

原子力学会シニアネットワーク  
第11回シンポジウム

原子力安全規制の最適化  
7回の海外調査より

平成22年8月7日

東京大学 武田先端知ビル 5Fホール

IAEA, OECD/NEA ISOE委員会 第7代議長  
独立行政法人 原子力安全基盤機構 技術参与  
水町 渉

## 原子力の国際展開と日本の役割



水町 渉(みずまち・わたる)

(独)原子力安全基盤機構(JNES) 技術参与 IAEA, NEA ISOE 委員会第7代議長, 東京大学工学部卒, ミシガン大学院工学修士(フルブライト留学生), 東芝原子力プラント総合設計課長として柏崎, 浜岡, 女川, 福島原発の総合設計責任者, NUPEC 安全情報研究センター 所長, JNES 安全情報部長。

## 1. 世界の原子力ルネッサンスは本物

今年1月定例のフロリダ会議, バリ, ヘルシンキなどを訪問したが, 去年暮のイギリスも含め, 世界中でルネッサンスを実感した。イギリスのサイズウェルを訪問すると, 3, 4号機の敷地が整備され, 2012年の規制当局による原子炉の認可を待っている状況であった。また今回, 東京電力が120億円の出資を決めたアメリカのサウス・テキサスを訪問したが, ここでも広大な3, 4号機用の敷地が整備され, 東芝と報道されている ABWR の建設を待っている様子を目の当たりにして来た。フィンランドではオルキオ3号機として建設中の EPR の建設が, コンクリート打設や電気計装設計の問題で大幅に遅れ, 次期プラントは実績のある日本の ABWR 等にしたいとの意見を多く聞いた。言うまでもなく, アジア, 中東の熱気も大変なものである。

技術に対する信頼が, ルネッサンスの原動力になっていることである。この原子力の再発見を, 人類の進歩と協調の好機と捉える必要がある。[原子力学会誌, 2010年5月号 p.24-28参照] さすがに自分の哲学を持っている大統領の, 心に響く重い発言である。日本人そして日本のトップの人に噛みしめてほしい言葉である。

## 3. 原子力のクリーン化(ISOE)委員会

このような原子力ルネッサンスに対し, 一般の国民の最大の恐怖は放射能である。逆に言えば, 原子力発電所で放射線量を許容レベルに抑えれば, CO<sub>2</sub>も SO<sub>x</sub>も NO<sub>x</sub>も排出しない環境に最も優しい発電設備である。まず原子力発電所の周辺住民への放射線災害を失くすことである。現在まで柏崎の大地震でも, サイト周辺の放射線モニタに全く異常はなく, 一般国民への放射線の問題は起

# 仏、米大統領の演説

- サルコジ大統領の哲学（2010年3月 パリ）

「我々は、新たなる原子力の時代を迎えており、**原子カルネッサンス**と呼ばれている。ルネッサンスは**ヨーロッパ史上、最も輝かしい時代**であり、現在はそれと**共通点**がある。それは、古い考え方や不合理な畏れに疑問を呈し、科学や技術に対する信頼が、ルネッサンスの**原動力**になっていることである。この**原子力の再発見**を、人類の進歩と協調の好機と捉える必要がある。」

- ブッシュ大統領のユーモア

（2008年 カルバート・クリフ原子力発電所を訪問して）

「**経済発展**のために**電力は不可欠**であり、**農業でも医療でも必要**である。私は野球が大好きで、よくナイターをテレビで見るが、これも**この原子力発電所で働いている皆様のお陰**です。」

職員から大喝采。 任期中は不人気であったが、最近の支持率は45%

# ISOE委員会の概要

(IAEAウィーンとOECD/NEAパリに共同事務局)

- ISOEデータベース

世界中の**481基の原子力発電所のデータを収集**(運転中:401基、停止・廃止措置:80基)

→世界の運転中商業炉436基の約**91%**(インド、台湾、アルゼンチンを除く) **世界最大の被ばくデータベース**  
—被ばく線量、放射線業務従事者数、作業に係る放射線、防護情報等

- ネットワークによる**良好事例の情報交換**

各プラントの良好事例(**Golden Nugget**)を、世界中の事業者に関わり合い可能。ベンチマーク・ビジットを行い、より高度化を目指す。  
**世界中の原子力発電所に連絡員を配置**

- シンポジウム

毎年**国際シンポジウム**、4地域でのシンポジウムを開催し**情報交換**

# ISOE歴代議長

- 初代(1992~1994) P.Rollin (フランス)
- 2代(1994~1998) D.Miller (アメリカ)
- 3代(1998~2000) P.Carmens (カナダ)
- 4代(2000~2002) B.Breznik (スペイン)
- 5代(2002~2004) C.Lindvall (スウェーデン)
- 6代(2004~2006) J.Gagnon (カナダ)
- 7代(2006~2008) 水町 (日本)

