

東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会

第13回会合

議事録

日時：令和2年9月3日（木）14：30～17：40

場所：原子力規制委員会 13階会議室A

出席者

担当委員

更田 豊志 原子力規制委員会委員長

原子力規制庁

櫻田 道夫 原子力規制技監

金子 修一 長官官房審議官

安井 正也 原子力規制特別国際交渉官

平野 雅司 地域連携推進官

杉野 英治 地震・津波研究部門 首席技術研究調査官

呉 長江 地震・津波研究部門 統括技術研究調査官

儘田 豊 地震・津波研究部門 主任技術研究調査官

竹内 淳 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室長

岩永 宏平 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室 企画調査官

星 陽崇 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室 主任技術研究調査官

木原 昌二 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室 室長補佐

佐藤 雄一 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室 管理官補佐

川崎 憲二 実用炉審査部門 安全管理調査官

名倉 繁樹 地震・津波審査部門 安全管理調査官

江寄 順一 地震・津波審査部門 企画調査官

上ノ内久光 原子力安全人材育成センター 原子炉技術研修課 教官

日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門

丸山 結 安全研究センター 副センター長

与能本泰介 安全研究センター 副センター長

杉山 智之 安全研究センター 原子炉安全研究ディビジョン長

外部専門家

前川 治 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 技監

二ノ方 壽 東京工業大学 名誉教授

牟田 仁 東京都市大学 准教授

門脇 敏 長岡技術科学大学 教授

市野 宏嘉 防衛大学校 准教授

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

若林 宏治 技監

原子力エネルギー協議会

宮田 浩一 部長

東京電力ホールディングス株式会社

福田 俊彦 執行役員 福島第一廃炉推進カンパニー バイスプレジデント

石川 真澄 福島第一廃炉推進カンパニー 廃炉技術担当

溝上 伸也 福島第一廃炉推進カンパニー 福島第一原子力発電所

燃料デブリ取り出しプログラム部 部長

野田 浩志 福島第一廃炉推進カンパニー 福島第一原子力発電所

プール燃料取り出しプログラム部 課長

三浦 和晃 福島第一廃炉推進カンパニー 福島第一原子力発電所

計画・設計センター 建築保守技術グループ グループマネージャー

山本 正之 原子力設備管理部長

上村 孝史 原子力設備管理部 原子炉安全技術グループ グループマネージャー

谷口 敦 原子力設備管理部 設備技術グループ 課長

議事

○金子審議官 それでは、お時間になりましたので、東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会、第13回会合を始めさせていただきます。

本日は、お手元にお配りしております議事次第の議題にありますように、主に福島第一原子力発電所3号機の水素爆発の事象について考察を加えていきたいというふうに考えて

ございます。

したがいまして、今日御出席の皆様ですけれども、これまでに御参画をいただいております専門家の先生方に加えまして、長岡技術科学大学の門脇教授、それから防衛大学の市野准教授に追加で御参画をいただき、原子力規制庁のほうからも、地震・津波研究部門あるいは地震・津波審査部門のほうから、建物の構造等について知見を持っている者が参加をさせていただいております。

また、TV会議を利用するの会議になりますので、発言の際には、従来同様、挙手を画面に向けてしていただき、多くの人数のいらっしゃる場合は判別が難しい場合がありますので、大きく手を振っていただくと動きで気づきやすくなりますので、よろしくお願いたします。

また、御発言でない場合にはマイクをオフにしておいていただき、御発言の際に所属とお名前を述べていただくと大変ありがたいと思います。運営についてお気づきがあれば、こちらからもまた言及したいと思います。

それから、資料のほうですけれども、お手元に議事次第から通しページの全体版というのを御用意してございますので、そのページをリファアーしながら進めさせていただければと思います。

それから今回の議論は、主に福島中央テレビからお借りしております画像などを用いながら検討を進めてまいりますので、皆さんの御発言の際に参照しやすいようにということで、参加者のお手元には、その画像をキャプチャーした幾つかのコピーをお手元にしておりますので、ここで言っている、ここら辺の何秒ぐらいの画像というような形でリファアーしていただくと画面のほうにも映しやすくなるかと思っておりますので、御活用ください。

冒頭の私からの注意点は以上でございます、早速議事のほうに入らせていただきたいと思っております。

本日は、先ほど申し上げましたように、福島第一原子力発電所3号機、水素爆発の事象を中心に捉えまして、どのようにいろいろなことが、これまでの議論との兼ね合いで解釈できるのかというようなことも含めて議論を進めていきたいと思っております。

これまでの現地調査、あるいは、このビデオをよく見てということで、今日は最初に、このようなことが言えるのではなかろうかというような仮説を御紹介させていただきながら、それを裏づける論点について、いろいろ皆さんと御議論をいただきながら、大枠としてそのような理解が成り立つのかどうか、あるいは、成り立つとすれば今後どのような検

証を加えていけばいいのかといったことについて、主に議論をしていければというふうに考えております。

お手元の資料、議事次第を進めていただきますと、プレゼンテーションの資料が入っておりますけれども、まず最初に、福島中央テレビが撮りました画像、これは1号機と3号機の水素爆発それぞれを比べながら見ていただくようなことも含めて、最初に、もう一度復習で見ていただくと、これからの議論がしやすいと思いますので、最初に、まずそれを御覧いただきたいというふうに思います。

(放映)

○金子審議官 これは1号機の爆発の際の画像でございます。

3号機のほうの時点に移り変わりました。

爆発の形態や煙の上がり方など、見た目でも大分違うということが、もう一度改めて確認していただけたと思いますけれども、ここら辺から入りまして、どのような差があり、3号機はどのような爆発、あるいは水素の燃焼のメカニズム、あるいは事象があったのかということについてお話を進めていきたいと思っております。

最初に、規制庁の安井のほうから少しお話をさせていただきたいと思っております。

○安井交渉官 原子力規制庁の原子力規制特別国際交渉官の安井です。

今御紹介のあった3号機の水素爆発でございますけれども、今の画像を見ても分かるように、1号機と3号機、大変見た感じ様相が違いますし、3号は爆発の規模も大きいとされてきました。

これは何で違うんだというのは、3号機のほうが原子炉も大きいし、水素もたくさん関与したろうという側面と、それから、もう一つは原子炉建屋の構造が違う。

平たく言えば、1号機は、5階のところは、側面は鉄板がはめ込まれた構造で、さほど強くなかったのが側面に一気に噴き出した。

それに対して、3号機は側壁もコンクリート壁なので、屋根のほうが強かったので、それで上方に強く吹き上げられた、あるいは、爆破のエネルギーが伝わったと、こういう議論が多かったと思っています。みんなそのように思ってきたところがあるかと思っています。

それで、ちなみに政府事故調がどういうふうに行っているかというのが、引用しておきました。

後ろに引用文がついていますが、すごく簡単に書くと、5階の東のほうで着火して、それで、ずっと西のほうに、あるいは北西のほうに火勢が進んで、それで途中で、北西部

で爆轟に至った。

また、その爆風あるいは爆発は、4階のほうにも広がった。

それから、垂直方向に黒色爆煙を吹き上がらせるとともに、同時に水平方向に壁を吹き飛ばした。

別のところに書いたんですけど、建屋の構造の相違によって1号と3号の爆発状況に相違が生じた可能性がある。

これが当時の考え方で、今までも我々も実はここはそうだろうなと思ってきたわけですが、今日の論点は、3号機の水素爆発は1号機のような、細かく分ければ何でも単一ではないんですけど、単一の爆発事象というよりは、幾つかの段階が重なっているものだと考えたほうが様々な観測結果を説明しやすいんじゃないかということで、後ほど仮説も述べてみますので、そうかなとか、そうじゃないんじゃないかとか、その解釈は間違えているんじゃないかと、広く御意見をいただいて、我々の今後の議論を進めたいと、こういうものであります。

○金子審議官 爆燃、爆轟と。

○安井交渉官 ええ。それで今、3号の政府事故調の資料を見ましても、爆燃とか爆轟ということは出ておりますけども、使う言葉をそろえるというのと、少しおさらいも含めまして、今日御参加いただいている門脇先生のほうから、爆轟、爆燃についての基本的なことと、それから、爆轟、爆燃が起こると建屋の破損状態にどんな違いが生じるんだということは、まず一般的に知識を教えてくださいと思います。

お願いできますでしょうか。

○金子審議官 司会進行の金子からですけれども、資料の29ページ、30ページ辺りに、すごく簡単な、一般的な爆轟とか爆燃という言葉の定義、あるいは、水素が燃えるときの燃焼速度みたいなものの、すごく基本的なことだけ紹介をさせていただきます。

これから門脇先生にお話をいただくための資料は、全体の40ページのところからスライドが用意されておりますので、そちらを御覧いただきながらお話を聞いていただければと思います。

では門脇先生、お願いできますでしょうか。

○門脇教授 はい。長岡技術科学大学の門脇でございます。

本日は、デトネーションとデフラグレーション、日本語では、デトネーションはよく爆轟とか、デフラグレーションは爆燃という、そういった呼び方がされておりますけれども、

それに関して、非常に簡単ではございますけれども、一般的なその特性について説明をさせていただきますと思います。

次のページをお願いいたします。

燃焼現象には、予混合燃焼と拡散燃焼という二つの形態がございます。

予混合燃焼というのは、燃料と酸化剤を予め混合して燃焼させるというもので、例えば、可燃性ガス、水素のようなものと空気とか、あと、粉塵と空気とか、そういった事前に燃料と酸化剤が混合して燃焼している、これを、我々は予混合燃焼と呼んでおります。

それに対応するものとして、拡散燃焼、または非予混合燃焼というものなんですけれども、これは、燃料と酸化剤が別々にあって、その間に火炎ができる。

例えば、ろうそくの炎とか、そういったものは燃料と酸化剤——酸化剤は空気ですけれども、それが別々にあって、それが燃焼過程で混合して火炎ができる。これが拡散燃焼と呼ばれているものです。

それで、本日のお話は、基本的に爆発という現象でございますので、多くの場合、爆発というのは基本的に予混合燃焼、つまり、事前に水素などの可燃性ガスと酸化剤である空気が混ざった状況で、そこに火がついて燃焼する。それを、通常は爆発というふうに呼んでおりますので、福島の水素爆発も、この予混合燃焼によって生じたというふうに考えるのが自然ではないかというふうに思います。

では、次のページをお願いいたします。

今、デトネーションとデフラグレーション、日本語では爆轟、爆燃というふうに使われていますが、近年では、日本語でもデトネーション、デフラグレーションというふうに、片仮名で書くことが多いございますので、これからはデトネーションとデフラグレーションという呼び方で説明をさせていただきたいと思います。

まず、デトネーションですけれども、これは超音速燃焼というもので、マッハ数が1より大きいものということで、その種類としては、C-J DetonationとかStrong Detonationという、そういった形態があります。

C-Jというのは人の名前の頭文字を取ったものでして、よく海外の教科書とか、いろんな法則に人の名前をつけることがあるんですが、このデトネーションの場合もその例外ではなくて、ChapmanとJouguetという、先人の頭文字を取ったC-J Detonationという、これが一般的なデトネーションというものになります。

あともう一つデフラグレーションというのは、これはデトネーションと異なり亜音速燃

焼、つまり、マッハ数が1より小さい場合の燃焼で、デトネーションとデフラグレーションは何が違いますかと言われると、まずは、超音速か亜音速かという、そういった意味合いが大きな違いになっております。

では、次のページをお願いします。

それで、こちらの表がデトネーションとデフラグレーションの基本的な特性を比較したものです。左側がデトネーション、右側がデフラグレーションで、一番上の行が、これはいわゆるマッハ数と呼ばれているもので、 u というのが速度、 a というのが音速なんですけれども、添え字の1というのは未燃ガス、まだ燃える前のもの、2というのが既燃ガス、燃えた後の状態を示しております。

デトネーションの場合は、マッハ数が5~10と非常に大きな値になりますが、一方デフラグレーションの場合は0.0001~0.03と非常に小さな値になっているという、ここが大きく一番違うところです。

あと、速度の比に関しても、デトネーションは小さくなる、つまり減速いたしますけれども、デフラグレーションは大きくなる、つまり加速するという、そういった特徴があります。

あと、デトネーションというのは非常に破壊力があるんですけども、その理由の一つというのが圧力比が非常に大きいということで、例えば、初期圧力が1気圧だったものが、デトネーションによって13気圧から55気圧まで大きく上がる。これによって甚大な被害を生じさせるという、そういったものがデトネーションになっています。

あと、一方、デフラグレーションは前後の圧力差、これはほとんどないんですが、ただ、容器の中でのデフラグレーションとなりますと、体積が一定で中の温度が非常に高くなれば、当然それだけで圧力が上昇いたします。

ですから、例えば容器の中でデフラグレーションが生じたという場合ですと、温度が高くなることによって、数倍から、場合によっては7~8気圧ぐらいまで、そこまで上昇する可能性があるということです。

じゃあ、次のページをお願いいたします。

こちらがC-Jデトネーションという、人の名前はそれほど重要ではなくて、こういったものが非常に典型的なデトネーションだということです。

初期条件としては p_1 という、圧力が1気圧で、温度が298K、これは、いわゆる室温25°Cというものです。 $\phi=1.0$ と書いてあるんですけど、これは、いわゆる当量比というもので、

燃料と酸化剤の割合がちょうど良い場合。つまり、燃料も程々に、酸化剤も程々にあって、燃焼した後に余りがないような、ちょうど良い条件だという、そういったことでございます。

例えば、水素の場合のデトネーションですと、伝播速度は大体2,000m/s近くにもなりますし、また、圧力も1気圧が15.6気圧。また、温度も2,951Kというふうに、非常に高くなりますので、こういった水素/空気でデトネーションが生じると非常に強力な破壊力が生じているということです。あと、アセチレンとかメタンとかプロパンの場合もデトネーションが発生しますので、そういった場合も参考としてこの表に載せております。

次のページをお願いいたします。

じゃあ、これはどうやってデトネーションが生じるのかということなんですけれども、よく言われておりますのが、デフラグレーションからデトネーションへの転移。我々はDDTという、そういった言葉を使っております。例えば、長いパイプがあって、左側で火がついたとして、そこで燃焼波、つまり、デフラグレーションが発生いたします。

そのデフラグレーションが左から右へ伝播するんですけれども、デフラグレーションが伝播すると上流側の気体を押し出す、ピストンのような形で押し出すという形になります。そうしますと、前方には圧力波が生じて、この圧力波がどんどん発達することによって衝撃波になって、それで最終的にデトネーションになるという、これがDDTの現象でございます。

こういったデフラグレーションが伝播すると、上流側に圧力波ができるという現象というのはよく知られていることでありますし、また、こういった燃焼以外の場でも、例えば、移動する物体の前方に圧力波ができる。例えば、新幹線がトンネルの中を走りますと、新幹線の前方に圧力波が出て、トンネルの外に出たときに非常に大きな音が出たりとか、そういったことが多々あるものでございます。

では次のページをお願いいたします。

今申し上げたDDTの経緯について、簡単にまとめたのがこちらでございます。

まず最初に、火炎の伝播速度が増大する。これは乱れ等ということで、この火炎の伝播速度が増大する場合、もちろん、乱れがあることによって増大するんですが、例えば、細いパイプのような中ですと、こういった乱れが増大して伝播速度が大きくなる、そういった傾向があります。そして、火炎前方に圧力波が発生し、その圧力波が重なって衝撃波が発生いたします。衝撃波ですと背後の温度が非常に高くなりますので、自己着火温度に達

