

顕在化する気候変動危機への対応（I） —行政・企業レベルでの取り組み—

三池秀敏¹・溝田忠人²・南野郁夫³

Response to the Emerging Climate Change Crisis (I) : Initiatives at the Governmental and Corporate Levels -

Hidetoshi Miike・Tadato Mizota・Ikuo Nanno

要旨

20世紀後半から人類の活動がグローバル化する中で、活動に必要なエネルギーの殆どを化石燃料に頼って来たことの負債が、気候変動危機と言う形で顕在化している。急速な気候変動は、単なる温暖化ではなく、地域によっては極端な干ばつや洪水、そして寒冷化現象を含む気候の不安定化・暴走を招く危険性が古気候学や複雑系科学の研究者らによって指摘されている。こうした21世紀の課題に対する危機意識は、被害を受けている開発途上国では勿論高いが、先進国においては人々の間でまちまちであり、国際社会全体として有効な手立てが打ち出せていない現状がある。人類の絶滅をも招きかねない気候変動の進行の速さへの対応に、残された時間は多く無い。地方都市や地域によっては、先進的で効果的な取り組みがなされている例は知られているが、その普及は容易では無い。

本論文（I）では、2020年代に顕在化して来た気候変動危機への対応を、行政・企業レベルでの取り組みについて紹介し、太陽光発電を中心とする再生可能エネルギー活用の課題について議論している。また、気候変動の被害を受けている開発途上国への支援や、太陽光発電による創エネと住宅の省エネ化への取組は、先進国に住む市民の責務であり、放置すれば世界的な危機となって返ってくる可能性を指摘している。

1. はじめに

21世紀の現代社会は多くの課題を抱えている。気候変動、地域紛争、そしてエネルギーと食料確保の課題である。いずれも、100億人規模に達しようとする人口増加と、人類活動のグローバル化がもたらした弊害である。この流れを創り出したのは、産業革命以来の資本主義の席卷と進化である。従って、これら21世紀課題の解決は容易では無い。国連が推奨する2030年までの達成を目指す持続可能な開発目標（SDGs）や、2040年代の超スマート社会（Society 5.0）の実現は、既に実現困難なミッションとも思える。国連や国の政策や企業レベルの取組では、個人レベルでの目標達成への努力を共有できていない。その前提となるSDGs自体を知らないか、全く意識していない人々も多い。一方で、SDGsを現代版「大衆のアヘン」と呼ぶ斎藤幸平氏は、新たな「脱成長コミュニズム」を提案している^{1,2)}。すなわち、斎藤氏は晩年のマルクスが提案した経済成長をしない循環型の定常型経済を営む共同体社会（脱成長コミュニズム）の実現が、資本主義に

¹山口学芸大学名誉教授（山口大学名誉教授） ²市民共同発電うべ（山口大学名誉教授）

³山口芸術短期大学（日本太陽エネルギー学会フェロー）

代わる持続可能性と平等性をもたらし、将来社会を構想する新たな武器となると主張する。

資本主義は全ての資源を商品化してきた。本来、地球の共同財産（コモンズ）であるべき土地や水を含むあらゆる“もの”を商品化し、利益を追求する。この資本主義のグローバル化を加速して来た最大の要因は、「新自由主義」に代表される近年の資本主義の進化である。シカゴ学派のミルトン・フリードマンは、ケインズが唱えた公共事業や累進課税などの政府による経済への過度の介入を否定する「新自由主義」を唱え³⁾、従来は行政が行ってきた公共事業を次々と民営化し、市場経済を重視した経済政策を推進してきた。その代表的な経済政策が、米国のレーガノミックスや英国のサッチャーリズムであり、日本でもこの影響をうけて、NTT、日本たばこ産業、JRグループなどへの再編（民営化）が進んできた。しかし、行き過ぎた新自由主義政策は、21世紀になって巨大な格差社会を生みだし、雇用にも及ぶ規制緩和で大量の失業者を生み出している。すなわち、新自由主義は強い立場や権力がある強者の論理と言え、いわゆるグローバルサウスに代表される開発途上国の犠牲の下に先進国（グローバルノース）に住む人々の豊かな暮らしがある。さらに先進国においても格差社会は拡大している。そして、資本主義の犠牲となっているのは人間だけでは無い。動植物や化石燃料を含む“自然（地球）”も搾取の対象であり、その自然に働きかけ商品という価値を生みだしているのが人間の労働である。地球の自然や資源が有限である以上、現状のままの資本主義の拡大は不可能であり、その限界への警告が気候変動やパンデミックという形で現出していると考えられる⁴⁾。

戦前の日本社会が戦争へと突き進んだ最大の要因は、資源・エネルギーの確保のための拡大（現状変更）政策にあると言える。満州を日本の生命線と称したメディアの論調も国民を誤った方向に導いて行った。明治維新以降、富国強兵策を貫いてきた日本国の行きつくところは、資源・エネルギー不足を海外に求めざるを得ない状況に繋がったと言える。この過ちは繰り返されてはならない。エネルギーと食料が自給自足出来てないのは戦前と同じであるが、21世紀の現代は全く異なる環境下に置かれている。すなわち、科学技術の進歩による、新たなエネルギー創生（以下創エネと略す）手法の存在である。太陽光発電や水力・風力発電に代表される再生可能エネルギーが利用でき⁴⁾、課題は多いが原子力発電も現実的な選択肢に入れられている。地震大国日本の正しい現状認識の下に⁵⁾、長期的で安全なエネルギー政策を立案する必要がある。この際に欠かせないのが、国民一人一人の環境意識の醸成と「省エネ・創エネ」への参画である。他人ごとでは無い気候変動対策を、個人レベルでも取り組む時代が到来している。人類は地域紛争や大国間の対立などに携わっている余裕はない。気候変動対策に残された時間は多くは無い。既に遅すぎる可能性もあるが、次世代の地球上の生命のためにも、我々は直ちに行動に移すべき時である。

2. 太陽光発電によるエネルギーの地産池消を目指して

2.1 市民共同発電うべの取組

「市民共同発電うべ」は非営利株式会社として2016年10月に設立され8年目を迎えている⁶⁾。会社定款の要約には「市民共同発電うべは目的を太陽光発電を主体とするクリーンなエネルギーを普及促進し、地球温暖化防止、エネルギーの自給を目指し、宇部市の活性化に寄与することとし、そのための事業を行います。」とある。また、「収益が出た場合には、事業の拡大の他、地域活性化に資する事業に使います。」とされる。資本金は市民の出資による1000万円弱であり、現在までの主な事業内容としては、①宇部市立の小・中学校7校に各19.8kWの太陽光発電を設置し、全量買い取りでの売電事業（2017年度、2018年度）、②山口学芸大学・山口芸術短期大学（宇部学園）屋上に自家消費型の太陽光発電設備の設置（2020年度）、③その他民間事業（蓄電池付太陽光発電設備、井戸ポンプ運転システム（太陽光発電+蓄電池））などを手掛けている（3.1 市民共同発電うべ設立の経緯と「出力制御」の現状参照）。

