

小型風力発電ビジネスの現状と課題

指導教授：瀬川 久志 教授

M515501 東 庸行

～目次～

はじめに

序章	ガイア理論と環境経済学
第1章	地球温暖化問題の現状
第2章	温暖化回避の切り札としての再生可能エネルギー
第3章	国内の再生可能エネルギーの現状
第4章	風力発電の課題と現状
第5章	ビジネス展開の課題と展望
結論	

はじめに

本論文においては、ビジネス現場における筆者の長年のビジネス経験を踏まえつつ、三重大学名誉教授・清水幸丸博士、東海学園大学経営学部・瀬川久志博士、(株)CW社の協力を得ながら、国内小型風力発電のビジネス展開における普及可能性の解明を、環境経済学的な観点から考察した。具体的には、地球環境問題解明の前提となるガイア理論を概観し、環境経済学的に見た再生可能エネルギーの重要性を指摘した上で、現在の小型風力発電普及の阻害要因として4点を挙げ、その対策を検討した。

更に、今後新たなエネルギー・モデルとして最も期待されているものの一つである水素社会への小型風力発電システムの貢献の可能性を検証した。ここでは、小型風力発電と水素発生装置を組み合わせ採算性の検討を行った。本論を展開する間に、先行研究を検討する。

小型風力発電ビジネスにおける先行研究としては、

- ① 松宮輝著「小型風車市場形成への国際努力」Journal of JSES Vol.38.No.4、2012年、
- ② 牛山泉著「風力発電の歴史・その12～世界の小型風力発電機の歴史」Journal of JSES Vol.37.No.6、2011年、
- ③ 牛山泉著「市街地への小型風力発電設備の導入とその課題」(社)日本風力エネルギー協会『風力エネルギー』Vol.27、2011年1月、
- ④ 赤星貞夫著「小型風車の認証制度について」Journal of JSES Vol.38.No.4、2012年、
- ⑤ 株式会社富士キメラ総研「固定価格買取制度で注目される小型風力発電市場の課題と展望」環境マーケティングレポート4月号、2015年、
- ⑥ 友國勉著「小型風車認証制度とラベリングの概要」Journal of JSES Vol.38.No.4 2012年、

の6論文が発表されているが、いずれも実務、市場調査、技術ノウハウの域を出ず、アカデミックな観点からの先行研究は、いまだ行われていない。

サイニー (CiNii) での検索は上述の6件、サイエンスダイレクト (science direct) の検索でも上述のジャンルの発表があるのみで、国際的にも学術的研究に相当する研

究はない。また、Google Scholar によって small wind turbine business で検索すると 17,700 件をヒットする。この中から上位 100 件を見ると大型風力発電がほとんどを占め、小型風力発電についても調査報告、実務書のみであった。

序章 ギア理論と環境経済学

イギリスの著名な地球生命学・地質学（化学）者であるジェームス・ラブロックは、著書である『ガイアの時代』、『地球生命圏』において、地球が人類の干渉によって末期的状況であると結論づけている。『ガイアの時代』の中では、ラブロックが独自のガイア理論を展開しており、その中核となる、デイズワールド理論、地球生命体理論を用いて、様々な諸条件の仮説検証を行っている。その中で最も重要な結論として、地球がひとつの生命体であることを証明している。また同時に、産業革命以降に人類が行ってきた様々な経済活動（化石燃料の大量消費や、森林の伐採、農地の拡大など）により地球というひとつの生命体を人類が死に追いやろうとしていることを、様々なデータを用いて証明している。

ラブロックはガイア理論において、従来の生物地球化学モデルとの違いを立証するために、デイズワールド・モデル理論を構築した。デイズワールド理論とは、1982年にアムステルダムで開かれた生物鉱化に関する会議で説明し、ついで「テールズ」誌にアンドリュー・ワトソンと連名で「デイズワールドのたとえ」として論文発表されている¹。

デイズワールド理論の構築方法は、環境を温度という単一変数に、生物相はデイズ（ヒナギク）のみという単一種まで簡略化し、デイズの成育条件としては、摂氏 5 度以下ではデイズは育たず、最適温度は 20 度で、40 度を超えると枯れるとしている。

こうした条件下において、デイズの個体数を、理論生態学の微分方程式によってモデル化し、惑星の平均温度は、恒星から受ける熱と、輻射によって宇宙空間へ失われる熱との収支によって直接求めている。その結果として現行の物理学と生物学及び地球生理学の知見によって、恒星の熱出力の漸進的増大につれ、気温とデイズの育成がどう変遷してゆくかを示したものである。ラブロックが提唱するガイア理論では、以下の 1～4 のように地球像を提出している。

1. 生命は惑星大の現象であり、そのスケールにおいて生命は不滅に近く、再生産の必要はない。
2. 生物がひとつの惑星を部分的に占拠するということはありえない。環境を調節するには、惑星上に十分な数の生物が存在しなければならない。
生息数が不十分だと、物理化学的進化の抗し難い力によってその惑星は、じきに生息不可能になる。
3. これによりダーウィンの自然選択説についての解釈が変わり、ガイアは適応という概念の誤りに目を向けさせるものである。「他よりよく適応した生物のほうが多く

の子孫を残す可能性を持つ」いうのはもはや十分ではない。ある生物の生育がその物理化学環境に影響を与えることを補足する必要がある。

4. 理論生態学は拡張される。生物とその物理環境とを併せて、単一システムとして扱うことにより、はじめて数学的に安定し、しかも互いに競合する数多くの生物種を含んだ生態学的モデルを構築することができ、このようなモデルでは生物種の多様性が増大すればするほど調節機能が増すことになる。

これらの提唱から、様々な生物種を無分別に抹殺することへのわたしたちへの悪影響が説明でき、それが大変重大なことであるとしている。

葉の表面から膨大な量の水蒸気を蒸発させる能力を持つ樹木は、太陽光線を反射する白雲の覆いを提供して、湿潤熱帯の生態系と惑星そのものを涼しく保つ役目をはたしている。それを農地に変えてしまうと、全地球的影響をともなう地域的災害に拍車をかけるおそれがある。

地球生理学的に見た気候と大気の化学組成の変遷では、長い恒常期が大きな変化によって中断されるという見方ができる。われわれは、いまその長い安定期の一つの終わりに差し掛かっている。生命発生時には、太陽は今より暗く、過冷却が脅威であった。地球の中世にあたる原生代には太陽が程よい強さで照り、調節はほとんど不必要だった。しかしそれが熱してきた現在、地球温暖化による加熱が私たちを含む生命圏にとってますます大きな脅威となっていると結んでいる。

また、アメリカの環境経済学者である、レスター・ブラウンは、その著書『プランB』において、現在のエネルギー政策の転換を早急に図らねば、地球が壊滅的状况に陥ると語ると共に、その解決策を提示している。

『プランB』の提言は多岐にわたるが、現在の世界環境を人口問題、農地食料問題、水問題と地球温暖化問題を絡めて具体的な数値（人口、面積、水量、温度等）を示しながら大変分かりやすく説明している。また、その解決策についても具体的な数値根拠と近年の各国の先端的な取り組みを事例として挙げて例示している。とりわけエネルギー政策の転換と再生可能エネルギー政策の推進を解決策の最重要施策としてあげている。

エネルギー政策の転換については、省エネルギー政策の推進として、高効率照明、スマート家電、エネルギー効率の高い建築物の推進によるカーボンニュートラルの実現、交通革命（ハイブリット車、電気自動車等）及びスマートグリッドの活用などを挙げている。再生可能エネルギー政策としては、風力、太陽光・熱、地熱、バイオマス、潮力、水力での発電の促進を挙げている。

