

2011年3月11日 東日本大震災後の
東京電力福島第一原子力発電所
—何が起きているのか？
—どう理解すればいいのか？

Prof. Joonhong Ahn

University of California, Berkeley

2011年3月19日午後2時

(日本時間20日午前6時)現在

疑問

- 原子炉のシステム
- 何が起きているのか、
- そもそもの原因は？
- 今後の展開は？
 - 最悪シナリオ
 - 時間スケール
- 人体への影響は？
- 環境への影響は？
- 産業への影響は？
- 電力会社、政府、などの運営・責任体制
- 将来への教訓

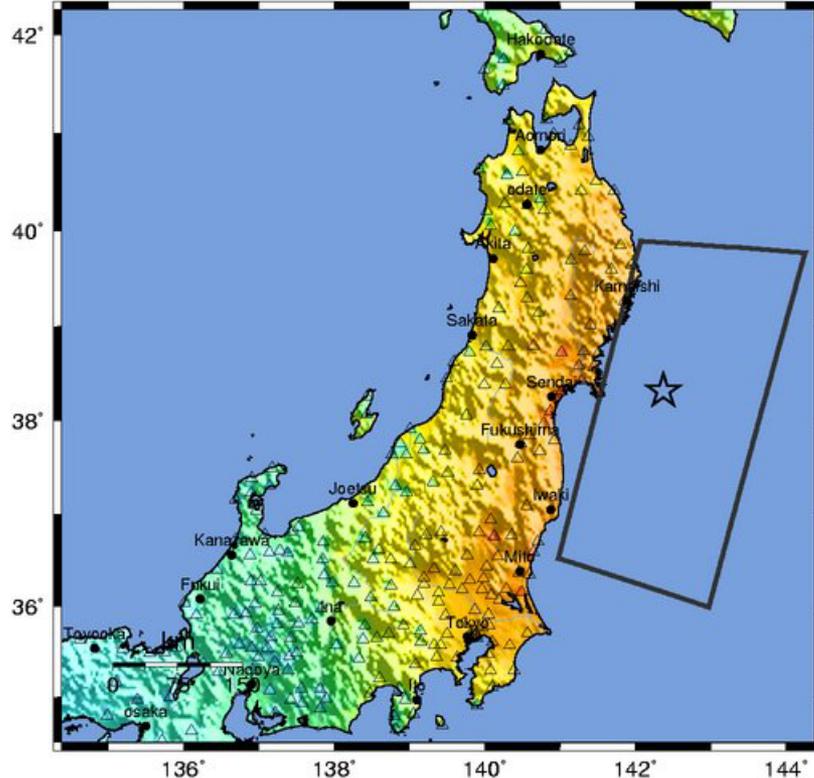
地震

東日本大震災の発生

- 2011年3月11日2:46分(日本時間)発生
- マグニチュード9.0(日本観測史上最大)
- 3つの地震が一連のものとして発生、震源域は南北500km、東西200km程度に達した
- 巨大津波が東北地方太平洋岸を直撃
 - 福島第一原発には10m超の津波が地震の約1時間後に到達の様相

14:46pm March 11, 2011

USGS ShakeMap : NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
 Fri Mar 11, 2011 05:46:23 GMT M 9.0 N38.32 E142.37 Depth: 32.0km ID:c0001xgp

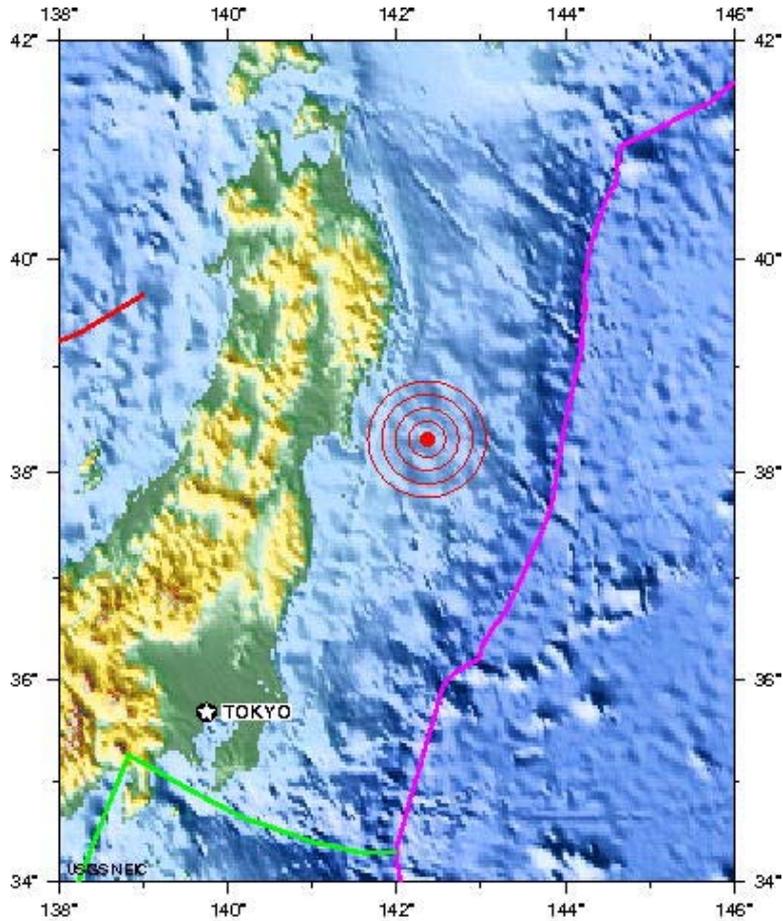


Map Version 7 Processed Wed Mar 16, 2011 11:19:52 AM MDT – NOT REVIEWED BY HUMAN

- USGS magnitude 9.0

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	< 0.17	0.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

