

エネルギーの世代交代

グリーンウッド

本日の講演のあらすじを箇条書きしてみましょう。

1. IPCCの二酸化炭素温暖化説はどのようなものか？

IPCCの人為的二酸化炭素温暖化説は観測データの整理は恣意的であると懐疑派が盛んに批判しております。たしかにIPCCに不祥事はありましたが、これだけでは人為的な二酸化炭素が温暖化の主犯ではないというには証拠不十分です。IPCCを支える気象学者達の大気気候モデルは放射と対流しか考えませんが、ドイツ物理学者のゲアハルト・ゲーリッヒは二酸化炭素と空気分子同士が衝突してエネルギーを伝達するいわゆる伝導を考慮すれば上空の二酸化炭素の放射が地表に達するとはいえず、二酸化炭素が温暖化の主犯とは言いがたいと主張します。では何が主犯かと言いますと縄文海進のあった6,000年まえには鎌倉の倒れたイチョウの木の根元が波打ち際であったことから分かるように公転軌道の離心率(eccentricity)、自転軸の傾き(obliquity)、歳差運動(precession)などの周期的変化に起因するミランコビッチ・サイクルが気候変動の主犯としてよろしいのではないかと思います。これに宇宙線が絡んできます。IPCCの見解に基いて、仮に京都プロトコルを守ったとしても温暖化であれ、寒冷化であれ、人間の思惑など無視するがごとく、地球の気候は大きく変動するとみて間違いはないように思います。そして大陸の生成分裂に伴う珪酸塩を含む花崗岩の風化が生命によらない地球の無機的な炭素固定作用により10億年後にはカルビン - ベンソン回路に加えCO₂濃縮のためのC4経路を持つトウモロコシなどC4植物が光合成をようやく継続できる15ppmまで下がるだろうと予想されております。そもそも大陸の生成分裂そのものすらウラニウムやトリウムの放射性崩壊時に発生する熱や核におけるカリウム40の崩壊によってマントルが暖められて対流することにより引き起こされているとされています。かくしてドイツの物理学者マックス・プランクは権力のある支配者層の科学者がたくさんいて、新理論に反対するので、科学の進歩は彼らの死まで待たなければならぬだろうと思い「科学は葬式のたびに進化する」という箴言を残しました。

2. 貯留岩の炭化水素燃料のピークアウトはかならずやってくる

二酸化炭素が気候変動の主犯でないなら炭化水素燃料は無制限に使ってよろしいのかということではありません。炭化水素燃料は生物起源説であれ、無機生成説であれ、大陸地殻の5%に相当する堆積盆地の貯留岩に長期間かけて溜まったものです。無機成因説によれば地球上広く、あらゆるところで地下数10キロの深度の上部マントル中で無機的に発生しているため、炭化水素の資源総量は膨大となります。ただその資源が上部マントルから大陸地殻の亀裂を通過してからにじみ出してくる速度が現在人類が消費する速度に見合う量かという疑問がでます。枯渇したテキサス油田、ピークを過ぎた北海ガス田を見るかぎり見合うとは思えません。長い時間かけて貯留岩に溜まった油田、ガス田を掘り尽してしまうと安い石油・ガスの生産量はロジスティック曲線に従い、ピークアウトし、減少するでしょう。ピークアウトすると価格が暴騰することは過去の経験でわかっています。過去の経験から可採埋蔵量はいつも増えてきたではないかとおっしゃる方がいますが、あれは産油国がOPECでの発言権を増そうと可採

埋蔵量の基準を甘くして、推定埋蔵量を水増しした結果そういう誤解が広まったのです。ただ現在の堆積盆地の貯留岩の下の大陸地殻内にまだ大きなガス田、油田が隠れている可能性があり、現に既存油田を掘りぬいた大陸地殻内部で新規埋蔵量が発見されています。この観点から試掘すれば可採埋蔵量は増える可能性はあります。しかしコスト上昇に加え1万メートルを越える深い井戸は鋼鉄の強度からみて不可能でしょう。石油のプロはもう経済的に採掘できる石油は終わったと判断し、撤収作戦に入っております。つい最近もエクソン・モービルが世界のマーケットでガソリン小売業を縮小することを検討しているとリークしております。石油の一次エネルギーに占めるシェアは2000年で35%でした。石油のピークアウトは現在の究極可採埋蔵量で2005年、究極可採埋蔵量は現在の可採埋蔵量の2倍あると仮定してもピークアウトは2030年と推定され、その時、シェアは25%まで落ちるでしょう。天然ガスは2000年のシェアは21%でしたが頁岩ガス、炭層ガス、砂岩ガスなど、非在来型ガスが経済的な水平掘りのおかげで採掘可能となり、2050年ころピークアウトし、シェアは30%になるでしょう。石炭は2000年のシェアは30%でした。2080年ころ第二のピークが来るころにはシェアは35%に上昇します。石炭使用時炭素分離・隔離(CSS)をすれば二酸化炭素は大気中には排出されません。しかし海洋に隔離する以外はよい捨て場がありません。そしてそれは炭化水素資源のピークアウトを早めます。そのリスクは気候変動より大きいかもしれません。大陸棚には薄くメタン・ハイドレート層があり、面積が広いので炭化水素燃料の2倍という膨大な資源量となります。しかしどの生産法もエネルギー収支比が低く、これを妥当なコストで生産する方法が今のところ考えられません。現時点では可採埋蔵量はゼロという評価です。むしろ同じく薄く広く分布する太陽エネルギーの方がローコストとなると予想されます。省エネルギー・高効率化はジェヴォンズのパラドックスで無効化されます。

3. ウラニウム資源は炭化水素燃料と同じく再生可能エネルギーに敗退

日本では原子力発電が火力発電より相対的に安価とされ、電力の30%は原子力でまかなわれてきました。この安いという意味は使用済み燃料再処理・最終処分費、廃炉費、政府の支援費を意図的に含めていないためであり、これらを含めると原子力は火力より高価になります。皮肉なことに、今後、炭化水素燃料のピークアウトに伴い火力の発電単価が急激に上昇するのに対し、原子力は少ししか上昇しないため相対的に安くなります。軽水炉はコストだけを考えれば米国のようにワンスルーが安価です。しかしワンスルー利用ではウラニウム資源は現時点ではR/P=85-100年です。必要以上の探鉱活動が行われないうちに、常時R/P=100年程度で推移しております。とはいえ世界中に原子力が普及する結果として、鉱山の深度が次第に深くなり、資源は存在しても次第に高コストに移行することは確実です。ウラニウムは海水中に3ppb含まれていて埋蔵量は膨大ですが、ガスハイドレートと同じで回収法は確立されておられません。ウラニウム価格の上昇とPV発電単価の下落で2035年には両者はクロスオーバーします。薪が石炭に駆逐されたごとく、ウラニウム資源が枯渇せずとも、価格で市場から駆逐されることとなります。米国では炭化水素燃料コストが低いため、ウラニウム燃料はワンスルーの使い捨てとし、核分裂生成物はユタ州のユッカマウンテンの洞窟に永久保管する計画でした。しかし地元の反対で行き場をなくし、暫定的にそれぞれの原子力発電所に中間貯蔵しております。ワシントン州では中間貯蔵施設から放射性物質が環境に漏れ出し、問題となっております。日本ではウラニウム資源は外国に依存している関係で、コスト度外視で軽水炉で生成するプルトニウムを回収して再利用するプルサーマルを国家目標としています。しかし六ヶ所村の再処理はいつまでたっても稼働せず。プルサーマルは数回のリサイクルでアクチニドが蓄積して燃料として使い物にならなくなることも予期されております。再処理、放射性廃棄物の最終処分費用、廃炉費、政府の支援費コスト更に老朽原発をコアキャッチャーのあるより安

