

教職員対象「基礎から学ぶ放射線セミナー」

初回は大阪科学技術センターで開催し、会場後方に簡易放射線測定器を展示いたしました。
9月開催案内につきましては、関西原子力懇談会のホームページ (<http://www.kangenkon.org>)をご覧ください。



関西原子力懇談会 学術振興奨学金の実施

平成21年度より関西原子力懇談会では、関西及び福井地域の大学における原子力発電及び核燃料サイクルの推進に貢献する研究のより一層の振興を目的に、研究に取り組む研究者の助成のために奨学金制度を設けております。平成22年度は新規に17名の応募があり、選考委員会（委員長：宮崎慶次 大阪大学名誉教授）の選考により、新規12名、前年度からの継続12名の合計24名の研究者に奨学金を支給させていただきました。

氏名	所属	職位	件名
張 奇	京都大学大学院エネルギー科学研究科	研究員	2100年までの日本の低炭素電力システムにおける原子力発電の長期発展のシナリオ分析
土田 秀次	京都大学大学院工学研究科 附属量子理工学教育研究センター	准教授	材料損傷耐性材料の開発に向けた粒界近傍の照射欠陥挙動の機構解明
片岡 勲	大阪大学大学院工学研究科	教授	原子炉燃料集合体の限界熱流束の一般的予測手法の開発
功刀 資彰	京都大学大学院工学研究科	教授	直接数値シミュレーションによる沸騰伝熱特性予測手法の構築
上田 良夫	大阪大学大学院工学研究科	教授	原子炉高温配管の非破壊検査のための超音波発生素子の開発
川瀬 博	京都大学 防災研究所	教授	拡散波動場における自己相関特性に基づく地下構造探査法の開発
武村 祐一朗	近畿大学理工学部	講師	電子ビーム励起プラズマによるZr合金の窒化処理
笠田 竜太	京都大学 エネルギー理工学研究所	助教	原子力材料の非破壊的検査法としてナノインデンテーション法の適用法に関する研究
鈴木 幸子	大阪大学大学院工学研究科	助教	原子炉等大型構造物向け高輝度レーザーによる非加熱加工の基礎研究
宇埜 正美	福井大学附属国際原子力工学研究所	教授	中空ベレットの熱物性の異方性評価に関する研究
杉浦 紳之	近畿大学原子力研究所	教授	末梢血中のリンパ球の染色体異常による中性子線のバイオドジメトリ
泉 佳伸	福井大学附属国際原子力工学研究所	教授	生体由来物質を用いる新規放射線被曝線量評価手法の開発

(順不同、敬称略)



「放射線知識普及連携プロジェクト」始動



このたび、放射線に関する知識の普及を図るため「放射線知識普及連携プロジェクト」を設立し、その代表を務めさせていただくことになりました近畿大学原子力研究所長の伊藤哲夫でございます。

このプロジェクトは関西地域の原子力関係の学会、大学、団体の有志が連携し、幅広い層に対して、3月11日に起きた東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故を踏まえ、放射線に関する疑問や不安に応えるとともに放射線の基礎知識、正しい情報を伝えていく活動を展開することを趣旨としており、6月よりプロジェクト実行委員会やWGを開いて準備をすすめる、8月より活動を開始いたしました。

最初の活動である教職員対象「基礎から学ぶ放射線セミナー」は、放射線による健康影響、福島第一発電所事故の現状等について、教職員の方々が生徒や父兄に的確に応えられるような情報を提供するために企画いたしました。

初回開催の8月4日には、大阪府下の小・中・高等学校の教職員32名の方にご参加いただき、3名の講師によるセミナー（講義1「放射線の基礎知識」、講義2「放射線をいかに教えるか」、講義3「福島原子力発電所事故について」と質疑応答という2時間のプログラムで企画しましたが、予定の時間を超える大変多くの質問をいただき、教職員の皆様の子どもたちへの思いや意識の高さを感じました。また、会場には授業に活用できるツールとして簡易放射線測定器（学校関係に関西原子力懇談会より貸出）を展示し、実際に手に取って、ご覧いただき、さらに、セミナーで講師が使用した資料を参加された教職員の方々が授業でも利用できるようにCD-ROMにしてお渡しいたしました。今後、すでに実施した分も含め、近畿2府4県で8・9月に8回開催する予定です（4頁目で別途紹介）。

