JSA 福岡支部核問題研究会例会 20211127, 岡本良治

エネルギー革命とエネルギー移行戦略 20211127F

報告 2:小型モジュラー型原子炉の動向と評価
→「気候危機の影響緩和のためのエネルギー革命と過渡期のエネルギー移行戦略」に含む:

§1 日本が直面する脱炭素への厳しい道のり

§§1. 1 第 6 次エネルギー基本計画をどう評価するか［前田 202107］
＜2030 年度の発電電力量・電源構成＞

2030年度の発電電力量・電源構成

※数値は全て暫定値であり、今後変動し得る。

[億kWh]	発電電力量	電源構成
石油等	約200程度	約2%程度
石炭	約1,800程度	約19%程度
ＬＮＧ	約1,900程度	約20%程度
原子力	約1,900～2,000程度	約20~22%程度
再エネ	約3,300~3,500程度	約36~38%程度
水素・アンモニア	約90程度	約1%程度
合計	約9,300~9,400程度	100%

再エネのうち
太陽光：約15%程度、風力：約6%程度、地熱：約1%程度、水力：約10%程度、バイオマス：約5%程度

〈第6次エネルギー基本計画の骨格はどこにあるか？＞
「需要をとにかく絞り、供給は太陽光と原子力をメインにゼロ・エミッション比率を高め、その中で電化できるところは電化する。その中でなんとか 46%削減までもっていく」
「洋上風力も水素もアンモニアも、カーボンリサイクルもイノベーション頼みのところがどうしてもあり、2050 年に向けた手段であっても、2030 年だと厳しい」

§§1.2 日本が直面する脱炭素への厳しい道のり

「脱炭素に必要な“消耗戦”を勝ち抜く国力と適切な指針
カーボンニュートラルは、一種の消耗戦である。
省エネやエネルギーの効率化、脱炭素の技術が、最終的にはエネルギー費を抑えたり、またビジネスチャンスを生んだりすることに必ずつながると私は考える。しかし、その果実を得るまでには、大きな先行投資やファイナンスを要し、タイムラグもある。再生エネも一気に増やせるわけではなく、その過程では化石燃料などに頼る時期がある。」[北村 202111]

§§1.3 日本は省エネ先進国か省エネ後進国か
「日本は国土がこれだけ限られていて省エネもやりつくしている中で、脱炭素で石油も使わないのであれば2030年の計画では原発を今の3倍にする必要があるが、それしか現実的な解が今のところない。」{山口 202111}

§§1.4 COP26、何が成果で何が課題として残ったのか
［本橋 202111］
「多くの途上国で十分なエネルギー供給が普及していない状況を考慮すべき」
［中国 20211115］

§2 気候危機の影響緩和のための第4次エルギー革命

気候危機に対しては、国連などが提起しているように、影響緩和（mitigation）とともに過去の温室効果ガスの過剰蓄積により現在起きている、そして近未来にも継続して現れると推定される影響への適応（adaptation)の両方が必要である。しかし、本稿では影響緩和のみ取り上げる。

§§2.1 過去のエネルギー革命

「エネルギー革命とは、主要に使用されているエネルギー資源が他の資源へと急激に移行すること[1]を指す」出典: フリー百科事典『ウィキペディア（Wikipedia）』
第一次エネルギー革命：人類が火を発見し利用するようになったことをいう。

人類が最初に利用していたエネルギーは太陽、風力、人力などであった。考古学上では少なくとも50万年前の中国の北京原人（ホモ・エレクトス・ペキネンシス）の頃には火を保存したり作ったりすることができるようになったと考えられている。

第二次エネルギー革命：人類が蒸気と化石エネルギーを利用するようになったことをいう18世紀後半になると石炭を利用する蒸気エネルギー機関が発明され、自然エネルギーしか使わなかったそれまでの手作業の長閑な社会は激変した。

イギリスはヨーロッパ大陸の諸国よりも森林が少なかったため、製鉄業は薪炭を求めて移動したが、16 世紀には燃料不足となり、木材価格が上昇し始めた。このため他国よりも真剣に他のエネルギーを探す必要に迫られたが、そこで注目されたのが石炭であった。この石炭エネルギーへの移行により、イギリスは他国に比べて 50 年も早く産業革命を起こすこととなった。イギリス産業革命は 1760 年代に始まるとされる。

第三次エネルギー革命：人類が石油や電気を組み合わせて利用するようになったことをいう。

欧米での石油エネルギーへの転換：
1886 年にはゴットリープ・ダイムラーが内燃機関を自動車に搭載して石油が自動車の動力に利用されるようになり、1896 年にはヘンリー・フォードがガソリン車（T 型フォード）を大量生産し始めると、一般大衆にガソリン自動車が普及することになった。

