

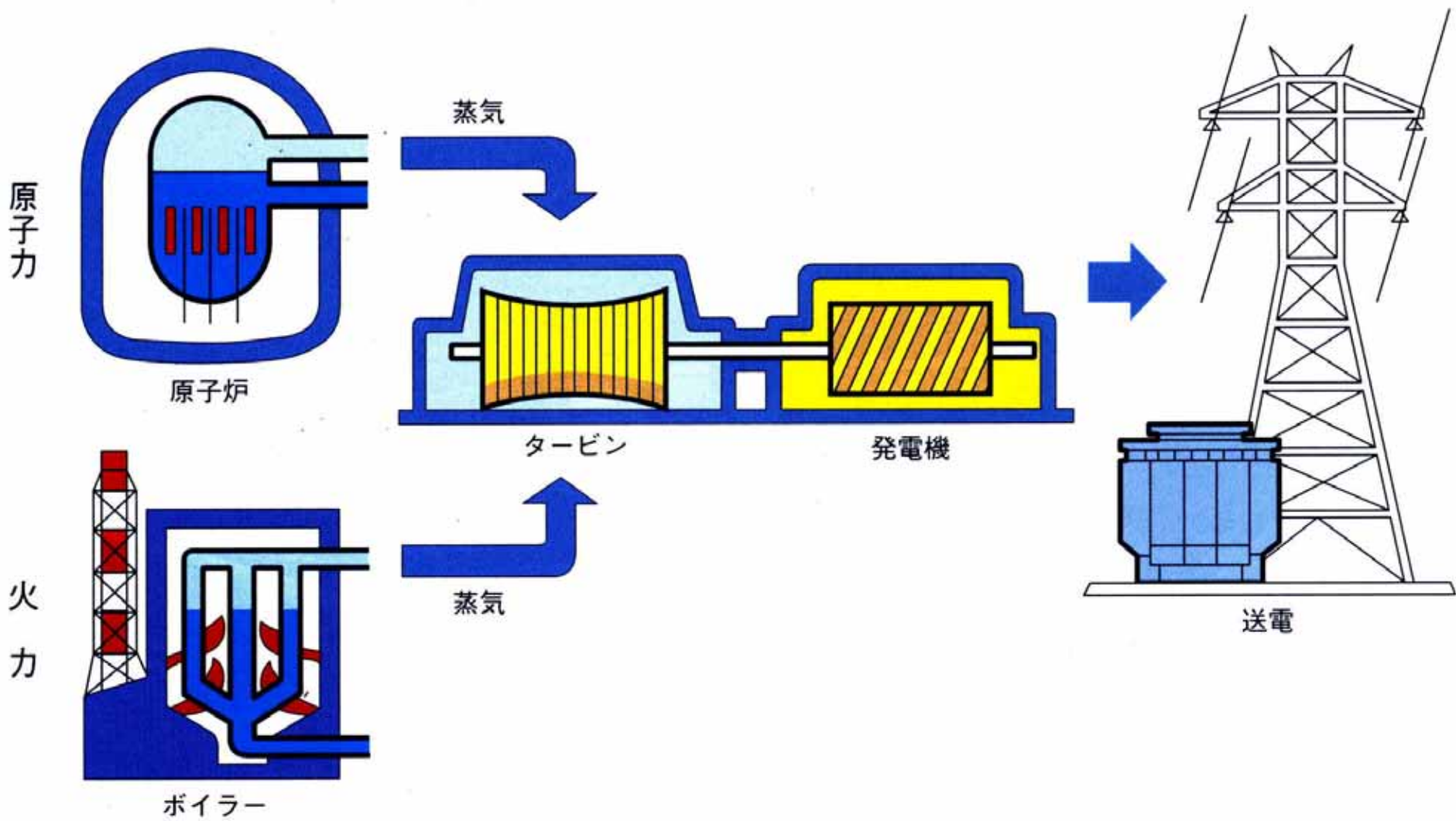
第98回原子力安全問題ゼミ

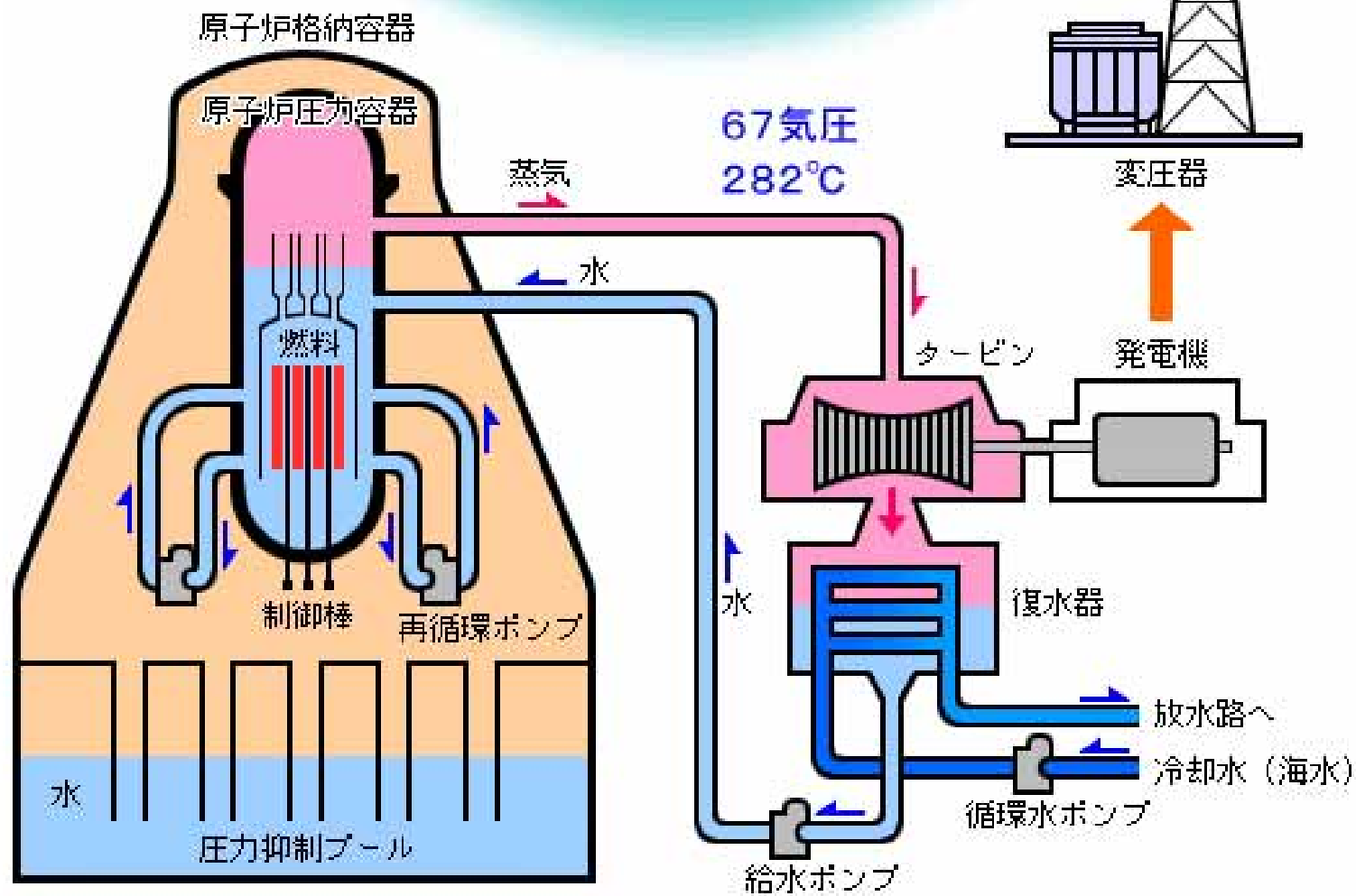
2004年10月7日(木)

