

# 原子力の安全規制の最適化に関する研究会

米国原子力発電所等訪問調査報告書

(福島第一原子力発電所事故対応等)

(訪問期間：2013年2月19日(火)～2月25日(月))

2013年5月

日本機械学会第12次海外調査団

原子力の安全規制の最適化に関する研究会

## 【総括と提言】

今回の調査では福島第一事故の発生を踏まえ、米国における溢水等外部事象への対応、SBO への対応、その他福島事故を反映した短期タスクフォース（NTTF）の勧告への対応、新型炉建設の状況、廃炉作業の実施状況等について調査を行った。

訪問先は NEI、EXELON 社、Fort Calhoun 原子力発電所、Peach Bottom 原子力発電所、Vogtle 原子力発電所、Zion 廃炉措置サイトのほか NRC とは電話会議を行った。

調査の結果多くの貴重な情報を得ることができたが、特に我が国に対して教訓になると考えられるものについて以下に示す。

### 1. 外部事象への対応

米国における溢水対策の基本は想定される水位上昇に対し、原子炉の安全を確保できるよう設計・設備面及び運用面で対策を施すことである。安全上重要な施設の設置高さを考慮することはもちろんであるが、水密扉の活用が幅広く行われている。Peach Bottom では非常用ディーゼル発電機室等に水密扉が設置され、空気取り入れのルーバーが高い位置に配置されている。また非常用ディーゼル発電機等の冷却用として通常のものとは別のクーリングタワーを敷地の高い位置に設置している。米国では 1990 年代に各発電所で外部事象を起因事象としたシビアアクシデント評価（IPEEE）が行われており、Fort Calhoun では想定される設計基準水位を超えて溢水が発生した場合、電源や安全系は機能を失うが、建屋の高いフロアにガソリンエンジンのポンプを準備しており、このポンプにより蒸気発生器に注水することにより炉心を冷却する AM を考慮している。

Vogtle ではハリケーンやトルネードの来襲の可能性があることから、クーリングタワーも通常の鉄骨製のもの以外に安全系対応としてコンクリート製としているが、このクーリングタワーでは必要な冷却用水は通常のみズーリ川からの取水では水位変化の影響を受けるため別に地下水を使用している。

福島第一事故を踏まえた対応として、事業者は NRC の指示に基づき、現状の地震、溢水対策状況の現場踏査や再評価を実施中である。

### (提言)

米国では溢水で想定される水位上昇に対し、原子炉の安全を確保できるよう設計・設備面及び運用面での対応をとるという点では基本的にわが国と同じであるが、従来より個々の原子力発電所の状況を踏まえ、万一の場合も含めたさまざまな対応を採っている。

我が国では福島第一事故後、堤防、水密扉の設置や可動式の電源、ポンプ等を高所に配置する等の対策が行われているが、それぞれが発電所の特徴を踏まえた対策を検討し、自主的に対応するという考え方が重要である。

## 2. SBO 対応

米国では従来より連邦規則 10CFR50.63 により SBO 対策が求められていることから、各プラントの特徴に合った形で SBO 時の電源の確保対策が行われている。具体的にはバッテリーの容量に余裕をもたせる対応、予備の発電機を用意する対応が多いが、近隣の発電所と専用の送電線（地下ケーブル等）でつなぎ、電力供給を受ける形をとっているところもある。

さらに、テロや航空機の衝突を考慮した 10CFR54(hh)（いわゆる B5b）により可搬式の小型の電源やポンプを用意しており、これらの機材は SBO 時にも有効なものとなっている。

福島第一事故を踏まえ、事業者は保管している B5b 機器が外部事象で機能を失わない対策や、長期かつ複数ユニットの SBO への対応として容量の大きい電源やポンプを用意することを進めている（FLEX）。FLEX では対応が 3 段階に分けられているが、最終的には事業者が共同で国内に 2 箇所設置した機材センターから大型の電源やポンプ等を空輸あるいはトラック輸送で短時間に対象サイトに輸送し、対応する仕組みを確立している。

### （提言）

SBO への対応は福島第一事故以降、我が国でも電源車や発電機を敷地に配置することにより行われているが、米国では従来より多様な SBO 対策が行われ、新たに実施する FLEX では事業者が協力して機材センターを設置している。我が国でも多様な対応を考慮し、自然災害でサイト付近が大きな影響を受ける場合でもサイトから離れた場所に SBO 対応機材を用意し、空輸するといった対応も検討する価値があると考えられる。

## 3. 安全性に問題が生じたことによるプラントの再起動への対応

Fort Calhoun では溢水とは別に同時期に安全系の遮断器の火災が発生し、NRC より Red（安全上重要な問題がある）の判断が下された。このような場合 NRC の監視は一般の検査マニュアル IMC305 に基づく ROP から離れ、IMC350（パフォーマンス上/運転上の重大な懸念から停止状態にある原子炉施設の監視）に基づくものに変更される。

Fort Calhoun では IMC350 による監視が行われる中で、NRC と事業者が起動に先立ち実施すべき項目を確認し、それに基づき NRC はチェックリストを作成する。事業者はチェックリストに基づき、安全に関する幅広い対応項目を明確化し、着実に処理することが求められる。一方 NRC は事業者の実施状況について詳細な検査を行うことになる。

このステップは事業者にとって厳しいものであるが、仕組みが明確で、透明性を維持

した形で再起動へのプロセスが進められている。

(提言)

我が国では福島第一事故の後、各プラントの定期検査後の起動に関して国の明確な方向性が決まらず、現在に至るも大部分のプラントが停止したままである。福島第一の事故は放射能が外部に放出されたという重大な事故であったことにもよるが、我が国では一般に原子力の規制について判断基準や手続きが明確になっていないものが多い。異常が発生した場合の再起動を含め事象後の円滑な対応について、米国の規制の仕組みや考え方に参考とすべきものがあると考えられる。

4. 福島第一事故の短期タスクフォース (NTTF) の勧告を踏まえた NRC の対応

NRC は NTTF の勧告に基づき、新たな規制を作成していつているが、対応の重要度/緊急度や事業者が対応に必要な時間を考慮して、規制の内容や開始時期を設定している。

また、規制内容についてはそのドラフトを公開し、ステークホルダーとのミーティングを行う中で事業者等のコメントを聞き、それらを反映した形で最終的な規制を決めていつている。例えば Mark 1 及び II 格納容器プラントのハードンドベント設置については設置期限を 2016 年 12 月末にしており、また、フィルターベントについては、NRC スタッフはその設置を Mark 1 及び II 格納容器プラントに対し規制化するとの方針を挙げているが、産業界は格納容器スプレー、ウェットウェルでのスクラビング、格納容器フラッシング等により、格納容器の温度及び圧力を抑えることが最も重要であり、これらの機能を考慮したパフォーマンスベースの規制とすべきといつている。最終的な規制化の内容については相互に議論を戦わしていつおり、検討が続けられている。

(提言)

我が国では福島第一事故を踏まえ原子力規制委員会が発足し、新しい安全基準の作成が進められているが、規制の独立性を確保するとの理由で、規制作成の過程で事業者等の意見に積極的に耳を傾けることが行われていつない。また、BWR に対するフィルターベントの設置についても起動前に設置するべきとの議論も出されている。我が国でも原子力の規制を技術的な観点から、より説得性のあるものにするには、上記の米国の仕組みを参考に規制委員会が適切な対応をしていついく努力が重要である。

5. 福島第一事故対応への事業者の連携

米国では NTTF を踏まえた NRC の命令等に基づき各事業者が必要な対応を進めていつ

る。事業者は NRC の命令等への対応において事業者側の主張をより強固に発信するために、相互に連携するとともに NEI、INPO、EPRI、オーナーズグループ等の電力共通の組織が役割分担を行っている。また、電力の共通事項についての NRC との対応は NEI が前面に出て行っている場合が多い。FLEX の対応では事業者が共同して全米に 2 か所のセンターを設置し、共通で使用できるようになっている。

#### (提言)

我が国でも各事業者が自らの責任で福島第一事故対応を行っているが、相互に連携するとともに共通的な組織がリーダーシップをとって規制当局への対応を行い、効率的で実効的な対応を円滑に行える仕組みを強固なものとするのが重要である。

### 6. 安全文化に対する認識

EXELON は全米で最大の原子力事業者であり、その運転実績も極めて良好である。EXELON の副社長は良好な実績を上げるための重要な取り組みとして原子力の安全文化、ヒューマンファクター、CAP を上げた。

一方、NEI のスタッフからは個人的見解としながらも、福島第一事故で非常用復水器の運転やベントラインの弁操作ができなかったのは日本特有の安全文化の欠落であり、また日本の規制の不備が安全文化の欠落によるもので、事故後も改善されていないとのコメントがあった。

#### (提言)

我が国でもチェルノブイリ事故を踏まえ、安全文化の重要性について議論し、具体的な対応も行ってきたと考えられている。しかし、**Safety Culture** の意味合いは安全を深耕する、すなわち日々安全向上に向けて努力するということであり、わが国ではいつしか実効的な観点を踏まえた継続的な努力がおろそかになってきていたのではないか。例えば原子力発電所の緊急時対応の役割と責任が明確になっていなかったことが、福島第一事故の対応が混乱した大きな要因となっていたとの指摘があり、また品質管理の強化との意味合いで、実効性のない確認作業を規制側、事業者側の担当者が行わざるを得ない状況が生まれていると言われている。福島第一事故を踏まえ、安全文化の認識及びそれに基づく具体的な対応が実態を踏まえており、実効的なものとなっているか、更なる取り組み項目がないか等について広い観点に立って見直してみることも重要である。

### 7. Zion サイトでの廃炉作業

Zion サイトでは 2020 年には施設が取り除かれ敷地が緑化される計画で廃炉措置が進められている。その廃炉費用は 1,2 号機合わせて 800 億円としている。使用済燃料はユ

ツカマウンテンの建設が中止されているため、別途敷地を確保し、キャスク貯蔵する形であり、その他の放射性廃棄物についても処分地を確保している。また処分地に輸送する手段を鉄道とし、サイトへのレールの敷設を行っている。機器の解体にはプラズマトーチを用いていたが、放射性浮遊物を含む煙が充満することからペトロгентーチ、メカニカルカッティングを使用している。原子炉容器上蓋は1基目はカッティングせずにそのまま輸送したが、パーケーシング及び輸送費が高かついたことから2基目はカッティングして輸送した。

(提言)

**Zion** サイトの廃炉措置ではサイトは最終的に緑地化される形であり、廃炉作業で機器の解体、使用済燃料を含む放射性廃棄物の輸送、貯蔵、処分等において様々な対応が行われ、技術面、コスト面、放射線被曝面等で最適化を進めている。今後、我が国でも原子力発電所の廃炉措置が進められるが、**Zion** を含む米国の廃炉措置の実績を参考にすることが有効であると考えられる。

## 目次

総括及び提言 .....	1
I. 調査概要 .....	I -1
1. 主旨 .....	I -1
2. 主催 .....	I -1
3. 日程 .....	I -1
4. 訪問機関 .....	I -1
5. 参加者 .....	I -1
6. 調査結果概要 .....	I -2
6.1 Fort Calhoun]原子力発電所	
6.2 Zion 廃炉措置サイト	
6.3 Peach Bottom 原子力発電所	
6.4 EXELON 本社 (Philadelphia)	
6.5 A. W. Vogtle 原子力発電所	
6.6 米国原子力規制委員会 (NRC)	
6.7 米国原子力エネルギー協会 (NEI)	
7. 事前勉強会 .....	I -16
表-1 日程及び議事項目	
表-2 入手資料リスト	
II. 議事録	
1. Fort Calhoun]原子力発電所 .....	II -1
2. Zion 廃炉措置サイト .....	II -12
3. Peach Bottom 原子力発電所 .....	II -17
4. EXELON 本社 (Philadelphia) .....	II -23
5. A. W. Vogtle 原子力発電所 .....	II -29
6. 米国原子力規制委員会 (NRC) .....	II -39
7. 米国原子力エネルギー協会 (NEI) .....	II -41
III. 入手資料	

## I. 調査概要

### 1, 主 旨

日本機械学会動力エネルギーシステム部門は 2005 年 3 月に「原子力の安全規制の最適化に関する研究会」を設置した。この研究会は原子力安全規制の最適化を進める中で、諸外国の原子力にかかる規制側、事業者側の関係組織を訪問し、それぞれの組織の安全規制に対する取り組みの実態を調査し、所属メンバーとの意見交換を行い、その成果を我が国の原子力の安全規制の最適化に資することを基本的目標の一つとしている。

本研究会では上記の主旨に沿って、2011 年度からは福島第一事故の発生を踏まえ、シビアアクシデントへの対応を中心に調査・検討を行ってきたが、本年度は、以下の項目について調査を実施した。

- ・ 洪水等の外的事象および SBO への対応状況
- ・ 福島第一事故への対応状況
- ・ 新型炉の建設状況 (Vogtle)
- ・ Zion 廃炉措置
- ・ その他

### 2, 主 催

一般社団法人 日本機械学会 原子力の安全規制の最適化に関する研究会

### 3. 日 程

2013 年 2 月 19 日 (火) ～2 月 25 日 (月)

### 4. 訪問調査箇所

- ・ Fort Calhoun 原子力発電所
- ・ Zion 廃炉措置サイト
- ・ Peach Bottom 原子力発電所
- ・ EXELON 本社 (Philadelphia)
- ・ A. W. Vogtle 原子力発電所
- ・ 米国原子力規制委員会 (NRC) (電話会議)
- ・ 米国原子力エネルギー協会 (NEI)

### 5. 参加者

水町 渉海外調査部会主査 (JNES)、奈良林 直海外調査部会副主査 (北海道大学)、  
藤井 有蔵海外調査部会委員 (日本エヌ・ユー・エス)

## 6. 訪問調査概要

訪問調査の概要を以下に示す。個々の調査の内容の詳細は「Ⅱ. 議事録」に示されている。

### 6.1 Fort Calhoun 原子力発電所

Fort Calhoun 原子力発電所はミズーリ川の河畔の低地に位置しており、1号機（47.8万kWe CE-PWR）が1973.9.26以来稼働しているが、訪問時は停止中。

#### (1) ミズーリ川の洪水とプラントの対応

2010年から2011年にかけての冬場に上流の山間部に大量の雪が降り、春から大量の水がミズーリ川に流れ込んだ。これに伴いミズーリ川のダムが水位が上昇し、ダムの崩壊を防ぐためにダムの管理放流が行われた。放流量は最大で160,000立方フィート/秒となり、それまでの最大値の倍以上となった。ミズーリ川下流の水位が上昇し、Fort Calhounでは通常の水位が海拔995feetであるのに対し、この放流で水位が1,007feetまで達した。なお、設計ベースの洪水レベルは1014feetで、ダム放流によるレベルはこれよりも低いことから、基本的に安全関連施設は洪水の影響を受けない設計であった。

