

## 美浜発電所2号機の原子炉手動停止について (化学体積制御系抽出水配管からの漏えいに係る原因と対策)

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

### 記

美浜発電所2号機(加圧水型軽水炉; 定格出力50.0万kW)は、定格出力運転中のところ、4月7日9時55分頃、運転員の巡回点検において、格納容器内の化学体積制御系抽出水配管からわずかな漏えいが発見された。

点検調査のため、同日12時より負荷降下を開始し、19時発電を停止し、19時32分に原子炉を停止した。

発電所での外観目視点検の結果、化学体積制御系抽出水配管にあるエルボ(L字型配管)の溶接部上端付近に、周方向の割れ(外表面長さ約20mm)が確認された。

なお、この事象による環境への放射能の影響はなかった。

[平成12年4月7日、10日記者発表]

### 1. 調査結果

#### (1) 試験施設調査

当該部を切り出し、試験施設にて詳細調査を行った。

浸透探傷検査の結果、エルボ背側配管外表面の溶接部上端に沿って21mmの指示が認められたが、エルボ内の配管内表面に指示は認められなかった。

割れの断面観察の結果、割れはエルボソケットの隅肉溶接部の内面端部から配管部を経由して溶接部上端外表面に向かって貫通しており、破面にはビーチマーク模様が認められた。

これらのことから、割れは内面からの疲労割れによるものと判明した。

#### (2) 現地調査

当該エルボの上流にあるA系オリフィス(穴径5.5mm、長さ305mm)の点検を行った結果、オリフィス出口部において、約35mmの範囲にわたり出口端部に向かって広がる円錐状の減肉(端部の直径で約20mm)が認められ、減肉部の表面は肌荒れしていた。

これらのことから、オリフィス出口部で流れに乱れが生じている可能性のあることがわかった。

#### (3) 運転履歴調査

抽出水系統の運転履歴(温度、圧力、流量)の調査を行った結果、運転中においては温度、圧力、流量等はほぼ一定であるが、定期検査時等

のプラント起動、停止の際には、一次冷却材浄化のため抽出水流量を増加させた運転を行っており（抽出切替）、その際、一時的にオリフィス下流側の圧力を通常運転時の約23kg/cm<sup>2</sup>から約10kg/cm<sup>2</sup>に低下させていることがわかった。

#### （４）流動試験

抽出水配管系を模擬した装置を用いて流動試験を行った結果、オリフィス出口部が健全な状態で、オリフィス下流側の圧力を約10kg/cm<sup>2</sup>に下げると、出口部で多量の気泡が発生（キャビテーション）し、その発生・消滅に伴い、配管内で圧力変動が起こることがわかった。

また、オリフィス出口部が今回認められた程度に円錐状に広がった状態では、オリフィス下流側の圧力が通常約23kg/cm<sup>2</sup>であっても、出口部で多量の気泡が発生し、配管内で圧力変動が起こることが確認された。

#### （５）割れの発生進展評価

流動試験で得られた圧力変動をもとに、エルボ溶接部の内面端部に発生する応力を評価した結果、その応力は疲労限度を超えており、当該部で割れが発生し進展すると評価された。

### ２．推定原因

#### （１）オリフィス出口部に減肉が認められた原因

抽出切替に伴い、オリフィス下流側の圧力を低下させた際、オリフィス出口部でキャビテーションが発生したことにより、オリフィス出口部内面で減肉が発生し、その後キャビテーションによる減肉が進行したものと推定された。

#### （２）エルボ溶接部に割れが発生した原因

オリフィス出口部での減肉が進行したことにより、通常運転中においてもオリフィス出口から下流側配管内にかけてキャビテーションが発生し、それに伴い配管内で発生する圧力変動が大きくなった。これにより配管系が振動し、エルボ溶接部の内面端部での発生応力が疲労限度を超えたため割れが発生し、その後徐々に進展し貫通したものと推定された。

