

エネルギー資源選択の条件と課題 福島原子力発電所震災を踏まえて

2011年7月22日

原子力有識者

石井正則

m_ishii@flamenco.plala.or.jp

福島震災事故が提起した課題

- **原子力安全に関する様々な課題**
 - なぜ防げなかった
 - 新しい知見への対応の適切さ（貞観地震・津波、全電源喪失解析など）
 - 今後の安全システムのあり方
- **事故への対応・他発電所への対応は適切だったか**
 - 危機管理への対応、技術的判断体制、情報伝達など
 - 超法規的処置
- **放射線災害への対応は適切だったか**
 - 避難基準、食料摂取基準など
- **国の制度・電力供給体制に関連する問題**
 - 推進と規制の分離、供給・送配電の分離、賠償責任など
- **地域復興に関連する課題**
 - 生活環境、生活基盤、経済基盤などの復興
 - 土壌汚染（これからの長期的対応が必要）
- **エネルギー政策の問題**
 - 脱原発・自然エネルギー推進など
- **再開への課題**
 - 短期・中長期対策、ストレステストなど

これからのエネルギー資源と環境問題

	地球環境問題	エネルギー問題
現象	地球温暖化 世界各地で気候変動	資源の争奪戦・価格上昇 世界の一次エネルギー 約8割が化石燃料
要因	温室効果ガス増大 人為起源の温室効果ガス	資源の枯渇・供給量に限界 ピークオイル 需要の増大 生活向上、人口増大
対策	温暖化への対応策	
	温暖化の抑制策 エネルギー起源CO2低減	エネルギー使用量低減 省エネ、節エネ、効率向上 代替資源の活用 化石燃料から低炭素資源へ

温暖化の防止には、温暖化対策と温暖化抑制対策が必要
温暖化抑制対策は現在では重要なエネルギー問題！
エネルギー問題=温暖化対策だけではない！

エネルギー利用のあり方

エネルギー問題と地球環境問題の同時解決は可能か？

実現可能な時間軸を見定めた対応が必要！

→ 賢いエネルギー資源の選択と使い方

安定供給

- 自給率向上
- 需要とその変動への対応
- 多様化

経済性

- 国際競争力

地球温暖化の抑制

- 低炭素エネルギー
ゼロエミッション資源

⇒効果のある資源選択

ベストミックス

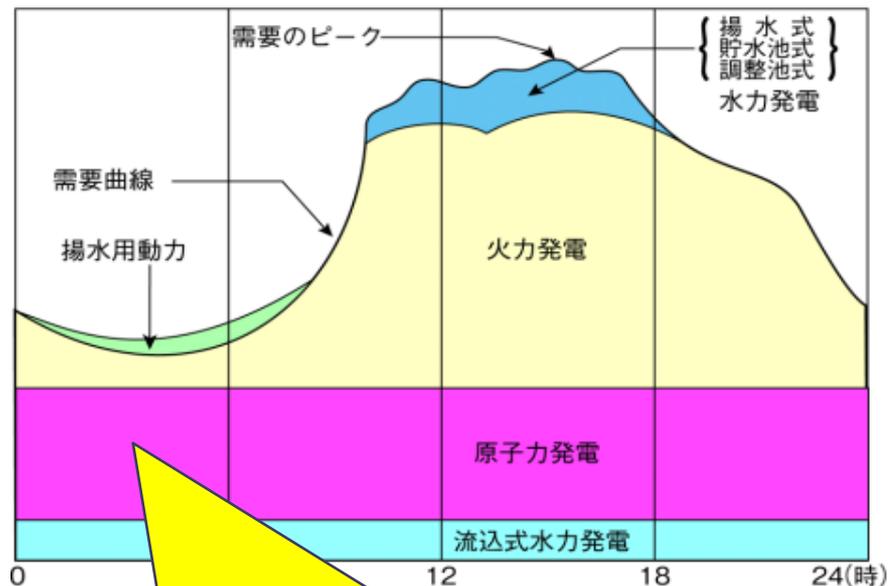
効率的な使用

効率向上と省・節エネ

スマートグリッドの活用

ソフトだけでは限界がある

需要の変化に対応した電源の組み合わせ(ベストミックス)



ベースエネルギーは安定した燃料費の影響が少ないエネルギー

可能な資源は限られる！

電力2008

エネルギー資源の選択

● エネルギー資源選択の条件

● 一般的な条件

- 安定性・経済性・環境影響
- 需要変動に対応できること
- 様々な用途への利用（基幹・分散・局地利用など）

● 基幹資源としての条件

- 凝集している・大量にある・経済的に収集できる

● 評価のポイント

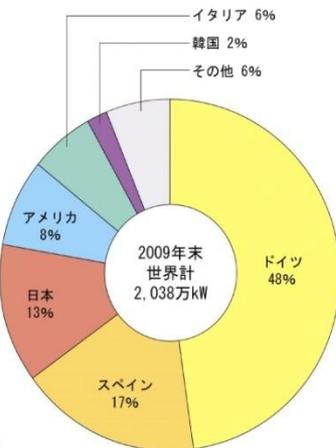
- 安定性（安全保障）：資源量・変動・入手の容易さ（国産など）
- 経済性：コスト（経済活動の活性化）・資源のエネルギー収支 **EPR**
 - 市場原理⇔支払/受入意思額 **Willingness to Pay, Accept**
個人の意思・国家の意思（安全保障）
⇔固定価格買取制度 **Feed in Tariff**（要期限限定！）
- 環境影響：地域レベルと地球規模の環境影響（温室効果ガス排出量等）
- その他：品質・設置場所と面積・利用形態（基幹・分散・使い易さ）等



