

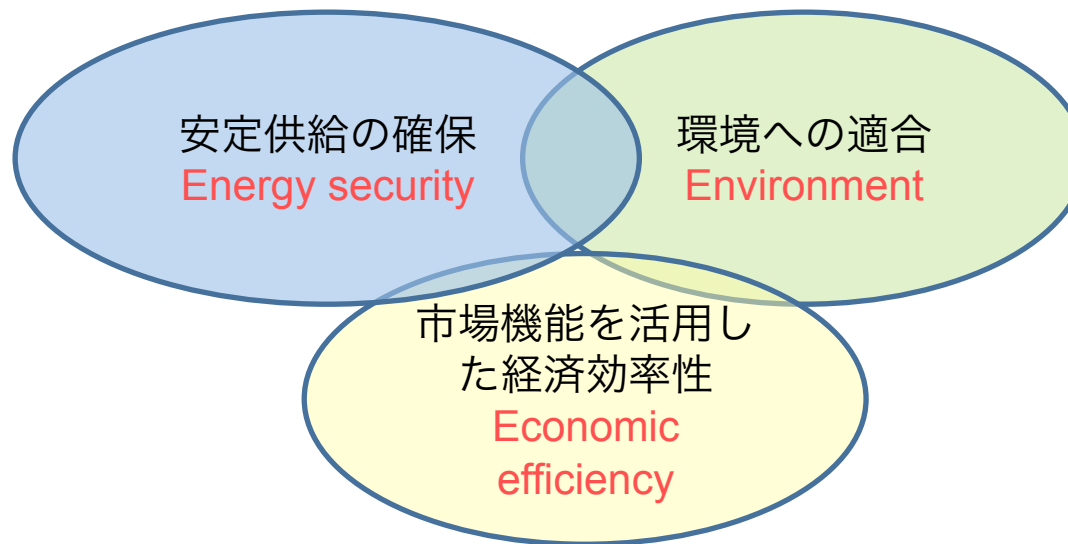
# エネルギー問題と スマートグリッド

東京電機大学 工学部

加藤 政一

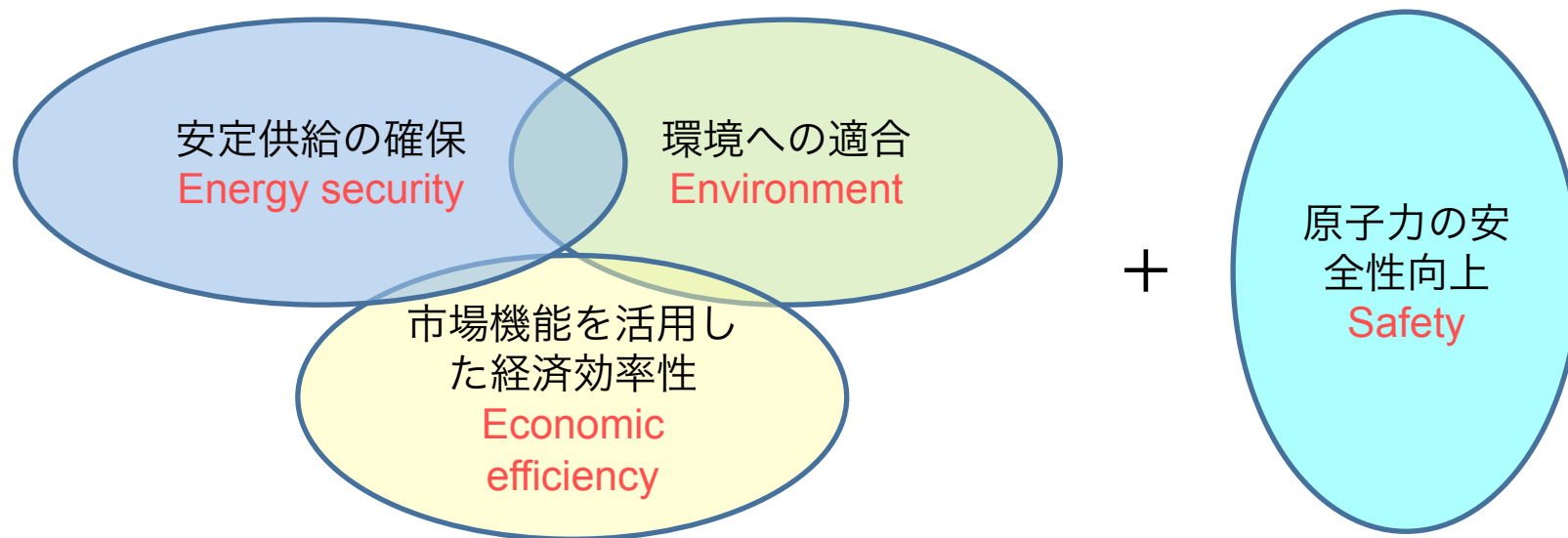
# これまでのエネルギー政策

- 現行のエネルギー基本計画は、「3E」を同時に満たす基幹エネルギーとして原子力を位置付け、「原子力を含むゼロ・エミッション電源比率50% [2020年]、約70% [2030年] 以上」を目標。
- CO<sub>2</sub>・化石燃料消費を減らしていくためには、「原子力開発の推進」、「再生可能エネルギー電源の導入拡大」、「省エネの推進」、「火力発電の高効率化・低炭素化」などを目指す。



# 大震災後のエネルギー政策の見直しの方向性

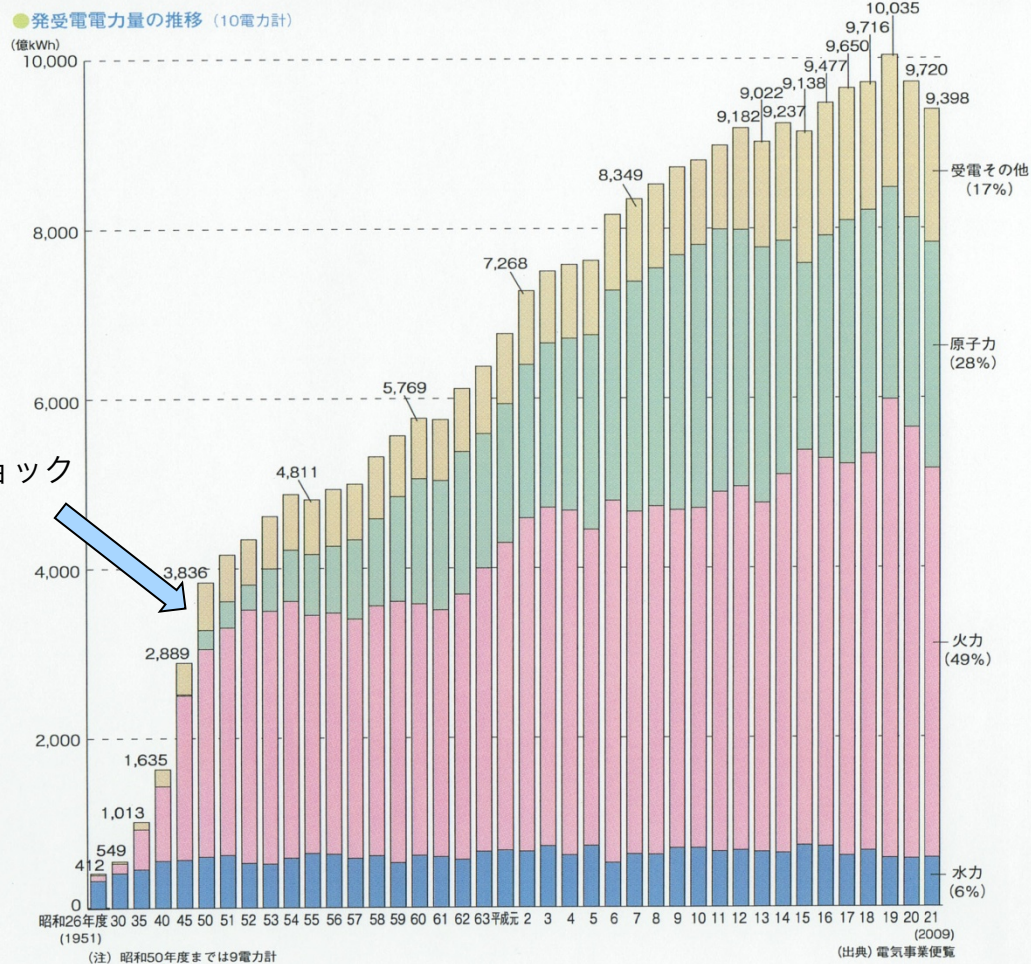
- 原子力の安全、信頼が大きく揺らいでいることを鑑みれば、依存度低下は不可避。「原子力の安全性向上」は絶対条件。
- CO<sub>2</sub>・化石燃料消費を減らしていくためには、「再生可能エネルギー電源の導入拡大」、「省エネの推進」、「火力発電の高効率化・低炭素化」などを、これまで以上に推進。



# 電源種別発電電力量

## a-1 発受電電力量

- 発受電電力量とは、発電電力量と受電電力量の合計。
- 一般電気事業者の発受電電力量は、自らが発電した電力量に、卸事業者等から受電した電力量を加えたもの。



2010.12

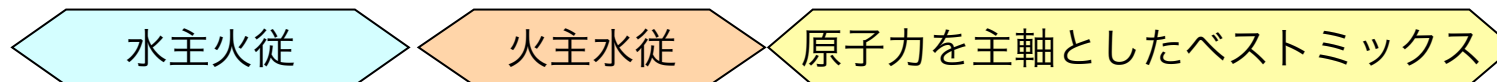
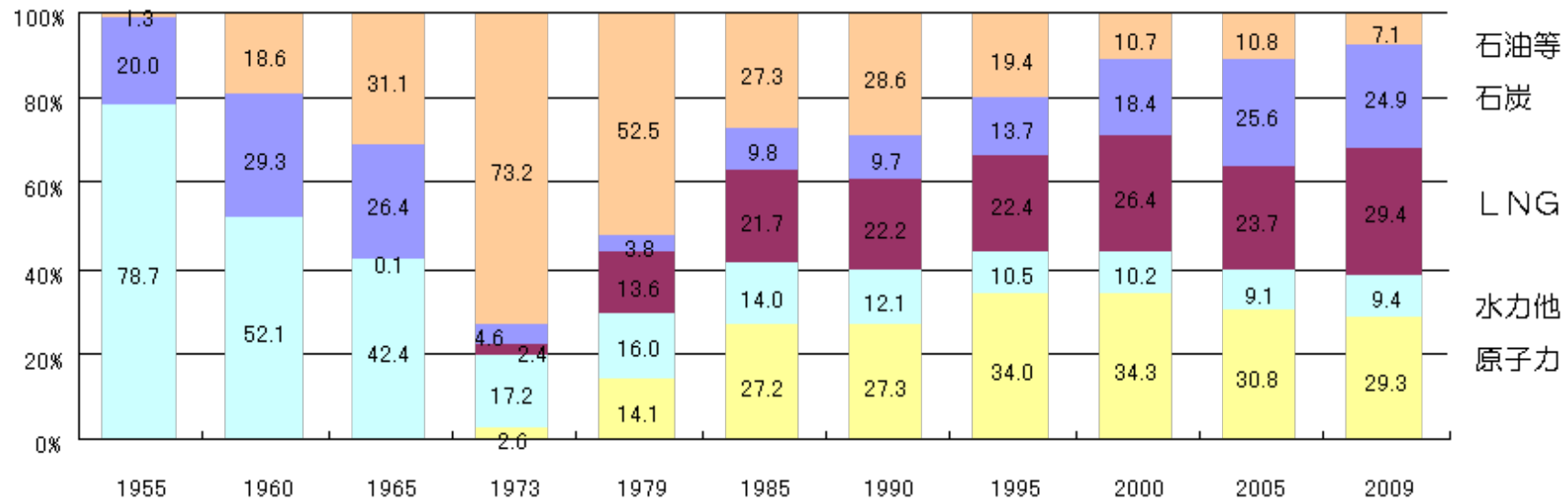


