

燃料電池車に関する致命的な勘違い

概要

太陽光発電や風力発電などで発電して得られた電力を使って水を電気分解すれば、直接的にはCO₂を排出せずに、水素ガスを製造することができます。その水素ガスを燃料にするのだから燃料電池車（FCV）はCO₂を排出しないはずだ、とっておられる人も少なくないようです。

しかし、よく考えてみると、ガソリンを燃料にしているにもかかわらず、ハイブリッド車（HV）の方が水素ガスを燃料にしている燃料電池車（FCV）よりも地球温暖化抑制効果が大きいのです。であれば、高価な車体を高価な水素ガスを燃料にして駆動させる燃料電池車（FCV）の必要性は大きくないはずです。

遠い将来に液化水素を輸入するようなことになっても、液化水素は火力発電用の燃料として優先的に利用した方が経済的に賢明です。

さらに、自動車の燃料に化石燃料（ガソリン、軽油、天然ガス）を使用することが禁じられた場合でも、燃料電池車（FCV）よりも電気自動車（EV）の方が同じ距離を走行するために必要なエネルギー量が3分の1～4分の1程度になるので炭酸ガスの間接的な排出量も大幅に削減できることから、燃料電池車（FCV）を優先して普及させる必要は無さそうです。

結局のところ、燃料電池車の開発と販売は、深く考えることなく勘違いを含んだ直感的な判断だけで推し進められてしまった典型的な例のように思えます。

目次

01. はじめに
02. 自動車会社はどんな勘違いをしていたのか
03. 簡単な内容なのに本当に世界的な企業が勘違いをしたのか
04. 自動車を走らせるためには「仕事」というエネルギーが必要
05. わが国ではCO₂フリー水素を大量に入手することはできない
06. エネルギー変換効率に注目することが大切
07. 燃料電池車の温暖化抑制効果はハイブリッド車（HV）以下
08. 燃料電池車（FCV）よりも電気自動車（EV）の方が将来性がある
 - 08-1 地球温暖化抑制効果
 - 08-2 経済性
 - 08-3 快適性
 - 08-4 技術の将来性
09. 燃料電池の将来性にも疑問がある
10. 関係者の対応について
11. 【追加】燃料電池トラックや燃料電池バスについて

参考 『The MIRAI LCA レポート』への疑念

各論

01. はじめに

一部の自動車会社が燃料電池車を販売されています。また、政府が燃料電池車の普及のために多額の支援をしています。さらに巷では、燃料電池車は「究極のエコカー」なのだ、と喧伝されています。

しかし、残念なことに、燃料電池車は「究極のエコカー」なのだ、と自慢できるような自動車ではありません。よって「究極のエコカー」というキャッチコピーで燃料電池車を拡販することは道義的にも問題があります。

誤解かもしれませんが、燃料電池車開発プロジェクトを主導した経済産業省も、実際に開発を進めた自動車会社も、燃料電池車の発売を発表をするまで「究極のエコカー」だという『勘違い』をしていることに気付いておられなかったようです。

以下に、燃料電池車が「究極のエコカー」とは言いにくい理由および燃料電池車の存在価値について簡単に説明してみます。

02. 自動車会社はどんな勘違いをしていたのか

一言でいえば、太陽光や風力などの自然エネルギーが持っているエネルギーを電力（電気エネルギー）に変換する行為が CO_2 の排出量を減らしているエコな行為であり、この電力（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燃料電池車を走らせたりすることが CO_2 の排出量を減らしているわけではありません。にもかかわらず、燃料電池車は「究極のエコカー」のはずだ、と勘違いをされていたようです。

燃料電池車の燃料である水素ガスを化石燃料の水蒸気改質（化石燃料と水蒸気を高温で反応させる技術）で製造するのであれば、その際に CO_2 を排出してしまうことは分かりやすいのですが、自然エネルギーを利用して発電した電力を使用して水を電気分解する方法で水素ガスを製造した場合には CO_2 の排出は無くなるはずだと思われがちです。

しかし、たとえば、太陽光発電や風力発電で得られた電力を燃料電池車用の水素ガス製造に利用しなくても、その電力を電力系統（送電線網）に流し込んだら、火力発電所における発電量が減少して CO_2 の排出量が減るはずで、敢えて水素ガスを製造し、その水素ガスで燃料電池車を動かす必要は毛頭ありません。すなわち、同じ電力で水素ガスを得ることもできるし、火力発電所から排出されている CO_2 を削減することもできます。

水の電気分解で水素ガスを製造する場合には、火力発電所の CO_2 排出量を削減できる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、自然エネルギーを使って発電した電力で水を電気分解して水素ガスを製造しても CO_2 を排出していることと同じこ

とになるはずです。

言い換えれば、太陽光発電や風力発電などの“功績”を燃料電池車の“功績”なのだ、と横取りをしているだけなのです。

燃料電池車の燃料になる水素ガスを国内で入手する場合には、使い道が無くて捨てている水素ガスを拾ってこない限り、燃料電池車を乗り回したら大気中の CO₂ 濃度を高めることが避けられません。一般的には多量の水素を定常的に捨てることはありません。

水素ガスを製造するための装置を作ったり、その装置を稼働させたりする際にも CO₂ を排出するのだ、という話ではなく、もっと本質的な勘違いをされていたのです。

03. 簡単な内容なのに本当に世界的な企業が勘違いをしたのか

自動車会社が世界的な企業になられたのは、企業文化や生産体制が優れていたということで、神様のような人々の集団だった訳ではなさそうです。神様のような人々の集団ではなく普通の人々の集団だったら勘違いをされることも皆無ではないはずです。

また、たとえ指摘を受けて勘違いに気づいても、オープンにはしたくないという気持ちもわかりますし、CO₂の排出量を増やさないためには車に乗らないことがベストな方法だ、などとPRされると困るという苦しさもあるはずです。

さらに、下種の勘繰りかもしれませんが、大々的に発表して販売を開始してしまったので、自社のメンツの問題や開発をバックアップした役所への配慮もあるのかもしれません。

発売発表の直後にメールで、勘違いをされていませんか、という問い合わせをして、自動車会社と意見のやり取りをしました。自動車会社からは、貴重な意見に感謝する、との返事はありませんでしたが、勘違いをされたのではないのかという指摘への反論はありませんでした。

その2週間後に、当方が先方へ届けた書面の内容を参考までに下記に示します。[資料 01](#)

なお、メールなどで意見のやりとりをしてから1年も過ぎてから公表されたにもかかわらず、社をあげて作成された「The MIRAI LCA レポート」の内容にも本質的な間違いがあったことや[資料 02](#)、その他の発信情報にもたどたどしい内容のものが多く、深く思考することが得手ではなかったのかもしれないと感じています。その具体的な説明は下記を参照してください。

[資料 03](#)

気になっているのは、ごく初歩的な内容なので、誤解であることに気づいていた人が社内に皆無だったとは考えにくく、自由闊達に議論を行いにくい風土・習慣があるのかもしれない、ということです。

04. 自動車を走らせるためには「仕事」というエネルギーが必要

自動車を動かすと「エネルギー」（利用価値の高いエネルギー）を消費することは誰もがよく知っています。自動車を走らせるために必要な「仕事」というエネルギー量は車体重量や空気抵抗などから大きな影響を受けます。

自動車を動かすためには、「加速抵抗」や「ころがり抵抗（タイヤの変形など）」や「空気抵抗」などの抵抗という「力（ちから）」に対抗する必要があります。

「力」＝「質量」×「加速度」だし、「力」×「移動した距離」＝「仕事というエネルギー」なので、車体重量などはエネルギーの消費に大きな影響を与えているはずです。

よって、自動車を動かす手段として内燃機関を使用しても、モーターを使用しても、自動車を動かしたらエネルギーを消費してしまうことに変わりはありません。

なお、燃料電池車はハイブリッド車よりも車両質量が1割以上大きいようなのでエネルギー消費量も大きくなっているのではないのでしょうか。

エネルギーというものは色々な種類に形態を変えながら、広範な分野で使用されています。「利用価値が高いエネルギー」を使用すれば、そのエネルギーは最終的には「利用価値の低いエネルギー」（常温の「熱」）に変換されて、宇宙に放出されています。

自動車をどんな方法で動かしても、同じように「仕事」という利用価値の高いエネルギーを消費して、利用価値の低い「常温の熱」に変換してしまいます。

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。

わが国では「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、CO₂を排出することが避けられません。

自然エネルギーと原子力と化石燃料の必要量の合計（利用価値の高いエネルギーの総必要量）のうち、自動車の駆動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ます。

そのために、自動車を走らせるために自然エネルギーを使用したとしても CO₂ の排出量を抑制することには直結しません。

マクロに考えれば、国内にある化石燃料を使用した火力発電設備が全て無くならない限り、「利用価値の高いエネルギー」を使用したら CO₂ の排出量を増やしてしまうことに注意しましょう。それゆえに省エネが大切になります。また、どんなエネルギーでも、他の種類のエネルギーに比較的容易に変換することができることに留意することも大切です。

それでは何故ここで唐突に火力発電の話が出てくるのでしょうか。電力（電気エネルギー）というエネルギーが「利用価値の高いエネルギー」の中心的な役割を果たしているからです。

原子力発電と自然エネルギーでの発電で全ての電力を賄っている国なら、経済性を無視しても構わないという条件付きで、CO₂ 排出量を削減する手段として燃料電池車を採用することの意味は

あります。これらの国では、ガソリンや軽油を燃料にしている自動車よりも燃料電池車の方が間違いなく温暖化抑制効果が優れています。ただ、その場合でも電気自動車と優劣を比較する必要があります。

結論的には、CO₂の排出量を抑えたいのなら、『できるだけ自動車を乗りまわさないこと』が最善の方法であり、次善の方法は他の種類のエネルギーを「仕事」というエネルギーに変換する際の『エネルギー変換効率が高い自動車を選ぶ』ことなのです。

なお、この自動車会社の勘違いによって、多くの人々が「エネルギー」というものを曖昧にしか理解していなかったことをクローズアップさせてくれました。

05. わが国では「CO₂フリー水素」を大量に入手することはできない

どのような社会環境になれば燃料電池車は炭酸ガスを排出しないとみなせるのでしょうか。

原子力発電と自然エネルギーだけで電力の全てを賄っているのであれば、経済性を無視しても構わないという条件付きですが、炭酸ガス放出量を削減する手段として燃料電池車を採用するという話是有り得ますしい、ガソリンや軽油を燃料にしている自動車よりも燃料電池車の方が間違いなく優れています。ただ、電気自動車との競争に勝てるのだろうかという障壁もありますが。

例えば、北欧のアイスランドやノルウェーのような自然エネルギーが豊富で火力発電所がほとんどない国が近くにあり、そこで水の電気分解で水素ガスを製造して輸入することができれば、この水素ガスはCO₂の排出とは関係がない水素ガス（CO₂フリー水素）と考えることができます。

しかし、電力供給が火力発電所に偏っているわが国では、自然エネルギーを利用して水素ガスを製造したとしても、CO₂の排出を抑制したことにはなりません。

前にも説明しましたが、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CO₂排出量を削減できる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ことになるのです。よって、水素ガスを得るためにCO₂を排出していることと同じことになります。

