

## 伊方発電所第 2 号機

### 炉内核計装装置シングル案内管 に関する調査状況について

(平成 1 3 年 9 月 1 7 日現在)

平成 1 3 年 9 月  
四国電力株式会社

## 目 次

1. 事象発生状況	1
2. 炉内核計装装置の概要	1
3. 調査状況の概要	2
4. 調査結果	2
(1) シンプル案内管調査結果	2
a. 外観調査結果	2
b. さび状の汚れが認められたシンプル案内管5本の調査	6
c. 当該5本のシンプル案内管近傍の3本の調査結果	14
d. 残りのシンプル案内管28本等の調査結果	14
(2) 付着物調査結果	14
a. 放射能濃度測定結果	15
b. 成分分析結果	16
c. 付着塩分測定結果	18
(3) さび状汚れの発生源の調査結果	19
a. 原子炉容器下部周辺の調査結果	19
b. 円筒形異物等調査結果	21
(4) 今後の調査予定	28

## 1. 事象発生状況

伊方発電所第2号機（加圧水型、56万6千kW）は、第15回定期検査中の平成13年9月6日、伊方1号機充てん配管漏えい事象（平成12年10月13日に発生）に係る配管調査を実施していたところ、炉内核計装置シンプル案内管36本のうち5本の外表面にさび状の汚れがあることを確認した。

このため、9月8日、当該部の液体浸透探傷検査を実施した結果、うち2本の炉内核計装置シンプル案内管外表面において有意な指示を確認した。

なお、今回の事象による環境への放射能の影響はなかった。

## 2. 炉内核計装置の概要

炉内核計装置とは、毎月1回、原子炉内の中性子量の分布を測定する装置であり、以下の構成部品からなる。

- ・中性子検出器

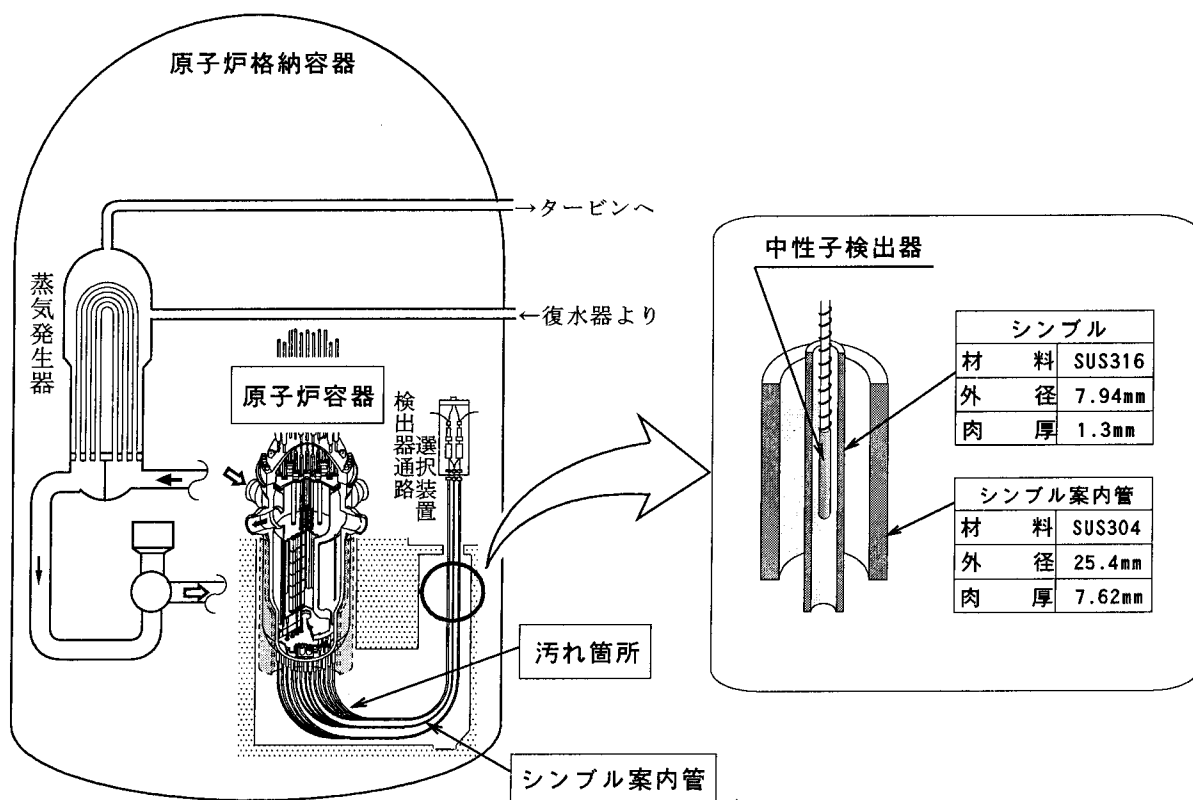
シンプル内を移動して原子炉内の中性子量を測定する。

- ・シンプル

原子炉容器の底部より燃料集合体に挿入された36本の密閉された中空のステンレス配管であり、この中を中性子検出器が移動する。なお、燃料取り出し中は、原子炉容器底部まで引き抜かれる。

- ・シンプル案内管







シンプルを保護し原子炉内に案内するために取り付けられたステンレス配管で、原子炉容器の底部に溶接され原子炉内の冷却水を内封している。



### 3. 調査状況の概要

発生原因及び対策を検討するため、事象発生後速やかに下表に示す項目の調査を開始した。現在までの調査の概要は以下のとおりである。

- ・ シンプル案内管については、有意な指示が確認された2本の表面の傷は非常に浅く、調査のための表面仕上げを実施した際に傷はすべて消えた。
- ・ さび状の汚れ等付着物については、放射能濃度測定、成分分析等を実施中である。
- ・ 発生源については、原子炉容器ステンレス保温と周辺コンクリートとの間に円筒形異物を発見し、現在詳細に分析を実施中である。

調 査 項 目	9 月
○ シンプル案内管の調査 ・ 外観調査 ・ 液体浸透探傷検査 ・ スプ法による表面シロ観察	9/8 ▽ 事象発生 
○ さび状の汚れ等付着物の調査 ・ 放射能濃度測定 ・ 成分分析 ・ 塩分測定	
○ 発生源の調査 ・ 原子炉容器下部周辺の調査  ・ 円筒形異物等の調査 外観調査 放射能濃度測定 成分分析	 
・ 原子炉容器上部周辺の調査	
○ さび状汚れの発生原因及び対策の検討	

### 4. 調査結果

現在までの調査結果を以下に示す。

#### (1) シンプル案内管調査結果

##### a. 外観調査結果

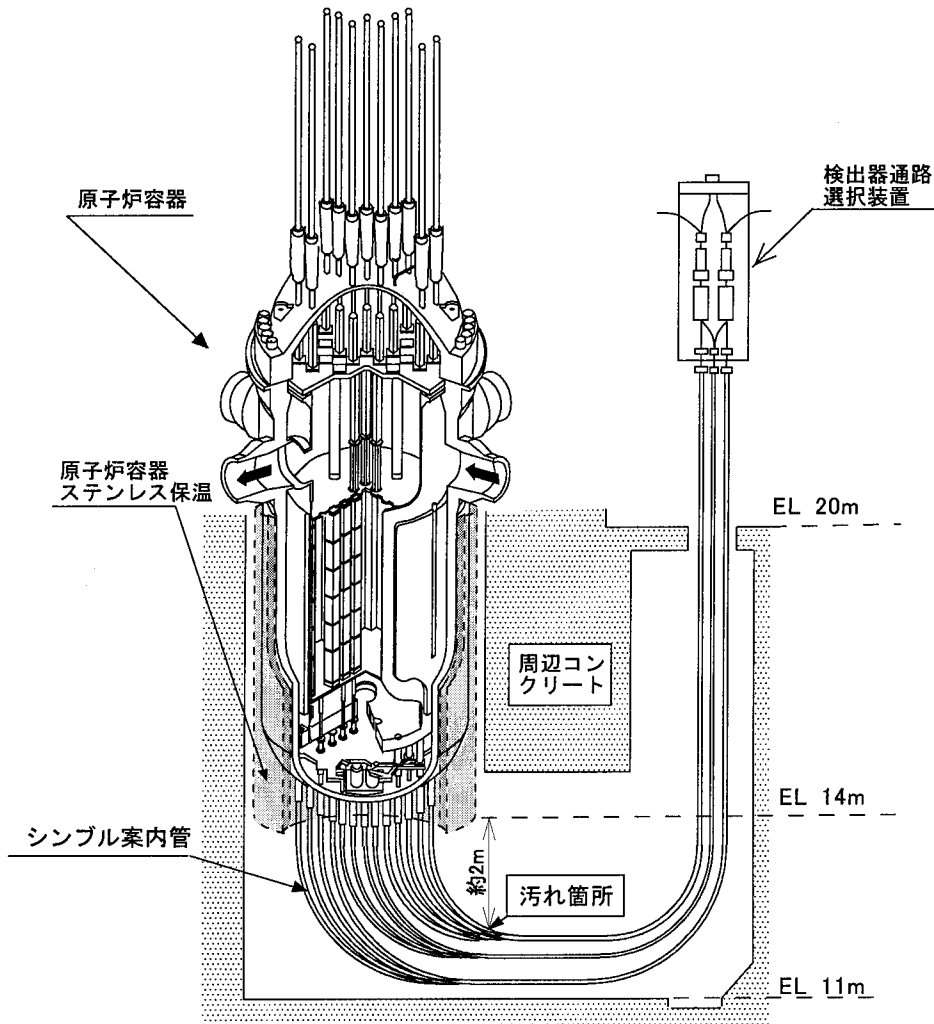
シンプル案内管の外観調査を実施した結果、5本のシンプル案内管（アドレスA-8、B-6、C-3、D-5、G-2）にさび状の汚れが認められ、

