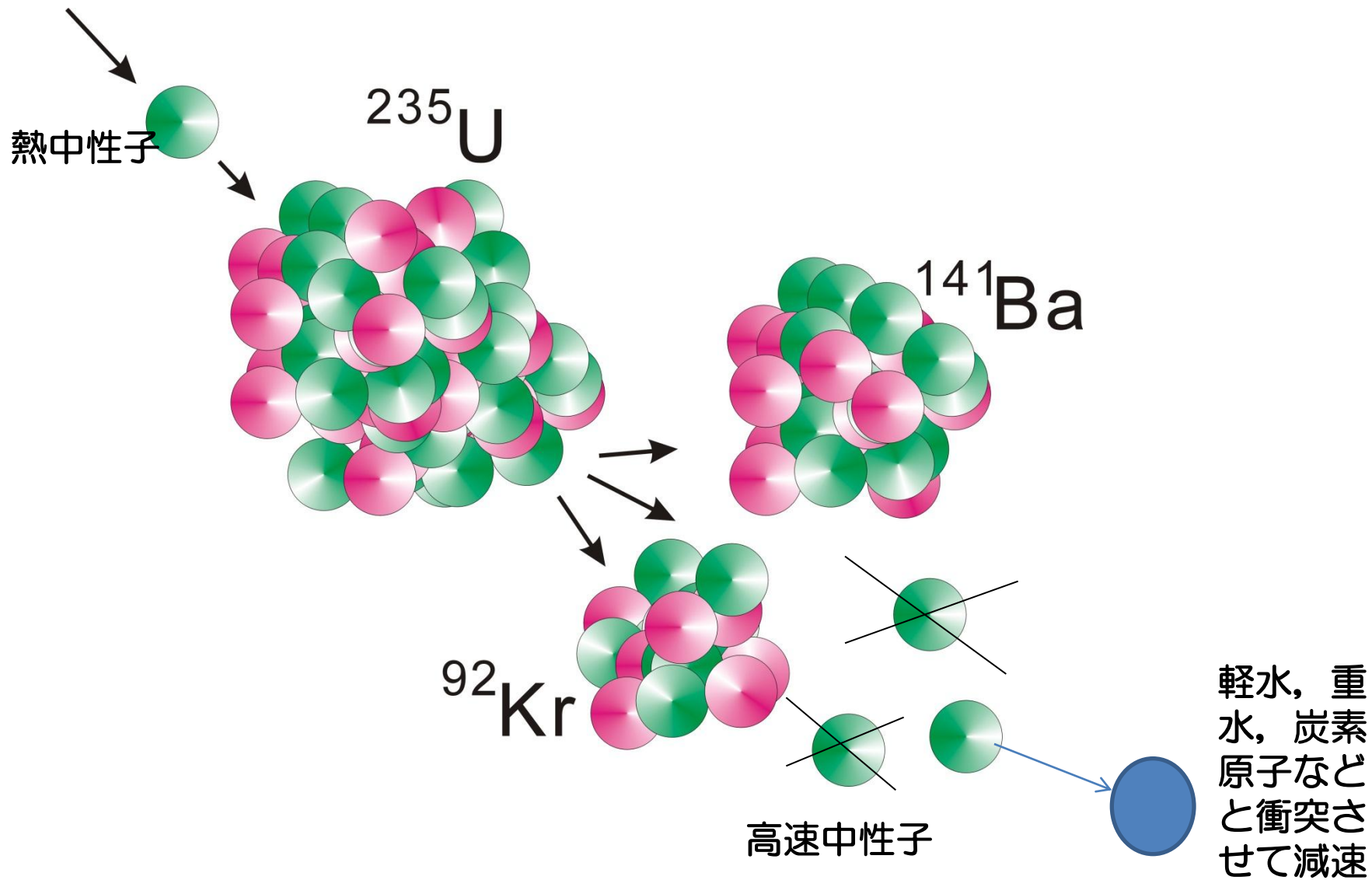


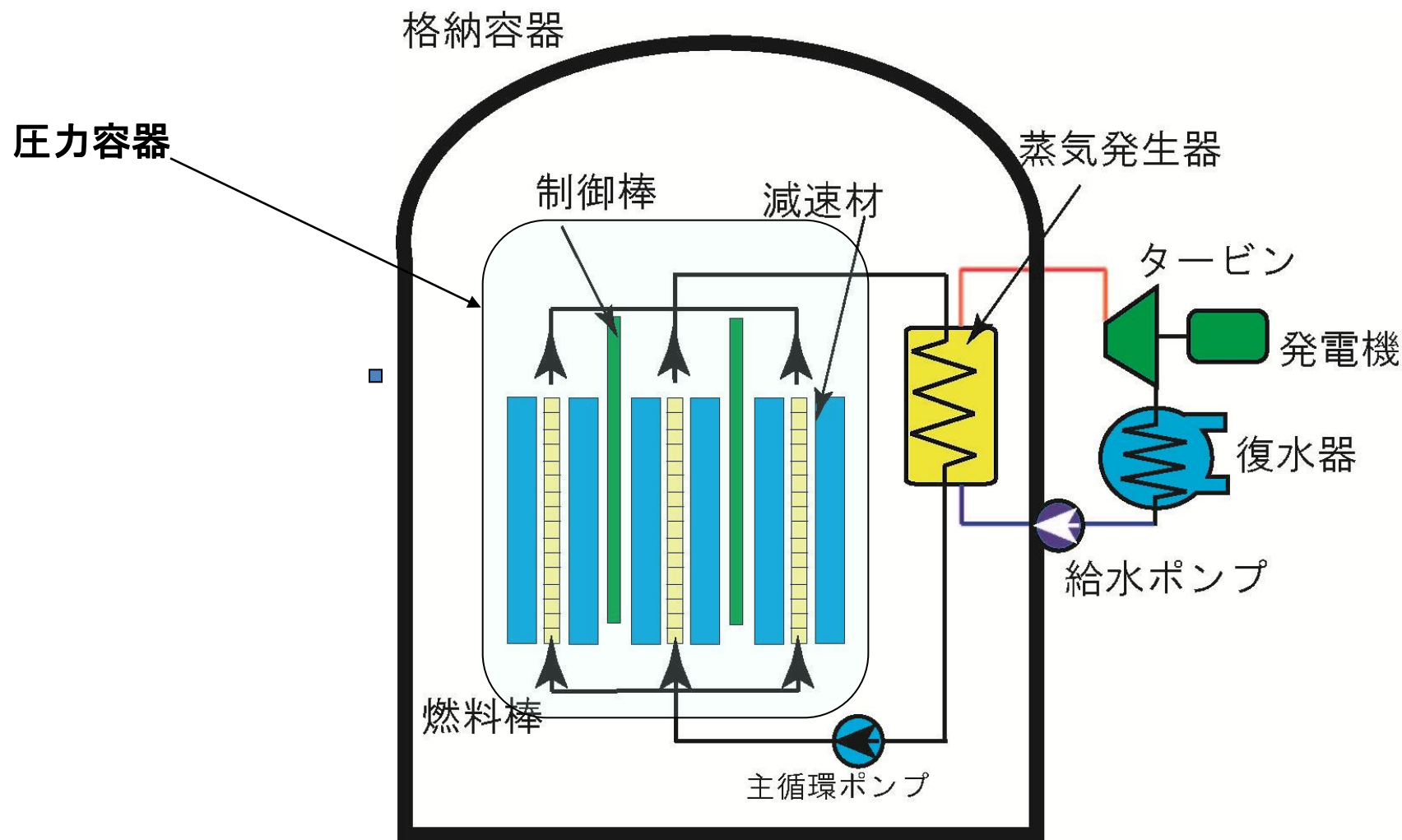
原子力発電所の事故と 今後の見通し

関西大学・社会安全学部科 小澤 守

核分裂とは

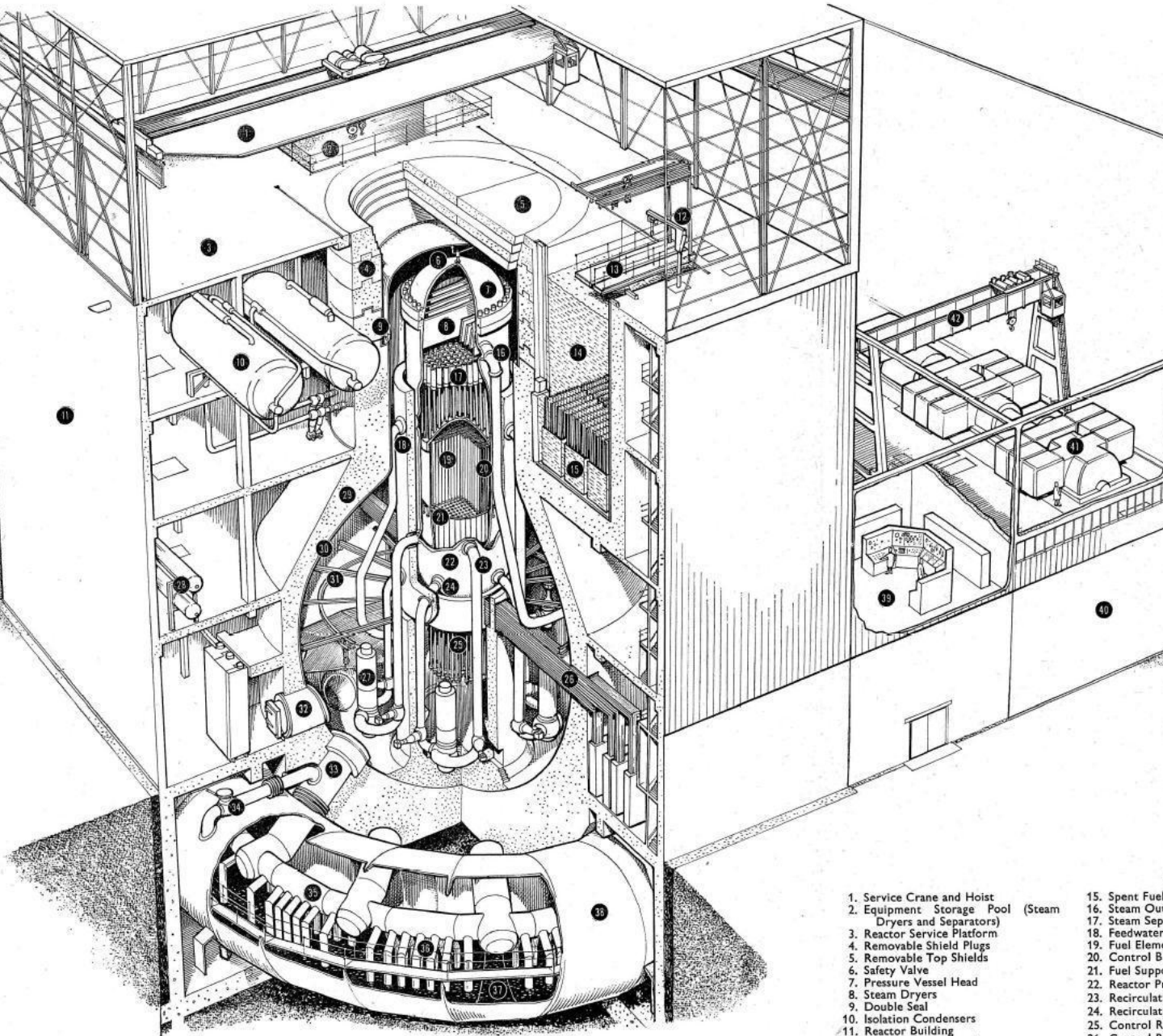


原子炉・原発の原理



OYSTER CREEK

The World's Reactors No. 40

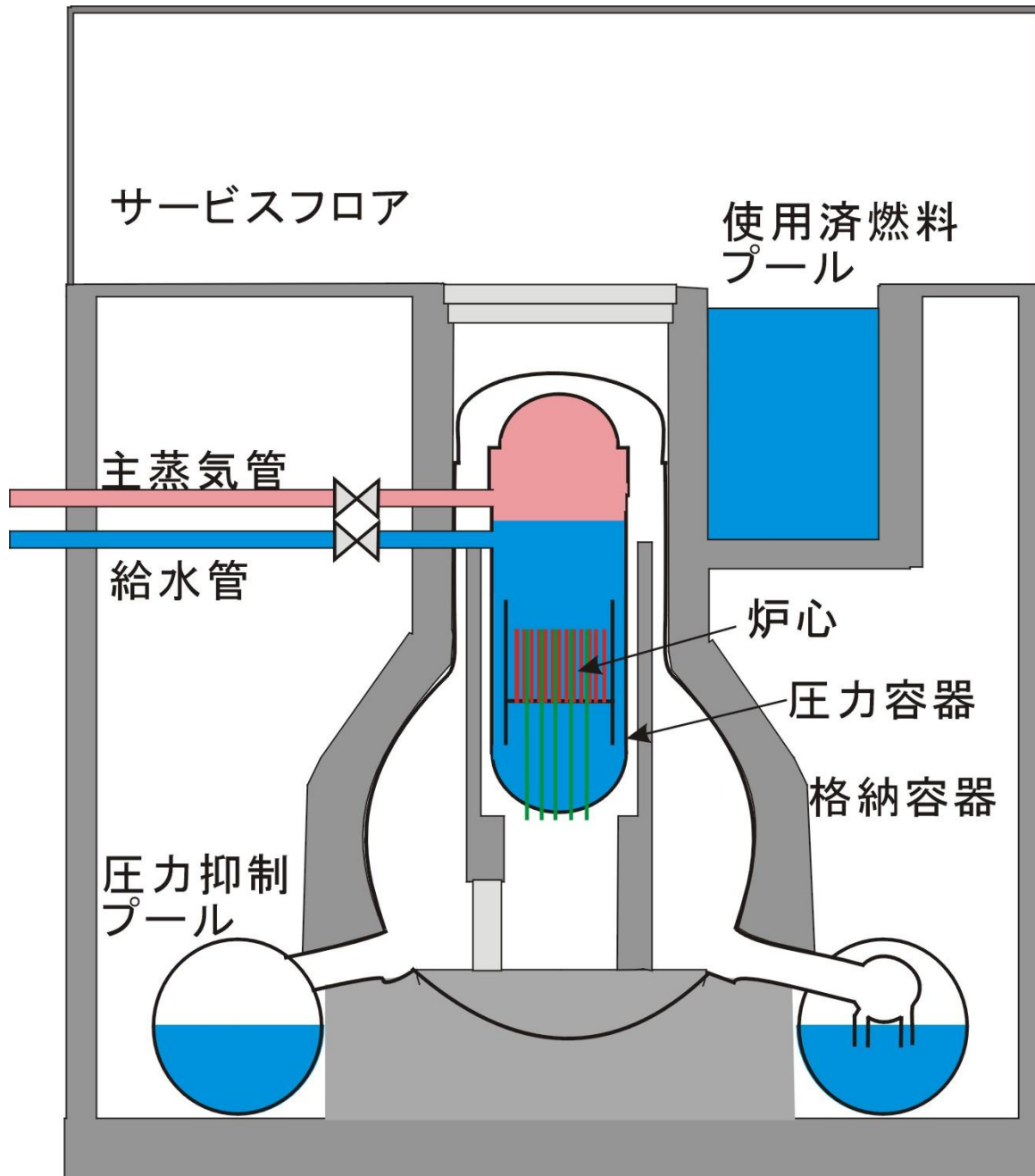


OWNER	Jersey Central Power & Light Co.
LOCATION	Ocean County, New Jersey, U.S.A.
TYPE	Forced circulation, direct cycle, BWR
OUTPUT	515 MW(e) net 1 600 MW(th)
PRIME CONTRACTOR	General Electric Company
ENGINEER-CONSTRUCTOR	Burns & Roe Inc.
START-UP	1967
CORE	Equivalent diameter: 160.2 in Circumscribed diameter: 170.5 in Heat transfer area: 49 200 ft ² Channel material: Zircaloy
FUEL	Material: Enriched UO ₂ Average burn-up: 16 500 MWd/t (initial core) 22 000 MWd/t (equilibrium core) No. of assemblies: 560 Assembly weight (including channel): 687 lb No. of rods per assembly: 49 Rod outside diameter: 0.570 in Active length: 144 in Cladding material: Zircaloy Cladding thickness: 0.036 in
CONTROL	No. of control blades: 137 Control rod poison material: Boron carbide No. of temporary control curtains: 248 Curtain material: Boron-stainless steel
MODERATOR/COOLANT	Deminerilized light water Reactor steam output: 5 855 000 lb/h Recirculation flow rate: 61 × 10 ⁶ lb/h Pressure: 1 000 psig
PRESSURE VESSEL	Inside diameter: 17 ft 9 in Overall inside height: 63 ft 10 in Wall thickness: 7.125 in Material: Carbon steel Cladding material: Stainless steel Cladding thickness: 0.157 in Design pressure: 1 250 psig
RECIRCULATION LOOPS	Number: 5 Pipe outside diameter: 26 in Pump capacity: 32 000 gal/min each Pump type: Centrifugal, mechanical seal Feed water temperature: 150°C
TURBINE GENERATOR	Number: 1 Type: Tandem-compound, six-flow, reheat Turbine inlet pressure: 965 psia Turbine exhaust pressure, 1.0 in Hg abs Speed: 1 800 rpm Generator rating at 0.8 p.f.: 625 000 kVA Voltage: 24 000 V Gross output: 540 MW(e)