以下に、いろいろな方法で水素ガスを入手する場合にCO₂の排出量抑制にはなっていないことを羅列的に追加説明しておきます。

副生水素を精製……この水素を燃料電池車の燃料に利用してもCO₂の排出量抑制にはなりません。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。多量の水素ガスを空中パージして廃棄処分する行為は常識的ではありません。すでに燃料に使用しているのであれば、その水素ガスを燃料電池車用に取り上げてしまったら、元の利用先で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、CO₂排出量を増やすことになってしまいます。

食塩の電気分解の際の副生水素は純度も高いので岩谷産業などのガス会社に販売されているようですが、販売せずに副生水素の全てを自家発電用の燃料に使用しても食塩の電気分解に必要な

電力を賄うことができないので、副生水素が余っている訳ではありません。

バイオマス(下水汚泥など)から製造……………経済性を無視しても構わないのであれば、下水汚泥から得られた消化ガスを利用して水素ガスを製造するのは技術的に難しいことはありません。

一般的には、消化ガスには CO_2 が 33~35%、硫化水素が 0.02~0.08%含まれているので、消化ガスを水素ガス製造の原料に使用しても、精製してメタンガスにするにしても、同じように CO_2 や硫化水素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メリットはありません。

消化ガスは硫化水素だけを除去して直接的に燃料に利用するのが最も合理的なはずです。

水の太陽光分解……………この方法は実用化するのは不可能です。水の中に触媒という物質 (TiO_2 など)を入れておいて太陽光にあてると水が水素ガスと酸素ガスに分解されるので、原理的には水素ガスを製造することは可能です。

しかし、経済的に非常に高価な水素ガスになることと、水素と酸素がまじりあった混合ガスを取り扱うのは危険極まりないので論外です。この混合ガスは極めて危険で、ごく少量でしか取り扱うことはできません。例えば雷雲が近づいてきただけで化学装置内に火花がとぶことがあります、火花がとんだ瞬間に爆発します。また、この混合ガスは圧縮機で圧縮するのも危険なので、水素ガスと酸素ガスを膜分離することも避けるべきです。さらに膜分離をするために必要な酸素ガスに耐性のある膜の入手も困難です。経済的にも太陽電池で発電して得られた電力を利用して水を電気分解する方法に対抗することはできません。

水素ガス(水力発電を利用して製造)の輸入……………カナダのような水力発電が盛んな国で水素ガスを製造し、液化水素にして輸入して使用すればいいのだ、と自動車会社の人々が主張されていました。

もし、 CO_2 フリーな液化水素が安価に入手できるのであれば、火力発電所の燃料に利用すべきなのです。燃料電池車用に優先使用させなくてはならない必然性はありません。火力発電所で使用した方が、安全管理面からも有利になるし、水素ステーションも不要だし、液化水素の国内各地への配送も不要になり、メリットが大きくなります。

水素ガス(化石燃料)の輸入……………経済産業省からよく提案されるのがオーストラリアに大量にある褐炭を原料にして水素を製造し、液化水素として輸入する構想です。褐炭を微粉末にして分解炉に吹き込むことが出来て、灰分の融点が高くない場合には褐炭と水蒸気を反応させて、水素ガスと炭酸ガスを多く含む混合ガスにすることは可能です。なお、高温の熱を供給するために可燃物を燃焼させるための酸素ガスも吹き込みます。技術的には、化学会社の宇部興産では石炭を原料にして水素を製造し、その水素を使ってアンモニアを製造しており、問題はありません。

ただ、この場合には、多量に副生する炭酸ガスを地下に貯蔵できることが前提になります。もし炭酸ガスの地中への貯蔵が確実性や経済性の面で問題がないのであれば、この話は単純に経済競争力の有無の話になります。市場経済下では、もしオーストラリアの褐炭が安価なのであれば欲しい人が多くなり、販売価格が吊り上がるはずで、わが国だけがメリットを獲得しようとするのは短絡すぎるのではないのでしょうか。

送電線網が構築されていない未開の場所で水素を製造して輸入……送電線で電気を需要地に送ることが難しい場所があり、そこで水素を製造して輸入すれば炭酸ガスの放出とは無関係になるでしょう。ただ、安価に輸入できるのであれば、火力発電の燃料に優先的に使用したほうがメリットが大きいはずなので、燃料電池車を普及させる妙手にはなりにくいでしょう。火力発電に使用した方が、安全管理面からも有利になるし、水素ステーションも不要だし、液化水素の国内各地への配送も不要になり、メリットが大きくなります。さらに、巨額の資金が必要であり経済性に問題があって、化石燃料の使用量の大幅削減などの極端な強制力がないと難しそうです。

自然エネルギーで発電した電力を送電線網から独立させる……太陽光発電や風力発電と水の電気分解設備を直結して水素を製造するのだ、という話がありますが正しい発想ではありません。繰り返しになりますが、炭酸ガス放出量の削減に貢献しているのは電気を生み出す行為であり、水素ガスを製造したり、その水素ガスを使って自動車を動かしたりする行為ではありません。

言い換えれば、燃料電池車は炭酸ガスを放出しないという話は、他の行為の貢献を横取りしていることに他なりません。立派な社会人がこんなアンフェアな主張をするべきではないのです。

また、小規模だと設備費のスケール効果が得られなかったり、発電量の変動で装置の稼働率非常に低くかったりしたら高価な水素ガスになってしまうでしょう。

残念なことに、わが国では水素社会がやってくるのだという話があります。

資源の枯渇や国際協定などで化石燃料を使用することができなくなったとき、国土が狭く人口密度の高いわが国では自然エネルギーで必要とする全てのエネルギーを賄えなくなる可能性は否定できません。

そうになったら外国から液化水素を輸入することが必要になるかもしれません。ただ、水素でなくてはならない用途はほとんどなく、電気に変換して利用することになるので、液体水素の輸入は天然ガスを液化して大量に輸入しているのと同じようなことであり、水素社会などと騒ぎ立てるようなものではないはずです。

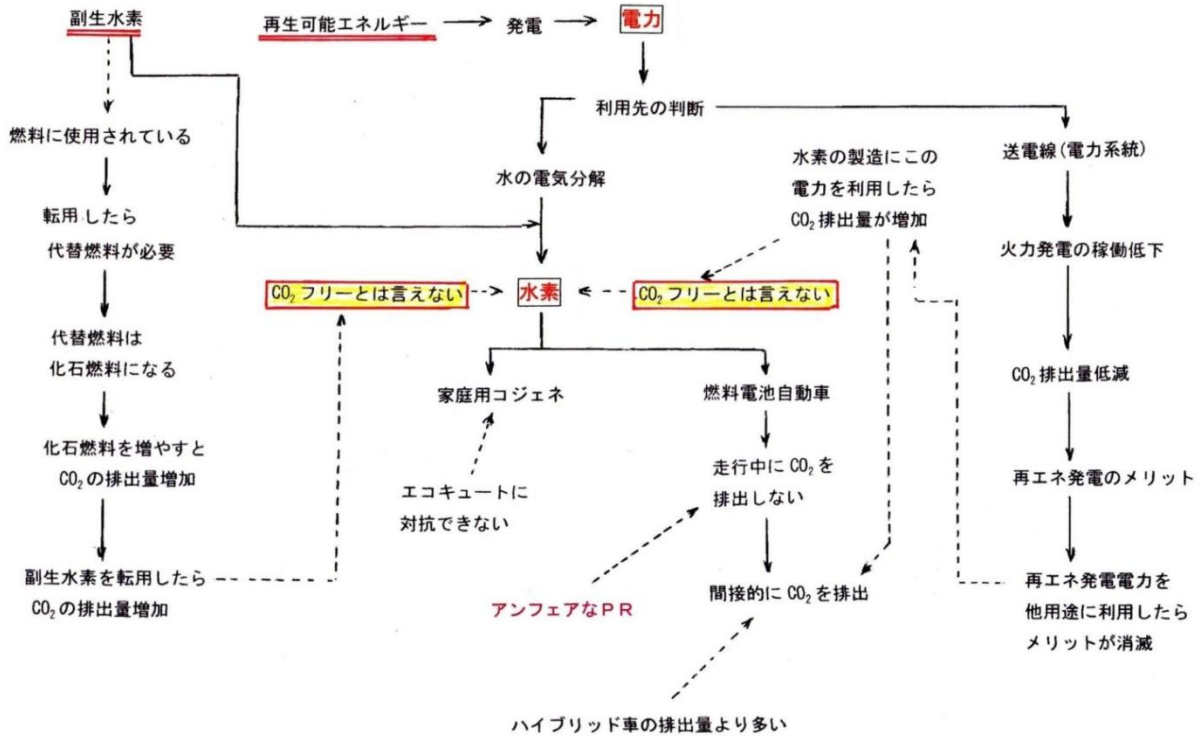
電気に変換する際にも大々的に燃料電池を利用する可能性は低いのではないのでしょうか。分散電源にして副生する熱を有効利用したいと考えることは間違っていないのですが、高効率な火力発電所で発電した電気の一部を使ってヒートポンプで熱を確保したほうがエネルギーの有効利用という面では優れています。経済性の面でもヒートポンプを利用するエコキュートの方が、多額の補助金が投じられている燃料電池を利用するエネファームよりもはるかに優れていますし、普及率も桁違いに多くなっています。

失礼な言動で申し訳ございませんが、結局のところ、燃料電池は一部の関係者の利権になっているのかもしれません。

また、液化水素の輸入が遠い将来の話であれば、今のうちから準備をしておく必要はないはずです。水素ガスに関する技術はさして高度なものではなく、必要になったら短期間で準備できるからです。

なお、エネルギーを輸入する場合には水素として輸入するのではなく、蓄電池に電力を蓄えて輸入する方が格段に安価になる可能性が高いはずです。

「CO₂フリー水素」という誤解



06. エネルギー変換効率に注目することが大切

どのような自動車が最も CO₂ 排出量が少ないのか比較するためには、駆動方法の種類によるのではなく、自動車を走らせるために必要な「仕事」というエネルギーを獲得する際のエネルギー変換効率の高さにだけ注目すれば良いはずです。

燃料電池車が「究極のエコカー」なのだ、と主張するためには、他の駆動方式の自動車よりもエネルギー変換効率が高くなければいけません。当然のことですが、変換効率だけではなくエネルギー変換操作のコスト競争力も大切です。

ここで、自動車を駆動するためのエネルギー変換にはどんなものがあるのか、その一部を例示してみます。便宜的に3分類にしていますが、「化石燃料スタートの場合」と「電気（自然エネルギー）スタートの場合」を比較する際には、「化石燃料スタートの場合」の総合効率に火力発電所の発電効率を乗じた値と「電気（自然エネルギー）スタートの場合」だけの値を比較する必要があります。

化石燃料をスタート

内燃機関車……エンジン ⇒ 仕事

シリーズハイブリッド車……エンジンで発電 ⇒ 充電・放電 ⇒ モーター ⇒ 仕事

燃料電池車……化石燃料を水素に変換 ⇒ 燃料電池で発電 ⇒ モーター ⇒ 仕事 (25%程度)

内燃機関車（ロータリー）……化石燃料を水素に変換 ⇒ エンジン ⇒ 仕事

燃料電池車……化石燃料で発電 ⇒ 水の電気分解 ⇒ 燃料電池で発電 ⇒ モーター ⇒ 仕事 (20%以下)

