

美浜発電所3号機2次系配管破損事故に係る現地調査データ

平成16年9月6日

美浜発電所3号機2次系配管破損事故に係る現地調査データ

目 次

1. 現地における損傷配管(A系配管)及びB系配管の肉厚測定結果
について
2. 現地における損傷配管(A系配管)及びB系配管の外径計測結果
について
3. 現地における損傷配管(A系配管)のオリフィス関係調査結果につ
いて
4. 配管破損部写真集

現地における損傷配管(A系配管)及びB系配管の肉厚測定結果について

1. 調査目的

美浜3号機の損傷配管(A系配管)およびB系配管の減肉状況を確認するため、現地において超音波肉厚測定器にて肉厚測定を実施する。

2. 調査内容

損傷配管(A系配管)及びB系配管の肉厚測定範囲を別紙1に示す。

(1) 損傷配管(A系配管)

・オリフィス上流

範囲:オリフィス上流端面から - 10D付近(オリフィス上流エルボ出口からオリフィスまで)

測定:軸方向D間隔程度、円周方向8等分

・オリフィス下流

範囲:オリフィス下流端面から + 4D付近(オリフィスから下流第1エルボ入口まで)

測定:軸方向20mm間隔、円周方向20mm間隔

・オリフィス下流第1エルボ

範囲:オリフィス下流第1エルボ部

測定:エルボ入口部、出口部、中央部と中間(2点)の5箇所

・オリフィス下流エルボ後直管

範囲:オリフィス下流エルボ後直管部(オリフィス下流第1エルボ出口から第2エルボ入口まで)

測定:軸方向D間隔程度、円周方向8等分

(2) B系配管

・オリフィスの上流

範囲:オリフィス上流端面から - 10D付近(オリフィス上流エルボ出口からオリフィスまで)

測定:軸方向D間隔程度、円周方向8等分

・オリフィス下流

範囲:オリフィス下流端面から + 4D付近(オリフィスから下流エルボ入口まで)

測定:軸方向20mm間隔、円周方向20mm間隔

3. 調査結果

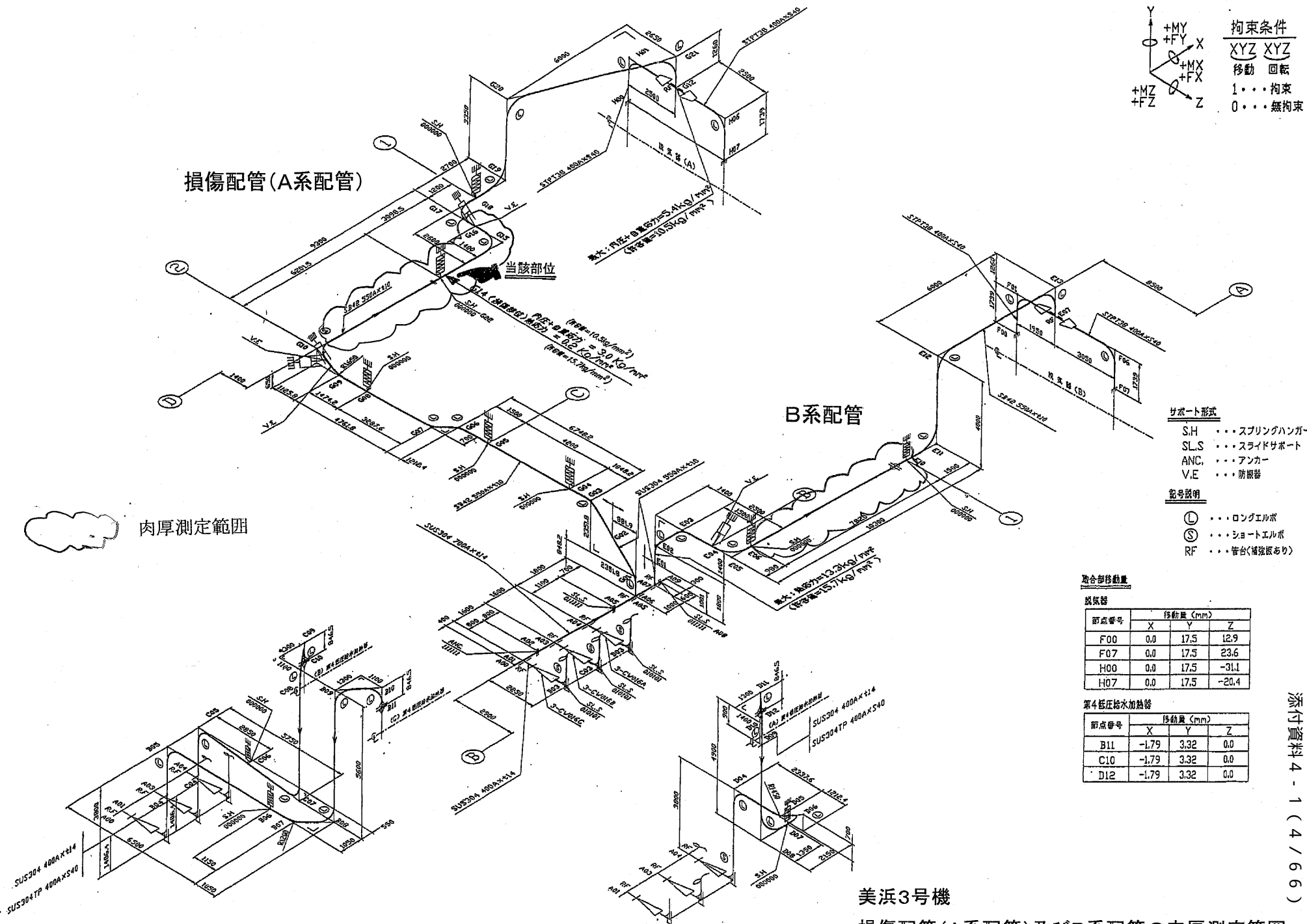
(1) 損傷配管(A系配管)

損傷配管(A系配管)の肉厚測定結果を別紙2、3に示す。また、周方向の減肉状況分布を別紙4～8及び軸方向の減肉状況分布を別紙9、10に示す。測定の結果、オリフィス下流の697mm付近の破口先端部において、肉厚が0.4mmの箇所が認められた。

(2) B系配管

B系配管の肉厚測定結果を別紙11に示す。また、周方向の減肉状況分布を別紙12～16、軸方向の減肉状況分布を別紙17、18に示す。測定の結果、オリフィス下流734mm付近において、肉厚1.8mmの箇所が認められた。

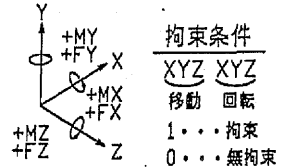
以 上



損傷配管 (A系配管)

B系配管

肉厚測定範囲



- サポート形式
- S.H ... スプリングハンガー
 - SL.S ... スライドサポート
 - ANC ... アンカー
 - V.E ... 防振器
- 記号説明
- ① ... ロングエルボ
 - ② ... ショートエルボ
 - RF ... 管台(補強板あり)

取合部移動量

取合部番号	移動量 (mm)		
	X	Y	Z
F00	0.0	17.5	12.9
F07	0.0	17.5	23.6
H00	0.0	17.5	-31.1
H07	0.0	17.5	-20.4

第4低圧給水加熱器

取合部番号	移動量 (mm)		
	X	Y	Z
B11	-1.79	3.32	0.0
C10	-1.79	3.32	0.0
D12	-1.79	3.32	0.0

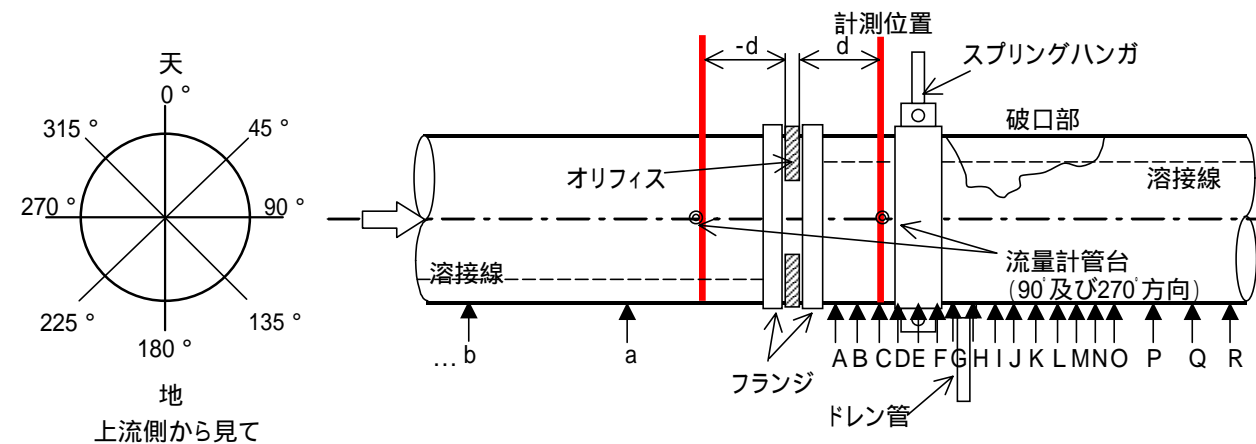
美浜3号機

損傷配管 (A系配管) 及び B系配管の肉厚測定範囲

美浜3号機 A-主復水管オリフィス前後の直管部の肉厚測定結果

(単位:mm)

		オリフィス上流側									
		i	i	h	g	f	e	d	c	b	a
オリフィス端面からの距離 (d)	角度	-5238 (-10D付近)	-4688 (-9D付近)	-4138 (-8D付近)	-3588 (-7D付近)	-3038 (-6D付近)	-2488 (-5D付近)	-1938 (-4D付近)	-1389 (-3D付近)	-839 (-2D付近)	-289 (-D付近)
0°		9.4	10.3	10.0	10.3	10.2	10.2	10.1	10.2	10.4	10.6
45°		9.8	9.2	9.9	10.3	10.3	10.2	10.2	10.4	10.4	10.5
90°		10.2	8.8	9.9	10.3	10.3	10.2	10.2	10.6	10.4	10.4
135°		9.5	12.5	14.2	14.5	14.3	13.6	13.6	13.7	14.9	14.7
180°		9.4	9.9	10.6	10.6	10.6	10.1	10.4	10.1	10.5	10.5
225°		9.3	10.0	10.6	10.6	10.4	10.1	10.3	10.6	10.7	10.6
270°		9.5	10.2	10.4	10.6	10.3	10.2	10.2	10.6	10.5	10.4
315°		9.5	10.2	10.5	10.3	10.4	10.2	10.1	10.6	10.6	10.4



破口部

(単位:mm)

		オリフィス下流側																						
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
オリフィス端面からの距離 (d)	角度	137 (1/4D付近)	197 (3/8D付近)	277 (1/2D付近)	337 (5/8D付近)	417 (3/4D付近)	477 (7/8D付近)	537 (D付近)	617 (1・1/8D付近)	697 (1・1/4D付近)	757 (1・3/8D付近)	817 (1・1/2D付近)	897 (1・5/8D付近)	957 (1・3/4D付近)	1037 (1・7/8D付近)	1097 (2D付近)	1237 (2・1/4D付近)	1377 (2・1/2D付近)	1516 (2・3/4D付近)	1577 (3D付近)	1797 (3・1/4D付近)	1916 (3・1/2D付近)	2056 (3・3/4D付近)	2197 (4D付近)
0°		5.5	5.5	5.7	4.4		1.4	0.9	0.6	*0.5	0.6	0.6	0.8	1.2	1.3	1.6	1.9	2.6	2.9	3.0	3.7	4.3	4.7	5.1
22.5°		5.4	5.4	5.5				0.8	0.7	0.7	0.9	1.1	1.1	1.3	1.5	1.7	2.2	2.6	2.9	3.1	3.9	4.3	4.8	5.2
45°		10.2	10.2	10.4				5.7	5.7	5.9	5.7	6.1	6.2	6.3	7.1	6.8	7.1	7.6	8.1	8.1	9.2	9.7	9.9	10.1
67.5°		7.0	6.6	6.2				2.1	1.8	1.7	2.0	2.0	2.2	2.4	2.6	2.7	3.1	3.4	3.7	3.9	4.8	5.0	5.6	5.6
90°		7.4						3.1	2.6	2.4	2.4	2.6	2.9	3.0	3.2	3.1	3.4	3.7	4.0	4.2				
112.5°		7.5		7.1				3.8	3.4	3.2	3.1	3.2	3.5	3.6	3.7	3.7	3.9	4.1	4.4	4.6	5.8	6.7	6.4	6.2
135°		8.4		7.9				5.2	5.4	5.2	5.1	5.0	5.1	5.2	5.0	4.8	4.7	4.9	5.4	5.6	6.9	8.0	7.8	6.9
157.5°		10.5	10.5	10.4				8.6	8.7	8.8	8.5	8.7	8.7	8.6	8.4	7.7	6.9	6.7	7.2	7.3	8.9	9.9	8.9	7.7
180°		10.4	10.6	10.4						4.5	5.5	7.8	10.3	10.4	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2
202.5°		10.3	10.3	10.4				8.8	8.2	9.3	9.3	9.1	8.9	8.7	8.3	8.0		6.6	7.2	7.4	8.4	9.0	9.1	9.8
225°		8.4	8.3	7.9					5.0	5.0	4.7	4.4	4.3	4.1	4.0	3.8		4.0	4.8	5.1	5.9	6.6	6.8	7.1
247.5°		7.6	7.4	7.0					3.5	3.5	3.0	2.5	3.3	3.0	2.8	2.5		3.3	3.8	3.9	4.8	5.2	5.7	6.0
270°		6.7	6.3						1.8	1.6	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	2.0		2.6	3.1	3.1	4.0	4.4	5.0	5.3
292.5°		6.2	5.8	5.8				1.5	1.3	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.6	2.0	2.4	2.7	2.9	3.7	4.1	4.6	5.0
315°		5.8	5.6	5.4				1.2	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.6	1.9	2.3	2.8	3.0	3.7	4.1	4.7	5.0
337.5°		5.4	5.3	5.6				0.7	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0	1.3	1.5	1.9	2.3	2.8	3.0	3.6	3.9	4.5	4.9

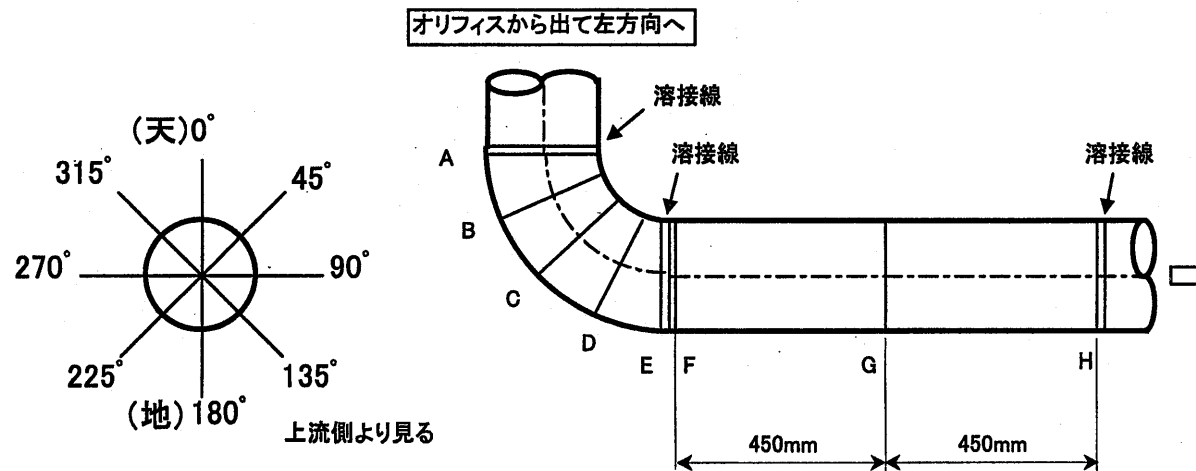
*:0° ~ 22.5° の間に全データの最小値0.4mm

美浜3号機 A-主復水管オリフィス後のエルボ他の肉厚測定結果

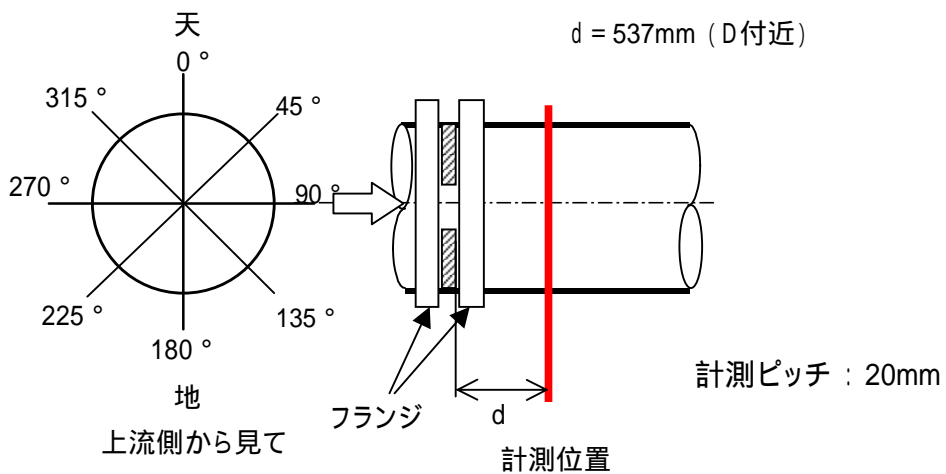
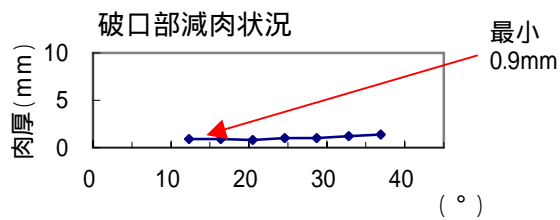
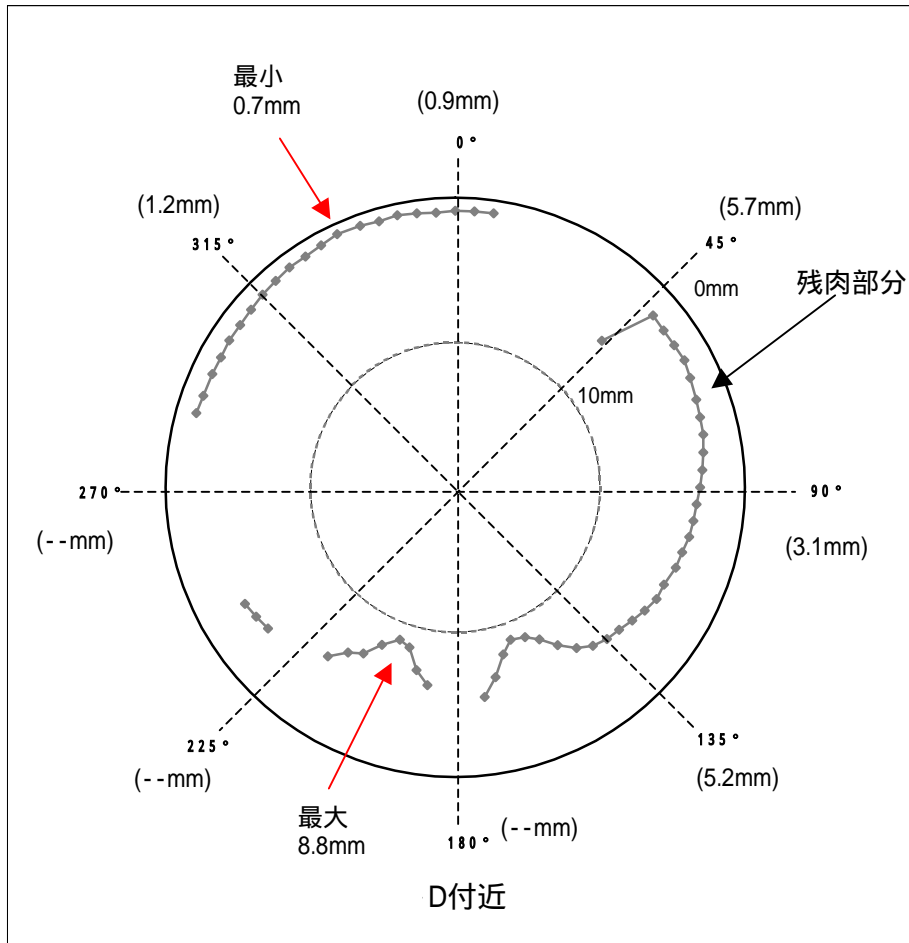
(単位:mm)

計測位置 角度	オリフィス下流エルボ					直管		
	A	B	C	D	E	F	G	H
0°	9.0	10.6	10.5	10.1	9.4	8.7	9.1	9.7
45°	9.2	10.2	10.4	10.1	9.7	8.9	9.1	9.5
90°	9.1	10.5	10.5	10.5	9.8	9.1	9.4	9.7
135°	9.6	10.1	10.4	10.5	10.6	10.1	9.6	10.5
180°	10.6	10.5	10.5	10.6	10.4	10.5	10.7	10.6
225°	10.2	10.9	10.9	10.0	9.5	9.2	9.6	9.9
270°	8.7	10.3	9.8	9.0	9.0	9.0	9.3	9.9
315°	9.0	10.7	10.8	10.0	9.2	7.9	10.5	9.5

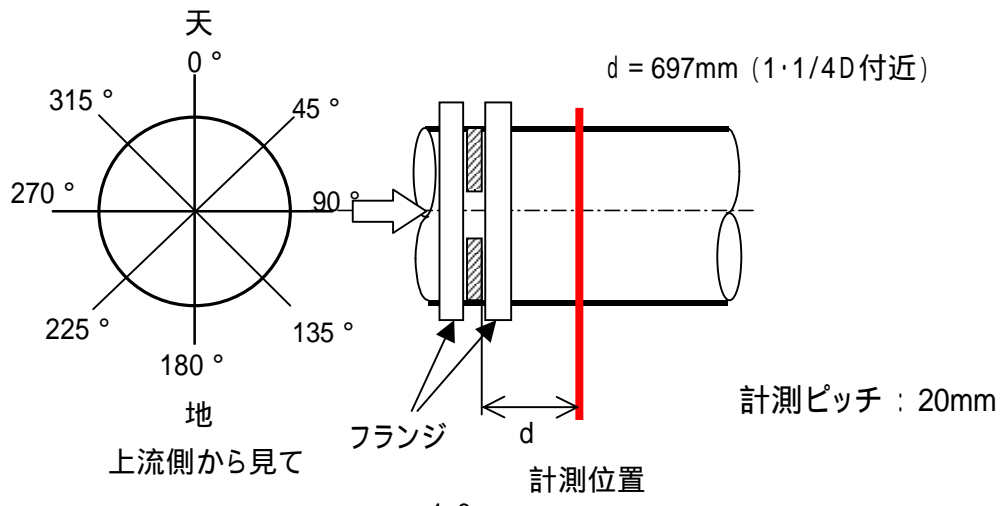
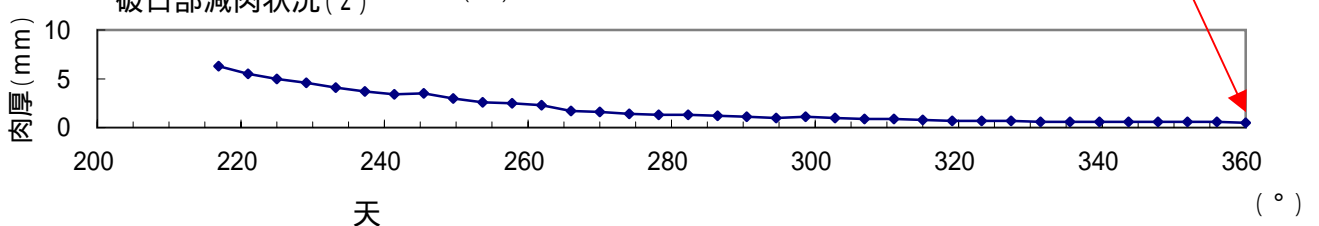
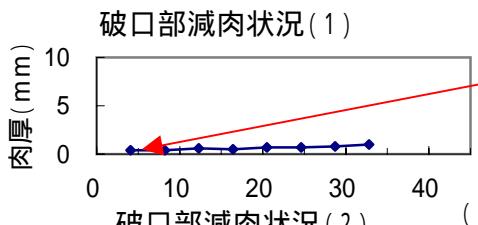
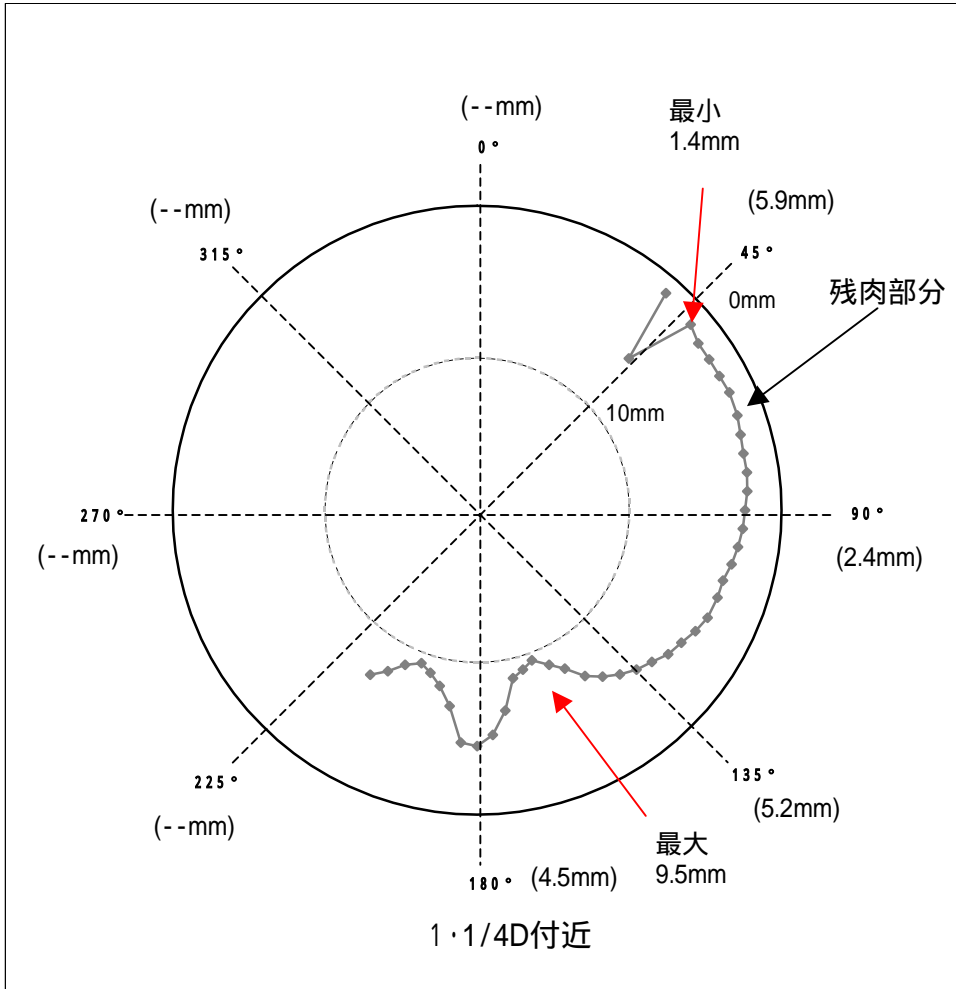
最小:7.9mm



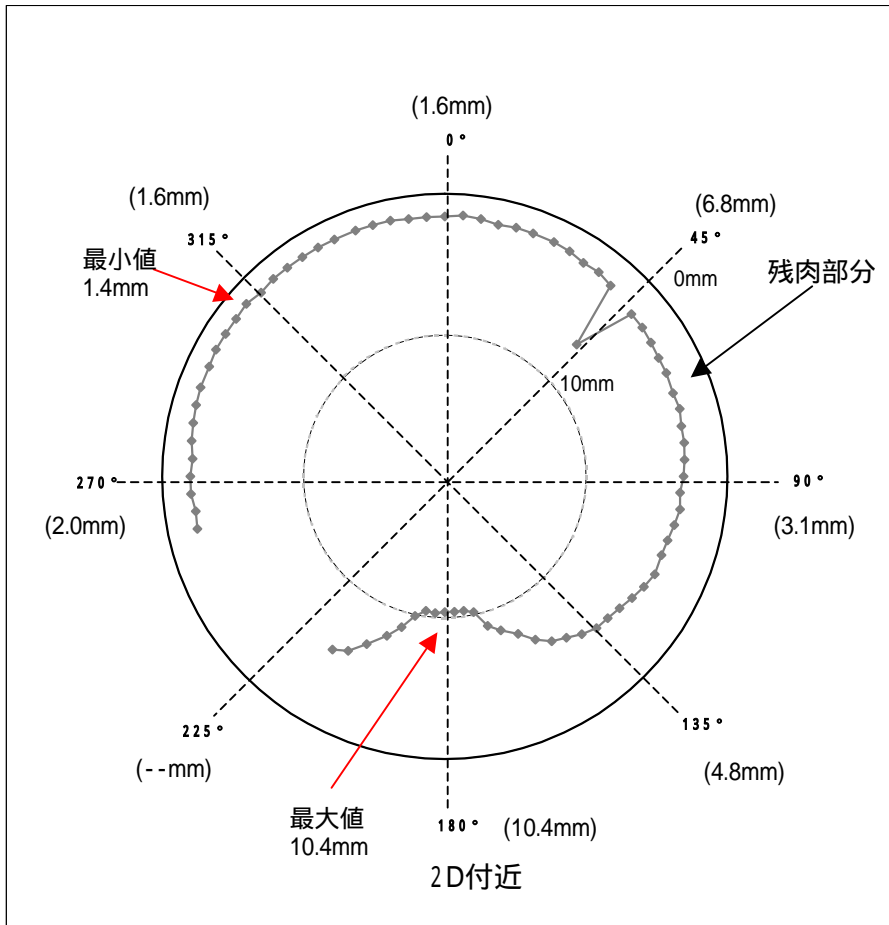
美浜3号機 A - 主復水管オリフィス下流の減肉状況(周方向分布)



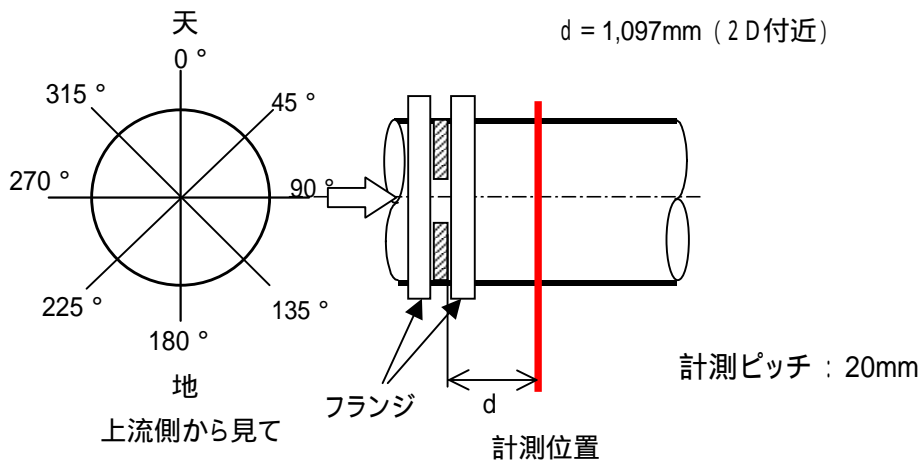
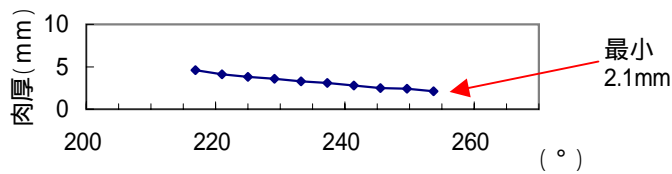
美浜3号機 A - 主復水管オリフィス下流の減肉状況(周方向分布)



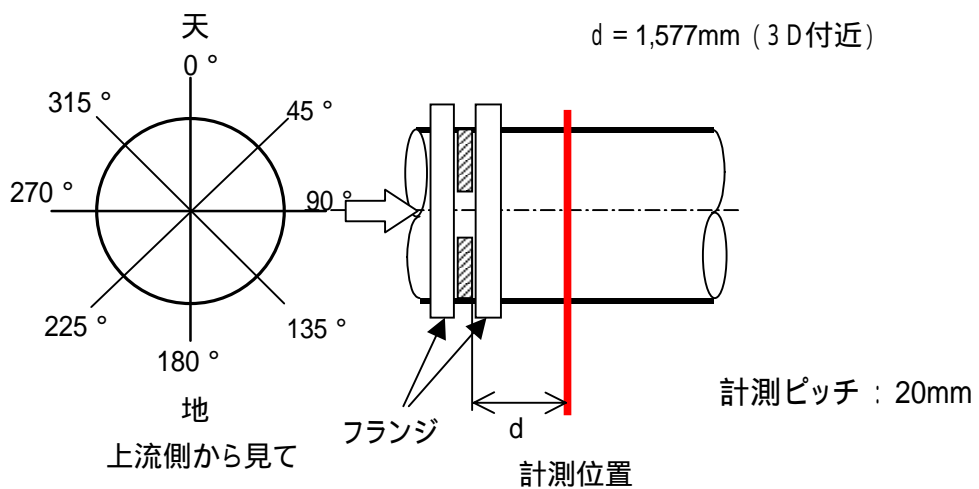
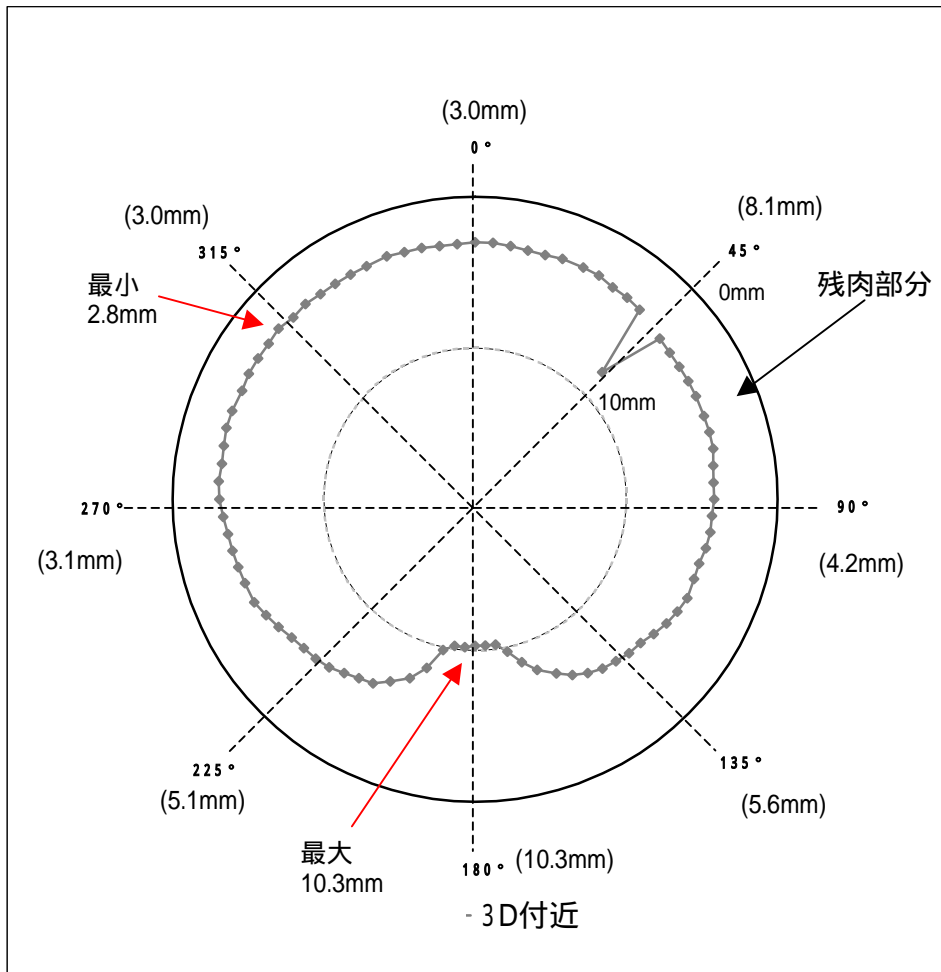
美浜3号機 A - 主復水管オリフィス下流の減肉状況(周方向分布)



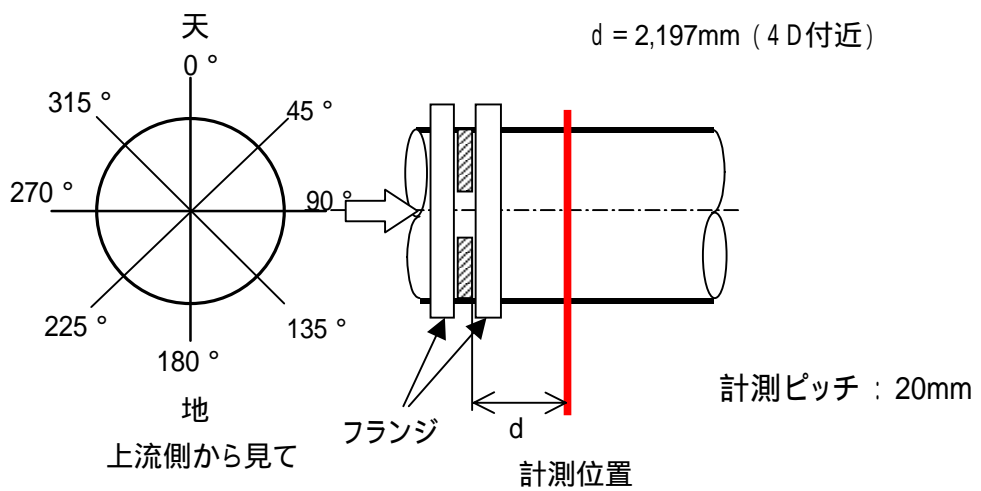
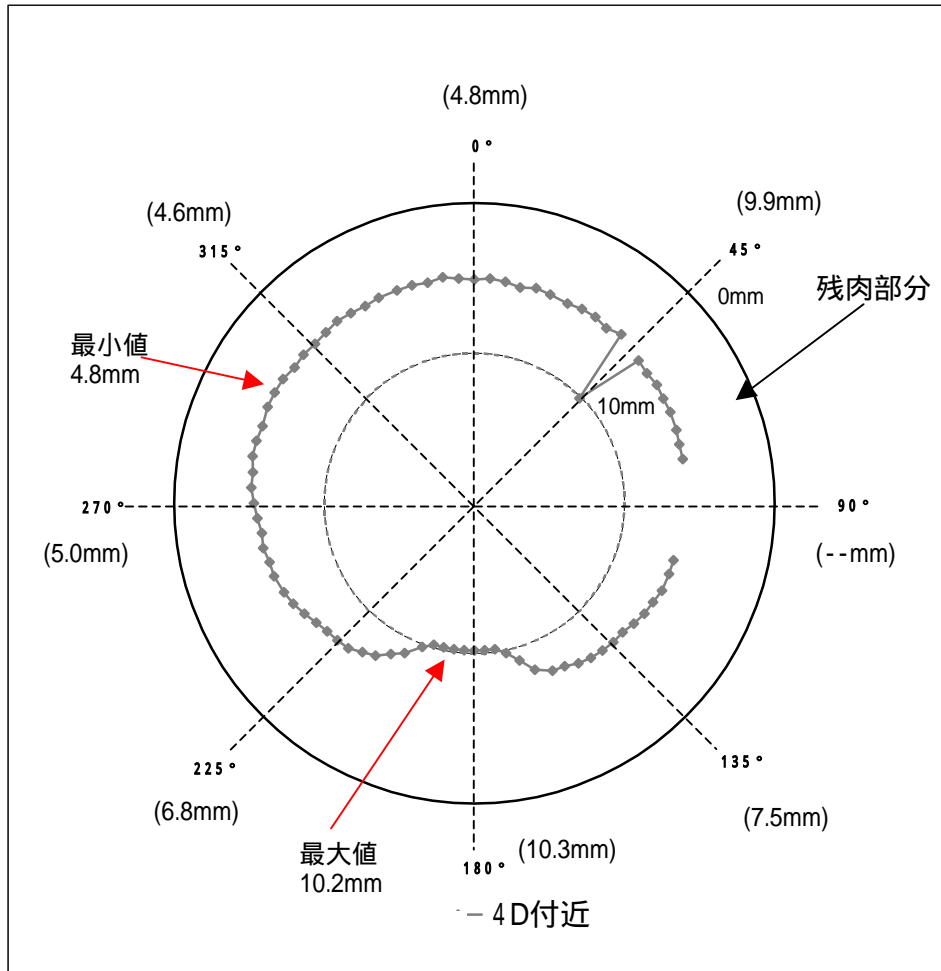
破口部減肉状況



美浜3号機 A - 主復水管オリフィス下流の減肉状況(周方向分布)

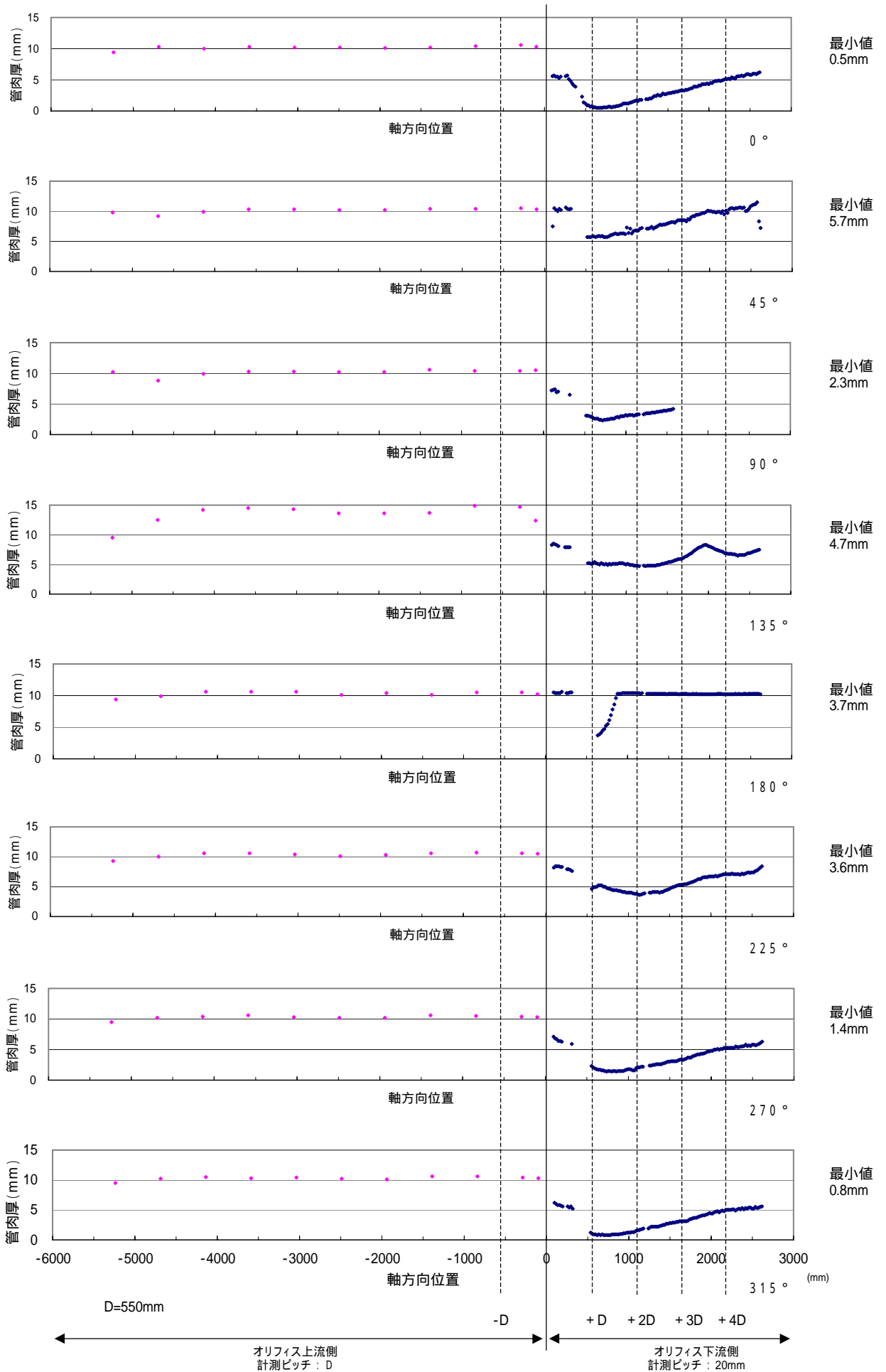


美浜3号機 A - 主復水管オリフィス下流の減肉状況(周方向分布)

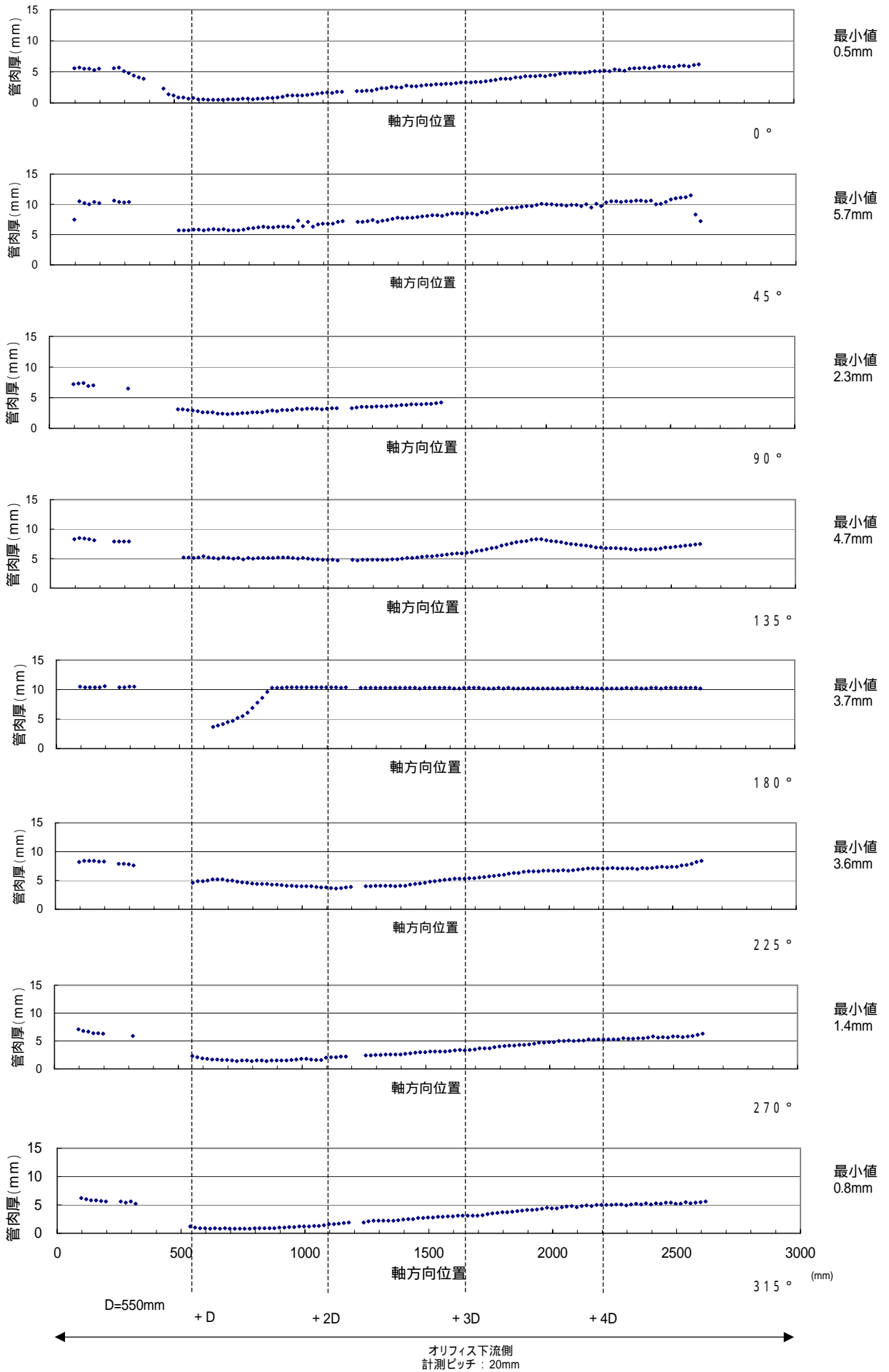


美浜3号機 A - 主復水管オリフィス前後の直管部減肉状況(軸方向分布)

別紙 9



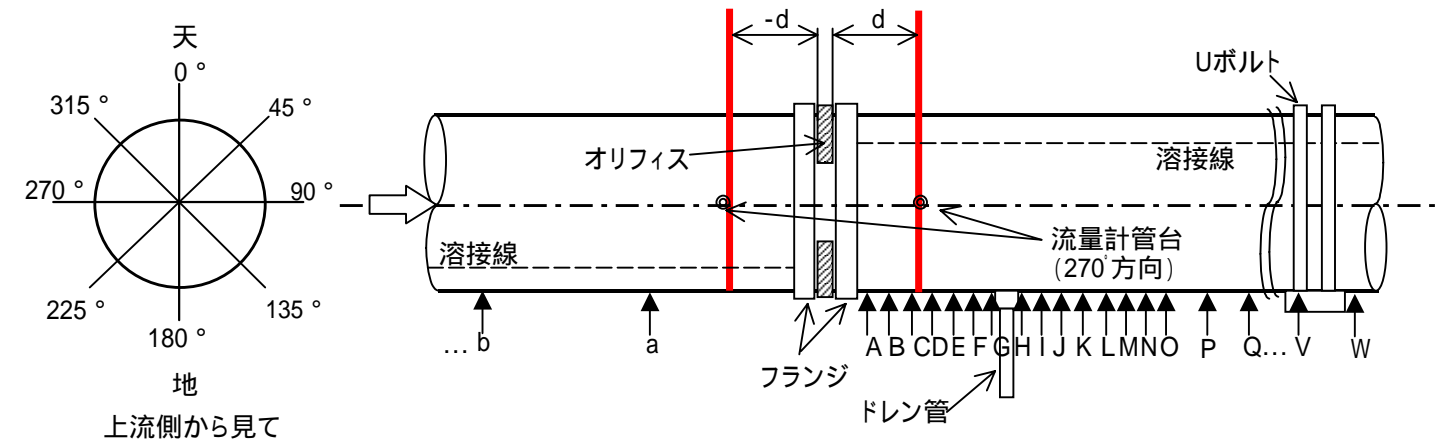
美浜3号機 A - 主復水管オリフィス後の直管部減肉状況 (軸方向分布) 別紙 1 0



美浜3号機 B-主復水管オリフィス前後の直管部の肉厚測定結果

(単位:mm)

		オリフィス上流側									
オリフィス端面からの距離(d)	角度	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
		(-10D付近)	(-9D付近)	(-8D付近)	(-7D付近)	(-6D付近)	(-5D付近)	(-4D付近)	(-3D付近)	(-2D付近)	(-D付近)
0°		10.2	10.1	10.3	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.5	10.5
45°		10.2	10.3	10.4	10.4	10.3	10.4	10.5	10.5	10.5	10.5
90°		10.2	10.3	10.4	10.4	10.3	10.4	10.5	10.5	10.5	10.5
135°		11.1	11.4	11.5	11.9	11.9	11.8	11.8	12.1	11.8	12.2
180°		10.1	10.1	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.3	10.3	10.4
225°		10.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.3	10.4	10.4	10.4	10.5
270°		10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.4	10.5
315°		10.2	10.2	10.4	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.4	10.5

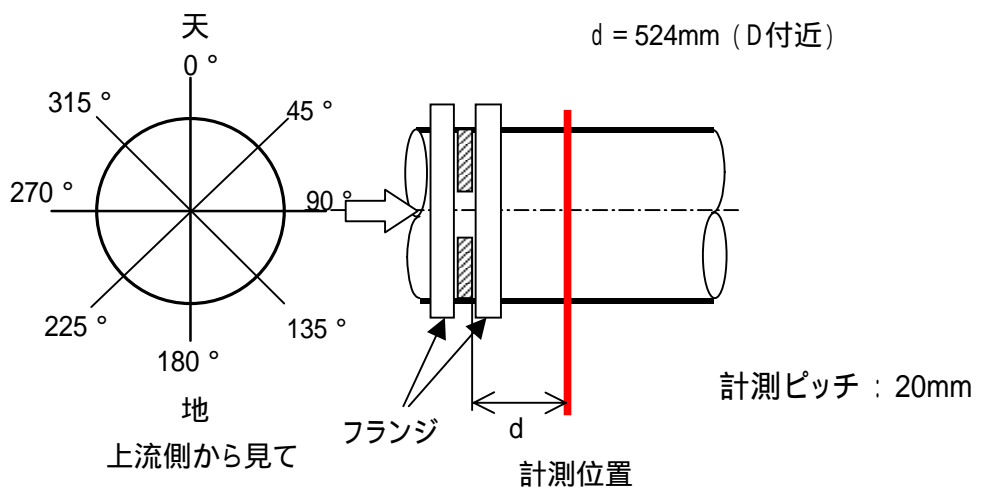
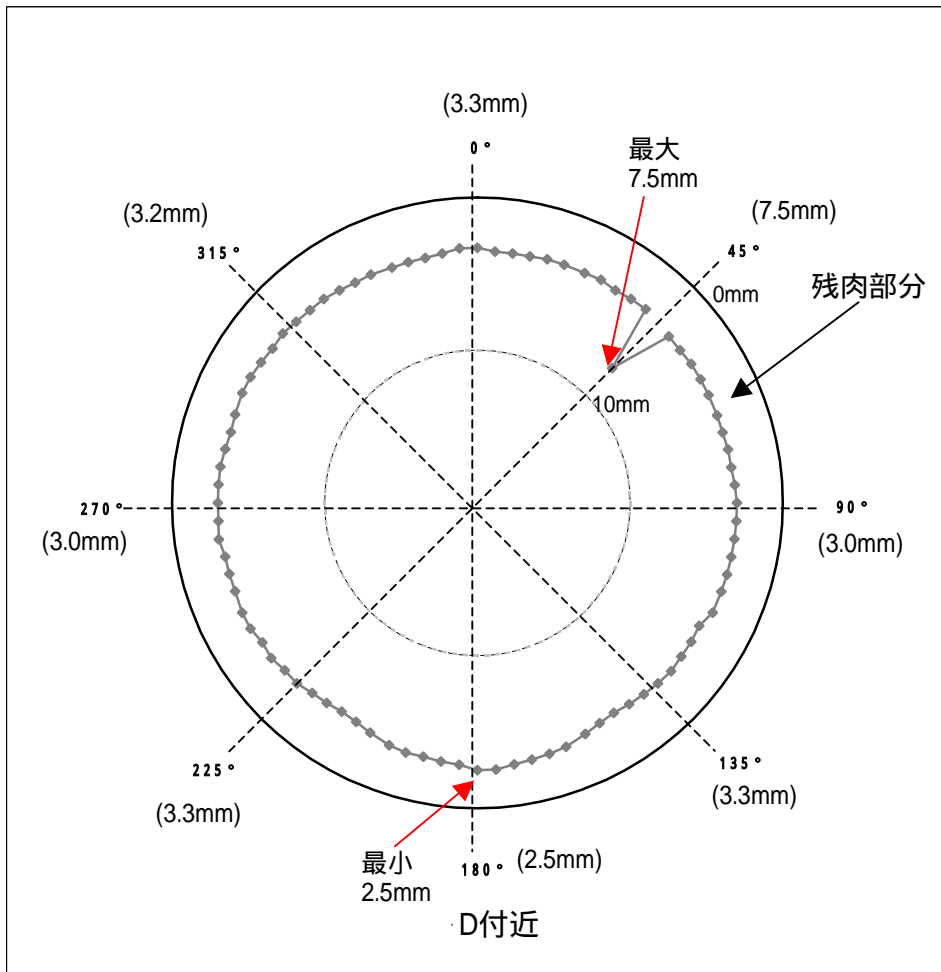


(単位:mm)

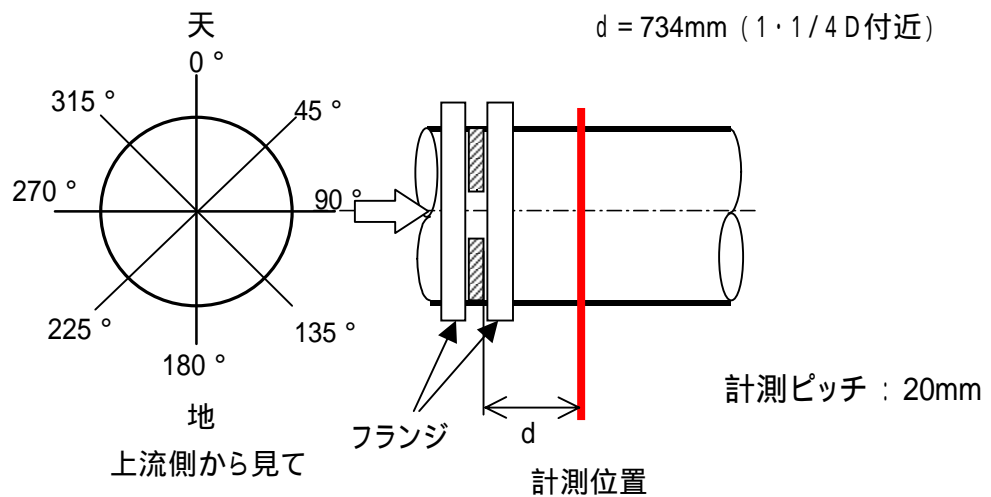
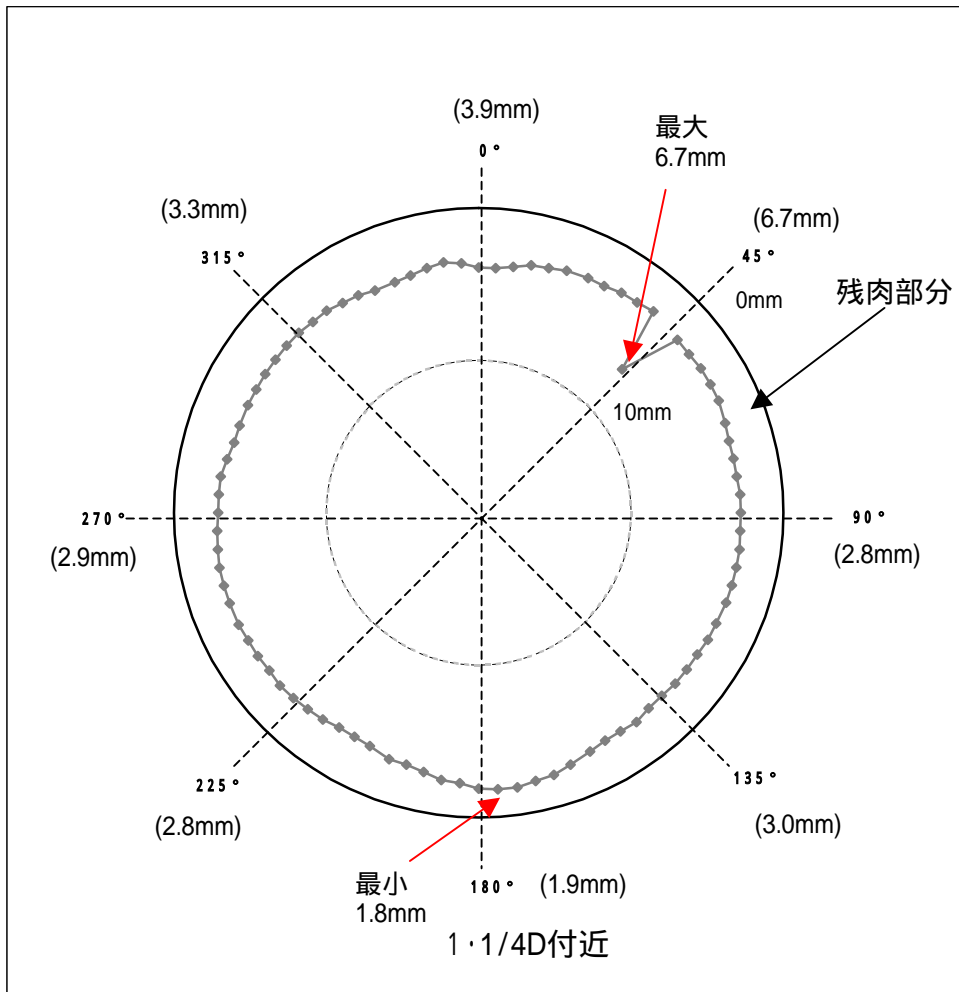
		オリフィス下流側																						
オリフィス端面からの距離(d)	角度	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
		(1/4D付近)	(3/8D付近)	(1/2D付近)	(5/8D付近)	(3/4D付近)	(7/8D付近)	(D付近)	(1・1/8D付近)	(1・1/4D付近)	(1・3/8D付近)	(1・1/2D付近)	(1・5/8D付近)	(1・3/4D付近)	(1・7/8D付近)	(2D付近)	(2・1/4D付近)	(2・1/2D付近)	(2・3/4D付近)	(3D付近)	(3・1/4D付近)	(3・1/2D付近)	(3・3/4D付近)	(4D付近)
0°		6.5	6.7	7.6	6.3	5.2	3.9	3.3	4.0	3.9	4.1	3.8	3.0	4.0	3.7	3.9	3.5	3.3	3.5	3.6	3.7	4.0		4.7
22.5°		6.4	6.7	7.0	6.2	5.1	3.8	3.4	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.1	3.1	3.3	3.4	3.5	3.8		4.6
45°		10.8	11.2	11.2	10.7	9.3	7.6	7.5	6.7	6.7	7.0	7.0	6.8	6.8	7.4	7.5	7.5	7.8	7.9	8.2	8.3	8.7	Uボルトのため測定不可	8.2
67.5°		7.1	7.3	7.3	6.5	5.3	3.7	3.3	2.7	2.6	2.7	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.5	3.4	3.9	3.9	4.1	4.4		5.1
90°		7.4	7.3	7.1	6.2	4.8	3.5	3.0	2.7	2.8	2.9	2.9	3.1	3.1	3.2	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.4	4.6		5.2
112.5°		7.0	6.9	6.6	5.7	4.6	3.3	3.0	2.6	2.7	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.4	3.8	4.1	4.4	4.6	4.7	5.0	5.4	5.6
135°		7.0	7.0	6.6	5.7	4.7	3.7	3.3	2.7	3.0	3.0	3.1	3.3	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	4.8	5.1	5.2	5.5	5.7	5.9
157.5°		6.8	6.9	6.4	5.5	4.6	3.5	3.3	3.2	2.7	2.6	2.7	2.8	3.1	3.2	3.4	3.9	4.5	4.4	4.6	4.7	5.7		5.7
180°		6.5	6.5	6.1	5.9	4.0	2.9	2.5	2.1	1.9	2.0	2.1	2.3	2.5	2.7	2.7	3.0	3.6	3.8	4.1	4.3	4.9	Uボルトのため測定不可	5.7
202.5°		6.5	6.6	6.4	5.4	4.4	3.3	3.1	2.8	*2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3.1	3.1	3.4	3.8	4.1	4.4	4.5	4.9		5.7
225°		6.4	6.8	6.8	5.7	4.7	3.6	3.3	2.9	2.8	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.7	4.0	4.4	4.7	4.9	5.2	5.8	6.1
247.5°		6.2	6.4	6.6	5.3	4.2	3.4	3.0	2.6	2.6	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.7	4.0	4.2	4.5	4.8	5.4	6.1
270°		6.1	6.2	流量計管台部測定不可	5.3	4.2	3.2	3.0	2.7	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2	3.5	3.7	3.8	3.9	4.2		5.1
292.5°		6.0	6.2	6.6	5.3	4.2	3.4	3.1	3.0	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4.2	Uボルトのため測定不可	4.8
315°		6.3	6.3	6.8	5.7	4.6	3.5	3.2	3.2	3.3	3.1	2.6	3.3	3.5	3.6	3.5	3.4	3.4	3.6	3.7	3.9	4.1		4.7
337.5°		6.2	6.3	6.8	5.9	4.7	3.7	3.5	3.8	3.9	3.9	3.8	4.0	4.1	3.9	3.7	3.4	3.4	3.6	3.6	3.7	4.0		4.6

*: 202.5° ~ 225° の間に全データの最小値1.8mm

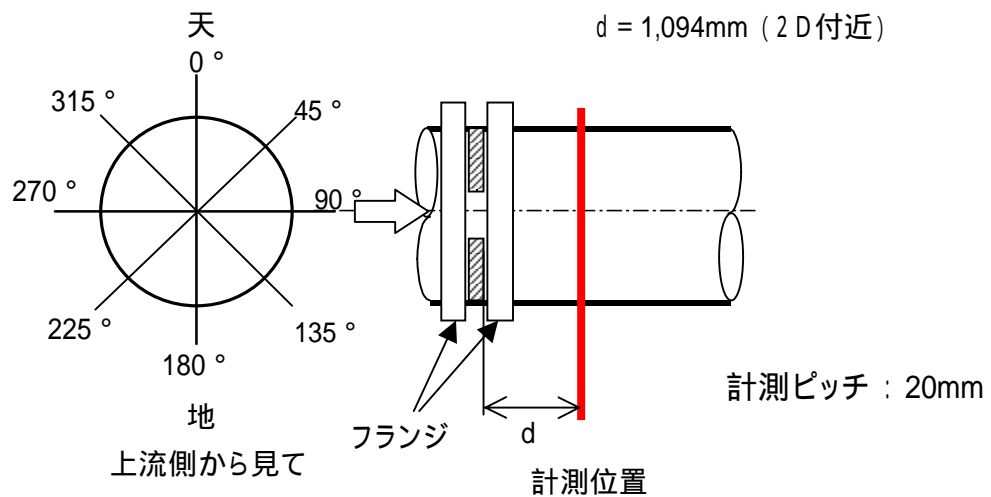
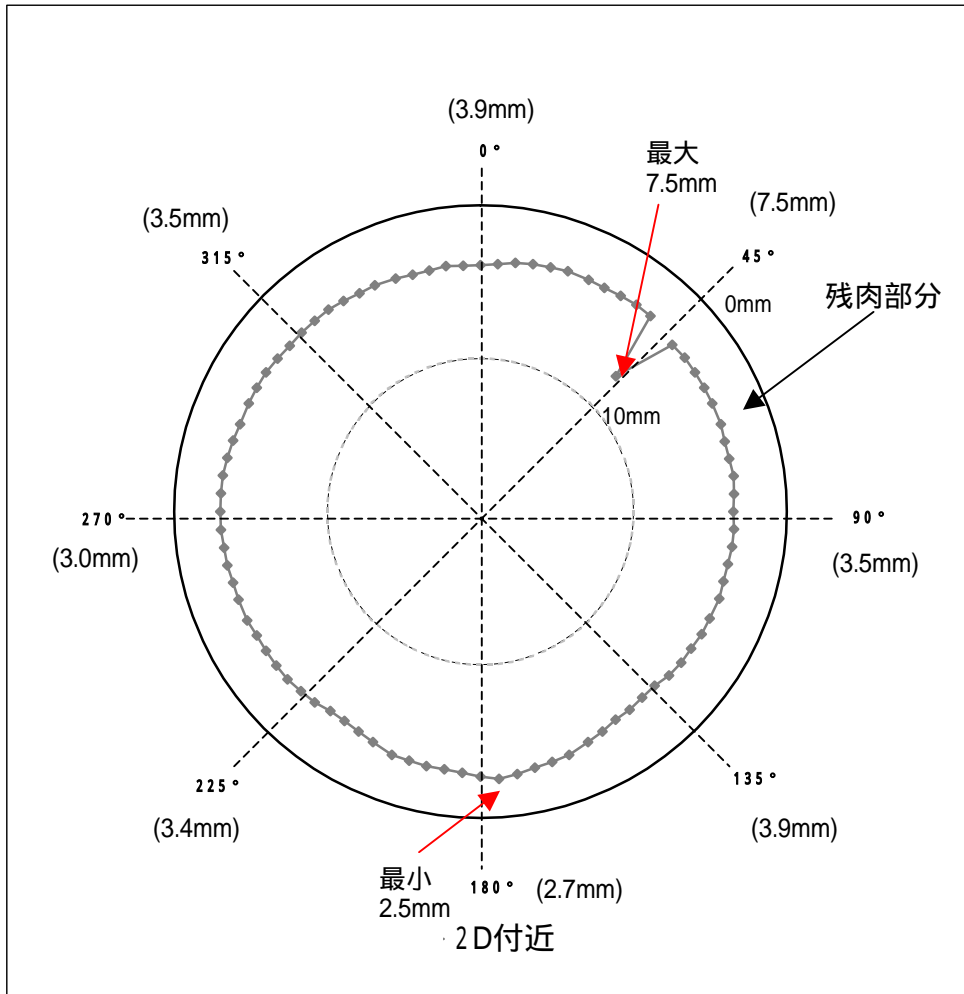
美浜 3 号機 B - 主復水管オリフィス下流の減肉状況 (周方向分布)



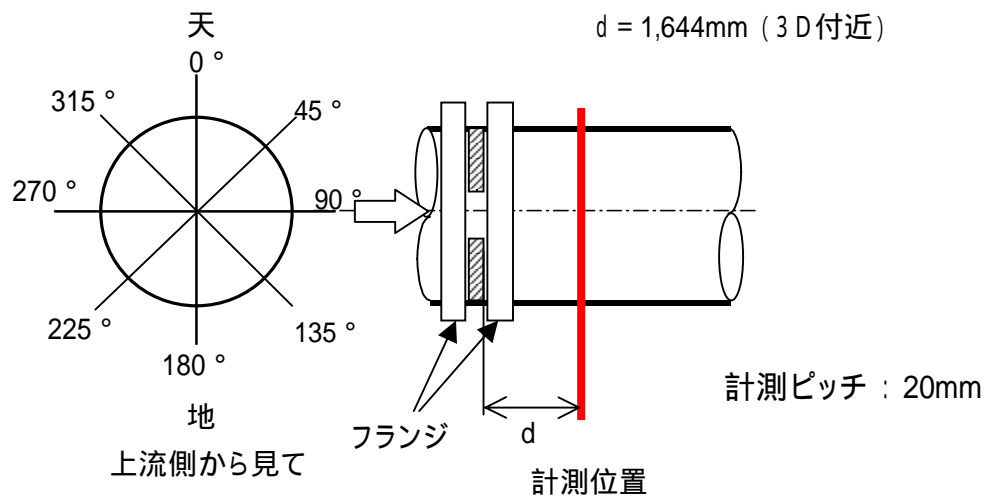
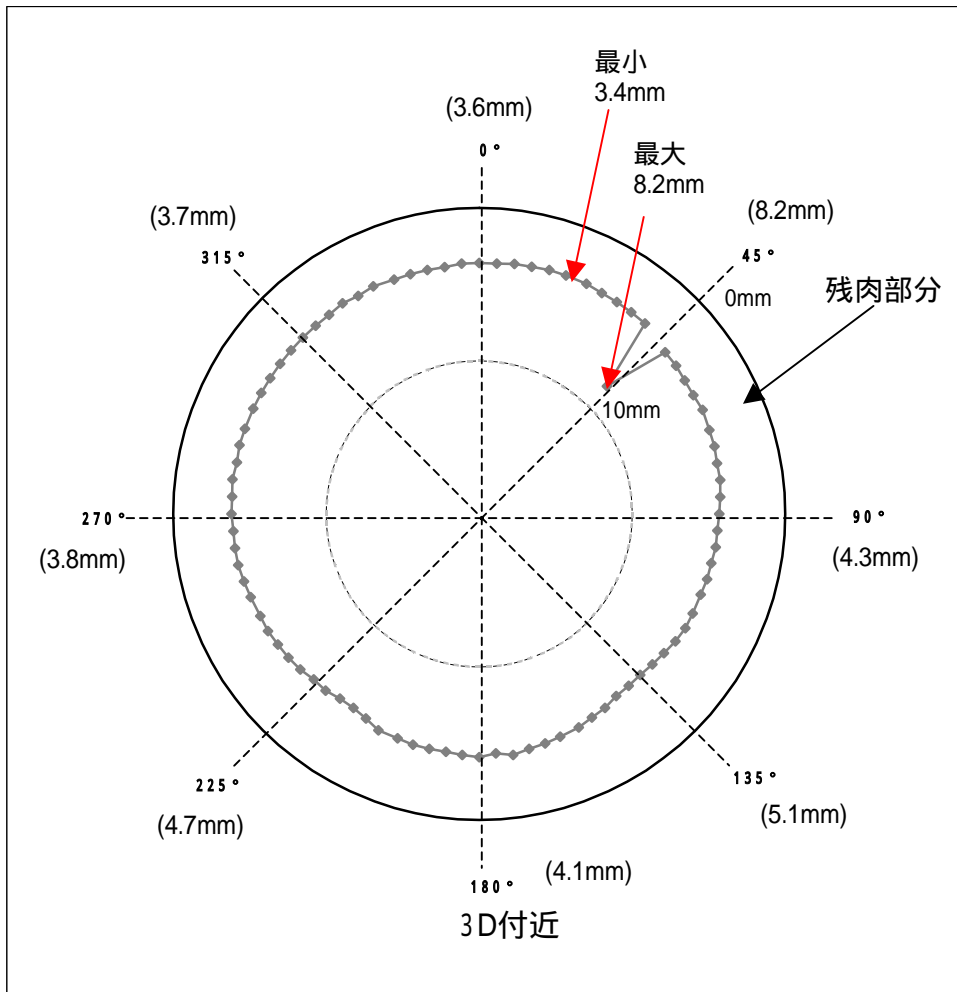
美浜3号機 B - 主復水管オリフィス下流の減肉状況(周方向分布)



