

## 工業化社会システムの脱炭素化は不可能

～再生可能エネルギー発電、電気分解水素、メタネーション～

「環境問題を考える」管理者 近藤邦明

はじめに

現在、「人為的 CO<sub>2</sub> 地球温暖化の脅威」が実在することを前提として、人間社会からの CO<sub>2</sub> 放出量を削減する技術開発が進められようとしています。日本政府・菅政権は、2050 年に実質的に CO<sub>2</sub> 放出量をゼロにするという「画期的」というよりは、自然科学的な裏付けのない無謀な政策を打ち出しました。これを受けて、このところ企業の「CO<sub>2</sub> 削減技術開発」の発表が目白押しです。しかし、その全てが錬金術ないし永久機関の実現と同義の近代自然科学を否定するような愚かなものであることに慄然とします。自然科学の暗黒時代の到来です。

現在の工業生産に支えられた人間社会を根底で成立させている技術は、人工的なエネルギー供給技術です。具体的には化石燃料と呼ばれる天然資源である石炭、石油、天然ガスなどを燃料とするエネルギー供給システムです。化石燃料を使用する限り CO<sub>2</sub> 放出量をゼロにすることは不可能です。裏返せば、CO<sub>2</sub> 放出量をゼロにできるかどうかは、工業生産システムを駆動するエネルギー源を化石燃料以外で供給できるか否かという単純な問題に集約されます。

しかし、現在進められている CO<sub>2</sub> 放出量を削減する技術開発では、この最も本質的な問題を検討することを敢えて避け、非化石燃料によるエネルギー供給が可能であるという妄想を前提として、個別分野に矮小化された偏狭な技術開発に埋没しています。

本稿は、非化石燃料による基本的なエネルギー供給システムとしての再生可能エネルギー発電、そして派生的なエネルギー供給技術としての電気分解水素製造、メタネーションについて検討することにします。

### 1. 工業生産を支えるエネルギー供給システムの要件

工業生産を支える本質的な技術はエネルギー供給技術です。エネルギー供給システムも工業生産、したがってエネルギー供給技術に支えられています。工業生産を支え得るエネルギー供給技術の最低必要条件は以下の通りです。

$$\frac{\text{産出エネルギー量}}{\text{投入エネルギー量}} = \text{エネルギー産出比} > 1.0$$

つまり、エネルギー供給システムの出力として供給される工業的なエネルギーの量である「産出エネルギー量」を、これを得るためにエネルギー供給システムに投入する工業的なエネルギー量である「投入エネルギー量」で除した値が 1.0 よりも大きいこと、つまりエネルギーの拡大再生産が可能であることが必要です。

ここで注意が必要なのは、「投入エネルギー量」には、産出エネルギーの直接的な原料と

なる燃料だけではなく、エネルギー供給システムを製造し、運用・維持・更新するために投入する工業的エネルギーも含まれます。逆に、産出エネルギーの原料であっても、工業製品ではない自由財である自然エネルギーは除きます。

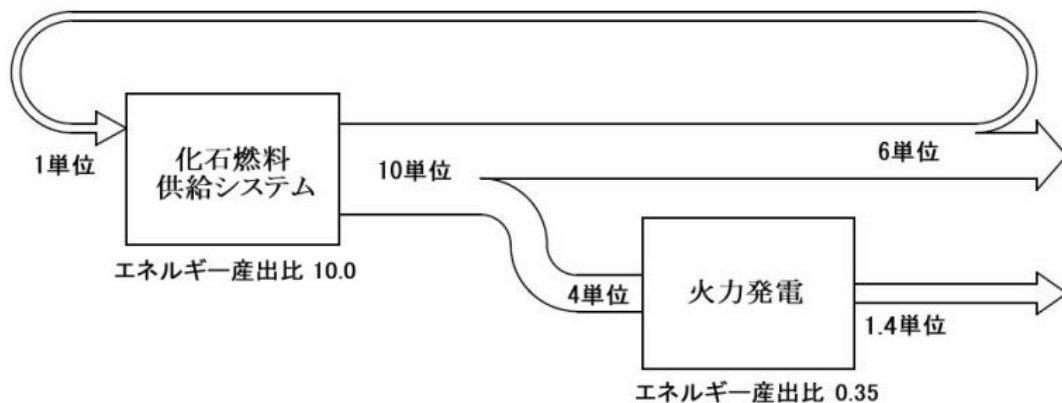
エネルギー産出比が 1.0 未満ではエネルギー供給システムを維持・更新することすらできないことを意味し、当然、エネルギー供給システム以外の工業生産システムに対してエネルギーを供給することはできません。

