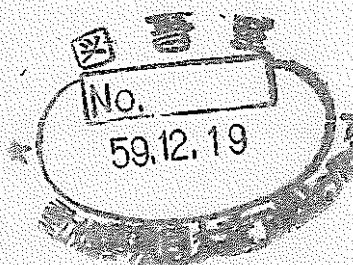


圧力開放板の環境効果試験（I）



1984年6月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N941 84-93
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1984年6月

圧力開放板の環境効果試験（I）

筆者氏名 金子義久* 中村光明* 錦見正和*
土屋毎雄** 福田 達*

要 旨

50 MW 蒸気発生器試験施設において 1975 年 9 月から 1983 年 1 月の間に使用した蒸気発生器用圧力開放板（反転型）と収納容器用圧力開放板（引張型）およびこれらの未使用品の破裂試験および材料試験（蒸気発生器のみ）を実施し使用環境による破裂特性の変化、ナトリウムによる腐食金属組織の変化、機械的・物理的性質の変化を明らかにした。

主な試験結果は、以下の通りである。

- (1) 蒸気発生器および収納容器用圧力開放板の破裂圧力は、使用品、未使用品共に製作時の破裂試験結果より低かったがいずれも購入時の仕様を満足していた。
- (2) 蒸気発生器用圧力開放板は、温度 200 ~ 430°C、圧力 0.7 ~ 1.4 kg/cm²g の使用環境下での 10,138 ~ 12,387 時間運転後においても破裂特性の変化はみられなかった。
- (3) 蒸気発生器および収納容器用圧力開放板は、破裂試験時いずれも完全開口した。
- (4) 使用後の圧力開放板は、腐食の進行がほとんど認められなかった。
- (5) 使用環境により圧力開放板材料（インコネル X - 750）の金属組織が変化し（時効硬化）機械的・物理的性質の変化が認められた。
- (6) 蒸気発生器用圧力開放板の材料は、インコネル X - 750 を正規の時効処理を実施して使用するか時効硬化のない耐熱・腐食性の高いインコネル 600 またはインコネル 625 を用いることが望ましい。

* 高速炉機器開発部システム設計開発室

** (現) 高速炉機器開発部

Environmental Effect Test of Rupture Disk (I)

Yoshihisa Kaneko*, Mitsuaki Nakamura*
Masakazu Nishikimi*, Tsuneo Tsuchiya**
and Tohru Fukuda*

Abstract

Rupture disks were tested for a purpose of examination of burst characteristic, corrosion, change of metal formation and mechanical characteristic. Those rupture disks were installed at evaporator (reverse buckling type), superheater (reverse buckling type) and reaction product vessel (tension loaded type) and were used from September, 1975 to January, 1983 at 50 MW steam generator test facility (50 MW SGTF).

Main results are the following;

- (1) Burst pressure of used and unused rupture disks of steam generator and reaction product vessel was lower than the value measured at producted time. But it satisfied specification in purchase.
- (2) Burst characteristic of rupture disk for steam generator did not change even after they were used for 10138~12387 hours through at the condition of 200~430°C and 0.7~1.4kg/cm²g.
- (3) Rupture disks of steam generator and reaction product vessel opened perfectly at burst test.
- (4) Corrosion was scarcely found.
- (5) Metal formation and mechanical and physical characteristics of material (Inconel X-750) of rupture disk has changed (age hardening) through environment effect.
- (6) If we use Inconel X-750 as rupture disk material for steam generator, we must put in operation after ageing treatment. Otherwise it is desirable to use Inconel 600 or 625 which is not effected by age hardnening and has heatproof and corrosion-resistance characteristics.

* FBR Systems and Components Division, Systems Devleopment, Section
** FBR Systems and Components Division

目 次

1. まえがき	1
2. 圧力開放系の概要	2
2.1 圧力開放系の構成	2
2.2 圧力開放板の構造	3
2.2.1 蒸気発生器圧力開放板	3
2.2.2 収納容器圧力開放板	3
3. 使用経過	5
3.1 蒸気発生器圧力開放板	5
3.2 収納容器圧力開放板	6
4. 圧力開放板の交換および洗浄方法	7
4.1 圧力開放板の交換	7
4.1.1 蒸発器(I)圧力開放板	7
4.1.2 蒸発器(II)および過熱器圧力開放板	8
4.1.3 収納容器(I)圧力開放板	8
4.2 圧力開放板の外観観察	9
4.2.1 蒸発器(I)圧力開放板	9
4.2.2 蒸発器(II)圧力開放板	10
4.2.3 過熱器圧力開放板	10
4.2.4 収納容器圧力開放板	10
4.3 圧力開放板のナトリウム洗浄	11
5. 試験項目および試験方法	12
5.1 試験前検査	12
5.1.1 外観観察	12
5.1.2 液体浸透探傷試験	12
5.1.3 ヘリウム漏洩試験	13
5.2 破裂試験	13
5.3 材料試験	14
5.3.1 金相試験	14
5.3.2 引張試験	15
5.3.3 硬さ試験	15
6. 試験結果	16

6.1	試験前検査	16
6.2	破裂試験	16
6.3	金相試験	17
6.3.1	表面観察	17
6.3.2	断面観察	18
6.4	引張試験	19
6.5	硬さ試験	19
7.	まとめ	20
7.1	圧力開放板交換方法について	20
7.2	破裂試験および材料試験について	20
7.3	総合評価	21
8.	あとがき	23
9.	謝辞	24
付	録	95
付	録 - I 各国蒸気発生器プラントでの圧力開放板	95
付	録 - II 圧力開放板に関する規格	114
付	録 - III 各種インコネル材料の特徴	137

写 真 リ ス ト

写真 4 - 1	蒸発器(I)圧力開放板交換状況	25
写真 4 - 2	蒸発器(I)圧力開放板取外し時	26
写真 4 - 3	蒸発器(I)圧力開放板底部拡大写真	26
写真 4 - 4	蒸発器(II)圧力開放板開放時	27
写真 4 - 5	蒸発器(II)圧力開放板洗浄時	27
写真 4 - 6	過熱器圧力開放板開放時	28
写真 4 - 7	過熱器圧力開放板洗浄時	28
写真 6 - 1	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 1 の表面組織	29
写真 6 - 2	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 2 の表面組織	30
写真 6 - 3	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 3 の表面組織	31
写真 6 - 4	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 1 の表面組織	32
写真 6 - 5	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 2 の表面組織	33
写真 6 - 6	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 3 の表面組織	34
写真 6 - 7	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 1 外表面における表面組織と面分析	35
写真 6 - 8	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 1 内表面における表面組織と面分析	37
写真 6 - 9	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 2 外表面における表面組織と面分析	39
写真 6 - 10	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 2 内表面における表面組織と面分析	41
写真 6 - 11	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 3 外表面における表面組織と面分析	43
写真 6 - 12	蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 3 内表面における表面組織と面分析	45
写真 6 - 13	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 1 外表面における表面組織と面分析	47
写真 6 - 14	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 1 内表面における表面組織と面分析	49
写真 6 - 15	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 2 外表面における表面組織と面分析	51
写真 6 - 16	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 2 内表面における表面組織と面分析	53
写真 6 - 17	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 3 外表面における表面組織と面分析	55
写真 6 - 18	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 3 内表面における表面組織と面分析	57
写真 6 - 19	蒸発器(III)圧力開放板の断面組織	59
写真 6 - 20	蒸発器(II)圧力開放板の断面組織	60

表 リ ス ト

表 2 - 1	50 MWSGTF - もんじゅ圧力開放板の仕様	6 1
表 3 - 1	圧力開放板運転時間	6 2
表 5 - 1	圧力開放板試験項目	6 3
表 6 - 1	圧力開放板破裂試験結果	6 4
表 6 - 2	引張試験結果	6 5
表 6 - 3	硬さ試験結果	6 6
表 7 - 1	圧力開放板の比較	6 7

図 リ ス ト

図 2- 1	圧力開放系系統図	6 8
図 2- 2	放出配管用伸縮継手	6 9
図 2- 3	50 MW 1号機蒸発器の圧力開放板	7 0
図 2- 4	収納容器圧力開放板	7 1
図 3- 1	50 MW 蒸気発生器試験施設実績	7 2
図 4- 1	引張型圧力開放板構造	7 3
図 4- 2	蒸発器(I)圧力開放板取外し時外観	7 4
図 4- 3	圧力開放板ナトリウム洗浄	7 4
図 5- 1	ヘリウム漏洩試験装置	7 5
図 5- 2	破裂試験装置	7 6
図 5- 3	金相試験片採取位置	7 7
図 5- 4	引張試験片および硬さ試験片採取位置	7 8
図 6- 1	蒸発器(I)昇圧過程	7 9
図 6- 2	蒸発器(II)昇圧過程	8 0
図 6- 3	蒸発器(III)昇圧過程	8 1
図 6- 4	過熱器昇圧過程	8 2
図 6- 5	蒸気発生器圧力開放板の破裂圧力と温度の関係	8 3
図 6- 6	収納容器(I)昇圧過程	8 4
図 6- 7	収納容器(II)昇圧過程	8 5
図 6- 8	収納容器圧力開放板の破裂圧力と温度の関係	8 6
図 6- 9	蒸発器(IV)圧力開放板の採取位置 1 の線分析	8 7
図 6- 10	蒸発器(IV)圧力開放板の採取位置 2 の線分析	8 8
図 6- 11	蒸発器(IV)圧力開放板の採取位置 3 の線分析	8 9
図 6- 12	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 1 の線分析	9 0
図 6- 13	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 2 の線分析	9 1
図 6- 14	蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 3 の線分析	9 2
図 7- 1	圧力開放板の改良図	9 3

List of photographs

Photo. 4-1	Scene of exchange of rupture disk for evaporator (I) ...	25
Photo. 4-2	Rupture disk for evaporator (I) after removal	26
Photo. 4-3	The lower part of rupture disk for evaporator (I)	26
Photo. 4-4	Rupture disk for evaporator (II) at opening	27
Photo. 4-5	Rupture disk for evaporator (II) before cleaning	27
Photo. 4-6	Rupture disk for superheater at opening	28
Photo. 4-7	Rupture disk for superheater before cleaning	28
Photo. 6-1	Surface formation of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 1	29
Photo. 6-2	Surface formation of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 2	30
Photo. 6-3	Surface formation of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 3	31
Photo. 6-4	Surface formation of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 1	32
Photo. 6-5	Surface formation of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 2	33
Photo. 6-6	Surface formation of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 3	34
Photo. 6-7	Surface formation and analysis of outer side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 1	35
Photo. 6-8	Surface formation and analysis of inner side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 1	37
Photo. 6-9	Surface formation and analysis of outer side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 2	39
Photo. 6-10	Surface formation and analysis of inner side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 2	41
Photo. 6-11	Surface formation and analysis of outer side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 3	43
Photo. 6-12	Surface formation and analysis of inner side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 3	45
Photo. 6-13	Surface formation and analysis of outer side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 1	47

Photo. 6-14	Surface formation and analysis of inner side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 1	49
Photo. 6-15	Surface formation and analysis of outer side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 2	51
Photo. 6-16	Surface formation and analysis of inner side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 2	53
Photo. 6-17	Surface formation and analysis of outer side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 3	55
Photo. 6-18	Surface formation and analysis of inner side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 3	57
Photo. 6-19	Sectional formation of rupture disk for evaporator (III)	59
Photo. 6-20	Sectional formation of rupture disk for evaporator (II). 60	

List of tables

Table 2-1	Specification of rupture disks for 50MW SGTF and MONJU plant	61
Table 3-1	Operation period of rupture disks	62
Table 5-1	Test items of rupture disks	63
Table 6-1	Burst test result of rupture disks	64
Table 6-2	Tension test result	65
Table 6-3	Hardness test result	66
Table 7-1	Comparison of characteristic of rupture dksks	67

List of figures

Fig. 2-1	Diagram of pressure relief system	68
Fig. 2-2	Expansion joint for pressure relief pipe	69
Fig. 2-3	Rupture disk for evaporator No. 1 in 50MW SGTF	70
Fig. 2-4	Rupture disk for reaction product vessel	71
Fig. 3-1	Operation and maintenance period of 50MW SGTF	72
Fig. 4-1	Tension loaded rupture disk	73
Fig. 4-2	Appearance of rupture disk for evaporator (I) at removal	74
Fig. 4-3	Sodium cleaning method of rupture disk	74
Fig. 5-1	Herium leak test equipment	75
Fig. 5-2	Burst test equipment	76
Fig. 5-3	Cutting position of test piece for metallographic test ...	77
Fig. 5-4	Cutting position of test piece for tension test hardness test	78
Fig. 6-1	Pressure rising curve of evaporator (I)	79
Fig. 6-2	Pressure rising curve of evaporator (II)	80
Fig. 6-3	Pressure rising curve of evaporator (III)	81
Fig. 6-4	Pressure rising curve of superheater	82
Fig. 6-5	Relation of burst pressure and temperature of rupture disk (Inconel) for steam generator	83
Fig. 6-6	Pressure rising curve of reaction product vessel (I)	84
Fig. 6-7	Pressure rising curve of reaction product vessel (II)	85
Fig. 6-8	Relation of burst pressure and temperature of rupture disk (SUS 316) for reaction product vessel	86
Fig. 6-9	Linear analysis of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 1	87
Fig. 6-10	Linear analysis of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 2	88
Fig. 6-11	Linear analysis of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 3	89
Fig. 6-12	Linear analysis of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 1	90
Fig. 6-13	Linear analysis of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 2	91

Fig. 6-14 Linear analysis of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 3	92
Fig. 7-1 Improvement of tension loaded rupture disk	93

1. ま　え　が　き

液体金属冷却高速増殖炉（LMFBR）用蒸気発生器（Steam Generator, SG）においては、伝熱管を介してナトリウムと水・蒸気が存在する構造となっており、万一大量の水・蒸気がナトリウム中に漏洩すると、ナトリウム－水反応により発生する水素ガスのため蒸気発生器内の圧力が急上昇する。このため大規模水リークに対する安全保護系として圧力開放系（Pressure relief system）が装備され、蒸発器（Evaporator, EV）、過熱器（Superheater, SH）、反応生成物収納容器（Reaction product vessel, RPV）にそれぞれ圧力開放板（Rupture Disc, RD）が設置され、ナトリウム－水反応による圧力を放出する設計になっている。圧力開放系は、蒸気発生器システムの安全保護系として最も重要なものであり、圧力開放板は蒸気発生器および圧力開放系の健全性を維持するため所定の圧力で確実に破裂し、また圧力放出特性の上から圧力開放板が完全開口する必要がある。蒸発器および過熱器の圧力開放板は、ナトリウムベーパー、熱過渡、圧力変動等による経時劣化の影響、また、収納容器の圧力開放板では塩害による腐蝕等による破裂圧に対する影響についての十分なデータを得ることが要求される。これらの環境効果を調べるため、原型炉「もんじゅ」プラントの2次系と同じ構成の50 MW 蒸気発生器試験施設（以下50 MWSGTFと略称する）で長期間使用した圧力開放板を取りはずし、破裂試験・材料試験を実施した。実機模擬のプラントで長期間使用後の圧力開放板の破裂圧特性の変化を確認し、その交換頻度等を設計に反映すべきデータを得ることを目的としている。

なお、本報告書は蒸発器、過熱器の圧力開放板に関しては原型炉「もんじゅ」の当初の設計である反転型圧力開放板（Reverse Buckling Rupture Disk）の試験結果であるが、その後「もんじゅ」の設計変更により引張型圧力開放板（Tension Loaded Rupture Disk）を使用することとなつたため、昭和59年1月に50 MW SGTFの蒸発器、過熱器の圧力開放板型を反転型から引張型に交換した。この引張型圧力開放板についても50 MWSGTFで長時間運転使用後、破裂試験等を実施し、ナトリウムベーパー等環境のおよぼす影響について調べる計画である。

2. 圧力開放系の概要

2.1 圧力開放系の構成

図2-1に50MWSGTFの圧力開放系を示す。圧力開放系は、万一蒸気発生器の伝熱管から水リークが発生した場合、ナトリウムー水反応によって生じた圧力および反応生成物を放出し、蒸気発生器本体の健全性を確保するための安全保護系である。

本系統には、大規模反応放出系・小規模反応放出系・窒素ガス供給系・ガス放出系から構成されている。

大規模反応放出系は、蒸気発生器（蒸発器・過熱器）の圧力開放板、収納容器までの配管、その配管途中に図2-2に示すような、伸縮継手から構成されており、蒸気発生器中の4本の伝熱管の完全破断時の圧力開放に対応した容量を持っており、反応生成物・同伴ナトリウムの放出捕集（ナトリウム捕集容量8m³）が可能である。ナトリウムー水反応により蒸気発生器内の圧力がある圧力以上に上昇すると、圧力開放板が破裂しナトリウムおよび反応生成物が収納容器へ導入される。

小規模反応放出系は、各圧力開放板をバイパスする配管とある圧力以上になると開く放出弁（VA15-1, VA15-2）および収納容器までの配管（大規模反応放出系と同じ）から構成されており、微量の水リークが生じた場合大規模反応放出系を使用することなく、ナトリウムー水反応による圧力の開放および反応生成物を収納容器へ導いている。

窒素ガス供給系は、窒素供給タンクより窒素ガスを収納容器内に導入する配管、収納容器内の圧力を一定にするための圧力調節弁から構成されており、ナトリウムー水反応によって発生した水素やナトリウムが圧力開放系内で空気との反応を防ぐために、収納容器および圧力開放系内を常時0.25～0.35kg/cm²の不活性窒素ガス雰囲気に保っておりかつ酸素計によって酸素濃度を監視している。

ガス放出系は、収納容器、収納容器上部の圧力開放板、大気遮断弁から構成されておりナトリウムー水反応によって発生したナトリウムおよび反応生成物は収納容器内でナトリウムとガスに分離され、ナトリウムは収納容器に捕集される。一方、ガスはある圧力以上になると収納容器出口に取り付けられている圧力開放板を破断し大気遮断弁を経て大気中に放出される。

2.2 圧力開放板の構造

試験対象の蒸気発生器の圧力開放板は、50 MW 蒸発器 1 号機の予備品を 2 号機に取付け使用した物と、その予備品であり一方、収納容器の圧力開放板は 1978 年 3 月から使用した物とその予備品である。

以下にこれらの構造・仕様等を記述する。

2.2.1 蒸気発生器圧力開放板

蒸気発生器の圧力開放板は、蒸発器・過熱器共に同一形状の反転バックリング型のものが、カバーガス部に設置されており、カバーガス部と放出系の差圧が $3.45 \sim 4.0 \text{ kg/cm}^2$ 生ずると開放板が反転しブレードナイフにより傷つけられ破裂する構造になっている。図 2-3 に供試体となった 50 MW 蒸発器 1 号機の圧力開放板の構造を示す。また、表 2-1 にそれぞれの仕様を示す。図 2-3 からもわかるように圧力開放板は、2 つのホルダーではさまれラグにより固定されさらにホルダーはフランジで放出系の配管に接続されている。なお、入口側ホルダー（蒸気発生器本体側）と圧力開放板とのシールは金属と金属をかみ込ませるバイティングシールを使用している。（図 2-3 の B 部参照）またフランジと入口側ホルダーとは図 2-3 の A 部に示すようにリップ溶接にてシールされている。出口側ホルダー（放出系配管側）フランジ間には図 2-3 の C 部に示すようにガスケットが挿入され空気の流入を防ぐ構造になっている。また、圧力開放板の材質は、蒸発器・過熱器共高温での耐食性・機械的性質に優れているインコネル X-750 が使用されており圧力開放板を傷つけるブレードナイフには堅い材質の SUS 631 を使用している。また、ホルダーの材質は蒸発器用が $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼で過熱器用が SUS 304 である。さらにホルダーには交換時吊り下げ用としてアイボルトが付いている。

2.2.2 収納容器圧力開放板

収納容器の圧力開放板は、蒸気発生器用とは異なり引張型のものを使用している。この圧力開放板は収納容器内と大気の差圧が $1.0 \sim 1.5 \text{ kg/cm}^2$ になると図 2-4 に示す上部金属板のスリット部から破裂し収納容器内の圧力を逃す構造になっている。また、その仕様を表 2-1 に示す。

引張型の圧力開放板は、図 2-4 に示すように上部金属板、シール、スティフナーリングより構成されており、上部金属板材質は、SUS 316 でスリットが入っており上部の穴の間隔によって破裂圧力が調整される。シール材は、薄いアルミニウムで窒素 囲気の収納容器内を大気と隔離している。また、スティフナーリングは、SUS 316 でシール材とホルダーが直接接触することを防ぐためのものである。なお、入口側ホルダー（収納容器側）と圧力開放板とのシールは蒸気発生器用のものと異なりスティフナーリングとホルダーの面接触によって行なっている。また、フランジと入口側ホルダーはリップ溶接ではなく図 2-4 の A 部に示すようにガスケットを挿

入して空気流入を防いでいる。このため、圧力開放板はホルダーごと取外すことができ交換が容易である。

3. 使　用　経　過

50 MWSGTF の蒸気発生器は、1975年4月～10月の間に1号機から2号機に交換している。このとき蒸気発生器の圧力開放板は、蒸発器・過熱器共に蒸発器1号機の予備品を取付けている。その後、1978年9月に水リーク検出システム評価試験装置の設置に伴なう耐圧試験で過熱器の圧力開放板が破裂したため同年11月に再度蒸発器1号機の予備圧力開放板を蒸発器・過熱器に取付け1982年7月まで運転した。これらの圧力開放板は、同一ロットで製作されている。なお、1975年9月～1978年11月まで蒸発器に取付けられていたものを蒸発器(I)、1978年11月～1983年1月まで過熱器に取付けられていたものを過熱器とし蒸発器に取付けられていたものを蒸発器(II)、未使用の圧力開放板を蒸発器(III)とした。表3-1にこれらの運転積算時間を示す。一方、収納容器の圧力開放板は、2号機の蒸気発生器運転開始から圧力開放板材質としてシール材にテフロン、上部金属板にアルミニウムの圧力開放板を使用してきた。しかし、1977年10月から収納容器および圧力開放系の放出配管を予熱して運転したため同年10月22日に圧力開放板が破裂した。この原因是、圧力開放板が22°Cにおいて $1.4 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ で破裂する仕様のものであったため温度上昇によって破裂圧力が低下したものと思われる。このため、1978年3月に370°Cで $1.0 \pm 0.5 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ で破裂する圧力開放板（シール材がアルミニウム、上部金属板SUS316）に交換し1982年7月まで運転した。今回試験対象となった圧力開放板は、このときに交換したものと同一ロットで製作されたその予備品である。

3.1 蒸気発生器圧力開放板

図3-1に50 MWSGTFの運転実績を示す。50 MWSGTFは、約2～3ヶ月運転して2～3ヶ月休止のサイクルで運転している。このため、起動・停止が多く長期に渡る同じ条件での運転が困難である。また、試験施設であることから系統のナトリウム温度変化が大きく当然圧力開放板にも温度変動が生じていることが予想される。実際には圧力開放板に熱電対が取付けられていないため運転中の圧力開放板の温度履歴を知ることができないが、カバーガス温度から推定すると、運転中の蒸発器の圧力開放板で約200～400°C、過熱器の圧力開放板で200～430°Cの範囲で使用されていると思われる。また、運転中のカバーガス圧力は蒸発器で $0.7 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ でほぼ一定であるが、過熱器は液面制御をカバーガス圧力により行なっているため、蒸発器より若干高めの圧力（ナトリウム流量によって異なるが0～0.45 kg/cm²g）になっている。なお、1982年6月の運転時から2次系に補助冷却システム評価試験装置を設置したため、2次系のカバーガス圧力を全体的に約 $0.3 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 程度上げて運転している。また蒸発器(I)の圧力開放板は、一度ではあるが圧力開放板の約半分までナトリウム液面を上昇させた（オーバーチャージ）経験がある。

3.2 収納容器圧力開放板

収納容器内および圧力開放系内は、常時 $0.25 \sim 0.35 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ の窒素雰囲気に保たれているが、圧力開放板の凸側は、大気に触れている。また 1977 年 10 月の運転より大リーク時の熱衝撃を緩和するためとナトリウムによる放出配管の閉塞防止のために予熱を行ない運転していたがその後予熱は必要ないことがわかり 1980 年からの運転では再び常温に戻して運転している。

4. 圧力開放板の交換および洗浄方法

圧力開放板の交換は、これまで蒸気発生器用で2回（1978年9月の蒸発器(I), 1983年1月の蒸発器(II)および過熱器）収納容器用で2回実施している。蒸気発生器用については一貫した方法で交換していないためおののについて記述する。収納容器用については使用雰囲気が窒素ガスでナトリウムベーパを含んでいないため蒸気発生器用に比べ容易に交換可能である。以下に圧力開放板の交換要領（実績）および取り外した圧力開放板の外観観察およびナトリウム洗浄方法について記述する。

4.1 圧力開放板の交換

4.1.1 蒸発器(I)圧力開放板

この圧力開放板は、破裂以前にナトリウムを放出配管までオーバーチャージした経験があるため交換作業を行う時は、付着ナトリウムの酸化と不活性ガス（アルゴン）による酸欠防止を図りながら写真4-1に示すようにビニール養生法にて交換作業を実施した。以下に交換要領を記述する。

(1) 圧力開放板の取り外し

- 1) 両側フランジ及び圧力開放板（ホルダーごと）をチェーンブロック等で固定する。
- 2) スタッドボルトを取り外す。
- 3) リップ溶接部をグラインダーにて除去する。
- 4) 図2-2に示す伸縮継手を利用して収納容器側のフランジを移動する。
- 5) アイボルトを利用して圧力開放板（ホルダーごと）を安定した場所に移動する。

(2) 圧力開放板の交換

- 1) ホルダーから圧力開放板を取り出す。
- 2) バイディングシール部を磨く。
- 3) ホルダーに圧力開放板を取り付ける。

(3) 圧力開放板の取付け

- 1) アイボルトを利用してチェーンブロックにて圧力開放板（ホルダーごと）を所定の位置に吊り上げる。
- 2) 収納容器側フランジを元に戻す。
- 3) 溶接部（リップ部）の予熱を行なう。（蒸発器用のみ）
- 4) 予熱後TIGにてリップ部の溶接を行なう。
- 5) 溶接後熱処理焼純を行なう。（蒸発器用のみ）
- 6) スタッドボルトを規定トルクにて締め付ける。（80 kg-m）
- 7) 取り付け後溶接部及びシール部のヘリウムリーク試験を行なう。

(判定基準は 1×10^{-3} Acc/sec)

4.1.2 蒸発器(II)および過熱器圧力開放板の交換要領

この圧力開放板は取り外し後破裂試験を計画しておりホルダーごと交換した。これは一旦ホルダーから圧力開放板を取外すと破裂圧力が変化することを懸念したためである。引張型の圧力開放板の構造を図4-1に示し、以下にその交換要領について記述する。

(1) 圧力開放板の取外し

- 1) 両側フランジおよび圧力開放板（ホルダーごと）をチェーンブロック等で固定する。
- 2) スタッドボルトを取り外す。
- 3) リップ溶接部をグラインダーにて除去する。
- 4) 図2-2に示す伸縮継手を利用して収納容器側のフランジを移動する。
- 5) アイボルトを利用して圧力開放板（ホルダーごと）を安定した場所に移動する。

(2) 圧力開放板の交換

- 1) 図4-1で圧力開放板組立詳細図で示すように3枚を一組みとし固定する。
- 2) 一組みになった圧力開放板をホルダーに取付ける。

(3) 圧力開放板の取付け

- 1) アイボルトを利用してチェーンブロックにて圧力開放板（ホルダーごと）を所定の位置に吊り上げる。
- 2) 収納容器側フランジを元に戻す。
- 3) 溶接部（リップ部）の予熱を行なう。（蒸発器用のみ）
- 4) 予熱後TIGにてリップ部の溶接を行なう。
- 5) 溶接後熱処理焼鈍を行なう。（蒸発器用のみ）
- 6) スタッドボルトを規定トルクにて締め付ける。（65 kg-m）
- 7) 取り付け後溶接部及びシール部のヘリウムリーク試験を行なう。

(判定基準は 1×10^{-3} Acc/sec)

4.1.3 収納容器圧力開放板

(1) 圧力開放板の取り外し

- 1) 放出管エルボの吊り金具にチェーンブロックをかける。
- 2) 締め付けボルトを取り外す。
- 3) 放出管を50mm程度吊り上げる。
- 4) チェーンブロックをホルダーのアイボルトにかけ吊り上げる。
- 5) ホルダーごとチェーンブロックで引き出す。
- 6) 安定した場所に降す。

(2) 圧力開放板の交換

- 1) ホルダーのラグ用ボルトを取り外し圧力開放板を取り出す。
- 2) 圧力開放板を交換する。
- 3) ラグ用ボルトにて圧力開放板をホルダーに取り付ける。

(3) 圧力開放板の取り付け

- 1) ガスケットパッキンを収納容器側放出管側フランジに取り付ける。
- 2) チェーンブロックにて所定の位置に圧力開放板（ホルダーごと）を吊り上げる。
- 3) 放出管を元の位置に吊り降す。
- 4) スタッドボルトにて規定トルク（33.8 kg-m）にて締め付ける。
- 5) ボルト締め付け後フランジ間の寸法測定をし片締めになつてないか確認する。

4.2 圧力開放板の外観観察

4.2.1 蒸発器(I)圧力開放板

(1) 取り外し時の外観（図4-2参照）

- 1) 入口側ホルダーの内径は、胴側フランジの内径より大きいため写真4-2に示すように入口側ホルダーの底部にオーバーチャージしたナトリウムが溜り、かなりのナトリウムが固化して残存していた。
- 2) 入口側ホルダーの底部に溜ったナトリウムは、酸化しておりパサパサした状態となっていた。また写真4-3に示すように最底部には酸化ナトリウムが剥離した様な跡がついていた。
- 3) 胴側フランジの底部にも最下端のみにナトリウムが残存していた。
- 4) 圧力開放板表面には全面に薄くナトリウムベーパが付着していた。またナトリウムのオーバーチャージ時のレベルを示すこん跡が認められた。
- 5) 出口側ホルダーにはナトリウム付着はなくナトリウムリークは生じていなかったと思われる。

(2) 洗浄後の外観結果

- 1) 図4-2に示す入口側ホルダーと圧力開放板のシート面に数ヶ所傷があった。
- 2) 入口側ホルダー内面に変色があった。
- 3) 図4-2に示す出口側ホルダーと圧力開放板のシート面に数ヶ所傷があった。
- 4) 圧力開放板入口側、出口側共表面の腐食は見られなかつたが入口側表面に変色があつた。

(3) ナトリウム酸化の理由

入口側ホルダーの最底部に溜ったナトリウムの酸化の原因としては真空引き時の空気流入が推定される。

4.2.2 蒸発器(II)圧力開放板（写真4-4参照）

この圧力開放板は、ホルダーの寸法測定のために一度開放して、元の位置で仮止めの状態で保管し約1.5ヶ月後に交換している。また、過熱器圧力開放板も同じである。

(1) 開放時の外観

- 1) 柔らかい粉状のナトリウムベーパが全表面に付着していた。
- 2) 下部にナトリウムがありその状態から推測すると一度圧力開放板に付いた後に下部に流れ落ちたものに見受けられ比較的厚かった。
- 3) 圧力開放板の放出側は、ナトリウムがリークした様子もなくきれいな金属面であった。

(2) 交換後洗浄前の外観（写真4-5参照）

- 1) 開放時にはナトリウムの酸化した様子は見られなかったが交換時にはナトリウム酸化がひどく薄い膜状になっていた。
- 2) 酸化したナトリウムは、圧力開放板の表面から浮いた状態になっている所もあった。
- 3) 膜は、水酸化ナトリウムと思われる結晶状になっている部分もあった。

4.2.3 過熱器圧力開放板（写真4-6参照）

(1) 開放時の外観

- 1) 蒸発器用と同様に圧力開放板表面に柔らかい粉状のナトリウムベーパが付着していたが蒸発器用に比べてその厚さは薄かった。
- 2) 圧力開放板の下部にはナトリウム溜りがあり表面に付いたナトリウムは下部に落ち過熱器本体方向へ流れ出したと思われるこん跡が見られた。
- 3) 圧力開放板の放出側はナトリウムがリークした様子もなくきれいな金属面であった。

(2) 交換洗浄前の外観（写真4-7参照）

- 1) 蒸発器用と同様に酸化されていて表面がざらざらとした膜になっていた。
- 2) 酸化した膜は気泡がつぶれたような模様になっている部分もあった。

4.2.4 収納容器圧力開放板

収納容器の圧力開放板は、収納容器側が窒素雰囲気であったため表面は金属光沢のままで錆や傷等もなかった。また、放出側は大気に触れているため錆等の発生が予想されたが、そのようなことはなくほこり等が付いているのみで金属表面のままであった。

4.3 圧力開放板のナトリウム洗浄

蒸気発生器に使用した圧力開放板は、ナトリウムベーパおよびナトリウムが付着していたため各種試験等の安全性・作業性を考慮しナトリウム洗浄が必要であった。また、破裂試験や表面・断面観察に影響を与えない洗浄方法を採用する必要があった。蒸発器(I)の圧力開放板についてはナトリウムの洗浄記録が残っていないためここでは蒸発器(II)および過熱器の圧力開放板のナトリウム洗浄方法について以下に述べる。なお、蒸発器(II)と過熱器の圧力開放板は同一方法にてナトリウム洗浄した。

- (1) 洗浄容器に変性アルコール（工業用アルコール）を入れる。
- (2) 圧力開放板は、ホルダーを付けたまま図4-3のように変性アルコールに漬ける。
- (3) 変性アルコールとナトリウムの反応がなくなるまでそのままの状態にしておく。
- (4) 反応しなくなったら水を段階的に徐々に加えていく。
- (5) 水を加えても反応しなくなるまで(4)を繰り返し行なう。
- (6) 水と反応しない付着物は、圧力開放板の表面を傷つけないように軟かい物で拭きとる。

5. 試験項目および試験方法

試験内容は、試験前検査、破裂試験、材料試験に大別でき各々の試験項目と対象圧力開放板の関係を表5-1に示す。

試験前検査は、圧力開放板の傷等が破裂試験に影響を与えることが考えられるため圧力開放板の取付け・取外しに伴なう傷等の有無を事前に確認するために行なっている。傷等には、さまざまなものがあると考えられる。(へこみ、表面の傷、貫通の傷)これらの傷をもれなく確認するために外観目視観察、液体浸透探傷、ヘリウム漏洩試験項目を選定した。試験前検査は、使用品の圧力開放板を対象とし未使用品は、購入時まま保管していたため外観目視観察のみとした。

破裂試験は、使用環境による圧力開放板の経時変化の有無を確認するもので今回行なう試験の中では最重要である。従って、すべての圧力開放板について破裂試験を行なっている。試験対象に未使用品も含んでいるのは、製作時の性能を再確認するためと後述のように材料試験において同一条件で使用品と比較するためである。

材料試験は、ナトリウムによる腐食、金属組織の変化、機械的・物理的性質の変化を明らかにするために金相、引張、硬さ試験を行なっている。材料試験は、使用環境の厳しい蒸気発生器の圧力開放板を対象とし数量の関係上破裂試験後に実施している。使用品は、3枚あるが第3章で述べているように使用条件にはほとんど差がないことから材料試験の項目についてそれぞれ試験対象をえて使用品の代表データとしている。一方、未使用品は、材料試験の各項決すべて行ない使用品と相対比較している。

5.1 試験前検査

5.1.1 外観観察

すべての試験対象圧力開放板について破裂試験前に圧力開放板両面のスクラッチ傷、打傷、歪および凹凸の有無を目視で観察する。

5.1.2 液体浸透探傷試験

(1) 目的

目視では発見出来ない傷の有無を調べる。

(2) 試験対象

使用品圧力開放板のみ。

(3) 試験方法

- 1) 洗浄液にて圧力開放板を洗浄する。
- 2) 浸透処理前に充分乾燥を行なう。

- 3) 浸透液は、スプレーにて塗布し浸透時間は12分以上とする。
- 4) 浸透後現像液をスプレー塗布する。
- 5) 現像処理後7分経過してから自然光または白色光で目視により探傷する。
- 6) 傷の有無を確認後きれいな布で塗料をふきとる。

5.1.3 ヘリウム漏洩試験

(1) 目的

圧力開放板の貫通孔等の欠陥の有無を調べる。

(2) 試験対象

使用品圧力開放板のみ。

(3) 試験方法

バキューム吹き付け方法により破裂試験台に取り付けて行なう。(図5-1 参照)

(4) 試験部位

圧力開放板全面ただし、ホルダー締め付けシート部は除外する。

(5) 使用機器

1) デュポン社 120 SSA

最高検出感度 2.6×10^{-10} Acc/sec

2) 高真空排気セット DS-312 U

真空度 10^{-4} Torr

3) ヘリウム標準ガス

標準リーク 3×10^{-6} Acc/sec

5.2 破裂試験

(1) 目的

ナトリウムベーパ中での温度・圧力変動による破裂圧変化の有無を確認する。

(2) 試験対象

すべての圧力開放板

(3) 試験装置

図5-2に破裂試験装置を示す。試験装置は、蒸気発生器用(24B)と収納容器(30B)の2つあり蒸気発生器用は、内容積 0.21 m^3 、収納容器用は、内容積 0.32 m^3 でいずれも破裂圧力を確認するための圧力計($0 \sim 10\text{ kg/cm}^2\text{ g}$ 最小目盛 $0.05\text{ kg/cm}^2\text{ g}$)と圧力記録計が取り付けられている。なお、加圧は、空気圧縮機で行なう。

(4) 取付方法

破裂試験装置への取付は、試験装置のフランジによってホルダーを固定する。ボルトの締め

付けトルクは圧力開放板の破裂圧力に影響を与えることが予想されるためあらかじめ決められたトルクで締め付ける。本圧力開放板の場合、蒸気発生器用(24B)でM30ボルト20本で締め付けトルク50kgm、収納容器用(30B)でM30ボルト28本で締め付けトルク40kgmである。

(5) 試験方法

- 1) 試験温度は、常温とする。これは、試験装置上の制約があることおよび製作時の破裂データと比較するためである。
- 2) 昇圧速度は、圧力計目盛目視可能速度とする。
- 3) 昇圧方法は、引張型圧力開放板については破裂設定圧力の0～70%まで圧力を2回加減後70%の圧力で5分間保持する。この間に耐圧およびリークをチェックし、次いで破裂するまで昇圧する。反転型圧力開放板は、破裂設定圧力の0～80%まで圧力を2回加減後80%の圧力で5分間保持する。以降は引張型と同様。
- 4) 破裂時の圧力を目視にて確認すると同時に自動圧力記録計に記録する。
- 5) 圧力開放板の破裂後の開口性を目視にて確認する。なお、破裂試験において使用品、圧力開放板で得られる破裂圧力の信頼性を高めるため蒸気発生器用のホルダーは、既設のものを使用した。しかし、収納容器用の使用品圧力開放板のホルダーは、別途製作したものを使用した。

5.3 材料試験

供試材は、蒸気発生器の圧力開放板で破裂試験後のものを使用するため使用品、および未使用でかならずしも同一試料採取箇所とは限らない。

5.3.1 金相試験

(1) 試料採取

試料は、使用品のものは蒸発器(II)から、未使用のものは蒸発器(III)からそれぞれ3ヶ所より採取した。図5-3に概略試料採取位置を示す。これは、使用品のものについてナトリウムの付着量の異なる上下方向での影響の有無を調査するためである。

(2) 試験方法

1) 表面観察

i) 日本電子製JXA-733型X線マイクロアナライザー付属の走査型電子顕微鏡(以下SEMと略称する)による内表面(蒸気発生器側)及び外表面(収納容器側)の腐食状態の観察。

ii) 同上X線マイクロアナライザーによるNi, Mn, Fe, Cr, Si, Na, Oz, C, Znについての面分析。

2) 断面観察

- i) オリンパス光学製 PMG-2 型金属顕微鏡によるミクロ組織の調査。
- ii) 日本電子製 JXA-733 型 X 線マイクロテナライザーによる内表面（蒸気発生器側）
— 中心 — 外表面（収納容器側）にわたる Ni, Mn, Fe, Cr, Si, Na, Oz, C, Zn, についての線分析。

5.3.2 引張試験

(1) 目的

ナトリウムベーパ中の使用環境下における材料の機械的性質の変化を確認する。

(2) 試料採取

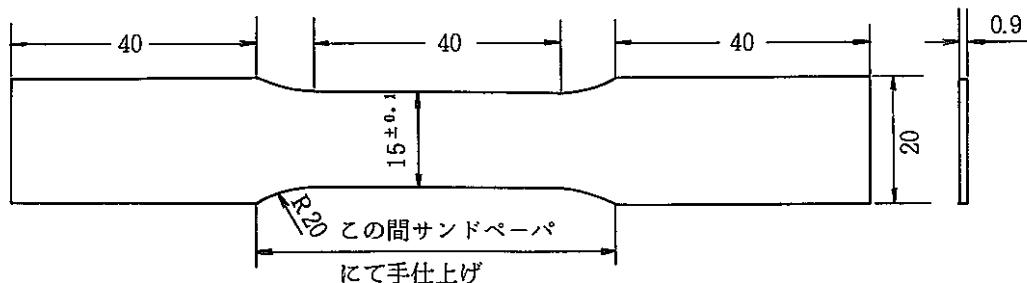
使用品のものは蒸発器(II)から 3ヶ所、蒸発器(I)から 2ヶ所、未使用のものは蒸発器(III)から 3ヶ所採取した。図 5-4 に試料採取位置を示す。

(3) 試験片の形状

試験片の寸法は採取可能な下図の JIS 6 号相当とした。なお、試験片は放電加工にて製作しチャック部以外はサンドペーパーにて手仕上げとした。

(4) 試験方法

測定は常温での板状試験片による差動トランス式伸び計を用いた引張試験法によった。



5.3.3 硬さ試験

(1) 目的

引張試験と同じ。

(2) 試料採取

試料は使用品のものは過熱器から、未使用のものは蒸発器(III)からそれぞれ平坦部で 5ヶ所、ドーム部で 5ヶ所から採取した。図 5-4 に試料採取位置を示す。

6. 試験結果

6.1 試験前検査

外観観察は、試験対象のすべての圧力開放板について実施したが いずれも打傷、歪、凹凸その他破裂圧力に影響するような欠陥はなく正常であった。この中で蒸発器(II)、過熱器圧力開放板は1次側(凸面)にナトリウム洗浄時についたと思われるごく浅いひっかき傷のようなものが全面についていた。

液体浸透探傷およびヘリウムリーク試験は、使用品の圧力開放板について実施したが欠陥はなく正常でヘリウムリーク量もすべて 2.6×10^{-10} Acc/sec 以下であった。

6.2 破裂試験

蒸気発生器用反転型圧力開放板の破裂試験は、蒸発器の使用品2個、過熱器の使用品1個、未使用品1個の計4個について実施した。蒸発器(I)圧力開放板は、室温15°Cにて図6-1のような昇圧過程で17分で破裂している。破裂圧力は、 $4.07 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ で製作時の破裂圧力 $4.08 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ に比べ $0.01 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 低い圧力であった。破裂後の状態は完全開口していた。蒸発器(II)圧力開放板は、室温10°Cにて図6-2のような昇圧過程で17分で破裂している。破裂圧力は、 $3.98 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ で製作時の破裂圧力に比べ $0.1 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 低い圧力であった。破裂後の状態は、完全開口し $1/4$ の破片が飛散した。これは破裂試験装置においては圧力開放板の下流側に配管がないため破裂時に2次側押えフランジより外側方向に引張力が加わったため破片が飛散したものと思われる。蒸発器(III)圧力開放板は、未使用品であり室温14°Cにて図6-3のような昇圧過程で13分で破裂している。破裂圧力は、 $3.92 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ で製作時の破裂圧力 $4.08 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ に比べ $0.16 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 低い圧力で上述の使用品圧力開放板の破裂圧力と大差はなく破裂後の状態は、完全開口していた。過熱器圧力開放版は、室温13°Cにて図6-4のような昇圧過程で14分で破裂している。破裂圧力は、 $3.97 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ で製作時の破裂圧力 $4.08 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ に比べ $0.11 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 低い圧力であった。また、同じ使用品の蒸発器圧力開放板と比較すると若干使用条件が異なっている(過熱器圧力開放版の方が温度で 50°C 、圧力で~ $0.4 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 高い)ものの破裂圧力の有意差はみられなかった。

収納容器の引張型圧力開放板の破裂試験は、使用品のものおよび未使用品の各々1個計2個について実施した。使用品の圧力開放板は、室温13°Cにて図6-6のような昇圧過程で19分で破裂している。破裂圧力は $2.79 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ で製作時の $3.09 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ (22°C)に比べ $0.3 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 低かった。破裂後の状態は、完全開口していた。未使用品の圧力開放板は、室温15°Cにて図6-7のような昇圧過程で19分で破裂している。破裂圧力は、 $3.01 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ で製作時の破裂圧力に比べ $0.08 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 低い圧力であった。破裂後の状態は、使用品の圧力開放板と同様に完全開口

していた。

表 6-1 に蒸気発生器 および収納容器 の圧力開放版破裂試験結果を示す。蒸気発生器用圧力開放板は、いずれも製作時の 22°C における破裂試験結果に比べ低い圧力で破裂した。破裂圧力は、一般的に温度により異なる（材質によってその影響度が違う）ため補正が必要となる。蒸気発生器 の圧力開放板材質は、インコネル X-750 で室温 22°C と今回実施した試験温度 10~15°C では図 6-5 に示すように若干の温度補正が必要である。温度補正後の破裂圧力と製作時の破裂圧力と比べると蒸発器(I)で -0.7%，蒸発器(II)で -3.2%，蒸発器(III)で -4.4%，過熱器で -3.2% でいずれも 購入時の仕様を満足していた。

また、

収納容器 の圧力開放版の破裂圧力を図 6-8 によって温度補正を行なうと製作時の破裂圧力に対し使用品のもので -12.5%、未使用品で -5.3% であったがいずれも購入時の仕様を満足していた。なお、使用品と未使用品とでは明らかに使用品の方が破裂圧力の低下が顕著であった。

この原因としては、次のことが考えられる。

- (1) 材料の機械的性質の経時劣化
- (2) 外部環境による材料の腐食
- (3) 使用品圧力開放板の再利用によるホルダーとシール部分の板厚の減耗

なお、図 6-5 および図 6-8 の破裂圧力と温度の関係は、メーカーの資料と製作時の破裂試験結果を基に作成した。

6.3 金相試験

6.3.1 表面観察

写真 6-1 ~ 写真 6-3 は、未使用の圧力開放板（蒸発器 III）写真 6-4 ~ 写真 6-6 に使用品の圧力開放板（蒸発器 II）の SEM による表面観察で 2 次電子像、組成像を示す。
(いずれも 100 倍)

使用品の外表面は、試料の採取位置に関係なく 2 次電子像においても特に腐食の進行は認められず組成像においても腐食生成物は認められなかった。未使用品の外表面についても使用品との差異はなかった。内表面については、未使用品ではみられない変色部分が使用品の試料採取位置 -1 (写真 6-4) でみられた。ベースメタルのニッケルより重い金属成分が付着していると推定されたがごく表層のみで単に付着しているだけで腐食まで進展している傾向はなかった。以上のように表面の腐食状態は、未使用品、使用品共に大きな差異はなかったが、使用品の内外表面の表層部で未使用品では観察されなかつ多くのひっかき傷がみられた。これは、ナトリウム洗浄の際にいたものと思われる。

