

福島原発事故-簡潔で正確な解説

2011/3/13 Barry Brook 投稿 (<http://bit.ly/gc9jeH>)

2011/3/14 山中翔太訳。この記事は Barry Brook 様のご厚意により日本語に訳させていただきました。誤訳情報は twitter のアカウント (@shotayam) へ。意識しており多少原文と意味が違ふところがありますのでご注意を。目に余るミスがある場合ご連絡を。

ここ数日、あまりにも原発報道が加熱しているところがあると感じており、専門的で客観的な意見が欠如していたように感じます。そのとき RT で流れて来た記事がこれでした。この記事は専門的な知識を使い解説してかなり長い文章ですが、かなりわかりやすく読みやすい文章です (訳が下手なのは本当に申し訳ないです)。これをきっかけに、数名でもいいので、宮城で起っていることに関して少しでも安心して様子を見ていただければと思います。

意外と安全ですよ。不安に感じるの知らないだけだと思います、本当に。

IAEA や WNN 等信頼が置ける情報によると、現在福島原発の状況についてインターネットやメディアでは信じられない量の誤った情報が流れているようです。BNC の記事”Discussion Thread - Japanese nuclear reactors and the 11 March 2011 earthquake”とそのコメントでは多くの技術的に詳細な状況が提供されています。しかし、その要旨とは？どのようにして多くの人が今起っていること、その理由、そして今から起こることについて情報を得るのでしょうか。

以下に私は MIT research scientist の Dr Josef Oehmen による状況の要約を再掲します。彼は博士であり、彼の父はドイツの核工業で多くの経験を積んでいます。これは Jason Morgan により今宵はじめ (現地時間) に投稿されたもの (<http://bit.ly/gUN6WX>) であり、彼はここの再掲を快く了承してくれました。この情報が広く共有されることが重要だと私は考えています。

こちらを読むこともお忘れなく。今ほど役にたつときはありません。 <http://bit.ly/gqBKB8>

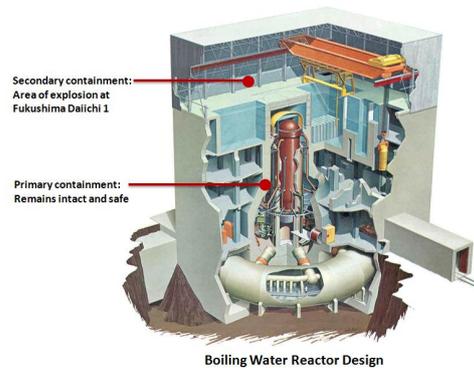
私はこの文章を 3/12(現地時間) に書いており、日本の事故に関して安心してもらおうと思っています。まず、状況は深刻ですが、管理下にあります。そしてこの文章は長いです。しかしこの文章を読んだ後、あなたは全てのメディア記者よりも原子力発電所について理解することとなるでしょう。

重大な放射能の放出は、今までもありませんし、これからも「ありません」。

「重大な」とは、長距離の飛行や元々高いレベルの放射線がある地域で作られたビールを飲むことで受けるレベルの放射線より被曝量が多いことをいいます。

私自身地震がおきてから全てのニュースを読んでいきます。しかし、今まで一つとして正確で誤りのないレポートはありませんでした (この問題の一部は日本危機通信の弱点の一部でもありましょう)。「誤りのないものがない」とは偏った非核報道 (最近は極普通ですが) をさしているものではありません。「誤りのないものがない」というのは物理や自然法則に関する目に余る間違いであり、原発の建てられ方と制御方法についての基本的な理解の欠如による事実の大きな誤解でもあります。私は CNN の 3 ページにわたるレポートを読みましたが、その一つ一つの段落にはそれぞれ間違いが含まれていました。

今何が起っているかを説明する前に、少し基礎をさらしましょう。



福島原発の構造について 福島原発は Boiling Water Reactor(BWR) とよばれるもので、圧力鍋と同じ仕組みです。核燃料が水を熱し、水は蒸気をつくり、蒸気はタービンを回し電気を作り、そして蒸気は冷やされ凝縮され水にもどり、水は戻されてまた核燃料により熱せられます。

