 (2,628)	597,936	1,000 (2628)
水力発電	1,608,326	3,981 (7,069)	10,046	7 (44)
うち小水力発電	30,136	22 (132)	10,045	7 (44)
地熱発電	80,522	67 (354)	2,790	2 (12)
バイオマス発電	408,989	360 (1,798)	333,599	294 (1467)
合計	3,333,573	8,408 (14651)	1,545,017	3,194 (6791)

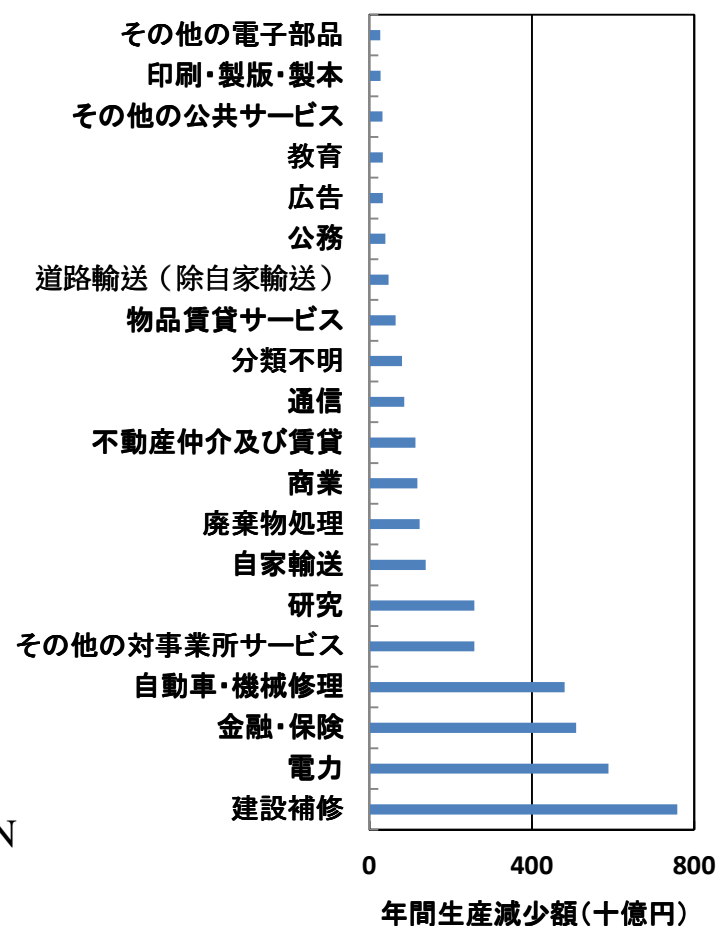
原子力発電所停止による 県内生産減少総額

(億円:2012～2040年度)

	直接	間接	合計
第一	51,857	21,260	73,117
第二	55,344	22,690	78,034
合計	107,201	43,950	151,151

間接生産減少額 $\Delta \mathbf{X}_{Ni} = [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \dot{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1} \Delta \mathbf{f}_N$

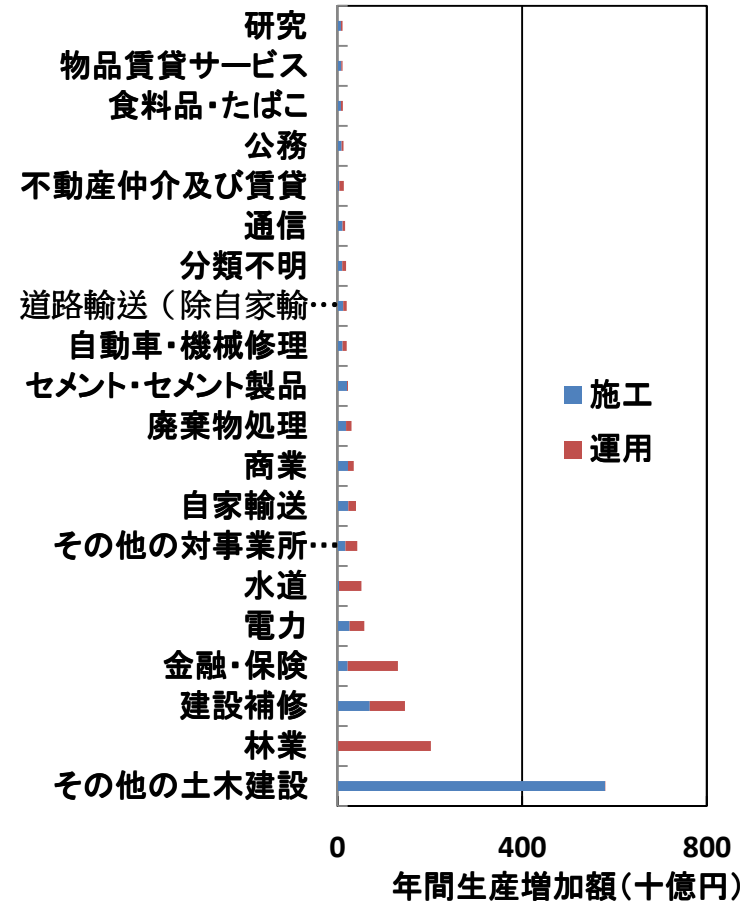
需要減少ベクトル $\Delta \mathbf{f}_N = (p_N \cdot W_N) \cdot \mathbf{A}_N$



再生可能エネルギーの 施工と運用による生産波及額

(億円:2012～2040年度)

	直接	間接	合計
太陽光	4,970	1,117	6,087
風力	10,983	4,375	15,359
小水力	3,513	70	3,583
地熱	19	4	23
バイオマス	5,693	4,371	10,064
合計	25,179	9,938	35,116



原子力発電の今後の課題

● 安全性の強化

- (1) 活断層・耐震性・津波への原子力規制委員会の新指針と審査、ならびに政治判断
- (2) より信頼性の高い原子力発電の設備設計と運用
- (3) PRA:レベル1～レベル3

● 運転停止中の原子力発電所の再稼働

- (1) 国民や企業の電気料金の負担増加を軽減
- (2) 化石燃料購入による国富流出の防止

● 長期的に見た原子力発電の役割

- (1) ベース電源として電力の安定供給
- (2) 安価で安定した発電コスト(重大事故の発生がないと仮定)
- (3) エネルギー安全保障の確立
- (4) 地球温暖化対策
- (5) 海外への技術輸出