14:46pm March 11, 2011

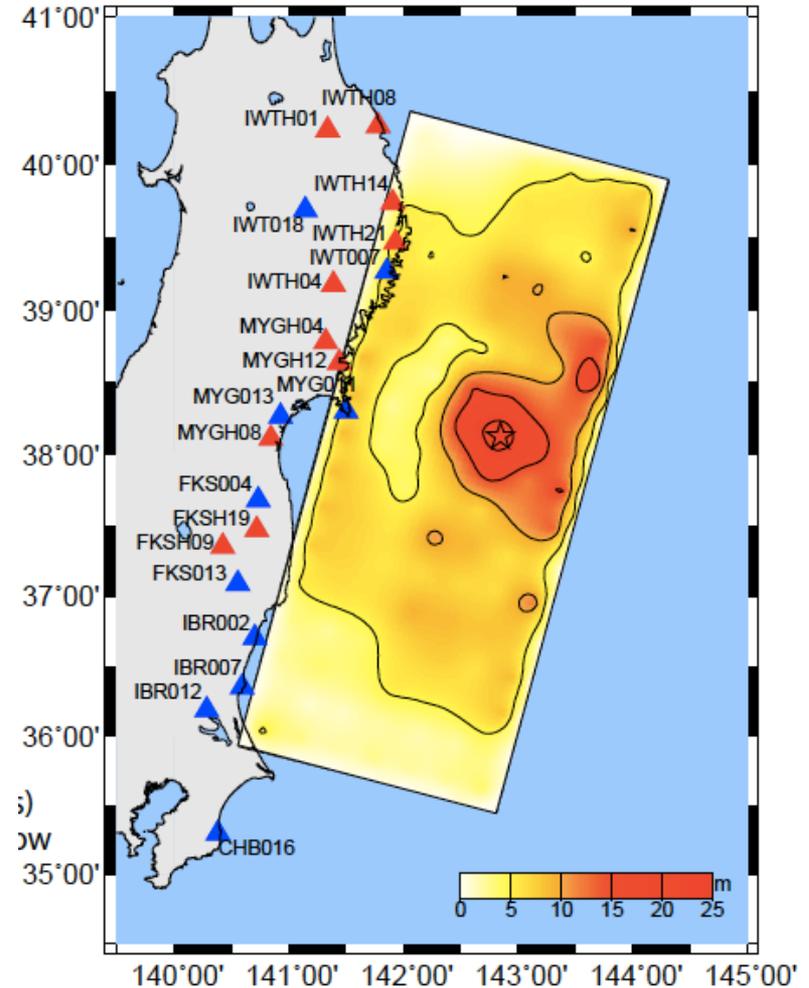


NEAR EAST COAST OF HONSHU, JAPAN

2011 03 11 05:46:23 UTC 38.32N 142.36E Depth: 32.0 km

Earthquake Location

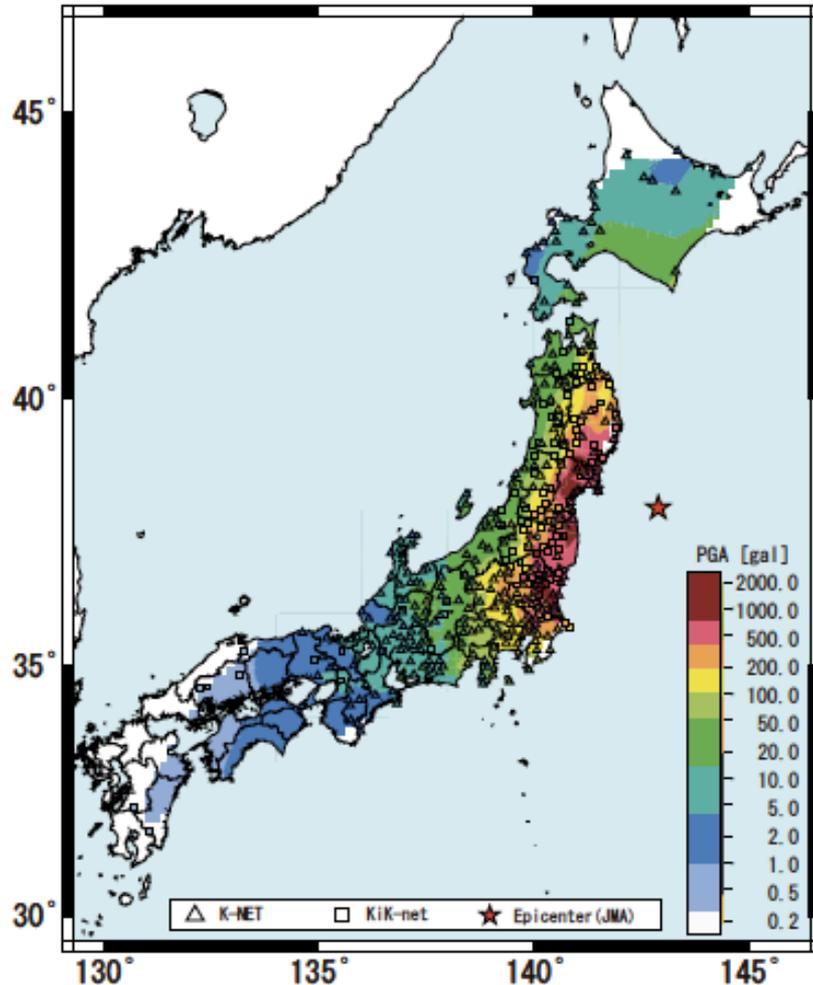
USGS



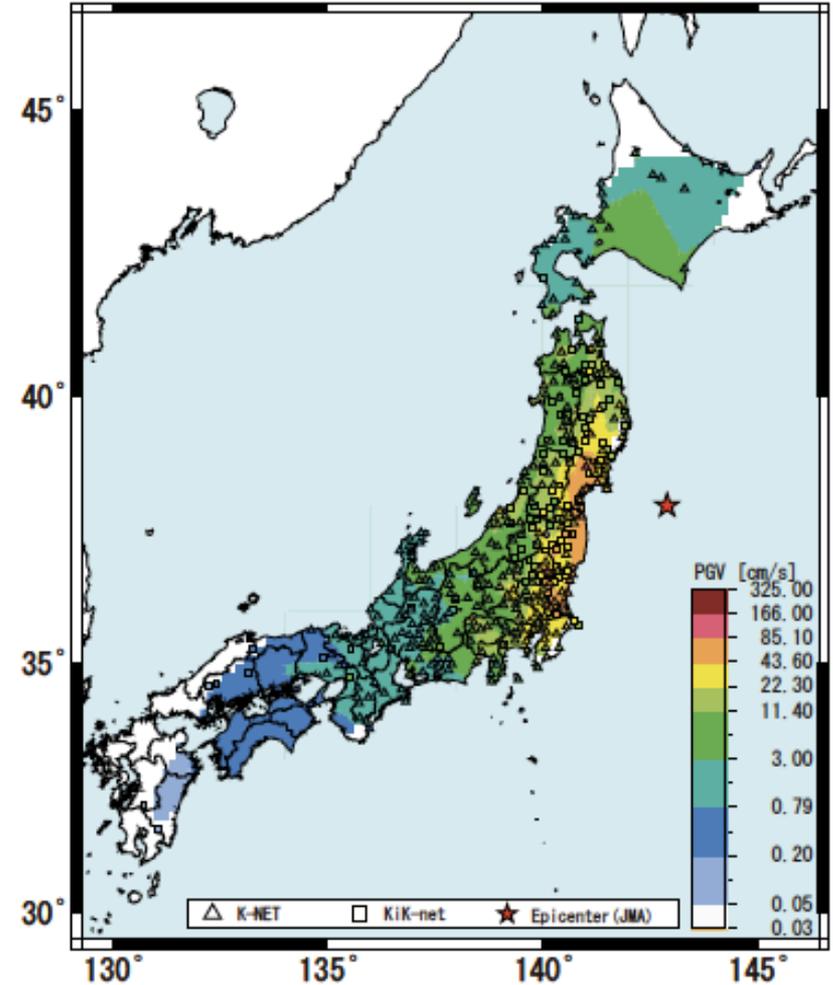
NIED-K-net

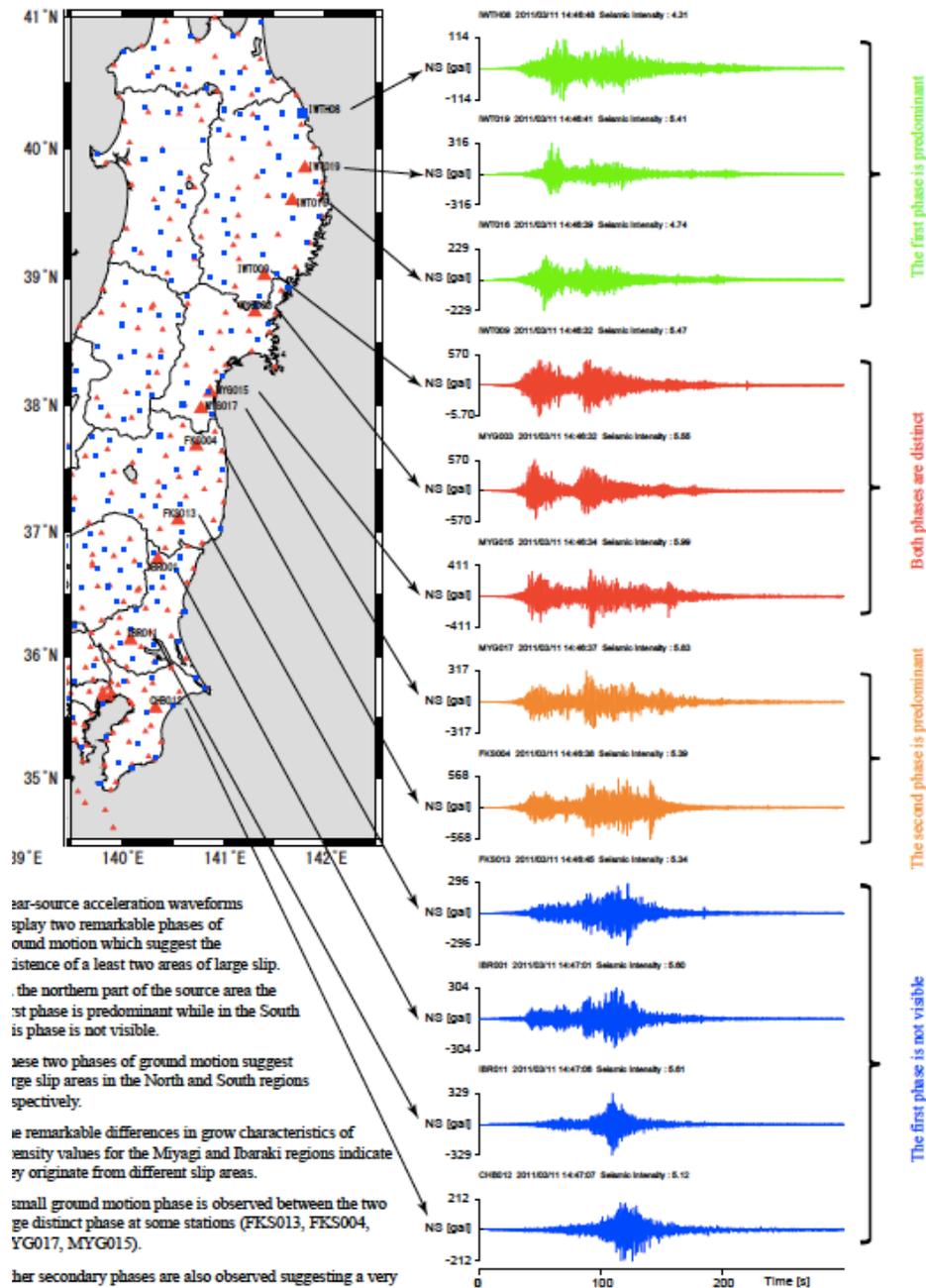
14:46pm March 11, 2011

Peak Ground Acceleration (surface)

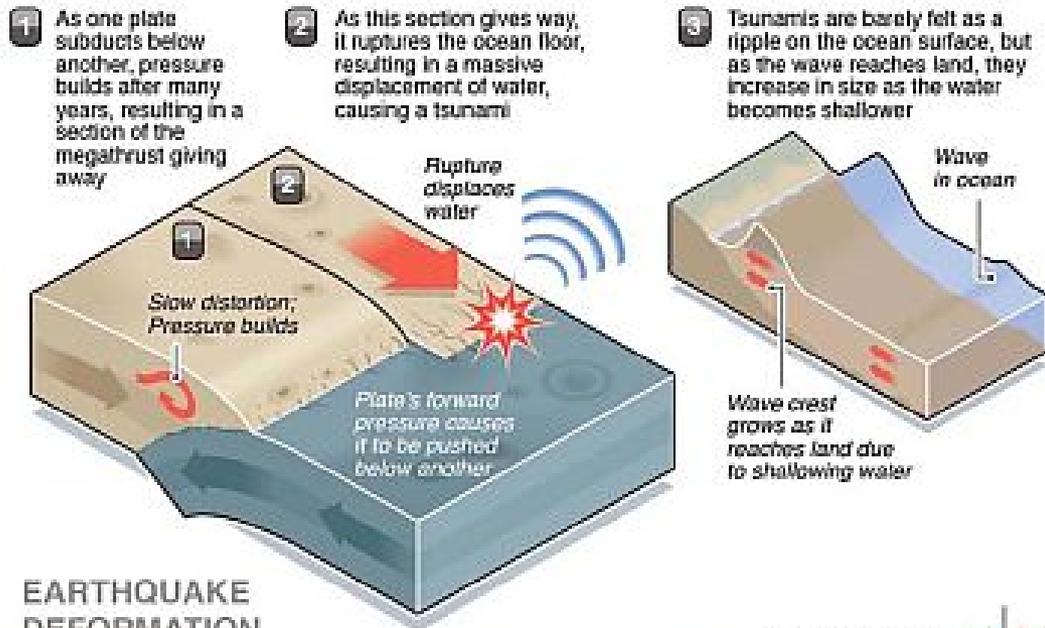


Peak Ground Velocity (surface)





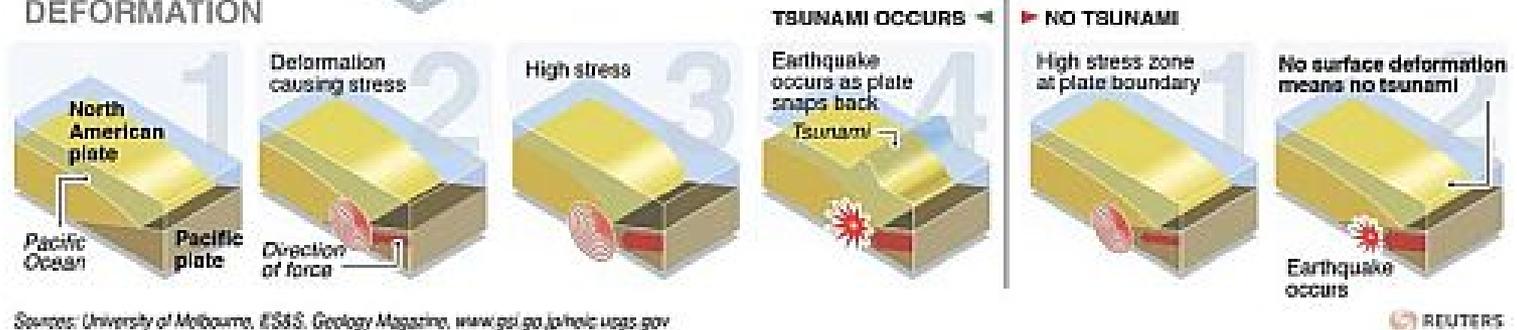
HOW TSUNAMIS OCCUR



Tectonic plates around Japan



EARTHQUAKE DEFORMATION



Sources: University of Melbourne, ISES, Geology Magazine, www.gsi.go.jp/hoic/ucgs.gov

REUTERS

<http://www.financetwitter.com/2011/03/japan-tsunami-greatest-problem-nuclear-meltdown.html>

Aftershocks

http://www.msnbc.msn.com/id/42037498/ns/world_news-asia-pacific/

Before and After the Tsunami

<http://www.abc.net.au/news/events/japan-quake-2011/beforeafter.htm>

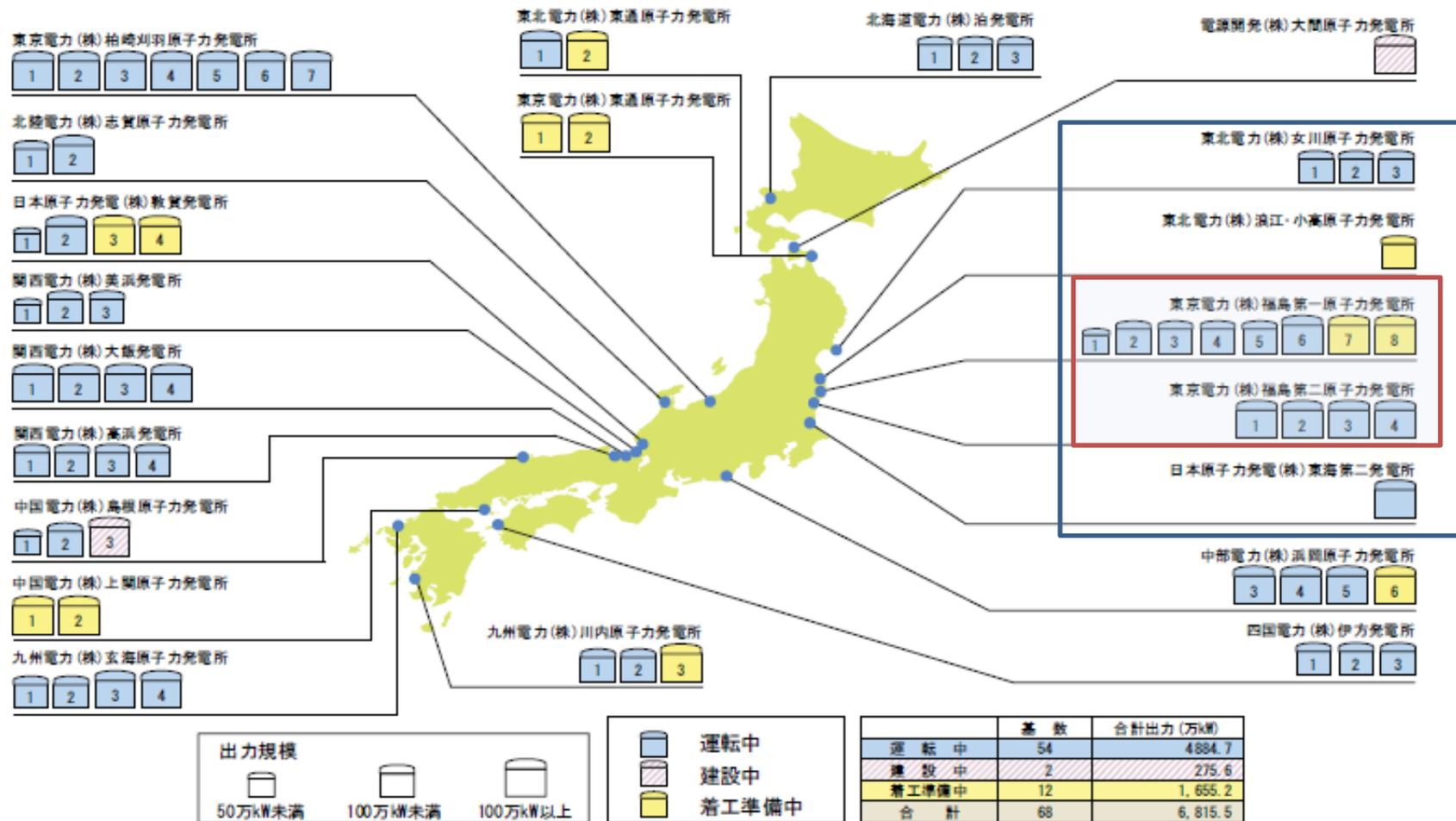
日本の原子力

日本における原子力発電の現状

- 沖縄電力以外のすべての電力会社が原子力発電所を保有
- 発電所数：19カ所
- 基数：54基
- 1基あたりの発電能力は約50万kW～140万kW（一般家庭約20万世帯分～約56万世帯分）
- 合計設備容量：4884.7万kW
 - － 近年の実績では全国の年間発電量の約3割が原子力によるもの
- 東電の場合、2006年時点では約38%が原子力（その後、柏崎刈羽原発の地震被災により低下、2008年度は約23%）

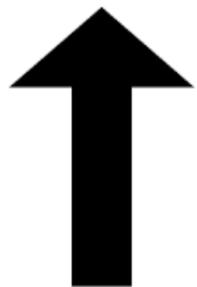
原子力発電所の位置と基数

(商業用・2010年3月末現在)



運転終了：日本原子力発電（株）東海発電所 1998.3.31 / 中部電力（株）浜岡原子力発電所1、2号機 2009.1.30

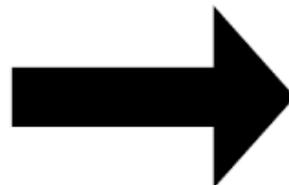
原子炉



元素

			B7 1.4 MeV (3/2-)	B8 770 ms 2+	B9 0.54 keV 3/2-	B10	B11	B12 20.20 ms 1+	
Boron				EC2 α	2p α	199	80.1	β -3 α	β -
		Be5	Be6 92 keV 0+	Be7 53.29 d 3/2-	Be8 6.8 eV 0+	Be9	Be10 1.51E+6 y 0+	Be11 13.81 s 1/2+	
Beryllium		2p		EC	2 α	100	β -	β - α	β -
	Li4	Li5 1.5 MeV 3/2-	Li6	Li7	Li8 838 ms 2+	Li9 178.3 ms 3/2-	Li10 1.2 MeV		
Lithium	2-	p	1+	3/2-	7.5	92.5	β -2 α	β -n	n
	He3	He4	He5 0.60 MeV 3/2-	He6 806.7 ms 0+	He7 160 keV (3/2)-	He8 119.0 ms 0+	He9 0.30 MeV (1/2-)		
Helium	1/2+	0+	n	β -	n	β -n	n	n	n
	0.000137	99.999863							
	H1	H2	H3 12.33 y 1/2+	H4	H5	H6			
Hydrogen	1/2+	1+	β -	2-					
	99.985	0.015							6
		n1 614.8 s 1/2+							
		β -		2		4			