### ３．対策

#### （１）減肉の認められたＡ系統のオリフィスと当該エルボを含む抽出水配管を新品に取り替える。

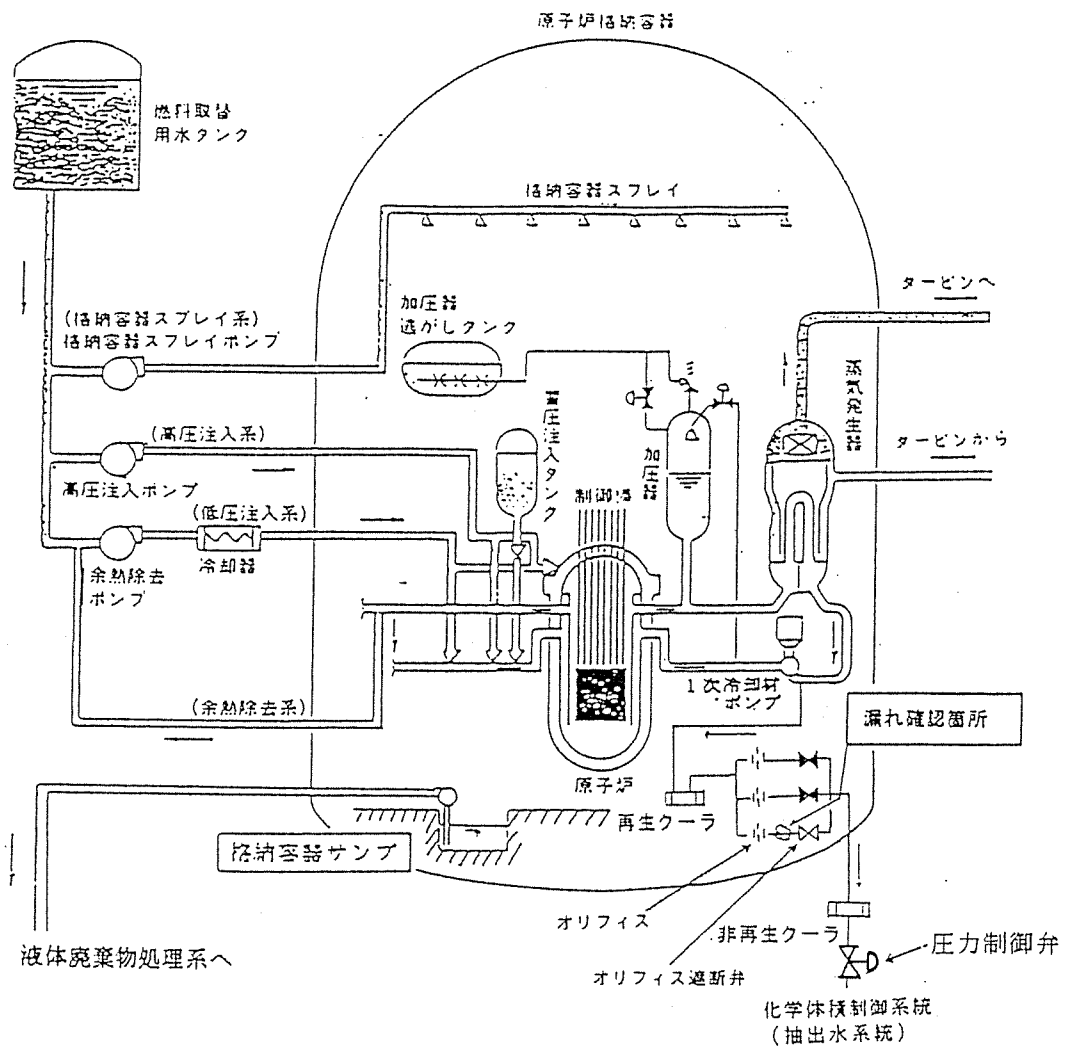
#### （２）抽出切替時に、オリフィス出口圧力をキャビテーション発生圧力以上に確保するよう運転操作を見直す。

なお、対策実施後、４月28日頃に運転を再開する予定である。

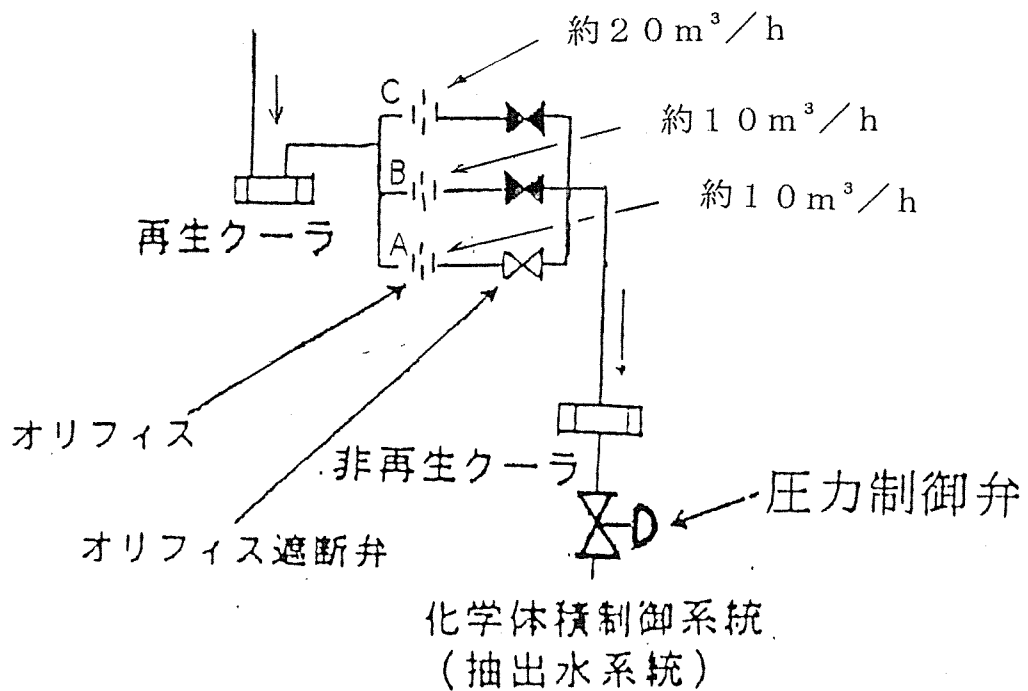
（通商産業省による I N E S の暫定評価尺度）

| 基準 1 | 基準 2 | 基準 3 | 評価レベル |
|------|------|------|-------|
| —    | —    | 0 —  | 0 —   |

