福島第一原発事故後10年ー教訓と課題ー[1] [2]

岡本良治[3]

概 要

1 「福島第一原発事故後10年」を評価する意義

- 政府における原子力政策の司令塔役となる組織は内閣府、経産省、原子力規制委員会、原子力委員会などがあり，中心的司令塔役はどこか明確ではないが、おそらく経産省資源エネ庁であろう。であり
- 脱原発 (反原発を含む) 勢力の戦略はバラバラ、その司令塔も不在と思われる。
- 2018 年頃から米国で、脱炭素化に向けた現実的な選択肢として原子力と再エネの共存による議論の動き [65],[50]
- 日本国民の中で、原発反対の世論は根強いが、2050 年脱炭素化の実現をめぐって、脱炭素電源として、「再エネ＋原発」という組み合わせによる原発動員論が経済界首脳部 [22]、経産相 [28]、自民党国会議員集団 [35] から急速に出てきている。

福島第一原発事故後 10 年の教訓と課題を分析することは、福島第一原発事故自身とその影響・波紋の評価分析のみなならず、2050 年脱炭素化の実現をめぐって，原発も動員すべきかどうかを検討する上でも意義がある、と思われる。

2 事故そのものについて得られた教訓

2.1 福島第一原発事故の位置づけ

1. 1986 年チェルノブイリ原発事故以来のレベル 7 の過酷事故、
2. マグニチュード 9.1 の地震と約 45 分後の 15 メートル超の巨大津波が発端. 決して「想定外」ではなかった！ ←大津波による全電源喪失は早くから危惧されていた：2006 年 10 月 27 日衆議院内閣委員会における安部首相 (当時) への共産党の吉井議員による質問。←巨大津波の可能性も事前に研究発表されていたが、当時の東京電力首脳部は無視した。
3. 初の複数原子炉の多重過酷事故
4. 4 号機への過酷事故への拡大の可能性など、最悪事態への複数の偶然による回避
5. 大量の放射能汚染水の発生と継続
6. 3 基の過酷事故による廃炉工程は前人未踏の技術的難問

[1] filenameFukushima-nuclear-accsident-10-years-lessons-problems20210509A.tex
[2] 日本科学者会議・福岡支部総会後のオンライン講演、2021 年 5 月 9 日。
[3] 九州工業大学名誉教授。専門分野は原子核物理学。核・原子力問題他の論考

2.2 原発の過酷事故のリアル

[31]

2.3 「最悪事態」勃発の可能性と偶然の連鎖による回避

2.4 原発事故の社会経済的影響

1. 関連の死者数と避難者数：
2. 賠償等のこれまでの費用
3. 原賠制度—核のごみ処理に対応していないし，できない [47]。

> 「1961 年につくられた「原子力損害の賠償に関する法律」（原賠法）は，原子力事業者（電力会社など）の「無過失責任主義」「賠償責任の集中」「無限責任」「損害賠償措置の設定」などを定めている。地震・噴火・津波については賠償は民間の損害保険から除外され，政府の補償契約にまわされている。日本の原発においてこれらのリスクは極めて高いので，保険の引き受け手がなく，国際的な再保険網に乗らないからだ。しかも，無限責任といいながら，賠償措置額は 1200 億円にすぎず，福島事故後も額が据え置かれたままである。保険業界は賠償措置額引き上げに反対し，電力業界は掛け金引き上げに反対したからだ。どちらの側も，自分たちの手に負えないと判断している。」
>
> ← 1960 年代の，原発事故被害想定についての秘密報告でも予見されていた！

2.5 福島第一原発の「ALPS 処理汚染水」の海洋放出決定とそれへの国内外の批判

2.6 福島第一原発の廃炉の方針、その現状と未来

廃炉行程が約 40 年で完了するなど展望が描けることにはほど遠く、最終形未定の廃炉作業、数百年かかるというシナリオもある [29]。

2.7 事故の「原因」または「原因の階層構造」

複雑な [技術] システムの事故原因が単純であることは希である。従って，因果関係も。主因，推定原因，根本原因，補助的原因，関連原因，直接的原因，間接的原因，　　重大な原因など，多くのカテゴリーが提案されてきた．複雑な [技術] システムの事故原因は階層構造をもつことは知られている [53]