## 2. 優れた化石燃料によるエネルギー供給システム

現在の化石燃料によるエネルギー供給システムのエネルギー産出比は、地域によって差はありますが、10 程度あるいはそれ以上でしょう。これは、製品としての化石燃料 1 単位を化石燃料の採掘、精製、輸送などの生産プロセスに投入することで、製品としての化石燃料 10 単位以上が供給できることを意味します。以下の検討では、エネルギー産出比を 10.0 として話を進めます。

一方、火力発電の単独のエネルギー産出比は 0.35 程度です。これは、熱量換算で投入した化石燃料の燃焼エネルギーの 35% だけが電気エネルギーとして利用できることを示しています。

熱エネルギーは燃焼温度に応じた有限のエントロピーを持ちますが、電気エネルギーはエントロピーを持ちません。化石燃料は高いエネルギー産出比をもつ優れたエネルギー資源です。そこで、利用できるエネルギー量が減少することを承知で、敢えて化石燃料の一部を火力発電に投入することで電気というエントロピーを持たない利用価値の高いエネルギーに転換しているのです。



日本の電力化率は 40% 程度であり、化石燃料による供給エネルギー 10 単位の内、4 単位が電力生産に投入されます。電力供給を含む化石燃料によるエネルギー供給システムのエネルギー産出比は次の通りです。

$$10 \times 60\% + (10 \times 40\% \times 0.35) = 7.4 > 1.0$$

したがって、火力発電を含む化石燃料エネルギー供給システムは工業化社会を支えることができます。

### 3. 再生可能エネルギー発電は工業生産を支えられない

現在提案されている CO<sub>2</sub> 削減技術の最も本質的な誤りは、再生可能エネルギー発電によって化石燃料の消費なしに無尽蔵の電力供給が可能だという妄想がすべての技術開発の根底にあることです。

主要な再生可能エネルギー発電のエネルギー源は、太陽光や風力などの自然エネルギーです。自然エネルギーの一般的な特性は、エネルギー密度が小さく、予測不能な様々な時間スケールで不規則変動することです。これは工業的エネルギー供給、特に需要に対する即応性、安定性が求められる電力供給には全く適していません。

このような再生可能エネルギーを電力供給システムとして敢えて利用するには、平均的な単位発電電力量当たりの発電施設規模が極めて大きくなります。

更に、予測不能な出力変動を緩和するために様々な付帯設備が必要です。電力需要と変動の激しい不安定な発電量とのギャップを緩和するためにバックアップ用の発電設備や大規模な蓄電システムが必要です。気象条件によって変動する地域発電量格差を緩和するためには国土を覆いつくす高規格の送電線網が必要です。

再生可能エネルギー発電促進賦課金の徴収実績から、再生可能エネルギー発電電力の平均的な発電原価は、少なくとも 40 円/kWh 程度だと推測されます<sup>註1)</sup>。

註 1) 例えば、2019 年度の再生可能エネルギー発電促進賦課金は 2.95 円/kWh、年間 3 兆円程度が徴収されました。総発電量は、 $1,020 \times 10^9 \text{kWh}$  程度です。その内、再生可能エネルギー発電によって供給される電力量は 8%、 $1,020 \times 10^9 \text{kWh} \times 8\% = 8.16 \times 10^{10} \text{kWh}$  程度です。したがって、再生可能エネルギー発電電力量 1kWh 当たりの賦課金額は、 $3 \times 10^{12} \text{円} \div 8.16 \times 10^{10} \text{kWh} = 36.8 \text{円/kWh}$  になります。