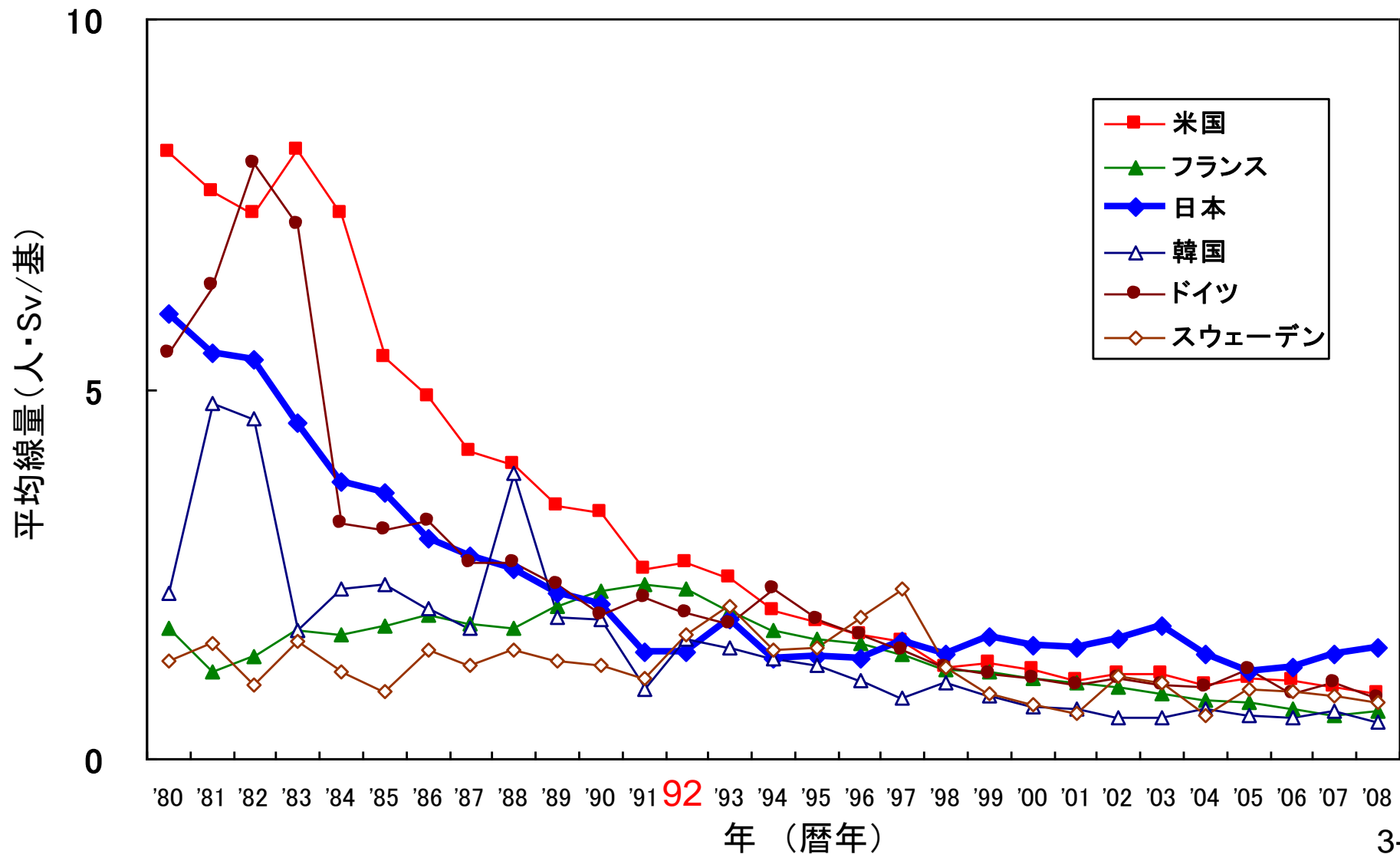
2004~Chairman-elect

(次期議長、副議長)

