

はじめに

2011年3月11日東日本を大地震と大津波が襲い、東北地方の太平洋岸の多くの集落が、根こそぎ破壊された。その中に、女川、福島第1と第2原子力発電所もあった。第1発電所以外は無事にこの災害を乗り越えた。原発の災害は、目に見える建物や器物の破壊と異なり、放射能が、人々の生活を長く蝕む。ここでは、事故を理解するために必要な原子力特有の問題を説明し、福島第1発電所で何が起こったのか、その後の経過、問題点を指摘し、今後の見通しについて述べる。

(1) 原子力発電と火力発電

火力発電では化石燃料を燃やし、水蒸気を作り、タービンを回し発電する。原子力発電では原子炉で水蒸気を作り、タービンに送る。類似と説明される。

(図1参照) しかし重要な違いを3つ指摘する。

① 火力発電では、燃料供給を止めれば発電所は安全に停止する。原子力発電では、制御棒挿入で核分裂連鎖反応を停止しても、炉内にある大量の放射性物質(核分裂破片=死の灰)は放射線として熱(崩壊熱)を放出する。この熱の発生を止める方法はない。この熱は小さくなく、長時間冷却し続けなければならない。

② 火力では燃料は炉の外部に貯蔵され、必要量がボイラーに供給される。原子炉では、数年間の運転に必要な燃料が、予め炉内に装荷される。この膨大なエネルギーが何らかの事故で放出されると大災害となる。一旦災害が発生すれば燃料を取り出すこともできない。

③ 原子力では使用済み燃料中に膨大な量の放射性物質(死の灰)が含まれているが、最終廃棄処理方法がない。

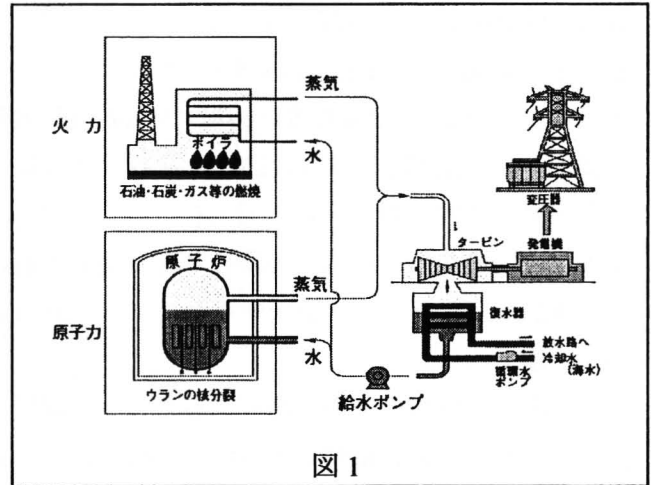


図1

(2) 炉停止後の崩壊熱

右の表は第1原発2-5号機(電気出力78.4万kW、熱出力2381MW)の燃料体が、核分裂反応停止後出す崩壊熱と、その冷却に必要な水の蒸発量(m³/時間)を示す。温度は燃料が水面から露出したときに予想される値である。崩壊熱は、はじめは急激に減少するが、10日、100日、1年後でもなお多い。停止後、1日経ても、1時間に26m³の水が蒸発する。1年経ても、1時間に2m³の水が蒸発する。

福島第1原発2-5号機停止後の崩壊熱

時間	割合 %	熱出力 MW	蒸発量 m ³ /h	温度 T(°C)
運転中	100	2381.00	—	—
停止時	7	166.67	265.81	—
1min	4.25	101.19	161.38	3078.6
10min	2.5	59.53	94.93	2662.2
1h	1.7	40.48	64.55	2392.4
3h	1.25	29.76	47.47	2195.2
1d	0.7	16.67	26.58	1862.1
3d	0.52	12.38	19.75	1709.2
10d	0.3	7.14	11.39	1454.5
30d	0.18	4.29	6.83	1247.4
100d	0.1	2.38	3.80	1039.7
1y	0.05	1.19	1.90	830.8

(3) 福島第1原子力発電所で何が起こったのか?