アメリカで灯油や軽油を使うトラクターが農業分野に登場すると、大量収穫が可能となり、人力と畜力による伝統農業は石油を使う現代農業へと移行することとなった。

アメリカでの自動車登録台数は 1929 年には 2310 万台となり、世界の石油自動車の 78%を占め、公共鉄道は次第に衰退した。

日本での石油エネルギーへの転換：
一般的には第二次世界大戦後の 1960 年代に、それまで燃料の主役であった石炭から石油や天然ガスへ転換されたことを指す。

他にも日本国内産の石炭の生産を中止して低価格で品質の良い輸入石炭に移行した現象や、家庭での暖房器具が燃料主体から電気を主体とした器具に移行した現象などに対しても使われることがある。

日本のエネルギー革命は他国と同様、蒸気機関よりも熱効率のよい内燃機関の発達を促し、産業の高度化にもつながった。反面、北海道空知地域・福島県東部・山口県西部・九州北部（筑豊な

ど）の産炭地ではそれまで産業の基盤であった炭鉱が次々と閉山に至り、多くの炭鉱労働者が失業し、関係自治体の著しい衰退へとつながっていった。

家庭用のエネルギーに関しては、1950 年代においてもなお、多くの家庭の暖房や炊事に木炭や薪などの木質エネルギーが用いられていた。1950 年の木炭の生産量は年間約 200 万トン、1956 年の薪の生産量は 3,400 万層積石（1 層積石を 125kg で換算すると約 425 万トン）、統計に反映されない自家生産分や製材所の鋸くず、端材などの二次利用分を考慮すれば、膨大なエネルギーを国内の森林から調達していた。これら木質エネルギーは、この後、急速に石油、ガス、電気などに移行。薪炭の生産量は、1970 年代までにかつての 1/10 といった桁違いの減少を見せた。家庭内のエネルギー革命は、家庭内の無煙化や家事労働の低減など近代的な生活環境をもたらしたが、一方、山間奥地の木質エネルギー生産の場からは多くの収入と雇用の場が消失するという打撃となり、離農や過疎化が急速に進んだ。

石油資源の行方

石油危機以降、石油輸出国機構（OPEC）に対する危機感と原油価格の高騰により、世界各地で探鉱活動が活発になるとともに、石油探査・生産技術が向上したこともあり石油の可採埋蔵量が増加することとなった。しかし、化石エネルギーが有限資源であることに変わりなく辺境の土地や海洋での探鉱、オイルシェールやオイルサンドなどの採掘に対象が移ると考えられている。

総説論文[Sorrell2015]の社会技術システム（a sociotechnical system）という観点からの分野横断的、歴史的分析も参照する一義あり。

§§2. 2 気候危機の影響緩和のための脱炭素社会への大転換＝「グレート・リセット」または（第 4 次）エネルギー革命

・現在進行中のエネルギー転換は、[明日香 2021] においてもエネルギー革命という用語が使用されているように、社会システムや生活の有様をかなり変化することを伴うので、エネルギー革命と呼ぶことが適切であろう。

・（第 4 次）エネルギー革命は再生可能エネルギー100％社会を実現するという意味で、再エネ革命とも呼ばれるであろう[世界別冊 2018]。

・関連用語の整理：

＜物理学におけるエネルギーと社会におけるエネルギー＞

1）物理学におけるエネルギー：

物理的仕事をさせる能力の大きさ。物理の世界では「物理的仕事は物体に加わる力と変位の内積によって定義される物理量」と定義される。動く、状態が変化するという「仕事」をするためにはエネルギーが必要不可欠。

エネルギーの種々の形態の変化の際の、量的保存。

エネルギーそのものと利用できるエネルギー（available energy）の区別[ファインマン 1968]が、少なくとも物理学教育の現場ではほとんどなされていないと思われる。利用できるエネルギー（available energy）はエクセルギー(exergy)または availability という概念[Sorrell2015]で定量的に表現されている。文献［宿谷 2010］においてはエクセルギー(exergy)の観点から環境と技術を論じている。

2）社会におけるエネルギー

社会におけるエネルギーとは、端的に言えば、物理学におけるエネルギーそのものではなく、エクセルギー(exergy)［Sorrell2015］の意味であることに注意すべきである。

2.1)一次エネルギーとは自然界に元から存在するエネルギーのことです。石油や天然ガス、石炭、原子力燃料(核燃料)、太陽光や水、風、地熱など。

2.2)二次エネルギー：一次エネルギーを使いやすいように加工したものです。具体的には都市ガスや LP ガス、ガソリン、灯油、電気など。（電気(電力)とそれ以外(非電力)とに分類できる。）

