

原子力利用について

原子力発電と社会

岡 芳明

東京大学名誉教授

前・内閣府原子力委員会委員長

初代・早大共同原子力専攻主任

本資料は講演者が過去に所属した組織の考え方を表すものではありません

早稲田大学・東京都市大学
共同原子力専攻

10周年

おめでとうございます

放射線は新しい光

- 分光法（Spectroscopy）：対象物の透過、反射または吸収する光を波長に分割し、対象物中の成分を定性・定量分析を行う手法
- 用いる光が可視光から放射線に拡大した。
- 放射線：高エネルギーの電磁波と粒子
- 放射線の透過・反射・吸収を分析することで、対象物の物性等を知ることができる：放射線が新しい光になった。
- 放射光施設（国内に12か所）は、基礎研究から産業応用まで広く用いられている。
- 大強度陽子加速器施設（J-Park）：陽子・中性子・ミュオン・K中間子、ニュートリノなどの利用

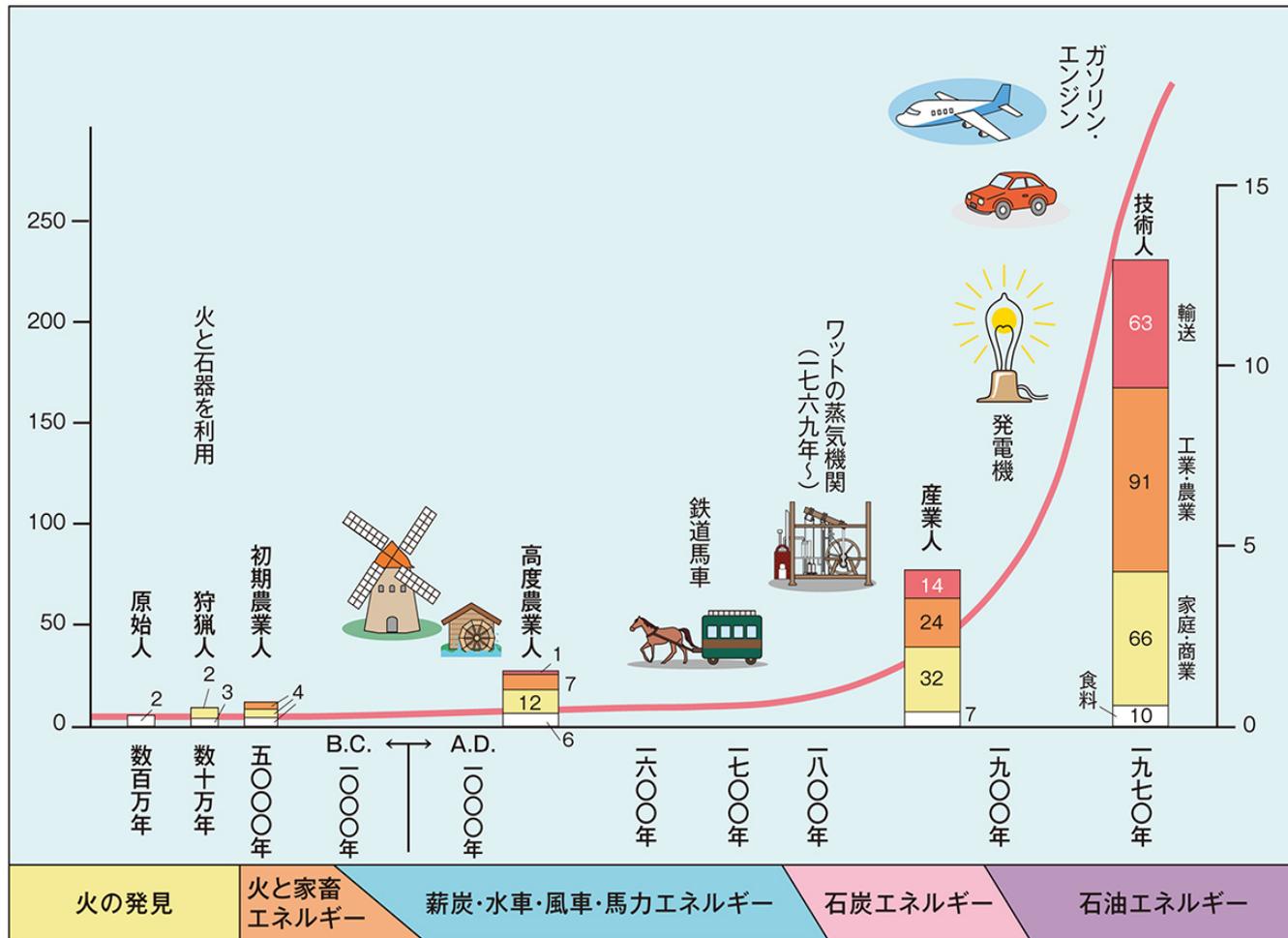


原子力エネルギーは新しい火

- 火の利用によって人類は繁栄した（食物連鎖の頂点に君臨）。
- 化石燃料をエネルギーとして、産業革命が利便と健康を人々にもたらした。
- 木、石炭、石油、天然ガス、水力、太陽光、太陽熱、風力、地熱等もすべて、原子核反応が起源のエネルギー
- 原子核反応がもたらすエネルギーの直接利用（原子力発電など）は、始まってまだ半世紀、探求と発展を期待する。

人類とエネルギーのかかわり

一人あたり消費量(二〇〇〇キロカロリー/日)・棒グラフ



石油換算消費量(二〇〇万キロリットル/日)・曲線グラフ

原始人 百万年前の東アフリカ、食料のみ。
 狩猟人 十万年前のヨーロッパ、暖房と料理に薪を燃やした。
 初期農業者 B.C.5000年の肥沃三角州地帯、穀物を栽培し家畜のエネルギーを使った。

高度農業者 1400年の北西ヨーロッパ、暖房用石炭・水力・風力を使い、家畜を輸送に利用した。
 産業人 1875年のイギリス、蒸気機関を使用していた。
 技術人 1970年のアメリカ、電力を使用、食料は家畜用を含む。

原子力発電の3つの特徴

安全、自給、安価・安定

- 原子力発電は最も安全な電源
- 原子力発電で日本のエネルギー自給率の向上を
- 原子力発電で安価で安定な電力の供給を

原子力発電は
最も安全な電源

原子力発電所事故の放射線による公衆の死亡

- チェルノブイリ事故：8名（小児甲状腺）
- 東電福島事故：ゼロ
- チェルノブイリ事故では、事故収束に当たった作業員49名が死亡している。公衆の発がんや死亡の増加は、線量が低いので、疫学研究で観測するのは困難であろう（UNCEARのHP）
- 東電福島事故の放射線による健康被害は観測されないであろう（UNSCEAR2013, 2020）

