

福島事故を経た原子力のあり方

電気学会 センサ・マイクロマシン部門研究会
2013年8月8日



2013.8.8

駒澤大学・医療健康科学部
小川 雅生



電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

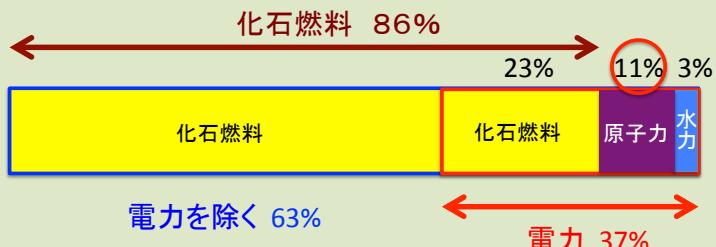
1

原子力発電の概要

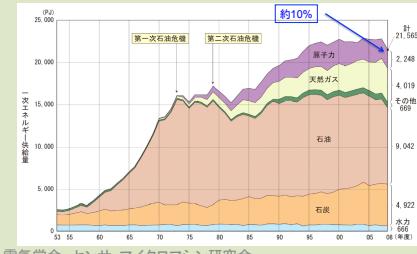
電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

2

一次エネルギーに占める原子力 (2010)



原子力・エネルギー図面集2011
電気事業連合より

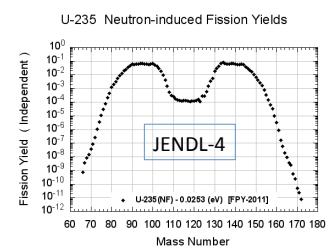


2013.8.8

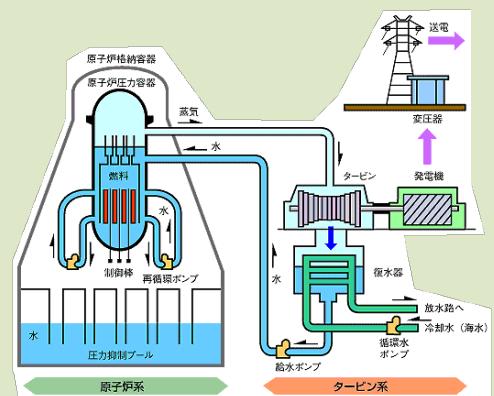
電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

3

原子力発電のしくみ



熱源
核分裂片の運動エネルギー
核分裂生成物の崩壊熱



日立原子力情報から転載

http://www.hitachi-hgne.co.jp/nuclear/moreinfo/s_power/waterway/

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

4

多様な原子炉

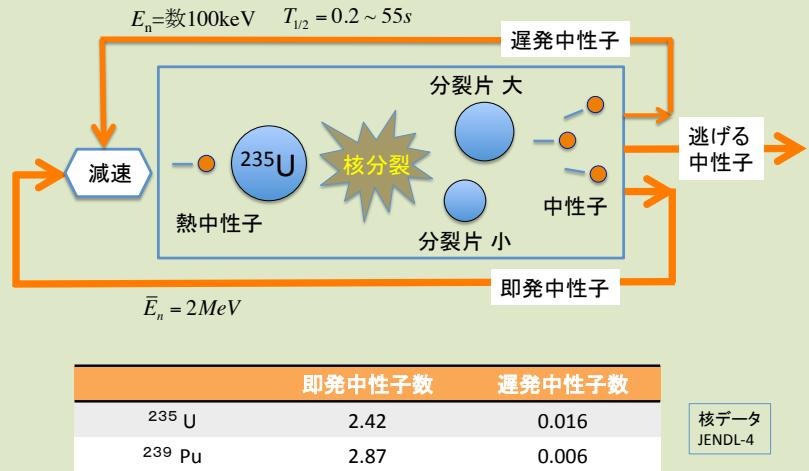
熱中性子炉	BWR PWR ガス炉	減速材・冷却材 軽水 重水 黒鉛 ヘリウム ナトリウム 溶融塩
高速中性子炉	動力炉 増殖炉	
燃料	ウラン ウラン+MOX フルMOX トリウム	

