

チェルノブイリ事故とその影響

一 緒言

原子力発電は世界の全発電電力量の約一六%を占め、石油換算で日産一〇〇万kwhに相当するエネルギーを産出しエネルギー供給の安定化に大きな役割を果たしている。

一九八六年四月二四日、ソ連のチェルノブイリ原子力発電所四号機で発生した反応度事故は、その七年前の米国のスリーマイル島原子力発電所事故を上まわり、放射線被曝により多くの死者と負傷者を出したばかりか大量の放射性物質が大気中に放出拡散され、ソ連及びソ連以外の広範な地域が汚染される結果となった。この事故により、原子力の安全確保は単に一国だけの問題にとどまらず世界各国の共通問題となりその重要性が再認識され

た。

原子力発電を中心とした原子力の平和利用を推進していく上でその安全確保の重要性は論を俟たないが同時に経済性の向上も重要なことである。近年、在来原子炉とは安全性確保のための視点を異にしたいわゆる固有の安全性を有し且つ経済的な原子炉に関する研究開発が活発に行なわれるようになってきた。

筆者は、チェルノブイリ原子力発電所の事故及びそれをめぐる対応について述べてみることにする。

二 チェルノブイリ原子力発電所の事故

事故を起こしたチェルノブイリ原子力発電所四号機(以下四号機という)は、ソ連が独自に開発したRBM

井出野栄吉

K型に属するものである。ソ連は一九五四年にモスクワ郊外のオプニンスクで世界最初の原子力発電所(電気出力五、〇〇〇kW)の運転を開始した。この時使用された原子炉は黒鉛減速軽水冷却型炉であった。その後、この型の炉を大型化した沸騰水型炉が開発された。R B M Kはこの黒鉛減速軽水冷却沸騰水型炉の略称である。

四号機は電気出力一〇〇万kWで、一九八四年三月に運転を開始している。四号機の原子炉内には減速材である黒鉛のブロック(断面二五〇×二五〇mm、高さ六〇〇mm)が柱状に積み上げられており、円筒状の炉心(直径一一・八m、高さ七・〇m)を構成している。また、それぞれの黒鉛ブロックには垂直方向に貫通した円筒状の穴(直径一一四mm)があいている。この中に圧力管(チャンネル)が収められており、その数は一、六六一本である。各圧力管の内部には燃料集合体が挿入されている。他方、二一本ある制御棒も黒鉛にかけられた穴の中に挿入されている。黒鉛ブロックは原子炉容器内に収められ、黒鉛の酸化防止及び伝熱特性を向上させるため、ヘリウムガスと窒素ガスとの混合ガスによって覆われている。

燃料集合体の高さは約七mに及んでおり、上下二段にわかれていた。それぞれは、一八本の燃料棒(高さ約三・四m、直径一三・六mm)から構成されている。燃料は濃縮度二・〇%の低濃縮ウランが用いられている。

燃料棒で発生した熱は圧力管の中を通る冷却材である軽水に伝えられ、その結果、高温高圧(約二八四度C、七〇kg/cm²)の気水混合流が得られる。この気水混合流から蒸気が気水分離器によって分離されて二基のタービンに送られそこで発電が行なわれる。なお、熱出力は三二〇万kW、電気出力は一〇〇万kWである。

事故の経過や原因と関連する四号機の特徴について記述することとする。

軽水減速軽水冷却の沸騰水型炉(BWR)では、出力が増加して冷却水や燃料の温度が上昇すると、負のボイド効果やドップラ効果により核分裂連鎖反応が減少する自己制御性(負の反応度フィードバック特性)を有している。このような自己制御性を有することは原子炉の安全性にとって基本的に重要なことである。ところが、四号機においては定格熱出力運転では反応度フィードバック特性は負であるが、定格熱出力の約二〇%以下の低出力

力時には、正のボイド効果の増大及びドップラ効果の減少により、正の反応度フィードバック特性を有するようになる。すなわち、四号機では、中性子の減速はほとんど黒鉛によって行なわれるので、ボイドが発生しても減速効率が低くなることはなく、むしろ水による中性子吸収が減り、核分裂連鎖反応が盛んになるという正のボイド効果を示す傾向がある。したがって、出力を一定に保つことが難しく、暴走の危険性もある。このため、この原子炉の運転規則では、熱出力七〇万kW（定格熱出力の約二〇％）以下での長時間運転は禁止されていた。

原子炉の緊急停止時には制御棒が全部で二一一本のうち軸方向出力制御用の短尺制御棒二四本を除いた一八七本が炉心に自動挿入されるが、その挿入速度は電源喪失時の自由落下の場合も含め最大〇・四三秒と遅く、全挿入までに約一八秒かかる。

この原子炉は低出力時に正の反応度フィードバック特性を有すること及び制御棒挿入速度が遅いということに對して、運転規則では原子炉の緊急停止時において、上述の挿入速度でも十分原子炉の緊急停止が可能になるようにするため、その時点において挿入される全制御棒に

よる効果が、制御棒の性能が最も効果的に發揮される位置にある制御棒（炉心の中央高さ）に換算して何本分に相当するかを示す「反応度操作余裕」（RBMK型炉以外の原子炉にはない概念）が三〇本相当以上とすることになっており、主任技術者が特に認めた場合に限り一五本相当までは例外的に許されるが、それ以下になったら即刻原子炉の運転を停止すべきことと定められている。