第1原発には1-6号機があり、地震発生時、1-3号機は運転中、4-6号機は定期点検中であつた。1-3号機は、若干の時間のずれはあるが、ほぼ同じ経過をたどる。大まかな経過を説明する。

(3-1) 地震で、安全装置が作動して、制御棒が挿入され、原子炉内の連鎖反応は停止した。核分裂は止ったが、崩壊熱の放出は続く。冷却水を循環させるポンプの駆動電力が地震のため破壊されていた。緊急用ディーゼル発電機が自動起動し、冷却は維持された。約 1 時間後、津波によって、その電力も停止。原子炉を制御するために必要な電力がなくなる「電源喪失」に陥った。

(3-2) 崩壊熱放出は続き、循環がなくなった冷却水は、温度上昇・蒸発、圧力は上昇、水位が下がった。

(3-3) 燃料棒は、直径 1 cm、長さ 1 m のペレット状の二酸化ウラン(UO₂)で、厚さ 1mm 以下のジルコニウム(Zr)の被覆管の中に封入されている。薄い被覆管と UO₂ 燃料体はともに熱伝導が悪く、冷却水面より露出すると温度は急上昇する。Zr の融点は 1850℃、燃料体 UO₂ の融点は 2800℃である。Zr は 1,000℃近くなると水蒸気(H₂O)から酸素 O を奪い、水素が発生する。更に温度が上がると Zr 被覆管は溶け、大量の放射性物質(死の灰)を含む燃料体がむき出しになる。さらに温度が上がれば燃料が溶けて流れ落ち(メルトダウン)、最悪の状態に溜まれば、再臨界となり制御不能の核分裂連鎖反応を起こす。原子炉事故で最も恐れられている状態である。

(3-4) 圧力容器内の圧力が高くなると、圧力容器の破壊を避けるために、格納容器への弁を開く。水蒸気とともに炉心で発生した水素、死の灰も格納容器にはいる。

格納容器の圧力が上がると、容器保護のために、更に大気に放出(ベント)した(各容器の関係は図 2 参照)。水素は建屋にたまり、爆発をして建屋を壊し、その瓦礫と風圧が容器や燃料棒を機械的に壊した可能性がある。3/11 の地震後、3/12 に 1 号機が水素爆発、3/14 に 3 号機が水素爆発、3/15 に、2 号機と 4 号機が爆発火災を起こしている。4 号機の炉心は空であったが、プールにあった使用済み燃料が循環のなくなった水を蒸発させ、同じ水素爆発を起こした。2 号機の建屋は大きな破壊は免れたが、格納容器が破壊され、高度に汚染された排水が、今も流出している。

(3-5) 現在も崩壊熱放出は続いている。1-3 号機では、炉心とプール、4 号機ではプールに水を注入し続けなければならない。(5-6 号機は正常に冷却中) この間に 3/21 に 2 号機と 3 号機から黒い煙が発生、3/22 に 1 号機の圧力容器の温度が 400℃になる等、不正常的な事態が続いている。安定した駆動電力による冷却水循環ポンプの作動が確立するまで、現在の不安定な状態は続くことになる。

