

特集

原子力発電と地球温暖化問題

第2回 原子力発電と安全性

早川光俊(CASA専務理事)

福島第一原子力発電所事故は発生から2ヶ月半が経過した現在も、まったく収束の目途がたっていません。原子力発電は幾重にも防護システムが施され、万が一にも事故は起こらないとする「安全神話」がまかり通ってきました。しかし、今回の事故により、この「安全神話」は完全に崩壊しました。原子力発電を考える上で、「安全性」の問題は避けて通れない課題です。

福島第一原子力発電所事故を通して、原子力発電の「安全性」について考えたいと思います。

福島原子力発電所で何が起こったのか

3月11日午後2時46分に起こった東日本大震災は、地震と津波で6月6日現在23,571人の犠牲者と行方不明者という未曾有の被害をもたらしました。地震が起きた三陸沖の近くには、東北電力女川原子力発電所、東京電力福島第一原子力発電所、同福島第二原子力発電所、日本原子力発電東海第二原子力発電所の4箇所の原子力発電所に14基の原子炉があり、うち11基が運転中でした。原子炉のタイプはすべて沸騰水型軽水炉です。地震発生時、運転中の11基の原子炉はすべて自動的に制御棒が挿入され、核分裂反応は停止しました。核分裂反応が停止しても、燃料棒内部の放射性物質が崩壊熱^{*1}を出すので冷却し続けることが必要です。しかし、福島第一原子力発電所では、地震と津波により送電鉄塔が倒れて外部から送電ルートが切断され、13基あった非常用発電機も12基が動かなくなり、1～4号機は冷却機能を喪失してしまいました。

6月6日の原子力安全・保安院の発表によると、表1のように、1号機は地震から5時間後の午後8時頃には燃料の大部分が圧力容器の底に溶け落ちる炉心溶融(メルトダウン)の状態となり、3号機は3月14日午後10時10分頃、2号機はその40分後の午後10時50分頃には炉心溶融を起こしていたとされています。このうち3号

機はMOX燃料でのプルサーマル運転をしていました。

さらに、1号機の原子炉建屋が3月12日の午後3時半すぎに水素爆発と見られる爆発で吹き飛び、3号機も3月14日午前11時に爆発が起き、建屋上部が吹き飛びました。2号機も3月15日午前6時すぎに原子炉下部の圧力抑制プール付近で爆発音が確認されました。定期点検中の4号機も、2号機で爆発音が確認された直後に爆発が起き、建屋上部が吹き飛びました。

地震のあった3月11日夜には政府は原子力緊急事態を宣言し、福島第一、第二原子力発電所から半径3km圏内に避難指示が出されました。その後、避難指示の範囲は拡大され、現在は福島県域の約10%が警戒区域や計画的避難区域に指定され、福島県からの県外避難者は3万4743人(5月16日現在)にのぼっています。

建屋の爆発で大量の放射性物質が大気中にまき散らされ、また高濃度の放射性汚染水が海に流れ出しました。3月22日には排水口付近の海水から高濃度のヨウ素が検出され、24日には3号機のタービン建屋に炉心水の1万倍という高濃度汚染水が溜まっていることが判明しました。事故から2ヶ月半たった現在も、原子炉や燃料プールを冷やすため大量の注水を続けており、一方で注水すればするほど高濃度の放射性汚染水が外部に流れ出す危険性が増大するとい

*1 核分裂によって生じた放射性物質の中でも、原子核が不安定なものは、放射線を出して別の原子核になります(放射性崩壊)。この時放出される放射線の大部分は熱となり、これを崩壊熱といいます。

うジレンマに陥っています。

また、農産物や牧畜、漁業への影響も顕在化しており、3月21日には北関東3県のハウレンソウなどの野菜や福島県産の原乳の出荷制限が発動され、3月23日には東京都23区に飲料水を供給している金町浄水場の水道水で放射性ヨウ素131が検出されています。4月5日には茨城県沖のコウナゴから放射性セシウムが検出されています。

