

SDGs 開発目標の中の 3 つのテーマを具現化する提案

- ① エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
- ② 住み続けられるまちづくりを
- ③ 気候変動に具体的な対策を

Proposals to Embody Three Themes in The SDGs Development Goals

- I) Affordable and clean energy
- II) Sustainable cities and communities
- III) Climate action

小倉 宏明*

OGURA Hiroaki

Abstract:

Seven years have passed since the SDGs were proposed at the National Summit. Meanwhile, each country has continued to make efforts toward the numerical targets set by the country, and the results are gradually beginning to appear. On the other hand, in the case of Japan, the conversion from conventional fossil fuels to sustainable renewable energy has been delayed in the energy field. Therefore, we focus on three themes in the SDGs, "Affordable and clean energy", "Sustainable cities and communities" and "Climate action", and I would like to make a proposal that embodies these three themes in regards to energy.

キーワード:

持続可能な開発目標 (SDGs) ソフトエネルギー (Soft Energy) 再生エネルギー 太陽光発電 太陽熱温水器 エコキュート オール電化 バイオマス発電 断熱材 環境問題 (CO₂)

1. はじめに

2015年9月、国連で開かれたサミットの中で国際社会共通の目標であるSDGs「Sustainable Development Goals」、すなわち持続可能な開発目標が、2030年までの長期的な開発の指針として全会一致で採択された。この開発目標は、2016年から2030年までに達成すべき17のゴールで構成されているが、実際この目標の原型は1990年ごろからス

タートしている。しかし、科学者の間では更にさかのぼること1970年代後半に、現在のSDGsの開発目標の中の、特に「エネルギー分野」が「ソフトエネルギーパス (Soft Energy Paths)」という概念で議論されていた。「ソフトエネルギーパス」という言葉は、イギリスの物理学者 Amory B.Lovins が提唱したものである¹⁾。Lovins氏は、後に地球環境問題の解決に大きく貢献した業績を称えて贈

*佐野日本大学短期大学 総合キャリア教育学科 Sano Nihon University College Senior Lecturer

られる地球環境国際賞、ブループラネット賞を受賞した。折しも、1970年代前半の1973年には、現在でも記憶に残る「第一次石油ショック」が勃発し、そのことが契機となって、世界では石炭火力発電、LNG火力発電や原子力発電などの石油代替電源開発が積極的に進められた。そのような潮流の中、突然、その世界の動きを牽制するかのように「ソフトエネルギーパス」という概念が発表され、当時の世界の科学者に大きな反響を呼んだ。1980年、私は当時大学院生であり、研究論文発表のため日本物理学会に出席した折、偶然にも Lovins 氏の「ソフトエネルギーパス」に出会うことができた。私はその頃、海水を原料とし、放射性廃棄物を出さないクリーンな原子力発電を目指す「核融合」を研究していた。石油資源を代替する夢のエネルギーとしてその研究開発は世界で鎬を削っていた。そのさ中、この講演を聞いて非常にショックを受けたことを記憶している。しかし、同時に「ソフトエネルギーパス」という発想もあるのかと大いに刺激を受けて帰ってきた。「ソフトエネルギーパス」の提唱は今から約45年前に遡る話であるが、現在17分野あるSDGsの開発目標の中でエネルギーに関する3つの目標は、この「ソフトエネルギーパス」の概念とほとんど変わらない、というよりもあたかも将来を予想していたような内容である。今回は、「ソフトエネルギーパス」が提唱されてから約45年後の現在の状況を検証し、SDGsの中の特に3つの目標「エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」「気候変動に具体的な対策を」そして「住み続けられるまちづくりを」を具現化する施策を提案したい。『なお、本研究は、令和3年度佐野日本大学短期大学研究倫理審査委員会の承認を得て進められた（承認番号第21040号）。』

II. ソフトエネルギーパスとは

ソフトエネルギーパスという言葉は、国際

的な環境保護団体「地球の友」のイギリス代表である Lovins 氏が1976年に初めて提唱したものである。太陽光、風力、水力、バイオマス、地熱など環境に影響を与えないクリーンなエネルギーの総称で、現在叫ばれている「再生エネルギー」の原点とも言えるものである。パスとは、巨大な設備を使って一極集中型にすることではなく、中小規模の設備で地方分散型にし、従来の化石燃料のように1回限りではなく、何度も再生可能なエネルギーを利用していくというエネルギー政策である。因みに「ハードエネルギー」の定義は、化石燃料資源（石油・石炭・天然ガス）、原子力などを利用するエネルギーである。

III. 過去約45年にわたるソフトエネルギー政策の検証

図1は、2021年経済産業省資源エネルギー庁から出された日本の発電電力量の年度別推移グラフである。Lovins氏がソフトエネルギーパスを提唱した1976年から約45年経つが、この間のソフトエネルギーの状況を検証したい。

図1は、日本の全エネルギーの中で、下から原子力、石炭、水力、LNG、石油、そして最上段が新エネルギー（再生エネルギー）の割合を年度別に示したグラフである。1975年頃は石油を原料とするエネルギーが主体であり、新エネルギーはほぼゼロの状態であった。1976年にソフトエネルギーパスの提唱がされてから変化があったかということ、その後35年間、多少の増加はあったもののほとんど変わっていない。しかし、2010年を境に、それまでは新エネルギー対策が「目標」を掲げるに留まっていたものが、より強い「義務化」に変わりその効果を出し始めたと思われる。更に2011年の東日本大震災の原発事故で原子力が大きく見直された。図から示されているように2019年の新エネルギー（再生エネルギー）の割合は全体の10.3%にまで