その位置は原子炉容器とコンクリート壁のすき間の原子炉容器ステンレス保温下端から約2 m直下付近の周囲約1 mの範囲であった。

さび状の汚れは赤褐色を呈し、案内管サポート部が特に汚れており、当該シンプル案内管、直下の塗装したコンクリート床及び塗装した周辺コンクリートにも、点状に飛び散ったような赤褐色のさび状の汚れが乾いて付着していた。

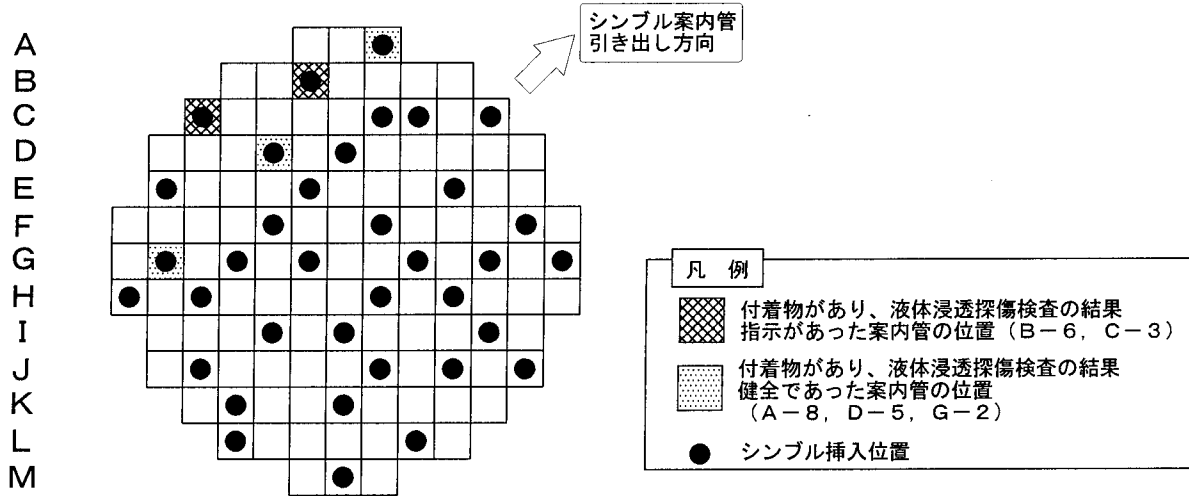
また、当該部の上部に位置する原子炉容器ステンレス保温下部の外表面及びそれに対面するコンクリート壁にも、液体が垂れたような赤褐色のさび状の汚れが乾いて付着していた。

### シンプル案内管汚れ箇所概要図

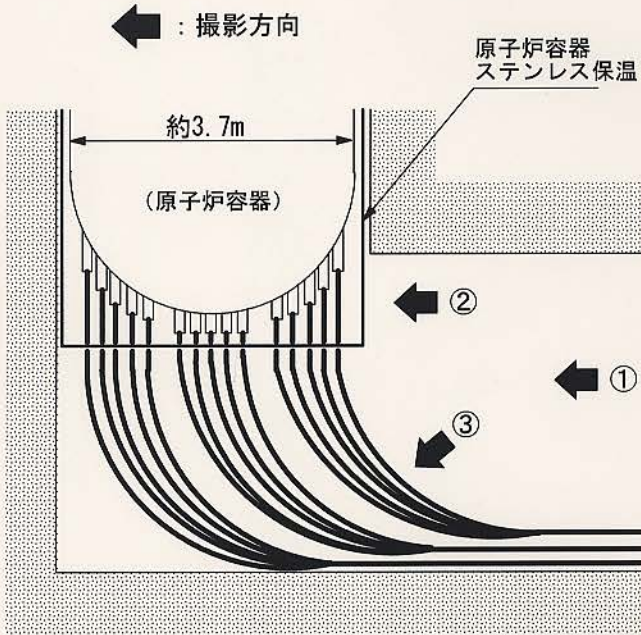


原子炉容器廻り断面図

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13



## シンプル案内管汚れ箇所状況



シンプル案内管 汚れ付着状況①



汚れ付着状況②



汚れ付着状況③

b. さび状の汚れが認められたシンプル案内管 5 本の調査

(a) 液体浸透探傷検査結果

当該 5 本のシンプル案内管外表面の汚れ部について、汚れ部を手入れした後、液体浸透探傷検査を実施した結果、2 本（アドレス B-6、C-3）のシンプル案内管サポート付近の周囲約 1 m の範囲に、微細なものを含め 145 箇所の子状及び線状指示が確認された。

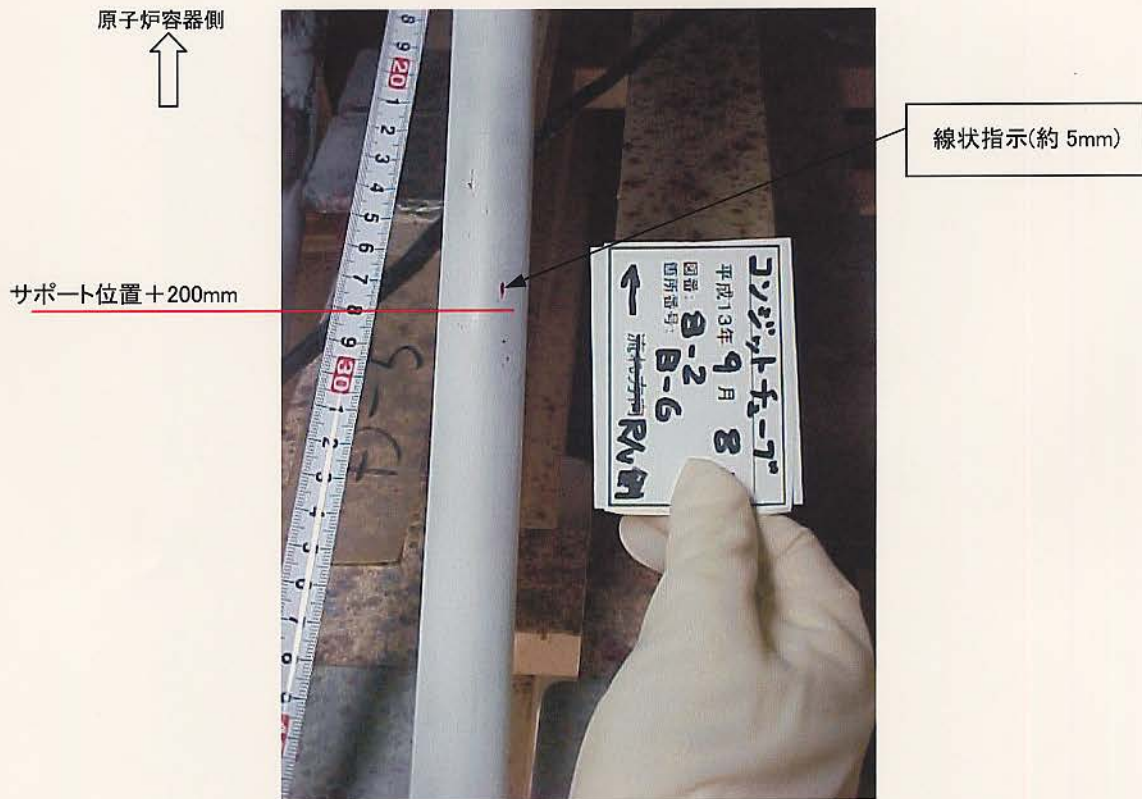
そのうち、最大のもは、アドレス B-6 で約 1.1 mm、アドレス C-3 で約 1.6 mm の線状指示であった。

その他の 3 本（アドレス A-8、D-5、G-2）については、有意な指示は認められなかった。

その後、表面マイクロ観察（スンプ法）を実施するため、シンプル案内管の表面仕上げを行った後に、再度、液体浸透探傷検査を実施した結果、アドレス B-6 の 1 箇所のかすかな指示を残し、他の欠陥指示はすべて消えており、非常に浅いものであった。



