

青森県大間原子力発電所の運転上の原子力安全性に関して
設計・建設及び原子力安全にかかる公開資料の不足及び不完全性
第3意見書の明確化及び補充

ジョン・H・ラーズ第4意見書

2017年4月13日

本意見書の正式版は英語のものである。

青森県大間原子力発電所の運転上の原子力安全性に関して
設計・建設及び原子力安全にかかる、公開資料の不足及び不完全性
第3意見書の明確化及び補充

ジョン・Hラージ第4意見書

- 1 私は SE18 4BQ イギリス国ロンドン市 ハハロード レポジトリーロード1ゲートハウス所在のジョン・H・ラージです。
- 2 原子力工学にかかる私の経験及び資格については、2016年12月29日付第1意見書に記載したとおりです。
- 3 2017年2月21日付第3意見書において私が取り上げた3点の問題点の明確化・補充、及び電源開発株式会社の火山活動に関する予測について、意見を述べるよう依頼を受けました。
- 4 その3点は以下のとおりです。
- 5 i) 現在イギリスにおいて建設予定で、大間で既に一部建設が進んでいるものと類似する改良型沸騰水型軽水炉 (ABWR) に関して、事業者 (ライセンサー) とイギリス原子力安全規制機関であるイギリス原子力規制局 (ONR) との間でやり取りされている書類の程度について。第3意見書の第11及び12段落参照。
- 6 ii) 多国間設計評価プログラム (MDEP) が実施した評価例について。第3意見書第21乃至第27段落参照。
- 7 iii) 第3意見書第34段落で言及したいわゆる炉心溶融後のコリウムキャッチャーの設計コンセプト及び実際の使用について。
- 8 iv) 伝法谷宣洋氏 (電源開発株式会社) による火山活動に関する予測について
- 9 これらの諸点について、以下意見を述べます。
- 10 i) イギリス規制機関と日立 GE 間で取り交わされている書類及び照会・回答について
- 11 これは、イギリスのウィルファナーウィズ (北ウェールズ) で開発提案されている ABWR 原子力発電所 (NPP) に関するものです。開発業者であるホライゾン・ニュークリア・パワー社は、イギリス国内で新たに原子力発電所を開発するために設立され、その後2012年11月に日立 GE が買収しています。

- 12 イギリスにおいて原子力発電所を建設・運転できるようになるためには、複数の許認可を得なければなりません。これらの許認可には、原子力発電所の一般設計が許容可能な安全性を備えていることの認可及び、具体的な建設予定地にかかる原子力施設許可が含まれます。
- 13 2013年1月、イギリスのエネルギー・気候変動大臣は一般設計評価（GDA）手続の開始を許可し、ウィルファナーウィズの ABWR の許認可・規制手続が始まりました。
- 14 GDA 手続は、4 段階から成り、これらのステップを経て、原子力発電所の設計がイギリスの法令・規則上求められる原子力安全にかかる要件を満たすものとして認められます。具体的には、1965 年原子力施設法（修正法）及びこれに付随し、公共一般の健康と安全の放射線からの保護、環境への影響、安全及び核拡散防止にかかる問題に関する多数の命令、規則などです。
- 15 日立 GE の ABWR であるウィルファナーウィズの場合、GDA 手続の経過は以下のとおりです。
- 16 表 1 ウィルファナーウィズ ABWRNPP の GDA の経過

段階	開始日	内容	完了日
1	2013年4月	予備審査等	2014年1月
2	2014年1月	第一次評価	2014年8月
3	2014年8月	詳細評価	2015年10月
4	2015年11月	詳細設計、セーフティー・ケース、保安体制評価	2017年12月
		設計認可証発行 (日立GEが期限に従い十分な資料提出等を行うことが前提となる)	2017年12月

- 17 表 1 から、GDA 手続は全体を通じて約 48 か月かかり、詳細設計が評価される第 4 段階が最も大変であることがわかります。
- 18 ONR と環境局（環境への影響を評価する責任を負う）は、四半期毎に進捗報告書を共同発行し、進行中の GDA の現状をまとめ、中心的課題や問題点を示します。例えば、2016 年 5 月乃至 10 月の四半期進捗報告書は、当時 GDA 評価を受けていた原子力発電所 2 箇所、具体的には上記 ABWR 及び他のイギリス国内に設置が予定された加圧水型原子炉 (PWR) について報告をしました¹。

¹ この四半期進捗報告書につき

<http://www.onr.org.uk/new-reactors/reports/gda-quarterly-report-nov16-jan17.pdf>、全ての四半期進捗報告書に