後悔しなくてすむ選択とは！

太陽光発電の可能性

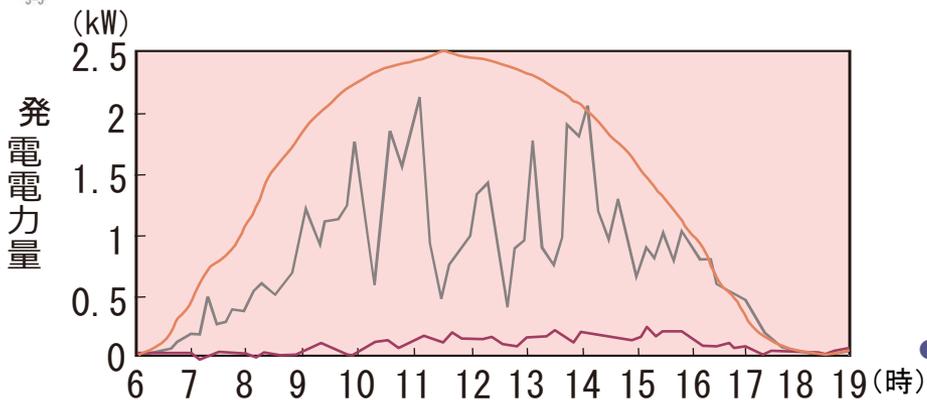
日本の太陽光発電導入量（出力）の推移



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

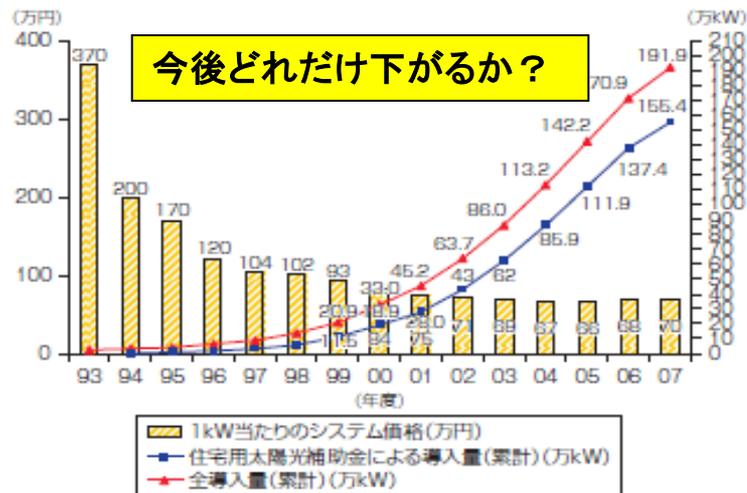
3-5

出典：IEA資料



容量3.2kW、北緯34.4°東経132.4°方位角0(真南)、傾斜角30°の場合

第 213-5-2 太陽光発電の国内導入量とシステム価格の推移



(出所) 資源エネルギー庁調べ

● 特徴

- 不安定：天候に左右・夜間はゼロ
→設備利用率12%
バックアップ電源が必要
基幹電源・電池・揚水など

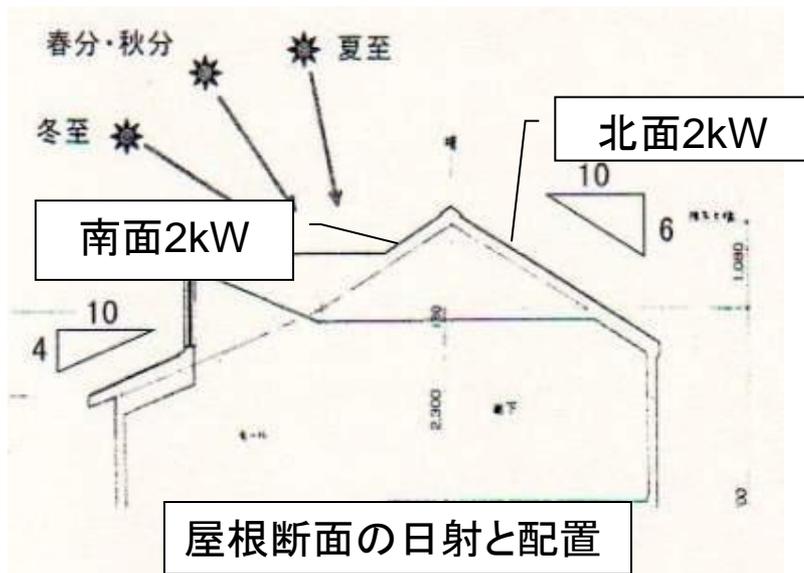
- 希薄
- 高コスト
→どこまで下がるか？

● 課題は

コスト・面積・不安定性

家庭における太陽光発電使用例(友人の事例)

Willingness to Pay の好事例

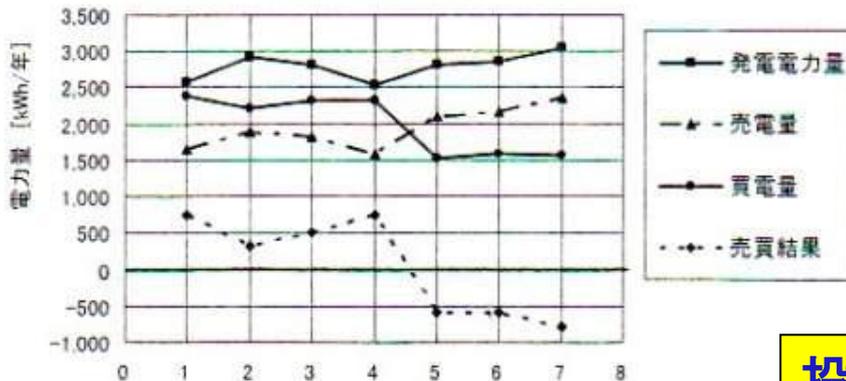


- 設備容量 4kW
 - 南面2kW・北面2kW
- 設備利用率
7.95%/年 (7年平均)

- 年間収支 +1.8~2.6万円
 - 2007年以降省エネの成果
- 年間利得 12万円程度
 - 投資回収期間 27年程度

売値にもよるが

- その他
 - 発電量最大は4月~入梅の間
 - 夏季は高温で電池効率低下
 - 4~8月は北面も南面なみ

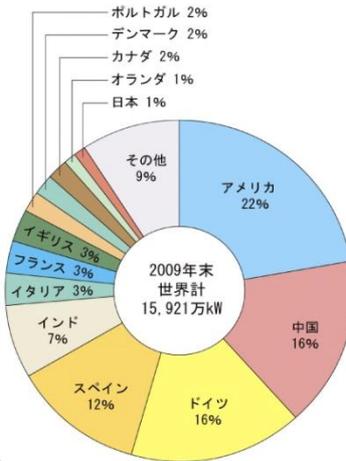
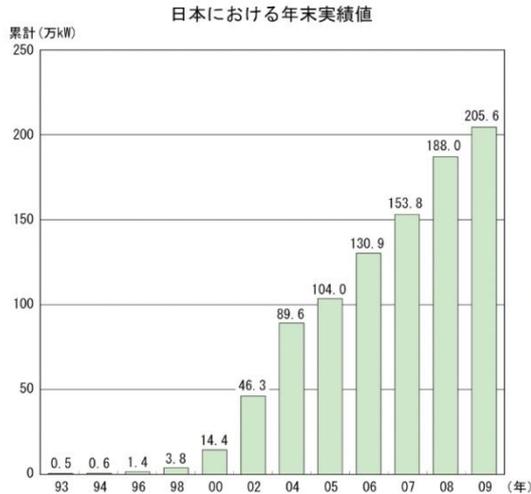


年間収支の変化

投資回収には期間を要するが、家庭内の需要の効果的な調整により省エネ・節エネ可能 …Willingness to Pay !

