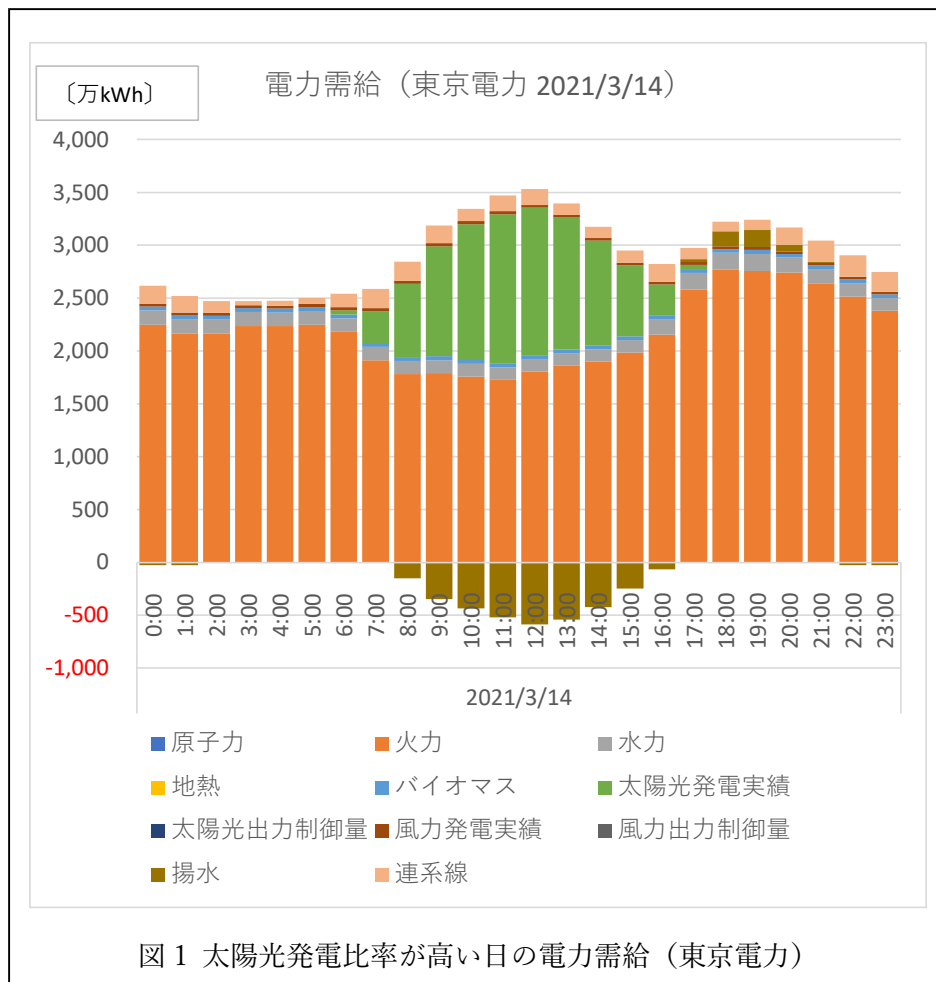