表1：福島第一原子力発電所の事故の経過

3月11日	PM2:46	地震発生。福島第1原発の全原子炉が自動停止。
	PM3:30頃	津波襲来。
	PM3:40頃	全電源を喪失。緊急炉心冷却装置停止。
	PM7:03	原子力緊急事態を発令。
	PM8:00	1号機メルトダウン。
	PM9:23	半径3km圏内の住民に避難指示。
3月12日	AM5:44	避難地域を半径10kmに拡大。
	AM10:17	1号機、ベント(排気)開始。
	PM3:36	1号機原子炉建屋で水素爆発。
	PM6:25	避難地域を半径20kmに拡大。
3月14日	AM11:01	3号機原子炉建屋で水素爆発。
	PM10:10	3号機メルトダウン。
	PM10:50	2号機メルトダウン。
3月15日	AM6:00	4号機の使用済み燃料プールで水素爆発。
	AM6:10	2号機、地下で爆発。
	AM11:00	半径20～30km圏内に屋内待避を指示。

(2011年6月6日の原子力安全・保安院発表資料からCASA作成)

PWRとBWR

日本の原子炉には大きく2つのタイプの原子炉があります。加圧水型軽水炉(PWR: Pressurized Water Reactor)と沸騰水型軽水炉(BWR: Boiling Water Reactor)です。

軽水炉というのは、冷却材及び減速材^{*2}に普通の水(軽水)を使う原子炉です。軽水炉の

中で加圧水型とは燃料棒が入った圧力容器内で水を加熱し、さらに100気圧以上の高い圧力をかけることで水の状態で約300℃にします。これを圧力容器とは別の蒸気発生器で水蒸気を発生させ、この水蒸気でタービンを回して発電する原子炉です。加圧水型原子炉は、圧力容器と蒸気発生器が別々になっているので、構造は複雑になりますが、蒸気発生器で作られる蒸気は放射性物質を含んでいないため、タービン建家での放射線管理の手間が省けると言われています。世界では、加圧水型軽水炉が多く(約70%)、日本では関電などを中心に関西・西日本の原子炉がこのタイプです。

一方、沸騰水型原子炉とは、加圧水型とは異なり圧力容器内で直接水を沸騰させて水蒸気をつくり、その水蒸気でタービンを回して発電する原子炉です。沸騰水型原子炉は、加圧器や蒸気発生器などがいない分、原子炉の構造は比較的単純になりますが、放射性物質を含んだ水蒸気が直接タービン建家に送られるため、タービン建家での放射線管理が必要になります。日本では、主として東電などの東日本の原発に多く採用され、今回事故を起こした福島第一原子力発電所の原子炉もこのタイプです。

事故や故障に関しては、PWRもBWRも一長一短があり、PWRは原子炉圧力容器が小さいため高速中性子の照射を受けて圧力容器などが硬く脆くなる「中性子照射脆化」が起こりやすいことと、蒸気発生器の細管で劣化が起こりやすいことが弱点といわれます。BWRは制御棒を下から挿入するため、圧力容器の下部が計器などで複雑な構造になり故障などを起こしやすく、また放射能を含む水蒸気が直接タービン建家に送られるため、タービン建家での放射線管理が必要なことが弱点になっています。

*2 原子力発電は、燃料のウラン235が核分裂する際に生じる膨大な熱を利用する発電装置ですが、ウラン235が核分裂する際に飛び出す中性子がほかのウラン235に吸収され、次の核分裂を起こすという連鎖反応状態が必要です。しかし、核分裂で飛び出す中性子は秒速1万km以上の高速であるため、そのままではウラン235に吸収されにくいので、これを減速する必要があり、その減速材として軽水炉では水が用いられます。

多重防護システムという「安全神話」

原子力事故対策の基本は、「(核反応を)止める」、「(崩壊熱を出す燃料棒を)冷やす」、「(放射性物質を)閉じ込める」の3つだとされます。これまで、原子力発電所設備には、幾重にも防護システムが施され(多重防護システム)、万が一にも事故は起こらないとされてきました。

