



宝塚市  
再生可能エネルギー  
推進審議会

2015年7月2日

# ベースロード電源は 21世紀にふさわしいか？

関西大学 システム理工学部 准教授 安田 陽

## + 本日の参考文献

### ■ エネルギーミックス国際比較

#### ■ 安田陽:

「データで見る日本のエネルギー政策の特異性と孤立性」  
環境ビジネスオンライン, 2015年6月15日, 22日, 29日  
<https://www.kankyo-business.jp/column/010524.php> 他

#### ■ 安田陽: 「ベストミックスは誰のため？」

環境ビジネスオンライン, 2015年6月8日  
<http://www.kankyo-business.jp/column/010615.php>

### ■ ベースロード電源関係

#### ■ 安田陽: 「ベースロード電源は21世紀にふさわしいか？」

シノドス, 2015年5月30日 <http://synodos.jp/science/14188>

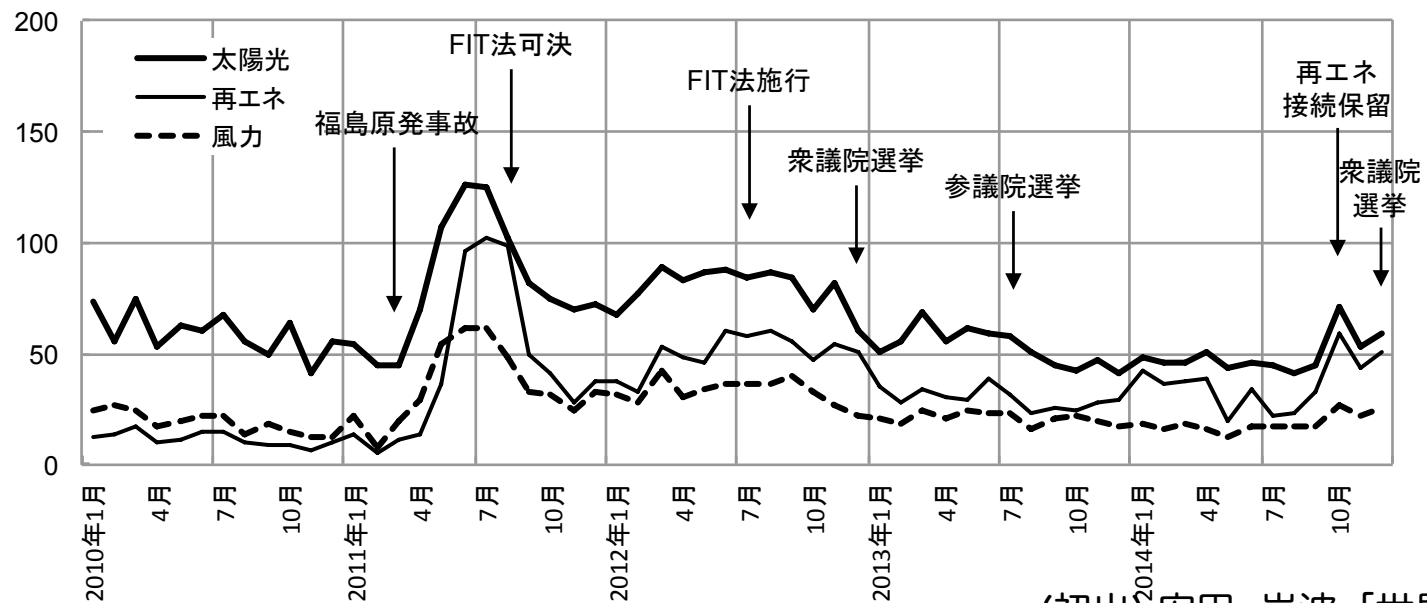
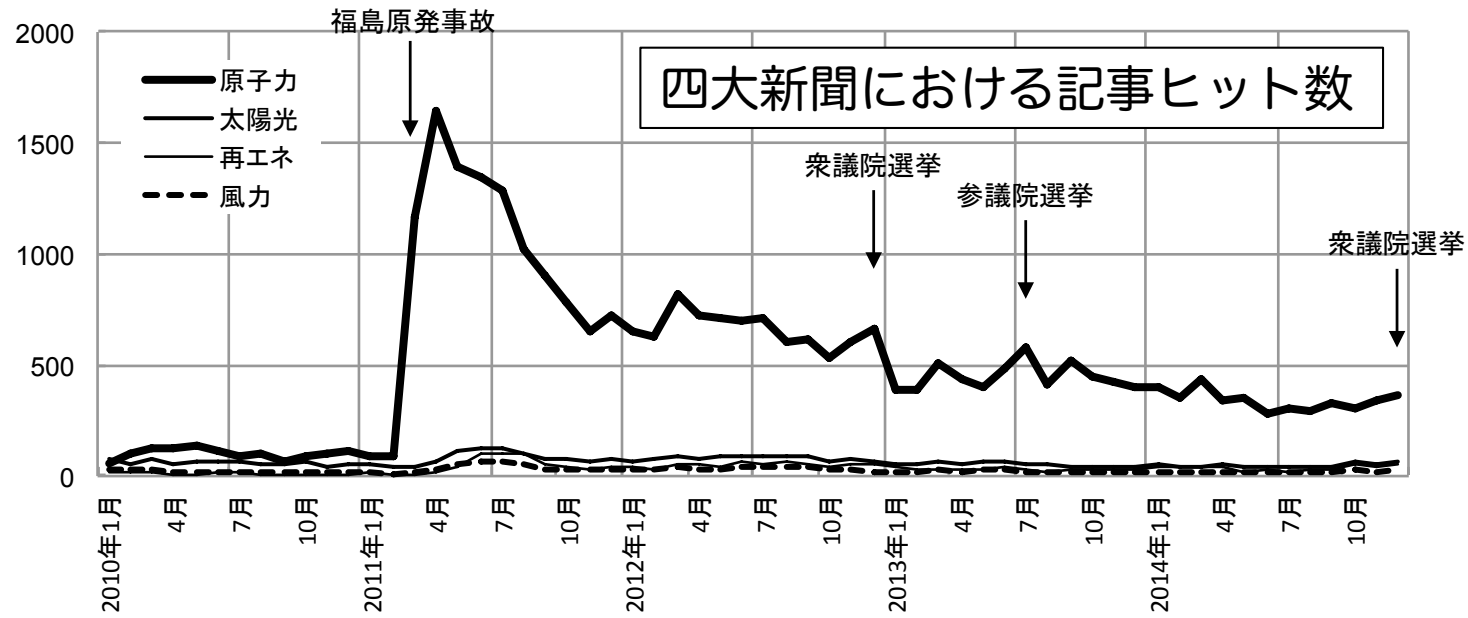
#### ■ 安田陽: 「バックアップ電源以外の選択肢」

シノドス, 2015年5月21日 <http://synodos.jp/science/14129>

## + はじめに：「情報鎖国日本」

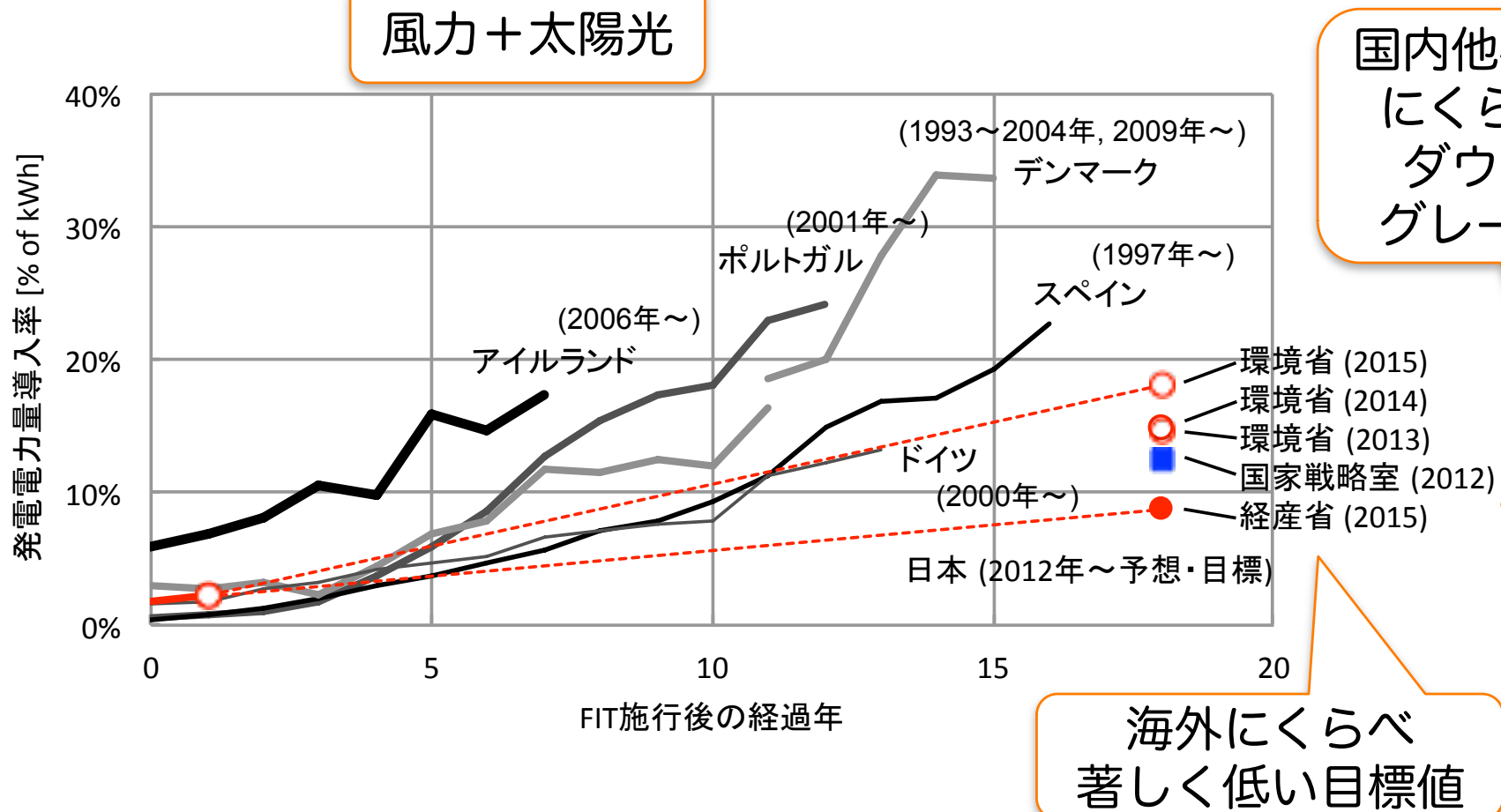
- 世界で議論されていること
  - 再エネはエネルギー安全保障の切り札
  - 電力システムの投資とイノベーションは再エネなしでは語れない
  - 電力システムの柔軟性
- 日本のガラパゴスの議論
  - 再エネは高コストで不安定 (?)
  - 再エネにはバックアップ電源が必要 (?)
  - ベースロード電源 (?)

