

# 福島事故の米国運転中原子力発電所への 影響

デビッド W. ミラー PhD  
NATC ISOE 地域担当責任者  
イリノイ大学工学研究科  
原子核・プラズマ・放射線工学

日本機械学会シンポジウム  
東京大学  
2011年11月28日

# 福島事故についてのNRC報告書

- 福島第一原子力発電所事故に基づく短期タスクフォース検討結果
- 以下のメンバーにより2011年7月11日発行:
  - Dr. Charles Miller
  - Amy Cubbage
  - Daniel Dorman
  - Jack Grobe
  - Gary Holahan
  - Nathan Sanfilippo

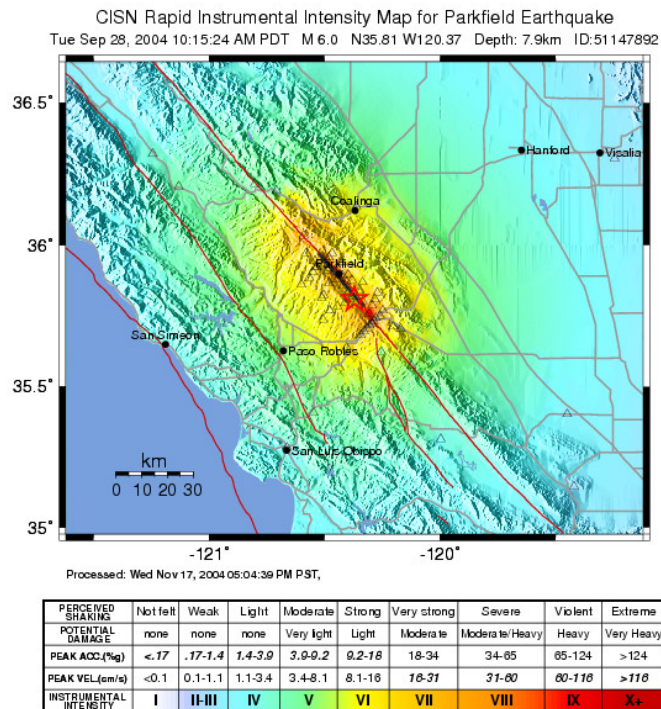
## US NRC 報告書

- 21世紀の原子力安全性強化のための勧告は福島第一原子力発電所の複合的な事故の原因を明確にする:
- 福島第一原子力発電所への巨大な地震と壊滅的な津波の組み合わせは、プラント設計で考慮していた外部事象を越えたものであった。
- 福島第一原子力発電所事故はプラントの緩和能力及び緊急時計画に脅威を与えた。

# NRCの検討の主要な要素

- NRCの規制の枠組み要素は、設計基準事象や福島事故のように苛酷で複雑な事象からの防護に関与する。要素には以下が含まれる:
- 地震及び洪水事象に対する防護（設計基準事象と位置付けられる）
- 全交流電源喪失に対する防護（設計基準を超える事象と位置付けられる）
- 苛酷事故の緩和（設計基準を超えた場合の炉心損傷及び格納容器の性能を取り扱う）（緊急時計画も）

# 例：地域地震マップで用いられた中央海岸地震ネットワーク (CCSN) のカリフォルニア加速度データに対する新たな関心



## ノースアンナ-1/2に影響を与えたバージニア州の地震

- 地震はバージニア州のノースアンナサイト近傍で発生した。
- 発電所は停止し、ディーゼルが非常用電源を供給した。
- 発電所は、総合的なサイトの安全評価が完了した後の2011年11月まで再起動しなかった。

## US NRC 報告書の結論

福島事故は、総合的で一貫した規制枠組みに必要なすべての範囲の検討項目を浮き彫りした。

## TMI-2事故の類似点、1997年4月

- 同様の問題がTMI-2事故でも浮上し、多くの設計基準を超える要件、プログラム、運用が事故の経験及び同時に開発された実用ツールとしての確率論的リスク解析(PRA)から抽出された。



