

2012年9月1日 14:30-15:10

早稲田大学国際会議場 井深大記念ホール

市民フォーラム

「東日本大震災を契機として我が国のエネルギーインフラの諸問題を考える」

電力安定供給に向けた課題と対策

日本機械学会 動力エネルギーシステム部門

東日本大震災調査・提言分科会WG5委員

中垣 隆雄



早稲田大学 創造理工学部

School of Creative Science and Engineering, Waseda University

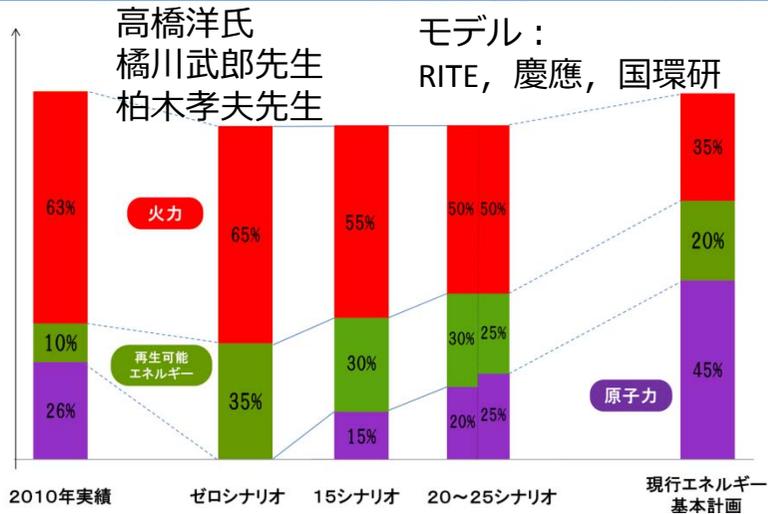
講演の内容

- ✓ 現状認識
 - エネルギーシステムのあり方
 - 震災前後でのパラダイムシフト
 - 大規模集中発電の現状
- ✓ 将来に向けた課題と対策
 - 原発依存制約下での火力のCO₂排出削減
 - 再生可能エネルギーのポテンシャル
(水力, 地熱, 太陽光, 風力)
 - 分散電源と災害時の対策
 - 需要側の協力 (省エネ + 能動制御)
 - 発送電分離, 全面自由化, 卸電力取引市場
 - 不安定電源大量導入時の蓄エネの必要性
- ✓ まとめと総括

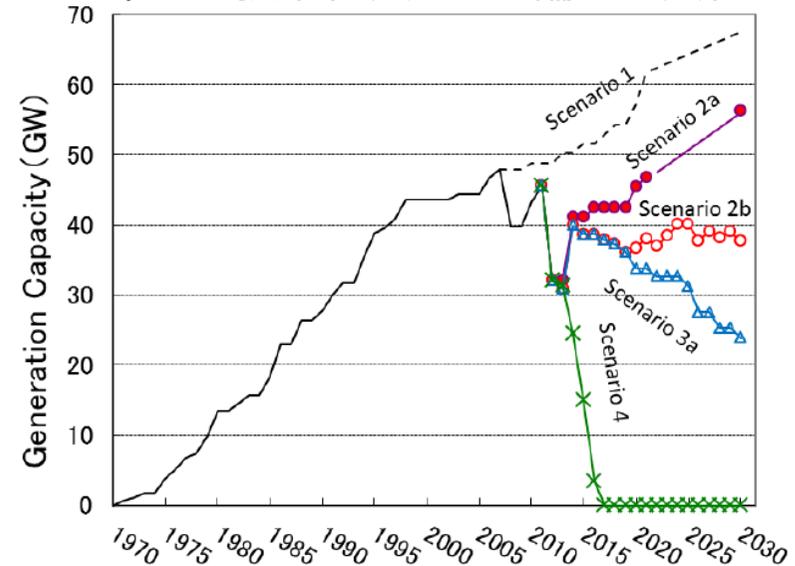
参考にした研究・資料（抜粋）

エネルギー・環境会議の議事資料

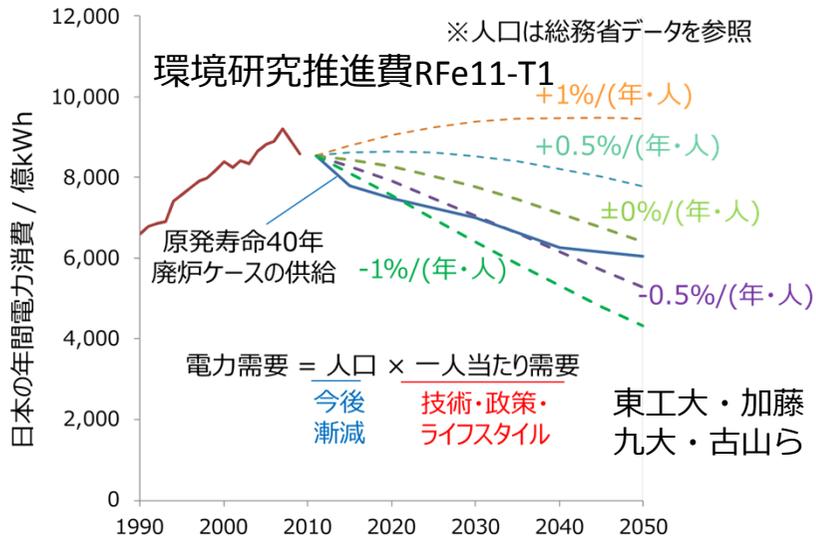
各シナリオにおける発電構成(2030年) 4



東大・荻本和彦先生の論文・資料



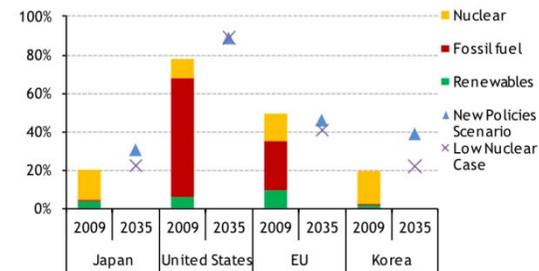
化学工学会での研究



World Energy Outlook 2011



主要国の自給率

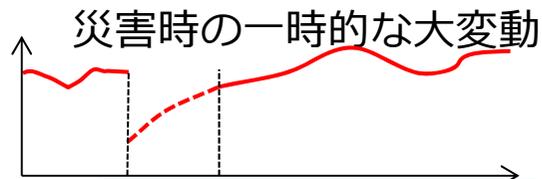
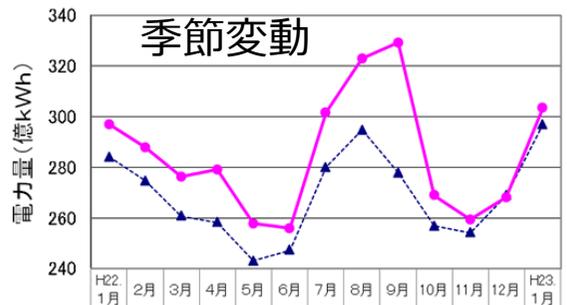
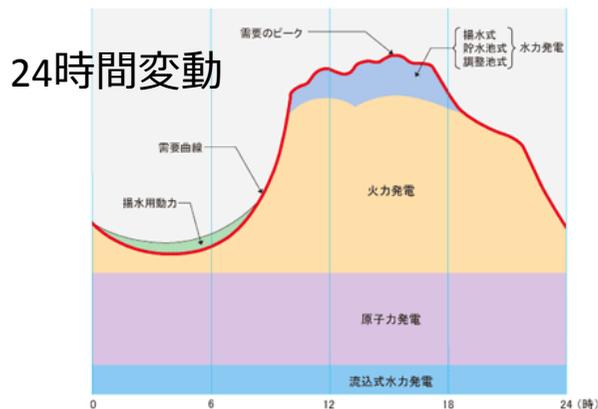


低原子力は日本のエネルギー自給率をさらに低下させ、
エネルギー安全保障への懸念を増大させる

現状認識

エネルギーシステムのあり方
震災前後でのパラダイムシフト
大規模集中発電の現状

エネルギーシステムのあり方 (日本国を境界)



物質生産・エネルギー変換

エクセルギー消費
(アメニティ創出)
• 電力, 動力
• 熱, 冷熱

廃物 (エントロピー) の生成と処理
• 温室効果ガス (CO₂)
• 廃熱
• 廃棄物など

境界外からのインプット

(物質輸送を伴うエネルギー源)

- 化石燃料 (天然ガス, 石油, 石炭)
- バイオ系燃料
- ウラン
- その他のエネルギーキャリア (水素など)