両氏ともにその著書で最重要課題に挙げているのは、再生可能エネルギーの活用である。

第1章 地球温暖化問題の現状

序章でも述べた通り、特に産業革命以降の人類の活動により地球環境が大幅に且つ

急速に悪化し始めている。その最も大きな原因の一つである地球温暖化について、その原因と影響について以下にまとめた。

第1節 地球温暖化とは

地球の表層は、窒素や酸素などの様々な物質からなる大気で構成されている。地球に届く太陽光は、地表での反射や輻射熱となって、最終的に宇宙に放出される。しかしながら、大気が存在するため、急激な気温の変化が緩和されてきた。大気中の二酸化炭素は、約 0.04%程度とごくわずかな量であるが、地表面から放射される熱を吸収し、地表面に再放射する機能をはたしており、地球の平均気温を 14℃程度に保つのに大きな貢献をしている。こうした気体は温室効果ガスと呼ばれ、このような気体があれば、地球の平均気温は-19℃程度となり、氷に覆われた世界になってしまう。

18世紀後半頃に始まった産業革命に伴い、人類は石炭や石油など化石燃料を、経済の発展のために大量消費するようになり、大気中の二酸化炭素の量は、産業革命前（1750年頃）と比べて、40%程の飛躍的な増加を示している。二酸化炭素の排出量と地上の世界平均気温の上昇変化は、おおむね比例関係にあるとされている。そのため、これからも人類が同じような活動を続けるとすれば、地球の平均気温は、今よりさらに上昇すると予測される。

地表面から放射される熱を吸収し、地表面に再放射する機能をはたしている二酸化炭素などの温室効果ガスが大量に発生し、地球の平均気温が上昇することを地球温暖化という。また、地球温暖化の進行により、人類や地球環境に対して、様々な悪影響が発生することが判明しており、この状況をいかに打破するかが世界的な課題となっている。

第2節 地球温暖化の原因

産業革命以降、産業活動が活発になり、人類が地中から石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料を大量に掘り出して燃やしていることや、産業活動の高度化に伴い、二酸化炭素、メタン、さらにはフロン類などの温室効果ガスが大量に排出されて大気中の濃度が高まり、熱の吸収が増えた結果、気温が上昇し始めている。これが地球温暖化の原因である。

IPCC 第4次評価報告書²によれば、温室効果ガス別の地球温暖化への量的寄与度は、二酸化炭素 76.7%、メタン 14.3%、一酸化二窒素 7.9%、オゾン層破壊物質でもあるフロン類(CFCs、HCFCs)1.1%、となっている。つまり、石油や石炭など化石燃料の燃焼などによって排出される二酸化炭素が、最大の温暖化の原因と言える。

この二酸化炭素濃度は、産業革命前 1750年の 280ppm から 2013年には 400ppm を超え、実に 40%以上も増加しており、IPCC では、大気中の二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素は、過去 80万年間で前例のない水準まで増加していると報告している。

第3節 地球温暖化の環境への影響

地球温暖化が進むと、気温が上昇するだけでなく地球全体の気候へも大きな影響を及ぼす。既に世界の各地において、温暖化によるさまざまな影響が現れており、自然環境や人の暮らしにも重大な問題を引き起こしている。こうした問題は、温暖化への対策を十分に行なわない場合、さらに深刻化し、地球規模の深刻な被害をもたらす危険性が指摘されている。

IPCC 第5次評価報告書³によると、1880～2012年の傾向では、世界平均気温は0.85℃上昇しているとされている。これは2001年に発表されたIPCC 第3次評価報告書⁴で示されていた1901～2000年の100年当たり0.6℃の上昇傾向よりも大きくなっている。

特に、最近30年の各10年間の世界平均気温は、1850年以降のいずれの10年間よりも高温となっている。中でも1998年は世界平均気温が最も高かった年である。2013年には2番目に高かった年を記録している。

過去50年の気温の上昇は、自然の変動ではなく、人類が引き起こしたものと考えられる。今後、温室効果ガス濃度がさらに上昇し続けると、気温はさらに上昇すると予測されている。IPCC 第5次評価報告書⁵によると、2100年末には温室効果ガスの排出量が最も少なく抑えられた場合（RCP2.6シナリオ）でも0.3～1.7℃の上昇、最も多い最悪の場合（RCP8.5シナリオ）に最大4.8℃の上昇と予測されている。（いずれも、1986～2005年を基準とする）

気候変動は、私たちの文明に前例のない脅威を与えている。問題なのは、エネルギー政策を、化石燃料から再生可能エネルギーへ、速やかにシフトできるかどうかである。気候変動がもたらす強大な影響によって、エネルギー政策をシフトせざるをえなくなるまで待つならば、手遅れになるかもしれない。

日本における温室効果ガスの排出は、大半が産業活動に起因している。とりわけ、二酸化炭素の排出は、エネルギー需要に左右される面が大きく、このため、産業界における徹底した省エネやエネルギー転換と、今後の積極的な対策が期待されている。

政府はこうした活動を支援し、さらに自然エネルギー利用などを促進するため、経済的なインセンティブの導入などを積極的に推進しようとしている。

一方、日本経済を根底で支えているのは国民一人ひとりであり、温暖化を防止するためには、国民のライフスタイルを変革することが不可欠となる。できるだけ不要なものを買わず、大事にものを使い、再利用やリサイクルを心がけることは大変重要なことである。また、節電や外出時の自転車や公共機関の活用も必要である。太陽光パネルの設置、自然エネルギー活用など創エネも積極的に取り入れることが望まれる。

生活の中で、できるかぎり資源・エネルギーの無駄使い無くし、リサイクルを推進していくことが、循環型社会・低炭素社会を構築し地球温暖化を防止する基本となる。

第2章 温暖化回避の切り札としての再生可能エネルギー

『プラン B』に述べられている通り、世界では二つのエネルギー革命がスタートしたばかりである。一つ目は、エネルギー使用効率の高い新技術へのシフトであり、二つ目のエネルギー革命は、石油、石炭、天然ガスなど化石燃料で動く経済から、風力、

太陽光、太陽熱、バイオマス、地熱などの再生可能エネルギーで動く経済へのシフトである。ここでは地球温暖化を回避する切り札として、世界規模で見た省エネルギーの各国の現状と、世界の再生可能エネルギーの活用状況を見ていくこととする。

第1節 世界の省エネ技術

世界の省エネ技術を比較する指標の1つとして、GDP当たりのエネルギー消費量をあげることができる。我が国における、GDP当たりのエネルギー消費量は、英国に次いで世界で2番目に高い水準にある。国内の産業部門及び家庭部門における、エネルギーの使用効率を高め、消費エネルギーの低減を図るといった点においては、現在のところ世界の最先端の水準であるといえる。

世界でも有数のエネルギー効率を実現している要因の一つとして、トップランナー制度という経済産業省の制度があげられる。具体的な制度の内容は、家電や自動車等の製品を指定し、その時点で消費電力量や電量等が最も優れた製品（トップランナー製品）を超える基準値を定め、製造業者・輸入業者に対し、目標を満たすことを求める制度である。民生部門では自動車、エアコン、蛍光灯器具などが代表例としてあげられている。トップランナー制度については、序章の『プラン B』の中でも高い評価を受けている。