同位体



燃料(ウラン、プルトニウム)での中性子補足反応

Uranium & Plutonium

Minor Actinides

Stable isotopes

Fission products

核分裂

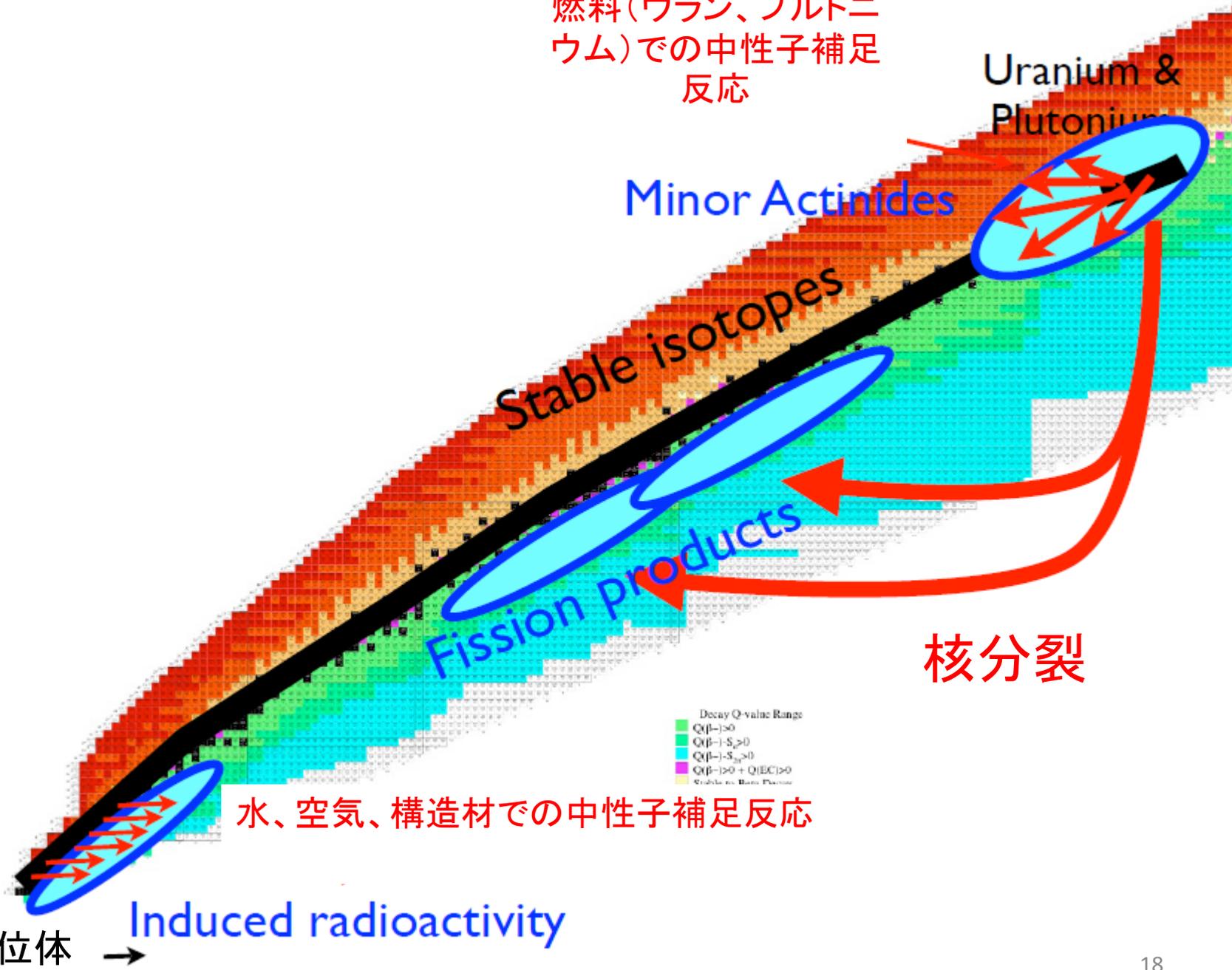
Decay Q-value Range
Q(β^-)>0
Q(β^-)- S_n >0
Q(β^-)- S_{α} >0
Q(β^-)->0 + Q(EC)>0
Stable via Beta Process

水、空気、構造材での中性子補足反応

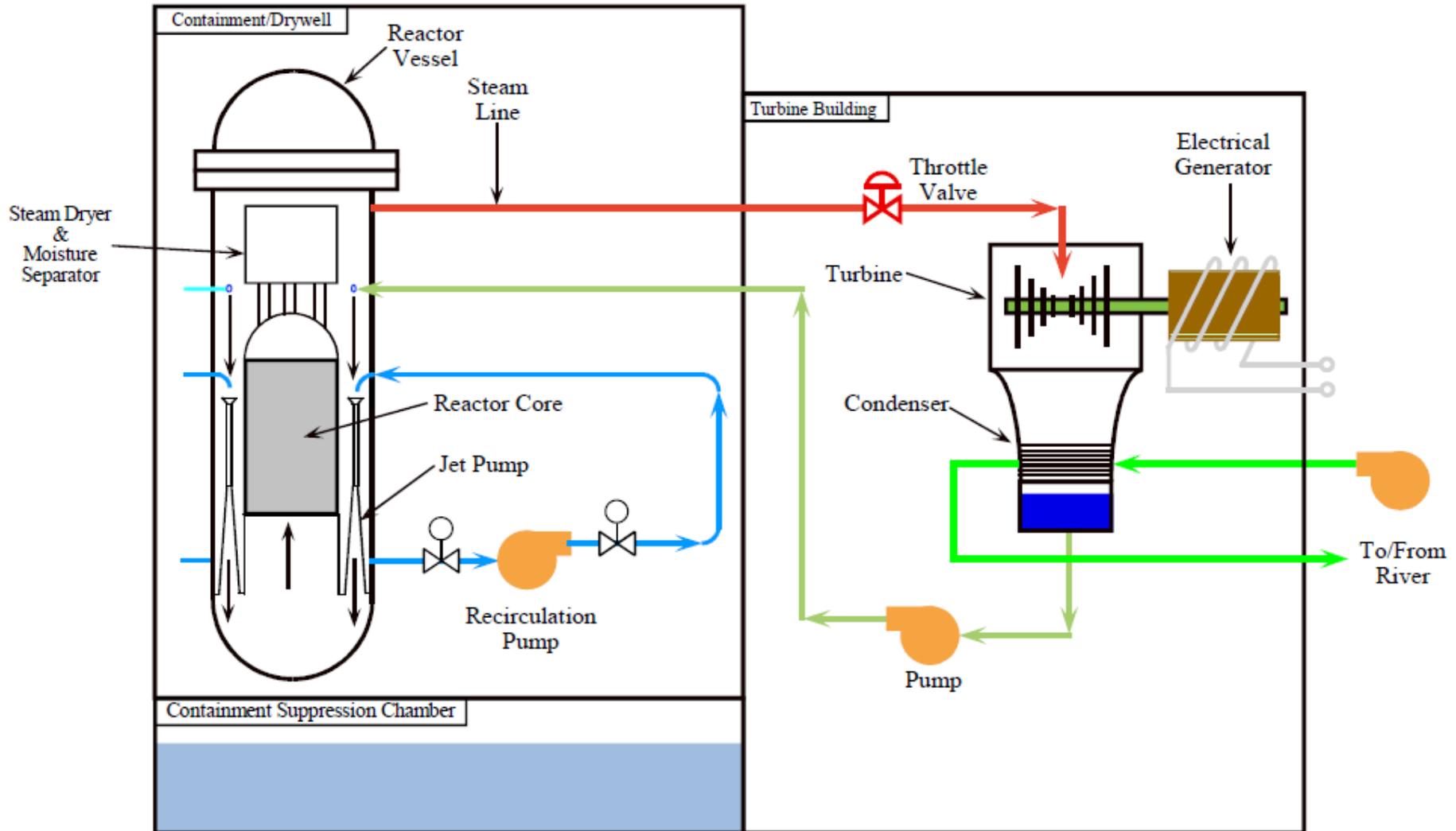
Induced radioactivity

↑
元素

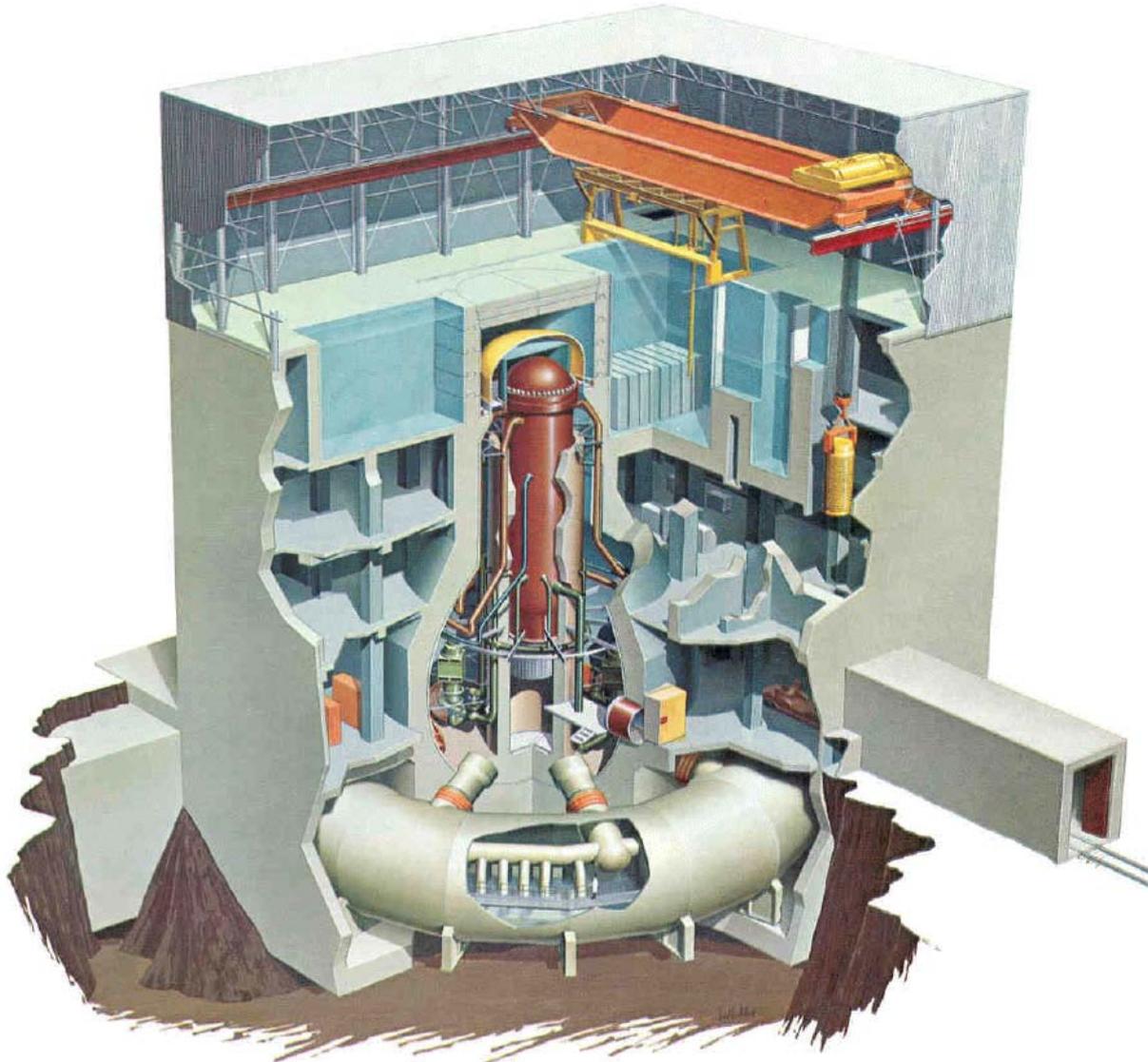
同位体 →



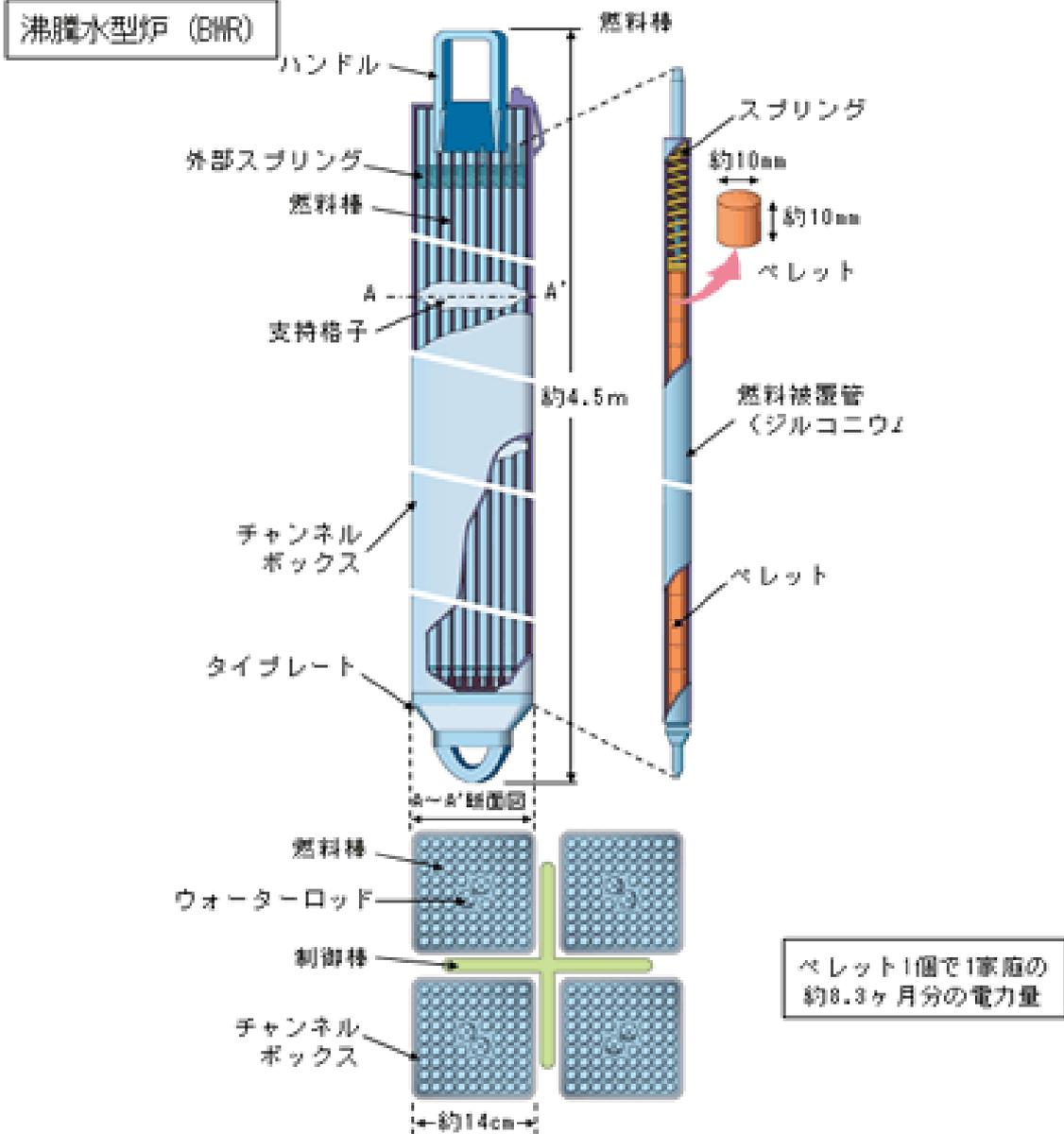
BWR (沸騰水型)



