

# 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

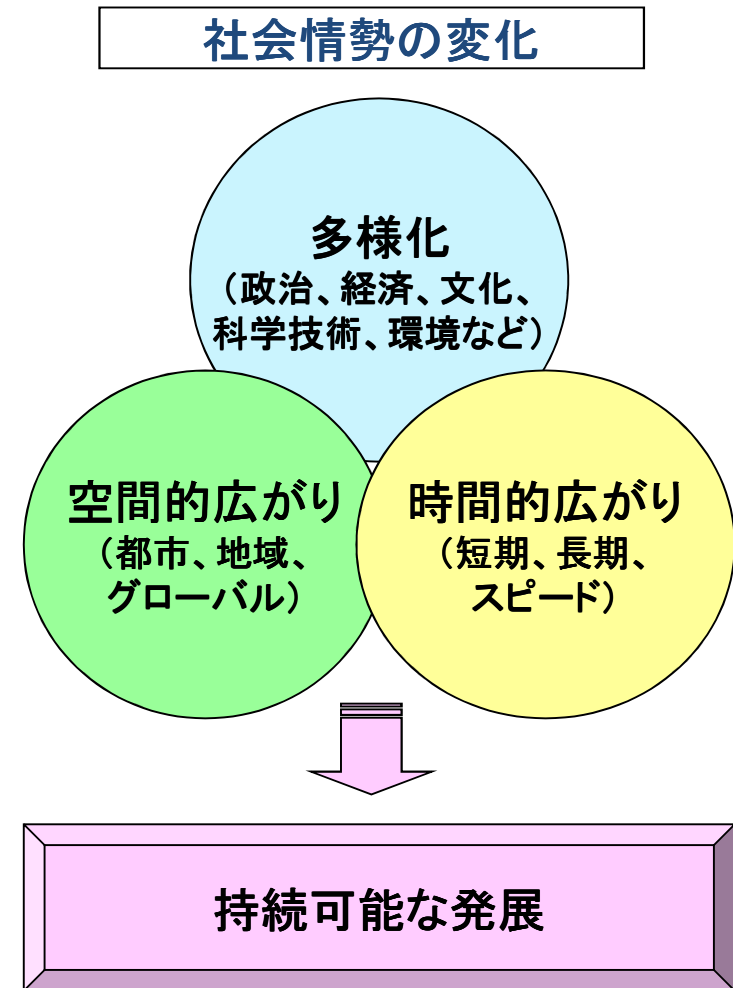
# エネルギーを取り巻く国内外の社会情勢

## 【国際社会】

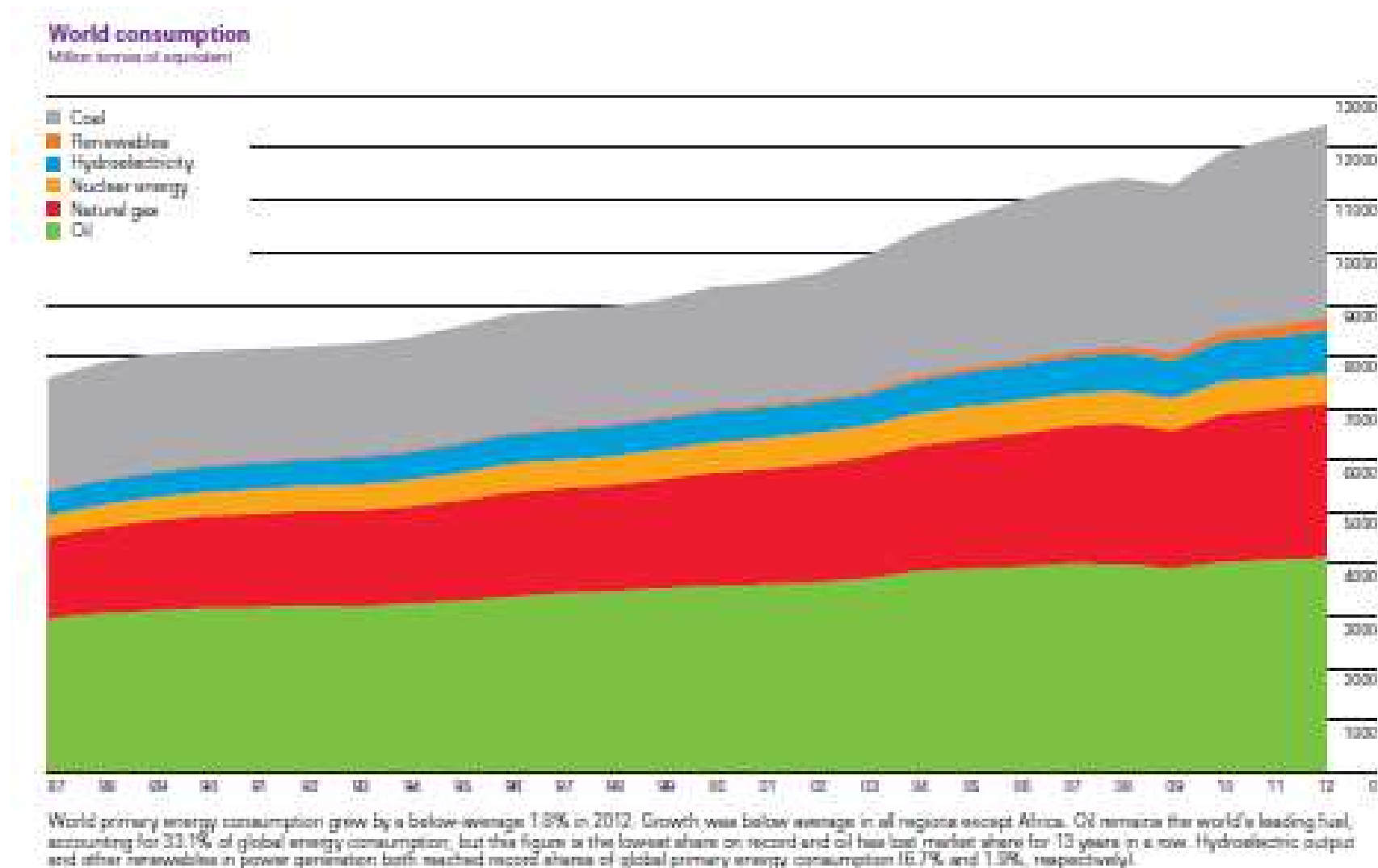
- ①グローバル化の進展
- ②人口増加と環境問題
- ③BRICs経済の発展
- ④食糧・資源の価格高騰
- ⑤シェールガス等の開発
- ⑥テロ活動と地域紛争

