

# 「水素社会」構想について

わが国では何故か水素ガスが高評価されているようで、その水素ガスを多用しようという「水素社会」構想が喧伝されています。

この構想の主目的は、空中への炭酸ガスの排出量削減と太陽光発電などの自然エネルギーを利用した発電量の変動対策とのことです。

しかし、水素社会構想の大きな柱になっている燃料電池車や家庭用コジェネである「エネファーム」が競合相手に競り負けていることが明白になってきたようです。

そこで、本当に近い将来に水素ガスを多用せざるを得なくなるのか、多用するメリットはあるのか、整理をしてみました。

なお、以下の記述は高等学校程度の素養が必要な内容になっています。

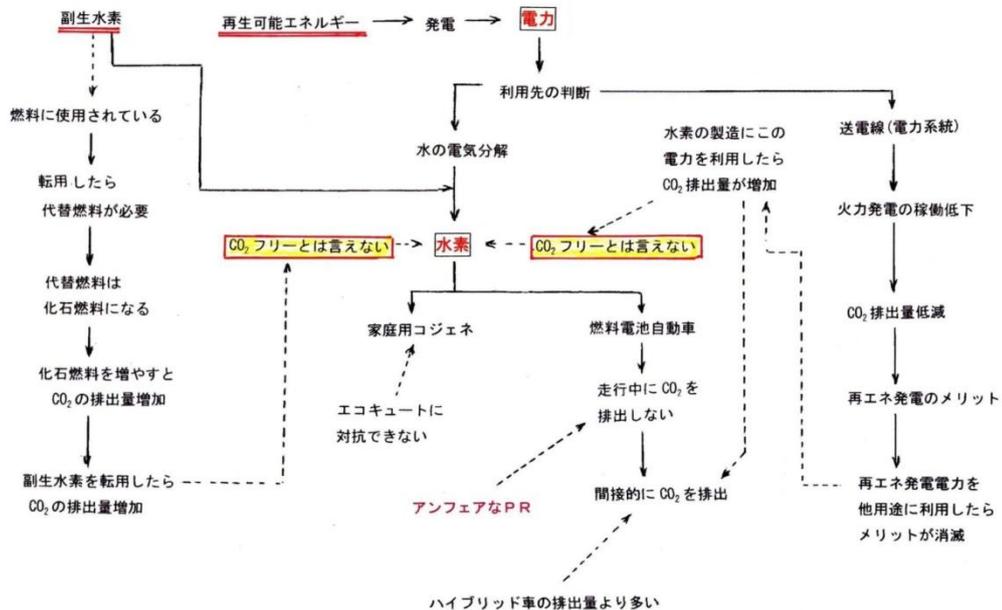
## 【内容の概要】

水素ガスは再生可能エネルギーのようなエネルギーではないので、化石燃料に代替できるエネルギー源ではありません。ただ、エネルギーを輸送・貯蔵するために役に立つ可能性はあるのですが、中心的なエネルギーである電力の貯蔵に関しては二次電池(蓄電池)に対抗できない可能性が大きいと考えられます。

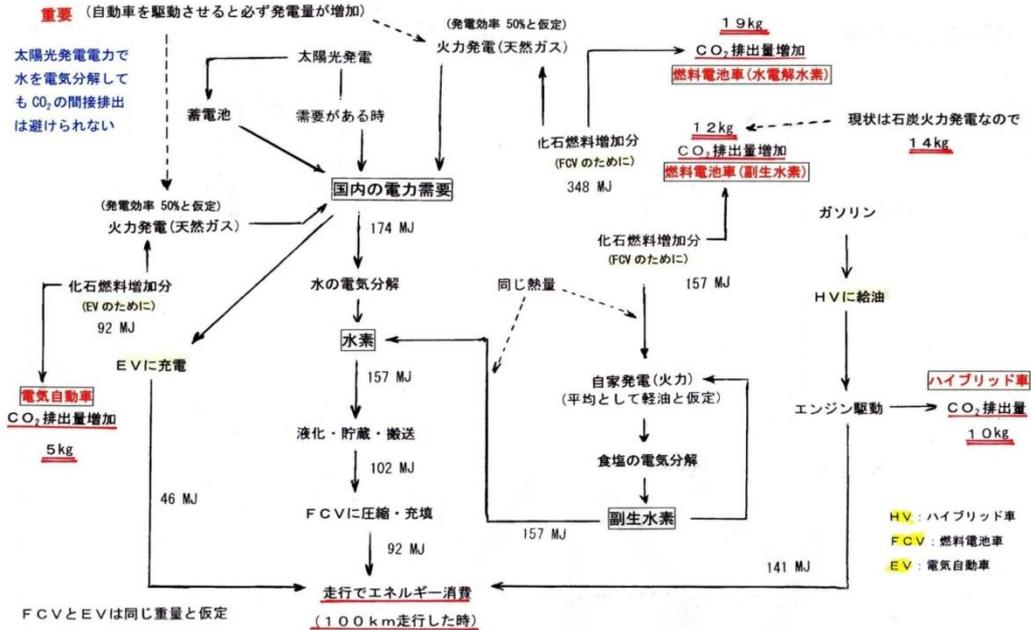
## 【画像資料】

文章を読むのが面倒な方は次の画像をご覧ください。

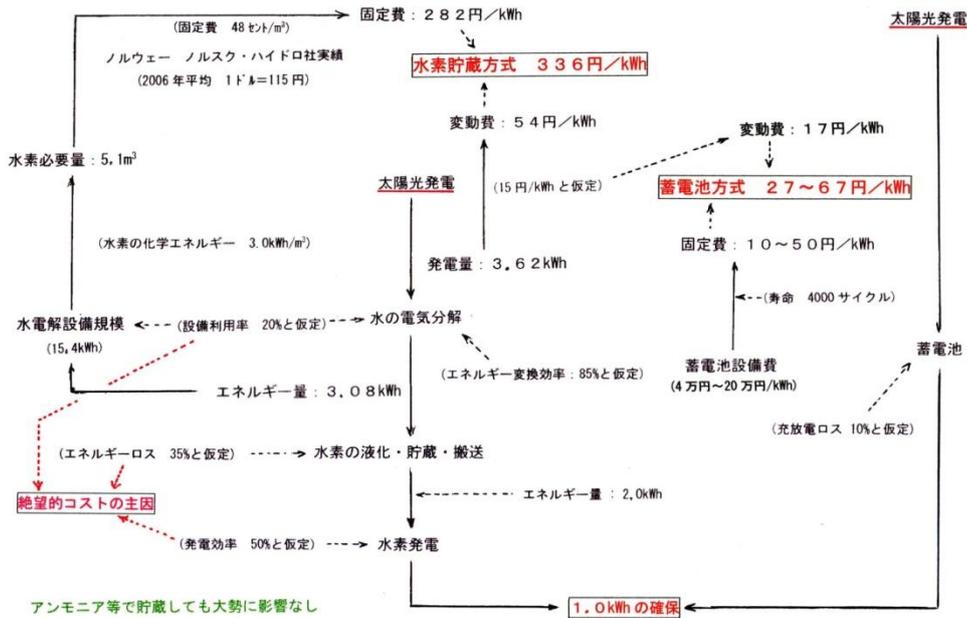
### 「CO<sub>2</sub>フリー水素」という誤解



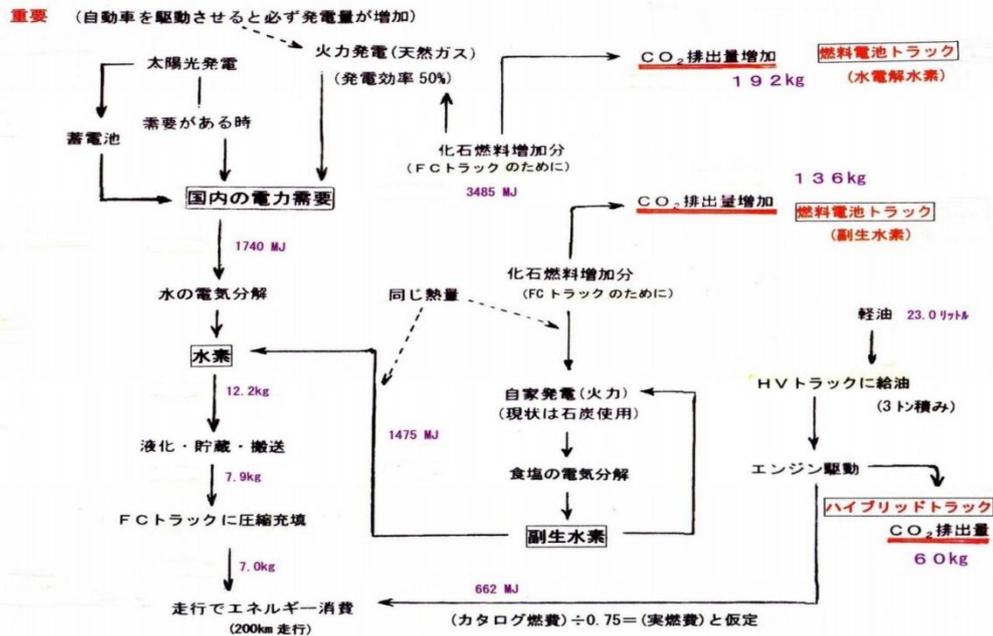
燃料電池車(水電解水素、副生水素)、電気自動車、ハイブリッド車 の比較



電力はどのように蓄えるべきか (水素社会の問題点)



## 燃料電池トラック と ハイブリッドトラックの比較



## 目次

- (A) 素エネルギーという用語について……………水素に関する誤解の解消のために
  - (A-1) 水素エネルギーとは
  - (A-2) 水素は無尽蔵にあるという説明は無責任だ
- (B) 考察する際の前提(議論の余地が無い確実な話)……………誤解を防止するために
- (C) 水素ガスの製造方法……………水素は再生可能エネルギーではない
- (D) 化石燃料を水素ガスに変換……………水素に変換する必然性は小さい
  - (D-1) 天然ガス(メタン)を燃料用の水素ガスに変換するメリットはあるのか
  - (D-2) 外国で化石燃料を利用して水素を製造して輸入するという提案
- (E) 水素ガスをメタンやメタノールなどに変換……………水素の用途にはなりにくい
  - (E-1) メタンへの変換は簡単だが面白い話ではない
  - (E-2) メタノールへの変換も簡単だがナンセンス
- (F) CO<sub>2</sub>フリー水素の確保の難しさ……………水素イコール温暖化抑制ではない
  - (F-1) わが国では「CO<sub>2</sub>フリー水素」の確保は難しい
  - (F-2) 水を太陽光で分解する技術は工業化できない
  - (F-3) 水素ガスの製造には多種の原料が使用可能だが
  - (F-4) 燃料電池車用の水素を下水汚泥から製造するという話
  - (F-5) わが国のバイオマス資源量は多くない?

- (F-6) 太陽光発電で発電した電力を利用した水の電気分解は高コストだ
- (F-7) 副生水素を燃料電池の燃料に利用する話は魅力的ではない
- (G) 水素の輸送や貯蔵……………エネルギーロスが多く経済性の問題に難点
  - (G-1) 家庭への水素ガス配管網を構築するよりもオール電化が望ましい
  - (G-2) エネルギー用途の水素ガスをアンモニアにして取扱うという話には魅力はない
  - (G-3) 水素の運搬・貯蔵のためにトルエンを利用するという提案には魅力はない
  - (G-4) エネルギーキャリアは大幅なコストアップになる
- (H) 大規模水素発電所……………水素が安価なら技術的な難しさはない
  - (H-1) 外国での実証試験
- (I) 燃料電池の問題点……………魅力的なエネルギー関連機器ではなさそう
  - (I-1) 外国での燃料電池に対する期待は大きくない？
  - (I-2) リン酸型燃料電池も熔融炭酸塩型燃料電池も将来性はない
  - (I-3) 燃料電池の発電効率を高めるのは厄介だ
- (J) 燃料電池への利用(家庭用)……………競合相手に勝てそうにない
  - (J-1) 固体酸化物型燃料電池(SOFC)の「エネファーム」への活用
  - (J-2) 「エネファーム」は「エコキュート」に対抗できない
  - (J-3) 家庭用分散電源の防災機能向上効果は
  - (J-4) 燃料電池の確保の難しさ
- (K) 燃料電池への利用(自動車)……………温暖化抑制のためならハイブリッド車にも勝てない
  - (K-1) 燃料電池車(FCV)よりハイブリッド車(HV)の方が温暖化抑制効果が大きい
  - (K-2) 電気自動車(EV)の方が燃料電池車(FCV)よりも温暖化抑制効果が大きい
  - (K-3) 電気自動車(EV)の方が燃料電池車(FCV)より不安定電源への相性がいい
  - (K-4) 電気自動車(EV)の方が燃料電池車(FCV)よりも技術改良の余地が大きい？
  - (K-5) 燃料電池車を公共施設のエネルギー貯蔵装置と考えるという意見について
  - (K-6) 燃料電池車の将来の姿は
- (L) 燃料電池への利用(大規模発電)……………経済性・信頼性に問題がある
  - (L-1) セラミックス製の固体酸化物型燃料電池(SOFC)の課題
  - (L-2) セラミックス製の固体酸化物型燃料電池(SOFC)の活用
  - (L-3) 電気化学系設備の特徴
  - (L-4) 燃料電池の大規模用途は難しそうだ
- (M) 自然エネルギー系変動電力の平準化……………水素利用よりも蓄電池の方が格段に有利
  - (M-1) 不安定電源対策の種類
  - (M-2) 太陽光発電などで発電した余剰電力を水素に変換して天然ガスに混入
  - (M-3) 小規模な需給ギャップ対策は燃料電池よりも蓄電池の方が使いやすい
  - (M-4) 夕方に太陽光発電量が減り、需要も増加するので対策が必要だが
  - (M-5) 規模が大きい時の水素ガス方式と二次電池方式の競合はどうなるのか
- (N) エネルギー安全保障……………強調できるほどのものではない
  - (N-1) 水素とエネルギー安全保障
  - (N-2) 炭酸ガスの排出が禁止されたとき
- (O) アンモニアに変換して利用する……………水素が否定されるのならアンモニアも難しい
  - (O-1) アンモニアの合成について

- (0-2) アンモニアの貯蔵について
- (0-3) アンモニアの燃焼について
- (P) その他(エクセルギー増進、海外の動向など)……………水素が必要説の補強にはならない
  - (P-1) エクセルギーを増進できるという話には注目する必要はない
  - (P-2) 外国も注目に値するようなことはしていない

## 自己紹介

付録 水素社会関連の公表資料へのコメント

## 各論

### (A) 水素エネルギーという用語について

#### (A-1) 水素エネルギーとは

水素ガスがエネルギーの発生源だという誤解を与えるといけないので、普段はこの用語は使用していません。正しくは水素分子(水素ガス)と空気中の酸素ガスの組み合わせが持っている化学エネルギーのことだろうと思います。

ただ Google で「水素エネルギー」をキーワードにして検索すると、驚くべきことに、一番はじめに次のような説明がされていました。

『水素エネルギーとは、再生可能エネルギーの一つで、別名「水素燃料」とも呼ばれ、水素を原料として生産されるエネルギーの事を指します。水素は水やバイオエタノールなど、様々な原料から取り出せるので、現在、水素を利用したエネルギーに注目が集まっています。』

「水素を原料にして生産されるエネルギー」という文章は何を言いたいのかよくわかりませんが、少なくとも水素ガスからエネルギーが「生み出されている」わけではありません。エネルギーを生み出しているのは、太陽(核融合)、原子炉(核分裂)、地球の中心部(核崩壊)、などの核反応です。

念のために「再生可能エネルギー」の定義も調べてみたら下記のように記されていました。この記述・説明には異論はありません。

『再生可能エネルギーとは本来、「絶えず資源が補充されて枯渇することのないエネルギー」、「利用する以上の速度で自然に再生するエネルギー」という意味の用語であり、日本の法令で定義されている新エネルギーは、再生可能エネルギーの一部である。具体例としては、太陽光、太陽熱、水力、風力、地熱、波力、温度差、バイオマスなどが挙げられる。』

水素ガス(水素分子)と空気中の酸素の組み合わせは化学エネルギーを持っていますが、再生可能エネルギーの定義にあるような「自然に」再生はされません。よって、水素エネルギーは再生可能エネルギーとはいえないはずです。

言い換えれば、水分子(H<sub>2</sub>O)などに含まれている水素原子から水素分子(水素ガス)を製造するときには、他から多量のエネルギーを取り入れる必要があります。

## (A-2) 水素は無尽蔵にあるという説明は無責任だ

水の惑星である地球には水素は無尽蔵にある、と記された某社の資料がありました。水と太陽光があれば水素は無尽蔵に製造できるのだ、と言いたいのですが、水は地球上では化学エネルギーを持ち得ないので、エネルギーが無尽蔵にあるのは太陽光であって水とは直接的には無関係のはずです。

言い換えれば、無尽蔵にあるのは「水素原子」であり、酸素が存在する地球上で化学エネルギーを持っている「水素分子」ではありません。なお、当然のことですが、月では水素分子(水素ガス)は化学エネルギーを持つことはできません。どうも「水素」とだけ記載されてしまうので、水素原子と水素分子がゴチャゴチャになっている人もおられるようです。

## **(B) 考察する際の前提 (議論の余地が無い確実な話)**

\* 水素ガス(H<sub>2</sub>)はエネルギーの「発生源」ではありません。太陽光、風力、水力などのように自然に存在しているわけではありません。エネルギーを輸送したり貯蔵したりするための手段の一つとして活用することができる物質です。

\* 電気エネルギーが最も用途が広く使い勝手がいいエネルギーです。わが国では送電線や配電線も整備されており何時でも利用できるようになっています。

\* 太陽光や風力などの自然エネルギーから水素エネルギーへの大規模な変換の際には電気エネルギーを経由するはずで、また、水素エネルギーはほとんどが電気エネルギーに変換して利用されます。よって、水素エネルギーは電気エネルギーに従属的であると考えられます。

【注】触媒を使用した水の太陽光分解は工業化することができません。危険だし高コストだからです。

\* 水も炭酸ガスも地球上の通常環境では極めて安定で、化学エネルギーを保有できません。

\* 炭酸ガスを地中に確実にかつ安価に貯留する技術は実用化の見通しが立っていないようです。

\* 世界で排出されている炭酸ガスは年間 300 億トンを超えています。削減効果が小さすぎる対策は後回しにすべきです。

\* 炭酸ガスの排出量削減が可能な手法であっても経済性を極端に無視した構想は実現できる可能性は小さいはずです。

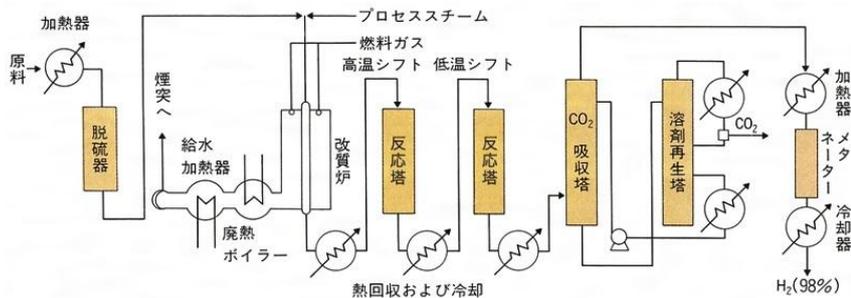
\* エネルギーはその重要性から安定供給への信頼性が必須です。

### (C) 水素ガスの製造方法

水の電気分解………現在では世界的にもこの方法で大規模に水素ガスを製造している例はほとんどありません。水の電気分解設備を変動が大きい太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー系の発電設備と直結すると設備利用率が非常に低くなり、高コストになる可能性があります。なお、水の電気分解に関しては過去に NEDO 主導で技術検討されたことがあるはずですが。

水の太陽光分解 (触媒を利用)………実験室規模では製造可能ですが、大規模に工業化することはできません。水が分解されて生成する水素と酸素の混合ガスが極めて危険だからです。また、太陽電池のような単純な構造ではないので大規模な設備を作ったり、それを管理したりするのは容易ではありません。

軽質の化石燃料の水蒸気改質………化石燃料と水蒸気を反応させる方法で、スチームリフォーミングと呼ばれており、現在の水素ガス製造方法の主流です。この反応には多量の高温の熱を加える必要があるため、伝熱速度の大きい輻射伝熱方式で熱を供給しながら触媒が詰め込まれている細いパイプ内で反応させます。



重質 & 固形の化石燃料の高温ガス化………石油化学が勃興する以前の水素ガスの製造方法です。当時の水素ガスの用途はほとんどがアンモニア合成用でした。原料の化石燃料とスチームと空気から分離をした酸素を高温の炉に吹き込み、水素ガスを製造します。なお、酸素は燃料の一部を燃焼させて炉内の温度を上げるために投入されています。

バイオマスの発酵を經由………継続的に品質の変動が小さいバイオマスを手に入れるのが厄介です。汚泥などを発酵させて得られる消化ガスにはメタンの他に硫化水素や炭酸ガスが含まれており、精製する必要があります。なお、メタンを水蒸気改質したら水素が得られます。

副生水素ガス………食塩電解やコークス製造の際には水素ガスが副生します。ただ量が少なく、温暖化抑制云々という話としてはあまり魅力的ではありません。副生している水素ガスの多くはボイラーなどの燃料に利用されているので、この水素ガスを転用したら化石燃料で埋め合わせをする必要があります、当該ボイラーなどからの炭酸ガス排出量が増えてしまいます。

## **(D) 化石燃料を水素ガスに変換**

### **(D-1) 天然ガス(メタン)を燃料用の水素ガスに変換するメリットはあるのか**

技術的には天然ガスをスチームリフォーミング(水蒸気改質)することで水素ガスを製造することができます。この反応を進めるためには多量の高温の熱を供給する必要があります。

理論的には、原料の天然ガスを燃した時に得られる燃焼熱量に水蒸気改質反応を進めるために加えた熱量を足し合わせたエネルギー量は、製造された水素ガスを燃焼させた時の燃焼熱量と同じになります。

よって、天然ガスを水素ガスに変換しても化学エネルギー量が増えるわけではありません。逆に、実際には変換する工程でロスが出るので化学エネルギー量は減少します。さらに多額の設備投資が必要になる不利もあります。

もし水素ガスを経由することで電気エネルギーへの変換効率が格段に向上するのであれば、天然ガスを事前に水素ガスに変換しておくメリットがあるのかもしれませんが、そのような技術は存在しないはずで、水素ガスを燃料とする燃料電池の発電効率も特段に優れているわけではありません。

### **(D-2) 外国で化石燃料を利用して水素を製造して輸入するという提案**

副生する CO<sub>2</sub> を地中などに低コストで確実に貯留できるのであれば、高温の反応炉中に酸素や水蒸気などと吹き込んで水素ガスに変換することは比較的簡単にできるので、単なる経済性比較だけの問題になりますが、現状では CO<sub>2</sub> 貯留(CCS)は簡単ではなさそうです。

もし CO<sub>2</sub> を安価に確実に地中などに貯留できるのであれば、化石燃料を燃焼させた排煙から CO<sub>2</sub> を回収することはそれほど難しくはないので、現状の化石燃料の利用方法が継続される可能性が高く、敢えて水素ガスを利用する必要もないことになりそうです。

たとえば、オーストラリアの褐炭を有効利用するという話は数十年前から出たり引っ込んだりしています。過去には、乾燥させた褐炭の微粉末を空気に接触させないように窒素雰囲気下で保存・輸送することが NEDO で検討されたことがあったはずで、本当に魅力がある計画なら、他国の資本も乗り出してきて競合になり、利点は圧縮されるはずで、

## **(E) 水素ガスをメタンやメタノールなどに変換**

### **(E-1) メタンへの変換は簡単だが面白い話ではない**

ドイツの Audi 社が水素ガスと炭酸ガスからメタンを合成して、圧縮天然ガスとして自動車燃料にする提案をしているのだそうです。炭酸ガスと水素ガスから一酸化炭素を得るのは極めて簡単です。水素ガスを製造する時には、この逆の反応をさせています。

一酸化炭素と水素ガスがあればメタンを合成することは極めて簡単です。前に水素製造プラントの簡単なフローシートを載せておきましたが、その中の「メタネーター」でこの反応が行われています。

水素ガスをメタンに変換すると全くロスなしに理想的に反応が進んだと仮定しても、炭酸ガスと反応させることによって水素ガスをメタン製造の原料にした場合には、製造されたメタンの持っている燃焼熱は、もとの水素ガスの持っている燃焼熱の約 78%に減ってしまいます。(残りの 22%は反応を進めている際に利用しにくい熱エネルギーなどになります)

この提案で最も気になるのは、折角濃縮されている状態の炭酸ガスを空気中にばら撒いてしまうことです。また、一般的には化学反応処理コストはそれほど安価なものではないので、できることなら避けることが賢明です。なお、水素ガスと一酸化炭素から炭化水素化合物を合成するのはフィッシャー・トロプシュ合成といわれ、第二次世界大戦以前にドイツではメタンよりも技術的に難しい燃料油などを合成していました。

水素社会礼賛者の一部の人が、水素の輸送や貯蔵を簡単にするために、水素と炭酸ガスを反応させてメタンに変換することを提案されており、このようなメタンは「カーボンニュートラルメタン」とよばれているようです。水素と違ってメタンにしておくとも既存の LNG 関連の設備が利用できる所以初期投資が少なくて済む、という主張のようです。

エネルギーロスが少なくないし、炭酸ガスを回収する必要もあるので、あまり魅力的ではないはずです。

## (E-2) メタノールへの変換も簡単だがナンセンス

数年前に、太陽光を使って製造した水素ガスと炭酸ガスからメタノールを製造する試験プラントの運転を開始したとの NHK のニュースでの報道があり、当該試験の中止を進言したことがありました。その理由は下記のとおりです。

水を触媒存在下で太陽光分解する反応は後述 (F-2) のように大規模に実施することはできません。それ故に水素ガスを得るためには太陽電池で発電した電力を使用して水を電気分解せざるを得ません。

太陽電池で発電した電力を、メタノール製造用の水素ガスの製造には使用せずに、電力でなくてはならない別の用途に利用すれば、それだけ火力発電による発電量を削減できます。そうすると、炭酸ガスの排出量が減少します。

この火力発電の発電量削減で減少する炭酸ガスの排出量は炭酸ガスを使用してメタノールを製造した場合に固定できる炭酸ガスの量よりも多くなります。よって、メタノールを入手したいのであれば、太陽光発電によって火力発電の発電量が削減されることで使用量が減る発電用燃料の天然ガスなど炭化水素の一部を原料にして、現状の方法でメタノールを合成するほうが賢明です。

## **(F) 「CO<sub>2</sub>フリー水素」の確保の難しさ**

### (F-1) わが国では「CO<sub>2</sub>フリー水素」の確保は難しい

「CO<sub>2</sub>フリー水素」という用語は CO<sub>2</sub> を直接的または間接的に空気中に排出することなく製造された水素という意味で使用しています。わが国とは異なり、北欧のアイスランドやノルウェーな

どでは「CO<sub>2</sub>フリー水素」が存在し得ます。これらの国では、化石燃料を使用する火力発電がほとんどないからです。

【注】水素製造設備の確保にはCO<sub>2</sub>を排出しているので、絶対的なCO<sub>2</sub>フリー水素は存在しないという意見もあります。

わが国では、太陽光や風力などの自然エネルギーを使って水素ガスを製造しても炭酸ガスの間接的な排出を止めることはできません。

例えば、風力発電で得られた電力があるとします。この電力を使って水を電気分解したら炭酸ガスを排出しないで水素ガスを得ることができます。一方、この電力を電気分解に使用せずに送電線網（電力系統）に流したら火力発電の負荷が下がり、炭酸ガスの排出量を減少することができます。

