

原子力利用に関する批判的検討のための資料紹介

Part.3

佐野正博(2012.07.5 作成、2025/6/26 一部修正)

1. はじめに.....	1
(1) 原子力発電の営業運転開始後の社会的注目 ---- 1970年代石油危機、1979年スリーマイル島原発事故、1986年チェルノブ リ原発事故、20世紀末の地球温暖化問題、2011年福島第一原発事故.....	1
(2) 本稿の構成.....	3
2. 原子力発電の社会的選択に関する歴史的視点からの考察.....	4
(1) 技術の社会的選択の規定諸要因 -- 「法」的要因、「政治」的要因、「経済」的要因、「社会意識」的要因.....	4
(2) 「科学的可能性や技術的可能性」問題と「経済的メリットや政策的有用性」問題の区別と連関の視点からの立場分類.....	5
3. 原子力発電の歴史的＝社会的形成の分析視点.....	5
(1) 「自然科学」－「工学(技術を対象とする科学)」－「技術」－「製品」－「ビジネス(事業部間、企業間、産業間などの協調と競争)」 －「国・地域(国間・地域間などの協調と競争)」.....	5
(2) 社会的諸活動の相互的連関 -- 原子力村問題(企業・政治・行政・研究者・技術者・マスコミのそれぞれの原子力発電関係者 が構成する複合的ネットワーク)、科学イデオロギー、技術イデオロギー.....	5
(3) 技術の選択主体や選択の場の差異による選択基準の差異 -- 技術の社会選択の階層性・多重決定性.....	5
技術の「技術」的選択 -- 技術者による技術選択 [機能・性能・コスト・品質(安全性)基準に基づく総合的判断].....	5
技術の「経営」的選択 -- 企業(or企業の事業部や研究室)による技術選択 [「企業」間競争、「事業部」間競争、「研究室」間競争 などにおける競争優位確保や利益最大化に基づく総合的判断].....	5
技術の「経済」的選択 -- 国家経済、国際経済レベルにおける最適技術の選択[製品のライフサイクル、TCO、Well-to- Wheelとい った総合的＝全体的視点からの技術比較].....	5
技術の「政治」的選択 -- エネルギー安全保障や国家間競争による競争優位の確立といった視点からの技術選択.....	5
技術の「社会」的選択 -- 地域経済[ex.低税率地域や過疎地域における原発誘致]や国民意識・国民世論に基づく選択[ex.ドイツの脱 原発の選択など].....	5
技術の「個人」的選択 -- 個々人の環境やライフスタイルや趣味・嗜好に基づく技術選択.....	5
(4) 「Module ---> Product」視点(要素技術開発－技術統合－製品開発の相対的分離と結合).....	5
(5) 「System of Product」(広義) 間競争視点.....	5
4. 原子力発電事業を論じるためのエネルギー論関係の基本的データ.....	5
(1) エネルギー自給率の歴史的推移.....	5
(2) エネルギーバランス.....	7
6. 原子力発電をめぐる論争点(1) -- 福島原発事故以前からある基本的な論点.....	9
(1) 「地球温暖化」論 -- 「地球環境に優しい優れた資源」「温室効果ガスの排出量を減少させる不可欠の手段」としての原子力発 電正当化論.....	9
(2) 「化石燃料資源の有限性」論 -- 高速増殖炉擁護論.....	11
a. 再処理すれば、数千年も利用可能・・・「石炭 46年、天然ガス 65年、石炭 219年、ウラン 43年、再処理 数千年」.....	11
b. 天然ガスの可採掘年数は160年.....	11
(3) 「安定供給」論 -- 「エネルギー安保」論.....	12
■エネルギー消費大国としての日本 [2008年時点で世界の5%] のエネルギー自給率は約4%と極めて低い.....	12
■ウラン燃料再処理を前提とした原子力発電.....	12
■エネルギー消費量増大の根拠資料 --- エネルギー消費量の巨大性と「地球環境再生機能」障害.....	12
■エネルギーの安定的確保問題の根拠資料.....	14
(4) 「再生可能エネルギー」批判.....	15
a. 主要エネルギー源としての量的不十分性.....	16
b. 太陽光などの再生可能エネルギーはコスト高、風力は不安定かつ陸上の設置場所は限定されている.....	16
c. 燃料電池擁護派への批判 --- 「燃料電池は、水素と酸素の化学反応で発電するため、大気汚染の心配がなく、地球温暖化の原因と なる二酸化炭素も出さない」という主張に対する批判.....	16
(5) トリレンマ問題論 -- 「持続的経済成長」、「エネルギー安全保障」、「地球温暖化対策」の三者間のトレードオフ関係に対応す る最良の技術的手段としての、原子力発電.....	17
(6) 低リスク論(1) -- 原子力発電事故による死亡リスクの相対的低さ.....	18
a. ラスムッセン報告.....	18
b. 大規模災害間の被害比較.....	19

c. 健康上のリスクに関して、炉心損傷事故による放射線被曝のリスクは、自動車事故と同程度か、より少ない。	20
(7) 低リスク論(2) -- チェルノブイリ事故など実際の原因事故における死亡数の低さ	21
(8) 低リスク論(3) -- 軽水炉型原子炉の固有の安全性論	23
(9) 低発生頻度論 -- 原子力発電所事故の発生頻度の低さ	25
(10) 低リスク論(4) -- 低線量被曝の「無害性」論(しきい値論) or 「有用性」論	25
(11) 「国益」論 -- 「国際社会から公認されたウラン濃縮と再処理能力を有する唯一の非核兵器保有国」としての日本	25
(12) 「必要悪」論 -- 原子力発電の「事故発生低確率」論に代わる推進論	25
福島事故以後も繰り返されている「必要悪」論	26
(13) 世界的な原子力発電の見直し -- 2005年以降の状況(現大綱策定後の状況変化)	26
7. 原子力発電推進論(2) -- 福島原発事故以後で注目されている擁護論	27
(1) 合意形成論的対応 -- 新たな国民の合意形成	27
(2) 合意形成論的対応 -- これまでの擁護論に対する社会的信用の低下・・・正当性に関する新しい主張の必要性	27
(3) 合意形成論的対応 -- 想定外論への反省/ゼロリスク信仰批判 -- 「絶対安全」の誤謬の回避、確率論的リスク評価に基づく改善、および、対策ができていない残余リスクに対する社会的受容に関する合意形成(新たな受忍限度論)	28
(4) 合意形成論的対応 -- 社会全体としてのマクロなコスト＝ベネフィット論の不適切性	29
(5) 合意形成論的対応 -- 社会的技術的複合問題としての原子力発電問題	29
(6) 合意形成論的対応 -- 「社会的＝合理的態度論」・・・「リスクがゼロでないなら受け入れられない」という一般国民の非合理的な態度への批判、科学的＝合理的態度の「強制」論	29
(7) 「ゼロリスク信仰」批判 -- ゼロリスクは無理、科学技術の本質的随伴物としての危険性(「物質文明の光と影」論)	30
(8) 「産みの苦しみの」論 -- 最初から完ぺきな技術やシステムはない。過去の事故は社会の進歩にとっての「産みの苦しみ、育ての苦労」であり、我慢すべきものである	30
(9) あらゆる事態に直面してもなお対応が可能な頑健な新システムの構築の必要性と可能性 -- 安全確保に関する旧来の考え方の不適切性は反省すべきであるが、新たな管理運用体制の構築は技術的に不可能ではない	31
(10) 思想論的対応 -- 複雑系への工学的対応の必要性 -- 還元主義的思考批判(reductionistic なもの)の見方の限界	31
(11) 技術的対応可能論 -- 「技術的改良による安全度＝信頼度向上」論	31
a. 原子炉の事故発生頻度の世代による差異 -- 技術進歩による安全性の向上	31
b. より安全な炉の提案と売り込みの好機と見るアメリカのエンジニア	35
c. 技術的対策や制度的安全基盤を進めることにより、原子力発電所の技術的リスクは十分に低いレベルにまで制御可能	35
(12) イデオロギー的対応 -- 日本の原子力発電技術の技術水準の高さ論>日本の原子力発電技術による国際貢献論(福島事故以前から提唱されていた議論であるが、最近も強く主張されている)	36
(13) 「優秀性」論	40
8. 「Alternative Technology」論的次世代原発論	40
(1) 小型化・長寿命化を優先目標とする「Alternative」原子炉技術の開発	40
a. 小型化・・・立地問題対策、海外進出対策	40
b. 長寿命化	41
c. キャンドル炉(candle 燃焼方式炉)	41
d. 鉛ビスマス冷却長寿命小型安全炉(LSPR)・・・ニュークリア・バッテリー	41
9. 増殖炉問題	42
10. 原子力発電批判論(1) -- 伝統的批判	43
(1) 「自主・民主・公開」論的視点からの批判	43
(2) 「経済性・効率性」優先批判・・・「安全性軽視」・「基礎科学軽視」批判	43
(3) 「技術的未熟性」「技術的不完全性」批判 -- 科学的可能性はあるが、技術的には未確立で未成熟な技術 or 不完全な技術である	43
(4) 地震国日本における原子力発電所設置の危険性	43
(5) 再処理問題/「核のゴミ」(廃棄物の最終処理)問題	43
(6) 核物質の輸送プロセス・保管などに関わる危険性	43
(7) 原子力発電の熱効率の低さ -- 大量の温排水問題	43
(8) 再生可能エネルギーの無限性・・・化石燃料と同じく、ウラン燃料の本質的有限性	43
(9) 「科学技術文明批判論」「物質文明批判論」--- 現代的科学技術文明が内包する「根本的欠陥」論	43
(10) 「企業倫理的責任」論 -- 事故発生時の損害保険に入ることができないような事業や賠償責任を果たすことができない事業に取り組むべきではない(事業者責任を全うすることができない事業を行うべきではない)	44
(11) 安全性確保のための投資を回避するための論理としてのリスク論 -- 安全対策コストとリスクのバランスを考えることの問題点	

.....	44
(12) リスク論批判.....	44
11. 原子力発電批判論(2) – 最近の批判論.....	45
(1) 技術システム政策的対応 -- 火力発電所・製鉄所などの技術的性能の国別不均等発展.....	45
(2) 日本におけるプロフェッショナルな技術的専門家の不在 -- 日本の原子力関係者はゼネラリストであり、全部中途半端で専門性が育たない(技術者論的不完全性論).....	46
(3) 「生みの苦しみ」論批判.....	46
12. 原子力発電コスト問題.....	47
(1) 政府による最近の試算.....	47
(2) コスト問題に関する議論の仕方.....	50
a. 「結論から言えば、コストを計算する必要はないんです。経済的なら、やる。そうでないなら、やらない。」.....	50
(3) 発電コストに関する基礎的資料.....	52
13. 発電方式の比較評価のための視点.....	53
(1) 発電方式別のライフサイクル CO ₂ 排出量.....	53
(2) 総合的比較.....	53
14. 経済政策的脱原子力発電論(1) -- グリーン技術に関する技術革新によるグリーン市場の創出.....	54
15. 福島原発事故の原因に関わる批判的検討.....	54
(1) 「想定外」論批判(1) -- 「日本の設計基準値の甘さ」批判.....	54
(2) 「想定外」論批判(2) -- 「万一の事態に対する対処策の不備」「安全軽視体質」批判.....	54
(3) 「冷却材喪失事故(LOCA)の危険性」問題 -- 原子核分裂を停止させても、核分裂生成物の放射性崩壊によって大量の熱が発生することへの対策の困難性.....	55
(4) 福島第1原発の初期設計の問題点.....	57
a. 元は海面から35mの高台の土地を、高さ10mまで削り取って建設 -- 安全よりも、海水の効率的取水を優先した初期設計.....	57
b. 非常用電源としてのディーゼル発電機の設置場所.....	57
16. その他の論点.....	57
(1) 連系能力問題.....	57

1. はじめに

(1) 原子力発電の営業運転開始後の社会的注目 —— 1970年代石油危機、1979年スリーマイル島原発事故、1986年チェルノブリ原発事故、20世紀末の地球温暖化問題、2011年福島第一原発事故

戦後日本における原子力の実用化への社会的期待は、原子力発電建設への取り組みを強く促進した。そうした取り組みは1954年3月には日本で最初の原子力予算成立として結実し、翌年の1955年11月には原子力利用準備調査会による「10年以内の発電実用化を目指す」原子力研究開発計画の決定がなされた。そして実際、原子力発電所の設置計画決定から約10年後の1966年7月に商用発電所の営業運転が開始されている。

1970年代の第一次石油危機および第二次石油危機などを契機として石油資源の有限性・地域的偏在性が社会的に強く意識されるようになった。石油資源の有限性を原因とする石油価格の長期上昇傾向は、発電コストが相対的に低い原子力発電の「経済性」への社会的期待を高め、下表のように日本・アメリカ・フランスを中心として原子力発電の利用が1980年代以降に大規模化した。また石油資源の有限性・地域的偏在性への社会的認知の高まりは、エネルギー安全保障の確保という視点から原子力発電用ウラン燃料の「準国産性」への社会的期待を高め、原子力発電の国策的推進の主要動機を形成した。

OECD諸国における原子力発電量(石油換算:単位100万トン)の推移

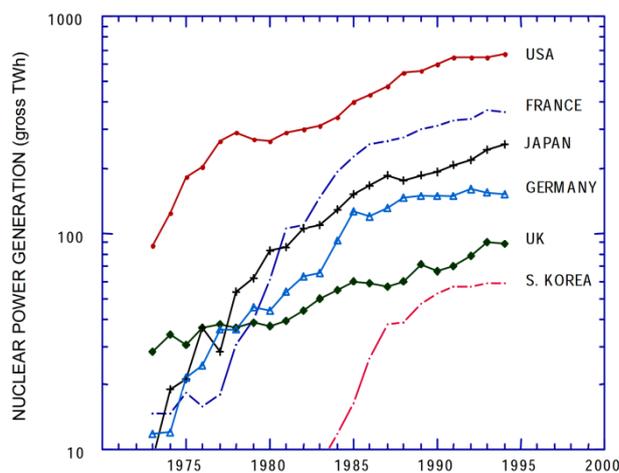
国名	1960	1970	1971	1973	1978	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
米国	0.14	6.08	10.57	23.24	76.35	69.37	105.99	159.38	186.02	207.89	211.28	218.63
フランス	0.04	1.49	1.49	3.84	7.94	15.96	58.4	81.85	98.31	108.19	117.67	111.69
日本	-	1.20	1.20	2.53	15.46	21.52	41.59	52.71	75.90	83.93	79.42	75.11
ドイツ	-	1.69	1.69	3.15	11.43	14.50	36.22	39.84	39.92	44.20	42.49	36.63
英国	0.58	6.78	7.18	7.30	9.7	9.65	15.92	17.13	23.18	22.17	21.27	16.19
OECD総計	---	---	27.02	49.22	146.74	162.25	326.43	451.21	534.41	586.18	593.95	596.41

2010は推計値

(引用元) IEA(2011) *Energy Balances of OECD Countries 2011*, p.II-176, IEA(2000) *Energy Balances of OECD Countries 1997-1998*, p.II-232, IEA(2001) *Energy Balances of OECD Countries 1998-1999*, p.II-238

世界における原子力発電量は、1970年代以降、20世紀中には大幅な増加が続き、20世紀末には石油換算で年間約6億トン弱に相当する発電量となり、1990年代のOECD諸国では総発電量の約1/4を占めるまでになっている。しかし21世紀になり原子力発電量は約6億トン弱のまま停滞傾向にある。

そうした停滞をもたらした主要な要因の一つは、1979年のスリーマイル島原発事故1986年のチェルノブイリ原発事故の発生を受け原子力発電は万一の事故の際に極めて巨大な被害をもたらすことが社会的に広く認識されるようになったことや、原子力発電の発電コストの相対的低さが疑問視されるようになったことなどによるものである。



米国、フランス、日本、ドイツ、英国、韓国における原子力発電量の歴史的推移1973-1994

[出典] President's Committee of Advisors on Science and Technology (1997) *Federal Energy Research and Development for the Challenges of the Twenty-First Century*, chapter 5, p.4

原子力の生産量の歴史的推移

国名	1960	1971	1973	1980	1990	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
米国	0.14	10.57	23.24	69.37	159.38	207.89	211.28	212.71	218.03	218.34	216.36	218.63
フランス	0.04	2.43	3.84	15.96	81.85	108.19	117.67	117.32	114.60	114.52	106.78	111.69
日本	-	2.08	2.53	21.52	52.71	83.93	79.42	79.07	68.76	67.27	72.90	75.11
韓国	-	-	-	0.91	13.78	28.40	38.25	38.76	37.25	39.34	38.51	38.73
ドイツ	-	1.62	3.15	14.50	39.84	44.20	42.49	43.59	36.62	38.70	35.16	36.63
カナダ	-	1.11	4.07	10.40	19.40	18.97	23.99	25.53	24.36	24.48	23.56	23.54
英国	0.58	7.18	7.30	9.65	17.13	22.17	21.27	19.66	13.68	13.68	18.01	16.19
イタリア	-	0.88	0.82	0.58	-	-	-	-	-	-	-	-
OECD 総計	..	27.02	49.22	162.25	451.21	586.18	611.43	614.00	592.38	593.95	584.52	596.41

単位:石油換算 100万トン, 2010年の値は推計値

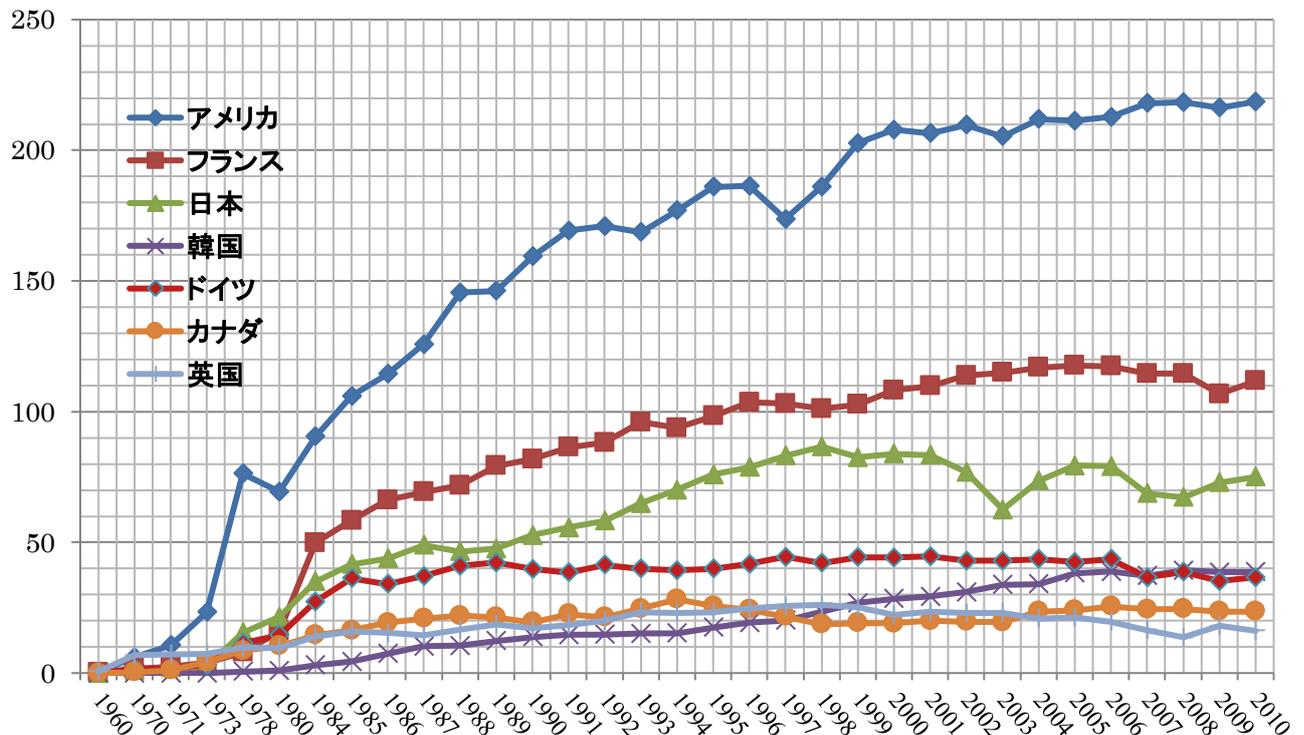
(引用元)IEA(2001) *Energy Balances of OECD Countries 1998-1999*, p.II-238、
 IEA(2007) *Energy Balances of OECD Countries 2004-2005*, p.II-158、
 IEA(2007) *Energy Balances of OECD Countries 2009*, p.II-158
 IEA(2011) *Energy Balances of OECD Countries 2011*, p.II-176、

原子力発電量は左図のように1980～1990年代に大きく伸びたが、21世紀になり停滞状態にある。

イギリスは、原子力発電の利用で歴史的に先行したが、発電量の伸びはさほど大きくはない。2010年は、1971年の約2倍という低水準に留まっている。

1971年と2010年の原子力発電量を比較すると、米国やカナダで約21倍、ドイツで約23倍、日本で約36倍、フランスで約46倍となっている。これに対してイギリスは、約2倍でさほど増加していない。日本やフランスが他の諸国に比べて原子力発電を重視していることが明確である。

この点に関しては原子力発電への参入が遅かったにも関わらず、1980年代以降に急速に発電量を伸ばした韓国も同様である。原子力発電量に関して韓国は、1998年にはカナダを、1999年には英国を、そして2007年にはドイツを追い抜いている。



(2) 本稿の構成

本稿では、原子力発電の実用化以前と以後、および、福島第一原発事故以前と以後で、原子力発電推進論がどのように変化したのか、あるいは変化していないのかに注目し、原子力発電推進論を便宜的に下記のような 3 期にわけて取り扱うこととする。

- 第 1 期 商用発電所の実用化のメドが立つ以前で、原子力発電に関わる科学的研究や技術開発研究が主であった 1950 年代中頃までの時代における原子力発電推進論
- 第 2 期 原子力発電実用化開始から、福島第一原発事故以前までの原子力発電推進論
- 第 3 期 福島第一原発事故以後の原子力発電推進論

もちろんより厳密には、第 2 期における原子力発電推進論は、スリーマイル島原発事故やチェルノブイリ原発事故などの原発事故以前でそうした原発事故に基づく原子力発電批判論を考慮していない時期の原子力発電推進論と、そうした原発事故およびそうした原発事故に基づく原子力発電批判論を考慮することが必要となった以降の時期の原子力発電推進論に分けて取り扱う必要がある。そうした点での厳密化は次なる機会におこなうことにしたい。

3 期における原子力発電推進論および批判論を歴史的視点から分析するためには、次のようなことを考慮に入れる必要がある。

- 1) 登場時期には有用な技術として期待されたが、社会的普及後に健康被害・公害問題・環境破壊をもたらすものとして問題となった技術としては、アスベスト(石綿)、PCB(ポリ塩化ビフェニル)、フロンなどがある。
それらの技術のように、登場時には「夢の技術」であったものが、実際には社会的に大きな危険性をもたらす技術であったことは、科学・技術の発展の有用性に対して社会的懐疑を高めていた。
そうした背景の下で大規模な原子力発電事故が日本で実際に起こったのである。

- 2) 製品の技術的完成度に関する社会的認識は、科学的認識や利用可能な技術の歴史的発達とともに、ダイナミックに歴史的に変化する。

自動車製品を例に取り、この問題を説明しよう。フランスのキュニョーによる 18 世紀末の蒸気三輪自動車がそうであるように、ブレーキ機構のない自動車は技術的に未完成の製品である。これに対して、高速走行時や雨天走行時などでもきちんと動作するブレーキ機構を持つ自動車は相対的に技術的完成度が高い製品である。

自動車製品のさらなる安全性の向上として、衝突防止機構技術の実用化が最近では話題となっているが、そうした衝突防止機構技術のさらなる性能向上による自動車製品のさらなる安全性向上が最近の将来的課題となっている。自動車の安全性に関わる最近の技術発達は、衝突防止機構を持たない製品を技術的完成度の低い製品へと変化させたのである。

市場または社会で最低限持つべきとされる機能や、顧客・市場・社会で有意味として評価される性能の最低限度や最高限度は時間あるいは時代とともに変化するのである。

- 3) 1979 年に米国ペンシルベニア州で発生したスリーマイル島原発事故、1986 年にソ連時代のウクライナで発生したチェルノブイリ原発事故は外国で発生した事故であったが、過去のそうした原発事故を教訓として原発の安全性をさらに高めていたと言われる 21 世紀の日本において原発事故が実際に発生してしまったことは、日本の社会に大きな衝撃を引き起こした。地震を契機として原発事故が起きたことは、地震大国の日本で原発を集中立地させていることのリスクの巨大さを多くの人びとに強く印象づけたのである。

上記のような論点に示されているのと同様のことは、原子力発電所という「製品」にも言える。第 3 期における原子力発電の推進論および批判論は、こうしたことを踏まえた議論である必要がある。

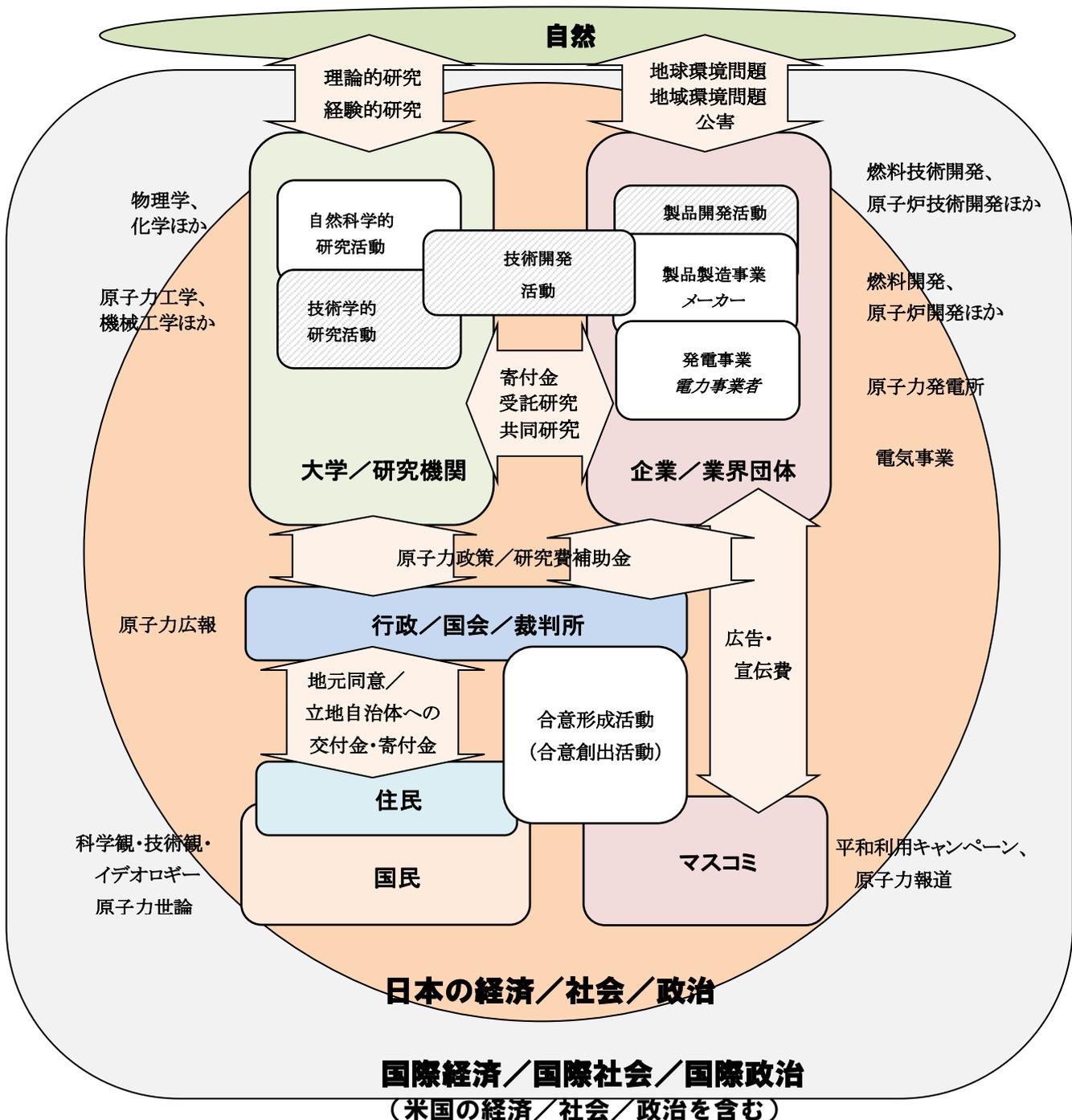
2. 原子力発電の社会的選択に関する歴史的視点からの考察

(1) 技術の社会的選択の規定諸要因 — 「法」的要因、「政治」的要因、「経済」的要因、「社会意識」的要因

技術の社会的選択は、当然のことながら当該技術の「技術」的競争力のみによって規定されているわけではなく、「法」的要因、「政治」的要因[世論、イデオロギー、政策、利害の政治的調整など]、「経済」的要因[社会全体としての費用便益分析(Cost-Benefit Analysis)、および、個別企業における差異化やコスト低減による相対的競争優位性の獲得の可能性など]、「社会意識」的要因[人々の価値意識や道徳観・モラル、ライフスタイルに関する選好、将来の展望に関するイデオロギーなど]といった各種の要因によって規定されている。

下図は、原子力発電問題に関して日本国内の諸要因・諸活動の相互連関という視点から分析するための概念図である。もちろん日本原子力発電のあり方は、原油・石炭や天然ガスなどのエネルギー源の国際価格、米国の核政策など様々な対外的要因によっても強く規定されている。しかし下図ではそうした対外的要因は省略している。

原子力発電問題に関わる諸要素とその連関



(2) 「科学的可能性や技術的可能性」問題と「経済的メリットや政策的有用性」問題の区別と連関の視点からの立場分類

- 1 「原発推進」論(原発拡大論、原発現状維持論)
- 2 「原発批判」論(ex. 安全性軽視体制、自主・民主・公開の原則を遵守していないことの問題など現状の推進体制への批判)
- 3 「本質的欠陥」論(本質的欠陥を持つ技術)、「文明論的批判」論(物質文明 or 科学技術文明が持つ基本的欠陥)など

理論的視点	実践的対応	本質的欠陥	エネルギー発生 の科学的可能性	動力生成の 技術的可能性	安全性	長期的 持続性	経済的 メリット	政策的 有用性
「原発推進」論	積極的推進論	×	○	○	○	○	○	○
	消極的推進論				△	?	?	
「原発批判」論	段階的縮減論	×	○	○	△	?	○or?	○
	原発廃止論				×	×	?	×
「本質的欠陥」論		○	—	—	×	×	—	—

3. 原子力発電の歴史的＝社会的形成の分析視点

(1) 「自然科学」－「工学(技術を対象とする科学)」－「技術」－「製品」－「ビジネス(事業部間、企業間、産業間などの協調と競争)」－「国・地域(国間・地域間などの協調と競争)」

