

東電原発事故の本質

—JR 福知山線事故との類似性—

Essential Cause of the TEPCO Nuclear Plant Accident Similarity to JR Fukuchiyama Train Accident

山口栄一

京都大学大学院総合生存学館（思修館）

Eiichi YAMAGUCHI

Kyoto University

Graduate School of Advanced Integrated Studies
in Human Survivability

【Key words】

1. 原発事故（Nuclear Plant Accident）
2. 物理限界（Physics limit）
3. 海水注入（Seawater Injection）
4. 技術者倫理（Engineers Ethics）

【概要】

2011年3月11日～14日に東電が起こした福島第一原発事故を詳細に調べ、2～3号機はどのように「制御不能」になったのかを分析する。この分析を通じて、経営者が海水注入を意図的に遅らせたために放射能汚染が拡大したことを証明する。さらに、2005年4月25日にJR西日本が起こした福知山線転覆事故と、この原発事故との類似性を比較する。独占・寡占企業である限り、イノベーションのコンピタンスを持ち難いということを議論する。

大学の講義の中で、この原発事故の話、さらにはJR福知山線事故との類似性という話をさせていただくのは初めての試みです。

これはまさに技術倫理の問題です。つまり、日本の科学とイノベーションとそれから経営とが齟齬を起こしているから起きたのです。

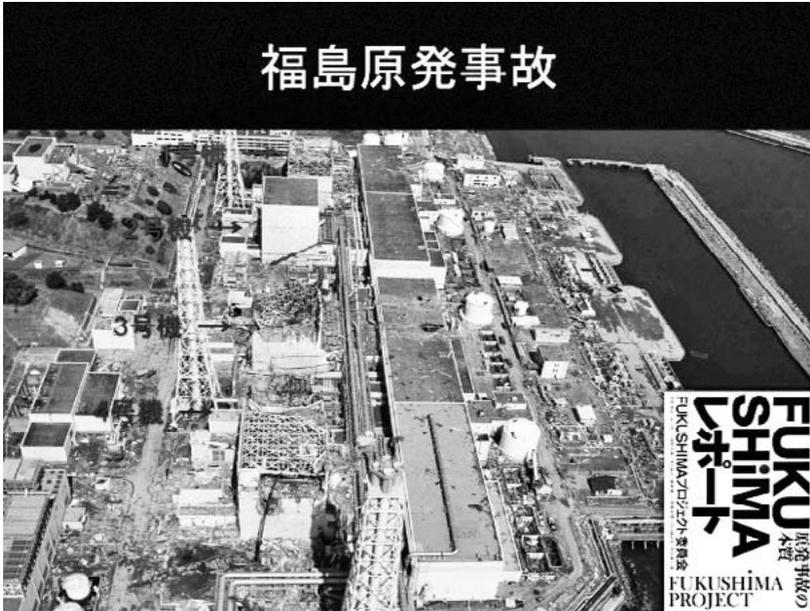


図1: 事故現場の写真。1, 3, 4号機が水素爆発を起こした直後。

図1は事故を起こした1号機、2号機、3号機、4号機の写真です。1号機と3号機は実際に稼働していて、水素爆発をして建物上部が吹き飛んでいます。やはり稼働していた2号機は水素爆発をせずに、建物が吹き飛んでいないのですけれども、この原子炉の損傷がメルトダウンでもっとも激しかったので、中に人が入れない状態です。これはおそらく百年以上このままの状態だと思います。それから4号機は稼働していませんでした。たまたま原子炉

の燃料棒が全部出されて、冷却水プールに入れられていました。しかし3号機の水素がなぜか4号機のほうに流れ込んでしまって、水素爆発を起こしてしまいました。

実は4号機が思いのほか大変でした。というのも4階にあるプールの中に燃料棒がおさめられていて、もしもプールが瓦解して水が全部抜けてしまったら、崩壊熱によってその場でメルトダウンし始めるわけです。そこで、消防車で放水をしたのは、このプールに向かって水を入れるためでした。結局、幸いなことに臍物を抜いた空っぽの原子炉の中になぜか水がためてあって、その水が流れ出してプールの中に入ってくれたので、まったくの偶然によって4号機は助かりました。

さて、1号機と3号機とそして2号機が人知を超える世界（物理限界を超える世界）に行ったわけです。そのメカニズムを今からお話ししたいと思います。

1号機の分析

図2に示した1号機は初期の原子炉で、一番簡単な構造をしています。中央にあるのが原子炉の圧力容器で、この中が約83気圧ぐらいになると壊れます。いわばボンベだと思ってください。それで、この外側に格納容器というのがあります。格納容器の上側はドライウェルと呼ばれており、その下にサプレッション・チャンバー(SC)と呼ばれるドーナツ状のウェットウェルがあります。これ全体を格納容器とって、これが大体4気圧ぐらいで壊れます。

それから、圧力容器の内部に燃料棒があります。地震の直後に燃料棒に制御棒が挿入されて核分裂反応はしていませんが、しかし崩壊熱は止められないので放っておくと数万度の温度に上がってしまいます。そのために、原子炉とは、水との闘いです。

原子炉をすごい装置だと思っているかも知れませんが、トーマス・ニューコメン時代の蒸気機関と同じです。要するに水を温めて、ぐるぐる回す。それだけです。この燃料棒が水を温めます。1気圧だと水は100度で沸騰しますけれども、実際に圧力容器内は数十気圧ありますので、200度ないし300度ぐらいで沸騰します。沸騰した水は、本来ならば主蒸気ラインを通り、ター

80気圧弱で開いて、圧力容器の中の水蒸気を逃がすというふうな働きをするんです。ところが、皆さん御承知のとおり、何と地階に置いてあった非常用電源が全部水没して、全部動かなくなった。

さて、これからが大事な点なんです。皆さん方は、「津波がやってきた。そのときに外部電源が全部壊れてしまった（こういう状況を隔離されたといえます）。隔離されてしまった。さらに水没して非常用電源も止まってしまった。その結果、コントロール不能になって、この原子炉は一気に暴走してしまった」と思っているのではないのでしょうか。

事実は違います。これを設計したエンジニアはそこまで愚かではないです。想定外のことが起きてても原子炉を守るように設計しているんです。それが、アイソレーション・コンデンサー（IC、隔離時復水器）です。アイソレーションというのは隔離時、コンデンサーというのは復水器ということです。隔離時復水器とか非常用復水器とよばれているシステムがあって、これはパッシブに動きます。圧力容器内にある水蒸気がこのプール（というか大きなタンク）を通り、このプールで冷やされて、圧力容器内に戻るというパッシブな冷却システムです。全ての電源が消えたとしても、このアイソレーション・コンデンサーが働いて、それで原子炉の中に水をいつも供給するという仕組みが働くようになっている。ただし、これは水の熱容量次第、つまりこのプールの大きさで何時間働くかが決まるんです。1号機の場合は8時間動くように設計されていました。

ですから、このアイソレーション・コンデンサーは最後の砦です。想定外のことが起きたとしても、つまり全ての電源がなくなったとしても、パッシブに冷やせるアイソレーション・コンデンサーというのがあったということは覚えておいてください。

全体の構造を、図3に示します。5階が水素爆発で吹き飛んだ部屋です。アイソレーション・コンデンサーはボンベ状のプールになっていて、4階に置いてあります。それから、4号機の燃料棒を抜いて、臍物を抜いて入れたプールが同じ階にあります。

