

平成 21 年度総会特別講演（第 128 回定例研究会）資料 I

## パナマ風力開発への期待

日本風力エネルギー協会 勝呂幸男  
横浜国立大学 太田健一郎

### 1. はじめに

昨年(2008年)秋以降経済状況が激変し、今後の世界の経済予測は難しい状況にあるが、環境問題、エネルギー問題への取り組みを優先的にを行い、景気浮揚策の中心のひとつとなるようにすべきであろう。事実、米国ではグリーンエネルギーと称して環境問題解決のための新しい政策を始めた。

環境問題とエネルギー供給の不安定さを解決するために、1974年頃に発生したオイルショック以来、多くの人たちが解決に取り組んできたが、いまだに抜本的な対策を世界規模で行っているとは言えず、多くの人たちは自国の利益、個人の利益を自由経済、開放経済の名の基に優先し続けてきた。特に1850年以降の産業革命以来、地球規模での自由経済活動と産業構造の進化(変化)の結果として、自然環境破壊や気象変動が進んだ。

今日は環境とエネルギー問題を解決する最後の機会と考えられ、その大きな手段の一つが再生可能エネルギーの活用である。残念ながらわが国はそれらの導入がなかなか進まなかった。

今こそ、我々は世界の一員として、人類が持続可能な社会を作るために、持てる技術を積極的な活用して、新しい再生、循環システム構築に取り組んで行くこと必要である。

水素エネルギー協会が現在取り組んできた「パナマにおける風力水素開発研究」は再生可能エネルギーの一つである風車を用いて、その地域の膨大な風エネルギーから水素を製造し活用を図る事で人々に「完全無排出ガスによるエネルギー供給システムを構築」を提供し、社会に貢献しようとするものである。

現在のエネルギー供給システムは埋蔵量のピーク越え、価格の投機的な動き等から不安定な動きを示してきたことはご承知の通りであり、その状況に加えてエネルギー供給国、供給者は自国や自分の利益を優先した動きをとっている。再生可能エネルギーの活用はこれ等の動きを牽制しながら自前のエネルギー供給と安全保障、及び自然破壊を守ることを再

生にする重要な方法である。

わが国のこれまでのエネルギーと環境問題への取り組みは、省エネ対策、高効率化といった改良研究では大きな成果を挙げているが、マイナス部分をすくなくしようとする取り組みであったが、プラスに働くものを積極的に採用・活用と言う点から考えると力不足であった。

人類にプラスになるもの、すなわち温暖化ガスの無いエネルギー源を手に入れることが出来ると考えられるもののひとつが再生可能エネルギーの活用であろう。

今日のわが国の再生可能エネルギー活用状況を見ると風力、太陽光、バイオマス、水力といった多くの機器が整備されつつある。

国は原子力を加えたエネルギー源を中心に、温室効果ガスの削減を目論んでいるが、原子力にはバックエンドの問題がありその半減期から非常に多くの費用と時間がかかる。言わば後世に付けを回す政策とも言えよう。

従って、選択肢のひとつとして、わが国の進んだ技術を世界の未開発地域に適用して、わが国の産業を支え、エネルギー供給と環境対策に貢献する方法も視野に入れるべきであろう。

我々水素エネルギー協会が取り組んでいるパナマにおける風力水素開発は、そのような観点から考慮したものである。

即ち、風資源に恵まれ、しかし既存の技術では何も手を付けられなかった殆ど未開の地域を我々の技術と資金を提供する事で上述のような形で開発出来る地域の一つであり、地球規模で人類に貢献できる数少ない地域であると言えよう。

水素エネルギー協会は2006年から三カ年にわたってパナマの風力とその潜在的なエネルギー資源を調査してきた。図1にパナマの概要を示す。

今日も引き続き風況観測を実施中であるが、今後の膨大な風エネルギー活用に対する期待と風力水素設備の実現についてその可能性と潜在エネルギー量を示し、エネルギー確保と環境改善政策への貢献のひとつとしてこの提案を示すとともに今後の開発に向けての期待を示したい。