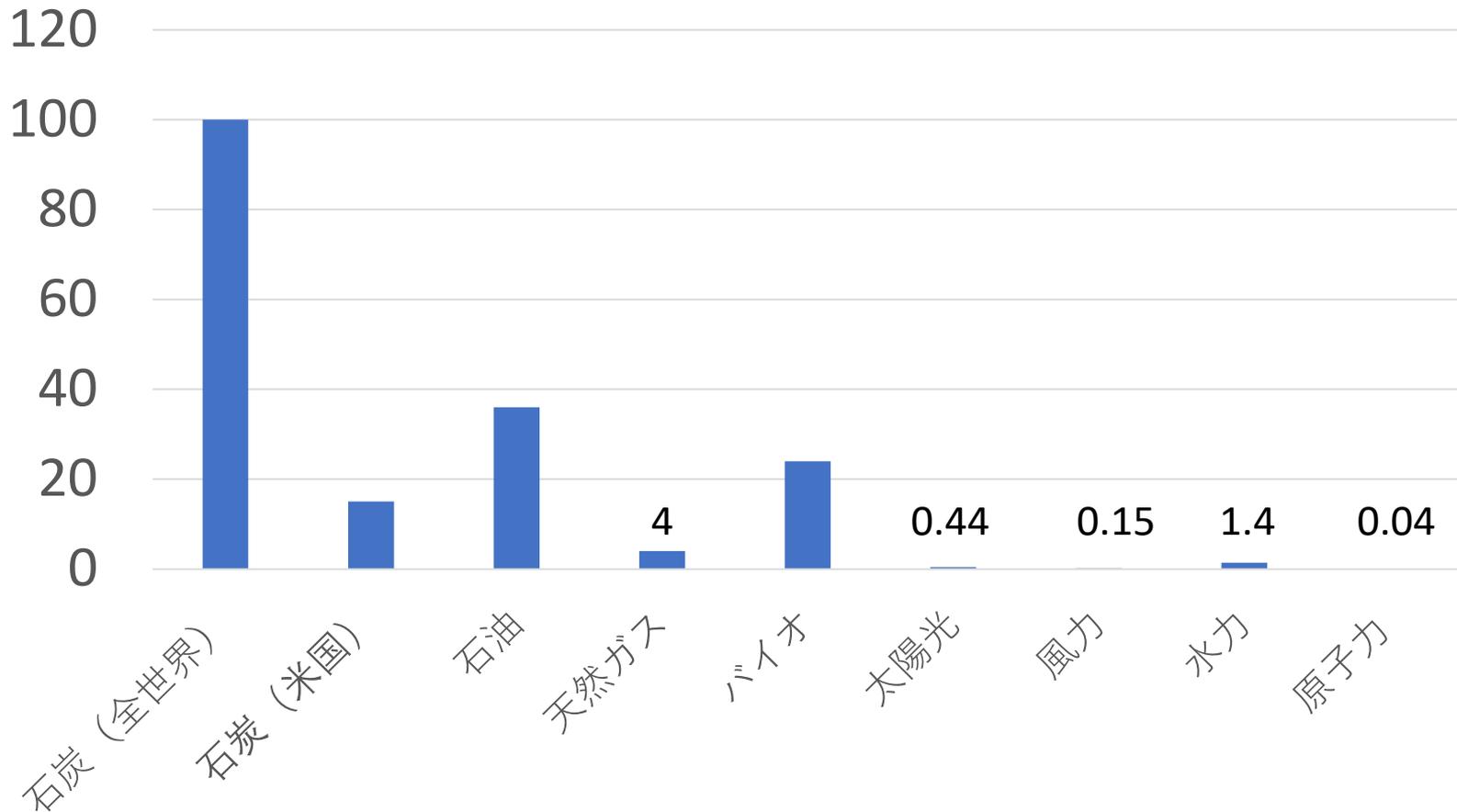
意見：他の健康被害（心理・精神的障害、不要な妊娠中絶*、災害関連死の増加**）を防ぐため、**原子力事故の時に低線量地域（例えば100mSv/y以下）の公衆にALARA（被ばくを合理的に低減）の考え方を適用しないようにすべき**（リスク・ベネフィットの考え方より。防ぐべきは放射線障害だけではない）

UNCEAR：放射線の健康影響に関する国連科学委員会

* 欧州での人口流産の増加、環境省：<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h28kisoshiryo/h28kiso-03-08-11.html>

** 東日本大震災における災害関連死の死者数、復興庁

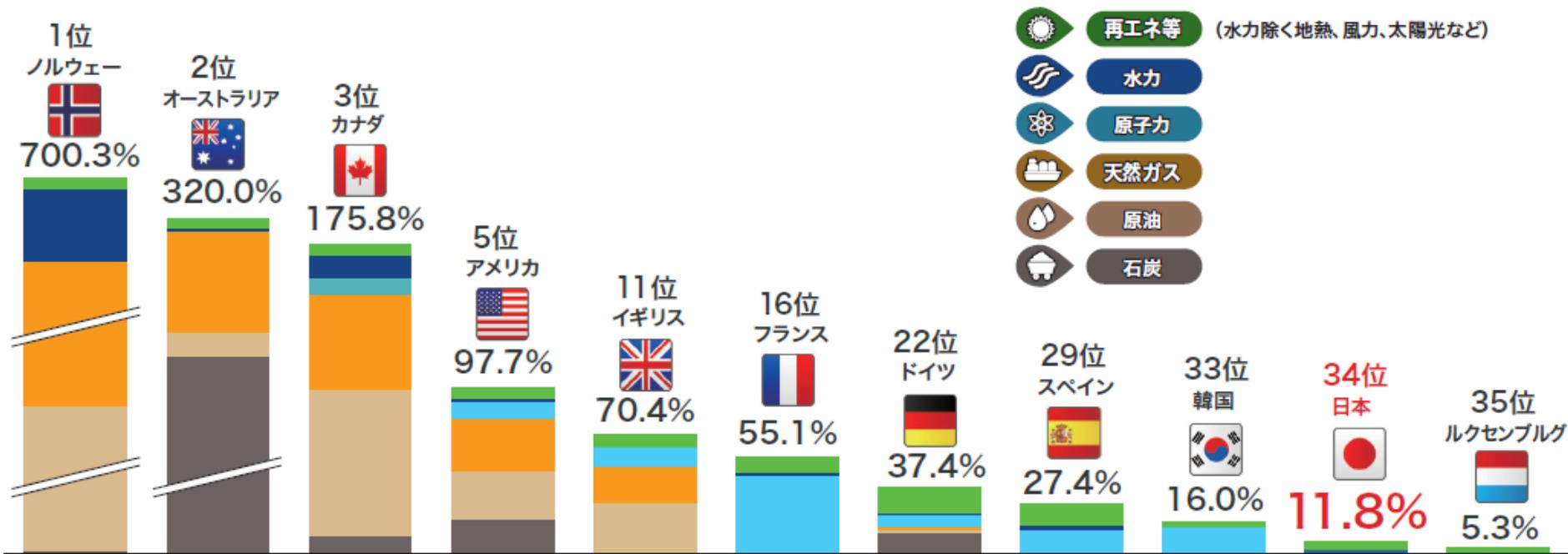
発電量当たりの死亡率 (死亡数/billion kWh)



出典: B. W. Brook et al., Why nuclear energy is sustainable and has to be part of the energy mix, Sustainable Materials and Technologies, 1-2 (2014) 8-16, Table 6
Source: Updated (corrected) data from: World Health Organization; CDC; Seth Godin; John Konrad

原子力発電で日本の エネルギー自給率の向上 を

主要国の一次エネルギー自給率比較 (2018年)



(出典) IEA「World Energy Balances 2019」の2018年推計値、日本のみ資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」の2018年度確報値。※表内の順位はOECD35カ国中の順位