# + 再エネを語らない日本

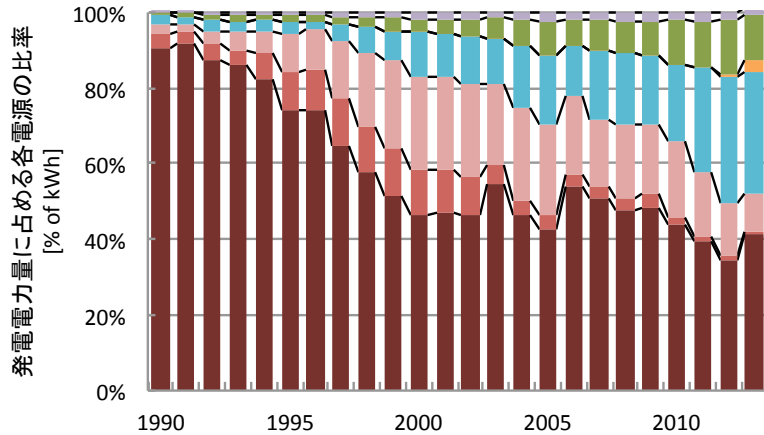


(初出) 安田: 岩波「世界」, 2015年5月号

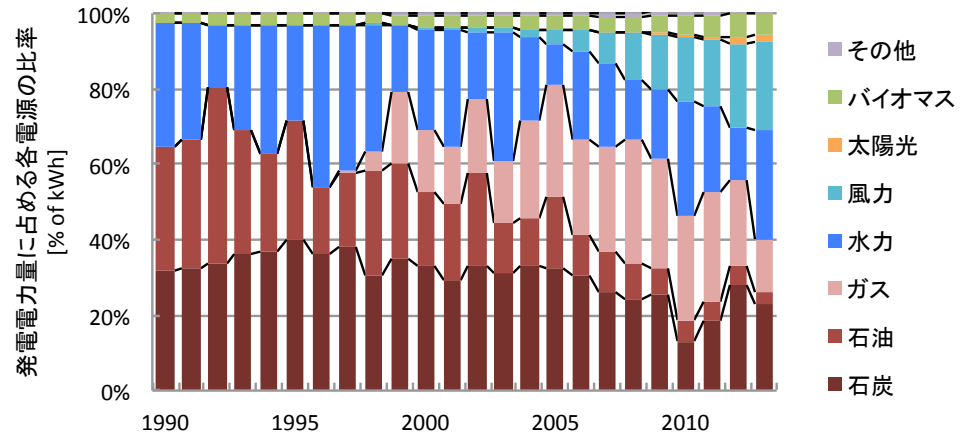
# + FIT施行後の 変動性再エネ (VRE) の動向



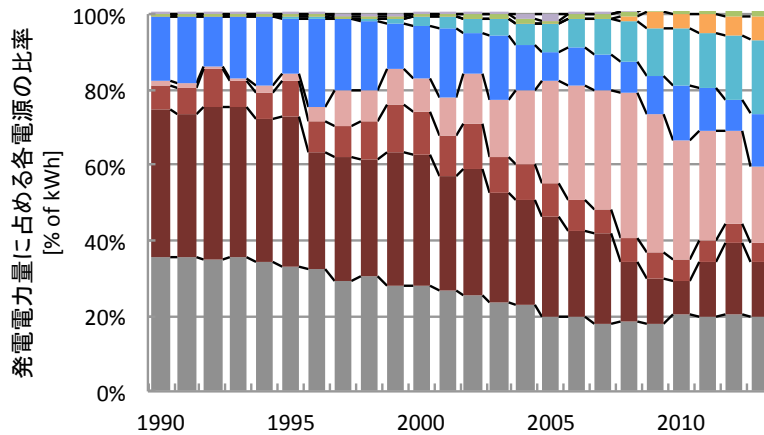
# + 過去20年の電源構成の推移



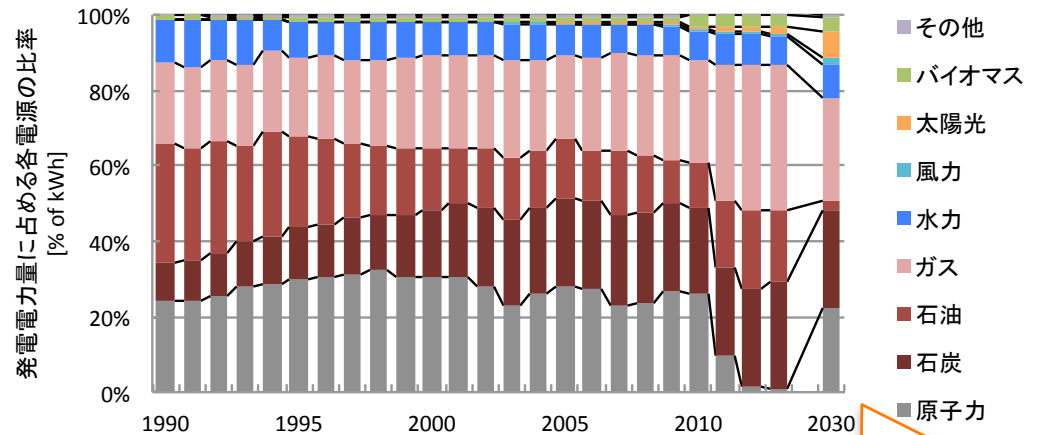
デンマーク



ポルトガル



スペイン

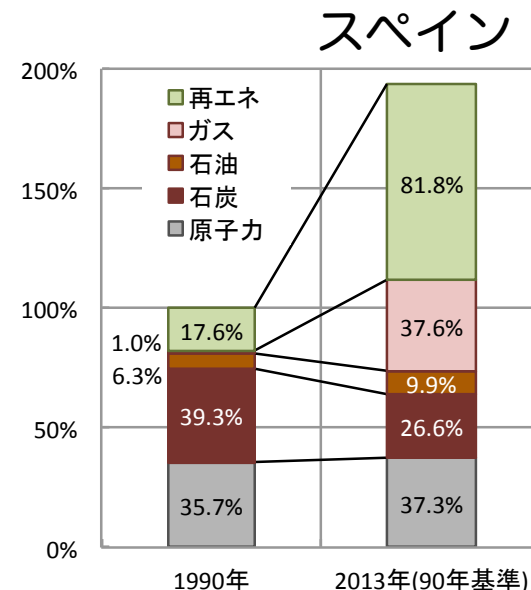
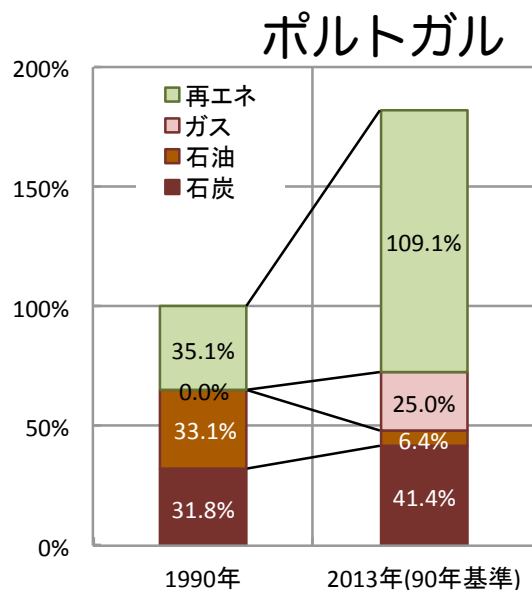
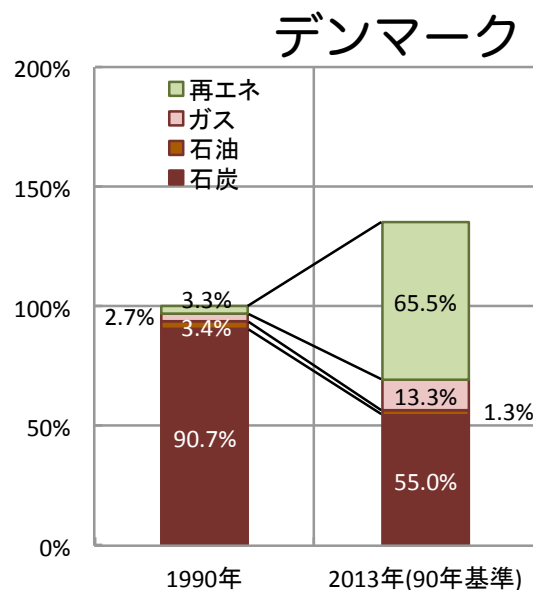


日本

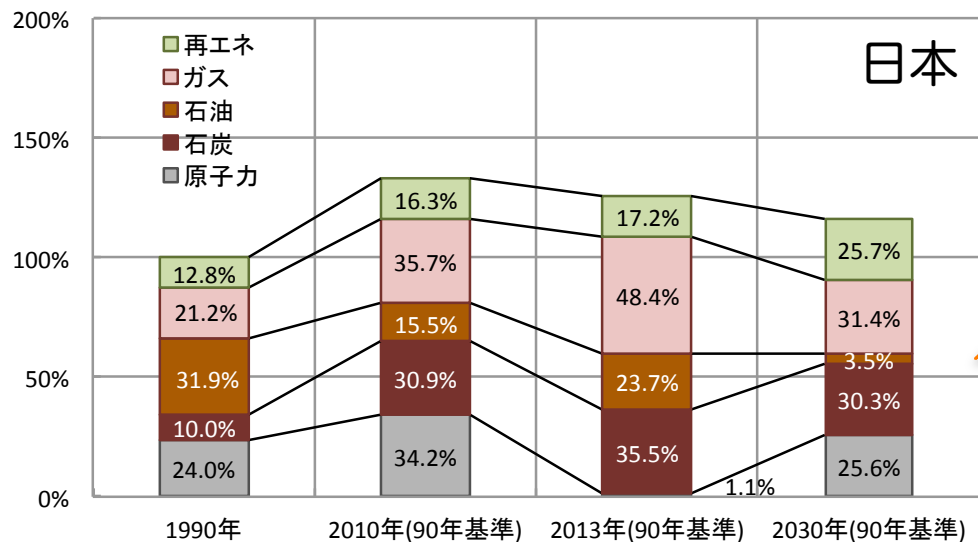
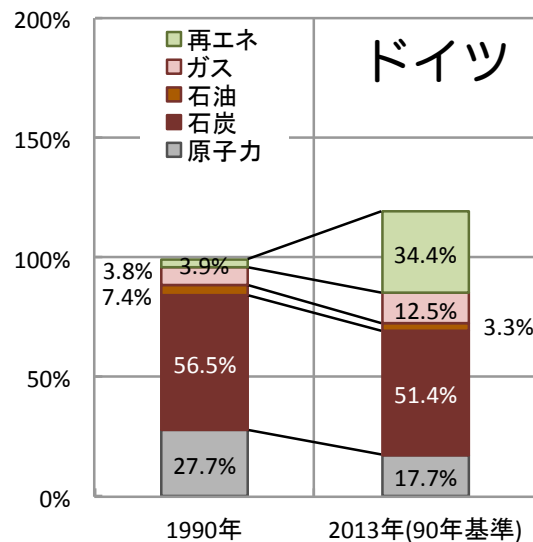
変わらない日本