四号機では、一九八六年四月二五日に保守のため原子炉の停止が予定されていた。この原子炉停止の機会に、外部電源が喪失した場合タービン発電機の回転慣性エネルギーをどれだけ所内電力需要に使えるかを調べる実験を行なうこととし、そのための準備が行なわれていた。

同様の実験は一九八二年及び一九八四年にも同原子力発電所で実施された。RBMK型炉の設計では、外部電源喪失時に非常用発電機から電力供給を受けるまでの間、緊急炉心冷却装置（ECCS）の一部を構成するポンプへの電力供給はタービンの回転慣性エネルギーによって行なわれることを期待しており、この実験は安全系の性能確認試験的な意味あいがあった。しかし、この実験計画は具体的な安全対策が十分明記されておらず、承認も

されていないばかりか、実験の指導者は原子炉の専門家ではなく電気技術者であるという不備なものであった。

四月二五日午前一時、実験計画に従って運転員は定格熱出力(三二〇万kW)で運転していた原子炉の出力低下を開始した。一三時五分、出力が定格出力の半分の一六〇万kWとなり、四号機に二基あるタービン発電機のうちの一基(第七タービン発電機)が解列され、所内負荷の一部は残りの第八タービン発電機に切り替えられた。一四時、実験計画に従って運転員はECCSをバイパスした。実験計画では出力低下をそのまま続け出力七〇万と一〇〇万kWで実験を行なうことになっていたが、他の地域からの電力供給の要請によりその後約九時間にわたって一六〇万kW運転が続き、この間、ECCSは運転規則に違反して長時間バイパスされたままであった。

二三時一〇分、運転員は一六〇万kWより出力低下を再開した。運転員は低出力時の運転規則に従って局所自動制御系(LAC)から平均出力の自動制御系(AC)に切り替えたところ、ACの設定値をリセットしていなかったため出力は急激に低下し始めた。運転員が手動操作で出力を調整したが、出力は予定出力よりも大幅に低い

三万kW以下にまで低下してしまった。このため、運転員は制御棒を手動で引き抜き出力の上昇に努力した。その結果四月二六日一時になってようやく出力を二〇万kWに維持することが可能になった。この間、核分裂連鎖反応を妨げるキセノンが炉内で増加しており、二〇万kWまで出力を上昇させるのが精一杯で、それ以上の出力上昇は困難な状況であった。

七〇万kW以下の長時間運転は運転規則に違反していたが、それにもかかわらず実験の準備が進められた。七〇万と一〇〇万kWの状態の実験計画に従い、一時三分及び七分に、既に作動していた六台の主循環ポンプ(各ループ三台ずつ)に加えてさらに各ループ一台、計七台のポンプを起動させ、規定流量を超える流量を循環させた。その結果、冷却材流量が過大となり、ボイドが減少するとともに気水分離器内の蒸気圧力が低下し気水分離器の水位が低下した。このような状態では、気水分離器の水位と蒸気圧力に関する原子炉緊急停止信号により原子炉が停止してしまう。このため、一時一九分、運転員は実験を行なうために同信号をバイパスした。

運転員は気水分離器の水位回復のため給水流量をさら

に増加し、三〇秒後には給水流量はそれまでの三倍となった。これに伴い気水分離器から低温の冷却水が炉心に流入したため、ボイドが減少し炉の出力が更に低下した。出力維持のために自動調整制御棒が上限停止位置まで上昇した。そのため、運転員は手動調整制御棒を引き抜くことによって出力を調整しなければならなくなった。この結果、反応度操作余裕が低下した。

一時一九分五八秒、運転員は気水分離器の蒸気圧低下を防止するため復水器への蒸気弁を閉じた。これにより、気水分離器内の圧力低下は弱まった。

気水分離器の水位が上昇してきたため、一時二二分頃、運転員は給水流量を急減させた。これにより、原子炉入口での冷却材温度は上昇し、炉心全体でボイドが発生しやすいた態になった。炉心にボイドが発生し反応度が増加したため、自動調整制御棒が入り始めた。一時二二分三〇秒、運転員は反応度操作余裕が運転規則で定められている最小値(三〇本相当)の半分(一五本相当)までは主任技術者の判断で運転可能)以下の六〜八本相当になっており、原子炉を緊急停止すべき状態となつていることを発見したが停止しなかった。

一時二三分、原子炉は出力二〇万kWの運転状態にあり、原子炉の諸パラメータ値は一見安定した状態にあったので実験の開始を決意した。しかし、実際は前述の通り、原子炉は危険な状態になっていた。

実験に先立ち、運転員は二台のタービン発電機停止による原子炉緊急停止信号をバイパスした。これは、最初の実験が不成功の場合、速やかに再実験ができることを意図したものであるが、運転規則だけでなく実験計画にも違反していた。

実験開始後、タービンへの蒸気流が絶たれたため第八タービン発電機が慣性運転に入り、この発電機に接続していた四台の主循環ポンプが急速に回転速度を落し、このため炉心流量が減少し始めた。同時に、第八タービン発電機に接続している給水ポンプの回転速度も落ちたため給水流量が減少し、それに伴い冷却材の温度が上昇した。その結果、炉心でのボイドが増加し出力が上昇し始めた。