## 【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.

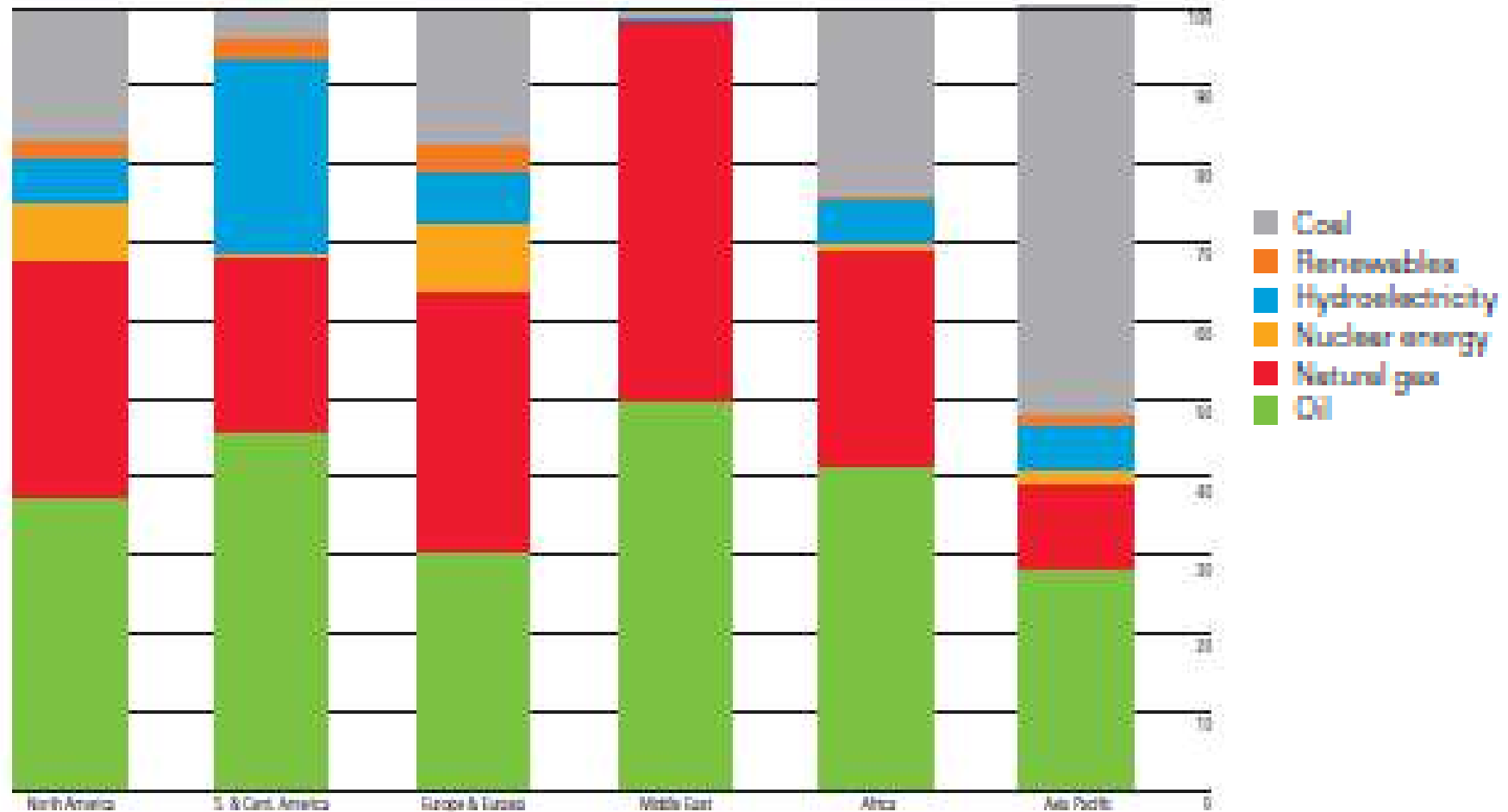


# エネルギー源別に見た 世界のエネルギー供給の推移(1987-2012)



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.

