

原子炉の苛酷事故と安全研究



技術解説

宮崎慶次*

はじめに

最近、原子力発電の安全性と是非をめぐる激しい議論が社会的な問題を提起している。その発端となったのは、1986年にソ連のチェルノブイル4号原子力発電所で起きた大事故である。この事故は、これまでわが国の安全審査で立地評価上、想定されていた仮想事故をも上回る規模の放射線影響をもたらした。このような苛酷事故については、1975年米国原子力規制委員会が発表したラスムッセン報告(WASH-1400)の中で、確率論的なリスク評価が行われ、関心が払われてきた。しかし、安全性について、定量的に論ずることは、前提条件、信頼度や意味付など、専門家にとってもかなり難しい点を含んでいる。従って、電力会社は手っとり早く「絶対安全」と言う謳い文句で一般大衆にPRを行ってきた。一般大衆側からすれば、チェルノブイル事故は起こり得ない筈の事故が現実に入った訳で、正に「安全神話の崩壊」であり、「いずれは我国の原子力発電所でも同様の大事故が起るのではないか」と言う懸念を強めたとしても無理からぬものがある。加えて、水俣病に代表される事故隠しと大企業は悪であるとする不信感が根底にあって、一般には未知の要素の多い放射能に対する恐怖心、食品汚染による健康への影響、更には針小棒大なマスコミ報道によって不安が一段と増幅されている。しかし、我国の原子力安全委員会のチェルノブイル事故調査特別委員会の「本事故は、ソ連型原子炉のいくつかの設計上の問題点を背景とし、常軌を逸する多くの規則違反等、運転管理上の問題が引金になって発生したもので、我国では考えら

れ難い事故である」という結論は、国際協力に加えて、我国独自の安全研究の成果を踏まえた結果であり妥当なものと言えよう。

現在、もう一方では、地球規模の環境問題がクローズアップされ、石炭、石油などの化石燃料に就いても、亦、硫化物や窒化物による酸性雨と炭酸ガスによる温室効果をもたらす深刻な将来影響が懸念されている。一般に、公害物質はその発生源に於て除去するのが最も効果的であって、一旦拡散させるとその回収は著しく困難か又は實際上不可能となる。原子力には、放射能と言う潜在的な危険性が存在する事は確かであるが、人間の英知によりそれを閉じ込めて顕在化させない事が原理的に可能である。原子炉は、極少量の核燃料を非常に限られた体積の中で燃やす高出力密度の熱発生装置である。それ故に、制御を誤れば危険性が高いと考えられている。それは反面において、燃え槽である放射能、即ち、公害物質が体積的に極めて限られている特徴がある事を意味する。従って、それを発生源において閉じ込めて、環境に出さないで管理する事が技術的にも経済的にも十分な可能性をもっている。苛酷事故の研究は、その閉じ込めの失敗シナリオに立ち、それに伴う現象やメカニズムを解明し、把握する事により、事故影響の評価や危害防止や影響緩和に役立てようとするものである。

チェルノブイル炉と軽水型発電炉の相違

まず最初に、筆者がチェルノブイルのような規模の事故はわが国の原子力発電所では起らないと考える論拠を説明しよう。炉型及び設計思想、特に、安全性に対する考え方が両者で根本的に異なっている。公衆に重大な放射線影響を与える可能性のあるのは大量の炉心が溶融する苛酷事故である。苛酷事故としては、核的な暴

*宮崎慶次(Keiji MIYAZAKI), 大阪大学工学部原子力工学科, 教授, 工学博士, 原子炉工学

走状態になる「反応度事故」と冷却材がなくなり空炊き状態になる「冷却材喪失事故」に大別される。チェルノブイル事故は前者でTMI事故は後者に該当する。概して、反応度事故では事象の進行が極めて速いので、速く確実に原子炉を停止出来る多重性、多様性、フェイル・セイフなどの設計概念を取り入れた即応性及び信頼性の高い自動制御・停止系を備えているのが普通である。チェルノブイル炉では、緊急停止用制御棒の挿入速度が遅く、自動停止用論理回路の不備など、我国の基準からすれば、欠陥炉と言わねばならない。そこへ重大な運転規則違反と言う人為的ミスを重ねてしまった。