また、我が国では、自国の高い省エネ技術を、主にアジアに向けて積極的な技術供与等の支援を行い、世界的な省エネルギーへの貢献を行っている。今後も、産学官の連携を強化し、更なるエネルギー効率の向上を実現し、国内の消費エネルギーを削減すると共に、現在エネルギー効率の低いアジア諸国、中東、ロシアなどへの製品輸出及び技術供与を進め、世界の省エネルギー技術の推進のリーダーとしての役割を担うことが求められる。そうした活動が、ひいては世界に貢献することとなり、自国のメリットにもなり得ると考えられる。

第2節 世界の再生可能エネルギーの現状

21世紀に入り、世界的に石油・石炭・天然ガスを燃料とした、古いエネルギー経済から、風力、太陽光、太陽熱、地熱エネルギーで支えられる経済へのシフトが始まっている。世界的な経済危機の時期にも関わらず、このエネルギー革命は、わずか数年前でも想像できなかった速さと規模で進んでいる。

再生可能エネルギーに関する国際ネットワーク REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century)が、2016年6月1日に発表した年次報告「The Renewables 2016 Global Status Report (GSR2016)」⁶⁾によれば、2015年末時点(推計値)での、全世界の発電所の発電容量に占める、自然エネルギーの割合は23.7%となっている。

2015年の自然エネルギー導入量は約148GWとなり、かつてない増加となったと同時に、自然エネルギー熱生産設備容量とバイオマス生産量も増加した。

すべての化石燃料の国際価格が下落し、現在も化石燃料補助金が存在している上に、自然エネルギー由来のエネルギー生産量の割合が高まる中での、エネルギーシステム

全体への統合という課題、政治と政策の不安定さ、規制障壁や資金調達の制約といった自然エネルギーが直面するいくつもの困難があるにもかかわらず、こうした成長が達成されている。また、自然エネルギーが最終エネルギー消費に占める割合は、全世界で19.2%に到達している。

5年前に発行されたGSR2011のデータでは、化石燃料の割合が81%、原子力が2.8%、自然エネルギーが16%と報告されている。自然エネルギーの普及は5年前と比較すると、3.2%向上しており、順調に普及促進が進んでいるといえる。しかしながら、化石燃料の割合は78.3%となっており、依然として高い水準であることも確かである。

今後も、全世界においてエネルギー効率を高める技術開発を加速させ、消費エネルギー全体の低減を図ると共に、消費エネルギー源を、化石エネルギーから自然エネルギーに転換させていくことで、地球温暖化の防止に繋げていく必要がある。

2015年に自然エネルギーを用いた発電設備の容量は、148GW増大した。水力発電を除くと120GWである。エネルギー源別に見てみると、風力発電の新規導入量が最も多く63GWとなっている。次に太陽光発電が50GW、大規模水力発電が28GWとなっている。自然エネルギーへの年間投資額も129億ドル増加しており、各国が積極的に投資を行っていることが分かる。

国別の自然エネルギー新規導入量は、中国が自然エネルギーに対する2015年の投資額が最も多く、水力と太陽光、風力、太陽熱の4部門で新規導入量が首位となっている。中国に次いで米国、日本が上位を占めている。エネルギー源別にみると、地熱ではトルコが首位であり、集光型太陽熱発電ではモロッコが首位となっている。

我が国の順位は、太陽光で2位、地熱でドイツと並んで5位という位置にある。大規模水力や集光型太陽熱発電などは、地理的な条件から投資の余地が少ないため、上位には登場していない。しかしながら、地熱や風力への投資が目立たないのは今後の課題といえる。

地域別・国別・エネルギー源別での再生可能エネルギーの累積導入量では、全世界と欧州連合に加盟する28か国、新興工業国（BRICS：ブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカ共和国）の他、導入量トップ7か国の状況が示されている。欧州連合とBRICSがほぼ同程度にあることが分かる。理由としては中国の導入量が199GWと巨大なためである。中国だけでBRICSの約75%を占めている。我が国は、太陽光が大半を占めている。

最後に自然エネルギー部門における雇用を見てみる。世界の自然エネルギー部門における産業別の雇用の推計では、世界全体で約810万人の雇用を生んでいる。部門別では、太陽光発電が最も多く277万人、ついで液体バイオ燃料の168万人となっている。国別でみると中国が352万人と圧倒的に多く、世界全体の43%を占めている。我が国の雇用は、38.8万人であるが、内37.7万人は太陽光発電に従事しており、ここでも圧倒的に太陽光発電に偏っていることが伺える。

第3節 国連気候変動枠組み条約について

2015年11月30日、フランスのパリに世界140カ国の指導者たちが集まり、「国連

気候変動枠組み条約第 21 回締約国会議」(COP21) が開催された。目的は、拡大し続ける気候変動の問題を解決するため、残された最後の取り組みを話し合うためである。

COP21 には、数十年にわたって、温室効果ガスの排出量削減を世界中の国に促してきた、第一線の科学者たちも多く参加している。

環境省は、パリ合意は「歴史的転換点」であり、世界的な気候変動対策の出発点であり、長期的に脱炭素社会・経済に向けた変化の志向を行ったとしている。(長期目標、「長期低排出開発戦略」の策定) また、約束草案の着実な実施が前提であり、「実施→国際的な報告・レビュー → 全体進捗評価→ 目標見直し」の PDCA サイクルで目標・対策を向上させ、交渉は継続的に実施し、実効性ある詳細ルール of 策定が必要であるとしている。

更に 2016 年 11 月には、国連の気候変動枠組み条約第 22 回締約国会議 (COP22) が開催され、各国の削減目標が示された。(図表 2-1)

図表 2-1 COP22 における各国の削減目標

国名	削減目標	
中国	2030 年までに GDP 当たりの CO2 排出を 60~65%削減 ※2030 年前後に CO2 排出量のピーク	2005 年比
EU	2030 年までに 40%削減	1990 年比
インド	2030 年までに GDP 当たりの CO2 排出を 33~35%削減	2005 年比
日本	2030 年までに 26%削減 ※2005 年比では 25.4%削減	2013 年比
ロシア	2030 年までに 70~75%に抑制	1990 年比
アメリカ	2030 年までに 26~28%削減	2005 年比

(出典:「国連気候変動枠組条約に提出された約束草案」より抜粋⁷⁾)

これらの取り組みを、全世界的な共通の枠組みの中で実施することで、序章で述べたガイア=地球生命体の危機的状況を回避し、持続可能な世界を実現するために地球温暖化の防止を最優先の課題として実現することが望まれる。

第 3 章 国内の再生可能エネルギーの現状

ここまで地球温暖化の原因、影響及び世界的な対応策 (エネルギー消費量の削減と再生可能エネルギーの普及促進) を見てきたが、第 3 章では、我が国の再生可能エネルギーの現状について考察する。

2015 年における、我が国の全発電量に対する再生可能エネルギーの発電量比率は、大規模水力発電を含めても 14.5%であり、世界平均の 23.7%と比較しても、その 60%程度にとどまっているのが現状である。固定価格買取制度のスタート以来、太陽光発電を中心に導入量は増加しているが、太陽光発電と風力発電を合わせても 4%程度である。また、ドイツなど再生可能エネルギー先進国と比較すると、その差は更に大きい。