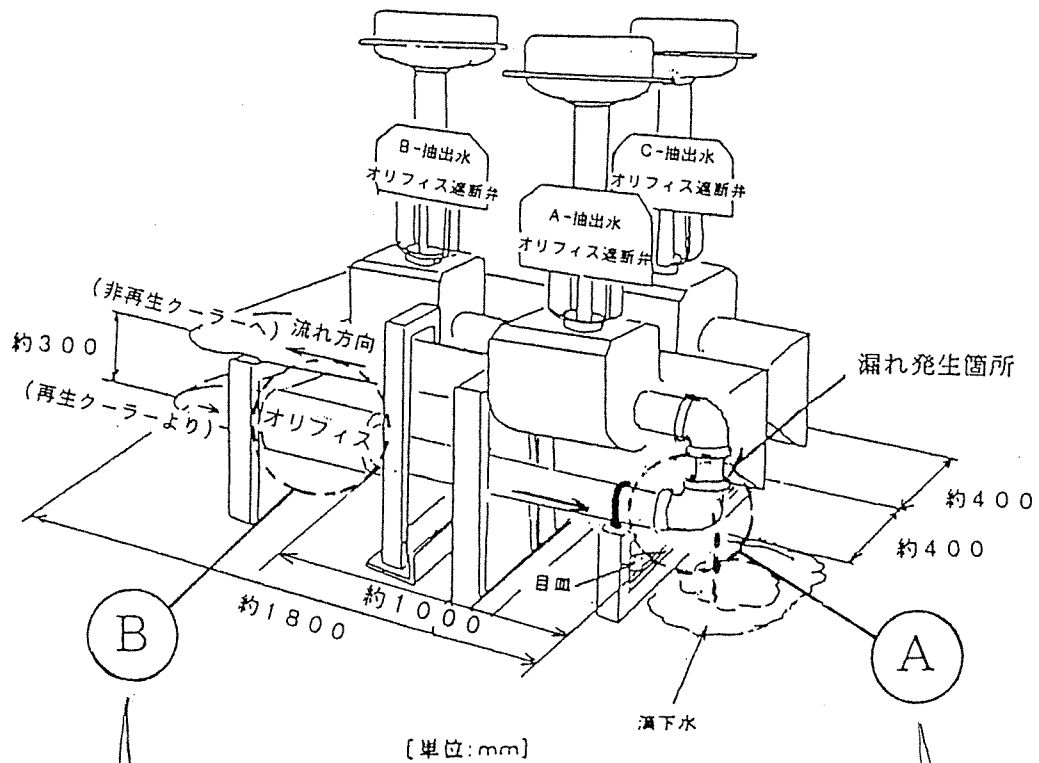
# 原子炉格納容器内概要図



## 一次冷却材系統

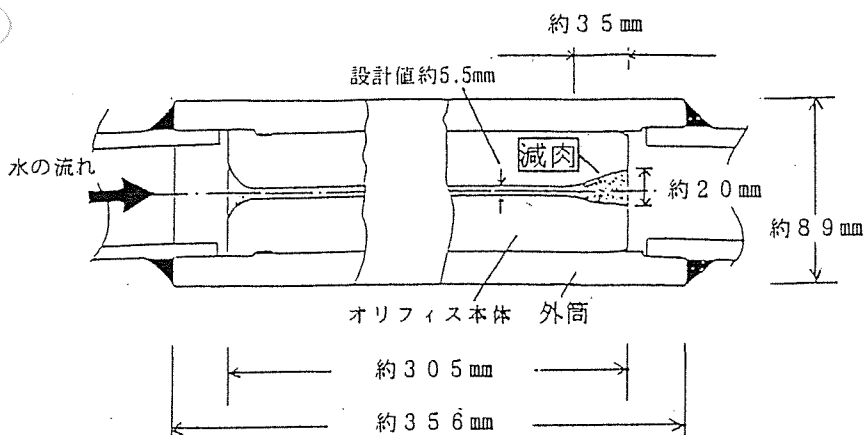


# 漏れ状況図

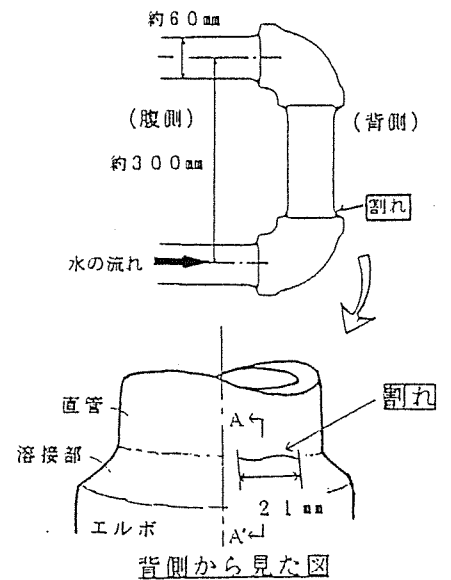


## B オリフィス部観察状況

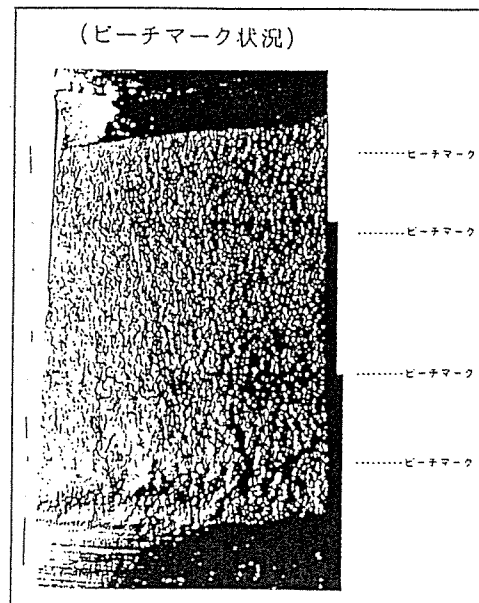
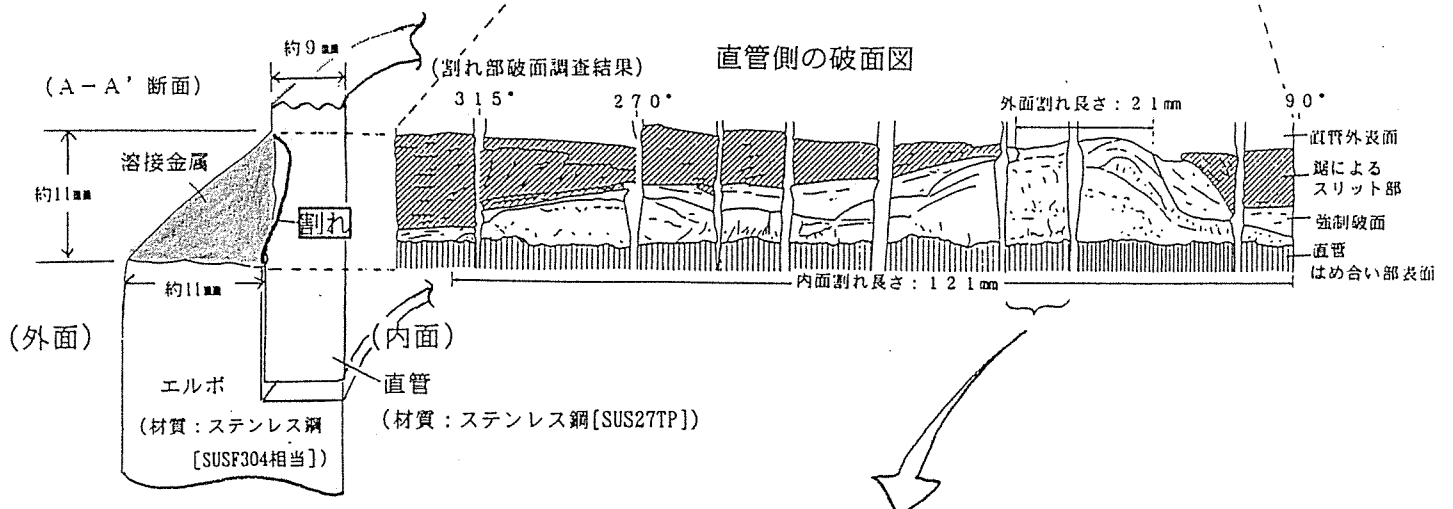