1. レベル 1 としての，事故発生メカニズムまたは事象系列:
   福島第一原発事故における発端事象の問題として巨大津波、M9.2 地震、それらの複合という 3 つの代表的解釈に関連する事実がある。
2. レベル 2 として、レベル 1 に記述した事象が発生しうる条件または条件の欠如:
   例：福島第一原発事故における水位計の誤表示。
3. レベル 3 としての制約または根本原因：
   技術的及び物理的条件、社会的力学と人間の行動、管理システム、組織文化、行政上、社会経済上の方針や状況安全思想・安全文化の水準など。
   例として
   - 原子力推進の立場の経産省内に旧安全保安院が設置されていて、電力事業者と癒着し、形骸化されていた原子力規制
   - 電力事業者における安全文化の偏向（首脳部におけるコスト増加忌避傾向）
   - 「原発事故対策としての 5 重の壁」論など深層防護思想の不十分性—特に第 4、5 層—
   - チェルノブイリ原発事故＝旧ソ連の技術レベル原因論など、日本におけるガラパゴス化現象の始まり？

2.8 ブラックスワン事象ー低頻度高影響事象ー

複雑系におけるブラック・スワン (黒い白鳥）事象 [38] の特徴

1. 異常であること：過去に照らせば，そんなことが起こる明白な兆候はない.
2. とても大きな衝撃があること.
3. 異常であるにも拘わらず，人間は後付けの理由や説明を考えること.

例：第一次世界大戦の勃発，技術革新，1987 年の市場の暴落.

2.9 部品失敗に起因する事故、システム事故システム事故論と「構造災」論

米国社会学者のペロウがスリーマイル島原発事故の分析を通して提唱した「当たり前の事故理論」（または「定常事故論」[61, 57]：著書の第 2 章の題名は「スリーマイル島原発事故後に事故が起きていないのはなぜか，否まもなく事故は起こる」という予言的なもので，その出版後数年で，インド・ラホールにおける化学工場爆発，チェルノブイリ原発事故，スペースシャトル・チャレンジャー事故が発生して，この著書の思想的影響は多方面に及ぶ。

巨大科学技術システムはその複雑性と相互依存性のために，重大な事故を起こすリスクを抱え込んでいると警鐘を鳴らした。複雑性とはシステムを構成する要素どうしが非線形の関係にあることを指す。相互依存性とは，システムを守るために工夫された要素どうしが緊密に連絡しあっているため、要素間の相互作用を通して，問題が増幅されかねないことを指す。

1996 年、米国の社会学者、D. ヴォーンは、スペースシャトル・チャレンジャー事故原因をさらに深く分析して、「逸脱の常態化」という知見を見いだした [66]。

ペロウの研究とヴォーン研究を踏まえ、社会学者の松本三和夫は「構造災」という概念を提起した [49, pp. 1-2]。それは科学と技術と社会をつなぐ複数の様々な』チャネルの制度設計の在り方や、そこに登場する複数の異質な主体が織りなす仕組みの機能不全に由来する失敗である。同氏は福島第一原発事故を構造災と見なして興味深い分析をしている。

3　国内外への波紋とその後の原発関連事象

影響の箇条書き＜国内＞

＜国際的＞・ドイツ、イタリア、スイス、台湾など, 原発維持から脱原発に政策転換した国々が現れたこと・原発の安全性に対する国際的懸念を一挙に強め、既存原発の補修や建設費の増加

3.1　国内原発の激減と火力発電の急増

- 事故前の 57 基 (建設中含む) から、再稼働申請 27 基、廃炉 21 基、方針見届け 9 基
- 事故後の日本国内の電源構成では火力発電が主力であり、かつ調整電源でもある

3.2　原子力規制委員会の発足と新原子力規制基準の発効

- 原子力推進機関としての経産省からの独立
- 政府による新安全神話の創出「政府が新規制基準を「世界でもっとも厳しい水準」などと説明すること
- 規制委員会の委員構成の変化に見る基本的性格の 2 面性-建前と本音―
- 「新原子力規制基準の考え方」における深層防護思想の変質 (後退)
- 2021 年 4 月、規制委員会が地震対策基準の改訂に着手。
-

3.3　原発関連裁判の結果と影響―事故前と事故後

・原発関連裁判の結果

・原発推進勢力（=原子力利益共同体）にとっての裁判リスクという心理的負荷

3.4　核燃料サイクル政策の複合的破綻と変質

・使用済み核燃料の処理処分問題（バックエンド問題）の重大性と打開方向　　原発への賛否にかかわらず社会全体が解決を迫られている問題←世代間倫理、持続可能性　　有害度低減技術の開発が必要不可欠

3.5　原発事故に対するIAEAの深層防護思想の有効性とそこからの逸脱

国際原子力機関 (IAEA[4]) の深層防護思想 [16]

