

# 核エネルギーの利用とリスク

— 環境リスク低下 —

勝田 悟\*

## 本文目次

1. はじめに
2. 核エネルギー
  - 2-1 エネルギーの生成
  - 2-2 核エネルギーのコントロール
  - 2-3 核融合
  - 2-4 核爆弾と戦争抑止
3. エネルギー法政策
  - 3-1 エネルギー政策
  - 3-2 事故の救済と再発防止
  - 3-3 放射性物質・放射線の環境汚染対策
  - 3-4 リスク管理とリスクコミュニケーション
  - 3-5 核廃棄物
4. 結論

## 1. はじめに

科学技術は、基礎研究から応用研究、普及と進展し、さまざまな産業で新たなもの、サービスを生み出している。人類が構築した経済は効率性を追求し、社会秩序維持のための規範も作られ、条約、法令、条例、自主規制、慣習と合理性を考慮し作られている。これら社会システムの影響を受けて、「無駄なく最小のもので最大をなす」<sup>1)</sup> 考え方が、技術開発においても追求されていく。環境学も、環境効率性、資源生産性の向上に注目しており、経営における効率性を向上させるために必要とされる無駄、無理、ムラを省くことが検討される。しかし、バックミンスター・フラーが提唱した「宇宙船地球号」<sup>2)</sup> の概念に基づき、人工的に生態系をによって作ろうとしたバイオスフェアⅡなど実験は成功した例はない。現在人類が持っている科学技術は、自然がもつ知的財産には遠く及ばない。

また、エネルギー分野においても、エイモリー・ロビンスが「ソフトエネルギーパス」<sup>3)</sup> で述べているように、再生可能エネルギーで鉄道や大規模な施設等への電力を供給するより、火力発電など大規模な発電によって賄った方が合理的であるとしている。原子力発電（約 134 万 kW [2023 年稼働の一般的発電容量]）と太陽光発電（約 2kW [家屋の屋根に設置の一般的発電容量]）では、約 67 万倍も発電容量のポテンシャルが異なっており、エネルギーの消費の方法によっては生産方法を考えた方が効率的であるといえる。人類は、核エネルギーについて現在ある科学技術のレベルを踏まえ、俯瞰的に合理性を考え、リスクを可能な限り低くして計画的に利用を進めなければならない。

極めて少量で莫大なエネルギーを生み出す核反応（核融合は理論的には無限大）では、原子核の崩壊、または融合が行われ、陽子や中性子、及び素粒子レベルのコントロールしなければならない。波と粒子の性質を持つ量

子の世界、未だ存在を確認できないダークマター（素粒子の存在との関連）、宇宙の物体に加速度を付けて拡大させているダークエネルギーなど未だ人類に十分な知見はない。

これら状況を踏まえ、本稿では、核エネルギー利用を取り上げ、環境リスク低下策について検討した。

## 2. 核エネルギー

### 2-1 エネルギーの生成

エネルギーは、熱、光、動力など人類の生活を向上させる不可欠なサービスを与えている。すべての生物の生存を支えている食物は、生態系の中で生み出されるバイオマスエネルギーによって作られ、人類は農業によって効率的に生産を行っている。薪などバイオマスによって人工的に火を生み出した人類は、高密度バイオマスエネルギーである化石燃料<sup>4)</sup>を大量に使用し始めたことで、産業革命が起き 150 年あまりでそれまでの人の生活は大きく変わることになった。莫大な便利なサービスを手にしたといえる。しかし、化石燃料は過去の生命が死んだ後に化石化したものであり、その量には限りがある。地球の表面に僅かに存在しているだけであり、人類はその存在量の半分程度燃焼（酸化）し、エネルギーとして消費してしまっている。消費後は、酸化したバイオマス（有機物）は、環境中（常圧、常温の状態）に多くの気体の二酸化炭素と液体の水となり、及びバイオマスに含まれる有害物質を含む物質及び大気中の気体を化学変化させイオウ酸化物（SO<sub>x</sub>）、窒素酸化物 [NO<sub>x</sub>] はじめさまざまな酸化物を生成する。不完全燃焼した一酸化炭素、微小な固体のばいじんなども発生させる。

尤も化石燃料が使用させる以前より、気体の動き（風）を利用した風車、帆船、それよりエネルギー密度が高い液体である水の流れを利用した水車、海流、あるいは（電磁波）地熱や日光など自然エネルギーは利用していたが、エネルギー密度が小さく使用用途は限られている。

このような状況で、ラジウムが発見され、新たな電磁波エネルギーである放射線が発見される。そして原子核壊変で莫大な熱エネルギー、放射線が生成されることも発見され、人工的にこの核分裂反応も可能となる。このエネルギーは、第二次世界大戦で、一瞬に多くのものを溶解、破壊し、大量の有害な放射線、放射性物質を発生させる原子爆弾（atomic bomb）として使用される。日本の広島、長崎に投下され、米国ではこの攻撃は実験（experiment）として扱っている<sup>5)</sup>。この爆弾の開発プロジェクトを行った科学者オッペンハイマー（John Robert Oppenheimer：ウラン 235 を原料の爆弾製造）と、エンリコ・フェルミ（Enrico Fermi）（プルトニウム 239 を原料とする原子爆弾）は、後に開発したことを悔いている。オッペンハイマーは、アインシュタイン（Albert Einstein）などと共に原子爆弾より格段に大量のエネルギー放出がある水素爆弾（hydrogen bomb）（核融合反応）開発には一貫して反対し、米国原子力委員会顧問を解任されている。

1953 年に米国、旧ソ連が水素爆弾開発に成功したことで人類を壊滅させる恐れがあることから、米国のアイゼンハワー大統領が同年 12 月に開催された国際連合総会で、“Atoms for Peace”を提唱し、危機的事態を回避しようとしている。米国等西側諸国と旧ソ連等東側諸国の対立が続いたまま同 1953 年に IAEA（International Atomic Energy Agency：国際原子力機関）憲章が関連主要 18 カ国の批准発効し、原子力の平和利用が進められることとなった。IAEA 憲章の目的は、「全世界の平和、保健および繁栄に対する原子力の貢献を促進し、増大するよう努力すること」となり、原子力発電の開発が国際的コンセンサスのもとで進められることとなった。なお、1957 年に IAEA が国際機関として設立され、第一回総会が行われ、各国で核エネルギーによる発電の開発が進められるようになった。