- 付随して必要な稀少金属, 希土類など
- 工業上必要なその他の資材

津々浦々の送電, 物流

製品

蓄エネ

資源リサイクル

境界内の生成・ストレージ

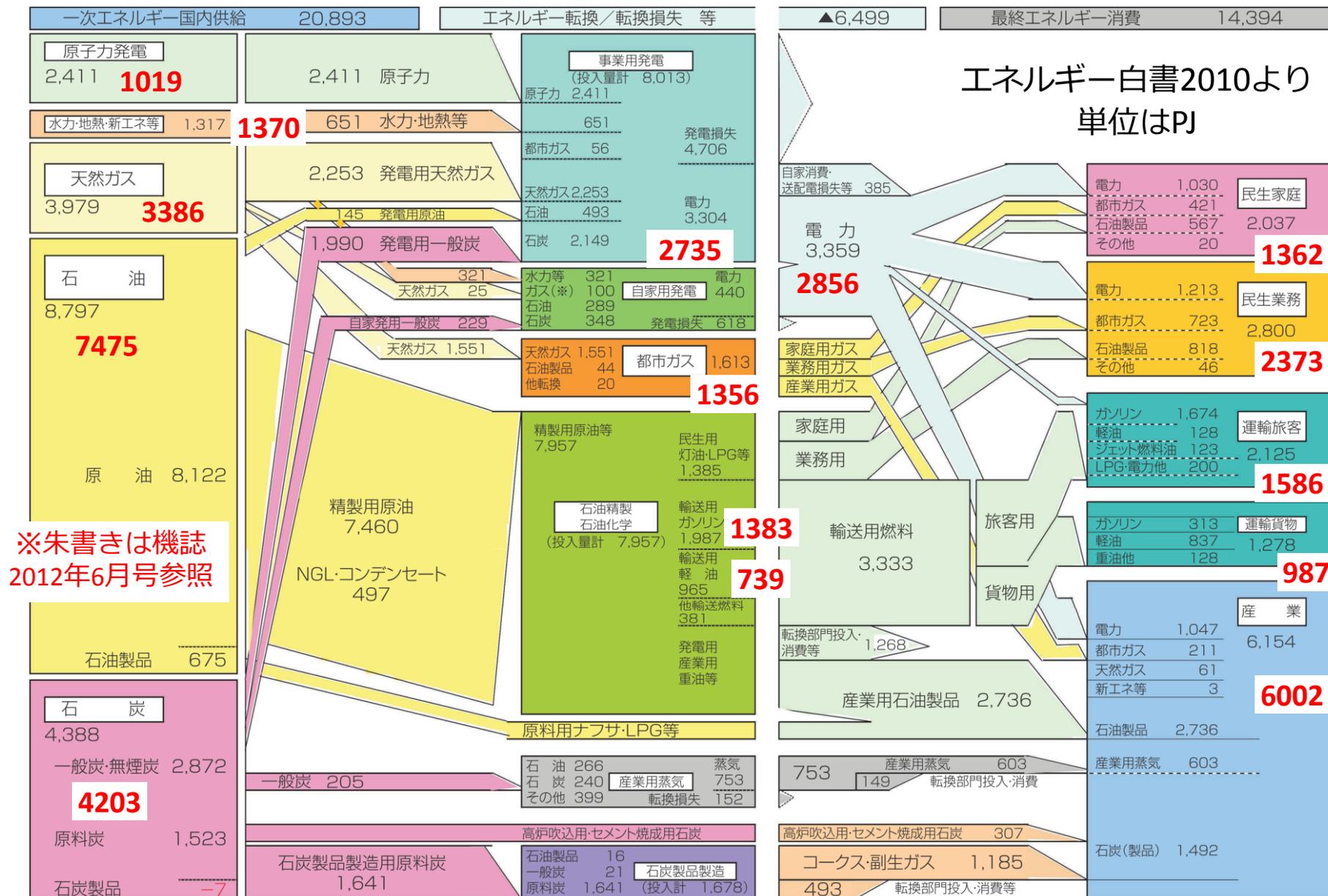
- 太陽光, 風力等による国内再生可能エネルギー電力
- 国内のバイオ系燃料

エネルギー・物質収支が変動を許容し, 時空間的に破綻せずに成立することが前提.

考慮すべき事項として,

- 資源の安定供給 (枯渇や政治的リスクを含む)
- 経済性
- 温暖化防止
- 災害, 事故リスク
- 環境への影響 などがある.

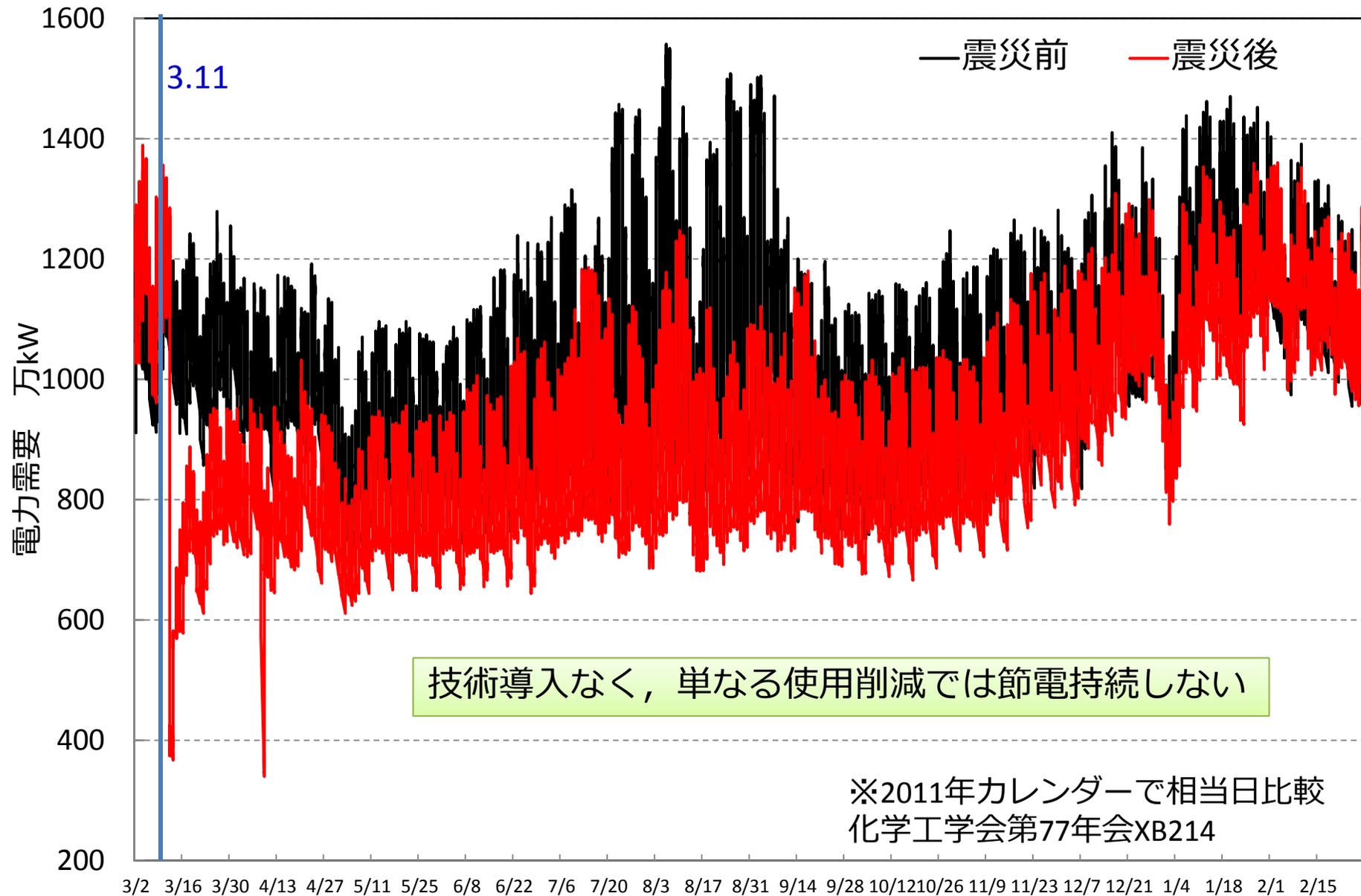
エネルギーバランスフロー2009→2030 (JSME WG1試算)



3.11の前後で何が変わったか

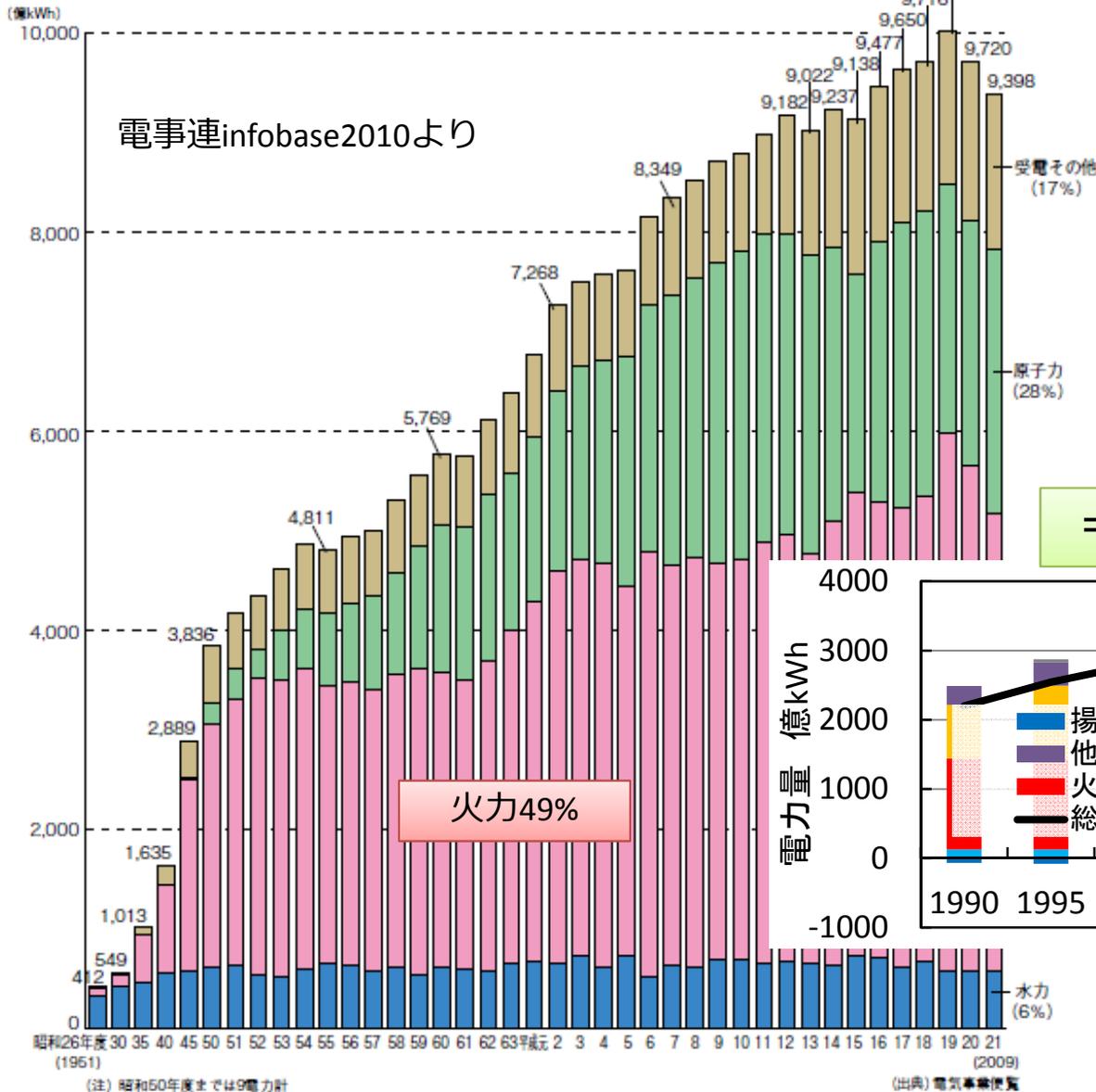
	3.11以前	3.11以後
原子力	エネルギー基本計画の骨子 9/14基の増設でいずれ50%	再稼働すら不透明 (少なくとも大幅な見直し)
再生可能	無視できる量 (1%以下)	対象拡大FITスタートで加速?
kWh供給力	需要増を上回る供給力ありき	メタボ脱却, 供給力を勘案 した社会システムへのシフト
kW供給力	欲しいときに欲しいだけ 平準化→揚水増設	アンシラリー市場, 民生での スマートな需要制御, 蓄電
システム	大規模集中	小型分散
温暖化対策	原子力 >> 再生可能	国内では実質省エネのみ 海外でクレジット?
熱の電化	昼夜負荷平準化	+ 再生可能エネのストレージ
課題	原発: 立地, 稼働率, 廃棄物 火力: 石炭×→LNGへ	火力→莫大な貿易赤字 再生可能→国民負担増