まず「止める」ですが、地震などの緊急時には、自動的に十字型の制御棒が燃料集合体の間に挿入され、核反応を止めます。これをスクラムといいます。加圧水型原子炉では上から制御棒が挿入されるのに対し、沸騰水型原子炉では燃料集合体の上に、水滴を取り除く気水分離器や蒸気乾燥機などを設置する必要があるため、上から制御棒を挿入することができず、高圧の窒素ガスと水圧で下から制御棒を挿入する仕組みになっています。今回の地震の際も、地震の直後にこのシステムが働き、核反応は止まりました。

しかし、核反応が止まっても、燃料棒内部には核分裂で生み出された放射性物質が大量にあり、崩壊熱を出します。そのため燃料棒を水で冷やし続ける必要があります、冷やさないと数分で2000℃以上になり、燃料棒が溶け出して炉心溶融を起こします。そこで、冷却水が原子炉から大量に失われる事故(冷却水喪失事故)が起こった場合、緊急に水を炉心に注入し燃料棒の損壊を防止する緊急炉心冷却装置(ECCS: Emergency Core Cooling System)が設置されています。今回の事故では、このECCSを動かすのに必要なすべての電源が失われたことにより、ECCSが作動しなかったことが大事故につながった原因だとされています。

さらに、原子炉内には大量の放射性物質があり、これが外部に出ないように閉じ込めておく必要があります。本来は燃料棒がある圧力容器内に閉じ込めておくべきですが、万が一圧力容器が壊れるなどして放射性物質が漏れても、外に漏らさないようにするのが圧力容器を収納して

いる格納容器です。今回の事故では、1～3号機の圧力容器はすべて破損し、さらに1、2号機は格納容器も破損していると考えられています。

原子力発電所の事故

国際原子力事象評価尺度(INES)では原子力発電所の事故・故障について、「異常な事象」と「事故」を7段階に分類しており、さらに「異常な事象」は1～3、「事故」は4～7に分類しています。「チェルノブイリ原発事故」は一番深刻な事故でレベル7、「スリーマイル島原発事故」はレベル5に分類されています。(表2)

4月12日、原子力安全・保安院は、放射性物質の放出量が37京ベクレル^{*3}に達したとして、福島第一原子力発電所の1～3号機について、一番深刻な事故であるレベル7と暫定評価しました。

このレベル7はチェルノブイリと同じ事故レベルです。チェルノブイリ、スリーマイル島と今回の福島第一原子力発電所は、いずれも過酷事故(シビアアクシデント)とされています

日本では90年代以降、深刻な原子力発電所事故が立て続けに起こっています。

1991年2月には関西電力美浜発電所の2号機の蒸気発生器の伝熱管が金属疲労により破断する事故が起こりました。この事故では、日本で初めて緊急炉心冷却装置が作動しました。

1995年12月には動力炉・核燃料開発事業団の高速増殖炉「もんじゅ」の二次冷却系配管からナトリウムが漏洩し、空気と反応して火災が発生しました。

1999年9月には、東海村のJCOの核燃料加工施設で、燃料加工中にウラン溶液が臨界状態に達し、至近距離で中性子線を浴びた3人の作業員のうち2人が死亡する事故が起こりました。従業員にウラン化合物粉末をバケツで扱わせていたずさんな管理体制が事故の原因とされています。この事故で事故調査委員会が認定し

* 3月6日、原子力安全・保安院は放出量を77万テラベクレルに訂正しました。1テラは1兆倍。INESのレベル7評価は、ヨウ素131換算で数万テラベクレル相当の放射性物質の放出とされています。

た被爆者は、667名に及んでいます。

2004年8月には、関西電力美浜発電所3号機の二次冷却系の摩耗した配管から蒸気が漏れ、作業中の5人が死亡し、6名が重軽傷を負っています。

2007年7月16日に発生したマグニチュード6.8の新潟県中越地震で、運転中の4機の原子炉が緊急停止し、3号機の建屋外の油圧式変圧器で火災が発生しました。

これらの事故・故障は評価尺度では、2名が亡くなった東海村JCO臨界事故はレベル2、美浜2号の蒸気発生器細管破断事故が2、もんじゅナトリウム火災事故が1とされています。