なお、このセミナーは、文部科学省をはじめ、各都道府県等の教育委員会のご後援をいただき、開催しております。

今回は教職員を対象として開催しておりますが、今後は一般層等にも対象を広げ、放射線の知識普及に向け活動を展開していく所存でございます。

「福島第一原子力発電所事故の経緯と今後」



大阪大学大学院 工学研究科

環境エネルギー工学専攻 教授 山口 彰氏

今回の原子力講演会(5/25(水))は大阪大学大学院 工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授である山口 彰氏を講師としてお招きし、「福島第一原子力発電所事故の経緯と今後」と題して、何が事故を起因したのか、どのようにして炉心が壊れたのか、国際原子力事象評価尺度をどう理解するべきか、工程表の評価と今後やるべきこと、リスクについてご講演頂いた。

1 何が事故を引き起こしたのか

3月11日14時46分にマグニチュード9.0の地震が発生し、津波が発生しました。東通原発、福島第一原発の4号機、5号機、6号機は点検中で、停止していました。女川原発、福島第一原発の1号機から3号機、福島第二原発、東海第二原発は運転中でしたが、運転中のすべてのプラントは、地震によって制御棒が自動挿入され、停止しました。

地震の大きさは、福島第一では幾つかが基準地震動Ssを超え、最大では1.3倍ぐらいに達しています。女川でも若干超えているところがありますが、福島第二等ではSsの7割あるいは6割のレベルです。

津波は、福島第二については、発電所そのものは津波の浸水の影響を直接受けてはいません。福島第一については、タービン建屋だけでなく原子炉建屋まで浸水域に覆われていますので、非常に大きな影響があったと言えます。

また、想定していた津波の高さは6メートル前後で、敷地の高さはそれよりも高いところにあり、福島第一では、1号機から4号機は10メートル、5号機、6号機は13メートル程度です。それに対し、今回の地震による津波の高さは最大で15メートルぐらいまで浸水しました。女川も敷地は14メートルぐらいましたが、津波の高さが13メートルぐらあり、かなり厳しい状況でした。

津波後の福島第一プラントの状況ですが、タービン建屋を超えて、原子炉建屋の奥まで津波が来たのではないかと思います。もともとは海岸に近いところに重油タンク、取水口、海水ポンプがありましたが、重油タンクは流出してしまい、海水ポンプも水没しました。

また、プラントの運転パラメーター等を見ても、圧力バウンダリーなどが早期に壊れていることを示したデータはないようで、事故に至った主要因の1つは津波であったと言えます。

2 どのようにして炉心が壊れたのか

福島第一のプラントはMK-I型のBWRで、洋ナシ形の鋼製格納容器、鉄筋コンクリート造生体遮へい壁、ドーナツ状の圧力抑制室があります。水が入っていない上の部分と水が入っている下の部分はパイプでつながっています。格納容器の中に原子炉圧力容器があり、上ぶたのところに使用済燃料プールがあります。現在は、使用済燃料プールの冷却、原子炉炉心の冷却、この2つが冷却の重要なポイントになっています。

福島第一の原子炉建屋は、上の部分は強度が比較的弱い構造で、水素爆発によって吹き飛んでいます。使用済燃料プールにはまだ水が張っており健全です。それと圧力容器が壊れて格納容器の中に燃料が落ちているという報道がありました。BWRの場合には下から制御棒が挿入されているので、原子炉圧力容器の下部に制御棒案内管の貫通部があり、このシールの部分等からリークしたのではないかと疑われています。

地震発生からの事故発生のプロセスについては、まず、地震発生直後は外部電源が喪失しましたが、それによって非常用ディーゼル発電機が立ち上がり、電力を供給し始めたため、原子炉を冷却するシステムはすべて使える状態