東北電力 震災前レベルまで需要回復



原子力停止の影響

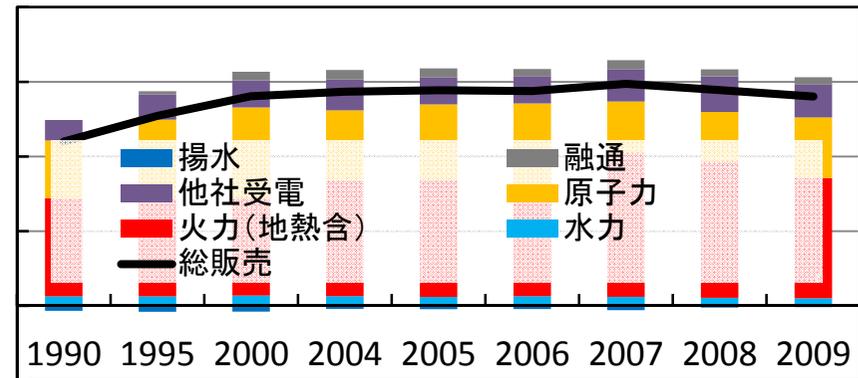
● 発電電力量の推移 (10電力計)



福島第二440万kW
 福島第一470万kW
 50Hz：当面10GWの喪失

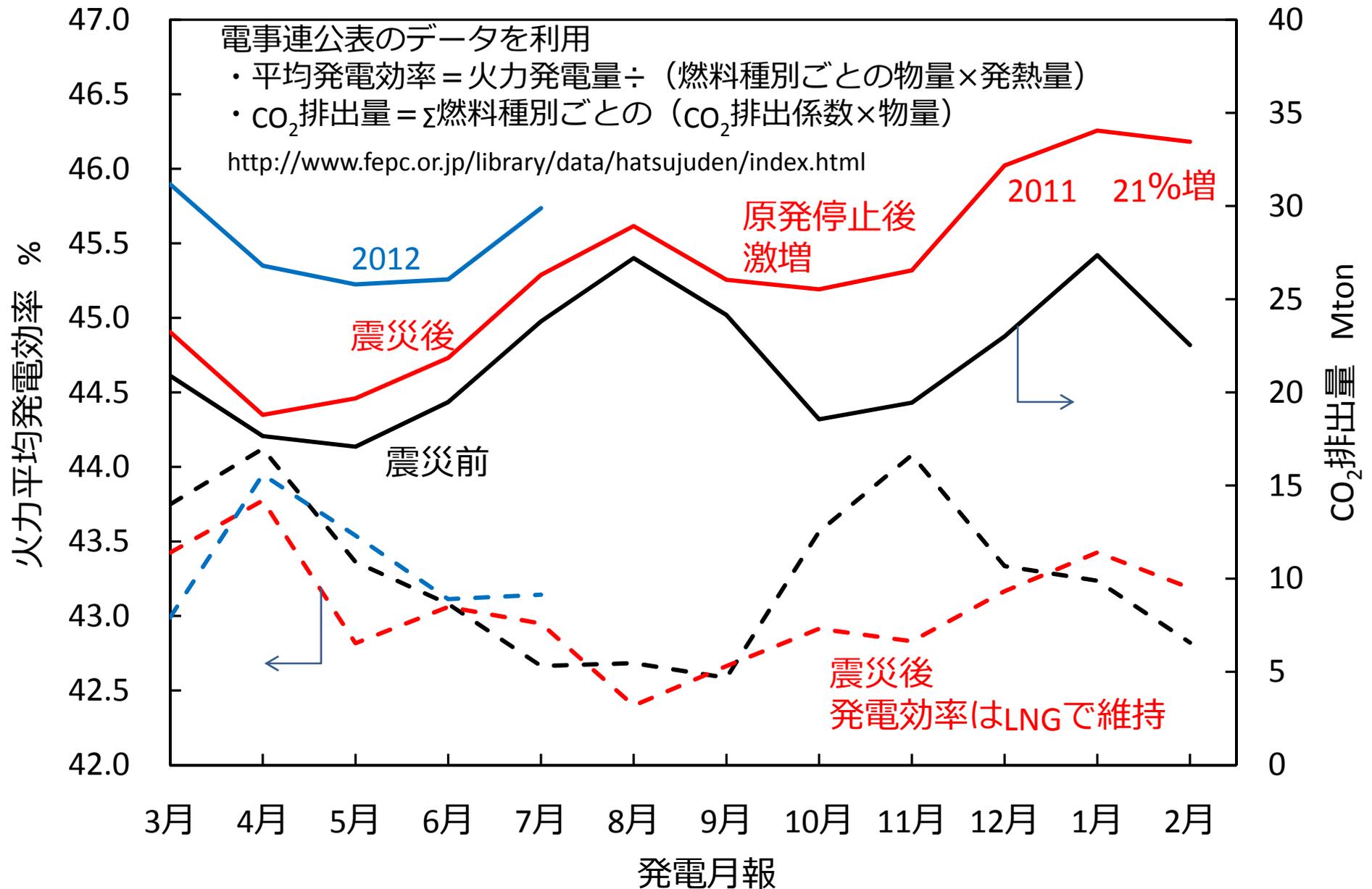
電力10社で年間1兆kWh
 \times 原子力30% = 3000億kWh

= 東京電力の年間販売量

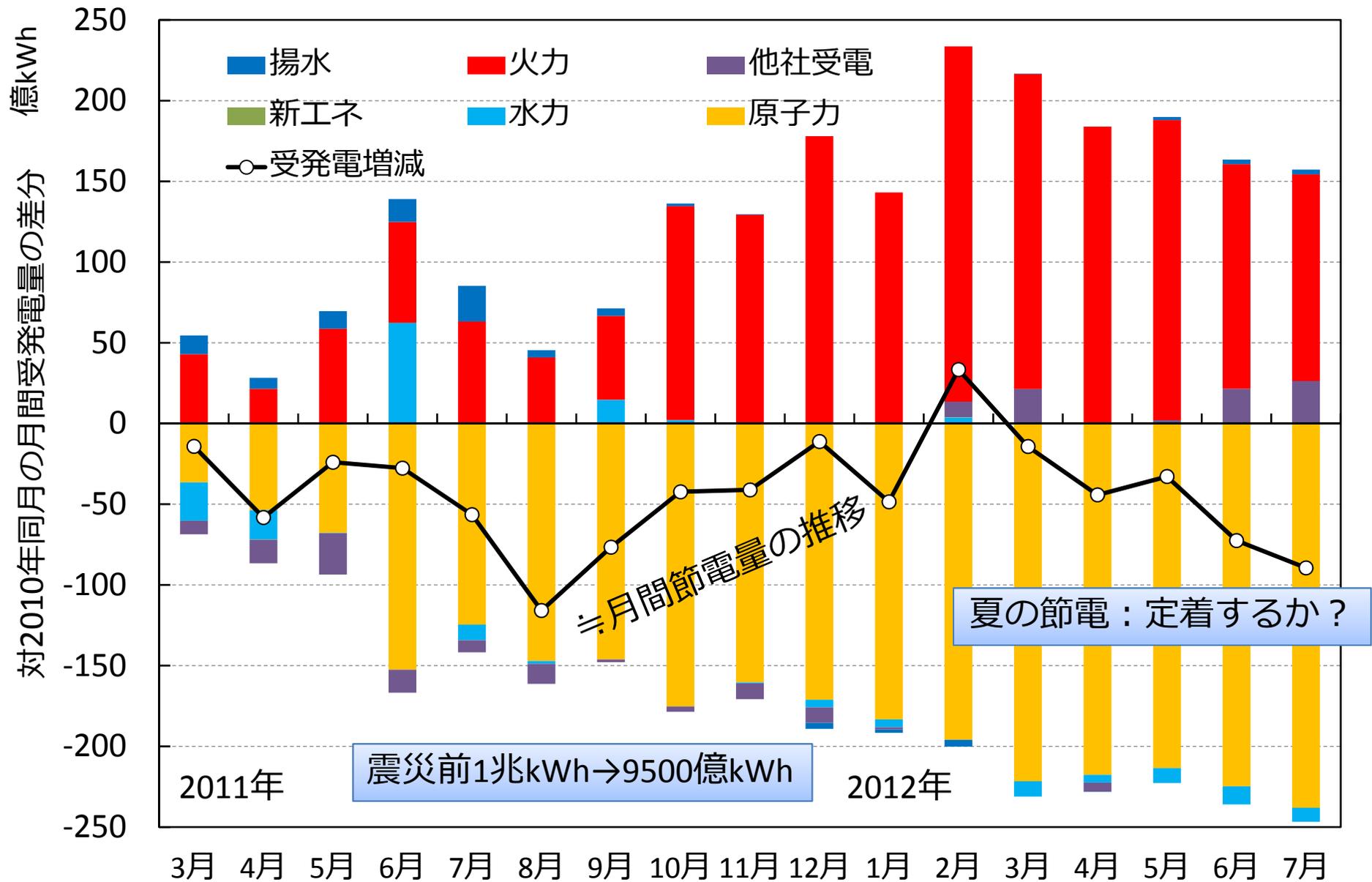


再生可能エネルギーへ
 即時の全代替は不可能

原子力→火力代替でのCO₂排出増

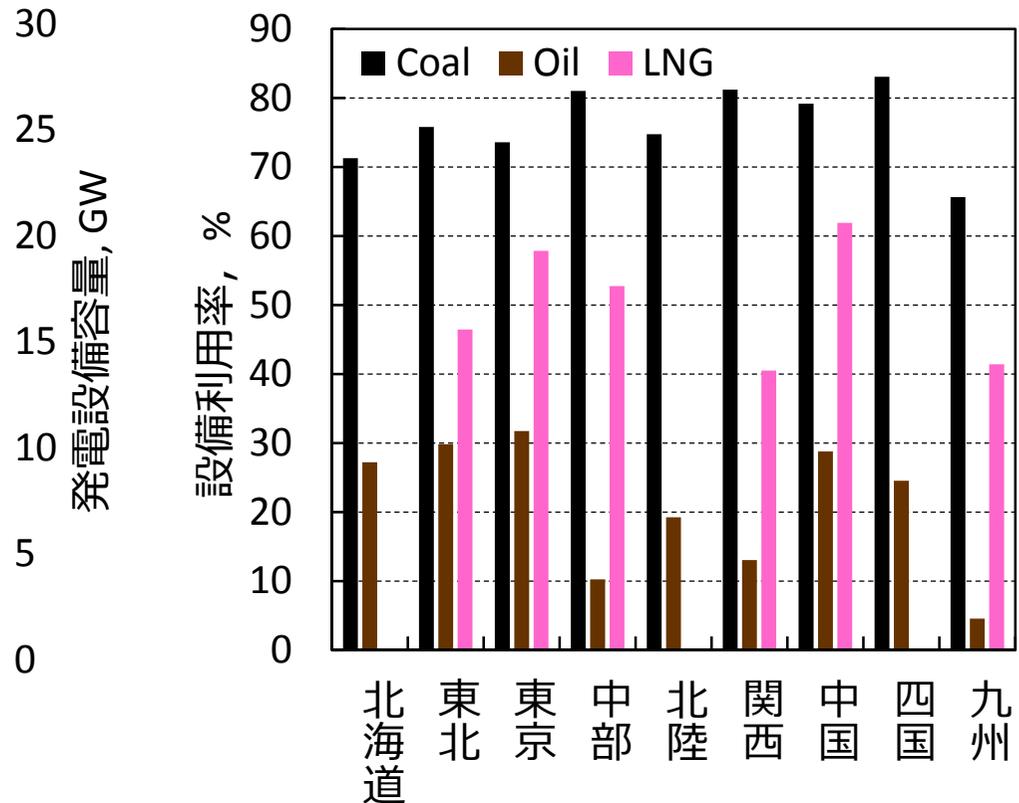
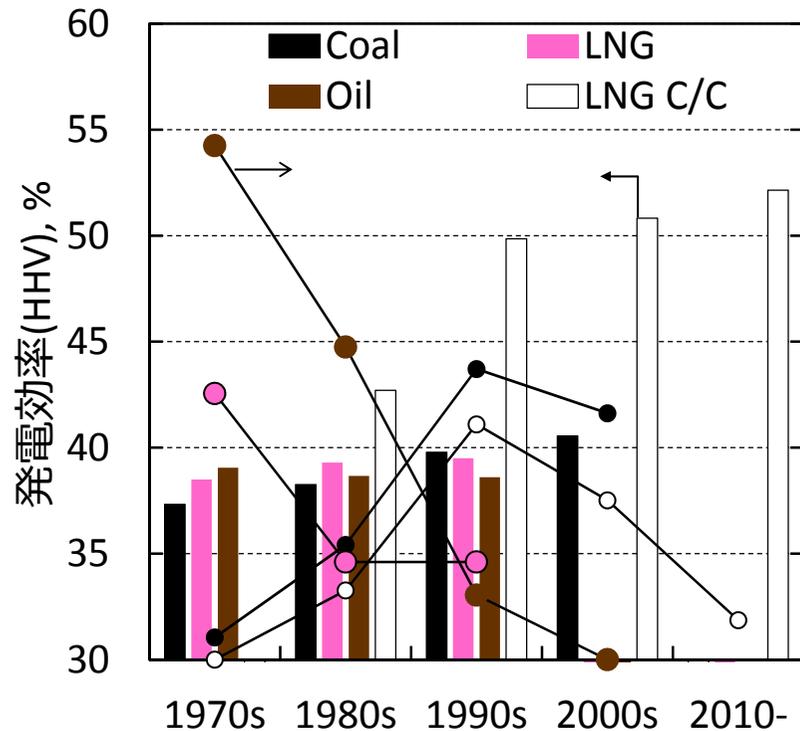


原発停止 + 電化の浸透 → 冬季の火力激増



<http://www.fepec.or.jp/library/data/hatsujuden/index.html>

石油火力の課題



石油火力

- 30~40年前の設備が42GWと多い
- 発電効率は時間が止まったまま

- 石炭：ベース, 天然ガス：ミドル
- 石油：ピーク時のみで稼働率低