変わる世界

# + 過去20年の電源構成の推移



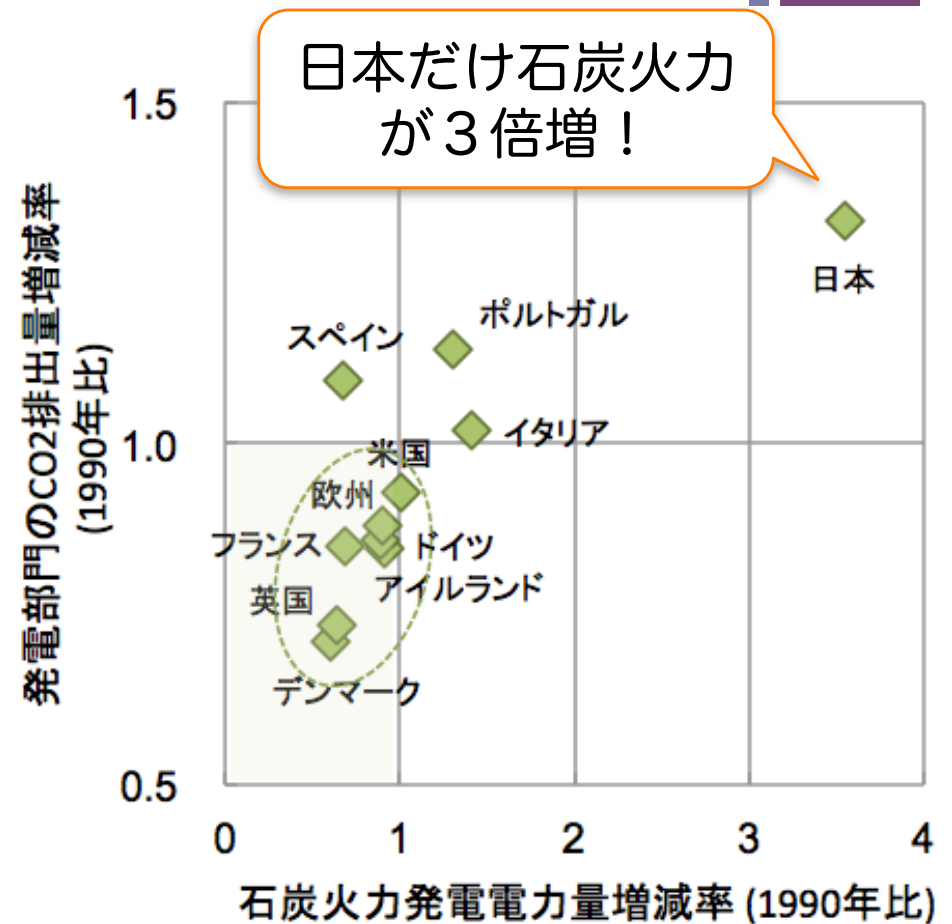
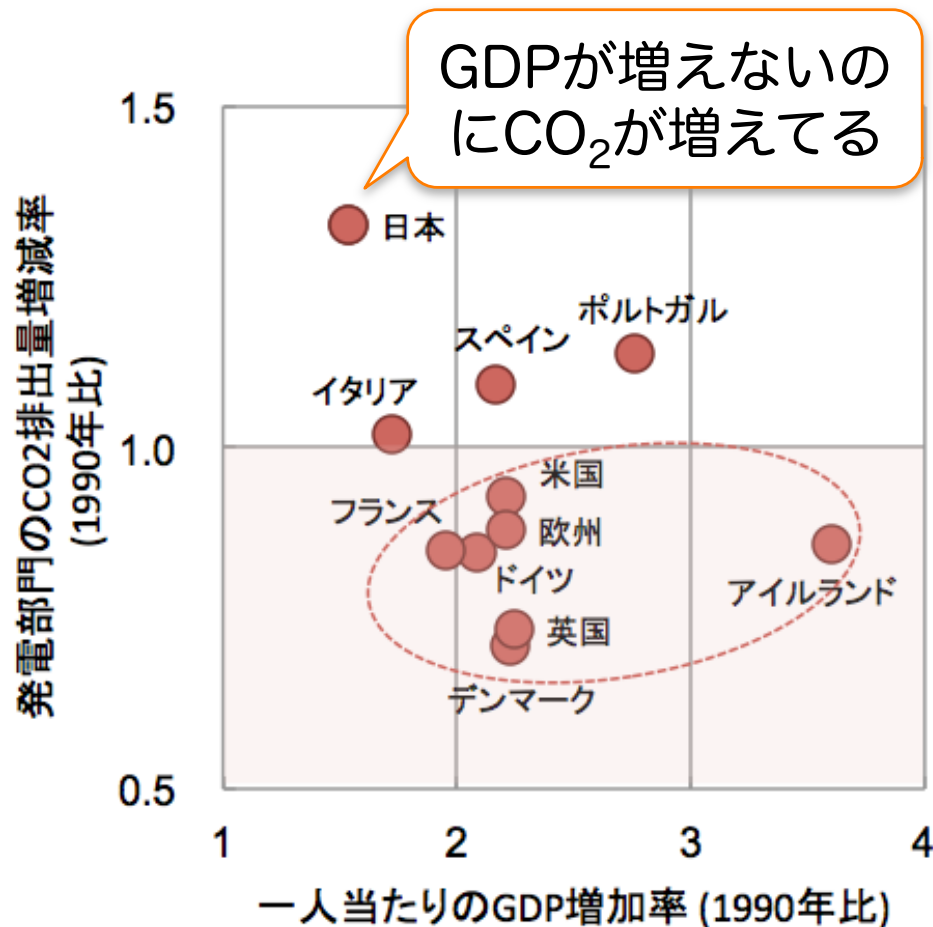
変わる世界



変わらない日本

(初出) 安田: 「続々・データで見る日本のエネルギー政策の孤立性と特異性」, 環境ビジネスオンライン2015年6月29日号

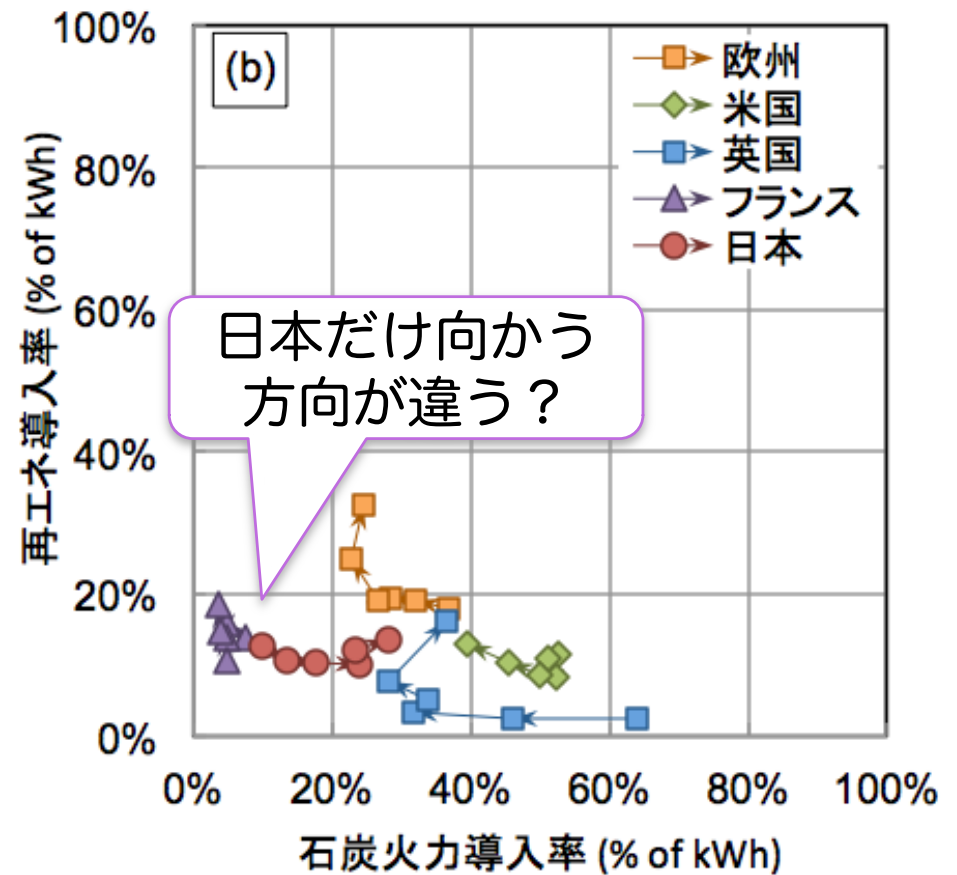
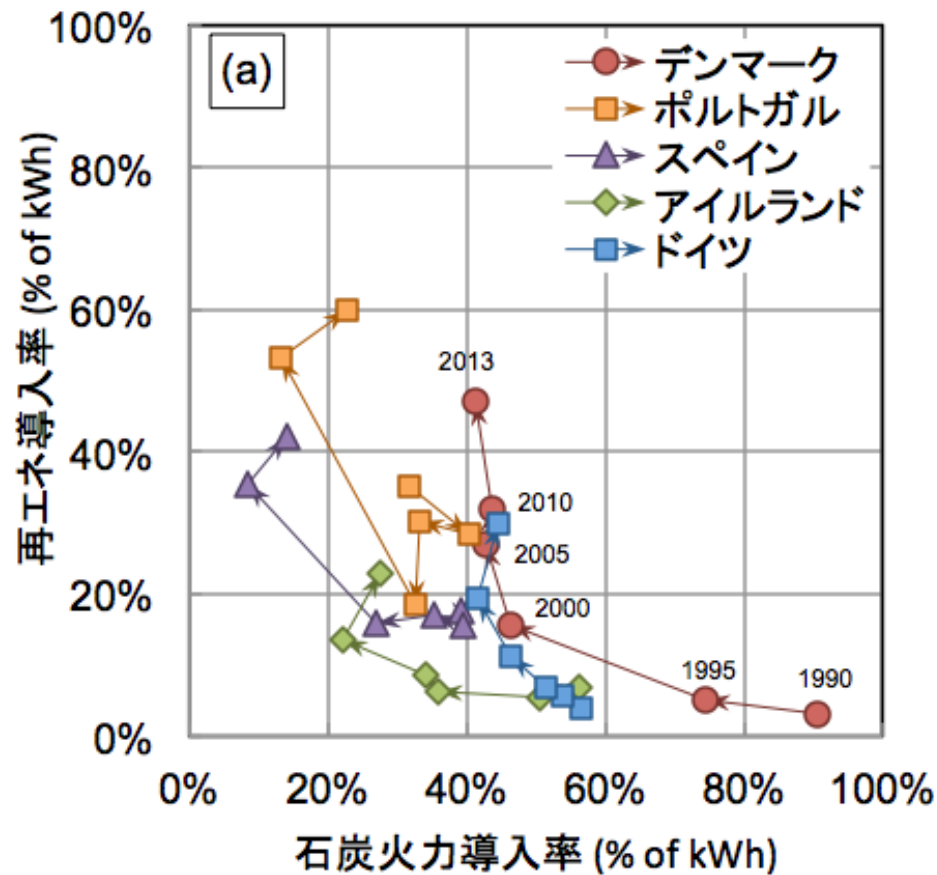
# + 日本のエネルギー政策の孤立性と特異性