核燃料とは酸化ウランです。酸化ウランとはセラミックであり、3000 度というかなり高い融点をもちます。燃料はペレット (レゴブロックの小さい円柱っぽいもの) 状に成形されます。これらはジルカロイ (融点 2200 度) で作られた長い管に詰められ密閉されます。これは燃料棒と呼ばれます。この燃料棒は束ねられて、より大きなパッケージとなり、そのパッケージがいくつも反応炉に入れられます。これらを総称してコアと呼びます。

ジルカロイのケースは最初の容器です。これは他の空間から放射性燃料を分離しています。

コアは圧力容器に入られます。これは前いていた圧力鍋です。圧力容器は二番目の容器です。これは一つの頑丈なポットであり、数百のコアを安全に格納できるよう設計されています。

核反応炉の全体のハードウェア—圧力容器や全てのパイプ、ポンプ、冷却剤 (水) 装置は三番目の容器に格納されます。この三番目の容器は密閉されており、最強の鉄で作られたとても厚いドームとなっています。三番目の容器はある一つの目的のために設計、建設、試験されています。完全な核のメルトダウンを内部で受け止めるという目的です。この目的のため、大きく厚いコンクリートのたらいが圧力容器 (二番目の容器) の下に位置し、黒鉛で充たされています。三番目の容器の内部全てです。これがいわゆるコアキャッチャーです。もしコアが解け圧力容器が爆発し (そして最終的に溶け) ても、溶けた燃料諸々を捕えられます。これは核燃料が (訳注:おそらく容器内で) 拡散するように作られているため、冷温停止も出来ます。

この三番目の容器は格納建屋に収められます。建屋は雨避けのようなものです (これが爆発によって損傷した部分ですが、詳細は後述します)。

核反応の基礎 ウラン燃料は熱を核分裂により生み出します。大きなウラン原子が小さい原子に分裂します。これは熱に加え中性子 (原子を作る粒子の一つ) を生み出します。中性子が別のウラン原子にぶつかったとき、ウラン原子は分裂し、より多くの中性子を出し続けます。これが核連鎖反応と呼ばれるものです。

ところで、ただ多くの燃料棒を隣り合わせて詰めるだけでは速やかに過度の熱が発生し 45 分後には燃料棒

が溶けてしまいます。ここで重要なのは、反応炉の核燃料は「決して」核爆弾のような核爆発を起こすことはないということです。核爆弾を作るのは実際とても難しいのです(イランに聞いてみてください)。チェルノブイリでは、爆発は過度の圧力上昇、水素爆発そして全ての容器の破裂、溶けた核物質を外界に放出したことにより起こりました("dirty bomb"です)。なぜこれが日本では起こらないのでしょうか。下で説明します。

核連鎖反応を制御するため、反応炉オペレーターは制御棒を使います。制御棒は中性子を吸収し、即座に連鎖反応を止めます。核反応炉はこの流れを遂行できるように設計されており、通常であれば全ての制御棒は引き抜かれています。続けて冷却剤である水は熱を持ち去り(そして蒸気や電気を作ります)同じ割合で核は熱を生み出します。そして通常の 250 度での運転ではたくさんのゆとりがあります。

問題は制御棒を入れて連鎖反応を入れた後、核が未だ熱を生みだしつつづけているところにあります。ウランは連鎖反応を止めます。ただ大量の放射性中間生成物が核分裂反応中ウランによって作り出されます。もっともメジャーなのはセシウムとヨウ素同位体です。つまり、これらのうち放射能を持つものが最終的に分裂し小さい原子で放射能をもやは失ってしまったものになります。中間放射性生成物は崩壊し続け熱を生みつけます。これらは最早ウランから生成されることがないので(ウランは制御棒を入れた後崩壊を止めます)、この中間物質はどんどん減ってゆき、数日かけて使い果たされると核は冷温停止します。

