

美浜 3 号炉事故の全体像と課題

京都大学・原子炉実験所

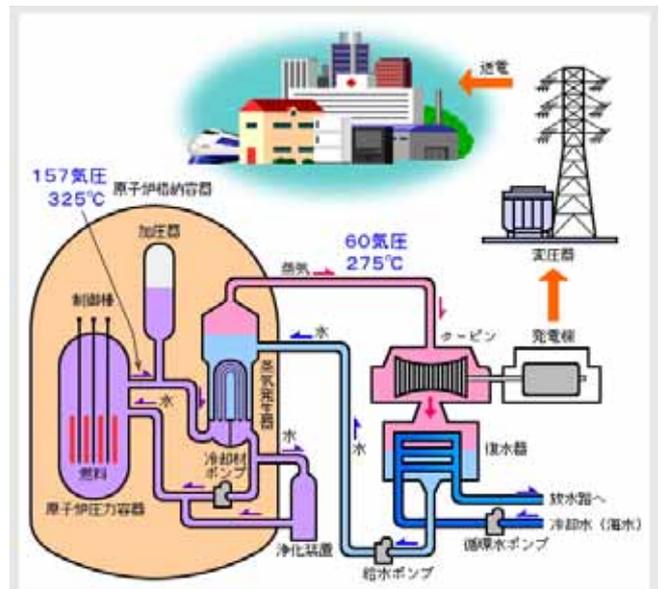
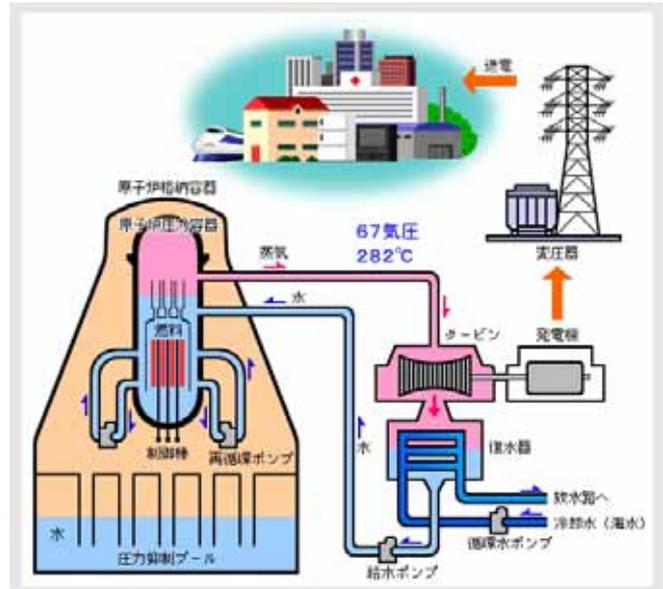
小出 裕章

