

## 2050年カーボンニュートラル実現に向けてのバイオマス貢献

## Part I 日本のエネルギー消費を賄うのに必要な太陽電池設置面積

飯塚泰雄

## はじめに

2050年カーボンニュートラル実現に向け、再生可能エネルギーである太陽エネルギーを石油・石炭等の化石燃料に代替することを念頭に、太陽電池による発電、発電した電気の水素、更には $\text{NH}_3$ への変換、 $\text{NH}_3$ を燃料エネルギーとして活用する動きが始まっている。これらの動きは、地球規模で進む気候変動への対処を目的に、 $\text{CO}_2$ 排出の源となっている化石資源の使用を今から26年後には、ほぼゼロにするとのことを目的としている。しかし、「現代社会は化石エネルギー資源の消費、換言すれば電気やガソリンからのエネルギー大量使用を基礎に成り立っているのであり、その構造の土台部分を今から26年後までに代替となるエネルギー源を見出し、改変することは出来るであろうか?」とは、誰しも抱いている疑問であろう。その疑問はさておくとしても、化石エネルギー資源は43億年にわたる地球史の中でも高々この数億年の生命活動の遺産であり、大量消費を今のペースで続けて行けば、いずれは枯渇することは誰しも認めるところであろう。我々は今、人類史或いは地球史における『化石資源エネルギー

時代』に暮らしているが、この時代は遅かれ早かれ終焉を迎える。

植物は、光合成作用によって、太陽光を吸収しつつ空気中の $\text{CO}_2$ と $\text{H}_2\text{O}$ からブドウ糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ を合成、再生可能エネルギーとして蓄積するとともに、C-H及びC-O結合を含む有機物を合成することから、植物性バイオマス(=ファイトマス)を化石燃料に替わる新たなエネルギー源、化学工業原料として利活用する動きも始まっている。太陽電池にしろ、バイオマスにしろ、日本国土に注がれる太陽エネルギーが基になっている。最近筆者は、日本に降り注ぐ太陽エネルギーの総量、そのうち森林に吸収蓄積される量は数量的にはどれ位かといったことに、まず興味を持ち、それをきっかけに表題に関わる諸々の問題について調べはじめた。幸い筆者が調べ、考えているところを皆様にお伝えするのに触媒懇談会ニュースの場を提供して下さるとのことであるので、以後3回ほどこの場をお借りし、諸賢の方々の批判を仰ぎ、更なる御教えを賜りたいと願う次第である。

この号Part Iでは、日本国土に一年間に注がれる太陽エネルギー総量を概算、我が国における一年間のエネルギー総消費量と比

較、次いで太陽エネルギーを電気に変換する太陽電池を用いて日本の全エネルギー消費を賄う場合、必要となる設置面積を計算した結果等について紹介したい。Part II においては、日本国土に育つバイオマスに蓄積されるエネルギー量を概算した結果を紹介し、同じく日本の全エネルギー消費量と比較した結果について紹介する。しかし、山野に育つ草木のすべてをエネルギー源として活用できるわけではない。人の手が届き、活用出来るバイオマス量を賦存量と呼ぶ。賦存量としてのバイオマスを活用する動きも始まっているが、エネルギー源として活用はそれほど活発ではない。一方、ドイツにおいては、エネルギー作物を栽培し、メタン発酵を介してメタンガスに変換、それを電気と熱エネルギーに変換し、エネルギー的に自給自足を達成している、いわゆるバイオエネルギー村が誕生、その数が顕著に増加しているので、Part III においてその事例について紹介したい。

## 1. 日本国土に一年間に注がれる太陽エネルギー総量

### 1.1 太陽定数と一日に注がれる太陽エネルギー量

日本国土に注がれる太陽エネルギー量は太陽定数を用いて求めることが出来る。太陽定数とは、大気圏の最上部、即ち大気の影響がない領域で太陽光線に対して垂直な単位面積あたりに 1 秒間に供給されるエネルギー量として定義されており、その値は人工衛星による測定等から“ $1,365\text{W/m}^2 \cdot \text{sec}$ ”と報告されている[1,2]。