ロシアのウクライナへの軍事侵攻以降、天然ガス、石油を中心に国際的な供給不足に陥っており、再度核エネルギーの開発、実用化、普及が急激に進められている。過渡的利用と位置づけている国も多いが、莫大な量のエネルギーを得ることができる原子力発電が普及するとさらに拡大していくことが予想される。ただし、原子力発電の原料（核分裂物質）であるウラン 235 は、可採可能な期間は数十年程度と見積もられており、持続可能性はあまりない。しかし、ウランの同位体で高い存在率があるウラン 238 への中性子の照射で生成するプルトニウム 239 は核廃棄物の中に含まれ、分離抽出し（高速）増殖炉で核反応を行うことで大量の核エネルギーを得ること

ができる。現在日本に存在する核廃棄物だけで理論的に約 7000 年分の日本のエネルギー需要に相当する（使用時の放電等損失を考慮しても約 2000 年分に相当する）。他方、インドでは、トリウム同位体に中性子を照射し、核分裂性のウラン 233 を励起させる新たな核反応による原子力発電を開発中である。この他、新たな核エネルギーの開発は、世界各地で行われていくと推測される。

## 2-2 核エネルギーのコントロール

2011 年 3 月に発生した福島第一原子力発電所事故では、放射性物質が環境中に放出され、放射線汚染防護のために甚大な被害が発生している。当該事故で懸念されたのは、短期的に健康被害が発生するような有害性ではなく、微量放射線による中長期的な人への健康障害、生態系への影響・生物濃縮、放射線への過剰なリスク意識による風評被害である。

原子力発電所では、核燃料に中性子を照射することで起こる核分裂反応によって莫大な熱エネルギーが生成されている。しかし、熱を発生させる反応は、ウラン 235 のみで核燃料に大量に含まれるウラン 238 は原子力発電には利用できず、一部はプルトニウムに改変する。発電に利用できなかったウランは、核廃棄物となる。なお、自然界に存在するウランの約 99.3%はウラン 238 で、ウラン 235 は 0.7%程度である。したがって、原子力発電用の核燃料にはウラン 235 を 5%程度まで濃縮されて使われている。

原子炉内では、核燃料に中性子が照射されて核反応が始められ、この反応に要する中性子の量をコントロールし安定した核分裂反応が維持されている。1986 年に旧ソ連（現 ウクライナ）のチェルノブイリ原子力発電所で発生した爆発事故は、何らかの原因で原子炉内の核反応が急激に低下し、中性子を吸収する制御棒を急激に解除したため、今度は逆に異常に核反応が起こり発生している。作業員の中性子照射ミスが原因で事故にいたっている。福島第一原子力発電所の事故は、東日本大震災による津波によって原子炉内に大量の海水が入り電源が止まり、さらにリスク回避のための（安全）ガイドラインを遵守せずに原子炉の下に建設された二次電源も使用不能になったことで制御不能になり発生している。どちらの事故も原子炉が超高温となり、蒸気（水）が分解し水素が発生し、空気より軽いことから原子炉建屋の上部に溜まり熱で発火し爆発が発生している。

日本の原子力発電所は、軽水炉（Boiling Water Reactor: BWR [再循環水・蒸気]、Pressurized Water Reactor: PWR [冷却材・蒸気]）であるため、水素爆発の可能性が高い。原子力発電が再稼働する際に十分な対策が必要である。また、主要電源が遮断された際に非常用に確実に供給出来る二次電源を確保しなければならない。自然災害により事故が発生し電源喪失を生じた場合、長期的に復旧できないことが予想されるため、安定した供給が可能な二次電源が必要である。福島第一原子力発電所のように原子炉の地下に設置すると事故対処設備にはならない。また、電源車の配置は移動ができ短期的対応には対処できるが、長期的供給はあまり期待できない。このようなリスク評価は現状では不足している。一般的に、原子力発電所の事故対処は、①止める、②冷やす、③閉じ込める、を基本としており、フェールセーフ、フールプルーフ、インターロックによって原子炉の稼働を止める方法は備えていると考えられるが、緊急炉心冷却系（ECCS）の継続時間、核分裂で発生する核分裂生成物質（Fission Products）の環境中への放出に関しては未だ不十分である。

また、今後、量子力学の発展で原子力発電のシステム自体が変化する可能性もある。例えば核分裂を利用した原子力発電ではなく、核融合によって莫大なエネルギーを得て発電する方法も推進されていくことが予想される。核融合は理論的には、無限大のエネルギーを作り出すことができ、反応で同時に発生する放射線、及び放射線によって励起した放射性物質の生成などリスクが懸念されることも多い。核融合反応についてはまだ研究段階の部分も多く、素粒子レベル等の科学的な知見を向上させハザードを把握し、事故対処等リスク低下を図っていく必要がある。

なお、原子爆弾のような爆発的核分裂はウラン 235、またはプルトニウム 239 が 90%以上存在しないと爆発しないため、原子力発電所にある核燃料では核爆弾の原料にはならない。また、プルスーマル<sup>6)</sup>や高速増殖炉で使用するために分離・抽出されたプルトニウムを単体で燃料として使用することは、「核兵器の不拡散に関する条約（Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons: NPT、以下、核拡散防止条約とする）」で禁止されている。このため分離精製されたプルトニウムは、他のウランと混合し、混合酸化物燃料（Mixed Oxide Fuel: MOX:

MOX)に変化させ、容易に原子爆弾原料への転用ができないようにしている。

### 2-3 核融合

水素による核融合（水素同位体の反応）は、太陽の反応と同じで、宇宙に存在する恒星のエネルギー源である。核融合発電は、3 重水素（質量数 3 : T トリチウム）と 2 重水素（質量数 2 : D ジューテリウム）と反応させて、核融合が実験的に行われている（T、D とともに水素の質量数 1 に比べかなり不安定な原子である）。別途、ヘリウム、またはリチウムも使用されている。

国際プロジェクトとしては、1985 年に行われた米ソ首脳会談において「平和目的のための核融合研究を国際協力のもとで行うこと」が提唱され、ITER（イーター [International Thermonuclear Experimental Reactor]）計画が実施されている。現在はフランス、日本などが中心に研究開発、実用化が進められている。実験施設がフランスに建設され、日本にも茨城県東海地区に小型の施設がある。この核融合反応は、太陽表面で行われている反応であり、地球上で太陽のエネルギーを直接発生させる研究である。

この反応を利用すると前述の通り理論的には無限大のエネルギーを生み出すことも出来るが 1 億 K 以上の状態でなければ核融合反応は起こらない。当初は核爆弾を製造するために、圧力を高めた容器中で核分裂反応（原子爆弾を爆発）を行い発生した熱によって核融合の反応条件を得ようとしていた。現在は、プラズマ中に電流を流して高温を得て、その後中性粒子ビーム入射(Neutral Beam Injection: NBI)加熱法と高周波(Radio Frequency: RF)で加熱する方法が実用化されている。実験レベルでは約 5 億 K の状態を作り出すことができる。イーター計画では、磁場でプラズマを封じ込める実験が中心に実施されている。

水素の同位体による核融合では、同じ質量のウランによる核分裂反応のおよそ 4.5 倍、石油を燃やして得られるエネルギーの 8000 万倍まで可能と考えられている。核分裂と大きく異なる点として、反応物の供給を止めることで、核融合を止めることができ比較的早く稼働停止ができるメリットはある。現在行われている原子力発電の核分裂反応は、制御棒（中性子を吸収する）を入れても容易に止まらず、1 ヶ月以上の期間がかかる。

原子力発電のエネルギーを生成するための反応は核分裂で原子爆弾とおなじ反応であるのに対し、核融合発電のエネルギーを生み出す反応は核融合で水素爆弾と同じ反応となる。従って水素爆弾は、原子爆弾より極めて大きなエネルギー及び放射線を発生し、破壊力も非常に大きなものとなる。米国の原子爆弾製造計画であるマンハッタン計画に参加し、オッペンハイマーとウラン 235 を利用した原子爆弾を作り出した物理学者、エドワード・テラー（Edward Teller）は、「核兵器は、科学者として最も魅力的な冒険であり挑戦 “Energy from Heaven and Earth”」は米国の水爆開発を推進した。この開発から核融合反応研究が進み、現在のイーター計画の基礎を築いたともいえるが、環境または生態系への影響をアセスメントしないまま研究開発は、潜在的に非常に大きなリスクを持った功利的な危険な行為である考えられる。全ての核爆弾開発は、破滅へ向けての研究である。ただし、リスクアセスメントを行っての人類のエネルギーとしての利用の可能性は否定できない。現在人類が持っている科学技術は環境破壊の要因となっており、十分にリスクアセスメントをしないまま、短期的な科学者の興味と経済効率の追求で中長期的将来を見失ったまま進んだ結果と言える。

### 2-4 核爆弾と核戦争抑止

核兵器使用を止めるには、国際連合安全保障理事会の常任理事国（Permanent members of the United Nations Security Council）5 ヶ国の役割が極めて重要である。しかし、常任理事国は、米国、英国、フランス、ロシア、中国（中華人民共和国）と第二次世界大戦の戦勝国であり、1945 年以降、核爆弾の威嚇を背景に東西冷戦を行ってきた国々である。核戦争になると人類及び地球生命の全てを核エネルギー及び放射線で絶滅させることができ、地球上での最も悲惨な状況となる。2022 年に始まったロシア軍のウクライナ侵略では、軍事的制圧目的でロシア・プーチン大統領が核兵器の使用を口頭で繰り返している。国連安全保障常任理事国が核爆弾を持たない国に対して威圧すると、自国の自衛のために核爆弾を所有、あるいは製造する国が増えることが予想される。人類は、自ら核エネルギーと放射線に曝露される確率を上げ死滅の確率を上げている。この 5 ヶ国に核爆弾を保有する権利を与えていることは疑問である。そもそもロシアが自国の利益のために核兵器の使用で威嚇することから、国

際連合安全保障理事会の存在意義を失っている。

1970年に発効した「核兵器の不拡散に関する条約」で、国連安全保障常任理事国の5ヵ国のみ核爆弾を保有することを認めている。この条約には、わが国をはじめ191ヵ国が批准しているが、インドとパキスタンが、上記5ヵ国のみ核爆弾の保有を認めるのは不平等として加盟していない。また、イスラエル、南スーダン等も加盟していない。国際的なコンセンサスが得られた条約ではない。

他方、「核兵器禁止条約」が、2017年7月7日に国連加盟国の3分の2を超える122か国の賛成で採択されている。2017年9月20日に調印（署名）・批准・参加の受付が始まり、2023年1月9日現在で署名が92か国・地域、批准は以下の68か国・地域となっている。日本は署名も行っていない。当該条約に批准することは、核兵器は持たないこととの意思表示とも捉えられる。