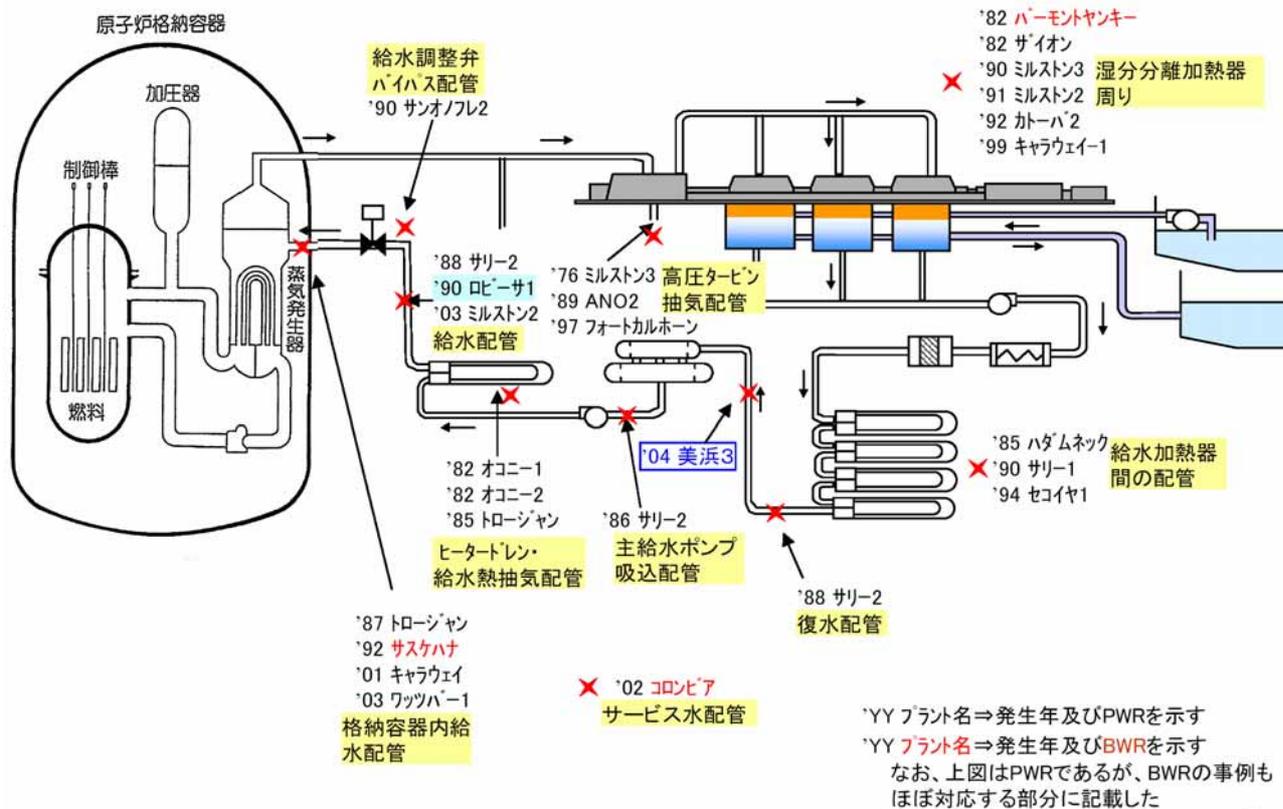
・ 加圧水型原子力発電所の特徴と美浜 3 号炉事故の概要

原子力発電とは、ウランの核分裂で生じるエネルギーで蒸気を作り、タービンを回して発電するシステムである。エネルギー源がウランであるか化石燃料であるかを別にすれば火力発電所と変わらない。特に、東京電力などが利用している沸騰水型原発（BWR）では、炉心を冷却する 1 次冷却水が沸騰して直接タービンを回すため、発電システムとしては火力発電と同等である。しかし、BWR では 1 次冷却水が放射能で汚れることが避けられず、プラントの維持管理が面倒になる。そこで、関西電力などが利用している加圧水型原発（PWR）では、1 次系は沸騰させず、蒸気発生器で 2 次系の水にエネルギーを伝達し、2 次冷却水が沸騰してタービンを回す。そのため、システムが BWR に比べて複雑になるが、2 次系は基本的には放射能汚染から免れることができる。

2004 年 8 月 9 日午後、5 日後の 14 日から定期検査に入る予定であった関西電力美浜原子力発電所 3 号機で事故は起こった。2 次冷却系の配管が破裂、140 、10 気圧の熱水がタービン建屋内に噴出、一気に蒸気となって、付近で定期検査の準備作業をしていた下請け（正確には、曾孫請け）労働者を襲った。関西電力の公式発表を信じるとすれば当時 105 名の労働者がタービン建屋内で作業しており、そのうち 11 名が重篤な火傷を負った。うち 4 名はおそらく即死に近い状態で死亡、次の 1 名は全身の 9 割に火傷を負い意識不明の重体だったが、半月間の苦しい闘病後、25 日に帰らぬ人となった。

破裂したのは、タービンを回した蒸気が復水器で一度水に戻り、それをまた蒸気発生器に戻す途中の 2 次冷却水系の配管であった。（次頁図参照）

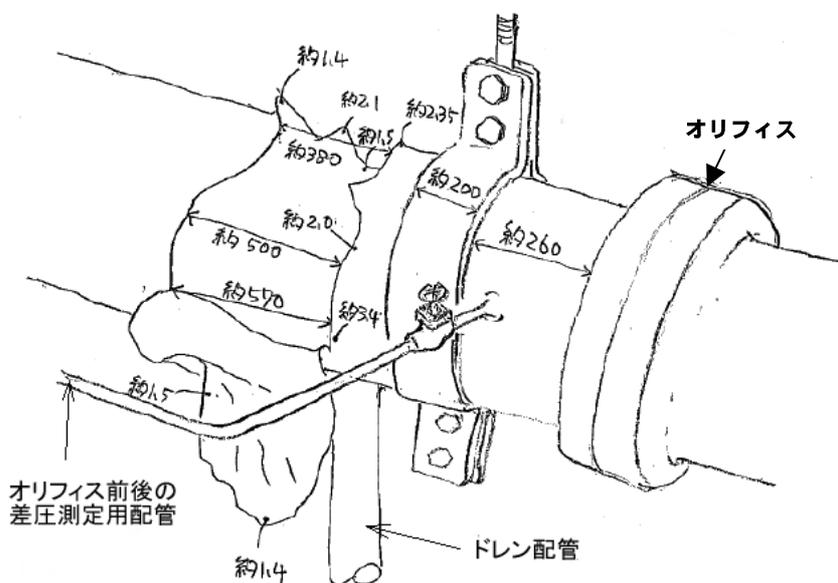




すでに述べたように、PWRの2次系は基本的に火力発電所のタービン系と類似しており、配管も腐食に強いステンレスではなく、火力発電所で使われてきた炭素鋼を使ってきた。そのPWRにおける2次系では、これまでも度々損傷を経験してきた。その例も上の図に示しておいた。

美浜3号炉で破損した配管は流量を計測するためのオリフィスの下流であり、乱流によるエロージョン/

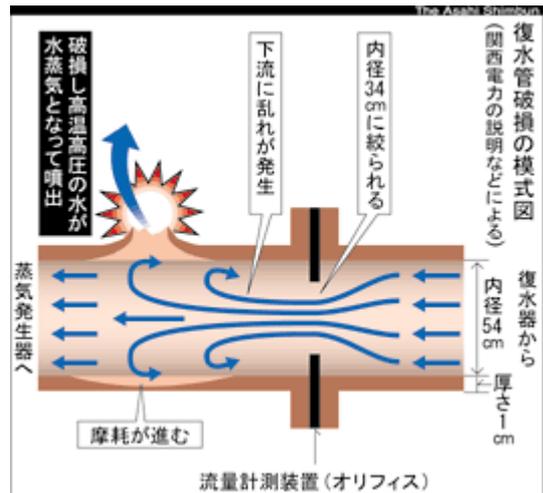
コロージョン（エロージョンは「懐食」で、物理的・機械的な磨耗現象、コロージョンは腐食で、化学的な浸食や溶解、その2つの現象が一体となって進む。最近ではFAC（Flow Assisted CorrosionあるいはFlow Accelerated Corrosion）と呼ばれる）が容易に予測できた場所であった。しかし、美浜3号炉が運転を始めて以降28年間、関西電力は一度も検査を行わないまま来た。