3.6　「原発安全神話」の崩壊と「放射能安全神話」の登場

1. 「原発安全神話」とその崩壊:
   (a) 源流＝伊方原発裁判
   (b) 技術思想的背景＝個別の機器の信頼性の高さを原発システムの安全性指標と誤認　　鈴木達 2014　→複雑技術システムの事故論―システム事故―の認識欠如 Perrow1984
   (c) ブラックスワン―低頻度高影響事象―にいかに対処するか：火山の爆発、巨大地震、原発の過酷事故など。
   (d) 「科学」的方法で対処可能か？　科学的方法の特徴；客観性、論理的無矛盾性、現象との整合性　　モデル (仮説) の設定とその逐次的改良
   (e) 低頻度事象の数理：事象の起こる仕組みの理解は困難であるが、その影響の大きい事象ほどその発生頻度は小さい。しかし、影響の大きさの関 数として発生頻度を（近似的に）表現する場合、ガウス関数的ではなく、べき乗則に近い。
2. 原発の耐震設計の妥当性をめぐる論争 [44]
3. 原発の火山噴火対策の妥当性をめぐる論争
4. 「放射能安全神話」の登場とそれへの批判:
   [36, 1, 64, 39, 44]
   「放射能安全神話」の象徴としての「100 m Sv 以下安全」論とその根拠薄弱さ
   安倍前首相による「福島第一原発＝アンダーコントロール」論の多重の虚妄

3.7　科学と科学者への信頼をめぐる論点

[15] 科学と科学者への信頼をめぐる歴史的事象には、例えば次のようなものがある。

[4]International Atomic Energy Agency

- 1963 年「三池炭鉱炭じん爆発」をめぐる専門家の行動 [51]

  炭じん爆発の原因は長い間、不明とされてきた。しかし、早い時期に解明されていた原因が、三池鉱山・政府調査団・検察庁（産・官・学）によって、「原因不明」へとねつ造されていた。荒木　忍（九州工業大学教授（当時）の専門性に深く根ざした告発である「荒木鑑定書」への改ざん要求。

- 水俣病の原因をめぐる「専門家」の犯罪性 [43]
- 原発の過酷事故についての専門家不信 [13]
- 放射線被曝の影響評価についての専門家不信 [13]

ここでは、最近も時折主張される「正しく怖がる」論の功罪について述べる。

科学忌避論は、基本的には適切な考え方ではないことには同意。しかし舘野氏の言説 [37] には一部同意できない。その理由は以下の通り：

- 科学を確立した体系としてしか捉えていない？
- 武谷三男の言説は，現代的に見れば、力学と量子力学の発展史分析から得られたものである。ノーベル賞授賞の、湯川秀樹の中間子論、朝永振一郎の超多時間理論、小林-益川の 6 クォーク理論はすべて場の量子論に根ざしたもの。しかし、量子力学の深部の理論としての場の量子論についての武谷三男の理解は不明。ーまた、物理学以外の、統計学、疫学など数理科学以外の分野についての認識は不明。放射線影響の評価には、「科学の論理」だけと割り切れず、原子力利用への態度に根ざした「人間の論理」の差異があることは否定困難。「原発ムラ」と類似？科学的であれと主張し，専門家の役割と限界を指摘つつ、専門家と市民を併置し、市民の役割を論じる論理が必ずしも説得的ではない。←バイアスフリー、独立した判断のできる非専門科学者 (運動) の媒介的役割
- 科学についてのファインマンの見解：ファインマンは、専門家を疑わなければならないことを科学から学ぶと言います。「科学は専門家の無知に対する信念です。 誰かが「科学はそのように教えている」と言うとき、彼はその言葉を誤って使用しています。 科学はそれを教えません。経験が教えてくれる」[45] `https://philosophynow.org/issues/114/Richard_Feynmans_Philosophy_of_Science`,
- 吉森 保， 2020 年 [55]
  - 科学の基本 :「相関」 と「因果」
  - 相関というのは、目に見える関係 ： 相関関係とは「原因と結果ではないかもしれない」関係 。
  - 因果関係とは、確実な「原因と結果の関係」。
  - 相関関係には因果関係が含まれる。
  - 科学は真実かどうかを判別する便利な装置ではなく、真実に近づくための説をつくる営み 。
  - 断定する人は科学的に怪しい。
- ブラックスワンー複雑系における低頻度高影響事象ーに対して科学的方法は有効であるか？