図2-1は、市民共同発電うべにより、山口学芸大学の屋上に設置された、太陽光発電の3年間の発電実績を示している。パネルは、ドイツ製のK2システム架台を用いて、フラットな陸屋根に設置され、耐風性を確保している。東西に各々10度傾斜したパネルを対にして、風の抵抗を受けにくい形に配置されている（文献4 図8参照）。この設置形状でも、年間の発電量は約15,000kWhとなり、11.1kWのパネルで、設置容量1kW当たり年間1,350kWhを発電という高効率を示している。パネルはCIS化合物系発電モジュールで構成され、多結晶Si型に比べて夏場の高温や曇り空等の悪条件に強い。最近の電気料金の高騰により、大学で使用する電気料金も最近33円/kWh程度となり、15,000kWh/年の発電量でも、自家消費により年間50万円近い電気料金の節約が出来ている。太陽光発電システムへの投資額（約400万円）は10年以内に回収できる予定である。太陽光パネル自体は30年程度の寿命が期待されているが、発電した直流を交流に変換するコンバータは10年～15年の寿命とされる。30年と言う長期スパンで考えた時、投資額に対するリターンは、少なくとも1000万円近くが期待されるが、今後の社会情勢の変化やシステムのメンテナンス・廃棄処理等の費用も勘案し、総合的に評価する必要がある。

2.2 日本の取組の現状

一方、市民共同発電うべのホームページの情報に依れば、電力1kWh当たりの燃料価格と使用比率は表2-1のように示されており⁶⁾、2014年時点で化石燃料の使用比率は87.8%、平均化石燃料価格は9.05円である。また、資源エネルギー庁の2022統計年度に依れば、我が国の発電エネルギーの構成比率は、化石燃料72.7%（石炭30.8%、天然ガス33.7%、石油8.2%）、自然エネルギー21.7%（水力7.6%、太陽光9.2%、風力0.9%、地熱0.3%、バイオマス3.7%）、原子力5.6%となっている（図2-2参照）⁷⁾。表2-1の燃料価格を参考に、電力1kWh当たりの燃料価格と使用比率を試算すると、2022年度は表2-2のような結果となる。ただし、2014年のUSドルの年間平均レート105.9円/USドルと、2022年のUSドル年間平均レート131.5円/USドルの違いを考慮した燃料価格としている。2024年の現在は更に円安が進んでいるものの、化石燃料の使用比率は太陽光発電の普及により低下傾向にあると考えられる。その意味では、化石燃料の燃料価格は9円/1kWh程度で、この8年間ほど大きく変動していないと考えられる。その一方で、化石燃料の使用比率は87.8%から72.7%へと減少しており、原子力発電の比率が小さくなる中で太陽光発電を中心とする自然エ

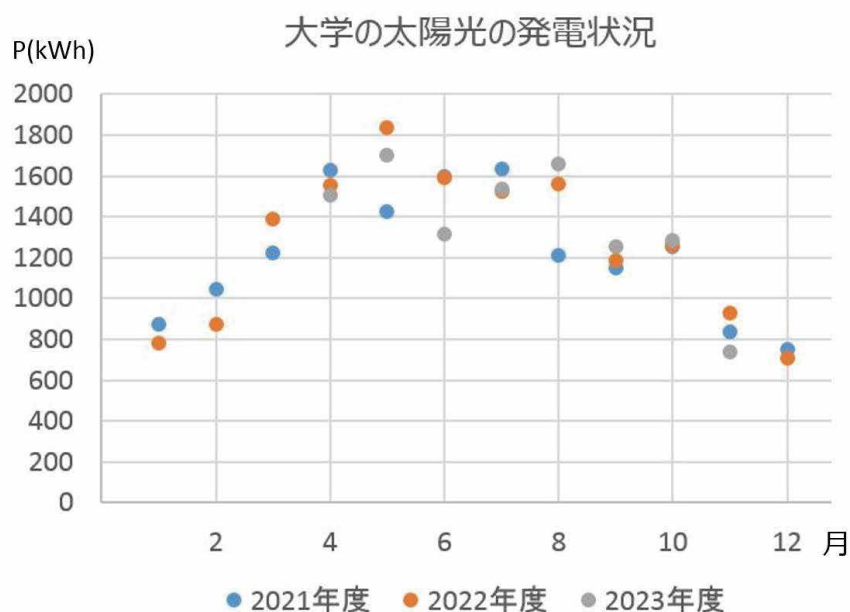


図2-1 大学に設置された太陽光発電システムの発電実績

表2-1 電力1kWh当たりの燃料価格と使用比率（2014年度）

	燃料価格（円／ kWh）	使用比率（％）
石炭	4	31.0
LNG（天然ガス）	13	46.2
石油	17	10.6
化石燃料（平均・合計）	9.09	87.8

表2-2 電力1kWh当たりの燃料価格と使用比率（2022年度）

	燃料価格（円／ kWh）	使用比率（％）
石炭	5	30.8
LNG（天然ガス）	16	33.7
石油	21	8.2
化石燃料（平均・合計）	8.65	72.7

エネルギーの利用比率が高まっている。市民共同発電のホームページでの2014年度の試算では、宇部市全体の年間消費電力量約1,400GWhに対し、化石燃料費は約127億円と推定されている。2022年度の宇部市全体の年間消費電力量1,208.6 GWh⁹⁾ に対しては表2-2の燃料価格8.65円/kWhを用いて約104.5億円と試算できる。すなわちこの8年間で約22.5億円の節約が出来ていることになる。

この減少傾向は、図2-3に示すように日本国全体の発電電力量が年々減少傾向を示していることと対応している⁷⁾。2010年度に約11,500億kWhであった発電電力量は、2022年度には10,000億kWhへと減少している。国全体としての省エネ・創エネへの努力の結果なのか、東日本大震災やパンデミックの影響なのかは定かでない。また同図より再生可能エネルギーの割合が徐々に増大