そのため、我が国においては、再生可能エネルギーの普及促進を速やかに進めるこ

とが最大の課題となる。

次に、再生可能エネルギーのエネルギー源ごとの設備容量の推移は、1980年から2000年までの推移と比較すると、2000年から2010年頃まで、2010年から2012年まで、2012年以降の3段階で導入率が上昇を続けていることが分かる。しかしながら、2010年以降は太陽光発電の一極集中が進んでいる。

次に、直近の国内の再生可能エネルギー導入状況について見てみると、再生可能エネルギー買取における固定価格買取制度が、2012年（平成24年）7月に開始されたことにより、再生可能エネルギー導入者に対するインセンティブが働き、固定価格買取制度施行前に導入された再生可能エネルギーを、固定価格買取制度施行後の約3年間で上回る結果となっている。しかしながら、太陽光（住宅・非住宅）、風力、地熱、中小水力、バイオマスの各電源における導入実績には大きな偏りがある。

特に顕著なのが、固定価格買取制度施行前までに、太陽光（非住宅）約90万kW、風力約260万kWだったものが、施工後、太陽光（非住宅）2,074.4万kWに対し、風力38.1万kWと太陽光（非住宅）に対して2%にも満たない導入実績である。太陽光発電においては、施工メンテナンスの簡易さから導入が進み、太陽光を遮りさえしなければ、立地もあまり選ばないという点も寄与し、高いインセンティブにより導入が大きく進んだ。

風力発電はじめ、その他の再生可能エネルギーは、立地、運用、施工・メンテナンス、機器認証、各種規制、不安定な発電に対する系統連携の難しさなどから、参入障壁が高く、導入が進まなかったと考えられる。そのため、政府としても固定価格買取制度の改正を行い、再生可能エネルギーの導入バランスの悪さを是正する動きも見られるようになった。そこで、第4章では、風力発電システムの課題、特に普及がほとんど進んでいない小型風力発電システムの普及に関する課題について取り上げる。

第4章 風力発電の課題と現状

大型風力発電システムについては、ヨーロッパ、アメリカ及び中国を中心に進んでおり、『躍進する風力発電』（瀬川久志、巻末参考文献）でおおむね課題と展望は述べられている。また、我が国においては、大型風力発電システムに魅力的（収益的に）な立地はほぼ開発が完了もしくは進行中であり、今後は洋上風力発電などが中心に進められていくと考えられている。

一方、小型風力発電システム（国内固定価格買取制度の買取区分に準じ、ここでは定格出力20kW未満のものを小型風力発電システムと定義する。）については、普及促進において様々な問題点があり、なかなか進んでいない現状にある。

2012年7月に開始された固定価格買取制度では、2014年末の時点で、小型風力発電システム（風力発電システムにおける20kW未満）の系統連系実績が全国でも数件であった。固定価格買取制度における小型風力発電システムの発電買取価格は2016年度で55円/kWhであり、太陽光発電システムの24円/kWhと比較すると倍以上となっており大変魅力的な条件である。このような好条件にも拘らず、普及が促

進しない原因として、以下にあげる 4 点が考えられる⁸。

1. 小型風力発電協会の型式認証の難易度が高く長期間を要する。ただし海外製品は、海外の認証を受けていれば比較的認証が通りやすい現状である。しかしながら、固定価格買取制度に基づく条件での売電を行うためには、小型風力発電協会の機器認証が必須となる。現在、小型風力発電協会の型式認証を取得するためには、認証作業を代行している海事協会の認証（ClassNK 認証）を取得する必要がある。

認証申請の申込から認証がおきるまでには、平均して 2 年程度かかり、状況によっては、さらに長期間かかる場合がある。更に認証項目の 1 つである型式試験評価については、現在のところ海外の試験機関に依頼を行い、試験場も海外で実施することが一般的となっている。小型風力発電協会の型式試験評価上の実績もしくは条件を満たす機関として、案内されているのは海外の 8 機関のみである。

8 機関の中で、地理的に最も近い試験場が、台湾の MIRDC 社と TERTEC 社の 2 社となるが、いずれにしても海外であり国内での試験と比較すると膨大なコストを要することとなる。

具体的には、海事協会の認証費用、試験機関への認証費用及び機器の輸送費、渡航費など合計すると、数千万円のコストがかかるが、小型風力発電システムの国内メーカーは、企業規模が小さな場合が多く、製品化及び普及促進の足かせとなっている。

更に、機器の仕様などを変更する際にも、型式認証が必要となるため、メーカーにはコストがかさむ状態になっている。

2. 電力会社との連携協議が困難（太陽光発電と異なり、設備ごとに連携協議が必要となる。）小型風力発電システムは、固定価格買取制度における売電を行うための認証を得るために、個別に電力会社が指定する様々な試験データを提出し連携協議を経たのちに売電が可能となる。試験をクリアする為の技術レベルは高く、長時間多くのコストがかかり、開発コストも増す。その結果メーカーが二の足を踏む状態である。

3. 採算ベースに乗せるためには、年間平均風速 6m/秒以上の風況が必要となり、さらに住宅からは 50m 以上離す必要もある。そのため適合する立地条件が厳しい状態である。販売価格にもよるが、風力発電で 10 年以内の回収を目標とすれば、概ね 6m/秒の年間風速が必要となり、国内では限られた場所にしか建てることができない。

また、農地が不可である等、地目による制限や宅地では賃料負担がかさみ収支が合わなくなる等の制限も加わる。更に近隣住宅の理解など地域住民との関係も考慮する必要がある。これらの障壁に対して、開発コストの低減と土地利用等の規制緩和が求められる。

4. 太陽光のようにメンテナンスフリーではない。機器に詳しい専門家の保守が必要で、耐久性・安全性が他の再生可能エネルギー設備よりも求められる。

上記の問題が解決されれば、小型風力発電システムの普及は加速度的に進むと考えられる。

逆に、小型風力発電システムを普及させることによるメリットは、

1. 太陽光発電システムと比較した場合に、同等の発電量を得るために必要となる敷地面積が約 1/5 となり小面積化による様々なメリットが得られる。

具体的には、

- 1) 土地取得及び賃借料の低減
- 2) 狭量地の有効活用
 - ・太陽光発電システムとの併用
 - ・使い道のない狭い土地の活用
 - ・大型風力発電システムの周辺の土地活用

などがあげられる。

2. 太陽光発電システムが発電できない夜間での発電が可能

太陽光発電システムでは、太陽が沈んだ夜間では発電できず、停電時の電力利用が制限される。しかしながら風力発電システムは、一定以上の風が吹いた場合に発電可能なため、他の発電設備と併用することにより、補完機能としての利用が可能となる。

3. 再生可能エネルギーであるため、国内での自給自足の電力源となる。
4. CO₂ フリーの電源となり、地球温暖化対策に有効である。
5. 農家が農業と併用することにより、安定的な収入源として活用可能である。
6. 災害時の緊急電源として利用可能である。
7. 沿岸部及び山間部での活用が主となり、且つ景観が優れており、小型ウィンドパークや地域ツーリズムの一助となり得る。地方の地域振興策としての一助となり得る。

このように、小型風力発電システムを活用することによるメリットも多々あり、普及促進の問題点を解決し、有効活用することにより経済面、社会面に貢献しうるものと考えられる。そこで次の第5章では、機器認証や立地選択などのソフト面と、運営・メンテナンス方法など、ハード面から、普及促進のための課題解決法を探る。

