



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

再生可能エネルギーと分散型 システム普及の時代

2016年11月23日(水), 10:00-17:00

京都大学再生可能エネルギー経済学

講座シンポジウム

諸富 徹(京都大学大学院経済学研究科)

1. 日本の「電力システム改革」と再生可能エネルギー

「電力システム改革」の意義

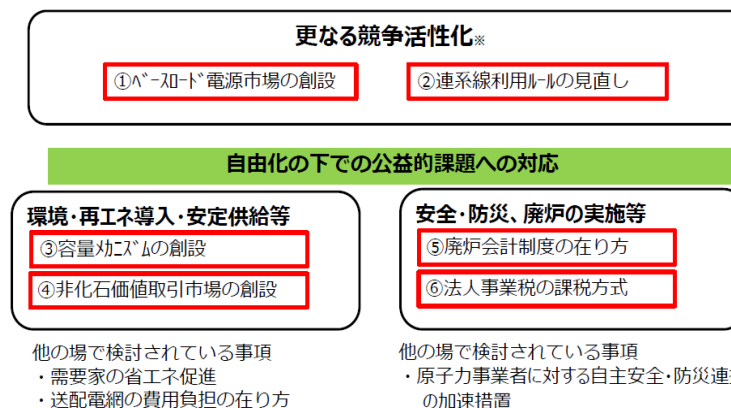
- **なぜ「電力システム改革」か**
 - 【1】現行の電力システムへの疑念～東日本大震災直後の電力供給途絶
 - > 集中型電力供給システムは本当に望ましいか？
 - > 分散型電力供給システムの方が、安定供給に資するのでは？
 - 【2】なぜ、東西の電力融通ができないのか
 - > 東日本で50ヘルツ、西日本で60ヘルツと周波数が異なる問題
 - > そもそも、「周波数変換所」の能力が限られており、各電力会社の管轄エリア間をつなぐ「連系線」の容量が十分ではなかった
 - 【3】電力選択権の保障
 - > 「地域独占」+「総括原価方式」の下で、消費者には電力選択権が保障されていなかった
- **以上3点から、電力システム改革の姿が明らかに**
 - 【1】発電事業への新規参入促進と電力市場における競争促進(「地域独占の解体」)
 - 【2】送配電網の発電部門からの分離(「発送電分離」)と、その広域運用(「送配電網の中立化」)
 - 【3】電力小売りの全面自由化(「電力の選択権」の保障)

電力システム改革の進展状況

- 2013年4月に「電力システムに関する改革方針」閣議決定
- 同年、送配電網を広域的観点から運用する「広域的運営推進機関」創設(2015年4月)を含む、電気事業法の第1弾改正
- 翌2014年には、小売全面自由化を定めた、同法第2弾改正
- 2016年4月、小売全面自由化開始
- 2015年6月、発送電分離を実行に移す第3弾改正法
- 2020年に「発電」、「送配電」、「小売」の3部門を分社化する「法的分離」施行予定

電力システム改革貫徹に向けた検討事項例（総論）

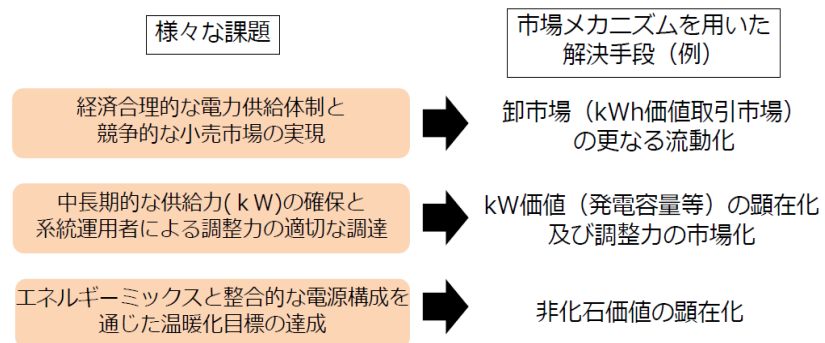
- 競争的な市場の実現に向けて、ベースロード電源への新電力のアクセスを改善する新たな市場を創設するなどの措置を講ずる必要があるのではないかと。
- また、安定供給や環境適合性等の公益的課題への対応を促すための仕組みを創設することとしてはどうか。