## 設計基準に関する歴史的な手法(50年間)

- 設計基準事象は、米国AEC(NRCの前身)が想定運転過渡及び想定事故を取り扱うために安全系を要求すると考えた約50年前から、安全手法の中心的な要素となった。

**米国の運転中プラント(69基のPWR及び35基のBWR)は1960年代～1970年代に認可された**

- **安全手法とそれに関連した設計基準事象及び設計ベースの概念は、1960年代～1970年代に現在運転中の原子力発電所の認可で用いられた。**

## TMI-2事故に関するロゴビン報告書

- TMI-2事故後、数多くの教訓を得るための活動が実施された。それらの研究のうちのひとつ（ロゴビン報告書と呼ばれる1980年に発行されたNUREG/CR-1250「Three Mile Island; NRC委員会及び公衆に対する報告書」）は、その当時のNRC規制手法（いわゆる設計基準事故概念）を評価した。

## 報告書の結論

- 報告書では、「より正確で定量的なリスク解析手法が開発されており、設計及び運転の安全性の評価に採用すべきである」と結論付けた。
- 「既存の設計審査プロセスの最善の改善方法は、定量的なリスク解析を幅広く利用することである。」

## 苛酷事故緩和に移転できると思われる米国のテロ(9-11)対策

- 2001年9月11日のテロ事件後、NRCはセキュリティに関する勧告、命令、認可条件、最終的に新たな規則(10 CFR 50.54(hh))を発行し、火災または爆発によってプラントの大部分を喪失した場合でも炉心冷却や格納容器及び使用済燃料プール冷却能力を維持または復旧するガイダンス及び計画の策定を要求した。
- この要件に従って、米国の全原子力発電所は大規模損傷緩和ガイドライン(EDMG)を作成した。

# Beyond-Design-Basisの定義

- 設計基準を超える(beyond-design-basis)事象に対する要件は、例えば、ATWS(スクラム不能事象)、SBO(全交流電源喪失)、航空機衝突評価(AIA)、可燃性ガス制御、大規模損傷緩和ガイドライン(EDMG)に適用されている。
- 火災防護は設計基準火災に基づいていないので、設計基準を超えると考えることができる。

## IAEAの定義

- IAEA Draft Safety Standard DS 414では、設計基準を超える検討のために、「design extension conditions」を設定している。
- タスクフォースは、設計基準を超える過去の検討を「設計基準を超える事象」等と呼ぶ。
- 「extended design basis」は、最適な用語である。

## NRCの主要な要素

- 福島事故または米国での類似の事故に関連するNRCの規制手法の主要な要素は、地震及び洪水に対する防護（設計基準要件として確立）、SBO対策（要求済みだが、設計基準を超える要件）、苛酷事故緩和（期待されているが、苛酷事故緩和及びガイドライン（SAMG）は要求されていない）



## パッチワーク手法へとつながる設計基準事故(DBA)の変遷

- 手法は主に歴史の産物である。1960年代～1970年代に原子炉の認可を目的に策定され、重大な事象または新規の問題を解決するために必要に応じて補足された。この変遷がパッチワーク規制手法へとつながった。

## 深層防護手法の価値

- 福島事故は、深層防護の重要性をはっきりと実証した。異常な状況または発生可能性についての限られた知見によって、プラントは確立した設計基準防護を超えて脅威にさらされる可能性がある。
- 深層防護の次の階層である緩和は、公衆の健康及び安全を適切に防護するための重要な要素である。緩和は設計基準を超える事象及び苛酷事故のためにある。設計基準を超える事象及び苛酷事故は、設計基準を超える外部からの脅威または設計基準を超えた複数の故障を伴う。

## 産業界イニシアチブに対する依存

- タスクフォースは、NRCの安全手法を過酷事故を含めて予測していない事態に対応する強力なプログラムがなく不完全であると結論付けている。
- 深層防護の基本的なレベルで産業界イニシアチブに依存し続けることは、NRCの規制手法において空白を残す可能性がある。

## 勧告1

- 深層防護とリスクへの考慮を調和させた適切な防護を実現するために論理的で体系化され、一貫性のある規制枠組みを確立すること。

## 勧告2

- NRCは運転中の各原子炉に関して、設計基準地震や設計基準洪水に対する構造物、系統および機器の防護を再評価し、必要に応じて強化することを事業者に要求すること。
- 事業者に対して、10年毎に地震と洪水災害の確認を実施させ、如何なる新たな重要な情報にも対応させる規則を策定すること。