第5章 ビジネス展開の課題と展望

第1節 国内小型風力発電システムの動向と普及への独自の実証実験

2015年に入り、国内の再生可能エネルギー販売会社が、海外製の小型風力発電システムを輸入し、少しずつではあるが販売を開始している。2016年3月に、東京ビックサイトで開催された、第4回国際風力発電展（WIND EXPO 2016 出店数90社（国内外））で、著者が情報収集したところ、北海道、東北、北陸、九州などで各数件ほど、固定価格買取制度の認証を取得し売電をスタートさせている。

筆者らは、2016年7月に開催された、船井総研主催の小型風力発電セミナーに参加したが、国内で300件ほどの小型風力発電の設備認定が提出されているという報告もあった。また、筆者らの独自の活動としては、2016年4月に愛知県の補助制度である、「新あいち創造研究開発補助金」に、CW社、三重大学名誉教授・清水幸丸工学博士（元世界風力エネルギー協会副会長）、東海学園大学・瀬川久志博士、Y社（インバーター供給及び電力会社との連携協議）と連携して応募を行い、2016年5月に採択されるに至った。申請事業名称は、「固定価格買取制度対応型の国産小型風力発電システム

に関する実証実験」であり、事業概要は以下の通りとなる。

「小型風力発電は普及が著しく遅れており、中部電力管内で売電を認められているものは数件である。その原因としては、費用対効果の低さ、耐久性・安全性の不完全さ、各種認証手続きの難解さが挙げられる。筆者らのグループでは、固定価格買取制度を利用して売電できる小型風力発電の開発を進めており、2年以内の量産化を目指している。本事業は、これまで小型風力発電には使われていなかった技術を使うことによって、発電能力の向上（費用対効果の改善）と、耐久性・安全性の確保を実現できる試作機を完成させ、量産化に一步近づけるものである。」

事業の目標値は、

1. 従来の実験機と比較し、発電能力を 250%向上させる
2. 従来の実験機と比較し、耐久性 10%の向上及び安全性を向上させる
3. 従来の実験機と比較し、設備投資回収年数を 50%短縮させる

の 3 点とし、本実証実験中に小型風力発電協会の機器認証準備、電力会社との連携協議も並行して実施する予定である。

本実証実験は、風力発電 5kW システムを、販売価格 500 万円程度で販売することを目標としており、第 4 章であげた小型風力発電システムの普及促進の課題の一部を解決することが見込まれる。次に第 4 章であげた小型風力発電システムの普及促進の課題についての解決策を項目ごとに以下に示す。

1. 小型風力発電協会の型式認証が困難であることに対する対策

型式試験の実施団体の拡充

現在、小型風力発電協会での型式試験実施団体は、すでに述べたように、海外のしかも限られた企業、若しくは団体となっている。そのため型式試験にかかる費用が増大し、期間も長期化する原因となっている。そこで、国内にも風力発電の研究開発をしている大学、企業は存在することから、型式試験の実施団体を国内にも門戸を開き、費用の削減、期間の短縮を図るべきである。

また、認証についての仕様の違いについては、ある程度の幅を持たせ、類似のものについては、極力軽微変更で認証を済ませることも重要であると筆者は考える。

2. 電力会社との連携協議が困難であることに対する対策

2016 年より大手パワーコンディショナー（以下 PC）メーカーである Y 社が小型風力発電専用の PC の発売を試験的に開始した。従来は太陽光発電用の PC を流用して、電力会社が求める様々な試験結果に対応する必要があったが、その部分は、メーカーである Y 社が保有するノウハウ、および試験結果で代用することが可能になった。

また、風力発電システムに対する制御機能も、設計側の発電コントローラー（ブレーキ等の制御系を含む）で設計開発が必要であったが、その点も Y 社の小型風力発電専用の PC に内蔵されており、機器設計やコストの点においても、従来と比較して格段に取り組みやすくなったといえる。

3. 立地条件が厳しいことに対する対策

現在開発されている風力発電システムの価格と発電量においては、年間風速 6.0m/秒以上が求められる。普及促進に伴う販売価格の低下と更なる発電効率の向上が実現することにより年間風速が低い条件での採算性が向上することが不可欠と考えられる。

我われのグループの実証実験においても、この点を最重要と考え、取り組みを行っている。

また、初期費用としての認証費用、電力会社との協議にかかる費用が、規制緩和等により低減されることにより、風力発電システム費用も低減可能であると考えられるので、上述の 1 及び 2 の対策が進むことにより、立地選択肢の幅が広がることが考えられる。

4. 太陽光のようにメンテナンスフリーではないことに対する対策

ほぼメンテナンスフリーである太陽光発電システムと比較して、風力発電システムは、常にブレード回転数が変化し、それに応じてその他の機器も連動し、常に不規則な動きを強いられる。従って、機器に対しての定期点検、故障等が発生した際の専門業者の緊急対応が必要となる。

対策としては、風力発電システムの機器に対してのメンテナンス可能な販売施工会社の育成、及び遠隔監視システムおよび遠隔操作システムの確立による、オンサイトの対応の容易化が考えられる。我われグループの実証実験においても、台風発生時等にタワーを倒す作業を、遠隔操作により実現することも視野に入れて開発を行っている。

参考までに、現在市販されている小型風力発電システムの性能値を図表 5-1 に示す。現在、国内の小型風力発電市場で販売シェアが最も高い風力発電システムは、米エグザラス社製の XZERES 442SR である。エグザラス社製の XZERES 442SR10.4kW システムの、各年間風速における発電性能は下表の通りである。(10.4kW システム×1 基 発電買取価格 55 円/kWh)

投資利回りは、年間平均風速 6.0m/秒で太陽光発電 32 円案件と同等となる。現在同社の製品は、工事費込みで 1 基あたり 1,600 万円程度であり、我われのプロジェクトが目指す、工事費込みの販売価格 1,000 万円で販売することができれば、同等の条件で太陽光発電 40 円案件超となり、年間平均風速 5.0m/秒の条件でも、太陽光発電 32 円案件と同等の投資利回りとなる。これにより、投資対象となる立地の選択肢が広がり、普及促進の手段となり得る。

図表 5-1 年間発電量と年間収入 (XZERES 442SR)

年間平均風速	年間発電量 (kwh)	年間収入 (円)	太陽光発電比較
5.0m/秒	16,767	922,185	
5.5m/秒	21,270	1,169,850	
6.0m/秒	25,851	1,421,805	太陽光発電 32 円案件
6.5m/秒	30,320	1,687,600	太陽光発電 36 円案件
7.0m/秒	34,524	1,898,920	太陽光発電 40 円案件
7.5m/秒	38,346	2,109,030	太陽光発電 40 円案件超

8.0m/秒	41,708	2,293,940	太陽光発電 40 円案件超
--------	--------	-----------	---------------

(出典：㈱スマートテック社資料より筆者作成)

第2節 水素社会への展望

1. エネルギー政策における我が国の置かれている状況

我が国のエネルギー供給は、海外の資源に大きく依存しており、根本的な脆弱性を抱えている。また、新興国のエネルギー需要拡大等によって、資源価格が不安定化している。さらに、世界の温室効果ガス排出量は増大し続けている。東京電力福島第一原子力発電所事故によって、これまで二酸化炭素排出量の抑制策として進められてきた原子力発電の安全性に対する懸念が増大し、エネルギー政策の新たな方向転換も余儀なくされている。

原子力発電の停止により、現在では、化石燃料への依存が増加し、これに伴って国富が流出し、また、エネルギー供給に係る制約が顕在化している。さらに、エネルギーコストや地球温暖化問題への対応に困難をもたらしている。また、東京電力福島第一原子力発電所事故以前から、中東・北アフリカ地域の不安定化等、資源供給国からの安定した資源の輸入の難易度が増している。