2．3)「最終エネルギー消費」：産業活動や交通機関、家庭など、需要家レベルで消費されるエネルギーの総量（電力会社の発電所、石油精製工場、ガス製造所などエネルギー転換部門でのエネルギー消費は含まれない）https://j-net21.smrj.go.jp/development/energyeff/Q1183.html

＜温室効果ガス（Green House Gas，GHG）＞

温室効果ガス（GHG）の排出ゼロという目標の中で、炭酸ガスが最も重要な GHG なので、脱炭素化と簡略化または象徴的に表現される。しかし、メタンガスの GHG 効果は単産ガスのそれの約 20 倍なので、決して無視できない。

＜カーボン・ニュートラル（またはネット・ゼロ）とゼロ・エミッション＞

「カーボン・ニュートラル（Carbon-neutral）」化、「ネット・ゼロ(Net-zero)」化または「温室効果ガスの排出量の実質ゼロ」化：

この「実質ゼロ」は、温室効果化ガスの排出そのものをゼロにするという意味ではなく、「差し引きゼロ」の意味である。温室効果化ガスの排出そのものをゼロにするという意味ではない。排出を続ける一方で、その効果を相殺する技術や資源の開発を進めるというものである。[浜 2021]

・温室効果化ガスの排出そのものをゼロにするのは，自動車の EV 化（EV シフト）のように、「ゼロ・エミッション(Zero-emission)」化である。

＜省エネルギー（Energy saving）＞： 使用者により、その意図が明示されないことが多く、以下のような注意が必要である；

狭義の使用法としては、エネルギー削減の意味か、（エネルギー供給またはエネルギー消費における）効率の改善のいずれかの意味があるように思われる。 広義の使用法としては、エネルギー削減と効率の改善の両方を含む場合がある。

§§2.3 「エネルギー政策の基本は 3E+S」論の批判的分析

・「エネルギー政策の基本は 3E+S，すなわち安全性(Safety)を大前提とし、自給率または安定供給・エネルギー安全保障(Energy Security)、経済効率性またはコスト(Economic Efficiency)、環境適合(Environment)を同時達成すること」[資源エネ庁]と言われる。

・3E（+S）の立場から、脱炭素の“宗教化”や再エネの一神教化はネルギー危機を招くという見解もある。[竹内 2021] しかし、[竹内 2021]は「太陽光発電がいつ発電するか分からない」と、現在では高い時間精度で主力変動が予測できることを無視している！

・「太陽光産業は玉石混淆」，「電気は究極の生鮮食品」という指摘[竹内 2021]

しかし、3E+S の立場では、環境適合性の解釈が一面的で、原発は運転中には炭酸ガス排出なし（脱炭素）とみなされが、高レベル放射性廃棄物の処理処分問題のように、将来世代への負の遺産になることや、人口比で相対少数の先進諸国が圧倒的に多大なエネルギー資源を消費しているという歴史的格差（非不平等性）を無視している。さらに、効率が経済効率に限定されるという狭隘さがある。

§§2.4 エネルギー移行戦略の 4 本柱(私案)

・以上のような批判的分析から、現代におけるエネルギー移行戦略の 4 本柱を提案できるかもしれない[ＩＥＡ２０２０]［環境研 2021],[明日香 2021]。

1）エネルギー需要の低減、

2）効率の改善、

3）エネルギー転換（代替燃料、代替肉など食料生産における GHG 排出の削減を含む）

4）電化の促進、

ただ、電力は常時、需要量と供給量が高い精度で一致していなければ、大停電が起きる可能性があるので、安定供給のための特別な措置が必須である。

§§2．5 エネルギー需要の低減

「エネルギー需要の低減」について：日本を含む先進諸国はエネルギー高依存社会

エネルギー多消費型の重厚長大産業、大量生産・大量消費・大量廃棄

農業、漁業におけるエネルギー多消費構造

エネルギー多消費、体をうごかさなくてすむ機器に取り囲まれた市民生活、家庭生活

＜スイス「2000 ワット社会構想」＞［岡本 2018］

＜エネルギー需要の実際的な限界＞

「パッシブシステムの設計変更を実際に達成することによって、世界のエネルギー消費の 73%が節約できる」[Cullen2009A] [Cullen2009B][Cullen2011]

アクティブシステムとは動力の働きによっておこなう環境調整システムであり、パッシブシステムとは、動力を用いずに,建築外皮によるなどの方法で、環境調整システムである［宿谷 2010］

