

## 太陽光発電は「再生不可能」である

科学の原理を無視して進められる「革新的エネルギー・環境戦略」の根本的な見直しを求める

東京工業大学名誉教授 久保田 宏

### 「30 年代原発ゼロ」が揺れている

討論型世論調査なる国民の声を吸い上げた結果として9月14日に政府がまとめた30年代に原発ゼロをめざす「革新的エネルギー・環境戦略」が、経済界からの「国民生活を守る立場から認められない」との強い反対などにあって揺らいでいる。経済界の政府案に対する反対の主な理由として、政府案で「原発ゼロをめざした場合、電力料金が大幅に値上がりして、現在、苦境にある日本の産業が成り立たなくなり、雇用が守れなくなるからとされている。この電力料金の値上げは、原発を廃止した場合の原発電力の代替を自然エネルギー（国産の再生可能エネルギー）としているために起こる。自然エネルギーの利用の促進を図るために政府が法制化した「再生可能エネルギー全量固定価格買取（FIT）制度」の適用では、生産電力を現状の市販電力の生産コストよりはるかに高い価格で電力会社に買い取らせ、その差額分が電力料金の値上げとなる。原発ゼロとした場合、電力料金は2倍以上になるとされている。そうでなくても日本の電力料金は世界一高いのに、さらなる値上げがあれば、日本経済は全く成り立たなくなる。経済界の懸念は当然と言ってよい。

では、原発をゼロにする場合、この電力料金の値上げは避けられないのであろうか？そんなことはない。電力料金の値上げの原因になっているFIT制度の適用による自然エネルギーの導入を止めればよい。原発電力の代替には、現状で、最も安価で、かつ、安定な供給が保証できる石炭火力発電を使うことができる（文献1参照）。

いずれは枯渇する化石燃料に較べて、再生可能エネルギーの利用は、文明社会のなかで必要とされる「社会エネルギー（文明社会の産業や生活を維持するためのエネルギーを、ここではこう呼ぶことにする）」を持続的に（永久に）供給するかのように考えられているが、科学的にみて、それは幻想に過ぎない。半永久的に供給され得る太陽光、風力、地熱やさらに水力などの再生可能エネルギーからつくられる社会エネルギーは、実は再生可能ではない。本稿に下記するように、いままで社会エネルギーの主体を担ってきた化石燃料の利用可能な期間を長持ちさせる効用しかない。このようにみると、いま、日本で、原発電力代替のエネルギー源としての化石燃料と再生可能エネルギーとは同列に考えられ、それぞれのエネルギーの生産コストのより安価なものが選択されるべきなのである。

いま、日本のエネルギー政策の中で、この科学の原理を無視して、原発代替のエネルギーとして再生可能エネの利用が優先的に位置付けられているのは、旧エネルギー基本計画（文献2）の中で、地球温暖化対策の実行が一つの主要な柱とされていたのが、原発事故後

の新しいエネルギー政策の中にそのまま残されているからである。苦境のなかにある日本経済にとって、社会エネルギーの安定供給を目的としたエネルギー政策の中に、地球温暖化対策が入る必然性はどこにもない。原発ゼロを目指すのであれば、原発に代替し得る当面の電力は、現在、地球温暖化をもたらすとして嫌われものになっている石炭火力に依存する以外にはない。石炭火力の発電コストは、使用済み核燃料の処理、処分費などを含まない原子力発電のコストと同等以下とされているから、原発の代替を石炭とすることで電力料金を値上げする必要はない。

### 再生可能エネルギーは 100 % 再生可能とは言えない

自然エネルギーからつくられる再生可能エネルギーが、文字通り再生可能であるためには、そのエネルギー生産設備で産出されたエネルギーで社会に必要とされるエネルギー（社会エネルギー）を供給すると同時に、元のエネルギー生産設備を再生できなければならない。

しばしば、このエネルギー生産に必要な（投入エネルギー）と、（産出エネルギー）から計算される

$$\begin{aligned} & \text{（産出/ 投入エネルギー比 } \mu \text{）} \\ & = \text{（産出エネルギー）} / \text{（投入エネルギー）} \end{aligned} \quad (1)$$