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

5

熱中性子炉



2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

6

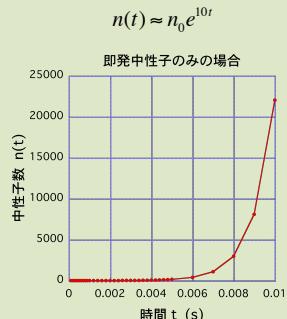
遅発中性子が立ち上がりをゆっくりに

増倍率kが
 $K=1$ から $K=1.01$ に増加するとき

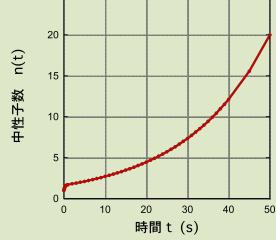
即発中性子寿命
反応度 1 ms
 0.0025

遅発中性子割合 0.0064

先行核崩壊定数 $6.4e^{0.05t}$ $0.0784e^{-3.9t}$

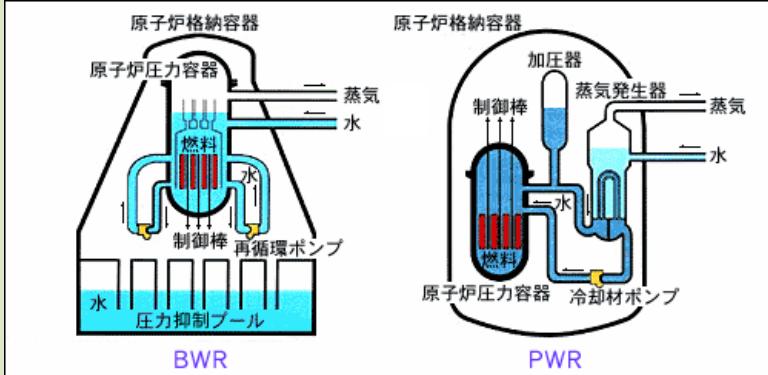


遅発中性子がある場合



2013.8.8

熱中性子軽水炉 BWR-PWR



日立原子力情報から転載

http://www.hitachi-hgne.co.jp/nuclear/moreinfo/s_power/waterway/

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

8

原子炉の停止

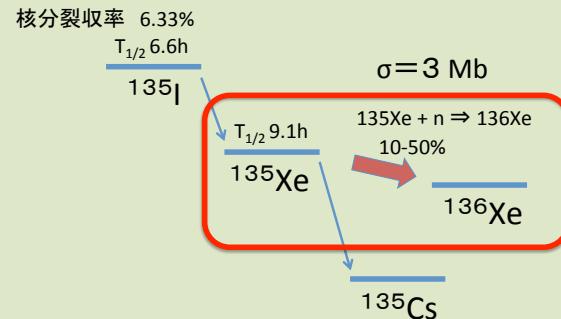
- 事実上、数秒で停止する
- 制御棒の挿入は2~3秒で終わる
- 連鎖反応の99.4%は瞬時(～1ms)に停止する
- 遅発中性子による0.6%の連鎖反応も数分で終わる

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

9

停止後は ^{135}Xe が再起動を妨害



^{135}Xe が中性子に対する毒物

^{135}Xe が消えるまで炉を再起動できない

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

10

100万kWで1年間の発電

- 235Uの消費量 1.2トン
- 廃棄物・生成物
 - 核分裂生成物 1.2トン
 - 超ウラン元素 (Puなど) 0.3トン
- 崩壊熱
核分裂反応の7%
 $100\text{万kW} \times 3 \times 0.07 \Rightarrow 200\text{MW}$

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

11

大型原子炉は
起動しにくい、止まりにくい

- 停止後、直ぐに再起動できない
- 冷温停止まで1日ほどかかる
- 冷温停止後も長期間の冷却が必要



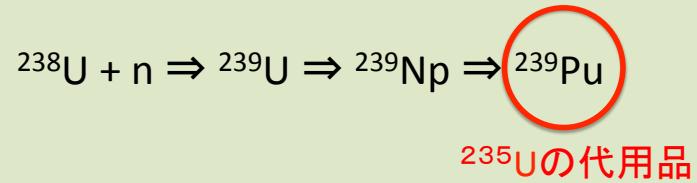
2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