{判治 2014}

「日本保温保冷工業協会によれば、配管保温材劣化、熱量 3%ロス、原発 7 基相当」

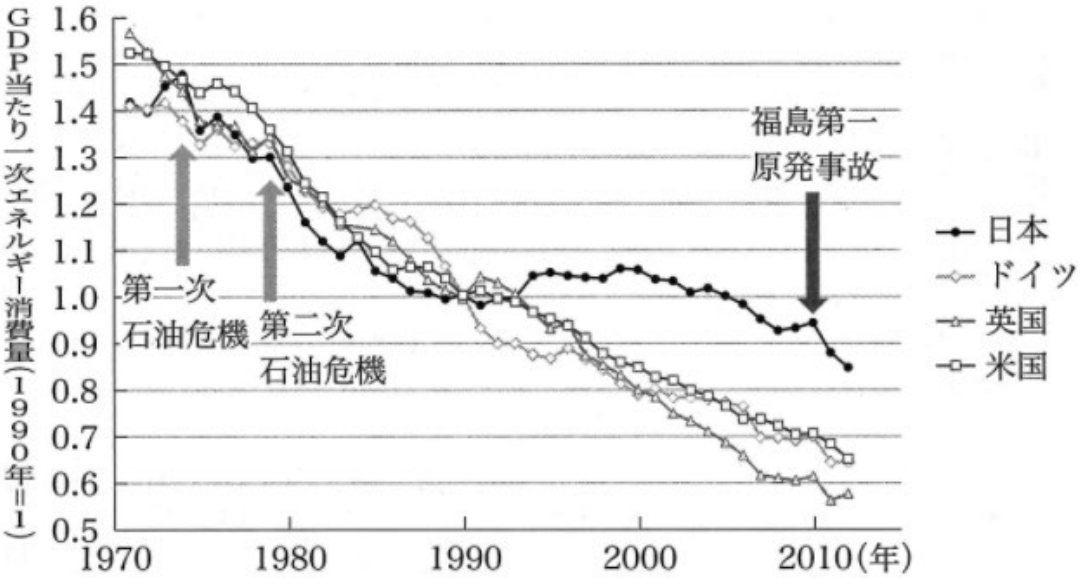
熱損失は、すべての保温材が健全であった場合の、約 1．5 倍に登り、年間 220 ペタジュールが余計に失われていると推定した。これは,出力 100 万キロワットの原発7基が1年間稼働した場合の発電量約613億キロワット時に匹敵する。配管を通る熱源は,製造工程の化学処理や暖房などに使われる.製造業はここ数円、国内全体の4割に登る年間6000ペタジュール前後を消費しているが、その3%程度が無駄遣いされていることになる。」［毎日 20150814］

チェック:220pJ=220×10^{15}J

100 万 kw×7×1 年＝10^6×10^3W ×7 ×365×24×60×60 s

=220.75×10^{15}J.

日本は、省エネという面でも世界から大きく立ち遅れており、大規模な省エネを進める条件は大いにあること[明日香 2021]:



GDP当たり一次エネルギー消費量の変化割合

{中上 20210128 }

「なぜ省エネルギーに対して議論がないのか？

・今回の首相の発言に対して再生可能エネルギーか原子力かといった供給サイドの話しか着目されないのか？

・エネルギー需要が省エネルギー対策によって 50%低減されれば、再生可能エネルギーの供給シェアは 2 倍になる！

・省エネルギーの余地はまだまだいたるところにあるのではないか？

・そもそも我が国のエネルギー問題を論ずるときに、エネルギーの需要がどうなるのかという根本的な議論がなされないところに問題があるのではないか？

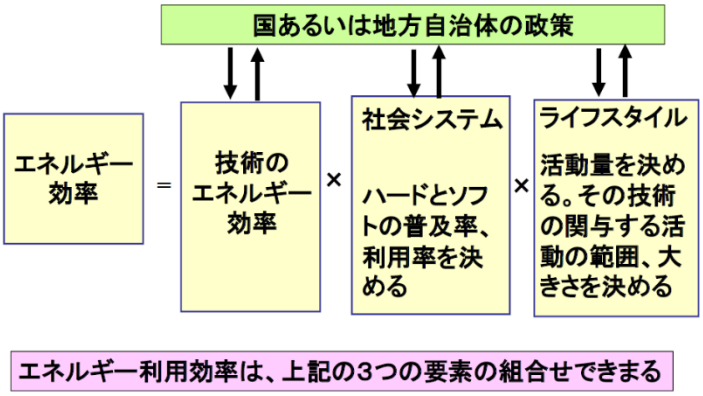
・省エネは脱炭素社会達成への王道である。なぜなら誰でもがどこでも直ちに取り掛かることのできる唯一の方策である。」

{資源エネ庁 20210413}

「2050 年カーボンニュートラル目標が示されたことを踏まえ、途上である 2030 年に向けても、徹底した省エネ（①）を進めるとともに、非化石電気や水素等の非化石エネルギーの導入拡大（②）に向けた対策を強化していくことが必要。λ このため、引き続き省エネ法に基づく規制の見直し・強化や、支援措置等を通じた省エネ対策の強化とともに、 供給側の非化石拡大を踏まえ、需要側における電化・水素化等のエネルギー転換の促進などに向けた対策 を強化していくことが求められる。（具体的な対策の全体像は引き続き省エネ小委等で検討。）」