- 19 四半期毎の進捗報告書に加え、GDA の各段階が終了する毎に、包括的な報告書がまとめられ発行されます。例えば、2014 年 8 月には、日立 GE の ABWR の基本設計、セーフティー・ケース、安全に関する主張をとりまとめた第 2 段階の報告書「日立 GE ニュークリア・エナジー社のイギリス改良型沸騰水型軽水炉(UK ABWR)の設計評価のまとめ」が公開されました²。
- 20 提案された ABWR の設計及び環境影響評価は、イギリス政府の発行する 4 つの概略報告書により公開されます。4 報告書のうち最も重要なのは、177 ページに亘るイギリス環境局の報告書「日立 GE ニュークリア・エナジー社のイギリス改良型沸騰水型軽水炉(UK ABWR)の一般設計評価」です³。
- 21 GDA 評価の前提として、ABWR 開発者のホライゾン社は日立 GE を通じて、第 2 段階より ONR 及び環境局に対し、また第 3 段階及び 4 段階では規制機関の求めに応じ、合計約 100 の技術報告・分析を提出しました⁴。ONR は、ABWR の一般設計の調査結果及び認証—とりわけ米国規制機関の原子力規制委員会(NRC)による数 1000 ページもの技術資料、分析、報告を含む完了評価—をも考慮しました⁵。
- 22 ONR のような一国の規制機関が、NRC のような他国の規制機関の評価や調査結果に拠ることは珍しいことではありません。しかし、私の理解では、各規制機関は国内の法律上・政府組織上の枠組に法的に拘束されるため、海外の規制機関の評価及び許認可の結果に完全に頼り切ることに對しては相当強い抵抗感があります⁶。
- 23 ONR の所管事項は、a)原子力安全にかかる事項と、b)害意ある行為（つまりテロ行為）に対する申請された原子力発電所の耐久性・脆弱性に分けられます。
- 24 b)の原子力発電所の耐久性に関して公開されている情報が大変少ないことは理解のできることです。しかし、a)については、ONR は規制意見を公開し、日立 GE の ABWR の詳細設計の適性及び法適合性に関する評価及び考えを示

については <http://www.onr.org.uk/new-reactors/quarterly-updates.htm> で参照可能。

² <http://www.onr.org.uk/new-reactors/uk-abwr/reports/step2/uk-abwr-step-2-summary-report.pdf> で参照可能

³ https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/576597/LIT10603.pdf で参照可能

⁴ これらの報告・分析は http://www.hitachi-hgne-uk-abwr.co.uk/gda_library.html で参照可能。

⁵ <https://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/design-cert/abwr.html#dcrule> で参照可能

⁶ 例えば、鍛鋼製原子炉圧力容器及び蒸気発生炉部材の製造過程で発生したフランスクルゾ・フォルジュ社の品質保証問題に関して、フランスの原子力規制機関 ASN が最近、海外の原子力発電所で使用されたクルゾ・フォルジュ製の欠陥部材については、一切責任を負わないことを明らかにした。この問題を受け、MDEP ワーキンググループ（後記）はクルゾ・フォルジュ社を訪問し、同社における調査や会議から、各国別個に報告書を作成することとなった。

しています。

- 25 これらの ONR の報告書は、規制機関とライセンサー（この場合ホライゾン社、日立 GE）との間でやり取りされた書面、データ、書面による照会・回答及び会議の結果を取りまとめたものです。公開されている報告書は、i) 規制機関が不足点、法令不適合が認められる点を特定する規制意見（RO）、ii) それとは別の RO 解決計画、そして適当と認めるときには iii) 当該 RO が適切に処理されたことを明示した完了書面という形をとります。
- 26 RO と RO 解決計画内には、ONR ないしその技術支援受託者（TSCs。専門家コンサルタントである）の作成した根拠資料たる報告・分析書が組み込まれています。
- 27 RO への対応がされない場合、それは iv) 未解決問題として、通常詳細設計作成ないし建設段階のいずれか、または双方の適当な段階においてホールド・ポイントとされます。一般的に「ホールド・ポイント」とは、建設計画において、その問題（または RO）が解決されるまでは、それより先の作業を進めてはいけない点をいいます。
- 28 日立 GE の ABWR のイギリスの GDA では、80 の RO 及び RO 解決計画が示され、内 30 について完了書面が発行されており、残り 50 の RO は未解決となっています⁷。
- 29 私は、2012 年当時、イギリスのヨーロッパ型加圧水型炉（EPR）につき日立 GE の ABWR と類似の GDA を完了するのにかかった資源と費用は、規制機関と TSCs（技術支援受託者）で延べ 2 万 7000 日の評価時間及び、3500 万ポンドに及んだと理解しています。
- 30 最後に GDA が完了すると、ONR と環境局はそれぞれ設計認可確認書（DAC）及び設計認可書（SoDA）を発行します。日立 GE のイギリスの ABWR の GDA については、2017 年 12 月までに DAC 及び SoDA を発行することが目標とされていると理解しています。
- 31 規制順守審査手続の最終段階は、1965 年原子力施設法（修正法）で求められる原子力施設許可の発行です。ホライゾン社は 2017 年春に、ウィルファナーウィズの原子力発電所につき原子力施設許可の発行申請を行いました。
- 32 基本的に、原子力施設許可は、ウィルファナーウィズの原子力発電所の建設予