(発表者注) 棒グラフの内訳は不正確、一次エネルギーの割合ではない

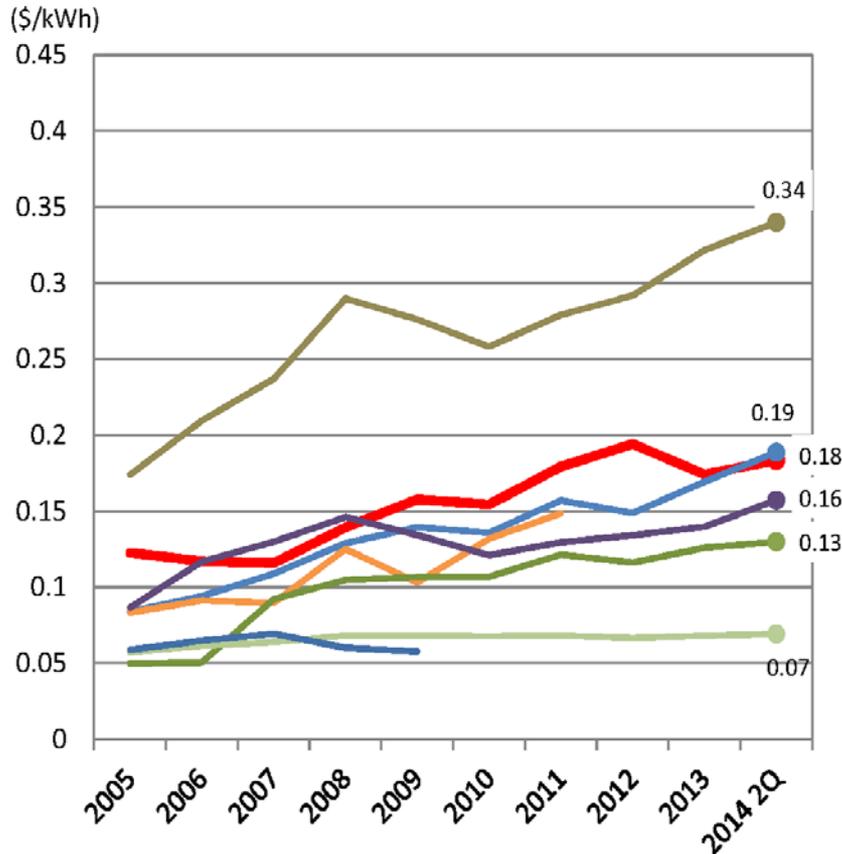
日本のエネルギー自給率は 極めて低く危険

- 先進国中最低レベル
- 国の経済活動や生活・健康維持など、国家・国民の安全にとって危険なレベル
- 天然ガスの輸入がもし途絶するとどうなるか？
- 欧州（ドイツ等）の天然ガスの4割がロシア依存は危険。ウクライナ侵攻に対するロシア経済封鎖の直効効果は上がるのか？ドイツは原発廃止政策を見直すべき（停止した原発も再稼働するのがよい）
- 原子力発電は準国産エネルギー。核燃料物質の輸入が途絶しても、数年間は大丈夫。備蓄も容易。
- ウラン資源はオーストラリアなど先進国に多く、安定供給の懸念は小さい。
- 原発のテロ対策は実施済み
- 日本は天然ガス輸入依存を減らすため、原発再稼働を急ぐべき