写真 6-7 ~ 6-18 は、未使用および使用品の圧力開放板の SEM による分析箇所の表面組織と各成分に対する面分析の結果である。

未使用品の内表面には、試料採取位置－2（写真6－10）および試料採取位置－3（写真6－12）にみられる様にインコネルX－750の成分元素にない亜鉛の付着がみとめられた。他の成分については、内・外表面および位置による違いはみられなかった。使用品については、逆に試料採取位置－1（写真6－13）および試料採取位置－3（写真6－17）に示す様に外表面に亜鉛の付着が認められた。ナトリウムは、試料採取位置－2（写真6－16）を除いて内表面より外表面の方が増加している。亜鉛、ナトリウム以外の成分は、同一位置で内・外表面による差異はみられなかった。外表面での試料採取位置の影響は、亜鉛を除いて他の成分は圧力開放板の中心部ほど減少している。（3,1,2の順）内表面については、亜鉛、ナトリウムを除く他の成分では採取位置による有意差は認められなかった。なお、使用品の内・外表面共に未使用品に比べわずかではあるが酸素 ケイ素、ナトリウムの増加が認められた。

6.3.2 断面観察

写真6－19、写真6－20は未使用品および使用品の金属顕微鏡によるミクロ組織で倍率は100倍と400倍である。未使用品と使用品では、観察位置に関係なく明らかに異なった金属組織を示している。未使用品は、溶体化処理のままで推定される組織で粒界が焼なまし双晶を示している。一方使用品は、使用温度200～400°C、使用圧力0.7～1.4 kg/cm²g 運転積算時間10138時間の時効を受けた組織となっており粒界には粗い炭化物、粒内には微細な炭化物の析出が見られる。インコネルX－750は、一般にあらかじめ時効処理して使用するのが通常であるが今回の圧力開放板は時効処理を省略しているため時効変化を起したものと思われる。

図6－9～6－14は、未使用品および使用品の断面の線分析の結果を示す。ニッケル、マンガン、鉄、クロム、ケイ素、炭素のベースメタル中の成分は、未使用品、使用品共に試験片の採取位置に関係なく断面全体にわたって均一である。また、未使用品と使用品との有意差はなかった。ナトリウム、酸素については、いずれの試料も外表面および内表面の極く表層で高い値を示している。

亜鉛については、未使用品の試料採取位置－2（図6－10）および試料採取位置－3（図6－11）の内表面、使用品の試料採取位置－1（図6－12）および試料採取位置－3（図6－14）の外表面の極く表層で高い値を示し面分析の結果と一致している。ただし、使用品の試料採取位置－2（図6－13）の内表面の極く表層にも亜鉛が検出された。

6.4 引張試験

引張試験の試験片は、圧力開放板の平坦部より未使用品については蒸発器(Ⅲ)から、使用品については蒸発器(I)および(II)からそれぞれ採取した。表6-2に引張試験の結果を示す。

引張強さは、未使用品で $77.5 \sim 84.3 \text{ kg/mm}^2$ の範囲で平均は 80.2 kg/mm^2 である。一方使用品の蒸発器(II)では、 $94.0 \sim 97.6 \text{ kg/mm}^2$ 、蒸発器(I)では、 $101.3 \sim 108.2 \text{ kg/mm}^2$ の範囲で平均すると 99.1 kg/mm^2 で未使用品に比べ約 20 kg/mm^2 の差があり20%程度引張強度が高くなっている。0.2%耐力は、未使用品で平均 40 kg/mm^2 で対引張強さ比で約50%である。使用品全体の平均は、 55.8 kg/mm^2 で引張強さ比で約55%である。伸びは未使用品で平均49.4%，使用品全体の平均で42.5%で使用品の引張強さが増加しているだけ伸びが低下している。引張弾性率は、未使用品が平均 $12.0 \text{ kg/mm}^2 \times 10^3$ 、使用品全体の平均が $22.8 \text{ kg/mm}^2 \times 10^3$ である。インコネルX-750合金の溶体化処理後に時効処理を行なった試料の引張弾性率は、カタログ値(付録-3)によれば約 $22 \text{ kg/mm}^2 \times 10^3$ であり使用品はほぼそれと同一の値を示している。

以上のことから未使用品に比べて使用品の強度、引張弾性率は高く逆に伸びは低下している結果が得られた。

6.5 硬さ試験

硬さ試験は、未使用品として蒸発器(Ⅲ)、使用品として過熱器圧力開放板の平坦部およびドーム部のそれぞれ5ヶ所から試験片を採取して行なった。その結果を表6-3に示す。

未使用品の平坦部の硬さは、 H_{MV} 223～252の範囲で平均 H_{MV} 約240、ドーム部は、 H_{MV} 278～323の範囲で平均 H_{MV} 約295である。一方、使用品の平坦部は、 H_{MV} 290～315の範囲で平均 H_{MV} 約310、ドーム部は、 H_{MV} 311～334の範囲で平均 H_{MV} 約325である。未使用品、使用品いずれも平坦部に比べドーム部の硬さは高く未使用品の場合ドーム部の硬さは平坦部より約55%高い。一方、使用品で比較するとドーム部の硬さは、平坦部より約15%程度高くなっている。これは、未使用品の方が破裂試験による加工硬化の影響を大きく受けるためと考えられる。平坦部で未使用品に比べて使用品の硬さが H_{MV} で70と著しく高いのは使用品の使用条件下での時効硬化の影響が支配的であるためと思われる。ドーム部の未使用品と使用品の硬さ差が H_{MV} で30と平坦部の1/2以下となっているが、これは前述のように破裂試験による加工硬化の影響を未使用品が大きく受けているためと思われる。以上のことから、使用品は未使用品より明らかに時効硬化の影響を受けて硬くなっている。また、硬さの変化は加工硬化の影響を受けていない平坦部の方が顕著である。なお、断面の外表面-中心-内表面の硬さ分布は特に差異は認められなかった。

7. まとめ

7.1 圧力開放板の交換方法について

もんじゅの蒸気発生器圧力開放板は、安全保護系の中で重要な機器でありいろいろな面からきびしい条件が過せられている。このため、使用環境による破裂圧力の経年変化を考慮してかなりの頻度での交換を予定している。また、圧力開放板の交換方法いかんによっては破裂圧力が変化する可能性がある。そのため、安全性、経済性の面から最良の交換方法を確立しておく必要がある。

これまで 50 MWSGT の蒸気発生器圧力開放板の交換は、蒸発器、過熱器それぞれ 2 度計 4 回実施している。これらの貴重な経験から得られた成果をまとめると以下の通りである。(ただし、交換した圧力開放板は、破裂試験等の供試体として使用しないことを前提とする。)

- (1) 定期的な圧力開放板の交換作業は、2 次系内への空気混入を最小限にするためビニールバック等により不活性ガス雰囲気中で行なうことが望ましい。
- (2) リップ溶接部を除去しないで圧力開放板を交換する場合は、伸縮継手の長手方向の移動量は、ホルダーの形状によって若干異なるが少なくとも 50 mm 以上移動可能な構造にすることが望ましい。
これは、圧力開放板が破裂した場合の交換時に必要な移動量であり破裂していない場合は、図 2-2 の C 部(かみあっている部分)が外れるようであれば交換可能である。(50 MWSGT の伸縮継手は、20 mm 程度しか移動せず破裂した場合はリップ溶接を除去しなければならない。)
- (3) 新しい圧力開放板(引張型)は、交換時に V サポート、ディスク、スリットディスクがバラバラにならないよう製作時にあらかじめ図 7-1 のように周方向 4ヶ所に突起物を設けておくことが望ましい。
- (4) 圧力開放板のナトリウム処理は、他のナトリウム機器と同様にアルコール洗浄後に水洗浄を行なえば十分である。
- (5) フランジのボルト締め付けは、圧力開放板の型式材料等に応じた規定のトルクで片締めにならないように行なう。

7.2 破裂試験および材料試験結果について

蒸気発生器と収納容器の圧力開放板の破裂試験結果より以下のことが言える。

- (1) 蒸気発生器圧力開放板
 - 1) 破裂圧力は、未使用品、使用品共に製作時の破裂試験結果より低い圧力で破裂したが、いずれも購入時の仕様を満足していた。
 - 2) 温度 200~430°C、圧力 0.7~1.4 kg/cm²g の状態で 10138~12387 時間運転した後の

試験においての破裂圧力の低下はみられなかった。

- 3) 未使用品、使用品共に破裂試験において、すべて完全開口し反転型圧力開放板の欠点と言われている開口性に問題はなかった。

(2) 収納容器圧力開放板

- 1) 破裂圧力は、未使用品、使用品共に製作時の破裂試験結果より低い圧力で破裂したがその傾向は、使用品が顕著であった。
- 2) 使用品の破裂圧力が明らかに低下しているが、これは、圧力開放板をホルダーから一旦取り外して破裂試験を行なっており必ずしも経年変化によるものとは言い難い。
- 3) 開口性については、すべて完全開口し良好であった。

蒸気発生器圧力開放板の材料試験結果をまとめると以下の通りである。

- (1) X線マイクロアナライザー、SEM、金属顕微鏡による金相試験より圧力開放板の破裂特性に影響する様な腐食の進行は認められなかった。
- (2) 使用環境（使用温度 200～450°C、運転積算時間 10138～12387h）による圧力開放板材料の金属組織の経時変化に伴う機械的、物理的性質の変化が認められた。すなわち、使用後の引張り強さは約 20 kg/mm² の上昇、0.2%耐力で約 15 kg/mm² の上昇、引張弾性率が約 2 倍となり伸びは約 7 %減少している。
- (3) 本来インコネル X-750 は一般に圧延、プレス等の塑性加工後、焼鈍し更に約 705°C で金属組織を安定化させ強度を高める時効処理を行なってから使用するのが常識とされている。

今回の圧力開放板は、時効処理を省略して焼鈍のまま使用しており経時変化の傾向は使用条件による一種の時効処理を受け明らかに弾性率および強度の増加をもたらし設計圧力では破裂しにくい方向へ材料特性の変化が進行している。

7.3 総合評価

蒸気発生器の圧力開放板の破裂試験結果では、使用環境による破裂圧力の経時変化はみられなかったものの材料試験結果では、明らかに金属組織が変化し機械的強度が増している。このことは、今回の破裂試験ではたまたま破裂圧力が変化しなかったに過ぎず 50 MWSGTF の運転条件下では破裂圧力が変化する可能性が大きいことを意味している。本試験の供試体となった圧力開放板は、反転型で材質はインコネル X-750 を使用していることから圧力開放板の材料選定あるいは製作過程に問題があったものと思われる。今後の対策としては、インコネル X-750 を正規の時効処理を施して使用するかインコネル 600 またはインコネル 625 のように一般に焼鈍のみで使用し時効硬化のない耐熱耐食性の高い材料を用いることが望ましい。

圧力開放板の寿命については、破裂および材料試験結果から時効硬化によって引張強さが増加しているにもかかわらず破裂圧力がそれほど変化していない（本来引張強さが増加すると破裂圧力も高くなる）ため評価し難い。しかし、時効硬化は、高温で進行速度が早くなるため使用温度

から考えると運転初期に金属組織が変化したもので経年的に徐々に材料特性の変化が進行したものではないと推定する。つまり、適正な材料選定がなされていれば反転型の圧力開放板は、少なくとも今回の運転積算時間（10138 h～12387 h）以上の寿命が十分期待できると思われる。

圧力開放板の一般的な型式として反転型と引張型があり表7-1に示すような特徴がある。反転型は、開口性に問題はあるが、耐久性が良い、応答速度が速い、運転環境の影響を受けにくい等全般的に引張型よりすぐれている。もんじゅの蒸気発生器圧力開放板は、SWAT-3で、反転型圧力開放板が不完全開口したことから引張型のインコネルー600を採用することとしている。世界各国の使用および予定状況は、カバーガス部に圧力開放板を設置する場合は、引張型をナトリウム中に圧力開放板を設置する場合は、反転型を採用する傾向にある。

本試験では、反転型、引張型共に破裂試験を実施しているが使用環境や材質が異なっているため比較することは困難である。今回は、反転型の欠点である開口性については4枚すべて完全開口し良好であった。反転型が不完全開口する原因是ナイフの腐食やナイフ材質の問題によるものが多い。現在では、反転型の欠点を補うために改良反転型（ナイフなし）のものも製作されているが50 MWSGTFでの使用経験はない。

最後に、これまで得られた圧力開放系の補修経験から以下のことをもんじゅへ提案する。

蒸気発生器圧力開放板を交換する場合、リップ溶接を削除しないで交換できる構造とする必要がある。すなわち、圧力開放系の配管（伸縮継手）が長手方向に50 mm以上移動できるよう設計する。また、交換頻度を考慮し良い作業環境となるような圧力開放系廻りの設計を行なうべきである。

8. あとがき

蒸気発生器システムにおける大規模水リーク時の安全保護系としての圧力開放板の経時特性を調べた。

- (1) 原型炉「もんじゅ」の冷却系と同じ構成の 50 MWSGTF で長時間（約 10,000 時間）運転使用後の圧力開放板の経時特性を明らかにするデータを得た。
- (2) 蒸発器・過熱器の反転型圧力開放板および収納容器引張型圧力開放板の経時特性に関するデータを得た。

今回試験に用いた蒸発器・過熱器の圧力開放板は「もんじゅ」の当初の設計である反転であったが、その後「もんじゅ」の設計変更により蒸発器・過熱器の圧力開放板は引張型を用いることが決定された。このため昭和 58 年 1 月から 50 MWSGTF で蒸発器、過熱器の圧力開放板を「もんじゅ」設計と同じ引張型に交換して、長期間（1 年相等および 2 年相等）使用し、蒸気発生器運転環境下における経時特性を明らかにする計画である。これにより「もんじゅ」の圧力開放板の交換頻度に関するデータが得られ、「もんじゅ」の安全な運転に役だたせることができると期待している。

9. 謝 辞

本試験遂行にあたり、50 MWSGTFの保修Gr、試験Grの各氏には多大な協力をいただきました。また、圧力開放板の破裂および材料試験を製作メーカーである新潟BS&B社で実施し貴重なデータを本報告書に引用させていただくとともに同社の堀内信幸氏、林祥三氏、新潟鉄工所の本間朝氏から貴重な助言と多大の協力をいただいたことを深く感謝致します。

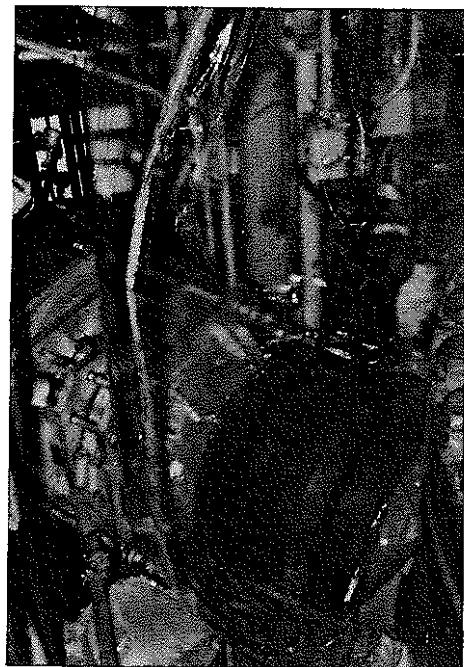


写真4-1 蒸発器(I)圧力開放板交換状況

Photo. 4-1 Scene of exchange of rupture disk for evaporator (I)

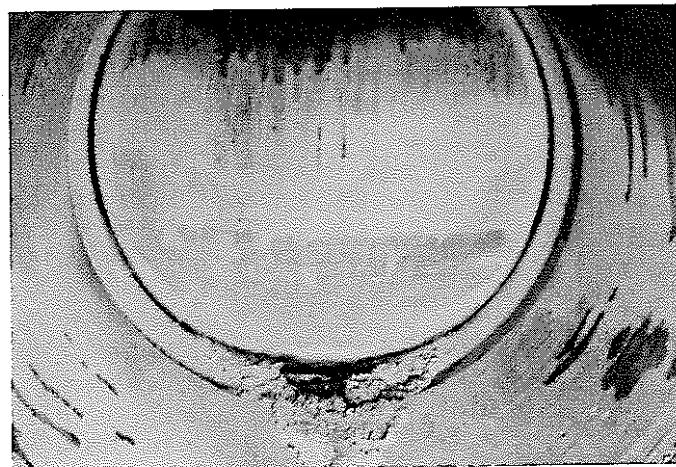


写真 4 - 2 蒸発器(I)圧力開放板取外し時

Photo. 4 - 2 Rupture disk for evaporator (I) after removal



写真 4 - 3 蒸発器(I)圧力開放板底部拡大写真

Photo. 4 - 3 The lower part of rupture disk for evaporator (I)



写真 4-4 蒸発器(II)圧力開放板開放時

Photo. 4-4 Rupture disk for evaporator (II) at opening

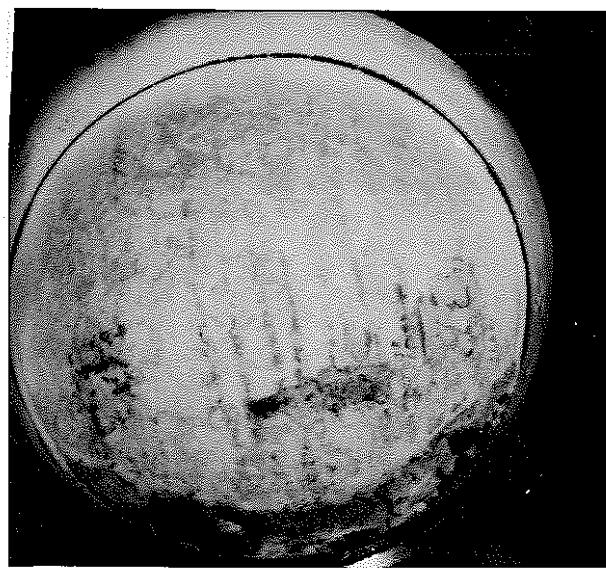


写真 4-5 蒸発器(II)圧力開放板洗浄前

Photo. 4-5 Rupture disk for evaporator (II) before cleaning

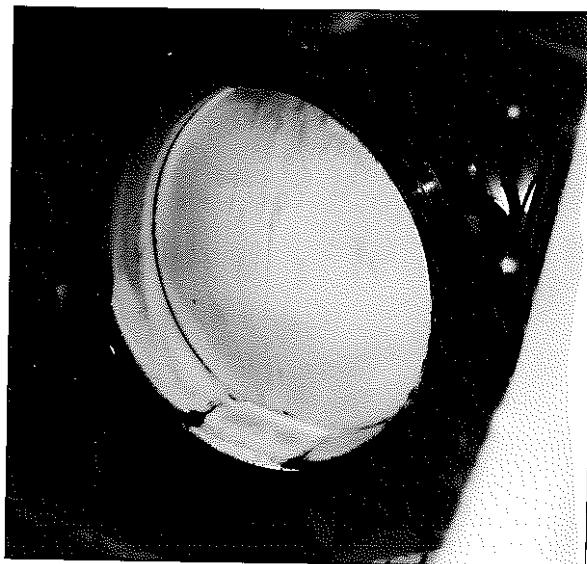


写真 4-6 過熱器圧力開放板開放時

Photo. 4-6 Rupture disk for superheater at opening

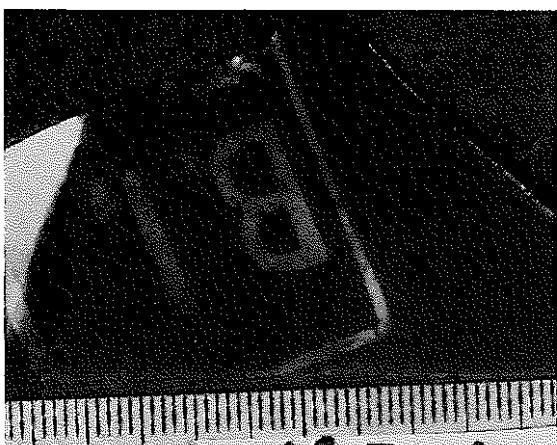


写真 4-7 過熱器圧力開放板洗浄前

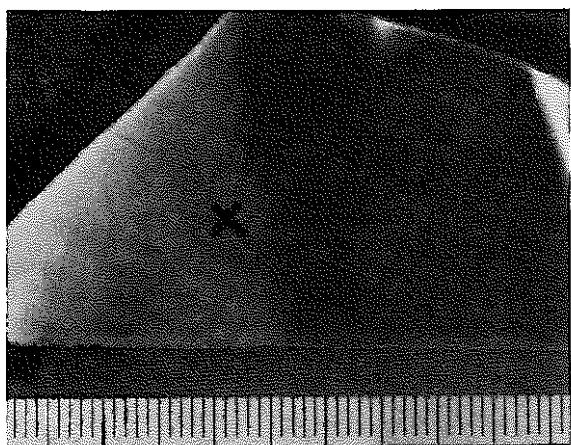
Photo. 4-7 Rupture disk for superheater before deaning

サンプルNo.0 (未使用品), 採取位置1, 外表面

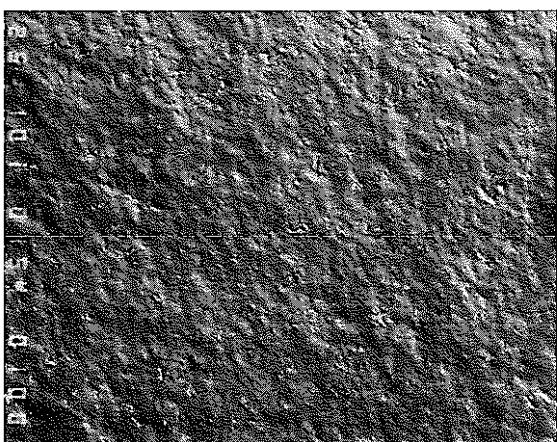
サンプルNo.0 (未使用品), 採取位置1, 内表面



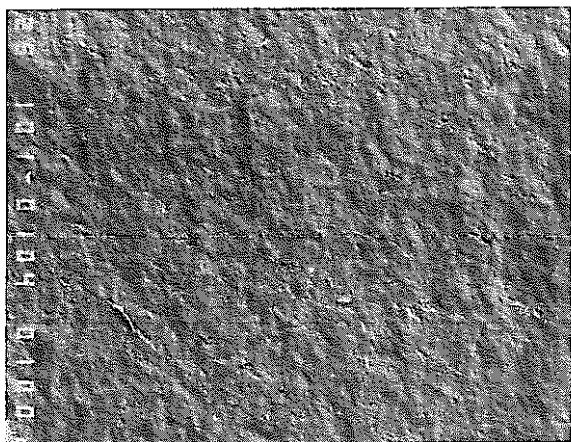
外 観



外 観



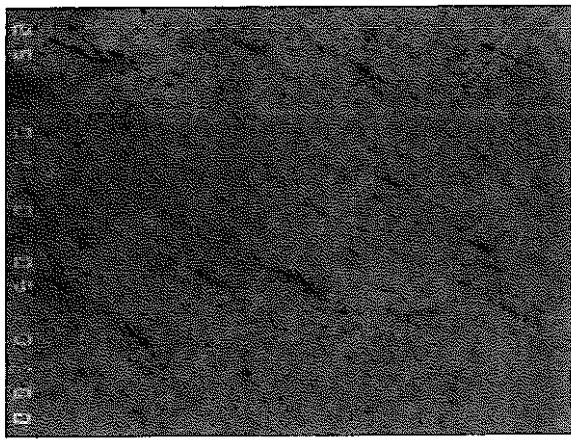
2 次 電 子 像



2 次 電 子 像



組 成 像



組 成 像

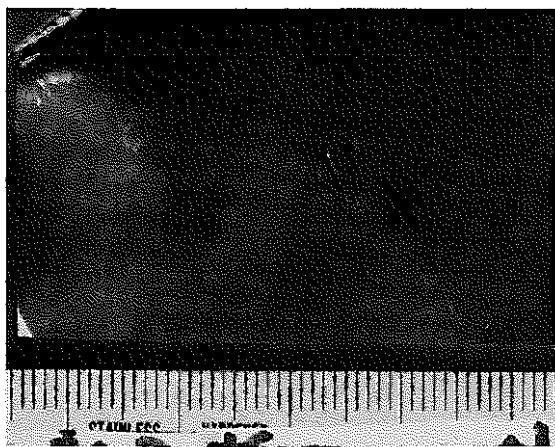


写真 6-1 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の採取位置1の表面組織

100 μ m

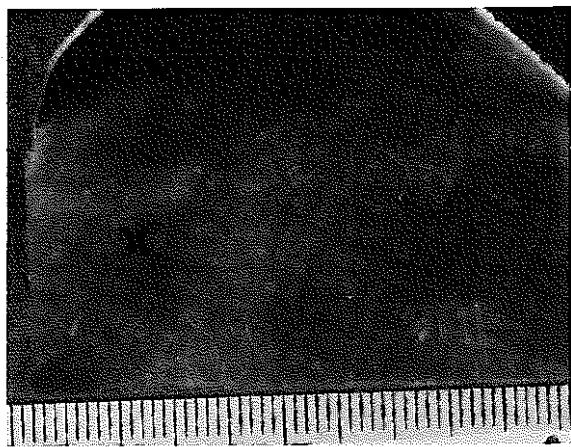
Photo. 6-1 Surface formation of rupture disk for evaporator (Ⅲ) at cutting position 1

サンプルNo.0 (未使用品), 採取位置2, 外表面

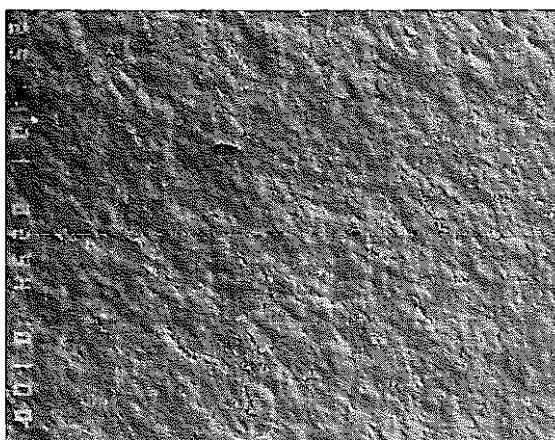


外 観

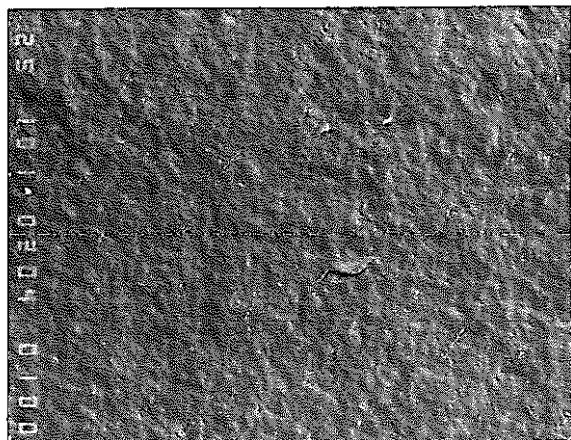
サンプルNo.0 (未使用品), 採取位置2, 内表面



外 観



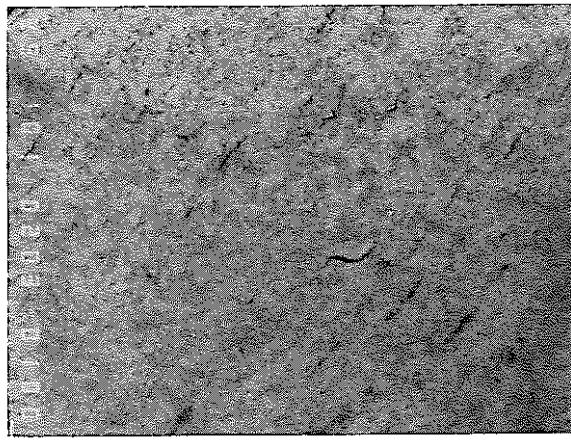
2 次 電 子 像



2 次 電 子 像



組 成 像



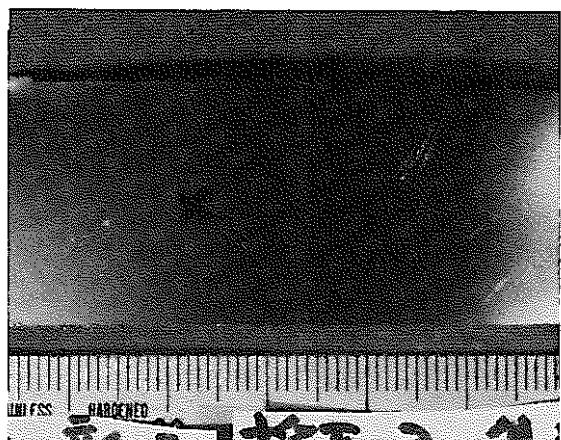
組 成 像

写真 6 - 2 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の採取位置 2 の表面組織

100 μ m

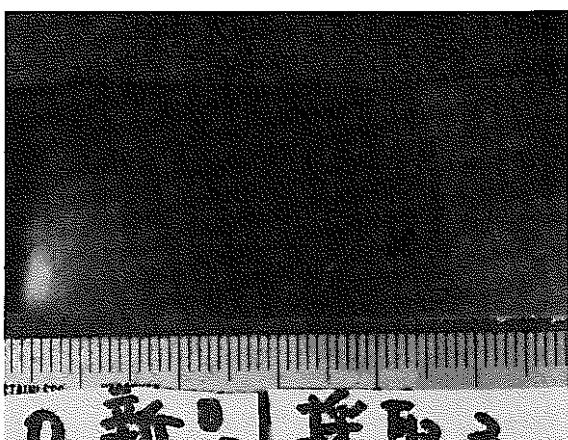
Photo. 6 - 2 Surface formation of rupture disk for evaporator (Ⅲ) at cutting position 2

サンプルNo.0 (未使用品), 採取位置3, 外表面

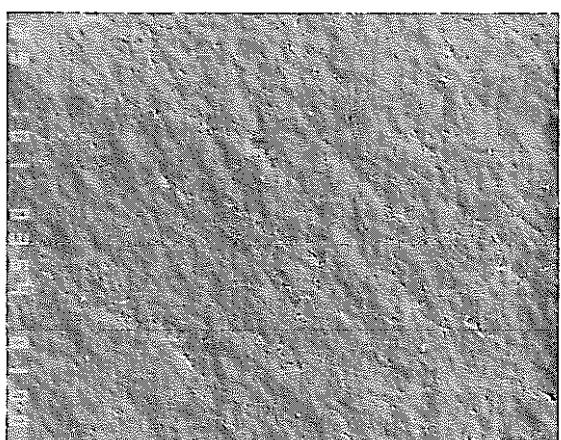


外観

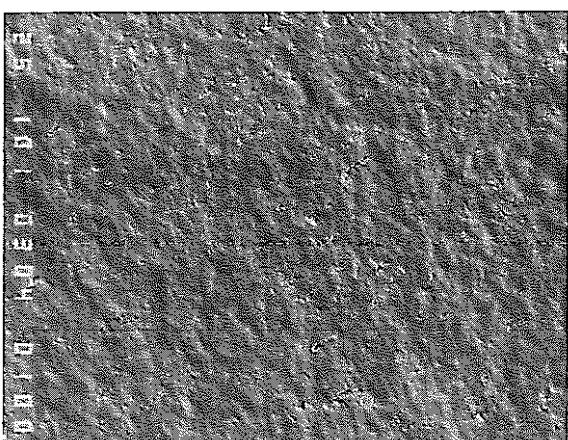
サンプルNo.0 (未使用品), 採取位置3, 内表面



外観



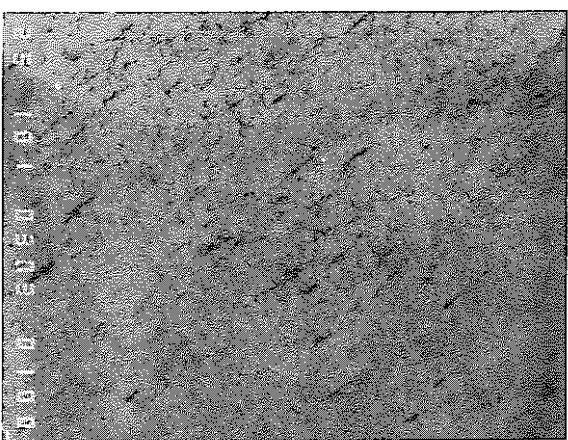
2次電子像



2次電子像



組成像



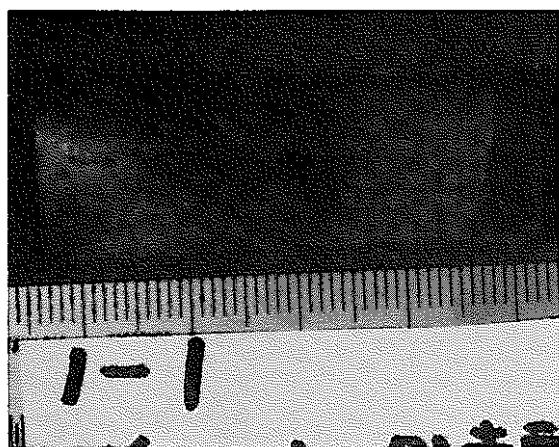
組成像

写真 6-3 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の採取位置3の表面組織

100 μ m

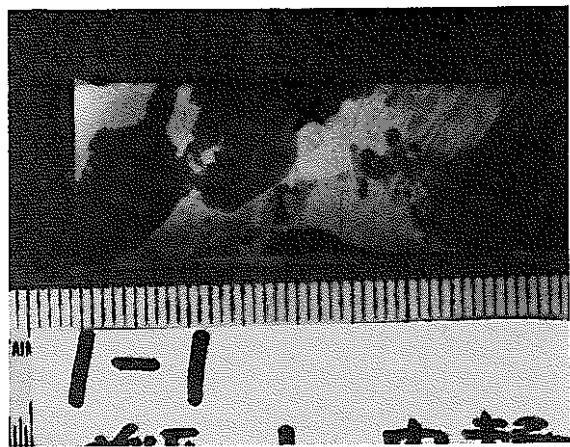
Photo. 6-3 Surface formation of rupture disk for evaporator (Ⅲ) at cutting position 3

サンプルNo.1 (使用品), 採取位置1, 外表面

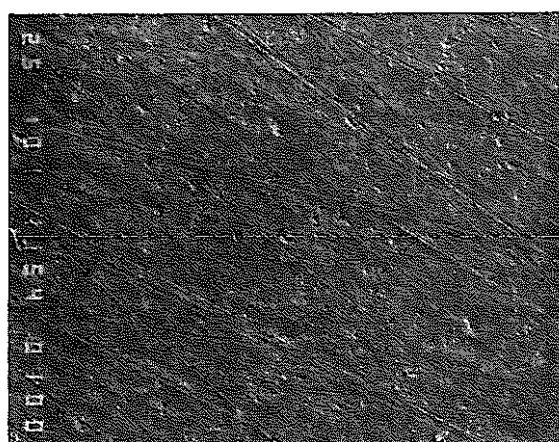


外 観

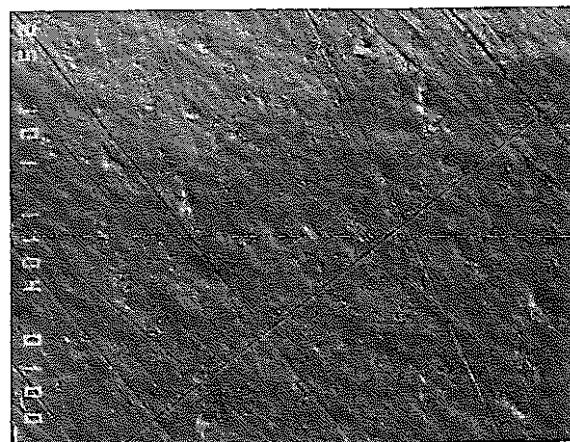
サンプルNo.1 (使用品), 採取位置1, 内表面



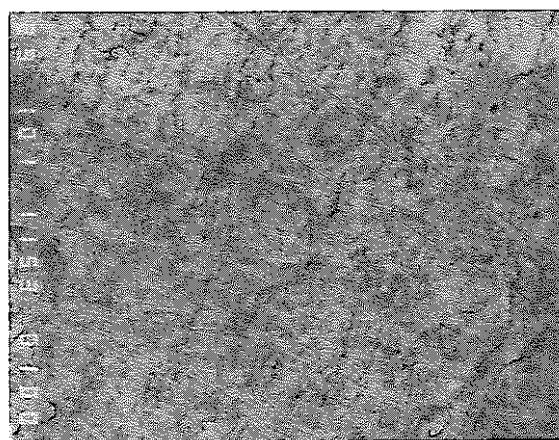
外 観



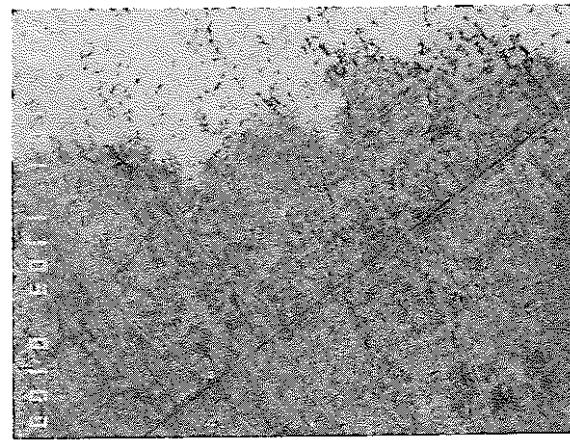
2次電子像



2次電子像



組 成 像



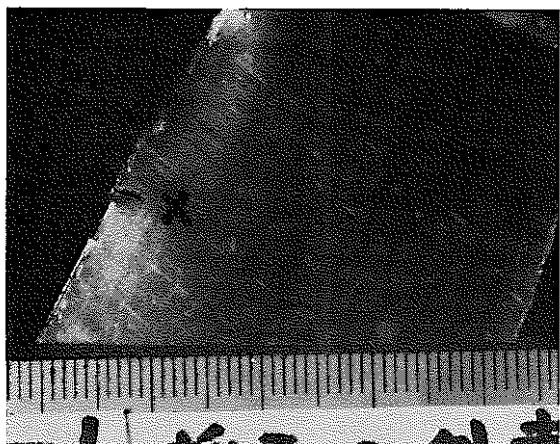
組 成 像

写真6-4 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置1の表面組織

100 μ

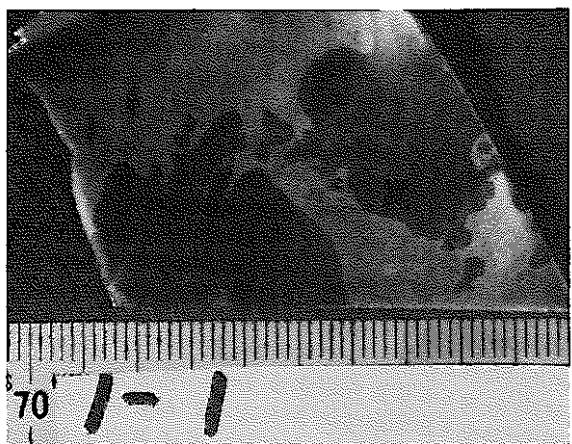
Photo. 6-4 Surface formation of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 1

サンプルNo.1 (使用品), 採取位置2, 外表面



外 観

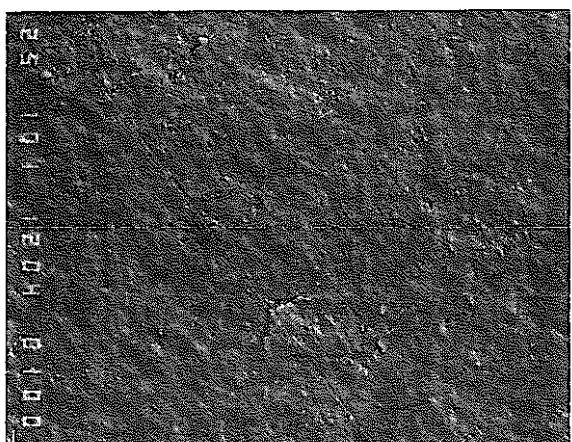
サンプルNo.1 (使用品), 採取位置2, 内表面



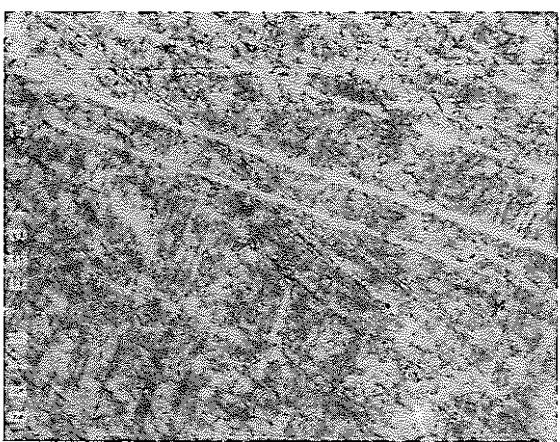
外 観



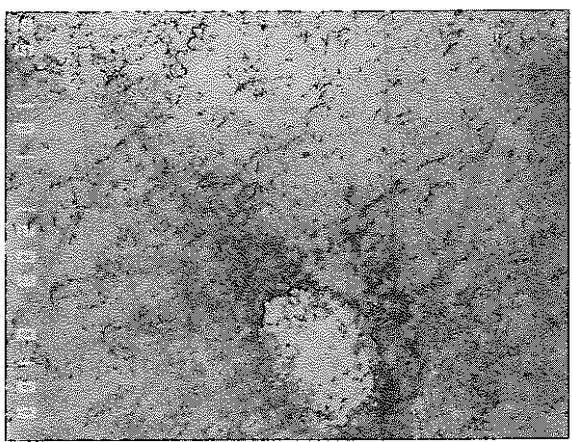
2 次電子像



2 次電子像



組 成 像



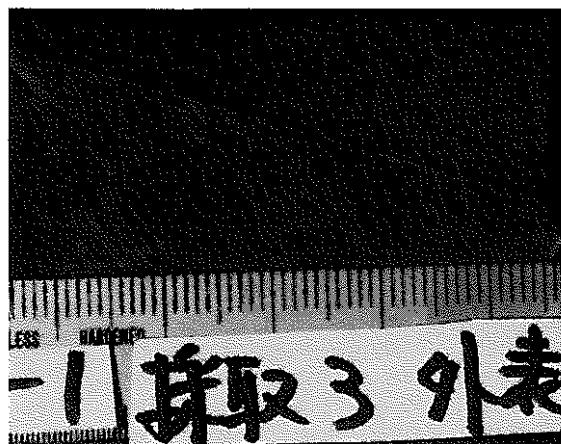
組 成 像

写真 6 - 5 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 2 の表面組織

100 μ m

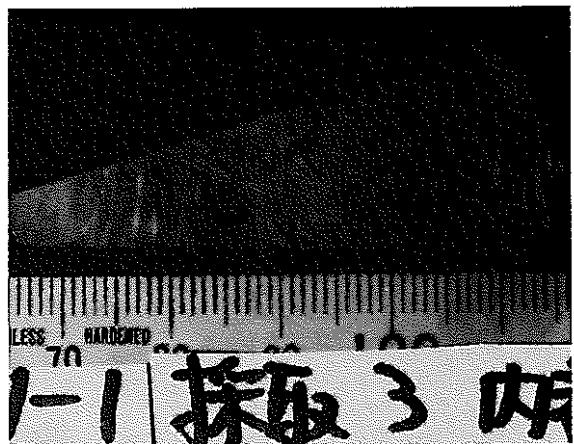
Photo. 6 - 5 Surface formation of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 2

サンプルNo.1 (使用品), 採取位置3, 外表面

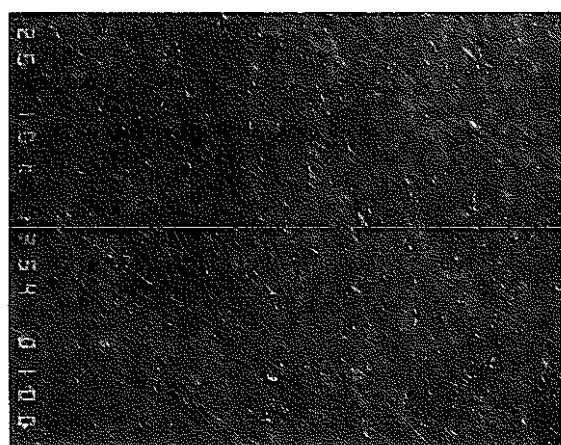


外観

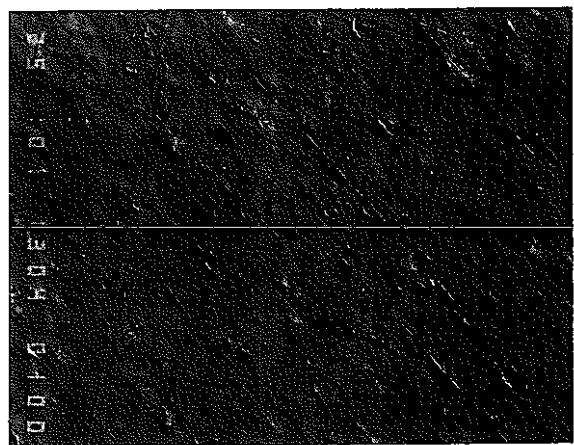
サンプルNo.1 (使用品), 採取位置3, 内表面



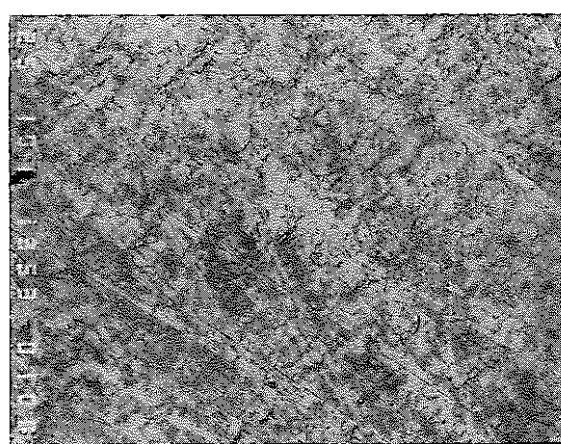
外観



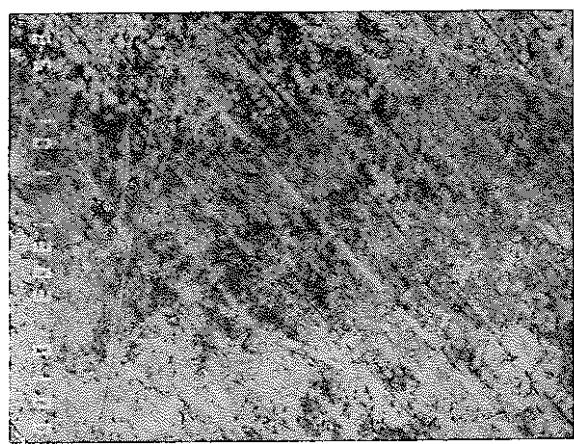
2次電子像



2次電子像



組成像



組成像

写真 6-6 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置3の表面組織

100 μ m

Photo. 6-6 Surface formation of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 3