原子力問題のまとめ

利点

- ①エネルギー安全保障の確立
- ②地球温暖化対策に貢献
- ③化石燃料の代替エネルギー
- ④エネルギーの安定供給
- ⑤長期的な安定かつ安価な価格

課題

- ①事故対策(地震・津波対策、運転管理)
- ②経年化対策
- ③一極集中のリスクと危機管理
- ④放射性物質の漏えい防止
- ⑤信頼ある安全管理体制の整備
- ⑥サイバーテロと核テロへの対策

環境・安全保障・経済的リスクの軽減

事故・政治的リスクへの対応

100%のリスク削減は不可能

各種電源のリスクを相対的に比較し、
社会的コンセンサスが得られる電源構成

発電プラントの経済性

建設単価は「エネルギー密度」「熱サイクル」「安全・環境対策」「立地条件」に影響される

建設単価 [円／kW] = 建設費 [円] / 発電出力 [kW]

● 建設費

基本建設費 + 時間費用 (エスカレーション、建設中利子)

【基本建設費 (Overnight Cost)】

① 直接費用 ⇒ 発電出力特性に影響される。機器のほとんどが工場で製造される。
プラント設計によりコスト変動があるが、変動幅は小さい。

- ・土木建設関係 (土地代、建物費用、構築物費用)
- ・機械電気設備関係 (燃料転換・処理装置、蒸気発生装置、タービン・発電機装置)
- ・環境設備関係 (脱硫装置、脱硝装置、電気集塵装置、灰処理装置、水・化学処理装置)

② 間接費用 ⇒ 立地場所で費用が大きく変動する。立地場所による作業環境、地盤など
土木作業、建物のアメニティ、敷地内の緑化、現地労働者の確保等の影響を受ける。

- ・本店エンジニアリング (発電所の建設計画・設計、エンジニアリング、品質管理など本店における必要費用)
- ・現場エンジニアリング及び建設サービス (現場の設備・機器およびサービスに係わる建設工事費用。建設中の仮設備・工具・機器費用や監督・ガードマンなど間接労務費も含まれる)
- ・その他 (漁業補償費、地方自治体補償費、三法交付金)

発電コストの式

$$\text{発電コスト}[\text{円}/\text{kWh}] = \frac{\text{総費用}[\text{円}]}{\text{発電電力量}[\text{kWh}]}$$

【総費用】 総費用＝資本費＋経費＋廃棄費 （総費用＝固定費＋可変費）

- 資本費：事業報酬（調達資金別）、減価償却（土地、運転資本を除く建設費）、固定資産税、諸費（法人税、諸償却）
- 経費：直接費、関連費、燃料費
 - ・直接費：給料手当、修繕費、諸費（民間保険料、国家保険料、財産保険料など）
 - ・関連費：業務分担、事業税
 - ・燃料費：発電時に消費する燃料費用で水や薬品などユーティリティ費用も含む。

完全自由化によって競争原理が働き、上記の費用項目の削減が期待される一方で、短期間で投資額を回収するために投資回収率(ROI)が高くなる恐れがある。

● 廃棄費

解体・撤去費、売却費、廃棄物処理・処分費がある。原子力プラントの場合、廃炉コストは固定費として計上

【発電電力量】

$$\text{発電電力量}[\text{kWh}] = \text{認可発電出力}[\text{kW}] \times (8760[\text{h}] \times \text{設備利用率}) \times (1 - \text{所内率})$$

資本費の内訳

【事業報酬⇒自由化後は投資回収率(ROI)】

- 事業報酬＝帳簿価額×事業報酬率
- 平均事業報酬率＝(負債金利×負債調達比率)
＋(平均資本金利×資本調達比率):現在2.5%程度

【法人税】 法人企業の利潤に対して賦課される租税である。

- 法人税＝帳簿価額×法人税率

【減価償却費】

- 定額法年間償却額＝{固定資産原価(償却帳簿原価)－
残存価額}／法定耐用年数
- 法定耐用年数(平均):水力:40年(一般水力)、34年(揚水発電)
火力:15年(石油、LNG、石炭) 原子力:16年
送電:34年、 変電:22年
- 減価償却率:残存価値額を10%とした試算例

	一般水力	揚水発電	火力発電	原子力発電	送電施設	変電施設
減価償却率	2.25%	2.65%	6%	5.94%	2.65%	4.09%

現在価値と均等化コスト

【現在価値】100円ずつ9年間、年末に毎年支払い続けたとき、それと等価な現在価値額は？
 (100円を9年間、毎年引き出せるようにするためには、今いくら預けなければならないか？)

$$P = \sum_{i=0}^{n-1} [A / (1+r)^i] = A[(1+r)^n - 1] / [r(1+r)^n] = A a_n$$

$$P = 100 [(1+0.1)^9 - 1] / [0.1(1+0.1)^9] = 575.9[\text{円}]$$

ここで、現在価値係数 $a_n = \{(1+r)^n - 1\} / \{r(1+r)^n\}$

【均等化コストの算定式】

- ある時点でQの費用があり、その値が毎年eの割合で上昇したときi年後の費用 C_i は、

$$C_i = (1+e)^i \times Q$$

- これを割引率rで現在価値 P_i に換算すると

$$P_i = C_i / (1+r)^i = \{(1+e)/(1+r)\}^i Q = k^i Q \quad \text{ここで } k = (1+e)/(1+r)$$

- 耐用期間にわたり期首に費用 C_i が($i=0, n-1$)発生した場合、費用の現在価値の合計 P_n は、

$$P_n = \sum_{i=0}^{n-1} C_i / (1+r)^i$$

- これを耐用期間にわたり一定の費用である均等化コスト \bar{L}_n の現在価値に等しいとすると

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{n-1} \bar{L}_n / (1+r)^i &= \left\{ \sum_{i=0}^{n-1} C_i / (1+r)^i \right\} \quad \bar{L}_n = \left\{ \sum_{i=0}^{n-1} C_i / (1+r)^i \right\} / \left\{ \sum_{i=0}^{n-1} 1 / (1+r)^i \right\} = r(1+r)^n / \{(1+r)^n - 1\} \times \left\{ \sum_{i=0}^{n-1} C_i / (1+r)^i \right\} \\ &= \left\{ \sum_{i=0}^{n-1} Q \times k^i \right\} / a_n = Q(1-k^n) / \{a_n(1-k)\} \end{aligned}$$