# 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。



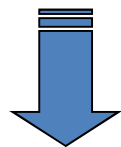
# まとめ

- 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

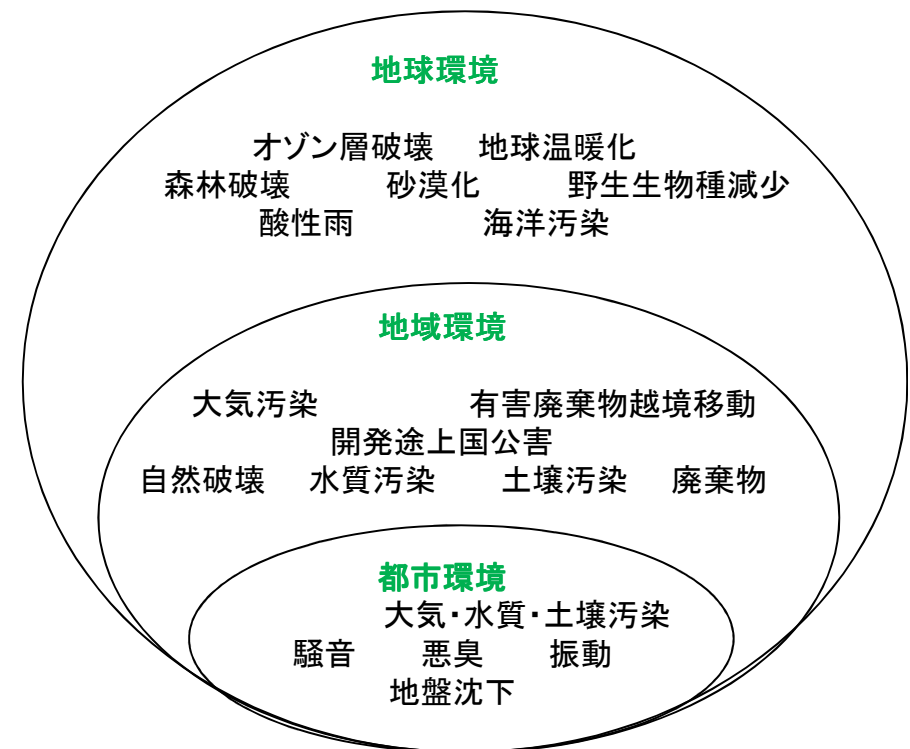
例:環境リスクの空間的広がり

## ●空間的

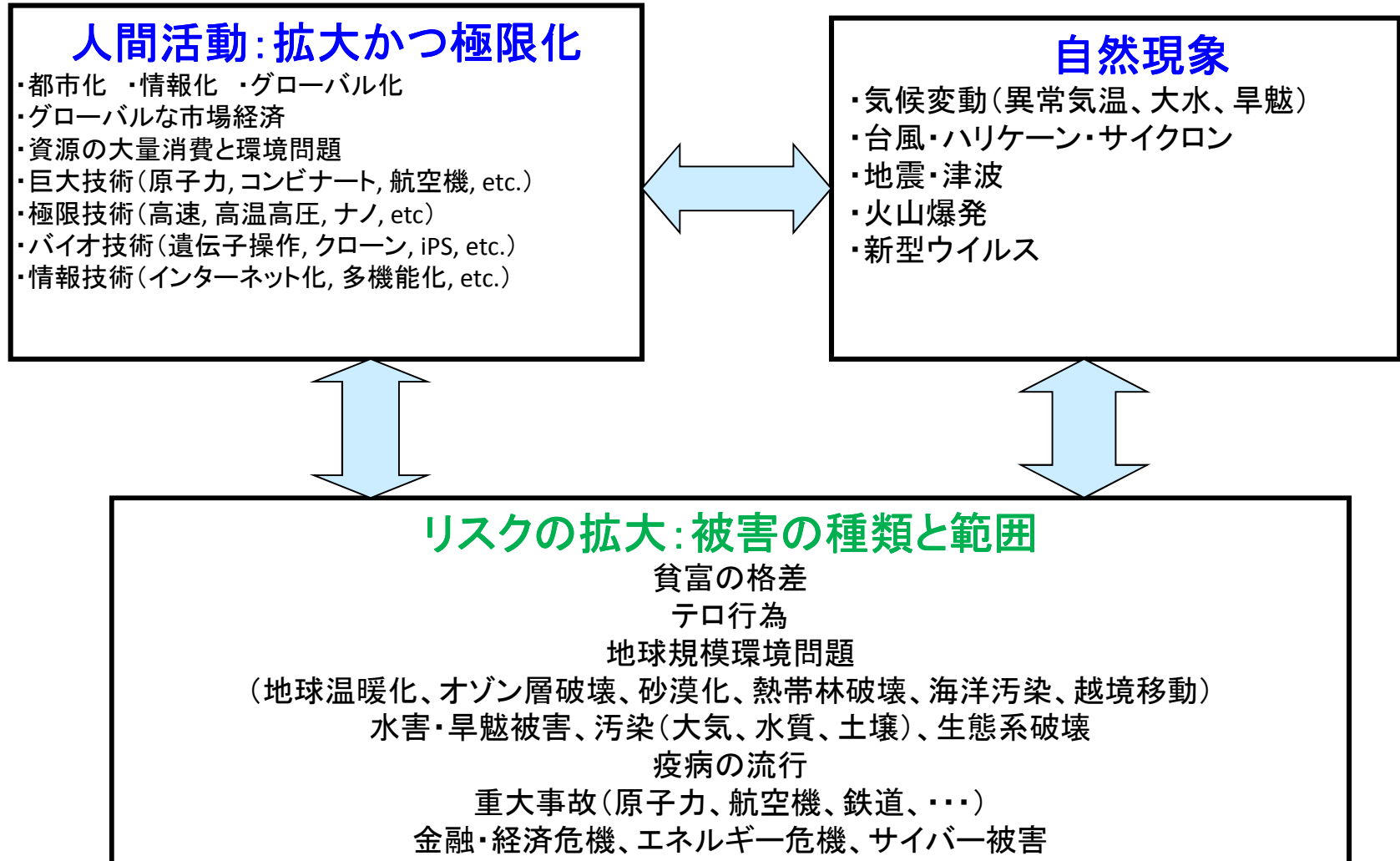
都市、地域、グローバル

## ●時間的

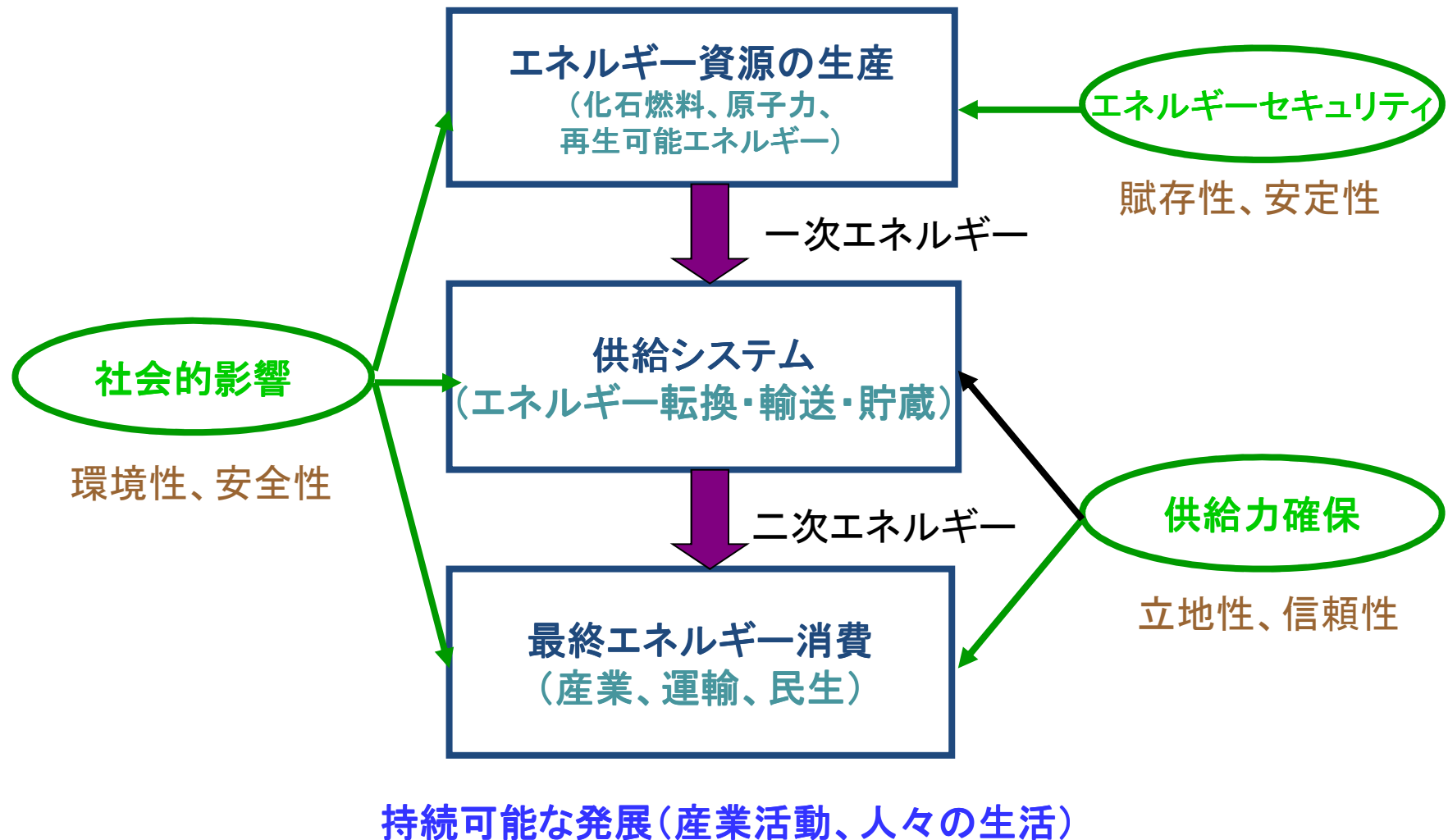
短期、長期、超長期



# 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)



# 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"><li>・石炭を含めた資源量は豊富でコストは安価。</li><li>・価格変動が大きく供給途絶への不安がある。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・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。</li><li>・燃料途絶の不安は小さい。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・資源量は潜在的に豊富だがコスト高。</li><li>・供給途絶がない</li></ul>
供給基盤の整備 (供給力、信頼性)	<ul style="list-style-type: none"><li>・燃料を供給するインフラ施設の整備。</li><li>・設備の信頼性と負荷への追従能力に優れている。</li><li>・発電設備の電気の質も高い。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・核燃料サイクル施設の整備。</li><li>・設備の信頼性は高い。</li><li>・発電設備の電気の質は高い。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・季節、週、日で出力が変動する。</li><li>・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。</li></ul>
社会的な受容 (環境性、安全性)	<ul style="list-style-type: none"><li>・大気汚染物質と温室効果ガスの放出。</li><li>・タンカーの座礁、ガス爆発、炭坑事故の不安がある。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・放射性廃棄物の隔離。</li><li>・重大事故と核拡散問題への不安がある。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・最もクリーンで安全とされている。</li></ul>