一時二三分四〇秒、これに気づいた現場の責任者が原子炉の緊急停止を命じ、原子炉緊急停止用ボタンが押されたが、制御棒の挿入速度が遅く(制御棒はそれが効き

表1 運転員によって行われた規則違反

No.	違反	動機又は誘因	結果
①	反応度操作余裕が許される値よりも著しく少なかった。(運転員はこれに気付いたが無視。)	Xe(キセノン)オーバーライド対策。	炉の緊急保護システムが有効でなくなった。
②	出力が実験計画で想定されているものより低かった。(20万kwに維持。)	局部自動制御を切った際のオペレータのミス。	炉は制御困難な状態に至った。
③	待機中の主循環ポンプを追加起動させることにより、主循環流量を規定値以上にした。	実験プログラムを実施するため。	主循環回路の冷却材の温度が飽和温度に近くなった。
④	2基のタービン発電機の停止信号に基づいた炉の保護信号をバイパスした。	実験を繰り返す必要があるかもしれないと考えたため。	炉の自動停止の可能性を失った。
⑤	気水分離器内の水位レベルと蒸気圧に関する保護信号をバイパスした。	炉が不安定な状態でも実験を遂行しようとした。	熱パラメータによる保護信号はすべてバイパスされた。
⑥	最大の想定事故を保護するシステム(ECCS)が切り離された。	実験を遂行中にECCSの誤作動をさけるため。	事故の規模を小さくする可能性を失った。

(ソ連報告書より)

始めるまでに約六秒を要する配置にあったとソ連では推定している)、下端に達していない制御棒の停止が見受けられた。このため、運転員は、自動で制御棒が落下するようサーボ・ユニットのクラッチを解除したが、出力は更に上昇を続け、一時二三分四秒には、定格出力の約一〇〇倍になった。

放出された。状態となって炉外へ飛散し、多量の核分裂生成物が環境へ放出された。

今回の事故は、原子炉の出力が制御範囲を逸えて急上昇するといういわゆる反応度事故である。ソ連報告書によれば、今回の事故は第一義的な原因として、運転員によって行なわた六項目の規則違反が重なったことによる

炉心での反応度が増加し出力が増大するとともに、燃料チャネルでの冷却材流量が減少し続けた。このため、冷却材の激しい沸騰、燃料の過熱、燃料の損傷、破損した燃料粒子による冷却材の急激な沸騰とそれに伴う圧力管の急激な圧力上昇がおこり圧力管は破損し、一時二四分頃、二〜三秒の間隔において爆発が二回発生した。また、爆発により原子炉と建物構造物の一部が破壊され、破損した黒鉛及び燃料の一部が微粒子の状

としている(表1)。

六項目の規則違反については、事故に対する寄与度において自ら軽重の差がある。事故調査委員会の検討結果によれば、これら六項目のうち、1、反応度操作余裕の減少、2、低出力時における実験、3、主循環流量の増加が今回の反応度事故の条件を用意した上で重要であるとされている。すなわち、制御棒のほとんどが炉心の上方に引き上げられて反応度操作余裕が許される値より著るしく少なくなった結果、原子炉の緊急停止能力が低下したことが、出力が実験計画で定められているものより低くなった結果、反応度フィードバック効果が正となったこと、待機中の主循環ポンプを再起動させることにより、主循環流量を規定以上にした結果、圧力が低下し、その後給水流量を急減させたため冷却材の温度が上昇し、冷却材の状態が飽和状態に近くなり炉心全体でボイドが発生しやす状態となった。このように、1と3の規則違反により、炉の状態は反応度事故の発生しやす状態となっていたことは明らかである。

4の違反であるタービン二基の停止に基づく原子炉緊急停止信号のバイパスは、これが行なわれていなければ

実験開始後においても原子炉を緊急停止することにより事故の発生を防止し得たかも知れないという意味において、初めの三項目につき重要性をもっている。しかし、5及び6の規則違反は、重大な規則違反ではあるが、今回の事故が反応度事故であるため、その進展が早かったことを考えるとその発生防止や拡大防止にどれだけ寄与したかは疑問である。

六項目の規則違反が行なわれた背景には、事故の発端となった特殊な実験を遂行しようとする強い動機が感じられる。通常運転とは異なる特殊な実験は本来慎重に進めるべき性格のものであって、この実験の指導者が原子炉の専門家ではなく電気技術者であったこと、具体的な安全対策が十分に明記されておらず実験現場の判断に委ねられていたこと、実験計画が承認されていなかったこと等実験計画が不備であったことは事故の原因として取りあげられるべきであるが、炉が低出力で極めて不安定であるにもかかわらず、実験を強行したこと等炉の安全確保より実験の遂行を優先するような考え方も問題となされなければならぬ。

今回の事故を防止できなかった背景には、炉の設計上

の問題もあつたと考えられる。この炉は低出力時に正の反応度フィードバック特性を有する上、制御棒の挿入速度が緩慢であるという特性も有しているので、その対策として運転規則で反応度操作余裕について特別の規定を定めていた。しかし、制御棒引抜きに関する誤操作等を防止するための適切なインターロックを設置する等、設計面での配慮が十分でなく、運転員の操作に依存しすぎていたことが今回の規則違反を起こし、事故を防止できなかったと考えられる。¹⁾