年経費率による簡易計算

- 総費用＝固定費＋可変費・・・簡易計算法

【固定費】

現在価値(固定費) $PFIX = \sum_{i=1}^n FIX(i)/(1+r)^i = TCR \sum_{i=1}^n CC(i)/(1+r)^i$

均等化固定費 $LFIX = PFIX / a_n = (TCR / a_n) \sum_{i=1}^n CC(i)/(1+r)^i$
 $= TCR \times CC$

(均等化経費率 $CC = \sum_{i=1}^n CC(i)/(1+r)^i / a_n$)

	一般水力	揚水発電	火力発電	原子力発電	送電施設	変電施設
初年度	8.8%	9.4%	14.3%	15.3%	8.1%	10.6%
均等化	6.8	7.3%	12.0%	13.7%	6.5%	9.1%

可変費と均等化発電コストの算定式

【可変費】

可変費＝燃料費＋運転維持費(変動分)

$$\text{現在価値(可変費)} PFC = \sum_{i=1}^n FC(1+e_a)^i / (1+r)^i = FC \sum_{i=1}^n \{(1+e)/(1+r)\}^i$$

$$\text{均等化可変費 } LFC = PFC / a_n = (FC / a_n) \sum_{i=1}^n \{(1+e)/(1+r)\}^i = FC \times Ln$$

$$(\text{ただし、} Ln = \{k(1-k^n)\} / \{(1-k)a_n\} \quad k = (1+e)/(1+r))$$

【均等化発電コスト】

$$LGC = (LFIX + LFC) / GE = \{(TCR / a_n) \sum_{i=1}^n CC(i) / (1+r)^i + FC \times Ln\} / GE$$

$$= (TCR \times CC + FC \times Ln) / GE$$

(ここで、発電電力量 GE は)

$$GE_n = GE_g (1-q) = P \times (365 \times 24) \times CF (1-q)$$

各種電源の経費率と発電特性

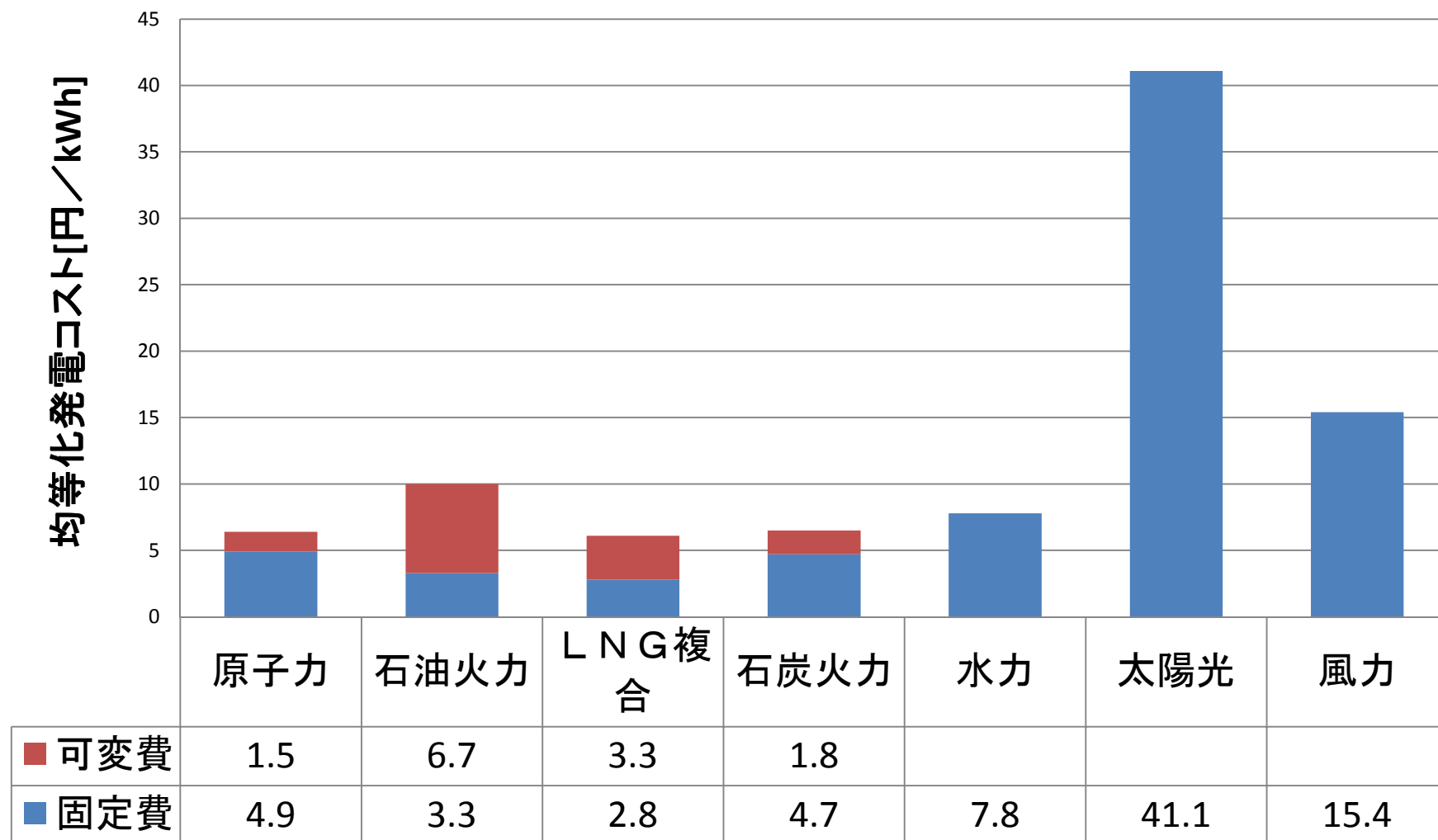
経費率

	一般水力	揚水発電	火力発電	原子力発電	送電施設	変電施設
初年度	8.8%	9.4%	14.3%	15.3%	8.1%	10.6%
均等化	6.8	7.3%	12.0%	13.7%	6.5%	9.1%