次に、安全上より一層重要な点は、負の反応度出力係数と呼ばれる固有の安全特性である。一般に、軽水炉では、出力が上がると、燃料温度の上昇及び冷却水の膨張又は沸騰による蒸気泡（ボイド）の増加により核反応が抑制される様に設計をする。これにより、原子炉は核暴走に対して、自己抑制機能を本来的に備える事になる。チェルノブイル炉では、残念ながら、約20%以下の低出力では逆に正の出力係数となっていたため、核暴走に至った。わが国の安全審査では到底許可されないであろう。

更に、この炉には、軽水炉のような堅牢な格納容器がなく、ある程度は放射能を閉じ込める働きをする筈の原子炉建屋が爆発で壊れた。その上、軽水炉とは違って、減速材として使用していた大量の黒鉛が長時間にわたって火災を起こしたため、上昇気流に乗って大量の放射能が広範囲にばらまかれる不幸な結果となった。

我々の場合、安全上重要な要素は、まず、機器の固有の特性や設計に担保させ、その上で人間が監視機能を働かせる方法を取るのが普通である。例えば、必ず一つの動作を終えてから次の動作に移らなければならない場合は、インターロックを設けるのが常識となっている。これに対して、ソ連の場合は、機器の信頼性が低いと言う認識があつてか、運転規則だけでこれを行わせるなど、人間の運転監視機能の方により信頼を置く姿勢を取つてきた。残念ながら、無謀な実験を許す組織管理面の欠陥と現場の綱紀の乱れなど人的な要因が直接原因となって暴走

事故となった。我国の軽水炉では、1979年の米国のTMI-2原子力発電所事故を教訓として計算機による運転支援など人工知能的要素を取り入れ、マン・マシン・インターフェイスの大幅な改善を行ってきた。従って、大事故の可能性ははるかに低い上、万一、起った場合でも、設計上の安全・抑制機能が働いて、規模が大幅に緩和される筈である。

放射線被曝の影響について

自然界には放射線が存在し、人類は誕生以来幾万年に渡り、それを受けながら進化を遂げてきた。この自然放射線による被曝は一人あたり年間約1.1ミリシーベルトで、内訳は大地から約0.4、宇宙から約0.35、食物から約0.35とされている。大地からの放射線は地質によるばらつきが大きく、地球上の場所によって数倍程度は異なる。国内でも、花崗岩質の関西地方は関東地方より数割大きいなど年間0.4ミリシーベルト程度の地域差がある。しかし、癌の発生率が特に多いという様な有為の差は報告されてはいない。我国の放射線障害防止法関係の法令は、国際放射線防護委員会の勧告に基づいて、用語・概念の変更（許容から限度へ、線量から線量当量へなど）、国際単位の採用（レムからシーベルトへ）、公衆の被曝限度の変更（500ミリレムから1ミリシーベルト=100ミリレムへと言う点のみが実質的変更）など大幅に改正され、今年度から実施されている。現在の法規制では、一般公衆にたいして自然放射線による被曝線量とほぼ同等量の年間1ミリシーベルト（自然や医療による被曝は除く）、放射線作業従事者などの職業人は50倍の年間50ミリシーベルトを限度と定めている。更に、公衆被曝を「合理的に達成可能な限り低く」という方針に則って、行政指針により発電所周辺では自然の1/20倍の年間0.05ミリシーベルトまで抑える様に指導し、実質は更に一桁以上低い値に留まっているようである。従って、このような指針が遵守される限り、通常の運転時には、原子力発電所の周辺は自然放射線のばらつきの範囲内であり、極めて安全であると言えよう。放射線作業従業者についても、無用の被曝を避けるため、作業ロボットの採用などに