※電力・ガス取引監視等委員会における議論についても留意

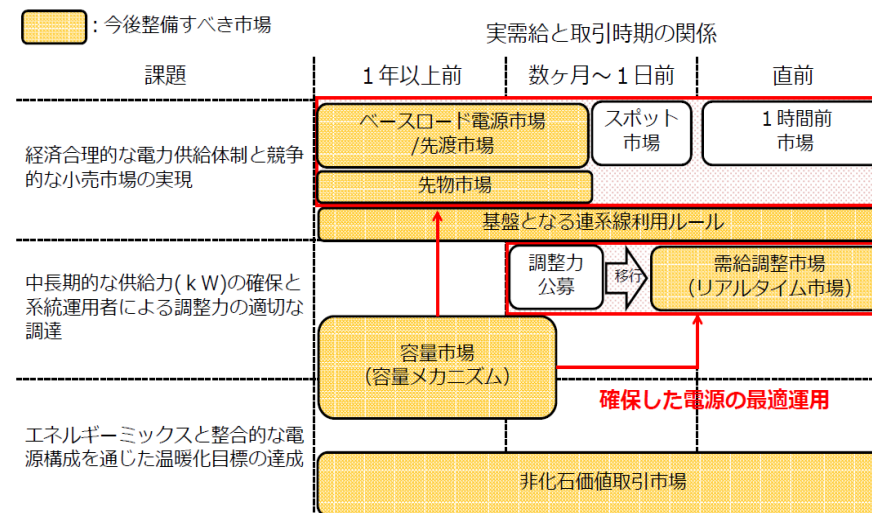
基本的考え方：市場メカニズムの最大限の活用

- 電力システム改革貫徹に向けた課題への対応に際しては、3E+Sの実現を目指しつつ、市場メカニズムを最大限活用することが重要。
- こうした観点から、現在ある市場における既存の価値（例:kWh価値）の流動性を高めると共に、これまでなかった新たな市場を創設することにより、新たな価値（例:kW価値、非化石価値）を顕在化・流動化させていくこととする。



2

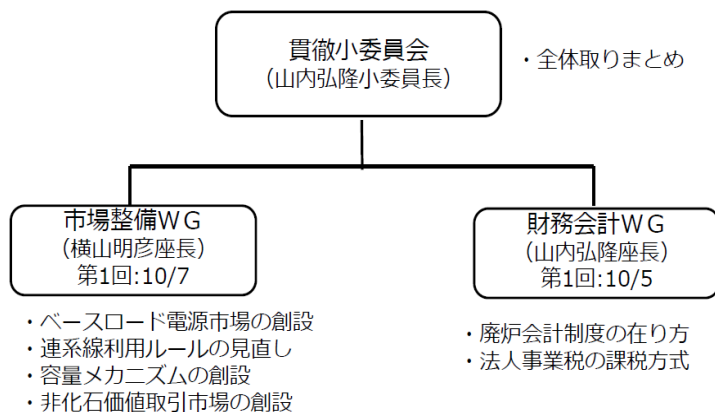
(参考) 課題解決に向けて整備すべき市場



3

今後の検討の進め方（案）

- 今後、各検討事項について専門的に検討を深めていくため、本小委員会の下にワーキンググループ(WG)を創設し、市場整備WGにおいて新たな市場整備について、財務会計WGにおいて電気事業の財務会計の在り方について、議論していく。



