



NEWS LETTER

再エネ電力の増加と出力制御

近年、「余剰電力」や「出力制御」、また「原子力水素」の文字が新聞などで見られるようになってきました。これらを一般市民の方が見ると、「発電したけれども利用できない電気がある」「原子力発電による電力にも余剰電力があるのかな?」「原子力発電所からの電力を利用して水素を製造するのかな?」と感じる人がおられるように思います。関西電力と北陸電力における将来の電力事情を調べてみました。

関西電力送配電は、2032年度の太陽光・風力の導入量を太陽光1,143.3万kW、風力20.5万kWと仮定し、2022年の発電実績を考慮して、出力制御の見通しなどをシミュレーションし、公表しています (https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.kansai-td.co.jp%2Fconsignment%2Frenewable-energy%2Fkansai%2Fcontrol%2Fexcel%2Fcontrol_2022.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK)。北陸電力送配電も同様に、太陽光・風力の2022

年度供給計画における2031年度時点の導入量程度(太陽光150万kW、風力167万kW)とした場合のシミュレーション結果を公表しています (https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.rikuden.co.jp%2Fnw_koteikaitori%2Fattach%2Fsmda2022.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK)。これらのシミュレーションの値は365日分ありますが、その中で特徴的な日を選び次に示します。なお、シミュレーションの前提として次が挙げられています。

- ・エリア需要実績は、2022年度需要実績(余剰買取による太陽光発電の自家消費分を加算した実際の需要)
- ・原子力は、震災前過去30年間の設備利用率平均×設備容量
- ・火力は、安定的な供給が維持可能な最低出力等まで調整

