

## (第 87 回) KS クラブ議事メモ

開催日	2018 年 10 月 9 日 (火)	出席者 敬称略	坂下勲、西村二郎、山崎博、大谷宏、松村眞、持田典秋、小林浩之、猪股勲、宮本公明、飯塚弘、神田稔久 (文責)																																																																																												
時間	15:00~17:00																																																																																														
場所	かながわ県民センター																																																																																														
資料	変動する再生可能エネルギーの大量導入への課題と対策 (山崎博)																																																																																														
議題	<p>1. 技術課題</p> <p>1) 変動する再生可能エネルギーの大量導入への課題と対策 (山崎博) 発表者からの要約</p> <p>世界各国の再生可能エネルギー発電は、風力と太陽光を中心に拡大が続いている。表 1 に見られるように、世界的には水力発電が全体の約 50% で、風力と太陽光がその半分である。国別には、中国の発電容量が圧倒的である。日本の場合は 49GW (4900 万 kW) が太陽光発電で、水力を含まない再生可能エネルギー発電の約 86% を占めている。</p> <p style="text-align: center;">表 1 2017 年末における再生可能エネルギーの発電容量<sup>5)</sup> (単位 GW)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>技術別</th> <th>全世界</th> <th>中国</th> <th>米国</th> <th>ドイツ</th> <th>インド</th> <th>日本</th> <th>英国</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>バイオ発電</td> <td>122</td> <td>14.9</td> <td>16.7</td> <td>8</td> <td>9.5</td> <td>3.6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>地熱発電</td> <td>12.8</td> <td>0</td> <td>2.5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.5</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>水力発電</td> <td>1114</td> <td>313</td> <td>80</td> <td>5.6</td> <td>45</td> <td>23</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>海洋発電</td> <td>0.5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>太陽光発電</td> <td>402</td> <td>131</td> <td>51</td> <td>42</td> <td>18.3</td> <td>49</td> <td>12.7</td> </tr> <tr> <td>太陽熱発電</td> <td>4.9</td> <td>0</td> <td>1.7</td> <td>0</td> <td>0.2</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>風力発電</td> <td>539</td> <td>188</td> <td>89</td> <td>56</td> <td>33</td> <td>3.4</td> <td>18.9</td> </tr> <tr> <td>再生可能発電(水力含む)</td> <td>2195</td> <td>647</td> <td>231</td> <td>112</td> <td>106</td> <td>79</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>再生可能発電(水力含まず)</td> <td>1081</td> <td>334</td> <td>161</td> <td>107</td> <td>61</td> <td>57</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>一人当たり(kW/人:水力含まず)</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.5</td> <td>1.3</td> <td>0.05</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>再生可能エネルギーの大幅な導入が進んでいる欧州は、各国の電力が系統連系で結ばれ、電力がスポットで売買され、全体が広域ネットワークとして管理運用され細かく制御されている。欧州の場合にも課題が顕在化しつつあるが、太陽光発電、風力発電など自然変動型の電源が大量に導入された場合、電力ネットワークを安定に保ち電圧と周波数を保持するには、電力需給のアンバランスを吸収する全体システムを作り上げ、高度な広域予測管理のもとで制御する必要がある。</p> <p>需給バランスが問題となるのは、暖房や冷房の電力需要の少ない春、秋の中間期に再生可能エネルギーの発電量が増加し、従来電源の出力を最小限に落しても、需要を上回る場合である。</p> <p>最近では、2017 年 4 月 23 日の日曜日、九州電力管内で午後 1 時、電力需要 790 万 kW に対して、火力発電の出力をできるだけ絞ったが、太陽光と風力発電の合計が 505 万 kW (需要の 64%) に達すると予測された。この日は午前中から揚水発電所 (230 万 kW) に水を汲み上げてピーク電力を吸収させ、夕方の電力需要時にあわせて発電に切り替えて電力供給のピークを乗り切ったという。しかしながら、九州電力管内の太陽光発電の供給力は約 8GW (800 万 kW) に達しており、日によっては電力需要の 8 割を超えるため、一時的な発電の停止を発電事業者に求めたいとしている。</p>							技術別	全世界	中国	米国	ドイツ	インド	日本	英国	バイオ発電	122	14.9	16.7	8	9.5	3.6	6	地熱発電	12.8	0	2.5	0	0	0.5	0	水力発電	1114	313	80	5.6	45	23	1.9	海洋発電	0.5	0	0	0	0	0	0	太陽光発電	402	131	51	42	18.3	49	12.7	太陽熱発電	4.9	0	1.7	0	0.2	0	0	風力発電	539	188	89	56	33	3.4	18.9	再生可能発電(水力含む)	2195	647	231	112	106	79	39	再生可能発電(水力含まず)	1081	334	161	107	61	57	38	一人当たり(kW/人:水力含まず)	0.1	0.2	0.5	1.3	0.05	0.4	0.5
技術別	全世界	中国	米国	ドイツ	インド	日本	英国																																																																																								
バイオ発電	122	14.9	16.7	8	9.5	3.6	6																																																																																								
地熱発電	12.8	0	2.5	0	0	0.5	0																																																																																								
水力発電	1114	313	80	5.6	45	23	1.9																																																																																								
海洋発電	0.5	0	0	0	0	0	0																																																																																								
太陽光発電	402	131	51	42	18.3	49	12.7																																																																																								
太陽熱発電	4.9	0	1.7	0	0.2	0	0																																																																																								
風力発電	539	188	89	56	33	3.4	18.9																																																																																								
再生可能発電(水力含む)	2195	647	231	112	106	79	39																																																																																								
再生可能発電(水力含まず)	1081	334	161	107	61	57	38																																																																																								
一人当たり(kW/人:水力含まず)	0.1	0.2	0.5	1.3	0.05	0.4	0.5																																																																																								

