

原子力行政連絡調整会議専門委員<sup>\*)</sup>として

東北大学名誉教授(金属材料研究所)

:長谷川雅幸

<sup>\*)</sup>2013年6月~

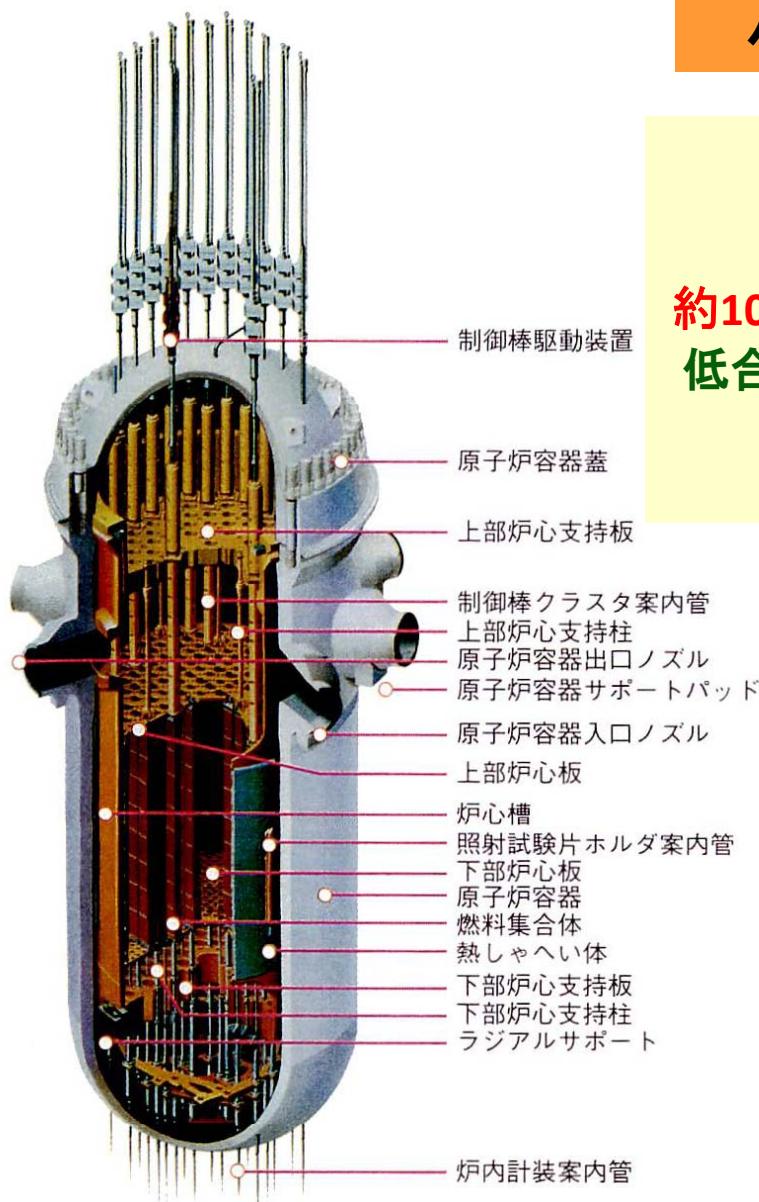
## 1) “想定外？？”から見えてくること

原子炉圧力容器材料の基礎研究者としての見方

## 2) 廃止措置等の安全確保対策

福島県に特に望むこと

## ■原子炉 (120万kW級、4ループ)



## 加圧水型軽水炉(PWR)

**原子炉 容器(加圧水型軽水炉)**  
約10の元素濃度と熱処理が規定された複雑な材料  
低合金鋼(マンガンモリブデンニッケル鋼:A533B)  
高さ13m、直径5m、肉厚約22cm

基本鉄鋼材料

アメリカ: ボイラ一鋼

ソ連: 戦車(タンク)