でした。制御棒が自動挿入され、この時点で原子炉も核的に停止していますので、出力は大幅に下がっています。

津波が来襲した直後は、外部電源は喪失したまま、非常用ディーゼル発電機の機能も失われました。電気が必要な非常用炉心冷却系などは使えなくなりましたが、原子炉隔離時冷却系は蒸気で駆動するポンプで動かし、それと直流電源によって弁を開閉することにより、圧力抑制室の水を循環させて原子炉を冷やすことができました。1号機は非常用の復水器がついていて、隔離時冷却系のような、交流電源の要らないものによって冷却はできましたが、恒久的な冷却手段がありませんので、直流電源が使えなくなれば、当然この部分はだめになります。

1号機から3号機とも、地震直後は何らかの形で冷却が多少は続けられましたが、直流電源が枯渇しますと、冷却するすべてのシステムが使えない状況になりますので、徐々に炉心が過熱していき、水が蒸発していきます。内部の圧力が上がっていき、それを逃がすために、安全弁によって蒸気を格納容器の中に逃がし、逃がされた蒸気は圧力抑制室の水の中に入り、蒸気が水に変わることによって圧力を下げるというプロセスを繰り返しました。

しかし、だんだん水が減って燃料被覆管が露出しますと、水蒸気とジルカロイの反応によって水素が発生し、格納容器から原子炉建屋の中に漏えいして水素爆発に至りました。1号機では比較的早い時間に設計圧の2倍程度に圧力が上がったと記録されていますが、圧力を逃すベントができたか、できなかったかということが1つの分岐点です。

以上が地震直後から水素爆発に至る事故のプロセスですが、東京電力の報告書に、1号機はもっと早い段階で炉心溶融していたとあります。ただ、これは非常用の復水器が停止しているという条件で解析した結果です。3月11日の20時には燃料のすべてが露出しました。それから24時間後の翌3月12日の20時ごろに海水注水を開始しましたが、間もなく一時中断したとの報道がありました。しかし、それが事実だとしても、その段階で海水注水を中断しなければ炉心損傷が防げたかという、そうではないと思います。また、炉心は酸化ウランが溶け始める2,800度に達したという結果です。

日本原子力学会で、給水ノズルや圧力容器の温度データから炉心の状態を推定しました。4月の段階で給水ノズルの温度は100度程度でしたので、それほど炉心がむき出しになっている状態ではなく、100度以下で蒸発した水蒸気によってこの給水ノズルの温度が出ていると推定し、炉心はかなり溶けているけれども、少し残っていて、そのほかの部分は圧力容器の底に水がたまっている状態で冷却されていると推定しています。

では、事故の進展の分岐点はどのあたりだったのでしょうか。

圧力抑制室のプール水は50度強ぐらいのところまで一定しています。圧力容器の上部と下部、格納容器の中央部と上部は、3月22日には400度ぐらいですが、その後急激に下がり、150度から100度程度で推移します。3月22日に給水系による注水が始まり、それまでの消防ポンプより注水量を増やしたことによってずっと冷却されたのです。まず3月22日が1つの大きな分岐点であったと思います。消防ポンプから仮設の電動ポンプに切りかえたのが3月29日の午前中です。また、22日には2号機、24日には1号機、26日には3号機の中央制御室に照明が回復し、収束に向けて大きな進歩があったと考えられます。

次に、福島第一の事象進展についてです。

まず、地震が来た時点で原子炉は停止していますが、外部電源はこの時点で使えなくなり、津波が来たことによって海水ポンプがすべて使えなくなりました。福島第二は外部電源が使え、海水ポンプは後で復旧できました。福島第

一は、6号機から5号機へ電源融通ができて電源が復活しましたが、1号機、2号機、3号機、4号機は電源融通も外部電源の復旧もできませんでした。海水ポンプについては1号機から3号機は復旧できず、ディーゼル発電機の復旧もできませんでした。直流電源は、2号機、3号機は高圧注水系あるいは隔離時冷却系が相当長い時間動いていましたが、1号機はバッテリーが壊れたため、動きませんでした。2号機、3号機は、高圧注水は成功しましたが、その後、低圧注水と残留熱除去に失敗し、結果的には1号機、2号機、3号機いずれも炉心損傷に至りました。一方、5号機、6号機では低温停止が達成されました。