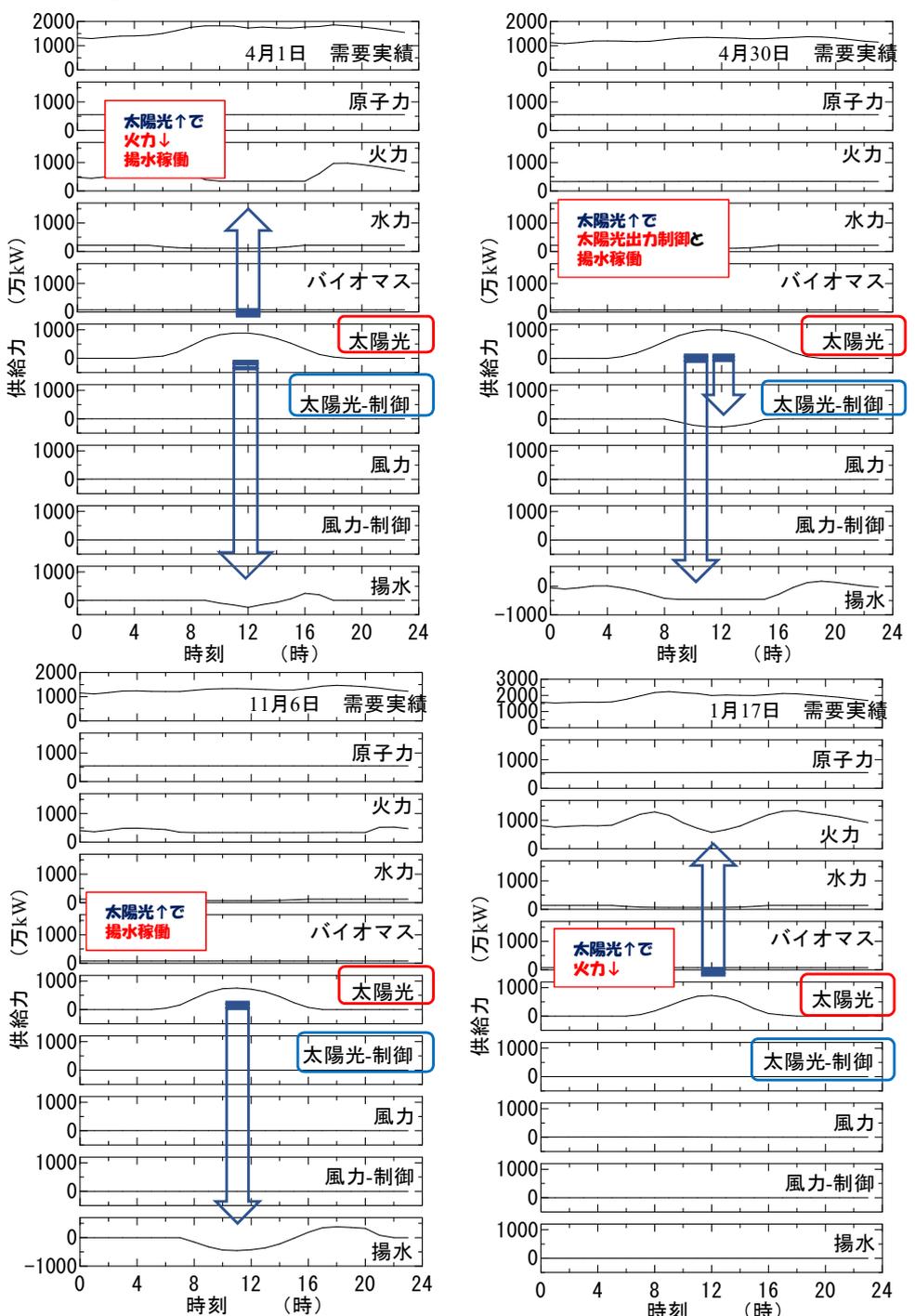
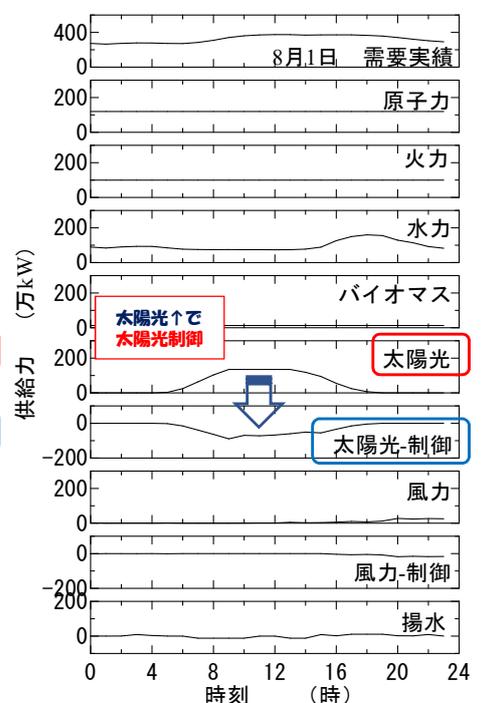
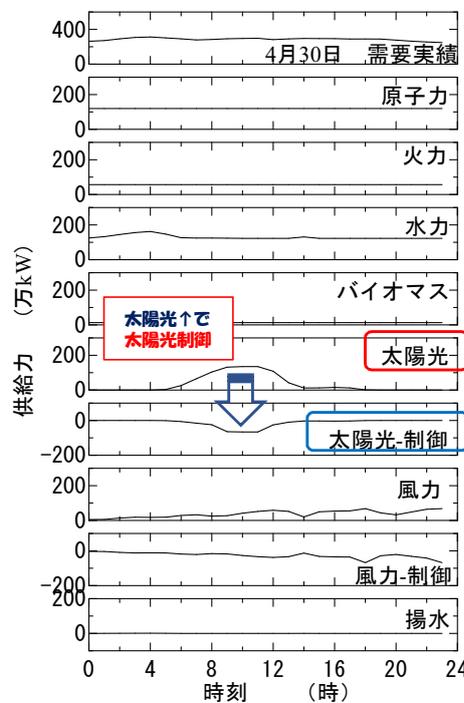
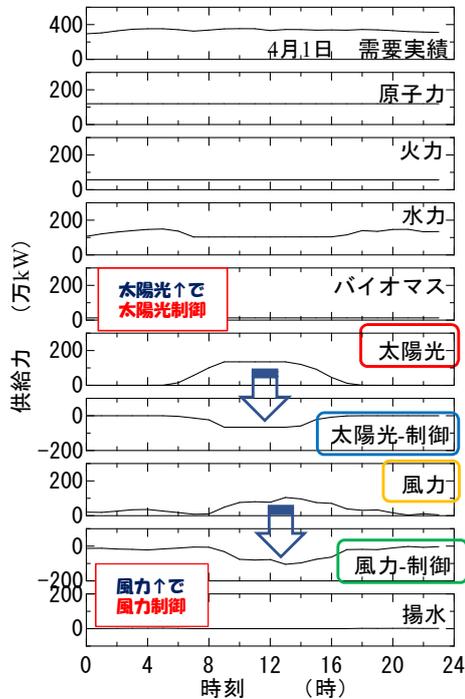