放流通知が3日前にあったため、安全関連施設以外の重要施設にも水が侵入しないよう各施設の周りに土壌を積み上げた形で土手を設置した。洪水による敷地は水没したが重要施設に水は浸入せず、安全系への影響はなかった。

サイトでは6フィートの高さの足場により一時的な通行路を設置し、所員がプラントの施設に立ち入れるようにした。

なお、Fort Calhounでは洪水前に設計ベースの洪水水位より低いコンジットや配管の貫通部のシールが十分でないこと等が見つかり、対応を行っていた。これらの事象について規制当局に複数の報告を行っていたが、洪水時に対応の不備はなかったとしている。

一方、1990年台にNRCの勧告に基づき各事業者はIPEEE（Individual Plant Examination for External Event）を実施しており、その際Fort Calhounは4つのダムの崩壊を仮定して評価を行い、水位としては1,035feetまで上昇し、外部電源及び非常用電源も喪失することが確認された。このような状況に対し高いレベルの燃料取り換えフローアにガソリンエンジンのポンプを設置し、必要な場合にはこのポンプで直接SGに水を入れて炉心の冷却を行うような方策が採られている。

また、B5bの対応では可搬式の電源、ポンプ等をサイト内に配備しており、DCバッテリーの容量どれだけのものがあるか、必要な動力線の長さはどうか、コネクションをどうするか、必要な配管はどうか等を検討したものとなっている。

#### (2) IMC-350による停止プラントの監視と復旧に向けての対応

NRC では通常、原子力発電所に対し検査マニュアル IMC305 の ROP (Reactor Oversight Process) の枠組みでプラントの監視を行うが、NRC 検査の重要度決定プロセスにおいて当該プラントで安全上の重要度が高い問題が発生していると判断した場合等には IMC-0350 “Oversight of Reactor Facilities in a Shutdown Condition due to Significant Performance and/or Operational Concern” に基づく監視を行うことになる。Fort Calhoun では洪水が発生している 2011 年に安全系統の遮断器が設計上の問題で火災を起こした。これにより NRC は 2011 年 12 月 13 日に Fort Calhoun の監視を IMC-0350 の枠組みで行うことを所有会社の OPPD に通告し、更に 2012 年 6 月 11 日に CAL (Confirmatory Action Plan) を発行している。CAL には再起動までに事業者が行うべき対応項目が示され、NRC は対応を厳しく監視することになる。

OPPD は洪水による影響の復旧を含む復旧計画として Fort Calhoun の統括改善計画 (Fort Calhoun Station Integrated Performance Improvement Plan) を NRC に提出している。計画は 100 項目以上の対応項目があり、以下の 6 つのカテゴリーに分かれている。

- ・ サイト復旧
- ・ プラントの系統と機器
- ・ 長期の機器信頼性
- ・ 設計及び認可のベース
- ・ 緊急時計画
- ・ セキュリティー

洪水の影響を踏まえた復旧作業としては、サイト内で洪水により生じた異物の清掃・除去、すべての構造物・系統の損傷の有無の検査、地中のケーブルダクトの点検のほか土壌の安定性の評価が含まれる。土壌は水に 3 か月浸かったことによる強度の問題があり、強度については数 100 のボーリングを行って分析を行ったが、150 万ドルかかった。

これらの回復作業は終了しており、OPPD は今年の春には再起動したいと考えていたが、最近の問題として緊急炉心冷却用ポンプのアンカーボルトの長さが 16 インチあるべきものが 9 インチしかなかったことが判明し、再起動の時期が遅れることになりそうである。

### (3) NTTF への対応

#### (a). 規制の枠組みの確立

説明者の Grobe 氏の見解では最も重要な NTTF の勧告は 1 であり、NRC のこれまでの決定論的規制 (設計ベース) とシビアアクシデントに対する規制の枠組み (例えば SBO 対応、10CFR50.54(hh)、FLEX 等) の対応をどう扱うかを決めなければならない。

#### (b).地震、洪水評価

NTTF の勧告 2.1 では洪水と地震の最新の手法とデータを用いて再評価するように要求

している。Fort Calhoun における洪水評価では大雨時に 3 か所の上流のダムが同時に崩壊することを前提として解析している。予想としては川の水位が IPEEE で評価した 1035feet を超える。この解析をもとに緩和方策を行うことが必要である。

#### (c) SBO 緩和能力の強化

Fort Calhoun では大規模な SBO 時の代替 AC 電源はないが、複数のプラントではガスタービンや代替 AC 電源を保持している。例えば Farley はガスタービンを設置しており、Oconee では隣のダムにある水力発電所から電力を供給できるようになっている。Prairie Island では 2 基の水冷の待機ディーゼル発電機があるが、追加に別の場所に 2 基の空気冷却のディーゼル発電機を導入している。

NTTF 勧告では長期 SBO 時に原子炉冷却を維持するためのサイト内にディーゼル発電機やマルチポンプを配備し、対応をより強固にしている (FLEX)。また、FLEX ではテネシー州メンフィス及びアリゾナ州フェニックスに地域センターを設置するが、ここから緊急用機器をトラック輸送又は航空機輸送することができ、防護の層を追加することになる。

#### (d) 通信手段

プラントが福島のような状態になった場合にコミュニケーションがとれることが重要であり、衛星を使った通信方法、バッテリーのバックアップ、インターネットのネットワーク、携帯電話のネットワーク等を備えていなければならない。

#### (4) その他 Grobe 氏の個人的意見

福島第一のような事故では B5b があれば、電源の対応について有利であった。設計基準事象を中心に考えるとそれを超える状況に対応するのに可動式の小型機器は考えにくい、B5b は PRA の専門家、シニアオペレータ、火災防護の専門家とシステムエンジニアが協議したものである。

・福島第一事故で思うことはデシジョンメイキングで、運転員が自分の判断でドライウエルのベントを行えるかどうかである。米国では運転員がより多くのデシジョンメイキングを行う責任を持っている。福島第一ではベントの操作が遅すぎたと考える。

## 6.2 Zion 廃炉措置サイト

### (1) 廃炉措置の基本状況

Zion 原子力発電所では WH 社製 PWR110 万 kW2 基が 1973 年から 1998 年まで運転されていたが、1998 年に運転永久停止となった。1998 年から 2010 年まで使用済燃料は共用プールに保管され、SAFSTOR (最終の除染、機器の取り外しの前段階で施設を安定させ、燃料を取り出した状態) の状態であった。

Zion Solution は Zion プラントの廃炉措置を行う会社で、2020 年に敷地を緑地化し、プラント前の状態に戻す計画である。廃炉措置終了後サイトに残るものは開閉所、燃料キャスク等となる。最終的に敷地は立ち入り制限が無くなるが、2020 年では敷地の放射能濃度は建設前の状態には戻っておらず、一般に開放はされない。

廃炉の費用は 2 基で 8 億ドル（約 800 億円）である。

## (2) 準備及び機器の解体、搬出、輸送方法

格納容器内の立ち入り、機器の搬出のための格納容器コンクリートの壁の穴あけ、ライナー鋼板のカッティングを行い、入口ドアを設置した。

使用済燃料はユッカマウンテンの工事が中止されたため別途中間貯蔵施設（ISFSI : Interim Spent Fuel Storage Facility）に保管することとした。その他の放射性廃棄物等はサイト外の処分場等に輸送するため、既存の鉄道線路からサイトまでレールの引き込みを行った。

その他燃料建屋クレーンの増強、運搬道路の設置、使用済燃料キャスク運搬クレーンの導入等を行った。

金属機器の解体にはプラズマトーチ使用したが、放射浮遊物を含む煙が建屋内に充満したことからガソリンと酸素を使用したペトロгентーチ（アセチレンに比べ安全性、溶断性に優れている）に変更した。また、原子炉容器はワイヤーソーで水平方向のカッティングを行い、ロータリーカッティング装置で垂直方向のカッティングを行う計画である。これらの方法で放射性物質の飛散が抑えられる。

炉内構造物はキャビティに水を張り、水中で解体している。

原子炉容器上蓋は 2 号機ではそのままの形で廃棄物処分施設に輸送したが、パッケージングと輸送費で 50 万ドルかかった。そのため 1 号機では上蓋を解体したうえで輸送を行うことでコストが 1/3 となった。

## (3) 放射性廃棄物の処分等

Zion1,2 号機の廃炉措置に伴い発生する廃棄物の量および処理・処分の方法は以下のとおり。

○クラス A 廃棄物：360 万 ft<sup>3</sup>

機器、配管、デブリ、2 次廃棄物でユタ州の Clive 廃棄物貯蔵施設に輸送し埋設

○リサイクル可能な廃棄物：270 万 ft<sup>3</sup>

コンクリート、デブリでサイトに埋め戻す。

○汚染水：160 万ガロン

キャビティ及び燃料プール水等で、イオン交換器、フィルターにかけ放流する。

また、ホウ酸水を蒸発処理する。

○クラス B/C 廃棄物：3100ft<sup>3</sup>

廃樹脂、炉内構造物で専用のキャニスターに収納し、テキサス州の埋設処分場に輸送し処分

○GTCC (Greater Than Class C:C クラス以上のレベルの廃棄物) : 700ft<sup>3</sup>

炉内構造物でサイト内の独立した使用済燃料中間貯蔵施設 (ISFSI) に保管

使用済燃料の保管はユッカマウンテンの建設が中止していることからサイト内保管が必要で、ステンレスのキャンに 35 体ないし 36 体の燃料を収納し、それを金属で内張りしたコンクリート製のキャスク容器に収納する形をとっている。キャスク (GE・日立製) を 68 基用意しており、全体で 2064 体の燃料を保管出来る。

Zion の廃炉措置において廃棄物処分で有利な点は上記の廃棄物の貯蔵施設を確保していることである。

廃棄物の輸送はサイトまで線路を引き込み、鉄道により廃棄物貯蔵施設まで鉄道で輸送を行う。

#### (4) 廃炉措置の作業状況

Zion サイトでは廃炉措置に対応する職員が約 350 人働いている。放射能レベルはサイトの事務所で 5~6  $\mu$  rad/h である。なお、NRC のスタッフは駐在していない。

#### (5) 2013 年以降の計画

2013 年 : 使用済燃料を乾式貯蔵容器に移送する準備を完了する。また、炉内構造物解体を完了する。

2014 年 : 使用済燃料をキャスクに貯蔵し、サイトの保管場所に移送完了する。原子炉容器の解体を行う。

2015 年 : 汚染機器の取り外しを完了する。

2016 年 : タービン及び建屋の取り壊しを完了する。

2017 年 : すべての大型設備の取り壊しを実施。

2018 年-2019 年 : サイトの復旧及び最終状態のサーベイ

2020 年 : プロジェクト完了

### 6.3 Peach Bottom 原子力発電所

#### (1) Peach Bottom 原子力発電所の概要

Peach Bottom 原子力発電所は Exelon Generation がサスケハナ川の河畔にあり、現在稼動しているのは 2、3 号機で福島第一と同じ GE 社設計の BWR Mark I 格納容器を持つプラントである。一般に EXELON のプラントで 2 ユニットの発電所は所員 860 名が標準であり、Peach Bottom もこれにならっている。

運転サイクル期間は 18 ヶ月で、燃料取替え停止は BWR 最短の 17 日の記録が持っている

る。(BWR は一般に 20 日-22 日)

Peach Bottom2,3 号機は出力増強を行っており、これにはタービンの取り換えを含んでいる。また、運転期間の延長についても実施しており、2 号機が 2033 年、3 号機が 2034 年までの運転延長を行っている。

当直体制は 5 クルー、2 交代制 (AM6 及び PM6 で交代) で、1 クルー 9 名である。運転員の訓練としてはサイト内にシミュレータがあり、これを利用するが、訓練の中身としてチームによる訓練、機能訓練、OJT 等がある。

運転員の資格認定は NRC により行われるが、その後の更新のトレーニングは民間事業者の訓練センターで行う。これには所長等も含め資格者すべてが受けなければならない。

## (2)洪水その他自然現象対策

付近のサスケハンナ川の雨、雪による洪水 (138feet) やトロネード等を考慮。

洪水を想定した場合、施設まで水位が上がるが洪水により影響を受ける安全関連施設は水密性を持たせており、これらには原子炉建屋、非常用ディーゼル発電機室、非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵設備等が含まれる。また、非常用ディーゼル発電機室のルーバーについては建屋上部に設置され水の浸入がないようにしている。また RHR ポンプのある地下室は付近の降雨による影響を防止するため上部は水密化している。ただしタービン建屋は安全関連でないので、扉は水密化していない。

## (3)最終ヒートシンク

ヒートシンクとして大型のクーリングタワーが 2 基設置されているが、それ以外に非常用ディーゼル発電機を冷却するエッセンシャル冷却水系の最終ヒートシンクとして設計ベースの洪水レベルよりも高い場所に 3 基のパッシブのクーリングタワー方式の最終ヒートシンクを持っている。

## (4)非常用の電源等

非常用ディーゼル発電機は TMI 事故以降 2 ユニット 4 基でタイラインがあり、それ以外に非常用に地中を通した送電線からの外部電源が確保されている。

福島事故の反映として仮設の電源、ポンプ等を用意している。

## (5)ハードベント

ベント施設はハードベントになっている。これは TMI 事故の反映で、1990 年代に対応したものである。ベント配管は原子炉建屋に沿って情報に立ち上がっており、建屋の壁に固定されている。配管径は 16 インチで、1.3%炉心出力に対応したものとなっており、配管にはラブチャーディスクが弁とシーケンシャル設置されている。現在ラブチャーディスクは福島事故を踏まえ格納容器設計圧 60 ポンドに対し半分の 30 ポンドとしている。

#### (6)その他

- ・ Senior Vice President の Shahkarami 氏によると「EXELON は米国最大の原子力事業者であり、プラントの運転状況は良好である。EXELON ではプラントを運営するに際して重要と考えていることが 3 項目あり、それは・ Nuclear Safety Culture、・ Human Performance、・ CAP (Corrective Action Program) である。」とのこと
- ・ Peach Bottom では地元との関係は良好で、地元の農民等もサポートしてくれており、我々もそれを評価している。ただ、政治家の対応はいろいろである。

福島事故に対しても Peach Bottom の地元の人々の反応についてはそんなに心配していない。懸念を強く言っているのは反対派で、こういう機会を狙っている連中である。40 年の間 Peach Bottom は地元の人を雇っており、地元の人も Peach Bottom をよく知っている。Peach Bottom は地元の活動にも貢献しており、地元のチャリティ行事や花火大会に積極的に参加し、2 年に 1 回はがきを地元の人に送って、トレーニングセンターに招待し、セキュリティーや安全性について説明し、シミュレータ訓練を見てもらうこともしており、透明性を確保している。

### 6.4 EXELON 本社 (Philadelphia)

#### (1)NTTF Tier1 への対応

Tier1 各項目について NRC が命令(Order)や情報提供要求 (RFI) を出し、その中で事業者の対応期限を決められている。EXELON では 10 発電所、24 プラントを所有しており、プラントごとのスケジュールを決めて対応している。