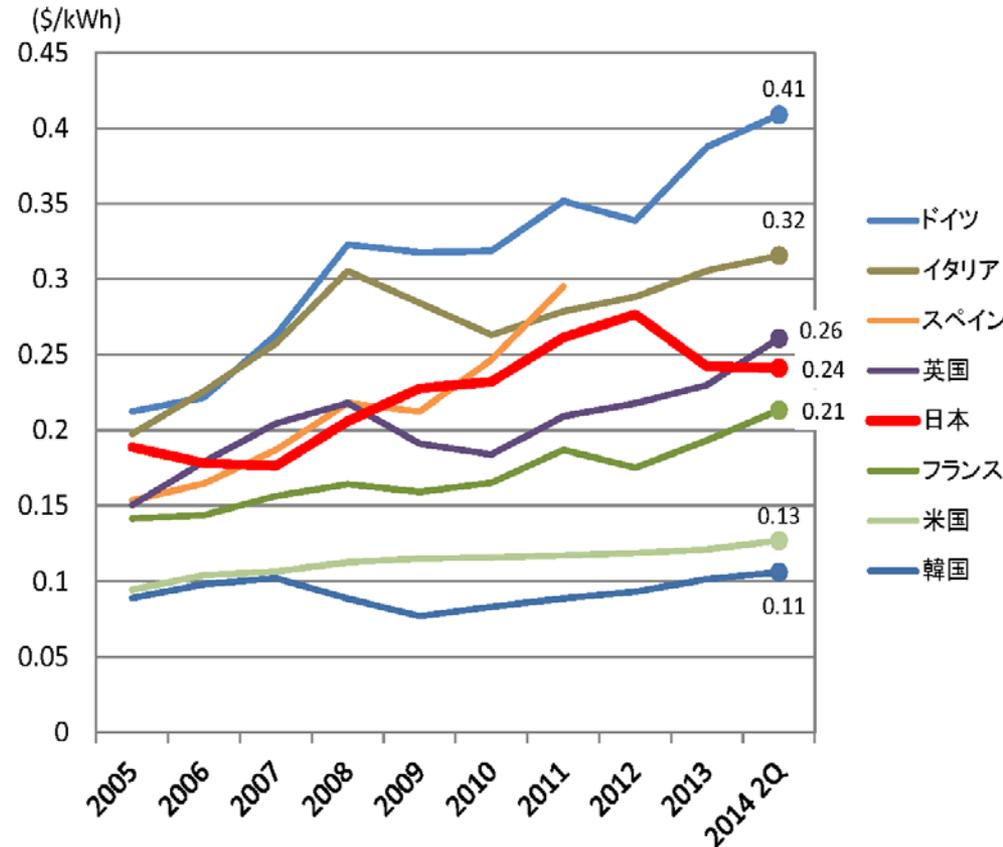
原子力発電で安価で
安定な電力の供給を

電気料金の諸外国との比較

【産業用電気料金】



【家庭用電気料金】

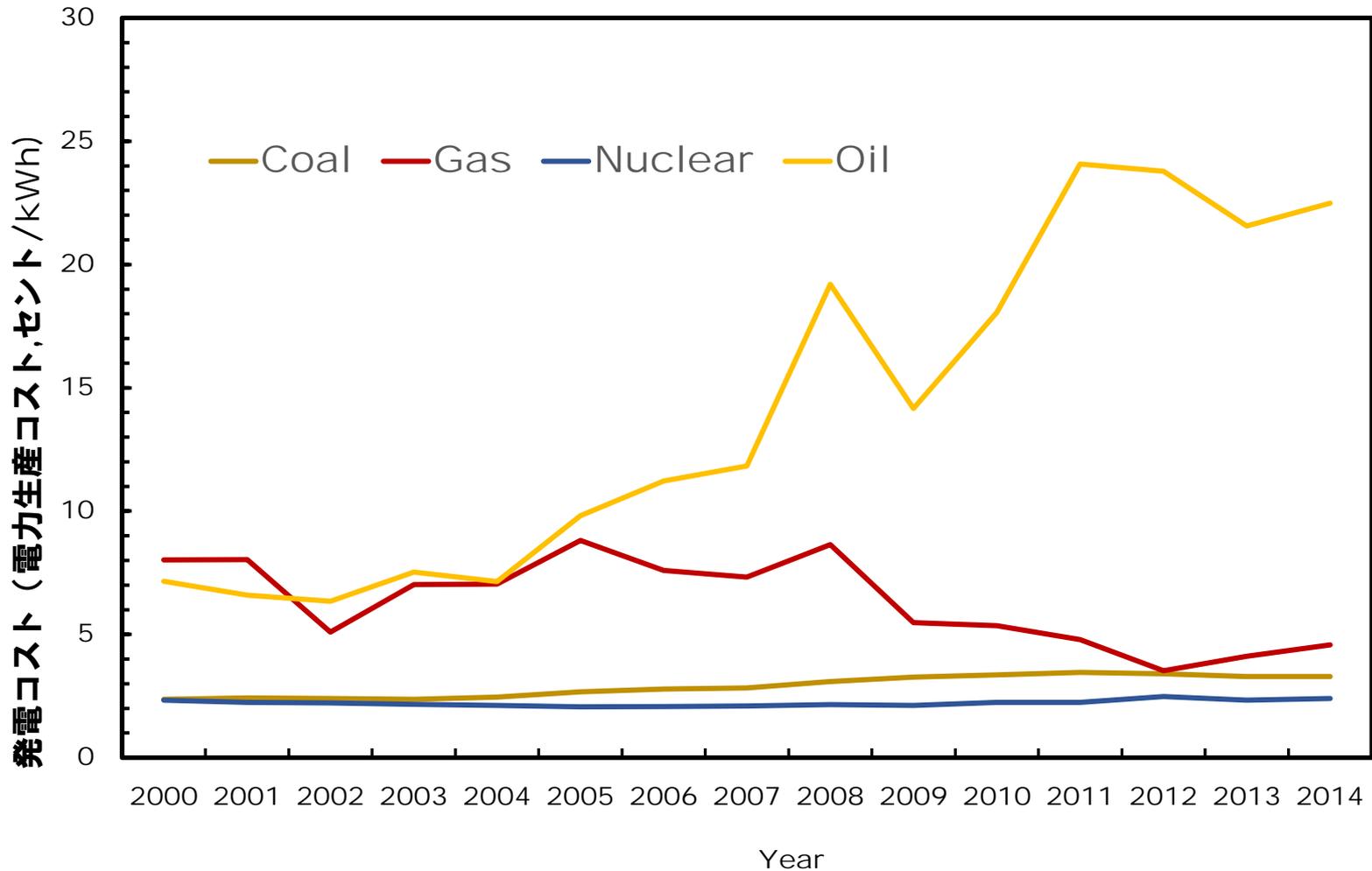


(※1) フランスの値が2007年に急激に上昇しているのは、IEAが利用するフランスのデータの出所が変わったことによる。

(※2) 日本の電気料金は震災以降上昇しているが、本グラフではドル建て表記のため、為替相場の影響を反映した形となっている。

【出典】 IEA Energy Prices and Taxes

米国の電力生産コストの変遷

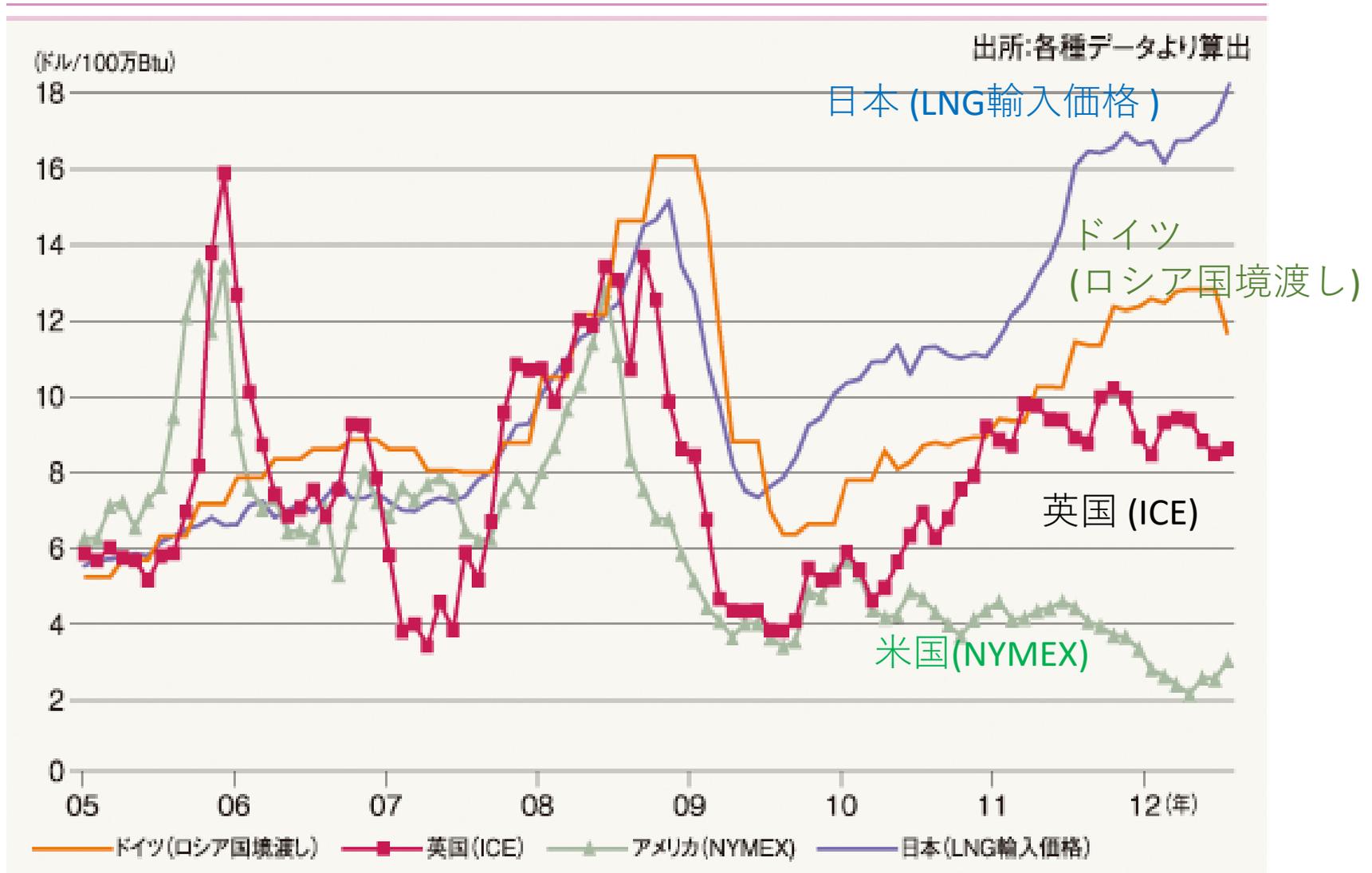


EIA のデータから作成

水力発電の電力生産コストは1セント/kWh程度

電力生産コストは建設費を含まない発電コスト

天然ガスは価格が不安定



原子力発電は安価・安定

- フランスは原子力発電が約7割で、電気料金が安価
- 韓国も安価。原子力発電が韓国の経済発展に貢献したと言われている。
- 米国の原子力発電コスト（電力生産コスト）も安価。平均稼働率**92.5%**
- 天然ガス価格は大きく変動する。輸入先には政情不安定国が多い。
- 日本では原子力発電所が稼働している電力会社の電気料金は天然ガス価格の高騰の影響を受けにくい。

日本の原子力発電の課題

- 原子力発電所の早期稼働を
- 原子力発電所の運転期間延長を
- 原子力発電所の建設継続と新規建設を
- 原子力発電で安価・安定な電力供給を

他の課題の例（説明省略）

- 日本の原子力は社会との接点に課題
- リスクコミュニケーション（国民との対話）の困難さの理解を*
規制側の役割だがNRCは国民相手の対話活動を行っていない。
- **日本の安全と規制と防災にコスト・ベネフィットの考え方がない**
（便益があるから規制が必要なのに**）
- 電力会社の自主的安全性向上活動：他社の事故でも自社の事故になる。米国INPOの標語”Hostages of each other”, INPOは仲良しクラブではない。
- 「虜」の構造に注意：国会事故調、関電、日大前理事長