図1 関西電力における2022年度の電力需要実績、2032年度の太陽光・風力の予定導入量に基づく発電計画と出力制御のシミュレーション結果(4月1日、4月30日、8月1日、11月6日、1月17日)

- ・一般水力は、震災前過去30年間の平均水量で評価（導入見込みを含む）。調整可能な水力は、出来る限り抑制
- ・地熱は、導入実績および申込実績なし（関西電力）。震災前過去30年間の設備利用率平均×設備容量（今後の導入見込みを含む）（北陸電力）
- ・バイオマスは、過去実績等を踏まえた設備利用率×設備容量（今後の導入見込みを含む）
- ・太陽光は1,143.3万kW、風力は20.5万kW（太陽光・風力ともに2023年度供給計画における2032年度の導入量程度）（関西電力）。太陽光は150万kW、風力は167万kW（太陽光・風力ともに2022年度供給計画における2031年度の導入量程度）（北陸電力）
- ・太陽光および風力は、2022年度発電実績（関西電力）、2021年度発電実績（北陸電力）を元に評価
- ・揚水は、揚水動力時は余力として最大発電機相当を確保したうえで最大限活用（関西電力）、使用可能な揚水は1台のみであり最大限活用（北陸電力）
- ・連系線の活用は0%と仮定



これらの前提に基づいて得られた関西電力と北陸電力のシミュレーション結果を図1と図2にそれぞれ示します。図1に示した関西電力の発電計画と出力制御のシミュレーション結果から次のことが分かります。

- (1) 電力需要は、月日（季節）と時刻によって異なる。時刻による変動が大きな日もあるが、多くの日ではあまり大きくない。
- (2) 原子力は、月日、時刻によって変動しない基幹電力であり、出力制御を実施する対象になっていない。
- (3) 火力は、月日、時刻によって大きく変動し、太陽光や風力による発電が増えると火力を減らして調整する日もあるが、減らさない日が多い。
- (4) 水力による発電は、太陽光や風力による発電を考慮して、時刻によって細かく変化させているが、電力は小さい。
- (5) バイオマス発電は、月日、時刻によって変動せず、他の電力に比べると小さい。
- (6) 太陽光による発電は月日、時刻によって、つまり昼夜、天候によって大きく変化する。発電が増えると、火力、水力を顕著に減らすこともあるが、多くの日において出力制御が行われるように見える。
- (7) 風力による発電は極めて少ない。
- (8) 揚水発電による電力変動の調整が行われる日が多く、調整能力は比較的大きいと見なせる。