4　2050年脱炭素化、特に2030年まで勝負の10年間に，原発は必要か

2050 年脱炭素化、特に、2030 年まで勝負の 10 年間に，原発は使うべきか、また必要か否かを考える。

後述するアンモニアを用いた火力発電が原発の撤退をもたらすという楽観的な見方 [18, 19] も一部にあるが、その見通しは妥当であろうか？

2019 年頃から、国内外で脱炭素化に向けた現実的な選択肢として原子力と再エネの共存による議論の動きがある [50][30]。筆者が驚いたことに、米国の憂慮する科学者同盟も同様な見解を表明している [65]。

2021 年 4 月になって，経済界首脳部 [22]、経産相 [28]、自民党国会議員集団 [35] による原発推進の見解が集中的に表明された。

4.1　原発を使うべきか

1. 元福井地裁裁判長の樋口英明氏の見解 [44]：
   原発の被害の大きさにおける危険性、耐震設計の不備、電力不足と CO2 削減についても原発はその熱効率約 35%で海温め装置であり、製造過程や廃棄物処理に多量のエネルギーが必要で結果的に CO2 増加になること、放射能安全神話は不当であること。
2. 原子力規制委員長（元、現）が「新規制基準は安全を担保するものではない」と言明したように、たとえ規制基準審査に合格した原発といえども過酷事故発生の危険性が除去されているとは言えない。
3. 地震、火山噴火、航空機落下、人的ミスなど、どのような発端事象が過酷事故への引き金になるかを予め予想することは不可能である。
4. 原発は事故が起きなくても、運転の継続により周囲の環境に放射性物質を放出し、多数観察されているように、人体に被害を与える。
5. 高レベル放射性廃棄物の処理処分問題の解決は極めて困難であり、数万年の単位の時間経過を必要とするように、持続可能性とも世代間倫理とも矛盾する。

4.2　どのような戦略で脱炭素化を実現するか

脱炭素化のための戦略を考える上で考慮すべき事項：

- 目標となる年度は限定されているので、時間軸、過渡的段階の到達目標も明確に
- 省エネ＝需要の削減＋効率改善（エネ変換，輸送など）
- エネルギー需要の可能性：
- エネルギー効率向上による多重の便益 [58]
- 再エネは日本国内で依然として主力電源にもなっていないが、再エネ比率は世界的には速いペースで増加：
  「再生エネ比率、石油業界予想上回るペースで拡大へ」[54]

- 世界的には、エネルギーシステムの変換技術は価格が低下しつつある変動再エネ (VRN[5]) の増加により牽引されている [59]. 日本の政府は再エネの変動性が基本的欠点と見なしているが。

省エネ＋再エネ主力化＋脱原発（＋将来的に脱炭素火力）←持続可能性、世代間倫理

複合発電による高効率エネルギー (ガスタービン・コンバインドサイクル発電プラント（GTCC）):発電効率 64%

4.3 用語の問題ー温室効果ガス排出実質ゼロ、脱炭素化、カーボンニュートラル、ネットゼロ

温室効果ガス排出実質ゼロについては、脱炭素化、カーボンニュートラル、ネットゼロなどの表現が使用されている。また英語表現としては、carbon-neutral と carbon neutrality とは少し意味合いが異なるようである。

脱炭素化とカーボンニュートラルという用語は厳密には同じとはいえないかもしれず、経産省関係者や一部の専門家はカーボンニュートラルを頻用するように、ニュアンスの若干の違いがあるが、総理大臣の発言や記者会見など、一般には同じ意味合いで用いられていると考えられる。従って，本稿においては脱炭素化（カーボンニュートラル）という表現を用いることにする。

4.4 「石炭火力、原発の存続＋再エネ主力化＋技術革新」アプローチ

「脱炭素化といえば、再エネではないか」と一般には思われがちであるが、原発復権に脱炭素化（カーボンニュートラル）は渡りに船と見なされている。確かに、原発のサプライチェーン関連の一部業界で撤退の動きがあり、原子力人材の養成過程が先細りつつあることは事実であるが、原子力利益共同体の動きは表面的ではなく，深部から周到にに準備されてきたし、決して軽視すべきではない、と筆者は考える。

2021 年 3 月から経産省・資源エネルギー庁・総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会 [21] が次々に開催され、「重要」と思われる資料が公表されている。