発電特性

	原子力	石油火力	LNG複合	石炭火力	水力	太陽光	風力
発電出力[MW]	1,330	800	800	800	10	1	1
建設単価[万円/kW]	25	18	15.5	26	55	60	30
発電効率[%]	34.5	44	55	43	—	—	—
所内動力[%]	1.5	3.5	2.5	5.5	1	0	0
設備利用率[%]	80	75	75	75	55	15	20
年経費率[%]	13.7	12	12	12	6.8	9	9
燃料費[円/Mcal]	—	4.4	2.7	1.1	—	—	—

発電コストの試算例



経済性を高めるポイント

- 原子力発電

- ① 設備利用率の向上（燃焼度の向上も含む）
- ② 実質耐用年数の長期化

- 火力発電

- ① 安価な燃料の調達
- ② 発電効率の向上

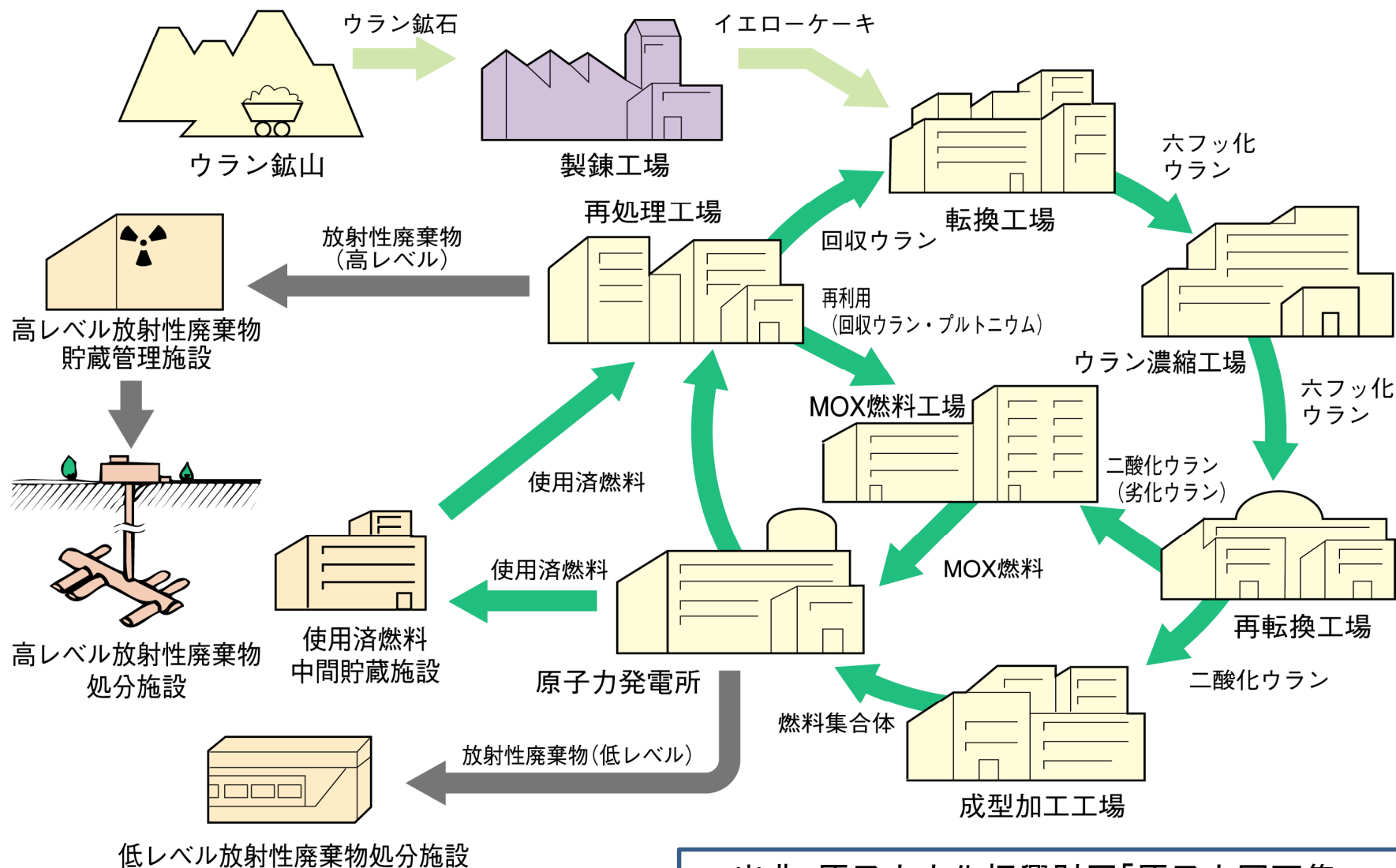
- 再生可能エネルギー

- ① 設備利用率が向上できるサイト選定
- ② 建設費の低減

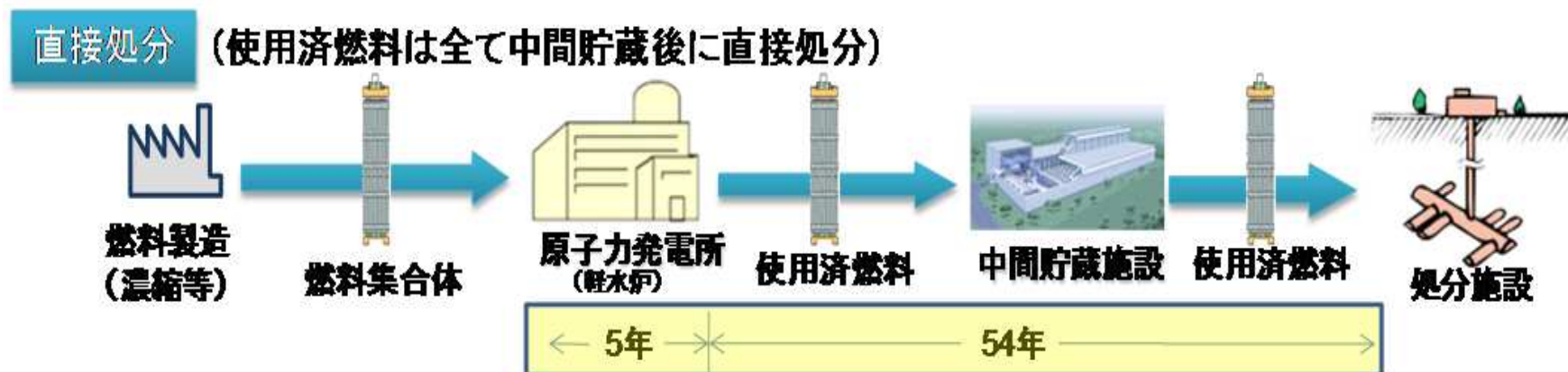
原子力発電の経済性

- 原子力は一基あたりの燃料消費量が少ないため
規模の経済性が働く: 発電技術だけでなく核燃料サイクル技術も同様
- 経済性は発電プラントの他にフロントエンドとバックエンドの核燃料サイクル施設の費用により決まる。
- ウラン濃縮と再処理は海外に依存しているが、国内で調達する核燃料サイクル技術を開発
- 核燃料サイクルコストは原子力の総発電電力量が大きくなるほど安価になる(プラント基数の増加と稼働率向上が経済性の向上策となる)
- 投資回収年数が長い(40年あるいはそれ以上)

原子燃料サイクル



核燃料サイクルの期間



発電プラントの建設: OECD/NEA, 2005

	プラント	正味発電容量 [MWe]	熱効率[%]	建設費(除建中利子)	
				MNCU	USD/kWe
フランス	微粉炭火力	900 × 1	47.1	1,096	1,393
	流動床石炭	600 × 1	46.1	666	1,270
	天然ガス複合	900 × 1	59.1	471	599
