

A
甲第239号証



福島原発で 何が起こったか

政府事故調技術解説

淵上正朗／笠原直人／畑村洋太郎 著

B&Tブックス
日刊工業新聞社

するという考えから、報告書に織り込めなかった内容を補足的に記述したい。

本書は、「報告書」の中の、事故の技術的側面を中心に取り上げており、事故の社会的側面、たとえば官邸や東京電力本店など発電所外における事故対処の状況や、事故後の避難や除染の状況などについてはほとんど触れていない。それらについては他書に譲ることとした。

第1章および、2章の内容については「報告書」に正確に基づいており、言葉遣いや表現に多少の違いがあっても、「報告書」の内容と一致している。しかし、第3、4章では、報告書と矛盾はないものの、そこには書かれていない内容や、やや踏み込んだ筆者らの意見・考察も含まれている。また、第5章では、この事故をさらに深く理解する上で必要な「勘どころ」的な知識が書かれている。第1章と第5章を先に読んでから、第2章以下に進むという読み方も良いと思う。

畑村や私は、昨年までは原子力について素人であり、東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻・笠原直人教授にも加わっていた。第1章から第3章までは淵上が、第4章は畑村が、第5章は笠原が主に執筆した。高校生程度の予備知識があれば理解できるよう、わかりやすい本となるように心掛けたつもりである。

2012年12月 淵上 正朗

福島原発で何が起きたか

政府事故調技術解説

目次

はじめに 1

ひと目で理解 各号機原子炉で起こった事故の内容 6

ひと目で理解 各号機原子炉の時系列チャート 8

第1章 概要と予備知識

1-1 福島第一原子力発電所の概要	16
1-2 炉心損傷に関するデータの見方	26
1-3 事故の経緯の概要	30

第2章 事故の経過 (政府事故調報告のわかりやすい説明)

2-1 地震発生から全電源喪失までの全体の状況	37
2-1-1 事故の経緯	37
2-1-2 補足	42
(1) 電源喪失状況の詳細	42
(2) 地震による損傷の可能性について	44
2-2 全電源喪失後の1号機の状況	52
2-2-1 格納容器圧力の異常に気付く11日23時50時分まで	52
2-2-2 それ以降の経緯	60
2-2-3 補足	72
(1) ICが機能しなかったと判断される根拠	72
(2) ベントの遅れ	74
2-3 交流電源喪失後の3号機の状況	77
2-3-1 HPCIを手動停止した14日2時42分まで	77

CONTENTS

3-2 それ以降の経緯	79
4 全電源喪失後の2号機の状況	93
4-1 RCICが停止した14日13時頃まで	93
4-2 それ以降の経緯	97
4-3 補足	106
(1) 代替注水の遅れ(問題点の指摘)	106
(2) 15日6時10分頃の爆発音について	107
5 水素爆発の状況(1, 3, 4号機)	108
6 応急注水状況	114
6-1 消防車による代替注水	114
6-2 使用済み燃料プールへの注水	117

第3章 事故はなぜ防げなかったのか

1 重大な事故原因	122
1-1 全電源喪失の可能性の否定	125
1-2 津波高さの予測の失敗	129
2 炉心損傷回避の可能性	129
2-1 海外では行われていた安全対策の事例	129
2-2 あり得た現実的な対応策(設備面)	132
2-3 “適切な判断”による炉心損傷回避の可能性(事後対処面)	135

第4章 失敗学からの考察

1 起こったことから考える	142
(A) 誰も巨大津波を考えずに計画した	142
(B) 基本構造はアメリカで考えられ、日本で育てられた	144
(C) 事故の際は想定範囲内でしか考えられない	147
2 背景要因を含めて考える	149
(D) “安全神話”をつくらざるを得なかった	149
(E) 推進者が規制しても安全は確保できない	150

- (F) 社会から隔離された“原子力村”ができていた 153
- (G) 直近事象に意識が集中し“視野狭窄”が起こった 154
- (H) 議論を避ける文化にはまっていた 156

3 持つべきものの見方・考え方	157
(I) 失敗の道・成功の道	157
(J) 起こる前を見つける	158
(K) 他分野に学ぶ	160
(L) 最悪事態を想定する	162
(M) 最悪事態の発生を防いだもの	164

第5章 事故をより深く理解するための基礎知識

1 核分裂と崩壊	166
2 原子炉の事故とは	172
3 圧力容器と格納容器	175
4 冷却設備	180
(1) 冷却設備の役割の違い	180
(2) 主な非常用冷却設備	183
5 逃がし安全弁とベント設備	188
(1) 逃がし安全弁(SR弁)	188
(2) ベント設備	190
6 操作と計測	192
(1) 弁の操作	192
(2) 原子炉圧力計および原子炉水位計	193
(3) CAMS	195
(4) 操作に対する制限	195

あとがき 197

参考文献・資料 199

略語表 200

索引 202

考えられる。

③3号機

3号機では、TAF到達が13日4時15分頃、炉心損傷が13日9時頃までに始まっていたと見積もられている。実際の事故対応では、海水注入ラインが完成したのは13日7時頃、SR弁の開操作に成功したのが13日9時50分頃、ベントラインが完成したのは14日8時41分頃であり、いずれも炉心損傷開始時刻近くかそれ以降であった。

しかし、バッテリーとコンプレッサーの確保は、前項で述べたような状況から、適切な指示があれば、ともに炉心損傷開始前の12日中に実行できた可能性が高い。また海水注入ラインも、5台の消防車が揃った12日午後以降、早くからの指示が出されていれば、12日深夜までに準備できた可能性がある。

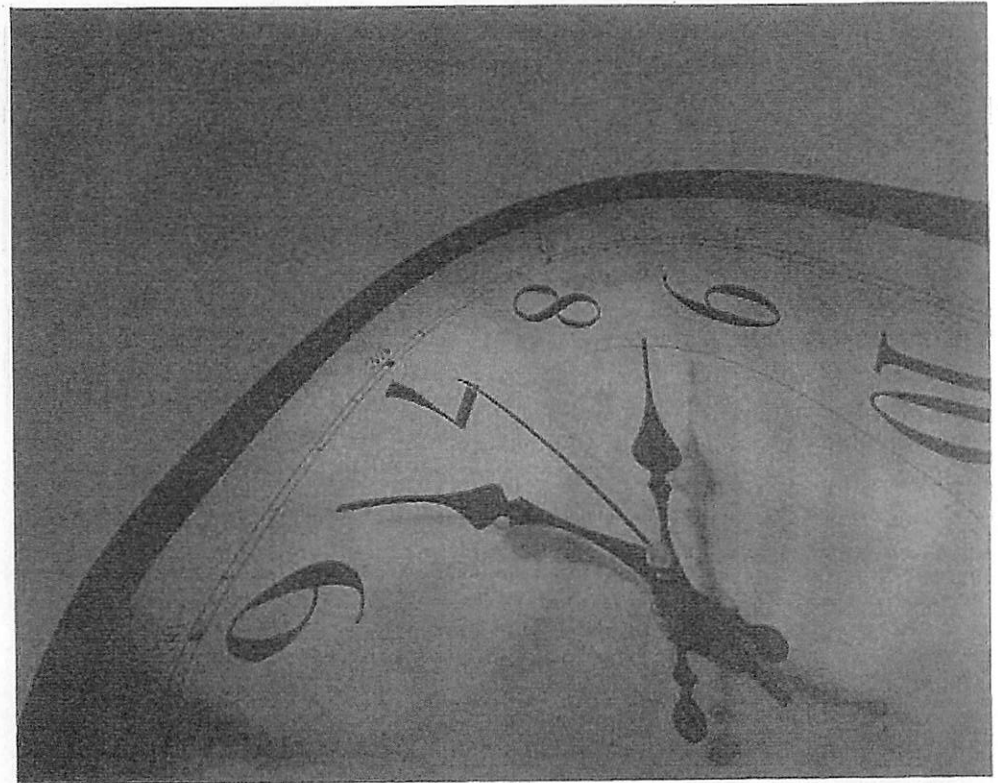
一方、3号機の事故対応作業は、1号機への対応（特に海水注入作業での手間取り）とも重なっていたため、マンパワー上の制約なども検証しなければならないが、それらの点について筆者はそれを判断できるほどの情報を現在持ち合わせていない。