KEY

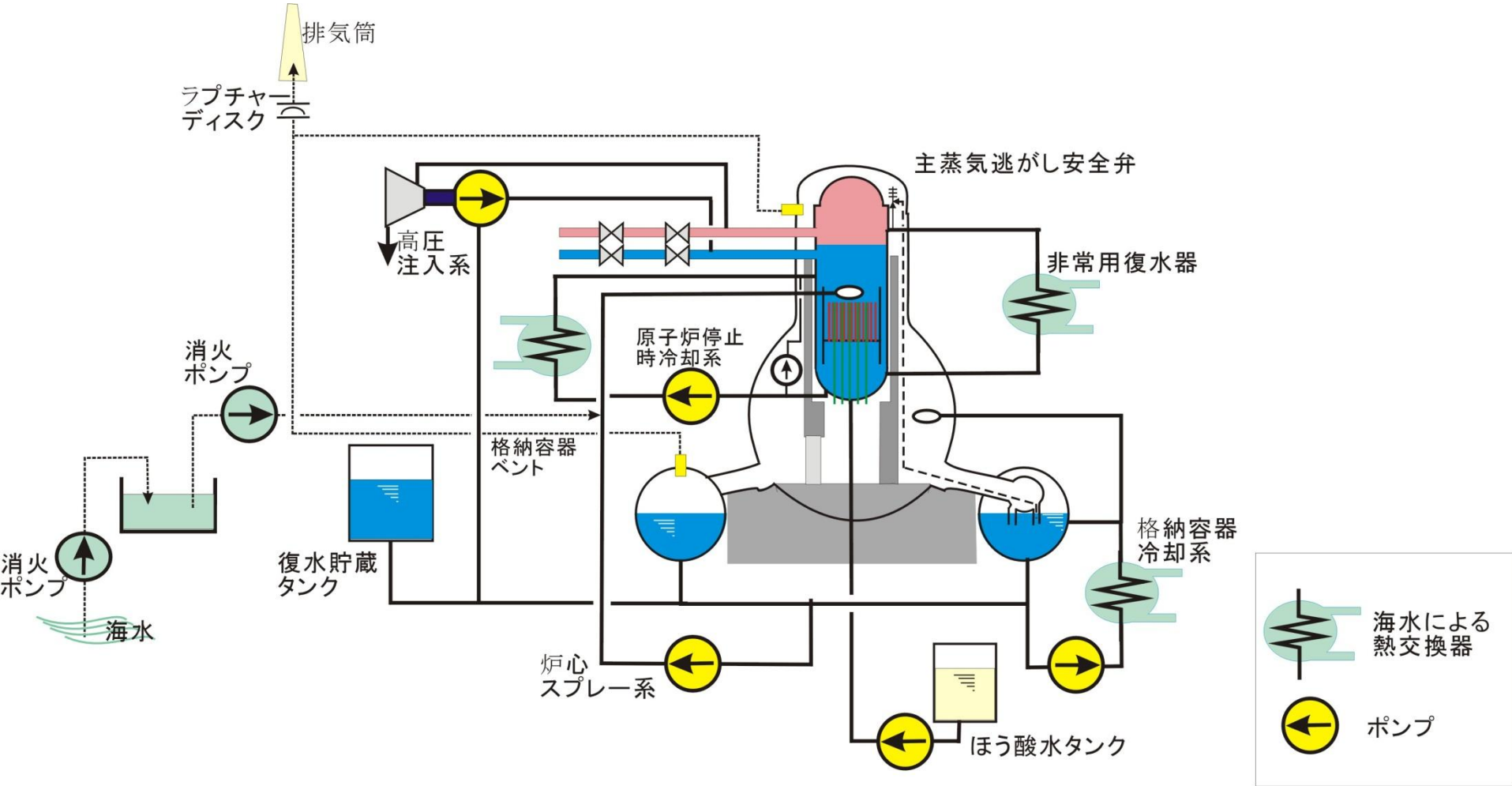
- | | | |
|---|------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Service Crane and Hoist | 15. Spent Fuel Storage Racks | 29. Drywell Shielding |
| 2. Equipment Storage Pool (Steam Dryers and Separators) | 16. Steam Outlet | 30. Drywell Containment Vessel |
| 3. Reactor Service Platform | 17. Steam Separators | 31. Drywell |
| 4. Removable Shield Plugs | 18. Feedwater Inlet | 32. Personnel and Equipment Hatch |
| 5. Removable Top Shields | 19. Fuel Element Assemblies | 33. Ducts from Drywell to Suppression |
| 6. Safety Valve | 20. Control Blades | 34. Vacuum Breaker |
| 7. Pressure Vessel Head | 21. Fuel Support Grid | 35. Distribution Header |
| 8. Steam Dryers | 22. Reactor Pressure Vessel | 36. Vent Pipes |
| 9. Double Seal | 23. Recirculation Outlet | 37. Suppression Water Pool |
| 10. Isolation Condensers | 24. Recirculation Inlet | 38. Pressure Suppression Torus |
| 11. Reactor Building | 25. Control Rod Drives | 39. Central Control Room |
| 12. Fuel Handling Grapple | 26. Control Rod Drive Piping | 40. Turbine Building |
| 13. Fuel Service Platform | 27. Recirculation Pumps | 41. Turbine Generator |
| 14. Fuel Storage Pool | 28. Shutdown Heat Exchangers | 42. Turbine Service Crane |