風力発電の可能性

日本の風力発電導入量（出力）の推移



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

3-6

出典: NEDO資料



- 大規模風力発電のコスト
 - 発電コスト 10-14円/kWh
 - 建設コスト 21-24万円/kWh

欧州の建設コスト

- 陸上 20-30万円/kWh
- 洋上 40-60万円/kWh

- 利用可能量（風力発電協会2009年4月）

- 陸上2500万kW
- 洋上5600万kW（着床・浮体）
- 合計8100万kW

（環境省の導入ポテンシャル調査ではFIT対応シナリオにより変わる）

特徴

- 不安定：天候に左右
 - 設備利用率20%
 - バックアップ電源が必要
 - 基幹電源、電池・揚水

- 希薄

- 課題は

コスト・面積・不安定性

自然エネルギーの実力

- **太陽光発電** $10\text{m}^2/\text{kW} \cdot 60\text{万円}/\text{kW}$
 - **住宅1000万戸の屋根に3.5kWの設備設置**
 - **総発電容量** $3.5\text{kW} \times 1000\text{万戸} = 3500\text{万kW}$
 - **年間総発電量** **設備利用率12%として**
 - $3500\text{万kW} \times 24\text{h} \times 365\text{日} \times 0.12 = 370\text{億kWh}$
 - **ABWR 約3機分に相当**
- **日本の電力の10% 1000億kWh/年 を**
 - **太陽光で賄う場合**
 - **設備要領1億kW (設備利用率12%) →60兆円、1000km²の面積が必要**
 - **風力で賄う場合**
 - **設備要領5000万kW(設備利用率20%) →2MW×25000基、10兆円、面積5000km²が必要→千葉県の面積**

新エネルギーの評価と課題

	太陽光発電	風力発電	廃棄物発電 (バイオマス発電を含む)
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ○ 枯渇する心配がない ○ 発電時にCO₂等を出さない ○ 需要地に近いため送電ロスがない ○ 需要の多い昼間に発電 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 枯渇する心配がない ○ 発電時にCO₂等を出さない 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 発電に伴う追加的なCO₂の発生がない ○ 新エネルギーの中では連続的に得られる安定電源
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ○ エネルギー密度(注)が低く、火力・原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要 ○ 夜間は発電できず、さらに雨、曇りの日は発電出力が低下し不安定 ○ 設備にかかるコストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ○ エネルギー密度が低く、火力・原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要 ○ 風向き・風速に時間的・季節的変動があり、発電が不安定 ○ 風車の回転時に騒音が発生 ○ 風況の良い地点が偏在 ○ 設備にかかるコストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 発電効率が低い。 ○ ダイオキシンの排出抑制対策や焼却灰の減量化などの更なる環境負荷低減が必要
発電コスト	49円/kWh	9~14円/kWh	[大規模] 9~11円/kWh

(注) 発電コストは1999年度導入事例に基づいた試算

エネルギー密度とは単位面積あたりでどれくらい発電できるかを表す数値

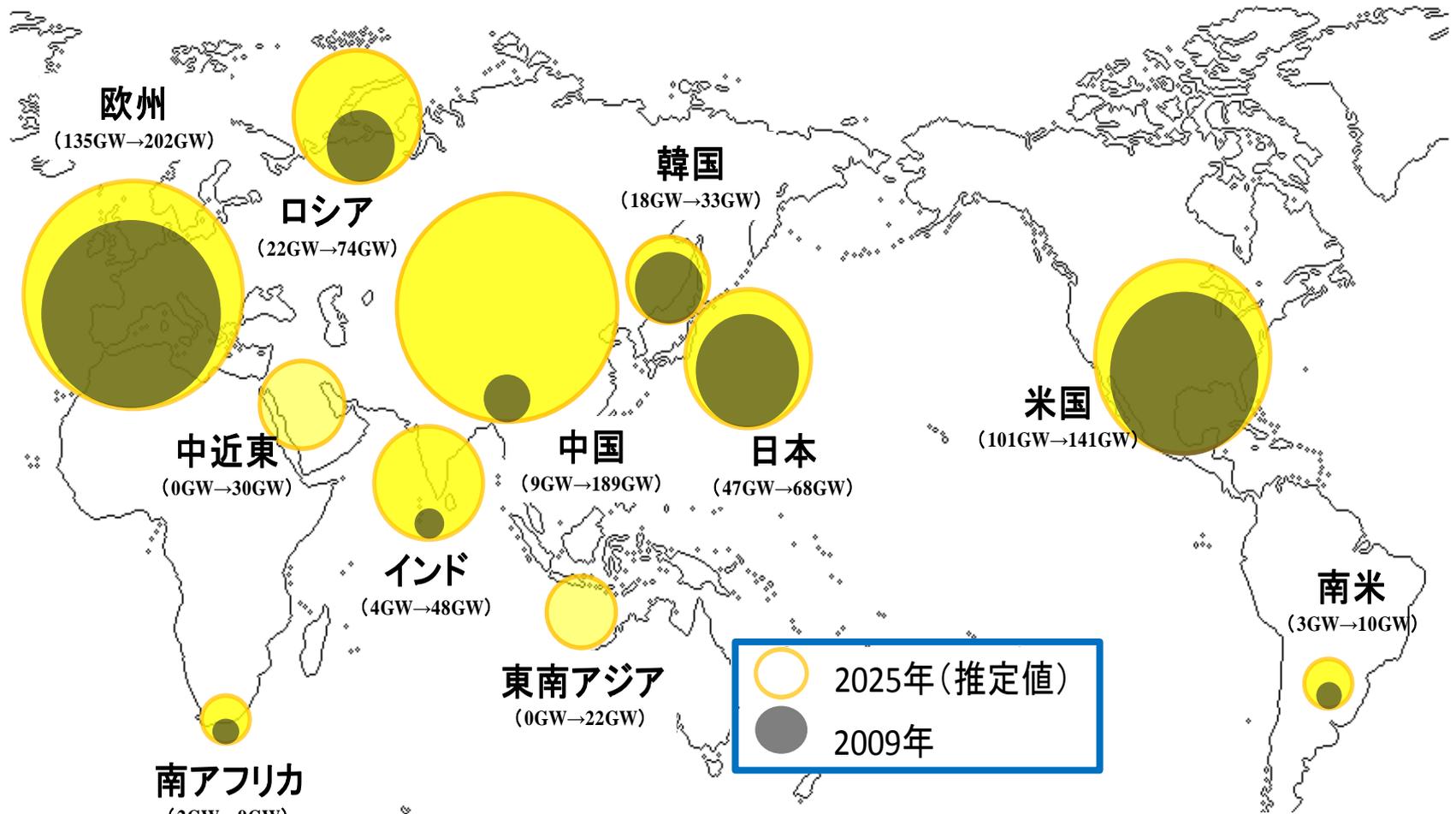
出典：資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会「新エネルギー部会中間報告（平成21年8月）」他