の値が >1 となることが、再生可能エネルギー生産設備でのエネルギーの再生可能の条件とされている。

ここで、（産出エネルギー）は、次式で計算できる。

$$\begin{aligned} & \text{（産出エネルギー）} \\ & = \text{（単位発電設備容量当たりの発電量 } P \text{ kWh）} \times \text{（860 kcal /kWh）} \\ & \quad \times \text{（設備使用年数 } Y \text{ 年）} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、

$$\begin{aligned} & \text{（単位発電設備容量当たりの発電量 } P \text{ kWh）} \\ & = \text{（設備容量 } 1 \text{ kW）} \times \text{（理論稼働時間 } 8760 \text{ h/年）} \times \text{（年間平均設備稼働率 } y \text{）} \end{aligned} \quad (3)$$

一方、（投入エネルギー）は、再生可能エネルギー生産設備の製造・使用に必要な全てのエネルギーであるが、その算出には、設備の製造・使用に係わる労働力をエネルギー消費量に換算しなければならないという技術的に未解決な問題を含んでいる。しかし、この計算ができないからと言って、この投入エネルギーのなかの労働力に関連する部分を無視するような非科学的な対応は許されないはずである。例えば、太陽光発電では、この労働コスト（労賃）が設備の販売価格に大きな比率を占めると考えられるから、その実用化に際しては、工業先進国の製品が中国の安価な製品に押されて、その市場を奪われている。ま

た、一部の科学技術研究者は、(投入エネルギー)の推算を行わないまま、太陽光発電は、この労働コストを含む(投入エネルギー)が(産出エネルギー)を上回るから、プラスのエネルギーを生み出さないとして、太陽光発電は再生可能エネルギーを生み出さないとして、その実用化を否定している。しかし、これも暴論である。

この労働コストを含む(投入エネルギー)の算出方法として、筆者は、次式に示すような方法を提案、使用している(文献3参照)。

(投入エネルギー)

$$= (\text{単位設備価格当たりの設備の製造・使用に必要な一次エネルギー消費 } c) \times (\text{単位発電設備容量 kW 当たりの設備コスト (維持費を含む) } T) \quad (4)$$

ただし、 $c$ の値は、次式により計算できるものとする。

$$c = (\text{国内一次エネルギー消費 kcal}) / (\text{国内総生産 GDP 円}) \quad (5)$$

ここで、(投入エネルギー)を(4)式で定義できるとしたのは、同じ投入エネルギーで用いられる設備の使用に必要なコスト  $T$  の値が、国ごとに異なる(5)式で計算される  $c$  の値に反比例するはずだとする経験則による。この方法で計算した(投入エネルギー)の値を用いて、現在、国内で FIT 制度を導入して、その使用・普及がはかられている再生可能エネルギー(電力)生産での自然エネルギー源の種類別の(産出/投入エネルギー比  $\mu$ )の値を(1)で試算した結果を、この試算に必要な各再生可能エネルギー(電力)生産設備に関連した数値などとともに表1に示した。この表1に見られるように、全ての再生可能エネルギーについて、太陽光発電を含めて、 $\mu > 1$ となる。

**表1 自然エネルギー利用による再生可能電力生産での(産出/投入エネルギー比  $\mu$ )の試算結果** (試算に用いた数値等は文献4参照)

	太陽光(家庭外)	太陽光(家庭)	風力(陸上)	風力(洋上)	中小水力	地熱
利用率 $y^{*2}$ (%)	9	9	28.8	35.4	65	70
年数 $Y^{*3}$ (年)	20	10	20	20	20	15
設備費 $T^{*4}$ (円/kW)	52.5	51.3	36~125	36~125	104~250	129~195
産/投比 <sup>*5</sup> $\mu$	2.73	1.40	12.5~3.7	16.7~4.5	10~4.2	7.1~4.3

注 \*1 ; 産出/投入エネルギー比 \*2 ; 設備の年間平均利用率  $y$  の略、 \*3 ; 設備使用年数(寿命)の略、政府の決めた買取契約年数とした、 \*4 ; 政府の決めた FIT 制度での設備建設コスト、設備建設費に設備維持費{(年間設備維持費) × (使用年数  $Y$ )}を加算して求めた値、設備規模の最大と最小に対する値を示した、 \*5 ; 産出/投入エネルギー比の略、ただし、(5)式で与えられる  $c$  の値は 9.45 kcal/円とした。