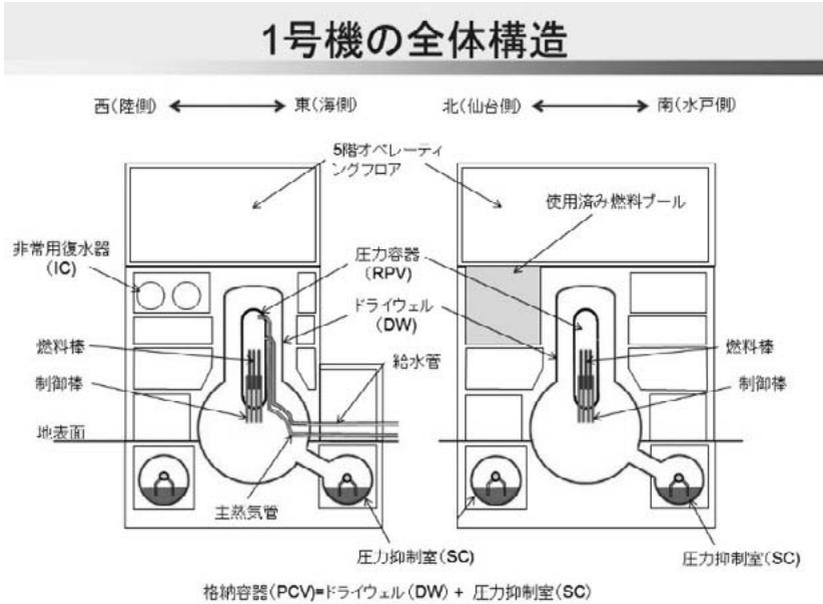


図3: 1号機の全体構造。

1号機のもう少し詳細な、非常用復水器周りのバルブを、図4に示します。この最後の砦であるアイソレーション・コンデンサー (IC) は2系統あるんですけれども、それぞれについて原子炉の外と内側にバルブが4カ所あるんです。

これがどうやら当時、作業員によって閉められたと言われています。閉められてしまったので、このICは働かなかったと東電は主張しているけれども、結論は分かっていません。

もう大体重要な勘どころはつかんだと思います。図5をご覧ください。大事な物理量は3つある。

第1に大切な物理量は、原子炉の水位です。原子炉の水位というのは、具体的に言うと、燃料棒の一番頭から水の水面までが何メートルあるかというこ

1号機の非常用復水器 (IC) の詳細

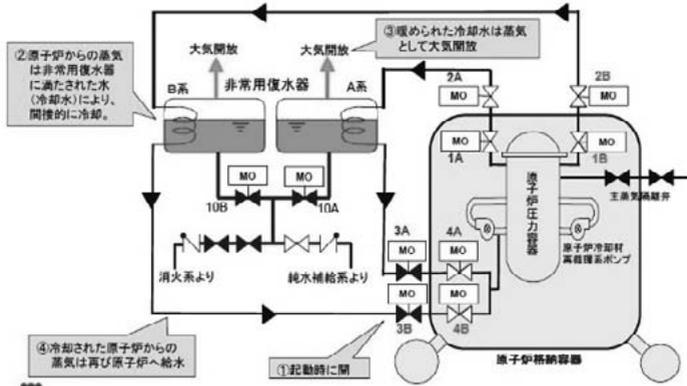


図 4: 1号機の非常用復水器 (IC) の詳細。

とです。もしも燃料棒の上端から測定することになると、これがプラスである限り燃料棒は溶けない。300度以内におさまる、水の沸点以内におさまる。もしもこの水位がこの原子炉の炉頭よりも低くなってしまったら、つまりマイナスになったら、崩壊熱で数万度になりますので、金属はあっという間に溶けてしまいます。これはジルコニウムなど融点の高い金属でできていますけれど、1,800度が融点ですから、それで溶けてしまいます。溶けた瞬間に中のウランが出始めて、それで制御不能になります。

ですから、もっとも大事な量はこの「原子炉水位」で、これがプラスである限り、人間は原子炉をコントロールできる。マイナスになった瞬間に、もう人間はコントロールできません。人間がコントロールできない、これが重要です。こういうのを物理限界と呼んでいます。物理限界を超えた瞬間に、人間はこのシステムをコントロールできない。こういうものがあるんだというこ

原子炉の配管構造

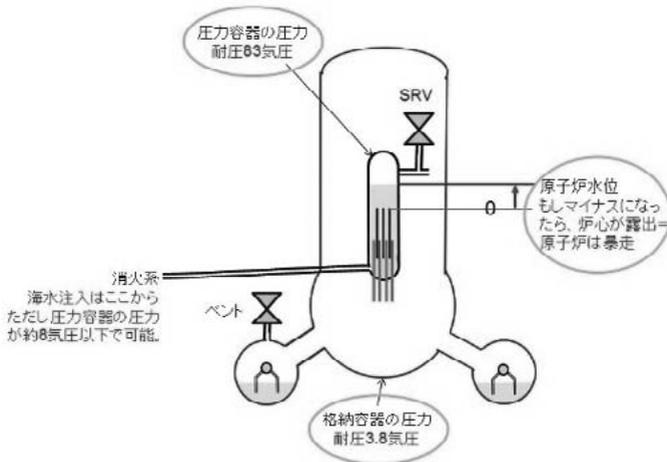


図5: 原子炉にとって重要な物理量、(1)原子炉水位、(2) 压力容器の圧力、(3) 格納容器の圧力。

とは、技術倫理の中では大事なことです。こういう物理限界を超えた瞬間に原子炉は暴走し、飛行機は墜落し、電車は転覆する。そういうことです。

2番目の大事な物理量は、压力容器の圧力です。耐圧83気圧にできていますので、83気圧を超えると大きな確率でこれが爆発します。あるいは割れてしまいます。

それから、第3の物理量は、格納容器の圧力（これは人間が入れるようなドアがあったりします。そういう非常に広い部屋ですけれども、もちろん動いている最中に入れません）。耐圧は、2、3号機では3.8気圧ですが、1号機だけ4.3気圧です。

後で出てきますけれども、压力容器には、消火系というラインから海水を注入します。この海水を注入したかどうかというのが非常に重要な、経営上の

1号機の原子炉水位

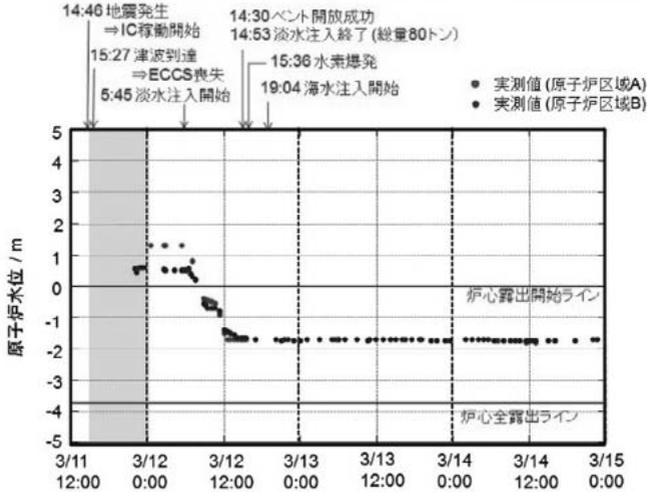


図 6: 1号機の原子炉水位の時間変化。

決定事項で、海水を注入するための条件は、压力容器の圧力が10気圧以下であることです。消防車のポンプというのは、普通の消防車で水圧6気圧から7気圧ぐらいなのです。高圧の消防車で水圧は8から10気圧ぐらいです。したがって、この压力容器の圧力が80気圧とか70気圧とかあると、一生懸命水を入れようと思っても入りません。しかし、压力容器内が10気圧以下になると、ようやく高圧消防車で水を入れられるのです。以上、原子炉水位、压力容器の圧力、格納容器の圧力。この3つが重要な物理量です。

では、1号機から分析を始めます。図6をご覧ください。原子力災害対策特別措置法15条という法律がありまして、もしも非常事態になったときは、事業者（東電）は政府、官邸に向かって刻々と状況を知らせなければいけない