# 美浜3号炉事故の全体像と課題

京都大学・原子炉実験所 小出 裕章

# 原子力発電と火力発電



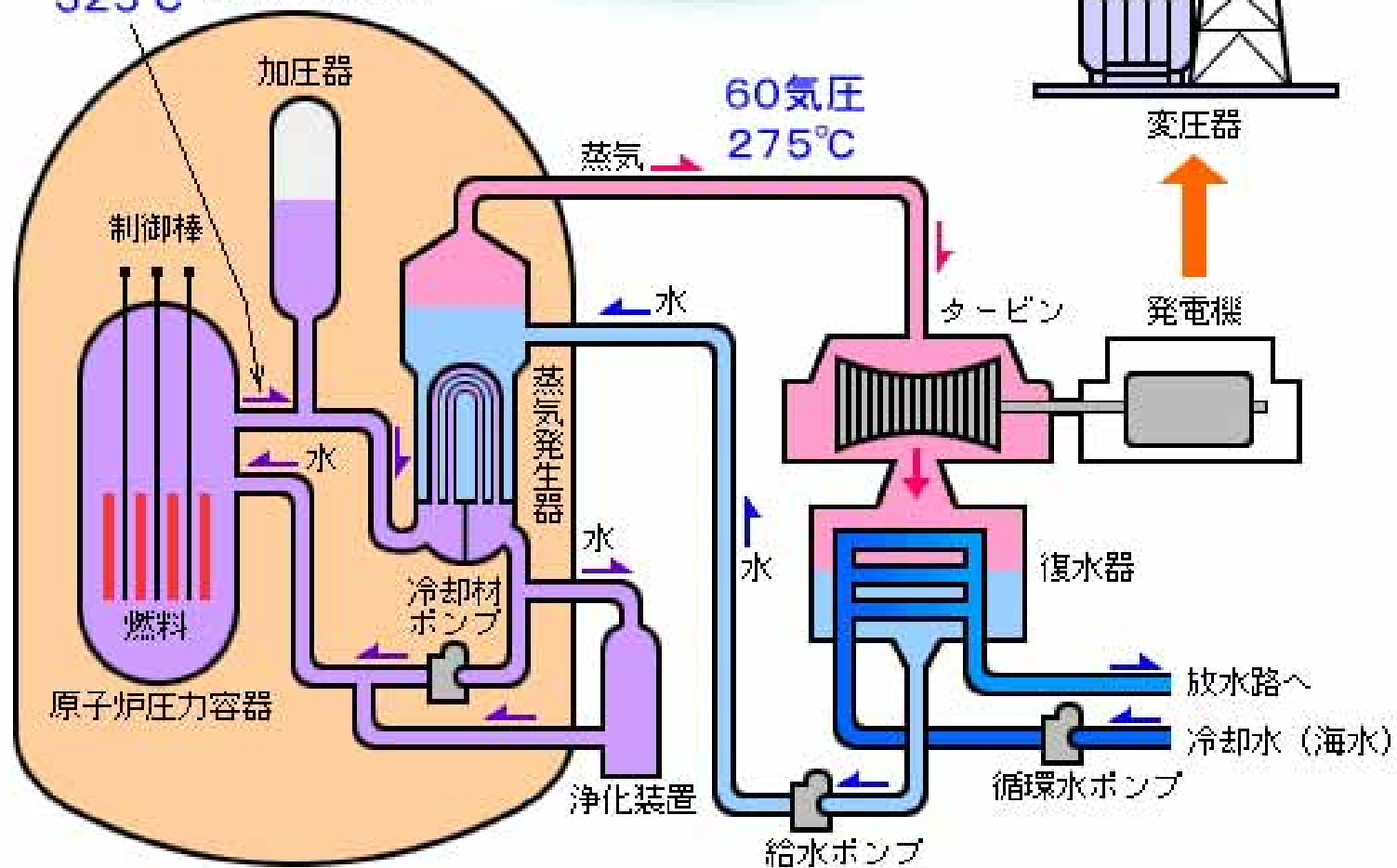


# BWR概念図

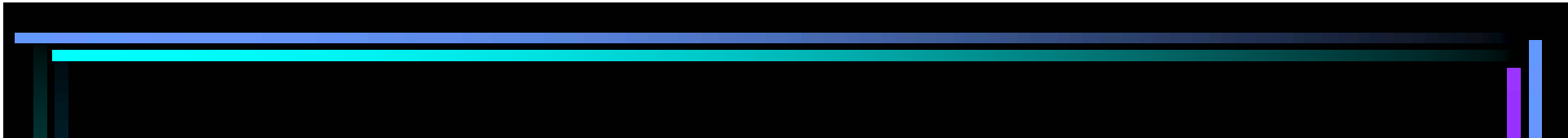


157気圧  
325°C

原子炉格納容器



P  
W  
R  
概念図

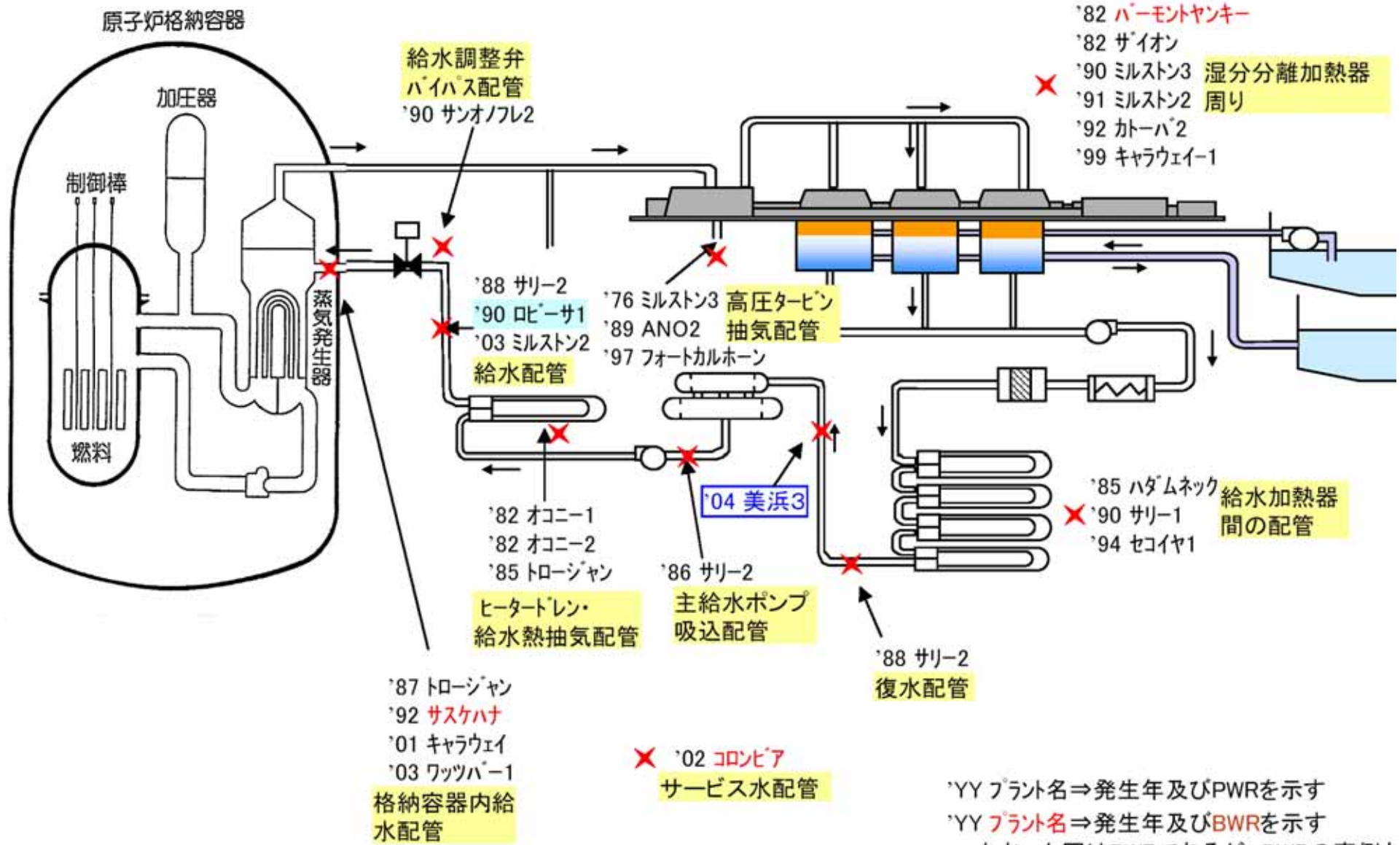




美浜原発



# PWR 2次系での事故事例



'82 ハーモントヤンキー  
'82 サイオン  
× '90 ミルストン3 湿分分離加熱器  
'91 ミルストン2 周り  
'92 カーハ2  
'99 キャラウェイ1

給水調整弁  
バイパス配管  
'90 サンオフレ2

'88 サリー2  
'90 ロビーサ1  
'03 ミルストン2  
給水配管

'76 ミルストン3 高圧タービン  
'89 ANO2 抽気配管  
'97 フォートカルホーン

'85 ハダムネック 給水加熱器  
間の配管  
× '90 サリー1  
'94 セコイヤ1

'82 オコニー1  
'82 オコニー2  
'85 トローシャン  
ヒータートレン・  
給水熱抽気配管

'86 サリー2  
主給水ポンプ  
吸込配管

'88 サリー2  
復水配管

'87 トローシャン  
'92 サスケハナ  
'01 キャラウェイ  
'03 ワッツパー1  
格納容器内給  
水配管

× '02 コロンビア  
サービス水配管

'YY プラント名⇒発生年及びPWRを示す  
'YY プラント名⇒発生年及びBWRを示す  
なお、上図はPWRであるが、BWRの事例も  
ほぼ対応する部分に記載した



# オリフィスと乱流

復水管破損の模式図

(関西電力の説明を元に作成)

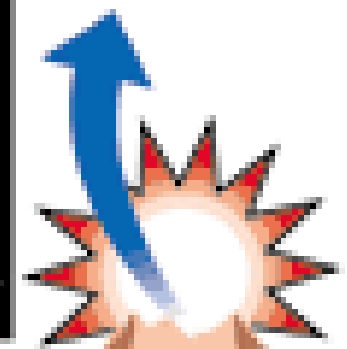
復水器から

内径54cm

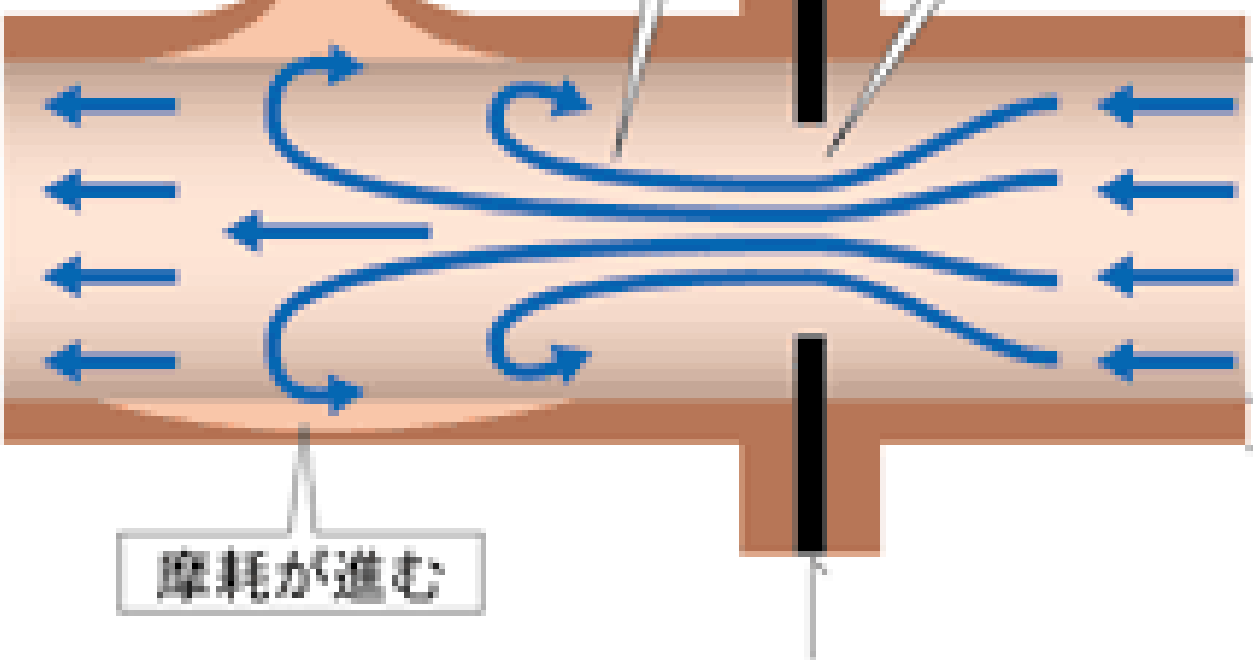
厚さ1cm

内径34cmに絞られる

下流に乱れが発生



破損し高温高圧の水が  
水蒸気となって噴出

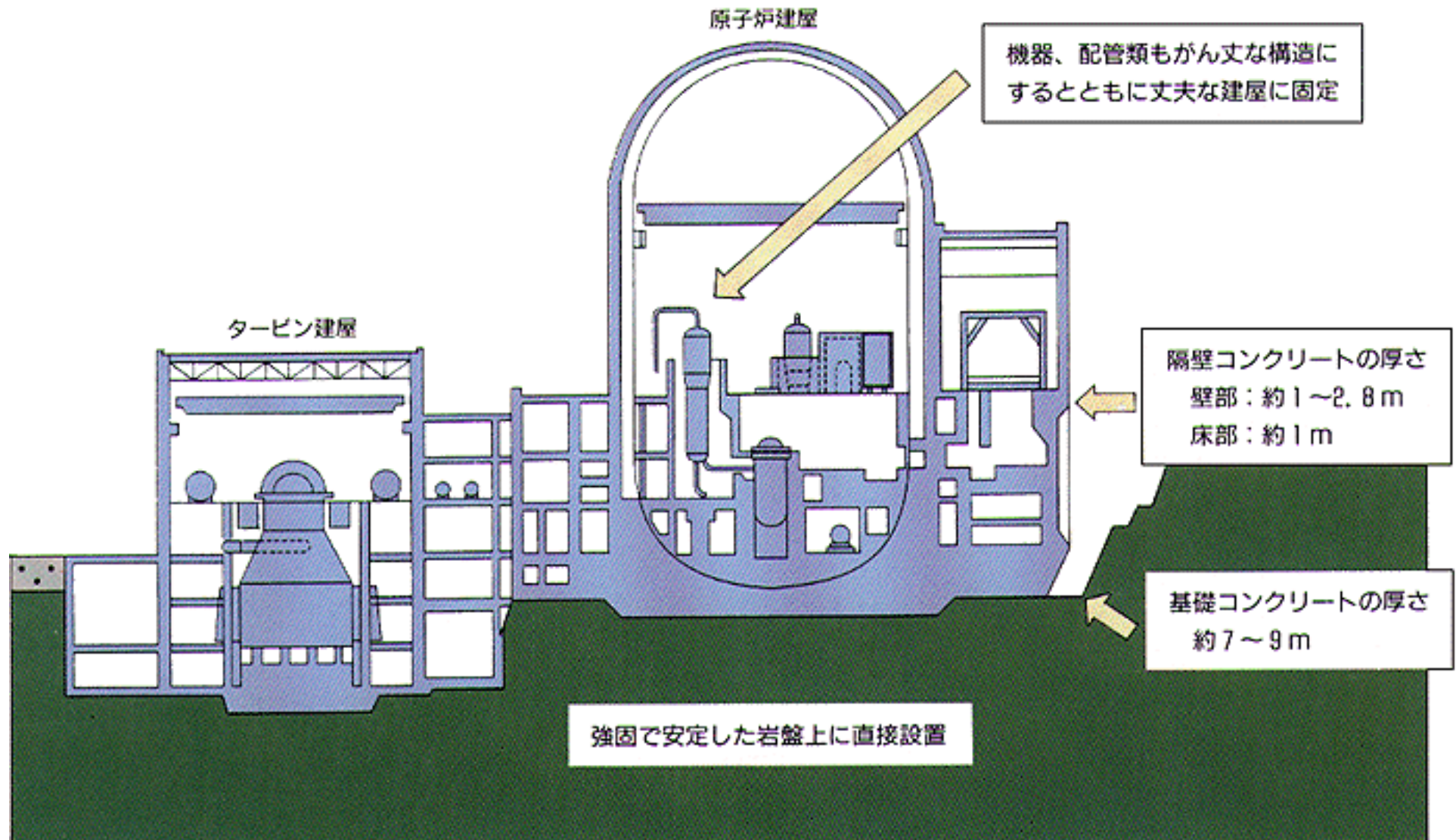


流量計測装置(オリフィス)