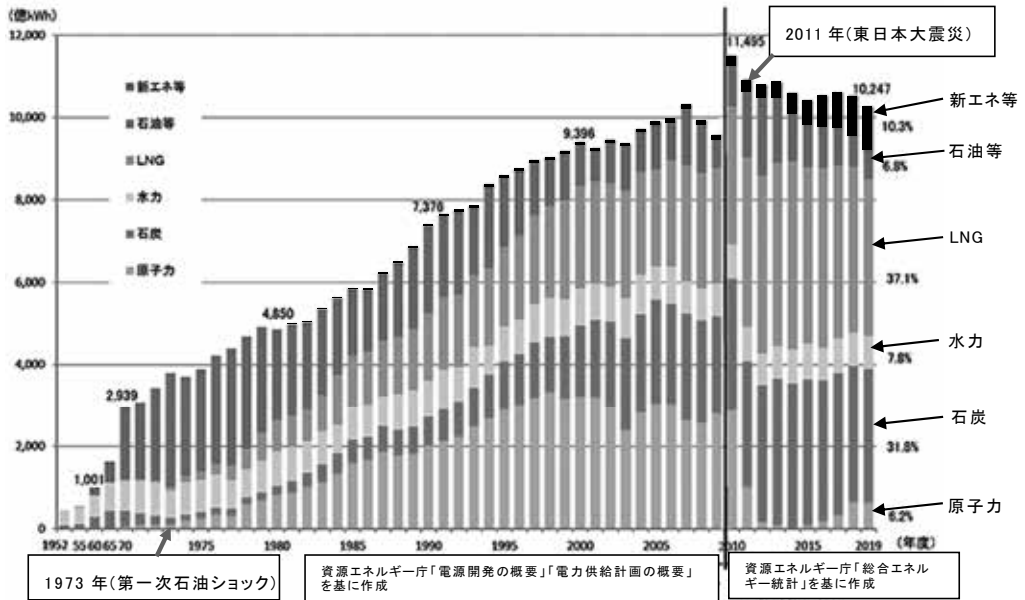


図1 日本の発電電気量の年度別推移²⁾

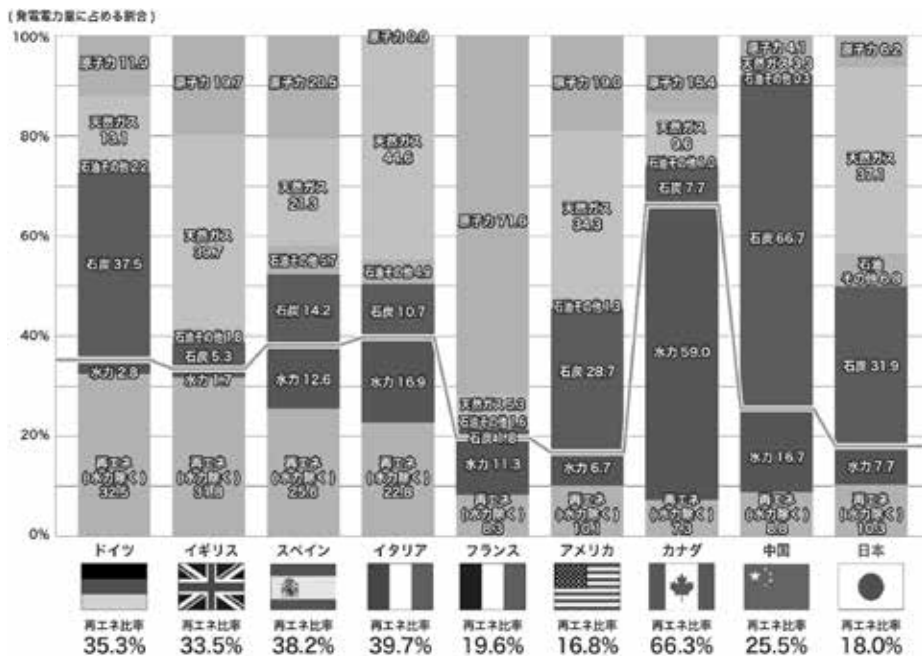


図2 2019年、主要国の発電電力量に占める再生エネ比率の比較³⁾

増加したものの期待されるまでには至っていない。一方において、石油の割合は6.8%と大きく減少したもののLNGや石炭といった化石燃料の合計は現在でも約70%と高い割合を示し、依然ハードエネルギー（化石エネルギー）に頼っている現状である。

図2は、資源エネルギー庁「日本のエネルギー2020年度版」出典の、2019年主要国の発電電力量に占める再生エネルギー比率の比較であり、全エネルギーの中の、再生エネルギー、水力、石炭、石油、天然ガス、原子力の割合を示す国別データである。日本は、水

力を含めた再生可能なエネルギーの割合が他の先進国よりも低く、その分、石油、石炭、ガスといった化石燃料の割合が一番多くなっている。図からわかる通り、西欧での再生エネルギー対策は着々と進んでいる。しかし Lovins 氏が掲げたソフトエネルギーパスの道は、日本においてはまだまだであるというのが現状である。このままスケールアップすると、今や最重要課題である CO₂ を含めた環境問題の改善や再生エネルギーの普及、そして SDGs が掲げる目標到達への道は険しいと予想される。現時点において日本は「ソフトエネルギーパス」後進国と言わざるを得ない。

IV. 今後ソフトエネルギーを増やしていくために

ソフトエネルギーは現在「再生エネルギー」と呼称を変えているが、図3は日本の2019年度の発電量の内訳である。このデータからわかるように現在の再生(自然)エネルギーは、

- (1) 太陽光発電
- (2) 風力発電
- (3) 地熱発電
- (4) バイオマス発電
- (5) 水力発電

が主体である。日本の新しい再生エネルギーの主流は太陽光発電であるが、海外では風力

発電が主流である。その理由は、太陽光発電と違い、太陽が出ていない夜間も発電が可能で一日中発電できること、大電力が得られること、場所を取らないこと、そして特に西欧では偏西風の影響で効率よく発電が出来るからである。しかし、風力発電には欠点も多い。高額な設置費用、故障したときの修理の難しさ、騒音などの環境対策が必要となる。