§§2.6 「効率の改善」について:

社会システムにおけるエネルギー効率改善の概念図[大阪府市 2013]



「電化の促進」について:エネルギーの熱的利用や、温室効果ガスを大量に排出する生産工程を可及的に電化するべきである。

「エネルギー転換（新燃料を含む）」について:

自動車の、内燃機関（エンジン）から、EV 化(電動車化)または燃料電池化。

航空機燃料を石油から GHG を排出しない代替燃料への転換も必要。

・化石燃料・原発から省エネ・再エネへの転換[明日香 2021]

§§2．7 エネルギー需要低減の想像以上の困難さ

経済成長と**エネルギー需要の強い相関の歴史。効率改善後のエネルギー需要の増加というリバンド現象**[Sorrell2015]。

§3 2050 年脱炭素化、特に 2030 年まで勝負の 10 年間に，原発を使うべきか、必要か

ー福島第一原発事故後 10 年の教訓を踏まえてー

§§3.1 原発は気候危機対策の柱にはなり得ない

理由は以下の通り:

1）原発、特に大出力の原発は、出力調整が困難であるため、調整電源としてほぼ同じ電力規模の石炭火力発電を必要としてきた。

—石炭火力発電は世界の CO2 排出量の約 30%を占めている。

—日本政府の現エネルギー基本計画においても、原発と石炭火力の電源構成比率はほぼ同じ 20%強台である。

2） 一次エネルギー中に原発の占める割合は福島原発事故以前の日本国内でも高々10%程度。一次エネルギー中の電力が占める割合は約 25%，残りは熱(約 75%)、電力の中で原発が占めた過去最大割合は約 30%で、0.25 x 0.30=0.075。

3）過酷事故の（高）リスクが否定できない

4）安全対策強化による価格上昇により、米国で進行しているように、市場原理で徐々に淘汰されるはず！

5）使用済み核燃料の再処理（プルトニウム抽出）による核兵器の水平拡散へのリスク増大.

→「原子炉級プルトニウムは核兵器には使えない」論は誤り！

長崎原爆時の設計技術でも数キロトン威力の可能性と、現代の核兵器設計を使えば、原子炉級プルトニウムを用いても、兵器級プルトニウムを用いた場合と同等の性能を実現できる！[岡本 2021]

6）最新型火力発電の熱効率 61%、原発の熱効率は約 34%（残りは環境への廃熱）

7）原発は企画から運転開始までのリードタイム{原発リードタイム}が 25 年以上と非常に長い。

{原発リードタイム} 通商産業省資源エネルギー庁企画調査課「エネルギー 未来からの警鐘—21 世紀に向けて我々は何を選択すべきか」通商産業調査会出版部、1997 年。P.51

8）放射性物質の環境への拡散

・高レベル放射性廃棄物問題の解決の超困難性

地層ではなく、日本列島における深部岩石圏の地質学的時間スケールにわたる安定性の見通しは困難または極めて悲観的。

§§3.2 小型モジュール型原子炉（Small Module Reactor, SMR）について

出力が比較的小さく、パッケージ（モジュール）で製造される次世代原子炉を指す。IAEA（国際原子力機関）の定義によれば、出力が 30 万 kW 以下とされ、主流の大型炉（100 万 kW 超）に比べると3分の1から4分の1ほどの規模となり、主流の大型炉よりはるかに小さい。

課題(障壁)[藤村 202110]:

1) 経済性：工期が短縮されれば、コスト削減はできるが、100 万 kW の大型炉1基と 10 万 kW10 基を製造した場合、大型炉のスケールメリットを覆すほどの経済性は発揮できないとされている。再エネの発電コストの低下が今後も進展する中、コスト競争力を発揮できるかも不透明。
2) 承認手続き：小型炉を複数設置するには立地自治体との調整も複雑になり、その手続きが軽減されるわけではない。
3) 核拡散防止：世界各地で設置されることになれば、それだけ放射性物質の管理が難しくなり、核兵器に転用される可能性も高まる。
4) 原子力そのもののリスクはゼロにはならず、バックエンドの課題は抱えたままだ。使用済み核燃料の処理はまだ誰も解決できていない。

§4 関連する話題(問題)についての議論

§§4.1「EV シフトの衝撃～岐路に立つ自動車大国・日本～」

・NHK スペシャル；11 月 14 日(日)夜 9 時～

https://www.nhk.jp/p/special/ts/2NY2QQLPM3/episode/te/M3X78N6R1V/

世界の自動車業界に急速に広がる“EVシフト”。震源地・EUでは官民一体となって主導権を握ろうと始動。ルノーの生産現場では大変革を進めていた。対する自動車大国・日本はどう立ち向かうのか？番組では、ホンダの開発現場に密着。そこでは、航続距離を伸ばすために新たな電池を開発するなどギリギリの闘いが続いていた。番組では、世界の自動車産業の構図がどう変わるのかを描き、日本が世界で戦うための課題をみていく.