(初出) 安田:「続・データで見る日本のエネルギー政策の孤立性と特異性」,  
環境ビジネスオンライン2015年6月29日号



# + 日本のエネルギー政策の 孤立性と特異性



(初出) 安田: 「データで見る日本のエネルギー政策の孤立性と特異性」,  
環境ビジネスオンライン2015年6月22日号

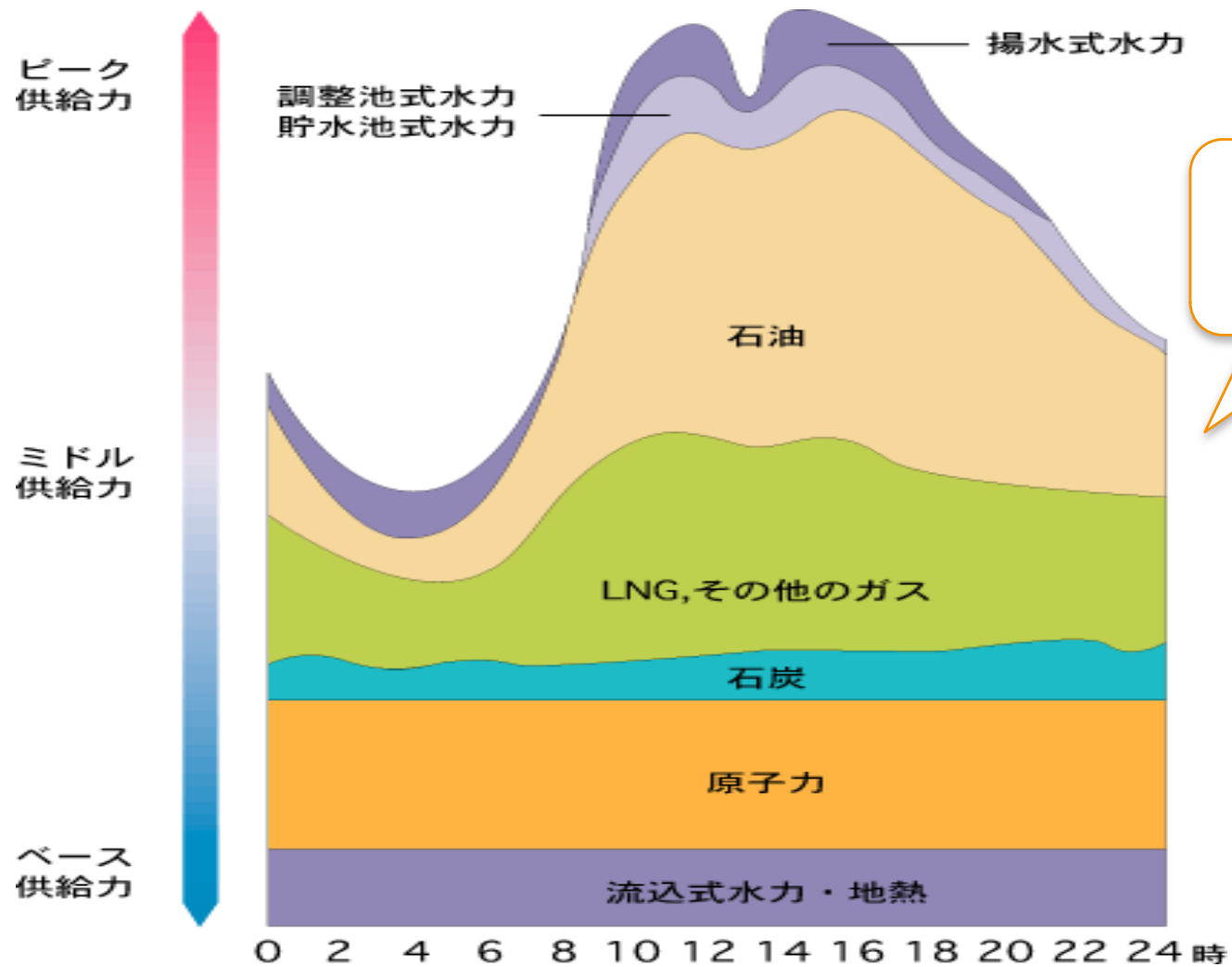
## + ここまでのまとめ

- 電源のベストミックス best mix という概念は、海外にはほとんど存在しない。
- 海外では再エネの政策目標があり、残りをどの電源で埋めるかは市場が決める。
- 日本は「ベストミックス」の名のもと、20年以上電源構成を変える努力をしてこなかった。
- 世界の常識は日本の非常識
  - 日本の再エネ導入率は先進国最低レベル
  - 日本の石炭火力増加率は先進国最高レベル

## + そもそも 「ベースロード電源」とは？

- 一定の比率で所与の期間を通じて電力が供給される、あるいは必要とされる最小の量
  - (出典) **ENTSO-E** Definitions and Acronyms / **NERC** Reliability Standards
- 発電（運転）コストが、**低廉で、安定的に**発電することができ、昼夜を問わず継続的に稼働できる電源となる「**ベースロード電源**」として、地熱、一般水力（流れ込み式）、原子力、石炭。
  - (出典) エネルギー基本計画 (2014)

# + 日負荷曲線



## + 欧州の言説

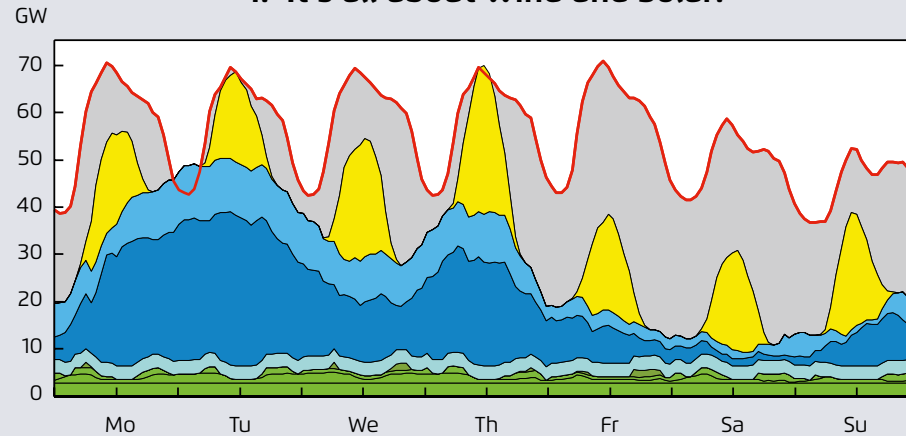
- ドイツ・再エネ系コンサルAGORAの報告書
  - 「ベースロード電源はすっかり消え失せ，ガス火力や石炭火力は一時的にしか運転されない」
  - 12 Insights on Germany's Energiewende, 2013  
[http://www.agora-energiewende.org/fileadmin/downloads/publikationen/Impulse/12\\_Thesen/Agora\\_12\\_Insights\\_on\\_Germanys\\_Energiewende\\_web.pdf](http://www.agora-energiewende.org/fileadmin/downloads/publikationen/Impulse/12_Thesen/Agora_12_Insights_on_Germanys_Energiewende_web.pdf)
- グリーンピースの報告書 (Ackermann氏も執筆)
  - 「ベースロード電源は必要だろうか？」
  - Energy [r]evolution, 2012  
<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2012/Energy%20Revolution%202012/ER2012.pdf>

# + AGORA報告書 (2022年予測)

## 1. It's all about Wind and Solar!

Wind and PV are the cheapest renewable energy sources

The potential of other renewable energy sources is limited



### features

- > weather dependent
- > variable
- > only capital expenditure

How to balance demand and supply?  
How to minimise costs?  
How to realise the Energiewende in the European context?

### technical system

2. "Base-Load" power plants disappear altogether, and natural gas and coal operate only part-time
3. There is plenty of flexibility – but so far it has no value
4. Grids are cheaper than storage facilities
5. Securing supply in times of peak load does not cost much
6. Integration of the heat sector makes sense