電気自動車……化石燃料で発電 ⇒ 充電・放電 ⇒ モーター ⇒ 仕事 (50%程度)………《総合変換効率が最高》

【注】環境面でも経済性の面でも燃料電池車はハイブリッド車に対抗できません。化石燃料を水素ガスに変換するコストは安価ではありません。

電気（自然エネルギー）をスタート

内燃機関車……水の電気分解で水素 ⇒ 液体燃料の合成 ⇒ エンジン ⇒ 仕事

燃料電池車……水の電気分解で水素 ⇒ 燃料電池で発電 ⇒ モーター ⇒ 仕事 (40%以下)

内燃機関車（ロータリー）……水の電気分解で水素 ⇒ エンジン ⇒ 仕事

電気自動車……充電・放電 ⇒ モーター ⇒ 仕事 (85%程度)………《総合変換効率が最高》

【注】電力（電気エネルギー）を水素に変換して利用することはエネルギーの利用効率を大幅に低下させます。

水素ガスの持っている化学エネルギーを電気エネルギーに変換する際に、大きなロスが避けられないからです。

バイオマスをスタート

内燃機関車……発酵などでエタノール ⇒ エンジン ⇒ 仕事

内燃機関車……バイオのガス化 ⇒ 液体燃料合成 ⇒ エンジン ⇒ 仕事

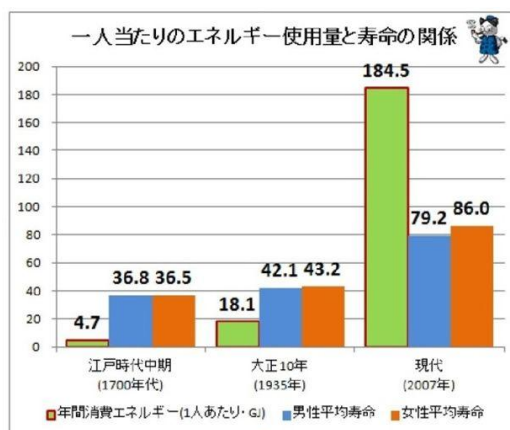
燃料電池車……バイオマスから水素 ⇒ 燃料電池で発電 ⇒ モーター ⇒ 仕事

電気自動車……バイオマスで発電 ⇒ 充電・放電 ⇒ モーター ⇒ 仕事

なお、わが国ではバイオマスに過剰な期待をするのは禁物ではないかと思っています。その根拠は次のようなものです。

わが国での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すが、当時の人口 (3,000 万人前後) で当時の文化水準だったら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、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。技術進歩も幾分かはあるでしょうが、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、現在でも入手できるバイオマスの量がけた違いに多くなるとは考えられません。

また、バイオマス関連の話は高コストのものが多く、注意する必要もあります。



07. 燃料電池車の温暖化抑制効果はハイブリッド車 (HV) 以下

化石燃料を使用した火力発電所が残存している国では、自然エネルギーで発電した電力を電力系統に接続すれば火力発電所での発電量を抑えることができることから CO₂ 排出抑制に効果があります。

よって、自然エネルギーで発電した電力を水素製造のために利用したら火力発電所の負荷を抑えることができなくなり、間接的に CO₂ の排出を増やしていることと同じこととなります。

火力発電所の発電効率を 50% と仮定したら火力発電所から排出される CO₂ の排出量はハイブリッド車が排出する CO₂ 量より多くなりそうです。その根拠となる計算を下記に示します。

燃料電池車発売報道があってから 1 年後にトヨタから公表された「The MIRAI LCA レポート」では、捨てられていた水素ガスを拾ってきて燃料電池車に利用するという発想になっていました。常識的に考えても、多量の水素ガスを廃棄処分するはずありません。

このレポートによれば、燃料電池車はハイブリッド車よりも車両の重量が 1 割以上大きいようなので、車体を駆動するために必要な「仕事」というエネルギーを多く必要とし、エネルギー変換効率が同じなら、CO₂ の排出量も多くなりやすいはずです。

既に燃料などに利用されている副生水素ガスを転用して燃料電池車の燃料に使用する場合でも、燃料電池車の温暖化抑制効果はハイブリッド車の温暖化抑制効果に全く対抗できません。

自動車会社が公表している「The MIRAI LCA レポート」に示されていた数値を利用して簡単な計算をしてみました。計算に拒否反応がない方は以下をご参照ください。

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 ₂ 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 ₂ 排出量	3.19 kg・CO ₂ /kg
天然ガス……………低位発熱量	50.0MJ/kg
CO ₂ 排出量	2.75kg・CO ₂ /kg
水素の圧縮動力 (70MPa)	15MJ/kg・H ₂

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、CO₂

排出量は $(4.3 \text{ リットル}) \times (2.322 \text{ kg/リットル}) = 9.98 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2$ 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、 $121 \text{ MJ/kg} \times 0.76 \text{ kg} = 92.0 \text{ MJ}$ 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があります。水素圧縮動力は $16 \text{ MJ/kg} \cdot \text{H}_2$ 程度なので 0.76kg の水素の場合には 12 MJ 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、 184.0 MJ 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、 $184.0 \text{ MJ} \div 43.4 \text{ MJ/kg} = 4.24 \text{ kg}$ の軽油に相当し、 $(3.19 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}) \times (4.24 \text{ kg}) = 13.53 \text{ kg}$ の CO_2 が間接的に排出されることになり、 9.98 kg の CO_2 を排出するハイブリッド車よりも 1.36 倍多くなります。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 50.0 MJ/kg であり、 CO_2 発生量は $2.75 \text{ kg/kg} \cdot \text{CH}_4$ なので、 $184.0 \text{ MJ} \div 50.0 \text{ MJ/kg} = 3.68 \text{ kg}$ のメタンに相当し、 CO_2 の排出量は $3.68 \text{ kg} \times (2.75 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}) = 10.12 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2$ 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 ($9.98 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2$) 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 $10.12 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \div 0.85 \div 0.65 = 18.3 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2$

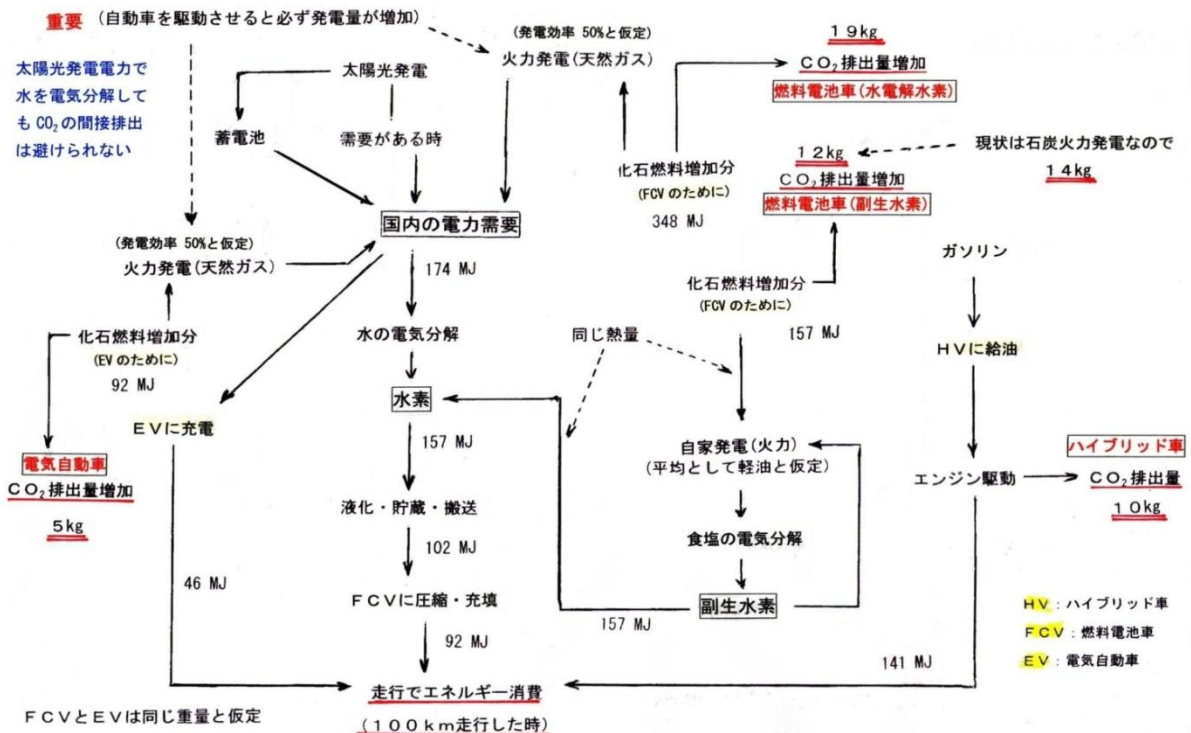
【化石燃料を水蒸気改質して水素に変換して燃料電池車の燃料の水素を製造する場合】……………理想状態で変換できれば元の化石燃料と得られた水素の持っている化学エネルギー量は同じですが、変換操作の過程で高温の加熱炉を使用したり、 CO_2 の分離をしたり、装置を動かしたりするために、30% 程度のエネルギーロスが発生するようです。また、燃料電池の発電効率が 40% 程度と仮定すれば、化石燃料の持っていた化学エネルギーの 28% が自動車の駆動に供されることとなります。さらに、水素の圧縮のために上記から 13%のロスが発生しますし、水素を液化して貯蔵するのであれば 35% のロスが発生します。

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% 程度しか自動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、 CO_2 の排出量も多くなるはずです。

【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、 92.0 MJ 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 $92.0 \text{ MJ} \div 0.87 \div 0.65 = 159.2 \text{ MJ}$ の水素が必要になります。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。 159.2 MJ 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 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 50.0 MJ/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 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。

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



08. 燃料電池車(FCV)よりも電気自動車(EV)の方が将来性がある

08-1 地球温暖化抑制効果

わが国では電気自動車(EV)でも CO₂ 排出と無関係ではありません。前にも説明しましたが、たとえば、風力発電で得られた電力を送電線網(電力系統)に流したら、火力発電所の負荷が下がり、CO₂の排出量が減少します。同じ電力で、電気自動車を動かすこともできるし、火力発電所から排出されているCO₂の排出量を削減することもできます。

言い換えれば、電気自動車の動力源にする場合には、火力発電所からの CO₂ 排出量を削減できるというメリットを放棄することと引き換えに電気自動車を動かすことができるのです。

よって、電気自動車を動かすためにCO₂を排出していることと同じことになります。

しかし、燃料電池車よりも電気自動車の方が地球温暖化抑制効果は大きくなります。電気自動車の方がエネルギー変換効率が高いからです。

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。

上記のように、燃料電池車と電気自動車を比較したら、電気自動車の方が明らかにエネルギー変換効率は格段に高く、CO₂の直接・間接の排出量も4分の1程度にまでなりそうです。

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水素を液化貯蔵することが致命的なのです。

08-2 経済性の比較

太陽光発電や風力発電などのような不安定電源への対応という面でも電気自動車の方が優れています。設備の利用率が非常に低いことから、燃料電池車用の水素ガスを製造するための設備の固定費が不安定電源をそのまま利用したら跳ね上がるからです。