BWR3/Mark I

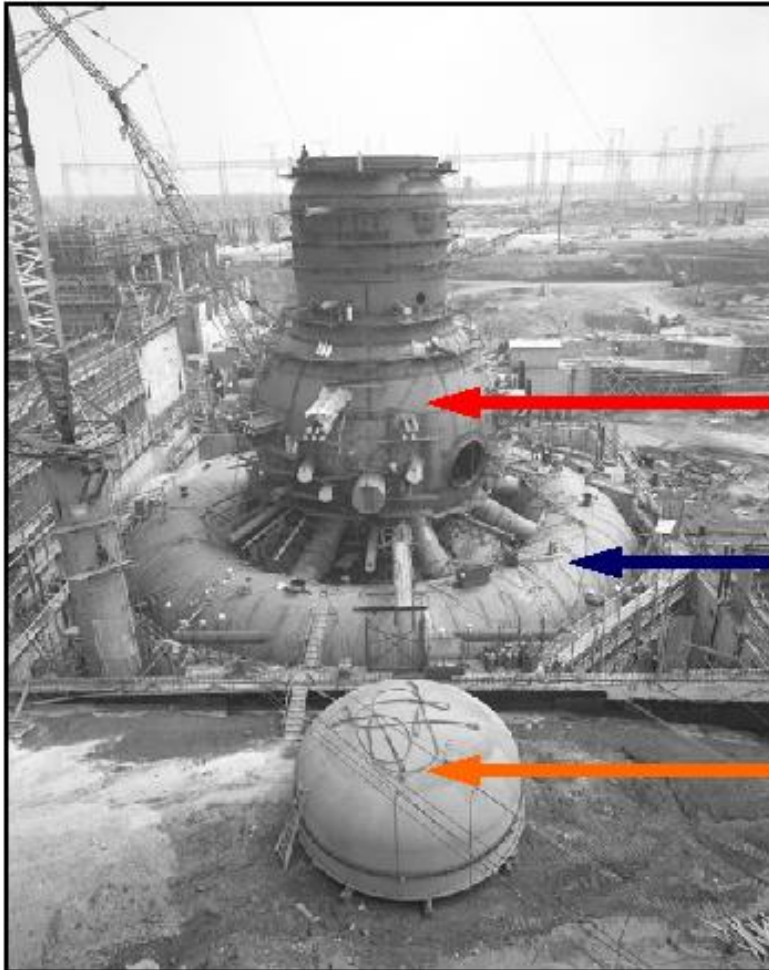


原子炉
建屋

福島第一原発1号機の安全システム



Primary Containment Construction Phase

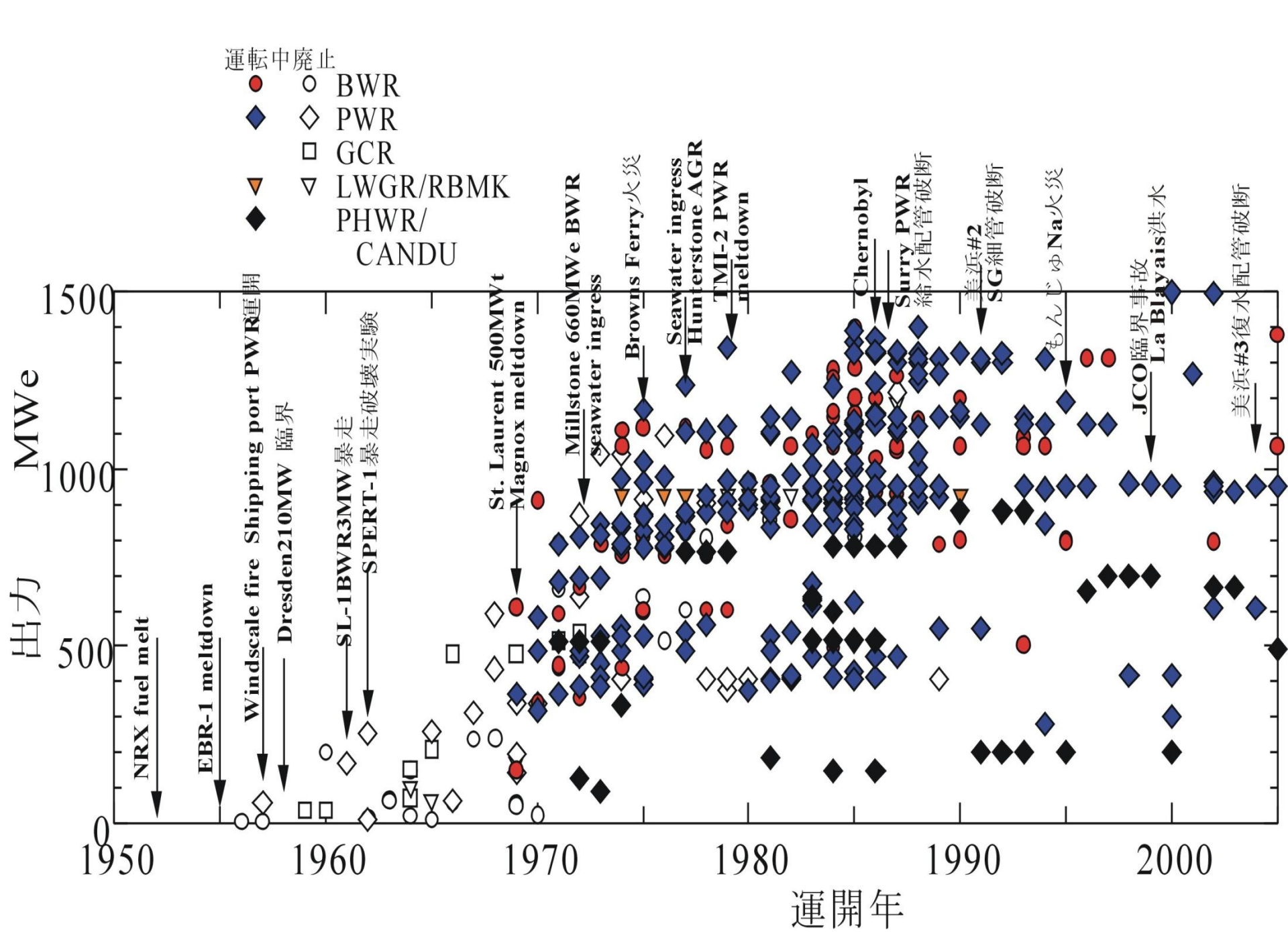


Design: Mark-I

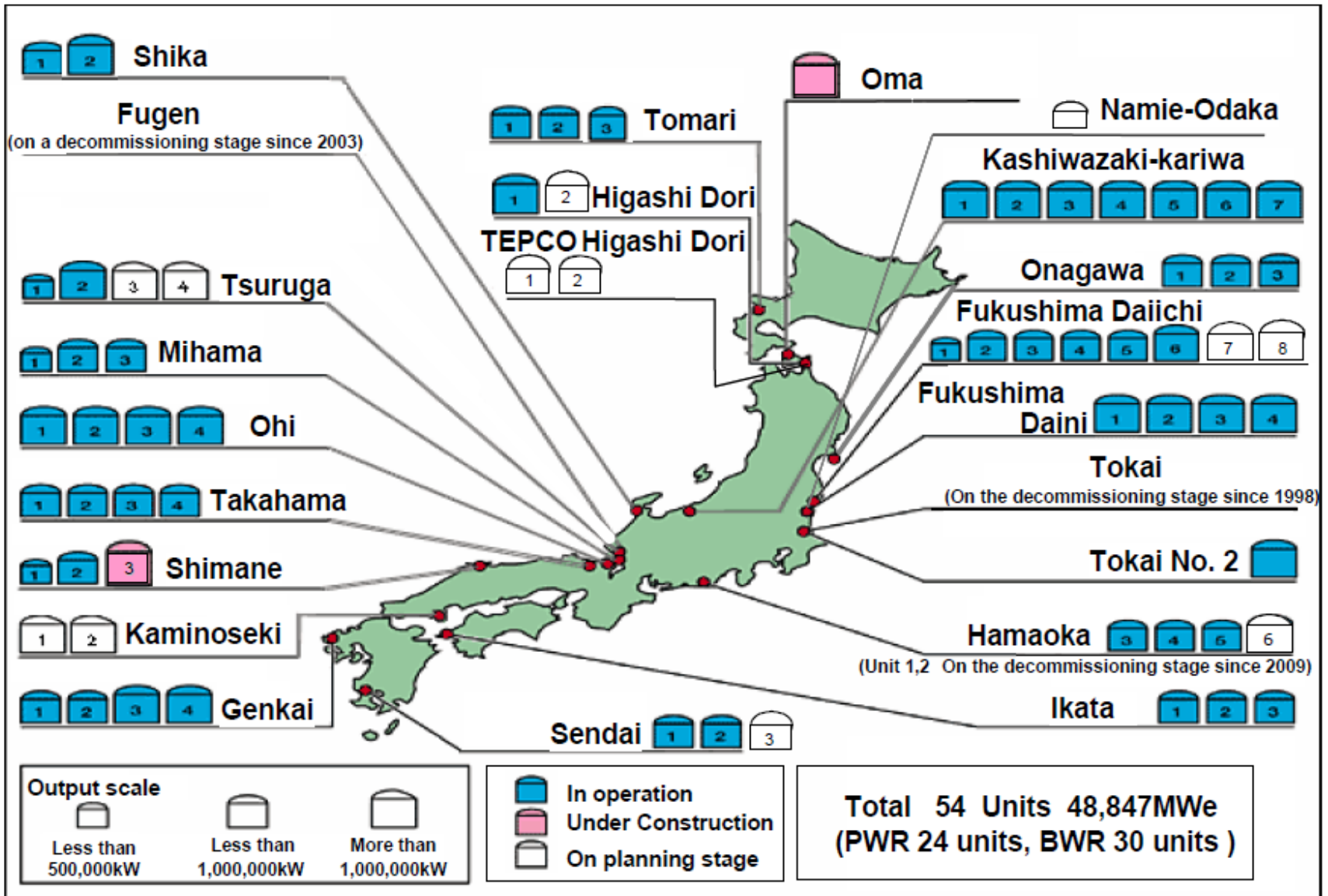
Primary containment

Pressure suppression pool

Containment closure head



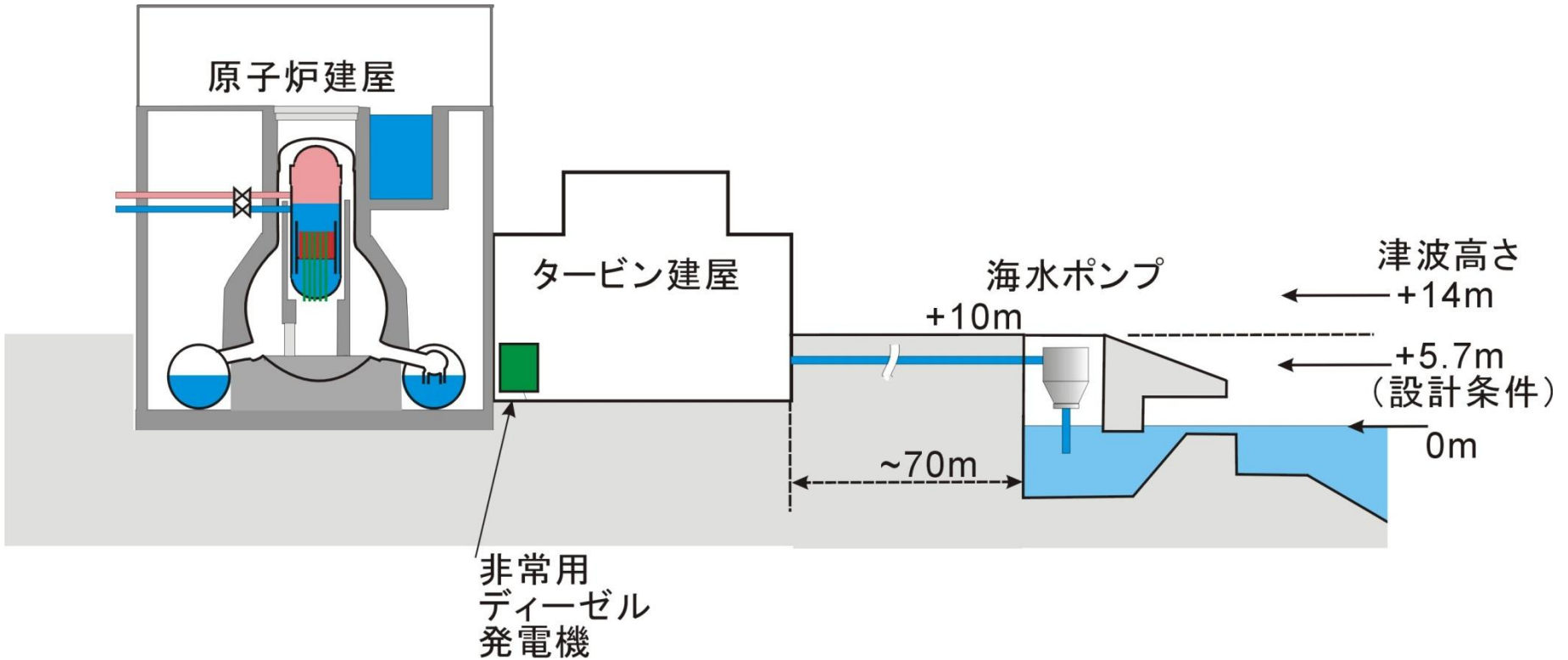
Nuclear Power Plants in Japan



設備概要	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
建設着工	1967	1969	1970	1972	1971	1973
営業運転開始	1971	1974	1976	1978	1978	1979
原子炉形式	BWR3	BWR4	BWR4	BWR4	BWR4	BWR5
格納容器	Mark I	Mark I	Mark I	Mark I	Mark I	Mark II
国産化率	56	53	91	91	93	63
主契約者	GE	GE・東芝	東芝	日立	東芝	GE・東芝
電気出力 MWe	460	784	784	784	784	1100
原子炉熱出力 MWt	1380	2381	2381	2381	2381	3293
燃料集合体数	400	548	548	548	548	764
制御棒本数	97	137	137	137	137	185
圧力抑制プール水量 ton	1750	2980	2980	2980	2980	3200
蒸気圧力 MPa	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65
圧力容器最大圧力 MPa	8.24	8.24	8.24	8.24	8.62	8.62
圧力容器最高温度 °C	300	300	300	300	302	302
格納容器最大圧力 MPa	0.43	0.38	0.38	0.38	0.38	0.28
格納容器最高温度 °C	140	140	140	140	138	171/105(*注3)
非常用ディーゼル発電機	2	2	2	2	2	3(*注1)
3/11時点でのプラント状況	運転中	運転中	運転中	燃料交換 停止(*注2)	燃料交換 停止	燃料交換 停止

*注1:内1台は空冷, *注2:全燃料が燃料貯蔵プールに移動, *注3:171/ドライウエル, 105/圧力抑制プール

3月11日 津波来襲 福島第1原発1号機の状況



1号機の事象経過

3/11

- 14:46 原子炉スクラム（地震加速度大）
- 14:47 制御棒全挿入，タービントリップ，外部電源喪失，非常用ディーゼル発電機起動，主蒸気隔離弁閉
- 14:52 非常用復水器自動起動
- 15:10 圧力抑制室冷却のため格納容器冷却系スプレイ系ポンプ起動
- 15:37 津波到来，非常用ディーゼル発電機停止，全交流電源喪失
電源盤水没，直流電源用バッテリー喪失によりプラントパラメータの確認不可
- 15:42 原災法第10条通報事象（全交流電源喪失）が発生・通報
- 16:36 原災法第15条事象（非常用炉心冷却装置による注水が不能）に該当する事象が発生・通報
- 20:49 中央制御室に仮設照明
- 21:51 原子炉建屋線量増加につき入域禁止
- 23:00 タービン建屋内で放射線量上昇（タービン1階北側1.2mSv/h，タービン1階南側0.5mSv/h）
- 23:50 ドライウェル圧力600kPag（設計最高使用圧力：427kPag）

3/12

- 00:06 ベント準備指示
- 02:30 ドライウェル圧力840kPag
- 05:46 消防ポンプによる淡水注水を開始
- 06:50 経産大臣手動ベント実施命令
- 10:17 ベント開始
- 12:55 原子炉水位：燃料域A-1700mm、燃料域B-1500mm、
D/W圧力：750kPa
- 14:30 仮設圧縮機によるベント操作による格納容器減圧成功と判断
- 14:53 水源枯渇にて炉心への淡水注入終了
- 15:36 水素爆発（原子炉建屋上部）
- 19:04 原子炉への海水（ホウ酸なし）注入を開始
- 20:45 臨界を防ぐためのホウ酸を投入開始

3/23

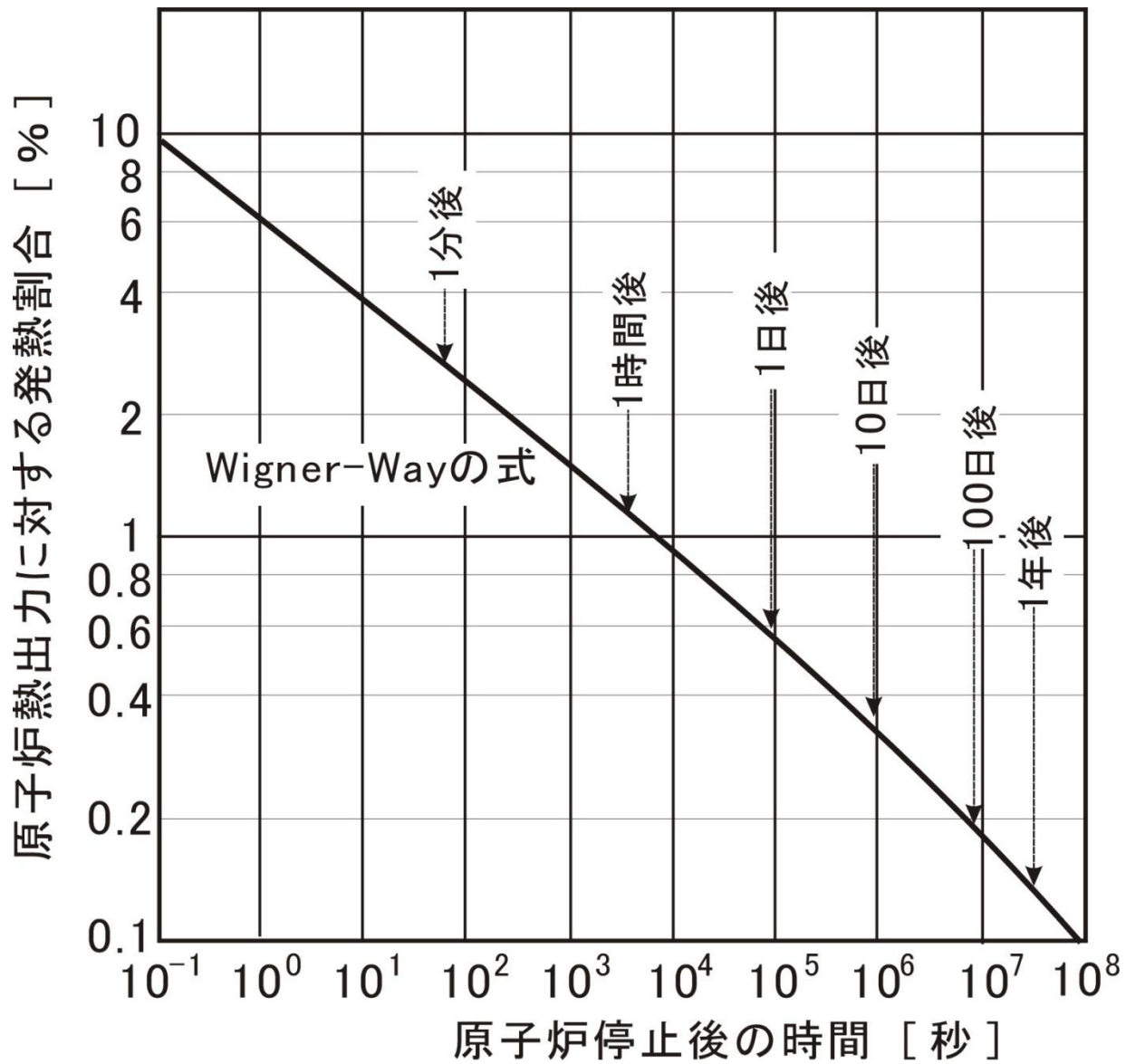
- 未明 圧力容器温度400℃弱
- 02:33 消火系＋給水系により外部注入（海水）量増加, 圧力容器温度
200℃程度に低下

3/25

- 15:37 消防ポンプによる原子炉への注入を海水から淡水に切り替え

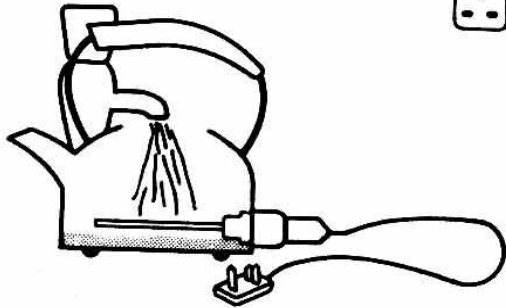


エアフトサービス

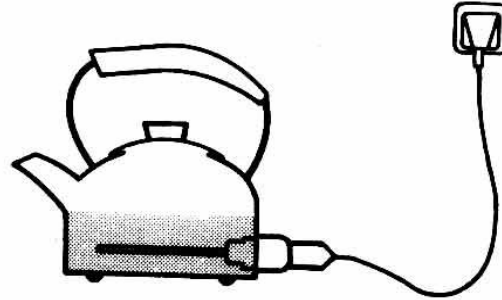


6.4MPa のときの蒸発潜熱 1543kJ/kg . 原子炉の発熱量 1380MW の1%(2時間後)とすれば発熱量 = $13.8\text{MW} = 13800\text{kW}$. このとき蒸発量は 8.95kg/s , 圧力容器の断面積 = 18m^2 とすれば $8.95 \times 10^{-3} / 18 = 0.5 \times 10^{-3}$ つまり毎秒 0.5mm 水位は低下する.

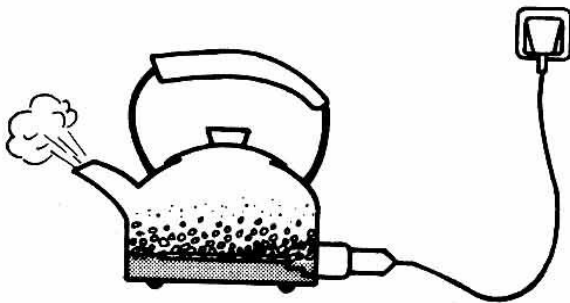
1時間では 1.8m の水位低下を招く. 2時間で 3.6m の水位低下となる



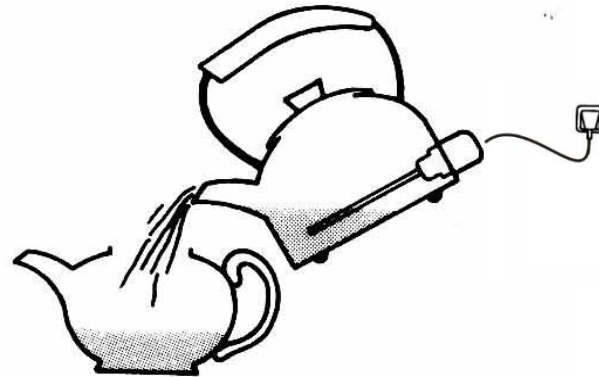
(a)



(b)



(c)

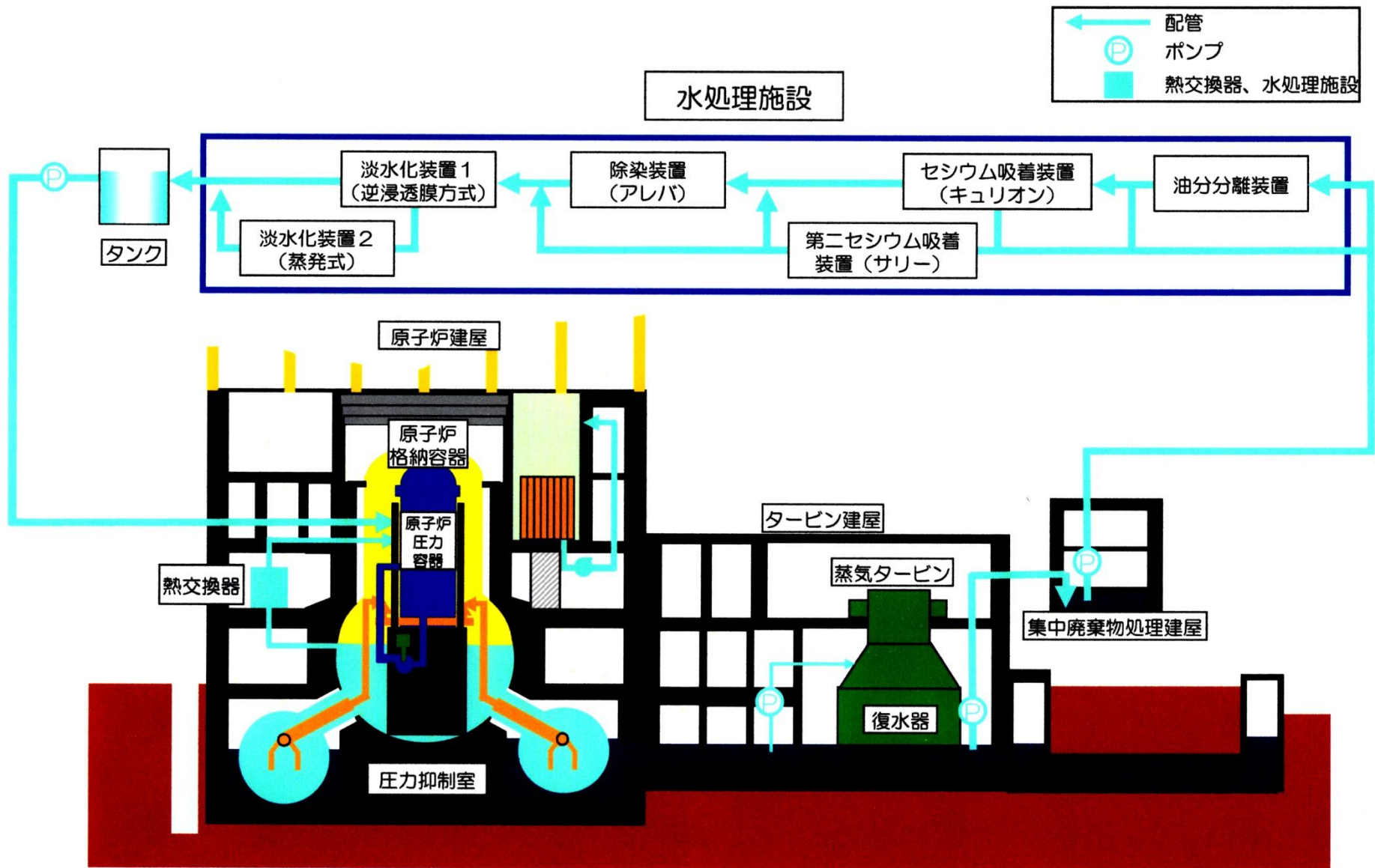


(d)