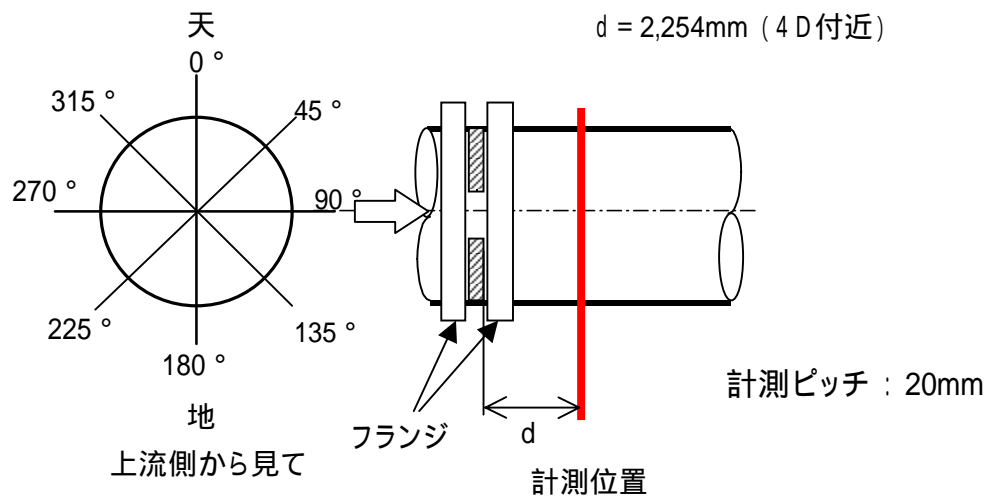
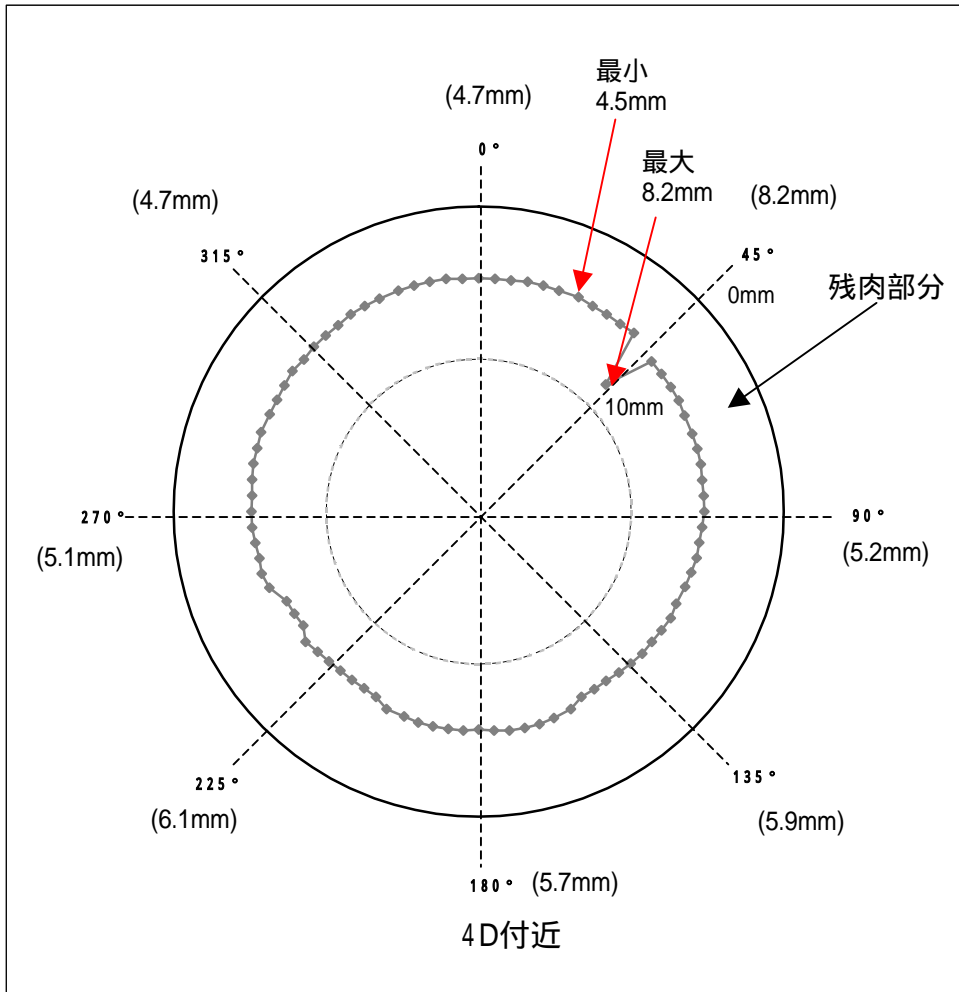
美浜3号機 B - 主復水管オリフィス下流の減肉状況(周方向分布)



美浜 3 号機 B - 主復水管オリフィス下流の減肉状況 (周方向分布)

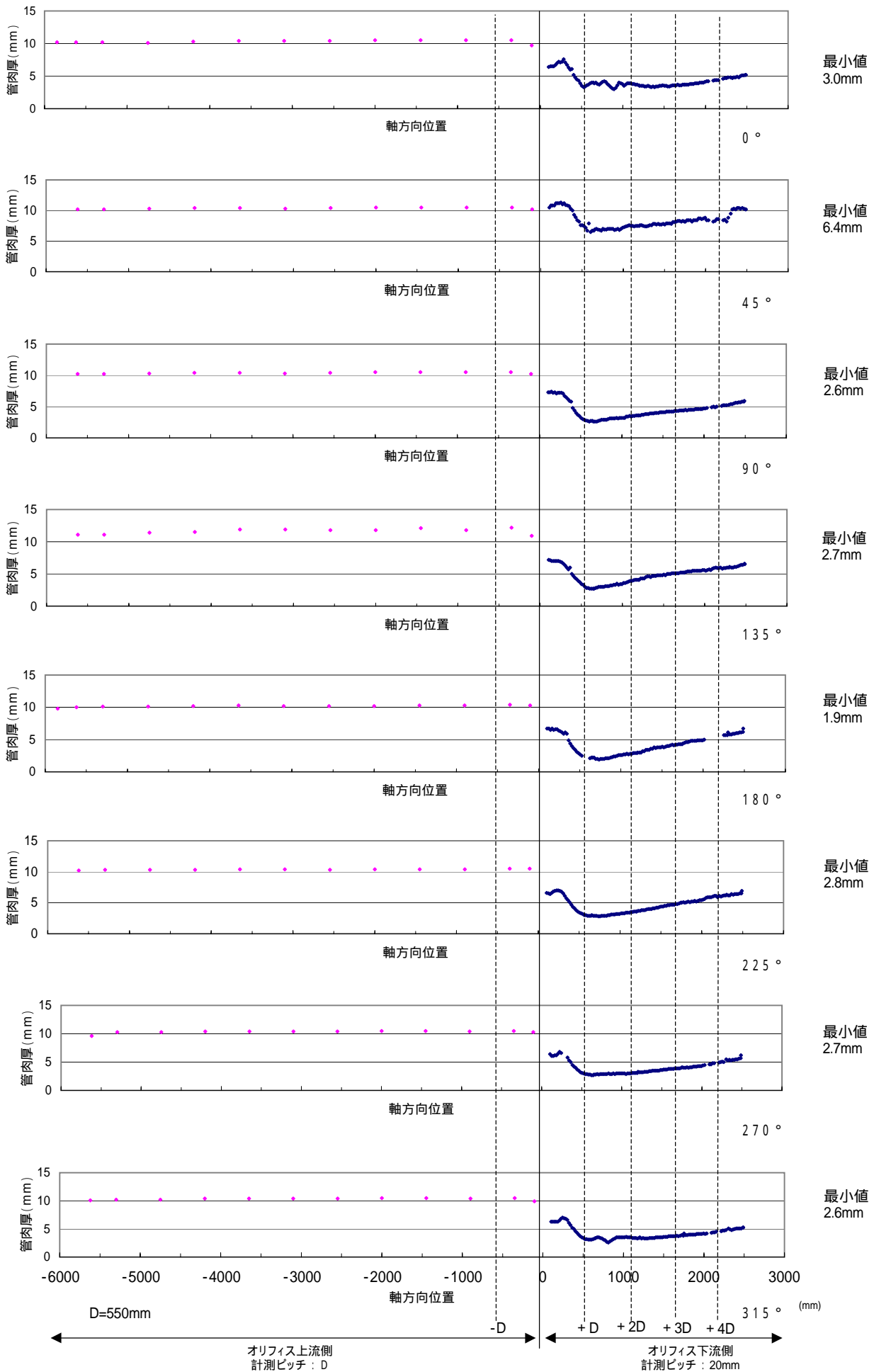


美浜3号機 B - 主復水管オリフィス下流の減肉状況(周方向分布)



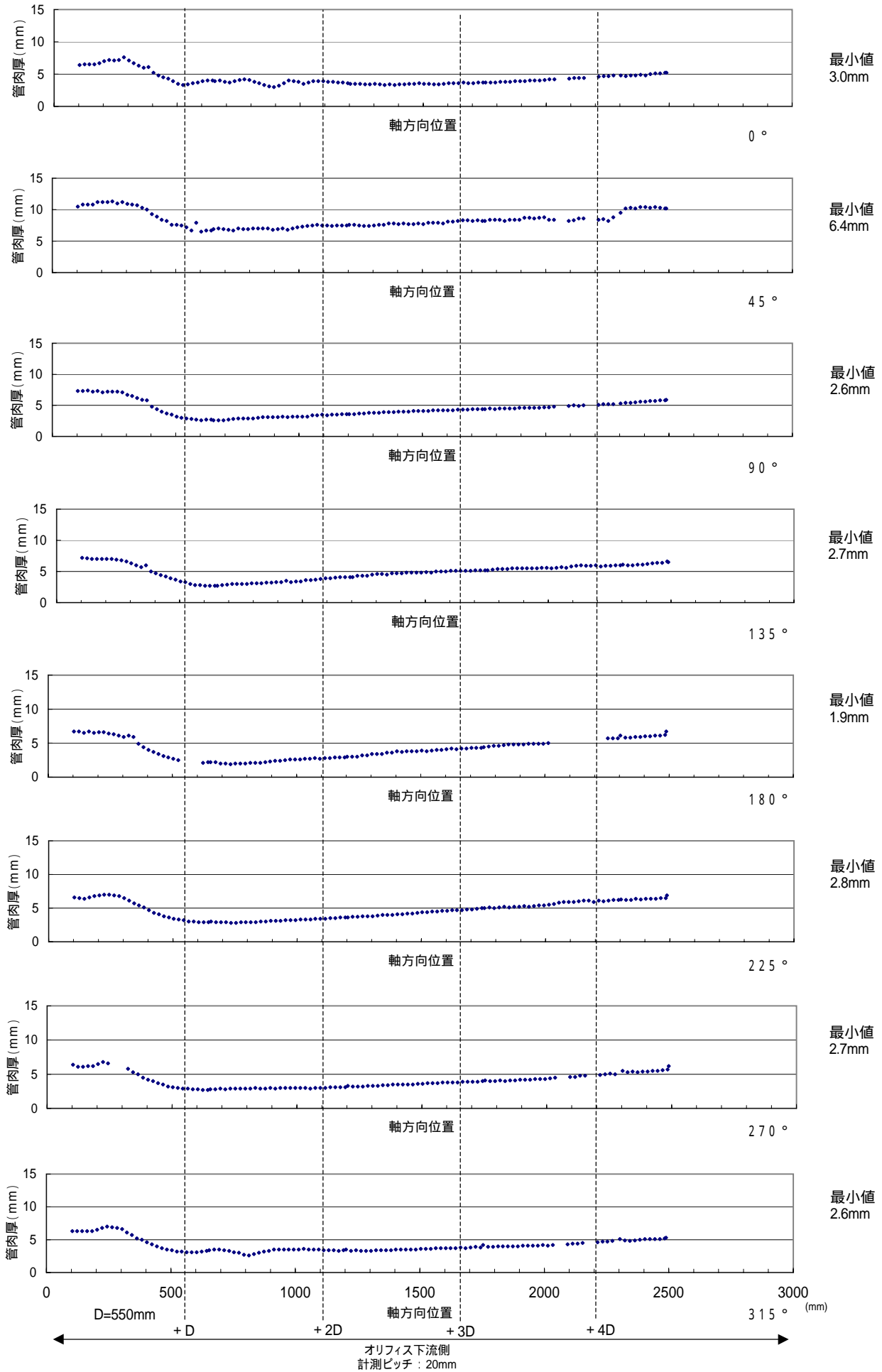
美浜3号機 B - 主復水管オリフィス前後の直管部減肉状況(軸方向分布)

別紙 17



美浜3号機 B - 主復水管オリフィス後の直管部減肉状況(軸方向分布)

別紙 1 8

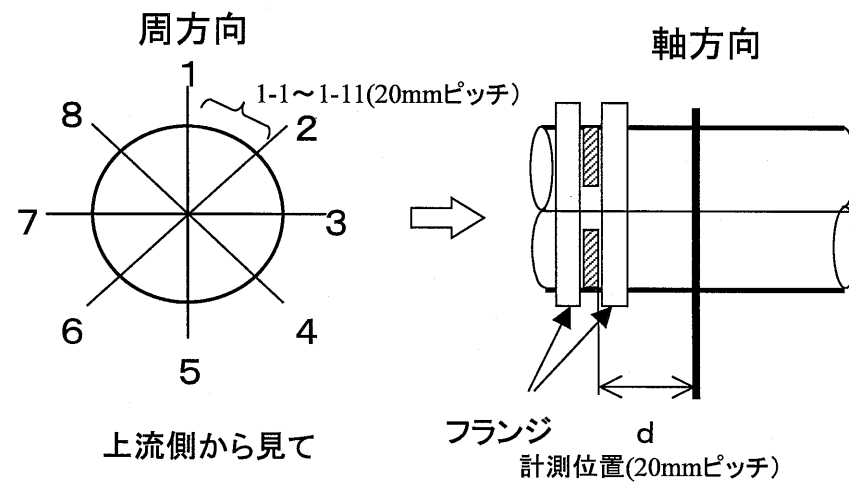


* 軸方向位置は上下流側の各オリフィス端面を0として下流側を正としている

A系配管オリフィス下流の肉厚測定データ

1-20

注) 美浜発電所3号機2次系配管破損事故調査委員会(第4回)
資料4-1-1-1(別添1)に、第7回事故調査委員会の
資料7-1-1(別添5)の正誤表を反映



軸方向(d) 周方向	96.7	116.7	136.7	156.7	176.7	196.7	216.7	236.7	256.7	276.7	296.7	316.7	336.7	356.7	376.7	396.7	416.7	436.7	456.7	476.7	496.7	516.7	536.7	556.7	576.7
1 - 1	5.6	5.7	5.5	5.5	5.3	5.5			5.6	5.7	5.1	4.8	4.4	4.1	3.9				2.3	1.4	1.2	0.9	0.9	0.7	0.8
1 - 2	5.5	5.9	5.3	5.2	5.6	5.4			5.4	5.3	5.1	4.7	4.6	4.0	3.7				2.0	1.4	1.3	0.9	0.9	0.7	0.8
1 - 3	5.5	5.7	5.4	5.5	5.8	5.5			5.3	5.7	5.2	4.9										0.9	0.8	0.8	
1 - 4	5.6	5.4	5.3	5.9	5.3	5.6			5.6	5.5	5.5	4.9										0.9	0.8	0.8	
1 - 5	5.5	5.7	5.5	6.0	5.4	5.8			5.6	5.4	5.1	4.8										0.9	0.9	0.8	
1 - 6	5.5	5.6	5.4	5.7	5.2	5.4			5.4	5.5	5.5	4.9										0.8	1.0	0.8	
1 - 7	5.6	5.6	5.9	5.4	5.3	5.8			5.4	5.5	5.1	4.9										1.0	0.9	0.8	
1 - 8	5.9	5.9	5.5	5.8	5.6	5.5			5.4	5.6	5.1	4.9										1.0	0.9	0.8	
1 - 9	5.9	5.7	5.9	5.7	5.7	5.6			5.4	5.5	5.5	5.0										1.2	1.3	1.1	
1 - 10	5.9	6.0	5.9	5.9	5.7	5.7			5.8	5.6	5.3	5.1										1.4	1.4	1.3	
1 - 11	6.0	6.0	5.8	5.9	5.8	5.7			5.6	5.7	5.5	5.1													
2 - 1	7.5	10.5	10.2	10.0	10.4	10.2			10.6	10.4	10.3	10.4										5.7	5.7	5.7	5.8
2 - 2	7.5	6.4	6.3	6.2	6.0	6.6			6.4	6.8	5.9	5.6										1.9	1.9	1.7	1.6
2 - 3	7.4	7.0	6.3	6.2	6.2	6.2			6.0	6.3	6.0	5.7										2.1	2.0	1.8	1.8
2 - 4	7.7	6.8	6.8	6.5	6.7	6.5			6.4	6.3	6.0	5.9										2.3	2.0	1.8	1.8
2 - 5	7.7	6.8	6.7	6.7	6.4	6.7			6.7	6.3	6.0	5.8										2.2	1.9	1.9	1.8
2 - 6	7.4	6.9	7.0	6.8	6.5	6.6			6.3	6.2	6.0	5.8										2.4	2.1	2.1	2.0
2 - 7	7.2	7.0	6.8	7.0	6.9	6.6			6.5	6.4	6.3	6.1										2.4	2.3	2.3	2.2
2 - 8	7.6	7.0	7.0	6.7	6.8	6.7			6.3	6.4	6.2	6.0										2.8	2.4	2.3	2.2
2 - 9	7.7	7.0	7.0	6.8	6.5	6.6			6.5	6.5	6.2	6.2										2.8	2.5	2.4	2.2
2 - 10	7.6	7.4	7.0	7.0	6.9	6.7			6.8	6.6	6.6	6.2										2.8	2.7	2.5	2.4
2 - 11	7.5	7.3	7.1	6.9	6.9	6.9						6.4										2.9	2.9	2.8	2.7
3 - 1	7.2	7.3	7.4	6.9	7.0							6.5										3.1	3.1	3.0	2.9
3 - 2	7.3	7.4	7.3	7.0	7.0							6.7										3.3	3.3	3.2	3.2
3 - 3	7.2	7.4	7.3	7.2	7.2				7.0	6.8	6.8	6.5										3.5	3.4	3.3	3.3
3 - 4	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1				7.0	6.9	6.8	6.7										3.5	3.5	3.3	3.3
3 - 5	7.6	7.5	7.3	7.3	7.2				7.2	7.0	6.8	6.8										3.8	3.7	3.6	3.5
3 - 6	7.7	7.7	7.5	7.4	7.2				7.2	7.1	7.1	6.9										3.8	3.8	3.7	3.6
3 - 7	7.9	7.9	7.6	7.5	7.3				7.2	7.2	7.2	7.1										4.0	4.1	3.9	3.8
3 - 8	8.0	8.0	7.8	7.6	7.4				7.3	7.2	7.1	7.1										4.1	4.1	4.1	4.0
3 - 9	8.1	8.1	8.0	7.8	7.6				7.5	7.5	7.4	7.2										4.5	4.4	4.4	4.4
3 - 10	8.3	8.4	8.3	8.1	7.9				7.7	7.8	7.6	7.4										4.7	4.7	4.7	4.8
3 - 11	8.2	8.5	8.3	8.3	8.2				7.8	7.8	7.8	7.6										5.0	5.0	5.1	5.1
4 - 1	8.3	8.5	8.4	8.3	8.1				7.9	7.9	7.9	7.9											5.2	5.2	5.1
4 - 2	8.6	8.7	8.5	8.5	8.3				8.5	8.2	8.1	8.0											5.5	5.5	5.5
4 - 3	8.8	8.9	8.9	8.8	8.7	8.7			8.4	8.4	8.3	8.3											6.1	5.9	6.1
4 - 4	9.4	9.4	9.5	9.4	9.2	9.3			8.8	8.9	8.8	8.9											7.0	6.9	7.1
4 - 5	9.9	9.9	10.1	10.2	10.0	9.9			9.6	9.7	9.6	9.5											8.0	8.0	8.0
4 - 6	10.9	10.5	10.5	10.5	10.6	10.5			10.4	10.4	10.3	10.3											8.6	8.5	8.4
4 - 7	10.6	10.4	10.4	10.5	10.5	10.4			10.4	10.4	10.4	10.4											8.8	8.5	8.5
4 - 8	10.7	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.4	10.4	10.4	10.4											8.0	7.6	7.3
4 - 9	10.7	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.4	10.4	10.4	10.5											6.6	6.3	6.1
4 - 10	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.5			10.4	10.4	10.5	10.6											5.4	4.6	4.5
4 - 11	10.4	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4			10.5	10.5	10.4	10.5													
5 - 1	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.6			10.4	10.4	10.5	10.5													
5 - 2	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.4	10.5	10.6	10.6													
5 - 3	10.6	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.5	10.4	10.5	10.6											6.2	5.2	5.0
5 - 4	10.5	10.4	10.4	10.3	10.4	10.3			10.4	10.4	10.5	10.5											7.1	6.2	6.1
5 - 5	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.4	10.4	10.4	10.4											8.5	8.2	7.6
5 - 6	10.3	10.4	10.3	10.4	10.3	10.3			10.4	10.4	10.5	10.4											8.8	8.8	8.5
5 - 7	10.1	10.3	10.4	10.4	10.4	10.5			10.5	10.4	10.3	10.5											8.0	8.1	8.3
5 - 8	9.4	9.8	9.9	9.9	9.9	9.9			9.7	9.6	9.6	9.6											6.9	7.1	7.6
5 - 9	9.1	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3			9.1	9.1	9.2	8.8											6.4	6.4	6.5
5 - 10	8.6	8.7	8.9	8.9	8.8	8.7			8.5	8.6	8.6	8.4											5.4	5.6	5.9
5 - 11	8.4	8.5	8.6	8.6	8.5	8.4			8.2	8.2	8.1	7.9												5.1	5.2

注)
空欄は干渉物等のため、測定不可であった
ものである。
：破口部を示す。

軸方向(d) 周方向	96.7	116.7	136.7	156.7	176.7	196.7	216.7	236.7	256.7	276.7	296.7	316.7	336.7	356.7	376.7	396.7	416.7	436.7	456.7	476.7	496.7	516.7	536.7	556.7	576.7	
6 - 1	8.2	8.4	8.4	8.4	8.3	8.3			7.9	7.9	7.8	7.6												4.6	4.9	
6 - 2	8.2	8.2	8.3	8.3	8.0	8.1			7.8	7.7	7.7	7.9												3.8	4.3	
6 - 3	8.3	8.2	8.2	8.1	7.9	7.8			7.5	7.5	7.4	7.4												3.6	4.0	
6 - 4	8.1	8.1	8.0	7.8	7.7	7.7			7.4	7.4	7.3	7.1												3.4	4.0	
6 - 5	8.0	7.8	7.8	7.7	7.6	7.6			7.2	7.1	6.9	6.8													3.5	
6 - 6	7.8	7.7	7.6	7.5	7.5	7.4			7.0	7.0	6.8	6.6													3.2	
6 - 7	7.6	7.8	7.5	7.3	7.2	7.1			6.8	6.9	6.7	6.4														3.0
6 - 8	7.6	7.5	7.3	7.2	7.0	7.0			6.7	6.7	6.6	6.3														2.9
6 - 9	7.3	7.4	7.1	7.0	6.8	6.7			6.7	6.5	6.4	6.1														2.6
6 - 10	7.1	7.2	6.9	6.8	6.6	6.5			6.6	6.4	6.4	6.0														2.4
6 - 11	7.2	7.1	6.7	6.7	6.5	6.5			6.5	6.3	6.3	6.1														2.3
7 - 1	7.1	6.8	6.7	6.4	6.4	6.3						5.9														2.3
7 - 2	6.8	6.7	6.6	6.2	6.2	6.2						5.8														2.0
7 - 3	6.8	6.6	6.3	6.2	6.2	6.2			6.1	6.0	6.0	5.6														1.8
7 - 4	6.6	6.4	6.2	6.2	6.0	6.2			6.0	5.9	5.8	5.5														1.6
7 - 5	6.5	6.2	6.3	6.0	6.0	5.9			6.0	5.9	5.7	5.5										1.4				1.5
7 - 6	6.2	6.3	6.2	5.9	5.9	5.8			5.8	5.8	5.7	5.3														1.5
7 - 7	6.2	6.3	6.0	6.0	5.8	6.0			5.9	5.8	5.6	5.4														1.5
7 - 8	6.4	6.2	6.0	6.0	5.8	5.7			5.8	5.7	5.6	5.3														1.5
7 - 9	6.1	6.1	6.0	5.7	5.6	5.7			5.7	5.7	5.4	5.1														1.4
7 - 10	6.0	6.0	5.8	5.6	5.7	5.5			5.6	5.4	5.3	5.1														1.4
7 - 11	6.0	5.8	5.8	5.7	5.4	5.5			5.6	5.5	5.3	5.1														1.3
8 - 1	6.2	6.0	5.8	5.8	5.7	5.6			5.6	5.4	5.6	5.2														1.2
8 - 2	6.1	5.9	5.7	5.8	5.6	5.6			5.6	5.6	5.4	5.0														1.1
8 - 3	5.9	5.6	5.8	5.6	5.4	5.4			5.7	5.4	5.4	5.2														1.0
8 - 4	6.0	5.8	5.9	5.5	5.5	5.6			5.6	5.4	5.3	5.0														1.0
8 - 5	5.8	5.7	5.5	5.4	5.2	5.4			5.6	5.5	5.4	4.9														0.9
8 - 6	5.8	5.4	5.4	5.5	5.4	5.3			5.4	5.6	5.5	4.9														0.7
8 - 7	5.4	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5			5.4	5.5	5.2	4.7														0.8
8 - 8	5.7	5.7	5.5	5.3	5.3	5.3			5.7	5.2	5.3	5.0														0.9
8 - 9	5.6	5.4	5.4	5.6	5.4	5.2			5.5	5.4	5.3	5.1														0.8
8 - 10	5.4	5.4	5.6	5.4	5.5	5.5			5.3	5.2	5.3	5.1														0.9
8 - 11	5.5	5.5	5.4	5.3	5.4	5.5			5.6	5.4	5.3	5.2	4.5	4.7	3.8				1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7	

1-22

軸方向(d) 周方向	596.7	616.7	636.7	656.7	676.7	696.7	716.7	736.7	756.7	776.7	796.7	816.7	836.7	856.7	876.7	896.7	916.7	936.7	956.7	976.7	996.7	1016.7	1036.7	1056.7	1076.7
6 - 1	4.9	5.0	5.2	5.2	5.2	5.0	5.0	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.8
6 - 2	5.1	4.8	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.5	4.4	4.2	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6
6 - 3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.3	4.1	4.2	4.0	4.0	3.9	3.7	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.2
6 - 4	4.2	4.1	4.0	3.8	3.7	3.7	3.6	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	3.2	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4
6 - 5	4.1	4.0	3.9	3.8	3.6	3.4	3.3	3.0	2.9	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	2.9	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.0	2.7
6 - 6	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.0	2.7	2.6	2.5	2.5	2.7	2.7	3.3	3.3	3.2	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5
6 - 7	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.8	2.9	3.0	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	2.8	2.8	2.7	2.6	2.7	2.8	2.6	2.5	2.5	2.4
6 - 8	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.6	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4
6 - 9	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.4	2.3	2.2	2.3	2.1
6 - 10	2.5	2.5	2.5	2.4	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.1	2.7	2.5	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.2	2.2	2.1	1.9
6 - 11	2.3	2.2	2.2	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.3	2.7	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	1.6
7 - 1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6
7 - 2	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6
7 - 3	1.7	1.6	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.7	1.7
7 - 4	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7
7 - 5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6
7 - 6	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6
7 - 7	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.6
7 - 8	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.4	1.4	1.5
7 - 9	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5	1.5
7 - 10	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4
7 - 11	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
8 - 1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
8 - 2	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5
8 - 3	0.9	0.8	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4
8 - 4	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3
8 - 5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.0	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4
8 - 6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
8 - 7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3
8 - 8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
8 - 9	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
8 - 10	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
8 - 11	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3

1-24

軸方向(d) 周方向	1096.7	1116.7	1136.7	1156.7	1176.7	1196.7	1216.7	1236.7	1256.7	1276.7	1296.7	1316.7	1336.7	1356.7	1376.7	1396.7	1416.7	1436.7	1456.7	1476.7	1496.7	1516.7	1536.7	1556.7	1576.7
6-1	3.8	3.7	3.6	3.7	3.8	3.9			4.0	4.0	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	4.1	4.1	4.3	4.4	4.5	4.6	4.8	4.9	5.0	5.1
6-2	3.6	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8			3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.0	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.8	4.9	5.0
6-3	3.3		3.3	3.5	3.5	3.6			3.7	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
6-4	3.1		3.1	3.3	3.3	3.4			3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
6-5	2.8		2.9	3.2	3.1	3.1			3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.2
6-6	2.5	2.2	2.7	2.9	2.9	2.9			3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9
6-7	2.4	2.4	2.5	2.8	2.7	2.8			2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.8
6-8	2.1	2.2	2.8	2.7	2.7	2.7			2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7
6-9	2.1	2.4	2.6	2.6	2.6				2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6
6-10	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4				2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5
6-11	2.0	2.2	2.1	2.2	2.2				2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	3.2	3.2	3.2	3.3
7-1	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2				2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1
7-2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0				2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0
7-3	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0				2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1
7-4	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9				2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0
7-5	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9				2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.9	2.9
7-6	1.6	1.6	1.8	1.8	1.9		2.0		2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9
7-7	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9		2.0		2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0
7-8	1.5	1.6	1.6	1.6	1.8		2.0		2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.7	2.8	2.8	2.7	2.8	2.9
7-9	1.5	1.5	1.6	1.6	1.8		1.9		2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9
7-10	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7		1.9		1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9
7-11	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7		1.9		1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8
8-1	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9		1.9		2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.5	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0
8-2	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8		1.9		2.1	2.2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.6	2.6	2.8	2.7	2.8	2.8	2.9
8-3	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8		1.9		2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	3.0
8-4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8		1.9		2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0
8-5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7		2.0		2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.8	2.8	2.9	3.0
8-6	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7		1.9		2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.3	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0
8-7	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7		1.9		2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9
8-8	1.5	1.5	1.7	1.8	1.7		1.9		2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.9	2.9	3.0
8-9	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7		2.0		2.0	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.8	2.7	2.8	2.9	3.0
8-10	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8		2.1		2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.1
8-11	1.6	1.6	1.8	1.9	1.9		2.1		2.1	2.1	2.1	2.3	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.1

軸方向(d) 周方向	1596.7	1616.7	1636.7	1656.7	1676.7	1696.7	1716.7	1736.7	1756.7	1776.7	1796.7	1816.7	1836.7	1856.7	1876.7	1896.7	1916.7	1936.7	1956.7	1976.7	1996.7	2016.7	2036.7	2056.7	2076.7
6-1	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.2	6.3	6.3	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	6.7
6-2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.3	5.3	5.4	5.5	5.6	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.6	6.6
6-3	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.4	5.5	5.5	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.5	6.4
6-4	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5.1	5.1	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2
6-5	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.8	4.8	4.8	5.1	5.2	5.2	5.3	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0
6-6	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.2	5.2	5.2	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8
6-7	4.0	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7
6-8	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.9	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.5
6-9	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.5	4.5	4.7	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2
6-10	3.6	3.6	3.7	3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	4.1	4.1	4.1	4.3	4.4	4.5	4.6	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.4	5.3
6-11	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.2	4.3	4.3	4.5	4.5	4.5	4.7	4.7	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	5.2
7-1	3.2	3.3	3.4	3.3	3.4	3.5	3.7	3.7	3.7	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.7	4.7	4.8	4.8	5.0	5.0	5.1
7-2	3.1	3.1	3.2	3.2	3.4	3.4	3.5	3.6	3.8	3.7	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9
7-3	3.1	3.2	3.3	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.7	3.8	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.6	4.5	4.7	4.9	4.8
7-4	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.7	4.7	4.6
7-5	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.5	4.6	4.6	4.7
7-6	3.0	3.1	3.1	3.1	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	3.9	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6
7-7	3.0	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.6	3.7	3.6	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.5
7-8	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.4	3.3	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.5	4.6	4.6	4.4
7-9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.7	3.7	3.7	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6
7-10	3.0	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.8	3.9	3.9	4.1	4.1	4.1	4.1	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6
7-11	2.9	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.9	3.9	3.9	4.1	4.0	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.5	4.6	4.6
8-1	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3	4.5	4.4	4.4	4.6	4.7	4.8
8-2	2.9	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.4	3.5	3.5	3.7	3.7	3.8	4.0	4.0	4.0	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.5	4.5	4.6
8-3	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.5	3.5	3.6	3.8	3.9	3.9	3.9	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6
8-4	3.1	2.9	3.0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	3.3	3.5	3.5	3.7	3.8	3.8	3.8	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6	4.6
8-5	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.5	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.8
8-6	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.5	3.5	3.6	3.8	3.7	3.8	4.0	3.9	3.9	4.0	4.3	4.2	4.3	4.3	4.5	4.5	4.6
8-7	3.0	3.0	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8	3.8	4.0	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.5	4.6	4.6	4.5
8-8	3.0	3.0	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	4.0	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.4	4.5	4.6	4.5
8-9	3.1	3.0	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.6	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4.1	4.1	4.2	4.2	4.4	4.5	4.6	4.6
8-10	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.3	3.3	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.9	4.0	4.0	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.6
8-11	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8	3.9	4.0	3.9	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6

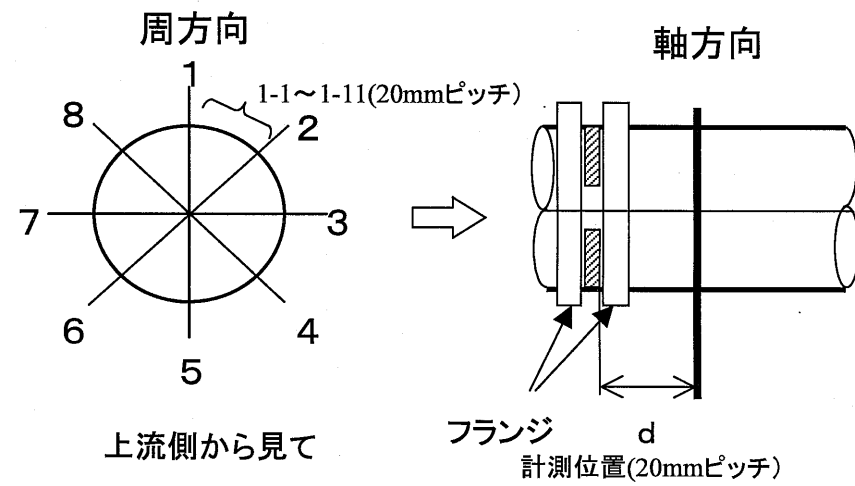
軸方向(d) 周方向	2096.7	2116.7	2136.7	2156.7	2176.7	2196.7	2216.7	2236.7	2256.7	2276.7	2296.7	2316.7	2336.7	2356.7	2376.7	2396.7	2416.7	2436.7	2456.7	2476.7	2496.7	2516.7	2536.7	2556.7	2576.7
6-1	6.8	6.9	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.2	7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	7.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.3	7.4	7.4	7.6	7.7	7.9
6-2	6.6	6.8	6.8	7.0	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	6.9	7.0	6.9	7.0	7.1	7.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.7
6-3	6.5	6.6	6.6	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.9	6.8	6.9	7.0	7.0	7.2	7.3	7.4
6-4	6.2	6.3	6.4	6.5	6.5	6.5	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	6.9	7.1	7.2
6-5	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.1	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.5	6.7	6.8	6.9
6-6	5.8	5.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3	6.6	6.5	6.7	6.7
6-7	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.2	6.1	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5
6-8	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3
6-9	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.6	5.5	5.7	5.6	5.8	5.9	6.0	6.0	6.1	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.2	6.0	6.0	6.1	6.3
6-10	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.7	5.6	5.5	5.7	5.6	5.8	5.8	5.9	5.9	5.8	5.9	5.7	5.8	5.9	6.1	6.0	6.1	6.0	6.1	5.9
6-11	5.2	5.3	5.1	5.3	5.6	5.5	5.6	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.9	5.8	5.9	6.0	6.0
7-1	5.0	5.1	5.1	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.5	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.8	5.6	5.7	5.6	5.8	5.8	5.7	5.8	5.9
7-2	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.6	5.5	5.7	5.6	5.6	5.7	5.9
7-3	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.2	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.5	5.7	5.6	5.8
7-4	4.8	4.9	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.7
7-5	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2	5.4	5.4	5.6	5.4	5.4	5.4	5.6
7-6	4.8	4.8	4.7	4.9	5.0	5.0	5.1	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.3	5.2	5.4	5.3	5.3	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.4
7-7	4.7	4.7	4.5	4.8	4.8	4.8	4.9	5.0	5.0	5.2	5.1	5.1	5.2	5.1	5.2	5.4	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.7
7-8	4.5	4.7	4.7	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.2	5.4	5.2	5.1	5.3	5.4	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6
7-9	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	5.0	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.2	5.4	5.5	5.4	5.6	5.5	5.4	5.5	5.5	5.6
7-10	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.0	5.1	5.1	5.3	5.3	5.3	5.4	5.5	5.4	5.5	5.7	5.5	5.4	5.4	5.5	5.5
7-11	4.6	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.0	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5	5.5
8-1	4.6	4.8	4.9	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	4.9	5.1	5.2	5.1	5.3	5.1	5.3	5.2	5.4	5.4	5.2	5.2	5.5	5.3	5.4
8-2	4.7	4.7	5.0	4.8	4.9	4.9	4.8	4.9	5.0	5.2	5.0	5.1	5.2	5.2	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.4	5.5	5.4	5.4	5.4
8-3	4.6	4.6	4.8	4.9	4.9	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1	5.3	5.1	5.3	5.4	5.5	5.3	5.4	5.5	5.5	5.4
8-4	4.6	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.8	5.0	5.1	4.9	5.0	5.0	5.1	5.0	5.2	5.3	5.1	5.3	5.5	5.3	5.3	5.3	5.5	5.5	5.4
8-5	4.8	4.6	4.7	4.8	4.8	5.0	4.9	4.9	4.9	5.1	5.1	5.0	5.1	5.0	5.1	5.3	5.2	5.2	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5
8-6	4.8	4.7	4.8	4.9	4.8	4.9	4.7	4.9	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.3	5.2	5.2	5.3	5.4	5.2	5.3	5.5	5.4	5.6	5.7	5.7
8-7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.7	4.9	4.9	4.9	5.0	5.0	5.2	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.4	5.3	5.6	5.5	5.4	5.6	5.8	5.6
8-8	4.6	4.6	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	4.9	5.0	4.9	4.9	5.0	5.1	5.2	5.1	5.2	5.4	5.3	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.5	5.8
8-9	4.6	4.8	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.2	5.1	5.0	5.3	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.7	5.7	5.7
8-10	4.6	4.7	4.7	5.0	4.9	4.8	4.9	4.8	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.5	5.5	5.6	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
8-11	4.6	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.3	5.2	5.3	5.6	5.5	5.6	5.6	5.4	5.6	5.7	5.7	5.8

軸方向(d) 周方向	2596.7	2616.7
1 - 1	6.1	6.2
1 - 2	6.0	6.1
1 - 3	5.9	6.1
1 - 4	6.2	6.4
1 - 5	6.1	6.3
1 - 6	6.2	6.5
1 - 7	6.3	6.6
1 - 8	6.4	6.6
1 - 9	6.6	6.6
1 - 10	6.6	6.7
1 - 11	6.6	6.7
2 - 1	8.3	7.2
2 - 2	7.1	7.3
2 - 3	7.1	7.1
2 - 4	7.1	7.1
2 - 5	7.0	7.1
2 - 6	7.0	7.0
2 - 7	7.0	7.1
2 - 8	7.1	7.1
2 - 9	7.0	7.2
2 - 10		
2 - 11		
3 - 1		
3 - 2		
3 - 3		
3 - 4		
3 - 5	7.3	7.5
3 - 6	7.4	7.4
3 - 7	7.4	7.5
3 - 8	7.4	7.4
3 - 9	7.3	7.4
3 - 10	7.4	7.5
3 - 11	7.5	7.5
4 - 1	7.4	7.5
4 - 2	7.5	7.6
4 - 3	7.5	7.5
4 - 4	7.8	7.8
4 - 5	7.7	7.9
4 - 6	7.7	7.8
4 - 7	8.0	8.2
4 - 8	8.4	8.6
4 - 9	9.2	9.4
4 - 10	10.2	10.3
4 - 11	10.3	10.2
5 - 1	10.3	10.2
5 - 2	10.3	10.1
5 - 3	10.3	10.3
5 - 4	10.3	10.2
5 - 5	10.2	10.2
5 - 6	10.3	10.2
5 - 7	10.2	10.2
5 - 8	9.7	9.8
5 - 9	9.2	9.4
5 - 10	8.7	8.9
5 - 11	8.4	8.6

1-31

軸方向(d) 周方向	2596.7	2616.7
6 - 1	8.2	8.4
6 - 2	7.9	8.0
6 - 3	7.6	7.8
6 - 4	7.4	7.6
6 - 5	7.1	7.2
6 - 6	6.8	7.0
6 - 7	6.7	6.6
6 - 8	6.5	6.5
6 - 9	6.3	6.3
6 - 10	6.1	6.1
6 - 11	6.0	6.0
7 - 1	6.1	6.3
7 - 2	6.0	6.0
7 - 3	6.0	5.9
7 - 4	5.9	6.1
7 - 5	5.7	5.9
7 - 6	5.6	5.6
7 - 7	5.6	5.6
7 - 8	5.6	5.7
7 - 9	5.6	5.7
7 - 10	5.6	5.5
7 - 11	5.6	5.7
8 - 1	5.5	5.6
8 - 2	5.5	5.6
8 - 3	5.4	5.5
8 - 4	5.4	5.6
8 - 5	5.4	5.6
8 - 6	5.5	5.5
8 - 7	5.3	5.5
8 - 8	5.6	5.8
8 - 9	5.8	5.9
8 - 10	5.9	5.9
8 - 11	5.9	5.8

B系配管オリフィス下流の肉厚測定データ



軸方向(d) 周方向	103.638	123.638	143.638	163.638	183.638	203.638	223.638	243.638	263.638	283.638	303.638	323.638	343.638	363.638	383.638	403.638	423.638	443.638	463.638	483.638	503.638	523.638	543.638	563.638	583.638	603.638	623.638	643.638
6 - 1	6.6	6.5	6.4	6.6	6.8	6.9	7	7	6.9	6.8	6.5	6.1	5.7	5.4	5.1	4.7	4.3	4.1	3.8	3.6	3.4	3.3	3.2	3	3	2.9	2.9	2.9
6 - 2	6.6	6.5	6.4	6.4	6.6	6.9	6.9	7	6.9	6.8	6.5	6	5.6	5.3	5	4.6	4.3	4	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.8
6 - 3	6.5	6.4	6.4	6.4	6.6	6.7	6.9	7	6.8	6.6	6.3	6	5.6	5.2	4.8	4.6	4.2	3.9	3.7	3.5	3.4	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8
6 - 4	6.5	6.3	6.3	6.4	6.5	6.6	6.8	6.9	6.8	6.5	6.2	5.9	5.5	5.1	4.8	4.4	4.2	3.9	3.7	3.5	3.2	3.2	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7
6 - 5	6.5	6.3	6.3	6.3	6.4	6.6	6.8	6.8	6.7	6.5	6.2	5.8	5.4	5	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.2	3	3	2.9	2.9	2.7	2.8	2.8
6 - 6	6.4	6.2	6.2	6.3	6.4	6.6	6.7	6.6	6.6	6.6	6.1	5.7	5.3	4.9	4.6	4.2	4	3.8	3.6	3.4	3.2	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6
6 - 7	6.4	6.3	6.3	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.6	6.5	6.2	5.8	5.3	4.9	4.7	4.3	4	3.8	3.5	3.3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7
6 - 8	6.4	6.2	6.2	6.2	6.4	6.5	6.5	6.6	6.5	6.3	6.2	5.8	5.5	5	4.7	4.4	4.1	3.8	3.5	3.4	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.7	2.7
6 - 9	6.3	6.2	6.2	6.3	6.3	6.5	6.6	6.6	6.5	6.3	6.2	5.8	5.4	5	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6
6 - 10	6.3	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.5	6.4	5.8	5.6	5	4.7	4.3	4.1	3.8	3.5	3.2	3.1	2.9	3.1	3	3	2.9	2.8	2.7
6 - 11	6.4	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4	6.6	6.5				5.8	5.4	5	4.7	4.3	4	3.7	3.4	3.2	3.1	3	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7
7 - 1	6.4	6.1	6.1	6.2	6.2	6.5	6.8	6.6				5.8	5.3	5	4.5	4.2	4	3.7	3.5	3.2	3.1	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7
7 - 2	6.4	6.2	6.1	6.2	6.2	6.4	6.7	6.6				5.8	5.3	4.9	4.4	4.2	3.9	3.6	3.4	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
7 - 3	6.3	6.2	6.1	6.1	6.2	6.3	6.5	6.5	6.5	6.4	6	5.8	5.3	4.9	4.5	4.3	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9
7 - 4	6.3	6.2	6.1	6	6.2	6.4	6.7	6.5	6.4	6.3	6	5.8	5.4	5	4.6	4.3	4	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	3	2.9	2.9	3	3	3
7 - 5	6.4	6.1	6.1	6.2	6.3	6.6	6.8	6.6	6.2	6.2	6.1	5.8	5.4	5	4.6	4.3	4	3.8	3.6	3.4	3.2	3.2	3.1	3	3	3	3	3
7 - 6	6.3	6.2	6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.6	6.6	6.6	6.4	5.9	5.3	5	4.7	4.2	4	3.8	3.5	3.4	3.2	3.1	3.1	3	3	3	3	3
7 - 7	6.4	6.1	6.1	6	6.1	6.4	6.4	6.5	6.6	6.7	6.3	5.7	5.5	4.9	4.6	4.3	4	3.7	3.6	3.3	3.1	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1
7 - 8	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.4	6.5	6.6	6.7	6.5	5.9	5.4	5	4.7	4.3	4	3.8	3.5	3.3	3.1	3	3	3	3	3	3.1	3.1
7 - 9	6.3	6.1	6.2	6.2	6.2	6.4	6.5	6.7	6.7	6.4	6.2	5.9	5.4	5.1	4.7	4.4	4.1	3.7	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1
7 - 10	6.2	6.1	6.4	6.1	6.3	6.5	6.5	6.7	6.7	6.5	6.2	6	5.6	5.2	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
7 - 11	6.4	6.1	6.2	6.2	6.2	6.5	6.6	6.8	6.8	6.6	6.2	6.1	5.6	5.3	4.9	4.5	4.1	3.9	3.6	3.3	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2
8 - 1	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.5	6.8	7	6.9	6.8	6.6	6.1	5.7	5.2	5	4.6	4.3	4	3.7	3.5	3.4	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3
8 - 2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.5	6.6	6.8	6.9	6.7	6.5	6.1	5.8	5.3	4.9	4.5	4.3	4	3.7	3.6	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3
8 - 3	6.3	6.1	6.1	6.1	6.3	6.4	6.7	6.8	6.8	6.7	6.5	6.2	5.7	5.3	5	4.6	4.2	4	3.8	3.6	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.4	3.5
8 - 4	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.4	6.6	6.8	6.7	6.7	6.4	6.1	5.7	5.6	5	4.7	4.3	4.1	3.9	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7
8 - 5	6.2	6.2	6.1	6.1	6.2	6.4	6.7	6.9	6.9	6.9	6.5	6.1	5.9	5.4	5	4.6	4.3	4.1	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
8 - 6	6.3	6.2	6.2	6.2	6.3	6.5	6.7	6.8	6.9	6.8	6.7	6.3	5.9	5.7	5	4.7	4.4	4.1	3.9	3.7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
8 - 7	6.4	6.2	6.1	6.2	6.3	6.5	6.7	6.8	6.9	6.8	6.6	6.4	5.9	5.6	5.1	4.8	4.5	4.1	3.9	3.7	3.6	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9
8 - 8	6.4	6.3	6.2	6.2	6.3	6.5	7	7	7	6.9	6.8	6.6	6.1	5.6	5.2	4.9	4.5	4.3	4	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	4
8 - 9	6.6	6.4	6.3	6.3	6.4	6.7	7	7.1	7	7	7.7	6.5	6.1	5.7	5.3	5	4.7	4.3	4.1	3.9	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.9	4	4
8 - 10	6.5	6.4	6.3	6.4	6.5	6.8	6.9	6.9	7	7	6.7	6.4	6.1	5.6	5.3	5	4.6	4.3	4	3.8	3.7	3.5	3.5	3.6	3.7	3.9	4	4.1
8 - 11	6.6	6.3	6.3	6.5	6.7	6.9	6.9	7	7	7	7	6.6	6.2	5.8	5.6	5.2	4.7	4.5	4.2	3.9	3.5	3.3	3.4	3.5	3.8	4	4.1	4.2

1-35

軸方向(d) 周方向	653.638	673.638	693.638	713.638	733.638	753.638	773.638	793.638	813.638	833.638	853.638	873.638	893.638	913.638	933.638	953.638	973.638	993.638	1013.64	1033.64	1053.64	1073.64	1093.64	1113.64	1133.64	1153.64	1173.64	1193.64
6 - 1	3	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6
6 - 2	2.8	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5
6 - 3	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5
6 - 4	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4
6 - 5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4
6 - 6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4
6 - 7	2.6	2.6	2.7	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3
6 - 8	2.7	2.6	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	3	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3
6 - 9	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
6 - 10	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2
6 - 11	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.2
7 - 1	2.8	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	2.9	2.9	3	2.9	3	3	3	3	3	3	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1
7 - 2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	2.9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1
7 - 3	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	2.9	3	3	3	3	3	3	3.1	3	3	3.1	3	3	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2
7 - 4	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
7 - 5	3	3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.2
7 - 6	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
7 - 7	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3
7 - 8	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4
7 - 9	3.2	3.3	3.4	3.4	3.3	3.2	3	3	2.9	3	3.1	3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4
7 - 10	3.2	3.3	3.4	3.4	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.9	3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
7 - 11	3.3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.1	3	2.7	2.6	2.7	2.9	3.1	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4
8 - 1	3.4	3.5	3.5	3.4	3.3	3.1	3	2.7	2.6	2.8	3	3.2	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.4
8 - 2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.2	3.1	3	3	3	3.1	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4
8 - 3	3.6	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4	3.4
8 - 4	3.7	3.8	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4
8 - 5	3.8	3.9	4	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.6	3.7	3.6	3.5	3.5	3.5
8 - 6	3.9	4.1	4	4	3.9	3.9	3.8	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4.1	4.1	4.1	3.9	3.9	3.8	3.8	3.9	3.8	3.7	3.7	3.4	3.6	3.5	3.5
8 - 7	4	4.1	4	3.9	3.9	4	4	3.9	3.9	3.9	4	4	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4	4	3.9	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.5
8 - 8	4.1	4	3.8	3.8	3.8	4	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.1	4	4	3.9	3.8	3.9	3.8	3.9	3.8	3.6	3.6	3.6	3.5
8 - 9	4.1	3.9	3.5	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.3	4.2	4	3.9	3.9	4	4.1	4	4	3.8	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6	3.5
8 - 10	4.1	3.8	3.4	3	3.4	3.8	4.1	4.3	4.2	4	3.8	3.6	3.6	3.7	3.8	4	3.9	3.6	3.5	3.6	3.8	3.9	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6	3.5
8 - 11	4.1	3.9	3.6	3.3	3.6	3.9	4.2	4.2	4	3.8	3.6	3.3	3.1	3.5	3.6	3.9	3.9	3.6	3.3	3.5	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6

1-37

軸方向(d) 周方向	1203.64	1223.64	1243.64	1263.64	1283.64	1303.64	1323.64	1343.64	1363.64	1383.64	1403.64	1423.64	1443.64	1463.64	1483.64	1503.64	1523.64	1543.64	1563.64	1583.64	1603.64	1623.64	1643.64	1663.64	1683.64	1703.64	1723.64	1743.64		
6 - 1	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5		
6 - 2	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	
6 - 3	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	
6 - 4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4.1	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.3	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7		
6 - 5	3.4	3.4	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4	4.2	4	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2	4.4	4.3	4.4	4.5	4.5		
6 - 6	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4	3.9	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	
6 - 7	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4.2	4.2	4.1	4.2	4.3	4.3	4.5	4.4		
6 - 8	3.3	3.3	3.3	3.3	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4	4	4	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3		
6 - 9	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4	4.1	3.9	4.1	4	4.2	4.2	4.3		
6 - 10	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.7	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1		
6 - 11	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4		
7 - 1	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4		
7 - 2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	
7 - 3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	
7 - 4	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	3.9	
7 - 5	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	
7 - 6	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	
7 - 7	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	
7 - 8	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	
7 - 9	3.3	3.3	3.2	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	
7 - 10	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.7	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9
7 - 11	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	
8 - 1	3.5	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8	3.9	3.8	3.8	
8 - 2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8
8 - 3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8
8 - 4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8
8 - 5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
8 - 6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8
8 - 7	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8
8 - 8	3.5	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8
8 - 9	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8
8 - 10	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8
8 - 11	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.5	3.4	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7

1-39

軸方向(d) 周方向	1753.64	1773.64	1793.64	1813.64	1833.64	1853.64	1873.64	1893.64	1913.64	1933.64	1953.64	1973.64	1993.64	2013.64	2033.64	2053.64	2073.64	2093.64	2113.64	2133.64	2153.64	2173.64	2193.64	2213.64	2233.64	2253.64	2273.64	2293.64
6 - 1	5	5.1	5	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.8	5.9	5.9	5.9	6	6.1	6.1	5.9	6.1	6	6.1	6.2	6.2
6 - 2	4.9	5	5	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.8	5.9	6	5.9	6	6	6.1	6	6.1	6	6.1	6	6.1
6 - 3	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5	5.1	5.2	5.1	5.2	5.3	5.2	5.4	5.4	5.9	5.8	5.8	5.2	5.5	5.7	5.7	5.9	6.1	5.8	5.8	5.9	5.9
6 - 4	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	5	5	5	4.9	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.3	5.4	5.7	5.8	5.6	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.7	6.3	5.8	5.8
6 - 5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5.1	5.3	5.1	5.6	5.6	5.8	5.4	5.4	5.7	5.7	5.7	5.8	5.7	6.2	5.8	5.7
6 - 6	4.6	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5.1	5.1	5.4	5.6	5.7	5.3	5.4	5.6	5.6	5.7	5.7	5.5	6.1	5.7	5.5
6 - 7	4.4	4.5	4.6	4.4	4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.8	4.9	5	5.1	5.3	5.5	5.4	5.2	5.3	5.5	5.5	5.6	5.5	5.4	5.4	5.6	5.4
6 - 8	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.8	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	5	4.8	5.3	5.4	5.5	5.1	5.2	5.4	5.4		5.5	5.3	5.2	5.4	5.5
6 - 9	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.6	4.7	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.9	4.9		5.3		5	5	5.4	5.3			5.3	5.3	5.5	5.4
6 - 10	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.6	4.3	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7	4.8				4.8	4.9	5.2	5.2			5.2	5.2	5.3	5.3
6 - 11	4.1	4	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.2	4.3	4.4	4.4	4.6	4.8				4.7	4.7	4.8	4.9			5.1	5.1	5.2	5.3
7 - 1	4.1	4	4	4.1	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5			4.6	4.6	4.8	4.8			4.9	5	5.1	5	5
7 - 2	3.9	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.2	4.3	4.2	4.4	4.4			4.6	4.6	4.6	4.8			5	4.9	5.1	5	5
7 - 3	4	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4			4.6	4.6	4.6	4.6			4.8	4.9	5	4.9	4.9
7 - 4	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3			4.5	4.6	4.6	4.6			4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
7 - 5	3.9	4	4	4	4	4	4	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3			4.4	4.6	4.6	4.6			4.8	4.9	4.9	4.9	4.9
7 - 6	3.9	3.9	4	4	4	4	4	4	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3			4.5	4.5	4.5	4.5			4.7	4.8	4.8	4.8	4.9
7 - 7	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3			4.4	4.5	4.5	4.4			4.7	4.8	4.9	4.8	4.8
7 - 8	3.9	3.9	4	4	4	4	4	4.1	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3			4.5	4.5	4.5	4.4			4.6	4.7	4.9	4.8	4.8
7 - 9	3.9	3.9	4	3.9	4	4	4.1	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3			4.4	4.5	4.4	4.5			4.7	4.7	4.8	4.9	4.8
7 - 10	3.9	3.8	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3			4.4	4.4	4.4	4.5			4.7	4.7	4.7	4.8	4.8
7 - 11	3.9	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2			4.4	4.4	4.5	4.4			4.6	4.8	4.8	4.8	4.8
8 - 1	4.2	3.9	3.9	4	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.2			4.3	4.4	4.4	4.5			4.6	4.7	4.7	4.8	4.8
8 - 2	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4.1	4	4.2	4.2	4.2			4.3	4.3	4.4	4.5			4.6	4.6	4.7	4.8	4.8
8 - 3	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2			4.4	4.4	4.3	4.5			4.6	4.5	4.7	4.7	4.7
8 - 4	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1			4.3	4.3	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.8	4.8
8 - 5	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4	4	4.1	4	4.1	4.2	4.1			4.3	4.4	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.7	4.7
8 - 6	3.8	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4	4	4.1	4.2			4.3	4.3	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.6	4.6
8 - 7	3.8	3.9	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1			4.1	4.3	4.3	4.4			4.5	4.6	4.6	4.6	4.6
8 - 8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1			4.2	4.3	4.3	4.3			4.5	4.6	4.6	4.6	4.6
8 - 9	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1			4.3	4.3	4.4	4.4			4.5	4.6	4.6	4.5	4.5
8 - 10	3.8	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	4	3.9	4	4	4	4	4	4			4.3	4.3	4.3	4.4			4.5	4.6	4.6	4.6	4.5
8 - 11	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1			4.3	4.3	4.4	4.4			4.5	4.6	4.7	4.6	4.6

1-41

軸方向(d) 周方向	2303.64	2323.64	2343.64	2363.64	2383.64	2403.64	2423.64	2443.64	2463.64	2483.64	2488.64
1 - 1	4.8	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	5	5.1	5.1	5.2	5.2
1 - 2	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5.1	5.1	5.1
1 - 3	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5.1	5	5.1
1 - 4	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5
1 - 5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5	5	5	5
1 - 6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5
1 - 7	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5
1 - 8	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5
1 - 9	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5.1
1 - 10	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	5	5	5.1	5.1
1 - 11	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	5	4.9	5	5	5.1	5.2
2 - 1	9.5	10.2	10.3	10.2	10.4	10.4	10.3	10.4	10.3	10.2	10.2
2 - 2	4.9	5	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5
2 - 3	5	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6
2 - 4	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.4	5.4	5.6	5.6	5.6
2 - 5	5.1	5.2	5.2	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7
2 - 6	5.1	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.6
2 - 7	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7
2 - 8	5.2	5.2	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7
2 - 9	5.1	5.3	5.3	5.2	5.5	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7
2 - 10	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8	5.8	5.8
2 - 11	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8	5.7	5.8	5.8
3 - 1	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9
3 - 2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.9	5.8	6
3 - 3	5.4	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	6	6	6
3 - 4	5.4	5.5	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	6	6.1	6.1	6.2
3 - 5	5.6	5.6	5.8	5.7	5.8	5.9	6	6.1	6.2	6.2	6.2
3 - 6	5.7	5.8	5.9	5.8	5.9	6.1	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3
3 - 7	5.7	5.8	5.9	5.9	5.8	6	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4
3 - 8	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	6	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3
3 - 9	5.8	5.9	5.8	6	6	6.1	6.2	6.2	6.4	6.3	6.4
3 - 10	5.9	6	6	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.4	6.4	6.4
3 - 11	6	6.1	6	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4
4 - 1	6.1	6	6	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.4	6.6	6.5
4 - 2	6	6.1	6.3	6.2	6.2	6.3	6.5	6.6	6.6	6.8	6.8
4 - 3	6.1	6.2	6.2	6.4	6.5	6.5	6.5	6.5	6.6	6.5	6.7
4 - 4	6.1	6.2	6.2	6.4	6.4	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.9
4 - 5	6.2	6.1	6.1	6.3	6.4	6.5	6.5	6.7	6.8	6.9	6.9
4 - 6	5.9	6	5.9	5.9	5.9	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3	6.3
4 - 7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	6.1	6.2	6.2
4 - 8	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.8	6.1	6.2	6.1	6.2
4 - 9	5.8	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	6	6.1	6.1	6.2	6.3
4 - 10	5.6	5.6	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6.2	6.1	6.1
4 - 11	5.7	5.7	5.7	5.8	5.7	5.8	6	6	6.1	6	6.2
5 - 1	6.1	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6	6.1	6.1	6.2	6.7
5 - 2	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6	6	6.1	6.1	6.1
5 - 3	5.7	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	6.1	6.2	6.2	6.1
5 - 4	5.7	5.8	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6	6.2	6.2
5 - 5	5.8	5.8	5.9	5.8	5.9	6	6	6	6.1	6.1	6.2
5 - 6	5.8	5.8	5.9	5.8	5.9	6	6	6.1	6.1	6.2	6.3
5 - 7	5.7	5.8	5.9	6	5.9	6	6	6	6.1	6.2	6.2
5 - 8	6.1	6.1	6.3	6.2	6.2	6.4	6.4	6.4	6.6	6.6	6.7
5 - 9	6.2	6.3	6.3	6.4	6.5	6.5	6.5	6.6	6.7	6.7	6.8
5 - 10	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6	6.6	6.6	6.8	6.8	6.9	6.9
5 - 11	6	6.2	6.3	6.4	6.4	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8

1-42

軸方向(d) 周方向	2303.64	2323.64	2343.64	2363.64	2383.64	2403.64	2423.64	2443.64	2463.64	2483.64	2488.64
6 - 1	6.3	6.2	6.2	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5	6.9
6 - 2	6.1	6	6.1	6.2	6.2	6.3	6.4	6.3	6.4	6.4	6.5
6 - 3	6	6	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3	6.4	6.3	6.5
6 - 4	6	6	6	6	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4
6 - 5	5.8	5.8	5.9	6.1	6.1	6	6.1	6	6.2	6.2	6.3
6 - 6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6.1	6.1	6.2
6 - 7	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	6	6
6 - 8	5.3	5.4	5.5	5.6	5.5	5.8	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9
6 - 9	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8
6 - 10	5.3	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	6
6 - 11	5.3	5.3	5.3	5.5	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.9
7 - 1	5.5	5.3	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	6.2
7 - 2	5.2	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6
7 - 3	5.1	5.1	5.1	5.3	5.3	5.4	5.5	5.4	5.5	5.6	5.6
7 - 4	5	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.4	5.5	5.5	6.1	6.2
7 - 5	5.1	5	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5
7 - 6	5	5	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5
7 - 7	4.9	5	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4
7 - 8	4.9	5	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3
7 - 9	4.9	4.9	5	5	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2
7 - 10	4.8	4.9	4.9	5	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2
7 - 11	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3
8 - 1	5.1	4.9	4.8	4.9	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3
8 - 2	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5.1	5.1	5.1	5.2
8 - 3	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	5	4.9	5	5	5.1	5.1
8 - 4	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.8	4.9	4.9	5	5
8 - 5	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9	5	5	5.1	5.1
8 - 6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5	5
8 - 7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5	5
8 - 8	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	5	5	5
8 - 9	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5
8 - 10	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5
8 - 11	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5.1	5.1	5.1	5.1

1-43

現地における損傷配管（A系配管）及びB系配管の外径計測結果について

1 . 調査目的

美浜3号機の損傷配管（A系配管）及びB系配管の真円度を確認するため、現地において外径計測を実施する。

2 . 調査内容

損傷配管及びB系配管の外径について、アウトサイドマイクロメータにて4方向計測を行った。計測ポイントは、オリフイスフランジを起点に上下流とも100，500，1000，2000，2500mmの位置とした。

B系統も4方向計測とし、計測ポイントは100，500，1000，1500，1900mmの位置とした。

3 . 調査結果

損傷配管（A系配管）の計測結果を別紙1、B系配管の計測結果を別紙2に示す。

計測の結果、A系配管の破損部分の下流側で類似配管 JIS の外径の許容差（ $\pm 0.8\%$ ）を超える一部があるが、A系のそれ以外部分及びB系では超えるものはない。

以上

美浜 3 号機 主復水管当該オリフィス前後の配管直径計測 (A 系統)

【上流側】

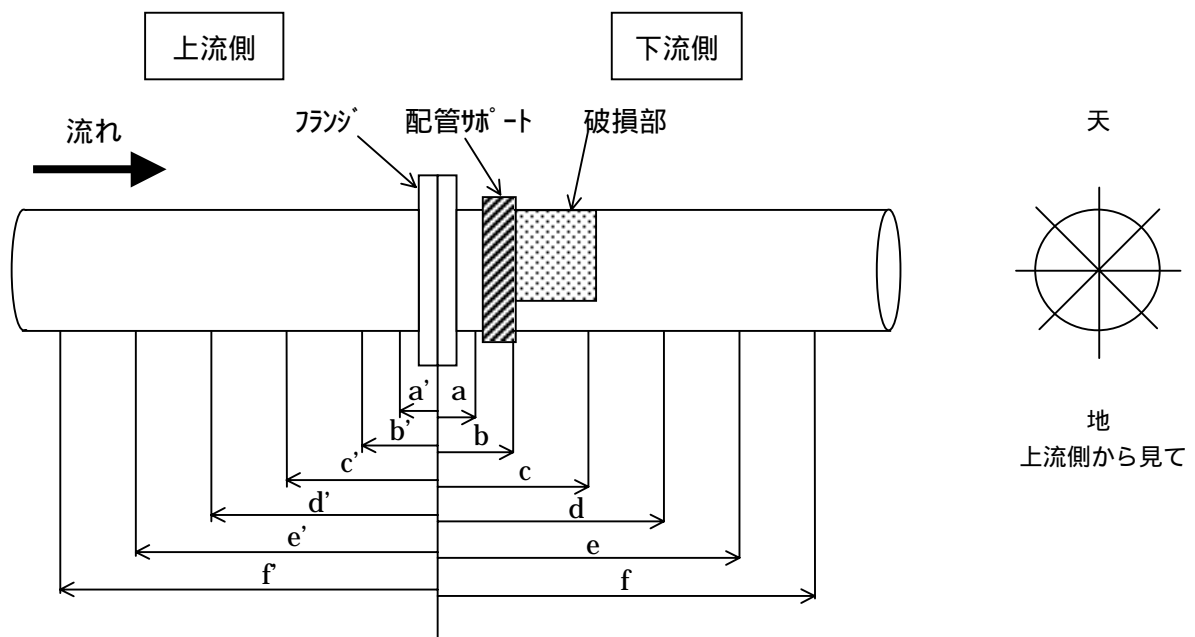
外径計測値 (mm)						
計測位置	a'	b'	c'	d'	e'	f'
-	560.04 (0.22)	557.60 (- 0.21)	559.50 (0.13)	558.52 (- 0.05)	558.77 (- 0.01)	559.31 (0.09)
-	560.22 (0.25)	561.43 (0.47)	561.36 (0.46)	560.58 (0.32)	559.30 (0.09)	559.52 (0.13)
-	560.38 (0.28)	560.36 (0.28)	561.13 (0.42)	561.30 (0.45)	561.13 (0.42)	560.18 (0.25)
-	560.48 (0.30)	558.60 (- 0.04)	558.29 (- 0.09)	559.52 (0.13)	561.36 (0.46)	560.17 (0.25)

【下流側】

外径計測値 (mm)						
計測位置	a	b	c	d	e	f
-	558.39 (- 0.07)	クランプ 干渉 のため、 計測不可	配管破損 部のため 計測不可	560.36 (0.28)	553.45 (- 0.96)	555.81 (- 0.54)
-	559.36 (0.10)			551.82 (- 1.25)	556.78 (- 0.36)	556.38 (- 0.43)
-	560.00 (0.21)			跡 - ト干渉のため、 計測不可		
-	560.18 (0.25)			564.29 (0.98)	561.67 (0.51)	558.07 (- 0.13)

() 内は、外径 558.8mm (公称値) との差 (%)

類似配管 JIS の外径の許容差 : ± 0 . 8 %



	a, a'	b, b'	c, c'	d, d'	e, e'	f, f'
オリフィスからの位置 (mm)	100	500	1,000	1,500	2,000	2,500

美浜 3 号機 主復水管当該オリフィス前後の配管直径計測 (B 系統)

【上流側】

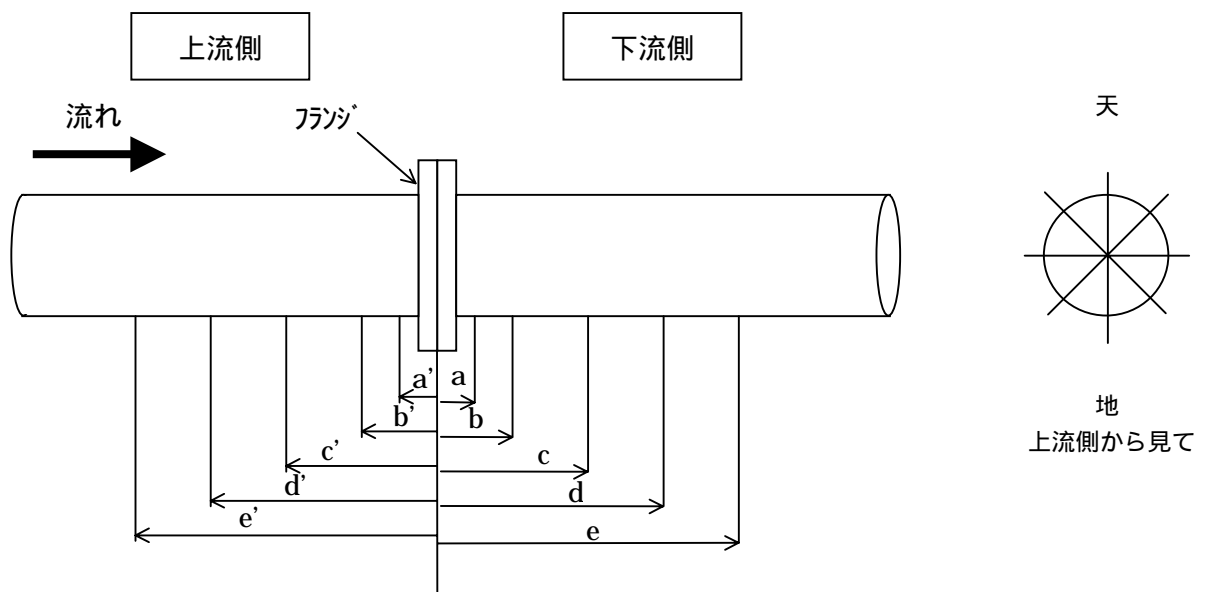
計測位置	外径計測値 (mm)				
	a'	b'	c'	d'	e'
-	561.83 (0.54)	561.79 (0.54)	561.07 (0.41)	560.26 (0.26)	560.34 (0.28)
-	560.05 (0.22)	560.74 (0.35)	560.89 (0.37)	560.54 (0.31)	560.18 (0.25)
-	560.15 (0.24)	559.67 (0.16)	560.26 (0.26)	560.02 (0.22)	560.45 (0.30)
-	559.94 (0.20)	560.16 (0.24)	559.96 (0.21)	559.83 (0.18)	560.18 (0.25)

【下流側】

計測位置	外径計測値 (mm)				
	a	b	c	d	e
-	560.47 (0.30)	557.91 (- 0.16)	556.19 (- 0.47)	555.72 (- 0.55)	556.08 (- 0.49)
-	559.33 (0.09)	558.76 (- 0.01)	554.41 (- 0.79)	554.68 (- 0.74)	556.85 (- 0.35)
-	560.73 (0.35)	558.19 (- 0.11)	559.34 (0.10)	560.83 (0.36)	560.80 (0.36)
-	559.99 (0.21)	560.62 (0.33)	556.83 (- 0.35)	562.38 (0.64)	561.62 (0.50)

() 内は、外径 558.8mm (公称値) との差 (%)

類似配管 JIS の外径の許容差 : $\pm 0.8\%$



	a, a'	b, b'	c, c'	d, d'	e, e'
オリフィスセンターからの位置 (mm)	100	500	1,000	1,500	1,900

現地における損傷配管（A系配管）のオリフィス関連調査結果について

1．調査目的

美浜3号機の損傷配管（A系配管）のフランジ部に設置されているオリフィス等の損傷・変形や取り付け状況を確認するため、現地において、オリフィスの内径計測等を実施する。

2．調査内容

- (1) オリフィス穴の端からフランジ内径との寸法及びオリフィスの厚さをそれぞれ8点、オリフィス穴径を4点計測した。また、オリフィスの損傷・変形の有無を確認した。
- (2) ベント穴の位置及び穴径を計測した。
- (3) フランジの外面からフランジとガスケット、オリフィスのそれぞれの寸法を8点計測し、片締め等の有無を調査した。

3．調査結果

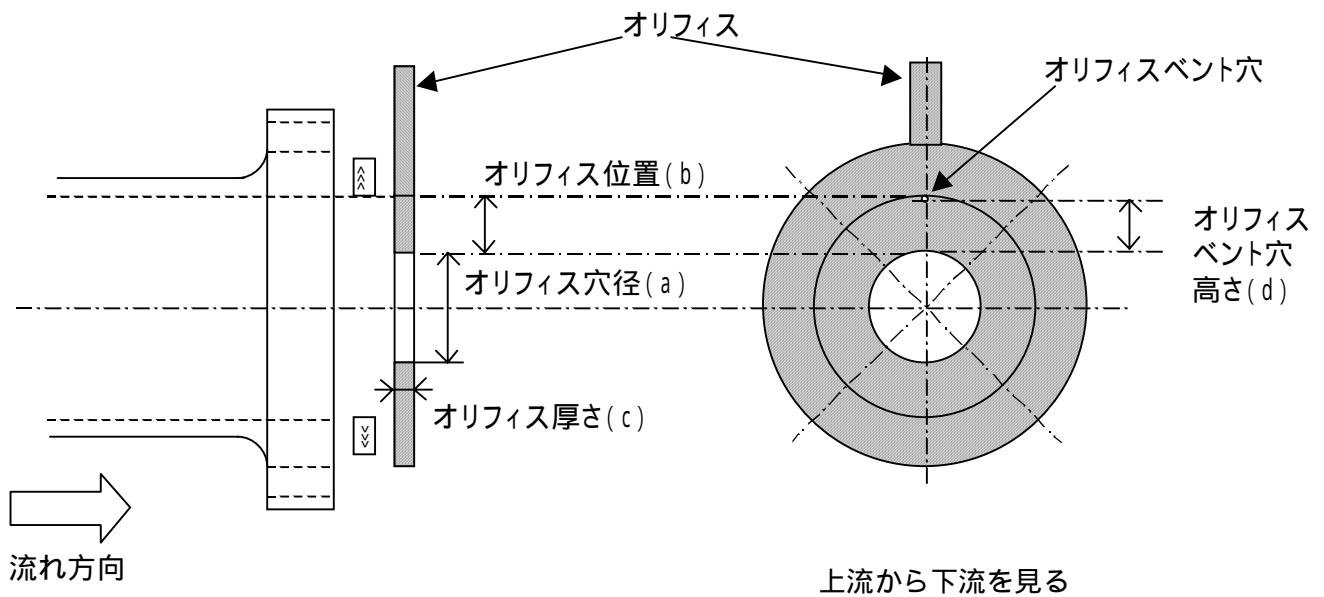
損傷配管（A系配管）のオリフィス寸法計測結果を別紙1、フランジ部の外面からの寸法計測結果を別紙2に示す。