	原子力(PWR)	1,590 × 1	36.1	2,163	1,556
日本	微粉炭火力	800 × 1	42.1	223,500	2,347
	LNG複合発電	1,600	52	246,100	1,292
	原子力(ABWR)	1,330 × 1	34.5	397,400	2,510

119¥/\$

発電プラントの発電コスト見積もり

(OECD/NEA ,discount rate: 5%)

		資本コスト [\$/MWh]	運転保守 [\$/MWh]	燃料 [\$/MWh]	合計 [\$/MWh]
フランス	微粉炭火力	11.9	7.7	13.7	33.3
	流動床石炭	10.9	6.9	14.0	31.7
	天然ガス複合	6.0	5.2	28.0	39.2
	原子力(PWR)	13.91	6.45	5.0	25.36
日本	微粉炭火力	20.6	8.8	20.0	49.5
	LNG複合発電	14.5	4.9	32.8	52.1
	原子力(ABWR)	21.8	14.5	11.8	48.0

原子力発電の建設費と発電コスト

項目	ABWR	AP1000 (WH)	EPR (Areva)	ESBWR (GE)
建設単価 [\$/kW]	2,510(#1) 1,611(#2)	1,000- 1,200(#3)	1,600- 2,000(#4)	1,200(#4) 1,350(#6)
建設期間	5 yrs(#1) 40 month(#2)	42 month (#6)	57 month (#5)	39 month (#7)
発電コスト	48[\$/MWh] (disc.rate:5%)	32-36 [\$/MEh](#3)	29.9[Euro/ MWh](#4)	---

#1:OECD/NEA,Projected costs of generating electricity 2005 update

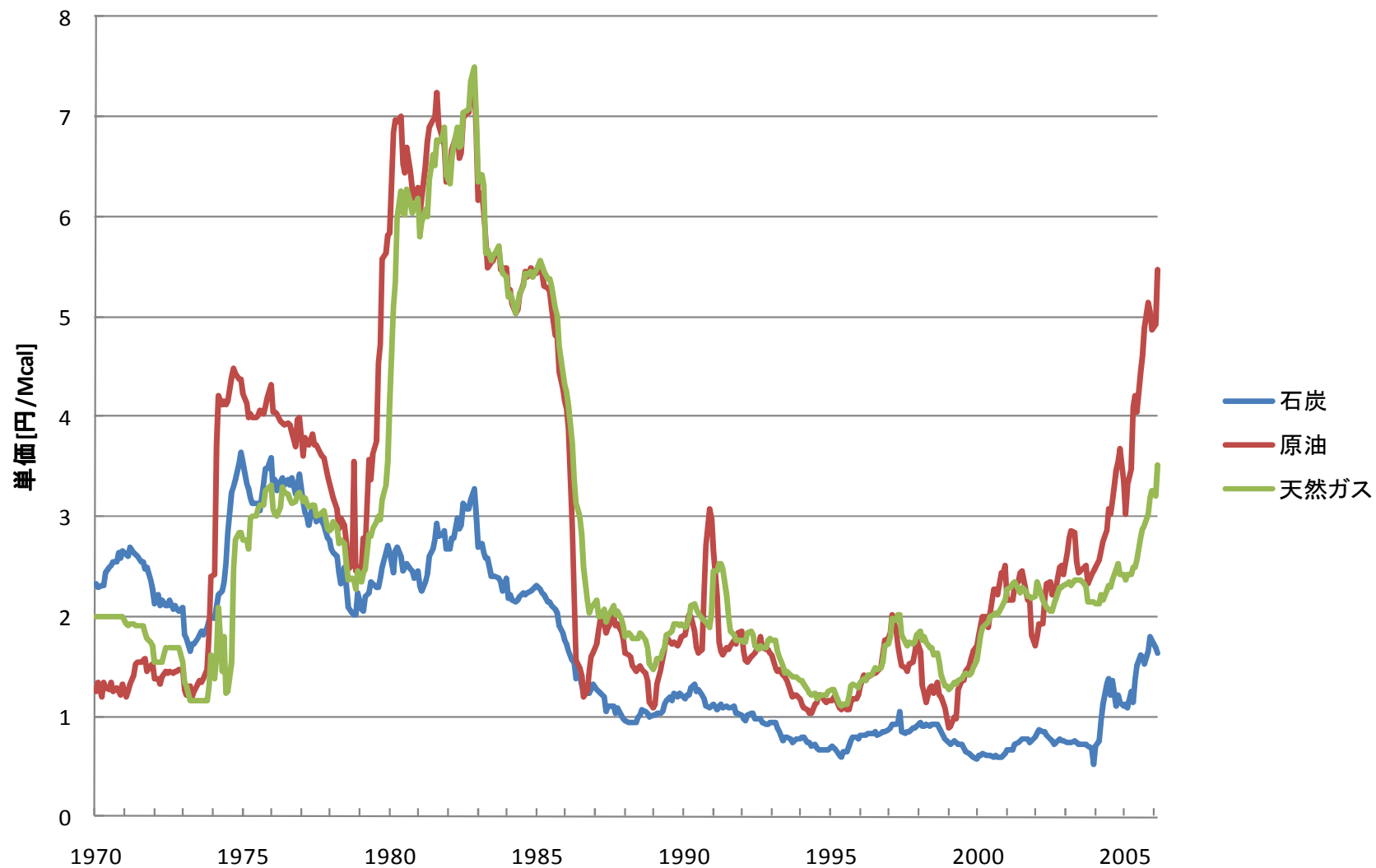
#2:DOE-A107-041D14620,ABWR cost/schedule/COL project at TVA's Bellefonte site(2005)