自動車会社が公開されている説明資料に、水の惑星である地球には水素は無尽蔵にある、と記されていました。

无尽蔵にあるのは水素原子であって、エネルギーを取り出すことができる水素分子ではありません。水や CO_2 は地球上では極めて安定で、これらから化学エネルギーを取り出すことは出来ません。

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。しかし経済的に採算が取れないために、わが国では長期にわたって忘れ去られていたことから、その経済性に関する信頼性の高い情報は乏しいのですが、参考までに一例を示します。

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 ページ 19 (2008)）によれば、水の電気分解設備（規模：6 万 m^3 /時）の製品水素ガス 1 m^3 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 円くらいだったので、水素 1 m^3 あたりの固定費は 55 円程度とみなせます。

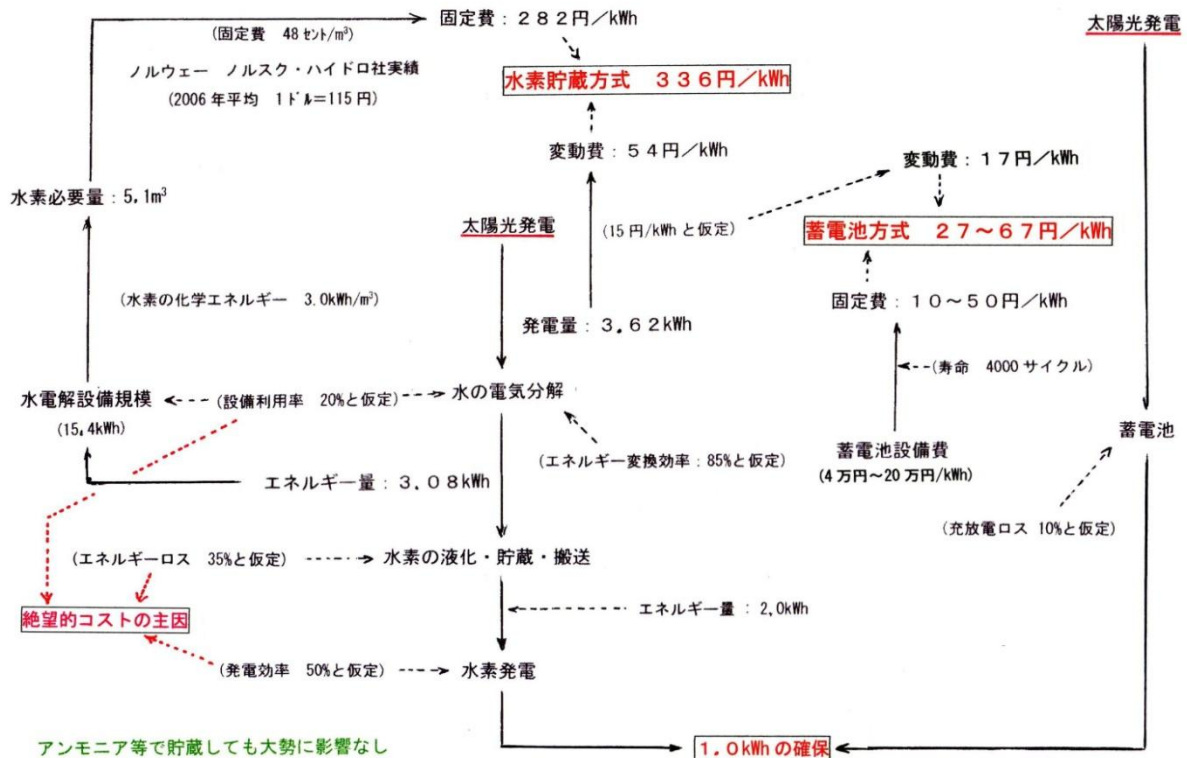
水素ガスおよび都市ガスの 1 m^3 あたりの低発熱量はそれぞれ 2,567kcal と 9,870kcal であり、都市ガス 1 m^3 の発熱量に対応する水素ガスは 3.84 m^3 なので、水素ガス 3.84 m^3 あたりの固定費は 211 円になります。

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変動費を含まない固定費だけで 1,480 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。

再エネを利用した発電設備と蓄電池による電力の平準化を行えば水の電気分解設備の固定費は引き下げられるはずではないかと主張される方も居られるかもしれませんが、蓄電池の設備費は安価ではないので、不安定な電源を安定な電源に変換すると倍以上のコストになることに注意する必要があります。

上記のように、太陽光発電などで得られた電力を利用した水の電気分解で水素ガスを製造するのも、経済的には簡単ではありません。

電力はどのように蓄えるべきか（水素社会の問題点）



08-3 快適さについて

現状では電気自動車は蓄電池の充電に時間がかかるという不便さはあります。また、電気自動車でも長距離走のために蓄電池を沢山積み込んで車体重量が重くなると多量のエネルギーを消費するはずで、燃料電池車や内燃機関車で長距離走行するためには燃料の重量が増えるだけです、電気自動車では車両の重要部分である重い蓄電池を増やす必要があり、本質的な問題を抱えていることは確かです。

ただ、大きすぎる期待は禁物ですが蓄電池の軽量化と価格低下が進めば情勢は変化する可能性があります。

電気自動車と比較して燃料電池車の優位な点は、エネルギー注入時間の短さや連続走行可能距離の大きさなどの「快適さ」だけです。

快適さの追求は多くの場合エネルギーの無駄遣いに直結しやすいので、エコを重視するのであれば快適さはある程度は犠牲にすべきなのかもしれません。

国内での化石燃料の利用がなくなるまでは、エネルギーの無駄遣いは CO₂ の排出量増加に直結するのですから。

08-4 技術の将来性

燃料電池と二次電池（蓄電池）の今後の技術進歩の可能性も考慮しておく必要があるはずで、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激しい技術開発競争にさらされているので、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、性能改良への期待も大きいはずで、

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。

09. 燃料電池の将来性にも疑問がある

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率先して商業化を目指して技術開発を進めましたが、電池の製造コスト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。

なお、バラード社はわが国でも荏原バラードという会社で家庭用燃料電池の市場開拓を進めていましたが、2009年に解散しています。

燃料電池車の最大の欠点は、燃料電池の発電効率がさして高くないことと、高価なことです。

燃料電池は、発電量を抑えて発電するほど抵抗が小さくなり、発電効率が高くなります。

しかし、発電量を抑えた発電をすると必要な電池（または白金触媒の使用量）が多くなり、かえって経済的に不利になります。また、燃料電池の搭載数を増やすと、車体重量が増加して、エネルギー消費量が増えることも同時に加味する必要があります。

そこで、これらを考慮して経済性がベストになるように、燃料電池の大きさが決められており、発電効率を高めるのも容易ではありません。

資源の枯渇や国際協定などで化石燃料を使用することができなくなったとき、国土が狭く人口密度の高いわが国では自然エネルギーで必要とする全てのエネルギーを賄えなくなる可能性は否定できず、そうになったら外国から液化水素を輸入することが必要になるのかもしれませんが。

ただ、水素ガスでなくてはならない用途はほとんどなく、電気に変換して利用することになるはずです。

温度が低くなる分だけ取り扱いが厄介にはなりますが、液体水素の輸入は天然ガスを液化して大量に輸入しているLNGと同じようなことであり、「水素社会」などと騒ぎ立てるようなものではありません。

電気に変換する際にも大々的に燃料電池を利用する可能性は低いのではないのでしょうか。分散電源にして副生する熱を有効利用したいと考えることは間違っていないのですが、高効率な火力発電所で発電した電気の一部を使ってヒートポンプで熱を確保したほうがエネルギーの有効利用という面では優れています。

経済性の面でもヒートポンプを利用する「エコキュート」の方が、多額の補助金が投じられている燃料電池を利用する「エネファーム」よりもはるかに優れていますし、普及率も桁違いに多くなっています。

東芝が「エネファーム」から撤退すると報道されていました。業績が悪くなり、経済産業省の顔色をうかがう余裕がなくなり、現実を直視する必要性が生じたのだらうと思われます。

わが国では、過去のPRが過剰であったのか、燃料電池に対する期待が強すぎると感じています。人為的に歪められた認識は、負の遺産として損害を出し続けることになるのです。

液化水素の輸入が遠い将来の話であれば、今のうちから準備をしておく必要はないはずです。水素ガスに関する技術はさして高度なものではなく、必要になったら短期間で準備できるからです。

10. 関係者の対応について

失礼な物言いで恐縮ですが、経済産業省は協議会まで作って議論をされたようなのに、どうしてこんなことになってしまったのでしょうか。わが国だけが膨大な無駄遣いを強いられる政策を押し進めておられるのではないかと心配しています。

官僚の皆さんに問いたいのは、公費を投入することがはたして妥当なのだろうか、ということです。燃料電池車が本当に画期的なものであれば、私企業のために公費を投入しても構わない場合もあるのかもしれませんが。

技術的にはごく簡単な話なので自動車会社の皆さんが勘違いしているという指摘を理解できないはずありませんし、弁解や言い逃れできるような内容でもないのに、誠実な対応をされるものと期待していましたが、残念なことに事実を隠蔽したいとの意思が滲み出てきました。

会社の上層部の皆さんが、メンツを潰されることや巨額の開発費を投じてしまった経営責任などから危機感を持たれたらどうかとはよく理解できます。

静かに、徐々に話題にならないように対応するのが現実的な対応策だと思っていたのですが、逆に盛んにPRを開始されたことから、放置しておけなくなり止む無く、燃料電池車はさして魅力的なものではありません、という内容の資料の公開に踏み切りました。

相手が巨額の資金を投じて世論操作を行う企業だったので、激しい妨害活動にさらされましたが、私は相手から影響を受けやすい組織や人々との繋がりが全くなかったので、なんとかなりました。

なお、燃料電池車に存在価値を見出すためには次のどれかに該当する必要があるはずですが、どれにも該当しないのではないかと考えています。

- ① 純粹に経済性の面で画期的な方式である。
- ② エネルギー変換効率が他の方式の自動車よりもかなり高い。
- ③ 二酸化炭素の排出量を大幅に削減できる。

燃料電池車を普及させても、わが国の炭酸ガスの放出量が減るわけではないので、税金を使ってまで支援をする必要はないはずです。温暖化防止のために努力している姿勢を示すのだ、ということなのかも知れませんが、個人的にはあくまでも正論で対応してほしいと思います。

炭酸ガスの放出量の差があまり無いのであれば、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経済性の観点からは合理的なのではないかとも考えられます。

本質的な問題として、わが国では「和」や「絆」などが重要視されていて、他人のメンツを潰すようなことを言うてはいけないという文化があります。ただ自然科学分野では正面から議論をすることが大切なので、メンツなどと言って議論を避けていたら技術力が後退し、わが国の経済がますますじり貧になってくるのではないのでしょうか。

自動車会社は用心深く、燃料電池車は炭酸ガスの放出量を大幅に削減できます、と断言することは極力避けておられるようですが、大衆のもっている誤解を正そうとはされていません。