します。そして、それによって衝撃波が燃焼波を伴って伝播いたします。この衝撃波+燃焼波というのが、まさにデトネーション波ということで、これがデトネーションの形成、DDTと呼ばれるものです。

このDDT、つまり、この転移というのは、火炎が加速しやすい管路とかダクトにおいてより容易に生じるということが知られております。例えば、広い、オープンなスペースでこういったDDTというのは起きにくいということで、パイプの中とか、そういったところでは非常にDDTが生じやすいということが古くから知られているところでございます。

次のページをお願いいたします。

一方、デフラグレーションの特性ですけれども、先ほどお話ししましたように、マッハ数が1より小さい、非常に小さいということと、あと、圧力が開放空間であればあまり変わらないということ。そして、あと対流とか熱伝導と拡散、反応速度が現象を支配したり、あと、レイヌ数という熱拡散率とか拡散係数によって現象が支配されるという、そういった特性がございます。

次のページをお願いいたします。

そういったときに、デフラグレーションのときの、どの程度の燃焼速度になっているのかということなんですが、例えば水素と空気の場合ですと大体3m/s弱ぐらいということで、当量比というのは燃料と酸化剤の割合で、当量比が1のときが割合がちょうどよろしいというか、どちらが多いとか、どちらが小さいということではなくて、ちょうど良い場合です。例えば、水素と酸素だったら、水素が2、酸素が1のときが当量比が1ということになって、水素の場合は、水素成分が多いほうが最大の燃焼速度が大きくなるということが知られております。ほかに、アセチレン、メタン、プロパン、一酸化炭素も、この最大燃焼速度の特性を出しておりますけれども、水素の最大燃焼速度が圧倒的に大きいということが一目で理解できるのではないかというふうに思います。

次のスライドをお願いいたします。

それで、こういった可燃ガスがどの範囲で燃焼するかを示したのがこちらの表で、これは当量比で書いてあるんですけれども、水素は当量比で0.1~7.17ということで、例えば水素、空気の場合ですと、水素が4%~75%の間で燃焼するということを示しております。つまり、水素というのは非常に可燃領域が広いということになっております。アセチレン、メタン、プロパン、一酸化炭素もここに数値を出しておりますけれども、水素の爆発しやすさということが出ているかと思えます。

ただ、この表はあくまでも燃えるという意味での燃焼限界でございます。デトネーション限界となると、これより幅が可燃領域が狭めになっております。例えば水素、空気の場合ですと13%以上水素がないとデトネーションにならないと。ただ、デトネーションにならない普通のデフラグレーションであれば、4%以上でデフラグレーションになるということでございます。

次のスライドをお願いいたします。

例えば、これはデフラグレーションの伝播。これはパイプの中を想定しておりますけれども、左側で火がついて、左から右にデフラグレーション波が伝播いたします。その伝播する速度が V で、その前方にある未燃ガスを押して伝播するというので、未燃ガスが押されますので、その前方には圧力波が生じて、それが発達すると最終的には衝撃波に達するという事です。このデフラグレーションの伝播速度 V というものは、いわゆる燃焼速度に熱膨張の効果、つまり密度比を掛けたものになりますので、通常の燃焼速度よりも伝播速度というのは、数倍、場合によっては7~8倍大きくなるという、そういった特徴がございます。

次のスライドをお願いいたします。

これは水素爆発のようなもの。これは広い空間における爆発現象、ポンチ絵的に示したものです。ある中心点で点火いたしますと、それによって V という伝播速度で火炎が伝播していく。デフラグレーションです。そのときの伝播速度というのは燃焼速度に熱膨張の効果、 ρ_2 分の ρ_1 という、これ密度比ですけれども、それがかかった速さで外へ伝播していくと。これがデフラグレーションが、いわゆる爆発が生じたというときのものになっております。

このように広い空間で、ある点でデフラグレーションが発生いたしますと、全体に向かって圧力波が伝播いたしますけれども、ただ、一方、部屋の中とかダクトの中ということになると、ある程度の方向性をもって、1方向に強い破壊力を持ったデフラグレーションになるという、そういった傾向があることも知られております。

次をお願いいたします。

以上については、こういった参考文献を使わせていただいたというところでございます。

以上でございます。どうも御清聴ありがとうございました。

○金子審議官 門脇先生、どうもありがとうございました。

以上、御紹介をいただきましたのは、水素と空気の予混合気体があったとしても、いろ

いろな燃焼形態が、そもそも一つの爆発という現象を捉えてもあるということ、まず皆さんと共有した上でいろいろな議論をさせていただきたいというふうに思ったからでございます。

先ほど安井のほうから御紹介をさせていただいた、政府事故調の理解などのベースにも、当然そういう知見があるわけですが、これから申させていただくような仮説の中でも、そういったいろいろな燃焼の形態の違いみたいなことを考える必要がありますので、皆様と検討を進める上での基礎的な理解ということで共有させていただきました。

では、引き続き安井のほうから、また仮説などについて御紹介させていただきます。

○安井交渉官 それでは、私の資料の7ページに行ってくださいまして、本日の主要な論点は、先ほど冒頭で申し上げたように3号機の水素爆発は、1号機のような単一爆発というよりは、1段階の爆発よりは、2段階以上の複数段階の事象だったのではないかというのが、今回の投げかけです。

次のページに行って、それは具体的にどうということなんだという、まず、一番最初に何らかの形で建物、3号機の原子炉建屋の北西方向に大きな力を加える第1段階の爆発があったと考えたらいいんじゃないかと。それは、もしかしたら今まで、一般に5階、オペフロで生じたと言われていましたけども、4階かもしれないというのが第1点。

その次に、そうやって建物が北西方向に引っ張られた関係上、南もしくは南東側のリアクタービルディングの上に裂け目ができて、そこから水素が噴き出をして観測されたような炎が発生をした。

ただ、この炎とは別に、原子炉建屋の中央部か、正確な場所は分からないんですけども、第2段階の、これは爆発と呼んでいいか、燃焼といったほうが正確じゃないんですけども、爆煙を上、最初に打ち出すといいますか、放出する爆発燃焼現象があつて、これは、だんだん単に運動エネルギーで打ち出されるだけじゃなくて、その後、水素の燃焼を伴って、ある意味、火の玉みたいな形で上に吹き上げる。このぐらいの現象が重なったと考えたほうが、うまく理解できるんじゃないかというのが今日の仮説です。

これから五つのポイントを、つまり、次のページに行ってもらって、映されている水素のビデオとか、3号機の破損状態、凝縮波とか、いろいろ使って、これらは観測されたデータなので、この観測された事実が今までよりも今度のほうがうまく説明できるんじゃないかというのについての説明を試みてみたいと思います。

じゃあ、次のページをお願いします。文章で書いてありますけど、これは映せないんで

すか、映せますか。

それで0sとかと書いてありますけれども、福島中央テレビさんのビデオは1秒間に30フレームなので、0.033sごとに1枚ずつになっていまして、0がどこかが分かりやすいように、火が一番最初に見えたところを0sとしてあるだけで、それ以上の、0に細かい意味はありません。

それで、これでまず見ますと、左上の-0.066sは、健全というと変ですけど、普通の状態だったのが、その次の-0.033s、1フレーム前だと、原子炉建屋が、この映像で見ると左側に向かって沈んでいて、かつ、少し高さが下がっているように見えるんです。これが、先ほど申し上げた、一番最初に起こった、何らかの北西方向に力が加わったのを示しているのではないかということです。

それで、この関係をはっきり分かるようにするためには、やや連続的に映したほうがいいんですけども、ここを曲がって、その次に一気に火を噴くという、こういうふうになっていまして、つまり、炎を噴き出す前に何らかの前駆爆発があつて、建屋全体が左側に傾いて、そこで建屋の崩壊あるいは裂け目、いろんなものが起こって、この炎の噴出を招いたのではないかと、こういうことです。元の4分割に戻してもらえますか。それが1です。

2番目は、この炎は実は目で見ると非常に時間は短いんですけども、この画像で見ると、実は意外と長く続いているんです。0.43sぐらいなんですけれども。その間ある意味安定していまして、つまり原子炉建屋から炎の源になる水素は、安定的に出されたと考えざるを得ないということになります。

ところが一方、もう1回0.033sに戻ってもらって、ここの0.033sとそれからその次の0.066sの頃になると、原子炉建屋の中央部側からも吹上がりが始まっています。従来のように爆発によって、その瞬間ごとに中の水素が見えたんだというのなら、この爆発とともに水素がどこかに広がっていかなくちゃいけなくて、同じ場所にじっとしているのは、これなかなか説明がつかないし、それからこの爆煙がこの後だんだん上がっていきます。

こうやってだんだん上昇していく間も、炎は炎で続いて、そして、爆煙の上昇及び左右への広がりはそのまま続いているので、この二つが因果関係にあるとは思にくい。中央部を盛り上げる、爆煙を燃やす現象は、言わばこの炎を出す現象と並行的に起こっていて、しかも炎を吹き飛ばすようなものではなかったと取らざるを得ないのではないかと。

お分かりですけど、大体0.5sでスタックの上ぐらいまで行くんです。今0.5sでスタックの上の近くまで行っていますから、スタック長が30mで、建屋の高さが、これは海拔との

関係で56mぐらいのはずですから、70m弱を0.5sで上がっていますので、かなりの高速で上に上がっています。

それで、あと、このままこの先に進めていただきまして、だんだんこの後、上に行くんですけど、爆発部分から言わば切り離れた形で黒い雲が上に上がっていく形になっていますので、これは上昇気流というんですか、可燃ガスが中で燃えて上昇していく力がないと、こういうふうにならなくて、なかなか下がくびれるようにならないと言われていまして、これは、そういう燃焼現象がさらについていたと考えたほうが、この現象を説明しやすいんじゃないかと。

それで、最後にこの絵について言えば、政府事故調でも上昇していくのは濃い灰色の雲で、あと、色の薄い白い雲が下のほうに広がっているという書き方がされていますけど、そういう意味では、1号と同じように左右にぱっと広がるものと上昇していくものは、もしかしたら、若干プロセスが違うので色の違いをもたらしているのかもしれませんが。これはまだ正確なところは分らないです。

まず、これがビデオを見た結果で、炎とそれから実際の建屋の崩壊現象を同時に説明するのは、難しいかもしれません。

それから、もう一つございまして、0.033sをもう一回映してもらって、これは、この絵で見るのはしんどいところがあるんですけど、炎が出始めてから炎が出ているのは、南側の壁なんです。白い壁は南側の壁なんですけど、南側の壁がだんだん下に向かい、言わば下のほうへ下がってきているように見えていまして、南側の壁は崩落が早かったかもしれないということを別途示唆しているのではないかと思います。これがビデオの分析です。

それから次に、3号機の破壊状況を思い出してみたいと思います。それで爆発後に建屋の周りがいろいろ壊れている写真がありまして、手元の資料の。

○金子審議官 資料の18ページ以降に大体。

○安井交渉官 いえいえ、13ページのところです。

これを見ていただいて、これはもう政府事故調にも出ているfamiliarなあれなんですけども、結局、北側と西側は、他の部分と違って柱自身がなくなるほどの破損を受けていると。

それで次のページに行ってください、これは4階の西側の壁の北の端っこを映しているんですけども、この左側の柱は、下から来ている柱が外側に倒れて、上と切り離れて

います。それから、右側の柱は、もう下側が完全に脱落をして落っこちてしまっていますので、こういう形状からすると、この方向、西向きにかなりの力が加わったと考えられるのではないかと。

それから、次のページに行ってください、これは北側から撮った写真なんですけれども、5階のオペフロを支える柱がほとんど見えない、脱落してなくなっていますが、水平の梁が横に残っているのが分かると思います。

だから、今は、もうオペフロは下に下がってきているんですけども、まだ当時は水平の面は残っていたんです。だから、真上から押し込まれて下の梁がどこかに飛んでいくのは説明しにくくて、柱を飛ばして上の水平梁が残っていると考えるほうが合理的じゃないかというのが二つ目です。それは、そうすると、さっきの仮説にこっちのほうがよく合うんじゃないかと、そういうことなんです。

それから、お手元資料の18ページに行ってください、これは昨年の12月に3号機の3階を見に行ったときの、南北に走る梁の折損状態です。

これは、同じ一つの梁の左側と南側、両端が折れております。現在の曲がり具合は、折れた後にコンクリートが脱水したりして弱くなって、さらに自重もかかって曲がりかたがひどくなっていることはあると思いますが、もともとの折損は、上方からかなりの力が加わったというふうに考えております。

これについては、防衛大の市野さんに来ていただいているので、後でも結構なんですけど、もしこれについて、これはこういう折れ方なんじゃないのという所見があればおっしゃっていただければと思いますけども。

○金子審議官　じゃあ、すみません。途中ではありますけど市野先生からお願いできますでしょうか。

○市野准教授　防衛大学校の市野です。

次の19ページをお願いいたします。

まず、こちらです。先ほどお話のありました3階の小梁になります。

こちらは、この梁は高さが1.05m、幅が0.6m、あと長さが7.6mの梁ということです。その両端なんですけれども、こちらにつきましてはその隣の、この小梁よりも丈夫な大梁ががっちり固定をされているような状況です。こちらは3階の梁ということで、先ほどのお話によりますと、さらにその上から水素爆発による爆発の力を受けたということで、上から非常に大きな力で強く押されております。

では、この梁が上から押さえられるような圧力を受けるとどうなるかということですが、梁の内部にせん断力だとか、あと曲げモーメントというような負荷がかかります。そういった負荷によってこの鉄筋コンクリートの梁が例えば曲がったりだとか、あとは食い違うようにずれたりするような変形が生じます。

ちなみに、今回のようなこちらの小梁に上から均一な爆風の圧力がかかったとしますと、固定されている端の部分、ここに非常に大きなせん断力、つまりは食い違うような変形を起こさせるような負荷が生じます。そういったことによって、ちょうど大梁とつながっている部分で、このような、食い違うような破壊が生じたと考えられます。

以上です。

○安井交渉官 ありがとうございます。

これは上から力加わると、力がもうちょっと弱いと、ここが曲がっちゃうというぐらいで止まるんだけど、力が大きいとこういうふうに折れちゃうという、そういうことですか。

○市野准教授 この梁の形だとか、あと鉄筋の入れ方、そういったところが大きく。形というか断面の形です。あとは、長さ、スパン、そういったものが大きく影響します。

今回は、比較的せん断を起こしやすいような長さ、断面のサイズということで、こういった形になったものと考えられます。

○安井交渉官 分かりました。ありがとうございました。

そういうことで、これもだから昨年行って見つけたものですが、結局、4階北西部に側面を壊すと同時に、4階の床面、3階から見れば天井面ですけども、床面に大きな力が加わった証拠じゃないかということです。

次にもう一つ。凝縮波という見慣れない言葉があるんですけど、爆発しますと圧力波、ショック・ウェーブが先に進むんですが、その後ろに圧力の低い部分が行きます。その圧力の低い部分に言わば一瞬水蒸気が出まして、凝縮した水蒸気の層ができて、これがこの圧縮波の後をついて広がっていくという現象があります。

この前のレバノンの爆発のときにも見えていましたけれども、これが1号機の爆発には観測されていることを確認したんですが、3号機では観測されなかったということがあります。