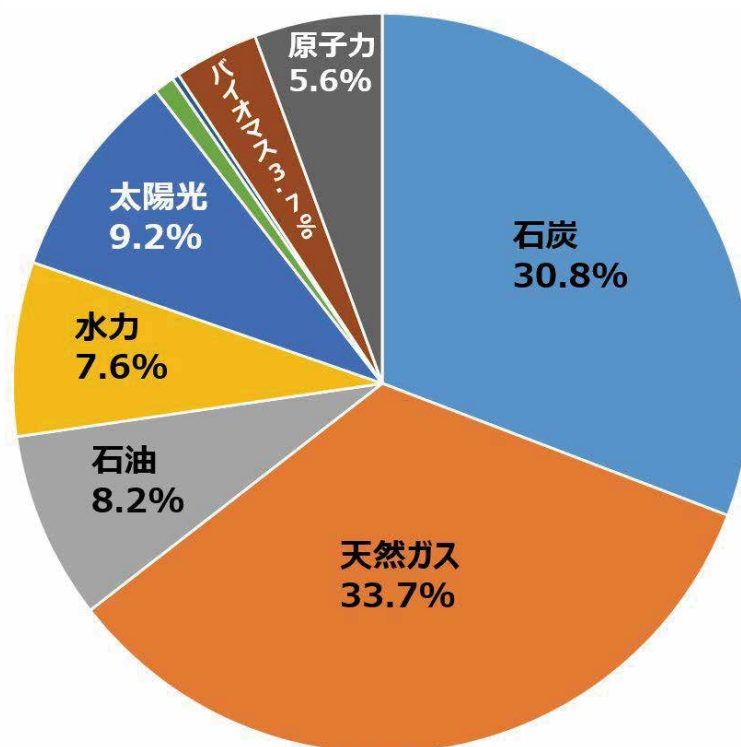


図2-2 発電エネルギーの構成比率（2022年度：日本）⁷⁾

発電電力量と発電用エネルギー投入量

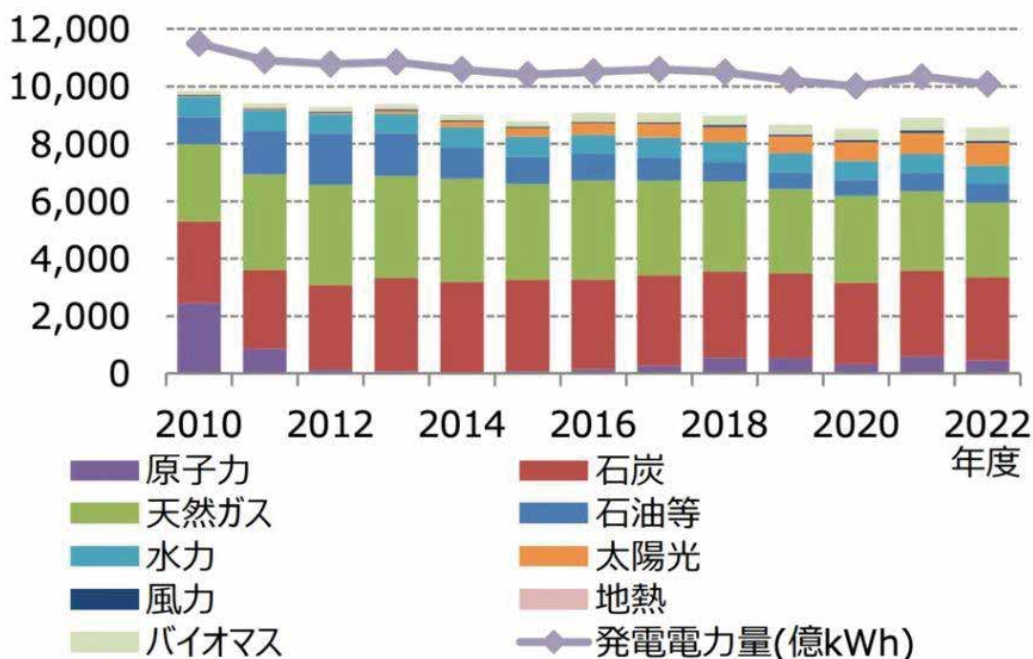


図2-3 発電電力量とエネルギー投入量の年度変化 (下記のHP図より転載)
<https://earthene.com/media/156> ¹⁰⁾

していることも分かる。ただ、原子力を除く化石燃料の利用量は殆ど変化していない。特に温暖化への影響が大きな石炭量の削減が出来ていない点が大きな課題であり、COP28で日本が気候変動対策に消極的として、国際的環境NGOが日本を化石賞に選定する不名誉な結果ともなっている⁸⁾。一方、2020年度時点の住宅用(10kW未満)の太陽光発電の普及率は10%にまで上昇し、導入件数は2,817,670件とされる。また、世界的に見ても日本の累積導入量は2019年末で第3位となっている。最近では、中国(累積1位)とインド(累積5位)の伸び率が顕著である^{10,11)}。日本の2019年の年間導入量は7.0GWであり、年間導入量第4位である。2020年以降は、パンデミックやロシアのウクライナ侵攻の影響を受け、電気料金が高騰する中で、太陽光発電の普及率は向上していると推定される。普及率を左右させる要因として考えられているのは、以下の通りである¹¹⁾。1) 補助金・固定価格買取制度(FIT)、2) 電気代の値上げ、3) 新築での設置義務化(東京都など)、4) 蓄電池と合わせた自家消費促進、5) 再生可能エネルギーの普及目標、6) 初期値0円サービスの広がり、7) 2050年カーボンニュートラル実現目標、8) エコ給湯の昼間焚き上げの導入。8番目のエコ給湯の昼間焚き上げは、特に冬場で効果的である⁴⁾。冬場の夜間は気温が0℃近くとなり、大気中の熱エネルギーを利用するエコ給湯のヒートポンプの効率は低下する。昼間に気温が10℃近くまで上がれば、効率は2倍近くに上昇し、焚き上げの時間も短縮され省エネとなる¹²⁾。勿論、太陽光発電と連携させれば、太陽光発電電力の自家消費となり、電力会社の昼間電気料金(現在40円/kWh程度)に比べてかなりの節約となる。現在、太陽光発電を新規に導入する場合の電力会社への売電価格は15円/kWhとなっており、売電より自家消費のほうが遥かに経済的である。さらに、電力会社の電気を利用する場合と比較して、太陽光発電電力の利用では、1kWh当たり約500gのCO₂の削減が可能であり¹³⁾、クリーンなエネルギーの活用は気候変動対策にも貢献できる。

3. 太陽光発電の「出力制御」の現状から考える

3.1 「市民共同発電うべ」設立の経緯と「出力制御」の現状

筆者の一人（溝田）は、2016年に宇部市内の有志での「非営利株式会社 市民共同発電うべ」の立ち上げに関わった。非営利企業の設置は、FIT（Feed In Tariff：再エネ発電による電力の固定価格買取制度）¹⁴⁾の利用を前提としたものであった。FITは、再生可能エネルギー（以下再エネ）による発電を国が政策的に支援するために、業務用では20年間一定の金額で買い取る制度である。宇部市が学校の体育館の屋根を太陽光発電のために貸し出す施策を発表し、それに呼応した会社設立だった。それ以前、約10年も前から市民による発電会社の構想を考えていた人たちがいて、先進地の視察や、講習会への参加が盛んにおこなわれていたが、会社の設立までには至らなかった。当時FIT制度が終わるかもしれないという危機感も迫り、最後は「出資金は集まるのか」と有志の間で出資可能金額の調査を行い、金額的目算を得た“勢い”で設立した感もあった。

市立小中学校の体育館の屋根貸しには、他の民間企業も応募し、結局大手系の企業と当社が受注、当社は1校20kWの比較的小さい、条件の良いとは言えない案件を7つ受注できた。実績の無い、にわか作りの会社としては致し方ないところであった。設立後2年にわたり出資金と低利（年利1%）の債権（少人数私募債）の発行により市民や宇部市ゆかりの出資者に支えられ、受注した全7校、計138.6kW（1校19.8kW）の太陽光発電設備を設置できた。以来、7年に渡り、年間約500万円の売電収入と、その後に個人や法人の建物の屋根に太陽光発電の設置、またゼロ円システムによる設置でリース料金などの収入を得て、運営は基本的にボランティアで支え、経営を続けている。以下、目立った成長は望めないものの安定した会社経営が続くと思われたが、最近にわかにはクローズアップして来た太陽光発電の「出力制御」により、その状況に赤信号が灯った。以下、その現状と問題点について記す。

「出力制御」の現状

FITの効果で、太陽光発電が広く普及し、発電量が増えるにしたがって、晴天の昼間の時間帯に発電過剰となり、中国電力は受電制限、すなわち「出力制御」をするようになった。ただし、これまで家庭用等の10kW未満の発電設備について「出力制御」は行われていない。一方、かなり前から九州電力は、玄海原発及び川内原発の稼働があり、太陽光発電適地ということもあって、「出力制御」を行っていたが、原発の稼働がない中国電力なども2022年度（実質的には2023年度）から出力制御を始めた。現在は、電力会社の再編により、中国電力ネットワーク株式会社（以下中電NWと略す）がこの出力制御の実施母体である。