ソ連は、事故の経過、原因等を分析し、今回のような事故の再発を防止するためRBMK型原子炉の安全性向上を目的とした次下のような設計上の安全対策と管理運転上の安全対策を発表した。前者については、1、運転員が制御棒を引き抜こうとしても、すべての制御棒が炉心の上端から下方一・二mの位置より上側に引き抜けないような機構にして緊急停止効果を高める、2、どのような状況に対しても緊急停止を確実に行なうことができるように、反応度操作余裕を三〇本相当から八〇本相当に増加させる、また、将来的にはウラン濃縮度を約二%から約二・四%に増加させ反応度フィードバック特性を

改善する、3、主循環ポンプキャビテーション余裕の指示計を設置して、ポンプキャビテーションによって炉心に急激なボイド発生がおこらないようにする、4、原子炉緊急停止信号を伴う反応度操作余裕計算システムを設置し、反応度操作余裕が規定値よりも低下する場合には炉が自動的に緊急停止するようにする、5、原子炉緊急停止設備を改善し、現在は全挿入まで約一八秒かかるがこれを一〜二秒にする、また、後者については、1、運転員の質的向上のための組織の強化、2、運転員の作業規律の強化、3、バイパス時における鍵管理の徹底を図るといふものである。²⁾

三 事故の影響

チェルノブイリ事故では、炉心破壊、黒鉛火災が発生し、事故発生後一〇日経過し放射性物質の放出がほぼ終了した五月六日の時点で半減期補正を行なつた値で希ガス約五、〇〇〇万キュリー及びそれ以外の放射性物質約五、〇〇〇万キュリーという大量の放射性物質が大気中に放出された。この事故により、職員及び緊急時要員二〇三名が急性放射線障害と診断された。死者は、八月二

表2 各国の放射能対策

凡例：○=実施；△=一部実施

防 災 措 置	西ドイツ	フランス	イギリス	オーストリア	スウェーデン	フィンランド	ポーランド	チェコ	ユーゴ	米 国
外出など										
*戸外に出ない				△	○					
*子供を砂場で遊ばせない				○	○					
牛 乳										
*摂取制限			○	○	△	○	△		△	
*乳牛に生草を与えない	○				○			△	○	
雨 水										
*飲まない			△	○	○	○			○	
*乳牛に与えない				○	○	○			○	
生鮮野菜										
*食べない	△	△	○	○	○		△			
*洗って食べる	○			○					○	
ヨウ素剤										
*服用する							○			
食料品輸入										
*ソ連から禁止	○	○	○		○					
*東欧から禁止	○				△					
旅行者										
*ソ連・東欧へ旅行しない					○					
*ソ連・東欧からの帰国者を検査	○					○			○	○
〔措 置〕	EC諸国、5/12~31までソ連・東欧諸国からの食料品輸入を制限				5/17、食料品の通解禁				5/12解除	

一日現在急性放射線障害によるもの二九名、重度の火傷によるもの一名、行方不明一名計三一名に達しており、このほか三名の重体患者がいると報じられた。さらに、大気中に放出された大量の放射性物質は国境を越えて多くの国に影響を与えた。特にヨーロッパを中心とした広範な地域で農産物に放射能汚染が検出され、一部の国においては、食料品、飲料水、牛乳の摂取制限、野菜や肉類等の市場出荷制限、牛の牧草供与及び放牧制限、放射能汚染食料品等の輸入制限、車両及び船舶の検査、海外旅行者対策、子供の外出制限等さまざまな放射能対策が講じられた(表2)。

さきの一九七九年三月二八日に発生した米国のスリーマイル島原子力発電所二号機の事故の場合にも原子炉の炉心が部分的に損傷し、放射性物質が環境に放出されたが、その大部分は原子炉格納容器によって保持され放出量は希ガス約二五〇万キュリー及びヨウ素一三一約一五キュリーと評価されていることと比較すると今回の事故は放出の規模において極めて大きなものであるといえる。また、多数の死傷

者を出し、世界的規模で放射能汚染が拡大したことなど、その被害状況は原子力発電史上最悪のものとなり、国際社会に大きな影響を与えた。³⁾

今回の事故では、その影響が当事国であるソ連以外にも及び、さらに、初期の段階ではソ連からの事故情報の通報が遅れたことから、原子力に関する緊急事態もしくは事故について情報を迅速に提供することの重要性が改めて認識された。そのため、事故発生直後の東京において開催された主要先進国首脳会議で議論が交わされ、原子力に関する緊急事態もしくは事故に際して報告及び情報交換を義務づける国際協定の早期作成を求める「チェルノブイリ原子力事故の諸影響に関する声明」が五月五日発表された。

この声明では、原子力の重要性を確認しつつ、この分野における安全性の確保が原子力利用国の国際的責任であることを述べ、ソ連政府に対して今回の事故に関する情報を緊急に提供するように強く求めるとともに、原子力施設の安全性、原子力事故とその結果への対処及び相互緊急援助の供与に関するIAEAの作業を歓迎、奨励し、原子力緊急事態もしくは事故に際して報告、情報交換を

義務づける国際協定の早期作成を求めたのである。

チェルノブイリ事故の重大性に鑑み、世界各国は原子力事故に関する国際協定の作成作業に取り組み、その条約草案はIAEA理事会に諮られた上、九月二六日のIAEA特別総会で正式に採択された。採択された二条約の一方は、「原子力事故の早期通報に関する条約」(早期通報条約)であり、本条約は、国境を越えて影響を及ぼし得る事故が発生した場合に、条約締結国に対し事故の早期通報と関連情報の提供を義務づけるものであり、これにより関係各国が所要の措置を迅速にとることができ、事故の影響を最小限に抑えることができるようにすることを目的としたものである。