将来的に再生可能エネルギーの利用をさらに拡大していくにはどのような対策があるか。下記の1)～12)の検討要素の定量的な解析と有効性、経済性の検討が必要であろう。多様な分散型電源と様々な電力需要のもとで、検討要素を組み込んだダイナミック・シミュレーションモデルを作成し、条件を変え、コストを含めた検討を行う必要がある。

#### 《12 の検討要素》

- 1) 再生可能エネルギーの出力予測→気象衛星「ひまわり8号」活用の日射量予測など
- 2) 火力発電による出力調整→出力範囲、原子力発電の活用法、ベースロードの有無
- 3) 揚水発電の活用→揚水、放水のタイミング、効果的な活用法、揚水発電効率
- 4) 蓄電池の活用→小規模家庭用、大規模広域用、次世代「金属-空気電池」研究開発
- 5) 家庭の余剰電力→エコキュートなど家庭用ヒートポンプ活用、電気自動車への蓄電
- 6) コージェネ出力調整→出力調整能力と運用の柔軟性
- 7) 広域系統連系線の活用→電力需要地への送電、系統連系の増強、高圧直流送電
- 8) 余剰電力を用いた水素製造→燃料電池発電、燃料電池自動車
- 9) 余剰電力を用いたメタン製造→都市ガス需要、天然ガス自動車
- 10) 分散電源とネットワーク→全体を高度に予測監視制御するシステムの導入
- 11) 電力市場の活性化→スポット市場、当日市場、FIT 償却済み PV の有効活用
- 12) 異常気象、大規模地震などのリスク想定→異常事態にタフな電力システム

2008年11月4日、当時すでに風力発電が大量に導入されていた欧州で、操作ミスをきっかけにしてドイツ、フランス、イタリアなど11ヶ国におよぶ広域停電が発生した。日本でも太陽光発電、風力発電など自然変動型の分散型電源の導入が増え、時間的に電力供給が電力需要を上回る事態が生じると、電力ネットワークに繋がる分散電源の解列や故障、地震・台風などの自然災害をきっかけに発生した異常が、電力ネットワーク全体に波及して、電力システム全体がダウンするリスクが増加している。

なお、先月の9月6日未明に発生した北海道地震では道内全域で「ブラックアウト」と呼ばれる全面停電が発生し、各分野で大きな被害が出た。また、今年は、強風を伴う台風が次々に日本列島に襲来した。台風の襲来中は風力発電は安全のため停止し機能しない上に、太陽光発電の出力が下がり発電出力はほぼゼロとなる。南海トラフなどの大規模地震の際はどうか。台風や地震の自然災害を考慮し、電力の系統連系やバックアップ電源をどうすべきかなども考える必要がある。