図1、2は、原子力資料情報室が作成したPWRとBWRの事故の発生箇所を明示したものです。あらゆる所で事故や故障が発生していますが、PWR、BWRともに压力容器内での事故が多く、特にPWRでは蒸気発生器が事故・故障の多発箇所であることがわかります。

福島原子力発電所事故をどう考えるか

昨年11月、福島県は、福島第一原子力発電所が送電線の故障で外部電力を喪失し、非常用ディーゼル発電機の駆動にも失敗して冷却機能を失い、原子炉内で燃料棒が損傷し放射性物質が压力容器から漏れるとの想定で防災訓練を行っています。奇しくも今回の事故と同じ想定です。地震や津波による全電源喪失による冷却機能の喪失する可能性は、住民団体が早くから指摘し、国会でも2006年3月に日本共産党の吉

井英勝議員が、津波で海水を取水できなくなつて冷却機能を失うと、最悪の場合は炉心溶融を起こすことを指摘する質問を行っています。

津波についても、東京電力自身が、2006年の原子力工学の国際会議で、福島第一原子力発電所に設計の想定を越える津波が来る確率を「50年以内に約10%」と報告しています。現実には福島第一原子力発電所の5、6号機は、1～4号機と同じように外部電力を失いましたが、13機の非常用発電機のうち、海水冷却が不要な空冷式の1機だけが6号機の原子炉建屋内にあったため破損を免れ、この電気により、5、6号機は冷却機能の喪失を免れたとされています。

こうした事実は、今回の福島第一原子力発電所は、決して想定外などではなく、充分想定ができ、対策が可能であったことを示しています。

原子力発電所に対する破壊活動の脅威

今年5月7日付の朝日新聞の朝刊に、「米、日本の原発警備注視」との見出で、2010年11月に内部告発サイト「ウィキリークス」が公表した25万点を超えるアメリカの機密文書の、原子力発電所に関する文書の分析が載っています。そこでは、アメリカの外交官らが日本各地の原子力発電所や有事訓練を視察したりして、日本の原子力政策の動向に強い関心を示していること、アメリカ側の関心の焦点は地震や津波などの自然災害ではなく原発テロへの備えにあり、2007年の日本政府との会合では、核兵器への転用が懸念されるプルトニウムの貯蔵設備

表2：原子力発電所事故と分類

	レベル	事故例
事故	7(深刻な事故)	チェルノブイリ4号炉暴走事故(1986)、福島第1原子力発電所事故(2011)
	6(大事故)	キシュチムの再処理工場の爆発事故(1957)
	5(所外へのリスクを伴う事故)	スリーマイル島2号炉炉心溶融事故(1979)
	4(所外への大きなリスクを伴わない事故)	JCO臨界事故(1999)
異常な事象	3(重大な異常事象)	東海再処理工場火災事故(1997)
	2(異常事象)	美浜2号蒸気発生器細管破断事故(1991)、滋賀1号臨界事故(1999)
	1(逸脱)	もんじゅナトリウム火災事故(1995)、美浜3号11人死傷事故(2004)

(CASA作成)