もう一方の条約は、「原子力事故又は放射線緊急事態における援助に関する条約」(相互援助条約)であり、本条約は、相互援助に関する二国間及び多国間協定の有用性、IAEAの関連ガイドライン作成活動に触れた上で、緊急事態において被害を最小限に抑えるための国際的な枠組みを構築することを目的とし、締結国に対し放射性物質の放出による被害を最小限にとどめるため、原子力事故又は放射線緊急事態に際して行なう種々の協力

について規定したものである。

前者については一九八六年一〇月二七日、後者については一九八七年二月二六日⁽⁴⁾いづれも多数の国々の締結によって発効している。

チェルノブイリ原子力発電所事故は、国際社会に大きな衝撃を与え、原子力発電に対する人々の信頼を揺がした。各国の原子力政策は、その国のエネルギー消費量や国内資源の状況等国情によって異なるが、この事故の影響をうけ、ヨーロッパ諸国では原子力発電反対運動が再び活発化する気配をみせ、原子力発電所の増設を計画していた国の一部ではその計画に一時遅れを生ずる様相を呈したところも生じたが、世界の原子力発電は電源の重要な柱の一つとして位置付けられていることには変わりはない(表⁽⁵⁾3)。

一九八六年に閉鎖された原子炉は、チェルノブイリ四号基だけであった。米国では建設中の原子炉二基が廃棄され、フィリピンでは建設中の発電所の作業が中止されたが、これらの決定は今回の事故に関係したものである。ソ連と東欧のコメコン諸国での原子力発電計画は、事故にもかかわらずソ連は原子力開発を今まで通り推進

すると表明しており、一九八六年一月のコメコン会議で、ソ連を含むコメコン諸国の原子力発電を能力を二〇〇年までに数倍に増強すると発表したが、事故炉と同型のRBMK型炉の発電所の新規建設は見合わせる事になった。東欧諸国では諸物価の高騰に加えて、事故の影響で原子力発電所の建設に遅れの目立っている国が多く、また西側の原子炉へ移行する動きも出ている。原子力発電計画のない一部の国々、とくにデンマークとアイerlandは反原子力発電姿勢を示した。オーストリアでは、完成したが稼働することのなかった原子炉が解体されることとなり、チェルノブイリ事故により原子力から完全に撤退することを決めた唯一の国となった。フィンランドとオランダでは新規発電所発注の決定が少くとも数年間先送りされた。イタリアとスイスでは、新規の原子力発電所建設に対してばかりでなく、既存の原子力発電所の操業継続に対しても強硬な反対がおこっている。日本、フランス、米国では原子力発電の容量の予測値を下方修正しているが、これらは事故に起因しているからではなく、需要予測値の低下にもとづくものである。

原子力平和利用においては安全確認が第一であること

表3 各国・地域の原子力発電の開発状況

国名 地域名	現状(1987.6.30現在) と当面の計画(万KW)	総発電電力量 に占める原子 力の割合(%)	原子力発電を取り巻く状況
米 国	運転中 100基 9,082 建設中 25基 2,968 計画中 2基 239 <hr/> 計 127基12,289	16.6	<ul style="list-style-type: none"> ・米政府は、石油依存度の低減及び省エネルギーの推進をエネルギー政策の主目標に置き、原子力及び石炭開発並びに省エネルギー対策を進めている。 ・チェルノブイリ事故後、原子力規制委員会は特別作業部会を設置し、事故調査及び米国の規制計画にとって必要な措置の検討を行い、1987年2月、「事実調査報告書」を発表し、現在の規制の変更・強化は必要ないことを明らかにした。
フランス	運転中 48基 4,574 建設中 1,827 14基 計画中 4基 569 <hr/> 計 66基 6,970	69.8	<ul style="list-style-type: none"> ・仏政府は、原子力開発と省エネルギーの推進をエネルギー政策の主目標としている。 ・仏国においては、多くの原子炉が運転中であるが、ソ連の炉とは、設計思想、炉の自動安全対策等が異なることから、事故との関連で直ちに国内の炉に措置を講ずる必要はないとしている。 ・原子力安全に関する情報を国民に適切に伝えることを目的として、原子力安全最高会議(CSSN)の役割を拡大し、原子力安全情報最高会議(CSSIN)と改組した。
ソ 連	運転中 47基 3,125 建設中 34基 3,406 計画中 20基 2,000 <hr/> 計 101基 8,531	11.0	<ul style="list-style-type: none"> ・1986年3月の党大会で第12次5ヵ年計画(1986～90年)が採択され、原子力を5ヵ年間に電力量で2.3倍にする目標が掲げられた。チェルノブイリ事故後の1986年6月に行われたソ連最高会議(国会)では、この原子力計画の目標数値は変更されることなく、計画法として採択された。 ・1986年7月、原子力発電省が設置された。 ・1986年暮に、事故炉と同型のRBMK炉については、新規の建設は見合わせる、との新方針が打ち出された。