原子力発電所の管理問題

A. 減肉、破裂と管理

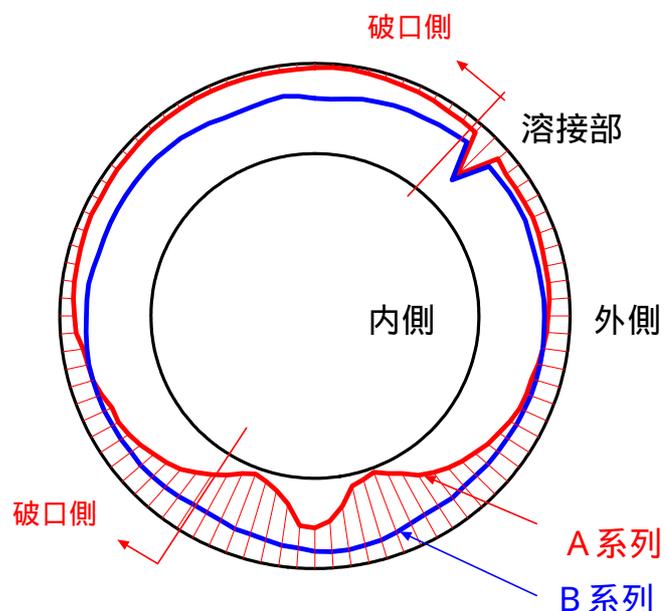
2次系配管の破損は続発してきた。代表的な事故例を下の表に示す。特に1986年12月9日に起きた米国サリー原発の事故は衝撃的であった。主給水ポンプ吸込配管が予告なく突然にかつ完全に破断したその事故では、やはり8名の労働者が火傷を負って4名が死亡した。この破損においても、今回の事故と同じようにLBB(Leak Before Break: 破損してしまう前に漏洩があって見つけれられる)思想が破綻したことで、注目を浴



プラント名	国	発生年月日	場所
サリー2	米国	1986/12/9	給水ポンプ入口配管のエルボ部
ミルストーン3	米国	1990/12/31	湿分分離給水加熱器ドレンポンプ流量制御弁下流
ミルストーン2	米国	1991/11/6	湿分分離給水加熱器ドレンタンクから給水加熱器にいたるエルボ曲がり部外側
ロビーサ1	フィンランド	1990/5/28	給水ポンプ吐出配管の流量測定用オリフィスを取り付けたフランジ部分
ロビーサ2	フィンランド	1993/2/25	給水ポンプ吐出配管の逆止弁下流のフランジ部分

びた。日本でも、事故の重要さの検討が行われ、PWR を利用している電力会社とプラントメーカーである三菱は1990年5月に「原子力施設2次系配管肉厚の管理指針(PWR)」(以下、PWR管理指針)を定め、関電もそれを自社のPWRに適用してきたことになっていた。しかし実際には、それはあくまでも建前だけの話であって、現実には違っていた。

破裂した配管は直径56cm、厚さ10mmの炭素鋼管であった。配管の断面図を右の図に示すが、それが破裂した時には最も薄い場所ではわずか0.4mmにまで減肉していた。美浜3号機で破損した配管は、3系統ある第4給水加熱器を出た熱水が一度ヘッダーに集まった後、再度2系統に分かれて脱気器に向かう途中の配管であり、A系統と呼ばれる方の配管であった。この事故を受けて、B系統の



上流方向から見た配管断面

本来の配管の外径は560mm、厚さは10mmであるが、ここでは、外径を56mmとしてある。

同じ場所を調べたところ、図の青線で示したように減肉していた。赤線で示したA系統では、減肉がかなり非対称で配管上部の減肉が著しく、そこが破裂して開口した。青線で示したB系統では、減肉は配管の周方向にほぼ一様に進行していたが、それでも、最も薄い部分では1.8mmしか厚さが残っていない部分があり、こちらもまたいつ破損してもおかしくない状態であった。A系統での非対称の減肉の理由は、オリフィスが上方向に0.61mm、流れ方向に見て左方向に0.71mm偏心していたためと説明されているが、エロージョン/コロージョンには大変微妙な要因が大きく作用することが分かる。

今回の事故を受け、関電は、本来は検査をしなければいけないのに検査をしていなかった場所が17箇所あると発表した。そのうち11箇所については、類似の場所での検査で安全が確かめられていると主張した。しかし、エロージョン/コロージョンは微妙な要因に作用され、類似の場所であっても決して同じようには減肉が進まない。

