

# EAJ 報告書

電力の自由化について  
海外自由化先進国から学ぶこと



平成29年（2017年）1月30日

公益社団法人日本工学アカデミー

電力流通システムプロジェクト

本報告は、公益社団法人日本工学アカデミー「電力の自由化について海外先進国から学ぶこと」の調査研究結果を取りまとめ公表するものである。

公益社団法人日本工学アカデミー電力流通システムプロジェクト  
(所属はいずれも 2017 年 1 月 30 日現在)

リーダー	白 田 誠次郎	日本工学アカデミー会員
委員	大 来 雄 二	日本工学アカデミー会員・金沢工業大学客員教授
委員	玖 野 峰 也	日本工学アカデミー監事
委員	栗 原 郁 夫	電力中央研究所首席研究員
委員	田 中 秀 雄	日本工学アカデミー常務理事・事務局長

# 要 旨

## 1. プロジェクトを立ち上げた背景

日本では2016年4月から電力の全面自由化がスタートした。それ自体大きなインパクトであるとともに、並行して再生エネルギーの固定価格買い取り制度や原子力の再稼働の問題が絡んでいるため、多くの課題を抱えている。一方、電力は今後とも社会の重要なインフラであり、その役割は一層拡大してきている。但し、電力システムは電気を送り込む力であるkW（電力—水道でいう圧力ポンプ）と実際エネルギーとして使われるkWh（電力量—水道でいう所謂水そのもの）の要素があり、水道と似た面を持っているが、最大の違いは少量以外、貯めておくことができないことである。このため各瞬時に発生する量と使う量が常に同じでなければならない（同時同量が必須）ことが、電力の安定供給を難しくしている。（水道は不足の時でもちよろちよろ出しで時間を掛ければ必要な量を得ることができるが、電気の場合は大停電になる）こうした状況を踏まえ、本プロジェクトチームでは、今回の一連の改革の中で、将来の電力の安定かつ低廉な供給に課題がないか、自由化先進国から学び、必要な提言を行うこととした。

## 2. 検討の視点

日本は幸い大きな混乱なく全面自由化に移行したが、電力系統自身の物理的特性には変化がないので、次のようないくつかの課題を抱えている。

- (1) 電力の需給には常に同時同量、即ち各瞬間に発電量と消費量が同量である必要があるが、コントロールの難しい再生エネルギーが引き続き増加した場合の対応を考えなければならぬ。また、再生エネルギーが増えていくと、回転の慣性力により、系統安定の前提になる電圧や周波数の維持に大きく貢献している火力発電所等の量が減り、系統の安定維持が難しくなる。
- (2) 再生エネルギー固定価格買い取り制度により、電気料金の中で再生エネルギー賦課金が上昇（28年5月から2.25円/kWh）し、平均的家庭の電気料金の1割程度に迫ってきている。この賦課金は今後も上昇し20年間続く。26年にはその総額は2兆円を超える見通しである。
- (3) 原子力発電所の新設がなければ40年後には準国内生産の安定した発電設備がなくなる。国のベストミックスのあり方考えなければならない。

## 3. 上記のような問題に自由化先進国はどのように対応したか

- ・米国は自由化後にカリフォルニアで、作為的に需給ひっ迫を作り出し、電気料金が暴騰して暴利を得たエンロン社の事件が発生。その後自由化を停止する州が続出し、現在では14州が自由化されている。自由化された州とされていない州の料金のレベル差は見られない。
- ・イギリスは自由化の口火を切った国であるが、自由化後数年は電気料金が下がったもののその後は自由化前のレベルを超えて上昇。また、発電所を建設してもその電気が売れる保証がないため建設が進まず、原子力発電所の電気を買い取り保証するなどして電気の不足対策を推進中。
- ・ドイツでは再生エネルギーが30%を超えているが、その賦課金等により一般家庭の電気料金は2000年頃の2倍になっている。また発電量の変動が多くかつ地域的に

偏在しているため、周辺国との連系により安定を維持している。また、再生エネルギーの増加に伴い最新鋭の発電所も稼働率が大幅に低下。しかし不安定な電源への補完として廃止は許可されない。

- ・ 発送電分離を先行して導入した欧州では、計画値同時同量の電源運用に起因する周期的な周波数変動が顕在化している。

#### 4. これらの実態を鑑み今後検討すべき事項

##### (1) 将来の安定供給の維持

- ① 入札制度のもとでは将来の需要の獲得に関して不確実性が高まり電源の建設に慎重になる。それでも必要な電源を確保する仕組み作り
- ② 電力自由化の下で抑制されがちなメンテナンスを確保する諸方策
- ③ 再生可能エネルギー電源は優先的に使用されるため、基幹系統の電圧や安定性を維持する重要な役割を負う一方、稼働率が低下する従来型電源及び予備電源の確保策
- ④ 異常時、特に大規模天災、大規模事故等での対応は自動制御システムを活用するが、最後は人間が介在して対応せざるを得ない。そうした技術者の育成。

##### (2) 電気料金の安定化の諸方策

- ① 高額な再生エネルギー固定価格買取制度により電気料金の賦課金は2兆円にも上り、家庭の電気料金の1割に迫り今後ますます増えて20年間続く。この問題をどのように対処すべきかの検討。
- ② 再生エネルギー固定買取制度が終了した場合の再生エネルギーの取り扱い、廃棄物処理費用の問題のシミュレーション等。

##### (3) 原子力発電の取り扱い

ただ、必要だというだけでは結果的に40年後にはなくなってしまう。また、初期投資が大きいため自由化の中では新設が難しい。こうした状況を踏まえ、国のセキュリティとしての原子力発電の取り扱いを議論し、引き続き確保するというのであれば、具体的に新設ないしは現地点での取り換え等の諸方策の検討。

#### 5. 提言

技術面での検討により、日本の自由化の中で残された課題や自由化先進国の課題が見えてきたが、この問題は単に技術面だけで済む話ではない。

20年後、40年後を見据えた電力安定供給のため、工学アカデミーの中に前項のような課題への諸方策を策定する技術専門家並びに文科系専門家両者による検討委員会の設置を提言する。

なお、こうした課題について既に警鐘を発している組織や団体もあるので、そうした方々との意見交換も重要と考える。

また、電力システムの運用には、電力・事業・燃料・マネー・規制・制御監視の6ネットワークが円滑に機能していることが必要なこと、並びに、設備形成に時間がかかることから短期利益優先の風潮から距離を置くことの重要性を忘れてはならない。