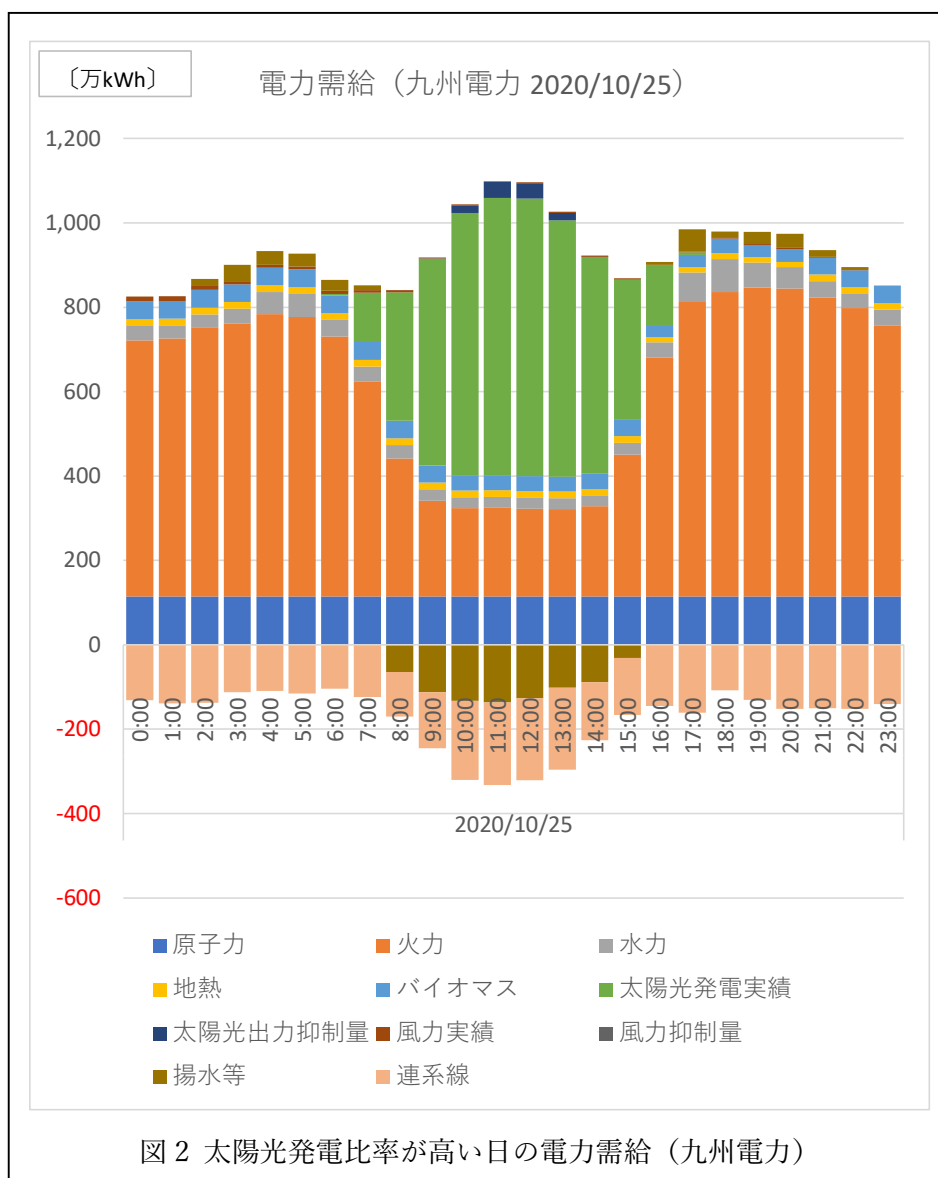