「アルジェリア民主人民共和国、アンゴラ共和国、アンティグア・バーブーダ、オーストリア共和国、バングラデシュ人民共和国、バルバドス、ベリーズ、ベナン共和国、ボリビア多民族国、ボツワナ共和国、ブラジル連邦共和国、ブルネイ・ダルサラーム国、ブルキナファソ、カーボベルデ共和国、カンボジア王国、中央アフリカ共和国、チリ共和国、コロンビア共和国、コモロ連合、コンゴ共和国、クック諸島、コスタリカ共和国、コートジボワール共和国、キューバ共和国、コンゴ民主共和国、ジブチ共和国、ドミニカ国、ドミニカ共和国、エクアドル共和国、エルサルバドル共和国、赤道ギニア共和国、フィジー共和国、ガンビア共和国、ガーナ共和国、グレナダ、グアテマラ共和国、ギニアビサウ共和国、ガイアナ共和国、ハイチ共和国、パチカン、ホンジュラス共和国、インドネシア共和国、アイルランド、ジャマイカ、カザフスタン共和国、キリバス共和国、ラオス人民民主共和国、レソト王国、リビア、リヒテンシュタイン公国、マダガスカル共和国、マラウイ共和国、マレーシア、モルディブ共和国、マルタ共和国、メキシコ合衆国、モンゴル国、モザンビーク共和国、ミャンマー連邦共和国、ナミビア共和国、ナウル共和国、ネパール連邦民主共和国、ニュージーランド、ニカラグア共和国、ニジェール共和国、ナイジェリア連邦共和国、ニウエ、パラオ共和国、パナマ共和国、パラグアイ共和国、ペルー共和国、フィリピン共和国、セントクリストファー・ネイビス、セントルシア、セントビンセント及びグレナディーン諸島、サモア独立国、サンマリノ共和国、サントメ・プリンシペ民主共和国、セーシェル共和国、シエラレオネ共和国、南アフリカ共和国、パレスチナ、スーダン共和国、タイ王国、東ティモール民主共和国、トーゴ共和国、トリニダード・トバゴ共和国、ツバル、タンザニア連合共和国、ウルグアイ東方共和国、バヌアツ共和国、ベネズエラ・ボリバル共和国、ベトナム社会主義共和国、ザンビア共和国、ジンバブエ共和国」

また、水素爆弾は、広島型原子爆弾の数十倍から数百倍の威力を持たせることを目標に開発が行われている。現在開発中の核融合発電の原理と同じく、二重水素と三重水素の核反応を利用している。すでに安全保障理事国の爆撃機、大陸間弾道ミサイルには搭載可能となっている。1954年3月1日にマーシャル諸島共和国のビキニ環礁で米国が実施した水爆実験では、広島に投下された原子爆弾（ウラン235の核分裂）の約1,000倍の出力に成功したが、周囲の船舶等及び周辺の島にFP（Fission Products）いわゆる死の灰が降り注ぎ甚大な被害が発生している。日本の漁船、第五福竜丸も被害に遭い無線長が放射性物質による被曝で死亡している。したがって、水素同位体による核融合自体では、ウランの核分裂のように放射性物質の生成はないが、周辺の物質を励起させ、放射性物質に変化させることがわかる。核融合も強い放射線によって生成される放射性物質に注意を要する。ビキニ環礁では、1946年以降1958年まで、米国による67回の核実験が行われ、IAEAの調査によって定住には適さない地域として指定され、28種類のサンゴの絶滅が確認されている。1946年の実験で礁湖に沈んだ船と、水素爆弾実験でできた巨大なクレーターなど「核の時代」の象徴として、「世界の文化遺産および自然遺産の保護に関する条約」の文化遺産（負の遺産）として2010年に登録されている。

核爆弾の開発は現在も行われており、コンピュータシミュレーションだけでも開発が可能になっており、さまざまな核反応を利用した爆弾が開発されている。中性子爆弾（Neutron bomb）は、中性子が物質の透過性が高いことを利用した爆弾で、爆風や熱風の破壊を目的としておらず、都市などの建築物、地下施設などに存在する生物を放射線障害（細胞の破壊、遺伝子の破壊）により死傷する兵器である。建造物やインフラストラクチャーをあまり破損しないため、軍隊が占領後使用できる戦略的兵器と呼ばれている。残留する放射線物質も少ない。湾

岸戦争（イラクー米国等連合軍との戦争）で使用された劣化ウラン弾は、使用済核廃棄物を利用した弾丸を使用したものである。通常弾丸に利用される鉛と同様に高い比重があり破壊力があり、放射線を発することから被害は大きくなる。

このような放射線を利用した兵器は、人類そのものの生存を危うくし、持続可能性とは真逆の存在と言える。

### 3. エネルギー法政策

#### 3-1 エネルギー政策

日本では、2002 年にエネルギー政策基本法が制定、施行されるまでエネルギーの需給に関する施策に関し、「基本方針を定め、並びに国及び地方公共団体の責務等を明らかにするとともに、エネルギーの需給に関する施策の基本となる事項を定めることにより、エネルギーの需給に関する施策を長期的、総合的かつ計画的に推進し、もって地域及び地球の環境の保全に寄与するとともに我が国及び世界の経済社会の持続的な発展に貢献する（法第 1 条）」目的をもった法律はなかった。日本はエネルギー資源に乏しく、経済成長、国民の生活に極めて重要であるエネルギー政策は特別に扱われてきたためである。当該法律で始めて、「政府は、毎年、国会に、エネルギーの需給に関して講じた施策の概況に関する報告を提出しなければならない（法第 11 条）。」ことが定められ、政府のエネルギー政策が公開されることとなった。ただし、本法は、エネルギー需要に関してだけが定められているものであり、供給に関した規制はない。

当該政策基本法（2003 年）に基づき政府が 2021 年 10 月 22 日に公表された第 6 次エネルギー基本計画では、わが国のエネルギー自給率を 30%（2011 年の東日本震災前は 20%、2018 年は 11.8%/ドイツは 37.4%、英国は 70.4%、米国は 97.7%、カナダは 175.8%、オーストラリアは 320.0%、ノルウェーは 700.3%）まで増加させることとなっており、現状では原子力発電の増加が図られている。なお、日本では原子力エネルギーを自給率の中に含めている。個人的には、国内に蓄積している核廃棄物（プルトニウム）を利用して高速増殖炉で発電する方法（前述の通り、理論的には国内の 7000 年分のエネルギーが賄える）は、自給率に含めても良いが、輸入したウランに含まれるウラン 235 の濃度を高めて発電する現原子力発電は自給率に含めるのは疑問である。