● 年度別発受電電力量

出典：電気事業連合会HP

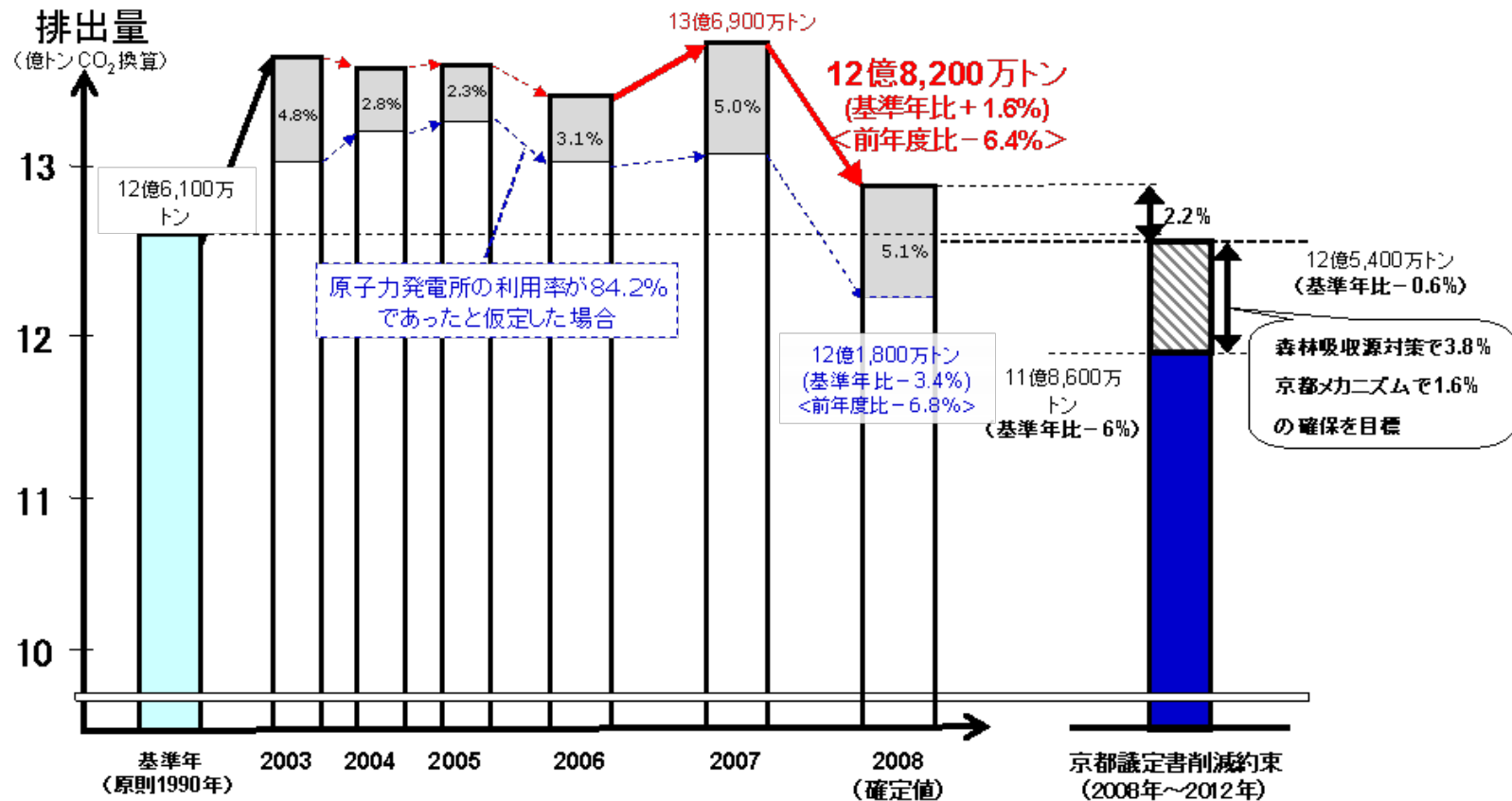
# 電力10社の電源構成比（発電電力量ベースの推移）

- 原子力：約3割 水力：約1割 火力：約6割
- CO<sub>2</sub>排出原単位（2009年度実績）： 0.412kg-CO<sub>2</sub>/kWh  
[京メクレジット反映後 0.351kg-CO<sub>2</sub>/kWh]



# 我が国の温室効果ガス排出量

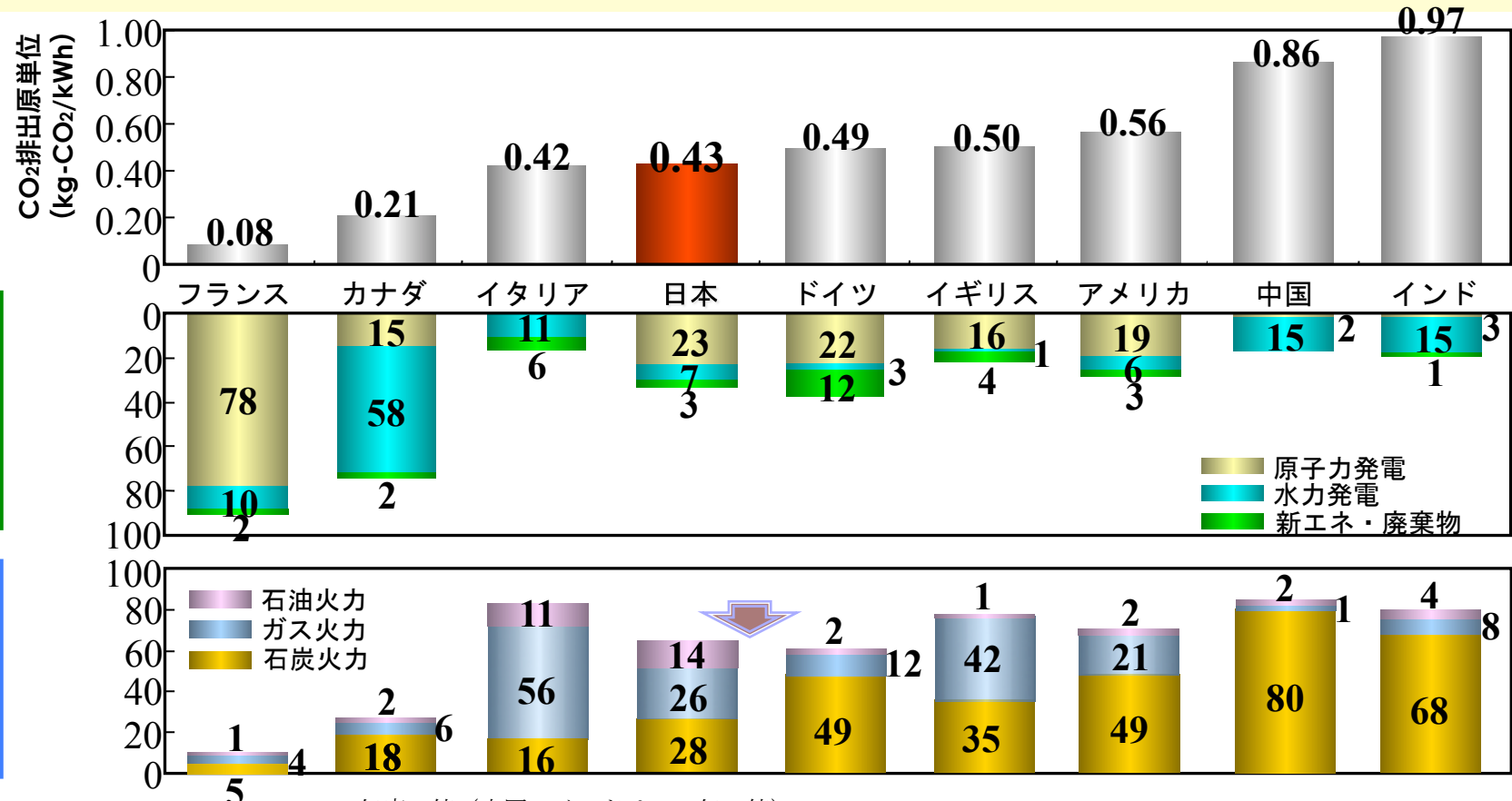
- 日本の2008年度の温室効果ガス総排出量：12億8,200万トン、基準年比：1.6%の増。
- 京都議定書目標達成には2.2%の削減が必要（森林吸収源、京都メカニズムを除く）。



出典：環境省 報道発表資料

# 電気事業のCO<sub>2</sub>排出原単位の交際比較

■ 原子力比率の高いフランス、水力発電比率の高いカナダには及ばないものの、他の欧米主要国との比較では低い水準。

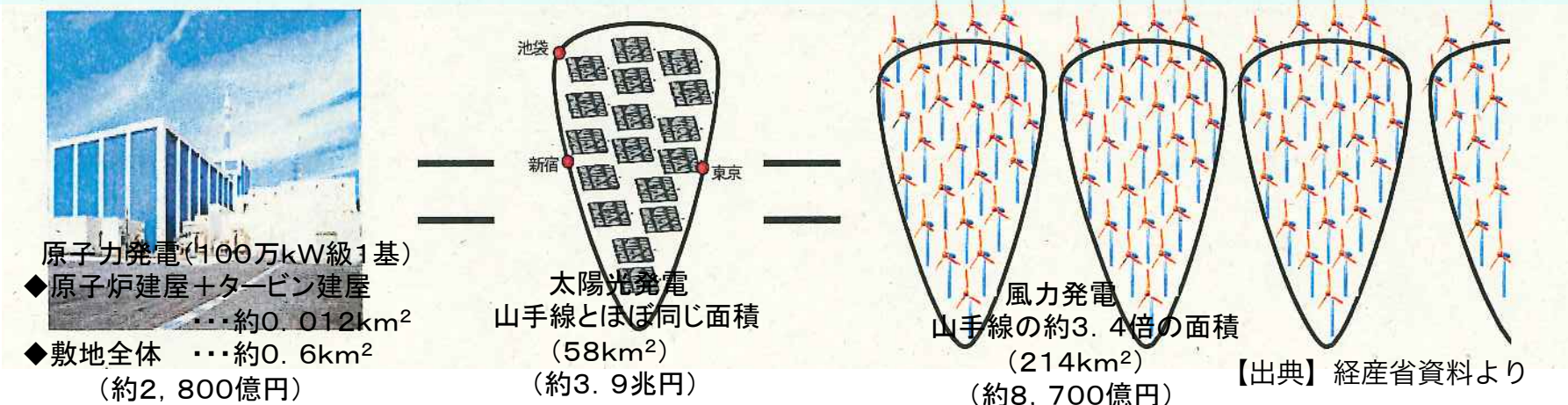


\* 2007年度の値 (中国・インドは2006年の値)  
 \* 出典: IEA Energy Balances of OECD Countries 2009Edition/ Energy Balances of Non-OECD Countries 2008Edition  
 \* 日本は自家発電設備も含む  
 \* CHPプラント (熱電併給) も含む