日本国土に一年間に注がれる太陽エネルギー総量を太陽定数から求めるために、まず

一日に日本に注がれる太陽エネルギー量を求めた。図 1 は地球が太陽の周りを一年間かけて回まる公転面に対して自転軸が  $23.4^\circ$  傾いていることを表している。

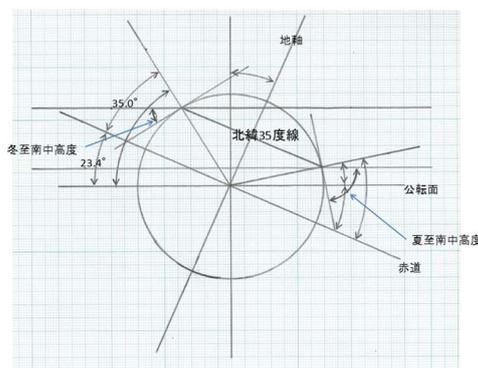


図 1 南中時太陽高度

冬至に至ると、太陽は図の真左側の位置に来る。日本は北緯  $35^\circ$  の位置にあることから、南中時の太陽高度は水平線から  $31.6^\circ = (90 - 35 - 23.4)^\circ$  の角度となり、斜め上方から光が当たる。地表面における太陽光放射強度は、太陽が水平面となす角度 (= 仰角) の正弦に比例することから、冬至南中時の太陽光の放射強度  $s$  は、太陽定数を  $S$  とすると、日本上空大気圏外で

$s = S \times \sin 31.6^\circ = 0.52S = 709.8 \text{ W/m}^2 \text{ 秒}$  となる[1]。図 2 は、冬至の一日における太陽光放射強度の日の出から日没までの変化を示している。日照時間は  $9.5\text{h}$  であり、太陽光放射強度は、南中時を頂点とする半波長のサインカーブを描いている。

冬至の一日に受取る太陽からのエネルギー量は、図 2 に示す横軸とサインカーブで囲まれた範囲の面積で与えられる[1]。日の出からの各時刻  $t$  における太陽光エネルギー強度  $I$  は、次式で表される。

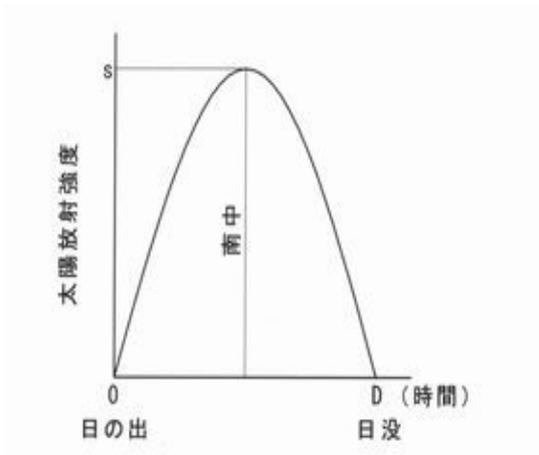


図2 日の出から日没までの太陽高度による放射強度変化[1]

$$I = 0.52S \sin \frac{t}{9.65} \pi \quad (1-1)$$

日の出から日没に至るまでに注がれる太陽エネルギーの総量は、太陽定数 S を kWh 単位、即ち 1.365 kWh/m<sup>2</sup> に置き換えて示すと、

$$\int_0^{9.65} 0.52S \sin \frac{t}{9.65} \pi dt$$

$$= 0.52S \left\{ -\frac{9.65}{\pi} \left[ \cos \frac{t}{9.65} \pi \right] \right\}$$

$$= 0.52S \times \frac{9.65}{\pi} \times 2 \quad (1-2)$$

となる。従って、冬至の一日に太陽から注がれるエネルギー量は単位面積あたり

$$0.52S \times 2 \times 9.65 \div \pi = 3.19S = 4.354 \text{ kWh/m}^2 \text{ 日}$$

