

水素エネルギー供給システムの導入効果を可視化する評価技術

Evaluation Technologies to Visualize Effects of Introducing Hydrogen Energy Supply Systems

熊澤 俊光 KUMAZAWA Toshimitsu 板倉 昭宏 ITAKURA Akihiro 佐藤 航大 SATO Kodai

水素は、エネルギーを長期間かつ大量に貯蔵できることから、再生可能エネルギーを活用したカーボンニュートラルの実現に向け、水素関連技術の開発が各国で進められている。

東芝グループは、水素燃料電池や、水素製造装置、蓄電池などの装置開発を進め、これらを組み合わせた水素エネルギー供給システムを製品化し、納入している。今回、水素エネルギー供給システムに求められる導入効果を、提案・設計段階で可視化する技術を開発した。評価シミュレーターとして整備したことで、顧客への迅速かつ適切なソリューション提案が可能になった。

Since hydrogen can store large amounts of energy for a prolonged period, the development of technologies utilizing carbon dioxide (CO₂)-free hydrogen is being actively promoted in various countries toward the achievement of carbon neutrality.

The Toshiba Group has been developing and releasing hydrogen energy supply systems comprising equipment developed in-house, including hydrogen fuel cells, hydrogen production systems, and storage batteries. We have now developed evaluation technologies to visualize the effects of introducing hydrogen energy supply systems in the proposal and design phases. Based on these technologies, we have established an evaluation simulator that makes it possible to propose appropriate solutions to customers in a timely manner.

1. まえがき

世界的にカーボンニュートラルに向けた取り組みが加速している。国内でも、2050年のカーボンニュートラル化に向けて、多くの企業・自治体で具体的な対策の検討が始まっている。水素は、エネルギーを長期間・大量に貯蔵できることから、再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）を活用してカーボンニュートラルを実現するために、重要な役割を担うことが期待されている。

出力が変動する再エネを需要家に供給する水素システムを導入するためには、再エネの出力容量のほか、水素製造装置や、水素貯蔵装置、水素燃料電池、蓄電池など、システムを構成する多くの装置について、容量仕様を導入目的に合わせて適切に決定しなくてはならない。

そこで、東芝グループは、設備コストや、運用コスト、再エネ導入率などの様々な指標を算出し、システムの適切な装置構成や容量を決定できる評価技術を開発した。ここでは、この評価技術を適用して構築した評価シミュレーターとその評価結果について述べる。

2. 評価シミュレーターの概要

2.1 評価対象システム

評価対象とするシステムの構成を、図1に示す。電力需要

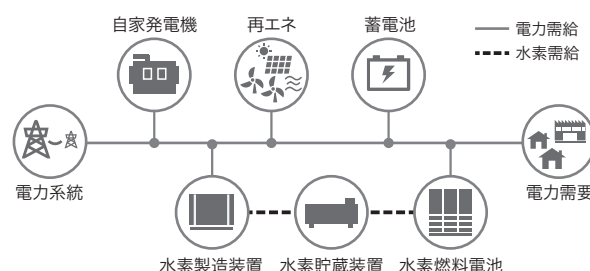


図1. 評価対象とした水素エネルギー供給システムの構成

再エネによって電力供給するための水素製造装置、水素貯蔵装置、水素燃料電池、蓄電池から構成されるシステムを評価対象にしている。

Configuration of hydrogen energy supply system targeted for evaluation

に対して再エネから電力を供給するための水素製造装置や、水素貯蔵装置、水素燃料電池、蓄電池などで構成されたシステムが、評価対象となる。このとき、評価の前提条件に応じて、ディーゼルなどの自家発電機や電力系統からの電力供給なども想定する。また、再エネだけや、再エネと蓄電池だけを組み合わせたシステム構成などでも評価できる。

2.2 評価シミュレーターの構成と入出力

評価シミュレーターの構成と入出力を、図2に示す。

入力としてあらかじめ必要なデータは、システムを導入先の電力需要パターンと、太陽光や風力などの再エネ発電パターンである。例えば、1年間の1時間ごとのデータ(8,760