通常の電力原価では賄えないコストを再生可能エネルギー発電促進賦課金で補填するので、通常の電力原価 10 円/kWh 程度に、さらに賦課金額 36.8 円/kWh を加え合わせた 46.8 円/kWh 程度が再生可能エネルギー発電電力の平均的な電力会社による購入価格ということになります。

工業製品の原価に占めるエネルギー費用 $\div$ 化石燃料消費量の対価は 10%~20%程度です。最先端技術を投入している巨大な再生可能エネルギー発電装置による電力製造のエネルギー費用は 20%あるいはそれ以上かもしれません。ここでは 20%と仮定しておきます。再生可能エネルギー発電による供給電力 1kWh 当たり  $40 \text{円} \times 20\% = 8 \text{円}$  以上の化石燃料が消費されています。

一方、火力発電の発電原価は 10 円/kWh 程度です。火力発電電力では、燃料費を含むエネルギー費用は発電原価の 70%程度です。化石燃料消費は供給電力 1kWh 当たり  $10 \text{円} \times 70\% = 7 \text{円}$  程度になります。

このように、電力の原料として化石燃料を消費しない再生可能エネルギー発電の方が火力発電よりも化石燃料消費量が多いのです。したがって、再生可能エネルギー発電のために投入された化石燃料に対する発電電力のエネルギー産出比は 0.35 未満です。

更に、予測不能な出力変動が発生する再生可能エネルギー発電電力を大規模に導入した電力供給システムを実際に運用するためには、前述の通り大規模な付帯設備が必要であり、その建設・運転・維持・管理にも大量の工業的エネルギーの投入が必要になります。した

がって、付帯設備を含めた再生可能エネルギー発電システムに投入された化石燃料に対する発電電力のエネルギー産出比は 0.35 を大きく下回ることになります。

再生可能エネルギー発電に支えられた工業化社会が成立するためには、再生可能エネルギー発電で供給される電力だけを使って再生可能エネルギー発電システムを拡大再生産することが必要です。電力はエントロピーを持たない質の高いエネルギーなので、化石燃料を用いるよりも再生可能エネルギー発電システムのエネルギー産出比が多少高くなる可能性はありますが、1.0 を超えることはありません<sup>註2)</sup>。再生可能エネルギー発電システムによって工業化社会を支えることは不可能です。

再生可能エネルギー発電は、自然エネルギーという希薄で不規則変動する工業的に見れば低品質のエネルギーを、高度に制御された無尽蔵の電力供給システムにすることが可能だという、自然科学を無視した言わば錬金術なのです。

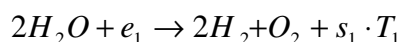
註2) 例えば、化石燃料 1 単位の半分を熱源、半分を動力機関で使用するとします。熱源としての効率を 90%、動力機関の効率を 40% とすると有効に利用できるのは 0.5 単位×90%+0.5 単位×40%=0.65 単位。電力では熱源としての効率を 90%、動力機関の効率を 80% とすると、有効に利用できるのは 0.5 単位×90%+0.5 単位×80%=0.85 単位。この場合、電力は化石燃料に対して 0.85 単位÷0.65 単位=1.3 倍の効果をj得ることがjできます。この倍率はエネルギーの用途によって変化しますが、最大でも 2.0 を超えることはないでしょう。再生可能エネルギー発電の化石燃料に対するエネルギー産出比を 0.35 とすると、電力に対するエネルギー産出比は 0.35×(1.3~2.0)=0.455~0.70<1.0 です。付帯設備を含めた再生可能エネルギー発電システムのエネルギー産出比はこれよりも低くなります。

#### 4. 電気分解水素製造

次に目立っているのが再生可能エネルギー発電電力を用いた水の電気分解による水素 H<sub>2</sub> 製造です。マスコミは、自然科学的な検討を行わないまま、再生可能エネルギー発電～水素製造システムによる「水素社会」によって工業化社会の永続というバラ色の未来像を描いて見せます。原子力神話に代わって水素神話が登場したようです。

