

水素タウンを考える

- 社会インフラとしてのエネルギーシステム -

計量分析ユニット	担任補佐・研究主幹	平井 晴己
新エネルギーグループ	研究主幹	柴田 善朗
計量分析ユニット	主任研究員	碓井 良平 [*]
同	主任研究員	呂 正
同	研究員	川上 恭章

近年、我が国においては水素の利用拡大に向けた多様な取組みが進められ、FCV、FC、水素発電など、個別の要素技術を取り上げるアプローチでの研究が多くなされるようになった。しかし、よりマクロ的な社会インフラの整備という視点から分析した例は殆どない。昨今議論になりつつある、地方経済・人口減少・大都市部のインフラのリプレースといった、日本の将来の社会インフラの有り方に繋がる問題として考えるならば、そうしたマクロ的な視点からの研究も価値が高いのではないかと考えられる。

本稿は、そうした研究の出発点として、あるひとかたまりのオフィス・居住空間(地域)を対象とした水素タウン¹を想定し、現在、計量可能な範囲ではあるが、費用便益計算を行い、その実現のための課題の抽出を試みた。

1. 水素の利用を考える

周知の通り、水素は二次エネルギーであり、化石燃料からも再生可能エネルギーからも作り出すことができるが、そのハンドリングに大きな制約がある。次章で述べるが(図 2-1 に示すように)、水素のサプライチェーンを考えた場合、水素を何から作り、どのようにして運び、そして、どのように消費して、最終形態である電力(動力)や熱需要として利用するかは、化石燃料のシステムと共存する形であっても、ある程度は、自己完結的なシステムを整備する必要がある、そのコストは高い。水素への移行のための敷居(≒経済性)は依然として高い。

一方、1960年代から1970年代の高度成長期に建設された道路・橋・住宅・配管等々のインフラ設備は、凡そ50年の時間が経過したが、小規模な修繕・修理にとどまらず、早晚、大規模なリプレースの時期がせまりつつある。旧来の化石燃料をベースとした、エネルギーシステムの延長線上でリプレースを考えるのか、あるいは、新しいエネルギーシステムへの転換(従来方式との併存を考えるものも含む)を考えるのかという選択も、今後50年というスパンで考えるならば、あながち荒唐無稽な話ではない。

^{*}現 オーストラリア国立大学大学院所属

¹ 水素タウンには水素ステーションを包含する考え方もあるが、本稿では民生部門への水素導入にフォーカスするために水素ステーションを考えないで議論を進めた。

以上のことから、本稿では、新しいエネルギーシステムを考える際の第1モデルとして「水素タウン」を想定し、費用便益の評価を試みることにした。まず、水素の便益とは何かを定義しておく必要がある。需要家にとっての便益とは、現在のエネルギーシステムの利便性（経済性、使いやすさ、安全性等）の向上となるのは間違いない。ただし利便性というときに、個々人によって若干のニュアンスの差がある。利便性を経済性に限定すれば議論の余地はないが、それ以外については事情が異なるからである。地球規模の環境問題について関心が高い人は、CO₂がどれだけ削減されるのかに関心があり、その削減費用について、それなりに応分の負担があってもよしとするであろうし、新しい街づくりとして考える人には、新しいエネルギーインフラを、政府がどのように支援するべきかを重視するであろう。いずれにしても、社会インフラとしてのエネルギーシステムと考えた場合、その費用と便益をどのような観点から整理するかが大きなポイントとなる。

本稿では、抽象的な是非論ではなく、現時点で入手可能な情報（技術、コスト、環境制約等）をもとに、具体的に水素タウンの設計²を行い、その転換にともなう費用・便益を試算することとした。なお、CO₂は対外的に支払う費用として考え、その支払いを減らすことを便益と見なした。社会インフラとしての新しい価値は定量化が難しいので、費用便益計算からは除外したが、ある条件下での費用便益がマイナスの場合は、それを埋める分を社会的費用とみなすこともできるが、本稿では、この点については立ち入らなかった。

第2章以下の構成は、以下の通りである。

第2章：国内あるいは国外から供給される水素に関するサプライチェーンを俯瞰する

第3章：中核的な地方都市を念頭に水素タウンを設計する

第4章：従来タウンから水素タウンへの転換に関する、費用・便益分析の実施する

第5章：第4章の結果のまとめと、水素タウンの可能性について検討する

2. 水素供給チェーンとは

現在、石油精製・石油化学・鉄鋼などで自家消費される水素量は年間150億Nm³程度であるが、外販される水素量は年間2億Nm³にとどまる³。外販水素の用途は半導体プロセスなど一部産業用に限られ、その量もエネルギー消費全体で見れば極めて小さいことから、水素供給チェーンは限定的であり、化石燃料一般の大規模かつ包括的な供給チェーンとは大きな相違があると言える。

水素は、天然ガスの水蒸気改質等により化石燃料⁴から、または水の電気分解（以下、「水電解」という）から製造されるが、現在の製法は、経済性の観点から前者がその大半を占める。今後、低炭素の水素を考えるならば、「化石燃料+CCS」の組み合わせや「再生可能エネルギー電力を利用した水電解」も水素製造プロセスとして重要な役割を果たすことが

² 基本構想または概念設計のレベルをいう。

³ 資源エネルギー庁「水素・燃料電池戦略ロードマップ」

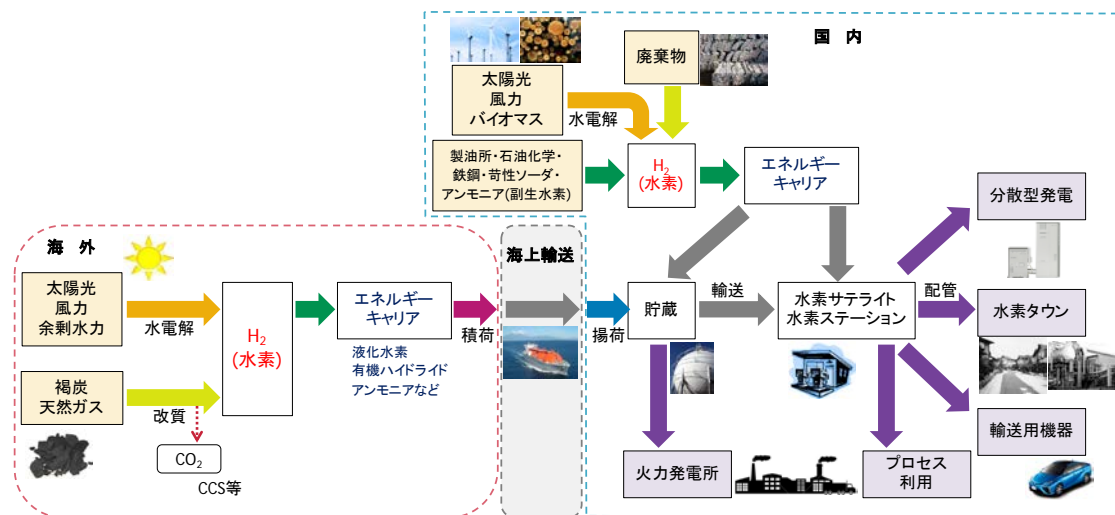
⁴ 石炭の場合は部分酸化法やガス化により水素を製造する。

期待されている。特に、太陽光や風力などの再生可能エネルギー電力を利用した水電解の場合、適宜電気を水素に変換することによって変動性再生可能エネルギー発電の地域偏在性や出力変動性を補うことが可能であり、これらの電源の最大限の導入も期待される。