- IEA勧告で新設× のべ運転時間：短→リプレース進まない
 - 調整力, 災害時のバッファで当面必要
- 対策案：余剰重質油焚きで石油産業によるIPP→700°C化

将来に向けた課題と対策

原発依存制約下での火力のCO₂排出削減
再生可能エネルギーのポテンシャル
(水力, 地熱, 太陽光, 風力)

災害時の対策

需要側の協力 (省エネ + 能動制御)

発送電分離, 全面自由化, 卸電力取引市場
不安定電源大量導入時の蓄エネの必要性

原子力と火力の対策

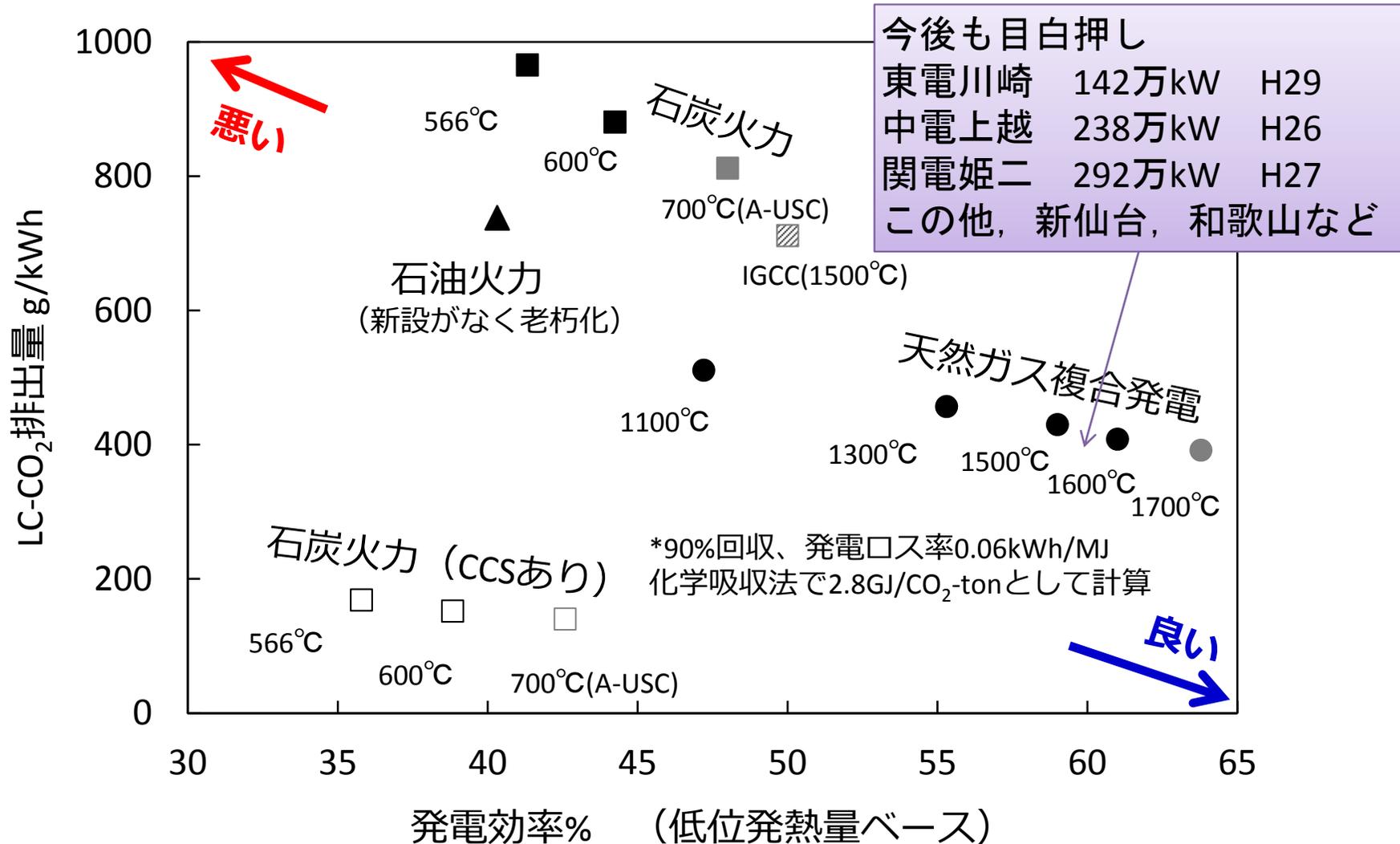
	当面（今後数年）	その先～2050年
原子力	適正な安全対策を施した上で、 速やかな再稼働 （蓄財流失、CO ₂ 対策）	国際情勢を見て再議論が必要 廃炉、核燃料サイクル見直し 高温ガス炉などの可能性
火力 （石炭）	ベース電源 A-USC (700°C) 開発加速	燃料としての利用減 ガス化→製鉄プロセス CCSの国民的議論
火力 （LNG）	当面の主力 （稼働率↑、増設） 1500°C以上のMACC	調整力として必要 BTGの完全廃止 TITの高温化（1700°C）
火力 （石油）	原油焚き× 重質油○ 老朽火力の稼働率↑ CO ₂ 増	調整力として必要 石油精製の重質油消化ニーズ →BTGの700°C化