# エネルギー政策の見直し--再生可能エネルギー電源の導入拡大

- 太陽光発電や風力発電は、エネルギー密度が低いこと、気象の影響を受けるため設備利用率が低いことから**広大な敷地が必要**。
- 太陽光発電や風力発電の導入可能性については、日本の電力会社10社の発電容量を大きく上回る試算結果も散見。但し**農業、林業、水産業などとの関係が課題**。
- 現在は既存電源に比べて**高コスト**であること、**導入量が増加するにつれて系統安定化対策コストが増加すること**も課題。

- **長期の時間軸の中で、以下により再生可能エネルギー電源の割合を増やす必要**。
  - 太陽光、風力、中小水力、地熱、バイオマスなどの既に実用化されている電源は**固定価格買取制度により導入量を増やしつつコスト低減を図る**。
  - 太陽光発電の**高効率化**や**海洋エネルギー**など**新たな発電に関する研究・実証を推進する**。

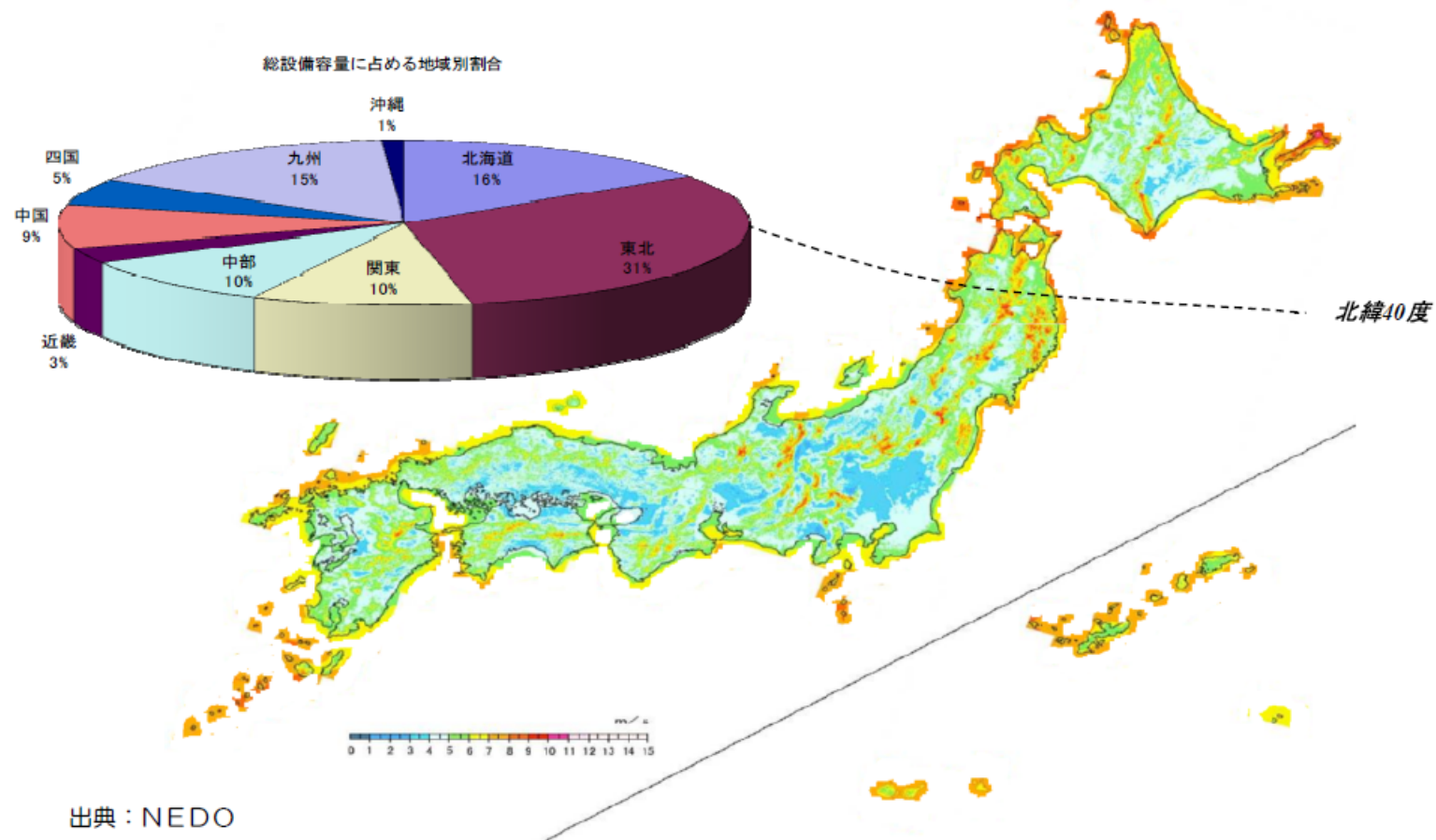




# 風力発電の適地

## 全国風況マップから見た風力発電の適地

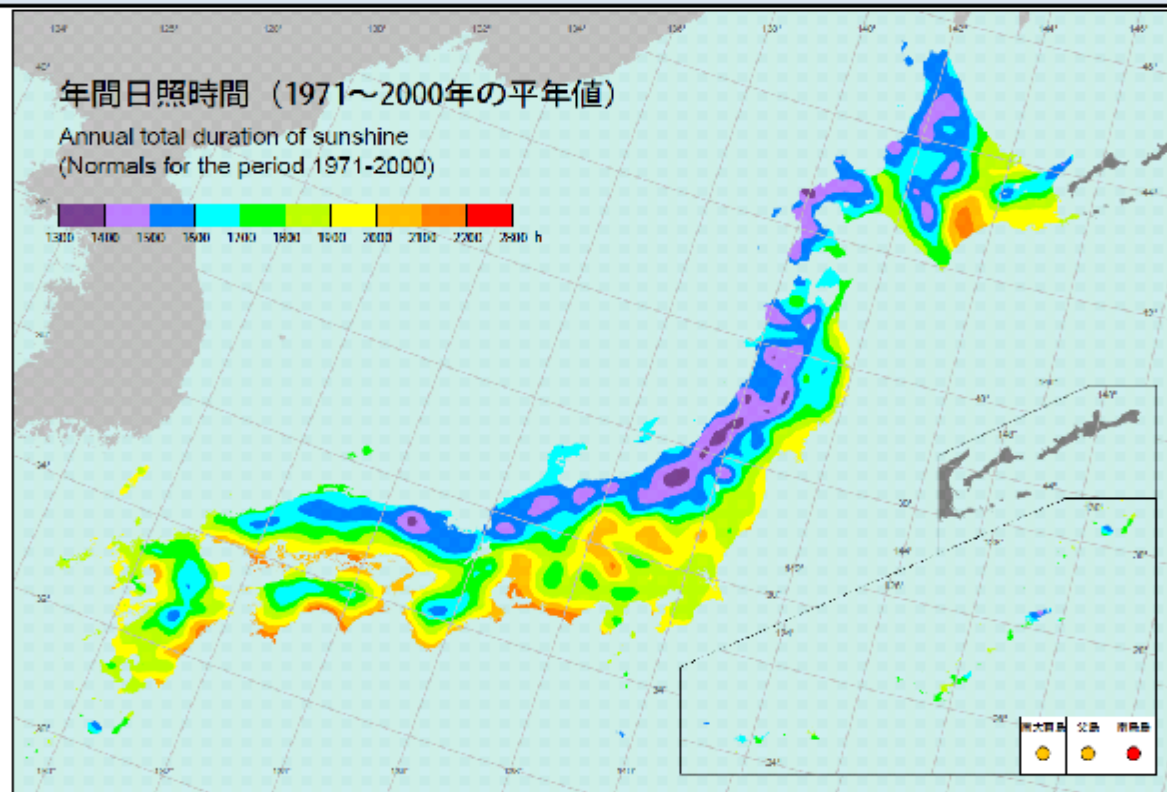
○風力発電の適地は、北海道や東北地方等北緯40度以北に多く、北海道、東北地方で全風力発電（設備容量ベース）のおよそ2分の1が設置されている。



# 太陽光発電の適地

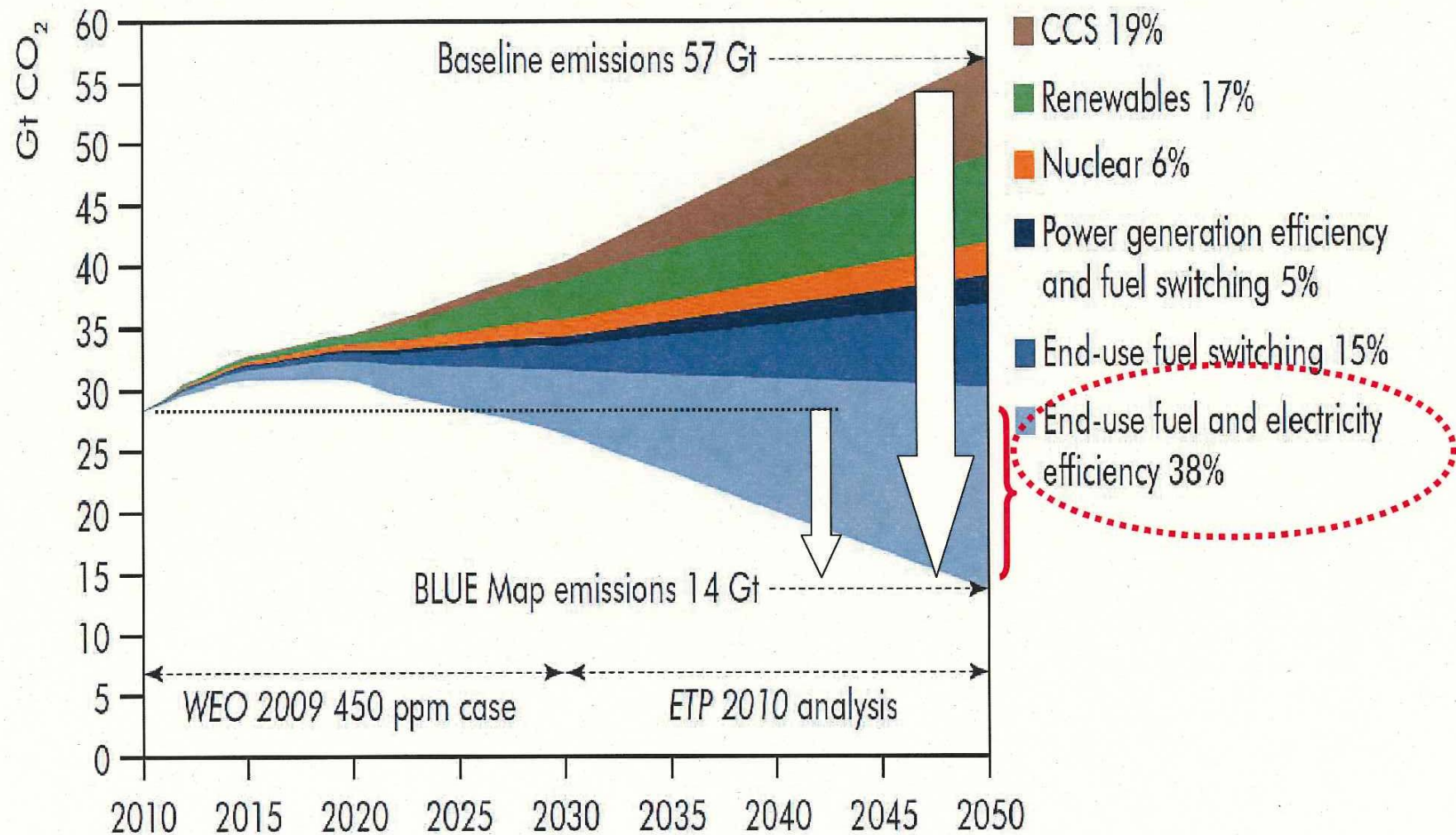
## 日照による太陽光パネル普及の偏在について② (各県の年間日照時間)