EXELON の対応体制として、本社で福島対応の役員が中心となり、プロジェクトを設置し、スタッフとしてディレクター (SAM、エンジニアリング)、2 名の EOG/SAMG 担当、各エンジニアが対応する。エンジニア等は専任としている。

また、各サイトではサイトの責任者の下にプロジェクトマネージャ、運転部門、エンジニアリング部門が対応し、5 名の専任者が置かれている。

本社、発電所の役割分担としては、本社が NRC、NEI、他事業者との対応、調整、共通方針の作成、全体のプロジェクト計画の作成、資金対応等を行う。

費用の検討については Tier 1 について全 10 サイト 17 ユニットで 5 億ドルが必要になると考えており、さらにフィルターベントについては 1 ユニット少なくとも 2000 万ドルかかる予定。

#### (2)地震、洪水評価 (NTTF2.1)

2013 年度の対応として地震評価については新しく EPRI の GMRS (地動応答) に基づく評価作業中であり、9 月に評価結果を NRC に提出する。今回の評価で従来の評価と違うのは洪水、ダム崩壊、豪雨等について NUREG7047 に基づく新しい手法で行うところであ

る。

洪水の IPEEE（個別プラントの外的事象評価）については SRP（標準審査指針）を満足していれば、IPEEE の対象から除外されている。

Peach Bottom 等で水密ドアはすべてのプラントで想定洪水レベル以下の重要施設に設置されているかといえば、そうではなく TMI では通常のドア自体は水密でなく、警報が出れば洪水対応のゲートを設置する形である。

### (3)地震、洪水に対する現場踏査（NTTF2.3）

地震、洪水ともに現場踏査結果を NRC に 2012 年 11 月に提出している。踏査結果を踏まえた更なる対応評価のために Condition Report が作成されたが、多くが既に解消されている。

### (4)緩和対策（NTTF4.2）

NRC は NTTF4.2（B5b 機器を設計基準外部事象の影響から防護し、複数ユニットに対する事象に対応するために必要に応じて機器を追加する）に基づき命令を発行している。

SBO 対策として産業界は B5b 機器の強化を含む FLEX 戦略を行うことを表明している。

FLEX では B5b に比べ、より大きな容量の電源や高圧ポンプを用意している。

### (5)信頼性のある格納容器ベント（NTTF5.1）

2012 年 12 月に NRC のスタッフが SECY-12-157 によりフィルタベントパスの勧告を行っており、2013 年 1 月に公開ミーティングで NRC（委員）は重大な炉心損傷を考慮すべきとした。数週間のうちにはフィルターを追加するか放出を制限する代替の手法を許容するか決定するだろう。

格納容器の発生水素対策については NRC から要求は出ていないが、発生した水素は格納容器スプレーで圧力を下げ、ウェットウェルベント、ドライウェルベントを通じて外部に放出する方法が考えられる。

### (6) SFP 計装（NTTF7.1）

計測技術としてはいくつかの方法を検討しており、・2 エアーレーダー、ガイドウェーブレーダー、・圧力変換器があるが、ガイドウェーブレーダーがよいと考えている。

測定表示は制御室、外部のシャットダウンパネルで利用できるようにする。また、コスト効果も考慮して選ぶのが重要。

### (7) 通信連絡（NTTF9）

通常の通信システムは一般に事務棟等にあるのでデザインベースを超えた外部事象が発生し、AC 電源が喪失した場合には弱点がある。現行の電話システムのテスト及び補修（必

要な場合) を行い、IT と連携した追加の向上策が計画されている。

現在多数の通信連絡手段があるが、オフサイトとのやり取りは衛星電話等を検討している。外部との通信をサポートするためコミュニケーショントレーラを考えており、これは独立した設備でアンテナや発電機を備えている。

オンサイトの連絡は無線でおこなう。中央制御室と現場の運転員の間は無電地電話機の機能を確認している。

#### 6.5 A. W. Vogtle 原子力発電所

Vogtle では 1,2 号機 (WH 型 PWR 114.8 万 kW2 基) が運転中で、更に新しく 3,4 号機 (AP-1000. 110 万 kW2 基) が建設中である。

##### (1)1,2 号機の福島事故対応

###### (a)洪水等の外的事象への対応

敷地の洪水の影響としては現地の豪雨対応が重要で、浸水防護の排水路やグレーティングを設置し、必要な個所には貫通部のシーリングを行っている。

外部からの洪水に対応する水密扉は設置していないが、建屋内での配管破断等による内部溢水を考慮して水密扉を設置している場所がある。建屋の入口の底部は豪雨時の水位よりも 6 インチ高い位置に設置し、水の浸入を防いでいる。

NTTF2.1 に基づく洪水評価については、上流 3 か所のダムの崩壊と豪雨を考慮して溢水の評価を行っており、最大予想水位が 10 フィート高くなるが、敷地のレベルに比べ 40 フィート低い。

Vogtle では外部事象として地震、強風 (ハリケーン、トルネード) について考慮している。強風では風により、電柱等の設備が風で飛ばされるミサイルによる施設の破壊を考慮する必要がある。重要構造物はこれらを考慮した設計としており、建屋のほか屋外にある重要なタンクもコンクリート製としている。

###### (b)SBO 等への対応

Vogtle では各号機が 2 基の非常用ディーゼル発電機を持ち、建屋も強風を考慮している。また、SBO での代替電力の基本はバッテリーであるが、AC 電源として約 1 マイルは離れたところにガスタービン火力発電所 (ピーク用予備電源) があり、地下の送電線により Vogtle の開閉所につながれている。

NTTF4.2 に関連して最終ヒートシンクが重要であるが、Vogtle では非常用のヒートシンクとして 4 基の大型のメカニカルクーリングタワーを設置している。Vogtle は PWR であり重要な機器としてタービン駆動の補助給水ポンプがある。蒸気発生器の冷却のため容量の大きい復水タンクよりタービン動補助給水ポンプで蒸気発生器に水を注入し、自然循環で炉心を冷却することができる。このポンプは DC の制御電力のみが必要で、それ以外は

手動で運転できる。

FLEX 戦略では緊急時対応の機器として発電機、ポンプ、ホース、携帯電話、通信用のトレーラ、衛星電話等があり、2,3 箇所の建屋に機器を保管していることから、1 つの建屋が壊れても他で対応できるようにしている。

戦略では 8 時間以内に FLEX 機器を取り付けられるようにしている。また、24 時間以内にメンフィスにある地域センターから FLEX 機器を空輸し、利用できるよになっている。

Vogtle では DC 照明は少なくとも 8 時間は維持できるようになっており、その後は FLEX 機器がバックアップ電力を供給する。説明者 (Buck 氏) の見積もりでは、すべての米国プラントに対する FLEX 計画のコストは 10 億ドルから 30 億ドルと考えられる。

B5b は 1 ユニットに対応しているものであり、また、同時に炉心の冷却及び使用済燃料プールの冷却を行えるようになっていない。容量も FLEX に比べ小さいものであり、蒸気発生器の圧力を下げなければ冷却水を注入することはできない。

### (c)計装の機能強化

使用済燃料プールの水位計装について NRC は燃料上端の水位から通常の水位まで測定できるものを要求している。Vogtle では使用済燃料プールの水位が燃料上部まで下がった状態で 6 時間経過した場合の放射線に対して品質を確保できるものを考えており、ガイドウェーブレーダーを用いた水位計を設置する予定である。

長期の全電源喪失のシナリオでは格納容器の圧力及び温度は格納容器の健全性を脅かす可能性があるが、PWR では BWR ほど厳しくない。

## (2) .Vogtle3,4 号機建設現場他見学

1,2 号機の隣の敷地に WH 製の AP-1000 型の 3,4 号機を建設中である。敷地の整備はかなり進んでおり、格納容器クーリングタワーの下部構築物、格納容器下部ヘッド等が現地で製作されている。建設用のクレーンは世界最大のデリッククレーンを使用している。このクレーンはクレーンが動く円周のレールの中心の地面にカウンターウェイトを埋め込み、カウンターウェイトとクレーンの支柱を鉄柱でつなぐ方法を採用しており、通常のカウンターウェイトは見えない。(図-5,6)

ユッカマウンテン使用済燃料貯蔵施設の建設中止で Vogtle でも自前でコンクリート製の使用済燃料保管容器を調達して、敷地内で保管を行っている。

## (3)AP-1000 の設計基準超え事象への対応

### (a)AP-1000 の炉心冷却

Vogtle3,4 号機には WH 社製の AP-1000 (110 万 kW<sub>e</sub>) が採用されている。AP-1000 の安全系は交流電力を必要としない設計であり、炉心等の冷却はバッテリー、自然循環、重力等により行われる。

LOCA 時の炉心の非常用の冷却システムとして、補給水タンクから高圧注入と蓄圧タンクからの冷却水注入が行われ、その後燃料取替用水タンクより重力駆動で注水が行われるように自動的に減圧される。注入が終了すると 1 次系各ループの上まで冠水する。その後は炉心内を冷却用の水が温度差により循環することで炉心冷却が可能であり、ポンプは必要ない。

#### (b)格納容器の冷却

格納容器はステンレス製となっており、冷却は格納容器上部に設置されたタンク（80 ガロン）から格納容器外面に水がスプレーされ、その水が格納容器内部の熱により蒸発し、最終的に外部に放散することで格納容器を冷却する仕組みとなっている。これにより 3 日間の格納容器冷却が可能である。

格納容器スプレー系は設置されているが、安全系ではなく格納容器をスクラブするためのもので、冷却には必要ない。

#### (c)SBO 等への対応

電源が喪失しても中央制御室は 72 時間は空調用に交流電力は必要としない。制御パネルへの電力はバッテリーから送られる。72 時間はいかなる運転操作に対する外部からの支援も必要もない。72 時間以後は非常用ディーゼル発電機のみで 4 日間の対応が可能である。

### 6.6 米国原子力規制委員会（NRC）（電話会議）

NRC 専門家とのミーティングは NRC 側の時間がとれなかったため中止となり、訪問時は電話会議で NRC の Lewis 氏（女史）と主要質問項目についての議論をおこなった。

NRC の Lewsi 氏からは以下の情報提供があった。

○NRC の方針や決定事項は NRC Website や SECY ペーパーで公開されるので全体としてそれらを注意してみてほしい。

#### ○格納容器ベントシステム

格納容器ベントシステムに関する NRC の対応は NRC Web site の福島事故の教訓のセクションあるいは NRC スタッフの上申文書 SECY に示されている。

日本側から「NRC はフィルターベンティングシステムの設置について ACRS のコメントをうけて、再評価していると聞いているが、NRC の決定はいつなされるか」との質問に対し、検討が終わってからで今年の半ばか末になるだろうとのことであった。

日本側からロシアの会議に出席した際、ロシアのプラントすべてにフィルターベントを設置することが決まり、中国でも既に 24 基のプラントにフィルターベントを設置するとし

ている。米国も格納容器にフィルターベントを付けることを決めるのがよいのではとの提案をおこなった。

○計装機器の関する RG1.151A Instrument Sensing Lines Rev.1 について議論が行われており、状況を確認する。何らかの結果ができれば NRC の Web site で見ることができる。計装機器の改善 Tier 3 の勧告にも入っている。

○日本側からフィルターベントシステムに関連して、日本の事業者は DF を向上させる観点から、ハードベントシステムを使う場合サプレッションプールの水をアルカリにするために NaOH (アルカリ) タンクを設置することについて協議している。またライブシュタットではフィルターベントシステムにアルカリを添加しているとの説明がなされた。

## 6.7 米国原子力エネルギー協会 (NEI)

### (1) 産業界の規則、標準作成対応

産業界では福島第一事故を受けての対応について議論し、Way Forward Document という文書を作成した。福島対応のための組織として 10 程度の事業者の CNO (Chief Nuclear Officer)、NEI、INPO、EPRI の代表者からなる FSC (福島ステアリング委員会) を設置した。これは、7つのブロックからなり、以下を含む。

- ① : NRC 対応-NEI
- ② : 運転と FLEX-INPO
- ③ : メディア、一般市民、議会等への広報-NEI
- ④ : 研究開発、技術-EPRI

### (2) ハードウェア改造

FLEX については NRC の命令及び NEI ガイドライン 12-06 が発行されている。設計外事象で SBO になった場合等に炉心冷却、格納、使用済み燃料ピット冷却機能の維持、復旧に迅速に対応する可搬式機材を用意するもの。

機材は B5b と違って複数 (N) ユニットを考慮し、N+1 セットを用意する。

FLEX の対応は以下の 3 フェーズからなる。

フェーズ 1 : 事象発生 8 時間から 24 時間。サイト内の資機材で対応するもの

フェーズ 2 : 外部 (本店) の支援を受ける状況

フェーズ 3 : Regional Response Center の支援を受ける状況

このセンターはテネシー州メンフィスとアリゾナ州フェニックスにあり、FLEX 関連機器が数 100 置かれている。全 25 の電力が使用可能である。

### (3) 地震、洪水の現場踏査及び再評価

- ・地震の現場踏査

設計ベースの点検でNRCにエンドースされたEPRIのガイダンスで各事業者が設計ベースの考え方で現場踏査を実施し、NRCに報告するものである。

- ・地震の評価

最新知見設計ベースの地震評価を各事業者が実施中である。

- ・洪水の現場踏査

EPRIが作成し、NRCがエンドースしたガイダンスに基づき各事業者が実施している。異常があればCAPに基づき対応する。

- ・洪水の評価

洪水評価は新しいガイドラインとデータで実施中である。

#### (4)SAMG

SAMGはEOP、EDMGと合わせて一本化することが勧告されており、NEIが新しい規則についてNRCと調整中で、2014に発行される予定。SAMGはもともと産業界が自主的に作成してきたものであるが、今後はNRCがSAMGを規則化する。

#### (5)ベント

BWRのMark I、IIに対するハードベントの設置はNRCの命令であり、産業界としても対応することとなるが、改造するにはプラント停止が必要で、18か月から2年かけて各サイトで実施する。

NRCスタッフはフィルターベントがパッシブなものと考えているが、運転員の操作が必要であり、代替としてNEIが主張しているのが格納容器スプレー、フラッシングである。

EPRIの評価ではこの方法で除染係数(DF)1000が可能となっている。ただ、この場合、対応するFLEX機器の容量増強が必要になるろう。

フィルターベントは作動した場合に格納容器以外にソースタームを作ることになり、ソースタームの格納バウンダリーを広げることになる。リスクも増える。フィルターベントの格納機能を維持するための強度等の設計も大変である。

NRCの委員は格納容器スプレーでベント改造も少なく済むかもしれないと思っ

ているようだが、ベント開始時期について、福島第一の事故ではもっと早くベントを行うべきであったと考える。日本では地元への配慮等で運転員が躊躇すると考えるが、米国ならば運転員の家族が近くに住んでいたとしても格納容器の設計圧力に近づいた時点でベントしていたであろう。その場合社長、首相の意見を聞くことはない。Tech. Specでも設計圧力の70%から80%でベントするようになっている。