原子炉の炉心が損傷した後、ベントはいずれも成功しましたが、間もなく水素爆発が起きて建物の上部が破壊されました。3号機も水素爆発が起きて破損しましたが、2号機は爆発を逃れて原子炉建屋は健全でした。現在は1号機、2号機、3号機とも注水がそのまま継続されています。こうして見てみますと、電源が融通できたかどうか、海水ポンプが復旧できたかどうかは1つの大きな分岐点です。

次に、1号機から6号機、共用プールの中の燃料プールの特性についてです。燃料集合体数は、4号機が1,331体で、一番多く入っていました。プール水は大体1,000トンから1,500トンです。崩壊熱は、4号機はちょうど炉心から取り出した燃料が入っていましたので、他より1桁大きい2,000Mcal/hという発熱量です。この熱を冷やすために要する水量ですが、水の温度を50度からスタートさせ、4メートルの液位に低下するのにかかる日数は、1号機で278日、2号機で58日、3号機で117日、一番短い4号機で12日です。

震災当初の4号機の写真を見ると、思ったよりも燃料はそのまま残っていて、水もきちんとあり、燃料が冷却されています。

3号機では、3月16日にヘリコプターから放水、17日に放水車、消防車により淡水あるいは海水を放水、3月29日にはコンクリートポンプ車で海水注水をしています。4月26日から燃料プール冷却材浄化系を用いて淡水を注入し始めました。5月8日には水を分析し、ヨウ素の131、セシウムが検出されましたが、大部分の燃料は健全であるという結論が出ています。5月10日より、さび防止のためにヒドランジが注入されました。

2号機は、燃料プール冷却材浄化系を用いて海水を注入し、3月29日からは淡水を注入しました。4月16日にスキマサージタンクの水を分析した結果、大部分が健全でした。

4号機では、3月20日に淡水を放水し、その後、コンクリートポンプ車によって海水を注水し、3月30日から淡水に切りかえました。4月12日から5月8日にかけて水を分析し、大部分は健全でした。5月9日からヒドランジを注入しています。

1号機は、3月31日から、コンクリートポンプ車により淡水を注入しています。ですから、3月22日ぐらいが大きな分岐点というのは、この段階で、燃料プールも原子炉も何とか冷却できるという見通しがついた時期であったのだろうと思います。

3 国際原子力事象評価尺度(INES)をどう理解するべきか

3月に国際原子力事象評価尺度レベル5と発表され、4月12日にレベル7と訂正されました。

積算のヨウ素とセシウムの放出量ですが、3月15日、16日の3号機の水素爆発から4号機の火災のあたりで一番出ました。想定された放出量については、原子力安全・保安院は37万テラベクレル、原子力安全委員会は63万テラベクレル、参考にチェルノブイリの数字ということで、これらの数字を根拠にレベル7だと言われました。

放射性物質放出の前、3月12日に福島第一の10キロ圏内、福島第一の20キロ圏内、それから福島第二原発の10キロ圏内の避難指示が出ています。放射性物質が放出された時点では20キロ圏内は避難がおおむね終了しています。

2008年にIEAEから出ました「User's Manual」の中に、INESのレベルは、専門家とメディア、公衆のコミュニケーションツールであるという言葉が最初に出てきます。迅速に発表することが大切である。もし迅速に発表しなければ、メディアと公衆が事象の理解について混乱するので、コミュニケーションのためにレベルを出して、メディア、公衆、専門家の間で事故の状況をよく理解する。それによって適切な対策をとるための助けにする。これがINESの本来の目的です。

レベル7とは、炉心の大部分のインベントリーが放出され、1つの国を超えて複数の国に影響を及ぼすものであると。このレベルは、これから生じるであ

ろう住民、近隣国への影響などを考えて決める。放射線量だけを見てレベルの定義に使うことは不適切であると。ただ、国際的に統一感のある解釈を行うために目安を決め、ヨウ素131換算で5万テラベクレルがレベル7の目安であると書いてあります。現実には5万テラベクレルを超えていますので、これによるとレベル7になります。