図1 アルゼンチン パタゴニア地方

## 2. 風のエネルギーを用いた水素製造と社会への貢献

パタゴニア地方は今日まで殆ど利用されていない地域である。従って社会資本が殆ど無くそのような地域で風力発電と風力水素の製造であるから、幾多の困難が考えられる。

風力水素システムの基礎は風で電気を発生させ、水を電気分解し、近くの消費地へはガス配管等で、遠くの消費地へは有機ハイドライドや、液化して専用輸送船で輸送し、消費地では水素を用いた燃料電池で発電と水または温水の生成を行い所謂コージェネレーションプラントを運転する。

このようなシステムは、その装置を製造する時に二酸化炭素を排出するが、運転中は完全な無公害システムになる。所謂ライフサイクルアセスメント(LCA)を考慮したシステムとしても、また風車や水素製造装置の寿命終了後の廃棄においても風力水素は後世に付を残さない現在考えられる最もクリーンな機器のひとつである。

基本的な風力発電設備と水素製造、それに世界市場への投入といった最終的な水素社会システムを図2に示す。

このような水素供給システムが社会に構築されれば、各家庭におけるエネルギー供給のシステムが大きく変化する。図3にはその一例を示す。家庭にある自動車が水素を燃料とした燃料電池車に代わると、通勤に自動車を使い、帰宅後に自動車を一定時間運転して二次電池に必要な電力を充電することで、電気もガスも水道も温水も全てがこの1台の燃料電池自動車で供給出来るシステムになる。その時に

は家庭においては少なくとも完全に二酸化炭素ガスの排出をゼロとすることが出来る。

以上のように、新しいシステムを具体的に進めることが出来れば風力水素システムはその無公害システムとして、現在世界の諸国が当面しているエネルギーと環境問題解決の一つの案と成り得るものと確信している。

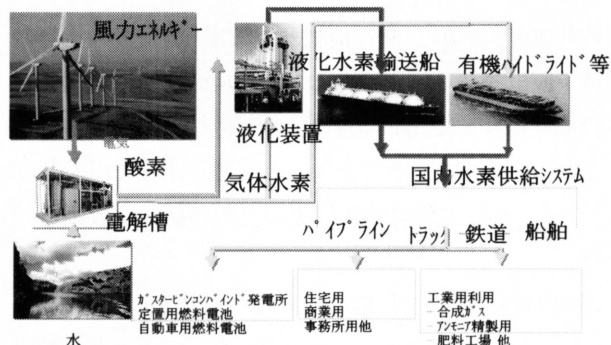


図2 風力水素システム概要

### 水素と二次電池, FC自動車のシステム

- ◇家庭の時間当たりの平均電力消費 3kW  
一日では3 x 24 = 72kWh のエネルギー消費
- ◇FC自動車(燃料は水素)の出力 100kW=136PS
- ◇二次電池容量 120kWh = 120kVA  
(最大放出電力5kW, 継続時間24時間)
- ◇会社通勤に自動車を使う。
- ◇自動車が外出中は二次電池から電力を供給
- ◇帰宅後に二次電池に充電を行う。時間は最大で12時間

このようなシステムの採用で各家庭を「完全ガスゼロエミッション」に出来る。

図3 水素と二次電池とFC自動車システム

## 3. パタゴニアの風況

アルゼンチンのパタゴニア地方は今日まで非常に良い風況の地域と言われているが、人口が少なく、その為に社会資本がなく、即ち送電線や電気を使用する工業が無いこと等により顧みられることは少なかった。

そのパタゴニア地方の中でも特に風況が良いと言われている、チュブット州とサタカス州の状況を、風資源の調査だけではなく、既設風車の運転状況等の調査からも設計条件

や風状況を評価し、もしこの地域に事業として風力発電装置を設置し、その電気をを用いた水素エネルギー生成の可能性について調査、考察することを目的として地勢調査、社会資本の整備状況等の確認調査を行ってきた。

ここでは大きなプラントが、将来建設されると考え初期投資的な考察を省き、事業化に適した量の風力水素設備が完成し世界中にその製品である水素が販売出来るという仮定での検討を行っている。