同じ電力で、水素ガスを得ることもできるし、火力発電所からの炭酸ガス排出量を削減することもできます。言い換えれば、水の電気分解で水素ガスを製造する場合には、火力発電所からの炭酸ガス排出量削減というメリットを放棄することと引き換えに水素ガスを入手しているのです。

よって、水素ガスを得るために炭酸ガスを排出していることと同じことになります。

すなわち、太陽光や風力が持っているエネルギーを電気エネルギーに変換する行為が炭酸ガスの排出量を減らしているのであって、その電気エネルギーを使って水素ガスを製造したり、その水素ガスを燃料にして利用することが炭酸ガスの排出量を減らしている訳ではありません。

大切な内容なので、理解をより確実なものにするために別の説明をしてみます。

我々が入手できる利用価値の高いエネルギーは、一次的には、水力や地熱も含めた自然エネルギー、原子力、化石燃料だけです。これらを利用しやすい電気や熱などに変換して利用しています。必要があれば水素ガスに変換することもできます。

どこの国でも、利用価値の高いエネルギーを一定量必要としています。

自然エネルギーと原子力とで足りない部分は化石燃料を使用せざるを得ませんが、化石燃料を使用すれば、炭酸ガスを排出することになります。利用価値の高いエネルギーの必要量のうち、水素ガスを利用する分野に自然エネルギーを使用したら、その分だけ他の用途で化石燃料を使用せざるを得なくなり、炭酸ガスの排出量が減るわけではないはずです。

## **(F-2) 水を太陽光で分解する技術は工業化できない**

酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)などを触媒にすれば水を太陽光エネルギーで直接的に水素ガスと酸素ガスに分解することができるということが知られています。化学的な興味を引きやすいのですが、実的にこの方法で水素ガスを製造するようになる可能性はありません。

太陽電池で発電して、その電力で水を電気分解する方式に経済的に対抗できないし、さらに致命的なのは、水の太陽光分解で得られた水素と酸素の混合ガスは爆発しやすいので極めて危険で、ごく少量でしか取り扱うことはできないのです。

## **(F-3) 水素ガスの製造には多種の原料が使用可能だが**

不要または安価な有機物があれば、それらを使って水素ガスを製造することは可能です。生命を失った植物(生物)は、放置しておいても腐敗などでCO<sub>2</sub>に変換されてしまうので、経済的に成り立つのであれば利用可能なエネルギーを取り出した方が賢明であることは間違いありません。

たとえば、1000℃以上のような高温の炉の中に有機物と水蒸気を投入すれば、原理的には水素と一酸化炭素に分解できます。生成した一酸化炭素は水蒸気と反応させれば容易に水素ガスとCO<sub>2</sub>に変換可能です。なお、この際には炉の温度を高温に保つために適量の酸素を投入する方法が一般的です。ただし、水素製造コストが少額ではないことと、安価に確保できる有機物が期待されているほど多くないことが問題になります。

#### (F-4) 燃料電池車用の水素を下水汚泥から製造するという話

経済性を無視しても構わないのであれば、下水汚泥を嫌気性発酵させて得られた消化ガスを利用して水素を製造することは技術的にはさして難しくはありません。

ただ、消化ガスにはメタンの他にCO<sub>2</sub>が33～35%、H<sub>2</sub>Sが0.02～0.08%含まれているので、水素ガスを確保する原料に使用しても、精製してメタンガスにするにしても、同じようにCO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>Sを除去することになるので、水素ガスにしなくてはならない必然性や水素ガスにするメリットはありません。

高純度の水素ガスが要求される燃料電池車用燃料にするよりも、消化ガスはH<sub>2</sub>Sだけを除去して燃焼用の燃料に利用するのが最も合理的なはずです。

#### (F-5) わが国のバイオマス資源量は多くない？

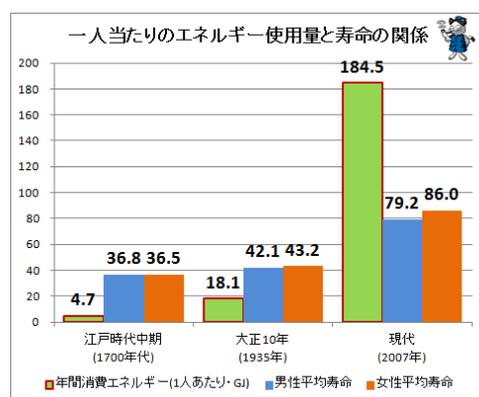
江戸時代のことを考えてみると、当時は必要なエネルギーの大半をバイオマスに頼っていたはずで、当時の人口(3000万人前後)で当時の文化水準だったら必要なエネルギーをなんとか賄えることができたのでしょう。

江戸時代中期のエネルギー消費量は、人口増も考慮してわが国全体で比較すると、現在の170分の1程度だったようです。

わが国に降り注ぐ太陽光が当時と現在とで大きく変化はしていないので、現在入手できるバイオマスの量がけた違いに多くなっているとは考えられません。

太平洋戦争の前後には森林を伐採して木材をエネルギー源にしたこともあり、多くの山がみるみるうちに禿山になってしまい、洪水が多発しました。現在のようにエネルギーを多量に消費していなかった時代なのに。

また、成長力の大きい植物を育て続けていると、長年にわたって蓄積されてきた土壌中の養分(有機物)を短期間に吸収してしまって土地が砂漠化しやすいので注意が必要です。



## **(F-6) 太陽光発電で発電した電力を利用した水の電気分解は高コストだ**

水を電気分解したら水素ガスと酸素ガスに分解されることは誰でも知っていますが、この方法で水素ガスを製造している例がほとんどなく、その経済性に関する信頼性の高い情報は入手しにくい状態にあります。

ノルウェーのノルスク・ハイドロ社という電気化学が得意な会社が公開している情報（水素エネルギーシステム Vol. 33 No. 1 19 ページ（2008））によれば、水の電気分解設備（規模：6 万 m<sup>3</sup>/時）の製品水素ガス 1 m<sup>3</sup>あたりの固定費は 48 セント（2006 年）だそうです。2006 年における円ドル換算は平均して 1 ドル＝115 円くらいなので、水素 1 m<sup>3</sup>あたりの固定費は 55 円程度とみなせます。

水素ガスおよび都市ガスの 1 m<sup>3</sup>あたりの低発熱量はそれぞれ 2567kcal と 9870kcal です。都市ガス 1 m<sup>3</sup>の発熱量に対応する水素ガスは 3.84m<sup>3</sup>なので、水素 3.84m<sup>3</sup>あたりの固定費は 211 円になります。

この固定費は水の電気分解設備がフル稼働しているときの値なので、利用率が低い場合には補正する必要があります。太陽光発電設備の平均的な利用率は 7 分の 1 程度なので、この値を使用すると固定費だけで 1480 円になり都市ガス価格の 10 倍以上の金額になりそうです。

## **(F-7) 副生水素を燃料電池の燃料に利用する話は魅力的ではない**

製鉄会社などのコークス炉や苛性ソーダ製造会社での食塩の電気分解設備などでは副生水素が発生しています。これらの副生した水素ガスの一部は自家消費や外販もされていますが、残りは燃料にしているはずですが、多量の水素ガスを継続して空中にパージすることは常識的にはあり得ません。副生水素をすでに燃料に使用しているのであれば、その水素ガスを取り上げたら代替燃料が必要になり、化石燃料を使用せざるを得なくなって CO<sub>2</sub> 排出量削減の目的を適えることができなくなります。

なお、タール分などが含まれているコークス炉ガスなどは精製コストが嵩むので、不純物を気にしないボイラーなどの燃料にした方が環境問題を考慮しても合理的なはずですが。

もっと本質的には副生水素の発生量は温暖化云々という量ではないはずですが。

## **(G) 水素の輸送や貯蔵**

### **(G-1) 家庭への水素ガス配管網を構築するよりもオール電化が望ましい**

化石燃料の利用ができなくなった時には、人口密度の小さい国から液化水素を輸入する可能性も完全には否定できないのかもしれませんが。しかし LNG を輸入して配管網で天然ガスを送っている現状と同じように、水素ガス用の配管網を維持管理するのは巨額な費用が必要になり現実的ではなさそうです。そんなことをするよりもオール電化にする方がはるかに優れていると考えられます。オール電化にしても困ることはほとんどないからです。

前にも記したように、水素ガスは電力に従属している立場なので、エネルギーを電力で供給できるのであれば、水素ガスの出番が無くなるのは当然です。

## (G-2) エネルギー用途の水素ガスをアンモニアにして取扱うという話には魅力はない

水素ガスと窒素ガスからアンモニアを合成する反応は発熱反応なので、理論的には外部からエネルギーを加える必要はありませんが、水素と窒素に分解するときには、分解して得られた水素ガスが持っている燃焼熱の16%程度の熱を加える必要があり、エネルギーロスが発生します。

世界で最も安価に製造されているアンモニアを購入して、そのアンモニアを分解し得た場合でも水素の価格は350円/kg・H<sub>2</sub>程度になります。同じ発熱量のLNGは110円程度なので3倍の価格になっています。化石燃料を利用した安価な水素源を使用してもこんなに高価になるということはアンモニアへの加工費が非常に高価だということです。さらにアンモニアの分解のコストや空気の深冷分離(窒素と酸素の分離)などのコストも上積みされます。

なお、水素ガスと窒素ガスとからアンモニアを合成する方法は半世紀以上も前に現状の製法が開発されるまで採用されていたもので、経済的には不利な合成方法です。

## (G-3) 水素の運搬・貯蔵のためにトルエンを利用するという提案には魅力はない

トルエンと水素ガスを反応させて、メチルシクロヘキサンにして水素ガスを運搬・貯蔵する方法です。反応式は  $C_7H_8 + 2.5H_2 \rightleftharpoons C_7H_{13}$  であり、目的とする水素の20倍の重量の物質を輸送や貯蔵する方法なので無理があります。

また、メチルシクロヘキサンを水素とトルエンに分解する時に、理論的には回収できる水素の燃焼熱の28%程度の熱を必要としエネルギーロスが発生します。さらに、メチルシクロヘキサンやトルエンの輸送・貯蔵費、トルエンを水素化したりメチルシクロヘキサンを分解したりする化学設備の固定費と運転費、ロスになったトルエンの補充費用、などのコストが上乗せされ高価に水素ガスになってしまいます。

さらに、水素ガスに混入するトルエンの除去が必要になるようです。

## (G-4) エネルギーキャリアは大幅なコストアップになる

いろいろな研究が実施されているようです。しかし、とてつもなく高コストになりそうなものがほとんどです。大学の先生方には失礼なのですが、数年前に各研究について勝手にコメントさせていただいたことがあります。

本質的には、化学反応処理は高コスト化が避けられないので、エネルギー関連分野ではできるだけ避けるべきです。化学反応は化学式で書くと簡単ですが、実際に反応をさせるためには複雑な設備が必要ですし、危険を回避するために種々の対策をしているために、考えておられる以上にコストが嵩みます。

## **(H) 大規模水素発電所**

### (H-1) 外国での実証試験

下記のような古い記事がありました。

『イタリア最大の電力会社である ENEL 社は、2010 年 7 月、水素を燃料とする商用の火力発電設備（ガスタービン複合発電）を世界で初めて竣工したと発表した。

既設石炭火力発電所構内に増設されたガスタービンと排熱回収ボイラーである。増設したガスタービンは、近隣の石油化学工場で副生する水素を燃料とし、出力は 12MW である。ガスタービンを出た高温の排ガスの熱エネルギーを排熱回収ボイラーで回収して蒸気を作り、既設の蒸気タービンへ導くことにより、出力が 4MW 増加する。合計で 16MW 相当の出力増となり、年間 6,000 万 kWh の電力が新たに得られる。発電効率は約 42%、建設費は約 55 億円。水素の燃焼挙動は、天然ガスなど従来のガスタービン燃料と比べ異なるため、このガスタービンには ENEL 社が米国ゼネラルエレクトリック（GE）社の関連会社との共同研究により開発した新型の燃焼器が採用された。この燃焼器では、水素は予め蒸気で希釈されて噴射される。』

最近になって 18～20 億円をかけて神戸市に水素ガスを燃料にした実証的な火力発電設備を稼働させると大々的に報道されていました。

設備費が設備規模の 0.6 乗に比例するとして略算すると、イタリアの設備は神戸の設備と較べて半額程度の割安になっていたようです。逆に、神戸の試験費用が高額過ぎなのかもしれません。なぜか、わが国のエネルギー技術関連の試験費用は膨らみすぎる傾向が強いようです。

## **(I) 燃料電池の問題点**

### **(I-1) 外国での燃料電池に対する期待は大きくない？**

家庭用のコジェネ設備（エネファーム）や燃料電池車などに採用されているタイプの固体高分子型燃料電池（PEFC）は、1950 年代の後半に米国の GE 社で発明され、1965 年に人工衛星 Gemini5 号に搭載されました。

1985 年以降にカナダのバラード社が商業化を目指して開発を進めましたが、電池製造コストの引き下げが難しいという経済性の観点から撤退したと報じられています。

日本市場においては、荏原製作所と合併で荏原バラードを設立して家庭用燃料電池市場に参入し東京ガスに発電システムを供給していましたが、同市場からの撤退をきめ荏原バラードは 2009 年 6 月をもって解散されました。

セラミックスで構成されている固体酸化物型燃料電池（SOFC）も開発に主導的な役割を果たしてきた米国のウェスティングハウス社は去り、その後に関係プロジェクトに参加していた米国の GE 社やドイツのシーメンス社も撤退したようです。

### **(I-2) リン酸型燃料電池も溶融炭酸塩型燃料電池も将来性はない**

巨額の開発費を投入したリン酸型燃料電池（PAFC）も溶融炭酸塩型燃料電池（MCFC）も忘れられてしまいました。PAFC では燃料電池の主要材料である炭素系の材料が酸化されて消費してしまうこと、MCFC では主要材料のアルミン酸リチウム微粒子の粒径がどんどん成長してしまうという本質的な問題があったためです。なお、電解質である溶融炭酸塩に溶けない物質は金（ゴールド）だけであり、アルミン酸リチウムも溶融炭酸塩に微量に溶解することから、粒径が成長します。

【注】粒径が大きい方が単位重量当たりの表面積が小さくなるので安定になります。

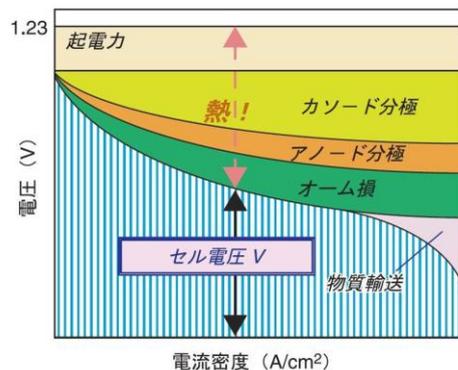
PAFC は東京電力で数 100 億円を投じて規模の大きい試験設備を稼働させたものの、想定外の電気化学メカニズムで主要材料の炭素系材料が酸化されて短期間で運転不能になったようです。

### (I-3) 燃料電池の発電効率を高めるのは厄介だ

反応温度が低い燃料電池の場合には、理論的には水素と空気の組み合わせが持っている化学エネルギーの 9 割以上の発電効率を得られるはずですが、燃料電池には「分極」という本質的な問題があって大幅に発電効率を下げざるを得ません。

なお、分極とは外部の回路に電流が流れることによって電極の電位がずれる現象で、電気抵抗や物質が移動する際の抵抗などが原因になっています。

同一の燃料電池では、負荷を大きくすれば、各種の抵抗が大きくなって、発電効率が低下してしまいます。発電効率の向上と設備費の低減がトレードオフの関係になっているのです。



## (J) 燃料電池への利用(家庭用)

### (J-1) 固体酸化物型燃料電池(SOFC)の「エネファーム」への活用

PEFC ではなく SOFC を利用した家庭用分散電源「エネファーム S」の発電効率は 52%とされています。この値は都市ガスを燃料にした場合であり、水素を燃料に使用した場合にはこんなに高効率にはならないはずですが。都市ガスを燃料に使用した場合には、都市ガスを水素ガスに変換するための水蒸気改質反応(吸熱反応)に排熱を有効利用できることから高効率になります。「水素社会」の話とは結び付きにくいのですが。

水素ガスを燃料にする場合には、排熱を有効利用するためにも、大規模な用途でないとメリットを生かしにくいはずですが。

水素ガスではなく都市ガスを燃料に使用する場合には、エネルギー効率の面ではそれなりの魅力はあるのですが、電池コストの大幅な引き下げや信頼性の確認が前提になります。

最低限、補助金なしでも大衆に魅力を感じさせる商品にする必要があります。

### (J-2) 「エネファーム」は「エコキュート」に対抗できない

「エネファーム」も含め、家庭用のコジェネの問題点は、小規模であるために設備費が割高になること、熱エネルギーも電力も需要量の変動するために両者の需要量をマッチさせる必要があること、などではないでしょうか。

一方、「エコキュート」が注目されるのは、技術開発が進み火力発電所の発電効率が非常に高くなったためです。天然ガスを燃料に使用したコンバインドサイクルという発電方式では、60%まで発電効率が向上しています。また、ヒートポンプも高性能化が進んでおり、使用した電力の5倍程度の熱エネルギーを得ることができます。

雑な計算ですが、発電効率60%のうちの10%分でヒートポンプを駆動してその5倍の熱を得れば、燃料が持ち得る化学エネルギーから電力として50%と熱として50%を得ることが出来ることになります。補助金で生き延びている燃料電池を利用した家庭用コジェネより、経済性の面や使い勝手に優れた「エコキュート」のほうに魅力がありそうです。普及率も桁違いになっています。

2017年6月の発表によれば東芝が“事業の選択と集中の観点から”「エネファーム」から撤退したようです。燃料電池の普及に注力してきた役所に気兼ねをすることができないほど厳しい経営状態になってしまい、本音で意思表示せざるを得なかったということでしょう。

### (J-3) 家庭用分散電源の防災機能向上効果は

燃料電池を利用した家庭用分散電源(エネファーム)や燃料電池車には防災機能が高いとの意見があります。以下をよく検討しておく必要があります。

- (1) 住宅はダメージを受けていないのに、送電線や配電線だけが長期間回復できないようなダメージをうける確率は高くなさそうです。100年に一度程度の確率であれば、高価な自動車に乗る必要はほとんど感じません。
- (2) 住宅が大きなダメージを受けていたら、エネファームや燃料電池車で発電可能でもその電力を利用できません。
- (3) 都市ガスや水素ガスを使っているのであれば、ガス導管が地震などでダメージを受けると回復に時間がかかり、防災には役に立たなくなります。その点では、配電線の方が早期に回復できる傾向があります。
- (4) 一般大衆が、被害を受けた住宅内で電線が短絡していないことを個人でチェックできるのでしょうか。短絡していたら火災の原因になるのでは。また、他家の火災の原因にならないように外部との遮断が問題なくできるのでしょうか。
- (5) 災害時には電気よりも熱が欲しいのでは。最近はカセットボンベを備蓄している家庭も多いようです。

### (J-4) 燃料電池の確保の難しさ

最も実用になりやすい固体高分子型燃料電池(PEFC)では、言い古されているように、貴金属触媒の確保が難しいと考えられています。

## **(K) 燃料電池への利用(自動車)**

### (K-1) 燃料電池車(FCV)よりハイブリッド車(HV)の方が温暖化抑制効果が大きい

やむを得ない場合を除き火力発電所が存在している間は、ガソリンをエネルギー源にしている

ハイブリッド車の方が水素ガスを燃料にする燃料電池車よりも温暖化抑制効果は大きいようです。その根拠になる計算を下に示します。ハイブリッド車の排気ガスが人体に有害ではないのなら、高価な燃料電池車は必ずしも必要ではないのかもしれませんが。

雑な計算ですが、下記のように計算しました。

#### 計算の前提条件

FCV の水素消費量 0.76 kg/100km  
HV のガソリン消費量 4.3 リットル/100km → 3.18 kg/100km  
ガソリンの比重 0.74  
水素の低位発熱量 121 MJ/kg  
ガソリンの低位発熱量 44.4 MJ/kg  
ガソリンの CO<sub>2</sub> 排出量 2.322 kg/リットル  
ボイラ燃料（不明なので軽油および天然ガスと仮定）  
軽油 …… 低位発熱量 43.4 MJ/kg CO<sub>2</sub> 排出量 3.19 kg・CO<sub>2</sub>/kg  
天然ガス …… 低位発熱量 50.0MJ/kg CO<sub>2</sub> 排出量 2.75kg・CO<sub>2</sub>/kg  
水素の圧縮動力(70MPa) 15MJ/kg・H<sub>2</sub>

#### 計算結果

ハイブリッド車で 100km 走行するためには 3.18kg×44.4MJ=141.2MJ のエネルギーを消費します。また、CO<sub>2</sub> 排出量は(4.3 リットル)×(2.322 kg/リットル)=9.98 kg・CO<sub>2</sub> となります。

燃料電池車は 100km 走行する時には 0.76kg の水素を消費するので、121 MJ/kg×0.76kg=92.0 MJ のエネルギーを消費します。さらに、水素の圧縮に要するエネルギーを加算する必要もあります。水素圧縮動力は 16MJ/kg・H<sub>2</sub> 程度なので 0.76kg の水素の場合には 12MJ になります。

自然エネルギーを利用して発電した電力で水を電気分解して水素を製造した場合……電力系統に 92.0MJ の電力を供給できなくなります。そうすると、電力系統に接続されている電力会社の火力発電所の発電効率を 50%と仮定したら、184.0MJ の電力を発電するための化石燃料の使用を削減できるメリットが消滅します。

化石燃料を軽油と仮定したら、184.0MJ÷43.4MJ/kg=4.24kg の軽油に相当し、(3.19 kg・CO<sub>2</sub>/kg)×(4.24kg)=13.53kg の CO<sub>2</sub> が間接的に排出されることになり、9.98kg の CO<sub>2</sub> を排出するハイブリッド車よりも 1.36 倍も多くなります。

電力会社の火力発電所で使用する化石燃料が軽油ではなく天然ガスの場合には、メタンの低位発熱量は 50.0MJ/kg であり、CO<sub>2</sub> 発生量は 2.75kg/kg・CH<sub>4</sub> なので、184.0MJ÷50.0MJ/kg=3.68kg のメタンに相当し、CO<sub>2</sub> の排出量は 3.68kg×(2.75 kg・CO<sub>2</sub>/kg)=10.12kg・CO<sub>2</sub> となり、ハイブリッド車の 1.01 倍となり、ほぼ同量となります。

ただし、上記は水を電気分解する際の変換効率低下および水素を液化して貯蔵することが考慮されていません。電気分解の際の効率を 85%とし、液化水素として貯蔵・輸送する場合には水素の持っている化学エネルギーが 65%に減少することを考慮すると次のようになり、燃料電池車はハイブリッド車(9.98kg・CO<sub>2</sub>)に全く対抗できないこととなります。

火力発電所が軽油を使用している場合  $13.53\text{kg} \cdot \text{CO}_2 \div 0.85 \div 0.65 = 24.5\text{kg} \cdot \text{CO}_2$

火力発電所が天然ガスを使用している場合  $10.12\text{kg} \cdot \text{CO}_2 \div 0.85 \div 0.65 = 18.3\text{kg} \cdot \text{CO}_2$

化石燃料を水蒸気改質して水素に変換して燃料電池車の燃料の水素を製造する場合……理想状態で変換できれば元の化石燃料と得られた水素の持っている化学エネルギー量は同じですが、変換操作の過程で高温の加熱炉を使用したり、 $\text{CO}_2$ の分離をしたり、装置を動かしたりするために、30%程度のエネルギーロスが発生するようです。

また、燃料電池の発電効率が40%程度と仮定すれば、化石燃料の持っていた化学エネルギーの28%が自動車の駆動に供されることとなります。さらに、水素の圧縮のために上記から13%のロスが発生しますし、水素を液化して貯蔵するのであれば35%のロスが発生します。

以上のロスを総合すると  $0.7 \times 0.6 \times 0.87 \times 0.65 = 0.158$  となり、化石燃料が持っていた化学エネルギーの15.8%程度しか燃料電池車の駆動に利用できないことから、ハイブリッド車の22%程度よりもかなり効率が悪くなり、 $\text{CO}_2$ の排出量も多くなるはずで

食塩の電気分解の際に副生する水素を利用した場合……燃料電池車を走行させるために必要なエネルギーは、92.0MJです。水素を圧縮するためのロスが13%、水素を液化して貯蔵したり搬送したりする際のロスが35%なので  $92.0\text{MJ} \div 0.87 \div 0.65 = 159.2\text{MJ}$ の水素が必要となります。食塩電解で副生している水素を利用すると食塩電解している自家発電の燃料が不足するので化石燃料を供給する必要があります。159.2MJの化石燃料になりますが平均的な軽油相当だと仮定すると  $(159.2\text{MJ}) \div (43.4\text{MJ/kg}) = 3.67\text{kg}$  となり、この軽油から排出される $\text{CO}_2$ は、 $(3.67\text{kg}) \times (3.19\text{kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}) = 11.7\text{kg} \cdot \text{CO}_2$ となります。

化石燃料が天然ガスと仮定した場合、天然ガスの発熱量は必要な天然ガスは50.0MJ/kgなので  $159.2\text{MJ} \div 50.0\text{MJ/kg} = 3.18\text{kg}$  となります。

また、天然ガスの $\text{CO}_2$ 排出量は  $2.75\text{kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}$  なので、

$3.18\text{kg} \times (2.75\text{kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}) = 8.75\text{kg} \cdot \text{CO}_2$  となります。

## (K-2) 電気自動車(EV)の方が燃料電池車(FCV)よりも温暖化抑制効果大きい

電力を火力発電に頼っていないアイスランドのような国では、 $\text{CO}_2$ を直接的に排出しない電気自動車でも燃料電池車でも温暖化抑制効果は同じで、エネルギーの無駄遣いかどうかという話だけになるはずで

火力発電が電力供給の大半を占めているわが国では燃料電池車だけではなく、電気自動車でも駆動させるためにはエネルギーを使うので $\text{CO}_2$ を間接的に排出せざるを得ません。ただし、両者の車体重量が同等なら電気自動車の $\text{CO}_2$ 間接的排出量は燃料電池車よりも少ないはずで

燃料電池車では、(電力) ⇒ 水の電気分解 ⇒ 85% ⇒ (水素) ⇒ 液化・貯蔵・搬送 ⇒ 65% ⇒ 圧縮 ⇒ 90% ⇒ 燃料電池発電 ⇒ 50%以下 ⇒ (電力) ⇒ 自動車駆動 となります。

電気自動車では (電力) ⇒ 充電・放電 ⇒ 95% ⇒ (電力) ⇒ 自動車駆動 となります。

電気自動車のほうがエネルギー変換効率が4倍近く良好であり、炭酸ガスの直接・間接的排出量

も4分の1程度まで少なくなるはずですが、結論的には、燃料電池車は燃料電池の発電効率が低いことと燃料の水素を液化貯蔵することが致命的なのです。

### (K-3) 電気自動車 (EV) の方が燃料電池車 (FCV) より不安定電源への相性がいい

電気自動車が装着している二次電池は社会的なシステムを整備すれば再生可能エネルギーで発電した不安定な電力の平準化に役立ちそうです。他方、燃料電池車では水素ガスを確保する必要がありますが、上記の(F-6)のように、不安定電源を利用して水素ガスを製造すると設備の利用率が低いことから水素ガス製造時の固定費が跳ね上がります。

省エネルギーという視点からはエネルギー変換効率が高くエネルギーロスが少ない電気自動車が最も有利です。燃料電池車のほうが長距離走行には向いているのかもしれませんが、4倍近くのエネルギーを消費すること、その結果として炭酸ガス排出量が4倍近くになるので、常識的には電気自動車の普及を推進すべきなのでしょう。