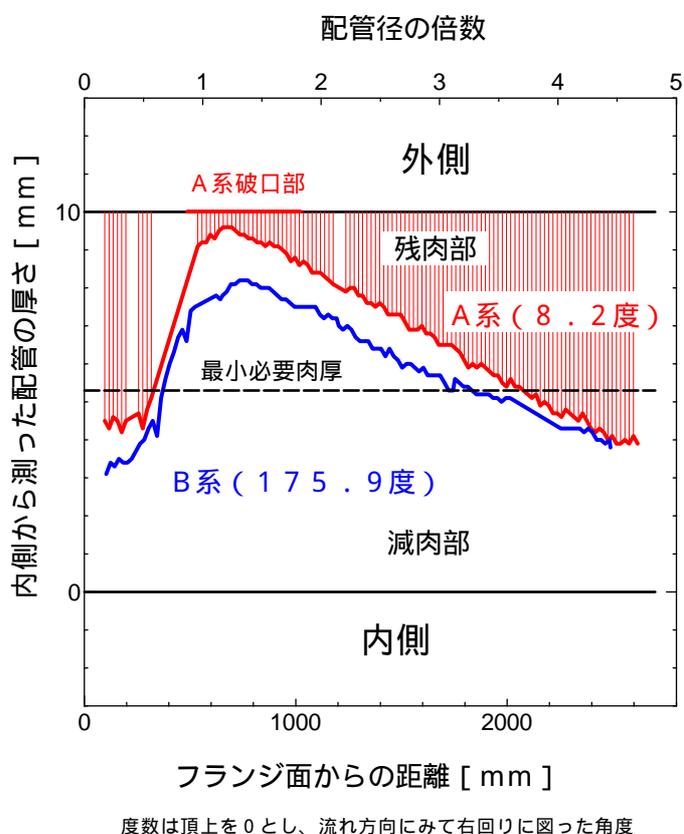
B. 管理指針自体に問題

さらに、軸方向の減肉も広範囲に及んでいた。PWR管理指針は、主要点検部位として「偏流発生部位および下流の $2 \times D$ を主要点検部位とする。(Dは配管口径)」と定めているが、A系、B系とも、 $3 \times D$ を越える場所まで交換基準である4.7mmを超えて減肉が進んでいた。このことは、PWR管理指針を守りさえすれば安全が確かめられるのではなく、管理指針自体が不十分なものであることを示している。

また、PWR管理指針では、減肉についての実際のデータが得られるまでは、初期設定減肉率を使って減肉量を評価することになっている。たとえば、今回破裂した配管の部分については 0.45×10^{-4} mm/hr (1年間フル稼働とすれば、0.394 mm/年)なる値を仮定する。美浜3号機は1976年12月1日に運開し、事故を起

こすまでにほぼ28年の歳月を経たが、設備利用率も考慮すると、実質的な運転年数は22年弱である。したがって、初期設定減肉率を使えば8.6mm減肉し、10mmの配管は1.4mmになっていたことになる。それでも問題であるが、実際はさらにひどく減肉し、0.4mmしか残っていなかった。つまり、初期設定減肉率以上のスピードで減肉が進行してきたのであった。また、その他の原発、その他の部位のデータを見ても、初期設定減肉率を超えて減肉が進んでいる例があり、指針自体に欠陥がある。

さらに、指針では、曲管部やオリフィス下流など重点的に点検する主要部位を決め、その他の部位については、「10年間に約25%を点検」とされている。これを認めるとすれば、何と40年たたなければ、すべての部位の点検がなされない。ところが、実際には、今年7月5日には、大飯1号機の4系統ある主給水系配管のうち3系統で、予想以上に減肉が進んでいることが発見された。この部位は温度230



の水が単層で流れる配管部位で、PWR管理指針によれば「その他」の部位に該当し、本来なら40年間検査をされなくても許される場所であった。その上、減肉のスピードは加速してきたことも分かった。たとえば下の表のBループの部位については、もともと21mmの厚さのあった配管が、1989年の検査では18.7mm、1993年の検査で17.8mmになっていて、平均で言えば、0.23mm/年程度の減肉であった。それが2004年の検査では12.1mmまで減肉しており、平均でも0.5mm/年にもなっている。「その他」に分類された部位でも減肉が進むこと、また、4系統の配管のうち1系統では減肉が進んでおらず一律に指針を当てはめることが不都合であることも明らかになった。問題は、管理指針を守ったか守らなかったかということを超え、PWR管理指針自体に欠陥があることである。

また、2004年6月の定期検査結果を受け、関電はその部位の配管を減肉には比較的強い低合金鋼やステンレス鋼の配管に換えるのではなく、『同寸法、同材料の配管』に交換した。さらに最近になって、同じ大飯原発1号機の低圧第4給水ヒータードレン管では、当初の厚さが11mmだった肉厚が定期検査時に4mm程度まですり減っているのが判明、国の技術基準で必要とされている3.8mmを翌年の定検までには下回るほどだった。しかし、独自に基準を0.3mmと解釈して「交換時期はまだ先」と判断。配管の外側を肉盛り溶接して減肉個所の厚みを1.3~3.6mm増していたことが判明した。これでは、どんな基準や指針があっても意味がない。