国民のために（安価で安定な電力供給）を目標にするとよい。

* 岡芳明、原子力委員会メールマガジン、2019年7月26日

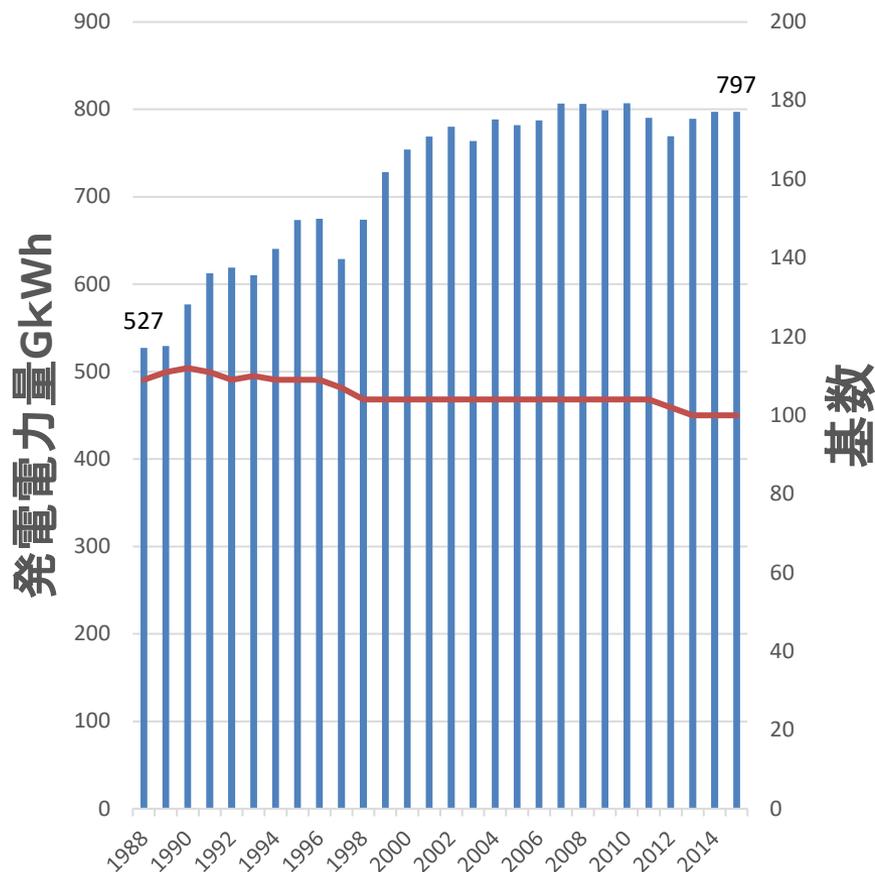
** C. Stoiber et.al., "Handbook on Nuclear Law", pp.3, IAEA, 2003

米国スリーマイル島原発事故後の発電量増加と事故率低減

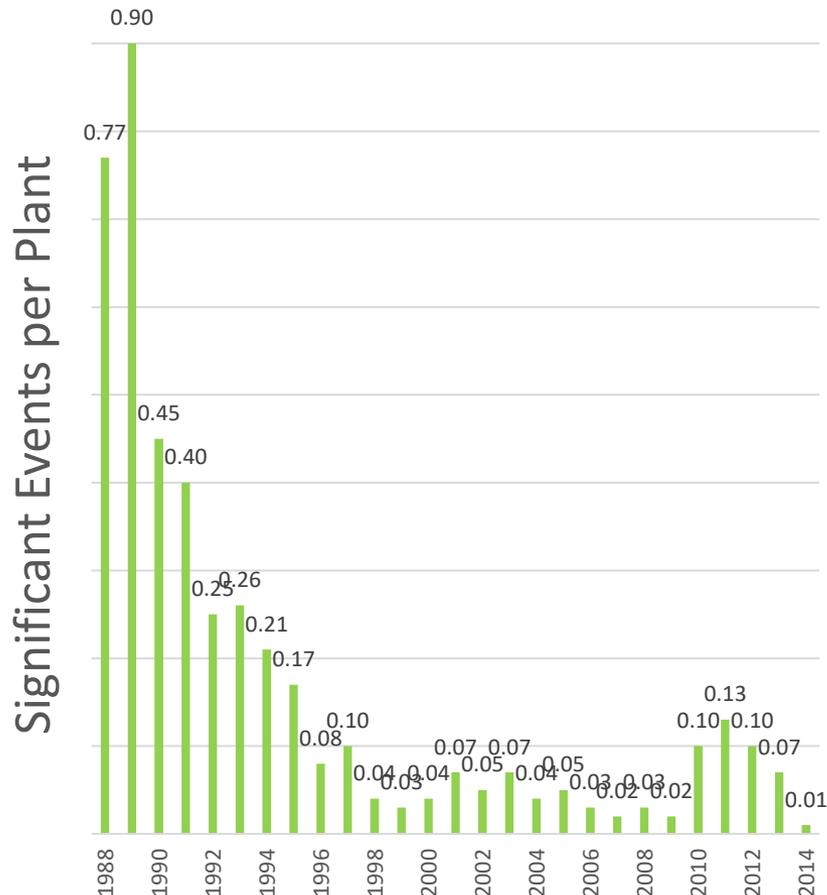
自主的安全性向上と規制の改善により、経済性向上と安全性向上が両立

米国の電力会社はTMI事故の国民に対する責任を果たした

発電量：50%増加



事故率：30分の1に低減



原子力発電所は水力発電所のようなもの 長く使うのが良い

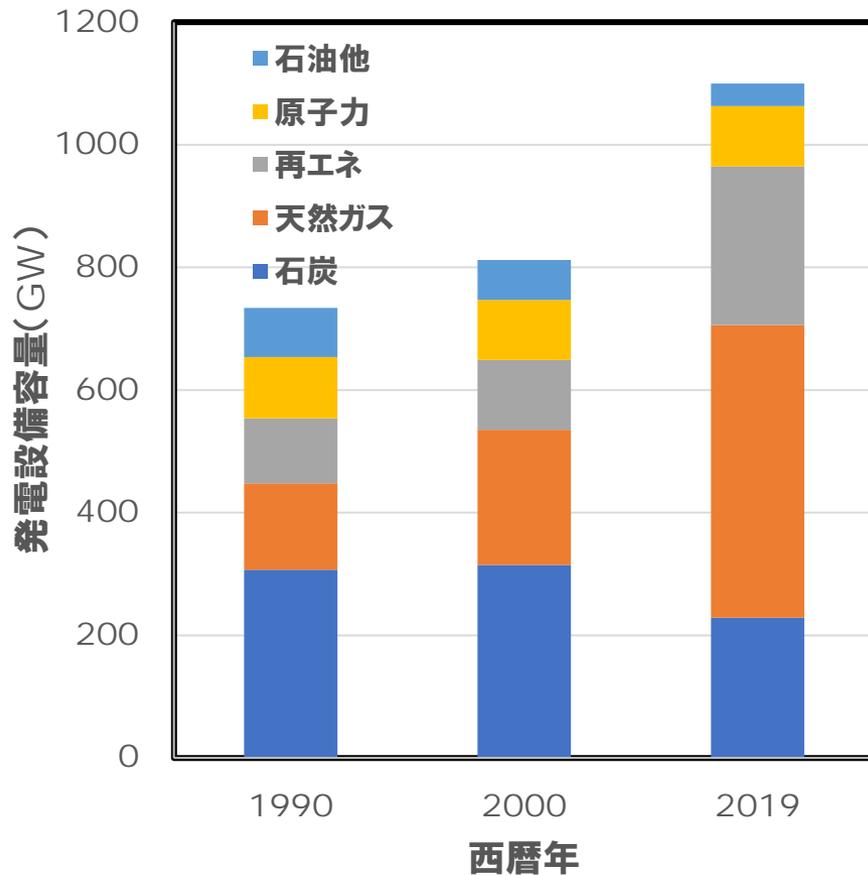
- 水力発電所は建設に巨額の費用が必要だが、運転・維持コストは小さい。建設投資回収後も、長く安価に発電している：例、テネシー峡谷ダム、アスワンハイダム、黒部川第四発電所
- 原子力発電所も建設費が大きいが、建設費償却後は安価に発電できる。例：米国やフランスの原発
- 水力発電所も原子力発電所も機器等を交換すれば、**寿命はない**
- 米国では、20年毎に運転許可更新を申請し、運転開始から80年間運転できる許可を得た原子力発電所が出てきている。