### (K-4) 電気自動車 (EV) の方が燃料電池車 (FCV) よりも技術改良の余地が大きい？

定量的な議論は難しいのですが、電気自動車の方が世界的に技術開発競争が激しいために、技術の進歩も期待できるのではないのでしょうか。また、燃料電池よりも二次電池の方が利用分野も広いので、性能改良への期待が大きいはずですが。

直感的には燃料電池の改良余地は乏しく、二次電池の方が開発・改良余地が残っていそうです。

### (K-5) 燃料電池車を公共施設のエネルギー貯蔵装置と考えるという意見について

燃料電池車は社会的なエネルギー貯蔵装置だと主張されている方がおられます。

しかし、独裁国家のように、個人の意思を無視できて、個人の情報が完全に掌握されている政治体制下でないと機能しにくいように思えます。

卑近な譬えですが、大地震などの非常事態の際に自動車に蓄えてあるエネルギー(ガソリンなども含む)を病院などへ提供して欲しいといわれて応じる人はどのくらいおられるのでしょうか。

非常事態の時にはCO<sub>2</sub>排出抑制は一時的に後退しても許されると思いますし。

### (K-6) 燃料電池車の将来の姿は

巨額な開発費を投入してしまった燃料電池車の販売を中止するわけにはいかないのでしょうか。しかし、上記のように自動車駆動方式の主流になることはなさそうです。

車体の価格も使用するエネルギーの価格も高いし、環境への貢献度もあまり高くないので、一部のマニアが購入するだけになるのでは？

発売開始から3年間の販売台数が1770台と報道されていました。

## **(L) 燃料電池への利用(大規模発電)**

### (L-1) セラミックス製の固体酸化物型燃料電池(SOFC)の課題

水素ガスと空気を高温で反応させることができるので排熱も高温になり、この高温の排熱を利

用して蒸気タービンなどを駆動して発電すれば全体の発電効率は高くなるはずですが、安価で信頼性があるのなら期待できるのですが、残念なことにその両方に不安があるようです。耐熱性が改良されたガスタービンが競合相手になるので楽観はできません。

- (1) セラミックスは本質的に脆い。最大の欠点。
- (2) 熱膨張係数の異なるセラミックスを重ね合わせるために、面積が大きな電池にすると熱膨張差で巨大な応力が発生して破損しやすい。
- (3) 熱膨張係数差だけではなく、大きな電池にすると温度分布ができやすくなって場所による熱膨張差が発生して破損しやすくなる。

規模の大きな発電設備は信頼性が非常に大切なので、不安が完全に払拭されないと採用しにくくなります。現状では信頼性を確保するための決定的な手法が見当たりません。

「エネファーム」に使用されている SOFC は写真で見ると、単電池は 3cm × 20cm 程度の小さな電池のようです。熱膨張差を考慮するとこの程度まで小さくする必要があります。

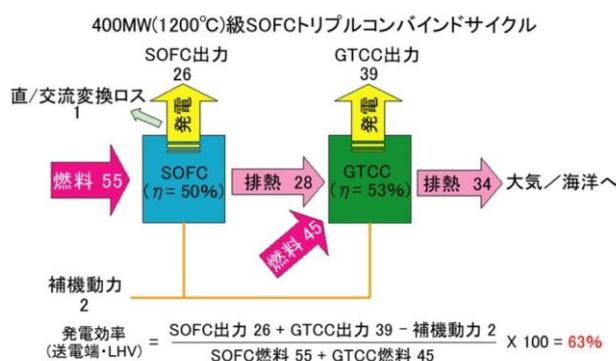
このままでは大規模な用途に使えるような電池コストにはならないのではないのでしょうか。

## (L-2) セラミックス製の固体氧化物型燃料電池 (SOFC) の活用

多くの火力発電所ではガスタービンとスチームタービンを組合せたコンバインドサイクルという方法で発電されています。燃料を燃焼させた燃焼ガスの温度を高くしておいた方が原理的には発電効率が高くなるはずですが、ガスタービンの耐熱性の問題で温度の上限が制限されています。

そこで、ガスタービンの前に SOFC を配置するトリプルコンバインド方式を提案されている人たちがおられます。SOFC はセラミック製なので温度の変化で熱膨張差から応力が発生し破損する可能性があります。そこで、より堅牢度が高い円筒型の SOFC を使うのだそうです。

ただ、大幅な設備費の上昇に見合う発電効率の向上にはなっていないようだし、信頼性にも不安があるので採用する電力会社は無いのでは。



## (L-3) 電気化学系設備の特徴

水の電気分解や燃料電池などは電気化学という分野の技術です。電気化学は電極の表面で反応が進むために、反応量は電極の面積に比例してしまいます。

石油化学などの設備の多くは、規模を大きくすると設備費が割安になるのですが、電気化学系の設備は規模を大きくしても、割安になる割合が小さい傾向があります。

【参考】 石油化学系の設備では設備費は設備規模の 0.6 乗に比例すると言われています。例えば、規模が 10 倍の装置でも設備費は 4 倍にしかありません。

#### **(L-4) 燃料電池の大規模用途は難しそうだ**

水素ガスと空気中の酸素の反応は、何もなくても燃焼という現象で進行しますが、燃料電池では水素ガスと酸素を電極表面で反応させる必要があることから、発電量が多い設備では膨大な面積の電極が必要になります。

その電極が高価なものだったら、設備費が規模の効果を出しやすい熱機関を使った発電方式（従来型の火力発電方式）に経済性の面で対抗するのは難しそうです。

低コストの電極材料や電極製作技術が開発されて電池のコストが大幅に改善される見込みがないと燃料電池が生き残るのは難しいかもしれません。

さらに、燃料電池は使用していると徐々に劣化が進みます。耐久性の点からも大規模な用途には不向きなようです。

### **(M) 自然エネルギー系変動電力の平準化**

#### **(M-1) 不安定電源対策の種類**

再生可能エネルギー系の電力の最大の問題点は発電量の不安定さでしょう。そこで経済性と信頼性に優れた対応策が必要になります。

水素エネルギーを経由させる場合……………太陽光発電などで得られた電力を水素エネルギーに変換するための設備は火力発電などで発電された安定的な電力を使用して水を電気分解する場合よりも 7 倍程度も規模を大きくする必要があるために多額の余計な投資が必要になります。電力が不安定なために水の電気分解設備の利用率が非常に低いからです。また、水素ガスを電力に戻すための発電設備も必要になります。

さらに、せっかく太陽光発電などで発電した再生可能エネルギー系電力が 3 分の 1～4 分の 1 に減ってしまうことも考慮に入れておく必要があります。

その主因は、水の電気分解、水素の液化・貯蔵・搬送、水素発電、の各工程のエネルギー効率が低いことです。

二次電池に蓄電して対応する……………蓄電池設備に多額の投資をする必要があります。

比較的規模の大きい設備も試験的には設置されているようです。例えば、九州電力豊前蓄電池変電所に納入した NAS 電池の出力は 5 万 kW、容量は 30 万 kWh（一般家庭約 3 万戸分の一日の電力使用量に相当）です。

なお、NAS 電池は 2002 年の事業化以来、全世界で約 200 カ所、総出力 53 万 kW、総容量 370 万 kWh の納入実績があり、イタリアやアラブ首長国連邦（UAE）でも電力系統に設置され、電力需給バランスの調整に利用されているそうです。

揚水発電などで対応する……………実績も多い方法なので魅力はあるのですが、適当な設置可能

な場所の確保が難しいようです。沖縄では太平洋を下池、人工の上部調整池を上池として、海水を利用した純揚水発電施設が設置されたことがあります。最大出力3万kWで調整池を満水にすると6時間継続できたとのこと。建設費は国の費用で320億円。海水が漏出するのを防ぐため、調整池はゴムシートで覆われていたようです。100万円/kW、18万円/kWh。10年余の運転で廃止。

電力系統内で吸収してもらう……………電力の供給会社では需要の変動に対応するために常に発電量を監視しています。不安定電源の電力量が少ない場合には最も経済的なのでしょうか。

発電量を制限する……………出力抑制とは、せっかく発電したのだからできるだけ利用はするけれど対応が難しい時には発電量を抑える制度です。現状での実際の抑制量は全体の数%以下と言われています。出力抑制に対する不満が強いようであれば、抑制量分をカバーできるだけ買取り価格を上げたらすむ話ではないでしょうか。たとえ買取り価格を上げて燃料電池を利用した発電設備を新設するよりもはるかに経済性が高いはずですが。

電力の需要を制限する……………現在でも需給調整契約という方法があります。受電制限の規模、時間、1年に何回まで受電制限させることができるかは契約によって異なり、受電制限が容易な契約ほど料金が安くなっているようです。2016年夏季の契約量は全国で906万kWと報道されました。

## (M-2) 太陽光発電などで発電した余剰電力を水素に変換して天然ガスに混入

欧州で検討または実施されているとの話が流布されていますが、あまり常識的ではありません。

水の電気分解は実績が乏しいので10年前の情報を使って計算してみた場合、電気分解設備の設備利用率が低いことを考慮すると、天然ガス1m<sup>3</sup>と等価の発熱量の水素を製造する専用の電気分解設備の固定費だけで、1,000円を超えてしまい、天然ガスの価格の10倍以上になってしまいます。

余剰電力の価格をゼロ評価して、既存の水の電気分解設備に余剰能力があるので追加の固定費もほとんど増えないのだ、という経理処理(増分計算)をするのなら考えられないことではありませんが、専用設備を新たに作って大規模に実施するようなものではないはずですが。CO<sub>2</sub>排出抑制方法としては高コストすぎるようです。

## (M-3) 小規模な需給ギャップ対策は燃料電池よりも蓄電池の方が使いやすい

固体高分子型燃料電池(PEFC)の運転温度は低く、発電の負荷を変動させるときの応答が比較的早いので問題はありますが、水素ガスの製造～水素ガスの貯蔵～燃料電池での発電では小規模での対応策としては複雑すぎます。また、安全管理の面から無人運転は難しいのではないのでしょうか。特に発電設備の近くに設置する場合には、複雑な設備にはしたくないはずですが。

## (M-4) 夕方に太陽光発電量が減り、需要も増加するので対策が必要だが

短時間だけの電力供給のためには、発電設備の利用率が非常に低くて固定費が高額になりやすいので、発電効率は悪くてもできるだけ設備費の安価な方法で電力を調達することが大切になります。

水素ガスの貯蔵が容易だからと言って、水素ガスを使った発電設備は高価すぎて、短時間の対

応を理由にして導入するのは無理があります。経済性の面からはガスタービンや償却が終わっているような旧式の火力発電設備を有効利用することになるのではないのでしょうか。

CO<sub>2</sub> 排出抑制も経済的な負担が小さいものから実施すべきです。

### (M-5) 規模が大きい時の水素ガス方式と二次電池方式の競合はどうなるのか

燃料電池が多くの人々の期待に反して将来性に陰りが認められることから、エネルギー部門での水素ガスの最大の用途は変動電力の平準化なのかもしれません。

そこで採用の可否を判断する際に大切になるのが「設備費」および「エネルギーロス」、「管理のしやすさ」ということになるのでしょうか。管理のしやすさに関しては二次電池方式が圧倒的に優位であることは間違いがありません。

まず、エネルギーロスについて考えてみましょう。平準化した際にロス分を差し引いた変換効率は次のようになります。

二次電池方式では、スタート時の変動電力が二次電池の充放電ロスに伴い 90%に減るだけですが、水素ガス方式ではスタート時の変動電力が 28% にまで減ることになります。

その内訳は(電気分解 85%) × (液化・貯蔵・輸送その他 65%) × (水素発電 50%) だからです。

言い換えれば、利用しやすい安定電力に変換された時には、水素ガス方式では二次電池方式の 3分の1～4分の1以下の電力量になってしまいます。

以上を混乱しにくくするために簡単に纏めてみます。数字はエネルギー量です。

二次電池方式の場合

太陽光発電⇒ 111 ⇒ (充放電) ⇒ 100

水素ガス方式の場合

太陽光発電⇒ 362⇒ (電気分解) ⇒ 308⇒ (液化・貯蔵・輸送) ⇒ 200⇒ (水素発電) ⇒ 100

次に設備費について考えてみます。

主要な設備として、水素ガス方式では「水の電気分解設備」、「液化設備・貯蔵設備」、「水素を燃料とする発電設備」が必要になりますが、二次電池方式では必要になるのは「二次電池設備」だけです。さらに、水素ガス方式では3分の2以上がロスになることから変動電力源である太陽光発電設備などを3倍以上にしておく必要もあります。

二次電池方式では設備額を 20 万円/kWh 程度と仮定すれば、耐久性が 4000 サイクル程度らしいので設備関連の固定費は 50 円/kWh 程度になるはずで。

一方、水素ガス方式ではとりあえず「水の電気分解設備」のみを考えてみます。

ノルウェーのノルスク・ハイドロ社という電気化学が得意な会社が公開している情報（水素エネルギーシステム Vol. 33 No. 1 19 ページ (2008)）によれば、水の電気分解設備(規模:6 万 m<sup>3</sup>/時)の製品水素ガス 1m<sup>3</sup>当たりの固定費は 48 セント(2006 年)だそうです。2006 年における円ドル換算は平均して 1 ドル=115 円くらいなので、水素ガス 1m<sup>3</sup>あたりの固定費は 55 円程度とみなせます。

1m<sup>3</sup>の水素ガスが持ち得る化学エネルギーは約 3kWh なので、18 円余/kWh となります。

上記のエネルギーロスの話のように利用できる電力が3分の1になることを考えて補正すると55円/kWhになり、水の電気分解設備は変動電力で動かしているため設備の利用率が20%以下になることを考慮すると250円/kWh程度になります。

すなわち、二次電池設備の場合の固定費が50円/kWh程度なのに、水素で電力を貯蔵する場合には、水の電気分解設備のみの固定費だけで250円/kWh程度になりそうです。

水素が電力を貯蔵する場合には、さらに、太陽光発電設備を3倍以上にする費用、水素の液化設備・貯蔵設備、水素を燃料とする水素発電設備分を加算する必要があり、二次電池方式とは全く比較にならない高額な固定費になるはずです。

もう少し簡単な説明も付け加えてみます。

もし3倍以上の太陽光発電設備を保有するのであれば、液化・貯蔵設備や水素発電設備を保有せずに、小規模の二次電池設備だけ保有して、余剰になる電力をどんどん廃棄して需給調整すれば、各種の高価な設備が不要になり、経済的には水素を貯蔵するよりもはるかに優位になる可能性があります。

以上を考慮すると、太陽光発電や風力発電で得られた変動電力の平準化に水素ガスを利用するという提案には本質的な無理がありそうです。

## **(N) エネルギー安全保障**

### **(N-1) 水素とエネルギー安全保障**

わが国は化石燃料に頼り過ぎているけれど、非常事態になったときに対応できるのか、という指摘があるようです。また、原発ゼロがエネルギー安全保障上の問題にならないのか、とも指摘されているようです。

日本は海に囲まれているし、島も沢山あるので、この島の周りに風力発電や太陽光発電を海の上に設置して、その電気で海水から水素ガスを作れば、気象の変動での電気の変動はなくなり、安定した電力を供給できるのではないか、という意見もあるようです。

確かに太陽光発電と風力発電に頼らざるをえませんが、その電力を水素ガスに変換するよりも、二次電池に蓄える方が経済性に優れているのではないのでしょうか。

### **(N-2) 炭酸ガスの排出が禁止されたとき**

外国で太陽光発電や風力発電で得られた電力を液化水素にして輸入しようという提案があります。しかし、上記の(M-5)のように非常に高価なものになりそうです。

わが国における太陽光発電や風力発電のポテンシャルが十分に有るのであれば、他の国から液化水素を輸入するよりも、国内で発電して二次電池などで平準化するほうが現実的なようです。

国内にはゴルフ場が27万ヘクタールあるそうです。太陽電池を並べたら2ヘクタールで1000kW程度の発電ができるようです。その他、人が住まなくなった集落なども利用できるでしょう。海岸の近くでは風力発電もかなりなポテンシャルがありそうですし。

エネルギー不足で間接的に病死する人が増えるのであれば、エネルギー確保のために原子力発電も再考すべきなのかもしれません。原子力発電所が存在するために直接・間接に死亡する人の方が少なくなるかもしれないので。

## (0) アンモニアに変換して利用する

### (0-1) アンモニアの合成について

再生可能エネルギーで発電した電力で、水を電気分解して水素を製造し、窒素と反応させてればアンモニアを合成することができます。

アンモニアの合成反応は「発熱反応」(反応の際に発熱する反応)なので、理論的には外部からエネルギーを加える必要はありません。ということは、水素をアンモニアに変換することでエネルギーロスが発生します。そのロスは水素の持っていた化学エネルギーの16%程度になります。

なお、アンモニア(NH<sub>3</sub>)の合成反応は体積が減少し発熱する反応なので、圧力が高く温度が低い方が化学平衡の面から有利になります。いいかえれば、次の反応式で左側と右側はどんな割合になっているかということで、右側の割合が大きい方が望ましいのです。



ということで、アンモニアを常圧で合成してもメリットはあまりありません。また、合成圧力が低くなりすぎると、アンモニア合成装置が巨大になり、設備費が増加します。

アンモニアの合成に必要な窒素は空気中の窒素を使用しますが、空気を低温に冷却して窒素と酸素を蒸留という操作で分離します。深冷分離といわれています。

もし、水素のコストが安価であれば、水素と空気を装置内に取り込んで、水素と酸素を反応させて水として分離し、窒素と残りの水素でアンモニアに変換させることもできます。

この場合にはアルゴンなどが蓄積してくるので、一部の気体をパージする必要があります。

### (0-2) アンモニアの貯蔵について

アンモニアは古くから液体にして貯蔵されており、貯蔵すること自体は比較的簡単です。ただ、毒性や臭気が強いので、漏えいさせない努力が必要です。燃料に使用することになれば、貯槽も巨大になるので非常時の対策が欠かせませんが、経験が乏しいので不安にはなりそうです。

### (0-3) アンモニアの燃焼について

アンモニアを燃焼する場合には直接燃焼する場合と、事前に水素と窒素に分解しておいて燃焼する場合があります。

アンモニアを水素と窒素に分解するときには、一般的には、希土類元素のルテニウム(Ru)という金属を使った触媒が使用されています。但し、理論的には分解して得られた水素の燃焼熱の16%程度の熱エネルギーを加える必要があり、エネルギーロスが発生します。

水素ガスから電力への変換効率を50%とし、アンモニア分解時のエネルギーロスを16%とする

と、アンモニアをエネルギーキャリアとして採用することで、水素ガスを製造するために水の電気分解で使った電力の持っていたエネルギーは42%に減ってしまいます。これに、アンモニア合成およびアンモニア分解のための設備固定費や運転費が上乗せされるので、どうみても経済的に成り立つ話ではなさそうです。

アンモニアを直接燃焼することもできます。ただ、燃焼速度が遅いために炎を安定させるのが難しいという問題があります。ということで、水素やメタンなどに混ぜ合わせて燃焼させざるを得ないようです。また、窒素酸化物が発生しやすいことや未燃のアンモニア対策なども必要になりそうです。

なお、直接燃焼をしても水素に分解して燃焼するときと同様にエネルギーロスが避けられません。

## (P) その他

### (P-1) エクセルギーを増進できるという話には注目する必要はない

天然ガスを原料にして水素を製造する際に、排熱を利用してエクセルギーを増進させることができる、という主張があるようです。

化学反応には反応熱を放出する発熱反応だけでなく吸熱反応も存在します。吸熱反応とは、熱エネルギーをどんどん与えないと進まない反応です。

もし排熱を吸熱反応に必要な熱源にすれば、得られた反応生成物を利用して「利用価値の高いエネルギー」に変換できるのではないかと考えている人もおられます。

誤解してはいけないのは、一般的に吸熱反応では温度が高いほど反応が進みやすいことです。逆にいえば、温度が低いと反応が進みにくくなります。ここでいう「反応が進みやすい」という意味は、反応の速度が大きいということではなく、反応物を生成物に変化できる割合が大きいという意味です。専門用語では「化学平衡が生成側に偏る」といいます。

吸熱反応で比較的規模の大きな工場としては、天然ガスと水蒸気を反応させて水素ガスを製造する工場があります。この反応に、いわゆる温度の低い排熱を投入しても、本質的に少ししか水素ガスは生成しません。

どうしてもこの方法で多くの水素ガスを得たいのであれば、生成した水素ガスを分離しながら反応を進める必要があります。そのためには、生成した水素ガスを逐一分離するために水素ガスだけ通過させることができる装置材料を安価に確保できないと反応装置を設計できません。こんな材料を入手するのは不可能でしょう。

例えば、白金（プラチナ）製の膜などは水素だけ通過させる性質を持っているので、超高純度の水素の製造に使用されています。

しかし、水素ガスは通過させることができるものの、実用的な反応装置が必要とするほど水素ガスの通過速度が大きいし、なんといっても高価すぎます。

なお、技術問題以前の話として、天然ガスの水蒸気改質に排熱を使うことができるかどうかという議論は、「エネルギー」、「温暖化」、「水素社会」などという大きな話題の中で論じるほどの規模のものではありません。

## (P-2) 外国も注目に値するようなことはしていない

野村総研が作成された資料(平成27年度新エネルギー等導入促進基礎調査 水素社会の実現に向けた取組に関する調査 調査報告書 2016年3月31日)を拝見した範囲では魅力的な内容はありませんでした。

## まとめ

個人的には水素ガスを利用する社会になることは考えにくいと思っています。

確率が低いのですが利用することが現実的になると仮定したとしても当分の間は積極的に利用する環境ではなさそうです。また水素ガスを取り扱う技術は歴史も長く、さして高度なものではないので、必要性が迫ってから検討しても間に合うはずだ。検討すべき内容も基礎研究ではなく、エンジニアリング系のものが主体になりそうなので、専門の企業に任せざるを得ないのではないのでしょうか。

ということで、国を挙げて大騒ぎをするようなことでもなさそうです。

失礼な物言いですが、「水素社会」のPRに熱心な皆さんは、都合のいい話だけを強調され過ぎているように感じますし、譬え話でいえば、10親等も離れている人を親族なのだと言っておられるような印象を受けます。

最終的には落ち着くべきところに落ち着くはずなので、若い人たちの貴重な時間を無駄遣いさせないように配慮してほしいと思います。

なお、各論よりも水素社会全体のシステムに注目すべき、との意見もあるようですが、この程度の煩雑さであれば大騒ぎをする必要は全くありません。各論が腰砕けになっていたらどんなシステムを考えても無駄になります。

一般論として、エネルギーの確保のためには化学反応処理は極力避けることが大切です。化学反応処理が安価な操作なのだと勘違いをされている方が少なくないようです。

内容に関する反論や質問などは大歓迎いたします。

## 自己紹介

氏名……………村井正治(ムライマサハル) 1941年生まれ  
住所……………東京都千代田区神田練塀町 メールアドレス……………m-murai@s7.wh.qit.ne.jp  
好きなこと……………美しいものを見ること、美しい音楽を聴くこと(除:演歌)

### 学歴

岩国市立岩国小学校入学 倉敷市立中洲小学校卒業  
前橋市立第一中学校入学 御殿場市立御殿場中学校卒業  
静岡県立沼津東高等学校入学 北海道立札幌南高等学校卒業  
東京工業大学入学 東京工業大学大学院修士課程修了

### 職歴

- \* 化学会社技術管理(新技術開発計画・他社新技術評価・新規事業調査・経済性評価)
- \* 化学品の新製法の研究(石油化学系)
- \* 酢ビ-エチレンエマルジョンの開発&プラント設計
- \* 石炭液化技術の開発(国家プロ)
- \* プロピレンオキサイドプラント、エチレンプラントなどの省エネルギー
- \* 熔融炭酸塩型燃料電池、固体酸化物型燃料電池の研究
- \* 化学法ウラン分離・NaS電池・その他の支援・評価
- \* 自然エネルギー関連情報を収集(運転試験も含む)
- \* 青色発光ダイオード用半導体積層技術(エピタキシャル成長)の検討支援
- \* 半導体製造装置排ガスの処理装置の検討

### 写真



- 2歳……………戦時中。まだ空襲が激しくないころ。神奈川県上溝。  
20歳……………恋人なし。大学の授業にはほとんど出席せず。  
52歳……………会社の後輩の結婚式で。  
77歳……………終活の真っ最中。

## 水素社会関連の公表資料

上記以外にも、水素社会推進に熱心な方々が発表されている資料へのコメントも公表しています。関心がありましたらご一読下さい。

2018-01-23

### 「水素エネルギー」は何がどのようにすごいのか？

経済産業省資源エネルギー庁

「水素社会」という言葉を聞いたことがありますか？「水素」は数年前、燃料電池自動車の商用化とともに、次世代エネルギーのひとつとして、メディアで特集が組まれるなど大きな話題になりました。

燃料電池自動車騒ぎはトヨタが「究極のエコカー」だと勘違いをしていたということだけです。再エネを利用して発電した電力で水を電気分解して製造した水素を燃料にしても、ガソリンを燃料にしているハイブリット車に温暖化抑制効果で勝てていないのです。評価能力を持たないメディアが、大スポンサーであるトヨタの意向を忖度して騒いでいました。

現在も各分野で研究が着実に進められており、2017年12月26日には、府省庁横断の国家戦略として「水素基本戦略」が打ち出されています。

政治家や官僚の皆さんがエネルギー関連技術に疎すぎるということだろうと思います。結果として、わが国が技術的に低レベルな国だと疑われることを認識できなかったのでしょうか。

その内容を見る前に、今回はあらためて、水素がなぜ新エネルギーとして注目されているのかをおさらいしてみましょう。

#### 水素がもつ2つの特徴

エネルギー資源として見た場合、水素には2つの特徴があります。

さまざまな資源からつくることができる

水素は、電気を使って水から取り出すことができるのはもちろん、石油や天然ガスなどの化石燃料、メタノールやエタノール、下水汚泥、廃プラスチックなど、さまざまな資源からつくることができます。また、製鉄所や化学工場などでも、プロセスの中で副次的に水素が発生します。

水素は所詮は電気に変換して利用せざるを得ないものなのです。電気に変換しなくては役に立たない水素を製造するよりも、電気ははるかに効率よく同じ資源から得ることができます。言い換えれば、水素は電気に従属しており、電気の確保に比して水素の製造はさして大切なことではありません。なお、製鉄会社や化学会社での副生水素は、化学反応に必要な量以外は燃料に使用されているので、その水素を取り上げたら代替燃料が必要になり、CO<sub>2</sub>排出量が増えてしまいます。他人の財産を取り上げておいて、自分の財産なのだ、と叫んでいるのと同じことです。

### エネルギーとして利用しても CO<sub>2</sub> を出さない

水素は、酸素と結びつけることで発電したり、燃焼させて熱エネルギーとして利用することができます。その際、CO<sub>2</sub> を排出しません。

CO<sub>2</sub> の排出量を減らそうと考えるのは、温暖化を抑制したいためのはずです。温暖化抑制のためであれば、CO<sub>2</sub> を直接的に排出しようが間接的に排出しようが関係はないはずで、CO<sub>2</sub> 直接的に排出していることだけを意識的に取り上げるのは国民を騙そうとする悪質な行為とみなせません。わが国で再エネを利用して発電した電気で水を電気分解して水素を製造しても「CO<sub>2</sub> フリー水素」にはなりません。再エネを利用して発電した電気を送電線に流しても火力発電所の発電量が減り、CO<sub>2</sub> 排出量が減ります。すなわち、火力発電所から排出される CO<sub>2</sub> を削減できるというメリットを捨てて水素を製造するのだから、この水素は間接的に CO<sub>2</sub> を排出して製造したことになります。