配管形状	仕様厚さ	実測最小量[mm]				計算上の必要厚さ
	1976/4	1989/8	1993/4	2004/6		
A - 主給水配管曲がり部(45°)	21 mm	18.5		14.5	15.7 mm	
B - 主給水配管曲がり部(90°)		18.7	17.8	12.1		
C - 主給水配管曲がり部(90°)		19.3		13.9		
D - 主給水配管曲がり部(90°)		21.3	21.2	20.0		

肉厚管理の実態(保安院資料2004/9/27)

	点検対象部位	点検済	未実施部位	管理外
PWR(23基)	81769	61934	19820	17
BWR(29基)	66146	9728	56418	-
合計	147915	71662	76238	17

C. 責任感を欠いた関西電力

先の戦争の敗戦国である日本は、一切の原子力研究を禁じられたため、原子力に関する限り、欧米に比べて10から20年も遅れている。そのため、1954年にスタートした日本の原子力開発は、まずは欧米の模倣から始まった。日本最初の原発である東海1号炉は、当時唯一商業的に運転が始まっていた英国のコールダーホール型を導入したものであった。しかし、その採算性に疑問が出てからは、今度は、米国の加圧水型と沸騰水型の原子炉を導入することになった。それも従来からあった電機メーカーとしてのコネを使って、三菱がウェスチングハウスから、日立と東芝がジェネラルエレクトリックから原子力発電所を丸ごと買ってくる道を選んだ。結局、関電など電力会社はプラントとしての原子力発電所の

知識を持たないまま、米国からの技術を導入したプラントメーカーにいっさいお任せしてしまうということになったのであった。さらにそのプラントメーカーが作業を下請け化し、また今回のように、電力会社が知識を持たないままに自分の子会社に下請け作業を移管したのであった。

美浜3号機の事故部分がなぜ点検項目から漏れていたのかについて、関電は次のように弁明している。「当該部位の肉厚管理状況について調査した結果、PWR 管理指針では点検を実施すべき箇所には該当するものの、点検対象にはなっておらず(肉厚管理システムの管理票に登録されていない)、美浜3号機が運転を開始して以来、一度も点検を実施していなかったことが判明した。

当該部位は、美浜3号機ではじめて管理指針が適用された第11回定検(平成3年1～6月)から登録漏れであった。その後、当該業務をプラントメカから協力会社に移管したが、移管にあたり、プラントメカから検査用図面や点検リストの引渡しを受けた際も、登録漏れに気づけなかった。

平成15年4月に協力会社が当該部位の登録漏れに気づいたものの、機械システムに登録しただけで当社へは連絡せず、同年11月に次回の点検計画を提案した際も、登録漏れであったことを当社への通知がなかったため、次回定検での点検が予定されるにとどまった。」

しかし、美浜3号機の所有者は他ならぬ関西電力なのである。その本人が、プラントメーカー(三菱重工)が伝えなかった、あるいは協力会社(日本アーム)が伝えなかったと言って責任逃れをしようとしている。あまりの責任感のなさに唾然とするが、今回の事故は、自らの施設である原発について自ら知識を持たないまま下請け化してきた企業の体質そのものに原因がある。

・ 事故経過とシステムとしての原発

関電は、事故後一貫して、今回の事故は2次系の事故で原子炉本体と関係ない、放射能とも関係ないと主張してきた。しかし、加圧水型原発は1次系、2次系そしてさらに3次系のすべてが関連して一つのシステムを作っており、2次系が機能を失う、あるいは3次系が機能を失ったとしても、結局は1次系も破壊されてしまうのである。

今回の事故の事故経過を次頁の表に示す。

原子炉は15:28にトリップし、同時に2次系の主給水ポンプが停止、2次系の除熱機能が失われれば1次系の熱は行き場なくなる。そのため、2台ある電動補助給水ポンプとタービン動補助給水ポンプが自動起動した。1979年3月に起こった米国スリーマイル島原発の事故の時には、制御系の些細なトラブルから主給水ポンプが停止し、補助給水ポンプが自動起動したものの、直前の定期検査の際に誤って出口弁が閉止されていたために2次系の冷却が失われた。その結果、炉心の半分以上が溶融するという大事故になった。

幸い、今回はそのような事態には至らなかったが、なんとタービン動補助給水ポンプの流量調整弁は17:12に閉止されて以降、制御不能になり、それが回復したのは8時間以上たった翌日1:20になってであった。仮に、この間に停電などで電動補助給水ポンプが使えなくなれば、2次系はすべての冷却機能を失うことになる。そうなれば、あとは1次系の非常用炉心冷却系だけが頼りとなり、スリーマイル島事故の二の舞になりかねなかった。

原子力関係者にはPWRの2次系は放射能に関係ないので重要でないという深い思い込みがある。そのため、2次系の管理の手抜きをしたことが今回の事故を引き起こした。しかし、プラントとしての原子力発電所は系が全体として健全であることを求めているのであって、放射能がないから2次系は重要