よる被曝低減に向けて努力がなされている。

問題は重大事故の場合の被曝である。我国では後で述べる様に、最大規模の想定事故に対して有為な障害が現れないと見られているレベルの一人当たり0.25シーベルト（集団では2万人シーベルト）を越えないことを立地基準の目安としている。チェルノブイル事故では、発電所から半径30km内の住入13万5千人についての集団被曝線量当量は1.6万人シーベルトで、個人平均被曝線量当量は0.12シーベルト程度であると推定されている。従って、相当数の人達が0.25シーベルトを越えているものと考えられる。しかし、専門家によると、癌などの障害について自然発生的なものと識別して、事故の影響を医学的に正しく評価するためには、相当に注意深い観察を必要とする被曝水準の様である。ちなみに、死者は31名であり、運転員2名の即死者以外は消火に当たった消防関係者などの事故処理時の被曝によるもので、一般公衆の死亡は報告されていない。むしろ、緊急避難や長期疎開、放射能除染、施設の閉鎖、農産物の汚染等による経済的損失が著しく大きいと考えられる。

チェルノブイル事故のわが国に対する影響は輸入食品の放射能汚染と言う形で懸念が広がっている。しかし、一時的な大気中の放射能増加も含めた影響は0.01ミリシーベルト以下（0.005ミリシーベルト程度）と見積られている。輸入食品に対する暫定基準キログラム当り370ベクレルは過大に評価しても約0.037ミリシーベルトの被曝量に相当すると見積られている。勿論、余分な放射線被曝を極力低く抑える努力が重要な事は当然である。しかし、我々の体内に自然にあるカリウム40の放射能を考えると被曝量を零にする事は実際的には無意味である。その上医療上必要な事とは言え、胸のX線透し撮影は1回当り0.3ミリシーベルト、胃のX線透しは4ミリシーベルトに相当する。又、海外旅行などの際、ジェット機で高空を飛ぶと宇宙線が大気に遮られる事なく直射するので、世界一周すると0.1ミリシーベルト程度の被曝になる。でも、それらは享受する便益の方が大きいであろうという事で特に問題視されてはいないのである。放射線は、見えない、聞こえない、臭わない、

感じない、後から悪影響が現われるなどが恐怖心の原因となっているようである。原子力発電に対しても、その必要性を理解し、徒に大衆の恐怖心を煽ったり、情緒的に反応することなく正しい知識と科学的論拠に基づいた議論と理性的な対応が望まれる。

我国の軽水型発電炉の安全審査

核分裂を利用する原子炉の場合、ある程度運転した後は炉心に大量の核分裂生成物、即ち俗に死の灰と呼ばれる放射能が蓄積する。しかし、それは通常は燃料の中に封じ込められ、更に燃料被覆管、圧力容器、格納容器等いわゆる多重の防護壁で閉じ込められている。公衆に対して重大な放射線影響を与え得る唯一の可能性は炉心溶融事故であると考えられる。

規制面では、設計段階で予め想定し、その対策を十分に講じて置くべき「事故」を「設計基準事故（DBA: Design Basis Accident）」として定め、設置許可に際して、重要機器の「単一故障」と「保守的仮定」による解析により十分に安全である事を審査している。反応度起因事故は勿論この設計基準事故の中に含まれているが、前述の通り高信頼度の安全・制御装置や負の出力係数で対応している。設計基準事故の中で、最も厳しいものとして注目されているのが冷却材喪失事故（LOCA: Loss of Coolant Accident）であり、それに対する設計上の対応設備が緊急炉心冷却装置（ECCS: Emergency Core Cooling System）である。LOCAの解析に際しては、スクラムが働いて核反応は停止するが、外部電源は停電して非常用電源（ディーゼル発電機）が起動してECCSが働くシナリオを想定している。停電しない場合に対しては保守的仮定となる。