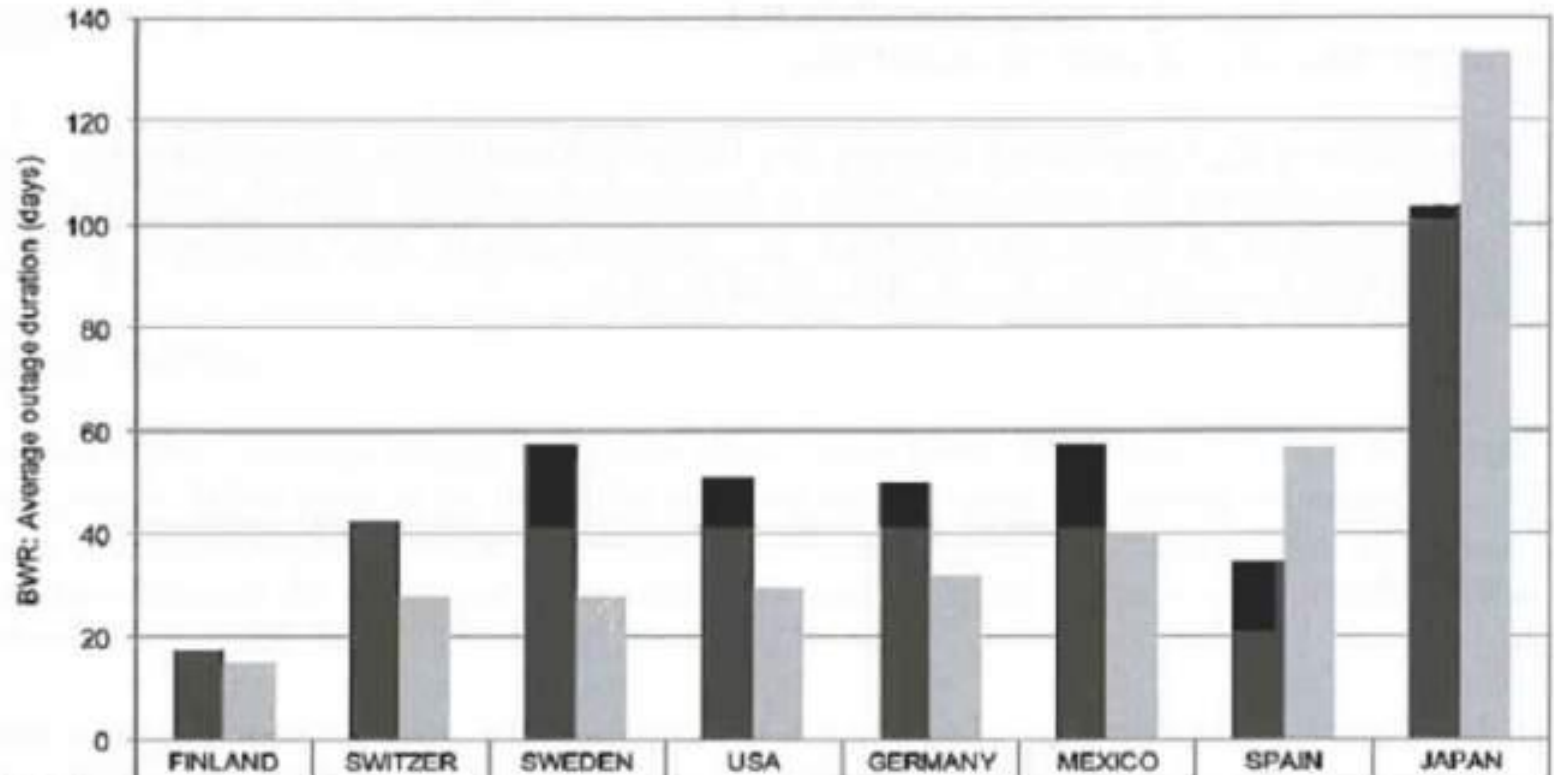
2009~2011

Post Chairman

# 世界の原子力発電所一基当たり線量の推移(発電炉)(1980-2008)

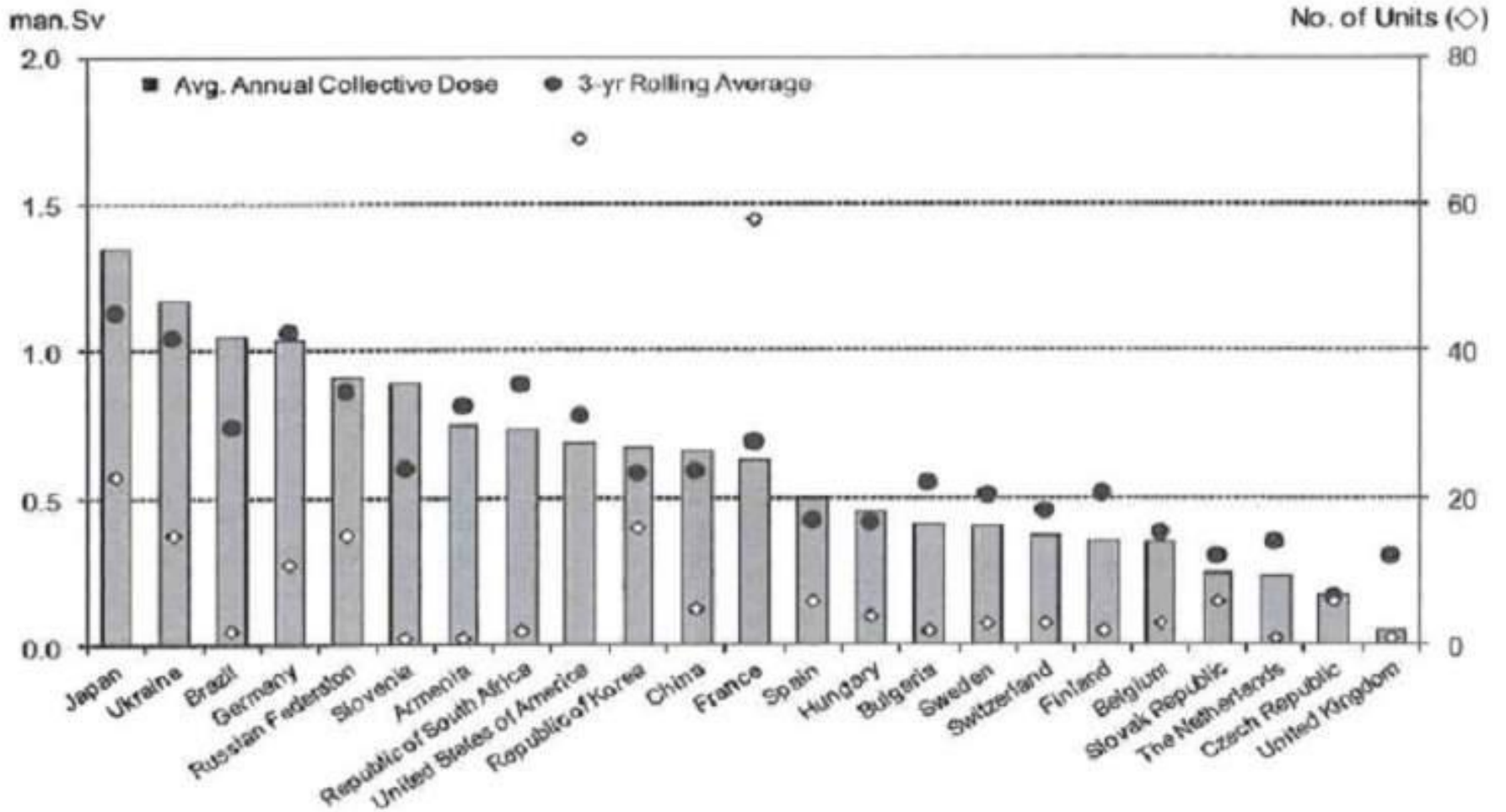


**Figure 12: Average outage duration by country for BWR**



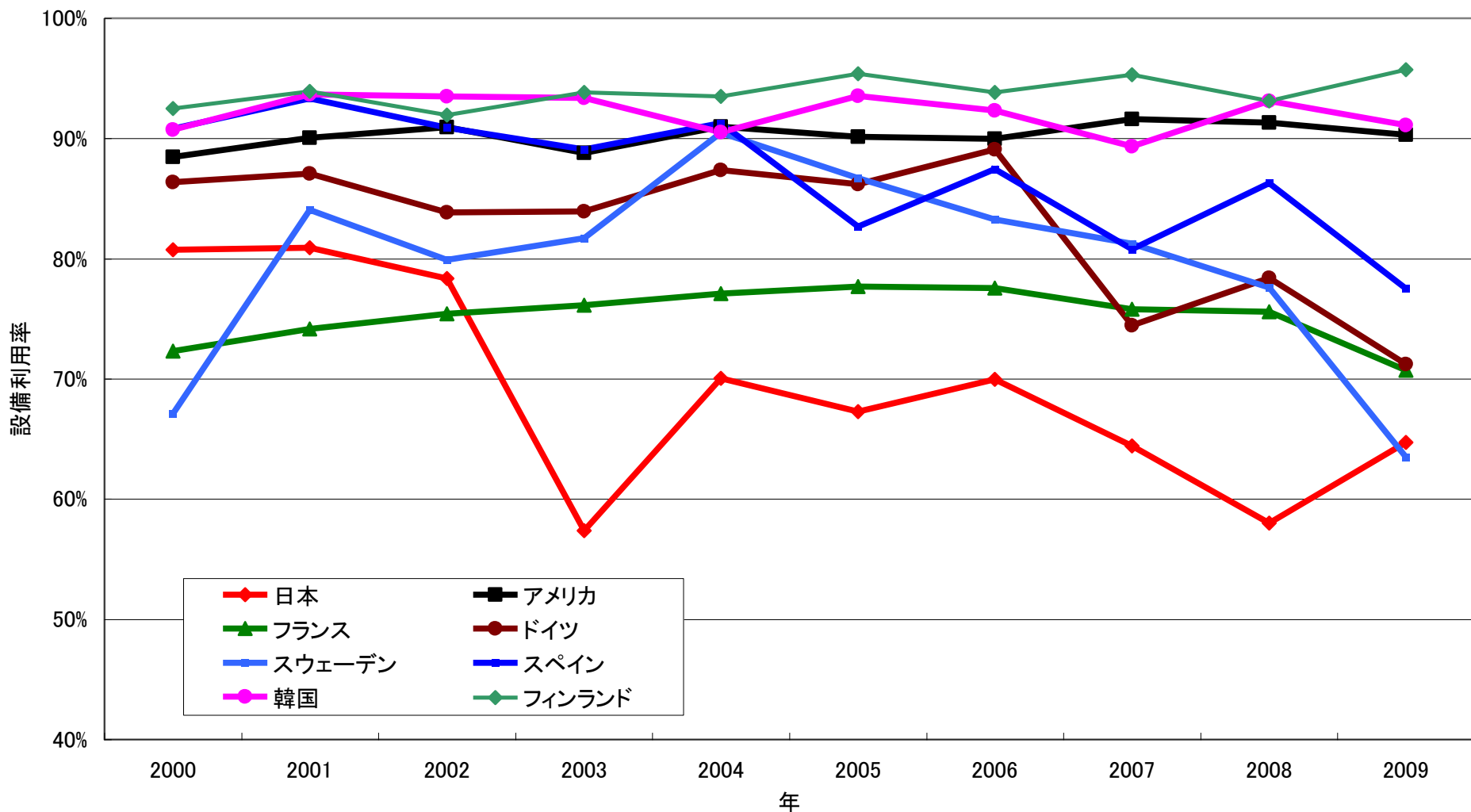
	FINLAND	SWITZER	SWEDEN	USA	GERMANY	MEXICO	SPAIN	JAPAN
■ Duration 1996-1998	18	43	57	51	50	57	34	104
□ Duration 2004-2006	15	28	28	30	32	40	57	133