原子力発電という問題は、の科学史・科学論・技術史歴史的公共的支援の対象範囲をどこまでするのか？

(2) 社会的諸活動の相互的連関 — 原子力村問題(企業・政治・行政・研究者・技術者・マスコミのそれぞれの原子力発電関係者が構成する複合的ネットワーク)、科学イデオロギー、技術イデオロギー

(3) 技術の選択主体や選択の場の差異による選択基準の差異 — 技術の社会選択の階層性・多重決定性

技術の「技術」的選択 — 技術者による技術選択[機能・性能・コスト・品質(安全性)基準に基づく総合的判断]

技術の「経営」的選択 — 企業(or 企業の事業部や研究室)による技術選択[「企業」間競争、「事業部」間競争、「研究室」間競争などにおける競争優位確保や利益最大化に基づく総合的判断]

技術の「経済」的選択 — 国家経済、国際経済レベルにおける最適技術の選択[製品のライフサイクル、TCO、Well-to- Wheel といった総合的＝全体的視点からの技術比較]

技術の「政治」的選択 — エネルギー安全保障や国家間競争による競争優位の確立といった視点からの技術選択

技術の「社会」的選択 — 地域経済[ex. 低税収地域や過疎地域における原発誘致]や国民意識・国民世論に基づく選択[ex. ドイツの脱原発の選択など]

技術の「個人」的選択 — 個々人の環境やライフスタイルや趣味・嗜好に基づく技術選択

(4) 「Module → Product」視点(要素技術開発－技術統合－製品開発の相対的分離と結合)

(5) 「System of Product」(広義) 間競争視点

--- Technology 間競争、Product 間競争、プラットフォーム間競争とは相対的に異なる階層の競争

製品技術開発力、生産技術開発力、製品開発力、ビジネスモデル開発力

歴史的発展経路の差異 -- 製品や技術の経路依存性、Dominant Design、技術軌道

好適機能範囲の差異

スイッチング・コスト

TCO 的視点(1) -- 製品購入コスト+廃棄コスト+学習コスト+ランニングコストなどの総費用の比較

TCO 的視点(2) -- Well to Wheel 的視点からの比較

機能・性能、コスト、品質による総合的評価 -- 新機能の有無、性能・コスト・品質の高低

4. 原子力発電事業を論じるためのエネルギー論関係の基本的データ

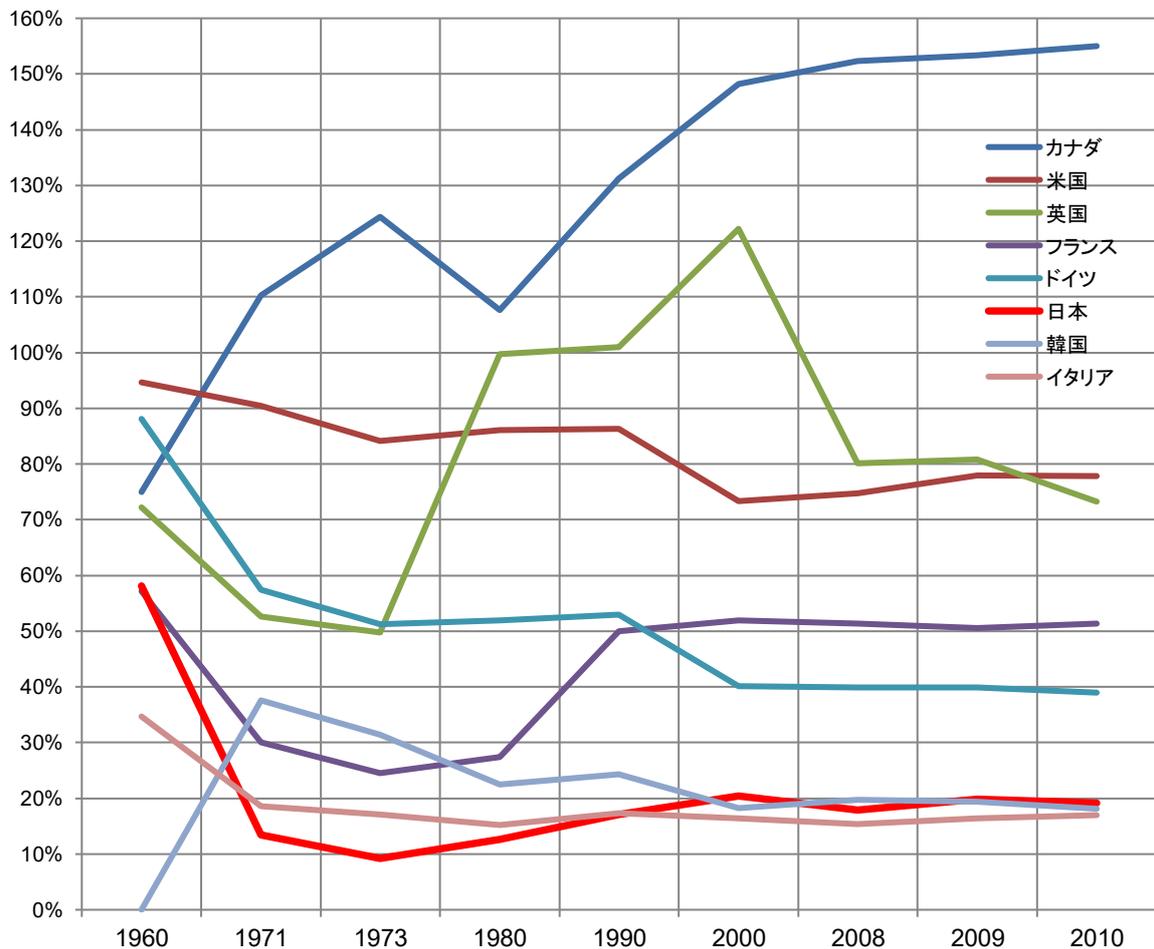
(1) エネルギー自給率の歴史的推移

下記のエネルギー自給率は、原子力を「国産」エネルギーとして計算した数値である。原子力を国産エネルギーとするのは、「燃料のエネルギー密度が高く、備蓄が容易である」、「燃料を一度原子炉に入れたら、その燃料は3～4年程度は燃焼し続けられる」、「使用済燃料を再処理することで、新たな燃料として再利用できる」ことなどによるものである^[1]。

ウランを輸入に頼っているという意味では原子力を輸入エネルギーとしてカウントすべきだとする考え方も成り立つ。そうした場合には、2008年の日本のエネルギー自給率は約4%になる。

国名	1960	1971	1973	1980	1990	2000	2008	2009	2010
カナダ	75.0%	110.3%	124.4%	107.7%	131.2%	148.2%	152.4%	153.4%	155.0%
米国	94.7%	90.5%	84.2%	86.1%	86.3%	73.3%	74.7%	78.0%	77.9%
英国	72.3%	52.6%	49.8%	99.7%	101.0%	122.2%	80.1%	80.8%	73.3%
フランス	57.2%	30.0%	24.5%	27.4%	50.0%	51.9%	51.4%	50.5%	51.4%
ドイツ	88.1%	57.4%	51.3%	52.0%	53.0%	40.1%	39.9%	39.9%	39.0%
日本	58.1%	13.4%	9.2%	12.6%	17.1%	20.4%	17.9%	19.9%	19.2%
韓国	..	37.6%	31.4%	22.5%	24.3%	18.3%	19.7%	19.3%	18.1%
イタリア	34.7%	18.5%	17.1%	15.2%	17.3%	16.4%	15.3%	16.4%	16.9%

(引用元)IEA(2011) *Energy Balances of OECD Countries 2011*, p.218



[1] エネルギー総合工学研究所(2010)「各国のエネルギー自給率」<http://www.iae.or.jp/energyinfo/energydata/data1014.html>

(2) エネルギーバランス

一次エネルギーのエネルギー源別構成(2010年推定値)

	再生可能エネルギー				原子力	化石燃料
	水力	地熱・太陽光 など	バイオ燃料・ 廃棄物	小計		
OECD 諸国全体	3%	2%	6%	11%	15%	74%
日本	7%	4%	7%	17%	79%	4%
フランス	4%	1%	11%	16%	82%	1%
ドイツ	1%	4%	22%	27%	28%	45%
イタリア	15%	20%	22%	57%	0%	43%
英国	0%	1%	3%	4%	11%	85%
米国	1%	1%	5%	7%	13%	80%

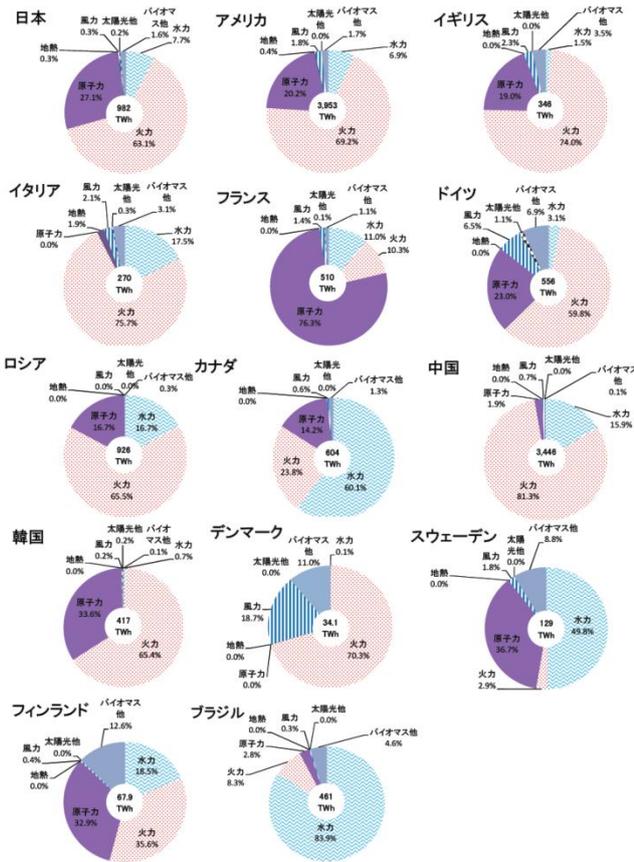
発電量のエネルギー源別構成(2010年推定値)

	再生可能エネルギー				原子力	化石燃料
	水力	地熱・太陽光 など	バイオ燃料・ 廃棄物	小計		
OECD 諸国全体	12%	3%	2%	18%	21%	61%
日本	7%	1%	2%	10%	27%	63%
フランス	11%	2%	1%	14%	76%	10%
ドイツ	3%	8%	7%	18%	23%	59%
イタリア	17%	5%	4%	26%	0%	74%
英国	1%	3%	4%	7%	16%	76%
米国	6%	3%	2%	10%	19%	70%

[出典] IEA(2011)Energy Balances of OECD Countries 2011

佐野正博(2012)「原子力利用に関する批判的検討のための資料紹介 Part.3」

<参考 8> 各国の電源別エネルギー構成 (円グラフ中央、太字は年間総発電量)
(出典: U.S. Energy Information Administration (EIA) [29])



[左図の出典]

日本学術会議東日本大震災対策委員会 エネルギー政策の
選択枝分科会(2011)『日本の未来のエネルギー政策の選択に
向けて-電力供給源に係る6つのシナリオ-』p.67

<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/shinsai/pdf/110624t.pdf>

[関連文献]

日本学術会議エネルギー政策の選択枝分科会(2011)『エネ
ルギー政策の選択枝にかかわる調査報告書』

<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/shinsai/pdf/110922h.pdf>

6. 原子力発電をめぐる論争点(1) — 福島原発事故以前からある基本的な論点

(1)「地球温暖化」論 — 「地球環境に優しい優れた資源」「温室効果ガスの排出量を減少させる不可欠の手段」としての原子力発電正当化論

地球温暖化を根拠とする原子力発電推進論

地球温暖化問題を根拠として原子力発電を正当化する議論は、地球温暖化が強い社会的な注目を集めるようになる1980年代後半以前から存在する。例えば米国の初代原子力委員会委員長のリエンソールは1980年には、リエンソール(1980;訳1981)『岐路に立つ原子力』邦訳 p.16 において「温室効果による大気温度上昇の危険性は、原子力発電の危険性よりも、さらに幅広い影響を及ぼすであろう」として、原子力発電の有用性を主張している。

原子力発電推進論においてこの論点は下記のように、現在に至るまで多数の論者が繰り返し用いている。

「原子力は、怖いものでもなければ難しいものでもありません。放射能という欠点がありますが、資源論的な意味で優れ、環境に優しいという利点があるのも事実です。」秋山守;大橋弘忠(1991)『次世代の原子力発電』読売新聞社,p.2

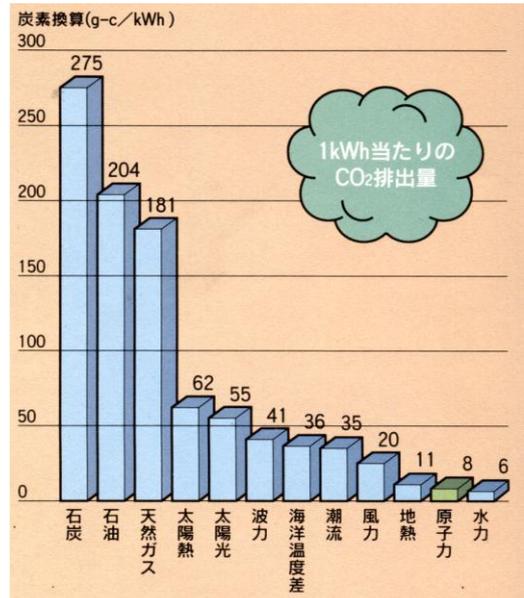
「原子力発電は、発電過程でCO₂を排出せず、安定的に大量の電気を発生させる電源であり、我が国の地球温暖化対策の切り札」低炭素電力供給システムに関する研究会(2009)『低炭素電力供給システムの構築に向けて』p.8

「原子力発電は発電過程において二酸化炭素を排出せず、ライフサイクルを通じての排出も風力や太陽光等の再生可能エネルギーによる発電と同程度に小さい。」(内閣府原子力委員会(2008)『地球環境保全・エネルギー安定供給のための原子力のビジョンを考える懇談会報告』p.3)

「原子力は温室効果ガスの排出量を減少させる不可欠の手段」村上正一(2009)「2100年原子力ビジョン—低炭素社会への提言—」日本原子力学会 原子力総合シンポジウム2009報告

「原子力はエネルギー生産において二酸化炭素を排出しないため、世界の持続的発展に貢献することが可能である。」東京工業大学革新的原子力研究センター「革新的原子力研究センターの設置目的」

電源種類別のライフサイクル CO₂ 排出量(1)



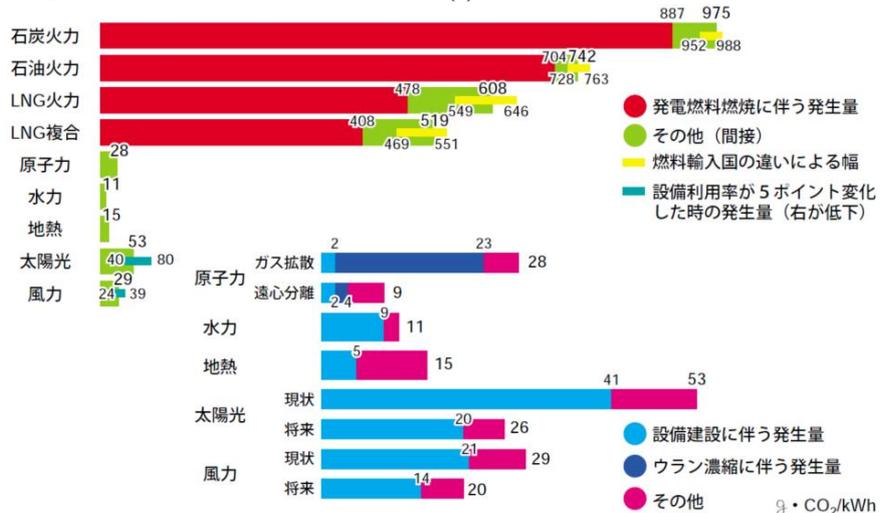
[出典]三菱重工業 原子力事業本部原子力PA推進センター(1995)『素顔の原子力発電—モノづくりの視点から』風日舎,p.74

地球温暖化問題を根拠とした原子力発電推進論は、福島第一原発事故以後も引き続き重要な正当化論として用いられている。

例えば世界原子力協会(World Nuclear Association, WNA)のJohn Rich 理事長は福島第1原発事故から約一年後の2012年3月23日に開催された原子力業界会合の基調演説において、地球温暖化を食い止めるために必要な国際的なクリーンエネルギー革命は「原子力を中心に据えてのみ実現可能である」と主張している。

なお指標として一般に用いられているのは、電源種類別のライフサイクルCO₂排出量[発電時だけでなく、燃料の採掘・輸送・精製・加工・廃棄物処理、発電所の建設・保守といった全プロセスで排出されるCO₂の総排出量]

電源種類別のライフサイクル CO₂ 排出量(2)

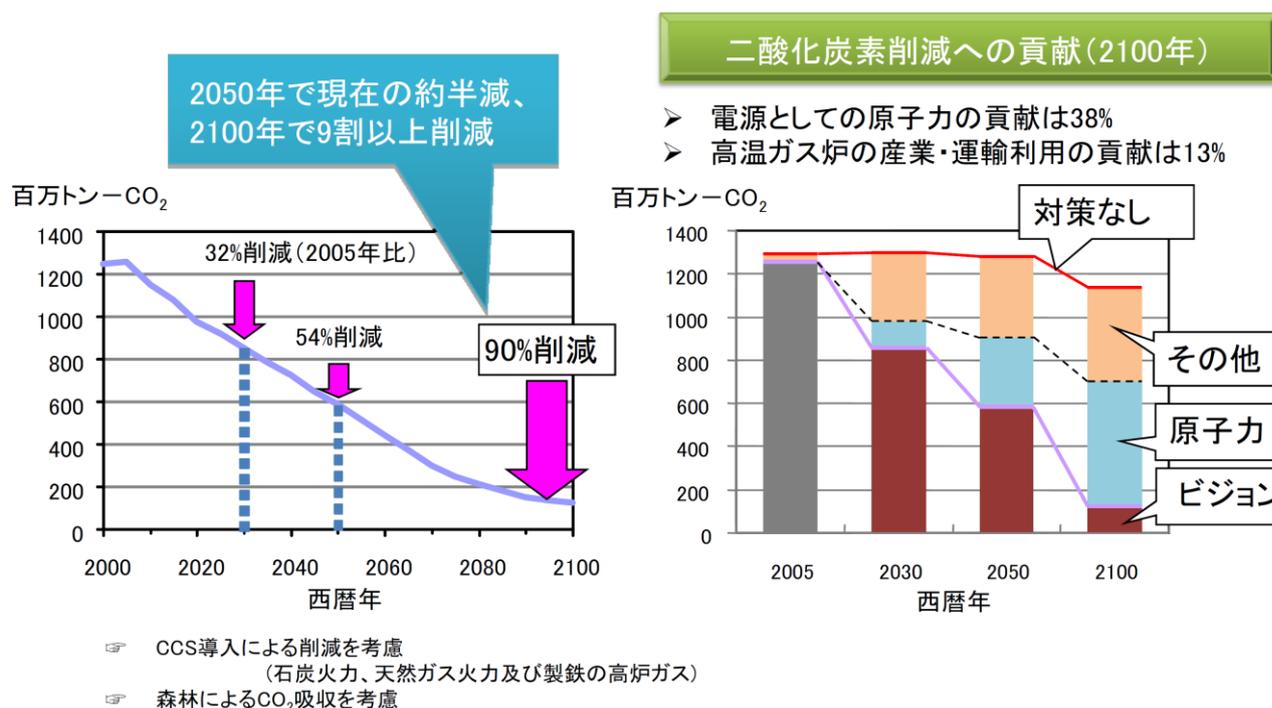


[出典]本藤祐樹(2000)「ライフサイクル CO₂ 排出量を電源別に求める -最新データを用いて算定、再評価」『電中研ニュース』No.338,p.2

<http://criepi.denken.or.jp/research/news/pdf/den338.pdf>

である。前提条件などの違いにより具体的数値は異なるが、原子力発電は化石燃料による火力発電よりも優れているだけでなく、太陽熱・太陽光・風力といった再生可能エネルギーを利用した発電よりも優れている、と一般にされている。

最近の動きとしては、2007年11月の「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)で「地球温暖化には疑う余地がないこと、および、20世紀半ば以降の全球平均気温の上昇は二酸化炭素等の温室効果ガス濃度が増加したことによって生じた可能性が非常に高いこと」に関して国際的合意が成立するとともに、2008年7月のG8北海道洞爺湖サミットでは地球温暖化にともなう様々な悪影響を避けるため「2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量の50%削減を達成する」という目標の合意がなされたが、こうした合意を達成するためには、下図に示されたプランのように「再生可能エネルギーの活用や省エネルギーの推進だけでは不十分であり、原子力発電の活用が必要不可欠である」と主張されている。



[出典] 日本原子力研究開発機構 経営企画部戦略調査室(2008)「2100年原子力ビジョン」---- 低炭素社会への提言』別添資料,p.28
<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08101601/be2.pdf>

地球温暖化問題を根拠とした原発推進論に対する批判的検討

地球温暖化問題という論点**単独**で、原子力発電は「地球温暖化対策の切り札」であるとか、「温室効果ガスの排出量を減少させる不可欠の手段」であるといった主張を正当化することは論理的にはできない。ライフサイクル CO₂ 排出量が低い発電方式は、水力発電などほかにも存在する。地球温暖化対策という論点だけでは、そうした他の発電方式ではなくて、なぜ原子力発電が最適なのかを示すことができない。

そのため原発推進論は、後述するように、「地球温暖化対策、持続的経済成長、エネルギー安全保障という三つの問題の同時的解決を可能にする手段としては原子力発電が最適である」というトリレンマ問題的正当化という形式をとることになる。

また地球温暖化対策としては、日本一国の CO₂ 排出量という視点は狭すぎる。

(2)「化石燃料資源の有限性」論 — 高速増殖炉擁護論

a. 再処理すれば、数千年も利用可能・・・「石炭 46年、天然ガス 65年、石炭 219年、ウラン 43年、再処理 数千年」

現時点における発電方式としては、石油・天然ガス・石炭などの化石燃料の燃焼によって発生する熱エネルギーを利用する火力発電、および、ウラン 235 などの原子核分裂によって発生する熱エネルギーを利用する原子力発電という熱機関が主力である。

これらの熱機関の燃料がどの程度の期間にわたって利用可能なのかという可採掘年数は右図の通りである。1970年代の石油危機時代には化石燃料資源の有限性が社会的に強く強調され、原子力発電推進の根拠として利用された。

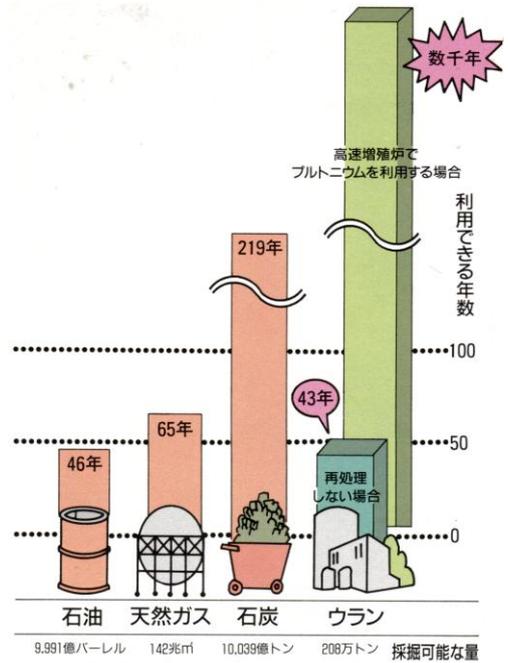
このことは下記の益川氏の発言に象徴的に見られるように、福島第一原発事故以後も変わってはいない。

「原子力発電は使っていかなるを得ないだろう。太陽光発電などへの期待はあるが、電気は基本的にはためられないので、変動の大きい再生可能エネルギーに頼るのは難しい。また、化石燃料は 300 年もすれば枯渇するので火力発電にもいずれは頼れなくなる」益川敏英(2012)「震災1年、日本再生の道標」『日本経済新聞』2012年3月11日

しかし資源の有限性という点では天然ウランも 1990年代中頃の時点で石油の46年分よりも短い43年分しかない。それゆえ天然ウラン ²³⁵Uのみを利用する軽水炉型原子力発電方式の推進論として「化石燃料資源の有限性」という論点を使うことはできない。原子力発電一般の正当化論として「化石燃料資源の有限性」論をそれ単独で使うことはできないのである。

そのため原子力発電推進論として化石燃料利用型火力発電に対する原子力発電の相対的優秀性を強調するためには、使用済核燃料の再処理による核燃料のリサイクルや、高速増殖炉によるプルトニウム核燃料の利用を打ち出さざるを得ない。

燃料種類別の可採掘年数



[出典]三菱重工業 原子力事業本部原子力 PA 推進センター(1995)『素顔の原子力発電—モノづくりの視点から』風日舎.p.74

b. 天然ガスの可採掘年数は 160 年

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC)「非在来型資源論」JOGMEC ホーム > 資源情報館 > J NEWS WEB

http://www.jogmec.go.jp/recommend_library/jnewsweb/contents3_06.html



(3)「安定供給」論 — 「エネルギー安保」論

■エネルギー消費大国としての日本[2008年時点で世界の5%]のエネルギー自給率は約4%と極めて低い

日本の一次エネルギー消費量は、世界の約5%(2008年)にのぼる大きなものであるが、日本はそのほとんどを海外からの輸入に頼っており、エネルギー自給率は原子力を国産ではないとした場合で約4%、原子力を国産とした場合でも約20%と低い。下記のように日本のエネルギー自給率の低さは日本のエネルギー安全保障上の重要問題とされ、原子力発電の必要性を裏付ける根拠の一つとされている。

「エネルギー安全保障からの視点/日本のエネルギー自給率は4%に過ぎず、中東からの石油依存度は50%弱。2030年には世界全体の石油の中東依存度は50%に増大し、中国・インド等の途上国の石油輸入依存度は80%に増加するとの見通し」内閣府原子力政策担当室(2011)「原子力のエネルギー利用を巡る現状について」新大綱策定会議 第2回資料3号,2011年1月

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei/siryosakutei2/siryos3.pdf>

「原子力発電所の建設は、天然資源の乏しいわが国のエネルギー安全保障の一環として進められてきた経緯がある。」濱崎博(2011)「原子力発電所稼働停止によるわが国経済への影響」富士通総研 Web>コラム>オピニオン> 2011年7月、<http://jp.fujitsu.com/group/fri/column/opinion/201107/2011-7-3.html>

「原子力はエネルギーセキュリティ上重要である」榎本聰明(2000)「日本のエネルギーセキュリティ確保の在り方」平成12年4月19日、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/bunka2/siryos8/siryos2.htm>

「原子力政策は抜本的見直しが必要であるものの、エネルギー安全保障の観点並びに原子力平和利用国としての国際的責任を果たすための技術基盤と専門人材の維持、さらには技術とともに進化してきた人類としての文明史的自覚の観点から、我が国の安全にも直結する他国での原子力発電の安全性確保に貢献するためにもやはり戦略的判断として一定比重維持すべきという意見も少なからず出された。資源小国の日本としてエネルギーの選択肢を安易に放棄してよいのかという問題提起もあった。」総合資源エネルギー調査会基本問題委員会(2011)『新しい「エネルギー基本計画」策定に向けた論点整理』2011年12月20日,p.4

■ウラン燃料再処理を前提とした原子力発電

「ウラン資源もまた有限ではあるが、リサイクルによって利用可能なエネルギー量は飛躍的に大きくなる。・・・しかしリサイクル技術は技術開発を行ってはじめて利用が可能となるものでその技術の規模、性格からそれに要する時間も大変に長い。原子力は誰でも使いたいときにすぐ使えるエネルギー源ではなく、長期にわたる準備を経て実用が可能となる時定数の長い技術であると言える。よりよい技術を目指して着実な研究開発が必要であるといえる。」榎本聰明(2000)「日本のエネルギーセキュリティ確保の在り方」平成12年4月19日、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/bunka2/siryos8/siryos2.htm>

■エネルギー消費量増大の根拠資料 — エネルギー消費量の巨大性と「地球環境再生機能」障害

太陽が地球に降り注ぐエネルギー量 約17万TW(テラワット=兆ワット)

↓

地表吸収エネルギー量 約8万6千TW

↓

光合成に利用されるエネルギー量 50TW

↓

光合成で固定される正味のエネルギー量 97TW

光合成の効率や植物の呼吸による自家消費を差し引いた97TWが正味固定される太陽エネルギー、つまり純一次生産量となっている。純一次生産量は、地表面での太陽エネルギー吸収量の約0.1パーセント、太陽光入射量に対しては0.05パーセントとかなり低い。

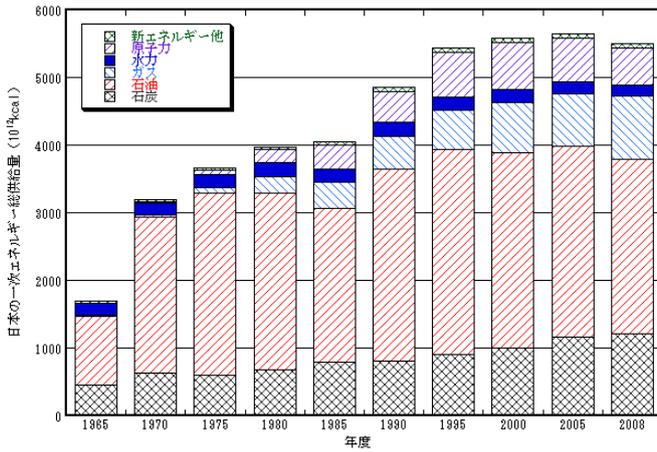
↓

世界のエネルギー消費量 11TW

世界のエネルギー消費量は1年間に約80億TOEである。1TOE(石油換算エネルギー、tonne of oil equivalent)は42GJというエネルギー量に等しいので、80億TOEをTW(テラワット)単位に換算すると、下記のような計算により11TWという値になる。この値は、地球上において「光合成で固定される正味のエネルギー量」97TWの約1/9というかなり大きな値である。また世界人口約55億人で割って一人あたり平均のエネルギー消費量を求めると2kWという値になる。

$80 \text{ 億 TOE} \times 42 \text{ GJ/TOE} \div (356.2425 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間/日} \times 60 \text{ 分/時間} \times 60 \text{ 秒/分}) \div 10^{12} = 11 \text{ TW}$

◇日本における一次エネルギーのエネルギー源別構成の歴史的推移



左図にあるように 1970 年代の石油危機以後は、石油への依存度を下げないように天然ガスや原子力などエネルギー源の多様化が進められたが、それでも石油依存度は約 50% (2008 年度) と高い。