サンプルNo 0 (未使用品), 採取位置 1, 外表面

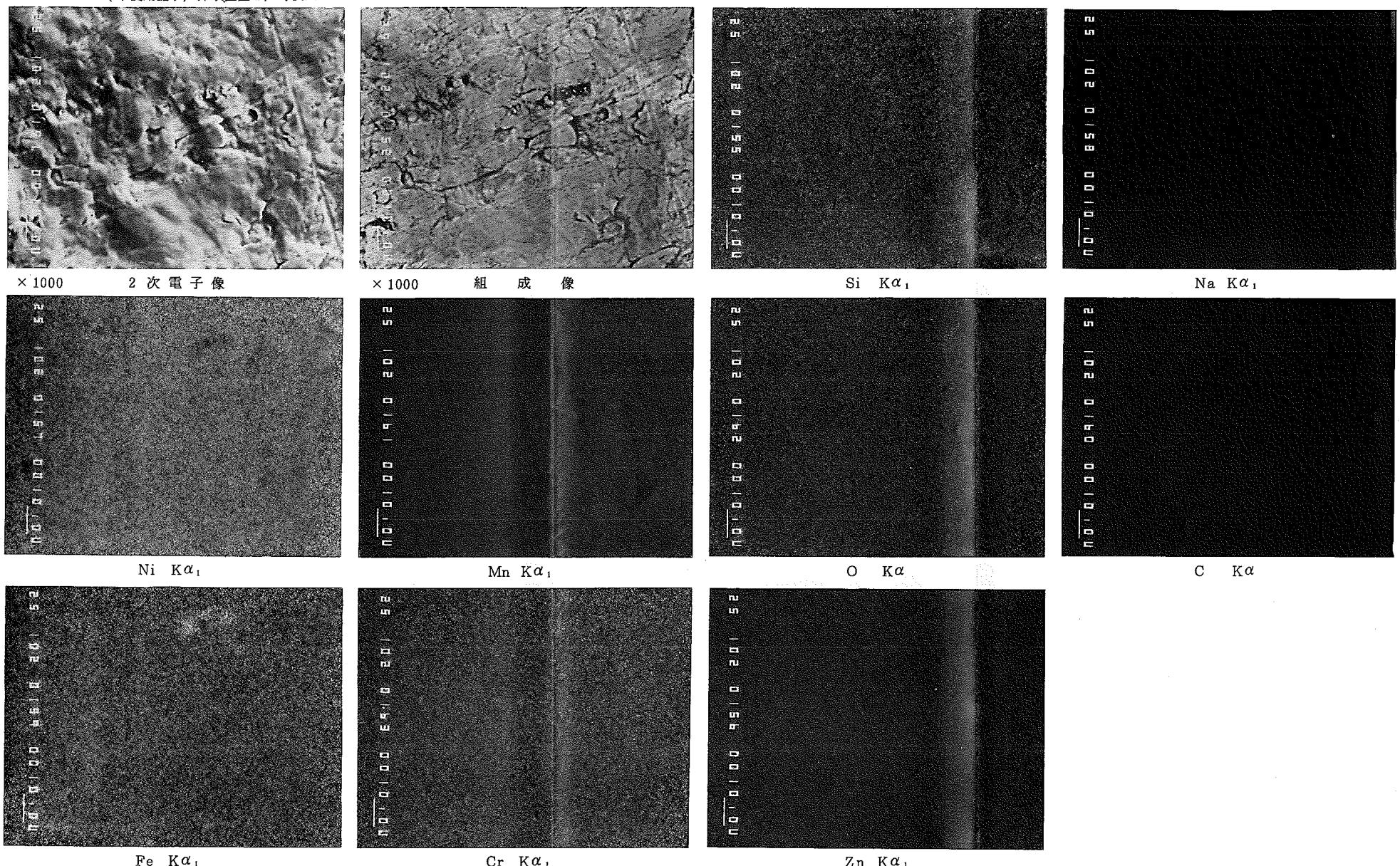


写真 6-7 蒸発器皿)圧力開放板の採取位置 1 外表面における表面組織と面分析

Photo. 6-7 Surfac formation analysis of outer side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 1

サンプルNo.0 (未使用品), 採取位置1, 内表面

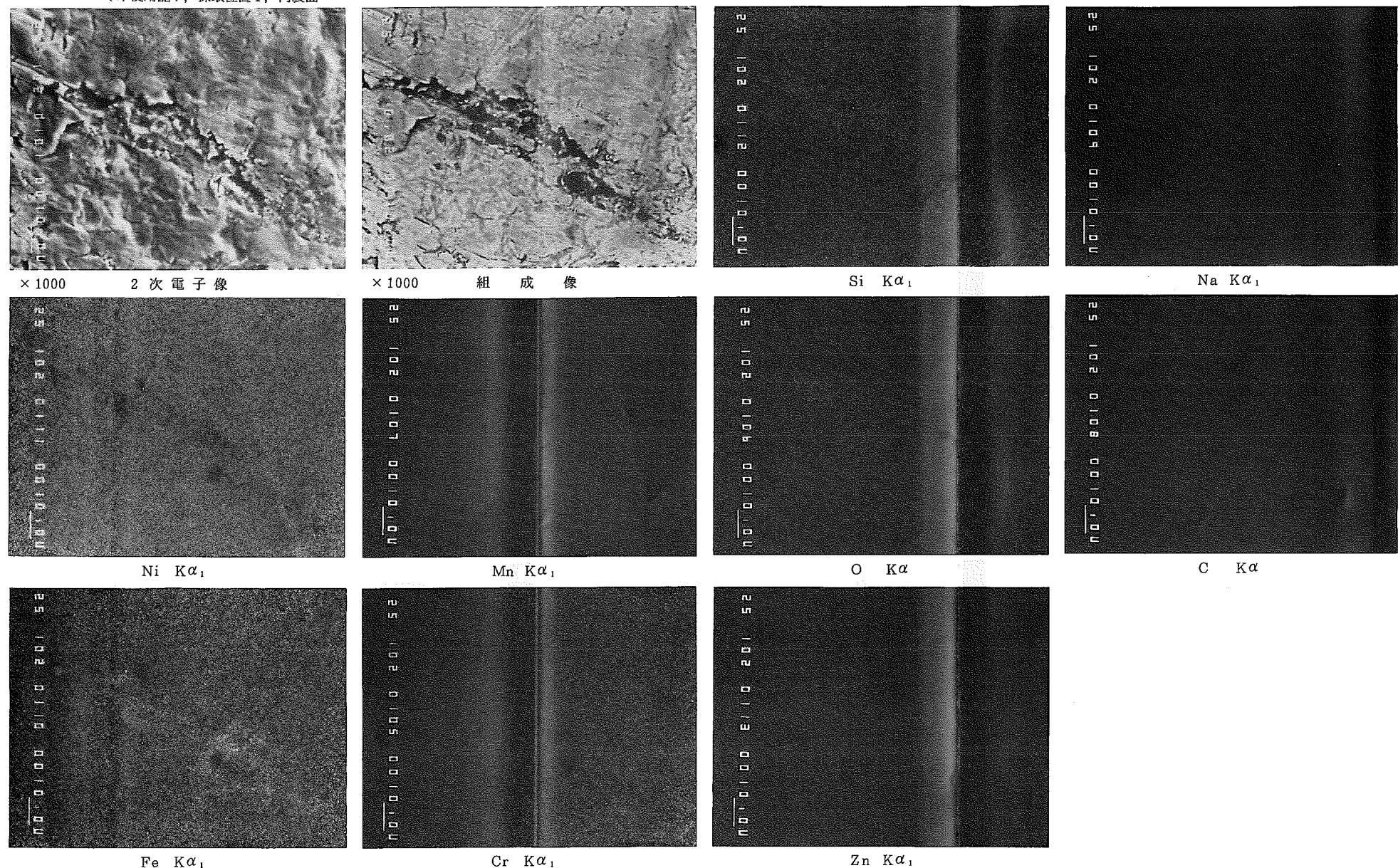


写真6-8 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の採取位置1内表面における表面組織と面分析

Photo. 6-8 Surfac formation analysis of inner side of rupture disk for evaporator (Ⅲ) at cutting position 1

サンプル№0 (未使用品), 採取位置 2, 外表面

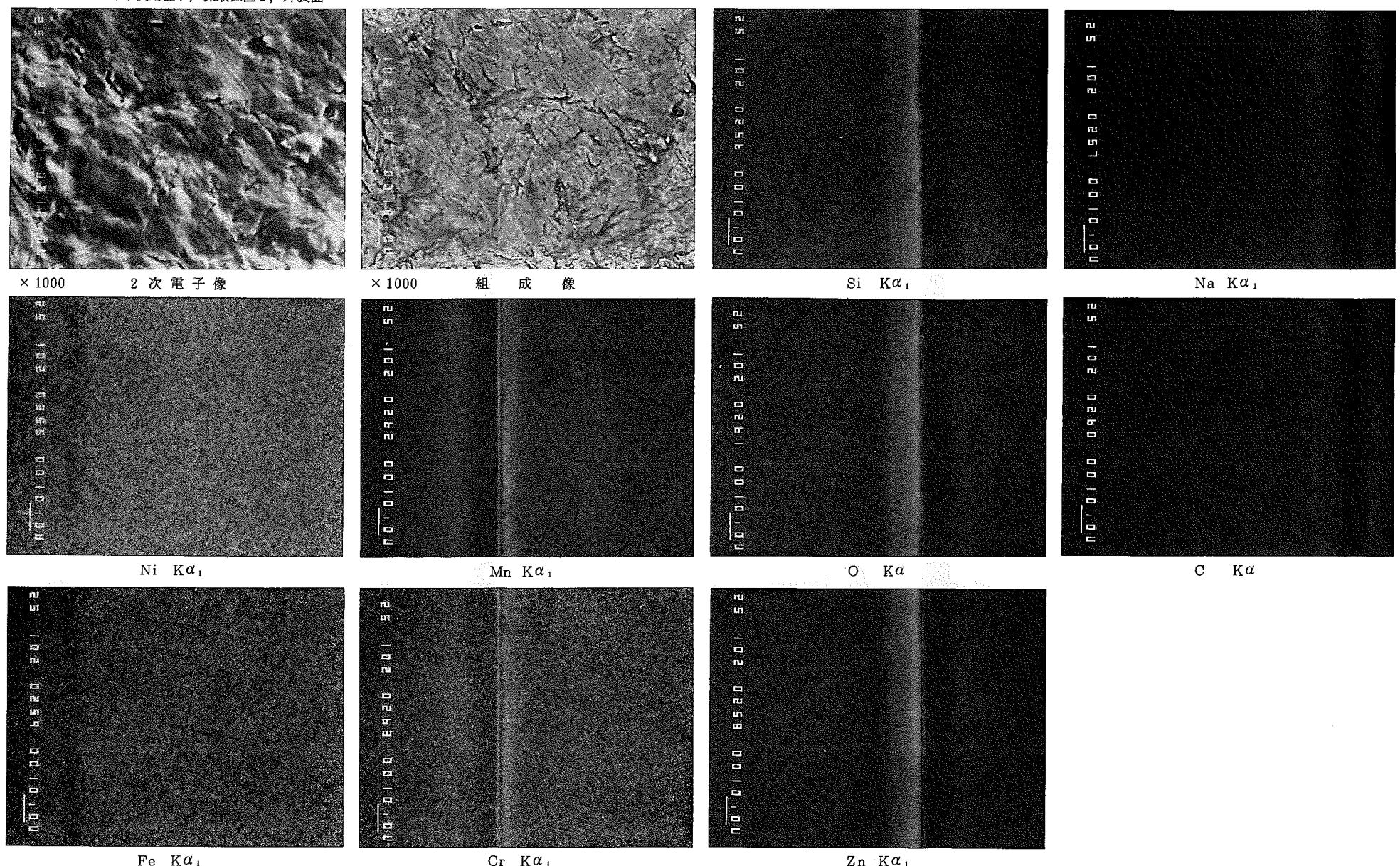


写真 6-9 蒸発器皿)圧力開放板の採取位置 2 外表面における表面組織と面分析

Photo. 6-9 Surfac formation analysis of outer side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 2

サンプルNo 0 (未使用品), 採取位置 2, 内表面

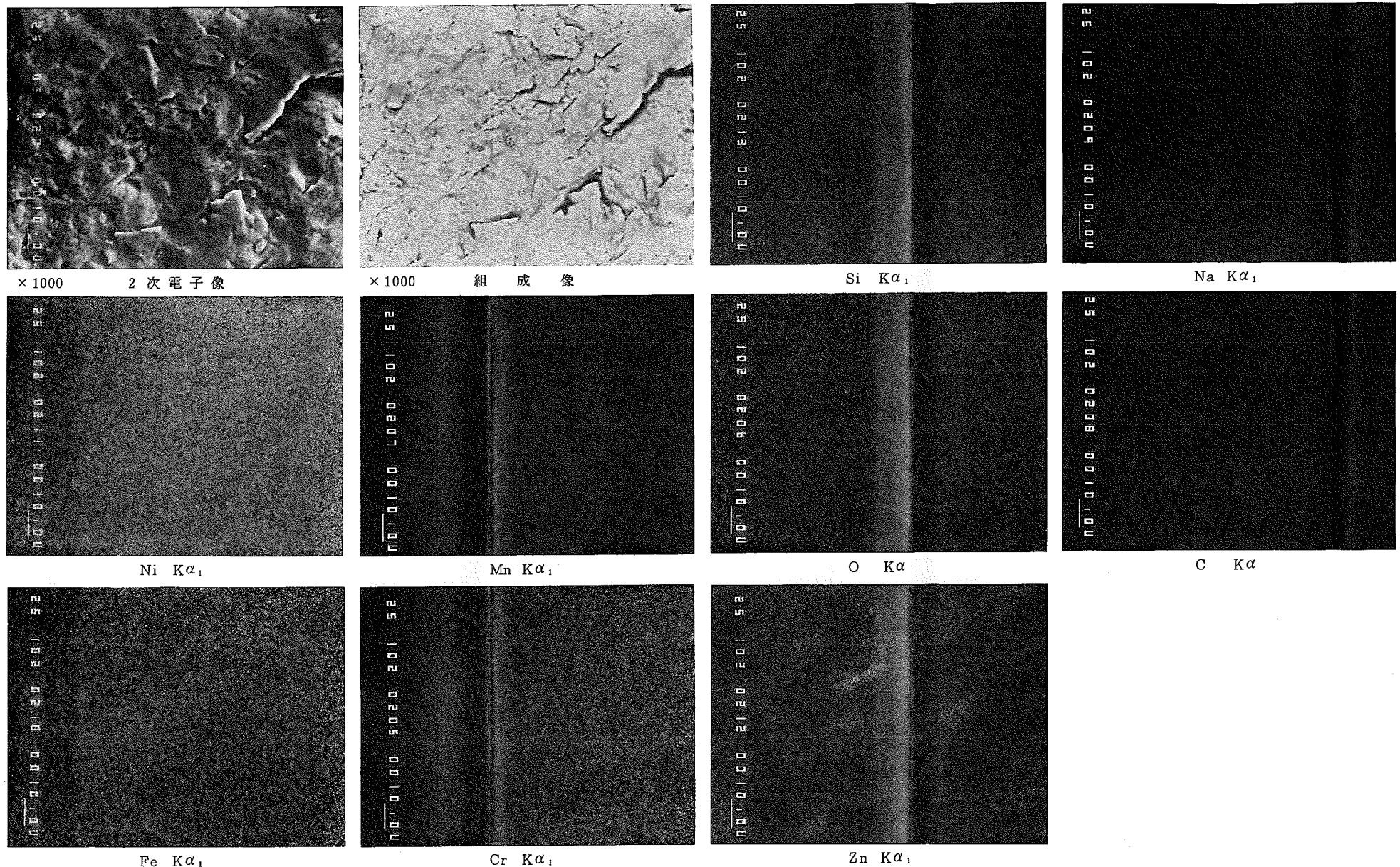


写真 6-10 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の採取位置 2 内表面における表面組織と面分析

Photo. 6-10 Surfac formation analysis of inner side of rupture disk for evaporator (Ⅲ) at cutting position 2

サンプルNo.0 (未使用品), 採取位置3, 外表面

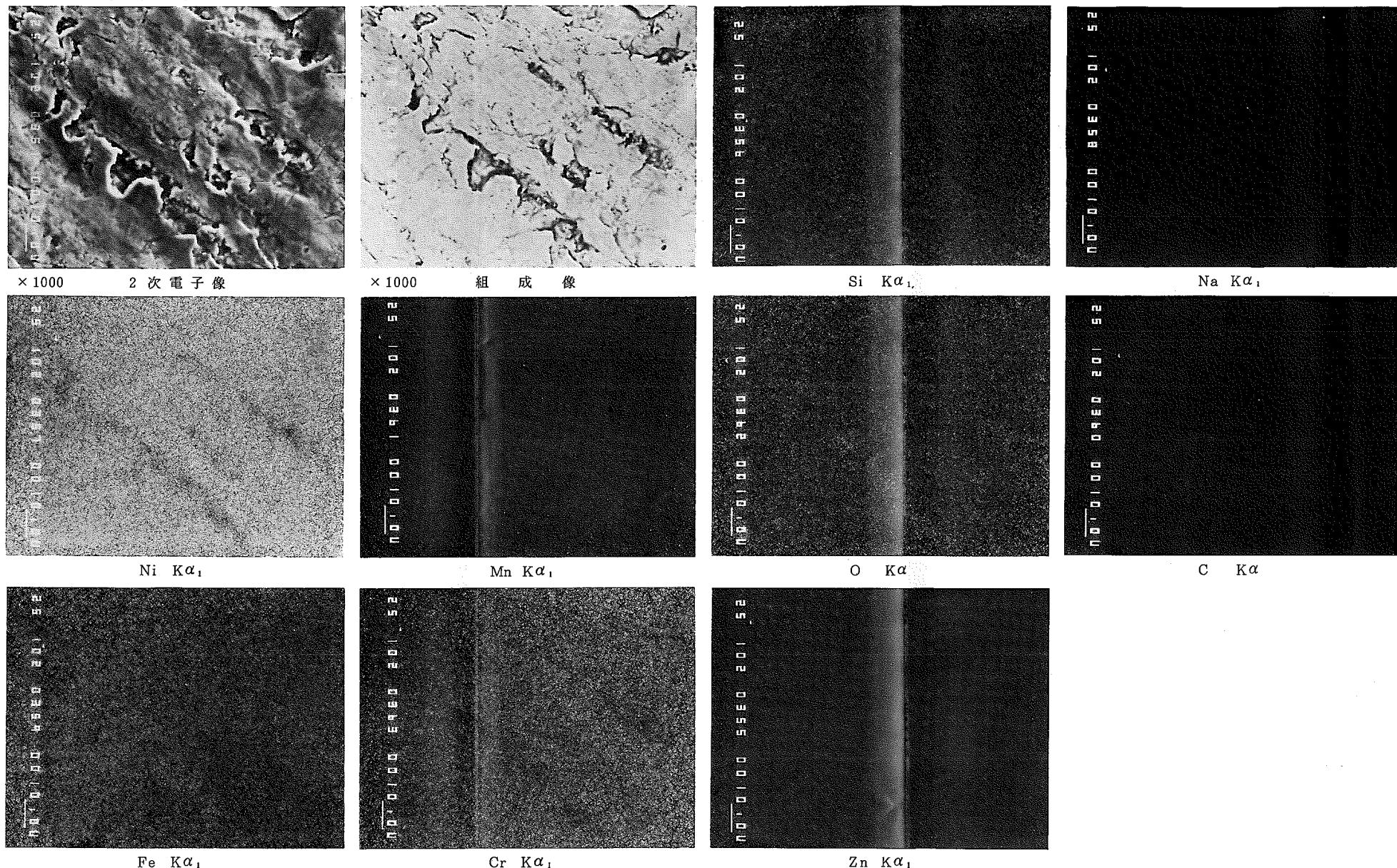


写真6-11 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の採取位置3外表面における表面組織と面分析

Photo. 6-11 Surfac formation analysis of outer side of rupture disk for evaporator (Ⅲ) at cutting position 3

サンプル№0 (未使用品), 採取位置 3, 内表面

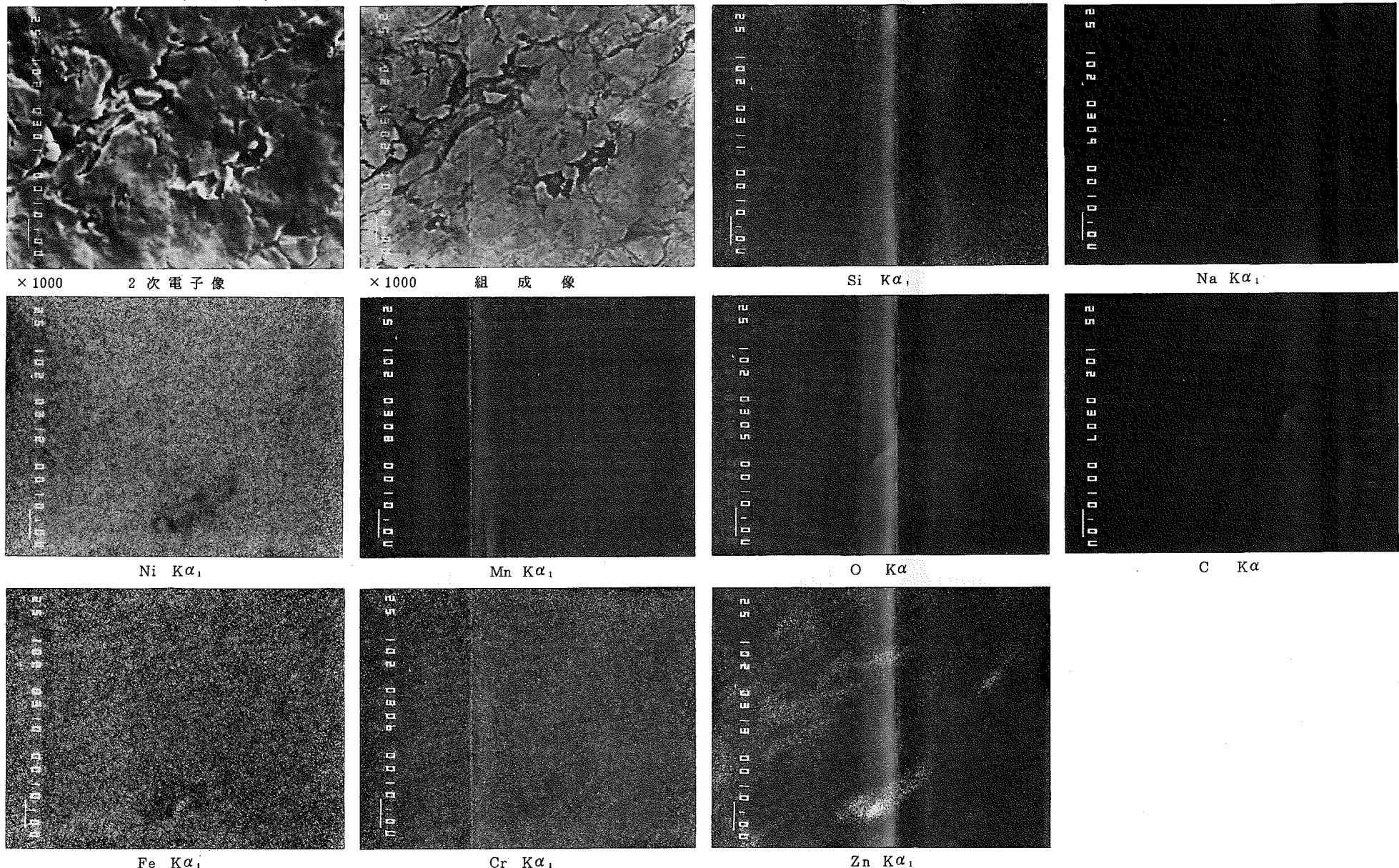


写真 6-12 蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 3 内表面における表面組織と面分析

Photo. 6-12 Surfac formation analysis of inner side of rupture disk for evaporator (III) at cutting position 3

サンプルNo.1 (使用品), 採取位置 1, 外表面

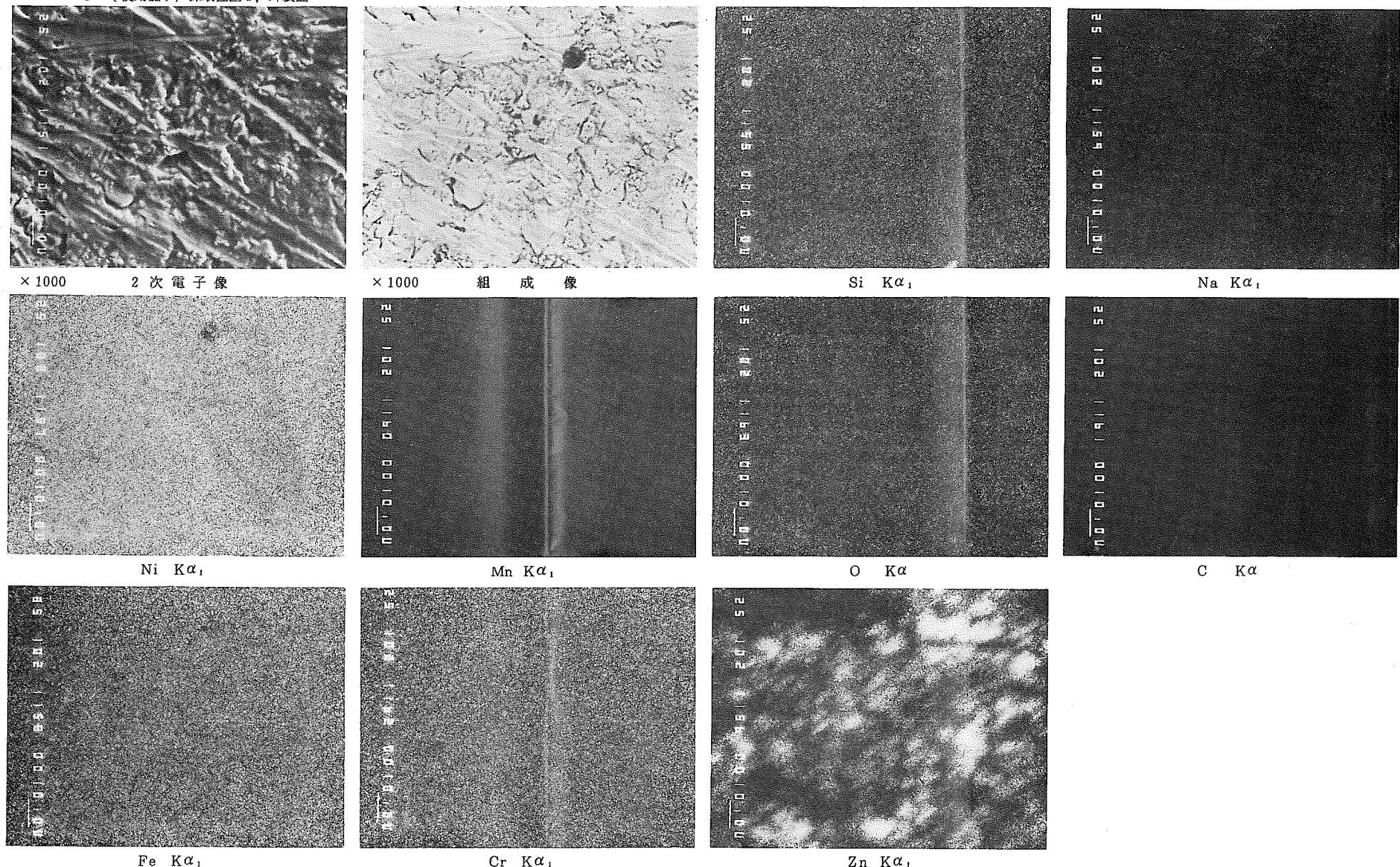


写真 6-13 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 1 外表面における表面組織と面分析

Photo. 6-13 Surfac formation analysis of outer side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 1

サンプルNo.1 (使用品), 採取位置 1, 内表面

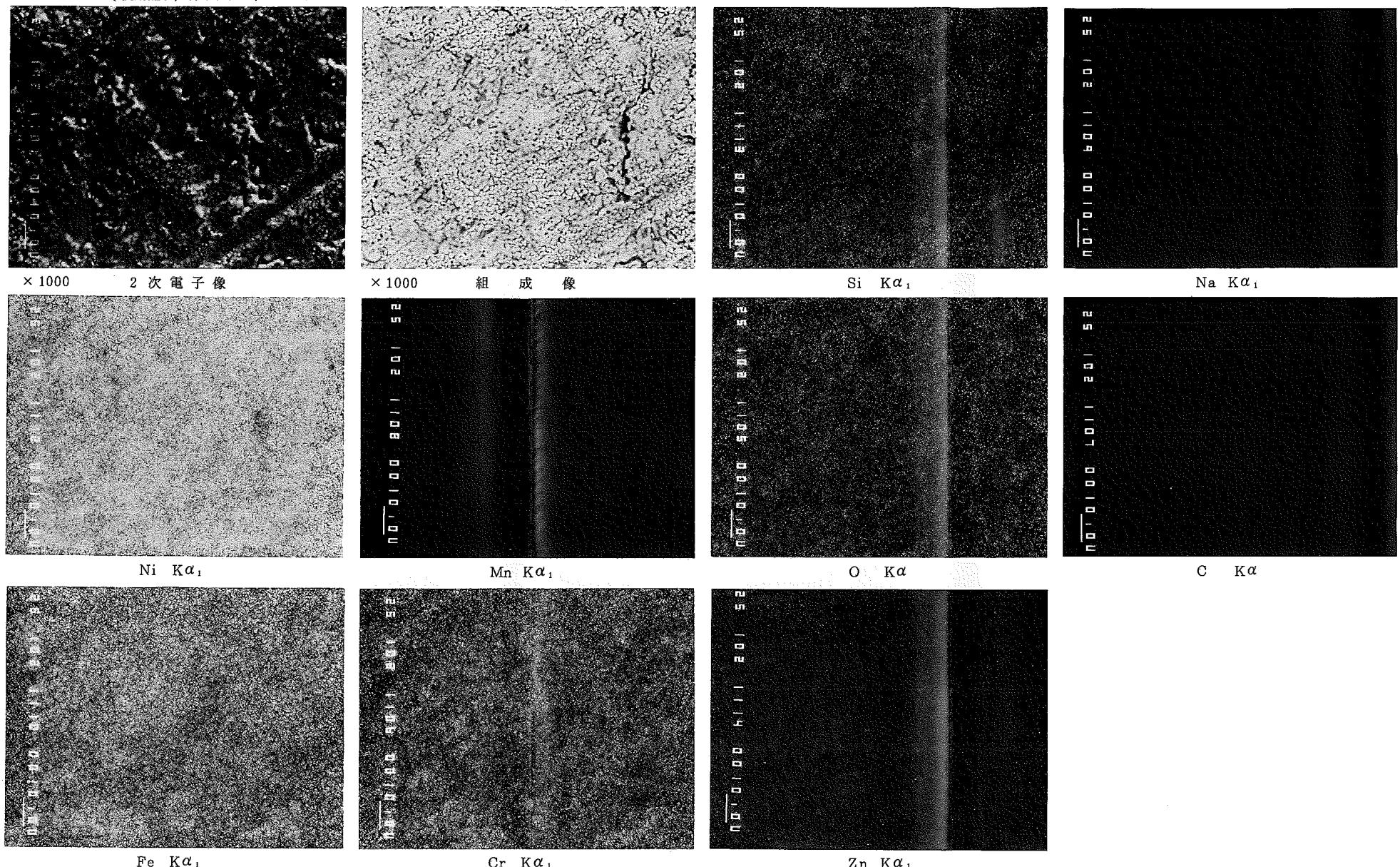


写真 6-14 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 1 内表面における表面組織と面分析

Photo. 6-14 Surfac formation analysis of inner side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 1

サンプルNo.1 (使用品), 採取位置 2, 外表面

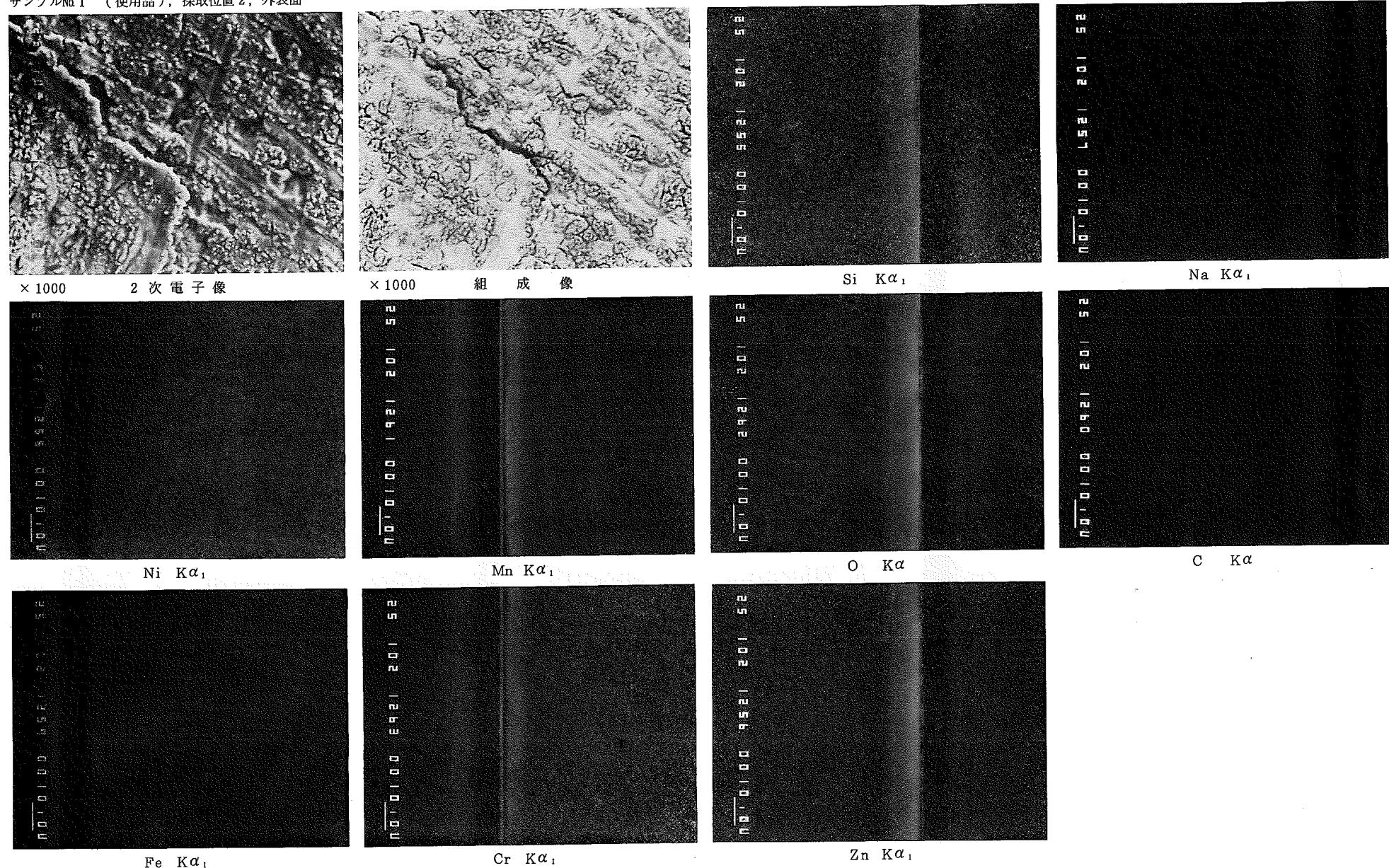


写真6-15 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置2外表面における表面組織と面分析

Photo. 6-15 Surface formation and analysis of outer side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 2

サンプルNo.1 (使用品), 採取位置2, 内表面

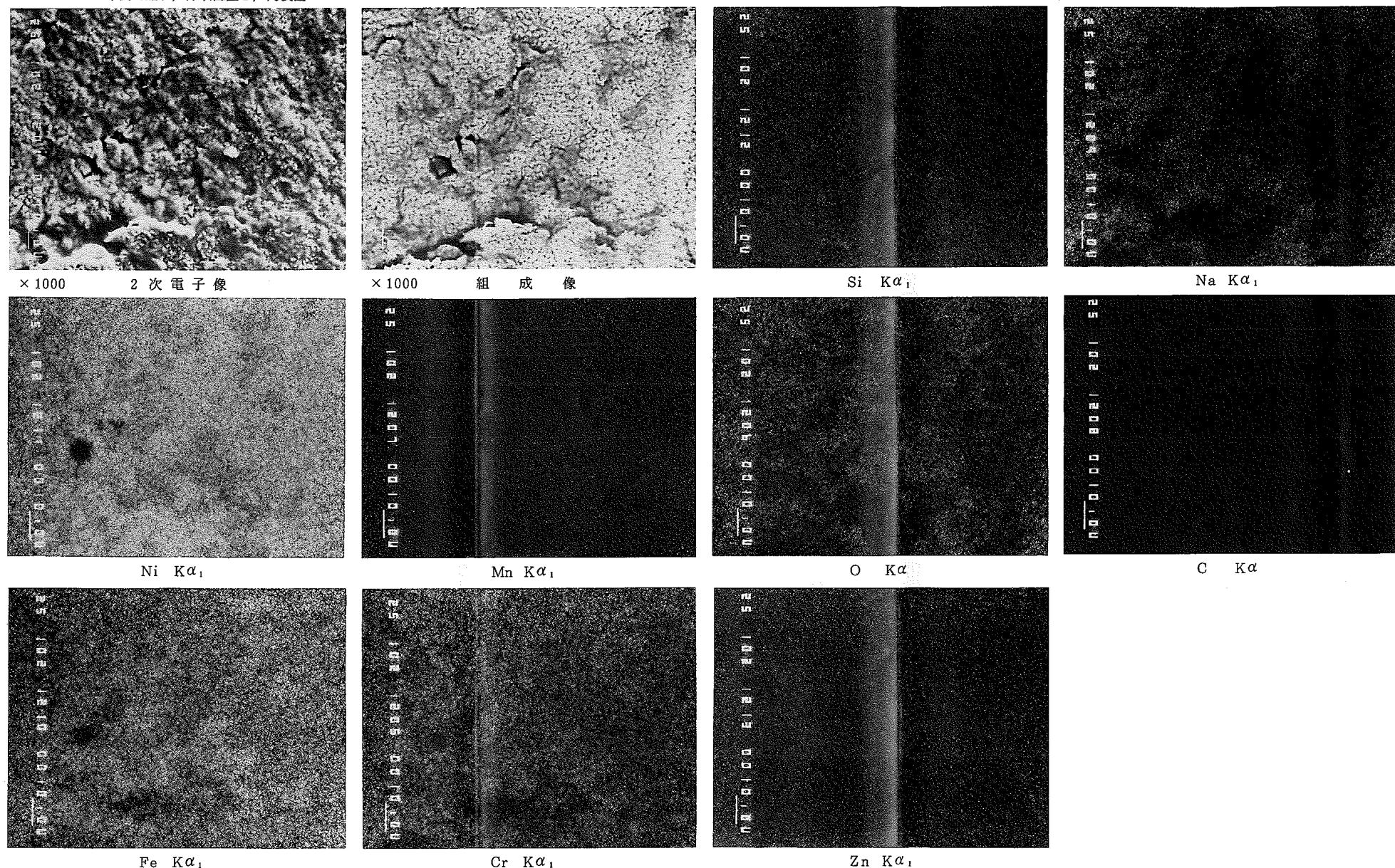


写真6-16 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置2内表面における表面組織と面分析

Photo. 6-16 Surface formation and analysis of inner side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 2

サンプルNo 1 (使用品), 採取位置 3, 外表面

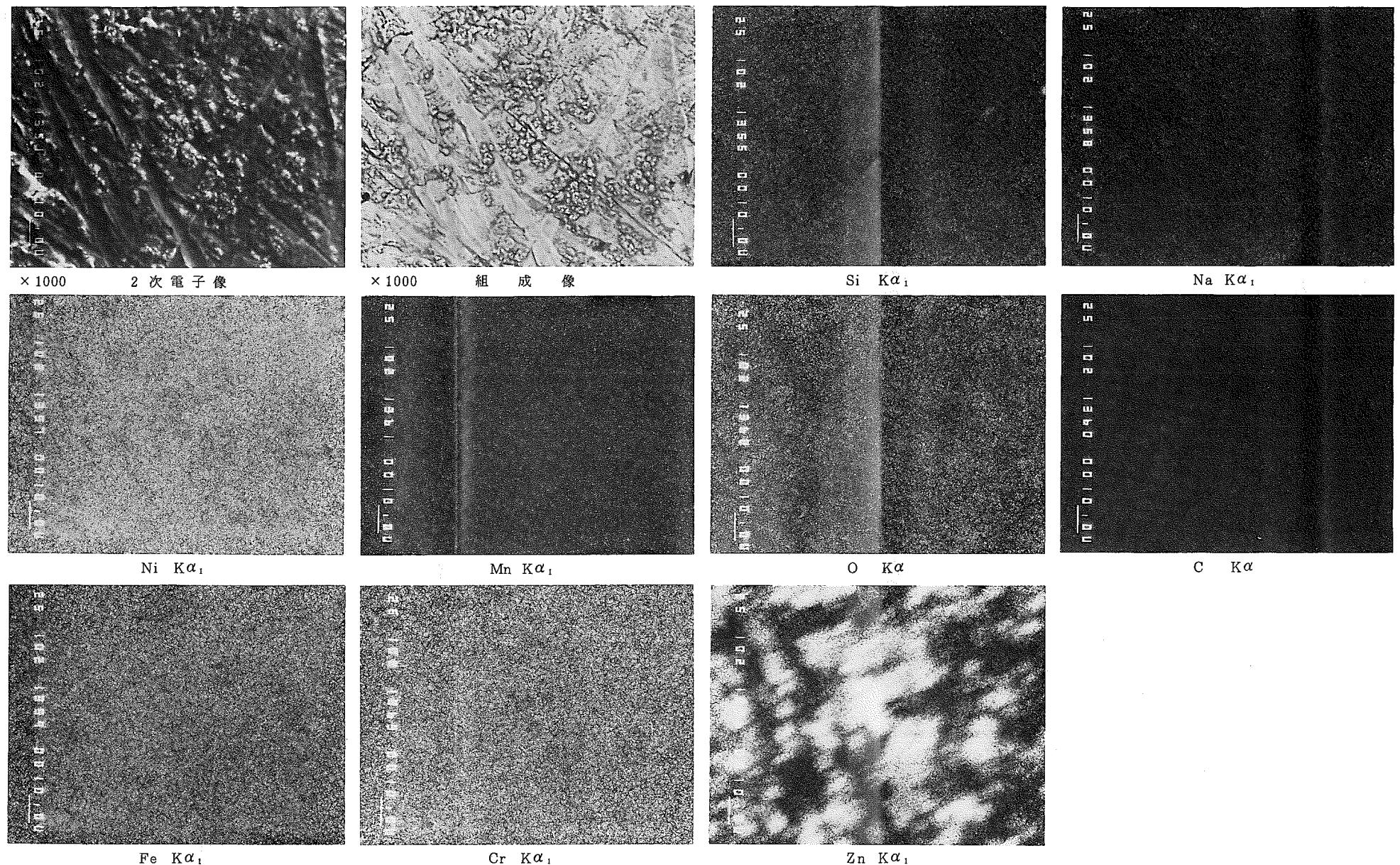


写真 6-17 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 3 外表面における表面組織と面分析

Photo. 6-17 Surface formation and analysis of outer side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 3

サンプルNo.1 (使用品), 採取位置3, 内表面

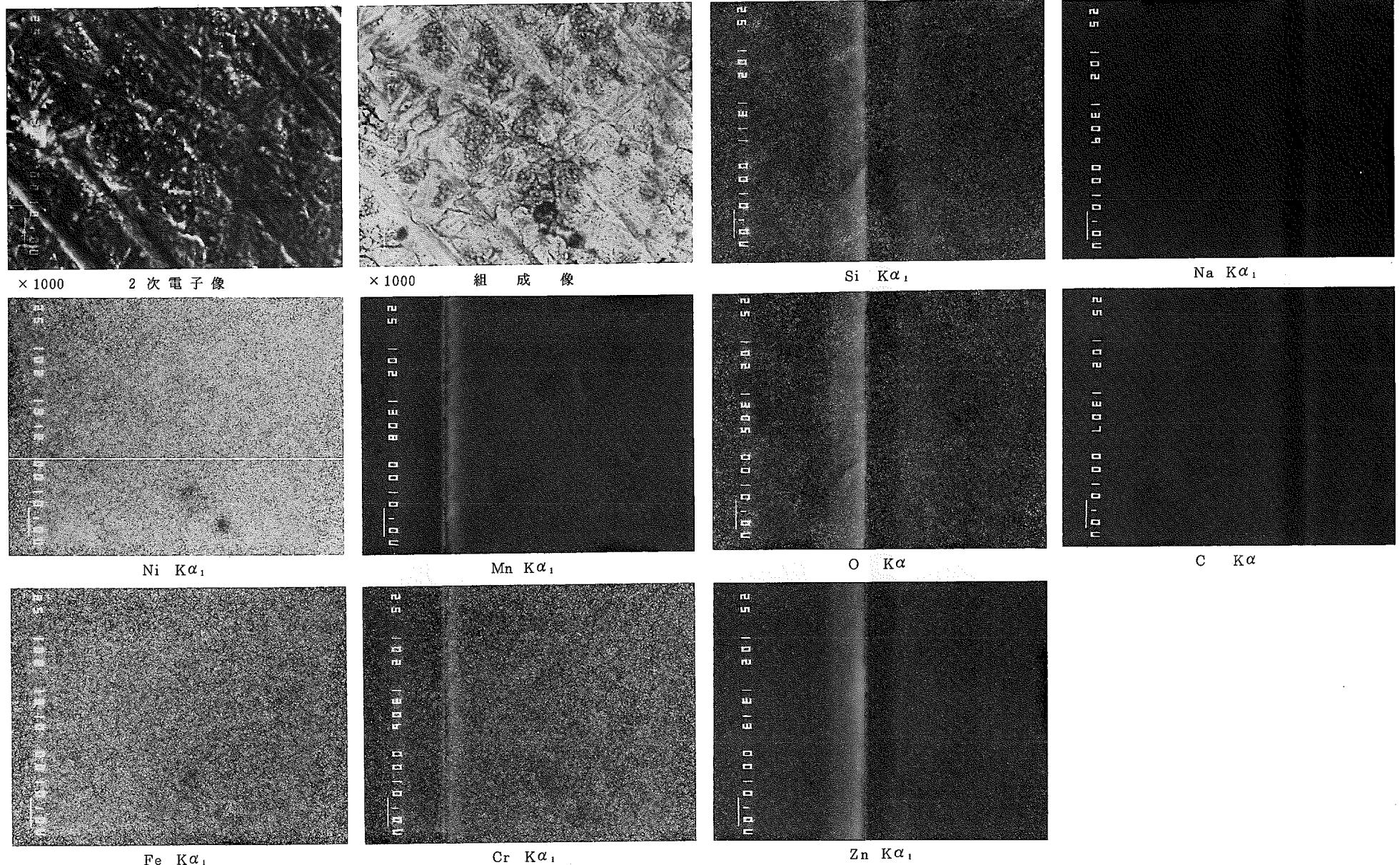


写真 6-18 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置3内表面における表面組織と面分析

Photo. 6-18 Surface formation and analysis of inner side of rupture disk for evaporator (II) at cutting position 3

未使用品顕微鏡組織

位 置	一次側(内表面附近)		二次側(外表面附近)	
	×100	×400	×100	×400
(1)				
(2)				
(3)				

写真6-19 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の断面組織

Photo 6-19 Sectional formation of rupture disk for evaporator(Ⅲ)