全な原子炉に更新することを前提にすると発電単価は 11.3 円/kWh と上昇します。実際には過去の日本の原発稼働率が 74%と計画よりも低い事実から更に 0.5 円/kWh 高くついております。炉は劣化しますから更なる稼働率低下もありえるのです。原子力の世界の一次エネルギーでのシェアは高々6.7%。2050年のピークアウトでのシェアは高々10%で世界を救うエネルギー・メジャーとはなりえません。原子力は巨大プラントであるため、立地の確保が難しく、需要予測の難しい、変化の激しい社会に敏速に対応することが困難です。次第に再生可能エネルギーの敏捷性について行けなくなり、市場から駆逐されるのでしょう。

4. 高速増殖炉とプルトニウムサイクルは世界の 1 次エネルギーを賄えない

日本政府はウラニウム資源の有限問題を解決するとして高速増殖炉を使うプルトニウムサイクル構築を国是とし、原型炉「もんじゅ」を建設しました。これは溶融金属ナトリウムを冷却材に使うため、安全確保のためのコストがかさみ、軽水炉に比べかなりのコスト高となり、いつまで経っても発電単価がグリッド・パリティーを達成できません。またあまり報道されませんが高速増殖炉の炉心では白金が多く生成し、プルトニウム回収目的の再生工程でのピューレックス法(Purex)の硝酸に溶解しにくいいため、スラリーを形成し、回収率が低下し、再生工程を含めた転換比がはたして 1 を越えるか疑問が残っております。そこで酸化金属廃燃料をフッ素と反応させて 6 フッ化物にして深冷分離し、水素で還元して金属とし、これを酸化物にする乾式再処理法も研究されています。しかし 10 年も研究されていますがフッ素とかフッ化水素などの物質を扱うプロセスですので成功したという報告はありません。そしてロシアにしてもフランスにしても総合転換比が 1 を越えたとは発表しておりません。仮に増殖炉の増殖比が 1.2 出たとしても世界の 1 次エネルギーを賄うために 10 倍に増やすには 13 サイクルまわさねばなりません。1 サイクルは増殖炉 4 年、再処理 4 年として計 8 年ですから 104 年かかります。コストも複利計算でサラ金のように膨れ上がります。このようなわけでどちらもコスト高を理由に廃炉にしております。原型炉「もんじゅ」は欠陥続出で、1 兆円の巨費を投じ、高速実験炉「常陽」の初臨界以後 33 年の歳月をかけてもマイナートラブルで運転再開は 16 年遅れの 2012 年になりそうです。一応 2050 年に商業炉完成が国家目標とのことです。フランスはいまだにナトリウム冷却炉やヘリウムガス冷却炉の実証機に未練を持ち、ベルギーは加速器駆動鉛冷却炉の建設を検討していますが、2012 年に to go or not to go を決める段階です。ということは次世紀の中ごろによろやくプルトニウムが 10 倍になるというスローペースです。これでは 2080 年の石炭のピークアウト時期に完全に間に合いません。増殖炉は兵器級プルトニウムが生産できてしまうわけで、核兵器所有国 + アメリカの同盟国である日本だけが実質ゆるされております。紛争国が使えるものではなく、世界にあまねく普及させてエネルギーの主役に据えることはできないローカルな技術です。

5. トリウム資源はウラニウム資源より大きい？

トリウム資源はレアアース生産に伴い、副産するため、ウランの 4 倍の資源量あります。トリウム 232 自身は核分裂しませんが、熱中性子を拾って核分裂できるウラニウム 233 になります。このウラニウム 233 の核分裂反応はウラニウム 235 やプルトニウム 239 の核分裂と同じく、強い放射能を持つ半減期 30 年程度の核分裂生成物質ストロンチウム 90 とセシウム 137 を生成します。しかし半減期の長いアクチノイドを生成しないというメリットがあります。トリウム炉は軽水炉と同じく固体燃料としても使えますが、これを 4 フッ化物にし、フッ化リチウム・フッ化ベリリウム溶融塩に溶かして黒鉛を通過させる溶融塩炉も作れます。ただベリリウムは資源量が少なく世界にあまねく普及する炉とはなりえないで

しょう。溶融塩炉は燃料交換のため、運転を停止する必要もないし、制御棒挿入に失敗しても溶融塩を黒鉛のある炉心からドレインさせるだけで反応は自動停止します。また圧力容器がないため破裂で汚染物質を撒き散らす、いわゆるブラック・スワンの危惧は軽水炉より少ないといえます。強いガンマ線を出すウラン²³²も生成され、これを含む溶融流体を直接ポンプで循環しなければならず、黒鉛の交換など遠隔メンテナンスまたは除染を伴うメンテナンスは高度な技術を要求されます。これは再処理プラントで発電するようなもので運転者にとっては困難が予想されます。燃料循環系に蓄積するストロンチウム⁹⁰、セシウム¹³⁷、バリウム¹⁴¹などの核分裂生成物をウラン、プルトニウムから除去するには6フッ化物にして、深冷分離法があります。分離後、ウラン・プルトニウムを水素で還元して4フッ化物にし、循環溶融塩に戻す。還元工程で副生するフッ化水素は電解してフッ素として再利用するというリサイクル系を組みます。全て放射線遮蔽壁を隔てた遠隔操作となります。また6フッ化物はガスのため、漏洩防止に多重コンテインメントが必要となり、高度な隔離技術を要します。核分裂生成物のうちキセノン¹³⁵、クリプトン⁹²などの放射性希ガス、トリチウム(三重水素、半減期12.32年)、ヨウ素¹³¹(半減期13時間)などのガスは溶融塩の中をバブルアップするので捕捉して一時保管し、減衰を待たなければなりません。ただトリチウムを12年間保管するのはコスト上疑問ではありません。このように面倒なものですが、万一、人類が再生可能エネルギーで生存できないときの非常エネルギー源としての研究をしておけばよく、中国が検討しているようです。