何故LOCAが重視されるかと言えば、軽水炉では、高温にするために加圧水型炉で約150気圧、沸騰水型炉で約70気圧に加圧した水で炉心を冷却し、圧力容器、ポンプ、配管等で圧力バウンダリーと呼ばれる耐圧領域を形成している。従って、予想を大幅に上回る地震衝撃や材料劣化など何等かの原因で配管が破断し、圧縮水が減圧沸騰を起こし流出する事故の可能性を

想定している。その際、制御棒が挿入されて核反応は停止するが、蓄積されている核分裂生成物の核的崩壊による残留熱が出る。残留熱は炉停止直後に熱出力の7%弱に下がるが、その後の下がり方は緩やかで1時間後でも尚1%程度(電気出力100万kWで約3万kW)である。このため、冷却材が喪失した場合、残留熱により炉心が空炊きになって溶融したり、高温での金属(ジルコニウム)－水反応での発熱及び大量の水素発生を防止する事を主目的として設けられているのがECCSである。勿論、LOCA時にECCSが機能を果たす事を厳しく審査している。この安全審査は、電気事業法及び原子炉等規制法に基づき、通産省と原子力安全委員会による二重チェック体制で行われている。

設計基準事故では単一故障を仮定しているが例えば、LOCA時にECCSが十分作動しない等の重要機器の多重故障を想定すると、設計基準事故を越えて炉心溶融の様な苛酷事故(SA: Severe Accident)へと進展する可能性が出て来る。その場合は、色々な可能性が考えられて、事故のシナリオが多岐にわたり複雑になるので、解析し正確に評価する事は實際上不可能になる。従って、規制上は、立地条件の適否を判断するための観点から、或る一定の放射能の炉外放出量(ソースターム:例えば希ガス100%, 沃素50%, 固体1%)を仮定し、その放射線影響を評価し、公衆の被曝があるレベル以下に納まる事を求めている。この立地評価事故として、「重大事故」とそれを上回る「仮想事故」が想定されている。「重大事故」については、技術的に見て最悪の場合起こり得る最大量の放射性物質の原子炉から格納容器内への放出を仮定し、敷地周辺の気象、原子炉の特性、安全防護施設などを考慮して、その放射線影響を評価している。また、「仮想事故」では、技術的にみて起こり得るとは考えられないが、更にそれを上回る条件を仮定して評価し、その結果が「公衆の個人被曝が0.25シーベルト以下、集団被曝が2万人シーベルト以下」である事を目安としている。

深層防御の概念と苛酷事故の研究

我国や米国や西欧では、原子力発電所の安全

確保は次に説明する様な深層防御(Defense-in-Depth)の考え方に基づいて行われている。これは何重にも防御線を敷いて、一つが突破されても次で防ぐと言う防衛戦略概念である。原子炉系及び格納系の重要機器の耐震設計は最大級の地震にも堪える様に、一般の建築基準法の3倍を越す加速度の厳しい耐震設計を要求している。その一方で、LOCAとその時に外部電源喪失を重ね合わせたものを設計基準事故として想定するのも深層防御の考えに沿ったものと言えよう。

第一レベル：異常の発生防止

固有の安全性を採用した設計、設計余裕、高信頼度機器開発、品質管理・保証、保守・点検など

第二レベル：異常の拡大と事故への発展防止

異常の早期発見、供用中検査、原子炉停止系、崩壊熱除去系など

第三レベル：事故影響の緩和

緊急炉心冷却設備(ECCS)、格納容器等、万一の事故に際して、公衆への被害を防止又は緩和する安全防護施設を設置する。

大事故を防止する観点から、第一及び第二レベルが最も重要な事は勿論である。メーカーや電力関係者で鋭意努力が続けられ、世界的に最高の信頼度を誇っている。他の分野では類を見ない原子力における深層防御の真髄は第三レベルである。設計基準事故にふくまれる冷却材喪失事故(LOCA)とECCSの機能試験については、原研、メーカー等で大型設備による実験による安全余裕の実証が行われてきた。

問題は設計基準事故を越えるような苛酷事故の取扱である。筆者が主として従事してきたNa冷却型高速炉の安全研究では「最初に炉心溶融ありき」から始まる様な仮想的炉心崩壊事故