H<sub>2</sub> は最小の二原子気体であり、体積当たりの保有エネルギー量が小さい物質です。これをエネルギー源として運用するためには、超高压で圧縮して体積を小さくする必要があります。H<sub>2</sub> を圧縮するためには多くのエネルギーが消費されるため、それだけ有効に使えるエネルギーが目減りします。しかし本質的な問題はそれではありません。

水の電気分解は次のように表すことができます。



$e_1$ : 電気分解に必要な電力,  $s_1 > 0$ : 発生エントロピー,  $T_1$ : 反応系の絶対温度

燃料電池の反応は水の電気分解の逆反応であり次のように表すことができます。



$e_2$ : 燃料電池による発電量,  $s_2 > 0$ : 発生エントロピー,  $T_2$ : 反応系の絶対温度

電気分解に投入するエネルギーと、燃料電池の発電エネルギーを比較すると、

$$e_1 = e_2 + s_1 \cdot T_1 + s_2 \cdot T_2 \quad \therefore e_1 > e_2 \quad \text{エネルギー産出比} = \frac{e_2}{e_1} < 1.0$$

したがって、水の電気分解、燃料電池の発電が 100%の効率で行われたとしても、全ての化学変化はエントロピーを増大させるため、燃料電池で発電される電気エネルギー $e_2$ は水の電気分解に投入する電気エネルギー $e_1$ よりも必ず小さくなります。現実にはすべてのプロセスの効率は 100%未満なので、利用可能なエネルギーは更に小さくなります。

実際の燃料電池車の運用のように  $H_2$  を超高压で圧縮するためには多くのエネルギーが消費されます。また、電気分解  $H_2$  製造プラントの製造、運転、維持、更新のためにも工業的エネルギーが消費されています。これらの消費エネルギーを含めると、エネルギー産出比はさらに大幅に低下します。

以上から、電力を消費して  $H_2$  を製造し、逆反応で電力(エネルギー)を得るという行為は、利用可能なエネルギーを減少させるだけであり無意味です。

これは、化学反応に対する一般的な知識を習得している高校生(中学生?)であれば理解できる事実です。こんなことを大の大人が、しかも技術者が大真面目で研究しているという現実に唖然とします。

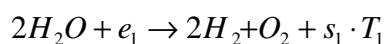
考えてもみてください、大気中に  $H_2$  があれば何らかのきっかけですぐに酸化されて水になってしまいます。その結果、大気中にはほとんど  $H_2$  が含まれていないのです。一方、水を環境中に放置しても自ら  $H_2$  と  $O_2$  に分解することはありません。それだけ水は地球環境の中で安定な物質であり、 $H_2$  と  $O_2$  に分解するためには多くの工業的エネルギーの投入が必要なことは、化学的な知識が無くても経験的、常識的にわかりそうなものですが・・・。

再生可能エネルギー発電電力の不規則変動という致命的な欠陥を克服するために、いわば  $H_2$  を一種の蓄電池として利用しようというのが燃料電池ですが、全く無意味です。燃料電池を利用するよりは通常の蓄電池を用いる方が有効です。

## 5. 二酸化炭素のメタネーション

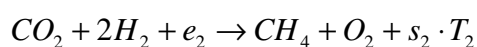
更に、最近よく報道されるのが、都市ガス業界の進める『メタネーション』技術です。大阪ガスのマスコミ発表では、風力発電などの再生可能エネルギー発電電力を使って  $H_2$  を製造し、これを用いて都市ガス(主成分はメタン  $CH_4$ )の燃焼の結果生じる二酸化炭素  $CO_2$  を還元して再び  $CH_4$  に戻すという「夢のような技術」です。メタネーションの具体的な反応を以下に示します。

第一段階：電気分解による  $H_2$  製造



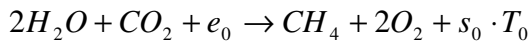
$e_1$ : 電気分解に必要なエネルギー,  $s_1 > 0$ : 発生エントロピー,  $T_1$ : 反応系の絶対温度