#### (6)ソフトウェア

米国の安全文化は TMI、9.11、INPO の活動でレベルは向上している。個人的な考えであるが、米国では何か事象が発生すると事業者全体が専門知識を持ち寄って対応するし、INPO を通じて緊密な関係を維持している。また、CNO が集まり議論する中で、問題がある事業者があった場合、他の事業者から厳しい目で見られ、対応が迫られるが、日本ではそうではないのでは。日本で福島事故の際、他の事業者が駆け付けたという話は聞かない。私が日本に3年駐在した時の経験では組織が縦割りで、分断されている感じである。

米国では OLM を行っているため、安全系を出力運転時に隔離する必要があり、運転、保全、エンジニアリングの部門のメンバーは安全系の詳細を熟知している。一方、日本では NISA が保守的で OLM を行っていないので、そこまでの知識がないのではないかと。個人的見解だが、福島第一事故で運転員が IC の状況について混乱しているように見えるが、米国では OLM で隔離を行うことから状況をよく知っている。OLM では多くを学べ、強制的に知識を得ることになる。

#### (7)計装系の改善

使用済燃料プールの計装については NRC の命令及び NEI のガイドラインが発行されている。日本側より「シビアアクシデント時の原子炉水位測定のために原子炉内 TIP の代わりにサーモカップルを入れるのはどうか？」と提案したが、既存プラントでは中性子検出器を一つ減らすことになるので、中性子測定についてデメリットが考えられ、改造については注意が必要ではないかとのコメントがあった。

#### (8)その他

NEI の説明者は日本及び米国の問題点について個人的な考えも含め以下のコメントが出された。

- ・日本の今の状況は政治的な反原発の流れもあり、規制庁が極端な判断をしているように見える。事業者が多額の資金をかけ大規模な防波堤を自主的に建設し、さらにそれについて規制当局が不十分であるといっていると聞いているがこれは異常である。
- ・福島事故以降世界中がクレージーになっており、我々も NRC、一般市民を落ち着かせるよう努力している。NRC の勧告は 20 から 40 もありこれをすべて実施するのはフィージブルでなく、かえって安全に問題を及ぼす場合がありうる。第2中央制御室もかえって状況を悪化させるという点も同感でき、テロ攻撃の場合両方の制御室に対して攻撃されることを考慮する必要がある。

### 7.事前勉強会

平成24年2月6日(0)に訪問調査メンバーが集まり福島第一事故時の格納容器の挙動、

Fort Calhoun の溢水の状況及び対応、米国における福島第一事故を反映した NTTF 勧告への対応状況についての情報の検討及び議論を行った。

表-1 訪問調査行程及び議事項目

月 日	訪問先	議事項目
2月19日(火)	Fort Calhoun NPP	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洪水対応、SBO</li> <li>・NTTF 対応</li> <li>・長期停止と再起動に向けての対応</li> </ul>
2月20日(水)	Zion 廃炉措置サイト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃炉措置の状況</li> </ul>
2月21日(木)	Peach Bottom NPP	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洪水、SBO 対応</li> </ul>
	EXELON 本社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・福島事故対応</li> </ul>
2月22日(金)	A.W.Vogtle NPP	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洪水、SBO 対応</li> <li>・NTTF 対応</li> <li>・AP-1000 建設状況</li> </ul>
2月23日(土) ～24日(日)	移動	
2月25日(月)	NRC	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NTTF 対応</li> </ul>
	NEI	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NTTF 対応</li> </ul>

表-2 入手資料一覧

<p>(1)Fort Calhoun 原子力発電所</p> <p>資料-1 : Fort Calhoun Station Integrated Performance Improvement Plan Rev.4</p> <p>資料-2 : Strage Capacity of Ciros Reservoirs</p> <p>資料-3 : Confirmatory Action Letter - Fort Calhoun</p> <p>資料-4 : 洪水ビデオ</p> <p>(2)Zion 廃炉措置サイト</p> <p>資料-1 : Zion Project Overview February 2013</p> <p>(3)Peach Bottom 原子力発電所</p> <p>資料-1 : Peach Bottom Power Plant</p> <p>(4)EXELON 本社</p> <p>資料-1 : Fukushima-The Response</p> <p>(5)A. W. Vogtle 原子力発電所</p> <p>資料-1 : Visiter' s presentation</p>
---



図 A.W.Vogtle 原子力発電所の幹部と調査メンバー

## Fort Calhoun 原子力発電所

1. 日時：

平成 25 年 2 月 19 日（火）10：00～13：00

2. 場所：

Fort Calhoun 原子力発電所（打ち合わせはホテルで実施）

3. 出席者：

**【Exelon Generation】**

Jack Grobe Executive Director

**【機械学会訪米調査団】**

海外調査部会水町主査（原子力安全基盤機構）

海外調査部会奈良林副主査（北海道大学）

海外調査部会藤井委員（日本エヌ・ユー・エス）

**【その他出席者】**

Michel Donovan（Curtiss Wright）

4. 資料

資料-1：Fort Calhoun Station Integrated Performance Improvement Plan Rev.4

資料-2：Storage Capacity of Ciros Reservoirs

資料-3：Confirmatory Action Letter - Fort Calhoun

## 5. 議事内容

説明者の Grobe 氏は元 NRC の職員で NTTF にも関係しており、現在 EXELON に在籍。EXELON は Fort Calhoun が NRC より red(安全上の重要度が高い問題がある)の判定を受け、NRC の特別検査を受ける中で、Fort Calhoun の所有者である Omaha Public Power District (OPPD) と契約を結び、プラントの運転、安全に責任を持っている。

### (1)2011 年の洪水及びその対応

#### (a) .洪水の状況

Fort Calhoun 原子力発電所はミズーリ川の河畔の低地に位置しており、1号機 (47.8 MW CE-PWR) が 1973.9.26 運転開始している。

ミズーリ川の上流 1200mile には米国でもっとも大きな貯水量を持つ 3 つのダム (Garrison、Fort Peck、Oahe) を含むダム群が設置されている。(図-1,2)

2010 年から 2011 年にかけての冬場に上流の山間部に大量の雪が降り、春には大雨が降った。それにより 2011 年の春に大量の水がミズーリ川に流れ込んだ。これに伴いミズーリ川のダムの水位が上昇し、ミズーリ川を管理している陸軍の Corp of Engineering はダムの崩壊を防ぐためにダムの管理放流を行った。(図-3,4)

放流量は 6 月 1 日には 81,000cfs (立方フィート/秒)、6 月 30 日には 160,000cfs となった (それまでの最大は 7,000cfs)。これに伴いミズーリ川下流の水位が上昇し、Fort Calhoun では通常の水位が海拔 995feet であるのに対し、この放流で水位が 12feet 上昇し、最高レベルでは 1,007feet まで達した。一方、設計ベースの洪水レベルは 1,014feet であり、ダム放流によるレベルはこれよりも低いものであった。

ダムの放流は継続的に約 2.5 ヶ月続き、川の水位は上昇したが、その後上昇した形で安定状態が続いた。

Fort Calhoun の敷地レベルは通常のみズーリ川の水位より約 3m (9feet) 高いが、2011 年の洪水では水位が通常水位より約 4m (12feet) 上昇しており、敷地は約 60 日の間、約 1m (3feet) 水没することとなった。(図-5,6,7)

ミズーリ川の沿岸には多くの工場があり、今回の洪水では Fort Calhoun 以外にも石炭火力発電初頭も浸水した。図-1 は通常時のみズーリ川の水位で、2011 年の洪水時には約 4m 上昇した。

#### (b) プラントの対応

ダムの放流時に Fort Calhoun では燃料取替えのためプラント停止状態であったが、ダムの放流の 3 日前に放流の通知があったため、その間に各施設の周りに土壌を積み上げた形

で土手を設置した。これにより主要施設である格納容器、補助建屋、開閉所等は水没することはなかったが、倉庫を含む敷地は土手設置の対象となっておらず、6月中旬から8月中旬にかけて水没し、資機材について損害が出た。ディーゼル発電機は高台に設置されていないが、洪水に対して防護されているため、非常用電源は確保されており、洪水による安全系への影響はなく、炉心の安全への影響もなかった。

なお、土手は設計ベースの洪水防護ではなく、今回はダム放流の前に事前に通知を受けたことから対応できたものである。

Water berm（袋に水を入れた形の堤）による防水も実施していたが、補修員がヤードを整備している際に一部を壊した（損傷は迅速に修理された）。また、オフサイトの緊急用のサイレンが壊れたがすぐに修理された。それ以外の施設は破損したものは無かった。

洪水の期間、作業者は近くの学校に駐在し、ガソリン駆動のポンプや発電機用の燃料としてガソリンの缶をプラントに運んだ。また、サイト内機器の持込等に6フィートの高さの足場により一時的な通行路を設置し、所員がプラントの施設に立ち入れるようにした。

今回の洪水での教訓は有効な洪水防護手順が示されていることが重要であったにもかかわらず、Fort Calhoun ではいくつかの手順は実施されておらず、実施できないことを見つけれなかったことである。

Fort Calhoun ではコンジットや配管の貫通部のシールについて、設計ベースの洪水水位以下のレベルで一部に問題があったが、今回の洪水で影響があったわけではない。なお、シールについての標準はないが、Fort Calhoun ではシールをテストする手順を作成している。

貫通部シール性能を確保、強化するために Fort Calhoun ではシールの検査を行い、劣化が進んでいれば補修を行っている。シールのテストも完了している。

### (c) . IMC-350 による停止プラントの監視と復旧に向けての対応

NRC では通常、原子力発電所に対し ROP (Reactor Oversight Process) の枠組みでプラントの監視を行うが、NRC 検査の重要度決定プロセスにおいて当該プラントで安全上の重要度が高い問題が発生した場合等には IMC-0350 “Oversight of Reactor Facilities in a Shutdown Condition due to Significant Performance and/or Operational Concern” に基づく監視を行うことになる。これは 2002 年の Davis Besse で原子炉容器の損傷が発生した場合にもとられた措置であり、NRC は停止プラントに対し再起動までの対応をより厳しく監視することになる。問題発生後対策すべき項目について NRC と事業者が話し合った結果を NRC が文書で事業差に通知する仕組みとして CAL (Confirmatory Action Plan) がある。

Fort Calhoun では洪水の起こる前の 2010 年に NRC の検査で洪水対策に問題があることが指摘されており、その後の調査の中でペネトレーション部のシールが十分でないこと等が判明し、Fort Calhoun の所有会社の OPPD は複数回 License Event Report (LER) を提出

している。また、洪水が発生している時期の 2011 年 6 月 7 日に安全系統の遮断器の火災が発生した。

遮断器の問題は 40 年前に設置の GE 社製遮断器を数年前に別のベンダーのものに取り替える際、既存の GE 社製のバケットに収納する設計としたが、接続部の設計に問題があり、十分な接触が行われなかったため加熱を起し、遮断器が爆発し、火災が発生したものである。

これにより、当該系統が機能を失ったほか、他の系統も影響を受けトリップした。

これらの状況を踏まえ NRC は 2011 年 12 月 13 日に Fort Calhoun の監視を IMC-0350 の枠組みで行うことを所有会社の OPPD に通告し、更に 2012 年 6 月 11 日に CAL を発行している。CAL には NRC の再起動までのチェックリストが示されている。

チェックリストの第 1 セクションは重大パフォーマンスの劣化の問題で、洪水、440V 配電系統の問題、ブレーカ火災、設計の問題、訓練の問題、セキュリティー違反、原子炉保護系の問題等多くの問題がある。第 2 は洪水復旧の対応、第 3 セクションは是正措置プログラム (CAP)、エンジニアリングプログラム、保全プログラム、品質保証プログラム等である。

上記の NRC の対応を踏まえ、OPPD は洪水による影響の復旧を含む復旧計画として Fort Calhoun の統括改善計画 (Fort Calhoun Station Integrated Performance Improvement Plan) を NRC に提出している。計画は 100 項目以上の対応項目があり、以下の 6 つのカテゴリーに分かれている。

- ・ サイト復旧
- ・ プラントの系統と機器
- ・ 長期の機器信頼性
- ・ 設計及び認可のベース
- ・ 緊急時計画
- ・ セキュリティー

洪水の影響に対する復旧作業としてはサイト内で洪水により生じた異物の清掃・除去、すべての構造物・系統の損傷の有無の検査、地中のケーブルダクトの点検のほか土壌の安定性の評価が含まれる。土壌は水に 3 か月浸かったことによる強度の問題があり、強度については数 100 のボーリングを行って分析を行ったが、150 万ドルかかった。

これらの回復作業は終了しており、OPPD は今年の春には再起動したいと考えていたが、最近の問題として緊急炉心冷却用ポンプのアンカーボルトの長さが 16 インチあるべきものが 9 インチしかなかったことが判明し、再起動の時期が遅れることになりそうである。

#### (d) 洪水水位評価と対応

設計ベースの洪水レベルは 1,014 フィートであり、これは最も近い上流のダムであるギヤビンズポイントダムの崩壊を前提としている。設計ベースの洪水になった場合は補助建屋、格納容器、取水口のうち原水 (raw water) 建屋は浸水しないが、開閉所等は浸水し、機能を失うことになる。従って非常用ディーゼル発電機が起動する。

一方、1990 年台に NRC の勧告に基づき各事業者は IPEEE (Individual Plant Examination for External Event) を実施したが、その際 Fort Calhoun は 3 つのダムの崩壊を仮定した。これは上流のダムが崩壊するとその水が下流に流れ、下流にあるダムも連鎖的に崩壊する可能性があるとの考え方に基づく。評価の結果水位としては 1035feet まで上昇し、その場合格納容器内の設備以外のものは機能を失うことになる。外部電源及び非常用電源も喪失する。

このような状況に対し防護策ではなく、緩和策を検討しており、燃料取り換えフロアーにガソリンエンジンのポンプを設置した。この位置は 1,035feet よりも高く、必要な場合にはこのポンプで直接 SG に水を入れて炉心の冷却を行うような方策が採られている。ただ、このような状態になるとプラントは 1 次計、2 次系とも損傷を受けており、再度そのままでは立ち上がれない。

2001 年 9 月 11 日の同時多発テロを受けて 10CFR50.54(hh) の条項が設けられた。いわゆる B5b の対策で、航空機の衝撃やテロにより施設の広い範囲が損害を受けた場合に炉心冷却、格納、使用済燃料プールの冷却の各機能を維持するための機器配備や事象が発生した場合の対応手順 (Extended Damaging Management Guideline :EDMG) が定められた。

航空機の衝撃については B5b では具体的に PWR と BWR の代表プラントについて、航空機が衝突した場合の評価を有限要素法で実施している。航空機についてはその大きさ、角度、速度を変えた評価を行っている。