この残った熱が今から頭痛の種となります。

つまり、放射性物質の最初の「種類」は燃料棒の中にあるウランであり、加えてウランが分裂して生じる放射性の中間生成物も燃料棒の中にあります(セシウムやヨウ素です)。

燃料棒の外に、二番目の放射性物質が存在します。ここには大きな違いがあります。:この放射性物質はとても短い半減期を持っています。つまり、これらの物質はとても早く崩壊し、放射能のない通常の物質に分裂します。早くとは数秒ということです。つまり、もしこれらの放射性物質が外界に放出されても、そう、放射性物質が放出されてもです、危険ではありません、全くです。なぜでしょう。"RADIONUCLIDE"(放射性核種) といっている間に、もうそれらは無害になっています。なぜなら放射能のない物質に分解してしまうからです。この放射性物質とは N-16, 空気の窒素の放射性同位体です。他にはキセノンのような希ガスがあります。しかし、これらはどうしてできたのでしょうか。ウランが分裂したとき、これは中性子を放出します(上を見てください)。中性子のほとんどは他のウラン原子にあたり、核連鎖反応を維持させます。しかしいくつかは燃料棒を抜け水分子やその中にある水にあたります。そして、放射能のない物質が中性子を吸収し、放射能を持ちます。上で述べたよう、これは速やかに(数秒以内に)中性子を放出し、元の綺麗な物質に戻ります。

この二番目の「種類」の放射性物質は外界に放出された放射能に関してとても重要です。

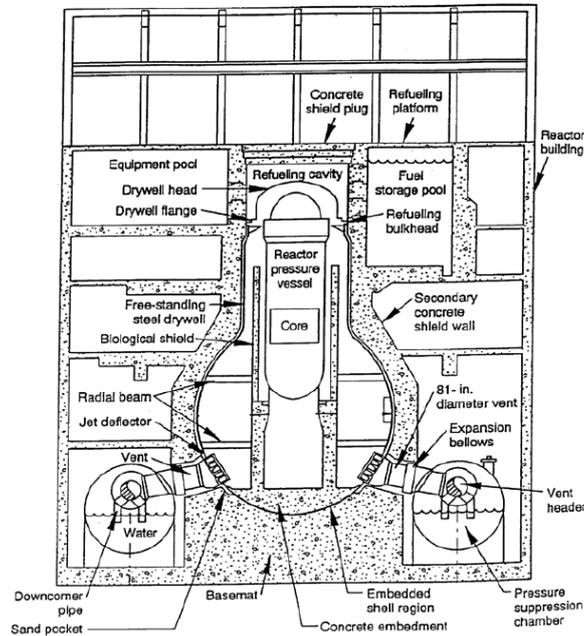


Figure 20. Mark I General Electric, GE BWR Containment.

福島で起きていること 主要な事実について纏めたいと思います。日本で起こった地震は原発が想定した最悪な地震の16倍です(リクタースケールは対数スケールであり、想定された8.2と起こった9.0は16倍であり、0.8ではありません)。よって全てがもったことは、まず日本工学技術の賞賛に値するところです。

M9.0の地震が起こったとき、全ての核反応炉は自動停止しました。地震が始まって数秒以内に制御棒は核の中に入れられ、ウランの核連鎖反応は止められました。今、冷却システムが残った熱を取り去らなければなりません。余熱の負荷は通常運転の3%程度です。

地震は核反応炉の外部電力供給システムを破壊しました。これは原発にとってもっとも深刻な事故であり、原発の停電についてはバックアップシステム設計時にかなり考慮されています。電力は冷却剤ポンプを動かすにつづけるために必要です。原発は停止したので、もう自力で電気を作り出すことはできません。

一時間ほど事態はうまくいきました。複数ある緊急ディーゼル発電機の内の一つが稼働し、必要な電力を供給しました。そして津波が来ましたが、それは原発を建てたとき人々が予想だにできなかった大きさのものでした(上述、16倍)。津波は複数あった全てのディーゼル発電機を持ち去ってしまいました。