12

高速増殖炉とは

- 高速中性子による核分裂反応を用いて
プルトニウム燃料を増殖する



- プルトニウム増殖が高速という意味ではない

2013.8.8

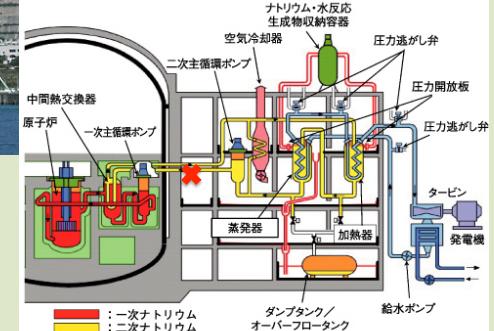
電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

13

高速増殖炉もんじゅ



1991	運転開始
1995	ナトリウム漏れ事故
2010.5	運転再開



14

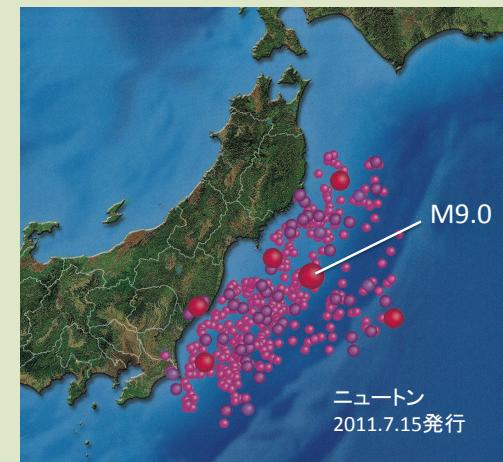
福島第一原発の事故

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

15

東北地方太平洋沖地震 2011.3.11



ニュートン
2011.7.15発行

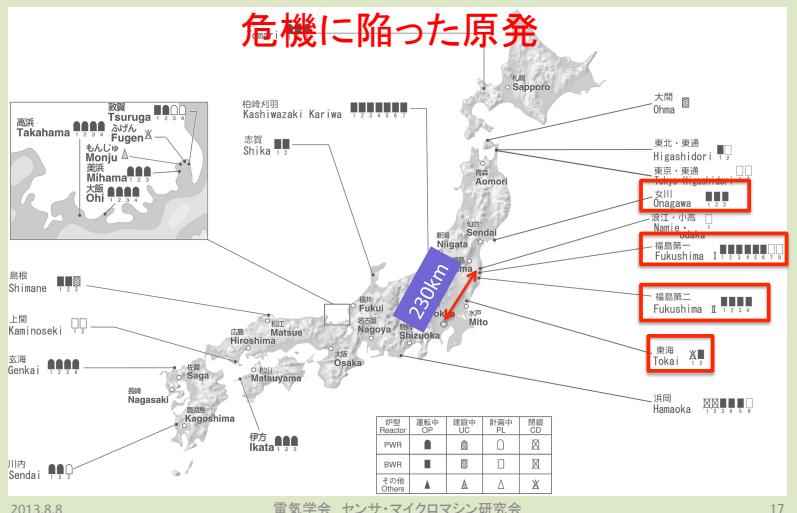
2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

16

54基の原子炉 @2011.3.11

危機に陥った原発



福島第一原子力発電所



2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

18

3.11に起きたこと

- 14:46 M9.0地震発生
原子炉緊急停止(制御棒の自動挿入)
非常用炉心冷却装置が稼働
- 15:42 停電(外部からの交流電源喪失)
ディーゼルエンジン駆動の非常用電源による冷却
- 15:45 津波襲来、タンクなどが損傷
- 16:36 **非常用炉心冷却装置による注水が不能**
- 20:30 高圧継電器が水没、2号炉に電源車接続
- 21:00 ポンプを起動し、炉圧が低下したら注入できる体制
- 23:00 1号機タービン建物内で放射線量が上昇
- 31:51 1号機海水ポンプ接続、冷水タンク注水
- 32:30 消火ポンプで注水実施
- 38:30 1号機でベント開始
- 39:36 1号機で水素爆発

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

19

倒壊した鉄塔

東工大 飯尾俊二氏のスライドより



(出所:東京電力)