当該オリフィスは、平成5年に取替えが行われている。

また、当該オリフィスは、第20回定検（平成15年）にガスケットの取替えが実施されている。オリフィスを取付けた状態で計測した、配管内径中心位置に対するオリフィス穴径の中心位置のずれは、 の方向に0.61mm、 の方向に0.71mmであった。また、各フランジ端面からのオリフィスまでの距離（ガスケット厚さ）の最大値と最小値の差は、最大で1.7mm（=5.2mm - 3.5mm）であった。

以上

美浜3号機 オリフィス関係の寸法計測 (損傷配管)



単位 : mm

計測位置	オリフィス穴径 (a)	オリフィス位置 (b)	オリフィス厚さ (c)
	335	110.19	4.90
	335	109.59	4.85
	335	111.65	4.90
	335	111.31	4.80
	-	111.41	4.85
	-	110.88	4.90
	-	110.24	4.90
	-	109.74	4.85
設計値	335.3	-	5

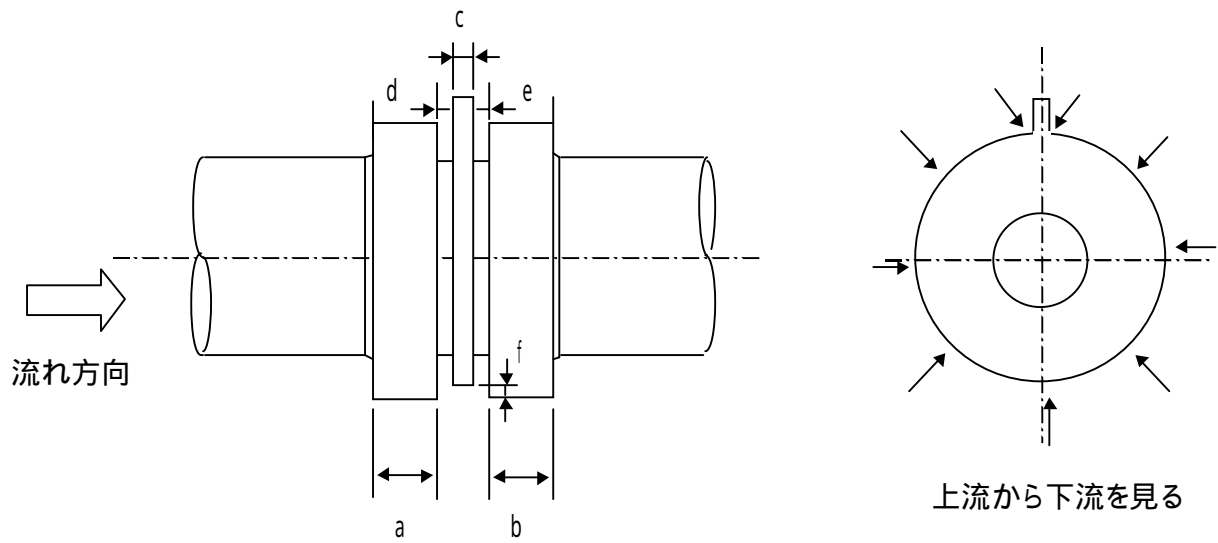
単位 : mm

	オリフィス ベント穴高さ (d)	オリフィス ベント穴直径
測定値	100	4
設計値	-	4

配管内径中心からのオリフィス内径中心のずれ

垂直方向 (-)	方向へ0.61mm
水平方向 (-)	方向へ0.71mm

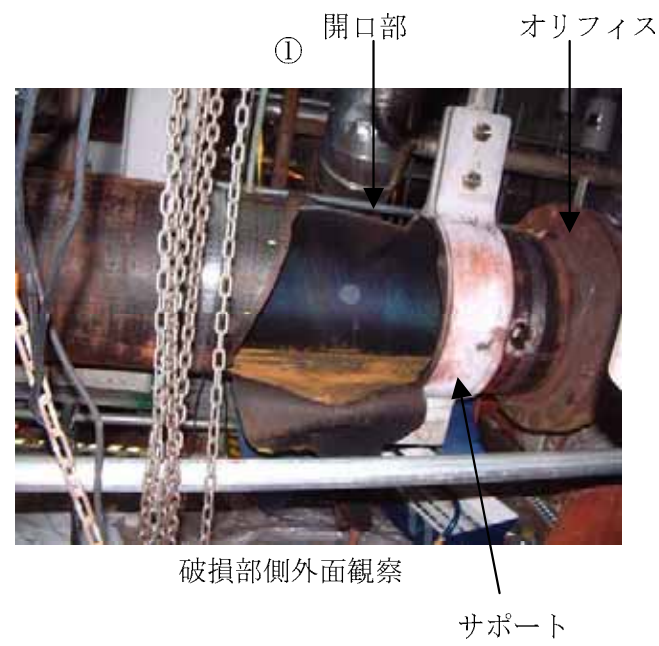
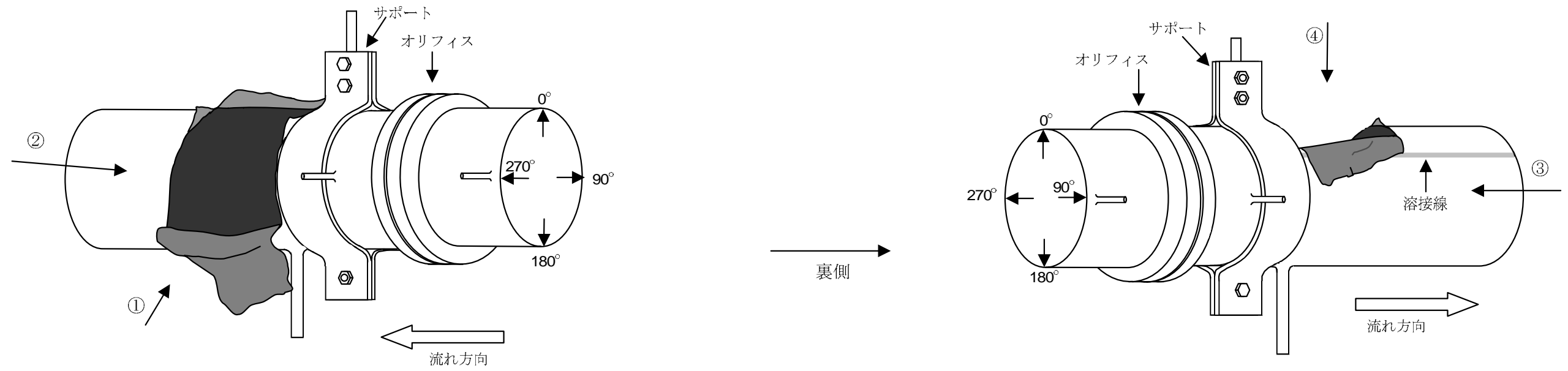
美浜3号機 フランジ外面の寸法計測 (損傷配管)



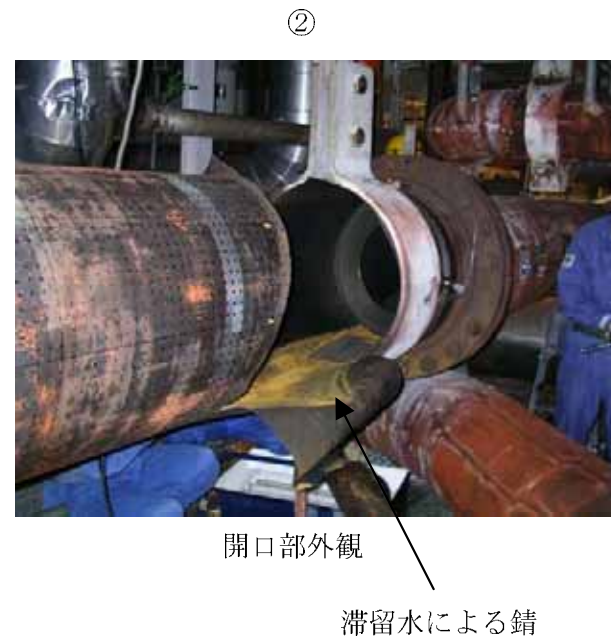
フランジ厚さ	a	44.4	44.3	44.4	44.4	44.5	44.5	44.6	44.4	44.4
	b	44.6	44.7	44.5	44.6	44.6	44.6	44.4	44.4	44.6
オリフィス厚さ	c	4.9	-	-	-	-	-	-	-	4.9
ガスケット厚さ	d	3.6	4.7	5.2	4.6	3.8	4.7	4.6	4.6	3.5
	e	5.6	5.1	5.2	5.0	4.8	4.9	4.9	5.2	5.6
オリフィス深さ	f	56.0	56.8	56.7	56.0	54.0	56.1	55.3	55.8	56.1

配管破損部写真集

配管破損部外観



破損部側外面観察



開口部外観

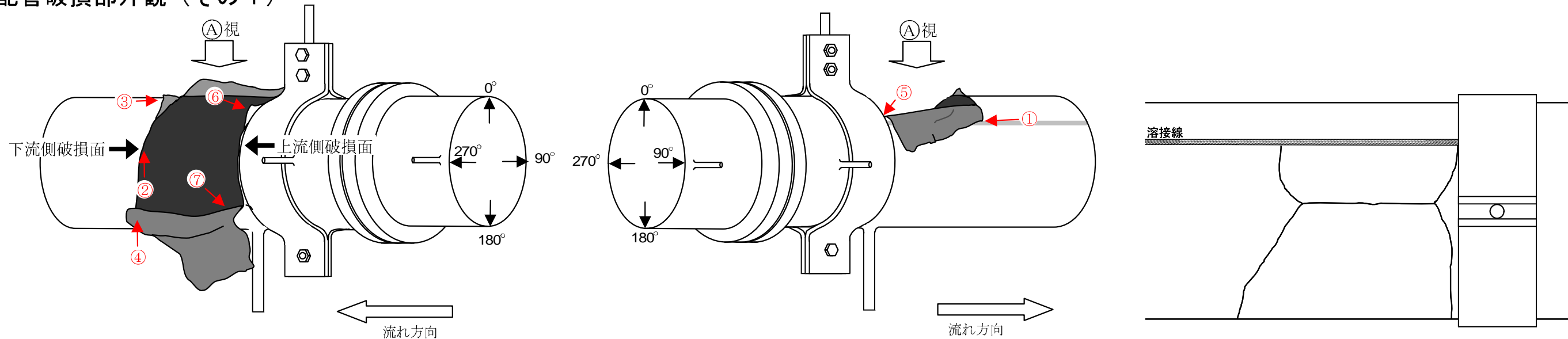


破損部側面外観



破損部側面外観

配管破損部外観(その1)



き裂開口部イメージ図

Ⓐ 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

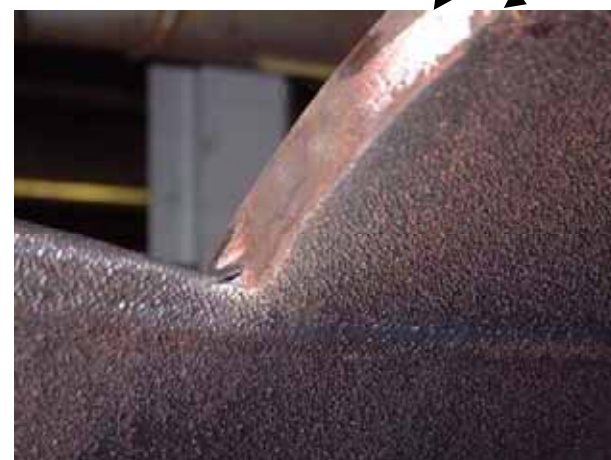


① き裂停止部外観(下流側から観察)



② 配管破損部(下流側から観察)

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



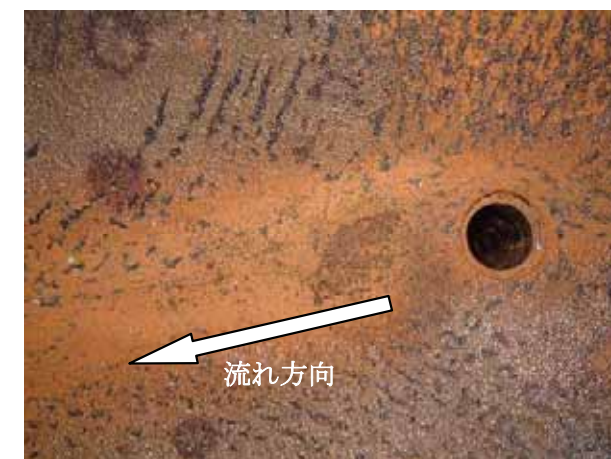
③ 開口部天側(下流側から観察)



④ き裂停止部(下流側から観察)

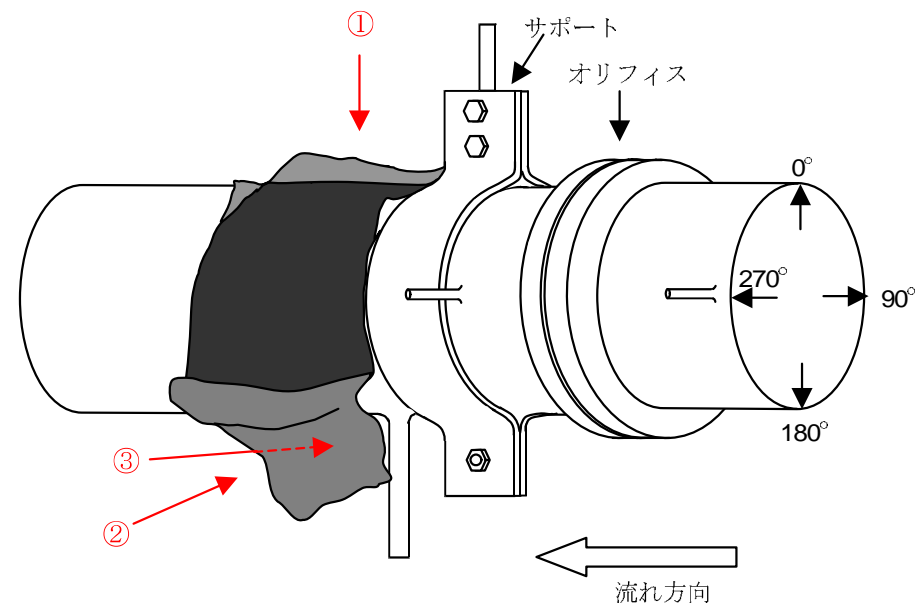


⑦-1 ドレン穴周辺



⑦-2 ドレン穴周辺

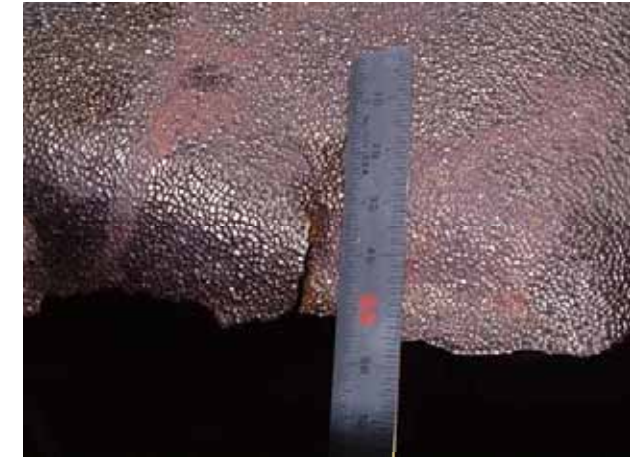
配管破損部外観（その2）



①



→
拡大



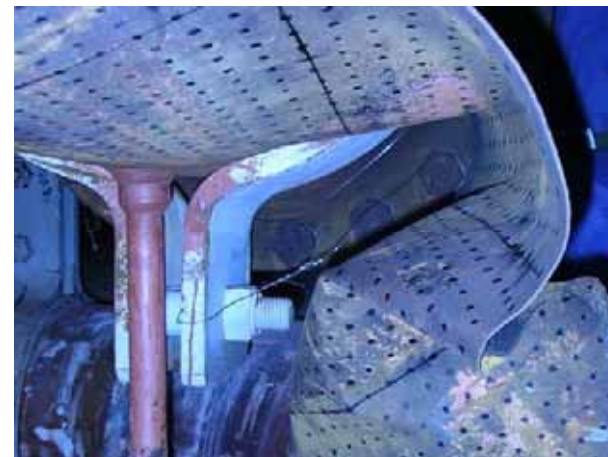
②



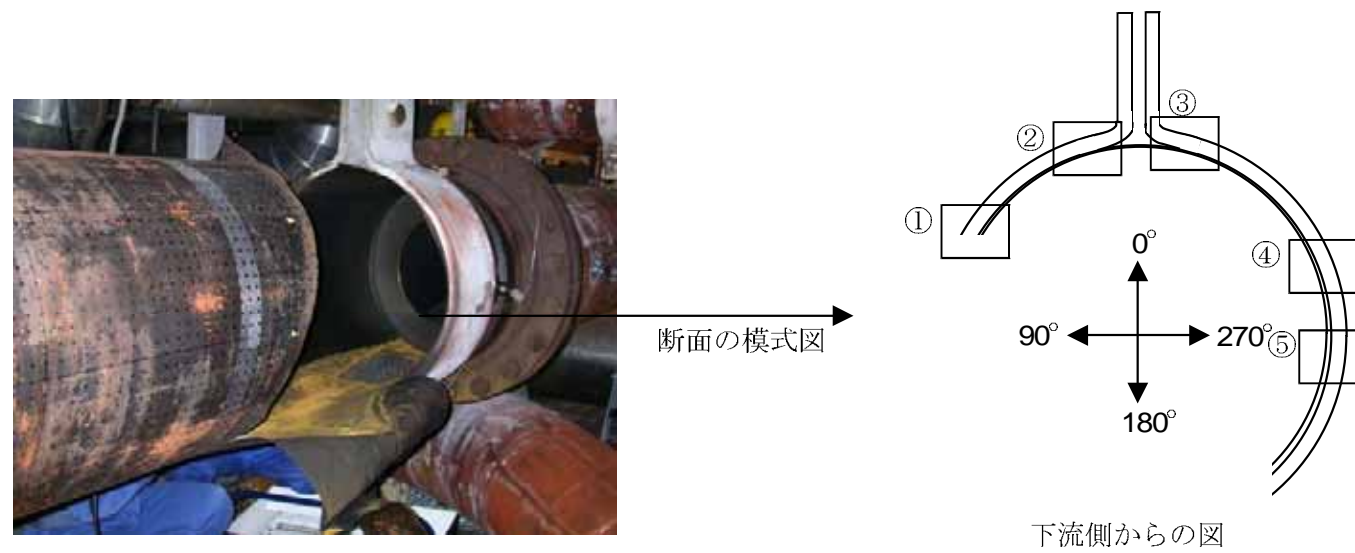
→
拡大



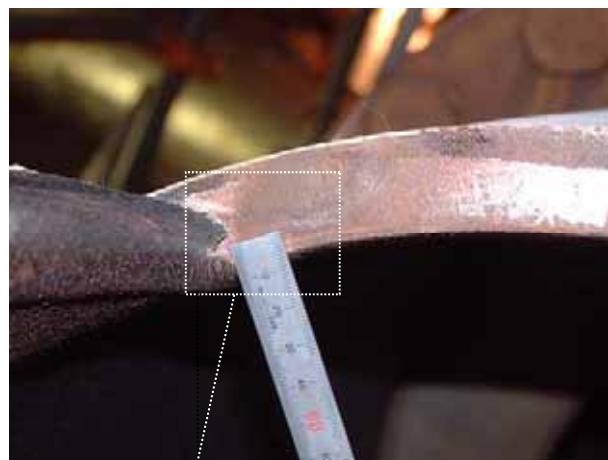
③



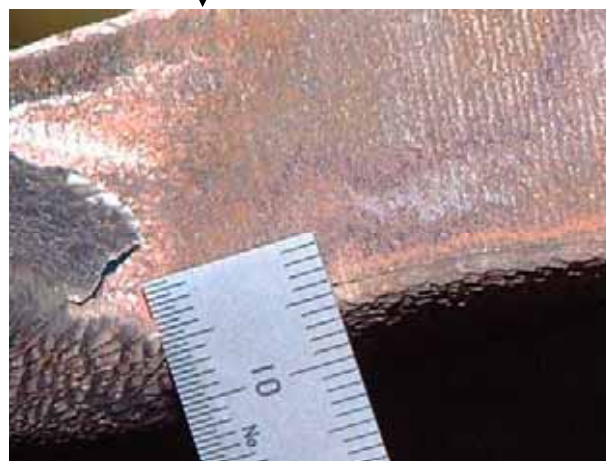
配管破断面観察結果 (サポート部直下)



①

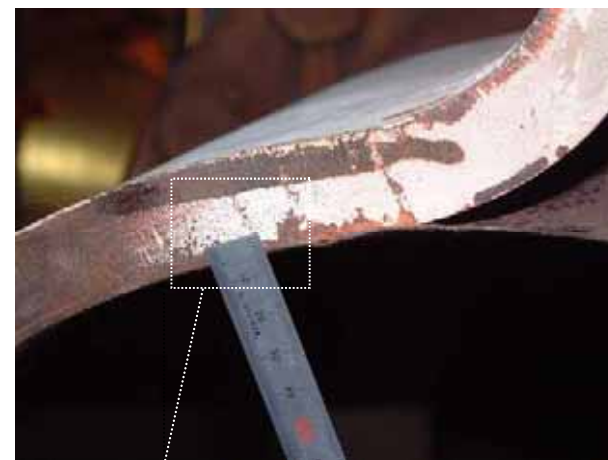


溶接線付近外観 (40°)
拡大

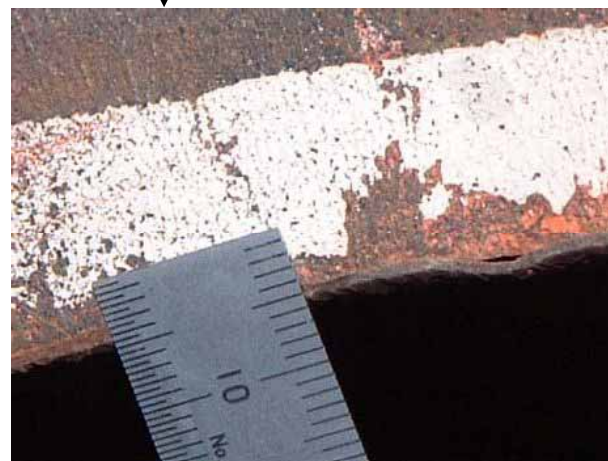


溶接線付近外観 (拡大)

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°)

⑤



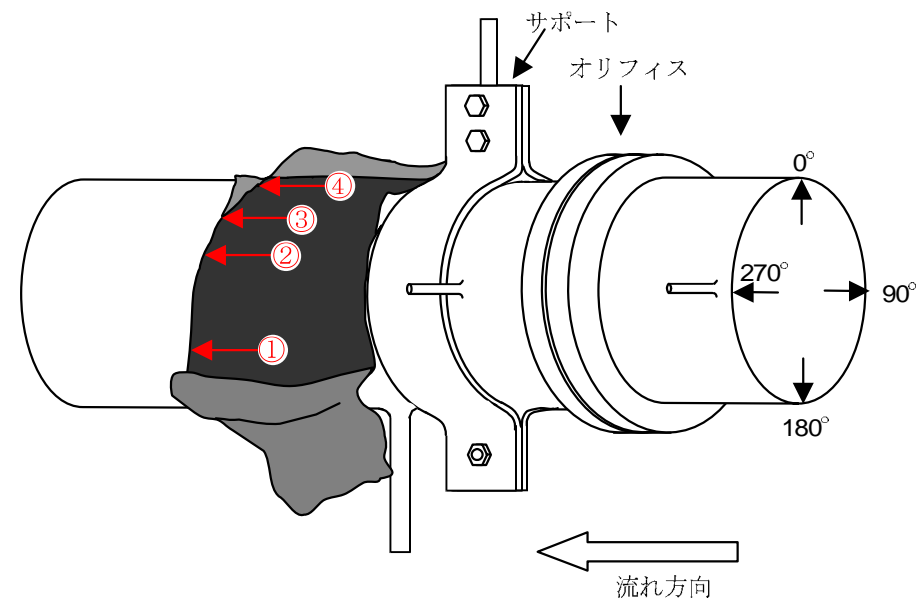
側面付近外観 (約 260°)

④



側面付近外観 (約 290°)

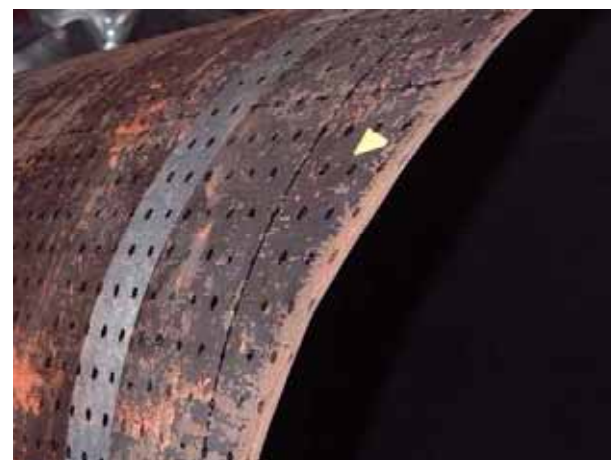
配管破損面観察結果（下流側破損面）



き裂開口部イメージ図



① 270° 付近



② 300° 付近

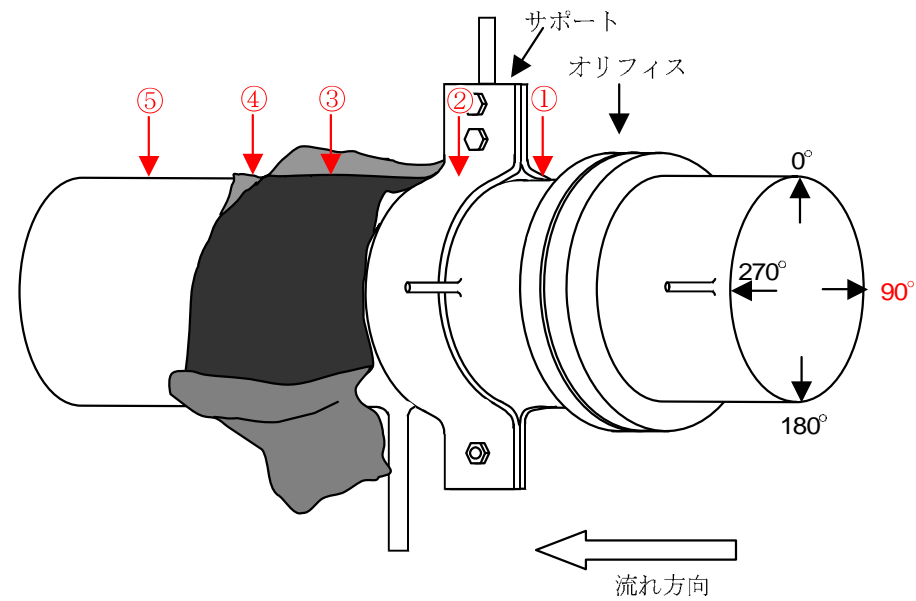


③ 三角形めくれ上がり部根本付近



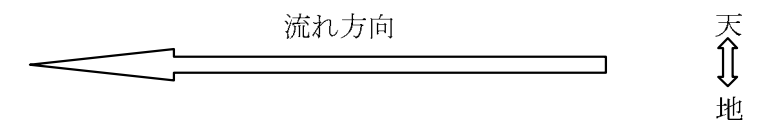
④ 三角形めくれ上がり部頂点付近

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)

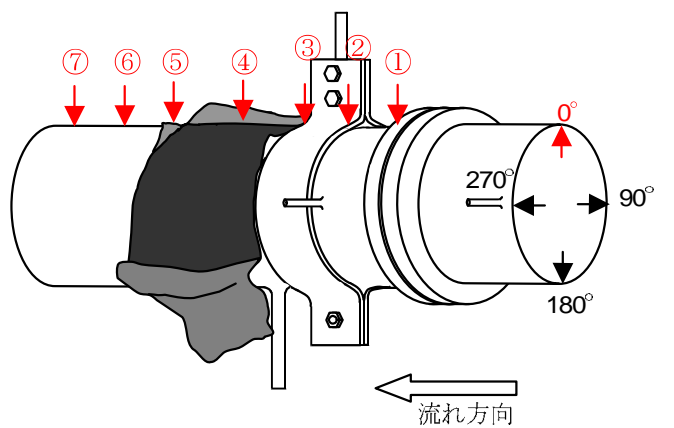



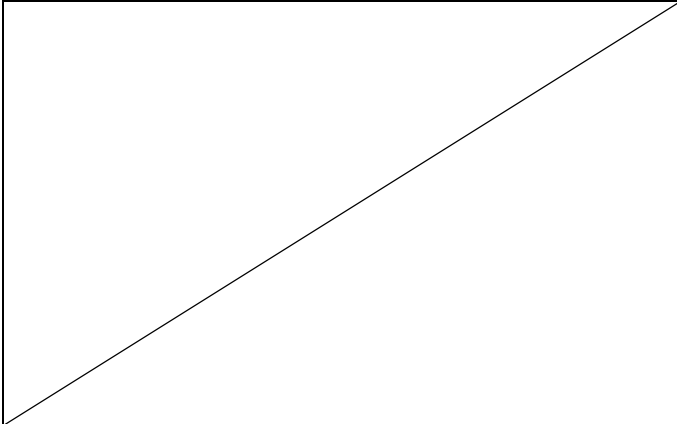


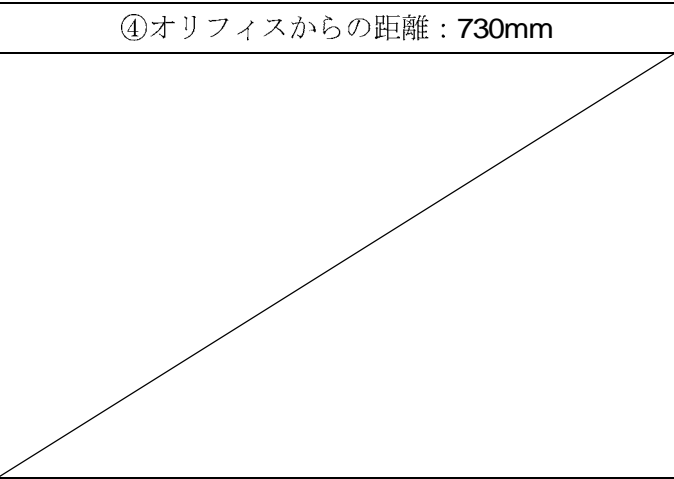

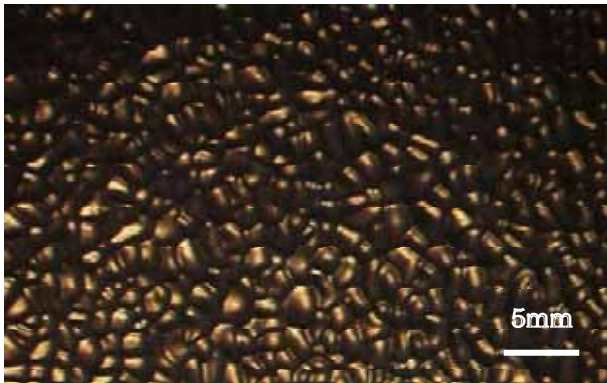
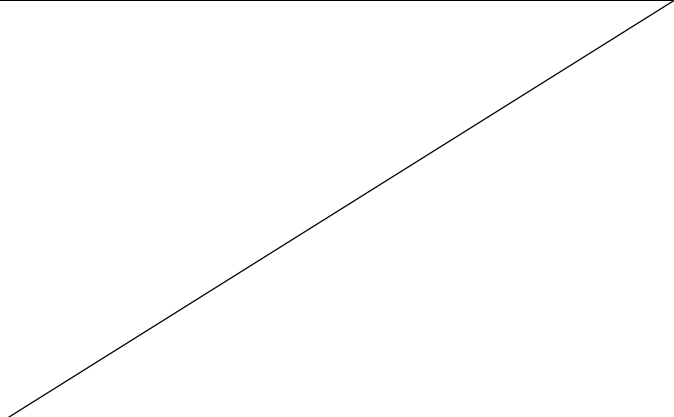

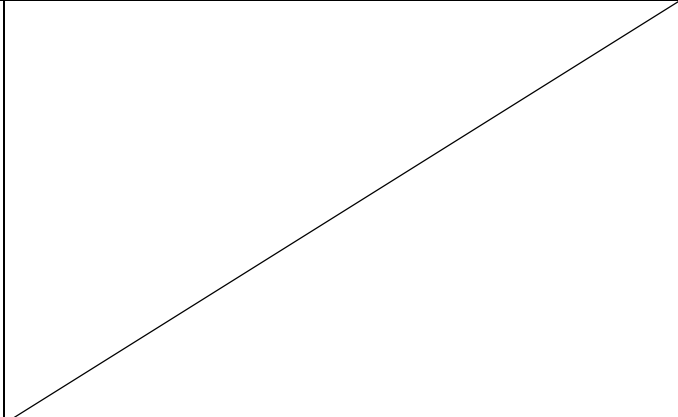
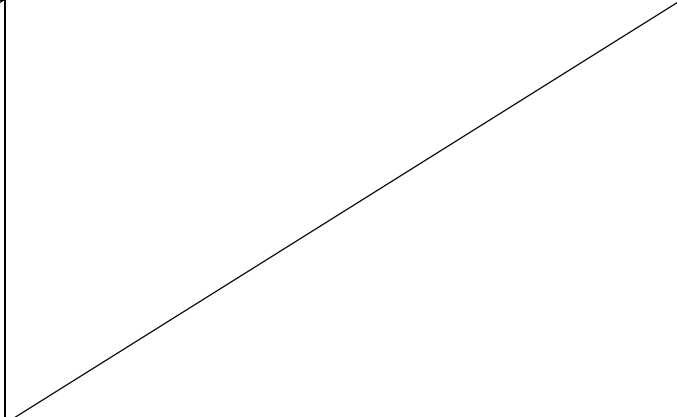
④ 開口部直近下流側
(オリフィスから約 900mm)

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)

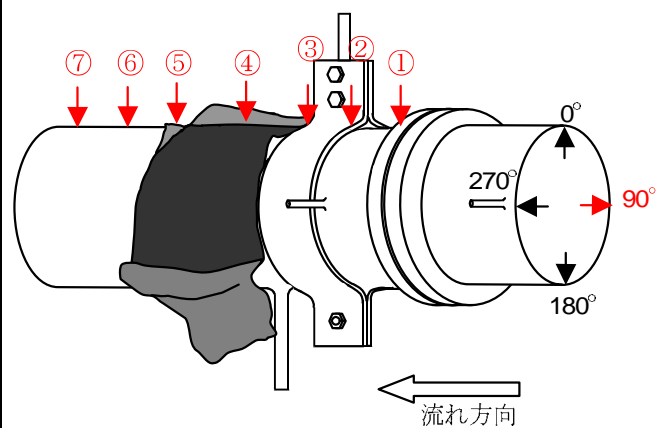
① オリフィス近傍 (計測管付近)
(オリフィスから約 200mm)

内面拡大観察結果 (0°)

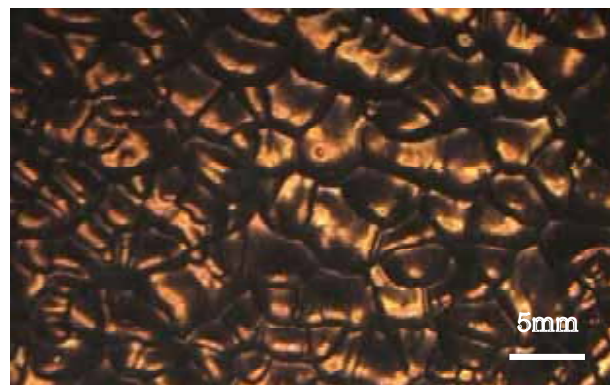
<p>撮影機器：デジタルマイクロスコープ</p> 	<p>①オリフィスからの距離：30mm</p> 	<p>②オリフィスからの距離：280mm</p> 	<p>③オリフィスからの距離：490mm</p> 
			
<p>④オリフィスからの距離：730mm</p> 		<p>⑤オリフィスからの距離：1120mm</p> 	<p>⑥オリフィスからの距離：1400mm</p> 
			

内面拡大観察結果 (90°)

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



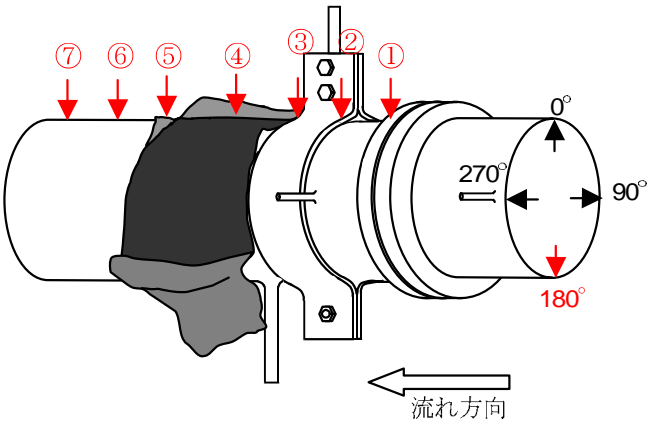
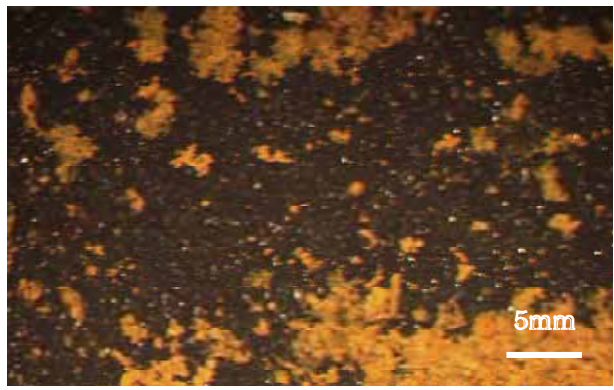








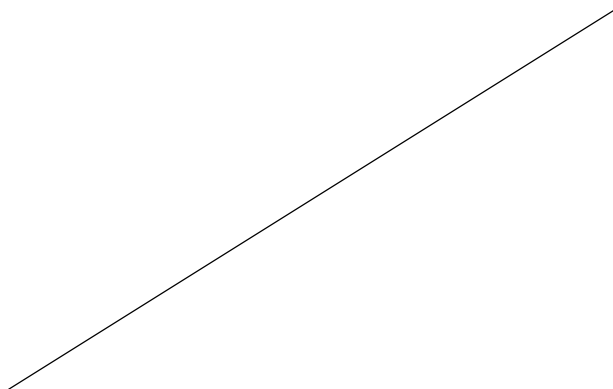
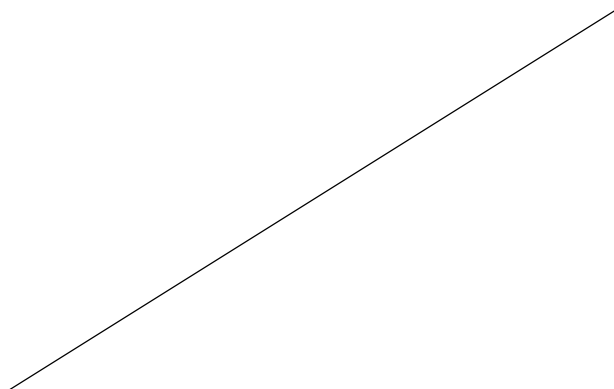
⑥オリフィスからの距離：1400mm



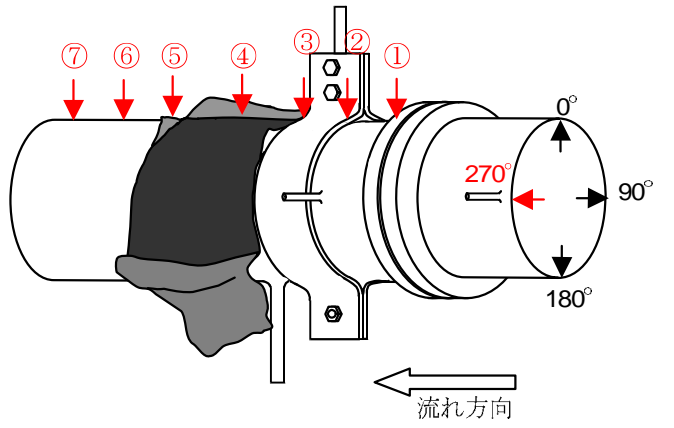



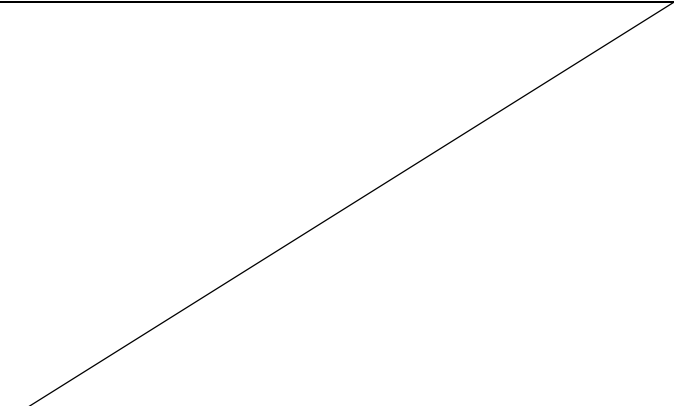

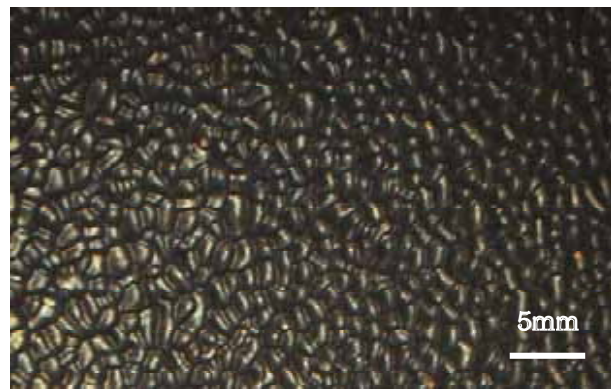

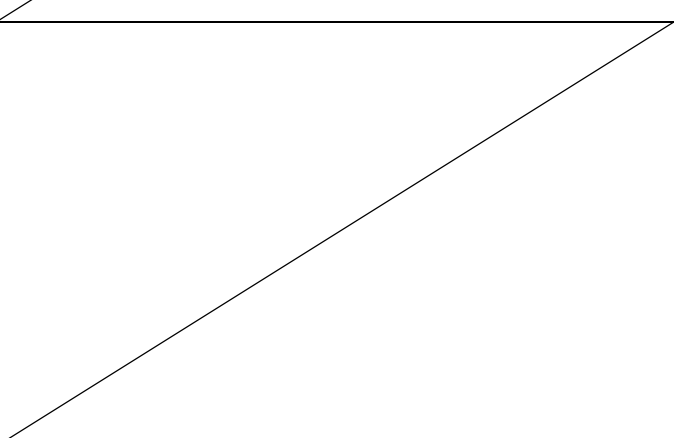
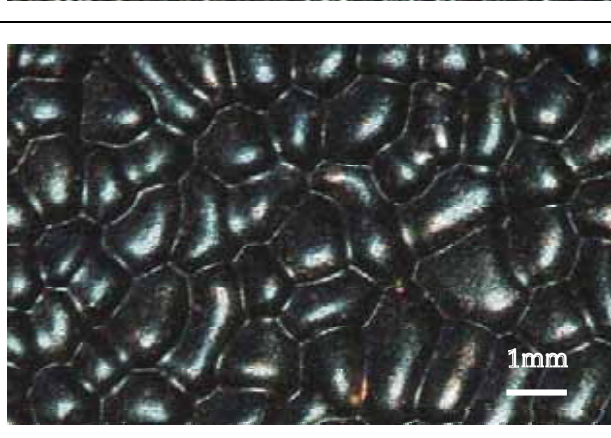
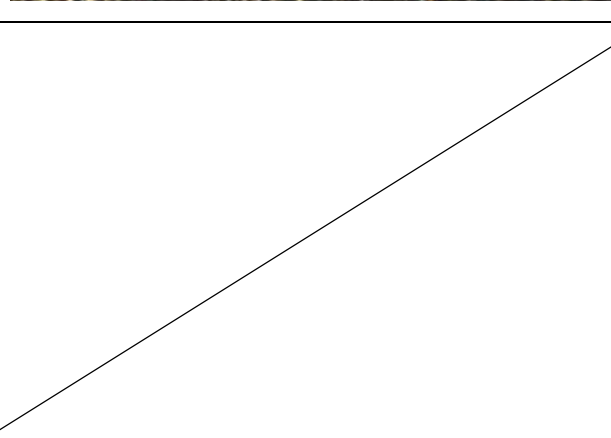
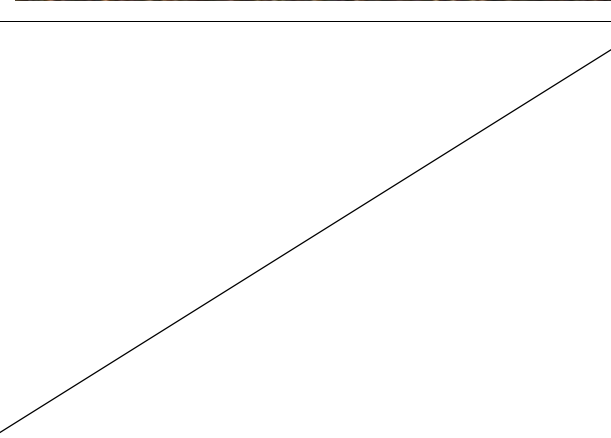
⑦オリフィスからの距離：1680mm



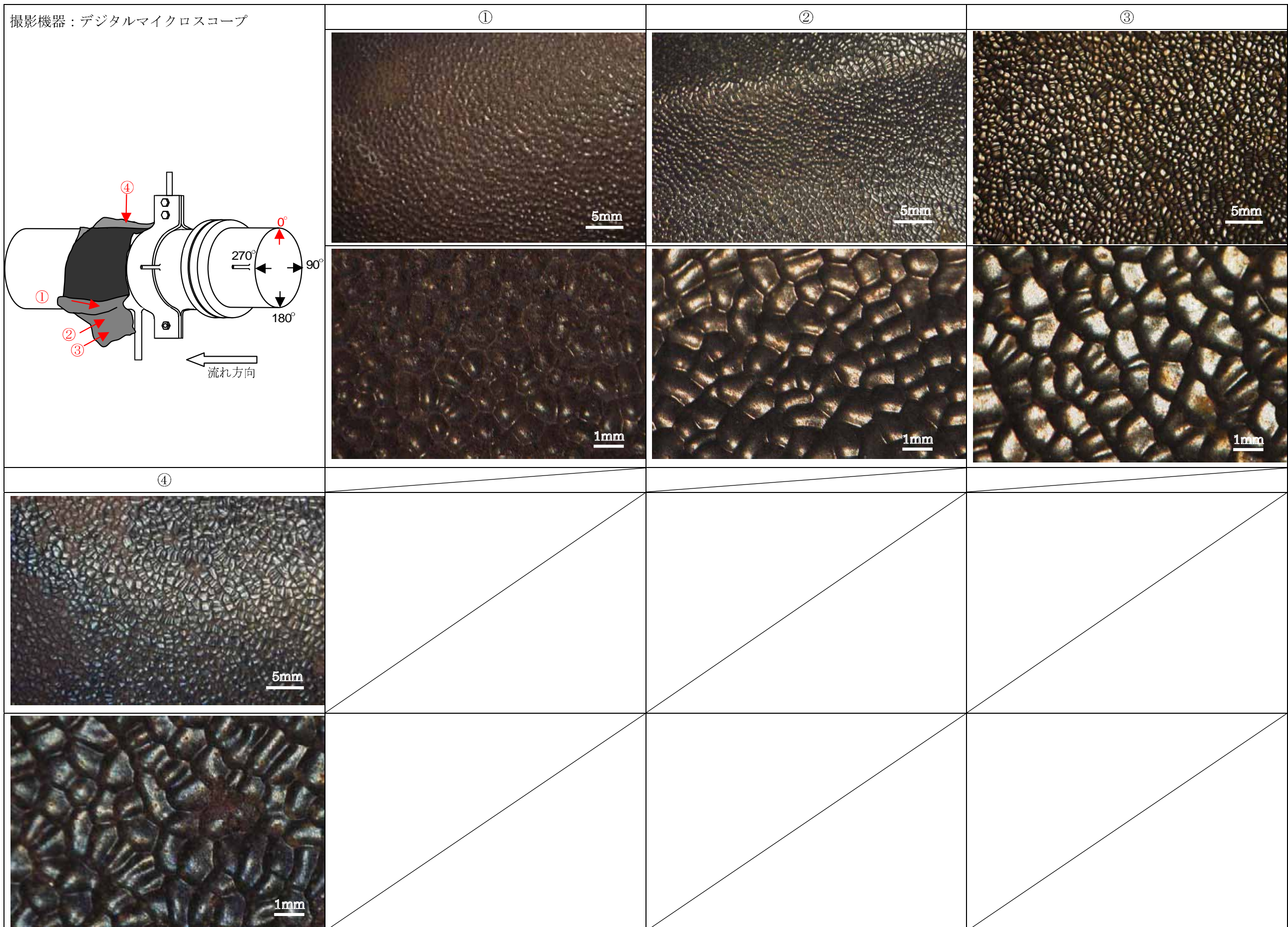
内面拡大観察結果 (180°)

<p>撮影機器：デジタルマイクロスコープ</p> 	<p>①オリフィスからの距離：30mm</p>	<p>②オリフィスからの距離：280mm</p>	<p>③オリフィスからの距離：490mm</p>
			
<p>④オリフィスからの距離：730mm</p>	<p>⑤オリフィスからの距離：1120mm</p>	<p>⑥オリフィスからの距離：1400mm</p>	<p>⑦オリフィスからの距離：1680mm</p>
			
			

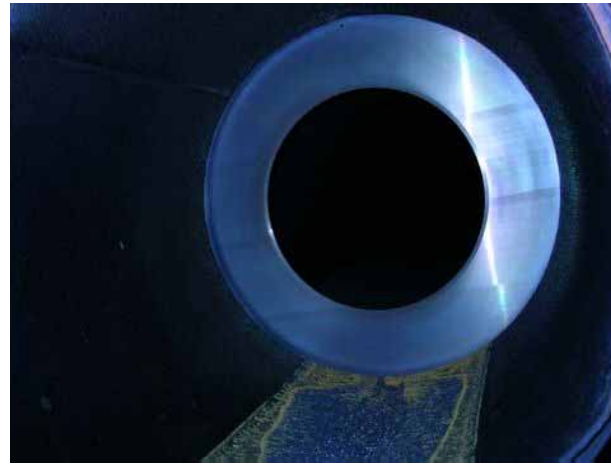
内面拡大観察結果 (270°)

<p>撮影機器：デジタルマイクロスコープ</p> 	<p>①オリフィスからの距離：30mm</p>	<p>②オリフィスからの距離：280mm</p>	<p>③オリフィスからの距離：490mm</p>
			
<p>オリフィスからの距離：730mm</p>	<p>⑤オリフィスからの距離：1120mm</p>	<p>⑥オリフィスからの距離：1400mm</p>	<p>⑦オリフィスからの距離：1680mm</p>
			
			

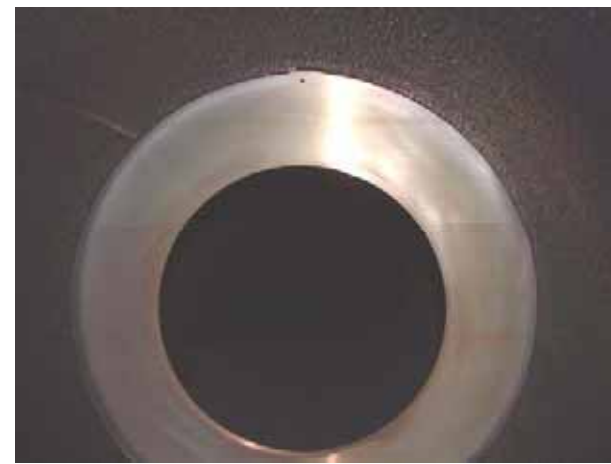
内面拡大観察結果 (破損部)



オリフィス部観察結果



オリフィス全体像



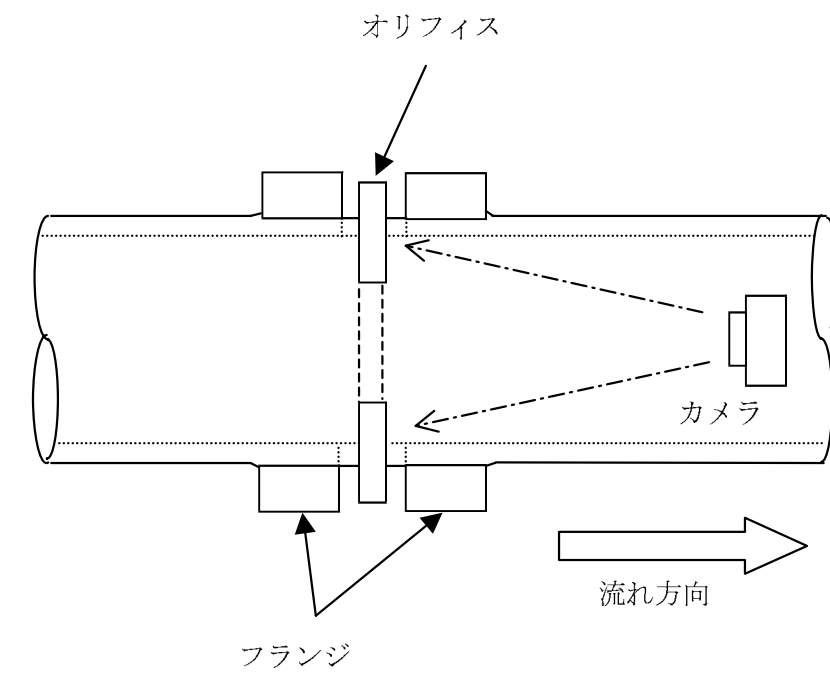
オリフィス上部側



オリフィス上部拡大観察

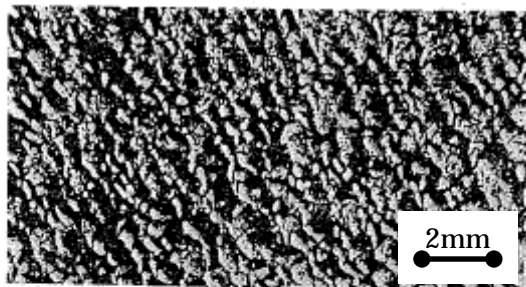


オリフィス下部側



エロージョン・コロージョン損傷例

表面にはエロージョン・コロージョン特有の鱗片状模様が観察される



温度：193

pH：8.8～9.2

溶存酸素：4ppb

流速：5.2 m/s

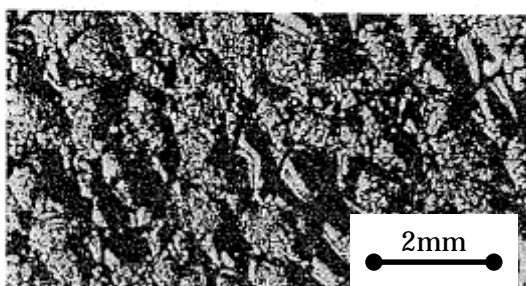
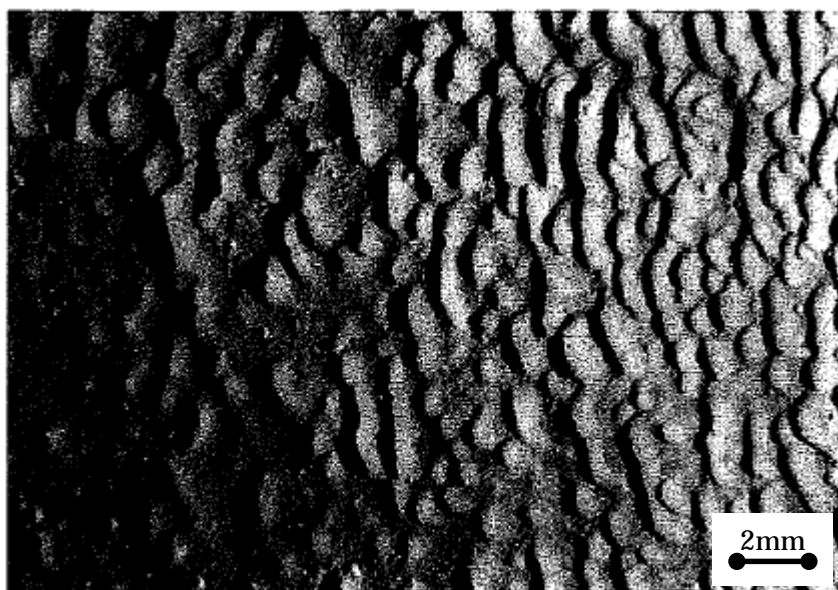


写真 4 エルボ内面に生じたエロージョン/
コロージョンによる凹凸(dimple)
状表面⁽⁹⁾

写真例1 サリー発電所2号機の破断配管エロージョン・コロージョン発生状況

宮園ら、日本原子力学会誌、Vol.29、No.11(1987)



温度：149

pH：8.8～9.2

溶存酸素：<10ppb

流速：不明

FIGURE 11 - Smooth, Wave-Like Surface
Contours. Magnification: 5X

写真例2 ボイラー給水配管エロージョン・コロージョン発生状況

R.D.Port, CORROSION98, Paper-721(1998)

キャビテーションの損傷事例

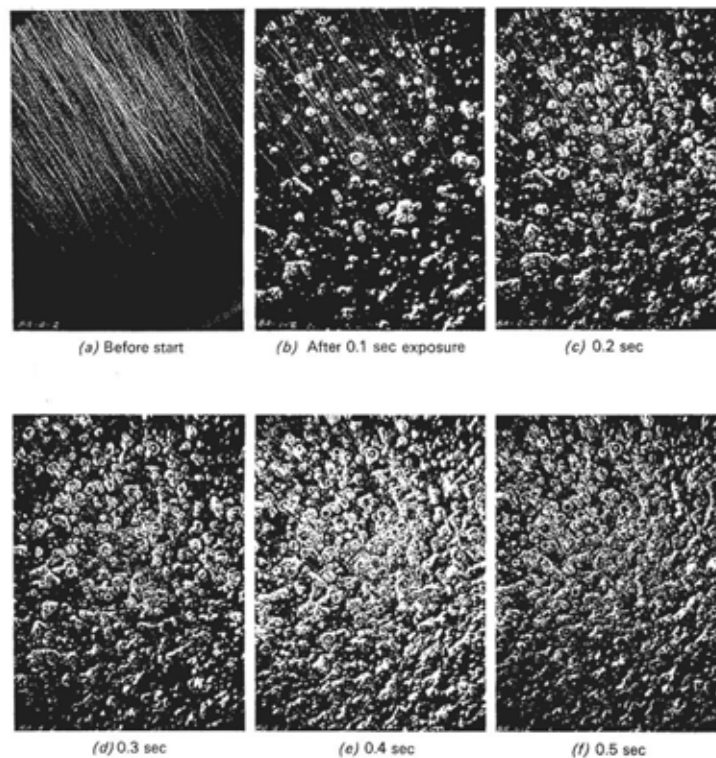
損傷の初期はPit状であり、進行するとスポンジ状となり、表面は滑らかではない



温度：70
環境：牛乳
材料：SUS316

写真例 3 ポンプインペラ(SUS316 鋼)のキャビテーション発生状況

E.D.D.During, Corrosion Atlas -A collection of Illustrated Case Histories-, Elsevier, (1988).



温度：室温
環境：蒸留水
材料：アルミニウム

FIG. 8-16 Damage versus exposure time for soft aluminum in distilled water: CIT magnetostriction tests. 2S aluminum; $\frac{1}{8}$ -in. specimen submerged $\frac{1}{4}$ in.; magnetostriction frequency = 7000 cps; amplitude = 0.0036 in.

写真例 4 アルミニウム試験片のキャビテーション発生状況

"Cavitation", McGraw-Hill (1970).

美浜発電所3号機二次系配管破損部調査 報告書(案)の概要

平成16年12月13日

於 原子力安全 保安院

日本原子力研究所
(独)原子力安全基盤機構

目次

1. はじめに
2. 調査の概要
3. 調査の方法及び結果
 - 3.1 外観観察
 - 3.2 配管材料調査
 - 3.2.1 サンプル採取
 - 3.2.2 材料化学成分分析
 - 3.2.3 引張試験
 - 3.2.4 金属組織観察
 - 3.2.5 硬さ試験
 - 3.2.6 分極特性測定
 - 3.3 配管肉厚測定
 - 3.4 内面観察
 - 3.5 酸化皮膜分析
 - 3.6 破口部調査
 - 3.6.1 破口部外観観察
 - 3.6.2 破口部肉厚測定
 - 3.6.3 破面観察
 - 3.6.4 破口部金属組織観察及び硬さ試験
 - 3.7 オリフィス及び周辺状況調査
 - 3.8 考察
4. 結論

1.はじめに

平成16年8月9日に発生した関西電力(株)美浜発電所3号機二次系配管の破損事故について、原子力安全 保安院(以下、「保安院」)は、文部科学省に対し、日本原子力研究所(以下、「原研」)が保安院の行う原因究明等の調査に協力するよう依頼した。これを受けて、文部科学省は、原研に対し当該調査に協力するよう依頼し、原研はこれに協力することとなった。

保安院は、(独)原子力安全基盤機構(以下、「JNES」)及び原研の協力を得て破損箇所の破壊解析、破断面調査等を実施することとし、両者の調査分担を次の通りとした。JNESは、全体を統括するとともに、国内外関連情報収集・分析、破損箇所に係わる破壊解析(シミュレーション等)及び流況解析を実施する。原研は、破損箇所に係わる原因分析として、減肉速度の解析、流況解析、破断面調査等を実施する。

本調査の結果については、その概要を「美浜発電所3号機2次系配管破損事故に関わる調査(第1次中間報告)」及び「同(第2次中間報告)」に取りまとめ、保安院の美浜発電所3号機二次系配管破損事故調査委員会に報告した。原研ではその後も調査を継続し、今回「同(第3次中間報告)」を取りまとめた。

本報告は、中間報告した調査結果を基に、当該配管で生じた減肉及び破損の原因について総合的に評価した結果を取りまとめたものである。

2. 調査の概要

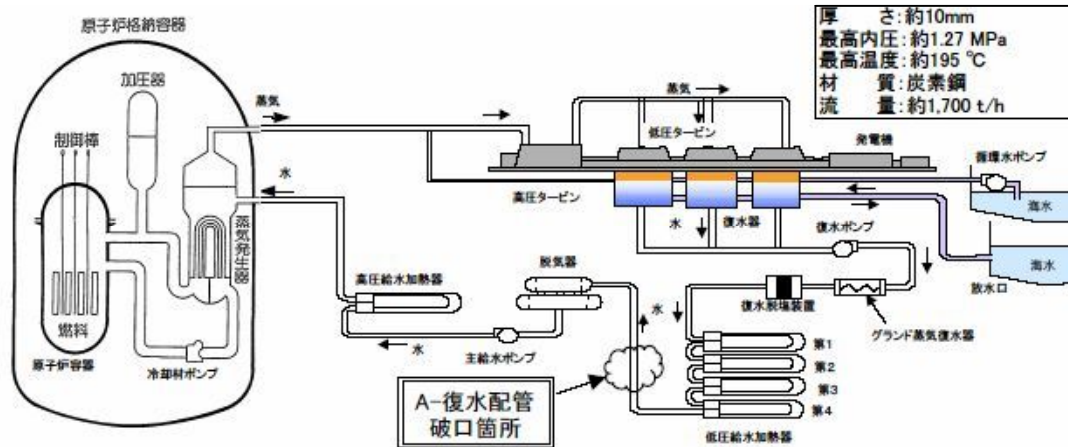


図2-1 配管系統図[1]

表2-1 配管の仕様と運転条件[1、3]

材料	炭素鋼(SB42)
外径	約560 mm
初期肉厚	約10 mm
最高使用温度	約195
最高使用圧力	約1.27MPa
実使用温度	142
実使用圧力	0.93 MPa
流量	約1,700 t/h
流速	約2.2 m/s
pH	8.6~9.3
溶存酸素濃度	5 ppb未満
運転時間	約190,000時間

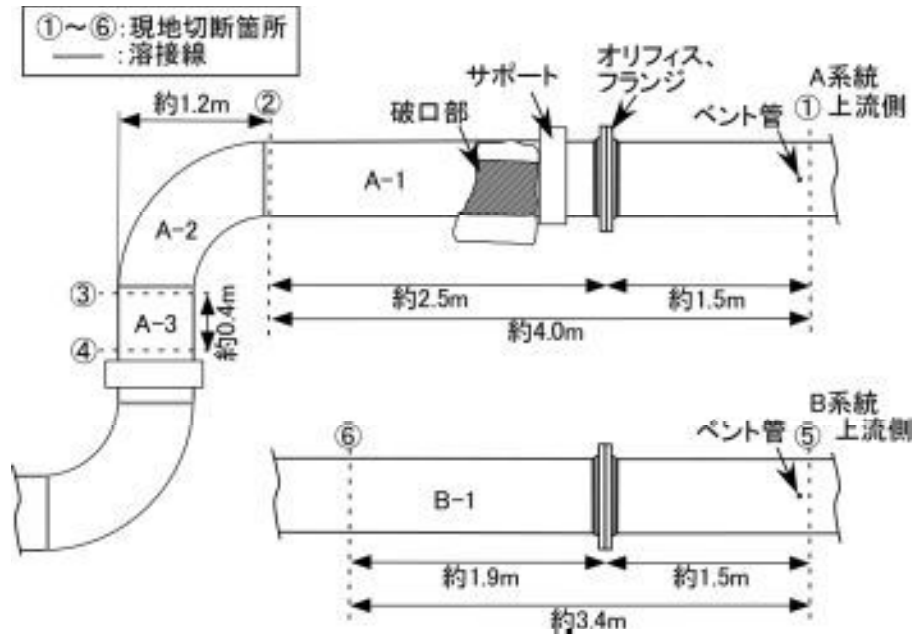
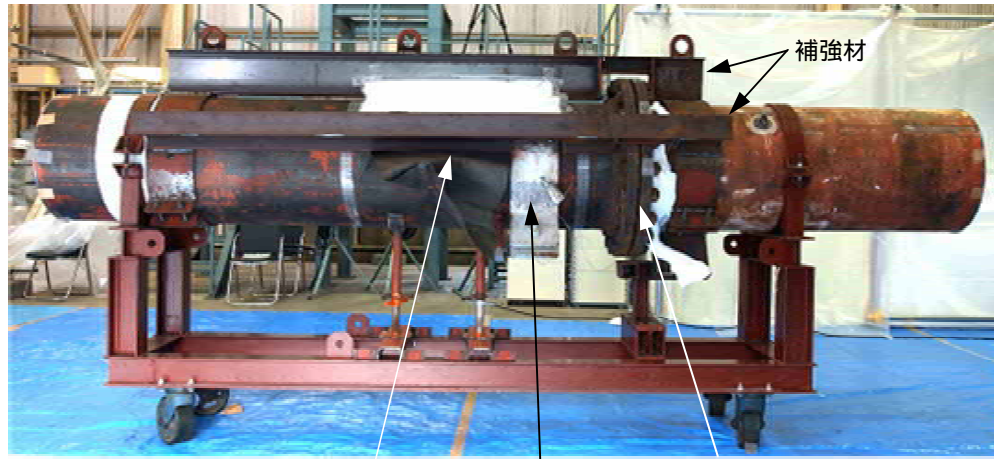


図2-2 調査配管概略図(天の位置から見た配管概略図)