ロシアのロスアトム社は「炉心の破損状況からしてレベル5を超えることはなく、最大でも6が妥当」、ロシア科学アカデミーの方は「住民は自然放射線量の10分の1レベルを浴びたのであり、住民被曝という側面で見れば福島事故はレベル4にさえ達していない」「同事故は確かに重大であり、今後、専門家が詳しく調査しなければならない」と述べておられますが、今回のように3つの原子炉と4つの燃料プールから放射性物質が放出されたのは世界にも例のないことで、これは楽観的過ぎると思います。レベル4や5ではないと思いますが、4月の段階でレベル7というのは時期尚早であったと思います。分析をきちんとして、事故が収束した後、改めて見解を出してほしいと思います。

4 工程表の評価と今後やるべきこと、リスク

東京電力から出ている工程表についてです。

冷却は、水で冷やすことによって放射性物質を燃料プールのところで閉じ込める。抑制は、外に出ていく放出ルート絶つ。モニタリング・除染は、放出ルートの見過ごがないかを確認し、既に放出したものは低減して、周りの方に安心してもらう。

ステップ1の目標は、プラントを制御すること。ステップ2は、周辺環境影響を制御できる。ステップ3は、廃炉の準備を開始できる。ステップ3は時間が幾らかかっても、ステップ2の周辺環境を制御できるところまでにいかに迅速に着実に持っていくかがポイントです。

この工程表は5月17日に改訂されましたが、幾つか変更点があります。その一番大きなものは、1号機を冠水しようとしていたが、うまくいかないの、まず循環冷却を考え、それから先に冠水を持っていくということです。また、海洋汚染の拡大防止を明記しました。新規で追加されたものとしては、建屋内滞留水の処理完了、地下水の汚染拡大防止、地下水の遮へい工法、地下水の遮へいの構築が新しく入りました。新しい工程表はそれなりにきちんと体系化された対策が出されていて、あとは着実にこれが実施できるかどうかだと思います。

今の対策の概要ですが、冷却、水素爆発の防止、電源の復旧、汚染水の貯留、汚染水の大気・海水・地下への放出を防止すること。それから、1つ非常に重要な問題は、ピットから高レベルの水が漏れ出していたのを、水ガラスを注入してとめたということです。

また、冠水戦略から循環冷却へと対策を転換しました。具体的に言うと、もともとは燃料の上端まで水に浸そうとしていましたが、冠水を今すぐするのではなく、タービン建屋の水を処理して戻し、また冷やすというクロースサイクルをつくるのが当面の目標で、これがうまくできたら冠水するという方針が変わっています。

なお、4月4日に低レベルの水を捨てたと非難されましたが、トータル放出水量は1万トンぐらい、それによって放出された放射性物質は、ケーブルのピットからの高レベル水漏えいの10リットル分程度にとどまります。ピットからの漏えい防止がはるかに重要で、低レベル水は計画的に放出したもので、これは説明不足であったと思います。

工程表について大ざっぱに言いますと、原子炉建屋へのアクセスを断念したことによって、放熱が利用できる熱除去、シンプルで高信頼度の冷却システムをつくらうとしている。その結果、作業が比較的容易になり、自由度が増えた。ただ、台風対策や漏水対策はしっかりしないといけない。汚染水の処理が非常に重要なポイントになってくる。また、ステップ1、2の状態でのリスク評価、さらなる放出のリスクをどれだけ低減できるのかをぜひ行っていただきたい。6月から原子炉建屋カバーの工事をすること、燃料プールから蒸気が出るなどの環境影響の抑制に有効な対策として有意義なことです。

まとめですが、事故の推移としては、地震、津波とありましたが、全交流電源喪失と最終ヒートシンクの喪失、水素爆発、この3つが非常にインパクトがありました。

それから、INESのレベル7はぜひ再評価すべきだと私は思います。

収束に向けた道筋というのは、放射性物質を出さずに管理下に置くことが最大の目的ですので、そのためにはいろいろ柔軟な対策をとっていくべきです。高汚染水の除去や、余震あるいは台風、雷など自然現象は当然手当てしておくべきことです。