- ・ 日照時間には地域差が存在。



出典: 気象庁「平年値分布図」

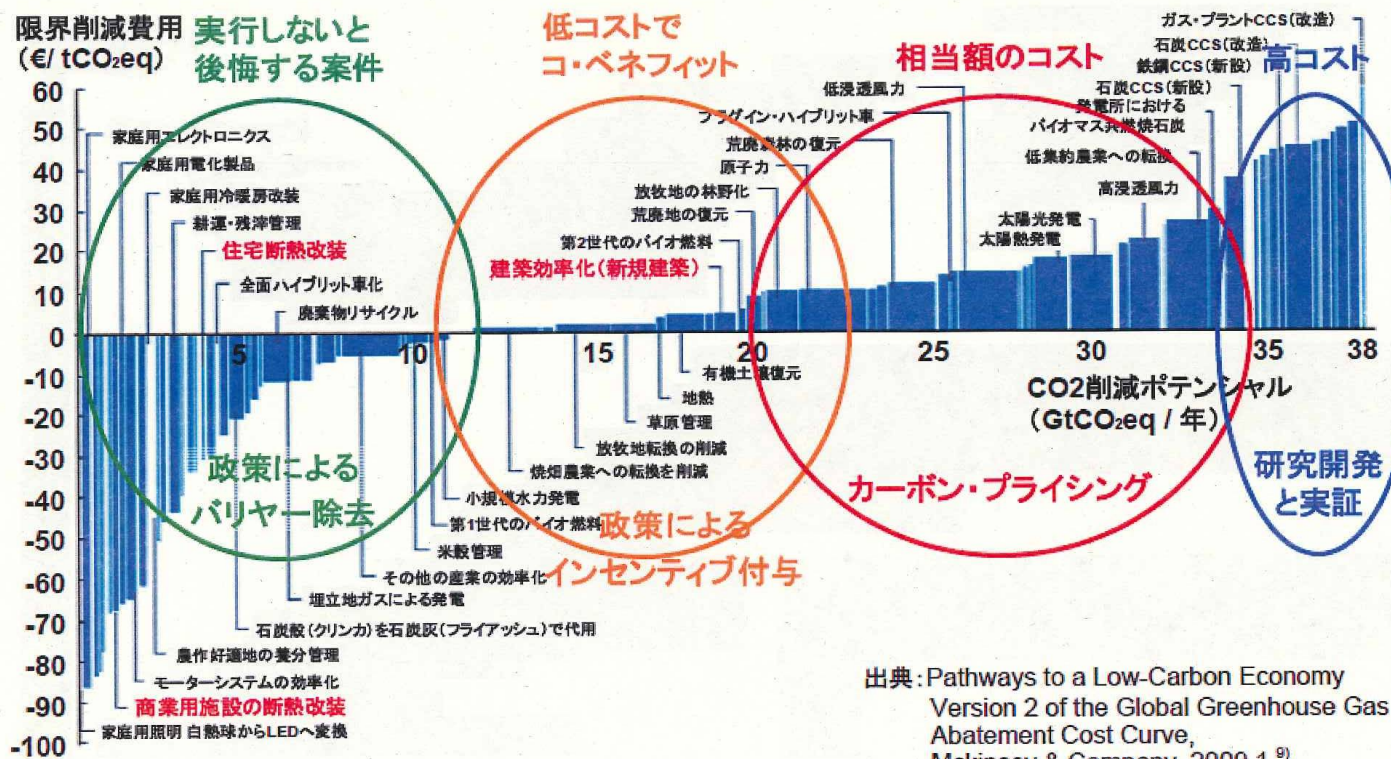
# エネルギー政策の見直し--省エネによるCO2削減



(Source : IEA Energy Technology Perspective 2010)

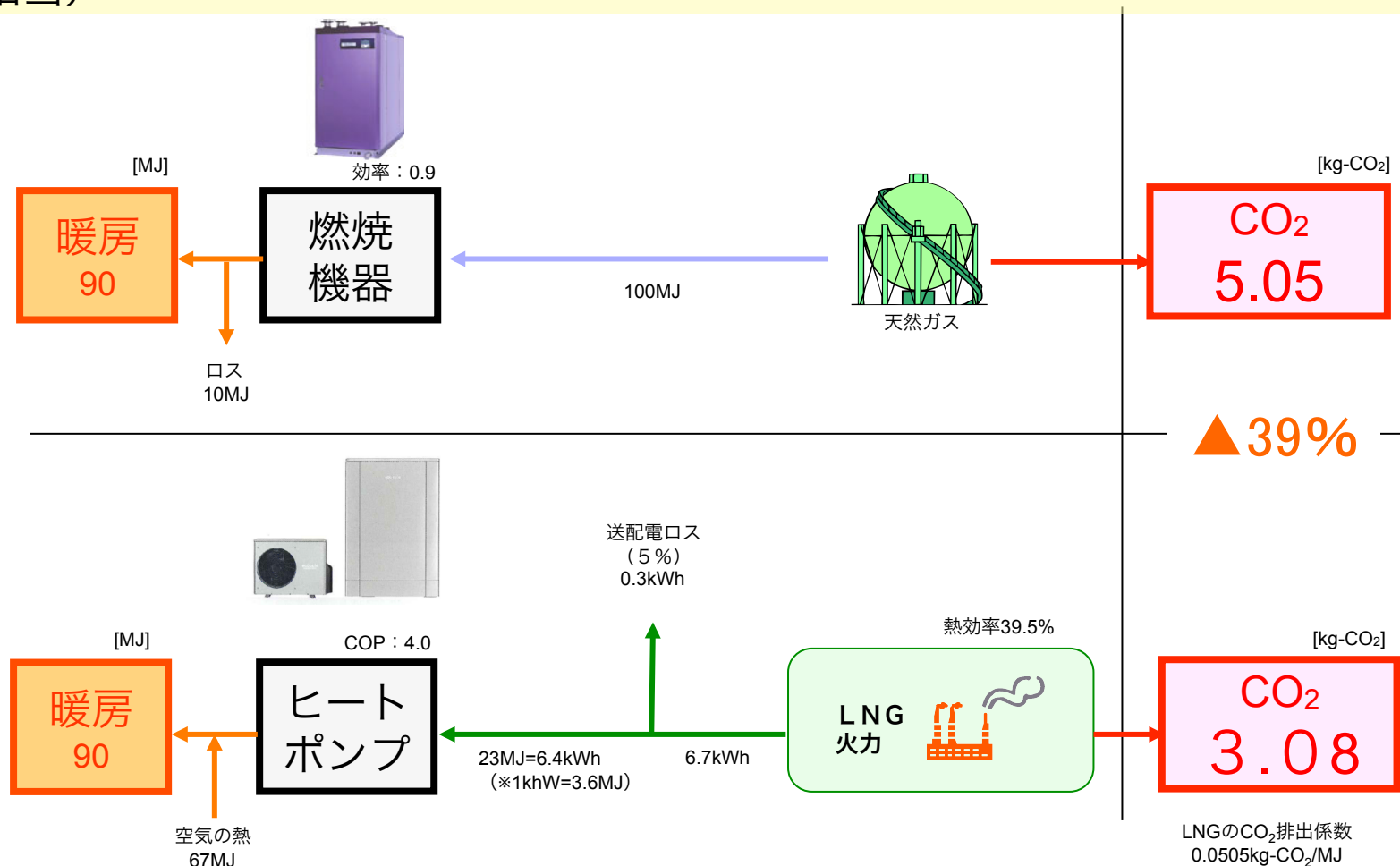
# 温室効果ガス削減のための限界費用カーブ

温室効果ガス削減のための限界費用カーブ(マッキンゼー試算)