## 4. 高経年化プラントの脆性遷移温度の上昇

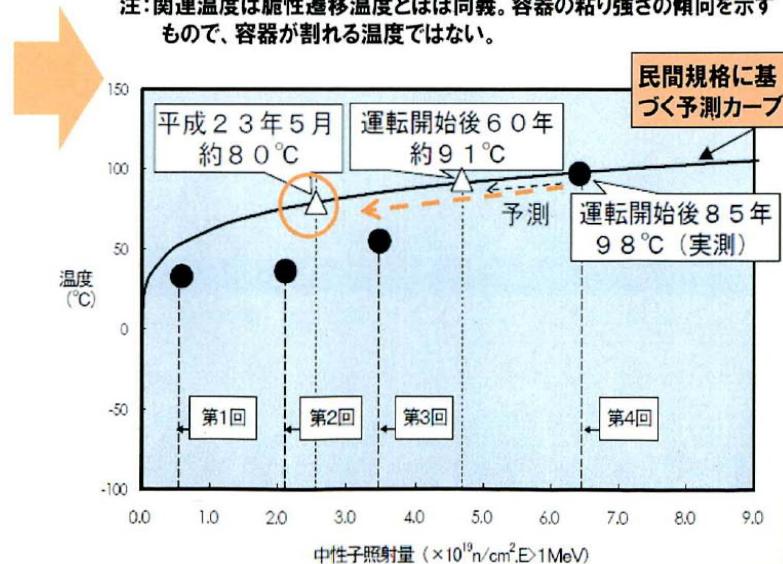
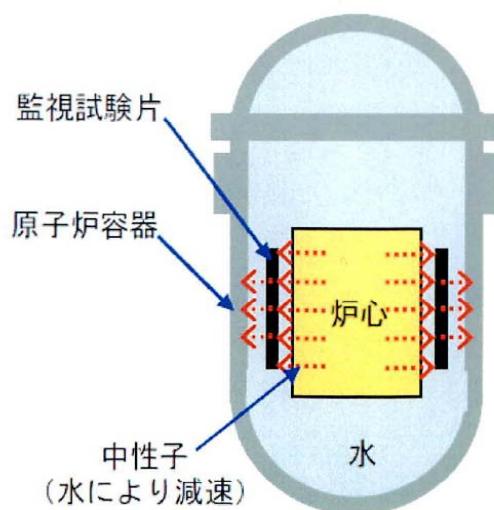
### 玄海原子力発電所1号機の原子炉圧力容器の健全性評価①

#### ○金属片の衝撃試験結果

原子炉容器などの金属は、一般的に中性子を浴びることにより粘りがなくなる（脆くなる）ことが知られていることから、発電所を安全に運転管理するため、運転当初より容器の内側に容器と同じ材質の金属片を複数個入れて、定期的に取り出しチェックしている。