エネルギー政策のゆくえ

見直し結果は？

- 現在の日本のエネルギー政策の骨子 2030年目標
 - エネルギー自給率倍増 **4割に** (現状18%)
 - ゼロ・エミッション電源 **70%** (現状38%)
 - 再生可能エネルギー **20%** (現状5%) → **高まる・早まる？**
**2020年代の早い時期に達成・住宅1000万戸に太陽光
ドービルG8サミットで菅総理発言**
 - 原子力**53%** (現状10%) → **遅れる！**
 - 2020年 新設9基 既設稼働率向上85%
 - 2030年 新設14基以降 稼働率向上90%**原子力の遅れは化石燃料（特に天然ガス）でカバーすること
になるう！**
 - 暮らしのエネルギー消費による**CO₂半減**
 - 産業部門は世界最高のエネルギー利用効率維持強化
- **どうなる 世界の原子力リネサンス！**

世界各国の原子力発電所建設計画



○ 2025年(推定値)
● 2009年

※(カッコ書き)は2025年に予想される設備容量と現在の設備容量(GW)

世界原子力協会(WNA)2010年1月のデータを基に作成

ビジネスチャンスを生かせるか・失うか？

まとめ

- エネルギー不足時代への対応が必要になるか？
 - 暮らしが原点に踏み込んだ省エネと節エネ
 - 温暖化抑制策のかなめは化石燃料からのCO2低減
 - 化石資源からゼロエミッション資源へ・・・時間軸は！
 - 自然エネルギーが基幹電源になれるか？
 - 自然エネルギーの賢い活用は必要だが
 - やはり基幹エネルギーは原子力
 - 原子力の活用
 - 更なる安全の追及
 - 国民の理解がかなめ
 - 世界は原子カルネサンス
 - 東日本大震災を踏まえた今後のエネルギー政策 私の予想
 - 自然エネルギーを増大・・・量・希薄さ(必要面積)・不安定性から限界
- 脱原子力は可能か？
- 原子力の遅れは当面化石燃料でカバー？
地球温暖化問題に温暖化抑制策の他温暖化対策も必要となるか？

参考1 地球温暖化 その要因と対策

IPCC第4次報告より(2007年11月)より

- **温暖化は疑う余地がない**
 - 温度上昇、雪氷融解、海面上昇
- **20世紀半ば以降の世界平均気温上昇のほとんどは人為起源の温室効果ガスの増加による可能性が高い**
 - 人間活動の影響は海洋昇温、大陸平均気温、極端な気候といった面にも影響
- **将来予測**
 - 21世紀中の気温上昇1.1~6.4°C、海洋酸性化、北極海氷減少、熱波・台風・洪水頻発
- **気温上昇を2°C以内にするには気候政策の追加が必要**

→

化石エネルギーから排出されるのCO₂削減
地球環境問題はエネルギー問題！
エネルギーだけで地球温暖化をすべて解決できるわけではないが！

参考2 深刻化するエネルギー問題

- **資源の枯渇**
- **世界の石油の半分は取りつくした**
 - アメリカは今や輸入国
 - 生産量は今がピーク

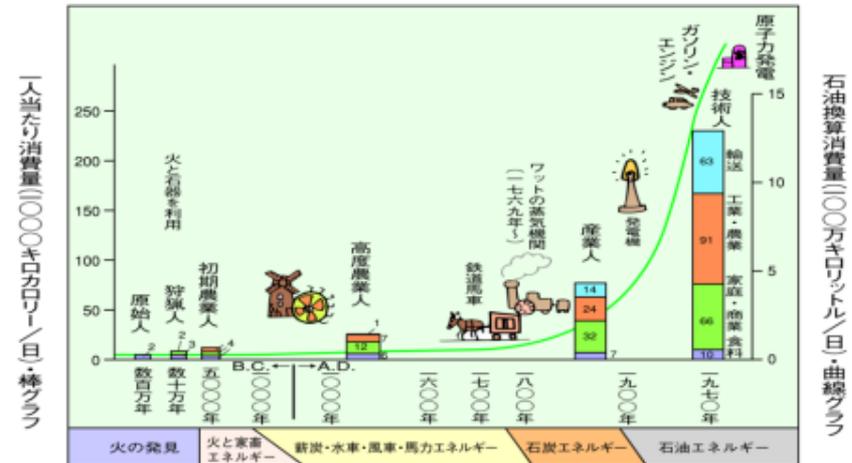
在来型石油は2006年に生産量のピークを迎えた可能性大
- **需要の増大**
- 生活レベルの向上に人口増大が拍車

資源獲得戦争

石油価格の増大

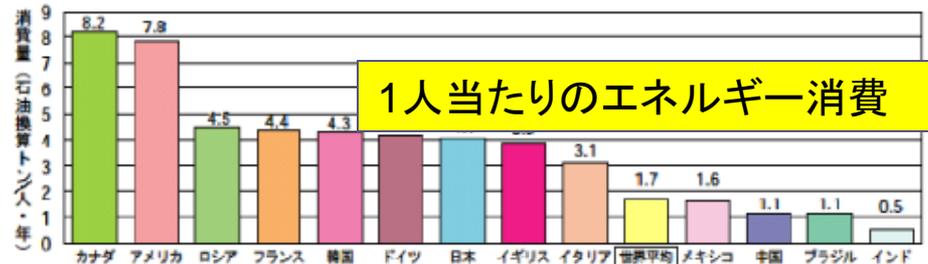
- **日本のエネルギー問題**
- 輸入に頼ってきた日本の発展
- エネルギー争奪戦に生き残るには！