6. 核融合は幻想？

核融合は成功すればプロメテウスの火となって人類に光明をもたらすと期待されました。しかしプラズマを磁氣的に閉じ込めることが出来た時間はまだ数秒程度でこれを1年に延ばすことが可能か不明です。1兆円という巨額の国家予算を投入しているトカマク方式はディスラプションというプラズマの不安定現象のため、閉じ込め時間を大きくできず、原因解明すらできておりません。ヘリカル型という安定に核融合ができそうな形式も考案されていますが、まだ構想段階です。磁力線でプラズマを閉じ込めるなどゴムバンドでジェリーを閉じ込めるようなものといって米国は離脱しております。核融合炉ではエネルギーは高速の中性子としてプラズマから放射されます。これを熱エネルギーに変換するブランケットの中に中性子増倍材としてベリリウムをペブル状に充填します。地球のベリリウム全資源は実験炉3基分しかないと言われているベリホフは指摘しております。しかし日本ではなぜかこの問題が論じられることはありません。そしてこのブランケットには寿命というものがあるので定期的に交換しなければならないのです。困ったことにブランケットの廃棄物は放射能を帯びており、安全なレベルになるまで100年間の保管は必要となります。ブランケットは中性子を熱に変換し、冷却材に伝えつつ、超伝導コイルと真空容器を中性子から守る役目もあり、かつトリチウムを製造するという3つの役目を担います。経済的な交換寿命は3年とされています。冷却材としては水、ヘリウム、液体金属、溶融塩、合金(リチウム鉛)などが検討されています。日本原子力開発機構は水を冷却材に使い、リチウムを含むセラミックスでトリチウムを発生させます。このように核融合はまさに夢としかいえない代物です。したがって幻となる運命を背負っているように見えます。米国は可能性なしとして手を引いています。日本は確信を持って研究を継続しているのではなく、撤退する判断力と勇気をもったリーダーが不在なだけのように見えます。かくして日本国家のエネルギー関連研究費の実に64%が先のない高速増殖炉と核融合炉に無駄に浪費されているのです。これは官僚と政治家の怠慢以外のなにものでもありません。

7. ブラック・スワン

核分裂にせよ核融合にせよ、放射性廃棄物を多量に溜め込んでいますので一旦コンテインメントが破れれば大量漏出に伴う広大な居住不可地域発生というブラック・スワンの可能性は否定できません。これらの問題を抱えてまでして核反応ににこだわり二酸化炭素排出削減をすることは非理性的行為となります。マーガレット・サッチャー首相は「予期せぬことが起きると、いつも予期していなければならない」と言っていますが、日本国政府は彼女のリーダーシップで作られた IPCC 予言に従って原発推進するだけで、こちらの警告は耳にはいらぬようです。加えて世界で原発の放射性廃棄物の最終処分場が決まったのはボトムアップ方式を採用したスエーデンとフィンランドだけで、他の国はトップダウン方式を採用して決まらず、原発廃棄物は原発内部に中間貯蔵と称して実質永久保管されることになりそうです。トイレのない家を受け入れる自治体は無くなるのではないのでしょうか？放射性廃棄物を出すエネルギー源はいずれ行き詰まることは必定でしょう。フランスの法制史家にして精神分析家にしてドグマ人類学提唱者のピエール・ルジャンドルは「独裁とは繰り返し語ること、あるいは繰り返し語る立場に身を置くことである」といっています。日本は現在、二酸化炭素温暖化ドグマ信奉者が国を牛耳っております。有限な資源に思いが至らない視野狭窄症ですから、炭化水素燃料を全て原子力で置き換えるという思想です。いずれも袋小路に至る道ではないでしょうか。

8. 水力

水力は太陽エネルギーが水の位置のエネルギーに変換されたものです。日本の水力発電の総発電量は年間 900 億 kWh で日本の 9%の電力を供給し、発電単価は 10 円/kWh 程度です。主要河川のポテンシャルは開発しつくされており、山間部支流には小規模な発電のポテンシャルがのこされています。ダム式水力発電は風力、太陽光などの不安定な再生可能電源のバックアップとして増設されるでしょうし、揚水発電は蓄電装置として再評価されるはずで

9. 風力

陸上風力発電のポテンシャル 25.8GW、着床式洋上風力のポテンシャル 18.0GW、浮体式洋上風力のポテンシャル 38.0GW で合計は 81.8GW です。これに対して、日本の原子力総発電能力は 49.5GW ですから風力で原子力を代替できる量です。発電原価は陸上風力は 9.6 円/kWh と新型原子力より安くなります。フランスでは原子力発電が 80%以上ですので原子力を負荷調整電源にしていますが、日本の電力会社は原子力発電の稼働率を下げると発電単価が上がるため、風力は電力の質を落とすと言いついて購入を拒否しております。こうしてして国家としての炭化水素ピークアウト後の備えをおろそかにしています。そういう意味で原子力は国家にとっての麻薬といえます。風力は確かに不安定。しかし炭化水素燃料があるうちは火力で、ウランがあるうちは原子力で需給バランスをとることが可能です。炭化水素燃料もウランも枯渇したら揚水発電とか地熱発電で需給バランスをとる必要があります。ドイツはこの方向で走っております。

10. 波力・潮汐・潮流・浸透圧・海洋温度差

波力発電は風まかせて不安定ですが、潮汐発電は月と地球の位置のエネルギーの利用で、確実なものです。しかし高緯度地帯の海岸の地形に限定されます。潮流発電や河川水と海水の間に半透膜を置く浸透圧発電は概念設計されていますがコスト高の問題がネックとなっています。海洋の表層と深層 1,000m との温度差は赤道近くでは 24 度ですが、日本近海では 18 度程度です。日本の経済水域 360km(沿岸 200 カイリ)の範囲に限っても年間約 1,000×10¹¹kWh(100 兆キロ・ワット時)の発電量が期待できます。

日本の年間発電量が 1 兆キロ・ワット時ですからその 100 倍のポテンシャルがあることになります。しかしこれも巨大な海上構造物が必要で、発電単価が高く、実用化は無理でしょう。

11. 地熱

地熱発電は地球深部におけるウランウムの放射性崩壊熱の間接的利用です。米国での試算ですが火山地帯でなくとも、地温勾配が $45 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ と高い地域は全土の 2%ですが、これのみで全世界のエネルギー使用量の 2600 年分に相当すると評価されました。EU では不安定な風力と太陽エネルギーのバックアップとして 2050 年の地熱発電は 10%にして揚水発電と共に不安定な風力と太陽光をバックアップするものとして重視されています。これらの熱エネルギーは水圧破碎で貯留層を形成した高温岩体よりの熱抽出で行われます。発電単価は 16 円/kWh 程度です。日本は火山周辺だけで地熱資源量は世界第 3 位で、原発 13 基分あります。高温岩体も対象にすればもっとあるでしょう。