15

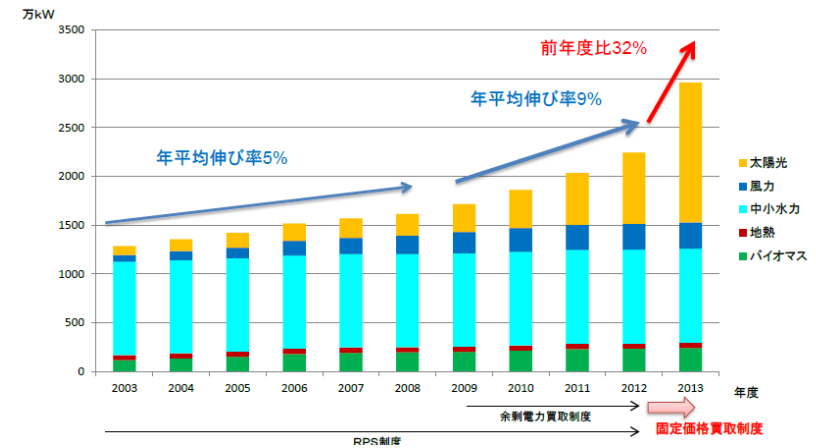
再エネ拡大にとっての意義

- 再エネの飛躍的拡大という観点から、電力システム改革は決定的に重要
- **【競争条件の均等化】**送配電会社によって再エネを含む新規事業者が差別的取り扱いを受けないことは必須条件
- **【規制・監督官庁の重要性】**「電力広域的運営推進機関」および「電力・ガス取引監視等委員会」が有効に機能する必要
- **【小売自由化の重要性】**再エネを他の電源と区別して選択可能にすることの意義／電源に関する消費者への情報開示が重要

再生可能エネルギー固定価格買取制度のもたらした成果と課題

- 一種の**幼稚産業保護政策**
- 再エネ発電事業者の投資意欲を掻き立てる**仕組み**として成功
- 再エネ拡大に大きく貢献
- 他方で、費用膨張問題と系統接続問題が浮上(「**丸電ショック**」)
- 再エネを抑制するのではなく、問題の解決を**図りながら、その大量導入を可能にする制度設計に挑戦する必要**

図2 再生可能エネルギー等(大規模水力を除く)による設備容量の推移



系統接続問題について

- 【1】「**無制限・無補償の出力抑制**」による解決は再エネ排除に他ならず、大きな問題
- 【2】「**優先給電ルール**」に則って再エネを最大限受け入れ、既存電源を補完的な調整電源として活用するシステムへ移行する必要
- 【3】**広域的な電力融通**を活用すべき
- 【4】「**電力広域的運営推進機関**」の役割

本当に「容量」に空きはないのか

- 系統の空き容量は、**誰が、どのような情報に基づいて決定したのか?**
 - 空き容量があるにもかかわらず、再エネの受け入れを拒否することがあってはならない
 - 電力会社が一方的な宣言を許すのではなく、電力系統の**透明性を高め、公平中立な第三者機関が判定を下す仕組み**を作るべき
 - ドイツでは「**連邦ネットワーク規制庁: Bundesnetzagentur**」(日本では、「**電力・ガス取引監視等委員会**」に相当)が、**反競争的行為を監視**
 - 日本では空き容量の算定にあたって、**先着優先の原則**に基づいて原発が再稼働する想定で容量が取り置かれている
 - その妥当性について、議論が必要
- 電力系統はもはや、**電力会社の私的所有物ではない**
 - 電力システム改革以降、電力系統は公共財としての性質を付与
 - 系統利用に関する**公共性・中立性・透明性の担保**は、きわめて優先順位の高い政策課題

系統増強の必要性

- それでも再エネの系統受け入れが難しいなら、系統増強すべき
- ドイツの再エネ法は、第9条で送配電網の増強義務を電力系統管理者(つまり「送配電会社」)に課す
 - 増強費用は、電力料金で回収
 - ドイツの送配電会社は、空き容量不足を理由に、再エネの受け入れを拒否できず、逆に、系統増強に取り組まねばならない
- 日本ではこの点が法律条文に明記されていない
 - 固定価格買取制度でいくら再エネを伸ばしても、系統容量の限界でそれ以上伸びることができない状態に到達
 - 「再エネ特措法」改正を図り、送配電会社の系統増強義務付けの明記を求める必要