#3:Nuclear Engineering International(2004) #4: Nucleonics Week(2004/9/16, 2005/9/22)

#5:ICONE-7 #6:Nucleonics Week(2005/9/15)

#7:DOE, NP2010 improved construction technologies, O&M staffing and cost,
decommissioning costs, and funding requirements study

輸入化石燃料費の推移



出所：日本貿易月表(1970.1-2006.3)日本関税協会

燃料価格による発電コストの違い

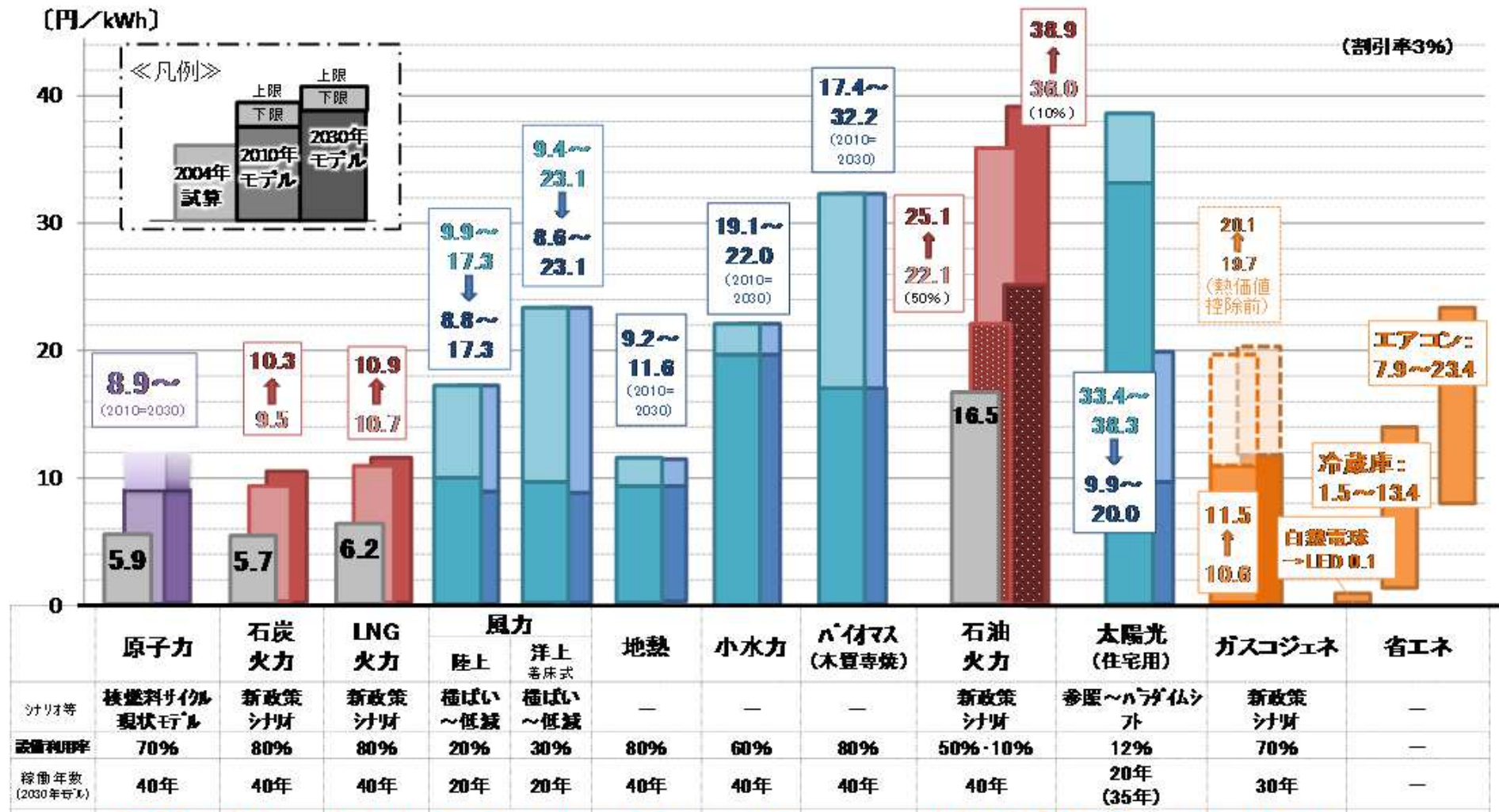
プラント	Heat value	資本費 +運転保 守費 [¥/kWh]	ケース1: 低燃料価格 (#1) [discount rate: 2%]				ケース2: 高燃料価格 (平均値: 2007)			
			燃料価 格	上昇率 [%]	燃料コスト [¥/kWh]	発電コスト [¥/kWh]	燃料価 格	上昇率 [%]	燃料コスト [¥/kWh]	発電コスト [¥/kWh]
石油	9,126 [kcal/l]	5.05	21,030 [¥/kl]	0.20	5.45	10.5	42,210 [¥/kl]	0	10.23	15.3
LNG	13,019 [kcal/kg]	2.00	28,090 [¥/t]	0.27	4.10	6.1	39,670 [¥/t]	0	5.35	7.4
石炭	6,354 [kcal/kg]	3.69	4,330 [¥/t]	0.77	1.71	5.4	7,330 [¥/t]	0	2.45	6.1
原子力	-	3.57	-	-	1.53 (#2)	5.1	-	-	1.53 (#2)	5.1
水力	-	10.6	-	-	-	10.6	-	-	-	10.6

#1: The cost study subcommittee of electric industry committee (Jan. 2004)