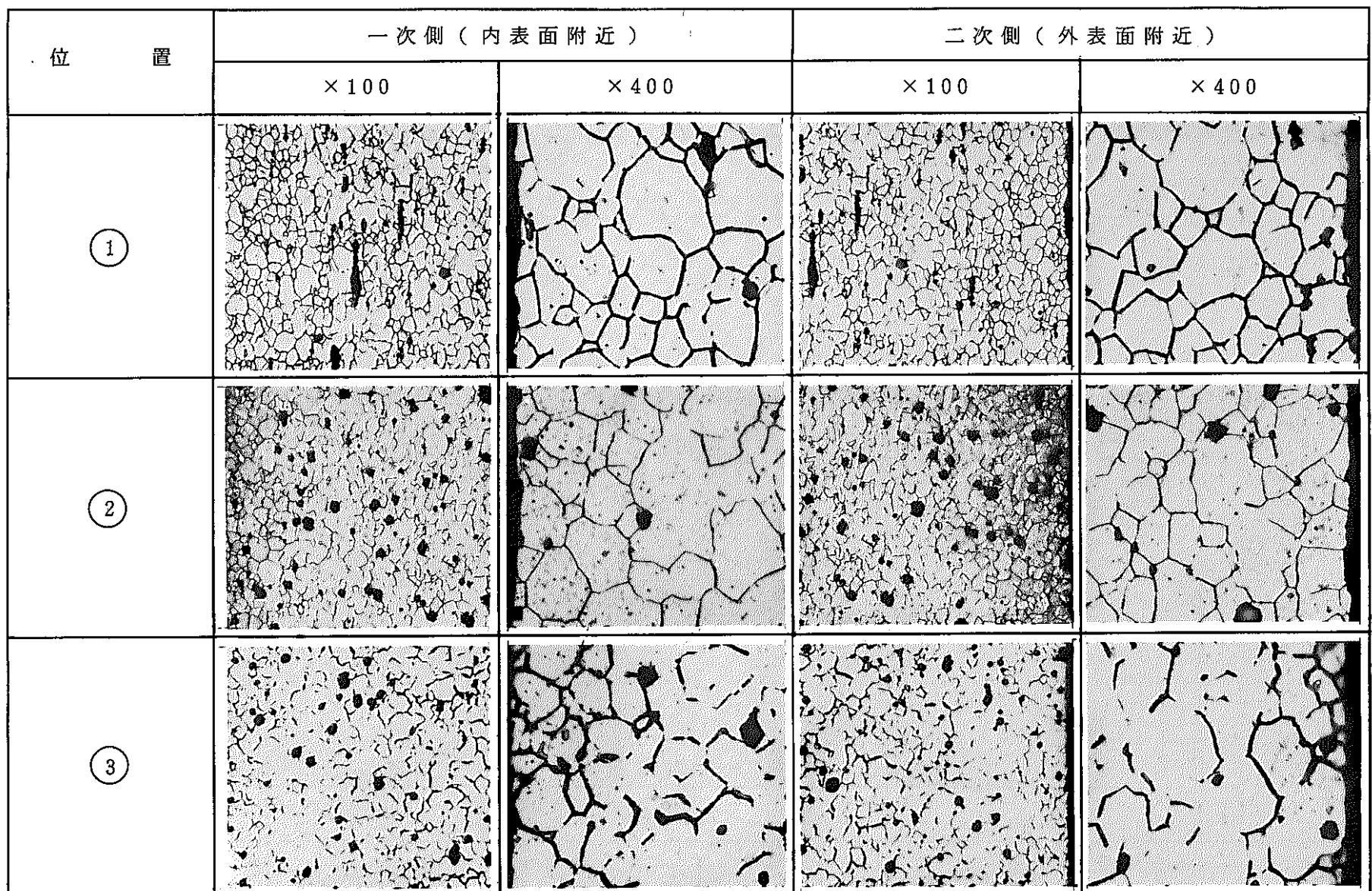


写真6-20 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の断面組織

Photo 6-20 Sectional formation of rupture disk for evaporator(Ⅲ)

表 2-1 50 MWSGTF およびもんじゅ圧力開放板の仕様

Table 2-1 Specification of rupture disks for 50 MWSGTF and Monju plant

プラント 名称 仕様項目	蒸気発生器1号機		蒸気発生器2号機 1982年12月まで		蒸気発生器2号機 1983年1月以降		反応生成物 収納容器 1978年3月から 1982年12月まで	反応生成物 収納容器 1977年10月まで 1983年1月以降	もんじゅ		
	蒸発器	過熱器	蒸発器	過熱器	蒸発器	過熱器			蒸発器	過熱器	反応生成物 収納容器
型 名	反転型	反転型	反転型	反転型	引張型	引張型	引張型	引張型	引張型	引張型	引張型
通常時圧力 kg/cm ²	約 0.7	約 1.25	約 0.7	約 1.25	約 1.0	約 1.45	約 0.3	約 0.3	約 1.0	約 1.8	約 0.3
破裂時圧力 (設計値) kg/cm ²	4.0 ⁺⁰ -0.65	4.0 ⁺⁰ -0.65	4.0 ⁺⁰ -0.65	4.0 ⁺⁰ -0.65	3.0 ±0.2	3.0 ±0.2	1.0 ^{+0.5} -0	1.0 ^{+0.55} -0	3.0 ±0.3	3.0 ±0.3	1.5 ±0.15
通常運転温度 ℃	470	505	476	515	476	515	370～常温	常温	469	505	常温
使用雰囲気	アルゴンガス	アルゴンガス	アルゴンガス	アルゴンガス	アルゴンガス	アルゴンガス	窒素ガス	窒素ガス	アルゴンガス	アルゴンガス	窒素ガス
破裂版口径	24B	18B	24B	24B	24B	24B	28B	28B	26B	20B	26B
材 質	インコネル 750	インコネル 750	インコネル 750	インコネル 750	インコネル 600	インコネル 600	SUS 316/AL	テフロン/AL	インコネル 600	インコネル 600	インコネル 600
接続管口径	24B	18B	24B	24B	24B	24B	28B	28B	26B	20B	26B
供 試 体			○ 2枚	○			○				

表 3-1 圧力開放板運転時間

Table 3-1 Operation period of rupture disks

	使用の有無	取付期間	積算時間
蒸発器(I)	済	1975年9月～1978年9月	12387H
蒸発器(II)	済	1978年11月～1983年1月	10138H
蒸発器(III)	未		
過熱器	済	1978年11月～1983年1月	10138H
収納容器(I)	済	1978年3月～1982年12月	11476.5H
収納容器(II)	未		

表 5-1 圧力開放板試験項目

Table 5-1 Test items of rupture disks

	試験項目	目 的	試験対象 圧力開放板					
			蒸発器			過熱器	収納容器	
			(I)	(II)	(III)		(I)	(II)
試験前検査	外観目視試験	表面のスクラッチ傷・打傷・歪および凹凸の目視での確認	○	○	○	○	○	○
	液体浸透探傷試験	目視では発見出来ない傷の確認	○	○		○	○	
	ヘリウム漏洩試験	使用した圧力開放板のピンホールの有無の確認	○	○		○	○	
破裂試験	破裂試験	ナトリウムベーパー熱過渡・圧力変動等による破裂圧変化の確認	○	○	○	○	○	○
材料試験	金相試験	表面層付近のナトリウムベーパによる腐食状態の確認		○	○			
	引張試験	ナトリウムベーパー・熱過渡・圧力変動等による材料の機械的および物理的变化の確認	○	○	○			
	硬さ試験	同上			○	○		

表 6-1 圧力開放板破裂試験結果

Table 6-1 Burst test result of rupture disks

RD 番号	購入仕様圧力 (kg/cm ²)	購入前破裂試験圧力 (kg/cm ²)	試験結果		温度補正 22℃ 破裂圧 (kg/cm ²)	破裂 誤差 (kg/cm ²)	劣化 割合 (%)	破断状態	破片の 飛散	備考
			破裂圧力 (kg/cm ² G)	破裂試験 温度 (℃)						
蒸発器 (I)	$4.0^{+0}_{-0.65}$ $3.35 \sim 4.0$ 3.675 ± 0.325	at 470℃	4.08kg/cm ² G at 22℃ 3.61kg/cm ² G at 470℃	4.07	15	4.05	-0.03	0.7	100%	無
蒸発器 (II)	"	"		3.98	10	3.95	-0.13	3.2	"	$\frac{1}{4}$ 片飛散
蒸発器 (III)	"	"		3.92	14	3.90	-0.18	4.4	"	"
過熱器	"	"		3.97	13	3.95	-0.13	3.2	"	"
収納容器 (I)	$1.0^{+0.5}_{-0}$ $1.0 \sim 1.5$ 1.25 ± 0.25	at 370℃	3.09kg/cm ² G at 22℃ 1.47kg/cm ² G at 370℃	2.79	13	2.70	-0.39	12.5	"	"
収納容器 (II)	"	"		3.01	15	2.92	-0.17	5.3	"	"
										未使用品

表 6 - 2 引張試験結果

Table 6 - 2 Tension test result

	試 験 片 No.	引張強さ kg/mm ²	0.2%耐力 kg/mm ²	伸 び (ε) %	引張弾性率(E) kg/mm ² × 10 ³
未 使 用 品	蒸発器(III) - 1	84.3	39.1	47.2	14.1
	蒸発器(III) - 2	78.3	39.2	54.0	12.0
	蒸発器(III) - 3	77.5	41.8	47.2	9.8
	(平 均)	(80.2)	(40.0)	(49.4)	(12.0)
使 用 品	蒸発器(II) - 1	97.6	63.2	42.0	25.3
	蒸発器(II) - 2	94.0	54.8	40.0	21.8
	蒸発器(II) - 3	94.6	57.0	44.1	21.6
	(平 均)	(95.4)	(58.3)	(42.0)	(23.0)
	蒸発器(I) - 1	101.3	—	42.8	21.8
	蒸発器(I) - 2	108.2	48.3	43.6	23.3
	(使用品平均)	(99.1)	(55.8)	(42.5)	(22.8)

表 6-3 硬さ試験結果

Table 6-3 Hardness test result

		蒸発器(Ⅲ) 未使用品 H _{MV} (300g)					過熱器 使用品 H _{MV} (300g)				
試験片		中心からの距離(mm)					中心からの距離 mm)				
No.		0.35	0.2	0	0.2	0.35	0.35	0.2	0	0.2	0.35
平 担 部	1	246	232	223	223	229	294	295	304	315	302
	2	246	252	245	252	250	290	315	312	315	312
	3	241	246	232	232	245	301	309	312	307	299
	4	243	246	239	243	249	309	314	309	312	314
	5	249	243	243	243	245	290	315	309	314	312
	平均	(245)	(244)	(236)	(239)	(244)	(297)	(310)	(309)	(313)	(308)
ド リ ム 部	1	290	278	280	294	285	328	328	328	311	334
	2	295	287	289	289	287	320	323	331	315	328
	3	305	295	291	297	294	325	326	331	326	331
	4	323	309	298	309	311	326	331	326	326	328
	5	305	301	287	287	294	328	328	328	320	315
	平均	(304)	(294)	(289)	(295)	(294)	(325)	(327)	(329)	(320)	(327)
内表面 ← → 外表面						内表面 ← → 外表面					

表 7 - 1 圧力開放板の比較

Table 7 - 1 Comprison of characteristic of rupture disk

	引 張 型	反 転 バ ッ ク リ ン グ 型
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 開口性が良い。 ◦ 応答速度が遅い。 ◦ ディスク板厚が薄い ◦ 運転環境の影響を受けやすい ◦ 耐久性が悪い 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 開口性が悪い ◦ 応答速度が速い ◦ ディスク板厚は引張型の 3 ~ 10 倍厚い ◦ 運転環境の影響を受けにくい ◦ 耐久性が良い
プラント使用例 (予定含む)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Fermi(米), もんじゅ(日) ◦ カバーガス部に圧力開放板が設置されているものにかぎられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ CRBRP(米), SNR-300(独) 50 MWSG(日) ◦ 50 MWSG 以外は Na 中に圧力開放板が設置されている。

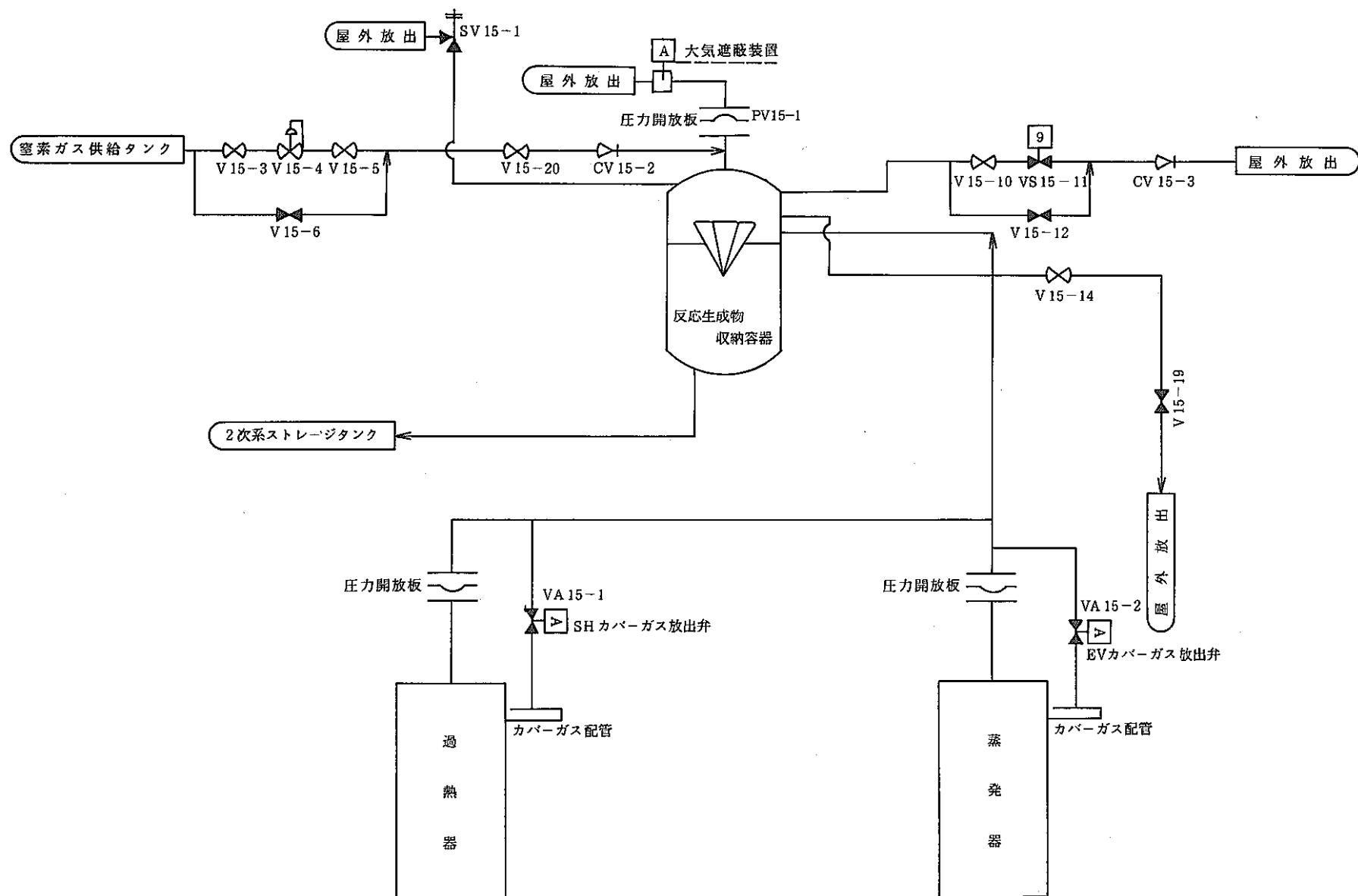


図2-1 圧力開放系系統図

Fig. 2-1 Diagram of pressure relief system

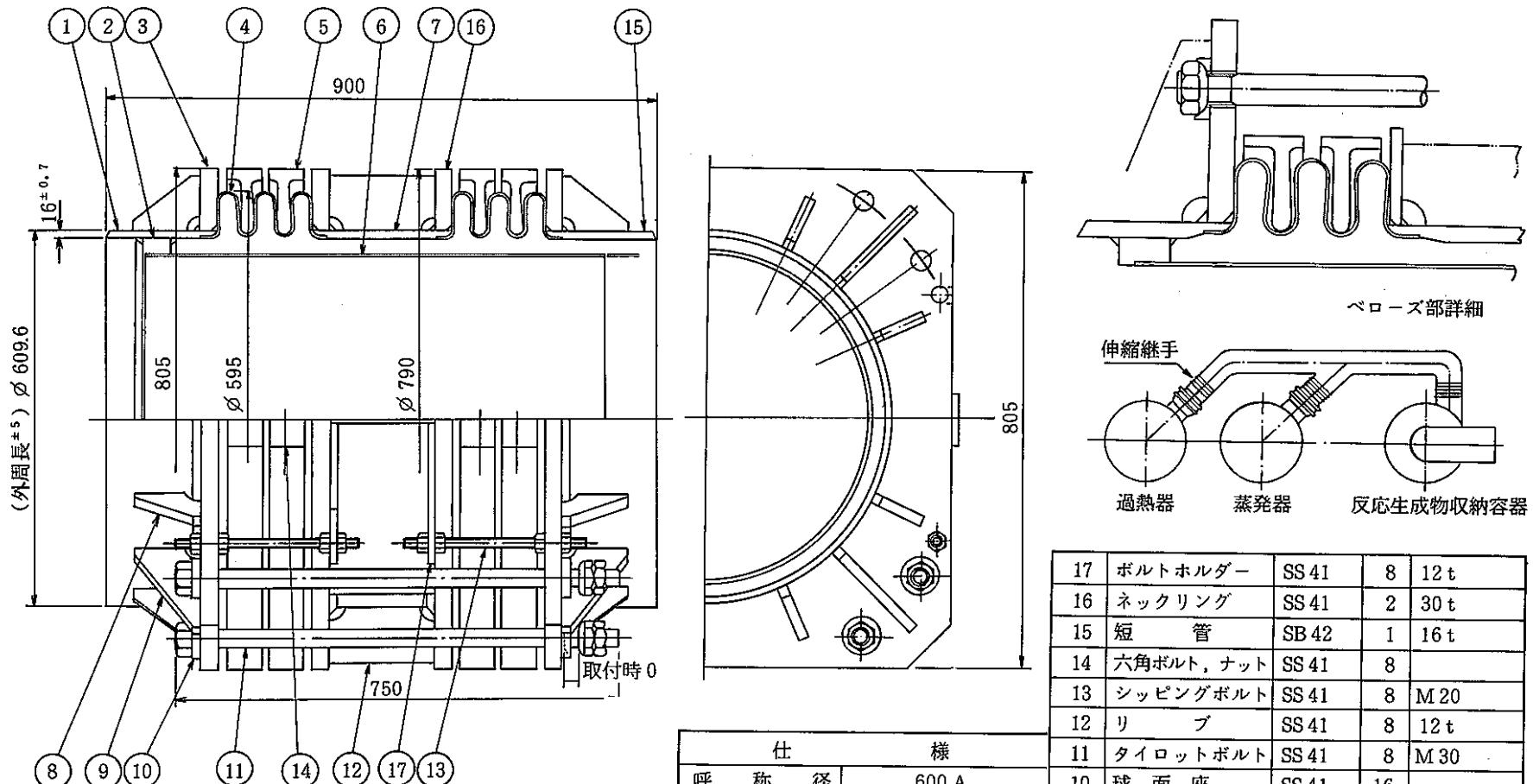
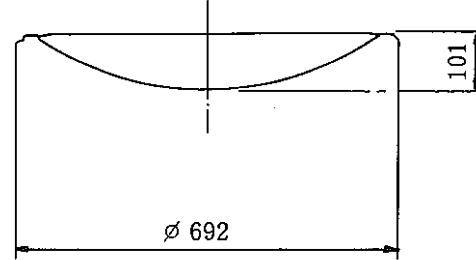
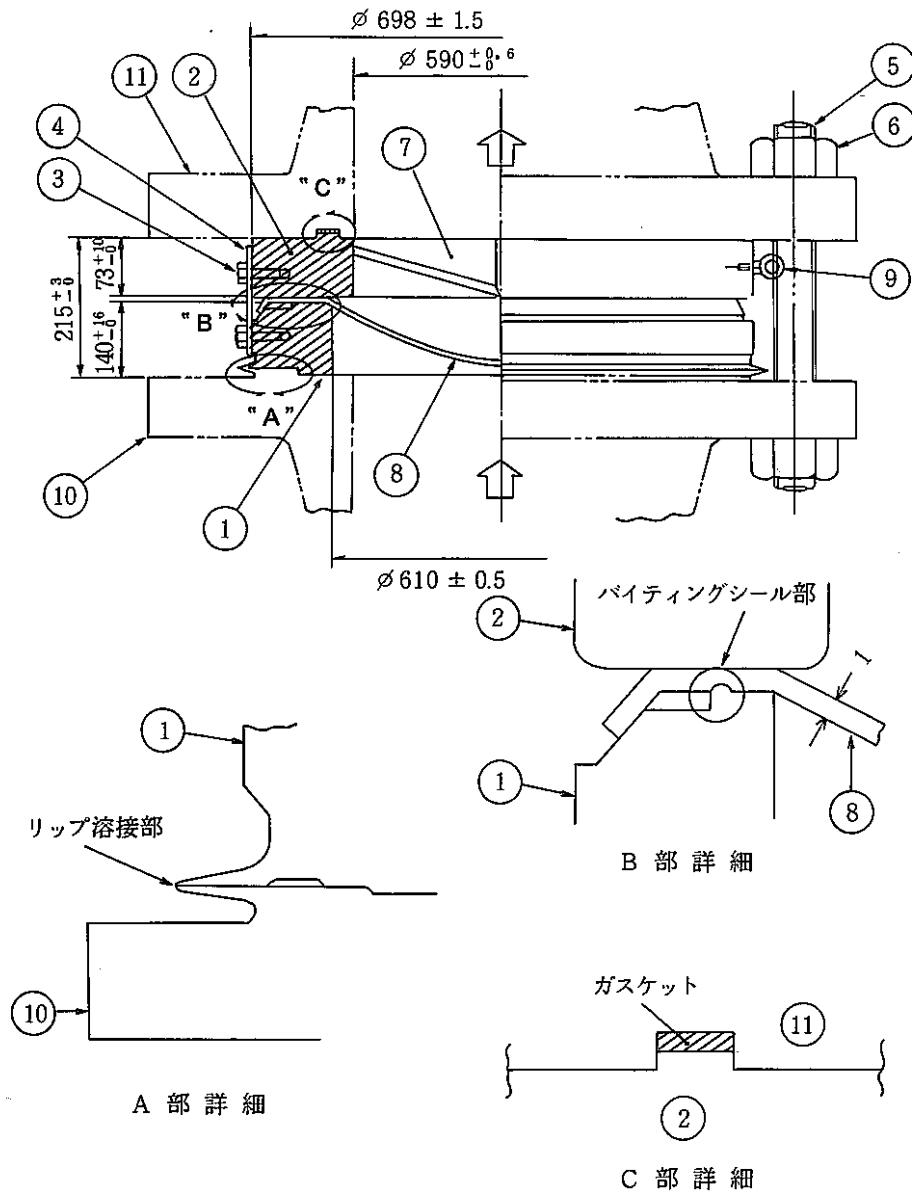


図 2-2 放出管用伸縮継手

Fig. 2-2 Expansion joint for pressure relief pipe

仕 様					
呼 称 径		600 A			
会 長		900 mm			
取 付		900 ± 5 mm			
最 高 使用 壓 力		10 kg/cm ² G			
試 験 水 圧					
圧 力 気 密		12.5 kg/cm ² G			
最 高 使用 温 度		450 °C			
流 体		N ₂ ガス及び Na			
軸 方 向 伸 縮 量		-28 mm	-32 mm		
軸 直 方 向 変 位 量		15 mm	19 mm	1	t
通 常 異 常		品番	部 品 名	材 質	個 数
					備 考



圧力開放板詳細

PART No.	DESCRIPTION	QUANTITY	MATERIAL	REMARKS
11	相フランジ			
10	相フランジ			
9	アイボルト	2	SS 41	
8	ラブチャーディスク	8	INCONEL 750	4.0 kg/cm ² ± 0.65 / 470 °C
7	ブレードナイフ	1	SUS 631	
6	ナット	48	S 45 C	
5	スタッドボルト	24	SNB 7	M 30
4	ラグ	4	SUS 304	
3	キャップネジ	8	SUS 304	
2	出口側 ホルダー	1	2 1/4 Cr-1 M0	
1	入口側 ホルダー	1	2 1/4 Cr-1 M0	

Fig. 2-3 Rupture disk for evaporator No.1 in 50 MWSGTF

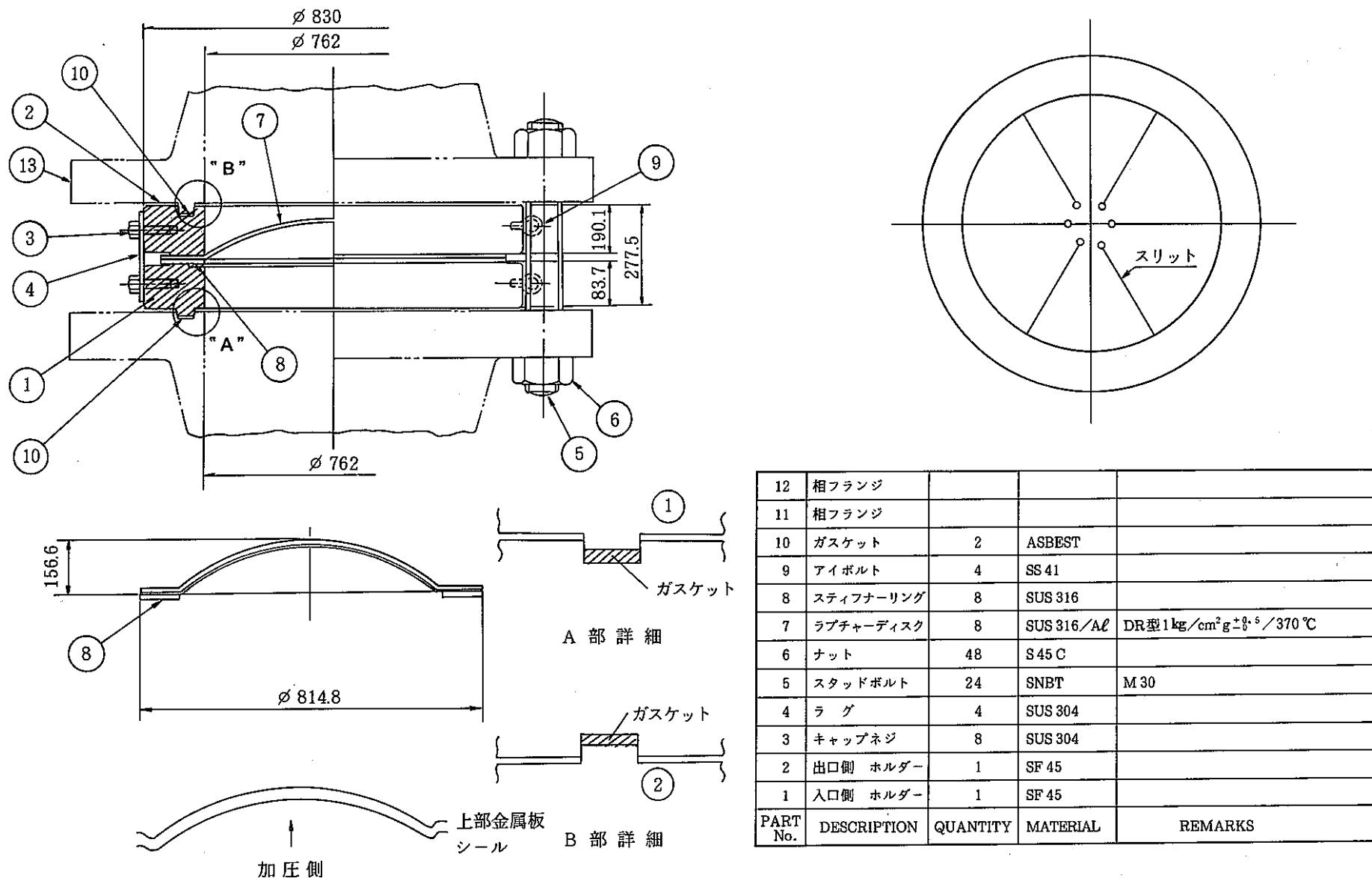


図 2-4 収納容器圧力開放板

Fig. 2-4 Rupture disk for reaction product vessel

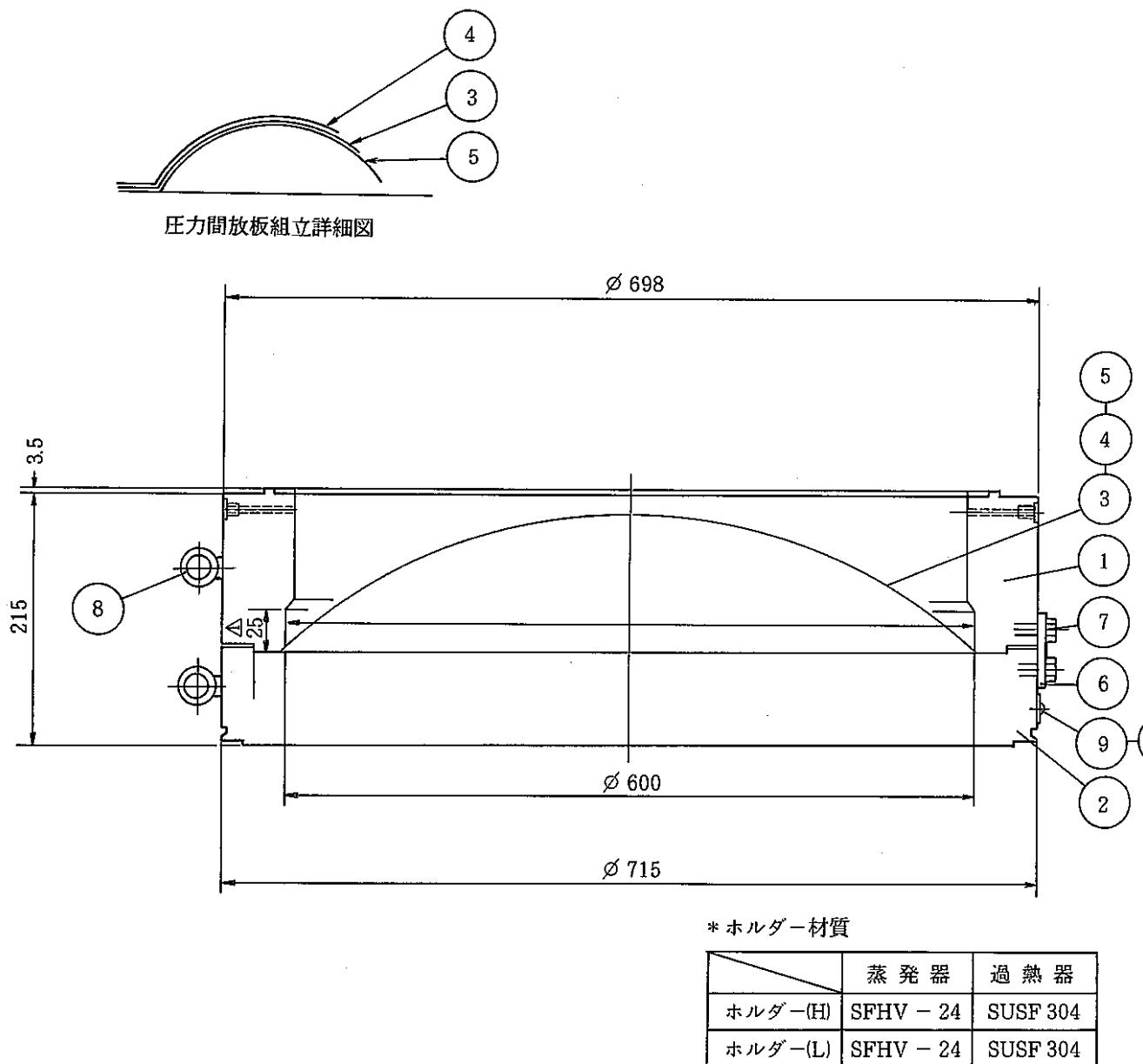
年	1974												1975												1976															
月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Na 系	29.2	17	14	9	12	17	15	23	6.12	26.	16	11	13	22	28	21	16	24	5	27	2	14	19	23	13	13	12	19												
水 系	1	31	20	15	20	6.12	26	16	11	11	22	27	21	14	27			3	15			16	24	9	14	4	19													
SG (SH) 系 (EV)				23.24	10.15			11.20	8.12	23.29	20	12.25										16.27	2.20	29	10.26	28.7.10	12	14												
備 考	調整試運転 総合調整試運転 循水器改造 定期点検												EV伝熱管ブランク	2号SG据付 1号SG解体検査								定期点検																		

年	1977												1978												1979																				
月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12									
Na 系	27	7	14	28			17	21		25	2		22	19											24	18	14	27	22	15															
水 系	24	9	11	1		4	21		17	3		16	21												28	17	8	28	16	16															
SG (SH) 系 (EV)				16.2			29.9		18.25	14.収納容器 圧力開放板 交換	5.28	15.12		29.蒸気発生器 圧力開放板 交換										8.15	16.20	1.14																			
備 考	自主点検 SCC据付 LPG 防液堤増設 改造工事 定期点検 注水素洗去据付 管束引抜工事 SHバイパス工事												定期点検 改造工事 LVT据付 SHバイパス工事												定期点検																				

年	1980												1981												1982																			
月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
Na 系						27	18		12	21		22	31		6	24	13	21							6	27																		
水 系						13	19		10	22		16	1		30	30	11	22							1	29																		
SG (SH) 系 (EV)						5.8		29.15					14.23		7.13										12.20																			
備 考	洗浄槽据付 管束引抜工事 工場内工事 定期検査 SG洗浄												定期点検 自主点検 ACS設置工事												定期点検 水素計置去 据付 SHバイパス据去																			

図 3-1 50 MW 蒸気発生器試験施設実績

Fig. 3-1 Operation and maintenance period of 50 MWSGTF



仕様	
型式	F B F
ディスク材質	インコネル600
流体	アルゴンガス
接続	600 ^A JIS10 ^K
破裂圧力	3.0 kg/cm ²
許容誤差	± 0.2 kg/cm ²
常用圧力	0.3 Torr ~ 1.5 kg/cm ² (T)
温度	破裂時 400 °C 常用
He許容リーキ量	1 × 10 ⁻⁶ Acc/sec
製品重量	約 190 kg

品番	部品名	材質	個数	備考
10	打込ネジ	SUS 304	2	
9	銘板	SUS 304	1	
8	アイボルト	SS 41	8	
7	ボルト	SUS 304	8	
6	ラグ	SUS 304	4	
△⑤	V, サポート	SUS 316	1	Ø 645- ^{0.1} _{-0.2} × 2.0 t
△④	スリットディスク	インコネル600	1	Ø 645- ^{0.1} _{-0.2} × 0.5 t
△③	ディスク	インコネル600	1	Ø 645- ^{0.1} _{-0.2} × 0.05 t
△⑦	ホルダー(R)	*	1	
△①	ホルダー(L)	*	1	

図 4-1 引張型圧力開放板構造

Fig. 4-1 Tension loaded rupture disk

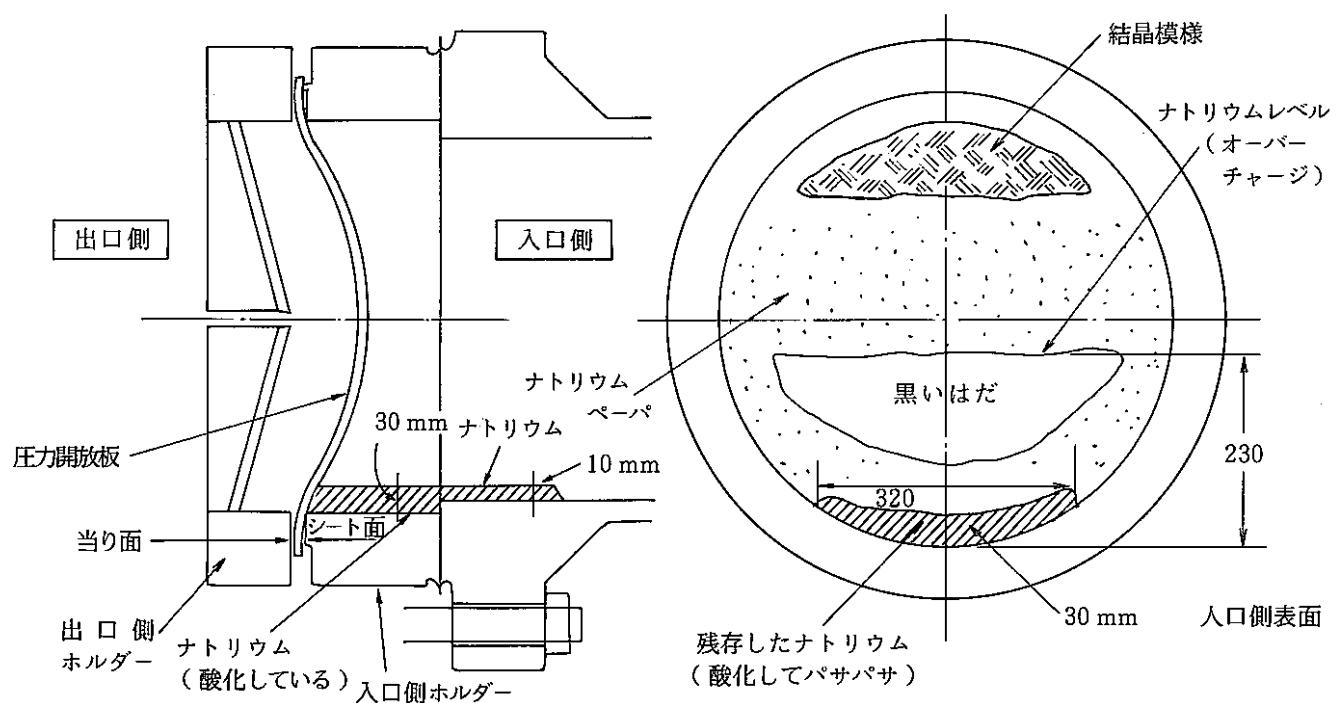


図4-2 蒸発器(I)圧力開放板取外し時外観

Fig. 4-2 Appearance of rupture disk for evaporator(I)
at removal

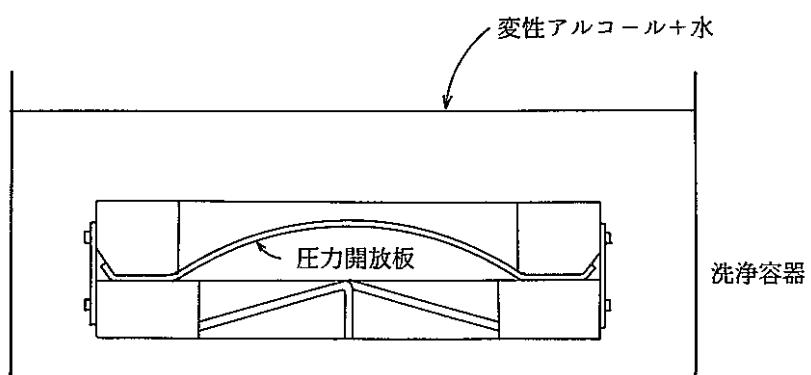


図4-3 圧力開放板ナトリウム洗浄方法

Fig. 4-3 Sodium cleaning method of rupture disk

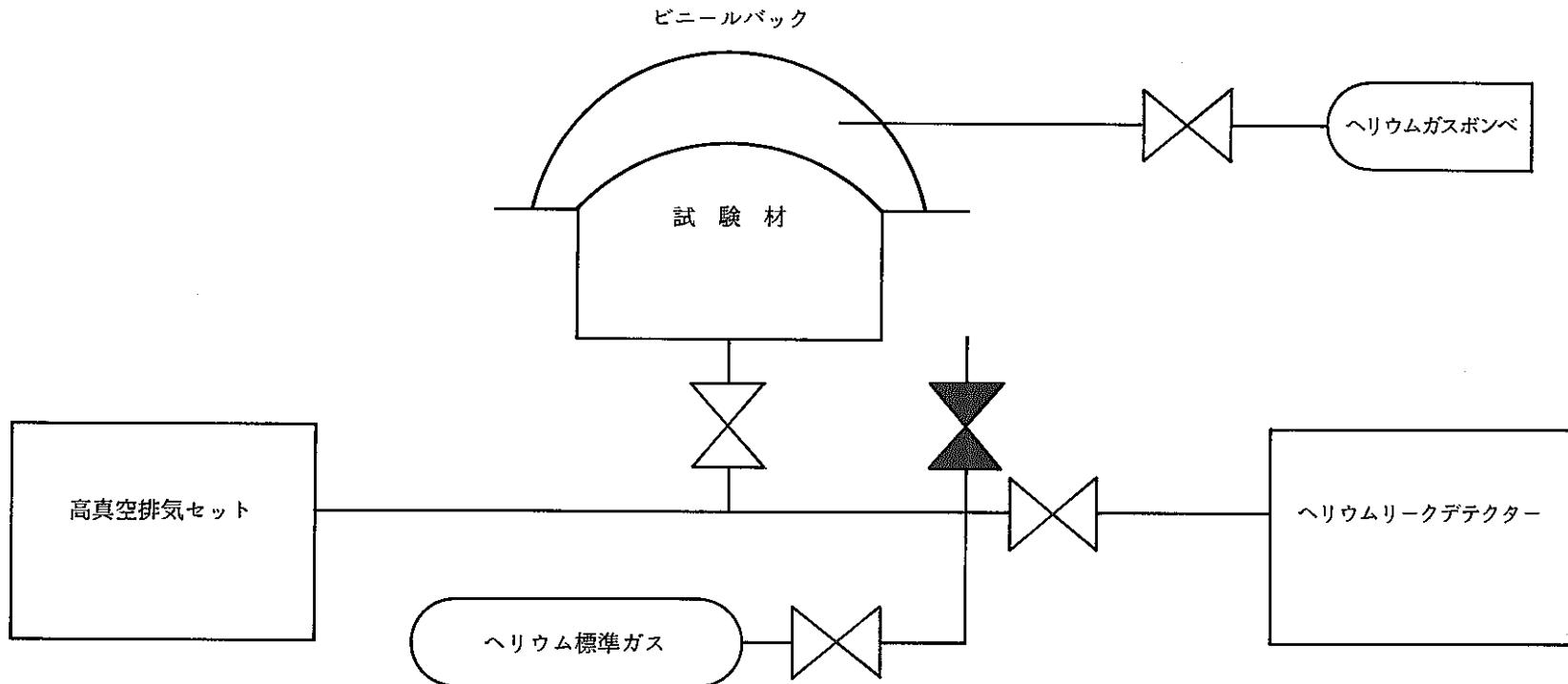


図 5-1 ヘリウム漏洩試験装置

Fig. 5-1 Helium leak test equipment

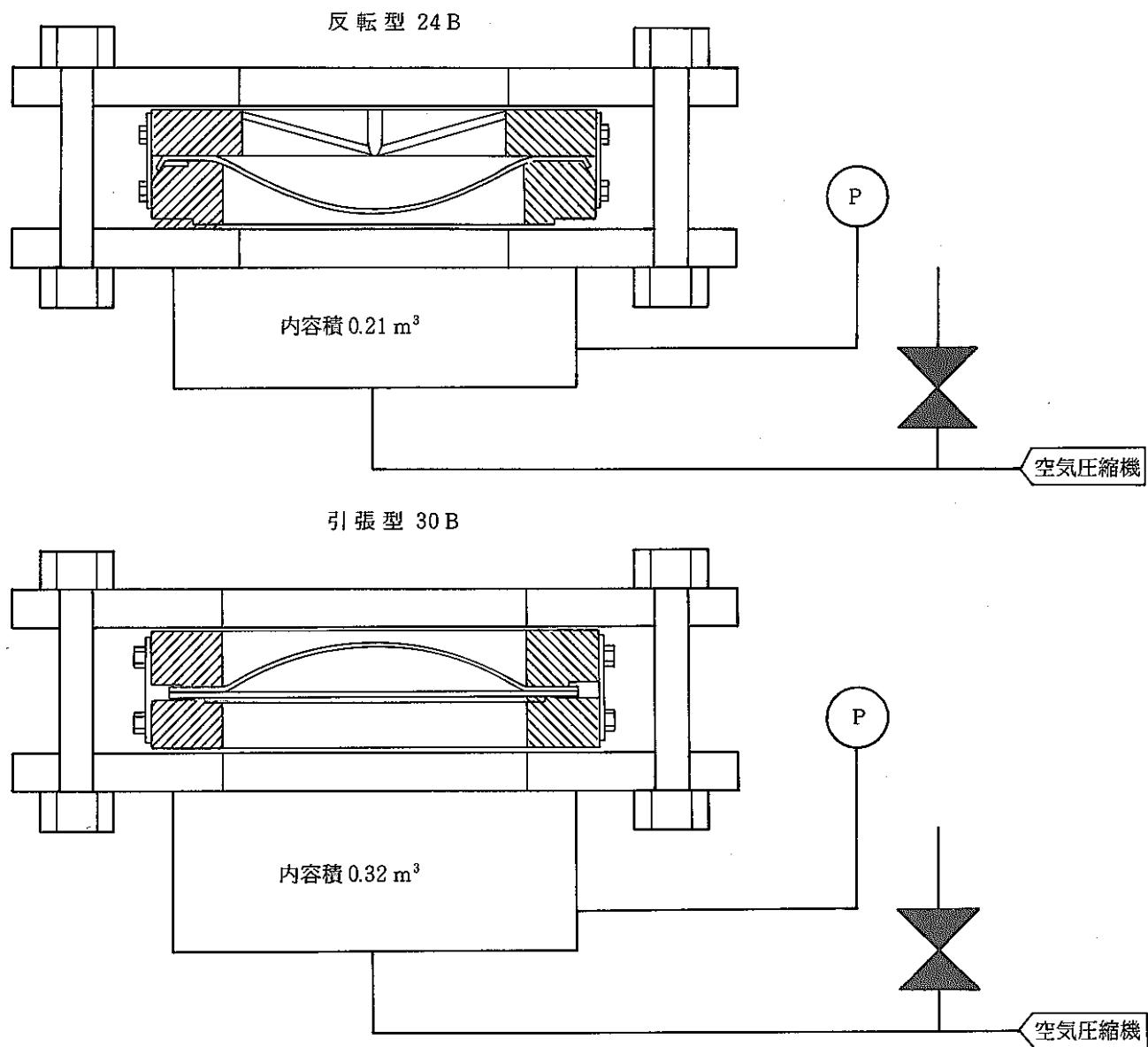


図5-2 破裂試験装置

Fig. 5-2 Burst test equipment

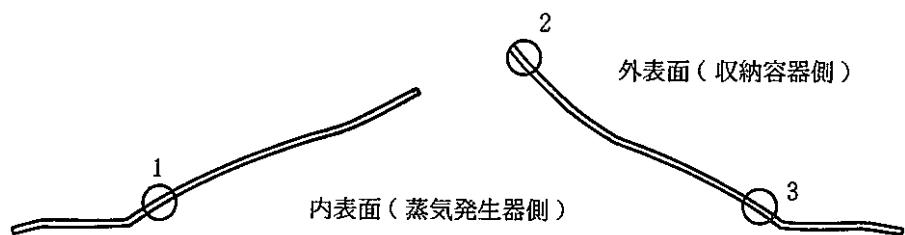
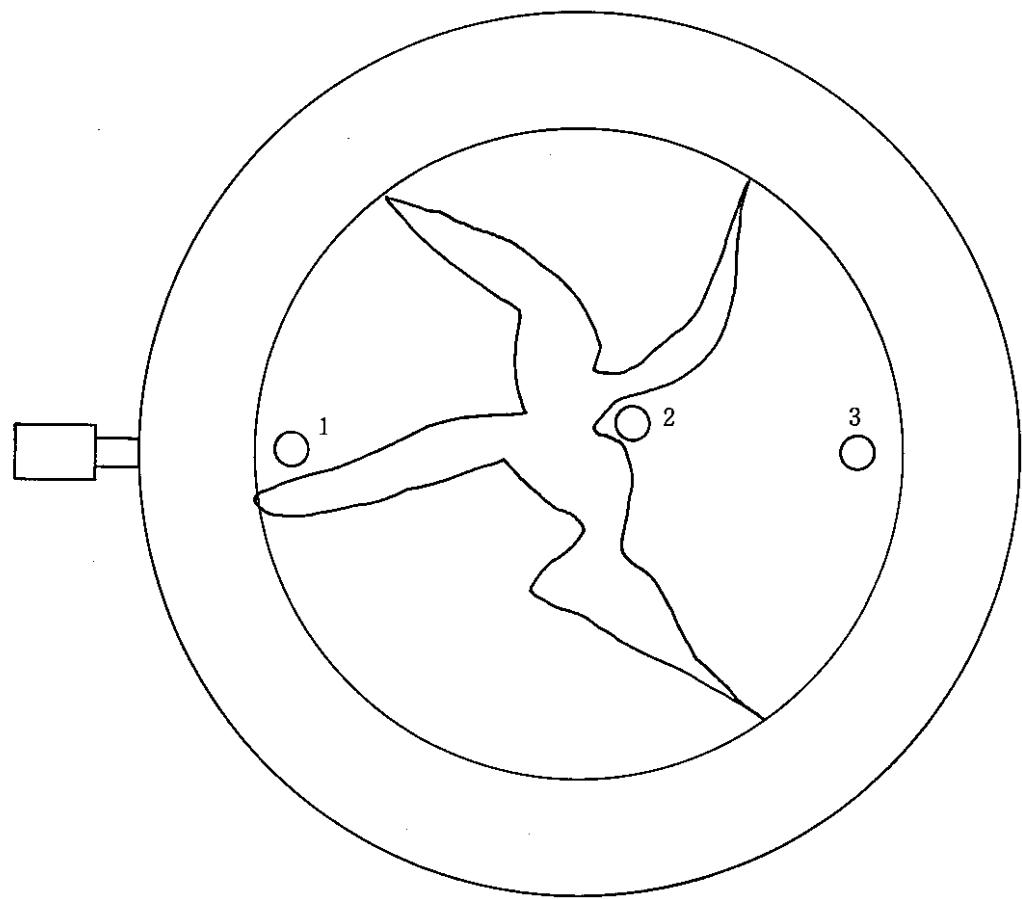