建設投資判断のために計算する発電コストは実際の発電コストではない

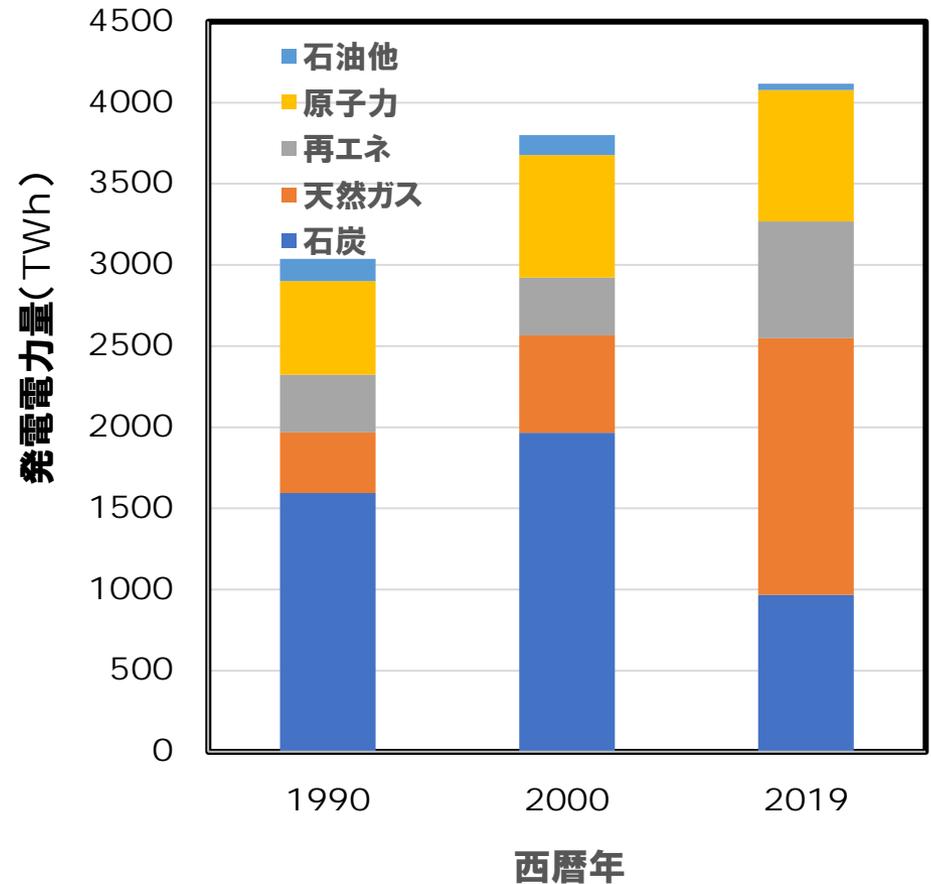
- 投資のための発電コストは、建設投資回収期間や利率を決めて、計算された値。
- 水力発電所や原子力発電所は建設投資回収後も発電する。その発電コストは電力生産コストで、米国では原子力発電が水力発電に次いで安価
- しかし、発電コストが高くても、投資リスクの小さい天然ガス火力発電所の新設が**1990**年代以降進んだ。
- 経済自由化・電力自由化環境下での原子力発電所建設投資リスクの問題は、この**30**年間米国の原子力発電利用で一番厳しかった課題だが、国民に安価・安定な電力を供給する視点とは異なる。
- 大規模電源に対する投資環境は国によって異なる

米国の発電設備容量と発電電力量の変遷

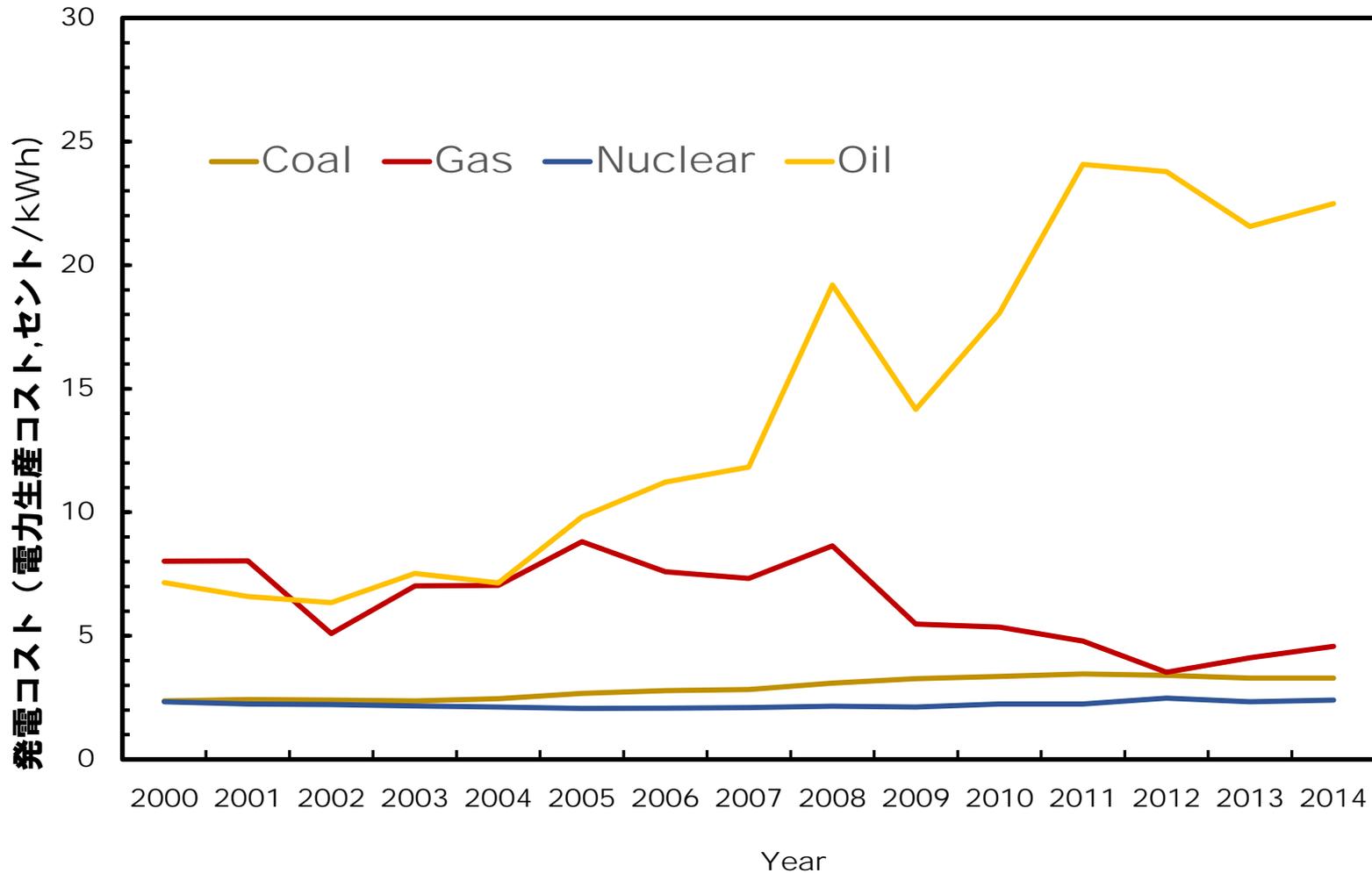
発電設備容量の変遷



発電電力量の変遷



米国の電力生産コストの変遷



EIA のデータから作成

水力発電の電力生産コストは1セント/kWh程度

電力生産コストは建設費を含まない発電コスト

日本の今後の原子力利用において 重要と考えること

- 共同原子力専攻の運営で留意したことは、両大学と専攻の責任を明確にして運営すること。
- これは日本の原子力利用においても重要と考える。
- 各組織（省庁、研究開発機関、大学、地方自治体、電力会社、企業など）の**組織の個人の役割と責任を明確に**。
- そのためには、透明性（ルール、役割、仕事等を文書で簡潔に説明し、関係者に開示すること）が必要。監査を機能させることが必要（形だけではなく）。
- 組織として、結果・成果を文書でまとめること、公開すること。行政庁は政策を短くわかりやすく作成開示すること。
- **国や集団に頼りすぎないこと**。会議によって責任をあいまいにしないこと。
- **国民のための原子力利用**（国民に対して説明し、成果で責任を負う）であることを、関係者がよく認識し、説明と各々の責任を果たすこと。**これらで新展開ができるはず**
- 「国民のため」は原子力に限らずグローバルスタンダード。