水素は常温常圧では気体であるため、経済的かつ効率的に貯蔵・輸送を行うには、技術的には、水素を液化・圧縮したりするか、有機ハイドライドやアンモニア⁵といった化合物中の水素に変換することにより、貯蔵・輸送を容易にする方式が検討されている。現状では、変換に要する新たなエネルギー投入が必要となるため、化石燃料と比較して、変換効率・経済性の点で改善すべき課題も多いが、将来における大規模な水素供給チェーン実現のためには、貯蔵・輸送過程の技術革新に大きな関心と注目が集まっている。

将来期待される、大規模な水素供給チェーンを図 2-1 に示す。水素の供給源は、海外で製造した水素を日本へ輸送するか、国内で製造された水素を利用するかで2通りに分かれる。輸入基地または貯蔵地に到達後の国内の水素供給チェーンは、水素の利用用途により異なる。水素の代表的な利用用途は、事業用発電、分散型発電、輸送用機器、プロセス利用（半導体製造、石油精製、脱硫など）である。このうち事業用発電には、水素は大型発電所内に付随または近接する輸入基地(貯蔵地)からパイプラインなどで近距離輸送される。他方、プロセス利用や分散型発電、あるいはそれらを内包する水素タウンなどの輸入基地(貯蔵地)から距離のある需要地には、ローリーやトレーラーによる輸送、さらに二次的な貯蔵地を媒介したパイプラインによる輸送が行われる。水素ステーションを水素利用の拠点とする輸送用機器（燃料電池自動車）についても同様である。

図 2-1 水素供給チェーン



注：都市ガスやLPGを原料とするオンサイトでの水素製造・利用は水素供給チェーンから除いている。

(出所)平井,“水素を考える”,PETROTEC,2015年9月,VOL.38 NO.9

⁵ 液体水素、有機ハイドライド、アンモニア等を「エネルギーキャリア」と呼ぶ。

3. 水素タウンを設計する

地方の中核都市（あるいは首都圏近郊）を念頭に、耐用年数を経過して、全面的なリプレイスの時期を迎えつつある従来タウンを対象とし水素タウンへの転換を検討する。ただし、経済性・信頼性を考慮して、水素 100%の自己完結的なシステムではなく、系統電源をベース⁶としつつ、水素利用システムとのベストミックス（燃料電池や補助ボイラの最適容量を勘案）を前提とした。

3.1 水素タウンの概要

(1) 建築概要

参考とした既存の都市は商業機能のみを有するが、ここで想定した水素タウンは、地域の行政、商業、住宅等の中心機能を果たす中核都市を前提としており、その概要を表 3-1 に示す。

行政・商業等施設は、事務所・店舗、病院、ホテルの 3 業種から構成されるものとし、事務所・店舗には、病院は 600 床クラスの比較的大きな総合病院 1 棟、ホテルは延床面積が 150,000m²の大型クラス 1 棟を想定している。住宅施設は、家族および单身向けの高層マンション 4 棟、1 戸当たりの平均延床面積は 50 m²を想定している。

表 3-1 従来タウンの基礎データ

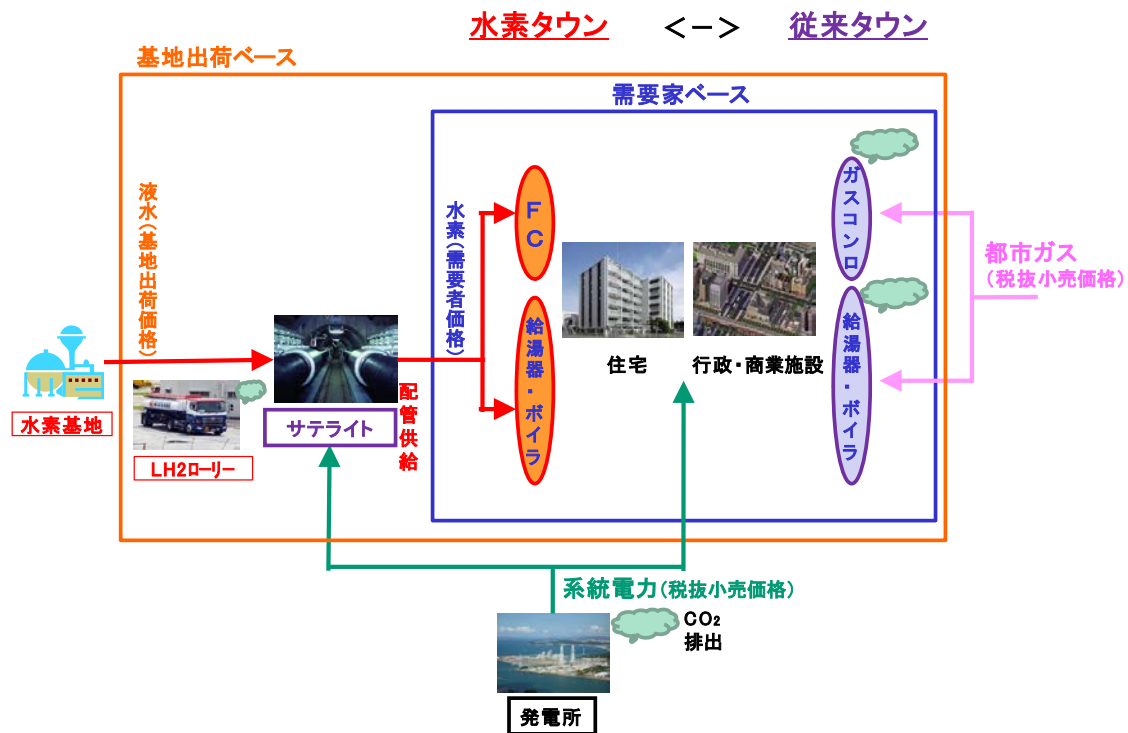
地域	地方の中核都市、首都圏の近郊都市
人口	30,000 人（夜間）
面積	150ha（1,500,000 m ² ）
行政・商業等施設	<ul style="list-style-type: none"> ・事務所・店舗ビル 10 階建×11 棟 ・総合病院（600 床）×1 棟 ・大型ホテル（延床面積 150,000 m²）×1 棟
住宅施設	<ul style="list-style-type: none"> ・高層マンション 30 階建×4 棟

(2) エネルギーシステム

従来タウンと水素タウンにおけるエネルギー源とエネルギー消費機器の想定は図 3-1 に示すとおりである。従来タウンでは、系統電力と都市ガスをエネルギー源とし、業務用ボイラ、ガス給湯器、ガスコンロのエネルギー消費機器が用いられる。都市ガス・LPG 改質型燃料電池は想定していない。水素タウンでは系統電力と水素をエネルギー源とし、業務用・家庭用の純水素型燃料電池、水素ボイラ、水素給湯器、IH コンロが用いられる。ただし、本稿における水素タウンには、水素ステーションは含まれていない。