12. 我々には太陽エネルギーしか残されていない

以上をみますと、どの一次エネルギーも心もとないものです。炭化水素燃料がピークアウトする 2050 年までに人類は代替エネルギーを開発しておかなければならないのです。これに応えるのは太陽エネルギーしかないのではないのでしょうか？正午の太陽エネルギー密度を $1\text{kW}/\text{m}^2$ とし、山手線内 63km^2 に変換率 14%のソーラーセルを 35.3 度の角度で敷き詰めて得られる電力はジオメトリックファクタ=0.316、ウエザファクタ=0.4 で計算しますと 1GW となります。日本の年間総発電量 10,362 億 kWh を発電するには $6,685\text{km}^2$ (山手線の 106 倍) 必要になります。日本の国土は 38 万 km^2 ですから国土の 1.8%にソーラーセルや集光型太陽熱発電を設置すれば日本の電力の 100%をまかなえることとなります。国土の 66%は山林・原野ですから 100%の国産エネルギー達成は可能なのです。太陽は人類が持っている安全な核融合炉です。地球が太陽より受け取る輻射エネルギー(太陽定数)は $1.37\text{kW}/\text{m}^2$ 。地球の断面積 $127,400,000\text{km}^2$ をかけると地球全体が受け取っているエネルギーは $1.740 \times 10^{17}\text{W}$ となり、現在人類が消費しているエネルギーの 1 万倍もあるのです。太陽エネルギーのアキレス腱は夜にあります。世界を直流あるいは超伝導送電で結べば西の昼の国から東の夜の国に送電できます。ユーラシア大陸の東端にある日本にとっては有利ですが、ヨーロッパとか米国では不可能です。家庭用の照明や自動車程度ならバッテリーも使えますが長期の天候不順などには対応できません。位置のエネルギー、熱、化学物質に変換して貯蔵することをしなくてはなりません。太陽エネルギーをさえぎる雲がないサンベルト地帯で化学物質に変換して貯蔵・輸送する技術が必須となるでしょう。

13. 宇宙太陽光発電は非現実的

1977~1980 年に NASA (米国航空宇宙局) と DoE (米国エネルギー省) が宇宙太陽光発電構想を検討しました。アメリカ合衆国全土の全電力を賄うため、発電性能 500 万 kW、総重量約 5 万 t の超巨大衛星を静止軌道上に年に 2 機ずつ、合わせて 60 機程を打ち上げることが計画されましたがコストがかかりすぎるとして中断しました。大気の状態によっては、送信されたエネルギーが吸収・減衰して発電量が激減するし、野生動物(特に渡り鳥)の生態に悪影響を与える可能性が懸念されます。2007 年 10 月には米国防省の国家宇宙安全保障室(NSSO)が「戦略的安全保障としての宇宙太陽光発電」という研究報告を発表しました。これによれば幅 1km の静止地球軌道上に 1 年間降り注ぐ太陽エネルギーの量は確認埋蔵量に匹敵するとしております。

14. バイオマス・エネルギーはすでに目一杯でこれ以上期待できない

バイオマス・エネルギーは植物の光合成能力の利用です。転換効率は 1%程度で、現在以上の生産は望めません。米国がトウモロコシからのアルコール燃料を生産した途端、穀物価格が上昇したことは記憶に新しいことです。特にトウモロコシからのアルコール燃料生産のエネルギー収支比が低く意味をなしません。微細藻類の生産性は高いのですが、受光面積の広い培養装置、水、肥料が必要となります。ピーク・ランド、ピーク・リンのため、食料生産を優先させて、農業に優先的に土地を配分すべきです。広葉樹林を燃料にする発電は 14 円/kWh 程度で可能ですが、効率的経営ができない国有林が多く、民有林は所有が分断されていて身動きがとれません。たとえ効率的経営ができたとしても、傾斜地が治水上制約が多く、生物多様性の損失に連なりますのであまり期待できません。森林は用材生産に使うべきでしょう。日本で未利用なバイオエネルギーは都市ゴミの分別をしっかりと行うメタン発酵、建築廃材の燃料化など廃棄物リサイクルでしょうか？

15. ソーラーセル

ソーラーセル (photovoltaic cell, PV) の太陽光転換効率は 10%以上とバイオの約 10 倍あります。ソーラーセル (PV) は半導体の光起電力効果 (内部光電効果) を原理とするもので可視光を直接電子の流れに変換できます。結晶シリコン型、シリコン薄膜型 (Thin Film)、金属化合物型 (Metal Compound)、色素増感型 (Dye-Sensitized)、有機薄膜型があります。このほかに光を電磁的に電流に変換する技術や熱電変換素子も研究されております。シリコンを使うソーラーセル (PV) の理論転換効率は 33%で 500 倍集光時は 40%となります。効率が低くてもコストが安ければ、発電コストは下がります。ソーラーセル (PV) はエネルギー発生装置なので情報処理用の半導体とは異なり、小型化で素材量を減らすことはできません。そこでコストダウンには 2 つの流れができました。一つはアモルファスによる薄膜化で素材量を 1/100 にするものです。効率は半分に落ちますが発電コストは下がります。ただこれは屋根の面積が小さな家庭用にはむかず大規模発電用です。もう一つはシリコンを使わない化合物半導体の薄膜を使うものです。効率の低下はシリコン程ではありません。いまのところカドミウム-テルル系の半導体を使う米国のファストソーラーが急成長してマレーシアやベトナムに巨大工場を建設して急成長していますが、テルル資源に制約があり、年産 3GW 程度といわれています。銅-インジウム-セレンあるいは銅-ガリウム-セレンを使う化合物半導体も開発されています。インジウム資源に制約がありますので銅-亜鉛-スズ-セレン方式が目下研究されています。いずれにせよコストダウンは装置の大規模化ではなく、多量生産によるものです。多量生産を促進するために各国は定額買取制度、税控除などの政策を採用して普及を計っています。現時点におけるソーラーセル (PV) の発電単価は 40 円/kWh 程度ですが、2020 年にはグリッド・パリティーを達成し、2035 年には原発をクロスオーバーして下がるでしょう。炭化水素燃料がピークすぎれば世界的にエネルギーコストは高くなりますが、一方、太陽エネルギーコストは技術の進歩により下がります。多量生産は人件費の低いアジアが有利で日本に勝ち目のある製品でないところが困った点です。日本の人口 1 億 2,800 万人とし、平均家族構成を 4 人とすると、日本全土に 3,200 万戸の家屋があることとなります。この全ての屋根に最大出力 3.3kW のソーラーセル (PV) を乗せるだけで、各戸の年間発電量は 3,290 キロワット時/戸ですから 1,050 億キロワット時となります。日本の総発電量 1 兆キロワット時の 10%のポテンシャルがあることとなります。100%の自給率にするためには屋根の 10 倍の面積にソーラーセル (PV) を設置することで可能となります。ビルの壁面を全てソーラーセル (PV) で覆うことも考えられます。道路の法面、耕作放棄農地もソーラーセル (PV) を設置する場所にできます。陸上で確保できなければ湖に浮かべることができ、将