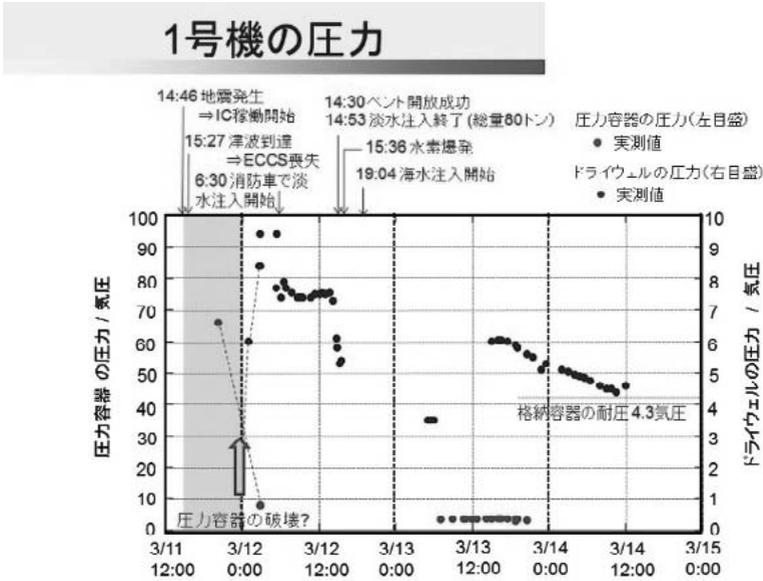


図7: 1号機の圧力容器と格納容器の圧力の時間変化。

という法律があります。そのおかげで東電は数10分おきに官邸にファクスを送っています。このファクスを、当時の民主党政権は随分律儀で全部ホームページに載せています。私は、それを見ながら、エクセルにどんどん入れていって、プロットしました。

すると、原子炉の水位は1メートル50センチぐらいだった。最終的に3月11日早朝にICが働かなくなっているということがわかります。実際にICが働いたとされているのは、この灰色の区域です。だから8時間動いたということです。設計どおりですね。

図7をご覧ください。圧力容器内の圧力は、まだアイソレーション・コンデンサー（IC）が働いていたときは、66気圧ぐらいになっている。それで、ICが死んだ途端に圧力が8気圧ぐらいになっている。つまり、圧力容器が

破裂した。破裂して、格納容器側と同じ圧力になっています。大体8気圧ぐらいでしょう。だから、圧力容器、格納容器の圧力が一緒になっているということは、圧力容器が割れたんだということがわかります。

1号機は多分、8時間しかもたなかった。この間、これはどうしようもなかっただろうなと思います。実際に皆さん御承知だと思いますけれど、海水を入れたのは3月12日19時04分でした。これは吉田所長の単独行動だったと言われています。社長命令に反して海水を入れていて、吉田所長は英雄とされていますけれども、残念ながら海水はICが動いている間に入れるべきでした。ところが原子炉水位がマイナスになると、もうメルトされています。そこでベントすると、大気の中に放射能が全部出る。出た後で海水を入れています。1号機はどっちにしても助かりようがなかったと思います。

3号機の分析

さて図8をご覧ください。2号機、3号機は1号機に比べると少し進化系になっていて、アイソレーション・コンデンサー（IC）がリアクター・コア・アイソレーション・クーリングシステム（RCIC）になりました。具体的には、圧力容器内の水蒸気がRCICのタービンを回します。タービンを回しながら、復水器に入らずに、サプレッション・チャンバー（格納容器の一番下にぶら下がっているドーナツ状の容器）に入ります。このプールのほうがICのプールより大きいんですね。このプールの水を、このポンプで吸い上げます。吸い上げて、圧力容器に入れる。そこで、これは大体30時間ぐらい動くように設計されていたようです。

これが2号機と3号機の最後の砦です。

では、3号機を見てみましょう。

まず原子炉水位から見てみます。図9をご覧ください。横軸が時間です。この水位の曲線を見てもらったらわかりますけど、何と大体プラス4メートルにずっと保たれています。この点が重要で、つまり津波がやってきて、非常用電源が全部死んでしまったわけですけど、非常用電源が死にながらも、RC

原子炉の配管構造 2・3号機

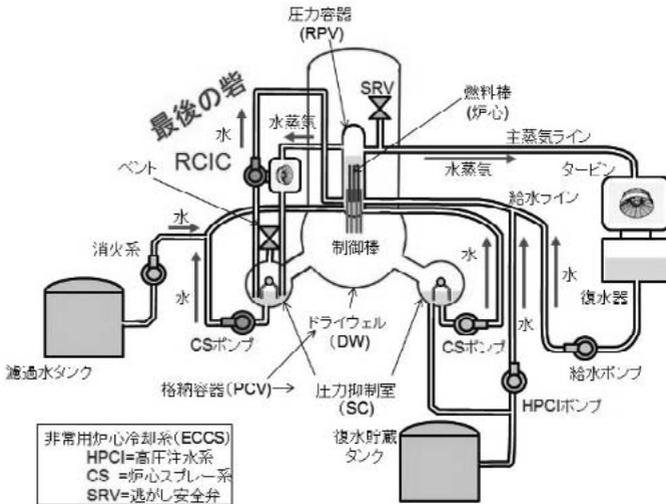


図 8: 2, 3号機の配管構造。

I Cが頑張って動いて、それで炉心の中に水をずうっと供給し続けているということです。

何と1日半も原子炉水位が+5mに保たれています。36時間。RCICのみならずHPCI（高圧注水系）が途中から動き始めました。そのおかげですごくよく冷えています、というわけで、36時間、この2つのシステムが原子炉を冷やし続けたということです。

そうすると、皆さん方、素朴な疑問が浮かぶと思います。この期間、つまり3月13日の午前2時ぐらいまで炉心はちゃんと冷やされているわけです。だったら、この冷やされている間に海水を入れれば、3号機はいわば逝かずに済んだ。何で海水を入れなかったかということになりますよね。これが疑問です。

3号機はどのように制御不能になったか

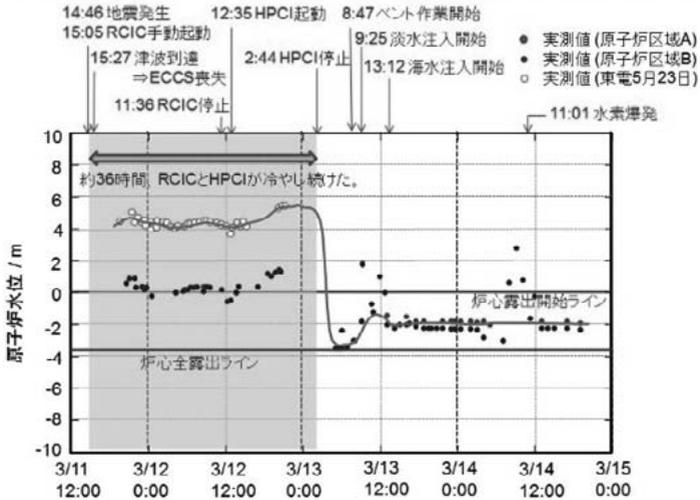


図9: 3号機の原子炉水位の時間変化。

今度は圧力を見えます。図10をご覧ください。圧力容器の圧力は、大体75気圧ぐらいにずうっと保たれているということがわかります。これはなぜかという、SRV（セーフティー・リリーフ・バルブ）が、圧力容器内がちょうど75気圧を超えると開くように設計されているからです。だから、ずっと75気圧に保たれています。そのかわり、SRVがあくと格納容器側に水蒸気が流れますから、今度格納容器の圧力が上がります。格納容器は小さいですから、どんどん上がります。3.8気圧が耐圧ですから、耐圧ぎりぎりのところまで来ています。そしてついに耐圧を超えています。というわけで、SRVがちゃんと動いているということもわかります。

さて、問題はここです。3月12日12時すぎに突然圧力容器の圧力が下がっています。8気圧ぐらいになっている。これはなぜかという、HPCIが動き始めたからです。RCICという最後の砦に比べると、HPCIは10

3号機はどのように制御不能...