1. 令和 3 年 3 月 11 日 第 38 回 ()
2. 令和 3 年 3 月 24 日 第 39 回 ()
3. 令和 3 年 4 月 13 日 第 40 回 (2030 年に向けたエネルギー政策の在り方 [1. エネルギー需要、2. 再生可能エネルギー])
4. 令和 3 年 4 月 22 日 第 41 回（2030 年に向けたエネルギー政策の在り方 [1. 火力発電について、2. 原子力発電について、3. 分散型エネルギーリソース等について 4. エネルギーシステム改革、5. 水素戦略])
5. 令和 3 年 4 月 28 日 第 42 回 ()

[5] Variable renewable energy

日本の関連業界団体の主張や期待がほぼそのまま採用されている。すなわち、これからの産業構造、国際経済環境、技術シンポ、国民の消費行動、省エネ意識などに関する現実的な変化が十分には考慮されていない。

総花的で「戦略」不在？　技術革新を前提したものも少なくないこと。

「『46 %削減』の大風呂敷、本気でやるなら太陽光大拡充しかない、風力発電はカーボンニュートラルの切り札になりえない」[41] という見解もある。

小泉進次郎環境相がTBSのインタビューで温室効果ガスの削減目標「46 %減」の根拠を聞かれ、「くっきりした姿が見えているわけではないけど、おぼろげながら浮かんできたんです。46 という数字が」と発言。

菅首相の「温室効果ガス 46%削減」で霞が関はパニックに陥った。

歌川 学氏[6]のコメント [12]：

> 第 40 回で活動量を引き下げ（粗鋼生産量が決まっていませんが）、省エネを若干積み増しで 12%減程度、再エネ若干積み増し 2900 億 kWh でこれだと再エネ電力割合 30%程度まででてきています。しかしこれではたとえ「原発 20%」も計算にいれたとしても、CO2 を 35%削減程度しかできず、首相の 46%削減（温室効果ガス）にはほど遠いレベルです。

二酸化炭素の回収貯留技術（CCS）または回収利用貯留技術（CCUS）は未完成の技術で、二酸化炭素排出量を 50%以上削減することが求められる 2030 年までの削減にはほとんど寄与することは想定しがたいと思われる。

4.5　「省エネ＋再エネ主力化＋ガス火力」アプローチ

この種のアプローチの典型的な例として、先述の歌川 学氏の分析 [11] を紹介する。歌川氏の分析は共同研究 [6, 7, 9, 10] に基づいている。その基本的想定は以下の通り：

1. 省エネ対策として，2030 年までは，産業・業務・家庭では省エネ設備を更新するとともにビルや住宅の更新時に断熱建築を普及させ，運輸については燃費の良いものに転換し一部電気自動車化を想定する．
2. 2050 年までは，産業では低温熱（100 ℃）利用の一部と中温熱（100 ℃〜200 ℃）利用の電化し，業務・家庭ではゼロエミッションビル・住宅を普及して，運輸では全て電気自動車化を想定している．
3. 原発や CO2 回収・貯蔵および利用，気候工学[7]などは使わず，森林による CO2 吸収も計算に入れていない．

以上の想定のもとで

1. 既存の対策技術のみを使い，経済の活動量中位ケースでは，エネルギー期限の CO2 排出量は 2030 年には 2010 年比で 60%以上削減でき，2050 年には 96%削減できる．
2. 経済をいまの大量生産のまま継続する場合でも 2050 年には 90%削減できるという．残りの 4%〜10%を今後新たに開発される技術を使って削減すれば，2050 年に CO2 排出ゼロができるという．いま商業化されている優良技術により CO2 排出量のほとんどが削減できる．

[6]産総研

[7]climate geoengineering

注目すべきは、以下列挙するように、同種のアプローチで複数の独立な分析で基本的に同じ結論が得られていることである。

(a) システム技術研究所（WWF ジャパン気候変動・エネルギーグループ委託研究），2011- 2014 年。

(b) 地球環境市民会議，2014 年。

(c) Teske et al.(2011)

(d) 気候ネットワーク「2050 年ネットゼロへの道すじ」

(e) 自然エネルギー財団「2030 年エネルギーミックスへの提案（第 1 版）、自然エネルギーを基盤とする日本へ」他

(f) WWF ジャパン「脱炭素社会に向けた 2050 年ゼロシナリオ」

(g) 未来のためのエネルギー転換研究グループ「グリーンリカバリーと 2050 年カーボンニュートラルを実現するためのロードマップ」

4.6 2050 年脱炭素化の実現に向けての追加的可能性

- 二酸化炭素の回収貯留技術（CCS）または回収利用貯留技術（CCUS）について:

  まだ初期段階にある二酸化炭素の分離貯留技術（CCS￥footnoteCarbon Capture and Storage）：石炭火力発電所、天然ガス火力発電所などからの CO2 を地中や海底のタンクに封じ込めることによって、大気中に排出されることを防ぐ技術