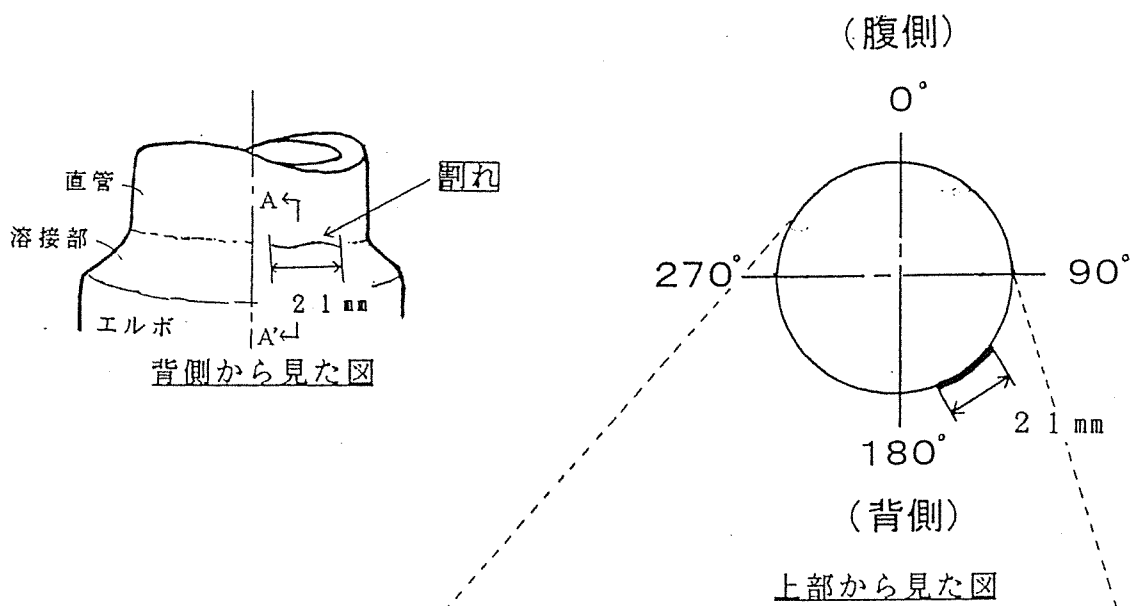
(オリフィス材質: ステンレス鋼[SUS630相当])



## A エルボ部観察状況

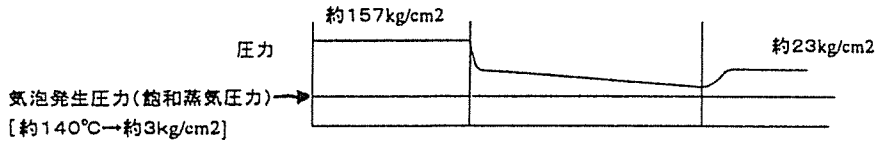
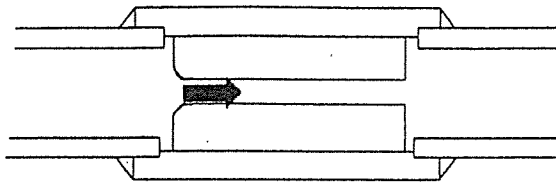


# エルボ部破面観察状況



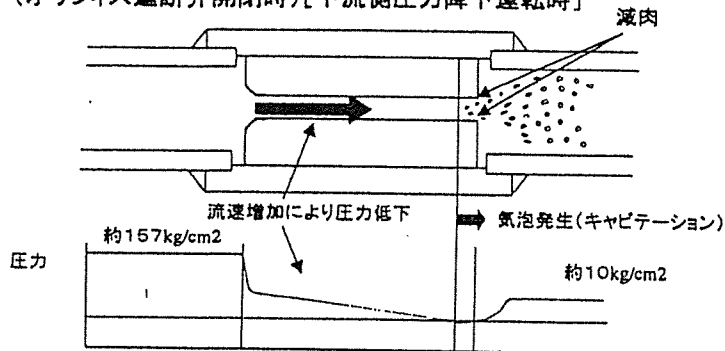
# オリフィスの減肉および割れ発生メカニズム

オリフィス減肉前(通常運転中)