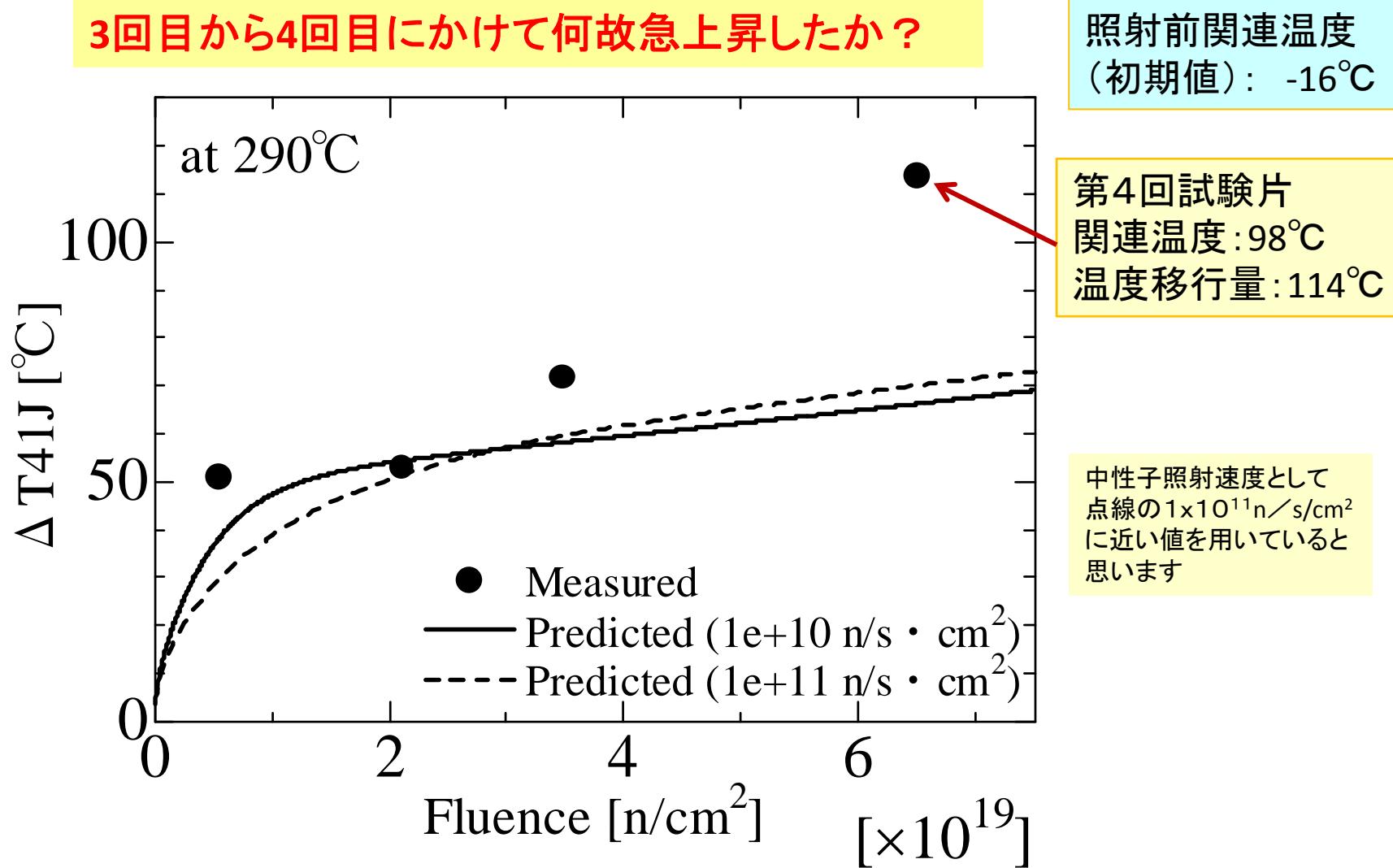
	1回目	2回目	3回目	4回目
取り出し時期	昭和51年 11月	昭和55年 4月	平成5年 2月	平成21年 4月
原子炉容器の 相当運転年数 (将来予測値)	昭和57年 頃	平成15年 頃	平成31年 頃	平成72年 頃
関連温度(注)	35°C	37°C	56°C	98°C

注: 関連温度は脆性遷移温度とほぼ同義。容器の粘り強さの傾向を示すもので、容器が割れる温度ではない。



電気技術規定  
JEAC4201-2004  
原子炉構造材の  
監視試験方法  
(日本電気協会・  
原子力規格委員会)

玄海1号機圧力容器母材(Cu:0.12 Ni:0.56 wt.%)の監視試験データと  
JEAC4201-2007予測結果(オフセット無し)