  1. EU が CCS に多額の資金援助へ
  2. 工業地帯からの CO2 正味ゼロを目指す英国
  3. ノルウェーは CCS 大国を目指す
  4. ドイツは CCS に消極的

  グローバル CCS 協会 `https://www.globalccsinstitute.com/` によると、現在世界で 26 の CCS 施設が稼働しているが、これまでに分離貯留された CO2 の量は約 4,000 万トンにすぎない。これはドイツ一国が 2020 年に排出した量（ 7 億 3,900 万トン）の 18 分の 1 である。CCS が世界の CO2 削減に大きく貢献しているとは、まだ言えない。

- 水素・アンモニア:

  橘川説について；ゲームチェンジャーとしての水素・アンモニアが原発を退場させる (？)[20]

- 大気中 CO2 回収技術, DAC[8]

- 気候工学 [32]

謝辞：

歌川学氏に多数の研究事例の紹介と経産省目標についてのコメントに対して。福岡核問題研究会における議論とコメントに対して。

[8]

参考文献

[1] 「低線量でもがん死リスク増　被曝１００ミリシーベルト未満　欧米で３０万人調査」，朝日新聞、2015 年 10 月 23 日.

[2] （東日本大震災１０年）混迷の電力・原発：3 核燃再利用、抜け出せぬ虚構、朝日新聞、2021 年 1 月 24 日。

[3] （東日本大震災１０年　3．11 の現在地）脱炭素の裏、原発復権画策エネルギー基本計画改定へ経産省。朝日新聞、2021 年 3 月 7 日。

[4] 稲島剛史「菅政権グリーン戦略、原発増強の決断迫る-震災後のタブー破るか」、Boolmberg, 2021 年 3 月 11 日. https://www.bloomberg.co.jp/news/articles/2021-03-10/QP2C0DDWLU6W01

[5] 岩井孝, 児玉一八, 舘野淳, 野口邦和「福島第一原発事故 10 年の再検証―原子力政策を批判し続けた科学者がメスを入れる」あけび書房、2021 年。

[6] 歌川学, 外岡豊, 平田仁子「ボトムアップ・モデルによる 2050 年まで?の対策を考慮する中長期省エネ・温暖化対策シナリオの検討」, 第 31 回エネルキ?ーシステム・経済・環境コンファレンス発表論文.

[7] 歌川学, 外岡豊, 平田仁子「2014. ボトムアップ・モデルによる 2050 年までの中長期省エネ温暖化対策と費用対効果」, 第 32 回エネルキ?ーシステム・経済・環境コンファレンス発表論文.

[8] 歌川 学「スマート省エネ-低炭素エネルギー社会への転換」東洋書店、2015 年。

[9] 歌川 学，外岡 豊「2050 年温室効果ガス排出 80 %以上削減に向けた対策シナリオ」，日本の科学者、Vol.53, No.6(2018),19-25.

[10] 歌川 学「IPCC1.5 ℃特別報告と、産業革命前比気温上昇 1.5 ℃未満抑制のための日本の CO2 排出削減」，日本の科学者、Vol.55, No.9(2018), 28-33.

[11] 歌川　学（産総研）「日本の 2050 年 CO2 排出ゼロ対策について」日本科学者会議・福岡支部・核問題研究会・オンライン例会講演、2021 年 2 月 27 日.http://jsa-fukuoka.sakura.ne.jp/shiryo/utagawa20210227.pdf

[12] 歌川 学氏からの私信。2021 年 4 月。

[13] 尾内隆之、調 麻佐志編「科学者に委ねてはいけないこと」岩波書店、2013 年。

[14] 東日本大震災１０年 科学と社会のはざまで）主力は自然エネ、時代に合う「共存」を 小宮山涼一さん. 朝日新聞 2021 年 2 月 25 日。

[15] 特集「“科学的”とは何か」科学、Vol.83, No.11(2013).