電力技術は夢がいっぱい

電気エネルギーは私たちの生活になくてはならないものです。電気は大量貯蔵が困難で (i)、時々刻々の需要に応じた量を発電しなければなりません。近年、発電の様相が大きく変化しており、それは電力技術の研究開発に興味を尽きない課題を提供しています。まずその様相を図で示してみましよう。

東京電力パワーグリッド（以下、東京電力）と九州電力送配電（以下、九州電力）を例にして、1日の電力需給実績を1時間ごと、電源種別ごとに示したのが、図1と図2です(ii)。需要に見合うだけの電気を、午前0時から午後12時までの24時間、変化する電力需要に対してどのような電源で発電していたかが示されています。



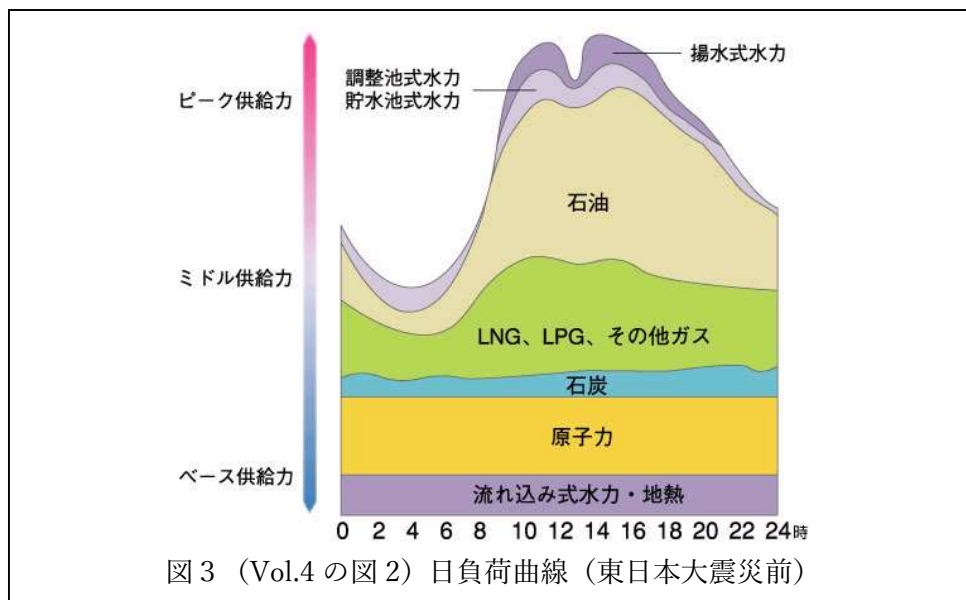


東京電力と九州電力を例としたのは、前者は日本最大規模（日本の約3割）の電力を供給する会社であり、後者は太陽光発電の比率が高く、太陽光が出す電力が大きすぎる場合にその出力抑制にいち早く取り組んだ会社だからです。それぞれの会社とも、2020年度中で、太陽光発電比率が一番高くなった日の電力需給をグラフ化しました⁽ⁱⁱⁱ⁾。

東京電力は2021年3月14日の午前11時～12時にエリア需要2,950万kWhに対して、太陽光が1,410万kWhの電力を供給し、太陽光の比率が47.7%に達しました。揚水発電所の揚水運転で520万kWhを消費し^(iv)、連系線を通して他電力から15万kWhの電力供給を受けています。

九州電力は2020年10月25日にエリア需要729万kWhに対して、太陽光が657万kWh発電し、その比率は90.1%に達しました。需給のバランスをとるため、揚水発電所の揚水運転を137万kWh、連系線を通しての他電力への供給を196万kWh実施しています。

小冊子では、電力の作り方を Vol.4 の「電気の作り方は一日の間でも変化する」pp.8-9 で説明しています。そこに示されている電力需給の様子が図 3 ですから(v)、今は太陽光や原子力、さらには連系線の様子がかなり変わってきていることがわかります。変わってきているということは、電力技術上で様々な研究開発が必要になってきているということになります。この点について、第二次世界大戦後の姿と対比させつつ、記述してみます。



第二次世界大戦での敗北で、日本の社会は大打撃を受け、再出発しました。そして戦後の経済復興期になりました。電気エネルギーの面からみれば、発電所も送電線も不足する中で、急速に伸びる電力需要に対応することが大きな課題となりました。発電所や送電線は短時間で建設することはできませんから、電力が不足して停電が頻発する中で、発電量を何とかやりくりして工場や商業施設などの需要地に届ける、電力供給をシステムとしてとらえて、それをたくみに制御する技術が大発展しました。その基礎力となったのが、大学の電気工学科を中心にして活発に展開された研究でした。電源開発と系統増強を粘り強く進めた結果、世界でトップクラスの停電しない国になりました(vi)。

この時代の電力システムの安定運用を支えたのが、系統につながこまれた多数の発電機の「同期」というメカニズムです(vii)。小冊子には次の記事があります(viii)。

『このように、つねに発電機の発電量や、電気の流れ方は変わっていますが、上の「同期」の働きによる「自己制御性」によって、勝手に新しいバランスをとっています。』ここで述べている発電機とは、交流方式の同期発電機のことです。同期発電機は同期化力をもっています。周波数が 50Hz の東日本では多数の同期発電機がみな分速 3 千回転のスピードで回っていて(ix)、相互に支えあうことにより、安定した電気供給が実現されています。支えあう力が同期化力です。つまり同期化力という言葉は「同期できるかどうか」という意味ではなく、系統の周波数変動に対する抵抗力というか系統の「慣性力」という意味なのです。60Hz の西日本でも回転速度は 3 千 6 百回転になりますが、同じように同期化力が働い