## 欧米から実機監視試験片(残材)などの解析依頼

稼働中の実機監視試験片  
学術機関での研究は  
日米で初めて



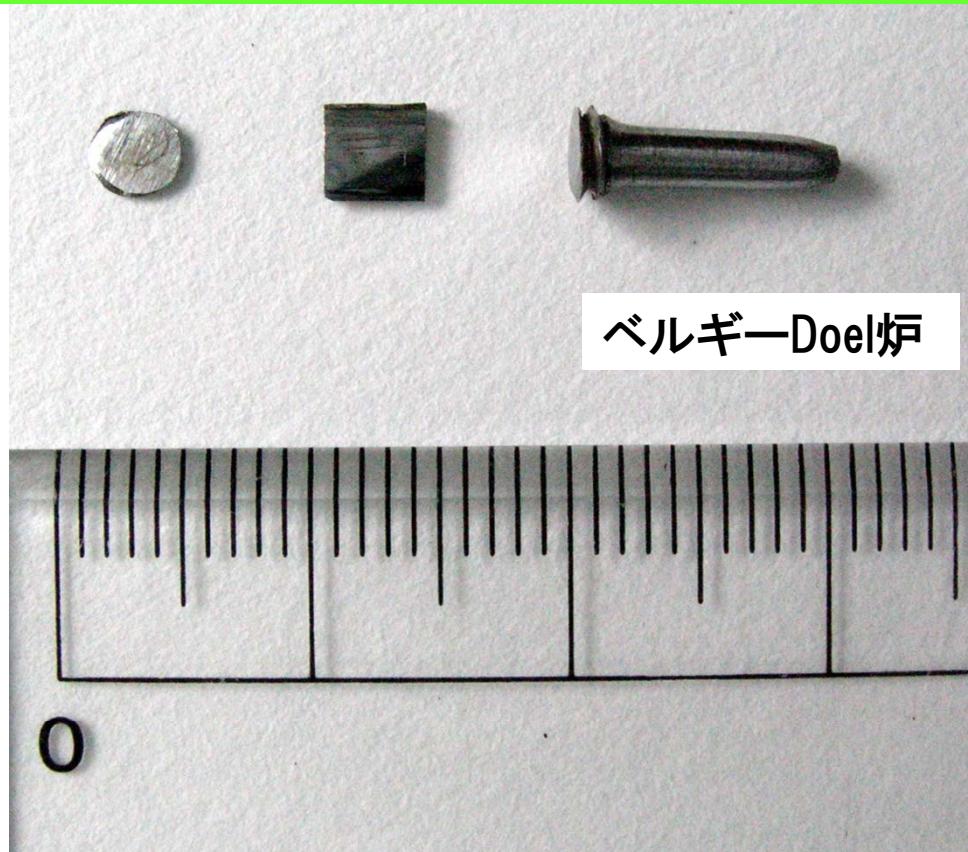
実際に発電炉で起こっている  
ナノ材料過程の解明

成果の学術論文発表可  
ヨーロッパの世論  
日本国民の期待

実機監視試験片  
ベルギー、フィンランド

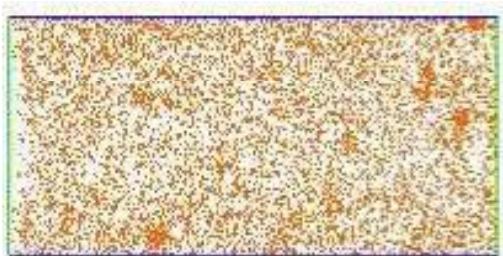
試験(シャルピー、引張り試験)済み試料  
非常に貴重な残材

大部分は小型試験片として 再利用、  
その際の残材を利用してナノ材料解析

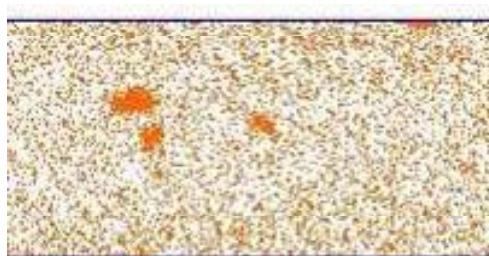


### Doel-2 (0.30Cu)

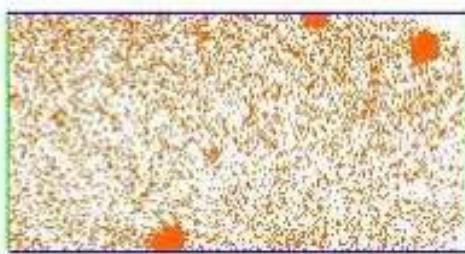
$0.83 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$



$3.66 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$



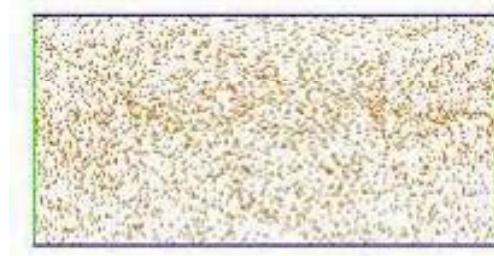
$5.12 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$