# 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

# 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

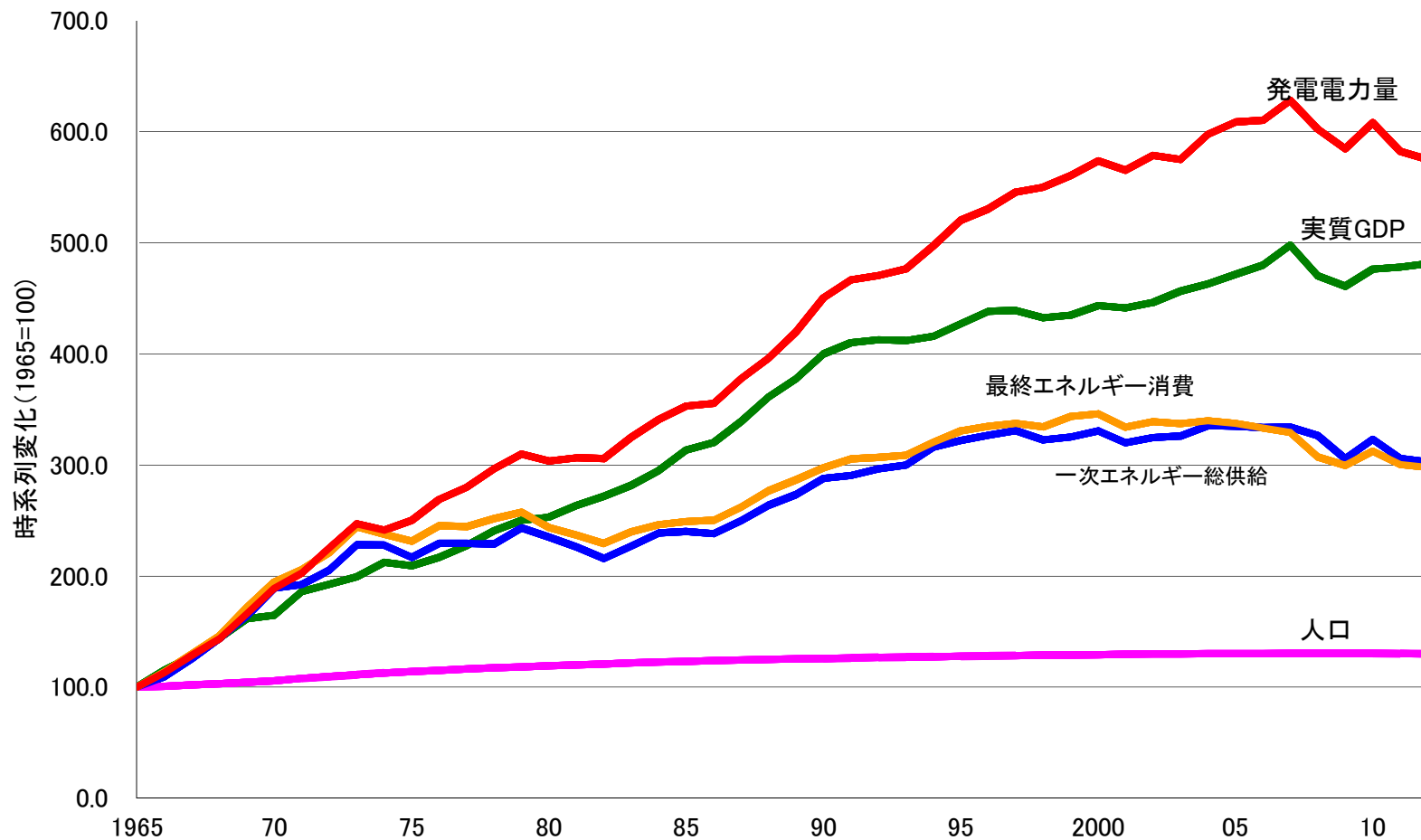
- 経済活動への内部化(税制、制度)