まず1号機。見えますか。ここにありますが、この0.3sが、ずらずと上に上がって行って、これがもうちょっと行くとずっと消えるんです。連続写真で見てもかなりのスピードで進みます。

0.297sのところで、スタックのほとんど一番上まで上がっていますから、たしか、スタートが0.1sぐらいからスタートしたと思うんで、大体100分の2sで70m弱行っていますから、秒速300mに近い速度になります。

そういう意味では、衝撃波の後をついていくものという速度としては、そんなにおかしくはない速度、もうちょっと遅くてもいいんですけど。ただ、いずれにしても1号が爆発した後、上に向かってオーソドックスにこれが発見されているんですが、3号は、分かる限りではいろいろ調べたんですけども、このビデオ上はどこにも見えなかった。

それで、もし、従来言われているように5階で大爆発が起こったんだというのであれば、そのまま天井を抜けて、同じようなものが、しかも、よりエネルギーが大きいんで、見えてもよさそうなものなんだけれども、それは観測されていなかったんで、最初の爆発は、もっと下の階、4階みたいなところで起こったと考えたほうが自然じゃないか。あるいは、5階の建屋を破壊したものは、破壊のエネルギーの仕方がもうちょっとゆっくりなものだったと考えたほうがいいんじゃないかと、これが四つ目です。

五つ目が、地震計の観測値です。当時、発電所には幾つか地震計がついておりました。その資料がここに。結論的に言うと見るところ、あれだけ3号機のほうが大爆発に見えるのに、地震計に伝わった振動は3号機のほうが1号より大きいとは言えないということなんです。

次のページに行ってもらって、観測点がAとかBとかCとかDと書かれていますけれども、C点というのは1号機のスタックの横なんで、さすがに影響を受けやすいので、1号と3号と似たような距離というと、Dポイントがよいかとは思いますが。ちょっと3号に近いですけど。

それで、もう1ページ送ってもらって、24。これが地震計の、これは政府事故調に載っているんですけども、縦軸が3,000のやつとか、いろんな事故があるんで注意して見なきゃいけないんですけども、上から4段目の横並びが、先ほどのDポイントの1号、3号、4号爆発時の地震計の動きです。

これを見てもらうと、どっちかというところむしろ1号のほうが揺れ幅が大きいといいますが、振動幅が大きい。それで、ほかの観測点を見ても特に3号が1号よりも大きいというのは見受けられないという非常に悩ましいことになっています。

これは、うちの地震研究チームに、さらにこれを地表の地質構造の違いの影響を補正できるかという作業をお願いをしております。

○金子審議官 そうしたら、資料は54ページからついておるかと思います。

こちらのほうで、地震・津波研究部門の儘田のほうから、今、安井から紹介した論点について御説明をいただきます。

○儘田主任技術研究調査官 そうしたら、儘田のほうから説明させていただきます。

今、説明がありましたとおり、水素爆発に伴って周辺で緊急で取られた観測波がありますので、その観測波を用いて1号機、3号機の爆発規模の推定に資する知見は何か得られないかということで、今回発表するのは、2013年度に当時そういう分析をしておりまして、その結果に、それからもう一つそのときに選んだ課題が幾つかありますので、その辺について説明させていただきます。

○金子審議官 金子です。儘田さん聞こえますか。

○儘田主任技術研究調査官 はい。

○金子審議官 少し音が入りにくいみたいなので、ゆっくりめにしゃべっていただいたほうが、皆さん聞こえやすいと思います。

○儘田主任技術研究調査官 はい、分かりました。

それでは続けさせていただきます。

今回分析に使った簡易な方法なんですけど、2ページ目の距離減衰特性というのに従って今回は分析しています。

この式というのは、振源から放射された波の最大加速度なんですけど、これは距離減衰特性というのに従って、振源から距離が離れるに従って減衰するという、こういう仮定を置いて分析しているものです。

距離減衰特性というので、左下のボックスの中に示していますが、今振源距離 r の位置というところで評価点があったときに、そこでの最大加速度を今 $A(r)$ というふうに置きます。そうすると、この最大加速度というのは、パラメータを五つ書いていますけど、振源から評価点までの距離、それから、振源規模 M というの。それから n と b というのは、これは波の減衰の仕方を表すパラメータなんですけど、 n というのは波の広がり方です。これによると減衰特性ということで、これは波の種類に依存します。例えば波が2次元的に広がるか、3次元的に広がっていくかによって、この辺は違うと。だから、それは波の種類に依存するもの。

それから、もう一つ b というのは、地盤の媒質特性、これは主に粘性の特性などによるんですけど、そういう媒質に特有な減衰を示す、こういう b という値。

それから、あと一つは評価点の地盤の構造によって、地盤で振幅が増幅されると、こう

いう関数になっています。

簡単に、どんなふうな減衰をするのかというのを右のほうにグラフで示しました。

これは主な例として、横軸に震源からの距離を取って、縦軸に最大加速度を取ったときに、例えば、これは $n=1$ というときですけど、 $n=1$ というのは波が3次元的に広がったようなときに、 b 値が1というのは地盤の減衰特性が比較的小さい場合、 $b=3$ というのは地盤の減衰特性が大きい場合ですが、そのときにはこのような減衰をします。それから例えば波が2次元的に広がるときに、 $b=1$ 、 $b=3$ のときに、波があつてこのような減衰していくかというようなグラフが描けるんです。

結局、今回やりたいのは、振源からのいろんなところの距離に、それぞれの号機が爆発したときの観測波形があるので、その振源からの距離で観測された、最大加速度を縦軸に取って、こういう直線でフィッティングして、 n とか b の値を求めるといふようなことをします。

このとき、振源規模を推定しようとするとき、振源からの距離が非常に近いところ、この場合では0.05ぐらい、50mぐらいのところでの、この曲線が縦軸とぶつかったところ、今そこでの最大加速度になるんですが、そういう非常に近いところでの、例えば1号機のとくと3号機のとくと、この曲線をフィッティングさせたときの振源規模での比を求めることによって、そこでの振源の規模の比、あるいは振源の地震波になって出たときのエネルギー比のようなものが求められる。このような方法に基づいて今回はやっている。

それから、ちなみに b というのは非弾性減衰と言われているもので、これは媒質特有のものということで後のほうに出てくるので、御注意ください。

次のページをお願いいたします。

これが、当時の分析フローでございますが、まず、各観測点で最大加速度を算定します。今回は水平動の2成分合成ということで、当時はやっておりました。

これを算定したものを先ほどの図にプロットして、距離減衰特性式というもので回帰をする。この回帰式を用いて、振源付近での、それぞれの号機に対して最大加速度での振幅比とか、それから、エネルギー比に換算して、例えば3号と4号の比、それから1号と3号の比較というものを行っております。

右側のほうに、それぞれの号機毎、どのような取扱いをしているかと書いてございますが、当時は4号機の分析が中心ということで、4号機については観測波形を実際にいただいていたのですが、この1号機、3号機に関しては、当時、観測波形がなかったということで、

このときの最大加速度は東電さんの資料の読取り値から推定してございます。

それから距離減衰特性による回帰に関しましては、これも1号機、3号機、4号機、全て共通のやり方で、個別に別々にやっております。

こういうことで、1号機、3号機、それから3号機、4号機の比を求めているんですが、その結果が、次の4ページに求めているところ。

次のページをよろしくお願いします。

4ページ、これが観測点から、これは例えば4号機が爆発したときに観測が広がっていった、A点からE点まで五つの観測点で取られた加速度を、それぞれ各号機からの距離と、そこでの最大加速度を取って回帰したときの絵が、a)からc)まで、それぞれ1号機から4号機まで示されています。

この50mぐらいのところですよ。一番左の曲線が接するところの、ここでの加速度の比が爆発規模というふうに今回考えまして比較しました。そうすると、4号機で大体25galぐらいにここで交わっていて、3号機に対して400galということで、3号機と4号機の比だと大体15～16倍程度。それから、3号機と1号機の比だと、400galと2,000galなので5倍程度ということで、3号機と4号機の爆発に比べて、3号機と1号機の比は結構小さいだろうということが推察できるというところですよ。

次、5ページ目のところでございますが、このときは3号と4号の比なんですが、大体3号と4号の振源付近での加速度比というところでは、左のほうを見ていただきますと大体16.2倍で、エネルギー比にすると大体波の2乗、近似を使っているんですが、近似的にエネルギー比は波の2乗だというふうに考えると、大体260倍程度。1号機、3号機に関しましては、先ほど述べましたとおり、この3号と4号の比よりもかなり小さいというふうに考えられますので、16倍よりはるかに小さいであろうというようなことが分かりました。

ここで注意しないといけないところが、先ほど、bという媒質に関する減衰が、特有の減衰。これは3号機の爆発、4号機の爆発、どちらに関しても、ほぼ同じ媒質のものを伝播していると考えられるので、ほぼ同じでないといけないと考えられるんですが、今回解析したところ、この図で、3号機に関しては $b=2.1$ 、4号機に関しては 0.9 。実は、1号機の時もbの値が3.7と、かなり違う値を取っているんで、この辺は本来同じ値にならないといけないと、そういう課題をまだ抱えているところですよ。

次のページをお願いいたします。

先ほども説明しましたとおり、幾つか、今の分析結果にまだ課題が残っております、

まず一つは、波の種類によって回帰の係数が変わってくるんですが、今回用いた波というのは、6ページの左下のほうに図が出ています。

今回読んだところの、それぞれA観測点からC観測点までの波形を、例えば4号機の原子炉からの距離として並べた図ですけど、赤線を結んだところが最大振幅が到達する時間を表したところですよ。

その前にp波、s波という波が来ているんですが、この波は素性が分かっている波とか、波の種類が特定できるんですが、今回赤線で結んだところ、波の種類が特定できていないということで、今回二次元的に広がる波だろうというふうに、ある仮定を置いて計算しているというところがあります。

それから、もう一つは、この波を見て分かりますとおり、複数の波がたくさん来ている。こういう波が、本当に、例えば1回で発生した波なのかとか、そういうことに関しても考えないといけないということで、爆発以外の事象による影響も含まれている可能性がある。

そのため、今後、波の種類をしっかりと特定しないといけないという課題がある。

それからあと、右側に、これも4号機爆発のときの観測点Aでの波形の記録なんですけど、今回最大振幅、あるいは最大加速度を求めるときに、水平動2成分の合成を使ってしまったんですが、実は、上下動にもかなり同じくらいのレベルの波が入っている。この辺の波を無視しているんで、こういうことも気をつけないといけない。

それから、3点目として、今回、地盤特有の非弾性減衰といって、bの値、これが本来同じにならないといけないだろうということなんですけど、かなり違っている。この辺のところを加味したことを今後やらないといけないというふうに考えています。

最後、7ページ目が、この辺の課題をまとめたところなんですけど、繰り返しになるので、私のほうから以上でございます。

○金子審議官 ありがとうございます。

すごく大まかに言うと、まだいろいろ、細かなモデル上の違いとか、実際の地盤の違いというのを考える必要はあるのだけれども、58ページに書いていただいていたように、3号機と4号機は、かなり地震波から来る、その爆発から来る観測波のエネルギーというのは大きな差があるだろうと。これが、16倍なのか、エネルギー260倍なのかというのは別にして、かなりの差が見られる。

一方で、1号機と3号機の間は、16倍よりも小さいというふうに表現していただいていますけれども、3と4で見たような差が見られるほど大きな差は見られていないというのが、

現時点で、およそこの研究の結果からは推察できるだろうと、そういうふうに理解すればよろしいでしょうか。

○儘田主任技術研究調査官 それで間違いはないんですが、見通しとしては。結局、このbの値を同じようにすることによって、例えば1号機と3号機の差というのは、多分もう少し、さらに言うと、今5倍ぐらいじゃないかと言ったんですけど、多分それよりも小さくなるんじゃないかなという予想は今、立てているところでございます。

○金子審議官 したがって、よりその差が小さいということに対する感触は、今のところその方向で間違いはないだろうというふうに思われているということですね。

○儘田主任技術研究調査官 詳しいことは分析しないと分からないんですけど、傾向としては多分そうなるというふうに考えてございます。

○金子審議官 はい分かりました。ありがとうございます。

安井さんから。

○安井交渉官 1点、情報が足りないように思っています、3号は4号の16倍、加速度で言えば大きいということですが、1号は3号よりも5倍大きいと言っているんですか、それとも、3号が1号の5倍だと言っているんですか。

○儘田主任技術研究調査官 今、私が言ったのは、1号機が3号機の5倍程度ぐらいじゃないかというふうに考えているところです。

だから、今、1号が一番私のほうで大きくなっているという形です。

○安井交渉官 詳細なモデルにして、評価はまたこれから年末ぐらいにかけて進むんですか、それで進むんだと思いますけれども、先ほど冒頭申し上げたように、地震計に伝わった、それが何かというものは、もちろんいろいろ難しいんですけども、爆発時のエネルギーは、どうも3号のほうは1号よりも小さそうだ。

それが5倍なのか3倍なのかはよく分からないですけど、多分逆転するところまではなかなか行かないと思います。ただ、見たところはどう見ても3号のほうが大きい。

この矛盾というか、違いは何だろうということなんですけれども、それも、だから、単一爆発で説明すると、もうほとんど説明不能なんですけれども、先ほど冒頭言ったように考えて、最初に、建屋にある程度損壊を与える爆発現象と、それから、ある種、空中で起こる燃焼現象の場を分けるという考え方をすれば地震計に与える影響は小さいけれども、ああいう非常に高いところまで大きな噴煙というか、爆煙を上げるということが説明が可能じゃないかというのが、この地震計の観測値と冒頭申し上げた仮説との関係では、そう

いうことを裏づけているんじゃないかという、こういうものとしてここに持ってきました。

○金子審議官 ありがとうございます。

時間がかかってしまいましたけれども、五つ検証をすべき論点を今日御紹介をしながら、最初の仮説を、この検証項目を検証していくことで大まかにサポートできるのではないかなというのが今日の議論の中心なのですけれども、一つ一つの検証項目が混じっちゃうと、また議論があちこち行っちゃうといけないので、できるだけ、まず画像のところから順番にやらせていただきたいと思うのですが、画像のやつは、前回も少しお話をしたように、福島中央テレビのみならず、日本テレビにも御協力をいただいて、よりよく見えるような分析といいたまいますか、加工の作業を今、協力しながらやらせていただいております。

まだ、中間生成物なので、皆さんにきれいに動いているものをお見せできる段階にはないのですけれども、今日申し上げた、幾つか3号機の爆発の時点の映像を、超高精細化といたらいいでしょうか、例えば4Kにする技術を使うとか、そういうようなことをしながら加工してみたものというのも、また参考に見ていただいて、少し説得力が上がるかどうかというのも御覧いただければと思います。スライドのほうで投影をさせていただきたいと思います。

(放映)

○金子審議官 これは1号機の爆発の直前と言ったらいいですか。直後というか、ちょうど爆発が始まった時点のこまをキャプチャーしたものです。色に補正を加えたりしておりますけれども、鮮明化したものです。

次が、こまが一つか二つぐらい進みまして、先ほど衝撃波の後ろの凝縮波の議論がありましたけど、それが雲のような形で、より鮮明に見えるかなということで加工したタイプのものでした。

こちらは3号機のほうの、ちょうど炎が出たこまの画像を高精細化したものということになります。

それから、上にある黒い色調の煙が、より丸い楕円型できれいなというか、くつきりと外縁が映るような形の色に見えております。下のほうの白との差も、より分かりやすい形になっているかなというふうに思うようなものでございます。