電力の供給量と消費量とは基本的に一致していないと周波数が変化し、この変化が許容範囲を超すと接続機器破損などの影響が生じ、停電に繋がる。そのために電力会社は常に発電量と消費量の収支バランスをとっている。見方を変えると、太陽光発電が電力会社の発電コントロールに影響を及ぼす量に増大したことを意味する。

2024年4月の例で見ると、土・日に限らず中電NWから以下のような予告文書メールが市内の各学校発電所に関して当社に送られて来る。出力制御を行う発電所をどのように選ぶのかは定かでない面があるが、「年間割当表」が公表されており、前もって公平になるように発電所を選んでおき、日照予測から出力制御の可能性の高い場合、前日ないし数日前に制御予告メールを発している。その予告メールの例の一部を以下の枠内に示す。

1. 連絡内容

2024年04月11日は、火力発電設備の出力抑制や揚水発電所の運転、連系線の活用等の対策を実施しても、電気の供給力が需要を上回ることが見込まれるため、当日の需給状況等を踏まえて、太陽光発電所・風力発電所の出力制御を実施する可能性があります。なお、本メールを受信されている発電事業者さまはオンライン制御の発電所であり、出力制御機能付きPCS等が定期的に取得する出力制御スケジュールに基づく自動制御となりますので、本メールによる発電事業者さま側での対応はございません。

【出力制御日】 2024年04月10日 以下一部略

2. 連絡者

中国電力ネットワーク株式会社

著者注：枠内文中のPCSとはPower Conditioning Subsystemsの略で発電量等を制御しているシステムの一部を指す。

出力制御が行われた結果の発電パターン例を図3-1に示す。2024年4月の同様に快晴であり「制御」の無かった13日（赤線）と前後の制御された12日（青線）、14日（黄線）の発電パターンを重ねて示した。

事業開始当初、2017年当時の太陽光発電設備設置に当たっては出力制御のための装置設置は明確には義務化されておらず、曖昧であったので、当社は独自に発電モニターシステムのみを設置していた。しかし、設置完了後、出力制御装置の設置義務が明確になったので、2019年に当社は各発電所当たり平均45万円、7校総計約300万円もの大きな出費をして、中国電力との「遠隔出力制御装置」を設置した。会社にとって収入源の「売電」を減らすための出費を自前で行ったことになる。出力制御を行う機能を自前でつけさせられたことは論理的に納得できるものではない。当社は非営利とはいえ株式会社である、会社の収入を減らす機能を自前でつけることは株主の損失を招く行為を自ら行ったと看做せるかもしれない。税金と同じという訳にはゆかないだろう。中電NWが負担する論理も当然成立する。しかも、それから2023年まで、この装置は一向に使われることが無かった。

「出力制御」が始まってみると、その中に「代理制御」という奇妙な制度が重なっていた。これは出力制御のための遠隔制御システムをつけなかった会社（制度の明確化以前に設置した会社ないし制御装置を何らかの理由でつけなかった会社）の発電を止めることが無理なので、代理で当社のような制御機器をつけた会社の発電を止め、その損失を2か月後に補填するのである。

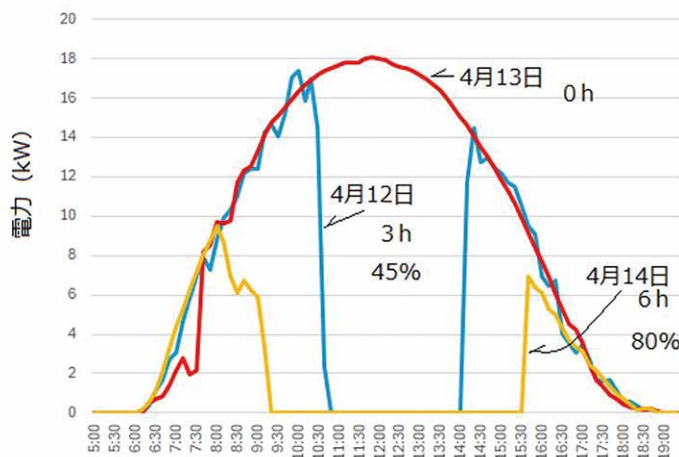


図3-1 ある学校発電所19.8kWの発電の様子と出力制御のパターン、2024年4月の晴天が続いた3日間の内、出力制御された12日と14日、されなかった13日の発電のパターンを重ねたもの。日にち、制御時間 (h)、失われたおおよその電力量%を示した。

表3-1に、2023年度の1年間の出力制御時間と代理制御時間を示す。この表では、代理制御は「制御」全体時間の23%になっている。

図3-2には、2024年2月17日（土）の市民共同発電うべの学校発電所7校への出力制御の実例

を示した。この日は、7校の発電所の内5校が「制御」されている。

最近の出力制御の傾向を見ると、1) 晴天の休日、2) 晴天の平日、3) さほど晴天で無い日、のいずれでも行われている。逆に、出力制御予告が来ている晴天の日に抑制が行われなかった日もいくつかある。

これらのことを基に推定すると、中電NWは天気予報から予め日照の予測を行い抑制の準備をするが、予測した発電パターンが外れた時に、On-Line化したスイッチ1つで出力を「制御」できる太陽光発電の「出力制御」を行う。確かに火力発電の出力を短時間に変化させることはそうたやすいことではないと理解はできるが、火力発電の調節の内実は公表されていない。この「制御」の着地点が示されない限り不安は続く。

欧州諸国では制御比率を5%程度に抑えている国が多い。折角の再エネ発電を無駄なく利用することは大切で、制御は5%程度に押さえるべきだが、九州電力管内では風力発電も含めて既に年間8.9%になっており、さらに今後上昇しそうである（朝日新聞、2024年2月10日）。昨年実質的な出力制御が始まったばかりの中国電力管内にある市民共同発電うべでは、2023年度の削減量がすでに4.7%に達している。太陽光発電はOn-Lineで容易に断続可能で、その意味で中電NWにとっては制御の便利機器の感がある。

表3-1 2023年度市民共同発電うべ7校発電所に適用された出力制御・代理制御の月合計及び年合計

2023年度 月	月合計時間 (h)	
	出力制御	代理制御
2023.4	224.0	56.5
5	129.0	65.0
6	49.5	14.0
7	0.0	0.0
8	0.0	0.0
9	0.0	0.0
10	7.5	2.0
11	4.0	2.0
12	5.5	3.0
2024.1	3.0	2.0
2	36.0	16.0
3	49.0	26.0
合計	507.5	186.5

3.2 出力制御によるエネルギーロスの技術的・社会的側面

確かに火力発電の出力を細かく制御するのは太陽光発電に比べれば難しい点があることは理解できる。また、原発は更に出力の急激な調節が不得意であり、安全性に問題が生じるとされている。日本は、政策上は再エネ発電を増やす方針であり、そのため国によって発電抑制の手順が定められている。自然エネルギー財団のホームページによれば¹⁵⁾、抑制の優先順位は、1) 石炭、ガスなどの火力発電および揚水式水力発電、2) 送電網の活用による他地域との連携、3) バイオマス発電、4) 太陽光・風力発電、5) 原子力・水力・地熱、の順である。しかし、主として太陽光発電の増加によって昼間の電力が余ってきたので、4) までで抑制は終わり、5) の原子力、水力、地熱は特別な緊急事態以外に抑制されない。