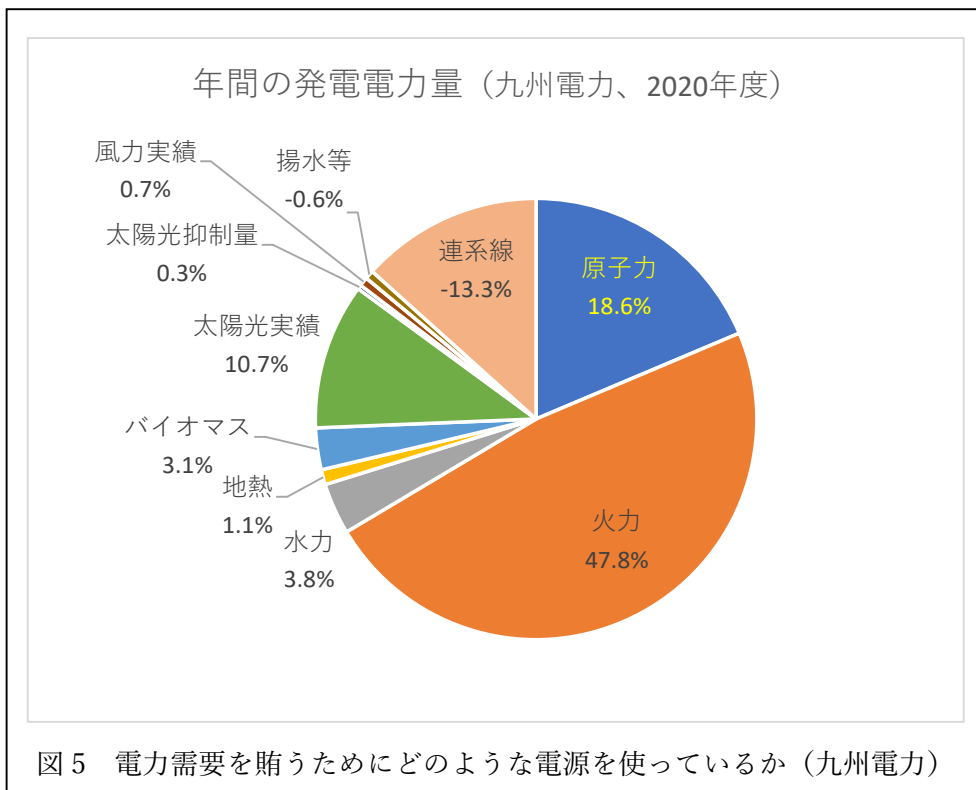
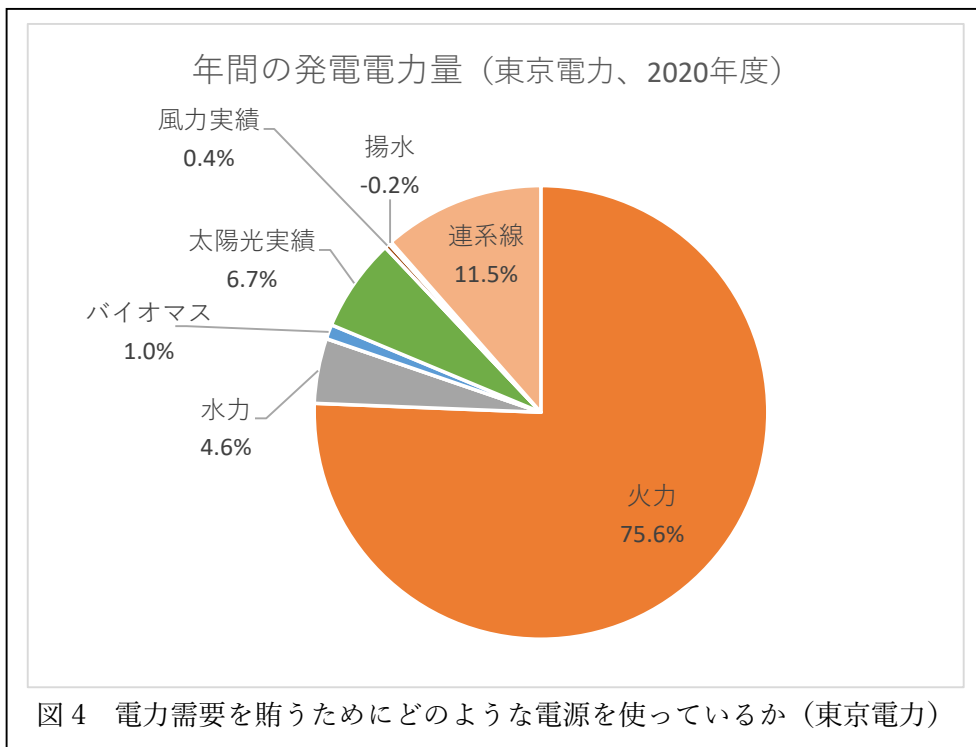
ています。