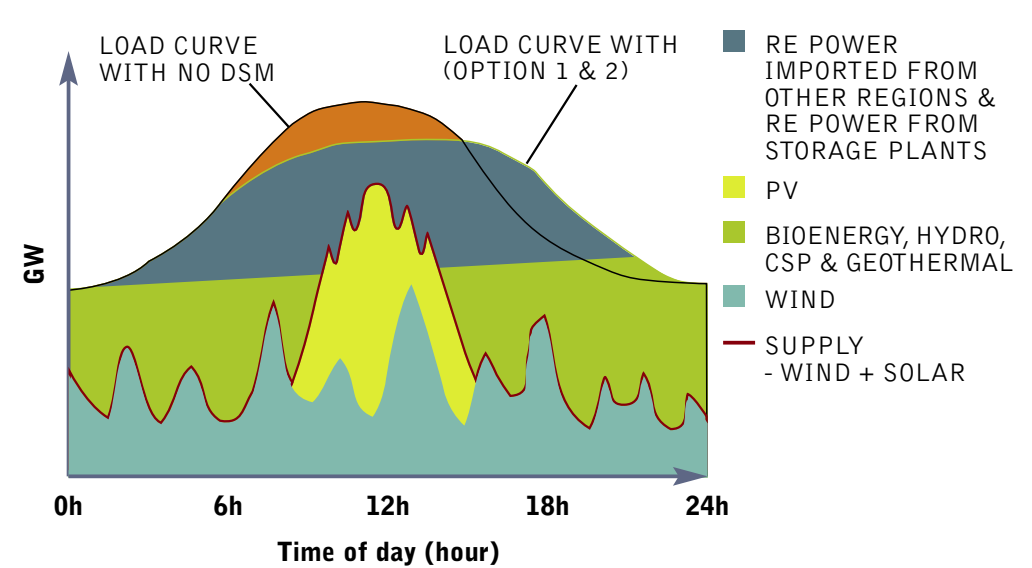
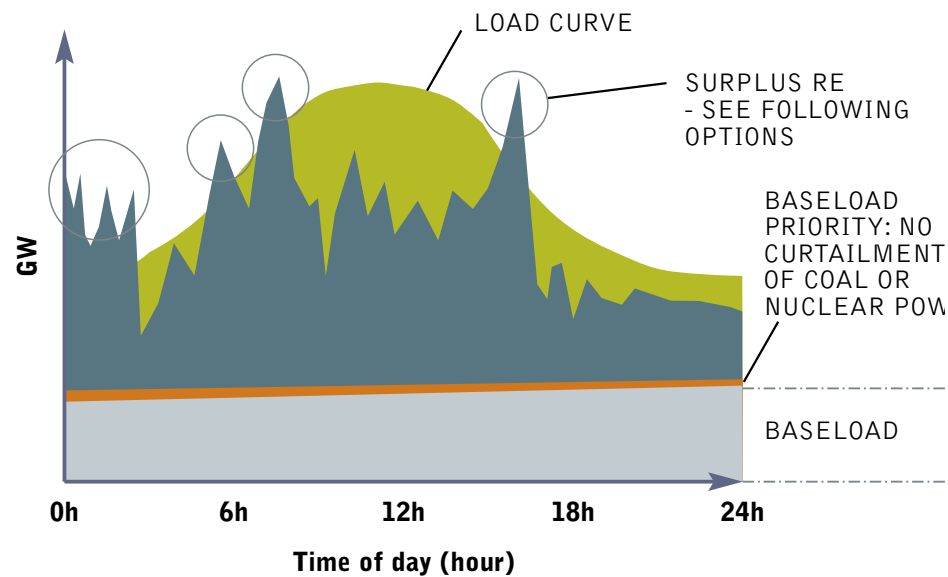
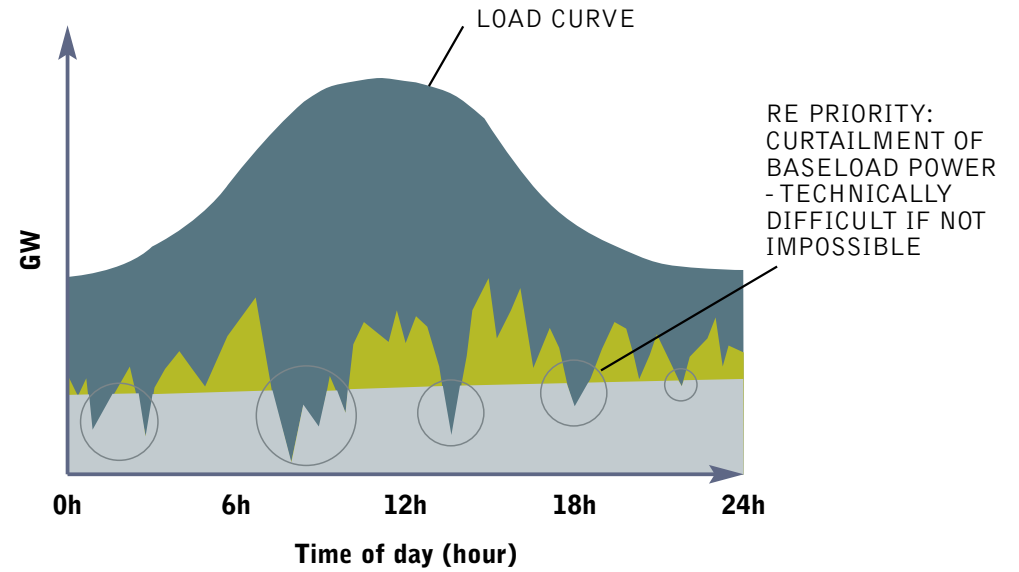
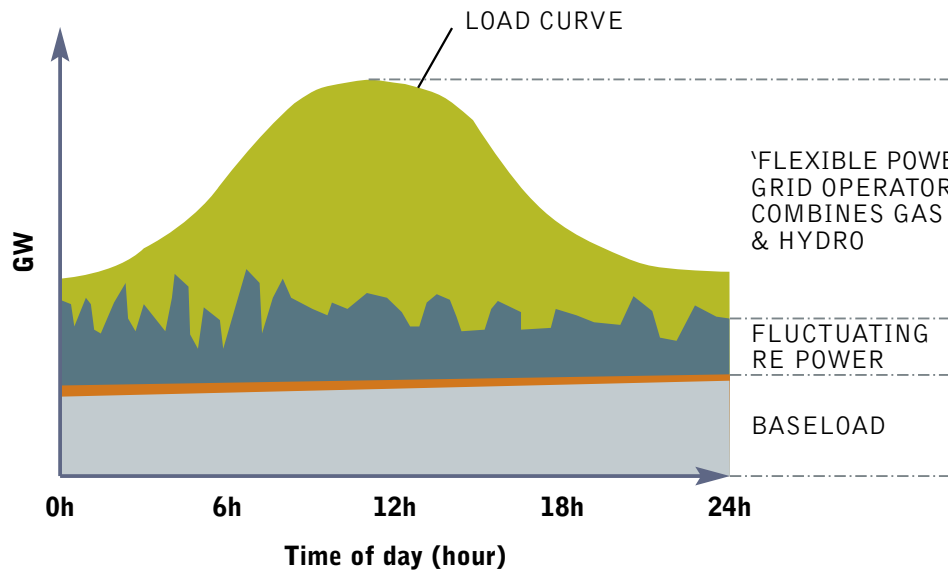
### market design

7. Today's market design is not fit for purpose
8. A new market design is needed
9. A new market design must actively engage the demand-side
10. The *Energiewende* Market must actively engage the demand-side
11. It must be considered in the European context

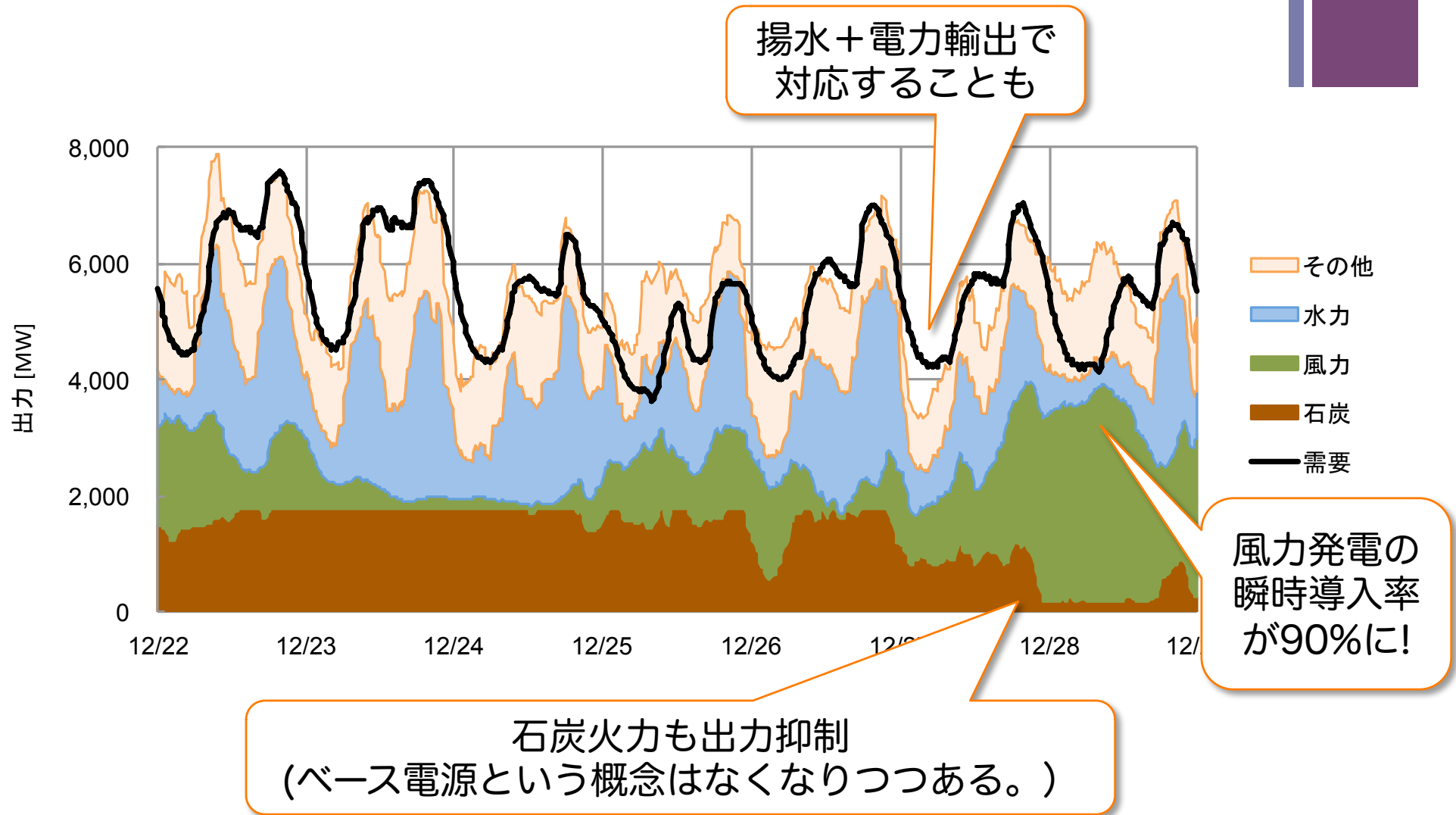
「ベースロード」電源はすっかり消え失せ、ガス火力や石炭火力は一時的にしか運転されない