摩耗が進む

蒸気発生器

# 原子炉建屋とタービン建屋



# タービン建屋



# タービン建屋2階



# タービン建屋2階事故現場方向



# 配管の下に作業机



# 作業机



# 破損部写真

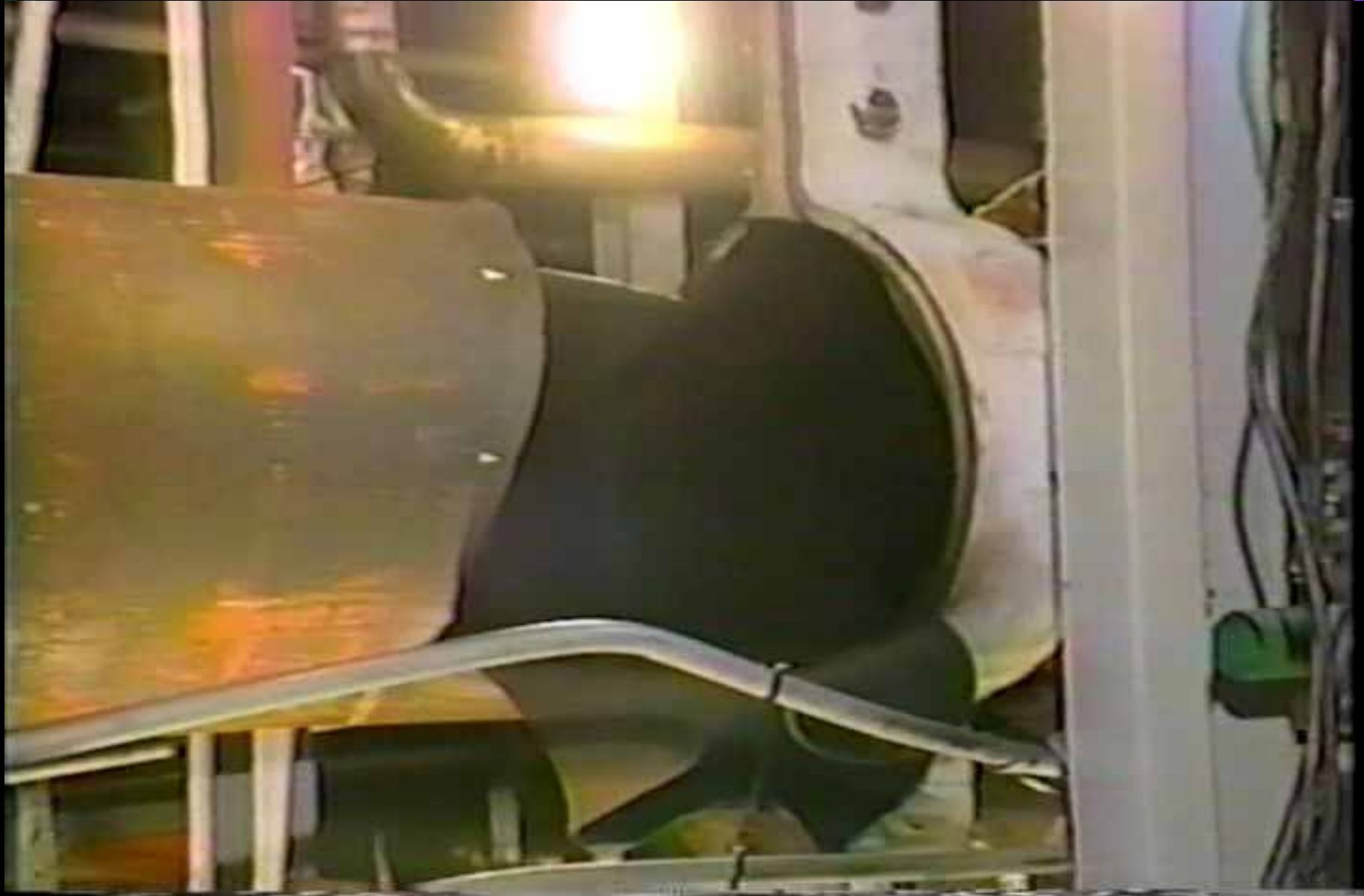




# 破裂配管



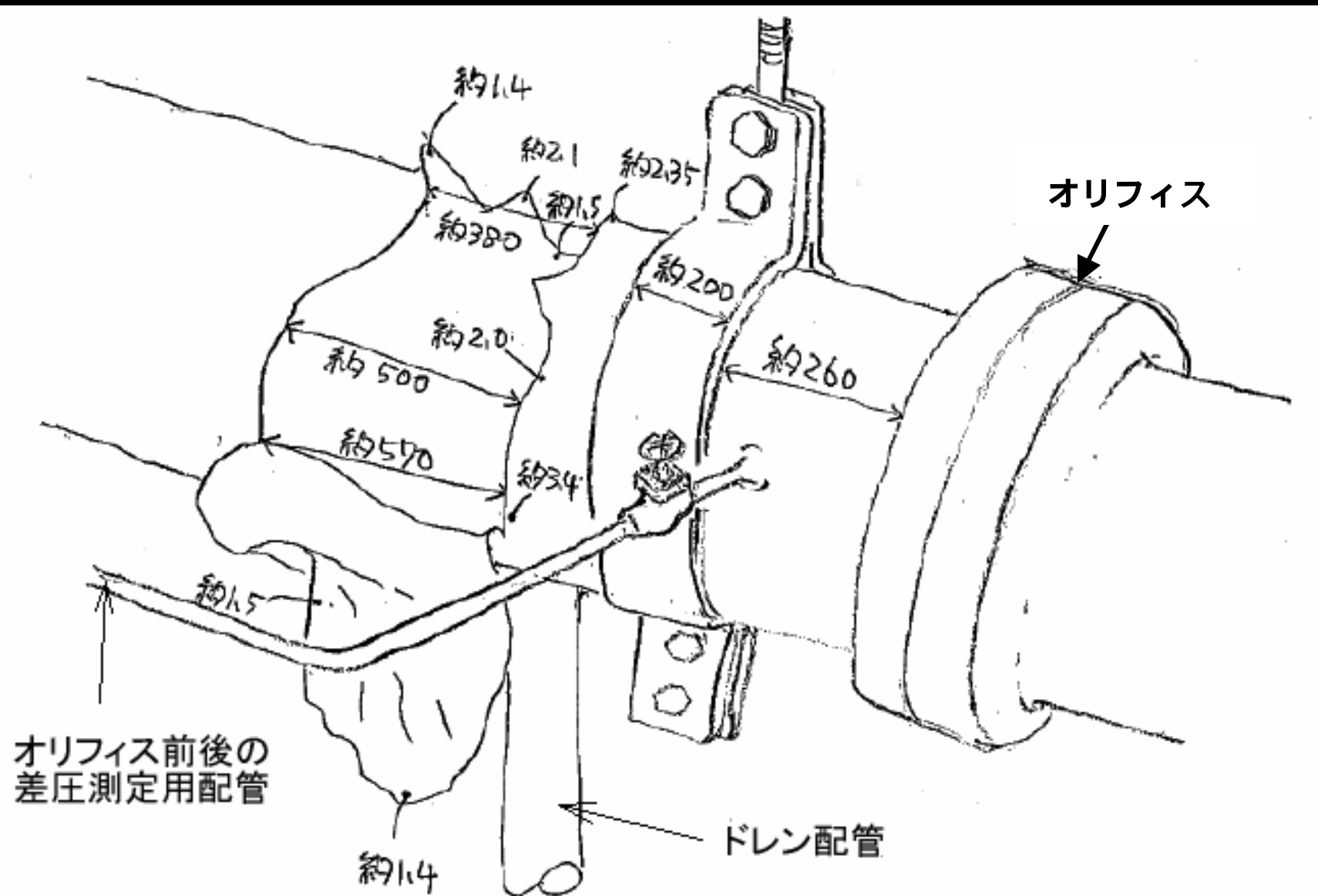
# 破裂配管



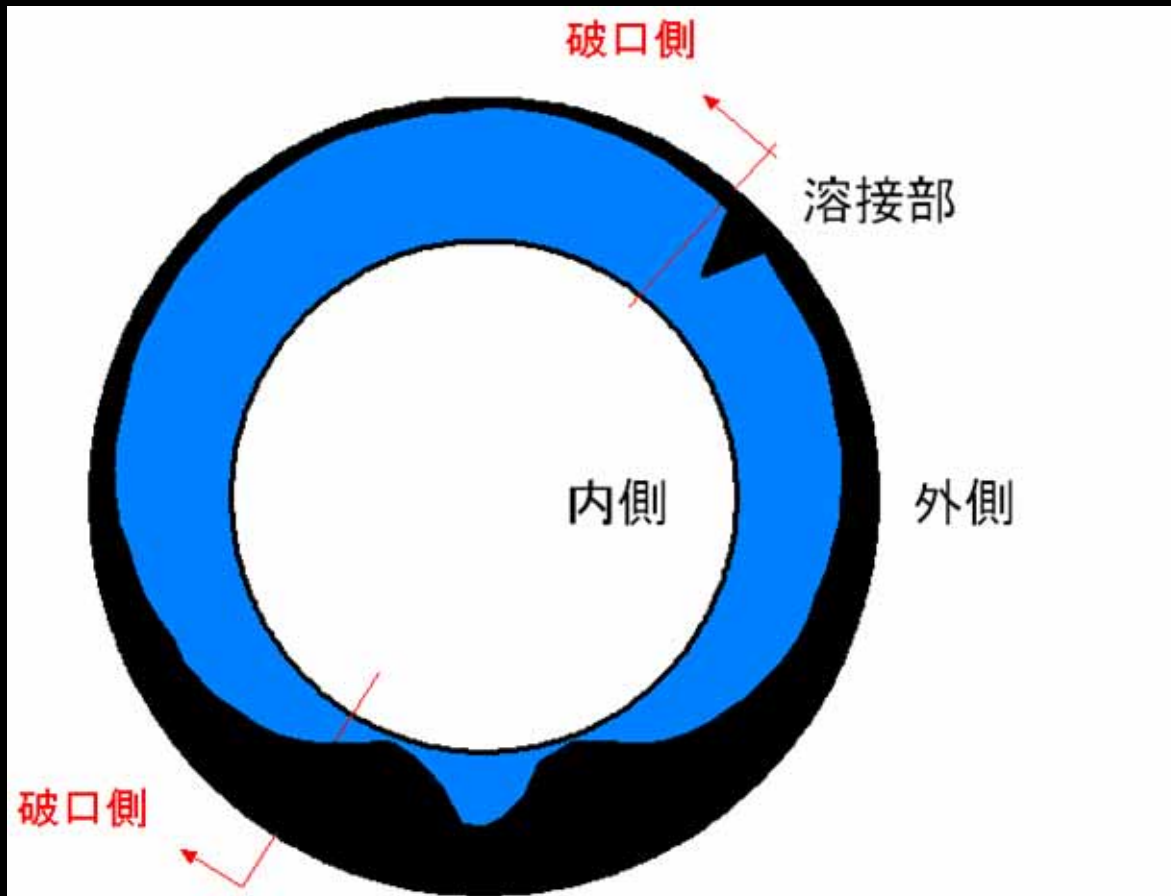
# 破損部写真(拡大)