来は洋上の浮体に設置することも考えられます。日本の電力会社はしかし原子力発電の稼働率を下げる
と発電単価が上がるため、風力とおなじくソーラーセル（PV）は不安定だとして後ろ向きです。そして
逆潮流で出来ないとして自動カットオフするとして抵抗しております。ソーラーセル（PV）所有者は対
抗手段としてオフ・グリッド運用があります。

16. 集光型太陽熱発電

ガラス製鏡を使う放物線型集光器を使い、太陽光をガラス製の真空管中に格納した集熱管に集め、高温
を作り、水蒸気を発生させて発電するものをパラボラ・トラフ型集光型太陽熱発電（Parabolic Trough
Concentrating Solar Power: CSP）と呼びます。集熱管の表面は赤外放射の放射率を下げる物質でコー
ティングして放射による熱損失を防ぎます。集熱管内は熱油または熔融塩を流します。CSP は熔融塩に
よる蓄熱も可能で 24 時間発電が可能となります。転換効率は 30%以上になります。日本では 1970 年
代に石油がバレル 40 ドルに高騰した時、NEDO がパワー・タワー型のプロトタイプを建設して実証
しましたが石油が 10 ドルに暴落したため、このプランは忘れられました。しかし最近の原油価格の高
騰をうけて晴天の多いサンベルト地帯では CSP 方式が建設されはじめました。現時点ではサンベルト
地帯の 22yen/kWh の発電単価はソーラーセル（PV）より低いからです。日本のような曇天の多いとこ
ろでは 45yen/kWh で、今後もグリッド・パリティーを達成することはありません。ドイツを代表する
20 の大企業がコンソーシアムを組み、サハラの CSP 事業に総額で 4,000 億ユーロ（54 兆円）の投資
を意味するプロジェクトを立ち上げました。電力は地中海を越えてドイツに直流送電します。

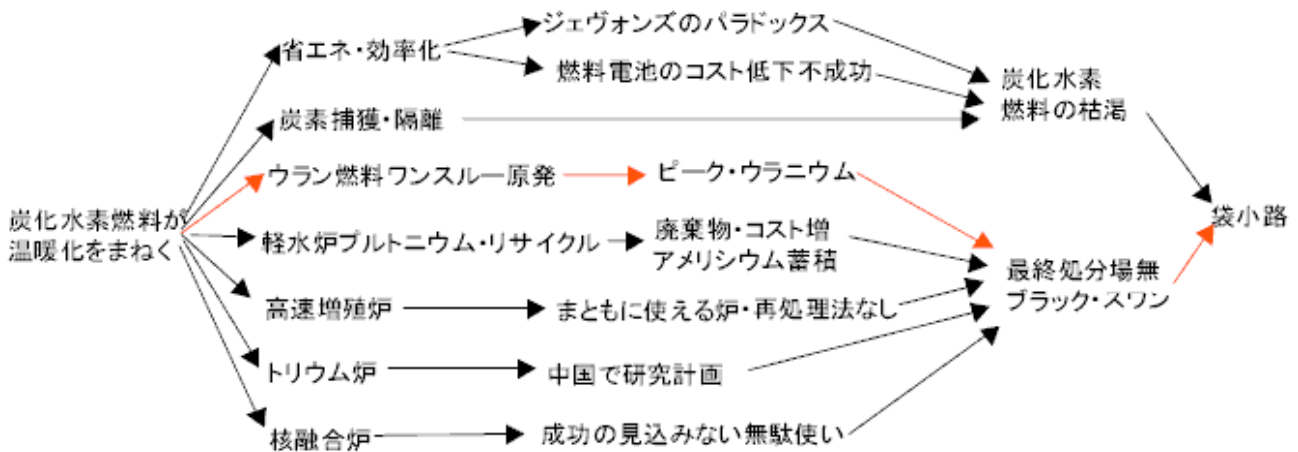
17. スマート・グリッド

電力は貯蔵できません。需給アンバランスはフランスを除き、建設費の高い原子力は最高負荷で使い、
建設費の安い火力発電を負荷調整用に使っています。フランスは原子力の比率が高いため原子力を
負荷調整用に使っています。不安定なソーラーセル（PV）とか風力などの再生可能エネルギーが入っ
ても安価な火力で調節できます。ヨーロッパでは中小火力を持つ中小都市が一定間隔で均一に分散して
入るため、都市と都市の空間の農地に分散する風力とは距離的に近く、送電線を太くせずとも火力でバ
ックアップ可能です。このような事情で風車を多量に導入しても問題ありません。ところが日本は細長
い地形に巨大都市は集中していますから土地面積の広い田舎に沢山の風車を導入すると、火力発電所を
抱える巨大都市に向かって長い送電線を逆流させねばなりません。送電網を太くし、サブステーション
を逆流させないと、火力で調整できないのです。また日本は 9 電力に分割されていますが互い系統連携
して再生可能エネルギーの相互融通をしなければなりません。電力マーケットの自由化も必要でしょう。
これをしないで消費端近くでバッテリーでバックアップという考え姑息です。バッテリーがいまだ高価
で今後も本質的に下がりにくい。下がるとしても半分くらいでしょう。また劣化という化学特有の問題
が生じます。だからドイツは火力について安い揚水発電で蓄電と思い定めたのです。揚水発電は初期投
資額はバッテリーよりも高価ですが 100 年は使えますから社会インフラ投資としては絶好です。揚水発
電やバッテリーに加えるに、安定な再生可能エネルギーとして地熱、バイオマス、蓄熱器付き集光型太
陽熱発電を補助的に使ってバックアップします。しかし長期間の天候不順への対処法が苦しいところ
です。解決策は海外のサンベルト地帯で再生可能エネルギーを転換した合成燃料を使うコンバインドサイ
クル発電でしょう。さて地球の半分は常に昼です。多国間をケーブルで結び、昼の国から夜の国に送電
することで蓄電なしに電力の供給が可能になります。電流は西から東に向かって流れるようになります。
一国間でも送電線の損失は 4%程度のため、直流送電が最も効率的で安価な方法でしょう。伝送損失を