### 3.1. パタゴニアの地勢

パタゴニアは南米アルゼンチンと地理の南部を総称する地域で表1に概要を示した。

表1 アルゼンチン パタゴニア地方の地勢

国名	人口	面積	人口密度
	(千人)	(10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	(人/km <sup>2</sup> )
日本	126,700	378	335.5
チュブット州	413	225	1.8
サンタクルス州	197	244	0.8

特に南部の2州、サンタクルス州とチュブット州は強風地域として知られている。この2州の総面積は概ね日本の全面積より約24%大きい47万平方kmであるが、人口は日本の約1/20、つまり約61万人である。

西部をアンデス山脈、東部がその山脈に連なる平原で大西洋に繋がっている。その地域は強風のために大きな樹木も無く人々は海岸線近くの主要な地域にのみ住んでいるというのが実情である。一方で、世界の国土の中で南極を除いて人類が生息している最南の地域であるとともに、南極の周りを循環する地溝風の循環する唯一の陸地であるために一年中風車屋が考える良好な風が吹いている地域である。

サンタクルス州とチュブット州における風況は既に報告済<sup>(1)</sup>であるからそれに詳細を示すが、概ね年間平均風速が10m/sec前後と言う稀有の高風況地帯である。

この数値はわが国の風車設置の、ひとつの目安であるNEDOの風車のフィールドテスト事業(FT)に示されている年間

平均風速 6.5m/sec と比較すると極めて高いことがわかる。

米国商務省のサイトでもこの南部パタゴニアの Electric Power Industry に関して下記のような記載がある。

In the Patagonia region in Southern Argentina winds are strong and constant. The load factor is 42 percent (a ratio that takes into account days with wind above a certain speed), whereas in most areas in the world considered apt for wind power generation it does not go beyond 30 or 35 percent. Average wind speed in most locations in Northern Patagonia is 7.2 to 7.8 meters per second. *In Southern Patagonia (Santa Cruz, Chubut), it is 9 to 11.2 meters per second.*

即ち南部パタゴニアでは年間平均風速が9から11.2m/secの風が常時吹いていると記載されている。これは先に述べたパタゴニア南部が地球上で唯一の南極周りの偏西風を受ける陸地である事に由来すると考えられている。

我々の予測は既に報告の通りチュブット州で年間風速9.0m/sec、サンタクルス州で年間平均風速10.0m/secを予想したが、概ね一致している。

ちなみに、風のエネルギーは風速の3乗に比例するので、年間平均風速10m/secの地域の風エネルギーは、それが6.5m/secの地域の風エネルギーと比較すると、単純に計算しても $(10/6.5)^3=3.64$ 、即ち3.64倍のエネルギーが得られる。

このような状況下であり現状は全くと言ってよいほど人の住まない(住めない)地域であるが、風のエネルギーは非常に大きく、だからこそこの地域を開発し風力水素を製造する事が可能であると考ええる。

### 3.2. パタゴニアの潜在電力量

既に報告の通り<sup>(2)</sup>、この地域の概略風況調査結果を基に、パタゴニアの潜在風力発電量を計算している。

ここではその結論のみを示すが、両州とも総面積の50%に風車が設置可能とすると、想定した3,000kW風車(直径100mφ)を各風車の最適な配置を考慮して設置すると、チュブット州では、風車設置可能台数=37万4千台(11億23百万kW)で、その年間出力は4兆4,286億kWhであり、サンタクルス州では、風車設置可能台数=40万6千台

(12.2 億 kW)で、その年間出力は 5 兆 2,367 億 kWh と、それぞれ膨大な量の発電量が期待できる。

従って、両州では年間総発電電力量=9 兆 6,653kWh となり、この値は日本の年間総電力量の 8 倍、これから発生することの出来る水素の量は、世界中の自動車を走らせてまだお釣りの来ると言う計算になる。

このような風車の多数設置と発電電力から水素エネルギーを取る計画は英国政府が同様に進めており、グレートブリテン島の周りに洋上風車を設置しそこで電力と水素を製造しようと考えており彼らは、「英国は 21 世紀のアラブである」との言い方をしている。