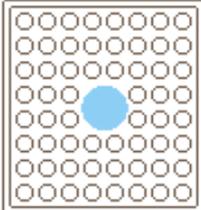
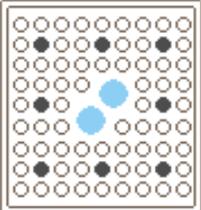
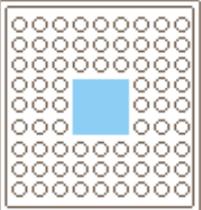
BWR-3 Mark I (沸騰水型)



燃料集合体の構造と制御棒



Fuel assemblies (by type) Comparison of the basic specifications

Type	High burn-up 8x8	9x9 (A type)	9x9 (B type)
Schematic			
Fuel assembly sequence	8x8	9x9	9x9
Number of fuel rods	60	74	72
Hitoshi Hitoshi uranium-235 enrichment	3.4 (Wt%)	3.7 (Wt%)	3.7 (Wt%)
Plutonium enrichment	- (Wt%)	- (Wt%)	- (Wt%)
Mean burning time extraction	39.5 (GWd / t)	45 (GWd / t)	45 (GWd / t)
Aggregate maximum burnup	50 (GWd / t)	55 (GWd / t)	55 (GWd / t)
Diameter rod	12.3 (mm)	11.2 (mm)	11.0 (mm)
Water rod shape	Tube (large diameter)	Tube (large diameter)	Square tube
Number of water rods	1	2	1
Remarks	<ul style="list-style-type: none"> ● Water rod ■ Water channels ● The partial length fuel rods 		

■ Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

Power plant	炉内の燃料 集合体数	Breakdown by type of fuel in the reactor			
		High burn-up 8 × 8	9 × 9 (A type)	9 × 9 (B type)	MOX 8 × 8
Unit 1	400	68	-	332	-
Unit 2	548	-	-	548	-
Unit 3	548	-	516	-	32
Unit 4	548	-	-	548	-
Unit 5	548	-	-	548	-
No. 6	764	-	-	764	-

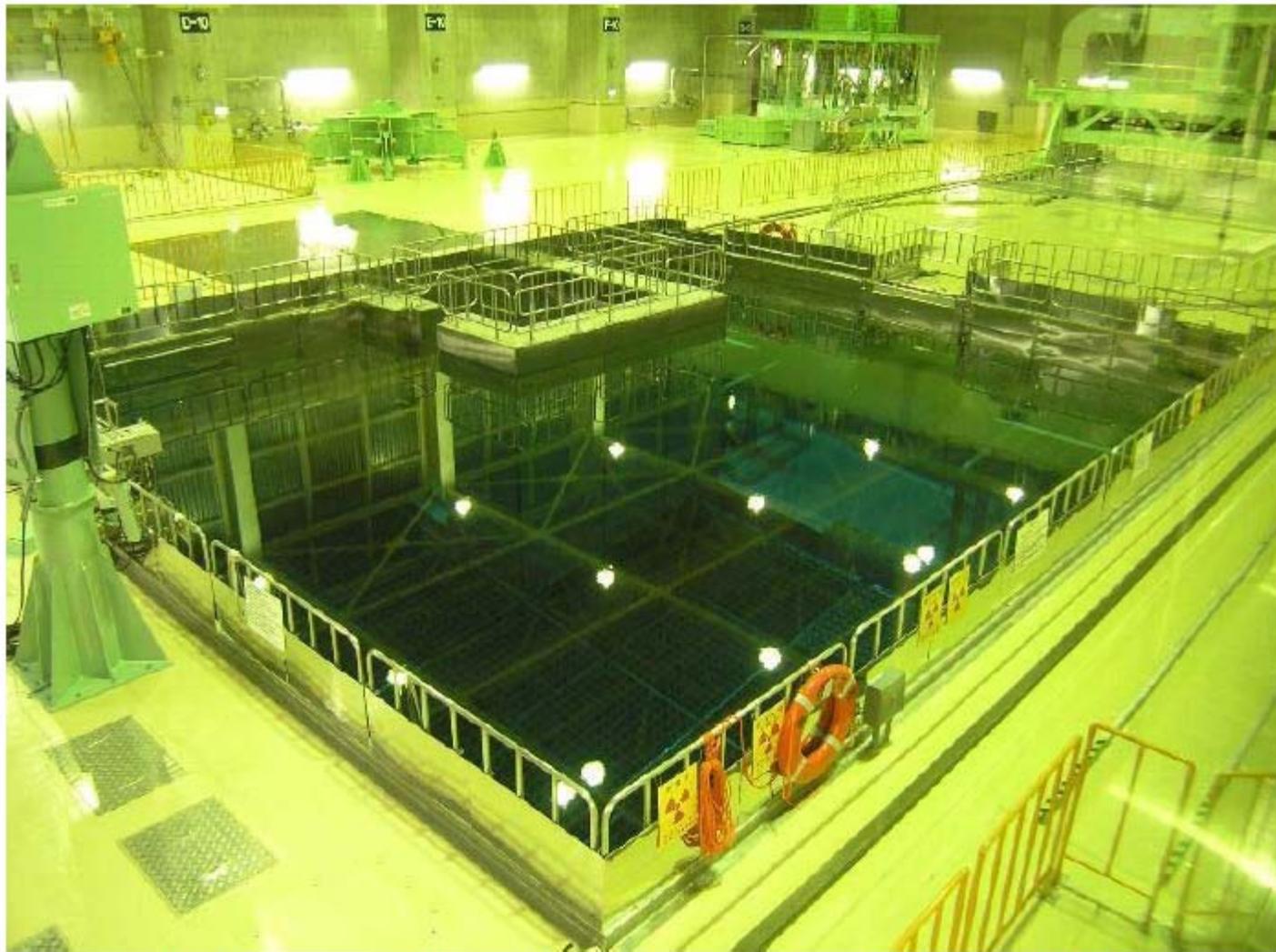
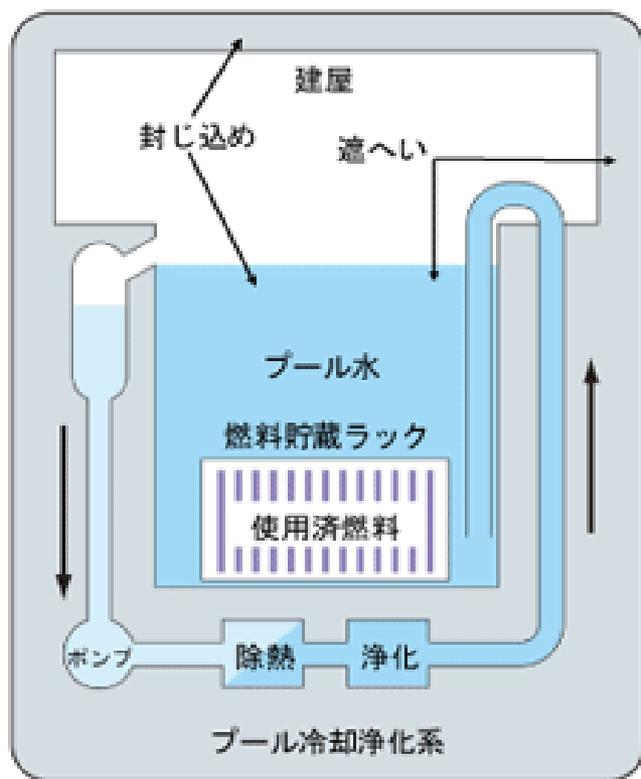


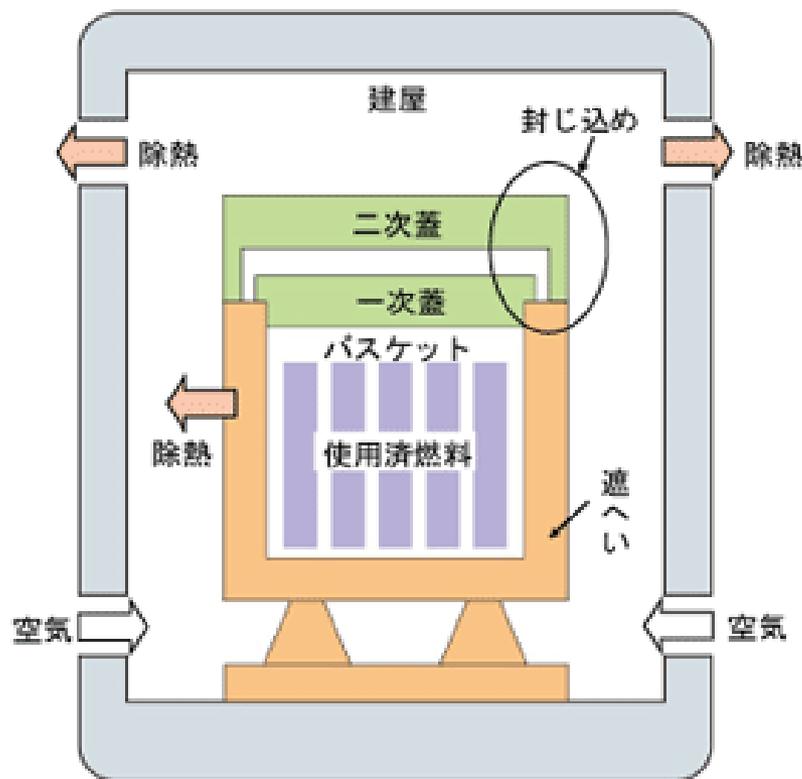
図 12-1 使用済燃料プール (女川 3 号機)