5%とすれば、電力原価を 10 円/kWh とすれば 0.5 円/kWh の損失となります。

18. 海外のサンベルト地帯で集光型太陽熱発電からアンモニア燃料合成

集光型太陽熱発電は曇天の多い日本では不利です。しかし炭化水素燃料もウラニウム燃料も枯渇したときは直射日光がふりそそぐ海外のサンベルト地帯で集光型太陽熱発電して合成燃料に転換してタンカー輸送して日本に持ち込むことが考えられます。そして不安定な再生可能エネルギー電源のバックアップ火力発電燃料、自動車燃料、都市ガス、産業燃料とするのです。水電解で水素を製造しても貯蔵と運搬は芳香属化合物を水素化するケミカル・ハライド法を使っても困難です。そこで水素と空気中に 0.04% ある二酸化炭素を原料にしてフィシャートロピッシュ合成でメタンガス、炭化水素油、メタノール、これを脱水したジ・メチル・エーテルを合成します。または空気中に 80%ある窒素と反応させてハーバーボッシュ法で電解水素を空気中の窒素と反応させて誘導品たるアンモニアとすればLPGと同様に貯蔵・運搬が可能となります。これは水素を炭素と反応させる誘導品に次いで容積効率の良い貯蔵・運搬手段です。アンモニア燃料は熱分解で水素になりますから燃料電池車の燃料として最適です。2050年頃、ガソリンとクロスオーバーします。それまでは天然ガスを原料にしてアンモニア燃料の流通網を築いて備えるという手があります。天然ガスを水蒸気改質した水素と一酸化炭素の合成ガスからハーバーボッシュ法で合成するアンモニア燃料はガソリン税が不要ですから現在でもエネルギーベースでガソリンのリッター120円と同じレベルです。これはバッテリー車より有利となります。バッテリーコストは今のkWh当たり3万円程度になっても、バッテリー寿命は毎日乗れば7年、少しも使わねば15年くらいはもちますが、買い替え時車の半分に相当する投資が必要となります。太陽エネルギー転換燃料の研究目標としては水素を経由せず、電解アンモニア合成が考えられます。将来的には光触媒を使った人工光反応も考えられます。こうして生物のエネルギー共通通貨であるアデノシン三リン酸(ATP)と同じようにアンモニアを地球人間生存圏のATPとすることが可能です。



二酸化炭素温暖化ドグマの認識

19. スマートハウス

省エネで成功したのはヒートポンプの効率化でした。しかしこれもジェヴォンズのパラドックスでその分、快適な住空間が出現して終わりました。燃料電池は低価格化に成功しておりません。ライフスタイル：Lifestyles of Health and Sustainability、LOHA、サマータイムの導入は疑問ですが、郊外ではスマー

トハウスが普及するでしょう。スマートハウスとはスウェーデン式無暖房住宅とも呼ばれるアクティブソーラーハウスと分散発電と蓄電と蓄冷を組み合わせたものです。アクティブソーラーハウスは厚さ 45cm の保温材。窓には近赤外輻射をカットする膜をガラス内面に張って室内に反射、2重ガラスの間隙にはクリプトン・ガスを封入して対流による熱損失を阻止し、出入り口はダブルロック方式。熱交換式換気を採用して生活で発生する熱を回収します。そして屋根はソーラーセル（PV）で葺き、余剰電力はバッテリーまたはハイブリッド車搭載バッテリーに蓄えます。地下 2m の地盤の温度を集めて空調するパッシブ・ハウスとします。家電はインバーター内蔵永久磁石同期モーター駆動のヒートポンプまたは吸収式ヒートポンプをつかいます。LED 照明、ファン、情報機器、IH 調理器はバッテリー駆動です。こうしてスマートハウスは電力網から独立してオフ・グリッド運用するようになるでしょう。プラグインハイブリッド車搭載バッテリーとパッシブ・ハウスの直流システムを直結して連携運用します。天候の悪い日には自家用車が自家発電装置となります。燃料はサンベルト地帯産のアンモニア燃料も使えます。こうして電力網から独立した分散発電が普及し、高価な電力を一般市民に売り、産業に安く売った電力業とその恩恵をこうむった産業は衰退するでしょう。そのとき原発は止まるのです。高速増殖炉が成功しようがトリウム炉が成功しようが関係ありません。分散電力流通サービスを提供できない電力業は市場を失うでしょう。これをグリーンウッドのドミノ理論といいます。東大の教授連ですら原発を一定負荷で使うための夜間電力有効利用のヒートポンプと風力の不安定さを平濁するリチウム電池の研究をしているだけです。ソーラーセル（PV）発電で蓄冷したり、マイクロ揚水発電、浸透圧発電などの研究は皆無です。したがって世界の研究者は東大教授の文献を孫引きまでして引用することもなくなり、世界における日本の大学ランキングは凋落しつつあります。即ち、日本社会は全てに後ろ向きで電力事業の自由化もできていません。こうして日本は凋落しつつあるのです。

20. スマートシティ

スマートシティの発展があるでしょう。日傘を使うなどパッシブな都市空間を持ち、アクティブ・ソーラーハウス、LED 照明、真空集熱器による給湯も併用というものです。自動車道路の一部を自転車専用レーンに切り替え、交通機関は EV のみ。電池式路面電車、共用 EV で省エネします。LED 照明、国境を越えるスマートグリッドで都市間を結びます。炭化水素燃料は一切使わず、ソーラーセル、風力、溶融塩蓄熱付き付き太陽光集光型発電、ダム式水力、揚水発電、地熱発電で夜間電力を含む全ての電力を賄い、余剰電力は売ります。