B5b の具体的な対応として可搬式の電源、ポンプ等をサイト内に配備しており、DC バッテリーの容量どれだけのものがあるか、必要な動力線の長さはどうか、コネクションをどうするか、必要な配管はどうか等を検討したものとなっている。

また、リモートシャットダウンシステムは、テロがあった場合には効果がある。

## (2) NTTF への対応

### (a). 規制の枠組みの確立

最も重要な NTTF の勧告は 1 であり、NRC のこれまでの決定論的規制 (設計ベース) とシビアアクシデントに対する規制の枠組み (例えば SBO 対応、10CFR50.54(hh)、FLEX 等) の対応をどう扱うかを決めなければならない。

### (b).地震、洪水評価

NTTF の勧告 2.1 では洪水と地震の最新の手法とデータを用いて再評価するように要求している。Fort Calhoun における洪水評価では大雨時に 3 か所の上流のダムが同時に崩壊

することを前提として解析している。これは 2013 年 3 月に完了する予定であるが、予想としては川の水位が IPEEE で評価した 1035feet を超える。この解析をもとに緩和方策を行うことが必要である。

#### (c) SBO 緩和能力の強化

Fort Calhoun を含む多くのプラントでは SBO の耐久時間が 8 時間である。Fort Calhoun では大規模な SBO 時の代替 AC 電源はないが、複数のプラントではガスタービンや代替 AC 電源を保持している。例えば Farley はガスタービンを設置しており、Oconee では隣のダムにある水力発電所から電力を供給できるようになっている。Prairie Island では 2 基の水冷の待機ディーゼル発電機があるが、追加に別の場所に 2 基の空気冷却のディーゼル発電機を導入している。

NTTF 勧告では長期 SBO 時に原子炉冷却を維持するためのサイト内にディーゼル発電機やマルチポンプを配備し、対応をより強固にしている (FLEX)。また、FLEX ではテネシー州メンフィス及びアリゾナ州フェニックスに地域センターを設置するが、ここから緊急用機器をトラック輸送又は航空機輸送することができ、防護の層を追加することになる。

これらの NTTF への対応の標準化については NEI、INPO のもとで別々のグループにより進められている。

SBO に伴い照明が切れた場合、Fort Calhoun の対応としては、ある範囲の照明は DC 電源から来ており、AC 電源が喪失しても問題ない。さらに、特別なバッテリーをつけた手持ちの照明がある。

#### (d) 格納容器フラッドイング

Fort Calhoun では SAMG で格納容器フラッドイングについて示してあり、その能力はあるが、その条件等について解析したことは無い。また、格納容器フラッドイングについての水位の管理、圧力衝撃の吸収、急激な蒸発により格納容器破損の防止等についての能力に付いてしっかりとしたものがあるわけではない。フラッドイングで格納容器に水がたまった場合の構造健全性生評価は行っていない。また、格納容器フラッドイングの改造は実施していない。格納容器フラッドイングの手順はなく、SAMG で運転員に格納容器フラッドイングを考慮するよう示している。

#### (e).計装強化

使用済み燃料プールの計装に付いては NTTF の検討事項になっており、水位測定についてはより広い範囲の水位を測定できるようにすることが求められている。一方、原子炉容器の水位計装等の強化について特に計画は無い。NRC がシビアアクシデント時の計装に付いて議論を始めたところである。

#### (f)通信手段

プラントが福島のような状態になった場合にコミュニケーションがとれることが重要であり、衛星を使った通信方法、バッテリーのバックアップ、独立したインターネットのネットワーク、携帯電話のネットワーク等を備えていなければならない。

#### (3)その他 Grobe 氏の個人的意見

福島のような事故の対応としての B5b の効果については、事故後福島では運転員が駐車場に止まっている車からバッテリーを調達しているのが印象的であったが、B5b があれば電源の対応について有利な点があったと考える。設計基準事象を中心に考えるとそれを超える状況は考えにくい、B5b は PRA の専門家、シニアオペレータ、火災防護の専門家とシステムエンジニアが協議したものである。

・福島事故で思うことが2つある。1つはデシジョンメイキングで、運転員が自分の判断でドライウエルのベントを行えるかどうかである。米国と日本ではデシジョンメイキングに関して異なるところがある。米国では運転員がより多くのデシジョンメイキングを行う責任を持っている。福島ではベントの操作が遅すぎたと考える。

・最近、米国ではシェールガスの効果的な産出方法が開発され、天然ガスのコストが安くなったため、天然ガスの火力発電所が増え、小規模の原子力は停止するものが出ている。しかし、シェールガスは地中のシェール層に対し、高圧の水でクラックを作り採取しており、場合によっては地下水からとっている飲料水に天然ガスが混入するという問題が出て、環境的な影響を考慮しなければならなくなっている。

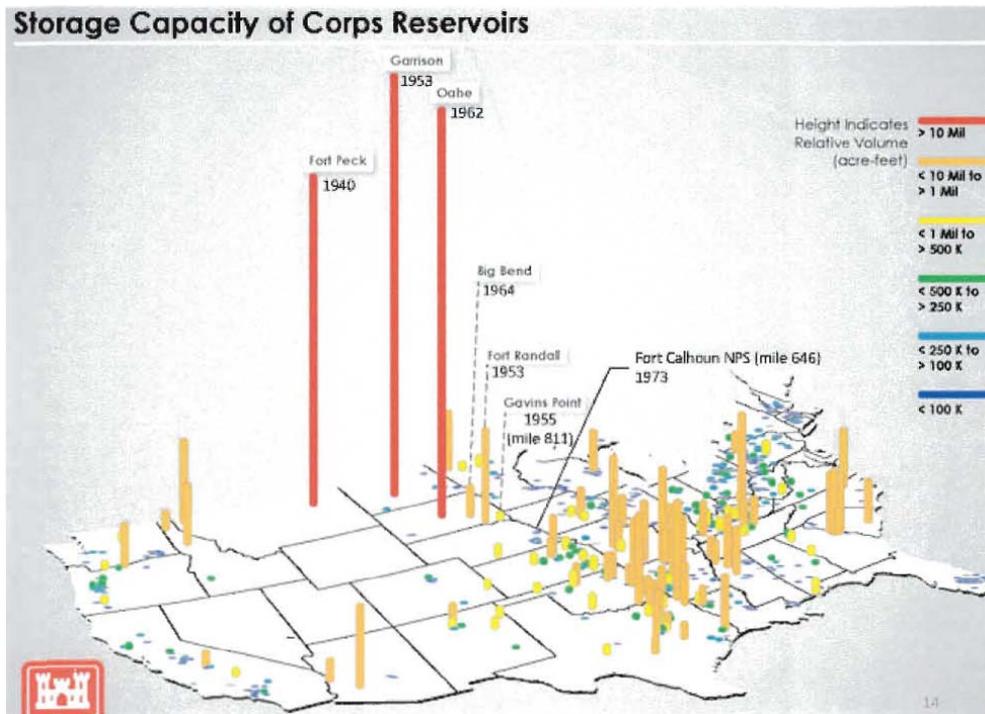


図-1 ミズーリ川の貯水池の保有水量

## Missouri River Mainstem Reservoir System



図-2 ミズーリ川の貯水池の配置と概観



図3 ミズーリ川上流山岳部の積雪



図-4 通常時のミズーリ川の水位  
(2011年の洪水では約4m水位が上昇)



図-5 通常時の Fort Calhoun 原子力発電所



図-6 洪水時の Fort Calhoun 原子力発電所(1)



図-7 洪水時の Fort Calhoun 原子力発電所(2)

## Zion 廃炉措置サイト

1. 日時：

平成 25 年 2 月 20 日（水）10：00～12：00

2. 場所：

Zion 廃炉措置作業場所（旧 Zion 原子力発電所）

3. 出席者：

**【Zion Solusion】**

Robert C. Keene Director

**【機械学会訪米調査団】**

海外調査部会水町主査（原子力安全基盤機構）

海外調査部会奈良林副主査（北海道大学）

海外調査部会藤井委員（日本エヌ・ユー・エス）

**【その他出席者】**

David Miller (Illinois University)

4. 資料

資料-1：Zion Project Overview February 2013

.

## 5. 議事内容

### (1) 廃炉措置の基本事項

Zion 原子力発電所では WH 社製 PWR110 万 kW2 基が 1973 年から 1998 年まで運転されていたが、1998 年に運転永久停止となった。1998 年から 2010 年まで使用済燃料は共用プールに保管され、SAFSTOR（最終の除染、機器の取り外しの前段階で施設を安定させ、燃料を取り出した状態）の状態であった。

Zion Solution は Zion プラントの廃炉措置を行う会社で、2010 年に EXELON よりプラントの資産売却を受け、NRC のライセンスを EXELON から移転された（敷地は EXELON よりリースされた形）。Zion Solution は Zion の廃炉措置を実施し、2020 年に敷地を緑地化し、プラント前の状態に戻す計画である。この時点で NRC のライセンスが EXELON に戻される。廃炉措置終了後サイトに残るものは開閉所、燃料キャスク等となる。最終的に敷地は立ち入り制限が無くなるが、2020 年では敷地の放射能濃度は建設前の状態には戻っておらず、一般に開放はされない。

廃炉の費用は 2 基で 8 億ドル（約 800 億円）である。

### (2) 準備及び機器の解体、搬出、輸送方法

格納容器内の立ち入り、機器の搬出のための格納容器コンクリートの壁の穴あけ、ライナー鋼板のカッティングを行い、入口ドアを設置した。（図-1,2）

使用済燃料はユッカマウンテンの工事が中止されたため別途中間貯蔵施設（ISFSI : Interim Spent Fuel Storage Facility）を確保し、保管することとし、保管場所の土台を設置した。その他の放射性廃棄物等はサイト外の処分場等に輸送するため、既存の鉄道線路からサイトまでレールの引き込みを行った。（図-3）

その他燃料建屋クレーンの増強、運搬道路の設置、使用済燃料キャスク運搬クレーンの導入等を行った。

金属機器の解体にはプラズマトーチ使用したが、放射浮遊物を含む煙が建屋内に充満したことからガソリンと酸素を使用したペトロジェントーチ（アセチレンに比べ安全性、溶断性に優れている）に変更した。また、原子炉容器はワイヤーソーで水平方向のカッティングを行い、ロータリーカッティング装置で垂直方向のカッティングを行う計画である。これらの方法で放射性物質の飛散が抑えられる。

炉内構造物はキャビティーに水を張り、水中で解体している。

原子炉容器上蓋は 2 号機ではそのままの形で廃棄物処分施設(Clive)に輸送したが、パッケージングと輸送費で 50 万ドルかかった。そのため 1 号機では上蓋を解体したうえで輸送を行うことでコストが 1/3 となった。

### (3) 放射性廃棄物の処分等

Zion1,2 号機の廃炉措置に伴い発生する廃棄物の量および処理・処分の方法は以下のとおり。

○クラス A 廃棄物：360 万 ft<sup>3</sup>

機器、配管、デブリ、2次廃棄物でユタ州の Clive 廃棄物貯蔵施設に輸送し埋設

○リサイクル可能な廃棄物：270 万 ft<sup>3</sup>

コンクリート、デブリでサイトに埋め戻す。

○汚染水：160 万ガロン

キャビティ及び燃料プール水等で、イオン交換器、フィルターにかけ放流する。

また、ホウ酸水を蒸発処理する。

○クラス B/C 廃棄物：3100ft<sup>3</sup>

廃樹脂、炉内構造物で専用のキャニスターに収納し、テキサス州の埋設処分場に輸送し処分

○GTCC (Greater Than Class C:C クラス以上のレベルの廃棄物)：700ft<sup>3</sup>

炉内構造物でサイト内の独立した使用済燃料中間貯蔵施設 (ISFSI) に保管 (図-4)

使用済み燃料の保管はステンレスのキャンに 35 体ないし 36 体の燃料を収納し、それを金属で内張りしたコンクリート製のキャスク容器に収納する形をとっている。キャスク (GE-日立製) を 68 基用意しており、全体で 2064 体の燃料を保管出来る。

Zion の廃炉措置において廃棄物処分が有利な点は上記の廃棄物の貯蔵施設を確保していることである。

廃棄物の輸送はサイトまで線路を引き込み、鉄道により廃棄物貯蔵施設まで鉄道で輸送を行う。

#### (4) 廃炉措置の作業状況

Zion サイトでは廃炉措置に対応する職員が約 350 人働いている。放射能レベルはサイトの事務所で 5~6  $\mu$  rad/h である。なお、NRC のスタッフは駐在していない。

#### (2) 2013 年以降の計画

2013 年：使用済燃料を乾式貯蔵容器に移送する準備を完了する。また、炉内構造物解体を完了する。

2014 年：使用済燃料をキャスクに貯蔵し、サイトの保管場所に移送完了する。原子炉容器の解体を行う。

2015 年：汚染機器の取り外しを完了する。

2016 年：タービン及び建屋の取り壊しを完了する。

2017 年：すべての大型設備の取り壊しを実施。

2018 年-2019 年:サイトの復旧及び最終状態のサーベイ

2020 年：プロジェクト完了

以上



図-1 Zion1,2号機格納容器



図-2 廃炉用として設けた格納容器機器搬出用開口部



図-3 輸送用鉄道引き込みレール



図-4 キャスク保管状況

## Peach Bottom 原子力発電所

1. 日時：

平成 25 年 2 月 21 日（木）10：00～12：00

2. 場所：

Peach Bottom 原子力発電所

3. 出席者：

【Exelon Generation】

Amir Shahkarami Senior Vice President

Plant Manager Patric D. Navin

Site Vice President Michael J Massaro.