この中で原子力に特別な待遇を与えていることは、経済的にも不合理である。先にも述べたように原子力発電の出力調整は技術的に困難が伴うと言われてきたが、フランスなどでは抑制は普通に行われている（朝日新聞2024.2.10）。しかし、安全には換えられない。

また、電気料金に上乘せされる「燃料費調整額」、「再生可能エネルギー発電促進賦課金（再エネ賦課金）」により、自動的に燃料価格の変動や再エネ発電の増大の影響を消費者に背負わせ収入を確保する制度に守られて電力行政体制は成り立っており、再エネの増加という旧来のシステムを変える方向は、電力会社にとって短期的なメリットがない。この結果、一般の人の中には、「太陽光発電が拡大するから、賦課金が増えて電気代が高くなる」と信じている人が少なくない。再エネ発電には弱点もあり、それを補完しながら普及して行かなくてはこのクレームは的を射ていることになる。当然のことながらその補完技術も持続可能性が問われる。ところが政府の方針では、原子力発電により電力の不足を回避しようということになっており、安価でもなく安全性に大いに問題のある原子力の新設や再稼働が再エネ発電を投資の面でも抑制することになってし

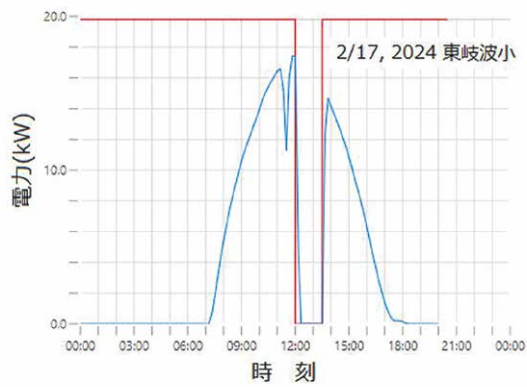
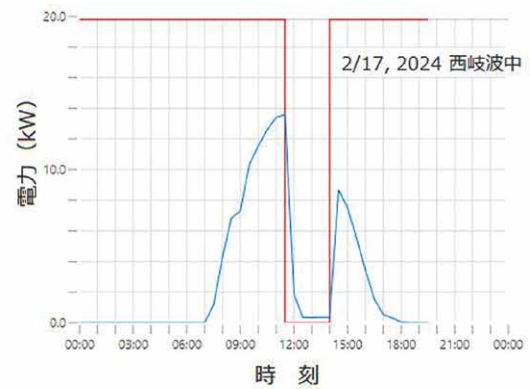
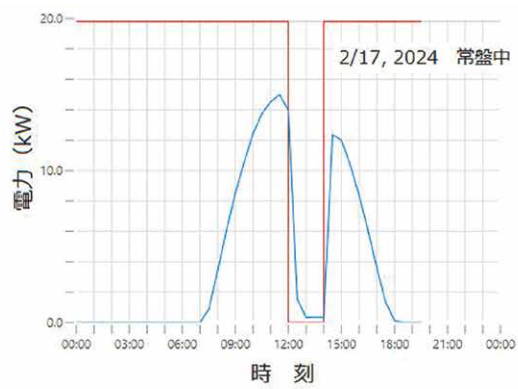
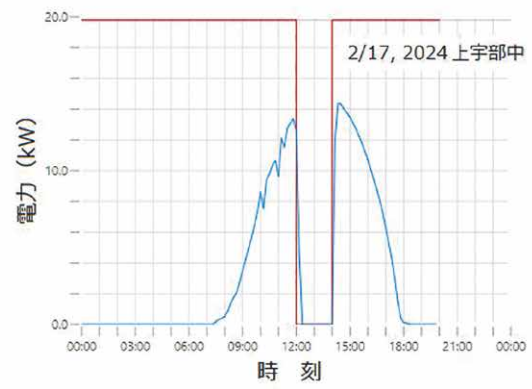
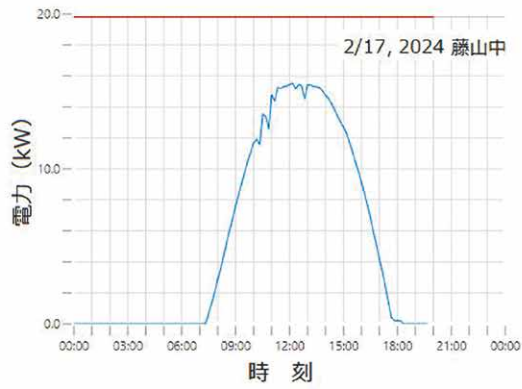
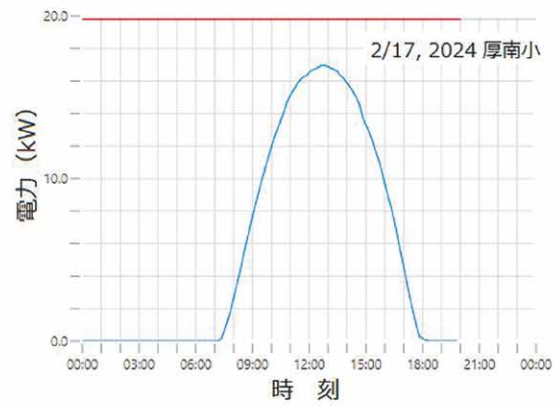
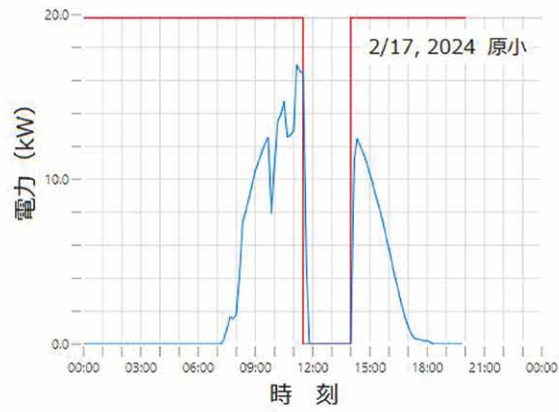


図3-2 出力制御の実際のプロファイル。2024年2月17日まだ冬を抜けきらない晴天の日、大規模な出力制御が行われ、宇部市立の小中学校5校の太陽光発電設備に出力制御が行われた。厚南小と藤山中は制御が無かった。青線が発電電力、赤線が下がった時に売電がOFFになったことを示す。発電容量は各19.8kW

まう。

制御を行う側の電力会社に制度上の歯止めをかけないと、際限なく「出力制御」が大きくなる。その結果、再エネ発電の発展がそがれてしまうことになろう。これに歯止めをかけるには、炭素税や排出権取引の適正な運用、原発の中止、原発の安全対策の厳格化、原発事故に対して厳格な負担を強いる、などは有効であろう。現在の日本の電力環境は、将来の再エネ発電主導を目標とした場合、極めて遅れており、既存の産業構造が前向きではない。先の中電NWの予告文にもあるように、「火力発電設備の出力抑制や揚水発電所の運転、連系線の活用等の対策を実施」することによって出力制御をしなくても済む可能性はあるが、それが充分ではないし、将来の見通しもない。再エネ電力の有効利用のための仕組みの開発・設置こそが必要である。

