

再エネ余剰電力を用いた街区における水素マネジメント技術の開発

清水建設株式会社 下田 英介
野津 剛

1. はじめに

わが国では、公共建物その他、住宅やオフィスビル、病院などの建築物において、高断熱・高気密化や高効率空調機、全熱交換器、人感センサー付き LED 照明等の省エネルギー技術の導入により、ネットゼロエネルギービル（以下、ZEB と記す）を目指す取り組みが進められている¹⁾。一方で、2012 年 7 月の再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下、FIT と記す）の導入は、非住宅用の太陽光発電導入量を大きく押し上げることとなった。太陽光発電の大量の設備認定量に伴い、それらが全て稼動した場合、電力需要の小さい軽負荷期に太陽光発電の供給電力量が需要電力量を上回る懸念が出てきたため、指定電気事業者において「無制限・無補償の出力抑制」を条件として系統接続を行うこととなった。今後、更なる太陽光発電の系統接続量の増加に伴い、電力需給調整としての出力制御実施は現実のものとなる。また FIT 制度は、10kW 以上の太陽光発電において 20 年間の買取となっているが、2032 年以降順次終了していくため、大幅な余剰電力が発生する可能性がある。以上のような状況を見据え、今後も太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入を一層拡大し、かつ、そのエネルギーを無駄なく有効に活用していくためには再生可能エネルギー余剰電力からの水素製造・輸送・貯蔵・利用ができるシステムを検討すべきと考えている。

本稿は、市街地から半径 20km 程度の広域範囲を地産地消エリアとして、余剰電力を利活用する水素利用システムについて報告するものである。2 章では 2030 年を想定した将来の水素利用システムについて、その特徴、妥当性を余剰電力の発生期待量から検討する。3 章では、街区における水素の活用技術として、最適なエネルギーマネジメント方法と、そのマネジメント期間について述べる。4 章では具体的な事例を想定してエネルギーマネジメントを行った際の結果について述べる。

2. 2030 年を想定した水素利用のモデル構築

(1) 水素利用システムの全体像

想定する水素利用システムの全体像を図1に示す。市街地から半径 20km 程度の範囲を地産地消エリアとして、再生可能エネルギーの余剰電力で製造したCO₂フリー水素を利活用することで、日本のCO₂排出量の3割を占める建築運用時のCO₂を大幅に削減、並びに電力システムの電力供給の安定化を目指したシステムである。



図1 想定する将来の水素利用システムの全体像

再エネ発電事業者は、FIT 終了後にも余剰電力による水素販売や安定化電力としての売電による収益増が期待できる。水素を利用する需要家としては、建物所有者や街区エネルギー供給事業者を想定する。建物所有者(街区エネルギー供給事業者)は CO₂ 排出量の削減の実現&BCP 向上による建物価値の向上(ブランド価値、インセンティブ獲得等)が見込める。

(2) 太陽光発電の余剰電力発生量の推定

2030 年において余剰電力が街区の CO₂ 排出量削減に貢献しうる発生量かどうかを試算するため、太陽光発電の設備認定量が国内でも多い福島県を対象に余剰電力発生量の推定を行った。福島県を図 2 に示す 7 地域及び地域間を連絡する送電線、発電所で模擬し、余剰電力発生量を推定した。以下に余剰電力の推定方法を詳述する。

① 各地域の太陽光発電量想定

2016 年 9 月末時点での市町村別導入容量（新規認定分＋移行認定分）²⁾から各地域の導入容量を算出し、その全量が 2030 年時点で稼働するものと仮定した。また年間時別の発電量については、NEDO 年間時別日射量データベース(METPV-11)³⁾を用いて各地域の代表年間時別日射量を作成し、JIS C 8907:2005 に基づき計算した。