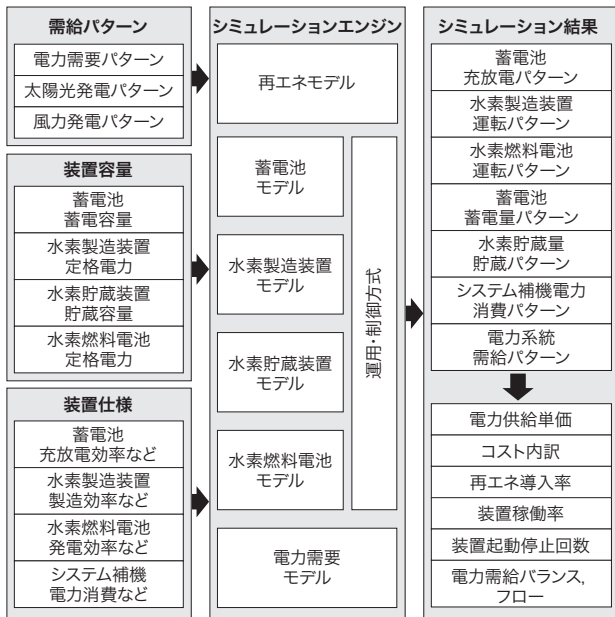


図2. 評価シミュレーターの構成と入出力関係

電力需要や再エネの発電パターンなどを入力としてシミュレーションを実施し、電力供給単価や電力の需給バランスなどの評価・分析が可能となる。

Configuration of evaluation simulator and its input-output relationships

点をパターンとして入力する。再エネを新たに導入する場合には、日射量や風速データを基に想定される発電パターンを生成する。評価シミュレーターの評価条件として、蓄電池や水素製造装置などの装置容量や装置仕様を設定する。装置容量は、システム導入の目的や予算に合わせて変更しながら評価を行う。再エネを新たに導入する場合には、その容量も設定対象となる。装置仕様は、東芝グループの実績・知見に基づき、あらかじめ評価シミュレーターに設定されている。

シミュレーションエンジンは、システムを構成する装置の動作がそれぞれモデル化されており、入力された電力需要パターンと再エネ発電パターンに合わせ、システムに導入される運用・制御方式に従って動作をシミュレートする。

シミュレーション結果としては、各装置の運転パターンが得られる。これらのパターンを基に、電力供給単価や、システムコストの内訳、再エネ導入率、設備稼働率など目的に合わせた評価指標を計算し、出力・可視化を行う。

2.3 評価シミュレーターの特長

開発した評価シミュレーターは、Python 言語によって離散事象シミュレーションのライブラリーを使用して実装した。システムを構成する装置をそれぞれ個別にモデル化し、時系列に沿ってステップごとに計算する。この方式は、構成装置の追加・変更が容易であり、特定時断面の状況を把握で

きる。また、運用・制御方式の入出力が実システムと同等であるため、評価シミュレーターに実装した方式の実システム展開も容易である。実際に、実システムと評価シミュレーターの双方に同じ運用・制御方式を実装して比較評価した結果、水素貯蔵量の年間推移パターンは、7.7%の平均二乗パーセント誤差(RMSPE)で再現できていることを確認した。併せて、蓄電池や水素製造装置、水素燃料電池の動作も正確に再現されていることを確認した。予測や計画を含めた実システムと同等の運用を想定し、机上検証をすることも可能である。

3. 評価シミュレーターの結果例

これまで、具体的な事例^{(1), (2)}での分析・評価を行ってきたが、ここでは、評価シミュレーターによって出力可能な評価指標・可視化の例について述べる。

出力結果パターンの例を、図3に示す。大別して、発電電力(自家発電や、PV(太陽光発電)、WT(風力発電)など)と電力需給(電力需要や、電力系統との送受電電力など)を示すパターン、電力需給を調整するために必要な装置(蓄電池の充放電や、水素製造電力、システム補機電力消費など)の電力入出力パターン、水素貯蔵量の推移パターン、及び蓄電池の蓄電容量推移パターンの四つがある。これらのパターンを確認することで、装置の稼働状況や、蓄電池、水素貯蔵装置の容量過不足などを大まかに把握できる。