頑健な政策のために

米国では

- ①責任ある人または組織が行った決定や行動についての情報が存在する（省庁の役割）
- ②その情報を受け、または発見して、それを検討、調査、報告する人や組織が存在する（会計検査院の役割：**政策の良し悪しを述べるのではない**。調査権限をもとに情報を集め、まとめ、公開する役割*）
- ③そのような情報に基づき、欠陥を是正する行為が存在する（連邦議会、予算委員会の役割）

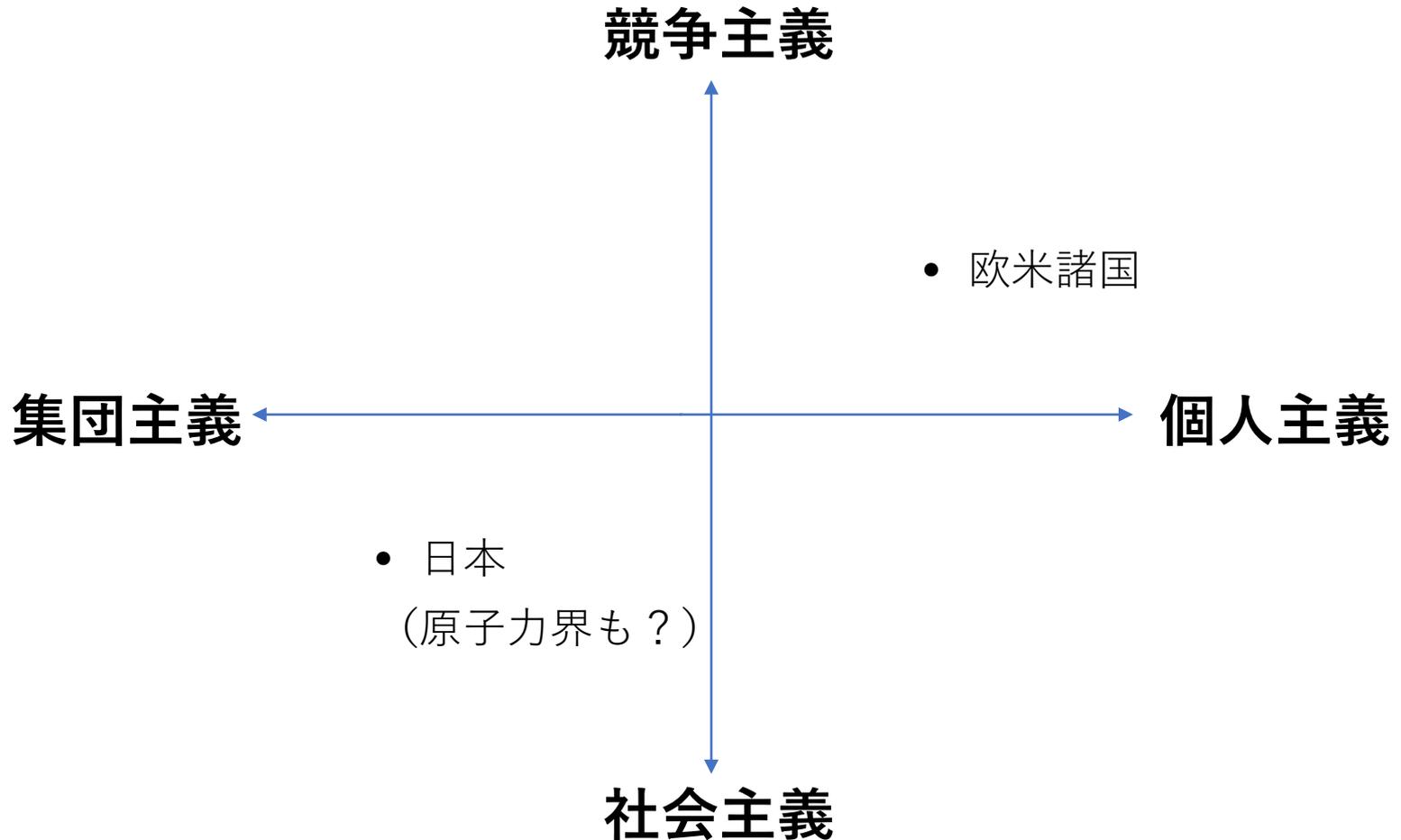
これらによって、頑健な政策が実行されている。

- 日本もこれを目指すのがよい
- 行財政改革の課題

* 米国はGAO: Government Accountability Office:

Accountabilityは「説明責任」は誤訳で、正しくは「結果に対する責任」
会計検査院の名称はNational Audit Officeである国が多い。Audit（聴聞）が仕事

価値観



しかし

- 価値観は違っても、国民に安価に安定な電力を供給するという、原子力発電利用の目標は同じはず。
- 国民に対して、透明性を向上し、それぞれの組織の責任を明確に。
- 個人としては、世間で流布している情報に惑わされないこと。伝聞中心（聞いて書かれたものを含む）の**集団主義**（原子力村）の危うい状態から脱却の**必要**がある
- **英語**で検索し、考えるとよい（米英省庁・会計検査院、国際機関への各国の報告書等を）。ネットで情報を探せる時代である。
- 歴史的**事実・根拠**をもとに**論理的に帰納的に考える**必要がある。社会現象には自然の原理（物理の方程式）はないので、演繹的思考は困難。
- **国内外の過去の失敗の教訓をきちんと認識**すること。認識できると同じ失敗は防げるはず。失敗とは物が壊れる話のことではない。
- 米国は経験をまとめた報告書が作られ公開されている。NRCは過去の重要文献を収集し公開する役割も果たしている。
- 国民向け情報は充実してきた：エネ庁スペシャルコンテンツ、環境省放射線影響統一資料、福島復興ステーション等

放射性廃棄物について

- 世間では、未解決の大きな課題と言われているが、**欧米では処理処分が進んでいる。**
- 低レベル放射性廃棄物処理処分はどの国も実施中
- 高レベルについても、苦勞しながらだが、進んでいる。フィンランドだけではない。フランスも着実に進んでいる。**フランスは最終処分ではなく、最終処分になるかもしれない処分。**米国は国がトップダウンで処分場を決めたために苦勞している。スウェーデンで処分場が決まった。
- 国民全体の合意を直接図る必要はない（議会制民主主義の中で進めるのがルール）。
- **地元との信頼構築には時間がかかる。丁寧に。**
- 日本は使用済み燃料貯蔵容量の拡大が必要（2018年に原子力委員会が「プルトニウム利用の基本的考え方」の中で述べている。
- 原子力委員会は、「低レベル放射性廃棄物の処理処分に関する考え方（見解）」を2021年末に公表した。