それらを勘案すると、3号機では、全電源喪失直後から適切な判断と指示があったと仮定すれば、「シナリオ」が実行できた可能性はあったと考えられる。

以上をまとめると、1号機では炉心損傷を防ぐことまでは困難であったと思われるが、早期の代替注水により、漏洩放射能の低減や水素爆発が防止できた可能性は否定できない。また2、3号機では、炉心損傷そのものを防げた可能性もあり、全体として早期にこの「シナリオ」を追求していれば、被害を大幅に低減できた可能性はかなりあったと判断できる。特に最多の放射性物質を漏洩した2号機で、その可能性が高かったことは残念なことであった。

第 4 章

失敗学からの考察



(A) 誰も巨大津波を考えずに計画した

福島第一原子力発電所は、原発の設置計画時に仙台以南の太平洋岸に巨大津波が襲来することは誰も考えなかった。そこに津波が来て、主要部分が水没することによって大事故に至った。福島第一原発の状況を正しく理解するには、その周辺で東日本大震災の影響を受けた原子力発電所や火力発電所などの敷地高さの決定の根拠や、津波の考慮を比較・検討する必要がある。

比較の結果、津波への配慮において地域差があることがわかる。図4-1は主要設備の敷地高さや襲来した津波高さを図示したものである。

福島第一原発において主要設備のある建屋エリアの敷地高さは10m、海水取り入れポンプなどの設置された海側エリアの敷地高さは4mである。この付近を襲った津波の高さは約15mで、敷地全域が浸水した。福島第一原発の建設前、もともとの丘陵の高さは約30mであった。しかし建設の際に、

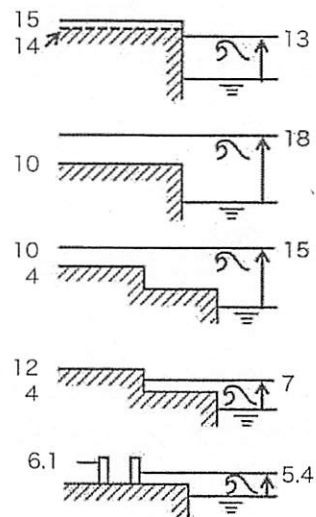
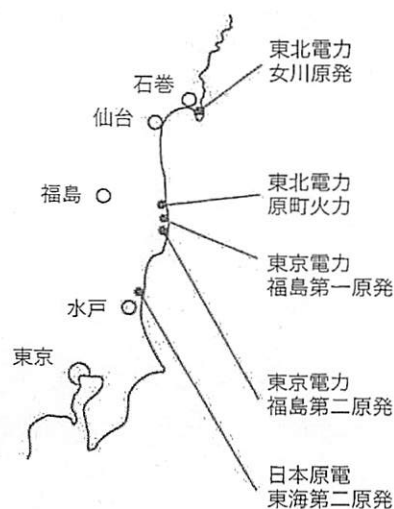


図4-1 原発の敷地の高さ(海拔)と襲来した津波の高さ

原子炉建屋を強固な岩盤上に設置する岩着という必要もあって、これを削り取って10mの敷地高さまで低くしている。このことから、計画時に津波をほとんど意識していないか、さもなければ何らかの理由で津波を低く評価していたことが推察される。また、同じ福島第一原発の中でも5, 6号機は少し離れて立地しており、その主要設備を収容する建屋の敷地高さは13mで、ここを襲った津波高さは約14mであった。

それに対して、福島第一原発のすぐ南にある福島第二原発は敷地高さが12mで、そこに来た津波高さは7mである。ただし、津波の遡上高さは14mで、福島第二原発も一部はこの遡上によって浸水している。

福島原発より北にある東北電力女川原子力発電所はもともと15mの敷地高さであったが、地震によって地盤が1m沈下し、14mになった。ここを襲った津波高さは約13mだったため、かろうじて浸水を免れた。

福島原発のすぐ北にある東北電力原町火力発電所はこの地域では最も激しい津波の襲来を受けた。敷地高さは基本的に10mであるが、そこに来た津波高さは18mで、火力発電所の主要部分はすべて(建物の高いところに設置していたタービンなどを除き)津波によって水没しただけでなく、津波の勢いで破壊され、現在(2012年10月)も復旧していない。

福島第一原発から100km南の日本原子力発電東海第二原子力発電所は、防潮板の高さが6.1m、襲来した津波高さが5.4mで、工事未了の部分から多少の浸水があり、非常用発電機1台が停止したものの、残りの発電機によって必要な電源を確保することができたため、過酷事故には至らなかった。

東日本大震災の被災地域以外の発電所と比較することも重要である。たとえば、東京電力柏崎刈羽原子力発電所や中部電力浜岡原子力発電所などの敷地高さと防潮堤の設置状況を調査すると、いずれの原発も特に高い津波を考慮して高い防潮堤を建設することはしていない。ただし地震対策については、柏崎刈羽原発は2007年の東日本大震災の後、また浜岡原発では阪神淡路大震災後に耐震性の補強など、相当意識してさまざまな対策を打っている。しかし、東日本大震災後にはいずれの発電所でも津波対策を強化し、建物の防水性の向上や防潮壁の設置、シビアアクシデント対策などの見直しを行っている。

福島第一原発にとって、この巨大津波はまさに想定外だったのである。

(B) 基本構造はアメリカで考えられ、日本で育てられた

1950年代に原子力の平和利用が提唱され、直ちに原子力発電技術の開発が始まり、商業用の原子力発電のプロトタイプができた。日本でも原子力発電を導入することが決定し、日本原子力発電の東海発電所で初めて商用発電が開始された。ここでは、世界で最初に実用化されたイギリス製黒鉛減速炭酸ガス冷却型原子炉が導入された（現在は廃炉作業中である）が、その後はガス冷却炉ではなく軽水炉が採用され、まずGEの沸騰水型原子炉（BWR）のMark I型原子炉が日本原子力発電敦賀原子力発電所1号機および東京電力福島第一原発1号機に導入され、実際に営業運転が始まったのは1970年以降である（注：加圧水型（PWR）の関西電力美浜原子力発電所1号機は、福島第一原発1号機より早く運転を開始している）。

1970年から1975年頃まではGEの技術をそのまま導入する形であり、設計はGEが行い、日本のメーカーはその機器の製造と建設を下請けとして行うだけであった。東京電力は原発の運用を担ったのである。GEとの契約はターンキー方式であった。

しかし、このとき導入した技術は、プループン（実証済み）とのふれ込みであったが実際には完成されたものではなく、開発途中という技術段階のもので、解決すべき課題が山積していた。そこで日本では、東京電力をはじめメーカーの東芝、日立製作所などがGEからの技術をもとにしてその改良に非常に積極的に取り込んだ。1970年代後半になると、日本メーカーがどんどん技術力をつけ、方式などはGEのままであるが、設計も製作も自分たちで行うようになった。

しかし、この時期はまだ原発の稼働率は非常に低く、事業者が利益を享受できるレベルのものにはなっていなかった。その後、東京電力またメーカーである東芝や日立などが一つずつの問題を解決し品質を向上させ、全体としての信頼性を向上させていったのである。そして努力の結果として稼働率が向上していった。