(HCDA: Hypothetical Core Disruptive Accident)を想定した研究が行われてきた。軽水炉でも、例えば、原研ではNSRR(Nuclear Safety Research Reactor)による反応度投入時の燃料破損の様な研究が行われてきた。特に、TMI-2原子力発電所事故以来、重大炉心損傷事故(SCD: Severe Core Damage)と呼び方こそ異なるが炉心溶融を伴う苛酷事故に関心

が払われる様になった。更に、チェルノブイル事故は苛酷事故への懸念を煽る形となった。それに正しく対処出来る様にするためには、国際原子力機関（IAEA）も勧告している通り、蒸気爆発、水素爆発、溶融貫通など苛酷事故の進展に係わる物理的事象の研究を充実させることが必要であろう。

安全研究の手法

主として、三つの方法が用いられている。まず、第一の手法は安全審査などに於て最も普通に重用されてきた「機構論的手法（Mechanistic Approach）」である。これは、設計基準事故の解析で一般的に使用されている様に、事故進展シナリオと事象の物理的モデルを立て、大型計算機を使用して、決定論的に解析を進める手法である。苛酷事故の様にシナリオが多岐に渡ると網羅する事が難しく、適用に限界がある。

第二の手法は、先述のラスムッセン報告と同様の「確率論的手法（Probabilistic Approach）」であり、最近、脚光をあびている。これは、例えば死亡者数や癌発生率や放射線被曝量などを影響（Consequence）とし、その発生頻度×影響＝リスクと定義して、事故の危険性を定量化するやり方である。この手法は包括的な安全性や信頼性の評価および潜在的危険性や脆弱性や問題点の抽出には非常に役立つと考えられる。これにより、起因事象としては大事故とみられるものが小事故よりかえってリスクが小さい事が分かったり、原子力発電のリスクが石炭や石油火力など他の発電方式に比べて意外に小さい事が報告されている。しかし、現状では、入力データ自身や事象の不確実性による結果の不確定幅が大きい。特に、事故進展に含まれるいくつかの事象が互いに独立事象か、それとも、共通原因に基づく従属事象かの区別が困難な又は見落とされ易い場合があり、結果は微小確率の互いの積となるか和となるかで桁違いに異なってくる。この手法のもう一つの弱点は、苛酷事故の様に発生確率は非常に低くても結果が重大な事故に対する忌避感情である。端的な例が、死亡リスクが比較的大きい自動車は意外と平気だが、確率的にはより安全な筈の飛行機を恐れ

る傾向が強い。

更に、安全目標をどの水準に置くかも難しい問題である。先述の立地評価事故での目安線量0.25シーベルトを越すような大事故の発生確率を原子炉当り年間 10^{-6} 乃至 10^{-7} 程度以下に抑える事が「安全目標」として提案されているが、決められてはいない。安全規制や社会的受容性に確率論的手法を活用する試みは精力的に行われてはいるものの、補足的手段としては有効であっても、それだけでは限界があることも指摘されている。しかし、安全研究の重要課題を抽出するなどの研究戦略上の手段としては極めて有効であろう。実際、確率論的安全評価の結果を踏まえて、万一の事故に対する弱点の改善をはかる効果的な設備対応を検討又は実施している例もみられる。最近、WASH-1400の改訂版ともいべき苛酷事故リスク報告書（NUREG-1150）案が発表され注目を集めている。

第三の手法は「現象論的手法（Phenomenological Approach）」である。これは、事故の進展過程でボトルネック、即ち、ある事象が抑制か拡大かの鍵となっている隘路の現象に着目し、それを重点的に研究することによって、事故進展の可能性を排除または事故を緩和する方策を探るやりかたである。例えば、原子炉容器や格納容器の健全性が保たれている限りは環境への放射能の大量放出は有り得ないと考えられるので、その脅威となる蒸気爆発、事故後崩壊熱除去、溶融貫通等の物理的事象を研究の対象とする。又、水中での沃素補足やエアロゾル拡散、高速炉でのNa火災等も放射能拡散の決め手となる可能性が高い。高価な大型実験設備よりもむしろポイントとなる物理現象を見つけることが肝要であり、苛酷事故に対する安全研究には極めて有効な方法と言えよう。