12. A saved kilowatt hour is the most cost-effective kilowatt hour

# + GreenPeace報告書

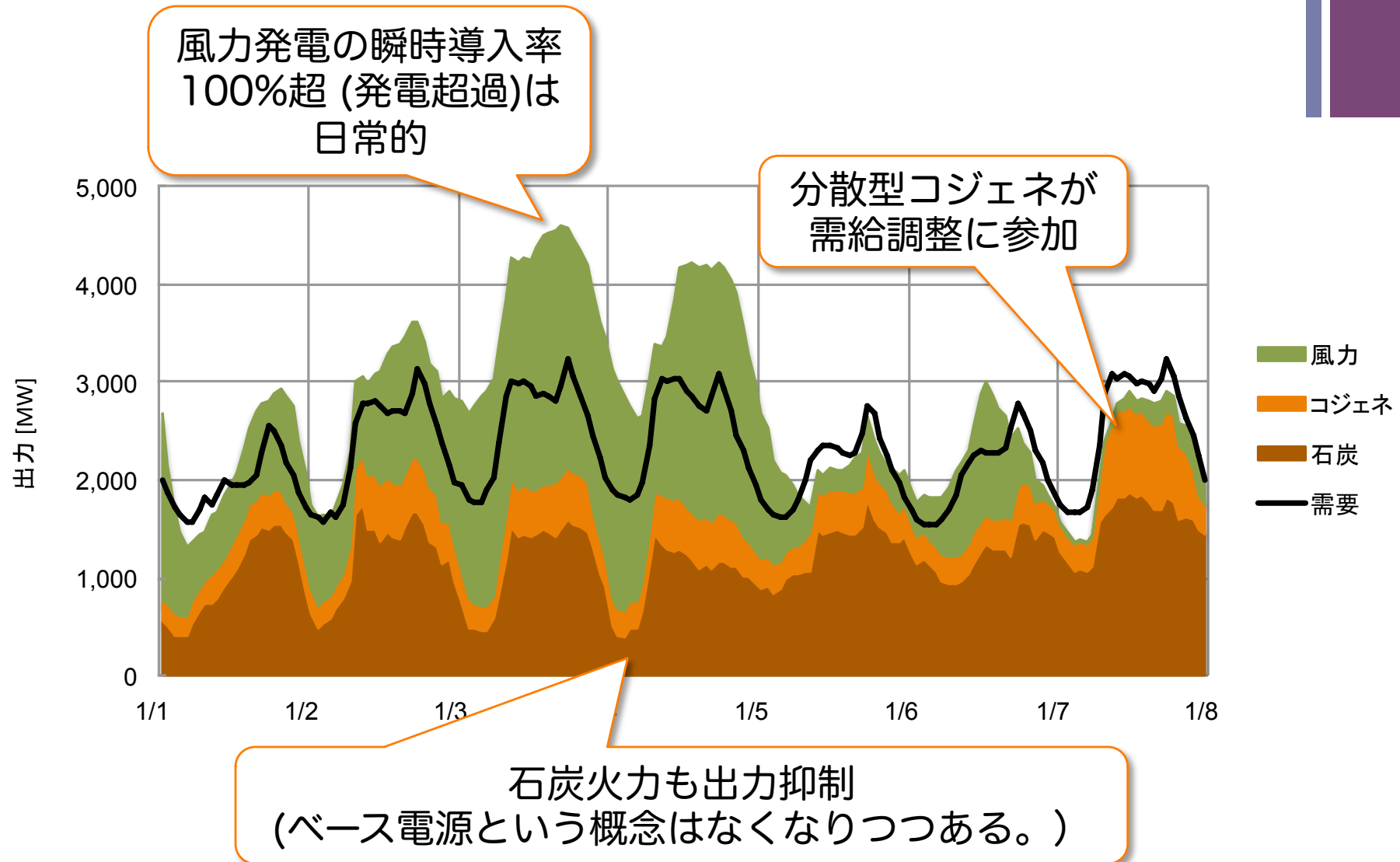


# + ポルトガルの実例 (2013年冬季)





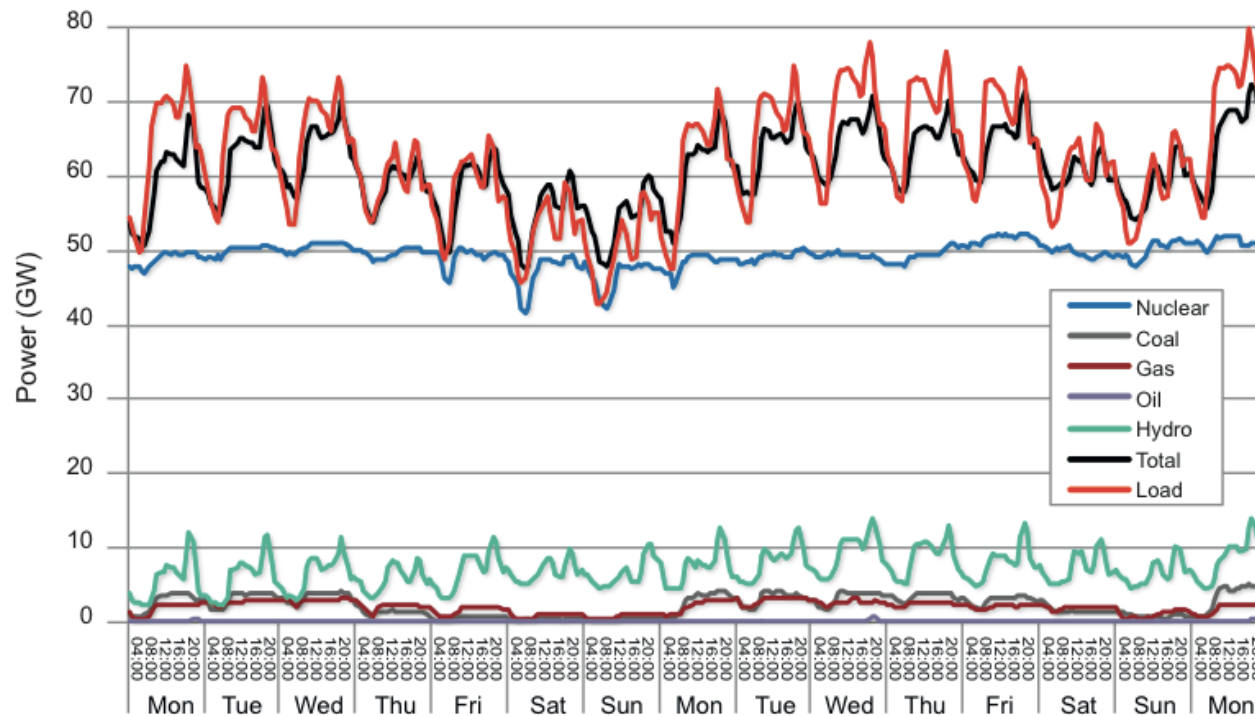
# + デンマークの実例 (2014年冬季)



# + フランスの実例

## ■ 軽負荷時に原子力を出力抑制

Figure 3.2: Example of the electricity generation in France during 2 weeks in November 2010



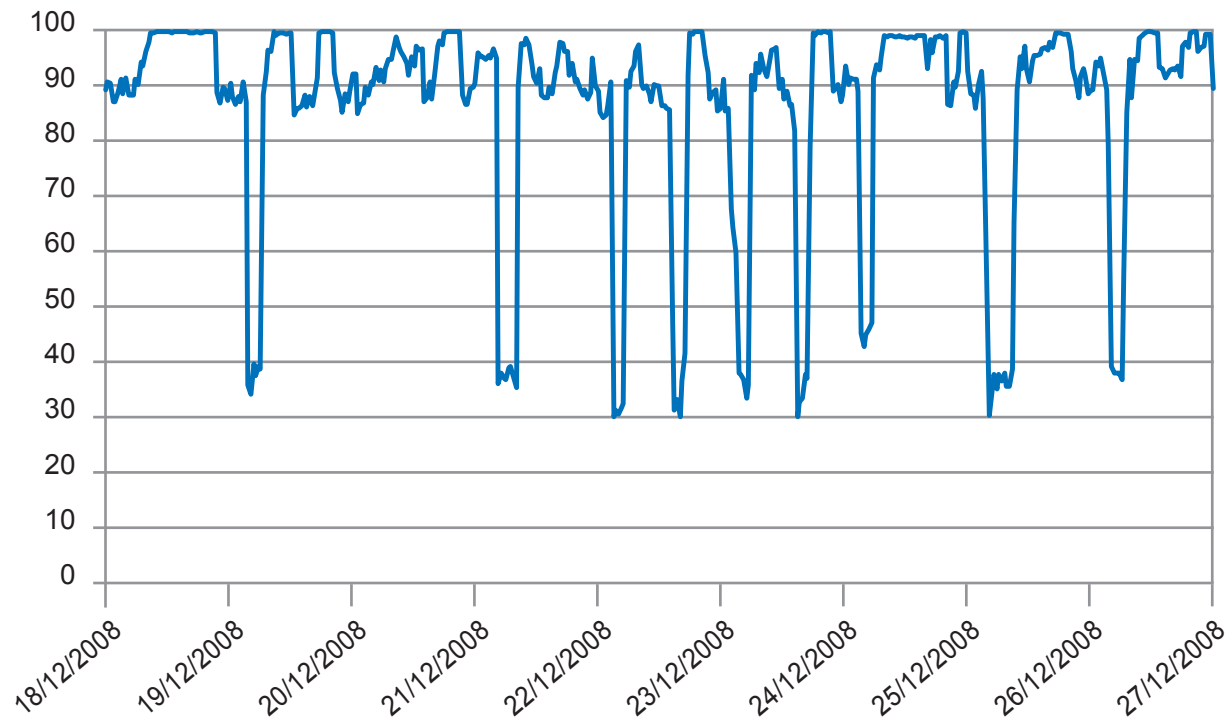
原子力

Source: Based on RTE data – Réseau de Transport d'Électricité, France.

(出典) OECD Nuclear Energy Agency: “Nuclear and Renewables” , 2012

## + フランスの実例

- フランスでは既に原子力の負荷追従を実施
- 出力変化速度 (ランプレート) は石炭火力と同等の 1~5%/min という実績

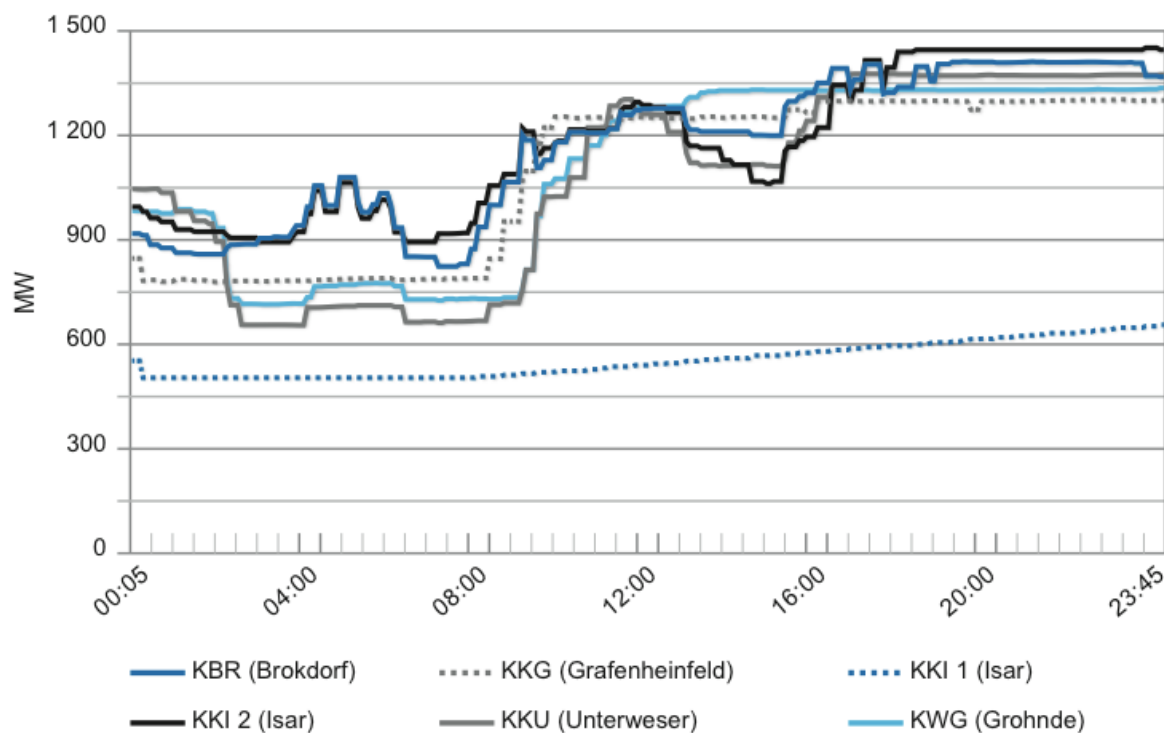


(出典) OECD Nuclear Energy Agency: “Nuclear and Renewables” , 2012

## + ドイツの実例

- ドイツでは日常的に原子力が出力調整。石炭火力も調整。近年は調整可能な褐炭も。

Figure 3.4: Load following operations of E.ON nuclear units in Germany



Source: Courtesy of E.ON Kernkraft, Germany.