さらに、第 5 次エネルギー基本計画で示された S+3E（安全性[safety]、安定供給[Energy Security]+経済性[Economic Efficiency]+環境保全[Environment]）の原則を継続し、エネルギー自給率の向上、電力コストを踏まえた経済性、環境保全（二酸化炭素排出量）を推進している。経済性では、電力コストの上昇及び、再生可能エネルギー特別措置法に基づく「再エネ賦課金」（一般消費者が負担）の増加を抑えることが考えられている。2018 年の日本における電力コストは、8.5 兆円（1 日 230 億円以上の支出）で、そのうち再エネ賦課金は、2.8 兆円（1 日 76 億円以上）あり、2030 年には、電力コストを 8.6~8.8 兆円、そのうち再エネ賦課金は 3.7~4 兆円程度に抑える計画である。再エネ賦課金が今後、一般消費者の経済的負担になることは避けられない。

2022 年 12 月に岸田内閣総理大臣より、原子力発電を積極的に取り入れることが述べられ、改良型原子力発電炉の導入、及び現在原子力発電炉の最長で 60 年原発電期間について期間を除外し、実質的に上限を超えて運転できることが内閣決定事項として公表されている。したがって、2011 年に発生した福島第一原子力発電所事故以降、原子力発電に消極的だった政府の姿勢が大きく変更し、原子力発電を最大限活用する方針が打ち出されている。また、気候変動の原因である地球温暖化が化石燃料の燃焼で発生する二酸化炭素による赤外線吸収であることは科学的にほぼ証明されていることから、エネルギー利用による二酸化炭素排出を抑制する必要があることも背景にある。具体的には、二酸化炭素の排出量に応じて企業などがコストを負担する制度を構築し、経済的誘導を図るカーボンプライシングを導入することが計画されている。2028 年度から化石燃料を輸入する電力会社や石油元売り会社などに、「賦課金」を負担させる制度を導入する予定である。

さらに廃炉となる原発の建て替えを念頭に次世代型の原子炉の開発と建設推進も予定されている。日本原子力発電（げんでん）東海原子力発電所では、1966 年 7 月に日本初の商業炉（黒鉛減速・炭酸ガス冷却炉[CGR]/16 万 6000?) が作られ、1998 年 3 月に 30 年あまりで廃炉にしており、現在解体作業が行われている。また、東海第二発電所（Boiling Water Reactor : BWR/110 万?) も 1978 年 11 月に運転以来、既に 40 年を超えているが、

2018 年 11 月に 20 年の運転延長が認められている。この際に、福島第一原子力発電所の事故の経験より、移動電源車を使った 2 次電源の確保、構内に貯水設備を作り、原子炉の事故の際に放水で冷却できるようにしている。ただし、電力供給は、7 日間で貯水設備の水も鈍とは思われない。電力発電所が稼働している際には、海より莫大な海水を汲上、復水器でタービンを通った蒸気を冷却しているが、1 分で 25m プール数杯分にもなる。すなわち、現在の貯水量では全く不十分と考えられる。

原子力発電所の事故時は、まず装置を止め、冷却し、原子炉内の放射性物質を封じ込めるといったリスク低下対策がこれまで行われてきているが、冷却と放射性物質の飛散対策はさらに検討が必要と考えられる。原子力発電所は津波対策に関して、東日本大震災以前より防護壁を設置しており、震災時にも大きな被害が発生していない。防護壁（防潮堤）内部の鉄筋（鉄パイプ）の腐食対策については説明がなかった。塩分と水が存在する海岸では、酸化が進む可能性が高く、メンテナンスに関してどのようにするのか不明である。

### 3-2 事故の救済と再発防止

2011 年 3 月の福島第一原子力発電所事故後、放射性物質が環境汚染を発生させており、環境法での規制がないことが問題となった。しかし、この問題は、かなり前より研究者、学者では問題視していたものであるが、政府は、エネルギー政策を重視し、環境リスク対処は「原子力基本法」で対処するとしていた。そもそもに矛盾があった法政策と考えられる。環境行政及び環境法政策で放射線、放射性物質、原子力関連施設の環境リスクを対象としなかったのは政府の間違った判断であったといえる。

環境行政から、放射性物質、放射線を除外していた根拠は、環境基本法第 13 条「放射性物質による大気汚染、水質の汚濁及び土壌汚染防止のための措置については、原子力基本法（昭和 30 年法律第 186 号）その他の関係法律で定めるところによる。」と定められていたためである。しかし、2012 年に開催された第 180 回国会で成立した「原子力規制委員会設置法附則第 51 条」により、環境基本法第 13 条の規定が削除されている。ただし、明確に放射性物質、放射線についての対処について定められていなく、極めて曖昧な状況は変わっておらず、非常に疑問である。

原子力損害賠償法では、第 3 条第 1 項で「原子炉の運転等の際、当該原子炉の運転等により原子力損害を与えたときは、当該原子炉の運転等に係る原子力事業者がその損害を賠償する責めに任ずる。ただし、その損害が異常に巨大な天災地変又は社会的動乱によつて生じたものであるときは、この限りでない。」となっている。地震や津波など自然災害の場合、原子力事業者は、損害賠償責任を負わないこととなっている。巨大な天変地異とみなす自然科学の面から根拠、社会的動乱の解釈することは容易ではない。また、当該法第 7 条では、「損害賠償措置は、次条の規定の適用がある場合を除き、原子力損害賠償責任保険契約及び原子力損害賠償補償契約の締結若しくは供託であつて、その措置により、一工場若しくは一事業所当たり若しくは一原子力船当たり千二百億円（政令で定める原子炉の運転等については、千二百億円以内で政令で定める金額とする。）を原子力損害の賠償に充てることができるものとして文部科学大臣の承認を受けたもの又はこれらに相当する措置であつて文部科学大臣の承認を受けたものとする。」と定められているが、損害賠償保険額の 1200 億円の根拠も不明である。2011 年に発生した福島第一原子力発電所事故では、20 兆 5 千億円以上の損害が発生しており、原子力事故発生に対して事前に十分に評価したとは考えられない法規定である。