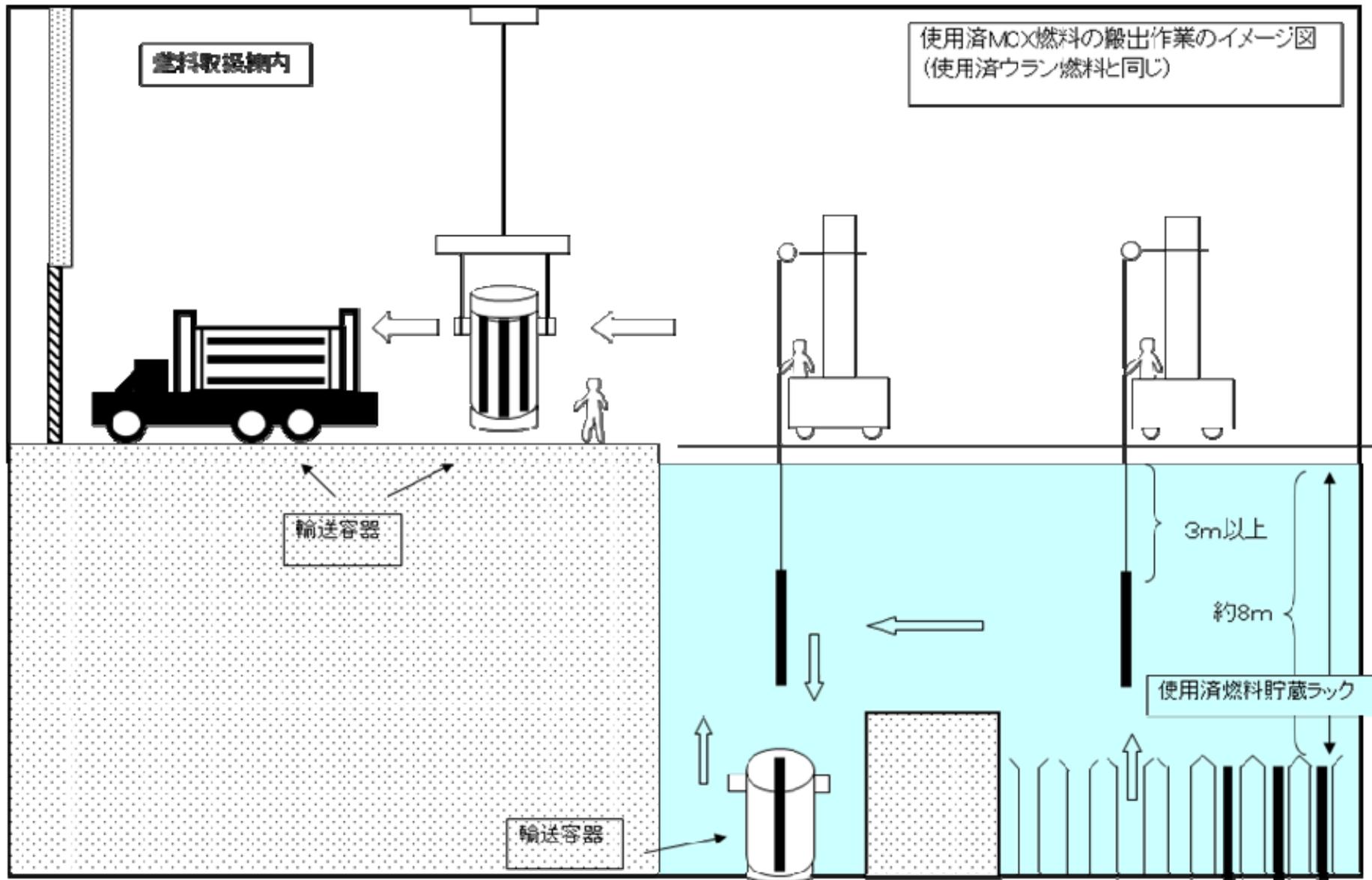
使用済燃料の中間貯蔵方式（例）

[湿式] プール貯蔵方式

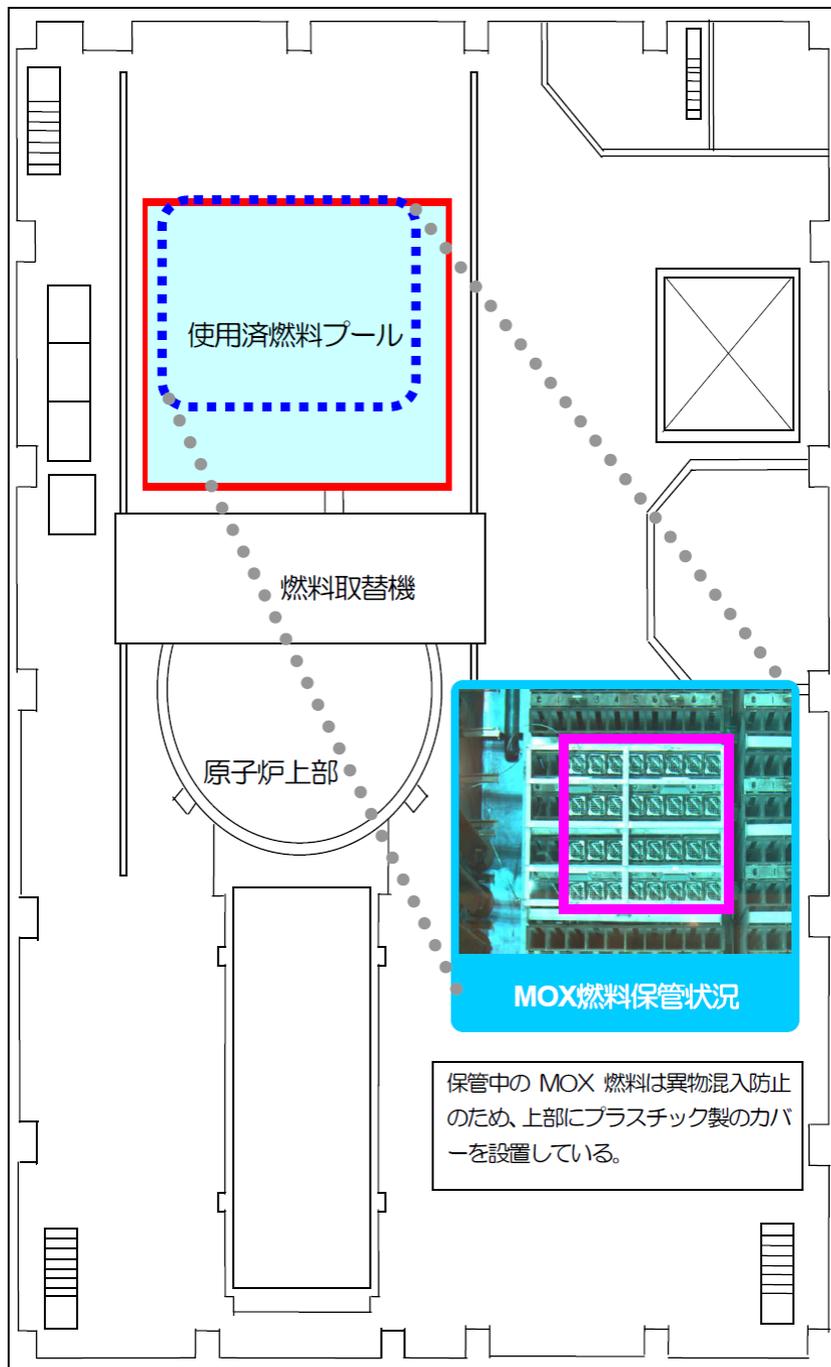


[乾式] 金属キャスク貯蔵方式





福島第一・3号炉燃料プール見取り図



福島第一・第二

福島第一の見取り図



使用済燃料共用プールについては、1～6号炉の各号炉の使用済燃料プールで19ヶ月以上冷却された使用済燃料が貯蔵され、その貯蔵容量は1～6号炉炉心装荷量の合計の約200%である

Max 6840 assemblies of spent fuel in a water pool (currently 6600)

福島第一：津波による被害

- 想定を大きく上回る津波（10m超）が襲来
 - － 地層、古文書等によって、福島第一・第二原発付近で確認されていた最大の津波は3m程度とのこと
 - － 第一原発の敷地高さは5mほど
- 多くの重要な設備が使用不能に（以下は言及があった情報、詳細は未確認）
 - － ディーゼル発電機用の燃料タンク流失、配管破損
 - － 同発電機冷却のための海水ポンプ破損
 - － 海水取り込みのためのポンプ破損
 - － 原子炉建屋内への海水の浸水による配電盤・制御盤の破損
 - － 外部からの受電系統が使用不能（鉄塔の倒壊等）（地震の揺れによる破損の可能性もあり）

重要な機能の喪失

- すべてのディーゼル発電機が動作不能に。外部からの受電も停止
 - 「全交流電源喪失」: 動作や制御に必要な電力がほとんど確保できず
 - 蒸気によって作動するごく限られた系統以外の冷却システムが使用不能
- 海水の取り込みが不能に
 - 「最終ヒートシンク喪失」: 原子炉内部の熱を速やかに外部へ放出することが不可能に
 - 原子炉内からの水を循環させても、熱を捨てられないため、「冷やす」機能が極めて限定的に

安全確保に必要な手順

- 原子炉を止める
 - － 制御棒を挿入し、核反応を止める
- 原子炉を冷やす
 - － 核燃料が持つ熱を冷ます必要
 - － 通常は原子炉から出てくる蒸気を海水を引き込んだ熱交換機で冷却していく
 - － 通常の冷却装置に不具合がある場合等は、非常用炉心冷却装置（ECCS）を用いて強制的に冷却
 - ECCSは複数の独立のシステムがあり、故障に備えている
 - いずれの冷却装置も電力を必要とするので、外部からの給電が途絶えた場合に備えて、2システム以上のディーゼル発電機を各号機が持っており、これにより冷却を継続できる
- 放射性物質を閉じ込める
 - － 原子炉圧力容器や同格納容器の密閉性が確実に保たれる必要

つまり...

– 冷却システムの動作

- 原子炉そのものを冷やすシステムは複数あるので多少の故障には頑健
- いずれかのシステムが作動する必要
- 原子炉の熱を速やかに取るためには、海水に熱を捨てる必要→海水を取り込むポンプや配管の動作が保たれることが必要

– 電力供給の確保

- 上記の装置の作動や制御システムの動作のために、電力供給が確保されることが必要

– 閉じ込め機能の確保

- 圧力容器や格納容器が破損してはならない

The 2 Big Problems

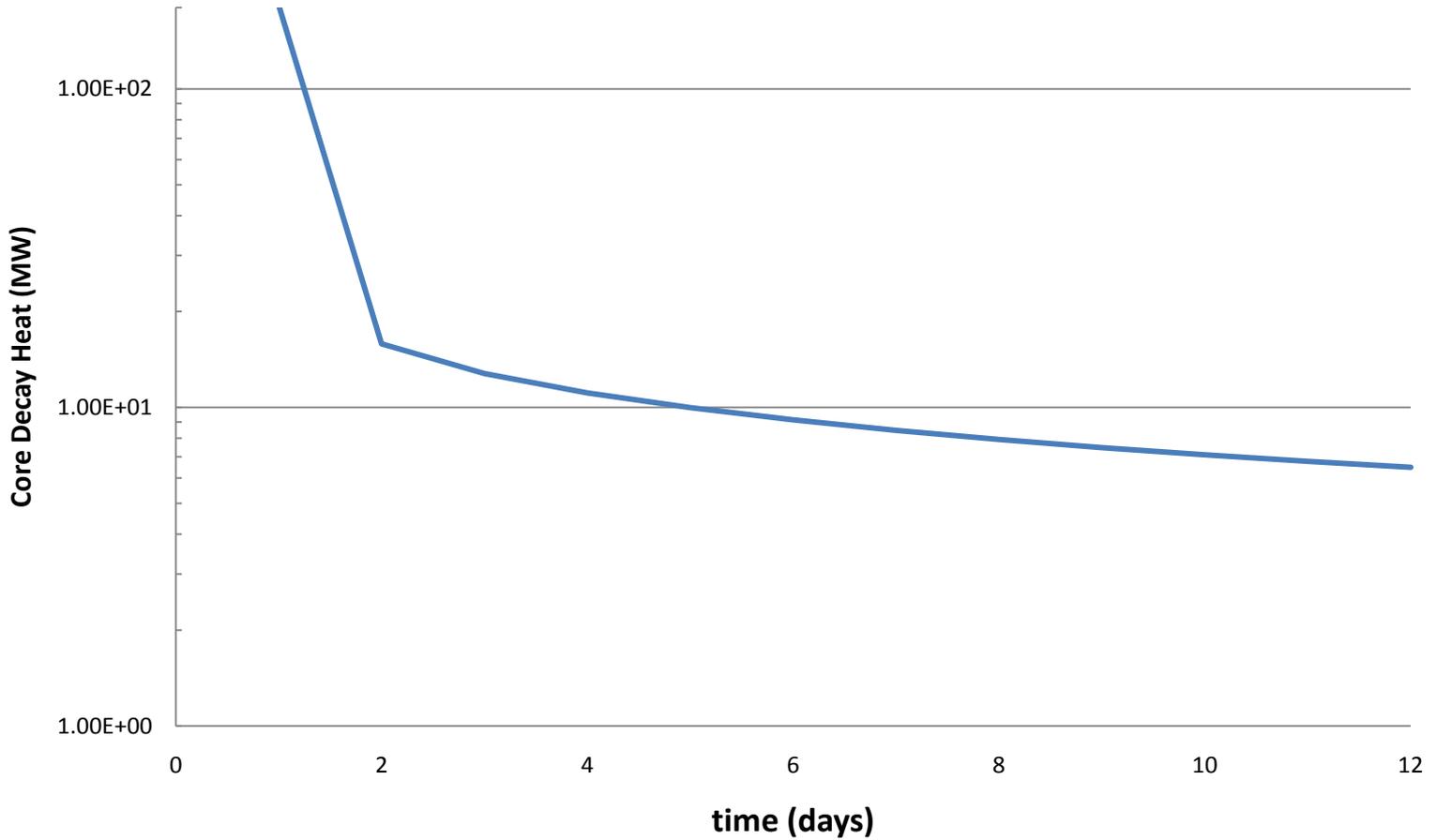
- **Loss of Coolant System for the Reactors**
 - Due to **All AC Power Loss** (Station Black Out)
 - Loss of coolant injection and circulation
 - Loss of control systems
 - Due to **Loss of Ultimate Heat Sink** (UHS)
 - Loss of sea water circulation
 - Make Difficult to Maintain the Reactor Controllable and Unhazardous
- **Loss of Coolant System for the Spent Fuel Pools**
 - Due to **All AC Power Loss**
 - Loss of water circulation and pouring
 - Due to **Loss of Ultimate Heat Sink** (UHS)
 - Loss of sea water circulation
 - Make Difficult to Maintain Spent Fuels Harmless

(1) 原子炉の冷却

- 電源と最終ヒートシンクの喪失による
- 原子炉内が十分に冷やされず高温になり、水が沸騰して炉内・格納容器内の圧力が高まってしまう
- 核燃料を覆う金属(被覆管:ジルコニウム合金製)が高温により水と反応(発熱反応)して水素が発生→水素爆発の危険と圧力のさらなる増加
- 被覆管の損傷により、燃料棒内の核分裂生成物が冷却水中に漏洩
- 高い圧力により圧力容器・格納容器が破壊されると、放射性物質が大量に外部に放出される可能性が出てくる

Results of ORIGEN calculations for assumed burn-up:

Total Core Decay Heat



発熱量の推定

- 崩壊熱：
 - 8日目の崩壊熱量：7MW
 - 水の気化熱：2200J/g = 2200 W・秒/g
 - $7,000,000 \text{ W} \div 2200 \text{ W} \cdot \text{秒/g} = 3200 \text{ g/秒}$ の水を循環させる必要。
- Zr酸化反応（発熱； > 摂氏800度、水蒸気中）：
 - $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2 + 586 \text{ kJ/mol}$
 - 炉心中のZrの全量：32,000 kg = 350,000 mol
 - すべて酸化したら、
 - 水素：700,000 mol発生
 - 水：13トン消費
 - 熱： $2 \times 10^8 \text{ kJ}$