② 各地域の需要電力量の想定

図 3 に示すように全国の長期エネルギー需給見通しを基に、2030 年における福島県全体の産業、業務、家庭部門ごとの年間需要電力量を推定し、各地域における製造品出荷額、世帯数、業務部門延床面積などの県全体との比率から、各地域の年間需要電力量を算定した^{4)~8)}。さらに東北電力公開の年間日負荷カーブを用いて年間需要電力量が一致するように、各地域の年間時別の電力需要量を作成した^{9)~10)}。

③ 送電線および発電所の運用模擬と余剰電力の推定

①、②のデータベースより年間時別の送電線による地域間電力融通量と発電所による発電量を推定した。送電線は融通容量を設定し、その範囲内で地域間の電力融通を可能とした。また発電所は出力及び変化率の上下限制約を設け、余剰電力が最も小さくなるように運用方法を決定した。これらの調整をもっても供給電力量が需要電力量を超過した分を太陽光発電による余剰電力とした。

表 1 に年間の需要電力量、太陽光発電量及び余剰電力発生量、発生時間を示す。想定条件において総量だけ見れば太陽光発電量は需要電力量の 30%に満たないが、年間時別の需給バランスのずれから太陽光発電量の約 12%(628GW/年)が余剰電力になっていることが試算され、街区の CO₂ 削減において十分な余剰電力の発生が想定された。

3. 街区における水素マネジメント技術の開発

図 4 に街区における水素利用システムの構成を示す。出力抑制等が生じる郊外の複数の太陽光発電所にて、余剰電力を活用して水素製造を行い、これらの高圧ガスを巡回して収集した後、当該エリア内の中核となる複数建物からなる街区に輸送する。輸送された CO₂ フリー水素は、街区において水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵装置で安全かつコンパクトに貯蔵しておき、燃料電池コージェネレーションにより電力ならびに熱に変換し、蓄電池や蓄熱システム及びその他建築設備と組み合わせ

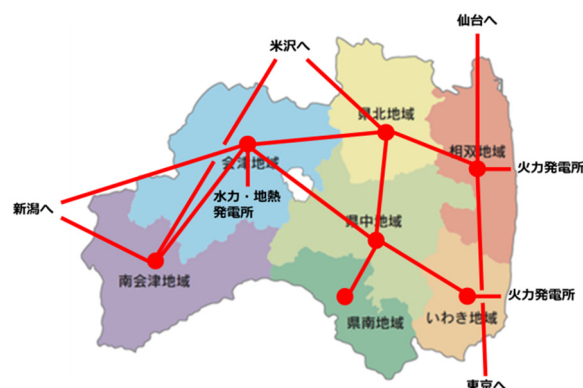


図 2 福島県の地域区分および模擬送電線

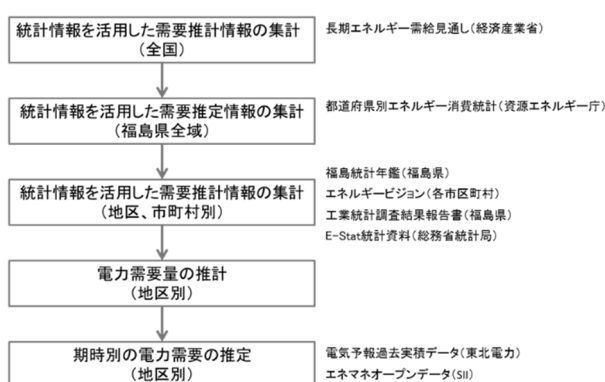


図 3 電力需要量の推定手順

表 1 福島県における 2030 年の需給量と余剰電力

需要電力量	17,045GWh/年
太陽光発電量	4,873GWh/年
内、余剰電力発生量	628GWh/年
余剰電力発生時間	1,325h/年

せて効率的なエネルギーマネジメントを実施することで、街区レベルでの CO₂ 削減を実現すると共に事業継続計画 (BCP) の向上を図る。

(1) エネルギーマネジメント方法の検討

本システムを構成する各設備は建物のエネルギー管理システムであるスマート BEMS (Building Energy Management System) で他の建築設備同様に、統合的な監視・制御が行われる。スマート BEMS では効率的なエネルギーマネジメントを実現するため、以下の 2 フェーズに分かれた制御を行う。