§§4.2 世界を制するシステムの未来

「これがすべてを変える一資本主義vs気候変動」[クライン 2017]、

脱成長コミュニズム **[齋藤 2020] ←省エネへの言及なし[明日香 2021]**

「グリーン・ニューディール−世界を動かすガバニング・アジェンダ」[明日香 2021]

国家が仕切る社会主義体制下で経済が成長する限界 [ヤーノシュ 1984,2021]

「資本主義だけ残った―世界を制するシステムの未来」

現代の資本主義の形として、欧米や日本で見られる民主主義、個人の自由などが結合したリベラル能力資本主義と、中国などの国家主導型の政治的資本主義の二つ。[ミラノヴィッチ 2021]

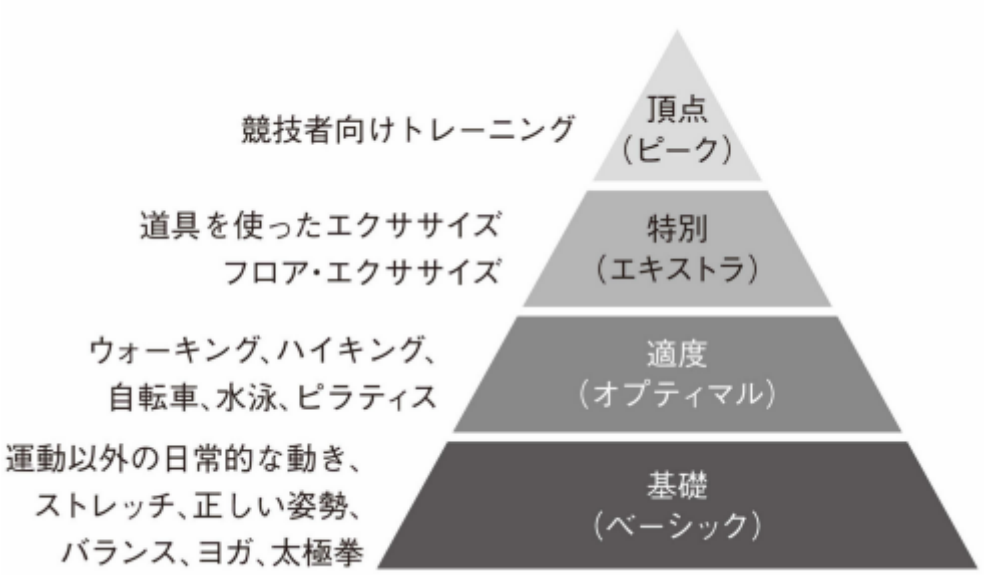
§§4.3 現代のライフスタイル（健康と運動）の批判的考察

ヴァーニカス、元 NASA ライフサイエンス部門責任者。宇宙医学の開拓者＞[ヴァーニカス 2006]

・産業革命（17 世紀）以後、都市化され座りっぱなしで身体を動かさないライフスタイル。

・この地球上で私たちは，重力の影響を受けて暮らしている。歳をとるにつれて重力に屈服する度合いが大きくなり、座って過ごすことが多くなる。横になっている方が楽に感じるようになる。
・内燃機関(ガソリンエンジン)，テレビそしてIC(集積回路)は、重力の恩恵を避ける「三大発明」といってよい。これら三つのおかげで私たちは、歩いて数分のスーパーマーケットに車で乗りつけ、その一方で、運動不足だといってスポーツジムで運動するという、ばかげた生活を送るようになっている。
・ことにICチップはコンピュータをはじめ、時計、電話、携帯電話など、家の中の至る所につかわれている。もちろんテレビにも。いずれ，医者にかかることさえテレビ電話やインターネットを介して，家にいながらできるようになるであろう。
・労働節約型の発明によって加速されてきた身体を動かさない生活がこのまま進んでいくとしたら、こうした発明がもたらす健康への悪影響は、私たちの子や孫の代には、さらに深刻なものになっているであろう。
・私たちは老化を避けて通ることはできない．しかし，人生に対する前向きな姿勢を貫き、食事の内容をよく考え，重力を利用したエクササイズを行うことによって，若さと健康を保ちながら、人に頼ることなく生きていくことができる．
・老化による多くの症状は、年令そのものとはあまり関係がない。老化現象の多くは、長い人生をかけて，徐々に重力の恩恵を避けるようになった結果である。
・たとえ毎日欠かさず1時間ずつジムでエクササイズをしていたとしても、残りの時間、重力を意識しない身体の使い方をしていたのであれば、まったくエクササイズをしないよりましだが、あまり意味はない。
・身体を動かさない生活は万病のもと。廃用性症候群。