まだ作業途中なので、今お見せしたぐらい。

今のやつを局部を拡大したもの、当然ですけどぼやけてまいりますけれども、それぞれ順番に見ていただければと思います。1号機の爆発の瞬間のもの、凝縮波が映って、凝縮

波が飛び始めるこまのもの。3号機の炎の出たこまについてです。これでこちらのほうが少し建物の形が見えやすいかと思います。

白く映っている南側の壁の左側に、それぞれの号機の西側の壁が形なりというものが少しはっきり映っているような形で観察いただけると思います。これが先ほどの爆発の煙の上があった時点です。これも色の違いも割とはっきりしてくるかなというふうに思います。

以上が、取りあえず、まずビデオの画像を見ながら検証していきたいというものの補強材料として共有をさせていただいたものでございます。

まず、絵を見たところでの皆さんからの何か、こういうのも見えるのではないかとか、こういうところは解釈が違うのではないかとか、あるいは、そこにはこういうものが別途あるんじゃないかというようなことが、もしあればいただければと思いますけれども、いかがでございましょうか。挙手をしていただければ。

それから、こちらのフロアの方も声をかけていただければと思います。

まず安井さんから。

○安井交渉官 さっきのきれいな絵で二つ、新しい材料なんで、それで解説したいと思います。

1号の最初のやつをお願いして、これは多分、爆発直後だと思うんですけど、どんと爆発して炎が出るのなら、こういうふうに広く出るのがしかるべきだと思っていまして、先ほどの3号の炎とすごく対照的なんです。あれは1カ所からじっとしていましたが、これ1回出てもうすぐなくなっちゃいますから、メカニズムが違うんじゃないかという一つの証拠じゃないかと思います。

それから、二つ送ってもらって、これって何秒後ですか。0.66sぐらいじゃないですか。

0.066s。だから30分の2フレーム目だと思いますけど、これ前から普通のやつにも見えていたんですけど、さっき言い忘れちゃったんですけど、スタックの左側にも明るく映るところが出ていまして、だから、右側の現象と左側の現象は、並行的に起こってはいるものの、同じものではないよという、スタックの左側も多分燃焼現象が見られているんじゃないかとは思っています。

それから、この時点で、まだ原子炉建屋の4階から5階の西側の建屋は、上のほうは左に寄っている気がしますが、まだ残ってはいるので、そういう意味でも一番最初に爆発して吹き飛んじゃったというのは無理があるんじゃないかと。これは、先ほどのやつはぼやけて見えなかったんですけど、そういう議論にも使えるんじゃないかと思いました。

○金子審議官 それぞれの方から、コメントなり観察なりいただければと思いますが、いかがでしょうか。

では、更田委員長からお願いします。

○更田委員長 追加というか、二つに分けてなんですけど、火炎面が出る前、 $t=0$ を定義している前に、3号機で建屋の湾曲みたいなものが見られたんじゃないか。

それは、今、安井さんが説明した、画面上で見える1こま間のゆがみだけが、今のところ仮説の根拠になっている。

○安井交渉官 ビデオという意味ではそうです。

ただ、東側の火炎が出るところに、水素の噴出口ができないことには炎が出ないので、そのために何か前駆現象があったはずだというのが実はスタートラインで、それにちょうど見合うところに、ああいうふうにはビデオが映っているというのが、考えた経緯ではありません。

○更田委員長 それで、何らかの駆動力が、あっち側へたわませなきゃいけないわけだ。

○安井交渉官 僕は重要なことを言わなきゃいけないのを忘れていまして、すみません。

資料の後ろのほうにもついていますけど、今言ったようなことはまるで僕は天から降って思いついたというわけじゃなくて、実は海外にも同じではないんですけど、類似の考え方が出されています。

○金子審議官 資料の61ページから、論文のコピーがあります。

○安井交渉官 ですけど、26ページにしてもらって、これは僕の説明の特落ちですみません。

アルゴンヌ・ナショナル・ラボラトリーが、多分、DOEとそれから経産省のプロジェクトでやっているんですけども、こういうレポートを3年に1回ぐらい出していまして、昨年、U.S. Efforts in Support of Evaluations at Fukushima Daiichi-2019というものがでていまして、その中で、あちこちに書いてあるのをまとめて書いたんですけど、英国内の専門家のコンセンサスとは、まだ言えないんだけどと一部に書いてあるんで、こう書いてありますけれども、multi-mode combustionという考え方を示しています。それはまさにmulti-modeというのはどういうことかということ、これは僕よりももっとぐっと進んでいて、fire ballという考え方で、爆発とfire ballなんだという、非常に極端に言うともうそういう考え方です。ただ、英語を短時間で簡単に説明しますので、URLをつけておきましたので、御興味のある方は原典を見ていただきたいと思います。

1ページ送っていただいて、中身は、この論文の中では1号も含めてなんですけれど、爆発は、爆轟ではなくて爆燃現象だとはっきり言っていて、それで、5階で爆燃現象がスタートして、それが4階にも行った。

それから、この爆発は3号機のリアクタービルディングは、彼はburstingという単語を使っているんですけど、破裂するまで見えない。

第一モード、第二モードというのは僕が作った言葉なんですけど、2番目は、リアクタービルディングのburstingによって屋根がなくなって、それで屋根がなくなったんで、このリアクタービルディングの中に爆発残りの水素が酸素に触れて、上空で燃焼を開始して、fire ballを作ったという考え方です。

それで、この論文は非常に面白くて、炭化水素、アセチレンとか、ああいうものがよく化学工場で爆発していますけど、あのときのこういうfire ballのいろんな経験、観測値との関係を使って上に上がっていった爆煙の直径から必要水素量を計算しています。4号機に流れ込んだ、あるいはベントした分とか全部入れて、何やかんやで3.25t水素が必要だと、これが非常に多くて、かつ3号機の5階部分は水素濃度70%、4階は50%とあって、この辺コロナが落ち着いたら、ぜひともアルゴンヌに行って膝詰めでいろいろ意見交換していきたいと思っているんですけども、こういうものがありました。

ただ、ここの中では、今回私どもが議論にあった原子炉建屋から噴き出している炎の問題とか、その前後関係はほとんど触れられていないので、そういう意味では、似ているけどポイントがずれてはいますが、フェアネスのためにこれは言及をしておきます。すみませんでした。

○金子審議官 更田委員長、お願いします。

○更田委員長 まず、T、Tマイナスのところでは建屋の変位が見られるというところ。それから、反応面というか界面が見えているところ、T₀付近です。それから、今度は上空で不思議に思ったのは、3号機のビデオの最後のこまで見ると、プルームが円形に、立てたラグビーボール形に見えるんだけど、今、アルゴンヌの27ページとか後ろの英文を、今この瞬間にぱっと見ただけではあるんだけど、何を言わんとしているかということ、最初、燃料リッチ、水素リッチで始まって、そして、建屋rapture、burstingと言っているのかな、raptureして、今度、また上空で空気に触れて、ただ、混合がそんなに上空でうまくいくかとは思いいくけれども、当量比が正の値から量論比1、当量比1のほうへ寄って。というのは、上空で何であれが丸いのかなと。下から吹き上げていったのではなく

て、未燃分があって、上空で反応して、だと球形に近いものができますよね。だけど、下で起きて、吹き上げただけだったら、ああいう楕円のものは見えないかなということアルゴンヌが言っている。

○安井交渉官 そうですね。アルゴンヌも言っています。私も同じようなものなんですけれど、一番最初に天井を吹き飛ばしていくプロセスまでもfire ballで説明するのは難しいと思ってまして、というのは、この絵で見ると、3号の0sのところで、もう炎が出始めているんだけど、まだ爆煙の上昇は始まっていない。始まったかもしれないけど、ほとんどぎりぎりなんです。その後、だんだん出てくるんで、まだそのときに、先ほどのきれいな絵でも側壁が残っていたということは、まだ建屋を吹き飛ばし切っていないんです。だから、吹き飛ばしてから残った水素が上空で燃え上がっていく、火球、fire ballのようなものを作ったんだろうという。完全に分離できるかどうかは自信ないんですけど。

○更田委員長 これで最後にしますけど、段階が一つ戻って、今度ちょうどT₀付近で、火炎みたいなものが見えますよね。色補正を行っているから実際のものではないかもしれないけれども。

水素と酸化剤がきれいに予混合していて、当量比1近くで燃えたら、きれいに燃えるというか、すす等が存在すればあれだけど、水素はあまり、ダストみたいなものがない、一緒に燃えれば別なんだけど、普通、水素は割ときれいに燃える。きれいにというか色が薄く燃えるんだけど、こんなに赤いのは何でだろうと。

○安井交渉官 これは、もちろん14日の時点ですので、もう既にMCCIは格納容器の中で起こっていたらと。

したがって、MCCIの結果の一酸化炭素とかも供給されていたら、それから、裂け目のできたのなら、そこところは、あれはコンクリートなんです。だからコンクリート片とか、それからいろいろな、まさにダストも混ざって噴き出したらとと思います。

細かいものまで説明はできませんが水素だけならこんな色にならないのは、agreeです。

○更田委員長 ただ、そんな炭化水素系と違って、COだつてそんなにこんな赤い火炎ができると思えないのと、あと密度から考えると、もうCOは空気と大して密度が変わらないので、多少軽いかな。

○安井交渉官 いや、密度問題は、これはトップヘッドフランジから水蒸気とともに、水素が供給されているはずなので、もう十分な気流が存在していると思いますので、密度によって成層化を論じるのは。

○更田委員長 じゃあ浮力じゃないと言っているわけね。

○安井交渉官 はい。

○更田委員長 対流があったということね。

それと、もう一つは、どのくらい第三体がいたのかなど。要するに、燃料と酸化剤だけではなくて、当然、水蒸気、随分な量いただろうと。だから、反応速度も下げるし、それから反応面近傍の温度も第三体の存在は下げるし、一方、すすはそもそも物すごくダストがあったのかどうか分からないから、火炎面の色というのは何だろうなというのは思いますけどね。すすが高温になっているというのも界面の色を変えるし、その辺りは。

これは、でも色の分析というのは難しいのか。無理なんだね。

○金子審議官 恐らく、今まで日本テレビなどと会話をしている範囲では、色を正確にスペクトル分析できるような意味で分析するのはなかなか難しいかなという感触は得ていません。

○更田委員長 いずれにしろ、3段階に分けて言うと、画面からは三つ目の、最後に吹き上げたものが球形に膨張しているというところが、極めて特徴的かと思えますけども。

○金子審議官 今の点は、ぜひ、もし御見解があったら門脇先生に、そういう形の煙ができるところと燃焼というのを見たときに、どういうことが考え得るのかとか、こういうことではこういうことは起きないみたいなこととか、観察をされてお気づきの点などありましたら、もし頂けるとありがたいのですけれども。

門脇先生、何か御見解はございますでしょうか。

○門脇教授 今の質問はなかなか難しい質問で、非常に実は答えにくいというのが正直なところです。

可能性としては多々考えられるとは思いますが、例えば、フレームボールのような、ああいった状況ですと、ある程度、予混合状態にならないと、そういったことは生じにくいであろうと。普通の純粋な拡散ですと、噴流拡散のようなところだと、ああいった球状のものというのはなりにくいであろうと。

じゃあ、どうしてそういったことが生じたのかと言われると、いろんな要因とか考え方があって、多分こうだということも非常に難しいというのが正直なところでございます。

せっかく振っていただいたことではあるのですが、今のところ、はっきり申し上げることは難しいというのが私の意見でございます。

○金子審議官 もちろん、これまでの材料だけで何か一つに決まるということではない

と思いますので、これから、我々もまた少し検証する中でいろいろな材料を作っていくって、こういうことではないかというのが、無理でないかどうかということで、また検証を重ねていければなというふうには思っております。

○門脇教授 協力させていただきたいと思います。

○安井交渉官 この予混合問題については若干内部で研究をしております、高濃集の、言わば爆発後に残存すすが燃えるためには、もともと水素リッチな状態があって、それで、ある程度の1回目の爆発なりで水素と酸素が1回消費されて、ですけど、そのときのエネルギーで、多分ブローアウトパネルは簡単に開いちゃうし、それから北西部はあれだけ壊れているぐらいですから、言わば大きな開口部が生じますので、言わば、1回目の燃焼現象、爆発現象で酸素を使い切っても、すぐに空気が供給される形になるんじゃないかと。

ただ、その後が、あんなにきれいに上がるかどうかは、僕らも専門じゃないんで完全には分からないんですが、爆発直後から酸素を供給する通路が開くようになるというのは間違いないんじゃないかとは思っています。

○金子審議官 更田委員長、お願いします。

○更田委員長 それこそ門脇先生に伺いたいぐらいですけども、2段階とって、1段階目、水素リッチであって、酸化剤を使い尽くして、一旦、1段階目終わって、今度すぐ酸化剤が供給されて予混合気が形成されて、そして上空へ上がって2段階目という、この段階は、水素だけとしますと反応速度が最もと言っていいぐらい、アセチレンほどではないにしても反応速度は速いものだから、そもそも2段階と考え得るものでしょうか。

○門脇教授 2段階という、例えば、まず一般論から申し上げますと、こういった爆発事故は、今回の福島以外で、いろんなところで爆発事故というのが生じていたときに、例えば、広いオープンなスペースとか、単純な形状のところだと、1回の爆発で現象が生じるということはあるんですけども、実際に部屋がたくさんあったりとか、いろいろ仕切りがあったりとか、特に、福島の原発のような巨大な建物で、中に部屋が何層にもなっているというところで、あるところで爆発が起きてまた違うところで爆発が起きるとい、多段の爆発というのは、これ以外でもよく見られることですので、多段爆発が生じたということ自身は、それほど変な仮定ではないというふうに私自身は思っています。

ただ、それがどうやって起きたかとか、そのメカニズムがどうだとか、あと、どこで酸化剤と燃料が混合したかとか、そこら辺の議論になると、それはまた別の話で、そこまで、現在の状況で、こういう経過があって、それでここで混合して、そして次の爆発が起きて

とか、そういったところまでは、まだ私としてはよく理解できていないというところがございます。

○金子審議官 門脇先生、ありがとうございます。

ほかに、まだ、絵を見た範囲でということ結構だと思いますし、お気づきの点とか、御疑問になる点とか、先生方、あるいは私ども規制庁の職員でもいいと思いますけど、ありましたらいただければと思いますが。

JAEA、丸山さんでしょうか、手を挙げてくださった。次、宮田さんお願いいたします。

○丸山（JAEA） 1点、お聞きしたいのが、凝縮波の事です。1号機では凝縮波らしきものが見え、3号機では、それが観測されてないということなのですが、それが意味するところは何かということなんです。

○安井交渉官 いや、推測なんですけれども、一番最初に、5階で大爆発が起こったと。それで一気に建屋も破壊したという考え方になるのなら、その爆発エネルギーの発露である衝撃波と、その後についてくる、衝撃波は見えないんですけれども、凝縮波も3号機でも見つかっていいんじゃないかということなんです。

ですけど、3号機では見つからないので、もうちょっと言わば衝撃波が上空に行きにくいところで、建屋の破壊をもたらす最初の爆発が起こったと考えたほうが合理的なんじゃないか、あるいは、もっと逆に言うと、どうして3号機では衝撃波が見えないんだろうなという、それを説明できる、ほかにもっと合理的な考え方があるだろうかと、こういう問いかけだと思ってもらえれば結構です。