海外と比べ日本で普及が進まない理由は、安定的な風を得られる地域が限られていること、また地理的に台風や落雷が多いことなどがあげられる。それではイギリスのように洋上ではどうかと言えば、イギリスは浅瀬の海域が広がっていて建設も容易であるが、日本は浅瀬が少なく工事費用も莫大になる。このような日本固有の問題があり、風力発電の普及は遅れ気味である。しかし、今後再生エネルギーを増やしていくためには、風力発電も重要な再生エネルギー源の一つであるので、これら日本固有の諸問題を解決し欧米のように普及していかなければならない。以上の理由から、日本の場合、当面早急な解決策として、再生可能なエネルギー開発の中心は太陽光発電となるのは間違いない。それ以外の地熱発電や水力発電は地域が限られ、環境問題もあり、現状から大きく変えていくのは困難であると考えられる。最近増加傾向にあるバイオ

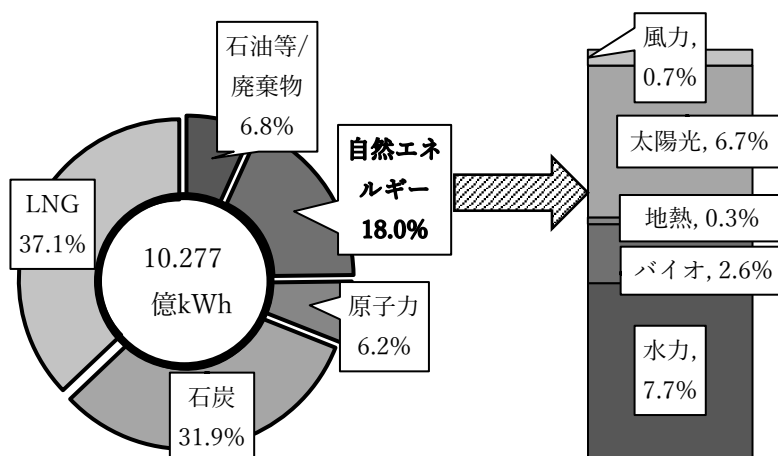


図3 2020年日本の発電量の内訳⁴⁾

マス発電については、栃木県佐野市の林野面積をもとに詳しく試算しその可能性を探る。

1. 太陽光発電

2019年度、日本での太陽光発電の割合は日本全体の発電量 10,277 億 kWh の 6.7%、すなわち約 690 億 kWh である (図3)。この割合を増やしていくのにどうしたらよいか考察してみた。

日本全国の一戸建て住宅は、平成 30 年度総務省統計局調べで 3280 万 2 千戸である⁵⁾。この屋根すべてに太陽光パネルをつけ発電した場合、どのくらいの電気量になるか試算してみた。



写真1 太陽光発電

(1) 試算

全国の一戸建て家屋の床面積平均は、総務省統計局調べで 126.63m² である⁶⁾。単純化するために、この家が総 2 階建てで且つ切妻屋根とすると、屋根面積は片面で 4 m × 13 m 確保できる。この屋根にソーラーパネルをつけると、メーカーにもよるが、250W パネル 1 枚当たりの面積はおおよそ 1.5m × 0.9m であるので、この屋根には 3 × 6 枚、計 18 枚が設置可能である。そこで、一戸建て住宅では 250W × 18 = 4,500W = 4.5kW という電力の太陽光パネルが設置可能であることがわかる。太陽光発電は天気、日照時間、設置状態、温度など様々な要因があるので一定ではないが、ここでは、一つの例として、東芝製のパネル、SPR-250NE-WHT-J のデータを参考に見積もってみたい。この 250W パネルの年間平均発電量は、1kW

あたり 1,204kWh である⁷⁾。そこで平均の一戸建て住宅に乗せた 4.5kW のソーラーパネルからは、年間 1,204kW × 4.5 = 5,418kWh の電力量が得られることになる。そこで、日本全国の一戸建て住宅がすべてソーラーパネルをつけた場合の年間の発電量は、全国の一戸建て住宅戸数を 3300 万戸とすると、5,418kWh × 3,300 万戸 = 1788 億 kWh と計算される。この数値は日本全体の発電量 (10,227 億 kWh) の約 17% に相当する莫大なエネルギーである。この電力量は現在石炭を原料に発電している発電所の総電気量 (約 33%) の約半分に相当するもので、電力に使用される石炭を半分に減らすことができ、ひいては大きな環境問題となっている CO₂ の削減にも大きく寄与できると考えられる。現在の太陽光発電電気量 6.7% は大部分が事業用であることを考慮すると、太陽光発電の電気量は個人用と合わせて約 24% となるが、事業用の太陽光発電の増設が進み、ビル等の壁面を利用した太陽光発電も進めば更に増やすことが可能である。

(2) EV 車

現在 EV (電気自動車) が増加傾向にあるが、エコかというと、充電する電気を化石燃料で得た電気で充電している限り厳密にはエコになっていない。そこで、EV 車の充電を全て太陽光発電で賄えないか試算してみた。

現在 EV 車として実績のある日産リーフ (バッテリー 62kWh 搭載車) で試算する。この車の場合、仕様書では JC08 モードで航続距離が 570km である。2021 年、ソニー損保「2021 年 全国カーライフ実態調査」によると、国内一人当たりの自家用車による年間平均走行距離は 6,186km である⁸⁾。これは月ベースで約 516km となり、この EV 車が理想状態で走行した場合、充電回数は月 1 回で済むことになる。そこでこの車 1 台の年間使用電気量を試算してみると、62kWh × 12 = 744kWh となる。先の 4.5kW のソーラーパネ

ルの年間発電量が5,418kWhであり、各世帯平均の電気使用量は環境省データによると年間4,322kWh程度なので⁹⁾、余る電気量は1,096kWhとなり、EV車1台分を充電する電気量は確保されることになる。一般財団法人自動車検査登録情報協会によると、令和3年9月時点の日本全体の車の台数は、乗用車（軽自動車含む）62,135,596台、貨物車14,482,620台である¹⁰⁾。全国の世帯数は約6,000万世帯あるので¹¹⁾、貨物車を除く乗用車の数は、1世帯平均1.0台と計算されるので、先の1世帯当たり4.5kWのソーラーパネルで、各家庭の電気量及びEV車の充電に要する電気量はほぼ賄える。これが実現すれば、車から排出される一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、窒素化合物(NOx)、粒子状物質(PM)などの有害物質は大幅に減少し、環境問題にも大きく貢献すると考える。