中央官庁は過去の判断ミスを認めたくないためなのか、なりふり構わず燃料電池車のPRをされており、多くの自治体や企業がこれに同調されていました。

マスコミも説明能力が不足しているし、自動車会社や役所に睨まれたくない、という意識もあるのではないのでしょうか。

11. 【追加】燃料電池トラックや燃料電池バスについて

コンビニ最大手のセブンイレブンが配送用のトラックに燃料電池トラックを採用すると派手に報道されていました。主目的は地球温暖化抑制ということになっているようです。

燃料電池トラックが温暖化抑制に大きな効果があると思えないのですが、経産省やトヨタのPRを真に受けておられるのではないのでしょうか。

ということで、その理由を簡単に説明してみます。

直感的に考えたら、トラックの場合には、乗用車とは異なり、ガソリンエンジンよりもエネルギー効率が高いディーゼルエンジンで駆動させているので、水素を燃料にする燃料電池を搭載しても地球温暖化抑制という面での競争力では乗用車以上に不利になるはずです。

ただ、抽象的な話になると拒否反応される方が多いので、具体的な説明をしてみます。

トヨタ自動車の3トン積みのハイブリッドトラック(トヨエース)は軽油 1 リットルで 11.6 km 走ると報告されていました。好条件で得られた数値なのかもしれませんが、取り敢えずこの値を使用してみます。この数値を使用すると、200 km 走るためには、 $200 \text{ km} \div 11.6 \text{ km/リットル} = 17.24 \text{ リットル}$ なので、軽油を 17.24 リットル 消費することになります。

軽油の比重は平均すると 0.82 程度なので、17.24 リットル は 14.14 kg となります。

軽油の発熱量は $38.40 \text{ MJ/リットル} = 46.83 \text{ MJ/kg}$ なので、200km 走行するためには、 $(46.83 \text{ MJ/kg}) \times 14.14 \text{ kg} = 662.2 \text{ MJ}$ のエネルギーを消費することになるはずです。

また、軽油を燃焼した時の CO_2 排出量は $(3.19 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg})$ なので、200 km 走行する時には $(14.14 \text{ kg}) \times (3.19 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}) = (45.11 \text{ kg})$ の CO_2 を排出することになるはずです。

一方、セブンイレブンの3トン積み配送用燃料電池トラックで 200 km 走行するときに 7 kg の水素を消費すると記されていました。冷凍装置もついているようなのでエネルギー消費が多くなっている可能性もありますが、取り敢えず採用することにします。

水素の発熱量は 121 MJ/kg なので、7 kg の水素の発熱量は、 $(121 \text{ MJ/kg}) \times 7 \text{ kg} = 847 \text{ MJ}$ のエネルギーを消費することになるはずです。また、水素の圧縮に要するエネルギーを加算する必要があります。水素の圧縮に必要なエネルギーは 16 MJ/kg 程度なので 7 kg の水素を圧縮するためには $16 \text{ MJ/kg} \times 7 \text{ kg} = 112 \text{ MJ}$ となります。

さらに、水素を液体水素にして貯蔵・輸送するためには水素の持っているエネルギーの 35%がロスされるといわれています。よって、水素を液化・貯蔵・輸送するためには、 $847 \text{ MJ} \times 0.35 = 296 \text{ MJ}$ のエネルギーが必要になります。

なお、現時点では燃料電池車の燃料の水素は苛性ソーダと塩素を製造するための食塩の電気分解の際に副生するガスを利用しているようです。食塩を電気分解している化学会社の「東ソー」などでは、副生水素などを燃料にして電気分解に必要な電力を発電しています。もし、この副生水素を燃料電池の燃料に転用したら、その分だけ発電用燃料として化石燃料で補填する必要があります。

【注】副生水素量の全量を燃料にして 100 % の発電効率で発電できれば、電気分解に必要な電力をほぼ賄えますが、発電効率が高くないので化石燃料なども利用しているはずです。副生水素が余剰になっている訳ではありません。

配送用トラックを 200 km 走行させるために必要な水素 7kg 分を、例えば、軽油で補填すると仮定すれば、上記のように軽油の発熱量が(46.83 MJ/kg) なので、 $(847 \text{ MJ}) \div (46.83 \text{ MJ/kg}) = 19.2 \text{ kg}$ の軽油をやむなく発電用燃料に使用することになるはずです。

よって、「東ソー」などの発電設備で追加使用した軽油から排出される CO₂ の量は、 $(3.19 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}) \times (19.2 \text{ kg}) = (61.2 \text{ kg})$ になります。

また、水素圧縮用のエネルギーは電力なので、発電設備の発電効率を 50 % にすると上記に記した 112 MJ の電力を得るためには 224 MJ の軽油が必要になります。

この 224 MJ は $(224 \text{ MJ} \div 46.83 \text{ MJ/kg} = 4.78 \text{ kg})$ の軽油に相当し、結果として $(3.19 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}) \times (4.78 \text{ kg}) = (15.2 \text{ kg})$ の CO₂ 排出量になります。

さらに、水素の液化などに消費するエネルギーは 296 MJ なので、 $(296 \text{ MJ}) \div (46.83 \text{ MJ/kg}) \times (3.19 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kg}) = 20.2 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2$ の CO₂ 排出量になります。

上記のように、ハイブリッドトラックだと 200 km 走行する際に直接的に排出する CO₂ の量は (45.11 kg) だったのに、燃料電池トラックだと $(61.2 \text{ kg}) + (15.2 \text{ kg}) + (20.2 \text{ kg}) = (96.6 \text{ kg})$ を間接的に排出することになります。

よって、燃料電池トラックの間接的な CO₂ 排出量はハイブリッドトラックの直接的な排出量の 2.1 倍程度になってしまいます。CO₂ は直接的に排出しても間接的に排出しても地球温暖化に与える影響は全く同じであり、区別する必要はないはずです。

以上のことから、ハイブリッドトラックを燃料電池トラックに代替したら CO₂ 排出量は増加することになるはずです。

将来、自然エネルギーを利用して発電した電力を使って水を電気分解して水素を製造しても、燃料電池トラックを走行させる場合に CO₂ を排出しないわけではありません。

一言で言えば、自然エネルギーを利用して発電する行為がエコなのであって、発電された電力を利用したり、水素に変換することが「エコ」ではないので注意する必要があります。

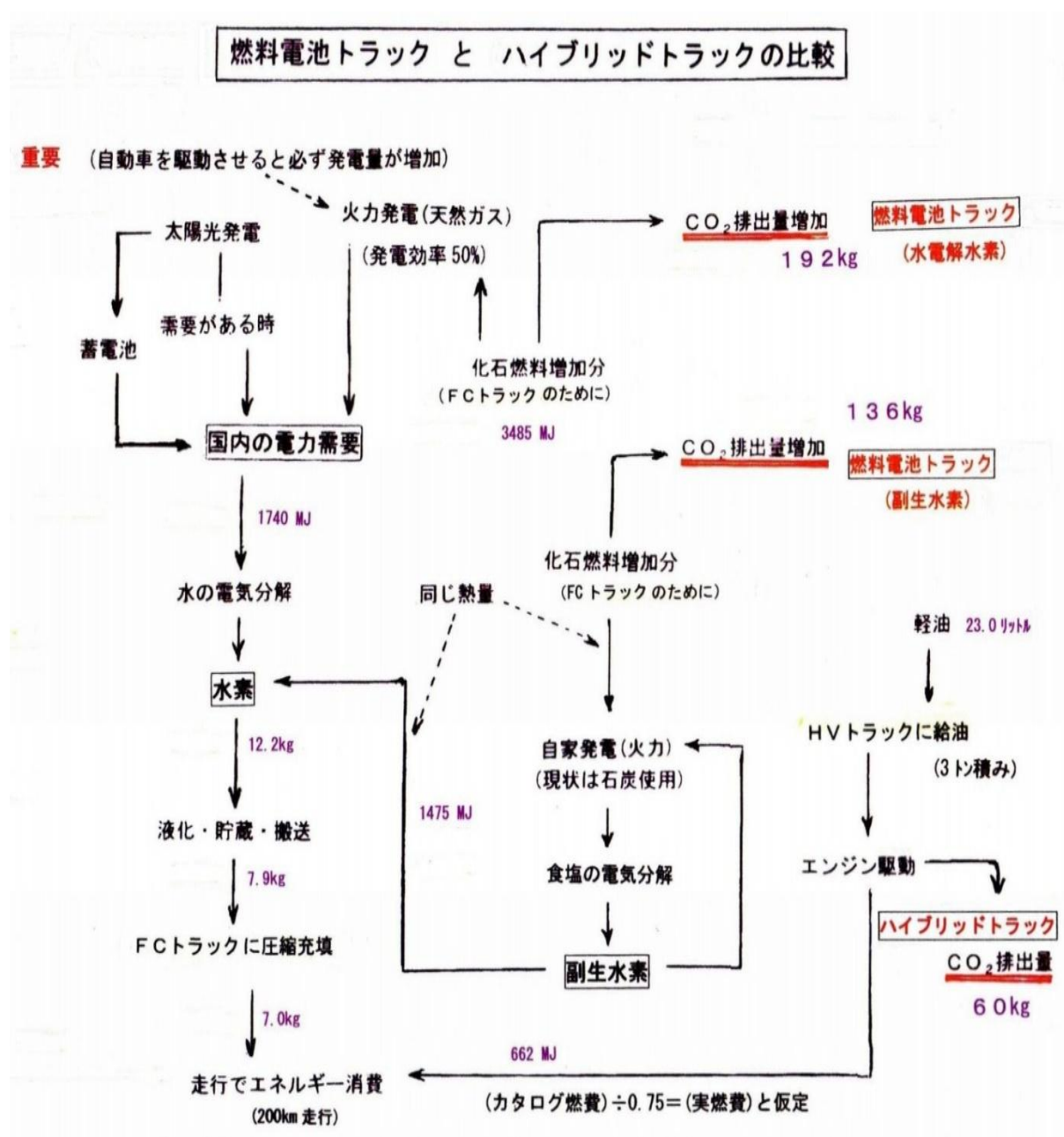
自然エネルギーを利用して発電した電力を水素製造に利用しなくても、電力系統に流せば、火力発電所の負荷が下がり CO₂ 排出量が削減されます。言い換えれば、火力発電所から排出される CO₂ 排出量を削減できるというメリットを捨てて水素を獲得したのだから、水素製造で CO₂ を排出していることと同じことになるはずです。