勿論、この計算には多くの仮定が有るので、今後更に詳細の検討を進めて行く必要がある。

その第一歩が風況の、即ち風データの信頼性の確保である。このために水素エネルギー協会は主要な地点に風速計を設置して、そのデータを収集中である。

### 3.3. 世界の風力水素構想の推進状況

現在、世界の今後のエネルギー源として風力水素は多くの国で既に検討・検証が行われている。

#### 3.3.1. アルゼンチンにおける風力水素製造試験

今日世界の風力水素の状況はアルゼンチンのパタゴニアに於いては水素村構想が国連の UNIDO 検討されており、チュブット州コレリカ村には、風力水素で生活を行おうと言う実験村がある。又、この村近くに、と言っても自動車でも 30 分くらいはかかるが、ピコツルカト市においては風車を 4 基設置し、その電力を用いて水素製造を行う実験設備が準備されている。図 4 にピコツルカト市の水素実験設備と

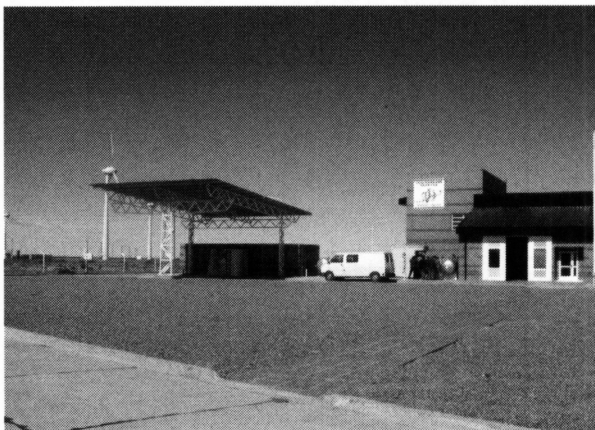


図 4 ピコツルカト市の水素製造実験装置

風車を示す。

#### 3.3.2. 米国における風力水素研究と実験

米国では中部大平原での風力ポテンシャル大きく、大規模な開発が進められようとしている。この中でコロラド州にある National Renewable Energy Laboratory (NREL) では風力エネルギーと水電解槽を結びつけて風力エネルギーから水素を生み出す実験が進んでいる。電解槽としてはアルカリ水電解と固体高分子水電解の両者を効率の面から比較、検討している。

オバマ大統領の就任以来、米国は再生可能エネルギー利用が積極的に進められつつある。ここでは水素の果たす役割は大きくなると予想される。

#### 3.3.3. キリヤにおける風力水素研究と実験

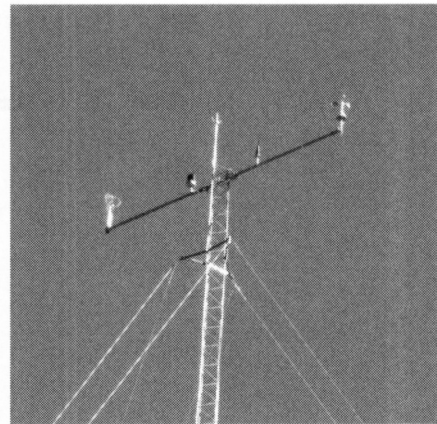


図 5. ピコツルカトで稼働中の水素エネルギー協会の風速計(カイジョーソニック製)

ギリシャは比較的風力エネルギーに恵まれており、アッチカ半島を中心に 2010 年までに 3.4 GW の開発計画がある。このスニオン岬のオリンポス宮殿の近くに 3.4 MW の Wind Farm があり、その中で 500 kW をベースにした風力水素プロジェクトが進行中である。水電解はアルカリ方式と固体高分子方式の両者があり、水素貯蔵は気体タンクとともに金属水素化物も試されている。貯えた水素は燃料電池を利用して電気に戻される。

#### 3.3.4. スペインカリア島における風力水素研究と実験

カナリア諸島とはアフリカ、モロッコ沖の大西洋にあるスペイン領の島々である。ここでは風力エネルギーの利用が既に積極的に進んでいる。現在は 150 MW の風車が設置されており、電力とともに海水の淡水化に利用さ