## シンプル案内管の液体浸透探傷検査結果(例)

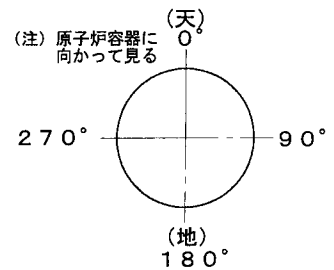
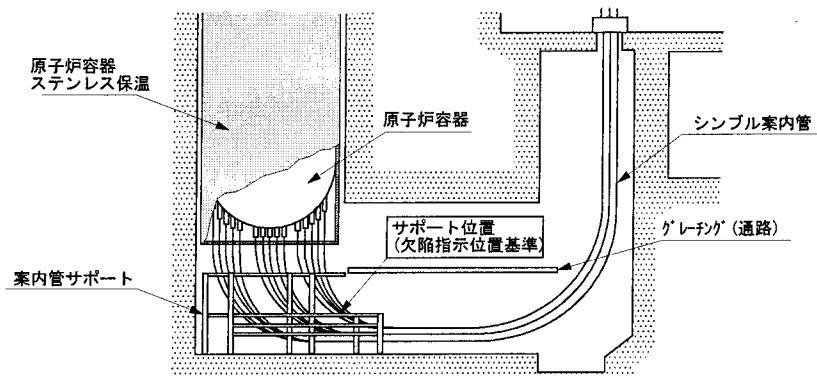
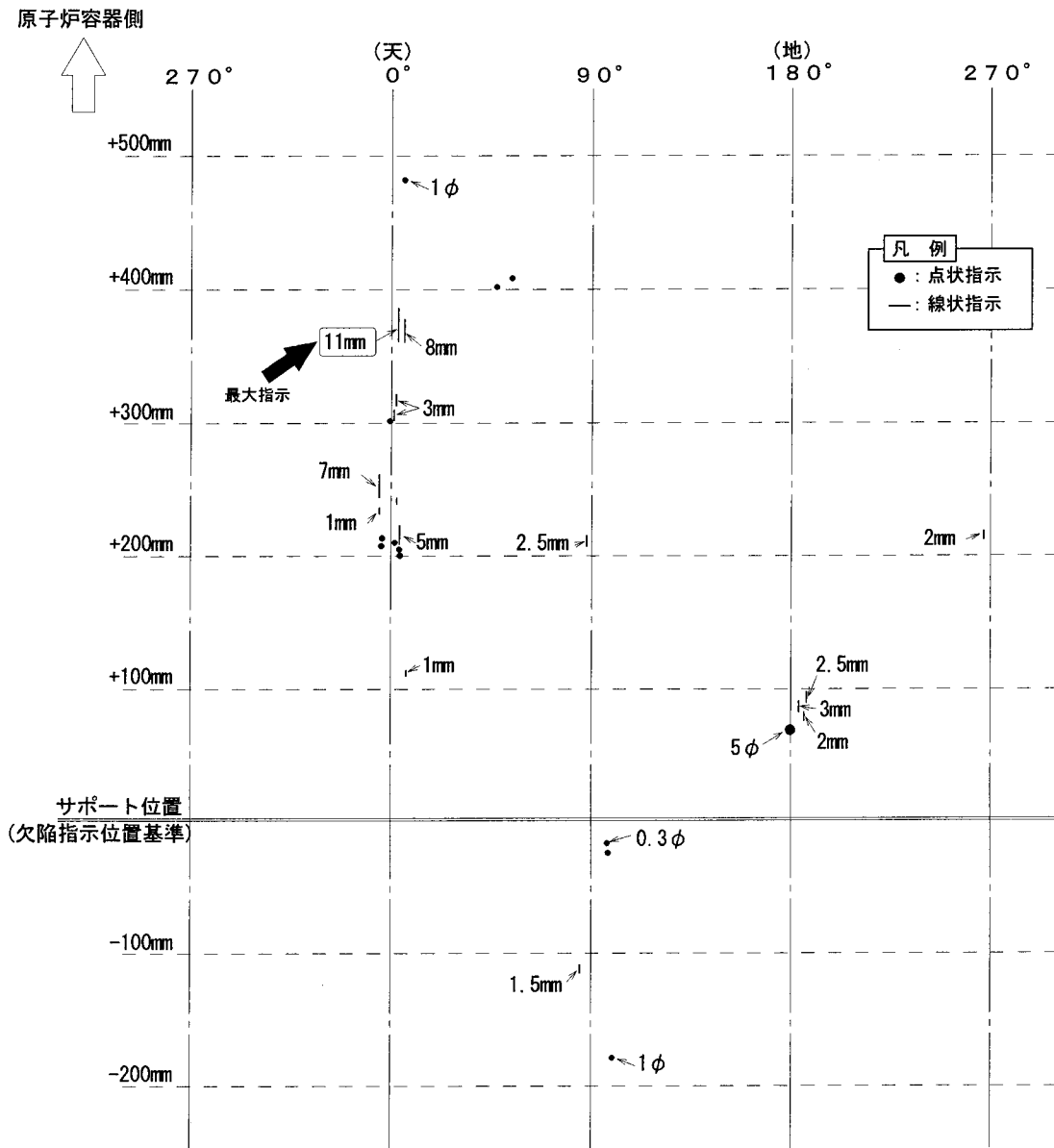


シンプル案内管(B-6)



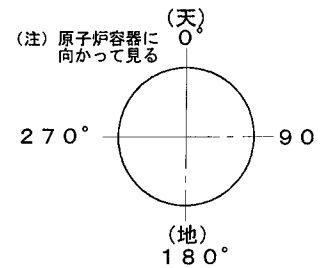
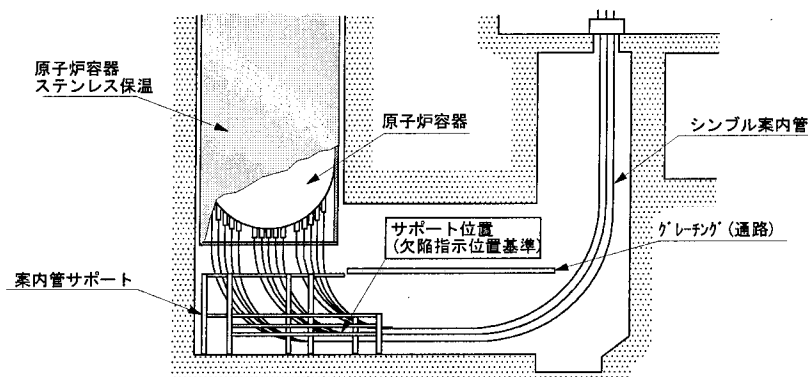
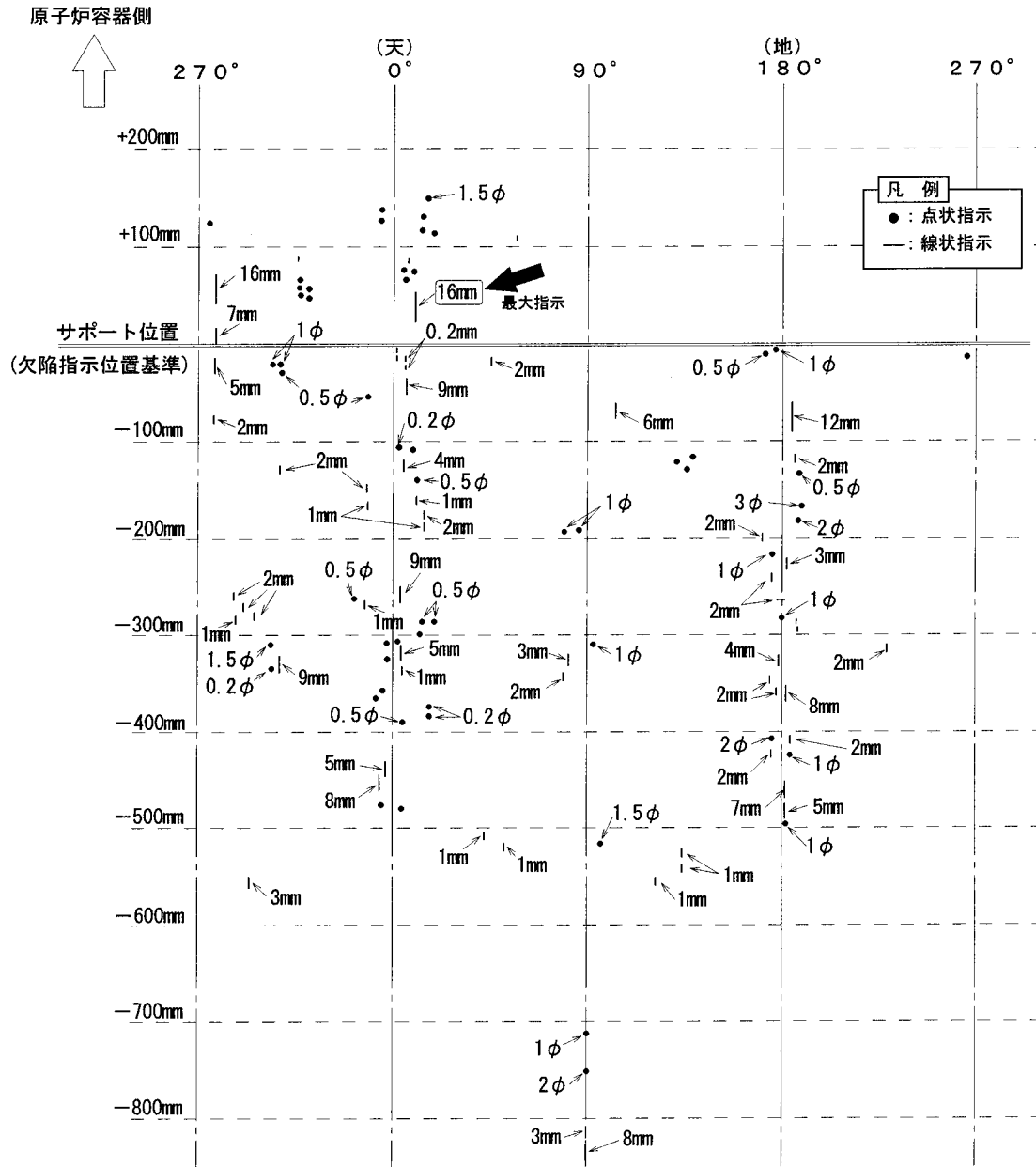
シンプル案内管(C-3)

# シンプル案内管の液体浸透探傷検査結果 (B-6)



シンプル案内管断面

# シンプル案内管の液体浸透探傷検査結果 (C-3)



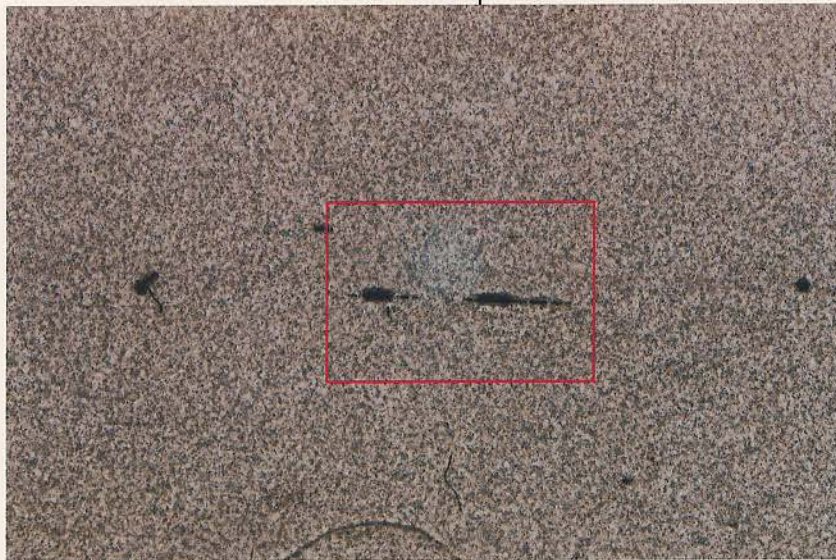
シンプル案内管断面

(b) スンプ法による表面マイクロ観察結果

液体浸透探傷検査において認められた、アドレスB-6の最大指示部及びその近傍、並びにアドレスC-3の最大指示部について、スンプ法による表面マイクロ観察を実施した結果、いずれも腐食によるピット状の凹みが確認され、凹みの底部には金属組織らしきものが認められた。なお、応力腐食割れの特徴である枝分かれしたひびなどは認められなかった。また、金属組織に異常は認められなかった。