# Kinematics System



# Syscom 地震計測システム

EFM格納容器基礎レコーダ

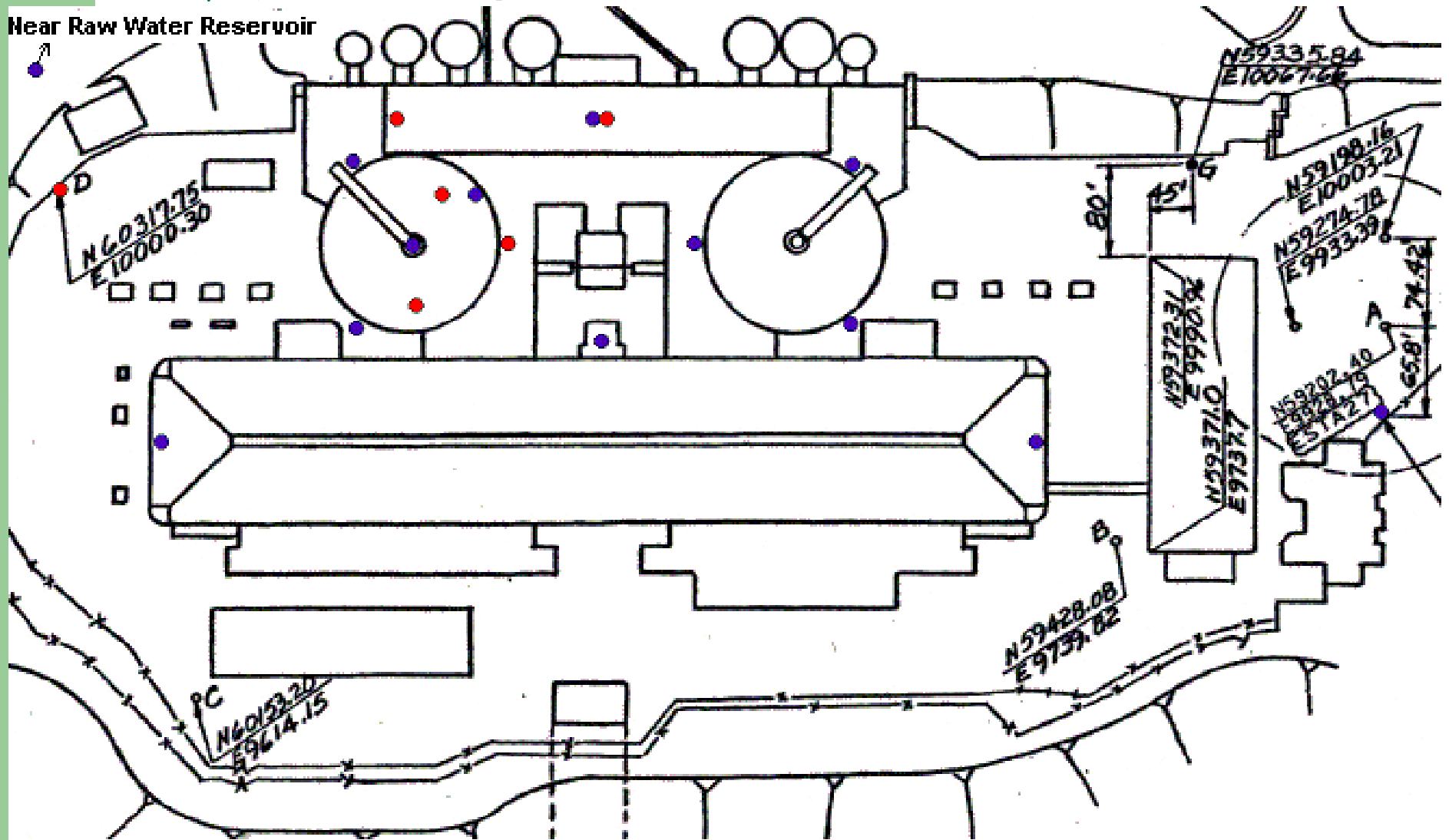


- EFM自由フィールドレコーダ



# 地震計の位置

Near Raw Water Reservoir





# 新たな総合地震システム

- 従来の基本及び補完を以下から構成される新たな総合 Syscom デジタル分散地震システムに交換した。
  - 6レコーダ Reg.Guide1.12 基本システム
  - 13レコーダ FSAR 補完システム
  - 補助建屋のプロセ斯拉ック
  - 制御室コンピュータ
  - プラントデータネットワーク(PDN)インターフェース