3.3 太陽光発電の弱点を補完する方式

揚水式水力発電

既成技術で再エネ発電の有効利用に役立つ揚水式水力発電所は、高低差のある上・下2段の貯水池を導水管で繋ぎ、下の貯水池面の標高近くに発電機兼揚水ポンプを設置し、余剰電力で揚水ポンプとして上のダムに送水し、電力の必要時には流下水により発電する（図3-3）。中国電力管内には新成羽川発電所30.3万kW（岡山県、高梁川水系）；俣野川発電所120万kW（鳥取県一岡山県、日野川水系）；南原発電所（広島県、太田川水系）62万kWの3つしかない。しかもいずれも水力発電所としては最大級である。俣野川発電所に至っては500mを越す上下池の標高差のおかげで発電容量は最大級の原子力発電ほどもある¹⁶⁾。

資源エネルギー庁によれば、全国に揚水式水力発電所は42地点、発電容量合計2,700万kWである。これは総発電量の1.3%に達し、世界第2位の規模である。1か所当たりの平均発電容量は64万kWとなり巨大である。1960年以降、巨大な揚水式水力発電所が作られた背景は、原子力発電の稼働に伴い大量に余る夜間電力の有効利用にあった。その後の深夜電力利用の温水システム（エコ給湯）の推進もこの流れに沿ったものである。東日本大震災と福島第1原発事故の後、原子力発電は休止し、多くが再稼働も難しい状態が続いている。それに代わるように太陽光発電が台頭してきた今日、昼間の電力の余る事態が到来し、巨大な蓄電池として昼夜逆転させた揚水式水力発電が注目される。原発の弱点を補完するために設置された揚水式水力発電が再エネ発電にも有効になって来たのは皮肉であるが、再エネへの投資が無駄にならないので大いに利用すべきであろう。

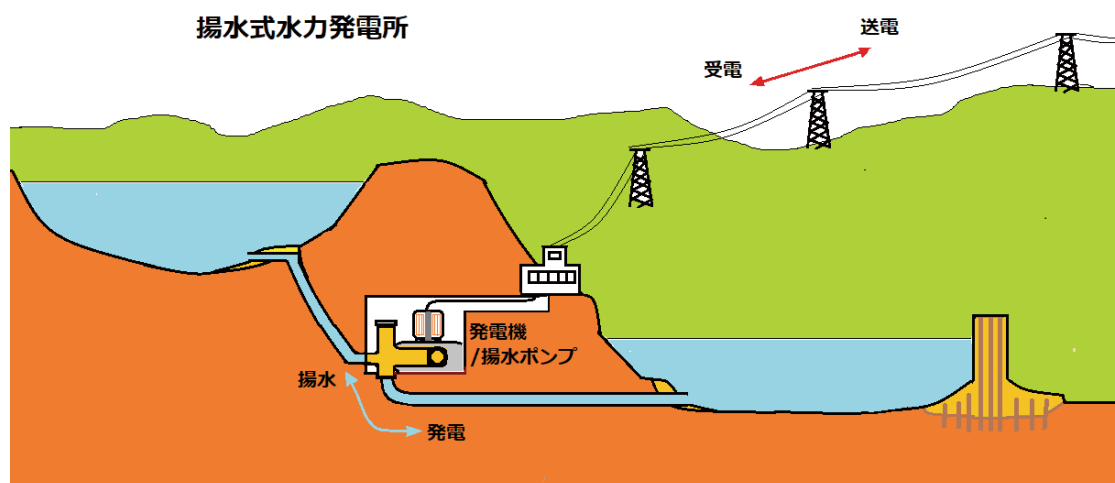


図3-3 揚水式水力発電所の模式図¹⁶⁾

揚水式水力発電の効率の考え方

揚水式水力発電所は「発電以上の揚水電力を必要とする」とネット上では不用意な記述も見られるが、使用エネルギーが電力であるので電池と同じ装置と考えた方が良い。どのような二次電池（充電して蓄電し再使用できる電池）も発熱などエネルギーロスは必ずあり、入力電力量をそのまま取り出せないことは、熱力学の原理である。揚水式水力発電のエネルギー損失は、ポンプ（発電機）の回転時のエネルギー、水の攪拌による発熱、送水管内の抵抗などであるが、その巨大な蓄電能力や耐久性、確立された技術と安全性、出力調節の容易さから、普通の電池よりはるかに経済的利点が多い。

他の発電方式の発電効率を、それぞれの1次エネルギーと比べてみよう。例えば原子力発電のエネルギー効率は30%台、火力発電も良くて40%であるが、勿論ウラン燃料や石炭の採掘、また核廃棄物の処理などのエネルギーロスは入っていない。

太陽光発電は、1次エネルギーの太陽光は無償であり、現在の市販品は太陽光エネルギーの20%程度の変換効率である。一方水力発電のエネルギー効率は極めて高く80%と言われている。これは、水車を含めた発電機（逆に言えば電動モーター）の効率が極めて高いからである。揚水に関しては、資源エネルギー庁のホームページ¹⁶⁾の記述には「揚水発電では水のくみあげ時に約3割のエネルギーロスが発生することから、くみあげ時に使った電気料金の約1.4倍以上の価格で発電した電気を売ることができなければ、費用を回収できません。また、設備維持コストも大きいとされています。・・・」とされ、「・・・しかしなお重要な方式・・・」とある。

これを、数値的に示すと、揚水式水力発電においては、揚水時に3割のロスがあり、1次エネルギーが電力であり、発電時には水力発電なので、

$$\begin{aligned}(\text{揚水発電で生み出す電力}) &= (\text{水くみ上げ電力}) \times (1.0 - 0.3) \times 0.8 \\ &= (\text{水くみ上げ電力}) \times 0.56\end{aligned}$$

さらに市販電力の発電効率平均を35%と仮定すると、揚水式発電によって生み出された電力のトータルのエネルギー効率は $0.56 \times 0.35 = 0.196$ となり、20%程である。確かに水力発電の効率は80%もあるのでその4分の一しかない。貯水池が上下2つ必要で、通常的水力発電所を作る以上の建設コストがかかる割には効率が悪いように思える。しかし、揚水式発電に用いる電力は余って捨てるはずだったものであり、太陽光発電や風力発電という自然のサイクルや気まぐれを慣らして有用化する意味でその意義は大きい。

様々な規模の太陽光発電の拡大が予想できる今日では、原発並みの出力の大きな揚水式水力発電ばかりでなく、中・小型～10万kWレベルの揚水発電所の設置が望まれ、既存の水力発電所の改修を含めて、その適地は数多くあると考えられる。安全対策で費用がかさみ、放射性廃棄物処理の定まらない原子力発電所を作るより、はるかに持続可能、安価で安全であろう。メンテナンスも考えようによっては雇用を増やし、地域を豊かにする。植物の光合成が数パーセントの効率で糖としてエネルギーを蓄えるが、それが生態系全体を支えて地球生態系システムを維持しているのに近い機能と言える。まさに今日のSDGsの寵児となりうる。

原子力発電について

太陽は巨大な核融合エネルギー源であり、太陽からの放射線粒子の影響は地磁気のバリアが存在したために防御でき、同時に太陽からの放射線（光を含む）の影響は、太陽が1.5億kmという遠距離であるが故に軽減され、更に空気層により低減され、今日の地球上の生命の開花が保証された。今日の人類の科学技術の進歩においても、人類の身近で発生した放射線を有効に回避できる方策はなく、原子力発電とその廃棄物の処理において、どう考えても持続可能性はない。そのために福島第1原子力発電所の事故の処理と、これまでの原発の廃棄物の処理に手間取っている