○丸山（JAEA） 分かりました。ありがとうございます。

○更田委員長 それは、安井さん、3号機、デトネーションに至ってないんじゃないかと言っているのと同じだと思うけど。

○安井交渉官 いや。これは最初の門脇さんの御説明は、正直言って、僕は若干不十分で、はっきり言ってよく分かってないんですけれど、海外の論文を読んでも、それから、あんな大きな空間でデトネーションに移行するとはあんまり考えられていない。

それで、先ほど申し上げたNational Laboratoryのものでも、1号も3号もファストという言葉がついていますが、ファストデフラグレーションだと言っていますし。

○更田委員長 だから、そもそも、だから私が言いたいのはそこで、だから、衝撃波が見えないって、衝撃波が見えないのは当然で、デトネーションに至ってなければ衝撃が発生してないから見えない。

○安井交渉官 それは、デトネーションにならないと衝撃波が見えないというのは賛成できません。音速を超えなくても、爆発をすれば、それなりの衝撃、衝撃波という言葉が良くないのかもしれませんがね。

○更田委員長 僕は、衝撃波という言葉はマッハ数1という意味で使っているのです。

○安井交渉官 圧力波と、その後が続く凝縮波という意味で使っております。

○更田委員長 衝撃波というと、ショック・ウェーブというとマッハ数1以上という意味で使っているのです、そういった意味で、安井さんの言っているのは、要するに衝撃波じゃなくて圧力波と言っているわけね。

○安井交渉官 そうです。

○更田委員長 だから、安井さんの言葉を私の言葉で整理すると、3号機でデトネーションに至っていないんじゃないか。DDTは原子炉安全の関連でも、サンディア等も、随分、80年代に実験していますよね。管路が狭くなっているとか、障害物があってデトネーションに遷移するというのは。

確かに、安井さんの言うとおりののは、拘束力が弱い、ないしは自由に広がっている空間でデトネーションを起こさせようとするというのは考えにくいというのはあるので。ただ、1号機は話が複雑になるので置いておきますけども、少なくとも3号機は、あの画像を見ている、いわゆるデトネーションというようなものではないように見えますけれども、この点はどうでしょう。異論がある方がおられれば、お願いします。

○金子審議官 門脇先生、もし何かコメントがございましたら。

○門脇教授 我々、燃焼をやっている人間の間でも、あの福島の水素爆発が生じたときに、これはデトネーションなのか、デフラグレーションなのかという議論というのは多くなされております。

そういった中で、ああいった広い空間でデトネーションが生じるかということ、実際にはなかなか生じにくい。局所的に、例えばパイプの中でデトネーションが起きたとか、そういったことは可能性としてはあるんですが、大規模に、原子炉建屋全体としてデトネーションが生じるかということ、非常にその可能性は低いんじゃないかということで、じゃあ、デトネーションにならないのに、どうしてあれだけの破壊力があるかということに関しても、デフラグレーションであったとしても、原子炉建屋をあれだけ破壊させる力は十分備わっておりますので、我々としてはデフラグレーションによって、ああいった破壊が生じたのが主ではないかというふうを考えているところでございます。

○金子審議官 ありがとうございます。

○安井交渉官 先生、1点、非常に重要な点だけ確認をしておきたいんですが、先ほどのプレゼンではDDTのお話とかを非常に細かくされておられましたけども、基本的には、デフラグレーションの領域で、原子力発電所のリアクタービルディングという体系の中は、局所は別として、全体は、多分その爆燃の領域だっただろうと。

それから、それによる、僕らは圧力爆発と言っていますが、瞬間的な自由エネルギーが解放されるので、それで閉空間の圧力が上がって、それで10気圧か何気圧かの領域に達して建屋が壊れるというのが考えやすいことなんですけれども、ああいう等方的で壊れているものは、さっきの御説明のほうは、爆轟なんだとおっしゃっているように思っていたんですけど、そうじゃなくて、爆燃で十分に起こるということをおっしゃっているんですか。

どちらなんでしょう。

○門脇教授 先ほどの説明で、DDTというのは、狭いパイプの中で非常に起こりやすいということを申し上げているところでございます。

例えば、以前、浜岡でパイプの中でデトネーションということがありましたけど、あれは、あくまでも狭いパイプの中でDDTが起きたということで、それを説明したものでございまして、今回の福島第一原発の場合は、そういった局所的にパイプの中とか、そういったところではよく分かりませんが、原子炉建屋全体としては、ああいうデトネーションに遷移することは起こりにくいというのが私の思いでございます。

そういう意味では、安井様の御意見とほとんど似たような見解ではないかというふうに考えております。

○金子審議官 ありがとうございます。

先ほど宮田さんから手が挙がっておりました。あと、もうお一方、二ノ方先生ですかね、ありましたので、その順で御意見を伺いたいと思います。

○ATENA（宮田） ATENA、宮田です。

なかなか、こういう爆発とか燃焼とかは専門性があまりないので、今日はたくさん勉強をさせていただいているという状況なので、ああだこうだという、なかなかコメントしにくいところはあるんですが、多段の燃焼現象、爆発現象ということに関しては、政府事故調のほうでも、当初、南東側で火が出て、その燃焼の加速をして、北西側を壊してしまっていて、その後に黒い噴煙が上がっているという、ある意味、そこでも多段であるかのような

表現にはなっているのかな。その4階、5階みたいな議論があるんだと思うんですけども、その中で先走っちゃうのかもしれないですけども、先ほど、地震計の話があって、あちらだとエネルギーの評価に注目しているような感じになっているんですけども、そういう多段の現象というのがもし3号であるとするならば、1号の波形とかなり違うものが見えてくるのではないかなというふうなことを期待しまして、今後、まだ分析されるということなので、エネルギーに着目するだけではなくて、そういう多段の現象みたいなものを捉えるというような目線でやっていただいたらいいのかなというふうに思いました。そういうことです。

○金子審議官 御指摘ありがとうございます。

そもそも、多段のそれぞれが、同じように地震計に捉えられるような波を出すような性格のものになっているかどうかという議論さえも、多分しなければいけないので、きれいに見えるかどうかというのは、まだ今後の課題かもしれませんが、御指摘の点は、我々としても認識はしているつもりではございます。ありがとうございます。

○安井交渉官 ありがとうございます。波形をチェックすべきというのは、もうアグリーをいたします。

ただ、1点だけ申し上げておきたいのは、私が言っている多段というのは、時間的多段じゃなくて、破壊現象と、それから上空に上がっていくものというのがありますので、上空に上がっていく部分は地震計では捕まらないはずなんです。

したがって、そこは波形には出てこない。だから、もしかしたら1号と3号の波形が似ているほうが今回の議論としてはマッチするかもしれないという、一応、問題意識だけはお伝えしておきたいと思います。

○ATENA（宮田） そういうことも当然想定されると思ってしまして、逆に言うと、噴煙で上がってしまった、そこにたくさんの水素がもし含まれているんだとすると、そのエネルギー分は全部差っ引かれてしまうということにもなるので、逆に、先ほど、1号機のほうが強い地震動になっていたというのを裏づける格好にもなり得るというふうには思いました。

○安井交渉官 ありがとうございます。それが私の主張です。

○金子審議官 まさに、そういう解釈でいいかどうかということが、後ほどの、この5番目の論点でも議論をしたかった点の一つではございます。ありがとうございました。

よろしければ、二ノ方先生、お願いできますでしょうか。

○二ノ方名誉教授 東工大の二ノ方でございます。

今までの門脇先生のいろんな御説明で、よく分からなかったというところがかなり分かってきました。いろいろとありがとうございました。

そこでお伺いしたいのは、3号機の3階の北西部のコーナーの、南北方向にある小さな細い梁、小梁と言っていますね。小梁の破損部、破損です。これはデフラグで生じたということだと、先ほどの御説明だと考えられるのですが、これぐらいの破損状況を生じさせるためのエネルギーというものが、そういうデフラグのどの段階、どの辺で、どの時点で発生したのかというのがよく分かりません。こういうことは結果的には分かるものなんでしょうか。

要するに逆問題を解くことに繋がるとは思いますが、いろんな破損状況、写真を見てみると、あっちこっちがいろんな破損をしております。破損の程度というのは場所によって違うわけですが、これは当然、時間によっても違うと思うんです。

それで、先ほどから見ているビデオの画面だと、大体、煙にのまれている間に壁が崩れているとか、建物の柱が落ちているとか、3号機の3階、4階、5階ですか、北東部のコーナーが大規模に壊れているのか、これらが壊れていく順番、時間が画面からは分からない。全て、白い煙なのか砂塵なのかはよく分かりませんが、水平方向に広がっていますよね。その拡がりのどの辺の段階で、(これらの構造物が) どういうふうにして壊れていったのかということの予測はできないのでしょうか。

これは、一つは、デフラグで、それぐらいの一連の破壊エネルギーが乗っているということの逆算というか、破壊状況から見て、できるものなのかどうか。

門脇先生か、構造の専門家の方に、どのぐらいあれば壊れるんだということ、逆算でできるのかどうか教えていただければありがたいのと、これからの検討課題かなとも思いますが。

○金子審議官 二ノ方先生、ありがとうございます。

先ほどの、これは次の論点、内部調査の小梁の破壊のところへ行っているのですが、市野先生からもコメントをいただいておりますけれども、そもそも小梁だけじゃなくて、いろんな柱もたくさん壊れているので、そもそもデフラグレーションで、それぐらいの大きな破壊力をコンクリート構造物である建物に対して与えられるかどうかというのは、先ほども御解説いただきましたけど、まず一般論として御見解をいただいて、どれぐらいの本当の爆発力、例えば、水素の量でありというのがないと、そこまで行くのかというのは、もう

ちょっと詰めていかなければいけないと思いますので、今後の課題になるとは思っております。

市野先生から、繰り返しになる部分もあるとは思いますが、コメントをいただいてもよろしいでしょうか。

○市野准教授 では、もう一度、18ページですか、そちらの梁のほうを御覧ください。

こちらは、さっきの、恐らく話題に出ていました角の梁とはまた違う梁なんですけれども——すみません、19ページですね、こちらのほうが分かりやすいので。

この梁が大体どれぐらいの力を受けたら壊れるのかという話について少し考えてみます。結論から申し上げますと、このような破壊、爆燃レベルの圧力で生じるかどうかという話ですけれども、概略の計算で考えるとあり得るといったお話しになります。

まず、この程度の幅、高さ、スパン、あと鉄筋量の梁であれば、ざっくりとなんですけれども、大体55t程度のせん断力に耐えられるようです。

一方、この梁には、もともと建屋の自重ですとか設備等の重量、こういったものがかかっておりますので、このちょうど壊れている辺り、この端の辺りには、爆発を受ける前から、常に30t程度のせん断力が既に発生しております。

ということは、あと残り少なくとも20tちょっとは余裕があることになります。

一方、では、仮に爆燃だったとして、その爆燃の際に生じる圧力がどれぐらいかというお話ですけれども、この閉鎖空間、開放空間、いろいろあって一概には決められない部分がありますけれども、先ほど、最初のほうで門脇先生から御説明があったように、7~8気圧に達することもあり得るといったことのお話でした。

仮に、ここでプラス5気圧の爆風圧が梁の上面にかかったと考えると、その爆風を受けたときに、今、壊れている梁の端の辺り、ここに発生するせん断力が大体120t程度ということになります。そうすると、せん断で破壊するに至る可能性は十分にある。

さらに、このせん断という破壊の対応は、加わる力がある大きさを越えたところで、一気にズドンとずれるような破壊を起こす、そういう特徴があります。なので、こういった写真のような著しい破壊に進むことも可能性としてはあり得る。

あと、先ほどの計算では、梁の上面にかかった力だけ考えておりましたので、その梁にくっついている上の天井といいますか、床スラブ、こちらのほうに作用した力も一緒に梁が受け持っている可能性もありますので、実際にはもっと大きな力がかかった可能性もあります。そういったところから、その爆轟は言うに及ばず、爆燃であっても梁が破壊に至

る可能性は十分にあるかなと思われま

ただ、ここまでの計算なんですけれども、今の計算は爆風に相当する力がゆっくりかかった場合の計算になります。実際のところ、爆風は瞬間的にドンとかかるようなものになりますので、動的効果といまして、そのときはゆっくりかかった場合よりも壊れ方が大きくなったり小さくなったり、いろいろそういう変化をします。その辺りは別に検討を要することになるとは思いますけれども、大まかな傾向につきましては今申し上げたとおりになります。

以上となります。

○金子審議官 市野先生、ありがとうございます。

今、少し数字の話が出ましたけど、恐らく今日の資料の後ろのほうにいろいろな設計情報が入っておりますけれども、この対象の小梁の先ほどの断面積、あるいは、長さ、それから、実際にどういうスパンで大梁も含めて組まれているのかというようなことをベースに、大まかに先ほどの圧力みたいなことで前提にすると120tというお話もありましたけど、それぐらいのオーダーの力がかかっていくだろうという、そういう、ある意味簡易な計算を試してみたという結果で理解をすればよろしいでしょうか。

○市野准教授 はい、そのとおりです。

○金子審議官 ありがとうございます。そういう意味では、ある程度根拠のある基本設計図面などから推察をすると、それぐらいのことは十分起き得るというお話だったというふうに受け止めていただいたらよろしいかと思

二ノ方先生、よろしいでしょうか。ほかにコメントがもしおありになれば。

○二ノ方名誉教授 結構です。よく分かりました。

○金子審議官 ありがとうございます。

それでは、今、テレビ会議の画面が映っていないので、手を挙げられても見えなくなっちゃっていますけれども、ほかにいらっしゃれば御発言をお願いしたいと思います。

じゃあ、更田委員長。

○更田委員長 場つなぎで、短いですが。

例えば、16ページの写真を市野先生に見ていただいて、なかなか判別がつかないのではないかと思うものなんですけど、爆風で力のかかった方向が、指向性があるのか、それとも等方的なのかという判断はつきますか。

○市野准教授 この写真を見ただけでは、直ちにどちらの方向に向かったのか、あるいは、

等方的に飛び散るという表現がいいかどうかは別にして、等方的に広がったのか、そういった話は直ちには分からない部分があります。

○更田委員長 何かそれらしい写真というのがありますか。

○市野准教授 その爆風の指向性といいますか、方向性が分かりそうな。

○更田委員長 指向性を何となく示唆しているようなというのがありますか。

○市野准教授 そうですね・・・。

○更田委員長 これは痕跡だからね。

すみません。ありがとうございます。

○安井交渉官 今の更田委員長の御要望に答えられるかどうかはよく分からないんですけども、まず、この政府事故調に出ているこれから見ると、さっきの北西角を見れば、まず、水平方向は4階の北側の西側寄りの柱は全部飛んでいます。それから、西側の壁は北寄りの2本がたしか折れているはず。それから、5階はもう全部ありません。

それから、15ページにしてもらって、これは大分時間がたっているのであれですけど、この4階から見れば上側ですね。上に向かっては端っこのほうが全部ドドドと欠落していますので、上向きにもそれなりの何か力が働いたんじゃないかと。

それから、3階天井面が上から押し込まれていますから、つまり、上と下と、それから、北と西に向かったの力の痕跡はある。

ただ、その瞬間のデータではないので、経年劣化の影響とかも受けている点は若干割引がいるとは思いますが、壊れた形を見れば、水平方向だけとか、下だけということではなさそうだと。つまり、上にも下にも北にも西にも。