**Figure 3: 2007 PWR/VVER average collective dose per reactor by country (man·Sv/reactor)**





# 2000年～2009年迄の世界主要国の設備利用率



# 原子力の安全規制の最適化に関する研究会(機械学会)

設置の主旨より 技 粋

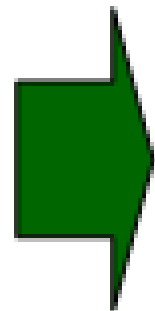
原子力の安全規制に関する最新の知見を調査・検討し、今後の安全規制の高度化に資することを目的とする。

世界の原子力発電所では、状態監視保全、オンラインメンテナンス等の科学的、合理的な保全活動が行われている。これら保全活動に関する最新の知見及びこれに対応する安全規制に関する国内外の最新の知見を調査するとともに、その研究成果、技術開発の評価を行う。

研究会	主査	斑目	東大教授	副主査	水町
部会	主査	水町	ISOE議長		
WG	主査	岡本	東大教授		

(第1次～第7次)

海外の原子力安全規制に関する調査団(第1次～第5次)  
団長 水町 副団長 岡本東大教授



# 日本の検査制度の問題点

1. 世界に定期検査制度はない。  
世界は燃料交換期間(Fuel Exchange Outage)  
電気事業法は昭和10年の法律  
原子力ではなく水力、火力発電の法律(1年で分解点検)
2. 世界の検査は、運転中が8割、燃料交換時が2割。日本は逆で2:8。
3. 機器の故障でプラントが停止すると原因究明まで立ち上がらず。
4. 安全系の運転中の検査は認可せず。(OLM:運転中保全)
5. 検査官、審査官も2~3年で他部署へ。専門性の醸成が難しい。
6. 検査官は1週間に4日のみ検査(土日休、月、金半日)

## 改善された項目

1. 1年以上の連続運転を認可せず。⇒ 18, 24ヶ月運転可能に
2. 最新プラントも、成績の悪いプラントも一様の検査.インセンティブなし  
⇒ 今後 PI, SDP導入 但し、国際レベルと相違
3. ひ爆低減の重要性の認識が薄い。⇒ 放射線管理委員会設置
4. リスクの概念が少ない。⇒ リスク情報活用検討会の設置

# 第1次～第7次海外の原子力規制に関する調査団

第1次調査団 2006年1月

フィンランド(オルキルオト原子力発電所, STUK(本部))

フランス(EDF(本社), DGSNR(本部))

第2次調査団 2006年8月

米国(Browns Ferry/Hatch原子力発電所,

NRC(本部及び研修センター))

第3次調査団 2007年1月

スイス(HSK(原子力安全局、ライプシュタット原子力発電所)

スウェーデン(SKI(原子力発電検査局)、リングハルス原子力発電所)

第4次調査団 2007年8月

米国(NRC(原子力安全規制局、第3地方局)、

Davis-Besse原子力発電所(First Energy Nuclear Operation Co)

Quad Cities原子力発電所(Excelon)

第5次調査団 2008年9月

ドイツ(IZAR発電所, バイエルン州政府、TUEV本部、GRS)

ベルギー(BEL-V(原子力規制当局), Doel原子力発電所)

第6次調査団 2009年12月

イギリス(HSK(原子力安全局、サイズウェル原子力発電所)

スペイン(CSN(原子力安全規制局)、アスコ原子力発電所)

第7次調査団 2010年1月 米国 サウス・テキサス、リバー・ベンド原子力発電所

# 原子力の安全規制の最適化に関する研究会 第1次訪欧調査団(JSME)

2006. 1. 8～1. 15

フィンランド 原子力規制オーソリテイ(STUK)

Laaksonen長官

オルキルオト原子力発電所

フランス 原子力規制総局(DGSNR)