(3) 設置費用

4.5kWの太陽光発電の設置費用は各社違いがあるが、概ね約130～150万円である。環境省データによると、各家庭の年間平均使用電気量は4,322kWhであり、1ヶ月の電気代は年間106,000円である⁹⁾。この電気代がすべて各家庭の太陽光発電で賄えるとするならば、12～14年で原価償却できる計算となり、太陽光発電の寿命が最大20年とすると、13年目からはプラスに転じ、採算が取れることになる。(ただし、ここではメンテナンスや部品交換は考慮していない。)

(4) 太陽光発電の現状

太陽光発電は一時期より普及が鈍化している。その原因は、①初期費用・メンテナンス費用など投資した費用を回収できるか不安、②費用対効果がどのくらいあるのか不安、③太陽光発電の買い取り単価の減額、④事業用太陽光発電のための用地不足、などがあげられる。①②については、先に試算したように採算は取れることを周知させる。③については、買い取り価格が落ちてでも売電せず、自分

の家で使用するならば買い取り価格には関係しない。また売電する場合でも、太陽光発電の買い取り単価は減少しているが、導入費用については技術の革新で年々コストダウンしつつあり、現在でも十分採算が取れる状況である。④はできるだけ用地の確保に努める。⑤太陽光発電設置のための融資を利用し易くする。以上のような対応をすることで、太陽光発電は今後普及増大をさせることは十分可能である。

2. 太陽熱利用

各家庭で使用するエネルギーとして、風呂を沸かすのに必要なエネルギーは軽視できない。現在ガス(又は石油)で沸かしているのが通常であるが、これに代わるものとして、太陽熱温水器とエコキュートについて考察したい。

(1) 太陽熱温水器

太陽熱温水器は、屋根の上に貯水パイプを置き、太陽熱のみで温めるシンプルな温水器である。水の比熱は物質の中で最も大きいので水を利用して蓄熱することは最も効率的である。太陽熱温水器の一番の利用は風呂である。



写真2 太陽熱温水器

因みに風呂を沸かすのにどれだけのエネルギーが使われているか試算したい。水温は気温の影響を受けるため、夏季は高く冬季は低くなる。関東地方の水道水の水温は8℃～25℃くらいで、年間平均は16℃～17℃である。ここでお風呂を1ヶ月沸かす場合、どれだけのガスを使用するか試算してみた。

今回は17℃の水250Lを40℃まで温めるという条件で、都市ガスとプロパンガスに分けてシミュレーションする。

風呂を沸かすのに必要な1ヶ月あたりのエネルギーQ (kcal)

$$Q \text{ (kcal)} = mc \Delta t \times 30 \text{ 日} \quad [m: \text{水量 (g)}, \\ c: \text{水の比熱 (1cal/g}^\circ\text{C)}, \Delta t: \text{温度差 (}^\circ\text{C)}] \\ = 250 \times 10^3 \times 1 \times (40 - 17) \times 30 \div \\ 10^3 = 172,500 \text{ kcal}$$

一般社団法人プロパンガス料金消費者協会によると、プロパンガス1m³の発熱量は24,000kcalであり、都市ガスは10,750kcalである¹²⁾。熱変換率を各90%と仮定すると、プロパンガスの場合、1ヶ月の風呂を沸かすのに必要な量は

$$172,500 \div 24,000 \div 0.9 \approx 8.0 \text{ m}^3$$

都市ガスの場合、1ヶ月のお風呂を沸かすのに必要な量は

$$172,500 \div 10,750 \div 0.9 \approx 17.8 \text{ m}^3$$

と試算される。プロパンガスの各家庭月平均使用量は石油情報センター調べで、4人家族の場合約11.3m³なので¹³⁾、約70%の節約、都市ガスの場合、各家庭の月平均使用量は約28m³なので¹⁴⁾約64%の節約になり、CO₂削減にも大きく貢献することがわかる。

(2) 太陽熱温水器のメリット・デメリット

太陽熱温水器のメリットは、①導入費用が比較的安い、②エネルギー変換が高効率である、③太陽光発電に比べ省スペースで設置できる、④電気代がかからない、などがあげられる。反対にデメリットとしては、①冬場、寒冷地では温度が上がらない、②水道直結式は設置費用が高く、エコキュート(電気給湯器)と費用面で変わらない、③太陽熱温水器は重量があり、屋根に負担がかかる、などがあげられる。現在エコキュートの普及に伴い太陽熱温水器の普及は下火であるが、③を改善するために、集熱器と蓄熱槽を分けたタイプも出ている。

3. エコキュート(電気給湯器)

エコキュートは、ヒートポンプ技術を利用して空気の熱で水を沸かす電気給湯機である。エコキュートで水を沸かす時に使われているヒートポンプ技術は、エアコンにも使われている技術で、室外に設置されたファン(室外機)が外気の熱を吸収し、その熱を利用してお湯を温めている。電気だけでなく、外の温度も活用するので、省エネルギーで水が沸かせる。エコキュートは、深夜電力を使用できるので電気代を節約できる。風呂を沸かすためのガス使用量が0円となるため、月々のガス代は大幅に安くなる。

(1) 電気給湯器(エコキュート)の年間使用電力量

現在一般的なエコキュートの電力は約1.2kWである。一日の使用時間を3時間とすると年間の使用電力量は、1.2kW × 3 × 365日 = 1,314kWh、と見積もれる。この電力量は、太陽光発電を約1kW増やすことで賄うことができる。

(2) エコキュートと太陽熱温水器との比較

- ①エコキュート……風呂を電気力で沸かす。ガス代(調理用は別)は不要。
- ②太陽熱温水器……風呂を太陽熱で沸かす。電気、ガス代(調理用は別)ほぼ不要。

(3) 導入費用の比較

- ①エコキュート……50万円前後(設置費込み)
- ②太陽熱温水器……20～30万円(自然落下式)、50～100万円(水道管直結式)