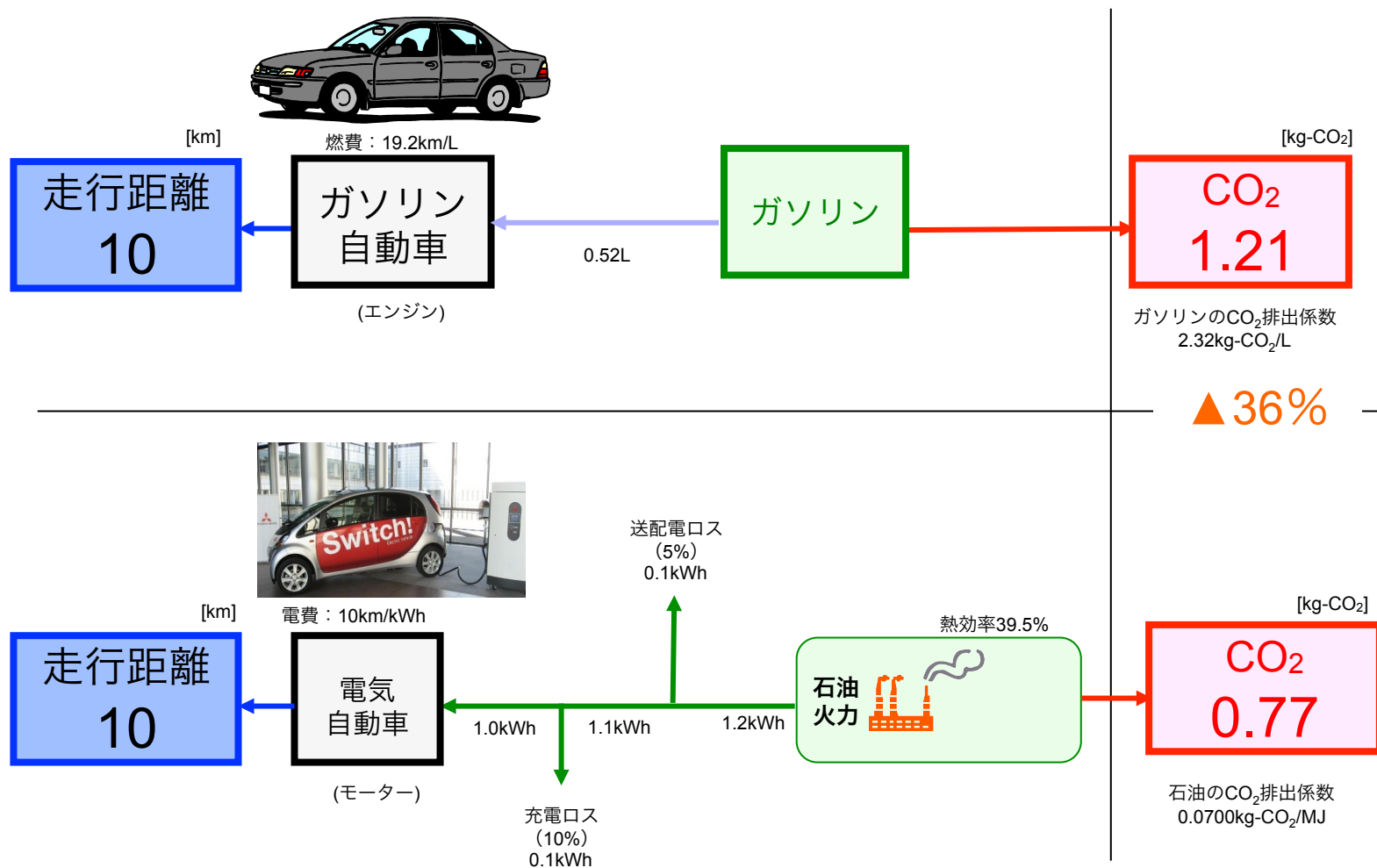
# 燃焼式ガス空調機ーヒートポンプ

- 家庭・産業・業務部門の冷暖房や給湯などを全てヒートポンプでまかなった場合のCO<sub>2</sub>削減効果は、日本全体で年間約1.4億t（日本のCO<sub>2</sub>排出量の約10%に相当）



# ガソリン自動車－電気自動車

- 軽自動車を全て電気自動車に置き換えた場合のCO<sub>2</sub>削減効果は、日本全体で年間約2,600万t（日本のCO<sub>2</sub>排出量の約2%に相当）



# エネルギー政策の見直し--火力発電の燃料転換

- 日本のCO<sub>2</sub>総排出量の約3割は火力発電所からの排出。原子力発電や再生可能エネルギーの電気を増やし、火力発電の電気を減らすことが重要。
- 当面はそれが難しいだけでなく、むしろ火力発電の電気が増える可能性があるため、火力発電の低炭素化を推進する必要。

## ■ 燃料転換

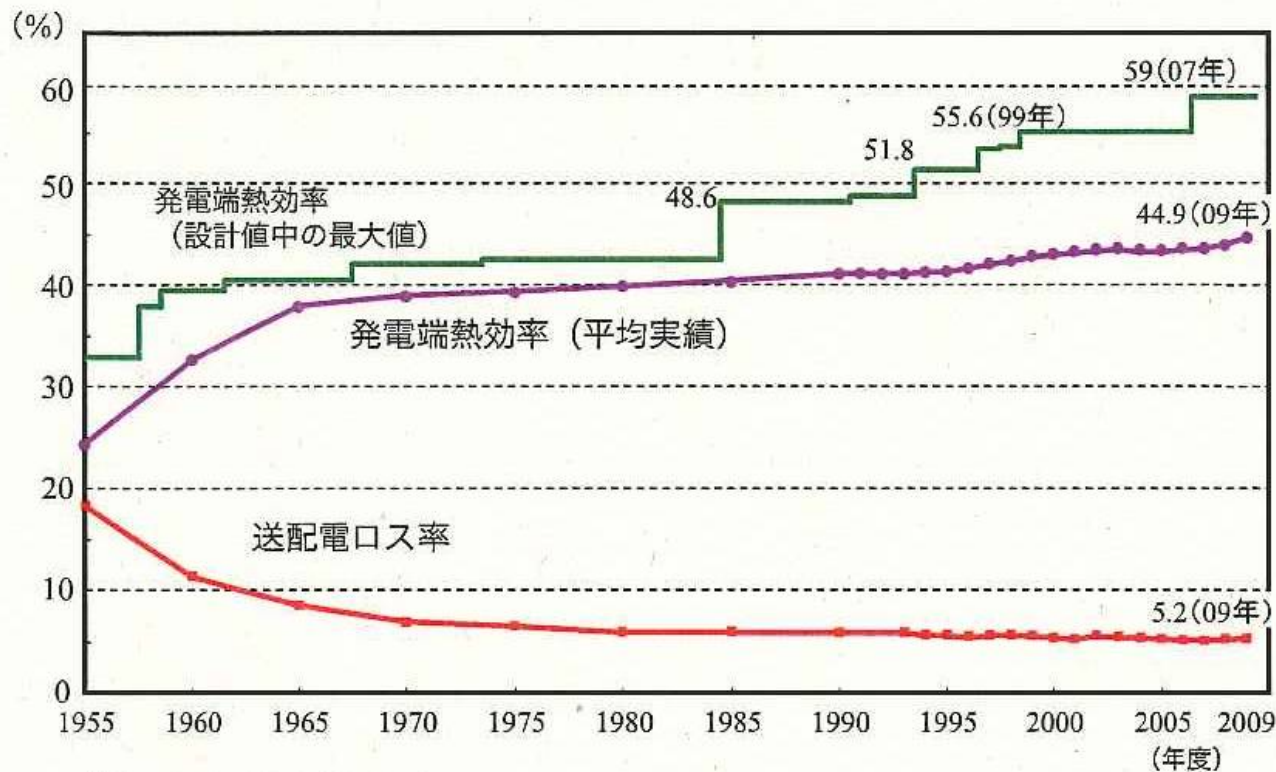
- ✿ 熱効率が同じ場合、石炭→石油（▲約23%） 石油→LNG（▲約28%）
- ✿ 大部分を輸入に頼る日本で特定燃料に依存することは、価格高騰や供給途絶リスク  
→コールベッドメタンやシェールガスの開発など上流権益獲得、近海に存在するメタンハイドレートの生産技術開発など推進、中長期的なエネルギー状況の変化に対応が可能で、かつ「環境性」に優れた燃料の多様化構造の構築が必要。
- ✿ バイオマス混焼  
→生物由来のバイオマスが燃焼時に発生するCO<sub>2</sub>は、生物成長時に大気から取り組んだCO<sub>2</sub>のため「カーボンニュートラル」と言われ、混焼により主燃料を節約。ただし排ガス特性悪化のため混焼率に制約、品質維持と量の確保が課題、紙パルプや食料利用可能なものが燃料に使用される懸念。

# エネルギー政策の見直し--火力発電の熱効率向上

## ■ 熱効率の向上

- 火力発電所のCO<sub>2</sub>排出量（2009年度） 3.53億トン 熱効率の平均44.9%  
→ 1%の改善により、年間約770万トン 太陽光発電約1,800万kW相当の削減

## ■ 火力発電設備の熱効率（低位発熱量基準）・送配電ロス率の推移



### LNG火力の場合

- 最新鋭機（07年度導入）は世界最高水準の約59%を達成
- 約61%を実現する発電機の導入計画



# エネルギー政策の見直し--石炭火力の低炭素化

- 石炭は「環境性」に劣るが、埋蔵量が豊富で産地が多様なため「安定性」と「経済性」に優れる。
- 中国やアメリカを筆頭に世界の国々で火力発電の燃料として利用、世界の発電量の約40%は石炭の電気。