(2) 使用済み燃料の冷却

- 使用済み核燃料プールを水で満たし、冷却・遮蔽することが難しくなった
 - － 各号機建屋内には「使用済み核燃料プール」が存在
 - － 水で満たした中に收容することで、熱を除去し、また、放射線を遮蔽している(通常は放射性物質は被覆管内に閉じ込められているので、漏洩の心配はない)
 - － 通常はポンプにより水を循環させ、蒸発分を注水することで維持
 - － 電源喪失によって蒸発を止められず、次第に温度上昇・水位低下
 - － 水位が下がりすぎて使用済み燃料が露出してしまうと、やはり熱による被覆管損傷→水素発生、放射性物質漏洩
 - － プールは容器等で密閉されていないため、この状態に至ると放射性物質の漏洩につながる
- 炉に比べて事態の進行は遅いが、必ず対処が必要。3/15頃から問題が表面化

原子炉の現状と今後

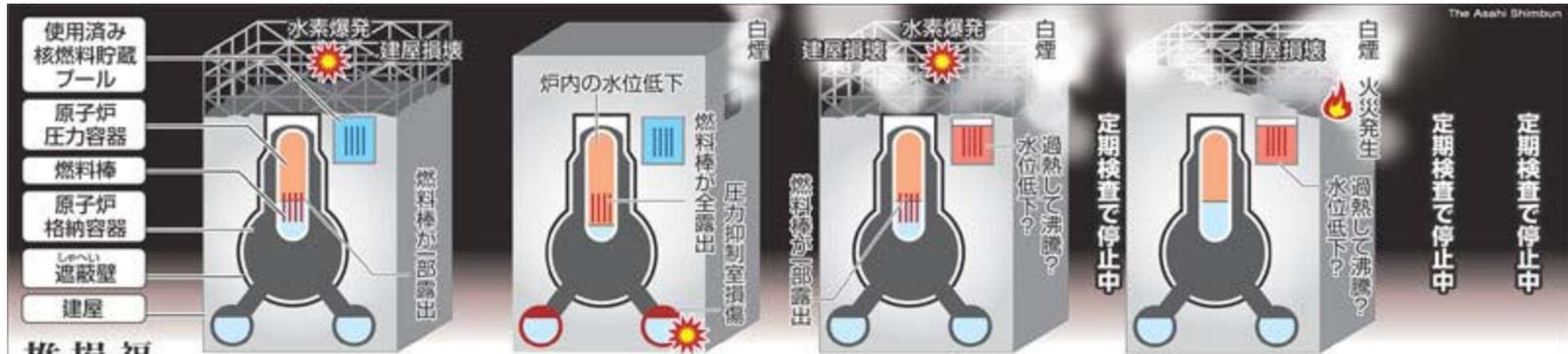
- 必死の注水作業継続が奏功したと思われ、原子炉内・格納容器内の圧力や水位はこれまでのところ安定
 - 「爆発」等の危険は低下
 - 放射性物質の漏洩も大きく増加するなどはしていない模様
- 注水の継続は「冷やす」効果以外にも、遮蔽効果が大きい
- 今後、外部電源が回復し、かつ、本来の冷却装置が稼働すれば、状況がいつそう落ち着く可能性が期待できる

使用済み燃料プールに 対する対応：放水

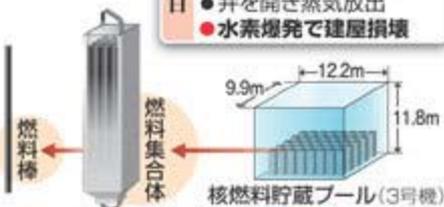
- 使用済み燃料プールには圧力はかかっておらず、容器等で覆われてもいないので、本来は注水は容易
- しかし、3号機プールではすでに水位が下がり、燃料棒が露出してしまっていたこともあり、放射線量の増加が現場に入っでの作業を不可能に
- そこで、ヘリからの海水投下、高圧消防車からの放水等が試みられている

使用済み燃料プールの現状と見通し

- 3号機については、水の蒸発は炉に比べればずっと緩やかなので、現状の放水を継続的に行えれば水位回復が期待できる
 - 水位の回復は冷却・遮蔽・放射性物質の拡散防止のいずれにも大きな効果
- 新しい使用済み燃料が多い(=発熱が多い)4号機は温度上昇と水位低下が報告され、状況が懸念された
 - 現在の情報では温度も問題なし、水位も十分とのこと
- 1、2号機も水位や温度は注視する必要があるだろう
- 自衛隊によるサーモグラフィーを使った観測では、各号機とも40°C以上の部分は確認されず→プールも安全な温度に保たれている可能性
- 5、6号機はディーゼル電源が各1台(計2台)回復し、水の循環を再開、温度も低下中
- 外部電源が回復すれば、いずれの号機でも本来の注水・循環機能が復活し、水位を回復できる可能性



福島第一原発
損傷状況の
推移



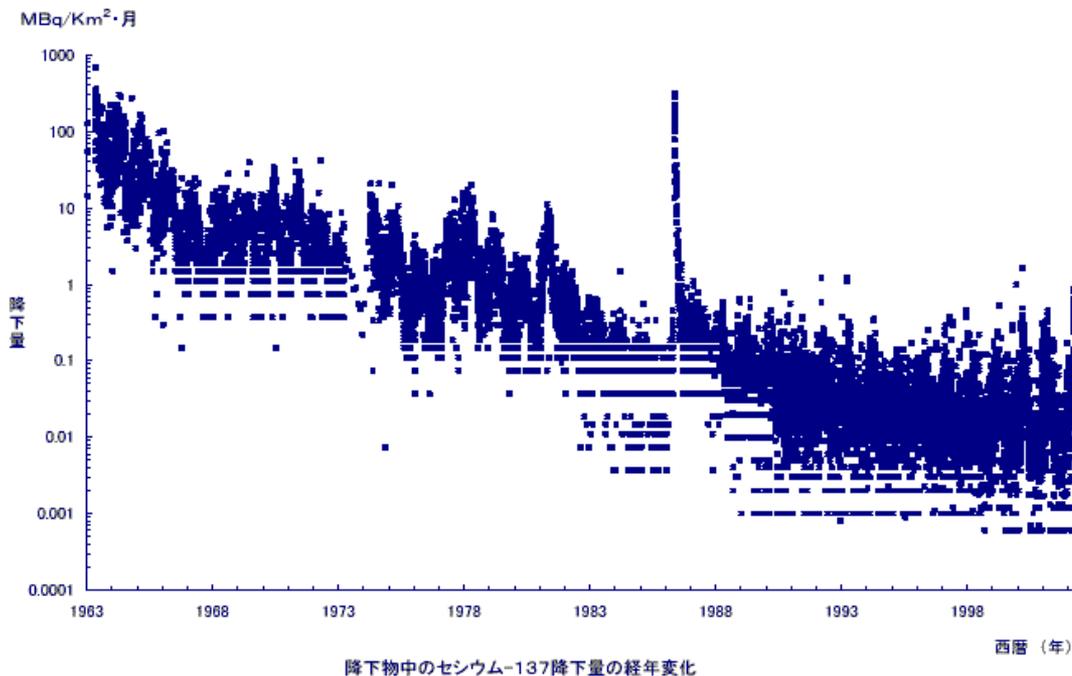
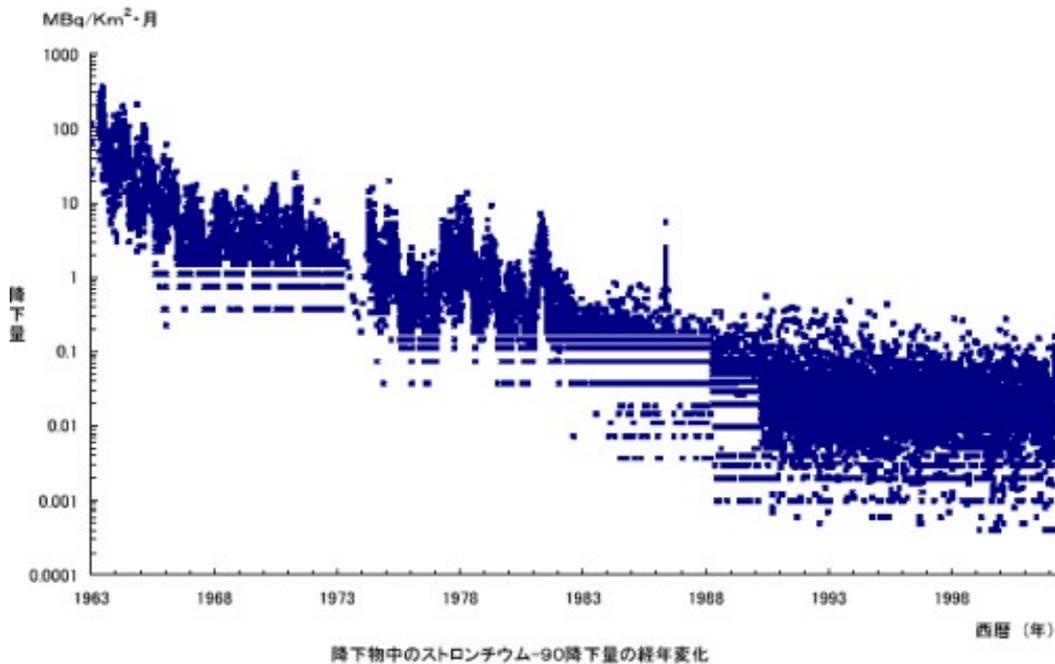
	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
3月11日	自動停止 ●緊急炉心冷却システム (ECCS) 不全	11日 自動停止 ECCS不全	11日 自動停止 ECCS不全			
12日	●圧力容器に海水注入 ●燃料棒が一部露出 ●弁を開き蒸気放出 ●水素爆発で建屋損壊	●冷却システム停止 ●圧力容器に海水注入 ●燃料棒が全部露出 ●弁を開き蒸気放出	●冷却システム停止 ●燃料棒が一部露出 ●弁を開き蒸気放出 ●圧力容器に海水注入	●爆発で建屋損壊、出火。燃料プールのデータ不明に ●建屋の破片から放射能汚染を検出 ●非常用冷却システムに不具合判明		
15日		●格納容器内の高濃度放射能を含む蒸気を放出 ●爆発で圧力抑制室 (格納容器) を損傷	●水素爆発で建屋損壊	●再度の出火		
16日			●白煙が噴出		●燃料プールの水温上昇	
17日			●自衛隊などによる放水			
18日					●朝の時点で水温上昇中	
容量	1020 立方メートル	1425	1425	1425	1425	1497
燃料棒 (燃料集合体)	292 本	587	514	1331	946	876
燃料の発熱量	6万 [*] キロカロリー/時	40万	20万	200万	70万	60万
使用済み燃料棒の状態	? 不明	? 不明	▲ 損傷の疑い	▲ 損傷の疑い	○	○
原子炉内燃料棒	▲ 損傷の疑い	▲ 損傷の疑い	▲ 損傷の疑い	炉内になし	○	○
原子炉格納容器	○ 安全と説明	▲ 損傷の疑い	○ 安全と説明	○ 安全	○	○
建屋	× 損傷	○ 安全と説明	× 損傷	× 損傷	○	○

プール内の燃料棒は燃料棒を多数束ねた「燃料集合体」の本数

福島第二：安定状態を回復

- 第二では、4基のうち3基で海水ポンプが故障
 - 海水による速やかな冷却が不可能に
 - 冷却水温度の上昇、格納容器内圧力の上昇
- しかし、外部電源は維持
- ポンプも無事だった3号機は通常通り「冷温停止」(12日)
- 他の3機はポンプのモーターを交換し、海水による冷却水の冷却を再開(3/14)
- 各号機とも冷温停止に成功(3/14-15)

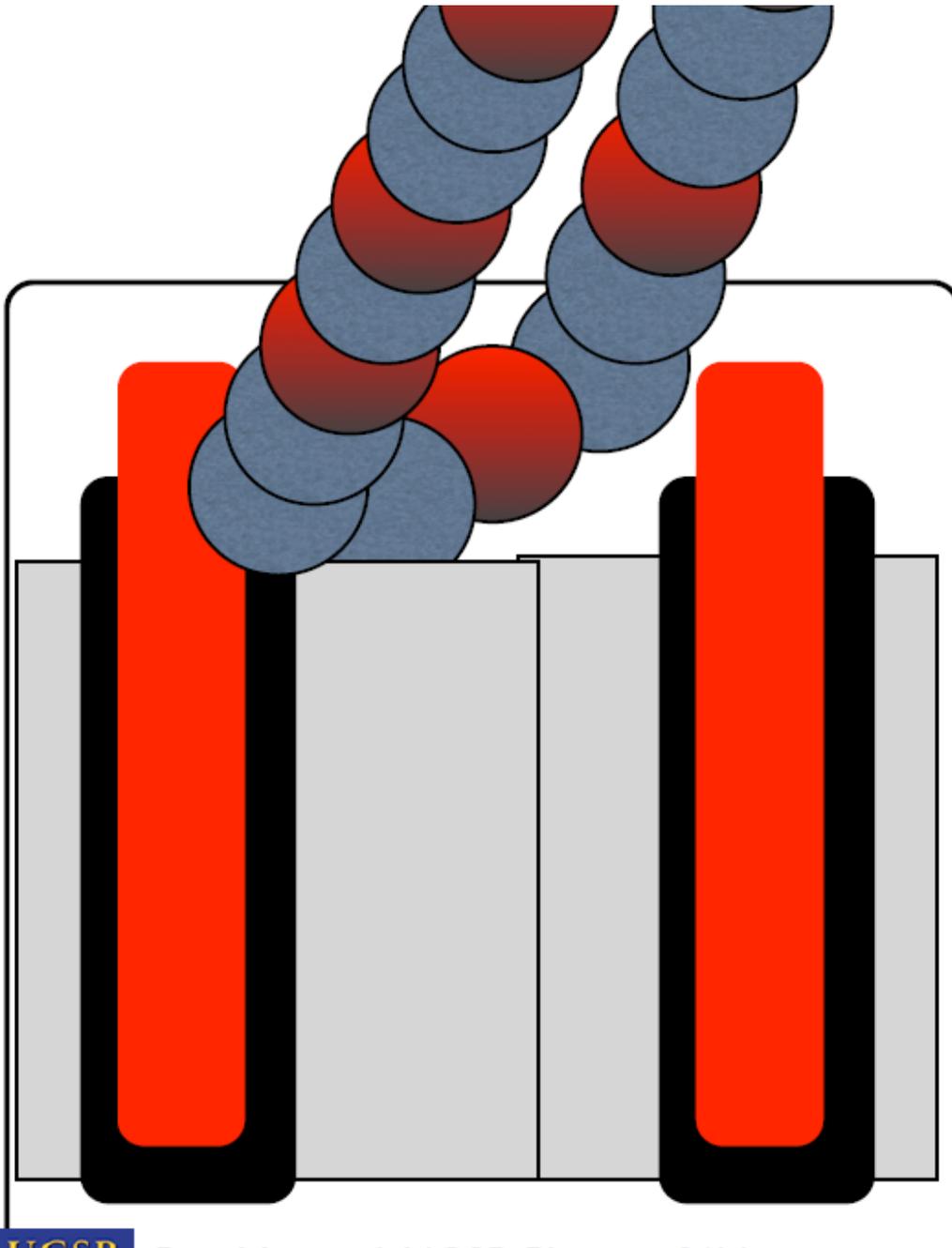
過去の事象との比較



1981年以降大気圏内核実験が停止されたため、月間降下量は減少。しかし、1986年にチェルノブイリ原子力発電所事故の影響により一時的に増加。

<http://getnews.jp/archives/105218>

Chernobyl



no real “containment vessel”