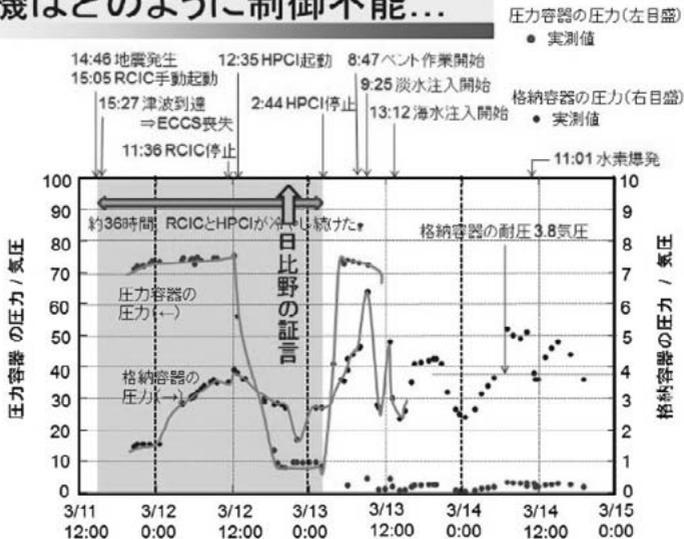


図 10: 3号機の圧力容器と格納容器の圧力の時間変化。

倍ぐらい冷やす能力があります。自動的にHPCIが起動したんですね。その前に技術者たちがバッテリーを持ってきてつなぎ込んだというのも功を奏しています。

とにかく8気圧ぐらいになっているので、疑問が増しますね。つまり、さすがに75気圧ある圧力容器の中に、消防車でもって海水を入れようと思っても入らない。消防車の気圧はせいぜい10気圧ですから、ところが8気圧だと入ります。8気圧ですから、10気圧入れようと思うと入ります。海水が入ります。作業員は、何か圧力容器の圧力が8気圧ぐらいになっているということを知っているはずですが、だから、今こそ海水を入れようと思うべきです。皆さん方がもしも原子炉のエンジニアになっていれば、必ずそう思うはずですよ。

でも、海水を入れていないんです。なぜか。なぜ海水を入れなかったのかということです。そこで私は仮説を立てました。

社長以下、経営陣が意図的に拒んだんだというのが私の仮説でした。だけど、「いやいや、別に海水注入を拒んでないよ」と言われたら終わりですよ。ね。こういうのは水かけ論といいます。水かけ論に持ち込まれたら終わりです。すから、ちゃんとした証拠を見せなければいけない。

私は、この原発事故が起きた2011年4月にその仮説に達していましたから、証明しようと思いました。ありとあらゆる手段で原発の現場も含めて、いろんな人の取材を試みましたが、全員取材拒否されました。当たり前です。だって、そんな証言をしたら東電を潰しちゃいますから。

私は、FUKUSHIMAプロジェクトという草の根事故調査委員会をつくって、『FUKUSHIMAレポート』という事故調査報告書を日経BPから出版することにしていました。日経というのはどうしても色がついていきますから、寄附金を集めようと決め、寄附金を募ったのです。すると、驚くべきことに3カ月で300万円集まりました。となると、出版を取りやめることができず、300万円もらった以上は、出さざるを得ない。出す期限を2012年1月と決めていましたから、11月までに脱稿しないともう間に合わない。しかし10月の終わりにどうしても証拠がつかめません。万事休すです。すると11月のはじめに、日比野さんという人が証言してくれました。日比野さんは、北陸先端大学の副学長です。何と菅総理の、大学紛争時代の同志でした。僥倖でした。

菅さんは、この原発事故が起きる1カ月前ぐらいに、日比野さんに電話をして、科学顧問になってくれということをお願いしていたそうです。日比野さんは3月の終わりに定年を迎えて副学長になるから、そうしたらやってもいいよと言っていたそうです。

ところが、3月11日に原発事故が起きたので、菅さんは日比野さんに電話をして、日比野さんはいわば私人としてやってきました。ですから、日比野さんは証言できるわけです。それで11月の初めに、私宛てに一通のメールが届きました。それは日比野さんからなんです。日比野さんは私の古い友人です。彼によれば、私だけが、実証的な事故調査をしてくれていて、上述の仮説を唱えてくれている。ですから、あなたに証言をしたいというのでメールをくれたのです。私は、すぐにインタビューに飛んでいきました。日比野さんが証言してくれた内容を今からお伝えします。

菅総理側近=日比野靖(JAIST副学長)の証言

3月12日21時ころ総理官邸にて。

日比野一 「RCICは、動いているといっても同じサイクルをぐるぐる回しているだけだから、いずれ温度も圧力も上がるだろう。そこでそうなる前にベント開放をして圧力を抜き、すぐさま海水注入をすべきではないか」。総理はそのように三者(武黒一郎フェロー=東電代表者、寺坂信昭=保安院院長、班目 春樹=安全委員会委員長)に何度も尋ねていました。私もそう思いましたから、「海水注入のリスクはどういうところにあるのですか」と質問しました。安全委員会委員長代理も東電の原子力安全品質部長も「結論としてリスクはない」と回答しました。

山口一 海水を注入しても、再臨界などのリスクはない、と東電は説明したのですね。

日比野一 はい、「ならばなぜ早くベントと海水注入をしないのか」と質問しますと、東電・原子力安全品質部長は、「格納容器の温度と圧力ができるだけ上がったところで抜いたほうが、抜けるエネルギーが大きくなる。ベントは1回しかできないから、できるだけねばって最後にしたほうがいい」と説明されたのです。

私はなにか変だなと思ったのですが、そこで引き下がってしまいました。

RCICというのは時間稼ぎのためにあるのだから、早くベントをして早く海水注入をすれば何も起こらずに終わったのです。3号機については、暴走することなく収まっていたはずですが。

私はその後もそういうふうですとと思っていたのですが、いろんな方に質問をしても誰もあまりはっきりと答えられない、みなさん、黙ってしまうのです。

菅総理側近=日比野靖(JAIST副学長)の証言

3月12日21時ころ総理官邸にて。

山口一 菅総理もまったく同じことを東電に主張していたということでしょうか。

日比野一 そうです。ところが東電は、言を左右にして言うことを聞かない。ところがその翌日の13日の朝には、3号機は危機的状況に陥ってしまいました。ですから、その12日の夜にベントと海水注入が行なわれていれば、3号機は何も起こらなかった。その三者が引き揚げた後で、総理と「結局これは廃炉にするのが嫌なのじゃないのだから」と会話をしました。

山口一 東電は、やっぱり廃炉をためらっていたのでしょうか。

日比野一 そこに関して一言申し添えておきます。今年の4月に、保安院が各原発に対して緊急安全対策をたてるよう要求しており、5月上旬に各電力会社から回答として寄せられた安全対策を保安院が評価しています。それはインターネットでも入手可能です。その対策は、原発で過熱事故が起きた場合、RCICが止まってからベントをし、海水注入をするというシナリオになっている。

つまり電源が失われたらすぐにベントと海水注入をやるのではなく、ぎりぎりまで粘ってからやる、となっているのです。隔離時冷却系は、いずれ止まる。止まってからやっても空焚きになるから止まる前にやらなくては行けない。ところが、各電力会社からの回答では、止まってからやるシナリオになっているのです。まったく理解できません。

震災の翌日 2011 年 3 月 12 日、東京は大混乱で、交通はすべてマヒしている。菅さんからの電話を受け、昼ごろタクシーに飛び乗って、本来だったら 1 時間半で都心まで行けるところを 8 時間ぐらいかかって、夜 9 時に官邸に到着した。9 時に着いたら、菅総理が、東電側の代表者の武黒一郎フェロー（前副社長）と激しいやり取りをしていた。さらに班目春樹・原子力安全委員会委員長と、寺坂信昭・保安院院長とも激しいやりとりをしているのを目の当たりにしたそうです。

いわく、菅さんは早く、とにかくもうこの時点でベントして、海水注入しろとずっと言い続けたそうです。そうしたら、東電の武黒フェローが、今、海水注入してはだめですと主張した。海水注入は暴走してからやることになっているというふうに言われて、意味がわからないと菅さんは言いながら、とにかく彼らは専門家だから、とそれに任せてしまったそうです。

これは故意に東電が海水注入を拒んだという証拠です。日比野さんが教えてくれた。これは刑事罰に値します。やるべきことをやらなかった「不作為」です。本来、圧力容器が 10 気圧以下のところで海水を入れるべきだった。しかも物理的に入れられた。入れられたにもかかわらず、入れなかった。なぜなら海水を入れてしまったら、この 3 号機はもう使い物にならなくなってしまふ。塩化ナトリウムが入ってしまうと、もう使い物にならなくなるから入れたくなかった。東電は、もう一度使おうと思っていた。だから、海水注入を最後まで拒み続けた。

2 号機の分析

では、2 号機を見てみましょう。図 11 をご覧ください。2 号機は何と 70 時間、約 3 日間 R C I C が冷やし続けていたんです。2 号機に関しては非常に優秀で、70 時間 R C I C が冷やし続けたおかげで、原子炉の水位は何ときっち 4 メートルにずうっと保たれている。保たれていますけれど、3 月 14 日 13 時 22 分に水がなくなって、暴走が始まっています。原子炉水位がプラスからマイナスになる瞬間が暴走点です。