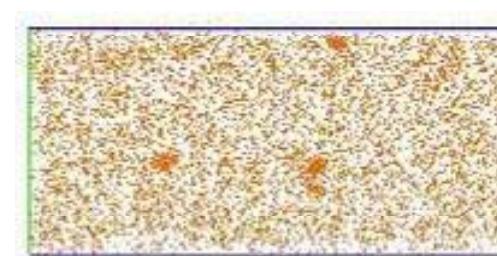
$\sim 30 \times 30 \times 60 \text{ nm}$

### Doel-2 (0.13Cu)

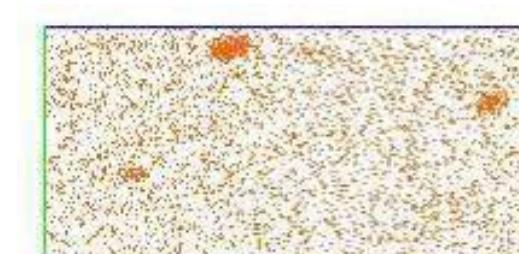
$0.83 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$



$3.66 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$

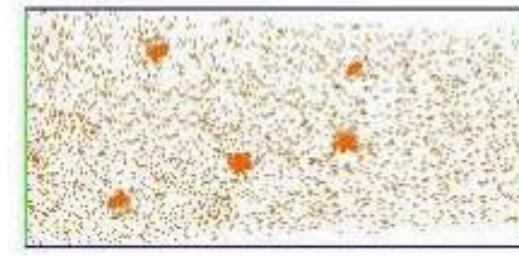


$5.12 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$

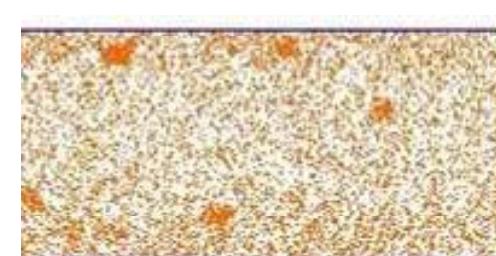


### Doel-1 (0.13Cu)

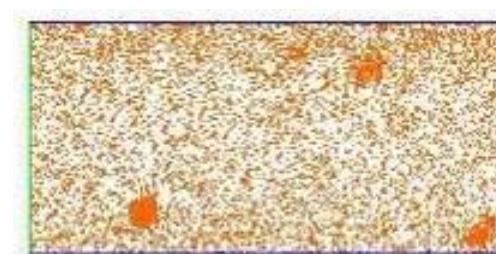
$0.85 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$



$3.66 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$



$5.90 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$



A Correspondence Between a value of  $RT_{PTS}$  of 270F(132C) and a thru-wall crack frequency of  $5 \times 10^{-6}$  failed RPVs(Reactor Pressure Vessels) per year  
SECY 82-465

T.L. Dickson, M.T. Kirk and C.G. Santos: Trans. 17<sup>th</sup> Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 17) (2003)