れている。水資源の少ないこれらの島では風車—逆浸透による純水製造システムはなくてはならないものになっている。ここでは更に風車を 2.5 GW に拡張する計画であり、これと水電解、燃料電池と結びつけて、島全体の脱化石エネルギーを目指す計画がある。

4. 風力発電装置に関する課題

上記のような各方面の風力水素に関する取り組みがあるが、一方で個々の機器についてもまだまだ取り組むべき課題は多い。ここでは風車の設計製造に関する課題を報告する。

現在までのパナマにおける風況調査と既設の運転されている風車の状況、水素製造装置と風車の発生する電力の品質に関してこれまでの検討結果を示す。これ等は今日までの現地調査と既設風車の運転状況から得られたものである。

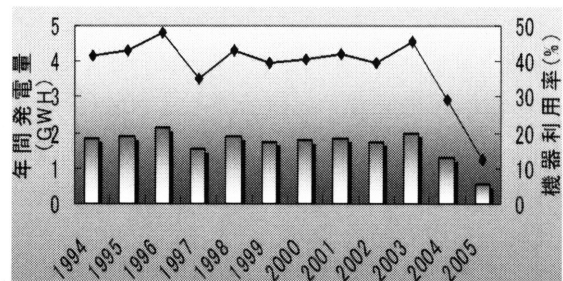
4.1. 詳細な風況精査の実施

風車の設計、製造は今までの多くの風車事故に鑑み IEC(国際電気機関)が「風力発電装置の安全に関するガイドライン」；IEC61200-1 を作成し、この標準を中心に一部を除き世界中の風車が製造されている。<sup>③</sup>

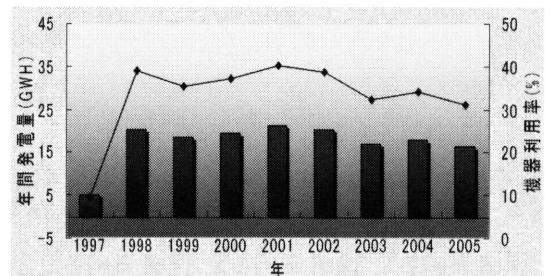
このガイドラインは色々な風の特性や状況を示し、その要求に沿って検討検証する事で安全は風力発電を設置しようと考えているものであるが、そのなかに風の強さによって標準型の風車を設計・製作・据付・運転を進める様になっている。しかしパナマの風況はこれ等の要求を超えるような非常に強い風の領域であることが理解される。

一方この風況に関しては、現在までにパナマ地方に設置されている数 10 台の風車の実績から証明されている。つまり、予想以上に風が強く、(風車を設置するものにとって言えば理想的な風況であるが)、国際標準である IEC に記載されている基準を超える強風地域であるから、多くの IEC の標準で設計製造された風車が運転開始後数年で故障したり停止したりしている。風力水素を安定的に供給するには、十分な風況計測、観測結果の解析、風車設計への適用方法を今まで以上に調査することが先ず求められることである。図 6 にパナマの風車の運転実績が設置時期から順番に示してあるが、初期故障を除くと運転時間が増えるごとに稼働率が落ちている事がわか

る。本年放送された TV でこのサイトを見たが我々が訪問した時より多くの風車が止まっているのが観察された。



2 x 250kW 風車の運転実績



8 x 750kW 風車の運転実績

図 6 風車の運転実績

4.2. 建設場所の風況に適した風車の設計と製造

パナマに設置されている風車の運転状況を見ると、IEC の風車設計条件としての最高レベルの風況を超えた強風地帯であるから標準的な分類を超えた「CLASS S」と呼ばれる建設場所毎の風況観測結果を元の風車の強度を確認する必要がある。

従って、現在国際的な風車市場で流通している風車で建設不可能で、この地域の風況に適した新しい疲労強度の高い風車の開発が必要である。このために風の精査を行い設計条件を十分に吟味し、現在までの風車関係者が持っている技術を駆使した範囲で要求される寿命を満足できるような風車の設計製造が必要である。

4.3. 水素製造装置の要求する電力品質のための風車設計

最適な風車の設計を上記の風からの要求(即ち風外力)に適した機械とするとともに、水素発生装置が要求する電気の仕様に対して、その要求を満足するようなシステムを考慮して設計製造する必要がある。