⁶ 系統への逆潮流は行わないこととした。

図 3-1 従来タウン・水素タウンにおけるエネルギーフロー(概念図)



(出所)日本エネルギー経済研究所作成

(3) エネルギー需要の想定と推計結果の概要

上記エネルギーシステムの違いを前提として、従来タウンと水素タウンの年間エネルギー消費量を推計した結果を図 3-2、図 3-3 に示す。

従来タウンでは、系統電力 226.4GWh (業務用 178.3GWh、家庭用 48.1GWh)、都市ガス 6.8 百万 Nm³ (業務用 2.1 百万 Nm³、家庭用 4.7 百万 Nm³) が必要となった。熱量換算ベースでは、都市全体のエネルギー消費量は電力需要 815TJ、熱需要 316TJ、合計 1,131TJ となった。同消費量に占める行政・商業等施設の割合は 66%、集合住宅の割合は 34%である。

一方、水素タウンでは、都市全体を水素タウンにリプレースした場合の年間水素導入量は 53.0 百万 Nm³、うち、純水素型燃料電池用 42.6 百万 Nm³ (業務用 26.6 百万 Nm³、家庭用 15.9 百万 Nm³、サテライト 0.1 百万 Nm³)、給湯器・ボイラ用 10.4 百万 Nm³ (業務用 1.3 百万 Nm³、家庭用 9.1 百万 Nm³) となる。このほか、系統電力 159.8GWh (業務用 131.4GWh、家庭用 27.5GWh)、サテライト 0.9GWh)、タンクローリーの軽油 29kL/年が必要となった。

次節以降で、従来タウンと水素タウンにおけるエネルギー需要量想定の詳細について説明する。

図 3-2 年間エネルギー消費量（固有単位）

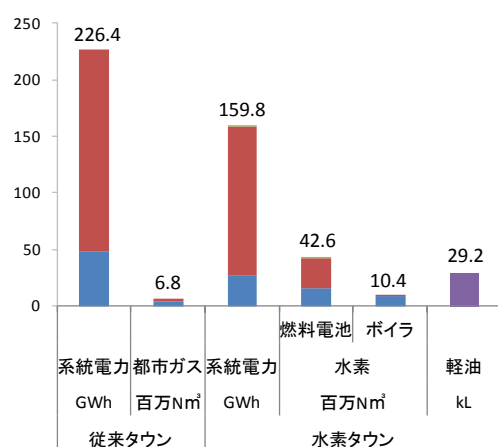
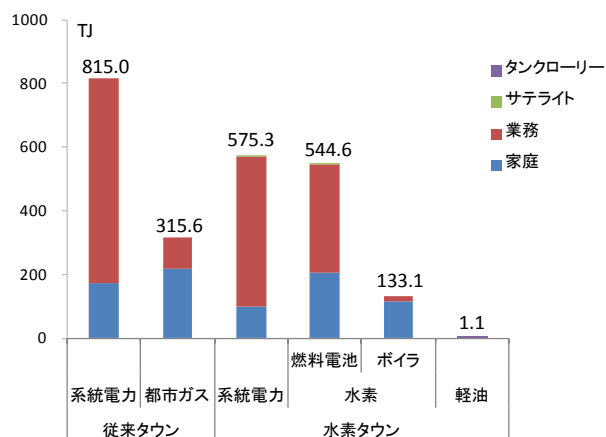


図 3-3 年間エネルギー消費量 (TJ)



(出所)日本エネルギー経済研究所作成

3.2 従来タウンのエネルギー消費

従来タウンのエネルギー消費を、事務所・店舗、病院、ホテル、集合住宅のそれぞれについて、典型的な時間帯別年間エネルギー消費パターン（図 3-4～図 3-7）に基づいて試算した結果、都市全体の同消費量は前述のとおり、電力需要 815TJ、熱需要 316TJ、合計 1,131TJ となった。詳細については以下の通りである。

3.2.1 行政・商業等施設のエネルギー消費

(1) 年間エネルギー消費量

事務所・店舗、病院、ホテルの 3 業種から構成される行政・商業等施設の年間エネルギー消費量は、電力需要 642TJ、熱需要 100TJ、合計 742TJ となった。

(2) エネルギー消費量の推計方法

事務所・店舗、病院、ホテルの年間エネルギー消費量は、業種ごとの延床面積当たりの典型的なエネルギー消費パターン（図 3-4～図 3-6）を用い、これに現実に近い業種別の延床面積を乗じて推計した。エネルギー消費量のうち、電力需要には、冷房、照明・動力、および暖房の一部が含まれている。一方、熱需要には、給湯、および電力以外のエネルギーによる暖房が含まれている。なお、厨房需要については、電力・熱需要に比べ、相対的に非常に小さいため、図示していない。

(3) エネルギー消費の特徴

事務所・店舗、病院、ホテルいずれの業種においても、冬期は熱需要が大きく、逆に夏期は電力需要が大きい。事務所・店舗では冬期の熱需要は夏期の約 7.9 倍、夏期の電力需要は冬期の約 1.1 倍、病院では冬期の熱需要は夏期の約 6.0 倍、夏期の電力需要は冬期の約

1.2 倍、ホテルでは冬期の熱需要は夏期の約 2.4 倍、夏期の電力需要は冬期の約 1.1 倍となった。これは、冬期には電力以外の暖房需要が大きく、夏期には電力による冷房需要が大きいためである。

図 3-4 事務所・店舗のエネルギー消費

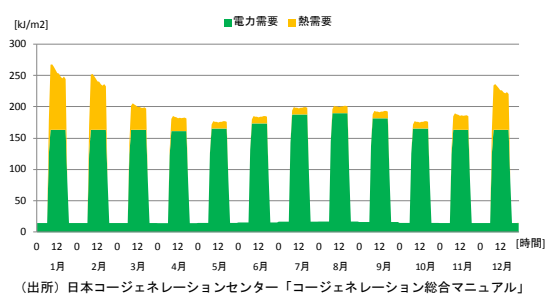


図 3-5 病院のエネルギー消費

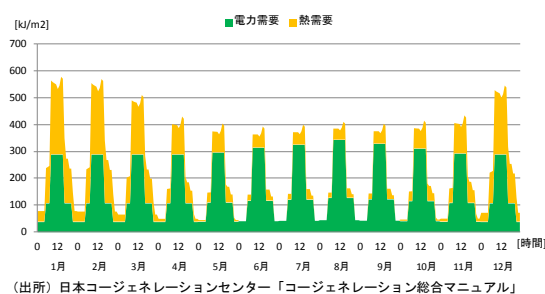
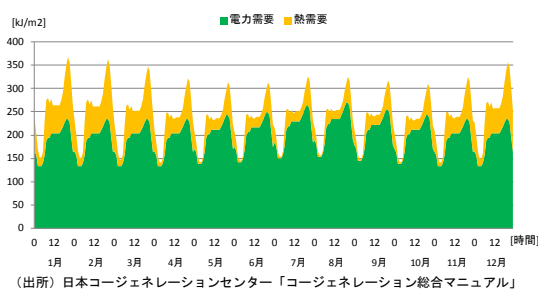