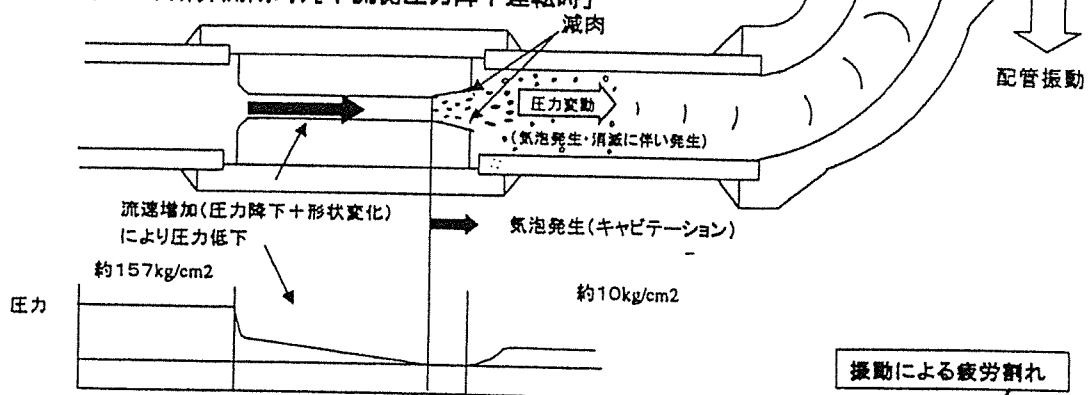
キャビテーションとは:  
液体中で流速が十分  
早くなると流れの中で  
飽和蒸気圧を下回る  
部分が生じて、この部  
分に気泡が発生する  
現象

(オリフィス遮断弁開閉時)[下流側圧力降下運転時]

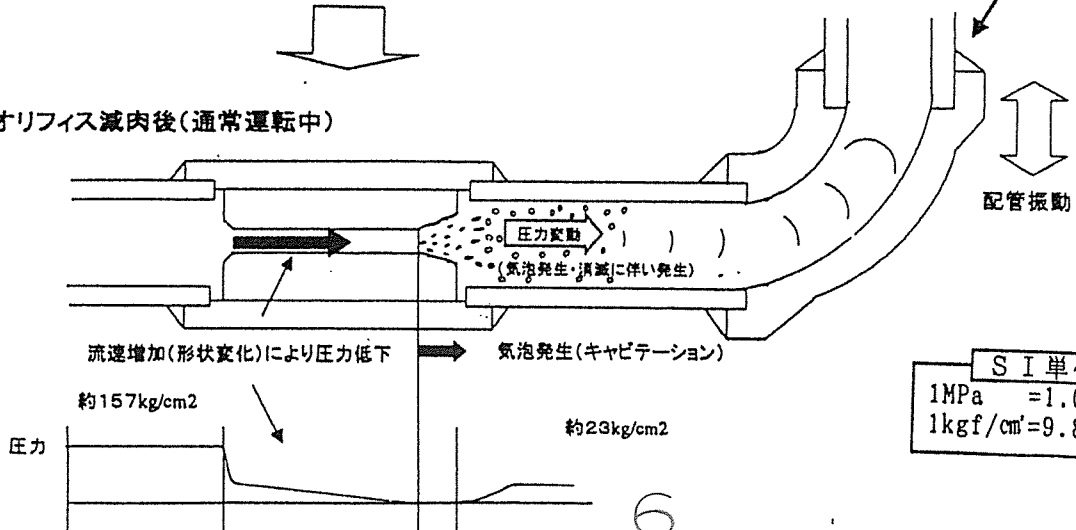


キャビテーションによる  
エロージョンとは:オリフ  
ィス出口における高速水  
流の圧力低下により気  
泡が発生・消滅し、こ  
れにより衝撃圧が発生し  
オリフィス内面の金属が  
減肉する現象

(オリフィスしゃ断弁開閉時)[下流側圧力降下運転時]



オリフィス減肉後(通常運転中)



S I 単位換算率表

1MPa = 1.01972×10kgf/cm<sup>2</sup>  
1kgf/cm<sup>2</sup> = 9.80665×10<sup>-2</sup>MPa

# 関西電力（株）美浜発電所 2 号機の手動停止の原因と対策について

平成 12 年 4 月 24 日  
資源エネルギー庁

## 1. 平成 12 年 4 月 7 日の発表内容

関西電力（株）美浜発電所 2 号機（加圧水型軽水炉、定格出力 50 万キロワット）は、定格出力運転中のところ、平成 12 年 4 月 7 日午前 9 時 55 分頃格納容器内巡回点検において、化学体積制御系の抽出水配管から一次冷却材が少量漏えいしていることが確認された。

このため、詳細な点検調査を実施することとし、同日 12 時より出力降下を開始し、原子炉を停止することとした。

なお、外部に対する放射能の影響はない。

## 2. 原因及び対策

### (1) 調査結果

化学体積制御系抽出配管にあるエルボ（L 字型配管）の溶接部上端に沿って、周方向に長さ約 21 mm の直線上の割れが確認された。割れはソケット溶接部の内面端部から発生しており、その破面には疲労破面特有の組織状模様及びビーチマークが観察された。また、当該エルボ上流のオリフィスの点検を行ったところ、その出口端部から約 35 mm の範囲にわたってキャビテーションに起因すると思われるラップ状の減肉が認められた。さらに、当該抽出系統の運転履歴を調査したところ、プラントの起動・停止時の抽出水流量切替時に、オリフィス下流側の圧力を一時的に低下させていることがわかった。

### (2) 推定原因

一時的な圧力低下操作時にオリフィス出口部で発生したキャビテーションによりオリフィス内面が減肉し、これにより通常運転中にも大きなキャビテーションが発生するようになった。このキャビテーションに伴う流体振動による高サイクル疲労によりエルボ溶接部に割れが発生・進展したものと推定される。

### (3) 対策

損傷した当該エルボ及びオリフィスを含む抽出水配管を取り替えるとともに、抽出切替時等にオリフィス出口圧力をキャビテーションを発生させる圧力まで低下させないよう、運転操作を見直すこととした。