3.1 コスト分析

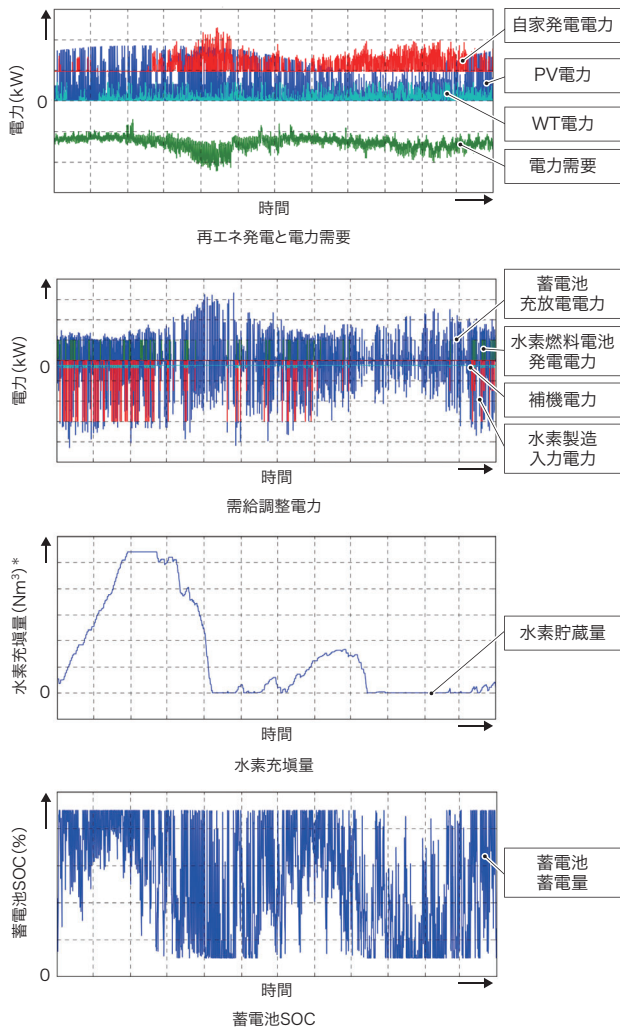
システムコストの内訳を可視化した結果例を、図4に示す。評価シミュレーターによって決定した装置容量の導入費用と設置・運用コストを計算することで、システム導入に伴う総費用とその内訳が把握できる。また、装置の償却期間と償却期間内に供給可能な総電力量を勘案し、電力量当たりの供給単価も算出可能である。再エネや、蓄電池、水素関連装置などは、今後の価格低減が見込まれるため、想定される将来の装置費用を反映することで、将来期待できる電力供給単価も算出可能となる。

3.2 装置稼働状況分析

装置の稼働状況を可視化した例を、図5に示す。装置の運転時間や、起動停止回数、出力電力分布などを可視化することで、装置の稼働率を確認できる。また、想定運用期間において必要となるメンテナンスの回数や寿命期間を把握するためにも有用である。

3.3 電力量の需給バランス分析

電力の供給から需要・消費までの流れを可視化した例を、図6に示す。評価シミュレーターは、各装置の電力の



SOC: State of Charge (充電状態)
 *Nm³は、0℃、1気圧の状態に換算した体積

図3. 評価シミュレーターから出力される各装置運転パターンの例
 評価シミュレーターによって、システム構成装置それぞれについて、1年間の運転パターンが出力される。
 Examples of operation patterns of each type of equipment derived by evaluation simulator

入出力を個別に計算しているため、自家発電や再エネで発電された電力がどこでどれだけ消費されたかを把握できる。一般に、再エネ導入率の高いシステムは、これまでの電力供給システムよりも、電力需要に対して発電装置の容量が大きくなる傾向がある。この主な要因は、再エネ発電と電力需要との需給バランスを調整するための再エネ抑制制御や、蓄電池の充放電損失、水素製造・発電での変換損失、システム補機の電力消費などである。電力需給フローを可視化することで、その傾向を把握し、理解を助けることができる。また、再エネ発電装置の利用率や需要に対する再エネの導入率も算出可能となる。