以上

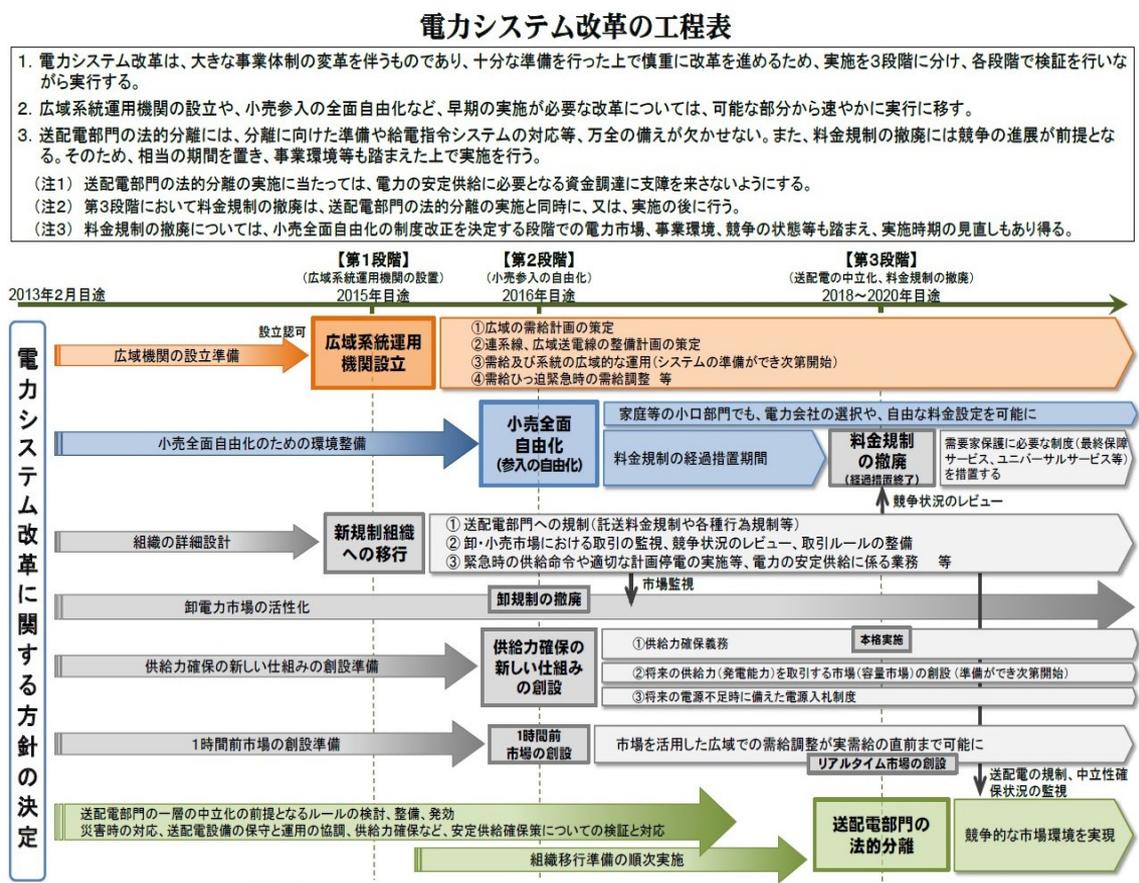
<目次>

1. 電気事業法改正に伴う自由化の変遷
2. 日本の電力システム改革の概要（経産省ホームページから）
3. 全面自由化された電力システム自体の特徴
4. 自由化先進国の状況
  - 4-1 米国の電力自由化
  - 4-2 英国の電力自由化
  - 4-3 ドイツの電力自由化
5. 諸外国に学ぶ自由化の課題への対応
  - 5-1 通常時の課題への対応
  - 5-2 非常時に対応する技術力の維持向上
6. 料金の安定
7. 長期的なエネルギーセキュリティの確保
8. 結び 一超長期的な視点に立った安定・低廉な電力供給を維持するための議論を一
9. 提言

## はじめに

日本でも2016年4月から電力の全面自由化がスタートした。それ自体大きなインパクトであるとともに、並行して再生エネルギーの固定価格買取制度や原子力の再稼働の問題が絡んでいるため、多くの課題を抱えている。一方、電力は今後とも社会の重要なインフラであり、その役割は一層拡大してきている。こうした状況を踏まえ、本プロジェクトチームでは、今回の一連の改革の中で、将来の電力の安定かつ低廉な供給に課題がないか、自由化先進国から学び、必要な提言を行うこととした。

### 1. 電気事業法改正に伴う自由化の変遷



(図1) 電力システム改革専門委員会報告資料

- 1995年 電力会社に卸電力を供給する発電事業者 (IPP) が参入可能になった。大型ビル群等特定の地点を対象とした小売供給が特定電気事業者に認められた。
- 2000年 2,000kW以上で受電する大需要家 (電力量ベースで26%) に対して、特定規模電気事業者 (PPS) による小売が認められた。
- 2003年 電源調達の多様化を図るため、日本卸電力取引所が法人登記された。
- 2004年 2000年に定められた基準が500kW以上 (同40%) に引下げられた。電力系統利用協議会が設立された。(2月)

- 2005年 2004年に定められた基準が50kW（同63%）以上に引き下げられた。日本卸電力取引所が取引を開始した。（4月）
- 2015年 電力広域的運営推進機関が設立された。（4月）
- 2016年 小売全面自由化:誰でもどの電力会社からでも電気購入が可能になった。（4月）
- 2020年 送配電部門が法的に分離される予定。（図1参照）

## 2. 日本の電力システム改革の概要（経産省ホームページから）

### <目的>

- ① 安定供給の確保：電気が足りない地域に柔軟に供給できるよう広域的な電力融通の促進。再エネや自家発電設備など多様な電源を供給力として活用。
- ② 電気料金の抑制：競争の促進と電気の生産や販売の創意工夫や経営努力による電気料金の抑制。
- ③ 電気利用の選択肢や企業の事業機会の拡大：どの電力会社からどのような電気を買うかを全ての電気の利用者が選べるようになり、企業のビジネスチャンス等を促進。

### <施策>

- ① 地域を超えた電気のやり取りの拡大  
電気の広域的運用による災害時での停電の低減。その司令塔として「電力広域的運営推進機関」の創設。
- ② 電気の小売りの全面自由化  
小売販売ビジネスへの新規参入を解放解禁し、全ての電気利用者が料金メニューを自由に選択可能。
- ③ 送配電ネットワークの利用しやすさの拡大  
送配電部門を別会社に分離することにより、誰でもがそのネットワークを公平に利用できるよう配慮。

## 3. 全面自由化された電力システム自体の特徴

制度としては自由化されたが、電力システムの物理的特性は従来通りであり、従来廉価で安定な電気を供給するために全国の10の電力会社が自身の努力で行ってきたことを、今後は新電力を含めて電力に携わる全ての企業・関係者が行う必要がある。

具体的には次のような特性があるため、それを満足することが今後も必要条件となる。

- ① 瞬時々に使う量と発電する量が同じであること、即ち同時同量の確保。これは短期的にも、また長期的にも必須条件である。発電や送電設備の建設には時間が掛かるため、必要な設備を適宜維持建設していかなければならない。将来電源が不足すると、計画停電をしてでも需要と供給を合わせていく必要があり、これが失われると大停電になり得る。このため、需要予測を含めた系統の的確な運用の技術は極めて重要であ