(13) チェルノブイリ事故とその影響

<p>西 独</p>	<p>運転中 18基 1,861 建設中 5基 562 計画中 9基 1,209 <hr/>計 32基 3,632</p>	<p>29.4</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・1986年6月、環境・自然保護・原子炉安全省が設置された。 ・連邦経済省は、1986年9月、新しいエネルギー報告書を出し、「原子力発電は短・中期的に廃止することはできない。」との見解を示した。 ・1987年1月の連邦議会選挙の結果、現与党のキリスト教民主・社会同盟(CDU/CSU)、自民党(FDP)が引き続き政権を維持することとなったことから、従来の原子力政策が継続されるものと見込まれる。
<p>英 国</p>	<p>運転中 38基 1,275 建設中 5基 382 <hr/>計 43基 1,657</p>	<p>18.4</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・労働党が反原発の姿勢を強める一方、政府及び与党保守党は、むしろ原子力をさらに推進する方向にある。 ・1987年3月、政府は、国内初のPWRであるサイズウェルBの建設を承認した。今後続いて一連のPWRを発注する予定。 ・1987年6月に行なわれた総選挙で、保守党政権が再選されたことから、従来の原子力政策が継続されるものと見込まれる。
<p>カナダ</p>	<p>運転中 17基 1,190 建設中 5基 461 <hr/>計 22基 1,650</p>	<p>14.7</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・輸入石油に対する依存軽減と総合的なエネルギー供給の確立をエネルギー政策の基本方針とし、石油から、石炭、原子力へ移行することを目指している。 ・チェルノブイリ事故による原子力政策見直しの動きはない。
<p>スウェーデン</p>	<p>運転中 12基 1,002 <hr/>計 12基 1,002</p>	<p>50.4</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・1980年の国民投票により、発電用原子炉を12基に限定し、最後の原子炉が耐用期限をむかえるとされる2010年までに発電用原子炉を廃止する方針を決定した。 ・1987年5月、政府は議会で2基の発電用原子炉廃止の実施計画(法案)を提出し、現在審議中。
<p>スペイン</p>	<p>運転中 8基 582 建設中 6基 583 計画中 4基 404 <hr/>計 18基 1,569</p>	<p>29.1</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・1981年末に改定された国家エネルギー計画では、石油依存度の減少と、これにかわる原子力、石炭のシェアの拡大を基本方針としている。 ・政府は1986年に、国家エネルギー計画を見直す予定であったが、現在もその作業を進めている。

韓 国	運転中 7基 572 建設中 2基 190 計画中 2基 190 <hr/> 計 11基 952	43.8	<ul style="list-style-type: none"> ・脱石油をエネルギー政策の基本方針とし、石油代替エネルギーの中心として原子力を位置付け、今世紀末には原子力発電設備容量の割合を約40%とする計画である。
ス イ ス	運転中 5基 308 計画中 2基 225. <hr/> 計 7基 533	38.1	<ul style="list-style-type: none"> ・1979年及び1984年に原子力開発に関して、国民投票を行ったが、いずれも原子力開発推進を支持した。 ・チェルノブイリ事故後、反原発運動が再熱・拡大し、「向こう10年間、原子力発電所の増設を禁止し、その間にエネルギー計画を見直す」ことを求める運動に発展した。 ・1986年10月、下院は原子力廃止案を否決。上院は政府による問題検討と対策案を求める動機を採択し、政府は、本年末までに検討結果を報告することになっている。
イタリヤ	運転中 3基 133 建設中 3基 207 計画中 6基 600 <hr/> 計 12基 940	4.6	<ul style="list-style-type: none"> ・チェルノブイリ事故後、原子力立地促進のための条項廃止の是非を問う国民投票の要求が行われた。 ・1987年11月、国民投票が実施され、上記条項を廃止するとの方向が示された。
オーストリア	<hr/>	<hr/>	<ul style="list-style-type: none"> ・1978年、完成したツベンテンドルフ原子力発電所の運転開始が国民投票で差し止められた。その後再開の動きもあったがチェルノブイリ事故後の1986年9月、その廃止・解体を決定した。
中 国	建設中 3基 210 計画中 2基 25 <hr/> 計 5基 235	0	<ul style="list-style-type: none"> ・2000年時点で運転中設備容量700万KW、建設中設備容量500万KW、さらに来世紀半ばには、発電電力量の50%以上を原子力で賄うことを目指している。
台 湾	運転中 6基 514 計画中 4基 395 <hr/> 計 10基 910	43.7	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力発電を引き続き推進するとともに、石炭火力への依存度を高めることをエネルギー政策の目標としている。

(15) チェルノブイリ事故とその影響

日 本	(1987.9.1現在)	(1986年度)	
	運転中 35基 2,788	27.8	<ul style="list-style-type: none"> ・1987年5月、原子力安全委員会が、「ソ連事故調査報告書」を発表し、従来の安全規制、防災対策等を早急に改める必要性は見出されないことを明らかにした。 ・6月、原子力委員会は、「原子力開発利用長期計画」を発表し、今後とも原子力開発利用を着実に推進する方針を明らかにした。 ・10月、閣議において「石油代替エネルギーの供給目標」が改定され、昭和75年度における原子力発電設備容量は、5,350万KWとされた。
	建設中 12基 1,199		
	計画中 4基 333		
	計 51基 4,320		

注) 運転中、建設中、計画中の基数及び容量は日本原子力産業会議「原子力発電所一覧表(1987年6月30日現在)」による。

は論を俟たない。原子力発電所は立地、設計、建設の各段階を経て運転の段階に入る。これらの段階で安全確保上それぞれの役割や目標が生じてくる。

原子力発電所の安全確保の基本は、平常時あるいは機器の故障、運転員の誤操作、地震等の自然災害により発生する事故時において原子炉内部に発生蓄積された放射性物質を確実に封じ込めることである。このため、たとえば設計の段階ではよく知られている多重防護(深層防護)という考えの下で、具体的に示されている三つのレベルの安全確保対策がとられている。