実際にはそれぞれの長所を有効に活用出来るような3手法の組み合わせと使い分けが肝要であろう。

蒸気爆発の研究

苛酷事故は、安全審査で事故シナリオに沿った厳密な解析を要求される設計基準事故とは異なっており、電力やメーカーでの開発研究の対象で

はなく、原研や動燃及び一部の大学で研究対象として取り扱われてきた。筆者達も夙に蒸気爆発や事故後崩壊熱除去の基礎研究を行ってきたので、具体例を簡単に触れておきたい。

蒸気爆発は、高温の溶融燃料との接触に際して起る冷却材の急激な沸騰により発生する高い圧力波と冷却材液柱のミサイル衝撃による破壊作用で、燃料・冷却材相互作用 (FCI: Fuel Coolant Interaction) とも呼ばれている。この様な現象は、一般には、火山での溶岩と海水の接触によるマグマ水蒸気爆発や製鋼所での溶融金属と水の接触で起きる爆発として知られている。しかし、そのメカニズムについては十分に解明されておらず、英国中央電力庁の Board & Hall の圧力波誘発爆轟説と米国アルゴンヌ国立研 (ANL) に当時いた Fauske & Henry の自発(蒸発)核生成温度しきい説が鋭く対立したままとなっている。何らかの原因で溶融を起こした高温核燃料が冷却材と接触して、溶融燃料塊を沸騰冷却材の安定な蒸気膜が包む形で分散する粗混合状態が形成された後、蒸気膜が崩壊する際に液・液直接熱接触と燃料の微粒化により熱伝達が桁違いに促進され、圧力波を発生させる。爆轟説では、この圧力波がトリガーとなって伝播し、次々と蒸気膜を崩壊させ、爆轟 (Detonation) を形成する。これに対し、温度しきい説では、液・液接触の場合は沸騰核が生成され難く、冷却材が過熱限界に相当する自発核生成温度まで過熱された後、爆発的に沸騰する。この自発核生成温度は熱力学的臨界温度の約0.9倍で、Naでは2050℃程度、水では205℃程度となる。UO₂燃料の融点は約2800℃であるが、セラミックスであるため金属 Na に較べて伝熱導度が著しく低く、接触境界での Na 温度は自発核生成温度より相当に低い値に留まる。従って、UO₂-Na系高速炉では、激しい蒸気爆発は起らない理屈になる。筆者達が行った溶融錫 (融点: 232℃) と水の熱的相互作用実験も温度しきい値の存在を裏付けている。しかし、爆轟説の正しさを裏付ける実験結果もある。筆者は、蒸気爆発を支配する機構としての爆轟説の枠組みの中で、爆発が激しくなるか否かは温度しきい説に準拠すると推測しており、その線で研究を

進めている。十年以上に及ぶ学問的な論争を収斂させ、発生圧力や熱から破壊的機械エネルギーへの転換率など安全評価に結び付ける努力が期待されている。

事故後崩壊熱除去は、溶融燃料が微粒化又は細片化、固化して堆積した、いわゆるデブリベッドは放射性崩壊熱を発生しているの、その狭隘な流路を通しての冷却性の問題である。筆者達は水の入った円筒状ガラス容器中に種々の直径のベアリング用鋼球から成る堆積床を作り、高周波誘導加熱し、ドライアウト限界熱流束を測定した。結果は、原子炉実験での結果とも符合しており、良く模擬出来ている事が分かった。その結果を敷衍すると、炉心が溶融崩壊し細片化しても冷却材の流入さえ確保出来ていれば、炉心下部構造の適当な設計により自然循環での冷却性が保たれ、炉容器底部の溶融貫通を防止できるという結論になる。もしも、いきなり炉心溶融物のプールが出来る様な事にでもなれば、溶融貫通は避けられない可能性があり、いわゆるチャイナシンドロームを食い止めるために格納容器の床でのコンクリートとの反応が問題となる。

