

私の政策提言

水素エネルギー普及に向けた国際施策の検討—「水素都市」の輸出—

東京大学公共政策大学院 高尾 珠樹

## 序章 はじめに

わが国のエネルギー供給には、いくつかの課題がある。第1に、地球環境問題である。化石燃料は、燃焼過程で温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を排出し、これが人為的な地球温暖化の主要な原因となっている。<sup>1</sup>2015年の気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)で採択されたパリ協定によって、世界各国は温室効果ガスの人為的排出を削減することに合意した。<sup>2</sup>地球温暖化対策に積極的に取り組むわが国としては、化石燃料の使用は温室効果ガス削減という観点からは逆行するものになる。

第2に、安全保障の問題である。現在主要なエネルギー資源は化石燃料であり、石油やガスが主流である。他方、これらの多くは中東やロシアといった国・地域から供給されており、国際政治上のリスクがある。

第3に、資源の問題である。石油、天然ガス、あるいは原子力発電に使用するウランといった資源は、依然多量にあるとはいえ、いずれ枯渇するエネルギー資源である。世界各国が経済発展をすすめエネルギー需要が高まる中で、有限の資源をめぐる争いは加速し、獲得は難しくなる。

よって、わが国は社会そして地球全体の安定、持続可能性という観点から、化石燃料に代わるエネルギーを国家の主要なエネルギーとすることが急務である。

本論文では、新たなエネルギーとして水素の活用について考察する。水素エネルギーが上記の問題に対する回答となりうる利点を有していることを論じたうえで、普及にあたっての問題点を検証するとともに、その解決策を提示することで、水素エネルギー普及に知的貢献することを目的としている。

## 第1章 水素エネルギーの利点

水素は、以下の特徴を有している。第1に、水素は宇宙にもっとも多く存在する元素であり、「質量では宇宙全体の約70%を占める」。<sup>3</sup>すなわち、水素は高い遍在性と、無数といってい

---

<sup>1</sup> 環境省『平成29年度版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書』(2017年6月)、p.114. Accessed 2017/08/30, [http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h29/pdf/2\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h29/pdf/2_1.pdf).

<sup>2</sup> 同上、pp34-35.

<sup>3</sup> 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構『NEDO水素エネルギー白書』(2015年2月)、p.3. Accessed 2017/08/31, <http://www.nedo.go.jp/content/100567362.pdf>.

いほどの資源量を有する。

第2に、水素をエネルギーとして燃焼させる場合、水素は酸素と反応し、水を発生させる。この際、化学反応においてCO<sub>2</sub>を発生させない。すなわち、水素はその使用において温室効果ガスを発生させない、カーボン・フリーなエネルギーであるという特徴を持つ。

第3に、水素は低炭素エネルギー源として安全性を有する。水素は可燃性を有する気体であり、安全性において問題を有するというイメージが強い。他方、水素はその軽さから高い拡散性を有するためいわゆる「大爆発」といった事態は引き起こしにくい。<sup>4</sup>また、希薄な水素の危険性も、天然ガスやガソリンと同量の漏洩での発火では、火炎の大きさは同程度であり、危険性に大きな差はない。<sup>5</sup>

以上の特徴は、わが国エネルギー政策における基本的視点である3E+S(安全性、エネルギーの安定供給、経済的効率性、環境への適合)の多くを満たす。<sup>6</sup>

他方、水素を生成する手法によっては、水素エネルギーは完全にカーボン・フリーとならない。水素は1次エネルギーを用いて生成する必要があるが、生成方法として、石炭ガス化、天然ガス改質、再生可能エネルギーによる電気分解等がある。<sup>7</sup>これらのうち、石炭ガス化、天然ガス変質による水素生成はCO<sub>2</sub>を発生させるため、カーボン・フリーではなくなる。水素をエネルギーとして利用する上での大きな意義が低炭素社会の実現にあるという点を踏まえると、再生可能エネルギーによる水素生成の普及が望まれる。

以上の点より、水素エネルギーは、再生可能エネルギーによって生成した場合、低炭素という点で環境に適合し、危険性が低く、資源量が無数であり国内で生産できることから安定供給性に優れるという利点を有する。水素エネルギーは、わが国が将来にわたって使用するエネルギー源として、大きな可能性を有するのである。

## 第2章 水素エネルギーの課題

---

<sup>4</sup> 三石洋之「水素・燃料電池自動車の安全性」『水素エネルギーシステム』Vol.36, No.3 (2011)、pp.15-16. Accessed 2017/09/04, <http://www.hess.jp/Search/data/36-03-014.pdf>.