では、この(1)式で求めた  $\mu$  の値が  $> 1$  であれば、自然エネルギーを用いた社会エネルギーの生産が再生可能かという、そうではない。その理由は、再生可能エネルギー生産設備の再生(更新)には、上記したように、労働力とか、装置製造原料供給などとして

の非自然エネルギーの投入が必要になる。もちろん、労働力や装置製造原料供給などに必要なエネルギーとして、再生可能エネルギーを使うことも考えられるが、それには大きな社会構造の変化が必要となり、現実的な対応として考え難い。特に、設備の物質的な完全な（リサイクル）は不可能である。

現代文明社会を維持するのであれば、この労働力や装置製造原料供給などの非自然エネルギーとしては、枯渇資源としての化石燃料が使われなければならない。すなわち、再生可能エネルギーの生産設備の再生に、再生電力以外の非自然エネルギーの投入が必要な限り、この設備で生産される再生可能エネルギーは、100% 再生可能とは言えない。

したがって、また、再生可能エネルギー生産設備再生での（産出/ 投入エネルギー比  $\mu$ ） $> 1$  はエネルギー再生の必要条件ではあっても、十分条件ではない。

### 再生可能エネルギーの利用は化石燃料消費の削減である

現代文明社会を支えている非自然エネルギーとしての化石燃料の枯渇に備えて、自然エネルギーを利用した再生可能エネルギー生産設備の開発・利用・普及の努力は続けられるべきである。しかし、この再生可能エネルギー生産設備の使用年数（寿命）が無量大でない限り、この使用年数での設備の更新（再生）ごとに、上記したように労働力や設備製造原料資源の獲得のために、非自然エネルギーとしての化石燃料が使用されなければならない。したがって、再生可能エネルギーの生産・利用は、結局は、枯渇する化石燃料の消費を削減して、その資源量をできるだけ長持ちさせるための方策であると言わざるを得ない。現在、化石燃料代替の再生可能エネルギーは、太陽光、風力、中小水力、地熱などの自然エネルギーの変換により得られる電力である。化石燃料消費の削減のためには、これらの再生可能電力の生産設備への次式で計算される（自然エネルギー有効利用率  $i$ ）の値ができるだけ大きな生産設備が優先使用されなければならない。

$$\begin{aligned} & \text{(有効自然エネルギー利用率 } i \text{)} \\ & = \{ (\text{産出エネルギー}) - (\text{エネルギー生産設備の製造・使用への投入エネルギー}) \} \\ & \quad / (\text{産出エネルギー}) \\ & = 1 - 1 / (\text{産出/ 投入エネルギー比 } \mu) \end{aligned} \quad (6)$$

この  $i$  の値は、自然エネルギーを基に生産される（見かけの）再生可能エネルギーから、その生産設備の再生（更新）に使われるエネルギーを差し引いて、再生エネルギーが社会エネルギーとして有効に使われる比率をあらわしている。いわば、エネルギー生産設備のエネルギー効率を表している。

再生可能エネルギー生産設備の種類ごとに、(6)式を用いて計算される  $i$  の値を表 2 に示した。表 2 は、太陽光発電設備の  $i$  の値が、他の再生可能エネルギー生産設備に比べて、圧倒的に小さいことを示している。上記したように、再生可能エネルギーの生産が、化石

燃料消費量の削減に貢献することを考えると、再生可能エネルギー生産設備としては、できるだけ有効自然エネルギー利用率  $i$  の値が高いことが求められるから、90 % 程度の  $i$  の値が得られる太陽光発電以外の設備が存在する以上は、何か特別の理由がない限り、太陽光発電の優先的な使用は認められない。

**表2 再生可能エネルギー生産設備の有効自然エネルギー利用率の試算値**

(表1に与えた産出/投入エネルギー比  $\mu$  の値から計算)

	太陽光 (家庭外)	太陽光 (家庭)	風力 (陸上)	風力 (洋上)	中小水力	地熱
有効自然比 $i$ *6 (%)	63.4	28.5	92~73	94~ 78	90~76	85~75