図 5-3 金相試験片採取位置

Fig. 5-3 Cutting position of test piece for
metallographic test

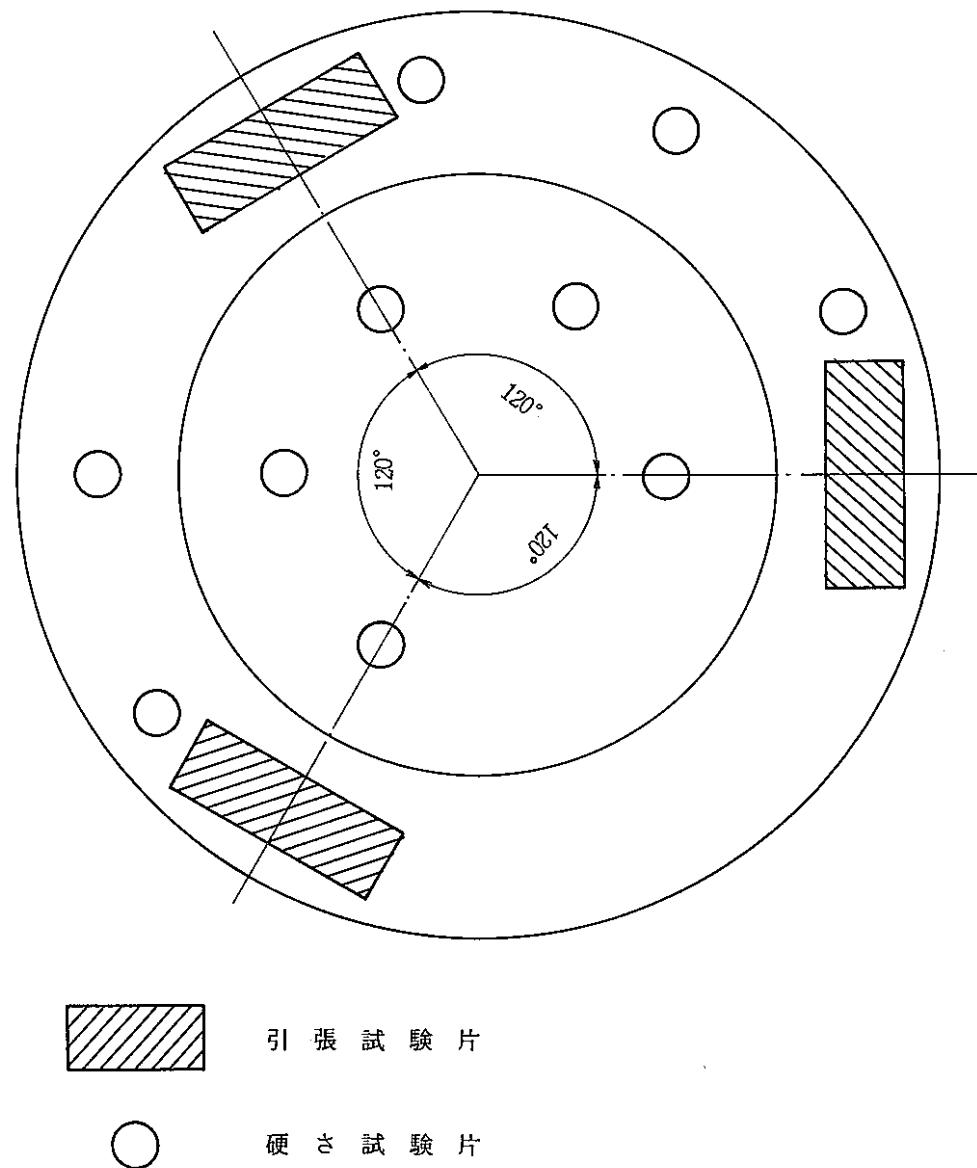


図 5-4 引張試験片及び硬さ試験片採取位置

Fig. 5-4 Cutting position of test piece for tension test hardness test

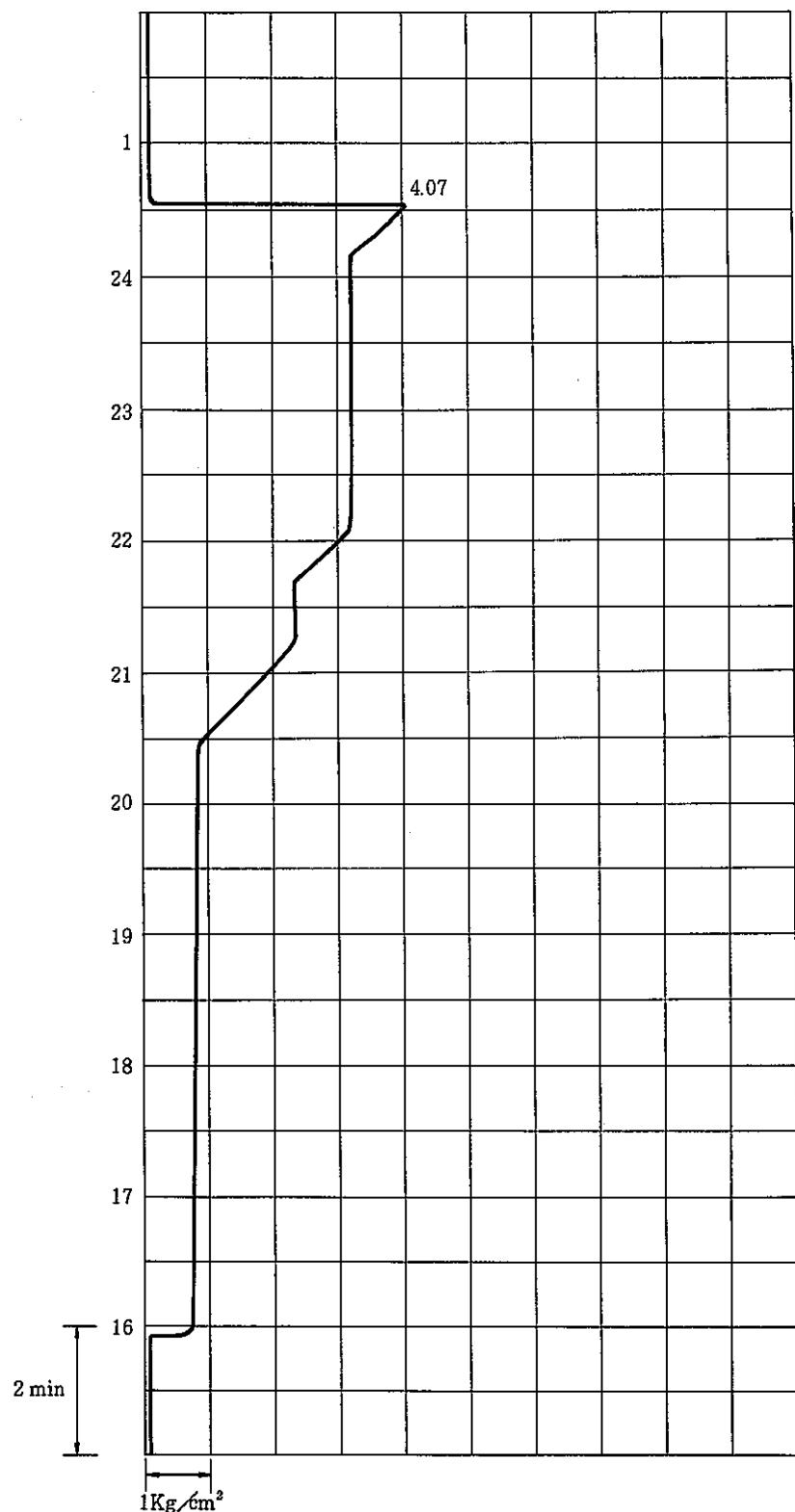


図 6-1 蒸発器 (I) 昇圧過程

Fig. 6-1 Pressure rising curve evaporator (I)

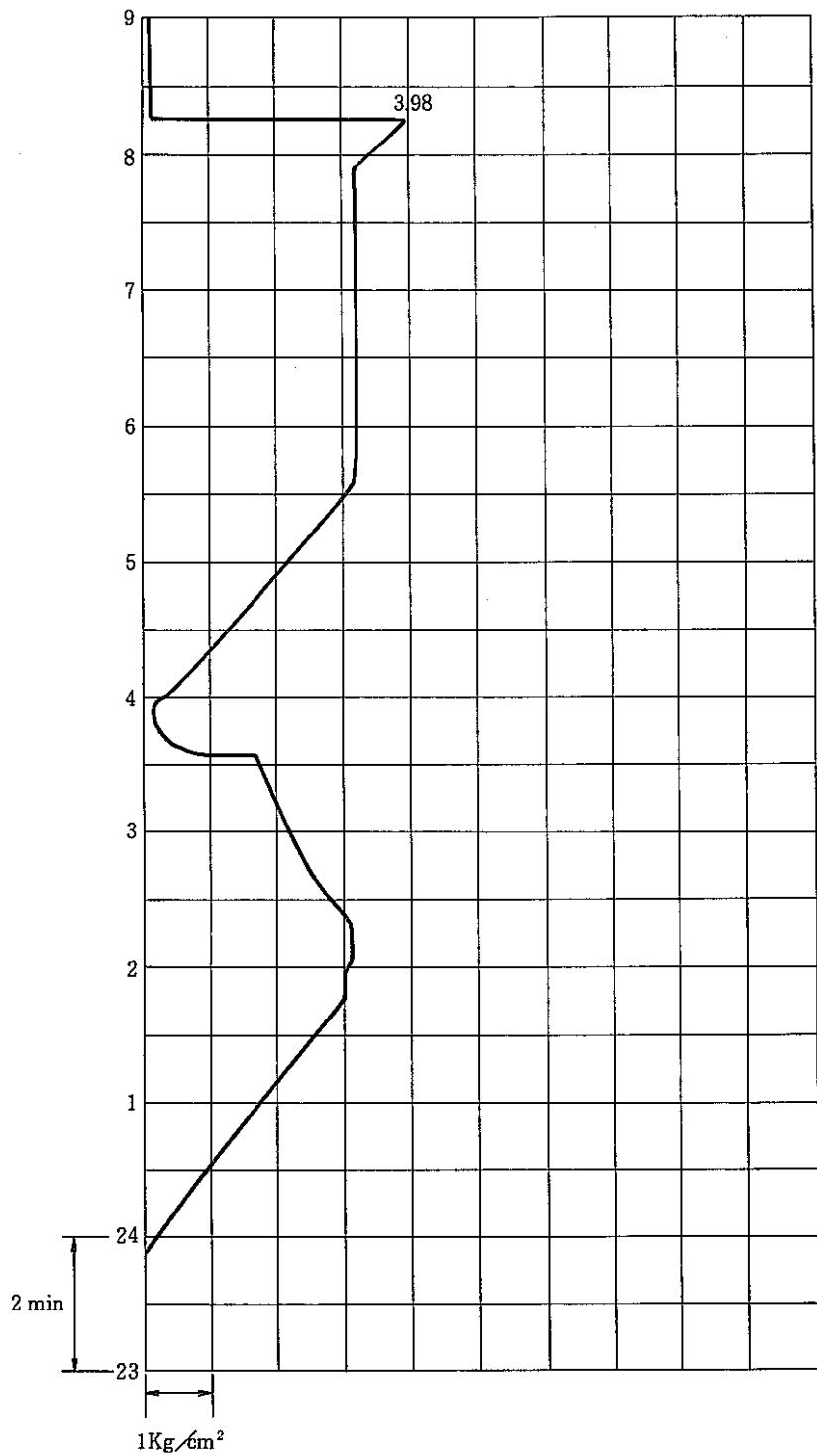


図 6-2 蒸発器(II)昇圧過程

Fig. 6-2 Pressure rising curve of evaporator (II)

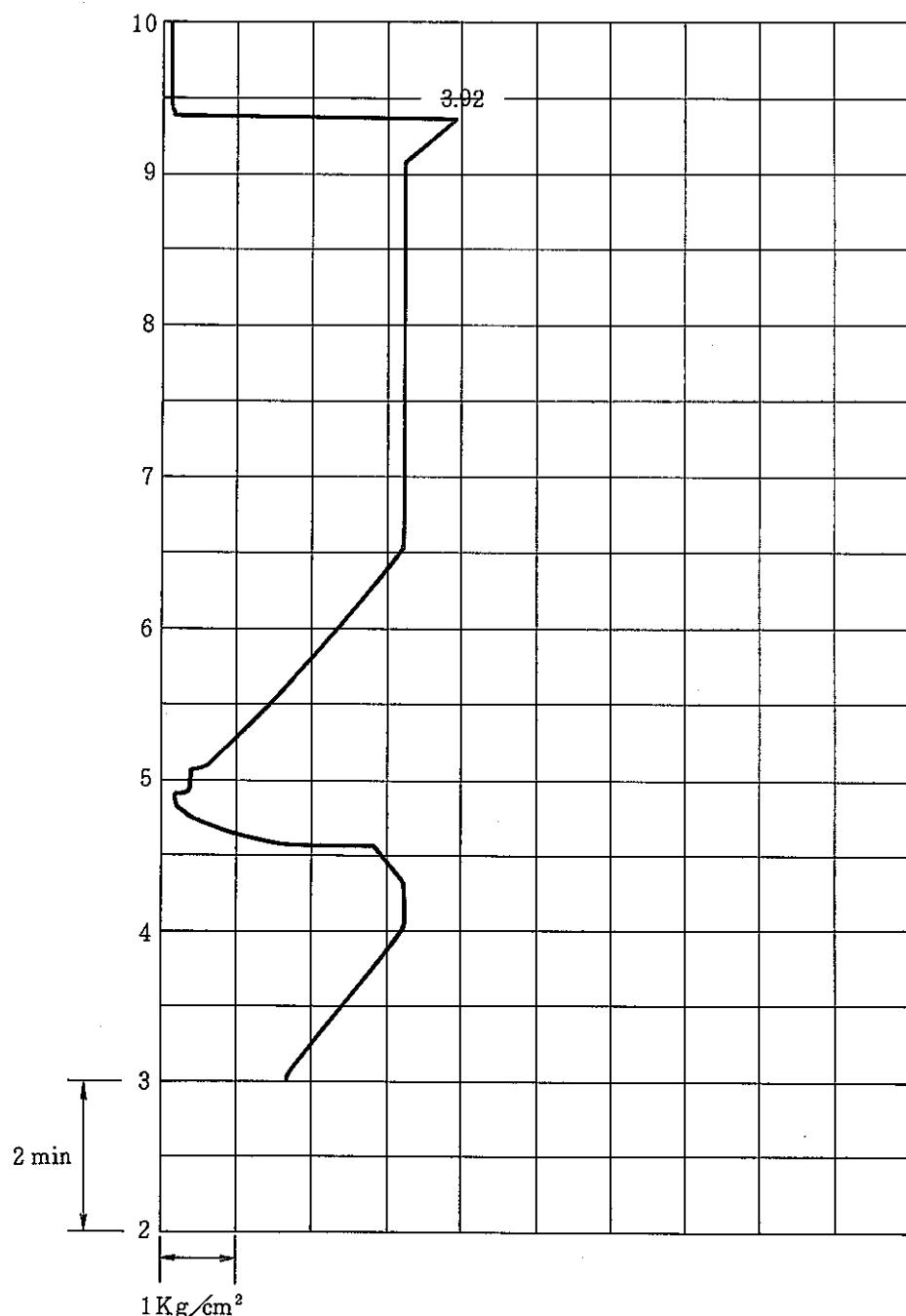


図6-3 蒸発器(III)昇圧過程

Fig.6-3 Pressure rising curve of evaporator (III)

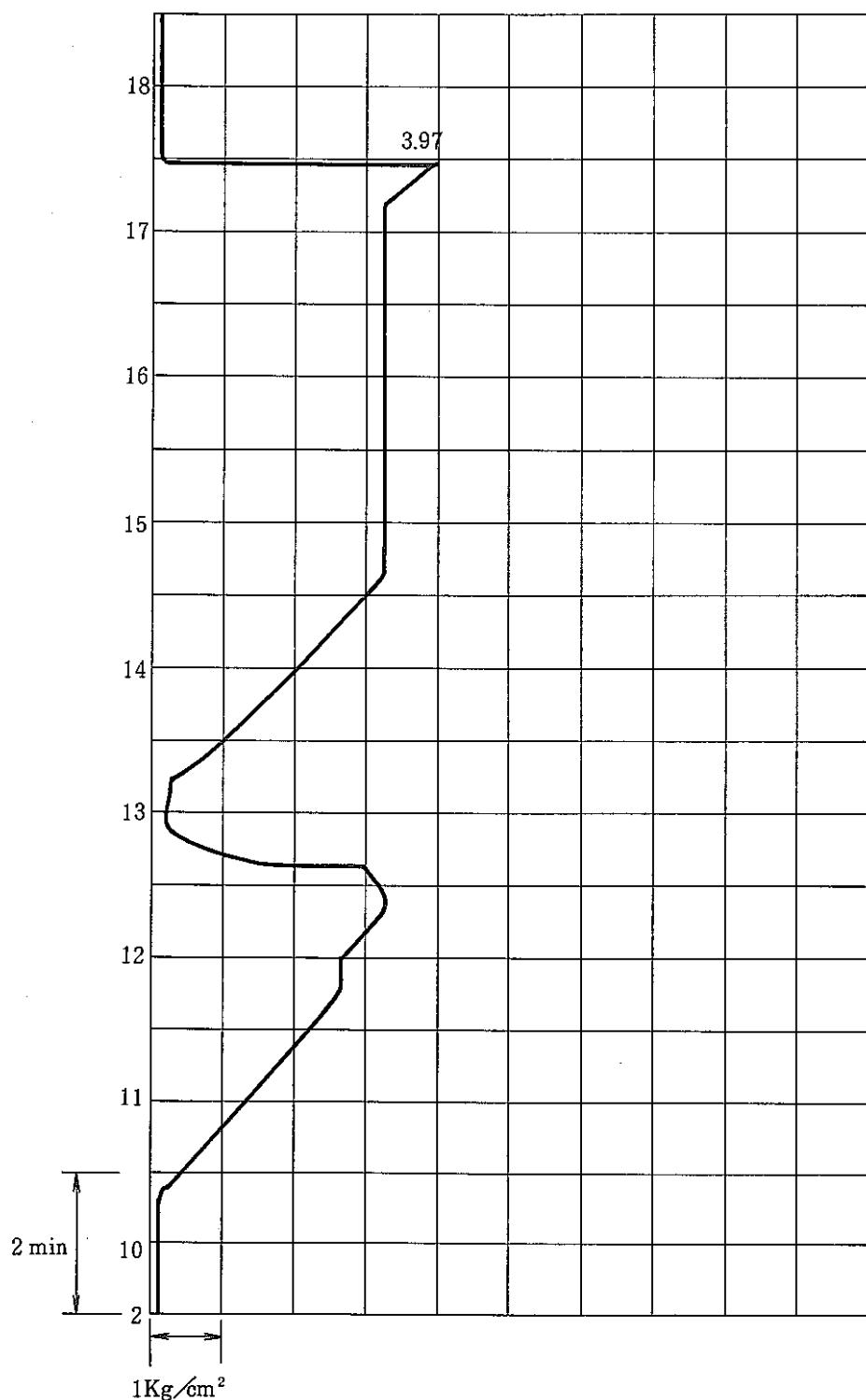


図6-4 過熱器昇圧過程

Fig.6-4 Pressure rising curve of superheater

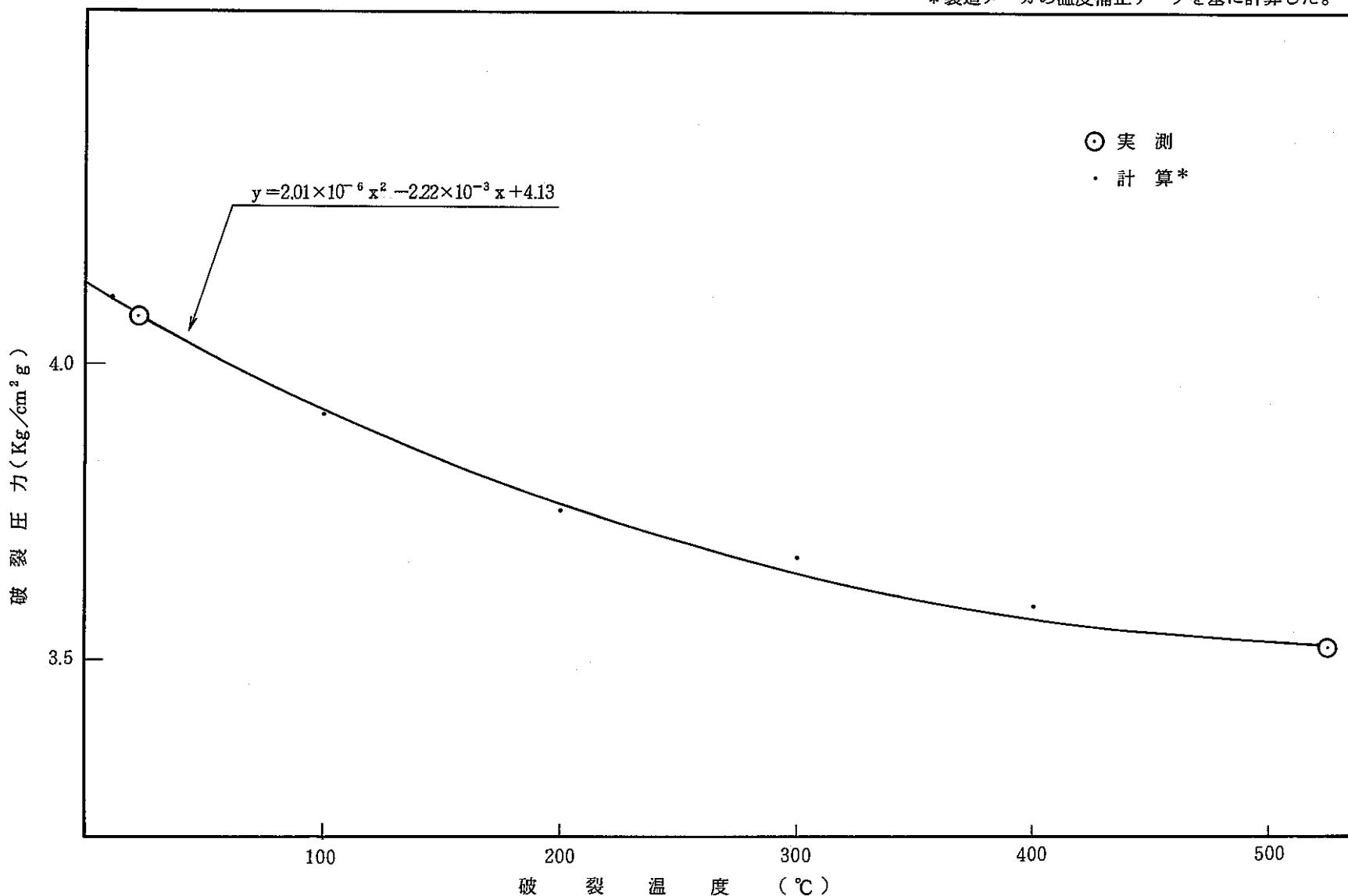


図 6-5 蒸気発生器 圧力開放板（インコネル）の破裂圧力と温度の関係

Fig.6-5 Relation of burst pressure and temperature of rupture disk (inconel) for steam generator

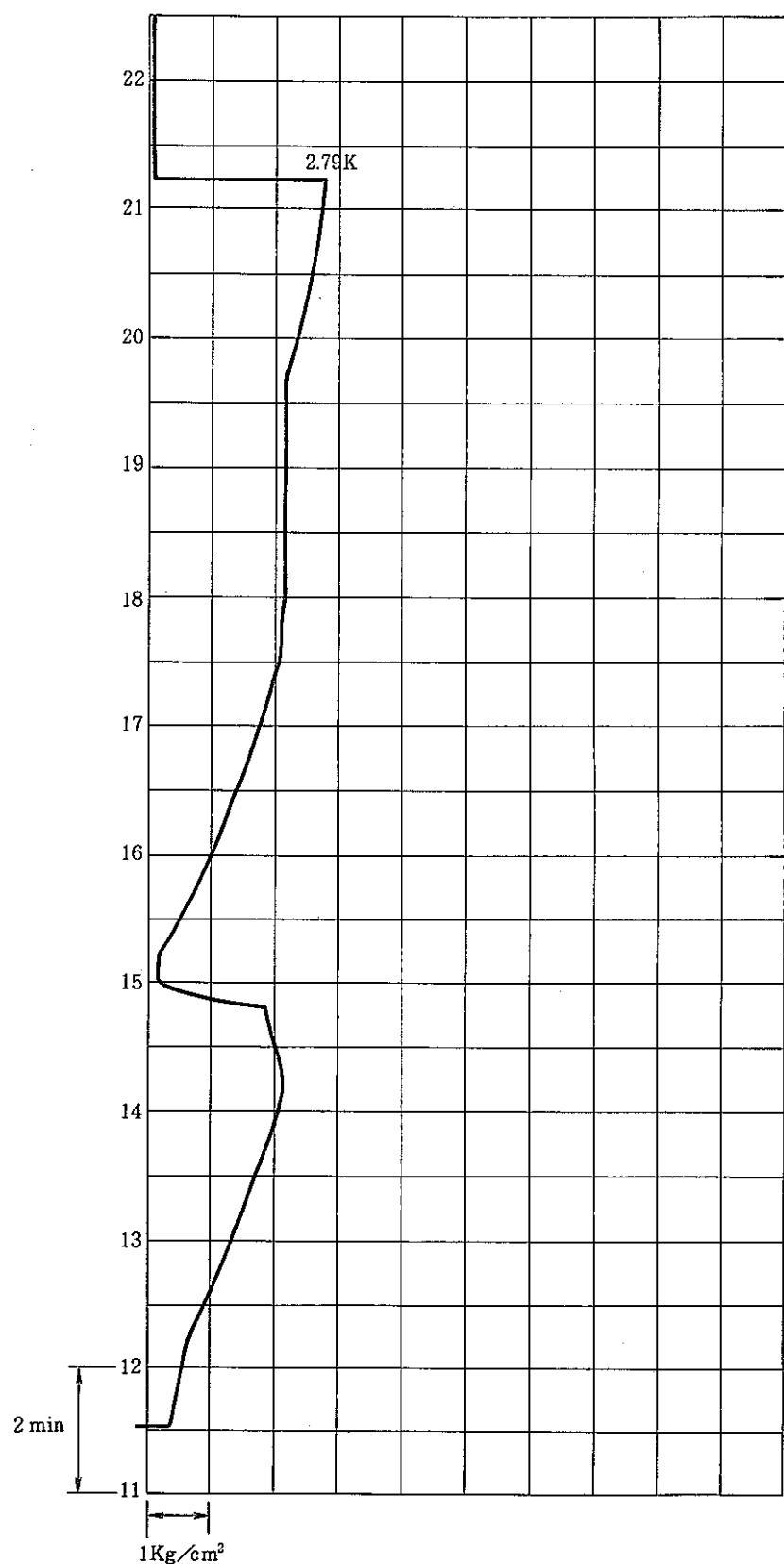


図 6-6 収納容器 (I) 昇圧過程

Fig. 6-6 Pressure rising curve of reaction product vessel (I)

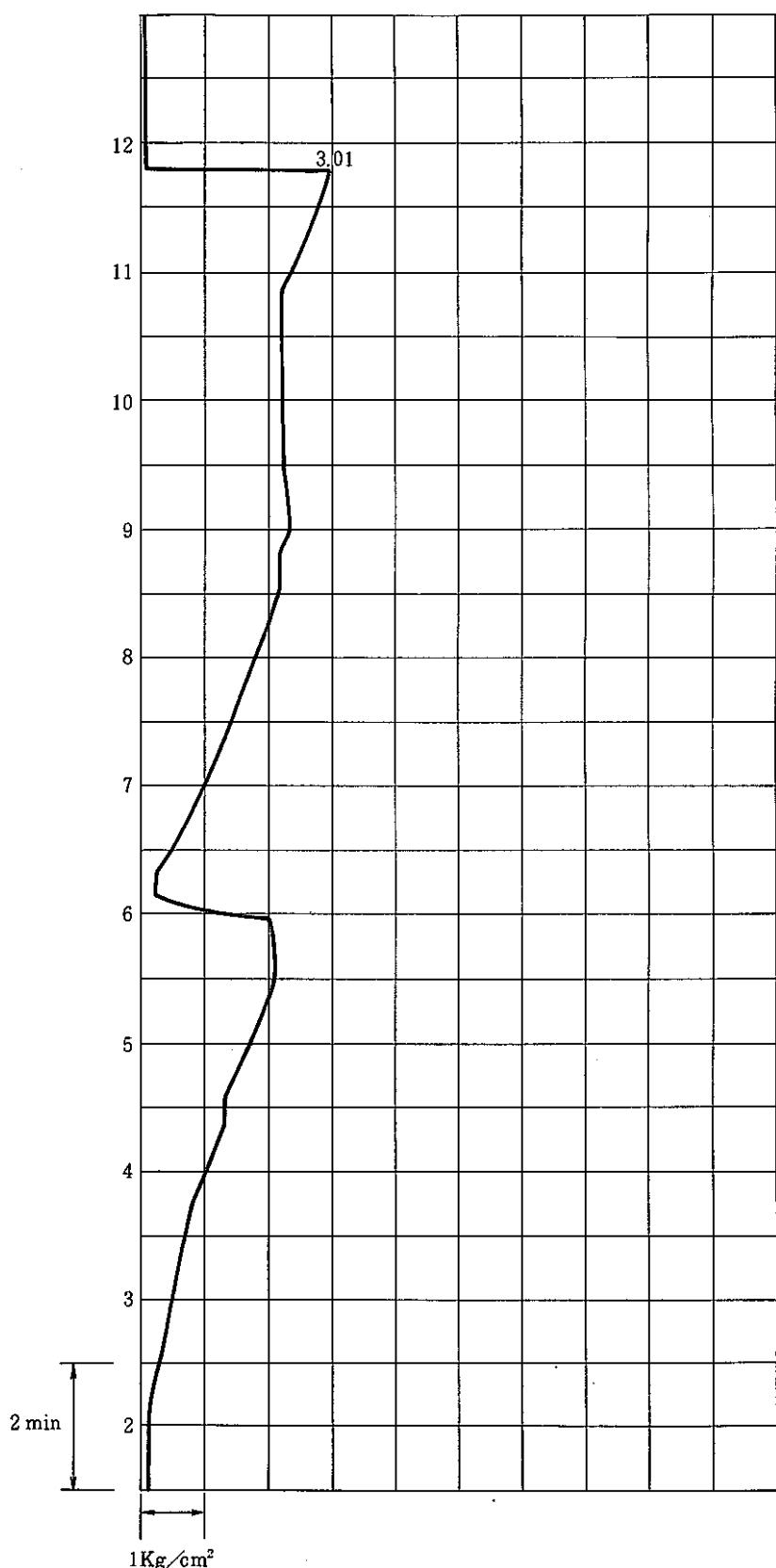


図 6-7 収納容器 (II) 昇圧過程

Fig. 6-7 Pressure rising curve of reaction product vessel (II)

破 裂 壓 力 (kg/cm²g)3.0
2.0
1.0

$$y = 8.463 \times 10^{-6}x^2 - 8.093 \times 10^{-3}x + 3.297$$

○ 実 測
・ 計 算*

100 200 300 400
破 裂 温 度 (°C)

* 製造メー カの温度補正データを基に計算した。

図 6-8 収納容器圧力開放板 (SUS 316) の破裂圧力と温度の関係

Fig. 6-8 Relation of burst pressure and temperature of rupture disk (sus 316) for reaction product vessel

(未使用品 採取位置 1)

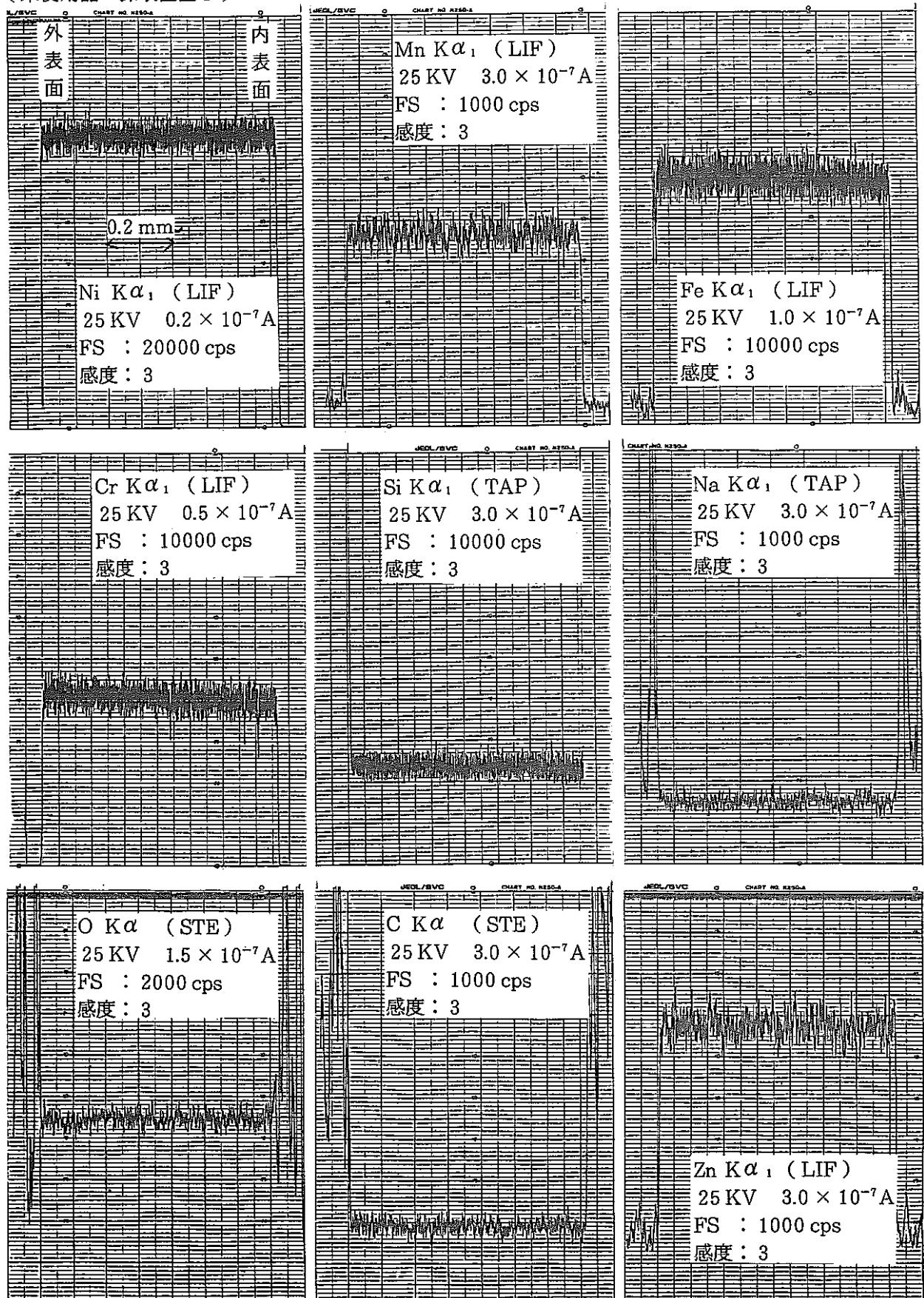


図 6-9 蒸発器(Ⅲ)圧力開放板の採取位置 1 の線分析

Fig. 6-9 Linear analysis of rupture disk for evaporator(Ⅲ) at cutting position 1

(未使用品 採取位置 2)

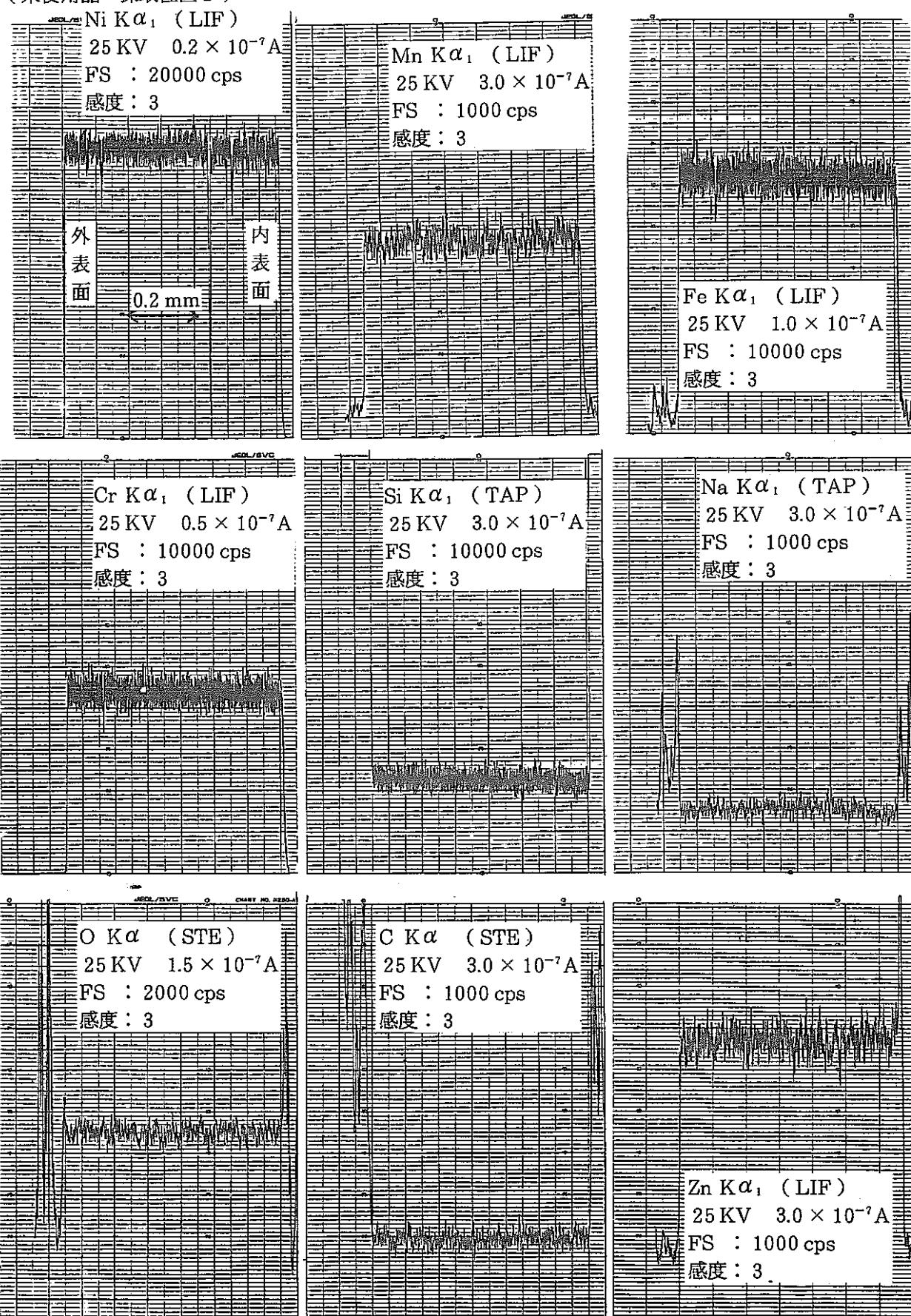


図 6-10 蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 2 の線分析

Fig. 6-10 Linear analysis of rupture disk for evaporator(III) at cutting position 2

(未使用品 採取位置 3)

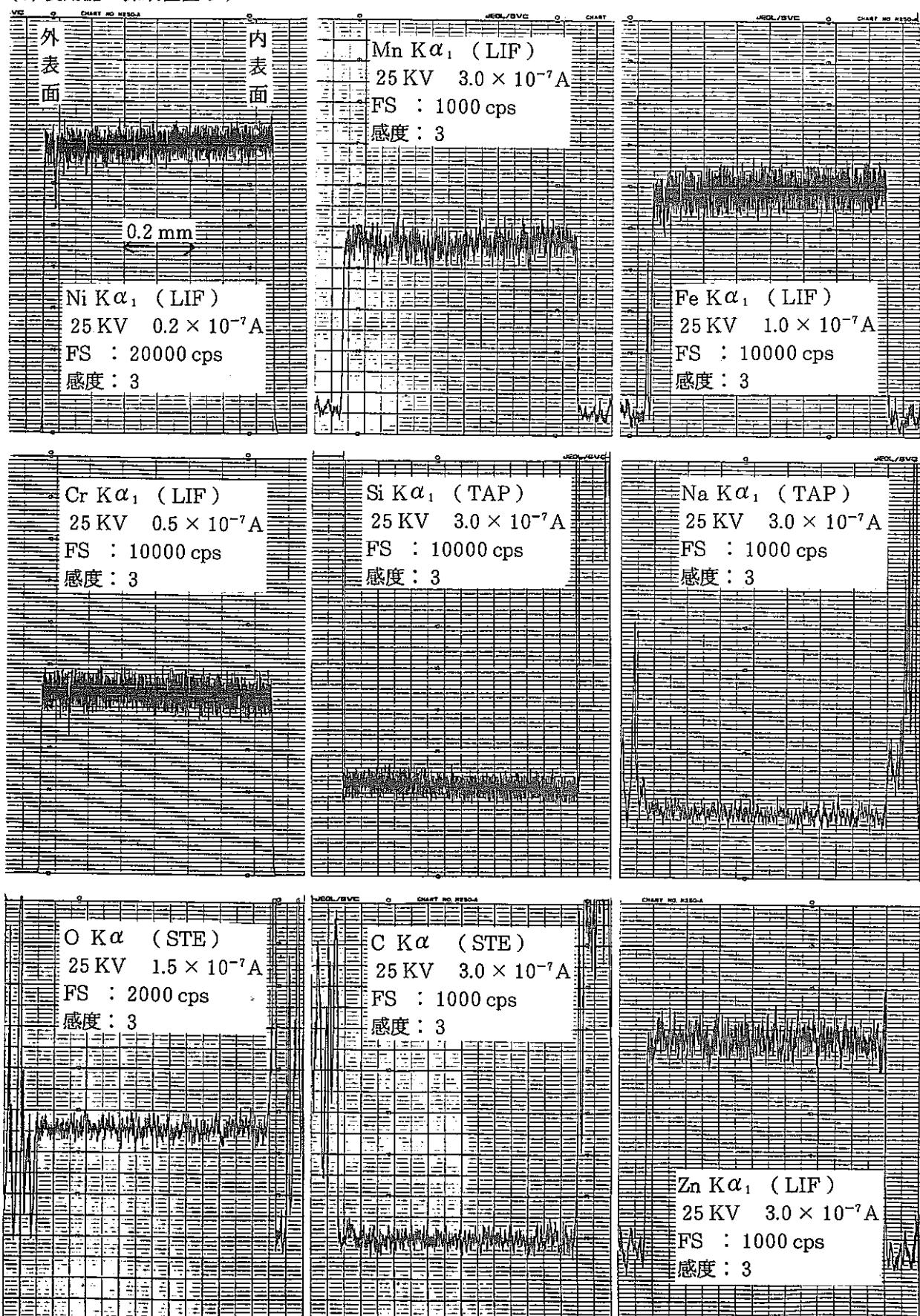


図 6-11 蒸発器(III)圧力開放板の採取位置 3 の線分析

Fig. 6-11 Linear analysis of rupture disk for evaporator(III) at cutting position 3

(使用品 採取位置 1)