① 予測／計画^{11)~12)}

建物での CO₂ 削減量を最大化するため、図 5 に示すフローに従って事前に各設備の起動／停止、出力並びに水素の配送計画を決定する。以下手順について詳述する。

予め、建物の最大デマンド電力の目標値ならびに最適化条件を設定する。最適化条件は「エネルギーコスト最小」、「一次エネルギー最小」、「CO₂ 排出量最小」が選択可能である。定期的に天気予報データ、過去の建物の電力／熱需要の実績データを用いて太陽光発電の発電予測及び建物の電力／熱需要予測を行う。発電予測及び需要予測結果を基に設定した最適化条件を用いて各時間帯における各設備の運転出力計画値を決定することで、本システムを含めた建物全体の電力需要プロファイルが生成される。

② リアルタイム制御¹³⁾

実際の運用では、予測／計画で作成した通りの電力需要プロファイルになるとは限らない。スマート BEMS はデマンドを常時監視しており、必要に応じて各装置の出力を調整し、需給バランスを取ることで建物の最大デマンドを上回らない運用が維持される。

(2) 予測期間と精度による運転計画立案期間の検討

水素利用システムではリアルタイムの需給管理も行っているため、予測／計画時に作成した最適な設備の運転計画、水素調達が満たされるかどうかは予測誤差に大きく依存する。予測期間を長くすると予測誤差は増大すると考えられるが、予測期間を短くすると長期的な運用の最適化が図れなくなる。そこで予測期間ごとの予測精度評価を行い、適切な運転計画の立案期間を検討した。需要予測の処理フローを図 6 に示す。予測手法にはニューラルネットワークを用いている。

複数の実際の建物を対象に 2016 年度の需要予測を行うことで、実測値と予測値の比較を行った。結果の一例を図 7 に示す。検討したいずれの建物においても 7 日後の需要予測であっても最大需要に対して 10% 程度の誤差内に納まっており、逐次再計算を行えばリアルタイムの需給調整でも最適運転計画とのずれがそれほど発生しないものと考え、運転計画の立案期間は 7 日間、計算周期は日 3 回とした。