⁷ RO 等の一覧については <http://www.onr.org.uk/new-reactors/uk-abwr/ro-res-plan.htm> を参照。

定地に固有の問題（浸水のリスク、地震学的特徴等）や、ライセンシーの能力その他、同所で諸法令に従った安全かつ信頼性ある原子力施設運営に関わる問題や要素を考慮します。この最終段階の許可は、イギリス ABWR 原子力発電所の試運転及び初めての臨界到達の直前まで下りることはないと考えられます。

- 33 規制の順守という点に関連して、原子力発電所の建設・運転許可において日増しに重要な問題になってきている害意ある行為に対する安全性・耐久性につき一言しておくことが有用と思われれます。
- 34 原子力発電所の脆弱性を評価する場合、一般的なアプローチでは、まず国家（すなわち日本）が国家レベルでテロ行為の発生に関し評価を行い、これを部門レベルの脅威として定義します（例えば、敵対的第三者が原子力産業一般に対して行動をとる可能性）。それに続いて、個別の原子力施設の設計基準脅威（DBT）を特定・形成し、敵対的第三者が利用する恐れのある個所を固めていきます。
- 35 国際原子力機関は、設計基準脅威（DBT）の活用や、DBT が定期的によのように見直されるべきか、また進化する脅威に対応して原子力発電所（及びその他の原子力施設）の根本的設計の一部が変更されるべきことなどにつき、多くの勧告を發出しています。
- 36 「設計基準脅威」は、発電所が物理的設計上、特定の害意ある行為（DBT）に耐える特徴を備えているということを意味します。その一部は、十分に情報を得ておりかつ知識も有している「内部者」によりサボタージュに利用され得るものです。
- 37 しかし、大間原子力発電所に関連して提出された書類の確認によっても、耐久性を強化するために現状の建設や配置に大きな変更が加えられた様子はありません。2000 年ころに設計が開始された原子力発電所なので、テロの在り方が変質している中で、配置や構造設計が相当見直されていてしかるべきと考えますが、そのような見直しは行われていません。
- 38 最後に、一見すると、なぜ米国 NRC のような国家機関が ABWR の一般設計を承認しているのに、ONR などの他国の国家機関が重ねて設計や環境・安全承認手続を行う必要があるのか明らかではないかもしれません。
- 39 言うまでもないことですが、国家の基準やルールは国ごとに異なります（もっとも、米国、イギリス及び日本は、原子力関連機器の構造設計につき、アメリカ機械学会（ASME）Ⅲの基準に基本的に準拠しています）。外部事象の発生頻度や重大性が異なるかもしれませんし（例えば、日本と比べると地震の発生