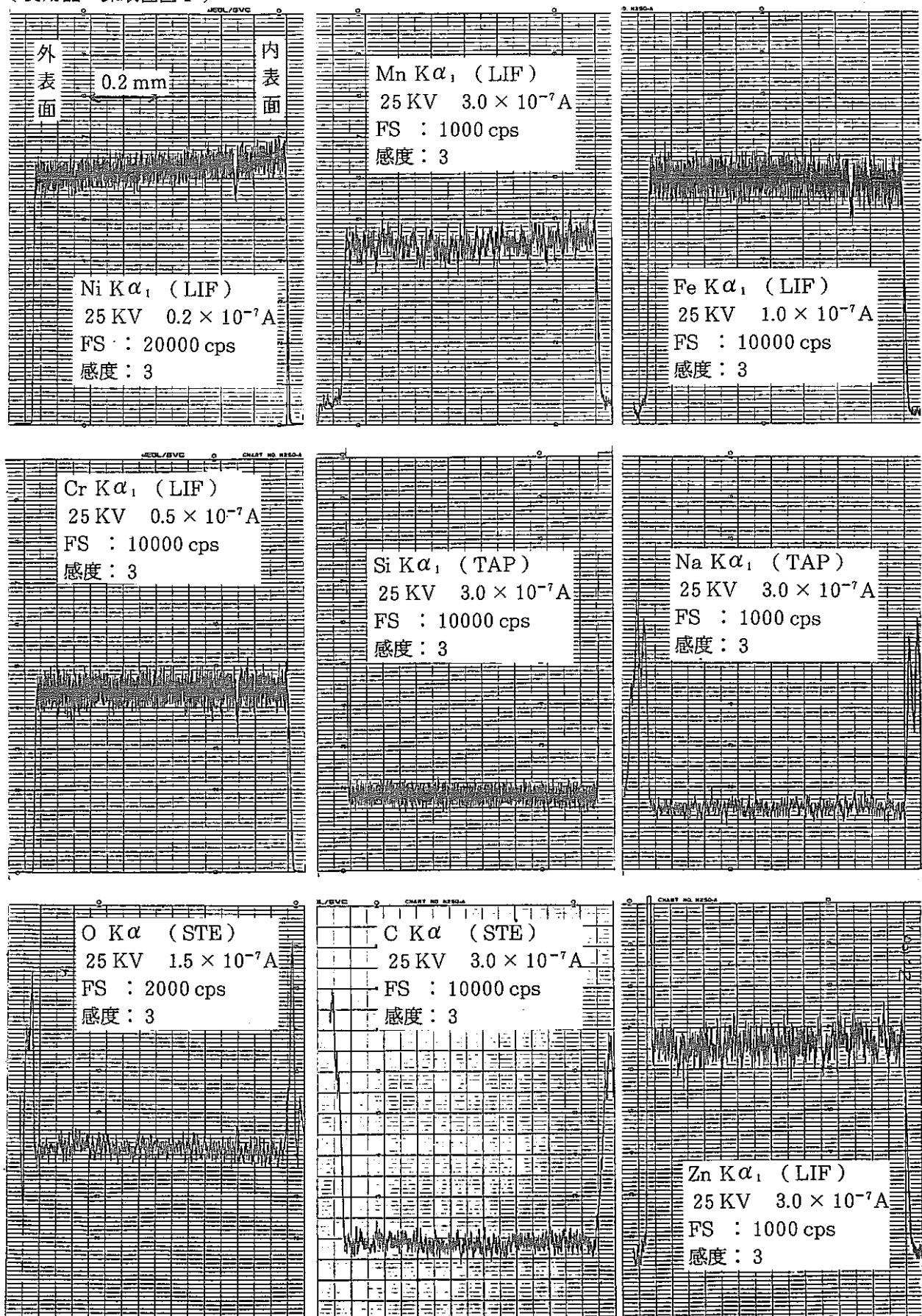


図 6-12 蒸発器II圧力開放板の採取位置 1 の線分析

Fig. 6-12 Linear analysis of rupture disk for evaporator(II) at cutting position 1

(使用品 採取位置 2)

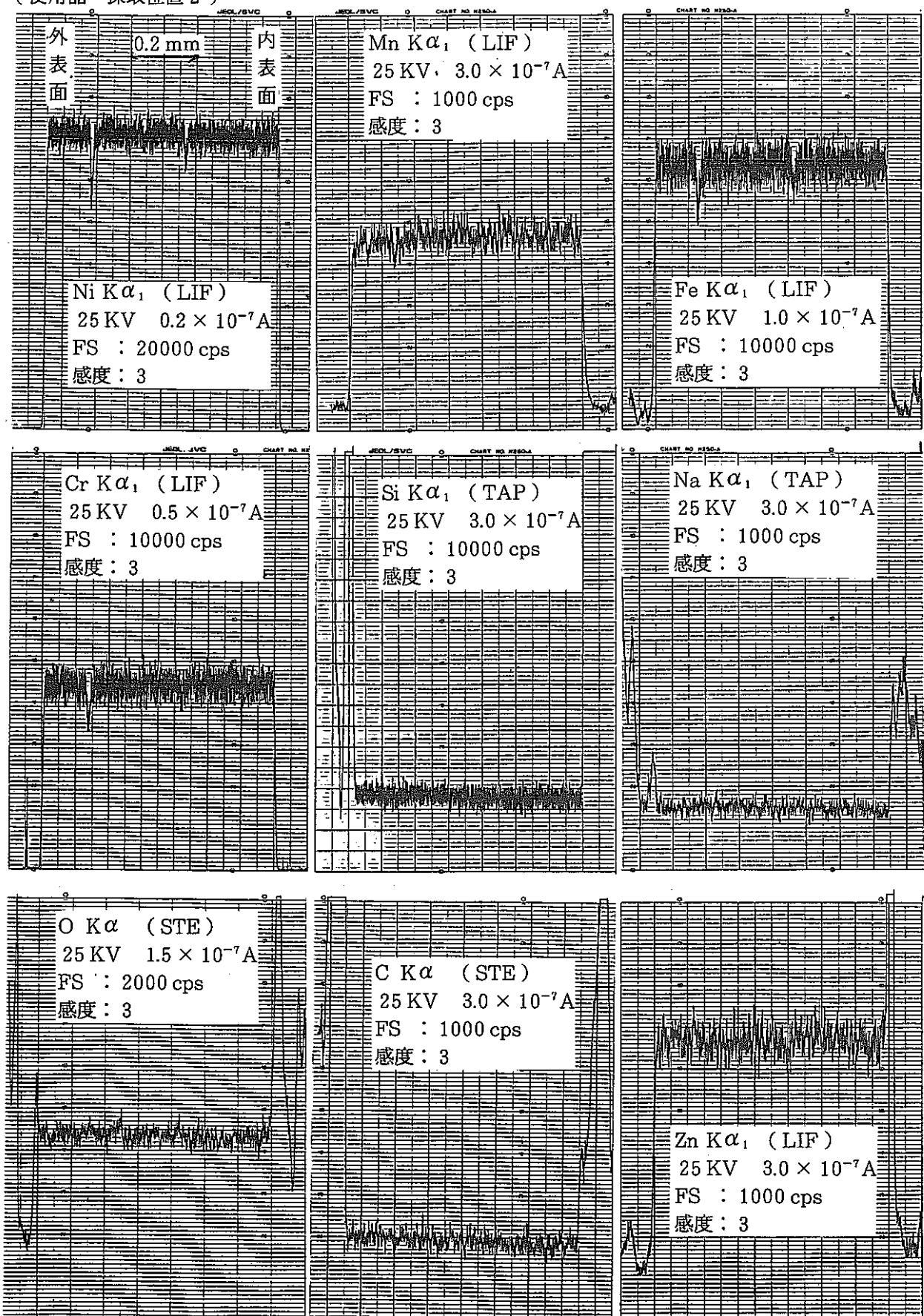


図 6-13 蒸発器Ⅲ圧力開放板の採取位置 2 の線分析

Fig. 6-13 Linear analysis of rupture disk for evaporator(III) at cutting position 2

(使用品 採取位置 3)

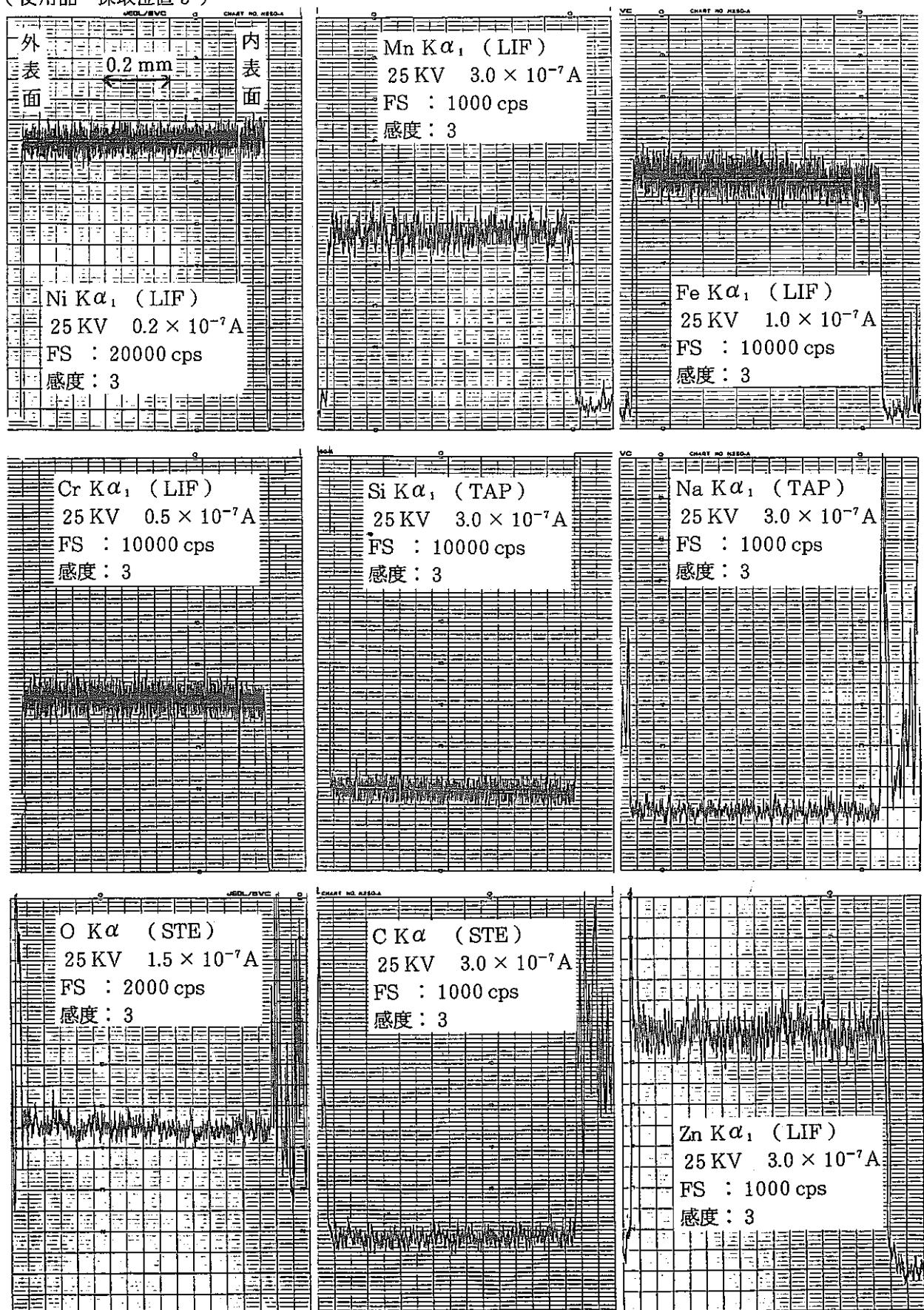


図 6-14 蒸発器(II)圧力開放板の採取位置 3 の線分析

Fig. 6-14 Linear analysis of rupture disk for evaporator(III) at cutting position 3

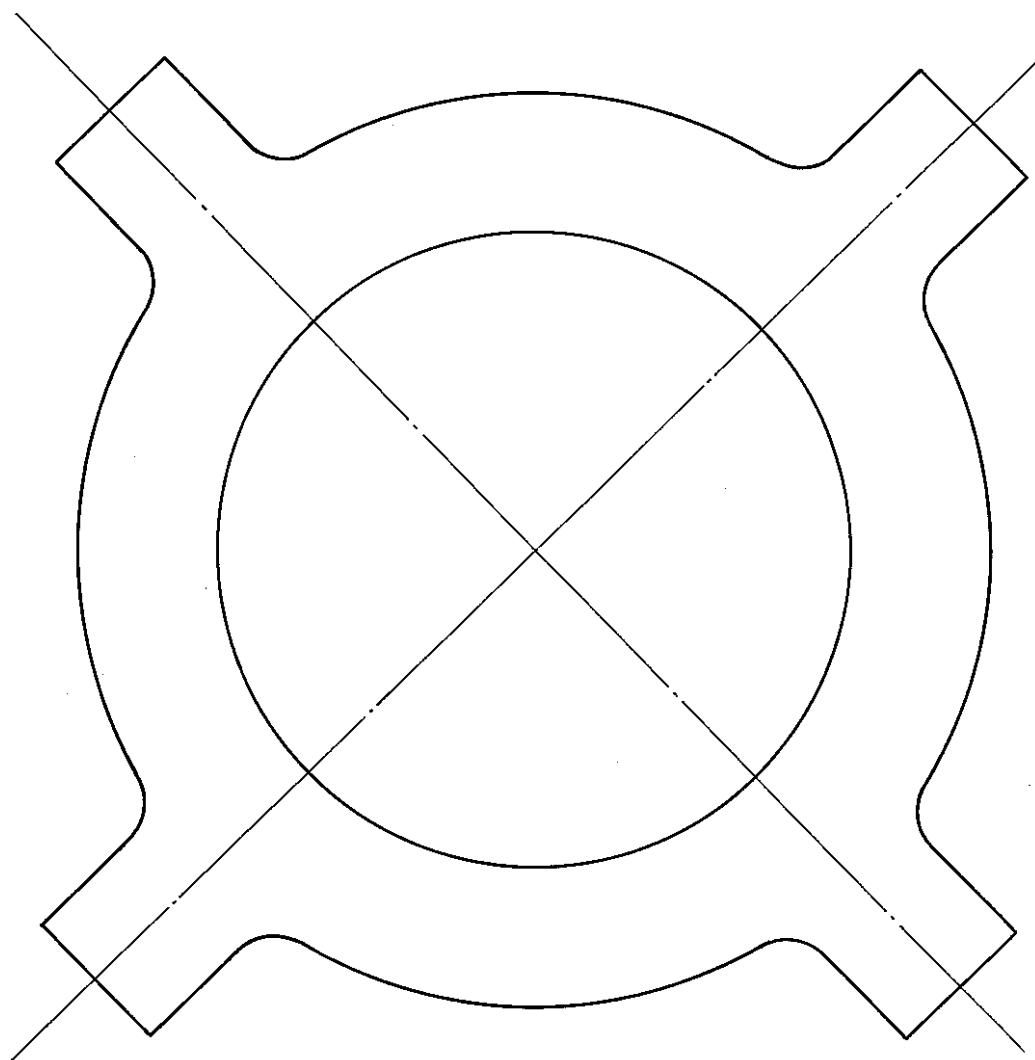


図 7-1 圧力開放板の改良図
Fig. 7-1 Improvement of tension loaded rupture disk

付 錄

付録一 I 各国蒸気発生器プラントでの圧力開放板

付録一 II 圧力開放板に関する規格
ASME SEC III
JIS B8226

付録一 III 各種インコネル材料の特徴
(メーカー カタログより)

付録—I 各国蒸気発生器プラントの圧力開放板

圧力開放板は、ナトリウムー水反応に対する蒸気発生器の安全保護系の重要な機器の一つである。この圧力開放板は、各種の型のものが製作され、実用化あるいは開発段階も含めて種々のプラントで使用されている。本資料は、各国の使用例、圧力開放板の破裂例、各種圧力開放板の比較について日本機械学会のナトリウム加熱大型蒸気発生器の水漏洩対策調査研究〔2〕から抜萃したものである。

1. 各国の蒸気発生器プラントで使用されている圧力開放板の仕様

(1) CRBRP(米)⁽³⁾

CRBRPの蒸気発生器（以後、SGと略称）システムにおいては、Evaporator（以後、EVと略称）の出口配管、Superheater（以後、SHと略称）の入口配管にそれぞれ放出系が設けられ、圧力開放板（以後、RDと略称）が設置される計画である。（図AI-1参照）従って、RDはナトリウムに接した配置である。使用されるRDはGEの開発計画に基づいて、Fike Metal Products Inc. で開発されたものである。図AI-2にその形状を示す。反転バックリング型ナイフエッジ付きのディスク2枚で構成され、口径はEV、SHとも18"である。図中から分るようにRDはリングにシール溶接され、そのサブアセンブリはフランジにシール溶接される。この構造は、RDの取替えが迅速にできるよう配慮されたものである。SGシステムはASME, Sec III-Div 1, Class IIに分類されてきたものであるが、Class Iに合致するよう設計・製作されている。直列2重ディスクは、ASME Boiler and Pressure Vessel Code Case 1598-1 (Protection Against Overpressure of Elevated Temperature Components—Section III, Class I) の但し書きに基くものである。^{*}

第1のRDからのナトリウムリークは2枚のディスク間に設けられたスパークラブ型検出器で検出される。また、その空間はアルゴンガスで充填され、ASMEコードに基づいて圧力がモニターされる。

SHのRD設計破裂圧力は、325 psid (2.24 MPa), 965°F (518°C) で、EVは325 psid (2.24 MPa), 775°F (413°C) である。また、ASMEコードからこの許容誤差は±5%である。

RDに使用される材料はInconel 600である。

このRDが選定された理由は、①破裂圧力が運転温度に依存しにくい、②独での実験で⁽⁴⁾、動的荷重に対する応答性がよい、③耐クリープ性に秀れている、④936°F (502°C) での降伏

* Sec II, Class Iコードの基本はラップチャディスクの使用を許していない。

強さが高い, ⑤SCTIの実験結果による。etc とされている。

(2) SNR-300(独)⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

図AI-3,4,5にSNR-300の放出系およびRD取付位置を示す。直管型SGおよびヘリカル型SGのいずれも、Φ150の放出系がナトリウム入口管、および出口管近傍の相対する位置に2系統設けられている。従って、ナトリウムに接した配置である。使用されるRDを図AI-6に示す。同図から分るように、反転バックリング型であるが、ナイフ等の切断装置は付いてない。ディスク自体はサポートリングに電子ビーム溶接されている。ディスクの開口メカニズムを直接記述した資料は手元にないが、同図からRD破断がこの溶接部で発生することが推定される。

RDの設計破裂圧力等は表AI-1中のSNR-300の欄を参照のこと。また、ドイツの材料規格を表AI-2に示した。

RDの温度条件はSGの運転状態からEV入口: 455°C, 出口: 355°C, SH入口: 520°C, 出口: 455°Cと推定される。

このRDの選定理由は、①動的荷重に対する応答性がよい、②耐クリープ性がよい、③バキュームサポートが不要のため完全開口しやすい、④ナイフ付きであると徐々に反転した時破裂圧力が高くなる、⑤肉厚が厚いので相対的にコロージョンに強い、etc とされている。

(3) Fermi(米)⁽⁸⁾

図AI-7にFermiのSG上部を示す。RD取付位置はSG頂部のカバーガス空間である。図AI-8に使用されたRDを示す。製作メーカーは、米国のBlack, Sivalls & Brison, Inc.であり、メーカーの型式名でDV型のRDである。これは言わゆる引張型で、ディスク部は上流側から、バキュームサポート、シール(ディスク)、上部金属(スリット付きディスク)の3枚で構成される。破裂圧は基本的にはスリット付きディスクに設けられたスリット穴間距離で調整され、真中のディスクはシールの効果をもつ。口径は24"で、破裂圧力は50~60psig; 600°Fで設計されている。

ディスク材は3枚とも、S.S. 316で、3枚は端部でサポート溶接されて一組となり、ホールダーに固定され、クロモリの法兰ジで取付けられている。

(4) もんじゅ(日本)

RDはカバーガス空間に設けられ、引張型が使用される設計となっている。EV, SH, 収納容器の主な仕様は下表のとおりである。

	寸法	設定圧	材質	運転圧力／温度	ホルダー部 設計圧力／温度
EV	26B	3 ± 0.3 kg/cm ²	インコネル750	1.0 kg/cm ² g / 469 °C	10 kg/cm ² g 525 °C
SH	20B	3 ± 0.3 kg/cm ²	インコネル750	1.44 kg/cm ² g / 505 °C	
収納容器	26B	1.5 ± 0.3 kg/cm ²	SUS 316	0.3 kg/cm ² g / 常温	

選定理由は、① SWAT-1, SWAT-3での使用実績、②反転バックリング型では不完全開口の可能性がある。etcとされている。

(5) BN-350(ソ連)⁽¹⁾⁽⁷⁾

図AI-9にBN-350のSGシステムのフローシートを示す。BN-350はカバーガス空間を有するSGであるが、RDの取付位置は明確ではない。RDは2.5 kg/cm²で特殊装置により強制破裂させるか、5 ± 3/2 kg/cm²で直接破裂する。強制破裂時間は0.8 secである。

(6) PFR(英)⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

PFRはカバーガス空間を有するが、放出系配管はナトリウムレベルより下に位置する。図AI-10にSuper-NOAHの試験装置を示す。この放出系はPFRと同一寸法で製作されている。同装置の放出系配管は、Ø200mmの2系統からなり、それぞれ異なる破裂装置が設けられている。同図中のHinged Plateは図AI-11に示したShear Pin型と同じ思想のものである。

2. ナトリウム-水反応に伴なうRD破裂例

(1) LLTRでのナトリウム-水反応試験⁽²⁾

使用されたRDはCRBRPと同一のものであるが、一重である。また、放出系配管もMSG試験容器の上、下2ヶ所に設けられている。試験結果を表AI-3に示す。

SWR-1では、上方のRDが開口しなかった。SWR-4, 5は下方のRDを使用せずに試験しているが、同表から分るように開口面積率はかなり低い値となっている。これはRDの破断特性そのものに関しての問題ではあるが、逆に、この程度の開口面積率でも放出系の機能として余裕があるとも考えられる。

(2) Interatomでのナトリウム-水反応試験⁽⁴⁾

SNR-300とほぼ同一のものが16個使用され(表AI-1参照)それらは完全にサポートリングから引き裂かれ、放出系にブローされた。開口は100%であった。文献(6)にはRD破裂圧の結果が5例紹介されているが、21~24barである。

* もんじゅ最新設計では、収納容器の設定圧には1.5 ± 0.15 kg/cm²、またEV, SH, 収納容器共材質はインコネル600である。

(3) Fermi SG でのナトリウムー水反応事故⁽⁸⁾

1962年11月30日No.1 SGにナトリウムが充填され、ナトリウム循環・通水試験が開始され、運転を始めて13日後、水素濃度増加が激しくなり、さらに約30分後、ナトリウム温度の増加と共にRDが破裂し、SGは自動的に隔離された。リーク規模は小および中リーク程度であった⁽¹⁾。

(4) SWAT-1 および SWAT-3 でのナトリウムー水反応試験

SWAT-1では8"および5"の引張型が使用され、47回試験が行なわれ、RDの作動状態は良好であった。

SWAT-3で使用されているRDの仕様を表AI-4に示す。EVにおいてはRun-1, 2まで反転バックリング型ナイフ付きが使用され、Run-3以降、引張型に変更された。これは、Run-2試験でRDの不完全開口(40%程度)が発生し、RDの破断性能に疑問がもたれたためである。

なお、この不完全開口の原因には以下の理由が考えられている。

1) ナトリウムー水反応時にナトリウムがRDに衝突して不均一な荷重条件となり、低圧でバッククリングした。

2) フランジの片締、あるいは、試験前のRDに変形があり、低圧でバッククリングした。

Run-3～Run-6で使用された引張型RDにおいては全て完全開口であった。

(5) BN-350 SG でのナトリウムー水反応事故⁽¹⁾

BN-350 No.6 SGで発生した。リーク開始約5時間後に水系ダンプを手動で開始し、その数分後にカバーガス圧力が2.5 kg/cm²に上昇した。非常保護システムは自動で作動し、強制的にRD破裂、ポンプトリップ等の一連の保護動作が作動した。

なお、爆発プロセスはなく、リークした総水量は300～500 kgであった。

3. 各種RDの比較

(1) 破裂メカニズム

各種RDを図AI-11に示す⁽¹⁰⁾。この他に、SNR-300で使用されている型、Fermi SGで使用された型がある。

引張型(Prebulged disk)では、圧力が凹面に加えられるとディスク材に引張応力が働き、材料の引張強さに達すると、最も弱い部分から裂け、それが流体によりさらに押されることで開口に至る。従って破裂圧力は運転環境での材料の強さに依存する。

反転バックリング型では、圧力が凸面に加えられ、その材料と形状で決まるバックリング圧力に達すると不安定により反転し破裂する。従ってディスク材に作用する応力は圧縮応力となる。応力挙動のこの差を示したものが図AI-12である⁽⁴⁾。また、破裂圧力には材料の引張り強さでなく継弾性係数に依存するので、環境に対する影響は小さいと考えられている。ディスク板厚も同一破裂圧力設定の引張型に比べて、3～4倍⁽⁴⁾、5～10倍⁽¹¹⁾ある。

しかし、同じ反転バックリング型でもナイフ付き(CRBRPetc)とSNRの型がある。ナイフ付きの場合は、反転して、ナイフに飛び移るその衝撃力と、圧力による荷重の両方によって、切り裂かれる。従って、反転の際の衝撃力が小さい場合は、完全開口するために設定圧力の数倍の圧力が必要となることがある。

なお、いずれの型も破裂圧力の半実験式が得られている⁽¹⁰⁾。最近では、有限要素法を用いて反転バックリング型の過渡応答も解析されている⁽¹¹⁾。

スナップオーバ型はバネ(Belleville spring)で支えられた引張型のディスクを使用し、設定圧力に達するとトグルのように動き、カッターで切断される。従って、バネが破裂圧力を決定する。

シアピン型は、ディスクに加わる荷重をピンが支えているが、設定圧力に達するとピンが剪断され、ディスクサポートが排除され、ディスクが開口する。ただ、ディスク外の付加質量があるので、応答速度が引張型に較べて10~25 msec遅いと言われている。

(2) RD 開口速度

Interatomのナトリウムー水反応実験によれば、動的負荷に対して反転バックリング型がすぐれているという結果を得ている⁽⁴⁾。図AI-13, 14にその結果を示す。図AI-13は反転型のもので、ナトリウムー水反応の初期圧力パルスとバックリング信号の関係を示したものである。RDの静的破断圧力は20 barであるが、その後 1.35 msec で信号が出ている。圧力計測位置とRDの距離を考慮に入れると、約20 barで破断している。

図AI-14は引張型の場合で、14 msec後の準静的最大値に達した時RDが破裂している。

(3) 耐久性

材料の違い、型の違いで、種々の結果が得られている。

文献(4)によれば、図AI-15の関係が得られており、反転バックリング型が秀れているとしている。

しかし、引張型でも、Fermi SGで使用されたRDと、未使用のRDの破裂試験の結果ほとんど差がなかったという実験例⁽⁸⁾、あるいはSCTIでの6060時間運転後の破裂試験で、破裂圧力が設計範囲に入っていたという実験例⁽³⁾もある。(但し、Inconel-600)なお、耐クリープ、コロージョン、浸炭の影響の研究は進行中である。

(4) 運転圧力／破裂圧力

RDの誤動作の観点からみると、運転圧力／破裂圧力が大きいほど、余裕があると言える。メーカー、カタログによれば⁽¹¹⁾、反転型(RB)…90%，引張型(B型)…70%，スリットディスク付き引張型(D型)…80%，である。

4. まとめ

これまで、各種プラントのRD仕様、各種RD破裂例、RDの比較を行なってきたが、まだ充

分整理されておらず、調査結果も矛盾している面も含んでいる。

しかし、カバーガスの有無に着目し、ナトリウムー水反応現象との関連性で考えると、次のように結論される。

引張型は長期間の耐久性に問題があり、応答速度が遅いという欠点をもつが、確実に開口するという利点がある。従って、カバーガスを有する SG のナトリウムー水反応現象のように、圧力変動が比較的ゆるやかな場合には問題はなく、ガス空間に位置するというメリットも有している。

反転バックリング型は秀れた長所を有するが、特にナイフ付きの場合、完全に開口しないことがあるという欠点をもっている。

総じて、接液型で長期間の使用に耐え得る RD の開発は今後も必要であるといえる。

Table AI-1 Reversed buckling discs in steam generator operation and for SNR-300 reactor plant

	Nom. Diam. [mm]	Rupture pressure [bar]	Sodium temp. [°C]	Disc material *	Operating time [h]**	Number of discs
KNK reactor with 2 tube-in-tube steam generators	250	20	200-520	1.4961	26000	4
	150	20	200-520	1.4961	26000	2
	150	9.5	200-340	1.4571	7000	2
Life-time test KNK	250	20	540	1.4961	22500	8
50MW loop Hengelo	250	20	200-525	1.4541	7300 max	8
SNR-300 steam generators	150	17	200-520	1.4980	-	36
(Sodium-water reaction tests)	(150)	(17/20)	(200-450)	($\frac{1.4961}{1.4980}$)	(-)	(16)

* for explanation of German material number see Table AI-2

** on August 1974

Table AI-2 Compositions of Disc Materials (Guide Analysis)

German identification	C %	Cr %	Mo %	Ni %	V %	Ti %	Nb %	Mn %	P %	S %	Si %	Al %
1.4541	<0.08	17-19		9-11		5.0 min		< 2	<0.02	<0.02	<1	
1.4961	<0.06	15-17		12-14			<1.2	1-1.5	<0.02	<0.02	0.3-0.6	
1.4571	<0.08	16.5-18.5	2-2.5	10.5-12.5		5.0 min		< 2	<0.02	<0.02	<1	
1.4980	<0.03	15		1.25	26	0.25	2.1		1.5	<0.02	<0.01	0.04
												0.20

Table AI-3 Comparison of Pretest Transwrap Predictions with LLTR Test Performance

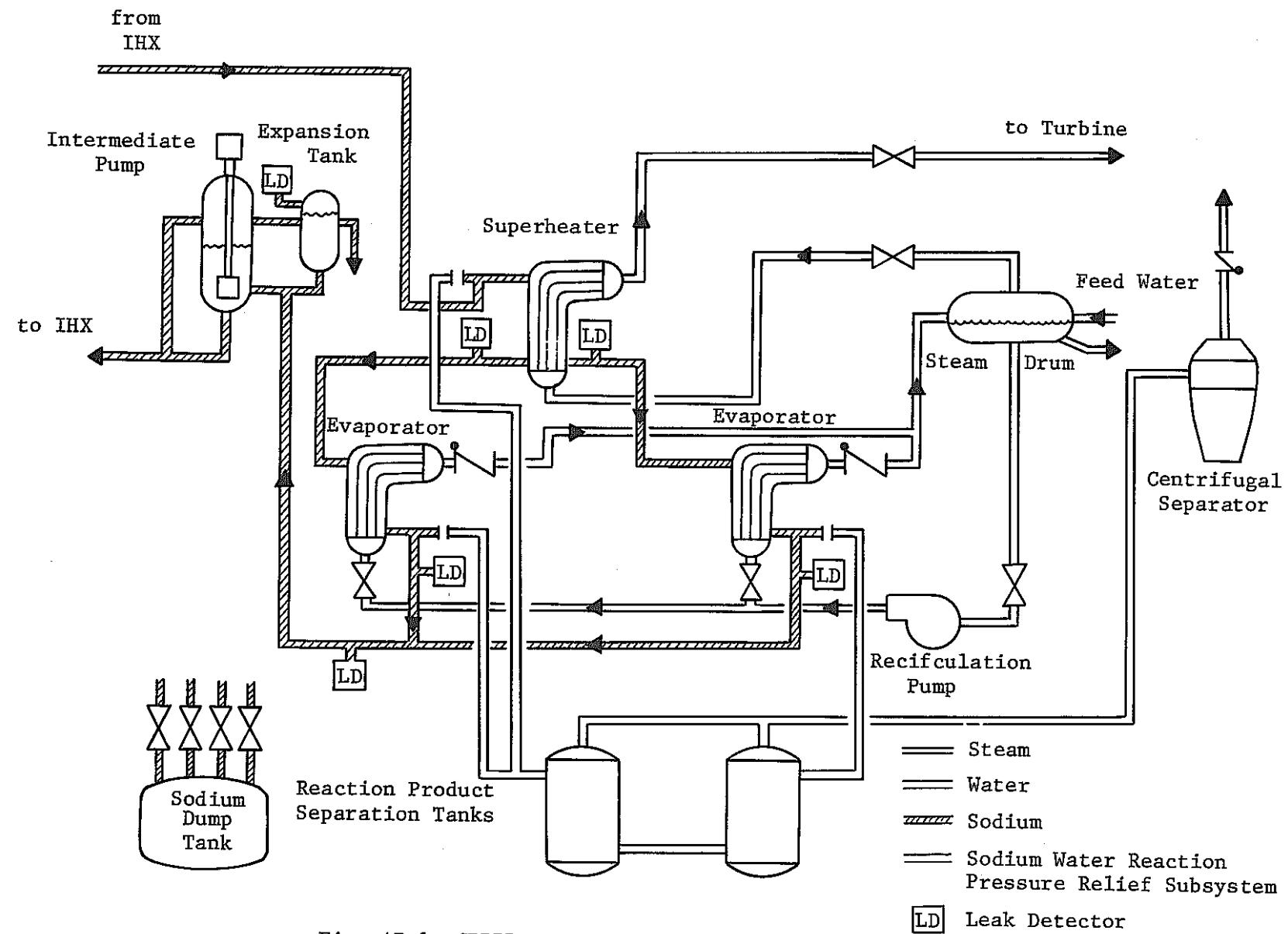
TEST DESCRIPTION	SWR-1		SWR-2		SWR-3		SWR-4		SWR-5	
Test Number	SWR-1		SWR-2		SWR-3		SWR-4		SWR-5	
Date Test Conducted	24 July 1976		10 December 1976		1 April 1977		1 July 1977		9 August 1977	
Rupture Simulation	1 DEG break in evaporator		1 DEG break in evaporator		1 DEG break in evaporator		1 DEG break in superheater		1 DEG break with inert gas	
Test Objective	Close coupled to relief system to minimize potential damage for initial test		Vertical section mid-span leak to minimize structure effects on bubble formation and growth		Hockey stick leak location to simulate most probable leak site		Compare effect of steam with initial liquid water injection		Compare effects of non-reactive fluid with steam	
Rupture Location	1470mm above lower tubesheet		6310mm above lower tubesheet		45mm from upper tubesheet		45mm from upper tubesheet		45mm from upper tubesheet	
Sodium Condition at Leak Site										
Temperature/Pressure	315°C/.84 MPa		331°C/.56 MPa		427°C/.80 MPa		427°C/.61 MPa		430°C/.62 MPa	
Water Side Conditions										
Inlet/Outlet Pressure	13.2/13.0 MPa		12.8/12.2 MPa		13.5/13.1 MPa		13.1/13.2 MPa		13.2/13.1 MPa	
Inlet/Outlet Temperature	290/328°C		281/328°C		295/343°C		352/331°C		263/285°C	
Phase at Leak Site	subcooled water		subcooled water		subcooled water		superheated steam		inert gas (nitrogen)	
REACTION ZONE PARAMETER	PREDICTED	MEASURED	PREDICTED	MEASURED	PREDICTED	MEASURED	PREDICTED	MEASURED	PREDICTED(a)MEASURED	
Peak Bubble Pressure MPa	2.90(f)	2.90	2.76	2.83(3.53)(e)	4.69	2.55	4.00	2.28	3.17	2.14
Peak Bubble Temp. °C	1338	815	1338	967	1338	913	1093	793	300	427(Na Temp.)
Steady State Water Injection Rate kg/s	1.8	1.1	2.0	1.1	4.5	3.6	1.8	1.9	1.8	1.8
ACOUSTIC PRESSURE OSCILLATION FREQUENCY, Hz	20	19	24	20	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
RELIEF SYS. RESPONSE PARAMETER										
RD response time, upper/lower ms	30/3.5		28(c)/2.6	26/6	24.4/4.0	20/14	18.1/13.1	22.5/(d)	20/(d)	20.5/(d)
Area of Rupture Disc Opening, upper/lower %	100/100		(c)/45	100/100	27/85	100/100	25/53	100/(d)	20/(d)	100/(d)
Peak Slug Velocity upper/lower, m/s	1.4/27.4		(c)/36	6.1/24	9.1/24	28/22	8.8/15	18/(d)	12/	141/(d)

- (a) These predictions were based on a pseudo steam flow in that steam properties were used for the gas in the bubble, but all effects of the chemical reaction were artificially set to zero.
- (b) The acoustic phenomena predictions and measurements for the tests with the break site in the "hockey stick" region indicate that the phenomena are more complex than for breaks in the vertical region.
- (c) Upper rupture disc yielded at 28ms after the break but the knife blade device failed to rupture the disc thus blocking flow through the upper relief line.
- (d) Lower rupture disc was blanked off after solid reaction products accumulated in the lower end of the MSG so that flow through the lower relief line would have been severely restricted.
- (e) Average of P610 and P611 for the peak of the initial ~1.3ms portion of the pressure spike.
- (f) Post-test evaluation and re-analysis with TRANSWRAP gave a revised value of 3.18 MPa (470 psia).

表AI-4 SWAT-3で使用したRD

	Run-3～6で使用	Run-1, 2で使用
メー カ	岸川特殊弁(株)	BS&B社
型 式	引張型 (Vサポート, 据強輪付き)	RB-90・7R 300 ANSI (反転バックリング式・ナイフエッジ付き)
ディスク径	Φ300 (12B)	Φ300 (12B)
ディスク材質	SUS 316	Inconel 750
設計破裂圧力	3.0 kg/cm ² +10% ^{注)}	3.0 kg/cm ² ± 6%
設 計 温 度	485 °C	515 °C
シール方法	F型	バイティングシール
ホルダー 設計圧力・温度	20 kg/cm ² G, 535 °C	