(1) A-1配管



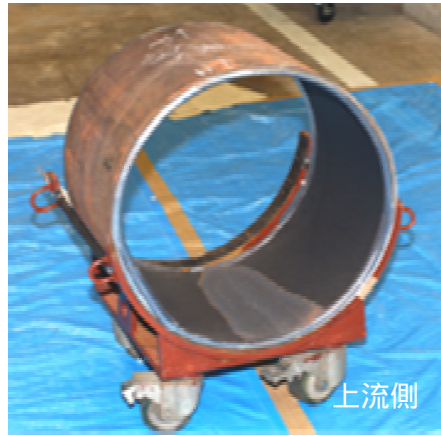
上流側

破口部 サポート(吊り具) フランジ/オリフィス



上流側

(2) A-2配管



上流側

(3) A-3配管



上流側

(4) B-1配管

図2-3 原研に搬入された調査配管

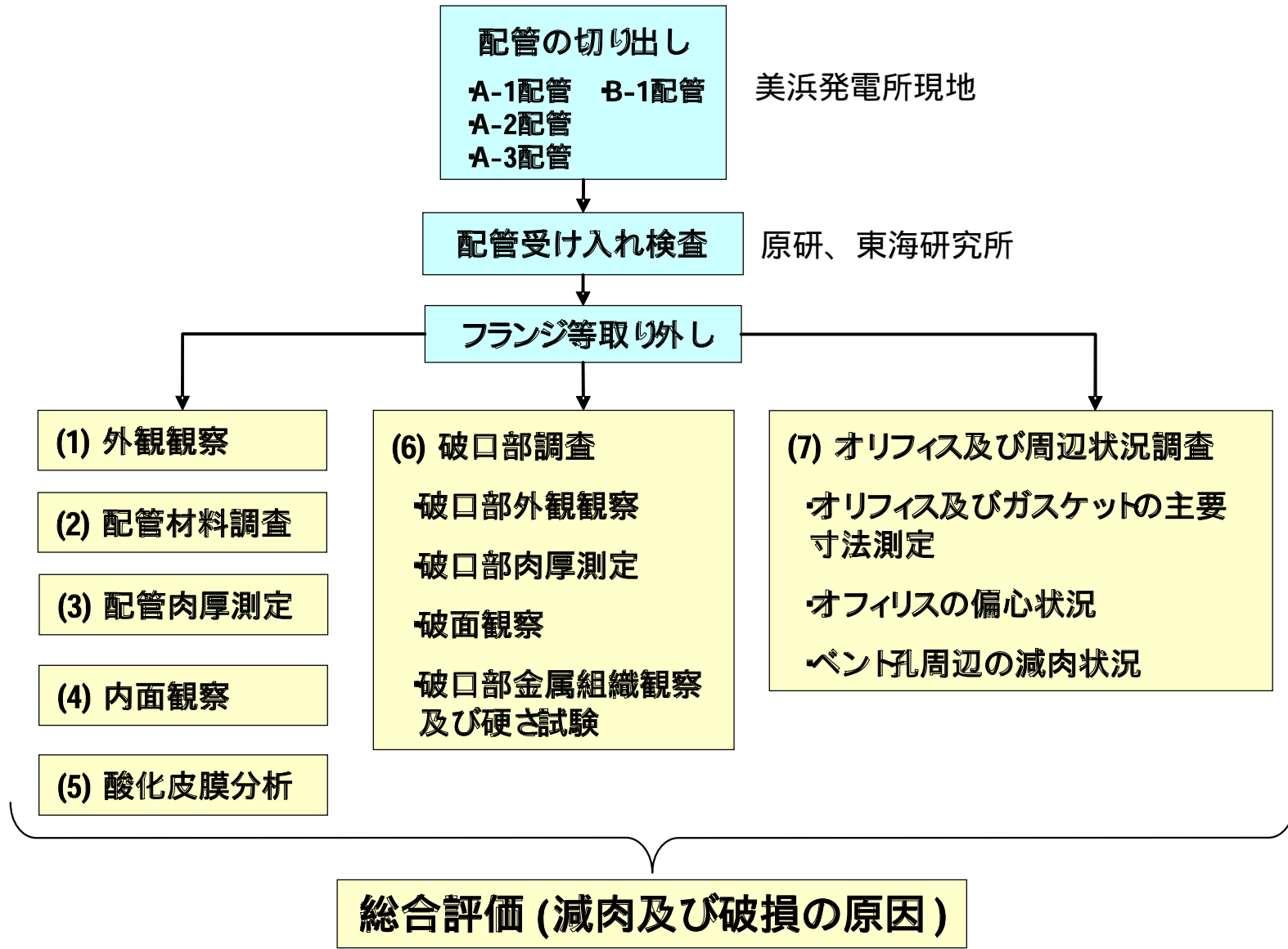


図2-4 調査のフロー

3. 調査の方法及び結果

3.1 外観観察

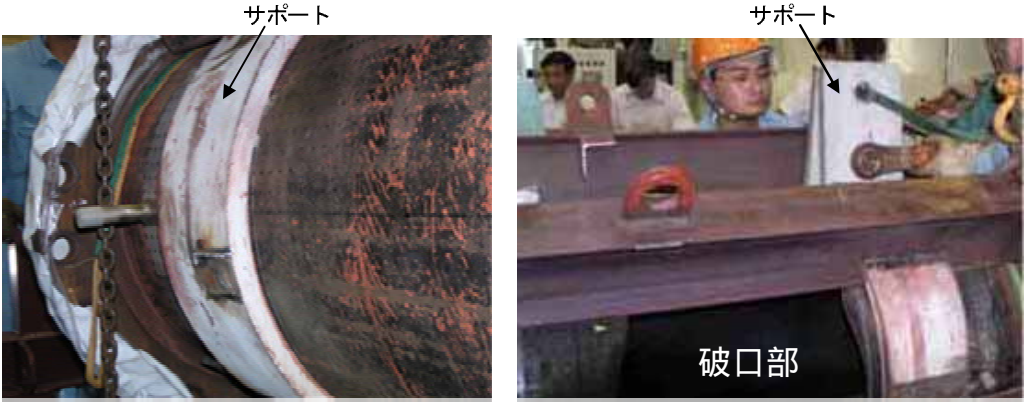


図 3.1-1 サポート(白色部)の取り外し状況

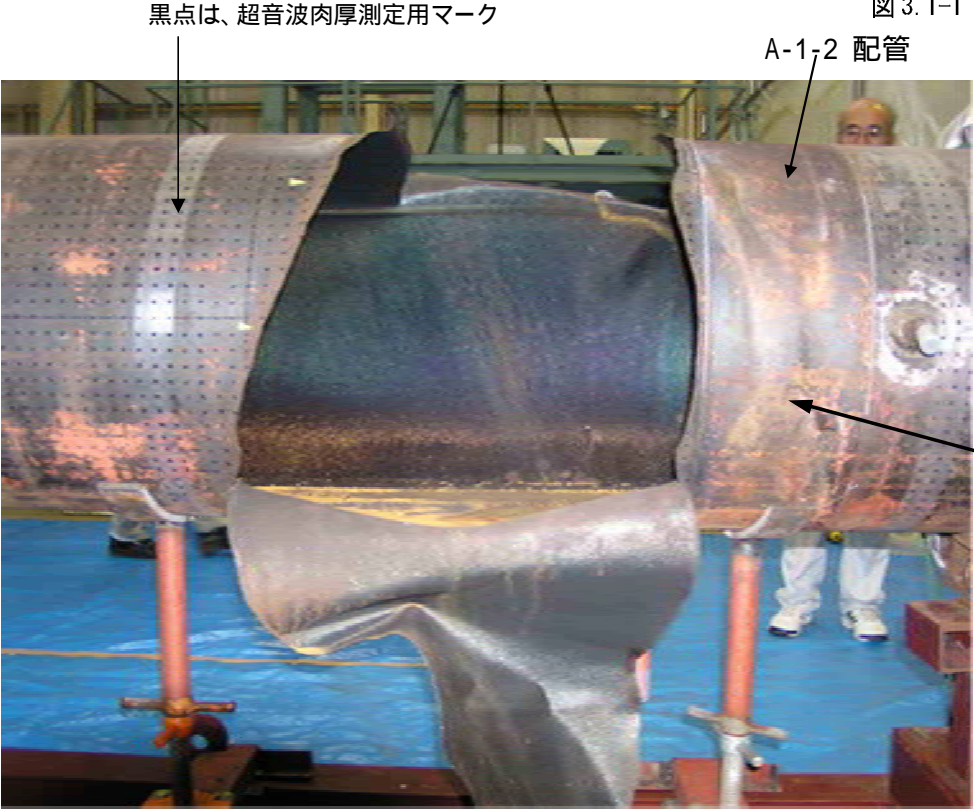


図 3.1-2 サポート取外し後の配管外面

結果

全配管及びA-1配管破口部周辺の外面に有害な傷や割れ、著しい腐食等は認められなかった。

破口部に隣接していたサポート(炭素鋼製)を取り外し後、サポートの接触していた外面を観察し、特異な腐食が発生していなかったことを確認した。

3.2 配管材料調査

3.2.1 サンプル採取

A系配管

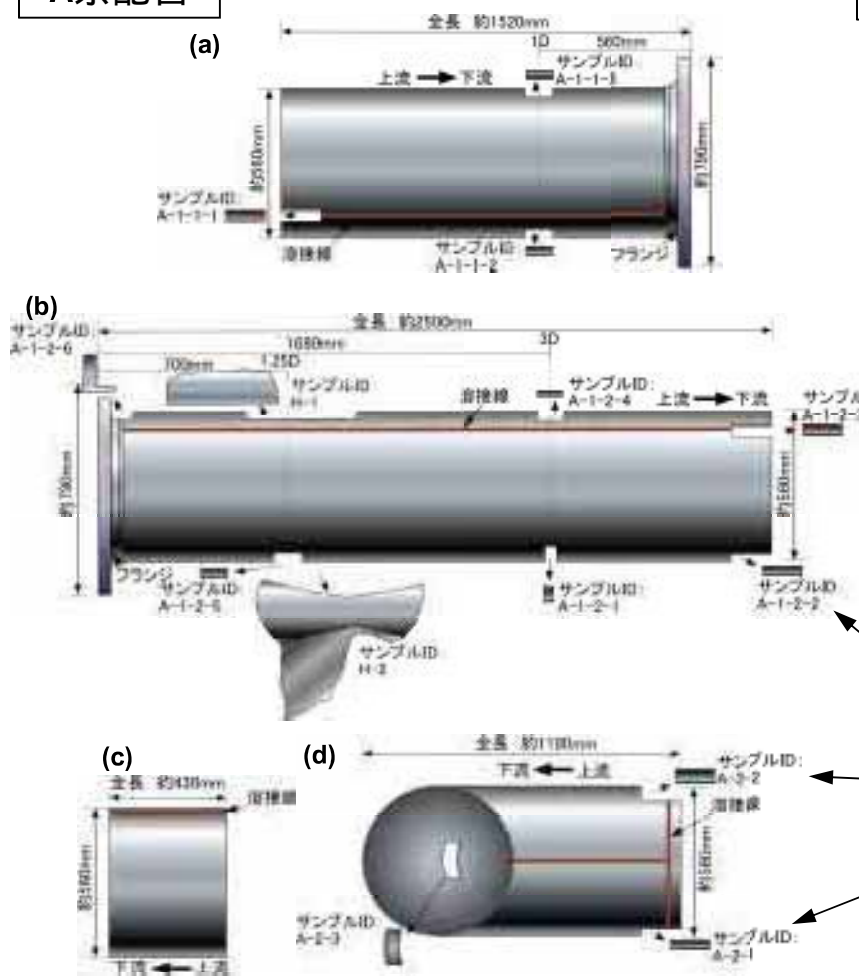


図3.2-1 搬入されたA系配管の概略形状及びサンプル採取位置
 (a) A系配管オリフイス上流部(A-1-1配管)、(b)同下流部(A-1-2配管)、
 (c) 同下流短管部(A-3配管)及び(d) 同下流エルボ配管部(A-2配管)

B系配管

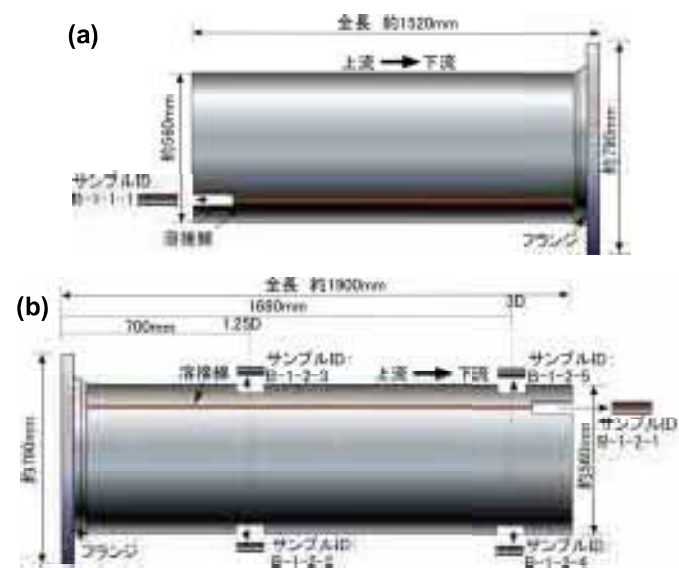


図3.2-2 搬入されたB系配管の概略形状及びサンプル採取位置
 (a)B系配管オリフイス上流部(B-1-1配管)及び(b)同下流部(B-1-2配管)

採取したサンプル

3.2.2 材料化学成分分析

表3.2-1 配管材料の化学成分分析結果 (単位 :mass%)

試料名 (サンプルID)	C	Si	Mn	P	S
A系配管オリフィス下流部(A-1-2-3)	0.16	0.24	0.67	0.009	0.011
B系配管オリフィス下流部(B-1-2-1)	0.16	0.24	0.67	0.009	0.011
A系配管オリフィス下流エルボ部(A-2-1)	0.14	0.23	0.74	0.016	0.007
ヨレシート値(エルボ部は除く[4])	0.15	0.21	0.63	0.014	0.013
規格値(JIS G 3103(1977))	0.24	0.15 ~ 0.30	0.80	0.035	0.040

サンプルID	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	V	Al	Nb	Zr	O	N
A-1-2-3	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.01	<0.01	0.0045	0.0051
B-1-2-1	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.01	<0.01	0.0047	0.0052
A-2-1	0.03	0.03	0.03	<0.01	<0.002	<0.01	0.007	<0.01	<0.01	0.0024	0.0050

→ 直管とエルボでは、僅かな違い

結果

A系、B系配管ともに、材料規格を満足していた。また、ヨレシートとほぼ同一値であった。

3.2.3 引張試験

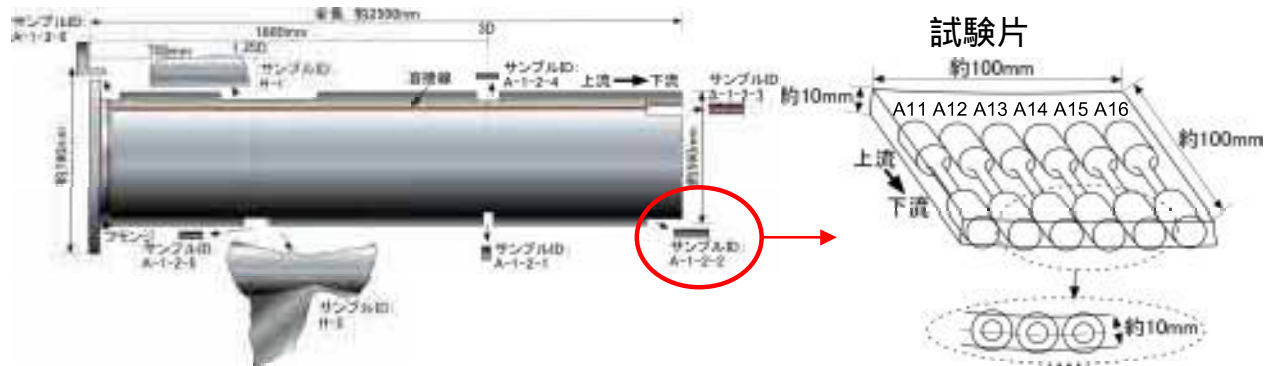


図3.2-3 引張試験片採取位置 (A系オリフィス下流4D底部)

表3.2-2 引張試験結果

試験片番号	試験温度	降伏応力 (MPa)	引張強さ (MPa)	均一伸び (%)	破断伸び (%)
A12	室温	264	442	22.6	35.7
A13		263	442	22.2	33.8
ミルシート値[4]		275	441	-	28
規格値(JIS G 3103(1977))		226以上	412 ~ 549	-	23以上
A14	140	237	499	15.2	22.0
A15		252	509	12.7	17.3

結果 A系、B系は同等であり、ミルシートとほぼ等しく異常は認められなかった。

3.2.4 金属組織観察

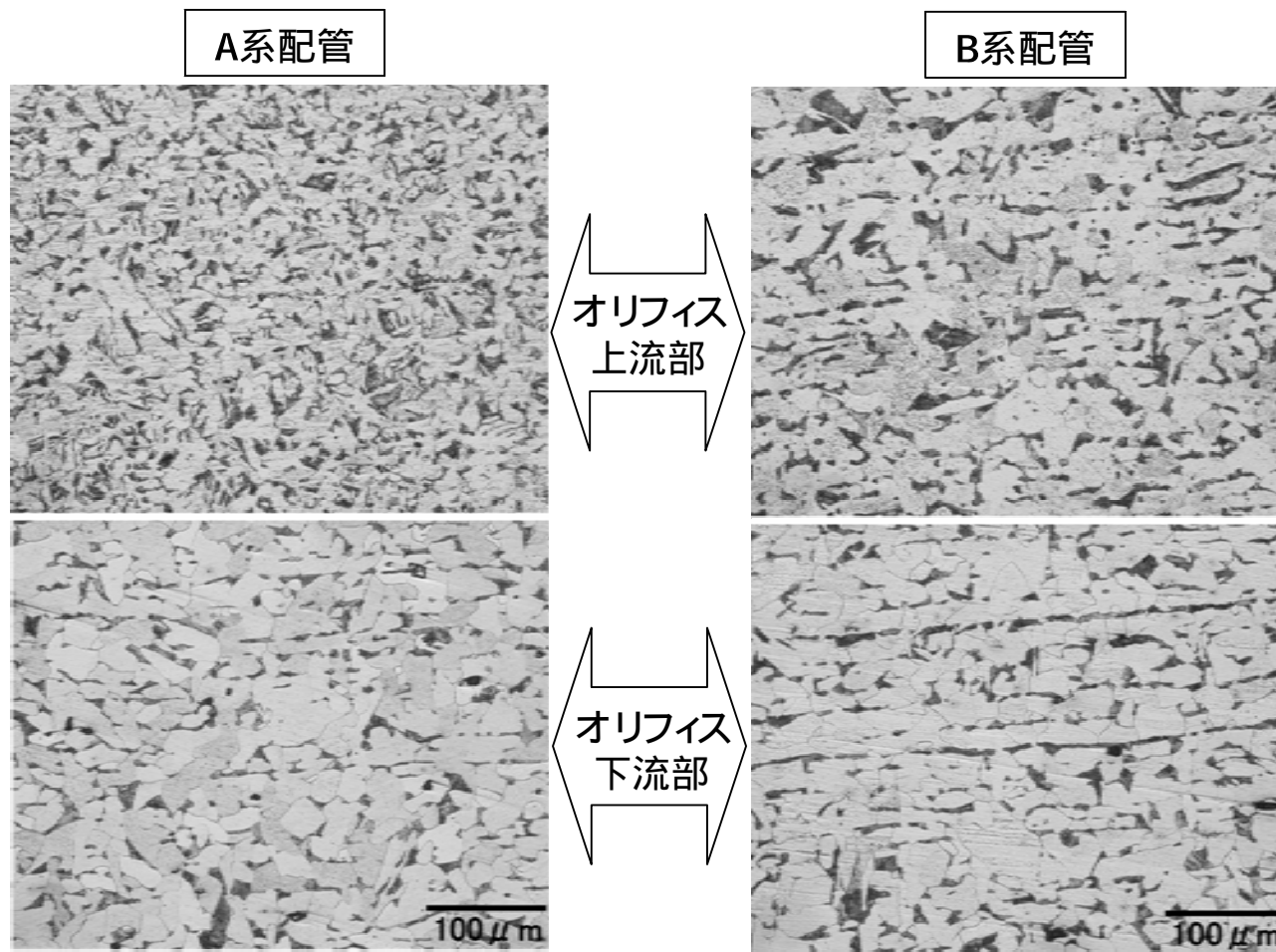


図 3.2-6 A系配管金属組織
(a)A系配管オリフィス上流部(A-1-1-1)及び(b)同下流部(A-1-2-3)

図 3.2-7 B系配管金属組織
(a)B系配管オリフィス上流部(B-1-1-1)及び(b)同下流部(B-1-2-1)

結果 配管材料の化学成分からみて妥当な金属組織である。

3.2.5 硬さ試験

表3.2-3 ビッカース硬さ試験結果 (試験荷重1kgf、5回測定平均値)

試料名 (サンプルID)	硬さ(HV1)	測定部位の肉厚(mm)
A系配管オリフィス上流配管材 (A-1-1-1)	155	10.1
同 下流配管材 (A-1-2-3)	142	6.7
B系配管オリフィス上流配管材 (B-1-1-1)	147	10.7
同 下流配管材 (B-1-2-1)	151	5.0
A系配管オリフィス下流エルボ材 (A-2-1)	149	9.0

結果 硬さはいずれも150HV1前後であり大きな相違は認められない。

3.2.6 分極特性測定

方法

配管材料の腐食特性を電気化学的に比較するため、A系配管オリフィス下流部、同エルボ部及びB系配管オリフィス下流部の3材料について、アノード分極曲線を測定した。破損配管の運転状態でのpHに近い条件とするため、20℃での水溶液のpHを約9.22に調整した。

結果

アノード分極曲線 (電位と電流密度の関係図)を図3.2-8に示す。3つの配管材料の曲線はほぼ同一であった。従って、室温の弱アルカリ性水溶液環境下では、これら3つの材料の電気化学的な腐食特性はほぼ同等といえる。

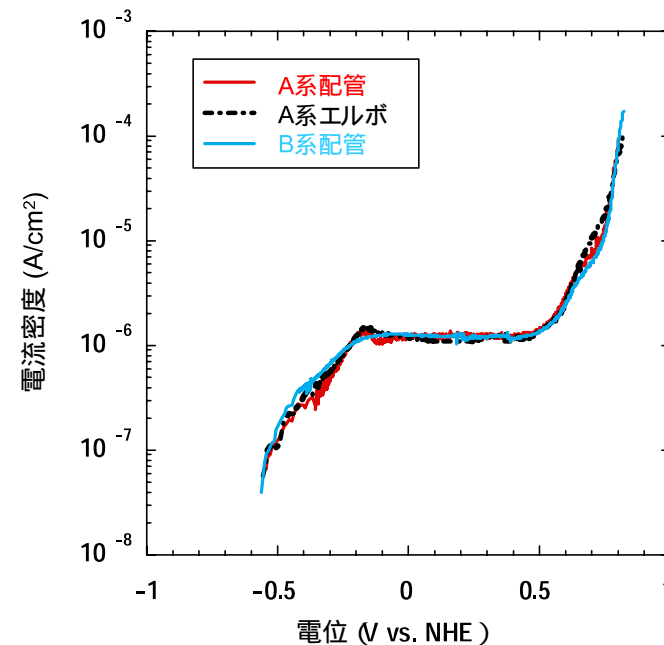


図3.2-8 ホウ酸塩pH標準溶液(pH=9.22)中での分極曲線

3.3 配管肉厚測定

方法

超音波パルス反射法を用いて配管肉厚を測定した(以下、「UT測定」)。測定は、JIS に準拠し(社)日本非破壊検査協会が認定した資格者が実施した。破口部及びその近傍で配管の変形量が大きくUT測定が困難な部位は、先端球半径0.75mmのダイヤルゲージを用いて測定を行った。

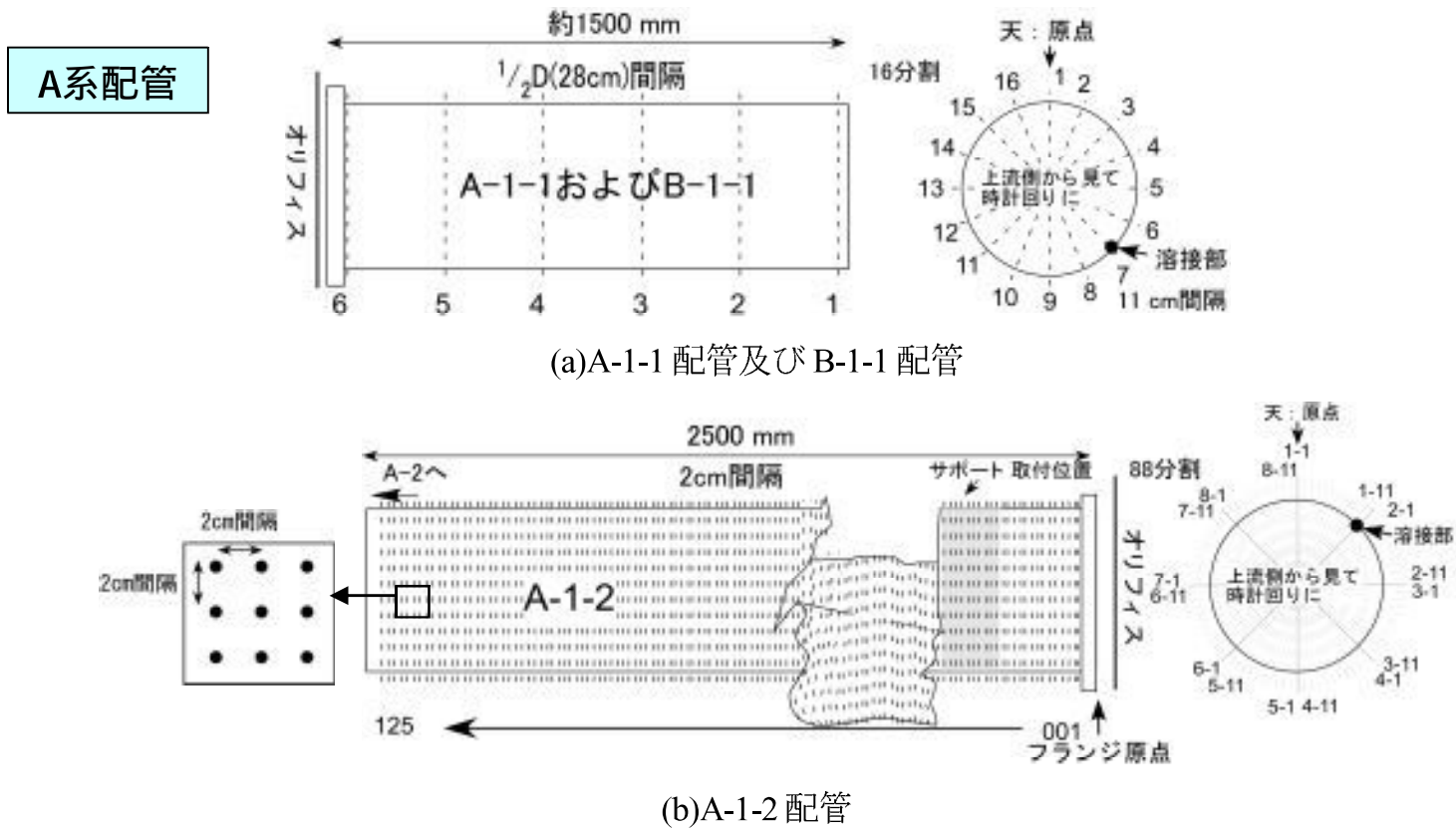
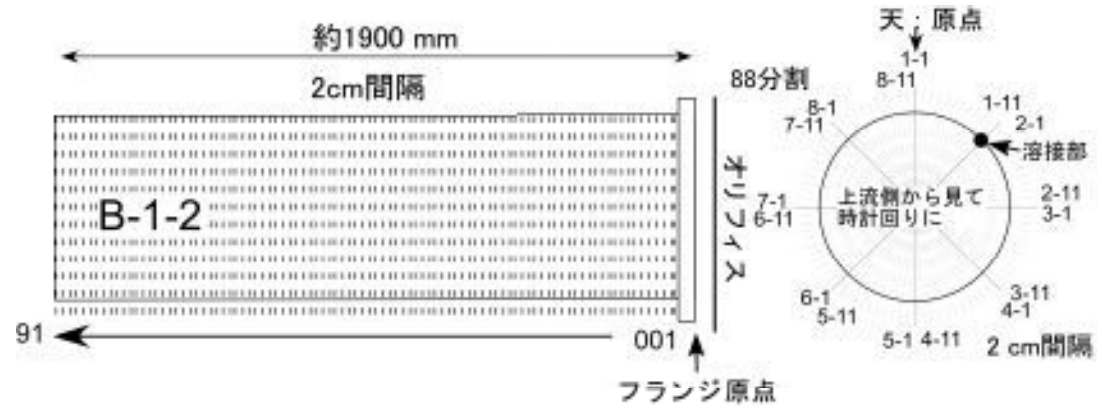


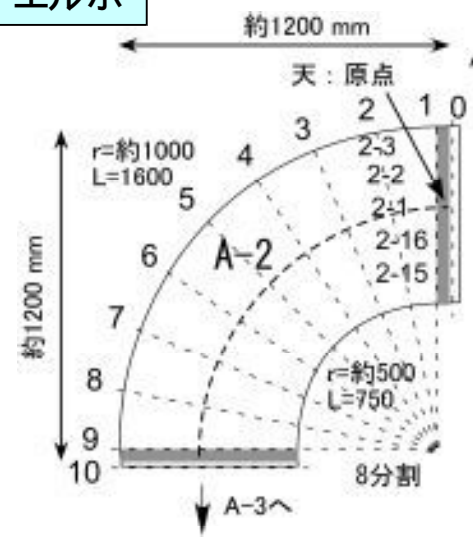
図3.3-1 肉厚測定位置

B系配管

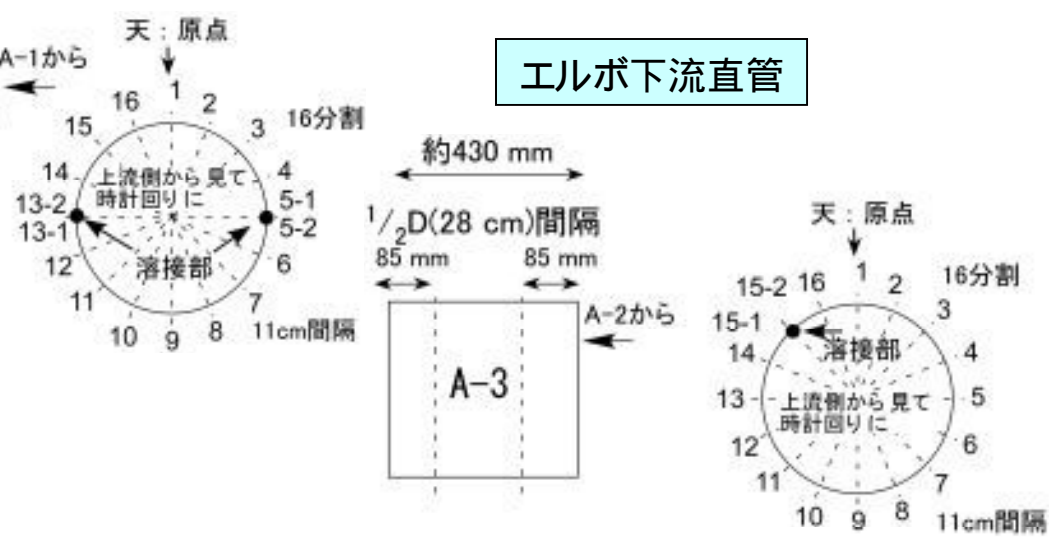


(c)B-1-2 配管

エルボ



エルボ下流直管



(d) A-2 配管及び A-3 配管

図3.3-1 肉厚測定位置

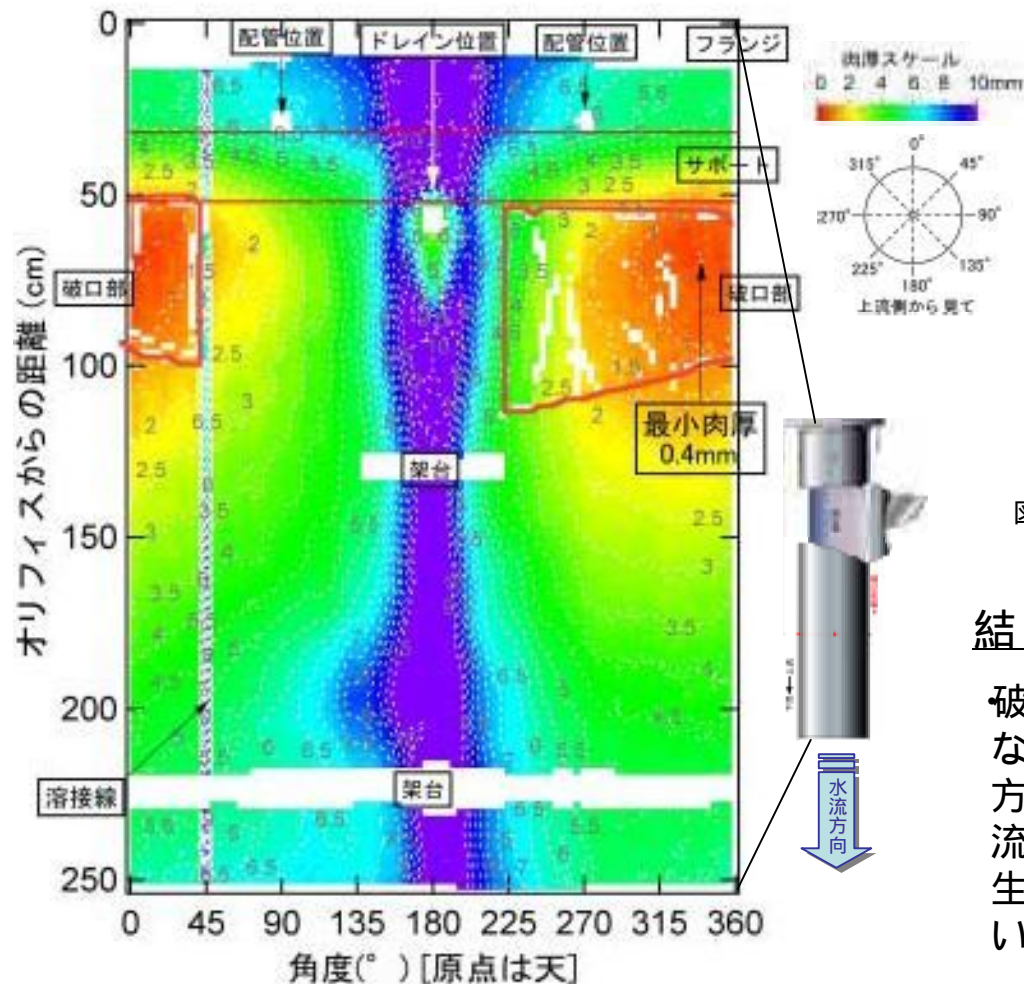


図3.3-2 A系配管オリフィス上流部(A-1-1配管)の肉厚分布
(周方向約11cm間隔、軸方向28cm間隔)

結果

破口部において残存肉厚が1mm以下となっており、著しい減肉が生じている。軸方向の減肉状況に関して、オリフィス下流端から1D付近(62cm)で大きな減肉を生じており、オリフィスから遠ざかるに従い、減肉量が減少している。

・周方向の減肉状況に関しては、肉厚分布が局在化しており、0°部位では著しい減肉が生じているのに対し、180°部位ではほとんど減肉していない。

図3.3-3 A系配管オリフィス下流部(A-1-2配管)の肉厚分布
(軸、周方向ともに約2cm間隔)

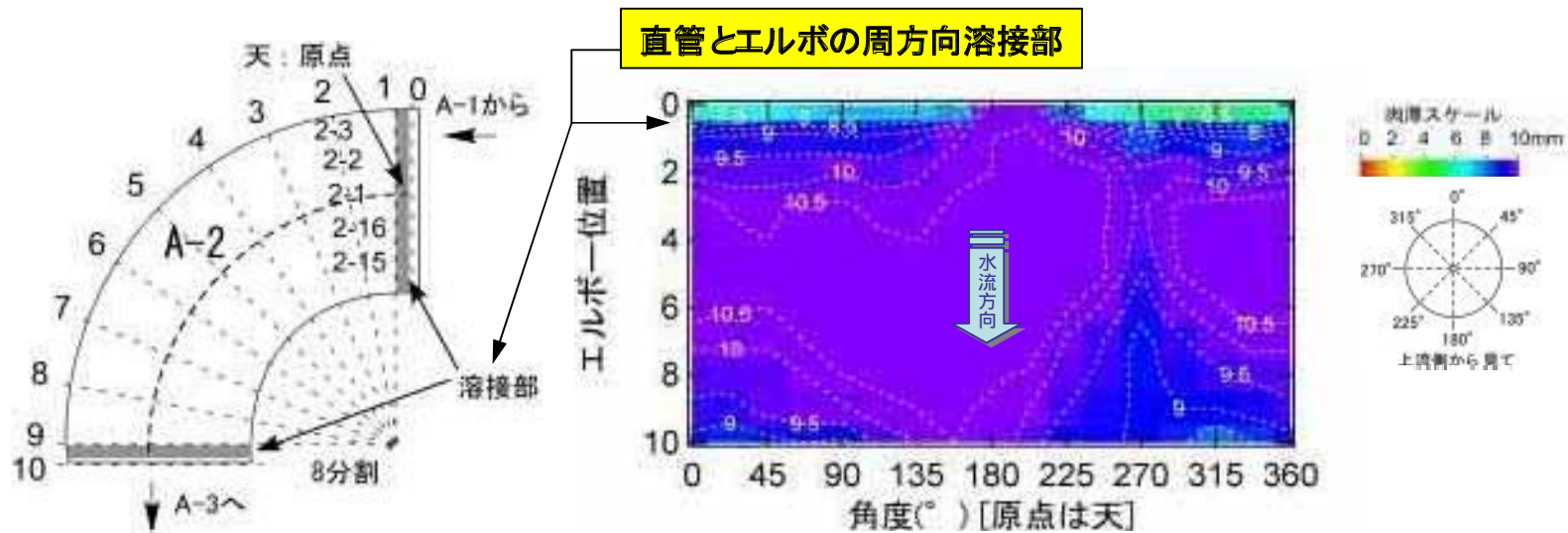


図3.3-4 A系配管オリフィス下流エルボ部(A-2配管)の肉厚分布(周方向約11cm間隔)

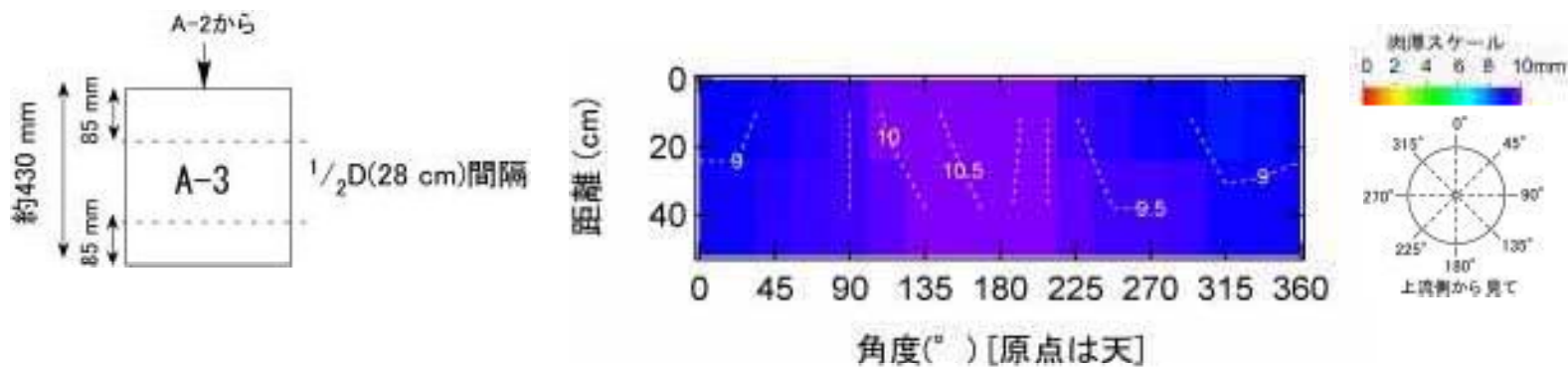


図3.3-5 A系配管オリフィス下流短管部(A-3配管)の肉厚分布
(周方向約11cm間隔、軸方向28cm間隔)

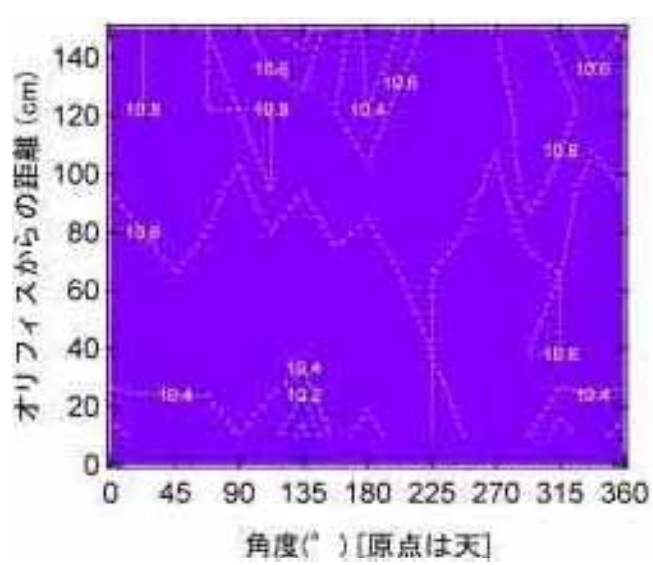


図3.3-6 B系配管オリフィス上流部(B-1-1配管)の肉厚分布
(周方向約11cm間隔、軸方向28cm間隔)

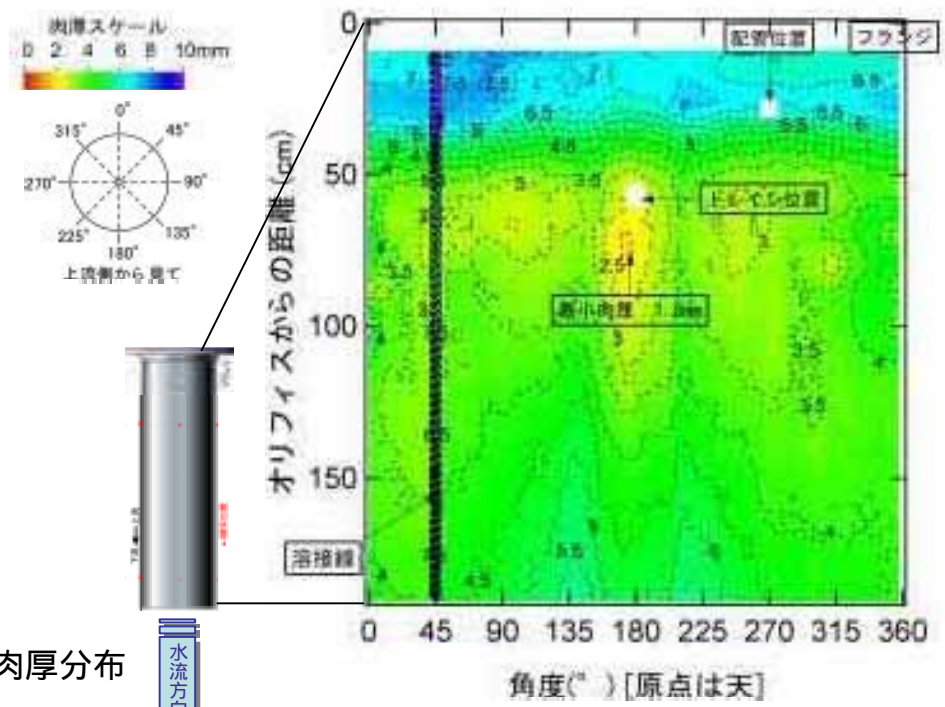


図 3.3-7 B系配管オリフィス下流部(B-1-2配管)の肉厚分布
(軸、周方向ともに約2cm間隔)

結果

- ・B系配管にも、A系配管と同様にオリフィス下流側で減肉が生じている。
- ・軸方向に関しては、A系配管と同様にオリフィスから遠ざかるにつれて、1D付近(62cm)までは減肉量が増加し、その後減少している。最小肉厚は1.8mmであった。
- ・周方向の肉厚状況に関しては、A系配管と異なり、ほぼ均一に減肉している。
- ・ただし、180°のドレイン位置では、A系配管と同様、周囲と比べ僅かに減肉量が大きかった。

A系配管

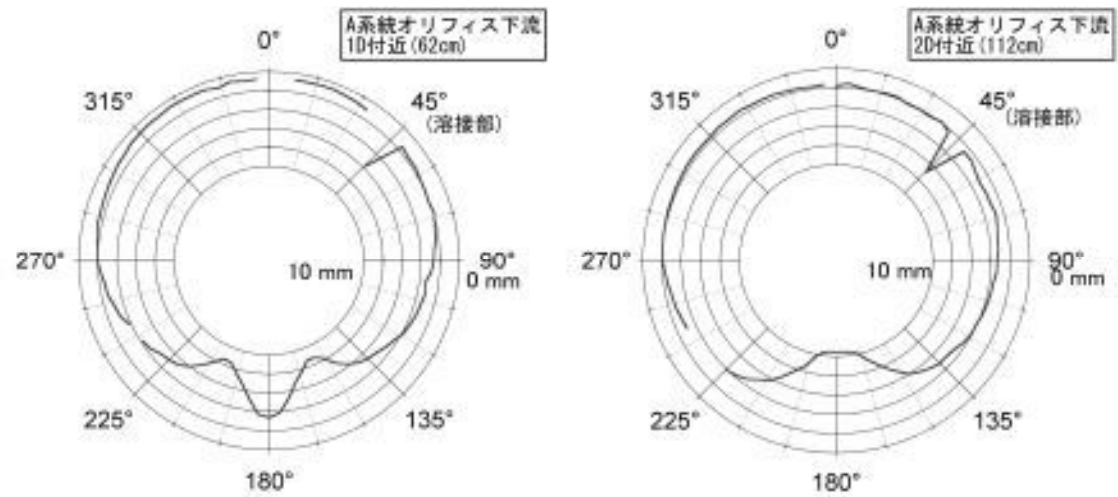


図 3.3-8 A系配管オリフィス下流部(A-1-2 配管)の肉厚分布 (周方向に約 2cm 間隔)

B系配管

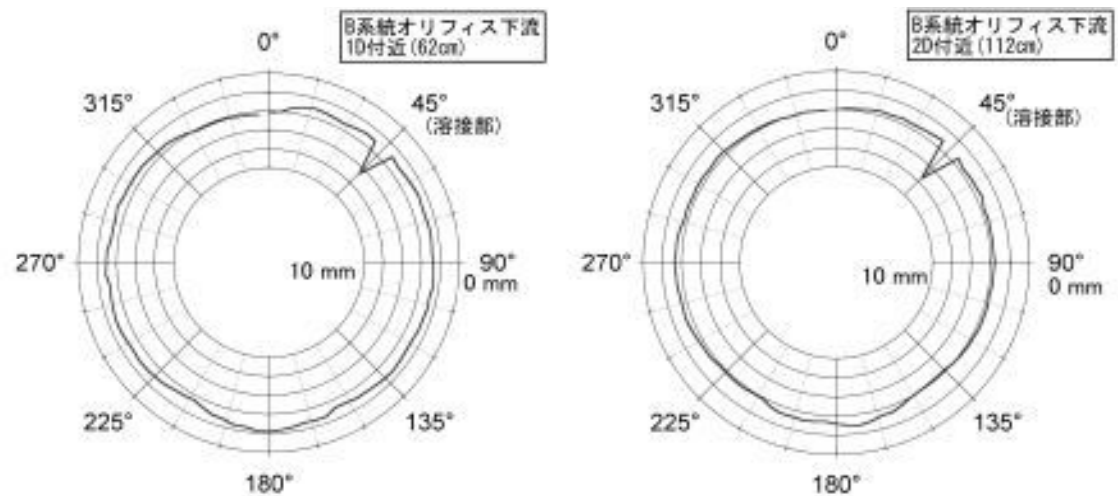


図 3.3-9 B系配管オリフィス下流部(B-1-2 配管)の肉厚分布 (周方向に約 2cm 間隔)

3.4 内面観察

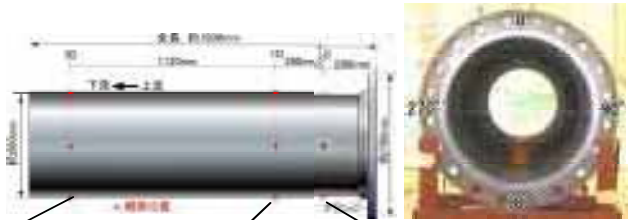
A系オリフィス下流配管



		3D	1D	1/2 D
配管天部 →	0° (上)			
	90°			
配管底部 →	180° (下)			
	270°			

図 34-1 A系配管オリフィス下流部(A-1-2配管)における内面の観察位置及び観察結果

B系オリフィス下流配管



		3D	1D	1/2 D
配管天部 →	0° (上)			
	90°			
配管底部 →	180° (下)			
	270°			

図 3.4-2 B系配管オリフィス下流部(B-1-2配管) における内面の腐蝕位置及び検査結果

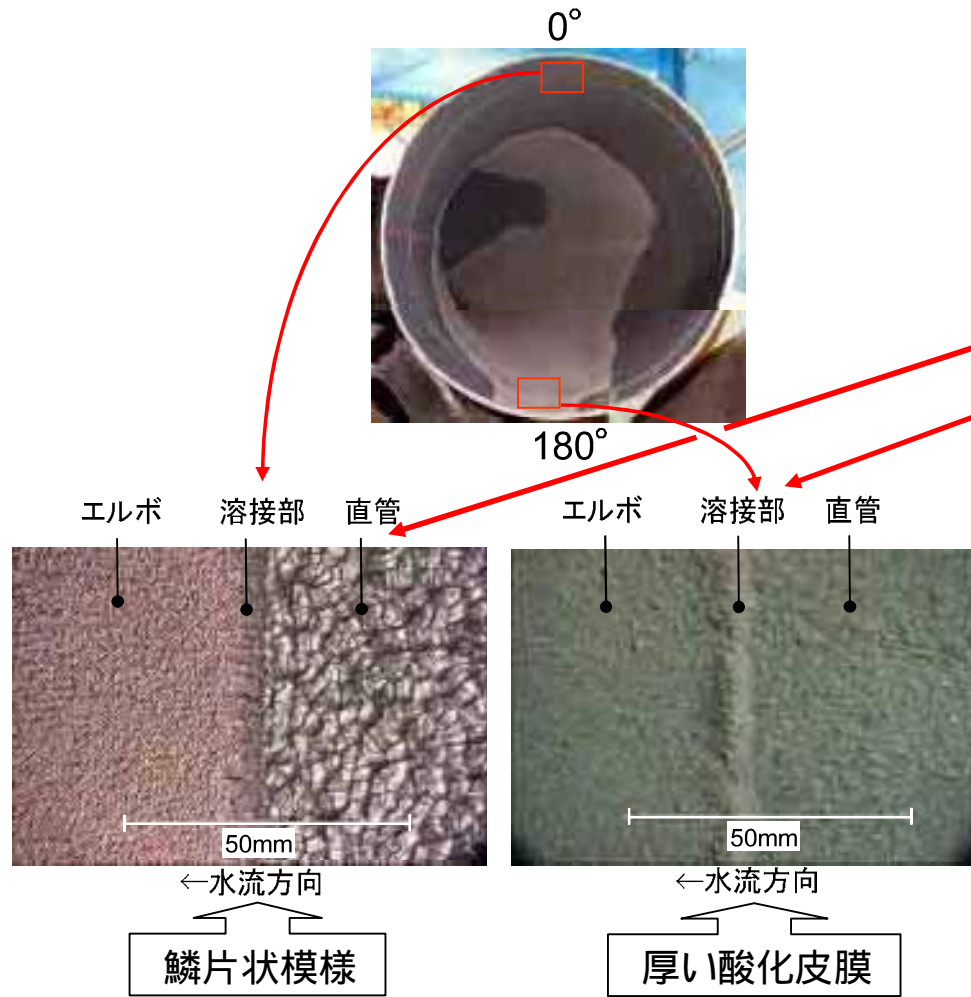


図3.4-3 A系配管オリフィス下流エルボ部(A-2配管)における内面の観察位置及び観察結果

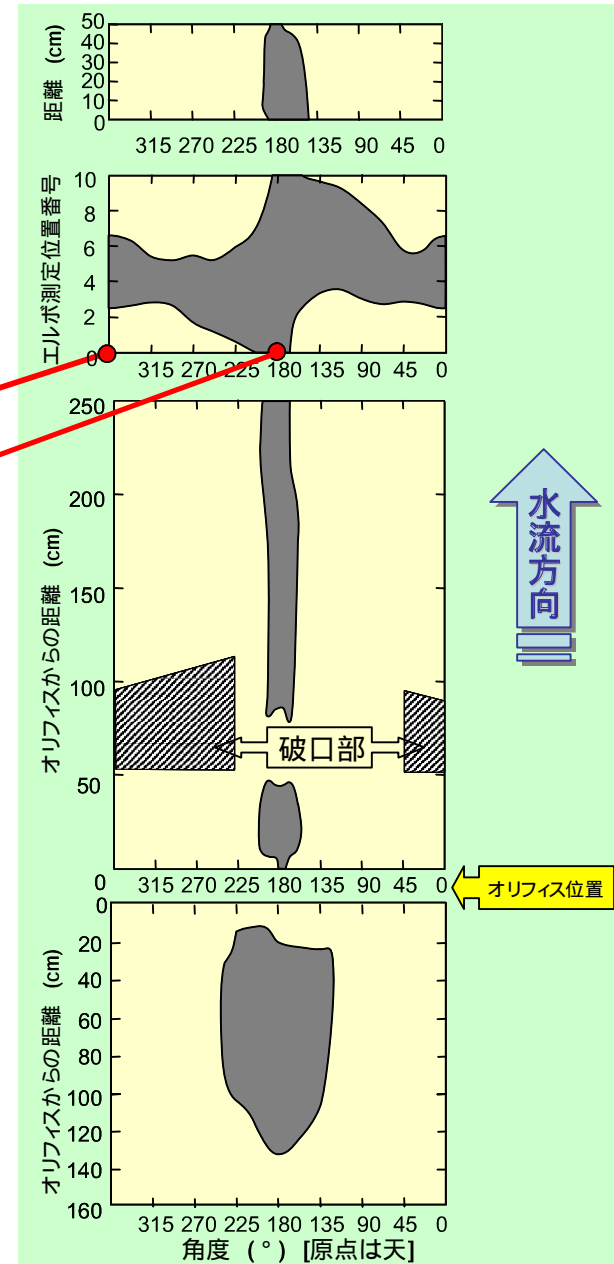


図3.4-4 A系配管における厚い酸化皮膜(グレー部分)の分布状況

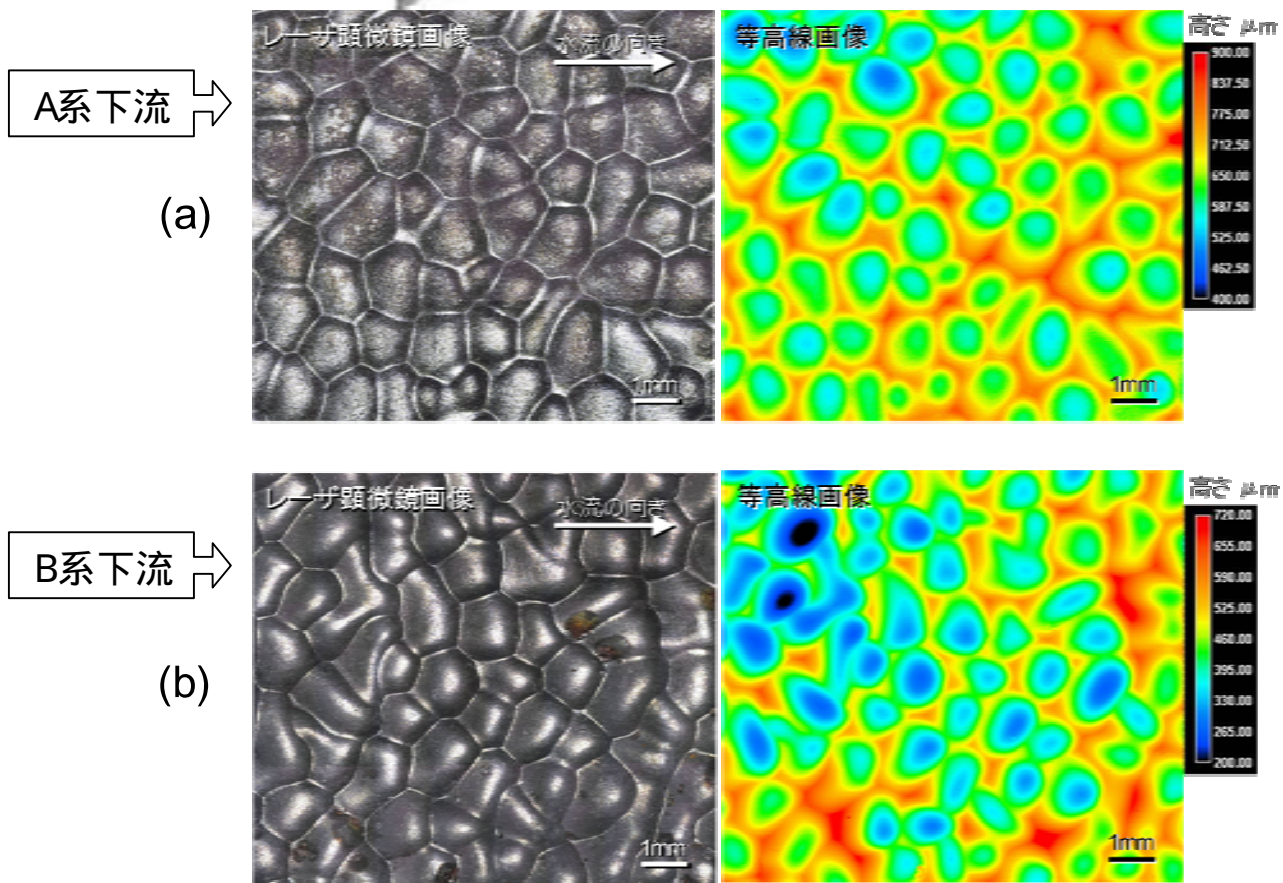
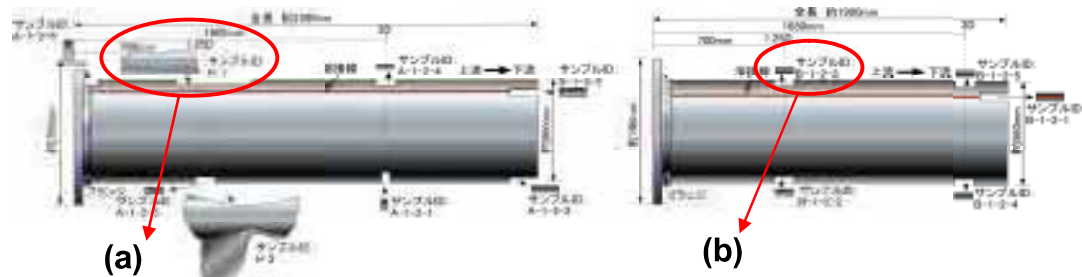
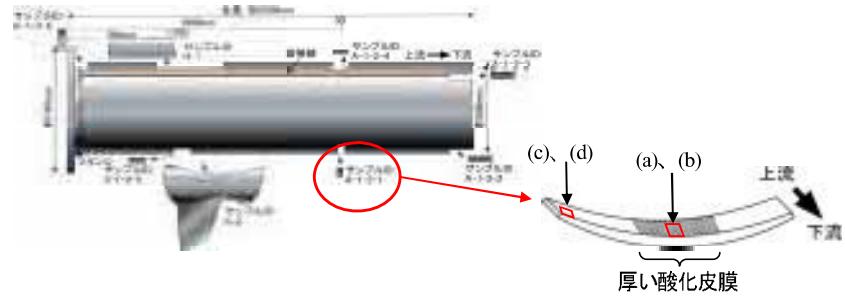


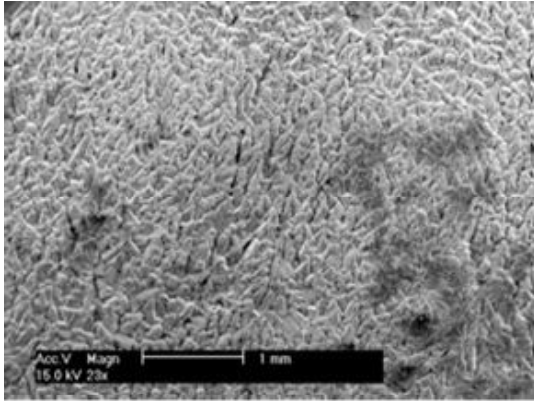
図3.4-5 レーザ顕微鏡による内面の形態観察結果
 (a)A系配管オリフィス下流部(B-1)及び(b)B系配管オリフィス下流部(B-1-2-3)

3.5 酸化皮膜分析

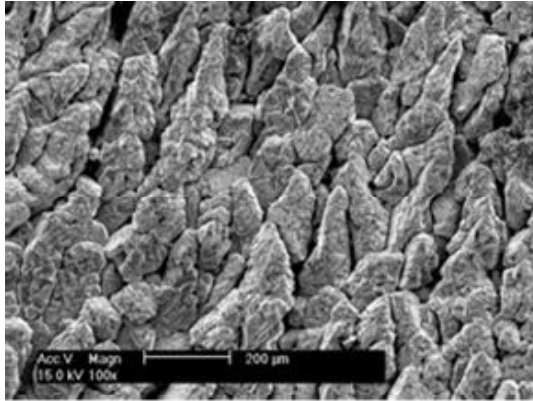
走査電子顕微鏡観察



底部の厚い酸化皮膜の表面

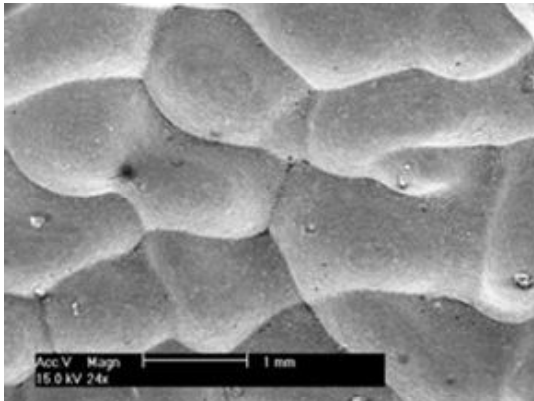


(a) 180° 付近の厚い酸化皮膜の表面

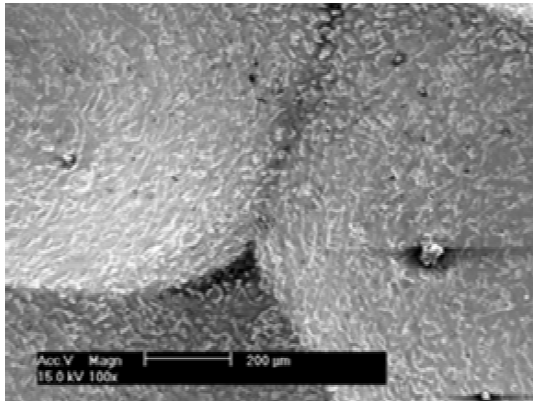


(b) (a)の拡大

鱗片状模様の表面

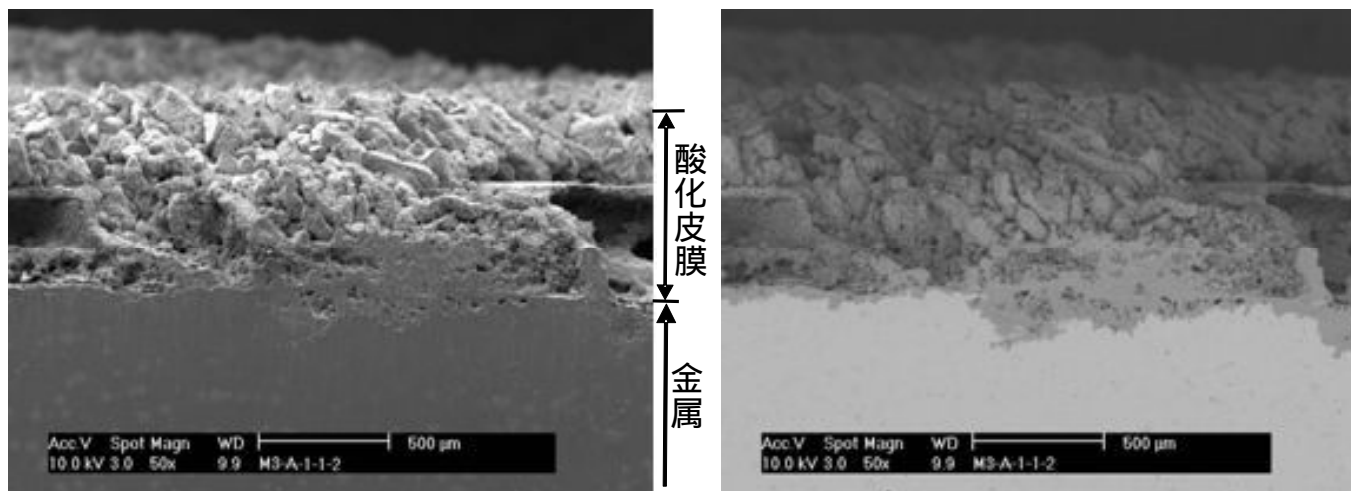
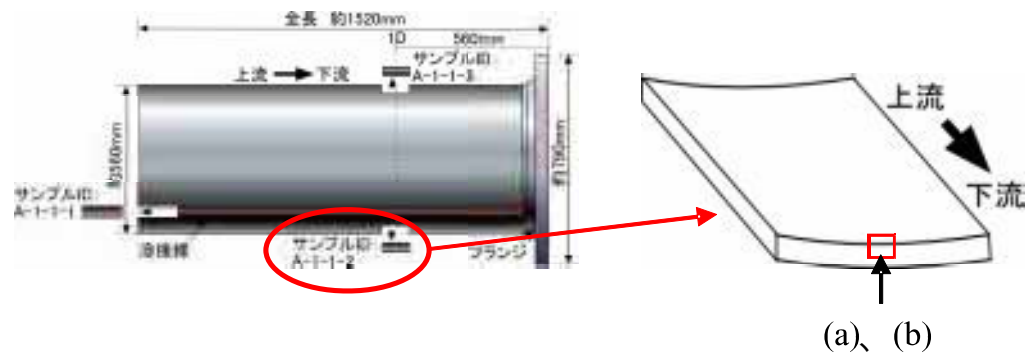


(c) 155° 付近の薄い酸化皮膜の表面



(d) (c)の拡大

図 3.5-1 A系配管オリフィス下流部3D位置の底部(A-1-2-1)における酸化皮膜(表面)



(a) 酸化皮膜のSEM写真

(b) (a)の反射電子像

図3.5-2 A系配管オリフィス上流部1D位置の底部(A-1-1-2)における酸化皮膜(断面)

結果 A系配管オリフィス上流部の底部の一部に厚い酸化皮膜がある。

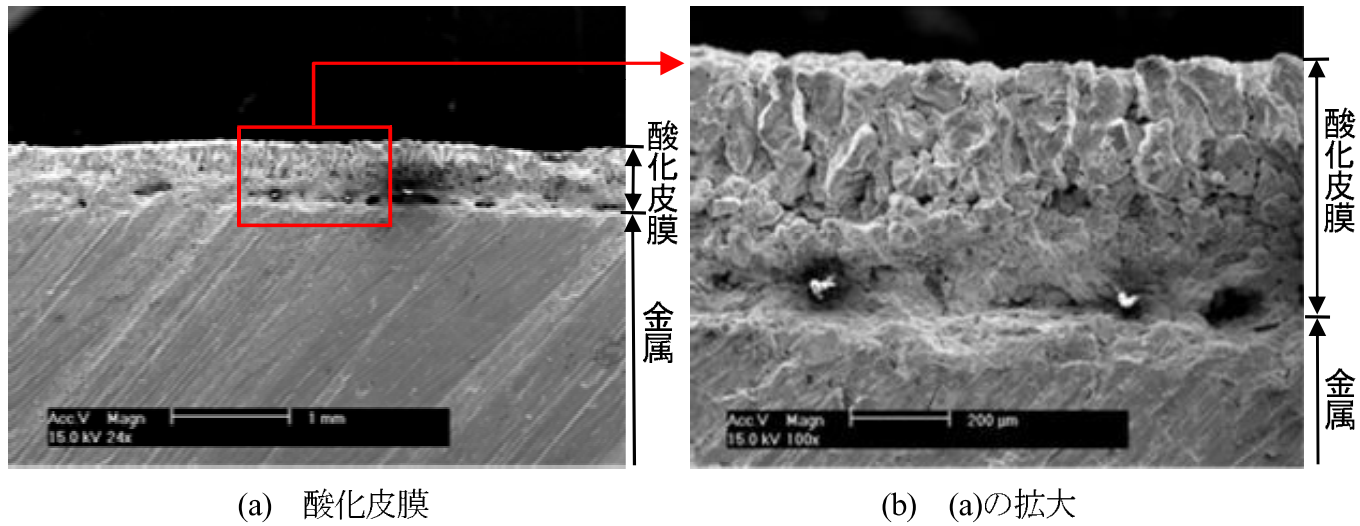
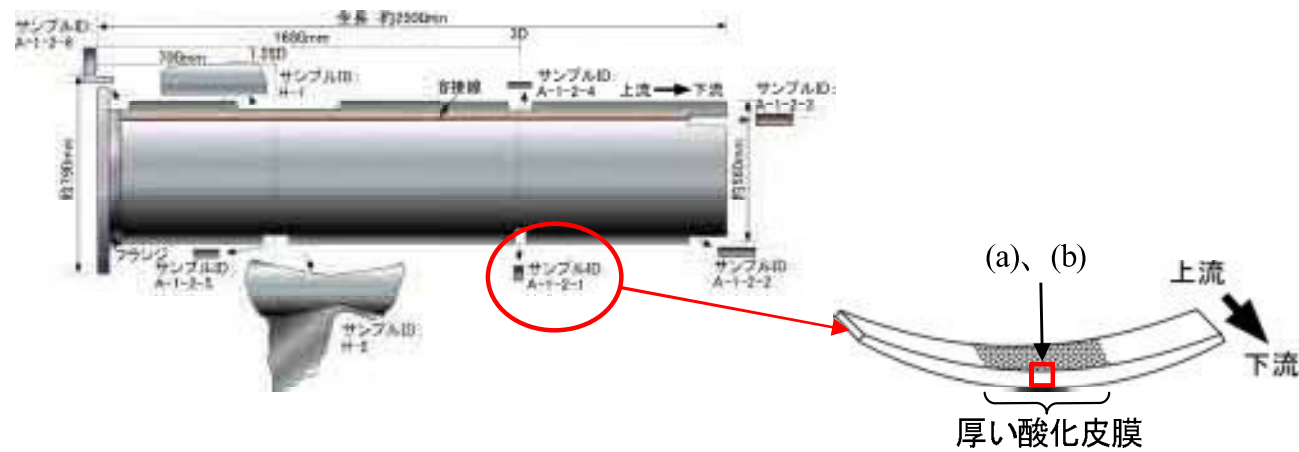


図 3.5-3 A系配管オリフィス下流部 3D 位置の底部(A-1-2-1)における酸化皮膜(断面)

結果 A系配管オリフィス下流部の底部の酸化皮膜厚さは約500 μmある。

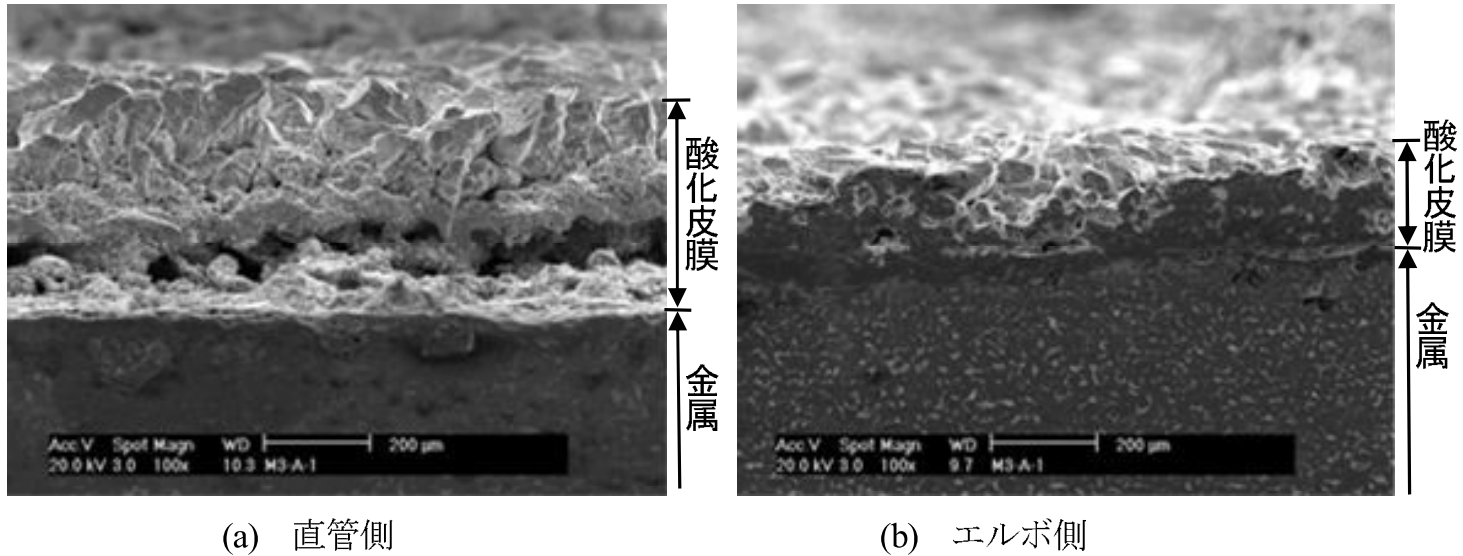
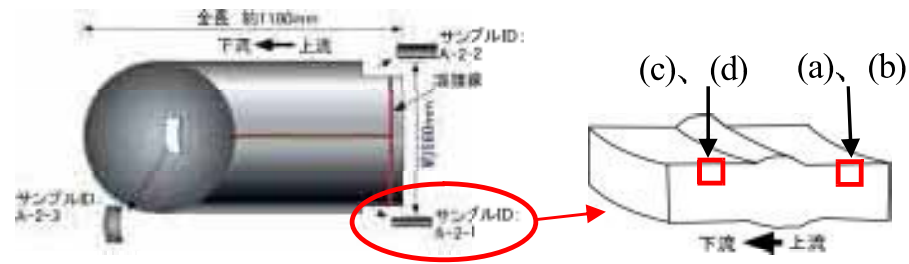
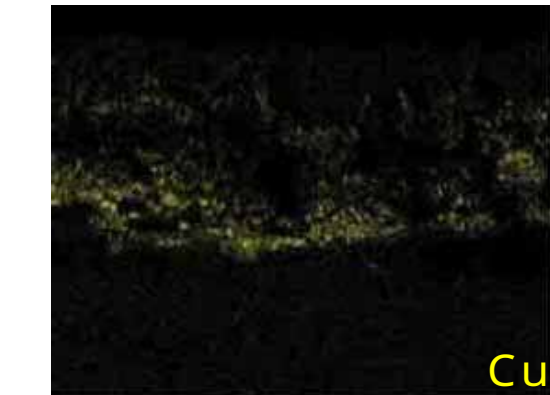
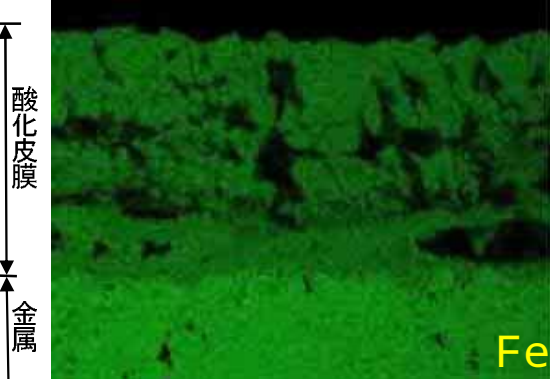
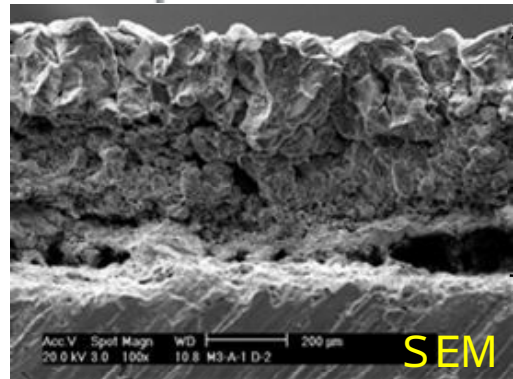
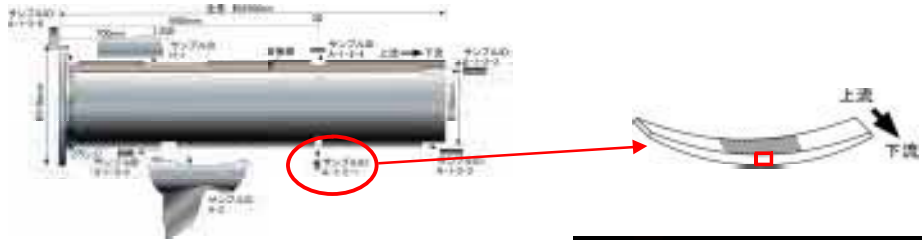


図 3.5-4 A 系配管オリフィス下流部と同エルボ部の接合部の底部(A-2-1)における酸化皮膜(断面)