太陽熱温水器は、水道管直結式にすると費用面ではエコキュートと変わらず、メリットは少ない。

(4) オール電化

オール電化住宅の年間電力消費量は一般家庭で約7,280kWhである¹⁵⁾。オール電化の場合、ガス代は完全にゼロになるが、電気代は年間7,280kWh使用した場合、約19万円(月

額 15,000 円) ほどかかるので、使い方にもよるが、一般住宅の電気代とガス代を足すとほぼ同額となる。また、オール電化住宅を太陽光発電で補うためには、IV-1-(1) で参考にしたソーラーパネルの場合、 $7,280 \div 1,204 \approx 6\text{kW}$ のパネルが必要である。この場合、電気代、ガス代はゼロになる。

現在使われているエコキュートやオール電化はクリーンというイメージがあるものの、CO₂ を排出する化石燃料を使用した火力発電に依存している現状を考えれば、電気をたくさん使うオール電化が必ずしもエコとは言えない。太陽光発電を利用してこそ、真のエコにつながると思う。

以上、太陽光発電で適用するタイプ別にまとめると図4のようになる。

注1) 電気代は1世帯の平均電気代1万円として計算、車のガソリン代は150円/L、燃費は12km/L、月500km走行として計算、ガス代は1世帯平均使用料金5,000円/月として計算

注2) 太陽光発電設備費用1kW当たり30万円として計算、太陽熱温水器設置費用30万円、エコキュート設置費用50万円、IHクッキングヒーター20万円、家庭用自動車充電器10万円として計算)

どの容量の太陽光発電を設置するかは、適用するエネルギー種類、ソーラーパネルの設置場所・面積・予算で決まる。原価償却はそ

れぞれ10年前後であり、耐用年数を20年とすると、メンテナンスや部品の交換をしても十分採算は取れると考える。

4. バイオマス発電

再生エネルギーとして最近注目されているのがバイオマス発電である。栃木県佐野市にバイオマス発電を建設した場合どれだけ有効か考察してみたい。

バイオマス発電は、間伐材や木屑、生ごみ、排泄物などの動植物から生まれたバイオマス資源を直接燃焼させたり、ガス化して燃焼したエネルギーを利用して発電するシステムである。この発電方法は、動植物によって生成された燃料を使用するため、燃料となる植物を燃やすとCO₂を出すのが、生育する過程で吸収した分のCO₂を出すので、CO₂の増減には影響しないカーボンニュートラル状況になり、地球に優しい発電方法である。バイオマス発電は、一度きりでなく再生可能な資源



写真3 バイオマス発電

適用	太陽光発電(kW)	年間節約代(注1)	初期費用(注2)	償却年
電気代のみ	3.6kW	12万円(電気代)	108万円	9年
電気代+車	4.5kW	12(電気代)+7.5(ガソリン代)=19.5万円	135+10=145万円	7.4年
電気代+車+風呂(太陽熱)	4.5kW	12(電気代)+7.5(ガソリン代)+3.6(風呂ガス代)=23.1万円	135+30+10=175万円	7.6年
電気代+車+風呂(エコキュート)	4.5+1=5.5kW	同上23.1万円	165+50+10=225万円	9.7年
オール電化	6+1=7kW	12(電気代)+7.5(ガソリン代)+6(全ガス代)=25.5万円	210+10+50+20=290万円	11.4年

図4 太陽光発電で適応させるタイプ別の費用と償却年数

を使うこと、今まで有効に使われていなかった廃棄物の有効利用ができること、そして農山村の活性化につながる、など様々なメリットがある。地球温暖化現象の原因の一つでもあるCO₂の削減にも有効であることから、今後バイオマス発電は期待される再生エネルギーの1つである。

(1) 栃木県佐野市での間伐材を使ったバイオマス発電の可能性

栃木県の統計によると、佐野市は県内4番目に森林面積が多い。市の統計によると、佐野市の森林面積は、総面積35,604haの61%にあたる21,802haで、そのうち民有林面積が20,557ha(森林面積の94%)となっている。民有林のうちスギやヒノキなどの人工林面積は12,551haであり、人工林率は61%で県平均を大きく上回っている¹⁶⁾。

そこで、佐野市で間伐材を使用してバイオマス発電をした場合、どれだけの発電量が得られるか試算してみた。

佐野市の人工林の面積は先の市の統計から12,551haである。1ha当たりの植林木数は3,000本、主伐周期は50年、最終主伐本数は1ha当たり500本とすると¹⁷⁾、50年間に間伐される本数は1ha当たり2500本になる。実際の間伐はこの50年の間に何回か繰り返されるが、試算を簡単化するため、30年次に1回、2,500本を間伐すると仮定する。材木は杉材とする。杉材30年もの標準木は、高さ16m、直径18cm、立木材積 $V=0.227m^3$



写真4 間伐材

になる¹⁸⁾。杉材の気乾比重(含水率15%の比重) ρ は $0.38g^{19)}$ 、1kgの気乾木材の燃焼発熱量(ω)を15MJとする²⁰⁾。

以上の数値を使って、佐野市で可能なバイオマス発電の電気を試算する。

間伐材1本の発熱量Q(MJ)は

$$Q(MJ) = V \times 10^3 \times \rho \times \omega \approx 1,294MJ$$

佐野市人工林全体の間伐材50年の発熱量=12,551ha × 2,500本 × Q ≈ $4.1 \times 10^{10}MJ$

従って、佐野市内の間伐材から得られる1年間の発熱量は 8.1×10^8MJ と計算される。燃焼熱から電気への熱変換率を50%とすると年間の発電量は 4.05×10^8MJ となる。この発電量をkWhに単位変換すると、1kWh = 3.6MJなので、 1.125×10^8kWh となり、この発電量は電力約13,000kWの発電所が1年間に発電する電気に匹敵する。この電気量は佐野市全世帯数(約5万世帯)の電気量(5万 × 4322kWh)の52%に当たり、佐野市内半分の世帯の電気を賄うことができる。