・最近の研究結果から、身体を動かさないライフスタイルによって身体の組織がダメージを受け，心臓や血管の硬化につながることが証明されている。[ヴァーニカス 2016]
・健康と運動ピラミッド[ヴァーニカス 2016]



§§6.4　日本が先行しているアンモニア発電は脱炭素の切り札となるか[藤村 2021]

§§6.5 核融合発電の研究開発の現状と近未来は？

<参考文献、URL>—50 音順(日本語)、アルファベット順(英語等)—

[明日香 2021]　明日香壽川「グリーン・ニューディール－世界を動かすガバニング・アジェンダ」(岩波書店、2021 年)

[江守 2013]　江守正多「異常気象と人類の選択」角川 SSC 新書、2013 年。

[NHK20200113] NHK・BS1 スペシャル「気候クライシス～IPCC特別報告書からの警告～」2020 年 1 月 13 日(月) https://www.nhk.or.jp/docudocu/program/2443/3115799/index.html

[NHK20211107] NHK スペシャル；11 月 7 日「グレート・リセット～脱炭素社会　最前線を追う～」https://www.nhk.jp/p/special/ts/2NY2QQLPM3/episode/te/KV8V3QMW3V/

[NHK20211114] NHK スペシャル「EV シフトの衝撃～岐路に立つ自動車大国・日本～」https://www.nhk.jp/p/special/ts/2NY2QQLPM3/episode/te/M3X78N6R1V/

[大阪府市 2013]　大阪府市エネルギー戦略会議「大阪府市エネルギー戦略の提言本編」，富山房インターナショナル，2013 年 5 月 31 日.

http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/15927/00127625/honpen.pdf

[岡本 2018]　岡本良治「スイス 2000 ワット社会政策—意義と解説—」

http://jsa-fukuoka.sakura.ne.jp/shiryo/okamoto20180714.pdf

[岡本 2021]　岡本良治「原子炉級プルトニウムは核兵器には使えないか」，日本の科学者、2021 年 1 月号。「原子炉級プルトニウムと核兵器」ノート

http://rokamoto.sakura.ne.jp/fukushima/reactor-grade-Pu-and-nuclear-weapon-note.pdf

［環境研 2021］ 国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム「2050 年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析」2021 年6月 30 日 。
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/044_005.pdf

[環境省 201907] 環境省「IPCC1.5℃特別報告書の概要」2019 年 7 月版(ICPP 公表は 2018 年 10 月)。
http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/ar6_sr1.5_overview_presentation.pdf

［危機論文公開 20211111］ Climate Change Knowledge Cooperative
https://www.growkudos.com/showcase/collections/climate-chang

［齋藤 2020］ 齋藤幸平「人新世の『資本論』」集英社新書, 2020 年。

［資源エネ庁］ 経産省・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」、https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2020/005/

{資源エネ庁 20210413} 経産省・資源エネルギー庁「2030 年に向けたエネルギー政策の在り方」2021 年 4 月 13 日。
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/040/040_005.pdf

［宿谷 2010］ 宿谷昌則「エクセルギーと環境の理論ー流れ・循環のデザインとは何かー(改訂版)」井上書院, 2010 年。

［竹内 2021］ 竹内純子「原発から逃げた政治―脱炭素の宗教化はエネルギー危機を招くー」, 文藝春秋、2021 年 12 月号、pp.186-193.

［クライン 2017］ ナオミ・クライン「これがすべてを変える一資本主義vs気候変動（上、下）」岩波書店、2017 年。

{中上 20210128 }中上英俊「脱炭素社会実現に向けて改めて省エネルギーを考える
ーコロナ禍を乗り越えてー」2021 年 1 月 28 日。
https://www.chubu.meti.go.jp/d33shouene/2020fy_syoene_symposium/1.1.pdf

［浜 2021］ 浜 矩子、「『実質』だから、まあいいかではすまされない脱炭素化論議」、週刊 AERA, 2021. 11. 15、p.7.