#2: fuel cycle cost

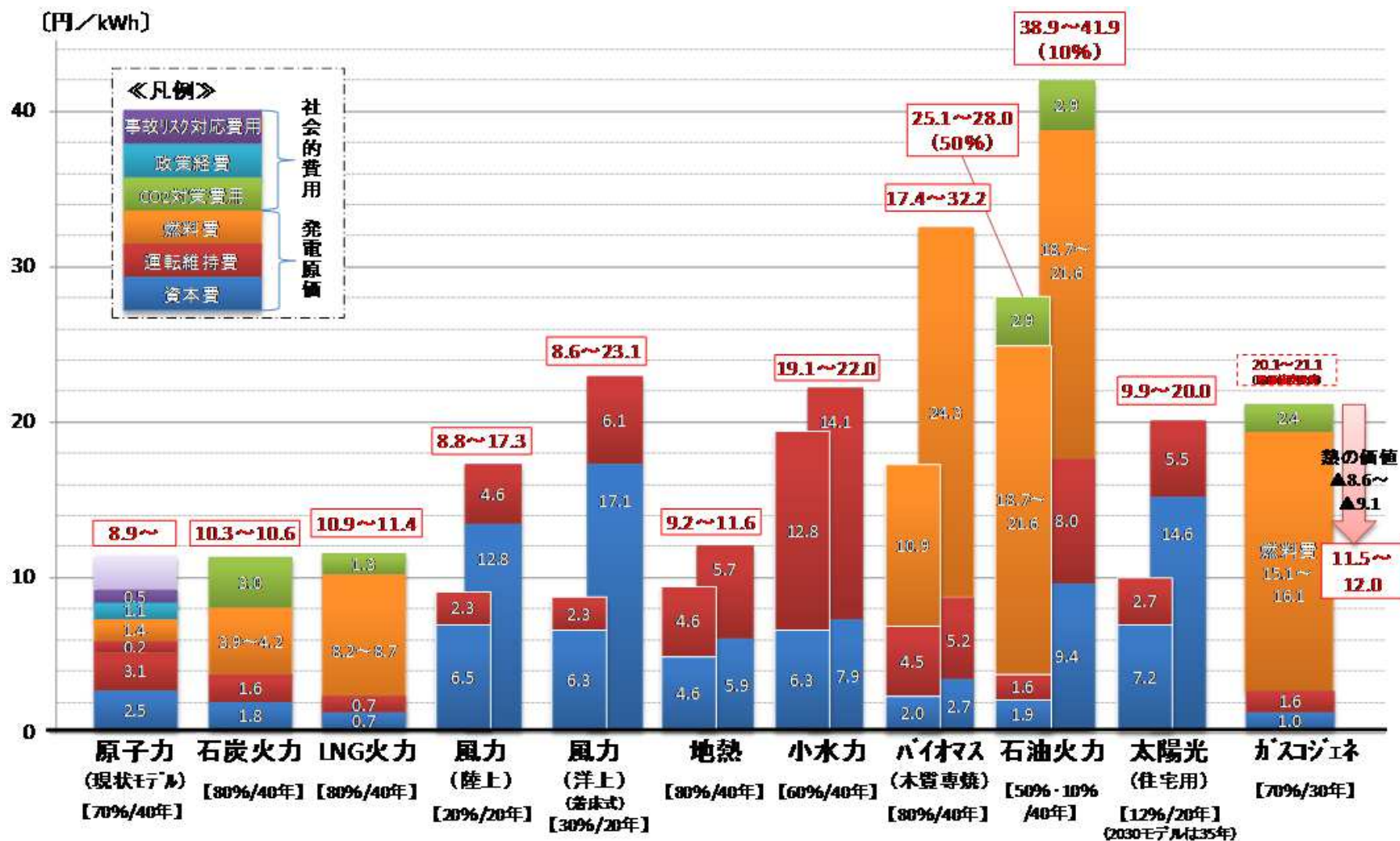
主要電源の発電コスト

2004 年試算／2010 年・2030 年モデルプラント



出典:エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会報告書(平成23年12月)

主要電源の発電コスト: 2030 年モデルプラント



出典: エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会報告書(平成23年12月)

追加的安全対策費用の試算

●追加的安全対策 費用(億円)

- 緊急安全対策 118
- 非常用発電設備 17
- 外部電源の信頼性確保 26
- シビアアクシデントへの対応 13
- その他(各社が独自に取り組んでいる安全対策) 50
- 合 計 194

※追加的安全対策は、平成23 年11 月15 日現在

※各費用はサンプルプラントの追加的安全対策費用(見積額)の平均値

※合計は、重複を除いており各対策の合計と一致しない。

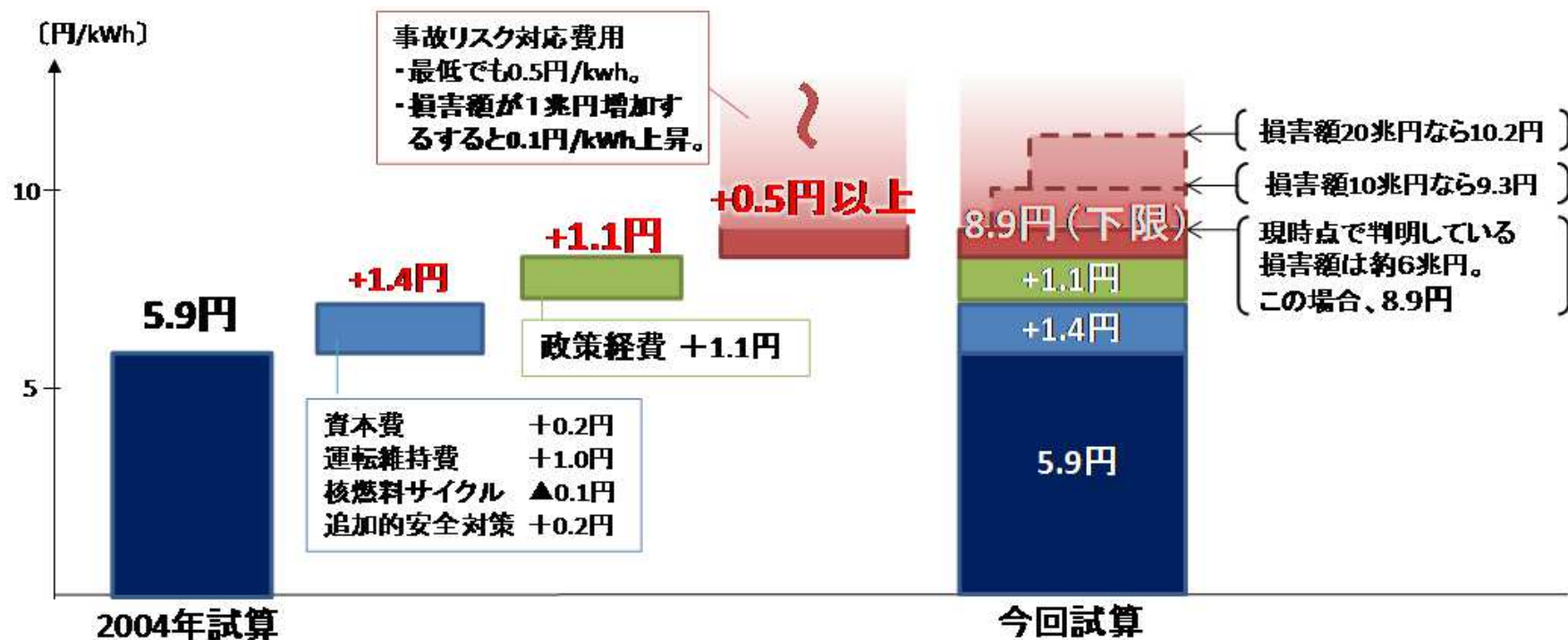
この194 億円を建設費として追加し、設備利用率70%を前提とすると、発電単価は、0.2 円/kWh 上昇する。