なお、副生水素を利用する場合よりも地球温暖化抑制効果という面では不利になります。

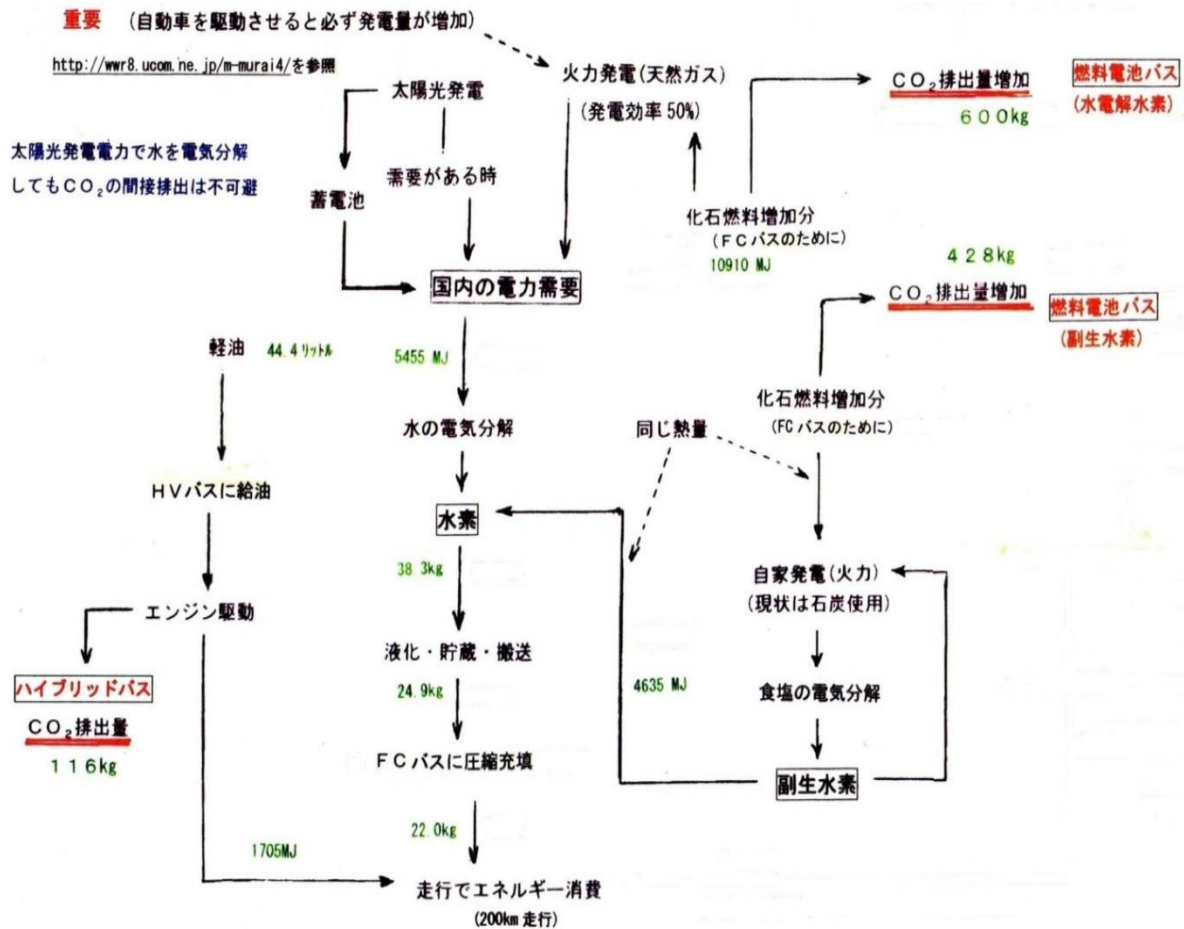
上記は、前提となる数値の信頼性が必ずしも高くはないのかもしれませんが、結論を逆転させることは無いだろうと考えています。抽象的な思考をしてもあり得ない話だからです。

また、燃料電池バスがエコなのだと東京都やトヨタが主張されていますが、燃料電池バスも燃料電池トラックと同類のはずです。

ということで、オリンピックで世界中の人々に紹介したいと言われるのですが、個人的にはもっともないので止めてほしいと思っています。



燃料電池バス と ハイブリッドバス の比較



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堀町 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

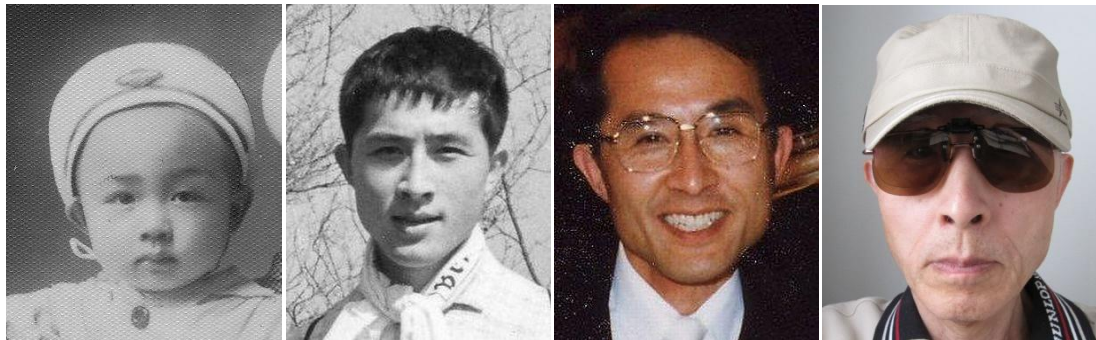
東京工業大学大学院修士課程修了

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。

資料 01

トヨタへの返事

2014. 7. 10

ご丁寧な書簡・資料を郵送していただき、恐縮しております。
しつこくて申し訳ございませんが、誤解が無いように、若干のコメントをさせていただきます。
なお、失礼は承知の上で、誤解を生じにくいように、直接的な表現にさせていただきます。

【トヨタの環境技術戦略】

「トヨタでは、これら全ての車両の開発を同時に進めていきますが、」との記載は第三者がとやかく言うべきものではありませんし、万一に備えるためには当然の考えだろうと感じます。また、トヨタは技術力が高いのだ、というPRの絶好の機会ですし。

しかし、「中でも、石油の代替燃料として電気・水素・バイオ燃料など需要が拡大していくと

思われますが、」との記載は、エネルギーをきちんと理解されていないのではないかと勘繰られます。

【資源エネルギー庁資料】

ご送付いただきました、資源エネルギー庁が作成した「水素社会の実現に向けた取り組みの加速」という資料は、資料作成屋さんが手っ取り早くいろいろな業界から都合の良い情報を収集して作成されたものらしく、価値がある内容とはとても思えません。

記されている程度の知識は有していますし、理解もできる積もりです。

当該資料の最終ページに記されているエネルギーキャリアについて、公費で多くの研究が進められていますが、素晴らしいと言えるようなものではありません。ご参考までに、研究チームに私がコメントした内容の下記に示します。

<http://www7.ucom.ne.jp/m-murai3/HP603.pdf>

資源エネルギー庁に反旗を翻す必要は毛頭ございませんが、日本のトップ企業なら、官僚の話をそのまま受取るのではなく、社内で正しい考えを別途保有されるべきではないのでしょうか。所詮、官僚の皆さんは転勤が多く、本当のプロではないのですから。

【「究極のエコカー」という風説】

マスコミの造語なのかもしれませんが、その用語を利用しようと考えておられるのであれば、寂しいものを感じます。

燃料電池車が本当に「究極のエコカー」であれば、そのままにしておいても構わないのですが、疑義があるのであれば、大衆に正しいイメージを植え付ける必要があると思います。

このままだと、究極のエコカーだ、と信じこんで購入する人も出てくるでしょう。消費者行政が重視されている昨今、実態とかけ離れたうたい文句で商品を販売することは好ましくないと思います。

【国家プロジェクト】

穿った見方かもしれませんが、経済産業省の官僚の皆さんは、先輩たちが過去に巨額の公費を無駄遣いした「水素社会構築」や「燃料電池開発」などの経緯に縛られて、無理をされているのではないかと考えています。それに踊らされている自動車会社も気の毒ですが、自己責任なのでやむを得ないのでしょう。

もう少し経済や科学に純真であるべきなのでしょうが。

私が皆さんに問うているのは、公費を投入することが妥当なのか、ということです。燃料電池車が本当に画期的なものであれば、私企業のために公費を投入しても構わない場合もあるでしょう。ぜひとも、貴社には頑張っていただかないと困りますので。

【お詫び】

子供っぽい潔癖さが抜けきれない73歳のお爺さんです。お気に召さない点多々あると思いますが、ご容赦ください。

資料 02

『The MIRAI LCA レポート』への疑念

【レポートの概要】

会社名：トヨタ自動車株式会社

責任者：時枝純二

LCA 分析者：小澤環吉田拓矢

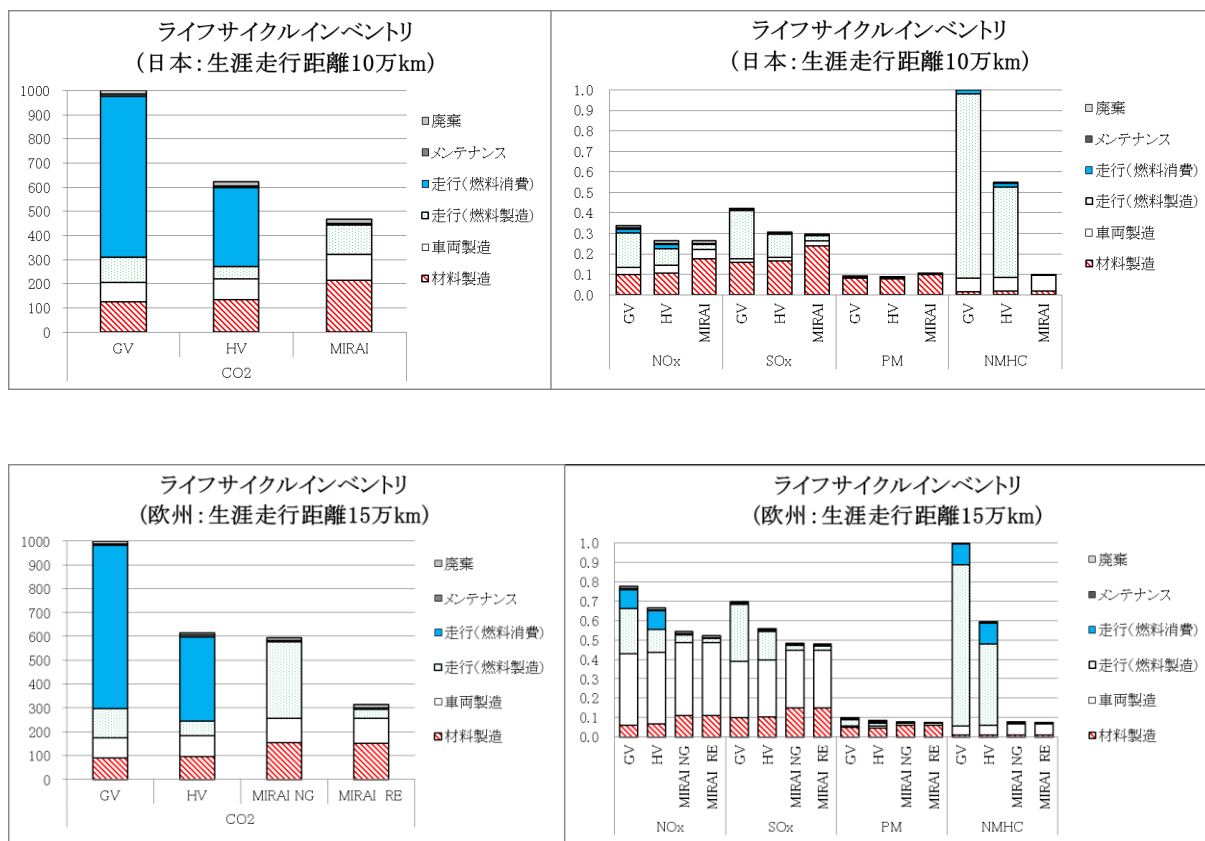
監督者：相田智 大宅梨沙

報告書作成日：2015年6月10日

	GV	HV	MIRAI
燃料	ガソリン	ガソリン	水素
排気量(cm3)	2499	2493	-
エンジン最高出力(kW)	149 kW	131 kW	-
エンジン最大トルク(Nm)	243 Nm	221 Nm	-
電気モーター 最高出力	-	105 kW	113 kW
電気モーター 最大トルク(Nm)	-	300 Nm	335 Nm
燃料電池最高出力	-	-	114kW
トランスミッション	6AT	eCVT	-
車両質量	1540 kg	1630 kg	1850 kg
車両外寸法(mm)	4895x1800x1460		4890x1815x1535
燃費(日本) ／使用段階(JC08)	11.4 km/L	23.2 km/L	*2
燃費(欧州) ／使用段階(NEDC)*1	8.5 L/100km	4.3 L/100km	0.76 kg - H ₂ /100km