2号機はどのように制御不能になったか

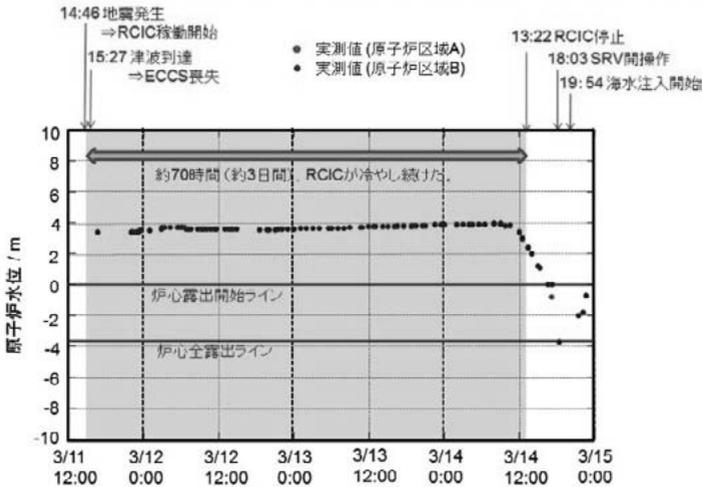


図 11: 2号機の原子炉水位の時間変化。

したがって、また同じことを言わせてください。3月12日21時ころ日比野さんが官邸に行ったときに海水注入をちょうど議論しているわけですが、でも、そこで海水注入をなぜしなかったのかという問題になります。

図12をご覧ください。压力容器の圧力の時間変化です。これが大体60気圧ぐらいにずうっと保たれています。こっちの2号機の場合はSRVが六十数気圧で働くように設計されたようです。おかげで格納容器の圧力は、どんどん上がっています。3.8気圧を超えています、実は、4.6気圧ぐらいにまでなっていて、3月14日午後にさっきの原子炉水位がマイナスになっていて、ほぼ同時に格納容器が破裂しています。压力容器の圧力が約70気圧から途端に5気圧に落ちています。特にサプレッション・チャンバーにつながる細

2号機はどのように制御不能になったか

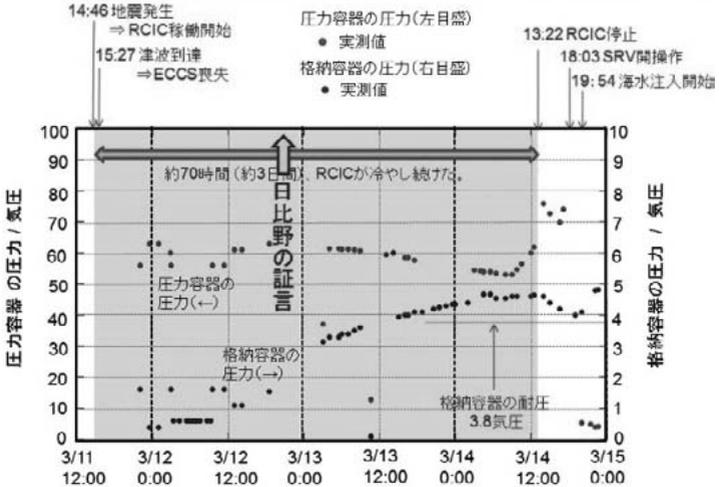


図 12: 2号機の圧力容器と格納容器の圧力の時間変化。

い管が破裂している。だから、2号機は水素爆発を起こさず外観は何ともないんですけども、中に入れません。格納容器が完全に破裂してしまって高濃度の放射性物質が建屋の内部に流れ出てしまった。

さて、ここでも同じく日比野証言が意味を持ちます。東電はなぜ原子炉が物理限界の内にある（原子炉水位がプラスである）間に、ベントをして海水注入をしなかったのか。それは海水でダメにしましたくなかったから。東電は明らかに、故意に、意志を持って2号機及び3号機の海水注入を拒んだわけです。

現場のエンジニアは吉田所長を初め、海水を入れるべきだと思っていたはずですが、何で入れられなかったか。ここが技術倫理の重要なポイントです。もしも吉田所長が独断で、現場判断で2号機と3号機が冷やされている間に海水注入をしたとします。そうしたら当然両機とも二度と使えなくなります。でも、放射能汚染からは助かっています。暴走せずに助かっています。

だけど、そうなる、と、暴走しなかったわけですから、もしかしたら、海水を入れなくてもよかったんじゃないかという議論が巻き起こります。すると、清水社長は吉田所長を器物破損で訴えるでしょう。これを弁償しろと言うはずで、これは2つ、減価償却を勘案して数千億円でしょうね。数千億円、東京電力に対して弁償しろと言うでしょう。

というわけで海水を入れられないんですね。だから、経営者だけが海水注入を決断できたのです。ところが、当の経営者自身が海水注入を意図的に拒んだ。

専門家とは何か

こういうことを全部書いて、『FUKUSHIMAレポート』を2012年の1月に出しました。すると非常に不思議なことが起きました。まずその日に日経新聞の科学部の記者がいらっしゃいました。この本を詳しく説明してくださいというので、私は4時間ぐらいかけて説明をしました。その方は、立派な原稿を書いてくれたんです。ところがその原稿はボツになりました。デスクが止めてしまったのでしょう。その記者はその後、退職されました。

そこで、私が期待したのは、国会事故調でした。国会事故調の委員長は黒川清さんという立派な人です。黒川さんは、FUKUSHIMAプロジェクトのメンバーに向かって『FUKUSHIMAレポート』の内容をぜひとも取り上げると言ってくれていたそうですから、私は安心していただけました。それで、実際に国会事故調が菅さんを事情聴取しました。その様子がニコニコ動画で、リアルタイムで映されました。

すると、国会事故調の野村修也さんという、よくテレビにコメンテーターで出るようになった人が菅さんを事情聴取しました。彼は、中央大学の法科大学院の教授で弁護士です。

まず野村さんが菅さんに「あなたは、日比野さんという人を官邸に招集しましたね」と開口一番言いました。そこで、これは『FUKUSHIMAレポート』を読んでもくれたん

国会事故調による菅総理事情聴取

2012年5月28日 14時

<http://www.nicovideo.jp/watch/sm17946624>

<http://www.nicovideo.jp/watch/sm17946735>

<http://www.nicovideo.jp/watch/sm17946864>

野村 修也委員 「あなたは、日比野氏を官邸に招いた。氏の法的な立場はどのようなものだったか」

菅 直人総理 「私が個人的にお願いした」

野村 「日比野氏の専門は何か」

菅 「大学では、電気物理が専門で、ある大学の副学長をされている」

野村 「コンピュータとか電気通信だといったものだ。原子力の専門という形でアドバイスを受けたのか」

菅 「かかわらずしもそうではない。日比野氏にお願いをして、どういう方に相談をすればいいだろうか、お世話になった。」

野村 「現場は、日比野氏からの電話で初歩的な質問を受けたことに、仕事のじゃまだだと発言している。現場を第一に事故対応するという基本原則から考えて問題があったと考えないか」

菅 「内容的にはっきりしないので、答えようがない。」

野村 「電話がひんぱんにかかっていたという発言があるのが、誰がしたのか」

菅 「相手が吉田所長に限れば、私は2度した。それ以外に、私は知らない」

だと思いました。彼は「氏の法的な立場はどのようなものだったんですか」と聞き、菅さんは個人的にお願いしたということだと答えています。野村さんは、「日比野さんの専門は何ですか」と聞いています。そうすると菅さんは「大学では電気物理が専門で、今はある大学の副学長をされている」と答えています。

野村さんはちょっといら立って「物理じゃないでしょう。コンピューターとか電気通信でしょう、原子力の専門家じゃないでしょう」と言いながら、「原子力の専門家という形でアドバイスを受けたんですか」と聞きました。菅さんは「必ずしもそうではありません。とにかく日比野さんをお願いして、誰に相談すればいいんだろうかということを知ろうかと思っていた」と言います。