# 破損部スケッチ



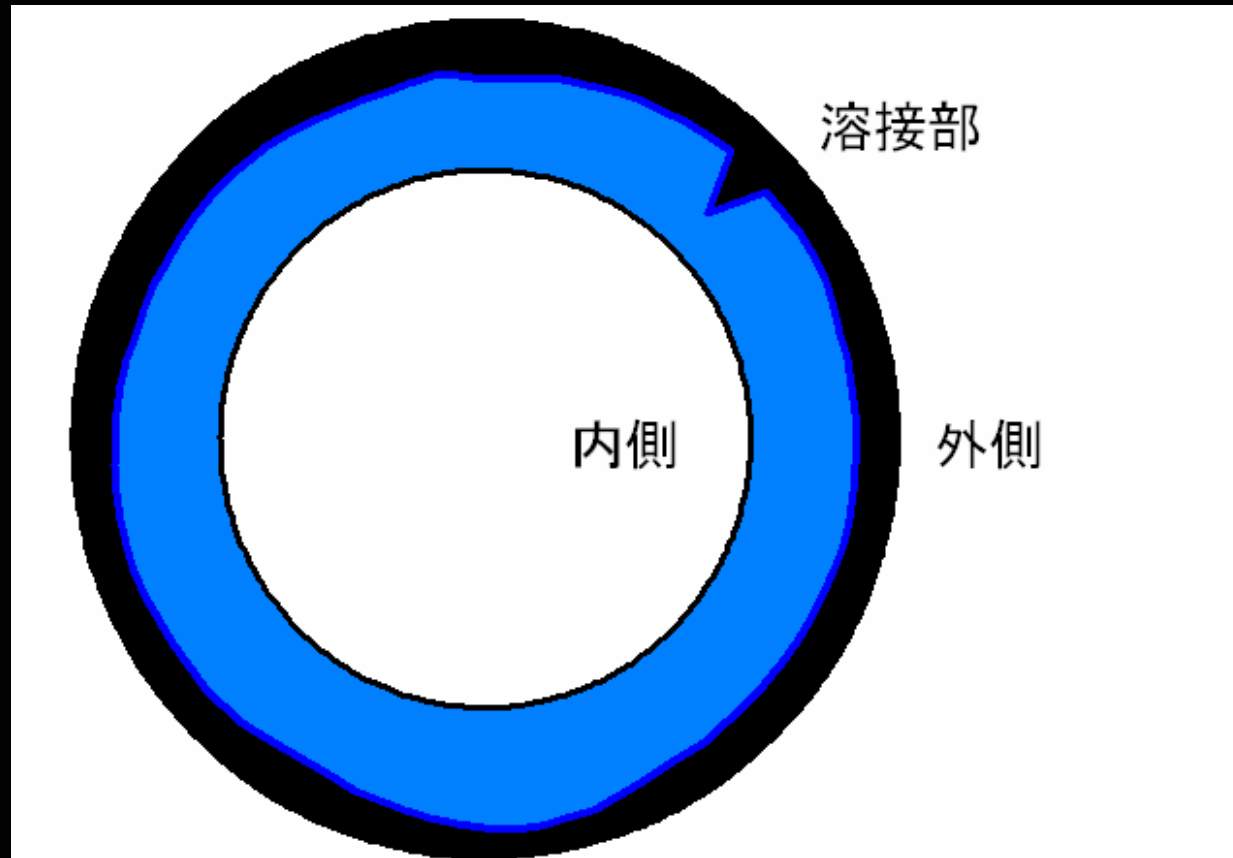
# A系列(破裂配管)の周方向減肉状況



上流方向から見た配管断面

本来の配管の外径は560mm、厚さは10mmであるが、ここでは、外径を56mmとしてある。

# B系列の配管の周方向減肉状況



上流方向から見た配管断面

本来の配管の外径は560mm、厚さは10mmであるが、ここでは、外径を56mmとしてある。

# 裏側から見た破裂部



# 極度に減肉した部分

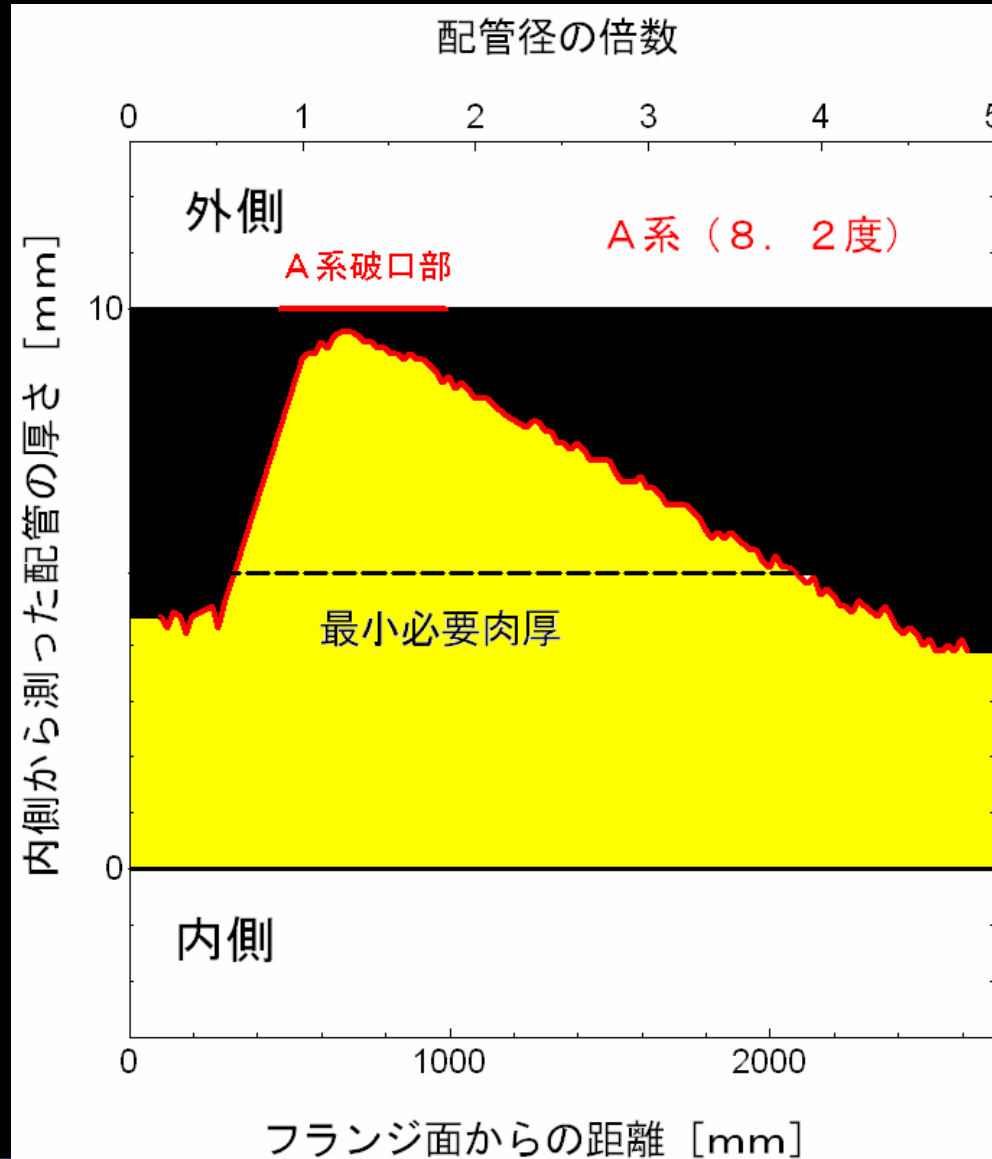




# 極度に減肉した部分

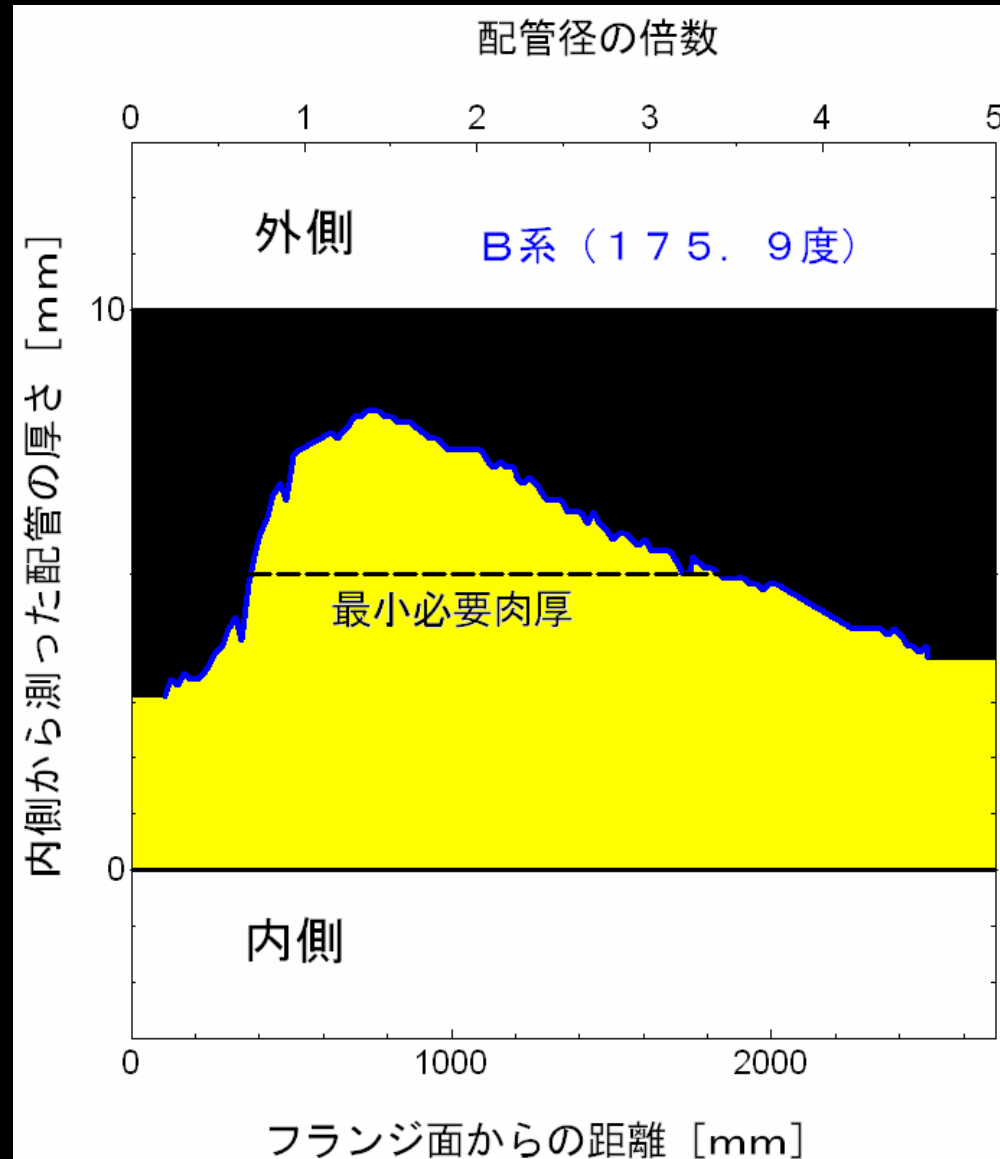


# A系列(破裂配管)の軸方向減肉状況



度数は頂上を0とし、流れ方向にみて右回りに図った角度

# B系列の配管の軸方向減肉状況

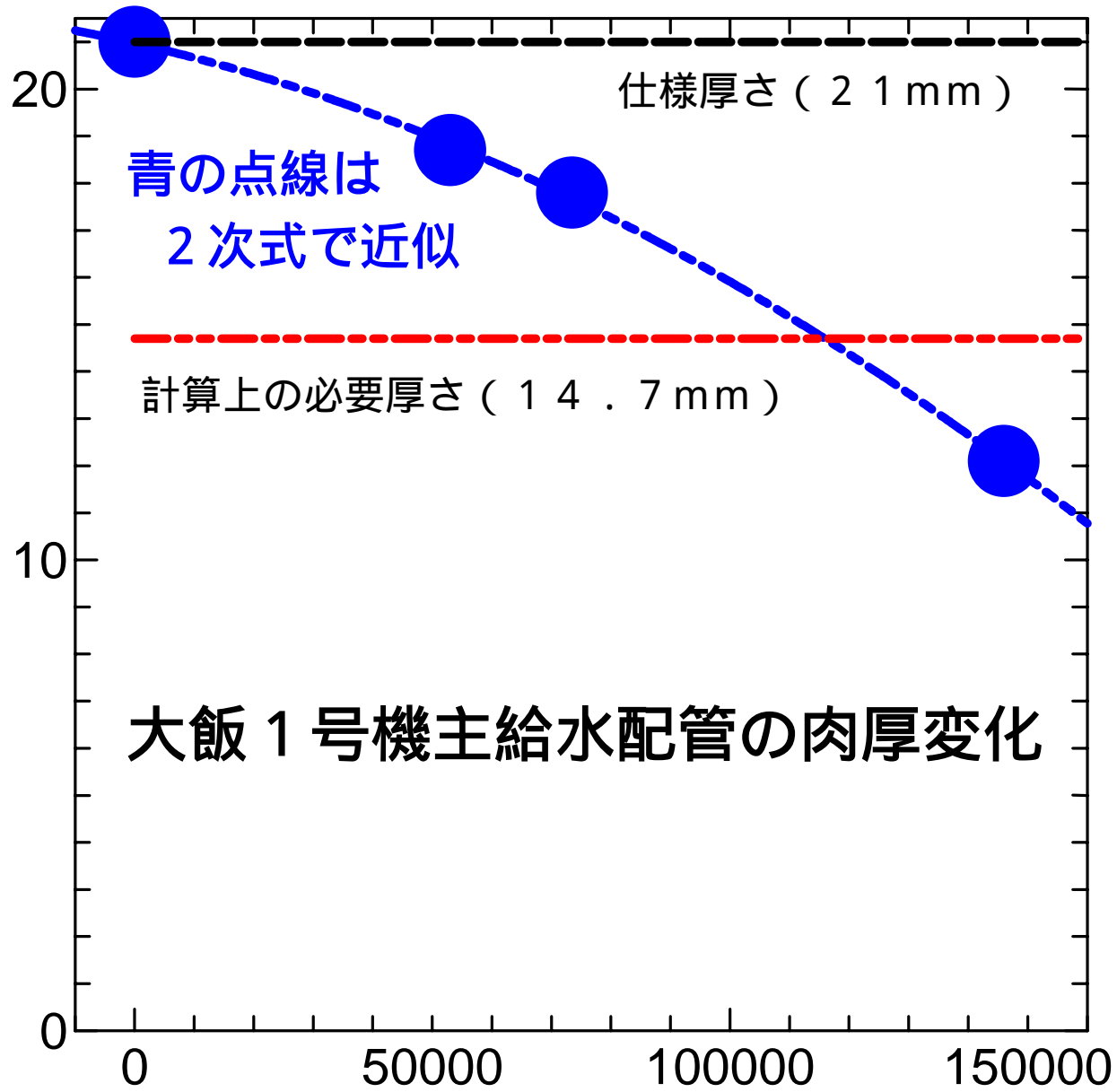


角度は頂上を0とし、流れ方向にみて右回りに図った角度

# 大飯1号機、主給水配管における減肉測定結果

配管形状	元々の厚さ	計算上の必要厚さ	実測最小量
A - 主給水配管曲がり部 (45°)	21 mm	15.7 mm	14.5 mm
B - 主給水配管曲がり部 (90°)			12.1 mm
C - 主給水配管曲がり部 (90°)			13.9 mm
D - 主給水配管曲がり部 (90°)			20.0 mm