Lacoste総局長

EDF本社

団長 水町、 副団長 岡本東大教授、

団員 保安院 根井検査課長(現審議官)、小森東電常務、  
各電力、東芝、日立、三菱 北大 他団員 23人

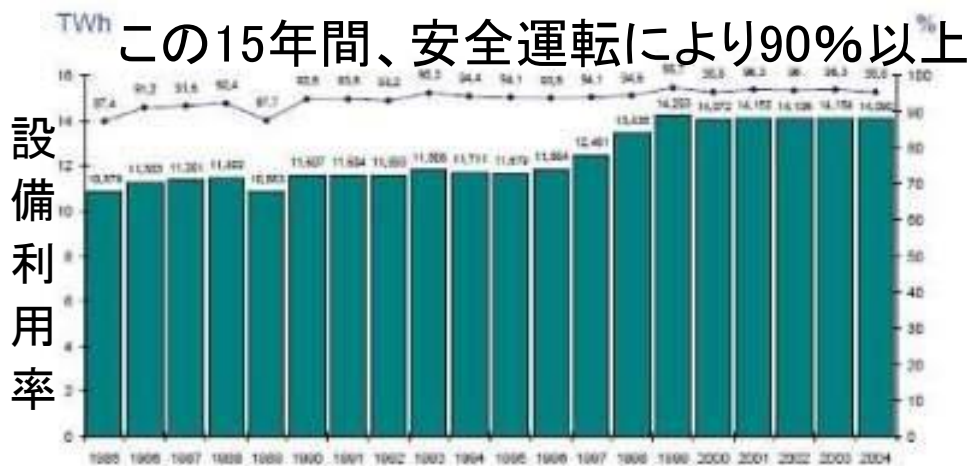
# フィンランド:オルキルオト発電所の運転状況



## 2005年の計画停止実績

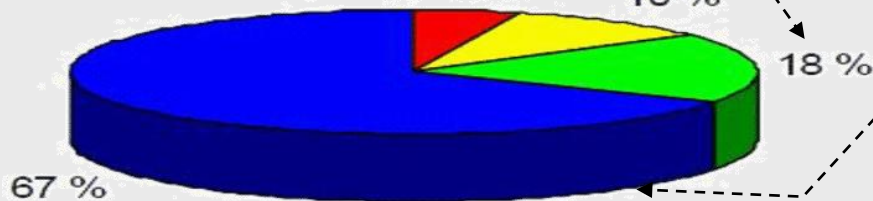
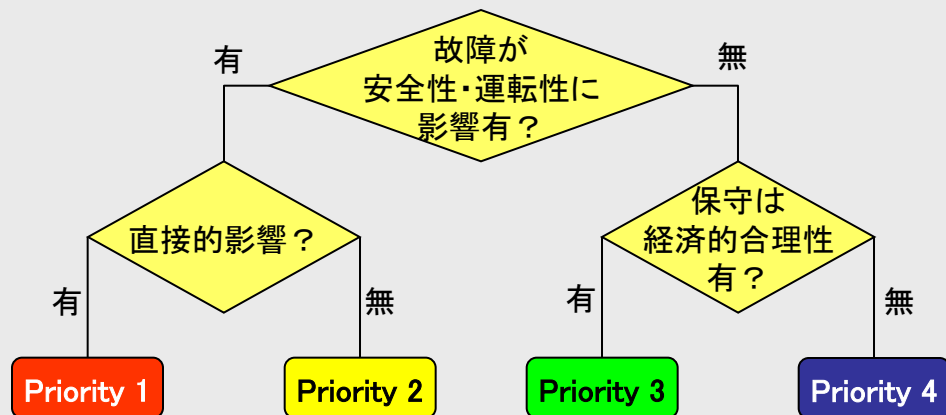


2号 計画停止	近年になく長い 21日7時間50分
1号 計画停止	世界最短記録 7日4時間16分



# フィンランド: 安全且つ良好な運転実績を支えるもの

## RCMと状態監視保全



- Priority 1
  - Priority 2
  - Priority 3
- 状態監視保全を主とした  
予防保全
- Priority 4
- 事後保全

## 予備品の充実

- 2万2600品の予備品を保管
  - 状態監視で予知したら、即時交換可能
- 取替方式⇒短期計画停止
  - Ex)主変圧器は5日で取替完了

## 安全を大前提とした規制

- 違反行為は厳しく(警察を使ってでもプラント停止を辞さない)
  - プラント起動前に計画停止に応じて安全を確認し許可を出す
- ⇕
- 検査の効率性は重視し、休日でも夜でも検査に立ち会う
  - 停止工程に沿った検査計画

# Types of maintenance

- **Repairs**
- **Preventive maintenance**
  - Periodical testing and inspections
  - Condition monitoring and measurements
- **Modifications / Modernisations**
  - Lifecycle control
  - Functional improvements

 ” **Destructing maintenance** ”

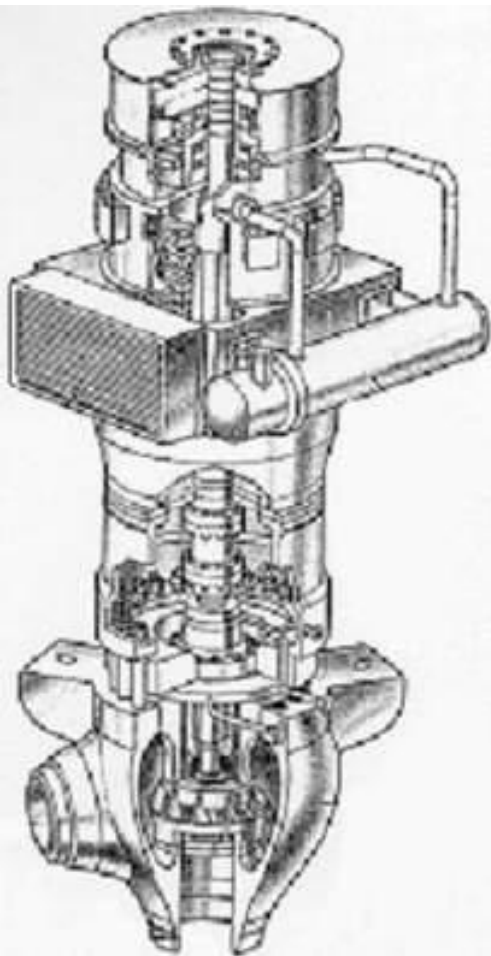
**If it works, do not touch it.**

**いじり壊しを避け、開放点検でなく状態監視保全を**



# フランス：状態監視保全による点検周期の変化例

－ RCPの例 －



<b>Inspection</b>	<b>Predetermined maintenance</b>	<b>Condition-based maintenance</b> (according to health check-up criteria)
<b>Type 2A: check on 3 shaft seals</b>	3 years	6 yrs at the most
<b>Type 2B: 2A check + check on bearing and US inspection of shaft</b>	6 years	12 yrs at the most
<b>Type 2C: 2A check + seal 1 standard replacement</b>	9 years	12 yrs at the most

# フランス：計画停止後の再起動承認

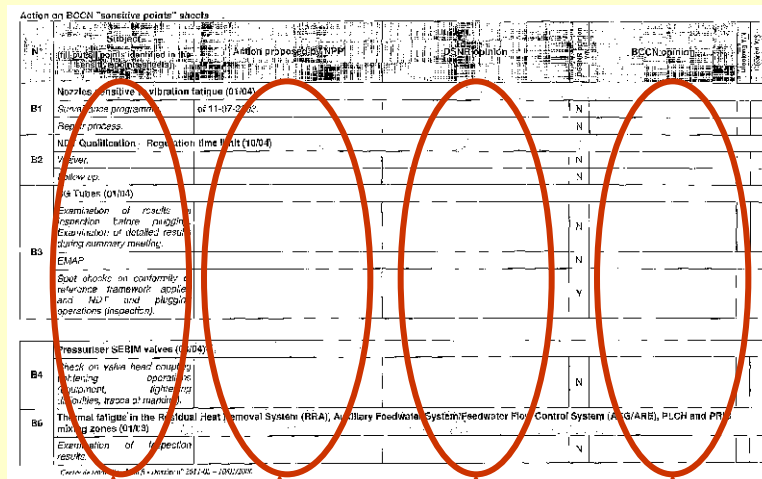
## 計画停止のタイプ

- ASR: ~30日 (燃料交換)
- VP : ~60日 (燃料交換 + 保守)
- VD : ~90日 (10年毎の詳細点検)