### (注)

※ビーチマーク

荷重応力の変動等により、その時点の割れの位置が破面上に縞模様として残されたもの

※オリフィス

抽出水の圧力を調整する管状の設備

※キャビテーション

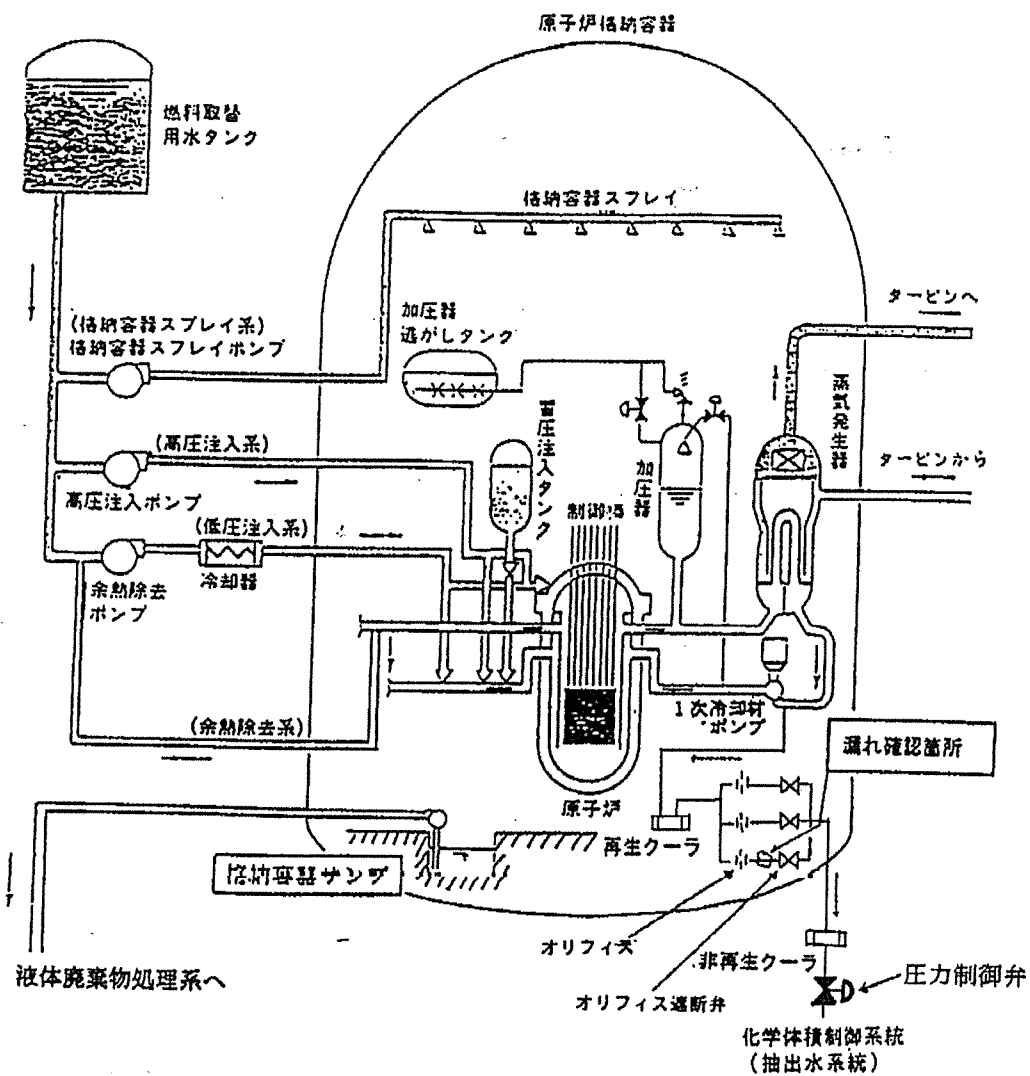
局所的に圧力が低下し、水が蒸発して気泡を作る現象

### (INES による暫定評価)

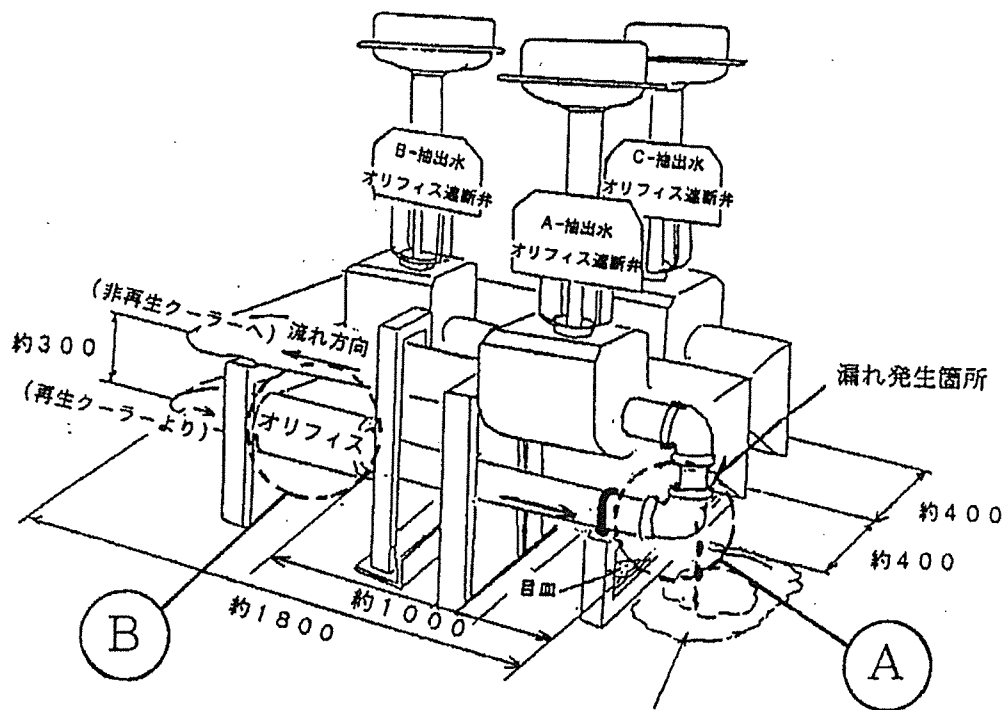
| 基準 1 | 基準 2 | 基準 3 | 評価レベル |
|------|------|------|-------|
| —    | —    | 0 —  | 0 —   |