追加的費用の試算

	追加的廃炉費用	損害賠償費用	その他
東京電力に関する経営・財務調査委員会報告	9643億円 補正① 3214億円	5兆8860億円 補正② 4兆6722億円	5775億円 補正② 4584億円
環境省予算資料	4億円	*重複関係は明らかではないが、 下限を見積もるという観点から、 重複部分を最大に見積もると、 5707億円	除染関連費用 1兆1482億円
大島委員提案資料	原子炉冷却等費用 未計上分 12億9800万円 補正① 4億円	内数 農地の除染費用	1081億円
原子力損害の判定等に関する中間指針追補(2011年12月6日)	1667億円	中間指針追補の追加分 約2100億 補正② 1667億円	904億円 + 142億円
		行政費用9340億4900万円(うち6951億4900万円が除染関連費用の内数、残りの2389億円のうち一度設立したり、知見を得てしまえば、次の事故時には同様のことを行う必要がないものを除いた1361億3500万円を計上) 補正② 1081億円	発電施設の減損(1016億9200万円)・核燃料の損失(448億5500万円) 補正③ 904億円+142億円
		補正①: 廃炉費用については出力に依存しないと仮定し、福島第一1~4号機の追加廃炉費用を汚染レベルの高い1~3号機の3基分で割って補正 補正②: 損害賠償費用のうち一過性の費用については出力とは関係なく計上し、毎年の費用についてはモデルプラントと福島第一の1号機から3号機までの出力の比で補正したもの 補正③: モデルプラントを前提として試算	
		合計 5兆8318億円	
現時点で推計不能とされている費目及び現時点で含まれていないことが明らかな費用		○生命・身体的損害 ○政府による航行危険区域及び飛行禁止区域の設定に係る損害 など政府指示にかかる損害 ○地方公共団体等の財産的損害	(除染関係) ○高濃度汚染地域対策費用 ○中間貯蔵施設整備費用 ○最終処分関係費用
今後想定される動き	廃止措置に向けた中長期ロードマップ (東京電力等、年内)	特別事業計画(原子力損害賠償支援機構及び東京電力作成予定、適時)	対策地域内廃棄物処理計画 特別地域内除染実施計画 (環境大臣が策定予定)

事故後の対策費用を含めた原子力プラントの発電コスト試算

- 資本費 2.5 円/kWh(04 年試算比 +0.2 円/kWh)
- 運転維持費 3.1 円/kWh(04 年試算比 +1.0 円/kWh)
- 核燃料サイクル費用 1.4 円/kWh(04 年試算比 ▲0.1 円/kWh)
- 追加的安全対策 0.2 円/kWh
- 政策経費 1.1 円/kWh
- 事故リスクへの対応費用 0.5 円/kWh 以上



まとめ

- 原子力発電

重大事故が発生しなければ経済的な優位性がある。しかし事故リスクを踏まえると相当程度の社会的な費用が存在する。

- 石炭やLNG

CO2 対策費用や燃料費上昇を加味すれば今まで以上にコスト高になるが、それでもなお、社会的な費用を加味した原子力発電とのコスト比較において、ベース電源としての競争的な地位を保ちうる。

- 太陽光

再エネの中では立地制約が小さく比較的導入しやすい。大量導入に当たっては、電力システム全体としての系統安定化の課題や国民や企業への費用負担が発生する。

- 風力、地熱、他

立地制約や系統安定・増強といった課題がある。立地条件がよい場所については、原子力、石炭などと対抗しうるコスト水準になるが、わが国におけるポテンシャルは限られている。小水力やバイオマス等は、地域資源の有効活用による新しいエネルギーシステムの構築に貢献するといった期待がある。しかし、風力や地熱以上に資源制約や立地制約が大きいといった課題がある。

- 省エネやコジェネ等の分散型電源

需要家から見た場合、電気料金の節約というメリットがあり、地域によっては新たなエネルギーミックスの一翼を期待される。しかし初期投資の回収期間の短縮が望まれる。

おわりに

- エネルギー問題の解決にはグローバルな視点が大切になる。
- 世界のエネルギー需要は増加しており、化石燃料への依存は今後も高まる。
- 現代の産業と人々の生活は余りにもエネルギーに依存しており、そういった現代社会の発展を見直す時期に来ている。
- あらゆるエネルギー源に利点と欠点があり、利点を享受するだけでなく欠点であるリスクの低減努力と平等な負担が求められる。
- 福島第一原子力発電所の重大事故で発生した諸問題を解決していくには大変な努力が長期間にわたり必要になる。それらは多くの人々の協力があって解決する問題である。
- たとえ日本が原子力技術を放棄したとしても他の国においてその開発は進む。日本が持つ優れた技術を放棄していいのだろうか。