頻度が低く、規模も小さいイギリスの耐震基準)、害意ある行為の脅威が他国よりも高い国もあるからです。

- 40 しかし、極めて重要なのは、評価・ライセンス付与手続のタイミングです。例えば、イギリスの GDA は、NRC の評価と異なり福島第一原発事故の後に実施されたものであるから、事故により明らかとなった弱点を考慮しています。他方 1997 年ころ、福島第一原発事故前に認証された NRC の ABWR は、2012 年の NRC 命令 EA-12-049 により、福島第一原発事故の教訓を取り入れるために大きく変更されなければなりませんでした。実際、NRC のサウステキサス原子力発電所の 2 つ ABWR の最終建設運転許可 (COL) は、2016 年 2 月まで許可が下りませんでした。もっとも、現在の市況に照らすと、これらの原子力発電所が果たして建設されることがあるのか、大いに疑問です。
- 41 2011 年の福島第一原発事故以前に設計され、一部建設されていた大間原子力発電所も、やはり福島第一原発事故から得られた教訓を生かした変更が必要ですが、当時着工されておらず書面による変更過ぎなかった NRC のサウステキサス原子力発電所の ABWR 建設運転許可に関する NRC の変更と異なり、大間原子力発電所では既に建設が進んでいます。このため、福島第一原発事故を受けた変更を加えることが相当困難である可能性が高いのです。
- 42 i) まとめ: これまで私は、イギリスにおいて特定の原子炉の一般設計が規制順守の予備的及び中間的段階を通過する過程について述べてきました。この過程は、基本的に現在稼働中ないし試運転をしようとしている沸騰水型原子炉 (BWR) や ABWR の過去の運転実績と経験に依拠するものです。
- 43 したがって、この意味では、イギリスの GDA と最終的な許可の段階は、過去の BWR 原子力発電所の設計開発の許容可能性に大きく依拠しています。これらの過程は、過去の設計から特筆すべき変更点や、新たな技術の導入、そして社会文化的要素 (例えば公共のリスクの受容性、害意ある行為の増加など) をも考慮しようとしています。
- 44 原子力規制委員会 (NRC) を有する米国や、原子力安全局 (ASN) を有するフランスなど、原子力発電所が稼働している他の国も、原子力発電所の建設運転許可を行うにあたり、極めて類似する厳格なルールに基づく制度を採用しています。
- 45 ONR、NRC、ASN その他の機関の特徴は、透明性と説明責任にあります。規制機関のオープンさの狙いは、一般市民の支持を得ようとすることにあります。それと同等に重要なこととして、開かれた規制機関は、一般市民個人や非政府機関 (NGO) をして、公共一般を放射線被害から守ることを主要な目的と

する規制のアプローチの有効性を吟味することを可能にします。

- 46 大間原子力発電所に関して入手できた資料の検討によっても、私は日本の原子力規制委員会（NRA）に、同じレベルのオープンさを見て取ることはできませんでした。電源開発株式会社に対する NRA の照会に必要な鋭さを欠き、私の意見では十分に大間原子力発電所の設計を吟味するに足りるものではありません。もっと一般的に言えば、NRA の原子力発電所の新規制基準案(1)及び別個に定められている設計基準の新規制基準骨子(2)、及び重大事故対策(3)に示される規制枠組書類は、定義・適用レベルで不十分であると考えます。この不十分さは、ONR、NRC、ASN その他の類似の基準等と比較すると、より一層際立ちます。
- 47 ii) 多国間設計評価プログラム（MDEP）による審査の例
- 48 MDEP は、2006 年に、経済協力開発機構原子力機関（NEA - OECD）により設置された、現在新規の原子炉設計の審査を行い、または将来これを行うことになる国家レベルの規制機関のリソースと知識を共有し発展させることを目的とした多国間のイニシアチブです。現在 MDEP は、日本の NRA を含め、15 か国の規制機関により構成されています。
- 49 MDEP 内には、特定の原子炉設計に特化したワーキンググループが 5 つあり、その 1 つが ABWR 原子力発電所の設計に特化しています。ABWRWG と呼ばれるこのグループは 2012 年 5 月に設置され、日本、スウェーデン、イギリス、米国の国家レベルの規制機関により構成されます。その任務は、ABWR の一般設計の安全性を審査することにあります。
- 50 私が第 3 意見書において述べたとおり、MDEP は既存の ABWR 原子力発電所の許容可能に安全な運転のために必要な見直しに関する最終勧告を未だ公開していません。さらにここで重要なこととして、MDEP は現在規制評価段階にある ABWR 建設運転計画の規制枠組に対する見直し事項を明らかにしていません。
- 51 唯一 MDEP の ABWRWG ホームページにて公開されている実質的な報告書⁸は、21 ページの「共通の立場」を示した書面です⁹。
- 52 特に詳細でもなく、いささか情報に乏しいが、ABWR ワーキンググループの書面⁸は、日本の NRA を含む ABWRWG メンバーの「共通の立場」として、以

⁸ MDEP ABWR ワーキンググループホームページ

<https://www.oecd-nea.org/mdep/working-groups/abwrwg.html>

⁹ MDEP, *Design-Specific Common Position CP-ABWRWG-01*, (Public Use), 2016 年 10 月