と求められる [1]。(1-2)式は、冬至に限らず一年の各日に受取る太陽光からのエネルギー量は、南中時の太陽光放射強度と日照時間の積に比例することを示している。

### 1.2 一年間を通じての南中時の太陽光放射強度と日照時間の変化

図3は一年間を通じての南中時の太陽光放射強度の変化を示すが、正弦曲線を描いている [1]。

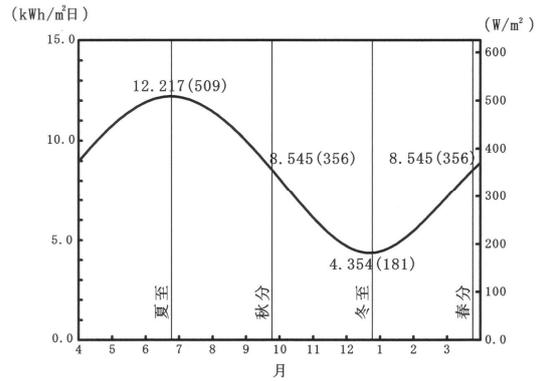


図3 南中時太陽放射強度の季節変化

太陽南中高度も、日の出から日没までの日照時間もともに図3に示す南中時の太陽光放射強度の季節変化と同様にサインカーブを描く [3]。春分、夏至、秋分、冬至の太陽南中高度は、それぞれ、55°、78.4°、55°、31.6°と測定されている所から [4]、冬至～春分～夏至～秋分～春分までの各季節の間にそれぞれ 90 日 (91 日) あり、日々の南中高度は正弦カーブに沿って変化するとして、各季節間の日々の南中高度を次式に従って求めた。

$$\text{冬至} \sim \text{春分} \quad 31.6 + 23.4 \times \sin \left( \frac{\text{冬至からの経過日数} \times \pi}{183} \right) \quad (1-3)$$

$$\text{春分} \sim \text{夏至} \quad 55 + 23.4 \times \sin \left( \frac{\text{春分からの経過日数} \times \pi}{181} \right) \quad (1-4)$$

$$\text{夏至} \sim \text{秋分} \quad 78.4 - 23.4 \times \sin \left( \frac{\text{夏至からの経過日数} \times \pi}{181} \right) \quad (1-5)$$

$$\text{秋分} \sim \text{冬至} \quad 55 - 23.4 \times \sin \left( \frac{\text{秋分からの経過日数} \times \pi}{181} \right) \quad (1-6)$$

一方、日照時間は、北緯 35 度においては、

春分、秋分：真東(6時)から日が昇り、真西(18時)に落ち、日照時間は12時間。

冬至：春分、秋分に比べ日の出が1時間15分遅れ、日の入りが1時間15分早まり、日照時間は9時間30分と2時間30分短くなる。

夏至：春分、秋分に比べ日の出が1時間15分早まり、日の入りが1時間15分遅くなり、日照時間は14時間30分と2時間30分長くなるとし[5]、更に。

冬至～春分～夏至～秋分～冬至までの各季節にはそれぞれ90日(91日)あり、日々の日照時間は正弦カーブに沿って変化するとし、各季節間の日々の日照時間を次式に従って求めた。

冬至～春分

$$9.5 + 2.5 \times \sin\left(\frac{\text{冬至からの経過日数} \times \pi}{183}\right) \quad (1-7)$$

春分～夏至

$$12 + 2.5 \times \sin\left(\frac{\text{春分からの経過日数} \times \pi}{181}\right) \quad (1-8)$$

夏至～秋分

$$14.5 - 2.5 \times \sin\left(\frac{\text{夏至からの経過日数} \times \pi}{181}\right) \quad (1-9)$$

秋分～冬至

$$12 - 2.5 \times \sin\left(\frac{\text{秋分からの経過日数} \times \pi}{181}\right) \quad (1-10)$$

### 1.3 一年間の太陽光受光エネルギー量

以上の(1-3)～(1-10)式を用いて、冬至、春分、夏至、秋分を含む一年365日の各日につき、太陽南中高度、及び日照時間を求めた。次いで、(1-2)式を用いて太陽から単位面積あたりに各日に注がれるエネルギー量を表計算で求めた。更に各日のエネルギー量を365日積算することにより、一年間に

太陽の光照射により注がれるエネルギー値を求め、次の値を得た。

年間受光エネルギー量  $3,090 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{年}$   
 付録の Table 1 に上記の表計算の経過及び結果を示す。