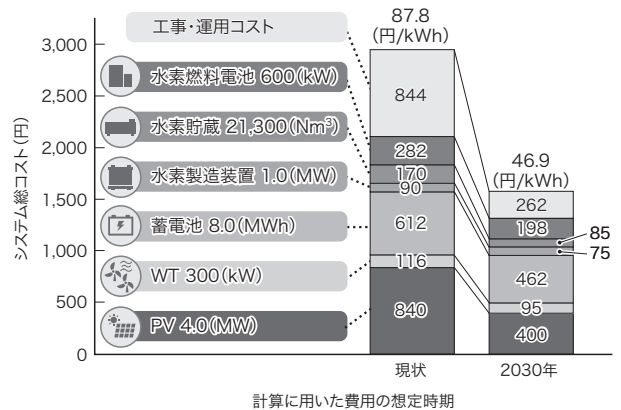


図4. システム導入に伴うコスト内訳及び電力供給単価の算出例
 総費用とその内訳が把握できる。また、装置の償却期間と償却期間内の供給可能総電力量を勘案することで、電力量当たりの供給単価も算出できる。
 Example of calculation of installation cost breakdown and power supply unit cost by type of equipment

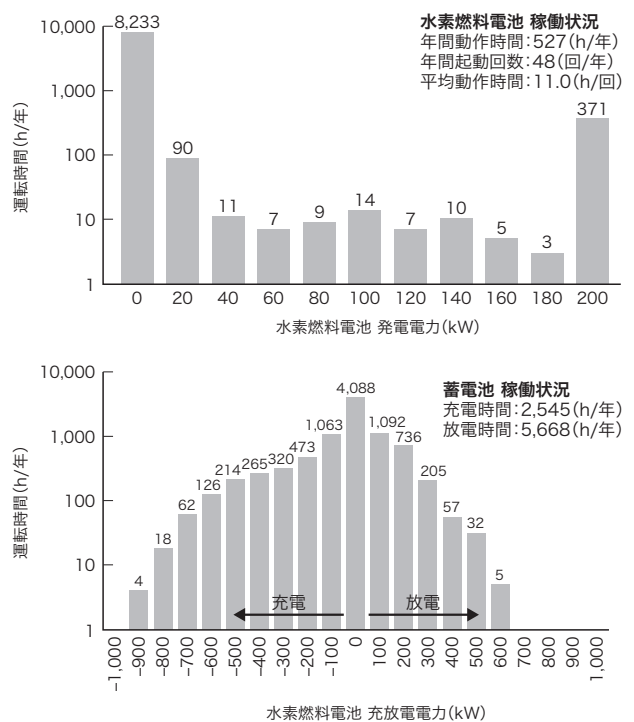


図5. 装置稼働状況の可視化
 装置の運転時間や、起動停止回数、出力電力分布などの可視化で、装置の稼働率を確認できる。
 Visualization of operation status by type of equipment

3.4 システム構成の検討・分析

WTや、蓄電池、水素製造装置などの容量を変更した場合の電力供給単価を可視化した例を、図7に示す。WTと水素製造装置の容量値を変更した際の電力供給単価を示している。評価シミュレーターを活用することで、電力供給単