おわりに

この様に、希少な苛酷事故を始め、安全性を非常に重視する傾向に対しては、原発推進側から “How safe is safe enough?” とか “There is no such thing as a free lunch” という批判の声があった。確かに、他の分野ではそこまでの研究を求めないのが普通であろう。新幹線列車のATSが故障した場合とか列車衝突時の衝撃緩和策を研究している様なものである。列車に乗るといつも座席の向きや構造が気になるのは原子力安全研究者の身についた心配症かもしれない。勿論、事故を絶対に起こさない設計や運転・運行が最も重要であるが、高速大量輸送機関であるからには、事故の被害を緩和する方策を考えておくことも、深層防御の観点からは必要だと筆者は思うのだが。もっとも、新幹線には開業以来25年にわたって無事故と言う実績がある。原子力の場合には、他国の出来事とはいえ、ここ10年余の間にTMIとチェルノブイ

ルと2度の大事故を引き起こした前科がある。謙虚な反省がなくてはならない。最近では、電力会社や通産省でも苛酷事故に関する研究の重要性は認識しているようである。

一方、反対派側からは、その様な研究そのものが原子炉の危険性の証と見られてきた。「鬼子」となって来た所に原子力の安全研究の難しさが象徴されている。安全性が確立されるまで原子力発電を停止すべきだとするモラトリアム論をよく耳にする。しかし、安全性は、製作・運転の技術的経験を重ねて改良を加えることによってはじめて向上し確立されるのである。蒸気機関が実用化される過程で、始めはニューヨーク市の消防車用に採用されたが、ボイラーの爆発事故が多発し、数多くの死傷者をだした。それが契機となって圧力容器の設計基準が完備するに至ったと聞いている。幸い、原子力の平和利用では、チェルノブイル事故以外には多数の犠牲者を出してはいない。要は、試行錯誤の過程で苛酷事故の様な絶対に許されない失敗を回避する歯止めがきちんと効いているか否かであろう。蒸気発生器や再循環ポンプ等、原子炉プラントの重要機器の故障が多いのは憂慮すべき事である。しかし、それを技術成熟過程のものとは見ずに、何でも直ちに苛酷事故に結び付けてしまう風潮がある。筆者は、「角を矯めて牛を殺す」式の現今の原発批判に対処するためにも、「無用の用」的な安全研究を続け、苛酷事故の限度評価や緩和策に役立てるのが大学及び国

立研究機関の社会的使命と考える。又、今日の原子力発電の安全問題は社会文明論的な側面が強いことも承知している。しかし、地味ではあっても、結局は技術論抜きの解決は有り得ないのも事実であろう。

筆者は、新型エネルギー変換 (Advanced Energy Conversion) の研究に携わり、又講義を担当する者として、核融合は言うに及ばず、太陽エネルギーや水素システムなど原子力以外の先進的なエネルギーシステムにも強い関心を抱いている。太陽エネルギーにはクリーンエネルギーの旗手としての将来性に対する期待は大きい。しかし、残念ながら、発電価格が著しく高く、大規模な実用化はまだまだ実現しそうにない。また、原理的にエネルギー密度が希薄で分散型であり、原子力のような集中型に適さず、中央発電所としての魅力に欠ける弱点がある。最後に、筆者は、太陽発電は将来とも、原子力発電とは競合するよりは、むしろ相補的な関係を成しながら共棲すべきものとして意義付けている事を強調しておきたい。原子力発電の安全性については、今後もその向上について一層の努力を払わなければならない。しかし、もしも懸念のあまり、代替発電についての成算や目途の無いまま、原子力発電を廃止する方向に進む事にでもなれば、結局は、後になって途轍も無く高い付けを払わなければならない羽目になるであろう。