

グリーン水素利活用のための需給平準化技術の研究

化学食品部 ○宗本隆志 井上智実
企画指導部 豊田丈紫

1. 背景と目的

近年、エネルギー価格の高騰と脱炭素社会の実現に向け、再生可能エネルギーの大量導入が進められている。しかし、気象条件に依存する太陽光発電や風力発電の変動性により、電力の安定供給が困難となり、需給調整が崩れることによる周波数変動や大規模停電のリスクが高まっている。この課題に対し、全国的に出力制御が実施されており、北陸エリアでは 2023 年度に初回の出力制御指示により約 2160 万kWhの再生可能エネルギーが抑制された。

石川県では 2030 年の太陽光発電導入目標を 11 億kWh程度としており、再生可能エネルギーの最大限活用に向けた技術開発が望まれている。特に石川県では、冬季の降雪により太陽光発電量が減少するため、発電量の多い春季および夏季の余剰電力を長期貯蔵し、冬季に活用する季節間平準化技術が重要となる。季節をまたいで長期にエネルギーを貯蔵する方法として、水素変換による電力貯蔵技術が知られている。水素変換によるエネルギー貯蔵プロセスは、①太陽光発電、②水電解による水素製造、③水素貯蔵、④燃料電池発電から構成される。本研究では、再生可能エネルギー由来の電源として、工業試験場における太陽光発電の発電実績と日射量データから石川県における 2030 年の発電量を予測し、制御によって生じる余剰電力から製造可能な水素の製造量を予測するシミュレーションモデルの構築を検討した。

2. 内 容

2.1 工業試験場における太陽光発電の実績データの収集および1D-CAEによる発電量シミュレーションモデルの構築

石川県工業試験場に設置された太陽光発電システム（総出力 209kW、パネル面積 1663 m²）について、2023 年 1 月 5 日から 12 月 28 日の発電量および日射量データを収集した。同システムは平成 10 年に導入され、経年劣化により定格出力が約 40%低下している。

太陽光発電の発電量(P:W)と日射量(G:W/m²)の関係は、太陽光パネルの面積(A:m²)と変換効率(η:%)を用いて以下の基本式を適用した。

$$P = A \times \eta \times G \quad (1)$$

本研究では、太陽光発電の発電量をコンピュータ上で予測するための物理モデルをシステムモデリングツールのOpenModelicaを用いて構築した。図1にOpenModelicaを用いて構築した太陽光発電のシミュレーションモデルダイアグラムを示す。本モデルでは、太陽光発電システムのコンポーネントに式(1)が定義されており、太陽光の日射量データを太陽光発電システムのコンポーネントに入力することで、発電量を出力することが可能である。構築したモデルの妥当性を評価するために、変換効率 0.08(一般的な変換効率 20%×出力低下率 40%)でシミュレーションを実行した結果、実績値との良好な一致が認められた(図2)。このモデルを用いることで、石川県における 2030 年の年間発電量 11 億kWh達成時の最大発電量は約 1.3 GWと予測された。

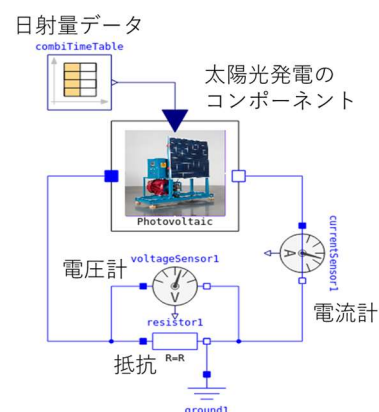


図1 太陽光発電のシミュレーションモデルダイアグラム

2.2 グリーン水素製造効率の実験的評価

太陽光発電を用いた水電解による水素製造量を見積もるため、室内実験において出力 1 kW/m^2 のソーラーシミュレータと 0.002 m^2 の太陽光パネルを用いて水電解実験を実施した。その結果、太陽光発電の出力 2.5 V 、 50 mW に対し、水素製造量は約 0.1 mL/min であった。製造された水素をエネルギー換算すると、水素の密度 (0.09 g/L)、理論エネルギー密度 (33.4 Wh/g) および実験結果から、生成した水素のエネルギーは約 20 mW と算出された。したがって、水素のエネルギー (20 mW) と太陽光発電の出力 (50 mW) から水素への変換効率は約 40% と算出された。さらに、製造した水素を燃料電池に供給した際の出力は 8.5 mW であり、システム全体の変換効率は 17% と算出された。