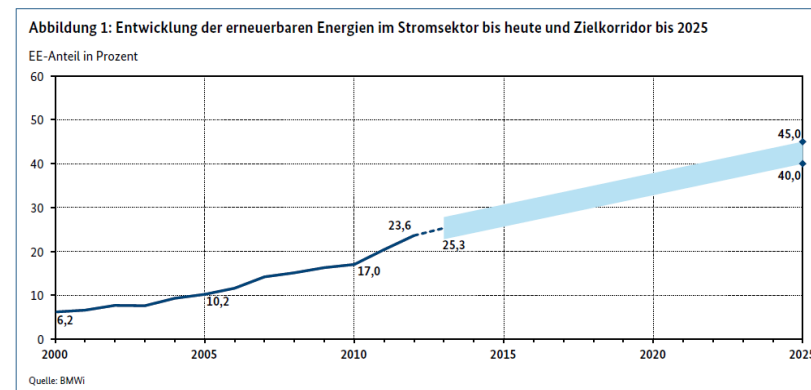
ドイツはどう問題を解決したのか

- 再エネ2014年改正法の意義
 - 日本の買取制度の導入／改革モデル
 - 買取費用の膨張問題は、日独共通の課題
 - ドイツ買取制度の「破綻」とする評価があるが、完全にミスリーディング
 - 【1】再エネ増加は着実に進展(2014年の25.9%から2015年は30.1%に増加)
 - 【2】買取制度は、ドイツ経済に多くの恩恵
 - 1) 関連投資の増大
 - 2) 雇用増加
 - 3) 電力価格の低下による生産費低下
 - 4) 電力輸出の増加
 - 【3】2014年改正法で、「再エネ政策の『市場化』」で費用膨張をコントロールしつつ再エネ拡大を図る手法を確立
- ドイツは再エネ政策の第2段階へ
 - 【1】第1段階:「幼稚産業」保護
 - 【2】産業として成長した第2段階では、再エネの市場統合へ

再エネの市場統合

- ドイツ再エネ法2014年改正の最大目的は、再エネ拡大目標を費用効率的に達成すること
 - 【1】費用膨張問題に対処するため、「再エネ電源間競争」の勝者となることがほぼ見えてきた太陽光と陸上風力を優先
 - 【2】再エネをこれまでより一層、電力市場に統合
 - 【3】再エネ費用を電力消費者の間でより公平に配分
- 「目標回廊(Zielkorridor)」の創設
 - ・ 陸上風力: 年間2.500MWの拡大(「目標回廊」は2.400~2.600MW)。
 - ・ 太陽光: 年間2.500MWの拡大(「目標回廊」は2.400~2.600MW)。
 - ・ 洋上風力: 2020年までに6.500MWの拡大(年間800MWの拡大に相当)。
 - ・ バイオマス: 年間100MWの拡大。
 - ・ その他の再エネ発電技術(水力、地熱)については、量的目標は設けない。
- 再エネの市場統合方策
 - 「直接販売」と「市場プレミアム」の組み合わせへの移行
 - 入札制度の導入

図2 今日までの再エネ拡大と2025年までの再エネ拡大目標(「目標回廊」)



[出所] BMWi(2014b), S.2, Abb. 1.

表1 再エネ拡大目標の達成と
買取価格引き下げの関係

						目標量						
風力発電量(MW)	<1,000	<1,000	<2,000	<2,200	<2,400	2,400-2,600	<2,800	<3,000	<3,200	<3,400	>3,400	
買取価格	1.6%	0.8%	0%	-0.8%	-1.2%	-1.6%	-2%	-2.4%	-3.2%	-3.9%	-4.7%	
太陽光発電量(MW)			<1,000	<1,500	<2,400	2,400-2,600	<3,500	<4,500	<5,500	<6,500	<7,500	>7,500
買取価格			8.1%	0%	-3%	-5.8%	-11.4%	-15.6%	-19.6%	-23.4%	-26.2%	-28.9%

[出所] BMWi(2014b), S.2, Abb. 2.