### 環境にやさしく、エネルギー安全保障に役立つ

この2つの特徴から、水素は日本にとって究極のエネルギー源となる可能性があります。

ここで使っている「エネルギー源」とはどのような意味を持っている用語なのでしょう。水素は再生可能エネルギーではありません。エネルギー源ではありません。単に、エネルギーを蓄えたり輸送したりするために利用できるだけです。このことが理解できないのであれば、エネルギー問題にかかわる資格はありません。

第一に、さまざまな資源からつくることができるということは、多様なエネルギー資源の利用が可能になるということです。

前にも記したように、水素でなくても電気を確保する場合も多様なエネルギー資源を利用できます。ただ、さまざまな資源といっても、わが国で利用できるバイオマスの量はさして多くはありません。現在よりも極めて僅かしかエネルギーを使用していなかった戦前・戦後の一時期のように、エネルギーをバイオマスに頼ったら、みるみるうちに禿山が多くなり水害が多発しました。

日本は 90%以上の一次エネルギーを海外から輸入する化石燃料に頼っており、特に特定地域への依存度が高いことから国際情勢の影響を受けやすいなど、「エネルギー安全保障」の観点から大きな課題を抱えています。海外の未利用エネルギーや豊富な再生可能エネルギー（再エネ）など、安価な資源から水素をつくり、代替エネルギーとして利用することができれば、エネルギーコストを抑制しつつ、エネルギーおよびエネルギー調達先の多角化につなげることができます。

海外の未利用資源（オーストラリアの褐炭など）を原料にして水素を製造したら現地で大量の CO<sub>2</sub> を排出することになります。これでは温暖化抑制に貢献したことにはなりません。海外で水素を製造するときだけは CO<sub>2</sub> を地中に貯留できるのだ、という説明も詭弁です。CO<sub>2</sub> を地中に安価で確実に貯留できるのであれば、排煙中の CO<sub>2</sub> を分離して処理したら高コストの水素を製造する必要はないはずですが。また注意してほしいのは、再生エネで発電して、その電気で水を電気分解して水素を製造しても電気に戻して利用する必要があり、利用できる電気は再生エネで発電した電気の 3 分の 1 以下に激減してしまいます。水素の製造・貯蔵・水素発電の設備も高価だし、再エネを利用した発電設備を 3 倍以上にする必要があることから、非常に高価な水素になります。

また、今後、太陽光や風力などの再エネの導入が拡大することで、季節や時間帯によって使い切れない再エネから水素をつくるアプローチも、国内外で注目を集めています。日本国内の資源を水素の原料に利用できれば、エネルギー自給率が向上します。

前にも記したように、水素を蓄エネルギーの手段として利用したら、折角の電気が 3 分の 1 以下に激減してしまいます。こんなことを本気で考えておられるのでしょうか。水の電気分解、水素ガスの液化・貯蔵、水素発電による発電、などの効率が低いからです。また、これらの設備も高価であり、総合的に考えて 2 次電池に対抗できません。

第二に、利用時に CO<sub>2</sub> を排出しないエネルギーとして、CO<sub>2</sub> 削減など環境対策に役立てることができます。化石燃料から水素をつくる時には CO<sub>2</sub> が排出されますが、海外では実用化されている CO<sub>2</sub> を地中に貯蔵する技術（CCS）と組み合わせることで、CO<sub>2</sub> を抑えることができます。

前にも記しましたが、CCS が安価で確実性があるのなら、技術的には難しくないので、国内で排煙から CO<sub>2</sub> を分離したら良いのです。水素にしなくてはならない理由にはなりません。

また、生ゴミや植物など、全体で見れば大気中の CO<sub>2</sub> 量に影響を与えない「カーボンニュートラル」なバイオマス燃料を原料にして水素をつくれれば、大気への影響を防ぐことが可能です。

前にも記しましたが、バイオマス燃料がふんだんに有るのなら発電に利用すれば良いのです。発電に利用しにくいようなバイオマス燃料であれば、水素に変換することはもっと難しくなります。経済的にも水素を製造するよりも発電に利用した方がはるかに有利なはずですが。バイオマスも含めて、化学処理をすることが厄介な物質は最も簡単な燃焼という反応で処理することが合理的なのです。

さらに、再エネを使って水素をつくることができれば、製造から使用までトータルでCO<sub>2</sub>を排出しない「カーボンフリー」なエネルギーにすることが可能になります。

再エネを使って水素を製造してカーボンフリー水素だと言えるのは、アイスランドやノルウェーなどの火力発電をほとんど行っていない国だけです。前にも記しましたが、わが国では再エネを使って水素を製造しても「カーボンフリー」ではありません。

そして第三に、日本は水素エネルギーに関連する高い技術を持っています。たとえば、後述する「燃料電池」分野における特許出願件数は、日本が世界一です。

燃料電池に関して他国はわが国ほど価値を感じていないだけです。燃料電池は魅力があるエネルギー関連技術ではありません。水素の燃焼反応は三次元で行われますが、燃料電池での水素の反応は二次元で行われるために、膨大な面積の電極が必要になります。電極が高価だし、発電効率が高くないことが致命的なのです。中央官庁の人たちが特許件数でしか技術力評価をすることができないとは寂しい限りです。

水素社会の実現を進めることは、日本の産業競争力の強化にも役立つのです。また、そうした技術を海外展開することは、国際社会への貢献ともなります。

論理が飛躍しているし、「針小棒大」という用語のいい例だと思います。技術の分からない人たちが経済産業省を牛耳っている現状を正す必要がありそうです。



このような理由から、水素エネルギーの利活用が期待されているのです。

## 水素エネルギーの利用先

現在、期待されている水素の利用先には、まず燃料電池自動車（FCV）や燃料電池バス（FCバス）があげられます。搭載されている「燃料電池」で水素を使って電気をつくり、自動車の動力に利用するもので、乗用車や貨物車の低炭素化を図ることができます。

燃料電池自動車は、再エネで発電した電力で水を電気分解して製造した水素を燃料に使用しても、ガソリンを燃料にしているハイブリッド車を温暖化抑制効果の面で凌駕できません。また、燃料電池自動車は電気自動車の3~4倍のエネルギーを使うし、3~4倍以上のCO<sub>2</sub>を間接的に排出する

ので存在目的が希薄です。燃料電池バスも燃料電池自動車の一種なので、直接・間接に排出するCO<sub>2</sub>量は少なくなるはずはありません。

また、フォークリフトなどの産業用車両での水素利用もすでに始まっています。

台数が多くないフォークリフトを燃料電池式にして、わが国でどの程度のCO<sub>2</sub>が減るのでしょうか。大騒ぎするような話ではないはずですが。実際には蓄電池式やディーゼルエンジン式と比較してCO<sub>2</sub>排出量は間接的に増えているはずですが。

燃料電池は運輸分野以外でも使われています。皆さんにもおなじみの家庭用燃料電池「エネファーム」もそのひとつです。これは、ガスから水素を取り出して、酸素と化学反応を起こして効率よく電気をつくり、その時生まれる熱（排熱）も利用するしくみです。エネルギーを有効活用することで、一般家庭では25%の省エネと40%のCO<sub>2</sub>削減を実現します。

排熱と記されていますが、熱の発生が主で、電力が35%程度なので魅力に乏しいのです。電力は熱の5倍程度の価値があるので、発電効率が低いことが致命的なのです。なお、エネファームよりもヒートポンプを利用したエコキュートの方が経済的にもエネルギーの有効活用の面でも、さらに使いやすさでも優れています。普及率も格段に差があります。

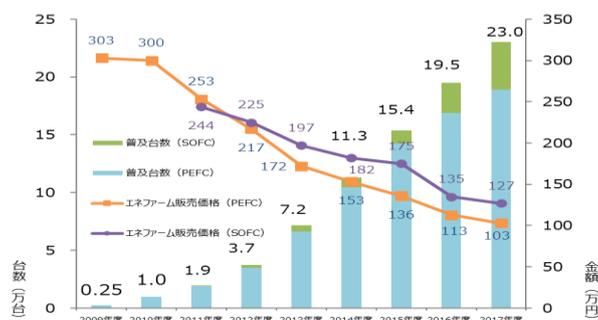
世界に先駆けて販売がスタートした2009年の販売価格は300万円超でしたが、2017年には103万円まで低下し、すでに23万台以上が普及しています。

本当に素晴らしいのなら、補助金をゼロにしてみたらどうでしょうか。多額の補助金をつぎ込んで、間違った説明で人々を誤解させて需要を作り出しているだけだと思います。

エコキュートの普及台数は600万台を越えており、相手になりません。

## エネファームの価格・台数の推移

資源エネルギー庁作成 ※2017年12月末現在



また、従来の発電所のように大規模な「水素発電所」の実現も期待されています。今月から、神戸市のポートアイランドにおいて、水素をエネルギー源として電気と熱を街区供給する実証事業が始まります。

技術的に魅力があって実証試験をしているわけではなく、一部の人たちのメンツのためや一部の企業の失業対策のために実施しているのだと理解しています。2010年にイタリアの電力会社が米国のGE社の関連会社と組んで、より規模の大きい設備を運転しています。15倍の規模で、費用は3倍弱だそうです。規模の効果を考慮しても、20億円を投じる神戸の計画は費用がかかりすぎているようで、霧に覆われている印象を拭えません。

## 水素社会の構築に向けて

このような水素をさまざまな分野で利活用していく水素社会を構築するには、クリアすべき課題がまだまだ多く残っています。たとえば、海外資源などから水素を大量に調達・利用するための、製造、貯蔵、輸送技術、水素発電技術。

クリアすべき課題が多い、というよりも、水素社会構想が基本的にナンセンスなのです。ナンセンスであることが本当に理解できていないのであれば、記憶に頼る傾向が強く複雑な思考が苦手な人なのかもしれません。得手不得手があるのは止むを得ませんが。

また、FCVやエネファームなどにおける燃料電池システムの性能向上とコストダウン。ガソリンスタンドのように水素を充填できる「水素ステーション」のインフラネットワークの拡充、規制の見直しなどです。

官庁や自動車会社の一部の人たちのメンツのためだけに、相当な多額な税金の無駄遣いが続けられているようです。今後も続くのかと心配です。燃料電池車を購入した官庁や自治体は有効に活用しているのでしょうか。

こうした課題を解決するべく、2014年4月に政府が策定した「第4次エネルギー基本計画」では、「水素社会」について検討を進めるべき時期であるという記載が盛り込まれました。これを受けて2014年6月には「水素・燃料電池戦略ロードマップ」がとりまとめられました（2016年3月に改訂）。

政府の人たちは素養が不足しているために、正しく理解ができていない大学教授などに騙されているのです。どんな決定がされていようとも、本質的に間違っているのであれば正す必要があります。エネ庁の仕事が無くなると困る、といった低次元の考えは捨てるべきです。

2017年末に閣僚会議で決定した「水素基本戦略」は、このロードマップの内容を包括しつつ、水素を「カーボンフリーなエネルギー」の新しい選択肢のひとつとして位置づけ、政府全体として取り組んでいくことを目指した方針です。今回は、この「水素基本戦略」の具体的な内容についてご紹介します。

前にも記しましたが、わが国では水素は「カーボンフリーなエネルギー」ではありません。エネ庁の皆さんはエネルギーというものをきちんと理解するとともに、わが国にとって不利益になるようなことは避けてほしいと思います。

# カーボンフリーな水素社会の構築を目指す「水素基本戦略」

経済産業省資源エネルギー庁 新エネルギーシステム課 水素・燃料電池戦略室

赤字でコメントを追記しました

「『水素エネルギー』は何かどのようにすごいのか？」でご紹介したように、水素は利用時にCO<sub>2</sub>を排出しないだけでなく、再生可能エネルギーやCO<sub>2</sub>を地中に貯蔵する技術（CCS、「知っておきたいエネルギーの基礎用語 ～CO<sub>2</sub>を集めて埋めて役立つ『CCUS』」参照）と組み合わせることにより、トータルでカーボンフリーなエネルギーとなるポテンシャルを秘めています。

多くの方が指摘しているように、「利用時にCO<sub>2</sub>を排出しない」と書くのはアンフェアです。間接的に排出することも併記すべきです。温暖化に関してはCO<sub>2</sub>を直接的に排出しても間接的に排出しても同じはずです。CCSが確実に安価であるのなら、水素を利用するよりも排煙からCO<sub>2</sub>を分離したほうが経済的に優れているのでは。

また、さまざまな資源からつくることができるため、エネルギー調達先の多様化や自給率アップへの貢献が期待されています。

さまざまな資源とは具体的には何ですか。量・経済性の面で期待できるものはほとんどありません。小規模であれば、また研究室規模であれば、種々の有機物を利用できるでしょうが、必ずCO<sub>2</sub>が副生するはずですよ。

そんな水素に関わる政策として、2017年12月26日に策定された「水素基本戦略」はどのような内容なのでしょうか。

## 「水素基本戦略」策定のきっかけと位置づけ

戦略が策定されるきっかけとなったのは、2017年4月に開催された「第1回再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」において、安倍首相から、世界に先駆けて「水素社会」を実現するべく、政府が一体となって取り組むための基本戦略を年内に策定するようという指示がなされたことでした。

安倍首相が独自に発想されたものとも思えません。官僚の皆さんや自動車会社の人などが直接・間接に説明されたはずですよ。その説明が本質的に間違っているのが大問題なのです。

これを受けて、産官学の有識者による議論などを経て関係府省庁が案をとりまとめ、水素基本戦略として、「第2回再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」で決定されました。

有識者といっても技術的にきちんと理解されている方は多くないようです。政府委員をやっておられた方に、どうしてこんなことになったのかと聞いたところでは、活発に議論ができる雰囲気・状況ではないとのことでした。都合のいい発言をしてくれる人を集めるということは常識になっているのだ、との報道も目にしたことがあります。

「水素基本戦略」は、2050年を視野にいれた、将来目指すべきビジョンを示すとともに、水素の生産から利用まで、各省にまたがる規制の改革、技術開発、インフラ整備などの政策群を、同じ目標の下に統合したものです。策定には、経済産業省、国土交通省、環境省、文部科学省、内閣府などが関わっています。

自然科学的な事項は、誰が考えたか、どこの役所の人たちが関与したのか、ということで正解が決まるわけではないはずです。もし、本質的に間違っているのであれば、正すのが正しい姿ではないのでしょうか。なお、30年先だといわれても、30年前と今では技術的にほとんど進歩していません。エネルギー関連技術はそのくらい天井に届きかけているのです。

## 「水素基本戦略」のポイント

ポイント① 「水素基本戦略」は、2050年を視野にいれた、将来目指すべきビジョンを示したものです。と同時に、その実現に向けた2030年までの行動計画でもあります。

遠い将来のことなので、現時点で考えていることが必ずしも正しくないのだ、と言われているのでしょうか。自然科学の原理原則は時間の経過とともに崩れ去るようなものではありません。その頃には自分たちはここには居ないんだ、などと無責任であってほしくはないのです。

ポイント② 「水素基本戦略」では、水素を再生可能エネルギー（再エネ）と並ぶ、新しいエネルギーの選択肢として示しています。

「水素を再エネと並ぶ」とは、驚かされます。この説明書の最大の汚点ではないでしょうか。水素分子（水素ガス）は空気中の酸素と組み合わせて化学エネルギーを持ち得ますが、例えば水分子の中の水素原子は化学エネルギーを持ち得ません。水素分子が有している化学エネルギーはどこから持ち込まれたのでしょうか。再エネと並列できるエネルギーはどこに存在しているのですか。中央官庁の皆さんは、エネルギーについてもっと正しく理解する必要があるのではないのでしょうか。

「『水素エネルギー』は何がどのようにすごいのか？」で見たように、再エネを使って水素をつくることができれば、製造から使用までトータルでCO<sub>2</sub>を排出しない、「カーボンフリー」なエネルギーにすることが可能です。

直接的にCO<sub>2</sub>を排出しないだけで、間接的に排出するはずです。再エネを使って水素を製造する時には電力を経由するはずで、この電力を再エネから作ることがエコなのであって、この電力を水素の製造などに使うことがエコなのではありません。再エネを利用して発電した電力は水素の製造などに利用しなくても用途はあります。

「水素基本戦略」では、世界の最先端を行く日本の水素技術を展開することで、世界のカーボンフリー化を引っ張っていくという決意が示されています。

具体的に、国内のどこの企業または研究機関・大学が世界的な役に立つ技術を持っているのですか。それにしても資源エネルギー庁には驚かされます。官庁の一部の人たちのためにわが国が諸外国から軽蔑されることを心配しています。なお、水素に関する技術は大昔にほぼ完成しており、進歩の余地はほとんどないはずですよ。

ポイント③ 「水素基本戦略」では、水素をエネルギーとしてあらゆるシーンで活用する社会、すなわち水素社会の実現に向け、水素のコストをガソリンやLNGなど従来エネルギーと同じ程度のコストにすることを目標として掲げています。現在、1Nm<sup>3</sup>（気体の量をあらわす単位）あたり100円のコストを、2030年には30円に、将来的には20円にすることを目指します。

鉛筆を舐めればどんな価格にでもなるでしょう。この目標値の試算根拠を詳しく開示できますか。国民を騙すのは中央官庁がやるべきことではありません。100%出鱈目だ、と言い切る自信があります。公開での議論にも応じます。

## 水素の低コスト化に向けて

水素の低コスト化を実現するためには、水素を供給する側と、水素を利用する側の両方で、次の3つの条件を達成する取り組みを進めることが必要です。①②は供給側に、③は利用者側に取り組みが求められます。

再エネを有効利用しようという話を無視または軽視した主張になっているようですが、頭の中でどのように整理をされているのか心配になります。低コスト化のためには化石燃料が必要なのだ、という趣旨になっていると感じますが。

### 水素の低コスト化のための3条件

- ①安価な原料を使って水素をつくる
- ②水素の大量製造や大量輸送を可能にするサプライチェーンを構築する
- ③燃料電池自動車（FCV）や発電、産業利用などで大量に水素を利用する

①と②については、海外の安価な未利用資源を活用することが有効であると考えられます。そのため、現在、オーストラリアの「褐炭」（低品位な石炭）やブルネイの未利用ガスなどから水素を製造し、これを日本に輸送する国際水素サプライチェーンの開発プロジェクトが進められています。水分を多く含む石炭である褐炭は、乾燥すると自然発火しやすいことなどから輸送が難しく、地元の発電にしか使われていませんでした。その反面、コスト面では石炭の10分の1以下となるポテンシャルを持っており、水素の安価な原料として有望視されています。

褐炭は水分が多く、その水分を蒸発させるためにエネルギーを消費することから効率が悪いはずですよ。10分の1という価格は経済競争になっても変化しないのですか。自由競争下でわが国がどんな有利な点を持っているのか見えません。技術だ、などという話だったら絶望的です。この褐炭について、過去には窒素シールして乾燥した粉体にして輸入するのだ、と主張されていた記憶があります。

そのままでは使えない褐炭を水素に変えることで、エネルギーとして活用が可能となりますが、水素を製造する際にはCO<sub>2</sub>を排出してしまうため、CO<sub>2</sub>を地中に貯蔵する「CCS」という技術の研究が同時に進められています（「知っておきたいエネルギーの基礎用語 ～CO<sub>2</sub>を集めて埋めて役立つ『CCUS』」参照）。

オーストラリアがCCS技術を検討していると報告されていますが、確実に技術開発が成功するという保証はありません。また、コストがどの程度になるのかも不透明です。CO<sub>2</sub>を貯留する予定の枯渇したガス田の持ち主も、利用価値があると分かれば使用料を高額にするでしょう。コストではなく経済原則で動く話であり、単純なことではないはずです。

こうして海外でつくられた水素を日本に輸送するためには、設備の大規模化や、液化して運ぶ場合の特殊な船の開発などが課題となります。こうした課題の解決に向けて、国際水素サプライチェーン開発プロジェクトなどでさまざまな技術研究が進められています。

国内では液化水素はローリーで輸送されているのだし、基本的な難問は残っていないはずです。難問が残っていないのであれば、慌てて検討する必要もなさそうだと思います。

## 再エネ由来水素をつくる

また、発電しすぎた再エネの余剰電力を使って水素をつくることも検討されています。これは、カーボンフリー化ができるという水素のメリットはもちろん、余剰再エネを有効に活用できるというメリットももっています。

余剰電力量が不安定であれば、水素を製造する設備の利用率が極端に低くなって、固定費は極めて高額なものになりますが、そのような理解はありますか。電気化学系の設備は本質的に安価ではありませんし。また、電力を水素で一時的に調節するとその電力の3分の2がロスになります。きちんと考えて説明をされているのでしょうか。

その先駆けとして実証が進められているのが、福島県浪江町です。「次世代の『新エネルギー社会』は福島から始まる」でもご紹介した、世界最大級となる1万kWの水素製造設備を活用して、再エネから水素を製造する実証おこなわれています。2018年夏頃からプラント建設が着工予定となっています。製造された水素は、福島県内はもちろん、2020年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会の際に、東京でも活用することを目指しています。

水素を製造することも、その水素で発電することも大騒ぎをするほど高度な技術とも思えません。福島の人々を騙しているのではないかと心配しています。ただ、PRのためだけに無駄遣いをすべきではないと思いますが、具体的にどんな課題があって、どんな努力をしているのか見えてきません。なお、オリンピックの際に水素を使用することで温暖化抑制にどれほどの影響が有るのでしょうか。このことから皆さんの心の中が見えてきます。

## 世界初の水素発電所も誕生

③の利用側の取り組みとしては、まずはFCV・FCVバスをはじめとする水素利用のモビリティや、水素ステーションの普及を加速することが目指されます。そのため、低コスト化に向けた技術開発の支援や、規制の改革、ステーションの戦略的整備を三位一体で進めていきます。

燃料電池車は大気中へのCO<sub>2</sub>排出量削減という目的では、ガソリンを燃料にしているハイブリッド車にも勝てない有様です。高価な車体や高価な水素を使ってまで、どうしてこんな自動車を率先して普及させる必要があるのでしょうか。

## 詳しく知りたい

水素ステーションの本格整備を目的とした新会社を2018年春に設立～11社が新会社設立に合意し、契約を締結～

この契約に加わっている企業の本音は、補助金稼ぎだ、ということは既に多くの人が知っていることです。日本の社会なので、付き合いも大切なのでしょう。この「和」や「絆」が過剰すぎるのがわが国の進歩を阻害している面もあるのではないかと考えています。

発電についても、取り組みが進められています。2018年1月から、神戸市のポートアイランドにおいて、水素をエネルギー源として電気と熱を街区供給する世界初の実証が開始しました。

2010年にイタリアの電力会社が米国のGE社の関連会社と組んで実施した試験の小規模版のようです。ただ、費用がイタリアの試験に比べて多額すぎるようです。本件の担当企業も新規な技術が欲しいわけでもなく、十分な利益が出ないのならやらないと考えているからでしょう。水素にスチームを混ぜて、炎の温度を下げることも同じですし、どこに新規性があるのでしょうか。

また、既存の大規模火力発電所では、水素をまぜて燃焼させることでCO<sub>2</sub>排出量を減らすという技術開発が進められています。水素発電の商用化が実現すれば、水素の大量消費が見込めるため、供給側の国際水素サプライチェーン構築の取り組みとともに、2030年ごろの商用化に向けて、実証・技術開発を進めていきます。

燃料用水素が安価に手に入るという保証が全くない状態で進めるようなハイレベルな課題ではありません。水素の混入割合を少しずつ増やしていただく話では？

日本は、「2050年にCO<sub>2</sub>を80%削減する」という長期目標を掲げています。新たなエネルギーの選択肢として、水素の利用を促進することは、社会のカーボンフリー化を推進する力になり、この長期目標の達成にも貢献することができます。

長期目標が無くてもCO<sub>2</sub>排出量を削減することは大切ですが、エネルギー源でもない水素を活用することとCO<sub>2</sub>排出量削減はほとんど無関係のはずですが、具体的にどんな関係があると考えておられるのですか。2050年までに原料炭も含めて化石燃料の輸入を80%削減する必要がありますが、水素の活用などと訳の分からないことを言っていたら大変なことになりそうです。

さまざまな水素関連技術の開発から社会実装までを進め、一日も早い「水素社会」の構築を目指します。

資源エネルギー庁の仕事の確保という目的がなかったら熱心に取り組まないような検討テーマだと思えるのですが。誤解であることを祈ります。

## CO<sub>2</sub>フリー水素ワーキンググループ報告書

経済産業省

各項目について要点を抜き出して赤字でコメントを付け加えました。

### 【全体的な印象】

議論をして考えを纏めて提案したというよりも、いろいろな情報を集めて紹介したという冊子のように感じます。水素は明らかに再エネではないのだから、最も重要なのは不安定電源対策に利用できるのかどうかということだろうと思います。言い換えれば、水素を利用する方法が蓄電池に対抗できるのか、という判断のはずです。という意味では、総花的で焦点がはっきりしていないようです。

### I. 水素・燃料電池戦略ロードマップでの位置づけ／本WGの設置趣旨

水電解装置を中心とした電力-水素エネルギー変換システム（Power-to-gasシステム）の低コスト化・高効率化・耐久性向上・大規模化等の技術進歩により、電力系統の安定化対策や再生可能エネルギー導入拡大に貢献できる。

特にエネルギー分野では、技術進歩の余地はほとんど残されていません。なので、技術進歩に期待するプロジェクトは成功しない可能性が高いと思っています。昔から、とくにNEDOの話などは、計画段階では素晴らしい数値なのですが、見る見るうちにメッキが剥げてきたものばかりでした。

### II. 再生可能エネルギー普及拡大への対応

水素は、他のエネルギー貯蔵手段と比較すると、長期間・大容量のエネルギー貯蔵領域に優位性を持ち、季節を越えた再生可能エネルギーの変動吸収や、再生可能エネルギーの地域偏在性の解消など、系統安定化対策や更なる再生可能エネルギー導入促進策としての水素の利活用が期待される。

液化水素の貯蔵コストが安価であれば、季節を越えた変動吸収もできるのでしょうか。液体水素の貯槽はLNGよりも高価でしょうし。大風呂敷のように思えるのですが。

#### II. 1. 余剰電力の考え方

##### II. 1. (1) 再生可能エネルギー発電の導入拡大に向けた取組と余剰電力

自然変動電源の設備利用率は低いため、多くの電源が系統に接続することで、送配電設備の設備利用率は低下する。太陽光発電の事後的な過積載については、FITにおいて、国民負担の増加という問題が指摘されている一方で、過積載により設備利用率を高めること自体については、出力安定といった点において好ましい面もあるとの見方もある。

余剰電力を廃棄することを考えたら、ある程度までの過積載は好ましいでしょうが、過積載が行き過ぎたら好ましくなくなるのでは。

## II. 1. (2) 余剰電力の活用

余剰電力を水素に変換することで、再生可能エネルギーの利用量を拡大する一助になる。

現状では電気としての利用を前提として再生可能エネルギー発電設備の規模に応じて必要な系統対策が実施されているが、Power-to-gas技術の実装段階においては、水素としての利用を前提として、系統の空き容量を超える発電設備の導入を許容する仕組みを検討すべき（例えば、系統の空き容量が10MWの場合に、20MWの発電設備と10MW分の発電容量を吸収可能なPower-to-gas設備を導入し、10MW以上の発電が行われた場合には水素として貯蔵するなど）。

経済性に問題が無い話であればいいのですが、振り向いてもらえるような話ではなさそうです。設備費は高価だし、エネルギー変換効率が悪すぎて、話になりません。水素を経由することで3分の2もロスになってしまうのでは駄目です。

## II. 2. Power-to-gas技術について

### II. 2. (1) Power-to-gas技術の概観

#### II. 2. (1) (a) アルカリ水電解

複数ある水電解方式の中で最も成熟した技術。数年毎のメンテナンスを行うことで数十年にわたり稼働可能であり、高い耐久性を持つ。後述のPEM水電解と比較すると設備の専有面積は大きくなる傾向にあるが、材料コストが低く、大型化が比較的容易。