事故時のプラントの主要な挙動

2004年8月9日	
15:22	復水配管破裂 3B 直流接地警報（破口から噴出した蒸気が主蒸気隔離弁の電磁弁の直流回路を接地した）
15:23	3A 直流接地警報
15:26	緊急負荷降下開始（最大レート5%/分）
15:28	原子炉トリップ（SG 給水 / 蒸気流量不一致） 給水ポンプトリップ 電動・タービン動補助給水ポンプ起動
15:32	タービン動補助給水ポンプの流量調整弁を閉止
15:35	高温停止状態
15:44	脱気器水位制御弁閉止
15:58	1次冷却系にボロン注入開始（990ppm 以上を目標）
16:05	主蒸気隔離弁閉止タービンバイパスから主蒸気逃し弁に切替
16:26	主給水隔離弁閉止
17:12	タービン動補助給水ポンプ停止
17:13	タービン動補助給水ポンプの流量調整弁 3 個のうち 2 個、操作不能
18:04	第 4 低圧給水加熱器出口弁閉止
18:05	第 1 低圧給水加熱器入口弁閉止
18:30	流量調整弁グラウンドを緩めたが操作不能のまま
23:30	クールダウン開始、B-1 次冷却材ポンプ停止
2004年8月10日	
1:04	格納容器パージ開始
1:20	流量調整弁の作動試験、ようやく成功
12:40	余熱除去系での冷却開始
18:15	C-1 次冷却材ポンプ停止
19:05	低温停止（冷却材温度 93 以下）
23:45	クールダウン完了（冷却材温度約 60 ）

でないという考え方自体が誤りである。もし、今後も原子力を続けようとするならば、この点は十分に反省しておかなければならない。

．根本的問題

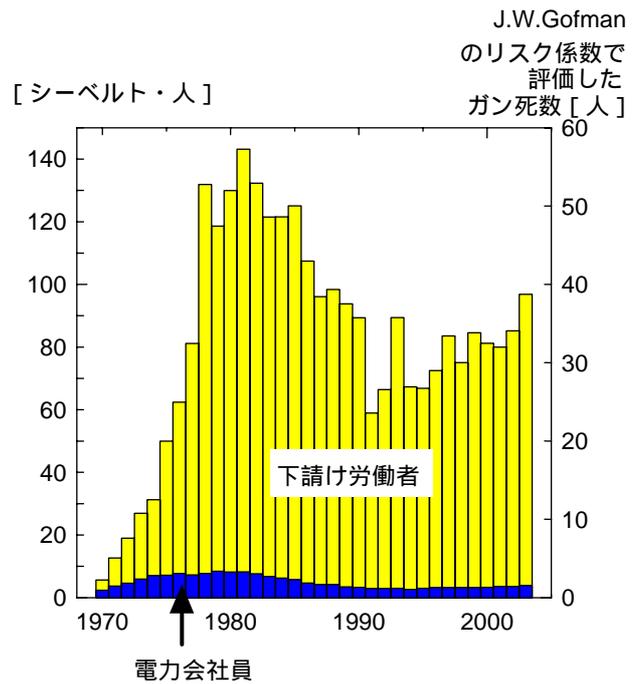
A ．下請け労働者への犠牲のしわ寄せ

私が原子力開発に反対してきた理由はたくさんある。それが核開発と表裏一体であり、それ故に、自由な社会と両立しないこと。また、内包する危険が大きいことも、大きな理由の一つである。しかし何よりもの理由は、原子力が差別の上にしか成立しえないからである。ウラン鉱山の採掘から始まり、原

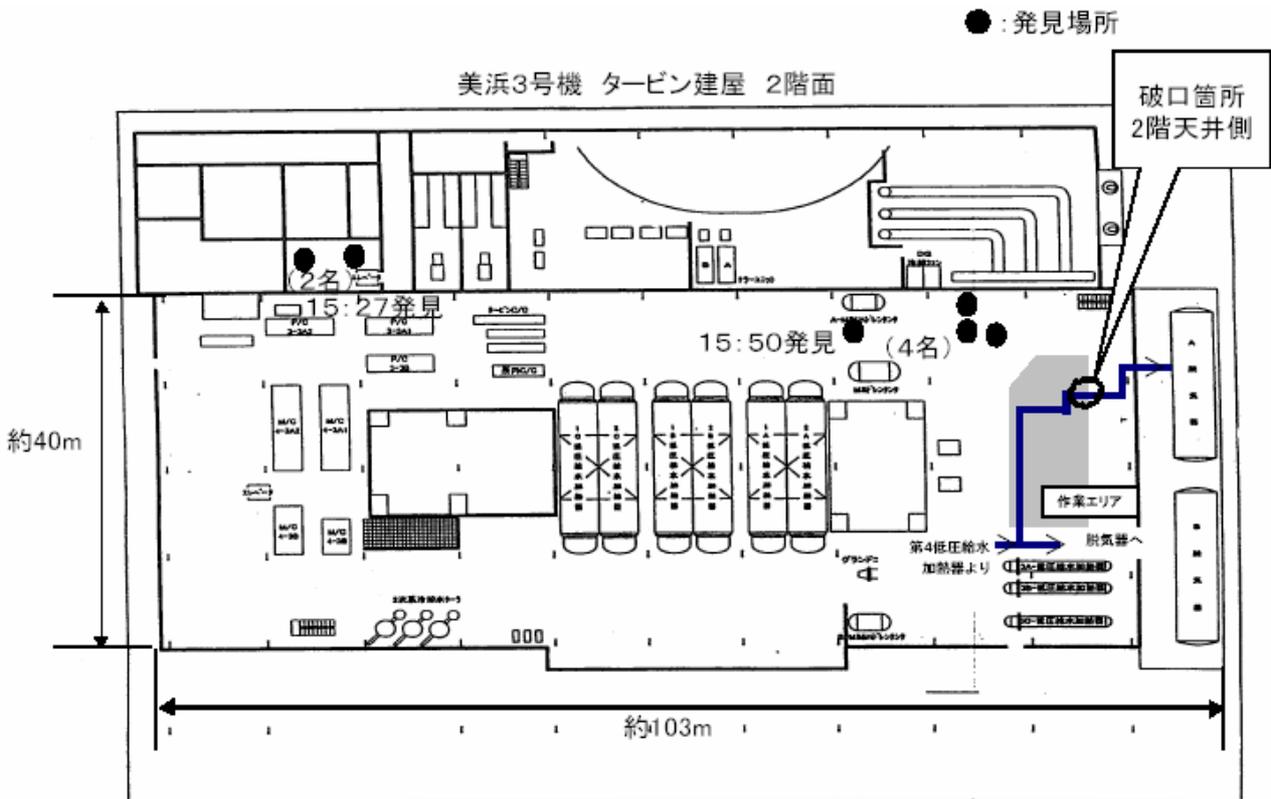
子炉の設置、廃物の始末まで、謂われない被曝や危険を社会的に弱い立場の人たちに押し付けてきた。そしてまた、被曝労働を下請け労働者にしわ寄せしてきた（右の図参照）ことも深刻な問題であると思ってきた。今回もまた、おそらくは現場の危険を教えてもらっていなかったであろう曾孫請け労働者が犠牲にされた。そのことこそが、今回の事故の一番の問題と思う。