2. 大きな地殻変動: 「集中型電力システム」から「分散型 電力システム」へ

「分散型電力システム」とは何か

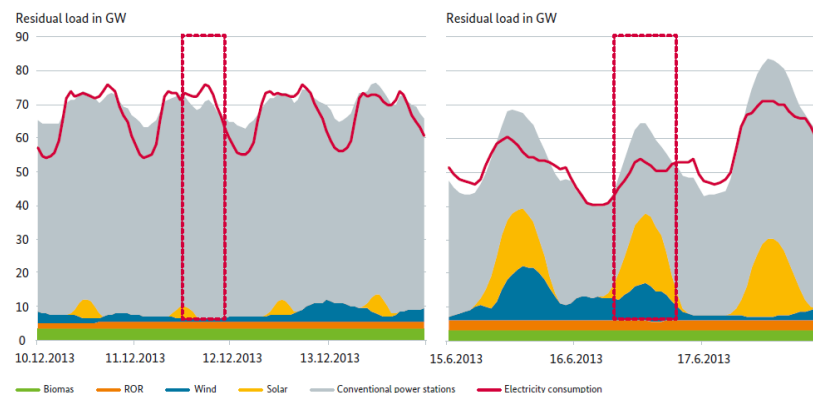
- 再エネ比率の増大⇒電力システムが「集中型」から「分散型」へ移行
- 「分散型電力システム」の特徴は何か
 - 【1】「電力会社による計画経済」から「市場経済」へ
 - 電力市場が「寡占市場」から「競争市場」に移行
 - 再エネ大量導入時代にふさわしい柔軟性を兼ね備えた電力市場を構築する必要性
 - 【2】「分散型電力システム」への移行につれて、電力系統運用ルールの変更と電力インフラの「造り替え」が必要に
 - 【3】電力インフラに関する新しい「費用負担原理」形成の必要性

3. 電源構成論:「ベースロード電源」 は必要か

「ベストミックス」は本当にベストか

- 政府は2015年6月1日、2030年の日本の電源構成を、総発電量のうち原子力を22~20%程度(2013年時点で1%)、再生可能エネルギーは22~24%程度(同10.7%[ただし大規模水力を含む])とすると決定(「長期エネルギー需給見通し」)
 - 本場に「ベストミックス(最適電源構成)」と言えるか?
 - 22~24%という再エネ目標は現在、国が認定済みの再エネ発電所の建設計画が加わるだけで実現
 - 原発比率20~22%は、「きわめて野心的」
- 原発比率を正当化するのが、「ベースロード電源」という概念
 - この概念は、電力自由化以前の計画経済的電力システムの運用方法に由来
 - 1) 固定的電力需要にはベースロード電源、時間帯によって変動する需要にはミドル/ピーク電源
 - 2) 電力自由化後は、市場が相対価格に基づいて電源構成を決定する
- 欧州諸国は、再エネ導入を最優先させるため、「ベースロード電源」という考え方を放棄
 - 1) 再エネを最優先で供給で導入(「優先給電」、「優先接続」)
 - 2) 総電力需要から再エネ電力量を差し引いた「残余需要」を満たすのが、伝統的電源 ⇒ 再エネが主役、伝統的電源は、「ベースロード電源」から、再エネの補完電源へ

図3 「残余需要」の考え方



[出所] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2014), p.15, Figure 2.

調整電源の必要性

- 再エネの電力系統への大量導入には、調整電源が必要
- 調整電源として、迅速な起動・停止能力に優れた柔軟性の高い「柔軟電源」が適合
- 起動と停止に多額の費用がかかり、定格運転に達するまで数時間もかかる柔軟性の低い、原子力発電や褐炭火力発電のような「固定電源」は、調整電源として役立たない

「伝統的電源」vs「再エネ」

- 再エネの増大で、「伝統的電源」と「再エネ」のトレードオフ関係が顕在化
- ドイツの脱原発、および2050年に再エネ比率80%の目標は、このトレードオフ解消という点で平仄が合う
 - 原発を含むベースロード電源を最小化し、再エネの受け入れ余地を最大化
- 日本はベースロード電源の保護を優先し、再エネを限界的な電源にしていけないか？