このような状況にあった1979年に、アメリカのスリーマイル島原子力発

電所で事故が起こった。この事故は人間の判断ミス（ヒューマンエラー）によるものであるが、このとき初めて炉心のメルトダウンという最も危険な事象が起こったのである。アメリカではこの事故以降、経済性に優れた複合サイクル型の火力発電が開発されたこともあり、原子力発電に対する熱意が急激に下がり、それまでに原子力発電所を約100機建設したが、事故後は近年まで新設がまったく行われていない。このように、新規の商用原子力発電所の建設が行われなくなると事業として成り立たなくなり、原子力発電に関連するメーカーの開発意欲も減退し、米国外で原子力発電所の建設などを行ってはいるが、技術的進歩も急激な進歩は見られなくなる。

一方、日本は国策として原子力発電を推進することになり、1年に約2機のペースで国内に原子力発電所を建設し、この30年間に約50機の原子力発電所を新設した。しかも、BWRとPWRの両方を採用するという、世界でも数少ない原子力発電の推進に熱心な国になっていった。それに伴って、日本のメーカーでは技術開発に力を入れ、次々と新しい知見を獲得した。こうして、アメリカで生まれた技術をもとにして、日本のメーカーがそれを発展させていくという構図が出来上がっていった。

ただ、もともとの原子力に対する考え方や社会への適用の仕方については、日本では外国で発達した技術をいかにうまく日本に定着させるかに主眼が置かれ、社会との調和をとるといふ部分は非常に拙劣なまま進展していった。

詳しくは後述するが、結局原子力の“安全神話”をつくらざるを得なくなり、原子力の危険を考えずに原子力の技術を展開していくという、いびつな形で技術が発達していった。このことが、3.11福島原発事故に象徴されるような諸問題を引き起こしたと考えられる。

アクシデントマネジメント（AM）策の進展という視点で見ると、アメリカではスリーマイル島原発の事故後、事故に学んだ必要なAM策を採用していった。

日本でも、アメリカで必要と考えられた新たなAM策の一部は、設計や運用の指針に取り入れられた。たとえば、消火用の配管を緊急冷却用の配管に

接続するという対応はその一つである。しかし、水位計の誤動作については、アメリカはこのときPWRの加圧器に水位計がなかったことが事故の原因になったことに気づき対応している。BWR方式の福島では、圧力容器の水位計が誤動作する可能性は考えたが代替案がなく、対応は行わなかった。

また、発電システムの運用面で、日本では生産活動に必要な教育や訓練が十分行われており、現場作業者の技術レベルが高いため、このような判断ミスや管理の不十分さに起因する事故は起り得ないと考えた。しかし、福島での事故を見ると、現場作業に当たった人たちが判断を誤ったり、事故の進展に対応できない事態が起こったのである。

これまでの時期は、日本はアメリカをはじめとする諸外国のトラブルを学び、対策に対するキャッチアップが行われていた時期だと考えられる。問題なのはこれ以降で、日本の社会全体に日本の技術はすばらしく、品質が非常に高いため、諸外国で起こるような事故は起り得ないと考えるような傲慢な風潮が育っていったことを見逃してはならない

2001年9月11日にアメリカで、ワールドトレードセンターに航空機が突っ込むというテロが起こった。アメリカはここで、原発に対してこのようなテロが行われたならば何が起こるか、またそれが致命的な事故にならないようにするためにはどうするか真摯に考え、アクシデントマネジメントを進歩させた。それが通称“B.5.b”と呼ばれる対策義務づけ命令である。アメリカは日本の原子力安全・保安院に対してその内容を伝達しようとするが、安全・保安院は担当者がアメリカに出向いて聞いただけで、日本にその考えを取り入れようとはしなかった。

一方、この少し前に東京電力のトラブル隠しが発覚した。シュラウドの応力腐食割れによるひび割れを放置し、きちんとした管理が行われていないということが内部告発で表沙汰になったのである。このことで日本中が東電に対して不信感を抱き、東電柏崎刈羽原発はすべての原子炉を停止せざるを得なかった。このとき行われたのが、安全・保安院による形式的な管理の強化である。

当時、原子力発電を深刻な事態に至らしめる外乱としては地震だけが考慮され、その対策として構造強度の問題ばかりに注目が集まっていった。2007

年の中越沖地震で柏崎刈羽原発は大きな揺れに見舞われたが、原発の心臓部はほとんど影響を受けなかった。原発関係者はこれで地震に関する対応に自信を持ったが、一方地震の大きさについて設計基準の見直しが行われ、配管サポートの強化などの対応策を他の発電所においても実施する必要に迫られ、そこに大きな労力を投入せざるを得なかった。

結果としてアメリカではテロなどを考えた広い意味でのアクシデントマネジメントがきちんと行われるようになったのに対し、日本では地震に対してのみ注意が集中し、しかも形式的な管理・規制を行う方向に走っていった。事故が起こってみれば当然行われるべきだった津波の対策が、まったく行われていなかったのである。そこを今回の地震と津波が襲ったのだから、このような大きな災害になるのは当然のことであったのだ。あらゆる事故を想定し、起こった事故から謙虚に学ぶことをしなくなったツケを払わされたのである。

(C) 事故の際は想定範囲内でしか考えられない

設計時に考慮した範囲外に起きた事象やそれまでに経験したことの無い事象が起こると、考えがそこまで及ばず、正しい判断ができなくなることが起こる。

実際に福島原発で事故が起こってみると、通常とは異なる事態が起こったとき、事態がどのように推移するかというイメージが事故の対応に当たった人たちに共有されていなかったこと、さまざまな機器のシステムや動作の理解が不十分であったこと、また有事の際の機器のハンドリングの理解や訓練などが抜けていたこと、などいろいろな形で課題が顕在化した。また、それまでには思いもよらなかった事態が起こったり、考慮されるべきことが考慮されていないことが明らかになったりした。それはMark Iの構造に由来する問題だけに限らず、外部に放射性物質を飛散させないために格納容器の中に圧力容器を収容するという設計をしたときに、設計者が当然考慮しなければならない多くの事象である。

ここでは、事故の進展の中で誤判断が起こった例と、思い通りの操作ができなかった例の2つを考える。一つは水位計の誤表示の問題で、圧力容器の

中の状態を計測するための外部への配管が格納容器を通過する際に、格納容器内の状況に影響を受けるために起こったことである。もう一つは、空気作動弁である逃がし安全弁を手動で操作したときに期待通りに動かなかった問題で、格納容器の外側から空気を供給して中のバルブを動かすシリンダの背圧部分が格納容器と直結されているため、格納容器内の圧力が異常上昇すると外部から操作しても期待する動きをしなかったことである。

これらは、言い換えれば、圧力容器の暴走による格納容器内の昇温・昇圧の状態が、全体のシステムや動作にどのように作用するかを十分に考え尽くしていなかったために起こっていることである。

なお、この水位計の方式に問題があることは、水位計を取り扱っている設計者や運転管理者はすでに気づいていたと考えられる。しかし、それに対する適切な対策が取られないまま1号機は運転されており、実際に事故が起こった際、誤表示を信じて圧力容器内の水位を誤って判断してしまったために、正しい対応ができなかったのである。気付いたときにはすでにメルトダウンが起こってしまっていたのである。

圧力容器内部が高温になり、圧力が上昇したときに何が起こるかについては十分に考えられている。しかし、圧力容器内部が高温・高圧になった非常に時に、圧力を逃がす格納容器内の温度や圧力が異常に上がったときにどんなことが起こるかについても、十分に考慮されていなければならないはずである。しかし、設計者がすべてを考えたつもりになっていても、必ず想定漏れや考え落としがあるものである。この想定漏れや考え落としがあったことは、事故が起こってみて初めてわかるのである。

原子力発電分野の大きな事故としては、スリーマイル島とチェルノブイリの事故がよく知られているが、世界中で稼働中の原子力発電所ではさまざまなトラブルを経験しているはずである。しかし、それらのトラブルから今述べたような格納容器内の予期せぬ昇温・昇圧で起こるすべてのことを考え尽くすには、失敗経験の蓄積が不十分だったといえるのではないだろうか。