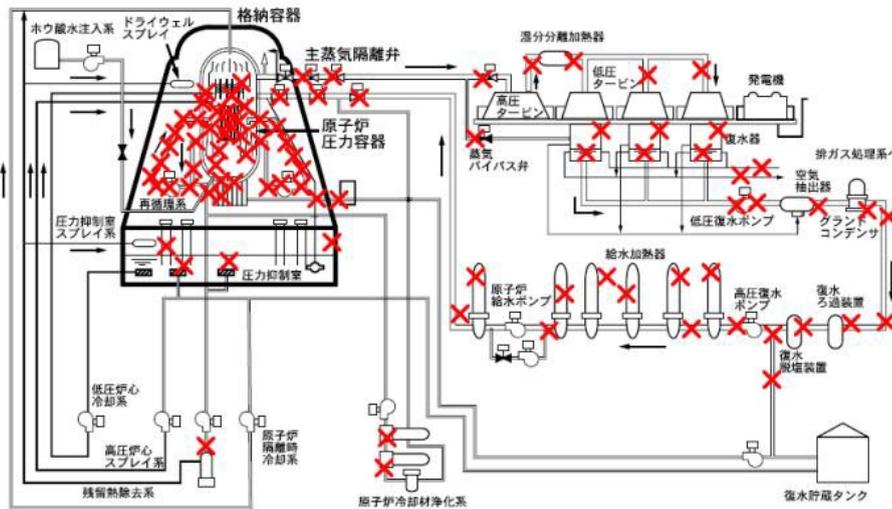


図1 沸騰型原発の故障箇所

出所 原子力資料情報室

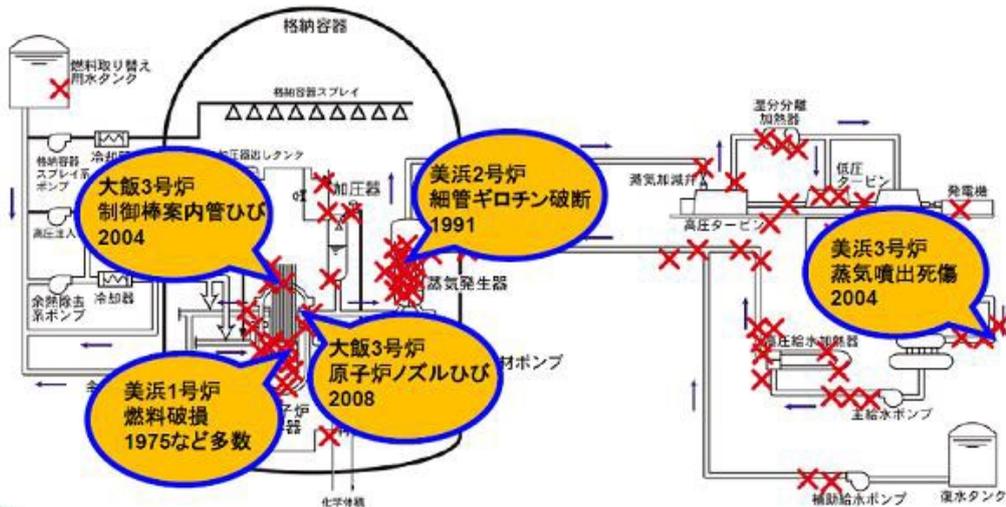


図2 加圧型原発の故障箇所

出所 原子力資料情報室

に武装警備が無いことに懸念を表明していると報道されています。

私は、ドイツの政府関係者に原発撤廃の理由を聞いたことがあります。環境問題もあるが、経済性と破壊活動への脆弱性が大きな理由だとのことでした。

原子力発電所は、9.11のように飛行機を衝突させるようなことをしなくても、最小限の通常兵器で配管などを破壊し、冷却機能を失わせることにより、容易に炉心熔融を起こすことができます。島国の日本ではあまり注目されていませんが、破壊活動に対する脆弱性は、

原子力発電所の安全性を考えるうえで大きな論点のひとつです。

福島原子力発電所事故の教訓

原子力発電のアキレス腱は、原子炉のなかのウランが燃えてできる膨大な放射性物質を「絶対かつ安全」に閉じ込める技術がなく、原子炉が暴走を始めた場合、その制御が極めて困難なことです。またウラン燃料は核反応を停止した後も、膨大な崩壊熱を出し続けるため、長期にわたって水で冷やし続けることが必要なので、今回のように冷却水の供給が止まってしまうと

原子炉は炉心溶融を起こしてしまいます。これは軽水炉の本質的な弱点です。そして、原子力発電所事故の際だった特徴は、ほかの事故とは比べものにならない甚大な被害と汚染を、気の遠くなるような長期にわたってもたらすことです。