図 3-6 ホテルのエネルギー消費



3.2.2 住宅施設のエネルギー消費

(1) 年間エネルギー消費量

住宅施設は全て集合住宅で構成されるものとの前提に基づいて算出される年間エネルギー消費量は、電力需要 173TJ、熱需要 216TJ、合計 389TJ となった。

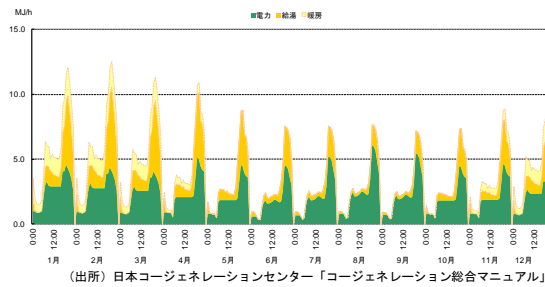
(2) エネルギー消費量の推計方法

住宅施設のエネルギー消費量は、集合住宅 1 件（世帯構成平均人数 3.0 人）当たりの典型的な需要パターン（図 3-7）を用い、これに全世帯数を乗じて住宅施設全体のエネルギー消費量を推計した。行政・商業等施設と同様に、電力需要には、冷房、厨房、照明・動力、および暖房の一部が、熱需要には、給湯、および電力以外のエネルギーによる暖房が含まれている。

(3) エネルギー消費の特徴

住宅施設の熱需要は冬期に大きく、冬期の熱需要は夏期の約 4.7 倍におよぶ。冬期には電力以外の暖房需要が大きいためである。一方、電力需要は春・秋の中間期に比べて、冬期・夏期に大きい。冬期には暖房需要、夏期には冷房需要が大きいためである。

図 3-7 集合住宅のエネルギー消費



3.3 水素タウンのエネルギー消費

従来タウンと同様のエネルギー消費パターンに基づき推計した結果、都市全体を水素タウンにリプレースした場合の水素導入量は、合計 5,292 万 Nm³と（行政・商業施設：2,790 万 Nm³、住宅施設：2,502 万 Nm³）なった。この水素消費量以外に、系統電力 160GWh/年（サテライトの系統電力 0.9GWh/年を含む）、タンクローリーの軽油 29kL/年が必要となる。以下、行政・商業等施設及び住宅施設における、エネルギー需要パターンと水素利用機器の運転パターンの詳細を述べる。

3.3.1 行政・商業等施設

最終需要家の利用機器には、業務用定置型の純水素型燃料電池（以下、「業務用 FC」）5,530kW（事務所・店舗：2,450kW、病院：580kW、ホテル：2,500kW）と貯湯槽を設置し、電力需要追従（逆潮流なし）を前提にして、1年間を1時間毎に区切り、運転パターンを想定した（図 3-8～3-10）。電力の不足分には系統電力を用いることとし、排熱で不足する給湯・暖房需要には水素ボイラによる温水供給を行うこととした。なお、厨房は IH コンロに置き換えられるものと考え、電力需要に含めることとした。

図 3-8 事務所・店舗における業務用 FC 運転パターン（冬期）

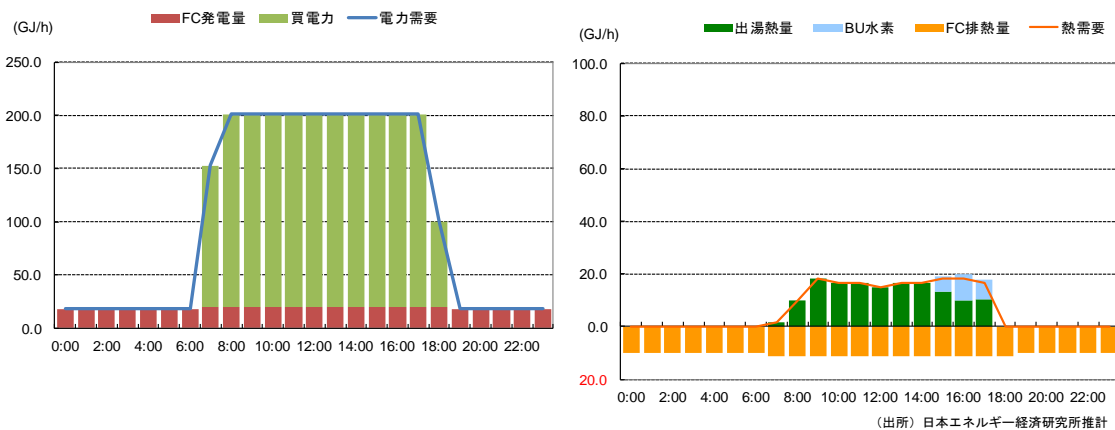
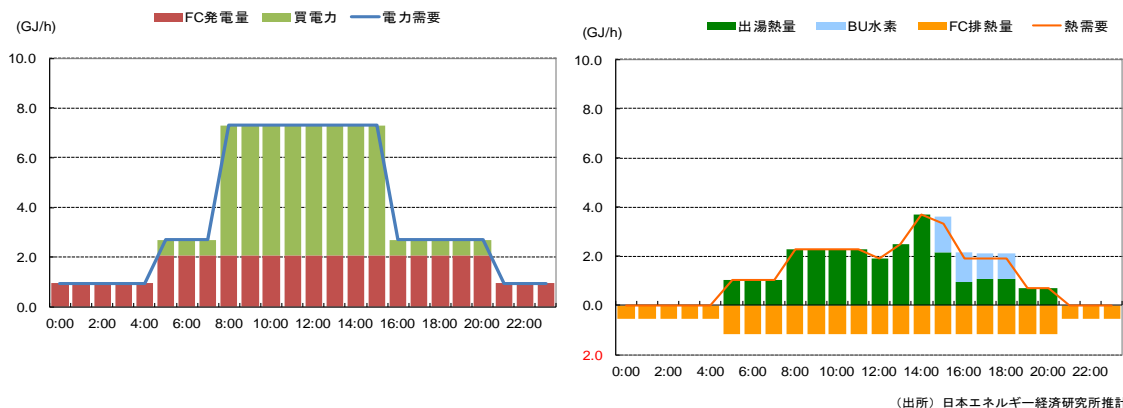
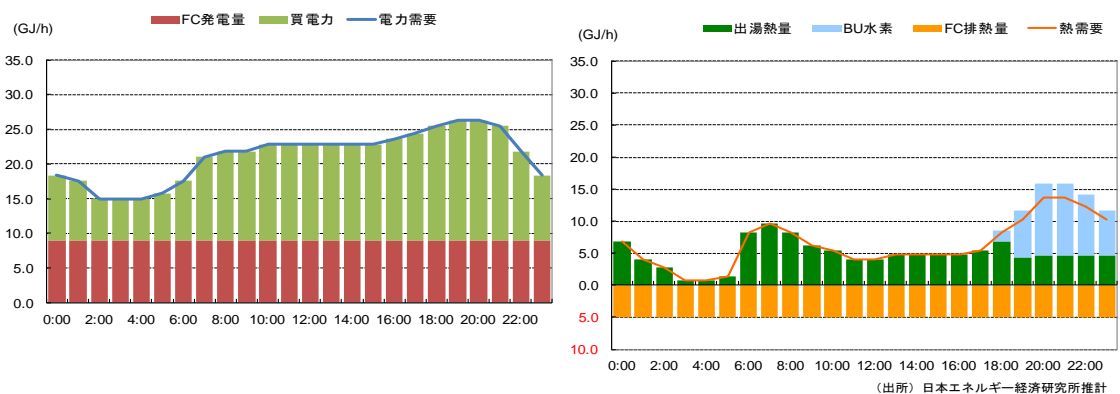