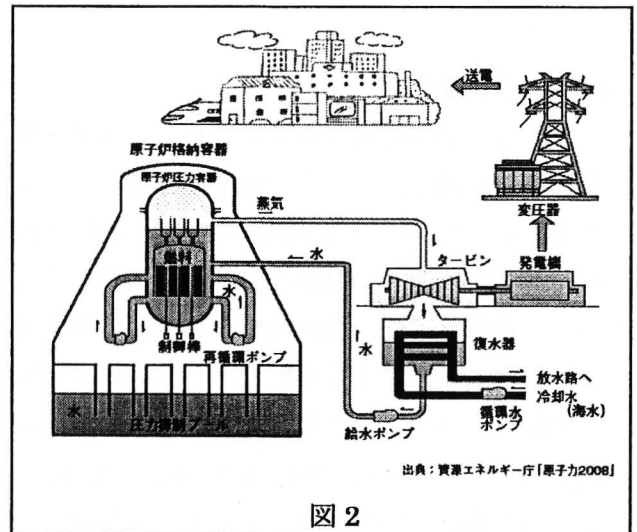


図 2

(4) 放射線被曝の曖昧さと難しさ

(4-1) 広島・長崎、チェルノブイリや JCO 事故など大量被曝で、即死や重症となる場合の因果律は明白である。後日、ガンを発症するような晩発性症状被曝は、取り扱いが厄介である。放射線の人体への影響は確率的で、線量が 1/10 になれば、発症率も 1/10 になるだけである。化学的毒性のように、ある閾値を超えると発症する場合と対照的である。確率的影響では、影響を受ける人数によって、被害の有無が変わる。発症率が 0.0025%(=年間交通事故死亡率)とする。ある会社や工場など 100 名の集団で、被曝事故があったとき、1 名の患者が出る確率は 0.25%で、まず、影響がないと判断できる。しかし東京圏(1500 万人)に影響する広域被曝事件では、年間 375 名の患者がでる。これは無視できない。更に、問題を複雑にするのは、ある人がガンを発症した時、それが放射線による影響か、他の化学物質などによるかは一般には区

別できない。10-20年後、統計を見れば、被曝事故があった時から患者数が増えることは確認できる。その結果、事故発生元の責任を問える場合もあるが、誰を救済すべきかを定めることは不可能である。

(4-2) 放射線被曝には ALARA (As Low As Reasonably Achievable=合理的に達成できる範囲で、できるだけ低く) という考えがあり、これは世界的に合意されている。とはいえ、具体的な許容基準を設定することは必要で、ICRP (国際放射線防護委員会)によって勧告が出されている (その内容の一部に強い異論もある)。勧告内容は単純でないが大雑把に言って、一般公衆の許容量として1 mSv/年、被曝を知りながら作業に従事する人は 50 mSv/年とされている。1 mSv/年は、天然の放射能値に近い。

(4-3) メディアでよく聞く、「直ちに影響が出る線量ではない」という表現は、禁止すべきである。1年の発症率が10%の事故でも、場合により、この表現は許容される。何のために許容被曝線量が決められたのか、それを全面的に否定することになる。

(5) この事故の特徴と処理方法の問題点

① 原発事故で電源喪失は初めての経験である。未経験であるだけに、完全な対処マニュアルはない。非常電源で ECCS が作動し、炉心は冷却された。ところが、温度が下がりすぎると係員が手動で ECCS を切った。これの被害は計り知れない。現場の係員はマニュアルに従っていた。幹部技術屋は、当然冷却を続ける指示を即時にするべきであった。その無作為は、「まあ何とかなる」といった社風ではなかろうか？

② マニュアルにない「想定を超えた」事態にも対処するのが危機管理技術である。全体を見通し、事項の掌握と優先順位付け、点検と指示などの訓練がなされていない。安全神話ボケ？

③ 炉の現状は不明との報道ばかりであった。冷却水循環とは異なり、各種計測機器は小電力で作動する。現状認識の方法は多くある。どれだけの積極的な努力がなされたのであろうか。2ヶ月以上たって、少しずつ、小出しに事実が出されている。典型的な利益優先秘密主義である。

④ 福島第2原発は無事に危機を乗り切った。非常ディーゼルが機能したからである。東電は第2と同様にディーゼルを炉建屋と一体化すればよいと言っている。炉が重大事故を起こせばその非常電源は使えなくなる。非常用機器は立地点の異なる独立性高い建屋で、形式も異なる機器を設置すべきであろう。想定不能なあらゆる事態に、全滅しない体系を設計する安全哲学を学習する必要がある。。

⑤ 1-3-2-4号機と同じ水素爆発をおこした。幹部技術者の初動体制は無策であった。

⑥ 貯蔵プールの冷却系対策は、容易だったはず。

⑦ 炉の構造に精通している人が、緊急対策室に適正に配置されていたら、何らかの対策はなされたはずである。該当する技術者は、電力会社ではなく、製造者側の人であろう。英知を集める工夫と努力を。今も炉心冷却法に工夫が求められている。5月21日に、初めて元設計者がTVに現れた。

⑧ 米軍事ロボットが投入されたが、放射線計測器、カメラを備えた「防災モニタリングロボット」(原子力安全技術センター、2000年製)は、地震発生から数日後、東電側に引き渡されたが使われた形跡はない。更に東海村 JCO の臨界事故 (1999) のあと、30億円を投じて、災害用ロボットが6機建造された。電力会社は不要として受け入れを拒否し、廃棄されたという。この傲慢さ。