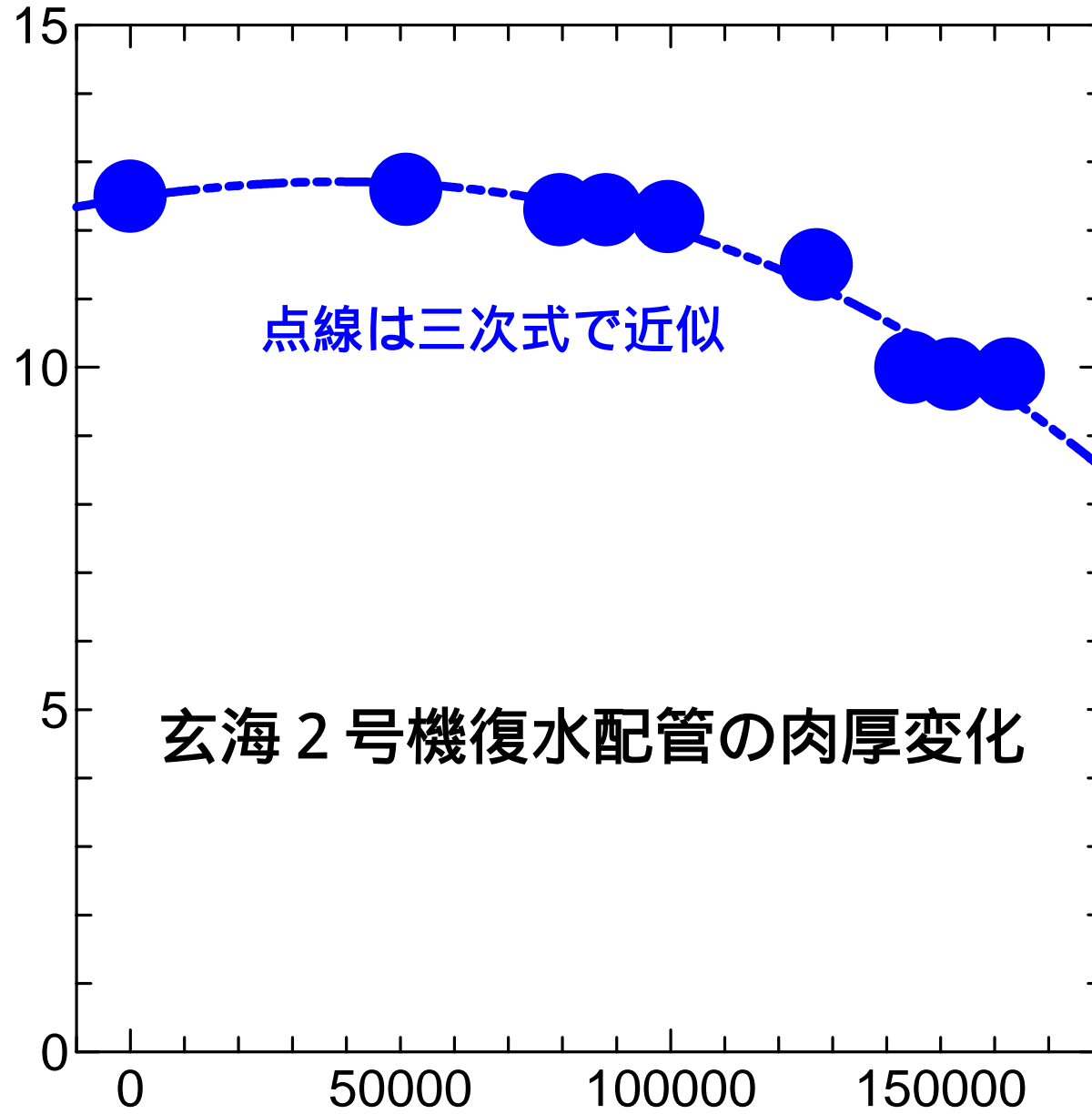
配管肉厚 [ mm ]



大飯 1 号機主給水配管の肉厚変化

実稼働時間 [ 時 ]

配管肉厚 [ mm ]



玄海 2 号機復水配管の肉厚変化

実稼働時間 [ 時 ]

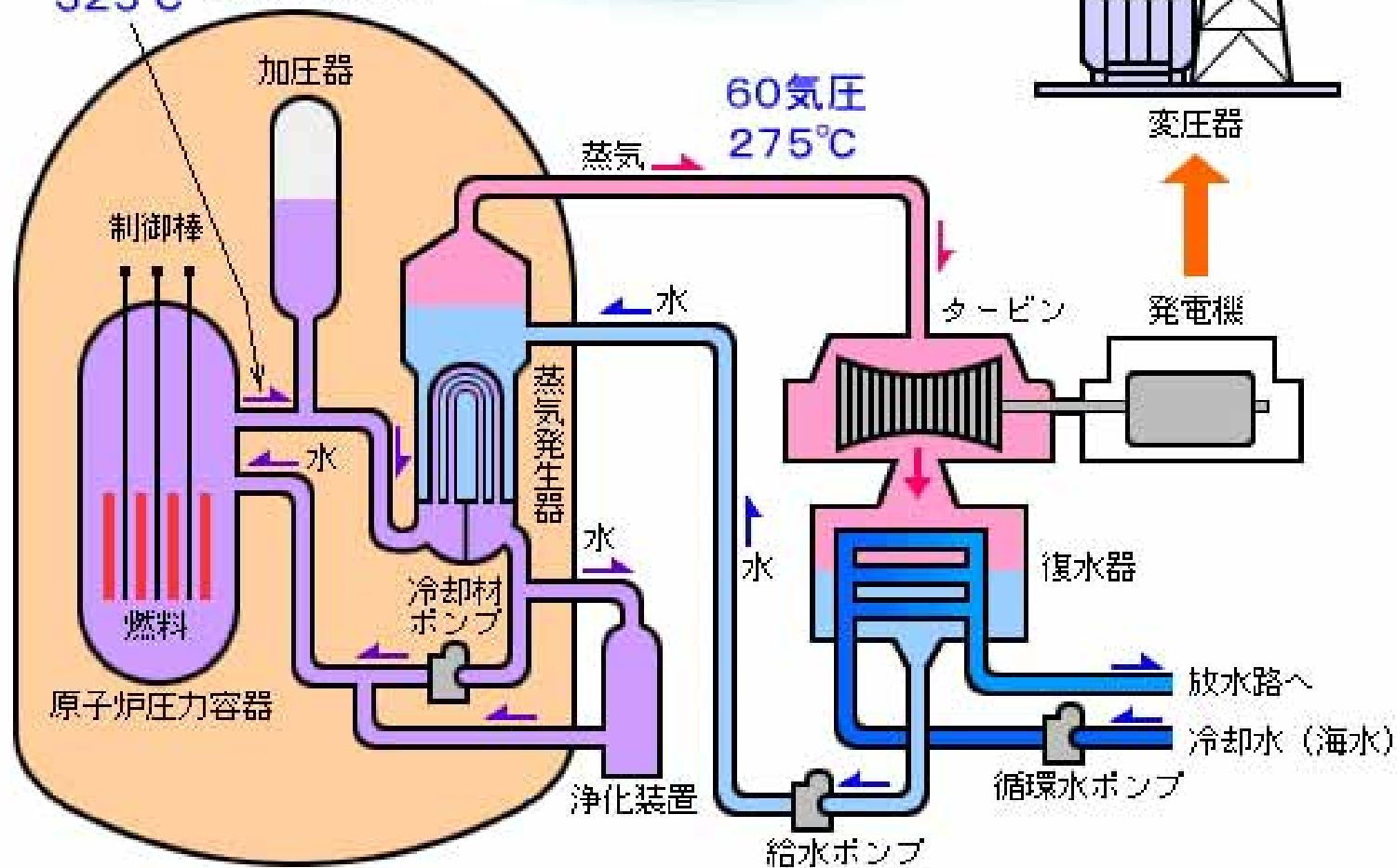
## 肉厚管理の実態（保安院資料2004/9/27）

	点検対象部位	点検済	未実施部位	管理外
PWR (23基)	81769	61934	19820	17
BWR (29基)	66146	9728	56418	-
合計	147915	71662	76238	17



157気圧  
325°C

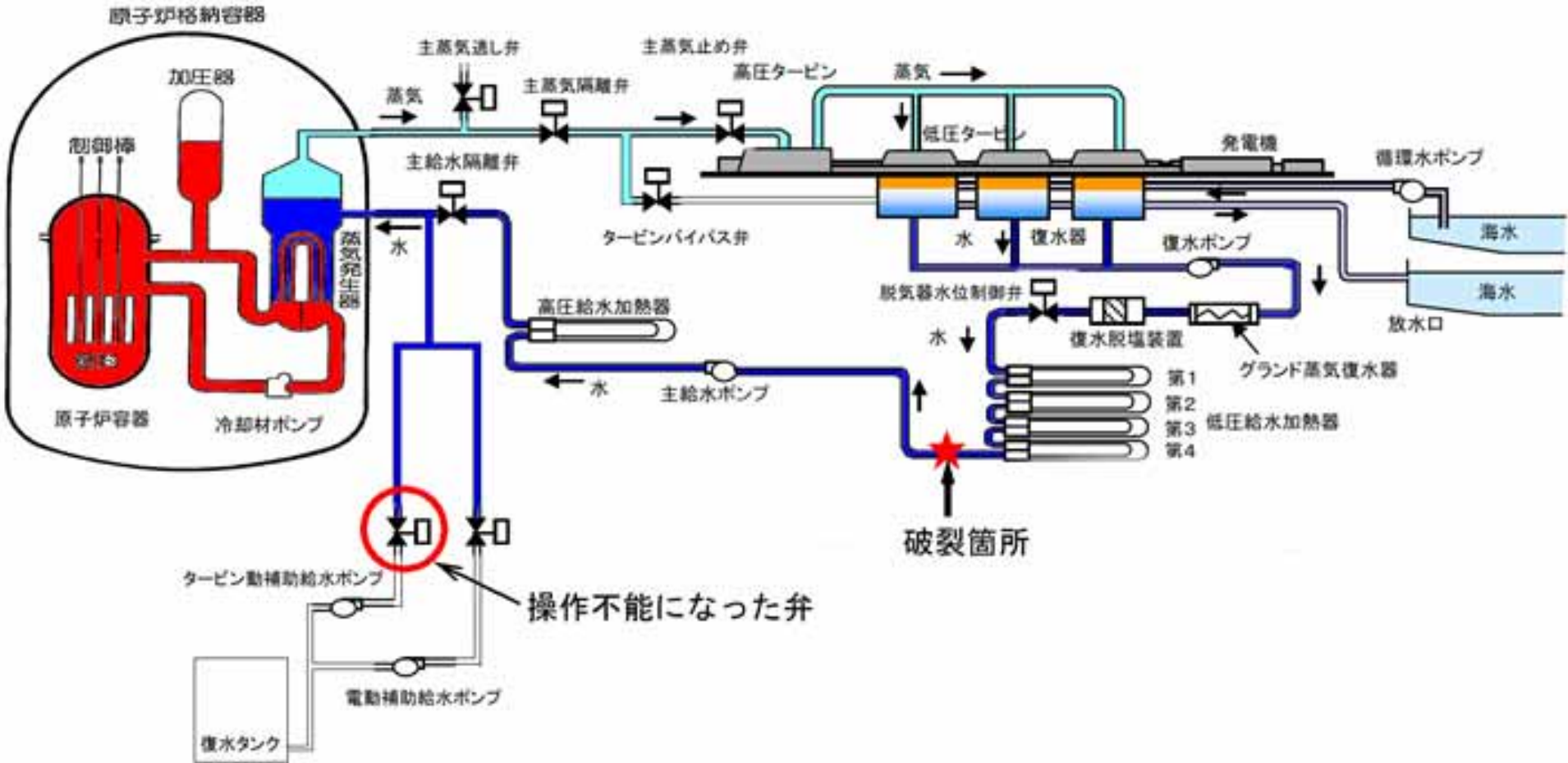
原子炉格納容器



P  
W  
R  
概念図



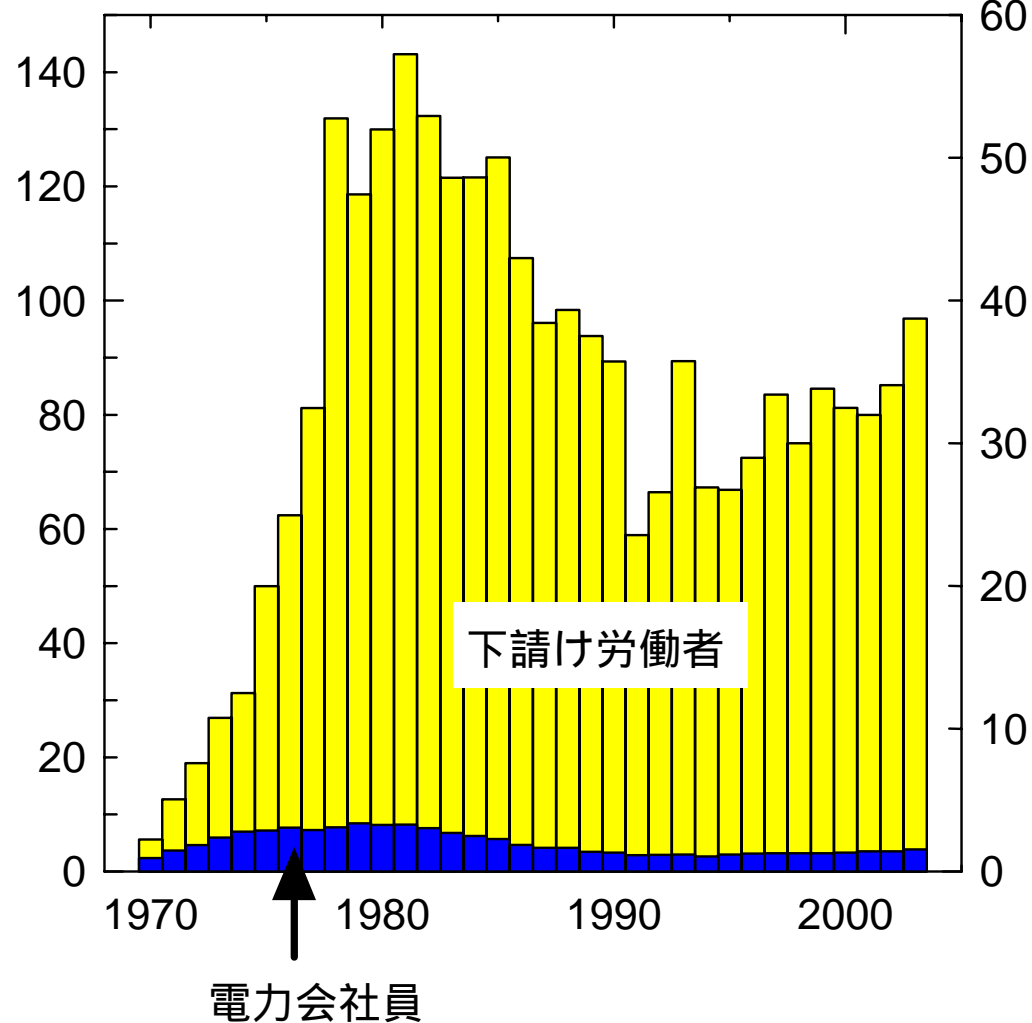
# 美浜3号機2次系の冷却



# 原発労働者の年度毎の被曝線量と予想されるガン死者数

J.W.Gofman  
のリスク係数で  
評価した  
ガン死者数 [人]