図 3-9 病院における業務用 FC 運転パターン（冬期）



(出所) 日本エネルギー経済研究所推計

図 3-10 ホテルにおける業務用 FC 運転パターン（冬期）



(出所) 日本エネルギー経済研究所推計

注：左図（電力需要）：業務用 FC の発電量と系統電力の買電量を示す。

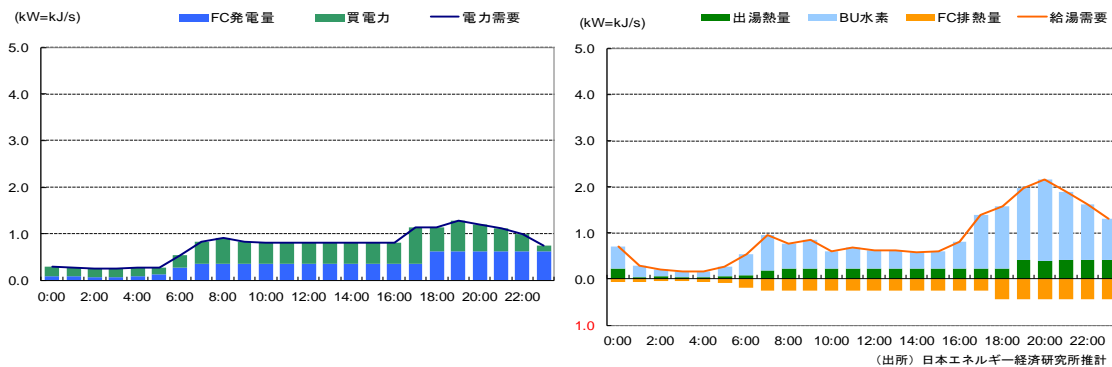
右図（熱需要）：業務用 FC の排熱利用（貯湯槽）からの出湯熱量と水素ボイラのバックアップ熱量を示す。

3.3.2 住宅施設

各世帯の利用機器には、家庭用定置型の純水素型燃料電池（以下、「家庭用 FC」）0.7kW と貯湯槽を設置し、電力需要追従（逆潮流なし）を前提に、1 年間で 1 時間毎に区切り、運転パターンを想定した。行政・商業等施設と同様に、電力の不足分には系統電力を用い、排熱で不足する給湯・暖房には水素ボイラによる温水供給を行うこととした。

以下では、冬期における典型的な 1 日のエネルギー需要および家庭用 FC の運転パターンを例示する。

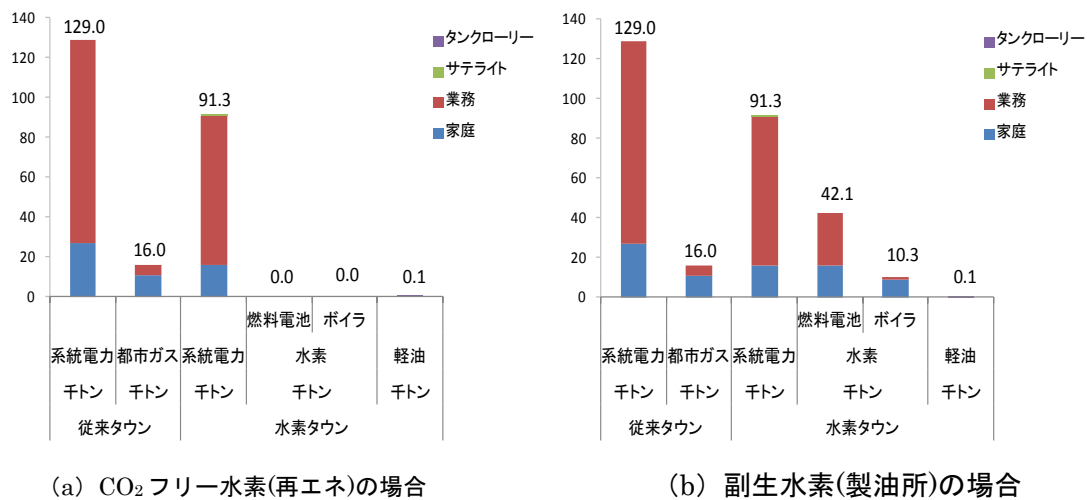
図 3-11 集合住宅における家庭用 FC 運転パターン (冬期)



3.4 従来タウンと水素タウンにおける CO₂ 排出量の比較

従来タウン及び水素タウンにおける CO₂ 排出量⁷の計算結果を図 3-12 に示す。従来タウンの場合 CO₂ 排出量は 145.0 千トンであるのに対し、水素タウンの場合、再生可能エネルギー起源の水素を利用すれば、排出量は 91.4 千トンとなり、従来タウンに対し約 37%の CO₂ 削減効果があることがわかる。一方、副生水素等を利用した場合⁸は、143.8 千トンとなり、従来タウンとほぼ同じ水準となり、CO₂ の削減効果はないことがわかる。

図 3-12 水素タウンの CO₂ 排出量



注：都市ガス及び石油は燃焼時の CO₂ 排出量。電力は発電時に排出される CO₂ 排出量を計上した (0.57kgCO₂/kWh (電気事業連合会公表 2012 年度使用端実数))。

(出所)日本エネルギー経済研究所作成

⁷再生可能エネルギー起源の水素は排出量 0、副生水素の場合は、製造時の CO₂ 排出量を計上した。

⁸製油所で軽質炭化水素 (メタンリッチ) を改質する時の CO₂ 排出量を計上したが、LPG やナフサを改質する場合には、CO₂ 排出量は従来タウンを上回る可能性がある。

4. 水素タウンの経済性を考える：費用便益分析

4.1 計算方法と前提条件

4.1.1 計算の考え方

(1) 国全体から見た費用便益

従来タウンから水素タウンへの転換に関する場合、一国全体を一つの投資単位として、国全体として見たシステムの転換に伴う投資採算性の評価尺度として、EIRR⁹でその**費用便益**を評価することができる。この際、個人ないし企業の範囲で考えれば、税金（キャッシュアウト）や補助金（キャッシュイン）は投資採算性（IRR）に大きな影響を与えるが、国全体で考えれば、税金や補助金は国内における付加価値の一部の移転に過ぎず、相殺されるので捨象することができる。

そのため、本研究における経済性評価では、ガソリンの揮発油税・石油石炭税、電気料金、都市ガス料金及び水素料金に含まれる税金、消費税、エネルギー機器や燃料に対する補助金については、予め控除する必要がある。