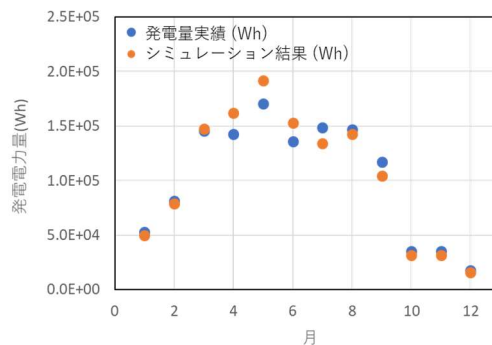


図2 各月ごとの発電実績とシミュレーション結果の比較

2.3 石川県における 2030 年の太陽光発電の発電量と水素変換による平準化検討

図3に石川県における 2030 年の太陽光発電の発電量のシミュレーション結果および制御電力による水素製造量と貯蔵量の推移を示す。なお、年間最大発電量の 70% (0.9 GW) を出力制御閾値として設定し、閾値を超過した発電量で製造可能な水素量を算出した。2030 年の総制御電力量は約 2.8 GWh であり、2.2 の項目で算出した水素への変換効率 40% から、水素製造量は約 350 t と算出された。この水素を冬季 (11 月～2 月) の燃料電池発電に活用することで、約 4800 MWh の電力供給が可能と予測された。これは、一般家庭の冬季の電力使用量の約 2800 世帯分に相当する。

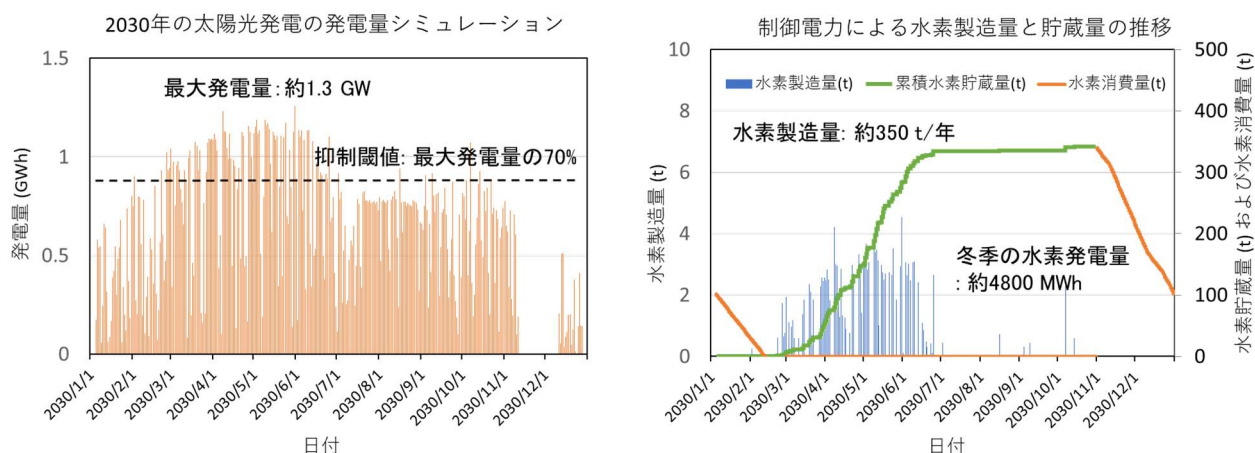


図3 2030年の太陽光発電による発電量の予測と制御電力による水素製造量と貯蔵量の推移

3. 結果と今後の展望

再生可能エネルギー由来の電力を活用したグリーン水素の製造量を予測するためのシミュレーションモデルを構築し、以下の結果を得た。まず、太陽光発電シミュレーションモデルを構築し、工業試験場の 2023 年における実績データとの比較により開発したモデルの妥当性を実証した。次に、室内実験により太陽光発電からの水素変換効率は 40% 、システム全体の変換効率は 17% であることが算出された。これらのシミュレーションモデルを基に、石川県における 2030 年の総制御電力量は 2.8 GWh と算出され、水素 350 t を製造することで、冬季に約 2800 世帯分に相当する約 4800 MWh の電力供給が可能であると予測した。今後は、実用化へのスケールアップを進めることが重要と考える。