注)目標は7.5%であった。



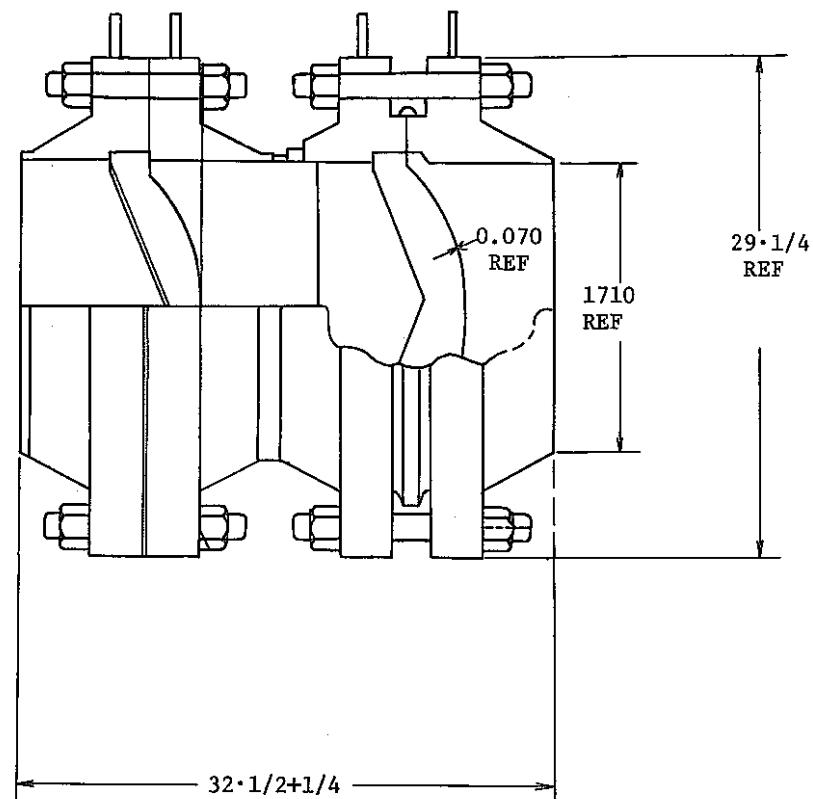


Fig. AI-2 Prototype Rupture Discs Assembly

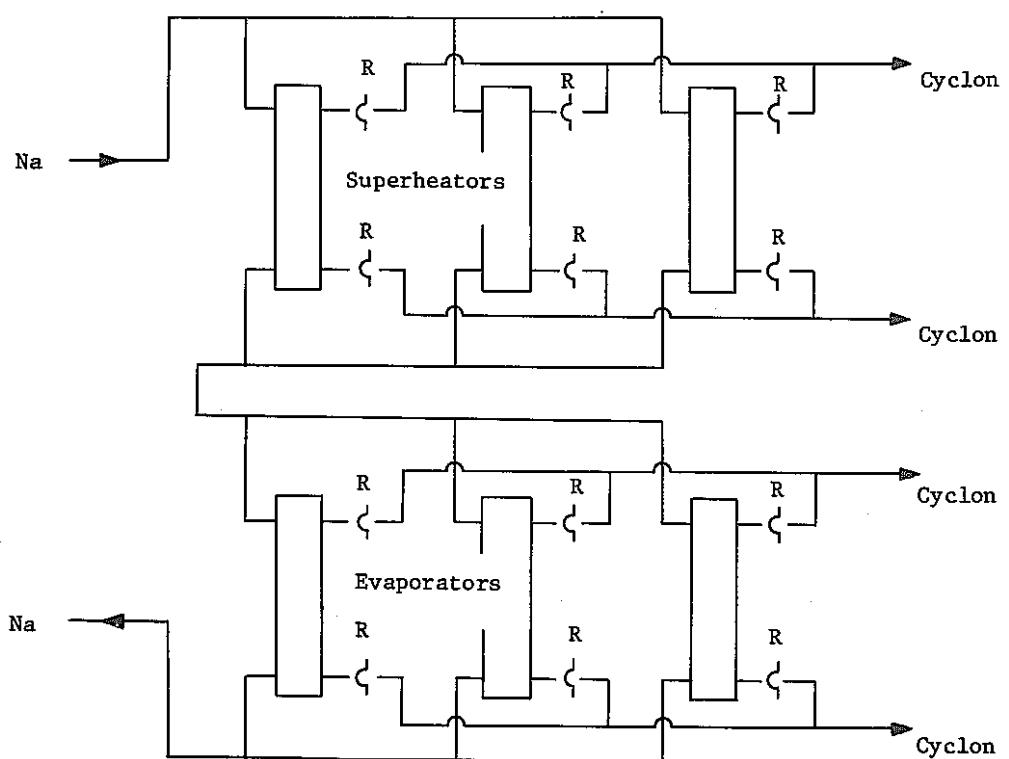


Fig. AI-3 SNR-Steamgenerator (1971) Direct Blow Down

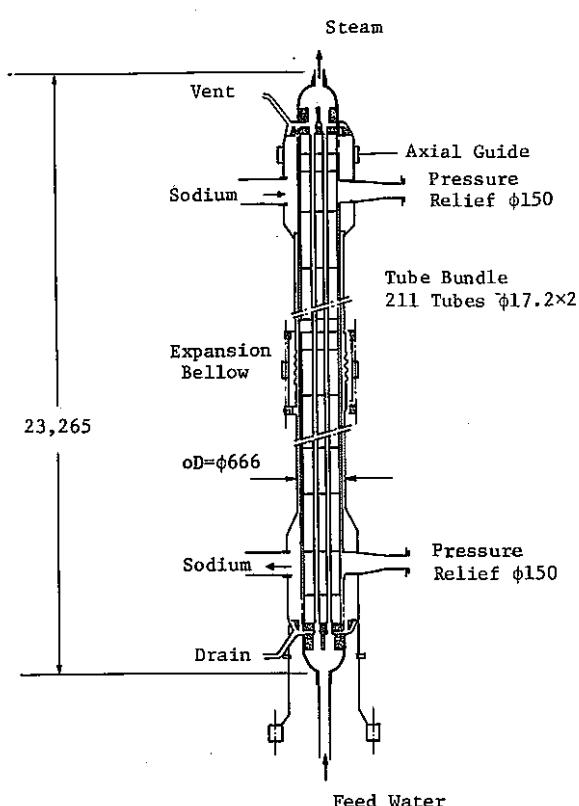


Fig. AI-4 SNR-Straight Tube Steam Generator - Evaporator

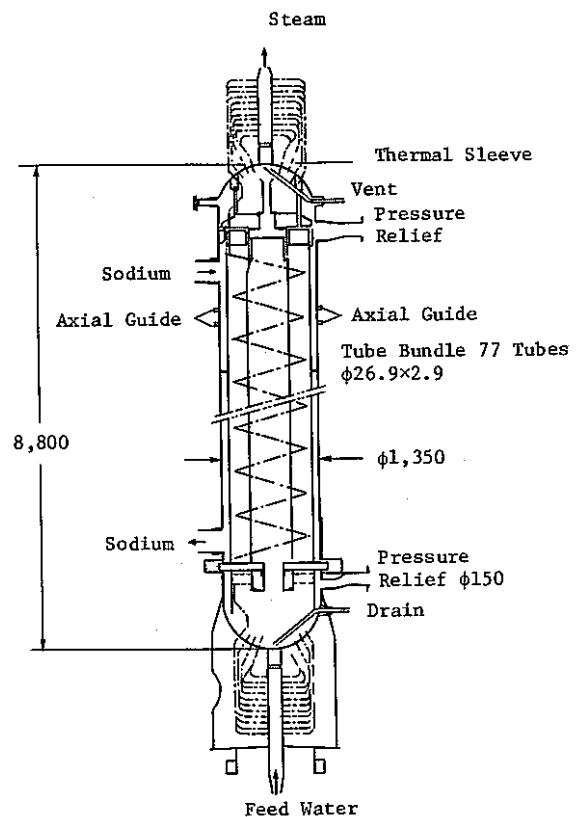


Fig. AI-5 SNR-Helical Coil Steam Generator - Evaporator

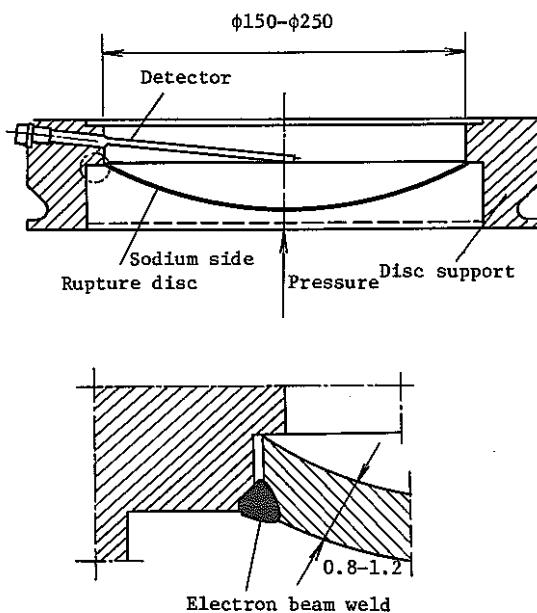


Fig. AI-6 Reversed Buckling Disc

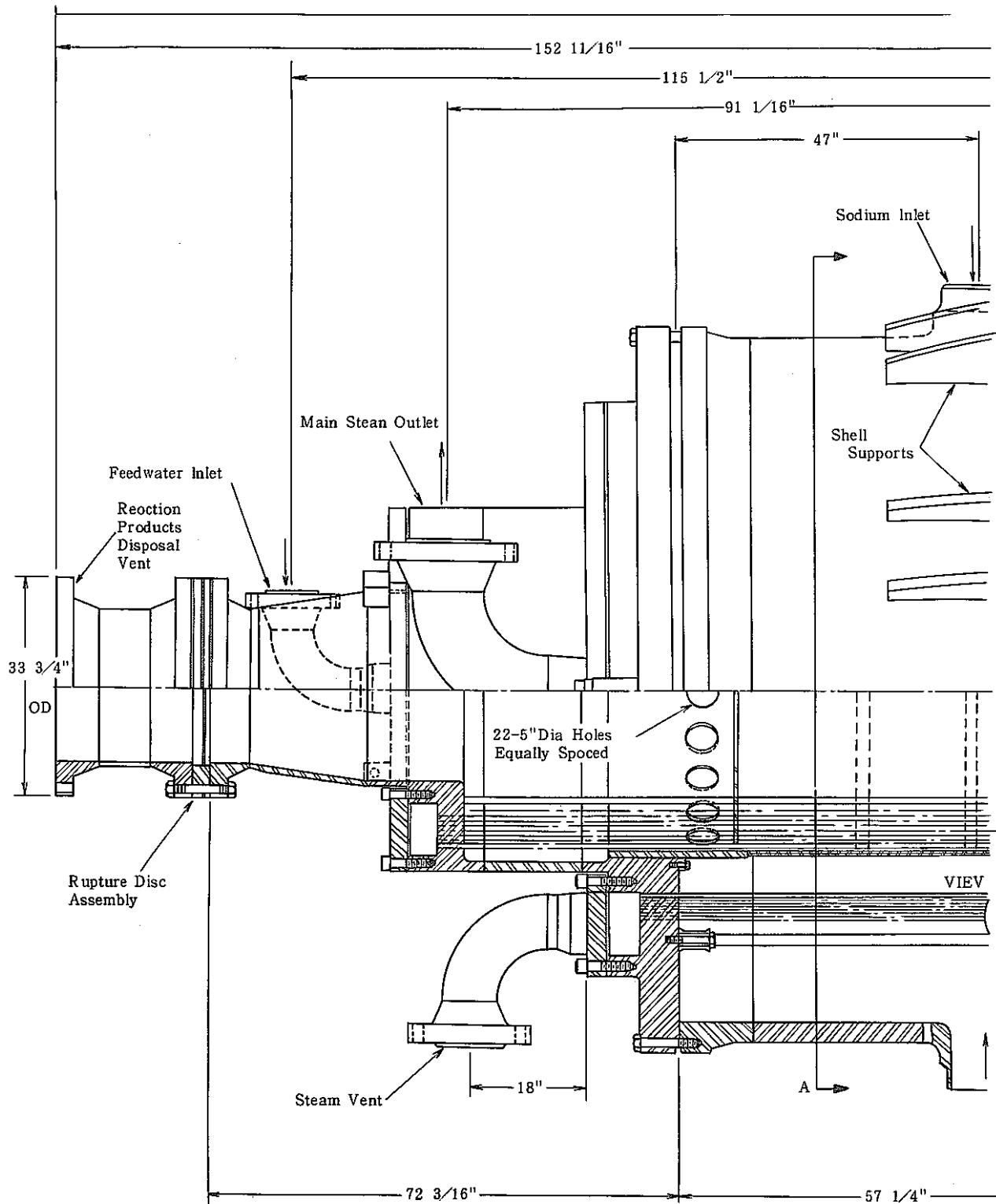


Fig AI - 7 Steam generator in Fermi reactor

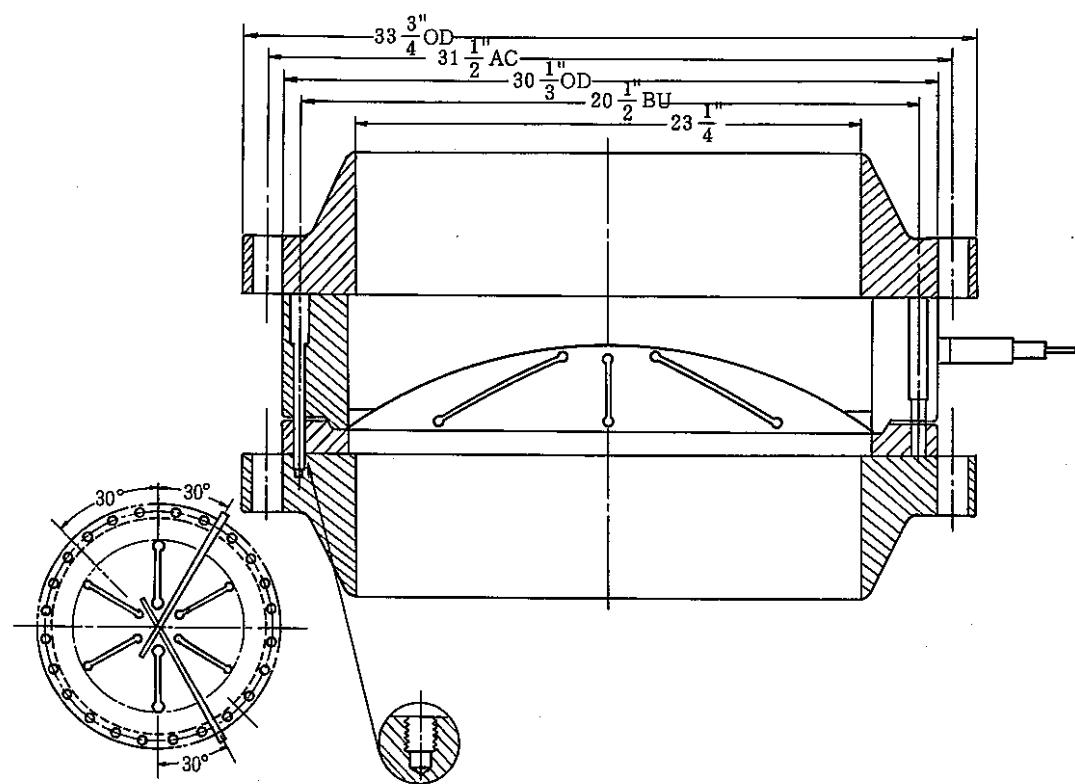


図 AI-8 Rupture Disc Assembly

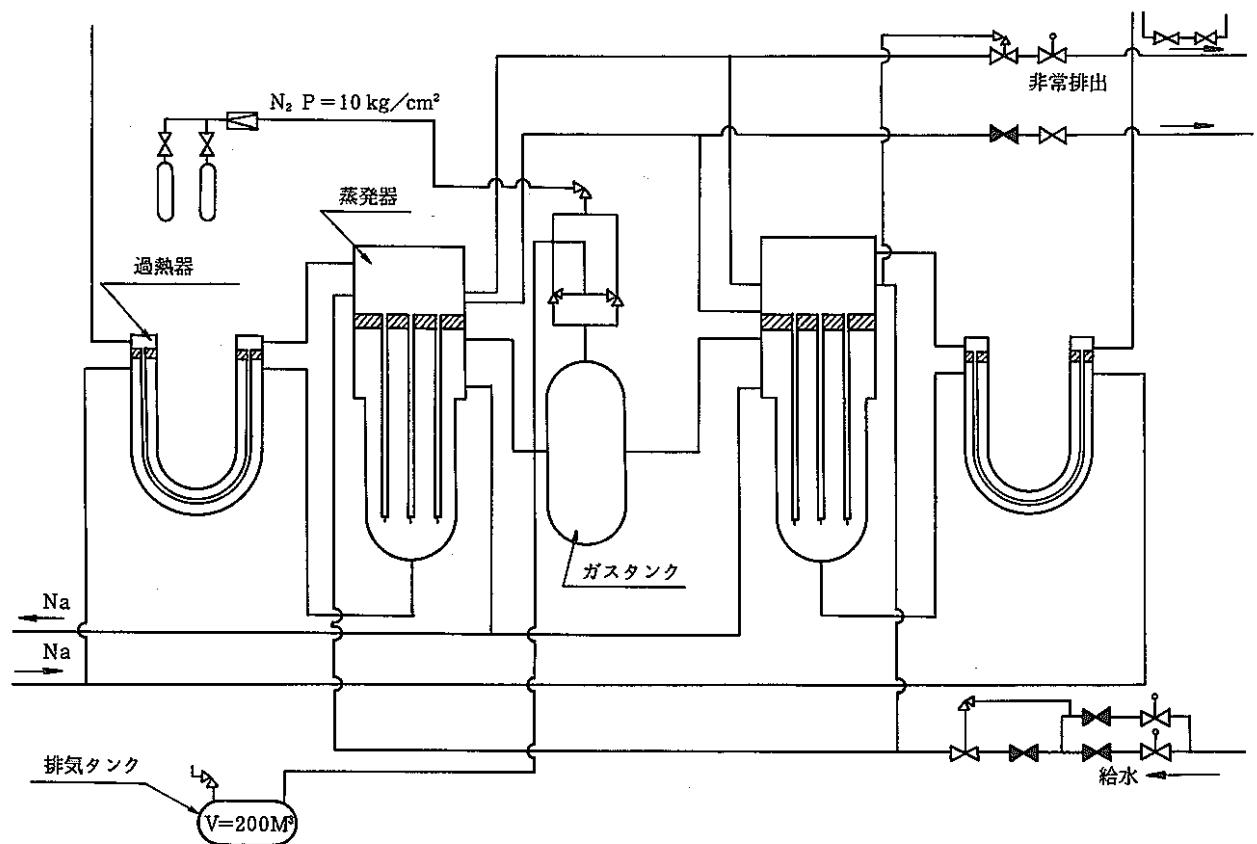


Fig AI-9 Flow sheet of steam generator and emergency protection system

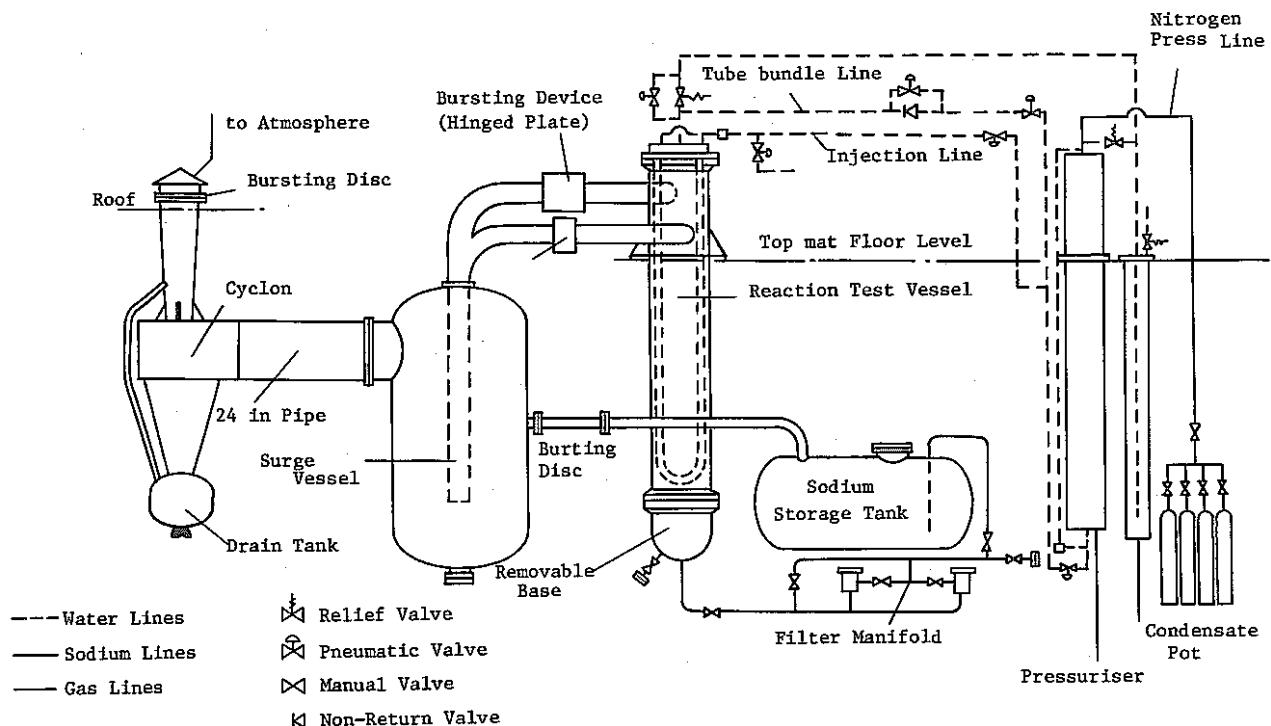


Fig. AI-10 Simplified Flow Sheet of Super-NOAH Rig

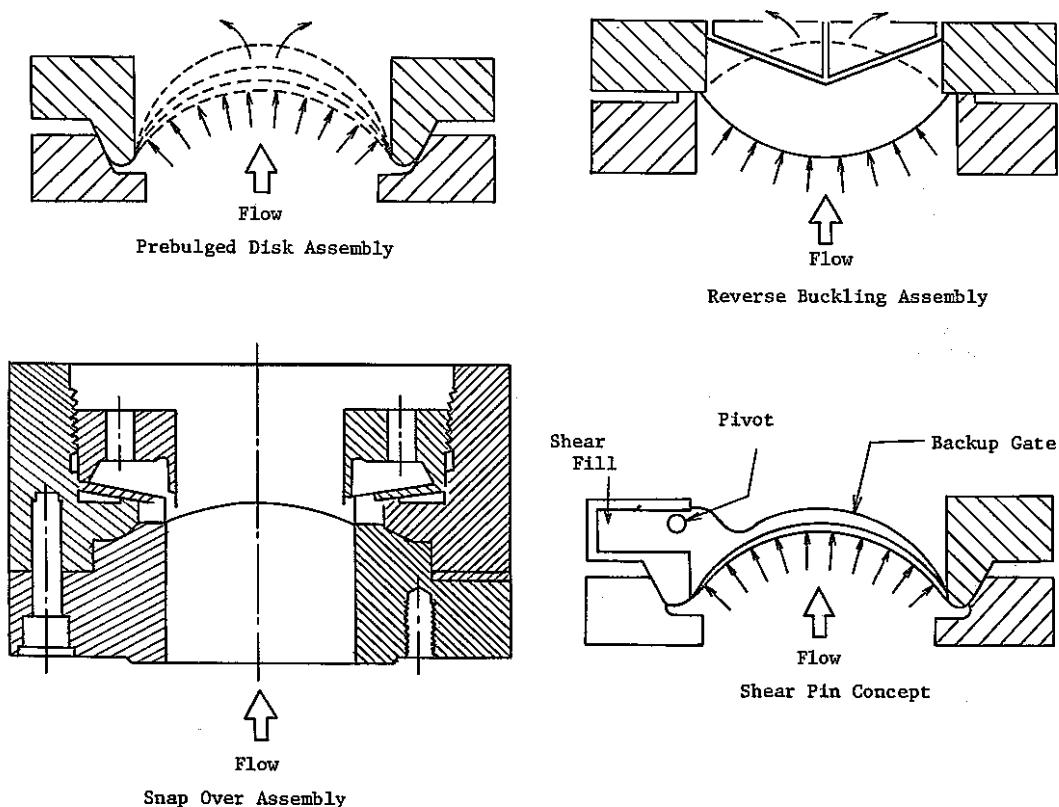


Fig. AI-11 Various Rupture Disk Concepts

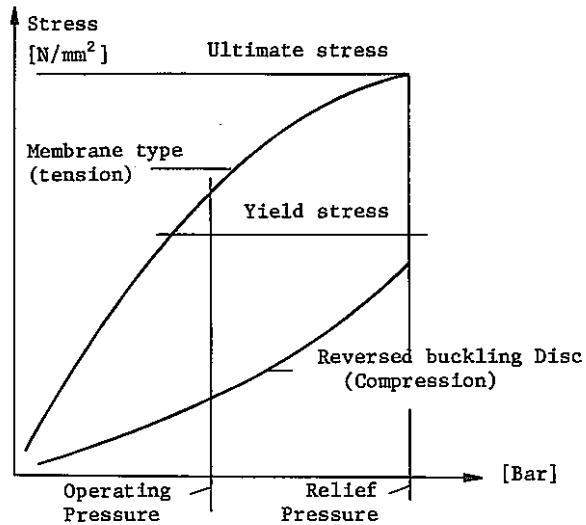


Fig. AI-12 Stress-pressure Behaviour of Different Disc Designs

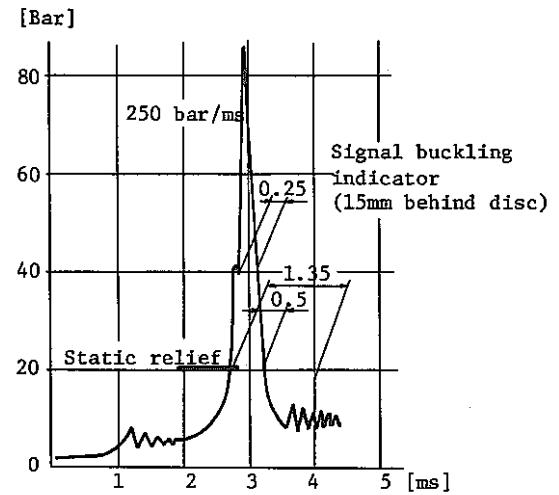


Fig. AI-13 Pressure Pulse of a Sodium Water Reaction on a Reversed Buckling Disc $\phi 150$

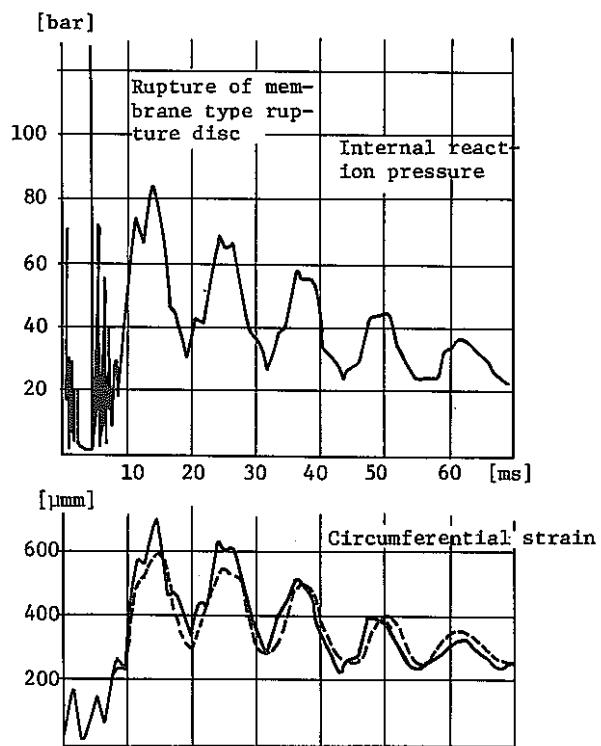


Fig. AI-14 Pressure Strain Behaviour of a Steam Generator Model

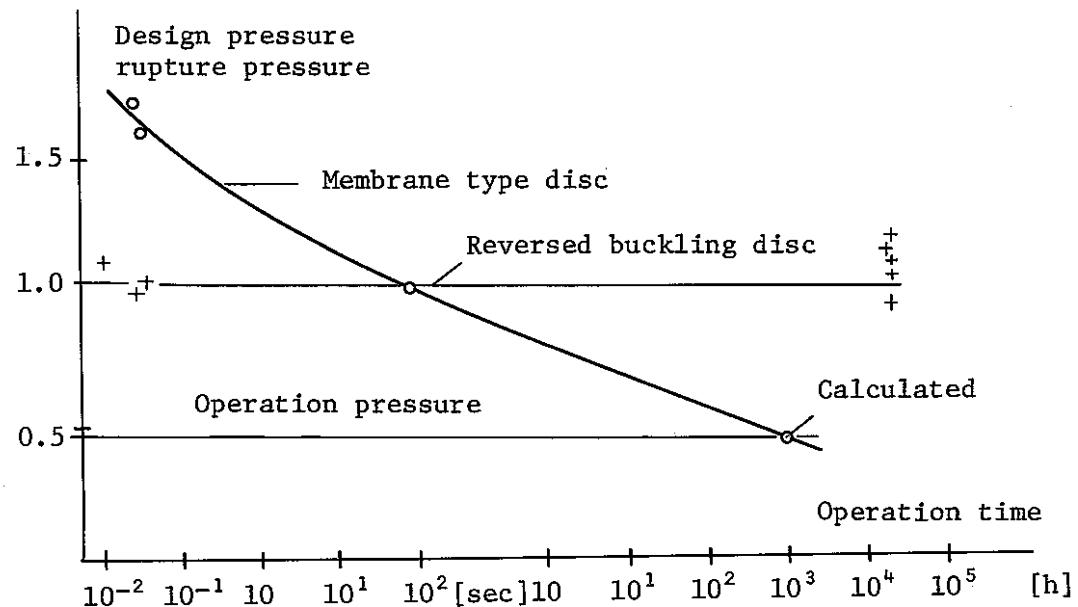


Fig. AI-15 Rupture Pressure Versus Time at 540°C

5. 引用文献

- (1) SJ 254 76-01 「高速増殖炉蒸気発生器の安全性・信頼性向上に関する調査研究」日本機械学会(1976年5月).
- (2) R. A. Mayer, J. O. Bradfute, J. J. Regimbal, L. S. Lee "Comparison of Results from Large Leak Sodium/Water Tests at LLTR with Analysis" DOE/PNC Plant Components W/Gr First Joint Steam Generator Seminar (Feb. 1978)
- (3) R. K. Akand, R. G. Reynolds "Phases 1 and 2 Design and Development of CRBRP Main Rupture Disc Assemblies," (GEAP-14142) 1976. 11
- (4) K. Dumm, M. Fortman "Development of Rupture Discs for LMFBR Steam Generators" IAEA Study Group Meeting on SG for LMFBR (Bensberg 1974)
- (5) P. W. P. H. Ludwig, C. Ruizterman "Conclusions from the Sodium-Water Reaction Experiments Performed with a Straight Tube Bundle Model for a SG with respect to the Calculation Method of the Accident Design Pressure" 同上
- (6) Ir. J. Essebaggers "Steam Generators under Construction for the SNR-300 Power Plant" 同上
- (7) A. S. Sokolov "Commissioning of BN-350" (原文露語) 同上
- (8) SG 256 75-01 「エンリコフェルミ原子力発電器材の調査研究」電力中央研究所(1975年2月)
- (9) J. A. Bray "Experimental Studies on Sodium/Water Reactions in Steam Generators" Paper 19 BNES Conf. Liquid Alkali Metals Nottingham, 1973.
- (10) J. P. Verkamp "State-of-Art of Rupture Disks for LMFBR Application" SA 017 • KWG NEOM-13981 (Nov. 1976)
- (11) BS & B社カタログ
- (12) B. J. Hsieh, "Dynamic Instability Analysis of Axisymmetric Shells by Finite Element Method with Conected Coordinates" SMiRT-4 M7/2 (1977)

ASME SEC III

ND-7527-ND-7611

付録-II 圧力開放板に関する規格

SECTION III, DIVISION 1 — SUBSECTION ND

of the main valve. These divergences are caused by the unavoidable time lapses between the operation of the two components and by the magnitude of the system service pressure loadings during these time lapses.

ND-7530 POWER ACTUATED PRESSURE RELIEF VALVES

ND-7531 Use

Power actuated pressure relief valves, which depend upon an external energy source such as electrical, pneumatic, or hydraulic systems and which respond to signals from pressure or temperature sensing devices, may be used provided the requirements of this subsubarticle are met.

ND-7532 Minimum Required Number

At least two valves shall be used to contribute to the required relieving capacity.

ND-7533 Sensors and Controls

(a) The sensors, controls, and external energy sources for valve operation shall have redundancy and independence at least equal to that required for the control and safety protection systems associated with the system.

(b) The relief valve and its auxiliary devices treated as a combination shall comply with the following requirements.

(1) The valve opening pressure shall be controlled within a tolerance as specified in ND-7512.2 of the set pressure when the automatic control is in use.

(2) The valve blowdown shall be controlled to a pressure not lower than that specified in the valve Design Specification (NCA-3250).

ND-7534 Relieving Capacity

ND-7534.1 System Upset Conditions. For system upset conditions, the relieving capacity with which these valves are credited shall be not more than:

(a) the stamped relieving capacity of the smaller one when two valves are installed;

(b) one-half of the total stamped relieving capacity when three or more valves are installed.

ND-7535 Response Time

In systems protected by power operated pressure relief valves, consideration shall be given to the time

lapse between the signal to open and achieving the fully opened position and to the time lapse between the signal to close and achieving the fully closed position.

ND-7540 SAFETY AND SAFETY RELIEF VALVES WITH AUXILIARY ACTUATING DEVICES

ND-7541 Use

Safety and safety relief valves with auxiliary actuating devices which operate independently of the spring loading of the valve may be used provided the requirements of ND-7510 are met except as modified by this subsubarticle.

ND-7542 Construction and Design

(a) The construction shall be such that the valve opens automatically by direct action of the fluid at a pressure not higher than the safety valve set pressure and relieves at the rated relieving capacity in the event of failure of any essential part of the valve's auxiliary devices.

(b) The design of the auxiliary actuating device shall be such that the safety valve will not be prevented from operating as defined in ND-7510 when the auxiliary actuating device is de-energized.

ND-7600 REQUIREMENTS FOR NONRECLOSED PRESSURE RELIEF DEVICES

ND-7610 GENERAL REQUIREMENTS

ND-7611 Use of Rupture Disk Devices

Rupture disk devices certified in accordance with ND-7720 and ND-7750 are subject to the following.

(a) Rupture disk devices may be used as the sole pressure relief device for services where release of the contents of the protected system is acceptable to the enforcement authority having jurisdiction at the nuclear power plant site.

(b) Rupture disk devices may be used on the inlet side of pressure relief valves only when such valves are of the full bore¹⁰ type (ND-7623).

¹⁰A pressure relief valve which has no protrusions in the bore and wherein the valve disk lifts to an extent sufficient for the minimum area, at any section at or below the body seat, to become the controlling orifice.

ND-7000 — OVERPRESSURE PROTECTION

ND-7611-ND-7623

(c) Rupture disk devices may be used in conjunction with pressure relief valves on the outlet side (ND-7624).

ND-7612 Bursting Tolerance

The bursting tolerance at the specified temperature¹¹ shall not exceed $\pm 5\%$ from the stamped bursting pressure as established by the rules of ND-7613, unless other values have been established in the Design Specifications.

ND-7613 Tests to Establish Disk Burst Pressure

The stamped bursting pressure within the manufacturing design range,¹² at the specified disk temperature, shall be derived by one of the following methods. All the tests of disks for a given lot shall be made in a holder of the same form and dimensions as that with which the disk is to be used.

(a) At least two sample rupture disks from each lot of rupture disks¹³ shall be burst at the specified disk temperature to verify that the stamped bursting pressure falls within the manufacturing design range. If the specified disk temperature is not room temperature, at least one additional disk shall be burst at room temperature. The stamped rating at the specified disk temperature shall be the average of the bursts at specified disk temperature.

(b) At least four sample rupture disks, but not less than 5%, from each lot of rupture disks, shall be burst at four different temperatures. The test shall be distributed over the applicable temperature range for which the disk will be used. This data shall be used to establish a smooth curve of bursting pressure versus temperature for the lot of disks. No point (burst pressure) shall fall more than 3% from the curve. The stamped rating at the specified disk temperature shall be interpolated from this curve.

(c) For various types of disks and test procedures where it can be shown that the data will plot a smooth

curve and no point (burst pressure) falls more than 3% from the curve, a series of four or more bursts can be made on one lot of disks at the specified disk temperature. The required parameters taken from the curve may be used to manufacture the disk.

ND-7614 Burst Pressure in Relation to Pressure Relief Valve Set Pressure

The burst pressure of a rupture disk may be either lower or higher than the set pressure of the associated pressure relief valve, but in no case shall the rupture disk burst pressure and valve set pressure be such that the total accumulated pressure during full capacity relief exceeds the permitted limit (ND-7400).

ND-7615 Specified Burst Pressure in Relation to Stamped Burst Pressure

The specified burst pressure of a rupture disk shall be based on the stamped burst pressure as determined by the rules of ND-7613.

ND-7620 INSTALLATION REQUIREMENTS

ND-7621 Provisions for Venting or Draining

The space between the rupture disk and the associated pressure relief valve shall be vented and/or drained. This space shall be provided with means to monitor its internal pressure during service periods.

ND-7622 System Obstructions

Piping and other components downstream of the rupture disk shall be so arranged or be of such a design that no obstruction can be caused nor the function of a pressure relief valve be impaired by the release of the rupture disk material into the system.

ND-7623 Rupture Disk Devices at the Inlet Side of Pressure Relief Valves

A rupture disk device may be installed at the inlet side of a pressure relief valve if the provisions of (a) through (c) below are met.

(a) The combination of the pressure relief valve and the rupture disk device capacity shall meet the requirements of ND-7300.

(b) The stamped burst pressure at the specified disk temperature of the rupture disk does not exceed the limits of ND-7400.

(c) The opening provided through the rupture disk

¹¹The specified disk temperature supplied to the rupture disk manufacturer shall be the expected temperature of the disk when the disk is expected to rupture.

¹²The *manufacturing design range* is a range of pressure within which the average burst pressure of test disks must fall to be acceptable for a particular requirement as agreed upon between the rupture disk manufacturer and the user or user's agent. The disk will be marked at the average burst pressure of all test disks.

¹³A *lot of rupture disks* are those disks manufactured of material at one time, of the same size, thickness, type, heat, and manufacturing process including heat treatment.

破裂板式安全装置 B 8226-1981
Bursting Discs and Bursting Disc Assemblies

1. 適用範囲 この規格は、圧力容器、回転機械、配管系、ダクトなどの密閉された装置が過剰圧力又は負圧によって破損することを防止するために設ける、金属製のドーム形破裂板を用いた安全装置について規定する。ただし、次に掲げるものは含まない。

- (1) 破裂板の設定破裂圧力が 300 kgf/cm^2 { 30 MPa } を超えるもの。
- (2) 爆轟(轟)による急激な圧力上昇に対応しようとするもの。
- (3) JIS B 8246(高圧ガス容器用弁)に規定するもの。

備考 この規格の中で{ }を付けて示してある単位及び数値は、国際単位系(SI)によるものであって、参考として併記したものである。

2. 用語の意味 この規格に用いる主な用語の意味は、次による。

- (1) 圧力 表面に作用する力の大きさをその面積で除したもので、特に指示しないときはゲージ圧力。
- (2) 破裂板式安全装置 破裂板、ホルダ、バキュームサポート等で構成され、密閉された装置を過剰圧力又は負圧から保護する機能を備えた装置。
- (3) 破裂板 設定温度において設定破裂圧力で破裂する金属板。
- (4) ホルダ 破裂板の周囲を固定し、気密性を保持するとともに破裂板の性能を正しく発揮するため用いる保持具。
- (5) バキュームサポート ドーム形破裂板を真空及び背圧状態で使用するときに変形及び座屈を防ぐ目的で、必要に応じてドーム形破裂板のおう(凹)部に重ねて取り付ける附属品。
- (6) 設定破裂圧力 設定温度で破裂板が破裂することを保証する圧力。
- (7) 試験破裂圧力 設定破裂圧力を確認するために行う破裂試験により測定された実際の破裂圧力。
- (8) 設定温度 設定破裂圧力との関連において、破裂板が破裂することを保証する温度。

3. 種類 破裂板式安全装置は、破裂板の作動形式及び耐負圧性の有無並びにホルダの形状により、次のように分ける。

- (1) 破裂板の作動形式による種類 表1による。

引用規格: JIS B 7505 ブルドン管圧力計

JIS B 8243 圧力容器の構造

JIS B 8246 高圧ガス容器用弁

表1 破裂板の作動形式による種類

作動形式	破裂板の記号	備考
ドーム形式	D	おう(凹)部に圧力を受け、引張りで破裂する(図1参照)。
反転形式	R	とつ(凸)部に圧力を受け、座屈で破裂する(図2参照)。

(2) 破裂板の耐負圧性による種類 表2による。

表2 破裂板の耐負圧性による種類

破裂板の耐負圧性		破裂板の記号に付ける記号	備考
耐負圧性を考慮しないもの		M	負圧の使用条件がない場合にだけ用いるものであって、バキュームサポートを附属させないもの(図1参照)。
耐負圧性のあるもの		N	破裂板が負圧に耐えるもの(図2参照)。
耐負圧性がないもの	開放形バキュームサポートを附属させるもの	O	破裂板が破裂するとき破裂板と一緒に破壊するもの(図3及び図4参照)。
	非開放形のバキュームサポートを附属させるもの	P	破裂板が破裂してもバキュームサポートは破壊せず、その多数の穴を通して流体が流出するもの(図5参照)。

(3) ホルダの接続形状及び保持方法 ホルダの接続形状及び保持方式は、表3による。

表3 ホルダの接続形状及び保持方式

接続形状	保持方式	記号	備考
フランジ	カプセル形	C	ホルダの外径がボルト穴に内接する円より小さいもの(図1参照)。
	全面形	T	ホルダの外径がフランジと同じで、フランジと同じボルト穴を持つもの(図2参照)。
ねじ	ユニオン形	U	袋ナットにより破裂板を締め付けるもので、上下流の接続はねじによるもの(図8参照)。
	プラグ形	P	単一ねじで破裂板を締め付けるもので、上下流の接続はねじによるもの(図9参照)。

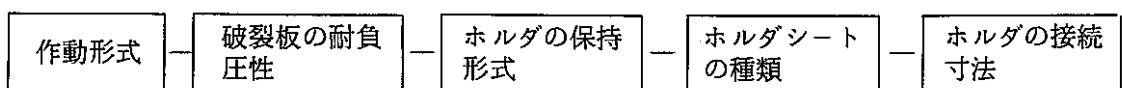
(4) ホルダシートの種類 ホルダシートの種類は、表4による。

表4 ホルダシートの種類

形狀	記号	備考
フラット形	F	破裂板のシート部の形状が平面のもの(図6参照)。
コニカル形	A	破裂板のシート部が円すいの一部であるもの(図7参照)。

(5) ホルダの接続寸法 ホルダの接続寸法は、適用したフランジ規格又はねじ規格による。

(6) 種類の記号の組合せ 種類の記号の組合せは(1)~(5)の記号をこの順序に配列し、次による。



例：D-N-C-F-100

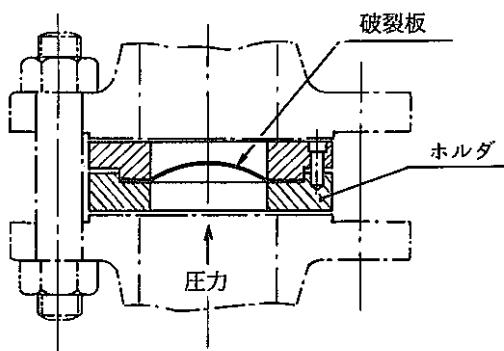


図1 ドーム形式破裂板・カプセル形ホルダ
(D-M-C-F)

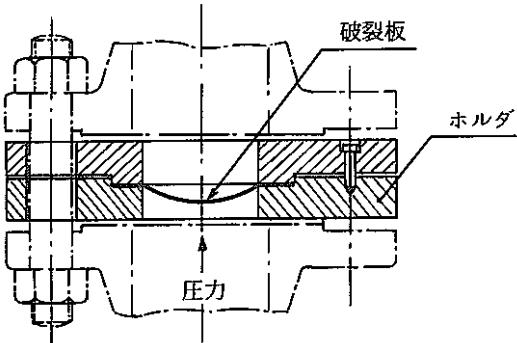


図2 反転形式破裂板・全面形ホルダ
(R-N-T-F)

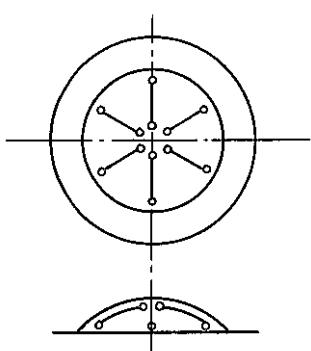


図3 開放形バキュームサポート(O)

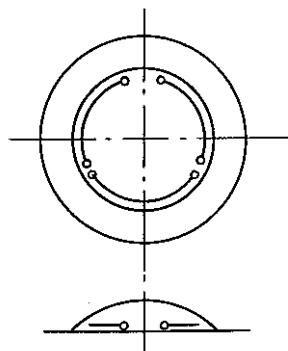


図4 開放形バキュームサポート(O)

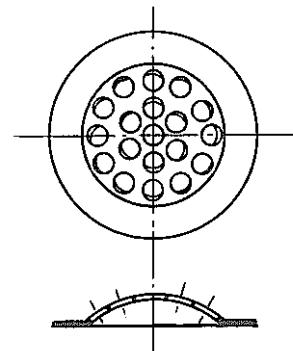


図5 非開放形バキュームサポート(P)

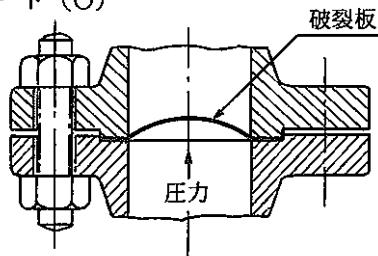


図6 フラットシート形ホルダ (D-M-T-F)

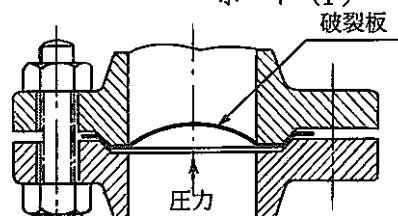


図7 コニカルシート形ホルダ (D-M-T-A)

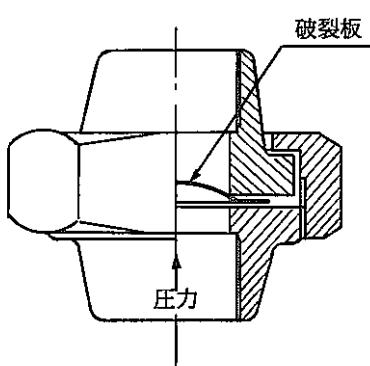


図8 ユニオン形ホルダ (D-M-U-F)

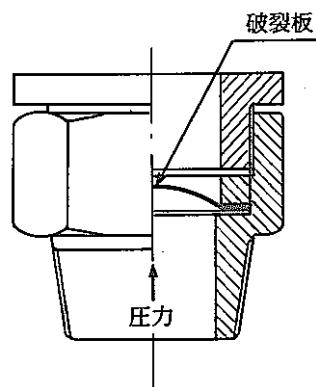


図9 プラグ形ホルダ (D-M-P-F)

備考 図はいずれも一例を示す。

4. 構造

4.1 破裂板の構造 破裂板の構造は、温度、圧力の変動、腐食などにより劣化しない構造とする。

4.2 ホルダの構造 ホルダの構造は、次による。

(1) ホルダは均一に締めやすい構造で、破裂板の交換が容易な構造とする。

(2) ホルダは、その取付け部から漏れがない構造とする。

4.3 バキュームサポートの構造 バキュームサポートの構造は、次による。

(1) バキュームサポートは、組み合わされる破裂板の真空差圧の1.3倍の圧力に1分間以上耐える構造とする。

(2) バキュームサポートは、破裂板が破裂したとき規定の吹出し面積を確保できる構造とする。

5. 性能

5.1 定格吹出し量 破裂板式安全装置の定格吹出し量は、流体ごとにそれぞれ次による。

(1) 蒸気

$$W = 0.51KC A(p+1) \times 0.9 \quad \{ W = 5.2KCA(p+0.1) \times 0.9 \}$$

ここで W : 定格吹出し量 (kg/h)

K : 吹出し係数で、次の K_1 又は K_2 のいずれか小さい方の値とする。

K_1 : 入口管の吹出し係数で、次による。

(a) 管を差し込み、すみ肉溶接したノズルの場合 (図10) $K_1 = 0.55$

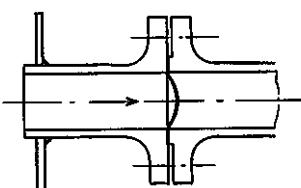


図10

(b) ノズルを管又は圧力容器に突き合わせて溶接した場合 (図11) $K_1 = 0.7$

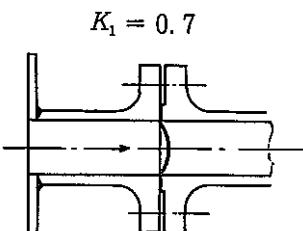


図11

(c) 流れやすく設計された構造ノズルの場合 (図12) $K_1 = 0.77$

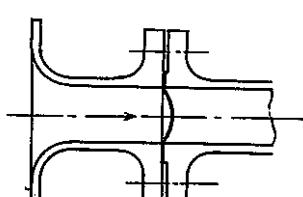


図12

(d) 実測した場合 実測値とする。

 K_2 : 破裂板の吹出し係数で 0.85 (1) とする。 C : 蒸気の性質による係数で、付表による。 A : ホルダ又は入口管の最小断面積 (mm²) p : 設定破裂圧力 (kgf/cm²) { MPa }

(2) ガス

$$W = KC'Ap_1 \sqrt{\frac{M}{ZT}} \times 0.9 \quad \{ W = 10 KC'Ap_1 \sqrt{\frac{M}{ZT}} \times 0.9 \}$$

ここで C' : κ 及び p_2/p_1 による係数で、付図1によって求めた値、 κ は断熱指数数で不明の場合は $\kappa = 1.0$ とする。

 p_1 : 設定破裂圧力 (絶対圧力) (kgf/cm²) { MPa } p_2 : 背圧 (2) (絶対圧力) (kgf/cm²) { MPa } M : 分子量 Z : 圧縮係数で、付図2から求められた値 T : 設定温度 (K) W , K 及び A は、(1)に同じ。

(3) 液体

$$W = 1.6 KA \sqrt{4p\delta} \quad \{ W = 5.1 KA \sqrt{4p\delta} \}$$

ここで $4p$: 液体の入口側と出口側の差圧 (3) (kgf/cm²) { MPa } δ : 液体の密度 (kg/m³) W , K 及び A は、(1)に同じ。

注 (1) 製造業者は、吹出し係数 0.85 を保証しなければならない。

(2) 背圧は使用者の指定による。指定がない場合は、大気圧とする。

(3) 差圧は使用者の指定による。

5.2 設定破裂圧力の許容差 設定破裂圧力の許容差は、原則として表5の範囲とする。

表5 設定破裂圧力の許容差

破裂板の種類	設定破裂圧力	許容差 (設定破裂圧力に対して)
ドーム形式破裂板	2 kgf/cm ² { 0.2 MPa } 未満	± 0.1 kgf/cm ² { 10kPa }
	2 kgf/cm ² { 0.2 MPa } 以上	± 5 %
反転形式破裂板	2 kgf/cm ² { 0.2 MPa } 未満	± 0.2 kgf/cm ² { 20kPa }
	2 kgf/cm ² { 0.2 MPa } 以上	± 5 %

備考 設定破裂圧力の許容差は、当事者間の協定によって表5以外によることができる。

この場合は、設定破裂圧力の許容差を表示しなければならない。

6. 検査

6.1 破裂板 破裂板の検査は、次による。

- (1) 外観 全数について行い、内外面とも有害なきず、割れ、さび、ピンホールその他の欠陥がないこと。
- (2) 形状・寸法 全数について行い、図面どおりの形状及び寸法であること。
- (3) 破裂検査 破裂板は、次により破裂検査を行う。
 - (a) 破裂検査 破裂検査は、設定温度において行う。ただし、試験成績などから常温における試験破裂圧力によって設定温度における破裂圧力を保証できる場合は常温で行うことができる。
 - (b) 加圧時間 加圧は大気圧から破裂圧力まで安定して、かつ継続的に20秒から3分以内に行う。
 - (c) 使用する圧力計 圧力計は、JIS B 7505(ブルドン管圧力計)によるもの又はこれと同等以上の性能のもので、試験破裂圧力の1.5～3倍の圧力を最大目盛とする圧力計とする。

6.2 ホルダ ホルダの検査は、次による。

- (1) 外観 表面粗さが良好であり、きず、さびその他の欠陥がないこと。
- (2) 形状・寸法 図面どおりの形状及び寸法であること。

6.3 バキュームサポート バキュームサポートは、ホルダに準じて検査を行い、4.3の規定に適合しなければならない。

7. 検査成績書 製造業者は、次に掲げる事項について検査の結果を記載した検査成績書を作成する。

- (1) 製造番号
- (2) 口径
- (3) 種類
- (4) 材料
- (5) 設定破裂圧力 (kgf/cm²) { MPa }
- (6) 設定温度 (°C)
- (7) 常温における破裂圧力 (kgf/cm²)
- (8) 製作数量
- (9) 破裂結果 (設定温度 常温)
- (10) 製造年月日 (試験日)
- (11) 製造会社名
- (12) 試験責任者名

8. 表 示

8.1 破 裂 板 破裂板には、次の項目を表示した銘板を付ける。

- (1) 製造業者の名称又はその略号
- (2) 製造番号
- (3) 呼 び 径
- (4) 材 料
- (5) 設定破裂圧力及び設定温度

8.2 ホ ル ダ ホルダには次の項目を表示した銘板を付ける。

- (1) 製造業者の名称又はその略号
- (2) 形式、記号、番号及び製造番号
- (3) 呼 び 径
- (4) 接続規格
- (5) 材 料
- (6) 流体の流れ方向