このようにして求めた太陽エネルギーは、大気圏の上端に注がれるそれである。その約30%は地表面による反射や大気中での散乱、雲による反射により宇宙空間に戻り、残りの約70%が地表に達する太陽エネルギーとなる[2]。従って、日本全国土の地表に一年間に注がれる太陽エネルギーの総量は、上述の  $3,090 \text{ kWh/m}^2 \text{年}$  の70%の値に国土総面積  $37 \text{ 万平方 km}^2$  を掛けることによって求められる。その値を、 $1 \text{ kWh} = 10^3 \times 60 \times 60 \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$  を用いて、J単位で表すと、

$$\text{年間受光太陽エネルギー総量} = 3,090 \times 3.6 \times 10^6 \times 0.7 \text{ J/m}^2 \times 3.7 \times 10^5 \times 10^6 \text{ m}^2 = 2.88 \times 10^{21} \text{ J/年}$$

と得られる。なお、大気圏上端に注がれる太陽エネルギーの中、地表に達するのは、その約50%と記す文献[1]もある。

## 2. 日本における一年間の最終エネルギー消費量と太陽エネルギー

日本原子力文化財団が公表している原子力・エネルギー図面集によれば、2020年度の日本の最終エネルギー消費量として、 $12,082 \text{ PJ}$  という値が報告されている[6,7]。この値を上記の年間受光太陽エネルギー総量の値と比較すると

$$\frac{\text{最終エネルギー消費量}}{\text{年間太陽エネルギー総量}} = \frac{1.2082 \times 10^{19} \text{ J}}{2.88 \times 10^{21} \text{ J}} \times 100 = 0.42\%$$

(2-1)

の値が得られる。即ち、太陽からは、日本の全エネルギー消費量の約 250 倍のエネルギーが注がれていることが分かる。

現在、日本のエネルギー消費の大部分は化石燃料の燃焼によって賄っており、これに相当する量の CO<sub>2</sub> を排出している。日本は、2050 年カーボンニュートラル、即ち、エネルギー消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を極力抑え、2050 年時点でどうしても排出せざるを得ない CO<sub>2</sub> 量を日本国土の森林による CO<sub>2</sub> 吸収量とバランスさせることにより、以降は大気中の CO<sub>2</sub> 濃度を 2050 年時点でのそれに保つとの目標を世界に公表している。この目標達成のためには、太陽から日本国土に注がれているエネルギーの 0.4% 程度を我々の日常生活、産業活動に活用できる形に変換するという基礎エネルギー源の大改革を、この四半世紀の内に成し遂げる必要がある。

### 3. 太陽エネルギー変換手段としての太陽電池

#### 3.1 太陽光パネル設置必要面積

太陽エネルギーを電気に変える手段として、太陽電池の普及が進んでいる。日本の最終エネルギー消費量値、12,082 PJ を全て太陽電池で賄うとした場合、どれほどの面積の太陽電池パネルを設置する必要があるのかの計算を行った。以下にその計算条件と過程を示す[1]。

計算条件 (1) 太陽光発電効率 15%、(2) 年間日照率 43%[8]、(3) 曇天下での太陽光発電効率は日照条件下でのその 2 割に低下、(4) 太陽光パネルは南中方向に直角に配置  
計算

年間単位表面積当たり太陽光エネルギー照射量：3090×0.7 kWh/m<sup>2</sup>・年

年間単位表面積当たりの太陽光パネルの発電量

$$3090 \times 0.7 \times (0.43 \times 0.15 + 0.57 \times 0.15 \times 0.2) = 177 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{年}}$$

(3-1)

必要太陽光パネル面積

$$\frac{1.208 \times 10^{15} \times 10^4 \text{ J}}{177 \times 3.6 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}} = 1.90 \times 10^{10} \text{ m}^2$$

(3-2)

得られた面積(19011km<sup>2</sup>)は、日本の国土面積 37 万 km<sup>2</sup> の 5.1%、四国 4 県を合わせた面積よりもやや大きい。日本の全エネルギー消費を全て太陽光発電に依存するには、四国 4 県に当たる面積を太陽電池パネルでカバーする必要があるとの結果は、明らかにこの計画が非現実的であることを示している。