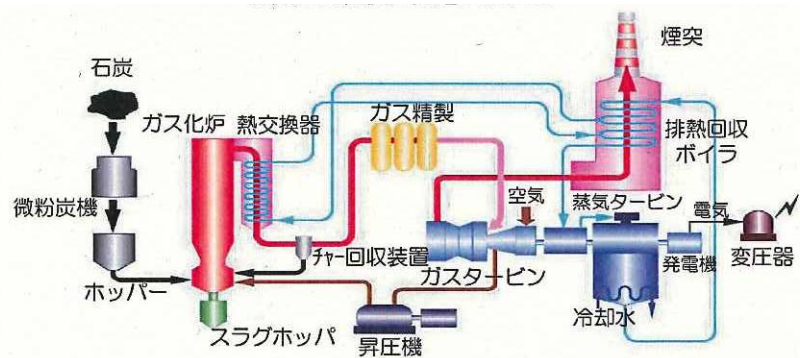
## ■ 石炭ガス化複合発電（IGCC）

- 48～50%の高い熱効率が期待。09年度の実証試験では目標の熱効率42%を実現、早期商用化が期待される。

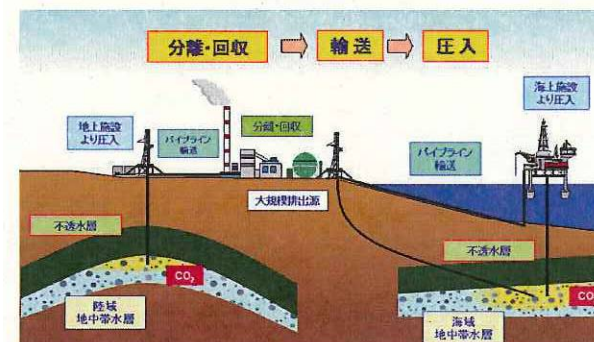
## ■ CO<sub>2</sub>回収・貯留（CCS）

- 世界各地で研究開発が進捗。日本でも小規模な実験プラントで回収技術の研究が進むも、日本には貯留できる地層が少ない。

石炭ガス化複合発電

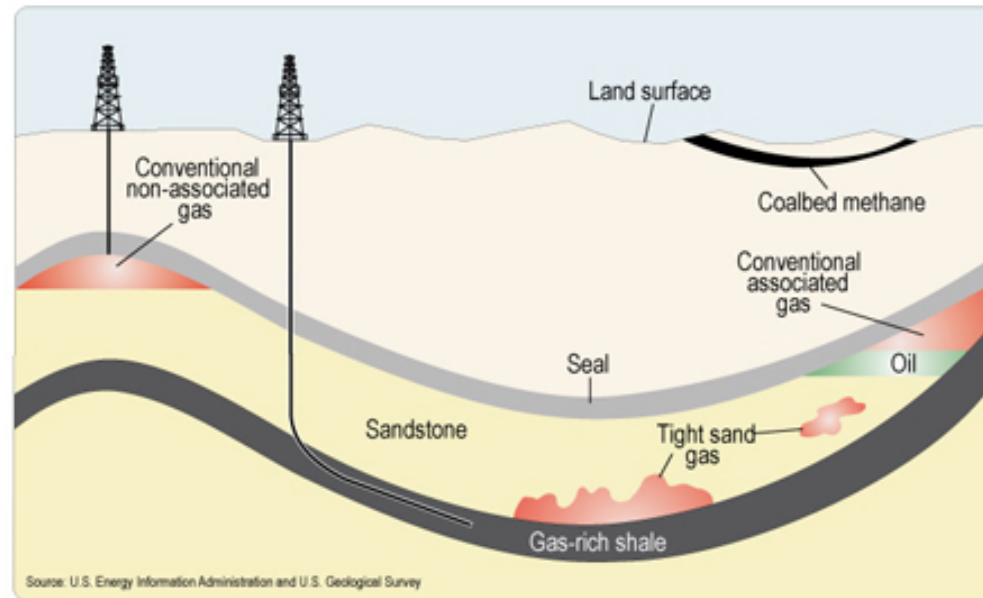


CO<sub>2</sub>地中貯留のイメージ



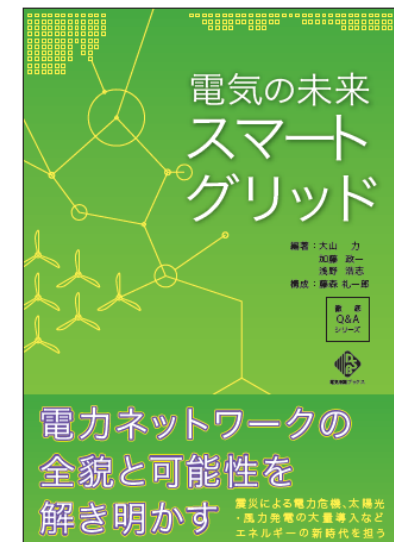
# シェールガス革命

- 米国では1970年代から非在来型天然ガス開発を推進。シェールガスは掘削技術（水平掘削と水圧破砕）の進歩により商業生産が可能となり、近年生産量が急増。
- 米エネルギー情報局は米国内には国内消費量110年分に相当する天然ガスが埋蔵、うち約3割がシェールガスであることを示し、天然ガスの輸入見通しを下方修正。
- 埋蔵量が豊富なカナダ、欧州、中国などで多くの開発、調査プロジェクトが推進。
- 日本は埋蔵量が少ないため国内開発はできないが、**LNG市場の低価格・安定化**、日本企業のプロジェクト参加、シェールガスの液化・輸入などが期待。
- 水圧破砕に使う薬剤による環境問題、生産への影響が懸念。

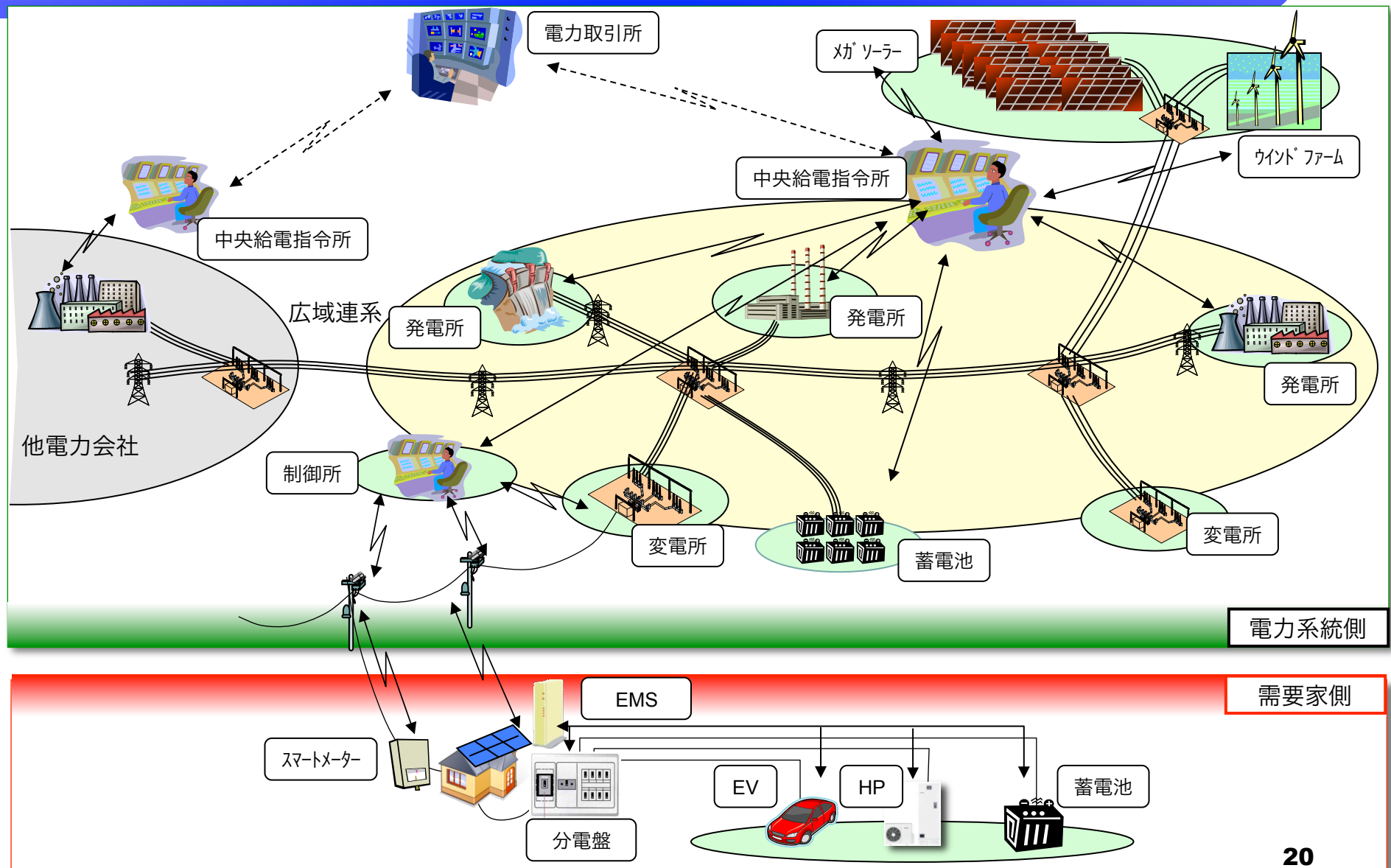


# スマートグリッド

## 電気の未来： スマートグリッドへの期待



# スマートグリッド(電力システムと通信ネットワークの融合)



# スマートグリッド推進の目的

- 目的は以下の3つに大別される。国や地域が違っててもほぼ共通。
  - ✿ 再生可能エネルギー電源の導入拡大
  - ✿ 送配電網の高度化
  - ✿ 需要のスマート化（供給と需要の協調・最適化）

## 米国のスマートグリッドをめぐる経緯

- 言われ始めたのは2003年頃
  - ✿ 北米大停電（2003.8.14）
  - ✿ Grid 2030（2003.7）：米国のグリッドが抱える課題を指摘
    - 送配電ロス率の上昇：1970年の約5%から2001年には9.5%に
    - 停電、電力品質に起因する経済損失は年250～1,800億ドル
- Energy Independence and Security Act of 2007(ブッシュ政権)
  - ✿ スマートグリッドの推進を条文上記載
- グリーンニューディール（オバマ政権）
  - ✿ 再生可能エネルギー、PHEV、スマートグリッド
  - ✿ 巨額の財政補助（The American Recovery and Reinvestment Act of 2009：ARRA）
- 推進の目的
  - ✿ 系統のインテリジェント化投資を進めて供給信頼度を向上
  - ✿ 需要のコントロールによりピーク需要の伸びを抑制し、将来の設備投資を削減
  - ✿ 新産業創出

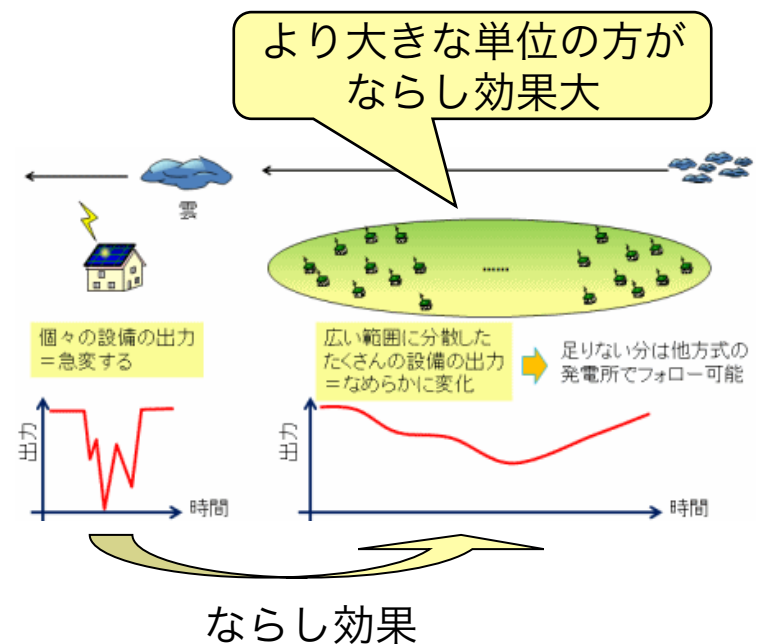


# 再生可能エネルギーの導入拡大(1)

- 太陽光や風力は出力変動が大きいいため、普及すると電力システムが不安定となり、それ以上導入することが困難化。この安定化を安価に、効率的に行い、さらなる普及につなげることがスマートグリッドの役割。
- 太陽光や風力は個々の出力変動は大きいものの、大きな集団で捉えることにより「ならし効果」が現れるため、**電力システム全体で安定化することが経済合理的。**

- ① 再生可能エネルギーの制御
  - ② 発電所の運用性向上
  - ③ 電力ネットワークの高度化
  - ④ 電力システムの状態に合わせて数時間毎に変動する電気料金に反応して需要家が電気を使用を変えるデマンドレスポンス（DR）の活用
  - ⑤ 蓄電池の設置・利用 など
- から費用対効果の高いものを組み合わせ実施