#### 参考資料

1. 諸富徹、他6名「電力システム革命と再生可能エネルギー」日本評論社（2015\_9\_30 発行）：協同研究（7名、3年半）をまとめた大変示唆に富む本。
2. 竹内純子、他3名「エネルギー産業の2050年、Utility3.0へのゲームチェンジ」日経出版（2017\_9\_1 発行）、将来起こりうるエネルギービジネス革命を、思考実験と定量的な分析により大胆に予測した先進的な内容。本書は第38回「エネルギーフォーラム賞受賞」
3. 伊藤穰、可児滋「電力自由化と電力取引」日本評論社（2017\_12\_20 発行）電力自由化と電力取引の基礎から応用まで、専門的な内容の本。
4. 荒川裕則「21世紀の太陽光発電—テラワット・チャレンジ—」コロナ社（2017\_12\_20 発行）、太陽電池、発電システムの基礎から、研究開発、将来展望まで判りやすく解説した良書。
5. RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT :  
世界の再生可能エネルギーの現状が詳しくまとめられている最新の資料。  
[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final.pdf)

参加者からのコメント

1. 将来予測は難しい。だから、ある時間経ったとき振り返ってみることはとても大切なことである。シニヤ向きのテーマでもある（例えば、産官学連携プロジェクトについて「その後」を追求することも大切である）。今回は最も真剣に検討されるべき問題の一つがレビューされ（しかも、グローバルに）大変勉強になった。

問題が山積している再生可能エネルギーの将来について、小生の”過激な”見方を紹介してみたい：①CO<sub>2</sub>に代表される温暖化ガスの蓄積により、異常気象が常態化しつつある現在（反論もあるが、実感としては賛成できない）、CO<sub>2</sub>排出ゼロは喫緊の課題である⇒極論すれば原発に頼るしかない⇒原発は出力調整が困難である（とりうる手段は小型原発を沢山作ることだろう）⇒再生可能エネルギーは出力が保証されなければ存在理由は薄い（電力融通用の送電線建設コストは膨大になるだろう）⇒原発に出力調整をやらしてまで再生可能エネルギーを利用する意味はない⇒対策としては、①蓄電池の開発、②揚水発電等の推進、③地産地消の使い道の開発等である。原発推進には安全面から異論があるが、「糞に懲りて膾を吹く」のは愚である。事故があるからといって、車や航空機を利用しないわけにはいかない。（西村）

① 再生可能エネルギーのグローバルな現状、特に欧州の現状、再エネの増加に対する技術的・制度的な対策、よく分かり勉強になりました。政府は、2050年にCO<sub>2</sub>を80%削減、2030年に再エネを「主力電源」と位置付けています。既に九電管内では中間期とは言いながら再エネ比率が50%超の日が出現したとお聞きました。原子力発電はCO<sub>2</sub>削減の有効な手段であり、私も利用すべきだと思います。しかし、原子力発電が一向に動かない現状では、本格的な再エネ導入に向けて、安心して使える電力のネットワークを構築するのが待ったなしの状況です。個人的にも先日の台風で静岡県は停電になり、私の家も20時間停電しました。急遽、我が家の太陽光発電の系統連携を切り、自立運転に切り替え、専用コンセントから冷蔵庫、冷凍庫などの電源を確保しました。非常に面倒でしたが、太陽電池のありがたみを実感しました。