る。

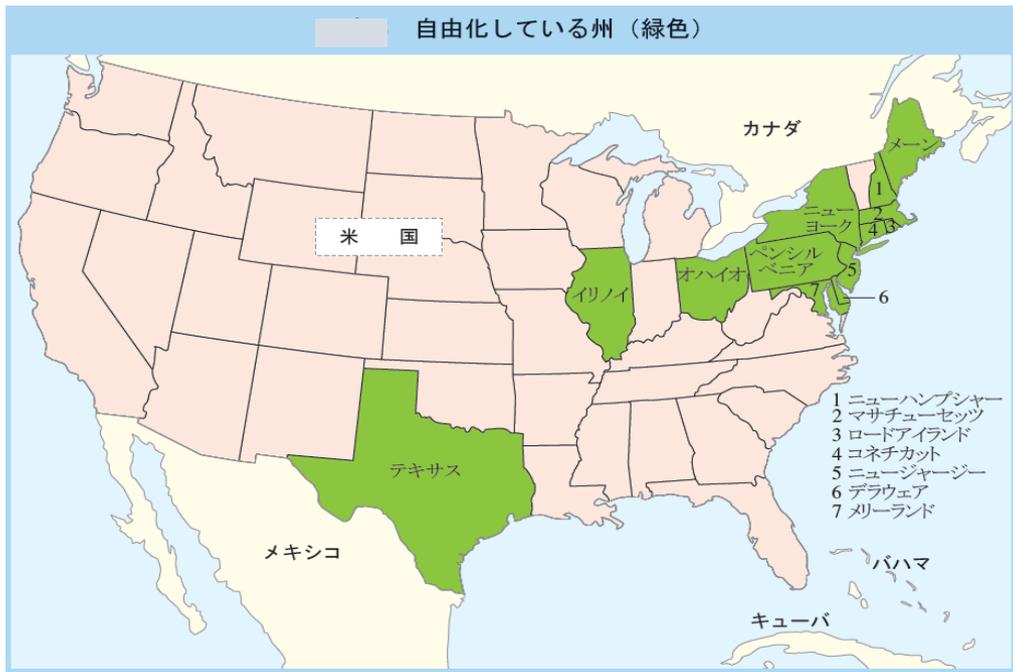
- ② 電力システムの中での全設備は電氣的に全て結合されていて、どこか1箇所のトラブルが直ぐに全設備に影響を与える。いわば一心同体であり、全ての企業・関係者が設備に慎重な扱いが必要である。
- ③ 送電線で送れる電力には許容限界があり、状況によっては需要に見合う電源の供給量はあっても送電線の限界により送れない場合がある。
- ④ 送電線の長さとする量によっては、需要側の電圧が下がって既定の電圧を維持できなかつたり、また同期がとれずに系統全体が異常をきたす恐れがあり得る。③項の問題を含め将来の予測を含めた的確な設備形成の技術が重要である。
- ⑤ 電力設備は常に適正な運用とメンテナンスが必要で、これを怠ると大規模停電を誘発することがあり得る。
- ⑥ 需要の動向や新規電源などに対し送電線が必要となるが、電源と違って長い線状のルートを確保しなければならない。そのルートの土地所有者全員の合意がなければ送電線は建設できず、その同意確保は常に困難が伴う。

(次章で述べるようにドイツでは北側の電源地帯から需要の多い南側に基幹送電線を計画しているが地元の反対により進んでいない)

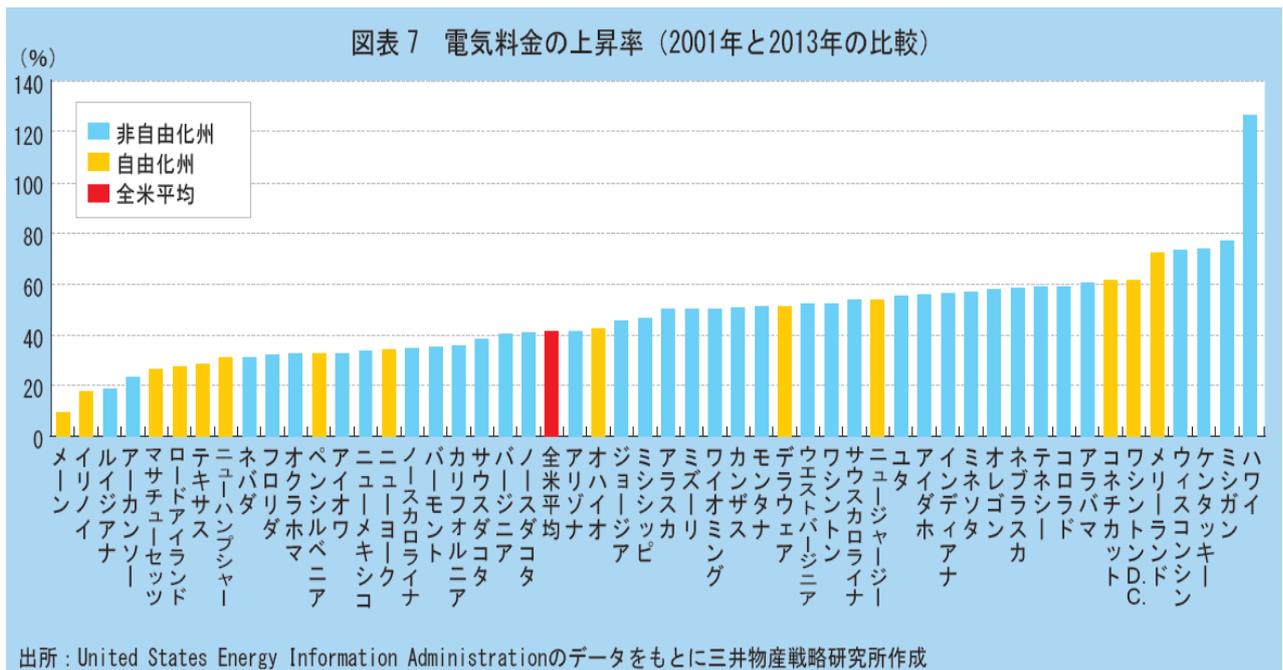
## 4. 自由化先進国の状況

### 4-1 米国の電力自由化

- ① 米国はかつてジェネラル・エレクトリック (GE) やウェスティングハウス・エレクトリック (WH) 等のメーカーや大手の電力会社が、電力技術やシステム技術で世界を指導。
- ② しかし、石油ショック等で電力事業経営が難しくなり電力設備の投資が抑制された。
- ③ 1992年のエネルギー政策法による電力卸売市場の自由化以来、電力の設備投資がさらに削減されたため、米国の国内電力機器メーカーは衰退し、多くの事業が外国メーカーに売却される。
- ④ GEは選択経営により一時ガスタービン事業に特化。(ただしGEは現在電力流通分野にも再参入)。
- ⑤ WHは次々と事業を切り売りする中で火力部門はジーメンスに、原子力部門は東芝に売却。
- ⑥ 電力会社も世界に向かって技術を指導する余裕がない状況となった、また、技術開発等への投資によりコストを削減して料金を下げるよりも、企業の収益を上げ短期的利益を追求する風潮になった。(研究の中心はEPRIに移行)
- ⑦ 2000年夏に作作的に需給ひっ迫を作り出し、電気料金を釣り上げて暴利を得たエンロン社の事件が発生。(その後エンロン社は不正経理が露見し、翌年2001年12月に破綻。)
- ⑧ この事件を契機に米国では電力自由化を実施している州は図2の通り14州に留まる。また、図3の通り自由化州とそれ以外の州との電気料金の有意差は認められない。