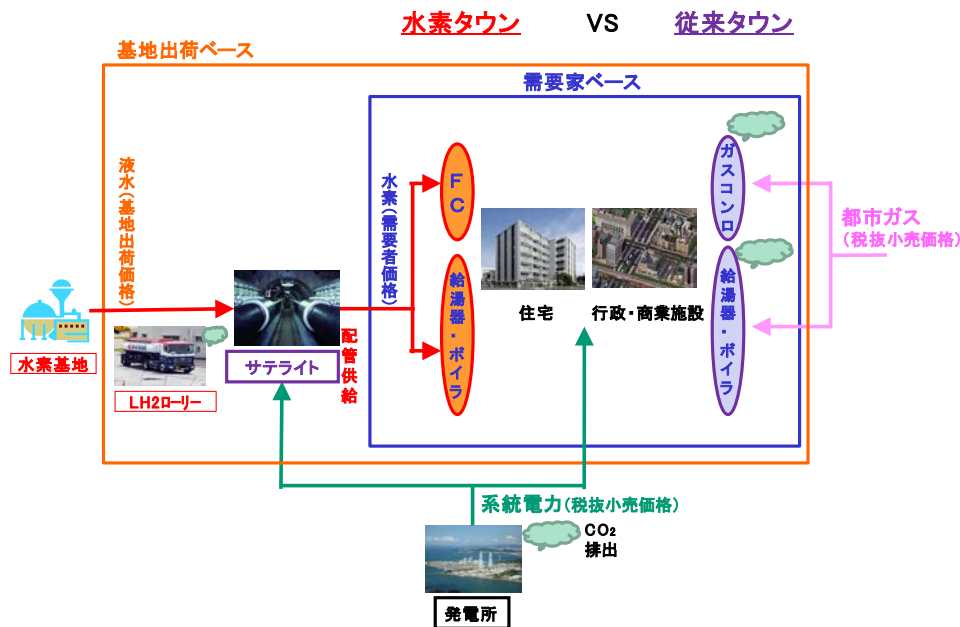
また、CO₂の排出の費用については、CO₂削減のために海外からCO₂排出権を取得する費用見合い(あるいはCO₂の地中貯蔵費用相当)と考え、エネルギーコストに追加されると考える。逆にいえば、CO₂の排出の費用を減らすことが「便益」ともなる。

(2) 計算のバウンダリーと水素価格の定義

図4-1に示すように、国全体で考える場合は、水素の輸入基地（あるいは国内製造所）から出荷して、最終需要家が水素利用機器を利用するまでの範囲が対象となる（図中では基地出荷ベースの範囲）。一方、需要家ベースで考える場合は、水素の輸送やサテライト基地の運用などは対象外となる（図中では需要家ベースの範囲）。水素の購入価格は、前者の場合は、輸入基地からの出荷価格となり、後者の場合は、水素の国内供給事業者からの水素配管渡し（需要家口）の価格となる。

⁹ EIRR : Economic Internal Rate of Return

図 4-1 バウンダリーと水素価格の定義



(出所)日本エネルギー経済研究所作成

(3) 計算方法

投資採算性 (EIRR) は、水素タウン導入に関する費用・便益¹⁰ (キャッシュ・フロー) を計算して算出されることになるが、逆に、投資採算性のある基準に設定 (固定) して、水素の購入価格 (上限価格) を逆算で求める (バックキャスト) こともできる。具体的には、下記の式(4.1)で示されている純現在価値 (Net Present Value : NPV) が 0 になるときの水素価格が、購入 (上限) 価格となる。

$$\text{純現在価値 NPV} = \sum_{i=0}^N \frac{Bi - Ci}{(1+r)^i} \quad (4.1)$$

B_i : i 年の収入 C_i : i 年の支出

r : 割引率 N : 評価期間

(注) 割引率¹¹: 5%、計算期間¹²: 機器の耐用年数を採用

4.1.2 計算の前提条件

(1) エネルギー価格

表 4-1 では、水素タウンのエネルギーシステムと従来システムとの経済性を比較するため、系統電力、都市ガス、軽油の主要エネルギー価格を部門別に税抜で示している。電気およ

¹⁰ 従来タウンの費用が回避コスト(便益)として計上される。

¹¹ 国全体で考える場合は「社会的割引率」となるので 3%~5%程度が妥当と思われる。

¹² 計算期間後もインフラ、機器などが継続して利用され、支出と費用が発生する場合もあるが、割引後の現在価値が小さく、NPV の計算結果に大きな影響を与えないので、一般的に省略される。

び都市ガスの料金体系では、家庭用の価格は最も高く、需要量が多い業務用の価格は家庭用より安く、大規模な需要家が多い産業用の価格は最も低くなる。

表 4-1 主要エネルギー価格（税抜）

	系統電力 円/kWh	都市ガス 円/Nm ³	軽油 円/L
家庭用	24	170	97
業務用	21	95	
産業用	14	63	

(出所)日本エネルギー経済研究所作成

(2) エネルギーシステムのコスト

従来タウンのエネルギーシステムでは、この都市に対して系統電力と都市ガスが供給される。電力は業務用と家庭用の照明、動力、冷暖房用途に利用され、都市ガスは暖房、給湯と厨房用途に供給される。系統電力と都市ガスのインフラ以外に、最終需要家の主なエネルギー利用機器には業務用の給湯器・ボイラ、家庭用の給湯器・コンロを想定している。都市ガス・LPG改質型燃料電池は想定していない。

一方、水素タウンのエネルギーシステムでは、純水素型燃料電池および系統電力の電力が業務用と家庭用の照明、動力、冷暖房用途に供給される。また、暖房、給湯用途には燃料電池の排熱が優先的に供給され、不足する熱需要には水素ボイラによる温水供給が用いられる。ただし、厨房ではガスコンロがIHコンロに置き換わると想定しているため、厨房用途には電力が利用される。

水素は、生産・輸入基地などから水素用タンクローリーで水素サテライト基地まで運ばれ、そこから個別の需要家に水素配管(域内)で供給される。

表 4-2 水素供給インフラの概略

水素配管	総延長 30km
水素サテライト	100kl タンク 2 基、気化装置 1 基
水素運搬タンクローリー	タンクローリー車 4 台 最大積載容積 23kL、走行燃費 5km/L、 1 日当たり運搬回数 2 回、1 回当たり走行距離 50km