改めて図1、図2を見てみましょう。太陽が出る昼間の時間帯は、太陽光発電の割合が高くなっています。太陽光発電のような再生可能エネルギーの割合が増えることは、地球環境面からは望ましいのですが、太陽光発電設備は回っていませんので同期化力を持っていません^(x)。しかも雲が出て日差しが遮られれば発電量は瞬時に落ち込みますし、雨天になれば激減します。そのときにも電力需要に応じられるだけの、火力等の従来型の発電設備ももっている必要があります。

図1、図2の状況のもとでは、上に述べた戦後復興期に研究開発された技術だけでは、とても電力システムを安定して運転することはできないのです。新たな研究開発のテーマがたくさん生まれています。しかも工学技術の分野に限らず、経済理論に基づくもの、法規制に基づくものなどの重要性が増し、相互の関連を理解した上での研究開発や、実用結果の検証なども重要になってきています。

例えば、マイクログリッドと呼ばれる地域ごとの自給自足を原則とする電力システムで、地域が台風や地震などの災害に襲われたとき、ライフラインとしての電力をどのように維持、あるいは復旧したらよいでしょうか。「同期化力」を、発電機を用いずに、パワーエレクトロニクスの実現できたらよいですね^(xi)。天気予報と発電計画を密接に、精度高く結びつけなくてはなりません。太陽光発電設備の風水害に対する強靱性、ライフサイクルにわたっての環境性評価なども重要な研究課題です。

図1や図2は良く晴れて太陽光発電設備がたくさん電気を出す日のデータですが、1年のうちには曇りの日も雨の日もある、暑い日も寒い日もあります。東京電力と九州電力を例にして、2020年度1年分の電力需要を賄うために、どのような電源を使っているのかを見てみましょう。それをパーセントで表示した円グラフが、図4と図5です^(xii)。これらの図からあなたは何を読み取りますか。



長期的には日本の電源設備や送電線ネットワークのより良い姿を研究し、実現していくことが必要です。広い国土に点在する電力設備の、どこにどのような種類の蓄電設備をどれだけ置いたらよいのかも検討課題です。そもそも性能の良い蓄電設備そのものも大きな研

究開発テーマですね。そこに地球環境問題との関係で水素エネルギーが大規模に入ってきます。諸課題を検討するに際して、ベースをどこに置くかも重要です。小冊子には「我々ほどのくらいエネルギーを使っているか」という一節があります^(xiii)。電気は便利だから、全エネルギー消費に占める電気エネルギーの比率（電力化率）は上昇してゆくというデータもあります^(xiv)。全エネルギー消費を減らしつつ電力化率を上げることに貢献できるかを、研究開発を検討する際のベースとすることも考えられそうです。

まさに文・理を問わず山のような研究開発課題がありますね。その結果を「新結合」して2030年の、2050年の日本社会、地球社会に役立つ形にしていく、「真のイノベーション」が求められています。

文末脚注

- i 小冊子 Vol.5「電気の供給上の弱み ～2つの泣き所～」 pp.4-6 参照
- ii 作図の元データは電力広域的運営推進機関（OCCTO）のウェブサイトの「系統情報サービス・でんき予報」のページ（<http://www.occto.or.jp/keitoujouhou/index.html>）から、誰でも入手できます。いろいろな図を描いて考えることができますから、興味がある方はぜひトライしてください。