PTS: 加圧下での熱衝撃

132°Cで20万分の1

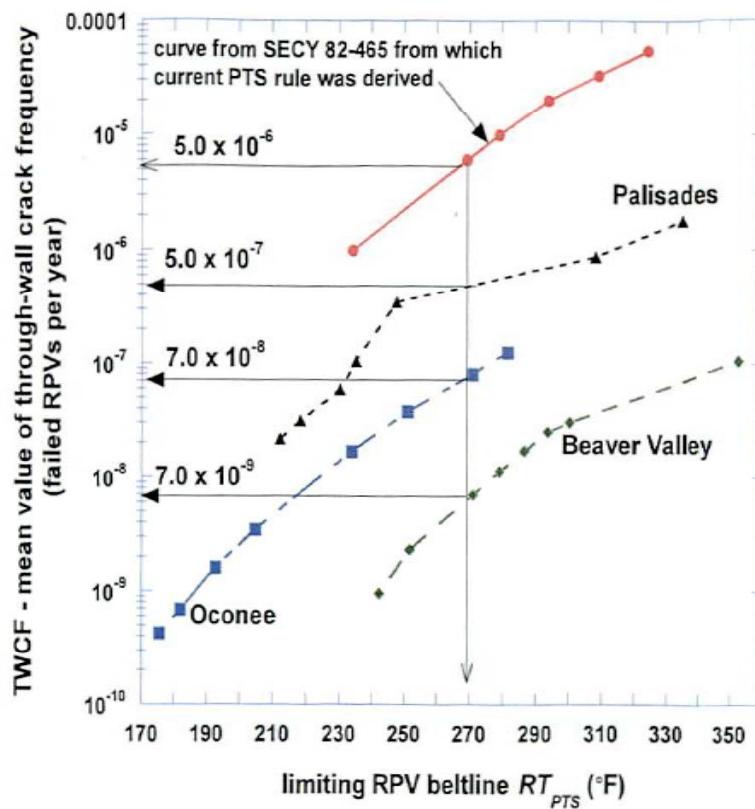


Fig. 1 – Results of current PTS re-evaluation program compared to results from SECY 82-465 from which the current PTS screening criteria was derived in early 1980s

## 貞觀地震・津波(869年): 1000年に一回?

総合資源エネルギー調査会  
産総研 活断層・地震研究センター:岡村行信センター長

塩屋崎沖地震とは全く比べものにならない非常に大きなもの

### 平成18年 溢水勉強会での議論(東電)

2008年には、耐震安全性評価の検討を進める中で、明治三陸沖津波の波源モデルを福島県沖の海溝沿いに持ってきた試算(結果:15.7m)を行っていますが、この波源モデルの妥当性は不明であったことから、過去に地震のなかった地域に波源を想定するかどうかも含め土木学会にその扱いについて検討を依頼しておりました。

なお、この福島県沖の海溝沿いで地震については、中央防災会議の津波評価、あるいは各自治体の防災上の津波評価でもこれまで検討の対象とはされていませんでした。

産業技術総合研究所や東北大学の調査研究によって、この1000年以上も前の貞觀の**巨大津波で運ばれた砂などの堆積物**は、仙台平野の海岸から数キロ奥まで達していることが数年前に判明しています。しかも、そこまで津波が押し寄せるエネルギーをコンピューターで解析することで、マグニチュード8.4以上という巨大な地震が起きていたことも突き止められていました。

**貞觀地震のような巨大な海溝型地震は、繰り返し起きるとされています。**産業技術総合研究所の岡村行信・活断層・地震研究センター長は、東日本大震災が発生する2年前の夏、研究成果を踏まえ、福島第一原発の津波対策を見直すように東京電力にに対して求めましたが、東電の対応はにぶく、原発事故を防ぐことが出来ませんでした。

2011年10月20日 読売新聞

## 確率論的安全評価<sup>\*</sup>

炉心健全性の維持に対する評価

プラント運転時:  $1.3 \times 10^{-7}$  (/炉年)

プラント停止時:  $1.1 \times 10^{-9}$  (/定検)

## 原子力発電プラントの基本安全原則(INSAG-12)

IAEA国際原子力安全諮問委員会(1999)が示す目標

既設炉:  $10^{-4}$  /炉年以下

新設炉:  $10^{-5}$  /炉年以下

1000年に一回の大地震・津波 ( $10^{-3}$  /炉年)

<sup>\*</sup> ) 1F3定期安全レビュー(第2回)報告書要旨:2006年3月

## 福島第1原子力発電所: 比較的古いプラント

### プラント: 原子炉型/格納容器

1F1: BWR-3/Mark-I

1F2~5: BWR-4/Mark-I

1F6: BWR-5/Mark-II

2F1: BWR-5/Mark-II

2F2~4: BWR-5/Mark-II改良

今回の事故は想定外？

# 40年にも及ぶとされる廃炉に向けては 未知の作業が多く課題が山積 NHK (9月11日)

- 1) 4号機のプールからの使用済み燃料の取り出し  
**爆発で壊れた建屋の耐震性**
- 2) 1号機から3号機の溶け落ちた燃料の取り出し
  - ・10年後までに格納容器を水で満たして始める予定
  - ・格納容器の損傷か所を探すための内視鏡やロボットを使った調査は、高い放射線量などに阻まれ十分な成果が得られていないのが現状です。