注 \*1 ; 有効自然エネルギー利用率  $i$  の略。

### 国民に経済的な負担をかけないエネルギー政策こそが求められるべきである

いずれは枯渇する化石燃料の代替としては、この（見かけの）再生可能エネルギーに依存することで、地球資源としての化石燃料を節約して大切に使うなければならないことは確かである。しかし、いま、政府が、再生可能エネルギーとしているもののなかには、上記した太陽光発電のように、現状では、再生可能とは程遠いものが入っている。現実的なエネルギー（電力）の選択の問題として、現状で、最も安価な電力を提供できるのは、実は、原発再稼働によって得られる電力である。しかし、福島第一原子力発電所で起こったような事故が再び起こらないとの保証はどこにもないし、核燃料廃棄物の処理・処分が目途が立っていない現状を考えると、やはり、多くの国民が望んでいるように、原発ゼロを目標にして、当面、最も安定に安価に原発代替の電力を供給できる石炭火力の使用が選択されなければならない（文献1）。将来的には枯渇する化石燃料としての石炭価格が上昇して、再生可能エネルギーの利用のほうが、より経済的に有利になった時点で初めて、石炭火力に代わる再生可能エネルギーの利用の選択が進められるべきである。この際の選択の基準となるのが、次式で計算される自然エネルギー利用設備での（限界設備価格）の概念である（文献1）。

$$\begin{aligned}
 (\text{限界設備価格 } B) &= (\text{単位発電設備容量当たりの発電量 } P \text{ kWh}) \\
 &\times (\text{設備使用年数 } Y) \times (\text{電力買取価格 } H) \qquad (7)
 \end{aligned}$$

すなわち、再生可能エネルギー生産設備の使用年数  $Y$  の期間に生産された電力の市販電力網への売上金額に等しいとして計算される（限界設備価格  $B$ ）が、このエネルギー生産設備の製造・使用での必要経費に設備の使用期間中の維持費を含んだ（設備コスト  $T$ ）よりも大きければ、すなわち  $B > T$  であれば、再生可能電力が、現在の化石燃料主体の電力に代わって市販電力として導入可能となる。

また、化石燃料の輸入国日本では、自然エネルギーの利用が化石燃料の輸入金額の節減にもつながるので、その金額を（国の補助金額）として支給できるとして、それを加算した、

$$(\text{限界設備価格 } L) = (\text{限界設備価格 } B) + (\text{国の補助金額 } D) \quad (8)$$

を、再生可能エネルギー生産設備の評価基準とすることも考えられる。

ただし、

$$\begin{aligned} (\text{国の補助金額 } D) &= (\text{生産電力による輸入化石燃料の節減金額}) / (\text{発電設備容量}) \\ &= (\text{単位設備容量 kW 当たりの年間発電量 } P) \times (\text{有効自然エネルギー利用率 } i) \\ &\quad \times (\text{単位発電量当たりの市販電力生産用化石燃料輸入 CIF 価格 } C) \\ &\quad \times (\text{設備の使用年数 } Y) \end{aligned} \quad (9)$$

表 1 に示した再生可能エネルギー生産に対して、エネルギー源種類別の限界設備価格 B および国の補助金付きの L の試算値を表 3 に示した（文献 4 参照）。この表 3 に見られるように太陽光発電以外では、 $L > T$  の条件でもやや苦しい地熱発電を除いて、何とか  $L > T$  の条件が一部（安価な設備コストの場合）に対して満たされている。これに対して、太陽光発電では、L と T の間に非常に大きな差がみられる。これが、現在、不条理な FIT 制度の適用（文献 4 参照）において、太陽光発電では、特に高い買取価格を設定しなければならない理由になっている。なお、太陽光発電（家庭外）、いわゆるメガソーラーについては、環境省の調査報告書（文献 5）においても、その導入可能量がゼロに近いとさせていることを付記しておく（文献 1 参照）。

**表 3 自然エネルギー利用での（限界設備価格）の試算結果**

（文献 5 のデータ等を基に計算した文献 4 から抜粋）

	太陽光（家庭外）	太陽光（家庭）	風力（陸上）	風力（洋上）	中小水力	地熱
買取価格 H*1（円/kWh）	7.5	24	7.5	7.5	7.5	7.5
有効自然比 i*2（%）	63.4	28.5	92~73	94~78	90~76	85~75
限界価格 B*3（万円/kW）	11.8	28.5	37.8	46.5	85.4	69.0
補助金 D*4（万円/kW）	4.8	1.3	27~21	34~28	60~50	45~41
限界価格 L*5（万円/kW）	17.6	20.2	65~59	80~75	145~136	114~110
設備コスト*6（万円/KW）	52.5	51.3	36~125	36~125	104~125	129~195