結 果 エルボと直管の接合部を境として、酸化皮膜厚さが大きく異なる。

EDX
元素分析



(a) 分析位置

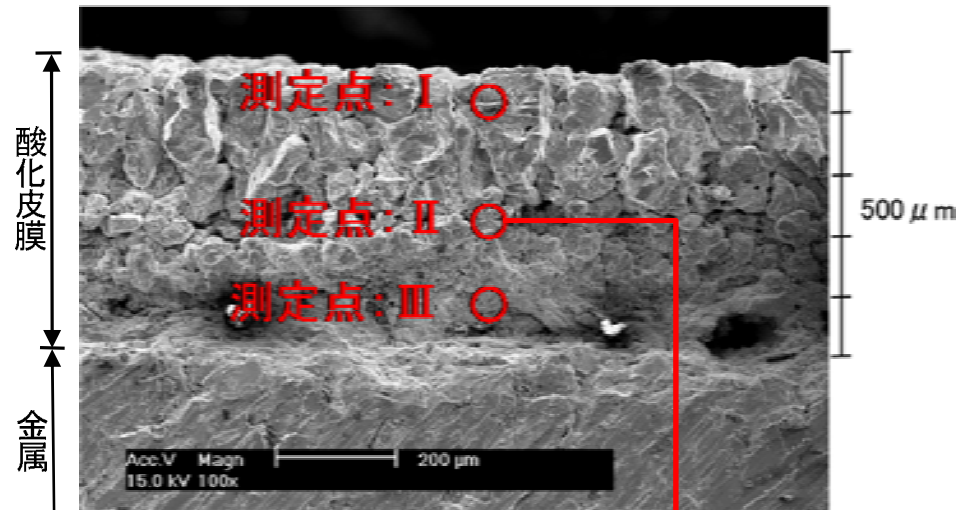
(b) Fe 元素の分布

(c) O 元素の分布

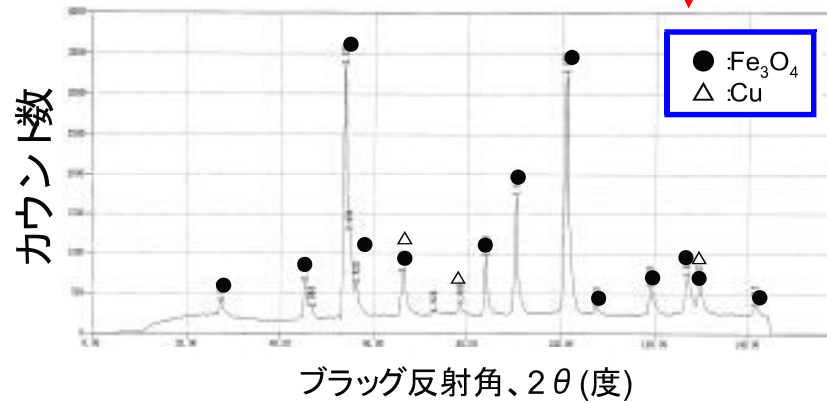
(d) Cu 元素の分布

図3.5-6 A系配管オリフイス下流部3D位置の底部(A-1-2-1)における酸化皮膜の元素分布マップ
結果 酸化皮膜中には、Fe、O及びCuが検出された。Cuは中間層に存在する。

マイクロビーム X線
回折測定



(a) 酸化物の分析位置

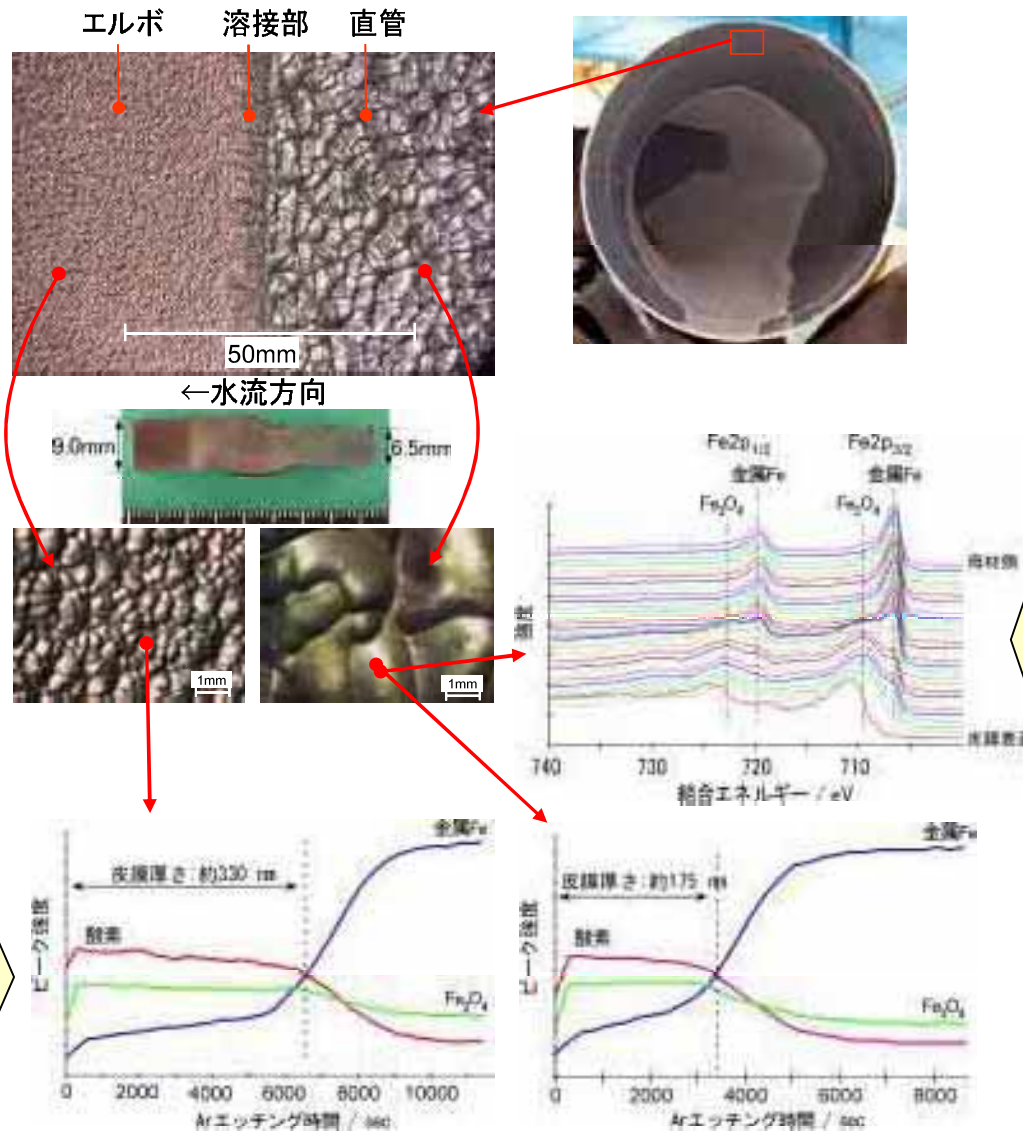


(b) 回折スペクトル(測定点: II)

図 3.5-8 A 系配管オリフィス下流部 3D 位置底部の酸化皮膜のマイクロ X 線回折結果

結果 酸化皮膜はマグネタイトであり、酸化皮膜の中間層に金属Cuが存在している。

X線光電子分光測定



鱗片状部分の酸化皮膜はマグネタイトであった。

エルボ(左)では直管部(右)の約2倍の酸化皮膜厚さであった。

図 3.5-9 A系配管オリフィス下流部と同エルボ部の接合部(A-2-2)の薄い酸化皮膜のX線光電子分光(XPS)分析結果

3.6 破口部調査

3.6.1 破口部外観観察

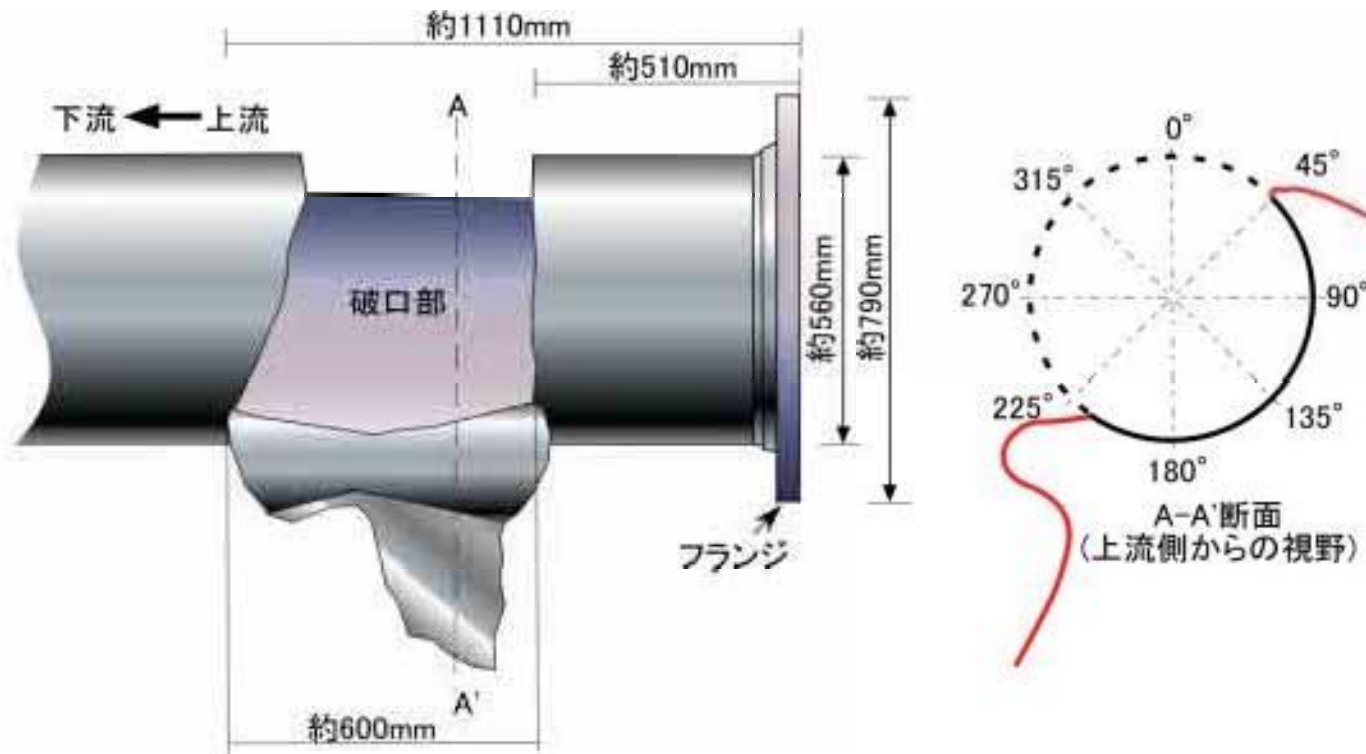


図3.6.1-1 破口部形状の概要

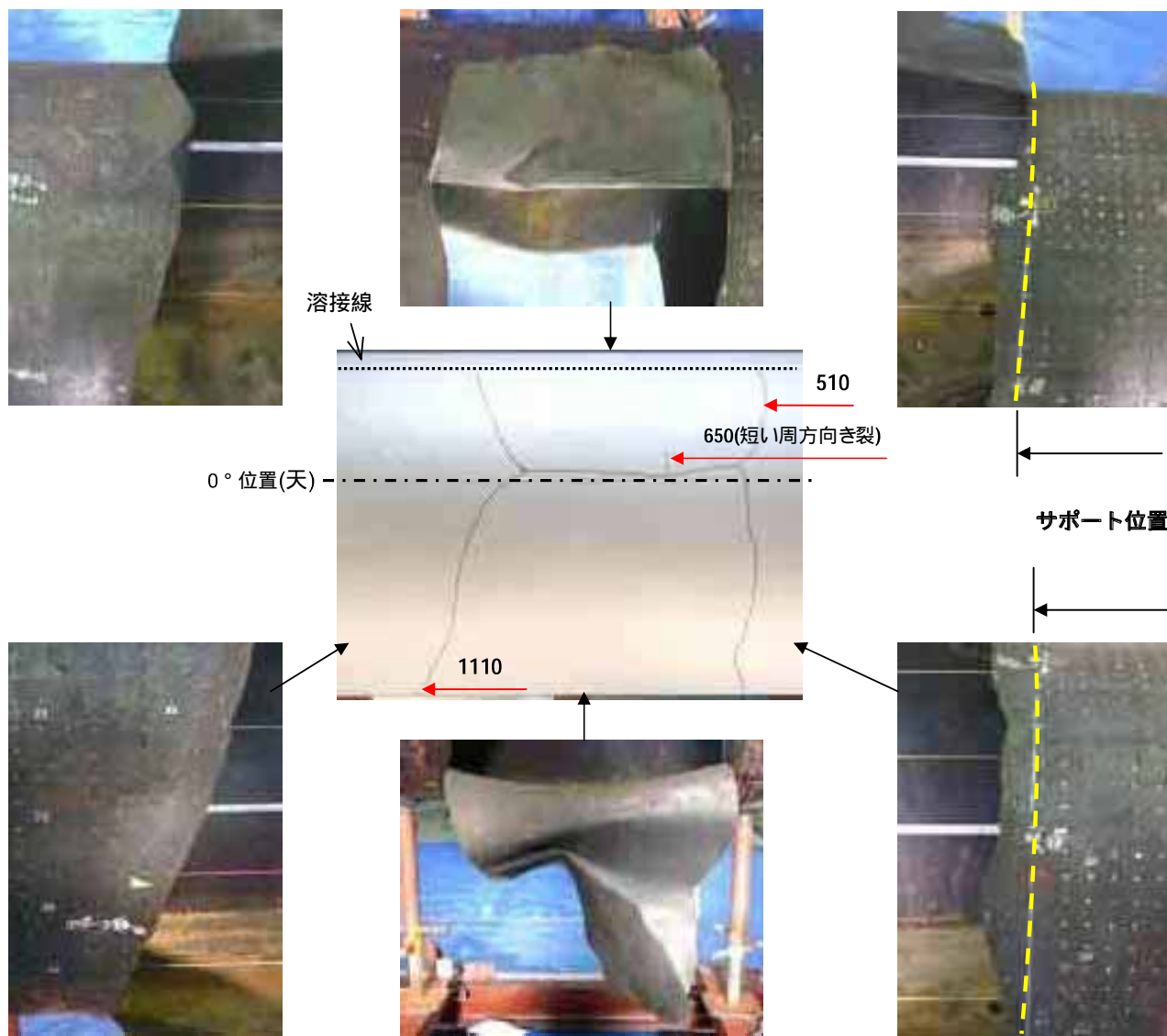


図3.6.1-2 破口部形状復元の様子(図中の数字はオリフィス下流端からの距離(mm))

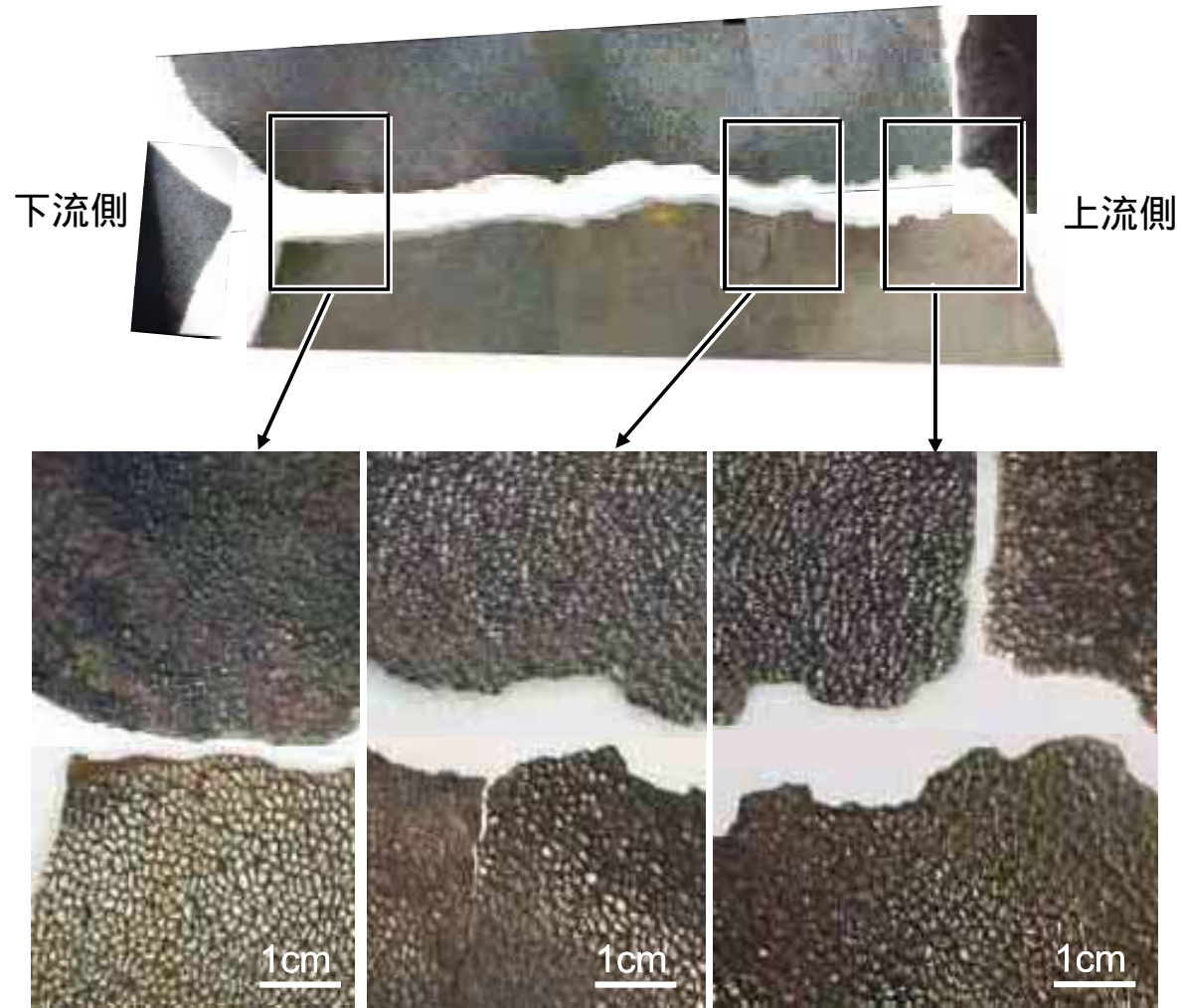


図3.6.1-3 破口部軸方向き裂のき裂周縁状況(内面から見た写真)

3.6.2 破口部肉厚測定

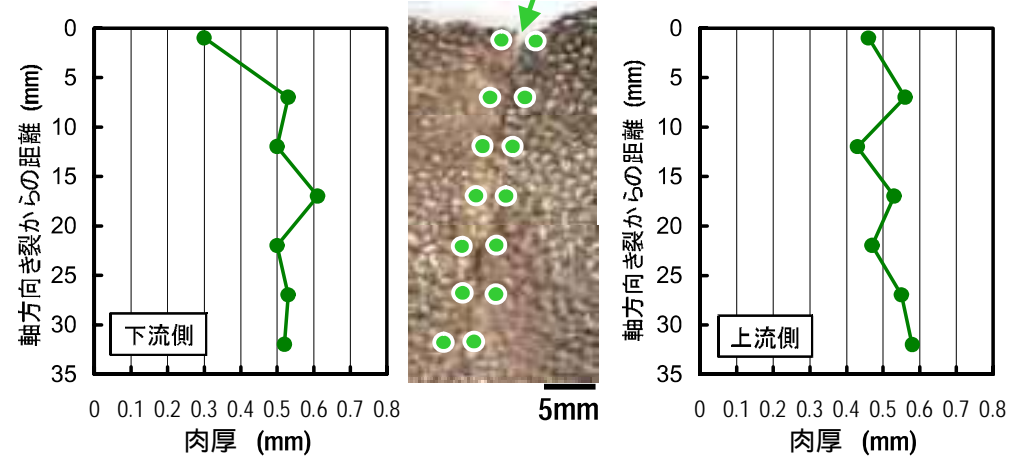
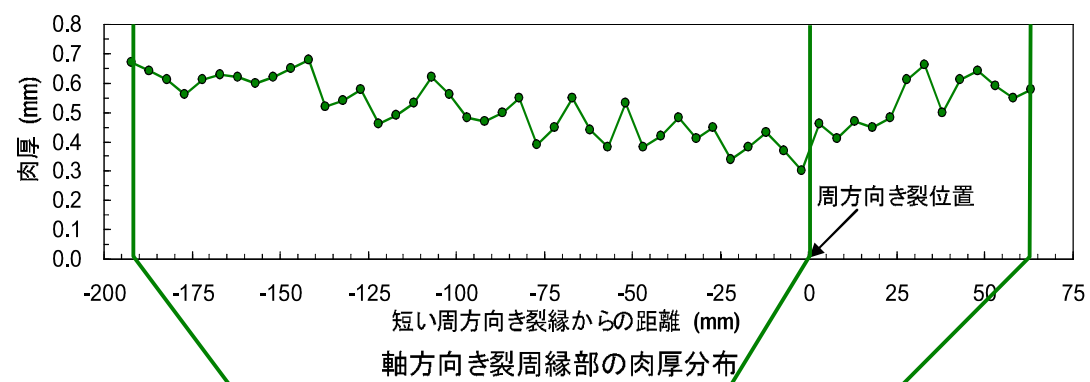
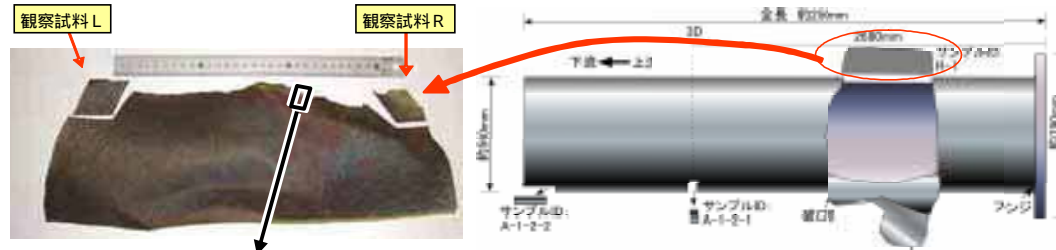


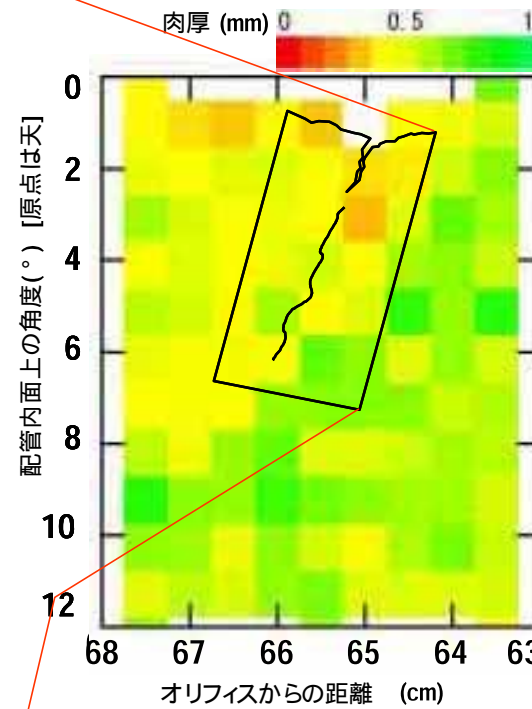
図3.6.2-1 破口部サンプルH-1の破断部き裂近傍の肉厚分布 (先端球半径0.75mm のダイヤルゲージを用いた測定結果)

短い周方向き裂周縁部の肉厚分布



(デジタルマイクロスコープで撮影)

5mm



上図 :ダイヤルゲージで測定した肉厚分布

左図 :短い周方向き裂付近の内面

図3.6.2-2 破口部サンプルH-1の周方向き裂周辺の肉厚分布 (先端球半径0.75mmのダイヤルゲージを用いた測定結果)

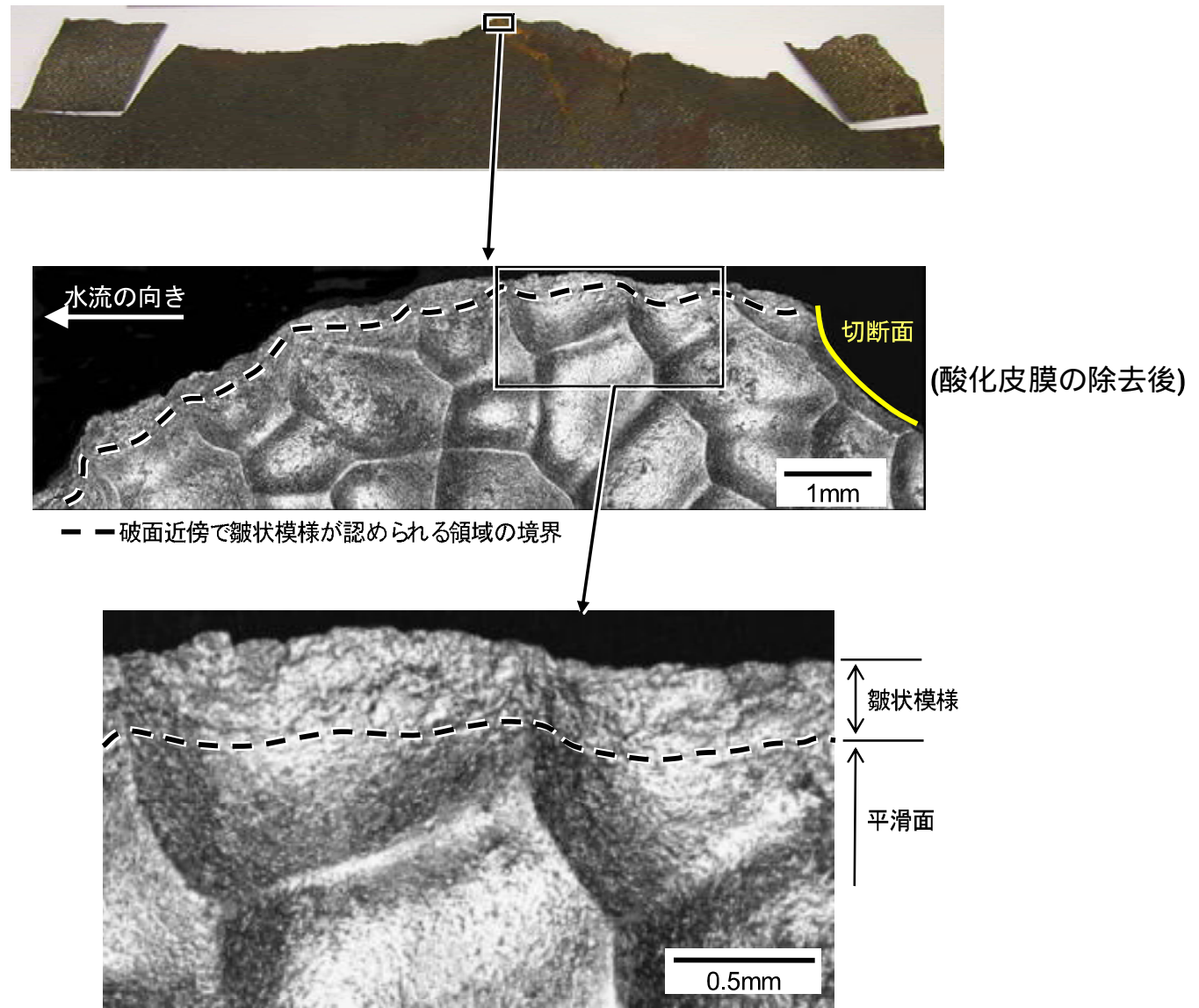


図3.6.2-3 破口部サンプルのき裂近傍における凹凸状況 (レーザ顕微鏡による観察結果)

3.6.3 破面観察

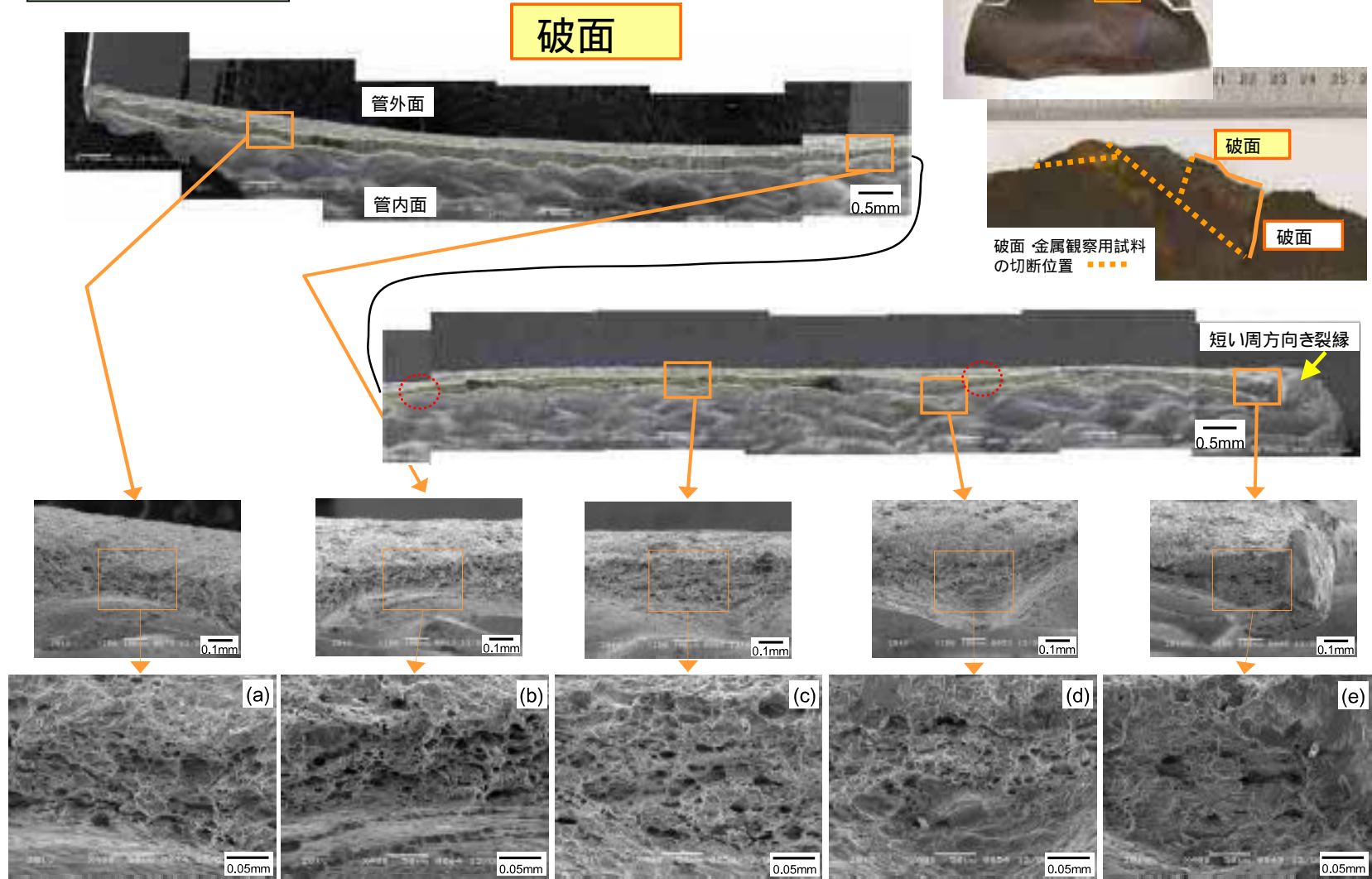


図 軸方向き裂の破面SEM写真

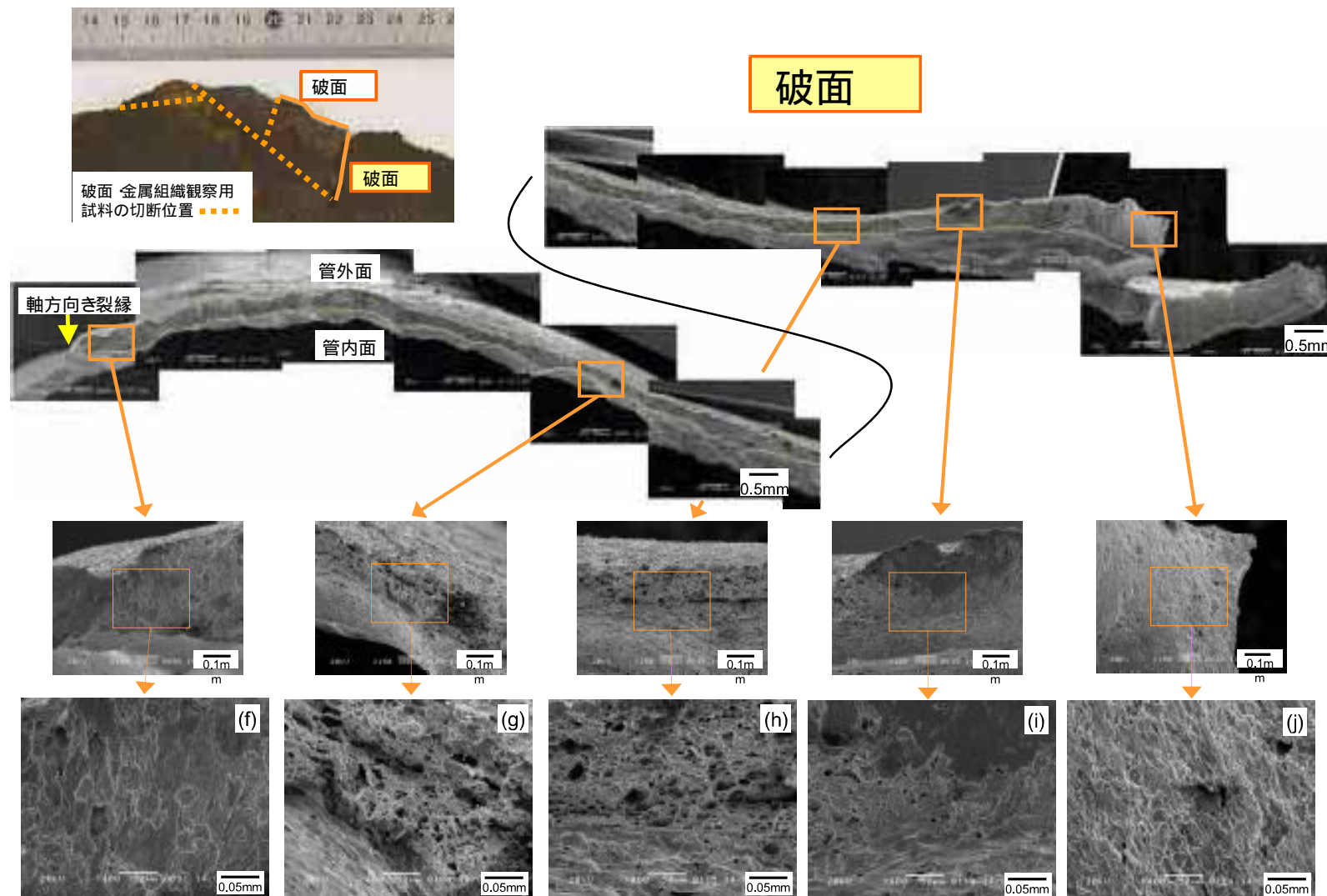


図 短い周方向き裂の破面SEM写真

3.6.4 破口部金属組織観察及び硬さ試験

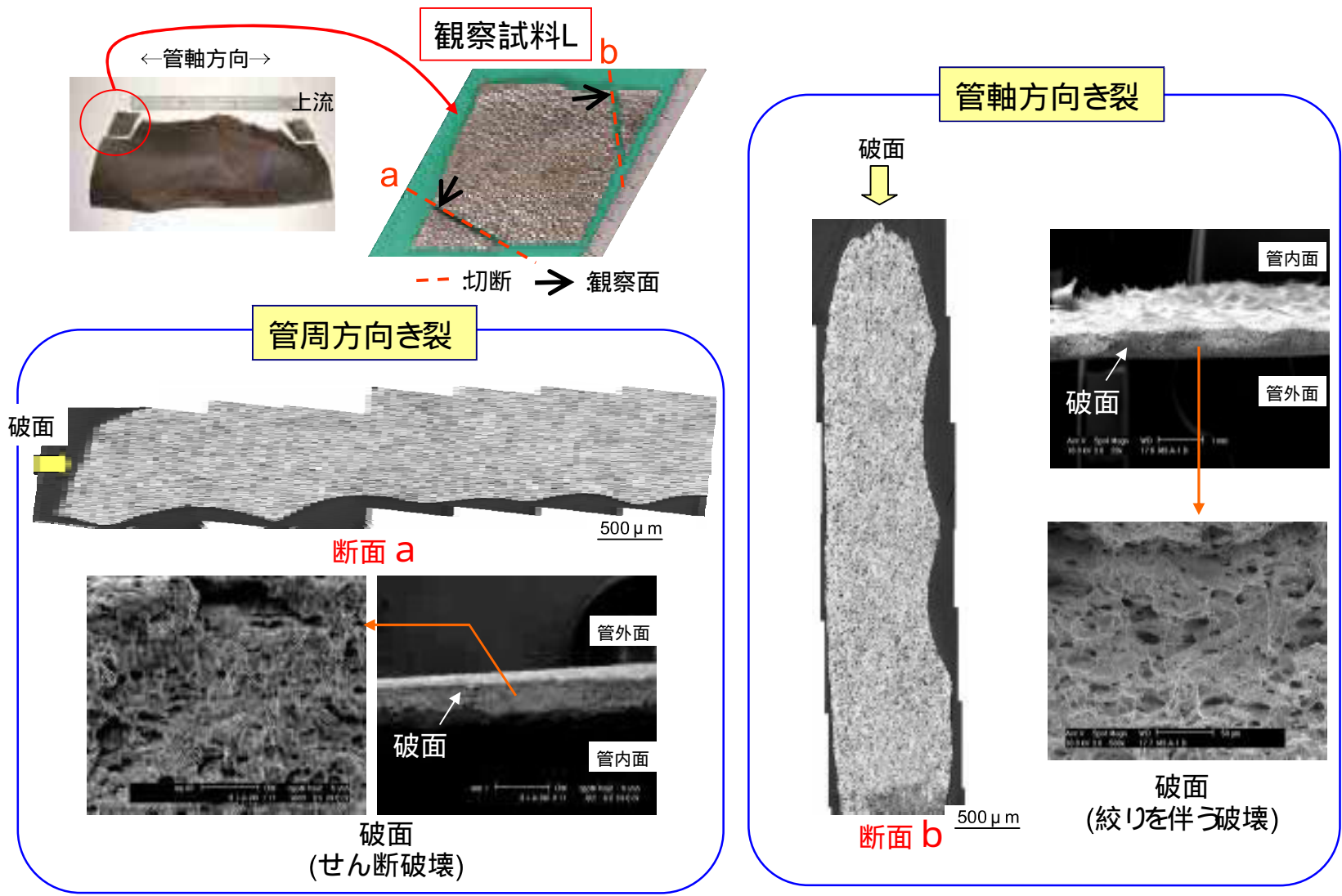


図 破面と断面金属組織の対応

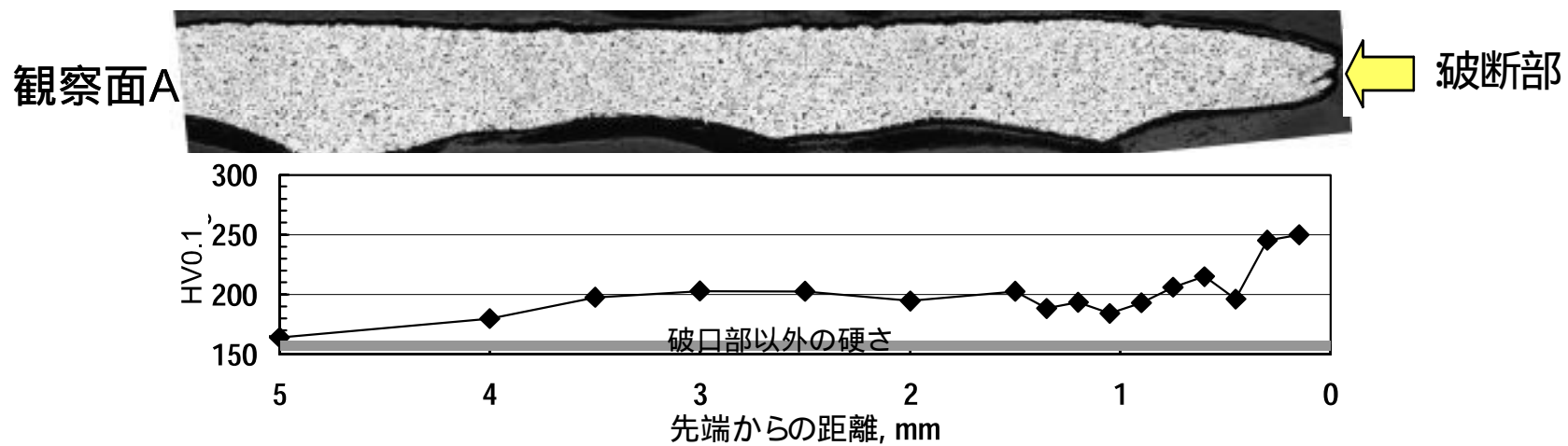
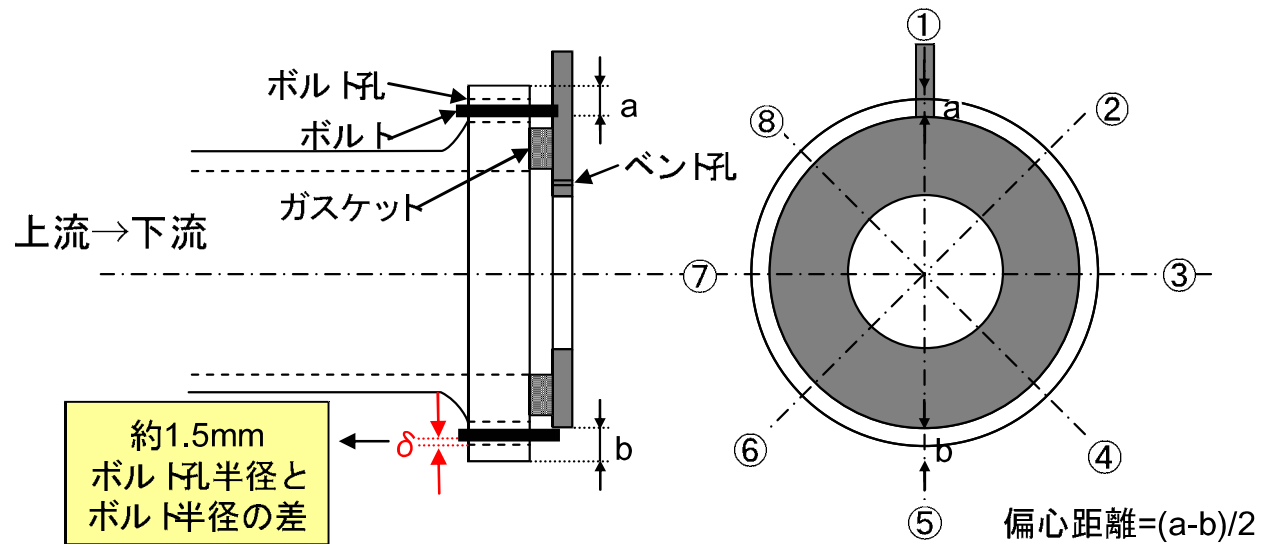


図3.6.4-3 破口部サンプルの破断部近傍の断面における硬さ分布
(観察面A 短い周方向き裂)

3.7 オリフィス及び周辺状況調査



	①-⑤方向	②-⑥方向	③-⑦方向	④-⑧方向
A系	⑤へ約0.5mm	⑥へ約1.0mm	⑦へ約0.5mm	⑧へ約0.2mm
B系	⑤へ約1.2mm	⑥へ約0.2mm	③へ約0.9mm	④へ約1.1mm

図3.7-1 オリフィスの偏心状況

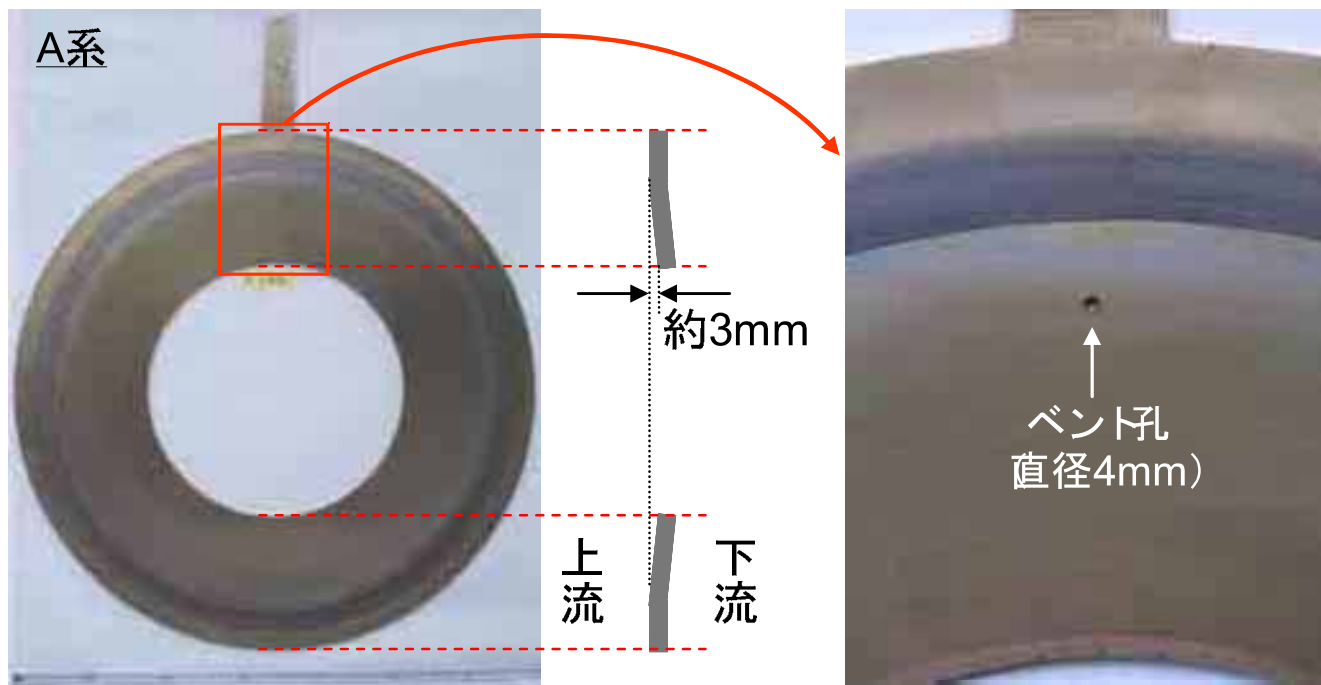
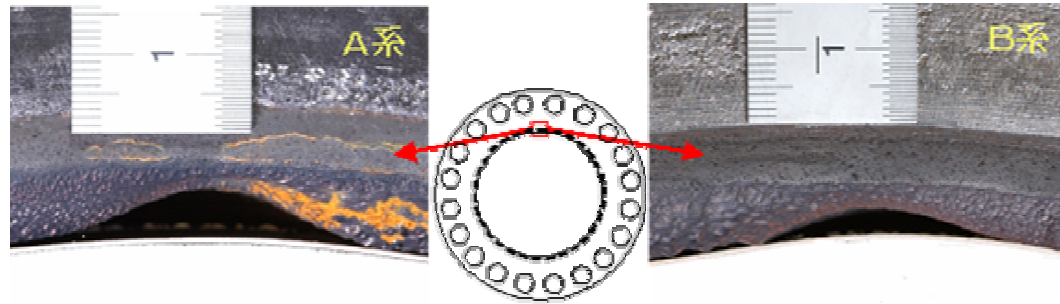


図3.7-2 A系配管オリフィスの外観及び変形状況



オリフィス下流側フランジ

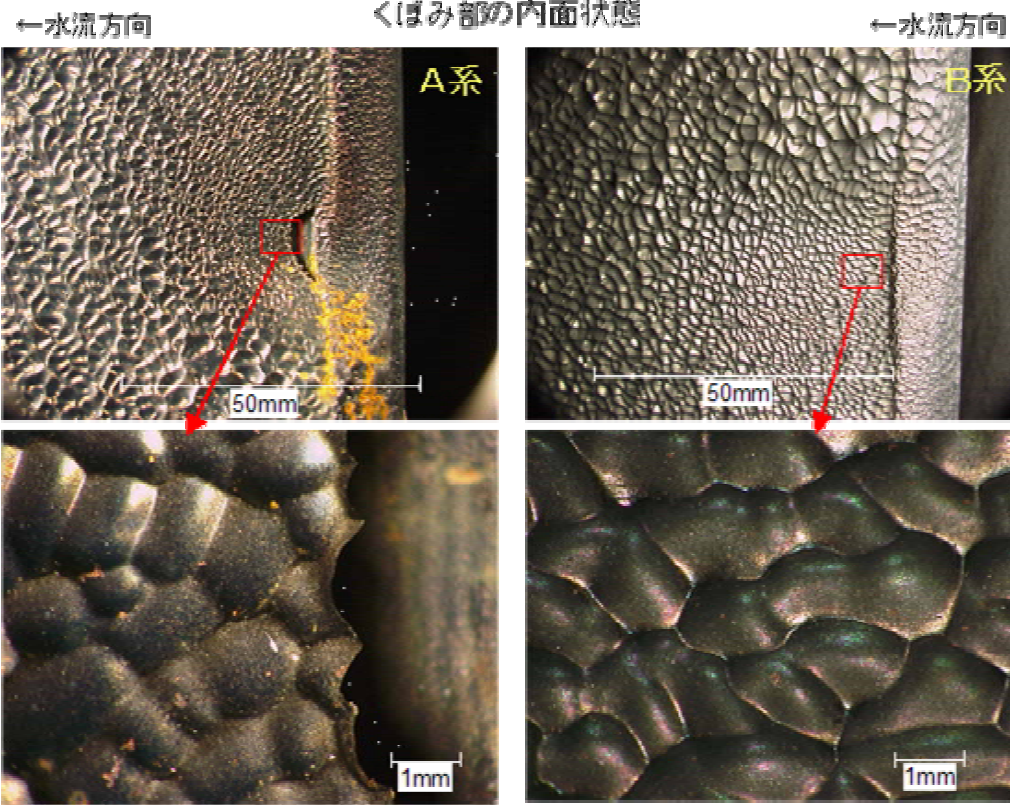


図3.7-3 A系及びB系
配管のオリフィスベ
ント孔下流部におけ
る減肉状況

3.8 考察

(1)減肉の原因に関して

1.減肉部の内面

- 表面の滑らかな鱗片状模様がほぼ全面に観察された
 - 管材料は炭素鋼であり、復水温度は約140 であった
 - 材料検査からはA系とB系の配管材料に相違は見つからなかった
 - 破損箇所は流れに乱れが生じるオリフィスの下流部であった
 - 冷却水の未飽和度が高くキャビテーションの発生は考えられない
- A系及びB系配管の減肉は、いわゆるエロージョン・コロージョンによる

2.減肉の分布

- A系配管下流部は、天部付近の減肉が著しく、底部付近では減肉が少なかった
 - B系配管下流部は、全周にわたってほぼ均一に減肉していた
- 流況解析の結果、A系配管内ではB系に比べ大きな旋回流が生じていたため、減肉分布の違いは、流動状況の違いが原因である可能性がある

ただし、これまでの種々のプラントでの運転経験や実験データ等のばらつきが2～3倍程度あることを考慮すると、A系及びB系配管の最大減肉量は9.6mmと8.2mmであり、従来知見のばらつき範囲内であるといえる

(1) 減肉の原因に関して (つづき)

3. エルボ部の減肉

- ・直管との溶接部を境に、鱗片の大きさと減肉量に大きな違いがあった
- 直管との化学成分や製造時の管内面状態の相違等が影響した可能性がある
- ・エルボ部270°付近(曲り部腹側)では減肉がやや大きかった
- 流況解析における乱流エネルギー分布と一致したため、流動状況の違いが原因である可能性がある

4. その他の状況

- ・オリフィスベント孔の下流側には、配管の減肉と貫通が見られた
- 減肉は局所的であり、破口部の減肉に影響を与えたとは考えられない
- 当該個所については、局所的な減肉であり、フランジが補強部材となることから、配管の大きな破口を引き起こす可能性はない
- ・サポートに接触するA系配管外面には、特異な腐食は観察されなかった
- ・サポート位置付近で減肉状況が変化している様子はなかった
- A系配管の減肉に対するサポートの影響はなかったと考えられる
- ・A系配管底部には、層状の厚い酸化皮膜(マグネタイト)が存在していた
- 酸化皮膜の内部に金属Cuの析出が見られた
- Cuは、上流側の機器に用いられている銅系合金から溶出したものと推定される

(2) 破損部の状況

1. 破壊モード

- ・破口部の破面には延性破壊の特徴であるディンプルが観察された
- ・疲労き裂や応力腐食割れは観察されなかった
- ・破面近傍には、塑性変形に伴う硬さの上昇と変形した金属組織が観察された

→破壊モードは延性破壊である

2. き裂進展経路

- ・鱗片の頂部と底部の高低差は、約0.1mm ~ 0.2mmであった
- ・高い部分 (厚い部分) は山脈状になっていた
- ・き裂は鱗片状模様の底部 (薄い部分) を縫うように進展した

3. 破口部の状況

- ・配管破損部は元通りに復元でき、破損に伴う破片の発生はなかった
 - ・破口部周囲の寸法は、未破損部と変化無く、巨視的な配管の膨れはなかった
 - ・0°位置の軸方向き裂と上流・下流側の両開き状の周方向き裂で形成されていた
 - ・上流側から見て右側の破口は、肉厚の大きな溶接部で停止していた
 - ・軸方向き裂には、等軸ディンプル及び軸方向の伸長ディンプルがあった
 - ・周方向き裂には、肉厚方向の伸長ディンプル及び傾きを有する破断面があった
- 周方向き裂はせん断破壊モードで進展した後停止したものと推定される

(3) 破損の原因 (次頁図参照)

1. 破壊の発生

破口部の軸方向き裂近傍の肉厚は、0.3mm ~ 0.7mm。最薄部は0.3mm ~ 0.4mm

運転荷重により当該配管が延性破壊に至る肉厚の計算値は0.6mm ~ 0.7mm

・サポートからの荷重の影響は小さく、内圧による周方向応力が最大である

→ 運転荷重に耐えうる肉厚以下に達するまで減肉が進行した後、周方向応力に垂直となる軸方向き裂を起点とした延性破壊が発生したものと推定される

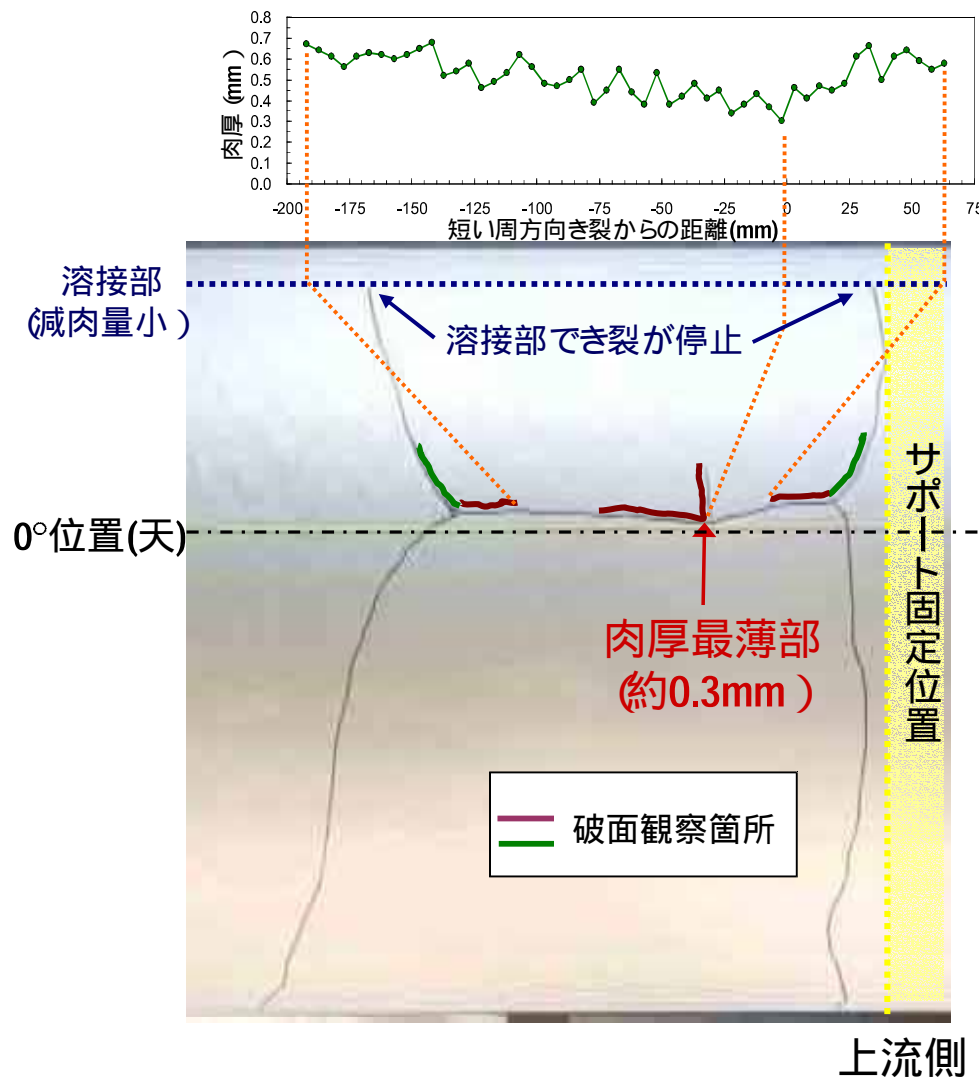
2. 破壊の進行過程

破面観察からは、き裂の起点部を特定することは困難であった

軸方向き裂に等軸デンプル及び軸方向の伸長デンプルが多数観察された

→ 最薄部を中心に発生した軸方向き裂が、上流側・下流側に進展し

応力条件の変化を受けて周方向へのき裂の枝分れに至ったと推定される



破口部き裂周縁の肉厚測定

(き裂縁から約1mm内側を測定)

- ・軸方向き裂周縁の肉厚は、当該配管が延性破壊する肉厚の計算値である0.6～0.7mm以下であった
- ・肉厚最薄部は0.3～0.4mm

破面観察

- ・破壊の起点は特定できなかった
- ・軸方向き裂及び短い周方向き裂(-) : 等軸あるいは伸長型デンプル破面
- ・周方向き裂(-) : 伸長型デンプル面及び傾きを有する破断面



破壊の発生及び進行過程

肉厚の最薄部を中心として延性破壊により軸方向き裂が発生
 軸方向き裂の上流側・下流側への進展
 応力条件の変化*による周方向へのき裂の枝分かれ、及びせん断によるき裂の進展

* 破口部の形状変化や噴出水による流体力による二次的荷重、減圧による周方向応力の低下、破口部の肉厚変化、サポートの存在、等

図 破損の原因について

4. 結論

(1) 減肉の原因

減肉部の内面に鱗片状模様が全面に観察されたこと、復水温度の約140では炭素鋼にエロージョン・コロージョンを生じやすいこと、破損箇所は流れに乱れが生じるオリフィスの下流部であること、当該配管の流動条件からキャビテーションの発生は考えられないこと、等から、A系、B系配管の内面で生じていた減肉はエロージョン・コロージョンが原因である。

(2) 破損の原因

A系配管オリフィス下流部における配管破損は、デンプル破面の状況及び軸方向き裂近傍の硬さ分布と金属組織から、延性破壊によるものである。

破損部に対するサポートからの荷重の影響は小さく、内圧による周方向応力が最大となることから、延性破壊は、運転荷重に耐えうる肉厚以下にまでに減肉が進行した結果、最薄部を中心に延性破壊による軸方向き裂が最初に発生したと推定される。この後、軸方向へき裂が進展し、周方向への枝分れに至ったと推定される。

美浜3号機 二次系配管破損事故の要因分析

(事象)	(要因)	(調査項目)	(調査結果)	(別添資料番号)	(評価)		
配管破損	設計	材料不良	配管材料選定ミス	・使用条件確認 ・材料要求仕様確認	当該配管部に使用している材料は、最高使用圧力、最高使用温度を考慮し「発電用火力設備の技術基準」に基づいた材料仕様を満足していることを確認した。	4-3-1	×
			配管材料成分不良	・材料仕様(ミルシート)確認 ・材料成分分析確認	配管材料成分についてミルシートを調査した結果、要求仕様を満足していることを確認した。また、実機材料成分については、第7回事故調査委員会において「A系、B系配管ともに、材料規格を満足していた。また、ミルシートとほぼ同一値であった。」ことが報告されている。	4-3-1 添付資料4-2	×
			オリフィス材料不良	・材料仕様(ミルシート)確認	オリフィス材料成分についてミルシートを調査した結果、要求仕様を満足していることを確認した。	4-3-2	×
		設計不良	配管設計不良	・配置配管設計確認	「発電用火力設備の技術基準」および「ANSI(ASME)B31.1」に基づき設計し、適切なサポート支持条件であること、また、当該配管の切断前後の切断端移動量の計測結果から算出した発生応力も許容応力に対して十分小さいことを確認した。	4-3-3 4-3-4	×
			オリフィス設計不良	・オリフィス選定根拠確認	JIS規格およびASME規格を適用した設計を行い、設計条件、運転条件を考慮した設計仕様であることを確認した。	4-3-5	×
	製作	製作不良	配管材の製作工程不良	・配管の製作及び検査フローの確認	「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。	4-3-6	×
			配管寸法・形状不良	・配管形状	A系配管およびB系配管の実機配管の寸法を測定した結果、A系配管の破損部分の下流側で類似配管に適用されるJISの外径の許容差を超えるものが一部あるが、A系配管のそれ以外の部分、および、B系ではを超えるものがないことを確認した。	添付資料4-1	×
			オリフィス寸法・形状不良	・主要寸法・形状確認 ・成績表	オリフィス納入時の成績表を確認し、寸法が要求仕様を満足していることを確認した。	4-3-2 添付資料4-1	×
		据付不良	配管据付不良	・据付及び検査フローの確認	「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。なお、現地において刻印を確認し、計画どおり施工されていることを確認した。	4-3-6	×
			支持構造物据付不良	・据付施工要領等確認 ・据付の現地確認	当該配管の切断前後の切断端移動量の計測結果から算出した配管の発生応力が許容応力に対して十分小さいことを確認した。	4-3-4	×
	保守	保守不良	配管管理不良	・保守記録確認	当該部位はPWR管理指針において管理すべき箇所として登録されていたが適切な管理ができていなかったため、PWR管理指針に則った管理が行われていなかった。	-	
			オリフィス管理不良	・オリフィス取付状況調査	取付状況を現地調査により確認し、オリフィス穴径の中心位置のずれ想定されるずれの最大値の範囲内であることを確認した。	添付資料4-1	×
			支持構造物管理不良	・保守記録確認	保全指針に基づく点検手入れ、低温・高温停止時の確認を行っており、第20回定期検査時に当該部位を含む復水配管ヘッダから脱気器までの支持構造物の外観目視点検を実施し、異常のないことを確認した。	4-3-7	×
	運転・環境	水質管理	水質管理不良	・水質管理記録確認	2次系の水質管理履歴を調査した結果、給水、復水のpH、溶存酸素など給水処理に係わる水質データはいずれも水質管理値内に維持されていた。また、2次系給水処理は運転開始当初からAVT、最近ではETA処理等が計画的に行われているなど、各種対策により経年的に給水鉄濃度も低減してきていることから、運転開始以降当該部位の水質環境について特異な点は認められない。	4-3-8	×
		腐食	II-ゾーン/III-ゾーン	・内面観察 ・肉厚測定	A系配管(破損配管)のオリフィス下流側について、破口部からデジタルマイクロスコープで内面を観察した結果、残留水によって表面が腐食し表面状態が変化しと推定される180°位置(配管底部)を除くすべての内面に、約1mm幅の鱗片状模様が一樣に認められた。オリフィス近傍では、鱗片状模様は約3~5mm幅とやや大きいものであった。当該配管の材料は炭素鋼であり、内面に鱗片状模様が認められたことからエロージョン/コロージョンであると考えられる。	添付資料4-1	
			キャビテーション/II-ゾーン	・キャビテーション発生の可能性有無の検討 ・内面観察	当該配管の設計条件では、復水配管流量計オリフィスは流れによる減圧による蒸気泡発生条件に対して十分余裕があり、キャビテーションは発生しない。また、内面観察の結果からもキャビテーション/エロージョンは認められなかった。	添付資料4-1 4-3-10	×
		機械的減肉	フレットング摩耗	・フレットング摩耗発生の可能性有無の検討	オリフィスと配管フランジの合わせ面および配管を支持しているスプリングハンガーの取付部は、すべりが生じないため、フレットング摩耗は発生しないことを確認した。	4-3-9	×
			疲労	流体振動	・流体振動発生の可能性有無の検討	当該システムの各ポンプのNZ成分と当該配管の固有振動数とは大きくかけ離れており、共振する可能性はないことを確認した。	4-3-11
		機械振動		・機械振動発生の可能性有無の検討	共振の可能性のある各ポンプと当該配管の間は固定サポートにより振動が伝わらない構造になっており共振する可能性はないことを確認した。	4-3-11	×
		延性破壊	圧力・熱サイクル	・圧力、温度、流量確認 ・運転履歴調査 ・熱疲労発生の可能性有無の検討	当該配管に影響を及ぼした可能性のある過去事象を調査した結果、給水流量、圧力、温度の影響や過去事象の発生回数設計の想定範囲内であることを確認した。当該配管には、温度ゆらぎやキャビテーション/エロージョン型熱成層が生じないため、熱疲労は発生しないことを確認した。	4-3-12 4-3-9	×
異常昇圧			・運転パラメータ調査	当該事象発生直前の運転パラメータからは、通常運転時に認められるパラメータの変動を大きく上回る変化は認められなかった。	4-3-13	×	
破損のトリガー	・運転パラメータ調査 ・聞き取り調査他 ・周辺作業実施状況調査		運転パラメータ調査、聞き取り調査他および周辺作業実施状況調査の結果から、トリガーとなる事象は認められないことを確認した。	4-3-13	×		

最高使用圧力、温度を考慮した材料仕様であるか。
計画している材料 SPEC とミルシートを調査し、SPEC を満足しているかの確認。

【検討目的】

当該配管部(第 4 給水加熱器～脱気器)に使用する規格に合致していることを確認し、設計条件、運転条件を考慮した材料設計であることを確認する。

【検討内容】

材料の選定

当該配管の最高使用圧力は 13 kgf/cm² (1.27MPa)、最高使用温度は 195 であり、強度的に余裕のある材料を使用実績のなかから選定し SB42 とした。

当該配管部に使用している材料 (SB42) は、「発電用火力設備の技術基準」別表第一に記載されている。別表第一から、当該部の最高使用温度 (195) においても十分な強度が確保されることを確認する。(最高使用圧力は材料選定後、肉厚決定時に使用する。)

具体的には選定した SB42 材料は、350 まで許容引張り応力が低下せず、最高使用温度を考慮しても適切な材料仕様であることを確認する。

材料	各温度における許容引張応力																	
SB42	温度 ()	-10	-5	0	40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
	引張応力	←————— 10.5 kgf/mm ² —————→																
		最高使用温度 : 195																

材料要求仕様と計測値は下記のとおり (当該部ミルシートより)

	引張試験			化学成分(%)				
	降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %	×100			×1000	
				C	Si	Mn	P	S
計測値	28	45	28	15	21	63	14	13
基準値	23	42 ~ 50	23	24	15 ~ 30	0 ~ 80	35	40

【検討結果】

当該配管部(第 4 給水加熱器～脱気器)は最高使用圧力、最高使用温度を考慮した「発電用火力設備の技術基準」に基づいた材料仕様であり、ミルシートについても要求を満足していることを確認した。

以 上

最高使用圧力、温度を考慮した材料仕様であるか。
計画している材料 Spec とミルシートを調査し、Spec を満足しているかの確認。

【検討目的】

当該配管部に取り付けられているオリフィスについて、材料選定の考え方、材料 Spec 確認を行う。

【検討内容】

1. 材料選定の考え方および妥当性

流量計測用オリフィスは流量に応じた圧力損失を発生させることを目的としており、特に経年的にも形状が変化しにくいことが求められる。

このため、オリフィスプレートの材質としては、耐摩耗性、耐蝕性にすぐれたステンレス鋼が一般的に採用されており、美浜 3 号機の流量計測用オリフィスプレートもステンレス鋼を採用している。

ASME 規格や JIS 規格などにおいても、ステンレス鋼が一般的に採用されている旨記載されている。

2. 材料 Spec 確認

現在使用しているオリフィスは平成 5 年に取替えされており、取替え時に立会検査(材料確認，寸法検査，外観検査)を実施し，必要事項を満足している事を確認している。

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
規格値	~0.08	~1.00	~2.00	~0.045	~0.030	8.00 ~10.50	18.00 ~20.00
ミルシート	0.05	0.56	1.20	0.027	0.003	8.29	18.14

(単位は%)

低圧タービンロータ取替 (LPR) 前後の性能を精度良く比較するため、復水流量オリフィスの検定を実施している。LPR の 1 回前の定検時に、既設オリフィスを取外し、工場に持ち帰り検定後、再復旧する方法も可能であるが、多くのプラントでは、工程上有利な新製オリフィスを検定して、オリフィスの取替を実施している。

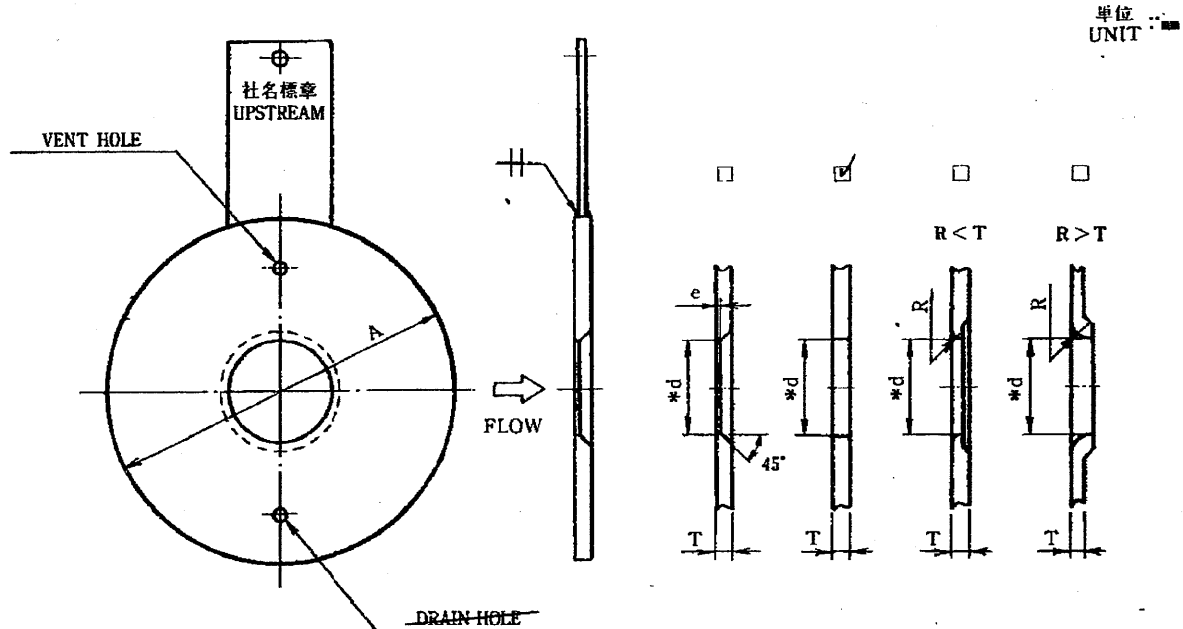
【検討結果】

材料選定の考え方、材料 Spec 確認を行い、それらの妥当性を確認した。

以上

成績表 TEST CERTIFICATE

製品名称 PRODUCT NAME	オリフィス・プレート (FOP) ORIFICE PLATE (FOP)	タグNo. TAG NO.	3FE-3201A
形名 MODEL	FOP550-EHR-27-16K/G		
手配No. ORDER NO.	D3H2006-01-001-01	計器番号 SERIAL NO.	6031BA105



*d: ORIFICE DIAMETER (AT20°C)

項目 ITEM	基準寸法 SPECIFIED DIMENSION	許容差 TOLERANCE	実測値 MEASURED VALUE		項目 ITEM	結果 RESULT			
*d	335.3	±0.335	1	2	材料確認 MATERIAL CONFIRMATION	当該QISによる REFER TO QIS CONCERNED			
			335.24	335.24			外観 APPEARANCE	良, GOOD	
			335.24	335.24					寸法 DIMENSION
			AV.	335.24			材料確認 MOLYBDENUM TEST	モリブデンを含む材料の場合 IN CASE MATERIAL CONTAINS Mo	
				液体浸透探傷試験 LIQUID PENETRANT TEST	呼び径1100A以上の柄とプレート の溶接部 FOR WELD OF TAB HANDLE AND PLATE WITH NOMINAL SIZE 1100A AND OVER	=====			

項目 ITEM	基準寸法 SPECIFIED DIMENSION	許容差 TOLERANCE	
A	684.0	+1.0	-1.0
e R	e=T	====	====
T	5.0	+0.4	-0.4

NOTES

MHI 高製立会者
HS. 9. 21

日付 DATE	1993-09-14	室内温度・湿度 AMBIENT TEMP. & HUM.	25 °C & 60 %
検査者 INSPECTOR		承認者 APPROVED BY	

設計条件(最高使用圧力・温度)、運転条件(流速)を考慮した配管仕様(外径、肉厚等)であるかの検討

【検討目的】

第4 給水加熱器～脱気器の配管仕様の考え方、適用する規格を明らかにするとともに、使用する規格に合致していることを確認し、設計条件、運転条件を考慮した配管仕様であることを確認する。

【検討内容】

1. 設計の考え方

配管仕様選定のベースとなる設計流量に対し、設計条件の整理を行なうとともに、口径・肉厚の選定要領が妥当であったか評価を行なう。PWR 二次系配管設計は、通商産業省令第62号(昭和40年6月15日施行)「発電用原子力設備に関する技術基準」省令第34条第3項(添付1)より「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第3章の規定は、原子力発電所に施設する蒸気タービンおよびその附属設備について準用する。」とされており、二次系配管の設計にあたっては、材料の選定・耐圧部の強度計算については「発電用火力設備の技術基準」に基づいた設計を行なう。

また、高温配管をサポート等で拘束する事により発生する熱応力に対する設計については、「ANSI(ASME) B31.1」に基づいた設計を行なう。

2. 設計流量,流速について、美浜3号設計時の先行実績との対比

美浜3号機設計時の先行実績(設計時期に近いプラント)

	配管口径	流量	配管流速
	(A)	(t/h)	(m/s)
美浜3号機	550	1700(注)	2.2
美浜1号機	500	1290	2.2
美浜2号機	550	1895	2.5
高浜1号機	550	1596	2.1
高浜2号機	550	1596	2.1
プラントA	550	2163	2.9
プラントB	550	2155	2.8

(注)実測値

3. 配管仕様

当該配管は給水・復水系統内の下記の範囲にある。

「低圧第4給水加熱器」
(固定点) ~ 「主復水ヘッダ」
(固定点) ~ 「脱気器」
(固定点)

配管に作用する力は固定点間で分割して検証されるので、自重・熱による変位の検討は次の範囲で行なうことで問題ない。

「主復水ヘッダ」
(固定点) ~ 「流量計コイル」
(噴破部) ~ 「脱気器」
(固定点)

検討方針としては「主復水ヘッダから流量計コイルを経て脱気器までの主復水管」を対象として、「発電用火力設備の技術基準」に基づいた配管の計算上必要な厚さと「ANSI(ASME) B31.1」に基づいた熱膨張及び収縮に対する検討を行なう。

(1) 設計条件の整理

最高使用圧力； 13kg/cm²g
最高使用温度； 195
運転条件(流速)； 2.2m/s

(2) 口径・肉厚の選定

流速に対して規格上の制限はないが、復水管の流速を早くすれば配管口径を小さく出来る反面、圧力損失が大きくなり復水系ポンプの全揚程が高くなるとともに、系統設計圧力の上昇、駆動用所内動力が大きくなる。

通常、これらが最適となる点として復水管は流速 2~4m/s の範囲となるよう選定する。美浜3号機の復水管の流速は先行実績値も参考として 2.2m/s を選定する。

(3) 内圧に対する検討

管の厚さ計算は工事計画認可申請書 添付資料 その2 資料29「蒸気タービンに付属する管の耐圧部強度計算書」にて検討した。

「蒸気タービンに付属する管 管肉厚計算」

(発電用火力設備の技術基準 第十条 - 2 - イによる)

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

- P : 圧力(kg/cm²)
D_o : 管の外径(mm)
S : 材料の許容引張応力(kg/cm²)
: 継手の効率
k : 材料と温度により決まる係数
: 付け代(mm)
t : 計算上必要な厚さ(mm)

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

計算上必要厚さ = 4.7mm < 実際使用厚さ = 9.3mm
(= 称呼厚さ 10mm 負の公差 0.7mm)

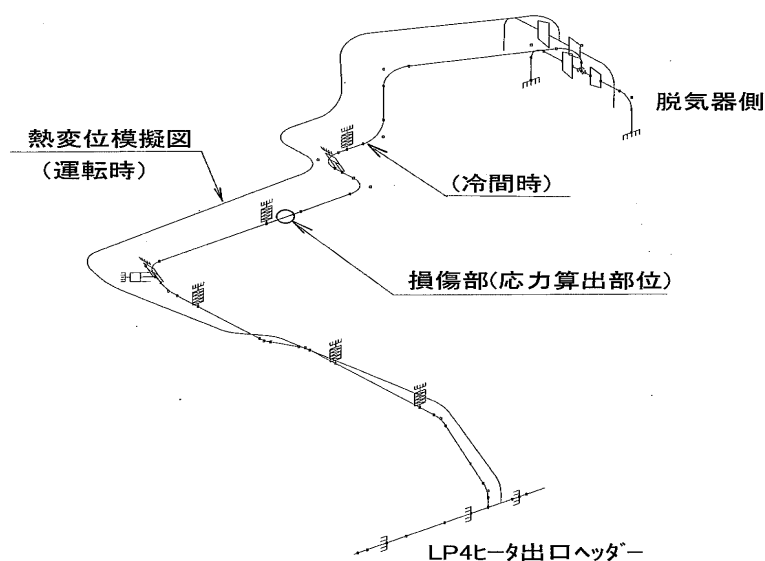
(4) 熱膨張及び収縮に対する検討

配管系統の最高使用圧力・温度条件と使用材料から許容引張応力と熱膨張量を決定する。次に配管ルートから熱応力解析ソフト(AutoPIPE)にて熱膨張および熱収縮に起因する反力やモーメントを計算し、内圧/自重/熱応力等を「ANSI(ASME) B31.1 104.8.1 Stress due to Sustained Loads.」により、評価した結果は以下の通りであり配管強度上問題は無い。

計算結果

区 分	発生応力 (kg/mm ²)	許容応力(kg/mm ²)
一次応力 (損傷部位の内圧 + 自重応力)値	3.0	10.5
二次応力 (損傷部位の熱応力)	0.2	15.7

熱膨張変位模擬図



【検討結果】

上記の通り、「発電用火力設備の技術基準」及び「ANSI(ASME) B31.1」に基づき設計され、発生応力が許容応力以下であることを確認した。

以上

サポート位置、取り付け等の決定根拠の確認。過大な応力が発生していないかの検討等

【検討目的】

第4 低圧給水加熱器～脱気器のサポート位置、取り付け等に適用する規格を明らかにするとともに、設計条件、運転条件を考慮したサポート位置、取り付け等であることを確認し、当該部配管へ過大な応力が発生していないことを確認する。

【検討内容】

1. 設計の考え方

PWR 2 次系配管のサポート、取り付け等の決定は配管設計の一環として行われている。適用する基準については、通商産業省令第 62 号（昭和 40 年 6 月 15 日施行）「発電用原子力設備に関する技術基準」省令第 34 条第 3 項により「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 3 章の規定は、原子力発電所に施設する蒸気タービンおよびその附属設備について準用する。」とされている。

サポート、取り付け等については、「ANSI(ASME) B31.1」に基づいた設計を行なう。

サポート支持スパンは「ANSI(ASME) B31.1」に配管の推奨支持スパン表があり、このスパン内にサポートを設置し、必要に応じて応力評価を行う。

なお、「ANSI(ASME) B31.1」の推奨支持スパンは下記に抜粋の通りであり、当該配管もこの範囲内にある。

Table 121.1.4

Suggested Pipe Support Spacing

Nominal Pipe Size, Inches	Suggested Maximum Span in Feet	
	Water Service	Steam, Gas, or Air Service
1	7	9
2	10	13
3	12	15
4	14	17
6	17	21
8	19	24
12	23	30
16	27	35
20	30	39
24	32	42

NPS 22 Water Service の場合

22in 水管は左記推奨スパン表より

換算し、

Maximum Span : 31feet=9.4m

Note 1. Suggested maximum spacing between pipe supports for horizontal straight runs of standard and heavier pipe at maximum operating temperature of 750 F.