この試算結果は一見期待できるように感じるが、大きな問題もある。それは、間伐材の獲得である。先の計算では、50年で $12,551ha \times 2,500本 = 31,377,500本$ 、つまり、1年で627,550本、1日で約1,700本の間伐材を伐採しなければならない。面積にして一日に $1,700 / 2,500 = 0.68ha$ 伐採することになり至難の業である。実際は間伐材のほかに、廃材や木くず、ゴミなども燃料にできるので、間伐材の量は減らすことができると考えられるが、このことを実現するには、高効率の最新鋭の伐採機の導入、技術を持った人員の確保、運搬作業の効率化、間伐材の買い取り料の適正化が必須条件である。この問題をクリアできれば、林業が活性化し、現在荒れている森林の環境も大幅に改善されると考えられる。佐野市においては、是非1万kW規模のバイオマス発電所を官民一体となって設立することを提案したい。

V. Technical Fix

先の Lovins 氏は、「ソフトエネルギーパス」の中で、ソフトエネルギーなどの代替エネルギーの必要性和同時に、エネルギーの節約や効率化を図り、より生産性を高めることが重要であるという「Technical Fix」を提唱した。ハードエネルギーとは違い、ソフトエネルギーは再生可能であるが規模は小さい。限られた資源でより多くの効果を出すために、Technical Fix は必要不可欠である。そのために、近年では廃熱の再利用、自動車やジェット旅客機のエンジンの効率化、エアコンなどの熱交換システムの効率化、発電所などの熱交換率改善、モーターの効率化、パルプ工場・電気精錬工場などの大型プラントの効率化、照明の LED 化などで、以前に比べて大きなエネルギー改善が見られている。それ以外で身近にできる Technical Fix の例として、「断熱材」の利用について考察してみる。

1. 断熱材

物体の内部で、ある分子の熱運動が隣の分子をより激しく動かすことにより、熱が温度の高いほうから低いほうに移動することを「熱伝導」という。空気も同じであるが、空気は密閉すると熱伝導が少なくなり、優れた断熱効果を出す。発砲スチロール・ダウンジャケット・布団・ガラスウールなどが優れた断熱効果を示すのは、皆内部で空気が密閉されているからである。ここで熱伝導率を考えてみる。熱伝導率とは、物質内で高温部分から低温部分へ熱が伝導する際の、伝導のしやす

さを示す値。単位等温面を単位時間に垂直に流れる熱量と、この方向の単位長さあたりの温度差の比で表される。単位は $[W / m \cdot K]$ である。主な熱伝導率²¹⁾を図5に示す。木材だけでなく、断熱材として、ポリスチロールやガラスウールを使うと格段に断熱効果が大きいことがわかる。断熱材を使用することで、夏場は涼しく冬場は暖かくなり、冷暖房に必要なエネルギーは節約され快適な暮らしができる。合わせて重要なことは、折角断熱材を使用しても、熱が漏れてしまう住宅では断熱効果が期待できない。気密性を高めることが断熱材の使用に付随してくる。したがって、住宅での Technical Fix においては、「断熱」「高气密」が重要であり、更に木を植えるなどして熱を遮る「遮断」を加えた3つのキーワードが大切である。

図6は一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会が出された、家屋における冬場・夏場の熱の出入りの割合である²²⁾。冬場・夏場ともに熱の出入りは開口部つまり「窓」が大きくなっていることに注目したい。冬場は開口部を通して約58% 暖房時の熱が流失し、夏場は約73%の温かい外気が開口部から流入していることがわかる。折角、従来の化石燃料から脱却して新しい再生エネルギーを生み出しても、以上のような損失は絶対防がなければならない。私たちは、この現実をしっかりと受け止め、家を建てる際にはしっかりと断熱材を使うことは勿論、開口部、特に「窓」の断熱にも注意していかなければなら

材料/化学物質	単位: W/(m.K) ※ 25℃の場合
レンガ造り	0.6 ~ 1.0
ガラス	1.05
コンクリート	0.4 ~ 0.7
ポリスチロール	0.043
ガラスウール断熱材	0.04
木材	0.14
空気	0.024
※ CO ₂	0.0146

図5 主な材料の熱伝導率一覧

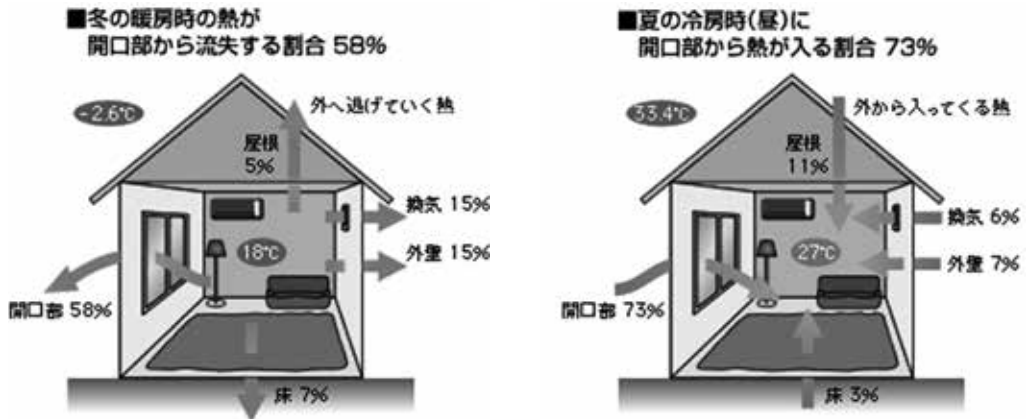


図6 冬場・夏場の家屋における熱の流出・流入の割合

ない。そのための効果が最も期待されるのは、窓を従来のものから、密閉された空気が組み込まれている「二重サッシ(またはペアガラス)」にすることである。図5で示したように、ガラスの熱伝導率は $1.05 \text{ W} / (\text{m}\cdot\text{K})$ であり、密閉された空気の熱伝導率は $0.024 \text{ W} / (\text{m}\cdot\text{K})$ と、空気の方が約44倍断熱効果があるためである。窓を二重にすると、優れた断熱効果だけでなく、防音効果や結露効果まで様々な効果が期待できる。三重サッシにすれば更に効果は大である。昔は基礎部分に湿気対策として空気口が設けられていたが、空気口のために外気の流入が起こり断熱効果が薄れていた。近年は、基礎部分には空気口を設けず外断熱をしっかりと施工工法が取り入れられている。