原子炉における事故とは？

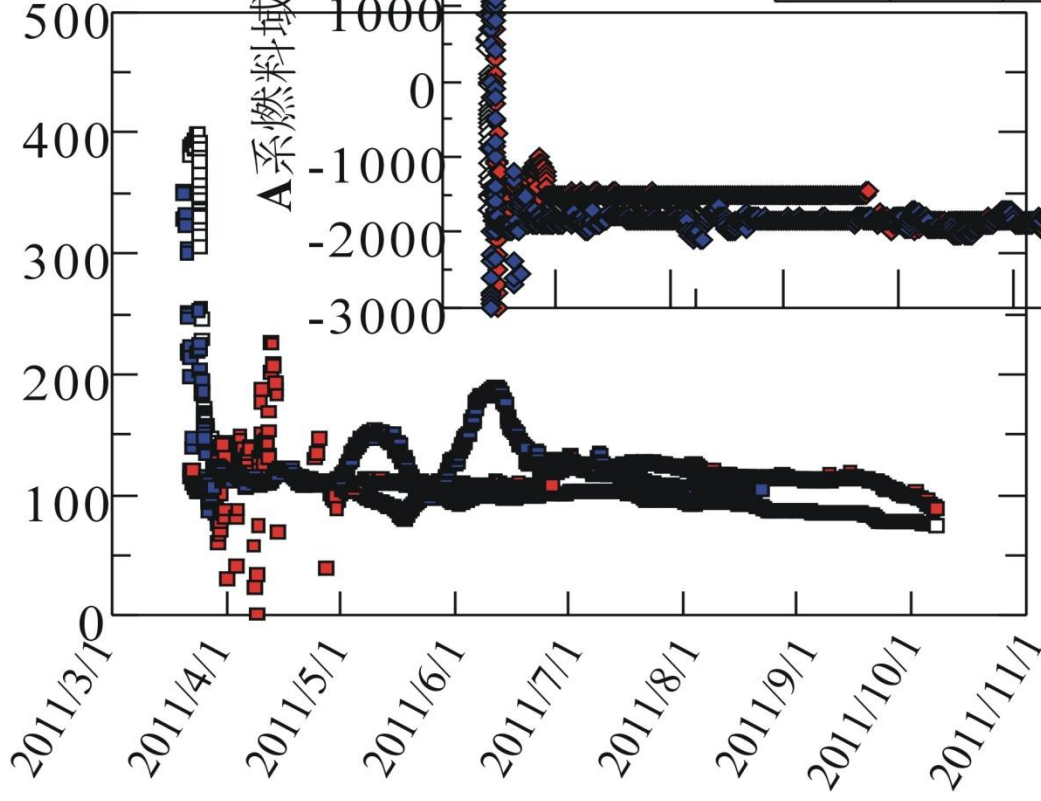


エアフォトサービス

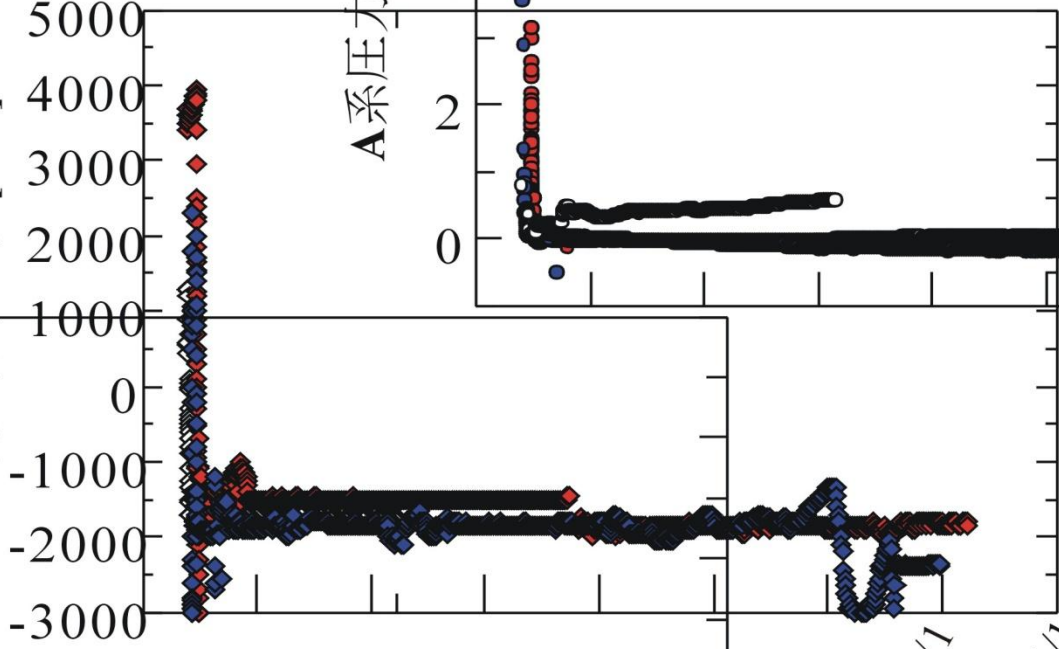


東京電力の資料「事故の収束に向けた道筋 2011.10.4揭示」による

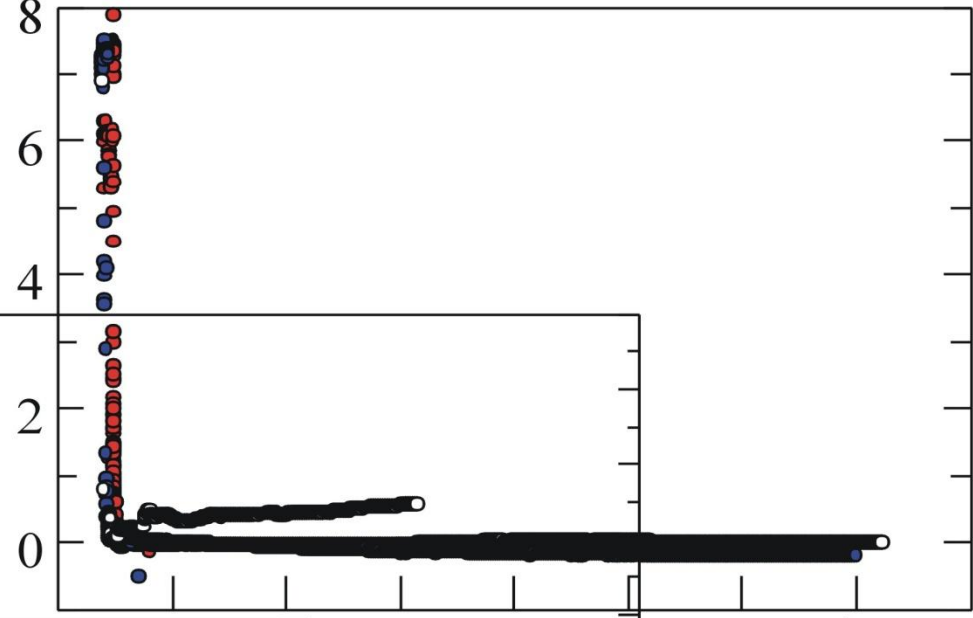
压力容器下部温度[°C]



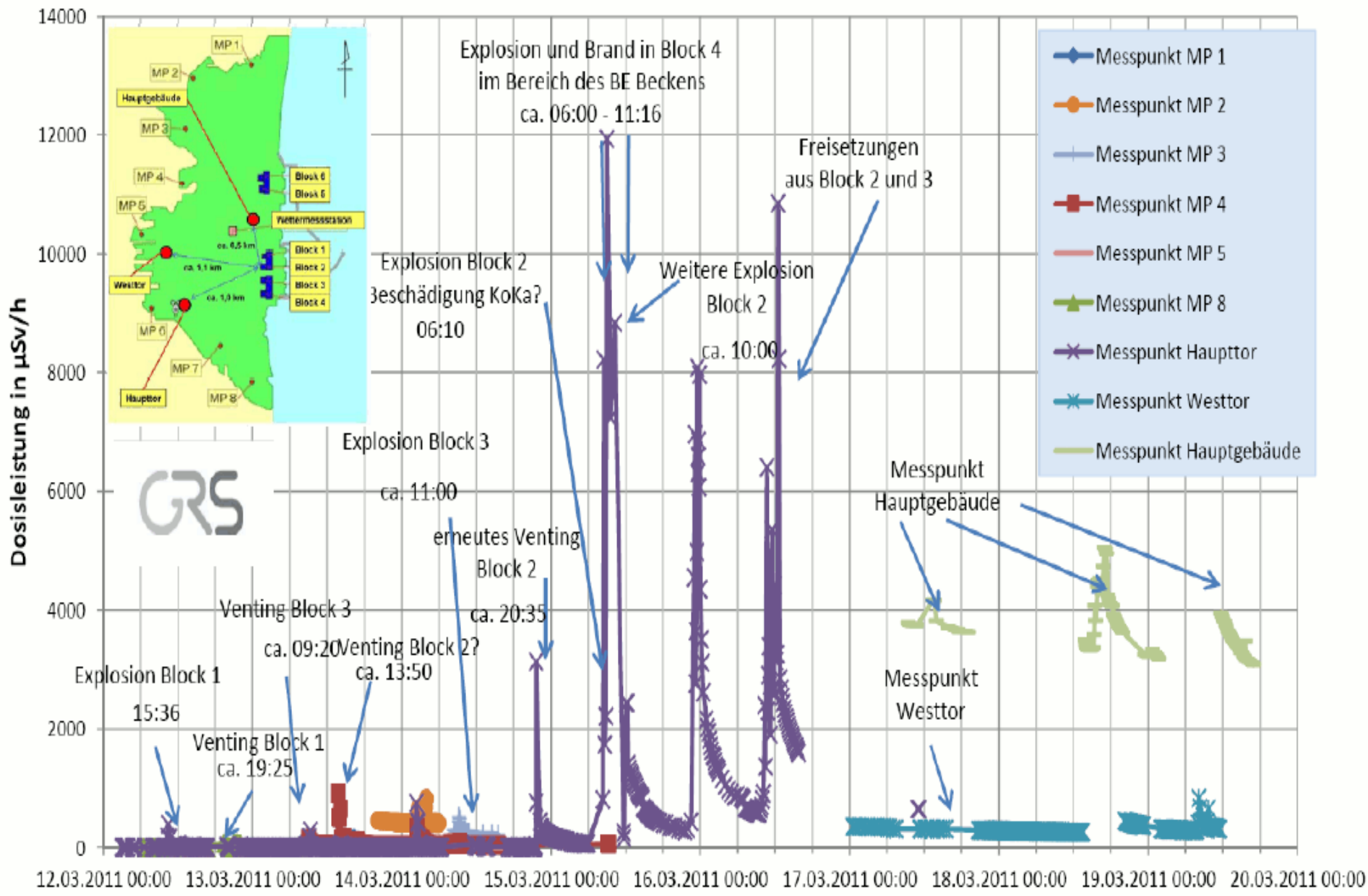
A系燃料域水位[mm]

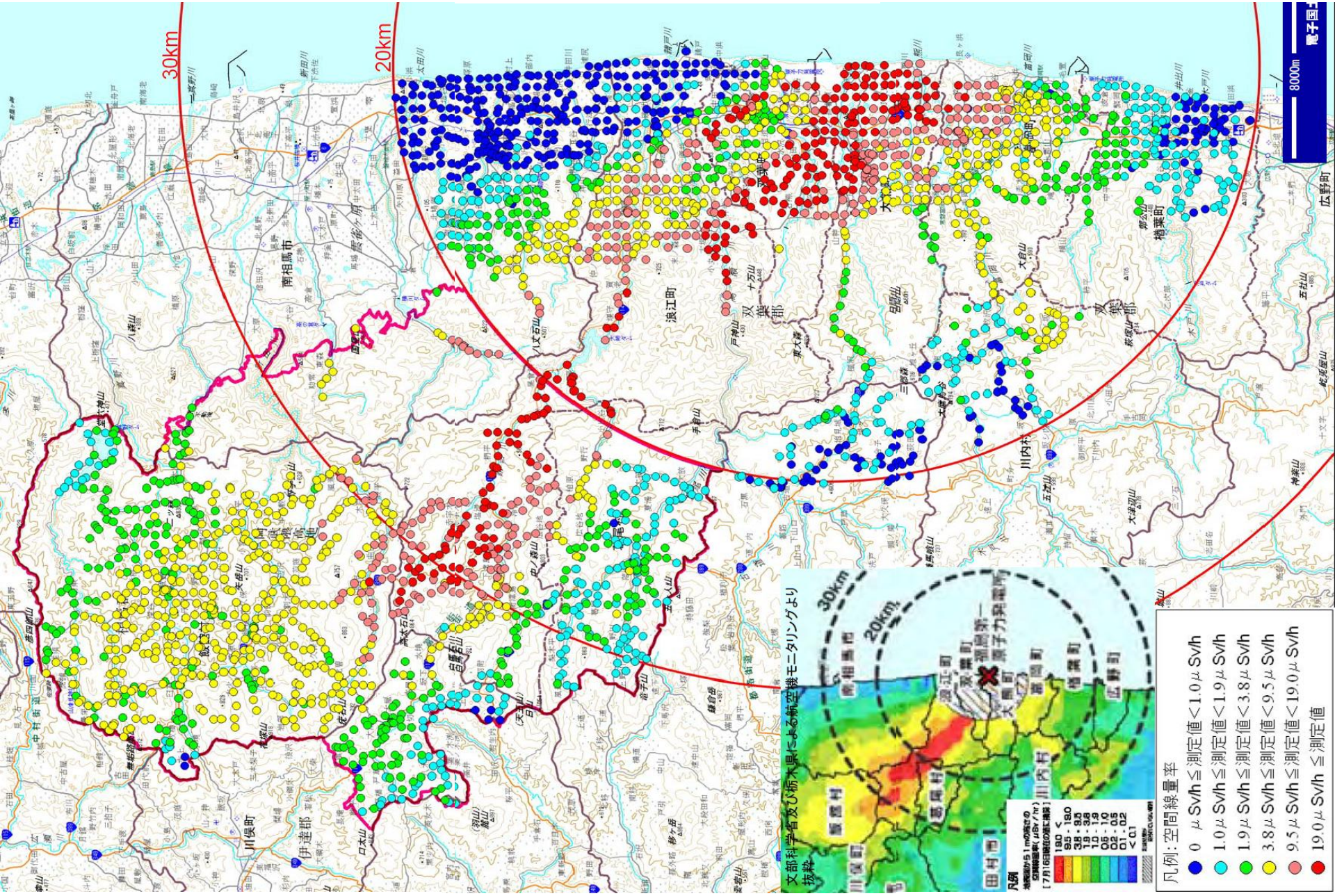


A系压力[MPag]