世界的に水の電気分解で多量の水素を製造している実績が乏しく、鉛筆を舐めた数値が闊歩している状態です。設備費をギャランティーしてくれる設備会社がないままでは、大騒ぎすべきではないと思います。素晴らしい話でもないのだし。

変動に対する追従性や過負荷への耐久性が課題とされるが、近年では数秒単位での変動追従性が確認されており、時間的な制約はあるものの過負荷にも対応可能との見方がある。

#### II. 2. (1) (b) PEM水電解

PEM水電解は、アルカリ水電解と比較すると設備の専有面積が小さく、また製造される水素の純度が極めて高いために精製を必要としないといった特徴がある。

比較的新しい技術だがアルカリ水電解と同じく実用段階にあり、また、変動への追従性や水電解効率に関して高い性能を有する。ドイツにおけるPower-to-gas技術実証では大型のMW級PEM水電解が多く採用されており、過負荷に対応可能であるため、高い設備利用率を確保することが可能と言われる。白金系の部材が用いられているため設備コストがかさむ傾向があることや、耐久性の確保などが課題。

ドイツに任せておくのではなぜいけないでしょう。

## II. 2. (1) (c) SOEC

SOECは、アルカリ水電解やPEM水電解の電解効率の水準を30%程度向上させるポテンシャルを有しているとされるが、作動温度が600～900℃と高温であることから、排熱等外部からのエネルギー供給を活用し、システム全体として効率を高める必要がある。電解質にはセラミックスが使用され、現時点では研究開発段階にある。

くれぐれも大学などの研究者の失業対策研究にならないようにお願いします。

## II. 2. (2) Power-to-gas技術の活用

### II. 2. (2) (a) マクロでの調整力としての活用

再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、九州本土でも出力制御が必要となる可能性がある。こうした課題への対応策としては、地域間連系線や大規模蓄電池の活用のほか、揚水発電所での汲み上げ等により、余剰となる供給力を吸収することが考えられるが、揚水発電については適地の確保や巨額の投資、更には整備に係るリードタイムが長いといった課題がある。

揚水発電所の難しさを説明するのであれば、320億円もの国費を投入してエネ庁が進めた沖縄の海水揚水発電所の話はどうして記述されないのでしょうか。

海外では再生可能エネルギー大量導入時におけるエネルギー貯蔵技術（マクロの需給調整手段）として水素が注目されている。例えば、比較的需要の小さい春期や秋期において水素製造により太陽光発電等による供給過剰を吸収し、需要の大きい夏期や冬期にシフトさせるといった運用が考えられる。

液化水素貯槽のコストやエネルギーロスの大さを考えても、成り立つのでしょうか。

### II. 2. (2) (b) ローカルでの系統の容量不足への対応

再生可能エネルギーの導入ポテンシャルの高い地方で送変電設備の容量が小さい場合が多く、局所的な送変電設備容量不足に伴う系統制約などの課題が顕在化。系統増強を抑制しつつ再生可能エネルギーの利用量を更に拡大するためには、エネルギー貯蔵技術の活用が欠かせない。Power-to-gas技術の活用により、再生可能エネルギーを電気としてのみならず、水素として利用することで、こうしたローカルな系統制約の課題を克服できる可能性がある。

不安定な再生可能エネルギー電気のうち電気としての価値が高い安定部分をそのまま電気として利用しつつ、不安定な部分を水素に変換して活用するといった考え方が合理性を持ちうる。

### II. 2. (3) Power-to-gas技術の海外での活用事例

供給過剰となる再生可能エネルギーを水素に転換し、ドイツ国内の都市ガス導管に混ぜて利用する実証プロジェクトが進行中。非電力分野の低炭素化に加え、系統の増強を抑えられる可能性があることも指摘されている。ドイツでの実証事例が多く、現在オペレーション中のものだけでも約20のプロジェクトが確認されている。我が国と比較して都市ガス導管が非常に発達していることに加え、ガスの純度があまり高くなく、水素混入による影響が少ないなど、プロジェクトを実施しやすい環境にあることも一因。

廃棄する電力なのでゼロ評価にして、能力に余裕のある水素製造設備を活用するという一方で

増分計算したら燃料にすることは可能でしょう。電力に戻すよりもエネルギー効率は倍にもなるはずですし。

米国では2016年にはガス事業者であるSoCalGasが、カリフォルニア大学アーバイン校に設置されている太陽光発電設備を活用して水素を製造し、都市ガス導管に混入させる米国初のプロジェクトを開始している。

## II. 2. (4) 他の競合技術との比較

蓄電池はエネルギー変換効率が高く、また応答速度が速いため、再生可能エネルギーの出力変動に対して優れた追従性を示す。Power-to-gas 技術についても、水電解装置は高い応答性を有すると考えられているが、瞬間的な出力の変動に対しては蓄電池に優位性がある。我が国では、一般送配電事業者（電力会社）による大容量蓄電池を用いた技術実証が行われている。

国内外で様々な分析が行われているが、概ね数十MWh以上の電力貯蔵領域になると、蓄電池よりもPower-to-gas技術にコスト優位性があると分析されている。

計算根拠が不明ですが、計算の前提が正しくないのでは。おそらくエネルギーロスを考えていないのではないのでしょうか。

電力システムの安定化のために水素を活用するという考えで問題になることの一つは、電力会社の対応能力だろうと思います。確実性第一なので、できるだけ異種の技術を持ち込まないことが望ましいはずで、電力会社は簡単な蓄電池を選ぶでしょう。

なお、このような大容量のエネルギー貯蔵領域においては、水素貯蔵に係るコストがシステムコストの大部分を占めるとする指摘も存在する。Power-to-gas技術が他の競合技術に対して更なるコスト優位性を持つためには、水電解装置単体のコスト低減のみならず、水素貯蔵技術や純水素燃料電池といったPower-to-gasシステムを構成する機器・技術の研究開発を進展させることで、システム全体としてコストを低減させていくことが必要である。

コスト低減が難しいものばかりのようです。コストを大幅に引き下げることが必要なのであれば、将来性はほとんど期待できないと思います。

## II. 2. (5) Power-to-gas技術の課題と今後の取組

### II. 2. (5) (a) 水電解技術の開発の方向性

Power-to-gas用途の水電解装置の能力としては、再生可能エネルギー電源の出力変動を吸収できる応答性や、瞬間的なオーバーロードへの対応力・耐久性の確保が求められる。

技術開発のKPIとして、①エネルギー変換効率、②コスト、③寿命（耐久性）の3つが挙げられるが、これらは相反する要素を含んでおり、戦略的に研究開発を進めることが必要。

特に、水電解装置のエネルギー変換効率については、既にある程度の高効率化が図られていることから、Power-to-gas技術の社会実装に当たりボトルネックとなるコストの低減（②）を中心に、PEM水電解については耐久性の確保（③）も並行して進めることが重要。

Power-to-gas技術による水素製造コストは、化石燃料改質に比べて高くなる傾向にあり、足下では経済性が課題とされる。コスト増の大きな要因としては、原料である電力の調達コストに加え、水電解装置の設備コストが高いことが挙げられる。IEAによると、現在の水電解システムの設

備コストは、アルカリ水電解で\$850~1,500/kW、PEM水電解で\$1,500~3,800/kW程度と報告されている。

歴史が古い技術なので、技術検討しても期待できるほどの成果は得られないと考えておくべきでしょう。急激に発展してきた技術ではないので、アイデアも出尽くしているだろうし。

欧州燃料電池・水素共同実施機構が公表しているレポートによると、アルカリ水電解及び PEM 水電解を活用した Power-to-gas 技術のシステムコストについて、2025 年時点でそれぞれ€610/kW、€870/kW まで低減すると見込まれている。

NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010において、PEM技術の現状として設備コストが140万円/(Nm<sup>3</sup>/h) (約28万円/kW) とされている。NEDOの技術開発指針において、水電解システムのコスト目標として26万円/(Nm<sup>3</sup>/h) (約5万円/kW) を見通せる技術を確立するとしているが、これを早期に実現していくことが重要。

NEDOの話をもっと真面目に信用してはいけません。貴金属などの高価な材料を使用する設備は、コストダウンすることは簡単ではありません。

## II. 2. (5) (b) Power-to-gas技術により製造された水素の利用方法

水素の利用先としては、現状では燃料電池自動車 (FCV) 等のモビリティ分野や定置用の純水素燃料電池が考えられるが、将来的にPower-to-gas技術の社会実装が進んだ段階では、例えば、熱利用の低炭素化が課題とされる工場における熱源としての水素利用 (ボイラ等で消費する化石燃料の代替) や、石油や化学、半導体などの産業分野における産業ガスとしての水素利用を通じて産業部門の低炭素化を図るといった取組についても検討が必要。

最も価値のあるエネルギーの電気エネルギーを価値の劣る化学エネルギーに変換して、さらにこの化学エネルギーよりも価値のない熱エネルギーに変換するのですか。よほどの好条件でなければ現状を変える企業はないのでは。

低炭素化のポテンシャルを探りつつ、Power-to-gas 技術により製造された水素の利用方法について幅広く検討を行うことが必要。

水素社会でなくても必要があれば入手源を探し、低コストで入手できる方法を考えます。水素の用途を探さなくてはならないようだと、水素社会の実現は無理なのは。

### <参考>メタネーション/天然ガスパイプラインへの水素注入

大量の水素エネルギーを貯蔵・輸送する場合、水素をメタン化して都市ガスグリッドに注入することは、既存インフラの活用が可能になるといった点においてメリットを有する可能性があることから、メタネーションに係る技術開発の進展が期待される。

戦前の技術なのに、どうして「技術開発の進展」などという話になるのでしょうか。役所の報告書にこんないい加減な話を載せたらいけないのでは。

## III. 水素サプライチェーンの低炭素化

### III. 1. 液化水素

液化を通じて水素の純度が高められるため、精製プロセスを経ずに高純度での利用が可能であ

り、FCV等での利用との相性が良い。

そもそも燃料電池車は予定通り販売台数が増えるのでしょうか。

極低温に冷却する際にエネルギーを必要とすることや、ボイルオフによるロスなどが課題とされている。近年の水素液化器の効率性向上や超断熱技術によるボイルオフ低減技術の開発により、エネルギー効率の向上が図られている。

川崎重工の説明では、運搬船の1日当たりのボイルオフは0.4%以下とのことなので、問題にはならないでしょう。

陸上での液化水素輸送は、既に技術的に確立。海上輸送については、輸送手段や荷揚げ・積み下ろし時のローディングシステム等の開発が必要。

民間が勝手に走り出さない話は魅力に乏しいのが常識です。魅力があったら、隠れてでも開発します。

### Ⅲ. 2. 有機ハイドライド

既存の石油流通インフラが活用可能であるため、追加的な設備投資を節減することができる長所を持つ。水素にトルエン等の有機化合物が混入することが避けられないため、FCVでの利用など、用途によっては不純物を除去するための精製プロセスが必要。

石油会社が担当するのでしょうか。また、こんな案を提案している千代田化工の本気度がわかりません。水素の20倍の重量にして運搬すること、エネルギー関連にしては化学反応処理が多すぎること、トルエンのロスも出ること、水素の純度が低いこと、などが不満です。

脱水素は吸熱反応であり、300~400℃程度の熱を外部から加える必要がある。エネルギーロスを抑制するためには反応低温化の研究開発やシステム全体での熱マネジメントに取り組む必要がある。

吸熱反応の温度を下げると脱水素反応の化学平衡の点に問題は生じないのでしょうか。一般的にはこんなことは避けますが。化学が専門の方の意見なのでしょうか。

### Ⅲ. 3. 圧縮水素

体積あたりの密度が低く、海外からなど一定の距離以上の輸送を行う場合にはコスト面において不利。国内の水素ステーションに供給する場合には、追加的な圧縮を低減できるため、エネルギー効率の高い輸送方法となり得る。

赤色のボンベやカードルを思い出します。一時、NEDOの石炭の液化の開発を担わされていたことがあるので。

### Ⅲ. 4. パイプライン

#### Ⅲ. 4. (1) 水素輸送手段としてのパイプラインの活用可能性

欧州や米国においては、総延長2,000kmを超える工業用水素パイプラインネットワークが整備されている。

工業用なら、あまり参考にはならないような径の小さい配管なのでは。管理をしっかりすれば問題はないのでしょうか。

### Ⅲ. 4. (2) 水素パイプラインの制度的課題

我が国においてパイプラインを運用する場合には原則として付臭処理が必要。付臭剤は燃料電池のセルスタックに悪影響を与える可能性があるため、発電の直前で脱臭プロセスが必要。

高圧ガス保安法では、水素ステーションにおける漏洩対策として、付臭ではなく漏洩検知機の設置を義務付けており、我が国における水素パイプラインについても、保安の確保を前提として、規格や敷設方法、運用等について検討していくことが必要。

検討分野について手を広げ過ぎているのでは。最も大切な課題に絞り込まないと、成果が期待できないのでは。

## Ⅳ. 海外からの CO<sub>2</sub>フリー水素の調達

### Ⅳ. 1. 海外の未利用エネルギーの活用とポテンシャル

水素社会の実現に向けては、現在の主な水素の用途であるモビリティ分野のみならず、既存の火力発電所での水素混焼や、水素専焼発電の導入など、事業用発電分野における利活用を進めていくことが必要。

どこの企業も必要性を感じていないし、新たなリスクを持ち込みたくないのでは。万一のことが起こったら、非難も膨れ上がるでしょうし。

大量の水素需要に対しては、国内の水素供給のみでは不足することが想定される。このため、海外の未利用エネルギー等から水素を製造し、安定的かつ安価に大量の水素を輸入することが必要であり、エネルギーセキュリティの強化という観点からも重要。

液化水素ですべての必要エネルギーに対応できるわけではないのだし、できるだけ国内の再生エネルギーの体制づくりの方を優先すべきだと思います。

海外には、褐炭のような未利用資源や、再利用されない原油随伴ガス、副生水素のほか、再生可能エネルギー源が豊富に存在する。水素等のエネルギーキャリアは、エネルギー資源の地域偏在性を解消する潜在性を持っていると考えられ、将来の新たなエネルギー調達の仕組みの実現が期待される。

本当に魅力がある話なら、他国資本との競争になるはずですが。オーストラリアの褐炭の話は数十年も前からエネ庁さんの引出しの中で眠っているようです。現状ではオーストラリアのCCSのコストも不明だし。

海外の再生可能エネルギーについては、我が国への輸送手段やコスト等の面から、実際に利用可能な再生可能エネルギーは限定的ではあるものの、それでもなお水素製造に利用可能な再生可能エネルギーの賦存量は莫大であると考えられる。

### Ⅳ. 2. CCS技術の活用

#### Ⅳ. 2. (1) CCS技術について

#### Ⅳ. 2. (2) CCSのポテンシャルと諸外国の動向

IEAによれば、2050年におけるCO<sub>2</sub>排出削減量の13%はCCSにより達成されると見込まれている。

なお、構想段階のものから稼働中のものまで含めると、全世界ではおよそ45件の大規模CCSプロジェクトが進められている。

CCSは適地を有しているかどうかは最も大切な条件なので、残念ながらわが国が主導的な役割を果たすのは無理だと思います。

#### IV. 2. (3) 我が国におけるCCS政策と今後の課題

苫小牧市においては、操業能力の獲得や安全性の確立、コスト低減等を目的として、我が国初となる大規模なCCS実証が進行。現状では、分離回収設備の投資・稼働に係るコストが高いことが課題とされ、分離回収に係るコストは約3,000円台～約4,200円台/t-CO<sub>2</sub>と見込まれている。

将来的には1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を達成することが期待されている。

あまり期待もされていないのでは。例えば、配管の劣化などにはどのように対応するのでしょうか。

民間企業がCCSを事業として実施するインセンティブが無い。コストの低減とともに、将来的なプレーヤーを創出するための具体的な仕掛けの検討が必要。

国内には適当な場所もないのでは。大規模でないと経済的に競争はできないでしょうし。リスクも大きすぎるし。

#### IV. 3. 海外水素サプライチェーン構築に向けた今後の取組

有機ハイドライドによる水素サプライチェーンについては、2020年頃までにファーストチェーンの運用を開始し、運用の中で制度的・技術的な課題（通関制度、トルエンの輸送外使用の管理等）の洗い出しを行うとともに、必要な対策を検討、実施する。

有機ハイドライドの検討がなぜ必要なのか、分かりかねます。ケミカルタンカーが多く運用されているのに。無理に仕事を作っているという印象が強いのです。

液化水素による水素サプライチェーンについては、2020年頃までに荷役を行うためのローディングシステムや船舶用の液化水素タンク、タンカー規模での液化水素輸送船の実証を行う。更に2030年頃の商用化を目指し、液化水素の大量輸送に向けた技術開発等を行う。

水素のプラント引き渡しコスト 30 円/Nm<sup>3</sup>、発電コストにして 17 円/kWh を目指す。このコストは、石炭火力発電に CCS を組み合わせたコストと比較すると、CO<sub>2</sub>フリーの発電コストとして優位性を持つ可能性がある。

水の電気分解を実施している企業は世界的にもほとんどなく、ノルウェーの企業の報告では固定費だけで 55 円/ Nm<sup>3</sup> になっていました。これに電力代を加えると目標を達成できる可能性はほとんどなさそうに思えます。

### V. CO<sub>2</sub>フリー水素の利用拡大に向けた取組の方向性

#### V. 1. 環境価値取引推進に向けた取組

##### V. 1. (1) CO<sub>2</sub>フリー水素の定義

現在主に国内で流通している水素が化石燃料由来であることを踏まえれば、必ずしもトータルでCO<sub>2</sub>フリーとは言えない。このため、利用段階のみならずライフサイクルでのCO<sub>2</sub>排出量にも着目

した評価が必要と考えられる。

「CO<sub>2</sub>フリー水素」という呼称は、我が国において統一的な考え方や、CO<sub>2</sub>排出量に係る算定方法は存在しない。再生可能エネルギー発電についても、LCA (Life Cycle Assessment) で評価した場合にはCO<sub>2</sub>排出量はゼロではないため、水素のCO<sub>2</sub>排出量の評価に当たりどのような境界条件を設定し、CO<sub>2</sub>フリー水素と呼ぶか、その定義が問題となる。

欧州では環境価値の高い水素についての議論が行われ、定義に関する整理が既になされたことを踏まえ、我が国においても、水素の持つ環境価値を顕在化し、円滑に取引がなされるよう、CO<sub>2</sub>フリー水素の定義について検討を進めるべき時期が来ている。

#### V. 1. (2) CertifHy Project

欧州ではより環境価値の高い水素の利活用を促進させるため、2014年12月からCertifHy Projectが開始され、Green Hydrogen (グリーン水素) 及びそれを認証するためのスキームについての議論が行われた。本プロジェクトでは、環境価値の高い水素を「Premium Hydrogen」と総称している。Premium Hydrogenと認証される水素は、天然ガス改質で排出されるCO<sub>2</sub>排出量と比較して、60%以上低いものに限られる。同プロジェクトでは、このうち、再生可能エネルギーを活用して製造された水素をGreen Hydrogen、そうでないものをLow Carbon Hydrogenと定義している。

なお、輸送や各々のプロセスにおいて使用される機器製造に係るCO<sub>2</sub>排出量までは評価対象としていない。

我が国においても、水素のLCAに必要な境界条件の設定を含め、定量的な基準を定め、CO<sub>2</sub>フリー水素の定義を明確化することが必要。特に、副生水素については主産物とのCO<sub>2</sub>排出量分配をどのように整理すべきか等の検討が必要であり、今後官民で議論を重ねていくことが求められる。

#### V. 1. (3) 水素のCO<sub>2</sub>排出量に係るLCA

日本自動車研究所が取りまとめた結果では、天然ガス改質水素をベースとしたFCVのWell-to-WheelでのCO<sub>2</sub>排出量は、ガソリン車やガソリンハイブリッド車より少ないというものとなっており、ガソリンを直接使う車両よりもFCVにおいて高効率にエネルギーが利用されていることを示唆するものであるが、水素利用に係るCO<sub>2</sub>排出量の全体像を捉えたものではない。

**トヨタの意向を受けやすい組織が取りまとめたのだから、結論は最初から決まっていたでしょう。**

民間調査会社による分析結果から、天然ガス改質等の化石燃料由来の水素のCO<sub>2</sub>排出量は大きく、再生可能エネルギーを用いて製造された水素は小さい傾向が分かる。

**水素の電気分解は、再生可能エネルギーではなく、電気エネルギーを利用しているのです。この点を、まず、きちんとさせましょう。**

塩電解に伴い生じる副生水素に係るCO<sub>2</sub>排出量については、目的生産ではないことからゼロとみなされている。一方、塩電解には化石燃料由来のエネルギーが投入され、副生物である水素が経済価値を持っていることを踏まえれば、副生水素の製造に伴うCO<sub>2</sub>排出量が全く無いという整理に対し、幅広いコンセンサスが得られるとは考えにくい。

**ゼロとしてもゼロではないにしても、東ソーのように大規模発電所を持っていてその電力で食**

塩分解している場合には、副生水素を発電用燃料に使用して化石燃料由来のエネルギーの投入が少なくなっているのだから、副生水素を外販したら発電所が排出するCO<sub>2</sub>が増えることは間違いありません。よって、燃料電池車はハイブリッド車にも温暖化抑制効果が劣ることになるはずで  
す。なお、食塩と製品の苛性ソーダは標準エンタルピーにはほとんど差が無いので、原理的には副生した水素を燃焼させれば追加のエネルギーは不要なのですが、発電効率が悪い分だけ化石燃料を追加する必要があるはずで  
す。ただ、化石燃料より高価で売れるのなら外販するでしょう。東ソーの敷地にも岩谷が入り込んでいるので、外販しているようです。

原料の採掘・生産から輸送・貯蔵、水素製造、水素の輸送・貯蔵に至るまでのプロセスのうち、どこまでを境界として含めるかについては慎重な検討が必要。

再生可能エネルギーを用いた場合でも完全な「CO<sub>2</sub>フリー」の水素を作ることは難しいことを踏まえ、どこまでをCO<sub>2</sub>フリー水素と定義するかの議論が必要である。中でも、副生水素のCO<sub>2</sub>排出量に係る分配方法については、ISOの規定も参照しつつ、どのように評価すべきかは大きな論点である。

工作機械に使用する鉄について、鉄鉱石の採掘まで遡れば、かなり厄介です。例えば、過去に作った設備を利用して装置を作ったばあいに、過去に作った設備は過去にCO<sub>2</sub>を放出したのですが、現時点では排出はしないのでCO<sub>2</sub>を「増やす」ことにはなりません。

#### V. 1. (4) CO<sub>2</sub>フリー水素の取引円滑化に向けた方策

CO<sub>2</sub>フリー水素の利活用拡大に向けては、Power-to-gas技術による再生可能エネルギーを活用した水素製造を推進するとともに、下記のような制度を活用することで量的な課題の解決を図り、CO<sub>2</sub>フリー水素を広く認知してもらうことが重要。

##### V. 1. (4) (a) 託送供給の活用

託送供給が利用可能な場合は、再生可能エネルギーのポテンシャルが高い地域から遠方の需要地において再生可能エネルギー電気をを用いたCO<sub>2</sub>フリー水素の製造が可能になるが、この場合、再生可能エネルギー電気の供給量と水素製造に消費する電力の需要量について計画値同時同量を守る必要があり、日射量や風況の正確な予測が不可欠。

国内であれば託送のほうが経済的なものかもしれません。

##### V. 1. (4) (b) グリーン電力証書の活用

グリーン電力証書は、電力そのものの価値と環境価値を分離し、一般の系統由来の電力に証書を組み合わせることで、仮想的にグリーン電力を使用しているとみなす制度である。欧州におけるPower-to-gas技術実証プロジェクトでは、多くのケースにおいて発電源証明(GO)の取引によってグリーン電力調達が行われている。我が国でも、CO<sub>2</sub>フリー水素の製造手段としてグリーン電力証書取引と組み合わせたPower-to-gasについて検討を行うべき。

##### V. 1. (4) (c) J-クレジット制度の活用

我が国では、温室効果ガス排出削減・吸収量を認証する制度として、J-クレジット制度が存在する。この制度は、J-クレジットの購入により、事業活動等に伴って排出される温室効果ガスを削減したと見なすことが可能であり、よりCO<sub>2</sub>排出削減に係る限界費用の低い取組を促す仕組みで

ある。化石燃料改質により製造された水素でも、J-クレジットの活用によりカーボンオフセットを行うことで、CO<sub>2</sub>フリー水素と見なすことができると考えられるため、今後検討を進めるべき。

## V. 2. CO<sub>2</sub>フリー水素利活用拡大に向けた今後の取組

### V. 2. (1) インセンティブ設計

水素の需要家にとってのエネルギーとしての経済価値は製造方法によらないため、ユーザーがCO<sub>2</sub>フリー水素を選択するためには、何らかのインセンティブを付与する制度設計が必要となる。

2030年のエネルギーミックスの達成をより確実にするため、「エネルギー革新戦略」（2016年4月策定）では、電力分野でのCO<sub>2</sub>削減目標の実現を後押しするため、①発電段階では、いわゆる、省エネ法により発電効率の向上を、②小売段階では、いわゆる、エネルギー供給構造高度化法により販売する電力の低炭素化を求めていく措置について、適切な運用を行っていくこととされている。

複雑な制度を作っても役には立たないでしょう。本質的には化石燃料の採掘を国際的に徐々に制限して、化石燃料の価格を高めていくのがベストだと思いますが。

### V. 2. (1) (a) 省エネ法における水素エネルギーの取扱い

水素の非化石価値を積極的に活用していくためには、バイオマス混焼の例を参考にして、水素の省エネ法上の取扱いについて検討が進むことが期待される。

### V. 2. (1) (b) エネルギー供給構造高度化法における水素エネルギーの取扱い

エネルギー供給構造高度化法で電気事業者は、平成42年度において供給する非化石電源に係る電気の量の比率を、供給する全ての電源による発電量に対して44%以上とすることを目標とし、毎年、目標到達の状況と到達に向け適切な取組を行っているかを評価することとされている。

CO<sub>2</sub>フリー水素由来の電気の持つ環境価値が非化石価値取引市場でも取引されるよう、制度的検討を進めるべき。こうした制度的枠組みの構築を通じて、水素の持つ環境価値を活用していくためには、水素のCO<sub>2</sub>排出に係るLCAの評価方法や認証方法、認証機関の整備等が必要となる。

## V. 2. (2) CO<sub>2</sub>フリー水素の関係プレーヤーの役割の整理

### V. 2. (2) (a) 一般送配電事業者

水素は再生可能エネルギー電源による出力変動に対する調整力として注目されており、一部の一般送配電事業者においても再生可能エネルギーの出力変動への対策として水素利用の可能性が検討されている。Power-to-gas技術は蓄電池と同様に、マクロの調整力の一つという位置づけとなる。なお、系統電力を利用して水素製造を行うため、製造される水素はCO<sub>2</sub>フリーではないことに留意する必要がある。

電力会社に化学工場を持ち込むのは無理だし、好ましくないとします。化学プラントは電力会社が期待する安定性で操業するのは困難だからです。

Power-to-gas技術を調整力として活用するためには、一般送配電事業者が業務として行うマクロの周波数制御及び需給バランス調整等に求められるスペックを満たす必要があり、その上で他の電源等との比較で競争力を有する必要がある。

## V. 2. (2) (b) 再生可能エネルギー事業者

更なる再生可能エネルギーの導入拡大の観点からは、電気としてのみならず水素として再生可能エネルギーを利用するという考え方を採り入れ、再生可能エネルギー発電設備の導入と合わせてPower-to-gas技術を活用する取組を進めていくべき。再生可能エネルギー事業者は、CO<sub>2</sub>フリー水素利活用拡大に向けて重要なプレーヤーになり得る。ただし、水素の取扱いについても知見やノウハウが求められる。