Note 2. Does not apply where span calculations are made or where there are concentrated loads between supports such as flanges, valves, specialties, etc.

Note 3. The spacing is based on a maximum combined bending and shear stress of 1500 psi and insulated pipe filled with water or the equivalent weight of steel pipe for steam, gas or air service, and the pitch of the line is such that a sag of 0.1 in. between supports is permissible.

2. 配管仕様

「第4 低圧給水加熱器」 (固定点) ~ 「主復水ヘッダ」 (固定点) ~ 「脱気器」 (固定点)

配管に作用する力は固定点間で分割して検証されるので、自重・熱による変位の検討は次の範囲で行なうことで問題ない。

「主復水ヘッダ」 (固定点) ~ 「流量計切込」 (噴破部) ~ 「脱気器」 (固定点)

当該管の仕様

区 分	材 料	呼径(A)×肉厚(mm)
主復水ヘッダ～脱気器	SB42	550 × 10.0

3. サポート条件に基づいた配管応力の検討

配管をサポート等により拘束することにより発生する熱応力に対する設計については、「ANSI(ASME) B31.1」に基づき規定された許容応力値内になるように設計されていることを検討する。

配管ルートを計算機にインプットし、配管系全体の熱膨張応力(フレキシビリティ応力)を計算する。この時に配管系に過大な応力が発生しないことを確認する。また、前述の配管支持スパンを超えるケースに於いては、内圧及び自重等による応力の評価を行う。この時の応力評価の考え方は、「ANSI(ASME) B31.1」に基づいて実施する。

これらの応力評価としては、次の通りとなる。

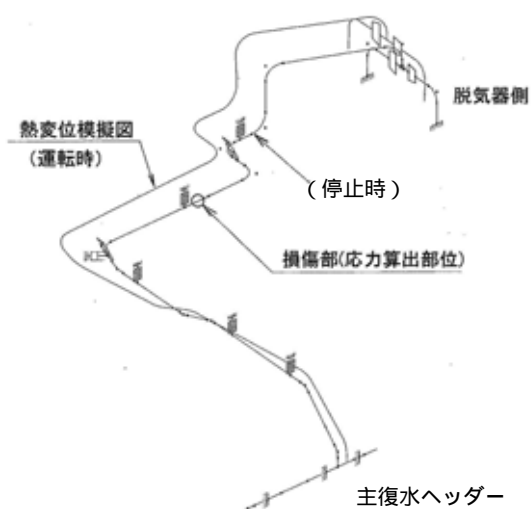
- ・フレキシビリティ応力 $f(1.25Sc + 0.25Sh)$
 - Sh: 材料の使用温度時の許容引張応力
 - Sc: 材料の常温時の許容引張応力
 - f : 応力補正係数 (運転サイクル 7000 回未満 $f = 1$)
- ・内圧 + 自重等による 1 次応力 Sh
 - Sh: 材料の使用温度時の許容引張応力

設計圧力、温度条件に基づき配管形状及び支持サポート条件について解析ソフト (AutoPIPE) にて熱膨張および熱収縮に起因する反力やモーメント、内圧/自重/熱応力等を計算し「ANSI(ASME) B31.1」により、評価した結果は以下の通りであり配管強度上の問題は無い。

計算結果

区分	発生応力 (kg/mm ²)	許容応力(kg/mm ²)
一次応力 (損傷部位の内圧 + 自重応力)値	3.0 (内圧:1.8+自重:1.2)	10.5
二次応力 (損傷部位のルキシ [®] リイ [®] 応力)	0.2	15.7

熱膨張変位模擬図

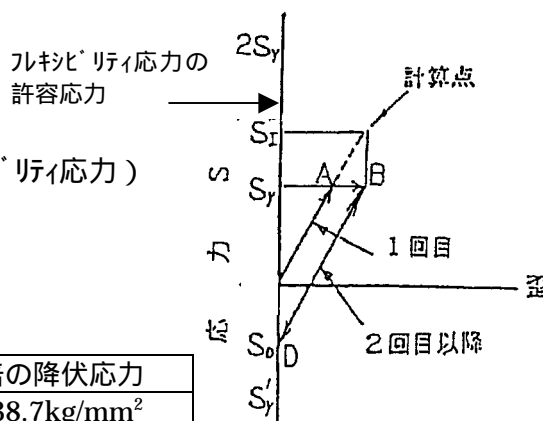


また、ルキシ[®]リイ[®]応力の許容応力値内は降伏応力の2倍以下であり、弾性挙動域である。変位は熱伸びにより発生するが、下図に示すとおり運転・停止の繰り返しがあっても配管が弾性挙動域にある限り、経年劣化は生じない。

S_y : 降伏応力 (SB42、195)

S_I : 計算により求まる応力 (ルキシ[®]リイ[®]応力)

$S_I < \text{ルキシ}^{\text{®}}\text{リイ}^{\text{®}}\text{応力の許容応力} < 2 S_y$



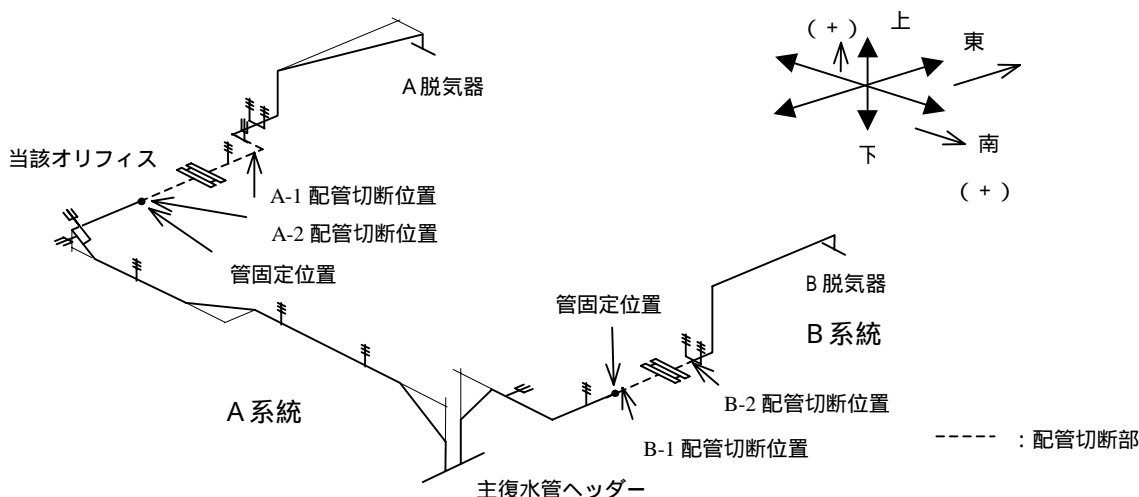
ルキシ [®] リイ [®] 応力	ルキシ [®] リイ [®] 応力の許容応力	2倍の降伏応力
0.2kg/mm ²	15.7kg/mm ²	38.7kg/mm ²

イメージ図

4. 配管切断時の切断端移動量による配管応力の検討

当該配管（A系統）およびB系統の切断に伴う、切断前後の切断端の移動量を計測した結果から、配管を拘束したことにより発生していた応力を検討する。

配管切断時の配管支持位置



切断端移動量

単位：mm

A 系統						B 系統					
A-1			A-2			B-1			B-2		
東西	南北	上下	東西	南北	上下	東西	南北	上下	東西	南北	上下
3	30	6	-7	-5	0	-12	-1	3	-3	-29	7

計算結果

区分	発生応力 (kg/mm ²)		許容応力(kg/mm ²)
	損傷部 (A系)	オリフィス下流部 (B系)	
二次応力 (切断移動量 + 熱移動量)	0.3 (切断:0.2+熱:0.1)	1.5 (切断:0.6+熱:0.9)	15.7

【検討結果】

上記のとおり「発電用火力設備の技術基準」及び「ANSI(ASME) B31.1」に基づき設計され、サポート支持条件に基づく発生応力が許容応力値以下に収まっていることを確認した。従って、弾性挙動域にあり、配管の設置位置からの移動などの経年劣化は生じない。また、配管切断に伴う切断前後の切断端の移動量を計測した結果から、配管に発生していた応力を検討した結果、得られた発生応力は、許容応力に対して十分小さく問題ないことを確認した。

設計条件（最高使用圧力・温度）、運転条件（流速）を考慮した設計仕様（外径、肉厚等）であるか。

【検討目的】

オリフィス部の設計仕様については、第4 給水加熱器～脱気器の配管の設計仕様の検討結果に含まれている。そこで、当該配管に設置されているオリフィスについて、適用する規格を明らかにするとともに、設計条件、運転条件を考慮した設計仕様であることを確認する。

【検討内容】

1．オリフィスの設計の考え方

設計に対し適用する規格はオリフィス板の構造については、JIS 規格「絞り機構による流量測定方法」(JIS Z 8762)を準用し、流量係数 およびオリフィス穴径の計算は、ASME 規格(APPLICATION Part of Fluid Meters Sixth Edition 1971)を適用している。

絞りの程度については、絞り(配管内径に対するオリフィス穴径)が大きいほど、測定精度が向上するが、同時に圧力損失が大きくなり、また、流況への影響が大きい(流れが乱れる)という特徴があるため、これらを考慮して絞り値を決定する。

2．オリフィスに関する規格内容

下記の ASME 式では、流速が変化しても流量係数 に変化が少ない領域で、繰り返し計算により、適切な絞り直径比 と P を求める(別添別紙 - 4 - 3 - 5 - 1)。

$$W = 0.012522 \quad Fa \cdot d_{20}^2 \quad (\cdot P), \quad = d/D$$

入力 : 流体密度

: 流体の膨張係数

Fa : オリフィス膨張係数

d₂₀ : オリフィス絞り部の径

: 流量係数 管内径と とレイノルズ数より求める

R_D : レイノルズ数

d : 絞り孔径

D : 上流側管径

評価結果 P : 発生差圧

: 絞り直径比 (オリフィス絞り部の径 / 配管内径)

JIS 及び ASME 規格の適用範囲は下記のとおりとなっている。

なお、最高使用圧力については、オリフィスは管内部に設置され、内圧の影響を受けないため、特に定められていない。また、温度に関する適用制限は規定されていない。

規格の適用範囲(建設当時)

	オリフィス厚さ T	絞り直径比	流量係数	流量計算式
JIS(1969)の規定	なし	なし	なし	なし
ASME(1971)の規定	3/8in(推奨値) (不適用)	0.2 0.75 (適用) ¹	= f(D) ³ (適用) ¹	W=0.012522 Fa・d ₂₀ ² (・ P) (適用) ¹
適用	メーカー標準 ² (適用)	0.2 0.75	= f(D)	W=0.012522 Fa・d ₂₀ ² (・ P)
美浜 3 号機 適用内容	5mm	0.6229	0.6580	同上
備考	<p>1 当該オリフィス(1D-1/2D タップ方式)は、当時 JIS に規定されていなかったため、ASME 規格を適用した。</p> <p>2 オリフィス板の厚さは、タップ形式により変わるものではないため、JIS に規定(0.005D ≤ T ≤ 0.05D)のある他のタップ形式のオリフィスに準じた、メーカー標準を適用した。</p> <p>3 $= (0.6014 - 0.01352D^{-1/4}) + (0.3760 + 0.07257D^{-1/4})(0.00025/(D^2 + 0.0025D) + 1.5^{-16}) + ((0.0002 + 0.0011/D) + (0.0038 + 0.0004/D))(D^2 + (16.5 + 5D)^{-16}) \cdot 1000 / R_D$</p> <p style="text-align: right;">注：D の単位はインチ</p> <p><u>JIS(1969)の抜粋</u></p> <p>2.1 一般事項 この規格のオリフィスは、コーナタップ、縮流タップ、フランジタップを有するものについて規定する。</p> <p>2.2(5) エッジ厚さ(e)は 0.005D ≤ e ≤ 0.02D であること。</p> <p>2.2(7) オリフィス板の厚さ H は、e ≤ H ≤ 0.05D であること。</p>			

規格の適用範囲(平成 5 年取替時)

	オリフィス厚さ T	絞り直径比	流量係数	流量計算式
JIS(1988) の規定	0.005D T 0.05D (適用) ²	0.2 0.75 (不適用)	= f'(D) ⁴ (不適用)	W=0.012522 Fa·d ₂₀ ² (・P) (不適用)
ASME(1971) の規定	3/8in(推奨) (不適用)	0.2 0.75 (適用) ¹	= f(D) ³ (適用) ¹	W=0.012522 Fa·d ₂₀ ² (・P) (適用) ¹
適用	0.005D T 0.05D	0.2 0.75	= f(D) ³	W=0.012522 Fa·d ₂₀ ² (・P)
美浜 3 号機 適用内容	5mm	0.6229 (0.6235) ⁵	0.6580 (0.6584) ⁵	同上
備考	<p>1 1D-1/2D タップ方式のオリフィスが、(1988 年)に規定されたが、既設オリフィスと同仕様とするため、ASME 規格を適用した。</p> <p>2 オリフィス板の厚さは、メーカー標準を適用した。なお、メーカー標準は JIS 規定(0.005D T 0.05D)に基づいている。</p> <p>3 $=(0.6014-0.01352D^{-1/4})+(0.3760+0.07257D^{-1/4})(0.00025/(D^2 +0.0025D) + 1.5^{-16})+((0.0002+0.0011/D)+(0.0038+0.0004/D))(D^2+(16.5+5D)^{-16}) \cdot 1000/ R_D$</p> <p style="text-align: right;">注：D の単位はインチ</p> <p>4 $=(0.5959+0.0312 D^{2.1}-0.1840 D^8+0.0029 D^{2.5}(10^6/R_D)^{0.75} +0.0390 D^4(1-D^4)^{-1}-0.0337 \cdot 0.47^{-3})/ (1-D^4)$</p> <p>5 JIS 規格にて計算した値 (2000T/H にて 5000mmH₂O の条件で計算)</p> <p><u>JIS(1988)の抜粋</u></p> <p>6.1 一般事項 この規格のオリフィスは、コーナタップ、D・D/2 タップ、フランジタップをもつものについて規定する。</p> <p>6.2(3)(a) エッジ厚さ(e)は 0.005D e 0.02D であること。</p> <p>6.2(3)(c) オリフィス板の厚さ(E)は、e E 0.05D であること。</p>			

3 . 美浜 3 号機のオリフィスの設計

(1) 適用規格

オリフィスの設計は技術基準の要求はなく、ASME(1971)と、JIS(1969)に準じたメーカー標準に従い設計している。美浜 3 号機では H5 年の取替時も、取替え前と同一仕様とするため、建設時と同じく ASME(1971)と、JIS(1988)に基づくメーカー標準に従って設計している。

(2) 美浜 3 号機オリフィスへの要求仕様

ASME 規格や JIS 規格などに基いて設計し、次に示す諸条件(測定範囲，構造(形状、接続部)，使用圧力・温度条件)を満たす仕様としている。

項目	設計条件	設計条件の根拠	
• 最大流量	2000 T/H	ヒートバランスに基づく	
• 配管サイズ	550A(558.8 × 10t)	系統線図に基づく	
• フランジ規格	550A JIS16K RF	配管仕様書に基づく	
• 流体	水	系統線図に基づく	
• 常用流体温度	142.8	ヒートバランスに基づく	
• 常用流体圧力	10 kg/cm2 G	通常運転時の脱気器圧力に余裕を付した数値	
• Tag No.	3FE-3201A	計器リストに基づく	
• 絞り直径比	0.6229	0.2	0.75

なお、絞り直径比()はA S M E 規格(0.2 0.75)により設計を行なえばよいが、圧力損失を極力少なくする観点から を約 0.6~0.7 に選定する。

4 . 美浜 3 号機オリフィス仕様

使用されているオリフィスの仕様は下記のとおりであり、要求仕様どおりの製品となっている。

項目	要求仕様	オリフィス計算書の記載内容	確認結果	
			取替前	取替後
最大流量	2000 T/H	Full scale : 2000 T/H	適正	適正
配管サイズ	550A (558.8 × 10t)	Pipe Size : 550A Pipe Inside/Outside Dia. : 538.8/558.8mm	適正	適正
フランジ規格	550A JIS16K RF	Flange Rating : 550A JIS16K RF	適正	適正
流体	水	Name of fluid : WATER	適正	適正
常用流体温度	142.8	Normal Oper. Temperature : 142.8	適正	適正
常用流体圧力	10 kg/cm2 G	Normal Oper. Pressure : 10 kg/cm2 G	適正	適正
Tag No.	3FE-3201A	Tag No. : 3FE-3201A	適正	適正
絞り直径比()	0.2 0.75	Diameter Ratio: t : 0.6229	適正	適正

【検討結果】

オリフィスの設計に適用する規格を明らかにするとともに、設計条件、運転条件を考慮した設計仕様であることを確認した。

その他

(1)復水流量計型式の選定の考え方

プラント性能把握のために復水系統及び給水系統に流量計を設置しているが、計測の多様性を持たせる目的からフローノズルとオリフィスが使用されている。原則として給水流量計にオリフィスが用いられている場合は、復水流量計はフローノズルを使用し、給水流量計にフローノズルが用いられている場合は、復水流量計にはオリフィスを使用する。このことから美浜3号機では、給水流量計にフローノズルが用いられているため、復水流量計にオリフィスを使用している。既設ユニットの流量計型式を別添別紙4-3-5-2に示す。

(2)他プラントオリフィス仕様一覧

別添別紙4-3-5-3に他プラントオリフィスの仕様一覧を示す。

(3)類似火力のオリフィス仕様

火力機では、復水流量計測用として一般的にフローノズルを採用しているため、比較できるものが限られるが、以下に火力機とのオリフィス仕様の比較を示す。

項目	美浜3号機	A火力機
計測位置	復水流量	復水流量
最大流量	2000 T/H	1500 T/H
配管サイズ	538.8 mm	429.2 mm
計測流体	復水	復水
常用流体圧力	10 kg/cm ²	10 kg/cm ²
常用流体温度	142.8	155
オリフィス厚さ	5 mm	6 mm
絞り直径比	0.62	0.58

オリフィス絞り径の ASME 規格適用算出手順について

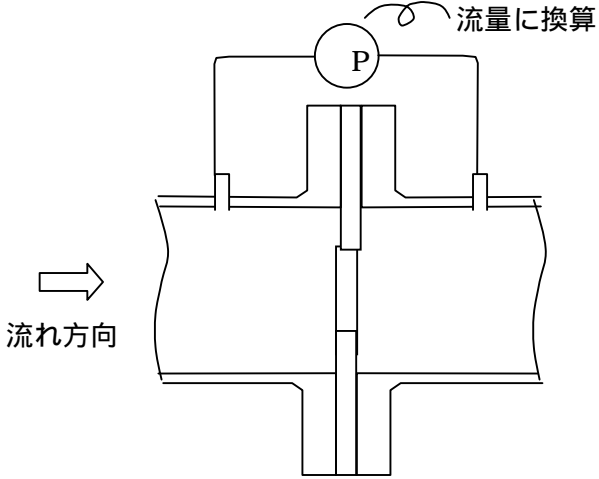
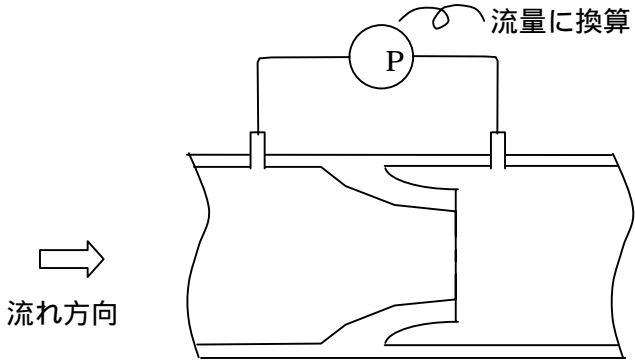
入力	
配管内径 D_{20}	: 538.8mm (設計条件)
流体	: Water (設計条件)
最大流量 W	: 2000T/H (設計条件)
常用温度	: 142.8 (設計条件)
常用圧力	: 10kg/cm ² (設計条件)
レイノルズ数 R_D	: 6793500 (~ より)
流体の膨張係数	: 1 (より)
流体密度	: 923.8799kg/cm ² (, , より)
オリフィスの膨張係数 F_a	: 1.0043 (ステンレス鋼の場合)

初期値	
オリフィス絞り部の径 d_{20}	: 美浜 3 号 復水流量オリフィスの例) 335.3mm
発生差圧 P	: 5000mmH ₂ O

パラメータ演算	
入力条件、および仮定した d_{20} の値から、以下のパラメータを求める。	
絞り直径比	: 美浜 3 号 復水流量オリフィスの例) 0.6229
流量係数	: 美浜 3 号 復水流量オリフィスの例) 0.6580

判定	
ASME から与えられる以下の式に求めた値を代入し、式が成立すれば仮定した値が求める値 (オリフィス絞り部の径) となる。	
式が成立しない場合には、仮定した d_{20} 、差圧 p の値を見なおして再計算する。	
$W = 0.012522 \quad F_a \cdot d_{20}^2 \quad (\cdot P)$	
例) $W = 0.012522 \times 0.6580 \times 1 \times 1.0043 \times 335.3^2 \times (923.8799 \times 5000)$ $= 1999506 \text{ kg/h (} 2000 \text{ T/H)}$	
この例の場合、 $d_{20} = 335.3\text{mm}$ とすれば、2000T/H の流量で、ほぼ設計条件通りの 5000mmH ₂ O の差圧となることが確認できる。	
また、ASME 規格に基づいて、流量による流量係数 の値の変化量を確認し、流量レンジを決定する。	

NG

プラント名	美浜 1号, 2号、高浜 1号, 2号、大飯 1号, 2号、高浜 3号, 4号	大飯 3号, 4号
復水流量計型式	←—— オリフィス ——→ ←—— フローノズル ——→	
備考 (給水流量計型式)	←—— フローノズル ——→ ←—— オリフィス ——→	
構成図	 <p style="text-align: center;">(注1) オリフィス</p>	
	 <p style="text-align: center;">(注2) フローノズル</p>	

復水流量オリフィスの絞り直径比

各ユニットの復水流量オリフィスの絞り直径比()を下表に示す。

ユニット	オリフィス 名称	TAG.NO	絞り直径比	配管内径 (mm)	オリフィス絞り 部の径 (mm)
美浜3号	復水流量	3FE-3201A	0.62	538.8	335.3
	復水流量	3FE-3201B	0.62	538.8	335.3
美浜2号	復水流量	2FE-2050	0.67	538.8	360.4
美浜1号	復水流量	1FE-2050	0.66	488.0	323.6
高浜1/2号	復水流量	1/2FE-3201A	0.62	538.8	335.3
	復水流量	1/2FE-3201B	0.62	538.8	335.3
高浜3/4号	復水流量	3/4FE-5152	0.59	640.4	379.1
大飯1/2号	復水流量	1/2FE-3201A/B	0.65	622.4	404.7
	復水流量	1/2FE-3201C/D	0.66	421.2	279.4

(注) 絞り直径比() = (オリフィス絞り部の径) / (配管内径)

配管製作時の履歴を調査し、要領書等に基づいた製作であるか。 根拠の確認

【検討目的】

適用する規格について明らかにするとともに、製作時の履歴を調査し、要領書等に基づいた製作であること及び根拠を明確にする。

【検討内容】

1. 製作の手順

第 4 低圧給水加熱器から脱気器に至る比較的大口径の配管は、板を管状に曲げた状態で長手方向に溶接して製作する。

他配管とのつなぎは周方向に溶接を実施する。

溶接については、両者共に「電気工作物の溶接の技術基準（昭和 45 年）」（以下「溶接の技術基準」と呼ぶ）に基づき、溶接施工及び検査を実施する。

溶接施工が妥当であることは、検査記録及び当時の(財)発電用熱機関協会の立会検査記録及び合格書から確認する。

2. 溶接施工（要求溶接施工の整理）

2.1 長手溶接（管の製作）

(1) 長手溶接施工の管理

長手溶接部に関しては「溶接の技術基準」に基づく要求があり、当時の(財)発電用熱機関協会での検査を実施した。

材料確認（発電用熱機関協会立会）

開先合わせ（発電用熱機関協会立会）

裏ハツリ（発電用熱機関協会立会）

機械試験（発電用熱機関協会立会）

耐圧試験（発電用熱機関協会立会）

外観寸法（発電用熱機関協会立会）

各検査での結果を下表のとおり規格値に対して確認した。

素材段階	素材引張試験	化学分析
	引張強さ	炭素含有量
規格値	42 ~ 50kg/mm ²	0.35%以下(注 1)
試験結果	45kg/mm ²	0.15%

溶接施工段階	開先合わせ	溶接部機械試験	曲げ試験		耐圧試験
	食違い	引張強さ	自由曲げ	裏曲げ	圧力
規格値	1 mm以下	42kg/mm ² 以上	20%以上	注 2	13kg/cm ² ×1.5
試験結果	0 mm	50.8kg/mm ²	21.5%	良	19.5kg/cm ²

注1：「溶接の技術基準」第3条

炭素含有量が0.35%を超える母材は、溶接をしてはならない。

注2：「溶接の技術基準」第16条

長さ3mmを超える割れのないこと

長さ3mm以下の割れの合計が7mmを超えないこと

割れ及びブローホールの個数の合計が10個を超えないこと

(2)長手溶接検査記録の確認

「溶接の技術基準」にしたがって溶接施工されていることを、当時(財)発電用熱機関協会を確認され合格証明を得た。

(1) 項の全ての溶接検査は合格であることを合格証明書にて確認した。

また、各検査工程(~)に対応する検査記録を確認した。

内 容

素材チェックシート

材料検査記録

INSPECTION CERTIFICATE

検査証明書

開先寸法検査記録

裏ハツリ検査記録

溶接部機械試験成績表(A)

耐圧試験成績表

溶接検査チェックシート

検査合格刻印写

溶接検査合格証明書

2.2 周方向溶接(管と管の接続)

(1)周方向溶接施工の管理

周方向溶接部に関しては「溶接の技術基準」に基づく要求があり、当時の(財)発電用熱機関協会にて以下の検査を実施した。

材料確認 (発電用熱機関協会立会)

開先合わせ (発電用熱機関協会立会)

耐圧試験 (発電用熱機関協会立会)(現地耐圧)

外観検査 (発電用熱機関協会立会)

各検査での結果を下表のとおり規格値に対して確認した。

	エルボ素材 引張試験	化学成分	開先合わせ	耐圧試験
	引張強さ	炭素含有量	食違い	圧力
規格値	42～50kg/mm ²	0.35%以下(注1)	1.5mm以下	13kg/cm ² ×1.5
試験結果	47kg/mm ²	0.14%	0.3mm	19.5kg/cm ²

直管部は2.1項に記載済み

注1：「溶接の技術基準」第3条

炭素含有量が0.35%を超える母材は、溶接をしてはならない。

(2)周方向溶接検査記録の確認

「溶接の技術基準」にしたがって溶接施工されていることを、当時(財)発電用熱機関協会により確認され合格証明を得た。

(1)項の全ての溶接検査は合格であることを合格証明書にて確認した。

また、各検査工程(～)に対応する検査記録を確認した。

内 容

検査工程一覧表及びチェックシート 工場分：A系統

検査工程一覧表及びチェックシート 工場分：B系統

INSPECTION CERTIFICATE

溶接開先検査記録

溶接検査(刻印写) 工場分

検査工程一覧表及びチェックシート 現地分

耐圧試験検査成績表

溶接検査(刻印写) 現地分

溶接検査合格証明書

スケルトン図(工場分、現地分)

なお、現地において刻印を確認し、配管敷設時の溶接検査記録と一致していることを確認した。

また、当該配管のA系統とB系統とは、同一の板材から製作されていることを記録により確認した。次にB系統の現地の刻印の材料番号を確認し、計画どおりの材料が使用されていることを確認した。

【検討結果】

「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。なお、現地において刻印を確認し、計画どおりの施工がされていることを確認した。

支持構造物の点検状況について

1 . 調査目的

当該系統の支持構造物の点検状況の調査を行い、適切に点検が実施されていることの確認を行なう。

2 . 調査内容

当該系統の支持構造物の点検内容実績の確認を行なう。

3 . 調査結果

当該系統（復水管ヘッダー～脱気器）までの支持構造物については、第20回定検において外観目視点検を実施し、問題のないことを確認していることを確認した。

以上

水質パラメータ（pH、溶存酸素、導電率等）履歴の調査。腐食要因となるパラメータの調査

【検討目的】

水質パラメータ履歴の調査として、腐食要因となるパラメータ（pH、溶存酸素及びその関連パラメータ）調査を行うとともに、腐食の結果として現れる鉄濃度履歴を調査し、水質管理上問題がなかったことを確認する。また、過去の海水漏えい（塩素イオン）がpH、溶存酸素に影響を与えたかについて調査し、問題なかったことを確認する。

【検討内容】

（１）２次系水質管理履歴調査

美浜３号機の２次系系統を図１に示す。

美浜３号機の水質管理値の変遷を図２にまとめ、当該部の水質を以下の通り評価した。尚、２次系水質は系統全体で評価するため、分析項目については試料採取部位により異なる。

a．今運転期間（第２１運転期間）中の２次系水質管理履歴

(a) 給水処理に係る履歴調査

美浜３号機では、復水処理装置排水処理設備設置に伴い今運転期間から給水ETA濃度を約2ppm（従来は約0.2ppm）まで上昇させており、従来に比べ、２次系系統のpHをやや高めに管理している。ETA濃度の上昇に伴い、今運転期間中、給水鉄濃度は低下しており、その他の復水、給水、蒸気発生器器内水の水質データもすべて水質管理値内にあった。

(b) 塩素イオン混入履歴

美浜３号機では今運転期間中、復水器細管漏えいの実績はなく、また蒸気発生器器内水の塩素イオン及びカチオン電気伝導率、復水カチオン電気伝導率もすべて水質管理値内にあった。

b．これまでの２次系水質管理履歴（運転開始～第２１運転期間）

(a) 給水処理に係る履歴調査

美浜３号機では運転開始当初から給水処理が計画通り行われており、給水pH、溶存酸素などの水質はすべての期間を通じて水質管理値内に維持されている。なお、第１０運転期間(S63/7)から第１５運転期間(H8/8)において、ほう酸注入^(*)を実施している。また、これまでヒドラジン濃度の上昇（第７運転期間）、ETA濃度の上昇（第２１運転期間）等の対策により給水の鉄濃度は経年的に低下してきている。

*：蒸気発生器の細管／支持板の一部にアルカリが濃縮して600合金細管に粒界腐食が起こることを防ぐため中和用に注入

c．塩素イオン混入履歴

美浜３号機では第１３運転期間（H5/8）と第１７運転期間（H10/10）に復水器細管漏えいを経験しており、第１７運転期間には当該部の塩素イオン濃度が一時的（25分程度）に上昇したものの、添付１に示すとおり混入した不純物は下流側の復水処理装置により、除去され、当該部のpH、溶存酸素にもほとんど影響は認められない。

また、通常運転時の蒸気発生器器内水の塩素イオン、カチオン電気伝導率について調査した結果、すべての期間を通じて水質管理値内であった。復水カチオン電気伝導率につい

ては第3運転期間の初期に水質管理値を僅かに超える時期があったが、蒸気発生器器内水の塩素イオン、カチオン電気伝導率に変化はなかった。

以上から当該部についても運転開始以降～第21運転期間まで特異な水質環境にはなかったものと考えられる。

【検討結果】

美浜3号機の関連するすべての水質管理履歴を調査した結果、以下の通りであり、運転開始以降当該部の水質環境について特異なものは認められなかった。

今運転期間及び運転開始から今運転期間までの給水処理に係る水質管理履歴を調査した結果、復水、給水、蒸気発生器器内水の水質データは何れも水質管理値内に維持されている。

(水質管理値は、当社プラント共通の管理値である。)

2次系給水処理は、運転開始当初からAVT、また最近ではETA注入等計画通り行われており、各種対策により、経年的に給水鉄濃度も低減してきている。

今運転期間及び運転開始からの塩素混入履歴を調査した結果、2度の復水器細管漏えいは経験しているものの、その影響は小さく、当該部のpH、溶存酸素に大きな変化はない。

以 上

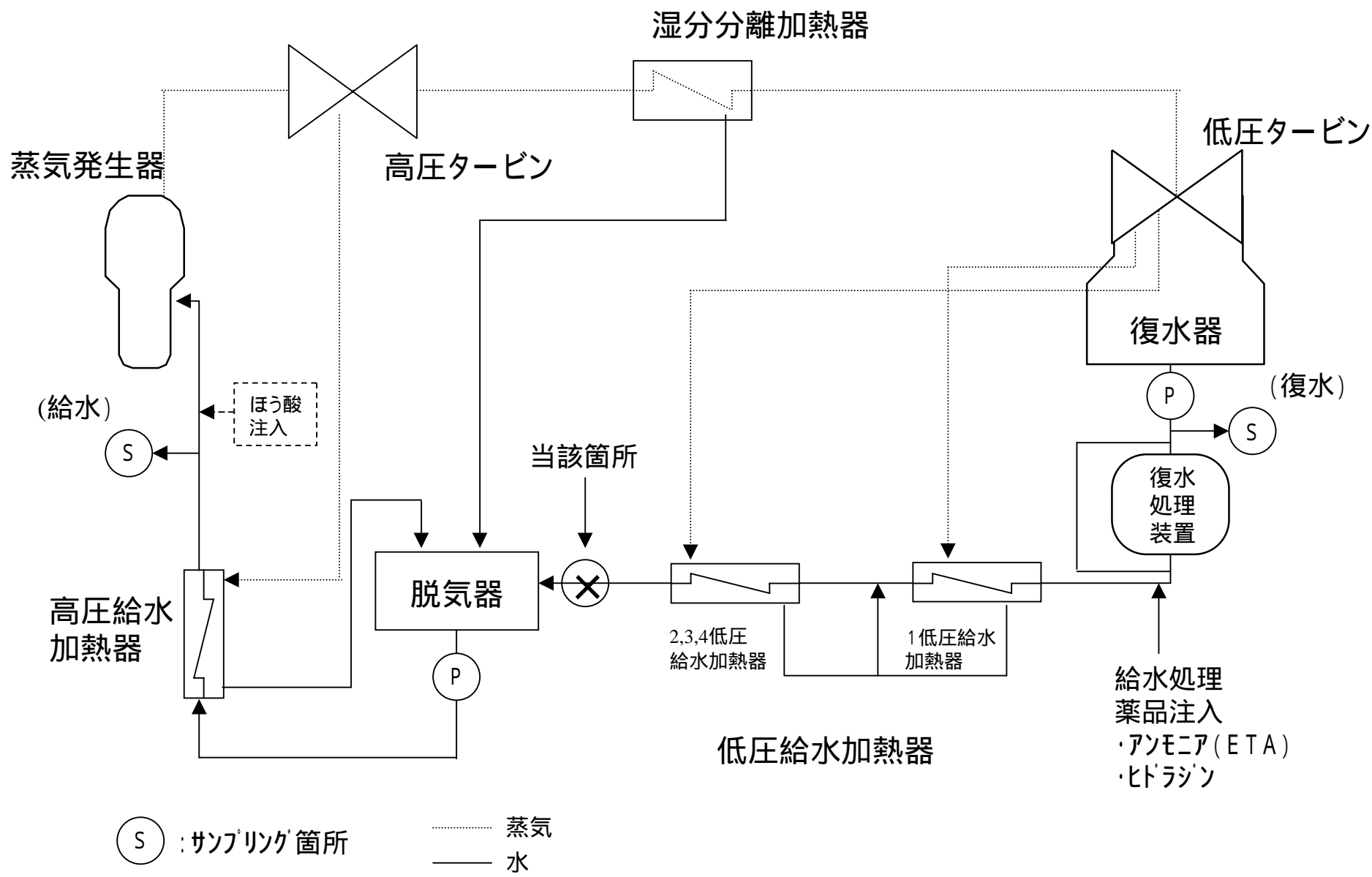


図1 美浜3号機の2次系系統概要

項目		S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16
美浜3号機の各運転期間		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	SGR	16	17	18	19	20	21							
美浜3号機の 水処理履歴		全揮発性薬品処理(AVT:アンモニア+ヒドラジン)																									注 2			
		ヒドラジン濃度上昇															微量ETA注入(注1)													
		ほう酸注入																												
SG		旧SG															新SG													
復水	加わる電気伝導率	(μS/cm)	0.2					0.3					6.1																	
	溶存酸素	(ppb)	50															10												
給水	pH (at 25)	アンモニア+ヒドラジン 処理時	8.8~9.2	8.8 ~ 9.3					-					8.8 ~ 9.3																
		ETA注入時	-															8.8 ~ 9.7												
		ほう酸注入時	-					8.5 ~ 9.3					-																	
	電気伝導率	(μS/cm)	< 4	< 5															9											
	アンモニア	(ppm)	-															0.6					-							
	ETA	(ppm)	-															3												
	ヒドラジン	(ppb)	復水溶存 酸素+5	> 2					5					200					100 & 復水溶存酸素×40											
	溶存酸素	(ppb)	< 5					5																						
全鉄	(ppb)	< 20 (集中試料採取箇所)					20 (集中試料採取箇所)					10 (集中試料採取箇所)					20 (現地試料採取箇所)													
SG	pH (at 25)	-	8.5 ~ 9.0	8.5~9.1					8.6~9.1					7.5 ~ 9.1					8.6~9.9											
	加わる電気伝導率	(μS/cm)	< 2					1										0.6 + 有機酸寄与分												
	塩素イオン	(ppb)	< 100					100					20					10												

注1: AVT(アンモニア+ヒドラジン)に追加して微量(~0.2ppm)のETAを注入
注2: pH調整剤としてアンモニアの代わりにETA約2ppmに調整

SGR:蒸気発生器取替工事

図2 2次系水質管理値の変遷

配管解析結果から、当該部に過大な応力がかかっていないか。熱疲労、フレットイング、キャビテーション等の破損要因の有無の確認

【検討目的】

配管解析結果から、当該部に過大な応力がかかっていないか検討する。また、当該破損配管部周辺でのこれらの事象の発生の有無と当該部への影響について検討する。

【検討内容】

1. 過大な応力の発生に関する検討

応力に関する検討は別途実施済み（別添 4 - 3 - 4）であり、配管解析結果から過大な応力が発生していないことを確認している。

2. 熱疲労

1) 温度ゆらぎ

高温水と低温水が合流する箇所（図 1 参照）では、温度ゆらぎの発生による熱疲労が考えられる。

当該破損配管部には高温水と低温水の合流部位はないため、温度ゆらぎは発生しない。

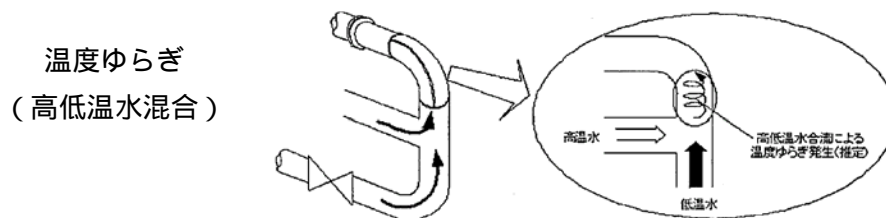


図 1 高温水と低温水が合流する箇所での温度ゆらぎの発生

2) キャビティーフロー型熱成層の発生による高サイクル熱疲労

閉塞分岐管の滞留部に主流の高温水が侵入する箇所では、熱成層界面が発生・変動するキャビティーフロー型熱成層の発生による高サイクル熱疲労が考えられる。（図 2 参照）

当該破損配管部には該当する箇所としてドレン管が存在する。キャビティーフロー型熱成層による高サイクル熱疲労の評価（配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針 JSME S017）では、主管（復水管）の流速が遅く発生の可能性が低いいため評価対象外であること、また、念のため評価条件を外挿して評価したところ、ドレ

ン管が十分長く、高温水が滞留部まで進入しないとの評価結果を得た。

したがって、キャビティーフロー型熱成層の発生はなく、高サイクル熱疲労は発生しない。(別添別紙 4 - 3 - 9 - 1 参照)

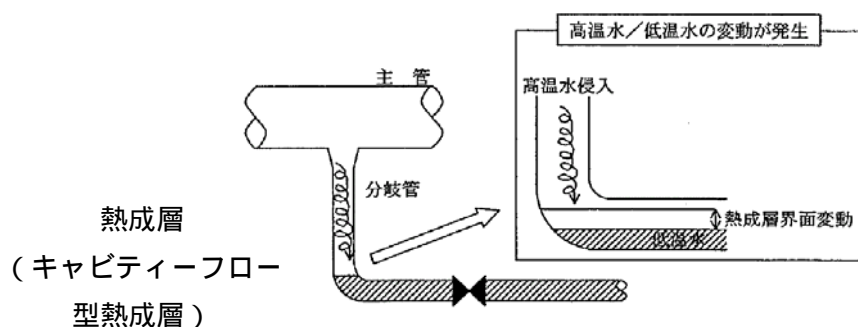


図2 閉塞分岐管の滞留部のキャビティーフロー型熱成層の発生による高サイクル熱疲労

2. フレッシング摩耗

フレッシング摩耗は、図3に示すように2つの物体が接触しながら繰返すべりが生じる場合に接触面で発生する減肉現象である。

当該配管部にはオリフィスとスプリングハンガーが取り付けられている。オリフィスは配管フランジの合わせ面に挟み込む設置方法であるためすべりは生じない。また、配管を支持しているスプリングハンガーの取付部は配管に固定されているためすべりは生じない。以上のことから、フレッシング摩耗は発生しない。

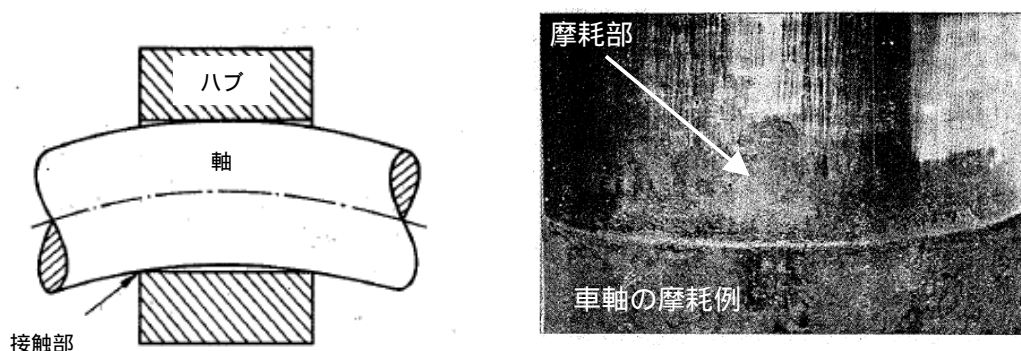


図3 回転軸のフレッシング摩耗例

出典：R. B. Waterhouse, Fretting Corrosion, Pergamon Press, (1972)

3. キャビテーション

キャビテーションは局所的な減圧沸騰により気泡が発生し、図4に示すように金属表面が侵食される現象である。



温度：70
環境：牛乳
材料：SUS316

図4 ポンプインペラ（SUS316鋼）のキャビテーション発生例

E.D.D.During, Corrosion Atlas -A collection of Illustrated Case Histories-, Elsevier, (1988).

当該破損配管部の復水管流量計オリフィス部では流れが絞られ減圧するが、別途実施したキャビテーション発生の可能性に関する検討（別添4-3-10）で、キャビテーション発生条件に関する実験に基づいた文献データを基に当該オリフィス部でのキャビテーション発生の有無を検討した結果、蒸気泡発生条件に対して十分余裕のある設計であり、キャビテーションは発生しないことを確認している。また、減圧沸騰発生条件に対しても十分余裕があることが確認されている（定格運転時、給水系統流量測定フローノズル部下流のサブクール度は約37）。

【検討結果】

当該配管に過大な応力が発生していないこと、熱疲労（温度ゆらぎ、キャビテーションフロー型熱成層の発生による高サイクル熱疲労）、フレットイング、キャビテーション等の当該破損配管部周辺での発生はなく、当該部への影響はないことを確認した。

当該部ドレン管のキャビティーフロー型熱成層発生の評価について

1. 評価方法

機械学会基準（配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針 JSME S017-2003）によると流速 5m/s 以下では渦侵入のドライビングフォースとなる慣性力が小さく、渦侵入深さは極めて小さな値となるため指針の適用外である。

当該ドレン管（流速 2.2m/s）は指針の適用外であり評価の必要はないが、念のため、機械学会基準を外挿して評価を行う。

2. 評価結果

当該部ドレン管の評価結果（評価フロー及び判定基準は別添別紙 4 - 3 - 9 - 2 参照）

口径 25mm

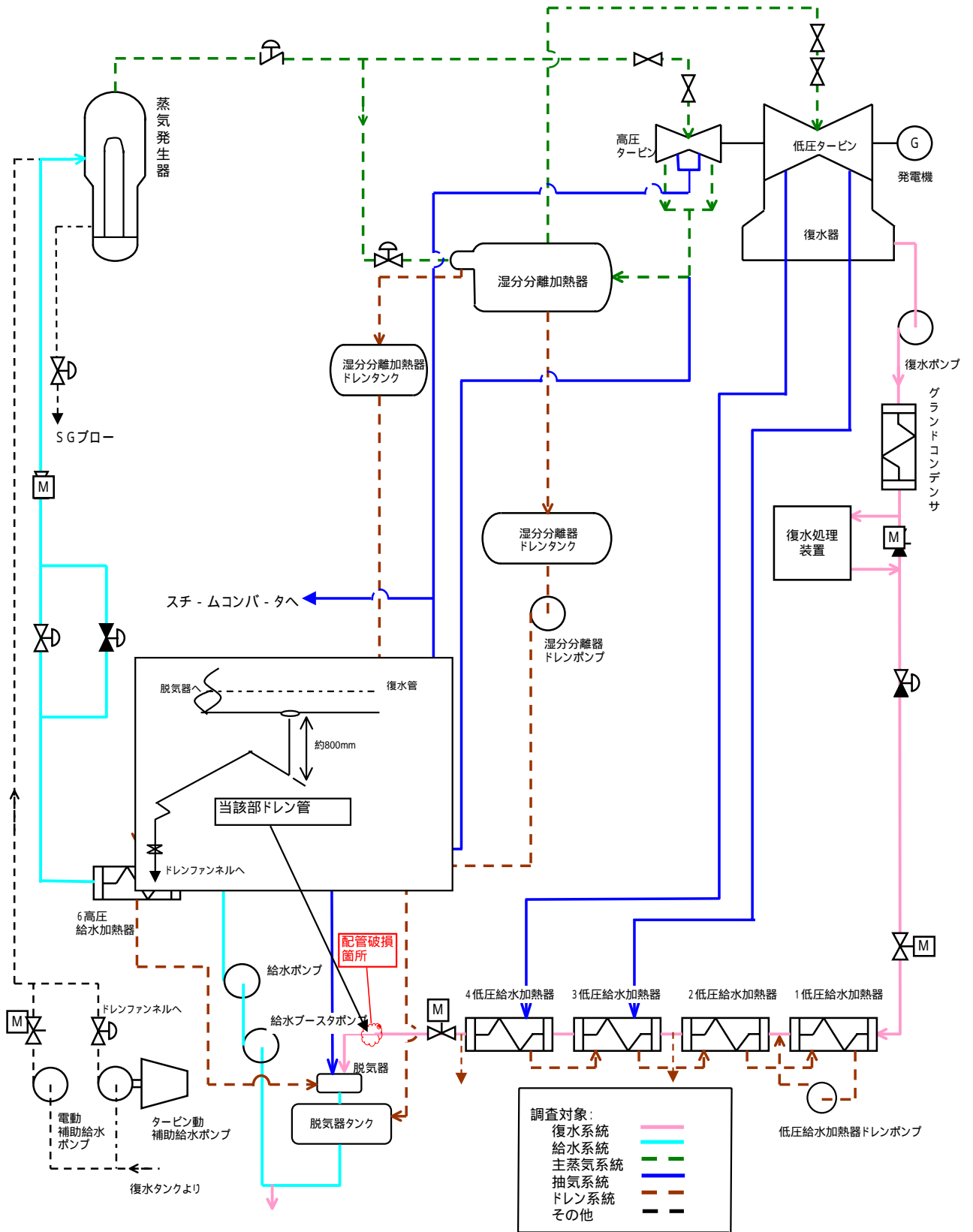
主管流速 2.2m

主管内流体平均温度と雰囲気温度の差 100

分岐管鉛直部長さ 0.8m

キャビティーフローの分岐管鉛直部への侵入深さ 0.42m

評価結果 分岐管鉛直部長さがキャビティーフローの分岐管鉛直部への侵入深さより長いため、キャビティーフロー型熱成層は発生しない



美浜3号機 系統概要図

記号の説明

- T : 主管内流体平均温度
- L_v : 分岐管鉛直部長さ
- T_a : 雰囲気温度 = 40 と仮定
- L_{sv} : キャビティフロ-の分岐管鉛直部への侵入深さ
- L_{dv} : キャビティフロ-の分岐管鉛直部への侵入判定長さ
- L_{dh} : キャビティフロ-の分岐管水平部への侵入判定長さ
- T_{cr} : 判定温度差 : 4 2
- D_b : 分岐管内径

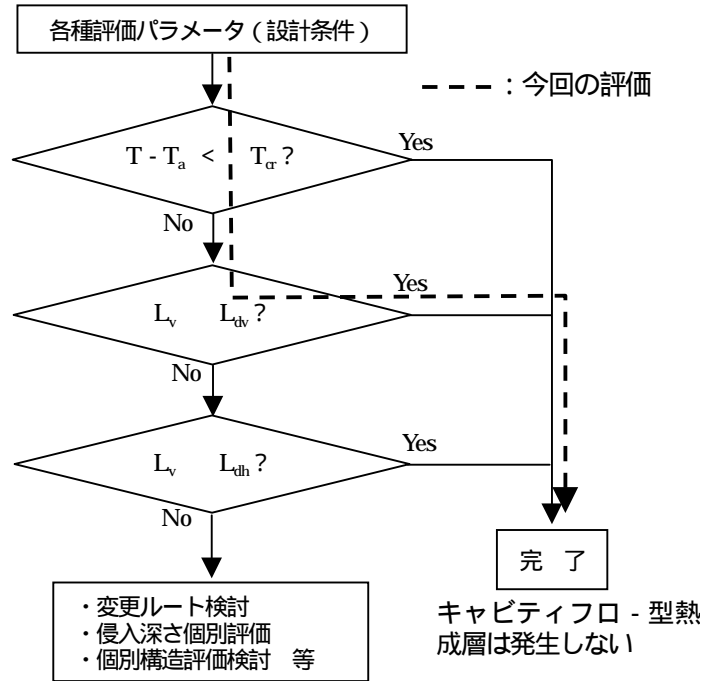
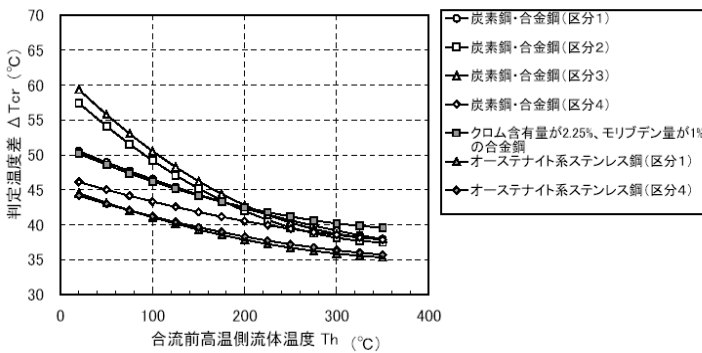
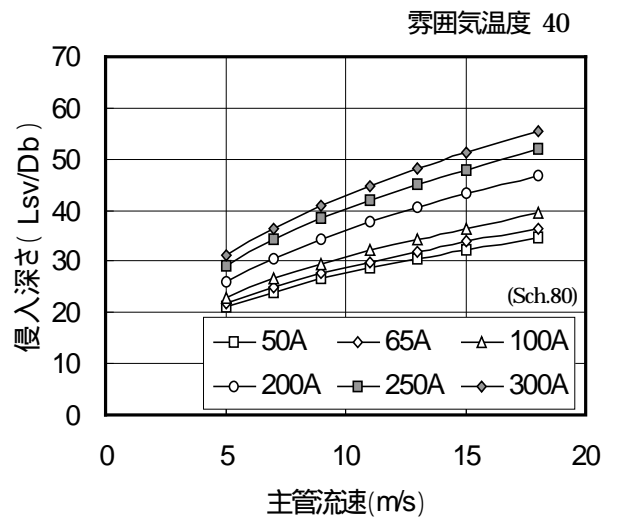


図 4.2.2-1 閉塞分岐管滞留部に発生する熱成層化現象評価フロ-



別表 3-1 : 代表鋼種に対する T_{cr}



別図 4-2(3/3) キャビティフロ-の分岐管鉛直部侵入部深さ*

* 外挿により使用

キャビテーション発生条件とキャビテーション発生の有無の評価

【検討目的】

オリフィスでのキャビテーション発生条件に関する実験にもとづいた文献データを基に当該オリフィス部でのキャビテーションの発生の有無を検討する。

【検討内容】

1. キャビテーション発生条件の調査

キャビテーション，フラッシングは流れによる減圧により水が蒸発して気泡を作る現象である。ここでは公開文献（"J.P.Tullis, Cavitation and Size Scale Effects For Orifices, ASCE, J. of Hydraulic Division, pp.417-430, 1973"）を用い，キャビテーション発生条件を整理した。実機のキャビテーション発生評価に際しては美浜 3号機とほぼ同じ配管径 597mm（他の諸元は表 1 のとおり）のデータを使用する。図 1 より当該オリフィス（オリフィス直径比 $d/D=0.62$ ）のキャビテーション発生条件は，キャビテーション係数 $\sigma_j=4.5$ 以下である。

図中のプロットは実験値である。

試験装置は貯水タンクからの重力落下式であり，装置の諸元を実機と比較して表 1 に示す。

試験は寸法，流量等，実機オリフィス条件とほぼ同等である。

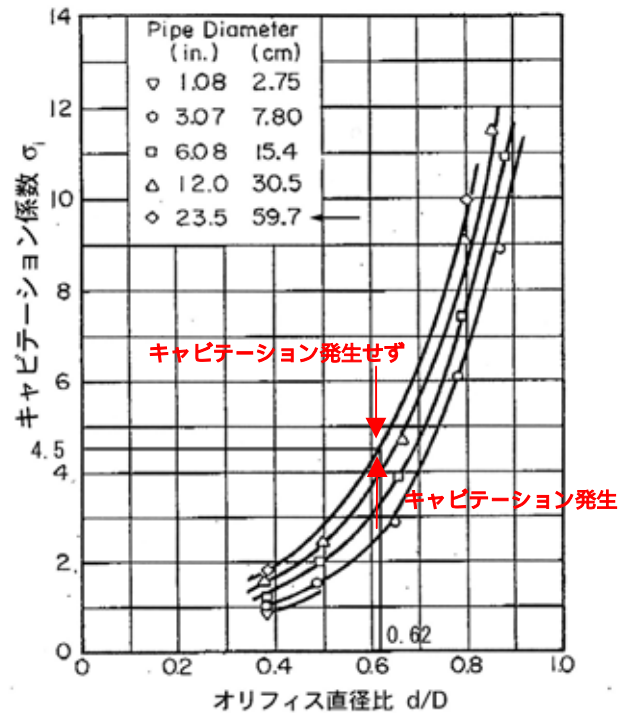


図 1 オリフィスのキャビテーション係数

出典：J.P.Tullis, Cavitation and Size Scale Effects For Orifices, ASCE, J. of Hydraulic Division, pp.417-430, 1973

表 1 実機と試験のオリフィス諸元比較

	美浜 3号機復水管	試験装置	備考
配管内径	538.8 mm	27.4 ~ 597mm	
オリフィス直径比	0.62	0.380 ~ 0.884	
流量	1700 ton/hr	0 ~ 9000ton/hr	
配管内流速	2.2m/s	0 ~ 8.9m/s	597mm 配管で計算
水温	140	常温	

2. 当該部のキャビテーション発生有無の検討

(1) 評価条件

オリフィス径	: d=335.3 mm	(オリフィス直径比 : d/D=0.62)
温度	: 140	
飽和蒸気圧	: $P_v = 361 \text{ kPa}$	(水温 140 に対する飽和蒸気圧*)
オリフィス静差圧	: $P_u - P_d = 21 \text{ kPa}$	* 日本機械学会蒸気表(1968)
オリフィス上流静圧力	: $P_u = 1031 \text{ kPa}$	
オリフィス下流静圧力	: $P_d = 1010 \text{ kPa}$	

(2) 評価

オリフィス静差圧 $P_u - P_d$, オリフィス下流静圧力 P_d , 飽和蒸気圧 P_v , を用いて図 1 の縦軸に用いられているキャビテーション係数を実機条件から求めると,

$$\sigma^* = \frac{P_d - P_v}{P_u - P_d} = \frac{1010 - 361}{1031 - 1010} = 31 \quad (1)$$

*)前掲の文献に記載されている式。

となり, キャビテーションが発生する限界条件の 4.5 に比べ十分に大きいので, 当該オリフィス部でキャビテーションは発生しない。

【検討結果】

美浜 3 号機の設計条件では復水管流量計オリフィスは流れによる減圧による蒸気泡発生条件に対して十分な余裕があるため、評価上、キャビテーション、フラッシングは発生しない。

以上

当該配管の共振の有無、過去経験した地震とその時の発生応力及び振動発生状況の調査

【検討目的】

通常運転中の当該配管の固有振動数を算出し、振動発生源となる動的機器との共振について検討を行い、当該部へ与える影響を評価する。

また、過去の最大の地震力を確認するとともに、地震発生時の当該部への影響を評価する。

【検討内容】

1. 共振に対する設計の考え方

2次系配管(含当該配管)のサポート設計は、定められたサポート間隔以内にサポートを設置するとともに、振動による損傷を防止するために、このときの配管系の固有振動数が特に動的機器であるポンプの流動成分(NZ成分)と共振しないことを確認する。

2. 2次系配管に対する耐震設計の考え方

2次系配管に対する耐震設計については、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(原子力安全委員会、昭和56年7月)に基づいており、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から、2次系配管を含むタービン系統設備は重要度分類Cクラスの耐震設計を行う。

なお、本検討においては過去の地震による影響を評価するため、当該配管は静的地震力0.252Gにより影響評価を行う。

【検討結果】

1. 当該配管系とポンプとの共振の有無の調査

(1) 固有値の算出

当該配管部の固有振動数は下表のとおり。

	1次モード	2次モード	3次モード
固有振動数 f (Hz)	0.88	1.48	1.75

(2) 当該配管系との共振機器の抽出

当該配管系と共振の可能性のある機器は、動的機器であるポンプであり、復水系統に設置される復水ポンプ、復水ブースタポンプが考えられる。

なお、復水系統に接続される給水ブースタポンプ、給水ポンプ及び低圧給水加熱器ドレンポンプについても評価した。

(3) 共振の検討

(2)項で抽出したポンプについて、当該配管系との共振の可能性有無について評価した。その結果を次表に示す。

対象機器	評価結果	
	NZ	評価
1. 復水ポンプ	90Hz	低圧給水加熱器出口ヘッダーには固定サポートが設置されこのヘッダーの上流、下流は完全に関連が切れており、当該ポンプの振動により共振することはない。 また、当該ポンプ出口には、復水ブースタポンプが設置されており、当該ポンプの流動成分（NZ）が直接、当該配管系に影響を与えることはない。
2. 復水ブースタポンプ	210Hz	低圧給水加熱器出口ヘッダーには、固定サポートが設置されこのヘッダーの上流、下流は完全に関連が切れており、当該ポンプの振動により共振することはない。 また、当該配管系の固有振動数と当該ポンプのNZ成分とは大きくかけ離れており、共振することはない。
3. 給水ブースタポンプ及び給水ポンプ	ブースタポンプ 90Hz 給水ポンプ 430Hz	当該配管系の下流側に設置される動的機器であり、当該配管系とは脱気器で完全に関連が切れており、当該ポンプの振動により共振することはない。 また、当該配管系の固有振動数と当該ポンプのNZ成分とは大きくかけ離れており、共振することはない。
4. 低圧給水加熱器ドレンポンプ	180Hz	復水系に接続されている配管に設置されているポンプで、当該配管系とは低圧給水加熱器出口ヘッダー等で関連が切れており、当該ポンプの振動により共振することはない。 また、当該配管系の固有振動数と当該ポンプのNZ成分とは大きくかけ離れており、共振することはない。

以上より、当該配管と動的機器であるポンプとの共振の可能性はない。

2. 地震発生時の当該部への影響

美浜3号機で過去に経験した地震のうち、3号機原子炉補助建屋基礎において10Gal以上の最大水平加速度を記録した地震の諸元及び観測値を下表に示す。

	発震日時	震央地名	震央		地震規模(M)	観測値 ^{注1)}	
			東経	北緯		最大加速度(Gal)	
						水平 ^{注2)}	上下
1	1983.3.6 6:32	福井県嶺南地方	136°1.6	35°41.5	5.0	66.5	27.6
2	1983.3.6 6:33	福井県嶺南地方	136°2.7	35°41.3	3.8	16.1	5.0
3	1985.11.27 9:01	若狭湾	135°45	35°36.7	5.2	18.4	10.3
4	1995.1.17 5:46	淡路島付近	135°2.27	34°35.71	7.3	16.3	6.3
5	1995.5.8 1:19	若狭湾	135°55.32	35°43.18	3.4	15.0	3.6
6	1999.11.7 3:34	福井県沖	135°47.82	36°3.37	5.0	40.6	10.9
7	2000.6.5 9:54	福井県嶺南地方	136°6.8	35°43.04	4.9	25.0	10.4

注1) 観測値は3号機原子炉補助建屋基礎上部(EL-1.6m)での値

注2) 最大加速度のうち水平とは、水平2成分のうち大きいものをいう

最も大きな最大加速度を記録したのは上表の1の地震で、66.5Galを記録している。

評価は、「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)」を用い、当該部配管の設置階における水平地震力(指針に基づく静的地震力 $0.252G^{(*1)}$)を考慮し、当該配管部に発生する応力を梁-質点モデルにて算出した。

その結果、水平方向(X方向,Z方向)に発生する応力は、下表のとおりで、当該配管材SB42の降伏応力 $189(N/mm^2)$ に比べ十分小さく問題ないことを確認した。

	当該部(A系)	類似箇所(B系)	SB42の降伏応力
X方向	$38N/mm^2$	$25N/mm^2$	$189N/mm^2$
Z方向	$37N/mm^2$	$30N/mm^2$	

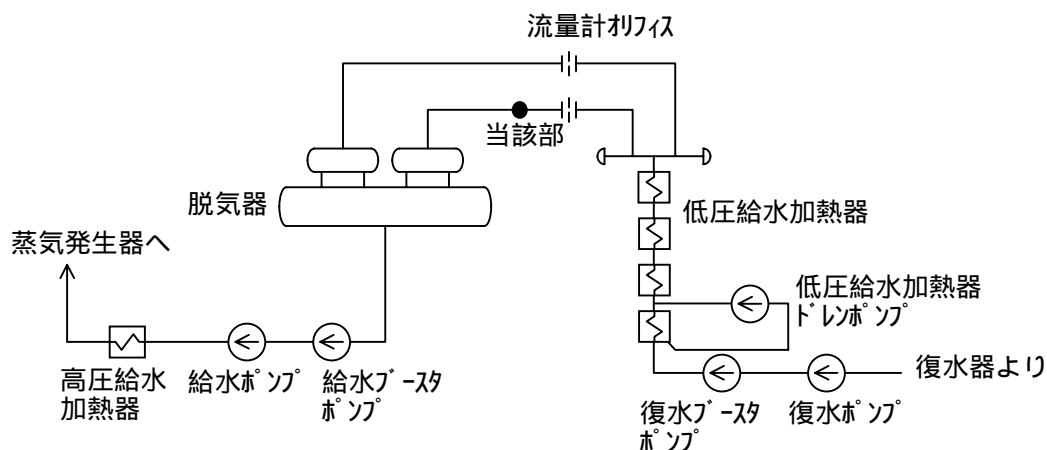
(*1) 美浜3号機のタービン建屋の構造設計用地震層せん断力係数C値に機器設計用として1.2倍して使用する。

当該配管設置階	EL + 22500
C	0.21
1.2C	0.252

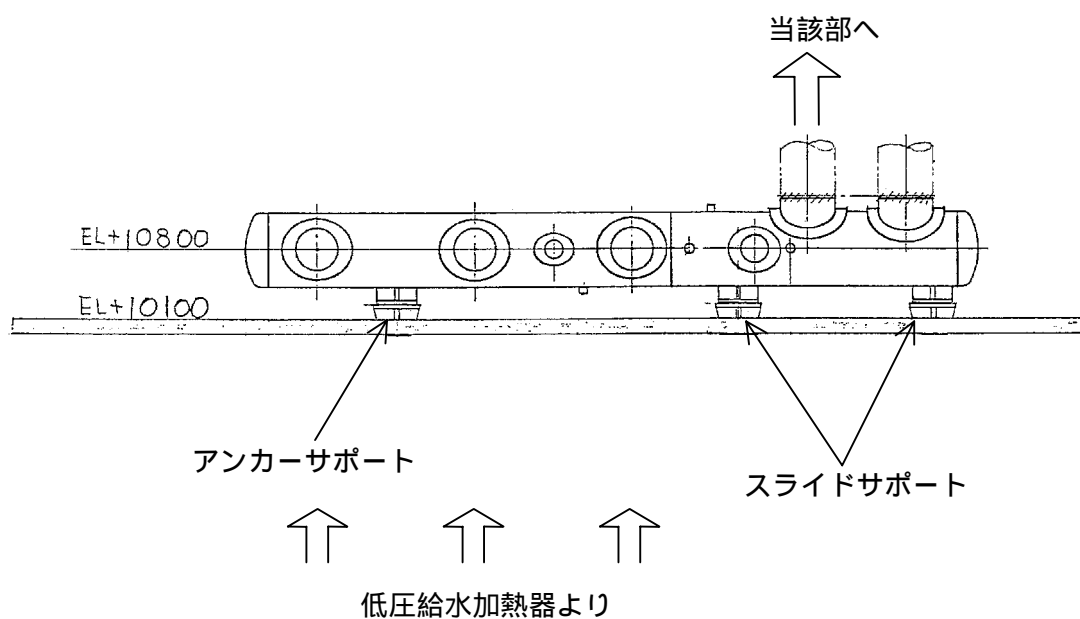
【参考】

1. 当該配管まわり概略系統

(復水ポンプ、ブースタポンプ、給水ポンプ、ブースタポンプ及び低圧給水加熱器
ドレンポンプ位置)



2. 低圧給水加熱器出口ヘッダーサポート図



3. 当該配管部材料降伏応力 189N/mm^2 は、使用状態での値が記載されている告示 501 別表第 9 に基づく。

起動・停止回数及びプラントトリップ等の過渡事象の発生について調査し、給水流量、温度、圧力等の変動の有無に関する調査・確認

【検討目的】

当該配管の給水流量、圧力、温度の変動に至る影響を及ぼした可能性のあるプラントトリップ等の過去の事象を調査し、その給水流量、圧力、温度の変動が及ぼす影響について確認する。また、その発生回数の影響についても確認する。

【検討内容】

(1) 過渡事象の調査

美浜3号機で約28年間に発生した流量、圧力、温度の変動に至る過渡事象を別添別紙 - 4 - 3 - 1 2 - 1 に整理した。

このうち、過去のトラブルの中から、脱気器入口復水流量計オリフィス下流に影響を及ぼした可能性のある過去の事象を別添別紙 - 4 - 3 - 1 2 - 2 に整理し、設計で想定している過渡を超えるものがないことを確認した。

したがって、過去いずれの事象も設計条件で評価することができる。別添別紙 - 4 - 3 - 1 4 - 1 の過渡事象の調査結果のまとめを表 - 1 に示す。

表 - 1 過渡事象の調査結果のまとめ

事象	2次系への影響	発生回数 (回)
プラント起動	常温から運転中温度への変化	44
プラント停止	運転中温度から常温への変化	42
100%から90%へのステップ状負荷減少	給水流量は減少し、温度が低下するため2次系へ影響する	2
100%からの原子炉トリップ	給水流量は減少、温度は低下するため、2次系へ影響する。	4
その他の事象		709*
		合計 801*