さらに、詳細調査のため、上記3箇所について、再度、シングル案内管の表面仕上げを行い、表面マイクロ観察を実施した結果、ピット状腐食跡はすべて消えた。

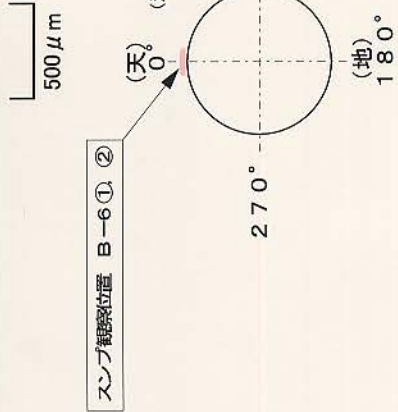
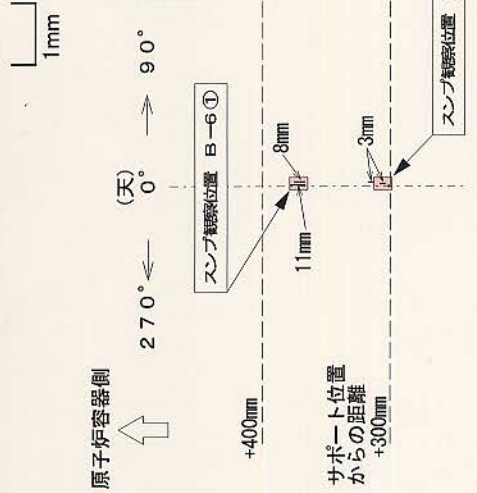
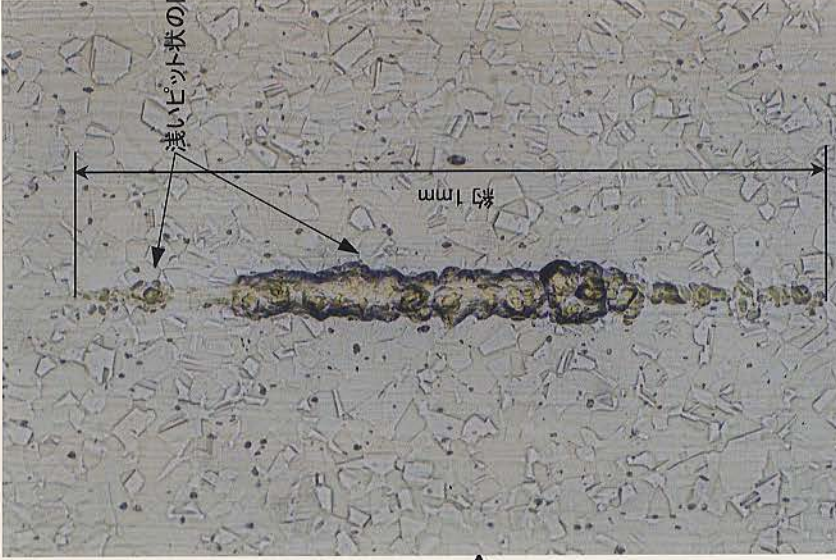




拡大



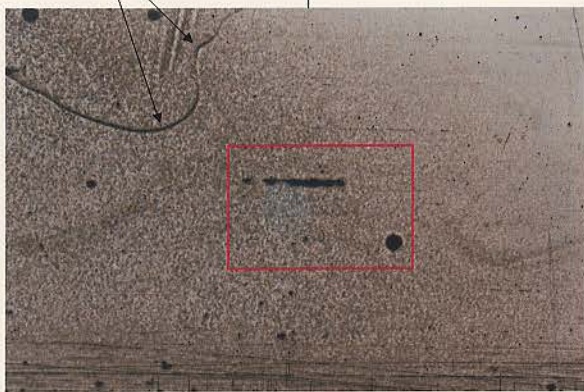
拡大



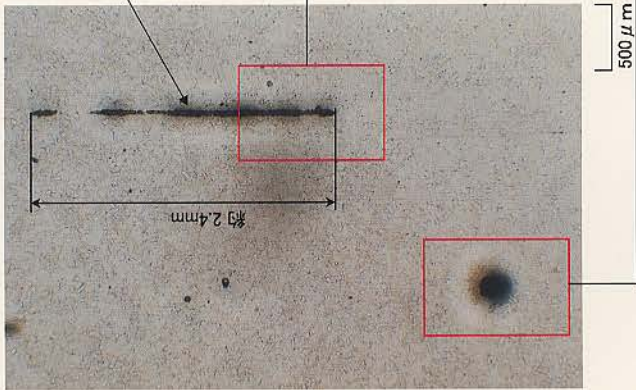
- (100倍)
- ・ 指示はいずれも腐食によるピット状の凹みであり、凹みの底部には金属組織らしきものが認められた。
  - ・ 応力腐食割れの特徴である枝分かれしたひびなどは認められなかった。
  - ・ 金属組織に異常は認められなかった。

# シンブル案内管のスンプ法による表面ミクロ観察結果 (B-6①)

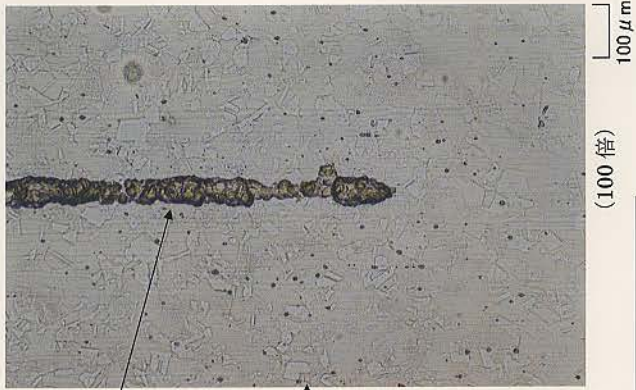




拡大



拡大



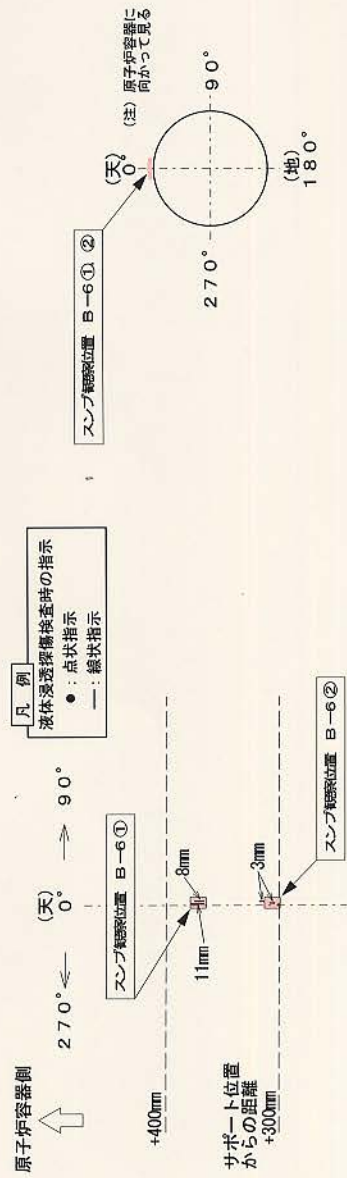
(100倍)

拡大

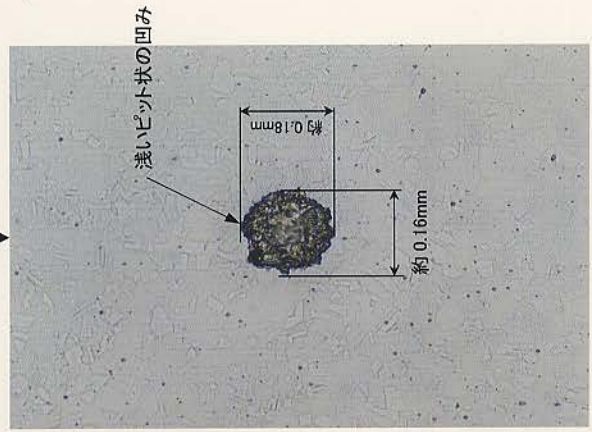
・ 指示はいずれも腐食によるピット状の凹みであり、凹みの底部には金属組織らしきものが認められた。