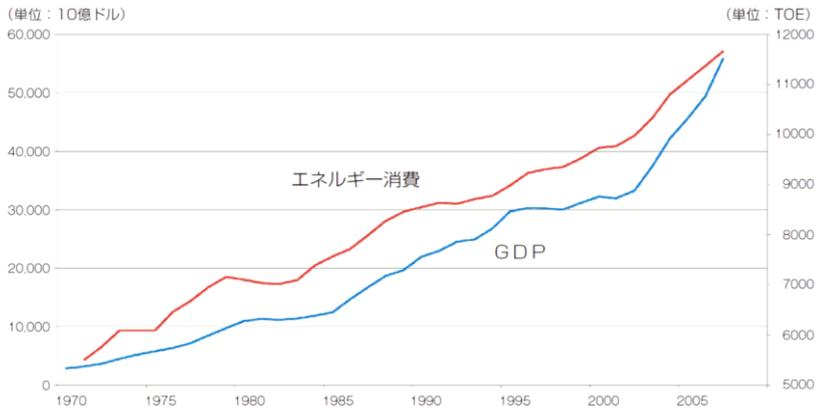
[引用元] <http://www.iae.or.jp/energyinfo/energydata/data1002.html>

[データ元] 『EDMC/エネルギー・経済統計要覧 2010 年版』

◇世界の GDP とエネルギー消費の推移

世界の GDP とエネルギー消費量は下図のようにほぼ比例しているが、最近のエネルギー消費量は 1970 年代前半の約 2 倍となっている(経済産業省資源エネルギー庁(2011)『エネルギー白書』P.37)。

【第 121-1-1】世界の GDP とエネルギー消費の推移



(出所) World Bank, World Development Indicators

2008		2030	
米国	19%	中国	22%
中国	17%	米国	14%
EU	14%	EU	11%
ロシア	6%	インド	8%
アフリカ	5%	中東	6%
インド	5%	ロシア	5%
中東	5%	アフリカ	5%
日本	4%	日本	3%
ブラジル	2%	ブラジル	2%
その他	23%	その他	24%

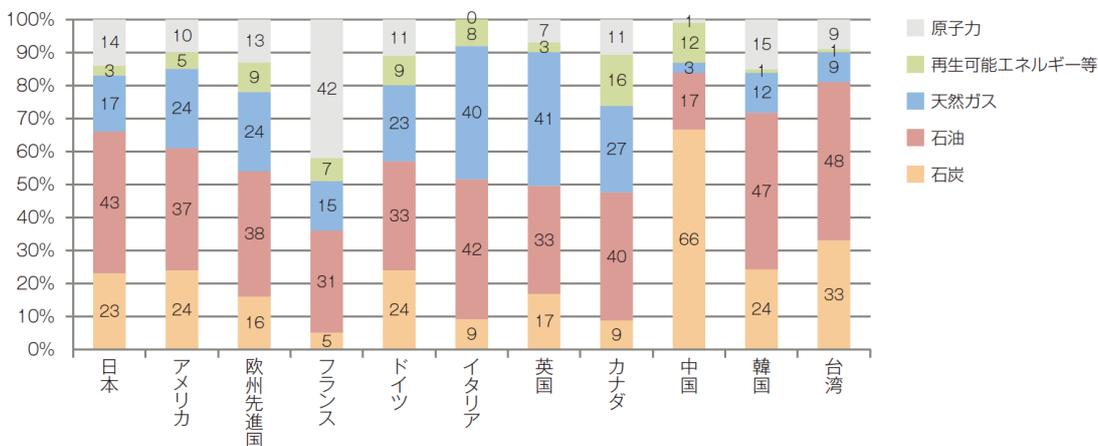
(出所) IEA, World Energy Outlook 2010

(引用元) 経済産業省資源エネルギー庁(2011)

『エネルギー白書 2011』p.39 の表 121-1-4

◇一次エネルギーの構成比率 — 一次エネルギーにおける「化石燃料系の割合の大きさ」問題

【第 122-1-1】一次エネルギー構成比率の国際比較 (2008 年実績)



(引用元) 経済産業省資源エネルギー庁(2011)『エネルギー白書 2011』p.50

(出所) IEA Energy Balances of OECD/ Non-OECD Countries

1 次エネルギーの構成比率の国別比較

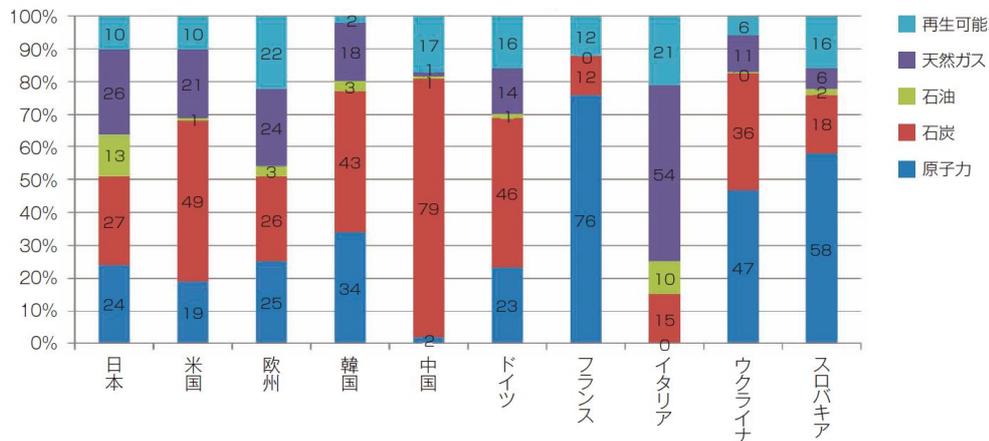
	再生可能 エネルギー	原子力	化石燃料		
			天然ガス	石油	石炭
日本	3%	14%	17%	43%	23%
アメリカ	5%	10%	24%	37%	24%
フランス	7%	42%	15%	31%	5%
ドイツ	9%	11%	23%	33%	24%
イタリア	8%	0%	40%	42%	9%
英国	3%	7%	41%	33%	17%
中国	12%	1%	3%	17%	66%
韓国	1%	15%	12%	47%	24%
台湾	1%	9%	9%	48%	33%

(出所) IEA *Energy Balances of OECD/ Non-OECD Countries*

(引用元)経済産業省資源エネルギー庁(2011)『エネルギー白書 2011』p.40

◇電力の電源別供給構成

【第 122-1-2】 電源別電力供給構成の比較



(出所) IEA *Electricity Information 2010*

電力の電源別供給構成(2009)

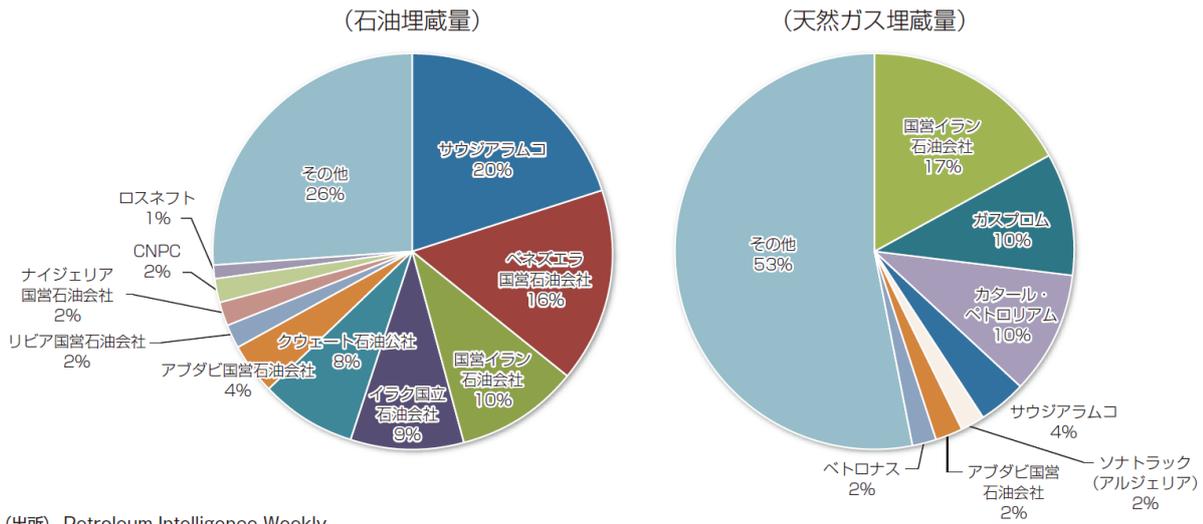
国名	再生可能 エネルギー	原子力	化石燃料	水力	地熱	太陽光 /風力	バイオ燃 料 /廃棄物
カナダ	62%	15%	60%		1%	23%	1%
イタリア	26%		74%	18%	2%	3%	3%
スペイン	26%	18%	56%	10%		15%	1%
ドイツ	19%	23%	58%	4%	0%	9%	6%
フランス	14%	76%	10%	11%		2%	1%
日本	11%	27%	63%	8%	0%	1%	2%
米国	11%	20%	69%	7%	0%	2%	2%
英国	8%	18%	73%	2%		2%	3%
韓国	2%	33%	66%	1%		0%	0%

(引用元)IEA(2011) *Electricity Information 2011*, p.82/878

(出所)IEA/OECD *Energy Statistics of OECD Countries* and IEA/OECD *Energy Statistics of Non-OECD Countries*.

■エネルギーの安定的確保問題の根拠資料 石油・天然ガス資源の所有者

【第 121-2-2】 石油・天然ガス資源の所有者

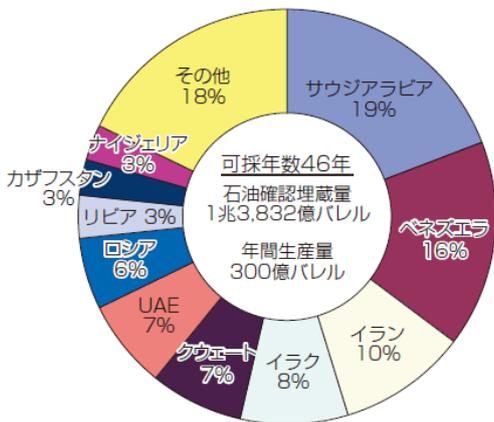


(出所) Petroleum Intelligence Weekly

(引用元)経済産業省資源エネルギー庁(2011)『エネルギー白書 2011』p.40

【第 121-2-3】 原油の国別確認埋蔵量

(引用元)経済産業省資源エネルギー庁(2011)『エネルギー白書 2011』p.41

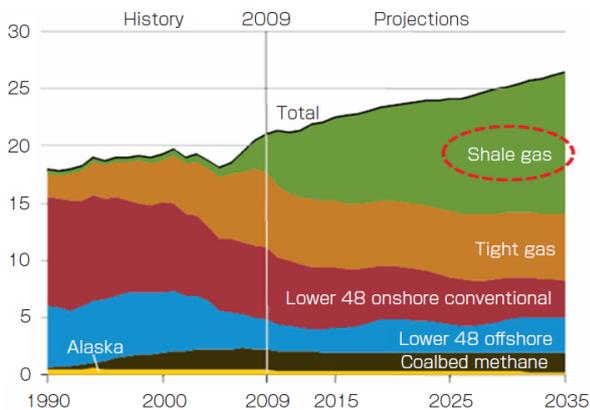


(出所) BP, Statistical review of world energy 2011

■シェールガス問題

【第 121-4-2】 米国の天然ガス生産推移・見通し(種類別)

(引用元)経済産業省資源エネルギー庁(2011)『エネルギー白書 2011』p.47



(出所) EIA, Annual Energy Outlook 2011

(4) 「再生可能エネルギー」批判

「天然ガスは、石炭や石油より CO2排出は少ないものの、ライフサイクル全体で見れば、原子力に比べて 20 倍以上

の CO₂を排出する。太陽光発電や風力発電でこれらの問題を解決するには、コストや必要な敷地面積などから限界がある。」日本原子力産業会議 原子炉開発利用委員会 原子力国際展開懇話会(2005)「原子力産業の国際展開に関する提言(案)」p.3

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/wg2004/wg03/sanko1.pdf>

a. 主要エネルギー源としての量的不十分性

村上正一(2009)「2100年原子力ビジョン—低炭素社会への提言—」日本原子力学会 原子力総合シンポジウム 2009 報告,p.36

「2100年原子力ビジョン」における新エネルギーの発電設備規模

将来社会での風力および太陽光の利用イメージ

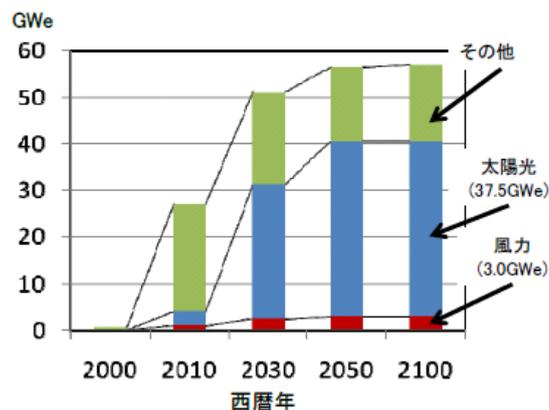
・風力発電の設備規模 3.0GWe は、現状における最大規模の 1000kWe 風車 3,000 基相当。

・日本列島(本土)の脊梁山脈に沿って1列に設置するとすればおよそ 600m に 1 基、また太平洋及び日本海沿岸部に設置するとすればおよそ 1.5km に 1 基の間隔での設置となる。

・太陽光発電の設備規模 37.5GWe は、家庭用の 3kWe 太陽光発電パネル 12.5 百万基相当。

・ビジョンで想定した世帯数 26 百万世帯の約半数へ設置。

設備利用率は、太陽光 12%、風力 20%とした。



☞ データ出典:2000年(実績値)のみ電気事業便覧
☞ 設備利用率は、太陽光12%、風力20%とした。

更なる利用拡大に向けた課題

・日照条件および風況条件の悪い地点への立地の拡大。

(設備利用率の低下)

・需要変動への対応および供給安定性確保のため、大規模蓄電設備の増強。(経済性の低下)

b. 太陽光などの再生可能エネルギーはコスト高、風力は不安定かつ陸上の設置場所は限定されている

秋元圭吾(2011)「再稼働しないと国益失う」『朝日新聞』2011年12月23日 朝刊

——「福島事故の惨状を見たら、コストより安全だ」という声を聞きます

「その通りだ」と思うんですけども、原発をやめて、例えば、天然ガスの発電ばかり増やせば海外にお金が出ていって、貿易赤字に陥る可能性がある。「太陽光とか再生可能エネルギーだったら海外にお金流れない」とおっしゃるかもしれないけれど、コストが高い。高いエネルギーを使えば、別の消費に回っていたものを電力にかけないといけないわけですから、誰かが職を失う確率が高い。トータルとしてみると雇用は必ず減る。

——太陽光とか風力で原発の代替はできませんか

いま、太陽光パネルのメーカーは大変なことになっている。中国の安い製品に世界が席卷されていますから。アメリカの大手、ソリンドラ社が8月に破綻(はたん)したり、日本の各メーカーの太陽光部門も収益が悪化したり、太陽光発電で利益をあげるのには難しい状況です。

風力は不安定で、陸上にはなかなか、立地地点がない。洋上風力の場合、日本の海は遠浅ではないですから、浮体式の技術開発をしないと行けない。そうするとコストが上がる。

私も「再生可能エネルギーは増やすべきだ」と思うんですけど、やり過ぎれば電力価格が高騰して産業が厳しくなってきます。

そういう情報を全部俎上(そじょう)に上げたいうえで議論して、結果として「脱原発」でもいいと私は思うし、続けるなら続けるで、対策をどうするかという話です。

c. 燃料電池擁護派への批判 ——「燃料電池は、水素と酸素の化学反応で発電するため、大気汚染の心配がなく、地球温暖化の原因となる二酸化炭素も出さない」という主張に対する批判

「水素と酸素の反応では確かに排出物は水だけであるが、現在の燃料電池の水素は、化石燃料から製造されていて、二酸化炭素は燃焼時と同量が排出される。全体として見れば、二酸化炭素の放出は化石燃料による発電や熱供給と同じであることを明記すべきである。」日本原子力学会 原子力教育研究特別専門委員会(2010)「新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」 p.38

<http://www.aesj.or.jp/information/kyouiku1001.pdf>

(5) トリレンマ問題論 — 「持続的経済成長」、「エネルギー安全保障」、「地球温暖化対策」の三者間のトレードオフ関係に対応する最良の技術的手段としての、原子力発電

開発途上国を中心とした経済発展にともなう人口増大および生活水準の急激な上昇

↓

世界のエネルギー消費量の急激な増加(GDP 増大にともなうエネルギー消費量の増大)

↓

酸性雨や地球温暖化など地球環境問題の深刻化

↓

◇CO₂排出量の低減の必要性

◇化石燃料の有限性、および、省エネルギーの限界性

◇再生可能エネルギーの技術的問題(エネルギー密度の低さや、時間的変動性など)

↓

エネルギー密度が高く、環境への影響が相対的に少ない原子力発電の有用性

「原子力は環境問題のトリレンマである「環境の保全」「経済発展」「資源・エネルギーの確保」の解決に役立つ」という擁護論

ex.1 東京大学グローバル COE プログラム「世界を先導する原子力教育研究イニシアチブ」

<http://gp-portal.jp/src/ippan/shoukaiPage.cfm?id=298>

「21 世紀は、開発途上国における人口の急激な増加と、この地域の生活水準の急激な上昇が重なり合って世界のエネルギー消費を急激に増加させ、食糧問題と共に大きな地球環境問題を引き起こすのではないかと危惧されております。特にこれまで依存していた化石燃料消費に伴う大気中の炭酸ガス濃度の上昇は、地球温暖化や異常気象を引き起こしつつあります。必要なエネルギーを確保しつつ温暖化ガスの排出を削減することは将来にわたり人類が地球に生き続けるための大きな課題となっております。／地球温暖化や異常気象を引き起こさないためには、消費エネルギーを出来る限り抑えること、及び炭酸ガス排出が少ないエネルギー源を使用することが考えられます。世界の各地ですべての人々が、衛生的で、ある程度快適な生活を送ることを考えると、それをまかなう化石資源には限りがあり、また経済活動の活発な先進国における省エネルギーにも限界があります。炭酸ガス排出の少ないエネルギー源も色々ありますが、時間的に変動するエネルギーであったり、太陽光のように密度の低いエネルギーであり、いずれも基幹エネルギーとして利用するにはかなり無理があると考えられます。／原子力はエネルギー密度が高く、比較的環境に影響を与えないで運転することができます。また燃料増殖が出来れば、ほぼ人類が活躍するすべての時代においてエネルギーを供給できるであろうと考えられます。しかし原子力は核分裂によって発生するエネルギーであり、エネルギー発生と同時に放射性物質を産み出します。このため、安全性や核廃棄物の問題が極めて重大になります。また核兵器に転用可能な物質も生成し、核拡散には常に注意する必要があります。／以上のような状況において、持続性、安全性、放射性廃棄物低減、核不拡散を同時に満足する原子力を開発することは、極めて重要であり、喫緊の課題であると考えています。このような考えをベースに 2003-2007 年度の 5 年間に亘って展開されたのが、文科省 21 世紀 COE プログラム「世界の持続的発展を支える革新的原子力」でした。タイトルが長いので、我々は COE-INES と呼んでいます。COE-INES においては、自由な発想と全体を見通す目を持って、研究に取り組みましたが、研究だけでなく、国際、社会、教育を加えた 4 つの柱を立ててプログラムが推進され、多くの目覚ましい成果をあげる事が出来ました。／革新型原子力センター(CRINES)は COE-INES の活動が終了した後、その成果を受け継いで、「世界の持続的発展を支える革新的原子力」の事業を推進するための活動拠点として、2006 年 1 月に東京工業大学の学内組織として設置されました。」矢野豊彦(2011)「革新型原子力センター センター長挨拶」<http://www.nr.titech.ac.jp/crines/overview/index.html>

(6) 低リスク論(1) — 原子力発電事故による死亡リスクの相対的低さ

a. ラスマッセン報告

アメリカ合衆国大統領特別調査委員会『スリーマイル島原発事故報告』ハイライフ出版部,1980/04, 155pp

Rasmussen, N. C.; et al. (1975). *Reactor Safety Study. An assessment of accident risks in U. S. commercial nuclear power plants. Executive Summary : Main Report.* WASH-1400 (NUREG-75/014)

<http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/7134131-wKhXcG/7134131.pdf>

アメリカの商用原子力発電所における事故危険度の評価に関して、MIT 教授のラスマッセン(N. C. Rasmussen)をトップとする 60 名の調査チームが、アメリカ原子力委員会の委託を受けて 1974 年 8 月に提出した報告書。通常、「ラスマッセン報告と呼ばれている。

中島篤之助「原子力発電論争」『平凡社 世界大百科事典』によれば、「従来の災害評価が事故がどのようにして発生するかについては立ち入らなかったのに対し、この報告は確率論的手法を用いて予想される原子炉事故の経過を分析し、事故の発生確率をある前提のもとに計算したものであるが、「もっとも恐るべき炉心溶融事故(ラスマッセン報告)ではそれを 2 万原子炉年に 1 回と計算)に対しての唯一の安全装置である ECCS の作動の確実性に疑惑がもたれ、暫定基準で安全審査に対処していた事情や、応力腐食割れの多発やその他のトラブルにもとづく稼働率の低下など、軽水炉の安全性に対し強い疑惑がもたれ、安全性論争は高揚の一途をたどっていた」中で「最大級の事故である PWR-1 や BWR-1 などの発生確率は 100 万年に 1 回以下」としたラスマッセン報告は「推進派によって金科玉条のごとく引用された」とされている。

下記の表 9 などを根拠として、自動車・航空機・鉄道などの交通システムよりも原子力発電は安全である、といったように原発の「安全性」の根拠に使われている。

TABLE 6-3 INDIVIDUAL RISK OF EARLY FATALITY BY VARIOUS CAUSES (U.S. Population Average 1969)

表 9 種々の原因による早期死亡の個人のリスク (1969 年アメリカ平均)

事故のタイプ	1969 年の全数	個人のリスクの早期死亡の確率/年
自動車	55,791	3×10 ⁻⁴
墜落	17,827	9×10 ⁻⁵
火災および火傷	7,451	4×10 ⁻⁵
溺死	6,181	3×10 ⁻⁵
毒物	4,516	2×10 ⁻⁵
火器	2,309	1×10 ⁻⁵
機械(1968)	2,054	1×10 ⁻⁵
水上交通	1,743	9×10 ⁻⁶
航空機	1,778	9×10 ⁻⁶
落下物	1,271	6×10 ⁻⁶
感電	1,148	6×10 ⁻⁶
鉄道	884	4×10 ⁻⁶
落雷	160	5×10 ⁻⁷
トルネード	118	4×10 ⁻⁷
ハリケーン	90	4×10 ⁻⁷
その他	8,695	4×10 ⁻⁵
全事故	115,000	6×10 ⁻⁴
原子炉事故 (原子炉 100 基)	-	2×10 ⁻¹⁰

Accident Type	Total Number for 1969	Approximate Individual Risk Early Fatality Probability/yr (a)
Motor Vehicle	55,791	3 x 10 ⁻⁴
Falls	17,827	9 x 10 ⁻⁵
Fires and Hot Substance	7,451	4 x 10 ⁻⁵
Drowning	6,181	3 x 10 ⁻⁵
Poison	4,516	2 x 10 ⁻⁵
Firearms	2,309	1 x 10 ⁻⁵
Machinery (1968)	2,054	1 x 10 ⁻⁵
Water Transport	1,743	9 x 10 ⁻⁶
Air Travel	1,778	9 x 10 ⁻⁶
Falling Objects	1,271	6 x 10 ⁻⁶
Electrocution	1,148	6 x 10 ⁻⁶
Railway	884	4 x 10 ⁻⁶
Lightning	160	5 x 10 ⁻⁷
Tornadoes	118 (b)	4 x 10 ⁻⁷
Hurricanes	90 (c)	4 x 10 ⁻⁷
All Others	8,695	4 x 10 ⁻⁵
All Accidents (from Table 6-1)	115,000	6 x 10 ⁻⁴
Nuclear Accidents (100 reactors)	-	2 x 10 ⁻¹⁰ (d)

(a) Based on total U.S. population, except as noted.
 (b) (1953-1971 avg.)
 (c) (1901-1972 avg.)
 (d) Based on a population at risk of 15 x 10⁶.

[出典]Rasmussen, N. C.; et al. (1975).*Reactor safety study. An assessment of accident risks in U. S. commercial nuclear power plants. Executive Summary: main report., WASH-1400 (NUREG-75/014),p.112*

[出典:WASH-1400]

*1:特記されたもの以外,全米人口に基づく *2:1953-1971 年平均 *3:1901・1972 年平均

*4:リスクの存在する 1500 万人の人口に基づく.

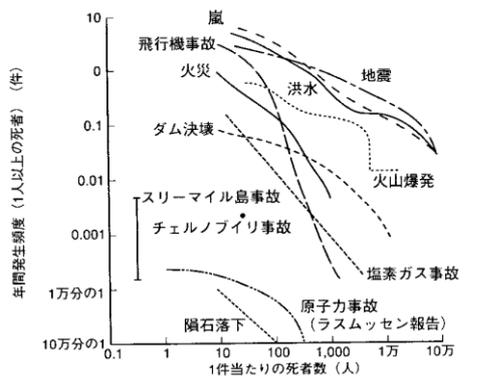
引用元:榎本聡明(2009)『原子力発電がよくわかる本』オーム社,p.122

ラスマッセン報告に対する原発批判派による古典的批判としては、憂慮する科学者同盟編(日本科学者会議原子力問題研究委員

会誌,1979)『原発の安全性への疑問—ラスムッセン報告批判』水曜社,285pp(原著 Union of Concerned Scientists(1977) *The Risks of Nuclear Power Reactors : a review of the NRC Reactor safety study, WASH-1400 (NUREG-75/014)*, Union of Concerned Scientists,210pp)がある。

なお現在では原発推進派からも、Nuclear Regulatory Commission (1991) *Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, NUREG-1150* にあるようにラスムッセン報告のような安全性評価手法は時代遅れ(obsolete)とされ、the State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses study に置き換えられている。同報告は米国に実在する 5 つの原発を対象として、様々なシナリオに対する地震、部品破損、安全装置故障などの発生確率を掛け合わせてシビア・アクシデント(過酷事故)の生起確率を求める確率論的リスク評価をおこなったものである。なお同報告においては、地震による外部電源喪失および非常用ディーゼル発電機の故障などによって原子炉の温度上昇による炉心損傷というケースが生じる確率が比較的高いことなどが問題にされており、福島第一原発事故との関わりで注目されている。

b. 大規模災害間の被害比較



出典：J. H. FREMLIN, 「Power Production ~WHAT ARE THE RISKS?」 Oxford University Press (1987) 「発電システムの健康リスク 石炭から未来エネルギーまでそして原料採掘から廃棄物処分まで」 A. F. フリッチェ 他

図3-15 世界の大規模災害における被害規模と発生頻度

日本原子力学会編(1998)『原子力がひらく世紀』p.65

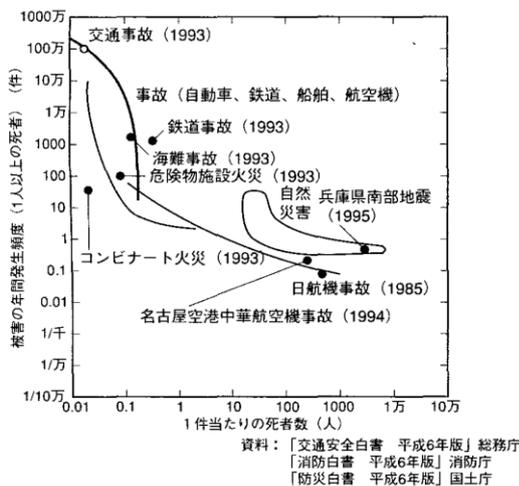


図3-16 日本の主な事故・災害

日本原子力学会編(1998)『原子力がひらく世紀』p.66

■技術による災害レベルが自然災害レベルよりも低ければ、その技術を社会的に受入れるべきである(低リスクを根拠とした社会的受忍限度論)

「大規模な人工災害は、自然災害よりも被害者数で小さい。これは人工災害に対しては防災が自然災害より徹底していることによる。ある技術の災害を自然災害のレベルより小さくすれば、その技術は社会に受け入れられるということが暗黙のうちに社会に理解されている。もちろん自然災害への対策も年々進歩があり、犠牲者の数も減る傾向にある。それに伴い人工災害に対しても、より一層の厳しい対策が要求されるようになりつつある。

② 自然災害による被害は、火山爆發、地震、水害が大きい。

③ 原子力発電による被害(ラスムッセン報告の値に現在稼働中の原子力発電容量 3 億 4,390 万 kW [1993 年 6 月現在] を乗じた数値)ははるかに低いところに位置している。

スリーマイル島原子力発電所事故は直接の死亡者を出していないが、放射線被ばくによる晩発障害による死亡を考慮すると被害はラスムッセン報告に比べ 1 桁大きくなっている。チェルノブイリ事故により直接死亡した人の数は 2 人、消火作業中の被ばくにより 29 人が死亡しており、さらに 200-300 人の労働者が被ばくにより死亡する恐れがあるといわれている(Nature1986 年、IAEA 1986 年)。

図にはチェルノブイリ事故の被害の大きさをチェルノブイリ原子力発電所と同じ炉型、すなわち黒鉛減速軽水冷却炉沸騰水型の 1997 年までの利用炉・年、263 炉・年の間に 31 人の犠牲者が出たとした値をのせている(第 6 章 7-2 節参照)。

自然災害が人工災害よりも被害が大きいのは海外の国々だけではなく日本についても同じことが言える。図 3-16 は、わが国における戦後の災害を自然災害と人工災害とに分けて描いたものである。大規模災害について調べてみると、被害の大きさはわが国でも人工災害よりも自然災害のほうが大きいことがわかる。