- 1号機
- 2号機
- 3号機

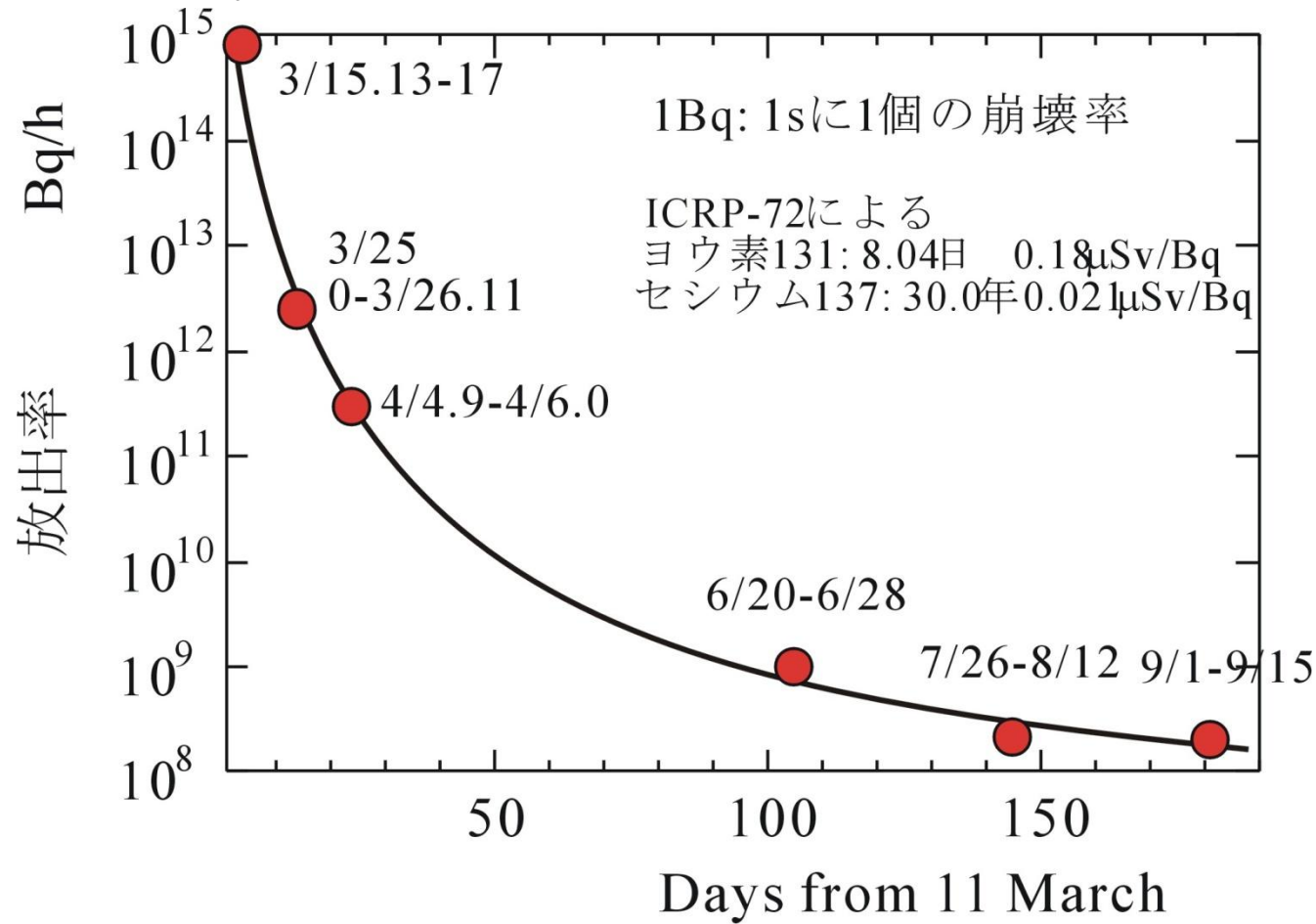




文科省資料による

ECRR 2010 Recommendations of the European Committee on Radiation Riskによる
換算

物質	半減期	0-1才	1-14才	大人
I-131	8.04d	5.5 E-7	2.2 E-7	1.1 E-7 Sv/Bq
Cs-134	2.06y	1.0 E-7	4.0 E-8	2.0 E-8 Sv/Bq
Cs-137	30.0y	3.2 E-7	1.3 E-7	6.5 E-8 Sv/Bq



データは東京電力の資料「事故の収束に向けた道筋 2011.10.4揭示」による

放射線影響

- 10 Sv : 100%の人が死亡 (7 Sv~13Sv)
- 5 Sv : 50%の人が死亡 (4 Sv~7Sv)
- 3 Sv : 脱毛
- 1 Sv v : 10%の人が嘔吐
- 0.5 Sv : IAEA : 緊急時作業者の限度 (年間)
- 0.25 Sv : 日本 : 緊急時作業者の限度 (年間)
- 0.1 Sv : これ以下の放射線で癌を発生する証明なし。一般的な目標値
- 0.05 Sv : IAEA, WHOの食料品への指針
野菜 放射性セシウムなど 3,000Bq/kg (
- 0.01 Sv : ブラジルの年間自然放射線量, 腹部CTスキャン
- 0.005 Sv : 日本の厚労省の暫定基準値 (安全委員会策定を暫定値とする)
- 0.0024 Sv : 世界の年間平均自然放射線量
- 0.002 Sv : 東京-NY往復10回
- 0.001 Sv : 野菜 (ほうれんそう) は上記の1/5に 1年毎日食べる (厚労省)
野菜 放射性セシウムなど 500Bq/kg
飲料水 ヨウ素131 成人 当時の計算値 1270Bq/kg
から 300Bq/kg
(これはワカメ 1700Bq/kg,, ポテトチップス370Bq/kgより低い)

2011.10.6 文科省放射線審議会基本部会 : 住民の被爆量を国際放射線防護委員会 (ICRP) の勧告にしたがって「年間1~20mSv」. 緊急時~平常時の間でできるだけ低い値を目標とする. 最終的には1mSv/yを目指す.

課題		初回(4/17)時点	ステップ1(3ヶ月程度)	ステップ2(ステップ1終了後3~6ヶ月程度) ▼現時点(9/20)	中期的課題 (~3年程度)
I. 冷却	(1)原子炉	淡水注入 最小限の注水による燃料冷却(注水冷却) 循環注水★ 滞留水再利用の検討/準備	循環注水★ 冷却(開始) 窒素充填★ 作業環境改善★	安定的な冷却 循環注水冷却(継続) 窒素充填(継続)	冷温停止状態 冷温停止状態の継続 構造材の腐食破損防止※一部前倒し
	(2)燃料プール	淡水注入	注入操作の信頼性向上/遠隔操作※前倒し 循環冷却システム(熱交換器の設置)★※一部前倒し 保管/処理施設の設置★	安定的な冷却 注入操作の遠隔操作 熱交換機能の検討/実施	より安定 燃料の取り出し作業の開始
II. 抑制	(3)滞留水	放射性レベルの高い水の移動 放射性レベルの低い水の保管	保管/処理施設の設置★ 保管施設の設置/除染処理	保管場所の確保 施設拡充★本格水処理施設検討 除染★塩分処理(再利用)等 廃スラッジ等の保管/管理★ 海洋汚染拡大防止	滞留水全体量を減少 本格水処理施設の設置 滞留水の処理継続 廃スラッジ等の保管/管理 廃スラッジ等の処理の研究 海洋汚染拡大防止
	(4)地下水		地下水の汚染拡大防止 遮水壁の方式検討	海洋汚染拡大防止 (保管/処理施設拡充計画にあわせてサブドレンポンプを復旧)※前倒し / 遮水壁の設計・着手	海洋汚染拡大防止 地下水の汚染拡大防止 遮水壁の構築
	(5)大気・土壌		飛散防止剤の散布 瓦礫の撤去・管理	飛散抑制 飛散防止剤の散布(継続) 瓦礫の撤去・管理(継続) 原子炉建屋カバーの設置(1号機)★ 瓦礫撤去(3,4号機原子炉建屋上部) 原子炉建屋コンテナの検討 格納容器ガス管理システム設置	飛散抑制(継続) 飛散防止剤の散布 瓦礫の撤去・管理 瓦礫の撤去/カバーの設置(3,4号機) 原子炉建屋コンテナ設置作業の開始 格納容器ガス管理システム設置
III. 除染・モニタリング	(6)測定・低減・公表		発電所内外の放射線量のモニタリング拡大・充実、公表 本格的除染の検討・開始	除染 環境モニタリングの継続 除染の継続	
IV. 対策等	(7)津波・補強・他		余震・津波対策の拡充、多様な放射線遮へい対策の準備 (4号機燃料プール)支持構造物の設置★ 各号機の補強工事の検討/実施★	拡大防止 災害の 多様な遮へい対策の継続 各号機の補強工事	
V. 環境改善	(8)生活・職場環境		作業員の生活・職場環境の改善	環境改善 作業員の生活・職場環境改善	
	(9)放射線管理・医療		放射線管理・医療体制の改善	健康改善 放射線管理・医療体制改善	
	(10)要員育成・配置		要員の計画的育成・配置の実施	研修の 要員の計画的育成・配置の実施	
中期的課題への対応			政府による安全確保の考え方 上記に基づく施設運営計画の策定	施設運営計画に基づく対応	

東京電力の資料「事故の収束に向けた道筋 2011.10.4揭示」による

設計洪水水位 5.02m 2号機, 4号機 (定格運転中) の外部電源喪失, 原子炉停止. 1号機, 2号機の電気室, 海水ポンプ室, 燃料建屋に浸水, 崩壊熱除去機能, 補機冷却機能, 電気系など喪失

2. DECEMBER 1999 BLAYAIS FLOOD

1999 Storm
 ↓
 « Le Blayais »
 NPP partial
 flooding



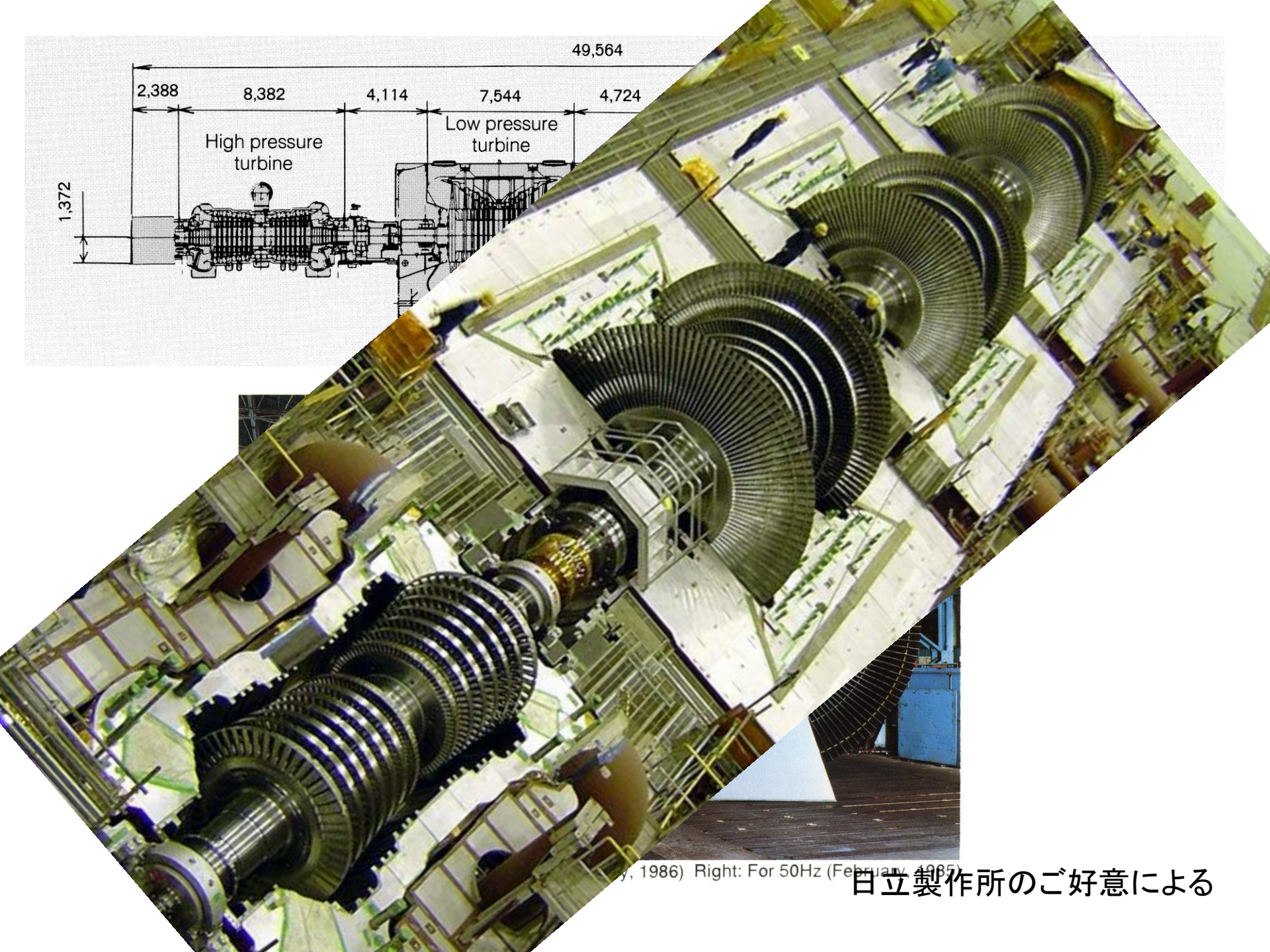
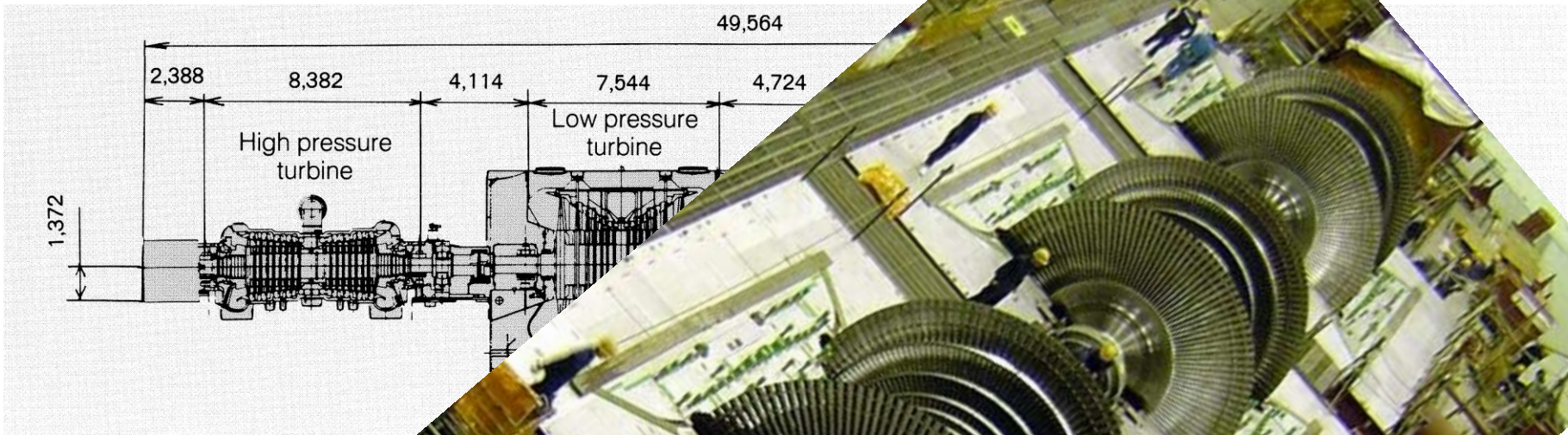
RIC 2010
 External Flood and
 Extreme Precipitation
 Hazard Analysis for
 Nuclear Plant Safety
 Session



High water level in the river Gironde
 high tide + storm surge (+2m)
 and waves (2m) generated by 100 km/h
 on the estuary (200 km/h)

- ➡ Waves came over the dyke and caused flooding on site and in the river
- ➡ On-site Emergency plan (36 hours)

**LESSONS LEARNED FROM
 1999 BLAYAIS FLOOD :
 OVERVIEW OF EDF FLOOD RISK
 MANAGEMENT PLAN**



..., 1986) Right: For 50Hz (February, 1995)