<sup>5</sup> 同上、pp.17-19.

<sup>6</sup> 資源エネルギー庁『エネルギー基本計画』(2014年4月)、p.15. Accessed 2017/08/31, [http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/140411.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf).

<sup>7</sup> 小川幸裕「意義ある水素サプライチェーン構築に向けて」『知的資産創造』(2016年4月)、p.91. Accessed 2017/08/31, <https://www.nri.com/~media/PDF/jp/opinion/teiki/chitekishisan/cs201604/cs20160408.pdf>.

水素エネルギー普及にあたってはいくつかの課題がある。これらの課題の多くは、3E+Sのうちの経済的効率性に関わる。

本論文では再生可能エネルギーを用いて水素を生成するグリーン水素の利用を考えているため、グリーン水素が有するエネルギー生産量の不安定性が第1の課題である。グリーン水素は、風力や太陽光などの再生可能エネルギー源を用いて、水を電気分解し水素を生成する。したがって、電力が必要であり、その電力生成過程は従来の再生可能エネルギーによる発電と同じである。そして、風力や太陽光などのシステムは、どの地域でも導入しやすいという点で再生可能エネルギーとして主流である一方、発電量は天候に左右されるため、風力や太陽光による発電は電力量が不安定になる。<sup>8</sup>よって、電力需要を満たせない、あるいは過剰に供給してしまうという不安定性がある。電力を水素に変換する場合、水素貯蔵技術によって過剰生産の問題を解消することができ、貯蔵によって過小供給にある程度対応することも可能である。しかし、不安定性そのものがなくなるわけではなく、供給先のシステム全体での対策が必要になる。

第2に、水素輸送の費用が高額になるという問題がある。生成した水素を各家庭や工場、水素ステーションなどに輸送する方法は、トラックで輸送する、あるいはパイプラインに水素を気体のまま流し輸送する、といった方法がある。<sup>9</sup>これらの方法のうち、トラックによる陸上輸送は、エネルギー効率が現時点では低く、技術面での改善が求められる。パイプラインの利用については、わが国は天然ガスパイプライン網が整備されておらず、ガスパイプライン敷設のコストが必要とされる。<sup>10</sup>

第3に、水素エネルギーシステム全体の需要と供給のバランスが不安定であるという問題がある。すなわち、「鶏が先か、卵が先か」という問題である。水素エネルギーは新しい技術であり、水素生成技術が発展途上であるのはもちろん、水素を利用する製品の開発も発展途上であり、数も多くはない。他方で、水素エネルギーシステムは、生産と使用の双方があって成り立つものである。この点、水素を利用した製品は依然高額で、普及の障壁になっている。具体的な商品の例として、家庭用燃料電池(エネファーム)、燃料電池車(FCV: Full Cell Vehicle)があり、特にFCVの価格は課題となる。FCVの例としてトヨタのMIRAIがあるが、こ

---

<sup>8</sup> 関西電力「再生可能エネルギーの課題」Accessed 2017/09/02, [http://www.kepcoco.jp/energy\\_supply/energy/newenergy/about/task.html](http://www.kepcoco.jp/energy_supply/energy/newenergy/about/task.html).

<sup>9</sup> 同上、pp.19-25.

<sup>10</sup> 柴田善朗「我が国における Power to Gas の可能性」一般財団法人日本エネルギー経済研究所(2015年12月)、pp.10-13. Accessed 2017/08/31, <https://eneken.ieej.or.jp/data/6442.pdf>.

れの希望小売価格は約 700 万円であり、<sup>11</sup>一般的な車の価格に比べ高額であり、普及の障害となっている。また、燃料を補給水素ステーションについても、1 基あたり設置費用が 4～5 億円かかるといわれており、高額なインフラコストがかかる。<sup>12</sup>高額で広範囲の普及が難しい水素ステーションが不可欠であり、本体が高額である FCV は一般消費者への普及が難しい。他方、こういった製品が普及しないことには、水素を生成する意義が低く、生産も普及しない。