人類とエネルギーのかかわり



原始人 四万年前の東アフリカ。食料のみ。
狩猟人 十萬年前のヨーロッパ。道具に薪を使用した。
初期農業人 B.C.5000年の肥沃三角州地帯。穀物を栽培し家畜のエネルギーを使った。
高度農業人 1400年の北西ヨーロッパ。農産物石炭・水・風力を使い、家畜を輸送に利用した。
産業人 1875年のイギリス。蒸気機関を使用した。
技術人 1870年のアメリカ。電力を使用、食料は家畜用を含む。

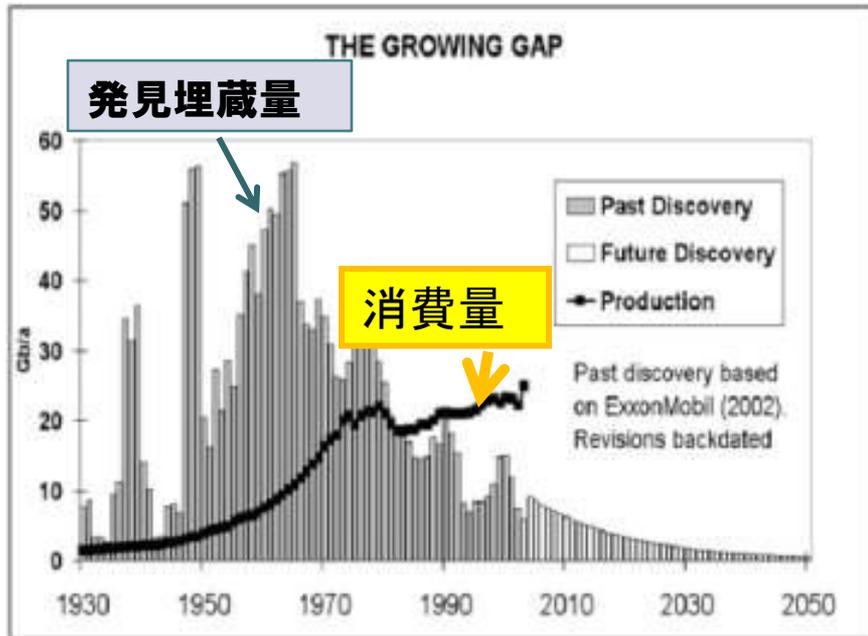
山本・知念氏の図表集「エネルギーと暮らし」



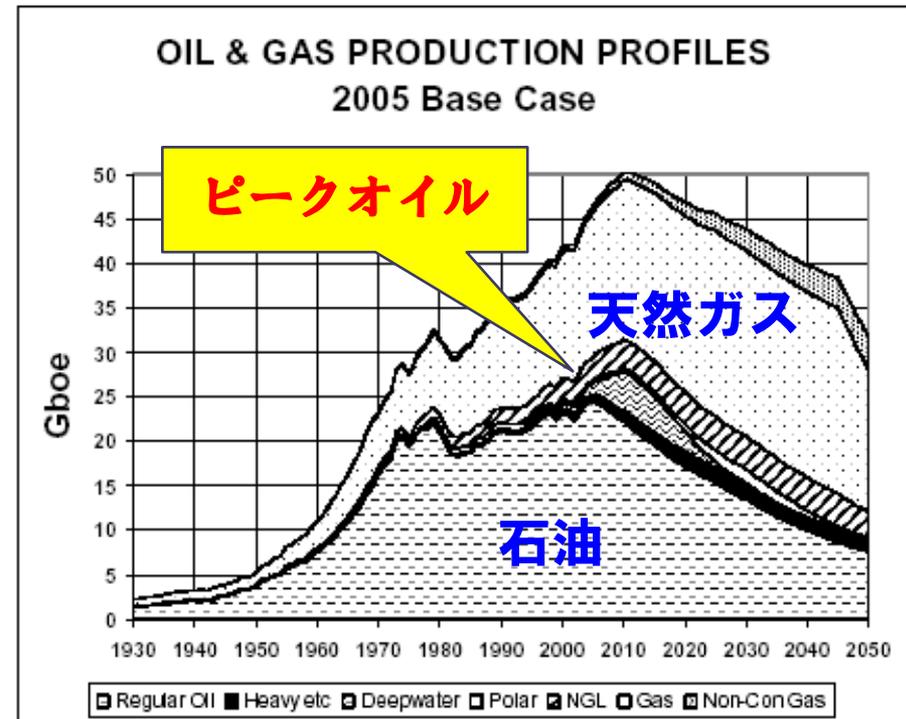
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

出典: ENFRGY BALANCES OF OECD COUNTRIES 2002-2003
ENERGY BALANCES OF NON-OECD COUNTRIES 2002-2003

参考3 石油はいつまで供給できるか？



1980年以來、発見する油量よりも速い速度で石油を消費し、増え続ける消費と減少する発見埋蔵量の差は広がり続けている。石油は現在、発見される埋蔵量の4倍以上の速度で消費、過去の発見埋蔵量を食い潰しており、ますます危機的状況になってくる。



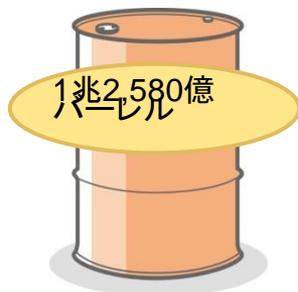
ピークオイルは近い！

安くて豊富な化石燃料時代の終焉

参考4 世界のエネルギー資源確認埋蔵量

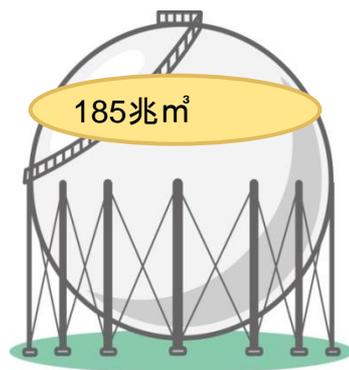
非在来型化石燃料もあるが！
シェールガス、オイルサンド等

42.0年



石油
(2008年末)