こうした状況から 2014 年 4 月に策定された新たなエネルギー基本計画では、エネルギー政策の基本的視点として、「3E+S」、つまり、安全性 (Safety) を前提とした上で、エネルギーの安定供給 (Energy Security) を第一とし、経済効率性の向上 (Economic Efficiency) による、低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合 (Environment) を図ることが確認され、多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造の構築に向けて取り組んでいくこととされた。

2. 水素の果たし得る役割

我が国では、1973 年のオイルショックの経験を踏まえ、エネルギー転換・利用効率の向上、エネルギー供給システムの安定化、エネルギーの有効利用の各要素に関わる技術研究開発を目指して、通商産業省工業技術院により、1978 年からムーンライト計画が実施された。計画の中には、燃料電池等の水素エネルギー活用も含まれており、開始から現在に至るまでに、2009 年に家庭用燃料電池が市場に投入され、2014 年には、トヨタ自動車燃料電池自動車の発売を開始した。さらに、2016 年には燃料電池バスや燃料電池フォークリフトが市場投入されており、30 年以上の年月をかけて、ようやく水素エネルギーの実用化が見えてきた段階である。

しかしながら、このような水素エネルギー利活用技術には、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で未だ多くの課題を抱えており、今後、社会インフラとして普及していくかどうかは、これからの取り組みにかかっている。

水素エネルギーを利活用する水素社会の実現を目指すことは、その技術適用可能性の幅広さから、十分に価値があるものだと考えられる。現在普及が進みつつある定置用燃料電池や燃料電池車のみならず、鉄道、船舶やドローン等のエネルギー源として

の利用や、水素発電等人類のエネルギー消費分野の多くに対応可能であり、ひいては大幅な省エネルギーの実現、環境負荷の低減、エネルギー供給の脆弱性への対策となり得る可能性があるからである。

具体的には、燃料電池は水素と空気中の酸素の電気化学反応から電気エネルギーを直接取り出すので発電効率が良い。更に反応時に生じる熱を有効利用することで、非常に高いエネルギー効率を得ることが可能となる。このため、大幅な省エネルギーにつながると考えられる。

また、燃料電池等の水素利活用技術は、再生可能エネルギーによる発電電力を電気分解に用いて水素を製造すれば、CO₂を排出しないエネルギー源としての活用が可能となる。

水素・燃料電池関連の市場規模は、我が国だけでも2030年に1兆円程度、2050年に8兆円程度に拡大するとの試算もある。また、我が国の燃料電池分野の特許出願件数は世界第1位である。2位以下の欧米をはじめとする各国と比べて5倍以上と、圧倒的な出願数を誇っており、水素エネルギー分野においての我が国の競争力は非常に高い。一方、水素の世界市場は、2015年を基準年度として、2021年には1,520億USDになるという予測もあり⁹、日本の水素テクノロジーが世界に貢献できることも、あながち夢とはいえない。

第3節 水素社会実現に向けた対応の方向性

ここでは、環境面、経済性、及び我が国のエネルギー事情に鑑み、将来有望な水素社会の実現に向けた方向性のひとつとして、再生可能エネルギーで水素を製造し、その水素を利活用するモデルを考察した。

再生可能エネルギー源として、大型風力発電については既に実用化が行われているので、ここでは小型風力発電システムを活用し、水素の製造は、水の電気分解による水素発生装置を利用する。その組み合わせモデルによる、完全クリーンエネルギーでの電力と水素エネルギーサイクルの収支面、及びその他のインセンティブ面からその実現可能性を検討した。モデルの詳細は、以下にあげる条件とし、その収支を計算し比較検討を行った。

小型風力発電システムは、現在市販されている小型風力発電システムと、我々が開発中のシステムでのモデルケースについて考察する。現在市販されている小型風力発電システムには、米エグザラス社のXZERES 442SR 10.4kWシステムにて計算した。

それぞれの発電能力は同等とし、10.4kWシステムの導入費用を、

- ・エグザラス社 XZERES 442SR 10.4kW システム 1基 1,600万円
 - ・我々グループが開発中の風力発電システム 10.4kW 1基 1,000万円
- とする。

また、発電能力性能値は第5章の図表5-1の値を使用する。設置する場所は愛知県沿岸部を想定し、小型風力発電システムの固定価格買取制度対応の系統連携と、小型風力発電システムにて発電した電力を、水素の生成に利用した場合の収支計算を行った。立地の風速条件としては、年間平均風速を6.0m/秒の場合と8.0m/秒の場合の2

種類の条件とする。

1. 風力発電と水素発生装置の組み合わせ

風力発電システムは、10.4kW システムを 2 台設置し、1 台は固定価格買取制度での系統連系を行い、発電した電力を売電する。また、残りの 1 台を水素生成の電力源として設置する。水素発生装置には、株式会社神鋼環境ソリューション製の水電解式高純度水素発生装置 H2BOX（すいそぼっくす）を使用する。水電解式高純度水素発生装置 H2BOX（すいそぼっくす）の仕様は以下のとおりである。

水素発生量：1Nm³/h 水素圧力：0.82Mpa

水素純度：99.999% 水素露点：-70℃（大気圧露点）

装置概寸：600W×1,000D×1,260H 装置重量：約 350kg（運転重量）¹⁰

各風力発電システムを使用した場合に、諸条件（年間風速、発電電力の利用方法）を変更した場合の収支計算表を 12 パターン作成した。発電電力の利用方法によっては、国からの補助金を受けられる場合もあるので、補助金を利用した場合の収支計算も 12 パターンの中に含んでいる。

各パターン分け条件を以下の一覧表に示す。

図表 5-2 パターン別実験条件

パターン	実験条件
パターン 1	風力発電システムの発電電力を固定価格買取制度で販売した場合の損益計算
パターン 2	
パターン 3	風力発電システムを水素発生電力源として使用し、生成した水素を販売した場合の損益計算
パターン 4	
パターン 5	風力発電システムを水素発生電力源として使用し、生成した水素を販売した場合の損益計算（SII 補助金利用 民間企業を想定）
パターン 6	
パターン 7	風力発電システムの発電電力を固定価格買取制度で販売した場合の損益計算
パターン 8	
パターン 9	風力発電システムを水素発生電力源として使用し、生成した水素を販売した場合の損益計算
パターン 10	
パターン 11	風力発電システムを水素発生電力源として使用し、生成した水素を販売した場合の損益計算（SII 補助金利用 民間企業を想定）
パターン 12	

次に、各パターンの諸条件（年間風速、システム等）と収支計算結果を以下に示す。

図表 5-3 12 パターン収支計算比較表

モデルパターン	収支	モデル構成条件
パターン 1	788 万円	年間風速 6.0m/秒 固定価格買取 エグザラス社 10.4kw システム 1 基
パターン 2	1,439 万円	年間風速 6.0m/秒