・ 応力腐食割れの特徴である枝分かれしたひびびなどは認められなかった。

・ 金属組織に異常は認められなかった。

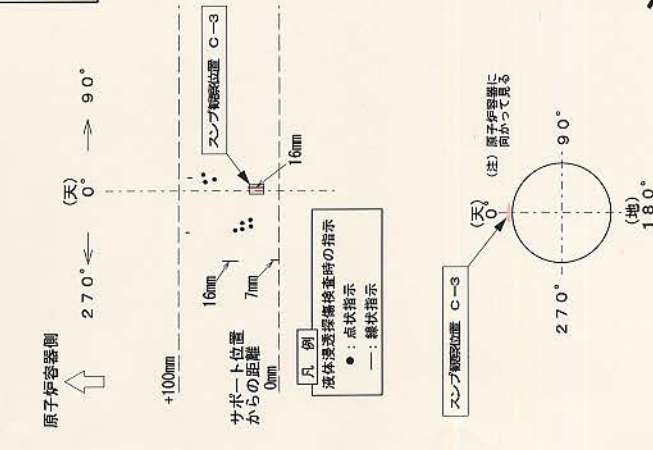
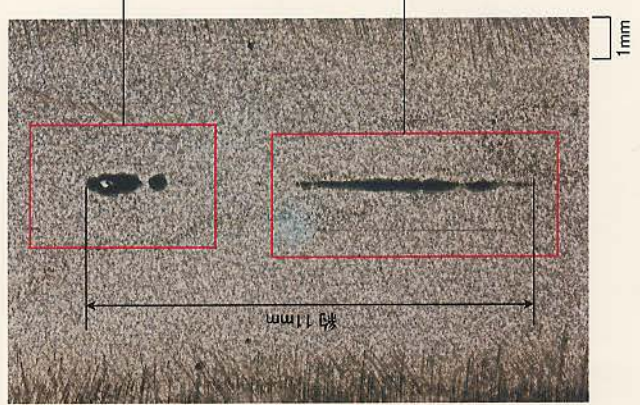
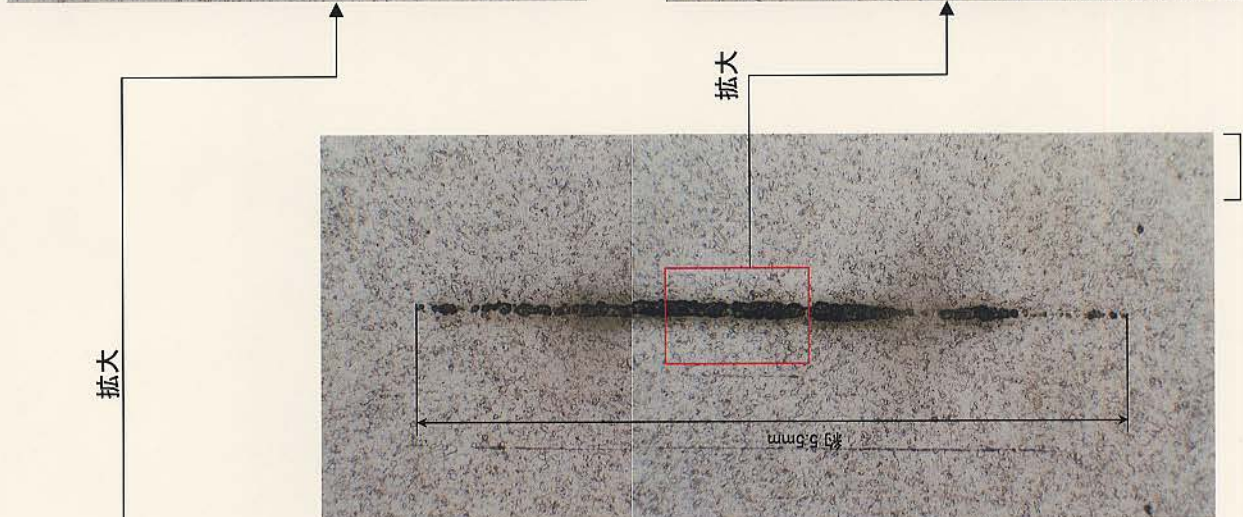
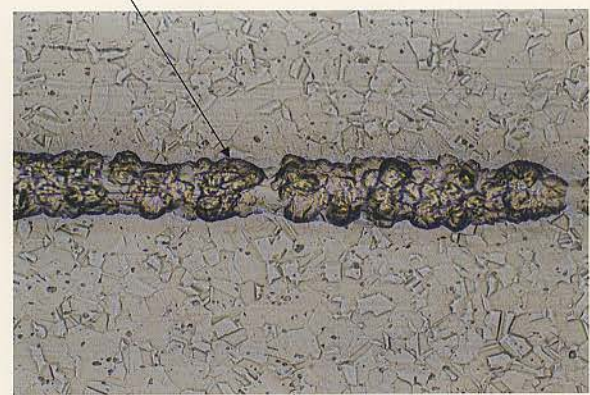
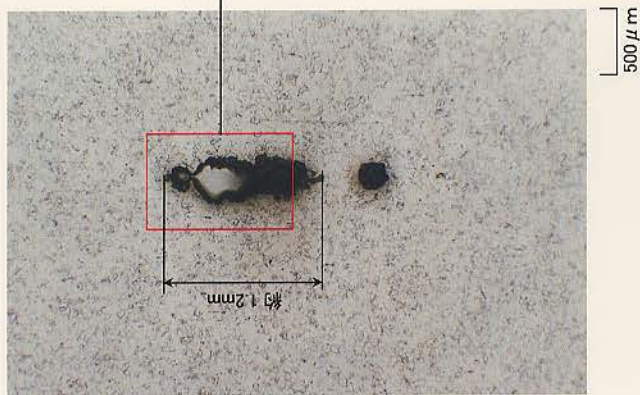
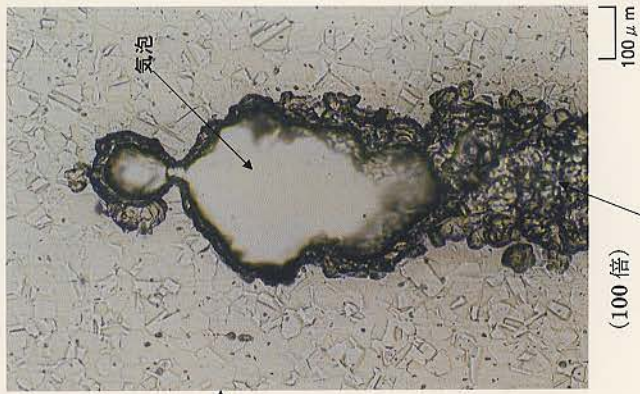


## シングル案内管のスンプ法による表面ミクロ観察結果(B-6②)



(100倍)





浅いピット状の凹み

- ・ 指示はいずれも腐食によるピット状の凹みであり、凹みの底部には金属組織らしきものが認められた。
- ・ 応力腐食割れの特徴である枝分かれしたひびなどは認められなかった。
- ・ 金属組織に異常は認められなかった。

シンブル案内管のスンプ法による表面マイクロ観察結果(C-3)

c. 当該5本のシンプル案内管近傍の3本の調査結果

さび状の汚れが認められた当該5本のシンプル案内管近傍のさび状汚れない3本（アドレスC-8、D-7、E-6）について、外表面代表箇所の液体浸透探傷検査を実施した結果、有意な指示は認められなかった。

d. 残りのシンプル案内管28本等の調査結果

シンプル案内管36本全数について、全長にわたり（上記8本の点検範囲を除く。）目視により外観調査を実施した結果、8本の案内管表面にわずかなさび状の汚れが7箇所、わずかな打ち傷が3箇所及びテープの付着が1箇所認められた。

これらの箇所について、液体浸透探傷検査を実施した結果、有意な指示は認められなかった。

(2) 付着物調査結果

当該シンプル案内管及び近傍の構造物等の表面に付着していた、さび状の汚れの放射能濃度測定及び成分分析、並びに塩分測定を実施中であるが、現在までに得られたデータを以下に示す。

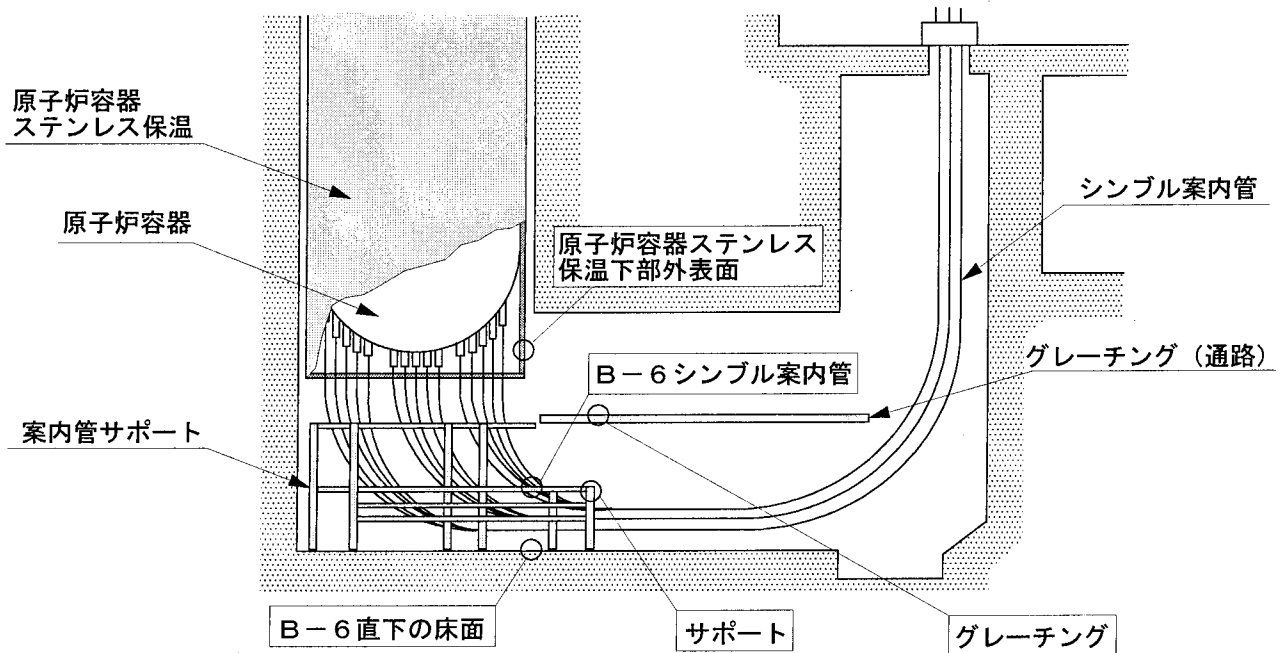


a. 放射能濃度測定結果

シンプル案内管（アドレスB-6）、直下の床面、原子炉容器ステンレス保温下部外側及び近傍の構造物の表面に付着していたさび状の汚れ物質を採取し、放射能濃度を測定した結果、クロム、コバルト、亜鉛及びアンチモンが検出された。