他

【機械学会訪米調査団】

海外調査部会水町主査（原子力安全基盤機構）

海外調査部会奈良林副主査（北海道大学）

海外調査部会藤井委員（日本エヌ・ユー・エス）

4. 資料

資料-1：Peach Bottom Power Plant

5. 議事概要

(1)Peach Bottom 原子力発電所の概要（図-1）

Peach Bottom 原子力発電所は Exelon Generation がサスケハナ川の河畔にあり、現在稼動しているのは 2、3 号機で福島第一と同じ GE 社設計の BWR Mark I 格納容器を持つプラントである。一般に EXELON のプラントで 2 ユニットの発電所は所員 860 名が標準であり、Peach Bottom もこれにならっている。

図-1 に Peach Bottom の主要部分の外観を示す。

運転サイクル期間は 18 ヶ月で、燃料取替え停止は BWR 最短の 17 日の記録を持っている。（BWR は一般に 20 日-22 日）

(2)調査箇所

現場調査を中心に洪水対策箇所全般、最終ヒートシンク、非常用ディーゼル発電機建屋、ハードベント設備、タービン建屋、中央制御室、定検管理センター（OCC）等の施設調査

を実施した。

### (3)洪水その他自然現象対策

横を流れるサスケハンナ川の雨、雪による洪水（138feet）やトロネード等を考慮。

洪水を想定した場合、施設まで水位が上がるが洪水により影響を受ける安全関連施設は水密性を持たせており、これらには原子炉建屋、非常用ディーゼル発電機室、DG 燃料貯蔵設備等が含まれる。また、非常用ディーゼル発電機室のルーバーについて福島第一では 1 階にあり水の浸入を許したが、Peach Bottom では建屋上部に設置され水の浸入がないようにしている。（図-2）

一方、タービン建屋は安全関連施設ではないので水密扉にはっていない。

また RHR ポンプのある地下室は付近の降雨による影響を防止するため上部は水密化している。ただしタービン建屋は安全関連でないので、扉は水密化していない。

### (4)最終ヒートシンク(図-3)

ヒートシンクとしては大型のクーリングタワーが 2 基設置されているが、それ以外に非常用 DG を冷却するエッセンシャル冷却水系の最終ヒートシンクとして設計ベースの洪水レベルよりも高い場所に 3 基のパッシブのクーリングタワー方式の最終ヒートシンクを持っている。また、その下にリザーバーとして 3500 万ガロンの水を貯蔵している。

### (5)非常用の電源等

非常用ディーゼル発電機は TMI 事故以降 2 ユニット 4 基でタイラインがあり、それ以外に非常用に地中を通した送電線からの外部電源が確保されている。

福島事故の反映として仮設の電源、ポンプ等を用意している。

### (6)ハードベント（図-4）

ベント施設はハードベントになっている。これは TMI 事故の反映で、1990 年代に対応したものである。ベント配管は原子炉建屋に沿って上方に立ち上がっており、建屋の壁に固定されている。配管径は 16 インチで、1.3%炉心出力に対応したのとなっており、配管にはラプチャーディスクが弁とシーケンシャル設置されている。現在ラプチャーディスクは福島事故を踏まえ格納容器設計圧 60 ポンドに対し半分の 30 ポンドとしている。

### (7)中央制御室

中央制御室は初期プラントであることから広くはないが、よく整備されており、ヒューマンエラー防止のために制御盤の近くのパネルに線が引かれており、その近くを歩いていると離れるように注意された。

当直体制は 5 クルー、2 交代制（AM6 及び PM6 で交代）で、1 クルー 9 名である。運転

員の訓練としてはサイト内にシミュレータがあり、これを利用するが、訓練の中身としてチームによる訓練、機能訓練、OJT 等がある。

運転員の資格認定は NRC により行われるが、その後の更新のトレーニングは民間事業者の訓練センターで行う。これには所長等も含め資格者すべてが受けなければならない。

#### (8)定検管理センター (Outage Control Center : OCC)

米国では稼働率向上がきわめて重要であり、従って停止時の作業管理を的確に行うためのさまざまな対応がとられているが、OCC もそのひとつで、定期検査の間、ひとつの部屋に関係者が集まり、クリティカルパスになる重要作業を中心に全体の作業工程の管理を行っている。Peach Bottom では重要工程のひとつとしてトーラスの腐食防止のための塗装作業があり、対応部門が OCC の中に設けられていた。トーラス腐食防止については新しい薄膜技術が研究されている。この技術は強度と硬さを管理するためにケブラー繊維を含んでおり、寿命が長く、毒性の少ない材料を用いている。

#### (9)その他

- ・ Senior Vice President の Shahkarami 氏によると「EXELON は米国最大の原子力事業者であり、プラントの運転状況は良好である。EXELON ではプラントを運営するに際して重要と考えていることが 3 項目あり、それは・ Nuclear Safety Culture、・ Human Performance、・ CAP (Corrective Action Program) である。」とのこと
- ・ Peach Bottom では地元との関係は良好で、地元の農民等もサポートしてくれており、我々もそれを評価している。ただ、政治家はいろいろである。福島事故に対しても Peach Bottom の地元の人の反応についてはそんなに心配していない。懸念を強く言っているのは反対派で、こういう機会を狙っている連中である。40 年の間 Peach Bottom は地元の人を雇っており、地元の人も Peach Bottom をよく知っている。Peach Bottom は地元の活動にも貢献しており、地元のチャリティ行事や花火大会に積極的に参加し、2 年に 1 回はがきを地元の人に送って、トレーニングセンターに招待し、セキュリティーや安全性について説明し、シミュレータ訓練を見てもらうこと等、透明性を確保している。
- ・ Peach Bottom 2,3 号機は出力増強を行っており、これにはタービンの取り換えを含んでいる。また、運転期間の延長についても実施しており、2 号機が 2033 年、3 号機が 2034 年までの運転延長を行っている。
- ・ セキュリティーについて米国の原子力発電所は日本に比べ厳しいが、Peach Bottom についても警備員はすべて拳銃を所持しており、出入り管理におけるチェックでは火薬の持ち込みがないことを専用の検知器で検査している。周りを広く見渡せる塔の上部に見張り用のボックスが設置されており、常時周辺の監視を行っている。また、テロ等により施設への自動車の突入を防ぐためのブロックも設置されている。

- 米国では運転員の資格を取得する場合は NRC の試験を受けることになるが、資格を維持する場合はその後も適宜訓練が必要となる。訓練センターは BWR ではミシシッピ州の Grand Gulf 原子力発電所、PWR はルイジアナ州の Waterford 原子力発電所にある。この仕組みは現在運転に従事しているものはもちろんであるが、所長等でも同じである。



図-1 Peach Bottom 原子力発電所の主要部分の概観  
(中央の灰色部分が非常用クーリングタワー)



図-2 非常用ディーゼル発電機建屋



図-3 非常用ディーゼル発電機冷却水用クーリングタワー



図-4 ハードベント配管

## EXELON 本社 (Philadelphia)

1. 日時：

平成 25 年 2 月 21 日 (木) 15 : 00 ~ 17 : 00

2. 場所：

Exelon Generation 本社 (Philadelphia)

3. 出席者：

**【Exelon Generation】**

Amir Shahkarami Senior Vice President

Vinod K, Aggarwal Corporate Director of Engineering

Chuck Behrend Director Severe Accident Management

他

**【機械学会訪米調査団】**

海外調査部会水町主査 (原子力安全基盤機構)

海外調査部会奈良林副主査 (北海道大学)

海外調査部会藤井委員 (日本エヌ・ユー・エス)

**【その他出席者】**

Michael Donovan (.Curtiss Wright)

4. 資料

資料-1 : Fukushima-The Response

## 5. 議事内容

### (1)NTTF Tier1 への対応

福島第一事故から抽出された NTTF の短期課題 (Tier1) についての NRC と EXELON 社の対応スケジュール、EXELON 社の組織体制・対応スタッフ、本社と発電所の分担等の説明の後、EXELON の Tier1 各項目の現状の対応状況について説明があった。

Tier1 各項目について NRC が命令(Order)や情報提供要求 (RFI) を出し、その中で事業者の対応期限を決められている。EXELON では 10 発電所、24 プラントを所有しており、プラントごとのスケジュールを決めて対応している。

Tier1 の項目および命令、RFI の発行状況は以下の通り

2.1 地震及び洪水ハザードの再評価

2.3 地震及び洪水に関する現場踏査

4.1 全交流電源喪失 (SBO) 規制対応

4.2 10 CFR 50.54(hh)(2) (B.5.b) でカバーされる機器及び複数ユニットにわたる事象への対応として必要のある機器の防護

5.1 Mark I 及び Mark II 格納容器に対する信頼性のある耐圧ベント

7.1 使用済燃料プール計装

8 緊急時操作手順書 (EOP)、シビアアクシデント・マネージメント・ガイドライン (SAMG)、大規模損傷緩和ガイドライン (EDMG) の充実及び統合

9.3 緊急時対策に関する規制対応

- ・格納容器フィルターベント
- ・最終ヒートシンク

EXELON の対応体制として、本社で福島対応の役員が中心となり、プロジェクトを設置し、スタッフとしてディレクター (SAM、エンジニアリング)、2 名の EOG/SAMG 担当、各エンジニアが対応する。エンジニア等は専任としている。

また、各サイトではサイトの責任者の下にプロジェクトマネージャ、運転部門、エンジニアリング部門が対応し、5 名の専任者が置かれている。

本社、発電所の役割分担としては、本社が NRC、NEI、他事業者との対応、調整、共通方針の作成、全体のプロジェクト計画の作成、資金対応等を行う。

費用の検討については Tier 1 について全 10 サイト 17 ユニットで 5 億ドルが必要になると考えており、さらにフィルターベントについては 1 ユニット少なくとも 2000 万ドルかかる予定。

発電所では発電所固有の問題への対応、個別項目への取り組み、固有のプロジェクト計画の作成、サイトの対応に対する資金の管理、品質管理等の対応を行う。

なお、NRC との対応は NEI が各事業者と連携しつつリードしておこなっていく。

本社と発電所の情報伝達が重要で、本社幹部には 2 週間ごと、発電所幹部には 1 か月ごとに定期的に説明を行っている。関係するエンジニアとは週間ミーティングで情報を共有しており、一般の担当者等にはウェブサイト、ニュースレター等で周知。

NRC と事業者の間の対応、調整は基本的に NRC 本部と NEI、事業者本社間で行われており、発電所では NRC 検査官が駐在しているが、発電所現場の NTTF 対応については進行中のものもあり、勝手に検査官がコメントしたり、指示することはない。(日本では現場の検査官が自らの考えで規制当局方針と異なる指示を出したりすることがあるが米国はどうかという問いに対するもの)

## (2)地震、洪水評価 (NTTF2.1)

2013 年度の対応として地震評価については新しく EPRI の GMRS (地動応答) について作業中であり、サイト固有のスペクトルを 6 月に受け取り 9 月に評価結果を NRC に提出する。

洪水ハザードの評価は評価方法が 2012 年 11 月に作成され、NRC の優先度に基づき 2013 年 3 月から 2015 年 3 月の間の所定の時期に評価を完成することとなっており、EXELON では前倒しでプラントを 3 区分してハザード評価を実施中である。

今回の評価で従来の評価と違うのは洪水、ダム崩壊、豪雨等について NUREG7047 に基づく新しい手法で行うところである。

洪水の再評価は洪水関連データについて、現行の設計ベースデータ以降に得られたデータに基づき行う。集中豪雨による洪水レベルについてはドレスデン等では現状の設計ベースの水位を超えている。

洪水の IPEEE (個別プラントの外的事象評価) については SRP (標準審査指針) を満足していれば、IPEEE の対象から除外されている。

Peach Bottom 等で水密ドアはすべてのプラントで想定洪水レベル以下の重要施設に設置されているかといえ、そうではなく TMI では通常ドア自体は水密でなく、警報が出れば洪水対応のゲートを設置する形である。

上流ダムの損壊による洪水評価については NRC が NEI のガイダンスをエンドースしていないので対応を待つ。

## (2)地震、洪水に対する現場踏査 (NTTF2.3)

地震の現場踏査結果を NRC に 2012 年 11 月に提出している。更なる対応評価のために 203 の Condition Report が作成されたが、多くが既に解消され、残りも本年中に対応する。(簡単な補修。しっかり留めたり、固定する。取り換える)。

電気キャビネットについては運転中の検査はトリップの可能性があるので、運転停止時に実施する。

洪水に対する現場踏査結果も NRC に 2012 年 11 月に提出している。87 の Condition Report が作成されたが 81 について対応が完了している。放射線の高いところのパワーケーブル等はプラント停止時に検査を実施する。

## (3)緩和対策 (NTTF4.2)

NRC は NTTF4.2 (10CFR50.54(hh))に従って設置している B5b 機器を設計基準外部事象の影響から防護し、複数ユニットに対する事象に対応するために必要に応じて機器を追加する)に基づき命令を発行している。

2012 年 8 月に NRC より Interim Staff Guidance が発行され、事業者は 2 度目の燃料交換時期か 2016 年の早い時期までに命令に対する対応をとる必要がある。

SBO 対策として産業界は B5b 機器の強化を含む FLEX 戦略を行うことを表明している。

B5b と FLEX の違いは B5b は大規模火災等に対し炉心、SFP の健全性を確保するのが目的であるが、FLEX はさらに複数ユニットを考え、格納容器の健全性も確保することが目的として、より高い電源容量や高圧ポンプを用意している。

FLEX 戦略に対し NRC より制御室やバッテリー室の状況、燃料取替えエリアの換気空調、機器の保管等についての追加の情報要求が予想されている。

## (4)信頼性のある格納容器ベント (NTTF5.1)

Mark I、II の格納容器に対しハードベントを付ける命令が出されたが、PWR、BWR MarkIIIは対象となっていない。EXELON では現在 Mark I、II のハードベントに集中して対応しており、詳細設計を実施中である。

一方、2012 年 12 月に NRC のスタッフが SECY-12-157 によりフィルタベントパスの勧告を行っており、2013 年 1 月に公開ミーティングで NRC (委員) は重大な炉心損傷を考慮すべきとした。数週間うちにフィルターを追加するか放出を制限する代替の手法を許容するか決定するだろう。

格納容器の発生水素対策については NRC から要求は出ていないが、発生した水素は格納容器スプレーで圧力を下げ、ウェットウェルベント、ドライウェルベントを通じて外部に放出する方法が考えられる。

#### (5) SFP 計装 (NTTF7.1)

EXELON ではパイロットプラントに対して概念設計を実施済みで、これを他の 9 プラントに展開する計画。計測技術としてはいくつかの方法を検討しており、・ 2 エアーレーダー、ガイドウェーブレーダー、・ 圧力変換器があるが、ガイドウェーブレーダーが良いのではと考えている。測定表示は制御室、外部のシャットダウンパネルで利用できるようにする。また、コスト効果も考慮して選ぶのが重要。

#### (6) 緊急時のスタッフの対応、通信連絡 (NTTF9)

スタッフの対応については複数ユニットに対する従来の設計ベースの SBO 事象発生時の対応 (phase-1) と FLEX の実施を伴う、複数ユニットに対する設計ベースを超えた外部事象への対応 (phase-2) について所員が対応できるようにするための方策 (訓練等) を提出する必要がある。

通常の通信システムは一般に事務棟等にあるのでデザインベースを超えた外部事象が発生し、AC 電源が喪失した場合には弱点がある。現行の電話システムのテスト及び補修 (必要な場合) を行い、IT と連携した追加の向上策が EP での通信の向上に向けて計画されている。

現在多数の通信連絡手段があるが、オフサイトとのやり取りは衛星電話等を検討している。外部との通信をサポートするためコミュニケーショントレーラを考えており、これは独立した設備でアンテナや発電機を備えている。

オンサイトの連絡は無線でおこなう。中央制御室と現場の運転員の間は無電地電話機の機能を確認している。

日本側から福島第一事故の際、所員が家族の安否を確認しようとしたが、通常の電話回線が混んでいて連絡が取れないまま、厳しい作業対応を強いられたという問題点を紹介。

#### (7) その他、全体

EXELON では Tier 1 の取り組みに専念しており、現在 Tier 2、3 については実質的な形での取り組みは行っていない。

日本側から福島事故から出てきた頭の痛い問題として水素の発生、格納容器の温度上昇によるシール部分 (シリコン等) の高温での劣化及び機能喪失、格納容器からの水素、FP ガスの漏えいを挙げ、これには格納容器の冷却が重要であることを提起した。