下のとおり述べられています。

a) 進化する安全性向上措置

「今日の ABWR は、過去の世代の BWR 設計と比べ、安全性が進化している。福島第一原発事故を受け、ABWR 販売事業者及びライセンサーはさらなる安全性向上措置を検討ないし設計・導入し、国レベルの規制要件や国際的期待に応えようとしている。」

b) 外的危険

「...福島第一原発事故は、**ABWR** の安全性の見直しの一環として、関連する事象の重畳的発生も含め、外的危険を包括的に分析する必要を一層強めた。これには、建設が予定されている原子力発電所で相当量の放射性物質が存在することが予想される全ての箇所において、関連する危険がもたらしうる影響に対応する分析も含まなければならない。」

c) 安全機能の信頼性

「... ABWR の格納容器の健全性を保つことは極めて重要なことであるが、ヒートシンクが失われた場合、困難な場合もある。これに対応する設計上の対策がとられなければならない。その内容は国毎の要求事項により異なることもある。」

d) 炉心溶融を伴う事故

「...従来の ABWR 設計において炉心溶融を伴う事故は考慮されていたが、さらなる機能や向上措置が、異なる規制要件や国際的期待に応じて適切に検討され、実行されている。

炉心溶融を伴う事故発生の際に格納容器の一体性を十分に確保する安全機能は、設計に含まなければならない。これらの安全機能は発電所の他の機能と十分独立したものでなければならない。またこれらの安全機能は、過剰な圧力を避ける機能(例えば格納容器換気系ないし格納容器スプレー冷却系の活用)を備え、水素管理、そして事故発生時の最大圧力の考慮もしなければならない。」

e) 使用済燃料プール

「...使用済み燃料プールの構造的一体性は、外的危険発生時のために、相当な余裕をもって確保されなければならない。」

太字はいずれも筆者による

53 ii) まとめ: ABWRWG は ABWR 原子力発電所の設計の安全性確保、とりわけ 2011 年 3 月発生 of 福島第一原発事故により明らかにされたかつての BWR の設計で不十分な点の改善を任務とします。この点に関し、ABWRWG は 2016 年

10月に唯一の報告書を公開しました。これはもちろん、最後の（福島第一原発事故前の）ABWR設計よりも相当時間が経ってからのことです。

- 54 日本のNRAを含む全てのABWRWGメンバーの共通の立場として表明されたABWRWG報告書の勧告は、2000年ころまたはそれ以前に大間原子力発電所の当初の設計が確定されたよりも後に行われたものです。実に、ABWRWGの勧告は、電源開発株式会社が規制手続の過程でNRAに対して大部分の書類等を提出した後に発表されたものでした。
- 55 私は第3意見書第18段落において、安全性向上措置の最終設計は未完成であるとの意見を述べました。さらに、MDEP ABWRWGの共通の立場を明らかにした勧告（2016年10月とつい最近発表された）のうち、太字で示した上記箇所は、未だ電源開発株式会社の安全性向上策に一切取り入れられていないと考えられます。
- 56 上記第51段落のMDEP ABWRWG勧告の太字部分について簡単に述べると、a)の安全性向上措置は、その実施に相当な技術的労力がかかり、セーフティ・ケースへの変更が審査される間、さらに建設が遅れることとなります。b)の安全性の見直しをさらに行うと、さらに遅れることとなります。c)格納容器の設計対策には、徹底的な取り組みが必要で、それは原子炉建屋（ニュークリア・アイランド）の設計全体に影響することが見込まれます。d)同様に、原子炉ペデスタル及び下部ドライウェルエリアの構造・配置を変更すると、原子炉建屋（ニュークリア・アイランド）の下部及び基礎構造に変更が必要になってきます。そしてe)使用済み燃料プールの構造的一体性を確保するには、プール及び周辺構造物に大々的な構造変更を加えなければならない可能性があります（その可能性は高い）。
- 57 このような大規模な設計の変更や増加（そしてそれに付随する再築作業）は、小林哲朗氏の2016年12月27日付陳述書では言及されておらず、私は、「大間原子力発電所は現在建設中なので、議論されている新規の対策を設計に組み込むのが比較的容易であるという利点があります」と小林氏の見解には、再度強く反対の意見を表明しなければなりません。
- 58 iii) 炉心溶融後のコリウムキャッチャー
- 59 原子力発電所の中心部分は、核分裂が発生する原子炉圧力容器(RPV)です。ここでは核分裂性ウラン235の個々の原子が分裂し、不安定な（放射性の）核分裂性生成物となります。原子炉のウラン燃料炉心で発生する熱は、ウラン235の核分裂エネルギーと、核分裂性生成物または核分裂片の放射性崩壊により発散される熱に由来します。