試料採取場所	核種	放射能濃度 (Bq/g)	試料採取日
B-6 シンプル案内管	Cr-51	$1.4 \times 10^3$	9月7日
	Co-58	$1.9 \times 10^2$	
	Co-60	$7.9 \times 10^3$	
	Zn-65	$3.9 \times 10^2$	
	Sb-122	$2.8 \times 10^1$	
	Sb-124	$1.3 \times 10^2$	
B-6 直下の床面	Cr-51	$6.8 \times 10^2$	9月8日
	Co-60	$3.4 \times 10^4$	
原子炉容器ステンレス保温下部外表面	Cr-51	$2.5 \times 10^3$	9月8日
	Co-60	$1.2 \times 10^4$	
サポート	Cr-51	$5.7 \times 10^2$	9月10日
	Co-60	$5.5 \times 10^3$	
グレーチング	Cr-51	$5.9 \times 10^2$	9月10日
	Co-60	$4.0 \times 10^4$	
	Zn-65	$3.8 \times 10^3$	

測定器：Ge 半導体測定装置

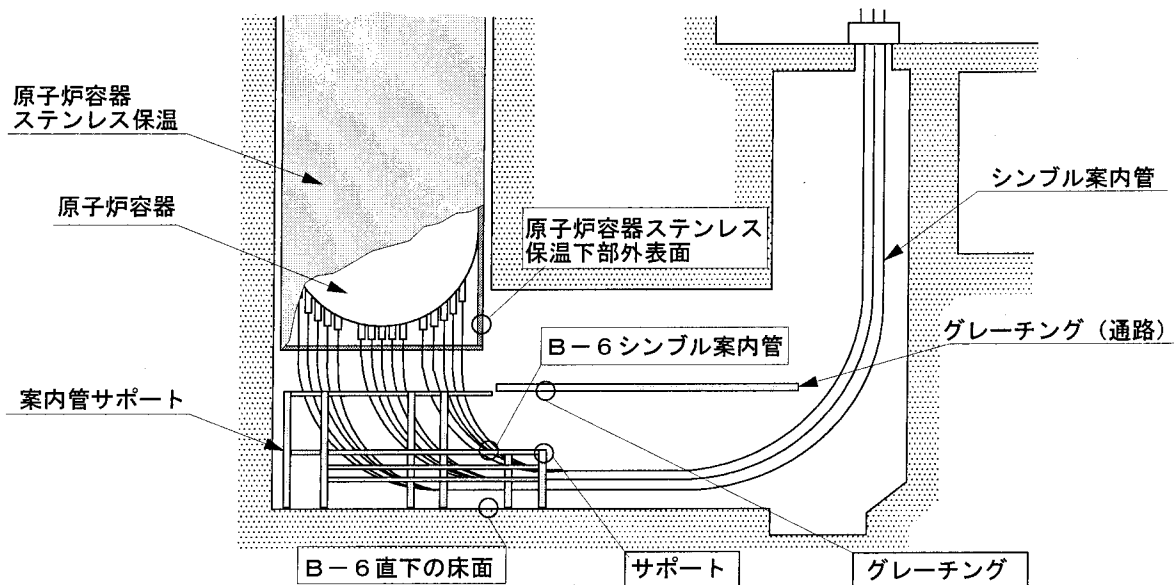


b. 成分分析結果

(a) 電子線マイクロアナライザによる成分分析結果

シンプル案内管（アドレスB-6）、直下の床面、原子炉容器ステンレス保温下部外側及び近傍の構造物の表面に付着していたさび状の汚れ物質を採取し、その中に含まれる成分を電子線マイクロアナライザ（EPMA）により分析した結果、炭素、窒素、酸素、塩素、鉄等が検出された。

項目 元素	含有率 (%)				
	B-6 シンプル案内管	B-6 直下の床面	原子炉容器ステンレス保温下部外表面	サポート	グレーチング
	9月7日採取	9月8日採取	9月8日採取	9月10日採取	9月10日採取
C	27	21	5	28	17
N	21	-	-	2	-
O	22	31	30	35	44
Cl	17	18	11	10	11
Fe	8	14	42	6	10
Cr	2	2	7	7	3
Ni	1	3	5	< 1	< 1
Ca	< 1	9	-	4	-
Si	< 1	< 1	< 1	3	< 1
Mn	< 1	< 1	< 1	< 1	-
Zn	< 1	-	-	3	13
Mg	-	< 1	-	1	-
Al	-	< 1	-	< 1	< 1
P	< 1	-	-	-	-
S	< 1	-	< 1	< 1	< 1
K	< 1	-	-	< 1	-
Ti	-	-	-	-	-
Na	-	-	-	-	-



(b) 湿式による成分分析結果

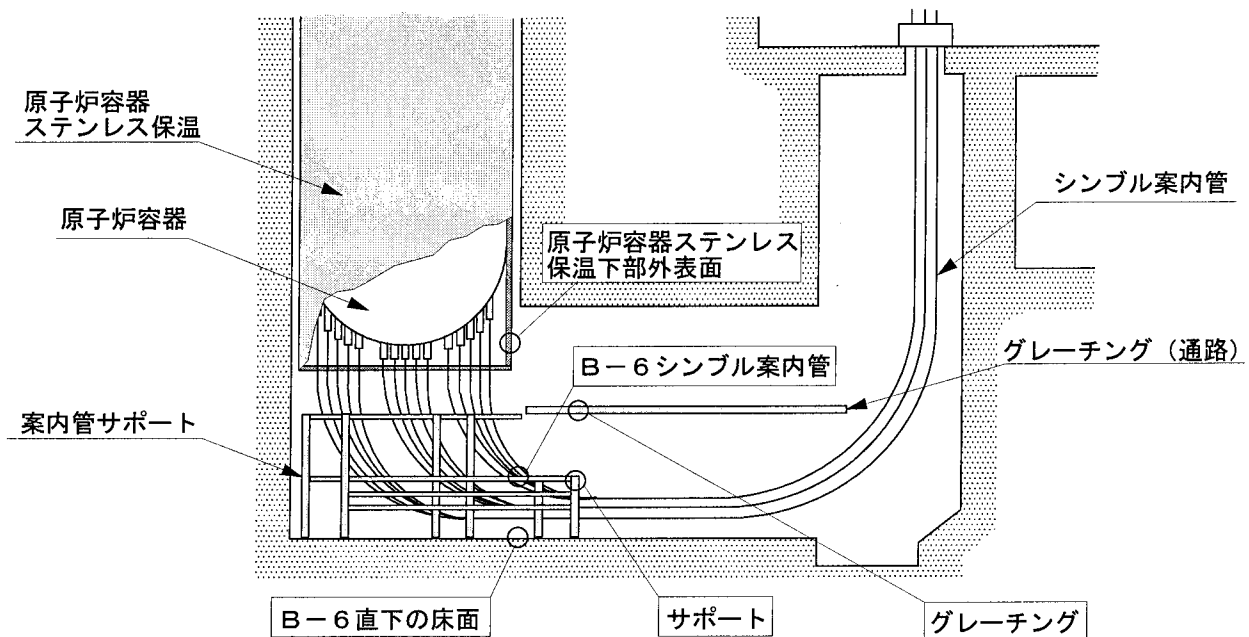
シンプル案内管（アドレスB-6）、直下の床面、原子炉容器ステンレス保温下部外側及び近傍の構造物の表面に付着していたさび状の汚れ物質について、湿式分析を行った結果、塩化物、アンモニア、硝酸、ほう素が検出されたが、リチウム、油分は、検出されなかった。

	B-6 シンプル 案内管	B-6 直下の床面	原子炉容器 ステンレス保温 下部外表面	サポート	グレーチング	分析方法
試料採取日	9月7日	9月8日	9月8日	9月10日	9月10日	
鉄含有率 (%)	- *1	- *1	- *1	- *1	- *1	- *1
塩化物含有率 (%)	8	17	11	9	17	チオシアン酸水銀(II) 吸光光度法
アンモニア 含有率 (%)	1.2	5.8	3.7	2.5	5.3	イオンクロマト グラフ法
硝酸含有率 (%)	0.15	0.16	0.07	0.16	0.17	イオンクロマト グラフ法
ほう素含有率 (%)	0.01	0.03	0.05	0.04	0.22*2 (0.15)	メレンブルー吸光 光度法
リチウム 含有率 (%)	< 0.0009	< 0.0006	< 0.0008	< 0.0007	< 0.0002	原子吸光光度法
油分含有率 (%)	- *3	< 0.2	- *3	- *3	- *3	赤外線分析法