○更田委員長 そこで一つ大事なのが、3階天井、4階床と言ってもいいけど、そこが下向きに力を受けているというのは確かなのかな。

○安井交渉官 それは、先ほどのまさに梁の。

○更田委員長 だから、その方向からすれば、まず、ほぼそれは確定していいということかなと。

○安井交渉官 僕じゃあれなんですけど。

○市野准教授 また、19ページをお願いします。

こちら左の写真ですかね、先ほど、せん断の話をいたしましたけれども、これは何か損傷を受けて後でその自重で落ちたとか、そういった話もあり得るというお話があったので、別のところに注目をしてお説明します。

左側の写真の右のほうですね、パイプが通っていて、そのすぐ左の辺り、下からひび割れが走っていると思います。これは、せん断ではなく曲げ破壊でして、この方向にそのひび割れが入っているということは、上から下向きに押されたと。

○更田委員長 下向きに。

○市野准教授 はい。恐らく、そこから。

○更田委員長 それは確かに下面のほうに広く広がって、軸方向の応力で言えば、下のほうが引っ張りがかかっているという、そういうことですよね。

○市野准教授 はい、そのとおりです。

○安井交渉官 20ページを出してもらって、実は、前回3号の調査に行ったときに、ちゃんと撮れてなかったんですけど、今、先生に言ってもらった、その南北梁が接合されている、より大きな太い梁が、東西梁が走っています。それがここに写っている梁なんですけれども、梁の下面が、塗料とかがみんな剥げているんですね。

だから、多分、下にたわんで、表面がはじけたんじゃないかと思うんですが、今度もう一度行くチャンスがあれば、側面からの先ほどの曲げのクラックが入っているかどうかを撮ってきたいと思います。

ここ見ていただくように、この辺が全部いかれているし、周りの天井面も、天井が、だから3階から見える側の鉄骨が見えているということは、下に押されて旧3階の天井側のコンクリートが落ちたと考えたほうが、下から上に押されたと考えるよりは合理性は高いと思います。

○金子審議官 よろしいですかね。

それでは、時間も2時間ぐらいになってきたので、ここら辺で、大分、私の進行が悪くて、5-2のほうの構造的なものを見た、破損状況を見たところの検証にも論点が入ってしまいましたけれども、それはまた引き続き続けさせていただくとして、少し休憩を挟んで、3、4、5というところに行かせていただければと思いますので、ここで10分間、一度休憩を挟ませていただいてよろしいでしょうか。

よろしく願いいたします。

(休憩)

○金子審議官 それでは、休憩後、会議を再開したいと思います。引き続き、御議論に御協力をお願いいたします。

先ほど休憩前に申し上げたように、5-1、2、3、一部4とかというところまで議論が入っ

てしまっておりますけれども、引き続き、そういう意味では、今してまいりました、この建屋の破損状況とか、梁の壊れとか、あるいは、床のゆがみとか、そんなところの特に建物の壊れ方から見たこの爆発現象、あるいは、その破損のメカニズムといったようなところを中心に、まずはコメントなりをいただければと思いますけれども、この時点で特にありになる方はいらっしゃいますか。

今回、実は現場に私どもの地震・津波審査部門の職員も一緒に行って、現場を確認しております。別室にいるメンバーなので、物がもしかして言いにくいなということになるといけないので、そちらに、どんなふうに見えたかとかということについて水を向けてみたいと思うのですが、名倉さんなり、江崎さんなり、何かオブザーベーション、あるいは、気づいたことということで、補足をされるようなことがありましたらお願いできますか。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

○金子審議官 はい、お願いします。

○名倉安全管理調査官 私のほうは、8月7日に1Fの4号機のほうに調査に入らせていただきました。

今回は、3号機の原子炉建屋3階の小梁の被害状況が資料の19ページのほうに示されております。これと同じような状況が4号機のほうの建屋でも、3階から見た4階の床でしたか、こういった小梁の損傷が見られました。

それで、私どもは審査でも見えていますけれども、耐震設計という観点で見た場合に、この梁の損傷が、私どもにとってはすごく違和感がありまして、それは耐震設計をする場合は、動的荷重か静的荷重の領域で弾性範囲の設計をしております。その場合に、小梁とか鉛直荷重を負担する部材は、せん断破壊しないように、曲げ破壊がモードとして先行するように設計をします。

それに対して、今回、梁が端部のところでせん断破壊の様相を呈していて、かつ、鉄筋の内側のコアコンクリートがある程度損傷を受けている。これはあまり耐震設計の観点では見受けられないような損傷モードだったかなと思っています。

そういう観点で見ますと、これは市野先生の専門領域かと思えますけれども、荷重がある程度、梁と床を含むような振動系の固有周期に対して、それよりも短い時間で大きな荷重が作用して、このようは破壊モードになっているのかなというふうに考えております。

そういう意味で、これは地震とかでの壊れ方と全く違う、短時間の間に大きな荷重を受けたというふうな壊れ方なのかなというふうに見ています。

私からは以上です。

○金子審議官 ありがとうございます。

今、規制庁の耐震設計の審査をやっている、専門的知見のある職員からのコメントをいただきましたけれど、ちょうど市野先生の御専門領域ともということでしたけど、市野先生、今のを聞いてどんな感想でいらっしゃいますか。

○市野准教授 先ほど御指摘がありましたとおり、通常、その耐震設計に関しては、せん断で壊れると、こうしてがさっと落ちてしまうので、より粘る曲げで壊れるように設計をするというお話ですけれども、私も図面等を見せていただいて、そういった感想を覚えしました。結構、こちらは曲げに対しては、相対的に非常に強く設計をされておりまして、その曲げが致命的な破壊に至った原因ではない。せん断で壊れているというようなお話は先ほどさせていただいたとおりです。

あと、地震に関連して、爆発という現象ですので、瞬間的に作用をしたことと、そのせん断破壊との関係というお話ですけれども、当然、その爆発という瞬間的な力がかかったから、このような破壊を呈したということは十分に考えられると思います。

先ほど少し前に、せん断か曲げかどちらかというのは、この場合は梁ですけれども、梁の断面、あるいは、鉄筋の配置、そういったものに関わるというお話をしましたが、当然、力側の特性も曲げになるか、せん断になるかというのに影響をしております、一般的には、どちらかという瞬間的な力のほうがせん断になりやすいというのがあるんですけれども、こちらは、その梁の固有周期ですとか、そういったところと、爆発の力の大きさ、あと作用時間、その関係が非常に重要になってきますので、そちらについては、もっとも詳細な計算が必要になってくるといいますか、詳細な計算をすれば、もっと、よりいろんなことが分かるといったところが考えられます。

以上となります。

○金子審議官 ありがとうございました。

先ほどのように、水素の量とか、爆発の規模とかという、そういうことの関係がまた出てくるというコメントだと思いますが、そこら辺はまた追加的な検証要素ということで、我々も努力をしていきたいというふうに思います。

今日は、東京電力からまだ御発言ありませんけれども、ここまでの建物の損傷状況とか、そういうのは東電もよく、ある意味把握をしておられるので、そういう目から見て何か違和感のあったこととか、やっぱり、そういうことなんだなというふうに認識を共有したと

か、そういうことでも結構だと思いますけれども、東京電力としては、どのような受け止めか、少し御発言をいただいてもよろしいでしょうか。

○三浦（東京電力） 東京電力の福島第一のほうから参加しております三浦と申します。

今、いろいろ委員の先生方から御発言いただいた内容については、我々も同様に認識といたしますか、そういうことだろうなということで、こちらも聞かせていただいておりますので、特に特段の追加のコメント等はございません。

以上です。

○金子審議官 ありがとうございます。

今後のこういった仮説なりの検証の中で、東京電力としては、こういう点を確認していきたいとか、あるいは、追加的にこういうことをやってみたいとか、あるいは、こういうことは情報があるとか、何かそのようなことというのはございますか。

○三浦（東京電力） 今日、いろいろと我々も勉強させていただいているところでございますので、そういったいろんな見方を、今日、御紹介いただきましたので、そういった点も踏まえて、何ができるかというところは検討していきたいと思っております。

○金子審議官 現地の確認作業なども含めて、また、協力をさせていただきながらやらなきゃいけないことも多いと思いますので、ぜひ、現場レベルでも調整をさせていただきながら、またできればと思いますし、東京電力として問題をお持ちになっていることが、それと一緒にできることもあるかもしれませんので、そういった点についてもぜひ遠慮なくというか、遠慮する必要はもちろんないのですが、共有していただいて先に進めればと思いますので、そこら辺もぜひ東電の中でも認識共有していただけたらいいかなというふうに思います。

○三浦（東京電力） ありがとうございます。こちらこそ、よろしく願いいたします。

○金子審議官 ほかにこの破損状況等々の点から見てという点ではあります。

あと、残り、先ほど凝縮波の話が1回、丸山さんから出ましたけれども、凝縮波のところは、また後で門脇先生にも、どんなふうに見るかとか、どうしたらこういうことがあり得るか、あるいは、差が出得るかというところも含めて、コメントをいただけたらなとは思いますが、破損状況関係では、特にあと確認したいことなり、御議論しておきたいこと、論点はございますか。

○前川技監 NDFの前川ですけど、画像がうまく送れていないんですけど。

○金子審議官 じゃあ、前川さん、お願いします。

○前川技監 すみません。映像が先ほどの休憩で切れちゃったもので、声だけで取りあえずお話させていただきます。

いろいろとありがとうございました。

それで、一つ教えてほしいのは、先ほど来の、十何ページの小梁の写真のせん断破壊のところなんですけど、大梁と小梁の剛性比というんですか、いわゆる、大梁を剛体的に考えるというようなお話されているのだと思うんですけど、大梁のほうの変位拘束的なところから来る小梁の破損というのは、考慮する必要というのはないのでしょうか。

○金子審議官 前川さん。私が言葉をちゃんと聞き取れていないのかもしれませんが、大梁のほうの変位拘束とおっしゃいました。

○前川技監 要するに、爆燃で建屋自体がいろんな変形を受ける。大梁自体も何らかの変形を受けて、それが小梁に対して、破壊荷重——荷重じゃない、変位なんだろうけど——として与えることによって、単に爆燃の圧力波による分布荷重だけじゃなくて、それとの相対であるような破壊が生じたというところでは考慮すべきではないのでしょうかというのが質問の趣旨です。

○金子審議官 それは、確認ですけれども、前川さんがおっしゃっているのは、もちろん、爆発の圧力による荷重によって、せん断応力が発生したというのはそのとおりだとしても、今、前川さんおっしゃったようなことも、一つの結構大きな要因として考慮する必要はないかという御趣旨でよろしいのですよね。

○前川技監 はい。

○金子審議官 それは、全くないという人は、多分、誰もいないのだと思うのですが、それを考慮しないとメカニズムが説明できないほど大きな要素になり得るかというような御質問だと理解したらよろしいですか。

○前川技監 はい。

○金子審議官 これは、そういう意味では、もし分かったら市野先生、何かコメントがあれば助けていただければという感じなのですから。

○市野准教授 先ほどの御指摘ですけれども、まず、私が少し前に御説明した計算では、端部に付加的にかかる力については考慮はしておりません。もし考慮するのであれば、端部に、大梁に何がしかの力がかかって、それが小梁に与える影響というのは、一応計算上は求めることは可能です。

以上になります。

○金子審議官 その意味でも、大梁にどれぐらいの影響があったか、さっき実際にもう一度見るチャンスがあれば、その変形状況とか確認できればという話もありましたけれども、それがある程度大きければ、それを逆に言うと考慮に入れる必要があるだろうけれども、それがあまり大きな影響でなさそうであれば、先ほどの大まかな想定の計算の中で説明ができるのではないかという理解でよろしいでしょうかね。

○市野准教授 はい、そのとおりです。

○金子審議官 ありがとうございます。

そんな感じですけども、前川さん、よろしいですか。

○前川技監 ありがとうございます。

そのバックは、今日も写真で説明がありましたけど、4階も、こうやって北西側の……がみんな壊れているということもありますので、それなりの体制というのが、多少の生成成分的なものがあるんでしょうけど、書かれていることも、また一方ではいいのかなと思いますので、少し考慮の、経緯というのですかね、どの程度、そういうものが寄与しているのかというのは検討する必要があるのかなということで、質問させてもらいました。

ありがとうございました。

○金子審議官 ありがとうございます。

多分、今のお話は、推察するに、16ページという資料の写真を3号機の北西から撮ったやつですけども、見ていただいて、安井の御説明のときにもありましたけれども、これは、ほぼ北側から見ていて西側も見えていますが、この屋根が崩れて、ちょうど梁が左側から出ているところが5階の床の梁、4階の天井の梁ということになっていて、これは、それなりに平面を保っている構造になっている。

それから、そこにさらに壁になくなっていて、下にもう一回、今度は4階の床、先ほどから見ている3階の天井の面がありますけれども、そこは梁が直接写っているわけではないかもしれませんが、大梁が大きく壊れて、もう床が全部ひしゃげてしまっているというような状況ではないことは、そもそも全体の外観としては捉えられているので、その前提で、あとはどこまで、今、前川さん御指摘のようなことを考慮しなきゃいけないような変形が梁に生じているかどうかというのは、また内部を確認できる範囲で見てこられたら、どれぐらい影響がありそうかというのはぜひ見てみたいなという感じがいたしましたので、そのような中で受け止めていきたいと思います。

それでは、ほかにコメント。

うちの星君からです。

○星主任技術研究調査官 規制庁、星です。

一番最初の炎の色に戻ってしまうんですけども、この炎の色がついているということが、そのプラント内部で既にMCCIが発生していたかどうかの判断材料となり得るかどうかということで強い関心があるので、この点について、できたら門脇先生から教えていただきたいんですけども。

この炎に色がついているのは、ガスが燃えたものによるものか、それとも、一緒に伴った粉塵からの発色・発光によるものかというのは、この画像から判断可能でしょうか。

○門脇教授 炎の色に関しては、赤色系の炎のことを指しているんだと思います。

赤色系の場合ですと、基本的に炭素、カーボンがその基になっているということで、何らかの炭素成分があって、それによって赤い色が出たと推察できるかと思います。

ただ、その原因が何かと言われたときに、まだ現在の段階では、これだという確定するところまでは行ってないと思います。

もちろん、可能性としてMCCI、これによって二酸化炭素とか一酸化炭素が発生して、それが水素と混合して、それが燃焼することによって赤い炎が出たということも可能性として当然考えられることですし、じゃあ、ほかに可能性がないかと言われると、その他の可能性もいろいろ精査していかなければいけないと思います。

ですから、現在の段階で、赤い色が出たからMCCIが既に起きたというふうなものとは直接結びつけられるかということ、可能性はかなりあるとは思いますが、絶対この赤い色が出たからすぐMCCIだというふうには、今の段階で関連づけるところまでは行ってないんじゃないかなというふうに思います。

以上です。

○星主任技術研究調査官 規制庁、星です。

どうもありがとうございます。今後、水素の発生量とか、そういった量的な評価というものも多分進めていくことになると思いますので、そういった中でいろいろ検討したいと思います。

ありがとうございます。

○金子審議官 恐らく水素の発生量の検討をすると、どこまで何が進展するかとか、それから、時間的な進捗ですね、というようなものも併せて考えていかなければいけないと思いますので、その中で、またMCCIに至っているかどうかというような議論の材料も供給で