事故現場と被災者が発見された場所の図面を下の図に、発見・搬出の時間経過を次頁の表に示す。被災者たちは木内計測という曾孫請け会社の社員であった。はじめに述べた様に、PWRの2次系は基本的には放射能で汚染されていない。そのために2次系は軽視されてきたし、木内計測の労働者たちにはおそらくは、放射能もないので、何の危険もないと説明されていたであろう。特に危険を意識しないまま、作業エリアで作業をしていた被災者のまさに頭上で、配管は破裂した。蒸気による火傷はダメージが大きい。また、液体の水が蒸気になる時には体積が10倍以上に膨れ上がるし、10気圧という圧力で噴出してきた熱水は、秒速100mを超えるスピードで周辺に広がり、付近にいた作業員を一気に飲み込んだはずである。

原発労働者の年度毎の被曝線量と予想されるガン死者数



ICRPのリスク係数を用いると死者数は1/8になる。



被災者に関する時間の流れ

15:22	火災警報発報（熱水が大量の蒸気となって噴出）
15:27	発電室運転員がタービン建屋 2 階踊場に 1 名の被災者を発見
15:30	119 救急通報
15:35	タービン建屋 2 階踊場にいた 2 名のうち 1 名の搬出（保全計画係長, 機械係員 1 名, 他 1 名）
15:35	タービン建屋 1 階トレに 5 名の被災者がいることを発見（保全計画係長他）
15:40	タービン建屋 2 階踊場にいた 2 名のうち残りの 1 名（亀窟さん？）の搬出（電気係員 2 名）
15:45	タービン建屋 1 階トレにいた 5 名のうち 2 名は自力で避難、3 人目を搬出（機械係員 2 名）
15:50	現場付近にいた 4 名のうち初めの 1 名の搬出 (機械係長, 機械係員 1 名, 保全計画係員 2 名)
15:53	タービン建屋 2, 3 階に充満している蒸気量減少
15:58	消防車到着
16:00	現場付近にいた 4 名のうち 2 人目の搬出(保全計画係長, 保全計画係員 1 名, 機械係員 2 名)
16:05	現場付近にいた 4 名のうち 3 人目の搬出（タービン係長他）
16:10	現場付近にいた 4 名のうち 4 人目の搬出（タービン係長, 機械係員 1 名, 保全計画係員 1 名）
16:10	タービン建屋 1 階トレにいた 5 名のうち 4 人目を搬出（消防署救急隊）
16:30	タービン建屋 1 階トレにいた 5 名のうち最後の 1 人を搬出（発電室員 1 名他）