# 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CO<sub>2</sub>排出削減

民生・運輸部門でのCO<sub>2</sub>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

# 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

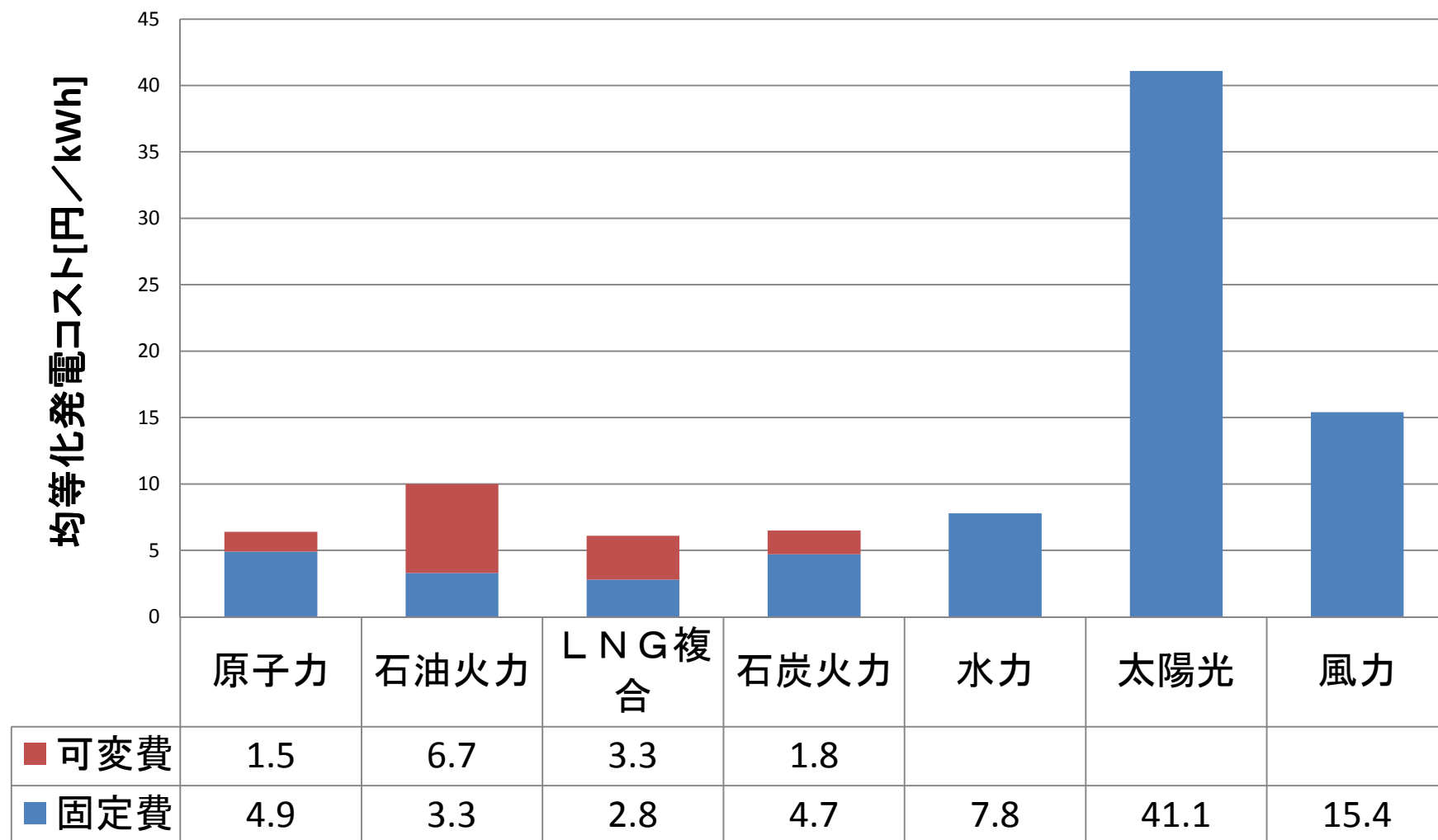
事故・政治的リスクへの対応

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

# 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)



# 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。