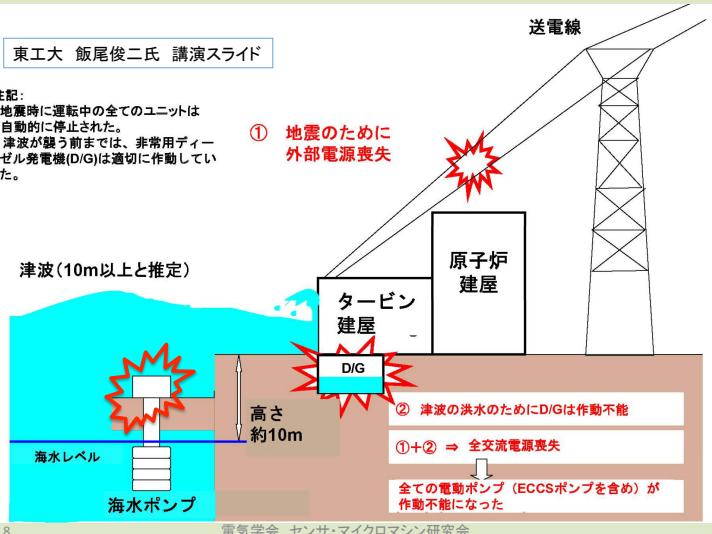
<http://www.nisa.meti.go.jp/oshirase/2011/07/230715-5-1.pdf>

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

20

損傷箇所



種々の機能を喪失

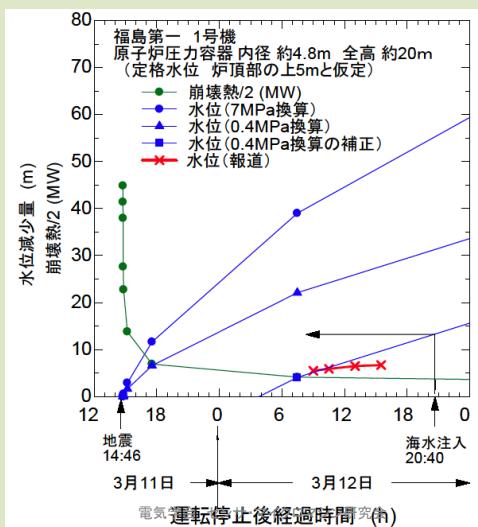
外部交流電源	×	緊急炉心冷却装置	×
D/G	×	計測装置	×
直流電源	×		
高圧受電盤	×		
海水ポンプ	×	空圧駆動バルブ	×
燃料タンク	×		

2013.8.8 電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

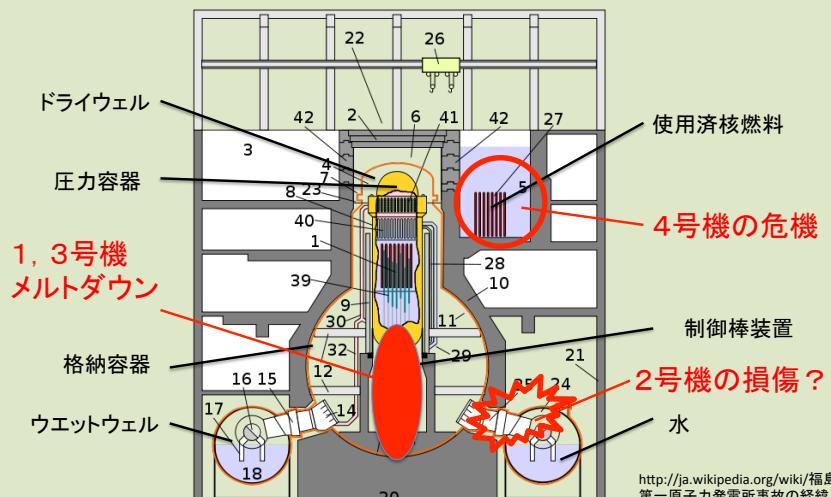
22

1号機の崩壊熱と水位低下の推測

東工大・原子炉工学研究所・高橋実准教授



福島第一原発で起きたこと



2013.8.8 電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

24

福島第一 3.11前後の状況

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
出力 (kW)	46万	78万	78万	78万	78万	110万
運転開始	1971	1974	1976	1978	1978	1979
運転状況	運転中	運転中	運転中	定期点検	定期点検	定期点検
外部電源	X	X	X	X	X	X
非常電源	XX	XX	XX	XX	XX	XX◎
	MOX燃料					
炉心 燃料数	400	548	548	0	548	764
溶融	溶融	溶融				
プール中 燃料数	292	587	514	1331	946	876