2

背景要因を含めて考える

(D) “安全神話”をつくらざるを得なかった

原子力発電が年間1機または2機増設され続け、国内のエネルギー供給において次第に重要な地位を占めるようになり、しかも社会全体がそれに依存するようになっていった。その一方で、スリーマイル島原発やチェルノブイリ原発の事故の発生などにより、原子力発電が非常に危険なものだという認識が社会に次第に広がり、原子力に反対する意見が広がっていった。それに対して原子力発電を推進しようとする人々は、「日本では大きな事故が発生していないのだから、原子力自体は危ないものではない」、「危険を心配するのはナンセンスである」という考え方を広めようとした。また、原子力発電における安全対策は万全で、日本では原発事故は起こり得ないと考えるようになり、そのように主張するようになっていった。これは、まさに“驕り”そのものである。

その後、日本でも1999年にJCOの臨界事故が起こり、社会はこのような事故、もっと大きな事故さえも日本でも起こり得ると薄々感じるようになっていった。それに対して推進している人たちは、原子力発電はエネルギー密度が高く、潜在的に非常に危険であることを知りながら、ついには原発関係者がその危険を口にするのをはばかるような雰囲気をつくり出し、原発では絶対事故は起こらない、絶対安全であるといういわゆる“安全神話”がつくられていく結果となっていった。

意図的にこのような安全神話をつくったことはないという説明する者もいるが、全体としてみれば安全神話は意図的につくられたように見える。安全神話は原発に反対する人への説得材料として考えられたものと思われるが、安全だと言った途端、かえって表立って危険への対応ができなくなり、危険が放置されることになってしまった。“安全”と言うからには、危険に対応することは論理矛盾と指摘されるからであり、危険に対応する策を講じているから結果として安全になるという考えがないためである。

たとえば、新潟県が原子力発電所で事故が起きた想定で訓練を行おうとしたが、原子力安全・保安院がそれに干渉し、複合災害を想定した訓練を差し止めたという例などがまさにこれである。

海外ではスリーマイル島およびチェルノブイリでの事故、またそれぞれの場所で起こった事故を受けて、シビアアクシデント（SA、過酷事故）対策を実施していたが、日本では安全神話があるためにシビアアクシデント対策は遅れていた。たとえば、ヨーロッパではフィルター付のベント設備をつくるべきとの共通認識に至った際に、日本では一部で検討されたが、そういう方策をとろうとしなかった。さらに2000年以降、日本における原子力の管理の形式化に伴い、東電がシュラウドのひび割れを隠したというトラブル隠しが起こり、東電の全原発が止まるという事態が起こった。

このトラブル隠しの後、原発事業者はほとんど問題にする必要のないような物事にも対応が求められるようになり、管理がより形式化していった。そのため、本質的なアクシデントマネジメントを考え、実施することができなくなっていった。さらに、2007年に起こった中越沖地震で東電柏崎刈羽原発が被害を受けた後は、地震だけにより注意が集中し、地震対策に追われ、本質的なアクシデントマネジメント自体を考えたり、準備したりすることがますますできなくなっていった。

原子力関係者は安全神話というあり得ない話をつくり、それに自ら絡め取られて、真の対策が取れなくなっていったのである。

(E) 推進者が規制しても安全は確保できない

原子力発電所を運営するのは東京電力などの事業者であるが、国としての政策を実行するのは経済産業省である。経産省の中に原発の安全を管理する原子力安全・保安院が設けられ、それが原子力の安全を担保する活動を行っていた。これは、一つの事柄を実行する側と規制する側は基本的に組織構造としても、実際の組織運営においても対立関係が実現されていなければならないにもかかわらず、同じ省庁の中で推進と規制を行うという組織構成の根本的な誤りである。このような組織では、行政組織における人の異動を考えると、あるときは推進し、あるときは規制するという立場をとることにな

る。

原子力安全・保安院の前身は、40年前頃に日本がエネルギーを石炭に依存していたときに石炭の保安を担当していた組織で、2001年の中央省庁の再編に伴い、原子力安全と産業保安を担当する組織として新設された経緯がある。産業の保安を行うのと同じ感覚、同じ考えで、原発の安全を確保しようとしたのである。これは、推進する側に協力して必要な安全を担保するという考え方で、援助または助言の性格を持つ。組織構成上、対立関係を維持して規制にあたるという性格を持たなかったために、名目は原子力安全・保安院でも、世の中からは“不安院”と揶揄されるような組織となり、大事故を防止するために必要な対策を打たず、検査の強化と書類を整えることにより、社会に対して形式的に安全を担保していることを主張するような行動になっていった。

たとえば、外国に歩調を合わせて日本でも実効性のあるシビアアクシデント対策を打とうとするときに、保安院長が「寝た子を起こすな」といった発言をし、これを止めさせているところに、このような矛盾が露呈している。

保安院は原子力発電に関する大事故も些細な事故も未然に防ぎ、安全を確保するための監督が求められている機関である。ところが、社会全体が原子力発電に厳しく安全を求める中で、安全が確保されているという形をつくるために、本来保安院がやるべきことと少しずつずれた判断・行動をするようになっていき、保安院自身が十分な実力を持たないことも相まって、今回の事故になったと考えられる。

具体的には、原子力発電所で行われている事柄のチェックに関して、何をチェックするか項目を自分たちの判断でつくらずに、チェックを受ける側である東京電力やその外注先であるメーカーに案文をつくらせ、それが形式上守られているかを点検し、安全が確保されているふりをするという、言い訳の準備をするような動きに墮して行った。実際には、2007年に起こった中越沖地震で被害を受けた柏崎刈羽原発のその後の対策などに見るように、構造強度の確保だけに偏重し、“ねじ一本一本”の材料強度が確保されていることは形式的に確認していた。

しかし、本来行うべきアクシデントマネジメント策のチェック、すなわち

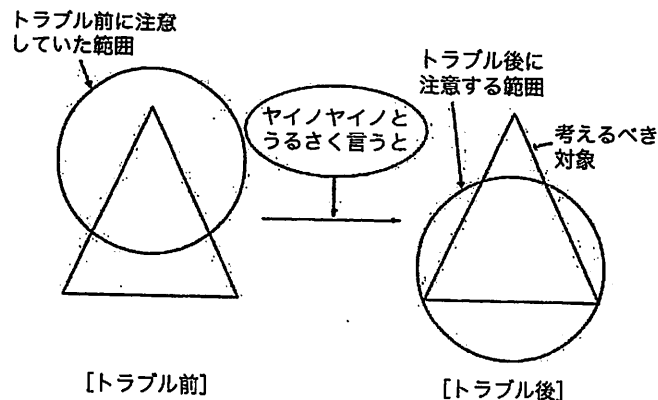


図4-2 人の注意力には限りがある

深刻な事態を引き起こすさまざまな外的な要因を想定してその対応策をチェックすることは行わなかったし、できなかった。つまり細かい材料強度などのチェックは自分が行うが、アクシデントマネジメントや津波高さの評価、その他さまざまな自然災害への対応は自らその指針をつくることなく、事業者の責任として取り扱うという形式的な運営が行われていた。推進側が規制を行う矛盾が現れているのである。

これはまさに、成熟した社会の中でありがちな注意点の遷移の問題である(図4-2)。1人の人間が何かを考えると、その考えの中身は階層性を持つ。通常は最も大事な部分に注意を集中しているが、周囲が形式的な正確さを求めるようになると、だんだん階層の低い方に注意が集中し、ついに最も重要視しなければならない上の方の重要な部分に注意が払われなくなり、事故が起こるといったシナリオがある。これとまったく同じことが保安院に起こっていた。

もともと原子力発電で最も重要な“どのような外乱がどのように起こるか”、また“どのような事故が起きるか”を想定することは事業者の責任であるが、そのアクシデントマネジメント策が適切であるかどうか、実際にAM策が実行できるような準備がされているかどうかを監督するのは保安院の役割である。しかし、そのことを担わず形式的なチェックだけに堕していったのである。