野村さんは完全にキレてしまって「現場は日比野さんからの電話で初歩的な質問を受けたことに、仕事の邪魔だったと発言している。現場を第一に事故対応をするという基本原則から考えて、問題があったと考えないか」。

国会事故調による菅総理事情聴取

野村 「まさに飛行機が墜落しそうになっていて、コックピットで墜落を防ごうと精いっぱいに対応をしているときに、電話はかけない、コックピットに電話をかけるのであれば、必要最小限にとどめる。そのようには考えないか」

菅 「15日に統合本部を立ち上げてからは、ほぼすべてのことを統合本部で掌握した、もっと早い段階からそういう状況が作ればよかったが、今の厚災法には予定されていない、コックピットの話は、おっしゃる意味は分からないわけではない」

野村 「統合本部を設置するアイデアは、だれが出したか」

菅 「私だ。」

野村 「ということは、そのアイデアを早く出せばよかったということか」

菅 「統合本部のことを私が言うことができたのは、(東電の)撤退問題があったからだ。一般的には、政府が民間企業に直接乗り込むというのはない。しかし、撤退問題が起きた時に、東電の意思決定と政府の意思決定を統一しておかなければ、その齟齬でたいへんなことになる。そういう思いで、統合本部を提案した。撤退問題が起きたので統合本部を立ち上げることができた」

野村 「総理は、15日の朝に東電本店に行って、叱責をした。現場が国のために命を張っているときに、総理が現れて、『なんで撤退するんだ』と怒鳴るのは、反省すべきではないか」

菅 「私が(15日)3時に起こされた時点では、撤退することを社長が経産大臣に言ってきたところ。その意志は、東電の上層部に共有されていたはず。東電に乗り込んだとき、私は東電の幹部の方に『撤退を考え直して、命がけて頑張ってもらいたい』という気持ちで申し上げたのだ」

完全に野村さんは菅さんを陥れようとしているなあというのがわかります。それで、ついにキレた野村さんは、まさに飛行機が墜落しそうになっていて、コックピットで墜落を防ごうと精いっぱいの対応をしているときに電話なんかかけないよということを言っているわけです。

つまりここで言いたいことは、国会事故調は完全に菅さんを陥れようとしているということを感じる、ということです。菅さんが政治家としてどうのこうのというのは、また議論は別として、ここにおいて菅さんはきちんとした対応をしているわけです。しかし野村さんは、日比野さんと呼んだということに対して、おまえさんは墜落しそうになっているコックピットに素人を入れてという言い方をしました。これから「菅リスク」という言葉がはやりました。だから、国会事故調も機能していないと私は思いました。

原発事故のまとめ

その後の顛末を申し上げます。

「最悪のシナリオ」の不成立は幸運にすぎなかった

事故が収束できなかった場合の強制移転の区域(170 km)と移転希望を認める区域(250km)のシミュレーション



著者の指示で、近藤誠原子力委員会委員長が試算作成した(平成20年3月25日)。「福島第一原子力発電所の不測事態シナリオの実態」を基に地図を作成。

『東電福島原発事故 総理大臣として考えたこと』

(菅直人 2012/10/25 幻冬舎新書) pp.20-22

「作業員全員が撤退したとの想定で、注水による冷却ができなくなった2号機、3号機の原子炉や、1号機から4号機の使用済み核燃料プールから放射性物質が放出されると、強制移転区域は半径170キロ以上、希望者の移転を認める区域が東京都を含む半径250キロに及ぶ可能性がある」
→「5000万人の数十年にわたる避難となると、SF小説でも小松左京氏の『日本沈没』しかないであろう想定だ。」(同 p.22)

なぜそうならなかったか。→「神のご加護ともいえる幸運な偶然が重なったからだ。」(p.36)

1. 2号機の原因不明の圧力低下が起きたこと。
2. 4号機の使用済み核燃料プールに、何かの理由で水が流れ込んだこと。(同 p.119)
3. 総理大臣が、菅直人だったこと。菅は東電の第1から第2への撤退要請を断固として拒否した。

それから1年ぐらいいして、菅さん自身が本を出しました。幻冬舎新書の本です。この中で書いていますけれども、彼は原発事故が起きた直後に、すぐに原子力委員会の委員長近藤さんという人を官邸に呼んでいます。近藤さんに、東電のエンジニアが全員撤退したら何が起きるだろうかというふうに聞いているのです。そうすると、近藤さんは、格納容器が爆発したら、被害は大体250キロぐらいに及びますと答えたということです。それで、こういう図を描いた。250キロ圏内は希望者の移転を認める区域と書いてありますけれども、数日以内に避難すべきところで人が住めないエリアです。というわけで、これは東京が入っていますから、万が一全員が撤退したら、東京まで人が住めなくなってしまうという事態ですね。何でこんなことにならなかったかという、もちろん最終的に吉田所長の判断で、エンジニアが全員とどまってくれていたというのがあります。

もう1つ、実は幸運が2つ重なったことということです。1番目は、2号機の原因不明な圧力低下。先ほどお話をしましたが、格納容器は爆発せずに亀裂が入った。それから放射能汚染をした水蒸気がリークした。

それから2番目は、4号機の使用済み核燃料器プールに何らかの理由で原子炉にたまっていた水が流れ込んだ。これは誰もなぜかわからないそうです..

というわけで、日本があるのはまさにこの2つのラッキーのおかげだと、しかし私はこれらに追加して次のように思います。この事故においては3月14日に清水社長が官邸に電話をしました。そして、全員を避難させてほしいと言った。官邸と経済産業大臣の海江田さんは最終的に撤退やむなしと判断したそうです。なぜかという、民間会社の社員であって軍人じゃないですから、軍人は国を守る義務があるので、撤退できません。でも、民間会社の社員ですから、撤退したいと言えばもう撤退させなければならない。

それで、仮眠をしていた菅総理に、夜の2時ぐらいに経産大臣が言いに行っただけです。そうしたら、菅さんは怒って、「もしも撤退したらどういうことになるか、おまえはわかっているのか」と言ったそうです。それでその夜のうちに、官邸から対策本部を東電に移すと決めた。ですから、超法規的措置が2つあって、1つは東電の社員を事故現場に残すようお願いした。それから、2つ目は、官邸にあるべき対策本部を東電に移した。民間会社に移すということは前代未聞で、法律違反です。だけど、それでもやったということで、これは重要だったと思います。

ただしあのとき、菅さんがもしも「断固として海水注入をしろ」と言っていれば、2号機と3号機は暴走しなかった。暴走しなかったら、飯館村の放射能汚染はないし、そもそも汚染地域は100キロの中におさまります。なぜかという、1号機の能力は、2号機、3号機の3分の1ぐらいだからです。そういう意味では、この事故というのは基本的に技術倫理の問題です。技術を営む会社の経営倫理の問題ということです。

今の話をまとめておきます。

第1に、最後の砦であるR C I Cは2号機、3号機でちゃんと作動した。

第2に、この間、原子炉は制御可能でしたから、その間にベントと海水注入をしていけば、原子炉の暴走は2号機、3号機で起きていません。

まとめ

1. 津波のあと非常用電源がこわれ、ECCSが稼働しなくなったものの、「最後の砦」たるRCICは、2・3号機で外部AC電源なしで稼働した。
2. これら「最後の砦」が動いている間は、原子炉は「制御可能」であったから、その間に「ベント&海水注入」をしていれば、原子炉の暴走は起きなかった。
3. 12日午後、3号機ついで2号機では余裕をもって「ベント&海水注入」をすることができた。野村氏のいう「専門家」ではない菅総理と日比野氏は、水の高圧相図を見抜ける物理学者であって、可及的速やかにベントと海水注入をすべきだと主張した。
4. しかし野村氏のいう「専門家」である武黒フェローはこれを故意により拒んだ。その結果、3号機と2号機は、物理限界を超えて暴走し、放射能汚染は6倍にもなった。
(1号機13京ベクレル、2号機36京ベクレル、3号機32京ベクレル。2012/5/24 東電発表)
5. 14日夜の時点で、東電の清水社長は、福島第一原発からの撤退を要請し、海江田経産大臣や官邸の専門家は、これを容認した。そして15日3時に、菅総理にそれを伝えたところ、菅総理は激怒し、それを拒んだ。
6. この事故の本質は、「技術」ではなく、「技術経営」にある。そのため、東電の経営者の刑事責任はきわめて重い。