**大規模の事業者でないと人材を確保できないでしょう。**

## V. 2. (2) (c) 水素サプライヤー

副生水素や再生可能エネルギーの余剰電力の活用など、水素製造を低炭素なものにしていくとともに、輸送についても需要と供給のバランスを踏まえながら、より高効率な方法を検討する必要がある。特に、将来的には海外から大量に安価な水素を安定的に輸入することが求められるため、有機ハイドライドといった水素キャリアや、液化輸送船といった技術の開発が重要。

**急いで検討する必要があるとも思えません。**

## V. 2. (2) (d) 関連設備メーカー

コストの低減は北米や欧州が先行。我が国ではアルカリ水電解やPEM水電解、SOECといった水電解装置の研究開発が行われているが、NEDOの目標値である26万円／(Nm<sup>3</sup>/h)を見通すことのできる技術の確立に向け技術開発や技術実証を進めていくことが重要。

**NEDOの話を信用している人は少ないのでは。同じ話が前出。**

## V. 2. (3) CO<sub>2</sub>フリー水素の利活用拡大のシナリオ

### V. 2. (3) (a) 地方、離島における再生可能エネルギー余剰電力活用モデル

九州電力管内の離島においては、既に太陽光発電の出力制御が実施された実績があるなど、Power-to-gas技術の社会実装に当たっては、離島が先行事例となる可能性がある。離島における水素需要や島外に輸送する場合のコスト等を踏まえた分析を行っていくべき。

**技術的に難しい話ではなく、経済性が全く見通せないことが問題です。なので、特殊な環境の離島では先行事例にはなりにくいと思います。**

### V. 2. (3) (b) 工業団地等の大規模需要地における再生可能エネルギー・水素利用モデル

環境省の実証事業において、京浜臨海部で風力発電により製造した水素を、簡易型水素充填車により輸送し、地域の倉庫や市場内の燃料電池フォークリフトで利用する実証が行われている。

**どうしてこんな小さな話が議論されるのか不自然です。「忬度」でしょうか。**

副生水素は場内の熱源として利用されるケースや外販されるケースが多いが、大気放出されている事例も存在する。未利用の、あるいは単純に燃やされている副生水素を有効に活用することで、再生可能エネルギーの導入が難しいようなエリアにおいても、環境価値の高い水素の利用が可能になる。

**大量の水素を大気放出しているのであれば、経営者の素養の問題でしょう。少量であれば、ほとんどの人は大気パージするでしょうが。食塩電解水素は燃料にするには高品質すぎるのもったいないことは確かですが、他に需要はないと思います。副生水素は個々の企業に任せたらいい**

話で、国が口出しするような問題ではありません。

## V. 2. (3) (c) 地方の再生可能エネルギーを都市で使う将来モデル

地方の再生可能エネルギーから製造された水素を需要の大きい都市部へと輸送することで、国内における水素供給構造をより低炭素なものにすることが可能となる。

福島新エネ社会構想や「改革 2020」プロジェクトでは、地方で製造された水素を東京に輸送し、2020 東京オリンピック・パラリンピックにて利用する。

水素社会なんて、所詮は役所のPRが主目的なんだなあ、と感じさせる話のようです。

## VI. 今後の課題と取組の方向性

### VI. 1. 技術開発

水電解装置をはじめ各種技術の低コスト化や高効率化、耐久性向上、システムとしての利用率向上などの技術を開発。水電解システムは、26万円/ (Nm<sup>3</sup>/h) のコスト水準を早期に実現。

過去の例では、NEDOの話は、ほとんどが目標はクリアできたけれど……という話で結末を迎えています。

液化水素や有機ハイドライドといった水素キャリアに係る研究開発・技術実証を行い、2030年頃の実用化を目指す。

CCS等のCO<sub>2</sub>排出量を低減する技術についても課題を整理し実用化に向けて取り組む。

どうしていいのかわからない、ということでしょうか。

### VI. 2. 制度面の取組

J-クレジット制度などを活用した水素製造により CO<sub>2</sub> フリー水素の量的課題の解決に取り組む。供給側・利用側双方において CO<sub>2</sub> フリー水素のメリットが享受され、取引が促進される仕組み作りを検討。

CO<sub>2</sub> 排出量の根源は化石燃料なので、化石燃料の採掘を制限しなくては駄目なのは。わが国でも、原料炭も含めて化石燃料の輸入量を減らしていく必要があるのでしょうか。それをしないで屁理屈を言っても目標は達成できないと思います。

【イラスト①】



【イラスト②】



【イラスト③】



## “水素社会”は本当にやってくるのか？

赤字でコメントを付け加えました

### “究極のクリーンエネルギー”

水素は、よく、そう表現されます。二酸化炭素を出さない次世代エネルギーの本命とも言われます。ただ、今、日本で利用されている水素エネルギーは、実は製造過程で二酸化炭素が発生し、理想を完全には実現できていません。さらに期待したほど普及が進まず、厳しい現実と直面しています。“水素社会”は本当にやってくるのでしょうか。

(経済部・吉武洋輔記者 江崎大輔記者)

### CO<sub>2</sub>ゼロを目指して

今月、トヨタ自動車と東芝が、相次いで水素の新たな事業を発表しました。目指すのは二酸化炭素ゼロの究極の水素を作り出す取り組みです。

トヨタが始めたのは風力発電。神奈川県などと共同で、横浜市にある風力発電所に水素の製造装置を作りました。CO<sub>2</sub>を出さない風力の電気を使って、水を電気分解して水素を取り出します。できた水素は近くの工場のフォークリフトの燃料に利用します。

風力発電所で発電した電力を電力系統に接続したら火力発電所での発電量が減少してCO<sub>2</sub>の排出量が減ります。この火力発電所から排出されるCO<sub>2</sub>を削減できるメリットを放棄して水素を製造するために利用しています。これでは、本当にCO<sub>2</sub>を削減したことになるのでしょうか。言い換えれば、風力エネルギーを電気エネルギーに変換する行為がエコなのであって、電気エネルギーを使って水素を作ることがエコなのではありません。得られた電気エネルギーは水素製造に利用しなくても用途はいくらでもあるのです。

一方、東芝は太陽光発電です。やはりCO<sub>2</sub>を出さない太陽光の電力で水から水素を取り出し、工場や港で動く車の燃料にします。

トヨタの話と同じです。「工場や港で動く車」など、どんな車でも動かすためには必ずエネルギーが必要です。一方、エネルギーには色々な種類がありますが、種々のエネルギーは相互に変換することが出来ます。そのために、ある種のエネルギーを利用したらエネルギーを利用したことにならない訳ではありません。

実は、今、日本で使われている水素の多くは、天然ガスから取り出す方法で製造されています。しかし、これだと、製造過程でCO<sub>2</sub>が排出されてしまいます。トヨタと東芝の試みは、水素の製造から利用まで一貫してCO<sub>2</sub>を出さないことがアピールポイントです。

アピールをしようという発想が理論的に間違っているのです。厳しい物言いで恐縮ですが、このような勘違いをしてしまうのは、深く考える習慣が身につけていないのかもしれない。

東芝の次世代エネルギー事業開発プロジェクトチームの大田裕之統括部長は「世界のエネルギー需要を見ても、二酸化炭素をどう減らすかが課題になっている。それを解決できるのが水素だ」と強調していました。

### 水素にたちはだかる壁

日本の大手企業が、なぜ、相次いで、こうしたアピールを行ったのでしょうか？

1つには、水素が思うように普及しないという焦りがあります。水素が次世代のエネルギーとして大きく注目されるようになったのは2002年。トヨタとホンダが、水素を燃料にする燃料電池車のリース販売を開始したことでした。

自動車会社の経営層の皆さんが、勘違いをしていることに気づけなかったということです。

燃料電池車は、燃料の水素と空気中の酸素を使って電気を起こし、それをエネルギーに走る車。排出されるのは水だけです。2年前には、トヨタは一般の消費者向けに燃料電池車「MIRAI（ミライ）」の販売を開始。エコカーの“本命”がいよいよ登場、と期待が高まりました。

一般の消費者も「エコカーの本命」だという説明を信じてしまったのです。マスコミにチェック能力が不足していたのかもしれませんが。

しかし、「MIRAI」のメーカー希望小売価格は723万円（補助金含めず）と高額で、なかなか手が出ないのが正直なところ。これまでに国内で売れたのは1770台です。水素を補給する水素ステーションも建設費用が高く、思うように整備が進んでいないのが現状です。量産できれば車の価格も下がり、もっと買いやすくなるし、水素の消費も増える。そうすれば水素ステーションも採算が合い、あちこちで整備が進む。残念ながらそういう好循環はまだ起きていません。トヨタの友山茂樹専務も「いかに使い手を増やしてコストを下げていくかが課題だ」と話しています。

車体や燃料になる水素のコストを引き下げればいいのだ、という単純な話ではありません。よく考えてみると燃料電池車の温暖化抑制効果はガソリンを燃料にしているハイブリッド車を越えることができないのです。また、間接的なCO<sub>2</sub>排出量は電気自動車の3～4倍になるのです。エネルギーも3～4倍消費します。

### 先に行く電気自動車

燃料電池車の普及が進まない中、エコカーとして一気に存在感を高めたのが電気自動車（EV）です。電気自動車のリーダー的メーカー、アメリカのテスラ・モーターズの株式の時価総額が、4月にGM＝ゼネラル・モーターズを一時、上回り、話題をさらいました。電気自動車の今の勢いを物語るエピソードです。

世界最大の自動車市場・中国では、電気自動車を優遇する国家戦略が進んでいます。ドイツの自動車メーカー、フォルクスワーゲンは2025年までに30車種以上の電気自動車を販

売すると宣言。今、世界的な“EVシフト”が進んでいます。

燃料電池車は、“車の中”で電気を作ります。それに対して、電気自動車は、“車の外”から電気を入れます。どちらも電気で動くエコカーという点では共通していますが、コストが大きく違います。それが電気自動車リードの大きな理由です。

上記のようにコストの問題だけではないのです。環境性能が電気自動車の方が優れているのです。

自動車メーカーや各国の政府が今すぐ普及できる次世代のエコカーを考えたとき、車体の価格で見ても、充電器の整備などインフラ整備の手間を見ても、現時点では、電気自動車に軍配があがるのは間違いありません。

### 水素は巻き返せるか

EVシフトが進む中、トヨタも、去年11月、2020年をめどに電気自動車を量産すると表明しました。「ついにトヨタも戦略を切り替えた」という見方が業界内に広がりました。とはいえ、トヨタ社内からは「燃料電池車を諦めたわけでない」という声が聞こえてきます。

電気自動車にも弱点があるというのです。1回の充電で走れる航続距離が短いこと（国内で最も売れているEV・日産「リーフ」で280キロ）。また、充電にかかる時間の長さもネックになります。

これに対して、燃料電池車「MIRAI」の航続距離は東京一大阪間を走行できる600キロ超。水素を充てんする時間も3分程度ですみます。そして、燃料の水素を、風力や太陽光の電気で作り出せば、CO<sub>2</sub>ゼロの、環境に全く負担のない究極のクルマになるというのです。

一般的には、快適さのためには多くの場合エネルギーを消費します。この時代に温暖化抑制のために若干の快適さを放棄してエネルギー消費、いいかえればCO<sub>2</sub>排出量削減は必要なのではないでしょうか。

今は電気自動車が1歩も2歩もリードしているのは明らかですが、電気自動車の世界全体の普及率は1%にも届いていません。燃料電池車の巻き返しの可能性もありえます。エネルギーの多くを輸入に依存している日本にとって、水からエネルギーを生み出すことができる水素社会の実現は、大きな夢であり、目標でもあります。

水からエネルギーを生み出す、という意見は究極的な間違いです。エネルギー発生源は太陽です。地球上では水は極めて安定で、化学エネルギーを持ち得ません。

政府は、3年後の東京オリンピック・パラリンピックをきっかけに水素技術を広げ、世界にアピールしようと動いています。今はコストの壁が立ちはだかっていますが、関係者が粘り強く開発や普及の火をともし続けられるかが、試されていると思います。

コストの問題ではないことがお分かりいただけたでしょうか。

## 水素エネルギー 社会を支える新たな力に

水に電気を通すと、水素と酸素ができる。学校の理科で習う水の電気分解だ。逆に、水素と酸素を反応させると、どうなるか。水とともに電気エネルギーが得られる。それを取り出して利用するのが、「水素エネルギー」のおおまかな仕組みだ。

「水素エネルギー」という用語を使うのは誤解を生みやすいと思うのですが。水素はエネルギーの発生源ではなく、エネルギーを輸送する手段の一つのほうです。

水素を製造するために使用した電気の方が、得られた水素を使って発電した電気よりも倍以上多くなることを理解されていますか。

20世紀後半、エネルギー政策の柱となった石油は同時に環境問題を引き起こした。もう一つの柱として期待された原子力も、福島第一原発の事故で、国の存立をも揺るがす危険があることを露呈してしまった。

諸外国ではどうして原子力発電を止めないのでしょうか。この点をわかりやすく説明する必要があると思います。おそらく、エネルギーの確保ができない事態になったら、国の存立をも揺るがす危険がある、と考えているのではないのでしょうか。私は「原発推進派」ではありませんが。

### 先行する日本の技術

そうした中で、水素エネルギーが注目を集めている。太陽光などの再生可能エネルギーと並んで次世代の主演となり、新たな成長を促して社会をも変える力になりうると期待が集まる。

水素エネルギーはどこからか湧きだしているのですか。

利用価値の高いエネルギーの発生源は核反応です。太陽での核融合、原子炉での核分裂、地中の核崩壊です。私たちは、これらで得られた利用価値の高いエネルギーを利用価値の低い「常温の熱」に変換しながら生存し、「常温の熱」を地球から宇宙に捨てているのです。

東京都港区。東京タワー近くの一角で、工事が続く。15年3月の開所を目指して岩谷産業が手がける水素ステーションだ。首都圏初のステーションは東京ガスが昨年12月、練馬区に設けた。政府は15年度中に4大都市圏で100カ所ほど整備が進むよう支援する目標を立てる。

起爆剤になったのは、12月にトヨタ自動車が発売した水素自動車「MIRAI（みらい）」だ。市販車としては世界初。当面は年間700台しか生産しないが、技術の核でもある燃料電池関連の特許約5680件は、他社に無償で提供し、社会全体での普及を優先する。

岩谷産業の上羽尚登副社長は「世界的な規模の企業であるトヨタが本気で水素に取り組む意味は大きい。消費者になじみのある車という形で出てくることで、水素がぐっと身近な存在にもなる」と話す。ホンダや日産自動車も15年度以降、水素自動車を発売する予定だ。

トヨタに限らず、水素に関して優れた技術をもつ日本企業は多い。天然ガスなどからの水素で電

気と温水を供給する家庭用燃料電池「エネファーム」。大手ガス会社などが09年に発売し、原発事故を契機に需要が急増、昨年中に10万台を突破した。世界で追随する企業はまだない。

欧州系自動車会社日本法人社長が、燃料電池車なんてガラパゴスだ、と発言して話題になりましたが、正しい意見だと思っています。

燃料電池の推進は、政府がメンツのために（過去との整合のために）補助金を使って無理をしているからではないのですか。電気と熱を利用したいのであれば、「エコキュート」の方がエネルギー効率の面や使い勝手のうえで優れています。ただ、低周波問題に注意する必要があります。「エネファーム」は熱の利用先が見つけないので、電気と熱のバランスが取りにくく、使い勝手が悪いのです。

燃料電池に関する特許出願件数も日本が世界一だ。2位以下を5倍以上引き離す。

他の国々の人々は、燃料電池というものが魅力のある技術だと考えていないからではないのですか。私も過去に長年、燃料電池村の住人でしたが、燃料電池に将来性はないと思っています。

水素を核にしたまちづくりを模索する自治体も出てきた。川崎市は民間企業と組み、臨海部と住宅地を結んで製造から消費までつなげて水素を供給・利用する仕組みをつくる。

化石燃料使用禁止・原発禁止にならないかぎり、いずれ消えていく運命にあると思っています。

東京都も20年五輪で会場輸送や選手村の運営に水素を活用し、世界にアピールする計画を練る。

目立ちたがり屋の都知事の馬鹿騒ぎだと思いませんか。水素を活用してもCO<sub>2</sub>削減にはならないことがわからない人たちが無駄使いしているのです。

## コスト・安全に課題

水素エネルギーの利点は、なんといっても無尽蔵にあることだ。

無尽蔵にあるのは水素原子であって、エネルギーではありません。余りの低レベルに驚いていません。

化学プラントなどの副産物として発生するほか、化石燃料にも含まれている。木材や汚泥からも取り出せる。

化学プラントから副生している水素は、多くの場合、原料に利用するか燃料として利用していません。捨てているわけではありません。また、量的にエネルギー問題の議論にのせるほどのものでもありません。

温暖化対策の点からも有望だ。トヨタが開発を急いだ背景には、米欧で強まる自動車の環境規制がある。天然ガスから水素をつくったとしても、ガソリン車に比べると二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）での排出量は約半分だ。

トヨタは再生可能エネルギーを使用して製造した水素を使用すれば、燃料電池車が二酸化炭素を排出しないと勘違いしていたようです。どうしてエネルギー効率が高いディーゼル車と比較しないのですか。日本の自動車業界は欧州に後れをとったことに気付いて、経産省を纏め役にして、ディーゼル車の改良プロジェクトを始めています。

再生可能エネルギーを使って水から水素を取り出す手法が確立されれば、CO<sub>2</sub>の排出はガソリン車の1割以下になる。

技術は改良の余地がほとんどないレベルにまで確立されています。コストが高すぎるので誰も手を出さないだけです。

多くの人が誤解しているのですが、再生可能エネルギーを使って水を電気分解して水素を製造しても、社会全体としてCO<sub>2</sub>の排出量が減るわけではありません。

もちろん、普及に向けてはまだ課題のほうが多い。最たるものはコストだ。

「MIRAI」この価格は約700万円。エネファームも、当初に比べるとだいぶ下がったとはいえ、まだ100万円の台だ。水素ステーションの建設は、設備の安全基準を確保するため、ガソリンスタンドの5倍以上費用がかかる。

安全性への配慮もある。水素はエネルギー効率が高いぶん、万が一事故が起これば被害が大きい。輸送や貯蔵といった面でも、より安全性の高い技術の開発が必須だろう。

意味不明です。爆発限界が広いことと、分子が小さいので漏れやすいというだけの問題です。

### 普及に向けた政策を

量産されるようになれば、コストは下がる。しかし、当面は需要が広がるよう、補助金制度など政策的な手当てが必要だ。昨年末に決まった経済対策でも、水素ステーションやエネファームの設備導入に対する補助金が盛り込まれた。

水素の製造は、規模の効果が出にくいことに注意する必要があります。他の石油化学装置では設備費が規模の0.6乗に比例するために、規模の効果が大きいのですが、天然ガスの水蒸気改質でも水の電気分解でも、設備費についての規模の効果が小さいのです。

規制改革も必要だ。貯蔵タンクの強度、水素ステーションの設置基準など、材料の開発などにあわせて安全性を確認しながら認めていく。

経済産業省は、昨年4月のエネルギー基本計画で「水素社会の実現」をうたい、6月には2050年までに実施すべき対策を定めたロードマップも策定した。着実な実行を求めたい。

経産省は過去に多額の浪費をしたこともあって、メンツのために水素社会だと騒いでいるだけです。

70年代の石油危機以来、政府は「サンシャイン計画」「ムーンライト計画」「ニューサンシャイン計画」などを掲げ、石油代替エネルギーの開発に取り組んできた。しかし、予算の多くを原発の維持・推進に振り向けてきた結果、ほかのエネルギーは十分には育たなかった。

原子力関連に電源特会の資金を多額使ったことは事実ですが、NEDOが音頭を取った上記のプロジェクトの資金が原子力に流れたということはないはずだ。

世界も水素の活用に動き出している。

どんな具体例があるのですか。影響力がありそうなお話なのですか。出まかせで書いてはいけません。

次世代に引き継げるエネルギー社会を構築する。原発事故を経た日本は、その先頭を走るべきである。

水素をエネルギーのキャリアに使用することに関して、技術的にさして難しい問題は残っていない筈です。将来性があるのなら、多くの企業で先行投資するでしょう。朝日新聞の皆さんに教えていただく必要もないと思いますが。

### 朝日新聞社からの手紙

今回は、貴重なご意見をいただき、ありがとうございました。早々にご指摘をいただきながら、返事が遅くなったことを最初にお詫び申し上げます。

ご指摘のように、再生可能エネルギー（太陽光発電）を使って製造した水素でも、二酸化炭素の排出はゼロになりません。今回の原稿では①天然ガスから取り出した場合②太陽光発電による電力で水を電気分解して得た水素をその場で車両に積む場合、の二つのケースで発生する二酸化炭素量について、ガソリン車と比べたデータ（日本自動車研究所、2011年）を使用しました。

また、水素のエネルギー効率に関する記述が意味不明であるとのことご指摘について、私たちとしても、もう少し丁寧に説明できなかつたか、と反省しております。

エネルギー効率が高いことと、危険があることの間に関係がないことは私たちも承知しており、「こういうベネフィットを得ているぶん、こういうリスクもある」と、良いところ取りはできないことを指摘するのが文章の趣旨でした。

他の石油化学装置では設備費が規模の0.6乗に比例するために規模の効果が大きいのに対し、水素の製造は規模の効果が出にくい点など、村井様のご指摘は非常に参考になりました。

限られた紙幅の中で、専門的な事柄をわかりやすく、かつ過不足なく説明することは難しく、我々も日々、苦勞しております。今回の村井様のご指摘で、改めてその大切さを受け止めた次第です。

貴重なご意見をお寄せいただいたことに、改めてお礼申し上げますとともに、引き続き、朝日新聞をご愛読いただくよう、お願い申し上げます。

朝日新聞論説委員室

### 上記書簡への返事

ご丁寧な配達証明郵便で回答を頂きましたが、残念ながら十分に理解していただけていないようです。レベル差が極めて大きいので、論説委員の技術レベルは隠したつもりでもすぐに分かります。

日本自動車研究所のデータは自分が直接排出した量であり、間接的に排出したものを含んでいません。下記を論説委員や記者に理解させてください。

地球上での営みは、エネルギーという側面からみれば、利用価値の高いエネルギーを利用価値の低いエネルギー（海や陸地や大気の熱など）に変換しているだけです。蛇足になりますが、利用価値の低いエネルギーは宇宙に放出されています。

利用価値の高いエネルギーのうち、1次的なエネルギーになるのは、水力も含めた再生可能エネルギー、原子力、化石燃料です。

どこの国でも、利用価値の高いエネルギーを一定量必要としています。

再生可能エネルギーと原子力とで足りない部分は化石燃料を使用せざるを得ませんが、化石燃料を使用すれば、炭酸ガスを放出することになります。

再生可能エネルギーと原子力と化石燃料の必要量の合計のうち、自動車の駆動に再生可能エネルギーを使用したら、その分だけ他の用途で化石燃料を使用せざるを得なくなります。

言いかえれば、自動車の駆動に再生可能エネルギーを使用しても、全体としては炭酸ガスの放出量は変化しないのです。

全体として炭酸ガスの放出量が同じなのであれば、配管や電線でエネルギーの供給を受けにくい移動する自動車や船などに使い勝手のいい液状の化石燃料を使用するほうが合理的なはずです」

なお、「水素エネルギーの利点は、なんといっても無尽蔵にあることだ」という重大な誤解を大衆に与えてしまったことに関しては、取り消す努力をして下さい。

## 水素ガイド H2OPE (トヨタ)

[toyota.jp/sp/fcv/h2guide/](http://toyota.jp/sp/fcv/h2guide/)

将来の有力なエネルギーとして注目されている水素。

何があたらしいの？ 何がすごいの？

このサイトでは、その注目される理由と水素をとりまく社会の変化について分かりやすく解説します。

01……一般論からいえば、「水素」は水素原子2個が結合している分子で、物質であり、エネルギーではありません。

水素を活用する社会に向けた動きがはじまっています。

今までのエネルギーと共存しつつ、ひとつのエネルギーに依存しない社会へ。

「ひとつのエネルギー」とは化石燃料を燃焼させて得たエネルギーのことですか。論理的には、「化石燃料への依存を減らすこと」イコール「水素の活用」とはならないのではないのですか。水素はエネルギーの運搬役の一つにすぎないのでは？

水素エネルギーの利用に取り組む組む企業も増えてきています。今ようやく、みんなのエネルギーとして使っていけるスタートラインに立ちました。

トヨタとその取り巻きが騒いでいるだけのようには思えるのですが。

水素ステーションも、これから増えていく予定です。燃料電池自動車の水素を充填する水素ステーションは、2015年度内には40カ所以上の稼働が予定されています。

水素は、究極のエコエネルギーといわれるほど、クリーンなエネルギーなんです。

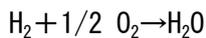
天然ガスを水蒸気改質してCO<sub>2</sub>を放出しながら製造した水素を燃料にした場合も得られたエネルギーは究極のエコエネルギーになるのですか。

### ① 使用時のCO<sub>2</sub>排出量、ゼロ。

水素は酸素と結びつくことで、発電します。化石燃料と違い、エネルギーとして使用した際に、CO<sub>2</sub>を出すことはありません。

「エネルギー」ではなく、「燃料」ではないのですか。例えば、ガソリンのことをエネルギーと表現しますか。

水素で発電する際に出るのは、水だけです。



という式で表されます。

ただし、今はまだ、水素を製造する過程でCO<sub>2</sub>が排出されています。

今後、太陽光や風力などの再生可能エネルギーを活用して、水素を効率的に製造できるようになればCO<sub>2</sub>排出量は大幅に少なくできるといわれており、将来的にCO<sub>2</sub>を一切排出せずに水素エネルギーが活用できる社会の実現に向けた取組みがはじまっています。

太陽電池や風力発電の技術は、現状でほぼ頂点に達しているのではないのですか。さらに、どんな進歩があると考えておられますか。

化石燃料を使用しなくなるのは何年後だと考えておられるのですか。水素を製造したり、貯蔵したり、使用したりする技術はさして難しいものではないので、早くから準備をする必要性はないと思いますが。

### ② ほぼ、無限につくり出すことができる。

水の中などに含まれている水素。水を電気分解することで取り出すことができます。

水の中に含まれているのは水素分子ではありません。水素原子です。水分子の中の水素原子は利用可能なエネルギーを有していません。

肝心の電気分解用の電気はどこから持ってくるのですか。電気が無限にあるのなら、水素を製造する必要もあまり無いことになりませんか。

さらには、他の物質の中にまで。石油や液化天然ガスだけではなく、**バイオマス**や**下水汚泥**など、さまざまな物質から取り出すことができます。

コストを全く無視すれば、バイオマスや下水汚泥から水素を製造することは可能です。ただ、可能だ、というだけで処理コストや汚泥などの量の確保の難しさから、これらを原料にして水素の製造に使用する人はいないでしょう。

失礼ですが、下水汚泥をどのように処理したら水素を得ることができるかご存知ですか。

水の惑星地球にとって水素は、つくることのないエネルギーなのです。

水の中にはあるのは水素原子であり、エネルギーではありません。世界のトヨタがこんなレベルな話をしてはいけません。また、アンフェアです。

### ③ ためられる。運べる。

電気で水を分解して水素にしておけば、それを保存して、また別の場所で再びエネルギーとして使うことができます。自然エネルギーも、もっと活用できるようになります。たとえば、天候に左右されて一定量の電気供給が難しい太陽光発電の場合。晴れたときに作った電気を水素に変えておけば、曇ったときに、その水素で電気を再び作ることができます。

水素で運ぶよりも電気で運んだほうが経済的だとは思いませんか。

技術的には大昔から確立していますが、電力の需給調整に、水を電気分解して燃料用水素を製造しようとする人は、おられないのでは。コストの大きさやエネルギーロス大きさが常識的ではありません。