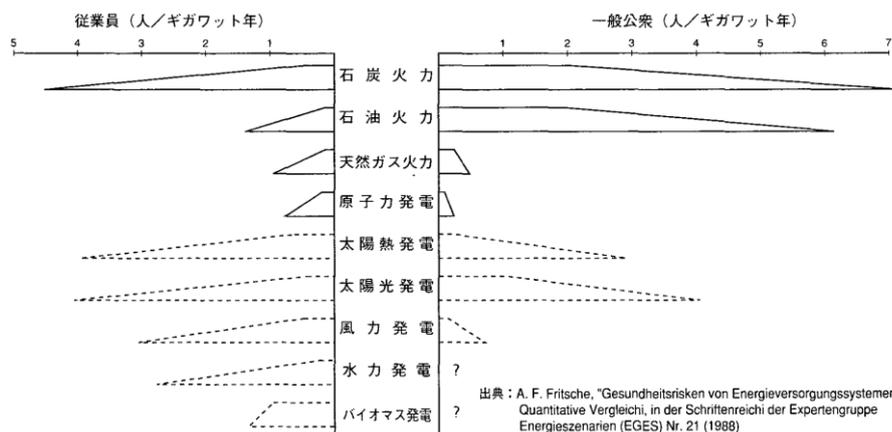


図3-17 いろいろな発電方法とリスク

日本原子力学会編(1998)『原子力がひらく世紀』p.67

しかし、災害は必ずしも大規模だけに限らず、実際には小規模の人工災害がかなり頻繁に発生している。小規模災害がその被害者総数で大規模災害に比べて遥かに大きいという事実は、わが国の不慮の事故による死亡者数の統計からもわかる。・・・**実際の社会においては、大規模災害に比べ交通事故のような小規模な災害による犠牲者の総数のほうが遥かに多い。人は一般に規模の小さいリスク**

に対しては鈍感であり、全体から見た被害の大きさに気づかない。」日本原子力学会編(1998)『原子力がひらく世紀』pp.65-66

「原子力発電のリスクを核燃料サイクルについて見ると採掘、輸送、加工、発電、あるいは再処理施設の事故で死亡する割合は放射性物質による死亡を除くと極めて少ない。」日本原子力学会編(1998)『原子力がひらく世紀』p.67

c. 健康上のリスクに関して、炉心損傷事故による放射線被曝のリスクは、自動車事故と同程度か、より少ない。

チェルノブイリ事故における嚴重管理区域住民の生涯の80年間における死亡確率(過剰死亡確率)＝約0.005

日本住民の80年間の生涯における自動車事故による死亡確率(過剰死亡確率)＝0.009

「居住禁止区域の住民には、移住費用、移住後の生活保障などの諸々の補償費用の支出があり、その他にも汚染除去費用、汚染食品廃棄費用などの費用の支出がある。この経済的な損失は莫大であるが、経済的な損失は原子力発電所の電力供給による経済的利得と比較すべきもので、ここでは触れない。／事故による放射線被ばくが高いグループは避難住民と嚴重管理区域住民である。しかし生涯の期間の放射線被ばくを考えると、嚴重管理区域住民が最も高い放射線被ばくをするグループとなる。／チェルノブイリ事故における嚴重管理区域住民の放射線被ばくを基にして、わが国において万一、大量の核分裂生成物を放出するような炉心損傷事故が生じた場合の、最も高い放射線被ばくをするグループのリスクを評価してみる。このために、嚴重管理区域住民の平均寿命を日本人と同じく80歳として、**嚴重管理区域住民の生涯の80年間における死亡確率(過剰死亡確率)を求めると約0.005と評価される。**／これを日常生活における事故と較べて見る。例えばわが国の自動車事故を考えれば、**80年間の生涯における自動車事故による死亡確率(過剰死亡確率)は0.009である。**／このことは、**健康上のリスクに関しては、チェルノブイリ事故のような炉心損傷事故のリスクは、自動車事故のリスクより少ないか、若しくは評価誤差を考慮しても同程度である**と言える。」

村主進(2005)「原子力発電はどれくらい安全か」『原子力システムニュース』Vol.15, No.4(2005.3)

<http://www.enup2.jp/newpage38.html>

表 4.6-1 種々のリスク一覧表

事象	過剰死亡確率	寿命の損失	犠牲者の失う平均的な余命
貧困		9,000 日	---
チェルノブイリ事故相当の事故時緊急作業に従事	0.12	1,500 日	40 年 20 年
鉱業に従事	0.11	1,600 日	40 年
林業に従事	0.07	1,000 日	40 年
漁業に従事	0.05	700 日	40 年

農業に従事		0.04	600 日	40 年
不慮の事故および天災		0.023	340 日	40 年
チェルノブイリ事故相当の高放射線作業に従事		0.018	130 日	20 年
自動車事故		0.009	130 日	40 年
1988 年のインフルエンザ程度の流行病		---	120 日	---
チェルノブイリ事故相当の復旧作業に従事		0.008	60 日	20 年
原発の重大事に遭遇	チェルノブイリ事故	0.005	50 日	30 年
	PSA	0.009	100 日	
兵庫県南部地震相当の地震(被災地住民に対して)		0.002	31 日	40 年
原発の重大事故 (発電所周辺の住民に対して)	チェルノブイリ事故	2×10^{-7}	0.002	30 年
	PSA	3.6×10^{-7}	0.004	

村主進(2004)「原子力施設の事故とそのリスク」『原子力とそのリスク』原子力システム研究懇話会,p.101

(7) 低リスク論(2) — チェルノブイリ事故など実際の原発事故における死亡数の低さ

・「チェルノブイリ事故の健康被害はそれほど大きくはない」

「(チェルノブイリ事故により)放出された放射能は微粒の粉塵になって遠距離まで風によって運ばれ、雨とともに地表に落下して、地面、動植物、湖沼などを広範囲に汚染しました。／この事故で、数十万人の犠牲者が出る^{と無責任な報道もありましたがそうではありません。}では実際はどうでしょうか。／・・・消防士および非番の職員が動員されて、消火活動を行いました。その結果、**致命的放射線被ばくを受けた者を含む合計 134 名の消防士および職員が急性放射線症と診断されました。**／そして、この 134 名のうち、4ヶ月以内に 28 名が死亡しました。その後も追跡調査が行われ、1988 年まで(事故後約 1.7 年)に死亡した人は 11 人になり、合計 39 名が死亡しました。

各集団における自然ガン死および事故の被ばくによる過剰ガン死亡
(予想値)(E.Cardis et al.)

集団	人口/ 平均線量	ガンの種類	期間	自然 ガン死	予想 過剰ガン 死
汚染除去作業 者 1986~1987	200,000 人/ 100mSv	固形ガン 白血病 "	生涯(95 年)	41,500 人	2,000 人
			生涯(95 年)	800 人	200 人
			最初の 10 年	40 人	150 人
30km 圏よりの退避 者	135,000 人/ 10mSv	固形ガン 白血病 "	生涯(95 年)	21,500 人	150 人
			生涯(95 年)	500 人	10 人
			最初の 10 年	65 人	5 人
特別管理区域の住 民	270,000 人/ 50mSv	固形ガン 白血病 "	生涯(95 年)	43,500 人	1,500 人
			生涯(95 年)	1,000 人	100 人
			最初の 10 年	130 人	60 人
他の汚染区域の住 民	6,800,000 人/ 7mSv	固形ガン 白血病 "	生涯(95 年)	800,000 人	4,600 人
			生涯(95 年)	24,000 人	370 人
			最初の 10 年	3,300 人	190 人

[出典]原子力・エネルギー勉強会「原子力発電の安全性について -- チェルノブイリ事故による健康被害」<http://www.enup2.jp/newpage52.html>

チェルノブイリ事故によるガンの発生は自然発生のガンの統計的変動を乱すものではありませんでした。

参考文献(1):WHO:Health Effects Of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes(Aug 31,2005)

「チェルノブイリ事故後の20年間の調査の結果、緊急作業員や当時放射性ヨウ素を吸入した小児以外の大多数の一般公衆は、健康影響はないとされている。」

内閣府原子力政策担当室(2011)「原子力のエネルギー利用を巡る現状について」平成23年1月のp.11

日本原子力研究開発機構 経営企画部戦略調査室「原子力発電の特性についてー他電源との比較ー」地球環境保全・エネルギー安定供給のための原子力のビジョンを考える懇談会 第2回、平成19年10月12日

安全性

5人以上の死者を出した重大事故 18

<http://www.aec.go.jp/ijest/N/C/senmon/vision/sirvo/vision02/sirvo2.pdf> の p.19/24

エネルギー	OECD		EU-15		Non-OECD	
	事故数	死亡者数	事故数	死亡者数	事故数	死亡者数
石炭	75	2259	11	234	102 1044 (a)	4831 18'017 (a)
石油	165	3789	58	1141	232	16'494
天然ガス	80	978	24	229	45	1000
LPガス	59	1905	19	515	46	2016
水力	1	14	0	0	10	29'924 (b)
原子力	-	-	-	-	1	31 (c)

(a) 1行目は中国を除く非OECD、2行目は中国 Source: Burgherr et al., 2004

(b) Banqiaoダム及びShimantanダム(いずれも中国)の決壊では合計26,000人が死亡

(c) 晩発性の死亡を除く* * Burgherr and Hirschberg (2004)は、チェルノブイリ事故の被曝による晩発性の死亡が10000人を超える可能性があると推定。

出所: S. Hirschberg, Accidents in the Energy Sector: Comparison of Damage Indicators and External Costs, Workshop on Approaches to Comparative Risk Assessment, Warsaw, October 2004 に基づく

・スリーマイル島原発事故の放射能汚染の市民、従業員への影響は無視できるほど小さかった

「スリーマイル島原発事故は核実験場やチェルノブイリ原発事故と比べて放射能汚染は格段に小さかった。市民、従業員への影響は無視できるほど小さかった。本図の例示には相当しない。→削除することが適切である。」p.35

日本原子力学会 原子力教育研究特別専門委員会(2010)「新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」p.35

<http://www.aesj.or.jp/information/kyouiku1001.pdf>

・過去の原子力事故に関する記述 (主に地理歴史、公民)の誤り

「原子力利用において過去に死亡事故を含む重大な事故を経験したことは事実であり、このことは世界の原子力関係者が深く反省しているところであります。原子力関係者は国際協力の下、過去の事故例の原因を徹底的に究明し、原子力発電利用国が情報を共有し合い、今後、事故やトラブルを起こさぬことを希求し堅い決意をもって取り組んでいくところです。」

教科書に採り上げられている過去の事故記述で正しくない記述があります。チェルノブイリ事故について「爆発事故」という表現が多く見られます。チェルノブイリ事故は重大な事故でありましたが、単に「爆発事故」という表現は核爆発を起こした事故であるとの誤解を招く表現であり適切ではありません。「原子炉が制御不能になり異常に高温となった結果、多量の蒸気が発生しその内圧で原子炉の上部が壊れ、燃料被ふく管と冷却水との特殊な反応で発生した水素が空気と触れ爆発をした。」といった正確な表記とすることが必要です。また、チェルノブイリ事故について、死亡者数、汚染の規模、被害状況および事故後の影響見通しなどは、国際原子力機関(IAEA)など信頼のある機関からの公式発表の数値に基づくことが必要です。なお、添付資料3にこれまでの主な事故などの正確な情報についてまとめておりますので、参考にいただければ幸いです。」

日本原子力学会 原子力教育研究特別専門委員会(2010)「新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」78頁

<http://www.aesj.or.jp/information/kyouiku1001.pdf>

・現行の高等学校教科書のエネルギー関連記述における A. 事実とは異なる事故、技術、データなどの記述(地理歴史 公民 15, 理科 1)

「地理歴史、公民での代表的な例は、チェルノブイリ発電所の事故例での、事故の状況の説明の誤り(世A-1 第一 P182、現社-3 実教 P22)、チェルノブイリ発電所事故での被災者数、死者数、被ばく者数、将来のガンによる死者予測、(世B-1 山川 P363、世B-2 清水 P221、現社-1 東書 P19、現社-9 山川 P14)、スリーマイル島事故での放射性物質による汚染(地A-3 教出 P16)、などがある。／また、原子力発電の安全確保、世界の原子力発電のシェア、などについての誤り(地A-3 教出 P160-161、地B-1 東書 P101)も見られ、さらには、地 14 球温暖化や燃料電池についての基本的な説明にも誤った記述(現社-3 実教 P11、P22)も見られた。／一方理科では、この分類に入るのは、放射線の計測方法についての誤った記述(物Ⅱ-1 啓林館 P276)だけであった。」

日本原子力学会 原子力教育研究特別専門委員会(2010)「新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」78 頁、<http://www.aesj.or.jp/information/kyouiku1001.pdf>

・チェルノブイリ原発事故は「放射能のあるところでは草木も生えない」という神話の誤りを照明している

国語表現Ⅱ 東書 6~10>「石棺」に芽吹く生命」写真と文本橋成一(写真家)

「「石棺」に芽吹く生命」では一般の人々の持つ放射線(放射能)への恐怖感を、この写真家の文章から感じ取ることが出来る。この恐怖感は、一つには死者の出た現場に近い場所に立っていること、放射線検出器(放射能検出器ではない)の音の変化、などが筆者の恐怖感を一層強めたことと想像する。

一方、これらの恐怖感とは対照的に、新しい生命力が芽吹き、成長していることへの感嘆を述べている。文学的には、これらの対比が重要な学習ポイントであろうが、科学的な視点からは、人間が恐怖を感じている場所でも、植物は育つと証明もされている事実があり、放射能への神話である「放射能のあるところでは草木も生えない」といわれるような影響は無かったことの証明でもある。」日本原子力学会 原子力教育・研究特別専門委員会(2010)「新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」pp.25-26

(8) 低リスク論(3) — 軽水炉型原子炉の固有の安全性論

チェルノブイリ事故は、チェルノブイリ原子力発電所特有の事情によるものであり、日本のような軽水炉は安全である

「このような大被害は、チェルノブイリ原子力発電所特有の事情によるものであります。チェルノブイリでは炉心を構成する黒鉛が燃えて 10 日間の原子炉の火災となったものであります。日本のような軽水炉ではこのような原子炉の火災は発生しません。」原子力・エネルギー勉強会「原子力発電の安全性について -- チェルノブイリ事故による健康被害」<http://www.enup2.jp/newpage52.html>

「消防士や非番の発電所職員は火災消火のために過大な被ばくをして、事故後約 1.7 年までに 39 名が死亡しました。これはチェルノブイリ原子力発電所の原子炉では構成要素に黒鉛を使用しているためで、チェルノブイリ原子力発電所の特有な事情によるものであります。わが国のような軽水炉ではこのような火災による大被害は起こらないと云えるでしょう。」原子力・エネルギー勉強会「原子力発電の安全性について -- チェルノブイリ事故による健康被害」<http://www.enup2.jp/newpage52.html>

軽水炉型原子炉の固有の安全性(自己制御性)>「水による無駄な中性子の吸収が減っても、自然に核分裂の連鎖反応が停止するように設計してあります。従って、水が減少して熱の取り出しが減っても、燃料が過熱することにはなりません。」 — 黒鉛炉のチェルノブイリ原子力発電所と、軽水炉の日本の原子力発電所では炉の構造が違う

「旧ソ連固有のチェルノブイリ原子力発電所の原子炉では、減速材として水ではなく、黒鉛(炭素)をレンガの様に積んで使っています。そしてこの黒鉛を貫通している燃料棒を収めた沢山の圧力管の中に、燃料から熱を取り出すため水を通してあります。水は中性子を吸収しますので、連鎖反応の維持には不都合な性質も持っています。特にこの原子炉では、万一水が減ってしまうと、黒鉛の減速作用はそのままですが、水による中性子の吸収が減るため、連鎖反応は激しく進行し、出力がどんどん上昇していくこととなります。水が減るとただでさえ熱を取り出しにくく、水の温度は上昇することになりますから、出力の上昇は一層加速されることとなります。チェルノブイリ原子炉の事故では、この性質による出力の増加と熱の取り出し能力の減少が同時に起こり、燃料棒の温度が上がり、ついには燃料と被覆管が融け、水と接触して蒸気爆発を起こしたのです。／一方減速材と冷却材に水を使っている日本の原子炉では、何らかの理由で水が減ったり、沸騰して蒸気の泡が出来たり増えたりすると、中性子のスピードを減速する作用が大きく減って、水による無駄な中性子の吸収が減っても、自然に核分裂の連鎖反応が停止するように設計してあります。従って、水が減少し

て熱の取り出しが減っても、燃料が過熱することにはなりません。日本の原子力発電所とチェルノブイルのそれとは、このように炉心構造そのものが違いますので、日本の発電所で同じような実験をしても、チェルノブイリ原子炉のような出力暴走はおきません。／ところで原子炉には核分裂の連鎖反応をコントロールするために制御棒がついています。制御棒は中性子を吸収する物質でできており、炉内に出し入れすることにより核分裂の発生率を調整できますので、原子炉の出力調整に使われています。もし何らかの原因で原子炉に異常が起きたら、制御棒を挿入して中性子の吸収を増やせば、核分裂の連鎖反応の進行を抑えられます。チェルノブイリの原子炉にも制御棒はありました。ただ実験の準備に手間どり出力を下げすぎてしまったので、実験前に出力を上げようとして規則以上に制御棒を引き抜いてしまったのです。実験開始後異常な出力上昇に気づき急いでこれを挿入しましたが、この原子炉では、運転員には知らされていなかったのですが、規則以上に運転員が抜いた制御棒を再び炉内に入れると、一時的に出力がどんどん上がってしまう性質がありましたので、出力上昇は一層激しいものになってしまいました。／このようにチェルノブイリはもともと安全設計が不十分な原子炉であったところに、運転員が操作ミスを重ねたために、大事故に至ってしまったといえるでしょう。近藤駿介(1995)「チェルノブイリ事故は日本で起きるか」三菱重工業 原子力事業本部 原子力 PA 推進センター編(1995)『素顔の原子力発電—モノづくりの視点から』風日舎、pp.52-53

「**原子炉の固有の安全性(自己制御性)**」・・・**ドップラー効果**(燃料ペレットの温度上昇は U235 の中性子吸収率を低下させる)、**減速材温度係数**(冷却水の温度上昇は中性子の減速効果を低減させるため核分裂反応が起こりにくくなる)、**ボイド係数**(冷却水が沸騰し水の泡(ボイド)が発生すると中性子の減速効果をさらに低減させるため核分裂反応が起こりにくくなる)はすべて負である

ウラン(U-235)などの原子核に中性子がぶつかると、原子核が分裂して2個以上の中性子ができますが、これを核分裂反応といいます。原子炉内で核分裂が始まると、核分裂生成物の運動エネルギーが燃料ペレット内で熱に変わります。燃料ペレットの温度が上がるとウラン(U-235)が中性子を吸収する割合が少し減少し、その結果、核分裂の連鎖反応は抑えられます(物理現象で、ドップラー効果といいます)。さらに、制御棒が抜けて連鎖反応が盛んになると、燃料ペレットの温度が燃料被覆管をとおして冷却水(かつ中性子減速材)に伝わります。それで水温が上昇すると、水の中での中性子の減速が悪くなるので、水を抜けてペレットに侵入した中性子が核分裂を引き起こす確率はさらに減少します。それでもなお水温が上昇し、水の泡(「ボイド」といいます)が発生すると、ますます中性子の減速は悪くなり、連鎖反応を起こす確率が減少します。／これらはすべて物理現象で、現在稼動している軽水炉(沸騰水型軽水炉BWR、加圧水型軽水炉PWRのいずれも)の特性です。この出力・熱などの反応が進むとそれを押さえ込むブレーキがかかることを、負の反応度係数をもつといいます。ドップラー係数、減速材温度係数、ボイド係数などはすべて負になっています。すなわち、これが現在の軽水炉のもつ固有の安全性(自己制御性)です。」財団法人エネルギー総合工学研究所(2007)「原子炉の安全性」

<http://www.iae.or.jp/energyinfo/energykaisetu/situmon0073.html>

圧力容器・格納容器・原子炉建屋などの存在による多重防御

「更にチェルノブイリの原子炉の構造は、圧力管を入れた炉心の困りを薄い鉄板で囲んでいるだけで格納容器がありませんでしたので、燃料や放射能はそのまま環境に出ていきました。それに対して日本の原子炉では、燃料集合体を厚さ 20mm の鋼鉄製の圧力容器に入れ、原子炉全体を厚さ 4cm 近い鋼鉄製の格納容器で覆い、さらにその回りを厚さ 1m の鉄筋コンクリートの原子炉建屋で覆っています。したがって、たとえ炉心が大きく損傷してもチェルノブイリ原子炉のように放射能が環境にどんどん放出され、あちこちに降り注ぐというようなことにはなりません。」近藤駿介(1995)「チェルノブイリ事故は日本で起きるか」三菱重工業 原子力事業本部 原子力 PA 推進センター編(1995)『素顔の原子力発電—モノづくりの視点から』風日舎、p.53

安全性の強調

「(軽水炉型原子炉の固有の安全性や多重防護など)以上のことから日本の原子力発電所では、チェルノブイリのような事故が起きるとは考えられません。しかし、だからといって安心せずに、これからも安全を最優先する考えをもち続け、プラントをいつも健全な状態で運転すべく心掛けることが、安定な電力供給の観点からも大切だと思います。」近藤駿介(1995)「チェルノブイリ事故は日本で起きるか」三菱重工業 原子力事業本部 原子力 PA 推進センター編(1995)『素顔の原子力発電—モノづくりの視点から』風日舎、p.53

(9) 低発生頻度論 — 原子力発電所事故の発生頻度の低さ

「自動車事故は毎年発生しているが、炉心損傷事故は生涯の 80 年間に一度も起こらないと考えてよい。／事実わが国では約 1,000 炉・年(各原子炉の運転年数を全原子力発電所について加算した総和)の運転実績があるが、大量の核分裂生成物を放出するような炉心損傷事故は一度も起こしていない。このことは一基(炉)の原子力発電所に換算すると、1,000 年間も炉心損傷事故を起こしていないことを意味する。／一方、確率論的リスク評価手法を用いて、わが国の原子力発電所における配管破断、機器故障の実績および人間の作業ミスなどの実情を基にして炉心損傷頻度を評価している。そして炉心損傷事故の頻度は炉・年あたり 1×10^{-7} 以下と評価されている。／原子力発電所敷地内に 10 基(10 原子炉)の原子力発電所があるとして、日本人の生涯の 80 年間にこの敷地内で炉心損傷事故を起こす頻度は、 1×10^{-7} (炉・年) \times 10(炉) \times 80(年) $= 8 \times 10^{-5}$ となる。／炉心損傷事故によって最も高い放射線被ばくをするグループでも、リスクが自動車事故と同程度であるので、事故発生頻度を考えると、原子力発電所の安全性は自動車事故よりも一万倍以上安全であることになる。)村主進(2005)「原子力発電はどれくらい安全か」『原子力システムニュース』Vol.15, No.4(2005.3) <http://www.enup2.jp/newpage38.html>

「原子力発電所の周辺の住民は、原発の重大事故に遭遇する惧れはほとんどないが、何世代かの間には重大事故に遭遇することが考えられる。たまたまこのような事態に遭遇した場合のリスクが「原発の重大事故に遭遇」のリスクである。従って原発周辺の何世代もの住民のうち、たまたま原発の重大事故に遭遇した世代に生活していた人が、過剰死亡確率で 0.005 程度のリスクに曝されるわけである。しかも、この 0.005 程度のリスクは日本人が日常的に曝されてる自動車事故によるリスクより低いか、もしくは同程度のリスクであると考えてよい。／括弧弧の「発電所周辺の住民に対して」の意味は、本文に書いてあるように「発電所周辺住民の最も被ばくするグループに対して」の意味であって、大部分の発電所周辺住民のリスクはこの値よりは低くなる。」村主進(2004)「原子力施設の事故とそのリスク」『原子力とそのリスク』原子力システム研究懇話会,p.102

(10) 低リスク論(4) — 低線量被曝の「無害性」論(しきい値論) or 「有用性」論

「原子力発電事故などでは、放射線が細胞を傷つけ、がん細胞をつくるなど、放射線の負の側面」という表現は不適切

原子力発電事故が即がん細胞をつくと短絡的に記しており不適切である→「原子力発電事故などで、多量に被ばくした場合に甲状腺がんや白血病の発症が増えるなど、放射線の負の側面が取り上げられる。」とするほうがより適切である。

日本原子力学会 原子力教育研究特別専門委員会(2010)「新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」

<http://www.aesj.or.jp/information/kvouiku1001.pdf>

(11) 「国益」論 — 「国際社会から公認されたウラン濃縮と再処理能力を有する唯一の非核兵器保有国」としての日本

最後の論点として、地域的、国際的視点から少し述べたいと思います。日本は、被爆国であり、かつ、国際社会から公認されたウラン濃縮と再処理能力を有する唯一の非核兵器保有国です。戦後国際社会における厳しい複雑な環境の中で、この状況を獲得したのは紛れもなく外交的勝利であり、原子力コミュニティの誠実な努力の積み重ねで獲得した大事な国益の一つです。一方で、この事故の後、原子力そのものに対する懐疑論だけではなく、原子力を維持するにしても軽水炉—再処理—将来の高速炉という路線に対する見直し論が強くなっています。また、この部分の将来の形は、最終的にどのような処分をするのか、という問題と不可分につながっています。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,p.7

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

(12) 「必要悪」論 — 原子力発電の「事故発生低確率」論に代わる推進論

その他の関連参考文献>大友詔雄・常磐野和男(1990)『原子力技術論』pp.260-264 の“必要悪”論争

茅陽一の発言「TMI やチェルノブイリがなかった前ならばともかく、こういう事故が起きてみると、「非常に低い確率だ」といった安全論では説得力がないと思います。ですから「原子力というのは、ある意味での必要悪ではないのか」というのが私個人の考えです。」日本エネルギー経済研究所編(1989)『エネルギーと原子力を考える』日刊工業新聞社,pp.3-4

「たしかに、TMI やチェルノブイリ事故があった以上、原子力にも問題があります。しかし、現実の問題として、原子力

もない、あるいは別の理由で化石燃料もいけない、ということになれば、人間は暮らしてはいけません。いまのような生活を今後も続けたいというのなら、必ず何らかの危険性を含んでいる技術をいかにして克服していくかを、技術ごとに考えていかざるを得ません。その場合、ある技術を一方的につぶし、他の技術の危険はないがしろにするというのはおかしなことです。そういった意味で原子力だけをターゲットにするのではなくて、**われわれのあらゆる技術が問題を抱えている**わけですから、それをどうにかして克服し、新しい提言をしていくことが大切だと思います。」日本エネルギー経済研究所編(1989)『エネルギーと原子力を考える』日刊工業新聞社、pp.4-5

福島事故以後も繰り返されている「必要悪」論

■Financial Times. London (UK): Mar 19, 2011— 現状において大きな役割を果たしている原子力発電を使用しないで済ませることは空想的 — 重要なことはリスクをうまく管理することである

But the idea that nuclear power can be abandoned is fanciful. It accounts for roughly 13 per cent of global electricity generation. **This slice of capacity cannot easily be replaced.** Its cessation would require us to tear up our decarbonisation goals. Whether we like it or not, nuclear will be with us for many years to come. (原子力発電を使用しないで済ませることができるという考え方は空想的である。原子力は世界の総発電量のおおざっぱに言って約 13%を占めている。こうした発電量は簡単には置き換えできない。原子力発電を中止すれば、二酸化炭素排出量低減という目標を破棄することが必要となるであろう。原子力発電を好むと好まないに関わらず、これからも長期間にわたってつきあっていかざるを得ない。) / **Mankind's need for energy requires us to take risks.** The important thing is that those risks are well managed. For all its terrors, Fukushima has not demonstrated that they cannot be. (エネルギーに対する人類の必要性はリスクを取ることを我々に要求している。重要なことはリスクがうまく管理されるということである。福島第一原発事故は、リスクを管理できないということを証明しているわけではない。)

“The case for nuclear power; Fukushima accident should not prompt a hasty retreat,” *Financial Times*. London (UK): Mar 19, 2011. p. 8

■ハムレ, J. (2011) — エネルギー資源が乏しい日本の脱原発は誤り

「日本が優れた原子力産業を育成してきたのは十分な理由があつてのことである。**日本はエネルギー資源に乏しく、石油、ガス、石炭の埋蔵量が少ない。このため論理的な帰結として製造業へのエネルギー供給を原子力に頼り、世界に冠たる製造業立国となったのである。**原子力発電で世界のトップクラスになる過程で、日本は原子炉部品供給の面でもグローバル市場で大きなシェアを獲得している。」ハムレ, J.(2011)「原子力放棄、むしろ弊害大 国際監視体制危うく 信頼回復、監督能力強化で」『日本経済新聞』2011年8月5日朝刊

■益川敏英(2012) — 原発のメリットから考えて負の部分の社会的許容が必要である

「原子力発電は使っていかにざるを得ないだろう。太陽光発電などへの期待はあるが、電気は基本的にはためられないので、変動の大きい再生可能エネルギーに頼るのは難しい。また、化石燃料は300年もすれば枯渇するので火力発電にもいずれは頼れなくなる。／安全性というのは基本的に取引(トレードオフ)の問題だ。たとえば自動車は便利だが、年間何千人もの死者を出す危険な存在でもある。**原発でも、これだけメリットを受けるのだから負の部分は許容しましょうという議論が公にできないといけません**」益川敏英(2012)「震災1年、日本再生の道標」『日本経済新聞』2012年3月11日

(13) 世界的な原子力発電の見直し — 2005年以降の状況(現大綱策定後の状況変化)

「欧米における「脱原子力政策」からの回帰(米;建設中止プラントの再開、仏・フィンランド;新規プラント建設、独;運転期間の延長、スウェーデン;リプレースの承認)、既導入国(中国・インドなど)のプラント建設の増大や新規導入希望国の増大(UAE, ヨルダンをはじめとする約60か国)」

原子力発電所はスウェーデンでもドイツでも主要である

「スウェーデンでは、一部の原子力発電所(12基のうちの2基)は閉鎖されたが、2005年でも発電電力量の約46%を原子力発電で賄っており、世界でも原子力比率が高い国のひとつである。またドイツも、運転開始後30年経過した発電所の運転継続はしないという政策は公表されているが、原子力発電をやめてはいない。2005年で約30%の

電力は原子力で供給されている。

「ドイツやスウェーデンなど将来の原子力発電の新規建設の禁止や年数を経た発電所を閉鎖することを検討している国もある。」とするほうが適切である。」日本原子力学会 原子力教育・研究特別専門委員会(2010)「新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」p.39