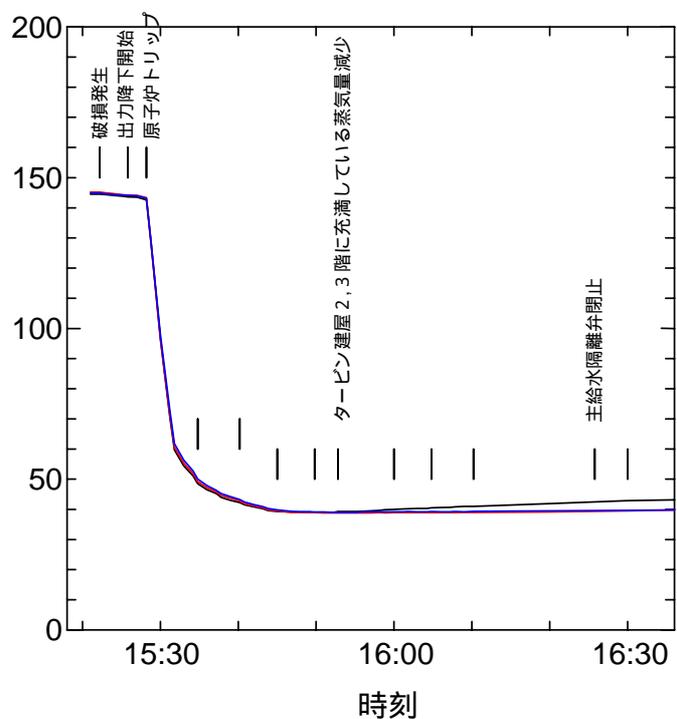
、などの数字は、搬出された労働者のうち何人目かを示し、赤字は死亡者を示す。

おそらくは呼吸によって体内にまで高温の蒸気を吸い込んだ労働者は一気に絶命したであろう。総量で 885 トンの熱水が噴出した現場は、噴出してくる蒸気とそれが凝縮した熱湯による灼熱地獄となり、30 分から 50 分後に現場から搬出されるまで、彼らは熱水の海に浸かっていたはずだ。辛くも現場から逃げた労働者（亀窟さん）も、全身の 9 割に火傷を負い、半月の闘病後、帰らぬ人となった。

B . 資本主義の本質

資本主義社会における唯一、最高の価値は利潤である。利潤を上げられない企業は生き延びることができない。電力会社は地域独占企業として、電気事業法によって利潤を保証されていたため、原発という超不経済な施設もこれまではやってこられた。しかし、法律で保証された中でもなお利潤を求めるのは

第 4 低圧給水加熱器出口温度 []



数字は搬出された労働者のうち何人目かを示す。赤字は死亡

企業の本質であろうし、電力自由化の流れの中で、人件費の削減はいっそう加速されてきた。

今回の配管の点検に関して、従来はプラントメーカーである三菱重工が関電から委託されていたが、1994年からは関電の子会社である日本アームに変更になり、その時に委託費が7割に削減されたという。そして、その日本アームはさらに関電工業に、そして関電工業はさらに木内計測に検査を委託したのであった。

こうしたコスト削減はあらゆる場所で行われており、点検を含めた施設の修繕費は右の図に示したように、この10年で劇的に低下、昨年度の修繕費は1995年のそれに比べて6割にまで削減されている。

C. 国の責任

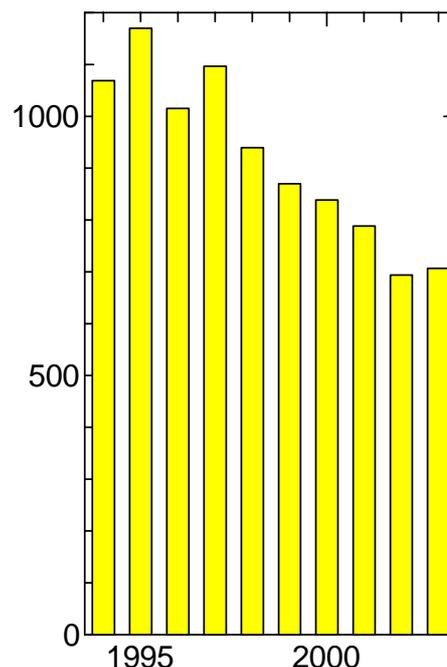
原子力は「国策民営」といわれる。すなわち、はじめに国が政策として原子力の進め方を決め、その方針に従って電力会社が実行するのである。その上、国の従来の主張によれば、原子力に限っては、国が厳重な安全審査・検査をしているの

で、大事故など決して起きないはずであった。しかし、電力会社に技術的な知識がないのと同様に、国にだって技術的な知識はもともとない。東京電力福島原子力発電所の1991,92年の定期検査時には、東京電力とプラントメーカーの日立が結託して、国の検査官の眼前で格納容器漏洩率のいかさま検査をやりおおせた。国の検査官には、それを見抜く力もない。国にできることは事故を未然に防止することではなく、事故が起こってしまった後で、調査を指示し、そして指導をすることでしかない。事故後、中川経済産業大臣は今回の事故は「人災だ」と述べた。まことにそのとおりである。しかし、「人災だ」というなら、電力会社を使って原子力をやらせてきた国の役人、政府の委員会に集まる学者の「人災」でもある。現にサリー原発2号炉事故の後、監督官庁である資源エネルギー庁は「わが国では、水質管理が十分に行われており、また、減肉調査が二層流となる部位はもとより給水・復水配管を含めて広範囲に行われていること（中略）給水・復水配管についても必要な箇所は、予防保全的に取替えが行われている。このことからわが国の配管減肉管理は、現状において、特に支障はないものと判断される」と言っていたのであった。

結局、経済産業省は美浜3号炉の運転停止を命じた。事故によってすでに停止し、調査を続けている原発に運転停止を命じたところで、関西電力にとっては痛くも痒くもない。こうして、原子力を進める張本人である国は、自らは高みに座ったままで何の責任もとらず、一切の原因を電力会社に押し付けながら、実際には痛くも痒くもない処分を出して事態を収めようとしている。

原発の大事故が起きれば被害は破局的である。原子力を進めてきた国は、そうした事故は「想定不適當」だとして無視してきたが、その根拠すら示せないままである。不幸な事故が起きた今となっても、国、電力会社、プラントメーカーの誰も責任を取らないのが「原子力村」の実態である。このまま進めていけば、大事故も必然であろう。一刻も早く原子力から撤退することが何よりも求められる。

[億円]



関西電力の原発関連修繕費