第3に、12日の午後においては、余裕を持ってベントと海水注入をすることができました。ベントとは、格納容器についているバルブです。これは手動です。ベントをすると格納容器の爆発が妨げられますけれども、その瞬間に環境に向かって放射能が全部出ますから、暴走した後にベントすると放射能が巻き散らされます。2号機と3号機は制御可能な間に（原子炉水位がプラスのうちに）ベントしていれば、放射能は殆ど出ませんでした。

第4に、しかし野村氏のいう「専門家」が、故意によりこれを拒んだ。その結果、3号機と2号機が物理限界を超えて暴走し、放射能汚染は6倍になったということです。

第5に、14日夜の時点で、東電の清水社長は福島第一原発からの撤退を要請しました、官邸に対して、海江田経産大臣や官邸の専門家がこれを容認しました。これを菅総理に伝えにいったところ、菅総理は激怒してそれを拒みました。

というわけで、第6. この事故の本質は技術そのものではありません。本質は、技術経営あるいは技術倫理であるということです。そのため、東電の経営者の刑事責任は極めて重い。

1 事故はどのようにして起きたか？



図 13: 関西の鉄道線路網。

JR 福知山線事故

これと全く同じ技術経営による事故が、2005年4月25日に起きたJR福知山線の事故です。今からこれのことをお話します。図13をご覧ください。

事故を起こした列車は快速電車なんですけど、快速電車が最終的に宝塚で折り返します。だから宝塚発となります。快速電車なので、途中を飛ばしながら、伊丹にとまります。伊丹を9時16分に出発して、ここから先、止まる駅がないので、尼崎に行こうとしているんですけど、9時16分、この伊丹を出発して2分後に転覆事故を起こしています。事故現場はマル印のところです。

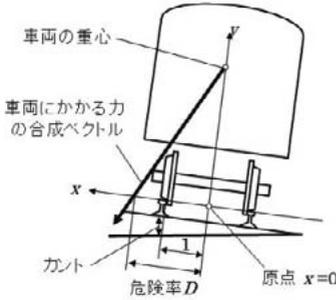
1 事故はどのようにして起きたか？



図 14: 事故現場の地図。

ちょっと拡大します。拡大すると、図 14 のようになります。伊丹から事故現場まで、約 6.5 キロ直線なんです。東京の御出身の方はわかりますけれども、中央線は新宿から立川まで完全に直線ですね。あれは定規で引いたからです。当時の国鉄のエンジニアが定規で引いたから、あれは完全な直線なんですけど、ここもほとんど直線です。6.5 キロですから、制限速度の時速 120 キロで走ると約 3 分間になります。そうして、曲率半径 304m のカーブで曲がり切れずに、外向きに転がっています。ですから転覆です。これはいまだに脱線事故と報道されていますけれども、間違っています。脱線していません。ずうっと片輪走行しています。片輪走行しているということは脱線せずに転覆しているということです。転覆して、このマンションに突っ込んだのです。

2 転覆限界速度はいくらか？



国枝方程式 (1972)

$$D = \frac{2h_G^*}{G} \left\{ \frac{v^2}{Rg} - \frac{c}{G} + \alpha \left(1 - \frac{\mu}{1 + \mu \frac{h_{GT}}{h_G^*}} \right) \right\}$$

↑ 遠心力
↑ カントによる遠心力減少
↑ 横振動力

	報告書の値	JRの値	
h_G^* = 車両重心の高さ(m)	1.896	1.457	空車と仮定
μ = 台車質量 / 車体質量	0.378	0.493	
α = 横振動加速度(g)	0.10	0.00	科学的誤り
G = 車輪接触点間隔(m)	1.120	1.067	ケアレミス
h_{GT} = 台車重心高さ(m)	0.490	0.490	
R = 曲線半径(m)	304.0	304.0	
c = カント(m)	0.097	0.097	

図 16: 事故現場の拡大図。

う現象がありますが、脱線して転覆すると内側に倒れます。輪重抜けという現象で、車輪が内側に滑って、内側に転覆する。これは脱線して転覆したといえます。でも、この事故は単純な外側への転覆です。だから計算可能です。

それで、私はすぐこの事故の後、計算しました。図 16 に、その計算モデルを示します。

これは高校物理の問題です。具体的には、ちょっとイメージをつかんでください。

この重心に綱をつけて、綱を引っ張ります。綱を引っ張ると、もしもこの図の状態だと転覆します。転覆するということはどういうことかという、右

2 転覆限界速度はいくらか？

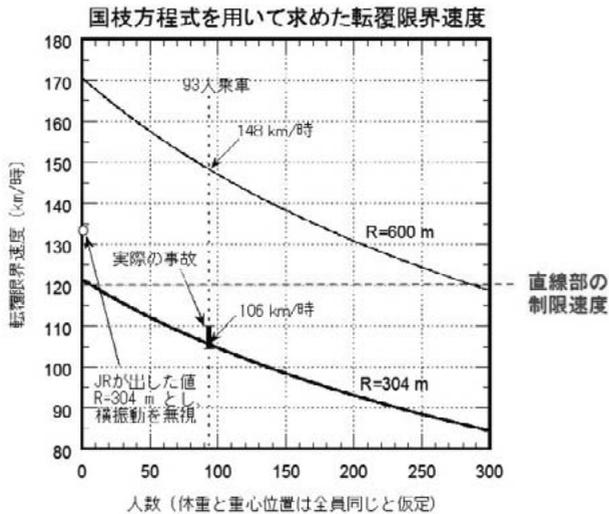


図 17: 転覆限界速度の計算結果。乗車人数の関数として示した。

の車輪が浮きます。イメージつかめますか。もしもこのベクトルが車輪と車輪の中に入っているとすると、この車輪との接触点の両方とも下向きに力が働いていますから、転覆しません。そうすると、物理限界は、力のベクトルがx軸と交わる点Aがちょうど車輪と線路の接触点Bになるときです。そこで原点からAまでの距離を、原点からBまでの距離で割った値を危険率Dとしましょう。これがさっきの原子炉の問題では「原子炉水位」に対応します。水位がプラスだったら、物理限界の内側にある。水位がマイナスになったら物理限界を超えた。これと同じ議論になります。

これを危険率と呼んで、Dが1より小さければ転覆しない。Dが1を超えた瞬間に転覆するという事です。このDを数式で表すと、図16の式になります。これは、国枝さんという新幹線の設計者が求めた式です。

国枝さんは、新幹線をつくる前に北海道に実験線をつくって、何百回と転覆実験をして、 a はユニバーサルに 0.1 だということを求めています。

というわけで、私は、 D が 1 になるときの v を求めてみました。 D が 1 になるときの v のことを転覆限界速度といいます。 v がそれを超えると、 D は 1 を超える。

それで計算したものを、図 17 に示します。 曲率半径 R が 600m のときは、乗車人数が 288 人以下何人であっても転覆限界速度は、時速 120km を超える。 いっぽう、曲率半径 R が 304m の時は、乗車人数が 7 人を超えると何人であっても転覆限界速度は時速 120km 以下である、ということが分かりました。

前述のようにカーブの前に長さ 6.5 km の直線があって、その制限速度が時速 120km です。 運転士はみんな時速 120km 出しますから、直線部の 3 分間に運転士が判断不能の状態になったら、半径 304m の場合、必ず転覆するということです。 確率 1 で転覆するということです。

あの事故のときは乗車人数が 93 人でしたから、このグラフによると時速 106 キロが転覆限界速度であることがわかります。 実際の事故は時速 105 キロから 110 キロのときに転覆したということがわかっているのです、実際と理論が一致しているんです。

まとめると、半径 304 メートルであると必ず転覆する。 直線部を走る約 3 分間に運転士が人事不省に陥ったら必ず転覆するというわけです。 何人乗車しようと、必ず転覆する。

事故調査委員会があのかーぶを運転したことがある運転士全員にアンケートを取りました。 この右カーブの転覆限界速度は何キロと思っていたかという質問です。 そうすると、時速 120 キロ以上だと思っていたという運転士が 50% いた。 これが意味することは、「JR 西日本は要するに運転士に転覆限界速度を伝えていなかった」ということを意味します。

何で伝えなかったのだろうかということ、2 つ考えられる。 1 番目の仮説は、JR の幹部は運転士を単なるロボットだと思っている。 だから、そんな転覆限

2 転覆限界速度はいくらか?