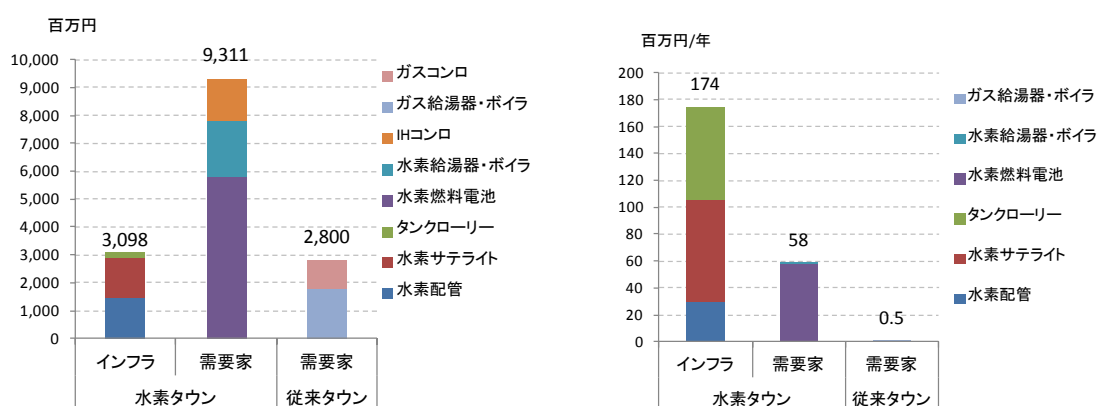
(出所)日本エネルギー経済研究所作成

同等の経済的便益、エネルギーサービスを提供するにあたり、比較対象である従来タウンのコストには住宅、業務ビルにおけるガスコンロ、給湯器・ボイラなどの末端エネルギー機器の購入、運転・維持コスト、既存の電力系統とパイプラインなどのインフラで供給される電力、都市ガスなどのコスト(税抜の電気、都市ガス料金)が含まれる。競合する水素

タウンのコストには、まず、需要家における純水素型燃料電池、水素給湯器・ボイラなどの末端水素利用機器の購入、運転・維持コストがある。そして、需要家まで水素を持ってくるために、水素の生産・輸入基地からサテライトまで液体水素を運ぶ水素タンクローリー、水素サテライト、サテライトから需要家までのパイプラインの建設・購入、運転・維持コストがかかる。そして、CO₂ 排出に費用が発生する場合、エネルギー供給と利用の各段階のコストには関連の CO₂ 排出コストが追加される。

図 4-2、図 4-3 に従来タウンと水素タウンの各種機器、施設の購入・建設、運転・維持コストを示した¹³。

図 4-2 水素タウン全体の初期投資コスト 図 4-3 水素タウン全体の運転維持コスト



(出所)日本エネルギー経済研究所作成

4.2 試算結果

4.2.1 水素価格の算出

(1) 水素の基地出荷価格

水素タウン全体で見た場合、水素タウンの経済的コストには、需要家における各種の水素利用機器などのコストのほかに、需要家へ水素を供給するためのタンクローリー、水素サテライト、域内の水素配管の建設、運営コストなどのインフラコストが含まれている。従来タウンと同等の経済性を達成するために、水素基地から調達する水素価格の上限値をここでは基地出荷価格と呼ぶ(図 4-1 参照)。

本研究では、図 4-2、図 4-3 で示した各種コスト、4.1.2 で電力と都市ガス価格などを前提に、IRR を 5%で、水素供給インフラの耐用年数などを考慮して、キャッシュ・フローの

¹³ 水素配管の建設コストは 49.5 百万円/km ; 水素サテライトの建設コストは 1,413 百万円、運転維持費は 77 百万円/年; 水素運搬タンクローリーは 50 百万円/台; 純水素 FC は家庭用で 50 万円/kW(1 基 0.7kW)、業務用で 42 万円/kW ; 水素給湯器は 20 万円/台、IH コンロは 15 万円/台、ガス給湯器は 18 万円/台、ガスコンロは 10 万円/台。水素配管、サテライトの寿命は 30 年、タンクローリー、FC などの機器の寿命はすべて 10 年とする。

計算期間を20年とし、求められる水素の基地出荷価格は20.8円/Nm³となる。

(2) 水素の需要者価格¹⁴

エネルギーを最終的に消費する需要家ベースで見た場合、同等のエネルギーサービスを享受するために、水素タウンと従来タウンにおける経済的コストは、需要家が負担する各種機器の初期投資コストと運転維持コスト、そしてエネルギーの購入コストで、上述のインフラコストが対象外となる。

4.1.2で示した計算前提の電力と都市ガス価格、図4-2、4-3で示した需要家での各種コスト等をもとに、評価期間20年、EIRR5%でキャッシュ・フロー計算による計算結果では、需要家から求められる水素価格の上限は29.3円/Nm³である。

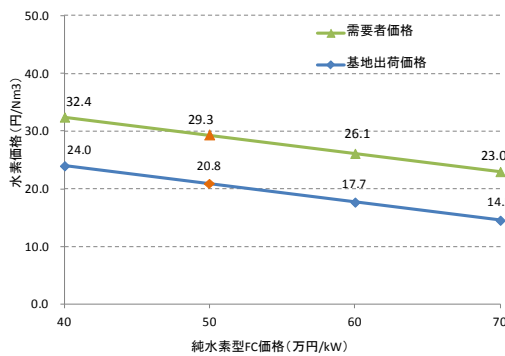
4.2.2 水素価格の感度分析

上記で算出された需要サイドから求められる水素価格（基地出荷価格、需要者価格）は水素システムの機器コスト、建設コストによって影響される。また、電力、都市ガスの料金の水準によって、比較対象の従来タウンと同等以上の経済を獲得するための水素需要価格も異なってくる。さらに、CO₂排出に費用が発生する場合、エネルギー供給システムの各段階のコストには関連のCO₂排出コストが追加され、水素タウンと従来タウンが同等の経済性を達成するための水素価格もそれに応じて変化する。

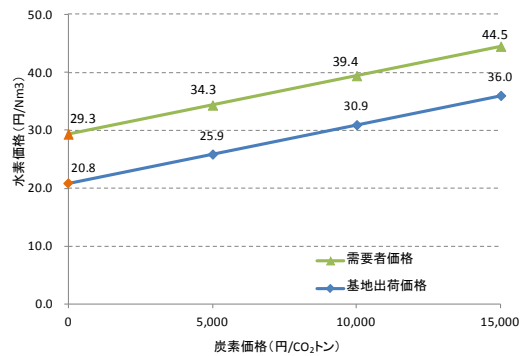
下図にFC価格、インフラコスト、電気料金、炭素価格の変化が水素価格に与える影響を示した。FC価格が10万円/kW下がると、水素価格が約3.1円/Nm³上昇する。炭素価格が5,000円/CO₂トン上がると、水素価格が約5円/Nm³上昇する。電気料金が10%上昇すれば、水素価格が約2.7円/Nm³上昇する。需要家ベースで見た水素の需要者価格はインフラのコストの変化に影響されないが、サテライト・配管のコストが20%下がると、基地出荷価格は約1.1円/Nm³上昇する。