		固定価格買取 独自開発 10.4kw システム 1 基
パターン 3	▲4,209 万円	年間風速 6.0m/秒 水素発生電源 エグザラス社 10.4kw システム 1 基
パターン 4	▲3,558 万円	年間風速 6.0m/秒 水素発生電源 独自開発 10.4kw システム 1 基
パターン 5	▲3,364 万円	年間風速 6.0m/秒 水素発生電源 エグザラス社 10.4kw システム 1 基 補助金利用有
パターン 6	▲2,930 万円	年間風速 6.0m/秒 水素発生電源 独自開発 10.4kw システム 1 基 補助金利用有
パターン 7	2,532 万円	年間風速 8.0m/秒 固定価格買取 エグザラス社 10.4kw システム 1 基
パターン 8	3,183 万円	年間風速 8.0m/秒 固定価格買取 独自開発 10.4kw システム 1 基
パターン 9	▲3,735 万円	年間風速 8.0m/秒 水素発生電源 エグザラス社 10.4kw システム 1 基
パターン 10	▲3,084 万円	年間風速 8.0m/秒 水素発生電源 独自開発 10.4kw システム 1 基
パターン 11	▲2,890 万円	年間風速 8.0m/秒 水素発生電源 エグザラス社 10.4kw システム 1 基 補助金利用有
パターン 12	▲2,455 万円	年間風速 8.0m/秒 水素発生電源 独自開発 10.4kw システム 1 基 補助金利用有

(出典：筆者作成)

参考までに、パターン 8、12 の収支計算を以下に示す。

1) パターン 8

風力発電システムの発電電力を固定価格買取制度で販売した場合の損益計算

・諸条件 年間平均風速：8.0m/秒 実施期間：20 年間

風力発電設備：現在独自開発中の風力発電 10.4kW システム 1 基

図表 5-4 パターン 8 収支計算

(円)

収益	売電料金	45,878,800	買取価格 55 円
支出	中電工事費	500,000	(概算)
	設備投資費用	10,000,000	工事費等含む
	固定資産税	848,493	税率 1.4%
	保守・メンテナンス費用	2,000,000	(概算)
	PC 交換費用	700,000	(概算)
	合計	14,048,493	
収支		31,830,307	

(出典 諸条件より筆者作成)

固定資産税は当初 3 年の減免措置を考慮し計算した。

投資利回りは 21.85% となり事業性は十分だと考えられる。

投資利回りは以下の通り計算した。

$$2,293,940 \text{ 円 (初年度売電費用)} \div (10,000,000 \text{ (風力発電費用)} + 500,000 \text{ (中電工事費)}) \times 100 = 21.847\%$$

次に水素発生の電力源として風力発電システムで発電した電力を使用し、水素発生装置から生成した水素を販売した場合の損益計算を以下の通り行った。水素発生装置から発生する水素の販売単価計算は、以下のように行った。

風力発電システム 10.4kW 1 基で平均風速 8.0m/秒の立地条件下での発電量は、20 年間の合計で 834,160 kWh である。前述の水電解式高純度水素発生装置 H2BOX (すいそぼくす) では、1 Nm³ の水素を発生させるために平均 6.0kWh の電力が必要となる。

風力発電システムが 20 年間に製造できる累計発電電力量 834,160 kWh で、製造可能な水素量は、834,160 kWh ÷ 6.0 kWh = 139,027 である。したがって発生可能な水素は 139,027 Nm³ となる。現在燃料電池車用の水素ステーションでは、水素 1 キログラム当たり 1,000 円程度で販売されている。上述の Nm³ を、Kg に換算して水素ステーションで販売されている水素価格から現在の価値を算出する。Nm³ から Kg への換算係数 0.0898 を発生した水素 139,027 Nm³ に乗ると、139,027 Nm³ × 0.0898 = 12,485kg となる。よって発生した水素の価格は 1,249 万円となる。

水素発生装置 H2BOX は、時間当たり 6.0 kWh の電力を使用するが、風力発電システムの定格出力は 10.4kW である。従って風速が強い場合に水素発生装置最大消費電力を超える電力が発電されるために、時間当たり 4.4 kWh の電力が余ってしまう。風力発電システムと水素発生装置のみのシステムでは、上記のようなロスが発生することになる。そこで、蓄電池をシステムに加え余剰の電力を蓄えておけるモデルにて検討する¹¹。

使用する蓄電池は東芝 ENG-B7430A4-N1 を採用し仕様は以下の通りである。

蓄電池容量 7.4kWh 想定耐用年数 27 年 10,000 サイクル
 充電時間 通常充電時：約 5 時間 急速充電時：約 3 時間
 外形寸法 780×300×1025mm 質量 142kg¹²

水素 139,027 Nm³を 20 年間で発生させるため、1 時間当たりの平均発生水素は約 0.8 Nm³となる。(139,027 Nm³÷20 年÷365 日÷24 時間=0.79) これにより、風力発電システム 10.4kW に対し、水素発生装置 1 台でバランスの取れたシステムが組めることが分かる。

前述の水素販売価格に基づき、風力発電システムを水素発生電力源として使用し、生成した水素を販売し、環境共創イニシアチブ「再生可能エネルギー事業者支援事業費補助金」を活用した場合の損益計算を以下に示す。

2) パターン 12

風力発電システムを水素発生電力源として使用し、生成した水素を販売した場合の損益計算（補助金利用 民間企業を想定）

- ・ 諸条件 年間平均風速：8.0m/秒 実施期間：20 年間
 風力発電設備：現在独自開発中の風力発電 10.4kW システム 1 台
 水素発生装置及び蓄電池はパターン 3 と同様

図表 5-5 パターン 12 収支計算

(円)

収益	水素販売料金	12,485,000	1,000 円/kg
支出	中電工事費	500,000	(概算)
	設備投資費用※1	6,666,667	工事費等含む
	固定資産税	1,838,401	税率 1.4% 風力発電システム+水素発生装置
	保守・メンテナンス費用	2,000,000	(概算)
	PC 交換費用	700,000	(概算)
	水素発生装置	15,000,000	工事費等含む
	水素発生装置ランニングコスト	5,000,000	(概算) メンテナンス費用、水道光熱費
	蓄電池費用	5,333,333	(概算) 工事費等含む
	合計	37,038,401	
収支		▲ 24,553,401	

(出典：諸条件より筆者作成)

※1 補助金費用は設備投資費用の金額を減額し計算を行った。

本条件では、単体収支が 2,455 万円のマイナス収支となり、単体での実現可能性は低い。8) パターン 8 モデルの固定価格買取制度利用での売電収益 3,183 万円と合算した場合は、728 万円のプラス収支を得ることができる。収益性は低いが本システムのその他のインセンティブを考慮すれば、実施価値はあると考えられる。

本モデルにおいて上述の 12 パターンのシミュレーション結果について考察を行う。収益性（風力発電システムの価格および性能と立地条件）と、水素と風力発電シス

テムという完全クリーン且つ自国内で生産可能なエネルギー生成システムといった収益性以外のインセンティブから、2つの視点でそれぞれのパターンを考察する。

もっとも理想的な組み合わせパターンとしては、年間風速 8.0m/秒での立地における、我われの開発中の風力発電システムを、補助金を利用して固定価格買取制度での売電するパターンに1台、水素発生用電源に1台利用した場合となる。

(上述の 8) 固定価格買取制度での損益計算パターン 8 と 12) 水素発生の電力源として使用し、生成した水素を販売した場合の損益計算パターン 12 (補助金利用 民間企業を想定) との組み合わせ)。

売電の損益が、3,183 万円、水素を生成して販売する損益が▲2,455 万円となり 800 万円近い収益が得られることになる。

しかしながら、本モデルの条件として、固定価格買取制度での 55 円/kWh の売電及び補助金の活用は、いずれも本来の経済性からはかけ離れている。現在、産業用での電力会社からの電力購入金額は、企業規模や条件にもよるが、おおよそ 17.5 円/kWh となっている。(27 年 資源エネルギー庁 電気料金水準より)