注 \*1；生産電力の買取価格の略。需要端で挿入できる太陽光（家庭）では、家庭用市販電力料金 24 円/kWh とし、それ以外では、火力発電での平均的な発電コストの値 7.5 円/kWh とした。 \*2；有効自然エネルギー利用率の略 \*3；限界設備価格 B の略 \*4；国の補助金額 D の略 \*5；国の補助金付き限界設備価格 L の略、設備コスト T の最小値と最大値に対して計算した値。ただし、燃料輸入燃料 CIF 価格 C として、石炭の価格 3.14 円/kWh を用いた。 \*6；政府の決めた FIT 制度での設備建設コスト、設備建設費に設備維持費 {（年間設備維持費）×（使用年数 Y）} を加算して求めた値、設備規模の最大と最小に対する値を示した。

## 地球温暖化対策はエネルギー政策とは無関係であるべき

とても再生可能とは言えない太陽光発電が再生可能エネルギーとしてエネルギー政策のなかで優先的に取り上げられたのは、地球温暖化対策としての CO<sub>2</sub> の排出削減のために、ドイツなどで太陽光発電が率先して用いられ、日本がそれに追従してきたためと考えてよい。しかし、いま、ドイツでも、竹内（文献 6）が紹介しているように、この太陽光発電に対する FIT 制度による助成を憲法違反と訴える企業が現れ、また、この制度による電力料金の値上げが市民の「我慢の限界を超えている」との厳しい批判も起こっている。

いま、日本の置かれた経済的苦境を考えると、エネルギー政策とは本来無関係な地球温暖化対策の推進のために、国民に経済的な負担をかける理不尽な FIT 制度による再生可能エネルギーの導入促進政策によって、国民の生活と産業の維持に欠かすことのできない電力料金を値上げする必要性はどこにもない。いま、産業界は、この電力料金の値上げを理由に、政府の原発ゼロのエネルギー政策に見直しを迫っている。このエネルギー政策の中から、電力料金の値上げの原因になっている地球温暖化対策としての FIT 制度による自然エネルギーの導入の代わりに、当面、石炭火力発電を導入すれば、経済界の懸念は解消される。

もともと、製造業を中心とする産業界は、この再生可能エネルギー導入促進のための FIT 制度に反対であった。地球温暖化防止のための CO<sub>2</sub> 排出削減が盛んに言われるが、CO<sub>2</sub> 排出削減にお金をかけても温暖化を防げるとの保証はどこにもない。また、もし、CO<sub>2</sub> の排出削減で温暖化が防げると仮定してみても、温暖化が地球の問題である以上、全世界が協力しなければ地球は救われない。CO<sub>2</sub> 排出量 4% 程度の日本だけが、石炭火力の使用を避けてみても何の意味もない。世界の発電量の 1/2 近くを担っている石炭火力発電でのエネルギー効率を上げるために、世界一と言われる日本の石炭火力発電技術を世界に移転することのほうがはるかに、地球の CO<sub>2</sub> 排出削減に効果がある。同時に、将来的には、上記したように、化石燃料消費の節減に有効な自然エネルギーへの移転の方法を、経済原則に従って増やして行くのが、現実的で実行可能な地球の CO<sub>2</sub> 排出削減対策である。

### 引用文献；

1. 久保田 宏；「科学技術の視点から原発に依存しないエネルギー政策を創る」、日刊工業新聞社、2012 年
2. 経済産業省資源エネルギー庁編；「エネルギー基本計画、経済成長・エネルギー安全保障・地球温暖化対策を同時に達成する 2030 年に向けたエネルギー新戦略」、経済産業調査会、2010 年
3. 久保田宏；「脱化石燃料社会—「低炭素社会へ」からの変換が日本を救い地球を救う」、化学工業日報社、2011 年、
4. 久保田 宏；余りにも理不尽な再生可能エネルギーの固定価格買取制度、この制度の廃止を強く訴え

る。国際環境経済研究所、ieei opinion 2012/8/28

5. 平成 22 年度環境省委託事業「平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書、平成 23 年 3 月」株式会社エックス都市研究所、アジア航測株式会社、パシフィックコンサルタンツ株式会社、伊藤忠テクノソリューション株式会社
6. 竹内純子;ドイツの電力事情④ 再エネ助成に対する不満が限界に、国際環境経済研究所 ieei opinion 2012/9/19