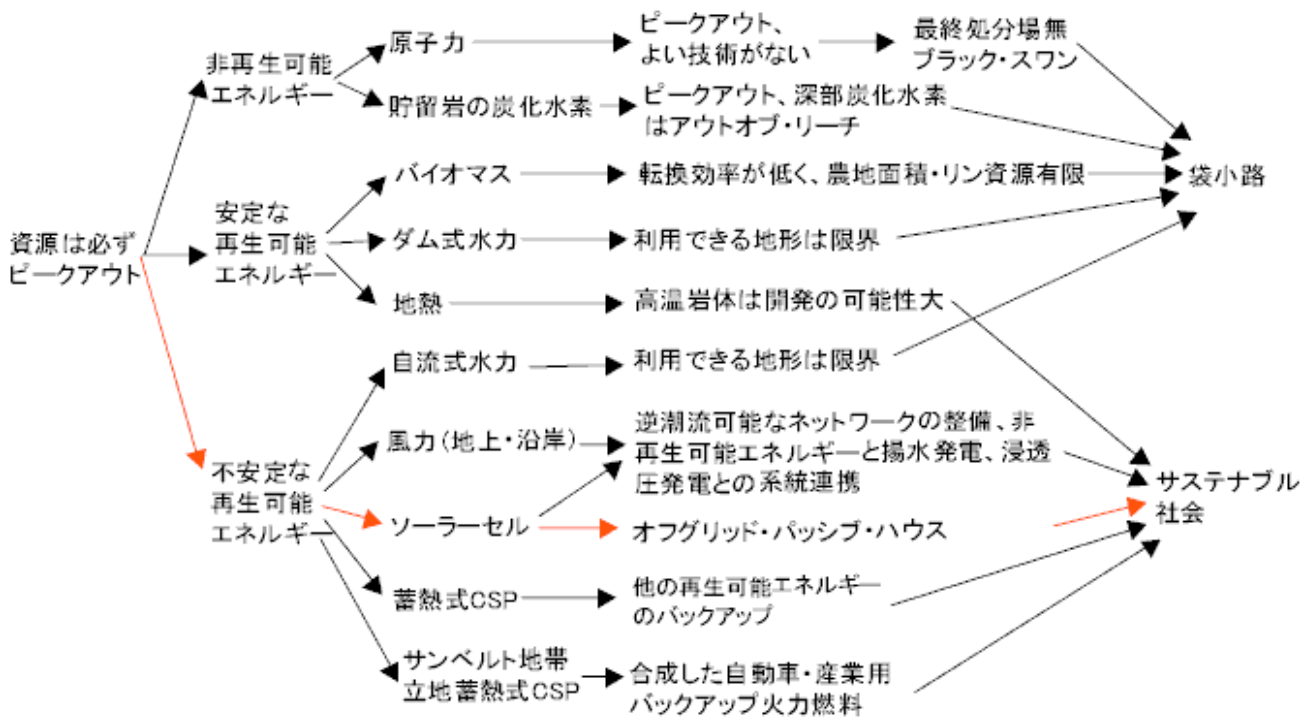
21. 世界人口動向

世界の生活水準が向上、文盲率が低下し、人口増加は止まります。

21. 生物多様性保護

気候変動防止のために二酸化炭素を回収・隔離する必要は無くなります。

ただ海洋が酸性化して海洋生物に影響が出ないように石灰石で中和するなどの方策は必要となかもしれません。



ピーク・アウト・ドグマの認識

専門用語集

気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) : マーガレット・サッチャーがサミットで二酸化炭素に起因する温暖化を調査する国際機関がほしいと提案しました。国連の世界気象機関(WMO)と国連環境計画 (UNEP) がこれを受けて 1988 年に気候変動に関する政府間パネル(IPCC)を編成したものです。サッチャーはハドリー気候予測研究センターも設立し、それは 1999 年時点では気象変動の原因を探る IPCC の第一ワーキンググループとして機能していました。

IPCC スキャンダル : COP15 の直前に勃発したヒマラヤの氷河が完全に消える時期を故意に間違えて記載した「グレーシャーゲート事件」で IPCC の権威が傷ついたのに続き、IPCC の中心的機関であった英国のイーストアングリア大学気象研究ユニット (Climate Research Unit CRU) のジョーンズ所長が悪名高い「ホークスティック曲線」作成の中心的役割を担っていたため「クライメイト・ゲート事件」の責任を取り辞任しました。これら事件が連続したことから「気候変動報告書」自体が捏造されたのではないかとの疑惑が持たれるようになりました。パチャウリ IPCC 議長は、企業献金を受けての利益誘導疑惑が浮上し、議長辞任の批判の渦中にあります。そして今アル・ゴアはピエ口になりました。英国では国民の半分はもう IPCC のいうことを信じてはいないとされています。

COP : 気候変動枠組条約の締約国会議(Conference of Parties)の略。気候変動枠組条約は 1994 年 3 月に発効し、1年後の 1995 年 3月にドイツのベルリンで第 1 回締約国会議 (COP1) が開催されました。

京都プロトコル : 1997 年の COP3 は京都で開催され、京都プロトコル(議定書)が締結されました。先進国は異なる 1990 年基準の二酸化炭素削減率を義務化されました。その重要メカニズムとして CDM が導入されました。

CDM : クリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism)

炭化水素燃料 : 生物起源説によれば石油、天然ガス、石炭などは数億年前に、当時の植物が光合成で固定した太陽エネルギーが化石となって地中に埋もれたものとされますので化石燃料ともよべれます。無機成因説によれば上部マントルの主要構成岩であるカンラン岩が蛇紋岩化する過程で発生する水素が二

酸化炭素と反応して生成したとされますのでここでは炭化水素燃料としました。いずれにせよ貯留岩にトラップされたものを使い尽くすと生産量はロジスティック曲線にしたがってピークアウトします。主として炭素と水素からなる化合物で空気中の酸素と反応させる（燃焼）と熱を出し、二酸化炭素と水蒸気になります。これによれば火力発電所はこの燃焼熱で水蒸気を発生し、タービンを回して発電するわけです。内燃機関の燃料ともなります。国産は微々たるもので殆どが輸入です。

ピークアウト：既生産量と可採埋蔵量の和は究極可採埋蔵量です。究極可採埋蔵量が半分になる時期をピークアウトと呼びます。この時点からどんなに追加投資しても生産量はロジスティック曲線（ハバート曲線とも呼ばれる）に従い減少に転じます。これは米油田、北海油田で証明済みです。ピークアウトすれば価格は高騰します。炭化水素燃料、ウラニウム資源、文明の栄枯盛衰にもこの原理が作用しております。

ジェヴォンズのパラドックス：高効率化・省エネルギーはかえって消費量を増やす。

メタンハイドレード：大陸棚にメタンが水和物を作って氷のように堆積したものの。薄く広く分布しておりますが上手い回収法がありません。

原子力発電：ウラニウム 238 の原子核は 92 個の陽子と 146 個の中性子から構成されていて時々アルファ線を出して崩壊します。2 回アルファ崩壊するとラジウムになります。電子を 1 個放出するベータ崩壊では中性子 1 個が陽子にかわり、最終的に鉛になります。この崩壊はたまにしか起こらず、かなり安定した金属です。しかし中性子の数が 3 個少ない同位元素（アイソトープ）は中性子の照射を浴びるとクリプトンとバリウムに核分裂して中性子を放出します。ウラニウムの核の中の中性子は陽子のほぼ 1.5 倍ですが、核分裂生成物の核の中の中性子は陽子のほぼ 1.2-1.3 倍ですから中性子が余ってしまいます、この余剰中性子が次ぎの核分裂を連鎖的に継続する臨界状態となり、原子番号の小さな雑多な放射性廃棄物に変わります。軽水炉の場合はウラニウム 235 を数%まで濃縮していますので軽水で減速された中性子はよくウラニウム 235 に吸収されるのです。核分裂の発生熱で水を気化し、水蒸気でタービンを回して発電するわけです。通常の水を減速材兼冷却材につかいますので軽水炉といえます。同時にウラン 238 は中性子を照射されるとプルトニウムに変わります。ウラニウム 235 は天然ウラン中に 0.72% しか含まれていないため、遠心分離で 3%程度まで濃縮したウラン燃料をつかいます。ウラニウム 235 の濃縮度が 70%以上ないと核爆発はしません。100%のウラニウム 235 で臨界量は 22kg とされています。広島に使われた原爆は不純物がおおかったため、この 3 倍は必要でした。原子力発電は核爆発はしないものの暴走反応、冷却水損失で炉心のメルトダウン、圧力容器破損、格納容器破損による放射性廃棄物の大量放出というブラック・スワンの可能性があります。世界は過去 2 回経験しました。メルトダウンしても核爆発はしません。日本は 3%濃縮ウランを米国とフランスから輸入しております。天然ウランはカナダから輸入して六ヶ所村で遠心分離装置で 3%に濃縮しております。