原子力減，CO₂排出削減，コスト抑制をどのように実現するのか？
→極めて重い課題

その他の電力系統の対策

	当面（今後数年）	その先～2050年
水力	安定運用（減らさない） 建設計画は粛々と進める 機敏・柔軟なピーク調整力	中小水力＋未利用落差小水力 →△コスト高，容量少 機敏・柔軟なピーク調整力 揚水は昼間PVの「預電」として
送電 連系線など	多重化，迂回路で強化 →災害対策 （都市圏がバッファ） →予備力の相互融通	100万V送電の増大 再生可能エネ，PPS参入 →送電線混雑考慮の設備計画 ＋託送技術（送電ロス削減） 50-60HzのFC容量強化
再生可能 エネルギー	今は最大可能量入れる （補助金で輸入品はOK？） PPSへの離脱は○ →CO ₂ 削減には繋がらない	PV：ならし効果＋蓄電で平滑化 • 電気化学：EVのバッテリー • 動力：昼間の揚水 • 熱：太陽熱＋昼間のヒートポンプ 風力：大量ならば水素などに

火力→LNG-GTCCの増強

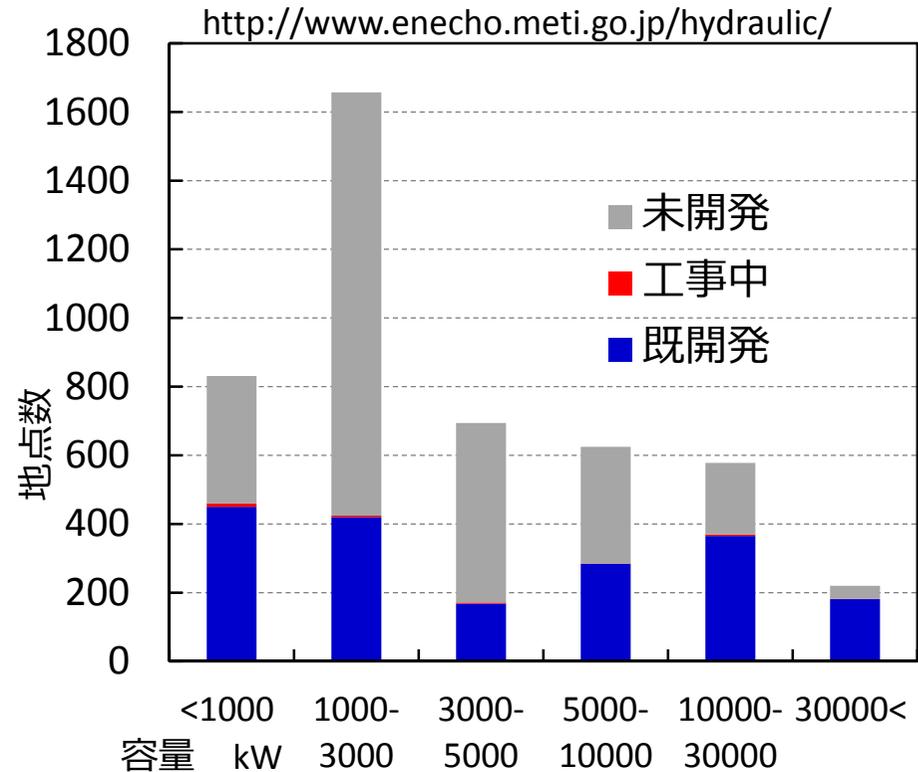
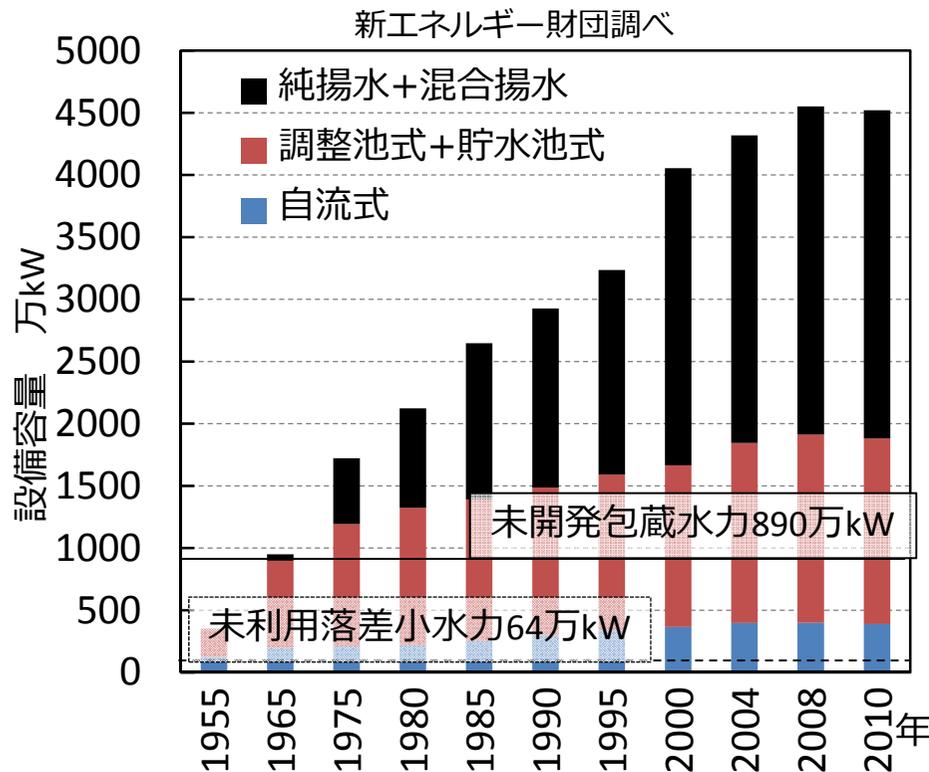


電中研報告Y09027、RITE平成18年報告書を参考に作成

LC-CO₂ : 原子力は20g/kWh。

丸善, ゼロから見直すエネルギー ISBN987-4-621-08513-4

ベース電源の水力は期待薄



原子力代替の自流式の設備容量は近年ほとんど増えていない

- 50Hz 葛野川+80万, 神流川+235万kW いずれも揚水
 - 60Hz 徳山 15.3万kW (一般) 着工準備中は5.8万kW (H22)
- 890万kW ÷ 2500箇所 = 3500kW 設備投資回収年が長くなる

丸善, ゼロから見直すエネルギー ISBN987-4-621-08513-4

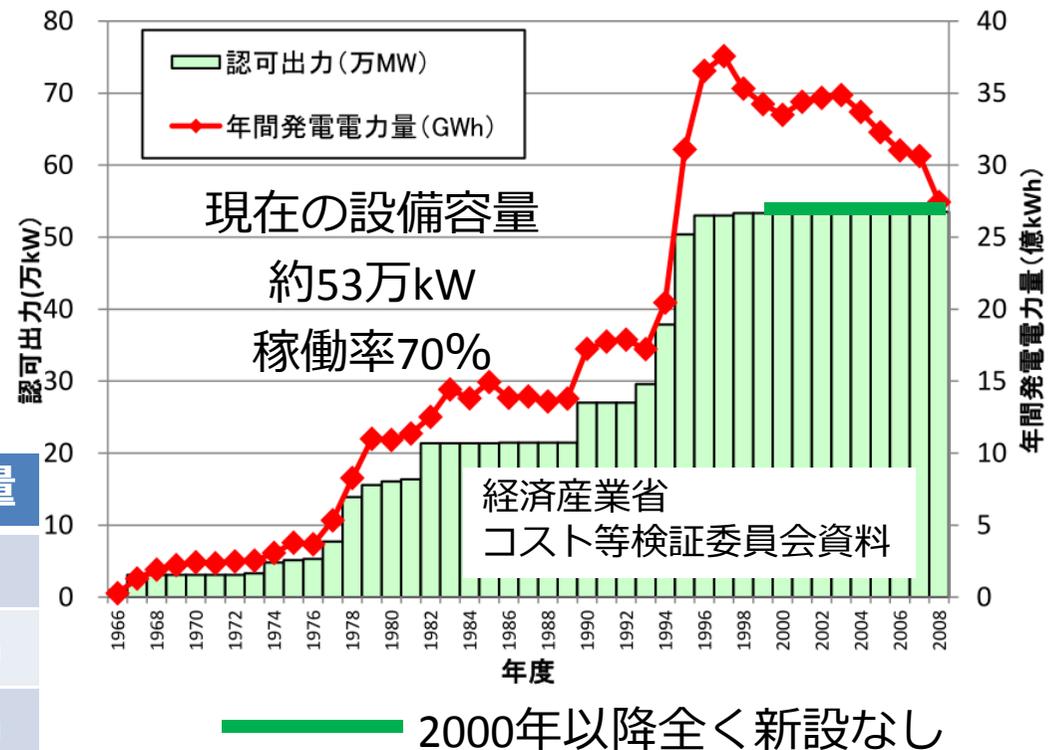
地熱発電で原発3～4基分は十分可能

賦存量：2348万kW

(2011産総研調べ)