現在、原子力発電所はこの多重防護の安全設計に基づいて設計され運転されてきており、先進工業国においては重要な電力源として定着するに至った。その間には先のスリーマイル島事故にみられたように多重防護が施されているにもかかわらずそれらが有効に働かず放射性物質が環境に放出され事故対策の不十分さが批判されたこともあった。この事故の主要原因の一つとして、運転員の誤判断とその誤判断の背景に制御室における不適切な表示等が存在したことから、原子炉施設の事故における人的要因(ヒューマンファクター)の重要性及びどこま

で機械に委ね、どこまで人間に委ねるのが原子炉の安全を確保する上で最適かという人間と機械の接点(マンマシンインターフェイス)の重要性が認識された。今回のチェルノブイリ事故でも、運転員の規則違反が事故の第一義的な原因となったが、一方、設計においても反応度操作余裕の維持が運転員の監視に委ねられており、警報、インターロック等が不備であるなどの問題が指摘され、人的要因及びマンマシンインターフェイスの重要性が再確認されるに至った。

このように、過去の経験に基づきその時々を生ずる問題を適宜解決し、原子炉に改良を加え原子炉の安全性を強化確立していく従来の方向とは別に、先進諸国における経済成長の停滞やスリーマイル島事故を契機として固有の安全性を強調した新しい中小型炉の提案が行なわれるようになった。チェルノブイリ事故以後、原子力施設の安全性確保の重要性が再認識されるとともに原子炉の構造が複雑でなく、高い経済性と固有の安全性を持つこの新しい型の原子炉概念が更に注目されるようになった。

この新しい原子炉の安全確保方式の特徴としては次の三項目があげられる。

1、事故後の安全が単純な自然科学法則によって保持されることである。すなわち、原子炉の異常時には負の反応度係数およびドップラ効果などの炉物理法則、さらに重力の法則、熱伝達法則など物理的法則や化学的法則のみによって原子炉内の核分裂連鎖反応が停止するようになっている。たとえば、新しい炉では、原子炉圧力容器内の水は如何なる状況であろうとも瞬時には失なわれることがないという前提条件の下で、原子炉の異常発生時には密度ロックが破れブル内にある一次系の上部及び下部についているインターフェイスを通して、高濃度ボロンプール水が一次系に入って炉は自動的に停止するとともに炉心での崩壊熱を除去する自然循環冷却が維持されるのである。

2、機器の動作原理に関するもので、事故後の安全保持は運転員や能動機器にほとんど依存しないことである。現在の原子炉では、たとえば緊急炉心冷却装置(ECCS)は電気信号あるいは運転員により作動されるようになってはいるが、新しい炉では安全性確保に係わる機器は電気駆動や運転操作によらずに原子炉を停止させ、崩壊熱を除去できるようになっている。

3、事故軽減努力が通常産業規模であり、運転員は事故発生に対応するための即応的処置および操作を必要としないことである。すなわち、事故後、運転員が一時的に現場を離れ何の操作を行なわなくても原子炉の安全を保つことができるようになっており人間と機械との関係は在来のもものと明らかに異なったものとなっている。

新しい方向を示す原子炉は上述のように、1の固有の安全性 (Inherent Safety)¹⁾、2の受動的安全性 (Passive Safety)²⁾、3の Walk-away Safety を持った原子炉である。要するに、それは多くの電気回路を利用する安全防护設備やシステムとして独立した工学的安全施設を採用した在来の原子炉安全設計と異なり、科学的自然法則のみを利用して原子炉炉心の安全設計が行なわれているので、原子炉の安全性を確保する工学的安全施設としては原子炉の平常運転時及び事故時をも含めて受動的機器の作動にのみ依存し、また、たとえ何らかの異常な過渡現象状態がおこったとしても安全確保のための十分な時間的余裕を有する原子炉である。更にこの原子炉は、責任を開発者に集中して原子炉設計者、製造及び建設者、運転要員や管理責任者、規制行政担当者に対して看過責

任を負わせる割合を少ないよう設計 (Forgiveness) して原子炉に対する意図的破壊行為、過渡的な人的操作に強い耐性を与えているのである。

欧米諸国でこれらの性質を持った新しい中小型の原子炉開発が進められているが、その種類、容量及び用途はそれぞれ異なっている。

規模の小さい電気企業が多数存在する米国では、これらの企業が長期にわたる大型原子力発電所建設上の資金リスクを回避でき、全体の投資額が小さくかつ厳しい環境基準に合致し全出力運転が早期に実現できる中小型原子炉に注目している。この市場を狙ってWH社がAP-600、GE社がSBWR、といずれも六〇万KWの軽水炉を開発し国内需要に応えようとしている。

中小型炉は大型炉のようなスケールメリットがきかないため、建設単価では大型炉より不利になるが、受動系の導入と簡素化、リードタイムの短縮化、機器のモジュール化や小型化などによってそれに対応し、また資金リスクの減少や低経済成長に見合った設備投資の平滑化などにより全体として発電コストを大型炉によるものと競合できるとしている。

一方、ヨーロッパ諸国では一萬kWの熱供給炉、一〇萬kW、三〇萬kW、五〇萬kWなどの熱と電気の併供給炉を国内で使用する傍ら開発途上国等へ輸出することを考えている。