一方、チェックを受ける側から見ると、膨大な形式的な資料要求が起こり、形式主義が進行していく。そして書類上の形式を整えることだけに力を集中せざるを得なくなり、何が問題か、何を考えなければいけないか、どこに危なさがあるかを考え、真の改善を行うという意欲をまったく削いでいたのである。そして、保安院は書類上の形式を整えることに注力し、現場で何が起こっているかを自ら目視し、自ら調べ、判断をすることから遠のいていった。

これに対し、たとえばアメリカの原子力規制委員会(NRC)は発電所の現場に担当者が常駐し、すべての書類にアクセスし、いつでも発電所の立ち入り検査ができるようになっている。発電所の係員に何かの形式的な資料を求めることはなく、発電所内を担当者自らが歩き、自分で判断して必要な事柄をチェックしている。形式的な管理と実態を重んじる管理との差がここに表れている。

なお、ねじ一本の材料強度に問題が集中しアクシデントマネジメントが不十分になった裏には、地震に対する注意だけに集中してその他のことを考えなくなったという経過があり、強い影響を及ぼしている。形式的に構造の強度に関心が集中したため、広い視野を失っていたのである。まさに、三角形の上の方の注意から下の方の注意へ移っていることの証左である。

(F) 社会から隔絶された“原子力村”ができていた

原子力発電に関わる事業者、監督する行政、技術的なサポートを担う学者、機器をつくる産業界、これらが一塊となり、社会から隔絶されて動いていた。いわゆる“原子力村”である。危険なものである原子力発電を“安全”と称して進めざるを得なくなり、その中で閉じていることによって関与する人たちの利益が確保されるという構造ができ、他からの批判を受け入れることもなく、内部の事情だけですべてが始末されるようなグループとなっていた。社会はこのような状況を奇異なものと感じながらも、その存在を見て見ぬ振りをしてきたが、大災害が起こってみると、この原子力村の存在を放置していたことが事故の原因であると考えられるようになった。

社会から隔絶された集団になってしまうと、技術そのものがいびつになっ

ていることには気づくこともない。また、他の装置産業では当然だと考えられるような技術的知見が入ってくることもなく、積極的に他産業から学ぶことをしなくなる。原子力村もこのような状況になっていた可能性がある。

たとえば、2007年の中越沖地震で柏崎刈羽原発の変圧器で火災が発生したが、地中に埋設された消火管が地震で破断したため給水できず、原子炉安全と関係ないとして消火をあきらめた。地中埋設管は地震で破断し、しかもそれが目視できないため、化学プラントなどでは消火用配管は埋設せず地上配管とすることが多い。これは、他産業の知見を取り入れず、たとえば設備の重要度を表す3段階の配分のみを考慮する設計思想について、見直すことをしなかった例である。

(G) 直近事象に意識が集中し“視野狭窄”が起こった

アメリカで生み出され、原子力発電の技術が日本に導入されたとき、新たに考慮に入れるべきものとして強く意識されていたのが地震である。しかし、技術が導入された当時、津波についてはほとんど考慮されなかったと思われる。そのため、アメリカで設計された原子力発電システムのハードウェアを日本に持ち込むとき、耐震性の検討はなされたが、津波に対する考慮は疎かになっていた。

たとえば東京電力では、1960年代に福島第一原発の設置許可申請を行った際、津波高さを1960年に襲来したチリ津波を参考に最大約3.1mと考えていた。これは津波波高のシミュレーション技術が未熟だった1950～60年代に計画したとしても、津波をまったくといっていいほど考えていない数値であるといわれても仕方がない。最終的に津波対策をするにあたって想定津波高さを6.1mとしたことになっているが、この程度の検討では不十分であったことは、実際に襲来した津波の高さが15mであったことから明らかである。

原子力発電の黎明期の1950年代以降、日本の国土は1990年頃まで地震や津波などの静謐期であったため、大きな地震や津波をほとんど経験していない。1983年の日本海中部地震、1993年の南西沖地震では大きな津波が発生し、日本海側の一部の地域が被害を蒙ったが、太平洋側の津波として大き

かったのは1960年のチリ津波だけである。しかし、チリ津波は津波の波源が日本近海ではなく太平洋の反対側であり、しかも津波対策が功を奏した地域もあり、被害が限られていたため太平洋側、特に仙台以南の地域では日本近海を震源とする大地震による津波の危険を考慮することがなかった。

福島第一原発の敷地は、もともとは海岸近くまで続く約30m近くの丘陵であった。原子炉建屋を岩着する必要があるとはいえ、地盤を平均の敷地高さ10mまで削り、その残土などを埋め立てて4mの一番低い海岸側の地盤をつくっているのを見ても明らかである。このような計画は仮に津波の危険を数のうちに入れていたとすれば、あり得ないものである。

その後、1995年に阪神大震災があり、次いで2007年に中越沖地震で柏崎刈羽原発が被災すると、すべての注意が地震にのみ集中するようになってしまった。本来、日本で考えなければならない自然災害といえば、まず地震、次に津波、洪水、火山噴火などである。これらの災害に関する学問的知識はどんどん進歩しており、実際の社会の運営としても当然考慮しなければならないものと考えられていた。しかし、原発関係者たちはこのようなことを正視することなく、地震だけに注意を払い、対策を打つようになった。また、それに呼応するように原発反対派も地震のことだけを取り上げて指摘するようになった。

もしも反対派が津波の危険を指摘し、対策の不備を声高に叫んでいれば、行政にしても事業者にしても津波に配慮したのではないだろうか。反対する側にもある種の役割は期待される。それが行われていなかった。

なお、近年地震学が進歩し、太平洋側沿岸を震源とする巨大地震の発生と、それによる巨大津波の可能性が明らかになってきていた。しかし、福島県沖を震源とする地震の可能性は低いという学会の重鎮の意見もあり、津波常襲地帯である三陸地方以南の地域には巨大津波襲来を想定していた人は多くなかったと考えられる。東京電力などが、貞観津波に関する知見が学問的な知識として確立していないとして、即座に津波対策を実施しなかった原因の一つが、原発関係者たちが地震や津波に関する新たな知見を積極的に取り入れ、対策につなげようという姿勢を持っていなかったことだと考えられる。

(H) 議論を避ける文化にはまっていた

日本では、一つの事柄に関して賛成・反対の2つの意見があるとき、その対立する立場の者同士が議論を戦わせることは好まれず、その中間的な決着が望まれる。

原子力発電については、推進派と反対派の2派が対立し、その対立は時が経つにつれて熾烈なものになっていった。議論すること自体を避けようとする日本の文化と相まって、原子力の危険を危険として認め、危険に正対してどうすべきか考えることをやらなくなった。

実際に、原子力はエネルギー源として非常に有力なものである。しかし、放射性物質の飛散や放射線の危険を必ず伴う。しかも、使用済み燃料の処理方法も技術として確立していないという未熟な部分がある。このような状況で原子力発電を実施する場合、利便と危険のバランスを見た上で、どこまでの危険を容認してこれを利用するかという議論が行われなければならないはずである。しかし、残念ながら日本ではそのような議論は行われず、原子力の必要性だけが叫ばれて、事実として原子力を推進する方向に突っ走ってしまった。

推進派は原子力発電の危険性を訴えて反対する強硬な反対派を説得するために、原発は安全であると言わざるを得なくなり、事実と反する“安全神話”がつくられ、それがそのまま跋扈していったのである。本来、利便性だけでなく危険についても十分議論を尽くし、危険に対する対処を十分に行って、ある種の妥協点として原子力を利用するという選択にならなければならないはずである。

危険の存在を認めてこそ安全が実現され得る。危険を明らかにしなければ、必要な対策も打つことができない。より大きな事故や災害となって、危険が発現するだけである。真の安全文化をつくろうとせずに、その利便と危険の対立だけで原子力を扱ってきた“ツケ”が今回の事故であるといえよう。安全文化として議論する文化をつくるのが日本人の国民的課題である。