各電力会社の電力需給状況（でんき予報）へアクセス

- [\(外部リンク\) 北海道電力ネットワーク](#)
- [\(外部リンク\) 東北電力ネットワーク](#)
- [\(外部リンク\) 東京電力パワーグリッド](#)
- [\(外部リンク\) 中部電力パワーグリッド](#)
- [\(外部リンク\) 北陸電力送配電](#)
- [\(外部リンク\) 関西電力送配電](#)
- [\(外部リンク\) 中国電力ネットワーク](#)
- [\(外部リンク\) 四国電力送配電](#)
- [\(外部リンク\) 九州電力送配電](#)
- [\(外部リンク\) 沖縄電力](#)

供給区域別の需給実績（電源種別、1時間値）へアクセス

- [\(外部リンク\) 北海道電力ネットワーク](#)
- [\(外部リンク\) 東北電力ネットワーク](#)
- [\(外部リンク\) 東京電力パワーグリッド](#)
- [\(外部リンク\) 中部電力パワーグリッド](#)
- [\(外部リンク\) 北陸電力送配電](#)
- [\(外部リンク\) 関西電力送配電](#)
- [\(外部リンク\) 中国電力ネットワーク](#)
- [\(外部リンク\) 四国電力送配電](#)
- [\(外部リンク\) 九州電力送配電](#)
- [\(外部リンク\) 沖縄電力](#)

- iii 二つの電力で、グラフ化したデータは異なる月日のものです。共通点はそれぞれの電力で太陽光発電比率が最高になっているとの点です。そのような日にどのような電源から電力を提供しているのかを示したかったからです。

着目したい点によって、使うデータは異なります。電力需要が年間のピークになる日の電力需給の様子を知りたいとか、各電力が連系線をどの程度使って電力を出し入れしているのかとか、日々の発電能力に対して電力需要は何%程度にまで達しているのかなど、知り

たいことに応じて、使うデータは変わってきます。

iv 揚水発電所は、もともとは原子力発電所と対^{ついで}で建設されてきました。原子力発電所は地球温暖化ガスを排出せずに大量の電力を供給できる電源で、フルパワーで連続運転することにより経済価値を最大にできます。そのように運転すると、深夜や未明の電力需要が低くなる時間帯に電力が余り気味になりますから、その電気を揚水発電所で、発電機をポンプ用のモーターとして回して、下流に設置したダムの水を上流のダムに汲み上げるために使ってきました。電力需要は昼前後にピークになりますから、その時間帯に上流のダムの水を落として発電機を回すことで、電力需要に効率的に対応してきました。現在は、昼前後に太陽光発電所が大量に発電して余り気味になりますから、その電気を使って揚水し、夜は発電する使い方になっています。揚水発電所にとっては、働き方が昼夜逆転してしまいました。

なお、揚水発電の説明は、小冊子 Vol.4 の pp.23-25 にあります。

v 小冊子には関連する図が別の個所にもありますから、興味がある方はご覧ください。

Vol.3 図 27 (p.40)、Vol.6 図 17 (p.29) 参照

vi 電気学会の電気技術の顕彰制度『でんきの礎』では、この時代に実用化された技術がいくつも顕彰されています。顕彰順に列記してみます。興味がある方はウェブサイト (<https://www.iee.jp/foundation/>) をご覧ください。

- ガス絶縁開閉装置
- 電力系統安定化技術
- 500kV 系送電の実運用
- 電力用酸化亜鉛形ギャップレス避雷器
- 黒部川第四発電所
- 北海道・本州間電力連系設備 ～日本初の本格直流送電設備～
- 大容量高効率コンパインドサイクル発電 ～東新潟火力発電所 3-1 号系列
- 佐久間周波数変換所
- 送電系統用 STATCOM
- 大容量短絡試験設備と超高圧衝撃電圧発生装置
- デジタル技術による送電線電流差動保護方式
- 電力系統の解析法 (Y 法、S 法) とシミュレータ設備
- 電力安定供給を支えた全国電力融通
- 電力保安通信用マイクロ波無線 ～仙台－会津若松間無線回線～

vii 実は、「同期」はエジソンとウェスチングハウスとの間で繰り広げられた、交流・直流戦争 (Vol.3 の「交流と直流のどちらが優れているのか」 pp.25-26 参照) でも大きな役回りを果たしました。当時は複数の交流発電機を一つの送電系統につなぎこんだ時、うまく回るかの理論的解明はなされていませんでした。エジソンは直流派でしたが、うまく回らないのではないかとの疑念も持っていたよう⁸です。ところがうまく回ってしまったので