* : 別添別紙 - 4 - 3 - 1 4 - 1 中の2次系への影響の可能性のある事象の合計

(2) 配管応力と許容過渡回数

各過渡事象は表 - 2 に示すように、脱気器入口復水管の最高使用圧力 (13 k g /cm² g) と最高使用温度 (195) を用いて計算した「ANSI (ASME) B31.1」の許容値に包絡されるので、繰り返し回数の制限値は7000回である。

表 - 1 に示す各過渡の合計回数は801回であり、7000回以下であるので問題ない。

表 - 2 過渡による応力と過渡回数の評価

		最大過渡時の配管応力	過渡回数
検討	考え方	最高使用圧力 (13kg/cm ² g) と最高使用温度 (195) で内圧、自重応力及び熱膨張応力を検討し、許容値以下であることを確認する。	熱膨張応力評価の応力補正係数の中で繰返し回数を評価する。 設計上、7000 回までの過渡事象を想定している。 熱膨張発生応力値 $f (1.25Sc + 0.25Sh)$ Sh : 材料の使用温度時の許容引張応力 Sc : 材料の常温時の許容引張応力 f : 応力補正係数 (運転サイクル 7000 回未満 f = 1)
	結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自重 + 内圧による応力の検討 発生応力値 3.0kg/mm² < 許容値 10.5 kg/mm² ・ 熱膨張応力の検討 発生応力値 0.2kg/mm² < 許容値 15.7kg/mm² 	今までのプラント起動、停止回数、その他の事象 + プラントトリップ等の過渡事象は約 801 回。 約 801 回 < 7000 回
判定		○	○

注) 当該部 (オリフィス下流) を評価。

(3) 流量の変動

内部流量 (流速) の変動により配管には慣性力が作用するが、通常運転時及びプラント過渡時にも水が満水状態にあること、また、第 4 低圧給水加熱器から脱気器間には運転中に急激に自動閉止される弁がないため衝撃力は生じない。

上記のことから、当該部の応力評価はプラント過渡事象によって生じる流量変化の影響を受けない。なお、熱応力については流体温度の影響を受けるが、過渡時の最大温度差は設計条件に包絡されていることから流量 (流速) の変化による影響は受けない。

【検討結果】

当該配管の給水流量、圧力、温度の変動に至る影響を及ぼした可能性のあるプラントトリップ等の過去の事象を調査し、その給水流量、圧力、温度の影響が過渡事象の範囲内であること、また、その発生回数を考慮しても、2 次系設備設計に対する通常の過渡事象の想定回数の範囲内であることを確認した。

以上

美浜 3 号機 実績過渡回数

過渡項目（1次系）	2次系への影響	実績過渡回数（回）
起動	常温から運転中温度への変化	44
停止	運転中温度から常温への変化	42
負荷上昇（負荷上昇率 5%/min）	給水流量・温度が上昇するため、2次系へ影響する	318
負荷減少（負荷減少率 5%/min）	給水流量・温度が低下するため、2次系へ影響する	304
90%から 100%へのステップ状負荷上昇	給水流量は減少/増加し、温度が上昇するため、2次系へ影響する	2
100%から 90%へのステップ状負荷減少	給水流量は減少し、温度が低下するため、2次系へ影響する	2
100%からの大きいステップ状負荷減少	給水流量は減少し、温度が低下するため、2次系へ影響する	3
燃料交換	燃料交換はプラント停止中であり、2次系へ影響しない	(19)
0%から 15%への負荷上昇	給水温度は一定であるが、給水流量が増加するため、2次系に影響する	43
15%から 0%への負荷減少	給水温度は一定であるが、給水流量が減少するため、2次系に影響する	32
負荷の喪失	給水が停止するため、2次系に影響する	4
外部電源喪失	給水が停止するため、2次系に影響する	2
1次系冷却材流量の部分喪失	給水温度は一定であるが、給水流量は減少するため、2次系に影響する	0
100%からの原子炉トリップ	給水流量は減少、温度は低下するため、2次系へ影響する	4
1次冷却系の異常な減圧	給水流量は減少し、温度は低下するため、2次系へ影響する	0
制御棒クラスタの落下	給水温度一定であるが、給水流量が低下するため、2次系へ影響する	1
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	給水温度一定であるが、給水流量が低下するため、2次系へ影響する	0
1次冷却系停止ループの誤起動	給水温度は一定であるが、給水流量が低下するため、2次系へ影響する	0
タービン回転試験	給水は停止中であり、影響なし	(6)
1次系漏えい試験	影響なし	(33)
合計		801

注) () 内回数の表記は、2次系に影響しない事象の実績回数を示す。

過去の事故等で当該部の流体状態に影響があったと思われる事象

年月日	事象概要	評価	当該部の状態
1977.04.28	主蒸気隔離弁用電磁弁の動作不良により、主蒸気隔離弁が閉となり、蒸気発生器水位異常低で原子炉停止。	主蒸気系統は当該部位と直接接続されておらず、主蒸気隔離弁の誤閉止の影響はない、また、プラント停止時の温度及び圧力の変化幅は負荷遮断時と比較すると小さく、急激なパラメータ変化はない。	原子炉停止に伴い主給水隔離弁が閉となり、脱気器水位制御弁も遅れて全閉する。それに伴い、復水流量は数分間かけて0t/hとなることから100%からの原子炉トリップに伴う2次系過渡に包絡される。
1980.03.16	給水制御弁制御器の振動により、蒸気発生器水位異常高となり、タービントリップ(原子炉トリップ・発電機トリップ)。	主給水系統と当該部位の間には脱気器が設置されており、主給水制御弁異常の影響はない、また、プラント停止時の温度及び圧力の変化幅は負荷遮断時と比較すると小さく、急激なパラメータ変化はない。	原子炉停止に伴い主給水隔離弁が閉となり、脱気器水位制御弁も遅れて全閉する。それに伴い、復水流量は数分間かけて0t/hとなることから100%からの原子炉トリップに伴う2次系過渡に包絡される。
1983.12.27	設定器のヒューズ切れにより、主蒸気流量高パーシャル主蒸気隔離の警報が発信した。	主蒸気系統は当該部位と直接接続されておらず、主蒸気流量変動の影響はなく、急激なパラメータ変化はない。	誤信号でありプラントパラメータは特に変化しないことから当該部への特に影響無し
1985.03.09	脱気器レベルスイッチ(水位高-高)の誤作動により、全低圧ヒータドレンポンプが自動停止し第6給水ヒータ水位制御弁(常用)が全閉したため、負荷が変化した(2%負荷減少)。その後、プラント負荷を更に低下させ(86%負荷)、脱気器水位調整を行い、約92%負荷で運転継続。	低圧ヒータドレンポンプが停止することにより、当該部を流れる復水流量が一時的に変動するが、負荷変化幅は小さく、急激なパラメータ変化はない。	低圧ヒータドレンポンプ停止に伴い、瞬時に負荷が2%減少したことから100%から90%への1次系のステップ状負荷減少に伴う2次系過渡に包絡される(負荷減少に包絡される)。その後の負荷減少/上昇は手動で行っており、通常の負荷減少/負荷上昇に包絡される。
1985.05.05	湿分分離加熱器ドレンタンク水位制御系の不調により、常用水位制御弁から非常用水位制御弁に切り替ったため、負荷が若干低下した。	湿分分離加熱器ドレン制御が不調となるが、負荷変化幅が小さいため、パラメータ変化はほとんどない。	湿分分離器ドレンが脱気器から復水器回収に切り替わったことにより、約2%の負荷降下が発生したことから、1次系の100%から90%へのステップ状負荷減少に伴う2次系過渡に包絡される。
1987.05.27	ガスケットパッキンの締付け不足により、1次系統からの漏えいが発生した。	格納容器サンプは1次系の設備であり、2次系とは蒸気発生器で隔てられていることから、当該部への影響はない、また、プラント停止時の負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント停止時の負荷降下レートは10%/hで有り、通常のプラント停止の過渡に包絡される。
1988.07.25	溶接施工不良による低温割れにより、主給水制御弁出口配管付近から僅かな漏えいが発生した。	主給水系統と当該部位の間には脱気器が設置されており、影響はない、また、負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント停止時の負荷降下レートは10%/hで有り、通常のプラント停止の過渡に包絡される。

1993.08.24	復水器内に海水の微小な漏れ込みがあり、検塩計指示が上昇したため、負荷降下した。	復水器から復水系統に海水が漏れ込むが、水質は管理値以内であり問題はない、また、負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント停止時の負荷降下レートは10%/hで有り、通常のプラント停止の過渡に包絡される。
1994.04.20	主給水制御弁のシートリングにピストンリングとの接触による摩耗減肉部分があり、主給水制御弁注意の警報が発信され、原子炉を手動停止した。	主給水系統と当該部位の間には脱気器が設置されており、主給水制御弁動作不良の影響はない、また、プラント停止時の負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは通常停止時と変わらないことから、通常プラント停止の過渡に包絡される。
1995.7.12	高圧給水加熱器のドレン水位設定の調整不足が判明したため、負荷降下して点検した。	高圧給水加熱器のドレン流量の増加は、ドレン水位設定の調整不足によるものであり、当該部の運転状態には変化がなかったため影響はない、また、負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは10%/hで有り、負荷減少に伴う2次系過渡に包絡される
1995.10.13	原子炉水位計ハウジングのキャノピーシール部からの漏えいが発生した。	原子炉水位計は1次系の設備であり、2次系とは蒸気発生器で隔てられていることから、当該部への影響はない、また、プラント停止時の負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは通常停止時と変わらないことから、通常プラント停止の過渡に包絡される。
1998.10.18	復水器の細管1本に、内面で長さ1mm程度のくぼみ状の貫通欠落が生じて検塩計指示が上昇したため、負荷降下した。	復水器から復水系統に海水が漏れ込むが、水質は管理値以内であり問題はない、また、負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは2.0%/hで有り、100%からの原子炉トリップに伴う2次系過渡に包絡される。
1999.05.26	9本の油圧防振器の損傷に加え、2箇所の配管振れまわり防止用支持構造物で緩衝材の変形が生じていた 主蒸気管の水抜き作業中、当該配管内で水撃作用が発生した。	今回の破損発生部位との間には、高圧ヒータ、脱気器、及び給水ポンプ等の固定機器があり、配管変動の影響はほとんどない。	プラント停止中の事象であり特に影響無し
2002.11.15	1次冷却材ポンプ封水注入ラインベント弁のすみ肉溶接部の外表面の周方向に、長さ約25mmの線状のき裂が生じていたため、1次冷却材ポンプの封水注入ラインに取り付けてあるベント弁溶接部から漏洩が発生した。	1次冷却材ポンプは1次系設備であり、2次系とは蒸気発生器で隔てられていることから、当該部への影響はない、また、プラント停止時の負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは通常停止時と変わらないことから、通常プラント停止の過渡に包絡される。

当該配管破損のトリガー事象の有無について

1. 調査目的

当該配管の破損の主たる要因は、大幅な減肉が見られるため肉厚不足によると考えられるが、トリガーについては別の要因の可能性も考えられる。ただし、トリガーについては直接、その事象を示す記録はないので、事象発生当時のプラントの状況の調査、聞き取り調査、現場作業状態の調査等により、トリガーとなった事象の有無を検討する。

	調査項目	調査内容
要因	運転パラメータ調査	事象発生直前に運転パラメータの異常な変動等がないか確認する。
	聞き取り調査他	プレス文、聞き取り調査により、破損時に当該部付近にいた作業員の方々からの情報を確認する。
	周辺作業状況調査	破損時に周辺で実施していた作業内容を調査し、当該部に影響を与えるような作業が発生し得るか確認する。

2. 調査内容

(1) 運転パラメータ調査 (別添別紙 4 - 3 - 1 3 - 1)

配管内面からの要因として、運転パラメータの変動有無を確認した。

その結果、美浜 3 号機は定格熱出力一定運転中であり、給水・復水系統等のパラメータは安定しており、当該配管破損前には破損の兆候を示すパラメータの変化は認められなかった。また、事象発生時は、ポンプの切替等の運転操作は行っていないことを確認した。

(2) 聞き取り調査他 (別添別紙 4 - 3 - 1 3 - 2)

破損時に当該部付近にいた被災者以外の作業員の方(2名)からの聞き取り調査、及び、被災者の方々からの情報調査を実施した。

その結果、事象発生前に運転中の音以外に異常な音を聞いたとの情報がないことを確認した。

(3) 周辺作業実施状況調査 (別添別紙 4 - 3 - 1 3 - 3)

本設の架台、仮設の足場の設置状態、破損時の当該配管周辺における仮設足場の

設置作業状況等を把握し、当該配管の踏みつけの可能性や当該部に影響を与える作業の有無について検討した。

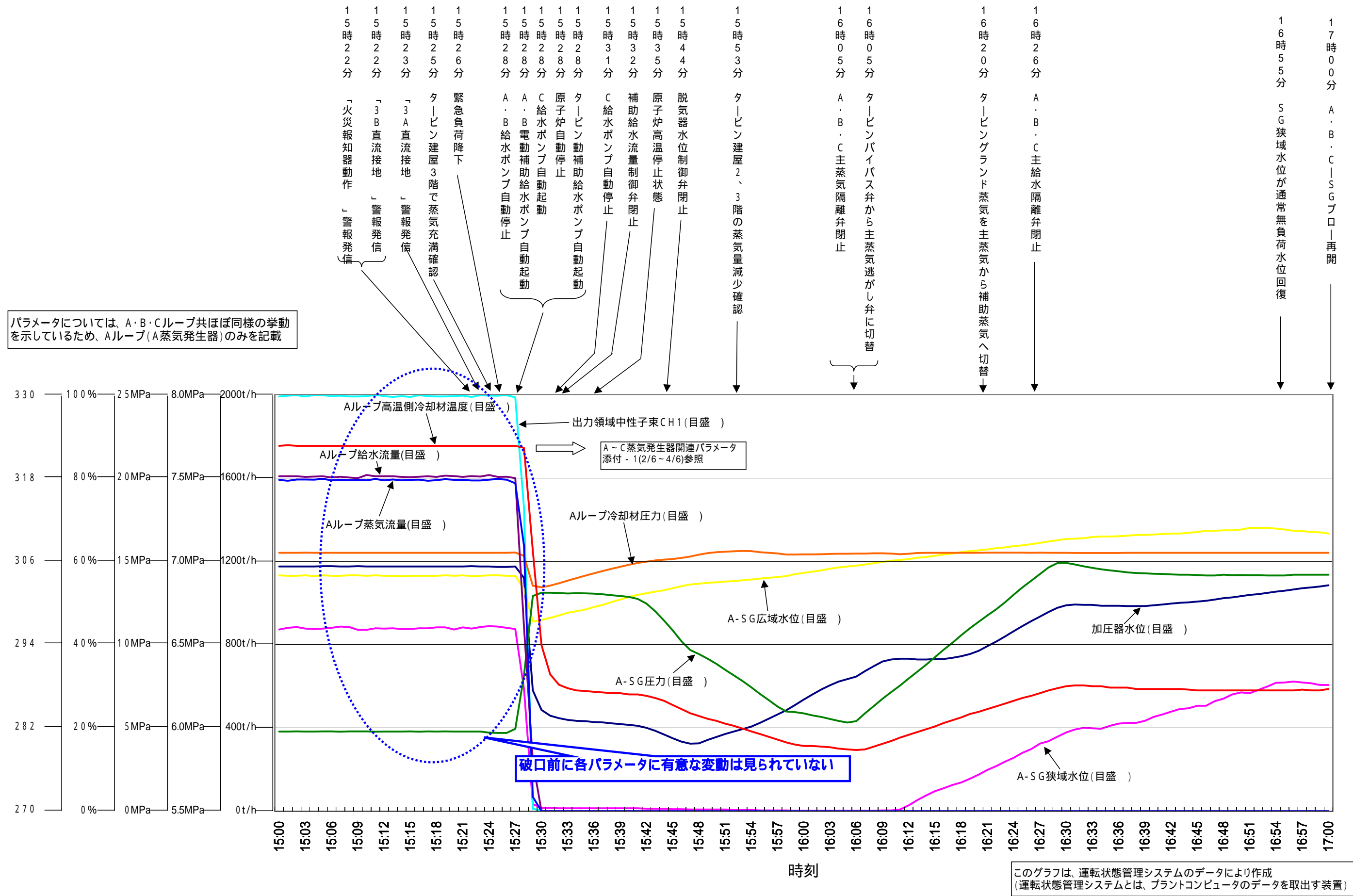
その結果、当該配管の踏みつけや部材を衝突させることはなかったと考えられる。

3 . 調査結果

以上の調査結果から、破損の兆候を示すパラメータの変化は認められなかったこと、現場では特に予兆となる異音等はなかったと考えられること、また、当該配管の踏みつけや部材を衝突させることはなかったと考えられることから、トリガーとなる事象はなかったと考えられる。

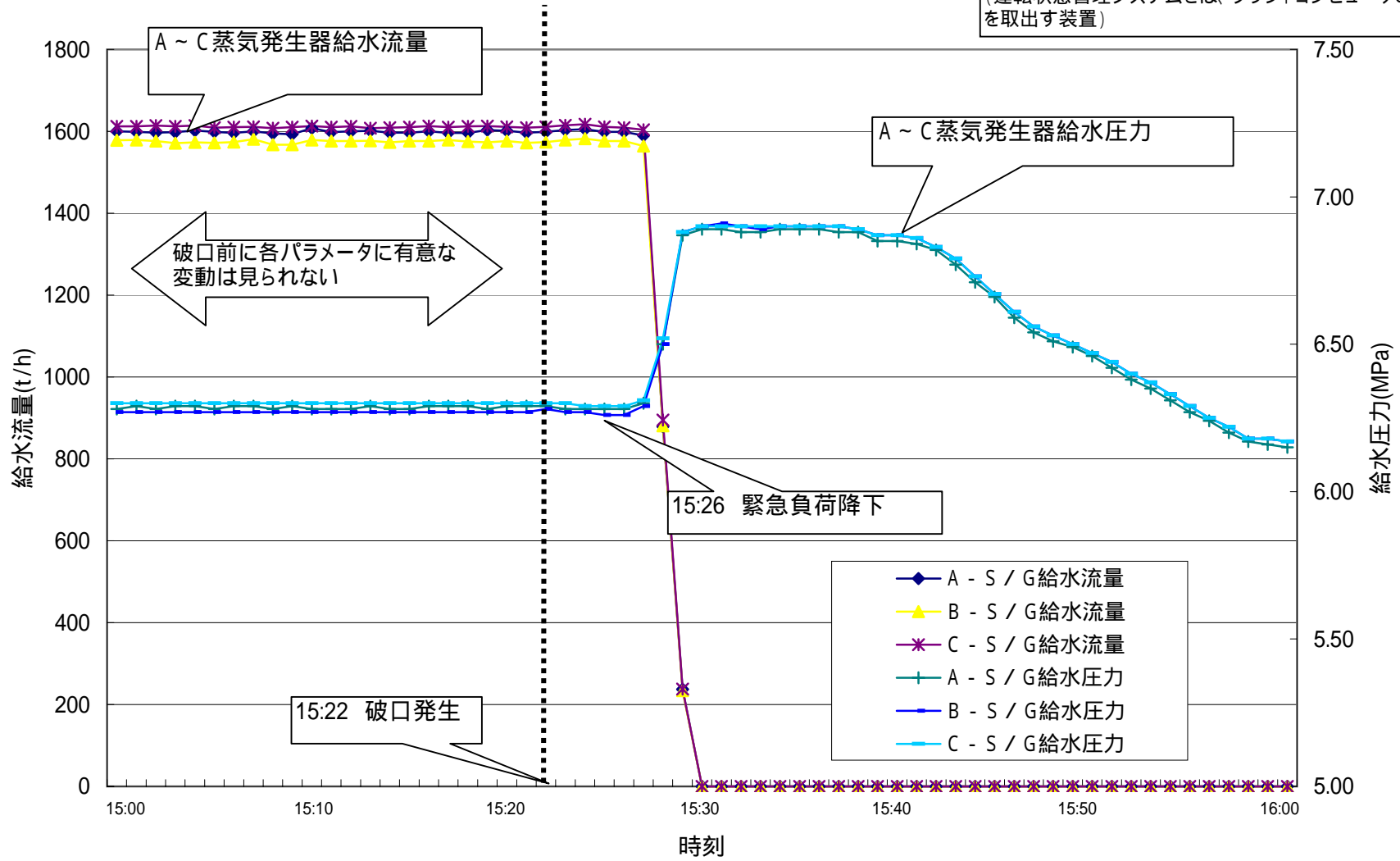
以上

2次系配管破損事故時におけるプラント主要パラメータの推移



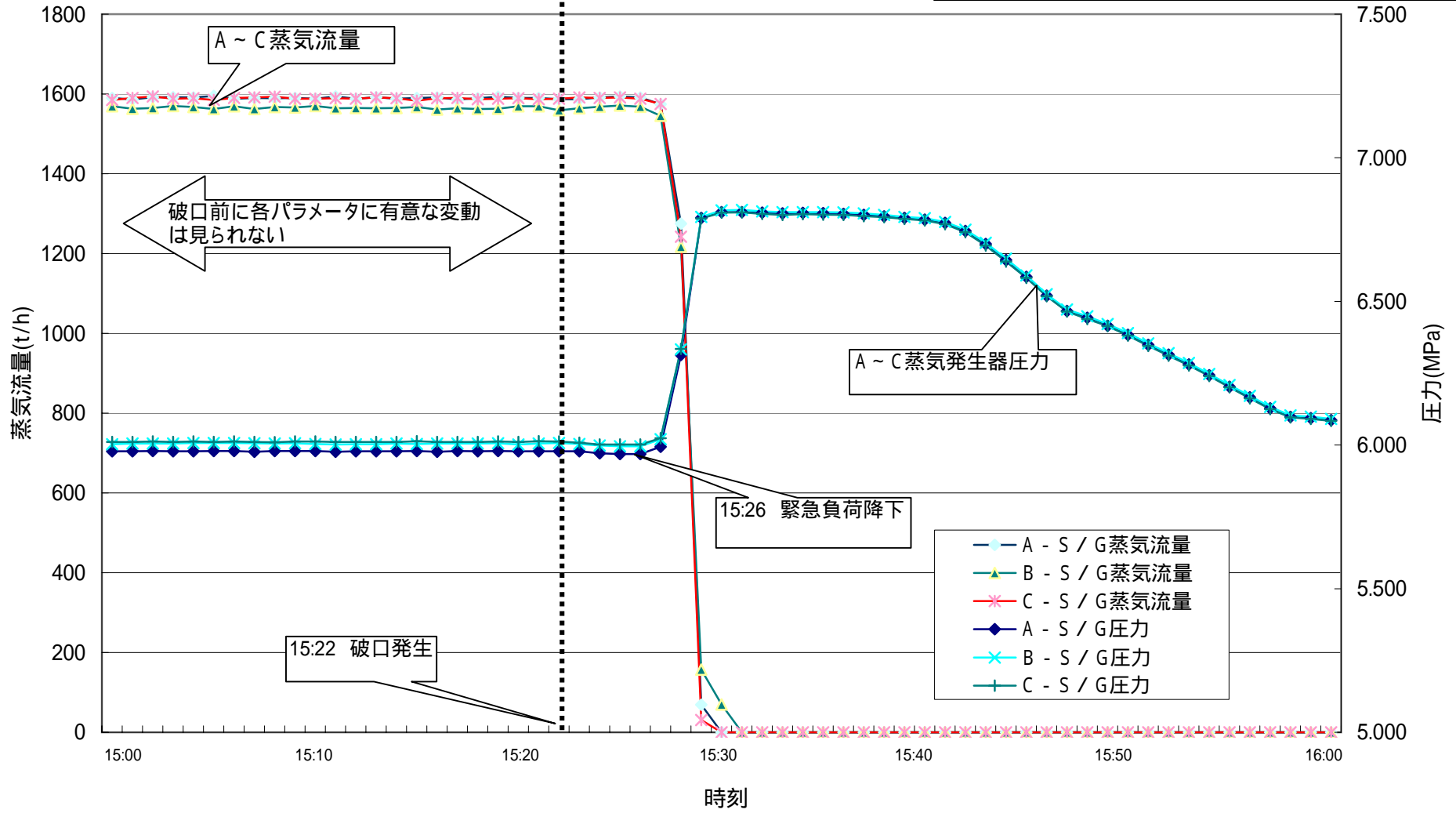
蒸気発生器給水流量・蒸気発生器給水圧力の変化

このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
(運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータ
を取出す装置)



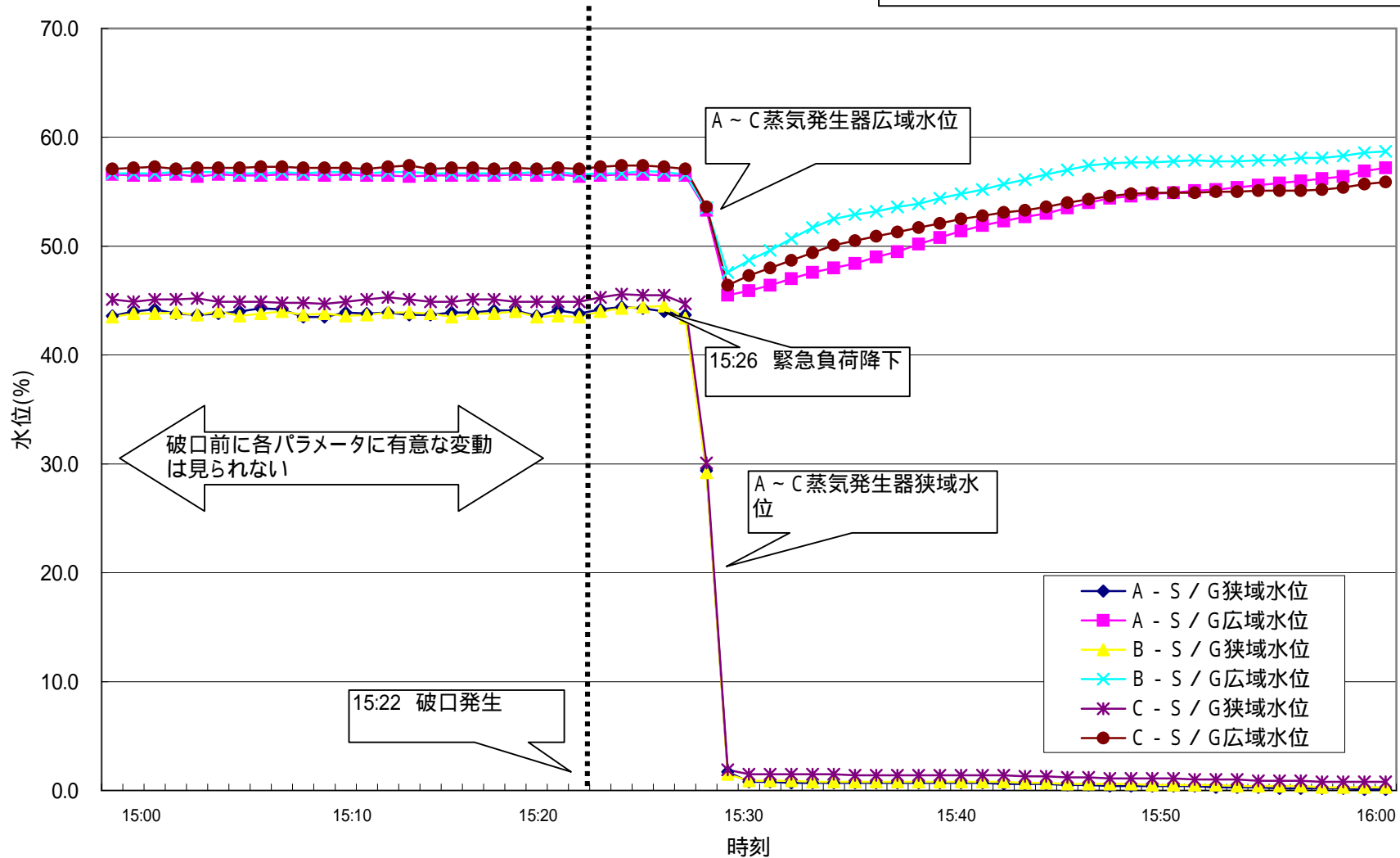
蒸気発生器圧力と蒸気流量の変化

このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
 (運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取り出す装置)

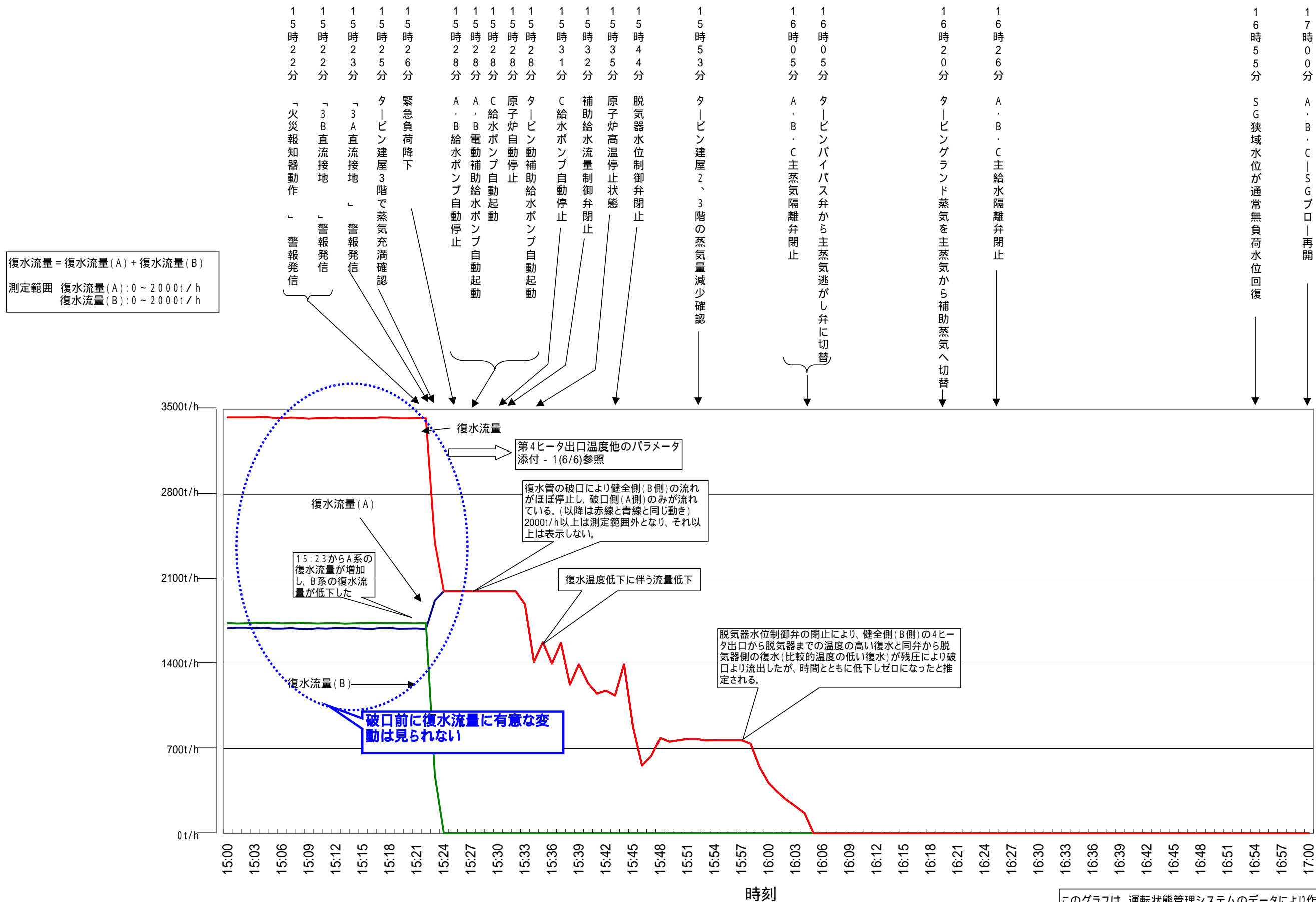


蒸気発生器水位変化

このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
(運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取り出す装置)



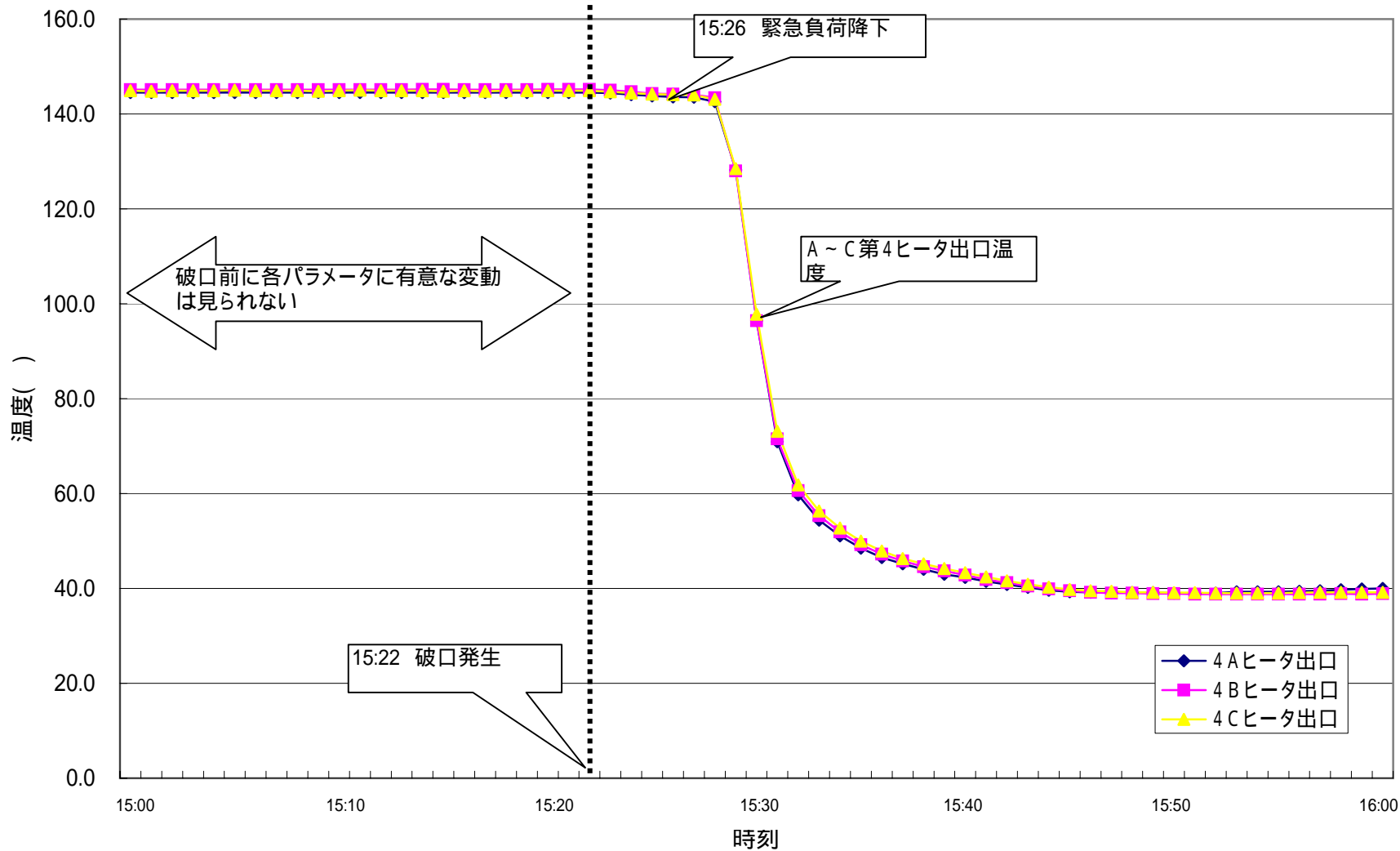
2次系配管破損事故時におけるプラント復水関連パラメータの推移



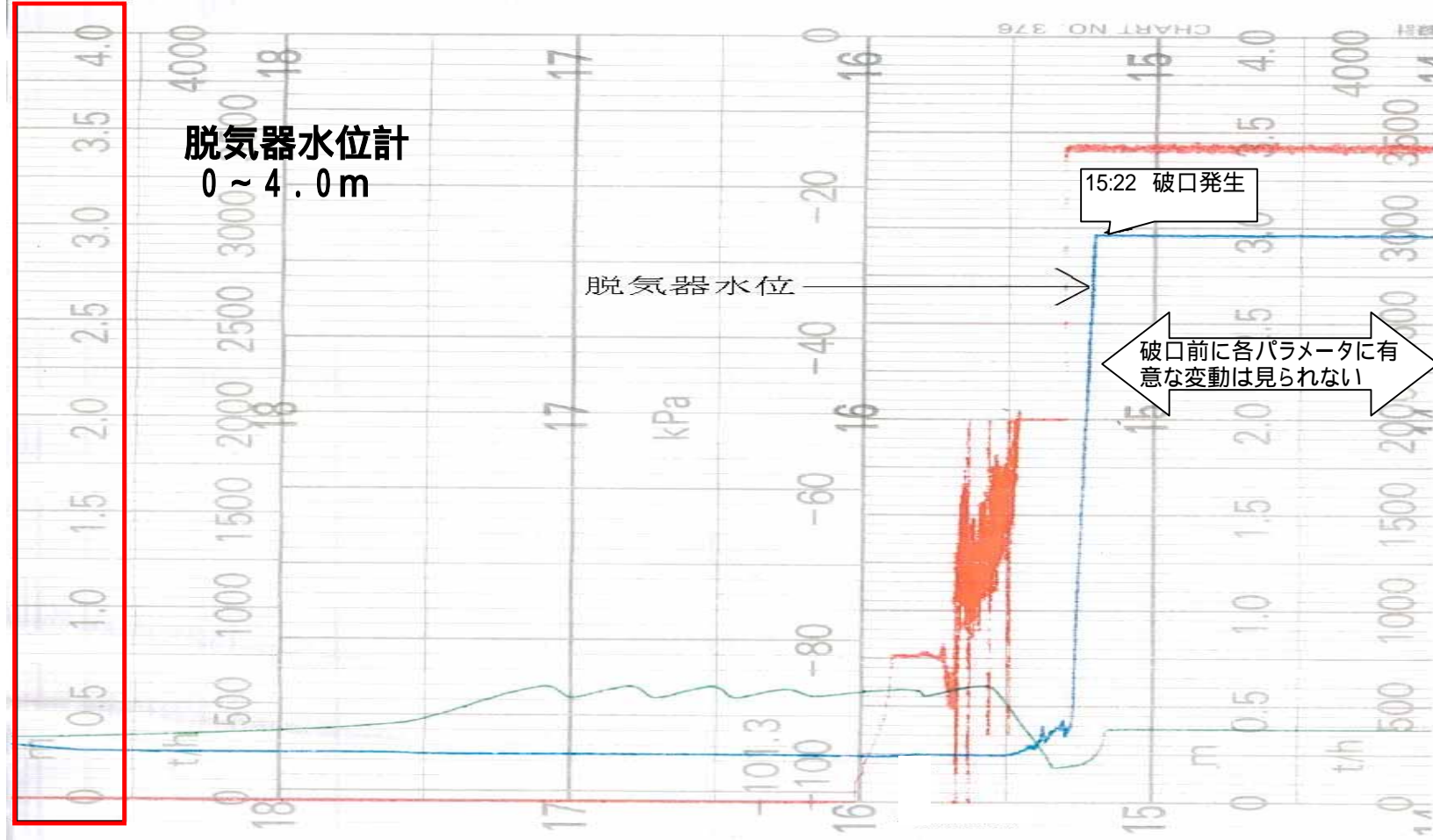
このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
 (運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置)

第4ヒータ出口温度の変化

このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
(運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置)



脱気器水位変化



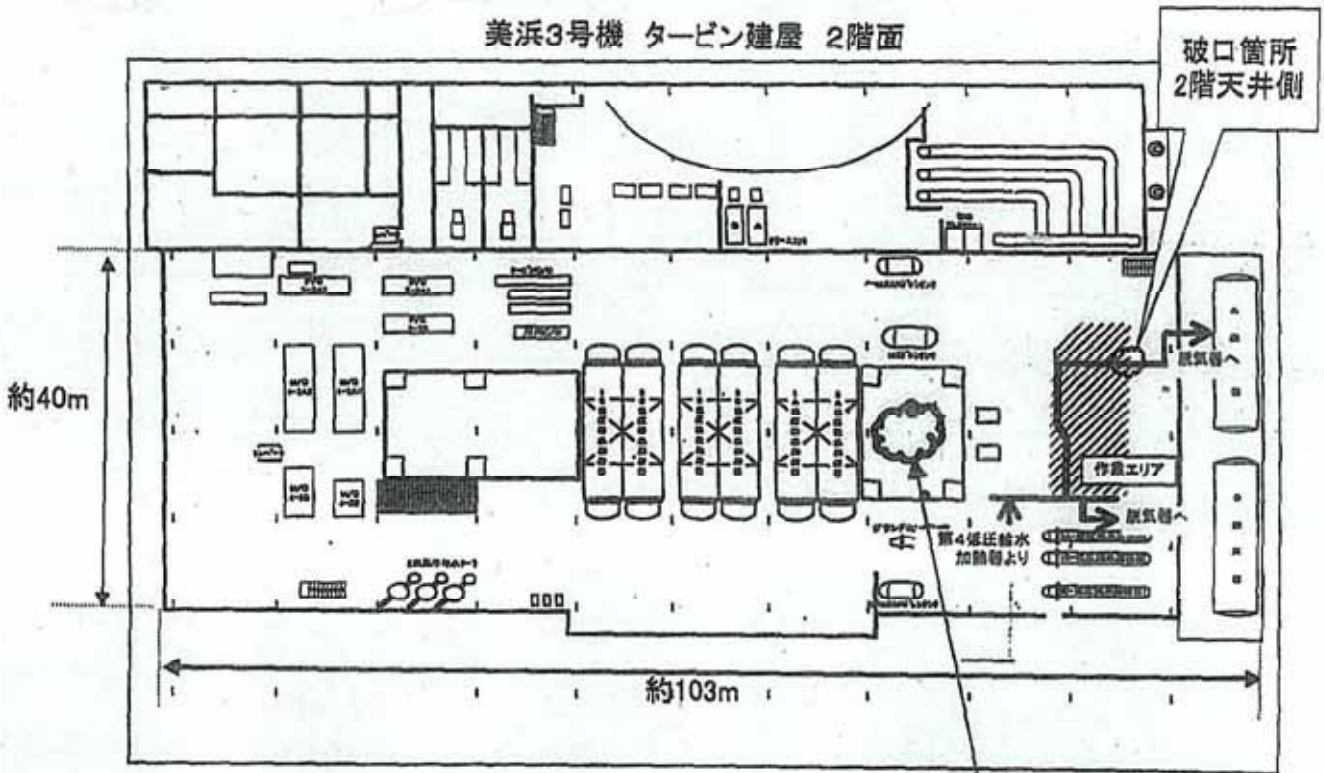
事故発生時の異常音の有無について(1/2)

所在場所	事故発生前の異常音等の有無*	事故発生時の音の情報*	所在箇所周辺環境
<p>タービン建屋2階 (第2低圧給水加熱器付近) [破損配管に最も近い場所にいた者 (被災者以外)]</p>	<p>『ドン』という音を聞くまでは、運転中の音以外に特に変化はなかった。</p>	<p>『ドン』という音がしたと記憶している。</p>	<p>発生箇所から所在場所へ至る経路に音を遮断するような壁はない。</p>
<p>タービン建屋1階 (オープンハッチシャッター前)</p>	<p>事故発生前にウォータハンマー等の音を聞いた記憶はない。</p>	<p>『ボン』という低い音がした。</p>	<p>周辺に音を遮るような障害物等はない。</p>

* : 被災者以外の方のうち2名から得られた聞き取りによる調査結果

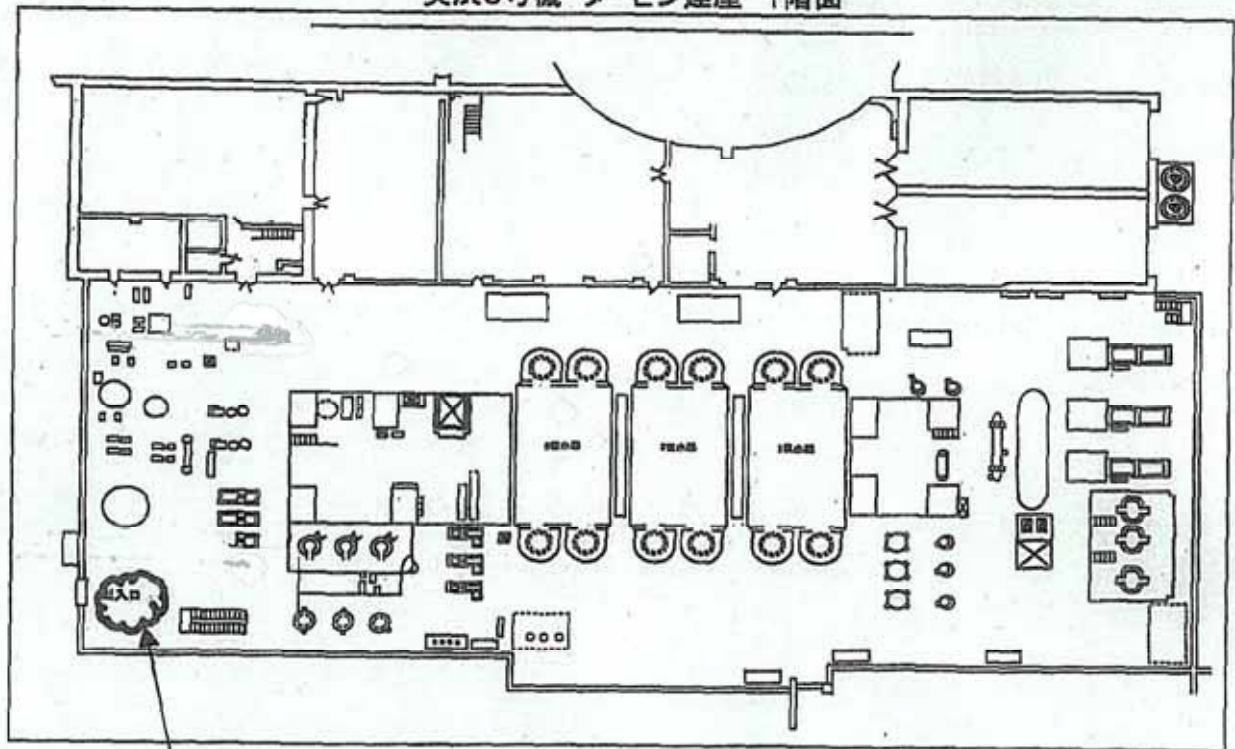
発生音確認者所在場所

美浜3号機 タービン建屋 2階面



第2低圧給水加熱器付近

美浜3号機 タービン建屋 1階面



オープンハッチシャッター前

事故発生時の異常音の有無について (2/2)

当該破損事故の被災者の方のうち 4 名から得られた事故発生時と思われる異常音に関する情報は以下の通り。

プレス日	事故発生時の音の情報*
平成 16 年 8 月 25 日	作業場所を移動しようと思って動き出した時、後ろでドンという大きな音がしたので振り向いたら蒸気が迫ってきた
平成 16 年 9 月 24 日	他に移動しようと思った時、作業区画の奥の方から、すごい大きな音がして、上でホコリが舞うのが見えた
平成 16 年 10 月 8 日	作業区画（の中間建屋側）の外側をしゃがんで床養生作業中、すごい音と共に上からお湯が降ってきた
平成 16 年 10 月 23 日	消耗品の仕分け作業にかかろうとした時、ドカンという大きな音と共にお湯がバサッと懸かってきた

*引用：木内計測プレス発表資料（抜粋）

当該配管の踏みつけの可能性の調査

当該配管は高所にあり、接近するには配管下に本設されている架台に登る必要がある。

当時、当該配管は本設の架台に加えて、別工事に伴う一部配管除去のために仮設の足場が設置済みの状態であった。

これらについては、

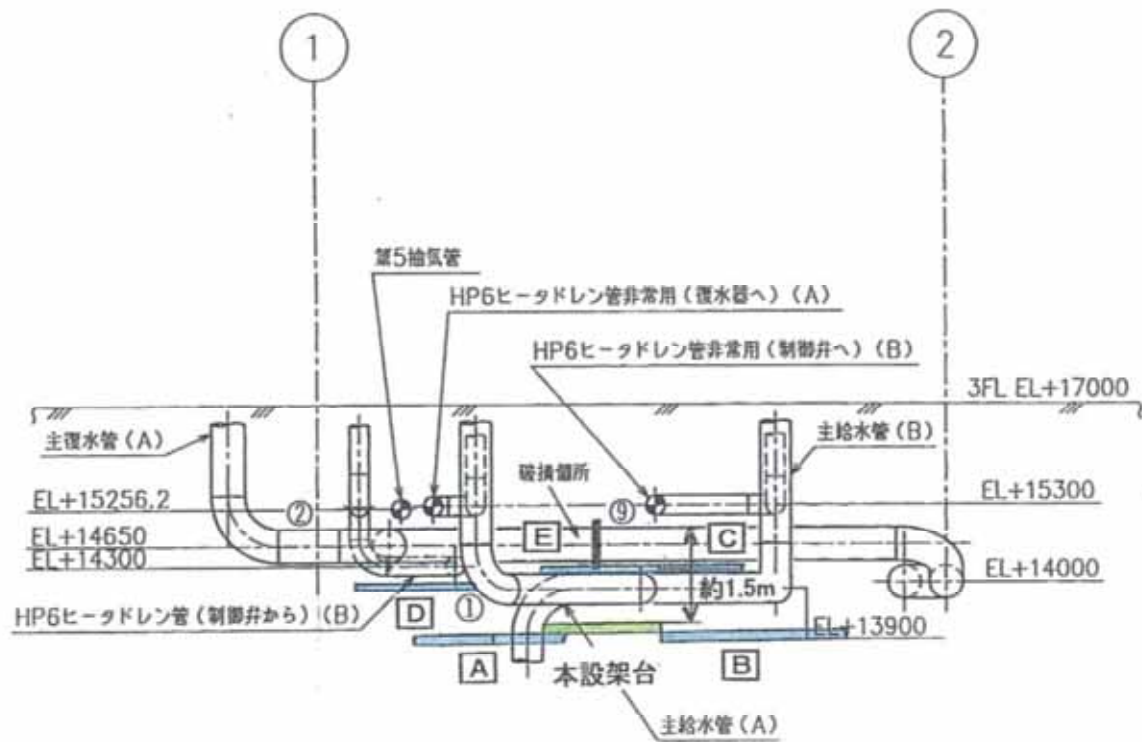
- 1) 当該配管下の本設の架台から配管上まで約 1 . 5 m あり容易に乗ることはできない。
- 2) 必要な箇所に既に仮設の足場が組まれており、当該配管をまたいで移動しなければならない経路は設置されていない。
- 3) 当日、事象発生時刻に仮設足場に係る作業をしていなかったこと、及び当時は仮設足場の作業計画がなかったことを聞き取りにより確認している。

以上のことから、当該配管を踏みつけるようなことはなかったと考えられる。

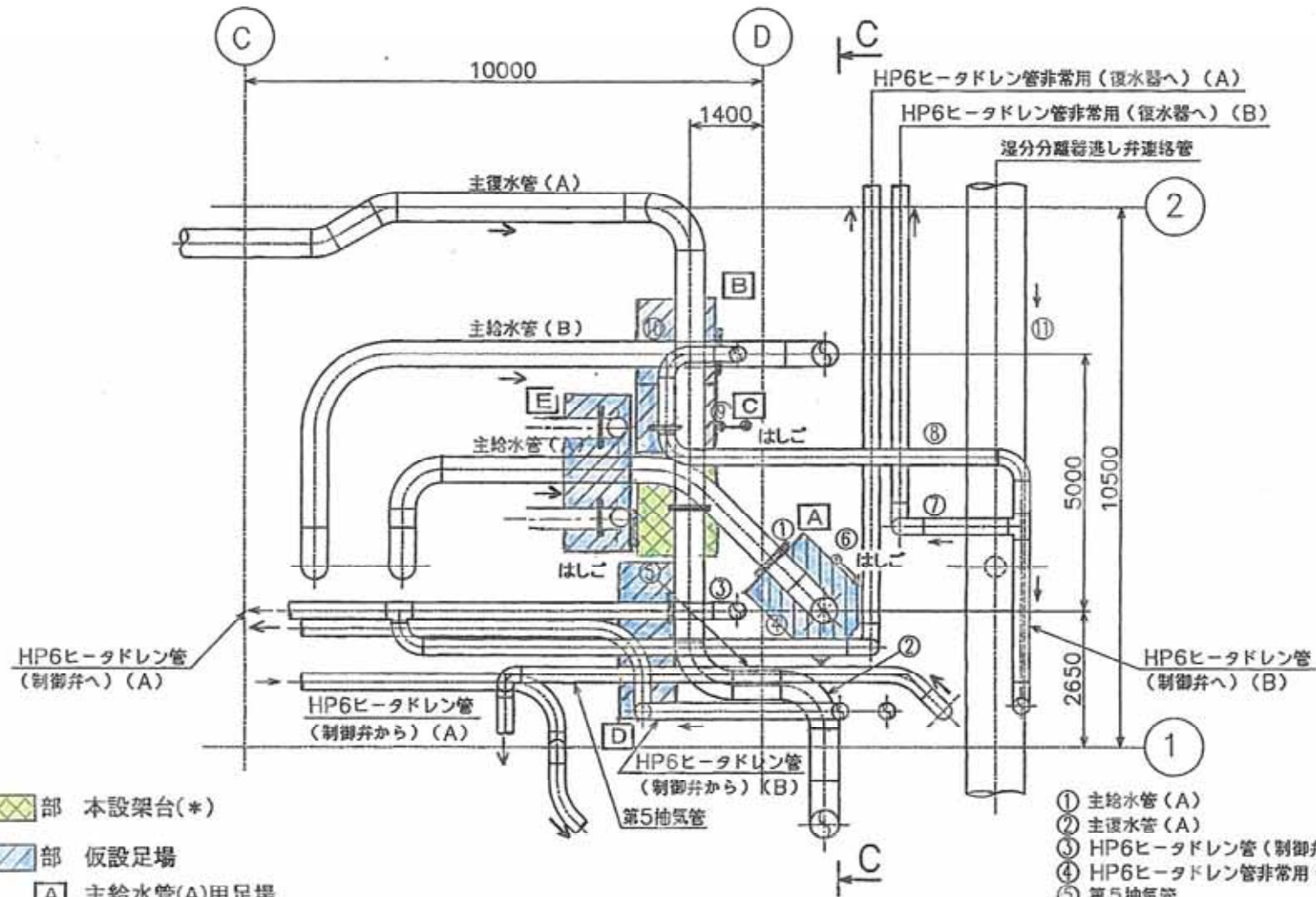
作業中に当該配管に部材を衝突させる可能性の調査

- 1) 当該配管周囲で実施されていた周辺配管作業のための仮設の足場の設置は既に終了していた。また、当日は仮設足場の作業計画がなかったことを聞き取りにより確認している。
- 2) 一部配管除去が計画されている配管には固定金物の取付等の作業があり、取付時に固定金物等を衝突させる可能性があるが、当該配管は一部配管除去が計画されていない。
- 3) 当日、事象発生時刻に仮設足場に係る作業をしていなかったこと、当該配管の周辺で固定金物の取付等の作業をしていなかったことを聞き取りにより確認している。

以上のことから、当該配管に部材を衝突させるようなことはなかったと考えられる。



C - C



部 本設架台(*)

部 仮設足場

A 主給水管(A)用足場

B 主給水管(B)用足場

C HPヒータドレン管(B)用足場(*)

D HPヒータドレン管(A)用足場

E 第6抽気管(A・B)用足場(*)

*:破損配管取外し作業のため撤去済み。

- ① 主給水管 (A)
- ② 主復水管 (A)
- ③ HP6ヒータドレン管 (制御弁へ) (A)
- ④ HP6ヒータドレン管非常用 (復水器へ) (A)
- ⑤ 第5抽気管
- ⑥ HP6ヒータドレン管非常用 (復水器へ) (A)
- ⑦ HP6ヒータドレン管非常用 (復水器へ) (B)
- ⑧ HP6ヒータドレン管 (制御弁へ) (B)
- ⑨ 主復水管 (A)
- ⑩ 主給水管 (B)
- ⑪ 湿分分離器進し弁連絡管

注. 「HP6ヒータ」は、「第6高圧給水加熱器」を示す。

可視化試験・解析による美浜発電所 3 号機の配管内流動の検討について

1 目的

美浜発電所 3 号機の A 系統と B 系統のオリフィス下流側の実機減肉状態検討のための流況把握及び圧力変動分布データ等の取得。

2 可視化試験

(1) 可視化試験装置

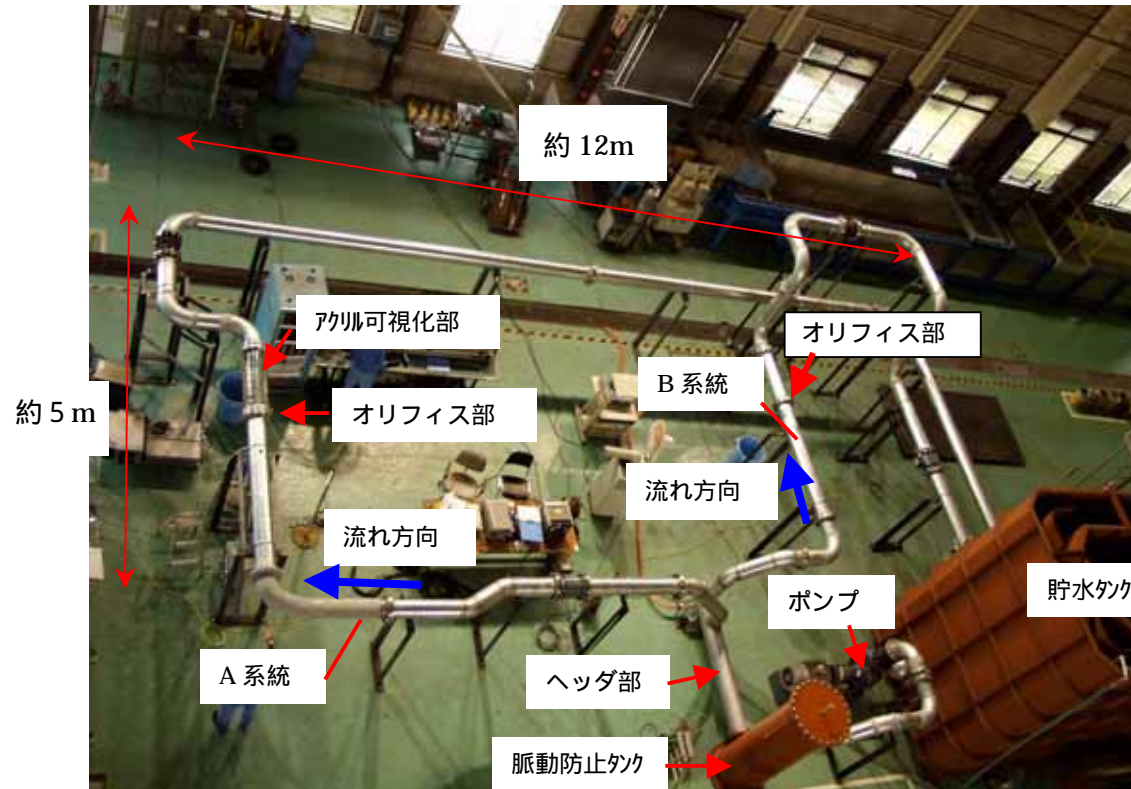


写真 2.1 試験装置

表 2.1 試験と実機の諸元

		試験	実機	備考
配管内径	(mm)	205	538.8	寸法縮尺 1/2.6
オリフィス絞り径	(mm)	127.6	335.3	寸法縮尺 1/2.6
オリフィス絞り比		0.62	0.62	試験と実機の絞り比は同じ
流量	(-)	264.3(m ³ /h)	1700(t/h)	
配管流速	(m/s)	2.2	2.2	試験と実機の配管流速は同じ
Re 数	(-)	4.59E+05	5.81E+06	実機 140 , 試験 20 で計算
流量係数	(-)	実機と同一	約 0.66	上欄レイノルズ数範囲で同一

主復水管ヘッドからオリフィス下流までの A,B 系統の配管構成を 1/2.6 で再現

(2) 試験模擬性

流量係数を一致させることで実機と同等の流況を模擬する

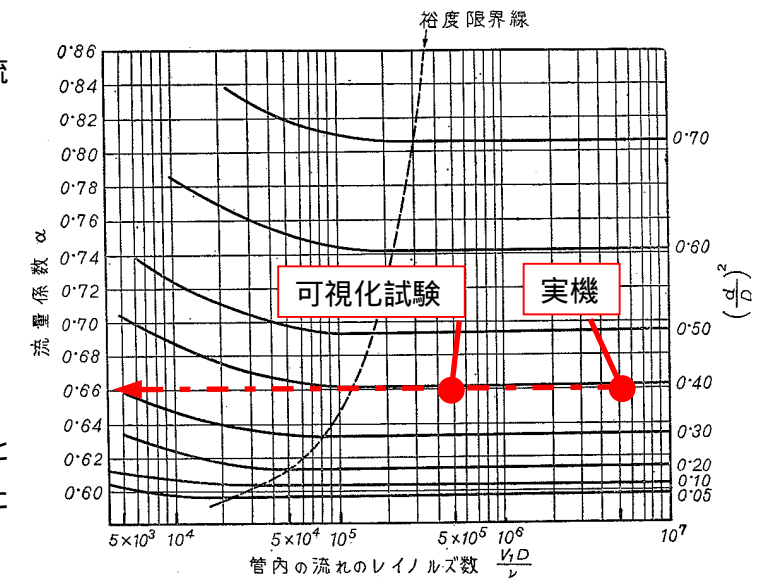
オリフィス絞り比を同じにする

[流量係数の定義]

$$\text{流量} = \text{管断面積} \times \text{流量係数} [] \times \left[\frac{\text{差圧}}{\text{密度}} \right]^{1/2}$$

Re 数は乱流域: 流体の特性は実機と同じ
管断面積当りの流量は流体の特性(一定)と流況で決まる。流量とそれらの関係を示したものが

が同じなら流況は同じ



3 解析モデル

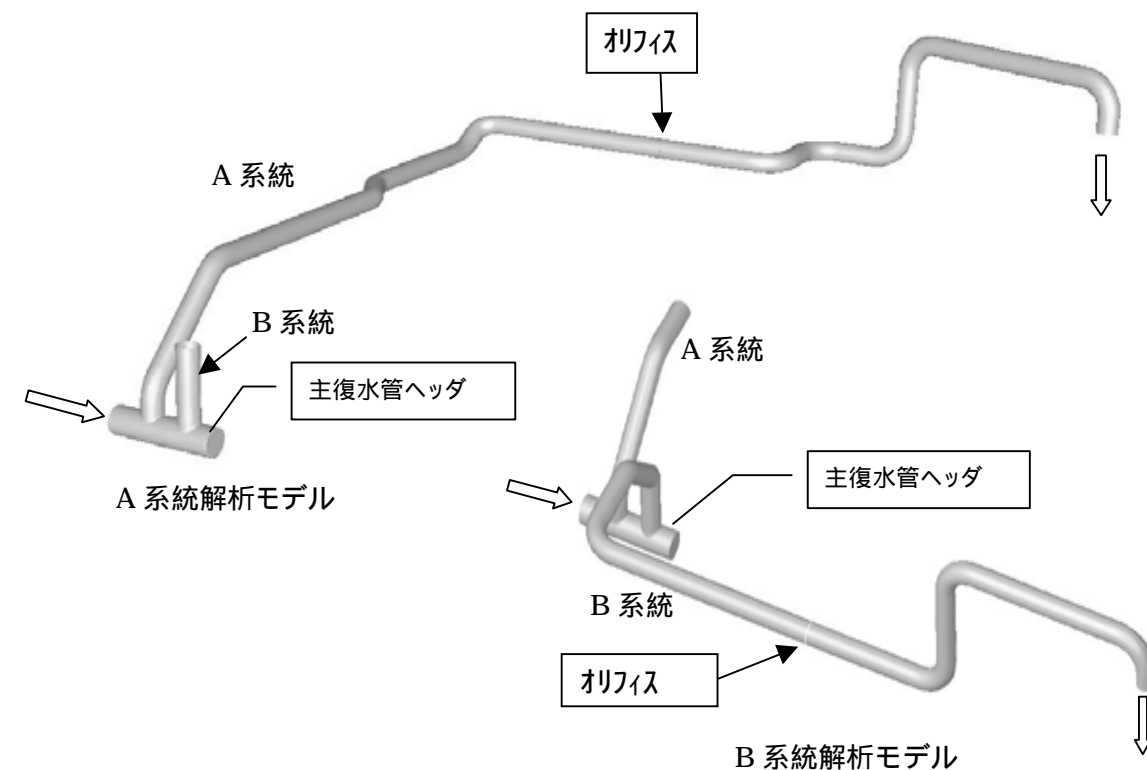


図 3.1 解析モデル

A 系統の解析時には B 系統境界に相当流量を流す。同様に B 系統の解析時には A 系統境界に相当流量を流して実機模擬性を高める

表 3.1 解析モデルと実機の諸元

		解析モデル	実機	備考
配管内径	(mm)	538.8	538.8	寸法縮尺 1/1
オリフィス絞り径	(mm)	335.3	335.3	寸法縮尺 1/1
オリフィス絞り比		0.62	0.62	絞り比は同じ
流量	(-)	1700(t/h)	1700(t/h)	流量は同じ
配管流速	(m/s)	2.2	2.2	配管流速は同じ
Re 数	(-)	5.81E+06	5.81E+06	実機 140 , 解析 140 で計算

主復水管ヘッドからオリフィス下流までの A,B 系統の配管構成を解析モデル化

4 解析及び可視化試験の結果

(1) オリフィス上流側の旋回流の発生(解析結果)

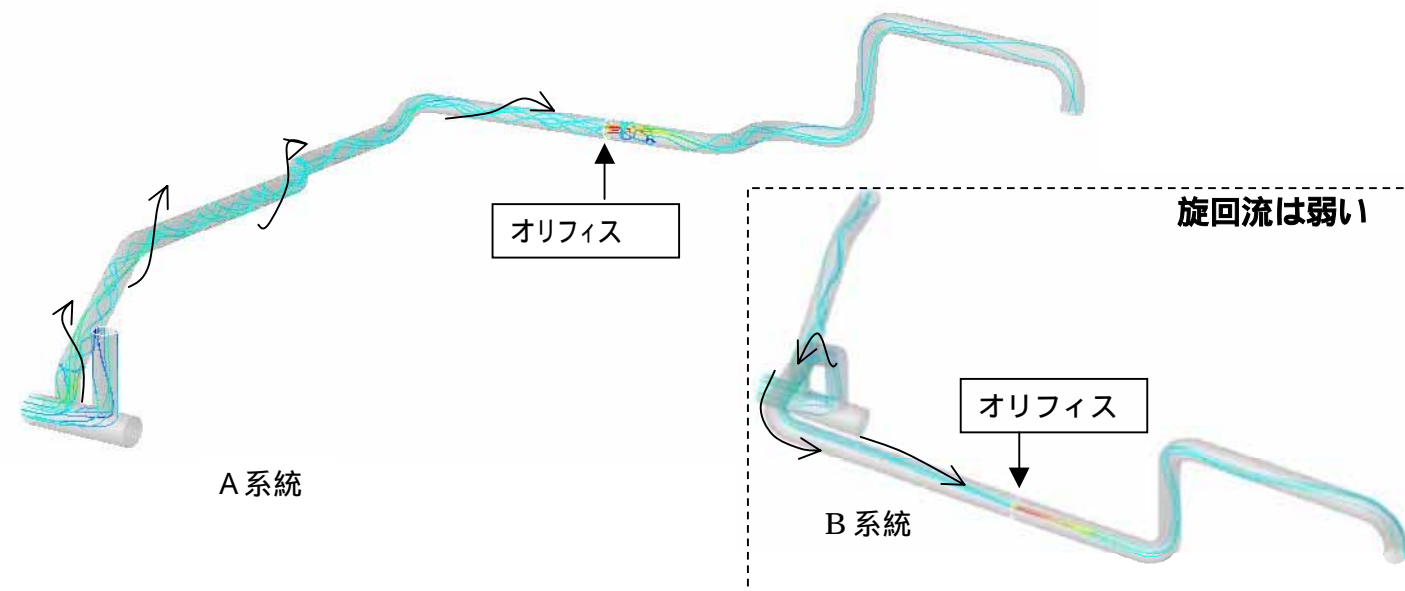
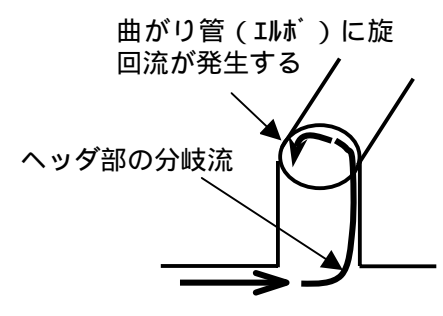


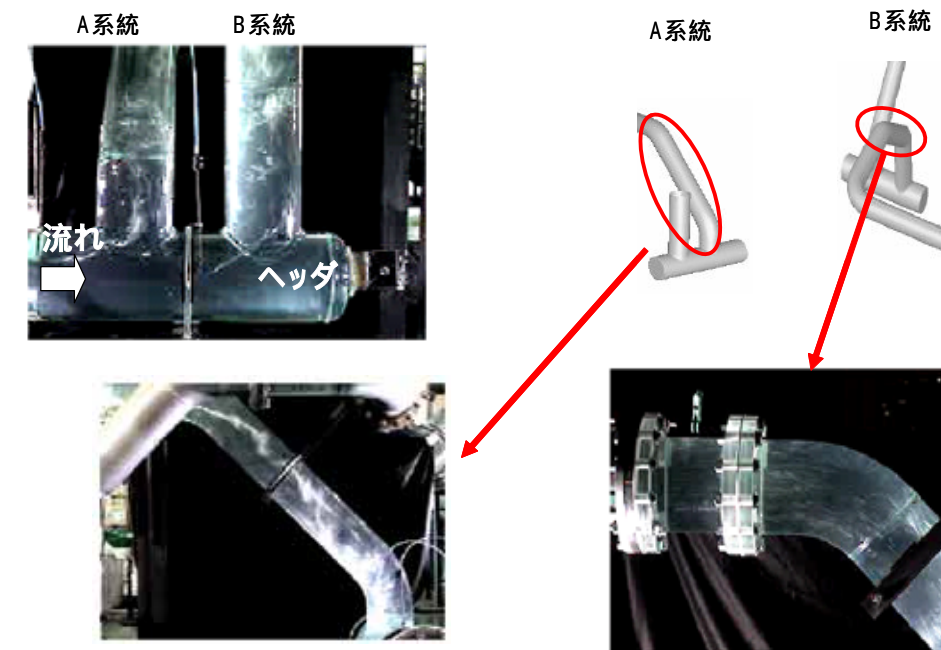
図 4.1 美浜3号機A系統とB系統の旋回流 (流動解析結果)

旋回流の発生原因の推定

主復水管ヘッドの分岐流が最初のエルボに到達するときに旋回流が発生
配管構成に影響される
A 系統と B 系統の違い発生



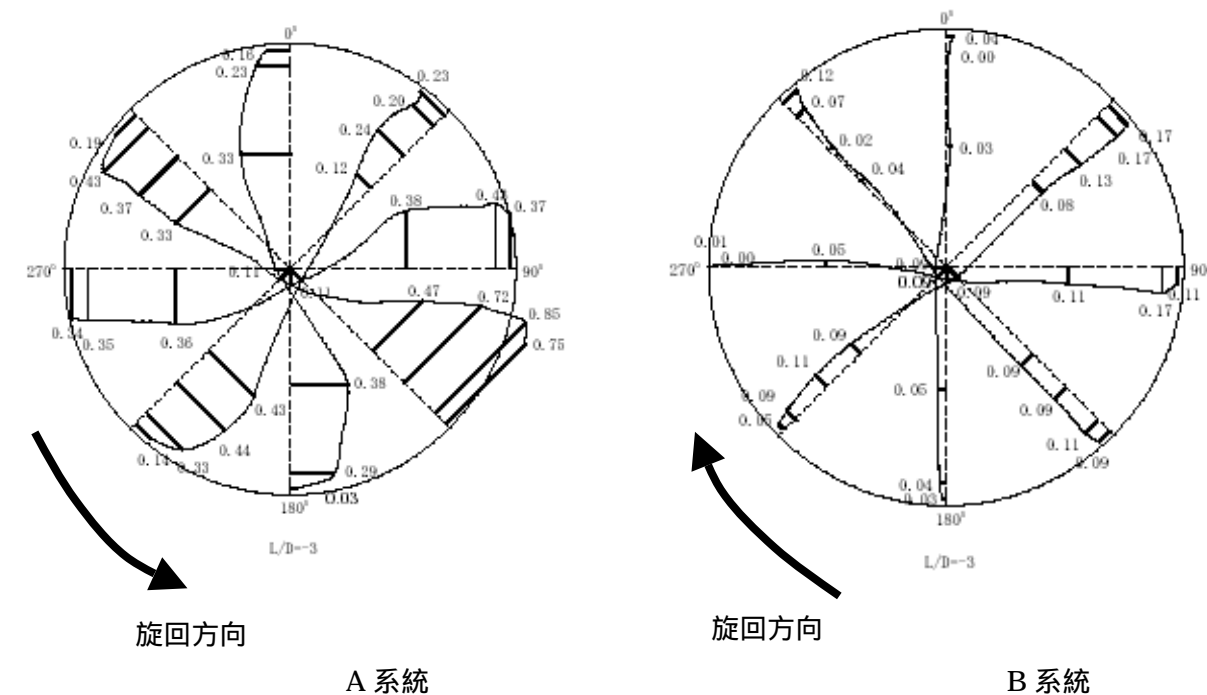
(2) オリフィス上流側の旋回流の発生 (可視化試験)



旋回流が強く気泡が旋回流軸に集中

旋回流が弱く気泡が一様に分散

図 4.2 ヘッド分岐部の流況 (可視化試験結果)