- 60 原子力発電所が発電しているときには、燃料炉心の熱は冷却水に運ばれ、原子炉圧力容器の上部で蒸気となります。そこから蒸気はタービン交流発電機を通り、電気を発生させます。使用された蒸気は液化され、原子炉圧力容器に戻され、給水となり、再循環していきます。
- 61 原子力発電所が運転を緊急停止すると、停止直前に原子炉圧力容器の燃料炉心に貯蔵されていたエネルギーは、タービン交流発電機によらない何らかの方法で発散されなければなりません。その方法はいくつかありますが、ここでは必要がないため説明はしません。
- 62 核分裂が止まっても、燃料炉心は核分裂性生成物の放射性崩壊のために発熱を続け、原子炉運転停止ないし緊急停止（SCRAM）の場合には、最大定格熱出力の7から8%である4,000MWt(大間原子力発電所では1,358MWe)の熱を発します。短寿命核分裂生成物が崩壊するにつれ、数時間ないし数日以内にこの「残留」熱は低減し、比較的low出力（ポンプによる）の残留熱除去系（RHR）で制御可能になります。
- 63 したがって、原子炉運転停止の直後には、循環ポンプを稼働させるために電力が必要です。これは当然、通常運転時には原子力発電所から送電される送電線網を利用して原子力発電所に送電されます。施設外の電力供給システムが失われている場合（LOOP）、施設内の非常用ディーゼル発電機が自動的に運転開始し、残留熱除去系（RHR）その他の緊急炉心冷却系の稼働に最低限必要な電力を供給します。
- 64 何らかの理由で非常用ディーゼル発電機が運転せず、あるいは運転を停止してしまった場合には、独立した蒸気駆動ポンプや、遠隔操作によるバルブ操作やシステム監視用の直流バッテリー電源を除き、完全な発電所内全交流電源喪失状態（CSBO）に陥ります¹⁰。
- 65 この時点から、燃料炉心が残留崩壊熱を発し続けることから、原子炉燃料炉心が過熱状態となり、「炉心溶融」を起こす危険があります。
- 66 燃料炉心の炉心溶融の熱力学的・化学的機序は複雑です。
- 67 燃料炉心から残留崩壊熱が継続的に取り除かれない限り、原子炉圧力容器内の

¹⁰ 福島第一原発では、まず原子力発電所は、東日本大地震が原発に電力を供給する地域送電網を破壊したため、施設外電源から孤立させられた（LOOP）。その約40分後、強力な津波が施設を浸水させ、非常用ディーゼル発電機を故障させ、結果福島第一の原発はCSBO状態となり、そこから3基の原発が不可逆的な「炉心溶融」状態に陥りました。

燃料炉心とその周囲の水の温度は急上昇します。温度の上昇に伴い、原子炉圧力容器内の圧力も同様に上昇します。

- 68 原子炉圧力容器内の圧力は、蒸気逃がし弁により自動的に下げられるか、制御室オペレーターが直流電源を利用して蒸気バルブを手動操作することで下げられます。原子炉圧力容器内の圧力を断続的に下げる目的は、容器内の冷却水の液化状態を維持し、燃料残留熱の冷却水への効率的な熱伝達を実現することにあります。
- 69 しかしながら、もし原子炉圧力容器の圧力バウンダリーが機能しないと、圧力が崩壊し、原子炉圧力容器内の冷却水は一瞬で蒸気と化します。ここで、オペレーターは緊急炉心冷却系（ECCS）によって炉心に水を注入する方法により、冷却水を補充しようとしています。しかし、ECCS の注水によっても燃料炉心の熱を下げるできない場合、燃料棒表面が水ではなく蒸気に接していることにより、燃料棒表面からの熱伝達が阻害され、結果として燃料体（二酸化ウラン）と燃料被覆材（ジルコニウム合金、ジルカロイ）、そしてその周囲の原子炉圧力容器内を満たしている蒸気の温度は極めて急速に（ほとんど瞬時に）上昇していきます。
- 70 ここから先、熱化学的、反応速度論的に状況は大変不安定なものとなります。
- 燃料棒の温度が上昇すると、通常密閉されているジルカロイ燃料被覆材（薄壁のチューブ状のもの）内のガス圧により、被覆材が膨張し破裂する可能性があります。
 - 蒸気の温度が 600 度になると、ジルカロイ燃料被覆材の腐食が加速し、発熱性が高まり、さらに炉内の温度を上昇させます。それにより蒸気の酸化を通じて大量の水素が発生しますが¹¹、この反応は自己触媒的になります。これは一般的にジルカロイ被覆材火災またはフレアと呼ばれます。
 - さらに高い温度（約 1800 度）では、ジルカロイ燃料被覆材は酸化ウラン燃料ペレットと反応し、酸化ジルコニウムウランを含む複雑な熔融状態となり、その結果燃料炉心は、白熱し、発熱するヘドロ様の「コリウム」と呼ばれるものに変質します。混合酸化物燃料（MOX）により運転する ABWR（大間原子力発電所で計画されているもの）も、化学反応及び結果はほとんど同じものです。
- 71 炉心熔融の次の段階では、熔融コリウム（温度は 1400 度から 3000 度）はまず