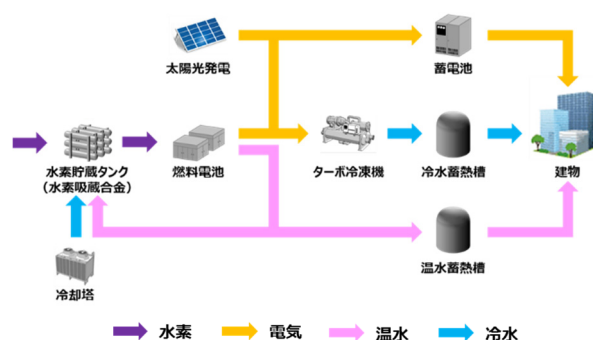


図 4 街区における水素利用システム

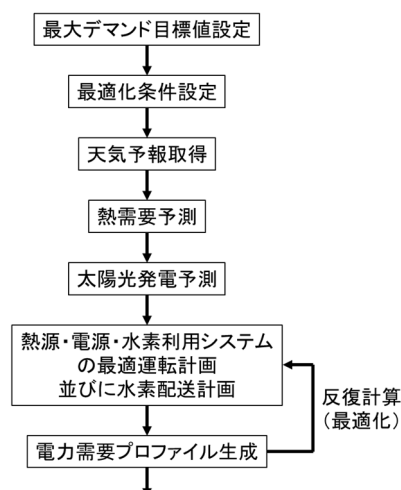


図 5 予測／計画の処理フロー

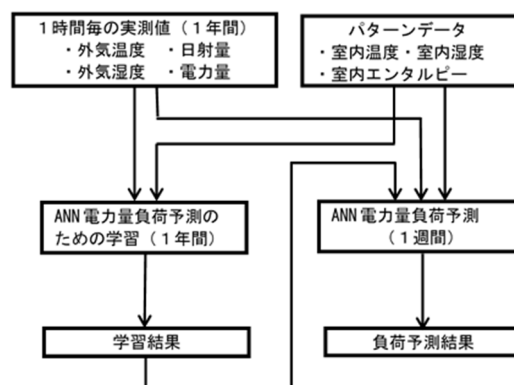


図 6 需要予測の処理フロー

4. エネルギーシミュレーションによる各種設備容量、運用方法の検討

街区における水素利用の可能性を検討するため、表2の建物を対象に、様々なケースに対して水素利用が選択されるかどうか年間のエネルギーシミュレーションにより検討を行った。10年LCCが最も低くなるような設備構成、運用方法をシミュレーションでは算出している。計算に用いた各種数値を表3に、検討ケースを表4に示す。各水素価格に対する設備構成結果を表5～7に、年間のシミュレーション結果の一例を図8に示す。供給ガスがLPガスであるような地域ではCO₂削減の観点から水素が導入されやすい結果となった。また、運用時における建物CO₂排出量を一定値以下に下げようとした場合には、①CO₂フリー水素を用いる、②太陽光発電を大量導入する、という選択肢しかなくなるため、太陽光発電の設置可能な敷地面積が限られる街区ではCO₂フリー水素の大量利用が選択されることが確認された。

5. おわりに

本稿では、市街地から半径20km程度の広域範囲を地産地消エリアとして、余剰電力を活用する水素利用システムについて述べた。福島県を対象に2030年の太陽光発電の余剰電力を推定したところ、600GWh/年以上の余剰電力発生が試算され、街区のCO₂削減において十分活用しうる余剰電力の発生が想定された。更に本稿では街区における水素マネジメントの方法についても述べ、シミュレーションにより建物のCO₂をある程度以下に削減しようとした際にはCO₂フリー水素を用いることが有効であることも確認した。

パリ協定の発効やRE100のような事業活動を再エネで賄う国際的な企業連合の結成などを受け、今後もCO₂削減への取り組みは一層加速するものと考えられる。また再生可能エネルギーのFIT切れも目前に迫っており、余剰電力に対する対策も喫緊の課題となっている。本システムがこれらの課題解決の一助となるよう、本技術の開発を一層促進することを目指し、本稿の結びとする。

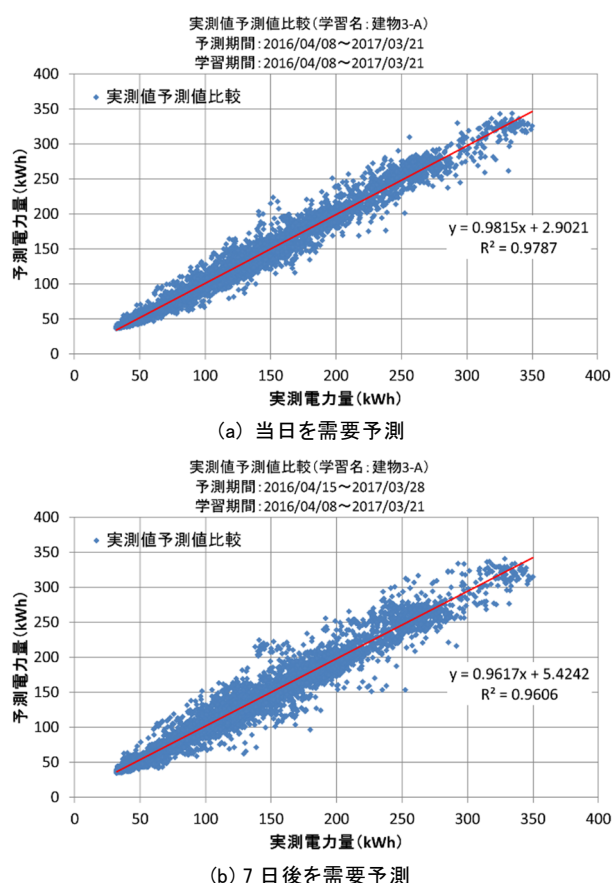


図7 需要予測結果と実績値との比較(1年間)