# Terra Technology システム

- 旧式化した1970年代のアナログ及びデジタル技術。ベンダはビジネスをやめており、部品は製造されていないか入手困難。
- 補助建屋ラックの集中処理。
- ラックはバッテリー・バックアップのある無停電電源から給電。
- ベンダまたは委託業者による較正、供用、解析サポートが必要。
- データ検索は面倒で時間がかかる。

## 事業者に対し検査の実施を要求

- 事業者に対して、外部事象に対する設計基準を更新する長期的な措置が完了するまでの間、発電所固有の脆弱性を見極め、耐水バリアやシールといった防護措置のモニタリングと保守が十分であることを検証するために、地震と洪水からの防護に関する現場踏査を実行させる。

## 検討中の最新事象

- 様々な関連する事象を評価し、設計基準地震により誘発される火災または内部洪水は更なる考慮が必要と判断した。

## 地震事象 & 火災

- 地震による火災は都市部の地震後に頻発する。地震により原子力発電所での火災に至ったこともある。
- 地震による火災は安全関連システムの複数故障に至る可能性があり、サイト内の複数地点で火災が発生する可能性がある。

## 火災防護系

- 火災防護系は地震発生後に機能することは要求されていない。従って、地震による火災の消火活動は損傷した火災防護設備によって行われる可能性がある。
- 地震により所外の消防士の到着が遅れる可能性があり、事態に対応する能力に影響する可能性がある。

## 歴史的な地震事象

- 2007年に発生した日本の地震では、地震による内部洪水に関する知見が得られた。
- 使用済燃料プールのスロッシングによる洪水、1号機原子炉建屋外側の消火系配管損傷、復水器フレキシブル接続部の損傷が発生した。

## 得られた教訓

- 安全上の問題には至らなかったが、このような洪水により、プラントの様々な部位へ水が浸入し、安全系の機能不全に陥る可能性があった。



## 勧告3

- 長期レビューの一部として、NRCが地震により誘発された火災や洪水を防止、緩和する能力の強化可能性について評価すること。
- 米国では、2011年夏にフォート・カルホーン(ネブラスカ)及びクーパー(カンザス)が洪水による脅威にさらされた。

# モンタナの大雪: 2011年6月17日撮影



# モンタナ州ビリングス市のHighway West & Southwest, 2011年6月17日

春の雪解け水  
がミズーリ川  
及びミシシッピ  
川に流れ込ん  
だ



# ミズーリ川のフォート・カルホーン (PWR), 2011年6月



## フォート・カルホーン( PWR) ネブラスカ



サイトのエンジニアリング & サポートサービス建屋へのアクセスに影響を及ぼした。



## ミズーリ川のクーパー(BWR), 2011年夏



# 水密扉





## 長期的な交流電源喪失

- システムは、ポンプ、ファン、コンプレッサの作動、計装及び制御系の動作、弁及びダンパの開閉のためのモータの駆動を電源に依存している。

# 所内非常用AC電源の確認

- 所内非常用AC電源の冗長性
- 所内非常用AC電源の信頼性
- 所外電源喪失の予想発生頻度
- 所外電源復旧に必要な予想時間

## 勧告4

- **NRCは設計基準及び設計基準を超える外部事象に対して、全ての運転中及び新規の原子炉における全交流電源喪失に対しての緩和能力を強化すること。**

## 非常用AC電源の時間延長の要求

- 全交流電源喪失に対し、最低8時間の耐久時間を確保する。
- 全交流電源喪失が72時間継続した場合に、炉心及び使用済燃料プールの冷却と原子炉冷却システム及び一次格納容器の健全性を確保するために必要な設備、手順、訓練を確立する。