[16] 福岡核問題研究会「原子力規制世界最高水準という虚言の批判」―世界一楽観的な進展シナリオに沿った，世界一奇妙な評価―,2014 年 12 月 4 日. http://jsafukuoka.web.fc2.com/Nukes/kikaku/files/673c6fc5ee122b961e25fb24ffe1190b-31.html

[17]

[18] 橘川武郎「エネルギーシフトー再生可能エネルギー主力電源化への未知」白桃書房、2020 年。

[19] 橘川武郎「　「アンモニア発電」が原発に突き付けた“引退勧告”の重み」　、2021 年 2 月 25 日，エコノミストオンライン・https://weekly-economist.mainichi.jp/articles/20210225/se1/00m/020/007000d

[20] 気候ネットワーク「2050 年ネットゼロへの道筋- 2030 年・2040 年の削減目標と政策提案」2021 年 3 月。https://www.kikonet.org/info/publication/net-zero-2050

[21] 経産省・資源エネ庁・総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会. https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/

[22] 「原発再稼働・新増設を主張　温室ガス削減新目標で―経済界」2021 年 04 月 22 日.https://share.smartnews.com/5pi3

[23] 経産省・資源エネ庁・総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会第 38 回総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会の議事録、2021 年 3 月 11 日。https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/038/038_009.pdf

[24] 経産省・資源エネ庁・総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会第 38 回総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会の配布資料「2030 年に向けたエネルギー政策の在り方」、2021 年 3 月 11 日。https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/038/038_004.pdf

[25] 経産省・資源エネ庁・総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会第 39 回総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会の議事録、2021 年 3 月 24 日。https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/039/039_016.pdf

[26] 経産省・資源エネ庁・総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会第 39 回総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会の環境省配布資料「2030 年目標に向けた検討」　、2021 年 3 月 24 日。https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/039/039_005.pdf

[27] 資源エネ庁・総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会第 41 回，資源エネ庁提出資料「2030 年に向けたエネルギー政策のあり方、」2021 年 4 月 22 日 https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/041/041_004.pdf

[28] 温暖化ガス４６％削減 梶山経産相「再エネと原子力で５割超に」2021 年 4 月 23 日。https://share.smartnews.com/o7oA

[29] 日本原子力学会「国際標準からみた廃棄物管理-廃棄物検討分科会中間報告」, 2020 年 7 月。https://www.aesj.net/uploads/dlm_uploads/hairohaikibutubunkakai_tyukanhoukokusyo0714.pdf

[30] 日本原子力学会・原子力アゴラ調査専門委員会・地球環境問題対応検討・提言分科会・成果取りまとめ (最終報告) 2020 年 9 月. http://aesj.net/hp/documents/saisyu2020Sept.pdf

[31] 佐藤 暁「福島事故がもたらした厄介の諸々(前編)」，科学、Vol.90, No.9(2020),784-791.

[32] 杉山昌広「気候を操作する－温暖化対策の危険な『最終手段』 」KADOKAWA，2021 年。

[33] 鈴木達治郎「日本における原子力発電技術の歴史」電気学会、2014 年 5 月 14 日。

[34] 鈴木達治郎「原発事故は終わっていない：東日本大震災から 10 年―５つの教訓を踏まえて、廃止措置や復興対策の改革案を示す」朝日新聞・論座, 2021 年 3 月 11 日。

[35] 「自民 議員連盟 原発の新設や増設求める提言案まとめる」 NHK ニュース、2021 年 4 月 23 日。https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210423/k10012991801000.html

[36] 宗川吉汪「日本の『放射能安全神話』 」，日本の科学者、Vol.56. No.1(2021)、24- 29.

[37] 舘野淳「コロナ禍・放射能災害の中で「正しく恐れる」ことの意味を問う－科学忌避論はなぜ生まれるのか」朝日新聞･論座、2021 年 03 月 29 日。

[38] N.N. タレブ「ブラック・スワン (上, 下)―不確実性とリスクの本質」ダイヤモンド社, 2009 年

[39] 放射線生物研究 55 巻第 2 号（特別号)「低線量リスクに関するコンセ日本保健物理学会・日本放射線影響学会 低線量リスク委員会編ンサスと課題」Vol. 55 (2020) , No. 2.2020 年 6 月公開。http://rbrc.kenkyuukai.jp/special/index.asp?id=33566

[40] 国際的に脱原発働き掛けへ＝独、事故 10 年で指針、2021 年 3 月 12 日。http://www.newsdigest.de/newsde/news/news/

[41] 中田行彦「『46 %削減』の大風呂敷、本気でやるなら太陽光大拡充しかない、風力発電はカーボンニュートラルの切り札になりえない」JBpress 2021.4.29（木）https://jbpress.ismedia.jp/articles/-/65111

[42] 橋本巧二「グローバル二酸化炭素サイクル－再生可能エネルギーで全世界の持続的発展を」東北大学出版会、2020 年。

[43] 原田正純「水俣病」岩波新書、1972 年。

[44] 樋口英明「私が原発を止めた理由」旬報社、2021 年。

[45] R.P. ファインマン「科学は不確かだ！」(岩波書店、1998 年) https://philosophynow.org/issues/114/Richard_Feynmans_Philosophy_of_Science