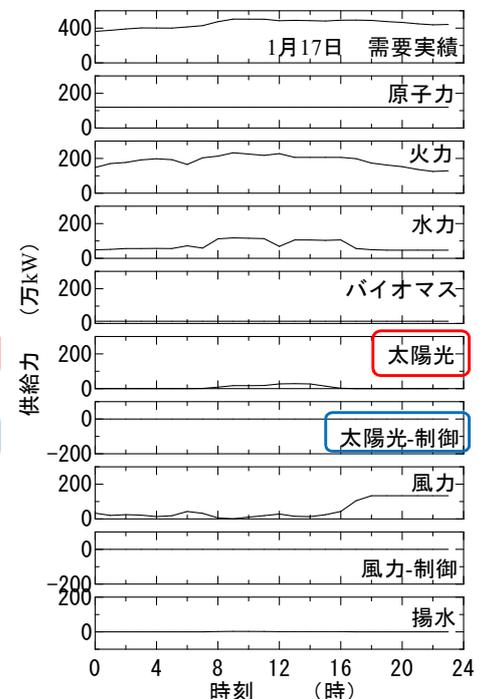
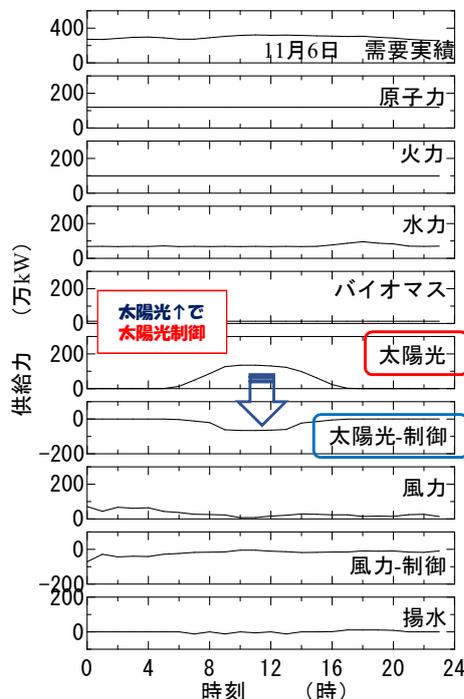


図2 北陸電力における2022年度の電力需要実績、2032年度の太陽光・風力の予定導入量に基づく発電計画と出力制御のシミュレーション結果（4月1日、4月30日、8月1日、11月6日、1月17日）

図2に示した北陸電力の発電計画と出力制御のシミュレーション結果から次のことが分かります。

- (1) 電力需要は、月日（季節）と時刻によって異なるが、時刻による変動はあまり大きくない。

- (2) 原子力は、月日、時刻によって変動しない基幹電力であり、出力制御を実施する対象になっていない。
- (3) 火力は、月日によってやや変動するが、時刻によっては変動しない日が多い。また、太陽光や風力による発電が増えても火力を減らさないことが多い。
- (4) 水力による発電は、太陽光や風力による発電を考慮して、時刻によって細かく変化させている。
- (5) バイオマス発電は、月日、時刻によって変動せず、他の電力に比べると小さい。
- (6) 太陽光による発電は月日、時刻によって、つまり昼夜、天候によって大きく変化する。発電が増えても、火力、水力を顕著に減らすことは無く、出力制御が行われるように見える。発電のかなりの割合を出力制御する日も多い。
- (7) 風力による発電は太陽光よりも少ない日が多い。出力制御が行われない日もあるが、発電の多くを出力制御する日が多い。
- (8) 揚水発電による電力変動の調整も行われているが、調整能力は小さい。

表1 いくつかの燃料の発熱量

燃料	発熱量
水素	12.8 MJ/Nm ³
LNG	54.7 MJ/kg
ガソリン	33.3 MJ/L
軽油	38.0 MJ/L
石炭	26.1 MJ/kg

関西電力と北陸電力の発電計画と出力制御のシミュレーション結果から、原子力発電での出力制御は想定されていませんが、太陽光、風力による発電ではかなりの電力の出力制御が、多くの日で実施される可能性があることが分かります。

1年間の出力制御分の電力量が算出されている。関西電力では、太陽光485.6百万kWh、風力1.9百万kWh、北陸電力では、太陽光591.8百万kWh、風力1400.2百万kWhとされ、膨大な電力が利用されずに捨てられることになっています。これら出力制御分の電力量（余剰電力）について、次に考えることにします。

代表的ないくつかの燃料の発熱量を表1に示します。関西電力と北陸電力の電力需要状況から算出された太陽光と風力における余剰電力と、これら電力から製造可能な水素の量を求めました