4. 再エネ大量導入がもたらす電力市場への影響

電力価格の低下と電力消費者への影響

- ドイツの電力市場では、再エネ増加により、卸売電力価格が低下(Moreno 2012; Paraschiv, Erni and Pietsch 2014; Ketterer 2014)
- 「**マイナスの電力価格**」すら、頻繁に観察
- もっとも、家庭部門には再エネ賦課金上昇により、卸売電力価格低下のメリットは相殺
- 逆に、産業部門は、卸売電力価格低下 & 賦課金減免の二重のメリット
 - **ドイツの再エネ固定価格買取制度がドイツ産業に打撃という報道は、誤り**

メリット・オーダー効果

- 燃料費を必要としない**再エネは、限界費用ゼロ**で追加供給が可能で、卸売電力市場で圧倒的な競争力を誇る
- 逆に、**限界費用の高い火力発電**(とりわけ天然ガス火力発電)が収益性を失い、市場から退出
- 限界費用の低い電源から需要を満たしていき、結果として限界費用の高い電源が市場から押し出される現象を、「メリット・オーダー効果」と呼ぶ
- この効果ゆえ、ドイツでは大電力会社の経営が悪化

再エネの変動性がもたらす挑戦

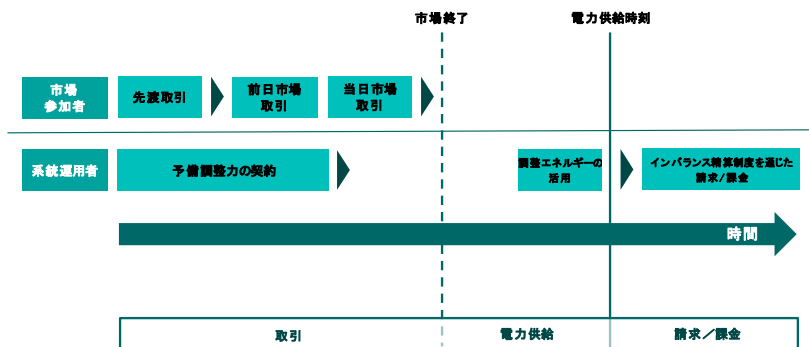
- **再エネ大量導入**と「**同時同量**」の原則とがもたらす新しい挑戦
 - 再エネの発電量の予測は困難
 - 電力供給の当日に、予見困難な出来事により、実際の電力需給が、予定していた市場均衡と異なることは頻繁に生じる
- 「だから、再エネは抑制すべし」という結論に行き着いてはならない
- 再エネ大量導入時代における新しい電力システム構築の時代が来ていることを意味する
- それを可能にする新しい電力市場設計が必要

5. 再エネ大量導入時代の電力システムへ：電力市場設計論

電力市場の基本構造

- 再エネの大量導入を最小費用で効果的に進めつつ、電力の安定供給を担保できる電力市場設計のあり方とは何か
- 電力という商品は、商品取引所もしくは相対で取引される
 - >ドイツではライプツィヒの欧州エネルギー取引所(European Energy Exchange: EEX)、パリの欧州スポット電力取引所(European Energy Exchange EPEX SPOT)が電力を取り扱う商品取引所として活用
 - >依然として、発電事業者との直接的な相対取引(店頭取引: Over the Counter: OTC)にも大きく依存する傾向
- 取引形態は、「先渡(さきわたし)市場(Forward Market)」、「前日市場(Day-ahead Market)」、そして「当日市場(Intraday Market)」
 - >先渡市場: 企業は6年先までの期間における電力供給をめぐって、取引を行うことができる
 - >前日市場: 翌日の電力供給は、前日市場でオークションにかけられる。ここで市場参加者は取引前日の正午までに自らの入札価格を取引所に提出しなければならない
 - >当日市場: 市場参加者は前日市場が閉じた後に、当日市場において15分から1時間枠の電力供給をめぐる電力取引を行う。当日市場は、電力供給の45分前に閉じられる
 - >相対取引では電力供給の15分前まで取引可能

図5 時間軸でみた電力市場の構造



[出所] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2014), p.9, Figure 1.