② 10月のネット会議の技術的トピックスとして、電力ネットワークの周波数調整機能を取り上げました。少し内容を紹介致します。現在、電力系統には電力の需給のアンバランスによる周波数のずれを防ぐために、数十秒～数十分程度の短周期・長周期成分に対しては、電力会社から送信される出力指令値、制御信号に従い発電機出力を制御します。数十秒以下の微小な周波数変動に対しては、ガバナによりタービンに入る蒸気量を自動的に調整して発電機の出力を制御しています。インバータを介した再エネ電源（太陽光発電・風力発電など）には、この周波数自動調整機能がないため、再エネが増加すると周波数を維持できなくなります。大型蓄電池はガバナと同様の機能（自律的に周波数を検出して制御する機能）を有しています。それでも10秒以下の出力変動には蓄電池でも対応できません。元々火力発電・原子力発電には、同期発電機の回転体に重量に比例する大きな慣性力（同期化力）を具備しており、電力系統の不安定を抑えています。再エネ電源が火力などの同期発電機の容量以上になったとき、この系統不安定性が生じる恐れがあります。現在、仮想的に慣性・同期化力を持たせたインバータが提案されています。

私家が太陽光発電の逆潮に使っている系統連系インバータは、PLL (Phase Locked Loop) 制御により系統周波数と同期しており、連系時は、電流源として機能し系統周波数への追従運転を、系統が停電した際など自立時は、電圧源として機能し定電圧・定周波数運転を行います。そのため系統連系から自立へ移行する際には制御手法の切り替えが必要で、通常、連系しているインバータ側の電力システムを一旦停電させてから再起動させる必要があります。（飯塚）

- 1) 1980年のこととなります。中国電力は台風19号が通過した翌日、塩害による155万戸に及ぶ大停電を引き起こしました。水島コンビナートにある各社は、そのあおりを受けて系統連系がうまくいかず、文字通りブラックアウトを引き起こしました。通常は中国電力と連系させて受送電のバランスをとり、台風などの天変地異の可能性があるときは連系を切り、自家発だけの自立運転を行いますが、この時は台風通過の翌日で、いったん切っていた連系を復活させていました。塩害という教訓は台風24号では、残念ながら生かされずブラックアウトにはいたらないものの、塩害による停電をひきおこしました。その意味でも系統連系には、神経を使いますから、変動する再生可能エネルギーとの系統連系の難しさも理屈は別にしてよくわかります。
  - 2) 民主党政権は原発事故のどさくさで、FITを含めて、見通しの無い再生可能エネルギー導入をやってしまいました。当時でさえ、経産省にも技官がおり、NEDOがおり、産総研などもそばに仕えていたはずですが、そしてFITを通して主に再生エネルギーを製出仕様もない消費者にそのコストを押し付けたということで、民主党は立ち直る機会をうしなしました。
  - 3) ものには順番があり、蓄電池というのはいいですが、そんなに単純な問題ではないはずです。まず配電網を整備することが順番のような気がします。これらは大変なコストにもなりますが、負担は均等負担であるべきです。一戸の家庭単位で収支を言うのは、この問題の矮小化というのは以前申し上げたとおりで、誤った答えをひきおとすこととなります。
  - 4) それでも原子力発電と火力発電は避けられないと思います。CO<sub>2</sub>の問題を考えると得られる答えも限られます。もう少し、まともに理詰めで世論構成をしていくべきです。
- 大変意味のある問題提起でした。ありがとうございます。(小林)

山崎さんの「再エネ大量導入の課題と対策」分析は良くまとまっていると思いますが、対策に関していささか異なる視点から考えると、現行の「電力自由化制度」にも大きなかわりがあり、そこにも問題への対策法があるように思います。FIT制度と言うのは再エネ電力をしゃにむに電力需要の中でベースロードとして使い、再エネ電力供給分では足りない需要部分を石炭、ガス、原子力などで供給しようとの考え方をベースとしています。しかし、変動幅の極めて大きい再エネ電力は電力安定供給面からは極めて使いづらい電源です。勿論、再エネは環境面、国産電源としての価値を持っているわけですから利用推進すべきは当然です。ただ、どう活用したら再エネ発電の良い点を維持しつつ、問題点を解決する工夫の余地(制度面での改良)あるように思えます。九電における太陽光発電制限などは、現行電力制度、特に自由化制度の欠陥に起因していると思えてなりません。