<http://www.aesj.or.jp/information/kyouiku1001.pdf>

7. 原子力発電推進論(2) -- 福島原発事故以後で注目されている擁護論

(1) 合意形成論的対応 -- 新たな国民の合意形成

■政策の見直しによる新たな合意形成の実現可能性

「現在の核燃料サイクル政策はエネルギー需給の状況と技術的展望のもとに、主に、エネルギーの確保・自立と国家の安全保障という最高レベルの国益実現のために設定されたもので、策定当時は強い国民的合意がありました。また、使用済み燃料管理の観点からは、使用済み燃料を、発電所、再処理工場、中間貯蔵などの各段階に分散することで最終処分までの時間を稼ぎ、選択肢を増やすという効果も指摘できます。処分に関連しては、使用済み燃料直接処分と再処理後のガラス固化体処分ではそれぞれ長短があり、どちらがベターかというのは一概には言えませんが、再処理をすることにより、高レベル廃棄物に含まれるプルトニウムやネプツニウムのような兵器転用可能物質が格段に少なくなり、地層処分場に対する IAEA の査察を受けなくてもよくなるという点が大きなメリットであると言えるでしょう。その一方で、これは分離したプルトニウムを燃料サイクル内に残すという課題を現世代に負わせます。蓄積するプルトニウム、高いコスト、高速炉実用化の遅れなどにより、福島事故以前にサイクル政策には懐疑論が高まっていました。福島事故により、事故炉の廃炉とそれに伴う廃棄物処理処分、環境修復とそれに伴う廃棄物処理処分に、より高い緊急性と優先度が向けられています。これらは、従来の政策を堅持するという立場からは逆風と見なされるでしょうが、これらの政策が策定された当時から状況は大きく変化しており、これを好機として政策の見直しをすることは、国民の合意形成にも不可欠でしょう。逆の、このように国民的な関心が高まり議論が進むことによって、むしろこれまで滞っていた諸懸案への対応が加速する可能性も皆無ではありません。また、これは国際社会に対するアカウンタビリティとしても不可欠で、特に2016年に予定されている日米原子力協定の改定交渉を控え、国民的合意と支持なくして有利な交渉はあり得ないと思います。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,p.5、<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

■電力価格高騰 vs 原発再稼働

「まだ使える原子力発電所を稼働停止させ、電力不足分を他の電源で補うことは、電力価格の高騰につながる。電力価格の上昇は国民負担を増やすのみならず、日本企業にも大きな負担を強いることとなり、海外に移転しやすい産業から日本を抜け出てしまう可能性も考えられる。しかし、「電力価格が高くなるので、原子力発電所を再稼働しましょう」では、原子力発電所のある地域住民のみならず、国民の納得を得ることはできない。国民のコンセンサスを得るとともに、日本企業の活力を削がない対応という非常に難しい問題に日本は直面している。」

濱崎博(2011)「原子力発電所稼働停止によるわが国経済への影響」富士通総研 Web>コラム>オピニオン> 2011年7月、<http://jp.fujitsu.com/group/fri/column/opinion/201107/2011-7-3.html>

(2) 合意形成論的対応 -- これまでの擁護論に対する社会的信用の低下・・・正当性に関する新しい主張の必要性

「これまでとは違う形で説明する方法を見つける、正当性を主張できる論理を用意する、社会の声を聞くチャンネルを広げるといったことの必要性については多くの参加学生が認識を共有」

寿楽浩太(2011)「福島原発事故を多角的に振り返るための大学院生向け国際サマースクール実施報告」p.16

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1121-05.pdf>

「福島第一原発事故は原子力利用の優位性・正当性を社会的に支えてきた論理・根拠を決定的に揺るがしている

❖ 収束と回復に向けた技術的な対応は当然の社会的義務

❖ 「それでも、原子力利用を是とする」と原子力工学者が主張するならば、それは技術的な対応のみでは完結しない

❖ 社会、経済、政治、倫理、その他、技術に関わるおよそあらゆる論点についての社会的議論に参画し、説得力のある論理を示せない限り、信頼と支持は取り戻せないのではないか」

寿楽浩太(2011)「福島原発事故を多角的に振り返るための大学院生向け国際サマースクール実施報告」p.18
<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1121-05.pdf>

(3) 合意形成論的対応 — 想定外論への反省／ゼロリスク信仰批判 — 「絶対安全」の誤謬の回避、確率論的リスク評価に基づく改善、および、対策ができていない残余リスクに対する社会的受容に関する合意形成(新たな受忍限度論)

「事故によってむしろ最先端に躍り出るとするのは逆説的に聞こえるかもしれませんが、少し考えるとそれは大いにあり得ることであることに気づかされます。しかし、危機を機会に転ずる為には、まず、「なぜ間違っただろう？」という再帰的 reflexive な問いを深めることが大事です。例えば、全電源喪失が原子炉を危機的な状況に陥れることはよくわかっていました。そのための対策は、そうならないように複数の独立な電源を備えたり、そうなったとしても電源を必要としない冷却系を装備したり、と何重にもほどこされてきました。しかし事故は起きました。「想定外」の津波や地震で仕方がなかった、と言いたいところですが、これもそう簡単にはいきません。いずれ津波が来ることは想定されていた訳で、だからこそ防波堤がありました。その高さを何メートルに設定するか、というのはもちろん大事な問題ですが、これは後に少し議論しますが、むしろ社会論的、組織論的課題です。論理から言えば、たとえ何メートルに設定したとしても、津波浸水の可能性(確率)はあるので、浸水時の対策は考えていなければならない。もし考えていなかったとすれば、あるいは、「まさかここまで極端なシナリオは起きないだろう」と考えてその先の追求を止めた時点で、「絶対安全」の誤謬が含まれていたこととなります。この一見客観的定量的で揺るぎのないようにみえるアプローチの中に、霜降り肉の中の脂身のように、あるいはスイスチーズの穴のように、分かちがたい形で「絶対安全」の誤謬が忍び込んでいる、これが実は非常に厄介なものではないかと思われまます。これは何も今回の事故に対する反省／批判に限定される訳ではなく、このアプローチそのものが持つ陥穽でないかと思えます。私がずっとかかわってきた地層処分安全評価についても同じことが言えると思えます。地層処分の場合は炉に比べれば地層という自然に依存する分 complex な部分が大いなので、むしろその度合いはもっと深刻でしょう。さらに自己批判を込めて言えば、過酷事故の分析とその対応策がまだほとんど考えられていない現在の地層処分の青写真は、非常に未熟でまだ社会の判断を仰ぐほどの段階ではないと言えるでしょう。

先ほど、シナリオ解析の追求を止めた時点で「絶対安全」の誤謬が入り込み霜降りになる、と申し上げましたが、ここは実はもう少し議論が必要です。たとえ霜降りになったとしても、だからだめだということには必ずしもなりません。その脂身の部分である残余のリスクに対してどのように対応するのか、ということがあらかじめ論じられ準備がされていれば、霜降りでもよいということになります。むしろ、どこまでもシナリオを追いかけて詰めることは理論上不可能ですから、本来そういうことも含めたアプローチであると言った方が正確かもしれません。この残余のリスクに対する対応が防災対策であり避難計画であったりする訳で、それとセットにしてはじめて全きものになる。先ほどの防波堤の高さ設定の例で言えば、5メートルにしようが10メートルにしようがそれを超えて津波が来る可能性は必ず残る。それへの対応をどうするのか、ということを明示的に検討し関係者が共有しておくということが必要となります。つまり、確率論的リスク評価が系統的に適用され、それをもとにシステムの弱点があぶり出され、それを的確に改善していく、あるいは対応策を用意するというフィードバックが不可欠です。さらに、どの程度の残余リスクを許容するのか、つまり堤防の高さを何メートルにするのか、どの弱点を緊急度の高いものとするのか、というのは残余のリスクに対する対応との兼ね合いで決められるべきもので高度に社会的・政治的な論点ですから、ここは技術論だけでは決まりません。むしろ、社会が指針を示さねばならない部分です。しかし、エンジニアの側からのイニシアティブがない限りこの議論は起きませんし、それを社会的な議論のテーブルに載せるのせ方次第ですので、エンジニアの役割は重大です。この意味において、Complex な21世紀型技術社会におけるエンジニアの役割というのはさらに重要性を増していると指摘できると思えます。しかし、reductionistic な20世紀型の工学、あるいは工学教育だけでは大きく取りこぼす部分がある、21世紀の高度な技術社会をより頑健なものにするためには、そこが課題であると思えます。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,pp.4-5

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

上記の議論は、大友詔雄・常磐野和男(1990)『原子力技術論』pp.256-260 において「“過剰”安全という新たなコスト-ベネフィット論」では、「ある限度を超えるといくら費用をかけてもほとんどリスクが減少しなくなる。そして、一つの

技術(原子炉技術)の安全性を追求して、過度に投資を行うことは、逆に、社会の限られた資源(資金)を効果的に使えなくする」という過剰安全論(p.258)としてすでに批判されている議論である。

(4) 合意形成論的対応 — 社会全体としてのマクロなコスト＝ベネフィット論の不適切性

「特に悩ましいのは、この部分で、第2点でも述べたようにリスクがあるのかどうかもわからない、そこで安全を見込んでその領域も除染するとなると今度は莫大なコストがかかります。技術的には複数のオプションとそのコストを示せますが、そこから選択をしようと思うと何をどの程度行えば解決と見なすのか、という社会的な議論が不可欠となっています。ここで注意しなくてはならないのは、工学で多用する最適化の手法が必ずしも成功するとは限らない、あるいは適切とは限らないということです。多様な因子を効用関数で表しその総和の最小化／最大化により最適解が求められるというのは、功利主義を基礎にしたアプローチですが、その結果も一つの判断材料として提供されるべきではあるものの、それが「客観的」な唯一の正解である、という思い込みは、多様な社会的議論に水をかける可能性が高い。そもそも、被曝というリスクを負う地元の避難者の方々と、その除染にかかる費用を負担する人々、そしておそらく除染作業によって潤う人々がそれぞれかなり別個の集団として存在しているため、社会全体としてのマクロなコストとベネフィットの総和は評価できるかもしれませんが、視点のスケールを小さくしていくとその分布の非均質性が無視できなくなります。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,p.6

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

(5) 合意形成論的対応 — 社会的技術的複合問題としての原子力発電問題

「最終的な政策的判断を下す位置にある人々は、自らの責任を軽くするためもあるでしょうし、その方が社会的な合意を得やすいということもあるでしょうが、往々にして、「科学的分析・研究開発の結果に基づく選択」ということを必ず言います。米国でヤッカマウンテンが中止されブルーリボン委員会ができたのも同じコンテキストです。ここには、科学技術的に自明な選択肢が浮かび上がること、あるいは画期的な新技術で複雑な社会的諸懸案を一挙に解決できるかもしれないという期待感が込められていると思いますが、残念ながら、帽子の中から鳩は出てこないのが普通です。さらに、このような社会的要因が複雑に組み込まれている状況では、ゴールをどこに設定するかという議論なしには科学技術的対応もままなりません。反面、科学技術的な定量的分析、例えばコスト分析がないと社会的議論も堂々巡りになる。この除染／廃棄物処理処分問題は、そのような状況を端的に表しています。工学、工学教育の側の課題は、そのような社会的技術的複合問題を理解しそのコンテキストの中で定量的判断材料を提供できる人材を供給することであろうと思います。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,pp.6-7

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

(6) 合意形成論的対応 — 「社会的＝合理的態度論」・・・「リスクがゼロでないなら受入れられない」という一般国民の非合理的な態度への批判、科学的＝合理的態度の「強制」論

「確率論的な扱いは、日本においてはなじまないと言われてきました。それは、一般国民は「リスクがゼロでないなら受入れられない」という非合理的な態度をするから仕方がないのだ、ということも福島事故の前にもよく耳にしました。また、そういう国民の非合理的な態度に反応するように、立地の交渉などで「絶対安全」を言ってしまい、そこからさらに何かを改善しようとしたらもう「安心」を言募るしかない、だから「安心と安全」がセットでスローガンとなったということが言われます。ここでは、原子力を進めるテクノクラートの側が国民の非合理性を嘆く気持ちがどこか含まれています。その感覚には私も同情を禁じ得ませんが、特に国民とのやり取りを必要としない技術的なところでも霜降り肉のように「絶対安全」を持ち込んでいたことになり、国民の不合理さを嘆くだけでは不公平でしょう。これは私の単なる当て推量ですが、むしろこのような霜降り的な論理のうさんくさを一般国民は直感的に嗅ぎ取ったもののそれが何であるかを明確に言葉にするすべがないのでそもそも議論の土俵に乗らないという対応で表しているのではないかと考えています。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,p.5

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

(7)「ゼロリスク信仰」批判 — ゼロリスクは無理、科学技術の本質的随伴物としての危険性(「物質文明の光と影」論)

「◆ゼロリスク無理/安全・安心を求めるあまり、リスクはすべて排除しろという「ゼロリスク信仰」も問題です。牛海綿状脳症(BSE)であれば、全頭検査という極端な対策も不可能ではなかった。でも放射能は、影響の及ぶ範囲が土地、食品などすごく広い。しかもプルトニウムもセシウムも、核実験で放出されたものがどこにでもある。それをゼロにするのは不可能です。

リスクというのは「危険度」。「あるか、ないか」じゃなくて、**程度の問題なんです**。「これ以下は平常時の値です」「これ以上は避難してください」というのはあるけれど、**年間1~20ミリシーベルトのグレーゾーンでは、個人個人でリスクを判断して、避難するのか、とどまるのかを決めるしかない**。科学者は「どうしろ」と押しつけるんじゃなく、その判断の手助けをしていくべきです。

危険なものを安全と言うより、安全なものを危険と言うほうがいいというのは予防原則として間違いではない。でも限度というものがある。がれきの受け入れで、福島第一近くの高濃度のものはともかく、宮城や岩手のがれきも一切だめというのは異常です。危険を強調する人たちは「被災地のものは何も入れるな」「被曝で奇形児が生まれる」と平気で言う。放射能の警告なら差別的なことを言ってもいいという風潮が一部の市民団体やジャーナリスト、科学者の間にさえあるのが非常に嫌です。

ネットの影響も大きかったと思います。ネットでは、個々人が見ているものが違う。危険情報を集めたい人はいくらでも集められるし、安全情報も同じです。自分の信念を強化してくれる情報にしか接しないから、端的に言えば社会が分断されてしまう。

1年たったので、東京なんかで放射能を極度に心配する人は減っていると思うんです。ただ、極端な考えから抜けられず、社会から孤立してしまう人たちがどうしても残る。そういう人をいかに減らすか。一番犠牲になるのは子どもたちです。外で遊ぶことも、普通に売っているものを食べることもできず、「放射能に効く」と称する変なものを飲まされたりする。

この分断を解消するためには、まず放射能とはどういうものかを正しく理解してもらおう。ベクレルとかシーベルトという言葉は使うのに、基本的なところがわかっていない人も多い。少人数で、参加者が疑問を出しながら初歩から学べる機会を科学者が提供できれば有効でしょう。」

「危険」説明し極論広げるな 大阪大教授・菊池誠さん — (耕論)科学者の責任 吉岡齊さん、菊池誠さん 東日本大震災1年『朝日新聞』2012年02月29日朝刊

「3.11以降、原発を絶対悪と決め付け、その廃絶こそが「正義」という論調がマスコミでは吹き荒れている。**しかし、この世にリスクのない技術は存在しない**。原子力を代替するはずの「自然エネルギー」の実力のみならず、転換するリスクや懸念材料を冷静に見つめるべきではないだろうか。」藤沢数希(2012)『「反原発」の不都合な真実』新潮社(新潮新書),208pp

「Black と Nichans によれば、**「危険“はあらゆる人間活動につきものであって、その危険を“皆無”にすること、即ち、“完璧な安全性”を得ることは不可能である**ことを、普遍的な事実として認めることから出発する。この結果、危険の“許容レベル”を定めることが必要になる。」大友詔雄・常磐野和男(1990)『原子力技術論』p.256

Black, S.C. and F. Nichans (1980) "How Safe Is "Too" Safe ?," *IAEA Bulletin*, Feb.,1980

山田太郎(1980)「『原子力工業』第26巻 第11号,pp.62-70

(8)「産みの苦しみ」論 — 最初から完ぺきな技術やシステムはない。過去の事故は社会の進歩にとっての「産みの苦しみ、育ての苦勞」であり、我慢すべきものである

「技術に輝かしい成功と苦しい失敗の歴史があるように、原子力発電の歴史にも、もちろん表と裏があるはずで。・・・しかし、技術を研究し教育する立場から、私たちは読者の皆さんに原子力発電の物語の一端として、ひとことだけ話したいことがあります。それは「技術は生きている」ということです。／いいかえれば、**最初から完ぺきな技術やシステムはない**ということ。さらにいえば、**技術も産みの苦しみ、育ての苦勞から逃れることはできない**ということ。／技術的な未熟さや失敗は、安易に認めることはできません。しかし**社会の進歩にとってそれは産みの苦しみ、育てることの苦勞、として負担していかなければ、国際的貢献はおろか、自分のよって立つ基盤も怪しくなることは間違いありません**。」秋山守;大橋弘忠(1991)『次世代の原子力発電』読売新聞社,pp.34-35

(9) あらゆる事態に直面してもなお対応が可能な頑健な新システムの構築の必要性と可能性 — 安全確保に関する旧来の考え方の不適切性は反省すべきであるが、新たな管理運用体制の構築は技術的に不可能ではない

「今回の原子力災害は、冷却機能の喪失によって被害が拡大いたしました。原子力エネルギーの安全利用の前提条件となる「止める」「冷やす」「閉じ込める」のうち、「冷やす」能力が欠如したことにより「閉じ込める」機能までもが不完全な状況に陥ってしまったことは、安全システムの基本にかかわる大きな一石を投じることになったと考えます。／原子力エネルギーの利用に関しては、従来からさまざまな議論が交わされて参りました。新エネルギーなどの代替エネルギーにシフトするべきという意見がある一方、原子力エネルギーを利用しようとする場合でも、安心につながる安全や放射性廃棄物処分の課題等は残っています。さらに、今回の原子力災害により、**原子力技術を安全に管理運用する総合力の問題が存在することを認識せざるを得ません**。改めて、原子力技術が人類にとって真に有効な科学技術となり得るのかどうかを、公正かつ謙虚に検証し直すべきと考えます。／地震による津波被害は甚大なものであります。しかしながら、**そもそも安全確保の考え方が適切ではなかった可能性があることを真摯に受け止めなくてはなりません**。**原子力エネルギーが人類のために役立つためには今後はあらゆる事態に直面してもなお対応が可能な、頑健なシステムを持つことこそが求められております。**」田中知(2011)「東日本大震災における原子力災害について」

http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/docs/GCOE_message_20110415_JP.pdf

(10) 思想論的対応 — 複雑系への工学的対応の必要性 — 還元主義的思考批判(reductionistic なもの)の見方の限界)

20世紀的 Complicated (要素分割による全体把握が可能な複雑物) から 21世紀的 Complex へ

「インターネット、遺伝子工学、ナノテクノロジーの登場により、少なくとも先進国は既に20世紀とは異なった状況に突入していると考えられます。20世紀に発展した技術／工学は複雑 complicated で精緻な人工物を生み出しましたが、その影響は世代内、地域内に留まる限定的なものでした。戦後米国で確立された Engineering Science あるいは Science-based engineering、例えば、Bird らの有名な教科書 Transport Phenomena が明確に示すように、**複雑なものも分割して考え、それぞれを美しく定式化した法則に基づいて理解しておけば、全体としてのシステムの挙動は分割したものを再びつなぎ合わせることで正しく理解できるという reductionistic なもの)の見方に基づいています**。一方21世紀に台頭しているこれらの新しいテクノロジーは影響が世代や地域を越える複雑 complex なものであり、社会、環境、材料に対する深い理解を必要とします。日本語で原子力というと水力、火力、原子力の連想で発電技術に限定されたイメージにとらわれてしまいが、Nuclear engineering といえば Civil, Mechanical, Electrical, Chemical の系譜につながるものとして捉えられ、**20世紀的 Complicated、21世紀的 Complex その両方の性格を持ち合わせる興味深いものである**ことが見えてきます。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,p.3

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

「Complex な21世紀型技術社会におけるエンジニアの役割というのはさらに重要性を増していると思えます。しかし、**reductionistic な20世紀型の工学、あるいは工学教育だけでは大きく取りこぼす部分がある、21世紀の高度な技術社会をより頑健なものにするためには、そこが課題であると思えます。**」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,p.5

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

(11) 技術的対応可能論 — 「技術的改良による安全度＝信頼度向上」論

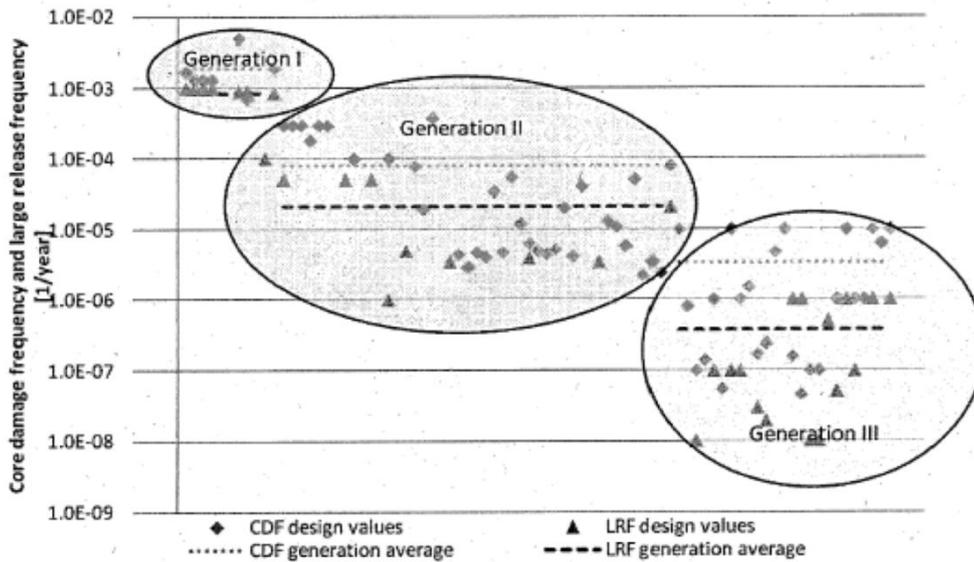
a. 原子炉の事故発生頻度の世代による差異 — 技術進歩による安全性の向上

第1世代原子炉から第3世代原子炉への技術進展に伴い、事故発生頻度(炉心損傷頻度、早期大規模放出頻度)は低減すると評価されている。

第1世代原子炉: 1950-60年代に開発された初期のプロトタイプ原子炉

第2世代原子炉: 1970-90年代に導入された商業用原子炉

第3世代原子炉: 1990年代から導入された、さらに進化的な改良が入れられた原子炉



[図の引用元]原子力委員会事務局編(2011)「原子力発電所の事故リスクコストの試算」平成23年11月10日、原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会資料集2, p.15

http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/seimei/111110_2.pdf

[図の原出所]

OECD/NEA, "Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources", 2010.

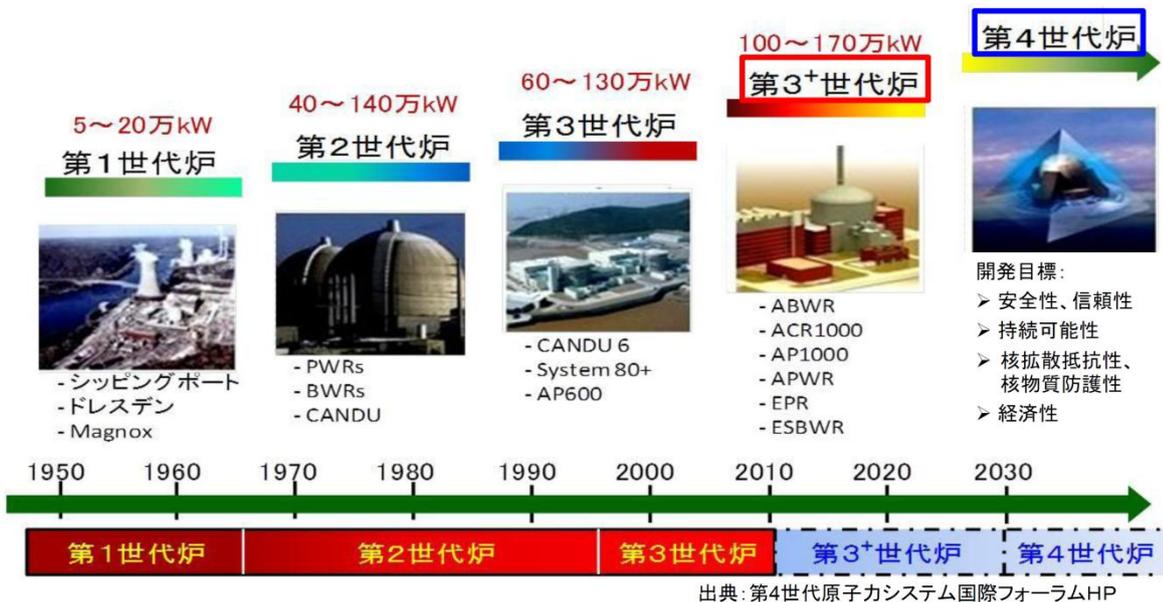
世界の発電用原子炉開発の進展

(1) 現行の発電用原子炉は、概ね第2～第3世代炉。

(2) 今後の次世代炉として、第3+世代炉(ABWR、APWR等)や第4世代炉がある。

第3+世代炉は、第3世代炉に対して静的安全系などより先進的な安全方策を導入。

第4世代炉は、2030年頃の実用化を目標として、第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF: Generation IV International Forum)の場等で開発が進められている。



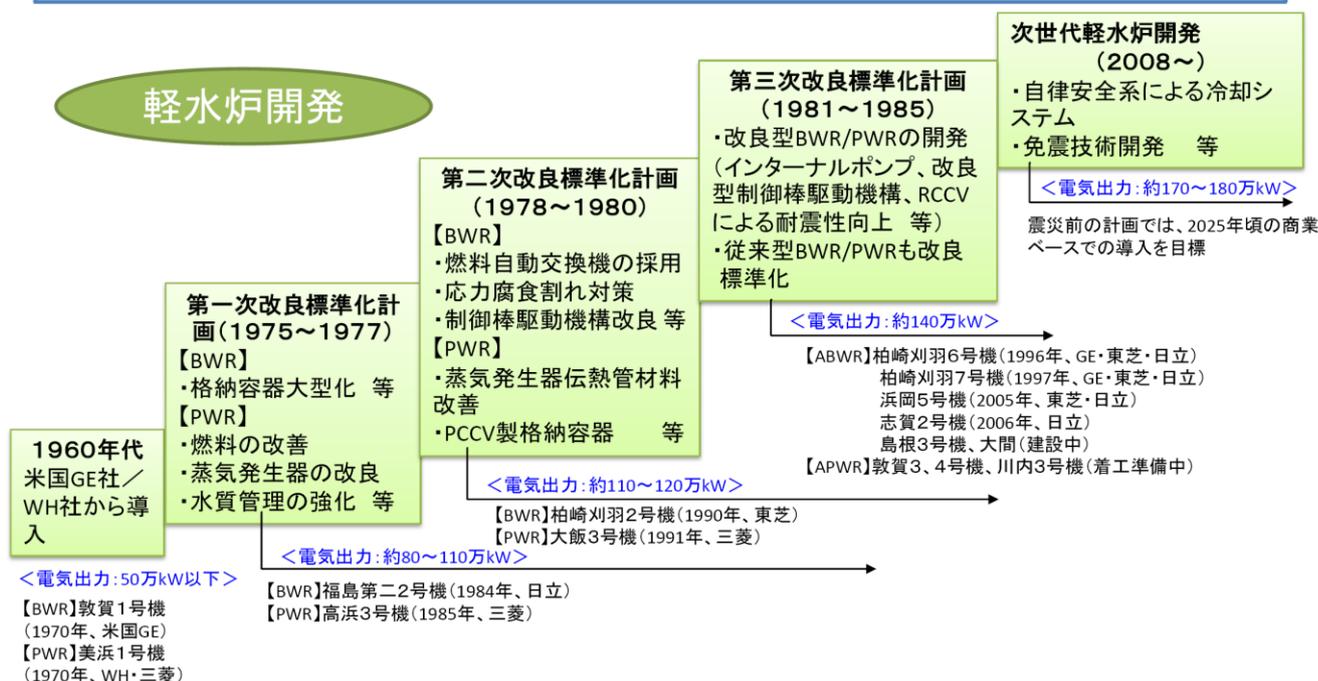
出典: 第4世代原子力システム国際フォーラムHP

[図の出典]資源エネルギー庁(2012)「原子力を巡る状況について」2012年1月-資料2-p.66

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/9th/9-2.pdf> の p.67/85

我が国の軽水炉の発展

○我が国の軽水炉技術は1960年代に米国から導入。1970年代以降、安全性向上等の改良が加えられ我が国の技術として確立。



67

[図の出典]資源エネルギー庁(2012)「原子力を巡る状況について」2012年1月-資料2-p.67
<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/9th/9-2.pdf> の p.68/85

■次世代型原発による安全性向上による低リスク化

But the truth is that nuclear generation is one of the safest and most tightly regulated forms of power generation. Aside from the Chernobyl explosion, there have been no proven deaths from radiation at a commercial nuclear power station. (原子力発電は、最も安全で、最も厳しく規制された発電形態の一つである。チェルノブイリ事故を除けば、商用原子力発電所の放射能で死者が出た例はこれまでにない。) / **Other forms of energy generation have exacted a much higher human toll.** For instance, the failure of the Banqiao dam in China in 1975 killed about 26,000 in the immediate inundation. Yet no one would use that as an argument against hydro-electric power. (他のエネルギー発電法はずっと大きな人的犠牲を必要としてきている。例えば1975年における中国[河南省]の板橋ダム(ばんきょうダム)などの[台風の暴雨による]決壊にともなう洪水氾濫によって約26,000人が溺死した。しかし誰もこの事故を、水力発電に対する反対論として使用しはしないであろう。) / **Next generation nuclear reactors will reduce risks further, not least by making more remote the possibility of the sort of reactor cooling crisis that has struck Fukushima.** (次世代の原子力発電炉は、少なくとも福島第一発電所を襲った炉の冷却ができないなどといった危機の可能性をほとんどないようにすることで、さらにリスクを減らすであろう。) / **“The case for nuclear power; Fukushima accident should not prompt a hasty retreat,”** *Financial Times*. London (UK): Mar 19, 2011. p. 8

米国の半世紀前の技術で設計された福島第一原発と異なり、最新鋭の原発はより安全となっており、最新鋭の原発であれば被曝や土地汚染は発生しなかったであろうというような主張もなされている。

「米国の半世紀前の技術で設計されたことを考慮すれば、事故時、とくに苛酷炉心損傷事故を想定していない設計であったことには留意しなければならない。たとえば、**原子炉格納容器が Mark 1 でなく最新鋭のものであったならば、環境へ放射性物質(以下、放射能と略)を放出するベント操作をする必要はなく、有意な被曝や土地汚染は発生しなかった。**そのため、まだ軽水炉技術が未熟であった時代に設計された原発は、積極的に廃炉するのが最善の安全対策である。」桜井淳(2011)『福島第一原発事故を検証する 人災はどのようにしておきたか』日本評論社, pp.11-12

b. より安全な炉の提案と売り込みの好機と見るアメリカのエンジニア

「エンジニアは、問題を発見しその対策、解決策を求めます。また、エンジニアは常に「より良きもの」を目指します。過去の失敗の原因を理解し次の製品につなげる、という思考です。現に、多くの原子力関係のエンジニア、特に米国におけるエンジニアですが、福島から得た「教訓」をベースに、より安全な炉の提案と売り込みに余念がありません。先月末に開催された米国原子力学会でもこの「教訓」という言葉がしきりと使われましたが、別に彼らは教訓を学んで蟄居謹慎しようと言う訳ではなく、それをもとにさらに「よい」（と彼らが考える）ものを作ろう、売ろうという駆動力が働いています。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,p.2