水素は、他のエネルギーとのコンビネーションもバツグンなんです。

意味がよくわかりません。

水素社会が広がることは、よりサステイナブルな仕組みが広がることになります。

持続可能な社会のために、コストへの不満を除いては、再生可能エネルギーを活用することが大切であることを疑う人はほとんど居られないでしょう。ただ、再生可能エネルギーの活用の際して水素の活用を考える人も多くはないはずで。

化石燃料が入手できないし国内で利用できる再生可能エネルギー量がどうしても不足になった場合に、やむなく液化水素を輸入するという事態も皆無ではないかもしれません。が、その場合には、液化水素は火力発電燃料に優先使用したほうが国全体としてはメリットがあるはずで。

#### 【安全に関する内容は割愛します】

未来のために、今、ふみだします。

水素社会としての基盤が理想的に整い、循環するまではまだまだ長い年月がかかります。それでもトヨタは、ふみだしたいと思いました。

わが国は市場経済体制であり、違法でないかぎり第三者が口をはさむことは出来ませんので、勝手におやりになったらいいのです。

趣味でやられるのであれば、税金の注入は断固として断るべきではないのですか。客観的にみて、趣味としか思えないのです。

今までのエネルギーと共存しながら、より幅広い選択肢をもてる未来へ。

ひとつのエネルギーに依存するのではなく、支え合える未来へ。

100年後、200年後の子供たちの環境まで考えた未来へ。

燃料電池車が思惑通りの高評価が得られない現状への言訳のようにも受取れますが、邪推でしょうか。燃料電池車が温暖化防止には役立たないのであれば、100年後、200年後のために、等と云えない話だと思います。

本気で温暖化を心配されるのであれば、必要が無い時にはなるべく車に乗らないようにとPRすることが最も大切なはずで。

しかし、自動車会社が「なるべく車に乗るな」と言いにくいこともあり、主張が非論理的で矛盾だらけになっているようです

## 【論風】水素社会への展望 日本主導で液化・発電実用化を

2018.7.5 元経済産業事務次官・北畑隆生

地球環境問題とエネルギー制約を同時に解決する次世代のエネルギーとして水素への期待が高まっている。

今年1月、サウジアラビアの国営石油会社サウジアラムコが原油から水素を取り出し、二酸化炭素回収貯留（CCS）装置で二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を除去し、将来CO<sub>2</sub>フリーの水素を輸出すると発表した。サウジの膨大な財政を賄う財源は石油収入であるが、財政赤字が続く。石油販売以外にも事業を多角化して収入増を図り、地球環境問題にも取り組む姿勢をアピールしている。

CCSが信頼性に問題なく低コストであれば、化石燃料を敢えて水素に変換しなくても、火力発電などの燃焼排ガスからCO<sub>2</sub>を回収したらいいのでは。新規に水素関連設備を整備するよりもはるかに賢明なのではないでしょうか。

豪州では、未利用の褐炭から水素を大量製造し、液化して日本に輸出することを研究中である。

豪州褐炭の話は経産省の数十年前からの願望のようですが、安価であれば他の国との取り合いになって高価格になるのでは。エネルギー源の確保はどこ国でも重要なことなので。

### EVの効果には限界

需要サイドはどうか。日本のエネルギー消費の23%は、運輸部門である。水素を使って走る燃料電池自動車（FCV）に期待がかかるが、政府の普及台数目標は、2020年度までに4万台、30年度までに80万台程度である。燃料を供給する水素ステーションの整備が進まないことがハードルになっている。

燃料電池車に期待をしているのはこのプロジェクトを推進した経産省と自動車会社の人々なのである。メンツなどという小さな話でわが国に損害を与えるべきではないと思いますが。

クリーンエネルギー自動車の本命は、FCVよりも電気自動車（EV）だろうか。

電気自動車や燃料電池車を走らせたならCO<sub>2</sub>を排出しないと考えるのはエネルギーというものをきちんと理解できていないためではないでしょうか。国内に火力発電設備が残存している限り、エネルギーを消費したら間接的にCO<sub>2</sub>を排出することになります。

ただ、電気自動車の方が間接的に排出されるCO<sub>2</sub>量が燃料電池車の3分の1以下だということで、電気自動車が優れていると考えられているはず。燃料電池車は燃料電池のエネルギー変換効率が低いことと水素の液化貯蔵のロスが大きすぎるのが致命的です。

英、仏では、40年までに温室効果ガスを排出する自動車の販売を禁止する方針を公表し、EVの20年度累計目標をそれぞれ150万台、200万台とした。30年までに、インドは全ての販売自動車をEVに、中国は新車販売の40～50%をEVにすると発表した。野心的な目標ではあるが、世界の自動車の保有台数は10億台を超え、年間販売台数は1億台と膨大であるので、仮に目標が達成されたとしてもEVだけでは自動車の地球環境問題は解決しない。

それでは、燃料電池車を導入したら地球環境問題が解決されるのだ、という理由を明快に説明できますか。論理の飛躍だと思います。

中国、インドでは、電源の大部分が石炭火力発電なので、都市部の大気汚染対策としてはともかく、地球温暖化対策としては矛盾している。

サウジと同じように、CCSを活用するのだ、という屁理屈をつけたらいいのでは。燃料電池車を採用しても解決されるわけでもなく、電気自動車以上に多くのCO<sub>2</sub>を排出していることになるはずですよ。

EVには、蓄電池の性能、充電時間、価格に課題がある。

燃料電池も安価ではありません。燃料電池車が有利な点は「快適さ」だけだと思います。エネルギー消費量を減らして環境問題を軽減することと快適さのどちらを優先すべきなのか、まともな人ならすぐにわかるはずですよ。

馬力を必要とするバス、トラックや長距離運転には向いていない。

燃料電池バスも燃料電池トラックもCO<sub>2</sub>排出量削減に関しては化石燃料を利用しているハイブリッド車に対抗できないのです。燃料電池トラックにするよりもハイブリッドトラックのまま構わないはずですよ。

FCVには、水素ステーションのほか水素価格や規制緩和に課題がある。地球温暖化対策の重要性と世界の保有台数を考えれば、EVかFCVかではなく、それぞれの利点を生かして両方を推進するという事だろう。

エネルギー変換効率を考えれば、電気自動車の半分以下のエネルギー変換効率である燃料電池車に固執するのは不自然ですよ。

### **半世紀前の英断**

日本の電源構成は、その84%が石炭、石油などの化石燃料である。深夜電力はほぼ石炭火力で賄われているので、それを充電した電気自動車に乗っていて「地球環境派ですよ」と言うのは笑い話になりかねない。

CO<sub>2</sub>フリー水素なんてあり得ないのに、燃料電池車に乗っていて「地球環境派ですよ」と言うのはもっと低レベルですよ。こんな文章しか書けない人が経産省の事務次官を務めていたとは驚きですよ。

EVの普及をCO<sub>2</sub>削減につなげるためにも、天然ガス発電に水素混焼を進め、また完全CO<sub>2</sub>フリーの水素発電を実用化する必要がある。発電用に大量消費されれば、水素価格の低下も期待でき、FCVのみならず、産業用、業務用分野での水素利用が進む。

「完全CO<sub>2</sub>フリーの水素発電」などという話は、エネルギーの初歩的な素養がある人は考えないのです。

今から約50年前、産油国で利用されずに放出されていた天然ガスを液化して利用する事業に先鞭（せんべん）をつけたのは、日本である。当時の東京ガスの首脳が未利用でクリーンなアラスカの天然ガスに注目し、マイナス162度で液化してタンカーで輸送するという技術が海外で開発されるや、いち早く東京電力を説得し、両社で大量かつ長期の引き取りをコミットして、事業化を実現した。石油ショックの6年前のことである。先見の明と勇気ある経営トップの決断があった。

この話が水素社会の話とどう繋がるのかわかりません。経産省の判断は正しいのだ、ということであれば、数多くの技術開発を主導して多額の税金をドブに捨ててきたことも併記すべきです。

水素について日本が世界に先駆けて同様の取り組みをすべきである。水素もマイナス253度で液化する。タンカーでの輸送も日本の技術で実現可能だ。問題は、経済性である。水素燃料電池自動車の需要だけでは、水素液化事業は立ち上がらない。水素発電を早期に実用化し、大量に水素を消費する電力業界と一緒にあって、水素社会の実現に取り組むべきである。

CO<sub>2</sub>排出量削減と無関係であれば、経済性だけの問題です。残念なことにわが国では経産省や環境省の官僚の皆さんのエネルギーに関する基礎的な素養が不足しているために、多大な損害を出しているのです。

【プロフィール】北畑隆生

きたばた・たかお 東大法卒。1972年通商産業省（現経済産業省）入省。官房長、経済産業政策局長を経て2006年事務次官。08年退官。日本ニュービジネス協議会連合会特別顧問、三田学園理事長。68歳。兵庫県出身。

## 水素社会実現のために求められる産官学の役割(抜粋)

岡崎 健(東工大)

赤字でコメントを追記しました

### 内容

#### 1. 水素社会実現に向けた課題

- ・地球環境問題、エネルギーセキュリティー

水素は「エネルギー源」でもないのに無理な話です

- ・量的寄与、エネルギー源の多様化、エネルギーベストミックス
- 2. 水素利活用の展開ー産官学の有機的連携
  - ・燃料電池自動車、一般家庭用コジェネ（エネファーム）の社会普及（産官学連携の成功例）
    - 電気自動車、エコキュートに対抗できません。補助金が止まったら消える運命です
  - ・燃料電池以外の多様な大量水素利用技術への展開
    - 水素発電
      - 変動電力平準化 電力の3分の2以上がロスになるので利用価値はありません
      - エクセルギー増進 素人的発想であり、見込みはありません
- 3. 再生可能エネルギー由来CO<sub>2</sub>フリー水素の導入促進
  - わが国では成立しません。ただ誤解をされているだけです
- 4. 海外からのCO<sub>2</sub>フリー水素サプライチェーン構築
- 5. 産官学連携に向けた東工大の取り組み
  - 大学で検討出来るようなテーマは残っていないはず
- 6. まとめ（大量導入には需要の拡大とインフラが不可欠）

## 第193回国会、安倍総理の施政方針演説<抜粋> 2017. 1. 20

水素エネルギーは、エネルギー安全保障と温暖化対策の切り札です。

根拠の説明が必要ですが、

これまでの規制改革により、ここ日本で、未来の水素社会がいよいよ幕を開けます。

3月、東京で、世界で初めて、大容量の燃料電池を備えたバスが運行を始めます。

全くナンセンスですし説得力がありません

来年春には、全国で百か所の水素ステーションが整備され、神戸で水素発電による世界初の電力供給が行われます。

神戸の水素発電は20億円の無駄遣いです。2010年のイタリアの例と較べて高額すぎ

2020年には、現在の40倍、4万台規模で燃料電池自動車の普及を目指します。

夢と目標がゴチャゴチャになっているようです

世界初の液化水素船による大量水素輸送にも挑戦します。

税金の無駄遣いです。造船会社の失業対策事業なのでは

生産から輸送、消費まで、世界に先駆け、国際的な水素サプライチェーンを構築します。

その目標の下に、各省庁にまたがる様々な規制を全て洗い出し、改革を進めます。

再生可能エネルギーから大規模に水素を製造する。

技術的には簡単ですが、必然性はありません

最先端の実証プロジェクトが、福島で動き出しました。

県民を騙しているだけだと思います。後日、どなたが謝るのでしょうか

## 水素社会実現に向けた課題

1. 水素社会とは？
  - ・小規模水素利用が拡大し、産業基盤をも支えるエネルギーとして、エネルギー消費全体の20%程度以上が二次エネルギーとしての水素を利用する社会
    - 無理に水素を経由させてもロスが多すぎるのでは
  - ・エネルギーセキュリティーと地球環境保全に対する十分な量的寄与

水素はエネルギー源ではありません

## 2. 水素社会実現のためのキーワード

- ・ 個別技術の成熟（開発→実証→商用化→用途拡大、安全対策）

成熟・拡大する必然性はありません

- ・ 社会からの認知、許容（社会システムの中での水素の役割の明確化）

大衆を騙してはいけません

- ・ 需要の飛躍的拡大

FCV+水素ステーション、エネファームのユーザーの飛躍的拡大

競合相手に対抗できないのに

水素発電（水素タービン、ガスエンジン、水素ボイラ（混焼を含む））

- ・ 需要に応える大量水素のサプライチェーン構築

国内の再生可能エネルギー起源CO<sub>2</sub>フリー水素、P2G

国内ではCO<sub>2</sub>フリー水素は本質的に存在しにくいはず

（変動平滑化、過大発電分エネルギー貯蔵、コスト高対策、アンシラリーサービス）

（事業者の自主参加を促す制度上の仕組み、グリーン証書、グリーン水素証書・・・）

海外の未利用エネルギー起源CO<sub>2</sub>フリー水素（水素キャリアの正しい選択、棲み分け）

- ・ 適切な導入中間シナリオ（一挙に大量導入不可能、小規模の普及・拡大）

本気で取り組む人はいないのでは

- ・ 水素固有の特徴を活用した水素利用技術（水素・酸素燃焼タービン、エクセルギー増進）

エクセルギーを増進させる適当な方法（適当な反応など）がありません

無理しても超高コストになるだけです

- ・ エネルギー源のベストミックス（水素源としての石炭の活用の拡大）

CCSが安価で確実なものにならないと石炭を燃料用水素に変換することはありません

- ・ 全体システムを統括するリーダー（産官学の有機的連携ハード含むトータルシステム）

どの程度の難度なのか把握できていないのでは。さして高度なものではないはず

- ・ 国際連携、枠組み（ガラパゴス化しないように）

本気なのは日本だけだと気付かないのでしょうか

## 論点の補足(1)

科学技術（発見・基礎→応用→実用）⇒社会貢献（民生・産業、国際展開）

- ・ 「死の谷」とか「ダーウィンの海」で、事業化を語っている場合ではない

- ・ 国策（Funding）：イノベーションと言いながら、個別技術の羅列に近い

- ・ エネルギーシステム⇒融合・連携⇒国際展開をはかる視点

蜃気楼を追いかけるのはナンセンスです

- ・ 革新技術がなければ、世界と勝負できない

大昔から検討されており革新技術の可能性はほとんどないと思います

- ・ 国際展開には国力、政策も必要⇒掛け声ではなく具体的なストラテジー

責任は誰がとるのでしょ

次世代エネルギー社会をどう考える？

- ・ グローバルな視点かつ長期的な視点←フィーリングでなく客観的な根拠

提案自体に説得力がありません

技術革新により、「多様性」を基軸とした新たなベストミックスへの展開

- ・時間軸⇔ 量的寄与拡大可能性と限界⇔ 空間的な広がり与世界展開  
**大袈裟すぎです。一人相撲のようです**
- ・再生可能エネルギーへの期待、地域実証の単発はダメ **技術的に高度だと勘違い**  
(バイオマス日本→市町村きちんとしたデータ取得は皆無(総務省))
- ・スマートグリッド⇔大規模なエネルギー需給体系との連携、空間的広がり  
(助成金がついたときだけ活況、終わったら廃墟・・・の繰り返しからの脱皮)  
**NEDOの研究の特徴**
- ・基幹産業を支えるエネルギー需給体系(大規模電力、大規模産業) **大風呂敷です**
- ・一見地味なエネルギーマネジメント(ex. 熱エネルギー)→大きな省エネ効果  
**必要なことは検討ずみのはずです**
- ・供給サイド⇔ 需要・利用サイドの省エネ

## 論点の補足(2)

イノベーションという言葉の独り歩きだけでは世界に勝てない

**一般論。水素社会には競合者なし**

- ・技術革新の推進だけではダメ **高度な話ではありません**
- ・「個別技術に強く世界戦略に弱い日本」からの脱却⇒ 具体的な施策
- ・アフターケア→普及→世界展開 を実現する政策  
(技術レベル最高でも普及、規格を新興国にさらわれた苦い経験)
- ・バーゲニングパワー国際間の交渉能力
- ・技術革新による強い外交カード(ex. 水素エネルギー、高効率クリーン石炭火力)
- ・外国からの政治的圧力⇒ シェールガス? CCSをどうする?

産官学の有機的連携

- ・大学は基礎研究・人材育成、国研は実用に向けた出口戦略、産業界は実社会への展開(社会実装)、官は政策立案・実行・予算配分、といった分業は機能しない。有機的な連携で強いリーダーシップを発揮するコーディネーターが不可欠  
**本質的に魅力のない話を真面目にやる人は少ないでしょう**
- ・水素社会実現に向けた国策としてのビジョンの提示(産官学)  
**残念なことにエネ庁が無力すぎます**
- ・多様な社会的価値に基づく客観的評価(水素の位置づけ)とシナリオ構築(産官学)
- ・技術の将来予測と事業として成立する技術革新テーマの提案(産官学)  
**テーマがあると思うのは幻想です**
- ・コストダウンのイノベーションの枠組みと事業化に向けた制度設計(産官学)  
**具体的な提案が出てこないのでは**
- ・小規模地域実証の発展型事業の推進と制度設計(産官学)  
**従来からこの種の無駄が多すぎます**
- ・人材発掘と育成(産官学)  
**教えることができる人が居ないのに無理でしょう**

## 水素社会をめぐる現状

- ・ 重要な技術選択肢としての水素

環境、経済、安全保障、安全性、産業発展、国際展開等の多様な政策目標を考慮する上での重要な技術オプション

最も重要な指摘を無視して先走りしているだけでは

- ・ 加速（過熱）する取り組み

水素燃料電池自動車の市販開始、HySUT等の水素供給ステーションの普及、家庭用燃料電池コジェネの普及補助金、水素タウン実証、東京オリンピックでの水素エネルギー導入など

税金の無駄遣いになるだけです

- ・ 科学技術の細分化・専門化とイノベーションの不確実性 水素社会の話は極めて低レベル

実施者：タコ壺化。必要な関連技術の見落とし、競合技術の軽視。

評価者：論理でなく印象による判断。主観と直感とによる意思決定。

⇒ 水素社会の論理を支える客観的・中立的な論拠に乏しく、Hype（誇大広告）とHopeが入り乱れる状況（東工大 梶川）

cf. 課題を検討する委員が当該分野の専門家のみで構成されている場合、自らの専門の擁護者として論陣を張る。一方、専門家を含まない場合、検討される内容は素人の考えとなって価値を失う。（吉川弘之、2011） そんなハイレベルな話ではないと思いますが

## まとめ

1. 水素導入の本質的意義は、将来的には大量導入されて、地球環境保全やエネルギーセキュリティーに、十分な量的寄与が出ることであり、グローバルな視点で議論することが重要である。 まず勘違いしていることに気づきましょう
2. 水素利活用技術は各論ではなくシステム技術である。燃料電池以外の多様な水素利活用技術を含め、電気-熱-化学のマルチパスエネルギーシステムでのエネルギーキャリアとしての水素の優れた特徴を十分理解して、利活用を展開することが重要である。 失礼ながら勘違いも甚だしいと思います
3. 大量水素導入に向けて、海外の未利用エネルギーを水素に変換して日本に輸送するグローバルなスケールでの水素サプライチェーンの構築が進められている。 一夜の夢物語では
4. 水素社会の実現には、水素社会のイメージを正しく把握し、個別技術開発から全体システムの成立性、社会システムとの融合、国際連携を踏まえて、長期的な視点に立った具体的な戦略と、産官学有機的連携を統括するハード技術をも熟知した強いリーダーが必要である。 ただ呆れるのみです

温暖化抑制関連の話には化学系の素養が欠かせません。失礼なのですが念のために経歴を拝見しました。機械工学の専門家のように、なるほどと納得できました。

水素はエネルギーを貯蔵したり輸送したりする手段としてなら利用できなくもないのですが、再生可能エネルギーでもないし、化石燃料でもないので、エネルギー源と考えてはいけません。ただ、エネルギーの貯蔵に利用できると考えられやすいのですが、水素を蓄電用途に利用したら蓄電した積りでも3分の2以上がロスになってしまいます。

非常に失礼なのですが、水素社会が素晴らしいと本気で勘違いしている人は記憶力を重視しすぎて思考力を鍛える訓練が不足しているために複雑な思考が不得手なのかもしれません。その最たる例が燃料電池車を推進した人たちではないでしょうか。

## カーボンニュートラルメタンの将来ポテンシャル

PtGとCCUの活用：都市ガスの低炭素化に向けて

日本エネルギー経済研究所新エネルギーグループ 柴田善朗 木村謙仁

赤字でコメントを追記しました

### サマリー

本調査では、我が国におけるカーボンニュートラルメタン（CNメタン）の製造ポテンシャル及び経済性の分析を行った。CNメタンは、電気分解によって再生可能エネルギーから製造されるCO<sub>2</sub>フリー水素と、バイオマス発電、火力発電所、大規模産業等からの排出CO<sub>2</sub>から生成される合成メタンであることから、PtG（Power to Gas）とCCU（Carbon Capture and Utilization）の組合せによって製造される“低炭素炭化水素エネルギー”と言える。CNメタンは都市ガスの原料となることから、都市ガス事業の低炭素化技術として期待されている。

電源構成モデル分析による再エネ導入シナリオ及び蓄電池・地域間連系線シナリオにおける各ケースの地域別余剰電力の把握、CO<sub>2</sub>分離回収の効率性を踏まえた地域別集約的CO<sub>2</sub>排出量の把握により我が国におけるCNメタンの製造可能量を特定した。また、現在の都市ガス需要をCNメタン受け入れ上限とすることでCNメタン有効利用可能量も特定した。

分析結果に基づくと、太陽光発電と風力発電を各々3億kW、1億kW~7億kW、5億kW導入し、同時にバイオマス発電、産業部門、火力発電から集約的に排出されるCO<sub>2</sub>を利用することにより、全国のCNメタン製造可能量の規模は100億~430億Nm<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub>にも達する。

CNメタン有効可能量は60億~250億Nm<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub>となり、現在の都市ガスの14%~64%をカーボンニュートラル化できる。関東、関西、中部、中国以外では、都市ガス需要規模が小さいため、ほぼ100%の都市ガスのカーボンニュートラル化が可能である。

経済性に関しては、CNメタン供給コストはLNG輸入価格には及ばないものの、再エネ発電コストや、電解やメタネーションなどのメタン製造設備費が大幅に削減できれば、都市ガス小売価格に匹敵する可能性があることが分かった。

設備費が大幅に削減出来るのなら、CNメタンに限らず、多くのもので競争力はついてくるで

しょう。設備費のイメージなしに議論をするのでは困ります。

また、新規インフラが必要な水素供給と比べて、ほとんどの場合において、既存インフラが活用できるCNメタン供給の方が経済性に優れていることが分かった。

LNG関連のインフラが利用できる、といっても未来永劫に利用できるわけではないはずです。エネルギー関連の話は、長期に対応できることが大切なのではないでしょうか。既存のインフラが劣化してきたら他人のフンドシで相撲をとるわけにはいかないでしょう。

このように大きなポテンシャルを有するCNメタンの利活用には多様なメリットがある。一方で、CNメタンのポテンシャルの顕在化並びにコスト削減に向けて必要な課題もある。以下に、メリットと課題を整理する。

## メリット

(1) CO<sub>2</sub>排出削減効果: CO<sub>2</sub>排出削減量は、CNメタン有効利用可能量ベースでは0.1億~0.5億t-CO<sub>2</sub>であるが、CNメタン製造可能量ベースでは0.2億~0.8億t-CO<sub>2</sub>となる。現在の都市ガス消費からのCO<sub>2</sub>排出量0.8億t-CO<sub>2</sub>のかなりの部分を削減できることになる。

再生可能エネルギーを取り込んだのだから、CO<sub>2</sub>排出量が削減されるのは当然です。再生可能エネルギーで発電しただけでもCO<sub>2</sub>排出量は削減されます。CNメタンに限った話ではありません。多くの人はCNメタンに限定されたメリットが知りたいのではないのでしょうか。

本調査ではCNメタンの利用先を都市ガスに限定したが、それ以外の用途にも活用できれば、CO<sub>2</sub>の削減効果がかなり拡大することを意味する。

エネルギーとしては電気エネルギーの方が化学エネルギーよりも高級です。そのために都市ガスを使ってコジェネをやる気になるのです。再エネを広く活用することが大切であることはみんなよくわかっています。

(2) バイオマス発電由来CO<sub>2</sub>の活用: CO<sub>2</sub>回収効率性の観点から、CNメタン製造に必要な集約的CO<sub>2</sub>排出源として、バイオマス発電、産業部門、火力発電などが期待される。分析結果に基づく、カーボンニュートラル化に対する訴求効果が高いバイオマス発電由来のCO<sub>2</sub>が59%~98%を占める。産業部門からのCO<sub>2</sub>を含めると93%~100%となる。

CO<sub>2</sub>の炭素原子がどこから来たものであっても、大気中に排出されるはずだったCO<sub>2</sub>を利用すれば同じ話になるはずです。バイオマス発電由来のCO<sub>2</sub>の回収コストが特に安価であるのなら採用したらいいのでは。どんなメリットがあるのか見えてきません。

(3) 水素供給に対するCNメタン供給の優位性: 水素供給は水素導管や圧縮タンクなど新規インフラが必要となることから、水素発電やコンビナート等水素導管敷設を局所的に抑えられる地域限定的な場合においてのみCNメタン供給よりも経済的になるが、それ以外ではCNメタン供給の方が経済的である。水素利活用は、エネルギーシステムの低炭素化に向けて重要なオプションであるが、水素利用技術の開発、水素需要の創出、新規供給インフラの構築等、エネルギーシステム全体の構造変化を伴うことから、技術開発のみならず、制度改革・設計、政策支援など、取組

まなければならない課題が多い。CNメタンの場合も、同様にコスト削減に向けた技術開発が必要ではあるものの、既存インフラを活用できることから、エネルギーシステムの大きな構造変化を伴わず、水素が直面する諸課題を回避できるメリットがある。

水素もCNメタンも技術的な問題はほとんど解決しているはずですが、具体的にどんな課題が気になっているのでしょうか。

**(4) 蓄電池に対するCNメタンの優位性**：ゼロエミッション電源の80%以上の割合を目指す場合、蓄電池にはPower to Power技術であることに起因する限界がある。つまり、蓄電池の容量を拡大することで余剰電力を充電できても、再エネ大規模導入時には余剰電力の発生頻度が非常に多くなり、放電機会が限られてしまうことである。放電機会が限定的な場合は、蓄電した余剰電力を有効活用することができない。

電力会社もそこまで無能ではないと思いますが、蓄電されている電力を使いこなせない理由がわかりません。ただ、再エネを必要以上に導入しなければいいのでは。

一方、CNメタンは、Power to Gasであることから、余剰電力を電力システムに戻すのではなく、都市ガス原料として利用することから、電力システムにおける余剰電力発生状況とは無関係に、余剰電力を有効活用することができる。水素にも同様のメリットはあるが、新たな供給インフラが必要であることは上述の通りである。

前にも記したように、最も高級なエネルギーである電気エネルギーを化学エネルギーに変換したら、損失が発生します。また、水素と炭酸ガスからメタンを合成する際のエネルギーロスは理想的に反応が進んだとしても22%になります。水素と炭酸ガスを反応させてメタンと水を得る場合には全体としては発熱反応なのですが、副生熱の利用が難しいからです。

**(5) 再エネ大規模導入の受け入れ先としてのCNメタン**：長期的な視点から、再エネの大規模導入は必要であり期待されるものの、余剰電力を出力抑制により捨電する状況では再エネへの投資は進まない。したがって、再エネの大規模導入の受け皿が必要である。