原子力発電所を設計するとき、技術者は多重防御と呼ばれる哲学に従います。つまり、まず想像できる範囲でもっとも壊滅的な被害に耐えられるだけのものを設計し、加えてありえないと思うようなシステムの故障が起こったときもまだ制御が可能のように発電所を設計します。津波が全てのバックアップ電力システムを一度に持っていき、というのがこのありえないと思われることです。最終防御線は全てを三番目の容器の中(上述)に閉じ込めることです。これは制御棒が入っても入っていなくても、コアが溶けても溶けなくても全てを反応炉の中に保持します。

ディーゼル発電機が流されてしまったとき、反応炉オペレーターは緊急バッテリー電源に切り替えました。バッテリーはコアを8時間冷やす電力を供給する、バックアップのためのバックアップの一つとして設計されました。そしてそれらは確かに稼働しました。

8時間以内に、別の電源が見つかり原発に繋がれました。配電網は地震のため使用出来ませんでした。ディーゼル発電機は津波により壊されました。よって可搬性のディーゼル発電機が運び込まれたのです。

ここから事態が悪くなりました。外部発電機が原発につなげられなかったのです(プラグが合いませんでした)。よってバッテリーが使いきられたあと、残りの熱は最早取り除けなくなりました。

ここでオペレーターが冷却不可能な場合の緊急時手順に従い始めます。再度、多重防御に従った手順です。圧力鍋の電源は完全に落ちませんが、今回は落ちました。よって彼らは次の防御線へ後退しました。私たちにとっては衝撃的ですが、この全てはオペレーターがコアのメルトダウンに対処するために行う日々のトレーニングの一部です。

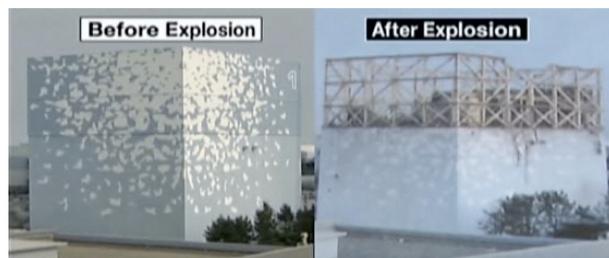
コアのメルトダウンについての話が出始めたのはこの段階です。冷却剤が注入できなければ、この日の最後にはコアが溶けてしまい(数時間、数日後)、最後の防衛線(コアキャッチャーと三番目の容器)が役割を果たすかも知れませんでした。

しかしこの段階のゴールは温度が上がらつあるコアを制御することであり、最初の容器(核燃料を入れるジルカロイ管)を維持することであり、また二番目の容器(圧力鍋)は傷つかず操作可能で、技術者には冷却装置を直すための時間が十分ありました。

コアの冷却はこの様に困難なことなので、反応炉は多くの冷却装置を持っており、それぞれがシステムを持っています(反応炉冷却水浄化システム、反応熱除去装置、反応炉コア隔離冷却装置、代替液体冷却システム、緊急コア冷却システム)。これらの状態については明らかではありません。

では、ストーブの上の圧力鍋を想像しましょう。火力は小さいですが、つけてはあります。オペレーターはできるだけ熱を取り除くため冷却システムの機能を何でも使います、しかし圧力が高くなり始めました。現在の最優先事項は、二番目の容器(圧力鍋)もですが、最初の容器を保つことです(2200度以下に温度を抑えることです)。圧力鍋(二番目の容器)の健全性を保つために圧力を時々抜かなければなりません。緊急事態にそれをする能力は重要なので、反応炉は11この圧力開放バルブがついています。そこでオペレーターは圧力を制御するため蒸気を時々逃し始めました。温度はこの時点で約550度でした。