のである。百歩譲っても、核融合発電と同じく、原子力発電は未だ研究段階の技術である。

原発は政府と電気事業連合会により「ベース・ロード」電源と位置付けられている。この意味は、原子力が安定的な電力供給の下支えとして最重要であるとの判断を示す。しかし、福島第1原発事故とその後の処理過程、プルトニウムを含む核廃棄物の再処理システムの停滞、ウラン資源の偏在と資源としての不安定さなどなど、決して安定的な電源たりえないことが明らかになっている。一方で、日本では特に原発の稼働は財政的に再エネ発電普及の足かせになり、とても持続可能ではない。このような状況を生み出している政策の主導により、投資額が原発に偏り、再エネ発電の十分な発展が抑制されて来たのがこれまでの日本の状況である。

原子力発電を稼働させていない東京電力管内は昨年度までは「出力制御」を行っていない。関東地方も太陽光発電の適地が多いので、東京電力管内で出力制御無しで運用できていることは、他の管内でも可能なはずである。恐らく東京電力は出力制御を回避するノウハウを蓄積していると思われる。しかるに、柏崎刈羽原子力発電所の再稼働で、貴重なこれまでのノウハウを無駄にってしまうようなことがないことを願う。

3.4 家庭の太陽光発電と電力会社の収益構造

太陽光発電の味方である揚水式水力発電所設置に既存の大電力会社が積極的でないとすれば、また、再生可能エネルギーの普及に関して消極的であるとするならば、以下のような理由が考えられる。

2011年3月11日の東日本大震災以来、東京電力は異常な状態ではあったが、2012年以前5年間の全国平均の電力の使用量は家庭用4割、企業用6割であった。しかるに電力会社の純益の69%が家庭の電気料金から得られ、企業からは31%しか得ていない。全国平均で利益の約7割が家庭用から得られている（2012年7月4日朝日デジタル ニュース、7月3日、経済産業省電磁料金審査専門委員会の審議に関して）。この報道は12年も前のものだが、太陽光発電が一般家庭に普及して、自家消費が増えれば、電力会社を支えるこの「いびつな収益構造」が失われることへの恐れがあるのではなかろうか。この状況がその後どのように変化しているのか知りたいと思い、同様のデータの追跡を試みたが全く見当たらない。敢えてデータの更新を避けているのではないかと思われる。

産業の国際競争力を維持するためには電気料金が安いことは重要な条件である。しかし、その後の経済状況を見ると企業の内部留保は増加し、利益も増えているにもかかわらず、電力会社の収益構造は変わっていないと思われる。実質賃金の低下が日本の停滞の主因であると言われるようになった昨今、電力会社の収益構造も根本的に考え直されなければならない。

家庭における太陽光発電は、普及が進んだとはいえ全国平均で6.3%、山口県では8.3%であり（環境省 令和3年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査 資料編）。各家庭の自家消費は長い送電線を使用しないためエネルギーロスも少なく、放熱構造を組み込めば、夏季の屋根の暑熱回避、将来の電気自動車や地域のスマート化の電源としても有効である。また、自然破壊の恐れがある大規模太陽光発電（いわゆるメガソーラー）のような欠点も少ない。瓦の代替も可能になり¹⁷⁾、長年の使用実績から、軽量であり、耐久性があることが分かって来て、南向きの屋根全面を覆った太陽光パネルも散見されるようになってきている¹⁸⁾。

従来から注目されているように、災害時の電源としての活用も期待できる。再エネ発電の弱点を支えるインフラ整備・技術開発を充実させれば、再エネ電力の未来は希望に満ちたものであり、少なくとも「来月はいくら電力が捨てられるだろうか」などと心配する必要はなくなるだろう。現在の普及率から考えて、家庭用太陽光発電はその5倍から10倍近い増加が可能である。工場建屋、事務所、学校等の屋根・屋上を含めれば更に膨大な潜在適地がある。このためには、揚

水式水力発電所の設置に積極的に取り組むべきである。

石炭火力等化石燃料を用いる発電への固執

揚水式水力発電以外で出力制御を回避するには、開発途上技術も含め、電力を大量に消費する工場や別の管内の電力会社などとの電力の融通・連携；電気製鉄の開発；NaS電池など大型蓄電池の設置；水の電気分解による水素の製造と燃料電池による発電の組み合わせ；将来の多数の電気自動車のバッテリーを有効利用；エコ給湯の昼間の炊き上げなどがあり、短時間の電力貯蔵には、圧縮空気の利用やフライホイールを利用するなど、種々の方法が実用化されている¹⁹⁾。同時にこの多様性に富んだ発電方式を包含する複雑な送配電システムの、いわゆる「スマート化」のソフト及びシステムの開発が重要である。そういう意味で、日本の東西の周波数の60サイクルへの統一は急ぐべき課題である。

資源エネルギー庁は2023年10月、日本のエネルギー基本計画をまとめた：

(https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_02.pdf)

ここでは、電力の安定供給を大前提とし、原子力発電の推進と共に、火力発電については、再エネの不安定な発電特性に対応して供給力を維持するため、2030年に向けて火力発電の設備容量を維持しつつも比率を可能な限り下げるとしている。非効率な旧式設備を止めて脱炭素型にするとし、水素及びアンモニア混焼の導入をCCUS/カーボンリサイクルなどのCO₂削減技術を導入するとしている。このためには水素やアンモニアとの混焼、CO₂回収・地層処分、炭素の回収によりCO₂を削減する方針が打ち出されている。しかし、いずれの技術も開発途上であり、不確実性が高い。

二酸化炭素地中処分や水素及びアンモニア混焼などは研究段階であるが、前者は地層の選定や漏出の課題に関して明確ではなく、後者の水素等との混焼は、OECD諸国とアジアにおいて半分の石炭火力及びガス発電に適用したとしても、その寄与は全発電量の約1%程度の寄与に過ぎないとの研究結果がある²⁰⁾。一方で、現実に稼働している石炭火力発電の延命のための実証実験に対して、莫大な政府補助金を出す構造となっている。この結果、本当に必要な再エネ支援・投資が削がれている。現実的に考えれば、家屋の屋根等における太陽光発電、揚水式水力発電所、洋上風力発電、地熱発電等にもっと力を注ぐべきである。また、洋上風力発電や地熱発電においては法的な整備が早急に必要であるが、それは漁業者および地域住民の利益に直結する形で進めるべきである。

自然エネルギーの利用は、地熱発電を除き太陽の恵みである。全世界の住民に広く公平にその利益を分け与えられなくてはならない。振り返って反省するなら、石油、石炭、天然ガスなど地下資源も過去の太陽エネルギーの作った地球資源であり、それを早い者勝ち、強いもの勝ちで分捕った結果、今日の世界の紛争や困難が生じた。月や宇宙空間の利用を含む、宇宙技術、また深海底マンガンノジュール、マンガンクラストの開発などにおいても、公正な世界基準の下に行われなければ過ちを繰り返すことになる。再エネの利用については、技術や特許及び生産力、それを守る軍事機密が囲い込みの口実であろう。しかし、それを許せば地球全体が持続可能でなくなるのが目に見えている。真に持続可能な方法で行われることが将来の日本の安全保障の大きな支えになる。