(図2) 三井物産戦略研究所レポート「米国・電力自由化の現状」



(図3) 三井物産戦略研究所レポート「米国・電力自由化の現状」

#### 4-1-2 米国の電力技術の重鎮であるカサツザ氏の警鐘（趣旨）

（「忘れられたルーツ」EIT 電力発展史研究会訳補・編 日本電気協会発行）

- ① 電力は水道等他のインフラと違い、全ての設備が同期し、常に同時同量が必須であることを肝に銘じよ。
- ② 電力システムの運用には、電力・事業・燃料・マネー・規制・制御監視の6ネットワ

ークが円滑に機能していることが必要なことを理解せよ。

- ③ 技術者を政策決定のプロセスに含めよ。
- ④ 長期的な設備形成や技術開発が必要である電力経営を、短期的利益追求の風潮から解放せよ。

#### 4-2 英国の電力自由化

<自由化の状況>

- ① 世界で電力自由化の先頭を切った（1990年）のは英国。
- ② サッチャー政権の1990年に国営CEGBが、発電会社3社と送電会社1社に分割民営化され、自由化がスタート。
- ③ 1998年には小売りも全面自由化。
- ④ 電気料金は自由化当初は低下したが、2005年頃から元の水準を超えて上昇。
- ⑤ 英国は北側に電源が多く南側に需要が多い。しかし南北間の送電線の建設が進まず。
- ⑥ CO<sub>2</sub>排出の問題から石炭火力を停止せざるを得ず、また老朽化の問題から多くの原子力発電所が今後停止。
- ⑦ このため電源が不足する一方、新設発電所の建設が進まず。
- ⑧ こうした状況を打開し発電所の建設を進めるため、新規原子力発電所を含め、多くの電源に実質的に固定価格買取を保証するような制度を導入。
- ⑨ 英国の大手電力会社6社のうち4社が海外資本（仏EDF、ドイツRWE等）。

<電源の建設が進まない背景>

- ① 電源と送配電が一体の場合は、苦勞をしてでも必要な時に需要の近くに必要な電源を作るが、独立の発電会社にはその必要性がなく、作れる条件がそろった時に、作りやすいところに作る。（そのため新たな送電線も増加。）
- ② 需要はあっても、自分の電源の売り上げになるかどうかの保証がない。
- ③ 新規高効率電源は国家的見地からは必要だが、私企業としては減価償却費が高いため市場価格の中で減価償却が十分行えるか不安。

#### 4-3 ドイツの電力自由化

<自由化の進展>

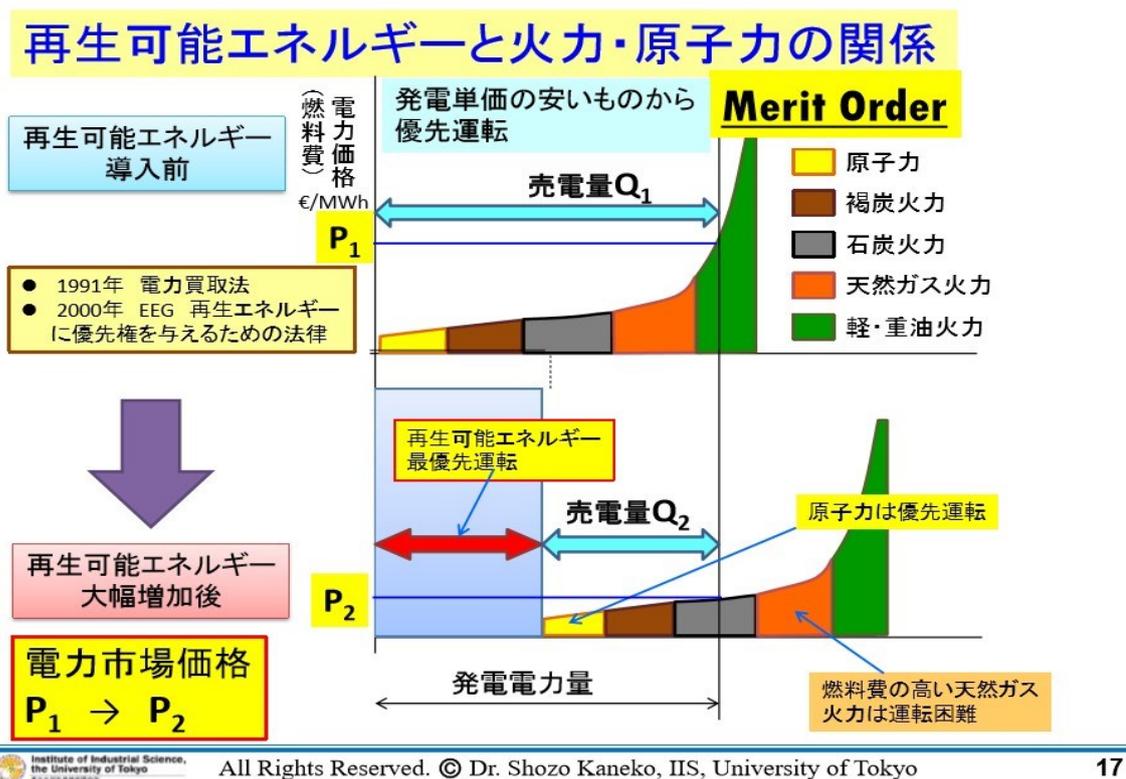
- ① 自由化・再生可能エネルギーの固定価格買取制・脱原子力が並行して進行。
- ② ドイツは1998年に電力並びにガスの完全自由化がスタート。
- ③ 少し前の1991年から再生可能エネルギーの買取制度開始。（2000年に固定価格化）
- ④ 加えて原子力発電所は一部を停止し2022年までに全て廃止予定。
- ⑤ 再生可能エネルギーの高額での固定価格買取制度を強力に進めた結果、ドイツの再生可能エネルギーは2015年に30%を超過。

<自由化の課題>

- ① 最新鋭高効率火力が老朽石炭火力に価格面で敗退し、極めて低率な稼働を余儀なくさ

れている。(ただし、いざという時のため廃止は許可されない)

- ② 価格競争の自由市場での、再生可能エネルギー優先というシステムでは、買取義務のある電源が増大すると、その電源は下図7に示すように一番先頭に挿入されるため、グラフが右へずれていく。このため市場価格は低下し、発電会社の収入は減るが家庭用電気料金自体は高額な買取料金が上乗せされるため高値が継続する。これによる電気料金の高騰と、電力事業の経営困難という問題が並行して発生している。これが現在ドイツで起こっている現象。具体例を図4に示す。