この観点から、CNメタンは有効な余剰電力の受け入れ先となり得る。一方、CNメタンから見ると、CNメタン製造の設備利用率向上のためには再エネの大規模導入が必要である。したがって、ガス事業と再エネの親和性は高いと言える。CNメタンの利活用によって再エネ大規模導入を促進できるようになると、再エネ発電コストの低下も期待できる。

再エネを利用してCNメタンを製造する場合には水素を経由するのだから、CNメタンではなく水素であっても構わないはずでは。再エネ大規模導入といっても適地の確保がもっとも難しい課題なのではないのでしょうか。論理が飛躍しすぎるのが気になります。

**(6) CCU**：貯留サイト、経済性、社会的受容性などのCCS特有の課題によって、CCSの導入が我が国において実現しない場合でも、CCUを利用促進することで、CO<sub>2</sub>分離・回収の技術開発への投資は無駄にはならない。したがって、CCU技術を活用するCNメタンの促進は、CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発の出口戦略の一つになり得る。

CCSは化石燃料を使い続けるためでありCCUは再エネを使う一助にするためのはずですが、相互に牽制しあっているわけではないはずですが。

また、CO<sub>2</sub>分離・回収技術がそんなに高度な技術だと考えておられる理由がわかりません。100

年近く前から技術開発が始められていました。当初はアンモニア製造に必要なだったからですが。

## 課題

(1) 設備費の削減、CNメタン製造プロセスの合理化: Power to Gas 利活用に向けて、欧州や我が国で実証試験が活発化しており、電解装置の設備費の大幅な削減が期待されるが、同時にメタネーション設備の設備費削減も求められる。供給コスト削減には、個々の機器の設備費削減のみならず、電解装置から製造される水素を一時的にバッファタンクで貯蔵することでメタネーション装置の設備容量を縮小するなど、CNメタン製造システム全体の最適設計の検討が課題となる。

メタネーション技術は 80~90 年前には完成していました。天然ガスからの水素製造装置でも、水素中の微量の一酸化炭素を除去するためにメタネーションを行っています。一酸化炭素が触媒毒などになるからです。

一方、再エネ余剰電力量に直接影響を受ける電解装置の設備利用率は低い。価格低下が期待される蓄電池を併用することで、電解装置の設備利用率を改善する方策も検討すべき課題である。

蓄電池の価格が低下したら水素社会なんて必要が無くなります。矛盾しませんか。

電解プロセスで生成される酸素の有効利用についても検討価値はある。例えば、火力発電純酸素燃焼によるCO<sub>2</sub>分離回収の効率化、酸素販売による経済的メリットである。

(2) 再エネ発電コストの削減: 大前提として、再エネ発電コストの削減が必須である。メタン製造設備費の削減や設備利用率の改善が実現しても、CNメタン製造の大半を燃料費が占める。したがって、再エネ発電コストの大幅な低減が実現されなければならない。

CNメタン製造にだけ影響するわけではなく、影響は広範囲に亘るので、CNメタン製造の課題と言えるのでしょうか。CNメタンに特有な課題の説明を期待されているはずですが。

(3) 大規模都市圏における再エネ導入拡大の検討: 現在、再エネ導入が進む北海道、東北、九州において更に導入が拡大しても、余剰電力の利用先となる需要が小規模である。地域間連系線増強による余剰電力融通の促進も検討されているが融通できる規模は限定的であり、費用やリードタイムの課題もある。したがって、集約的CO<sub>2</sub>の回収効率性、都市ガス需要規模の観点から関東、関西、中部などの大規模都市圏への再エネ導入が有効と考えられる。

水素発電にして、オール電化にした方が賢明なのでは。水素のままにしても、CNメタンに変形しても、再エネから得られた電力が3分の1に激減してしまうのだから、普通の感覚の人なら手を出さないと思います。

(4) 最終エネルギー需要のガスシフト: 現在の都市ガス需要量を前提としたCNメタン有効利用可能量よりも、CNメタン製造可能量は更に大きい。したがって、より多くのCNメタンを利活用するためには、最終エネルギー需要において石炭や石油からガスへの転換を促進することが鍵となる。

我田引水では。水素社会よりも電気社会の方が便利そうです。

我が国におけるCNメタン利活用のポテンシャルは大きいものの、再エネ発電コストやメタン製造設備費の大幅な削減が必須条件となり、短期的にポテンシャルを顕在化できるわけではない。しかしながら、2050年に80%のCO<sub>2</sub>排出削減という長期的な方向性、また国内エネルギー資源の活用による国富流出の抑制という観点から、CNメタンの果たす役割は大きいと考えられる。  
論理が飛躍しているようです。

CNメタンは既存エネルギーインフラを活用できることから、その有用性が期待されるとともに、電力系統のみならず都市ガスインフラを含むエネルギーシステム全体で再エネを受け入れることで低炭素化を図るSector Couplingの概念を実現するために必要となる中核的技術の一つであり、長期的な視点に立って、社会実装に向けた検討を進める価値はある。

専門分野が違うとこの程度の内容になるのかなあ、と感じました。また、秀才の皆さんに多い記憶力重視型の方なのか、思考力の大切さに気付いておられないらしいことが気になります。

私は基本的に、CO<sub>2</sub>フリー水素なんて我が国では無理だと主張しています。再エネで発電した電力で水を電気分解して水素を製造しても、CO<sub>2</sub>フリーにはなりません。もし、この電力を系統に流したら火力発電所の発電量が減り、炭酸ガスの排出が減ります。言い換えれば、火力発電所でのCO<sub>2</sub>排出量削減を犠牲にして水素を得ているのです。よって、再エネで発電することがエコなのであり、その電力を水素の製造などに利用することがエコなのではありません。

バイオ発電などというけれど、大きな発電所を動かすだけのバイオマスをどこで入手するのでしょうか。戦前・戦後の一時期には現在と比較してエネルギー消費量が少なかったのに、バイオマスをエネルギー源にしたために短期間で禿山が多くなり災害が多発しました。結局のところ、江戸時代の生活レベルで3000万人であればバイオマスで対応できるけれど、現在ではその170倍ものエネルギーが必要なのでバイオマスに大きな期待をするのは無理だと思っています。また、化石燃料を減らそうというときに、化石燃料を利用しないとCO<sub>2</sub>が確保できないというのでは矛盾がでてきそうですし。

水素とCO<sub>2</sub>があれば、簡単にメタンにすることはできます。すなわち、水素とCO<sub>2</sub>を反応させれば一酸化炭素に簡単に変換できます。水素と一酸化炭素があれば炭化水素化合物を合成できます。第二次世界大戦以前のドイツではフィッシャー・トロプシュ合成といって、メタンよりも技術的に難しい燃料油を製造していました。メタネーションは技術的には完璧なレベルにまで完成しています。

CO<sub>2</sub>をぐるぐる循環させることになるのであれば、このCNメタンは規模の大きい需要先で利用しないと、CO<sub>2</sub>の回収ができません。都市ガスでは駄目だし、中小規模の用途でも難しいでしょう。水素の持っている化学エネルギーを利用するのだから、言い換えれば再エネを利用するのだから、CO<sub>2</sub>排出量削減ができるのは当たり前です。CNメタンに限った話ではありません。

本質的に水の電気分解設備は高価なので、水素が簡単に手に入ると考えてはいけません。電気化

学という分野の設備費は安価ではありません。電極の表面でしか反応しないので、二次元でしか反応する場所が無いし、燃焼のように三次元で反応するものと比較すると高コストになります。また、石油化学系設備とは異なり電気化学系設備は設備費に規模の効果が出にくいことも注意する必要があります。

なお、メタネーション設備の設備費は電気分解設備と比較するとかなり安価なはずですが。

記されているように、水素製造の問題点のもう一つは設備の利用率が低すぎるということです。フル稼働の時でも高コストとされているのに、20%前後の利用率では固定費が跳ね上がります。また、水素を経由して利用すると再エネで発電した電力が3分の2以上ロスしてしまいます。このことをきちんと意識しておられますか。所詮、水素社会なんてあり得ないのです。

平成29年度第3回セミナー

## 水素社会の可能性と課題

橋川武郎（きっかわたけお）

東京理科大学大学院イノベーション研究科教授

東京大学・一橋大学名誉教授

[kikkawa09@gmail.com](mailto:kikkawa09@gmail.com)

緑字でコメントを追加します

### なぜ、水素なのか？

- (1) 地球にやさしい：利用時に二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を排出しない
  - \* ただし、生成時にCO<sub>2</sub>を排出することもある
  - \* 再生可能エネルギーによる生成が理想的
- (2) 省エネに貢献：燃料電池はエネルギー効率が低い
  - \* 水素と酸素の電気化学反応のため発電効率が低い
  - 燃料電池の分極ということを知らない人の意見
  - \* 家庭用等の定置型：熱と電気の有効利用
  - 「エネファーム」より「エコキュート」のほうが魅力的
- (3) 非常時に強い：分散型電源としての燃料電池の防災機能
  - ガスよりも配電線の方がはるかに復旧が早い
- (4) 日本の技術力を活かせる：経済的波及効果が大きい
  - \* 燃料電池の特許出願件数で2位を大きく引き離して世界1
  - 外国が燃料電池を見捨てただけ。わが国だけが開発費の無駄遣い
  - \* 水素タンクの技術でも世界をリード………たいした話ではない
  - \* 家庭用燃料電池、燃料電池車の実用化で世界の先頭を切る………所詮両方とも消える運命
- (5) エネルギーのあり方を変える：他のエネルギーを活かす
  - \* 様々な製造方法

\* エネルギーを運ぶ手段にもなりえる……………水素より送電線の方が低コスト

## 人類が直面する二つの危機

### (1) 飢餓

- ・ 現在も最大の死亡原因
- ・ 解決には「豊かさ」が必要→化石燃料の使用の増大

### (2) 地球温暖化

- ・ パリ協定：「2°C上昇が限界」「できれば1.5°C以内」
- ・ 化石燃料の使用を抑制せざるをえない

### (1) と (2) を同時に解決することの困難性

- ・ 答えは、二つしかない
- ・ ①省エネルギー
- ・ ②温室効果ガスを排出しない（ゼロエミッション）エネルギー源の使用

## 省エネルギーと水素

- ・ 「第4の電源」として省エネによる節電の「見える化」……………キャッチコピーだけでは駄目  
2030年の電源ミックスの前提に組み込む
- ・ 民生部門に重点をおく省エネ  
住宅・建築物における省エネ  
定置型燃料電池の活用による熱と電気の同時利用……………ヒートポンプの活用の方が賢明
- ・ 運輸部門に重点をおく省エネ  
燃料電池車の可能性……………温暖化抑制効果はガソリン燃料のハイブリッド車以下。  
電気自動車にも期待
- ・ 地球温暖化対策としても貢献度高い……………効率の悪さが分かっていない。3分の2以上がロスに
- ・ 世界最高水準の省エネ技術は、わが国産業のコア・コンピタンス……………単なる自己満足

## 再生可能エネルギーと水素

- ・ 大幅拡充を前提に、技術的・制度的ネックを1つ1つ克服する……………技術的に難しくない
- ・ 再生可能エネルギーには二つのタイプがある
- ・ タイプA：地熱・水力・バイオマス……………量的確保に難がある  
規制緩和（地熱、小水力）、  
温泉地との利害調整（地熱）、  
物流コストの低減（バイオマス）
- ・ タイプB：風力・太陽光  
FIT（固定価格買取制度）後がむしろ重要  
原発廃炉による余剰送電線の利用、送電線を作る仕組み、送電負荷を減らす仕組み
- ・ ヨーロッパにおける「パワー・トゥ・ガス」  
送電線を不要にするエネルギー運搬手段としての水素

## 化石燃料と水素

- ・ 海外の石炭火力でCO<sub>2</sub>を分離・貯蔵し（CCS）、水素で運ぶ……………海外資本との競合

- ・ IGCC（石炭ガス化複合発電）での水素混入……………IGCCは数十年前の注目手法
- ・ 海外での石油/天然ガスの増進回収（EOR）とCCS&水素
  - 天然ガスと水素の混焼による発電
  - ガス・パイプラインへの水素の混入
- ・ コンビナートにおける水素活用……………積極的な利用希望はないはず

#### 水素をめぐる4つの誤解

- (1) 無条件に「地球にやさしい」わけではない
  - \* しばしば生成時にCO<sub>2</sub>を排出することもある
- (2) 「地球上に無尽蔵に存在する」わけではない
  - \* 無尽蔵に存在するのは水
  - \* 水を電気分解するときに使われる電気が何から作られるのか……………再エネ電力でも間接的にCO<sub>2</sub>を排出。エコなのは電気を作る段階であり、電気を利用する段階ではない
  - \* 水を電気分解して得られる水素は「3次エネルギー」……………水素に変換する必然性が無い
- (3) 「日本は水素先進国である」わけではない
  - \* 日本は「燃料電池先進国」……………他国が見捨てただけの話
  - \* 水素インフラの整備では欧米に遅れをとる
- (4) 「水素社会の到来が近い」わけではない
  - \* 燃料電池だけではボリュームが出ない……………燃料電池も魅力が無く生き残れない
  - \* 鍵を握る水素発電に肝心の電力業界は消極的（アンモニア・蓄電池を志向）……………アンモニアを志向するはずがない。水素よりも蓄電池の方が経済的にも有利。取り扱いも蓄電池の方が格段に優れている

#### 水素社会実現への課題

- (1) コスト
  - どのように量産のステージを迎えるか……………必然性が無く量産は永久にない
  - 副生水素の有効活用（周辺自治体との協力）……………副生水素は燃料として使用されている
  - 水素の「ゼロ・エミッション」と石炭の「安さ」を組み合わせる……………CCSのコストが不明
- (2) 社会的受容性
  - 東京電力・福島第一原発の「水素爆発」の影響
  - 安全と安心の確保
- (3) サプライチェーンの一斉立ち上げ
  - 水素のインフラ面では諸外国に立ち遅れる日本……………魅力的な話ではないので問題なし
  - 燃料電池車と水素ステーションの「花とミツバチ」問題……………燃料電池車に関する勘違いの克服が必要

#### 全国の自治体の取り組み……………県庁・市役所の無能による無駄遣い。気の毒な住民

- \* 愛知県
- \* 北九州市（東田地区）
- \* 川崎市
- \* 神戸市・関西空港

- \* 弘前市
- \* 南相馬市

### 水素社会の実現に向けた東京戦略会議……………都知事以下の都職員の無能さ

- (1) 水素ステーションの整備
  - \* 2020年までに35ヵ所（車での到達時間15分）
  - \* 2025年までに80ヵ所（車での到達時間10分）
- (2) 燃料電池車・バスの普及
  - \* 燃料電池車：2020年まで6000台、2025年までに10万台
  - \* 燃料電池バス：2020年までに100台以上の導入（都バスで先導的に導入）
- (3) 家庭用燃料電池や業務・産業用燃料電池の普及
  - \* 家庭用燃料電池：2020年まで15万台、2030年までに100万台
  - \* 業務・産業用燃料電池：2017年高効率モデルの市場投入、2020年以降本格普及
- (4) 安定的な燃料供給：経済的波及効果大きい
  - \* 燃料電池車・バス向け：2020年までにハイブリッド車の燃料代と同等以下の水素燃料価格
  - \* 水素発電向け：海外からの水素価格（プラント引渡価格）30円/Nm<sup>3</sup>を実現  
水素礼賛者の無責任な放言
- (5) 社会的受容性の向上
  - \* 水素の安全性やリスクに関する情報を提供する環境の整備
  - \* 水素エネルギーの認知度の向上

### 東京オリ・パラ選手村地区のエネルギー革新

- ・ 東京都中央区晴海5丁目の一部（18ha）
  - ・ 2022年に「街びらき」
  - ・ 総戸数5650戸、集合住宅24棟、210mの幹線道路+1570mの区画道路
- (1) 水素事業……………目立ちたがり屋主導の無駄遣い。わが国のメリットは全くなし  
サブタンク付き水素ステーション（車両向け+街区向け）  
燃料電池車（FCV）やFCバス  
街区ごとに純水素型燃料電池……………いずれ利用されなくなるだけ  
各戸にはエネファーム  
未付臭によるコストダウン……………小さな話。検知器の管理が厄介
  - (2) 熱供給  
隣接する清掃工場からの未利用熱の導管供給……………簡単に熱が入手できると無駄に利用
  - (3) エネルギーマネジメント  
AEMS（Area）、MEMS（Mansion）、HEMS（Home）  
太陽光発電も活用  
2030には13年比で二酸化炭素排出量48%・一次エネルギー消費量21%削減

### 周南市の水素利活用の特徴

- (1) 大都市以外での水素利活用
- (2) コンビナート副生水素の利活用……………メリットがあるのはソーダ会社と岩谷だけ

- (3) フォークリフトでの水素利活用……………小さい話。フォークリフトの半数以上は蓄電池式
- (4) 山口県全体への横展開

一部の文系の「専門家」方は、原理が理解できていない場合も少なくないので、間違っただ話を拡散してしまう困った存在にならないように努力をしてほしいと思います。

東洋経済

## 再エネ発電の不安定さは「水素」でカバーせよ

### 先進地ヨーロッパで活躍する日本の水素技術

西脇 文男

2018/08/14 11:00

赤字でコメントを追記しました

燃料電池自動車(FCV)は「究極のエコカー」といわれる。CO<sub>2</sub>もNO<sub>x</sub>も出さず、排出するのは水だけだからだ。しかし、燃料となる水素を製造する過程でCO<sub>2</sub>が発生してしまうようでは「エコ」とはいえない。このことは、「水素エネルギー」関連ビジネス全般に共通した課題である。このたび、『日本の国家戦略「水素エネルギー」で飛躍するビジネス』を上梓した西脇文男氏が、CO<sub>2</sub>を出さない水素(CO<sub>2</sub>フリー水素)製造に向けた取り組みを紹介する。

#### 再エネ電力で水を電気分解して作るCO<sub>2</sub>フリー水素

水素は地球上に豊富に存在するが、単体の水素分子として大気中に安定的に存在することは困難だ。地球上の水素はほとんどが水の状態で存在し、一部は地殻を構成する岩石中に、また石油や天然ガスなどの有機化合物として存在している。

水素をエネルギーとして利用するためには、工業的に水素ガス(H<sub>2</sub>)を製造する必要がある。

水素の製造方法としては、製鉄所や石油化学工場などの製造工程で副次的に発生(副生水素)、天然ガスなど化石燃料の改質、水の電気分解などがあるが、原料に化石燃料を使う限りCO<sub>2</sub>を排出する。現時点で技術的にCO<sub>2</sub>フリー水素を大量生産可能なのは、原子力発電を別にすれば、再生可能エネルギー発電の電力を使った水の電気分解だけだ。

本質的な勘違いがあるようです。再生可能エネルギー発電で得られた電力を電力系統に流したら、火力発電所の発電量が減少し、CO<sub>2</sub>排出量も減少します。CO<sub>2</sub>の排出量を減らしたいのであれば得られた電力を使用して水素を製造しなくてはならない必然性はありません。

言い換えれば、再生可能エネルギーを電力に変換することがエコな行為なのであって、その電力を水素の製造などに利用することがエコな行為ではないのです。

水電解(水の電気分解)による水素製造は、コスト高が難点だ。火力発電を使った場合でも、天然ガス改質に比べかなりコストは高く、再エネ電力を使った場合には、さらに割高となってしまう。ちなみに日本では、再エネというと発電コストが高いというイメージが強いが、海外では、再エネ発電のコスト低下が進み、いまや再エネ電力は安いというのが世界の常識となりつつある。国際再生可能エネルギー機関(IRENA)が今年1月に発表したレポート「Renewable Power Generation Costs in 2017」によれば、太陽光発電コストは過去7年間で73%も低下し、現在(2017年平均)1kWh当たり10米セント。今後2年以内に3米セントまで下がる可能性があるかと予測している。天然ガス火力発電コストは6~10米セントなので、これを下回することは間違いないだろう。風力発電(陸上)は現在でも6米セントで、すでに火力発電を下回っている。

気象条件の異なる日本の発電コストを海外と同列に論ずるのは適当ではないかもしれないが、気象条件以外にも機器代金や工事費などの設備導入費用が割高なことや、がんじがらめの規制・規準など、海外に比べコストアップ要因は少なくない。

政府・民間企業が協働して、少なくとも火力発電並みには引き下げることが必要だ。

#### 水素は再生可能エネルギーを貯蔵する大容量蓄電池

再エネ発電のコストが下がったとしても、水の電気分解で水素を得て、その水素で発電するのは、エネルギー収支はマイナスだ。そこで、経済価値の低い再エネ発電の余剰電力を活用することが考えられる。太陽光発電や風力発電は天候に左右され、安定した発電が得られない。このため、電力会社が買い取りを行う際、系統の需給バランスが保てないなど一定の条件下で系統接続をストップする出力制御ルールがある。この場合、発電側が蓄電池を併設していればよいが、そうでなければ発電した電力が無駄になってしまう。

そこで、これを使って水電解すれば、電力コストゼロで水素製造が可能になる。出力制御時だけでなく、通常時でも、出力変動から生ずる余剰電力を活用すれば、発電側・水素製造側の双方にメリットがある。

ごく短時間、余剰になる電力を利用して水の電気分解をしていたら電気分解設備に関する固定費が驚くような高コストになるでしょう。設備産業では固定費を引き下げることが極めて大切です。よって、設備の利用率を高めることが重要です。さらに、電気化学系の設備費は石油化学系の設備費と較べると高価であり、設備規模のスケール効果も出にくい欠点があります。なお、石油化学系の装置では設備規模の0.6乗に比例するといわれています。

不安定な再エネ発電の余剰電力を使って水素を製造し、貯蔵・利用するシステムをPower to Gas (P2G)という。貯蔵した水素は、いつでも燃料電池を使って電気として取り出すことができる。

しかし「貯蔵した水素を燃料電池で再び電気に戻すなら、蓄電池のほうが効率がよいのでは？」という疑問が生ずるのであろう。

リチウムイオン電池の充放電効率は90~95%だが、水素は、電解効率80%×燃料電池による発電効率55%=44%。コージェネ(熱電併給)方式で熱利用まで加えてもせいぜい70%にしかない。

二次電池方式では、スタート時の変動電力が充放電ロスに伴い90%に減るだけですが、水素ガス

方式ではスタート時の変動電力が30%以下にまで減ることになります。その内訳は(電気分解 85%) × (液化・貯蔵・輸送その他 65%) × (水素発電 50%) です。

なお、コジェネよりもヒートポンプを活用する方がエネルギー効率的にも経済性の面でも優れていると思います。燃料電池を利用したコジェネは政府のメンツだけのために行われているだけで、真正面から議論できるようなものではないと思いますが。

だが、たしかに効率だけ見ればそのとおりなのだが、水素貯蔵には大量の電力を長期間貯蔵できるという、既存の蓄電池にはない優位点がある。

蓄電池と水素を比べると、電気エネルギーを化学エネルギーに変換して貯めるという点は同じだが、蓄電池は変換部分と貯蔵部分が一体となっているので、大容量化にはコストの高い蓄電池をいくつも並べる必要がある。だが水素は、貯蔵部分(ガスタンク)を増設するだけで、簡単にかつ低コストで大容量化できる。

一言で言えば、貯蔵する部分だけの経済性の比較になっているようです。正しくは、下記の黒枠の比較をする必要があります。

蓄電池の場合には、(再生可能発電電力)→(蓄電池)→(電力利用)のはずです。

水素貯蔵の場合には、(再生可能発電電力)→(水の電気分解)→(水素貯蔵)→(燃料電池発電)→(電力利用)のはずです。水素貯蔵もかなり厄介で、低コストでできるものではありません。

また、蓄電池は自然放電するため、時間の経過とともに蓄電量が減少してしまいが、水素は密閉したタンクであれば自然放電することはないので、長期間貯蔵しても減衰しない。季節や年をまたぐ電力貯蔵も可能だ。

多量の水素の貯蔵を加圧タンクで行うのは経済的にも無理なので、LNGのように液化してLNGよりも低温の液化水素として貯蔵せざるを得ないでしょう。液化水素貯槽も外部から侵入する熱を完全に遮断はできないので、常に液化水素の一部が気化します。

どうしてもタンクで貯蔵したいのであれば、レドックスフロー型の蓄電設備もあります。タンクの容量は格段に大きくなりますが、常温・常圧でありポリエチレン製で構わないので、液化水素の貯槽コストに対抗できるのではないのでしょうか。

太陽光発電や風力発電を大量導入するためには、大量に発生する余剰電力を季節単位で貯蔵できる、大規模なエネルギー貯蔵システムが必要であり、それには水素電力貯蔵が現実的で有効な技術なのだ。

二次電池方式の場合は 太陽光発電⇒111⇒(充放電)⇒100 ですが、水素ガス方式の場合は 太陽光発電⇒362⇒(電気分解)⇒308⇒(液化・貯蔵・輸送)⇒200⇒(水素発電)⇒100 となり、貯蔵したつもりの電力の3分の2以上がロスになります。こんなにロスをするのであれば、蓄電池を利用して、臨機応変に少しくらい発電した電力を捨てても構わないことになりませんか。

P2Gは、CO<sub>2</sub>フリー水素を低コストで作리だすだけでなく、再エネ導入拡大を可能にする「魔法の杖」でもあるのだ。

## 再エネ先進地域ヨーロッパで活躍する日本の水電解技術

再エネ導入が進む欧州では、総発電量に占める再エネ発電の割合が高まり、余剰電力対策が大きな課題となっている。このため、欧州委員会や国が先頭に立って P2G に取り組み、数多くの P2G 実証プロジェクトが実施されている。そして、ここで日本の水電解技術が活躍している。アルカリ水電解装置で世界トップクラスの技術を持つ旭化成は、子会社の旭化成ヨーロッパを通して 2 つのプロジェクトに参画している。

1 つは、ドイツのノルトライン=ヴェストファーレン (NRW) 州ヘルテン市の「グリーン水素製造プロジェクト」で、同社の水電解システムが今年 5 月から運転を開始している。

もう 1 つは、旭化成ヨーロッパ、三菱日立パワーシステムズヨーロッパを含む、全欧州 31 の企業・研究機関が参画する「ALIGN-CCUS (Carbon Capture, Utilization & Storage) プロジェクト」だ。火力発電所から排出される CO<sub>2</sub> を回収し、再エネ電力で作った水素と反応させ、ディーゼル車や火力発電の燃料となるジメチルエーテルを製造するこのプロジェクトにも、旭化成の水電解システム (実証機) が採用されている。

水素の貯蔵性や取り扱いやすさを改善するために、ジメチルエーテルに変換するのですが、そのために CO<sub>2</sub> 回収コストとジメチルエーテルの合成コストが発生することになります。また、ディーゼル車がどうしても必要なのでしょうか。電気自動車にしたらエネルギー効率は格段に良くなります。さらに、火力発電のためにジメチルエーテルにする必要はありません。

温暖化を論じられる皆さんは、どうも化学反応処理のコストが安価だと勘違いされているように感じています。

わが国の P2G はまだ緒についたばかりだが、今後再エネを拡大するためには、なくてはならないものだ。本場欧州で活躍する水電解システムをはじめ、水素エネルギー貯蔵システム、燃料電池システムなど、P2G で必要とされる技術は、いずれも日本が得意とする技術だ。

失礼ながら、水素関連の技術は成熟しており、日本が得意だと自慢できるようなものではありません。必要があれば短期間に立ち上がることが出来るので、早くから騒ぐ必要は全くないと思いますが。なお、過去に盛んだった電気化学が衰退して、世界的にみても電気化学を残しているのはノルウェー程度では。水の電気分解設備の経済性を確かめるためには、ノルウェーのノルスク・ハイドロ社の情報に頼らざるを得なくなっています。

P2G 実証を重ね、技術を高め、再エネ発電の大量導入につながることを期待したい。

水素社会の話は純粋に技術的・経済的なものではなく、自分たちの仕事を増やしたいという役所の音頭で進められているために、説得力が無くなっていると思います。