¹¹ ジルカロイ腐食は、空気と蒸気との反応、いずれでも発生します。空気の場合： $Zr+O_2 \rightarrow ZrO_2$ で、発生する熱は $1.2E+7$ j/kg となります。蒸気の場合： $Zr+2H_2O \rightarrow ZrO_2+2H_2$ で熱量は $5.8E+6$ j/kg となります。重大事態においては、水素の遊離は毎秒 100 ないし 5000 グラムにもなります。炉心内（燃料棒被覆材、核燃料集合体チャンネルボックス及び格子枠組、並びに RPV 燃料補助炉心シンプル）のジルカロイは合計 70 から 80 トンあり、このジルカロイの量から発生しうる水素は 3000 から 3500 キロに及びます。

鉄製の原子炉圧力容器に触れ、第二にコリウムがその熱で原子炉圧力容器を貫通した場合、原子炉ピット底部の基礎板に接触することになります。

- 溶融コリウムと、それに伴う原子炉圧力容器内の燃料炉心シムプルは、容器内の底部に流れ落ち、容器の炭素鋼製の壁面に接触し、酸化させます。
- 熱で原子炉圧力容器の壁面を貫通する過程で、コリウムは金属製構造物の酸化によりさらに「自由な」水素を発生させます。このことは、ABWRの原子炉の制御に使用される炭化ホウ素の制御棒で特に顕著です¹²。
- 最終的に、約100から130トンのヘドロ状の溶融コリウムは、強制的にリアクターピットの床面に落とされ、コンクリート製の基礎板の格子の中で水和物と炭酸塩と強烈に反応し、腐食させていきます。
- コンクリートから発生する気体は主として二酸化炭素(CO₂)と超高温の蒸気(H₂O)ですが、これらはコリウム塊を透過する過程で化学反応を起こし、一酸化炭素(CO)と水素(H)となります¹²。
- コンクリート製の基礎板から発生した超高温の蒸気と二酸化炭素がコリウム塊を透過することで、微細粒子化した金属の放射性核分裂生成物(セシウム、ストロンチウム、ルテニウム等の放射性核種)を捕捉し、これらを格納容器に放出します。
- 仮に、他のABWR類似の施設の一部で提案されているように、コリウム塊に冷却水を散水した場合、コリウム内に残る「燃えていない」ジルカロイは酸化し、下部ドライウエル格納空間にさらに水素を放出する恐れがあります。

72 これら(第70段落から第71段落)の経過を経た結果、爆発しやすい水素(H)が、空中に浮遊する放射性粒子とともに大量にドライウエル空間に存在するのに加えて、格納容器は非凝縮性の気体(CO)に満たされ高圧力となります。

73 水素に満たされた空間では、十分な酸素(すなわち当量の混合)と発火源がある場合、激しく爆燃する可能性があります。爆発の威力が格納空間の構造により幾何学的に形成(集中)されることで、爆発による過剰な圧力は相当強力なもので、ABWRの下部及び上部ドライウエルにかかる負担は大きなものとなります¹³。

74 以上は、ドライウエルに水が多く溜まっていないことを前提にした推論です。

¹² 予測では、遊離水素の約15%がコリウムがRPVを貫通する過程で発生し、その後コリウムがRPV下のベースマットに落ちた場合には、2000キロを超える水素がコンクリートから遊離する可能性があります。

¹³ 軽水炉型原子力発電所で発生した過去の事故が、水素爆発・爆燃の破壊的な威力を示しています。

1) チェルノブイリ(1986)では、水素爆発が、1000トンを超える鉄筋コンクリートのリアクターキャップを倒し、水平状態から垂直状態としました。

2) 福島第一原発で運転していた(2011)Mk I BWR NPPでは、1号機と3号機の上部 charge halls に貯留した水素は格納機に重大な損傷を加え、当時運転していなかった4号機に連鎖反応を引き起こしました。また2号機のドライウエル格納空間の地下は、(おそらく)ドライウエルの水素燃焼により重大に損傷されました。

3) スリーマイル島の加圧水型原子炉(PWR)(1979)では、炉心溶融はRPVにとどまりましたが、水素爆発が格納容器内で発生しました。

しかし、コリウムが原子炉圧力容器内を貫通しない状態で、ECCSによる注水により下部ドライウェルに水が溜まっていくことがあります。この場合、コリウムの塊が最終的にこの溜まり水に落ち、一瞬にして水が超高温ガスと化して著しく膨張する熔融金属と水の爆発（訳者注：水蒸気爆発）を引き起こすこととなります。この点については、第3意見書の第33段落にて短く触れました。