旋回方向

旋回方向

A 系統

B 系統

図 4.3 オリフィス上流側 L/D=-3 で計測した上流側から見る旋回流の周方向速度
レーザ流速計による。L はオリフィス上流までの距離, D は管内径
(可視化試験結果)

オリフィス上流
解析と流況実測
旋回流の発生を確認

(3) オリフィス下流側の流況試験結果 (写真とスケッチ)

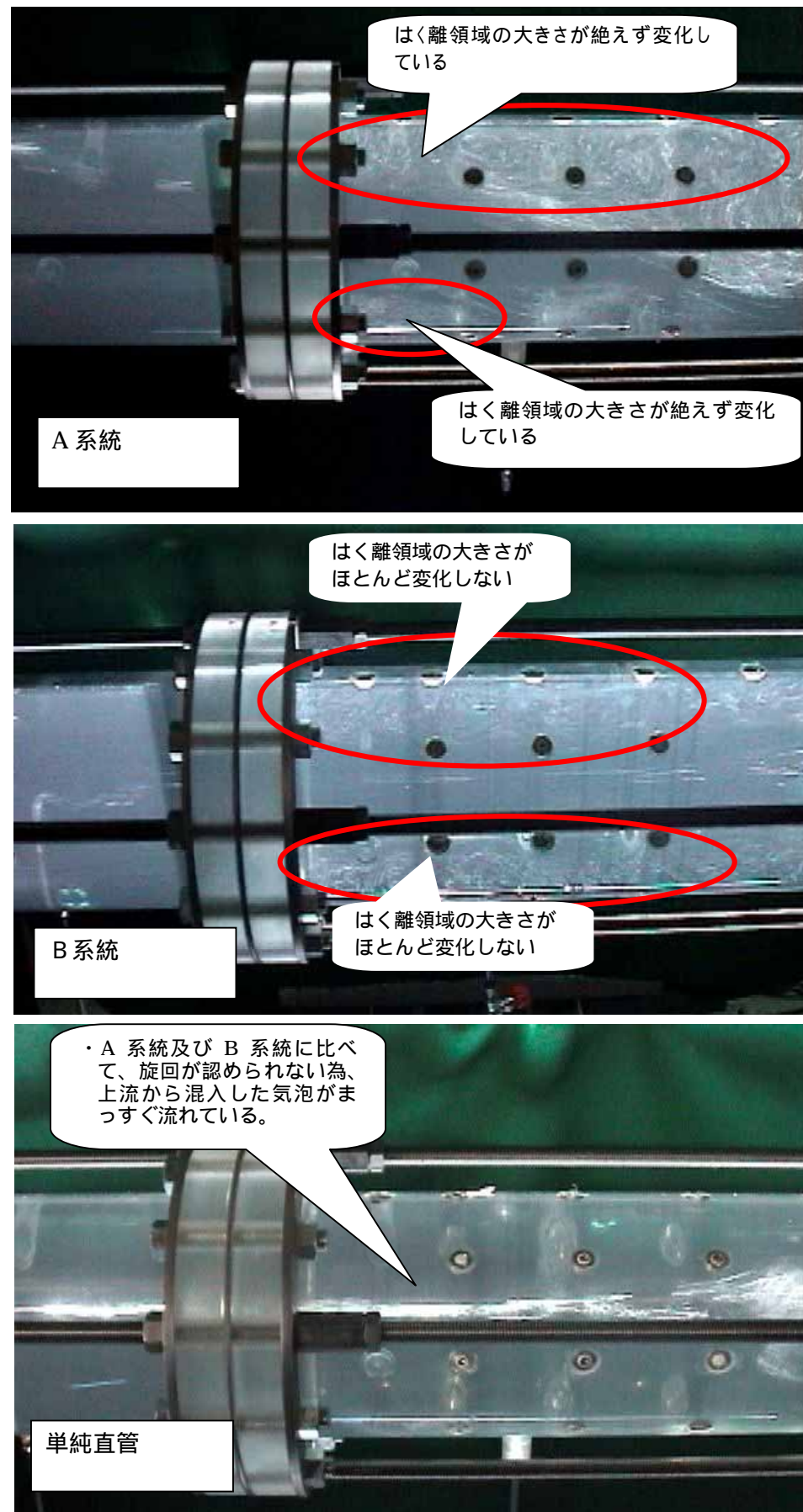


写真 4.1 オリフィス下流側の流況写真
オリフィス上流側から空気泡を注入

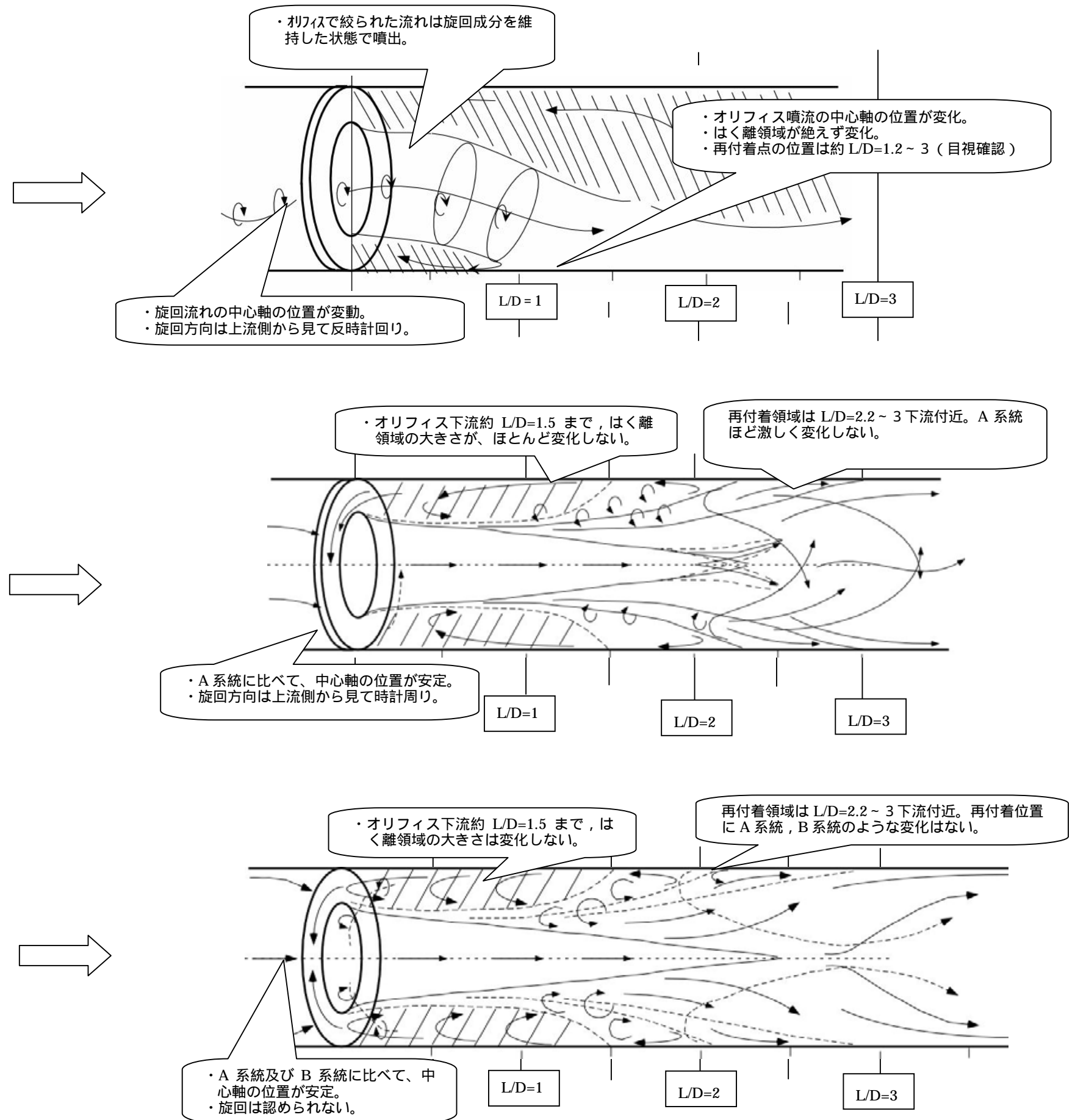


図 4.5 オリフィス下流側の流況スケッチ

(4) 100注入で見た A 系統と B 系統のオリフィス下流側の流況 流れは左から

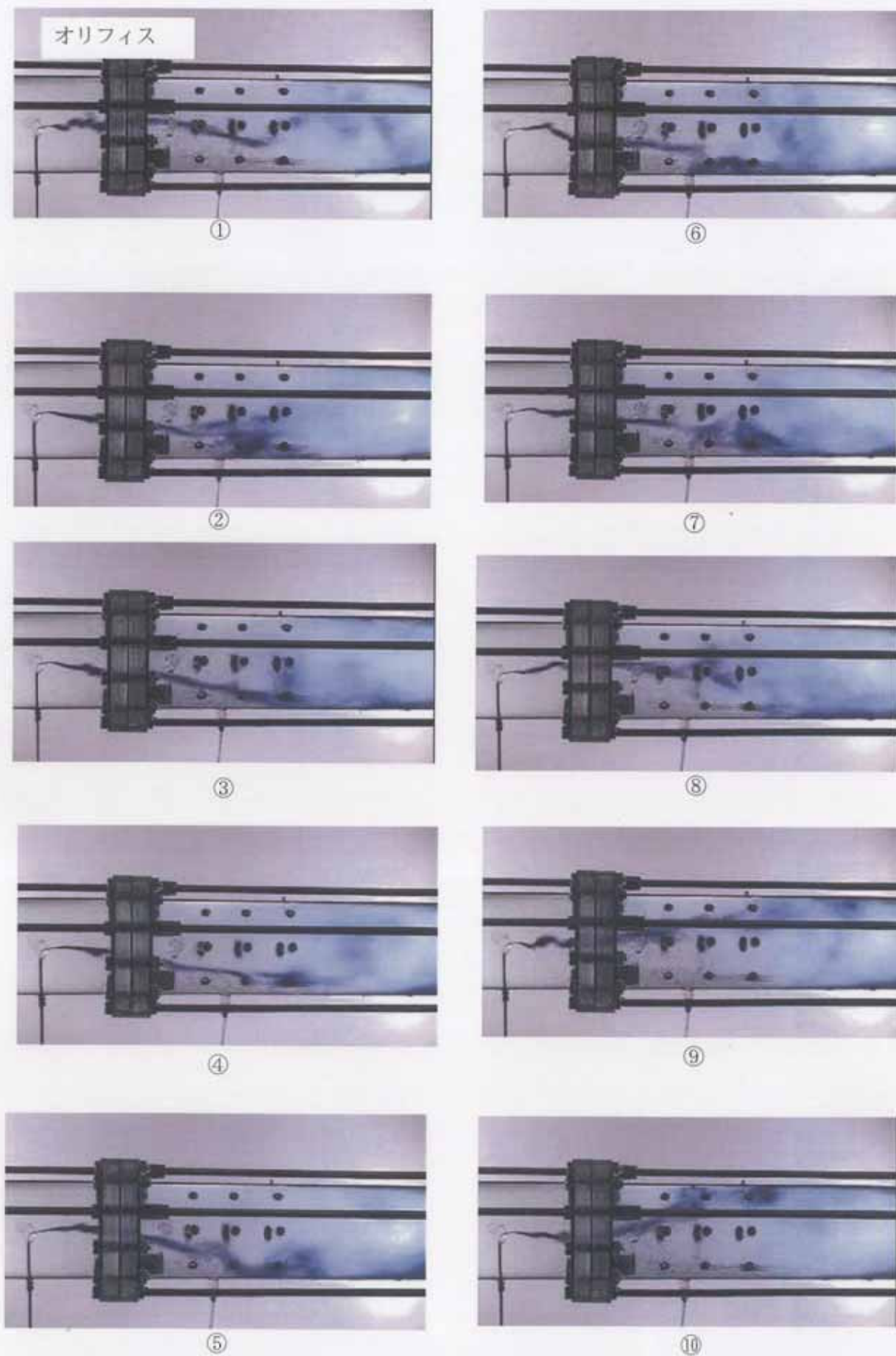


写真 4.2 A 系統：時間間隔 ①から⑩まで時間間隔はそれぞれ0.1秒

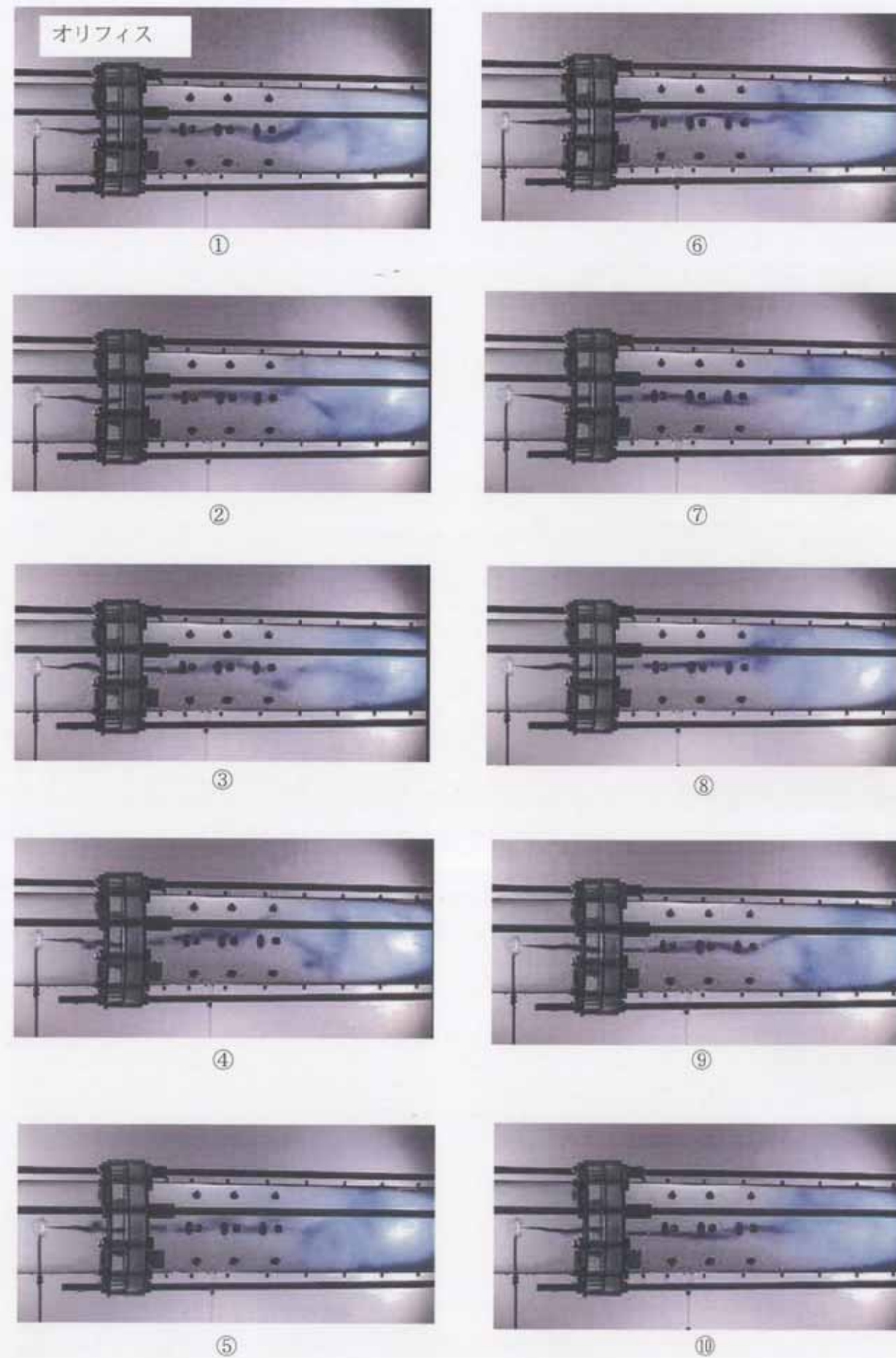


写真 4.3 B 系統：時間間隔 ①から⑩まで時間間隔はそれぞれ0.1秒

(5) 試験結果

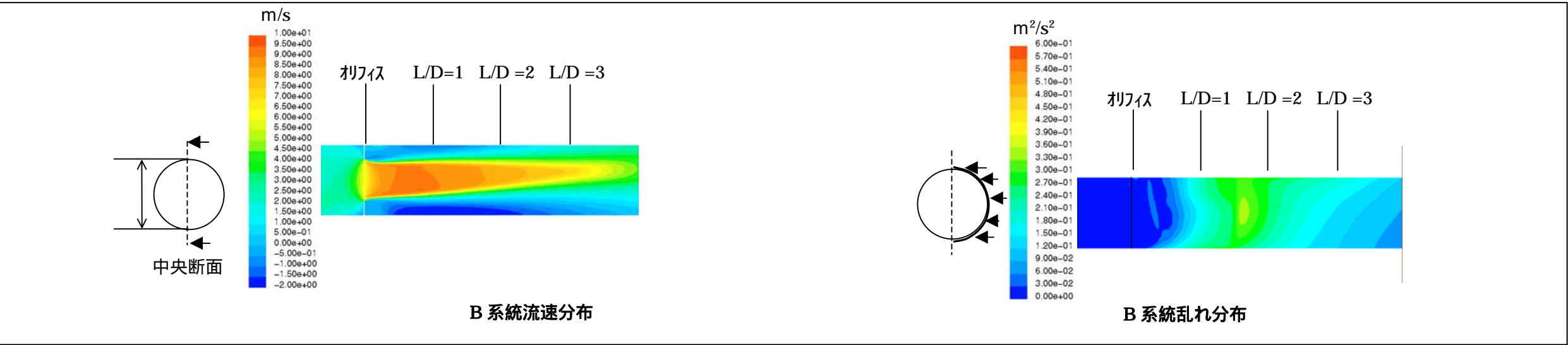
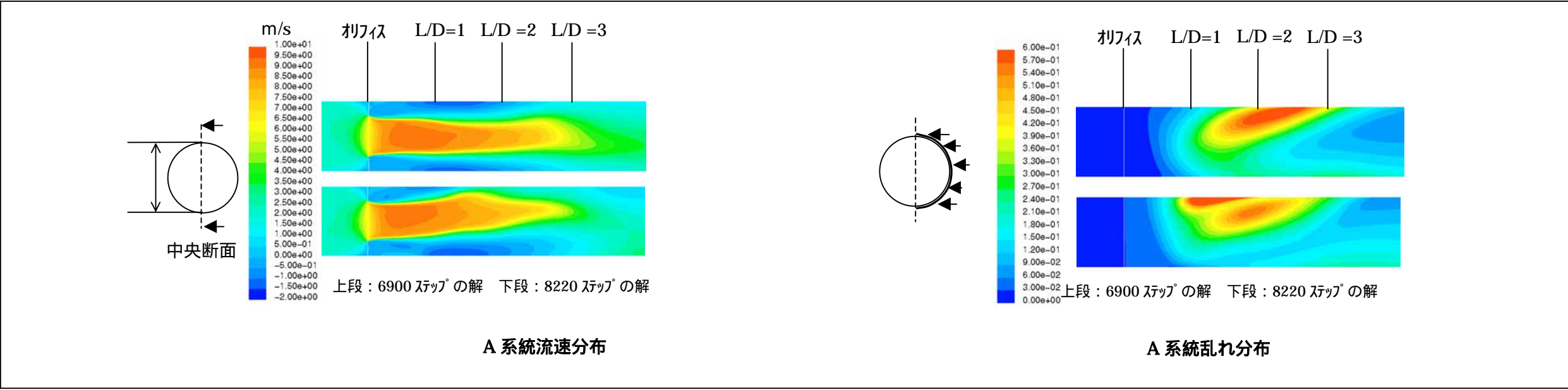
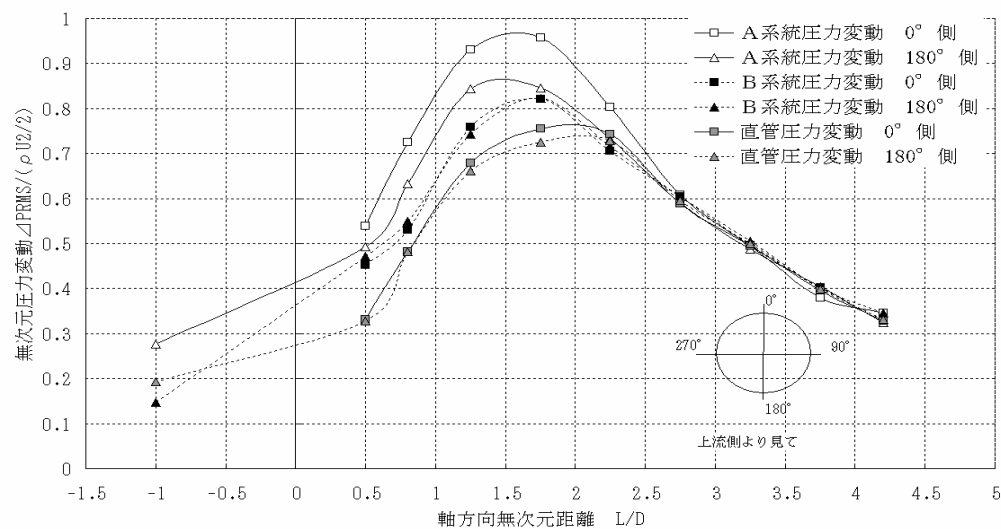


表 5.1 解析及び流況試験結果のまとめ

	A 系統流況試験結果	B 系統流況試験結果	解析結果
オリフィス上流 旋回方向	上流側からみて反時計回り	上流側からみて時計回り	A 系統：流況試験に一致 B 系統：流況試験に一致
	旋回流発生	旋回流ほとんどなし	A 系統：流況試験に一致 B 系統：流況試験に一致
オリフィス下流 の流れの変動	流況及び乱れが時間とともに変動	流況及び乱れは安定	A 系統：収束しない B 系統：流況試験に一致

流況試験、解析とも主に A 系統にオリフィス上流に旋回流が発生し、オリフィス下流の流れは安定していない

5 オリフィス下流側の圧力変動分布



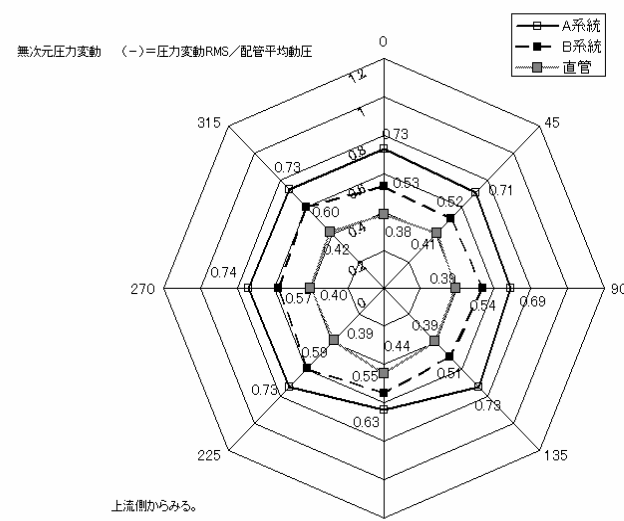
無次元圧力変動分布 (A, B 系統比較)

図 5.1 無次元圧力変動分布 軸方向 A 系統, B 系統, 直管の比較

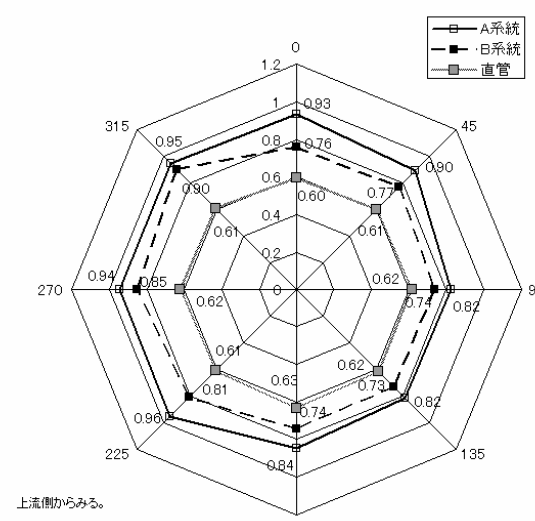
軸方向の圧力変動分布

オリフィス下流の天側が地側より圧力変動大

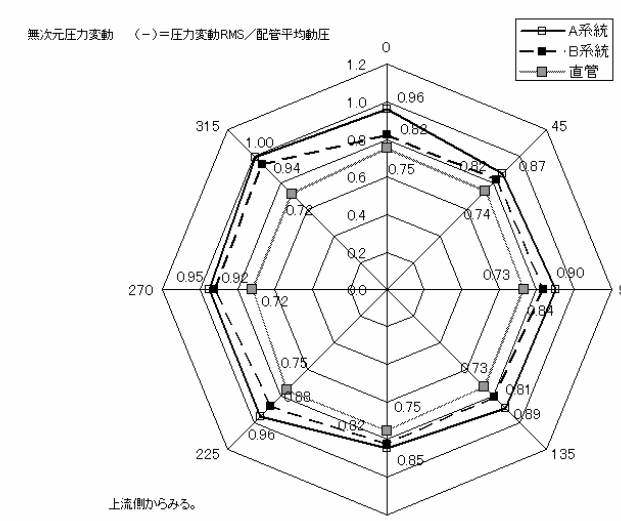
A 系統の特徴



無次元圧力変動結果A系統及びB系統比較(周方向分布; L/D=0.8)



無次元圧力変動結果A系統及びB系統比較(周方向分布; L/D=1.25)



無次元圧力変動結果A系統及びB系統比較(周方向分布; L/D=1.75)

図 5.2 無次元圧力変動分布 周方向分布 A 系統, B 系統, 直管の比較

周方向の圧力変動分布

圧力変動の大きさ

A 系統 > B 系統 > 直管

天側が地側より圧力変動大

A 系統

天側と地側の圧力変動の違い小

B 系統, 直管

6 実機減肉と可視化試験

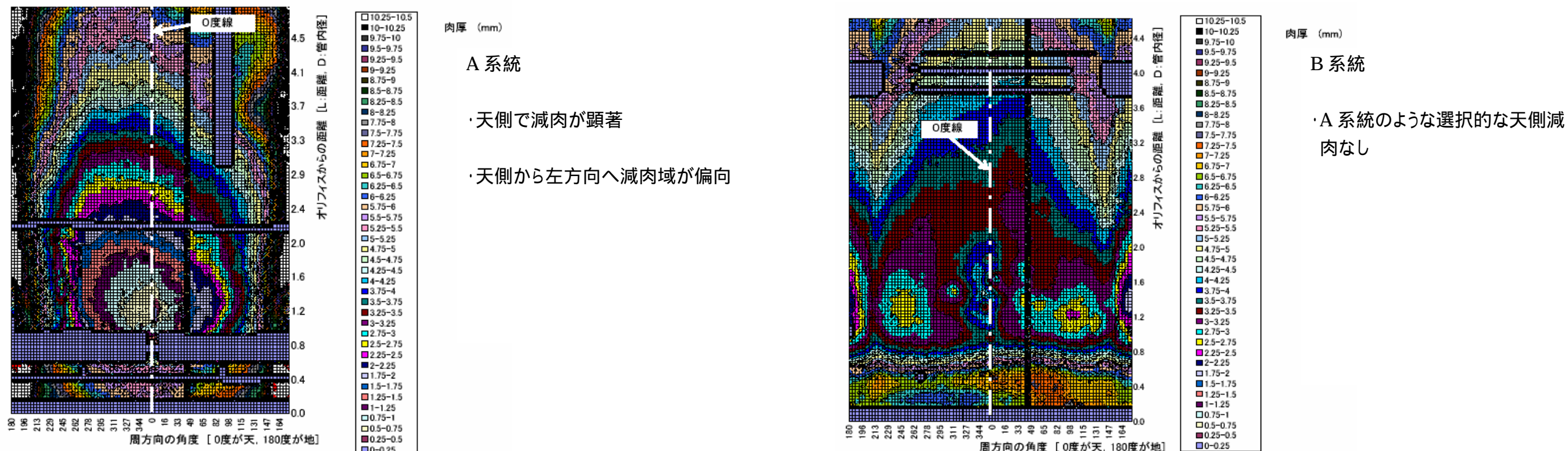
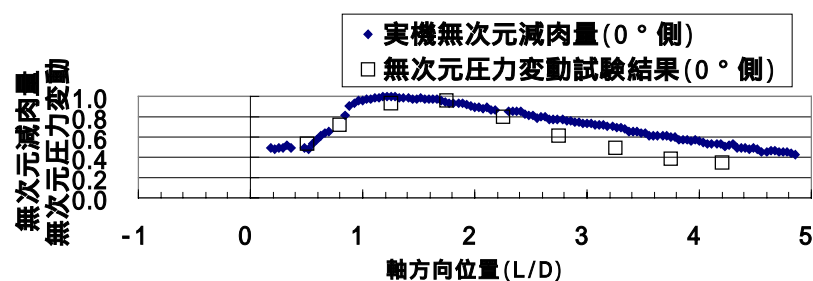
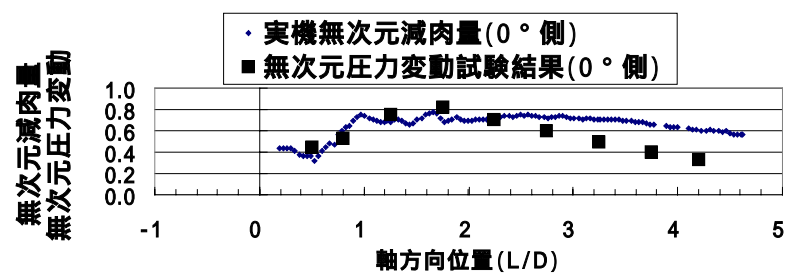


図 6.1 実機減肉分布 (横軸の0度が配管天側, 180度が配管地側, 縦軸はオリフィスプレート下流側表面からの無次元距離, 図中の直線で囲まれる範囲は計測データの欠損域)

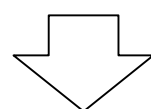


A 系統



B 系統

図 6.2 実機減肉量と可視化試験の圧力変動分布との対応 軸方向



実機の軸方向減肉量が最大となる場所と
可視化試験の圧力変動とが対応

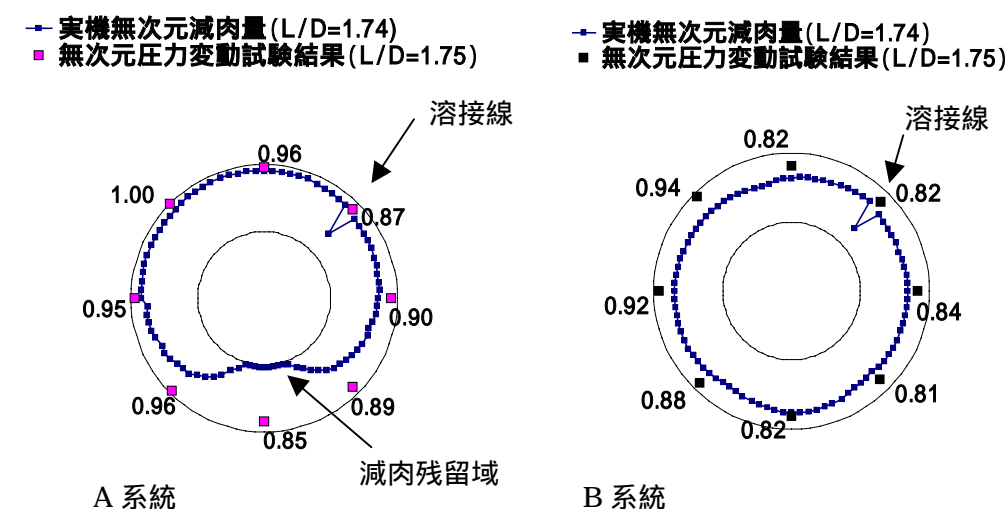
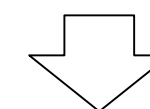


図 6.3 実機減肉量と可視化試験の圧力変動分布との対応 周方向



実機の減肉量の傾向 (A 系統が B 系統より大きい) と
可視化試験の圧力分布の傾向 (A 系統が B 系統より大きい) が対応

7. オリフィス下流で減肉が発生するメカニズムとA系/B系の比較

8. まとめ



A系統の流動

- ・ヘッダ分岐部の形状に依存した比較的強い旋回流が発生
- ・旋回流の流軸位置の非定常な変動(不安定)
- ・不安定な旋回流がオリフィスを通過することによって、大きな乱れが発生
- ・可視化試験圧力分布が天側に偏向分布

B系統の流動

- ・ヘッダ分岐部の形状に依存した比較的弱い旋回流が発生
- ・旋回流の流軸位置の安定
- ・安定した旋回流がオリフィスを通過しても、乱れは小さい
- ・可視化試験圧力分布に偏向分布なし

美浜発電所3号機 復水管減肉速度の比較検討

1. 目的

美浜発電所3号機当該部の減肉速度と減肉速度予測式から求まる減肉速度とを比較し、当該部の減肉速度の特異性の有無を確認する。

2. 検討結果

(1) 実機平均減肉速度

美浜発電所3号機破損配管の平均減肉速度は以下の通り。

$$\text{余寿命}(h) = \frac{\text{呼び厚}(mm) - \text{負の公差}(mm) - \text{必要厚}(mm)}{\text{減肉率}(mm/h)} \dots\dots\dots(1)$$

実機破損配管は、呼び厚:10mm、負の公差:0.7mm、破断部最小肉厚:0.6mm、運転時間:185,700hより、

$$\text{減肉速度}(mm/h) = \frac{10 - 0.7 - 0.6}{185,700} = 0.47(mm/10^4 h) \dots\dots\dots(2)$$

実機減肉速度 0.47mm/10⁴hと算出している。

出典:第4回事故調査委員会資料

(2) 減肉速度予測との比較

実機運転条件での減肉速度をKWU/Siemensの減肉速度予測式(WATHEC式)¹を用いて評価した。[式(3)]

$$\Delta\Phi_R = 6.25 \cdot Kc \cdot \left\{ B \cdot \exp(N \cdot w) \cdot [1 - 0.175 \cdot (pH - 7)^2] \cdot 1.8 \cdot \exp(-0.118 \cdot g) + 1 \right\} \cdot [f(t)] \dots\dots\dots(3)$$

- R : 減肉速度($\mu\text{g}/\text{cm}^2\text{h}$)
- Kc : 配管形状因子(Kellerによる係数)
- B : $B = -10.5 \cdot h - 9.375 \times 10^{-4} T^2 + 0.79 T - 132.5$
- N : $N = -0.0875 \cdot h - 1.275 \times 10^{-5} T^2 + 1.078 \times 10^{-2} T - 2.15$ (0 h 0.5の場合)
- h : 鋼中のCr+Mo濃度(%)
- T : 温度(K)
- w : 流速(m/s)
- pH : pH
- g : 溶存酸素濃度($\mu\text{g}/\text{kg} = \text{ppb}$)
- $f(t)$: 時間依存性²
- t : 時間(h)

1: W.Kastner, K.Riedle, "Empirical Model for the Calculation of Material Losses due to Corrosion Erosion", VGB KRAFTWERKSTECHNIK 66, No.12, p.1023 (1986)
 2: 96,000hr以後はそれ以上低下させず、一定値とする。

計算条件

計算には表1に示す実機データを用い、各サイクル毎に減肉速度を計算し、減肉量を累積し評価した。

表1 計算条件

サイクル	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	#21	
水質条件	AVT									ほう酸注入 + AVT ³						AVT	ETA + AVT					
pH	pH	4	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.2	9.1	9.0	9.0	9.1	9.0	9.0	9.0	9.0	9.1	9.2	9.1	9.1	9.1	9.3
g	溶存酸素濃度 (ppb)	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t	運転時間 (h)	6912	5528	8267	9369	7623	7808	8644	9666	7886	9959	9930	7151	9863	10141	8952	8565	5501	9795	11560	12743	9837
Kc	配管形状因子	0.16																				
h	Cr+Mo濃度 (%)	0.01 ⁵																				
T	温度 (K)	413																				
w	流速 (m/s)	2.2																				

3: ほう酸注入時の pH は室温では低下するが、実機温度(140)ではほう酸の解離度が低下するため、ほう酸のない場合の pH と等しくなる。このため、ほう酸のない状態で評価した。(カッコ内は室温での実測値を示す。)

4: AVT, ETA + AVT 時の pH は、アンモニア、ヒドラジン及び ETA 濃度を用いて評価した。

5: A 系配管と同じ製造配管から切り出された B 系配管の材料分析結果による。

(3) 計算結果

図1に累積減肉量計算結果を示す。また図2に文献による計算減肉速度と、実機減肉速度の比較を示す。

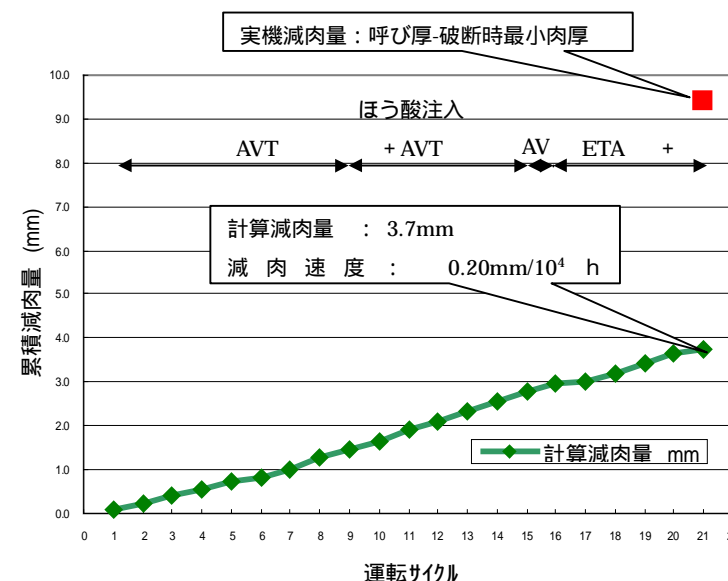


図1 累積減肉量計算結果

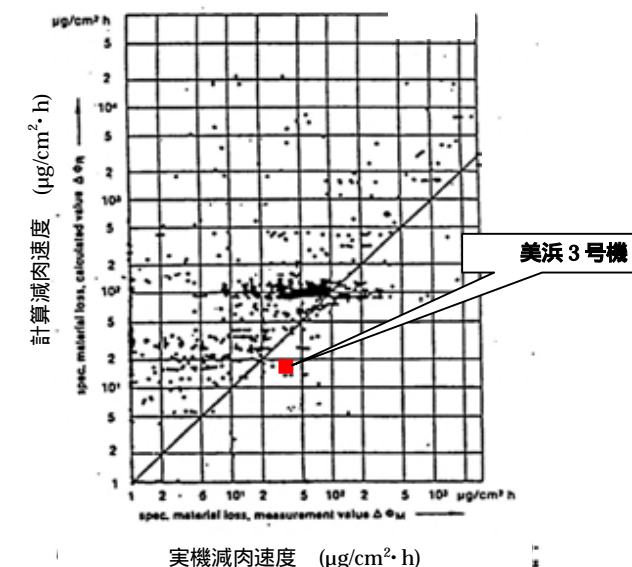


図2 計算減肉速度と実機減肉速度の比較¹

- 21 サイクル(破断時)までの累積減肉量の計算結果は 3.7mm であり、累積減肉量を全運転時間(185700h)で除した平均減肉速度は 0.20mm/10⁴h となる(図1)となる。
- (2)式による実機の減肉速度と、予測式による計算結果を減肉速度相関図(予測と実機の対応)にプロットすると、図2に示すように計算結果はデータのばらつき範囲内となる。

3. まとめ

減肉速度予測式により計算した平均減肉速度は実機の減肉速度と比較すると、予測のばらつきの範囲である。当該部の減肉速度については特異性は見られない。

美浜発電所3号機 2次系復水配管の破壊評価について

[目的]

美浜発電所3号機復水配管の減肉部の応力を定量的に評価し、減肉により破壊が発生するか否かを定量的に把握する。

[減肉配管の破壊解析および評価]

復水配管減肉部(A系,B系)の板厚実測値を反映したFEM解析により減肉部の応力を定量評価し、当該減肉部の破壊評価を行った。

なお、評価にあたっては、系統全体の解析を実施した上で、詳細解析を行った。

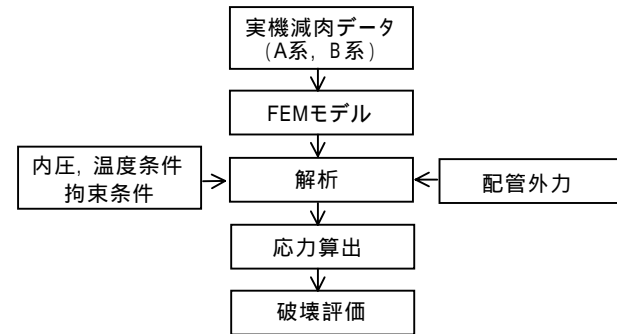


図1 破壊解析・評価フロー

1. 解析内容

以下の条件で、配管系全体および減肉配管当該部の応力解析を実施した。

1.1 配管系全体：弾性解析（配管外力評価）

1.2項で示す減肉部の部分モデルに入力するため、復水配管系全体から生じる外力を、復水配管系全体の応力解析により算出した。

(1) 解析モデル：

主復水管系（第4低圧給水加熱器～脱気器）を対象として、モデル化した（図2参照）。

(2) 解析コード：配管応力解析システム AutoPIPE Ver6.3

(3) 材料特性：当該部配管材 SB410（at 140℃）

ヤング率 $E=195600\text{MPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$

比重 $\rho=7833\text{kg/m}^3$ 、線膨張率 $\alpha=1.23\text{E-}5/^\circ\text{C}$

(4) 拘束条件：ハンガー支持部および脱気器端拘束

(5) 荷重条件：内圧=1MPa, 配管温度=140℃, 自重(配管本体,復水)

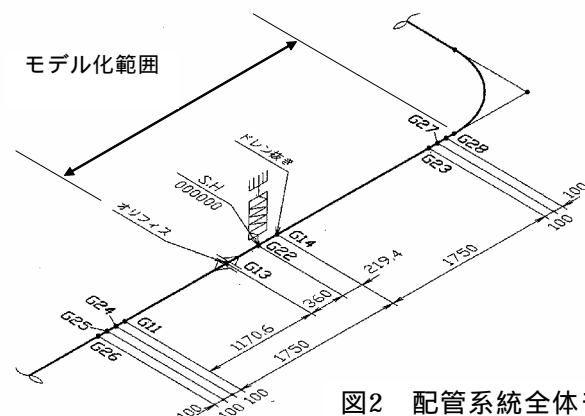


図2 配管系統全体モデルの一部(A系)

1.2 減肉部詳細解析

減肉部位のFEMモデルを用いて、当該部の応力評価を実施した。

(1) 解析モデル：

主復水管（オリフィス下流2616.8mm[A系],2108.5mm[B系]長さ範囲）を対象として、オリフィス・フランジ、ハンガーおよびドリ管を含め3次元FEMモデル化した（図3参照）。

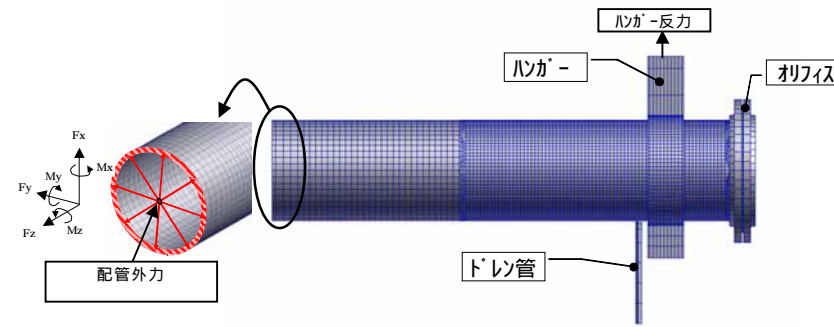
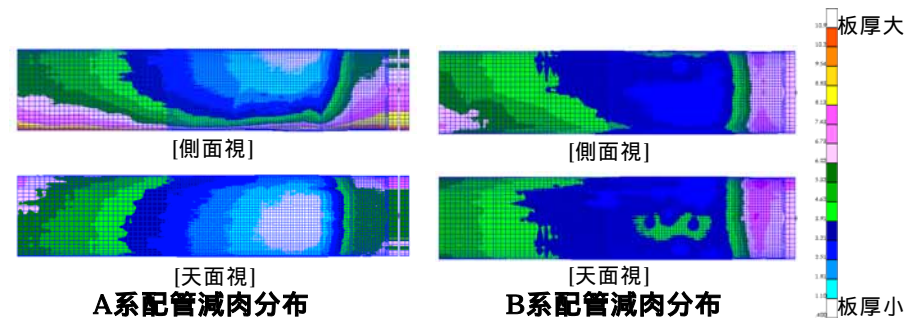


図3 減肉配管詳細ソリッドモデルおよび荷重・拘束条件(A系)

(2) 減肉分布データ：(出典：第4回事故調査委員会資料4-1-1-1)

実機配管計測結果に基づく減肉分布をモデルに反映した。



(3) 解析コード：汎用構造解析 FEM コード MARC Version 2003

(4) 要素タイプ：TYPE21（20節点6面体ソリッド要素）

(5) 材料特性：実機同等材（SB410）の高温引張試験（at 140℃）によりヤング率 $E=195600\text{MPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、比重 $\rho=7833\text{kg/m}^3$ 応力-ひずみ特性を求めた。（図4）

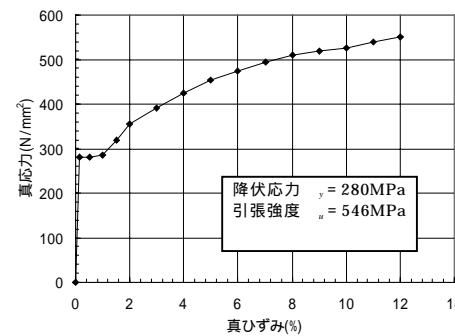


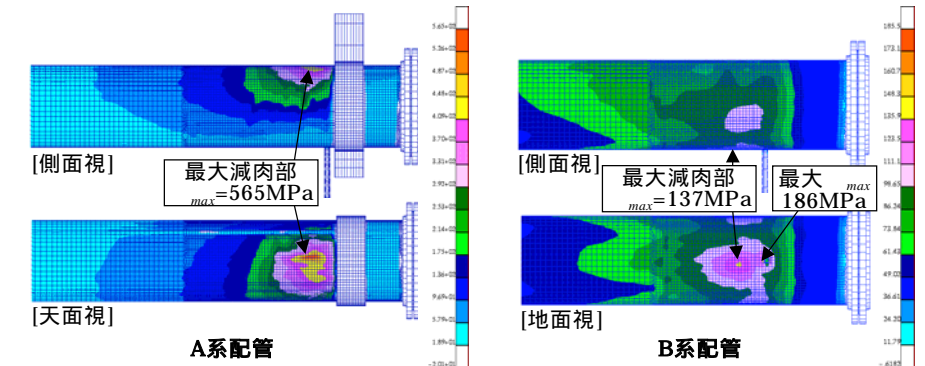
図4 配管材SB410の真応力-真ひずみ特性

(8) 荷重条件：

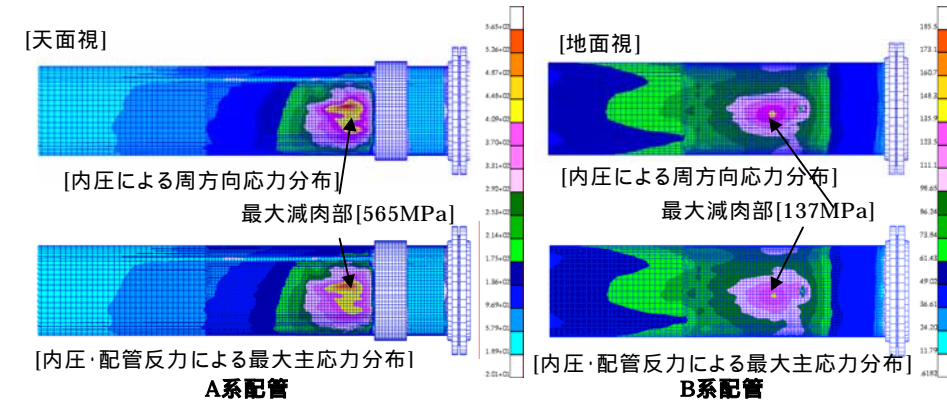
- ・ 内圧=1MPa, 自重(配管本体,復水)および
- ・ 配管外力（配管系全体弾性解析の結果を使用）

2. 解析結果

(1) 最大応力値 A系：565MPa, B系：186MPa



(2) 内圧により発生する周方向応力と最大応力の値はほぼ同一（配管外力・自重による影響は小さく、内圧が支配的）



3. 破壊評価

長い薄肉円筒殻の内圧による延性破壊を想定し、多軸応力状態での円筒殻のバースト圧力計算式に基づき、破壊評価を実施した。(**)

$$p_B = f_{c2} \frac{\sigma_u h_0}{R_{m0}}, \quad f_{c2} = \left(\frac{0.25}{n + 0.227} \right) \left(\frac{e}{n} \right)^n \quad (1)$$

σ_u ：配管材の引張強度, h_0 ：円筒殻の元肉厚
 R_{m0} ：円筒殻の元平均半径, e ：自然対数の底
 n ：下式(2)で定義されるひずみ硬化指数

ここで、弾性ひずみ分を除く応力-ひずみ関係を下式で表す。

$$\sigma = B \cdot \epsilon^n \quad (2)$$

σ ：応力, ϵ ：ひずみ, B ：強度係数, n ：ひずみ硬化指数

式(1)を変形するとバースト圧力は周方向応力 σ_t に変換できる。

$$\sigma_t = \frac{p_B R_{m0}}{h_0} = f_{c2} \sigma_u \quad (3)$$

ここでは、式(3)を破壊クライテリア(バースト応力)とした。配管材の真応力-対数ひずみデータから $n=0.2642$, $f_{c2}=0.9422$, $\sigma_u=546\text{MPa}$ が得られており、配管のバースト応力は $\sigma_t=514\text{MPa}$ と求まる。

(参考： $\sigma_t=514\text{MPa}$ になる板厚は約0.5mm)

(**) 安藤良夫・岡林邦夫著「原子力プラントの構造設計」(東京大学出版会)

よって、破壊評価の結果、A系は破壊に至り(565MPa > 514MPa)、B系は破壊に至らないこと(186MPa < 514MPa)を、定量的に把握した。

4. まとめ

A系統は破壊に至る可能性があるが、B系統は破壊に至らないことを定量的に把握した。

内圧により発生する応力が支配的な要因として、破壊に至ることを把握した。

2次系配管破損挙動解析

1. 破損開口進展解析
2. オリフィス変形解析
3. 配管破口からの熱水噴出解析評価

平成16年12月13日

原子力安全基盤機構

概要

1. 破損開口進展解析

AUTODYN-3Dを使用し開口発生時の圧力分布を求め、その圧力により開口がどのように進展するか解析を行った。

-) 10msの短時間で開口部が生成された。
-) 亀裂の進展状況はほぼ模擬できた。

2. オリフィス変形解析

AUTODYN-2D、RELAP5を使用し、変形の要因を検討

-) 破損時の減圧膨張波での残留変形は生じない。
-) 破損後数秒以内の増大流量で変形したと推定。

3. 配管破口からの熱水噴出解析評価

RELAP5を使用し、噴出流量、流体力を解析した。

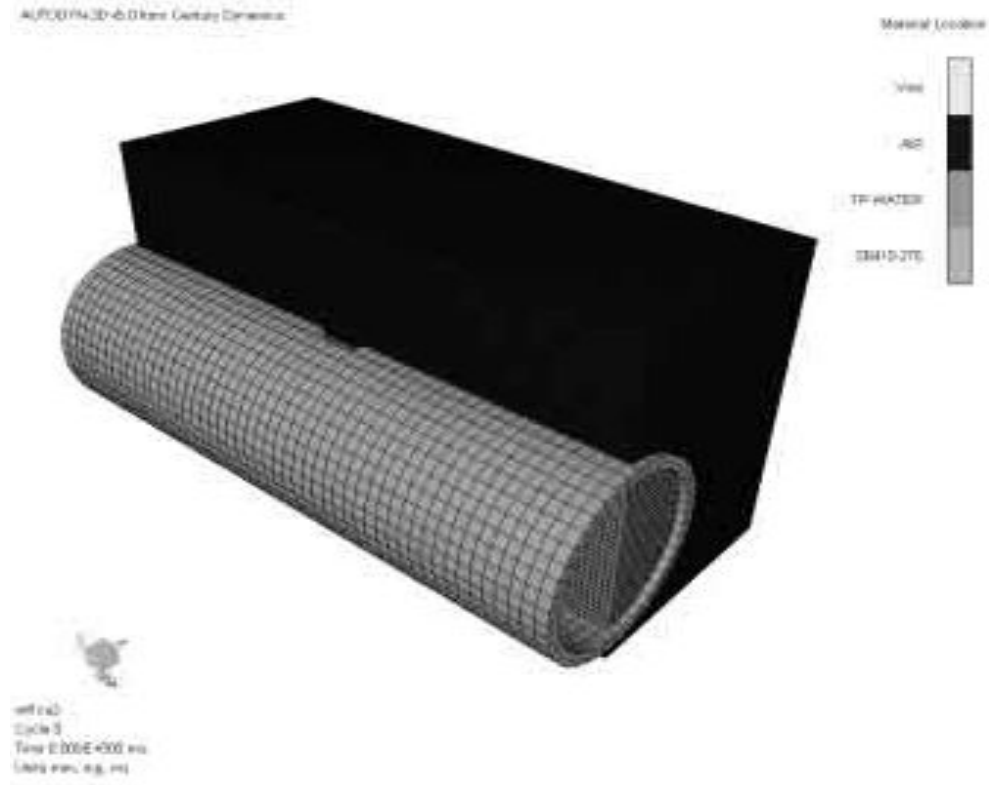
-) 破損後最大約3000 kg/sの熱水噴出が生じた。
-) 破損後噴出流体力は最大約35,000N程度生じた。

1. 破損開口進展解析

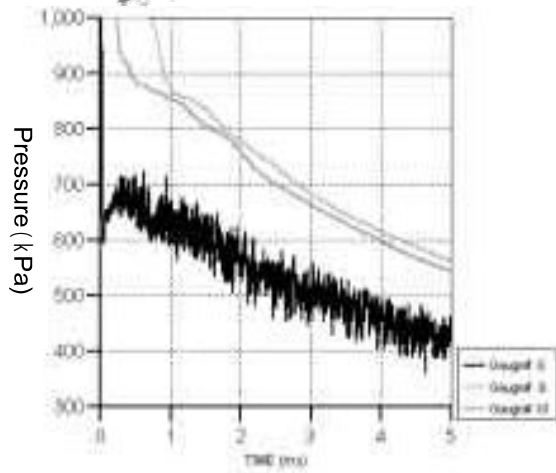
1) 管壁面圧力解析

破損開口の大きさが、管内壁付近の圧力減衰に与える影響の確認

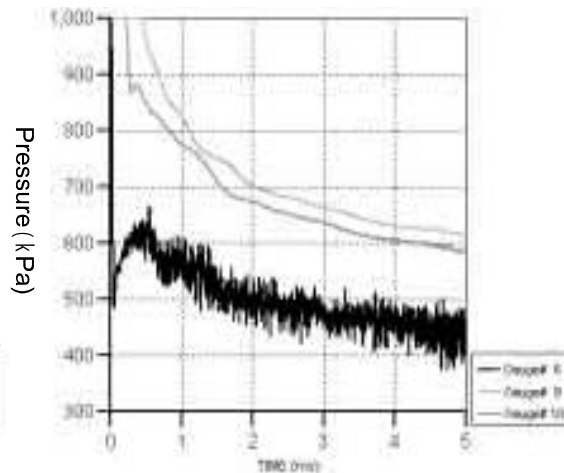
- ・ 解析モデル
 - 配管：剛壁
 - 2相(水、水蒸気)、空気



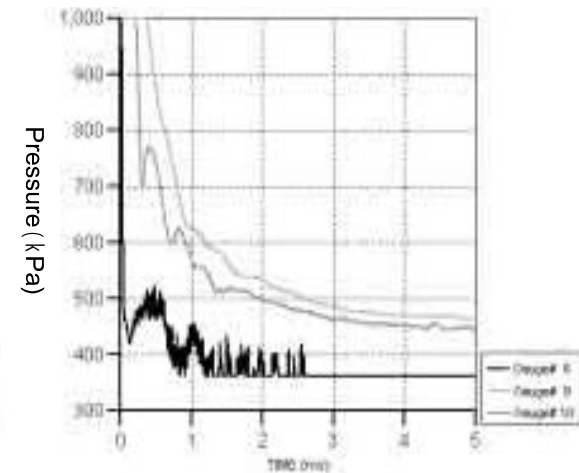
管壁面圧力解析モデル



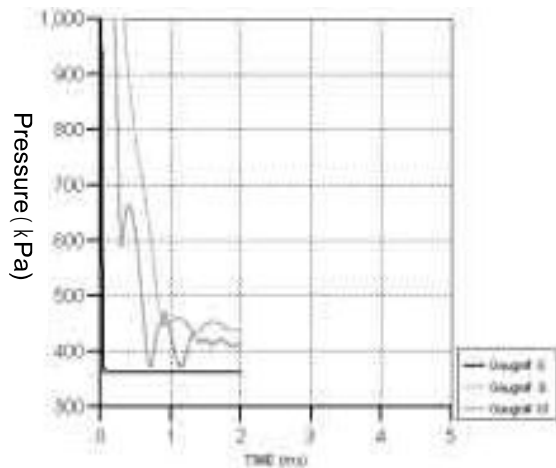
80 × 80mm



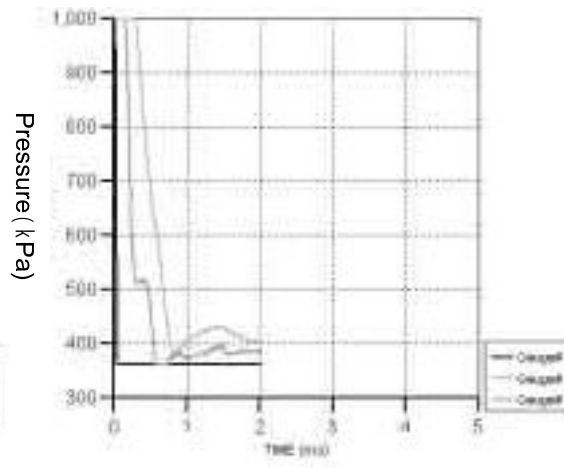
80 × 160mm



80 × 400mm



160 × 400mm



320 × 400mm



圧力時刻歴の出力位置

開口大きさ別の圧力時刻歴

2) 開口進展解析

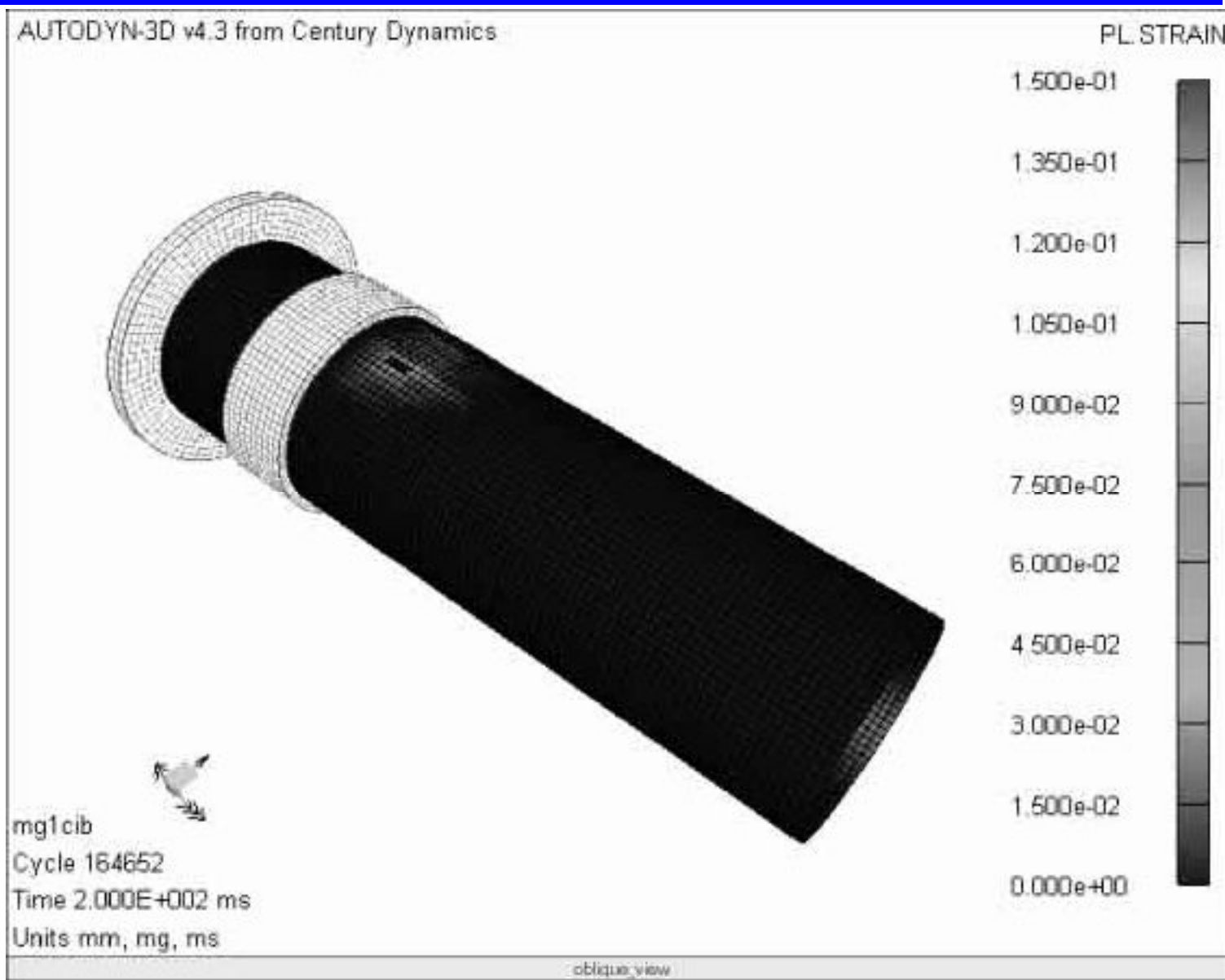
破損開口管壁面圧力解析により求められた減圧特性を用い、開口進展解析を実施

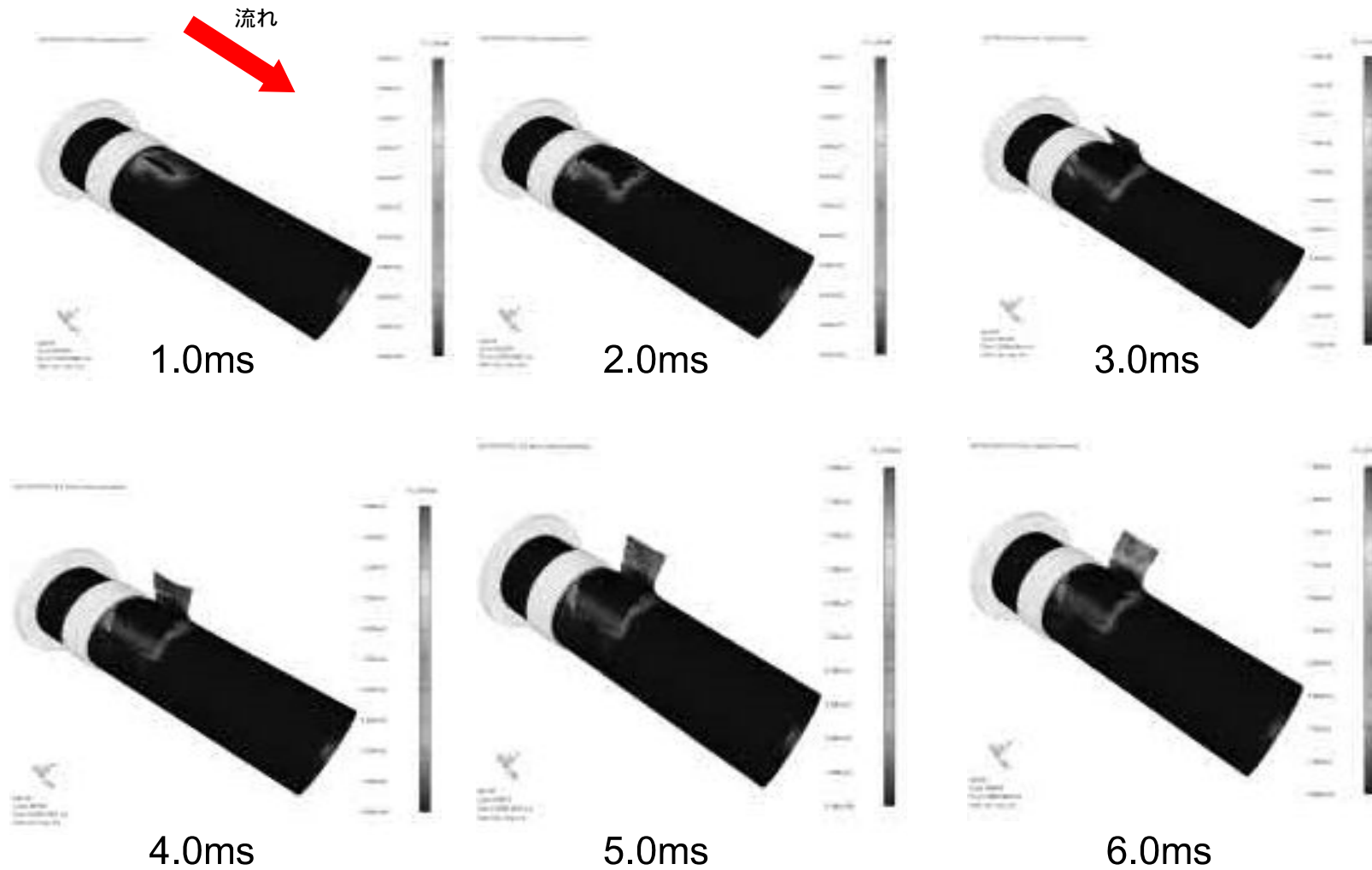
- ・ 解析モデル
 フランジ、クランプ
 実測肉厚使用
 配管材料物性は実機材の引張試験結果に基づく
- ・ 解析
 変形が安定する準静的解析後、
 初期開口を最大ひずみ発生箇所
 の3要素分（軸方向長さ約60mm）とし、30ms
 まで解析



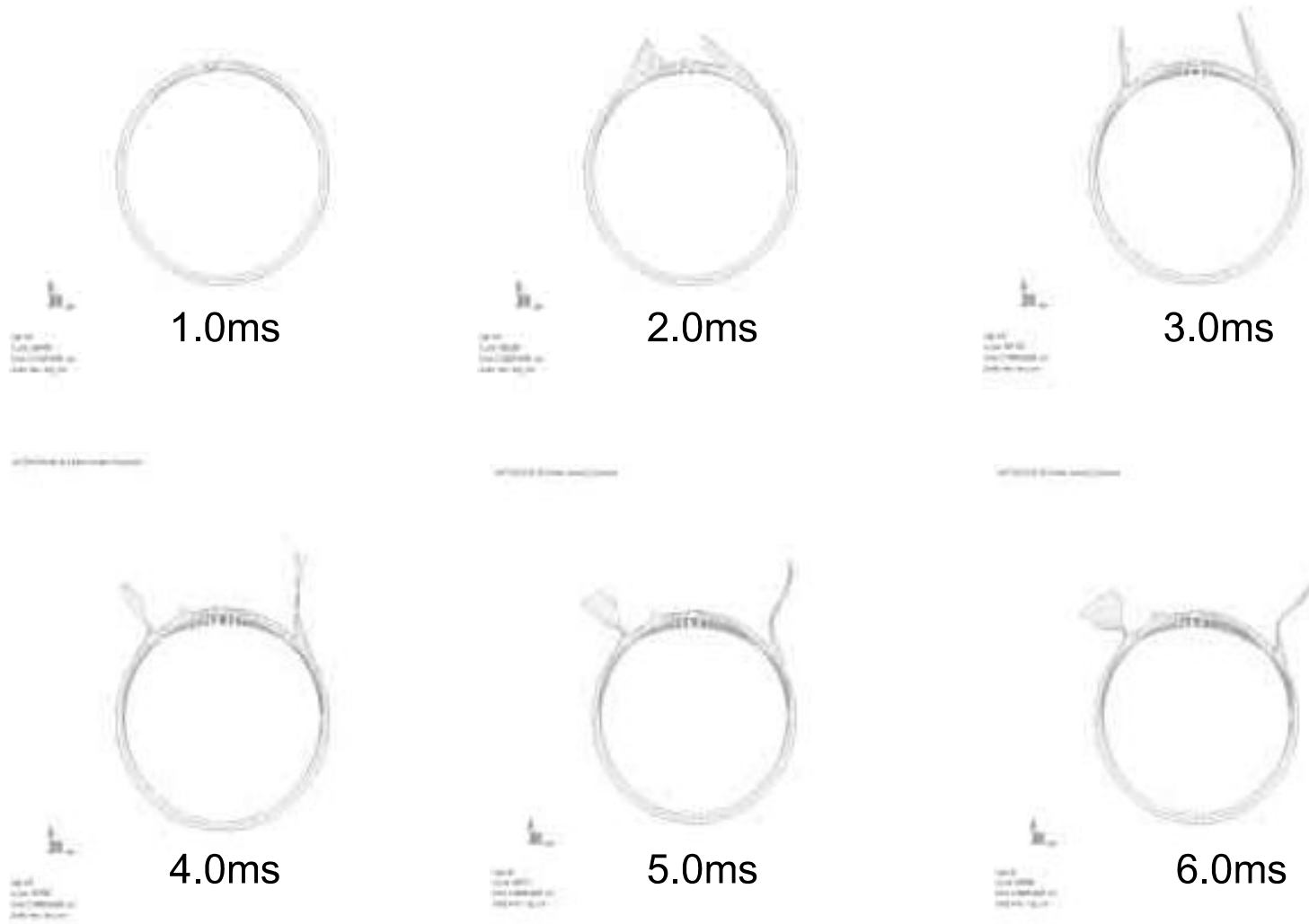
開口進展解析モデル

解析結果





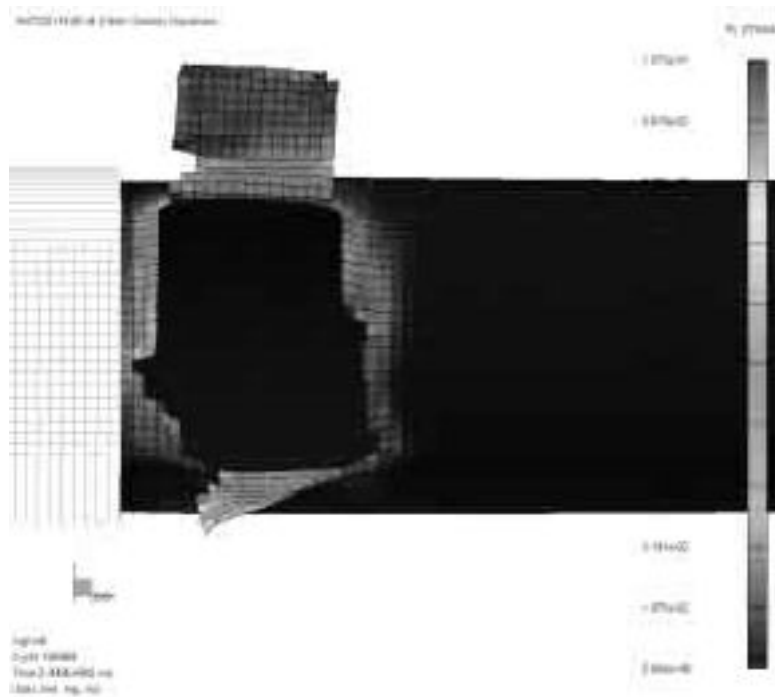
開口進展状況と相当塑性ひずみ分布



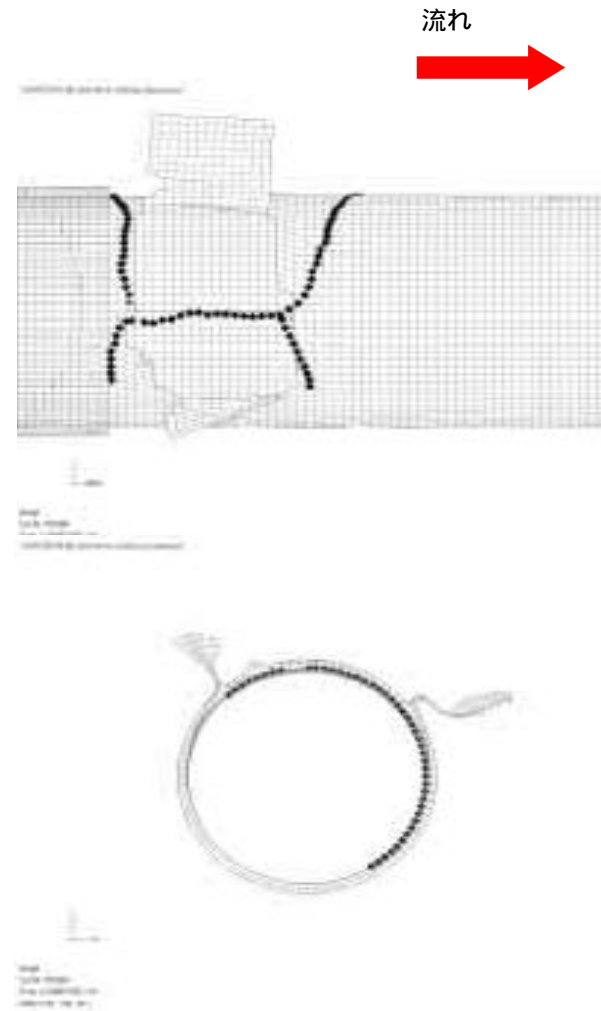
開口進展状況(下流からの視点)

・解析結果と実際の破口部との比較

青線は、実際の破断位置を示す
 ほぼ、類似の開口形状となった



解析結果最終形状図



開口形状の比較図