（表2）。そしてその水素量の発熱量と等しくなるガソリンの量、ガソリンから水素への燃料転換によって削減できるCO₂の量についても表2に示します。

政府が公表している統計データ (<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003181442>) によれば、2022年度に福井県内の家用自動車消費したガソリンの量は335,648 kLとされています。表2に示した関西電力と北陸電力の再エネ

表2 関西電力と北陸電力の再エネ起源の余剰電力量、それから製造できる水素の量、それによる発熱量と等しくなるガソリンの量、ガソリンから水素への燃料転換によって削減できるCO₂の量

		余剰電力 (百万kWh)	水素製造可能量 (百万Nm ³)	相当するガソリンの量 (kL)	ガソリン→水素の転換によるCO ₂ 排出削減量 (t)
関西電力	太陽光	485.6	110.4	42,422	97,019
	風力	1.9	0.4	166	380
北陸電力	太陽光	591.8	134.5	51,700	118,237
	風力	1,400.2	318.2	122,322	279,749
合計		2,479.5	563.5	216,609	495,386

起源の余剰電力から製造できる水素を利用すれば、216,609 kL/335,648 kL=0.65、つまり65%もの多くの家用自動車を燃料電池自動車に置き換えることができます。このことは、再エネ起源の余剰電力を利用した水素製造の重要性を示しています。

実在気体（水素ガス）における圧力と体積の関係

NEWS LETTER Vol. 53の表1に水素ガスなどの物性値を示しました。その中で、圧力の異なる水素ガスの水素密度の値を改めて表3に示します。圧力と水素密度の関係が「あれ？」と感じた方はおられますか？ 学校では、「一定温度で、一定量の気体の体積Vは圧力pに反比例する」と習います。ボイルの法則です。この法則が成り立つのであれば、350気圧と700気圧での水素ガスの体積はそれぞれ1気圧での体積の1/350、1/700になり、水素密度は350倍、700倍になるはずですが、表3の値では260倍、430倍となることを示しています。この理由を説明します。

燃料電池フォークリフト（FCフォークリフト）では35MPaの高圧水素ガスが、燃料電池自動車（FCEV）では70MPaの高圧水素ガスが容器に充填されています。このような実在の高圧ガスにおいては、中学校で習う（理想）気体でのボイルの法則や状態方程式は成り立ちません。

気体の圧力をp、体積をV、モル数をn、気体定数をR、絶対温度をTとすると、（理想）気体の状態方程式は、

$$pV = nRT$$

で表されます。また、理想気体では、種類にかかわらず標準状態（0°C, 1.013×10⁵Pa）での1 molの気体は22.4 Lです。これら

表3 圧力の異なる水素ガスの水素密度

		水素密度 (kg-H/m ³)
水素ガス	1気圧	0.09
	350気圧	23
	700気圧	39

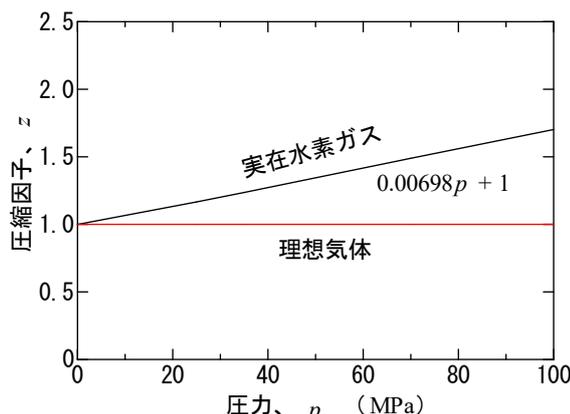


図3 水素ガスにおける圧縮因子 z と圧力 p の関係

ら気体定数 R を計算すると、

$$R = pV / (nT) = 1.013 \times 10^5 \times 22.4 / (0 + 273) = 8.31 \times 10^3 \text{ (Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K}))$$