日本：本研究では、顧客への車両引渡し時に充填されている苛性ソーダの副生水素を適用した。

欧州：本研究では、欧州初のMIRAI発売国であるイギリス、ドイツ、デンマークの水素パスを適用した。一方は、北海やロシアからパイプ輸送された天然ガス改質、他方は、風力による再生可能エネルギー由来水電解である。



【レポートの内容の問題点】

苛性ソーダ製造時の副生水素を利用するケースで試算をすることが妥当なのか

- ① 量的な問題……質量比で、苛性ソーダ 1 に対して、0.025 の割合で水素が発生します。平成 26 年 1 年間での水素の発生量は、およそ 10 億 Nm^3 となっています。このすべてを燃料電池車の燃料として使用しても、 118×10^8 キロメートル分です。

1 台で年間 10,000 キロ走るとすると 118 万台分です。

当然のことですが、全てを燃料電池用に回すわけにはいきません。参考までに、国内の水素ガス生産・需要の概要を載せておきます。

【参考……水素ガス需要動向】

日本では年間 150～200 億 Nm^3 の需要があり、ほぼ半分が石油精製で使用されています。また、製鉄、石油精製、エチレン製造プロセスなどで年間 100 億 Nm^3 以上の水素が副生していますが、大部分は化学製品等の原料やエネルギーとして自家消費されています。外販されている水素市場は 1.5 億 Nm^3 程度の規模で、用途は弱電 35%，化学 20%，金属 25%，硝子 10%，その他 10% 程度となっているようです。

- ② 間接的に炭酸ガスの放出量が増加する問題……副生水素は燃料電池車に使用しない場合には燃料などに利用されているはずですが、そのまま空中パージしているとも思えません。

このことによって炭酸ガスの放出量が削減されているので、この水素を取り上げたら化石燃

料の使用量が増えて炭酸ガスの放出量が増加するはずですが。

この増加分を加算しないと公正ではなくなります。この加算分は、HVの炭酸ガス排出量の3分の2になります。となると、燃料電池車の炭酸ガス排出量はHVのそれを余裕を持って超えてしまうはずですが。

間接的に炭酸ガスを排出することになることを無視している

- ① 火力発電で発電をしていない国でしか成り立たない論理になっている……火力発電所が残存している国では、自然エネルギーで発電した電力を電力系統に接続すれば火力発電を抑えることができるので炭酸ガス放出抑制に効果があります。よって、自然エネルギーで発電した電力を水素製造のために利用したら火力発電の負荷を抑えることができなくなり、間接的に炭酸ガスの放出を増やしていることと同じことになります。

火力発電の効率を現在の最高効率である60%と仮定しても火力発電所から放出される炭酸ガスの放出量はHVが放出するその1.1倍程度になってしまいます。

なお、太陽光発電設備などと直結して水の電気分解設備を設置すると、設備の稼働率が非常に低くなり、経済性の観点からも注意が必要です。

- ② 原子力発電と自然エネルギーでの発電で全ての電力を賄っている国なら、経済性を無視しても構わないという条件付きで炭酸ガス放出量を削減する手段として燃料電池車を採用することの意味は間違いなくあります。ただ、その場合には電気自動車と比較をする必要がありますが、このレポートでは割愛されています。

【まとめ】

- ① 細かい数値を使用して計算しておられるのですが推敲が浅すぎるために、せっかくの資料が藪鼠みになっているようです。
- ② レポートでは旧来型の公害対策に優れているのだと強く主張されているように感じます。現状の自動車では旧来型の公害対策が不十分なのであれば、大至急対策を考えるほうが先なのではないでしょうか。
- ③ 燃料電池車とハイブリッド車の環境性能について計算してみました。計算結果は上記の07項に記してあるのでここでは割愛します。

資料 03

深く考える習慣の大切さ

(エネルギー問題に正しく対処するために)

エネルギーに関わる話を正しく説明・公表するためには、基礎知識や理解が十分に備わってい

るだけでは不十分なのかもしれません。

その典型的な例が「燃料電池車騒ぎ」や「水素社会騒ぎ」ではないかと思っています。自動車会社や経済産業省のように秀才を集めている集団でも、燃料電池車が「究極のエコカー」なのだ、「水素社会」になればエネルギー問題を解決することができるはずだ、などと間違った思い込みをされていたようです。

といっても、この官庁や企業の大多数の皆さんが知識や理解が不十分だったとはとても思えません。

そこで、十分な知識を持っており、理解もできている人達なのにどうして「間違った思い込み」をされていたのだろうかという疑問が生じます。ということで、この疑問を何とか究明したいと思って長い間あれこれと考えていました。

間違った思い込みの主原因は、世の中に広く流布されている意見をそのまま受け入れてしまわれたことではないかとは思いますが、結局のところ、ごく身近な情報だけではなく、広範囲な情報を加味して短時間に思考する習慣も不足していたのではないかと勘繰っています。

と言っても、漠然とした所見になり過ぎているので、提案をされた方には失礼なのですが、いくつかの勘違いをされている例について具体的に説明をしてみます。

下記に列挙した一つ一つの短文は、ある程度の素養がある人だったら問題なく頭に入っている内容のはずです。

なのに、秀才ぞろいの組織の皆さんは間違った思い込みをされていました。

すなわち、一部の短文に意識が集中しすぎて思考が単純になり過ぎたのではないのでしょうか。その他の短文も軽視せずに、単純な思考に傾かないように留意していたら、初歩的な内容の勘違いに気づいておられたはずです。

以上のように「深く考える習慣」をもち続け、思考内容を単純化したいという誘惑を断ち切れることが重要なのではないのでしょうか。

そのためには、時間を節約するためにも、思考速度を高めることが大切になるはずです。簡単なことではないかもしれませんが。

多数の風力発電所を設置して北極の氷を増やす

北極の氷が減ってきており、なんとかしたいということで米国の大学から提案された方法です。この報道を見て、大風呂敷な話だ、とだけ感じていたのはいけません。一言でいえば、この話はエネルギーという視点が欠けていて、物質だけに注目していることが問題なのです。

【提案者の思考内容の推測】

- (01) 北極圏では風力資源は相当量ありそう。
- (02) 風車の回転翼への氷の付着が克服できるのか心配にはなるが、発電した電力の一部で脱着することも可能かもしれない。
- (03) 費用の問題が解決したら風力発電で電力は確保できそう。
- (04) 北極圏での氷の量が減ってきているのは海水の温度が高くなってきていることが原因だ。
- (05) 電力で駆動する冷凍機を使えば局部的に北極圏の海水の温度を下げることはできるはずだ。
- (06) 海水の温度を下げることであれば海水を凍らせることもできる。

【提案者に不足している思考内容】

- (07) 冷凍機は電力を利用して処理する海水をより温度の高い海水と温度の低い海水に分割しているに過ぎない。
- (08) 冷凍機からは海水の温度より高い熱エネルギーも放出されることにならざるを得ない。
- (09) 海水の温度を下げるためには、海水が持っている熱エネルギーを取り除く必要がある。
- (10) 海水を凍結させるためには、融解熱に相当する多量の熱を取り除く必要がある。
- (11) 具体的には熱エネルギーを北極から他の場所へ移動させる必要がある。
- (12) 熱エネルギーは自然には高温側から低温側にしか移動しない。
- (13) 熱エネルギーを北極以外の場所に移動させる必要があるが、北極よりも温度が低い広大な場所は宇宙空間しかない。
- (14) 北極からは現状でも宇宙空間に熱エネルギーを赤外線として放出しているが、現状以上に放出量を増やす方法がない。
- (15) 温度差が大きい方が(北極の温度が高い方が)熱エネルギーの宇宙空間への放出量は多くなるはずだ。
- (16) 北極の温度が高くなると宇宙への熱エネルギーの放出量を増やすことはできないのであれば、目的とは完全に矛盾する。

炭酸ガスを炭素と酸素に分解する

炭酸ガスは邪魔ものなのだから分解してしまえば良いではないか、という発想をされる人も少なくないようです。化学的にはできないことではないのですが、炭酸ガス排出量抑制の視点からは逆効果になってしまいます。

【提案者の思考内容の推測】

- (01) 化石燃料や炭素を燃焼すると炭酸ガスを発生させる。
- (02) 空気中の炭酸ガスは地球温暖化の原因物質である。
- (03) 炭酸ガスは炭素と酸素が結合している化合物である。
- (04) 炭酸ガスは炭素と酸素に分解できるはずだ。

【提案者に不足している思考内容】

- (05) エネルギーというのは種類や形態は変化するけれど、総量が変わることはない。
- (06) 炭素を燃焼したら炭酸ガスが発生して多量の熱を放出する。
- (07) エネルギー保存の法則から、炭素の燃焼反応と逆の反応をさせたら大きな吸熱をするはず。
- (08) 炭酸ガスを分解するためには燃焼排ガスなどから炭酸ガスを濃縮しておく必要があり、追加エネルギーも必要になる。なお、エネルギーを使用しない方法は存在しない。
- (09) 炭酸ガスを炭素と酸素に分解するためには、理論的には炭素を燃焼させた時の発熱量と同じ量のエネルギーを注入する必要がある。
- (10) 化学反応装置を稼働させるために追加的なエネルギーが必要になる。
- (11) 炭酸ガスを分解して得られた炭素と酸素が再反応することが無いように両者を接触させない方法を考える必要がある。
- (12) 炭酸ガスを分解するために必要となるエネルギー量は大きいので、熱エネルギーを加えただけでは分解しにくい。
- (13) 炭酸ガスの分解をスムーズに行うためには、水素を利用したり電気分解したりする必要がある。

り厄介ではある。

- (14) わが国ではエネルギーを使ったら、直接・間接に化石燃料を使うことになってしまう。
- (15) 炭酸ガスを実際に分解するためには、分解反応に供した炭酸ガスよりもはるかに多くの炭酸ガスを発生してしまう。
- (16) 炭酸ガスを分解するためには高価な化学装置が必要だ。地球温暖化抑制に効果をあげることが出来る規模で実施したら、化学設備の費用はとてつもなく巨額なものになる。
- (17) 化学装置を使って化学反応処理をすると、物質やエネルギーのロスが発生することが避けられない。
- (18) 化学装置上の問題としては炭素のような流動性のない固体の生成物が得られる場合では、実用的で効率的な装置にするのが難しい。
- (19) 炭酸ガスを分解して生成した膨大な量の固体の炭素の保管場所を確保するのが難しい。
- (20) 固体が粉末や多孔質な状態だと表面積が大きくなり、空気中の酸素と反応しやすくなり自然発火しやすい。大量の固体の炭素を保管する場合には、自然発火しない対策が必要になるが、空気を遮断する必要がある厄介だ。
- (21) 炭酸ガスを分解して生成した炭素を燃料に使用したのでは炭酸ガスを分解した意味がなくなってしまう。
- (22) もしも炭酸ガスを分解するために必要なエネルギーが有るのなら、そのエネルギーを有効に活用して、石炭などの燃焼を減らしてほうがはるかにスマートだ。