表2 検討に用いた建物概要(建築側省エネ対策済み)

延床面積	10,000m ² × 5棟
年間電力量(5棟)	1,500MWh/年
冷水熱量(5棟)	1,215MWh/年
温水熱量(5棟)	1,170MWh/年

表3 シミュレーションに用いた各種数値

太陽光発電	40万円/kW
水素吸蔵合金タンク	10万円/Nm ³ -H ₂
水電解装置	125万円/(Nm ³ -h-H ₂)
燃料電池	35万円/kW
ガスコジェネ	25万円/kW
蓄電池インバータ	10万円/kW
買電基本料金	1500円/(kW・月)
買電従量料金	30円/kWh
LPガス従量料金	672円/Nm ³ -gas
都市ガス従量料金	96円/Nm ³ -gas
買電CO ₂ 原単位	0.573kg-CO ₂ /kWh
LPガスCO ₂ 原単位	0.398kg-CO ₂ /kWh
都市ガスCO ₂ 原単位	0.334kg-CO ₂ /kWh

表 4 検討ケース

ケース	1	2	3	4	5	6	7
CO ₂ 削減率[%]	75	75	75	75	75	100	100
内、建築側削減率[%]	50	50	50	50	50	50	50
内、創エネ側削減率[%]	25	25	25	25	25	50	50
最大水素購入可能量 [Nm ³ /half week]	5000	∞	5000	∞	∞	∞	∞
最大 PV 導入量[kW]	150	150	∞	∞	∞	∞	150
供給ガス種別	LP	LP	LP	LP	都市 ガス	都市 ガス	都市 ガス

表 5 検討ケースにおいて選択された各設備容量(水素価格 50 円/Nm³)

ケース	1	2	3	4	5	6	7
燃料電池[kW]	42	42	52	52	0	225	406
最大水素貯蔵量[Nm ³]	2,086	2,086	284	284	0	6,211	11,518
太陽光発電[kW]	150	150	928	928	349	1,708	150
ガスコジェネ[kW]	344	344	246	246	382	0	0
水電解装置[Nm ³ /h]	0	0	40	40	0	61	0
蓄電池[kW,kWh]	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	208, 683	0, 0
水素導入可否	○	○	○	○	×	○	○

表 6 検討ケースにおいて選択された各設備容量(水素価格 100 円/Nm³)

ケース	1	2	3	4	5	6	7
燃料電池[kW]	42	42	11	11	0	203	406
最大水素貯蔵量[Nm ³]	2,086	2,086	104	104	0	4,959	11,518
太陽光発電[kW]	150	150	808	808	349	2,302	150
ガスコジェネ[kW]	344	344	339	339	382	0	0
水電解装置[Nm ³ /h]	0	0	17	17	0	157	0
蓄電池[kW,kWh]	0, 0	0, 0	5, 11	5, 11	0, 0	230, 744	0, 0
水素導入可否	○	○	○	○	×	○	○

表 7 検討ケースにおいて選択された各設備容量(水素価格 200 円/Nm³)

ケース	1	2	3	4	5	6	7
燃料電池[kW]	42	42	11	11	0	172	406
最大水素貯蔵量[Nm ³]	2,086	2,086	104	104	0	4,611	11,518
太陽光発電[kW]	150	150	808	808	349	2,789	150
ガスコジェネ[kW]	344	344	339	339	382	0	0
水電解装置[Nm ³ /h]	0	0	17	17	0	186	0
蓄電池[kW,kWh]	0, 0	0, 0	5, 11	5, 11	0, 0	264, 938	0, 0
水素導入可否	○	○	○	○	×	○	○

[備考]

本稿は、NEDO 委託事業:水素社会構築技術開発事業水素エネルギーシステム技術開発「再エネ出力抑制対応水素製造及び熱化学昇圧と街区における水素利用マネジメントの技術開発」にて発表済みの内容を含んでいる。