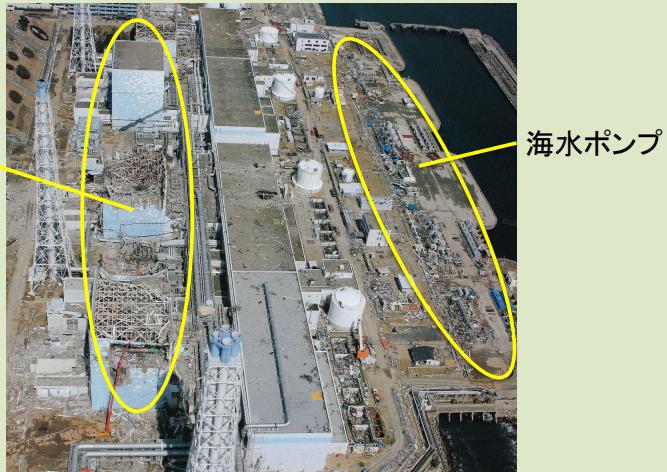
2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

25

水素爆発後の福島第一原発

原子炉建屋

ニュートン別冊
2011年7月 発行

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

27

水素爆発

	1号機	2号機	3号機	4号機	
3.11					
3.12	水素爆発				
3.13					
3.14			水素爆発		
3.15		格納容器 爆発音		水素爆発 火災	放射能 大量放出
3.16					

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

26

福島第1原発から放出された放射性物質量

	内蔵量	放出量	放出%
Cs-137	408 kg	4.7 kg	1.2 %
Sr-90	253 kg	不明	
I-131	1.2 ~ 2.5 kg	0.035 kg	1~3 %

計算で仮定したこと;

100万KWで1年間運転すると1.2トンのウラン235が消費される
内蔵された核燃料は全てフル出力で1年間運転された
ヨウ素131は3.11前の2週間に生成されたものだけを評価する

Chernobyl事故

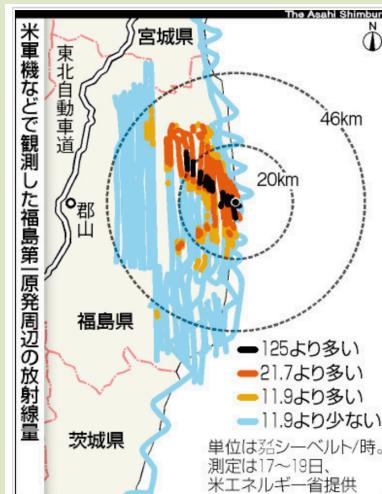
	内蔵量	放出量	放出%
Cs-137	81 kg	27 kg	33 %
Sr-90	43 kg	2 kg	5 %
I-131	0.7 kg	0.4 kg	60 %

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

28

米軍の航空機による観測



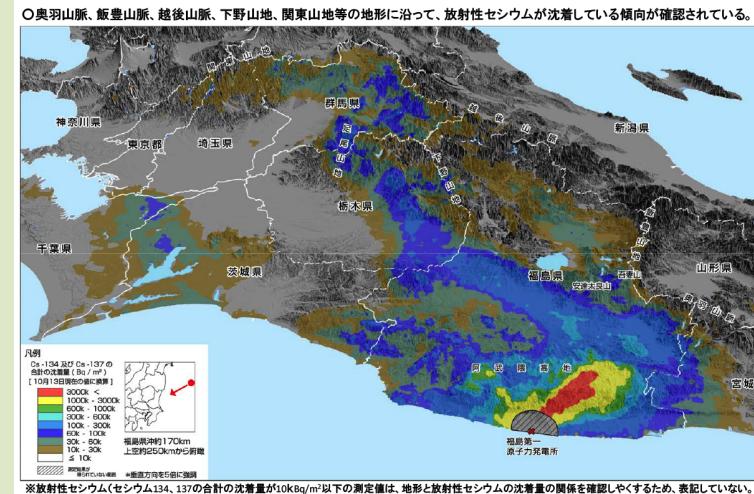
2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