[シーベルト・人]



ICRPのリスク係数を用いると死者数は1 / 8になる。

# 剥き出しになった配管



# 正常なオリフィス部のフランジと保温材



# 飛び散った保温材

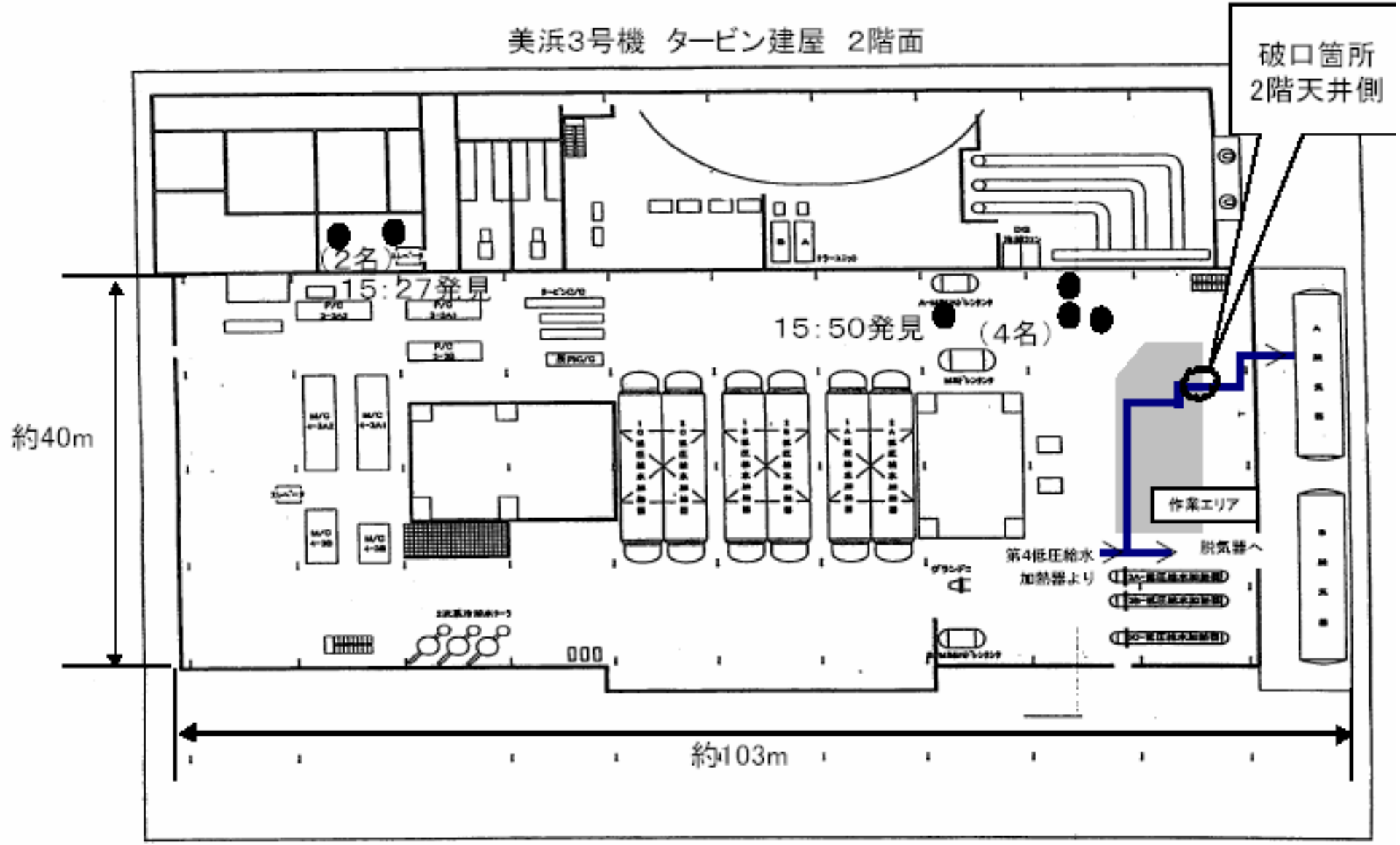


# 飛び散った保温材



# 配管破裂場所と被災者の位置

● : 発見場所

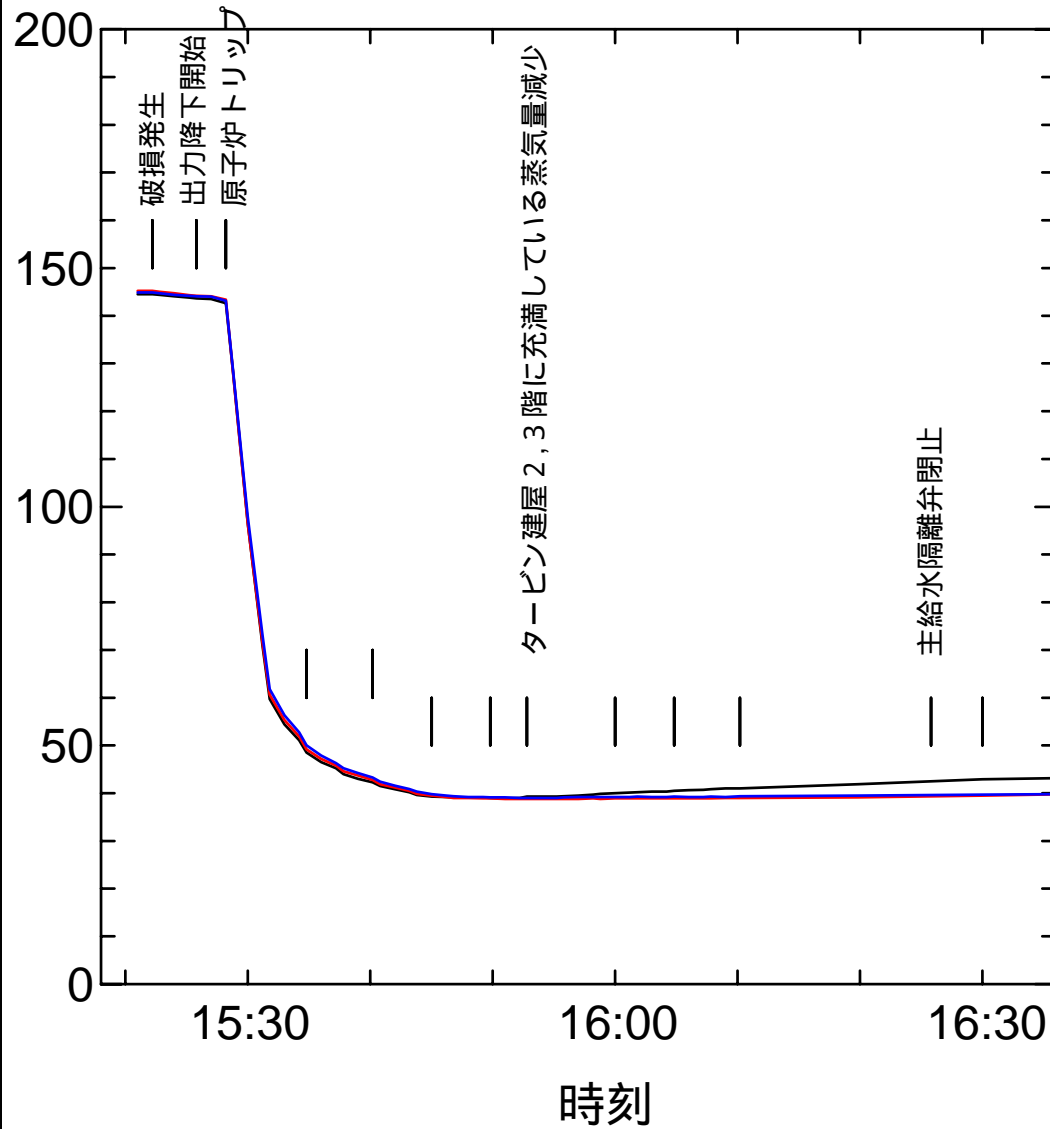


蒸気が凝縮して水になって抽斗に溜まった





## 第4 低圧給水加熱器出口温度 [ ]



数字は搬出された労働者のうち何人目かを示す。  
赤字は死亡

熱水の温度と被災者搬出状況

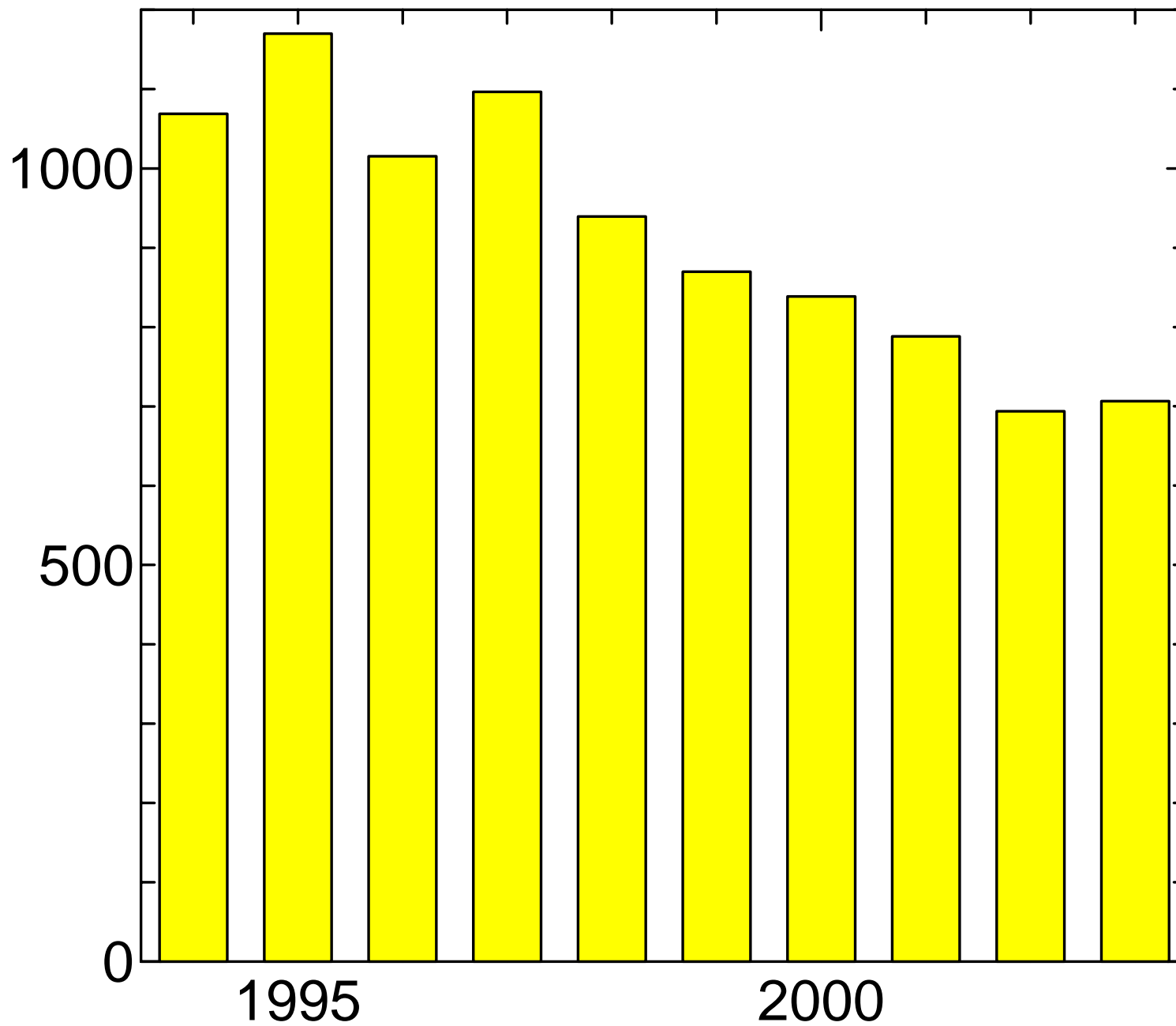
# 4名が倒れていた場所



当時は熱湯が溜まっていた場所



[ 億円 ]