EXELON からは、電気ペネにおいてテフロンが使用されていたが照射により劣化することが分かった。1980 年代にサンディア研究所で評価を行っているとの話があった。(この件は設計ベースの事故時 (LOCA) での挙動を対象としたものであるが、当時 NRC が事業者に

Information Notice を出し、各事業者は格納容器電気ペネの部分のテフロンをすべて取り換えた。しかし Fort Calhoun のみ安全系の機器に関連するペネのみを取り換え、2012 年に格納容器ペネに一部テフロンが残っていたことがわかり問題となった。)



EXELON 本社前で EXELON 副社長と

## Alvin W. Vogtle 原子力発電所

1. 日時：

平成 25 年 2 月 22 日（金）10：00～15：00

2. 場所：

Alvin W. Vogtle 原子力発電所

3. 出席者：

**【Southern Nuclear Operating Company】**

Jim R. Dixon Manager Corporate Radiological Service

Clinton L. Buck Severe Accident Mgmt. management

James A. Carswell Health Physicist

Key Warren Operation Shift Manager

Tommie A. Sweat Shift Support Supervisor Operations

C. Howard Mahan Licensing Manager

他

**【機械学会訪米調査団】**

海外調査部会水町主査（原子力安全基盤機構）

海外調査部会奈良林副主査（北海道大学）

海外調査部会藤井委員（日本エヌ・ユー・エス）

**【その他出席者】**

Michael Donovan（Curtiss Wright）

4. 資料

資料-1：Visiter' s presentation

## 5.議事内容

Alvin W. Vogtle 原子力発電所はジョージア州のサバンナ川河畔に位置し、1,2号機 (WH型 PWR114.8万 kW2基) が運転中で、更に新しく 3,4号機 (AP-1000.110万 kW2基) が建設中である。(図-1,2)

### (1)1,2号機の福島事故対応

#### (a)洪水等の外的事象への対応

Vogtle はサバンナ川が横を流れており、河川の洪水としてはサバンナ川の水位上昇を考慮する必要があるが、Vogtle の敷地は乾燥しており、サバンナ川水位より 60 フィート高い場所にあるため、基本的にサバンナ川の洪水の影響は受けない。上流 40~50 マイルにダムがあるが、これが崩壊した場合の影響は少ない。また、海岸からも 80 マイル上流の位置にあるため、津波は心配ない。従って敷地の洪水の影響としては現地の豪雨を考慮しており、浸水に対する防護を行うための排水路やグレーディングを設置し、必要な個所には貫通部のシーリングを行っている。

重要建屋内への外部からの洪水侵入を防ぐための水密扉は設置していないが、原子炉建屋内での配管破断等による内部溢水を考慮して水密扉を設置している場所がある。建屋の外部からの入口の底部は豪雨時の水位よりも 6 インチ高い位置に設置しており、水の浸入を防いでいる。

NTTF2.3 に基づき NRC が要求している洪水対応の現場踏査を行ったが重大な問題はなかった。また、NTTF2.1 に基づく洪水評価については、現在最新のガイドラインに基づきダムの崩壊と豪雨を考慮して溢水の評価を行っている。前提として上流の 3 か所のダムが崩壊したとして予想すると最大予想水位が 10 フィート高くなるが、敷地のレベルに比べ 40 フィート低い。

Vogtle では外部事象として地震、強風 (ハリケーン、トルネード) について考慮している。Vogtle の立地場所は高地震地帯ではなく、過去 150 年間に地震の経験はないが、地震は規模や、発生頻度が予測できないところがあり注意しなければならない。現在の地震評価に対する EPRI のガイドラインでは中央部および東部のプラントについては地盤の加速度についてファクター2 を考慮するものとなっている。現在 Vogtle の耐震評価の設計基準地震動は 0.2G であるので、新しいガイドラインでは 0.4G となる。2016 年末までに評価を行う必要があるが、米国では地震に関する技術者が少ないのでスケジュールが厳しい。

強風では風による影響と設備等が風で飛ばされるミサイルによる施設の破壊を考慮する必要がある。米国ではハリケーンの強いものは 200 マイル/時、トルネードでは 300 マイル/時の風速が考えられる。Vogtle は海岸から 80 マイル離れているが、それでもハリケーン

の影響は十分あると考えている。トロネードでは電信柱のミサイルも考慮しなければならない。構築物はこれらを考慮した設計としており、建屋のほか屋外にある重要なタンクはコンクリート製としている。(図-3)

#### (b)SBO 等への対応

Vogtle では SBO の原因として地震と強風が考えられる。各号機が 2 基の非常用ディーゼル発電機を持ち、建屋も強風を考慮している。また、代替 AC 電源として約 1 マイルは離れたところにガスタービン火力発電所（ピーク用予備電源）があり、地下の送電線により Vogtle の開閉所につながれている。ただし、SBO 対応ではこの電源は考慮していない。

NTTF4.2 に関連して最終ヒートシンクが重要であるが、Vogtle では非常用のヒートシンクとして 4 基の大型のメカニカルクーリングタワーを設置している。(図-3)

SBO 時の対応手順としてはまず、バッテリーによって対応し、耐久時間は 4 時間となっているが、負荷を減らすことにより 12 時間以上の継続電力供給が可能である。この時間で可搬式の発電機を DC 母線につなぐことができると考えている。Vogtle は PWR であり重要な機器としてタービン駆動の補助給水ポンプがある。蒸気発生器の冷却のため容量の大きい復水タンクよりタービン動補助給水ポンプで蒸気発生器に水を注入し、自然循環で炉心を冷却することができる。このポンプは DC の制御電力のみが必要で、それ以外はマニュアルで運転できる。

FLEX 戦略では緊急時対応の機器として発電機、ポンプ、ホース、携帯電話、通信用のトレーラ、衛星電話等があり、2,3 箇所の建屋を建設し、そこに機器を保管していくもので、1 つの建屋が壊れても他で対応できるようにしている。

戦略では 8 時間以内に FLEX 機器を取り付けられるようにしている。また、24 時間以内にメンフィスにある地域センターから FLEX 機器を空輸し、利用できるようになっている。

また、センターに保管している重量のある機器については 72 時間以内にトラック輸送により利用が可能である。地域センターには 4 ユニットに対して十分な機器に加えてスペアのセットが保有されている。

このセンターでは 4kV の発電機および熱交換器を含む機器の対応が可能である。

福島第一の事故では中央制御室の照明が切れたことにより対応に大きな影響を与えたが、Vogtle では DC 照明は少なくとも 8 時間は維持できるようになっており、その後は FLEX 機器がバックアップ電力を供給する。また、フラッシュライトもあり、さらに蒸気発生器の圧力、炉心温度等の重要なプラントパラメータの監視に利用できるバッテリー電源のメーターがある。

B5b が福島第一の事故と同様の状況に対して効果があるかという点、たぶん効果があっ

たであろう。しかし、問題として **B5b** は 1 ユニットに対応しているものであり、また、同時に炉心の冷却及び使用済燃料プールの冷却を行えるようになっていない。その容量についても **FLEX** に比べ小さいものであり蒸気発生器の圧力を下げなければ冷却水を注入することはできない。従って炉心溶融を防ぐのは難しい。一方、**FLEX** の補助給水ポンプでは圧力のある蒸気発生器に給水するだけの吐出圧がある。

**NRC** が **B5b** と **FLEX** 機器の要件を合わせるのがよいと思われるが、現在は別々の要件となっている。

#### (c)ハードウェア改造

ハードウェアの改造については **FLEX** の配備やそれを保管する建屋が対象となるが、**Vogtle** では現時点では対応は完了していない。すべてが完成するのは 2 号機は 2014 年度、1 号機は 2015 年度となる。**Vogtle** および他の **Southern Company** のプラントは来年 **FLEX** の機器について連携を持たせる計画である。その中には機器の取り付けのための手順や訓練も含まれる。

説明者 (**Mr.Buck**) の見積もりでは、すべての米国プラントに対する **FLEX** 計画のコストは 10 億ドルから 30 億ドルと考えられる。

なお、**FLEX** がハードウェアの改造の主要なものであるが、**PWR** では一次冷却材ポンプのシールリークが少ないものを設置する予定である。

#### (d)格納容器フラiddiing及びコアキャッチャー

**Vogtle** では格納容器フラiddiingの対応が可能で、**SAMG** の中で格納容器フラiddiingの手順を考慮しているが、格納容器フラiddiingの評価は行っていない。

格納容器フラiddiingで格納容器内に水が充填された場合に、水の重量を含めた地震時の格納容器強度評価を行っているかどうかも知らない。

標準 **SAMG** では炉心が溶融し、メルトスルーとなる場合には格納容器フラiddiingを行うことないなっている。ただ、**SAMG** の問題のひとつは **SAMG** がシビアアクシデントで利用できない可能性のある機器に依存している点である。たとえば、格納容器に水を注入する機器が利用可能な場合にはプラントはシビアアクシデントの状態でなく格納容器フラiddiingを必要としないであろう。

**Vogtle** ではコアキャッチャーは設置していないし、コアキャッチャを持ったプラントがあるのかどうかについても知らない。

#### (e)計装の機能強化

使用済燃料プールの水位計装について **NRC** は燃料上端の水位から通常の水位まで測定できるものを要求している。**Vogtl** ではベンダーを選択しているが、使用済燃料プールの水位が燃料上部まで下がった状態で 6 時間経過した場合の放射線に対して品質を確保でき

るものを考えており、ガイドウェーブレーダーを用いた水位計を設置する予定である。

計装はプールの異なった場所に 2 チャンネル設置する予定で、中央制御室からの監視ができなくなった場合でも容易にアクセスできるようにする。また、バッテリーを持った計装システムとし、FLEX によるバックアップを行う。

シビアアクシデントでのバイパス漏洩は NTTF3 にはいると考えられるが、NTTF1 が完了するまでは、考慮されないだろう

現状の機器に対する環境保証 (EQ) ではシビアアクシデントは考えていない。Vogtle ではシビアアクシデント時の原子炉水位計装についてその有効性を評価したことはなく、多様性を考慮して現状と異なる手法のものも考慮してはいない。

長期の全電源喪失のシナリオでは格納容器の圧力及び温度は格納容器の健全性を脅かす可能性があるが、PWR では BWR ほど厳しくない。Vogtle と同じジョージアパワー所有の BWR の Hatch ではハードベントを設置しており、ベントによる格納容器の減圧を考慮している。NRC はフィルターベントシステムの設置を考えているが、産業界としてはフィルター機能は必要であるが、パフォーマンスベースの規制が適切と考えている。

## (2) .Vogtle3,4 号機建設現場他見学

Vogtle では 1,2 号機の隣の敷地に WH 製の AP-1000 型の 3,4 号機を建設中である。敷地の整備はかなり進んでおり、格納容器クーリングタワーの下部構築物、格納容器下部ヘッド等が現地で製作されている。(図-2,4)

建設用のクレーンは世界最大のデリッククレーンを使用している。このクレーンはクレーンが動く円周のレールの中心の地面にカウンターウェイトを埋め込み、カウンターウェイトとクレーンの支柱を鉄柱でつなぐ方法を採用しており、通常のカウンターウェイトは見えない。(図-5,6)

コンクリートは現地で製造することとしており、大規模なコンクリート製造工場が稼動していた。(図-7)

現在米国ではユッカマウンテンの使用済み燃料貯蔵施設の建設が中断しており、Vogtle でも自前でコンクリート製の使用済み燃料保管容器を調達して、敷地内で保管を行っている。

上記(1)で述べたように 1,2 号機ではコンクリート製の非常用クーリングタワーやコンクリート製のタンク等が配置されており、通常のプラントに比べ強風を考慮してコンクリート構築物の割合が多い。(図-3)

## (3)AP-1000 の設計基準超え事象への対応

### (a)AP-1000 の炉心冷却

Vogtle3,4 号機には WH 社製の AP-1000 (110 万 kWe) が採用されている。1,2 号機 (WH

社製 PWR) と 3,4 号機との大きな違いは安全系にある。

AP-1000 の安全系は交流電力を必要としない設計であり、炉心等の冷却はバッテリー、自然循環、重力等により行われる。

プラント停止後の崩壊熱除去の方法として格納容器内に設置された燃料取替用水タンク内を通過して冷却材が循環することにより冷却材が冷却される。

LOCA 時の炉心の非常用の冷却システムとして、補給水タンクから高圧注入と蓄圧タンクからの冷却水注入が行われ、その後燃料取替用水タンクより重力駆動で注水が行われるように自動的に減圧される。注入が終了すると 1 次系各ループの上まで冠水する。その後は炉心内を冷却用の水が温度差により循環することで炉心冷却が可能であり、ポンプは必要ない。

蓄圧タンク、燃料取替用水タンク等の水は高濃度のほう酸が含まれており、炉心が再臨界になることはない。

残留熱除去系及び非常用ディーゼル発電機は安全系のバックアップシステムとして位置づけられている。

#### (b)格納容器の冷却

格納容器はステンレス製となっており、その冷却は格納容器上部に設置されたタンク (80 万ガロン) から格納容器外面に水がスプレーされ、その水が格納容器内部の熱により蒸発することにより循環し、最終的に外部に放散することで格納容器を冷却する仕組みとなっている。これにより 3 日間の格納容器冷却が可能である。

格納容器スプレー系は設置されているが、安全系ではなく格納容器をスクラブするためのもので、冷却には必要ない。(図-8)

#### (c)SBO 等への対応

電源が喪失しても中央制御室は 72 時間は空調用に交流電力は必要としない。制御パネルへの電力はバッテリーから送られる。72 時間はいかなる運転操作も外部からの支援も必要ない。72 時間以後は非常用ディーゼル発電機のみで 4 日間の対応が可能である。

AP-1000 では水素イグナイターや再結合装置は設置しておらず、コアキャッチャーもない。また、ベンディングシステムも設置されていない。



図-1 Vogtle1,2号機の格納容器とクーリングタワー



図-2 2013年1月末現在の3,4号機建設現場



図-3 1,2号機の非常用クーリングタワー（左の2基）及びコンクリート製タンク（右の1基）



図-4 Vogtle 3,4号機建設現場（格納容器下部ヘッド）



図-5 Vogtle 3,4号機建設現場(格納容器下部ヘッドと世界最大デリッククレーン)