¹⁴ 従来タウンと同等の経済を達成するために需要家ベースで見た水素価格の上限値（図4-1参照）。

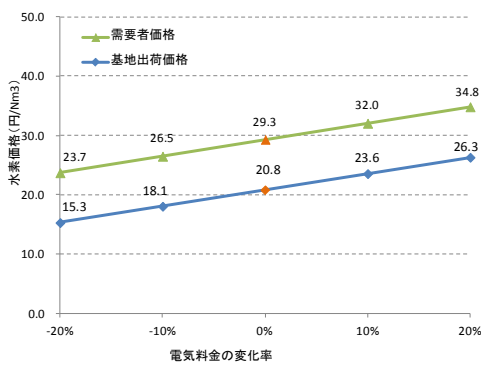
図 4-4 水素価格の感度分析の結果



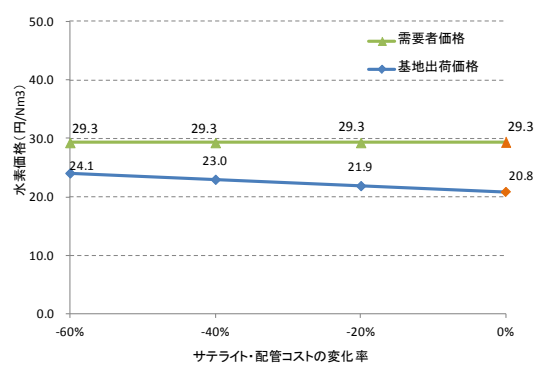
(a) 水素価格と純水素型 FC 価格



(b) 水素価格と炭素価格



(c) 水素価格と電気料金



(d) 水素価格とインフラコスト

(出所)日本エネルギー経済研究所作成

5. 水素タウンの可能性を考える

■ 経済性

4.2.1 で示したように、水素価格の上限価格は、炭素価格を設定しない場合、基地出荷ベースで 20.8 円/Nm³、需要家ベースで 29.3 円/Nm³となった。但し、4.2.2 の感度分析で示したように、純水素型燃料電池のシステム価格、水素のサテライト関係コスト、競合エネルギーとの相対価格差など、様々な要因によって変化する。

オーストラリアの褐炭からの水素製造の場合の我が国への輸入を想定した場合、CIF 価格で 30 円/Nm³ で供給可能という試算結果¹⁵があるが、基地経費を捨象しても、約 10 円の逆ざやが存在し、経済的な合理性が成立するには、現状では厳しいことが分かる。但し、

¹⁵ 「国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト、クリーンコール技術に関する基盤的国際共同研究、低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム（水素チェーンモデル）の実現可能性に関する調査研究」（平成 24 年 4 月、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）による。また、鉄鋼や石油精製における国内副生水素は、原油価格や石炭価格にも依存するが、20 円～40 円/Nm³ で供給可能との試算（水素・燃料電池戦略協議会）もある。

今後、水素関連技術の開発が大きく進展し、大幅なコストの低減が実現する一方、化石燃料価格の高騰や、国全体としての CO₂ 排出量の大幅削減が必要となる（高い炭素価格が生じる）シナリオも考えられ、その場合には、水素タウンの経済性が大幅に改善する可能性が高くなる。

また忘れてならないことは、水素タウン建設による投資効果や、水素タウンの普及にともなう「水素ビジネス」の登場と、それによる日本の産業構造の変化と経済波及効果といった、マクロ経済におけるプラスの効果¹⁶を勘案することも、「経済性を論じる」際の重要なポイントとなろう。

■ 多様なエネルギー源の活用

一方、水素の国内流通コスト削減も重要な課題となる。そこで、解決策の一つとして、水素元来の特長である製造源の多様性に注目して、地域特有のエネルギー資源から水素を製造し、当該地域における水素タウンに供給することにより、流通コストを削減する仕組みが挙げられる。国内の地域特有のエネルギーには、太陽光、風力、バイオマス、下水、廃棄物等が挙げられる。低炭素な水素製造やエネルギーセキュリティーの改善という観点からは、長期的にはこれらの再生可能エネルギーの利用が求められるものの、副生水素や化石燃料からの改質水素は水素需要を創生する意味でも過渡期の水素供給源として期待される。また、地域特有のエネルギーから製造された水素が供給される水素タウンは、分散型エネルギーネットワークを形成することから、災害等に対するレジリエンスも有する。

■ 地方再生とまちづくりに向けて

高度成長期に建設されたインフラは、凡そ 50 年が経過し、大規模な更新の時期がせまりつつある。また、地方都市や都市郊外では、都市インフラ機能の老朽化の課題とともに、今後も少子高齢化の進行が懸念されている。例えば、高度成長期に建設された大都市郊外の大規模団地では、住宅の経年劣化や商業施設の撤退など都市機能インフラの老朽化と合わせて、若年層の流出や住民の高齢化の進行に伴うコミュニティの崩壊も課題となっている。

インフラ更新が必要な地域に地産地消型の水素タウンを導入することによって、地域活性化も期待され、地場産業創造や雇用創出によってコミュニティの再生につながる可能性もある。新たなインフラの選択肢は数多くあるが、地産地消型の水素を核としたインフラの検討は、今後更に深刻化する少子高齢化や地域産業の地盤沈下などに直面する地方都市のまちづくりを考える契機となるかもしれない。

少子高齢化、産業空洞化、地域再生などは我が国のみならず欧州を中心とした先進国が直面している課題である。我が国が水素を活用した地域活性化を実現できれば、これらの

¹⁶ 水素関連産業の登場と定着により、日本の産業構造（投入産出）が変化するので、定量的な議論は I/O モデルを利用する必要がある。

国に対して先進事例となるであろう。また、今後、更地から構築することになる新興国における都市・地域開発に対して、環境性及び持続可能性に関して有益な示唆を与えるものと考えられる。

(最後に)

水素関連の研究・調査に関しては、様々な研究機関の方々と一緒にする機会も多く、貴重なアイデアやアドバイスを頂くことが少なくない。本稿においては、こうしたアドバイスから得たヒントが出発点になっている面も多く、そうした方々に対し、改めて御礼を申し上げたい。最後に、本稿の内容に関しては、その一切の責任は、本稿を執筆した日本エネルギー経済研究所の研究員のみを帰することを述べておく。

参考文献

- [1] 経済産業省「水素・燃料電池戦略協議会ロードマップ」(2014年6月,2016年3月)
- [2] 水素・燃料電池戦略協議会第5回ワーキンググループ資料
- [3] 国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト,クリーンコール技術に関する基盤的国際共同研究,“低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム(水素チェーンモデル)の実現可能性に関する調査研究”,平成24年4月,独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
- [4] “水素需給の現状と将来見通しに関する検討”,平成25年2月,独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
- [5] ”水素社会における水素供給者のビジネスモデルと石油産業の位置付けに関する調査報告書”,石油産業活性化センター,平成15年
- [6] 「コージェネレーション総合マニュアル」(日本コージェネレーションセンター)
- [7] 柴田,“燃料電池、太陽光発電、蓄電池から構成される家庭用分散型エネルギーシステムの経済性分析”,2012年9月,エネルギー経済
- [8] 川上,“定置用燃料電池の最適運用に関する考察”,p.257-260,第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集,2015年1月
- [9] 東京ガスホームページ (<http://www.tokyo-gas.co.jp/env/future/category01.html>)
- [10] 東芝ホームページ (http://www.toshiba.co.jp/newenergy/products/fc/index_j.htm)
- [11] 「サステナブル社会の建築とまちづくり」JGCC シンポジウム,2013年,NPO法人文化日独コミュニティー
- [12] 平井,“水素を考える”,PETROTEC,2015年9月,VOL.38 NO.9