EC委員会は、西ドイツ、イタリア、フランスにおける中小型の熱・電気併給炉の市場調査を三国共同研究として実施し、EC諸国全体でみると、二〇二〇年までに六〇〇萬kWの需要があり、これは二〇萬kW三〇萬kWに相当するとしている。また、IAEAは、一九八三年より三カ年にわたって実施した開発途上国への中小型炉の市場調査では、六〇萬kW以下の中小型炉に対する潜在市場は一九九〇～二〇〇〇年の一〇年間で九カ国で一〇～一五基程度であるが、二〇二〇年までの三〇年間でみると約七〇基が見込まれるとの結果を報告している。

BBC/HRB社は、同社が開発中のHTRシリーズについて在来の軽水炉と経済性比較を行ない、HTRシリーズのうちのHTR-500は一〇〇萬kW以上の大型PWRに比べ建設単価は同程度となっているが、発電コストではかなり優位に立っていると^(c)している。

四 結 語

チェルノブイリ原子力発電所で事故をおこしたRBMKはその長所として、1、大型の圧力容器が不用、2、複雑で高価な蒸気発生器が不用、3、運転中に燃料を連続交換することが可能、4、中性子経済が良好、5、燃料サイクルへの柔軟性がある、6、流量調整や燃料の健全性チェックがチャンネルごとに行えることなどを有しているが反面、1、大きな正のポイド反応度係数があらわれる、2、炉心の出力分布が不安定で、これを安定させるために複雑な制御システムを必要とする、3、各チャンネルの入口、出口に複雑な分岐が必要、4、黒鉛構造物及び金属構造物に大量の熱エネルギーが蓄積されるなどの短所が指摘されている。RBMKはこのような短所を考慮して能動的な安全系を備えていたにもかかわらず、運転員の運転規則違反で安全装置が作動せず今回の事故に至っている。すなわち、能動的な安全装置が存在しても運転員の運転規則無視によってそれが作動せず事故を防止できなかったのである。

スリーマイル島原子力発電所事故及び今回のチェルノ

ブイリ原子力発電所事故以後、原子炉の安全確保の重要性が再認識され、原子炉の安全性に関する論議が盛んになってきている。この中で、異常時にも特別な人間の操作及び外部からのエネルギー供給を必要とせず、受動的原理によって原子炉の停止及び熱除去が行なえ、炉心の健全性が確保されるという固有の安全性を備えた原子炉が検討提案されるようになってきた。

この新しい概念の原子炉は固有の安全性を持つと同時に、小容量ではあるが在来の軽水炉と同程度の経済性をその製造建設に当って量産効果、学習効果、重複効果、建設期間短縮、安全審査の簡素化、投資リスク軽減などによって獲得すれば、電気熱併給炉として都市に近接して立地することも可能となり、更に発展途上国において原子力を利用する際に現在直面している問題すなわち在来の大型原子炉の有する技術の複雑さや建設資金などの難点を克服できるので、それらの諸国への進出が期待されるのである。

多くの軽水炉が安全に運転されている現在、新しい安全性の概念を導入する必要はなく、既存の軽水炉を改良し安全性を高め、経済性を向上させようという考え方も

あるが、事故が一度おこった後の社会的影響を考慮すれば固有の安全性という概念を重要視する態度も今後の原子力の開発及び利用に際して必要となるであろう。

文献

- (1) 原子力安全委員会編、原子力安全白書（昭和六一年版）、四頁、昭和六二年、大蔵省印刷局。
杉本 純、石神 努、原子力工業、第三二巻、第一一頁、一九八六年。
- 佐藤一男、日本原子力学会誌、第二九巻、第一号、一一頁、一九八七年。
- 都甲泰正、日本原子力学会誌、第二九巻、第一一頁、九七六頁、一九八七年。
- (2) 若林利男、速水義孝、原子力工業、第三三巻、第二号、四九頁、一九八七年。
- (3) 原子力安全委員会編、原子力安全白書（昭和六一年版）二五頁、昭和六二年、大蔵省印刷局。
- (4) 同右、五三頁、三八六頁。
内藤 香、原子力工業、第三二巻、第一二号、六頁、一九八六年。
- (5) 原子力委員会編、原子力白書（昭和六二年版）、一九頁、昭和六二年、大蔵省印刷局、
- (6) 伊勢武治、山田正夫、服部禎男、原子力学会誌、第三

○卷、第二号、二頁、一九八八年。

武谷清昭、原子力工業、第三一卷、第一〇号、四三頁、一九八五年。原子力工業、第三三卷、第四号、三九頁、一九八七年。

若林宏明、原子力工業、第三一卷、第一一号、五一頁、一九八五年。原子力工業、第三二卷、第八号、一八頁、一九八六年。

梅津照裕、原子力工業、第三四卷、第一号、一三頁、一九八八年。

柿澤憲一、原子力工業、第三四卷、第一号、二〇頁、一

九八八年。

菅原一郎、原子力工業、第三四卷、第一号、二六頁、一九八八年。

根本和泰、原子力工業、第三四卷、第一号、三〇頁、一九八八年。

木越安胤、原子力工業、第三四卷、第一号、三五頁、一九八八年。

隅田 勲、原子力工業、第三四卷、第一号、四〇頁、一九八八年。

(一橋大学教授)