3

持つべきものの見方・考え方

これだけ大きな事故を起こしたのであるから、さまざまな視点から事故を分析し、学び取れる限り学び取らなければならない。中でも技術的な問題を解明しようとするれば、計画の段階までさかのぼって、なぜそのような計画が必要であったか、どのように計画し、何を決断し、どう実行していったか、などについて明らかにすることが必要となる。このような技術の来歴を明らかにするには、“3現”（現地・現物・現人：現地に行き現物を見たり直接触ったりし、当事者や関係者に直接話を聞くこと）で調査を行わなければならないが、主に時間的な制約などのために筆者らはまだ一部しか実行できていない。しかし、筆者らは現在（2012年10月）までに行った活動を通じ、以下のように考えるようになった。主な考えを以下に記す。

(1) 失敗の道・成功の道

事故の脈絡をたどってみると、事故の事象が進行していく中で、それぞれのステージで失敗につながる要因を選択・実行していることがわかる。言い換えれば、事故の経過に沿ってそれぞれのステージで選択・実行した要因をつなげてみると、“失敗の道”が明らかになる。通常の事故調査ではこの失敗の道の分析を行い、さまざまな失敗の要因を明らかにする。

しかし、仮に各ステージで別の選択をしたとすれば、その要因のつながりは失敗には至らず、成功につながったかもしれない。多くの事故調査では別の可能性を探索して仮説を立てて学ぶことをしないが、事故から学ぶためには仮説を立てて成功に至る道を探索することも必要である。“もし～をやったら”、“もし～をやっていたら”という“たら・れば・もし”を考えるのである（図4-3）。

過去の事故の“失敗の道”だけでなく、“成功の道”も含めた全体像を知識として頭に入れておくことで、次の想定外事象に正しく対処する道を見出すことができるようになる。さらに言えば、数々の事故から学んだことを自

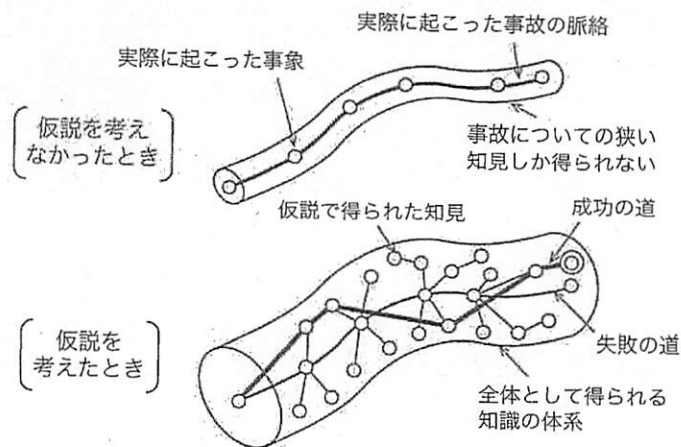


図4-3 事故で起こった事象に仮説を加えて全体像をつくと豊かな知識体系ができる

分の中で十分咀嚼し、この“たら・れば・もし”を事が起こる前に考えることができるようになるまで体得することが重要である。

ただし、ここで述べたような失敗の道や仮説による成功の道は、事故後に事故を分析して全体像をとらえたことで見えるようになるものである。事故の最中に対応に追われている当事者には、当然事故の全体像も全体の脈絡も見えていない。それぞれのステージで選択するときには、その結果として生じる次のステージは見えていないのである。全体像がわかってから、事故の事象への対応を批判しがちであるが、それはあくまでも“後から見れば”言えることである。ここで仮説を立てるのは、事故から学ぶためであって、当事者を批判するためではない（図4-4）。

(J) 起こる前に見つける

今回の事故が起こった後、多くの意見や解説などが世に出たが、それは、これだけ大きな事故を防ぐには、あらかじめ起こる前に考えておくべきことがあり、それらが実行されていれば事故は防げた、と皆が考えているからである。

それでは、起こる前に先々起こるかもしれないことを見つめるには、どう

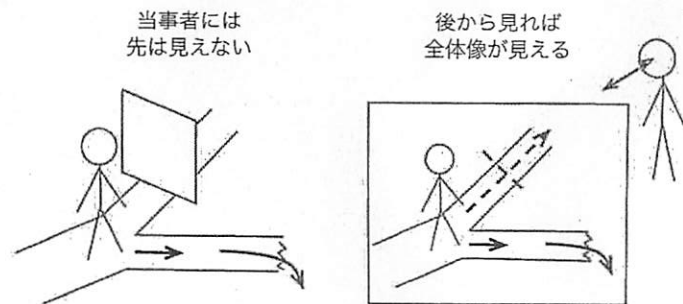


図4-4 後から見れば

したらよいのだろうか。それには、“あり得ることは起こる”と考えることである。何がどのように起こり得るかを考えるとき、多くの人は自分の経験や知識をもとに考えようとする。それは重要なことではあるが、それだけでは十分とはいえない。重大なものと考え落としなく見つけるには、あり得ることは起こると論理的に考えることである。論理的に考えればあり得るが、実際にはまだ起こっていないことは世の中にはたくさんある。さらに、“あり得ると思うことができないようなことさえ起こる”というところまで考える必要もある。

次に、物事を考えるときの人間の特性も考慮に入れなければならない。それは、“見たくないものは見えない”とか、“考えたくないことは考えない”という特性である。自分の都合の良いように考えがちな人間の特性を十分考慮し、見落としを防がなければならない。さらに、人間は何かを真剣に考えようとするとき、考えの範囲を決めてその中を子細に考えようとする。しかし、一度その範囲を決めてしまうと、その外側についてはまったく考えなくなる。考えないということは当然、何も対策を打たないということである。このような特性があることも知っていなければならない。

それでは、起こる前にまだ起こっていないことを見つめるとき、どのような視点で考えたらよいのだろうか。それが“逆演算”と“仮想演習”である（図4-5）。

逆演算とは、こうすればうまくいくだろうと事の起こる順を追って考えるのではなく、どうすればまずくなるかという視点でこれを見ることである。

悪意を持って、事故を起こすにはどうすればよいかを考えてみるのである。どのような想定外や準備不足を攻めるのか、論理の抜けがないか、そこをどうつづけるのか、を考えるのである。“悪意の鬼”になるのである。結果としての事故を想定し、物事が進行する脈絡を逆にたどる、“逆演算”を行えばよいのである。

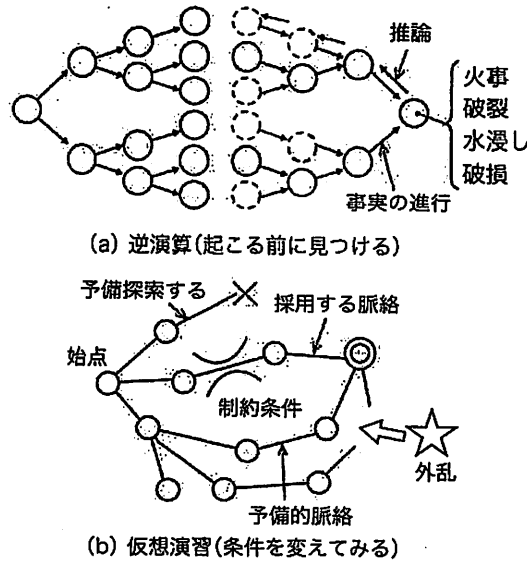


図4-5 失敗の防止に不可欠な仮想演習と逆演算

もう一つの視点は、条件を変えて何が起こるかを考えることである。何かを計画するとき、どのようなことが起こるか、どのような制約条件があるか、どのような状況があるかなどについて考慮した上で、それを実行する脈絡を決めていくが、その脈絡に作用している条件が変わったら何が起こるかを仮想的に考えてみるのである。筆者らはこれを“仮想演習”と呼ぶが、仮想演習を行う際、どのような条件変化があれば事故が起こるか、悪意を持って外乱を考えると重要である。