問合せ先：原子力発電運転管理室  
内線 3807 直通 3501-1739

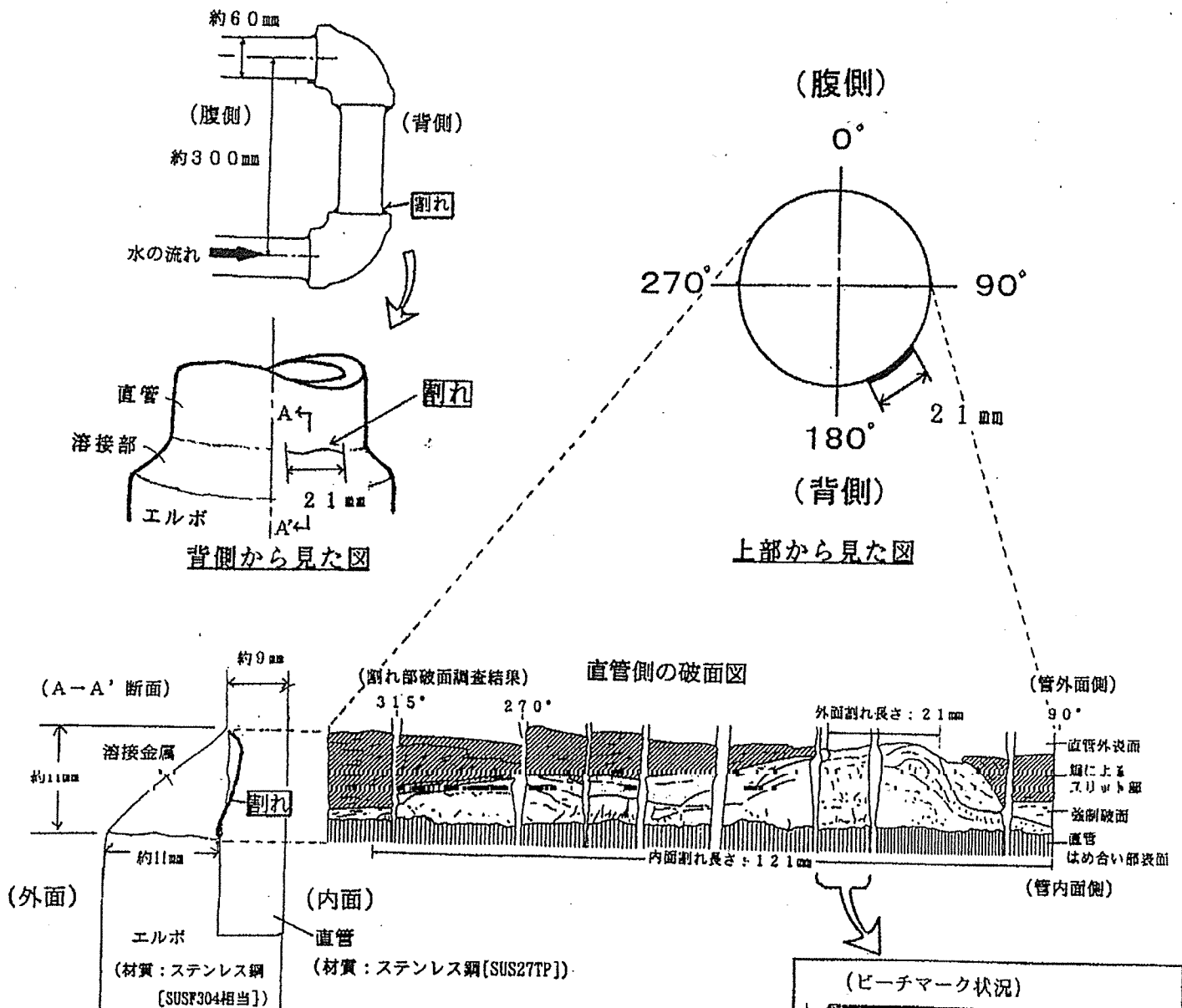
## 原子炉格納容器内概要図



## 漏れ状況図

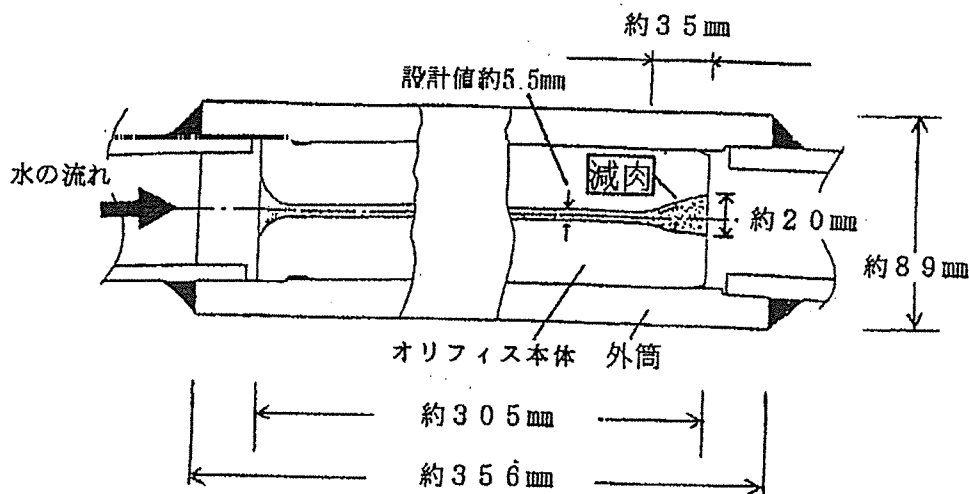


## A エルボ部観察状況



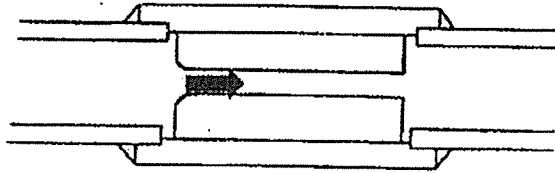
## B オリフィス部観察状況

(オリフィス材質: ステンレス鋼[SUS630相当])

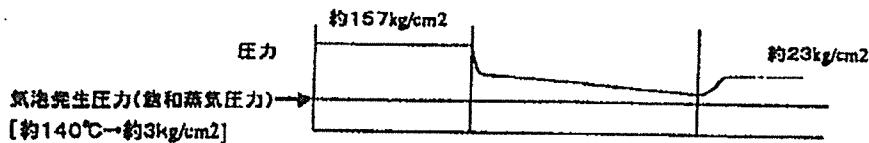


# オリフィスの減肉および割れ発生メカニズム

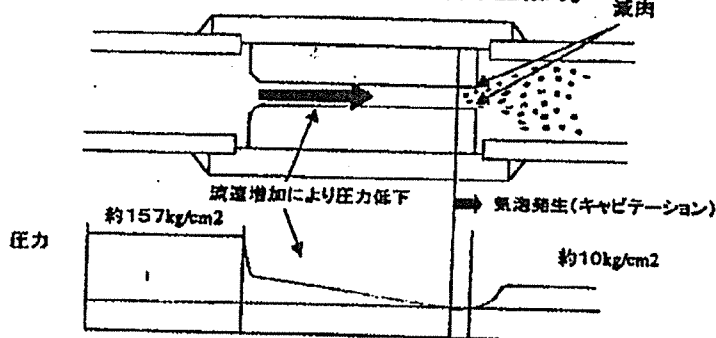
オリフィス減肉前(通常運転中)



キャビテーションとは:  
液体中で流速が十分  
早くなると流れの中で  
飽和蒸気圧を下回る  
部分が生じて、この部  
分に気泡が発生する  
現象