このとき、放射線漏れの報告が入り始めました。既に私は上で蒸気を逃すことが理論的に放射能を外界に逃すことを意味し、またなぜそれを実行し、それが危険でもないのか、を説明できたと思います。希ガス同様放射性窒素は人の健康には脅威にはならないのです。



この蒸気開放におけるある段階で、爆発は起きました。爆発は三番目の容器の外で起きました(私たちがいう「最後の防衛線」の「外」です)。建屋です。建屋が放射線防御に関してなにも役割を果たしていないことを思い出してください。何が起こったのかまだ完全に明らかにはなっていませんが、これがありえそうなシナリオでしょう:オペレーターは蒸気を圧力容器の外へ、直接外界ではなく建屋と三番目の容器の間に、開放することを決めました。蒸気中の放射能が崩壊するのに十分な時間を与えるためです。問題はこのときコアが達していた高い温度でした。水分子は酸素と水素に分解します—これは爆発性の混合気です。そしてこれ

が三番目の容器の外で爆発し、建屋が損傷しました。爆発は以上のようなもので、(下手に設計されオペレーターにより適切に制御されなかった) チェルノブイリの爆発のような圧力容器の中ではありません。チェルノブイリの危険性は福島には絶対ではありません。水素-酸素生成の問題は発電所を設計するにあたり重要な問題です(ソ連でない限り)、よって反応炉は水素爆発が容器の中で起こることが出来ないように建てられ操作されます。爆発は外で起きました。それは意図したものではありませんが、想定範囲内であり問題ありません。なぜならば爆発により容器にリスクが生じることはないからです。

そして圧力は管理下に置かれ、圧力は開放されました、今は、もしポットを熱し続けているのであれば、問題は水位がどんどん下がっていることです。コアは露出するまで数時間、数日かかるよう数メートルの水で被われています。一旦燃料棒の頭が出た場合、45分で露出した部分は2200度の融点に達します。これが最初の容器、ジルカロイ管が壊れるときです。

そしてこれが起き始めました。冷却剤が再充填される前に幾らかの(かなり限られたものだが、あることにはある)ダメージがいくつかの燃料棒に与えられました。核物質それ事態はまだ傷ついていませんが、まわりのジルカロイ管は溶け始めました。今起こったことは、ウラン崩壊による副生成物(放射性のセシウムやヨウ素)が少し蒸気に混ざり始めたということです。酸化ウランの棒は3000度に達しない限り問題ないので、大きな問題(ウラン)は依然制御下にあります。かなり微量なセシウムとヨウ素が大気中に放出された蒸気中で観測されたことも確認されています。

これがプラン B への"go"だったようです。観測された少量のセシウムで、オペレーターは最初の容器のどこかが壊れそうだということを推測しました。プラン A はコアを通常の冷却システムで冷却するものでした。一つのもっともらしい説明は、津波が通常の冷却システムに必要な精製水を全て持っていったか汚染したか、ということでしょう。

冷却システムで使われる水はとても綺麗で、ミネラルが除かれ(蒸留水のようなもの)ています。純水を使うのは、ウランからの中性子による上述のような反応があるからです: 純水はそこまで激しい反応を起こさないで、実質放射能をもつことが出来ません。汚れた水、若しくは塩水は中性子を素早く吸収し、より放射能を持ちます。コアには影響がありません—それが何で冷やされるかは問題ではないのです。しかしオペレーターや機械工にとっては、少しだけ放射能を持った水を扱う作業に、命の危険が伴うようになります。

しかしプラン A は失敗しました—冷却システムが機能しなかったか、精製水が切れてしまったのです—よってプラン B が使われました。以下は予想されることです:

コアのメルトダウンを避けるため、オペレーターはコアの冷却に海水を使い始めました。圧力鍋(二番目の容器)を海水で満たせたかは分かりません。また三番目の容器を満たせたか、圧力鍋を水に浸せたかも分かりません。しかしそれが問題ではありません。