(K) 他分野に学ぶ

筆者らは、一つの産業分野が十分な失敗経験を積むには200年かかる、と考えるようになってきた。そこで、産業革命以降の産業の発達の基幹となる技術として、典型的なボイラーの発達の歴史を概観し、“一つの技術分野で十分な失敗経験が蓄積するには200年かかる”という仮説を立てた。

ボイラーは18世紀に発明され、19世紀初めに実用化技術として確立した。その後高圧化に伴い、度重なる多くの犠牲者を出す破裂事故を経験しながら、さまざまな安全基準を設けて安全性を高めてきた。そして、ボイラー

に必要な材料技術、溶接技術などのさまざまな技術の発達により、米国のASME（アメリカ機械学会）規格では1942年に安全率を5から4に引き下げるに至った。その変遷を曲線で表してみる（仮にこれを“Sカーブ”と呼ぶ）と、これ以外の産業分野でも、鉄道、航空機、自動車などの技術の発達はこの曲線に乗っているように見える（図4-6）。

一方、原子力発電は1950年頃に原子力の発電への利用が始まって以来、現在（2012年）はまだ60年が経過したに過ぎない。この間にこの分野で大事故と考えられているのは、スリーマイル島、チェルノブイリ、福島の事故の3つである。これらの事故の直接的な原因はそれぞれ、スリーマイル島事故はヒューマンエラー、チェルノブイリ事故は原子炉が自己制御性を欠いていたという設計思想の誤り、福島原発事故は地震と津波という自然災害の対応不適と考えられる。

これらの原因による事故を経験したが、こうした要因のほかに今後大事故を引き起こすことが懸念される要因として、テロなどの人間の“悪意”による事故や“偶然の重なり”などがある。原子力発電技術が十分な失敗を経験し、基準や指針、過去の経験、既存の知見などに従っていれば安心であるという状態に至るには、上述の仮説に従えばあと140年が必要である。

しかし、原子力分野が他分野で起こったことを十分に学習し、それを自分

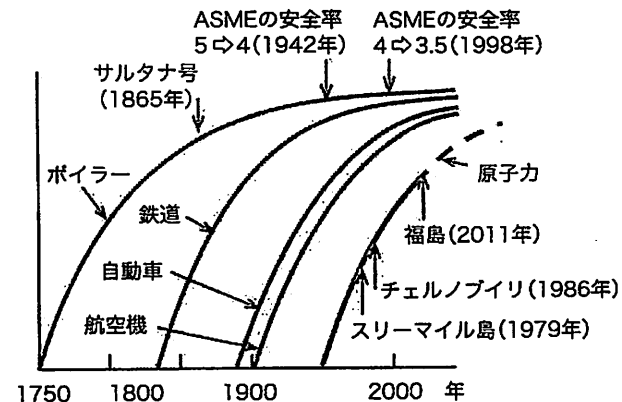


図4-6 どんな分野でも十分な失敗経験を積むには200年かかる
～原子力はまだ60年しか経っていない～

たちの技術の中に取り込めば、この200年を短縮することができるはずである。徹底的に他分野の経験を学び、それを取り込む努力をすれば、20～40年という時間で原子力発電の技術を十分に安心なものにすることができるのではないだろうか。

設計では、他の製品などの設計のすべてもしくは一部をそのまま使い、変更箇所を検討・設計していく手法を“流用設計”という。また、さまざまな要求に応じて、次々と必要な設計を追加していくことを“付加設計”という。付加設計は、これを繰り返すうちに全体システムが所期のものと異なるものになってしまう危険を伴う。このように、付加設計による体系の変質を防ぐために“封印技術”という考えがある。全体システムをいびつにする可能性があるような部分的な変更を許さず、初めに考えた基本の構造のままにその技術を使い続けるというものである。封印技術は特に多くの技術を統合して使う場合に必要となる考え方で、たとえば防衛技術のようなものはその典型である。

他国から技術を導入する際は、日本のさまざまな環境に技術を適応させるために部分的な変更が必要となる場合が多く、流用設計・付加設計の性格を持つことになる場合が多い。必要な設計環境を想定し、システム全体の最適化を常に意識しなければならない。

また現在、原子炉を築炉から40年で廃炉にするという方針を厳格に守るのか、条件次第ではその寿命を延ばすことを可とするのかという議論があるが、検討した内容が必ず付加設計としての欠点を持つことを真摯に考えねばならない。それができないのなら、これを封印技術として取り扱い、40年で廃炉と計画されたものは、当初の計画通り厳格に40年で廃炉にするのが真の意味の安心を実現することになるという考え方もある。

(L) 最悪事態を想定する

今回の事故は最悪事態の想定が行われていなかったために、このように事故が拡大したと考えられる。首相官邸では事態が悪化していく中で最悪事態の想定が行われたが、無用な混乱を起こさないためという理由で当初は公表されなかった。しかし、本来このような最悪事態の想定は発電所の立地や計

画を決定するときに行われ、それが周知されているべきであった。それを承知の上で、すべての運用が行われていなければならなかった。

一方、今回の事故ではどのような最悪事態が考えられるのか、その最悪事態に至る脈絡を考えることが事故から学ぶために重要なことの一つである。

考えられる事態の一つは、1号機から4号機までの炉心および燃料プールに消防車による注水ができなかったとすれば、すべての炉心が溶融し、圧力容器が溶け落ちるだけでなく、格納容器も破壊し、急激な放射性物質の飛散が起こっていた可能性が高いということである。非常時に外部からの注水を可能にする配管が原子炉にまで接続されていたのは、もともとAM（アクシデントマネジメント）策として、タービン建屋内にある消火系ポンプでも原子炉の冷却ができるようにしておいたことに加え、2010年6月、つまり事故のわずか9カ月前に、タービン建屋外壁に消火系につながる注水口を増設したことが幸いしたのである。

この対策はAM策として行われたものであるが、それが実際に使われることを想定していなかったため、マニュアルの作成や訓練は行われていなかった。そのため事故時にはその対応に手間取ったが、最終的にはこれによって“最悪中の最悪”の事態は回避されたのである。仮にこれを行っていなければ、外部から注水する方策はなくなり、打つ手がまったくなかったのである。

もう一つの最悪事態は、4号機の燃料プールの破損とそれによる放射性物質の多量の漏洩である。これは、水素爆発により建物の上部が破裂したにもかかわらず、プールが壊れなかったことが幸いであった。さらに定期点検中で4号機原子炉ウェルに水が溜められていたために、堰から水が燃料プールに自然に注水され、初期保有水量が多くなる効果があった。仮にこれがなかったとすると、燃料プール内に大量に保管されていた燃料が過熱し、大量の放射性物質が漏洩する事態に至った可能性も考えられる。この点については今後学会などの詳しい検証が必要であるが、これは世界中が最も恐れたことでもあった。もしこのような最悪事態が現実のものとなっていれば、福島第一原発には誰もとどまることができず成り行き任せになり、放射性物質が東日本の広域に大量に周囲に飛散する事態となり、それに伴い、東京の

3,000万人もの昼間人口が東京を脱出しなければならなくなり、しかも東日本が長期間にわたって使えなくなるという大災害になっていた可能性も否定できない。

このような最悪事態が起こらなかったのは、消火系ラインを使った外部からの代替注水ができるように配管がしてあったこと、燃料プールに水が自然に注水されたという偶然の僥倖による可能性があることは知っておかねばならない。大切なのは、事業者をはじめとする関係者がこのような最悪の事態を想定し、それに対する対策を十分に考えておくことである。