できればと思います。

ほかにはいかがでしょうか。よろしいですかね。

先ほど、私から勝手に予告してしまいましたけど、例の凝縮波の話、更田委員長から御指摘があって、デトネーションとデフラグレーションのいずれであっても、いずれにしても圧力波の後ろの凝縮波みたいな形で理解をして、1号機ではそのようなものが映像上見えると、3号機のほうは爆発のメカニズムも違うのでしようけれども一応見えない、イコール凝縮波は一応観察はされてないというような感じで今は認識をしておりますけれども、そこら辺の認識について、何か誤っていないかどうかという点については、門脇先生、いかがでございましょうか。

○門脇教授 凝縮波に関しましては、更田委員長からも御指摘がありましたように、原子炉建屋の中で水素が燃焼して、当然、燃えた後は高温・高圧で、かつ、水蒸気を多量に含んだガスが生成されます。そして、それが壁を破って外に出ていくということになります。

外気は当然、大気圧1気圧ですから、高圧のものが外に出ることによって、いわゆる断熱膨張状態になって温度が下がって、そして、中にあった水蒸気が凝縮して、ああいった凝縮の様子が見られるというふうなのが、多分、1号機で見られるものではないかというふうに推察されます。

一方、3号機ではそういったものが見られないということに関して、これはどうしてかというのは私もよく分からないところがあって、多分、爆発の状況が、かなり1号機の場合と3号機の場合で違っておられますので、何らかのことで3号機の場合では、その凝縮の様子が画像で見ることができなかったというふうに思われますが、じゃあ、どうしてかという理由については、私自身、よく分からないというのが正直なところでございます。

以上です。

○金子審議官 ありがとうございます。

1号機と3号機の違いというところが出ているのだろうとは思いますが。

安井さん、じゃあ。

○安井交渉官 門脇先生が今おっしゃった1号機の凝縮波の形成のプロセスについてなんですけども、原子炉建屋の中で水素爆発が起こって、その熱い水蒸気を含んだ気体が空中に出て、だから凝縮波が出たというのは、ちょっと違うんじゃないかと思っていまして、レバノンもそうですけれども、これの進行速度は非常に早いんですよね。

それで、したがって、普通に噴き出した速度で燃焼ガスが広がる速度なら、周りの粉塵

も同じ速度で動かないとおかしいはずだと。むしろ、そうではなくて、圧力波が伝達した後に来る、言わば圧力の低いゾーンですね、それが、もともとあった空気中の水蒸気の凝縮をもたらして、凝縮波、ネガティブショックウェーブという言葉もあるんですけど、ショック・ウェーブというともた誤解を呼んじゃうので、その凝縮波を形成していると考えべきじゃないかと思っているんですけども、いかがでしょうか。

○門脇教授 そこに関してはいろいろと御意見があって、多分、大気中の水蒸気が凝縮するということは、私は、それは否定しておりません。そういった可能性もあるであろうし、私が申し上げたのは、中に入っている高温でかつ水蒸気が含んだものがあっても、それが当然、圧力が下がれば断熱膨張するから温度が下がって凝縮する可能性もあるということ、両方生じているというのが正直なところではないかなというふうに思っております。

○安井交渉官 ただ、その建屋から見て、スタックの頂部まで行っていますから、70mとか60mの距離を、ほんの僅か0.1秒でしたか、間に、その原子炉建屋から拡張していくというのは、さすがに無理があるんじゃないかと思っていまして、建屋に近い部分や建屋の中で、爆発に近いところでは、燃焼ガスの中の燃焼の結果生じた水蒸気が凝縮するのは分かりますが、あれだけの距離のものは、さすがに空気中に元からあったものと考えたほうが、all or nothingではありませんが、そちらが主であると考えのほうが合理的じゃないかと思いますが、いかがでしょう。

○門脇教授 そこに関しては、私もよく明確に答えられない。可能性は否定できないということしか現在は申し上げられない。

○金子審議官 更田委員長、お願いします。

○更田委員長 お二人の議論を聞いていて感想だけを申し上げますと、私は断熱膨張で温度が下がって凝縮が見られるというのは、割と腑に落ちる議論であって、一方、安井さんは、減圧した部分でという、減圧で凝縮は直接には行かないので。

減圧で沸騰は分かるけど、減圧で凝縮はどういうロジックなのかな。

○安井交渉官 圧が下がることで、もともと空気中の単位体積内に置いておける水蒸気の量が減って、それで雲みたいなものとして出てくるということですね。

だから、とても分かりやすい例は、この前のレバノンの爆発のときに、爆発の後に真っ白な丸い、非常にボールのようなものが出ておりますよね。それは拡張した後、ずっと消えるんですね。それに非常に減少としては似ていると思っっているんですけども。

○更田委員長 安井さんは、圧力波背面の減圧した部分で見えているものだと言っている

の。それとも。

○安井交渉官 そう。

○更田委員長 そう言っているの。

○安井交渉官 でないと、あの速度が説明できないので。

○更田委員長 まだ、今の時点で何とも言えないけど、私はどちらかという断熱膨張で温度差が下がって凝縮したというほうが、今の時点では何となくうなずけるかなというのが感想です。

○金子審議官 ニノ方先生、お願いいたします。

○二ノ方名誉教授 34枚目のスライドで、当日の天候を見ますと、14日というのは湿度が14%で、12日の1号機のとときは湿度が50%近くあったようです。それだけの湿度の差があれば、レアファクションのところでの凝縮波が見えるか見えないかという、そういう差が出てくるのは違いますでしょうか。門脇先生にお伺いしたほうが早いかなと思って。

○門脇教授 理解がついていってないんですが。

○金子審議官 ニノ方先生のおっしゃりたかったことを私なりに、今、34ページのスライドが映っていると思いますけれども、3月14日というのが3号機の爆発のあった日で11時ちょい過ぎ。そのときの気候を見ると、直接すぐそばではないのですけれども、14.1%という湿度です。

1号機の爆発は、その2日前の3月12日の午後3時36分というところで、それに近いところだと、湿度が45%近くの状況になっていますので、その差が表れていると考えることには無理があるでしょうかという御指摘だったと思います。

○二ノ方名誉教授 そうです。

○門脇教授 そういうことでございますか。

すみません、ここら辺も可能性は考えられるかと思いますが、じゃあ、これによって全てそうかというところまで、私はそこまで知識を持っておりませんので、申し訳ございません。よく分からないというのが正直なところでございます。

ただ、湿度が1号機のとときのほうが高い、でも、3号機のとときは湿度が非常に低いから、そういったことが起こりにくいということは理解できますけれども、それが全てかどうかということは、私はよく分からないというのが正直なところです。

○金子審議官 ニノ方先生、よろしいでしょうか。

○二ノ方名誉教授 そのとおりだと思います。

○安井交渉官 これは、気象データの問題は、あと37ページを見ていただいて、小名浜のデータもあるんですよね。

小名浜は、先ほどのポイントよりは発電所からは離れていますが、ここだと湿度は、14日爆発時点1分前で71%なんですね。この非常に近いところでこんなに違うものかという、湿度が、というので、これは実は非常に内部的にも議論がありまして、機械的に書いているのは、事務方の説明が足りなかったんですけれども、これはとても悩みがありまして、僕らも気象だけで説明しようかなと思ったんですけど、さすがに無理じゃないかという背景があります。

○岩永企画調査官 規制庁、岩永です。

今、おっしゃられたとおりで、我々としてはその気象庁のデータとして小名浜を持ってきておりますが、あと、福島県のデータとして、モニタリングポストに併設している、その気象観測データも持っておりますので、その辺をもう少し並べてみて、湿度分布が大きく違うものがあるのか、それと、この70%と40%の比がちゃんとそれに相当するのかというのを、ここをプロットしながら、もう少し精査をさせていただければと思っております。

以上です。

○金子審議官 ちなみに、ファクツだけ申し上げますと、この34ページで先ほど見ていただいた大野というモニタリングポストは、発電所から見ると内陸側に設置されていて、ちょうど西側にあると思っていただいたら大体合っていると思います。

37ページのほうの小名浜というのは、いわきより若干南側の海沿いのところなので、どこまで違いが出るかというのもありますし、どっちがちゃんと計れているのかという、震災直後の話でもありますので、そこら辺はよく検証をしなければいけないなというバックデータだというふうに認識はしております。

ほかの点で何か質問なり御確認、御議論されたい点のある方いらっしゃいますか。

最後の5-5として残しております地震計の関係も、もし御疑問などあれば、ぜひちょうだいできればと思います。

よろしいでしょうか。今、手の挙がっている方は見えないように見えますけれども。

すみません、牟田先生、お願いいたします。

○牟田准教授 都市大の牟田です。

今日は全般的に、いろいろと、あまり詳しいところではないんですけども、興味深く拝

聴しておりました。

段階的に爆発が起こったというお話を最初に安井さんが御説明されて、地震波との絡みで興味深く聞いておったんですけども、1号機と3号機のエネルギー量というか、その関係が逆のような気がしていて、そこがうまく説明できるのが一つのポイントだろうなと思っています。

御説明を聞いていて、空中の爆発というのがあまり伝わりにくいんじゃないかというようなことを、多分、説明されていたかと思うんですけども、これは振動にほとんど出ないということなんでしょうか。

つまり、その建屋の中での爆発は当然震動として伝わりやすいんでしょうけれども、そこから外れての爆発というのは、これは地震計とかで計るというのは難しいのでしょうか、ということだけ確認したいと思います。

○安井交渉官 僕も地震計の専門家ではないんですけども、申し上げたのは、空中で爆発をしたと言っているのではなくて、空中に上がり始めると、そこから後は水素がオープンエアの中で燃焼するというスタイルになりますので、そこで生じているのは、その建屋に拘束力がある世界ではありませんので、地震計に影響を与えないとは言いませんけれども、与える度合いは、建屋の中で爆発するよりもかなり小さいだろうとは十分推測できると思います。

ただ、その後、ゼロかと聞かれると、それはゼロじゃないと思いますけれども、建屋自身の壁や天井を吹き飛ばすときの地面への伝達エネルギー量から見れば、うんと小さいんじゃないかというふうに推測して議論をいたしました。

○牟田准教授 ありがとうございます。恐らくおっしゃられるとおりになんだろうなと思います。

もう少し、多分、これ検討されるときに、もうちょっと違うデータみたいなものが併用して検討されるのであれば、そういうのも考えたほうがいいのかと思います。

例えば、今は地震計は多分、サイトの中で何か所か取られているんですかね。建屋そのものの地震計とかのデータって、もし取られてなければ苦しいですけども、そういったものも何か探してみればあるような気がいたしますので、そういうのも考えてみるということはいかがでしょうかという、それだけです。

感想みたいなもので、すみません。

○安井交渉官 ありがとうございます。

非常に良い着眼点で、実は建屋も研究したんですけど、今回電源がないという状態になっておりますので、東京電力に、もし僕が間違えていたら直してもらいたいですけれども、建屋内の通常的那种の記録系統は、みな生きていなくて、それでたまたまこの外側のやつだけが後で生きていたという、こういう状態だったと思っているんですけど、間違えていますかね。

○金子審議官 東京電力で確認できますか。どなたからでも。手が挙がっているかどうか定かなくて。

○東京電力（石川） よろしいですか。

○金子審議官 はい、お願いします。

○東京電力（石川） 今、安井さんがおっしゃったとおりです。建屋の中は、電源があるだけの期間記録が取れていただけです。

○金子審議官 ということで、近くにはこれ以外にサポートできる情報がないということですね。

ほかにいかがでしょうか。

これはうちの会議室ですかね。佐藤君。

○佐藤管理官補佐 原子力規制庁の佐藤です。

全般的なところというか、資料の8ページのところで、複数段階事象仮説ということで安井さんのほうから御説明いただいたかと思うんですけど、ここで確認したいことが二つありまして、一つは、②の裂け目が生じて火炎が発生と書いてありますけれども、この火炎というのは、どういった要因で発生しているというふうに何か推定があるのかどうかというのが一つと、あともう一つは、①のところの第1段階の水素爆発というので、局所的にもし発生しているとすれば、閉空間でないとなかなかそういう発生はないのかなと思うんですけども、ある閉空間で爆発が発生したときに、②の南東部の裂け目ができるときに、どの程度の爆発力がかかると裂け目ができ得るかというのは、何か算定できるようなものがあるのかどうかというのを、二つ確認したいんですけども。

○安井交渉官 これは、まず、②の火炎は、多分、これも裂け目ができれば、原子炉建屋の中に水素がかなりあって、かつ、若干ですけど陽圧だったはずなので、外に噴き出すことはまず間違いなくて、それで、そのときに水素もほんの僅かなエネルギーで着火しますから、そのときに起こっていた中の爆発で火が回ったのかもしれないし、外に出るとき、何らかの裂けるときにエネルギーが生じていますから、それによって着火したのかもしれ

ませんが、何かで火がついたというしか、何で火がついたかという、そこから先は分からないけれども、燃えるガスが建物から外へある程度の速度で出ないと、ああいうふうに燃え続けられないだろうという推測で話がされています。

それから、この1番の、これはこういうふうに幾つかの段階に分けて考えようよというために、ここにこういうふうを書いてくれたんですけども、①のところには、北西部に大きな損傷を与えるという爆発という、実はそういう言い方をされていて、ある閉空間かどうかは分からないんです。ただ、これだけ3、4階のフロアの側面から床面から天井面に影響が出ている以上は、ここに、むしろ5階よりも4階のほうが水素濃度は低かったはずなんで、もしかしたら、5階が非常に水素濃度が高いのなら、4階のほうが酸素とのバランスが良くて強い爆発が起こったかもしれないということがあります。

ただ、ここに何か箱みたいな閉まった空間があるわけではなくて、北西部は、その代わりに端っこは階段以外は事実上閉まっていますから、圧力が高まりやすかったんだろうとは推察をしています。その反作用として、反対側に向かって物上げのハッチを越えて5階に回ったとか、あるいは、階段を回って火が回ったかどうか、そういうのはよく分からないです。

いずれにせよ、Aが起こって、Bが起こって、Cが起こってというのを論理的に追いかけるやり方は、多分、もはや今は成立しなくて、観測されていることに説明できる現象を組み立てると、こういうふうにしたほうがいいんじゃないかと、こういうアプローチだと思っていただければと思います。

○佐藤管理官補佐 原子力規制庁の佐藤です。

この仮説の意味合いというのはよく理解できました。ありがとうございました。

○金子審議官 星さん。

○星主任技術研究調査官 規制庁、星です。

関連した質問になるんですけども、今回の議論の中で水素爆発、特に4号機なんかは、爆轟ではなくて爆燃であれだけの破壊が生じたであろうと。そうすると、これまでの水素爆発は主に爆轟を前提として、かなり高い水素濃度を前提として発生量を推測していますので、3号機で発生した水素量というのは、また見直す必要があるだろうと思っています。

ただ、3号機自体がその複数段階の燃焼をしたのであれば、3号機自体では、それなりの量の水素が燃焼したであろうというふうに推測するんですけども、そうすると、そのオペロなり、原子炉建屋の中にそれだけの水素をためたときに、圧力が上昇しなかったの

かというのが一つ疑問があるんですけども、そのときにオペフロについているブローアウトパネルは、たかだか3kPa程度で吹っ飛ぶという設定になっているので、ブローアウトパネルが飛ばずに多量の水素をオペフロ内にためることができたのか。実際、その辺を、東京電力はどういうふうに評価されているのでしょうか。