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

c. 技術的対策や制度的安全基盤を進めることにより、原子力発電所の技術的リスクは十分低いレベルにまで制御可能

田中知氏の見解(1) — 技術的対策や制度的安全基盤を進めることにより、原子力発電所の技術的リスクは十分低いレベルにまで制御可能、安全技術は進化している

「技術的対策や制度的安全基盤を進めることにより、原子力発電所の技術的リスクは十分低いレベルにまで制御可能であり、安全技術が進化していることへの認識が必要である。原子力の縮小による供給制約、我が国の国際的な影響力の低下、政策変更コスト等も考えるべきである。原子力を含む全ての選択肢を安易に手放さないことが重要であり、2030年以降も一定規模で原子力を維持すべきである。(田中委員)」

総合資源エネルギー調査会(2011)『新しい「エネルギー基本計画」策定に向けた論点整理』(平成23年12月20日),p.20 <http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/ikenbosyu/rontenseiri.pdf>

田中知氏の見解(2) — 多重防護によって安全は確保できる。原子力は人類が扱える技術だ

「福島第一原子力発電所であるような大事故が起きるとは思っていなかった。シビアアクシデント(過酷事故)の対応が十分ではなかった。大量の放射性物質の放出はどんなことがあっても防がなければいけない。それを防ぐのが私たち科学者や技術者の責務だ。それができなかつたのはいくら反省してもしきれない。

だからといって原子力発電がだめだということではない。今回の事故という特別な問題と、原子力の安全という全体の問題は違う。

エネルギー保障や産業界への貢献など、原子力はまだまだ必要な技術だ。その大前提として安全確保が重要だ。原子力発電の潜在的なリスクを認識し、いかに防ぐかが大切だ。多重防護によって安全は確保できる。原子力は人類が扱える技術だと私は思っている。」田中知(2012)「継続は必要、人類が扱える 田中知(さとる)・東大教授(日本原子力学会会長)----(東日本大震災1年 あすへの証言:中)原発は退場すべきか 田中知氏、吉岡斉氏」『朝日新聞』2012年03月15日 朝刊

Joonhong Ahn 教授(米国カリフォルニア大学バークレイ校原子力工学専攻)の見解—電源喪失対策による技術的対応が可能な問題—原子力工学の根幹を揺さぶるような事態ではない

「そういうエンジニアリング的観点からすれば、今回の事故についてまだ不明なことの多い現在でも「何を(どこを)間違えたのだろうか?」という問いに対する答えは明白です。原子炉を冷却するのに必要な電源をすべて失ったから、が答えでしょう。したがって、エンジニアリング的な解決策も、(1)電源喪失が起きないようにシステムのその部分をより頑健 robust にする、(2)電源喪失が起きても安全なようにシステムを設計し直す、例えば、いわゆる固有の安全性を備えるようにする、とかなり明確に提示できます。(1)は既存の炉に早速適用して安全性の向上が図れますし、(1)と(2)は将来の炉の設計に大いに取り入れられるでしょう。/このように考えると、今回の事故を経ても原子力エンジニアが考えるべきことは明白で、比較的単純であり、原子力工学の、あるいは原子力工学教育の根幹を揺さぶるような事態ではないかのように見えます。現に米国ではそのような見方が広がりつつあります。」

Ahn, J.(2011)「公益と工学」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,pp.2-3

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-03.pdf>

(12) イデオロギー的対応 — 日本の原子力発電技術の技術水準の高さ論>日本の原子力発電技術による国際貢献論(福島事故以前から提唱されていた議論であるが、最近も強く主張されている)

原子力発電に関する日本の高い技術力による国際貢献が必要

■米国の技術基盤の不安定化

「米国においては、スリーマイルアイランド原子力発電所事故以降 20 年以上も原子力発電所建設が停滞していたこともあり、技術基盤に不安を訴える専門家もいる。事実、現在では大型機器の製造などを海外に依存せざるを得ない状況に陥っていて、特に、我が国の優れた技術は大いに期待されている。我々は、この米国の歴史を他山の石としなければならない。」日本原子力産業会議 原子炉開発利用委員会 原子力国際展開懇話会(2005)「原子力産業の国際展開に関する提言(案)」p.4

■世界市場で高く評価されている日本の原子力発電技術 ——安全で信頼性の高い日本の原子力発電技術

「こうした我が国の安全で信頼性の高い原子力発電の技術が国内だけではなく、世界のエネルギー供給の安定や地球温暖化対策に寄与することは、原子力先進国としての我が国の国際的責務であるという過言ではない。」日本原子力産業会議 原子炉開発利用委員会 原子力国際展開懇話会(2005)「原子力産業の国際展開に関する提言(案)」p.3

「我が国における原子力開発利用の着実な進展を通じて我が国の原子力産業の技術力は世界市場において高く評価されている」日本原子力研究開発機構 経営企画部戦略調査室(2008)『「2100 年原子力ビジョン」---- 低炭素社会への提言』p.18

「このところ世界各地で原子力発電プラントの新設が行われようとしている。2007 年 11 月にモスクワで開かれた原子力発電所建設国際会議なるものにおいて、冒頭でロシア政府の見解が述べられたが、そこで「世界で原子炉を建設できる会社は5社しかなく、そのうち3社が日本」であり、ロシアは6番目の会社になれるかもしれない。そのためには日本と協力体制を築くことが重要である」と強調していた。・・・確かに、スリーマイル島事故とチェルノブイル事故以降、原子力プラントの新設はスローダウンし、大手メーカーの米国、フランス、英国、ドイツ、カナダ、ロシアでは、建設がほとんど中断していた。しかし、先進国の中で日本だけは少しずつではあるが新設炉を製造し続けていた上、新しい型式の ABWR と APWR の開発を続けてきた。・・・各国との協議の中で忘れられないのは、日本製鋼所 (JSW) 室蘭製作所のことである。世界的に原子炉が大型化し、出力 100 万 kW 以上になるとどうしても JSW の鍛造技術に依らなければならない。フランスの EPR が2基とも三菱重工を通じて JSW の圧力容器を購入したことでわかるように、米国、ロシアにおいても JSW の話題がしばしば出てくる。07 年 11 月にワシントンで開催された日米エネルギー会議における筆者の講演タイトルも、「JSW について」で依頼されるほどであった。04 年に始まった懇話会では当初、日本の実力は外国から評価されているのかという議論があったが、各国を回るうちに、そのようなことは杞憂に終わった。予想を超える評価のされ方であった。／現在、商談が進んでいるのは第一が米国である。例えば、テキサス電力から引き合いのあった三菱重工の USAPWR は日本の APWR の燃料棒を少し長くして出力を上げた米国仕様のものである。内定がきまったときちょうどワシントンにいたが、ちょっとした騒ぎだった。なぜ日本製が良いと判断したのかを関係者から聞いてなるほどと思った。／・・・フランスの連中と話をしていると、「JSW の 14,000 トン水圧プレスの威力はすごい」と感じているようで、自国用だけではなく輸出用も含めて EPR の圧力容器は JSW に頼みたいといっていた。JSW が 2010 年までに 14,000 トン水圧プレスをもう1基つくり、2010 年からは現在の年間4プラントの製造能力が 8.5 プラントに増えることになったことを知らせたとき、大喜びをしていた。フランスでも大型プレスをつくってはどうかという話をしたとき、JSW のように世界の信頼を得るのは大変である、米国も中国も JSW に頼んでいるではないかという話にもなった。

最近ではロシアも、市場を国内だけではなく東欧諸国、インド、中国などへ広げたいので、100 万 kW 以上の大型炉となると、「JSW に頼みたい、いっそのこと日本の工場を買いたい」とまでいっている。日ソ原子力協力協定の改定をこれだけ急いでいるのは、日本の技術を本格的に導入したいからと思われる。ロシアは東芝と 08 年3月に協定を結んだが、三菱重工、日立とも協定を結びたがっているようである。外務省は JSW を守るために努力している。ロシアについては、「2008 年原子力学会秋の大会」で詳しくお話をすることになっている。」

神田啓治(2008)「日本の原子力産業の実力」『原子力学会誌』Vol.50, No.7, 2008, pp.410-411

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/atomos/kantou/jiron08-7.pdf>

■世界の原子力メーカーは、日本企業を軸にした 3 大グループに集約 ——日本企業の力を借りなければ、原子力プラントの新設は不可能

東芝がウェスチングハウスを買収、GEと日立で新会社設立、三菱重工業と仏アレバ社が事業提携

「最近の原発需要は、2005年、ブッシュ米大統領の包括エネルギー法案署名が転換点となり原発建設再開に向けて舵を切る。しかし、30年間原発建新設を凍結してきた米国では、多くのメーカーが原子力事業から撤退し、プラント新設技術はやせ細っていた。こうした“原発冬の時代”にも、日本では安定した原発建設実績があり、たしかな技術を継承してきた。

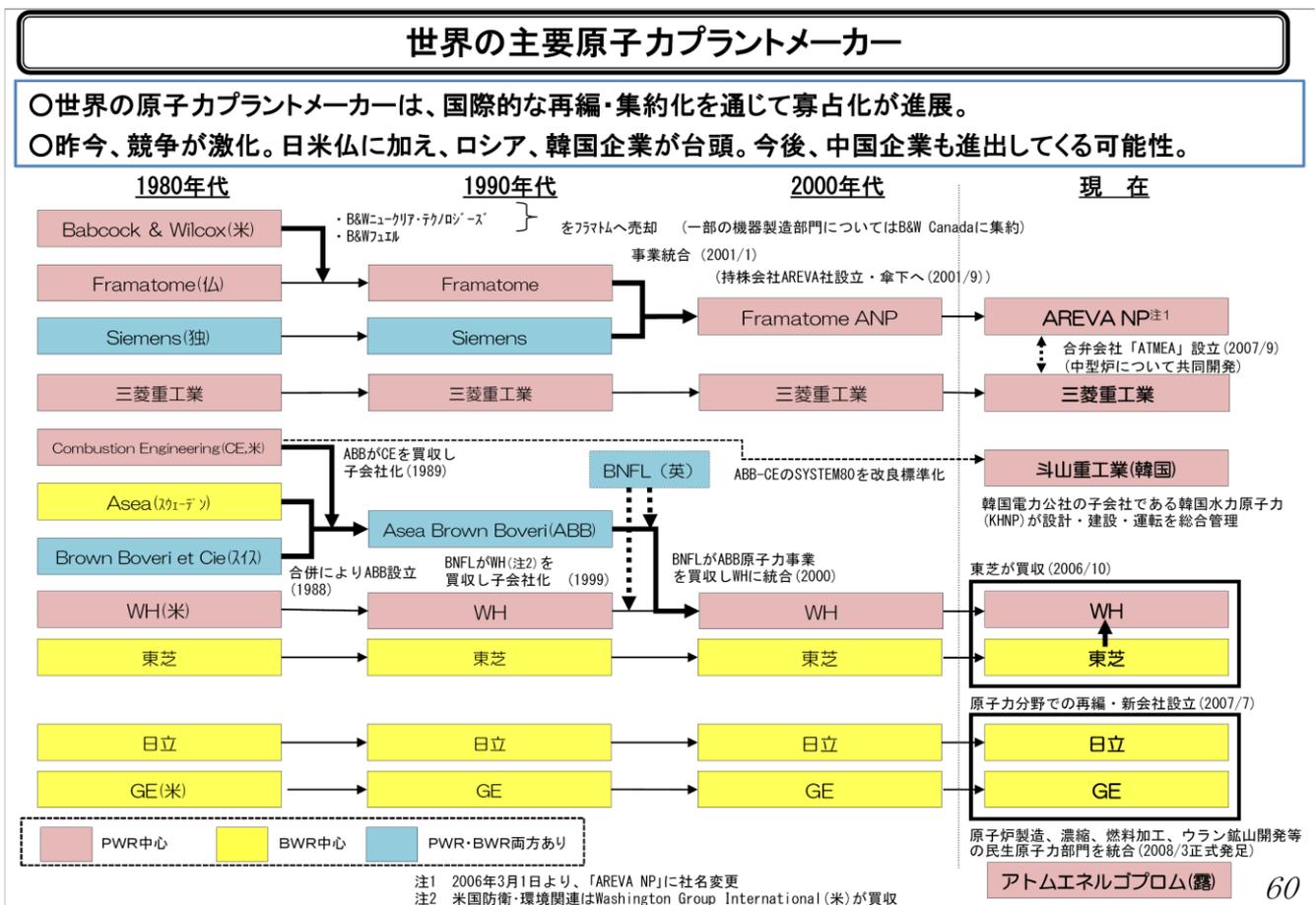
各国のエネルギー政策の転換は、原子力メーカーの世界的再編につながっていく。米国の名門ウェスチングハウスは東芝に買収され、GE(ゼネラル・エレクトリック)は日立製作所と新会社を設立した。そして、世界の主流を占めるPWR陣営では三菱重工業と仏アレバ社が2006年に中型原子力プラント開発で事業提携を発表することで、世界の原子力メーカーは、日本企業を軸にした3大グループに集約されることになった。

今や日本企業の力を借りなければ、原子力プラントの新設は不可能とさえ言われる。中でも、三菱重工業には1970年の関西電力美浜発電所1号機を皮切りに、関西、九州、四国、北海道の国内電力事業者にPWRプラントを23基納めた実績(もちろんトップシェア)がある。新設並びに既設原発のアフターメンテナンスを通して培った、たしかな技術がある。

当初、国内原子力プラントの寿命は「30年」と言われたが、今は「60年」。大型主要機器のリニューアルによって稼働期間を安定的に延ばす長寿命化対策も、「世界初」の実績を多数有する重要な技術であり、今も多くのプラントで工事が進められている。さらに、70~80年代に建設された初期の原子力プラントは、あと20年もすればリプレース需要が見込まれており、原子力プラント技術者を必要とする理由の一つになっている。」

「三菱重工業の挑戦！発電プラントを創る技術者の闘い」

Tech総研トップ>スキルとキャリア>最新技術 http://rikunabi-next.yahoo.co.jp/tech/docs/ct_s03600.jsp?p=001193



[図の出典]資源エネルギー庁(2012)「原子力を巡る状況について」2012年1月-資料2-p.60

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/9th/9-2.pdf> の p.61/85

■資源枯渇に対抗するための技術的手段としての、原子力発電 — 原子力発電による資源問題への平和的な解決

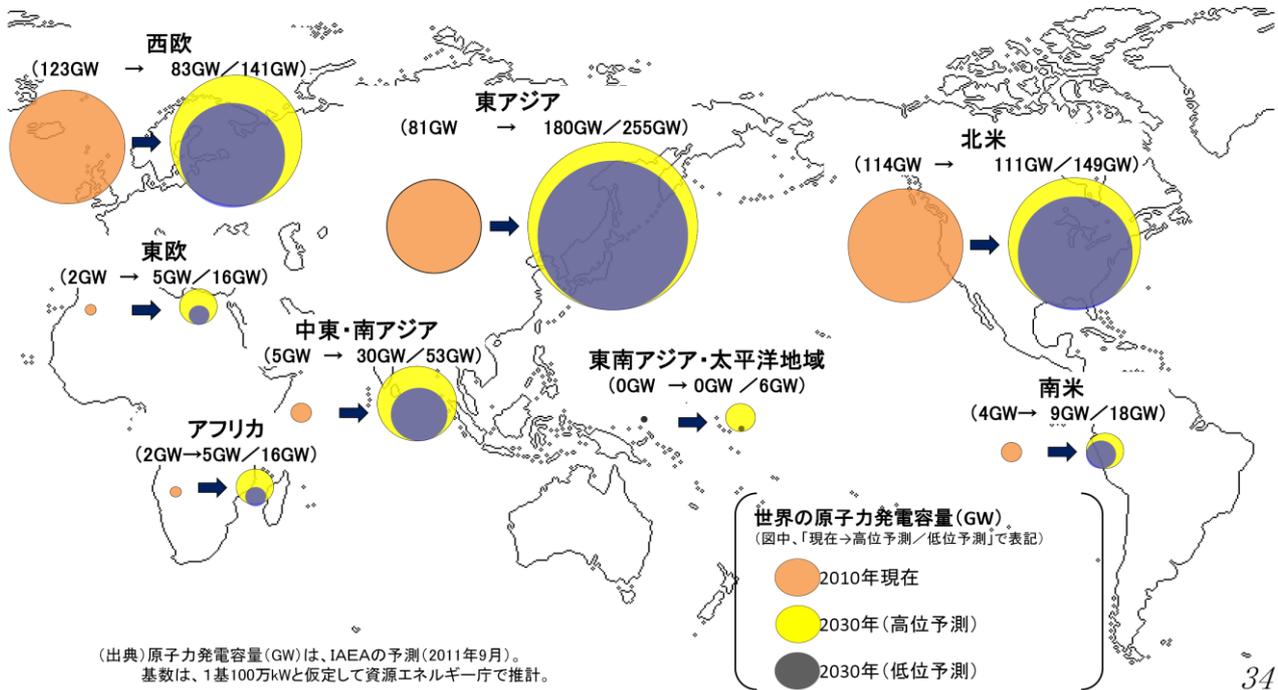
「我が国で実証されている安全な原子力発電の技術と経験を国際展開、特に近隣アジア地域のために活用することは、近隣アジア地域の生活向上に向けてのインフラ整備を支援し、かつエネルギーの安定供給、ひいてはエネルギー安全保障の確立に資することができる。原子力の国際展開は、我が国の原子力技術の維持・継承の場を我々に提供し、産業の活性化を図るばかりでなく、国際社会に寄与する、いわば「開かれた国益」(前回長期計画策定会議第6分科会報告書より)として推進すべきものである。/ 世界のエネルギー消費量は、中国を筆頭に近隣アジア地域を中心として急激に拡大し、2100年には世界全体で現在の3倍以上になる可能性がある。特に中国では、電力需要の伸びだけで、毎年関西電力1社分(1,400億 kWh/年)に相当する需要増に直面しており、近隣アジア地域の石油輸入は、2030年に現在の3倍以上にも達すると見込まれている。供給面では、ここ20年ほど新たな油田発見量が生産量を下回るなど、資源枯渇論が真剣に議論されるような状況となっており、今後、世界では激しい資源獲得競争が繰り広げられるであろう。このような情勢の中、積極的な原子力国際協力を推し進めることは、資源問題への平和的な解決の道を目指すことにもなり、同時に我が国の「開かれた国益」の理念のもとに相互に共存共栄を追求することにもなる。」日本原子力産業会議 原子炉開発利用委員会 原子力国際展開懇話会(2005)「原子力産業の国際展開に関する提言(案)」p.2

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/wg2004/wg03/sanko1.pdf>

■世界における原子力発電の見通し

世界の原子力発電の見通し

- IAEAは、2030年までに、世界の原子力発電所の設備容量は30～100%増加すると予測。(原子力発電所(100万kW級)の基数換算で、130～370基程度増加(年間7～20基建設)(2011年9月))
- 東アジア、東欧、中東・南アジア等で大きな伸びが予想される。



[図の出典]資源エネルギー庁(2012)「原子力を巡る状況について」2012年1月-資料2-p.34

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/9th/9-2.pdf> の p.35/85

■原子力利用の世界的傾向 — 現在原子力発電導入国は31ヶ国だが、さらに60ヶ国以上の未導入国で原子力発電の導入建設を既に決定するか、積極的に検討中である

「原子力利用の世界的傾向(主に地理歴史、公民)／スイスでは既に2003年5月の国民投票で原子力新設のモラトリアムを否決して3基の新規建設が申請されています。また、これまで既設炉の増出力に取り組んで来たスウェーデンでは2009年2月に脱原発政策を撤廃する長期エネルギー政策を発表して既存原子力発電所の運転継続と順次リプレースの方針を示しました。1998年に全て閉鎖したイタリアでは2009年7月に原子力推進の法案を可決して

電力会社は4基建設の検討を開始しました。英国では2009年4月に政府が新規建設の評価のために11の候補地点を選定しました。さらに、既に新型軽水炉EPRを建設中のフィンランドでは2基目のEPR建設を計画しています。フランスも2004年6月に電力会社がEPRの建設を決定し更に大統領は2基目のEPR建設の方針を公表しています。ごく最近では、2009年10月ベルギー政府は2015年に閉鎖予定だった3基の原子炉の運転を10年間延期する決定を行いました。オランダでは電力会社が建設準備に着手したと発表しています。ドイツも脱原発政策の見直しに動いており、ポーランドは2004年12月にリトアニア、ラトビア、エストニアと2基共同建設を閣議決定しました。27基2319万kWが稼働中のロシアは現在の原子力発電量シェア16%を2020年に25~28%に増大する目標を持っています。その他にも、チェコ、スロバキア、スロベニア、ブルガリア、ハンガリー、ルーマニアなどが原子力発電の拡大を計画しています。

欧州以外では、米国で多数の電力会社が次々と新規建設計画を公表して安全規制当局に許認可を申請しています。17基277万kWが稼働中のインドは2020年までに2000万kWに拡大、11基912万kWが稼働中の中国では2020年までに3600万kWに拡大するとの野心的な原子力増大計画を持ち、ベトナムなど東南アジアや原油産出国である中東諸国でも原子力導入計画を公表しています。現在原子力発電導入国は31ヶ国ありますが、さらに60ヶ国以上の未導入国で原子力発電の導入建設を既に決定するか、積極的に検討中です。

日本原子力学会 原子力教育研究特別専門委員会(2010)「新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」78頁

<http://www.aesj.or.jp/information/kyouiku1001.pdf>

■「責任能力に乏しい国」=新興国を中心として世界の多くの国で原子力発電が推進される — 日本の原子力発電技術で安全度が増加する

「中国は、原子力発電をやめるつもりはない。そして改めていうまでもなく、日本は中国の原子炉の風下にある。インドも原子力発電をやめない意向だし、韓国、南アフリカ、ブラジル、パキスタン、イランもそうだ。たとえ日本が打ち切っても、世界の多くの国は原子力発電を推進するだろう。

だが原発の建設と運転に関して、しっかりしたグローバルスタンダードを定める役割は、誰が果たすのだろうか。また、世界の商用原子力発電産業を監督し、「商用運転」を隠れみのに核兵器製造に手を染める行為を防ぐ役割は、誰が果たすのだろうか。

現時点では、この役割を国際原子力機関(IAEA)が担っている。そして、IAEAで主導的な役割を果たしてきたのは日本と米国である。両国は、無謀で無責任な原子力利用に乗り出す国をIAEAが確実に取り締まれるよう努力してきた。もし日本が原子力発電を断念したら、再び推進に転じた米国の原子力政策も打ち切られる可能性がある。ドイツ、イタリアも脱原発の路線を打ち出した。

責任能力に乏しい国の商用原子力開発には国際的な監視体制が必要だが、日米両国が原子力発電をやめたら、そうした仕組みを形成し主導できる国がなくなってしまう。日米両国が原子力発電から撤退し、両国の安全思想にくみしない国々が原子力システムの運営責任を担う事態となれば、日本も米国も今よりはるかに安全でなくなるだろう。

日本の人々が原子力産業から手を引きたいと考えるのは理解できる。だが脱原発は、長い目で見て日本をより安全にするとはいいがたく、大きなリスクを長期的に抱え込む状況につながるだろう。」

ハムレ, J.(2011)「原子力放棄、むしろ弊害大 国際監視体制危うく 信頼回復、監督能力強化で」『日本経済新聞』2011年8月5日朝刊

■国際的核管理及び原子力の平和的制御における国際的責任としての、原子力に関する技術基盤と専門人材の保持

「多重防御」への信頼が喪失し、原子力政策は抜本的見直しが必要である。しかしそれでも、国際的核管理及び原子力の平和的制御における国際的責任として原子力に関する技術基盤と専門人材を保持すべき。「火を使うサル」として進化した人類が「原子核の操作」に踏み込み、「パンドラの箱」を開いたことを自省しつつ、責任ある制御に向かう文明的自覚を持って、戦略的判断として原子力を一定比重維持すべきである。(寺島委員)「総合資源エネルギー調査会(2011)『新しい「エネルギー基本計画」策定に向けた論点整理』(平成23年12月20日),p.20

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/ikenbosyu/rontenseiri.pdf>

■アジア諸国における原発の安全性は日本の安全保障にも直結

「世界中で原発が増えていく中、その徹底した安全運用が不可欠である。アジア諸国における原発の安全性は日本の安全保障にも直結する。より安全な原発の実現に向け、さらに高度な技術開発を通じて世界に貢献すべき。原子力技術の維持・向上には現場の確保が重要であり、現状のオペレーション規模を縮小すれば技術の維持・開発は困難となる。年単位の備蓄が可能であるという安全保障上の価値を認識することも重要である。純粹に平和利用のみに徹することのできる我が国が、この分野で大きな役割を果たすことは大変重要であり、世界から期待されることもある。(槍田委員)総合資源エネルギー調査会(2011)『新しい「エネルギー基本計画」策定に向けた論点整理』(平成23年12月20日),p.20

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/ikenbosyu/rontenseiri.pdf>

「日本の科学技術力を駆使して安全性の格段に優れた原発技術を開発し、我が国の基幹エネルギーの一つとして位置付け、国際エネルギー問題の解決に貢献することが、ものづくり立国、科学技術立国として志向すべき方向である。(榊原委員)総合資源エネルギー調査会(2011)『新しい「エネルギー基本計画」策定に向けた論点整理』(平成23年12月20日),p.20

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/ikenbosyu/rontenseiri.pdf>

(13)「優秀性」論

「この約30年間という短い期間に、原子力発電は基盤電源と呼べるほど逞しく成長しました。その技術進歩は、過去のどの電源の開発に比べても速く、かつ圧倒的に優れたものであったと思います。」秋山守;大橋弘忠(1991)『次世代の原子力発電』読売新聞社,p.34

「わが国の原子力発電の設備・技術は、いまや世界一流の水準に達しました。初期的な故障やトラブルも克服し、多少の余裕も出てきました。」秋山守;大橋弘忠(1991)『次世代の原子力発電』読売新聞社,p.35

「成熟」論

「近年、あちこちで記念の行事が開かれ、「原子力発電は成熟した」といわれるようになりました。壮年とか熟年とか、言葉はどうあれ「ようやく大人になった」というのが大方の関係者の気持ちだと思います。」秋山守;大橋弘忠(1991)『次世代の原子力発電』読売新聞社,p.12

8.「Alternative Technology」論的次世代原発論

(1) 小型化・長寿命化を優先目標とする「Alternative」原子炉技術の開発

a. 小型化・・・立地問題対策、海外進出対策

「原子力界では今盛んに小型炉の議論が行われている。この議論は以前からなされているが1、2)、昨今は行き詰まった立地問題を解決できるのではなかろうかとか、これからは海外への進出を目指すべきだとかいったことで期待されているようである。」

「開発途上国への輸出とか、今まで考慮されていなかった立地場所を念頭においた原子炉について考えた場合、このような原子炉の満たすべき条件として、長寿命、小型、安全、シンプル、可搬型で核拡散抵抗性といったものが考えられる。本論に入る前に、これらの特性について吟味しておこう。これらの中には御互いの相性が良いのと悪いのがある。例えば可搬型にしようとする、小型にせざるを得ないわけで、小型と可搬型は大略同じことと考えられる。このような観点からこれらの条件を調べていくと、長寿命と小型といったところが設計上基本となることがわかる。即ち、長寿命で小型となると、原子炉の完成品を現地に運んで据え付け、そこで一定期間運転したら、新しい原子炉と取り替えるシナリオとか、バージ搭載型の原子炉プラントを作りこれをそのまま現地に運び、適当な海岸に設置するといったシナリオとなる。この場合、現地での燃料交換といった高度で且つ複雑な機器を使った作業は必要ではなくなり、原子炉の維持管理はシンプルなものとなる。安全性も一般に高まる。即ち、小型になると炉心内にある燃料や放射性物質の量が減少するとか、事故時に熱が炉心外に逃げやすいとか、出力分布が安定するといった安全上好ましい特性になる。特に高速炉ではボイド係数を負にしやすいう大きな安全上のメリットが生じる。このようなことから長寿命小型炉は安全、シンプルと非常に相性がよいといえる。また先に述べたシナリオでは、原子炉は現地でも運搬時でも常に密閉されていて、燃料を取り出すことができない。このようなことから核拡散抵抗性も格段と高くなる。核拡散抵抗性に関しては、日本は今まで受身の状態が続いており関心が薄い、アメリカ等の軍事大国は非常に関心を持っており、日本がこれから原子力を輸出産業として発展させたい場合、十分に考慮を払わねばならない。

以上でまず長寿命小型の原子炉を考えることが基本であることを述べた。そして長寿命小型が達成された場合、他の必要な要求を満足することは比較的容易であることを述べた。ところで最後に残った長寿命と小型であるが、これらは対で現れることが多く、小型炉は長寿命にし易いと思っている人がかなりいる。ところがこの長寿命と小型は片方をより良くすると他方が悪くなるという関係になっている。というのは小型にすると中性子の漏れが大きくなり余分の中性子がなくなる。すると燃料が燃焼するとすぐ未臨界になってしまう。逆に長寿命の炉を設計しようすると臨界にしやす大きな炉の方が容易となる。即ち長寿命小型炉を設計しようすると中性子経済(消費する中性子と発生する中性子のバランス)を非常に良いものにしてやる必要がある。ではどうして長寿命と小

型が相性のよい性質だと誤解する人がいるかという、これらの人は小型の意味を低出力と考えている。そして低出力即ち低出力密度というわけで、これなら燃焼速度は遅くなり、寿命が延びるわけである。しかし、これではここで議論している小型とは意味が違ってくる。ここでは出力だけ小さくても、体積の大きい炉は小型炉とは言わないことにする。

長寿命と小型は余分の中性子を取り合うかたちとなるので、できるだけ中性子経済に優れた原子炉を考えることが根本的な解決策となる。現在、中性子経済の劣る軽水炉でも長寿命化が図られているが、ここではもっぱら濃縮度を上げることによって実現しようとしている。このような方法では初期余剰反応度が高くなりすぎ、無駄な中性子が多くなりすぎるとともに安全上も問題が生じる。このようなことを考えると、余剰反応度をできるだけ小さく抑えて寿命を長くする必要がある。高速炉を用いれば、核分裂性核種の内部転換率を高くすることができ、少ない余剰反応度で長い寿命を達成することができる。」関本博「鉛ビスマス冷却長寿命小型安全炉(LSPR)」東工大原子炉研研究室

<http://www.nr.titech.ac.jp/~hsekimot/LSPR.html>

b. 長寿命化

c. キャンドル炉 (candle 燃焼方式炉)