この事故は、原子力発電所の事故を想定しての発電が停止の後、次の対処段階である冷却、放射性物質拡散（水素爆発による建屋の破壊）ができなかったことで発生したものである。1986 年に発生したチェルノブイリ発電所事故でも水素爆発で放射性物質が広域に拡散しており、事前に想定できたと考えられる。冷却は極めて重要であることから海外の原子力発電所では 2 次電源（発電機）を原子炉から離れた場所に設置している。テロ対策の可能性はあるが、建屋内の事故を想定すると原子炉の地下に作ることは考えられない。さらに日本のように地震が多い国で、地震に対しての事前検討不足もリスク評価不足である。このリスク対処の失敗は人災（内部事象）である可能性が高く再発防止策を法令で定める必要がある。

他方、原子力発電所外（外部事象）からの人災として、地球上空を周回している人工衛星（通信衛星、軍事衛星、その他）や航空機（民間〔定期便、練習機、遊覧など〕、軍用機）が墜落することも考えられる。1979 年 3

月に原子炉冷却材喪失事故が起こった米国のスリーマイル島（Three Mile Island : TMI）原子力発電所の近く（約 4 km離れたところ）にはハリスバーグ国際空港があり、航空機の原子力発電所への墜落による事故が測定されるとして建設の有無が裁判で争われている。この裁判の原告側の証拠として、飛行機が原子炉に墜落する確率が 1 年に 1,000,000 分の 1 を越えるとの予測が科学的検証結果として提出されている。この対処としてスリーマイル島原子力発電所の原子炉格納容器は、この僅かな墜落事故の確率に対処するために、強固なコンクリートで作られ当該事故の被害拡大を防いだとされている。この事故後、世界中の原子力発電所の事故が懸念され、事故リスクに対する再検討、事故対処が進んでいる。日本の政府が、福島第一原子力発電所事故前に、「一般公衆に原子力発電所が安全で、エネルギー供給確保のために非常に重要である」と広報している。この「安全」の定義は、理解できない。

### 3-3 放射性物質・放射線の環境汚染対策

原子力発電所立地等に関する許認可や、使用済燃料、再処理に関する許認可に対する規制は、福島第一原子力発電所事故以前より「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下、原子炉等規制法とする）で定めている。したがってこの法令が原子力発電所内に存在する核燃料、核廃棄物、設備を管理している。今後原子力発電所等放射性物質による汚染の新たな再発防止のための規制はこの法令を改正することになる。なお、原子力施設の災害時には、「原子力災害特別措置法」の規制によって対処が行われる。

しかし、原子力発電所等放射性物質取り扱い施設から放出される放射性物質に関して、原子炉等規制法のみでリスクの低減を図るには限界がある。環境法である「大気汚染防止法」、「水質汚濁防止法」、「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」、「土壌汚染対策法」によって他の環境汚染物質と同様に規制（各種届け出、排出量等モニタリング、排出時の無過失責任）することで合理的な対処が可能になると考えられる。また、放射性同位体に関する SDS（Safety Data Sheet）の整備、PRTR 制度（日本では、「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」）による環境中放出量の把握、公開が必要である。これまで放射性物質汚染のみを環境法から意図的に外していたことが、福島第一原子力発電所事後、放射性物質の環境汚染対策が混乱した最も大きな原因である。

また、放射性物質を除くわが国のすべての廃棄物は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（以下、廃掃法）の規制に従って処理・処分されるが、一般廃棄物（生活等から排出されるもの：産業廃棄物以外）、産業廃棄物（産業から廃棄されるもの）や、排水の終末処理場等での浄化の際に発生する廃棄汚泥などに放射性物質が混入したことによって処分（埋め立て）が極めて困難になっている。これも想定外の事態で行政機能等に大きな障害が発生している。行政による対処できるように廃掃法による廃棄物処理処分の規制を定める必要もある。

他方、放射性同位体（ $^{13}\text{C}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$  など）は、生物や化学実験等で特定の元素の挙動を確認するためにトレーサーとして利用され、工業用非破壊検査でγ線などを用いる透過試験で用いられている。放射性同位体を取り扱う作業は、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」で規制されており、作業時に放射線取扱主任者の資格者が必要なことや登録認証機関の条件等が定めている。健康障害防止に関する詳細は「放射線障害の防止に関する法律施行令」及び「放射線障害の防止に関する法律施行規則」で定められ、放射性同位体や放射線を使用している事業所外の一般公衆に関してもリスク対策が定められている。医療に関した行為でも放射線が利用されており、エックス線を用いたレントゲン検査やコンピュータ断層撮影法（Computerized Tomography Scan : 通称、CT スキャンといわれている／近年では、放射線を使用しない核磁気共鳴画像診断法 [Magnetic Resonance Imaging : MRI] なども普及）がある。これら医療関係の放射線の利用は、「医療法」の細則である「医療法施行規則」、及び「獣医療法」の細則である「獣医療法施行規則」で定めている。

事業場内の労働者の安全に関しては、「労働安全衛生法」の細則である「電離放射線障害防止規則」によって規制されている。この規則では、作業時におけるエックス線作業主任者及びガンマ線透過写真撮影作業主任者が必要なことや、作業者の教育訓練、作業環境測定、健康診断の義務が定められている（なお、この規則では、高電圧による放電管で発生させるエックス線 [比較的波長が長い放射線] についても規制の対象としている）。また、診療放射線技師に関しては、「診療放射線技師法」で規制されており、資格関係等は、「診療放射線技師法施行令」

及び「診療放射線技師法施行規則」で定められている。なお、運搬車両についても「放射性同位元素等車両運搬規則」で規制されている。その他、エネルギー製造を目的とする原子力発電以外で放射線が発生（実際には利用）する場所については、CRP（International Commission on Radiological Protection：国際放射線防護委員会）<sup>7)</sup>の勧告に基づいた法令が施行されている。