となります。

しかし、実在する1 molの気体に対して、

$$z = pV / (RT)$$

とした時の z が、必ずしも1になりません。この z は圧縮因子（圧縮係数）と呼ばれ、気体の種類と圧力 p によって変化します。水素における圧縮因子 z と圧力 p の関係を図3に示します。なお、気体の種類によってそれらの関係は異なります。理想気体であれば、圧縮因子 z は p に依存せず、図3の赤い線のように1になりますが、実在の水素の場合には、35MPaで1.236、70MPaで1.489になります。圧縮因子 z が1より大きくなることから、大きな p になるほど圧縮し難くなるのが分かります。理想気体では、0.1013MPa（1気圧）から70MPa（691気圧）になると、体積は1/691になりますが、実在の水素では、1/467にしかありません。

FCEVの走行可能距離を伸ばすために、水素容器の圧力をさらに大きくすることも考えられますが、圧縮因子 z がさらに大きくなって、期待するほど水素量は大きくなりません。また、圧力を大きくすると容器の強度を高くする必要があり、容器重量が増加してしまいます。これらによって、70MPa以上の高圧にすることは走行可能距離の向上にあまり繋がりません。FCEVの水素容器の圧力が70MPaになっていることが理解できます。

小型水素ステーションの設置状況

表4 小型水素ステーションの設置状況

設置年月	商用	メーカー	充填圧	設置場所	水素ステーション名称または設置企業
2019年4月		PDC	35MPa	愛知県豊田市	トヨタ元町工場
2019年11月		ヤマトH2	35MPa	滋賀県草津市	パナソニックアプライアンス社草津
2019年12月		東芝ESS	70MPa	福井県敦賀市	再エネ水素ステーション敦賀
2020年1月	○	東芝ESS	70MPa	富山県富山市	とやま南水素ステーション
2020年4月		PDC	35MPa	愛知県高浜市	豊田自動織機高浜工場
2022年12月		PDC	35MPa	新潟県新潟市	三菱ガス化学新潟工場
2023年4月	○	PDC	70MPa	石川県金沢市	金沢水素ステーション
2023年4月	○	PDC	70MPa	石川県輪島市	能登水素ステーション
2024年1月	○	PDC	70MPa	愛知県名古屋市	名古屋城グリーン水素ステーション
2024年2月	○	PDC	70MPa	兵庫県三木市	ネッツテラス三木水素ステーション
2024年3月	○	PDC	70MPa	茨城県水戸市	水素・EVステーション水戸



図4 金沢水素ステーション

代表的な小型水素ステーションには、敦賀市の公設卸売市場に設置されている東芝エネルギーシステムズ製の「H2one」、石川県庁近くの金沢水素ステーションに設置されているPDC社製「Simple Fuel」（図4）、ヤマト・H2Energy Japan製のパッケージ型小型水素ステーション

があります。これら3種類の小型水素ステーションの設置状況を調査しました。設置年月、用途、メーカー、充填圧、設置場所、水素ステーションの名称または設置企業に関する調査結果を表4に示します。最近新設された商用小型水素ステーションはすべてPDC社製のものであることが分かります。PDC社製「Simple Fuel」の仕様を表5に示します。最大の特徴はコンパクトさであり、これが評価されていると思われます。

表5 PDC社製 FCEV用「Simple Fuel」の仕様（PDC社カタログから作成）

型式	SFF70-10	SFF70-20
処理量	10kg/日	20kg/日
水素蓄圧量	25kg	
水電解種類	PEM（純水）水電解	
充填圧力	70MPa	
使用可能温度	-20℃～+40℃	
製品サイズ	全長3m x 全幅1.3m x 高さ2.5m	
必要電源	400V(50Hz) 440V(60Hz)	
必要電力	50kW	105kW
水供給	6L	12L

一般社団法人 ふくい水素エネルギー協議会
〒919-0411 福井県坂井市春江町藤鷲塚37-9
株式会社 ナカテック内 事務局 羽木
TEL : 0776-58-3930 FAX : 0776-51-5144