## 勧告5

- **Mark I及びMark II格納容器を有するBWR施設  
に対して、信頼性の高い耐圧ベント設計を要求  
する。**

## 勧告6

- **長期レビューの一部として、福島第一事故の更なる検討により追加情報を得て、NRCが格納容器または他の建屋内の水素制御及び緩和に関する知見を確認すること。**

# 使用済燃料プールの安全

- 使用済燃料貯蔵及び取扱のための構造物、系統及び機器は安全上の重要度に応じて分類されている。
- 米国の使用済燃料プールの貯蔵容量は、2000体以下から約5000体の範囲である。平均貯蔵容量は約3000体である。
- 一般的に、米国の使用済燃料プールはその貯蔵容量の3/4程度まで使用されている。

## 勧告7

- **使用済燃料プールの水補給能力と計装設備を強化すること。**



## 安全関連計装は設計基準自然災害に耐えられるよう要求

- 事業者に対して、制御室において使用済燃料プールの水位、温度、空間線量等の重要なパラメータを監視できるような安全系の計装を用意し、設計基準の自然災害に耐えられるように指示する。

## 勧告8

- **緊急時運転手順(EOP)、苛酷事故管理指針(SAMA)、大規模損傷緩和ガイドライン(EDMG)といった所内の緊急時対応能力を強化・統合すること。**

## 勧告9

- **NRCは施設の緊急事態対応計画が長期の全交流電源喪失と複数ユニット事象に対応する内容を含むことを要求すること。**

## 苛酷事故に対するスタッフ配置

- 複数ユニット事象に対応するために必要な人材を決定し、確保する。
- 事業者のサイト固有の線量評価ソフトウェア及び手法を用いて、複数ユニットの線量評価(使用済燃料プールからの線量も含む)をどのようにして行うのかを示すガイダンスを緊急時計画に追加する。

## 勧告10

- **長期レビューの一部として、NRCは複数ユニット事象及び長期の全交流電源喪失に関する追加の緊急時計画の課題について検討すること。**

## クックは第二制御室シミュレータを設置: デュアル ユニットの緊急時計画演習シナリオが可能



## 福島事故後の米国及び欧州でのデュアル・ユニットシミュレータに対する関心の高まり

- ディアブロ・キャニオン-1/2 のトレーニングマネージャ達は、クック-1/2の制御室訓練シミュレータをベンチマークし、同様の設計を持つ米国で2つ目のサイトとなる予定である。
- フランスのEDFもクック-1/2のシミュレータを訪問している。
- クックの施設には、最新のリアプロジェクション・プラントパラメータ表示の緊急時対応訓練施設があり、デュアル・ユニットの苛酷事故シナリオを表示することが可能である。

## 勧告11

- **長期レビューの一部として、NRCが意思決定、放射線モニタリング、公衆への教育に関して緊急時の備えに関わる追加の課題がないか検討すること。**



日本機械学会は、米国の意思決定、緊急時対応及びエンジニアリングの良好事例を収集するためにサイトを訪問している。訪問したサイトには、サスケハンナ、ディアブロ・キャニオン、リバーベンド、サウステキサス等がある。このような訪問は運転及び設計基準評価における卓越性を維持するために重要なプロセスである。