関電原発の修繕費

# 電力会社が原発を進める理由 (電気事業法が利潤を決める)

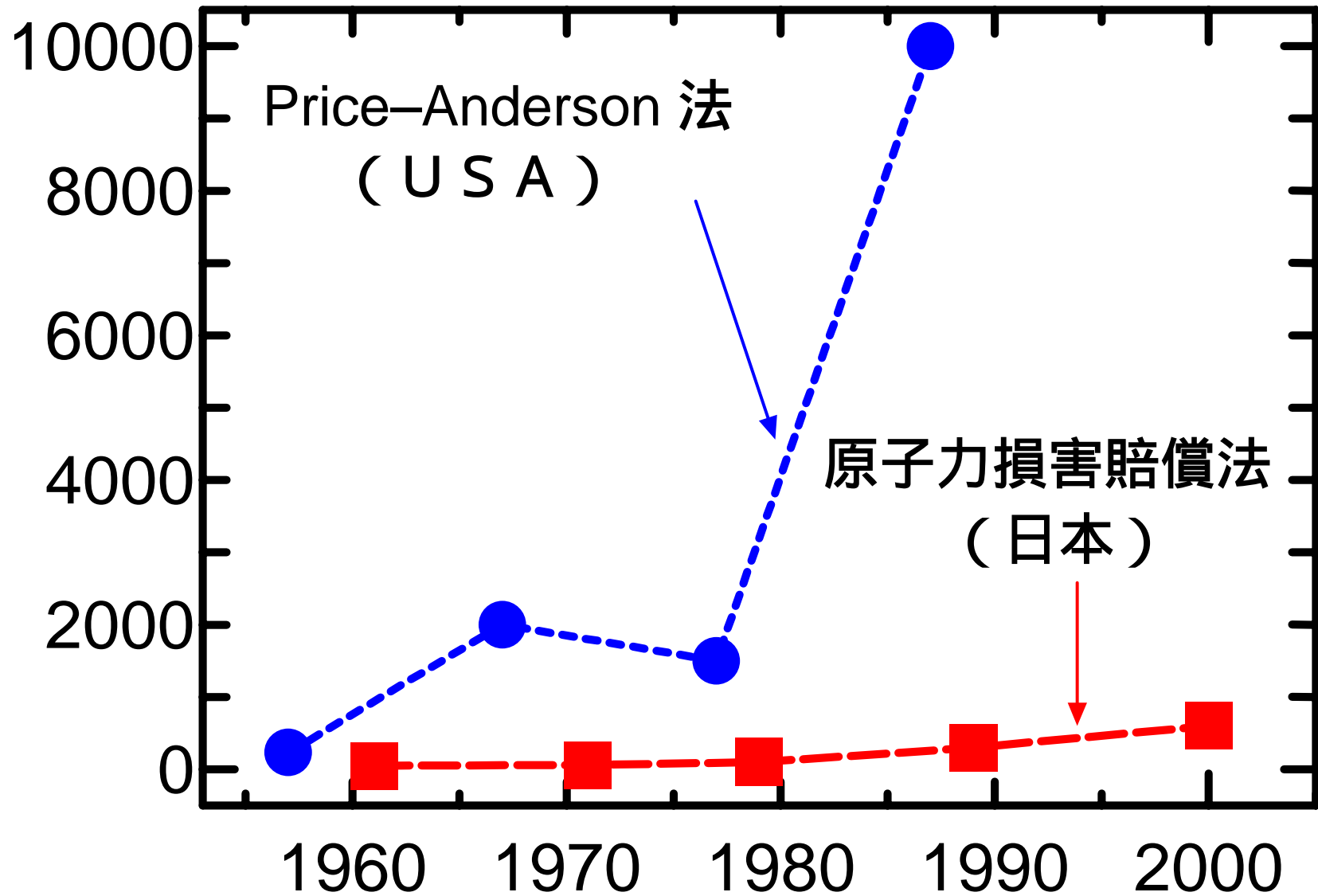
総括原価 = 必要経費 (減価償却費 + 営業費 + 諸税) + 利潤

利潤 (事業報酬) = レートベース × 報酬率 7.2%

レートベース = 固定資産 + 建設中資産 +  
核燃料資産 + 繰延資産 +  
運転資本 + 特定投資

原発は建設費が高く、建設期間が長く、核燃料を備蓄すればそれも資産となり、研究開発などの特定投資も巨額で、それらすべてが利潤を膨れ上がらせる。

[ 億円 ]



原発大事故時の賠償限度額

# PWR管理指針の初期設定減肉率

			温度				
			100°C未満	100°C ~150°C	150°C ~200°C	200°C ~250°C	250°C以上
二相流 湿り度 15%以上	流速	30m/s 未満		① 0.30	② 0.35		
		30m/s ~50m/s			③ 1.15		
		50m/s 以上					
二相流 湿り度 5~15%	流速	30m/s 未満			④ 0.35		
		30m/s ~50m/s			⑤ 1.15		
		50m/s 以上					
二相流 湿り度 5%未満 (ドレン巻 込みの可 能性有り)	流速	30m/s 未満			⑥ 0.35		
		30m/s ~50m/s			⑦ 1.15		
		50m/s 以上					
水单相 流	流速	3m/s 未満		⑧ 0.45	⑨ 0.30		
		3m/s ~6m/s			制御弁下 流部及び 玉型逆止 弁下流部 のみ		
		6m/s 以上					

注) 1.WR(0)の単位は  $\times 10^{-4}$ mm/Hr



2.表中

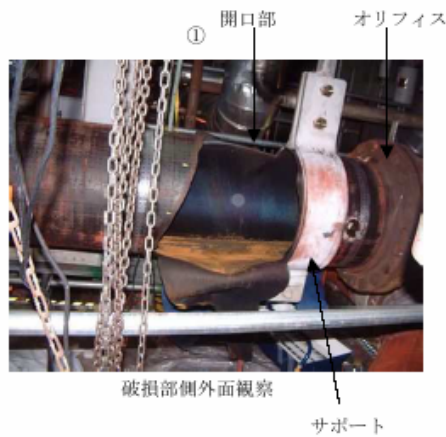
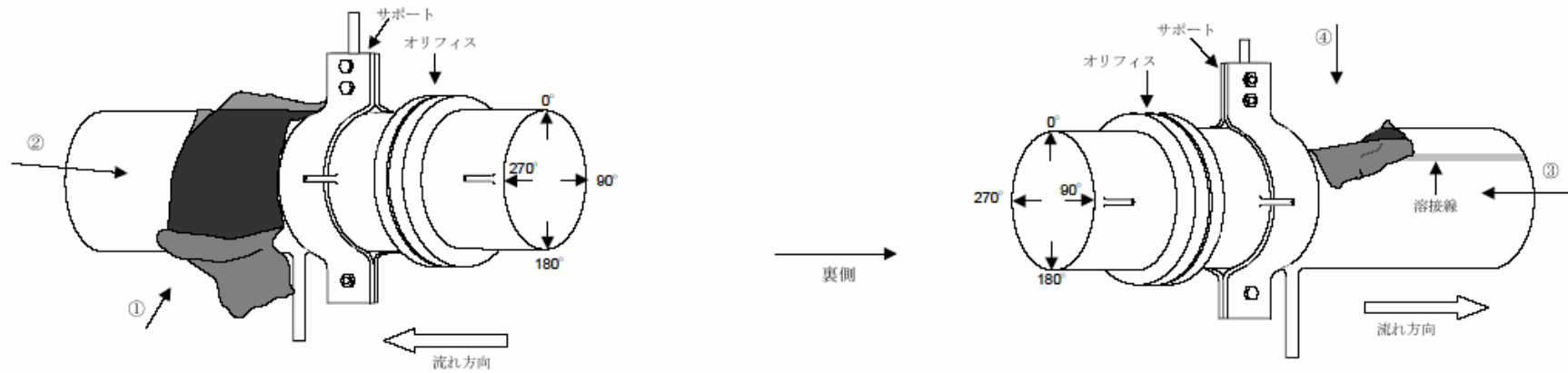
の範囲

(1) 制御弁下流部は表中の数値に5倍する

(2) 玉型逆止弁下流部は表中の数値に2倍する

# 破裂配管の外観 - 1

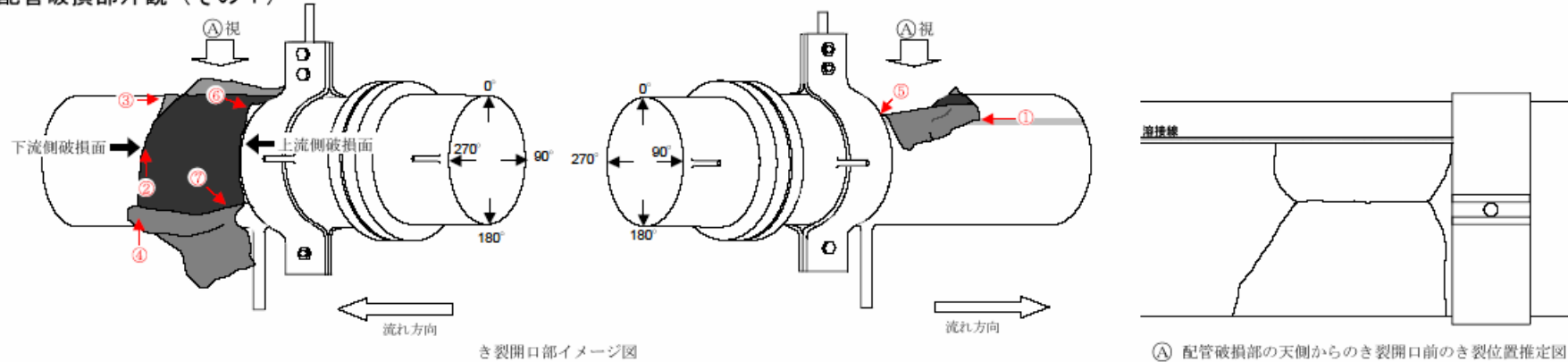
## 配管破損部外観





# 破裂配管の外観 - 2

配管破損部外観 (その1)



① 配管破損部の天側からのき裂開口前のき裂位置推定図

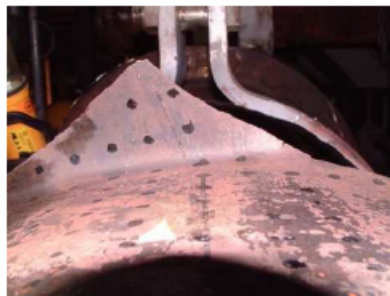
下流側破損面



① き裂停止部外観 (下流側から観察)



② 配管破損部 (下流側から観察)



③ 開口部天側 (下流側から観察)



④ き裂停止部 (下流側から観察)

上流側破損面



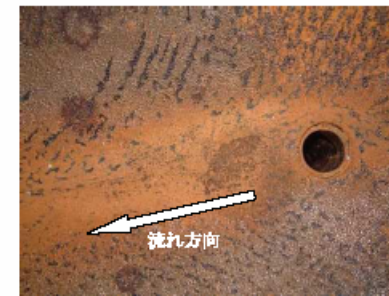
⑤ き裂停止部 (上流側・内面側から観察)



⑥ サポート側0°位置外観



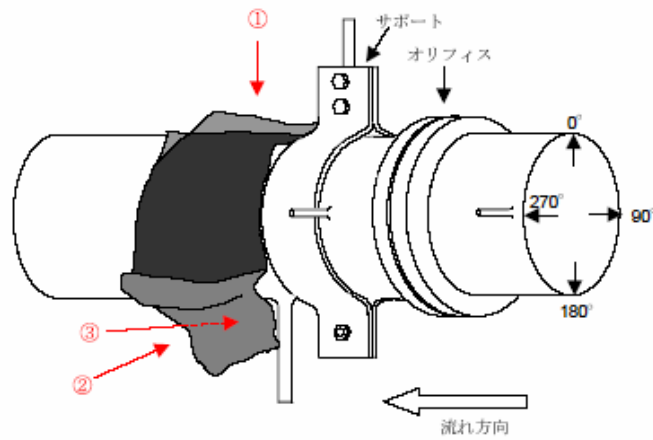
⑦-1 ドレン穴周辺



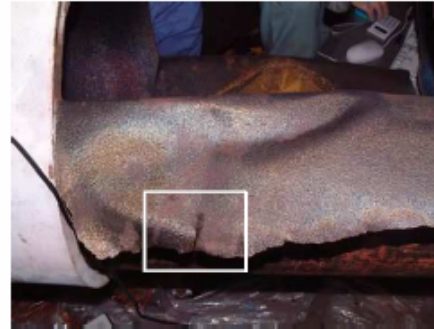
⑦-2 ドレン穴周辺

# 破裂配管の外観 - 3

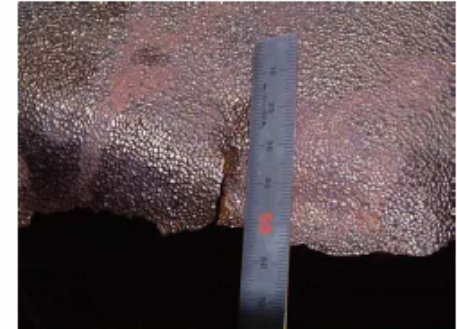
配管破損部外観 (その2)