VI. 環境問題

図5で示したように、 CO_2 の熱伝導率は $0.0146 \text{ W} / (\text{m}\cdot\text{K})$ と、他の物質に比べはるかに小さい。このことは、 CO_2 が大気に多く存在するとその断熱効果が大きくなり、温室効果を引き起こすことが容易にわかる。近年温室効果による気温の上昇、それに伴う自然界への影響が多く取り出たされている。そのためにも CO_2 を含めた環境問題に真剣になって取り組んでいかなければならない。これまで、再生エネルギーについて考察してきたが、

- ①太陽光発電を全世帯に設置する……再生エネルギーが17%増すことにより、石炭の現在の使用量が半減する。(CO₂削減)
 - ②風呂を太陽熱やエコキュートで沸かす……ガスの使用量が6割から7割減少できる(CO₂削減)
 - ③車をEV化……車から出る一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、窒素化合物(NOx)、粒子状物質(PM)などの有害物質が大幅に減少
 - ④断熱材、二重サッシの使用……CO₂削減
 - ⑤バイオマス発電……カーボンニュートラル
 - ⑥原子力発電の依存度が低くなる……放射性廃棄物の削減
- と、以上ここで述べた対策だけでも大幅に環境改善がなされると考える。

VII. まとめ

2015年に国連決議である、国際社会共通の目標、SDGs「Sustainable Development Goals」が制定されて既に7年が経とうとしている。各国それぞれが定めた目標に向かって進めているが、国により差異が生じている。その中でも、III章で述べたように特に日本のスピードが遅い。目先の利便さを追求することではなく、将来暮らす子孫のために、50年先、100年先、ひいてはこのかけがえのない地球を未来永劫 Sustainable にしていくために

何を実行していかなければならないか、という早急な対応が求められている。今やSDGsは、世界共通の待ったなしの最重要課題である。このことを私たちは真剣に認識し取り組んでいかなければならない。このSustainableな開発目標実現のため、日本においては、2021年4月、政府の地球温暖化対策推進本部で、2030年までに二酸化炭素排出量削減目標を46%にすると発表した。国際的な要請は50%であるにも拘わらず46%というのはそれだけこの目標達成が厳しい数値であることを如実に示している。私たちは、このことを十分認識し、後でではなく、正に「今」、具体策を実行していかなければならない。そうしていかなければ2030年目標達成は到底難しくなる。そのことを踏まえ、ここでは、SDGsの中で提唱された17分野中の特に3つのテーマ

- ①エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
- ②気候変動に具体的な対策を
- ③住み続けられるまちづくりを

を改善する一つの具体策を提案してきた。再生エネルギーは太陽光発電、風力、水力、地熱、バイオマス等があるが、第IV章で示したように、2030年までの到達目標を考えると、現在の日本の環境のもとでは、風力・地熱利用の発電では間に合わない。そこで、どうしても2030年に間に合わせるためにはと、太陽光発電、バイオマス発電、そしてTechnical Fixに絞り、敢えて数値を示してきた。ここで試算してきた数値は理想的な数値であり、現実には厳しいことを承知した上で敢えて提案してきた。理想を追い求めなければ目標達成に届かない。是非この理想に向かって進むことを望む。

今、国では再生可能エネルギー賦課金を電気使用量1kWh当たり3.36円(2021年現在)徴収している。各家庭の年間平均使用電気量は4,322kWhなので、1年間に1件あたり約1,500円電気代に上乗せされている。日本全

体での賦課金の合計は年間10,000億kWh×3.36円=1兆3,600億円になる。この賦課金は、主にメガソーラーなどの事業用の電気量買い取りに使われているが、今後は事業用だけでなく、個人世帯の太陽光発電を促進させるためにも、個人に対しても補助や融資制度を設ける必要がある。

Sustainableなエネルギーは、再生可能なものでなければならない。そのエネルギーは、他にもない、太陽(太陽光発電)、水(太陽熱温水器)、空気(断熱効果)、風(風力発電)、地熱(発電)といった、私たち身の周りに存在するものである。私たちは余りにも身近な存在で普段気付かないでいたが、人類はやっとそれに気付いたのである。私たちは扱い易く大きなエネルギーが取り出せる化石燃料に頼り過ぎてきた。そのついでに地球温暖化現象、異常気象、環境汚染という地球規模の重要問題として現れている。太陽光発電の認識は一時高まりを見せたが、第IV章1(4)で述べたように現在は意識が薄れてきている。巨大企業の電力会社が化石燃料を使用して作るエネルギーを、広大な送電網を通して私たちは利用している。その送電ロスエネルギーは莫大である。これからは私たちの考えを変えていかなければならない。それは一極集中型から地方分散型に転換する時期が来たということである。エネルギーは人から貰うものではない、自分で作るものである。太陽光発電は、野菜を作る農業とも似ている。所謂「エネファーム」である。太陽という自然の恵みを受け、各家庭で電気を生産する。自然が相手であれば時に多くのエネルギーが得られることもあれば、天候により厳しい時もある。その過程で、自然の力のすばらしさ、大切さ、厳しさ、そして電気を作る喜びを肌で感じ取ることができる。