放射性物質で汚染された食品（畜産物、農作物、水産物）に関しては、「原子力災害対策特別措置法」に基づき厚生労働省の食品安全委員会によって状況が検討され、リスクが高いと評価されると食品衛生法（第6条）に基づいて出荷制限、摂取制限が発せられる。福島第一原子力発電所事故による放射性物質汚染の影響で、2011年6月27日に発せられた出荷・摂取制限では、野菜類（ホウレンソウ、コマツナ、カキナ、キャベツ、ブロッコリー、カリフラワー、パセリ、セルリー、カブ、原木しいたけ、たけのこ、くさそてつなど）、水産物（イカナゴ、ヤマメ、ウグイ、アユ）、原乳、その他（茶）が指定されている。ただし、陸上、河川、湖沼の農業、漁業に関したものを対象としており、海洋に関しては対象としていない。福島第一原子力発電所から海洋に放流される（放射性物質を含んだ）汚染水は、法令によっては規制されない。政府が影響がないとしている根拠が曖昧である。

### 3-4 リスク管理とリスクコミュニケーション

2012年に「原子力規制委員会設置法」が制定され、経済産業省に設置されている原子力安全・保安院（商業炉の管理）及び内閣府に設置されている原子力安全委員会（研究開発等管理）などを集約して原子力安全規制行政の一元化が図られた。新たに環境省が所管する組織として原子力規制庁が作られ、原子力規制委員会（事務局 原子力規制庁）も設置されている。しかし、別途、主要な意志決定機関として、内閣総理大臣を議長とし全閣僚らで構成する原子力防災会議も創設され、原子力事故専門機関と政治家の防災会議の役割分担及び緊急時対策の事実を把握し対策を決定する責任者が不明である。原子力規制委員会に権限を持たせることが謳われているが、原子力規制委員会委員長が副議長を務める原子力防災会議で、議長の内閣総理大臣の意向を無視した決定はできないのではないかと懸念される。

また、原子力規制庁は複数の中央官庁からの集められるため、出身母体の縦割り行政の体質が組織内に入り込む可能性がある。これまで研究成果及び技術内容を把握している文部科学省、商業原子力発電を管理していた経済産業省が強い影響力をもつ蓋然性が高い。原子力発電、放射線管理、核融合等核開発に関しては専門性が高く、新たな組織を作るとしてもマネジメントが極めて重要となる。福島原発事故で明らかになった原子力政策の失敗の責任は誰にあったのか不明確のままで、再発防止を図ることは現状ではあまり期待できない。福島原発事故に関連するすべての責任の所在を明確にして、正確な情報に基づいたリスク分析と再発防止を徹底的に検討すべきである。原子力発電所が立地する地方公共団体や原子力発電所へ責任を持って対処する政府機関、責任者を明確にしなければならない。さらに、日本では経験が極めて少ない原子力発電または核施設のリスクについて、国民とのコミュニケーションを行い、一般公衆の理解及び知る義務を向上させることが望まれる。これには、正確な情報公開と合理的な評価を実施していく必要がある。

### 3-5 核廃棄物

原子力発電時に発生する核廃棄物は、放射線を発生させるため処理処分が問題となる。低レベル放射性廃棄物（作業員が使った手袋や放射線を浴びて励起したもの）が大量に発生し、原子炉内で核分裂反応後に発生する高レベル放射性廃棄物が発生する。

高レベル廃棄物は人の健康や自然生態系破壊のリスクがあるため処理方法が必要となり、他の廃棄物の最終処分のように単純に埋め立てが北欧、米国で進められている。ただし、放射性廃棄物の放射線が発生しないまで、完全に減衰するには数億年を要する。日本政府は、科学的根拠不明であるが、安全になるまで4万年としている。そもそも安全の定義が不明である。日本における最終処分場の選定は、原子力発電環境整備機構（Nuclear Waste Management Organization of Japan：NUMO）が行っているが未だ決定していない。

高レベル放射廃棄物は、放射線を遮断する物質（ベントナイト[粘土]）で覆い、ステンレスのキャニスター（容器）に入れ保存し、長距離移動でトラック等に積み込む時はさらに大きなキャスクという容器に入れられる。日

本の青森県六ヶ所村にある中間貯蔵施設（30～50年）にキャニスターに入れた状態で保存されている。一方、低レベル放射性廃棄物は、スチールの通常のドラム缶に入れ、直接地下に埋め立て処分される。当該六ヶ所村には600万本のドラム缶を埋める施設がある。各地にある原子力発電所地下にも大きな貯蔵施設があり、いっぱいになると六ヶ所村に運ばれている。これらは、法律によって定めているわけではなく、文部科学省（旧 科学技術庁）が定める指針に従って行われている。法令による規制が必要である。

#### 4. 結論

エネルギーは人類にとって不可欠なものであり、核反応によって莫大に得られる熱は、大量の電気を生み出す。特に核融合は、宇宙で人類が知る最も大きなエネルギーで、恒星を輝かせている。しかし、人類はその反応を十分にコントロールできるには至っていない。また、熱と同時に発生する放射線は、生物の遺伝子を破壊し、健康被害を生じさせる。人工的に作り出された放射性物質が環境に放出されると環境汚染が発生し、環境リスクとなる。したがって、環境汚染の種類の一つといえ、大気、水質、海洋、土壌に対して防止、対策が必要であり、法令によるリスク低下をしなければならない。他の公害、環境汚染、環境破壊と同じである。

化学物質のハザードを評価するための基礎データである SDS を、放射性同位体に関しても整備し、核関連施設からの排出される量も PRTR 制度の対象にすべきである。このハザードと曝露がわからなければ、リスク評価ができず合理的な対策も期待できない。他方、核開発は、多くの基礎研究も行われており、実用化、普及の際には、環境アセスメントを行い、法律によって中止も含めた判断ができるようにしなければならない。