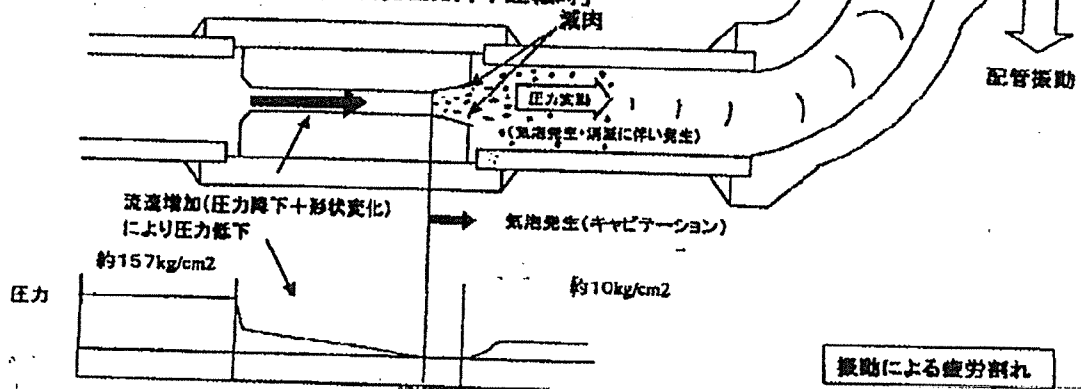


(オリフィス遮断弁開閉時)[下流側圧力降下運転時]



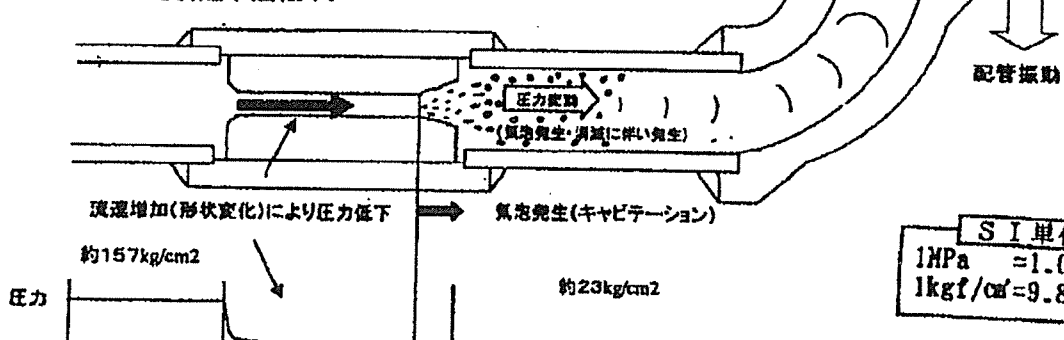
キャビテーションによる  
エロージョンとは:オリフ  
ィス出口における高速水  
流の圧力低下により気  
泡が発生・消滅し、こ  
れにより衝撃圧が発生し  
オリフィス内面の金属が  
減肉する現象

(オリフィスしゃ断弁開閉時)[下流側圧力降下運転時]



振動による疲労割れ

オリフィス減肉後(通常運転中)



| S I 単位換算率表           |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| 1MPa                 | ≈1.01972×10kgf/cm <sup>2</sup> |
| 1kgf/cm <sup>2</sup> | ≈9.80665×10 <sup>-2</sup> MPa  |