[46] （東日本大震災１０年）稼働か廃炉か、未申請の原発９基 原子力規制委員会・更田豊志委員長、朝日新聞、2021 年 3 月 4 日。

[47] 本間照光「原賠制度からみた核のごみ問題」科学，2020 年 11 月号、Vol.90,No.11(2020), 53-59. https://www.iwanami.co.jp/kagaku/eKagaku_202011_Honma.pdf

[48] 松本三和夫「知の失敗と社会－科学技術はなぜ社会にとって問題か」岩波書店、2002 年。

[49] 松本三和夫「構造災ー科学技術社会に潜む危機」岩波新書、2012 年。

[50] 三菱総合研究所 報告 (電気事業連合会による委託) 「脱炭素化に向けた現実的な選択肢とは-原子力と再エネの共存による議論の動き-」, 2019 年 3 月 6 日。https://www.fepc.or.jp/library/kaigai/kaigai_topics/__icsFiles/afieldfile/2019/03/06/20190306.pdf

[51] 森 弘太、原田正純「三池炭鉱ー1963 年炭じん爆発を追う」NHK 出版、1999 年。

[52] 水野倫之「原発事故 10 年 原子力政策抜本見直しを」(NHK 時論公論) 2021 年 03 月 03 日 (水). https://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/100/444643.html

[53] N.G. レブソン「セーフウェア 安全・安心なシステムとソフトウェアを目指して」翔泳社，2009 年.

[54] ロイター編集「再生エネ比率、石油業界予想上回るペースで拡大へ＝調査会社」2021 年 5 月 7 日
HTTPS://JP.REUTERS.COM/ARTICLE/ENERGY-RENEWABLES-IDJPKBN2CO06G

[55] 吉森 保「LIFE SCIENCE(ライフサイエンス) 長生きせざるをえない時代の生命科学講義」日経 BP， 2020 年。

[56] Mariana Budjeryn, Chernobyl: A nuclear accident that changed the course of history. Then came Fukushima. Bulletin of the Atomic Scientist, , March 11, 2021 https://thebulletin.org/2021/03/chernobyl-a-nuclear-accident-that-changed-the-course-of-history-then-came-fukushima/

[57] Jean-Christophe Le Coze, *Post Normal Accident:Revisiting Perrow's Classic* (English Edition), CRC Press, 2020.

[58] International Energy Agency（IEA）*Multiple Benefits of Energy Efficiency-From "hidden fuel" to "first fuel"* Report ? March 2019, https://www.iea.org/reports/multiple-benefits-of-energy-efficiency#

[59] International Energy Agency, Power system flexibility Technology report, *Status of Power System Transformation* 2019, May 2019. https://www.iea.org/reports/status-of-power-system-transformation-2019

[60] NATURE EDITORIAL, 09 MARCH 2021, https://doi.org/10.1038/d41586-021-00615-w. Nuclear technology's role in the world's energy supply is shrinking Anniversaries of the Fukushima and Chernobyl disasters highlight the challenges of relying on nuclear power to cut net carbon emissions to zero. https://thebulletin.org/2021/03/chernobyl-a-nuclear-accident-that-changed-the-course-of-history-then-came-fukushima/

[61] C. Perrow, *Normal Accidents: Living With High-Risk Technologies*, 1984.Princeton Univ Pr; Updated 版 (1999).

[62] Jun Tateno, 10 years after Fukushima: Are Japanese nuclear power plants safe? Bulletin of the Atomic Scientist, March 10, 2021. https://thebulletin.org/2021/03/10-years-after-fukushima-are-japanese-nuclear-power-plants-safe/

[63] William Tobey, Nuclear safety and security lessons from Chernobyl and Fukushima, Bulletin of the Atomic Scientist, March 11, 2021 https://thebulletin.org/2021/03/nuclear-safety-and-security-lessons-from-chernobyl-and-fukushima/

[64] David B Richardson et al, Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS) British Medical Journal 2015; 351 doi: https://doi.org/10.1136/bmj.h5359

[65] Union of Concerned Scientists, The Nuclear Power Dilemma, Oct 9, 2018. https://www.ucsusa.org/resources/nuclear-power-dilemma#ucs-report-downloads

[66] D.Vaughan, *The Challenger Launch Diciusion; RIsky Technology, Cultute, and Deviance at NASA*, The University oif Chicago Press, 1996