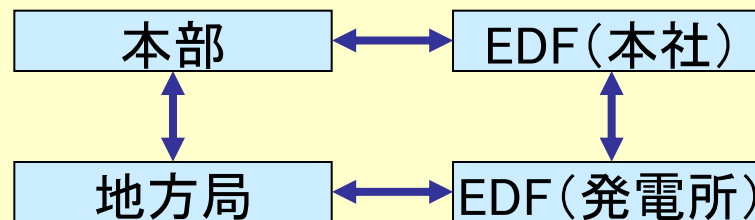
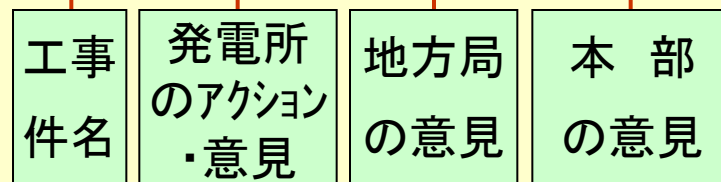
## 計画停止中の監視

- 左記フォローシートにより事業者と規制、規制側の地方及び中央間のコミュニケーションが図られる
  - 全工事に対してフォロー実施
  - 計画停止中は何回も改訂
  - 再起動には規制側の許可が必要
  - フォローシートを元に安全の確認
- ⇒ 計画停止内容に応じて安全を確認

## 計画停止フォローシート



N°	Subject	Action proposed	Decision
B1	Non-destructive vibration testing (N304)	...	N
E2	...	...	N
B3	...	...	N
B4	...	...	N
B6	...	...	N

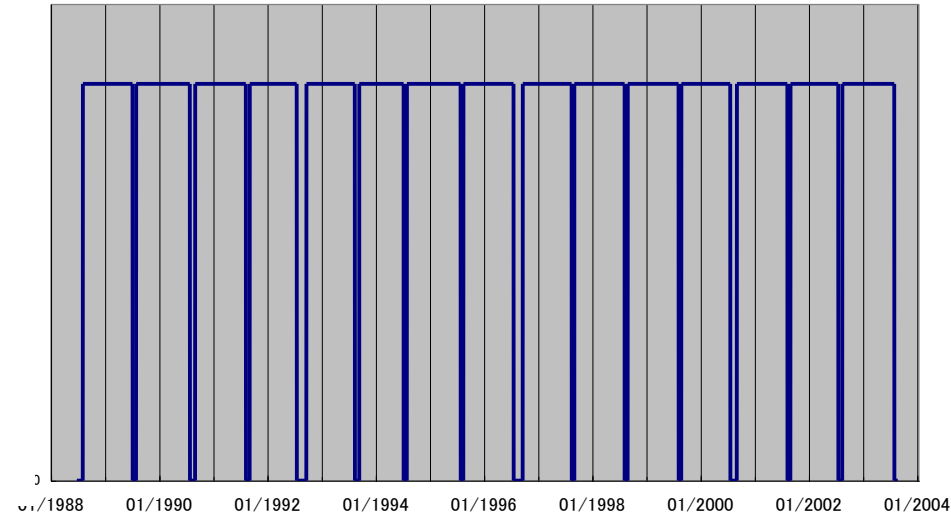
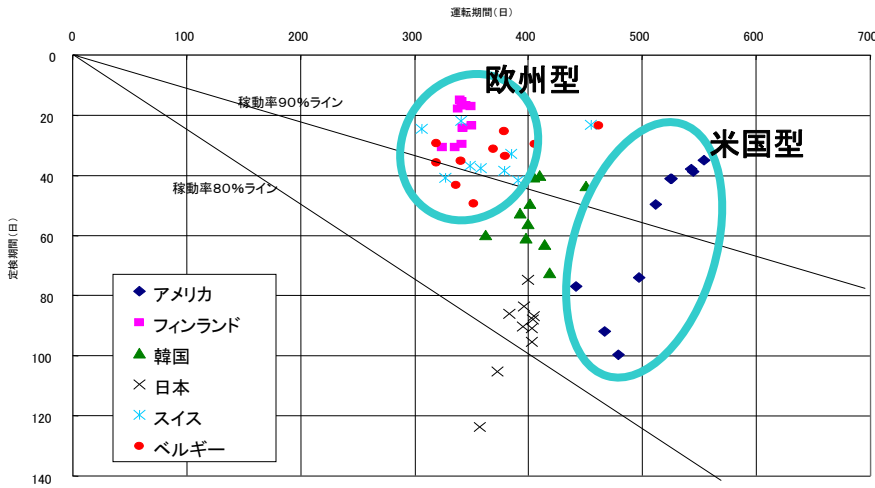


フォローシートによるコミュニケーション

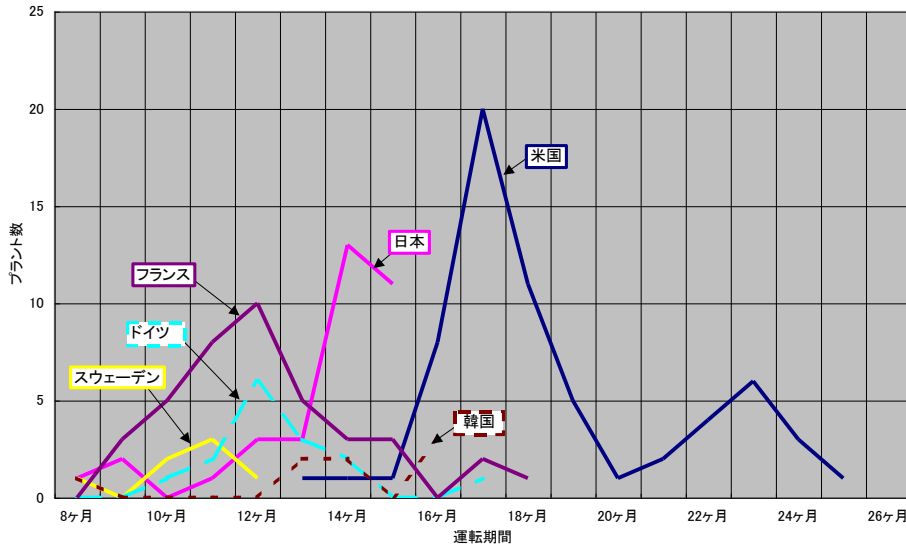
# 海外の調査国の運転状況について

フィンランド ロビーサ1の運転パターン(12ヶ月運転、夏定検)