第二段階:  $CO_2$  の還元反応



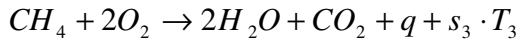
$e_2$ :  $CH_4$  製造に必要なエネルギー,  $s_2 > 0$ : 発生エントロピー,  $T_2$ : 反応系の絶対温度

二段階のメタネーションの反応をまとめると、次のように表現できます。



$$\text{ここに、 } e_0 = e_1 + e_2, \quad s_0 \cdot T_0 = s_1 \cdot T_1 + s_2 \cdot T_2$$

つまり、メタネーションとは  $CH_4$  の燃焼反応の逆反応なのです。 $CH_4$  の燃焼反応は以下の通りです。



$q$ :  $CH_4$  の燃焼エネルギー,  $s_3 > 0$ : 発生エントロピー,  $T_3$ : 反応系の絶対温度

メタネーションに必要なエネルギーと  $CH_4$  の燃焼エネルギーを比較すると、

$$e_0 = q + s_0 \cdot T_0 + s_3 \cdot T_3 \quad \therefore e_0 > q \quad \text{エネルギー産出比} = \frac{q}{e_0} < 1.0$$

したがって、メタネーションに投入するエネルギーよりも得られる燃焼エネルギーの方が小さくなるので、エネルギーを浪費しているだけです。

実際の運用では  $CH_4$  を液化するためにも多くのエネルギーが消費されます。また、 $CH_4$  製造プラントの製造、運転、維持、更新のためにも工業的エネルギーが消費されています。メタネーションは供給する単位エネルギー当たりの  $CO_2$  放出量を増加させるのです。

冷静に考えれば、メタネーションによって  $CH_4$  を製造するプロセスは電気分解によって  $H_2$  を製造するよりもさらに冗長な化学反応過程が必要になるため、それだけ効率が落ちるのは明らかです。実に愚かな技術開発としか言いようがありません。

## 結論

工業化社会とは、優れた天然資源である化石燃料によるエネルギー供給によって成立しています。工業化社会を成立させることのできるエネルギー資源の要件は、エネルギー供給システムを拡大再生産可能であること、扱いやすく豊富に存在することです。このような性質を持つ天然エネルギー資源は化石燃料以外にありません。化石燃料を消費しない工業化社会の実現は幻想です。

しかし、この優れた化石燃料は有限の地下資源です。それほど遠くない将来、化石燃料の枯渇によって、工業化社会はやがて終焉を迎えることとなります。SDGs の目指す持続可能な工業化社会の実現は、「非科学的な人類の見果てぬ夢」でしかありません。

産業革命以後、工業化社会の永続を夢見て人間は繰り返し無尽蔵のエネルギー供給システムを構想しましたがことごとく失敗しました。その成果は熱力学の第二法則である「エントロピー増大の法則」として定式化され、摩擦と熱の支配する現実世界では永久機関は実現不可能であることが確定しました。しかし人間の欲望は尽きることがなく、その後も繰り返し怪しげな無尽蔵のエネルギー供給システムと持続可能な工業化社会の実現が取りざたされています。

確かに、自然エネルギーは無尽蔵に存在する自由財です。しかし、エネルギー密度が希薄であるばかりでなく、予測不能の不規則変動する特性から、電力として工業的に利用するためには途方もなく大きな設備が必要です。その結果、有効なエネルギーを供給することはできません。私たちはこの現実を直視することが必要です。

派生的なエネルギー供給技術である電気分解による H<sub>2</sub> 製造やメタネーションは、自然科学として否定されている化学的永久機関の実現を目指す愚かな技術開発であり、利用可能なエネルギーを浪費するばかりで無意味です。

工業化社会を支える唯一無二の希少なエネルギー資源である化石燃料は、再生可能エネルギー発電・脱炭素技術などによる無意味な消費を抑制し、出来る限り効果的に使用することが重要です。それと並行して化石燃料の枯渇を見据えて、工業生産に過度に依存しない主に地球の生態系を含む表面環境の物質循環の中から得られる更新的な資源によって営まれる社会、本当の持続可能な社会を目指すことが必要です。

(2021.04.06)