日立製作所のご好意による



【芯ずれが懸念されるタービン-発電機】



【引きちぎられた設備(ファン)】



【全冠水し損壊した事務本館1F】



【土砂が流入した電源盤室】

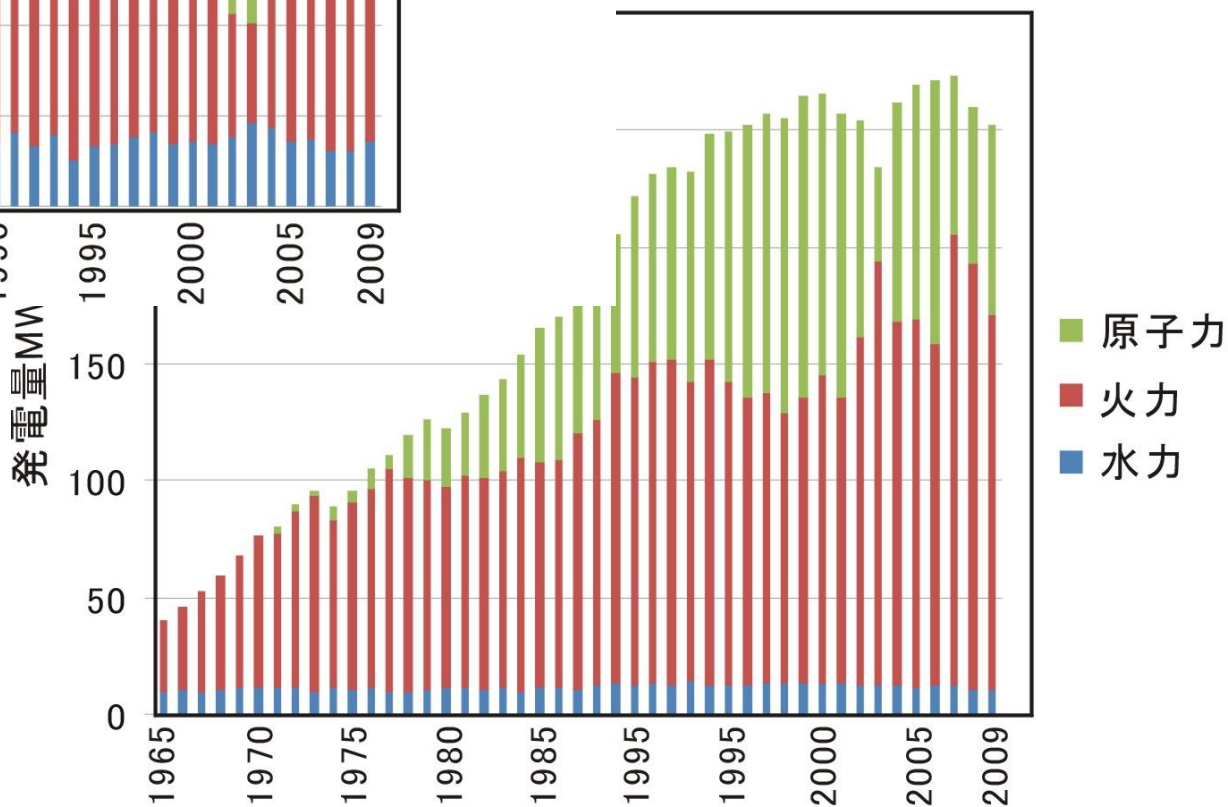
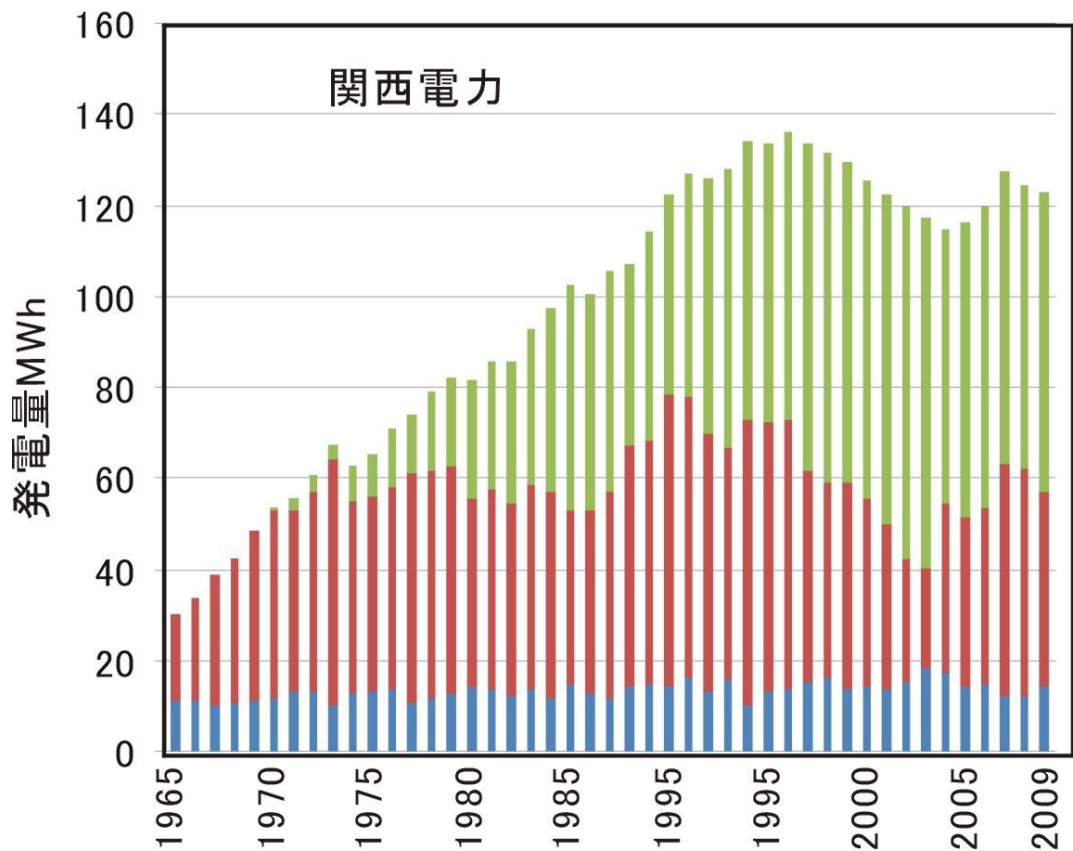


【損壊した大型ファン(誘引通風機)】

東北電力資料による



【倒壊した揚炭機】



★ = 緊急設置電源

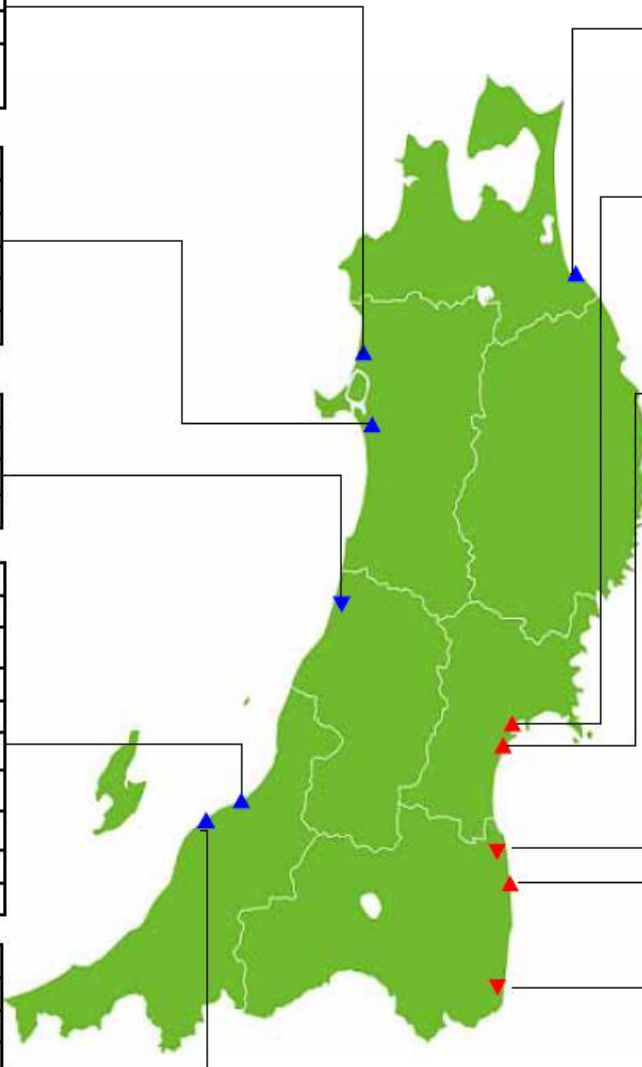
能代火力発電所 (秋田県能代市)			
運転状況	号機	出力	燃料
運転中	1号機	60万kW	石炭
運転中	2号機	60万kW	石炭
H23.12運用予定	NAS電池	8万kWの半量	—
H24.1運用予定		8万kWの半量	

秋田火力発電所 (秋田県秋田市)			
運転状況	号機	出力	燃料
運転中	2号機	35万kW	石油
運転中	3号機	35万kW	石油
運転中	4号機	60万kW	石油
H24.7運用予定	5号機	33.3万kW	石油

酒田共同火力発電所 (山形県酒田市)			
運転状況	号機	出力	燃料
運転中	1号機	35万kW(全量当社受電)	石炭
運転中	2号機	35万kW(全量当社受電)	石炭

東新潟火力発電所 (新潟県北蒲原郡聖籠町)			
運転状況	号機	出力	燃料
運転中	1号機	60万kW	LNG
運転中	2号機	60万kW	LNG
運転中	3号系列	121万kW	LNG
運転中	4号系列	170万kW	LNG
H24.7運用予定	5号機	33.9万kW	LNG
運転中	港1号機	35万kW	LNG
運転中	港2号機	35万kW	LNG
運転中 (8/26運用)	港3号系列	5.38万kW	石油

新潟火力発電所 (新潟県新潟市)			
運転状況	号機	出力	燃料
運転中	4号機	25万kW	LNG
運転中	5号系列	10.9万kW	LNG
H24.1運用予定	6号機	3.4万kW	天然ガス



八戸火力発電所 (青森県八戸市)			
運転状況	号機	出力	燃料
運転中	3号機	25万kW	石油
H24.7運用予定	5号機	27.4万kW	石油

仙台火力発電所 (宮城県宮城郡七ヶ浜町)			
運転状況	号機	出力	燃料
H24.3復旧見込み	4号機	44.6万kW	LNG

新仙台火力発電所 (宮城県仙台市)			
運転状況	号機	出力	燃料
H23.12復旧見込み	1号機	35万kW	石油
H23.10末廃止予定	2号機	60万kW	LNG
H28.7運用予定	3号系列	98万kWの半量	LNG
H29.7運用予定		98万kWの半量	

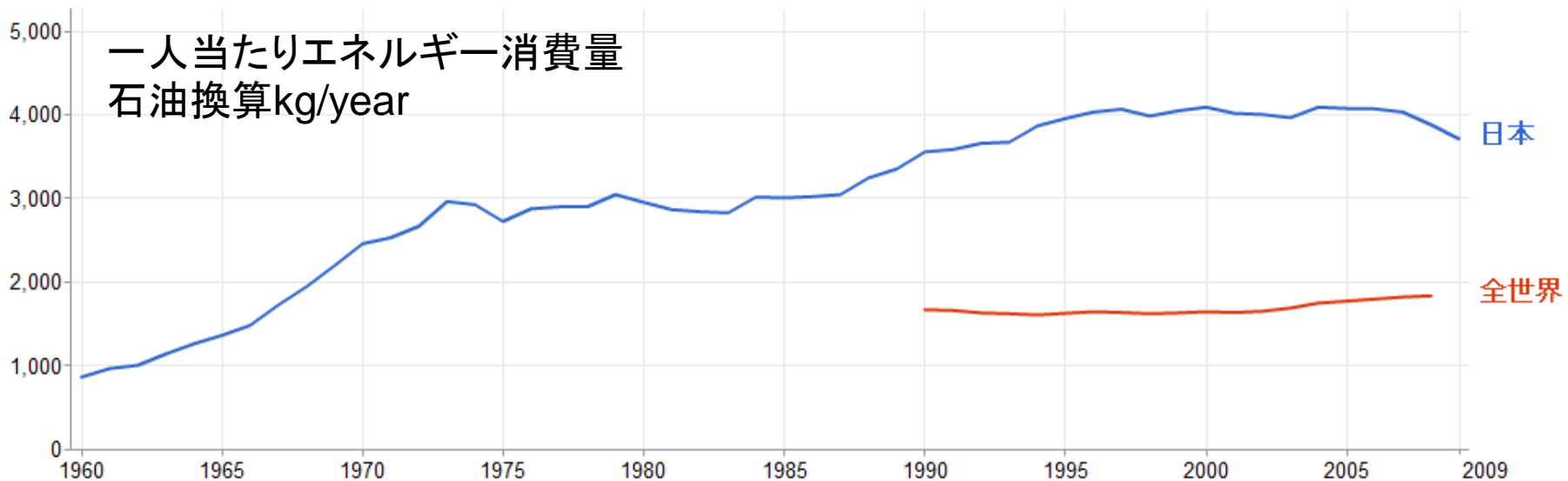
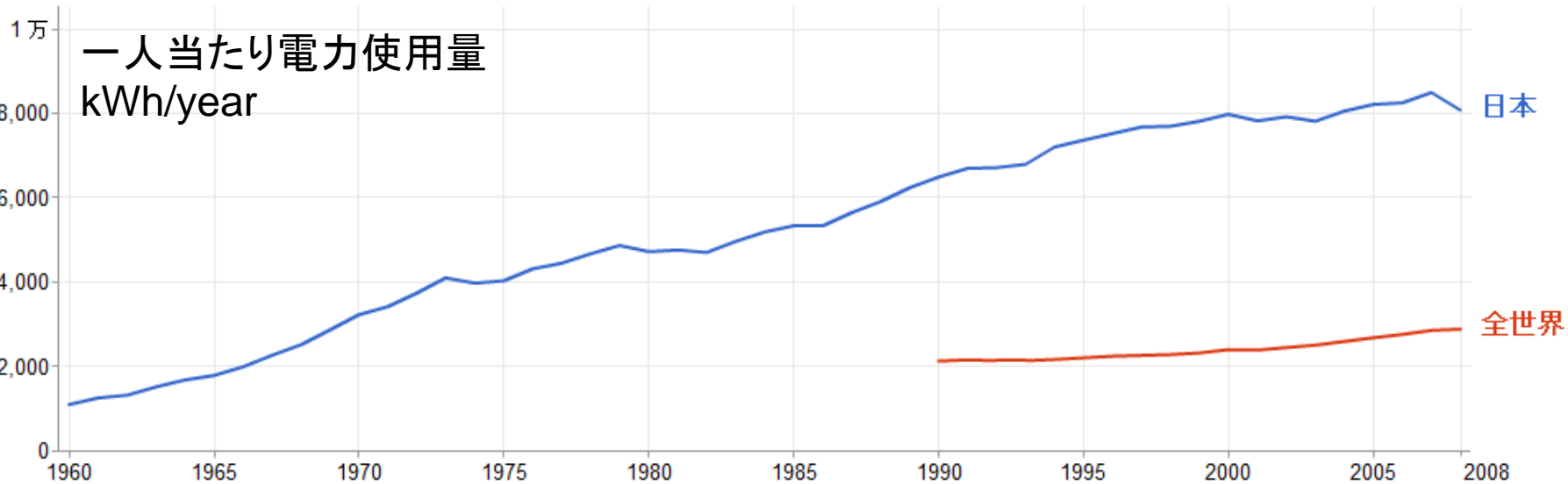
(新仙台火力発電所リプレース計画実施)

相馬共同火力発電所 新地発電所 (福島県相馬郡新地町)			
運転状況	号機	出力	燃料
H24.1復旧見込み	1号機	100万kW(半量当社受電)	石炭
H23.12復旧見込み	2号機	100万kW(半量当社受電)	石炭

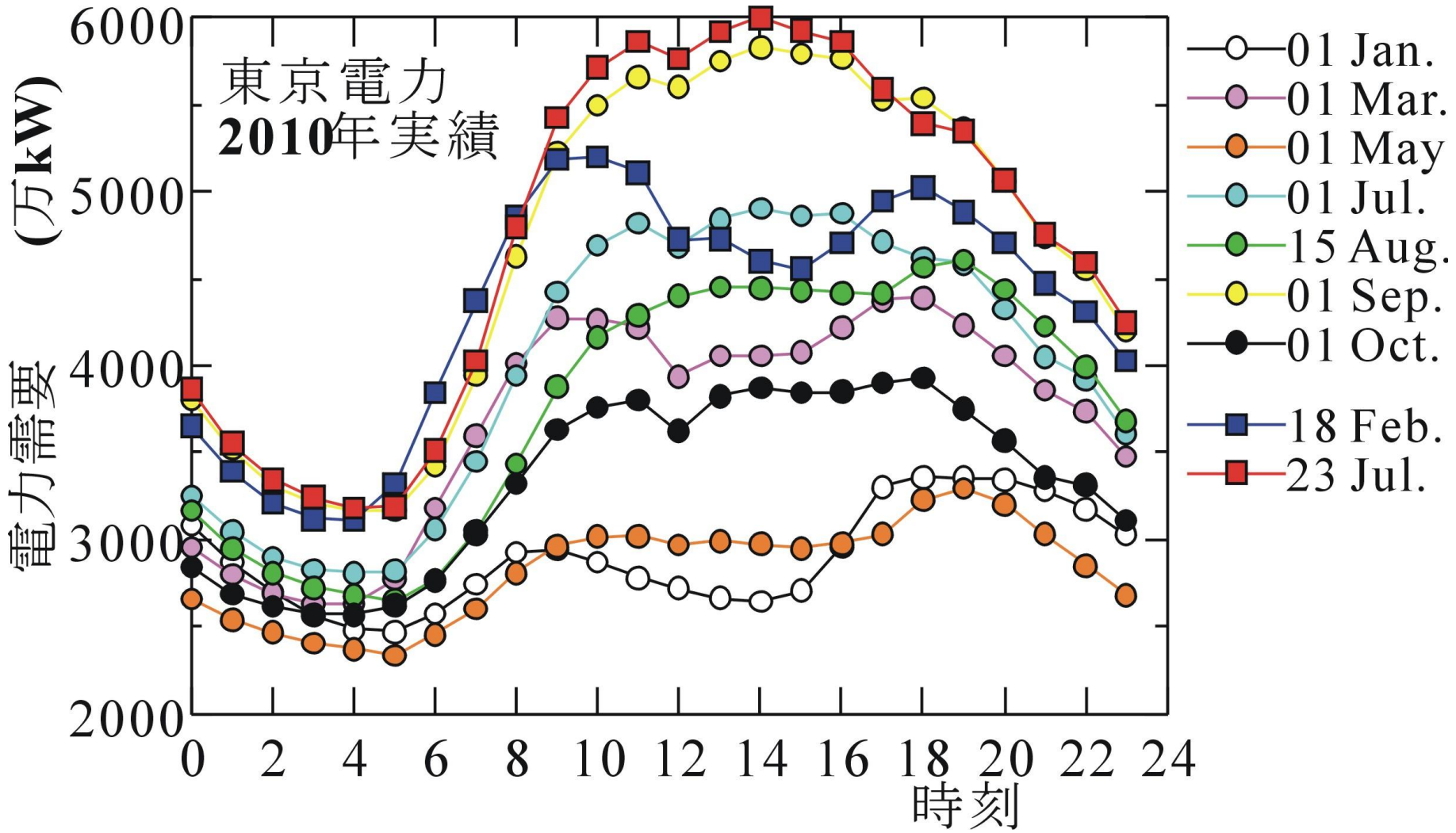
原町火力発電所 (福島県南相馬市)			
運転状況	号機	出力	燃料
H25年夏までの復旧見込み	1号機	100万kW	石炭
H25年夏までの復旧見込み	2号機	100万kW	石炭