燃料電池車は究極的なエコカーだ

太陽光や風力を利用して発電した電力で水を電気分解したら炭酸ガスを排出することなく水素と酸素に分解することができます。

この方法で得られた水素ガスを自動車の燃料にしたら温暖化抑制効果が大きい自動車になるのではないかと勘違いをされやすいようです。

どうして勘違いをしてしまったのか考えてみましょう。

【提案者の思考内容の推測】

- (01) 世界的に自動車の炭酸ガス排出量を減らすべきだという圧力が強まっている。
- (02) 太陽光発電や風力発電では炭酸ガスの発生なしに電力が得られる。
- (03) 水を電気分解したら水素ガスと酸素ガスに分解することができる。
- (04) 水素を燃焼したら水が発生するだけで炭酸ガスは発生しない。
- (05) 燃料電池は水素を燃料に使用して発電をする装置である。
- (06) 水素を燃料にした燃料電池の排ガス中には炭酸ガスは含まれていない。
- (07) 燃料電池は既に家庭用の「エネファーム」などで実用されている。
- (08) 現状の蓄電池の性能は必ずしも「大満足」できる域には到達していない。
- (09) 電気自動車で長距離走行するためには多くの蓄電池を積む必要があり、重くなる。
- (10) 蓄電池への充電には時間がかかる。
- (11) 燃料充填時間や走行距離などは燃料電池車の方が電気自動車よりも優れている。
- (12) 水素は爆発限界が広いので注意が必要だが、過剰に恐れる必要はない。
- (13) 化石燃料を原料にして水素を製造したら炭酸ガスの排出は避けられない。

【提案者に不足している思考内容】

- (14) どんな種類の自動車でも動かすためにはエネルギーが必ず必要である。
- (15) 車体重量が同等なら、どんな方式でも必要とするエネルギー消費量はほぼ同等になる。
- (16) エネルギーにはいろいろな種類があるが相互に変換することが可能である。
- (17) エネルギーの中でも電力は最も使い勝手がよく、確保が絶対的に必要である。
- (18) わが国では国内の隅々まで電力が送り届けられている。
- (19) 太陽光発電や風力発電で得られた電力の大半は電力系統(送電線網)に繋がれている。
- (20) 火力発電所からは発電量に比例して多量の炭酸ガスが排出されている。
- (21) 太陽光発電や風力発電で得た電力を送電線網に流したら、火力発電所での化石燃料の消費を減らして炭酸ガスの放出量を減らすことができる。よって、エコに貢献しているのは、再生可能エネルギーで発電している行為であって、その電力を利用して水素を製造したり、その水素を燃料にして車を動かすことではないはずだ。
- (22) 燃料電池車を動かしたら、火力発電所から排出される炭酸ガスを削減できるというメリットを犠牲にしてしまうのだから、炭酸ガスを放出していることと同じだ。
- (23) 燃料電池の発電効率は50%以下なので水素の持つエネルギーの半分以上が即無駄になる。
- (24) 燃料電池車は走行中は炭酸ガスを排出しないけれど、走行中に炭酸ガスを排出しても人体その他のに影響を与えるわけではないので、利点にはならない。
- (25) 炭酸ガスは直接排出しても間接的に排出しても温暖化効果は同じである。
- (26) 水素ガスの圧縮に多くのエネルギーを消費してしまう。
- (27) 温暖化抑制効果は電気自動車の方が大幅に優れている。
- (28) 「エネファーム」は経済性の面では独り立ちできていない。
- (29) 燃料電池は構成材料の触媒や電解質などが高価である。
- (30) 水を電気分解するための設備はかなり高価である(少し専門的)。
- (31) 化石燃料と水蒸気を高温で「水蒸気改質反応」させたら水素を製造することができるが、高級すぎて高コストすぎる(少し専門的)。
- (32) 国内には水素充填所が整備されていない。
- (33) 水素は貯蔵や輸送に多大なコストがかかる。
- (34) 太陽光発電も風力発電も発電量が変動しやすい。太陽光発電の電力で水を電気分解したら水素のコストは跳ね上がる(少し専門的)。
- (35) 燃料電池車には「快適さ」と「温暖化抑制効果」のどちらを優先するのかという基本的な矛盾が存在する。
- (36) 燃料電池よりも蓄電池の方が技術的に進歩の余地が大きそうだ。
- (37) 燃料電池車の炭酸ガス排出量抑制効果はハイブリッド車を大幅に超えることもないので、大きな期待はできないはずだ。

水素社会は魅力的だ

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。

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、深く考える必要があります。

【提案者の思考内容の推測】

- (01) 地球温暖化の主原因は空気中の炭酸ガスらしい。
- (02) 化石燃料を燃料に使用したら炭酸ガスの空気中への排出は避けられない。
- (03) 世界的に空気中への炭酸ガスの排出を減らそうという機運が高まってきた。
- (04) 化石燃料の使用量を削減するためには他のエネルギー源を確保する必要がある。
- (05) 化石燃料を利用するのであれば水素に変換しておけば炭酸ガスを回収しやすい。
- (06) 化石燃料と水蒸気を高温で反応させたら水素を製造することができる。
- (07) 再エネか原子力以外には大規模なエネルギー源は存在しない。
- (08) 再エネの主力の太陽光発電も風力発電も発電量が変動しやすい。
- (09) 水素ガスは燃焼するので燃料として利用することが出来る。
- (10) 水素ガスを燃焼させても炭酸ガスを排出しない。
- (11) 水を電気分解したら水素ガスと酸素ガスに分解することができる。
- (12) 再エネを利用して発電した電力を水素に変換・貯蔵しておけば変動がなくなる。
- (13) 水素ガスは爆発限界が広いので注意が必要だが、過剰に恐れる必要はない。

【提案者に不足している思考内容】

- (14) 水素は再生可能エネルギーのようなエネルギー源ではない。エネルギーの輸送・貯蔵に利用できる物質である。
- (15) エネルギーにはいろいろな種類があるが相互に変換することが可能である。
- (16) エネルギーの中でも電力は最も使い勝手がよく、確保が絶対的に必要である。
- (17) わが国では国内の隅々まで電力が送り届けられている。
- (18) 太陽光発電や風力発電で得られた電力の大半は電力系統(送電線網)に繋がれている。
- (19) わが国でも過去には水素ガスは石炭から製造されていたが高コストなので衰退した。
- (20) 化石燃料と水蒸気の反応で水素を製造する方法は安価ではない。
- (21) 化石燃料を原料にして水素ガスを製造しても炭酸ガスの処分が必要になる。
- (22) 水を電気分解するための設備はかなり高価である(少し専門的)。
- (23) 燃料電池の発電効率は50%以下なので水素の持つエネルギーの半分以上が即無駄になる。
- (24) 水素ガスを液化したら貯蔵しやすくはなるがLNGよりも難しい。
- (25) 水素ガスを液化して貯蔵するためには多くのエネルギーを消費する。
- (26) 再エネを利用して水素を製造する際には電力(電気エネルギー)を経由する。
- (27) 再エネから電力を経由せずに直接水素ガスを大量に製造する技術は無い。
- (28) 水素ガスの配管網を整備するのは経済的にも高コストだ。
- (29) 水素を燃料にして発電すると水素の持っている化学エネルギーの半分が無駄になる。
- (30) 蓄電池を利用したら電力を貯蔵することが出来る。
- (31) 水素にして電力を貯蔵したら再エネで発電した電力の3分の2がロスになる。
- (32) 水素でなくてはならない用途は多くない。
- (33) 水素ガスを輸送するよりも電力を輸送の方が輸送しやすい。
- (34) 太陽光発電や風力発電の電力で水を電気分解したら設備の利用率が低すぎることから水素ガスのコストは跳ね上がる(少し専門的)。
- (35) 炭酸ガスを地中に貯留する方法は見通しが立っていない。

炭酸ガスを原料にしてメタノールを製造

炭酸ガスが邪魔ものだったら有効利用しようという発想をされる人も少なくないようです。炭酸ガスを水素などで還元したら簡単に一酸化炭素に変換できます。

水素と一酸化炭素があればいろいろな物質を合成することができることは遠い昔からよく知られています。しかし、よく考えてみると、温暖化抑制の面では逆効果になります。

【提案者の思考内容の推測】

- (01) 現状では天然ガスなどの化石燃料を水蒸気と反応させて、得られた一酸化炭素と水素の混合ガスからメタノールを合成している。
- (02) 触媒の存在下で一酸化炭素と水素を反応させるとメタノールを得ることができる。
- (03) 炭酸ガスと水素があれば、ごく簡単に一酸化炭素を製造することができる。
- (04) 炭酸化ガスと水素があればメタノールを合成することは可能である。
- (05) 炭酸ガスは地球温暖化の原因物質であり、空気中に排出せずに有効利用したい。
- (06) 水素は水を電気分解したら製造できる。
- (07) 再生可能エネルギーを利用して発電したら炭酸ガスフリーな電力が得られる。

【提案者に不足している思考内容】

- (08) 炭酸ガスを利用するためには燃焼ガスなどから炭酸ガスを濃縮・精製する必要がある。そのためには、化学設備も追加エネルギーも必要になる。
- (09) 炭酸ガスと水は空気中の酸素とは反応せず安定な化合物であり、地球上の普通の環境下では化学エネルギーを持っていない。
- (10) 化学エネルギーを持っていない炭酸ガスと水から化学エネルギーを持っているメタノールを得るのだから多くのエネルギーを使う必要がある。
- (11) 炭酸ガスと水素をスタートとしたメタノールの合成はメタノールの燃焼反応の逆反応になる。
- (12) 炭酸ガスと水素をスタートとしたメタノールの合成に必要なエネルギーはエネルギー保存の法則から理想的な場合でもメタノールの燃焼熱と同量になるはずだ。
- (13) 炭酸ガスを原料に使用してメタノールを製造するためには、高価な化学設備やこの設備を動かすための追加的なエネルギーも必要になる。
- (14) 炭酸ガスを原料にして燃料用のメタノールを製造すると原料として消費した炭酸ガス以上の炭酸ガスを排出することになる。
- (15) 総合的にみたら、炭酸ガスと水を原料に使用するので、多くのエネルギーを投入する必要があるが、そのエネルギーに高級なエネルギーである電力を利用せざるを得ないことが逆効果になる原因の一つである。
- (16) 電気エネルギーを利用すること、炭酸ガスの回収が必要なこと、装置の運転などでロスが発生すること、などでエネルギー面で不利な方法にならざるを得ない。
- (17) 電気化学では電極の表面で反応を行う必要があり、電極表面の面積を大きくせざるを得ない。
- (18) 水の電気分解などの電気化学設備は設備の規模が電極面積に比例するために、規模の効果が得にくいために設備費が高価である