①



拡大



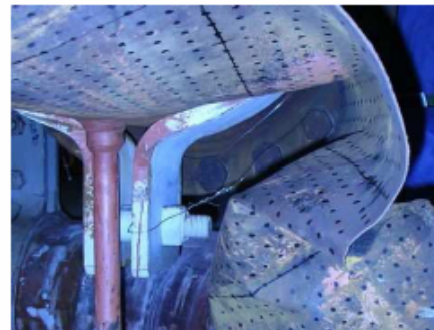
②



拡大

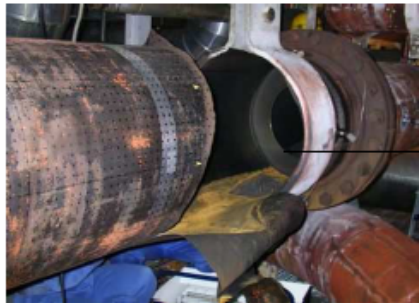


③

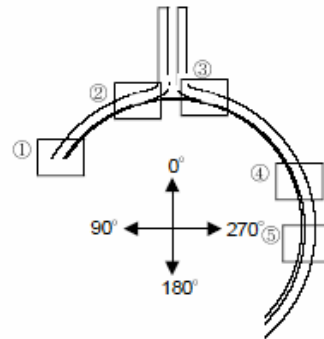


# 破裂配管の外観 - 4

## 配管破断面観察結果 (サポート部直下)

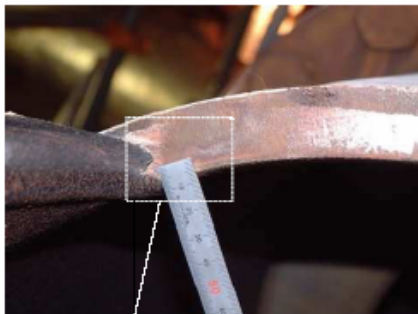


断面の模式図



下流側からの図

①

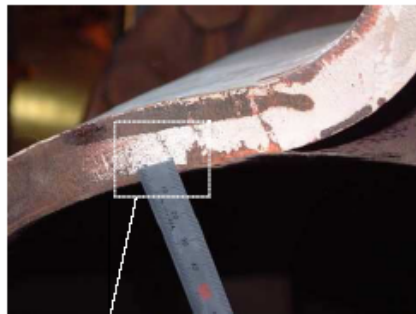


溶接線付近外観 (40°)  
拡大

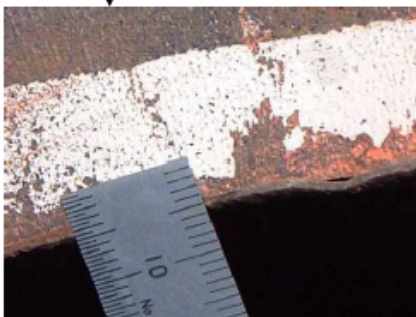


溶接線付近外観 (拡大)

②



天頂部付近外観 (10°)  
拡大



天頂部付近外観 (拡大)

③



天頂部付近外観 (約 320°)



側面付近外観 (約 260°)

④



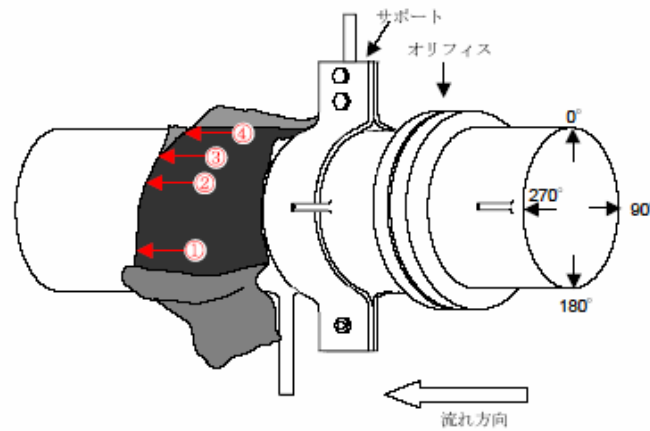
側面付近外観 (約 290°)

⑤



# 破裂配管の外観 - 5

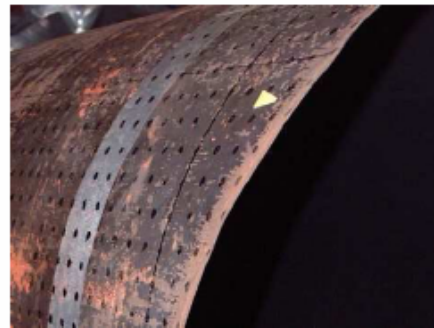
配管破損面観察結果（下流側破損面）



き裂開口部イメージ図



① 270° 付近



② 300° 付近



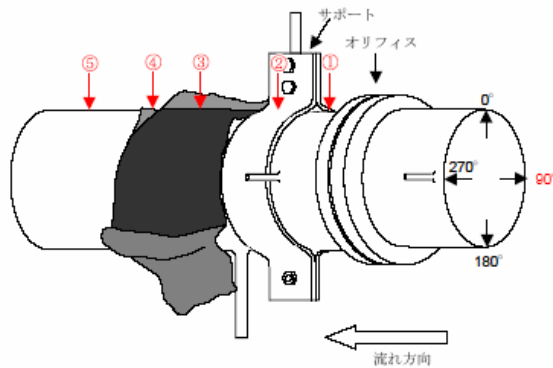
③ 三角形めくれ上がり部根本付近



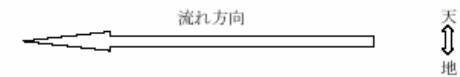
④ 三角形めくれ上がり部頂点付近

# 破裂配管の外観 - 6

## 配管内面観察結果



配管の状況と内面観察位置



90° 内面



⑤ 開口部下流側 約500mm  
(オリフィスから約 1200mm)

④ 開口部直近下流側  
(オリフィスから約 900mm)

③ 開口部中央部  
(オリフィスから約 700mm)

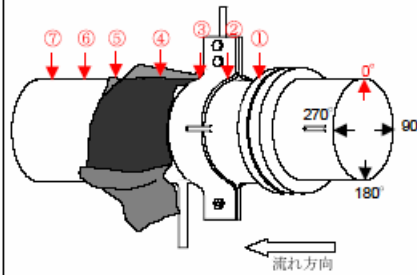
② サポート中央部  
(オリフィスから約 400mm)

① オリフィス近傍 (計測管付近)  
(オリフィスから約 200mm)

# 内面観察結果

## 内面拡大観察結果 (0°)

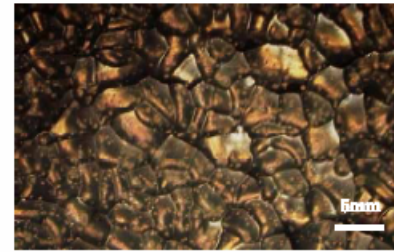
撮影機器：デジタルマイクロスコープ



①オリフィスからの距離：30mm



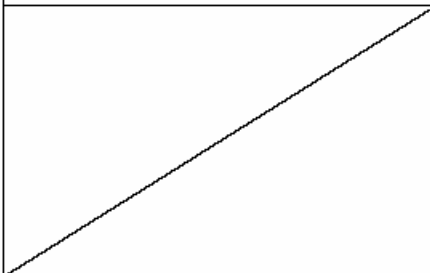
②オリフィスからの距離：280mm



③オリフィスからの距離：490mm



④オリフィスからの距離：730mm



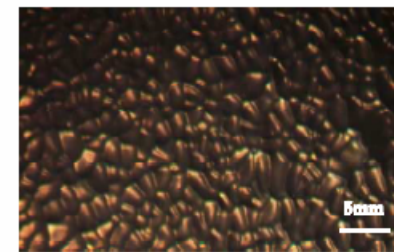
⑤オリフィスからの距離：1120mm



⑥オリフィスからの距離：1400mm

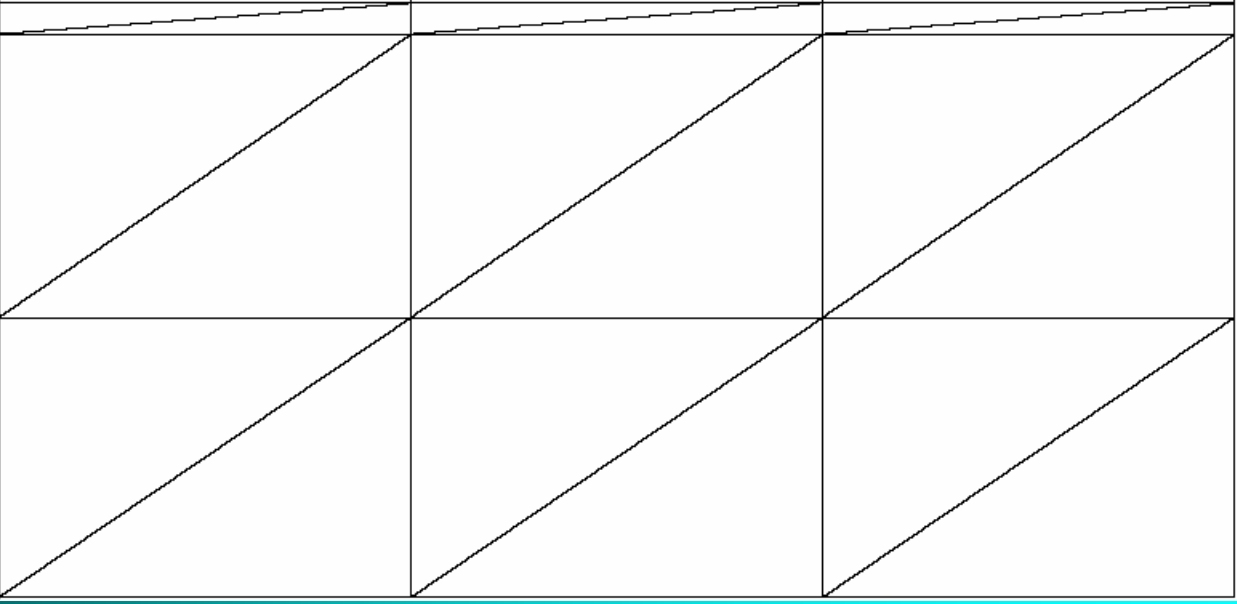
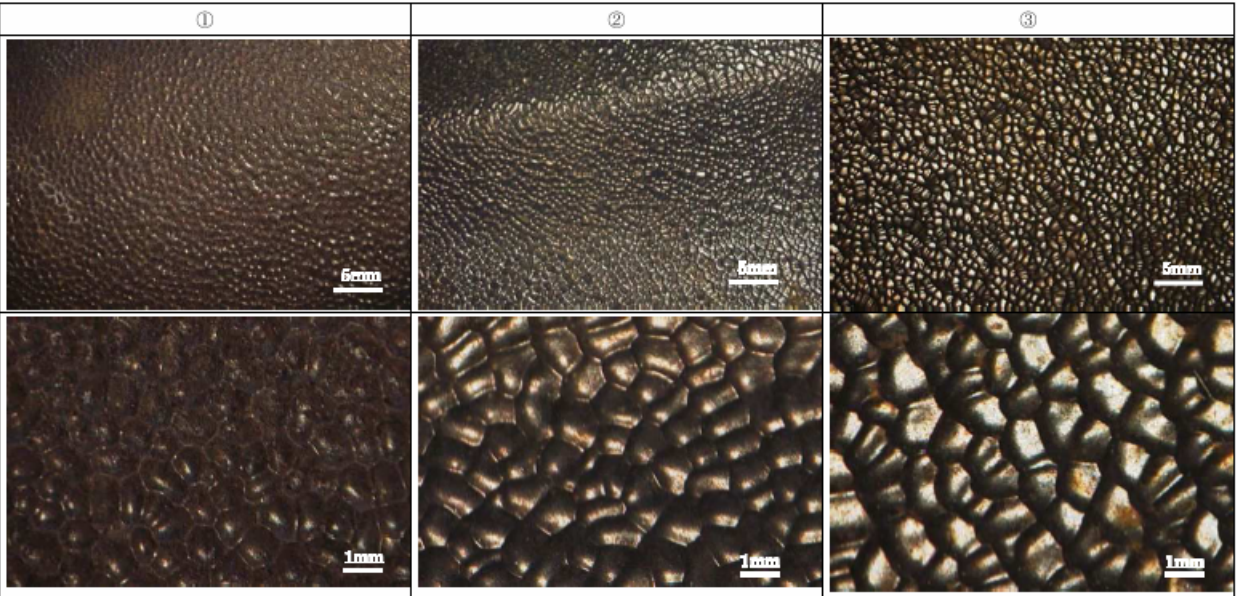
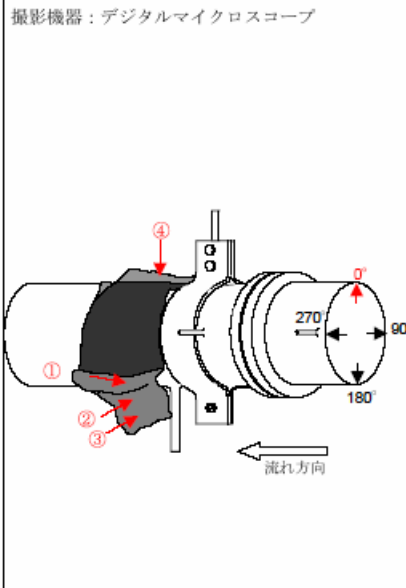


⑦オリフィスからの距離：1680mm



# 内面拡大観察結果 (破損部)

内面拡大観察結果 (破損部)



# 許容肉厚の評価

$$t = \frac{P \cdot D_o}{200S \eta + 2kP} + \alpha$$

- P : 圧力(kg/cm<sup>2</sup>)  
D<sub>o</sub> : 管の外径(mm)  
S : 材料の許容引張応力(kg/cm<sup>2</sup>)  
η : 継手の効率  
k : 材料と温度により決まる係数  
α : 付け代(mm)  
t : 計算上必要な厚さ(mm)

$$t = \frac{13.0 \times 558.8}{200 \times 10.5 \times 0.73 + 2 \times 0.4 \times 13.0} + 0$$
$$= 4.7$$