5.1%という数値は、(2-1)式で示した 2020 年度における日本のエネルギー消費量が国土に照射する太陽エネルギーの 0.42%に相当すると示した数値を太陽電池の変換効率、晴天率で除することによっても導ける。

$$5.1 = \frac{0.42}{0.15(0.43 + 0.57 \times 0.15 \times 0.2)}$$

(3-3)

つまり、太陽光発電の効率が 100%、晴天率 100%であれば、必要面積は国土の 0.42%、佐渡島と奄美大島を足し合わせた程の面積になることを意味する。必要面積を小さくするためには、太陽電池の発電効率を上げる技術開発をまつか、あるいは太陽南中高度が高く、晴天率の高い低緯度にある土地

を選んで太陽電池パネルを設置すればよいことになる。

後者を選べば、化石燃料の大部分を海外からの輸入に依存する現在と同じ状況になる。最近、将来 NH<sub>3</sub> を燃料として発電に利用するとの報道をよく耳にするのは、その方向の計画が進行していることの現れであろう。砂漠地域は北緯 23.4° の太陽北回帰線上、北アフリカ、中東地域に広がっている。サウジアラビアのリヤドは北回帰線上に位置することから、リヤド付近で太陽電池パネルを敷き詰めると仮定した場合、必要面積はどれくらいになるかを試算した。

(1-2)式に示されるように一日に受取る太陽光からのエネルギー量は、南中時の太陽放射強度と日照時間の積を用いて求められる。北回帰線上の砂漠地域の冬至、春分、秋分、及び夏至における南中時の太陽光の放射強度”s”は、太陽定数を”S”とすると、冬至、春分、秋分、及び夏至、の太陽南中高度がそれぞれ 43.2°、66.6°、90.0°と与えられる所から、以下のように求められる(図 1 参照)。

$$\text{冬至 } s = S \times \sin 43.2^\circ = 0.68S = 928 \text{ W/m}^2$$

$$\text{春分・秋分 } s = S \times \sin 66.6^\circ = 0.91S = 1242 \text{ W/m}^2$$

$$\text{夏至 } s = S \times \sin 90.0^\circ = 1.00S = 1365 \text{ W/m}^2$$

北回帰線上における日の出から日没までの日照時間も季節に応じて変化し、日照時間は、冬至、春秋分、夏至でそれぞれ 10.35 時間、12 時間、13.65 時間と測定されている[9]。これらの数値を用い、(1-3)～(1-10)式を用いてリヤドにおける一年 365 日の各日に注がれる太陽光エネルギーの値を表計算で求め、次いで積算することにより一年間にリヤドに注がれる太陽光エネルギー量を求めた。付録の Table 2 に計算結果を示す。

### 3.2 太陽光パネル設置必要面積—サウジアラビア リヤド付近に設置する場合

リヤド周辺の砂漠に一年間に注がれる太陽エネルギー照射量の値は、3,457 kWh/m<sup>2</sup>・年と計算された。北緯 35° の日本での値、3,090 kWh/m<sup>2</sup>・年に較べて約 10% 大きいだけで、劇的に増加するわけではない。

サハラ砂漠やネフド砂漠等大砂漠が地図上で、北回帰線付近で広がっているのは、赤道付近で熱せられた空気が上昇し、上空で南北に移動、冷やされ、緯度 30 度付近で下降気流に転じ、高気圧が発生するため、北回帰線付近は常に晴天が続くと説明されている。太陽電池の発電効率は日照時間に依存することから、Table 1 に北緯 35 度の東京都[8]と北緯 23.4 度のリヤド[10]における年間日照時間を比較した結果を示す。リヤドでの年間日照時間 3,225 時間は、東京の 1,877 時間に較べて、75%弱長く、晴天率は 0.74 となる。従って、リヤドでの太陽光パネルの年間単位表面積当たりの発電量は

$$\begin{aligned} & 3,457 \times 0.7 \times (0.74 \times 0.15 \\ & \quad + 0.26 \times 0.15 \times 0.2) \\ & = 287 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{年}} \quad (3-4) \end{aligned}$$