\*1：今後測定を実施する予定。

\*2：人の出入りにより不純物が混入した可能性有り。（ ）内は、再サンプリングの結果。

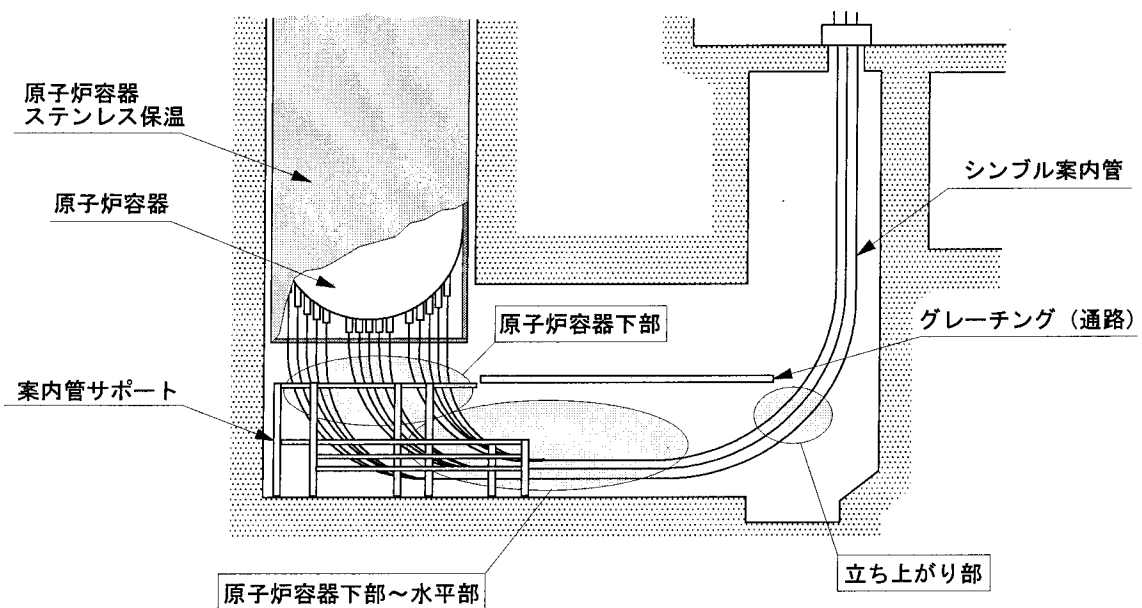
\*3：サンプル量が少ないためB-6直下の床面以外は測定出来ず。



c. 付着塩分測定結果

シンプル案内管（アドレスB-6）、近傍及び周辺のシンプル案内管の表面をスミヤロ紙でふき取り、塩分量を測定した結果、当該シンプル案内管表面の付着物が最大で214 mg/m<sup>2</sup>であった。その他の部位については、1 mg/m<sup>2</sup>から7 mg/m<sup>2</sup>程度であった。

試料採取場所		付着塩分量 (mg/m <sup>2</sup> )	試料採取日	備考
シンプル案内管 (B-6)		214	9月7日	付着物表面
シンプル案内管 (B-6)		43	9月7日	付着物除去後
B-6近傍のシンプル案内管 (F-12)		1	9月7日	
原子炉容器下部	シンプル案内管 (E-6)	5	9月8日	
	シンプル案内管 (D-7)	5	9月8日	
	シンプル案内管 (C-8)	4	9月8日	
	シンプル案内管 (J-8)	4	9月10日	
	シンプル案内管 (H-10)	7	9月10日	
	シンプル案内管 (K-7)	5	9月10日	
原子炉容器下部 ～ 水平部	シンプル案内管 (A-8)	5	9月11日	付着物除去後
	シンプル案内管 (B-6)	3	9月11日	付着物除去後
	シンプル案内管 (C-3)	3	9月11日	付着物除去後
	シンプル案内管 (D-5)	6	9月11日	付着物除去後
	シンプル案内管 (G-2)	5	9月11日	付着物除去後
	シンプル案内管 (H-8)	4	9月11日	
	シンプル案内管 (G-11)	5	9月11日	
	シンプル案内管 (G-13)	7	9月11日	
立ち上がり部	シンプル案内管 (E-10)	4	9月11日	
	シンプル案内管 (I-11)	4	9月11日	
	シンプル案内管 (C-9)	5	9月11日	
	シンプル案内管 (H-3)	2	9月11日	
	シンプル案内管 (J-3)	3	9月11日	
	シンプル案内管 (L-9)	3	9月11日	



### (3) さび状汚れの発生源の調査結果

さび状汚れの発生源を調査するため、さび状汚れ箇所直上部の原子炉容器廻りの構造物を調査した。

#### a. 原子炉容器下部周辺の調査結果

##### (a) 小型TVカメラによる調査結果

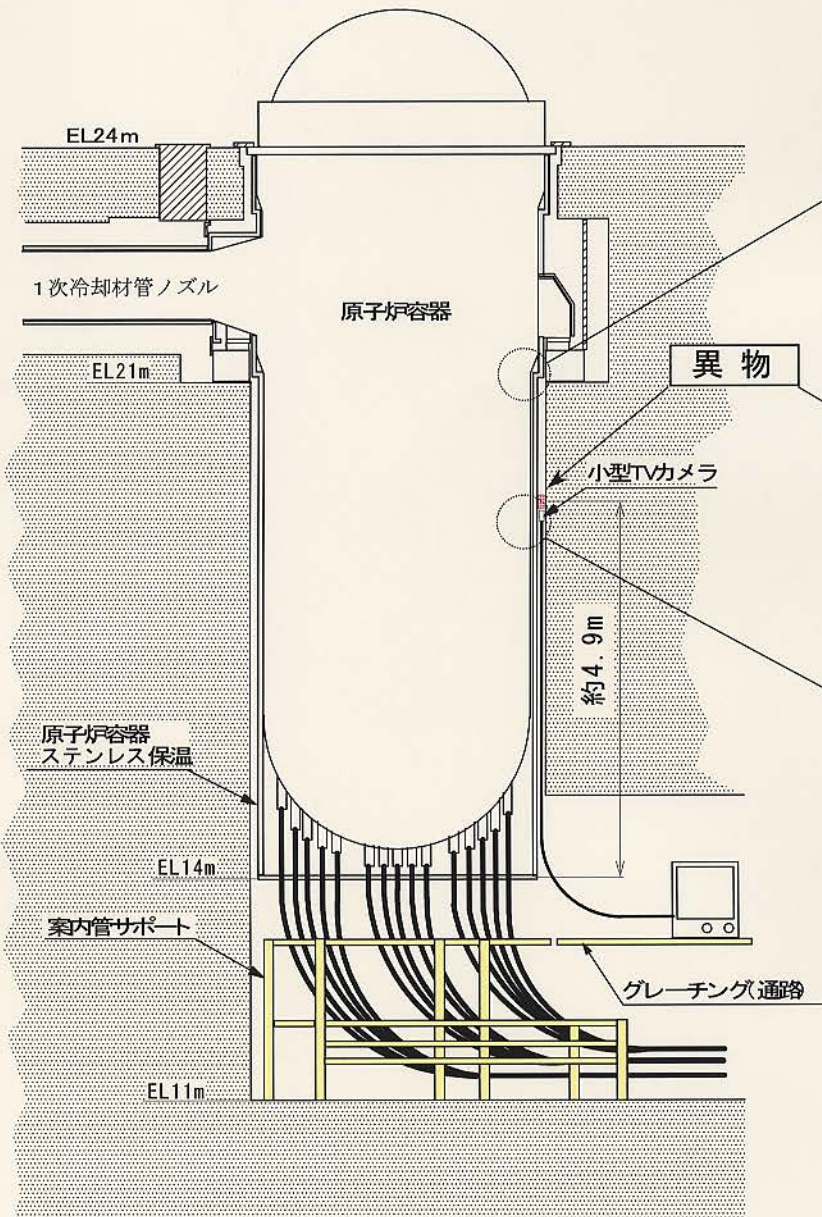
小型TVカメラによりさび状汚れの垂れ跡に沿って上方に向かって調査した結果、原子炉容器ステンレス保温下端から約4.9mの位置で白色を呈した円筒形異物を確認した。

また、さび状の汚れの垂れ跡は、原子炉容器ステンレス保温及び対面する周辺コンクリート壁のいずれの表面も、この異物まで続いていたが、それより上方には認められなかった。

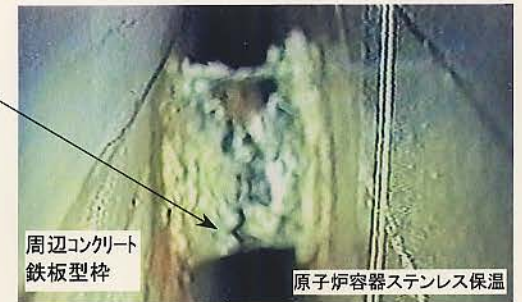
なお、本調査中、黒色が部分的に混じった白色の固形物（大きさ：約55mm×27mm）が落下してきた。



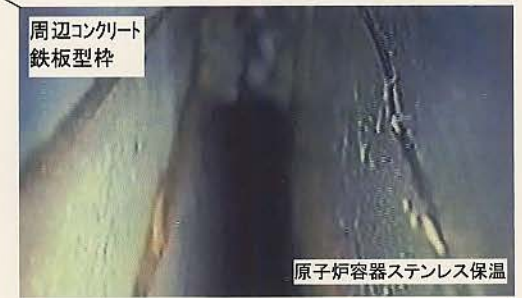
# 小型TVカメラによる原子炉容器下部からの調査結果



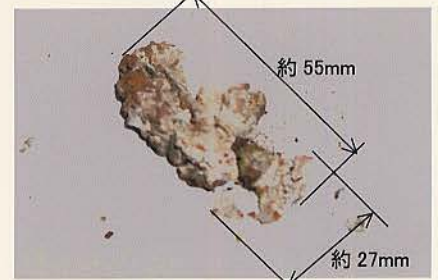
円筒形異物上方の状況



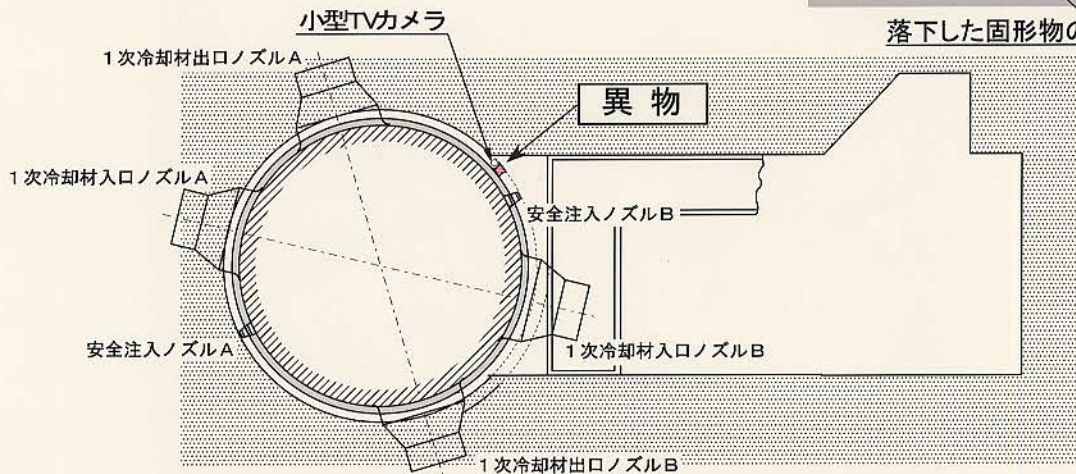
円筒形異物付着状況



円筒形異物下方の状況



落下した固形物の状況



(b) 双眼鏡による調査結果

原子炉容器ステンレス保温と周辺コンクリート壁の隙間を原子炉容器全周に亘って双眼鏡により調査した結果、上記以外には異物がないことを確認した。

(c) 円筒形異物等回収後の調査結果

円筒形異物及び付近の白色付着物回収後、原子炉容器ステンレス保温と、対面する周辺コンクリート壁の当該箇所について小型TVカメラにより調査した結果、貫通穴はなく、若干の白色付着物が認められた。