- 自然公園内が80%
- 東北・九州に適地が集中

	容量	年間電力量
2012	53万kW	27億kWh
自然公園外	430万kW	260億kWh
2010基本計画	165万kW	103億kWh



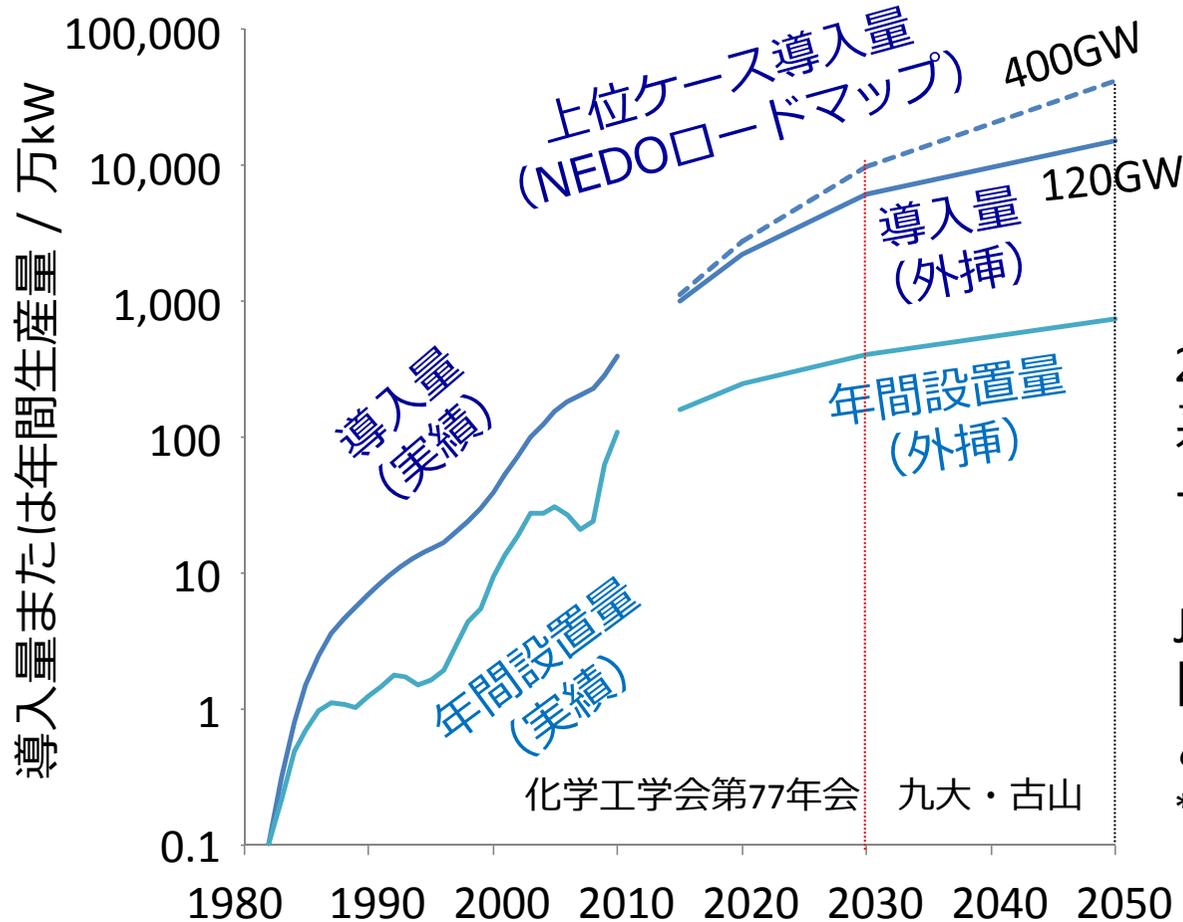
地熱発電で今後必要なこと

- 自然公園内設置への規制緩和
- 温泉事業者の理解と妥当な影響評価
- 温泉利用バイナリー発電の推進

※福島・土湯温泉などの例→ 今後は導入加速？

化学工学会第77年会
九大・古山調べ

太陽光発電は2030年に20~40GW



	予想効率	設置容量
2010	16%	3-4kW
2020	20%	4-5kW
2030	25%	5-6kW

2030年に最大40GW可能
 系統の制約28GWを超過
 →逆潮流カットor蓄電必須

JSME WG1:
 目標の1/2として20GW
 これでも特異日*抑制あり
 *需要少・発電過多の日

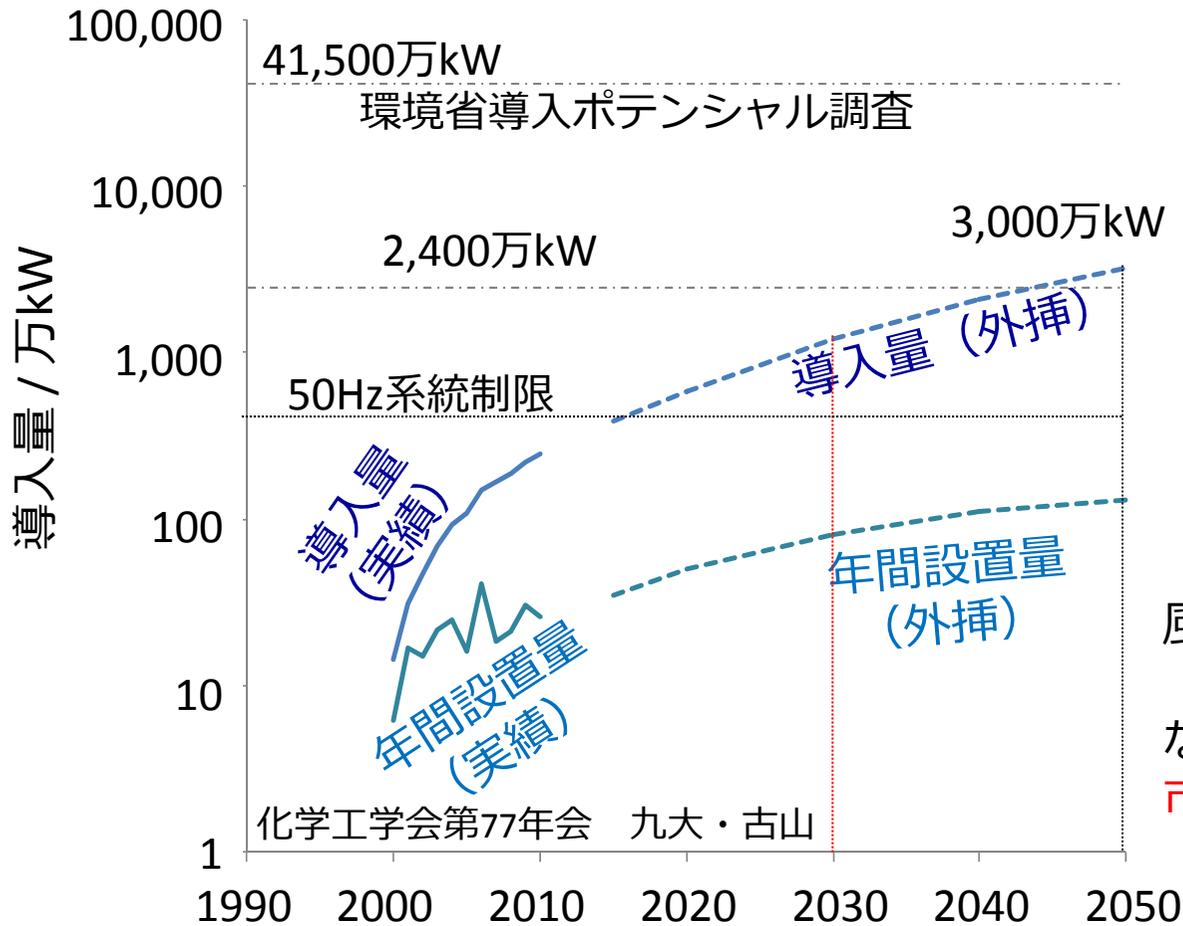
40GW普及のボトルネック
 系統が調整できる上限と蓄電池のコスト

年稼働率11%⇒193億kWh
 (最大でも386億kWh程度)
 →3.11前の原発の13%

風力発電の可能性

JSME WG1の試算
(2030年)

	設置容量	稼働率	年発電量
On shore	568万kW	25%	124億kWh
Off shore	84万kW	30%	22億kWh



稼働率:
公共機関系など発電量実績
公開設置個所から52か所の
データを収集
平均稼働率 **21.6%**
(出力加重平均)
最大 34.9% 最小 3.2%

風況の良い地域：北海道・東北
→送電線容量不足
ならし効果はPVに比べて小さい
市街地での課題：低周波騒音

風力発電大量導入時の課題

・東北－東京の連系線利用ケースI (短周期変動分離)