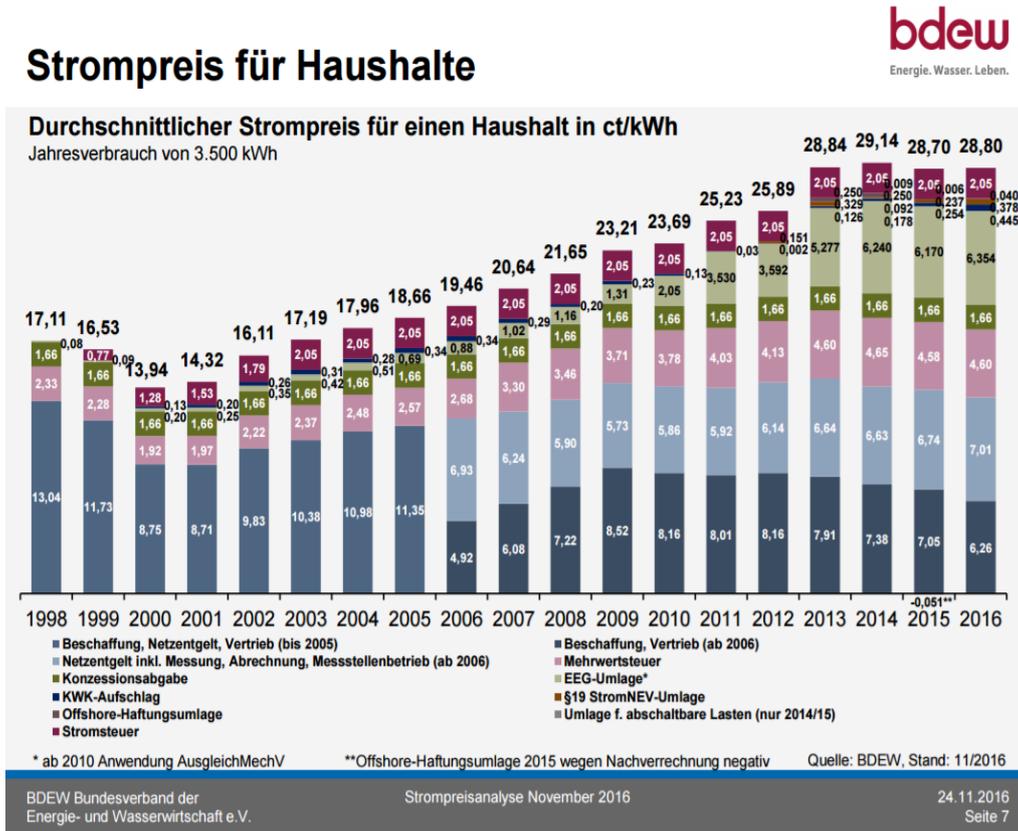


(図4) 再生可能エネルギーと市場価格 金子祥三東大教授の御講演資料から

- ③ 再生エネルギー固定価格買取制により家庭用電気料金が2000年に比し約2倍に高騰。
- ④ ドイツは再生可能エネルギーの多いドイツ北側から需要の多いドイツ南側への送電線が不足しているため、隣国を経由して変動の大きい電気が流れ、隣国での電力システムの安定性に影響。
- ⑤ 現在南北を結ぶ送電線の計画はあるが、反対運動により建設が進まず。
- ⑥ また、ドイツでは2050年までに再生可能エネルギーの割合を80%にまで上げる計画。
- ⑦ そのような変動の激しい電源が大半になった時のシステムの運用を安定的にするため、大量の蓄電装置の導入、予備電力の増強、さらに制御技術の一層の高度化等が必要。ただし、ドイツは欧州の他国の系統との強力な連携があり、安定的な出力で発電する従来型の発電設備の多い、フランス、北欧等と常時つながっているため、変動の影響はかなり緩和されている。
- ⑧ その通過地域で太陽光発電が使用できなくなった2015年3月20日の欧州の日食の時

を上回る日食対策も必要。

- ⑨ 以上のようにドイツの自由化の課題は再エネ大量導入の課題がはっきりと表面に出てくる形で現れている。



(図5) ドイツの家庭用電気料金の変遷

「BDEW-Strompreisanalyse November 2016」

## 5. 諸外国に学ぶ自由化の課題への対応

### 5-1 通常時の課題への対応

- ① 系統の安定な運転に必須な各瞬時の周波数と電圧の維持。多少の変動であれば系統自身に吸収する力があるが、許容限度を超えれば系統が崩壊。発送電分離を先行して導入した欧州では、計画値同時同量の電源運用に起因する周期的な周波数変動が顕在化している。わが国においても 30 分計画値同時同量の制度により、30 分毎に周期的な周波数の変動の発生が懸念される。このためこれに対応するような仕組み作りが必要。
- ② 入札制度では長期的な発電設備の減少防止策が必要 (図8で詳述)。入札制度のもとでは将来の需要の獲得に関して不確実性が高まる。一方、電源や輸送設備の建設には時間を要する。将来需要の不確実性の中で、これを確保していくことは、より困難になるため、減少防止策への仕組み作りが必要。
- ③ 設備維持、即ちメンテナンスに投資する意欲も働きにくいため、その対策が必要。電

力自由化の下でコストダウンに過度な圧力がかかり、メンテナンスが疎かになると、電源・系統設備の停止確率が増える可能性が否定できないため、性能維持への基準造りが必要。

- ④ 電力取引が活発になり、特定の送電設備が混雑を起こす可能性。電源が送電線の容量が小さな場所に設置されると、混雑が発生する可能性がある。これは再生可能エネルギー電源の設置の場合にも起き、再生可能エネルギー電源の設置の制限もしくは新たな送電設備の設置等の対応が必要となる。
- ⑤ 電圧の維持：電源は電圧の維持にも重要な役割を果たしている。電源が計画的に設置されず、電源の地理的バランスが崩れると基幹系統の電圧維持にも支障が生じる。電圧維持のために追加的な設備が必要となる場合もある。これは再生可能エネルギー電源の大量導入の場合にも課題となる。すなわち、再生可能エネルギー電源は優先的に給電されるため、大量導入の場合にはその分に相当する電源の出力低減や停止が必要となる。電源の停止の場合は、停止場所によっては基幹系統の電圧維持や安定性が問題となる場合もありうるので、制御の高度化や当該電源の抑制等の対応が必要。
- ⑥ 稼働率の極めて低い大量の予備電力の確保：出力の変動する再生可能エネルギー電源が大量に導入されると、再生可能エネルギーの出力が減少した場合への対応として予備力を確保しておかなければならない。これらの予備力的な電源は、再生可能エネルギー電源が出力しない場合にのみ稼働することになるため稼働率の低い電源となる。稼働率の低い電源は自由化のもとでは、利益を生まない電源として建設・維持のインセンティブがなくなってしまう。このため、必要十分な予備力電源の確保策が必要。
- ⑦ 原子力の新設が困難：電力自由化のもとでは短期的な利益の最大化が重視され、資本集約的な電源、例えば原子力発電の様な電源は建設が困難になる。一方では CO<sub>2</sub>問題や資源問題もあることから、燃料資源のない我が国のエネルギーセキュリティ確保の面から、原子力発電のあり方について何らかの措置が必要。

## 5-2 非常時に対応する技術力の維持向上

- ① 電力インフラは現代社会にとって不可欠なものであるが、そのシステムを安定的に運用することは、事業的に見ても技術的に見ても簡単なことではない。人的投資、研究開発投資、設備投資は、長期的視点を持って行われなければならない。それらは単に政治的・経済的な合理性だけでなされるものではなく、関係組織、関係者の意識を高く保つための仕組みを整え、運用するべき課題である。電力システムは、その巨大さと、需要と供給を常にバランスさせる必要があるとの特徴を踏まえ、平時も非常時も、短期的にも長期的にも運用してゆく必要がある。このことを、非常時に焦点を当てて、過去の具体事例を取り上げることによって、見てみることにする。ここで述べた非常時とは、東日本大震災のような広域に及ぶものもあれば、電力を輸送する送電線への落雷のような局所的なものもある。具体事例として、まず後者から取り上げる。
- ② 電力エネルギーは東京や大阪のような都市部で集中的に使われる。都市部で使われる