ついでながら、現行の「電力自由化の制度設計」にはエネルギー安全保障の視点が欠落しているように思えてなりません。日本は、欧州などに比べ遥かに自然災害(地震、津波、台風)などが多い国なのに、現行自由化制度の下では、系統線などへの設備投資が疎かになりがちなり、電力の安定的供給体制への対応が十分にはなされておりません。それは、今回の北電の大規模停電についても言えることです。(北電ブラックアウト問題に関心のある人は「電力広域的運営推進機関」のHPをご覧ください) 中間報告は10月末には出る予定ですが、現在、検証委員会で検討中の詳細資料や議論の様子が分かります。例えば、電力系統がブラックアウトした後に再スタートし平常に戻すブラックアウトスタート(今回北電では45hrかかった)が如何に困難かなども良く分かります。山崎さんの話からは、やや脱線気味になってしまったので、この辺で終わりとしします。(大谷)

日本全体としての再生可能エネルギー利用水準は高くないのに、地域的に供給過剰が発生している。再エネ電力製造地域から、消費地域への送電システムの増強が最も効率のよい現実的な改善策に思えるのだが、現在の計画と時期的な見通しはどのようなだろうか。この課題は東北大震災の時から指摘されている。コメントというより個人的な疑問です（松村）。

#### 発表者からのコメント

会議では、西村さんから海洋発電についての質問があった。今回は太陽光や風力という変動する再生可能エネルギーを取り上げたが、変動の少ない安定した再生可能エネルギーとしては、日本列島に沿って流れる巨大なエネルギー源“黒潮”に着目した「黒潮発電」の開発が魅力的である。

黒潮は流速が1.5~2m/sで幅が50~100km、台湾東方沖から琉球諸島を通り、紀伊半島沖と房総半島沖では決まった海域を流れる巨大海流で、潜在エネルギーは205GWと試算されている。現在、IHIが開発中の水中浮遊式海流発電「かいりゅう」は、全長19メートルの円筒を3本横に並べ、左右の円筒の後部にある直径11メートルの回転翼で発電する。合成繊維のロープで海底のおもりとつなぎ、水面下約50メートルの海中に沈め、自動的に深度や方向、傾斜などの姿勢を制御する。実験では秒速1.5メートルの流速で100キロワットを発電する。実用段階では回転翼の直径が約4倍の直径40メートルとなり、2千キロワットを発電する計画。約30キロ四方の海に600機設置すれば、新型の原子炉1基分の出力（120万キロワット）に匹敵するという。海面下深くのため、大規模地震や台風の影響も受けない点も良い。（山崎）

[http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100795.htm](http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100795.htm)

<http://www.nedo.go.jp/content/100881511.pdf>

#### 2. SCE. Net 幹事会報告（宮本）

- ・エネルギー研究会主催の横浜研究所見学会は11/29開催予定。関心ある人は原幹事に連絡して欲しい。
- ・神奈川研究会の11月度研究会は11/13に延期したが、人数に制約があると報告。
- ・教育研究会主催のCEカフェは12/1に開催。講師は渋谷氏、飯濱氏と宮本。
- ・20周年行事で、今までの代表、副代表、事務局の座談会は年内開催予定。それにも資する目的で、各研究会で、この十年のおおきなイベントをまとめた年表を作成して欲しいと要請された。教育研究会の年表が例示されているので、神田氏と相談する。
- ・議論として、まとめの方向性や仕様などが必要との意見があったが、まだこの点は煮詰まっていない。

松村氏からの情報で中尾氏が「知の市場」のテキスト収集をしているが、電子フォーマットにかなり欠落があるようであるとのこと。→宮本が次回幹事会で全員にTEXTを持っていないかなどを聞く収集方法とアーカイブの探索の提案をする。

#### 3. 今後の予定

11月13日 JALグループ安全啓発センター見学

12月11日 猪股氏 忘年会（東京ガス横浜クラブ）

1月9日 飯塚氏

11月の見学会は、SCE. Netの交流会とはせずに、参加枠に余裕がある場合は、これまで神奈川研究会活動に参加された研究会以外の方をお誘いする。現段階で、3名程度の余裕が見込めるため候補者がいれば推薦ください。

次回日程	2019年11月13日(火) 16:00-17:30 1. 見学 JALグループ安全啓発センター見学 2. その他
次々回日程	2019年12月11日(火) 15:00-17:00 708会議室 1. 技術課題 猪股氏 2. その他