今回の福島原子力発電所の事故では、第一発電所の1～4号機の廃炉が決まっていますが、廃炉までには10年をはるかに越える長い時間と、莫大な費用が必要です。スリーマイル島の原発事故では、炉心溶融は起きましたが、圧力容器は壊れず、崩壊した核燃料は圧力容器内に止まっていました。それでも、圧力容器内の核燃料の取り出し作業に着手するまでに6年、取

り出し作業に5年、原子炉の放射線汚染を取り除くまでにさらに3年かかっています。スリーマイルでは1基だけの事故ですが、今回の事故は3基で炉心溶融が起こっており、スリーマイルより長い時間がかかることは明らかです*4。

さらに、チェルノブイリでもスリーマイル島でも、人為的なミスが主要な事故原因になっています。こうした人為的な要素も含めて考えるとき、どんなに安全対策を施しても、事故の可能性をゼロにすることはできません。私たちは今、こうした事故のリスクに正面から向き合い、原子力発電所を将来のエネルギー源として選択するかどうかを、真剣に議論すべきではないでしょうか。

* 4 廃炉完了まで、東芝の計画は10年半、日立製作所の計画案は30年となっています。

スリーマイル島原子力発電所事故

1979年3月28日午前4時頃、運転開始からわずか3ヶ月のアメリカのスリーマイル島原子力発電所の2号機(加圧水型軽水炉:PWR)が事故を起こしました。事故は二次冷却水を循環させていた給水ポンプ2台が止まったことから始まったと言われます。二次冷却水の循環が止まったため一次冷却水の温度が上がり、同時にその圧力も上がりました。圧力が急上昇すると、圧力器は「逃し弁」を開いて水蒸気を放出し、圧力を下げます。2号機も、自動的に制御棒が挿入され、原子炉は緊急停止し、逃し弁も作動しました。通常は、逃し弁を開いて圧力が下がると、逃し弁は自動的に閉じるようになっていましたが、逃し弁が閉じずに水蒸気が放出しっぱなしになり、大量の一次冷却水が水蒸気として失われることになりました。しかし水位計が故障して、水位計は高位を示したままになっていました。緊急炉心冷却装置(ECCS)の高圧注水系が作動し注水を始めましたが、水位計が高位を示していたため、運転員は2台の高圧注水系の1台を停止し、もう1台の注水量を絞ってしまいました。そのため、炉心の水位が低下し、燃料棒がむき出しになり、炉心溶融を起こしてしまったのです。やがて、逃し弁が開いていることに気づいた作業員によって弁が閉じられ、事故が収束に向かったのは事故から約16時間後だったとされています。幸い、水素爆発が起こっても格納容器が維持されたため、放出された放射性物質は格納容器内に止まり、外部への放射性物質の放出は少なく、周辺80キロメートルの住民216万人の被曝量は平均1ミリシーベルトであったとされています。

チェルノブイリ原子力発電所事故

チェルノブイリ原子力発電所事故は、1986年4月26日午前1時23分に発生しました。事故を起こした4号炉(黒鉛減速沸騰軽水圧力管型原子炉)は定期点検中で、出力7%程度の低出力状態で能力検査を行っていた時、作業員が誤って冷却装置を無効にしてしまい、それに気づかず出力をあげたため事故が起きました。40秒後には、原子炉内部で水蒸気爆発が、その直後に水素爆発が起こり、大量の放射性物質が大気中に放出されました。その後、減速材に使われていた黒鉛が燃え、鎮火するまでの10日間、放射性物質を大気中に放出し続けました。放出された放射性物質は、偏西風に乗って北半球全体に広がりました。放射性物質を閉じ込める作業をおこなった作業員のうち、28名が1986年末までに急性放射性症候群で死亡したとされています。また、事故から数年たって甲状腺ガンになる子供が急増しました。当時のソ連政府は、4号炉のまわりをコンクリートで覆い、放射性物質を閉じ込める「石棺」対策をとりましたが、今では石棺の劣化が進み、放射性物質の漏洩が問題になっています。また事故から25年たった現在も、チェルノブイリ原子力発電所周辺30キロメートルは立入禁止とされています。