⑨ 炉心には今も、大量に注水されているが、水位は上がっていない。その水は何処へ行っているのか？ 開雲な注入は、膨大な汚染水を作るだけである。

⑩ 「収束に向かっているのか？」 東京電力の公報を見る限り依然として判らない。燃料の発熱量は、水蒸発量にして $5\text{m}^3/\text{h}$ 程度まで、減衰しているので、余程の失敗をしない限り、事態の急な悪化はないだろう。燃料がどのような形で炉の下部にとどまっているのか？再臨界に対する警戒は本当に十分なのか？

(6) 2011-5-15 の東電発表などについて

作業員が炉室に入り、水位系を校正した結果、1号炉の水位は燃料下端よりさらに4m下にまでしかないことが判った。これより逆算して3/12にすでに、炉心溶融が起り、压力容器下部に落ちたと、辻褃を合わせた。3/22に压力容器の温度が400℃を超えていた時点で、炉心に水がなくなっていることは明らかだった(温度計の指示が間違っていなければ)。水位系が作動していないと思っていたのに、実は上記のように指示ができないほど低い水位であった。事実を隠蔽し、都合のよい事だけを繋いで辻褃合わせをする運用は、犯罪ではなからうか。

(7) 将来のエネルギーについて

新潟地震(2007年7月)に海外のメディアは、いち早く反応し、日本のメディアがびっくりしていた。世界の非常識原発基地、世界最大の柏崎刈羽原発基地(100万超kW級7基)がどうなったかに、世界は強い関心を持った。大災害にならなかったのは全くラッキーであった。日本の原発技術の株が上がったかもしれない。しかし今回の災害で、「やはり」と思ったのではないか。アメリカでは、断層上に作られた原発が、一度も運転されずに廃炉になっている。TMI原発、チェルノブイリ原発は、地震とは無関係に起きた災害である。今後も何が起こるかわからない。人類と核エネルギーは共存できないと思う。EUの多くの国は、原発はやむを得ず使っているが可能な限り早く自然エネルギーに還ることを公表している。OECD国で、日本だけが飛びぬけて自然エネルギーに無関心である。全面的に原発依存を決め込んでいたのである。最終的には、現在の太陽エネルギーに依存した自然との共生を目指さなければならない。

菅首相の提唱する[送][発]の分離は、ぜひ実現すべきである。送配電は、国民監視の下におき、発電は市場原理で効率化を図る。自然エネルギーの開発のための高値購入があっても良い。発電ビジネスに興味を持つ企業は多い。熱を使う企業が、まず発電をし、その廃熱を利用するco-geneを活用すれば、総合効率は高まる。発電を原発で儲ける会社はなくなるのではなからうか。周波数は当然60Hzに統一する。

しかし現在利用できる風力・太陽電池・地熱・バイオ技術でもってしては、すでに利用されている原子力に取って代わることは出来ない。自然エネルギーを強力に進めてきたドイツでも水力以外の自然エネルギーは発電の10%以下である。日本では、水力が8%ほど利用されているが、他の自然エネルギーは1%以下である。現時点では、危険を承知した上で、原子力を注意深く利用せざるを得ない。安易に原子力に依存すれば、取り返しの付かない事態となる。原子力は麻薬と心得て、最低限にとどめるべきである。

2050年までに、火力も全廃をめざす必要がある。そのためには、太陽エネルギーを補足する新技術の開発は不可欠である。太陽光は晴天時1kW/m²、雨天・夜間を平均しても0.1kW/m²降り注いでいる。一般家庭でのエネルギー消費量はガス・灯油を含めて2-3kW、20-30m²に降り注ぐ太陽光と同程度である。熱利用は効率が高い。50%の効率であれば、60m²(20坪)の面積で捕捉出来る。効率15%ほどの太陽光発電に片寄らず、太陽熱の多様な活用を。少し集光すれば250℃(てんぷら温度)程度の蓄熱は可能である。日本の水力は電力会社の見積もりでは、現在の1.5倍までである。まず風力と地熱を他の先進国並みまで増やすこと。太陽熱利用、潮流発電、植物性プラントを使ったバイオエネルギーなど、斬新な技術開発を行えば、太陽光のみで、文化的な生活を営むことは十分に可能であると考えている。