- DRはHP、EV、蓄電池などの蓄エネ機器やEMS普及により、受容性や効果がアップするため、普及をはかりながら活用することが有効



## 再生可能エネルギーの導入拡大(2-1) (周波数)

PVなどは、平常時にも天候などの影響により  
出力が大幅に変動し、出力を精度良く予測することが困難



再生可能電源の導入量が拡大すると、  
その変動に対応する**周波数調整力の確保**が課題



電力需要の変動に再生可能電源出力の変動が加わり、供給  
エリアごとに確保している調整力(LFC容量)が不足する恐れ



# 再生可能エネルギーの導入拡大(2-2) (周波数)

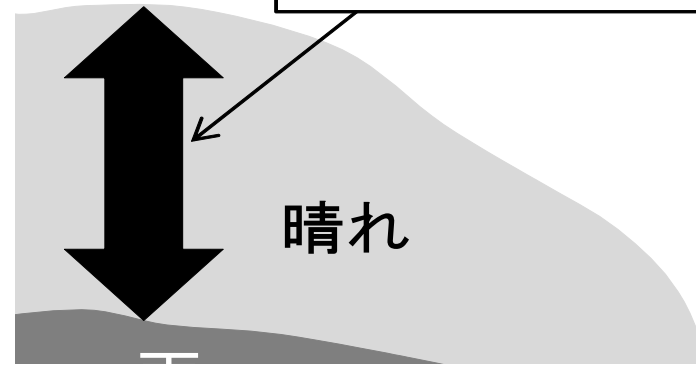


天候の変化によるPV出力の**大幅な変動**に備えて、  
火力発電などによるバックアップ電源が必要



- ・低稼働率
- ・低効率な運転

太陽光出力



天候の変化に伴う  
太陽光発電の出力変動に  
備えてバックアップ電源が必要

晴れ

時間

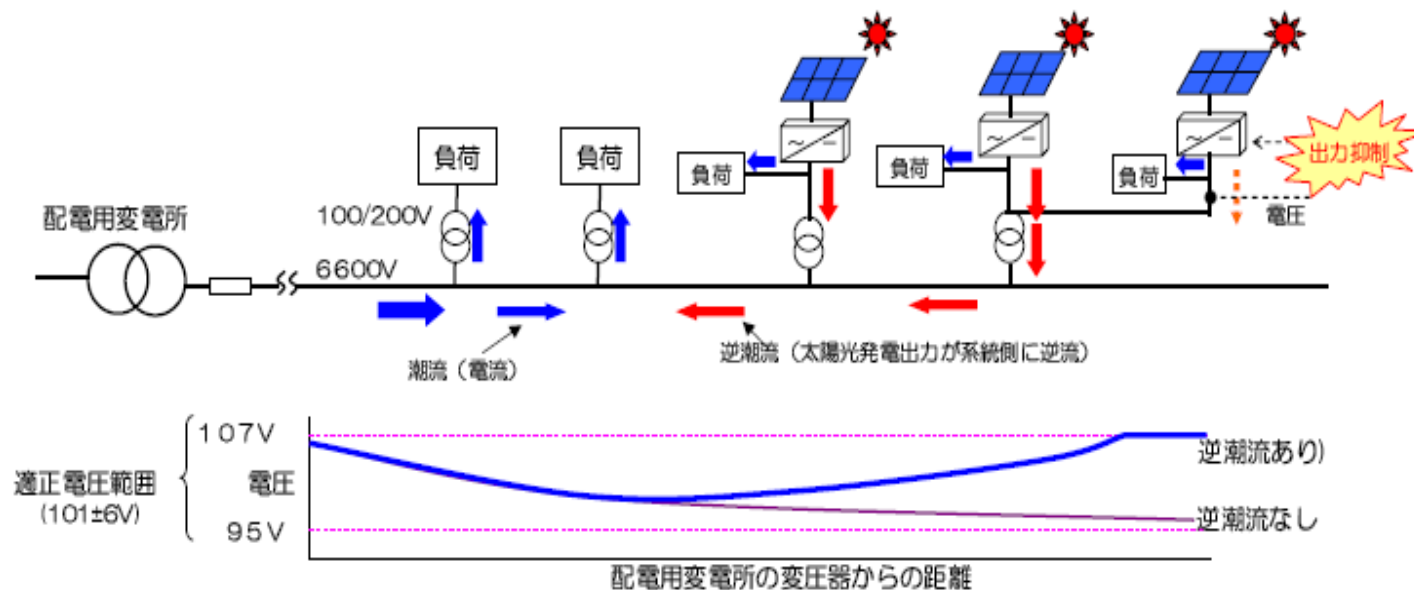
火力発電などを**部分負荷運転**で待機させておき、

PV出力が低下した際には、出力を増加させて需給バランスを確保するなどの対策  
が必要



# 再生可能エネルギーの導入拡大(3) (配電線電圧)

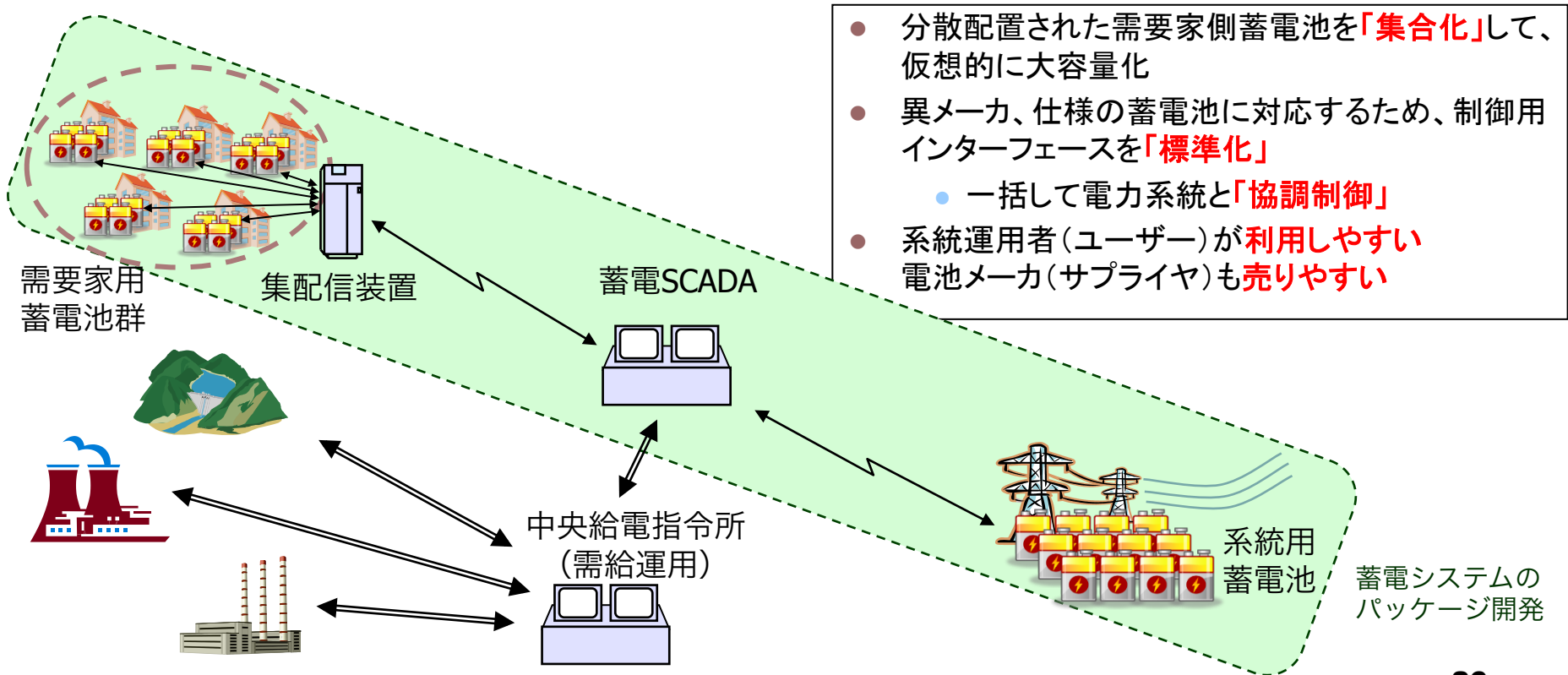
- 太陽光発電の出力が設置箇所の消費電力を上回り、系統に電力が逆流した場合、配電系統の電圧が上昇。
- 太陽光発電から逆潮流が生じることにより、連系点の電圧が電気事業法第26条に基づく適正值(101±6V)を逸脱する可能性。



出展：経済産業省ホームページ「低炭素社会構築の実現に向けての課題と処方箋」 <http://www.pwrs.elec.waseda.ac.jp/pepse09/kouen3.pdf>

# 再生可能エネルギーの導入拡大(4)

- 蓄電池の利用は、需要家サイドに様々な用途で普及する膨大な数の蓄電池について、需要家が使っていない時間に一部を借用利用できれば、再生可能エネルギーの普及拡大と、需要家サイドの蓄電池普及の双方にメリットをもたらす可能性
- 蓄電池の性能・信頼性向上、価格低減と共に電力システムにおける利用技術の開発を進める必要。→NEDOプロにて、電池メーカー、重電メーカー、電力会社が開発



# 送配電網の高度化 (1)

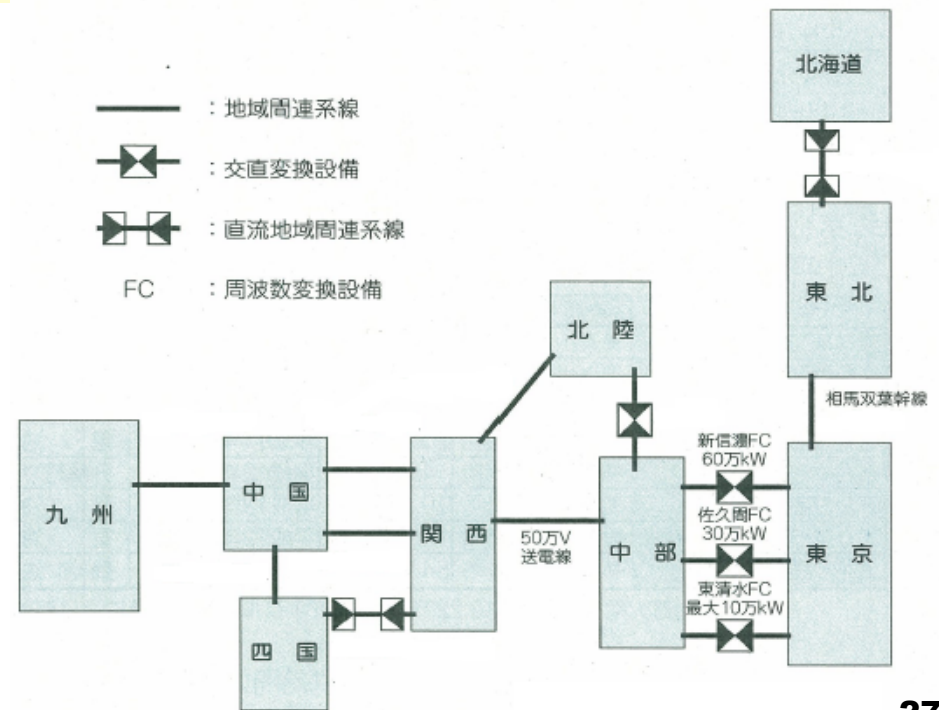
- 東日本大震災が送配電網について明らかにしたことは、通常時の信頼度は高いものの、震災時の対策が必要。

(例)