現在の軽水炉型原子炉で問題とされる使用済み燃料ウランの再処理・濃縮の必要がなく、ウランを約 40 倍も有効活用できる

「蠟燭のように自然に燃焼(核分裂によりエネルギーが発生することをこう言う)していく原子炉で簡単に安全な原子炉を設計できる原子炉が関本研から提案されました。これを特別な高速炉で用いると、濃縮も再処理も必要とせず、天然ウランの40%も利用できることが明らかとなりなした。」東京工業大学・関本研究室ガイド 2006、<http://www.nr.titech.ac.jp/~hsekimot/annai06.pdf,p.2>

d. 鉛ビスマス冷却長寿命小型安全炉 (LSPR) …ニュークリア・バッテリー

LSPR * メンテナンスフリー・経済的リスクが少ない・核拡散抵抗性などの要件を満たす原子炉として、海外への進出も期待されています。

「現在利用されている原子炉は大きすぎて応用がききません。関本研で研究しているニュークリアバッテリーは運搬が容易で、しかも運転が簡単です。もちろんとても安全です。このような原子炉だとどこでも簡単に利用できます。少し工夫すれば宇宙や海底等でも利用できるでしょう。もちろんすべていいことだけというわけにはいきません。経済性を始めいくつかの問題があります。」東京工業大学・関本研究室ガイド 2006、<http://www.nr.titech.ac.jp/~hsekimot/annai06.pdf,p.2>



9. 増殖炉問題

「核分裂炉は完成したと考えている人が大勢いますが、現在運転されている軽水炉だけを使っていたのでは、ウランのごく一部しか利用することができず、近い将来にウラン燃料も枯渇してしまうと考えられています。ウランをほぼ完全に利用しきる増殖炉の完成を見ずして、原子力エネルギーでエネルギー問題を解決したとは言えません。」東京工業大学・関本博研究室ガイド 2006、<http://www.nr.titech.ac.jp/~hsekimot/annai06.pdf>

「15年ぶりに運転を再開した「もんじゅ」。「新しい」原子炉としての期待を一身に背負って試験運転に入ったのですが、まもなく事故を起こして止まっていたのでした。運転再開後もトラブルが続き、いままた再開の目途は立っていません。/ 本書では、高速増殖炉と呼ばれる古くて「新しい」原子炉の基本的な仕組みや過去の事故、根本的な危険性を解きほぐし、高速増殖炉の実用化が困難で、世界は開発撤退の流れであることを分かりやすく解説しています。」

関本博(2010)「東京工業大学・関本博教授インタビュー Vol.2 “もんじゅ”一本で大丈夫なのか？」日本電気協会新聞部>電気新聞ニュース・スペシャル 2010/07/05

「現在、世界で高速炉が動いている唯一の国であるロシアも、ナトリウム冷却炉だけではなく、鉛冷却炉の研究開発も進めています。ナトリウム冷却炉で世界の先頭にいるロシアが、なぜ別の選択肢を確保しようとしているのか、その意味をもう一度よく考えてみるべきではないでしょうか」

10. 原子力発電批判論(1) -- 伝統的批判

(1) 「自主・民主・公開」論的視点からの批判

日本における原子力開発のあり方を「自主・民主・公開」という原子力3原則の視点から批判するのは、1950年代から現在にいたるまで変わらない基本的批判視点である。

「自主」という原則からは、日本における原子力発電技術が基本的には「導入技術」であり、非自主技術であることが批判される。「民主」という原則からは、福島第一原発事故以後マスコミでも積極的に取り上げられているように、原子力の研究開発体制の非民主性が「原子力村」という形で批判されている。「公開」という原則からは、東京電力をはじめとした原子力発電事業者における事故隠しなどの「隠蔽体質・秘密主義」が批判されている。

「自主・民主・公開」原則に基づく「秘密主義」批判

「現在の秘密主義や一方的な推進姿勢を改めさせること、真に「自主・民主・公開」の原則が忠実に守られる社会状況を作り出すことが何よりも重要な課題」北村洋基「人類の技術としての原子力」日本科学者会議編(1990)『原子力と人類—現代の選択』リベルタ出版所収,p.196

(2) 「経済性・効率性」優先批判・・・「安全性軽視」・「基礎科学軽視」批判

「これだけの莫大な研究投資のなかでこれまで述べたような現在の発電体系の安全上の問題を抜本的に解決しようという研究はほとんどなされていないのではなかろうか。たとえば ABWR、APWR などとよばれる改良型軽水炉の開発はおこなわれているが、これは先に述べた固有安全性などを追求したものではなく、むしろより一層の効率化、経済化の追求がその出発点となっている。」b. 館野淳(1990)「これからの原子力研究開発」日本科学者会議編(1990)『原子力と人類—現代の選択』リベルタ出版,p.206

(3) 「技術的未熟性」「技術的不完全性」批判 — 科学的可能性はあるが、技術的には未確立で未成熟な技術 or 不完全な技術である

「第一に、原子力についての科学と技術との区別と連関を考えなければならないということである。すなわち、原子力の科学研究、応用可能性の追求は決して否定すべきではないということと、しかし技術としては原子力はまだ未確立であるということとの区別と連関を認識しながら、問題に接近するということである。」北村洋基「人類の技術としての原子力」日本科学者会議編(1990)『原子力と人類—現代の選択』リベルタ出版所収,p.195

「人類の歴史で、日の目をみずに放棄された技術は数多くある」北村洋基「人類の技術としての原子力」日本科学者会議編(1990)『原子力と人類—現代の選択』リベルタ出版所収,pp.195-196

(4) 地震国日本における原子力発電所設置の危険性

(5) 再処理問題／「核のゴミ」(廃棄物の最終処理)問題

(6) 核物質の輸送プロセス・保管などに関わる危険性

(7) 原子力発電の熱効率の低さ — 大量の温排水問題

(8) 再生可能エネルギーの無限性・・・化石燃料と同じく、ウラン燃料の本質的有限性

再生可能エネルギー比率の引き上げ問題・・・日本における再生可能エネルギーの利用比率は、1次エネルギーにおいても、電力においても欧州よりも低い

「原子力エネルギーで賄っている電力の部分は、太陽光・風力・地熱などの再生可能エネルギーに徐々に切り替えていくべきだ。再生可能エネルギーでつくった電力の固定価格買い取り制度ができたことも、脱原発の後押しになる。／原子力エネルギーは放射性廃棄物という難題も生み出した。必要は発明の母。原子力や核融合研究に投じている莫大な予算を振り向ければ、低コストの再生可能エネルギーの開発は可能だと思う。エネルギーを浪費しない生活も考える必要がある。」梅原猛(2012)「これからの哲学、梅原猛さんに聞く——自然中心が人類存続の道」『日本経済新聞』2012年1月7日夕刊

(9) 「科学技術文明批判論」「物質文明批判論」—— 現代的科学技術文明が内包する「根本的欠陥」論

「西洋近代哲学は、フランスの哲学者デカルトの言葉『我思う、故に我あり』に象徴される。『我』つまり人間中心主

義だ。自然は人間の理性に対峙するもので、自然科学的な法則で抽象化してとらえられるとした。この思想にのつった科学技術の発展は豊かで便利な社会を生み出した。現在の科学技術文明です。だが、デカルト哲学は自然支配を肯定したから、深刻な地球環境の破壊ももたらした。・・・私の中で自然中心主義と太陽の思想が合わさったことは重要だった。エネルギー問題を包含する新しい哲学の土台を得たと感じた。科学技術文明の主なエネルギー源の化石燃料は、太陽の恩恵を受けた動植物の死骸の堆積物。環境問題の面から、化石燃料を介さずに太陽や自然の恵みをもっとじかに受けるにこしたことはない。自然を支配するのではなく自然と共生することで、人類は末永い繁栄を図れる。」梅原猛(2012)「これからの哲学、梅原猛さんに聞く——自然中心が人類存続の道」『日本経済新聞』2012年1月7日夕刊

(10) 「企業倫理的責任」論 - 事故発生時の損害保険に入ることができないような事業や賠償責任を果たすことができない事業に取り組むべきではない(事業者責任を全うすることができない事業を行うべきではない)

原発はチェルノブイリ事故や福島第一原発事故のように大きな事故が実際に起きた時に賠償責任を果たすことができないような事業に取り組むことは許されない・・・モラルハザードや無責任体制出現の原因になる

「いま原発が稼働できているのは、その潜在的危険性を国家＝税金に追わせていて、広い意味での「外部不経済」によって原発の企業経営が成り立っているからです。しかし、もし外部不経済に依存するのではなく、安全や環境への配慮を「内部化して」経費に計上して原発のコストを算定しようとするのであれば、どんな原発事故を想定して設計計算するのが、本気で問われることとなります。」湯浅欽史(2005)「近代技術の性格と事故」原発老朽化問題研究会編(2005)『老朽化する原発 -- 技術を問う』第5章、原子力資料情報室,pp.100-101

「保険会社すら尻込みする事態を外部不経済として享受しようとする、当事者責任を回避して自分に都合のよい経済性を、国家の後ろ盾で追い求めようとするものです。外部不経済を不問に付して目先の経済性に勝る技術は、市場原理によって、永続性ある技術を駆逐していきます。グローバル化がその傾向を強め、南北格差を広げます。原発によって一時的に利益を得る少数者と、生活を破壊される多数者に別れていきます。」湯浅欽史(2005)「近代技術の性格と事故」原発老朽化問題研究会編(2005)『老朽化する原発 -- 技術を問う』第5章、原子力資料情報室,p. 101

(11) 安全性確保のための投資を回避するための論理としてのリスク論 —— 安全対策コストとリスクのバランスを考えることの問題点

「本来、リスクを考えるということは、これだけのことをしているから安全ですと宣伝することではなく、万一の事故の危険性を考えて、いかにして事故に至らないようにできるかを検討するためです。／最近の原子力界のリスクに関する表現を見ていると、本気で事故のことを考えて対策を立てようという姿勢には見えません。むしろこの程度のリスクなら何もしなくても問題ないという為にリスクということを行っているようで、言い訳の道具としてリスクを論じているようです。維持基準の導入こそまさに事故のリスクを大きくするものと言わざるを得ません。特に、安全と安心は別のことで、「原子力プラントは安全システムが多重化されているから安全だが、人々に安心してもらう努力が足りないことが問題だ」と言ってはばからない議論がなされています。そうした議論は、客観的な欠陥やトラブルやそれが持つ潜在的な大事故の危険性をきちんと位置づけていない、ひとりよがりの考え方だと思われます。」柴田宏行(2005)「設計技術からみた維持基準の意味」原発老朽化問題研究会編(2005)『老朽化する原発 -- 技術を問う』第4章、原子力資料情報室,p.90

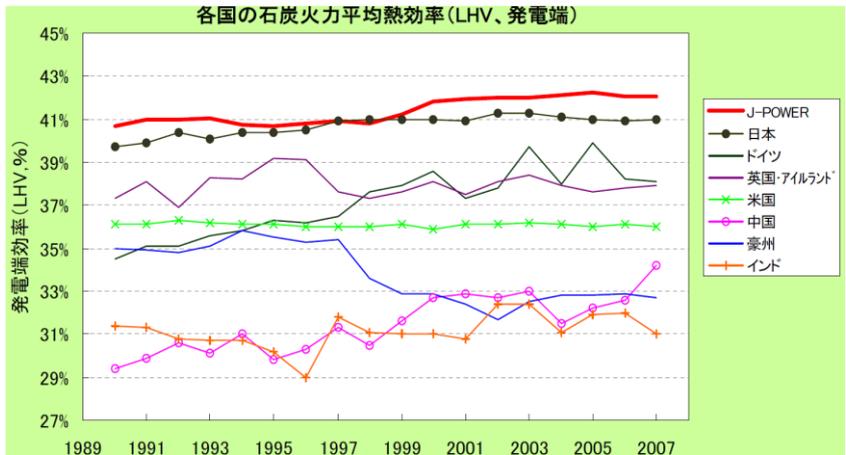
(12) リスク論批判

特集「リスクの語られ方」『科学』(岩波書店)2012年1月号

11. 原子力発電批判論(2) -- 最近の批判論

(1) 技術システム政策的対応 -- 火力発電所・製鉄所などの技術的性能の国別不均等発展

化石燃料の燃焼をおこなっている火力発電所や製鉄所における中国、インド、オーストラリア、米国などの熱効率は、右図に示したように日本に比べて数%も低い。米国でも 5%程度低い。そのため、それらの国々における単位発電量当たりの CO₂ 排出量は日本に比べてかなり多くなっている。



[引用元]堀川裕二(2011)「石炭発電技術」石炭エネルギーセンター
<http://www.jcoal.or.jp/intern/pdf/08horikawa.pdf>

橘川武郎(2011)『原子力発電をどうするか -日本のエネルギー政策の再生に向けて』名古屋大学出版会や馬場未希(2011)「IGCC -- 石炭で狙う高効率発電 国内外で安定供給に貢献」『日経エコロジー』2011年11月号,pp.70-72]などで論じられているように、国によってこ

うした技術の不均等発展が存在するということは、CO₂ 排出量を減少させる技術的手段としては日本で原子力発電所を増設するとか、再生可能エネルギーによる発電量を増大させるという以外にもオプションが存在することを示している。

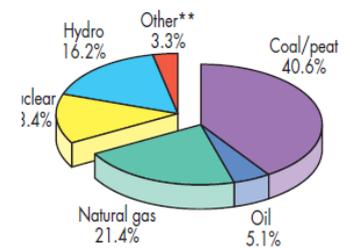
世界の 2009 年の総発電量 20,055TWh の内、40.6%が石炭火力発電である。石炭火力発電所の熱効率が日本と比べて相対的に低い中国、インド、米国において電源構成に占める石炭火力の比率はそれぞれ 79%,69%,45%と高く、2009 年における石炭火力発電による発電量は中国 2,913TWh、米国 1,893TWh、インド 617TWh となっている。

これら 3 カ国における石炭火力発電量の合計値は、世界の石炭火力発電量 8,119TWh の 67%、世界の総発電量の 27%を占める巨大なものである。そのため、「米国、中国、インドの 3 カ国で日本の技術を利用すると、石炭火力技術の場合で 9 億 4000 万トン、石炭ガス化複合発電(IGCC)技術の場合で 14 億 5000 万 t の削減」を見込むことができる。石炭ガス化複合発電(IGCC)技術を米国、中国、インドの 3 カ国で利用することによって、それら 3 カ国の発電所の分だけで、日本の温暖化ガス排出総量を上回る CO₂ 量を削減することができるのである。

2009 年の石炭火力発電量 (単位:TWh)

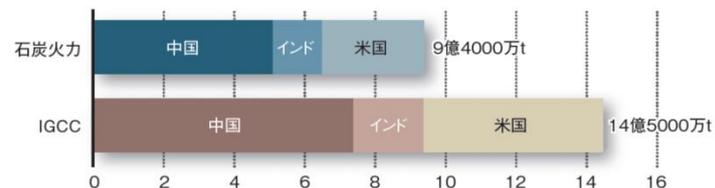
国名	発電量	割合
1 中国	2,913	35.9%
2 米国	1,893	23.3%
3 インド	617	7.6%
4 日本	279	3.4%
ドイツ	257	3.2%
その他	2,160	
総計	8,119	100%

世界のエネルギー源別発電量



[左表および上図の引用元]
 IEA(2011) Key World Energy Statistics 2011,pp.24-25

日本の石炭火力発電技術の利用で削減可能な CO₂ 排出量



日本のIGCC技術を使うと、米中印だけで、日本の温暖化ガス排出量を上回る削減に貢献できる
 出所：東京大学金子祥三特任教授の資料

[引用元]馬場未希(2011)「IGCC -- 石炭で狙う高効率発電 国内外で安定供給に貢献」『日経エコロジー』2011年11月号,p.72

石炭エネルギーセンター(2006)『日本のクリーンコールテクノロジー』

http://www.jcoal.or.jp/cctin/japan/cctin_japan.html

そのため、CO₂ 排出量は

Borkent, Bram (2010) *International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO₂ Intensity*, Ecofys Netherlands bv,
 Project number: PSTRNL10153,75pp

石炭発電技術

(2) 日本におけるプロフェッショナルな技術的専門家の不在 — 日本の原子力関係者はゼネラリストであり、全部中途半端で専門性が育たない(技術者論的不完全性論)

吉岡斉は下記のように、日本の原子力開発体制の問題点として、原子力技術が「自国で作上げた技術」すなわち国産技術ではないため、大学の工学者たちの原子力発電に関する理解が概念的なレベルに止まっており、具体的な仕組みをきちんと理解してはいないということや、メーカーの現場で働いていた技術者が米国とは異なり日本では安全規制行政に関わってはいない、日本の原子力関係者はゼネラリストがほとんどのため「全部中途半端で専門性が育たない」といったことを挙げている。

「日本の原子力分野には、プロフェッショナルな技術専門家がほとんどいない。自国で作上げた技術ではないから、大学の工学者たちも概念的には理解していても、ベントの仕組みなど具体的なことはわからない。電力会社もただの運転者だから、詳しくは知らない。細部を知っていたとすればメーカーの技術者ですが、安全確保も含めた全体がわかる指導的な技術者の顔が見えない。／高速増殖炉「もんじゅ」は国産の技術ですが、見よう見まねで作っただけでまともに動かない。1995年のナトリウム漏れ事故は温度計が折れるというごく初歩的な設計ミスで起きた。ミスをチェックできる技術者がいなかった。／米国の原子力規制委員会(NRC)には、メーカーの現場で働いていた技術者も数多くいます。日本でも経済産業省傘下の原子力安全基盤機構にはいるようですが、安全規制行政はほとんどやっていない。科学者や技術者の責任という以前に、能力がないんです。たとえあっても、発揮する機会がないのでさび付いてしまう。／・・・欧州や米国では、民間の専門職機関が安全についての基準を作ることが多い。ドイツのテュフ(技術検査協会)が有名です。民間基準が標準になり、中立性も保たれている。日本には安全基準を作れる民間技術者がいないので、政府の規制基準を使ってきたが、米国などの基準の翻訳でしかない。／日本の原子力関係者は、いわばゼネラリストの集団です。機械、電気、化学、物理学を広く薄く学ぶ。全部中途半端で専門性が育たない。研究者も原子炉設計などの中核分野ではなく、核融合や安全解析など周辺のテーマを選ぶ人が多い。「産」に比べ「学」の存在感が希薄で、実際の技術開発を主導できるような学者がいない。「学」に期待されたのは官僚の補佐的な役割で、審議会などで官僚機構を支えてきた。」「官僚にノーを言えるプロに 九州大副学長・吉岡斉さん — (耕論)科学者の責任 吉岡斉さん、菊池誠さん 東日本大震災1年」朝日新聞2012年02月29日朝刊

(3) 「生みの苦しみ」論批判

原子力発電技術という新 Technology の研究開発における「産みの苦しみ、育ての苦勞」と、原子力発電所という新 Product の製品の欠陥や運用の失敗とを同一のものとして論じるという誤り、あるいは、意図的なスリカエを犯している。研究室レベルにおける新 Technology の失敗による事故と、販売された製品レベルにおける失敗による事故とはその社会的被害の規模・レベルが桁違いに異なっており、社会的には本質的に異なる問題である。製造物責任をメーカーが取れない(あるいは、取らなければいけない場合には販売ができない)製品は販売すべきではない。

12. 原子力発電コスト問題

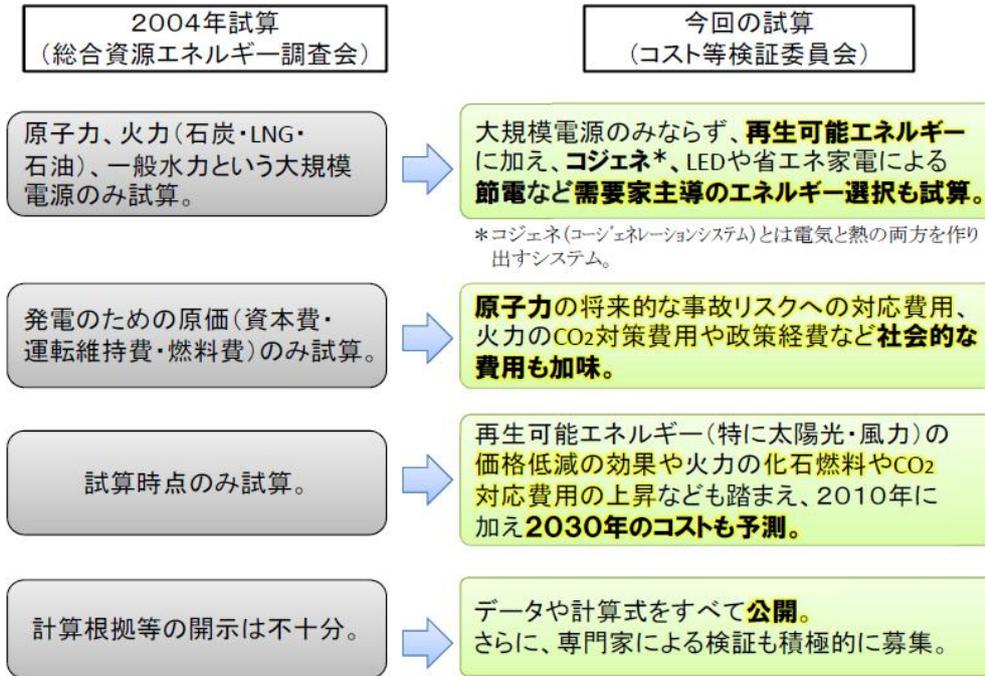
(1) 政府による最近の試算

内閣府 国家戦略室 エネルギー・環境会議「基本方針[概要] ~エネルギー・環境戦略に関する選択肢の提示に向けて~」新大綱策定会議(第10回) 資料 第2-2-1号,2011年12月21日

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei/siryo/sakutei10/siryo2-2-1.pdf>

(1) コスト検証の新たなアプローチ

5



(参考)原子力発電の事故リスク対応費用の試算方法

7

1. 原子力発電の事故費用の内訳

福島第一原発事故(3基)の損害 = 廃炉費用 + 賠償費用(除染費用等を含む。) + その他

2. 現時点での見積もり等を基にした試算

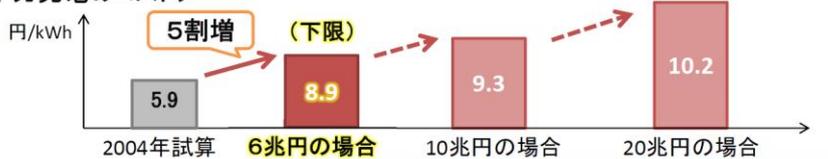
約8.0兆円 = 事故炉の廃炉費用:1.0兆円 + 賠償費用:6.1兆円
(「東京電力に関する経営・財務調査委員会報告」ほか)
+ 報告書で計上された賠償額を超える除染対策予算:0.6兆円
+ その他の福島原発関連予算:0.3兆円

3. モデルプラントにおける事故リスク対応費用の試算

- モデルプラント1基に換算 = 5.8兆円
- しかし、損害額は未確定(生命・身体への賠償や除染のための中間貯蔵、最終処分費用などは含まれず)のため、あくまで下限として提示。
- 5.8兆円を40年かけて国内の原子力事業者が積み立てると仮定すると、
5.8(兆円) ÷ 40(年) ÷ 2722(億kWh)* = 0.5円/kWh が下限。

*2010年度の原子力による発電実績(東電福島第一原発1~4号機分を除く)

<原子力発電のコスト>

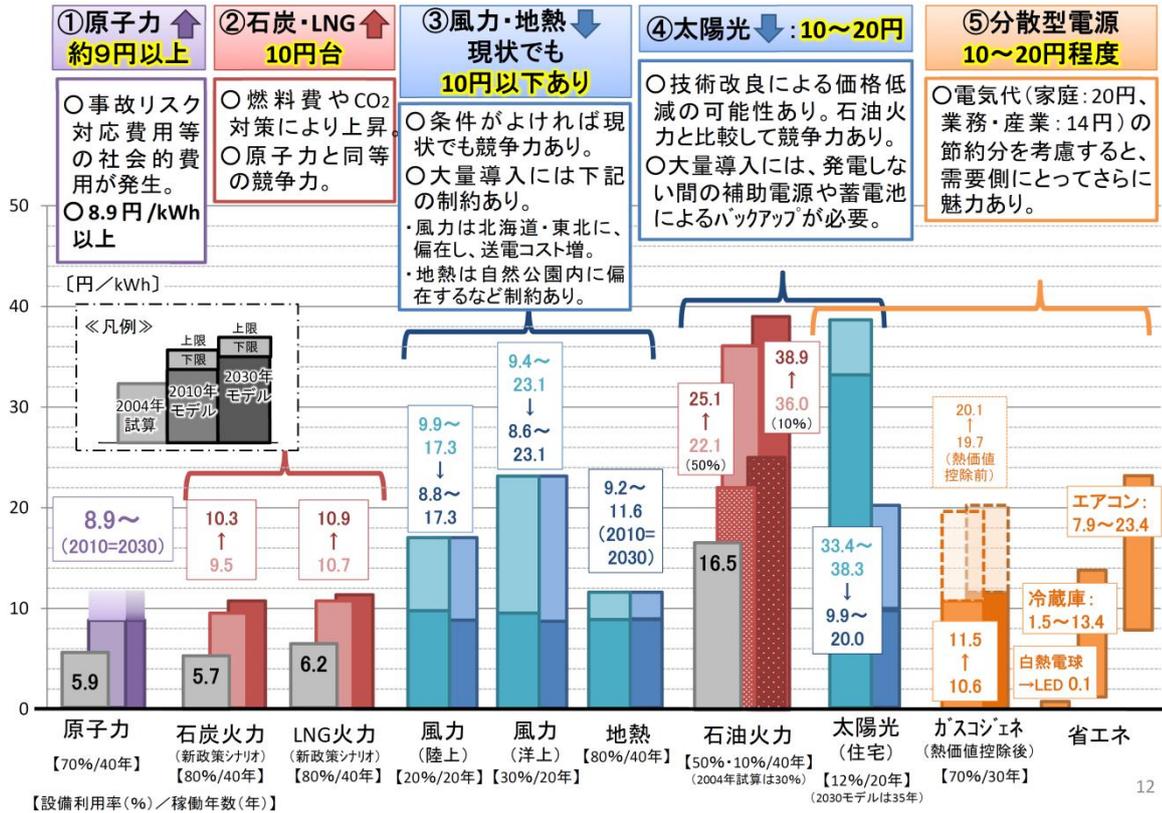


損害額が1兆円増えると、コストが0.1円/kWh上昇。

11

(3)原子力以外の電源のコストを検証

8



12

「コスト検証結果のポイント」p.9

【エネルギーミックスに関して】

- 原子力は相当程度の社会的費用あり。
- 石炭、LNGは、CO₂対策のコスト増や燃料費上昇を加味すれば今までよりコスト高になるものの競争的な地位を保ちうる。
- 再生可能エネルギーについても、立地制約や系統安定などの課題はあるものの、量産効果によるコスト低減などが見込まれ、電源の特性に応じた役割を担える可能性あり。
- 需要家側のコジェネなど分散型電源、省エネにも大規模集中電源と並びうる潜在力あり。
- ただし、どの電源も長所と短所がある。長期的な目標に至るまでには、どの電源をどの程度組み合わせていくのかによって、複数のシナリオがありうる。最適な選択をしなければならない。

【エネルギーシステムに関して】

- エネルギー需要構造の改革(省エネ社会の構築)と、エネルギー供給構造の改革(分散型電源+再生可能エネルギー+化石燃料のクリーン化の加速)、さらには電力経営の効率化によるコスト抑制が自律的に進むような新しいエネルギーシステムの構築が、原子力への依存度低減のシナリオ実現の鍵。

【日本再生との関連に関して】

- 洋上風力、新型太陽電池、革新的蓄電池などの開発目標が実現すれば、エネルギーシフトの絵姿も変化。日本の再生やアジアをはじめとした世界の課題解決につながる成長戦略を構想するに当たって、こうした次世代技術パラダイムの実現を前提とした戦略を進める価値あり。

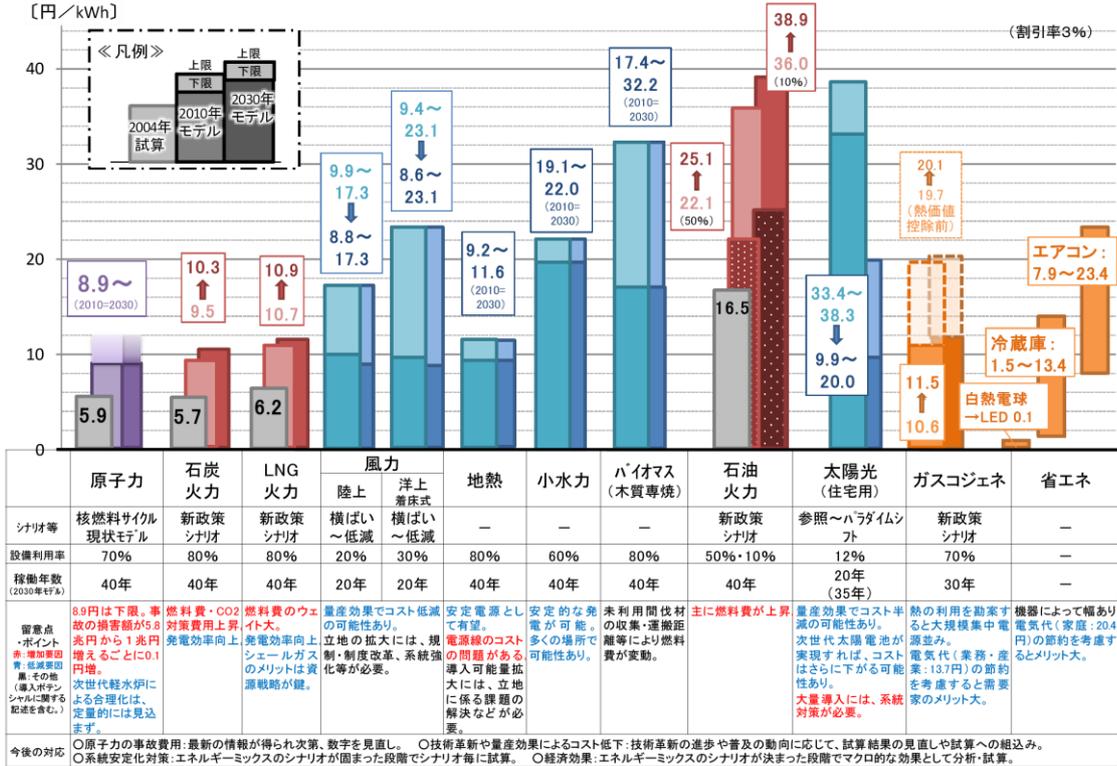
エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会(2011)『コスト等検証委員会報告書』平成 23 年 12 月 19 日

http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/13th/13sankou3.pdf

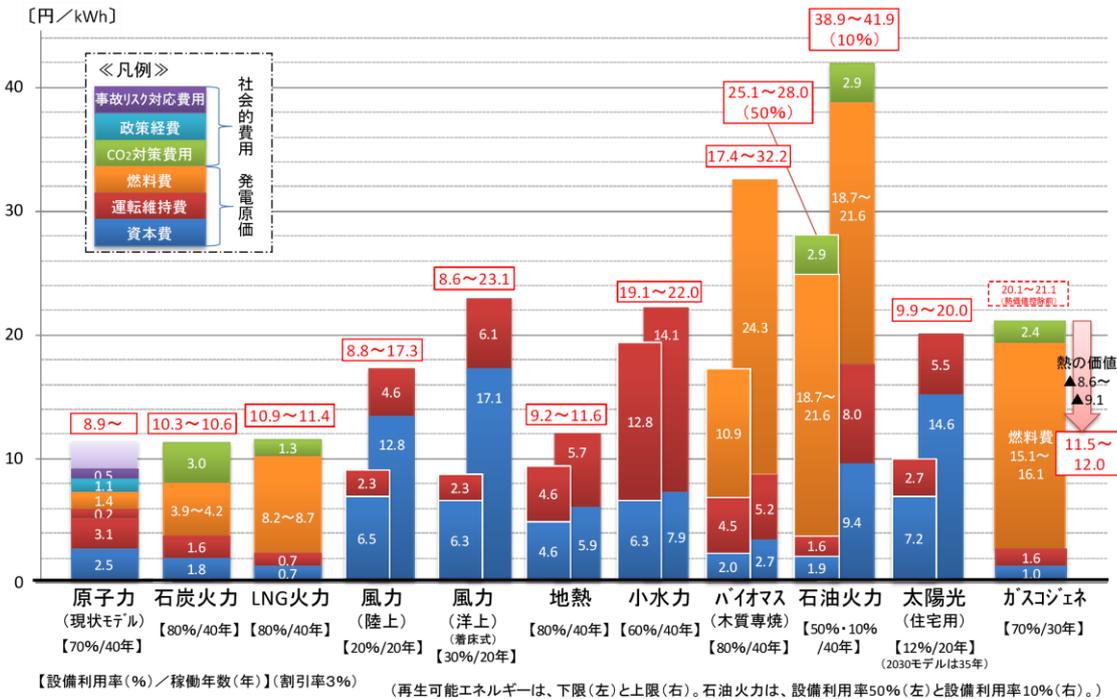
【コスト試算のポイント】

- モデルプラント形式(最近7年間の稼働開始プラント、最近3年間の補助実績等を基に設定)
- CO2対策費用、原子力の事故リスク対応費用、政策経費等の社会的費用も加算。
- 2020年、2030年モデルは燃料費・CO2対策費の上昇、技術革新等による価格低減を見込んで試算。

http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/13th/13sankou3.pdf の p.66/86