振り返ると：人材育成、専攻設立、 原子力教科書作成など

- 原子力の世間の評判・人気は大幅に変動するが、優秀な人材は、多少の差はあるが、常に原子力分野に来る。
- 東大の原子力2専攻：原子力国際専攻と原子力専攻（専門職大学院）を2005年に設立した。
- 原子力教科書シリーズ（オーム社）を2008年から出版した。英語版も出版
- 早大・東京都市大学共同原子力専攻が2010年に作られた。私学唯一の原子力専攻の特徴を生かして**貢献と発展を期待する。**
- 東電福島事故以前は、原子力カルネッサンスと呼ばれていた。事故から11年経ってまた追い風に。
- **原子力は世間のアップダウンは激しいが、着実に。**
- 原子力利用には、原子力への思い入れの強い、**原子力専攻育ちの卒業生が必要。**

原子力教科書

日本の優れた原子力発電技術と30年間の実用の進展を反映
英語版も作成 (Springer)

第1号

第2号

第3号

第4号

第5号

第6号

原子力教科書
原子炉動特性と
プラント制御

原子力教科書
原子力
プラント工学

原子力教科書
原子力
熱流動工学

原子力教科書
原子炉
構造工学

原子力教科書
ヒューマンファクター
概論

原子力教科書
原子力
保全工学

第7号

第8号

第9号

第10号

第11号

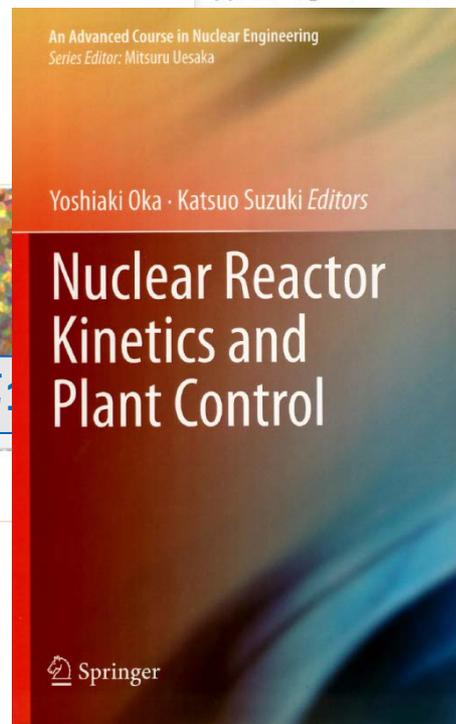
放射線
遮蔽

原子力教科書
原子炉
設計

原子力教科書
放射性廃棄物の
工学

原子力教科書
放射線
利用

原子力教科書
原子炉
物理学



Source: <http://www.springer.com/engineering/energy+technology/book/978-4-431-54194-3>

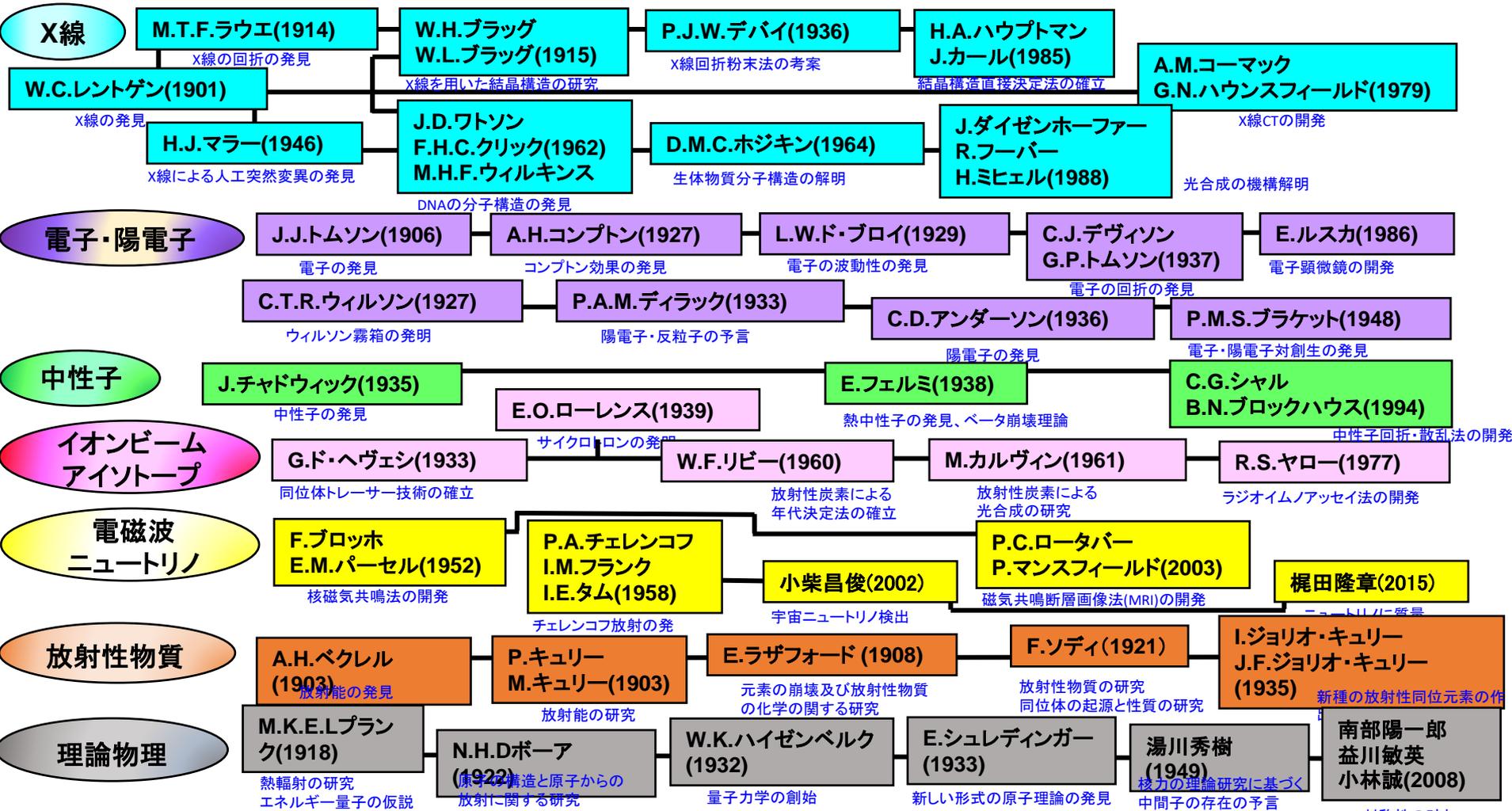
大学について一言

- 研究大学の重要な役割は、世界から自国に優秀な人材（大学院生・若手研究員等）を集めること。
- 早大理工は厳しい学部教育が素晴らしい。
- 早大の学生はコミュニケーション能力が優れている。
- 人の優秀さとは、多様なもの
- 大学の教育・研究で重要なのは教員人事。米国大学の運営を参考に*

* Joonhong Ahn : 米国大学の教育研究の現状人事・教育・研究,2013年早大
<http://www.f.waseda.jp/akifumi.yamaji/upload/UC.pdf>

原子力分野における歴代のノーベル賞受賞者

▶ 原子力エネルギー・放射線分野の研究によるノーベル賞受賞者は、物理学賞においては25%以上、自然科学(物理、化学、生理・医学)の3賞においても15%程度を占めており、**科学技術の発展に与えた影響は非常に大きい。**



アラブ首長国連邦のバラカ原子力発電所



Source: <https://www.enec.gov.ae/barakah-plant/>

まとめ

- 放射線は新しい光、原子力エネルギーは新しい火。物理の基礎に立ち、実用との接点を探求しつつ発展を。
- 原子力発電は水力発電のようなもの、できるだけ長く使うのが良い。
- 原子力発電利用の目標は、**国民に安価で安定な電力を供給すること**。この目標に向かって努力することで、新展開を。**伝聞主体の「原子力村」から脱却せよ。**
- 私学唯一の原子力専攻の特徴を生かした共同原子力専攻の発展を期待する。

ありがとうございました