電力エネルギーのすべてを、都市部や都市に近接した地域で賄うことは、各種要因から不可能なので、遠隔の地に大規模な電源設備を置いて、長距離送電線によって大電力を輸送し、都市部の大需要を賄うとの構造はこれからも続く。再生可能エネルギーを利用した電源と規模の小さな地域の需要を組み合わせ、電気エネルギーの地産地消を実現することが注目されている。それはそれで積極的に推進されるべきことだが、質・量・コスト並びに系統の強靱性（変動への対応力）に十分留意する必要がある。わが国では往々にして質・量・コストの問題が無視されてしまうが、結局そのしわ寄せは消費者も負担しなければならなくなる。また、国や大きな地域のレベルで社会に対して電力エネルギーを責任をもって供給しようとする場合に、大規模電源、長距離送電線が重要な役割を果たすことは、今後長期にわたって変わらないと考えられる。

- ③ 電力の大需要地として首都圏を例に取り上げる。首都圏の需要を賄うために、福島と柏崎刈羽に原子力発電所が作られた。そしてそれらの発電電力をそれぞれの特徴を生かしつつ最経済的に調合して首都圏に送るために、超高圧送電ネットワークが長い年月をかけて整備された。しかし、送電ネットワークは着々と整備されたものの、歴史的にみると柏崎刈羽から東京方面に電力を送る送電線が1ルートしかなかった時期がある。その1ルートが落雷等の事故によって断たれることになると、一気に首都圏の電力安定供給が脅かされかねなかった。そのようなリスクは電力事業者にとって事前に予知できるため、ルート断を起こすリスクを極小化するための技術開発が長い年月をかけて行われた。世界で初めて実用化されたPCMリレーと呼ばれる送電線保護リレー装置がそれである。実際に装置がフィールド試験に供された時期からカウントしても、実用化まで11年を要する難易度の高い開発であった。現在は、大需要地に対する電力供給は複数のルートで行えるようになっていて、高度な保護リレー装置を含む様々な保護制御技術の適用と相まって、電力の供給信頼度は高くなっている。それでも旧江戸川を遡上するクレーン船が、送電線に接触する事故によりルート断となり、京浜地区が長時間停電するとか、湿雪が送電線に付着したことが契機となってルート断となり、長野地区で広域停電が起きるなどの事故、また、新座付近での洞道火災による停電事故等、事故は継続的に起きている。老朽設備の更新を含む、不断のネットワーク整備と技術開発を行ってゆくことが必要である。
- ④ 次に広域災害の例として、東日本大震災を取り上げる。2011年3月11日14時46分頃発生した東北地方太平洋沖地震は、電力供給インフラにも深刻なダメージを与えた。東京電力、東北電力とも約4割の電源が系統から脱落した。その時の東日本（50Hz系統）の系統周波数は直前の49.99Hzから48.44と1.55Hzも変動した。（具体的な変動状況は電事連からネット上で公開されている次のURLで見ることができる。  
[http://www.jser.gr.jp/activity/JSER\\_report/toyoma\\_130220.pdf](http://www.jser.gr.jp/activity/JSER_report/toyoma_130220.pdf)）

電源が大規模に脱落し、需要がそれに見合うだけ減らないと、周波数は急激に低下し、ほどなく全系が停電になる。しかしこのときは全系崩壊には至らなかった。予めその

ような非常事態に備えて、需要（負荷）を自動的に遮断する装置が機能して、全系の停電はかろうじて回避された。そのような非常事態に備え、長期間にわたる供給計画と技術開発並びに設備投資があったればこそ、大停電を回避できた。

- ⑤ 大震災の 2 年前に電気学会誌に紹介された赤間康平氏の記事「災害発生時における東京電力ネットワークの安定維持対策」（電気学会誌，Vol. 129，No. 4，pp. 212 - 215、2009 年では冒頭には次のような説明がある。

『東京電力における災害発生時の備えとしての電力ネットワーク安定維持に向けた設備対応と監視・運用体制を紹介する。』

この会誌記事を読み、前掲の大震災時の系統周波数のふるまいを見ると、実際の災害が発生した時、対応設備も機能し対応すべき人も機能したことが分かる。それに先立って長い年月の研究開発と、投資（研究開発及び設備投資）と、日々の運用に当たる人たちの訓練がなされてきたことが推測される。そしてそれを担った数多くの人たちの教育が、長い年月をかけて大学等で、初中等教育機関でなされてきたことが推測される。

- ⑥ 非常時は想定して想定しきれないものではないが、それであっても人的資源を確保し、不断の研究開発、投資、訓練を地道に積み重ねておくことによって、いざという時に役立つ。電力自由化にあたって、誰がどこでどのようにしてこの対応力を維持し、向上させてゆくのか、その重要性についての合意形成と、具体施策の立案、そして行動が必要である。

## 6. 料金の安定

- ① 発電効率を低下させない制度的工夫

英国やドイツで、高効率新鋭火力が入札コストの問題で石炭燃料の低効率老朽火力より稼働率が悪く、撤退を余儀なくされるケースもあるのは、短期の市場原理では当然と言えるものの、長期的には公益に反し、将来の料金の上昇や、CO<sub>2</sub>問題も助長する。日本でこうした運用が起きないよう制度的な工夫が必要である。

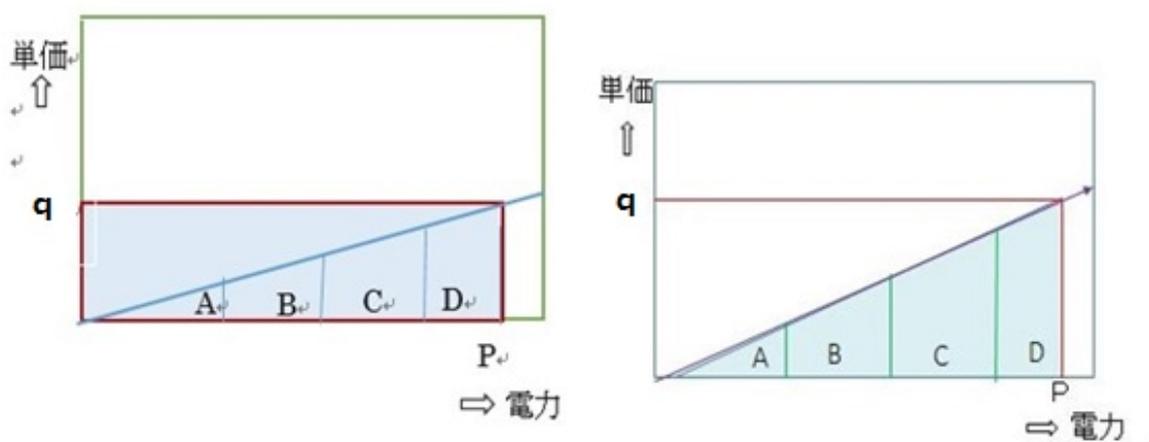
- ② 再生エネルギー固定買取制度による電気料金の上昇への歯止め

再生可能エネルギーの固定価格買取制度の平成 27 年度の買取金額が約 1 兆 5500 億円と既に 1 兆 5 千億円を超過。28 年度は 2 兆円を超える見通しである。この金額は全て電気料金に上乗せとなる。