第 4 に、水素エネルギーシステムの国際規格がまだ発展途上であるという問題がある。水素を普及させるためには、国際的な展開が求められる。そのためには、各企業、各国で技術標準の統一が必要となる。この国際的な標準化は国際標準化機構(ISO: International Organization for Standardization)で決定される。現在、水の電気分解による水素生成などいくつかの技術は国際標準化されているが、水素ステーション技術など協議中の分野が多い。<sup>13</sup>すなわち、企業は水素技術の開発段階で、国際規格というリスクを負うこととなる。自社が開発していた規格が、国際規格にならなかった場合、その企業は技術・市場シェアの面で大きく損失を被る。国の政策として規格が未統一の技術を推進しようとする場合、企業が負うこうしたリスクを考慮する必要がある。

### 第 3 章 政策提言

以上の点より、私は政策提言として、「『水素都市』の海外輸出」政策を提案する。これは、再生可能エネルギーを用いて生成されるグリーン水素によって各種のインフラが機能する小規模都市「水素都市」を、海外に開発援助という形態で展開、発展させる政策である。

この政策は、上述したグリーン水素エネルギーが有する各種課題を解消または補てんし、技術の発展と海外展開を同時に実現することで、水素エネルギーシステムの普及に寄与する。第 1 に、再生可能エネルギーのエネルギー生産量の不安定性という問題については、開発する都市が小規模であるため、必要なエネルギー量の予測が立てやすく、再生可能エネルギーによって対応しやすい。エネルギー施設 1 つあたりが対応する人口あるいは工場など

---

<sup>11</sup> トヨタ「MIRAI」. Accessed 2017/08/31, <http://toyota.jp/mirai/>.

<sup>12</sup> 日本経済新聞「ホンダなどが小型水素ステーションコスト 10 分の 1 に」(2014 年 9 月 20 日) Accessed 2017/08/31, <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO77287560Z10C14A9000000/>.

<sup>13</sup> 小関記「水素技術の国際標準化情報」一般社団法人燃料電池開発情報センター(2017 年 7 月) Accessed 2017/09/04, <http://www.fcdic.com/ja/kokusai-std/h2.pdf>.

の施設の数が少なければ、それらが需要するエネルギー量の変動幅は小さくなり、天候などによってエネルギー生成量の変動する再生可能エネルギーでも、水素貯蔵施設と合わせて稼働させることで、過不足なく対応できる。小規模の再生可能エネルギーによる水素を活用するシステムの例として、京浜臨海部で風力発電によって水素を生成・貯蔵し、これを臨海部の工場や倉庫等で使用する燃料電池フォークリフトのエネルギーとして活用するプロジェクトが進められている。<sup>14</sup>工場にとどまらず、公共交通、住宅へのエネルギーを水素による供給に拡大させる「水素都市」は、再生可能エネルギーの不安定性を補てんする。

第 2 に、輸送コストの問題であるが、「水素都市」は小規模での開発を目指すものであるため、低費用で水素を必要な場所に供給することができる。加えて、小規模であるため、ガスパイプラインのような大規模インフラを建設する必要性は低く、水素輸送車によって輸送を賄える。同時に「水素都市」が、山間部などパイプラインを敷設しづらい地域でも実現しやすいという利点がある。

第 3 に、需要供給バランスの問題、すなわち「鶏が先か、卵が先か」という問題については、都市としてパッケージの形で開発を行うため、供給サイドである水素生成と需要サイドである FCV など各種アセットを過不足なく配置、稼働することができる。これによって、施設や製品を生産する企業、購入・使用する個人が水素社会に参画しやすくなる。

第 4 に、水素エネルギー、水素社会のシステム規格が未成熟であるという問題については、わが国が率先して海外に水素システムを展開する同政策によって、わが国の水素システムを国際的に普及させることができる。したがって、同政策の推進によって、わが国のシステムを国際規格として確立しやすくなるのである。この点を強調することで、新しい技術である水素システムに企業が参画する際の懸念事項となる、技術規格の課題を解消することができる。

他方、同政策の推進は再生可能エネルギーシステム、都市インフラなど様々なものをパッケージとして輸出する必要があるものであり、既存のわが国の環境開発支援制度である二国間クレジット制度(JCM: Joint Crediting Mechanism)では、同政策を実施することは不十分である。<sup>15</sup>同制度は、現状では環境省、経済産業省が事業を所管しているが、それぞれが別個に事業を締結しているため、エネルギー施設の導入、電気自動車など各種アセット導入

---

<sup>14</sup> 環境省「京浜臨海部での低炭素水素活用実証」(2017年7月) Accessed 2017/08/31, <http://www.env.go.jp/press/files/jp/106396.pdf>.

<sup>15</sup> JCM 制度については、以下を参照。新メカニズム情報プラットフォーム「JCM の基本コンセプト」 Accessed 2017/08/31, <http://www.mmechanisms.org/initiatives/jcm.html>.