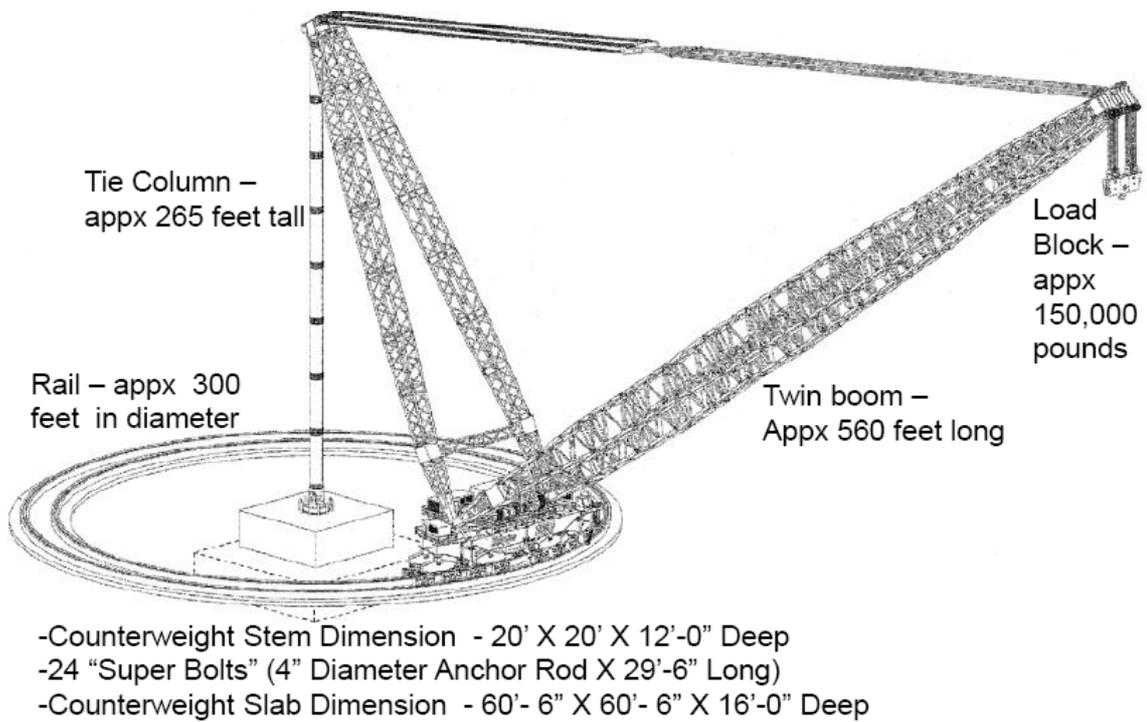


図-6 デリッククレーンの構造と仕様



図-7 建設現場のコンクリート工場

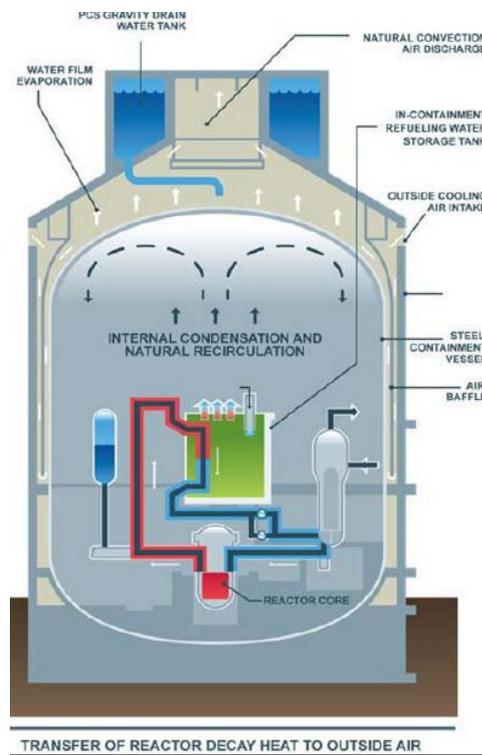


図-8 Vogtle 3,4 号の炉心及び格納容器冷却システム

## 米国原子力規制委員会（NRC）（電話会議）

1. 日時：

平成 25 年 3 月 25 日（月） 11：00～12：00

2. 場所：

NRC、Illinois 大学、ワシントン市内ホテル（電話会議）

3. 出席者：

【NRC】

Doris Lewsi

【Illinoi University】

David Miller

【機械学会訪米調査団】

海外調査部会水町主査（原子力安全基盤機構）

海外調査部会奈良林副主査（北海道大学）

海外調査部会藤井委員（日本エヌ・ユー・エス）

【その他出席者】

Michael Donovan（Curtiss Wright）

5. 議事内容

NRC 専門家とのミーティングは NRC 側の時間がとれなかったため中止となり、送付済みの各質問に対する回答を RIC (Regulatory Information Conference:3/15-17) のあとで、文書の形で水町主査（JNES）に送付してもらうことになった。本日は電話会議で NRC Lewsi 氏と主要質問項目についての議論をおこなった。

Lewsi 氏からは以下の情報提供があった。

○NRC の方針や決定事項は NRC Website や SECY ペーパーで公開されるので全体としてそれらを注意してみてほしい。

○ルールメイキングの際の考慮事項として、合理化のための大統領の Executive Order（ステークホルダーの意見を聞く、科学的知見に基づく等）が連邦組織にこれまで 4,5 回出されている。NRC は以前から対応している。

○ハードウェア改造について、多くは研究、分析、ステークホルダー産業界とのディスカッションの状態である。NRCの研究プログラムも確認する必要がある。

○NRCと連携する軍等の国の機関で、緊急時対応に関するMOU（覚書）を交わしているかということについては現在知っている範囲では特にない。

#### ○格納容器ベントシステム

格納容器ベントシステムに関するNRCの対応はNRC Web siteの福島事故の教訓のセクションあるいはNRCスタッフの上申文書SECYに示されている。日本側から「NRCはフィルターベンディングシステムの設置についてACRSのコメントをうけて、再評価していると聞いているが、NRCの決定はいつなされるか」との質問に対し、検討が終わってからで、今年の半ばか末になるだろうとのことであった。

日本側からロシアでの会議に出席した際、ロシアのプラントすべてにフィルターベントを設置することが決まり、中国でも既に24基のプラントにフィルターベントを設置している。米国も格納容器にフィルターベントを付けることを決めるのがよいのではとの提案をおこなった。

○計装機器に関するRG1.151A Instrument Sensing Lines Rev.1について議論が行われており、状況を確認する。何らかの結果ができればNRCのWeb siteで見ることができる。計装機器の改善はTier 3の勧告にも入っている。

○日本側から「福島事故の分析では格納容器から過熱蒸気が漏れている。ヘッドフランジが500℃から700℃になっておりで、フランジボルトが強度を失い、格納容器に漏れいパスが形作られている。従って格納容器の損傷を防ぐにはTier 1及び2の対策が重要で、格納容器スプレーで格納容器の冷却をおこない、トップフランジも冷却するべきである。NRCはそのような対策を事業者に勧告しているか？」とのコメント行った。

○日本側からフィルターベントシステムに関連して、「日本の事業者はDFを向上させる観点から、ハードベントシステムを使う場合に、サブプレッションプールの水をアルカリにするためにNAOH（アルカリ）タンクを設置することについて協議している。またライブシユタットではフィルターベンディングシステムにアルカリを添加している。」との説明がなされた。

## 米国原子力エネルギー協会 (NEI)

1. 日時 :

平成 25 年 3 月 25 日 (月) 15 : 00 ~ 17 : 00

2. 場所 :

NEI (Washington DC)

3. 出席者 :

**【NEI】**

Vijay M. Nilekani Technical Advisor

**【機械学会訪米調査団】**

海外調査部会水町主査 (原子力安全基盤機構)

海外調査部会奈良林副主査 (北海道大学)

海外調査部会藤井委員 (日本エヌ・ユー・エス)

**【その他出席者】**

Michael Donovan (Curtiss Wright)

4. 資料

特になし。

## 5. 議事概要

### (1)産業界の規則・標準作成対応

米国産業界では福島事故を受けて産業界としてどのような対応を行うかについて議論を行い、Way Forward Document を作成した。福島対応のための組織として 10 程度の事業者の CNO (Chief Nuclear Officer)、NEI、INPO、EPRI の代表者からなる FSC (福島ステアリング委員会) を設置した。これは、7つのブロックからなり、以下の項目 (対応者) を含む。

- ① : NRC 対応-NEI
- ② : 運転と FLEX-INPO
- ③ : メディア、一般市民、議会等への広報-NEI
- ④ : 研究開発、技術-EPRI

FSC は月ごとにミーティングを行い、対応の進捗をレビューしている。

より幅広い対象を含めた組織体として FSC とは別に全事業者を含む Nuclear Strategic Advisory Committee がある。また、国際的なものとして NEA (Nuclear Energy Assembly) があり、IAEA、NRC、DOE という規制側と事業者、メーカー等が参加しており、議論の中には福島事故のトピックスが含まれる場合がある。日本の事業者は最近参加していないが、参加するのがよいのではないか。

### (2)ハードウェア改造

長期化 SBO について NEI が NRC と新しい規則について調整中で、2014 年に発行される予定である。

FLEX については NRC の命令及び NEI ガイドライン 12-06 が発行されている。設計外事象で SBO になった場合等に炉心冷却、格納、使用済み燃料ピット冷却機能の維持、復旧を迅速に対応する可搬式機材を用意するもの。

機材は B5b と違って複数 (N) ユニットを考慮し、N+1 セットを用意する。

FLEX の対応は以下の 3 フェーズからなる。

フェーズ 1 : 事象発生 8 時間から 24 時間。サイト内の資機材で対応するもの

フェーズ 2 : 外部 (本店) の支援を受ける状況

フェーズ 3 : Regional Response Center の支援を受ける状況

このセンターはテネシー州メンフィスとアリゾナ州フェニックスにあり、FLEX 関連機器が数 100 置かれている。全 25 の電力事業者が使用可能である。

なお、シビアアクシデント対応として米国のプラントではコアキャッチャは設置されて

いない。また、TIP の改造計画は現在ない。TIP の改造はその機能が劣化しないことを保証するために十分な評価をしなければならない。

### (3)地震、洪水の現場踏査及び再評価

- ・地震の現場踏査

設計ベースの点検で NRC にエンドースされた EPRI のガイダンスで各事業者が設計ベースの考え方で現場踏査を実施し、NRC に報告するものである。

- ・地震の評価

最新知見設計ベースの地震評価を各事業者が実施中である。

- ・洪水の現場踏査

EPRI が作成し、NRC がエンドースしたガイダンスに基づき各事業者が実施している。異常があれば CAP に基づき対応する。

- ・洪水の評価

洪水評価は新しいガイドラインとデータで実施中である。

### (4)SAMG

SAMG については EOP、EDMG と合わせて一本化することが勧告されており、NEI が新しい規則について NRC と調整中で、2014 に発行される予定。SAMG はもともと産業界が自主的に作成してきたものであるが、今後は NRC が SAMG を規則化する。これについては NEI、EPRI がタスクフォースをつくり、NRC とともに規則を策定する。

SAMG と SBO とのガイドラインについて基本的に NRC がエンドースするが、NRC が同意しない場合は、ISG を発行する。これは 2014 年末か、2015 年初めになる。

### (5)格納容器ベント

ハードベントについては NRC の命令及びオーナーズグループのガイドラインが発行されている。BWR の Mark I、II に対するハードベントの設置は NRC の命令であり、産業界としても対応することとなるが、改造するにはプラント停止が必要で、18 か月から 2 年かけて各サイトで実施する。

NRC スタッフはフィルターベントがパッシブなものと考えているが、運転員の操作が必要であり、代替として NEI が主張しているのが格納容器スプレー、フラッシングである。

EPRI の評価ではこの方法で除染係数 (DF) 1000 が可能となっている。ただ、この場合、対応する FLEX 機器の容量増強が必要になるろう。

フィルターベントはそれが作動した場合格納容器以外にソースタームを作ることになり、ソースターム格納のバウンダリーを広げることになる。リスクも増える。フィルターベントの格納機能を維持するための強度等の設計も大変である。

NRC の委員は格納容器スプレーでベント改造も少なくても済むかもしれないと思っている

ようだ

なお、格納容器フラッディング改善等について新たに取り組んでいるということはない。

格納容器フラッディングを行った際に水の重量や地震応力に対する格納容器の強度評価は FSAR で行われており、その場合水を入れた形でやっていると思うが、サイト固有の問題なので調査が必要であろう。

ベント開始時期をいつにすべきかという点については、福島事故ではもっと早くベントを行うべきであったと考える。日本では地元への配慮等で運転員が躊躇すると考えるが、米国ならば運転員の家族が近くに住んでいたとしても格納容器の設計圧力に近づいた時点でベントしていたであろう。その場合社長、首相の意見を聞くことはない。Tech. Spec でも設計圧力の 70%から 80%でベントするようになっている。

#### (6)ソフトウェア

米国の安全文化は TMI、9.11、INPO の活動でレベルは向上している。個人的な考えであるが、米国では何か事象が発生すると事業者全体が専門知識を持ち寄って対応するし、INPO を通じて緊密な関係を維持している。また、Chief Nuclear Officer が集まり議論する中で、問題がある事業者があった場合、他の事業者から厳しい目で見られ、対応が迫られるが、日本ではそうではないのでは。日本で福島事故の際、他の事業者が駆け付けたという話は聞かない。私が日本に 3 年いた経験では組織が縦割りで、分断されている感じである。

米国では OLM を行っているため、安全系を出力運転時に隔離する必要があり、運転、保全、エンジニアリングの部門のメンバーは安全系の詳細を熟知している。一方、日本では NISA が保守的で OLM を行っていないので、そこまでの知識がないのではないかと。個人的見解だが、福島事故で運転員が IC の状況について混乱しているように見えるが、米国では OLM で隔離を行うことから状況をよく知っている。OLM では多くを学べ、強制的に知識を得ることになる。

緊急時対応についてスタッフィング及び通信連絡に関する NEI ガイドラインがあり、NEI は NRC と調整中である。

#### (7)計装系の改善

使用済燃料プールの計装については NRC の命令及び NEI のガイドラインが発行されている。日本側よりシビアアクシデント時の原子炉水位測定のために原子炉内 TIP の代わりにサーモカップルを入れるという考え方について提案したが、既存プラントでは中性子検出器を一つ減らすことになるので、中性子測定についてデメリットが考えられ、改造につ

いては注意が必要ではないかとのコメントがあった。

#### (8)その他

NEI の説明者は日本及び米国の問題点について個人的な考えも含め以下のコメントが出された。

- ・日本の今の状況は政治的な反原発の流れもあり、規制庁が極端な判断をしているように見える。事業者が多額の資金をかけ大規模な防波堤を自主的に建設し、さらにそれについて規制当局が不十分であるといっていると聞いているがこれは異常である。

- ・日本のセキュリティは事業者が警察、自衛隊に頼っているが、何かあった時に対応するのに時間がかかると思う。

- ・福島事故以降世界中がクレージーになっており、我々も NRC、一般市民を落ち着かせるよう努力している。NRC の勧告は 20 から 40 もありこれをすべて実施するのはフィージブルでなく、かえって安全に問題を及ぼす場合がありうる。第 2 中央制御室もかえって状況を悪化させるという点も同感でき、テロ攻撃の場合両方の制御室に対して攻撃されることを考慮する必要がある。