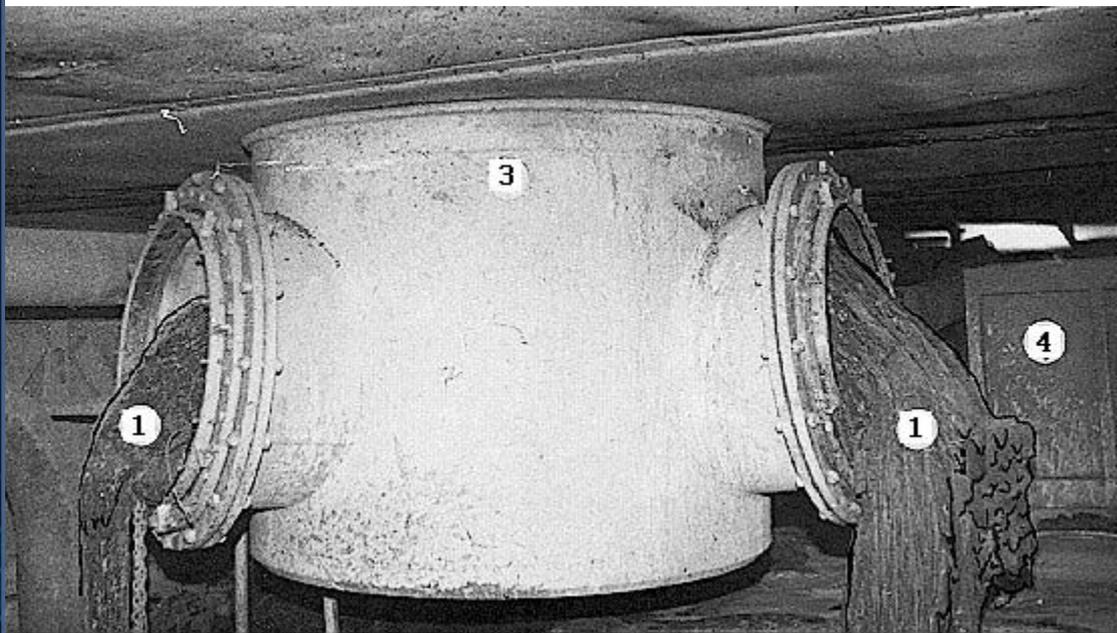
Core filled with graphite
(fuel for huge fire)

Reactor *fissioning during explosions and fire*

(Fukushima reactors have now been “off” for 5 days)



Three Mile Island
Core



Chernobyl
Core

NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENTS

Classification of accidents according to the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)

Examples

Chernobyl, Ukraine - 1986
Widespread health and environmental effects. External release of significant fraction of core

Level 7:
Major Accident

Kyshtyn, Russia - 1957
Significant release of radioactive material from explosion of waste tank

Level 6:
Serious Accident

Three Mile Island, U.S. - 1979
Severe damage to reactor core

Level 5:
Accident with wider consequences

Tokaimura, Japan - 1999
Fatal overexposures of workers following a criticality event at a nuclear facility

Level 4:
Accident with local consequences

Sellafield, Britain - 2005
Release of large quantity of radioactive material, contained within the installation

Level 3:
Serious Incident

Cadarache, France - 1993
Spread of contamination to an area of the facility not expected by design

Level 2:
Incident

Any break of operating limits at a nuclear facility

Level 1:
Anomaly

ACCIDENT

INCIDENT

“Tritium” (hydrogen)																18 8A																											
1 1A H Hydrogen 1.01															2 8A He Helium 4.00																												
Key																																											
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>11</td> <td>—</td> <td>Atomic number</td> </tr> <tr> <td>Na</td> <td>—</td> <td>Element symbol</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>—</td> <td>Element name</td> </tr> <tr> <td>22.99</td> <td>—</td> <td>Average atomic mass*</td> </tr> </table>																11	—	Atomic number	Na	—	Element symbol	Sodium	—	Element name	22.99	—	Average atomic mass*																
11	—	Atomic number																																									
Na	—	Element symbol																																									
Sodium	—	Element name																																									
22.99	—	Average atomic mass*																																									
2 2 2A Li Lithium 6.94	4 2A Be Beryllium 9.01											13 3A B Boron 10.81	14 4A C Carbon 12.01	15 5A N Nitrogen 14.01	16 6A O Oxygen 16.00	17 7A F Fluorine 19.00	18 8A Ne Neon 20.18																										
3 Na Sodium 22.99	12 2A Mg Magnesium 24.31	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B	13 3A Al Aluminum 26.98	14 4A Si Silicon 28.09	15 5A P Phosphorus 30.97	16 6A S Sulfur 32.07	17 7A Cl Chlorine 35.45	18 8A Ar Argon 39.95																										
4 K Potassium 39.10	Ca Calcium 40.08	Sc Scandium 44.96	Ti Titanium 47.87	V Vanadium 50.94	Cr Chromium 52.00	Mn Manganese 54.94	Fe Iron 55.85	Co Cobalt 58.93	Ni Nickel 58.69	Cu Copper 63.55	Zn Zinc 65.39	Ga Gallium 69.72	Ge Germanium 72.61	As Arsenic 74.92	Se Selenium 78.96	Br Bromine 79.90	Kr Krypton 83.80																										
5 Rb Rubidium 85.47	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.91	Zr Zirconium 91.22	Nb Niobium 92.91	Mo Molybdenum 95.94	Tc Technetium (98)	Ru Ruthenium 101.07	Rh Rhodium 102.91	Pd Palladium 106.42	Ag Silver 107.87	Cd Cadmium 112.41	In Indium 114.82	Sn Tin 118.71	Sb Antimony 121.76	Te Tellurium 127.6	I Iodine 126.90	Xe Xenon 131.29																										
6 Cs Cesium 132.91	Ba Barium 137.33	La Lanthanum 138.91	Hf Hafnium 178.49	Ta Tantalum 180.95	W Tungsten 183.84	Re Rhenium 186.21	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.22	Pt Platinum 195.08	Au Gold 196.97	Hg Mercury 200.59	Tl Thallium 204.38	Pb Lead 207.2	Bi Bismuth 208.98	Po Polonium (209)	At Astatine (210)	Rn Radon (222)																										
7 Fr Francium (223)	Ra Radium (226)	Ac Actinium (227)	Rf Rutherfordium (261)	Db Dubnium (262)	Sg Seaborgium (266)	Bh Bohrium (264)	Hs Hassium (269)	Mt Meitnerium (268)																																			
Cesium																																											
Iodine																																											
Uranium and Plutonium																																											
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>58 Ce Cerium 140.12</td> <td>59 Pr Praseodymium 140.91</td> <td>60 Nd Neodymium 144.24</td> <td>61 Pm Promethium (145)</td> <td>62 Sr Samarium 150.36</td> <td>63 Eu Europium 151.96</td> <td>64 Gd Gadolinium 157.25</td> <td>65 Tm Thulium 168.93</td> <td>66 Dy Dysprosium 162.50</td> <td>67 Ho Holmium 164.93</td> <td>68 Er Erbium 167.26</td> <td>69 Tm Thulium 168.93</td> <td>70 Yb Ytterbium 173.04</td> <td>71 Lu Lutetium 174.97</td> </tr> <tr> <td>90 Th Thorium 232.04</td> <td>91 Pa Protactinium 231.04</td> <td>92 U Uranium 238.03</td> <td>93 Np Neptunium (237)</td> <td>94 Pu Plutonium (244)</td> <td>95 Am Americium (243)</td> <td>96 Cm Curium (247)</td> <td>97 Bk Berkelium (247)</td> <td>98 Cf Californium (251)</td> <td>99 Es Einsteinium (252)</td> <td>100 Fm Fermium (257)</td> <td>101 Md Mendelevium (258)</td> <td>102 No Nobelium (259)</td> <td>103 Lr Lawrencium (262)</td> </tr> </table>																58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sr Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tm Thulium 168.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)
58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sr Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tm Thulium 168.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97																														
90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)																														
<p>* If this number is in parentheses, then it refers to the atomic mass of the most stable isotope.</p>																																											

注目すべき放射性核種

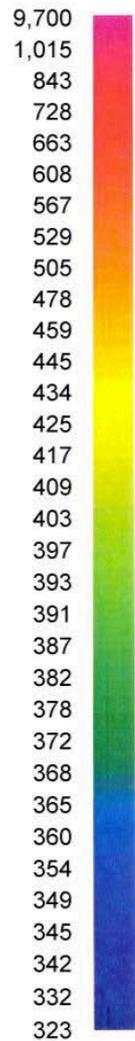
核種	半減期	備考
ヨウ素131	8日	環境における移動性が高い。チェルノブイリの時はヨーロッパ各地で最も早く観測された。
セシウム137	30年	チェルノブイリの時は周辺住民に30年間で1ミリシーベルト相当の線量をもたらした。
ストロンチウム90	30年	さらにそれよりも低い線量をもたらしたが、土壌に残存する度合いが高い。Caと類似の性質を持ち、体内で造骨組織に向かいやすい。

放射線・放射能の単位

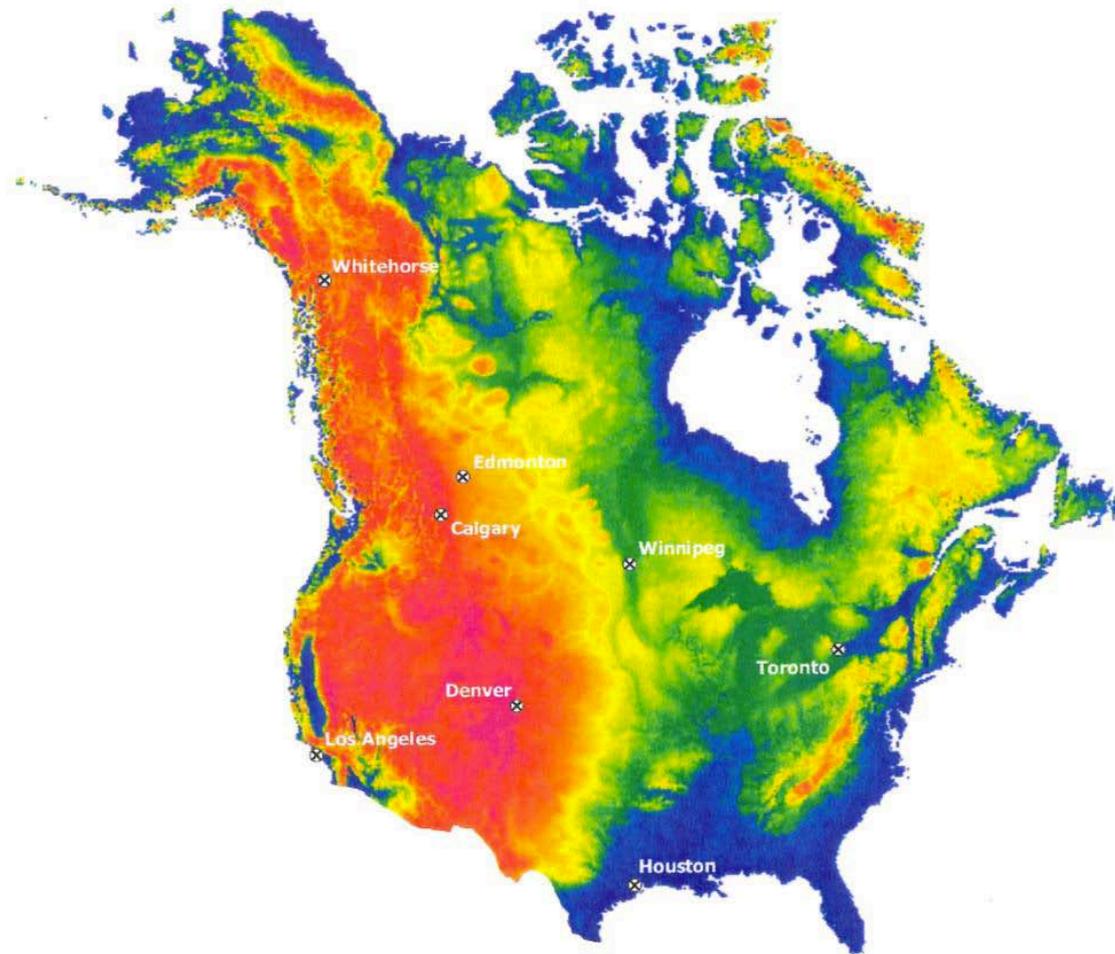
- 放射能：
 - 1ベクレル：1秒間に崩壊する原子の数
 - 1キュリー＝370億ベクレル（おおよそ、1グラムのラジウムの放射能）
- 線量：
 - 1グレイ：
 - 1ジュールのエネルギーが1kgの物質に付加されたとき
 - 1シーベルト：1グレイ×線質係数×体内分布係数
 - セシウム、ヨウ素の場合はほぼグレイ＝シーベルト