60.4年



天然ガス
(2008年末)

122年



石炭
(2008年末)

高速増殖炉の利用により約2500年に…
準国産エネルギー

100年

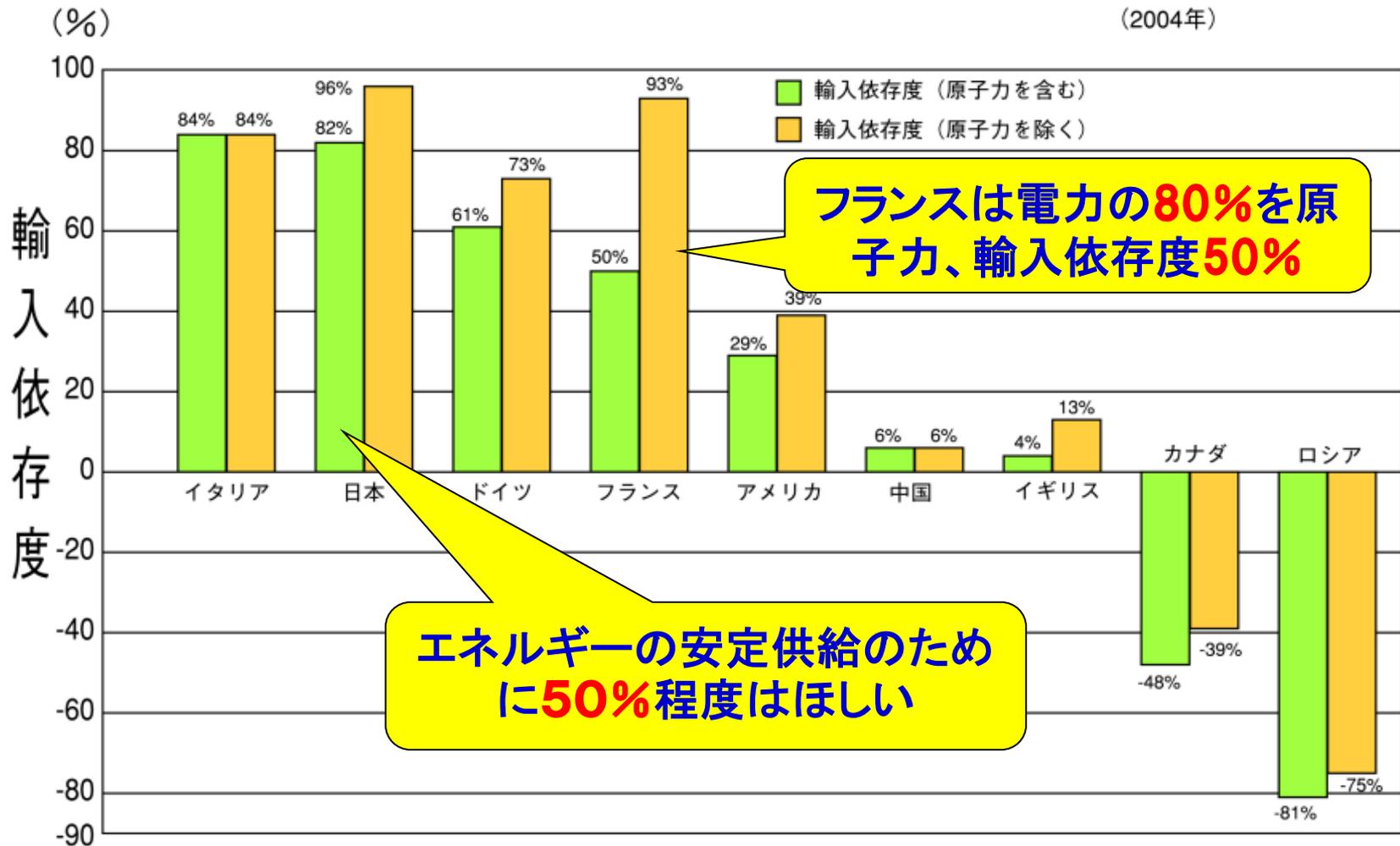


ウラン
(2007年1月)