京橋運転区の運転士53名に関するアンケート

「この右カーブの転覆限界速度は何キロと思っていたか」

認識していた転覆限界速度	運転士数	その百分率
時速90*。未満だと思っていた	0名	0パーセント
時速90 - 100*。だと思っていた	6名	12パーセント
時速100 - 110*。だと思っていた	14名	28パーセント
時速110 - 120*。だと思っていた	5名	10パーセント
時速120 - 130*。だと思っていた	7名	14パーセント
時速130 - 140*。だと思っていた	9名	18パーセント
時速140 - 150*。だと思っていた	9名	18パーセント
時速150*。以上 だと思っていた	0名	0パーセント

50パーセントの
運転士が「時速
120*以上」と
思っていた。

事故調 最終報告書より引用

界速度を伝える必要もない。ちゃんとおまへは制限速度を守れよと言うだけです。そこはカーブになった瞬間に制限速度が70キロになっていますから、70キロを守れというそれだけです。下手に転覆限界速度を教えようものなら、そこまでぎりぎり出すかもしれないから、わざと教えない。それが1つの仮説です。

2番目の仮説は、J R自身が転覆限界速度を知らなかった。計算していなかったということです。

多分、その2番目が正しいだろうと思う理由をお話しします。どうして半径を304メートルにしたんだろうかということです。それを私はグーグルマップを使いながら分析しました。

それが図18の航空写真です。

そうすると、不思議なものを見つけました。マンションから南に向かって何かうっすらと黒い線が見える。そこで現場に行ってみました。これ何だろうと思って、すると空き地です。ずっと空き地が伸びているのです。線路の跡地です。

3 どうして転覆の起きる線路設計がされたか?



図 18: 事故現場の Google 航空写真。半径 600m の線路の跡が空き地として残っていることが分かる。

つまり、もともと線路が半径 600m だったのです。彼らは線路のつけかえをしている。

1996 年 12 月に線路のつけかえをしていて、それ以前は半径 600m でした。福知山線というのは、東海道線の一番北側に入り込むようになっていて、それでこういう線路をつけていた。ところが、1997 年に福知山線が東西線と乗り入れるということが決まります。それで、線路が北側にあると乗り入れができないので、高架にしないとイケない。そこで、このまま高架にしておけばよかったのに、半径 304m の下り線は高架だから、この横に乗せてしまった。つまり、故意に線路設計を変更したということの意味します。しかも、そのときに転覆限界速度を求めなかったのではないだろうか。

というわけで、まとめておきます。

この事故の原因は、運転士が制限速度 70 キロのところを 106 キロ出してしまうたということは、もちろん直接的な原因です。しかしなぜ運転士がスピードオーバーしたか、という点、事故調査委員会は、運転士が判断不能に陥った可能性を否定できていません。直線部を運行する 3 分間に心神耗弱になるということはありません。たとえば無呼吸症候群になったかもしれない。決してそうではないことを事故調査委員会は証明していません。いずれにせよ、本当の原因は線路設計の変更の誤りにあると考えるべきです。

つまり、東西線開通 1997 年に伴って、上り線路をつけかえるときに本線の下り線路に安直に乗せてしまったということですね。

なぜそうしたか。これは原発と同じです。会社組織自体が転覆限界速度を知らなかった。知らないから安直に乗せてしまった。

この事故は 100% 予見可能でしたから、せめて A T S - P のような、自動的に時速 70km に落とすような仕組みをつくらねばならなかった。この事故において、車両側には A T S - P がついていて、だから線路設計を変えたときに、A T S - P を線路側につけるだけです。設備投資はそれほどかかりません。転覆限界速度をもっと求めていれば、当然 A T S - P をつけたはずですが、でも、つけなかった。これすなわち会社の社会的責任は通常の事故とは比較にならないほど重いということです。

東電原発事故と JR 福知山線事故に共通するもの

東電と J R 西日本の両方に共通しているところは、両社とも、独占企業もしくは寡占企業だということです。東電は地域独占で、J R は寡占企業です。するとイノベーションを怠ってしまい、科学的な思考能力を失うわけです。全ての物事には物理限界というものがある。物理限界を超えたら、原発は暴走し、飛行機は墜落し、電車は転覆するということは、たとえ文系の経営者でも知っておくべきでしょう。物理限界というのは、技術倫理にとっての一番重要な分かれ道だということです。

「技術経営」問題の精神的類似性

	JR福知山線事故	東電原発事故
技術 科学者・技術者の倫理	技術者は、転覆限界速度を求めたうえで、もともと半径600mで設計していた。	技術者は、「最後の砦」たるRCICが数十時間動くように設計していた。彼らはそれが止まったら、原子炉は制御不能になることを知っていた。
組織経営 経営者 (CEO/CTO)	経営者は、科学的考察なしに線路の曲率半径を600mから304mに変更することを決定した。彼らは、物理限界とは何かを知らなかった。	経営者は、菅総理の助言を拒否してまで、海水注入の意思決定を故意に拒んだ。彼らは、物理限界とは何かを知らなかった。

独占企業・寡占企業の普遍的特性(イノベーションを必要としない)

【質問1】 海外では監査を行う強い権限を持つ組織というのが存在しているということを工学倫理の授業で学んだことがあるのですが、日本にもそういう組織が必要だと思われませんか。

【山口氏】 全くおっしゃるとおりで、前のページの事故調査委員会というのが一応第三者機関として働いているわけですよ。

しかし事故調査委員会（現在、運輸安全委員会）は運輸省（現在、国土交通省）の下部機関です。これは日本の制度設計の不備です。

アメリカの場合は、運輸省の下にぶら下がっていません。議会の下にぶら下がっています。やっぱり制度設計はすごく大事ですね。

第三者委員会というのは、完全に第三者じゃないといけない。利害関係がない人たちでないといけない。私は、何度かアメリカの事故調の委員の人に聞きました。彼らは、ふだんは普通のサイエンティフィックな研究をやっている人なんです。事故が起きると出勤します。事業者と全く利害関係がないですから、完全に独立して捜査を進められるということを言っていました。

だから、やっぱり日本の仕組みは変です。原発事故のときも、結局検察官は入りません。ですから、あれも変ですね。制度設計はすごく大事で、全くおっしゃっているとおりですね。もう一度、私たちは日本という国のさまざまな制度の再設計をするべきでしょうね。

【司会】ぜひとも最後にメッセージをいただけますでしょうか。

【山口氏】皆様方は将来、恐らく大学院に行かれ、修士を出られた後、製造業をはじめとする会社に入られると思います。

第1番目のメッセージは、そのとき常に社会とかかわるということ意識してほしいということです。東電原発事故にしても、JR福知山線事故にしても結局、日本社会に科学的精神が欠如しているから起きている現象です。科学的精神さえあって、皆さんのようにきちんと技術倫理を学んでさえいれば、おかしいことはわかるわけです。

第2番目のメッセージは、世の中にはトヨタのような非常にしっかりした企業ばかりではなく、会社の倫理と社会の倫理が違っている会社があるんですよ。そのときどうするか、そこでぜひとも、会社が社会を損なうようなことをしようとしたら、ノーと言うべきでしょう。皆さんは、やっぱり社会人であるべきで、会社人間であり続けてはならない。会社が悪いことをしたときにはきちんとノーを出す。

そのための制度設計も必要です。私は、会社にはCSOというのが必要だと思います。Chief Science Officerです。だから、科学的精神を会社に持ち込んで、会社が何か暴走するとき、あるいは物理限界を超えそうになったときに、それだめだよと言う人が要すると思います。

だから、皆さん、20年後、30年後に会社の経営者になった暁には、ぜひCSOをつくってほしいし、あるいは自分の技術でベンチャー企業をつくって、CTOやCEOになったときには科学的精神をいつも忘れないでほしい。その科学的精神にのっとって、技術倫理をいつも持ち続けているということはとても重要なことだと思います。