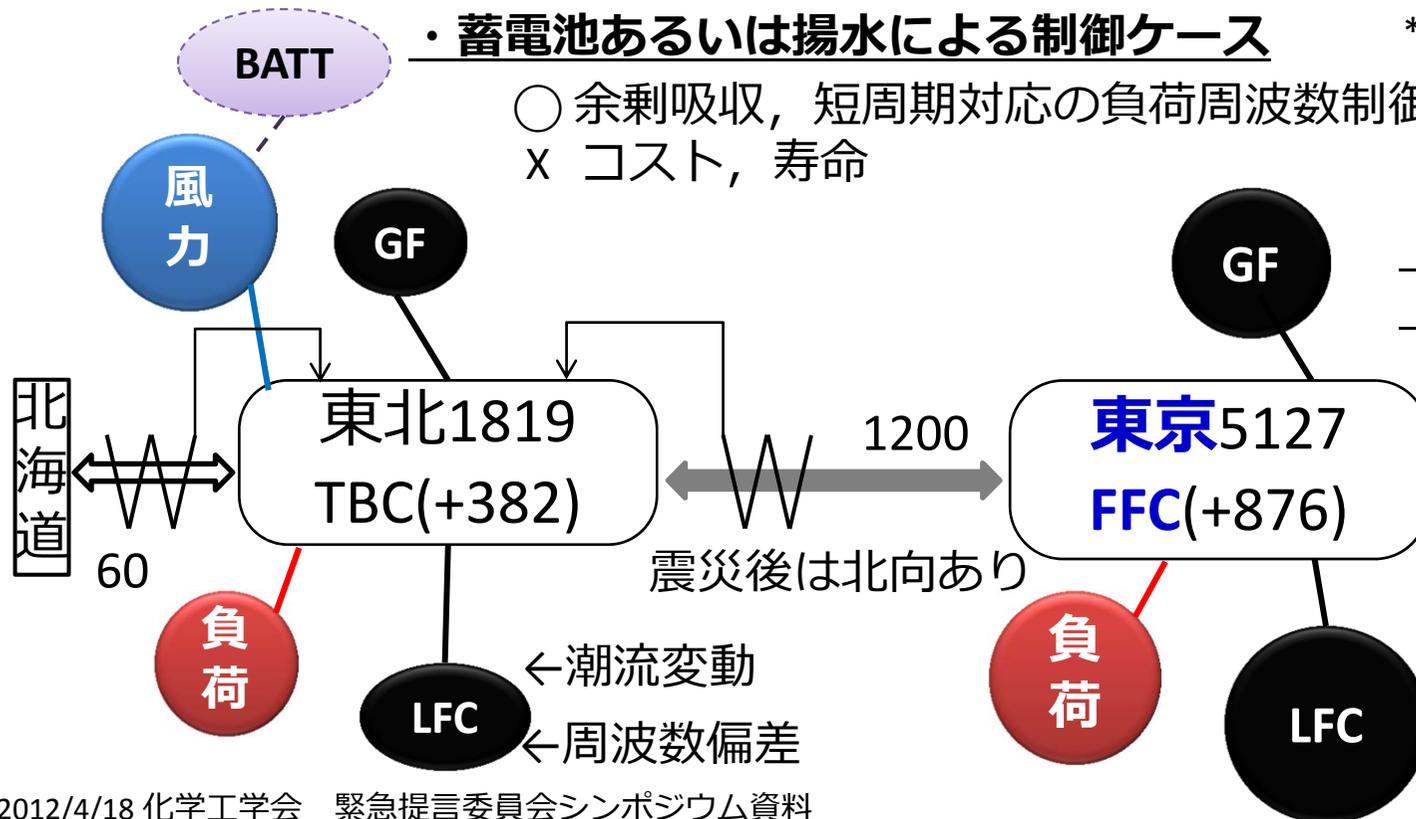
- 東電の負荷周波数制御 (LFC) 発電機も使え, 風力導入可能量が増大
- X 連系潮流が変動 (フリンジ大)
- X 連系容量減によりピーク時の融通に影響, ESCJ運用ルールと不適合
- X LFC拡大としてGTCCの負荷↓, 石油火力の負荷↑ →CO₂増
- X 下げ調整不足→風車の出力制御

何もしなくて入るのは
428万kW*程度と推計

*ESCJ 3/13中間報告より

・蓄電池あるいは揚水による制御ケース

- 余剰吸収, 短周期対応の負荷周波数制御
- X コスト, 寿命

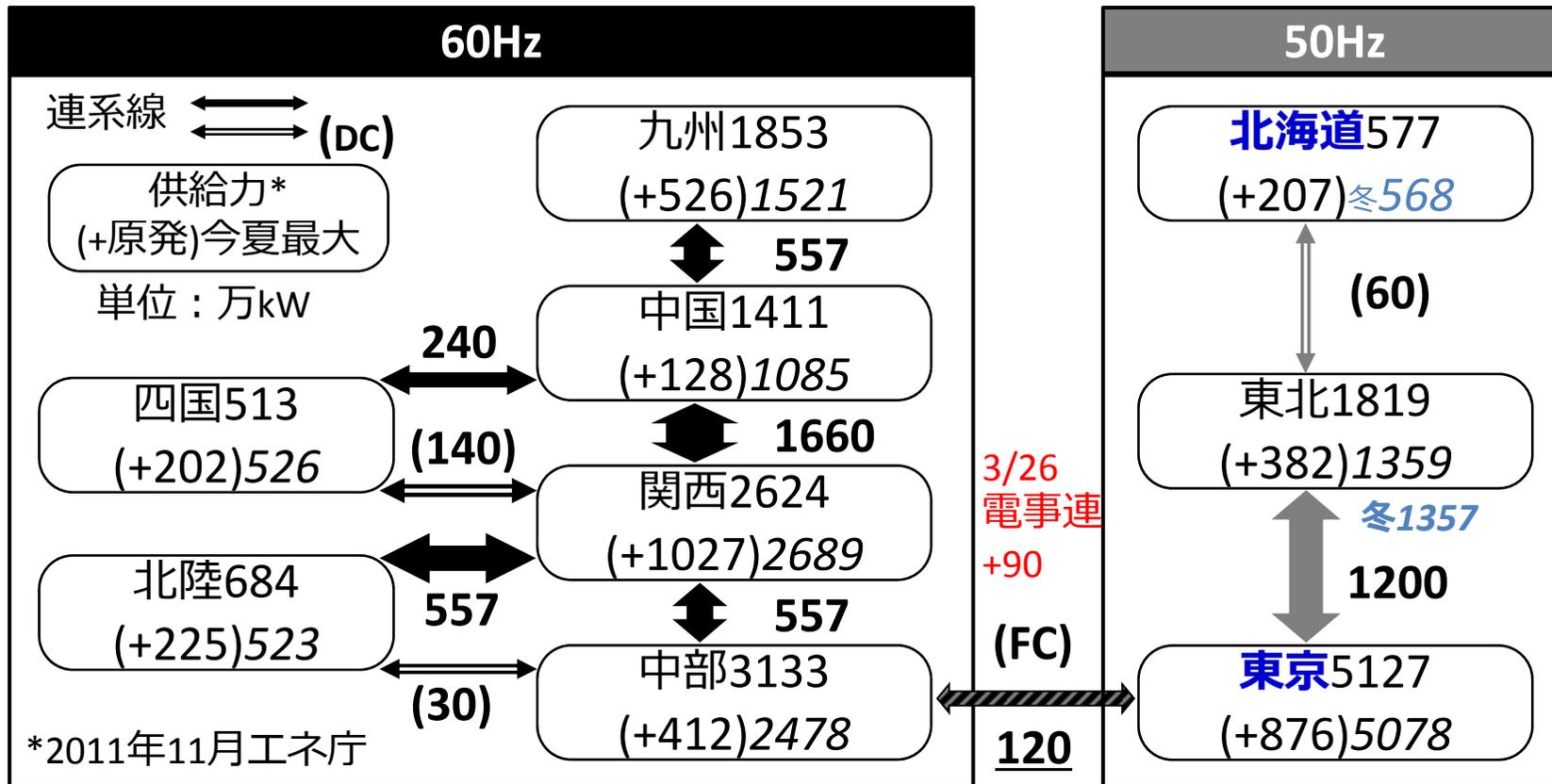


・連系線利用ケースII (ベース送電)

- X CO₂増
- X ESCJルール不適合

周波数変動は0.2Hz
(解列→大停電)