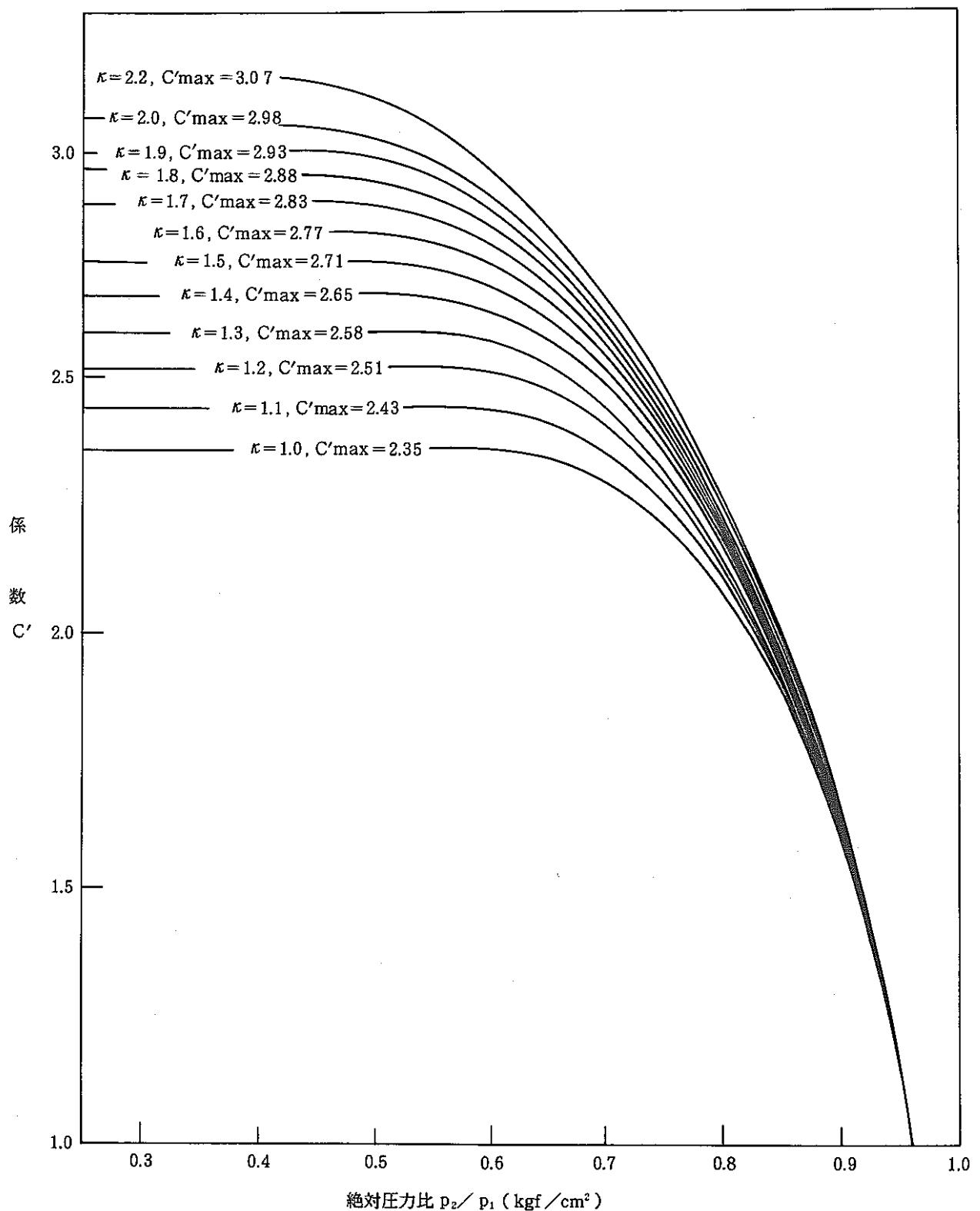
8.3 表示の位置 表示の位置は次による。

- (1) 表示は、設置したとき外部から容易に見える位置とする。
- (2) 破裂板に銘板がつけられないときは、銘板を破裂板 1 枚につき 1 枚を添付する。

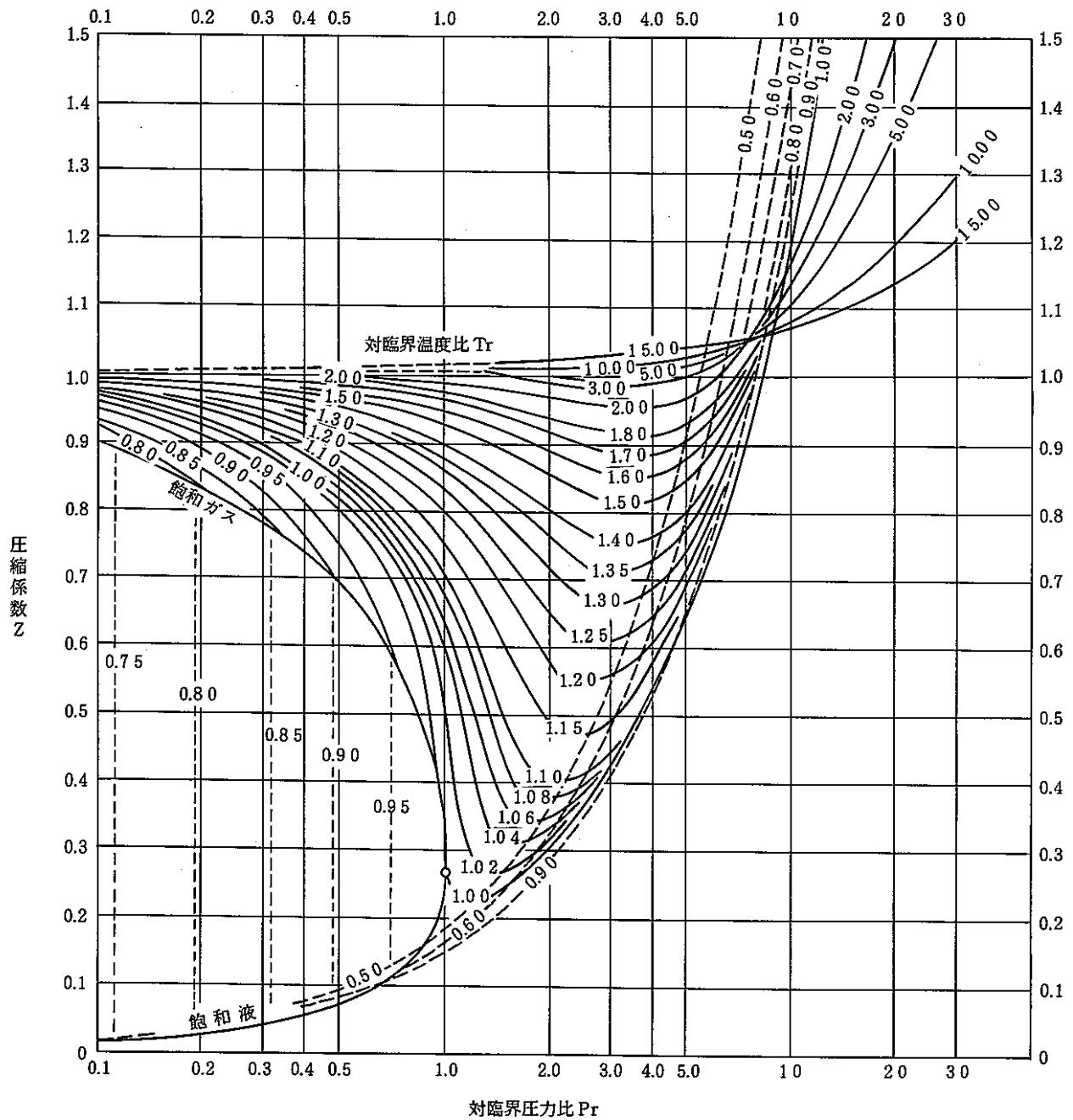
付表 蒸気の性質による係数C

絶対 圧力 kgf/cm ² (MPa)	温度 ℃	飽和温度	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700							
5{ 0.5}	1.005	0.996	0.972	0.951	0.931	0.913	0.896	0.879	0.864	0.849	0.835	0.822																							
10{ 1.0}	0.978	0.981	0.983	0.960	0.938	0.919	0.901	0.884	0.868	0.853	0.838	0.825																							
15{ 1.5}	0.977	0.976	0.970	0.972	0.947	0.925	0.906	0.888	0.872	0.856	0.841	0.828																							
20{ 2.0}	0.972		0.967	0.964	0.955	0.932	0.912	0.893	0.876	0.860	0.845	0.830	0.817	0.804	0.792	0.780	0.768																		
25{ 2.5}	0.969			0.961	0.961	0.937	0.918	0.898	0.880	0.863	0.848	0.833	0.819	0.806	0.793	0.782	0.770																		
30{ 3.0}	0.967				0.962	0.957	0.949	0.924	0.903	0.885	0.867	0.851	0.836	0.822	0.808	0.795	0.783	0.774	0.763	0.748	0.742	0.730	0.721	0.712	0.703	0.695	0.687	0.679							
40{ 4.0}	0.965					0.958	0.954	0.934	0.915	0.894	0.875	0.857	0.841	0.826	0.813	0.799	0.787	0.775	0.763	0.755	0.744	0.735	0.725	0.715	0.705	0.696	0.688	0.680							
50{ 5.0}	0.966						0.955	0.953	0.927	0.904	0.884	0.865	0.848	0.832	0.817	0.803	0.790	0.778	0.766	0.755	0.747	0.737	0.723	0.717	0.708	0.697	0.689	0.681							
60{ 6.0}	0.968							0.962	0.953	0.941	0.911	0.891	0.872	0.854	0.838	0.822	0.808	0.794	0.781	0.769	0.758	0.747	0.739	0.729	0.719	0.710	0.698	0.690	0.682						
70{ 7.0}	0.971								0.958	0.954	0.924	0.901	0.881	0.861	0.844	0.827	0.812	0.798	0.785	0.772	0.761	0.749	0.739	0.731	0.721	0.708	0.702	0.691	0.683						
80{ 8.0}	0.975									0.967	0.956	0.937	0.912	0.888	0.868	0.850	0.833	0.817	0.802	0.789	0.776	0.763	0.752	0.741	0.731	0.719	0.710	0.701	0.692	0.684					
90{ 9.0}	0.980										0.962	0.957	0.926	0.897	0.876	0.856	0.838	0.822	0.807	0.792	0.779	0.766	0.754	0.743	0.733	0.722	0.711	0.702	0.693	0.685					
100{10.0}	0.986											0.971	0.961	0.936	0.909	0.883	0.863	0.844	0.827	0.811	0.796	0.782	0.769	0.757	0.745	0.735	0.724	0.712	0.703	0.695	0.686				
120{12.0}	0.999												0.975	0.964	0.926	0.903	0.876	0.857	0.838	0.818	0.805	0.789	0.775	0.762	0.750	0.739	0.728	0.718	0.706	0.697	0.688				
140{14.0}	1.016													1.002	0.980	0.956	0.920	0.893	0.868	0.846	0.828	0.811	0.797	0.782	0.768	0.755	0.743	0.732	0.721	0.711	0.699	0.691			
160{16.0}	1.036														1.000	0.988	0.942	0.907	0.883	0.858	0.838	0.819	0.803	0.787	0.774	0.760	0.748	0.736	0.725	0.714	0.704	0.693			
180{18.0}	1.063															1.038	1.004	0.972	0.929	0.895	0.873	0.848	0.828	0.810	0.794	0.779	0.766	0.752	0.740	0.728	0.717	0.707	0.697		
200{20.0}	1.094																1.028	1.006	0.953	0.914	0.885	0.861	0.835	0.818	0.801	0.786	0.770	0.757	0.744	0.732	0.720	0.710	0.700		
220{22.0}	1.129																	1.072	1.033	0.982	0.932	0.900	0.872	0.849	0.827	0.808	0.793	0.777	0.761	0.749	0.736	0.724	0.713	0.702	
240{24.0}																		1.059	1.016	0.958	0.915	0.885	0.861	0.837	0.815	0.797	0.783	0.766	0.752	0.740	0.727	0.716	0.705		
260{26.0}																			1.099	1.055	0.982	0.935	0.899	0.871	0.848	0.825	0.804	0.786	0.772	0.756	0.741	0.731	0.719	0.708	
280{28.0}																			1.167	1.096	1.013	0.956	0.913	0.883	0.853	0.834	0.811	0.793	0.776	0.762	0.747	0.735	0.720	0.710	
300{30.0}																				1.132	1.047	0.977	0.931	0.895	0.867	0.838	0.821	0.799	0.781	0.763	0.753	0.735	0.724	0.715	
320{32.0}																					1.169	1.089	1.009	0.952	0.908	0.877	0.849	0.824	0.805	0.787	0.770	0.753	0.742	0.729	0.714

備考 この表の圧力と温度の中間の値は、比例法によって計算する。



付図1 κ と p_2/p_1 による係数 C'



備考 対臨界温度比 $Tr = \frac{\text{吹出し温度 (K)}}{\text{臨界温度 (K)}}$

対臨界圧力比 $Pr = \frac{\text{吹出し圧力 (kgf/cm}^2 \text{ 絶対圧力)}}{\text{臨界圧力 (kgf/cm}^2 \text{ 絶対圧力)}}$

付図2 圧縮係数

附 属 書 破裂板式安全装置の使用基準

1. 適用範囲 この附属書は、破裂板式安全装置の使用基準について規定する。

2. 使用方法一般 次による。

破裂板式安全装置は、圧力系統の脱圧用安全装置として単独又は安全弁と併用して使用することができる。破裂板式安全装置は、次の場合に使用するのがよい。

- (1) ばね式安全弁では追従できないような急激な圧力上昇のおそれがあるとき。
- (2) 運転状態により沈着物が発生したり又はゴム状物質が固着し、超過圧力に対する他の安全装置の作動機能を害するおそれがあるとき。
- (3) 運転中安全装置から内蔵する流体の漏れが許されないとき。
- (4) 腐食性の強い流体に使用するとき。

3. 設定破裂圧力と圧力容器の最高許容圧力 次による。

- (1) 圧力容器は、JIS B 8243(圧力容器の構造)の15.1によって、その最高許容圧力の1.1倍(火災など不時の外熱を受ける場合でも1.2倍)を超えない圧力において所要の吹出し量を放出できる安全装置を設けることになっている。
- (2) 破裂板式安全装置は、設定破裂圧力で吹出し量決定圧力とすることができる。しかし、その設定破裂圧力には許容差があるので、圧力容器の吹出し量決定圧力から破裂板の正の許容差分だけ低い圧力を設定破裂圧力とする必要がある。
- (3) 破裂板式安全装置は、一度作動すれば吹出しを止めることはできないので全量を放出することになる。したがって破裂板式安全装置だけを安全装置として設置する場合には、これが不注意に作動することができないように、運転期間、運転条件、破裂板の耐圧性能等を考慮して、一般には最高の運転圧力の1.1～2.0倍の圧力を設定破裂圧力とする。このため、そのような圧力容器は最高の運転圧力の1.1～2.0倍の圧力を最高許容圧力とする圧力容器とする必要がある。

また、このほかに運転条件として脈動の有無、温度変化などがある。更に製造範囲⁽¹⁾もあるので、破裂板式安全装置だけによる安全装置を使用する場合は、破裂板の耐圧性能を保証する許容圧力⁽²⁾及び許容温度⁽³⁾を明確にする必要がある。

注⁽¹⁾ 製造範囲とは、材質のばらつき、素材板厚の不連続から生じる製造上不可避な誤差範囲をいう。破裂板は、素材金属板の各温度における引張応力を設定破裂圧力決定の主要因として製作される。したがって、製造業者は圧力段階ごとに製造範囲を設けて製造時の破裂試験結果がその範囲内に入ったとき、そのロットを合格とし、その試験結果の平均値を当該破裂板の設定破裂圧力とする。

製造範囲を設けたとき、製造業者は受注に先立ってその製造範囲を発注者へ明示し承認を受けて受注しなければならない。

製造範囲の一例を附属書表1に示す。

附属書表1 破裂板標準製造範囲

破裂板の破裂圧 kgf/cm ²	製 造 範 囲	
	+ (kgf/cm ²)	- (kgf/cm ²)
0.176 ~ 0.246	0.070	0.070
0.281 ~ 0.422	0.141	0.070
0.43 ~ 0.70	0.176	0.105
0.77 ~ 1.13	0.211	0.141
1.20 ~ 1.76	0.281	0.141
1.83 ~ 2.81	0.352	0.211
2.83 ~ 4.57	0.422	0.281
4.64 ~ 7.03	0.633	0.352
7.10 ~ 10.55	0.844	0.422
10.62 ~ 14.06	1.125	0.633
14.14 ~ 24.61	1.617	0.844
24.68 ~ 35.16	2.11	1.055
35.23 以上	6 %	3 %

ただし、製造業者は製造範囲を必ず設けなければならないものではなく、また発注者は製造範囲を承認しなければならないものでもない。この場合は本文表5.1の備考により設定破裂圧力の許容差を大きくして協定するか、又は特注品として使用者と製造業者の協議によって製作することとなる。

(²) 許容圧力とは設定温度において、破裂板の設定圧力が低下するなど性能に影響を及ぼすことなく使用できる圧力であって、正圧の場合は最高の圧力、負圧の場合は最低の圧力をいう。

(³) 許容温度とは許容圧力以下の圧力において、破裂板が破裂又は使用上性能に支障なく使用できる最高の温度をいう。

4. ホルダ ホルダの使用基準は、次による。

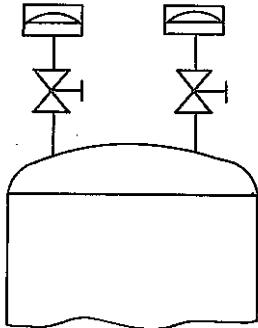
- (1) ホルダは製造業者の指定した破裂板式安全装置用のものを使用する。
- (2) 下流側のホルダと破裂板の間には、ガスケットを用いない。

5. 設 置

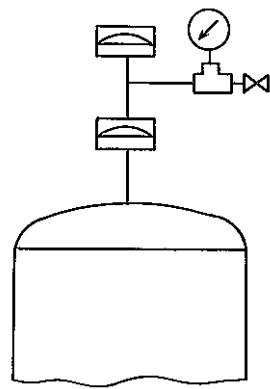
5.1 設置の種類 破裂板式安全装置だけを設置するか又は安全弁と併用して設置するかについては、圧力密閉装置の使用目的、流体の性質及び装置運転条件などを考慮して、その組合せを選択する。

(1) 破裂板式安全装置だけを設置する場合

- (a) 2個の破裂板式安全装置を並列に設置して、止め弁を取り付ける場合は、止め弁の容量は、破裂板の所要吹出し量以上とする(附属書図1)。
- (b) 2個の破裂板式安全装置を直列に設置する場合は、その中間に圧力指示計及び逃し管を取り付ける(附属書図2)。



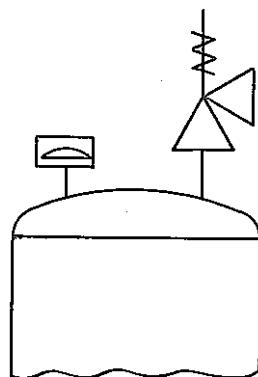
附属書図 1 並列破裂板式安全装置



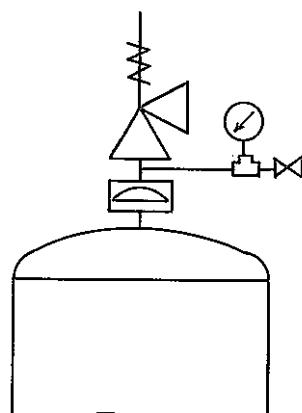
附属書図 2 直列破裂板式安全装置

(2) 安全弁と併用して設置する場合

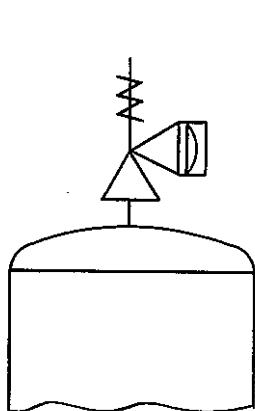
- (a) 破裂板式安全装置を安全弁と並列に設置する場合は、各々の吹出し量の和は、圧力密閉装置の所要の吹出し量以上とする（附属書図 3）。
- (b) 破裂板式安全装置を安全弁の入口側に直列に設置する場合は、その中間に圧力指示計及び逃し管を取り付けなければならない。
またこの場合その中の管路は、圧力密閉装置の所要吹出し量を満足する能力がある安全弁の作動に影響を及ぼすものであってはならない（附属書図 4）。
- (c) 破裂板式安全装置を安全弁の出口側に直列に設置する場合は、背圧の変動に関係なく常に一定した吹出し圧力が得られるような構造で、かつ、圧力密閉装置の必要とする吹出し量を満たす能力の安全弁を用いなければならない（参考図 5）。
- (d) 破裂板式安全装置を安全弁と直列に設置し、更に他の破裂板式安全装置に並列に取り付ける場合は、直列破裂板より破裂圧力の少し高い並列破裂板を設置すると、直列破裂板は初めの圧力降下に役立ち、場合によっては全量を放出せず、その後更に圧力が上昇する場合は、並列破裂板が破裂することによって圧力上昇を防止することができる（附属書図 6 及び 7）。



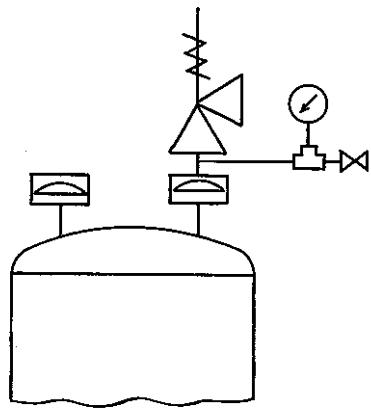
附属書図 3 安全弁と並列



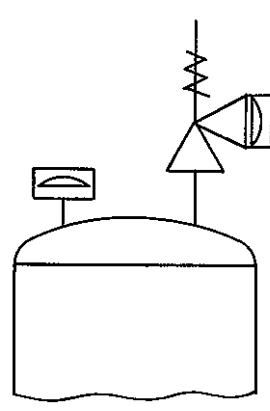
附属書図 4 安全弁と直列“入口側”



附属書図 5
安全弁と直列“出口側”



附属書図 6
安全弁と並直列“入口側”



附属書図 7
安全弁と並直列“出口側”

備考 附属書図 1 のように安全装置の入口側に止め弁を設ける場合は、次により関係法規の規制による。

- (1) 圧力容器構造規格（昭和34年労働省告示第11号）の適用を受ける圧力容器は、止め弁の使用は禁示される。ただし、昭和39年12月25日基発第1429号（ボイラ及び圧力容器等安全規則等に関する疑義について）により2個以上の安全弁を備え、それらが同時に閉止しないように装置を設けた場合には認められる。
- (2) 高圧ガス取締法の適用を受ける圧力容器は、昭和41年5月25日通商産業省令第53号（一般高圧ガス保安規則）12条22項イによって破裂板式安全装置の使用が認められてはいるが、常に全開しておくよう義務付けられている。
- (3) その他、関係法令の適用を受けるものは、その規定による。

5.2 設置の方法 破裂板の設置の方法は、次による。

- (1) 破裂板式安全装置は、圧力密閉装置に近接して取り付け、その間に無用の抵抗となるような管路を介在させないこと。
- (2) 破裂板式安全装置の取付位置は、破裂時に安全な状態で内容物を放出できる方向と場所を選ばなければならない。
- (3) 破裂板式安全装置の放出管は、なるべく曲がりを避け、直接的で、かつ短い距離で屋外又は安全な場所へ導くようとする。
- (4) 破裂板式安全装置を取り付けるとき、破裂板にひずみを与えないように放出管の支持を設計する。
- (5) 破裂板式安全装置の放出管の断面積は、破裂板が必要とする吹出面積以上とする。
- (6) 破裂板式安全装置の放出管は、ドレン、雨水などがたまるおそれがある場合には、ドレン抜きを設けなければならない。
- (7) 2個以上の破裂板式安全装置の放出管を共通とする場合のヘッダは、十分な吹出し容量のものでなければならない。ただし、酸素と可燃性流体又は反応しやすい流体放出管を1本に集約してはならない。

- (8) 破裂板は、容易に検査及び交換ができる位置に取り付け、かつ、破裂板及び破裂板式安全装置は、この規格の8.表示に規定した表示項目が容易に点検できるように設置しなければならない。
- (9) 破裂板式安全装置は、両ホルダの締付面を完全に清掃し、ごみやきずがない状態を確認してから、破裂板又は破裂板とバキュームサポートをはめ込み、ボルトは片締めにならないよう対称的に交互に少しづつ締める。
- (10) 取付けボルトに締付けトルクの規定がある場合は、その規定による。
- (11) 破裂板の取替えに当たっては、次の諸点に留意する。
 - (a) 表面に異物がないことを確認する。
 - (b) きずや変形を生じないように取り扱う。
 - (c) ホルダ、放出管などを清掃する。

JIS B 8226-1981
破裂板式安全装置解説

I まえがき 破裂板式安全装置は、圧力容器、回転機械、配管系など密閉装置類の安全装置として多く用いられる安全装置であるが、国内においては従来社団法人日本高圧力技術協会の規格 HPIS-G 101（ラプチア・ディスク基準）のみであって、この規格は各方面で活用されてきたが 1969 年（昭 44）の制定でもあり、また、かねてから JIS 化の要望があったので、前記協会が工業技術院の委託をうけ委員会を設け原案を作成した。

II 基本条件

1. 本規格の性格 本規格は、破裂板式安全装置の製品規格としたが、この安全装置の信頼性を確保するためには、製品の品質と相まって、使用方法の適切さが極めて大切である。製品の品質は良くとも、もし使用方法が適正でなければ、規定の製品規格（規格に示す性能）を維持できなくなる。このような関係にあるので、「使用基準」を附属書として加えた。
2. ISO 規格案、JIS B 8210 蒸気用及びガス用ばね式安全弁規格との整合性 ISO は、現在 TC 153/SC 3/WG 1 で「安全弁」を、TC 153/SC 3/WG 2 で「Bursting discs」を審議中である。

また JIS B 8210（蒸気用及びガス用ばね安全弁）が制定されている。この破裂板式安全装置の規格は可能な限りこれらと合致させることとした。
3. 材質指定 使用条件との関連で材質を指定すべきだとの意見があったが、製造業者は温度、圧力、腐食環境等により材質を選定し、製品に使用可能な温度圧力を表示するので、使用者はそれによって選択すればよく、材質ごとの制限は設けないこととした。
4. 設定破裂圧力の選定 この破裂板式安全装置の設定破裂圧力の選定は、これを取り付ける圧力密閉装置の最高許容圧力によって選ぶが、これに関連のある法令（高圧ガス取締法の一般高圧ガス保安規則、液化石油ガス保安規則、特定設備検査規則、ボイラー及び圧力容器安全規則など）及び JIS B 8243（圧力容器の構造）、JIS B 8210（蒸気用及びガス用ばね安全弁）、ISO 案などとの整合性を勘案して破裂板の設定破裂圧力 (P_B) = 密閉容器の最高許容圧力 (P_{op}) $\times 1.1$ （ただし可燃性ガスの貯蔵用で火災など不時の外熱をうけるものは 1.2）を指標とし選定することとした。
5. 設定破裂圧力の許容差 この規格の背景となった旧 HPIS-G 101 は、1 級品及び 2 級品の許容差方式が決められていたが、それから既に 12 年を過ぎ、技術が向上した現状に合わせた。
6. 保全 破裂板式安全装置の性能を維持するために、次のような適正な保全を行うものとする。
 - 6.1 破裂板の取替 破裂板は定期的に取り替えなければならない。使用期間は、製造者の保

証期間を限度とする。

6.2 供用期間中の検査 破裂板式安全装置の性能を維持するため、供用期間中定期的に下記の検査を行わねばならない。

(1) 破 裂 板

- (a) 表面のきず、腐食状態、異物の付着
 - (b) 変形状態
- (2) ホルダー、バキュームサポート
- (a) 腐食状態
 - (b) 破裂板、当たり面の損傷の有無、変形状態
 - (c) 異物の付着
 - (d) 締付ボルトの点検

(3) 放 出 管

- (a) ドレーン、つまり、腐食状況
- (b) 固定箇所の点検
- (c) 飛散防止器具の点検

6.3 予 備 品 定期検査において腐食、きず等の欠陥を発見した場合及び破裂板式安全装置が作動した場合に備え、必要な予備品を常備する。

6.4 予備品の保管 予備品の保管に当たっては、下記の点に留意すること。

- (1) 保管中に腐食しないよう防錆対策を行う。
- (2) 保管中に変形をうけないようにする。
- (3) 保管時は高温、高湿、低温などにさらされないようにする。

III 本文解説

1. 適用範囲 この規格では、破裂板は金属製に限り形状はドーム形と反転形に限定した。金属製の平板状のものは精度と信頼性に欠けるところがあり、またグラファイト製の平板状のものについても検討したが実績が少なく技術的資料も乏しいため、今回は一応規格に入れないとした。

また、この規格と設計方式等を異にする設定破裂圧力が 300 kgf/cm^2 を超えるもの、及び爆どうのように急激な圧力上昇のため、破裂板式安全装置では作動が追従できないようなものは、適用除外とした。

更に、設定破裂圧力が大気に近い低圧（差圧が 0 に近い場合）のものは、この規格の適用範囲に含まれるが、極端に低圧のときは、設定破裂圧力の許容差がこの規格値に収まり得ない場合も予想され、そのような製品については発注者と受注者の協議によって決められることとなる。

また、この規格はその適用範囲に含まれるものであっても、JIS B 8246（高圧ガス容器用弁）など、他の規格で規定されたものを制限するものではない。

備考 破裂板式安全装置の吹出し量は、解説の5.に示す計算式から分かるように、1秒間の吹出し量を基本としてこれを1時間当たりに換算して成り立っている。したがって、 $\frac{1}{10}$ 秒間単位に吹出し量を算定する必要がある場合は、必要とする吹出し面積は、この規格から算出される吹出し面積を10倍した面積としなければならないこととなる。

このような対応によって、爆燃程度の圧力上昇速度に対しては破裂板の破裂によって急激な圧力降下の効果が期待できる。しかし、爆こうのように $\frac{1}{1000}$ 秒単位の昇圧速度に対しては、たとえ吹出し面積を 1000 倍としても爆圧が破裂板へ届く前に側壁を破壊してしまうこととなる。

爆弾による破壊を防止するためには、容器の大きさ、形状、内部構造を考慮するなど、別の対策を必要とするので、爆弾に対してはこの規格の適用外とした。

5. 性 能

5.1 定格吹出し量

- (1) 蒸気ノズルから吹き出す蒸気の質量を求める計算式は、次項の(1)式と同じであるが、蒸気の特性から 110 kgf/cm^2 以下である場合は PV の値を一定と見なし得るので簡便化された計算式を用いることとした。

この計算式は、Napier の式と呼ばれ、JIS B 8210(蒸気用及びガス用ばね安全弁)、ISO 4126 Safety valves、ASME Code Section I、Power boilers などに用いられている計算式である。

吹出し係数の値は、ISO／TC 153／SC 3／WG 2 N 45, Proposed Draft International Standard for Bursting Disc Assemblies, Annex Bに規定する値をとっている。

- (2) ガスノズルから吹き出すガスの質量を求める計算式は、(1)式で表され、右項の分子、分母へ P_1 を乗ずると(2)式となる。

$$W = 3.6 \times 10^3 A \sqrt{2gc \cdot \frac{P_1}{V_1} \cdot \frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$= 3.6 \times 10^3 A P_1 \sqrt{\frac{2gc}{P_1 V_1} \cdot \frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに W : 吹出し量 (kg/h)

A ：流出面積 (m²)

gc : 重力換算係数 (9.80665 kgm/(kgf · sec²))

P_1 : 入口側の絶対圧力(設定破裂圧力の絶対圧力)(kgf/m²)

P_2 : 出口側の絶対圧力 (kgf/m²)

V_1 : 入口側の流体の比体積 (m^3/kg)

κ : 断熱指數 (C_p/C_v)

備考 $\kappa = 1.0$ の場合は、 $\kappa = 1.001$ として計算するものとする。

(2)式の面積の単位を m^2 から mm^2 へ、圧力の単位を kgf/m^2 から kgf/cm^2 へ改め、

$P_1 V_1 = ZRT / M$ とすると(2)式は(3)式となる。

$$W = AP_1 \times 36 \sqrt{\frac{2gc}{R}} \cdot \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa+2}{\kappa}} \right]} \cdot \sqrt{\frac{M}{ZT}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$36 \sqrt{\frac{2gc}{R}} \cdot \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} \cdot \sqrt{\frac{M}{ZT}} = C' \text{ とすると}$$

$$W = C' AP_1 \sqrt{\frac{M}{ZT}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで A : 流出面積 (mm^2)

P_1 : 入口側の絶対圧力 (設定破裂圧力の絶対圧力) (kgf/cm^2)

P_2 : 出口側の絶対圧力 (kgf/cm^2)

R : ガス定数 ($8.31441 J/(mol \cdot K) = 847.834 kg \cdot m/(kmol \cdot K)$)

M : 分子量 ($kg/kmol$)

T : 入口側のガスの絶対温度 (K)

Z : 流体の圧縮係数 (-)

W , gc 及び κ は、(2)式と同じ。

(4)式は理論式であるから余裕をみるための係数 0.9 及び流出係数 K を(4)式に対して考慮すると(5)式となる。

$$W = KC' AP_1 \sqrt{\frac{M}{ZT}} \times 0.9 \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで K : 流出係数

(5)式は国際的に慣用される計算式であって、ISO 4126 Safety valves, JIS B 8210(蒸気用及びガス用ばね安全弁), ASME Code Section VIII Pressure Vessels, RS 5500 Specification for unfired fusion welded pressure Vesselsなどの採用されている。

C' の値は g 及び R の値が一定であるから、 κ 及び P_2/P_1 の関数となるが κ の値に応じて P_2/P_1 の値が限界圧力比にあるとき最高となる。 κ の値について 1 ~ 2.2, P_2/P_1 については 0.25 ~ 0.96 の範囲について計算して図に表したのが付図 1 である。

備考 P_2/P_1 の限界圧力比は、次の式から求められる。

$$\frac{P_2}{P_1} = \left[\frac{2}{\kappa+1} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

圧縮係数を示す付図 2 は、ISO 4126 に規定する図と同じである。

(3) 液 体 液体の吹出し量を求める計算式は、次により誘導されている。

$$W = \frac{3.6 \times 10^3}{10^6} KA \sqrt{2gc \Delta p \delta} = 1.5943 KA \sqrt{\Delta p \cdot \delta} = 1.6 KA \sqrt{\Delta p \cdot \delta}$$

ここで Δp : 差圧 (kgf/cm^2)

δ : 液体の密度 (kgf/m^3)

W , A 及び gc は(2)式, K は(5)式と同じ。

5.2 設定破裂圧力の許容差 設定破裂圧力の許容差は、ISO/TC 153/SC 3 N 45 に規定する±5%をとることとしたが、実績などを勘案して $2 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ で区分し、 $2 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 未満に対してはドーム形と反転形に区分して規定した。しかし、ISOも現在審議段階にあり、また製造範囲との関連もあるので、当分の間許容差については発注者と製造者との協議によることができる旨、備考へ示すこととした。

6.1 破裂板

(3) 破裂検査

(1) 抜取り数 この規格では、破裂検査における抜取り数については規定しなかった。

ISO/TC 153/SC 3/WG 2 N 45 で規定しているのでそれによるよう検討したが、審議の結果その抜取り数のみでは品質の保証がむつかしいとの結論から採用しなかった。したがって、抜取り数については発注者と製造者の協議によることとなる。

ISO/TC 153/SC 3/WG 1 N 56 には Foil テストの規定があり、この規定をベースとして抜取り数が定められているものと考えられる。

従来、国内では 1 サイズに対する発注個数も少なく、製造範囲の概念も一般的ではないので Foil テストを規定しても意味がないので前述の意味を併せて抜取り数を規定することは見送ることとした。

参考として ISO/TC 153/SC 3/WG 2 N 45 に規定する抜取り数を次に示す。

TABLE 1—Number of discs to be tested

Total number of discs in batch	Number of discs to be tested
Less than 10	2
10 to 15	3
16 to 30	4
31 to 100	6
101 to 250	4 % but not less than 6
251 to 1000	3 % but not less than 10

NOTES

- 1 Discarded and test discs do not count as part of the number of the batch.
- 2 For batches above 1000 the number of test discs shall be agreed between the manufacturer and user or his agent.
- 3 Any agreement to vary the number of discs to be tested, shall be based upon appropriate national standards of the users country.

(口) 破裂試験温度 破裂板の破裂検査は、原則として破裂板の設定温度、つまり、破裂板を取り付けて使用する状態と同温度で破裂試験を行うこととした。これは破裂板の破裂圧力は、使用する温度によって変化するため、実際の使用温度における正確な破裂圧力を知るためである。しかし、常温における試験破裂圧力から実際の使用温度における破裂圧力を、客観的に保証できる場合は、常温で試験を行うことができるることを取り入れた。

一般に温度による破裂圧力の変化は、材料の強度やヤング率等の変化に相関する。したがって、これらのデーターを整え、常温及び設定温度における破裂試験を繰返し、破裂板の材質ごとの温度と破裂圧力の相関を明らかにし、常温における試験データーから設定温度における破裂圧力を保証できる場合などを取り入れた。

これは ISO/TC 153/SC3/WG 2, N 45(1980, DP), BS 2915, P 5, 1974, ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII , Division 1, 1980 年版 p 75 ~ 77 等も参考として決めなものである。

付録-Ⅲ 各種インコネル材料の特徴 (メーカカタログより)

1. インコネルX-750

化学成分(%)

ニッケル(十コバルト)…70 以上	銅……………0.5以下
炭 素……………0.08以下	クロム……………14.0~17.0
マンガン……………1.0 以下	アルミニウム……………0.40~1.0
鉄……………5.0~9.0	チタン……………2.25~2.75
硫 黃……………0.01以下	ニオブ+タンタル……………0.70~1.20
珪 素……………0.5 以下	

物理的性質

密 度(g/cm ³)	8.25	キュウリー温度(℃)	
弾性係数(×10 ³ kg/mm ²)		焼 鈍 後	-143
E……………21.7		時 効 後	-125
G……………7.7		透磁率(21℃, 200エールステッド)	
ポアソン比……………0.29		焼 鈍 後	1.002
比 熱(21℃)……………0.103		時 効 後	1.0035
溶融温度(℃)……………1,393~1,427			

℃	-196	21	100	300	500	800
熱膨脹係数(×10 ⁻⁶ /℃)	-	10.3	12.6	13.5	14.4	16.3
熱伝導率(cal/cm·sec·℃)	-	0.029	-	0.037	0.044	0.054
固有抵抗値(μΩ·cm)	123.7	122.2	-	126.8	130.2	128.5

機械的性質

熱 处 理	引張り強さ (kg/mm ²)	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	伸 び (%)	カ タ サ (H B N)
1	119 ~ 145	84 ~ 114	25 ~ 15	313 ~ 400
2	113 ~ 136	80 ~ 100	30 ~ 15	300 ~ 390
3	112 ~ 133	70 ~ 95	30 ~ 15	302 ~ 363
4	112 ~ 138	80 ~ 106	30 ~ 20	300 ~ 400

1. 熱間加工 +704℃/20H 後 A.C.
2. 熱間加工 +982℃/1H 焼鈍 +732℃/8H 後 F.C.+621℃まで 56℃/H で徐冷後A.C.
3. 熱間加工+885℃/24H 後 A.C.+704℃/20H 後 A.C.
4. 冷間加工+704℃/20H 焼鈍後 A.C.

耐食性

硫 酸………B	有 機 酸………A
塩 酸………C	アルカリ類………A
弗化水素酸………	塩 類………A
磷 酸………B	海 水………A
硝 酸………C	応力腐食割れ………A

高温での性質(538℃)

耐 酸 化 性………A	A； 良好
耐 浸 炭 性………A	B； 普通
高 温 強 度………A	C； 不可

一般的性質

*インコネル・アロイX-750は816℃までの耐食性、耐酸化性および高クリープ・ラップチャ强度を必要とする場合に適した時効硬化、非磁性のニッケル-クロム合金です。このアロイは、アルミニウムチタンを加えて時効硬化させており、これらの元素は適当な熱処理により、ニッケルと結合し、Ni₃(Al, Ti)の金属間化合物を作ります。本アロイは当初ガス・タービン、ジェット・エンジン用に開発されました、種々の優れた特性により他の用途にも広く使用されています。優れたリラクゼーション特性のために、約650℃までの温度で使用されるバネ材としても適しています。このアロイは-250℃の低温でも良好な強度と韌性を示し、十分に時効硬化した状態でも塩素イオンによる応力腐食割れはほとんど起しません。

用 途 例

ガス・タービン部品、バネ、熱処理用部品、工具類

耐 食 性

インコネル・アロイX-750は、酸化、還元の両腐食条件で使用するのに適したもののです。高温での耐食性、耐酸化性にも優れていて、実用テストでも好結果が得られています。このアロイの特徴は完全に析出硬化した状態でも塩素イオンによる応力腐食割れを起しにくいことです。析出硬化させた標準試料(HRc33)を沸騰した42%塩化マグネシウム溶液に30日間浸漬した結果では割れは認められませんでした。

溶 接 性

インコネルアロイX-750に適した溶接方法はTIG、プラズマアーク、電子ビーム、抵抗溶接です。TIG溶接する際は、インコネル・フィラーメタル69を使用します。ストレスマップチャーテストの結果によると、母材に対する溶接強度は室温でほぼ100%であり、704~816℃では80%です。このアロイは溶接前に焼鈍、又は溶体化処理する必要があります。析出硬化した状態でも溶接は可能ですが、母材割れの危険があるため溶着部又は熱影響部は析出処理したり析出硬化温度にさらすことをさける必要があります。

製造品目

厚板、薄板、帶、丸棒、線材、管、異型棒、鍛造品

2. インコネル 625

化学成分(%)

ニッケル	.....残	クロム	.....20.0~23.0
炭 素	.....0.10 以下	アルミニウム	.....0.40 以下
マンガン	.....0.50 以下	チタニウム	.....0.40 以下
鉄	.....5.0 以下	ニオブ+タンタル	.....3.15~4.15
硫 黄	.....0.015以下	モリブデン	.....8.0~10.0
珪 素	.....0.50 以下	コバルト	.....*1.0 以下
		磷	.....0.015以下

*報告されないが、この値を越えることはない。

物理的性質

密 度(g/cm ³)	.....8.44	比 熱(21°C)	.....0.098
弾性係数($\times 10^3 \text{ kg/mm}^2$)		溶融温度(°C)	.....1,288~1,349
E	.....21.0	キュリー温度(°C)	.....-196以下
G	.....7.7	透磁率(21°C, 200エールステッド)	.....1.0006
ボアン比	.....0.31		

°C	21	100	300	500	800	1100
熱膨脹係数($\times 10^{-6}/\text{°C}$)	9.9	12.8	13.4	13.9	15.5	—
熱伝導率(cal/cm · sec · °C)	0.023	—	0.033	0.041	0.051	
固有抵抗値($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	129.7	—	135.8	138.3	137.4	134.7

機械的性質

	引張強さ (kg/mm ²)	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	伸び (%)	カタサ (H B N)
焼 鍋 後(棒、厚板)	84~106	42~ 67	60~30	145~220
+(棒、薄板)	84~106	42~ 64	55~30	145~240
溶体化処理後(棒、厚板)	74~ 92	29~ 42	65~40	116~194
熱間加工のまま(棒、厚板)	84~113	84~113	60~30	175~240

耐食性

硫 酸	.....A	有機酸	.....A	
塩 酸	.....A	アルカリ類	.....A	A; 良好
フローレン酸	.....A	塩類	.....A	B; 普通
硝 酸	.....A	海水	.....A	C; 不可
磷酸	.....A	応力腐食割れ	.....A	

高温での性質(538°C)

耐酸化性	.....A	A; 良好
耐浸炭性	.....A	B; 普通
高温強度	.....A	C; 不可

一般的性質

*インコネル・アロイ 625は低温から1,090°Cの間で、高い強度と韌性を有しております。特に疲労強度が優れています。本アロイは非磁性で組織的にはニッケルとクロムの地にモリブデンとニオブを固溶する固溶強化型合金です。良好な耐酸化性に加えて、多くの腐食環境に対して優れた耐食性を示します。さらに塩素イオンに起因する応力腐食割れは全く生じません。本アロイは加工が容易で溶接性も優れています。耐食性は溶接後に特別な熱処理を施さなくとも低下することはありません。本アロイは航空機用部品、化学工業、海洋関係等に広く使用されています。

用途例

ダクト、燃焼設備（燃料ノズル、アフター・バーナー）排煙設備用ファン

耐食性

インコネル 625 は広範囲の厳しい腐食環境に対して良好な耐食性を示します。例えば大気、淡水、海水、中性塩類、アルカリ類にはほとんど浸されません。さらに厳しい腐食環境においてもニッケルとクロムにより酸化性雰囲気での耐食性を改善し、ニッケルとモリブデンにより還元性雰囲気での耐食性を改善しています。モリブデンは孔食、隙間腐食に対しての抵抗性を良くし、ニオブは溶接中の脆化と、それに伴う粒界割れとを阻止する効果があり、高ニッケル含有量は塩素イオンによる応力腐食割れを阻止します。これらの特性は本アロイ特有のもので、広範囲の腐食環境、特に塩酸と硝酸というような相反する特長を持つ酸類の混合液を含む廃棄物に対して良好な耐食性を示します。

溶接性

インコネル・アロイ 625 の溶接に際しては同種材料の場合も、異種材料の場合もインコネルフィラーメタル 625、又は、インコネル溶接棒 112 が適しています。これらの溶着金属はインコネル・アロイ 625 と同様に低温から 980°Cまで、耐酸化性、耐食性、強度、韌性に優れています。これらの特性を保持するために溶接後に特別な熱処理を要しません。異種材料を溶接する場合に、これらの溶接材料を用いれば薄められた状態でも本アロイの特長を失うことはありません。

3. インコネルー 600

化学成分(%)

ニッケル(十コバルト).....	72.0 以上
炭 素.....	0.15 以下
マ ン ガ ン.....	1.00 以下
鉄	6.00~10.00
硫 黄.....	0.015以下
硅 素.....	0.50 以下
銅	0.50 以下
ク ロ ム.....	14.00~17.00

物理的性質

密 度 (g/cm^3)	8.41	比 热(21°C).....	0.106
弾 性 率 ($\times 10^3 \text{kg}/\text{mm}^2$)	—	溶融温度($^\circ\text{C}$).....	1,354~1,413
E	21.0	キュリー温度($^\circ\text{C}$).....	—124
G	7.7	透磁率($21^\circ\text{C}, 200\text{エールステッド}$)	—
ボアソン比	0.29	.....	1.010

$^\circ\text{C}$	-196	21	100	300	500	800	1100
熱膨脹率 ($\times 10^{-6}/\text{C}$)	—	10.4	13.3	14.2	14.9	16.1	—
熱伝導率 ($\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{C}$)	—	0.037	—	0.045	0.053	0.065	—
固有抵抗値 ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	98.6	103.7	—	107.8	112.8	114.2	117.8

機械的性質

	引張り強さ (kg/mm^2)	0.2 % 耐力 (kg/mm^2)	伸び (%)	カタナ (HBN)
熱間加工のまま	59 ~ 85	24 ~ 64	50 ~ 25	140 ~ 217
冷間加工後	73 ~ 106	56 ~ 88	30 ~ 10	180 ~ 300
焼 鈍 後	56 ~ 71	21 ~ 36	55 ~ 35	120 ~ 170

耐食性

硫 酸.....B	有 機 酸.....A	A ; 良好 B ; 普通 C ; 不可
塩 酸.....C	アルカリ類.....A	
弗化水素酸.....B	塩 類.....A	
燐 酸.....B	海 水.....B	
硝 酸.....B	応力腐食割れ.....A	

高温での性質 (538°C)

耐酸化性.....A	A ; 良好
耐浸炭性.....A	B ; 普通
高温強度.....A	C ; 不可

一般的性質

*インコネル・アロイ600は高温における種々の厳しい腐食環境で使用できる材料です。このアロイは $1,180^\circ\text{C}$ まで耐酸化性があります。その優れた耐食性と耐酸化性に加えて高強度と加工性を兼ね備えており、そして冷間加工により硬化され、強度アップできます。本合金は高温におけると同様、低温においても優れた機械的性質を示します。塩素イオンによる応力腐食割れと純水に対する耐食性がよいため原子力用リアクターに使用されています。

用途例

炉用マッフル、電子機器部品、熱交換器部品、化学、食品加工設備、浸炭用バスケット、治具、原子力用リアクター

耐食性

インコネル・アロイ600はその成分により各種の腐食物質に対して優れた耐食性を示します。クロムを含有することにより、酸化雰囲気では純ニッケルより優れた耐食性を示し、ニッケル含有量が多いことから還元性雰囲気、アルカリ性溶液に対して優れた耐食性を示します。このアロイは加熱炉や熱処理用部品、例えはレトルトボックス、マッフル、ワイヤーベルト、ローラーなど耐酸化性を必要とする部品に広く使用されています。また高温での耐塗化性がよいことから塗化用ケースなどにも使われています。

溶接性

インコネル・アロイ600は同種材料、異種材料とも普通の溶接、ろう付、はんだ付方法で容易に接合可能です。溶接方法によって次のように溶接材料を選択して下さい。

溶接方法	溶接棒
被覆アーク溶接	*インコネル溶接棒132, 182
TIG・MIG	インコネル・フィラーメタル62, 82
サブマード法	インコネル・フィラーメタル62, 82とインコフラックス4
酸素アセチレン法	インコネル・フィラーメタル62

* 650°C 以上で最高の応力破断特性を得るにはインコウエルド溶接棒Aをご使用下さい。

製造品目

薄板、厚板、帯、丸棒、線材、管、異型棒、鍛造品