75 ABWRのドライウェル格納空間が侵食された場合（構造的に開放された場合）-そして私は、上記の炉心溶融の場面ではその可能性が強いと考えます-、ドライウェル内の核分裂生成物の放射性核種が大気に強制的に放出され、すぐに拡散していく道が直接できてしまいます。これは極めて厄介な放射線被害をもたらすこととなります。

76 第3意見書（第28段落から第34段落）で、私は、大間原子力発電所の既存の設計と既設の施設を、原子炉圧力容器内の燃料炉心の溶融や格納空間の貫通に安全かつ信頼性をもって対応できるよう調整することができるとの電源開発株式会社の主管技術長（小林哲朗氏）の見解を批判しました。

iii) まとめ： 以上（第70段落から第75段落）で述べたことは、燃料炉心の溶融の複雑機序及び、それが大間原子力発電所の下部ドライウェルの空間にコリウムキャッチャーを押し込むという小林氏の未公刊かつ検討不十分と考えられる提案では完全に対応することができないことを示すものです。

77 iv) 伝法谷宣洋氏（電源開発株式会社）による火山活動に関する予測について

78 私は電源開発株式会社側の伝法谷宣洋氏の2017年1月20日付陳述書及び、2月1日及び2日の証人尋問調書の英訳を読みました。これらの訳文は正確で信頼できるものと考えます。

79 まず、伝法谷氏が洞爺カルデラ及び銭亀火山がいずれも今後活動する可能性がないと述べる具体的根拠については、理解に苦しみます。

80 私はこれまで、NRAの将来の火山活動を考慮した原子力発電所の立地選択の方針について批判的でしたが¹⁴、それでもNRAの火山影響評価ガイドには従うべきです。しかし、伝法谷氏の理屈は、火山影響評価ガイドに沿うものではありません。

¹⁴ 拙稿 *Conformity of the NRA New Safety Standard for Nuclear Power Plants, The Assessment Guide of Volcanic Effects To The Nuclear Power Plant with the IAEA Volcanic Hazards In Site Evaluation For Nuclear Installations*, SSG-21, 2012

¹⁵ 原子力規制委員会 2013年3月 原子力発電所の火山影響評価ガイド（案）（日本語）

81 また、国会事故調（訳者注：政府事故調の誤りである）東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会の最終報告書¹⁶[*3]の示した以下の総括と提言も引用します。

82 「．．．施設の置かれた自然環境は様々であり、発生頻度は高くない場合ではあっても、地震・地震随伴事象以外の溢水・火山・火災等の外的事象及び従前から評価の対象としてきた内的事象をも考慮に入れて、施設の置かれた自然環境特性に応じて総合的なリスク評価を事業者が行い、規制当局等が確認を行うことが必要である．．．」

赤字は筆者

83 この提言は、IAEAの火山活動との関係での原子力発電所の立地選択の提言¹⁷と同様に、リスク評価において発生可能性の低い外的事象も考慮することを明確に要求しています。

84 これはとりわけ、いわゆる「クリフエッジ」効果、すなわち例えば原子力発電所が、比較的小さな外的事象によって、その状態や挙動に急激かつ予測されなかった大きな変動が発生することを避けるためにはとりわけ重要なことです。伝法谷氏の書面は、洞爺カルデラと銭亀火山の将来の活動を一切ないものと断じていますので、クリフエッジ効果の発生を考慮する必要も認めていないということになります。

85 iv)まとめ：換言すれば、伝法谷氏と電源開発株式会社は、直近の完新世（過去約1万1700年）で特筆すべき活動が認められないという一点だけを捉えて、今後もし一切活動（大規模・中規模・小規模問わず）はあり得ないと断じ、将来の火山活動の可能性から目を背けているというべきです。

86 本書面にて、私は自身の知識・認識の範囲内にある事実・事項とそうでないものを区別して述べていることをここに宣明します。私の知識・認識の範囲内にあるものは、正確なものです。本書面で示した意見は、関連事項に関する私の専門家としての真摯かつ完全な意見を述べたものです。

JOHN H LARGE
LARGE & ASSOCIATES
CONSULTING ENGINEERS, LONDON

¹⁶ 国会事故調（訳者注：政府事故調の誤りである） 2012年7月 「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会」（訳者注：「最終報告（概要）」の誤りである）

¹⁷ IAEA, 'Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations', Specific Safety Guide No SSG-21, 2012 参照