b. 円筒形異物等調査結果

回収した落下固形物、円筒形異物及び白色付着物について、外観調査、放射能濃度測定及び成分分析を実施中であるが、現在までに得られたデータを以下に示す。

(a) 円筒形異物調査結果

a) 外観調査結果

円筒形異物は、外径約70mm、幅約45mm、重さ約160gの1巻のテープであり、表面線量当量率を測定した結果、約0.35mSv/hであった。全体的に黒褐色を呈しており、部分的に白色の付着物が認められ、側面は同心円状の筋が、また中心部は円筒状の空洞があり、その中にも白色の付着物が認められた。

円筒形異物は硬化しており、切断は糸のこを使用して行った。切断面は、一様に濃い茶褐色で、かすかに筋状のものが認められた。





周辺コンクリート  
鉄板型枠

原子炉容器ステンレス保温

円筒形異物付着状況



周辺コンクリート  
鉄板型枠

伊方1・2号

原子炉容器ステンレス保温

円筒形異物落下後の状況



<回収された異物>

外径約 70mm, 幅約 45mm のテープ



筋状のもの

回収された円筒形異物



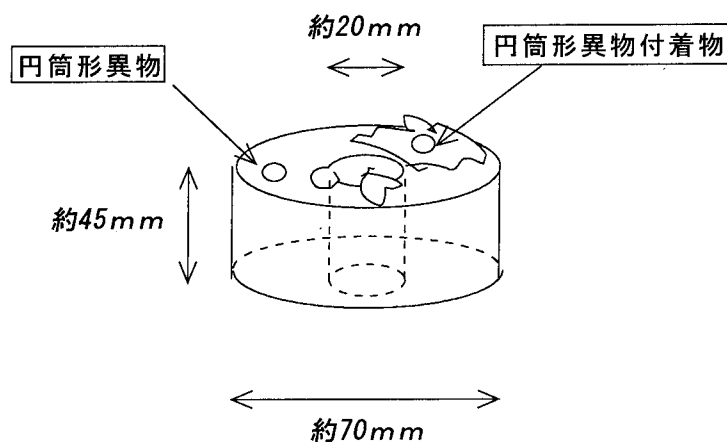
b) 成分分析結果

① 電子線マイクロアナライザによる成分分析結果

円筒形異物及びその付着物の成分を電子線マイクロアナライザ（EPMA）により分析した結果、炭素、窒素、酸素、塩素、鉄等が検出された。

元 素	含有率 (%)	
	円筒形異物	円筒形異物付着物
	9月12日採取	9月12日採取
C	36	14
N	26	21
O	35	14
Cl	2	40
Fe	—	6
Si	1	< 1
Mn	—	2
Mg	—	< 1
Ti	—	< 1

\* : 円筒形異物表面に白色付着物があったため、個別に分析を行った。



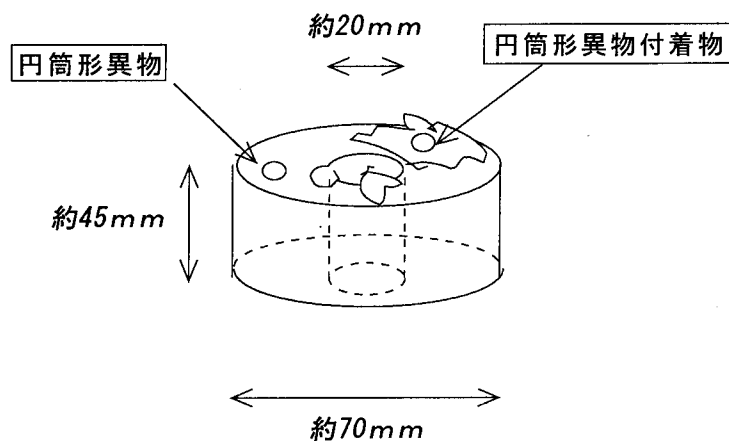
② 湿式による成分分析結果

円筒形異物及びその付着物の成分の湿式分析を行った結果、鉄、塩化物、アンモニア、ほう素が検出されたが、硝酸、リチウム、油分は検出されなかった。

また、鉄、塩化物、アンモニアの含有率は付着物のほうが円筒形異物に比べて大きかった。

	円筒形異物	円筒形異物付着物	分析方法
試料採取日	9月12日	9月12日	
鉄含有率 (%)	0.9	13.6	TPTZ法
塩化物含有率 (%)	5.1	46.2	チオシアン酸水銀(II)吸光光度法
アンモニア含有率 (%)	3.1	22.6	イオンクロマトグラフ法
硝酸含有率 (%)	< 0.003	< 0.003	イオンクロマトグラフ法
ほう素含有率 (%)	0.07	0.02	メチレンブルー吸光光度法
リチウム含有率 (%)	< 0.0003	< 0.0002	原子吸光光度法
油分含有率 (%)	< 0.4	< 0.5	赤外線分析法

\* : 円筒形異物表面に白色付着物があったため、個別に分析を行った。



(b) 落下固形物調査結果

a) 放射能濃度測定結果

落下した固形物の放射能濃度を測定した結果、クロム、マンガン、鉄、コバルト、亜鉛、アンチモンが検出された。

核種	放射能濃度 (Bq/g)	試料採取日
Cr-51	$3.0 \times 10^3$	9月11日
Mn-54	$5.9 \times 10^3$	
Fe-59	$9.1 \times 10^3$	
Co-58	$4.6 \times 10^2$	
Co-60	$1.4 \times 10^4$	
Zn-65	$1.4 \times 10^2$	
Sb-122	$4.6 \times 10^1$	
Sb-124	$4.5 \times 10^2$	

測定器：Ge半導体測定装置

b) 成分分析結果

① 電子線マイクロアナライザによる成分分析結果

落下固形物表面の黒色部分と内部の白色部分の成分を電子線マイクロアナライザ（EPMA）により分析した結果、炭素、窒素、酸素、塩素、鉄等が検出された。

項目 元素	含有率 (%)	
	表層 (黒色)	内部 (白色)
	9月11日採取	9月11日採取
C	8	14
N	6	6
O	18	2
Cl	47	75
Fe	19	< 1
Cr	—	—
Ni	—	—
Ca	< 1	< 1
Si	< 1	< 1
Mn	2	2
Zn	—	—
Mg	< 1	< 1
Al	< 1	< 1
P	—	—
S	< 1	< 1
K	—	—
Ti	< 1	< 1
Na	—	—

\* : 表層は黒色で内部が白色であったことから、個別に分析を行った。

② 湿式による成分分析結果

落下固形物の成分の湿式分析を行った結果、鉄、塩化物、アンモニア、ほう素が検出され、硝酸、リチウム、油分は検出されなかった。

また、落下固形物を表面の黒色部分と内部の白色部分に分けて湿式分析を行った結果、鉄の含有率は黒色部分が大きく、塩化物、アンモニアの含有率は白色部分が大きかった。

	落下固形物	表層(黒色)	内部(白色)	分析方法
試料採取日	9月11日	9月11日	9月11日	
鉄含有率 (%)	30	52	13	TPTZ法
塩化物含有率 (%)	44	3	50	チオシアン酸水銀(Ⅱ) 吸光光度法
アンモニア含有率 (%)	19	1	25	イオンクロマトグラフ法
硝酸含有率 (%)	< 0.01	— *1	— *1	イオンクロマトグラフ法
ほう素含有率 (%)	0.02	— *1	— *1	メチンブルー吸光光度法
リチウム含有率 (%)	< 0.0003	— *1	— *1	原子吸光光度法
油分含有率 (%)	< 0.02	— *1	— *1	赤外線分析法

\*1 : 全体の含有率が少ないため個別の測定は実施しない。

#### (4) 今後の調査予定

今後は、以下に示すとおり、引き続きさび状の汚れ等付着物や円筒形異物等の調査を実施するとともに、原子炉容器上部周辺の調査を行い、汚れの発生原因及び対策の検討を行っていく。

##### 【今後の主な調査項目】

- さび状の汚れ等付着物の調査（継続）
  - ・放射能濃度測定
  - ・成分分析
  
- 発生源の調査
  - ・円筒形異物等の調査（継続）
    - 放射能濃度測定
    - 成分分析
  - ・原子炉容器上部周辺の調査
    - 小型TVカメラ等による調査
  
- さび状汚れの発生原因及び対策の検討
  - ・混入異物の検討（新品のテープの成分分析等から推定）
  - ・異物混入経路の検討
  - ・さび状汚れ等の発生メカニズムの検討  
(化学反応プロセスに係る文献調査等)

以 上