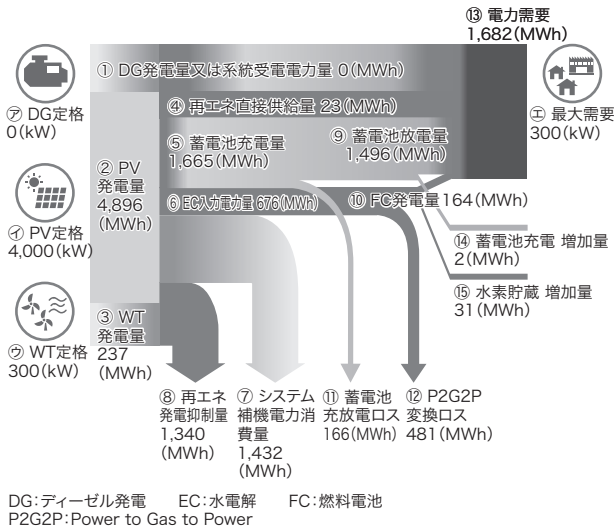


図6. 電力需給の可視化

自家発電や再エネで発電された電力がどこでどれだけ消費されたかを把握でき、また、再エネ発電装置の利用率や需要に対する再エネの導入率も算出できる。

Visualization of power supply and demand

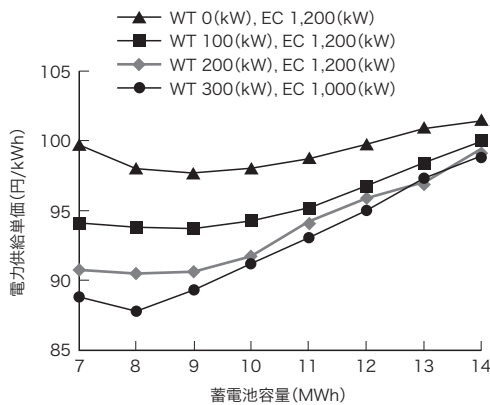


図7. 設備容量と電力供給単価の算出例

電力供給単価が最も安価となるシステムの容量構成を算出できる。

Example of calculation of relationship between installed capacity and power supply unit cost

価が最も安価となるシステムの容量を算出できる。これらの最適なシステム容量を自動的に算出するために、シミュレーション最適化技術を適用している。

システムを構成する装置の組み合わせごとに、再エネ導入率と電力供給単価の関係を可視化した例を、図8に示す。PV装置だけを導入した場合、PV装置と蓄電池を組み合わせ導入した場合、PV装置と蓄電池と水素関連装置を組み合わせ導入した場合の3ケースをそれぞれ示している。これにより、目標とする電力供給単価や再エネ導入率に

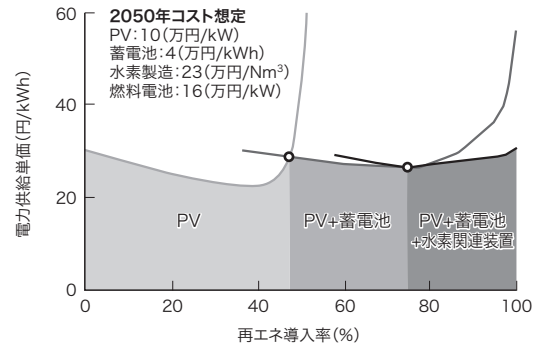


図8. システム構成と電力供給単価の算出例

目標とする電力供給単価や再エネ導入率に対し、どのシステム構成が適切かを判断できる。

Example of calculation of relationship between system configuration and power supply unit cost

応じて、どの装置を組み合わせさせたシステムが適切かを判断できる。

4. あとがき

再生可能エネルギーを有効活用する水素システムの構成や仕様を評価・検討・提案するために開発した評価シミュレーターの機能を述べた。今後、この技術を用いて、カーボンニュートラルの実現に向けた適切な水素活用ソリューションを提案していく。

文献

- 辻 正洋, ほか, H2Oneの離島などへの導入に向けた取り組み, 東芝レビュー, 2019, 74, 5, p.54-58. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech-review/2019/05/74_05pdf/f03.pdf>, (参照 2022-04-01).
- 熊澤俊光, ほか, “自立型水素エネルギー供給システムの構成と運用 - H2One™ オフグリッドソリューション”. 平成31年電気学会全国大会講演論文集, 札幌, 2019-03, 電気学会, 2019, 7-061, (DVD-ROM).



熊澤 俊光 KUMAZAWA Toshimitsu
研究開発センター 知能化システム研究所
システム AI ラボラトリー
情報処理学会, エネルギー・資源学会会員
System AI Lab.



板倉 昭宏 ITAKURA Akihiro
研究開発センター 知能化システム研究所
システム AI ラボラトリー
System AI Lab.



佐藤 航大 SATO Kodai
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギーシステム技術開発センター システム制御技術開発部
電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.