29

沈着量と地形の関係 2011.11.25

(参考5)
航空機モニタリングで測定された放射性セシウムの沈着量と地形の関係



2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

30

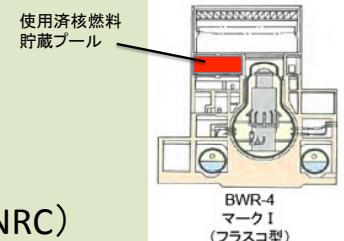
最悪のシナリオ

• 4号機プールの損傷

首都圏も放射能汚染

50マイル(米国政府、NRC)
200マイル(米国海軍)

• 首都圏放棄



2013.8.8

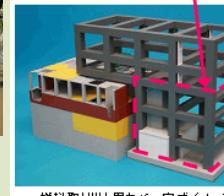
電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

31

4号機のその後



第3節までの鉄骨建方が終了
2013.4.10



2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

32

<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/genkyo/index-j.html>

事故の原因

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

33

- 人材

現場を熟知した専門家が少なかった
技術の伝承が不十分

- 制度

国策民営 ⇒ 責任が不明確
複雑な安全規制体制

- 安全神話

- 経営効率の優先

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

34

システムの不備

- 水位計の構造

測定値が誤っていた

- 空圧系の圧力不足

ベント弁を開放できず

- 配管系の構造

手動弁に線量が高く近づけない

- 問題の同時多発

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

35

人材と組織

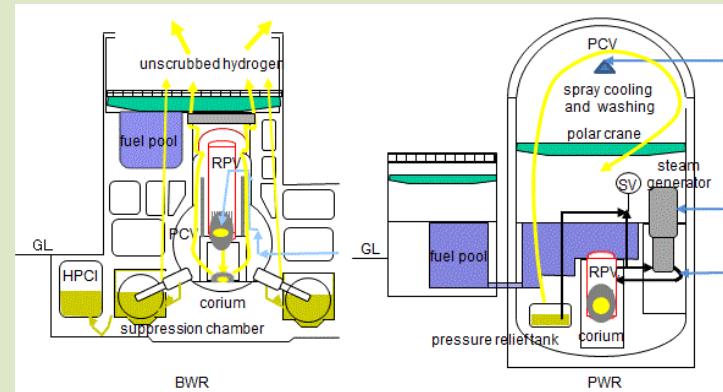
2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