の事業が独立している。<sup>16</sup>しかし、「水素都市」は水素エネルギーの生成・利用、さらには都市インフラ全体の開発を同時に行う必要がある。したがって、環境省・経済産業省さらには国土交通省などが省庁横断的に、合同・連携して1つの事業を実施するべきである。

## 終章 まとめ

本論文では水素エネルギーの特徴と普及にあたっての課題を分析し、課題を解決するための政策として、海外での「水素都市」開発を提言した。水素の欠点を補てんし、技術の発展と水素の海外普及を同時に行う同政策は、わが国と世界の水素普及に寄与する。他方、都市条件が異なる海外に水素インフラを展開した場合、どの程度わが国に還元できるかという点については、政策事業決定時の評価基準にする必要があるだろう。

エネルギーをいかに安定して確保し続けるかという問題は、産業革命以来わが国が抱える課題であり、エネルギー資源枯渇と温室効果ガスという問題は、現代国際社会が抱える最大の課題の1つである。水素エネルギーはこれら問題に対する解決策となる一方、その普及にあたっては産学官及び多国間の連携が不可欠である。同時に、水素エネルギーの研究開発で先行するわが国が今後同分野で果たしうる役割は大きく、<sup>17</sup>制度・技術・経済的課題を解決しつつ、水素エネルギー普及を推進していくべきである。

(4905 文字: 注釈、表題除く)

---

<sup>16</sup> JCM による支援事業については下記を参照。新メカニズム情報プラットフォーム「JCM 支援事業・調査採択案件一覧」Accessed 2017/09/02,  
<http://www.mmechanisms.org/support/adoption.html>.

<sup>17</sup> 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構『NEDO 水素エネルギー白書』pp.8-10.

## 参考文献

### 1. 論文

小川幸裕「意義ある水素サプライチェーン構築に向けて」『知的資産創造』(2016年4月) pp.88-99. Accessed 2017/08/31, <https://www.nri.com/~media/PDF/jp/opinion/teiki/chitekishisan/cs201604/cs20160408.pdf>.

小関記「水素技術の国際標準化情報」一般社団法人燃料電池開発情報センター(2017年7月). Accessed 2017/09/04, <http://www.fcdic.com/ja/kokusai-std/h2.pdf>.

柴田善朗「我が国における Power to Gas の可能性」一般財団法人日本エネルギー経済研究所(2015年12月). Accessed 2017/08/31, <https://eneken.ieej.or.jp/data/6442.pdf>.

三石洋之「水素・燃料電池自動車の安全性」『水素エネルギーシステム』Vol.36, No.3(2011) pp.14-19. Accessed 2017/09/04, <http://www.hess.jp/Search/data/36-03-014.pdf>.

### 2. 政府文書

環境省「京浜臨海部での低炭素水素活用実証」(2017年7月). Accessed 2017/08/31, <http://www.env.go.jp/press/files/jp/106396.pdf>.

環境省『平成29年度版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書』(2017年6月). Accessed 2017/09/04, <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h29/>.

資源エネルギー庁『エネルギー基本計画』(2014年4月). Accessed 2017/08/31, [http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/140411.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf).

### 3. その他

関西電力「再生可能エネルギーの課題」  
Accessed 2017/09/02, [http://www.kepcoco.jp/energy\\_supply/energy/newenergy/about/task.html](http://www.kepcoco.jp/energy_supply/energy/newenergy/about/task.html).

新メカニズム情報プラットフォーム「JCMの基本コンセプト」Accessed 2017/08/31, <http://www.mmechanisms.org/initiatives/jcm.html>.

新メカニズム情報プラットフォーム「JCM支援事業・調査採択案件一覧」Accessed 2017/09/02, <http://www.mmechanisms.org/support/adoption.html>.

トヨタ「MIRAI」 Accessed 2017/08/31, <http://toyota.jp/mirai/>.

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構『NEDO 水素エネルギー白書』(2015年

2月). Accessed 2017/08/31, <http://www.nedo.go.jp/content/100567362.pdf>.

日本経済新聞「ホンダなどが小型水素ステーションコスト 10 分の 1 に」(2014 年 9 月 20 日).

Accessed 2017/08/31, [https://www.nikkei.com/article/](https://www.nikkei.com/article/DGXMZO77287560Z10C14A9000000/)

DGXMZO77287560Z10C14A9000000/.