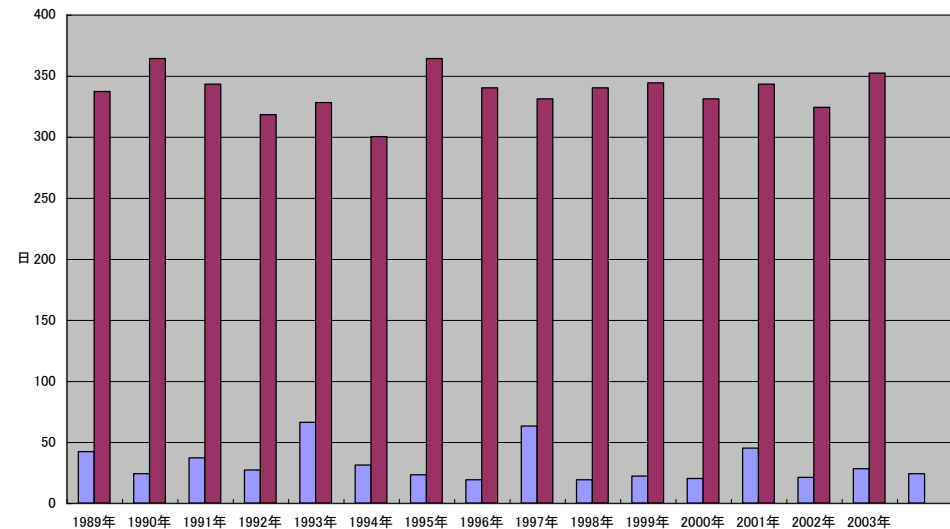
各国の運転期間・燃料交換停止期間の推移



2003年中に解列したプラントの運転期間の国別比較



ロビーサ1号の定検、運転期間の推移



# アメリカの安全規制

## 第2次調査団 2006年8月

- Browns Ferry/ Hatch原子力発電所、
- NRC(本部及び研修センター)

## 第4次調査団 2007年8月

- NRC(原子力安全規制局、第3地方局)、
- Davis-Besse原子力発電所  
(First Energy Nuclear Operation Co)
- Quad Cities原子力発電所(Excelon)

## 第7次調査団 2010年1月 運転中保全(OLM)調査

- South Texas Project NPS 1,2号機
- River Bend 原子力発電所

# 米国：Browns Ferry発電所の是正措置システム (CAP: Corrective Action Program)

問題の報告

- 誰でも、どのような問題でもE-Mailで報告
- 約6,000件/年の報告 ⇒ NRCの検査官は全て目を通す

スクリーニング

毎日  
分類

レベル4	1:1	重要事象：法により、Root Cause Analysis が要求
レベル3	5-10:1	繰返し・経済的影響大の時には、Root Cause Analysis を実施
レベル2	100:1	軽微な事象 Apparent Cause Analysis を実施
レベル1	1000:1	報告の必要がない事象

分 析

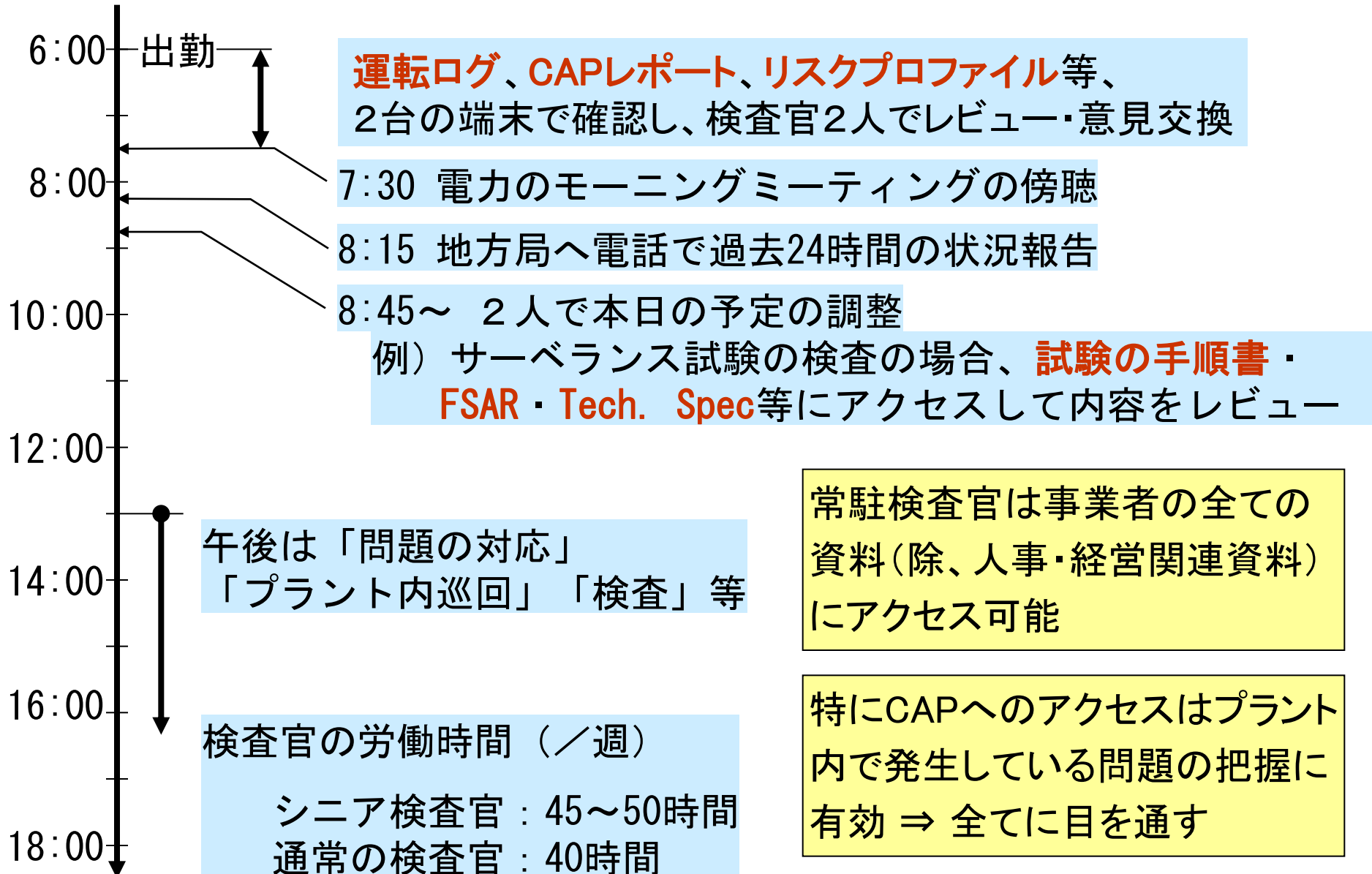
是正措置の実行

監 視

## 【分析方法】

- Why Staircase
- Barrier Analysis
- E & CF Charting
- Kepner-Tregoe Problem Analysis
- Common Cause