34

BWRに構造的欠陥

グリーンウッド氏 「BWRの構造的欠陥」



<http://www.asahi-net.or.jp/~pu4i-aok/cooldata3/nuclear/bwr.htm>

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

36

複雑な安全規制体制

どこがトップか分からぬ

原子力安全・保安院

経産省

政府

原子力安全委員会

東京電力

文科省

核セキュリティの観点なし

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

37

事故後 危機管理体制の不備



指揮センターが不明
担当責任者がいない

危機管理センター

安全委員会

首相執務室

官邸

東電本店

保安院

防衛省

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

38

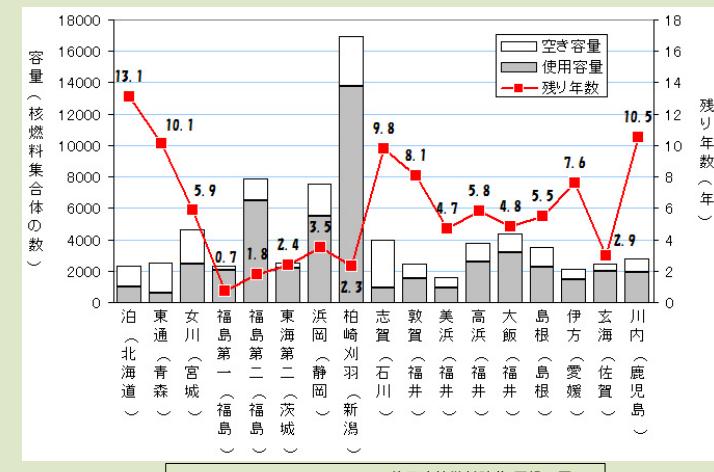
原子力の問題点

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

39

使用済燃料プールが数年で満杯



2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

40

プルトニウムの蓄積

プルトニウムは
即発中性子が多く
遅発中性子が少ない

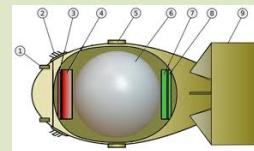
MOX炉
動特性がウランよりも悪い

フルMOX炉
加速が鋭く
ブレーキが効きにくい？

2013年現在
44 トン
0.4 トン/炉

核セキュリティ

	即発中性子数	遅発中性子数
^{235}U	2.42	0.016
^{239}Pu	2.87	0.006



2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

41

再処理工場

年間の最大再処理能力 800トンU
使用済燃料貯蔵設備の最大貯蔵能力 3,000トンU

100万kW級原発約40基分の使用済燃料を処理する能力



<http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/recycle/plant.html>

2001年 通水作動試験を開始
2006年 アクティブ試験を開始
2013年 竣工の予定？

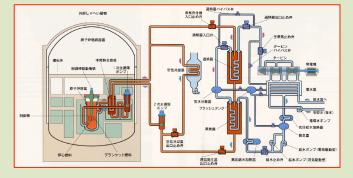
2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

43

もんじゅ

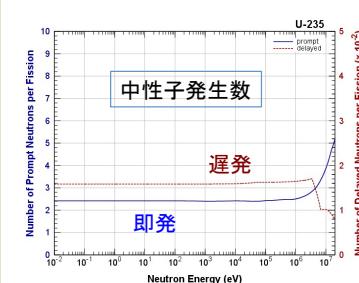
- ナトリウムを喪失したときは？
- 反応度異常がフェニックスで起きた
- 高速中性子炉の動特性？
- 停止時でもナトリウム加温が必要
- 兵器級プルトニウムを生産
- 稼働しなくても年200億円



2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

42



余剰プルトニウム1

- 2013年現在 44 トン
- 再処理が進むと
 - 核燃料1トンあたり 0.009トン
800トンを処理すると 7.2トン
 - MOX炉の使用量 0.4 トン/炉
 - 臨界量(核兵器) 8~4kg
 - 米国は核拡散の観点から日本を疑う

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

44

余剰プルトニウム2

- ・原発の新規建設・増設は不可能
- ・MOX炉(ウラン、プルトニウム混合)では消費量が少ない
- ・フルMOX炉は安全・安定が未知
- ・近未来に余剰プルトニウムを解消することは不可能
- ・日米間の政治問題に発展するか？
- ・近隣国は日本の核武装を警戒する

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

45

放射性廃棄物処理

- ・具体的な展望なし
- ・ワンスルーに反対する理由
プルトニウム盗掘の心配
- ・再処理+地層処分を推進する言い訳
廃棄物の容量が少ない
管理がしやすい
- ・核変換処理(消滅処理)は空想の話？



2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

46

富国不徳

- ・原因究明は進展せず
- ・事故の後始末も途中
- ・使用済核燃料処理の見通しがない
- ・**フィルター付きベントの追加だけでは解決しない**
- ・再稼働を急ぎ
- ・輸出を急ぐ

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

47

今後なすべきこと

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

48

エネルギー政策

- 福島事故の教訓を真摯に受け止め
BWRの退場
古い炉の廃止
- 中期・長期のエネルギー政策
原子力依存度
プルトニウム・再処理
放射性廃棄物

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

49



原子力エキスパートの育成

- 理屈を深く理解する
- 現場を熟知する
- エネルギー全体を見通す



技術の伝承

- 世代交代で技術・問題点が伝承されない
チェルノブイリ事故
システムの弱点・問題点が見えなくなる
- NKM (Nuclear Knowledge Management)
IAEAが主導している

2013.8.8

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

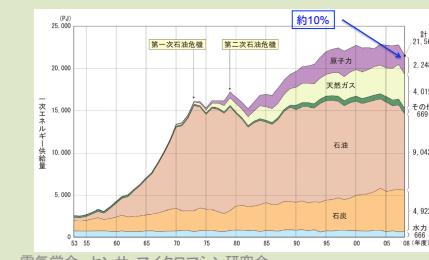
51

一次エネルギーに占める原子力 (2010)



原子力・エネルギー図面集2011
電気事業連合会より

2013.8.8



52

電気学会 センサ・マイクロマシン研究会

結論

- 福島事故の原因を検証し、対処する
経済優先は問題のすり替え
BWR, 古い炉の廃止
- エネルギー政策の再構築
原子力が安いは幻想
PWRの安全強化
プルトニウム
再処理
廃棄物の最終処分