9社の供給力と連系線容量



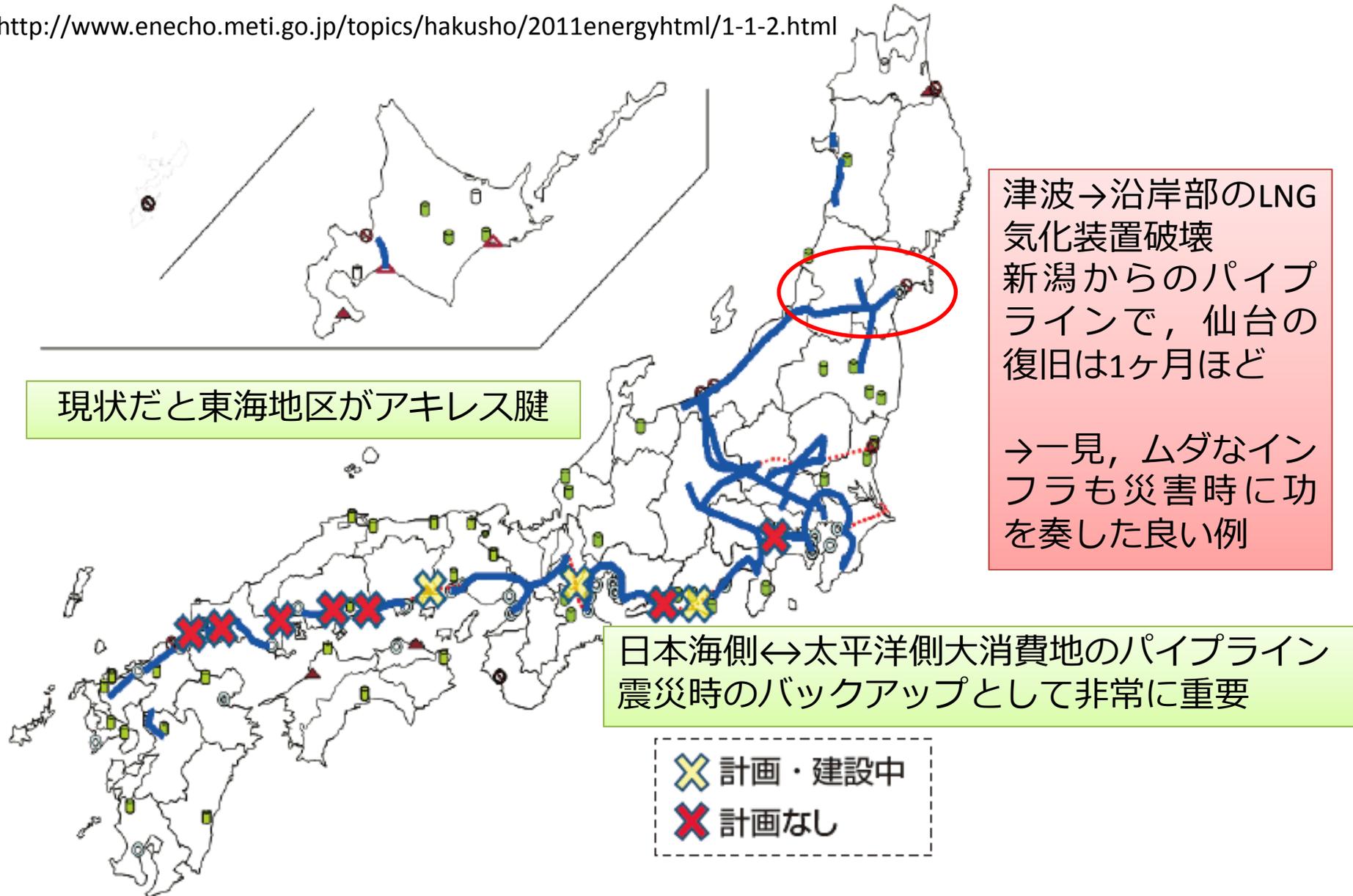
日本の電力系統

※丸善, ゼロから見直すエネルギー ISBN987-4-621-08513-4

- 独立性の高い運用 → 電力の安定, 事故が波及しないなどの長所あり
(青は定周波数制御: FFC, 他は周波数バイアス連系線潮流制御: TBC)
- 電力系統利用協議会 (ESCJ) **需給相互応援融通電力 (震災対応に該当)**
水力, 原子力などCO₂に配慮して受送電融通できるしくみ (広域相互協力融通)
- △10GW級の喪失 → 都市圏の応援力が活かさない 高いがFC容量増も必要

冗長システムによる災害リスク対策（ガス）

<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2011energyhtml/1-1-2.html>



省エネ・分散電源・CO₂対策

kWの対策

ピークシェーブ, 負荷平準化

- GT・GE・FCなどの分散電源コージェネ
- 蓄電や蓄熱
- アンシラリー, ネガワット市場など
PPSや卸電力取引所活用

kWhの対策

基本は需要端での省エネ

(2030年までに人口は10%減)

→経済停滞なく省エネは十分可能

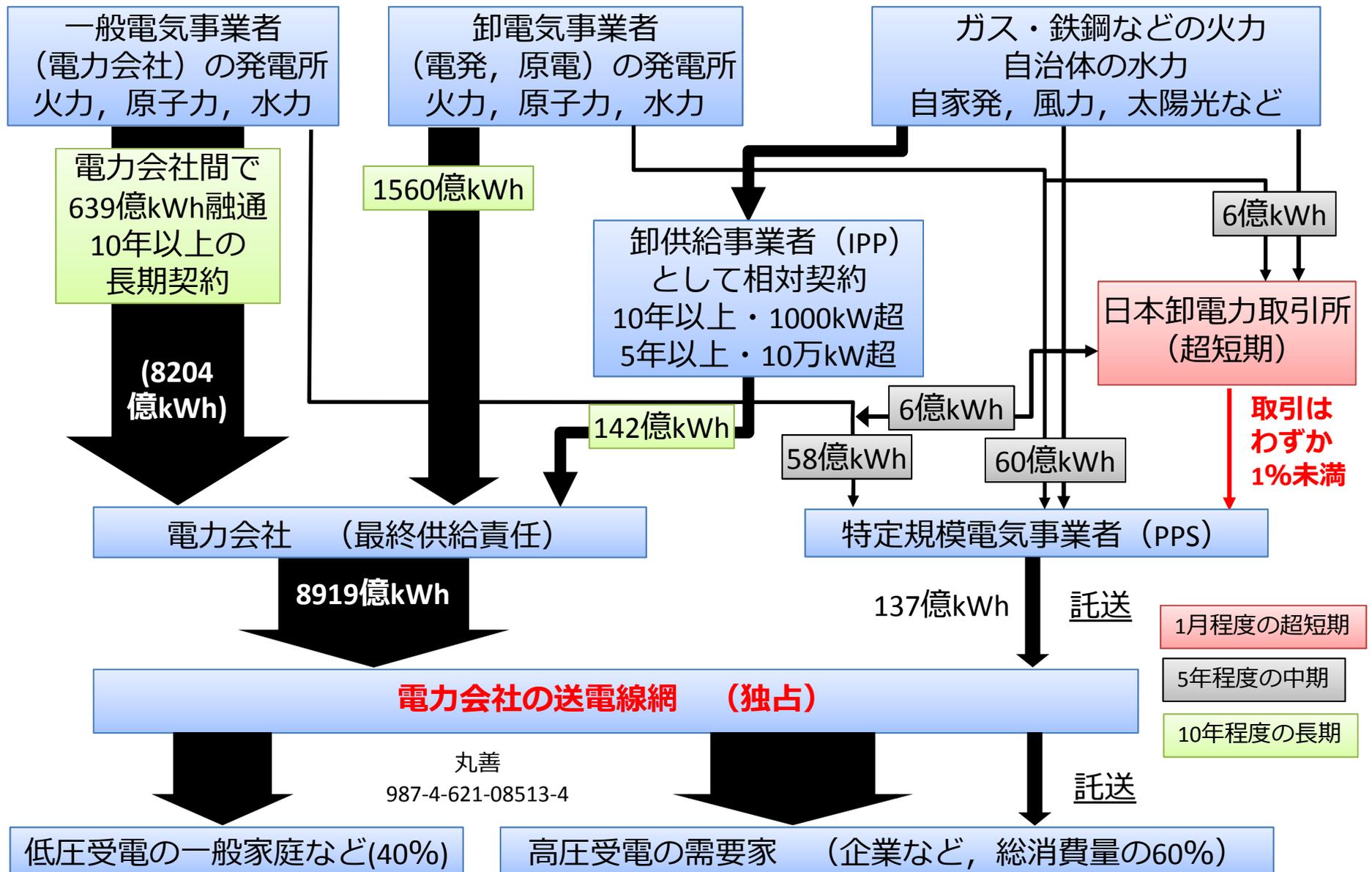
CO₂対策

kW・kWh対策とともに包括的に実施

地球温暖化→新興国で高効率発電システム・CCSの展開とクレジット

- 石炭火力の発電効率向上, バイオマス混焼など
- 適正な範囲内での天然ガスへのシフト
- 原子力発電の温存+再生可能エネルギーの増強
- 水素利用の社会的合意も視野に
- 相変化プロセスの抜本的改善, COURSE50, コプロなど産業でも

電力取引の構造



数値は平成18年度のもので平成19年度内閣府規制改革会議イノベーション・生産性向上WG第3回IT・エネルギー・運輸TF資料より抜粋。

自由化に向けた課題整理

「円高なのに一方的な値上げはゴメンだ」 「再生可能エネルギーを買いいたい」

1. PPS（わずかシェア2%）の電力調達量の確保が第一歩

- 卸電力取引所の活性化
 - 一般・卸電気事業者に一定量の売電を義務化
 - 特にベース電源の調達強化（契約は昼間のみの公共施設や学校ばかり）
- 卸供給事業者（IPPや県営水力、ゴミ発電など）の競争入札化

2. アンバンドリング以前に電力システムの開放を

- 規模小のPPS=調整力も小
 - 30分間±3%以内の同時同量義務に意味があるか？
 - 厳しいインバランス料金（余剰0円買い取り，不足は40円/kWhで売り）
 - 一方で，18条の最終供給義務の公平化も必要（例：揚水の電力銀行化）
- 託送料金の透明化，引き下げ
 - 3.96円/kWh中1.3円ほど試算困難
 - 一方で，送電線混雑考慮の託送料金設定など，メリハリを
- 系統情報の開示
 - 需要側の協力でピークシフト（デマンドレスポンスサービス）
 - 卸電力取引におけるアンシラリー市場の形成の可能性

参考 （株）エネット 総合エネルギー調査会 第12回基本問題委員会資料
<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/12th/12-2.pdf>

まとめ

エネルギー・環境会議での3ケース：国民的議論を経て、最終的には政治判断。正解があるわけではない。いずれも茨の道で課題山積。機械技術の役割はいずれの選択肢に対しても

- 経済的なCO₂排出削減のためのエクセルギー視点でのエネルギーのベターミックスをベースに、
- 利便性・快適性を過剰に犠牲にしない需要端での省エネ技術
- 集中・分散を問わず、高い効率と信頼性の発電システム技術を地道に実現することにある。

問題意識：

- CO₂よりも経済が心配
1000兆円の国の借金の下で、復興資金は誰が稼ぐのか？ 8.46%の負担増
→当面は安定な電力ありきで操業する製造業である。10兆円単位のお金を、よその国は寄付してくれない。雇用減、税収や社会保障も崩壊。
- 日本は資源に乏しい島国
資源は海を越えて買ってこないとなんともない。これまでは高付加価値な製造品輸出に基づく実体のある経済力でなんとかかなってきたが、円高で...