す。交流は変電という電圧を上げ下げする技術の適用が容易であることと相まって、交直戦争は交流派が圧勝しました。

viii 小冊子 Vol.5 の「平穏な一日での電気の伝わり方」 p.94 参照

ix 「みな分速 3 千回転のスピードで回っていて」という本文の表現は、誤りを含みますが、ここでは発電機の中の電機子と呼ばれる大きく重い回転部分がすごいスピードで回っているイメージを出したくて、このような表現を取りました。火力発電所の発電機はみな分速 3 千回転 (50Hz の系統。60Hz 系統では 3,600 回転/分) です。原子力発電所の発電機は 1,500 回転で (50Hz の系統。60Hz 系統では 1,800 回転/分)、水力発電機にはいろいろな回転数があります。なぜ原子力は火力の半分の回転速度にするのか、50Hz 系統と 60Hz 系統で、同じ電気出力を得るために、発電機の大きさはどちらが大きくなるのかなど、興味があったら調べてみてください。

回転機械の回る速さは、1 分間に何回転するかで表現するのが普通です。単位は rpm (アール・ピー・エム; revolutions per minute)、自動車のエンジンの回転数計などの表記と同じです。発電所の発電機は大きな機械で、回転部分が 100 トンを超えるものもあります。それが 3,000rpm で回るので、迫力は相当なものです。

x 同期発電機 (同期電動機) は重たい鉄の塊が回っていますので、慣性をもつばかりでなく、「同期化力」という力をもち、系統の周波数を安定にします。しかし太陽光や風力からの電気を系統に接続するために使われる交直、直交変換器は「同期化力」をもちません。ですから、太陽光がフルパワーを出している時間帯は、同期化力を持っている回転発電機 (火力、原子力、水力) の出力割合が大きく下がっていて、系統は不安定な状態になっています。何かの理由で大きな電源が脱落すると、そのまま周波数が低下して、大規模な停電を起こすなど、リスクが高まっていることになります。リスクが高まっているということは、停電しては社会が困りますから、そこにはリスク低減のための研究開発課題がたくさんあるということです。

xi 太陽光発電パネルからは直流の電気が出てきますから、それを商用周波数 (東日本は 50Hz、西日本は 60Hz) の交流に変換して電力系統に接続します。そこには回転する同期発電機のような「同期化力」がありません。しかし同期発電機とその制御系を模擬する電気回路を設備すれば、電力系統側から見て、その太陽光発電所は同期化力をもつことになります。そのような発電所を「賢い太陽光発電所」と呼ぶことにします。賢い太陽光発電所があれば、停電の心配も減ります。

本文の図 2 で示した日には太陽光の発電量が大きくなりすぎ、一部を捨てました。「太陽光出力抑制量」がそれを示しています。賢い発電所を作れば、捨てずに済みます。しかしそれにはコストがかかります。プラスのコストが必要で、売値 (太陽光発電の買取価格) が同じなら、太陽光発電の事業者は設備投資をしません。通常発電所と賢い発電所で電気の売値に差があり、損得計算をして投資に見合うリターンが得られそうであれば、投資を事業者が出てきます。そうすればもっと太陽光発電設備が増えても大丈夫になります。

同期化力をもった太陽光発電所を可能にする技術開発と、電力自由化の制度設計をうまく組み合わせれば、再生可能エネルギーの活用をより進められることになります。風力発電についても同様です。

xii データの出所は図1、図2と同一。

xiii 「我々はどのくらいエネルギーを使っているか」、Vol.7、pp.7-9

xiv 「図1 一次エネルギーに占める電力の比率（電力化率）」、Vol.4、p.7