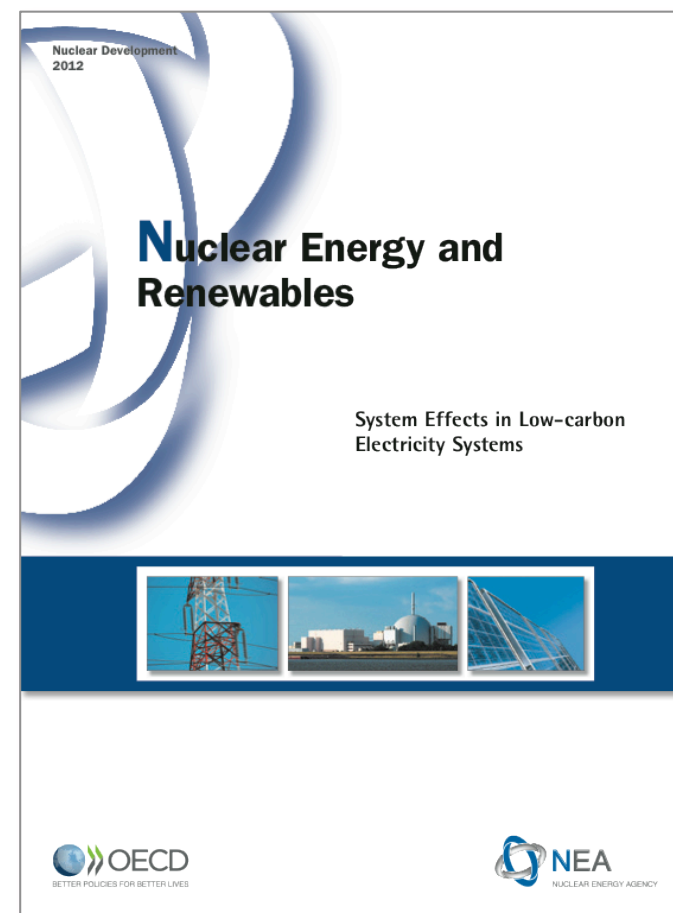
(出典) OECD Nuclear Energy Agency: “Nuclear and Renewables” , 2012

# + ベースロードが消滅する理由 【技術編】

- 火力・原子力の制御性能の向上
  - 石炭火力
    - 最低負荷の低減化
    - 出力変化(ランプ)速度の高速化
  - 褐炭火力 (主にドイツ)
    - 従来は一定運転しなければならないと言われていたが…
    - 高性能の最新機種も登場
- 原子力
  - フランス・ドイツ：従来から負荷追従運転
  - 日本：かつて実証試験も反対運動によりタブー視化

## + OECD/NEAの報告書

- 経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) 報告書  
“Nuclear Energy and Renewables”, 2013
  - 再生可能エネルギーの変動調整のための原子力の動的制御を検討 (第3章)
  - 「原子力発電の需給調整への参加なしに大量の再生可能エネルギーが導入された低炭素電力システムの将来を思い描くことはできない」 (p.100)



# + 「柔軟性」という新たなコンセプト

世界で活発に議論  
(日本では?)

## ■ 柔軟性 flexibility

- 系統の変動に対応し需給バランスを維持するための能力。
- 具体的には、
  - 調整力のある電源
    - 貯水池式水力発電
    - コージェネレーション (コジェネ)
    - コンバインドサイクルガス発電 (CCGT)
  - エネルギー貯蔵装置 (揚水発電)
  - 連系線
  - デマンドレスポンス

調整力のない電源は  
生き残れない!

# + 柔軟性

日本語版が今年  
4月に公開！



24

## ■ 国際エネルギー機関 (IEA) が提唱

- VER (変動する再エネ電源) の 低いシェアにおいて (5~10%)、電力システムの運用は、大きな技術的課題ではない。
- 現在の電力システムの柔軟性の水準を仮定すると、技術的観点から年間発電電力量の 25~40%のVREシェアを達成できる。
- 従来の見方では、電力システムが持ち得る全ての対策を考慮せずに、風力発電と太陽光発電を増加させようとしてきた。この“伝統的”な考え方では、重要な点を見落とす可能性がある。

(出典) IEA: 「電力の変革」, 2014

[http://www.nedo.go.jp/library/denryoku\\_henkaku.html](http://www.nedo.go.jp/library/denryoku_henkaku.html)



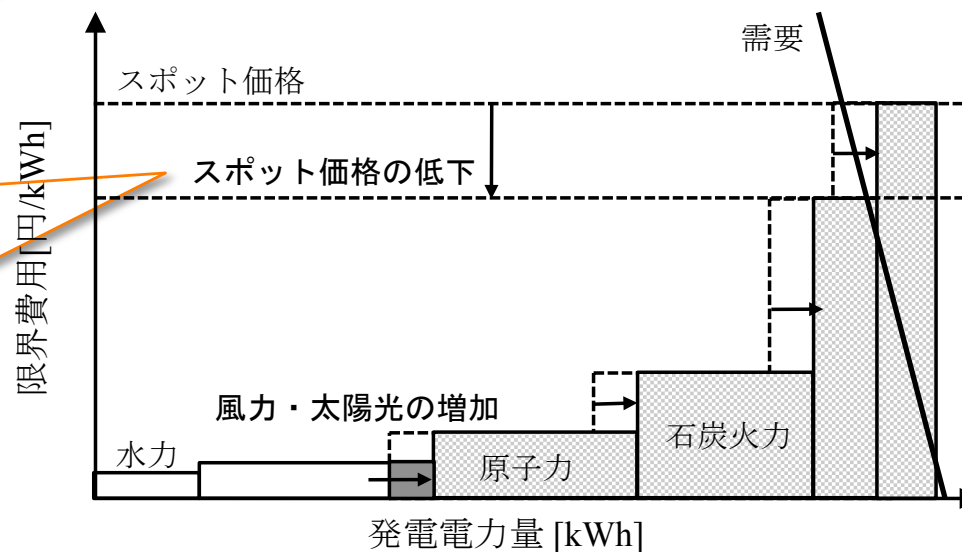
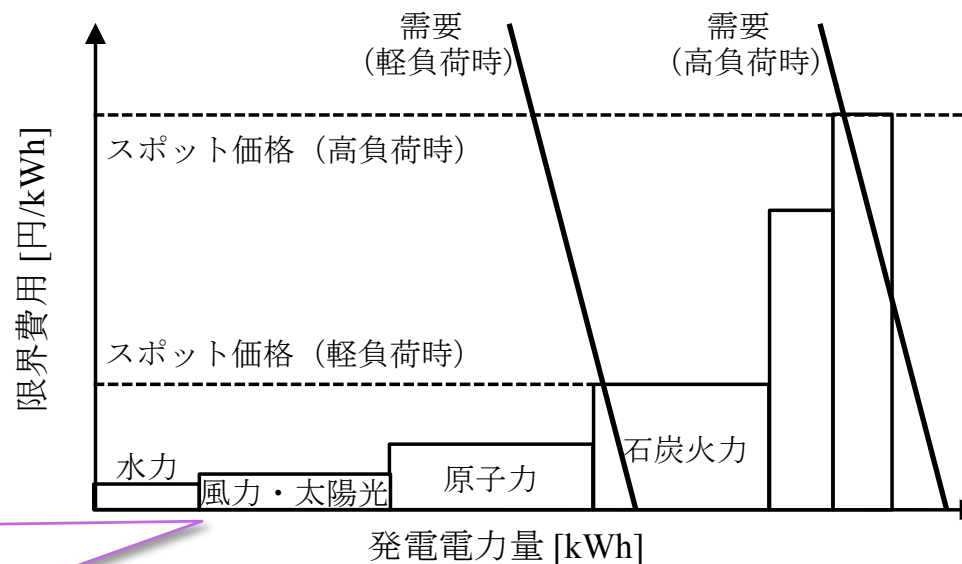
## + ベースロードが消滅する理由 【市場編】

- 電力自由化が進んだ市場(特に欧州では), 市場取引は**メリットオーダー**に基づく。
- メリットオーダー曲線は, 発電プラントの**限界費用**順に並べられる。
- メリットオーダー曲線上では, 風力発電は, 水力発電の次に位置する (原子力や石炭火力よりも上位)。
- 事実, EEX(欧州エネルギー取引所)のスポット価格は再エネの導入により下落傾向を見せている。