# 米国：NRC常駐検査官の1日



# 米国：NRCの基本的な規制に対する姿勢

## NRCの基本姿勢を示す2つのキーワード

“We trust licensees, but verify them”

NRCは事業者の自主性を重んじた規制を行っている

例) NRCの保守に対する規制＝メンテナンスルール

- ・NRCは系統・機器が安全であることを示すパラメータが基準値以内であること(＝保守の結果)を要求
- ・保守方法については事業者の自主に任せている

“What is the Risk Significant”

- ・NRCはが事業者から信頼を受け続けるには
  - ⇒NRC自身が適切にリスクを把握していることが必須
  - ⇒NRCはリスクのより大きい事象に焦点
- ・可能なものは炉心損傷頻度(CDF)を活用
  - ⇒原子炉の内包する放射能→ほとんど炉心に存在

# Cumulative Capacity Additions at U.S. Nuclear Facilities 1977-2013

アメリカの出力増強 573万kw



Source: Nuclear Regulatory Commission

Updated: 10/09



# Plant Applications for License Renewal

1998 – 2015 (Number of nuclear units per calendar year)



Source: Nuclear Regulatory Commission

# Davis-Besse原子力発電所の安全文化 原子炉容器上蓋にパイナップル大の欠陥



# Davis Besse 陶版に漫画を残し、反省を永遠に



過去の扉を開けると骸骨(秘密)がゾロゾロ出て来た

# Davis-Besse原子力発電所の安全文化の改革

- ①所長が 700人の従業員の父となり、次長が母となり、何でも相談。
- ②1年間に1万件の改善提案書。所長もNRC常駐検査官も朝6時に  
出社して、1日平均30件を見て、指示をするのが最初の仕事。
- ③原子力の安全に関する改善提案は年に10件程度で、これらは根本  
原因解析を行う。
- ④上長の悪口などは、人事の問題で全く別に解決を図る。
- ⑤日本に学び、3ヶ月に1度バーベキュー大会で、管理職が従業員に  
サービスをして、良い雰囲気を作っている。



24ヶ月運転と1ヶ月の燃料交換で2006年設備利用率99%を達成

# River Bend 原子力発電所所長の談話

(第7次調査 2010年1月)

Eric Olson 発電所所長のOLMに関する発言

1. 運転中保全を行うようになり、我々の管理がOLMの点検に集中できるようになった。
  - 燃料交換期間には、燃料交換以外にも点検機器は多い。
  - 原子炉建屋も原子炉格納容器も開放しており、気を使う。
2. 運転中保全では、例えば非常用D/Gの3系統の内、B系統をOLMしている時は、所長はじめ各部長は、この作業に全神経を集中し、かつA系、C系がいざという時に運転が可能のように、事前に運転を確認して、間違いが起こらないように管理している。
3. OLMを行う機器は28週間前から計画し、12週間前から管理している。
4. OLMを同時に行うのは、最高2系統であり、1年中の作業が平準化され、良い作業員を選ぶことが出来る。

STPではAOTが14日で、7日でOLMを実施。D/G自動車を追加、



## アメリカ調査の結論

- (1) アメリカNRCは15年前の北風から太陽政策に変身  
SALP; 違反があれば、すぐに罰金を徴収  
ROP; 原子力発電所で良い運転成績のプラントは、  
**Basic Line 検査のみ。**  
電力をまず信頼して、**情報交換を促進**する。
- (2) NRCは、**事業者の自主性を引き出す規制の姿勢**
- (3) アメリカの電力会社は、**NRCを信頼し、人事、経営情報**  
以外の発電所に関する**全ての情報をNRCに提供。**
- (4) 電力は経営上、原子力の安全運転が第一を基本として、  
**科学的な合理性を追求**している。
- (5) 電力は、CBM(**状態監視保全**)及びOLM(**運転中保全**)  
の採用による科学的・合理的な保全方式・周期を選択。

# 結論：海外の規制制度と日本（1／2）

## 1. 世界の規制当局と電力が、緊張感を持った協調体制を確立

特にアメリカの規制は2000年のROP採用で、北風から太陽政策に大転換。

Dr Nils Diaz NRC(前)委員長 「規制当局(NRC)は、国民の健康を放射線障害から守ることが責務。その為NRCは電力の安全運転を監督。」

Dr Joe Colvin NEI(前)会長 「電力会社は、電力の安定供給及び利益確保が社会的責務であり、その為原子力の安全運転が重要。NRCも電力も安全運転は最重要であり、従来のように喧嘩する必要はなく協調すべき。」

日本の相互不信は、世界の非常識。


原子力安全規制ラウンドテーブル(7月20日)は今後、形式論を排し、現実論に。


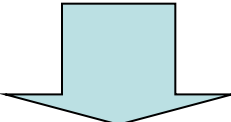
## 2. OLM(運転中保全)とCBM(状態監視保全)の徹底

燃料交換時の保全 20%、運転中の保全 80% 日本は逆の80%対20%。



# 結論：海外の規制制度と日本(2/2)

- 3. 事業者の検査の適切性を規制者が観察し独自に確認する姿勢
- 4. より一層の**観察重視型の検査**や**フリーアクセス(抜き打ち)**の活用
- 5. 検査に関し、**専門家や専門機関の一層の活用**  
規制局 自ら検査 **米:NRC、フィンランド:STUK、英:HSE 等**  
専門組織に委託 **独:TUEV(車検も)、仏:IRSN、韓:KINS 等**  
**検査制度と共に、最後は検査員の質、能力が重要**  
 **定期的な教育が重要(チャタヌーガで各地方局の意見交換)**

- 6. **本質をついた保安活動**  
形式的な書類上のQMS  **本質をわきまえたQMS**  


**規制・検査制度も、技術の進歩と世界の動向を参考に科学的、合理的に改善すべき。**

**前年の検査につき、毎年国民の意見を聴き改善。(NRC)**