## 安全・安心

### 1)徹底的に、現場で考え、歴史に学ぶ

- #従来の重大事故: スリーマイル、チエルノブイリ、福島第一. . .
- #米国などでの先行研究、経験
- #過去の大地震・津波

### 2)創造性豊かに、足下を見つめて悪夢に向かい合う

### 3)健全なる経営、若者が働きたいと思う職場

- #立地地域との共存・共栄、 透明性・公開性

### 4)失敗が許されない巨大・複雑技術

- #他産業より一段高い安全性を実現するための方策
- #研究の推進・充実 (国、大学、電力、メーカー)
- #外国との共同・連携研究

安全を獲得するには、国、電力、メーカー、地元、研究機関など  
それぞれの努力が不可欠

## 福島県に特に望みたいこと（1）

政府・東電での検討状況の情報公開を徹底させるとともにそれらを注意深く検討・学習して対処

政府・東電により緊張感を！！

### 政府

- 1)原子力規制委員会
- 2)福島原発廃炉に関する審議会・委員会
- 3)貞觀地震を含む地震・津波に関する審議会・委員会
- 4)米でのテロ対策(B5b)、IAEA勧告

### 東電

## 福島県に特に望みたいこと (2)

### 1)原発労働者の確保・支援

原発作業員の健康支援に格差

NHK (9月12日)

東京電力福島第一原発の事故で、下請け企業の作業員を対象にした検診費の補助制度で、厚生労働省が去年12月の冷温停止状態の宣言以降については新たに被ばく線量が基準を超えても補助の対象にしていないことが分かりました。

### 2)若者確保

廃炉作業が働きがいのあるもの

参考:ドイツの例

原子炉技術者・研究者の確保

原子炉材料研究

ドイツからスロバキアに援助要請

以下 参考

Freeman Dyson: Imagined World (1997)

“科学の未来”、

はやし・はじめ + はやし・まさる 訳 (みすず書房、2006) P39

ある技術がほかの技術との競争に失敗を許されるとき、失敗は正常な  
ダーウィン的進化の過程の一部分となり、改良につながるし、やがては  
成功につながるかもしれない。ある技術が失敗を許されず、それでも失  
敗してしまうとき、失敗がもたらす損害ははるかに大きなものになる。

世間の人々が専門家を信頼しないのは、専門家が自分たちは過ちを犯  
さないと主張するからだ。人間が過ちを犯すことを世間の人々は知って  
いる。イデオロギーに目がくらんでいる人々だけが、自分たちは過ちを犯  
さないと信じるという罠に陥るのだ。

このような性格を持つ原子力発電にどのように取り組むか？

## Doel-1,2,4爐 監視試驗片

### 監視試驗片 化學組成

										wt.%
	Reactor	Material	C	P	Cu	Mo	Si	Ni	Cr	Mn
第1世代	DOEL-1	Weld (near A508B)	0.2*	0.05	0.13	0.55	0.39	0.11	0.09	1.1*
	DOEL-2	Weld (near A508B)	0.2*	0.05	0.30	0.46	0.35	0.11	0.08	1.1*
第2世代	DOEL-4	Base (A508B)	0.2	0.008	0.05	0.53	0.28	0.75	0.11	1.43

\* regulation

### 照射條件

	Reactor	Fluence ( $\times 10^{19}$ n/cm $^2$ )	Operation (year)	Flux ( $\times 10^{10}$ n/cm $^2$ /s)	Temperature (°C)
第1世代	DOEL-1	0.85	3		
		3.7	15	7.8	304
		5.9	24		
第2世代	DOEL-2	0.83	3		
		3.7	14	8.5	304
		5.1	20		
第2世代	DOEL-4	1.6 3.3	6 12	8.5	304