このように多様で将来性のある方針と技術開発により、再生可能エネルギーがすべてのエネルギーを賄う社会においてなお通用する、電力会社の収益構造を目指すべきであろう。

再エネ発電の量の可能性

「再エネ発電はこの巨大な工業国日本の電力を賄うことがとてもできない」とのもっともらし

い論調が巷のみならず政治家にも信じられている。しかし、化石燃料が枯渇したり、温暖化で使うことができなくなった場合を想定して備えておくことが、正に持続可能性の議論の中心であるべきである。このために原子力を中心に置かなければならないという意見は、一部には受け入れ易いかもしれないが、世界には日本だけがあるわけではない。いわゆる原子力先進国における大きな事故：スリーマイル島事故（1979.3）、チェルノビリ原発事故（1986.4）、福島第一原発事故（2011.3）、から見て20年から30年に1度は、世界のどこかで広範囲な放射性物質を拡散する事故が起こることは想定しなければならない。そこに開発途上国が原発を望む事態になれば極めて危険なことになることは明らかである。最近のウクライナの原発に対して戦略的な価値を見出して利用しようとするロシアの動きも、原発をミサイルの標的にするかのような威嚇も予測の範囲内に入ってしまった。

他方、日本の年間電力使用量は省エネ技術の進歩などで最近減少気味であり最盛期の1兆kWhを越すことはない。以下、簡単のため、この 10^{12} kWhを日本の電力の年間必要量とする。日本の世帯数5千4百万戸（ 54×10^6 戸）が各1建の建屋を持っているとして、その屋根に各4kWの太陽光発電パネルを取り付けたとする。山口県では現在1kの設備容量当たり年間1,200kWhの発電が可能であるが、全国的には1,000kWhの発電能力があるとすると、総世帯数の年間発電量は、 $4 \times 1,000 \times 54 \times 10^6 = 216 \times 10^9 \text{kWh} = 0.216 \times 10^{12}$ すなわち先の全国電力使用量 1×10^{12} kWhの21.6%が家屋の屋根の発電だけで量的に賄えることになる。これに加えて、事務所、ビル、工場、屋外メガソーラーを加えれば、低く見積もっても必要電力量の4割～5割は太陽光発電だけで賄うことが可能であろう。このためには、エコ給湯の普及；太陽光発電に適した屋根の普及；蓄電のための諸装置の開発と普及；揚水式水力発電の開発・設置；水素利用；等に加えて、下流、即ち使用済み太陽光パネル等の再利用システムの充実；間欠性など再エネ発電の弱点を補う投資が伴わなければならないが、原発の維持や新設に比べればはるかに安全で、雇用創出効果が大きいであろう。更に、洋上風力発電、地熱発電、海流発電、温度差発電、水素燃料電池などの開発が進めば、電力どころかエネルギー全体を再エネで賄うことも不可能ではない。更に、太陽光発電モジュールの現在の効率20%が30%に上昇すれば巨大な電力量が増加する。なぜこのような再エネ利用が夢物語と語られるのか不思議である。既存の利益構造への異常なほどの執着と新しい持続可能世界展望へのチャレンジ精神の欠如としか思えない。

電力分野におけるSDGsとは

SDGsは広く受け入れられた。その理由は、「時間」は決して無くならず、平等に与えられ、正に持続するものであるが、時間を使っている主体（人間ばかりではなく生物全体）の生存が失われたり、一部でも絶滅したり、生存の質が劣化するような事態になれば、その当事者の時間が奪われることになるに気づいたからである。40億年に渡る地球生物の進化の中で、20万年程度続いている我々ホモサピエンスの歴史の長さはその0.005%でしかない。更に産業革命以降の大気中のCO₂増大の期間はそのまま1000分の一でしかない。

エネルギーは生存のために必要不可欠なものである。人間は他の生物に比べて圧倒的・積極的にエネルギーを利用し文明を築いてきた。それが、大気中のCO₂濃度の上昇、自然災害を原因とするにせよ人工放射能汚染も含めて、地球生態系を地球史的なサイクルとかけ離れて短い時間で乱し、自然破壊につながることを深く知った今、人類活動の負の部分の早急に改善し、持続可能な地球生態系を回復することに全力を傾けなければならない。特に電力業界はこの地球の将来に決定的な影響を持つ組織であり、真のSDGsとして有効な営業方針を持つことが切に望まれる。

参考文献

- 1) 斎藤幸平、人新世の「資本論」(集英社新書、2020年)
- 2) 哲学や思想は、このどうしようもない現実を変えることができるのか——。斎藤幸平×高橋哲哉で考える「危機の時代と人文学」(msn.com)
- 3) 斎藤幸平、マルクス解体：プロメテウスの夢とその先(講談社、2023年)
- 4) 三池秀敏、21世紀型のWell-Being(今こそ太陽光発電を各家庭に)(大学教育出版、2024年)
- 5) 宮地美陽子、首都防衛(知らなかったではすみされない「最悪の被害想定」)、(講談社現代新書、2023年)
- 6) 市民共同発電うべ 非営利株式会社 市民共同発電うべ(jimdo.com)
<https://kyodohatudenube.jimdoweb.com/>
- 7) ①【2024年最新】日本における発電量の構成割合は？再エネ発電普及のポイントを解説(earthene.com)、② 統計表一覧 | 資源エネルギー庁(meti.go.jp)
- 8) 日本に「化石賞」“気候変動対策に消極的” 国際NGOがCOP28で発表 | NHK | 脱炭素社会への動き
- 9) 6-1-2022.xlsx(live.com)
- 10) 【2024年最新】日本における発電量の構成割合は？再エネ発電普及のポイントを解説(earthene.com)
- 11) ①太陽光発電の普及率推移と都道府県別設置件数【2024年最新版】 | サンサン太陽光発電-太陽光発電の優良業者がきっと見つかる(solar-generation.net) ②【最新版】太陽光発電の普及率(都道府県別)まとめ | 政府の統計データを円グラフで分かりやすく見える化 | マイホームNAVI(myhome-myfamily.com)
- 12) エコキュートの効率と気温の関係 | おんどりとHEMSで測ってみよう | (amebro.jp)
- 13) 太陽光発電はCO₂削減にどれだけ貢献しているのか？(tainavi.com)
- 14) FIT・固定価格買取制度の仕組みとメリットをわかりやすく解説(earthene.com)
- 15) 自然エネルギーの出力抑制：大きな改善の余地がある | 連載コラム | 自然エネルギー財団(renewable-ei.org)
https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20190426_2.php
- 16) 電力のピンチを救え！大活躍する「揚水発電」の役割とは？ | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁(meti.go.jp)
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/yousuihatuden.html>
- 17) 屋根材一体型|太陽光発電・蓄電池|京セラ(kyocera.co.jp)
<https://www.kyocera.co.jp/solar/products/heyban/>
- 18) 一条工務店の太陽光発電：屋根一体型が特徴。独自システムで発電効率を維持！ | ハウスメーカー 工務店.Lab | 注文住宅を徹底比較・検証する専門サイト(housemaker-lab.com) (<https://housemaker-lab.com/ichijo/ichijo-solar/>)
- 19) 伊藤義男(2012)「分散型エネルギー入門」、講談社ブルーバックスB-1772
- 20) Oshiro, K. & Fujimori, S.(2024) Limited impact of hydrogen co-firing on prolonging fossil-based power generation under low emissions scenarios, Nature Communications, 15:1778.

謝辞

市民共同発電うべの樋口美香さんには、特に3章の執筆に関し、面倒な資料の収集などを助けていただきました、感謝致します。