○金子審議官 これは、原子炉建屋の気密性、特に上部がどの程度と評価できるかということと関係あると思うのですけれども、東京電力、何か見解はございますか。

○安井交渉官 今の質問は東電には若干かわいそうで、水素濃度が高まるかもしれないというのは、このモデルが真ならば、あるいは、これが妥当ならば、そのためにはたくさん水素が要するという、こういう問題なので、言ってみたら僕が言っているようなものだから、多分、東電が答えるべきは、ブローアウトパネルは、あの中越沖の後、開かなくなったとか、いろんな説明があるんですけども、さて、この3号機のブローアウトパネルは、よく言われている3kPaぐらいで開く状態だったのか、開かないようになっていたのか、開きにくくなっていったのかについて説明をしてもらえば、多分、星さんのいろんな議論には役に立つんだと、そういう質問に置き換えて答えてほしいのですけど。

東電、答えられますか。質問の意味は通じていますか。

○東京電力（溝上） 1Fの建築の方で答えられますか。

○東京電力（福田） 1Fから福田ですが、こっちで議論しているんですが、少なくともそういう、何か再考したという情報は今のところありません。

ただ、そういう調べ方もしていないというのが実態ですので、その当時、何かやったかどうかということは定かには分からないというような状況です。

○安井交渉官 中越の後、開きにくくしたという話がよく流れていましたけど、それも含めてなんですけれど、星さんの質問の多分趣旨は、そのブローアウトパネルがすぐ開くんだと、中に水素がたまるのも難しいという、こういうことなんだと思いますので、ブローアウトパネルの開く条件が変わったか、変わってないかというのは、調べて後日教えていただくということによろしいですかね。

○東京電力（福田） 今のところ我々のほうも、その3kPaで開くということに関しては、何もしてなければそういう状態だということですので、何か状況としてあったかどうかは調べて回答させていただきます。

○東京電力（谷口） 東京電力の本社側からで谷口でございます。

当時、中越沖の対応をさせていただきましたので、当時の状況から御説明をさせていた

できますと、柏崎の3号機で地震のときにパネルが開いたという事象がありましたので、その後、開きにくくするという検討を社内で始めたのは事実でございます。ただし、実際には設備の保護の観点がありますので、設備を変更してパネルの開封圧を変更するということはしないで、従来のままのパネルの動作圧のまま置いておくという、そういうふうな結論に至りました。

中越沖の後の対策としては、パネルが開いた後、何かあったらすぐに閉められるようにするというような対策を別途やるということはさせていただきましたが、開きにくくするとか、開けやすくするとか、そっち向きの対策のほうは実施をしておりません。

以上でございます。

○金子審議官　じゃあ、今でパネルの議論は少なくとも確認はできたと思います。

あとは、それがそうであったとして気密性、ほかにもっと緩いところがあるのかどうかというのは、もうちょっと構造的によく調べてみないといけないということなのかもしれませんけれども、そういう方向で、星さん、大丈夫ですかね。

じゃあ、岩永さん。

○岩永企画調査官　規制庁、岩永です。

それにつきまして、追加でブローアウトパネルの飛びやすさというところも、その議論の中から資料として頂ければと思いますが、ほかに、先ほど市野先生の計算に用いる、例えば梁であるとかは情報をいただいているんですけど、例えば、耐震壁、これも爆発、要は圧力波で飛んでいるということを仮定すれば、この配筋であると、一定の情報はいただいています、実際に施工で、どれぐらいの施工をしていたのかというところを少し計算に加味したいなと思っておりますので、その点の情報が、当時40年ぐらい前の設計と、あと施工だと思うんですが、どれぐらい残っているのかということも含めて、東京電力側で用意できるものがあれば欲しいと思っているんですが、いかがですか。

○金子審議官　これは新しい御要求なのかもしれませんけれども、何か今の時点で感触なりというのはございますでしょうか。

○東京電力（溝上）　東京電力の溝上でございます。

先ほどの岩永さんの件について、持ち帰り検討させてください。

あと、建屋のほうからの漏えい経路についてなんですけれども、SGTSが福島第一の場合には、電源を失ったときにフェールオープンになる弁がついていたということは御承知かと思いますが、そういう状況を考えますと、建屋内でFPが放出されたときに使うモー

ドでのSGTSのライン、こちらのほうが、ブロアーが動いていないのでどういう状況になるかというのは分かりませんが、経路としては建屋からSGTSフィルタを通してスタック側へという経路が成立している可能性が高いので、そこについては確認が必要ですが、そういったところも考慮しておくべきかなというふうに考えております。

以上です。

○金子審議官 ありがとうございます。

じゃあ、建設関係のデータはまた確認していただくようお願いして、空気、あるいは気体の流れについては、今のようなSGTS配管経由の空気のルートで、水素がそこを通ったかどうかというのは別にして、あるという前提で、空気の流れを考えれば、どのように水素がたまるのかということを少し検討していきたいというふうに思います。

その他の論点でいかがでしょうか。よろしいですかね。

今日は、そういう意味では、今ずっと御議論をいただいていたような点を踏まえて、さらに、これを詳細に突っ込んでいく価値のある仮説として、皆さんが共有できるかというのが一番大きなポイントかというふうに思っているのですが、こういうところに弱点があって、こういうところをやらなきゃ先に進む意味がないんじゃないかみたいな御議論があるとすれば、それを検証しにいきなさいいけないと思うのですが、今日、御参加の皆さんで、そういう何かこの仮説をさらに追及をしていくというか、検証をするために補強していく作業をするに当たって、何か御懸念とか、取りあえず、これを出発点にしてやったらいいんじゃないかとかというようなことでコメントなりをいただいて、今日の論点のところを一回締めさせていただきたいと思っているのですが、いかがでしょう。

そういった議論はなかったようには思いますけども、もともと箸にも棒にもかからない空論の仮説であるみたいのところを追求してもしようがないと思いますので、そういう御意見があれば、もちろん、そのようにおっしゃっていただければと思いますし、今後、これを追求していく価値のある一定のスタートラインだということであれば、それに基づいてこの場での検討を進めていきたいと思いますので、サポートするしないを含めて、もしコメントいただければ大変ありがたいと思いますが。

宮田さん、お願いいたします。

○ATENA（宮田） ATENA、宮田です。

先ほど、私のほうからは発言させていただきましたけれども、北西の方向をかなり壊してしまった爆発現象と、それから、上に噴煙として上がっていくあの現象とを、完全に独

立ということではないのかもしれないですけども、ある程度分離して考えていくべきもののなんだということを、確証までは行かないにしても、それは十分あり得るなどというところに行き着けば、先ほどの地震計の議論とかで、要は地震計に寄与する爆発というのはこの程度のものであって、そうじゃないものが上に火球のような形で上がって行って、そういうふうに分けて考えたときに、例えば、水素なり、その可燃性ガスの量というのは、こんなふう考えられるというふうに進んでいけるように思えるので、そういうところを、その多段のモデルみたいなものがある程度成立するねというところを確認していくというのが大事かなというふうに思います。

○金子審議官 ありがとうございます。今後のアプローチの仕方ということで、一つの道筋を、御意見をいただいたと思います。ありがとうございます。

ほかはいかがでしょうか。

○儘田主任技術研究調査官 儘田です。

私のほうから今いただいた話で、上のほうに爆発で使われたそのエネルギーと、それから、地震波のほうに伝わるエネルギーという話がございますが、あともう1点、多分、地震波のほうに伝わるエネルギーというのは、結構、もしかするとごく一部かもしれなくて、むしろ、それよりは、例えば建屋の構造物を、さっき梁なんか壊れていましたけど、そういうふうには壊す、物を破壊するのに使われたエネルギーというのか、そういうもので、地震波のやつは、多分、物を破壊したというよりは、例えば、その爆発によって壁が動いて、それが地震波に伝わっていくのか、何となくそういうようなイメージを考えていて、その構造物を壊したときに使われるエネルギーというのは、今この中に本当に入っているのかなというのが、私の疑問としてありますので、その辺のところ詳しい先生がいらっしゃいましたら、ご意見いただきたいと思うのですが。

○金子審議官 今日、この場でというのはなかなか難しいかもしれませんが、おっしゃるように、建物に加わった力がどの程度その地面に伝わっていくのかみたいなことは考えていかなきゃいけない論点の一つだと思いますので、壊れたほうに使った力は、あまり影響を与えないのか、与えるのかみたいなことも含めて、検証の中で、我々のほうで考えていきたいと思います。

ほかはいかがでしょうか。大体よろしいですかね。

更田委員長。

○更田委員長 もう、これはこれ以上追いかけても仕方のないことなのか、それとも追い

かけられるのかというのに意見を伺いたいのですが、先ほど星君も尋ねていたんだけど、どうしても不思議なのは、最初の画像で見ると輝炎が見えるの。輝く炎。水素だけだったら、水素ってほとんど不輝炎でああいったものは見られない。それから、一酸化炭素にしても、拡散火炎しか見たことないけど、青い光か何かですね。どっちかという、赤い燃え方はしない。

煤があって、それが高温になってというのは、大体、ああいった火炎面も見え方だと理解はしているんですけど、これはもう、これ以上、後追いしようがないのかね。

○金子審議官 委員長がおっしゃるのは、色からということですよ。

○更田委員長 色からというか、何であんな赤い炎なんだというのを。そうすると、考えると、煤なり固体の粒子と混合して、そこで燃えたから輝いたのかなと、そういう理解になってしまうのかな。

○安井交渉官 絶対、これが火炎の成分だということを出すのは無理だとは思いますが、取りあえず、あの仮説に立てば、どう見ても南側の壁と天井部との間が漏れ点に見えるので、あの辺をつないでいる材料ですね、それは必ず一緒に飛んだはずなんです。ですから、そのときにそれなりの粉塵も出たはずなんです。

だから、それをどんなものがあるかを少し調べてみて、ああいう色が出てもおかしくないものがあり得るかまでは得られると思うんですけど、スペクトル分析ができるようなものではありませんので、それ以上の精度は難しかろうなと思います。

○更田委員長 大体、それがコンセンサスというところだね。

○金子審議官 ほかによろしければ、今回の仮説そのものの柱といたしまししょうか、考え方については、皆さん大きな御異論はなかったと思います。

これから検証していくアプローチについては、幾つかいろいろな議論をいただいていますので、それを踏まえてまた調査・分析を進めていきたいと思っています。

その際に、今日の資料で言うと25ページというところに、先ほども発言にありましたけれども、水素の必要量とか、供給の可能性とか、そもそも3号機の炉心でどういうことが——炉心に限らずですけれども、原子炉で何が起きていたかというようなこととのつながりがありますので、そういったこととのつながりとの妥当性みたいなものも含めて、次回以降、議論をさせていただきたいと思っております。

また、必要な事前の情報共有などもさせていただければと思っております。

今日のこの議論については、ここら辺で締めさせていただいて、あと残りの時間、少し

だけおかりして、今日お配りしている資料の趣旨を御説明しておければと思っております。

86ページのところからが、今日議論をするのにはお使いしていない資料としてつけてございます。

今年の夏、コロナの感染症が少し収まった辺りから、現地調査を軽いものから開始いたしまして、原子炉建屋の内部の状況調査などをしてございます。

大きく言うと、4号機のこれも水素爆発をしておりますので、破損状況をできるだけ詳細に記録をしておこうということで、この資料の89ページにレーザースキャナーの写真が出ておりますけれども、こういった機材を用いて、できるだけ詳細な寸法測定を内部について行っているというのが一つ。

それから、同じような手法を活用しながら、1号機のオペフロの上の部分についても同様の測定などをしてございます。これは93ページ以降に少し結果を書いてございます。

併せて、その寸法測定以外にガンマカメラを用いた線量測定等も行っているというようなところ。この辺の結果を共有させていただくのに資料をつけてございます。

それから、もう一つ、別の毛色になりますけれども、大分、資料を飛んでいただいて、1、2号機のスタックにつながるSGTS配管の排気筒基部付近、123ページからですね。

そこら辺の線量測定、これは東京電力も実施しておりますけれども、両者の測定が相まって、より正確かつ信頼の置けるデータになるようにということとさせていただきます。このようなものというふうなものもありますので、ここで御紹介をさせていただきました。

これは、またこういったものを使った議論については、次回以降で活用していきたいと思っておりますので、御覧いただいて何か御疑問の点とか、こういう点が論点となり得るんじゃないかというふうなお気づきがありましたら、ぜひちょうだいできればと思っております。

それから、その後ろに参考資料として、今日も少し議論の中にありましたけれども、基本的な設計情報などについて、特に134ページ以降でしょうか、寸法、サイズ、配置みたいなものがずっと資料としてついておりますので、これは御参照いただければ結構です。

そこからずっと飛びまして、166ページに行ってくださいと、これは従来つけている、これまでの事故分析検討会における論点の整理ということで、どういう御議論があって、どのように大体収束しているかというふうなことを整理したもので、これは今日特に御議論いただくものではないので、また、見て何かお気づきの点があれば、事後的にでもちょうだいできればというふうに思います。

それと、あとは東京電力からの提供資料で193ページ以降に、前回以前に議論になりま

した真空破壊弁の動作で、これは福島第二のプラントにおいてどうであったかというのが、少し参考に情報になるのではないかとということで整理をしていただいているものが一つ。

それから、その次の資料で、これは前回の御議論だったと思いますけれども、3号機のRCICの運転時の格納容器内の圧力挙動が、逃し弁の中間開みたいような状況とか、そういったもので説明ができるのではないかとということに対する、東京電力なりの整理みたいなものをおつけしていただいております。

これはまた読んでおいていただいて、また、これも次回以降の3号機の挙動の議論などにも活用できればというふうに思いますので、御紹介をさせていただきました。

今日、皆さんのお手元に共有させていただいたものは以上でございまして、次回はまたその3号機の挙動と、今日の水素爆発との関連なども含めて御議論をさせていただければというふうに思っておりますけれども、最後、今日の御議論を大体振り返ってとか、あるいは、将来に向かって何かコメント等おありになる方がいらっしゃれば、お受けをしたいと思っておりますけれども、いかがでしょうか。

じゃあ、委員長、お願いします。

○更田委員長 最後の最後になって金子さんに紹介されたんで、今、とても面白い資料がこの後ろについているのに気づかないでいたんですが、202ページに東京電力が用意してくださったRCIC運転中の原子炉圧力挙動について、金子さんが言っていましたけれども、前回議論してから間が空いてしまうのは進行上致し方がないのかもしれないけど、これは、がつつり時間を取って東京電力にきっちり説明してもらって、またこれ議論したいところだと思いますし、SRVについても考察されているようなので、これは、ぜひ、がつつりやりたいと思いますので、よろしくお願いします。

○金子審議官 進行としてもそのようにしたいと思ひまして、今日は時間がないので御紹介にとどめさせていただきましたので、ぜひ、次回、東京電力からも御説明をいただき、我々というか、参加メンバーの見解についてもよく共有をしたいと思ひます。

この資料の一番最後に、さらに東芝の見解というのも実は参考でついておりますので、この御関係の方にもお話が何えればというふうに思ひます。

それでは、予定の時間よりも早く今日は終わることができましたけれども、円滑な進行に御協力をいただきありがとうございます。

第13回の会合を以上で終了させていただきます。また次回、よろしくお願ひいたします。