しかし、もしエネルギーが足りなくなったらどうしたらよいか、その時私たちには「節約」という意識が芽生えてくるのである。今

のようにあたかもエネルギーが無尽蔵であるかの如く、お金を出せばいくらでもすぐ得られる世の中では出てこない発想である。そこで、エネルギー施策には「発電」と同時に、第V章で述べた「Technical Fix」という手法が登場するわけである。残念ながら、日本では「Technical Fix」すなわち「節約」の意識が少ない。今でこそ断熱材の重要性も高まりつつあるが、それでも日本の場合には不十分である。再生エネルギー先進国であるドイツの断熱材の厚さは30cm程もある。家全体を魔法瓶のようにし、一年中一定温度（約20℃）にして快適な生活を送っている。しかし、日本では断熱材が見直されているにもかかわらず、断熱材の厚さはまだまだ不十分である。日本では脱衣所の温度について余り議論されない。寒い脱衣所で着替えることにより死に至るケースもある。この脱衣所の温度差によるヒートショックはドイツでは日本よりもはるかに少ない。更に第V章で述べたように、熱の損失は窓が一番大きい。日本の窓の構造は先進国の中でも特に遅れを取っている。窓を二重サッシにするだけで大きな効果を生む、という意識が日本には少ない。このように、断熱材や二重サッシを含めた「Technical Fix」の考えを大きく前進させ、経済産業省が掲げた「外皮の断熱性能等を大幅に向上させるとともに、高効率な設備システムの導入により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを目指した住宅」であるZEH（ゼッチ、ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）を、理想を掲げるだけでなく、現実的に進めることを願う。そのことで、SustainableなSDGsの目標が確実に達成されていくと信じる。

これまでの内容をまとめると、

- (1) 太陽光発電を全世帯に普及させる導入しやすいように補助や融資を図る

- (2) 「太陽光発電は採算が合うものである」という意識の啓蒙
- (3) バイオマス発電という中・小規模発電をできれば各市町村に一基設置（一極集中型から地方分散型へ）
- (4) 車は全部EV車にし、その電力は太陽光で賄う（排気ガスゼロ）
- (5) 風呂はガスではなく、電気或いは太陽熱温水器で沸かす（CO₂削減）
- (6) 断熱材を現在の2倍に強化し、標準設定とする
- (7) 窓ガラスを二重・三重にし、標準設定とする
- (8) 再生可能エネルギー賦課金を個人の太陽光発電にも適用させる

以上の施策だけでも、2030年CO₂削減目標46%の可能性は、見えてくるのではないかと考える。

最後になるが、先にも述べたように日本の再生エネルギーへの取り組みは諸外国に比べ遅れを取っている。現在、世界では再生エネルギーを利用した新しい車である「燃料電池車」が開発されている。水素を燃料とし、エネルギー効率が高く、有害物質を出さない、そして充電が不要であるという夢の車である。日本でも既に燃料電池車は実用化されており、車名は「MIRAI」である。今後この車名のように、再生エネルギーの技術がSDGs開発目標を実現し、「未来」の子供達の平和につながっていくことを期待したい。

引用・参考文献

- 1) Amory B. Lovins, *Soft Energy Paths: Toward a Durable Peace*, Friends of Earth Inc., 1977
「ソフト・エネルギー・パス：永続的平和への道」室田泰弘・槌屋治紀訳、時事通信社、1979
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁、エネルギー白書2021【第214-1-6】「発電電力量の推移」, 2021, p134

- 3) 経済産業省資源エネルギー庁、日本のエネルギー 2020 年度版「エネルギーの今を知る 10 の質問」7 章(再エネの導入),2020
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」データより自然エネルギー財団作成、統計(エネルギー全般),2019
- 5) 総務省、平成 30 年住宅・土地統計調査、住宅及び世帯に関する基本集計、結果の概要,2018,p4
- 6) 総務省、平成 30 年住宅・土地統計調査、住宅及び世帯に関する基本集計、結果の概要,2018,p5
- 7) メーカー別の 1kW あたりの年間発電量と年間売電額(表) <https://www.eco-hatsu.com/article-solar/basics/21827/> (参照 2021-12-10)
- 8) 運転実態と車の維持費(表) https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/2021/08/20210824_01.html (参照 2021-12-12)
- 9) 環境省「2017 年度の家庭のエネルギー事情を知る」(家庭でのエネルギー消費量について),2017
- 10) 一般財団法人自動車検査登録情報協会「統計情報」(自動車保有台数)
- 11) 総務省「住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数」,2021
- 12) 一般社団法人プロパンガス料金消費者協会「プロパンガスと都市ガスの特性比較」(発熱量),2021
- 13) (財)日本エネルギー経済研究所 石油情報センター 「平成 18 年度プロパンガス消費実態調査」,2006,p10
- 14) 一般家庭で使用される都市ガスの消費量は年間約 340m³ 程度です。これを単純に月割すると 28.33m³ となります。<https://selectra.jp/energy/guides/consumption/heikin-gasdai> (参照 2021-12-12)
- 15) 例えば、東京電力では、オール電化家庭の平均電気使用量が年間 7,920kWh 程度と
 言われます。<https://selectra.jp/energy/guides/knowledge/alldenka-pros-cons> (参照 2021-12-12)
- 16) 佐野市森林整備計画(平成 29 年 4 月 1 日～平成 39 年 3 月 31 日),p1
- 17) というわけで、日本の林業の主役といえる杉では、1ha あたりに 3000 本もの苗木が植えられる。この本数が果たして本当に適正なのかどうかは、また別のところで考えるが、これが最終的には 500～600 本になる。約 4/5 は間伐しなくてはならないのである。http://www.zenmori.org/kanbatsu/report/01_1.html (参照 2021-12-20)
- 18) 愛媛県「枝打ち技術指針」,1980,p13
- 19) 木材博物館「木材の比重リスト(表)」
https://wood-museum.net/specific_gravity.php
 (参照 2021-12-20)
- 20) 九州バイオマス資源活用促進協議会「平成 22 年度バイオマス資源活用促進事業事業報告書」,2011,p1-20
- 21) WIKITECH「熱伝導率一覧」<http://wikitech.info/1165> (参照 2021-12-23)
- 22) 一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会 https://www.kensankyo.org/syoene/qanda/mado/a_9.html (参照 2021-12-22)