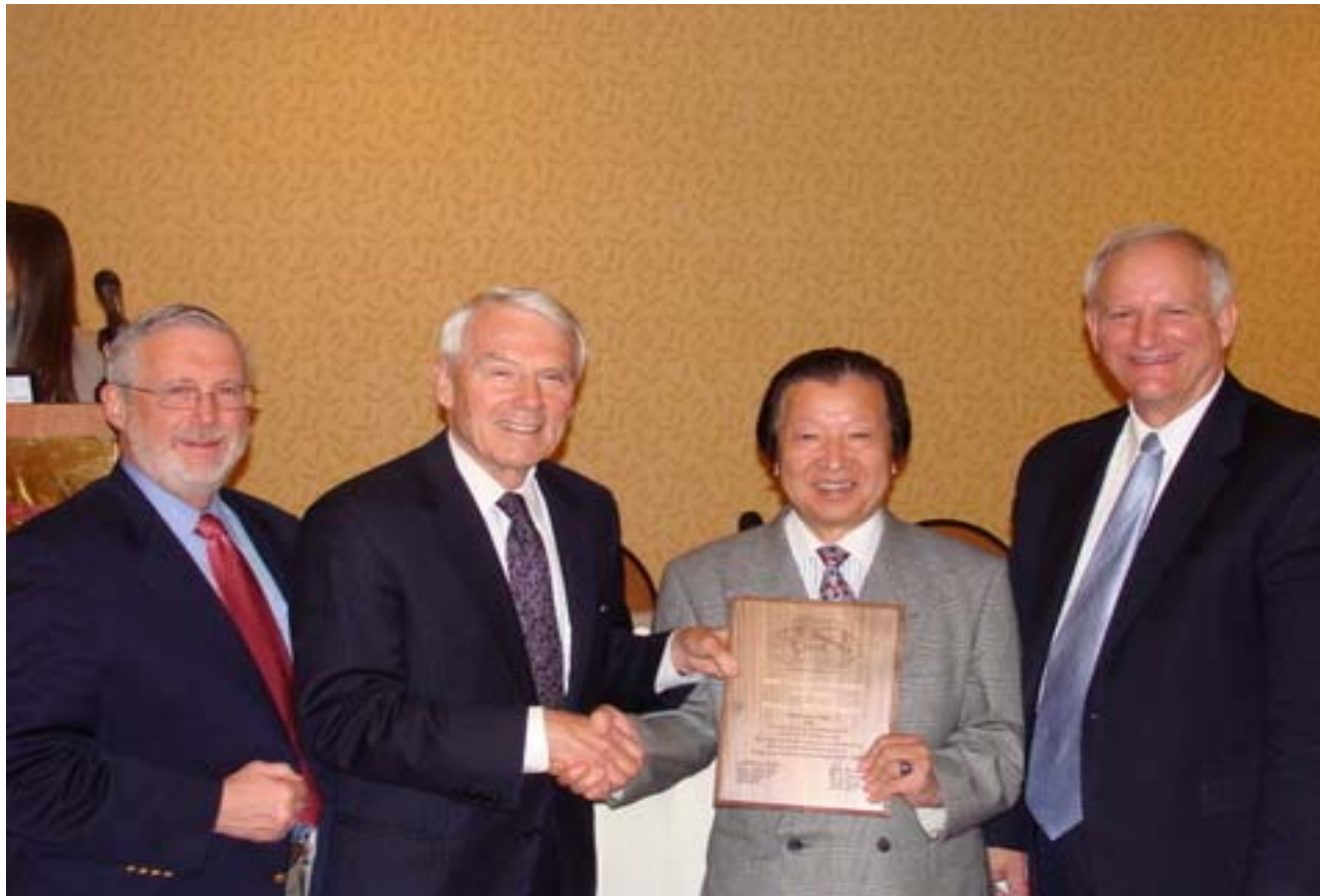
## 日本機械学会のリバーバンドへのベンチマーク訪問



水町氏は、OECD/NEAの苛酷事故下での作業者被ばく管理の国際専門家グループでリーダーシップを発揮している  
—2011年5月、パリ



Dr. John Palms (Exelon社の取締役)& Dr. Peter Lyons (US DOE 次官)は水町渉氏を表彰した。  
The 2010 Nuclear Professional of the Year Award from the College of Engineering, University of Illinois/NATC



# 米国の新規建設に対する影響



# ヴォーグル 3号機 “Nuclear Island” 作業進行中



# ヴォーグル 3号機 格納容器基礎



# ヴォーグル-3/4号機の航空写真





## 新設炉に対する苛酷事故要件

- NRCは新設炉に対して深層防護苛酷事故要件(10 CFR 52.47(23), 10 CFR 52.79(38)及び各設計証明規則)を策定し、深層防護という概念を一貫性のある完全なものとした。
- 最終的には、既設炉も同様の検討を実施する。

ご清聴ありがとうございました