核利用について、これら環境リスク低下の制度を整えることは、研究開発においては遠回りのように思われる可能性が高い、しかし、着実に実用化、普及を進ませるには、中長期的視点で事前評価を一つ一つ行っていかなければならない。

#### 注

- 1) 国際的な経済政策は、アダム・スミスが唱えた「最小の努力をもって最大の欲望を満たすことが人間の経済行為の基礎原理である。」との考え方に強く影響を受けている。
- 2) 建築家のバックミンスター・フラー（Richard Buckminster Fuller）は、閉じた世界で地球を創ることを考え、ジオデジック・ドーム（正 12 面体または正 20 面体のドーム）を 1947 年に考案し、その後宇宙船地球号の概念を提唱した。（引用：勝田悟『環境政策の変貌』〔中央経済社、2020 年〕49 頁）
- 3) 1977 年に出版されたエイモリー・B・ロビンスの著書で既に、大規模集中型のエネルギー供給システムに対して、分散型のシステムの導入が既に提唱されている。対応策として、「最終用途として使用されるエネルギーのうち、暖房・給湯など大きなエネルギーを必要としないものは、発電施設で千数百度も発熱して発電し遠隔地まで送電するよりも家庭に備え付けた太陽光発電などを利用した方が効率的である」と提案している。（引用：勝田悟『環境政策の変貌』〔中央経済社、2020 年〕67 頁）
- 4) 化石燃料は、一般的に再生可能ではない石炭、石油、天然ガス等を示すが、これらはそもそも地球の表面で光合成を行っていた植物、及びそれらを食料にしていた生物の死骸が数千万年から 2 億年程度前から腐食され生成されたものである。したがって、人類は約 200 年でその存在量の半分を消費するスピードで使用しているため、持続可能性がない。なお、燃料として使う以前より、数千年前より人類は土器等の修繕に原油を接着剤として使用している。
- 5) 原子核に秘められたエネルギーの存在をアルバート・アインシュタイン（Albert Einstein）が理論的に示し、核エネルギー開発が進められている。当初は、ウラン 235 の核分裂による原子力開発が行われ、平行してウラン 238 に中性子を照射し原子核を不安定にしたプルトニウム 239 の核分裂へと広がり、米国のマンハッタン計画でエンリコ・フェルミ（Enrico Fermi）とロバート・オッペンハイマー（J.Robert Oppenheimer）によって、ウラン 235 とプルトニウム 239 を用いた原子爆弾（核分裂によるエネルギーの爆発的放出）が作られ、1945 年に投下されている。（引用：勝田悟『環境史 環境変化の緩和と適応』〔中央経済社、2022 年〕64 頁）
- 6) MOX 燃料を通常の原子炉（軽水炉）で使用方法である。通常の原子力発電においても、原子炉内で生成したプルトニウムが既に核反応（核分裂）してことから、全く新たな反応を発生させているわけではない。ただし、繰り返し使用することにより、サマリウムなど原子炉を臨界状態する際の妨害となる物質も生成する（この対策として、粗制御棒なども使用される）。プルサーマル“Plu-Thermal”は、Plutonium Use in Thermal Reactor の造語で、熱中性子を利用した炉でプルトニウムを使用することを意味している。フランス、ドイツ等ヨーロッパの複数の国で既に実施されており、当初は、核拡散防止条約の規制によって余剰になった原子爆弾に含まれているプルトニウムを処理するために進められた。（引用：勝田悟『原子力の環境責任 サイエンスとエネルギー政策の展開』〔中央経済社、2013 年〕28 頁を一部改編）

7) ICRP とは、電離放射線の曝露に関連していた癌、及びその他の病気防止、並びに環境保護に貢献する活動をしている国際機関である。歴史は長く、1928 年に放射線医学の専門家を中心として「国際 X 線およびラジウム防護委員会」(International X-ray and Radium Protection Committee : IXRPC)として創設し、その後 1950 年に医学分野以外も活動の対象にし現在の名称となった。放射線の保護標準、立法、ガイドライン、プログラム、及び、一般的作業現場の原則を作成し、100 以上の視点で検討した放射線リスクの保護に関する報告を出版している。(引用：勝田悟『原子力の環境責任サイエンスとエネルギー政策の展開』[中央経済社、2013 年]) 44～45 頁を一部改編)

#### 参考文献

- 淡路剛久、大塚直、喜多村喜宣編『別冊 ジュリストNo.171 2004/4 公害・環境判例百選』(有斐閣、2004 年)
- 勝田悟『科学技術の進展と人類の持続可能性』(中央経済社、2021 年)
- 勝田悟『環境政策の変貌』(中央経済社、2020 年)
- 勝田悟『環境史 環境変化の緩和と適応』(中央経済社、2022 年)
- 勝田悟『環境学の基本 第 4 版』(産業能率大学、2022 年)
- 勝田悟『環境保護制度の基礎 第 4 版』(法律文化社、2020 年)
- 勝田悟『原子力の環境責任 サイエンスとエネルギー政策の展開』(中央経済社、2013 年)
- 原子力安全技術センター(文部科学省委託)『SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム』(2008 年)
- 大成出版社第 2 事業部編集『改訂 原子力安全委員会指針集』(大成出版社、2011 年)
- 南山堂『南山堂 医学大辞典』(1987 年)
- National Institute for Occupational Safety and Health “RTECS, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances(1985-1986)Edition” (1987, U.S.DHHS(NIOSH))
- UNEP “Radiation Dose Effects Risks(1985)” 日本語訳; 吉澤康雄, 草間朋子『放射線その線量, 影響, リスク』(1988 年、同文書院)

#### 引用文献

- 勝田悟『環境政策の変貌』(中央経済社、2020 年)
- 勝田悟『環境史 環境変化の緩和と適応』(中央経済社、2022 年)
- 勝田悟『原子力の環境責任 サイエンスとエネルギー政策の展開』(中央経済社、2013 年)