{判治 2014} 判治洋一（一般財団法人 省エネルギーセンター）「省エネルギーの現状と課題-産業・業務分野を中心に-」2014 年 2 月。
https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/566017_60631538_misc.pdf

[ファインマン 1967] R.P. ファインマン「物理法則はいかに発見されたか」ダイヤモンド社、1967年。
[藤村 202110] 藤村朋弘, 世界で注目を集めている小型原子炉は、本当に脱炭素の選択肢になるのか、20211028.
https://energy-shift.com/news/693065ca-965a-4f55-9fc3-550cf5f85cd1
[藤村 202111] 藤村朋弘, 日本が先行しているアンモニア発電は脱炭素の切り札となるか、2021/11/10
"世界のCO2排出、コロナ前水準に迫る 今年は4.9%増" https://share.smartnews.com/y5n7K
[毎日 20150814] 「日本保温保冷工業協会によれば、配管保温材劣化、熱量3%ロス、原発7基相当」毎日新聞、2015年8月14日。
https://www.miyadera.co.jp/mainichi%202015-8-14.pdf
[ミラノヴィッチ 2021] ブランコ・ミラノヴィッチ「資本主義だけ生き残った－世界を制するシステムの未来」みすず書房、2021年。
[ヤーギン2015] ダニエル・ヤーギン「エネルギーの世紀(上、下)」(普及版)日本経済新聞社、2015年。
[ヤーノシュ 1984,2021] コルナイ・ヤーノシュ「不足の政治経済学」岩波現代選書、1984年。
吉岡桂子、(多事奏論)中国という「怪物」 野心への対処は、日本への遺言
朝日新聞、2021年11月6日。
[ロイター20211115] 焦点:COP26が死守した「1.5度目標」、達成になお高いハードル0
By Reuters Staff、2021年11月15日
。HTTPS://JP.REUTERS.COM/ARTICLE/CLIMATE-UN-AGREEMENT-IDJPKBN2I002V
[ローズ 2019] R.ローズ「エネルギー400年史」草思社、2019年。
[ヴァーニカス 2006] J.ヴァーニカス「宇宙飛行士は早く老ける? ―重力と老化の意外な関係」(朝日選書) 朝日新聞社, 2006年.
[ヴァーニカス 2016] J.ヴァーニカス「NASA式最強の健康法『座りすぎ』をやめると、脳と 身体が変わる」ポプラ新書, 2016年。
[IEA2020] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY(IEA),
SUSTAINABLE RECOVERY
WORLD ENERGY OUTLOOK SPECIAL REPORT
FLAGSHIP REPORT — JUNE 2020
HTTPS://WWW.IEA.ORG/REPORTS/SUSTAINABLE-RECOVERY

[前田 202107] 前田雄大「第6次エネルギー基本計画素案発表 内容を分析して見える国の考えは」、2021年07月23日。

https://energy-shift.com/news/fb6dbac6-c4cf-4012-8f1f-9d1a43a9bda5
[本橋 202111] 本橋恵一「COP26 を総括する(1)注目された2つの論点と最後まで揉めた石炭火力」 https://share.smartnews.com/Y38Vf、
「COP26 を総括する(2)ようやく解決した、パリ協定のカーボンクレジット問題。多くのチャンスをもたらすことに」 https://share.smartnews.com/fbn4S
[北村 202111] 北村和也「経済二流国”日本が直面する脱炭素への厳しい道のり」、20211118、https://share.smartnews.com/4F6xQ
[世界別冊 2018] 岩波書店「再エネ革命—日本は変われるか？」世界別冊No. 907, 2018 年。

[中国 20211115] 「中国 COP気候協定を評価も 先進国は途上国の懸念に十分に応えていない」20211115。https://share.smartnews.com/xKa4D
{山口 202111} 山口真由氏(ニューヨーク州弁護士)のコメント、テレビ朝日[羽鳥慎一モーニングショー],2021 年 11 月 22 日。https://jcc.jp/anohito/matter/12365/

--
[Cullen2009A] J. M. Cullen, *Engineering Fundamentals of Energy Efficiency* (doctoral thesis, Cambridge University ,United Kingdom).
https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/225127
[Cullen2009B] Jonathan Cullen and Julian Allwood, *engineering fundamentals of energy efficiency,* November, 2009.
http://www.lcmp.eng.cam.ac.uk/wp-content/uploads/091111-Cullen-web
[Cullen2011] Jonathan M. Cullen , Julian M. Allwood *, and Edward H. Borgstein
Reducing Energy Demand: What Are the Practical Limits?
Environ. Sci. Technol., **2011**, *45* (4), pp 1711–1718. **DOI:** 10.1021/es102641n
[Sorrell2015] Steve 2 Sorrell, Reducing Energy Demand: A review of issues, challenges and approaches, *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol.47(2015),74-82.
および 87 編の引用論文。
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115001471 ¥
https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032115001471?token=CAEB1309F6FF2126BC5C7C4D8554B594B5A8C5289A50F2448E4AAC33516C432E2DE8BEBCA29A580EF53B783A0D43270D&originRegion=us-east-1&originCreation=20211125092131