電力市場の均衡と現実との乖離、その調整

- 取引所取引に基づく電力市場均衡と、実際の電力需給の物理的な均衡は異なる
- 供給当日、現実の電力需給が取引に基づく市場均衡から乖離した場合、その乖離を調整する役目を負うのが、「**予備調整力**」
 - >系統運用者は、「**予備調整力市場(Balancing Market)**」における公開競争入札制度を通じて必要な供給能力を確保
 - >系統運用者が、この予備調整力を用いて、同時同僚を達成する責任をもつ
- ただし、電力市場の需給を均衡化させる責任は、系統運用者だけに課されているわけではない。
 - >電力生産者と電力消費者は「**調整グループ**」に属し、グループとして電力需給を均衡化させるよう求められている
 - >同時同僚を達成できなかった場合、「**インバランス清算**」を行って課金を負担

再エネ大量導入を可能にするための 電力市場改革

- 変動性が高く、予測困難な再エネを大量に電力市場で受け入れるには、市場設計で、**流動性**を高める必要(Holttinen 2005; Ummels et al. 2006)
 - 最新気象データに基づいて再エネの発電量予測を行い、電力供給の直前まで最大限に取引が可能になるような電力市場改革を行う必要
- 2010年までのドイツ電力市場では、系統運用者は、1か月前に再エネによる電力発電量を予測しなければならなかった
 - 当日市場での対応が間に合わない突然の過不足が生じた場合は、事後的な調整市場でインバランス清算を行うが、系統運用者に大きな調整費用を強いた
- 電力市場改革が行われ、2011年以降、系統運用者は再エネで発電される電力を供給前日に予測し、前日市場で予測された量を売却すればよいことに
- 第2点目の改革として、当日市場での電力取引が15分単位で可能になり(それまでは1時間枠)、市場の「流動性」を高めた
- 以上の電力市場改革の結果、2008年時点では**5億9500万ユーロ**にも達していた調整費用は、電力市場改革後の2011年には**1億2700万ユーロ**にまで大きく減少

「容量市場」: 本当に必要か？

- なお残る問題
 - 電力市場が将来の十分な供給力を確保する投資インセンティブが生まれないのであれば、「**容量市場**」を創設すべきか否かを検討する必要
- ドイツ政府は、容量市場を創設しないと決定
 - 電力市場における価格形成メカニズムが正常に働いたら、電力市場が発電事業者に対して**長期投資への的確なインセンティブを与えることは可能**
 - 容量市場の創設は、かえって**市場への国家介入**という問題を新たに生み出す
 - 「容量市場」の創設は、**容量市場への支払い**という**新たな国民負担**を課すことに
 - 現実には、電力は供給過剰。本当に必要なのか？ 結局、火力発電所を保有する既存電力会社の救済ではないのか？

参考文献

- 諸富徹編『電力システム改革と再生可能エネルギー』日本評論社(2015年).
- 諸富徹「電力インフラの再構築とその費用負担ルールのあり方」『フィナンシャル・レビュー』第124巻第4号(2015年10月), pp.49-76.
- 諸富徹「再生可能エネルギー政策の「市場化」—2014年ドイツ再生可能エネルギー改正法をめぐって—」『経済学論叢(同志社大学)』第67巻第3号(2015年12月), pp.149-174.

諸富徹編(2015)『電力システム改革と 再生可能エネルギー』日本評論社

- 序章 電力システム改革と分散型電力システム 諸富徹
- 第1部 分散型電力システムのデザインと技術的課題
 - 第1章 電力システムの計画経済型から市場経済型への移行のための技術と制度設計 阿部力也
 - 第2章 再エネ大量導入時代の送電網のあり方: ベースロード電源は21世紀にふさわしいか? 安田陽
 - 第3章 分散型電源大量導入の技術的問題と対策 近藤潤次
- 第2部 分散型電力システムにおける市場設計の諸課題
 - 第4章 ドイツにおけるキャパシティ・メカニズムの制度設計: Strategic ReserveとCapacity Marketを中心に 東愛子
 - 第5章 欧米における容量市場の制度設計の課題 服部徹
 - 第6章 電力系統の再構築とその費用負担原理 諸富徹
 - 第7章 電力システム改革は電力業のパフォーマンスを改善するか 南部鶴彦
- 終章 要約と結論、そして今後の研究へ向けての展望 諸富徹