今後これはさらに増加して 20 年間は継続するためドイツの轍を踏まない工夫が必要。ドイツではすでにこの問題が顕在化して電気料金が 2000 年頃の 2 倍近くにも上昇。2017 年以降、再生エネルギー年間導入量の 80%を競争入札により調達することにしたものの、再生エネルギー発電側には引き続き補填があるため、電気料金への上乗せは継続する。

- ③ 入札制度による価格変動の増大に対する工夫を

入札制度は下記の左図のようにその時点での最大価格（限界コストベース）が、低い価格の発電にも適用されるため、合計の金額は下記左図のような四角の面積になる。一方総括原価方式では低いものは低い価格（ただし、減価償却等の固定費も組み入れたもの）で購入するため、その合計は下記右図のように三角形の面積となる。この四角形と三角形の面積のどちらが大きい（電気料金として高いか）は電源「D」の料金によるところが大きい。入札制度では電源「D」の料金がすべてに適用されるため、料金の変動幅が大きくなりがちとなる。また、入札制度では何らかの措置がないと電源「D」の固定費の償却が難しく、市場から撤退する可能性が高い。限界コストの高いものが市場から撤退するのは悪いことではないが、長い目で見た供給量の確保や、電源が不足がちになった時の料金の急騰への対応も検討が必要である。



入札（限界コスト）の合計金額 =  $p \times q$       総括の場合の合計金額 =  $(p \times q) / 2$

(図6) 入札と総括原価

## 7. 長期的なエネルギーセキュリティの確保

- ① 制度の変更がセキュリティを喪失させない対応が必要
  - ・米国の歴史を通観すると制度の変更が産業を大きく変化させる。
  - ・エネルギー資源が貧弱な我が国では、制度の変更でエネルギーセキュリティが失われない対応が必要。
- ② 20年後の太陽光発電激変の可能性への事前準備
  - ・将来、固定買取期間終了の際の大量の太陽光発電設備の廃棄問題への対処が必要。
  - ・同時に、買取期間の20年が終了した時点の数年後から、寿命などの面で取り換え等の大型更新が必要となるが、その時点での太陽光発電の更新コストが他の電源との競争で、十分な競争力がないと、その時点で発電を廃止してしまう可能性が高い。  
(新電力には赤字で発電する義務はない)
  - ・その時点までに老朽火力が廃止され、一方減価償却費が高く市場競争では固定費が賄え難い新設火力の建設が敬遠されると、英国のように供給力不足が発生する可能

性ある。このため、再度実質的な買取保証をしなければならない可能性が出てくる。

- ・再生可能エネルギーの増強自体については、例えば所謂一般電気事業者に対し 10 年計画で発電量の一定割合（例えば 15%等）を再生エネルギー発電とする等の措置で対応する等、色々のアイデアの議論が必要。

③ 原子炉の運転制限 40 年問題への対応のコンセンサスを

- ・新規立地が難しい原子力発電は、既設設備の発電再開だけでは 40 年を待たずゼロになり長期エネルギー見通しでの 2030 年で 20~22%としている発電設備が不確定となる。この問題への議論が必要。

④ 新しいベストミックスの確立を

- ・市場競争の状況が長く続くと電源は限界コストの安いものだけに集中し、国際状況の変化に対応しやすい電源の多様性が失われやすい。国産エネルギーの乏しい我が国として戦略的にエネルギーセキュリティの問題を常に念頭に置くことが必要。

⑤ サイバー攻撃にも十分な対応が必要

- ・自由化の一環として電力系統のデータの公表が広がり、電力のデータがビッグデータのひとつとしても広く使われようになり、さらに色々な電源が系統に接続される中で、ネットを介して電力系統の制御が襲撃されないよう今後の対応が必要。同時に、テロに対する電力システムの脆弱性が強まってしまうことのリスクも考慮の上、オープンになった課題を研究し解決してゆくための基礎データを、誰が誰に対してどの範囲までオープンにしてゆくかについての合意形成も必要。

⑥ 設備維持への適切な対応を

- ・需要が順調に伸びている時代は設備の増強・取り換えの中で新しい技術の開発が行われ、その技術展開などの形で既設設備への必要な保守も行われてきた。しかし、自由化の中で全体の需要が伸びないとは先に述べた通り設備維持への投資が行われにくくなる。現代では長時間の広範囲な停電は社会のセキュリティの問題にもつながる。こうしたセキュリティの確保のためには適切な設備維持への投資を行わなければならない。

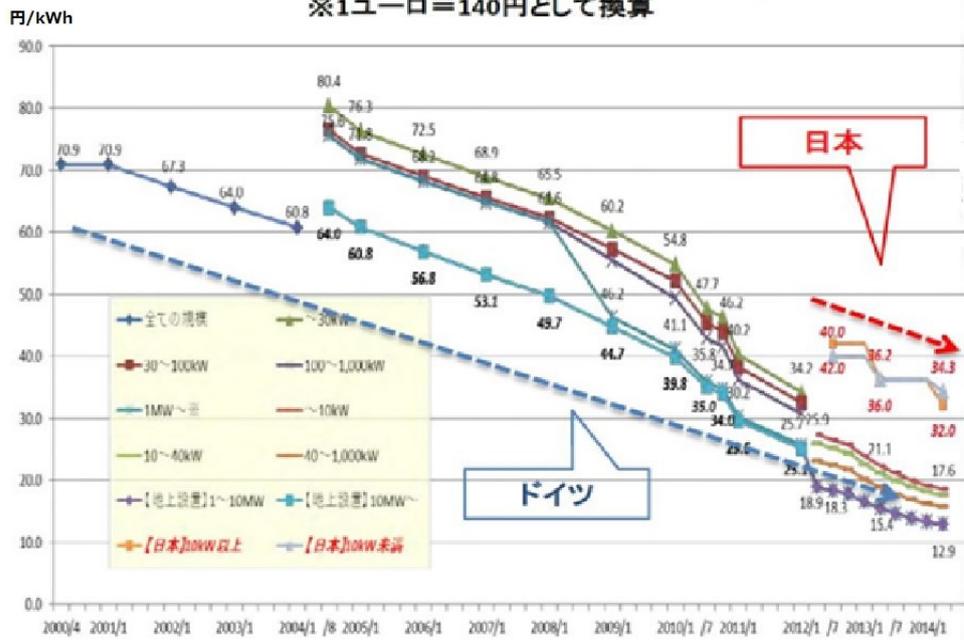
## 8. 結び —超長期的な視点に立った安定・低廉な電力供給を維持するための議論を一