- 石油、天然ガス、石炭可採年数＝確認可採埋蔵量／年間生産量
- ウラン可採年数＝確認可採埋蔵量／年間消費量

参考5 脆弱な日本のエネルギー

主要国のエネルギー輸入依存度

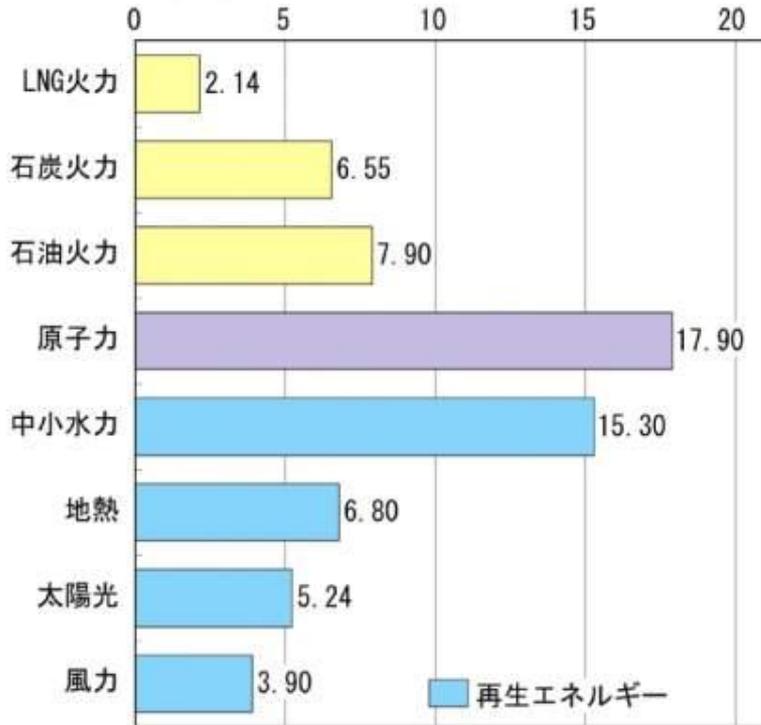


(注) カナダ、ロシアはエネルギーの純輸出国

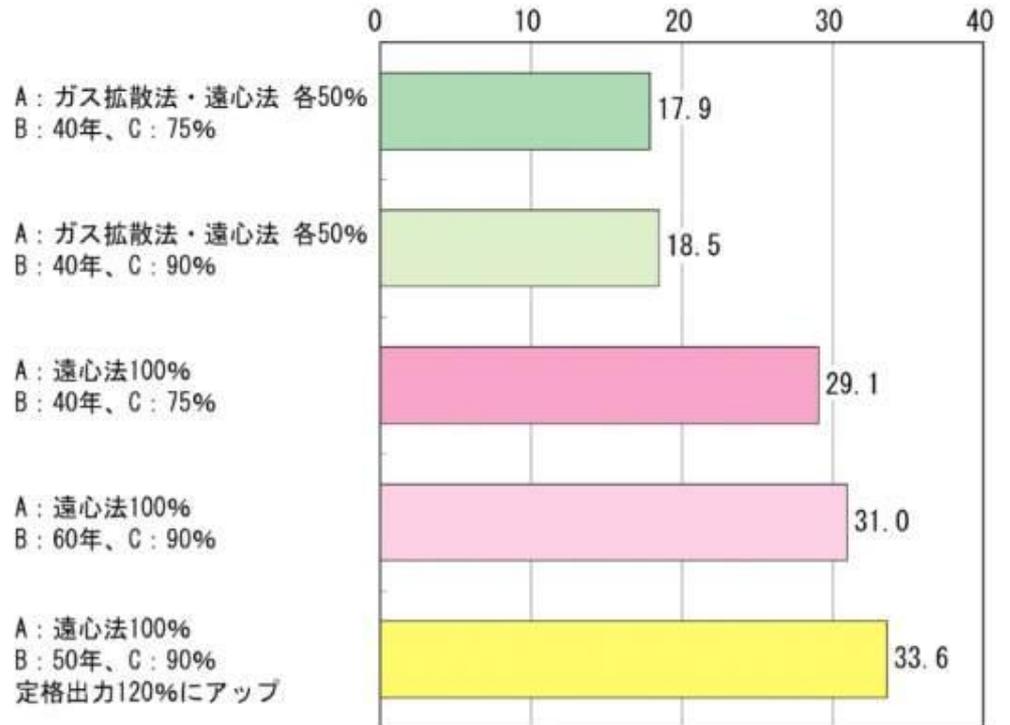
出典：ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES 2003-2004
ENERGY BALANCES OF NON-OECD COUNTRIES 2003-2004

参考6 各電源のエネルギー収支比

各電源のエネルギー収支比 (EPR)



原子力発電のエネルギー収支比 (EPR)



A: ウラン濃縮法
B: 発電所耐用年数
C: 発電所設備利用率

(注1) エネルギー収支比 (EPR) = 出力エネルギー / 入力エネルギー (EPR: Energy Profit Ratio)

入力エネルギー = 設備エネルギー + 運用エネルギー

設備エネルギーは、発電所の建設や燃料採掘等にかかわるもの

運用エネルギーは、発電所の運転・補修・燃料輸送・廃棄物処理等にかかわるもの

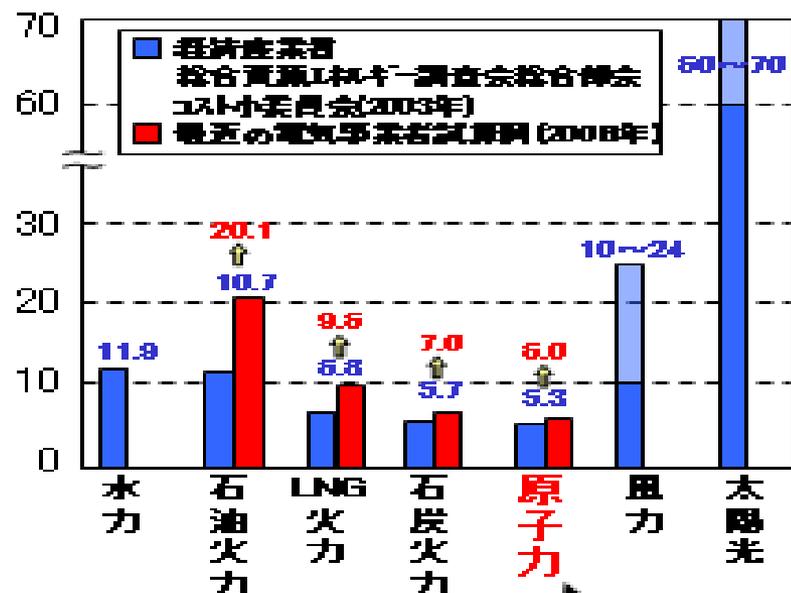
出力エネルギー = 設備容量 × 設備利用率 × (1 - 所内利用率)

設備利用率は、石炭・石油・LNG・原子力とも75%、水力45%、風力35%、太陽光15%を想定

(注2) ここでは、日本で発電を行った場合の評価結果を示している。木質ペレットは熱量での評価

参考7 市場原理による供給と環境影響抑制

(円/kWh)



条件

耐用年数 : 40年
 設備利用率 : 80% (水力45%)
 燃料価格 :
 石油 = 27.4 → 90.7 \$/バレル
 石炭 = 35.5 → 76.5 \$/トン
 LNG = 2.8 → 5.3 万円/トン
 ウラン = 10.1 → 95.0 \$/bU308 (鉱石)

2002年度平均
(ユスト小委のベース)

2008年2月
(試算例のベース)

原子力: 再処理費用、再処理設備廃止費用、
高レベル廃棄物処理・処分費、廃炉等含む

福島震災影響はどの程度か?