(M) 最悪事態の発生を防いだもの

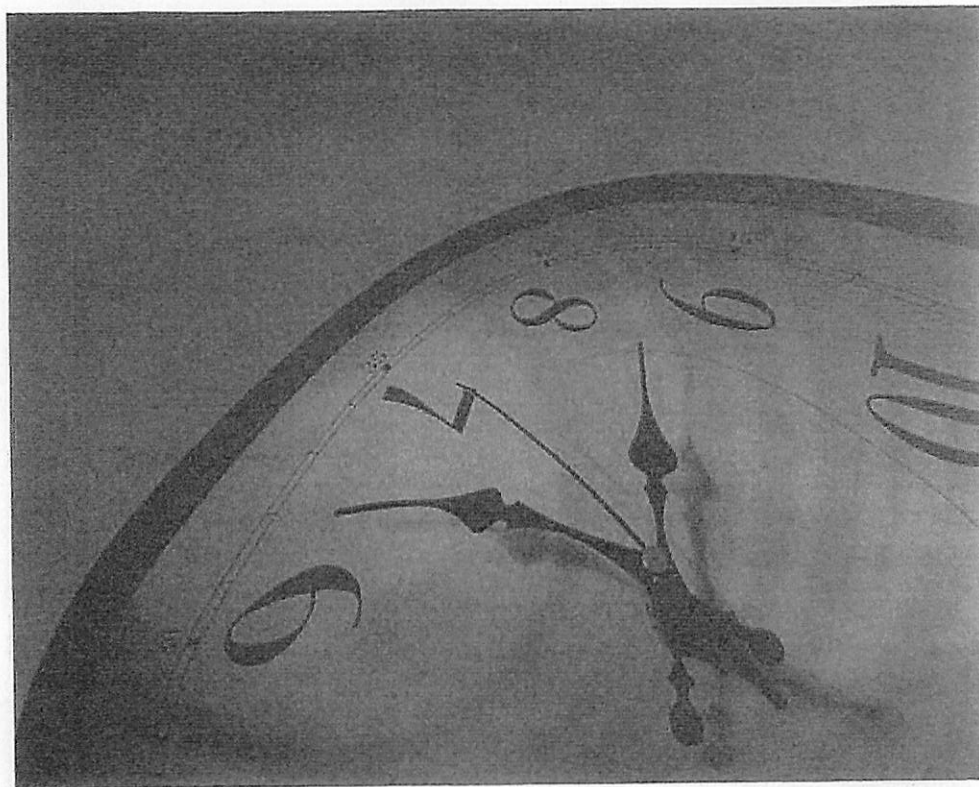
今回の事故については、津波襲来の想定と最低限の準備がしてあれば、防ぐことはできたと考えられる。事故は起こってしまったが、先に述べたような最悪の事態に至ることは回避できた。それは、僥倖と献身のおかげである。1～3号機では、消防車からの注水配管がしてあったという最低限の準備ができていたこと、また4号機では使用済み燃料プールにたまたま隣の4号機原子炉ウェルに溜められていた水が流入したこと、などの僥倖があった。そして、発電所の現場で対応した従業員の死を覚悟した捨て身の活動のおかげで、最悪の最悪を回避することができたのである。

しかし、忘れてはならないのは、事故は今も続いているということである。まったく理不尽に生活の場から突如引き剥がされた16万人は、事故以降1年半経った今（2012年10月）でも元の場所に帰ることができない。地域も職場も家庭もすべてが放射能によって破壊された。これらの人々が求めていることは、元の場所に戻り元のように生活することであるが、これが実現するまでには非常に長い時間がかかると考えられる。

事故が起こってから考えてみると、原子力発電について、電気というきわめて便利なものが得られるというプラス面だけを見て、事故が起こってしまったらどのような被害があり得るのかという、マイナス方向からは目を背けて十分に考えずにいた。それを気づかせてくれたのが今回の事故である。事故を学び尽くし、そこで得た多くの教訓を踏まえて原子力発電を考えていかねばならない。

第 5 章

事故をより深く理解するための基礎知識



配電盤	18
バッテリー	22, 84
原町火力発電所	143
パワーセンター	22
ヒートシンク	41
非常用D/G	18, 20, 43
非常用ディーゼル発電機	37
非常用復水器	24, 184, 185
非常用冷却設備	20
非常用炉心冷却設備	180
人の注意力には限りがある	152
被覆管	172
ヒューマンエラー	145
フィルター付ベント設備	150
封印技術	162
フェールセーフ	52, 53, 76
フェールセーフ機能	37
付加設計	162
付加設計の欠点	162
複合災害	150
福島第一原発	16, 142
福島第二原発	143
復水器タンク	24, 73, 185
復水貯蔵タンク	17, 77, 183
ブタの鼻	54
沸騰水型原子炉	144
プラント	16
プルトニウムPu239	171
ブローアウトパネル	113
変圧器の火災	154
ベント	62, 74
ベント回避	191
ベント管	20, 191

ベント弁	20, 21, 75
ベント用フィルター	130
ボイラー	160
崩壊熱	169, 174
防火水槽	62, 83
放射線	29, 169
放射線量	8, 10, 12
防水扉	129
飽和蒸気	175

ま行

見たくないものは見えない	159
美浜原子力発電所	144
ミューレベルク原子力発電所	131
メタクラ	22
免震重要棟	17, 60, 125
モニタリングポスト	62, 69

や行

ヨウ素	172
-----	-----

ら行

ラブチャーディスク	53, 75, 76, 190
流用設計	162
冷却材喪失事故	178, 180
ろ過水	56
ろ過水タンク	17, 55, 183
炉心スプレイ系	184
炉心損傷	6, 7, 26
論理的に考える	159

わ行

ワールドトレードセンター	146
--------------	-----

[著者略歴]

淵上 正朗 (ふちがみ まさお)

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 元技術顧問
 (株)小松製作所 顧問

東京大学非常勤講師、工学博士
 1949年生まれ。東京大学大学院修士課程修了。小松製作所取締役専務執行役員を経て現職。専門は建設機械、鋳造機械、産業用ロボット。主な著書に『ロボットを導入した生産システム』、『実際の設計 (共著)』、『続々・実際の設計 失敗に学ぶ (共著)』(日刊工業新聞社)ほか

笠原 直人 (かさはら なおと)

東京大学教授、工学博士
 1960年生まれ。東京大学大学院修士課程修了。日本原子力研究開発機構を経て現職。専門は構造解析、高温強度、高速増殖炉。主な著書に『原子炉構造工学 (共著)』(オーム社)、『高温強度の基礎・考え方・応用 (共著)』(日本材料学会)、『構造工学ハンドブック (共著)』(丸善)、『実際の設計 (共著)』、『続々・実際の設計 (共著)』(日刊工業新聞社)、『震災後の工学は何を目指すのか (共著)』(内田老鶴園)ほか

畑村 洋太郎 (はたむら ようたろう)

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 元委員長
 消費者安全調査委員会 委員長

工学院大学教授、東京大学名誉教授、工学博士
 1941年生まれ。東京大学大学院修士課程修了。東京大学教授を経て現職。専門は創造学、失敗学・危険学、医学支援工学。主な著書に『続々・実際の設計 失敗に学ぶ (共著)』(日刊工業新聞社)、『失敗学のすすめ』、『危機の経営 (共著)』、『危険不可視社会』、『未曾有と想定外』、『勝つための経営 (共著)』(講談社)、『直観でわかる数学』、『技術の創造と設計』(岩波書店)ほか多数

福島原発で何が起きたか

政府事故調査技術解説

NDC 539

2012年12月25日 初版1刷発行

(定価はカバーに表示してあります。)

◎著者 淵上 正朗
 笠原 直人
 畑村 洋太郎
 発行者 井水 治博
 発行所 日刊工業新聞社

〒103-8548 東京都中央区日本橋小網町14-1
 電話 書籍編集部 03(5644)7490
 販売・管理部 03(5644)7410
 FAX 03(5644)7400
 振替口座 00190-2-186076
 URL http://pub.nikkan.co.jp
 e-mail info@media.nikkan.co.jp

印刷・製本 新日本印刷(株)

落丁・乱丁本はお取替えいたします。 2012 Printed in Japan

ISBN 978-4-526-06994-9 C3034

本書の無断複写は、著作権法上での例外を除き禁じられています。