- ① 電力設備の建設には数年から十数年に及ぶ時間を必要とする。また、再生可能エネルギーを除き、長期的・安定的な燃料の確保も必要である。石油ショックでの経験からわが国ではエネルギー資源の多様化、供給国の多様化、即ちベストミックスを進めてきた。今後、CO<sub>2</sub>問題への対応もますます厳しくなる中、超長期的な電力資源のベストミックスをどうするか、またそれを確保するための建設的議論が引き続き必要である。
- ② 米国のカサツザ氏が述べている（4-1-2）ように電力システムは他のインフラと違い同時同量が必須であり、そのためには物理的な電力システムにとどまらず、事業・燃料・マネー・規制・監視制御の6つのシステムが円滑に機能していることが必要であることを、常に議論の前提に据えることが必要である。
- ③ エネルギーのセキュリティは国家のセキュリティの重要な要素の一つであることを常に念頭に置くことが必要である。
- ④ ドイツの電力政策は、結果的には従来型電源を多数保持する欧州の強力な系統の連系に支えられている。一方我が国は、地理的にもまた、当面は政治的にも近隣との系統連系は容易ではない。その点は無視のできない事実として認識する必要がある。
- ⑤ 地球温暖化問題への対応には、再生エネルギーの活用に加え安定電源としての原子力は極めて重要な位置づけにある。しかし、既に廃止を決定したものや廃炉40年ルールを適用すると、2030年の長期需給見通しの原子力発電を20%~22%確保すること自体容易ではなく、また、このまま島根3号と大間を除き新設がなければ、40年を待たずに原子力発電は前記2機を除き消滅する。（2機もその後数年で40年廃炉ルールに突き当たる）安全性を十分担保することを条件に、新設乃至はリプレースの議論を進める必要がある。
- ⑥ 電気を作り、また送る・配るために必要な資金は全て電気料金に反映される。固定買取制度の高い買取金額や、入札制度の問題、さらに事業・設備の効率の悪さや過度の要求への安易な対応等が残っていれば、結局そのコストも料金に反映される。同時に適切な設備保全もしなければならぬ。今後の議論の際にも、その点を常に認識する必要がある。

また、現制度の電力売買の郵便切手方式（遠方の電力会社から購入しても託送料は同じ）は、量が多くなれば電力ロスの増大や送電線の混雑を生じ、コストの増大を招きかねないので、これからも状況を見守っていく必要がある。
- ⑦ 今までは電力会社の責任で対応していた種々の電源の問題や系統上の課題がオープンになる。逆に言えば社会（国と民意）がその責任を持つことになる。幸い、電力自由化については先進諸国の数多くの事例が公表されている。こうした事例を真摯に受け止め長期的な観点から、安定低廉供給へのリスクを最小限にするしっかりした議論を基とした設備構築していくことが必要である。

### 【ドイツ・日本における太陽光発電設備の買取価格の推移】

※1ユーロ=140円として換算



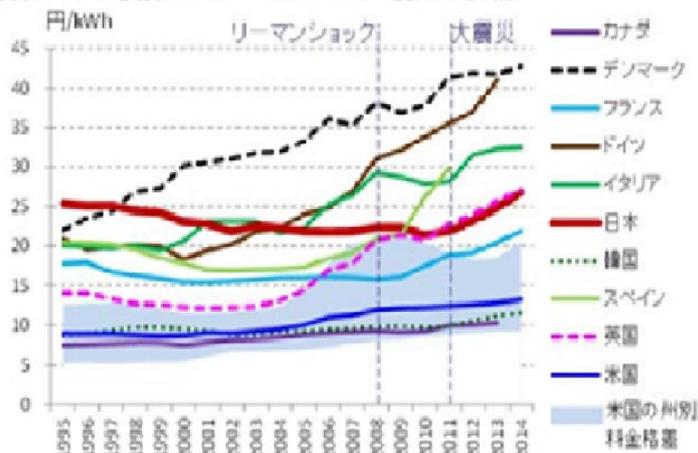
出典 「再生可能エネルギーを巡る現状と課題」 資源庁省エネ新エネ分科会新エネ小委員会第一回資料

図7

財電力中央研究所

## 家庭用電気料金の国際比較

2014年為替レートで換算:1ドル=105.85円、税込み価格



出典: IEA Energy Prices and Taxes等を基に電力中央研究所にて作成

注1: 米国については、州ごとの料金格差が大きいため、EIAデータをもとに、割高な州の代表としてコネチカット州、割安な州の代表としてワシントン州をとり、その幅を水色で示している。

注2: カナダ、ドイツの2014年、スペインの2012,2013,2014年は欠損値。

図8 電力中央研究所社会研究所ディスカッションペーパー「電気料金の国際比較 2014年までのアップデート」

## 9. 提言

技術面での検討により、日本の自由化の中で残された課題、並びに自由化先進国の課題が見えてきたが、この問題は単に技術面だけで済む話ではないので、工学アカデミーの中に、20年後、40年後を見据えた総合的な電力安定供給のための諸方策を策定する技術専門家並びに文科系専門家両者による検討委員会の設置を提言する。なお、こうした課題について既に警鐘を発している組織や団体もいられるので、そうした方々との意見交換も重要と考える。

具体的な検討内容は、例えば次の通りである。

### (1)将来の安定供給の維持

- ① 入札制度のもとでは将来の需要の獲得に関して不確実性が高まり電源の建設に慎重になる。それでも必要な電源を確保する仕組み作り
- ② 電力自由化の下で抑制されがちなメンテナンスを確保する諸方策
- ③ 再生可能エネルギー電源は優先的に使用されるため、基幹系統の電圧や安定性を維持する重要な役割を負う一方、稼働率が低下する従来型電源及び予備電源の確保策
- ④ 異常時、特に大規模天災、大規模事故等での対応は自動制御システムを活用するが、最後は人間が介在して対応せざるを得ない。そうした技術者の育成。

### (2)電気料金の安定化の諸方策

- ① 高額の再生エネルギー固定価格買取制度により電気料金の賦課金は2兆円にも上り、家庭の電気料金の1割に迫り今後ますます増えて20年間続く。この問題をどのように対処すべきかの検討。
- ② 再生エネルギー固定買取制度が終了した場合の再生エネルギーの取り扱い、廃棄物処理費用の問題のシミュレーション等。

### (3)原子力発電の取り扱い

ただ、必要だというだけでは結果的に40年後にはなくなってしまう。また、初期投資が大きいため自由化の中では新設が難しい。こうした状況を踏まえ、国家セキュリティとして原子力発電の取り扱いを議論し、引き続き確保するというのであれば、具体的に新設乃至は現地点での取り換え等の諸方策の検討。

最後に、米国の電力技術の重鎮であるカサツザ氏が語るように、電力システムの運用には、電力・事業・燃料・マネー・規制・制御監視の6ネットワークが円滑に機能していることが必要なことを認識するとともに、設備形成には時間がかかることから短期利益優先の風潮から距離を置くことが必要である。

以上

本資料の内容の転載を希望される場合は、  
(公社)日本工学アカデミー事務局までご相談ください。

**編集発行**

**(公社)日本工学アカデミー**

〒108-0014 東京都港区芝 5-26-20 建築会館 4F

TEL : 03-5442-0481

FAX : 03-5442-0485

E-mail : [academy@ej.or.jp](mailto:academy@ej.or.jp)

URL : <http://www.ej.or.jp/>