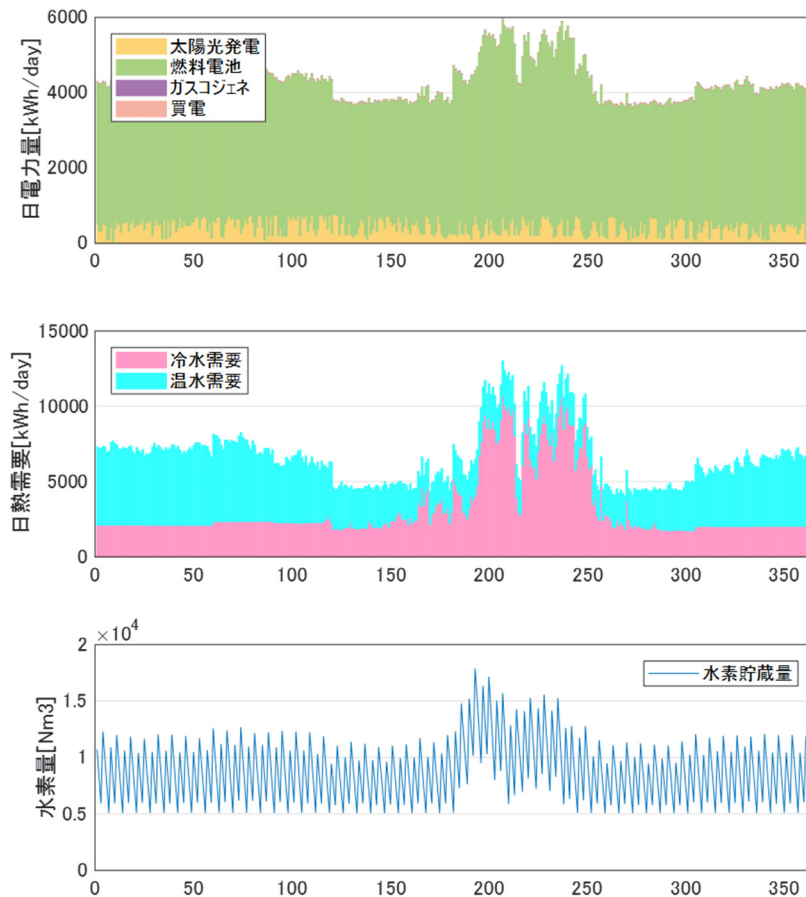


図 8 年間シミュレーション結果例

【参考文献】

- 1) 経済産業省ホームページ:ZEBロードマップ検討委員会とりまとめ,
<http://www.meti.go.jp/press/2015/12/20151217002/20151217002-1.pdf>
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ:固定価格買取制度情報公開ウェブサイト,
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/statistics/index.html
- 3) NEDO ホームページ:日射に関するデータベース, <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ:長期エネルギー需給見通し
http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf
- 5) 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ:都道府県別エネルギー消費統計,
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/
- 6) 福島県ホームページ:福島県統計年鑑, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11045b/15838.html>
- 7) 福島県ホームページ:工業統計調査結果報告書, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11045b/16907.html>
- 8) e-Stat ホームページ:<https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>
- 9) 東北電力ホームページ:東北電力でんき予報, <http://setsuden.tohoku-epco.co.jp/graph.html>
- 10) EMS エネマネホームページ:エネマネオープンデータ, <https://www.ems-opendata.jp/>
- 11) 山本裕治他:マイクログリッドとデマンドレスポンスを統合した BEMS の開発(その1), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2011
- 12) 下田英介他:水素エネルギー利用システムを用いた ZEB 実証(その2)エネルギーマネジメント方法と運用結果, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2018
- 13) J. Baba, et al. : “Combined power supply method for micro grid by use of several types of distributed power generation systems”, Proc.EPE2005, CD-ROM, Dresden, Germany , 2005