重要なのは核燃料がクールダウンしたことです。連鎖反応がかなり前に止まったので、今はただほんの僅かな余熱が作られているだけです。大量の冷却水はその熱を取り除くのに十分です。大量の水があるので、コアは深刻な圧力上昇を引き起こすだけの十分な熱をもはや生み出すことは出来ません。また、ホウ酸が海水に加えられました。ホウ酸は「液体制御棒」です。どんな崩壊がいまだに進んでいても、ホウ素は中性子を捕まえ、コアの冷却を加速します。

発電所はコアのメルトダウンに近づきました。以下が既に避けられた最悪のケースです: もし海水が冷却に使えなかったら、オペレーターは圧力上昇を避けるため蒸気を開放し続けます。引き続き三番目の容器は完全に密閉され、コアのメルトダウンが起きてても放射性物質を外に出さないようにします。メルトダウンの後、しばらく休止時間をおき中間生成放射性物質を反応炉内で崩壊させ、全ての放射性粒子を容器の内側の表面に付着させます。容器は内部が洗浄されます。そして厄介な作業が始まります: 溶けたコアを容器から取り除き、

既に固体に戻った燃料を少しずつ輸送容器につめ、処理場に輸送します。ダメージによりますが、そのブロックは修理されるか廃止となります。

それでは、今からどうなるのでしょうか。

- 発電所はもう安全で、今からも安全でしょう。
- 日本は INES レベル 4 の事故を経験しています。:周辺に影響を与える原子力事故です。それは発電所を所有する会社にとって悪いことですが、その他の誰にも損害はありません。
- 圧力を開放したとき、一部の放射線が放出されました。蒸気からの全ての放射性同位体は消えました (崩壊しました)。極僅かな量のセシウムが (ヨウ素と共に) 放出されました。放出の際もし煙突の上に座っていれば、元の生活に戻るために喫煙はやめた方がいいかもしれません。セシウムとヨウ素同位体は海に流れ、もう二度と現れません。
- 最初の容器に幾らかのダメージがあるようです。これはいくらかの放射性セシウムやヨウ素が冷却水の中に放出されることを意味しますが、ウランや他の危険な物質ではありません (酸化ウランは水に「溶けません」)。三番目の容器内部の冷却水を処理する機関もあります。放射性セシウムやヨウ素はそこで取り除かれ、最終的に放射性廃棄物として処理されることでしょう。
- 冷却水として使われる海水はある程度放射能を持つでしょう。制御棒が完全に入っているので、ウラン連鎖反応は起こっていません。これは主核反応が起こっていないということであり、これは現在の発熱反応に関与していないということです。ウラン崩壊反応がかなり前に停止しているので、中間放射性生成物 (セシウムとヨウ素) もこの段階ではほとんど消えています。これは反応がさらに小さいことを意味しています。ボトムラインは、海水が低いレベルではありますが放射能を持っているということで、これも処理機関により取り除かれることでしょう。
- そして海水は普通の冷却水に代わることでしょう。
- 反応炉のコアは廃棄され、処理機関に運ばれます。通常の運用と同じです。
- 燃料棒と全体としての発電所は潜在的な損傷を探すことになります。4,5 年かかるでしょう。
- 全ての日本の原発の安全システムは更新され、M9.0、またそれ以上の地震と津波に耐えられるようになるでしょう。
- 私が思うに、最も重要な問題は長引くであろう電力不足です。半分以上の日本の原子力反応炉が調査を受け、国の電力供給能力が 15 % 落ちることになるでしょう。これは普段時々しか使わない火力発電所をフルに稼働することで補えるかもしれませんが、これにより潜在的な電力不足に加え、電気代の高騰が起こることでしょう。

もし情報が欲しいのなら、いつものメディアは忘れて以下のサイトを参考にしてください。

- http://www.world-nuclear-news.org/RS_Battle_to_stabilise_earthquake_reactors_1203111.html
- <http://bravenewclimate.com/2011/03/12/japan-nuclear-earthquake/>
- <http://ansnuclearcafe.org/2011/03/11/media-updates-on-nuclear-power-stations-in-japan/>