常磐共同火力 勿来発電所 (福島県いわき市)			
運転状況	号機	出力	燃料
H24年夏までの復旧見込み	6号機*	17.5万kW(半量当社受電)	石油
H23.12復旧見込み	7号機	25万kW(半量当社受電)	石炭
運転中	8号機	60万kW(半量当社受電)	石炭
運転中	9号機	60万kW(半量当社受電)	石炭

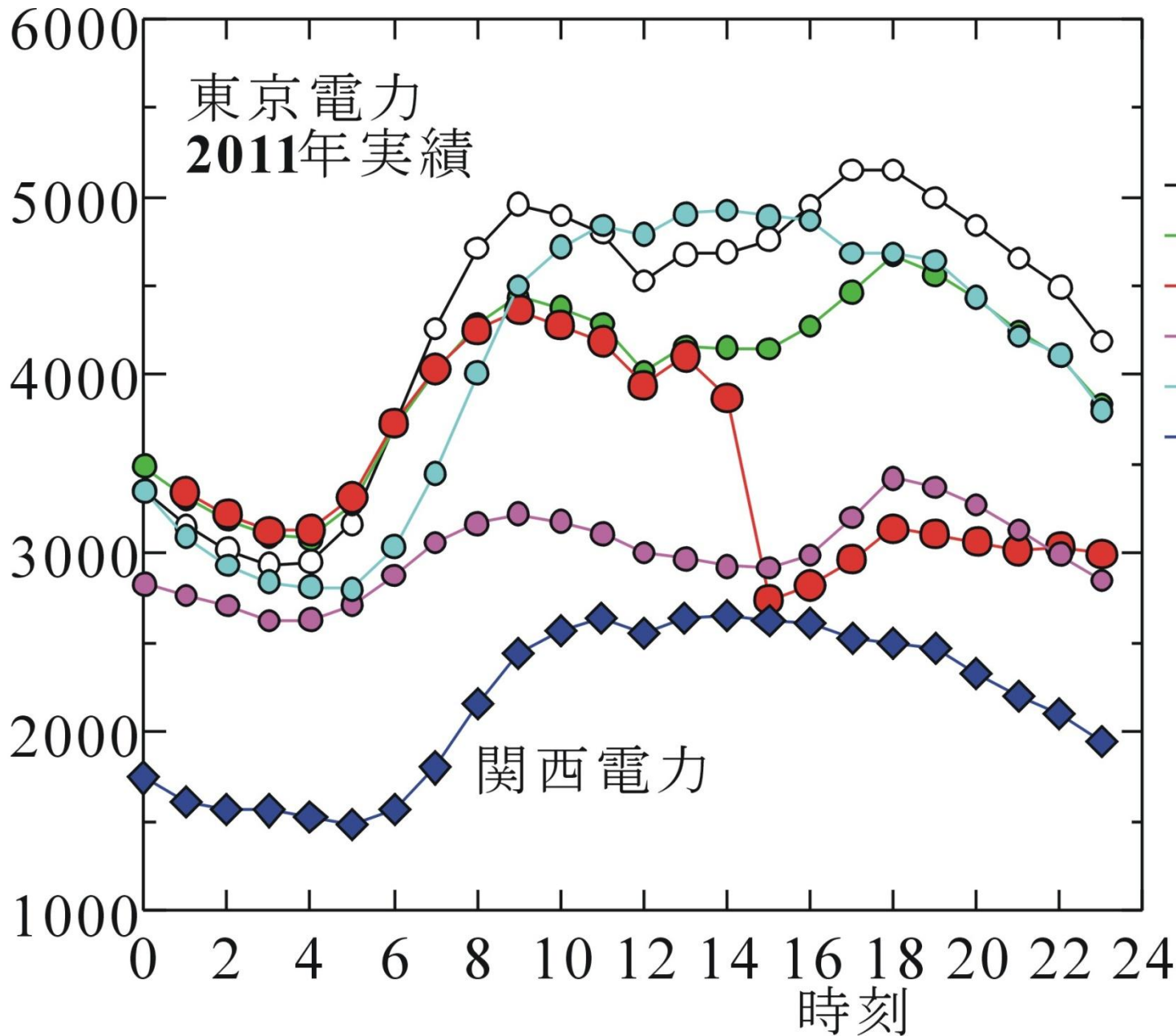
※ H22.1~長期計画停止中



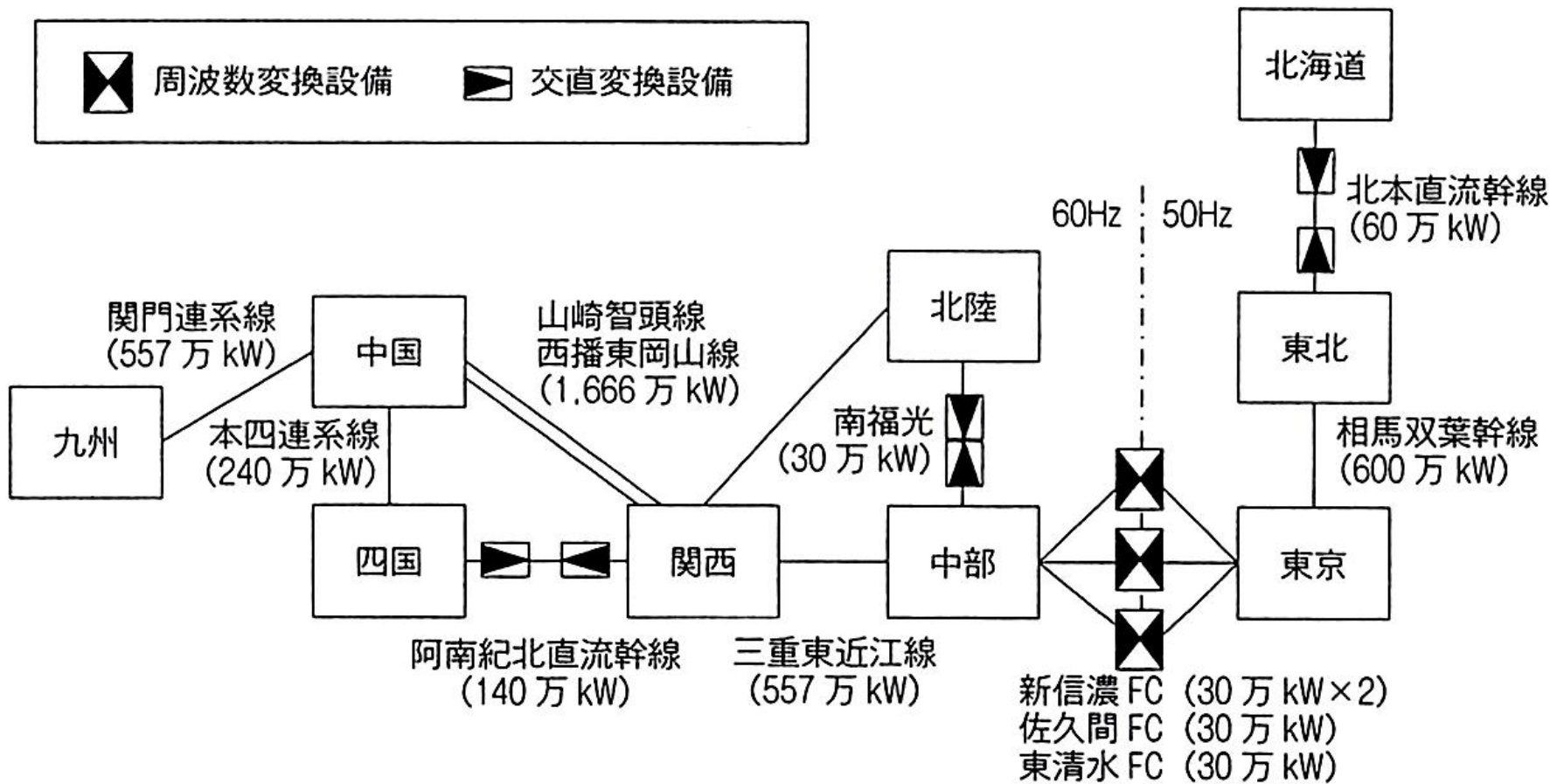
世界銀行統計資料による



電力需要 (万kW)

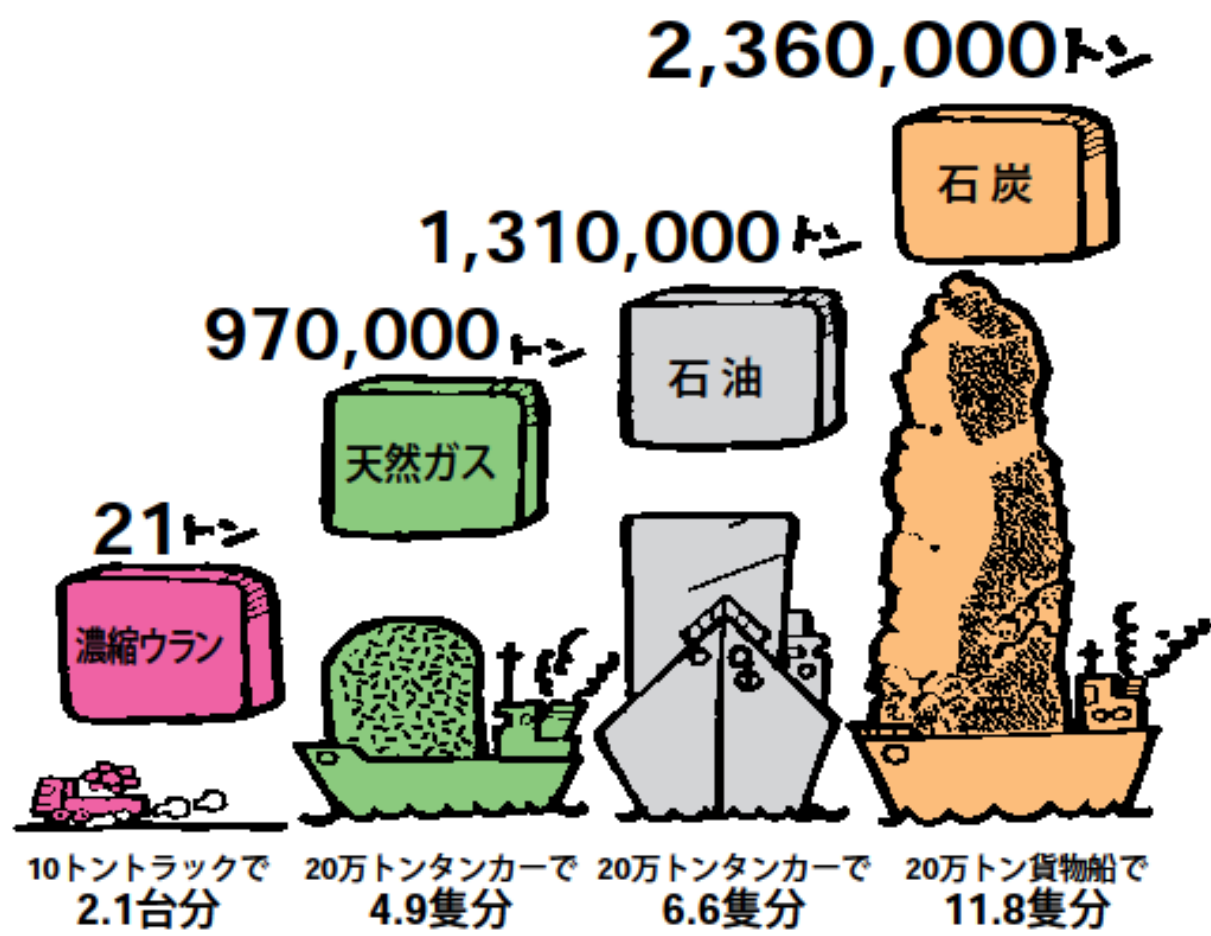


東電・関電資料により作成



電力不足は国内全体で支えられない。過去100年間で形成されてきたインフラをどうするのか？特に60Hz, 50Hz

100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料



出典：資源エネルギー庁「原子力2004」

くえすちょ～んたいむ



質問1.

皆さんお一人の出力はいくらでしょうか？10W?,
100W, 1kW?

質問2.

皆さんは一生の間に何トンの炭酸ガスを吐き出しますか？

質問3.

皆さんは一生の間に何トンの水を使いますか？

呼吸一回の換気量は300ml, 酸素濃度21%→16%,
5%だけ消費する. $300 \times 0.05 = 15$ mlの酸素を消費,
呼吸は心拍数の大体1/4で15回とすると,
 $15 \times 15 = 225$ ml/min, 1日, 1年, 一生では?

$$225 \times 10^{-6} [m^3 / \text{min}] \times 60 [\text{min} / \text{h}] \times 24 [\text{h} / \text{day}] = 0.324 [m^3 / \text{day}]$$

$$0.324 [m^3 / \text{day}] \times 365 [\text{day} / \text{year}] = 118.3 [m^3 / \text{year}]$$

$$118.3 [m^3 / \text{year}] \times 80 [\text{year}] = 9464 [m^3] \sim 10000 [m^3]$$

$$1.36 [kg / m^3] \times 10^4 [m^3] = 1.36 \times 10^4 [kg], CO_2 : 44 [kg / kmol],$$

$$O_2 : 32 [kg / kmol], CO_2 \text{の質量} = \frac{44}{32} \times 1.36 \times 10^4 [kg]$$

$$= 1.87 \times 10^4 [kg] = 18.7 \times 10^3 [kg] = 18.7 [ton]$$

一人当たり生活用水の使用量は昭和50年で

247l/ (人・日) , 平成8年では 323l/ (人・日) .
では1年では, 一生では?