- ✿ 周波数変換設備などの会社間連系線の増強

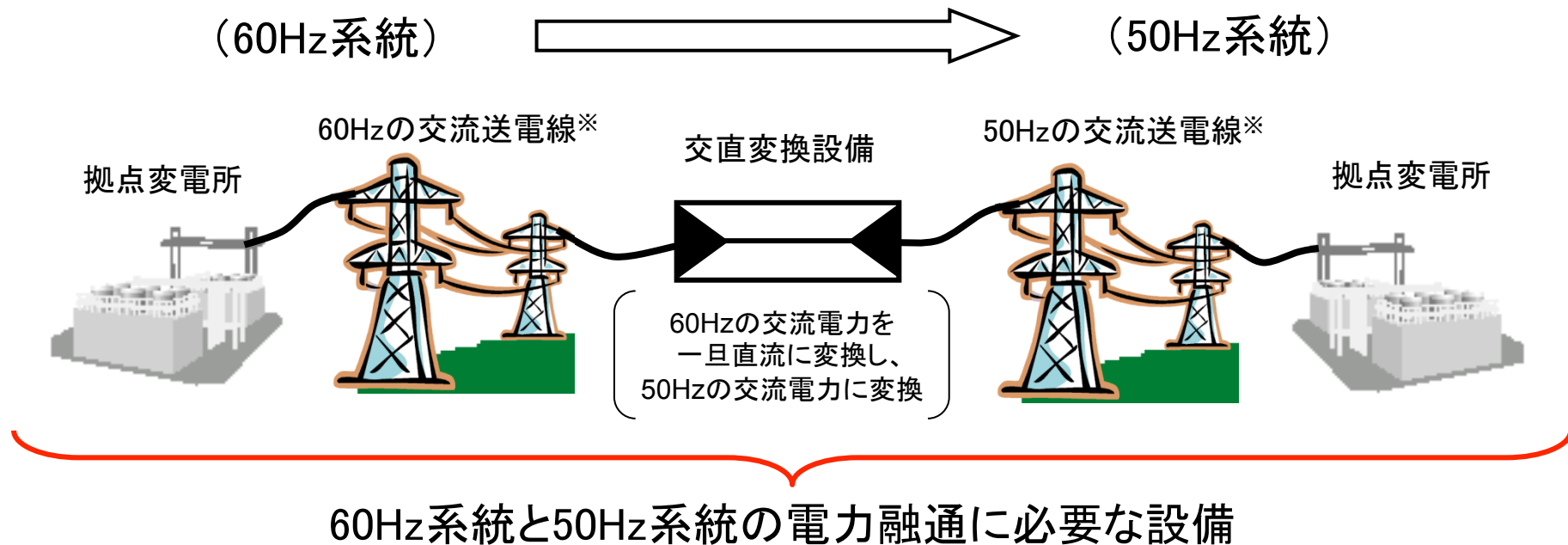


交直変換設備



## 送配電網の高度化 (2) 60Hz,50Hz系統の連系

- 60Hz系統と50Hz系統の電力融通を行うためには交直変換設備と60Hz・50Hzの拠点変電所を結ぶ送電線等が必要。



※送電線は数十kmから百km程度

### (課題)

- 交直変換設備は特殊設備であり、製造に期間を要する
- 交直変換設備の両側送変電設備建設の困難性 (用地確保等)
- トータルとしてのコストが高額

# 需要のスマート化(1) 供給と需要の協調・最適化

■ 次世代のメーターはスマートメーターと呼ばれ、以下の機能を有している。

- ✿ 30分間隔などの定期的な検針機能
- ✿ 双方向通信機能
- ✿ 遠隔開閉機能 など

■ 国は2020年代の可能な限り早い時期に、原則全ての需要家にスマートメーターの導入を目標

■ これが普及すると、以下が期待される。

- ✿ 需要家が自らの電気、ガス、水道などの使用状況を把握できるように。これにより、
  - エネルギー全般の省エネとなるライフスタイルの転換
  - エネルギー消費の少ない機器への買い替え

■ さらにエネルギーマネジメントシステム（EMS）が普及すれば、太陽光発電（PV）、ヒートポンプ式給湯機（HP）、電気自動車（EV）、蓄電池などを最適制御することにより、生活の質の向上と省エネの両方がはかれる可能性

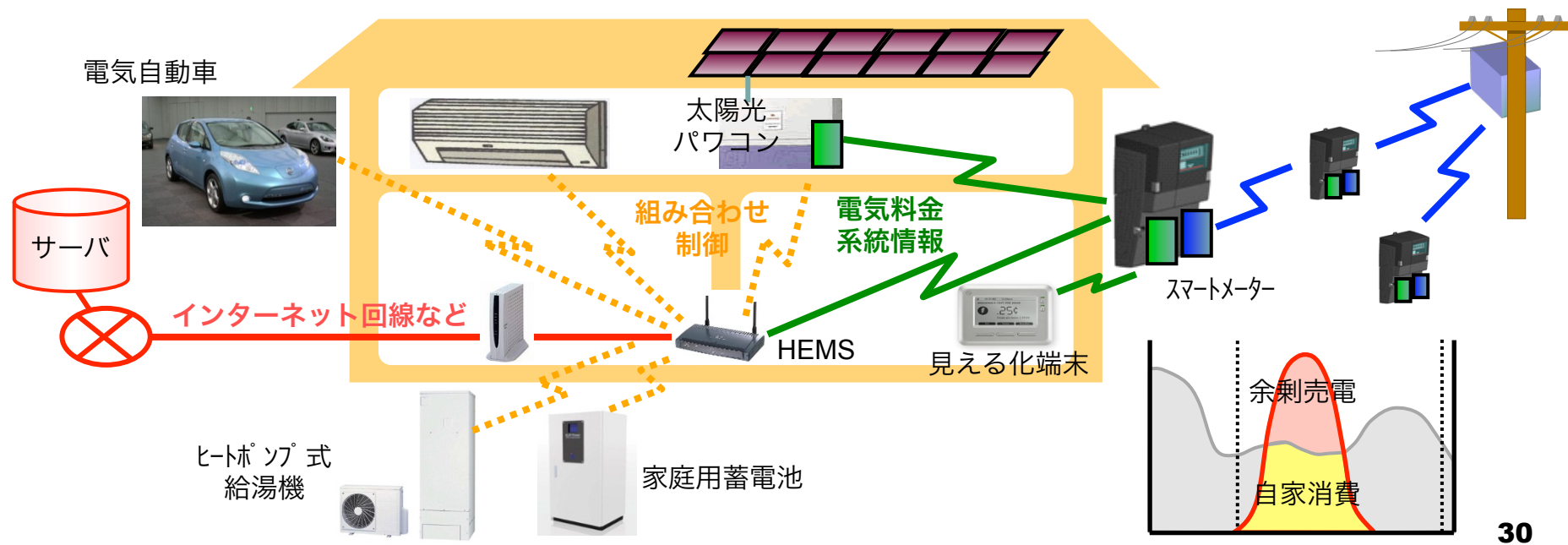
供給側と需要側の協調



最適化

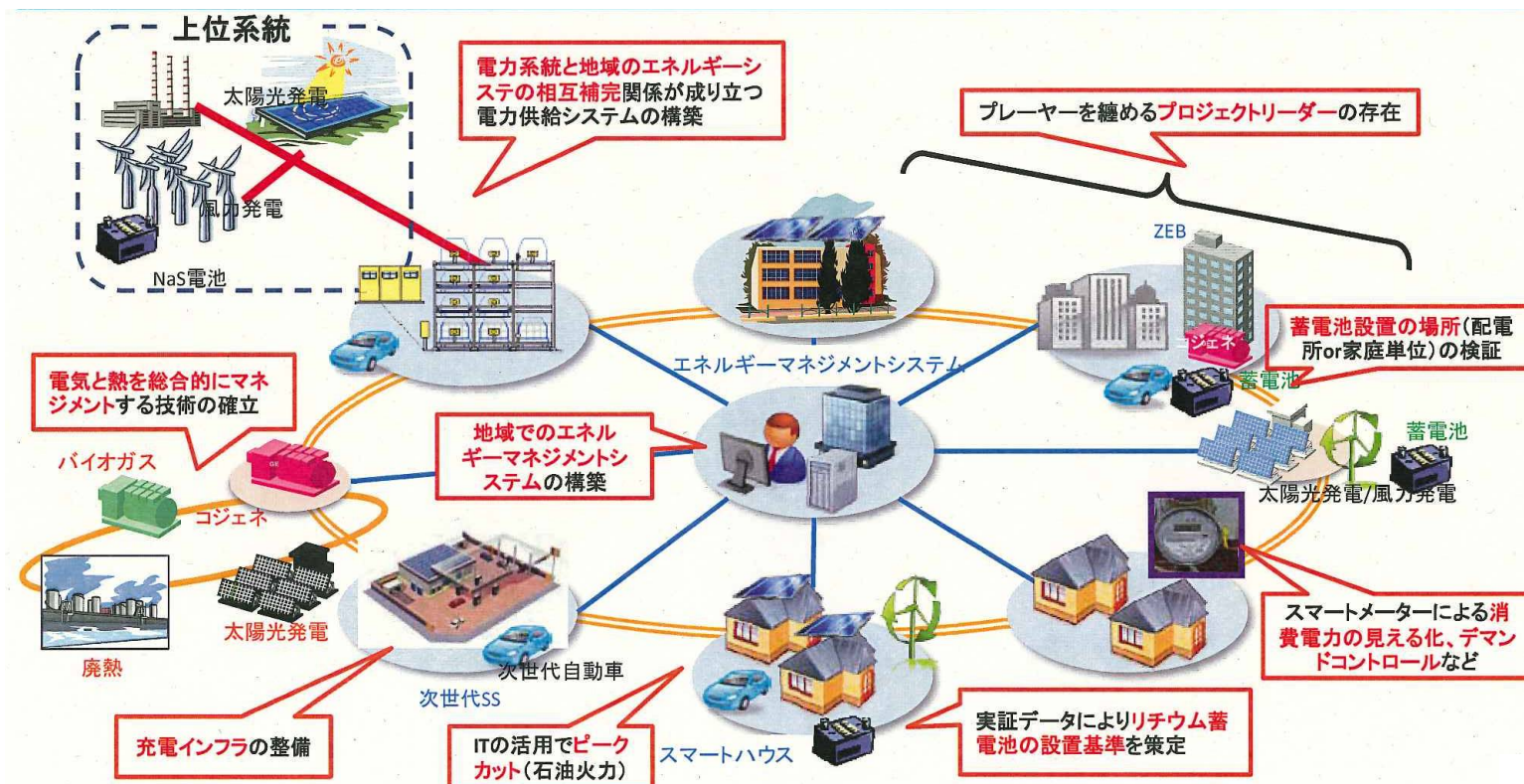
## 需要のスマート化(2) スマートメーター

- スマートメーターとEMSの2つが普及することにより、需要家の負担や不満が大きかった計画停電も、
  - ✳ 計画停電の予定を事前通知
  - ✳ メーターの開閉器で計画停電を実施
  - ✳ 計画停電時も必要最低限の電気を使用可能（契約電力を40Aから10Aに変更）
  - ✳ EMSがその範囲で機器を最適制御することにより、改善の可能性。



# スマートコミュニティ

- 以下の3つが期待。
  - 地域の再生可能エネルギーを発電やヒートポンプで利用
  - 熱の面的利用
  - EV充電設備、公衆電源、非常用電源などのインフラ整備
- 2010～2014年度に全国4地域（横浜市、豊田市、京都府、北九州市）で実証



# まとめ

## ■ エネルギー政策の見直しの方向性

- ✿ 原子力の今後の方向
- ✿ 再生可能エネルギー電源の導入拡大
- ✿ 省エネの推進
- ✿ 火力発電の高効率化・低炭素化
- ✿ 燃料転換 など

## ■ スマートグリッド

- ✿ 再生可能エネルギー電源の導入拡大
- ✿ 送配電網の高度化
- ✿ 供給と需要の協調

- スマートグリッドの取り組みが、電気の「環境性」「信頼性」「経済性」を高めると共に、「使い易さ」を向上させることによって、わたしたちの生活がより豊かなものになることが期待。