そのため、17.5 円/kWh での発電収入で風力発電システムの投資及び運用コストを賄い、水素発生装置及び蓄電池の投資コストを賄うシステムの実現がなされない限り、小型風力発電システムと水素発生装置を併用したクリーンエネルギーモデルの実現はなしえない。

17.5 円/kWh の発電収入を前提としたそれぞれのシステムの理想的な価格としては、風力発電システムの投資金額 5,000,000 円、保守メンテナンス費用 1,500,000 円、PC 交換費用 400,000 円の金額で、ようやく 122 万円強のプラス収支となる。そのため、現在の市販価格の 1,600 万円の約 30%程度の価格までコストを下げる必要がある。

また、水素発生装置と蓄電池を組合せた場合に、損失を出さない程度のモデルを考えた場合では、前述の風力発電システムを 5,000,000 円とし、水素発生装置 1,500,000 円、水素発生装置ランニングコスト 500,000 円、蓄電池費用 800,000 円の価格で、収支がほぼプラスマイナスゼロとなる。水素発生装置費用、水素発生装置ラングコスト、蓄電池費用のいずれもが、1/10 の価格まで下がらなければ、収支での実現性が難しいことが分かる。

2012 年から開始された太陽光発電システムの固定価格買取制度での売電価格が、当初の 40 円/kWh から現在の 24 円/kWh に段階的に低下した中、太陽光発電システムの販売価格も収益性を損なわず下がってきている。その原因は、爆発的な普及促進と技術革新によるところが大きい。今後の小型風力発電システムをはじめとする、太陽光発電以外の再生可能エネルギーの普及促進及び水素社会を実現するためにも、普及政策、規制緩和及び産学官連携の技術革新が求められる。

また、今後の電力料金の値上がりや、小型風力発電システムの普及促進の問題点が段階的に解決していくことで、風力発電システムと水素発生装置の組み合わせモデルの実現も将来的には可能であると考えられる。

結論

小型風力発電システムの普及促進の課題への対策は、以下にあげる4点となる

1. 小型風力発電協会の型式認証が困難であることに対する対策としては、型式試験の実施団体の拡充及び軽微変更を拡充することで対応を行う。
2. 電力会社との連携協議が困難であることに対する対策としては、メーカーとの連携強化と電力会社の連携対応を緩和することで対応する。
3. 立地条件が厳しいことに対する対策については、年間風速が低い条件での採算性が向上し、また初期費用としての認証費用、電力会社との協議にかかる費用を、規制緩和等によって低減を図ることで対応を行う。
4. 太陽光のようにメンテナンスフリーではないことに対する対策としては、風力発電システムの機器に対してのメンテナンス可能な販売施工会社の育成、及び遠隔監視システムおよび遠隔操作システムの確立による、オンサイトでの対応の容易化が考えられる。

また、再生可能エネルギーを用いた水素社会実現への方向性では、水素発生電力を、完全に再生可能エネルギーで賄うことは、費用対効果を考慮すると現状では難しい状況にある。しかしながら、国が、補助金の支給や認証、系統連系の規制緩和を実施し、自治体が固定資産税等の減免措置などを用いて後押しすれば、太陽光発電と同様に、短期間で大幅な普及促進が実現される。

これにより設備費用が低減し、費用対効果以外でのメリットとの相乗効果で、小型風力発電を活用した、完全クリーンな水素社会が近い将来実現する可能性があると考えられる。

注

1. J.ラブロック、A.ワトソン共著「デイジーワールドのたとえ」 『テールズ』誌、1983年 ANDREW J. WATSON and JAMES E. LOVELOCK, Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld
<<http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/iwata/edumaterial/Biological%20homeostasis%20of.pdf>> (2016年12月29日最終閲覧)
ここでは数式を用いて説明されているが、地球上のデイジーの仮想的な繁殖は気温によって影響を受け、そのことが気温を調節するという、地球生命と環境の相互作用をしめした。
2. 環境省「IPCC第4次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約」 pp.2-6
<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr_spm.pdf> (2016年12月29日最終閲覧)
3. 「IPCC第5次評価報告書の概要 第1作業部会 pp.10-11
<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg1_overview_presentation.pdf> (2016年12月29日最終閲覧)
4. 「IPCC第3次評価報告書 第1作業部会報告書」 P.2
<<https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/japanese/tar-wg1-spm.PDF>> (2016年12月29日最終閲覧)
5. 「IPCC第5次評価報告書の概要 第1作業部会」 pp.38-39
<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg1_overview_presentation.pdf> (2016年12月29日最終閲覧)
6. isep 認定 NPO 法人 環境エネルギー政策研究所「自然エネルギー世界白書 2016 サマリー日本語版」 p.18 <<http://www.isep.or.jp/wpdm-package/>> (2016年12月29日最終閲覧)
7. 全国地域温暖化防止活動推進センター <http://www.jccca.org/trend_world/conference_report/cop22/> (2016年12月29日最終閲覧)
8. 「小型風力発電設備に関する ClassNK 認証サービスについて」 Wind Expo 2016 小型風力発電セミナー資料 (社) 日本海事協会 再生可能エネルギー部 (2016年3月)
9. <<http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydrogen-generation-market-494.html>> (2016年12月29日最終閲覧)
10. 株式会社神鋼環境ソリューション 水電解式高純度水素発生装置 H2BOX (すいそぼくくす) <<http://www.kobelco-eco.co.jp/product/suisohassei/index.html>> (2016年12月29日最終閲覧)
11. 余剰電力は電力会社との系統連系により余剰分を売電することで蓄電池を不要とすることも可能である。しかしながら、売電料金が安価 (6円/kWh程度) であること、及び余剰電力の算出が実証データを必要とすることから、今回は蓄電池を用いることとした。
12. 東芝ライテック株式会社 ENG-B7430A4-N1 <http://feminity.toshiba.co.jp/feminity/service/enegoon_standard1sub.html> (2016年12月29日最終閲覧)

【参考文献1 ウェブサイト】

- ・ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO の海外プロジェクト <<http://www.nedo.go.jp/tokushu/ov04.html>> (2016年12月28日最終閲覧)
- ・ 世界の再生可能エネルギー2016 (1) <<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1606/08/news128.html>> (2016年12月28日最終閲覧)
- ・ 水素・燃料電池戦略ロードマップ 水素・燃料電池戦略協議会 2014年6月策定 2016年3月改訂
<<http://www.meti.go.jp/press/2015/03/20160322009/20160322009-c.pdf>> (2016年12月28日最終閲覧)

【参考文献2 単行本】

- ・ J・ラブロック著『ガイアの時代』 工作舎、1990年9月
- ・ レスター・ブラウン著『プランB』 ワールドウォッチジャパン、2010年6月
- ・ 瀬川久志著『躍進する風力発電』 大学教育出版、2011年7月
- ・ 清水幸丸著『風力発電入門』 パワー社、2003年11月
- ・ 資源エネルギー庁『エネルギー白書2016』 <<http://www.enecho.meti.go.jp/about/wHITEpaper/2016.html>> (2016年12月28日最終閲覧)
 - ・ IPCC『IPCC第5次評価報告書』2014年 <<http://www.jccca.org/ipcc/ar5/wg1.html>> (2016年12月28日最終閲覧)
- ・ 認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所『自然エネルギー世界白書』(ISEP)、2015年12月 <<http://www.isep.or.jp/library/1959>> (2016年12月28日最終閲覧)