と(3-1)式に示される所よりも約 62%大きくなり、2020 年度日本での総エネルギー消費量を賄うのに必要な太陽光パネル面積は、

$$\frac{1.208 \times 10^{15} \times 10^4 \text{ J}}{287 \times 3.6 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}} = 1.17 \times 10^{10} \text{ m}^2 \quad (3-5)$$

と計算される。必要面積(11,692km<sup>2</sup>)は、日本の国土面積 37 万 km<sup>2</sup> の 3.2%、秋田県よりやや広い面積となり、北回帰線上に豊富

Table 1 北緯 35 度の東京都と北緯 23.4 度のリヤドとの年間日照時間比較

	東京		リヤド	
	雨の日	日照時間/月	雨の日	日照時間/月
1 月	5	184.5	6	212.4
2 月	6	165.8	4	226.6
3 月	11	163.1	9	219.8
4 月	11	176.9	11	242.3
5 月	11	167.8	3	287.7
6 月	13	125.4	0	328.2
7 月	12	146.4	0	332.1
8 月	9	169	0	309.2
9 月	12	120.9	0	271.6
10 月	11	131	1	311.4
11 月	8	147.9	3	269.2
12 月	5	178	6	214.3
	計	1,876.7		3,224.8
	全昼間時間	4331		4381
	晴天率	0.433		0.736

とされる再生可能エネルギーを求めたとしても劇的に太陽光パネルの必要設置面積が減少するわけではない。更にこの場合、発電した電気を  $H_2$ 、更には  $NH_3$  に変え、日本に運ぶ必要性が生じる。

#### 4. 電気エネルギー輸送物質としての $NH_3$

電気エネルギー輸送物質として、 $NH_3$  が選ばれた理由は、(1)  $NH_3$  は容易に液化し、その水素密度が大きい、(2)  $NH_3$  の製造、大量輸送、貯蔵インフラや技術が既に存在している、(3)  $NH_3$  は水素に戻すことなく、そのまま直接、あるいは石炭等に混ぜて燃焼、熱エネルギー源として利用できる、(4)  $CO_2$  フリー  $NH_3$  のコストは 2050 年における水素導入目標コスト (20 円/ $Nm^3H_2$ ) を現

時点ですでにほぼクリアできる水準にあること等であろう[11]。

しかしながら現在、 $NH_3$  製造の水素源として使用されているのは  $CH_4$  (天然ガス) であり、太陽光発電の電気を利用した水の電気分解で製造した水素を  $NH_3$  製造の原料として使うには、新たな技術開発が必要である。また、その場合でも、 $NH_3$  の製造に現行の二重促進鉄触媒を使う限り、 $400^\circ C$ 、 $150\sim 300$  気圧の条件が必要であり、多量のエネルギー消費を必要とし、更に北回帰線周辺から日本までの輸送にもエネルギーが必要である。北回帰線上に豊富とされる再生可能エネルギー→電気→ $H_2$ → $NH_3$  の流れで進む現在の計画において、日本に到着するまでに要する  $NH_3$  1 トン当たりには要する総エネルギー量と  $NH_3$  1 トン当たりの燃焼

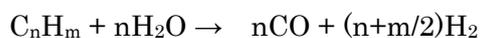
エネルギーとの比がどれくらいの値になるのか知りたいところである[11]。

筆者は、日本のエネルギー消費を全て太陽光発電に依存することは非現実的であると考えている。一方、日本の全エネルギー消費のうち、約 **16%** は家庭で消費される電気及びガスによるものである[6]。各家屋、各事業所の建物の屋上に太陽光パネルを設置し、大容量の蓄電池設備と組み合わせることは、電力生産と消費の場が一致するオンサイト発電であり、高額な設備設置費用を除外すれば、有意義な選択であろう。さらに、一般家庭でのエネルギー使用割合は給湯が3割を占めているとの経済産業省の調査がある[12]。給湯システムとして、既に太陽熱温水器が開発使用され、そのエネルギー変換効率は **40~60%** とされている[12]。この効率は、太陽電池による発電システムの変換効率の **10~20%** に較べて遥かに高いことに刮目すべきであろう。太陽光発電、蓄電器に太陽熱温水器を組み合わせれば、各家庭でのエネルギーの自給自足の道も見えてくるのではなかろうか。