(図 36) 主な電源の発電コスト (2004年試算/2010年・2030年モデルプラント)



(図 37) 主な電源の発電コスト (2030年モデルプラント)

http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/13th/13sankou3.pdf の p.67/86

内閣府 国家戦略室 エネルギー・環境会議「基本方針(案) ~エネルギー・環境戦略に関する選択肢の提示に向けて ~」新大綱策定会議(第10回) 資料 第2号,2011年12月21日,pp.4-6

<http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20111221/siryoo2.pdf>

原子力コストは前回試算の 5.9 円/kWh よりも 5 割増の 8.9 円/kWh 以上 (+3.0 円/kWh 以上)。

- ① 2004 年試算は、稼働率 70%、核燃料の一部は再処理に回し、残りは中間貯蔵した上で再処理を行うという核燃料サイクルを前提にして、5.9 円/kWh であった。
- ② 建設費などは 2004 年試算比+1.2 円/kWh。
- ③ 核燃料サイクルコストは、現状モデル(半量は再処理、残りは中間貯蔵後再処理)の場合で 2004 年試算比△0.1 円/kWh(注1 割引率 3%の場合、現状モデル 1.4 円/kWh、直接処分 1.0 円/kWh、全量再処理モデル 2.0 円/kWh)。
- ④ 2004 年試算では想定していなかった追加的安全対策の費用を加算。+0.2 円/kWh。
- ⑤ 2004 年試算では計算対象外であった立地交付金や研究開発費などの原子力に関する政策経費(平成 23 年度予算 3183 億円)を加算。+1.1 円/kWh。
- ⑥ 同じく 2004 年試算では計算対象外であった事故リスク対応費用を加算。モデルプラントの損害想定額を日本の原子力事業者が原発稼働期間の 40 年で用意するという想定で試算し、最低でも+0.5 円/kWh を要するとした。
 - ・想定される事故損害費用は、現在、判明している金額として 6 兆円弱。~東京電力に関する経営・財務調査委員会においてマクロ的視点から統計的に算出されている賠償費用及び廃炉費用と、関連する行政費用等から算出。~すなわち、東京電力に関する経営・財務調査委員会の試算によれば東京電力福島第一原子力発電所 1 号機から 3 号機の事故で廃炉約 1 兆円+賠償費用 4.5 兆円。更に 3 年目から 5 年目で 1.3 兆円の費用がかかると想定。この合計 6.8 兆円をモデルプラント 1 基相当に換算すると 5 兆円。これに、平成 23 年度補正予算及び平成 24 年度当初予算における原子力復興関係費用約 1 兆円弱などを含めると、合計約 6 兆円弱となる。
 - ・この 6 兆円弱は下限の数字である。すなわち、ここに含まれている廃炉費用及び除染費用は、現時点で推計可能な範囲で見積もった暫定的なものであり、生命・身体への影響に係る賠償費用は含まれていない。また、除染により生じる廃棄物等の中間貯蔵施設の整備費用、最終処分関係費用なども未算定である。また、一種の保険として考える場合、事業者は十分な余裕を持って事故リスクに備えるべきであるとの考えから、これを事故リスク対応費用の下限値として提示することとした。
 - ・こうした事故損害額を日本の原子力事業者が原子力発電所の稼働期間の 40 年間で用意すると想定した場合、想定損害額が 6 兆円弱ならば 0.5 円/kWh、10 兆円ならば 1 円/kWh 弱、20 兆円ならば 2 円/kWh 弱となる。
- ⑦ 以上、2004 年試算の 5.9 円/kWh に、建設費等の上昇(+1.2 円/kWh)、追加的安全対策(+0.2 円/kWh)、政策経費(+1.1 円/kWh)、事故リスク費用(最低でも+0.5 円/kWh)を加え、原子力のコストは 8.9 円/kWh 以上とした。

(2) コスト問題に関する議論の仕方

a. 「結論から言えば、コストを計算する必要はないんです。経済的なら、やる。そうでないなら、やらない。」

吉岡斉(2011)「将来的に国の保護撤廃を」『朝日新聞』2011 年 12 月 23 日 朝刊

—原子力発電のコストをめぐる、専門家の見解が割れています

結論から言えば、コストを計算する必要はないんです。経済的なら、やる。そうでないなら、やらない。それをゆがめているのが政府です。立地対策のためのものすごいお金の投入とかありとあらゆる手を打って助ける。「コストが安いから政府が推進する」という奇妙な、ゆがんだ論理になっている。逆なんですよ。経済性があるなら、そんなのを全部なくしたって電力会社がやればいい。

—コスト等検証委は福島事故コストを5・8兆円以上と算定しました

三つの原子炉建屋は数十年単位で冷やし続けるほかない。原子炉格納容器の穴をふさげないから。チェルノブイリより厄介です。除染を全部やろうとすると、100兆円を軽く超えるでしょう。

エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会(2011)『コスト等検証委員会報告書』平成 23 年 12 月 19 日,p.25

<https://www.apoeka.meti.go.jp/info/committee/kikokumondai/12th/12sankou2.pdf>

(表 4) 政策経費の実績(平成 23 年度予算)(億円)

	原子力	石炭 火力	LNG 火力	石油 火力	一般 水力	コージェネ レーション	小水力	地熱	太陽光	陸上 風力	洋上 風力	バイオマス	燃料 電池
立地	1,278.0	51.7	60.6	15.5	95.9	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
防災	91.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
広報 (周辺地域)	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
広報 (全国)	30.9	0.6	0.7	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
人材育成	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
評価 ・調査	324.0	1.2	0.7	0.2	0.9	0.0	0.4	1.5	2.3	1.8	0.0	0.6	0.0
発電技術 開発	36.1	31.6	17.2	0.0	0.0	0.0	2.6	7.5	77.5	23.8	42.8	2.7	0.1
将来発電 技術開発	1,401.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6	0.0	0.0	13.5	22.7
導入支援	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	20.3	130.1	33.1	673.4	439.7	0.0	187.8	90.8
資源開発	9.5	43.9	374.8	104.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
備蓄	1.0	0.0	0.0	14,241.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CCS	0.0	44.3	29.8	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
小計*	3,182.9	85.0	79.2	15.8	97.0	0.0	2.9	10.2	130.3	25.5	42.8	16.8	22.8
総計	3,193.4	173.2	483.7	14,368.7	105.4	20.3	133.1	43.2	803.7	465.2	42.8	204.7	113.5

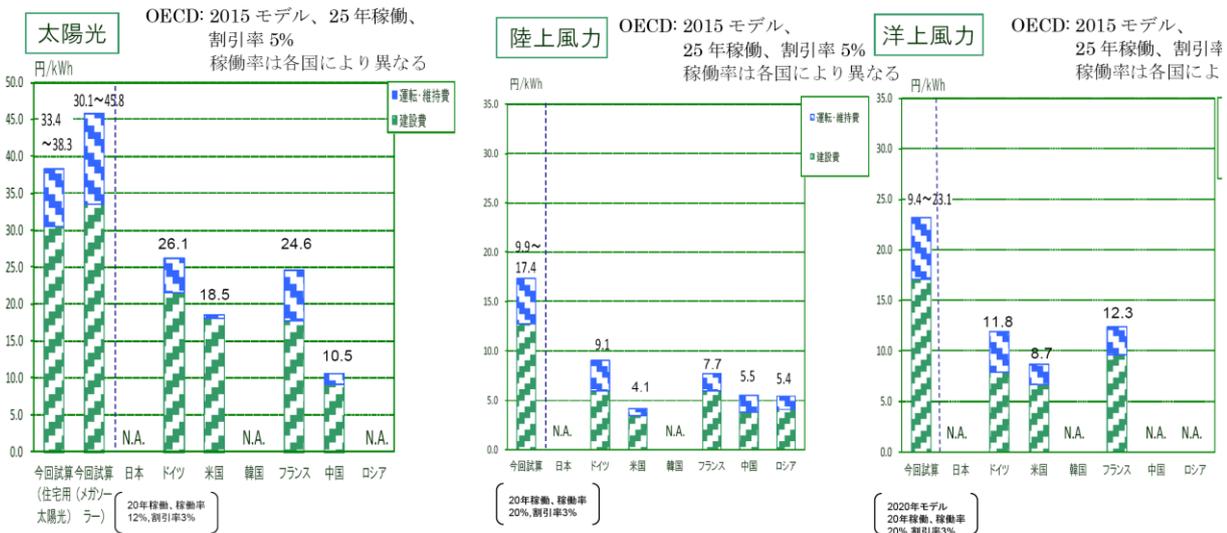
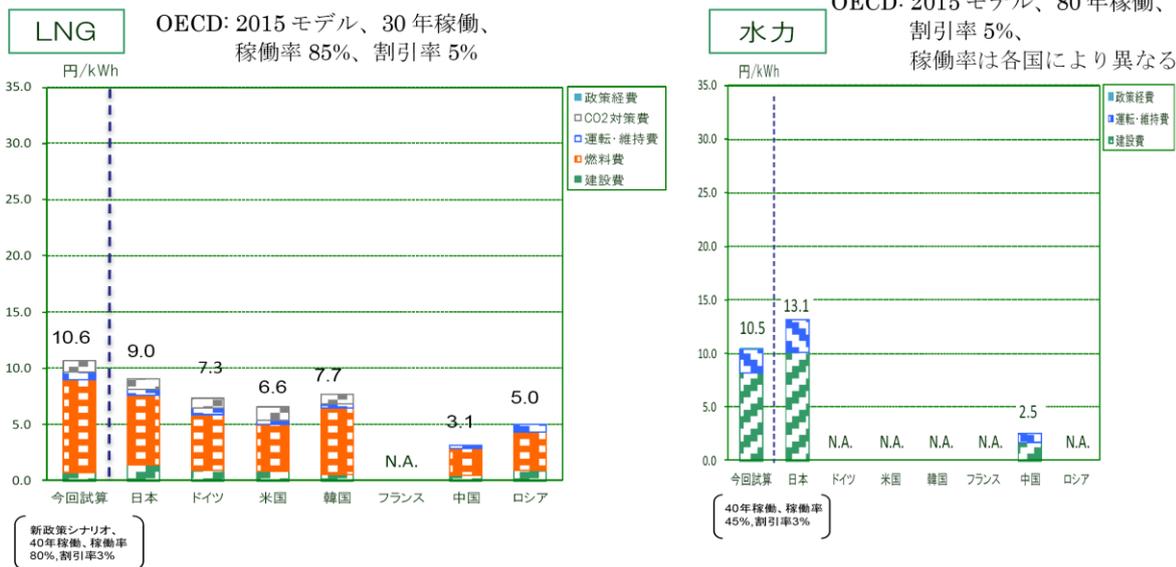
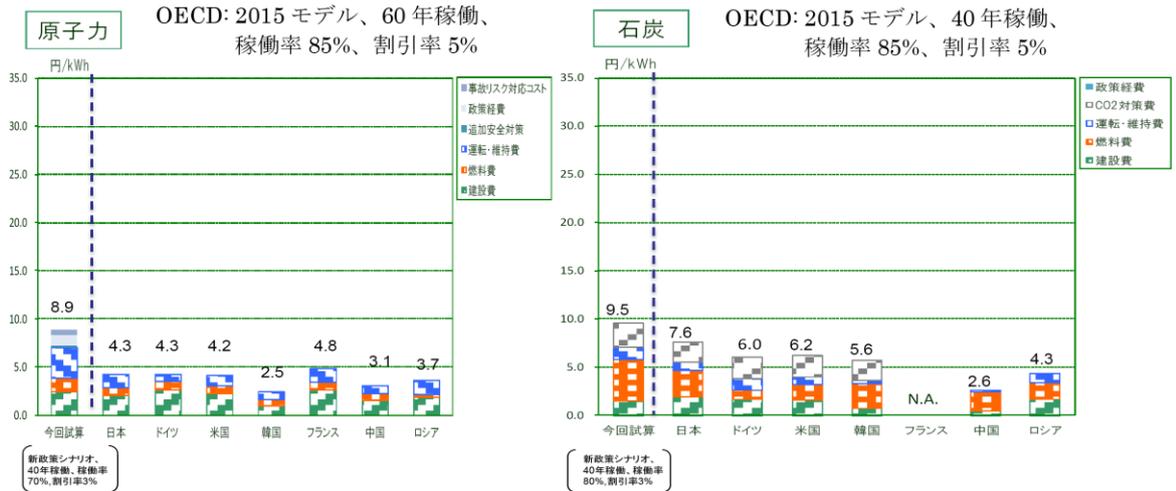
* 導入支援・資源開発・備蓄・CCSを除く。

※ 拠出対象となる電源が複数ある予算については、原則として、H22年度の発電電力量実績に応じて各電源に按分。(ただし、電源立地地域対策交付金、経産省予算の交付金事務等交付金、電源地域産業関連施設等整備費補助金については過去3年分の交付実績割合等に基づいて按分。)

※ 事業の一部に発電に関するものを含むが切り分けが困難な場合、全額を計上。

※ 予算額について、各省から収集した情報を取りまとめたもの。

(3) 発電コストに関する基礎的資料



内閣府 国家戦略室 エネルギー・環境会議(2011)『コスト等検証委員会報告書』平成 23 年 12 月 19 日

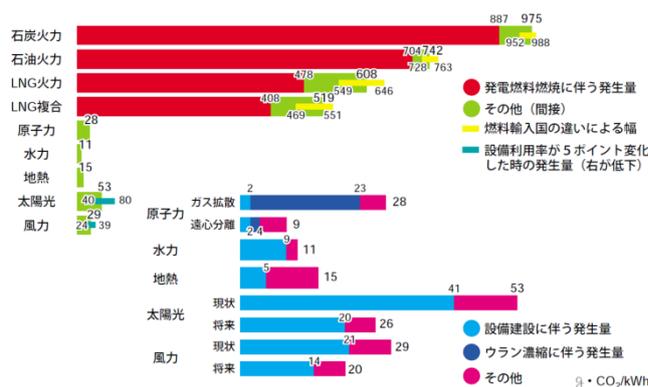
<http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20111221/siryo3.pdf> の pp.73-74

13. 発電方式の比較評価のための視点

(1) 発電方式別のライフサイクル CO₂ 排出量

燃料が燃焼する際に発生するCO₂量だけでなく、燃料の生産や運搬のプロセス、発電所の建設材料の生産や運搬のプロセス、発電所の建設プロセス、発電所の解体や廃棄のプロセスなど発電所に関わるすべてのプロセスで発生するCO₂量

原子力発電のライフサイクルCO₂排出量は、火力発電よりも大幅に低い。ただし再生可能エネルギーと比べた優位性はない。太陽光発電よりも低いが、風力とほぼ同じで水力や地熱よりも高い。



ライフサイクルCO₂の排出量 (メタンも考慮)

本藤祐樹(2000b) p.3

(2) 総合的比較

	経済性	エネルギーの利用可能期間 (可採掘年数)	酸性雨・地球温暖化 (CO ₂ 排出量) g-c/ kWh	総合的評価
化石燃料利用型 火力発電(石油)		46年	204	
化石燃料利用型 火力発電(石炭)		219年	275	
化石燃料利用型 火力発電(天然ガス)		65年	181	
軽水炉型原子力 発電(再処理なし)		43年	28	
軽水炉型原子力 発電+高速増殖炉	×	数千年		
再生可能エネルギー 利用(風力)		無限大	29	
再生可能エネルギー 利用(太陽光)		無限大	53	

14. 経済政策的脱原子力発電論(1) — グリーン技術に関する技術革新によるグリーン市場の創出

「最後に、地球温暖化問題への取り組みに関してであるが、震災復興、原子力問題の解決、エネルギーの安定供給が重要であり、地球温暖化問題は二の次であるという指摘は尤もであるが、地球温暖化への対応を後退させることなく経済成長も実現していく戦略(グリーン成長)の可能性についても検討する必要がある。韓国政府は、GGGI(Global Green Growth Institute)を設立するなど、地球温暖化への取り組みを通じた経済成長のあり方を模索している。地球温暖化への取り組みの遅れは、将来関連する分野での競争力を失う可能性もあり、日本版グリーン成長の検討も重要である。ある調査(*6)によると、2018年までに代替エネルギーの世界市場は3,159億ドルに達するとの試算もあり、グリーン成長が復興の早期達成及び次世代の成長エンジンとなる可能性は十分にある。グリーン技術の研究開発促進、グリーン市場の創出など、わが国に適したグリーン成長戦略の検討が必要である。」富士通総研 Web>コラム>オピニオン> 2011年7月 <http://jp.fujitsu.com/group/fri/column/opinion/201107/2011-7-3.html>

15. 福島原発事故の原因に関わる批判的検討

(1) 「想定外」論批判(1) — 「日本の設計基準値の甘さ」批判

福島原発事故の発生に対する弁解論として「想定外の事態よって事故が起きた」という主張がなされることがある。こうした弁解に対しては、原子力発電推進論および原子力発電批判論のどちらからも批判がある。

批判としては、後述する「発生確率は低いにしても想定内の事態であった」とか、「発生確率が極めて低いにしても万一の事態への備えはしておくべきであった」といった一般的批判とともに、「想定外の事態ではなく、単に日本の設計基準値や安全対策が米国に比べて甘かったことが原因である」という批判がある。

例えば Acton, James M. and Mark Hibbs (2012) "Why Fukushima Was Preventable," *Carnegie Paper* (Carnegie Endowment for International Peace), March 2012 では、「国際基準や対策事例の導入の遅れが事故の原因となった」「経済産業省原子力安全・保安院や東京電力が国際的な基準に沿って津波などに対する安全対策を強化していれば、福島第1原発事故は防ぐことができた」という趣旨の主張がなされている。

また確率論的信頼性解析サービスを業務としている International Access 社代表の由岐友弘は、由岐友弘(2011)「リスクと安全; 福島原発事故からみた日米比較」(東京工業大学講義「ベンチャービジネス特論」2011年10月20日資料)において、「国際基準を大幅に下回る基準を設けて、他国より安全としてきた誤り」があるとしている。

(2) 「想定外」論批判(2) — 「万一の事態に対する対処策の不備」「安全軽視体質」批判

／確率が低い事態に対する備えの無視／

「阪神淡路大震災をきっかけに始まった保安院による原発の耐震基準の見直しでは、「想定事故」をより厳しいものに改めるのではなく、「そんな地震は発生確率が低いから無視しても良い」という方向で議論が終わってしまう恐れがあります。この議論の方向は「命の強制買い取り」のみならず「地球の力ずくの占有」とでも言うべき思考です。」湯浅欽史(2005)「近代技術の性格と事故」原発老朽化問題研究会編(2005)『老朽化する原発 -- 技術を問う』第5章、原子力資料情報室,p. 101

／事故・災害は欠陥、見落としを狙い撃ちする／

「大事故・大災害はパターン化されたリスク認識を裏切る形で発生している。福島原発事故は「想定外」と言われるが、現実には「狭い固定概念に基づく想定が外れたもの」と言うべきものである。「事故・災害は欠陥、見落としを狙い撃ちする意地悪爺さんである。」柳田邦男(2011)「専門化社会の「落とし穴(罠)」～福島第一原発事故から考えたこと～」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-04.pdf>

／安全性の確保の阻害要因として機能した「想定外」論 ---- 安全性軽視をもたらした「想定外」論／

「「想定外」とは『それ以上のことはないことにしよう』『考えないことにしよう』としてきた思考様式に免罪符を与えるキーワードだ」ということになる。「想定外」という線引きの行為は、安全性を保障するものではない。むしろ安全性の確保を阻害するものだ。」

柳田邦男(2011)「専門化社会の「落とし穴(罠)」～福島第一原発事故から考えたこと～」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-04.pdf>

／ブラックスワン問題への対策／

「巨大システム時代に導入すべきリスク認識は、「発生頻度が小さくても、一度発生すれば重大な人的被害を生ずるおそれのあるものについては、対策の推進を図るべきである」という思考様式に転換すべきである。(注、JR 福知山線転覆事故の「事故調査報告書」)柳田邦男(2011)「専門化社会の「落とし穴(罠)」～福島第一原発事故から考えたこと～」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告, <http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-04.pdf>

／万一の事態への備えに関する「思考停止」／

「想定外」の 2 重構造／①事故・災害発生による被害規模の重大性への「思考停止」／②事故・災害発生後の対応の欠落への「思考停止」／「想定外」の事態について、思考停止していたため、事故・災害の拡大防止策も被害者対策(救援、避難、支援等)も立てられず、その場しのぎの連続など大混乱となる。被害者は 2 重の災害を受けたに等しい苦難を強いられる。」柳田邦男(2011)「専門化社会の「落とし穴(罠)」～福島第一原発事故から考えたこと～」GoNERI シンポジウム 2011 プログラム『東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ原子力教育研究を再考する』報告,<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/jpn/research/domestic/docs/1122-04.pdf>

／非常事態への対応の仕組みの不備および未整備 — オフサイトセンターの機能不全、および、緊急電源整備(津波対策だけでなく、テロ対策上も実は必要とされていた)

「有事を想定した対策も、多くが機能しませんでした。象徴的な例がオフサイトセンターです。各原発の近くに設置されている施設で、非常時にはここに専門家が集まって対策を出すはずでした。これは原子力災害法で定められていたことです。しかし、今回の震災ではオフサイトセンターは全く機能しませんでした。

地震による渋滞などの影響で、専門家が施設にたどり着けない。ヘリコプターを使って、数人が乗り込みましたが、電源は落ちていて、通信手段も断たれている。集まるべき人が集まらない。そうしているうちに放射線量が上がる可能性が指摘され、ビルを移動し、最後には福島県庁に移転しました。つまり、法律で「判断拠点」とされた施設が全く機能しなかったのです。

厳しい事態を想定すべき状況なのに、それができていない。大きな理由は、原子力安全・保安院といった原発を監視・規制すべき組織が、原発を推進する立場にある経済産業省の管轄下にあったことにありました。以前は、科学技術庁の管轄だったのですが、橋本(龍太郎)内閣で文部省と合併した際に、科技庁にあった組織を経産省の部局と統合して、今の保安院ができたのです。そして、経産省という原子力を推進する官僚組織に組み込まれてしまった。

日本では、停電でもすぐに電力が復旧するし、緊急電源も整備されているため、原発の電源問題は軽視されてきた。でも、米国は 9・11 の後に、テロによる電源喪失を想定して、何重もの対策を決め、日本の原子力保安院にも伝えたと言われています。しかし、現実には、原子力安全委員会や東電にきちんと伝わっていなかった。

全電源喪失という重大な問題提起に対して、専門家も行政も電力会社も、いわば握りつぶしてきたのです。「起きないこと」として。」菅 直人 氏[前首相、民主党最高顧問] 前首相、3・11 の真相を語る』『日経ビジネス』2012 年 03 月 12 日号

(3) 「冷却材喪失事故(LOCA)の危険性」問題 — 原子核分裂を停止させても、核分裂生成物の放射性崩壊によって大量の熱が発生することへの対策の困難性

■ 関連資料 > W.マーシャル編(住田健二監訳、1986)『原子炉技術の発展』(上)の「7.3 冷却材喪失事故」(pp.341-346)

軽水炉型原子炉では核分裂によって生成する熱量だけでなく、核分裂生成物の放射性崩壊(α 崩壊、 β 崩壊、 γ 崩壊)によって生じる崩壊熱が極めて巨大である。原子炉の緊急停止により核分裂が事実上停止しても、原子炉の最大出力の約 7%程度の崩壊熱が停止直後に残る。崩壊熱の発生量は、もちろん時間の経過とともに減少し、5 時間過ぎには 1%を切るが、1 年後でも約 0.2%は残る。このように原子炉の崩壊熱が極めて巨大であるため、冷却材喪失事故(LOCA)が大きな危険性をもたらすことは以前から認識されていた。

例えば、■ MIT 原子力理工学部有志による解説では「崩壊熱は 1 日経過後には運転時出力の 2%を切りませんが、そこからの減少ペースは非常に緩やかです。そして 1 年後には 0.2%程となります。この崩壊熱が除去されない場合、核燃料は加熱を始め、ジルカロイ製の被覆管の急速な酸化(～1200°C)、(同合金の)溶融(～1850°C)、そして燃料自体の溶融(～2400-2860°C)などの望ましくない事態が発生することになります。」「崩壊期間が 2 年以下の使用済み核燃料の解析では、空気だけでは燃料温度を 1000°C未満に維持できないことがわかります。」と記されている。

この点に対する配慮が近藤駿介(1995)「チェルノブイリ事故は日本で起きるか」三菱重工業 原子力事業本部 原子力 PA 推進センター編(1995)『素顔の原子力発電—モノづくりの視点から』風日舎、pp52-53 などの記述には欠けているように思われる。

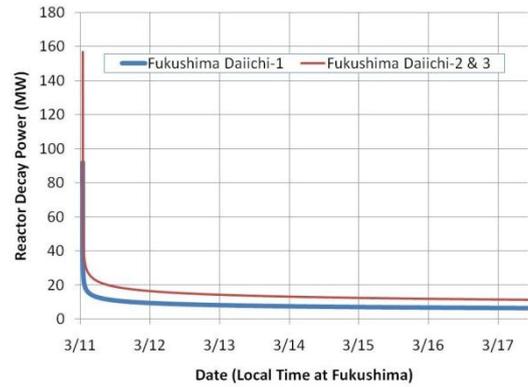
小出裕章「崩壊熱」

「原子炉が核分裂を停止しても、炉心内にはそれまでに生成された核分裂生成物が蓄積している。それらの核分裂生成物はそれぞれの物理的な特性に従って崩壊し、放射線を出す。その放射線エネルギーの大部分は原子炉内で熱に変換される。その熱を崩壊熱と呼ぶ。

その発熱の割合は原子炉の運転期間に依存しているが、代表的なものを下うことは原子炉の安全性に関してきわめ

原子炉内の核分裂反応を停止させることにすることができたととしても、すでに炉崩壊熱は決して人為的に止めることができないからである。車にたとえて言うならば、たとえば車の車輪が外れてしまったときにエンジンを切ることができても、ブレーキが効かず、車輪がないまま車は走り続けなければならないといった状態になるのである。」

<http://www.rii.kyoto-u.ac.jp/NSRG/kid/safety/decayhea.htm>



[図の出典] の図に示す。この発熱があるとい

http://d.hatena.ne.jp/arc_at_dnz20110319/the_plant_decay_heat、
http://cdn-ak.fst-hatena.com/arc_at_dnz20110319/the_plant_decay_heat/20110319005917_original.jpg

崩壊熱 (運転時出力比)	原子炉運転出力に対する比率	崩壊熱 (運転時出力比)	原子炉運転出力に対する比率
6.1	6.1	6.1	6.1
3.1	44.7	76.2	3.1
2.1	36.9	62.8	2.1
2.1	31.4	53.5	2.1
1.1	24.1	41	1.1
1.1	19.1	32.5	1.1
0.92%	12.8	21.9	0.92%
0.73%	10.1	17.3	0.73%
0.65%	9.1	15.5	0.65%
0.61%	8.5	14.5	0.61%
0.56%	7.8	13.2	0.56%
0.50%	6.9	11.8	0.50%
0.44%	6.1	10.5	0.44%
0.37%	5.2	8.8	0.37%
0.26%	3.7	6.3	0.26%
0.23%	3.3	5.6	0.23%
0.21%	2.9	5	0.21%

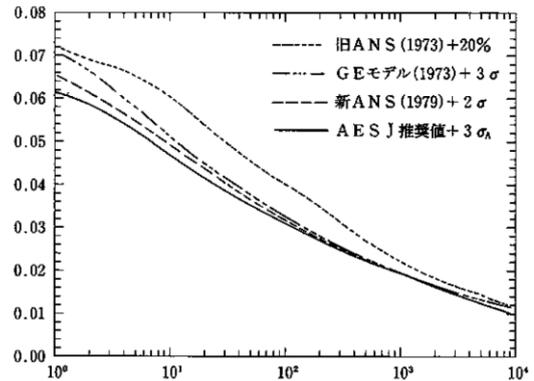


図5 原子炉崩壊熱現基準との比較 (250無限時間照射)

原子炉崩壊熱の減少グラフ

[図の出典]原子力安全委員会 原子炉安全基準専門部会(1992)「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価に用いる崩壊熱データについて」p.8

<http://www.nsc.go.jp/shinsashishin/pdf/1/ho011.pdf>