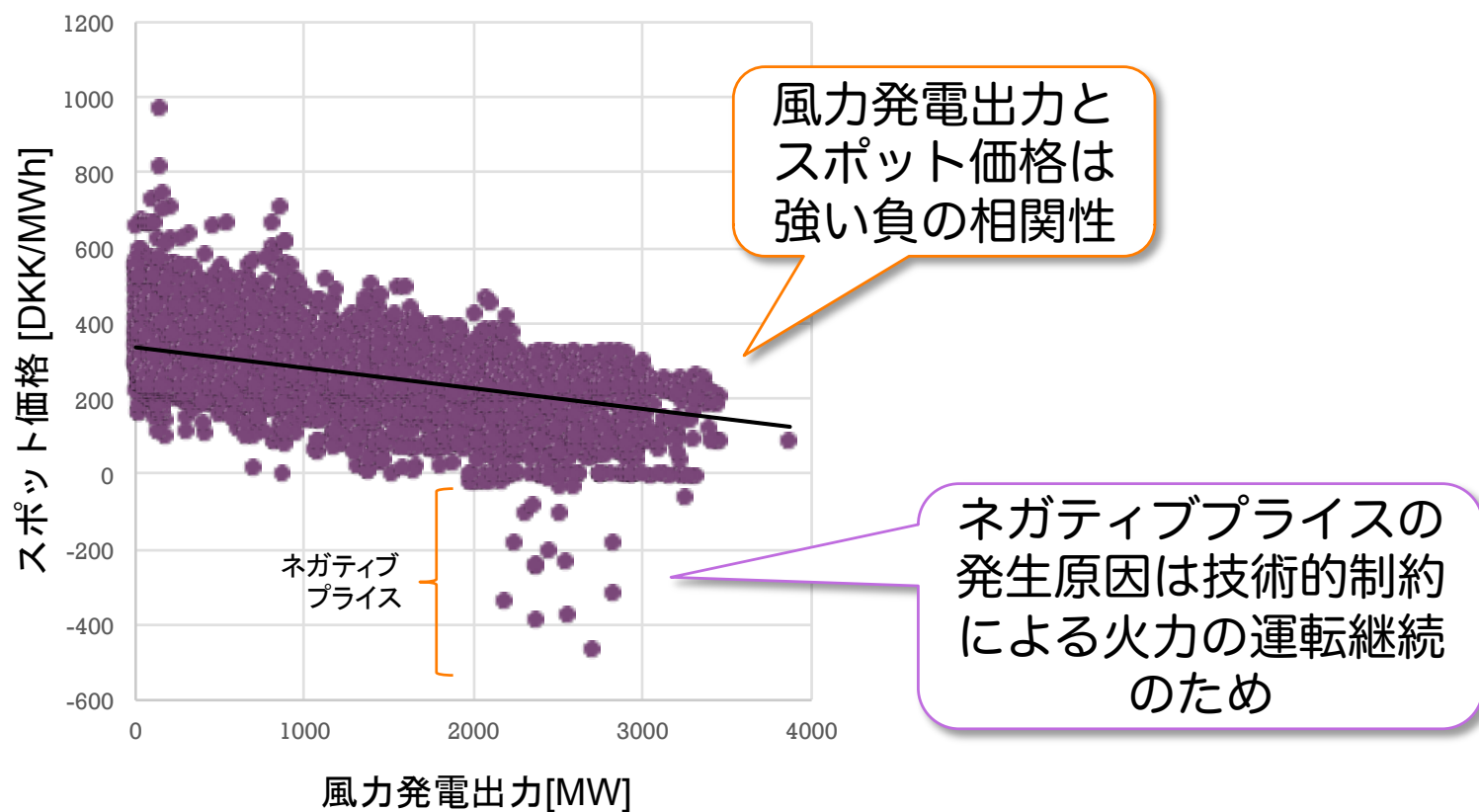
# + メリットオーダー曲線による説明

メリットオーダー  
曲線では  
風力・太陽光は  
石炭火力・原子力  
より優先

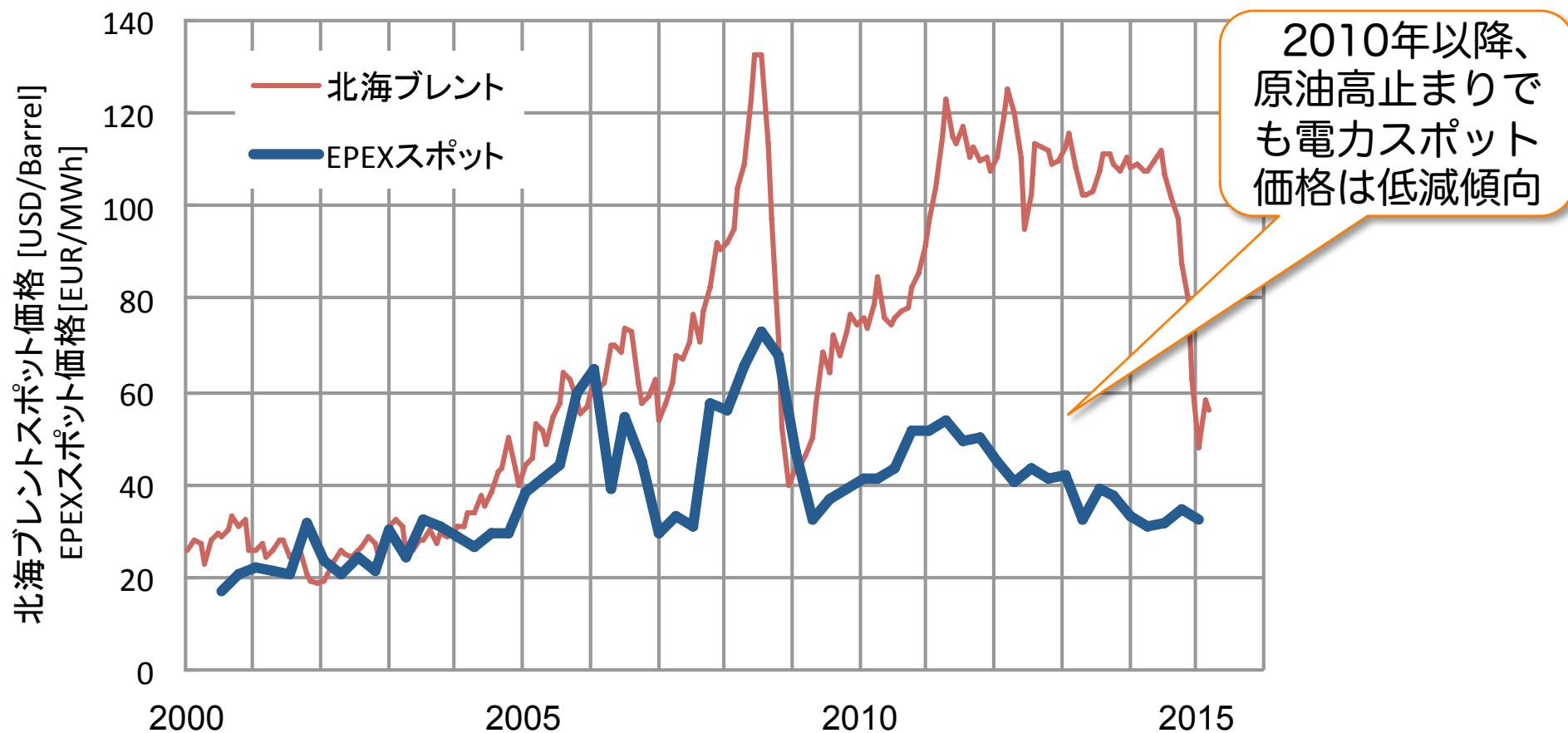
風力・太陽光発電の  
メリットオーダー  
効果により  
スポット価格は  
低下する



# + 風力発電の大量導入による スポット価格の低下の実例 (デンマーク西部系統, 2013年12月)



# + 北海原油および欧州電力市場の スポット価格の推移



(データソース) U.S. Energy Information Administration (EIA): Petroleum & other liquid  
および European Power Exchange (EPEX): KWK Price より筆者作成

## + ベースロードが消滅する理由 【政策編】

- 欧州では再生可能エネルギーの「優先給電」が再エネ指令2009/29/ECで義務づけ(16条2(c)項)

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=Oj:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>

- 再エネの出力が超過した場合，石炭火力・原子力といえども出力調整しなければならない。
- 再エネの出力抑制をするのは「最後の手段」
  - 系統セキュリティが脅かされる場合は出力抑制可。
  - ただし欧州の実績では，風力の出力抑制は利用可能発電電力量ベースで1.0%程度
  - ドイツでは逸失電力量の補償もあり。

# + EUの再エネ指令2009/29/EC

## ■ 第16条（系統へのアクセスと系統運用）

- 2項(c) 送電系統運用者は、発電設備を給電する際、各国の電力系統のセキュリティを保った運用をする限りにおいて、並びに透明性の高い非差別的な基準に基づき、再生可能エネルギー資源を用いた発電設備を優先しなければならない、ということを加盟国は保証しなければならない。

(出典) European Parliament (2009) Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directive 2001/77/EC and 2003/30/EC (EN)

## + なぜ日本では再生可能エネルギーの優先給電が行われないのか？

- FIT法（電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法）では、以下が規程
  - 特定契約の申込みに応ずる義務（第四条）
  - 接続の請求に応ずる義務（第五条）
  - ただし「優先給電」について明記されていない
  - 出力抑制は省令で風力720時間(≒ 8%)と明記
- 再エネの「優先給電」は旧電力利用協議会(ESCJ)ルールで見られる
  - ただし、「長期固定電源」(=原子力・石炭火力)の出力抑制を回避することが明記

[http://www.escj.or.jp/making\\_rule/guideline/data/rule\\_japan140318.pdf](http://www.escj.or.jp/making_rule/guideline/data/rule_japan140318.pdf)

## + 日本の再エネ優先給電(の不在)

### ■ 第五条 (接続の請求に応ずる義務)

- 電気事業者…は、…特定供給者から、…認定発電設備…を電氣的に接続することを求められたときは、次に掲げる場合を除き、当該接続を拒んではならない。
  - 一 当該特定供給者が当該接続に必要な費用であって経済産業省令で定めるものを負担しないとき。
  - 二 当該電気事業者による電気の円滑な供給の確保に支障が生ずるおそれがあるとき。
  - 三 前二号に掲げる場合のほか、経済産業省令で定める正当な理由があるとき。



## + 日本の再生エネルギー優先給電(の不在)

無制限のループホールの可能性

- 第六条（接続の請求を拒むことができる正当な理由）
  - 法第五条第一項第三号の経済産業省令で定める正当な理由は、次のとおりとする。
    - 三 当該特定供給者が当該認定発電設備の出力の抑制に関し…同意しないこと。
    - 七 当該特定供給者が、指定電気事業者…が特定上限を超えて出力の抑制を行わなければ追加的に当該再生可能エネルギー発電設備によって発電された電気を受け入れることができなくなった後に、…同意しないこと。

(出典) 経済産業省令「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則」, 平成24年6月18日経済産業省令第46号, 最終改正：平成27年1月22日経済産業省令第3号

## + まとめ

### ■ ベースロード電源

- 世界各国(特に欧州)の運用事例では、ベースロード的な運用は崩れつつある。
  - 石炭: 一定運転する国は非常に少ない。
  - 原子力: フランス・ドイツでは負荷追従運転。
- 将来展望では「ベースロード電源は消える」と予測する報告書が多数

### ■ 再エネ優先給電

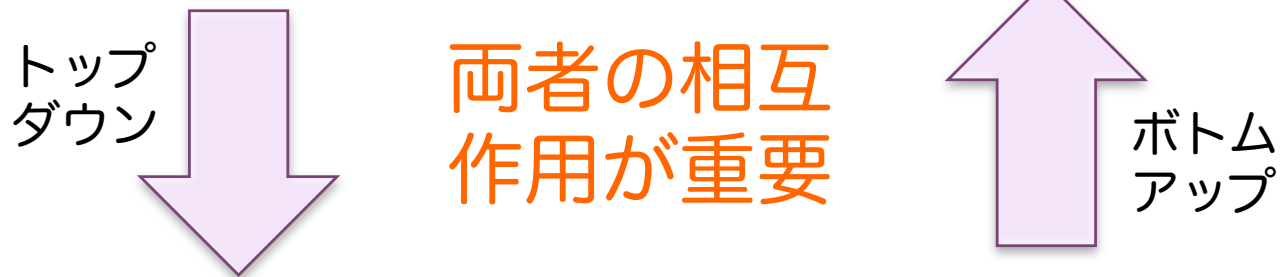
- EU指令2009/29/ECによる優先給電の明記
- メリットオーダーによる市場取引

+ おわりに

35

# Think Global, Act Local !

- 世界の動きをウォッチする



- 地域でできることを考える



# ベースロード電源は 21世紀にふさわしいか？

ご清聴ありがとうございました。