現在の系統連系を考慮した風車は、殆どが交流発電装

置であるが、水素製造装置において必要とされる電力(電気)は直流である。

直流式の風車を製造すべきなのか、交流発電機で製造された電気をインバータで整流して採用するのがよいのか、水素製造基地が風車から遠方にしか建設されない場合には送電のことを考慮して交流とすべきなのかと言う事で、風車の構造も異なってくる。最新の超伝導発電機が適用できればと考えるのは我々だけではないであろう。

#### 4.4 強度設計と発電機との整合性

最新の設計技術では時刻暦解析による応力解析手法が使われるが、風車を構成する各機器の仕様の選定が設計や直接関わってくる。

従来の設計思想の風車を採用する場合には、既に量産化が行われているので、そのコストは国際標準的なものが採用される。しかし上記のような新しい構造を考慮した風車を採用する場合は、開発・設計・製造・建設に関して他の量産化機種と同等の競争力を持った機械を前述の発電量予測に沿って量産化するための最低生産台数を決める必要がある。

#### 4.5 風車の製造工場、建設工事、運転管理、保守整備体制等に関する検討

現地の状況は前述のように、社会資本が現在は全くといってよいほど無い。従って、風車や水素製造装置に関しては製造工場や建設工事、運転後の運転管理、保守整備体制の整備等についても今後は大きな検討項目となろう。

### 5. 水素社会の実現と環境問題の解決への期待

以上のような技術的な課題を克服することは、わが国の技術を活用し、不明な点を検討検証しながら進めて行く事で解決できるものと思われる。

しかしながら今までの報告で理解されるように、社会基盤が整備されている場所に設置するわけではないので多くの機器以外の課題がある。

電力送電線、建設工事、製品積み出し、消費地における水素インフラの整備、そして水素を使う各種の機器開発等である。

基本的な未使用の風エネルギーは十分過ぎるほどあるが、有効活用しかつ経済的に他の機器と競合して打ち勝つためには大量生産によるコストダウンと言った当たり前のことを筆頭に、現地における運転体制の確立、長期にわたって運転するための風車や水素製造装置、輸送機器の再生産計画等を考慮して進める必要がある。

風力水素は多くのシンクタンクが長期のエネルギー製造源を予測している通り、西暦 2,100 年を越えてのエネルギー供給基地となる必要があるのでこれ等の事も考慮した計画が必要である。

風力発電とそれに伴った基盤整備が可能になり世界中に水素エネルギーの供給が可能になる。この水素を供給する事でエネルギーと環境問題を克服することが出来る。水素社会の実現は従来の二酸化炭素循環社会から水素を中心とした水循環社会への変換が出来る。水循環社会の実現は基本的には二酸化炭素を排出することのない、地球温暖化ガスの出ない社会の構築である。そして、使われた機材の再生産を中心とした全資材・材料の再生可能社会が構築する事で産業の構造としても、わが国のような資源に乏しい国において重要である。

### 6. 最後に

我々の子孫が今後住むであろう地球に対して、風力水素技術を適用してエネルギーと環境問題を克服したならば、我々は地球の未来に期待と希望を持って行くことが出来るよう。

また、2,100 年にも繋がるような長期計画のもとで、最長でも 10 年程度であろう短期計画を構築出来ればパタゴニアの風が持つ潜在エネルギーは世界の人々を救い、環境をも守る有効な装置となろう。関係者各位の今後のご協力と開発に向けてのご指導をお願いしたい。

#### 参照図書と参考文献

- (1) NEDO 平成 17 年度調査報告書 05003143-0 「南米の再生可能エネルギーを利用した水素の生産に関する調査」調査報告書 平成 18 年 3 月 (独) 新エネルギー・産業技術開発機構 委託先水素エネルギー協会
- (2) 勝呂 幸男 「アルゼンチンにおける風車利用の可能性」足利工大第 6 回風力エネルギー利用総合セミナー H18.6.23-24
- (3) IEC61400-1(あるいは JIS C1400-1)edition 3 Wind Turbine -Part 1- Design Requirement 2006