放射性廃棄物：中性子線や電離性を有する強いエネルギーをもった粒子線（宇宙線、陽子線、アルファ線）、電子線（ベータ線）や電磁波（ガンマ線、X線）を放射線といえます。核分裂廃棄物はアンダーラインした放射線を放出します。ガイガー・ミュラー計数管は不活性ガスの電離放電により通過した放射線の数計測します。

高速増殖炉：中性子を減速する水を冷却材に使わず、ナトリウムを冷却材にすると発電しながら使用しながら不活性なウラニウム 238 を 1.2 倍程度のプルトニウム 239 に転換するように設計された炉です。水で減速しない高速の中性子をつかうので高速という前置詞がつきます。この転換プルトニウムは同位元素 239 の純度が高く、兵器級プルトニウムと呼ばれます。純粋のプルトニウム 239 の臨界量は 2-5kg とウラニウム 235 に比べてかなり少量です。核拡散防止の目的で再処理してプルトニウムを回収すると

きにはウラニウム 238 を混合して核兵器を製造できないようにすることになっています。

トリウム炉：トリウム資源はウランの 4 倍大きいのですが、トリウム自身は核分裂しません。トリウム 232 は 90 個の陽子を持っています。中性子を当てるとトリウム 233 となり、これがベータ崩壊して、プロトアクチニウム 233 となり、更にベータ崩壊して、ウラニウム 233 となります。こうして生成したウラニウム 233 をトリウムと混合して燃料とする核分裂炉です。燃料再処理が必要となります。

核融合炉：核融合は中性子 1 個と陽子 1 個からなる重陽子 (Deuterium) と中性子 2 個と陽子 1 個からなる三重水素 (トリチウム Tritium) を融合し、中性子 2 個と陽子 2 個からなるヘリウム 4 (Helium-4) と中性子 (Neutron) を生成させる反応です。原料は重水素はカナダなど水力発電単価の安いところで電解プラントで副生する重水から製造します。半減期 12.3 年のトリチウムは資源としては存在しないので融合炉のブランケット内でリチウムと中性子の反応で生成させます。発電の原理は超伝導コイルで 2 億度のプラズマを磁氣的に閉じ込めた空間にエネルギーを継続的に投入して温度を維持しつつ (ローソン条件) 発生する中性子をブランケットで熱にし、この熱でスチームタービン発電機を回すというものです。日本とフランスが 1 兆円の巨費を投じて共同研究しております。

ブラック・スワン：まれに生ずる電力会社を破産させるような大規模汚染のことをブラック・スワンといいます。電力会社はこの負担に耐えられませんから、補償上限を設け、残りは税金で負担することになっています。ブラック・スワンは正規分布ではなく「べき乗則」に従う長い尾を持っています。

べき乗則：地震のマグニチュードとその起きる頻度の関係、河川の氾濫、生命の絶滅の規模と頻度、進化、雪崩の規模と頻度の関係、相転移、破壊現象における破片の重さと破片の数の関係、石油の埋蔵量、インターネット上の次数分布、高額所得者の収入の金額とそれを得る人数の関係を示す「パレートの法則」、食物連鎖、エイズの伝染などがこれに従います。

グリッド・パリティー：発電単価が市販電力価格を下回ること。

ソーラーセル：(photovoltaic cell, PV) ソーラーセルは pn 接合半導体の光起電力効果 (内部光電効果) を原理とするもので可視光を直接電子の流れに変換できます。曇りの日でも少ないながら全空の光を電力に変換できます。

集光型太陽熱発電：(Concentrating Solar Power, CSP) 太陽光を鏡で集熱管に集め、その熱で蒸気サイクルをまわして発電する。CSP は集光型のため太陽の像が集熱管の表面に結ばないと熱が発生しません。晴天の多いサンベルト地帯で威力を発揮します。

放射：物質が温まるとその温度に応じた電磁波 (常温では遠赤外線が多い) を放射して冷える。昔は輻射といった。

対流：物質は温まると膨張して体積が増える。すると比重が軽くなって流体の場合、温まった部分に浮力が生じ上昇気流が生じる。鍋の中の煮えたぎる湯、入道雲はこれの典型的なものです。

伝導：分子同士が直接衝突して運動エネルギー (熱) を伝え合うはたらきです

再生可能エネルギー：水力、風力、波力、潮位、潮流、海洋温度差、地熱 (高温岩体) 太陽エネルギー、バイオマスなどの総称

太陽エネルギー：太陽から地球にとどく紫外線、可視光、赤外線からなる電磁波の総称です。遠紫外線より波長の短い電磁波を電離放射線といい X 線やガンマ線も含まれます。地表に届くと地表をあたため、温まった地表は赤外線を放射して地球の温度を定常に保っております。

バイオマス：狭義には砂糖キビやトウモロコシなど農産物から発酵でエタノール燃料を製造することを行います。広義には薪、木炭、広葉樹を燃料とする発電など植物の光合成作用を利用する間接的な太陽エネルギー変換燃料です。

一次エネルギー：炭化水素燃料、ウラン燃料、太陽エネルギーなど資源から直接製造できるエネルギー

二次エネルギー：電力、都市ガス、合成燃料など一次エネルギーを別のエネルギー形態に変換して利便性を向上させたエネルギー

エネルギー収支比 (EPR Energy Payback Ratio)：特定のエネルギー設備で生産（もしくは節約）できるエネルギーと、その設備に対して直接あるいは間接的に投入したエネルギーの比。たとえばメタンハイドレートからのガス回収、とうもろこしバイオエタノール製造は EPR が低い。

合成燃料：石炭や天然ガスを一旦一酸化炭素と水素にして、触媒を使い高温・高圧下で液体燃料に再合成するもので、フィッシャートロピッシュ合成油、メタノール、これを脱水したジ・メチル・エーテルそしてアンモニアがあります。太陽エネルギー発電の電力で水電解し、生成する水素と炭素源からフィッシャートロピッシュ合成油、メタノール、これを脱水したジ・メチル・エーテルが合成できます。また空気中の窒素と水素からアンモニアが合成できます。

アンモニア燃料：アンモニアは水素と窒素の化合物で窒素肥料として利用されますが、合成燃料としても使えます。原料として炭素が不要ですからどこでも製造できます。水電解槽に窒素ガスを供給してアンモニアを直接電解合成する研究が進行中です。究極的には光触媒を使った人工光合成により水と窒素から直接アンモニアが合成できることも確認されています。

スマートハウス：スマートハウスとは完全断熱、密閉型のアクティブソーラーハウスと分散発電、蓄電、蓄熱を組み合わせたものです。オフグリッド運用が可能となります。

スマートシティ：スマートシティは集合住宅のコンパクトシティです。昼は巨大日傘を広げて日射を避け、夜は閉じて地表の放射冷却を促進するパッシブ制御をする都市空間を持ちます。