日常の被曝の程度

- 体内のカリウム40: $\sim 0.2\text{mSv/年}$
- 空気中のラドン: $\sim 1\text{ mSv/年}$
- 飛行機搭乗(東京—NY往復): $\sim 0.2\text{mSV}$
- デンバーに引っ越し: ベイエリアに比べて 1mSv/年 追加

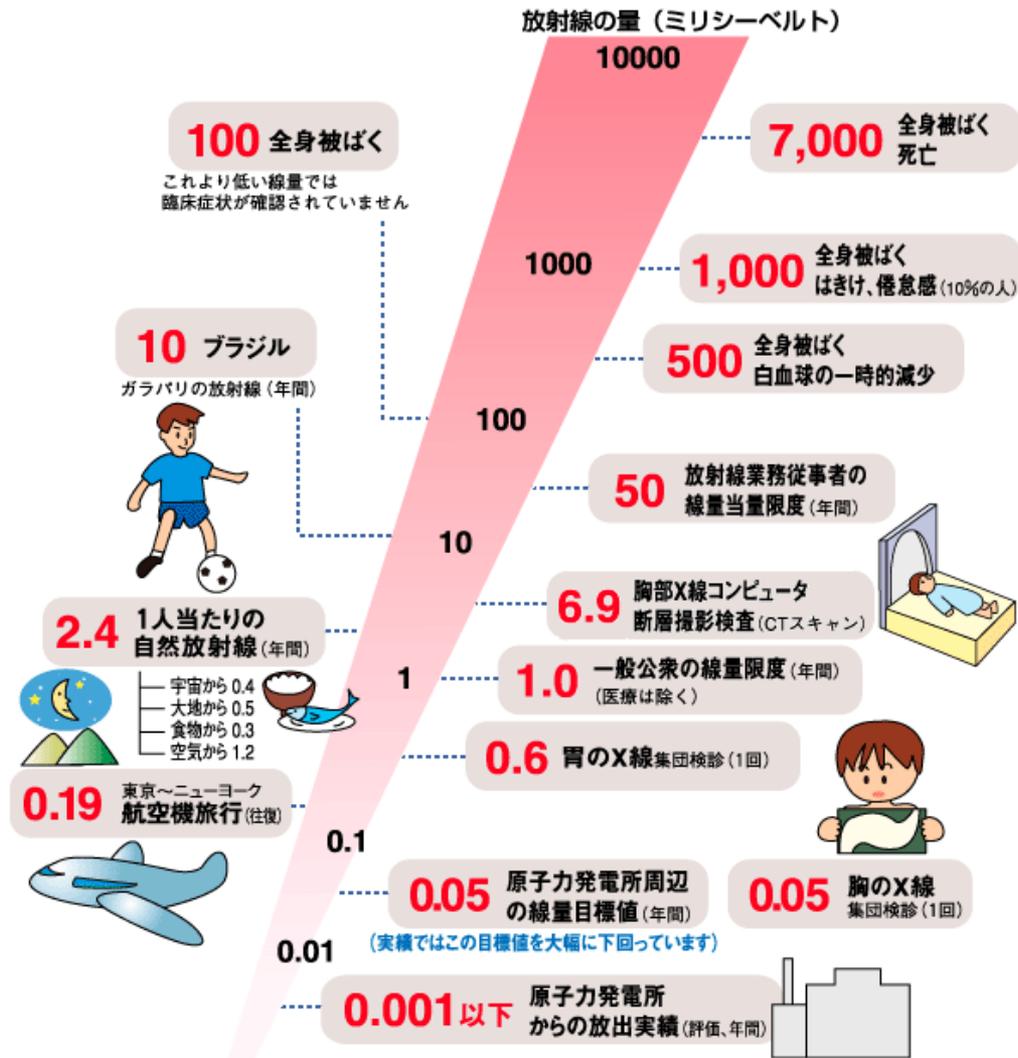


Annual Dose
(μSv)



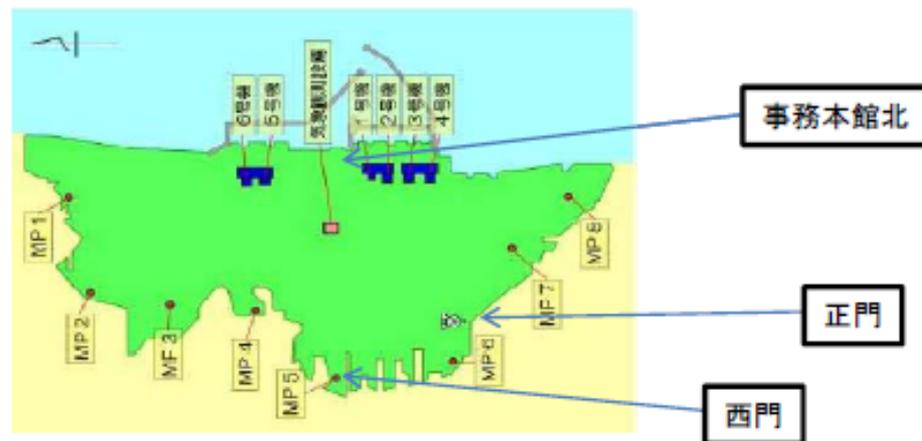
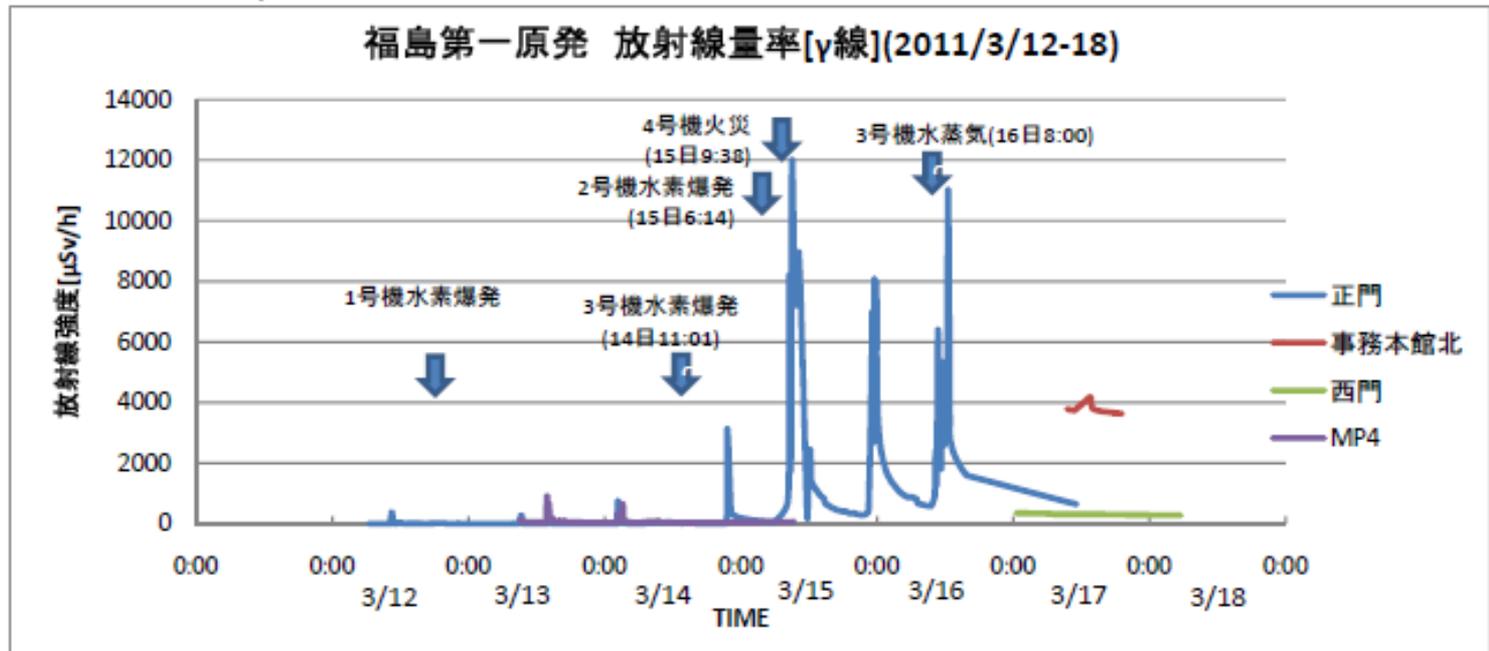
<http://hps.org/hpspublications/radiationfactsheets.html>

日常生活と放射線



出典：「2000年国連科学委員会報告」「国際放射線防護委員会の2007年勧告」等

福島第一原発 放射線モニタリングデータ(発電所正門、事務本館北、西門)
 環境エネルギー政策研究所 作成 2011/3/18
 参照データ: 東京電力プレスリリース: 福島第一原子力発電所の現状について



各地の放射線量レベル

- 東海村(茨城;20日):180~440ナノグレイ/時
 - 1.6~3.9ミリシーベルト/年相当
- 川崎(神奈川;20日):38~58ナノグレイ/時
 - 0.3~0.5ミリシーベルト/年相当
- 大阪(15日):37~57ナノグレイ/時
 - 0.3~0.5ミリシーベルト/年相当

文部科学省原子力安全課
原子力環境防災ネットワーク

<http://www.bousai.ne.jp/tex/index.php>

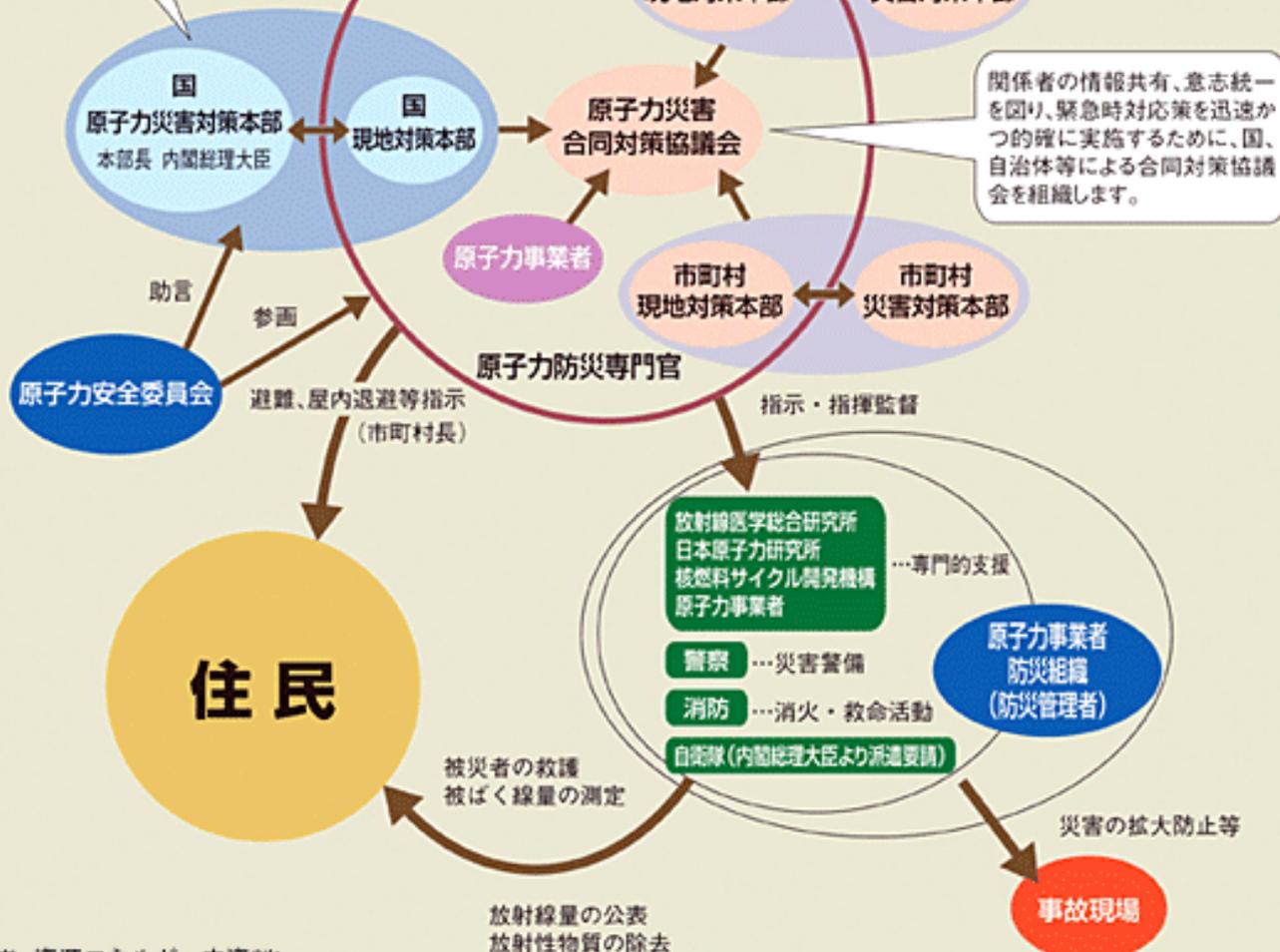
緊急時

内閣総理大臣は、原子力緊急事態宣言を発出すると同時に、自らが本部長となる原子力災害対策本部を内閣府に設置します。

オフサイトセンター

オフサイトセンター

原子力緊急時に、国、自治体、事業者が一堂に会する施設で原子力施設立地地点の近くにあります。



[参考：資源エネルギー庁資料]

疑問

- 原子炉のシステム
- 何が起きているのか、
- そもそも原因は？
- 今後の展開は？
 - 最悪シナリオ
 - 時間スケール
- 人体への影響は？
- 環境への影響は？
- 産業への影響は？
- 電力会社、政府、などの運営・責任体制
- 将来への教訓