## 5. 「水素製造→水素社会」

2050年カーボンニュートラル達成という目標も大切であるが、それ以上のこととして、現代社会で大量に消費されているエネルギーの大部分は古代の植物の光合成作用の作り出した化石資源に由来しており、いずれは枯渇する。化石資源に代わり、水素をエネルギー源に使うとの社会動向があるが、自然界にない水素をどのように作り出していくかが問題である。

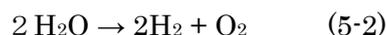
H<sub>2</sub>製造に、現在使われている



(5-1)

と表される炭化水素の水蒸気改質反応がその主反応であり続けるのであれば、化石資源脱却の問題解決にはつながらず、この場合副生CO<sub>2</sub>処理の問題を抱える。

太陽光を利用し、TiO<sub>2</sub>等の光触媒を用いて、水を分解する反応



の研究が進められているが、太陽光の利用効率をどれくらいまで高められるかがポイントである。太陽光利用効率 **15%** の太陽光発電の場合、日本の全エネルギー需要を賄うには四国4県くらいの面積が必要であることを示した。H<sub>2</sub>製造に(5-2)式を促進する触媒を利用する場合、太陽光利用効率が **1%** では光を当てる必要面積は計算上、四国の面積の **15** 倍となり、明らかに非現実的である。

結局、将来的には、人類はエネルギー源として太陽光エネルギーの変換効率は **1%** よりも相当に低いけれども、地上に自生し、且つ自己増殖作用を持つ植物に頼らざるを得ないのではなかろうか？日本国土はそのほとんどが植物で覆われている。これは、地球上での日本の位置がもたらす降雨と温暖な気候のなすところであり、我々日本人はその有難みを認識する必要がある。

## 謝辞

この稿を執筆するきっかけとなる資料を提供くださった元国会議員吉井英勝氏、国立国会図書館の小山瑞樹氏、山口聡氏にそれぞれ厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

(E-mail :Iizuka-fujino@nifty.com)

[1] [www.sukawa.jp/kankyoudaitai.html](http://www.sukawa.jp/kankyoudaitai.html)  
“石油代替エネルギー供給技術の有効性”2-  
3-2 太陽光発電

[2] [https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/attaka-eco/reference/pdf/sekkei/sekkei-1.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/attaka-eco/reference/pdf/sekkei/sekkei-1.pdf) 第1章  
太陽エネルギーの基礎知識

[3] <https://keisan.casio.jp/exec/system/1185782617> 太陽高度(同時刻の年間変化)

[4] <https://www.nao.ac.jp/faq/a0109.html>  
質問-9) 太陽の南中高度はどうやって計算する? 自然科学研究機構国立天文台

[5] <https://tomatoneko.com/kenchiku/kankyo/nissyou-nissha/> {日照・日射}  
太陽高度

[6] <https://www.ene100.jp/zumen/1-2-1>  
原子力・エネルギー図面集 1-2-1 エネルギーの  
使われ方 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

[7] 1 PJ : 1 ペタジュール =  $10^{15}$ J

[8] [https://www.travel-zentech.jp/world/kion/japan\\_Tokyo.html](https://www.travel-zentech.jp/world/kion/japan_Tokyo.html) 東京(千代田区)の年間日照時間

[9] <https://www.time.j.net/WorldTime/location/Asia/Riyadh> Time-j.net 世界時計—世界の時間と時差

[10] [https://www.travel-zentech.jp/world/kion/jSaudi\\_Arabia/Riyadh.html](https://www.travel-zentech.jp/world/kion/jSaudi_Arabia/Riyadh.html)  
リヤドの日照時間

[11] 塩沢文朗、「CO<sub>2</sub>フリーアンモニアの現状と課題」、クリーンエネルギー, 6 50-55 (2021)

[12] <https://mmc-solar.com/taiyounetsu-onsuiki/> 「太陽熱温水器のメリット」