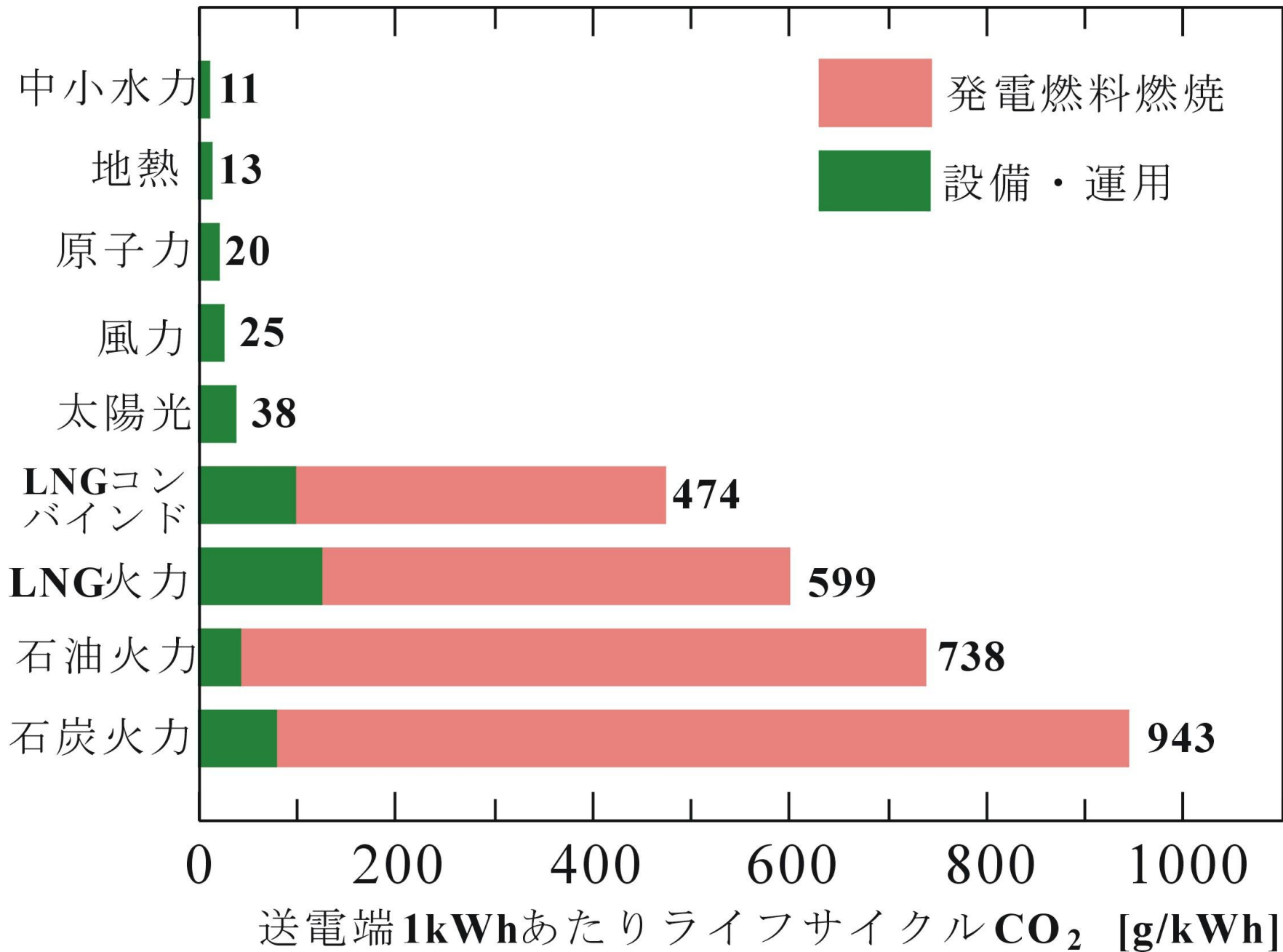
$$247 \times 10^{-3} [m^3 / day] \times 365 [day / year] = 90.2 [m^3 / year]$$

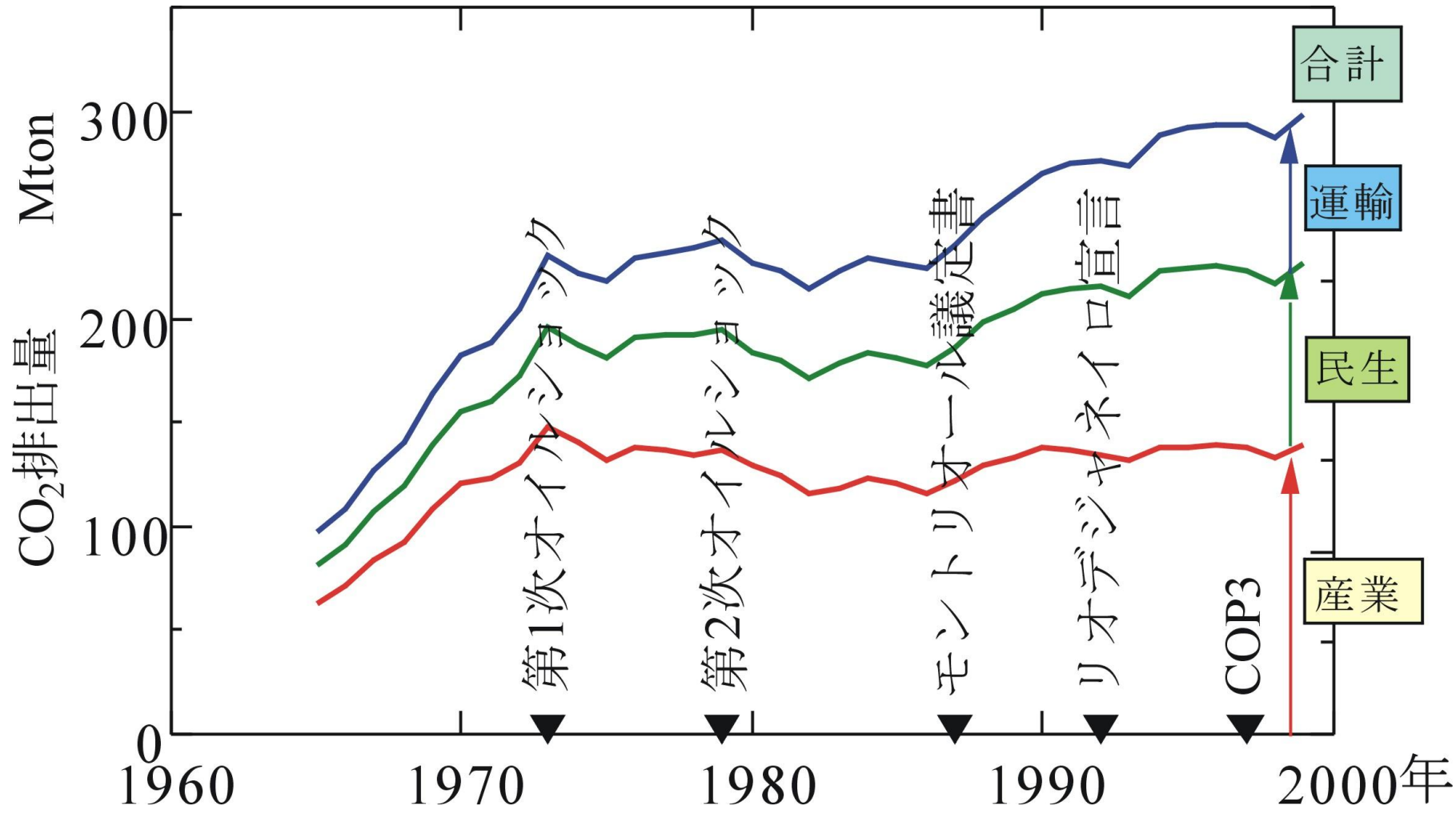
$$323 \times 10^{-3} [m^3 / day] \times 365 [day / year] = 117.9 [m^3 / year]$$

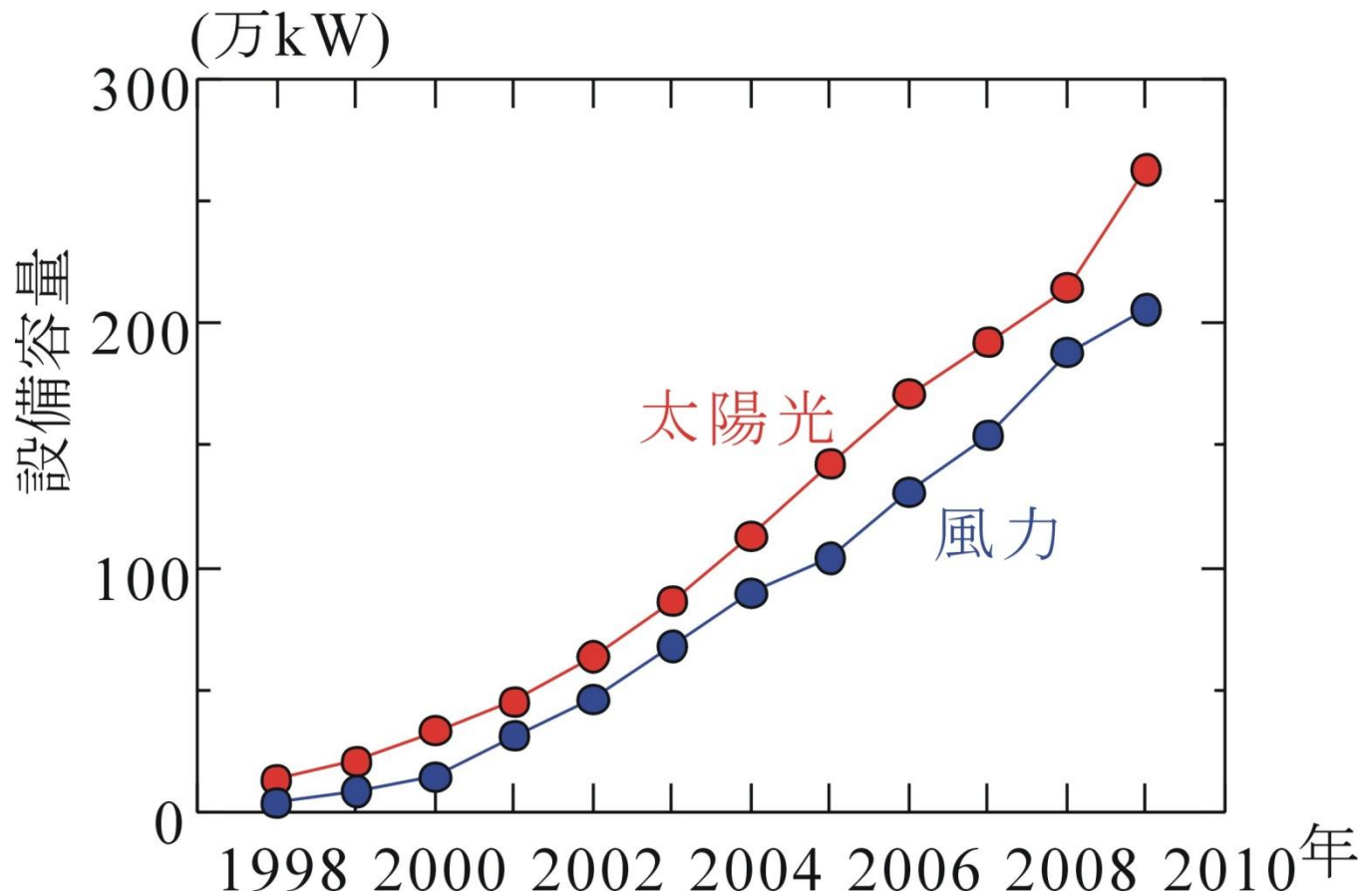
$$117.9 [m^3 / year] \times 80 [years] = 9432 [m^3] \sim 10000 [m^3]$$

$$\sim 10000 [ton]$$

酸素も水も一生の間に約1万立方メートル（酸素4トン弱, 水1万トン）使用する。水は循環するが酸素はCO₂に転換され, 約19トン排出することになる。







ドイツは脱原発のみが喧伝されているが、同時に石炭火力の増加によるCO2排出量の増加と電気料金の上昇を覚悟

自然エネルギー導入量の推移

太陽光：ドイツ 984.5万kW, スペイン 352.3万kW

風力：米国 3515.9万kW, 中国 2601万kW, ドイツ 2577.7万kW

数値は2009年末

さらに、今後に向けて

*タイタニックシンドロームの排除

*安全確保のための実効ある検査・審査制度と組織の確立

*安全研究センターの充実（安全委員会傘下に研究所を配置、実際に立脚した安全研究推進と危機管理対応人材育成）

*省エネと自然エネルギーの推進は当然としても、

一億総懺悔からの脱却とエネルギー戦略の確立

開戦前に鉛筆なめなめ数字合わせで石油戦略を立てた

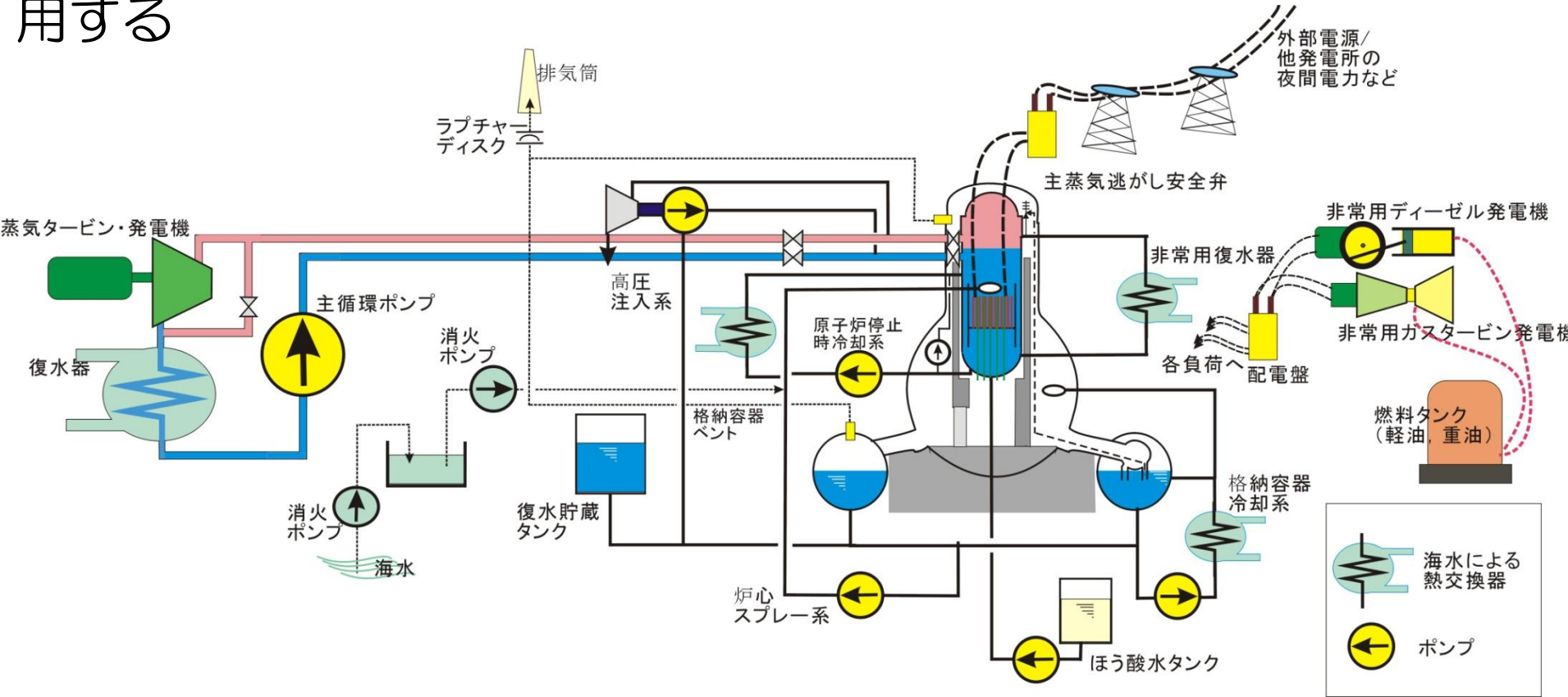
（開戦の正当化の道具として）二の舞を避けよう！

*何よりも危機管理体制（ガバナンス）の確立と訓練

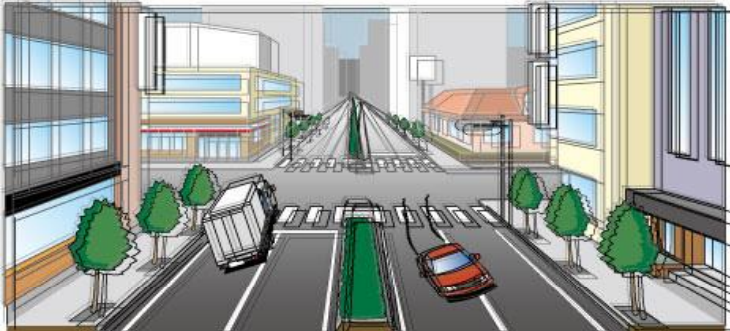
*技術屋は、武田康生氏の「われわれの設計した機械には、あんがいわれわれがわかっていないところが多いのである」を胸に

10万~20万kWe (30万~60万kWt) の研究・訓練施設の提案

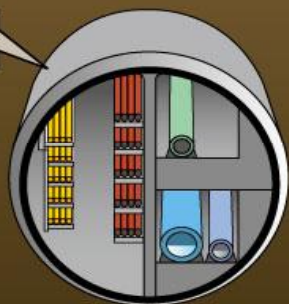
現実の原発と同じ構成の小型研究・訓練施設（1000億円程度？）を建設，非常時事象の検討，安全対策，緊急時対応などの研究・訓練，運転員・運転管理者ライセンスの発行と再教育に利用する



東京国道事務所資料による



共同溝は堅固な構造で
ライフラインを守ります。



さらにはこんな心配も
共同溝は津波に対して強い？弱い？

凡	例
	事業中
	完成
	未整備

平成23年4月1日現在

全体計画延長:	162km
完成延長:	117km(70%)
事業中延長:	7km(4%)

()内は進捗率を示す