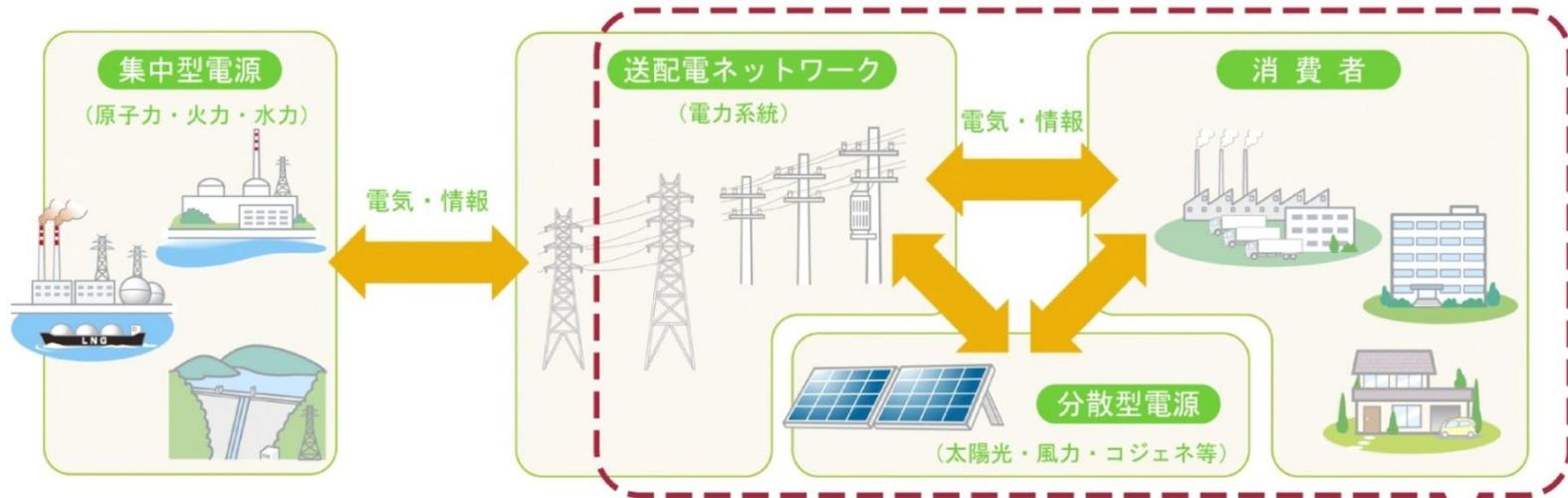
環境影響 CO2排出量 g-CO²/kWh

石炭火力 975 石油 742 LNG火力 608 LNG火力(複合) 519

太陽光 53 風力 29 原子力 22 地熱 15 中小水力 11

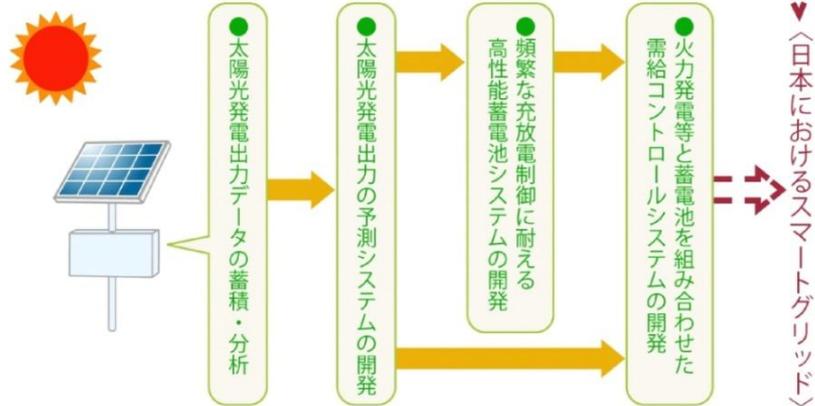
参考8 電源の効率的な使い方・適正な需要の調整

日本におけるスマートグリッド概念図



スマートメータによる情報活用
⇒ 需給バランスの最適化

自然エネルギー
量と不安定性のカバーが必要
カバーできるのは安定電源
ソフトだけでは限界！

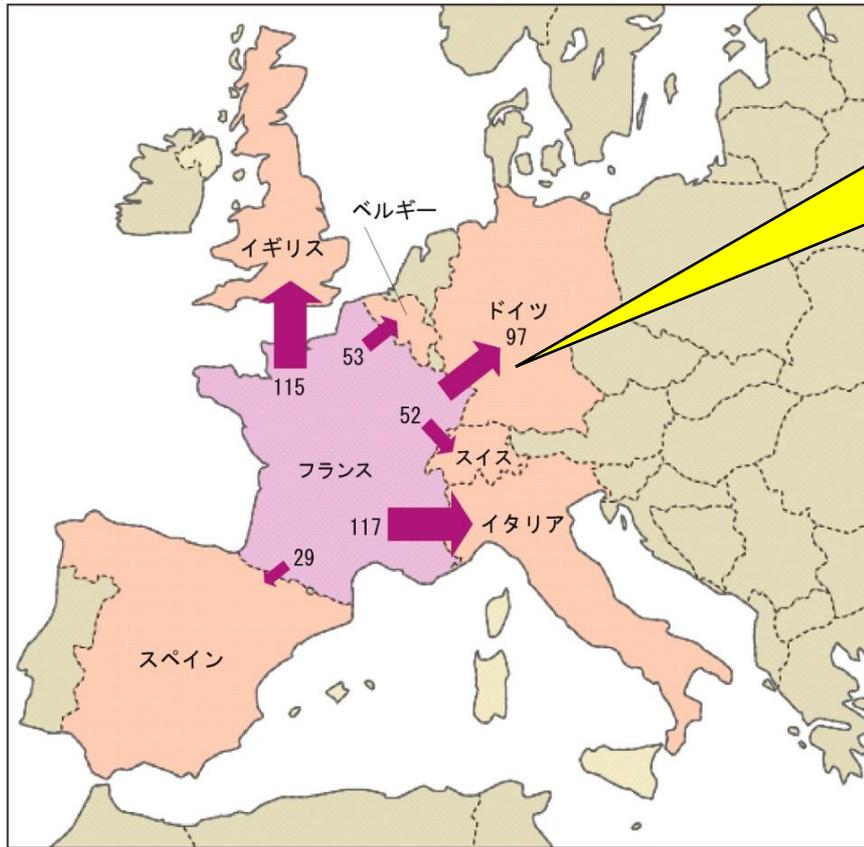


参考9 ヨーロッパの電力調整

フランスを中心とした電力の輸出入

(2008年)

単位：億kWh



フランスはピーク時電力をドイツに輸出！
ドイツ、イタリアの脱原子力はどうか？

フランスからの輸出電力量 (A)	463億kWh
フランスの発電電力量 (B) (送電端)	5,492億kWh
輸出比率 (A/B)	8%

日本はネットワーク弱体

(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある