

日本船舶振興会昭和48年度補助事業  
“船舶の構造・性能に関する基礎的研究”

研究資料 No. 198

## 第137研究部会

### 船用ディーゼル機関用排気弁の吹抜け防止 および燃料弁の長期無開放化に関する研究

#### 報 告 書

昭和49年3月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

## は　し　が　き

本報告書は日本船舶振興会の昭和48年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究協会が第137研究部会においてとりまとめたものである。

### 第137研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長	藤田秀雄（明治大学）	塩出敬二郎（船舶技術研究所）
幹事	遠藤巖（日本海事協会）	津田公一（東京大学）
	武本善之（石川島播磨重工業）	本岡隆雄（三菱重工業）
	永井将（日立造船）	飯島和男（昭和海运）
委員	綾部久文（三菱重工業）	奥村克二（名村造船所）
	今井次郎（三菱重工業）	孝橋謙一（阪神内燃機工業）
	小野賢一（ジャパンライン）	阪本甕（日杵鉄工所）
	小山陽一（住友重機械工業）	中野英明（川崎重工業）
	佐藤義一（函館ドック）	野村寛（日立造船）
	西村明雄（大阪商船三井船舶）	原野二郎（三井造船）
	原三郎（日本船用機器開発協会）	平子善夫（大阪府立大学）
	東園安憲（大阪造船所）	村上和夫（日本鋼管）
	弘田孝輔（日本郵船）	森下輝夫（船舶技術研究所）
	本吉英一（ヤンマーディーゼル）	

## 目 次

1. 排気弁の吹抜け防止の研究 .....	1
1.1 はじめに .....	1
1.2 実験内容 .....	1
1.2.1 実験機関 .....	1
1.2.2 弁および弁座の組合せ .....	2
1.2.3 ロート・キャップ .....	3
1.3 実験結果 .....	3
1.3.1 フェース硬度の影響試験 .....	3
1.3.2 時計方向回転形ロートキャップの影響試験 .....	5
1.3.3 反時計方向回転形ロートキャップの影響試験 .....	6
1.4 まとめ .....	7
1.4.1 フェース材硬度の影響 .....	7
1.4.2 ロートキャップの影響 .....	7
1.5 おわりに .....	7
2. 水冷式燃料弁の長期無開放化の研究 .....	18
2.1 緒言 .....	18
2.2 試験方法 .....	18
2.2.1 供試燃料弁の種類とその対策内容 .....	18
2.2.2 実船試験 .....	19
2.2.3 陸上調査 .....	19
2.3 試験結果 .....	19
2.3.1 実船試験の経過 .....	19
2.3.2 実船試験結果 .....	20
2.3.3 陸上調査の結果 .....	22
2.4 まとめ .....	24
2.4.1 弁、シートの適正組合せについて .....	24
2.4.2 ノズル外衣の適正材料について .....	24
2.4.3 ノズル外衣の適正ガス洩れ防止法について .....	24
2.4.4 長期無開放化に即した燃料弁の設計法について .....	24
添付資料 図2.1～2.25 .....	25
表2.1～2.13 .....	44

# 1. 排気弁の吹抜け防止の研究

## 1.1 はじめに

舶用ディーゼル機関の長期無開放運転を阻む障害の一つに排気弁の焼損事故がある。そこで、SR 122 研究部会では、先に実機用排気弁の実態調査を行なった。その結果、低質燃料油を使用する中大形機関の排気弁は、弁および弁座フェースの変形、摩耗、高低温腐食、フェースに対する燃焼残渣の付着むら、咬込疵がもとで焼損することが多く、それぞれの焼損には

- (1) 燃料油、シリンダ油、燃焼条件、温度など、機関の運転条件に基づく因子、および
- (2) 弁まわりの構造、剛性、材料など、設計条件に基づく因子

が影響していることを明らかにした。次いで、排気弁の焼損に及ぼすこれら諸因子の影響度を解明し、それぞれの対策に関する基礎資料を得る目的で、昭和45年度にNDT 19/30°C 形単筒実験機関を製作した。以後、この実験機関を使用して排気弁焼損の現象解明および対策に関する一連の系統的な研究を実施してきた。これまでに得られた成果は、ほぼ以下のとおりである。

- (1) 排気弁の焼損現象は吹抜け過程と焼損過程の2段階に分けることができる。吹抜けは何等かの理由で弁の気密が阻害され溝ができる箇内のガスが洩れる現象で、主原因は弁、弁座フェースに生じた燃焼残渣の付着むら、および咬込疵であることが多い。しかし吹抜けた部分がすべて焼損するとは限らない。ただし、吹抜けが生ずるような時点では、弁・弁座フェースの付着物、または咬込疵のために弁の弁座による冷却が悪く、弁の作動温度は通常より相当高くなっているものと想像される。さらに、そこに高温高圧の燃焼ガスが吹抜けることによって、弁または弁座フェースが或る温度以上に達すると焼損が始まる。
  - (2) 焼損の最も効果的な対策は、燃焼室周りに燃焼残渣が付着堆積するのを防止することである。付着物の量にはシリンダ油のアルカリ添加剤の量が大きく影響するために、必要以上にアルカリ価が高いシリンダ油を多量に給油するのは好ましくない。また、付着物の量は燃料油が粗悪化するほど増す傾向があるため、燃料管理には十分な注意が肝要と考えられる。
  - (3) 弁・弁座フェースの付着物防止にはフェース角を大きくするのが有効である。フェース角が大きいほど弁が着座する際に、弁と弁座フェースの間に微少すべりが発生し易くなり、常時すり合せ的な作用を生ずるためと考えられる。またバルブローテータも同様な作用を持つといわれているが、まだ不明な点があるので、後で実験的に検討する。
  - (4) しばしば弁・弁座フェースに認められる凹みは燃焼残渣の咬込によるものである。したがって、この対策には弁・弁座フェースに硬度の高い材料を使用するのが効果的と思われる。この点についても、後で詳述する。
  - (5) 吹抜けが生じても、弁・弁座フェースか或る程度以上に達しなければ焼損は起らない。したがって焼損対策には弁・弁座の作動温度を低く維持することが大切で、この意味で弁および弁座を水冷却するのは有効である。弁が弁座によつて十分冷却されるようにフェースの当り幅は適当に広い方が好ましい。
- 以上のとおり、これまでの研究によって舶用中大形機関用排気弁焼損の主要原因と対策の方向づけは、かなり明確になった。しかし焼損現象には多くの因子が複雑に関与しているために、まだ検討の余地も多い。そこで本年度は排気弁の焼損に及ぼすフェース材の硬度およびバルブローテータの影響度について実験的に検討することになった。

## 1.2 実験内容

### 1.2.1 実験機関

本実験では昭和45年度SR 122 研究部会で製作したNDT 19/30°C 形単筒実験機関を使用する。この主要目および運転条件を表1.1に示す。

表 1.1 実験機関主要目

呼称	NDT 19/30 C形機関
掃排気方式	ユニプロ，4弁式
ボア×ストローク	190 mm × 300 mm
出力 × 回転数	93.5 PS × 550 rpm
図示平均有効圧力	11.1 kg/cm <sup>2</sup>
カバ出口排気温度	約400°C
排気圧力	約700 mmHg

表1.1のとおり、実験機関はユニプロ掃気の4弁式で

図1.1のとおり排気はそれぞれ2弁が一緒になってカバ外に放出される。

図には各弁の呼称も併記した。

燃料油およびシリンダ油の一般性状を表1.2および表1.3に示す。シリンダ油のアルカリ価は4.0で、給油量は1.0 g/r/PS.Hr一定である。

### 1.2.2 弁および弁座の組合せ

本年度行なった実験の弁および弁座材の組合せをまとめて表1.4に示す。

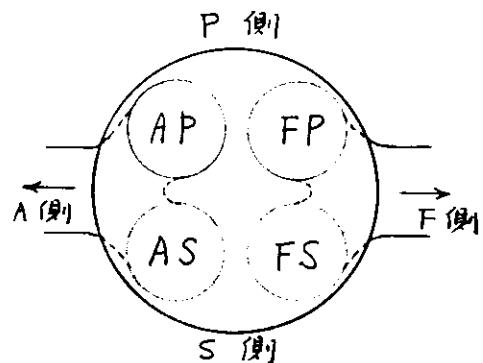


図1.1 弁配置

表1.2 燃料油

比重	50°C	0.913 ~ 0.923
引火点	°C	86 ~ 99
粘度	50°C	RW1 269 ~ 399
	80°C	RW1 91 ~ 114
残留炭素分	%	0.01 ~ 0.04
硫黄分	%	2.05 ~ 2.15
バナジウム分	PPM	62 ~ 66
ナトリウム分	PPM	13 ~ 25

表1.3 シリンダ油

ペース油		ナフテン系
アルカリ価	KOH mg/g	4.0
比重	15°C	0.940
引火点	°C	232
流动点	°C	-20
粘度	37.8°C CST	203.3
	98.9°C CST	14.4
粘度指数		68

表1.4 弁および弁座材(盛金材)の組合せ

試験番号		AP	FS	FP	AS	参考
1	弁	ST6	ST12	ST11	ST20	
	座	SUH31	ST6	ST11	ST20	
2	弁	ST 6				AP, FSに時計方向回転形 ロートキャップ使用
	座	ST 6				
3	弁	ST 6				AP, FSに反時計方向回転形 ロートキャップ使用
	座	ST 6				

表示の記号 S Tは盛金材デロロステライト材の略号で、それぞれの組成を表 1. 5 に示す。

表 1. 5 弁・弁座材の組成

名 称	C	Si	Mn	Ni	W	Cr	Co
S U H 31	0.35 ~ 0.45	1.5 ~ 2.5	< 0.6	13 ~ 15	2 ~ 3	14 ~ 16	—
S T - 6	1.0	—	—	—	4	28	Bal.
S T - 12	1.35	—	—	—	8	29	Bal.
S T - 11	2.5	—	—	—	12	30	Bal.
S T - 20	2.5	—	—	—	18	33	Bal.

それぞれの材料のカタログ値を参考にした高温硬度特性を図 1. 2 に示す。図には、今回使用した各材料の常温硬度を実測して◎印で記入した。それぞれの材料の硬度はほぼ期待どおりである。

実験機関用弁および弁座と盛金部の詳細を図 1. 3 に示す。母材は両者とも SUH 31 である。

### 1.2.3 ロート・キャップ

内燃機関用吸排気弁を作動中に強制的に回転させる装置、いわゆるバルブローテータにはいろいろな形式が考えられているが、ロート・キャップが最も広く用いられている。本実験で試用したロート・キャップの詳細を図 1. 4 に、弁ばねの主要目を表 1. 6 に示す。ここでいう右巻ばねとは、右ねじのねじ溝にねじ線を巻付けてできる形状のばねを意味する。ロート・キャップによる弁の回転特性はロート・キャップ自身の諸元はもとより、弁ばねの要目、巻方向および機関回転数などによって異なるが、弁ばねが右巻の場合には、概ね図 1. 5 のような動きをするといわれている。特に、弁の着座特性に差があり、時計方向回転形の弁がほぼ弁座に垂直に着座するのに対して、反時計方向回転形の弁は回転しながら着座する性質を持っている。しかし、この違いは、圧縮に伴うばね端の回転特性に依存しているために、弁ばねの巻角が小さく、巻数が多い場合には両者の差は小さくなるものと推定される。なお、従来使用のロート・キャップは右巻弁ばねに対して反時計方向回転形のものが多く、弁は図 1. 5-(A)に近い運動をしているものと思われる。

## 1.3 実験結果

### 1.3.1 フェース硬度の影響試験

弁および弁座の組込状況は表 1. 4 に示した。フェースの硬度は図 1. 2 から明らかとおり、AP, FS, FP, AS の順で AS が一番硬い。なお、各弁は運転中に回転しないようにしてある。

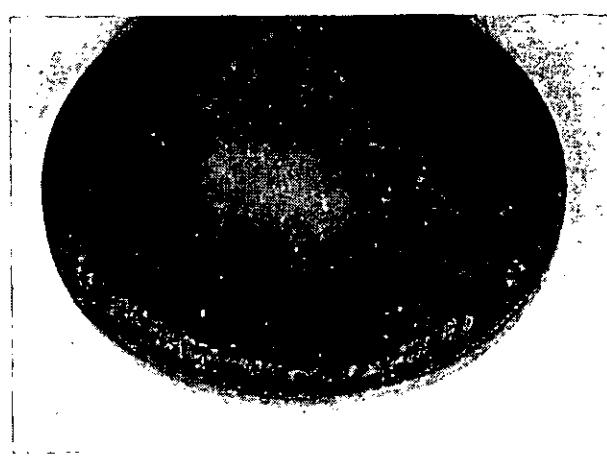
本実験の総運転時間は 500 Hr で途中 42, 97, 300 および 423 Hr で外観検査のために開放した。以下に、それぞれの時間での開放状況を述べる。

#### (1) 42 Hr 後の状況

燃焼室壁には全面に黄白色の燃焼残渣が付着しており、すでに剥離している部分が認められた。燃焼残渣は弁および弁座フェースにも全面に薄く付着していて各弁には図 1. 6 に示すような吹抜けの跡が生じていた。しかし、まだ焼損の兆は全くない。

#### (2) 97 Hr 後の状況

付着物の状況は 42 Hr 後と大差ないが、硬度が低い



( AS )

図 1. 6 吹抜けの例

S U H 31 の弁座フェースには燃焼残渣を咬込んだための小さい凹み痕が認められるようになってきた。

### (3) 300 Hr 後の状況

弁および弁座フェースに対する燃焼残渣の付着物はやや増加したようだが、大きな変化はない。しかし、弁座フェースの損傷には明りょうな違いが出てきた。特に S U H 31 材弁座のフェースには凹痕が多くなり、次いでステライト 6 ( S T - 6 ) 盛金弁座にも凹痕が発生し始めた模様である。ステライト 11 ( S T - 11 ) やステライト 20 ( S T - 20 ) 盛金のフェースは共に良好である。

### (4) 423 Hr 後の状況

この時間になるとフェース材硬度の影響が一層明りょうになる。S U H 31 材弁座には幅 1 mm 程度の吹抜け溝ができる、そこから軽微な焼損が始まっている。

まだ弁は焼損していないようであるが、弁と弁座間の気密性は、図 1.6 に示したような弁傘付着物の状況から判断する限り、盛金硬度の高い A S および F P に比べると盛金硬度の低い A P , F S の方が明らかに悪い。

### (5) 500 Hr 後の状況

外観は 423 Hr 後と大差ない。S U H 31 材弁座の焼損は幾分進行しているが、まだ大きさは食われていない。しかし、以上の実験によってフェースの損傷に及ぼす盛金材の硬度の影響はほほ明らかになつたためにここで試験を中止した。以下、500 Hr 後の開放状況について述べる。

開放後および酸洗いをして燃焼残渣の付着物を除去した後の弁および弁座を比較して図 1.7 に示す。開放後の弁および弁座フェースにはすべて燃焼残渣が薄く付着しているために損傷状況は余り明らかでない。しかし酸洗いによって付着物を除去すると弁・弁座ともにフェース材硬度の影響が明りょうになる。硬度の影響は弁座に於て一層明りょうで、S U H 31 材弁座には多くの咬込疵とともに焼損したところがある。次いで S T - 6 盛金の弁座フェースもかなり凹んでいるが、S U H 31 よりも軽微である。S T - 11 や S T - 20 盛金の弁座フェースにはともに見るべき凹痕もなく良好である。一方、弁フェースは S U H 31 材弁座と対の S T - 6 盛金弁がフェースの外周から焼損し始めている。また弁フェースの咬込疵は、S T - 6 が最も多く、S T - 12 , S T - 11 や S T - 20 の順に盛金の硬度が高くなるほど浅くて小さくなってくる。しかし、同じ盛金同志を比較すると、咬込疵の程度は弁座よりも弁の方が大きい。弁座よりも弁の作動温度が高いため、相対的に弁フェースの硬度が低くなることがこの原因と考える。

以上を総合すると、弁および弁座フェースの咬込疵による吹抜けを防止するには、少なくとも、弁座には S T - 6 以上、弁には S T - 12 以上の硬度の材料を盛金するのが好ましいようである。

ただし、咬込疵の発生状況は弁の大きさ、剛性、筒内最高圧力などによって変わるとと思われる。燃焼残渣の咬込疵に関する基礎試験の結果<sup>1)</sup>によると圧着力 W ( Kg ) および材料硬度 H<sub>B</sub> ( Kg/mm<sup>2</sup> ) と圧痕面積 A ( mm<sup>2</sup> ) の間には次の関係がある。

$$A = 1.5 W / H_B \quad \dots \dots \dots \quad ( 1.1 )$$

したがって、図 1.8 のような弁径 D ( cm ) 、シート角 θ ( 度 ) の弁フェース周上的一点に燃焼残渣が咬込まれ、

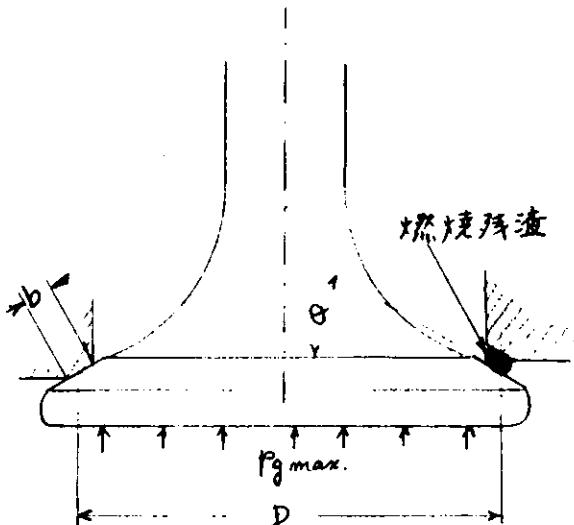


図 1.8 燃焼残渣咬込のモデル

注 1) Protection of Marine Diesel Engine Exhaust Valve

from Burning ISME TOKYO '73

筒内最高圧力  $P_{gmax}$  (kg/cm<sup>2</sup>) が作用する場合を考えると、そこに生ずる凹痕の最大直径  $d_{max}$  (mm) は次式で与えられる。

$$d_{max} = K \sqrt{\frac{1.5 P_{gmax}}{2 H_B \cos \theta}} D \quad \dots \dots \dots \quad (1.2)$$

または

$$d_{max} \propto \sqrt{\frac{P_{gmax}}{H_B \cos \theta}} D \quad \dots \dots \dots \quad (1.3)$$

ここで  $K$  は弁傘に作用する筒内ガス力に占める燃焼残渣を実際に圧着する力の割合を示す係数である。

式(1.3)は、燃焼残渣の咬込によって発生し得る凹痕の最大径で、1個の咬込疵によって吹抜けが生じないために、弁と弁座の当り幅  $b$  (mm) が次式を満足しなくてはならない。

$$b \geq d_{max} \propto \sqrt{\frac{P_{gmax}}{H_B \cos \theta}} D \quad \dots \dots \dots \quad (1.4)$$

すなわち、咬込疵による吹抜けを防止するには同一形状の弁、弁座であれば筒内最高圧力が増加するにつれてフェース材の硬度を高くする必要があることが分る。

### 1.3.2 時計方向回転形ロート・キャップの影響試験

この場合の弁の回転特性は図 1.5-(B) に近いものと思われる。表 1.4 に示すとおり A P, F S にロートキャップ付弁を、F P, A S に廻り止めを施した通常の弁を組込んだ。機関回転数 550 rpm のとき、ロートキャップ付弁は約 9 秒で 1 回転する。弁・弁座はすべて母材は S U H 31 でフェースにはステライト 6 が盛金してある。総運転時間は 507 Hr で、途中 50, 97 および 255 Hr で解放後外観検査を行なった。各時間での開放状況は以下のとおりである。

#### (1) 50 Hr 後の状況

燃焼残渣は燃料弁周りを中心全壁面に付着していた。弁および弁座のフェースにも、薄い燃焼残渣の被膜ができており、すでにこれがもとで微少な吹抜けが生じていた。弁および弁座のフェースは、ロート・キャップ付の方にやや光沢が感じられる程度で、付着物の量および損傷の程度には大差がない。

#### (2) 97 Hr 後の状況

50 Hr 後同様、ロート・キャップ付のフェースにやや光沢がある。各弁とも燃焼残渣の付着物に起因した微少な吹抜けを起していたが、焼損したところはなく、ロート・キャップによる差は明らかでなかった。各フェースには軽微な咬込疵が発生し始めた模様であるが、これに対してもロート・キャップの影響は認められない。むしろ、ロート・キャップ付の方の当り面が良くないようさえ見えた。

#### (3) 255 Hr 後の状況

運転頭初、ロート・キャップは順調に作動していたが、運転時間の経過とともに弁の回転が不規則になり、1 回転に 1 分を要するような場合も出てきた。一時停止することもあり、暫らくすると順調に廻り出す。開放の結果は、弁・弁座とも、ロート・キャップ付の方がフェースにやや光沢があり、全周がほぼ均一に当っているのに対してロート・キャップのない場合は、フェース周方向の当りに幾分強弱があった。しかし全体としてみると、フェースの付着物の状況および損傷の程度には明りょうな差はなかった。

#### (4) 507 Hr 後の状況

これまで同様、ロート・キャップ付弁および弁座の方がフェースに光沢がある。しかし、フェースに対する燃焼残渣の付着状況には大差がない。

開放後の弁および弁座フェースの損傷状況を拡大して図 1.9 に示す。フェースの付着物は前回開放時よりもやや増加したようで、ロート・キャップの有無に関係なく、特に弁座フェースには明りょうな吹抜け構が認められる。弁フェースの付着物の状況も大差ない。しかし弁傘首部の付着物に認められる吹抜けの模様は図 1.10 に示すとおり、ロ

ート・キャップの有無によって、かなり異なる。吹抜け模様が、弁が回転しないASでは或る部分に集中して発生しているのに対して、回転するときはAPのように全周均等に分散している。また、弁が回転するときは、FSのように、弁座には明らかに吹抜け溝が形成されていたにもかかわらず、弁座首部には何等の吹抜け跡も認められなかつた場合もある。ロート・キャップ付の場合は、弁座に吹抜け溝があつても、弁が一定位置に留まらず、常時回転するためと思われる。同様な意味で、ロート・キャップ付の場合は、弁座に吹抜け溝が生じても、弁フェースの或る部分が吹抜けガスに集中的に加熱される確率が少なくなり、焼損に到り難いものと考える。

酸洗後の弁および弁座を比較して図1.11に示す。フェースの圧痕は弁座よりも弁の方が多い。同じステライト6が盛金してあるために作動温度の高い弁フェースの硬度が運転中は相対的に低くなっているためと考える。また、各弁には、ロート・キャップの有無に関係なく焼損が始まっている。特に、FS(ロートキャップ付)およびAS(ロート・キャップなし)が明りょうで、ASの場合は焼損が弁座フェースまで及んでいる。

実験の途中で弁の回転が不確実になつたため、本結果のみですべて判断するのは危険であるが、排気弁の焼損対策に関して、時計方向回転形ロート・キャップに多くを期待することは難かしいようである。ただ、よくいわれているように弁を回転させれば焼損に結び付くホットスポットの緩和に多少とも効果があることは確かであろう。

### 1.3.3 反時計方向回転形ロート・キャップの影響試験

この場合の弁の回転特性は図1.5-(A)に近いものと思われる。弁が回転しながら着座するために、着座時に弁座との間にすり合せ作用が生じるために付着物の除去作用が期待できそうで、本実験で確認したい大きなテーマの1つである。表1.4に示すとおり、AP, FSにロート・キャップ付弁を、FP, ASに回り止めを施した通常の弁を組込んだ。ロート・キャップ付弁は一時30~40秒で一回転したこともあるが、全体的には10~15秒で安定して廻り、先述の時計方向回転形ロート・キャップのように停止するようなことはなかった。総運動時間は442Hrで、途中、55, 93および192Hrで開放点検した。それぞれの時間における開放状況を以下に述べる。

#### (1) 55 Hr 後の状況

今までの実験と同じように、燃焼室壁には、燃料弁を中心にして黄白色の燃焼残渣が付着していた。フェースにも付着物の薄い膜ができているが、ロート・キャップ付のものは当り面に光沢があり、相対的にやや良好な感じである。不回転弁ASには軽微な吹抜けがあったが、まだ、焼損の兆候は全くない。

#### (2) 93 Hr 後の状況

燃焼残渣の付着物および咬入疵は不回転弁の方がやや多いようであった。フェース付着物の状況から軽微な吹抜けはどの弁にも認められるが、特に、不回転のAS, FPが顕著である。

#### (3) 192 Hr 後の状況

各弁のフェースには黄褐色の燃焼残渣がまだら状に付着していて吹抜けたところもある。特にロート・キャップ付の場合は、燃焼残渣が、弁フェースの内周側に厚く付着しており、結果的に内周当たりになっていた。そして当っていらない外周部が少し焼損しているようである。弁座フェースの付着物は、ロート・キャップ付の方がやや少なく、全面に光沢があって良好と見受けられた。

なお、ロート・キャップなしの場合は弁座首上のステム部の一方向に燃焼残渣が層状にかなり厚く堆積していて、ステムガイド部もやや固着気味であった。これに対し、ロート・キャップ付の場合は、付着物に方向性がなく、ガイド部の固着もなかった。これもロート・キャップの一つの効果であると考える。

#### (4) 442 Hr 後の状況

開放後の弁と、それを酸洗いした後の弁を比較して図1.12に示す。また図1.13および図1.14には各フェースの損傷部分を拡大して示す。まず、開放後の、図1.13に注目すると、フェースに対する燃焼残渣の付着物は全般的にロート・キャップ付の場合がやや少ないようで、当り面に光沢があり、これらは特に弁座において明りょうである。このためにロート・キャップ付の方が付着物に起因した吹抜けは少ないようであるが、弁フェースの損傷状況は必ずしも

良くはない。ロート・キャップ付の場合は、ロート・キャップのない場合に比べると付着物が内周寄りに多く、付着物の少ない外周側がほぼ全周に亘って軽い焼損を生じている。ロート・キャップのない場合も類似の部分はあるが、相対的に内外周がより均等に当っている。

したがって、酸洗い後の図1.14からもロート・キャップの効果をどう評価したらよいのか分らない。ただ、今回の反時計方向回転形ロート・キャップの場合には、僅かにフェース付着物の除去作用が認められたものの期待した効果からは程遠いものであった。

## 1.4 まとめ

本研究で明らかになったことは概要以下のとおりである。

### 1.4.1 フェース材硬度の影響

- (1) 咬込疵はフェース材の硬度が低いものほど発生し易く、ステライト1.1 ( $H_B = 600 \text{ kg/mm}^2$ )程度の硬度になるとほとんど認められない。
- (2) 弁および弁座フェースが同じ硬度の材料であれば、咬込疵の発生度合は作動温度が高い弁フェースの方が大きい。
- (3) 咬込疵対策のためにフェース材に要求され硬度は同一形状の弁であれば、最高筒内圧力に比例して高くなる。

### 1.4.2 ロート・キャップの影響

- (1) 弁ねが右巻のときの反時計方向回転形ロート・キャップには、僅かにフェース付着物の除去作用が認められるが、時計方向回転形には全くなく共に付着物の除去作用はあまり期待できない。
- (2) ロート・キャップ付の場合には、弁が回転しない場合に比べてフェースの当りが全周均一で、当り面に光沢がある。
- (3) ロート・キャップ付の場合には、燃焼残流が弁フェースの内周寄りに付着し、外周が焼損され易い傾向にある。一方弁が回転しない場合は、当り幅は広いが周方向に強弱があり局所的な焼損が起り易い。
- (4) 弁が回転しない場合には吹抜けの模様が弁傘首部にはっきり見えるが、ロート・キャップ付の場合には全く分らないか、全周に均等に分散してみえることが多い。したがって、ロート・キャップ付の場合には弁が吹抜けによって局所的に加熱される機会が少なく、耐焼損性が秀れていると推察される。
- (5) ロート・キャップ付の場合は、燃焼ガスの侵入によるステムとガイドの固着が起り難い。
- (6) 弁ねが右巻の場合のロート・キャップは反時計方向回転形の方が作動が確実なようである。

以上のとおり、ロート・キャップによる付着物の除去作用はほとんど期待できず、排気弁の焼損対策全般としてみても見るべき効果のない結果が得られた。しかし、本実験のみによって、ロート・キャップの総てを判断するのは危険なように思われる。ここでは単に、既存の機関にロート・キャップを組込んで運転してみただけであり、弁の回転が不確実な場面もあった。ロート・キャップの諸特性を十分に活用していない恐れがある。ロート・キャップの諸特性を十分生かすように弁ねなどを設計しなおし、弁の過渡的な動きを把握した上で実験を行なえば、或いは違った結果が得られるかも知れない。

## 1.5 おわりに

S R 1 2 2 研究部会以来の N D T 1 9 / 3 0 C 形実験機関を使用した基礎研究によって、排気弁焼損の原因および対策の方向がかなり明るくなった。まだ基礎研究の余地は多いが、昭和49年度は、まず、これまでの成果を実機に適用して、その効果を確認することにしたい。

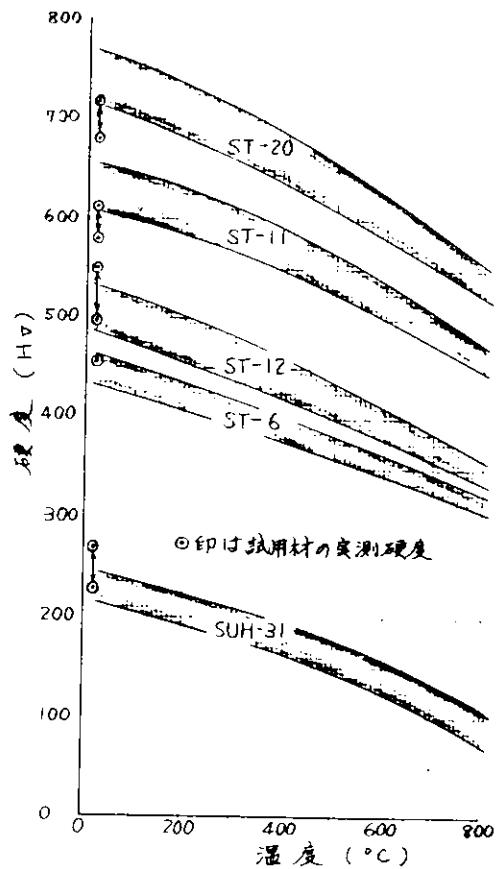


図1.2 試用材の高温硬度

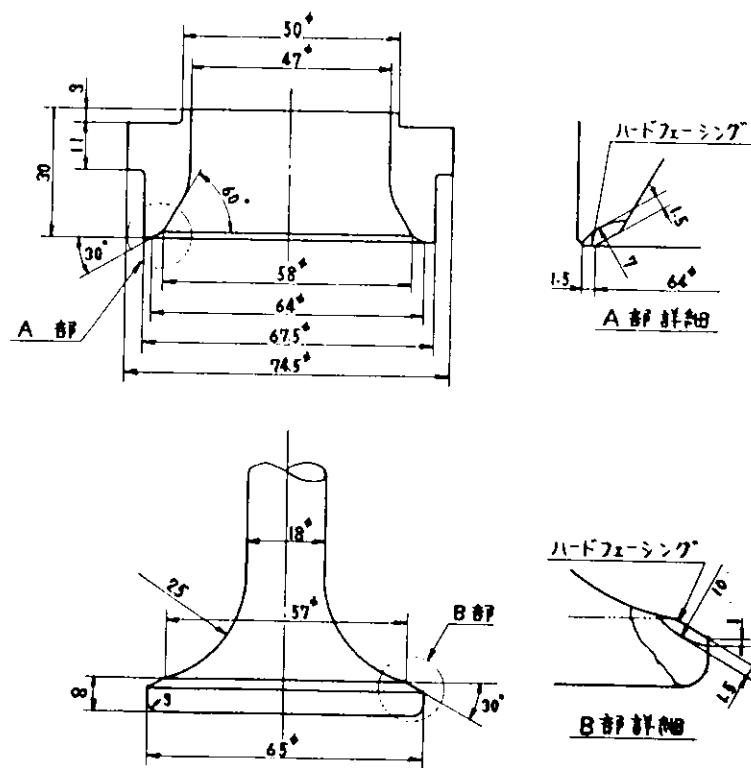


図1.3 弁および弁座

表 1.6 弁ばね要目表

線 径	13.5 mm
コイル径	5.65 mm
有効巻数	9.5 巻
全巻数	12.5 巻
巻 方	右
バネ定数	18.75 kg/mm
取付タワミ	9 mm
揚程タワミ	2.6 mm
取付ばね力	16.8 kg
揚程ばね力	48.6 kg

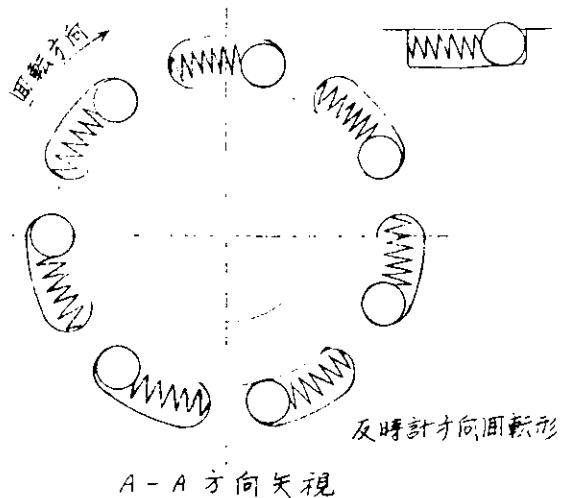
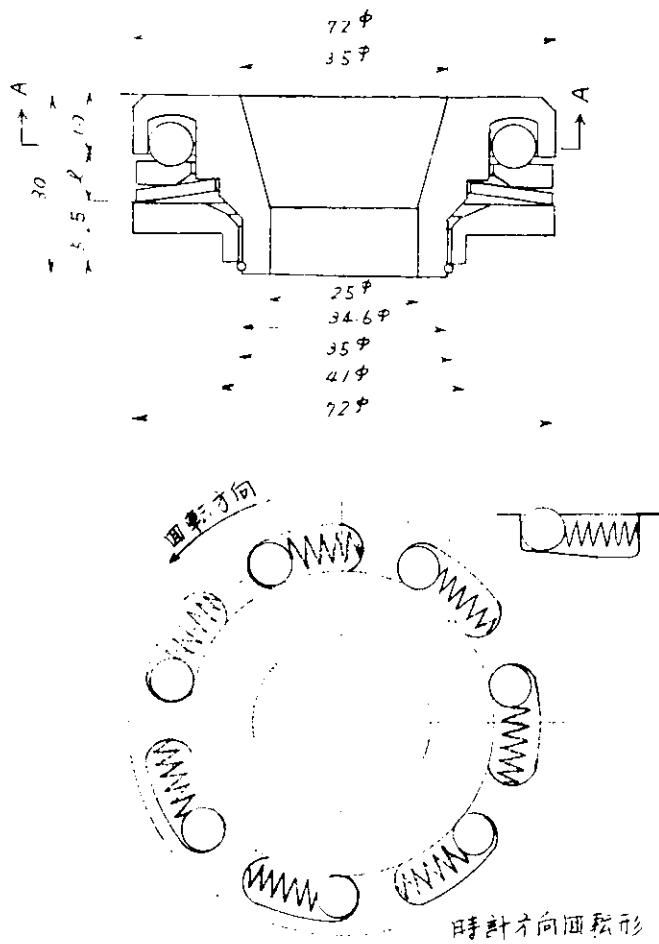


図 1.4 ロートキヤップ詳細

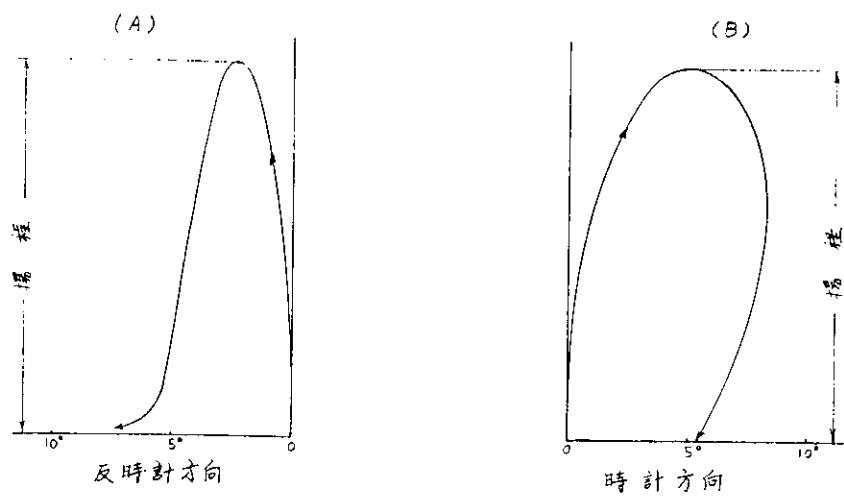


図 1.5 右巻ばね使用時のロートキャップによる弁の動きの例  
(メーカーの報告書による)

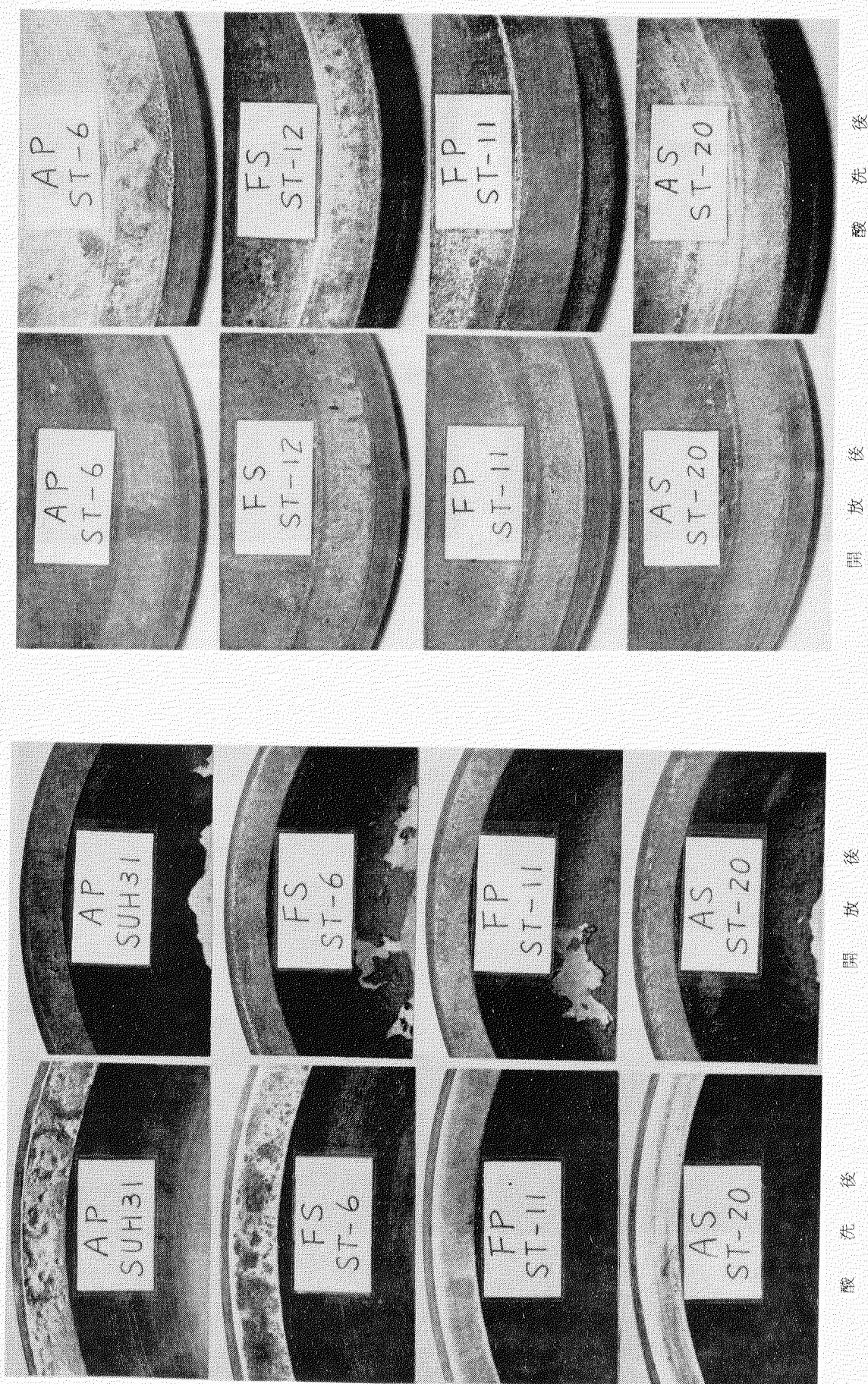
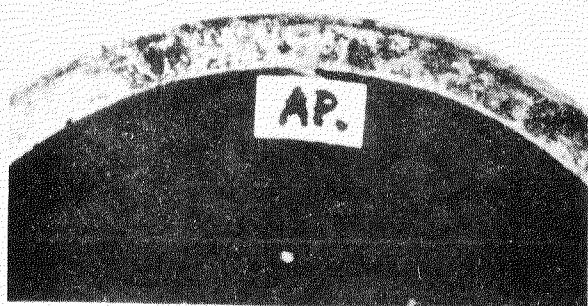
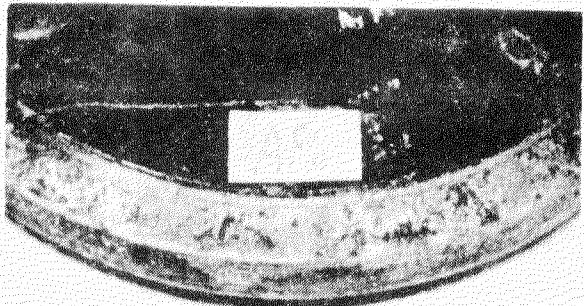
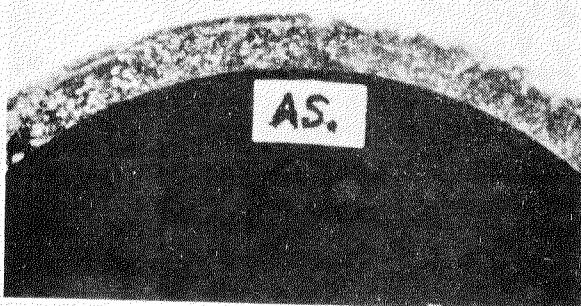
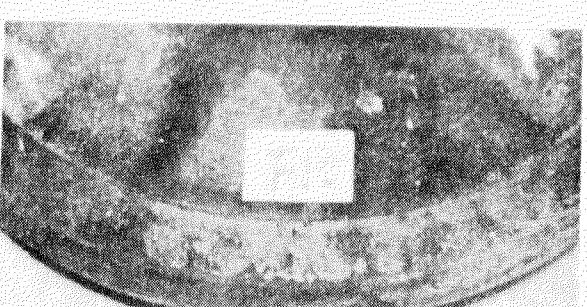
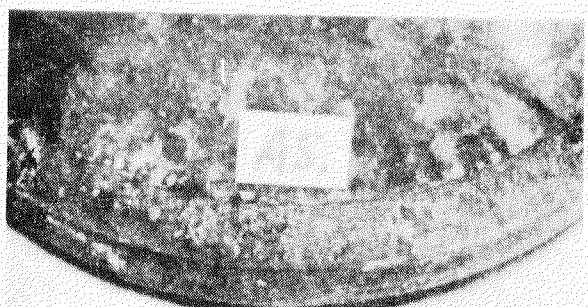


図 1.7 弁・弁座フェース材硬度の影響 (運転時間 500 Hr.)

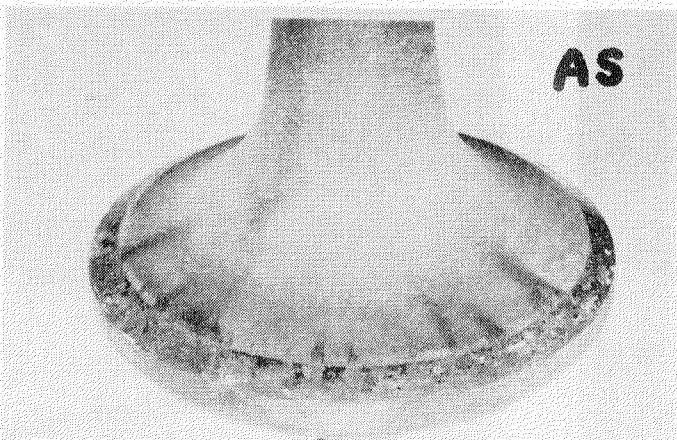


ロートキャップ付



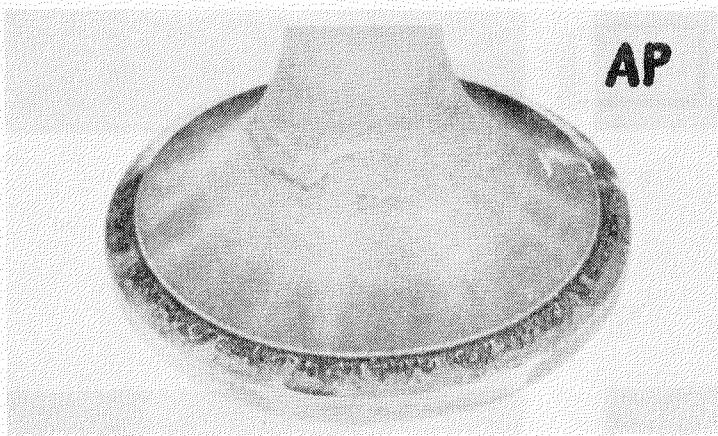
ロートキャップなし

図 1.9 時計方向回転形ロートキャップの影響  
( 507 時間運転、開放後 )



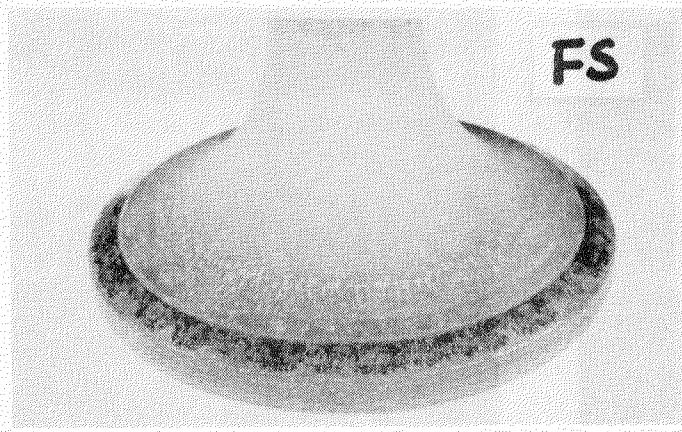
( A )

ロートキャップなし



( B )

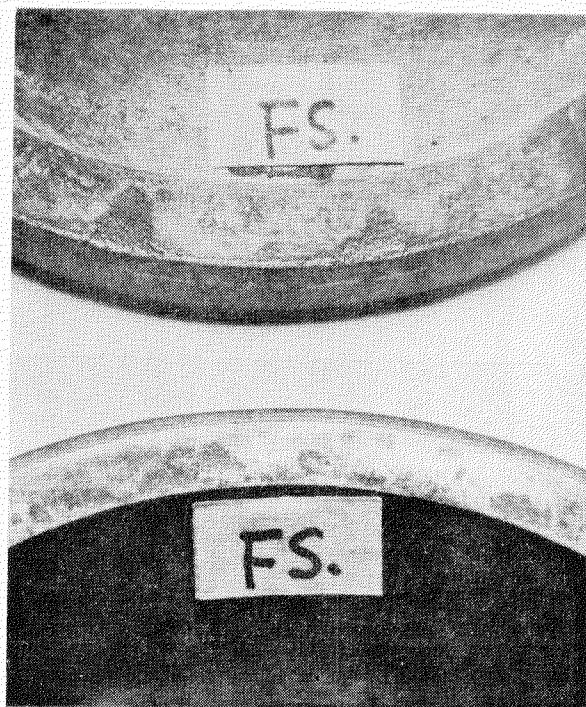
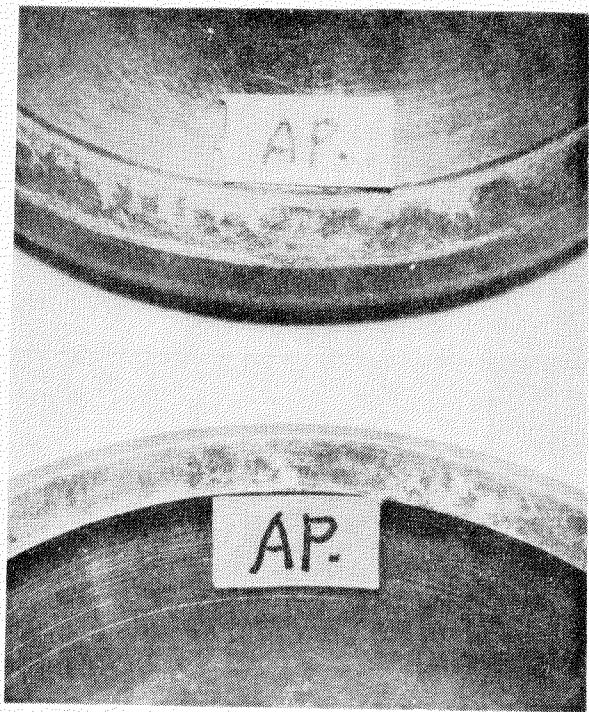
ロートキャップ付



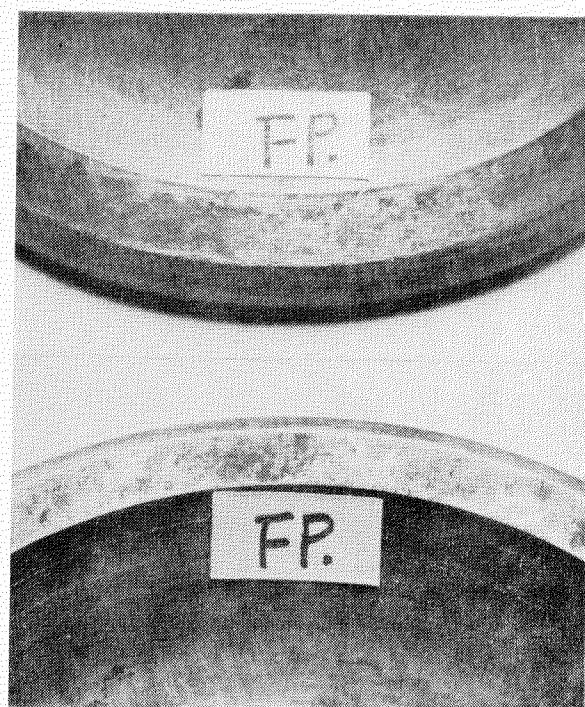
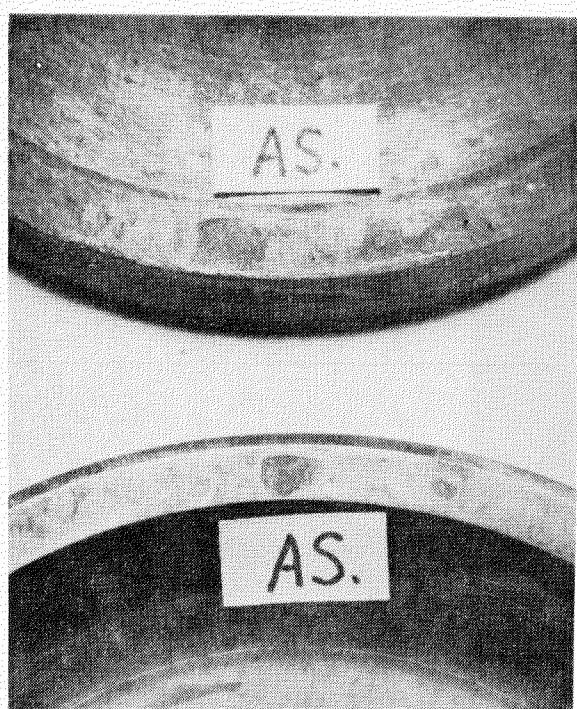
( C )

ロートキャップ付

図110 弁傘首部の吹抜け模様  
( 507時間運転後 )



ロートキャップ付



ロートキャップなし

図 1.1.1 時計方向回転形ロートキャップの影響  
( 507 時間運転酸洗後 )

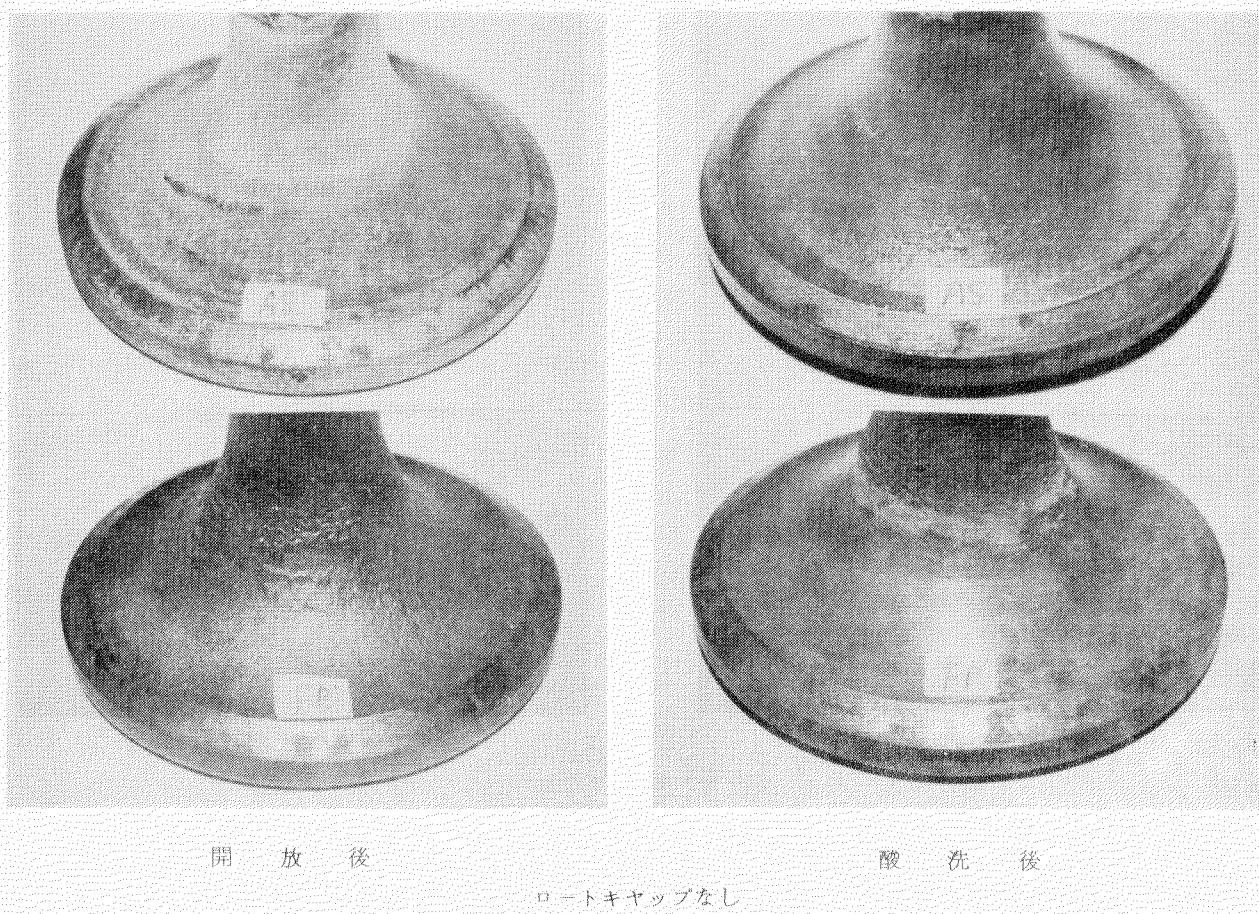
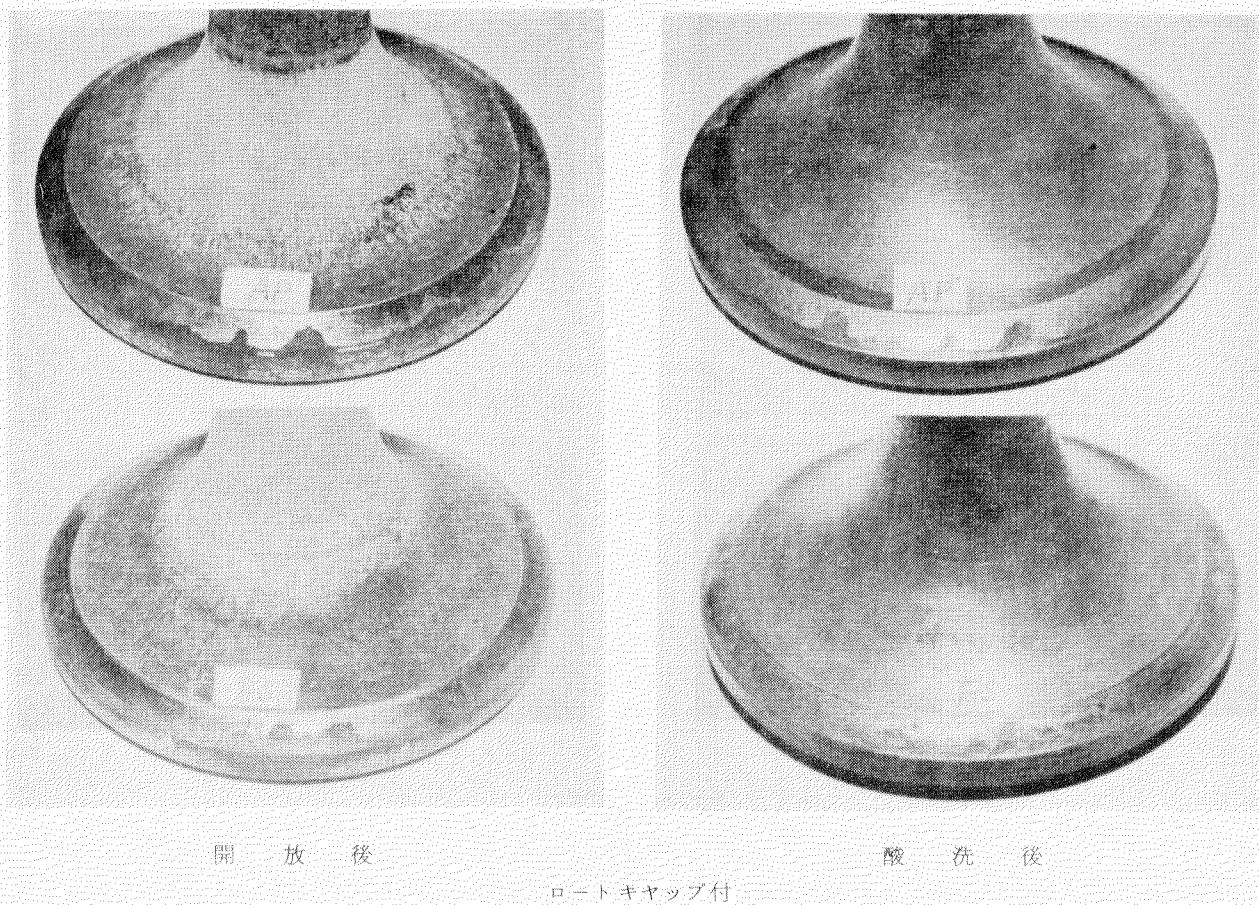
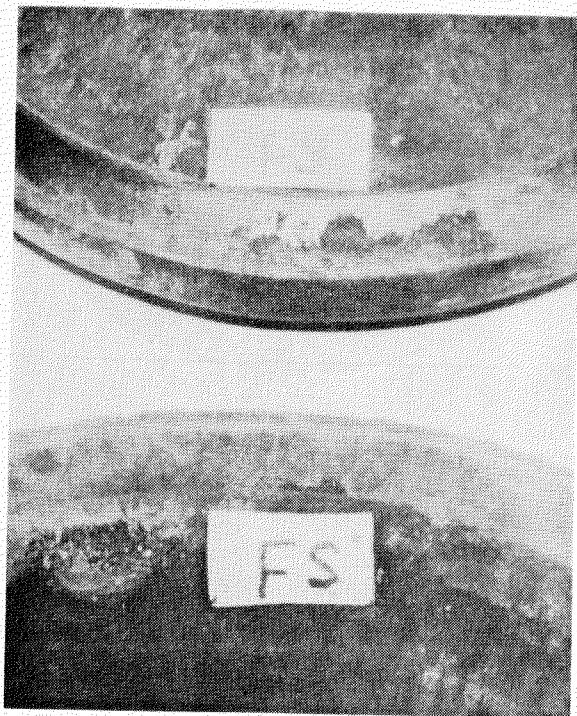
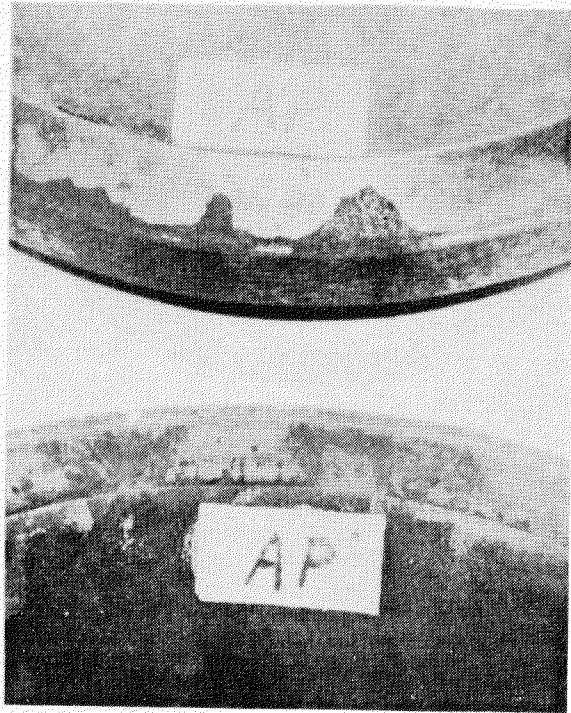
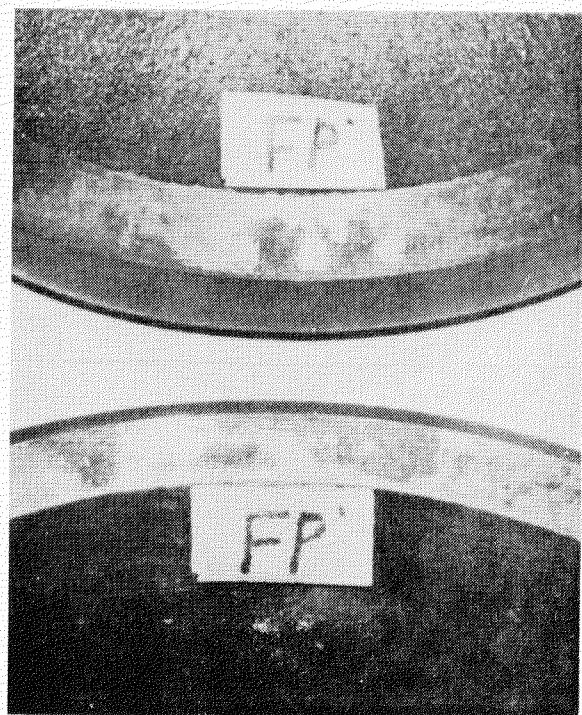


図 1.12 反時計方向回転形ロートキャップの影響 (442時間運転後)

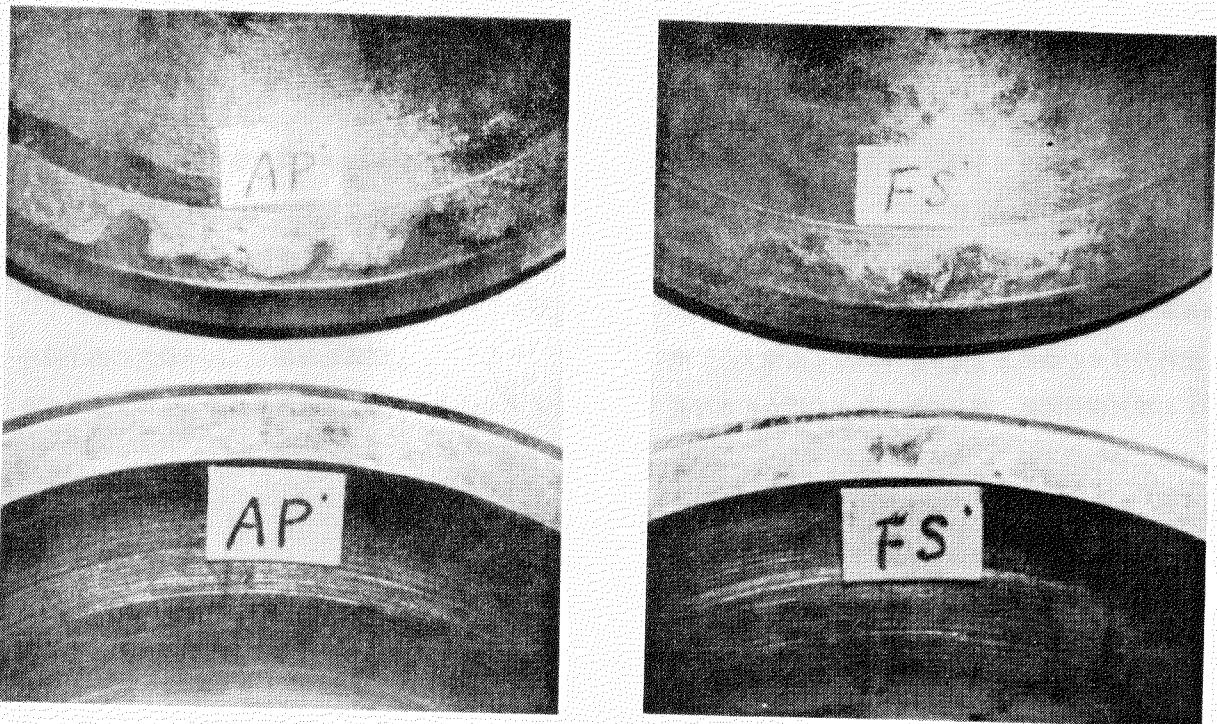


ロートキャップ付

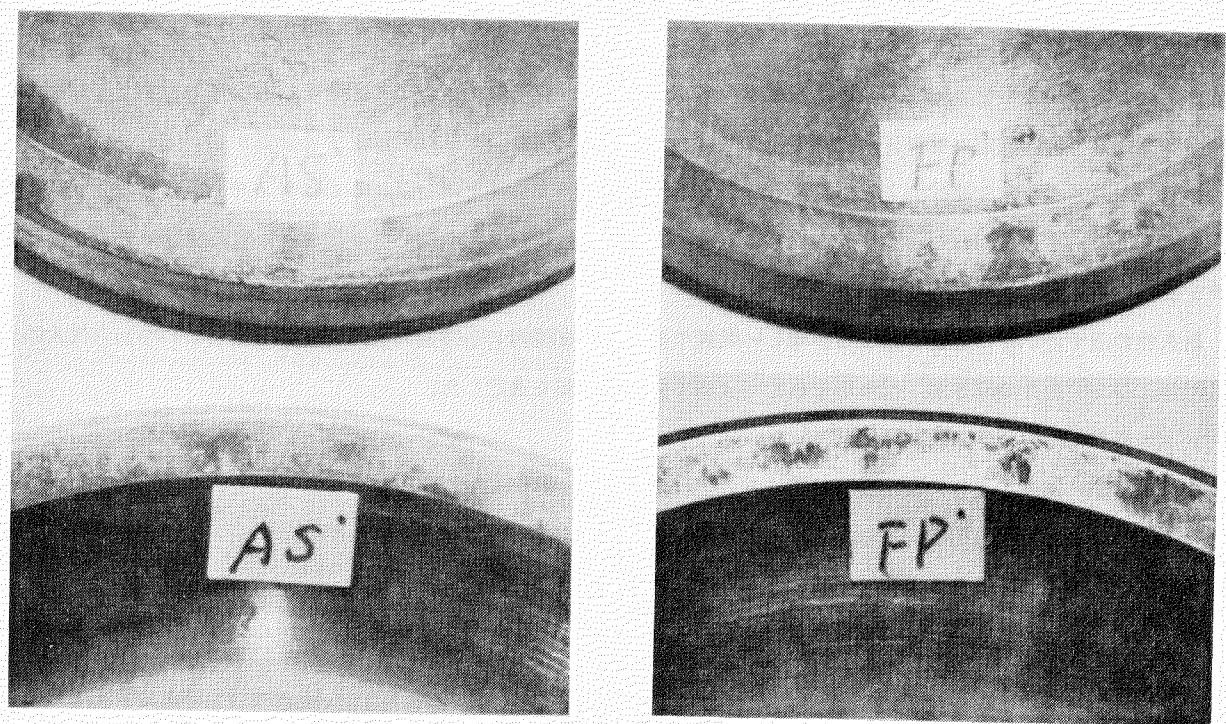


ロートキャップなし

図 1.13 反時計方向回転形ロートキャップの影響  
( 442 時間運転開放後 )



ロートキヤップ付



ロートキヤップなし

図 1.14 反時計方向回転形ロートキヤップの影響  
( 442 時間運転酸洗後 )

## 2. 水冷式燃料弁の長期無開放化の研究

### 2.1 緒 言

近年、船用ディーゼル機関は燃料油の低質化に加えて高出力化が一段と推進されたが、使用条件が苛酷化するにつれて性能上、構造上または取扱い保守上のきわめて困難な問題も数多く発生するようになった。

燃料弁の耐久性に関する問題もその1つとして、とくに最近の高度集中制御の採用された船舶において機関の長期無開放運転を実施するうえで重要な課題になっており早急な改善が必要になっている。

燃料弁はその性格上、定期的な開放、点検または取替えが必要であるが、その間隔を短縮している最大の因子は弁・シートの油密保持困難、噴孔の拡大などのほかに水冷弁ではとくにノズル外衣の腐食、ガス洩れによるものが顕著である。

そこで本研究では

- (a) 弁・シートの耐久性向上
- (b) ノズル外衣の耐食性向上
- (c) ノズル外衣のガス洩れ防止

を重要研究課題にとりあげ、それらの具体的改善策を確立して燃料弁の長期無開放を実現しようとするものである。

### 2.2 試 験 方 法

#### 2.2.1 供試燃料弁の種類とその対策内容

図2.1は本研究の対象となる代表的な水冷式燃料弁の組立断面図である。この燃料弁において耐久性が問題となる損傷に対し次の主旨にもとづく実験的対策を施した供試弁を製作した。その特徴を図2.2に示すがこれらは実船で改良の効果を確認する。

##### (1) 弁・シートの耐久性向上試験用供試弁

弁・シートの耐久性を支配する因子は複雑かつ多い。それだけに対策もきわめて困難な状況にあり、すでに種々の対策が実施されてなお問題が解決されないことより考えて、この問題は設計的に再検討する必要がある。

燃料弁の正常な霧化を維持するために設計上最もこれに支配的であると考えられるのは弁・シートの形状とくにその組合せである。そこでこれを適正化するための具体的方策を実船試験などを通じて見出すため各種組合せの異なる供試弁を製作した。

耐久性の点でいかなる組合せとするか難しい問題であるが現在国内の各機種に採用されているものの中から代表的な60°および90°角弁の浮き形、沈み形それにペタ当たり弁など数種を選定した。

##### (2) ノズル外衣の耐食性向上試験用供試弁

ノズル外衣の腐食はまれに油冷弁で発生することはあるがそれが問題になることはない。しかし、水冷弁では程度の差こそあれほとんどの船で発生し、とくに顕著なものは噴霧がまだ正常であるにも拘わらず、1000～2000時間で使用限界に達するものもあり、ノズルの寿命が大幅に短縮される原因になっている。

そのため、ノズル外衣材として適正な材料選定を行なう必要がありこの具体的な指針を得るために、実船で各種耐食材による比較試験を行なう。

供試材は昨年度実施した硫酸試験などによって得られた基礎資料にもとづき現用のSUS32、STELLITE 16.6のほかにCHRONIC 6、METECO 16Cなど数種を選定した。

なお、これら供試材は試験の都合により前記(1)の供試弁のノズル外衣に適用した。

##### (3) ノズル外衣のガス洩れ防止用供試弁

図2.1に示す現用の燃料弁はノズル本体に外衣を焼嵌めして冷却室を形成しているため嵌合部からガス洩れを生ずることがある。

とくにそれは新品間もない時期に発生するので耐久性は大きく損われる。

これに対し嵌合部シメシロの増大、加工精度の向上などの対策を実施した結果最近ではガス洩れの頻度も大幅に減少したが構造上根本的に改善するためには溶接などによる一体化が望ましくこの危険を完全に除去するため溶接形およびボア・クーリング形を製作し、その性能、耐久性を実船で確認することとした。

供試弁には外衣相当部の腐食防止のため KANIGEN メッキ、W-Ni メッキをそれぞれ施し、ノズル本体の材料はメッキの都合上滲炭鋼(SNCM 25)を用いた。

## 2.2.2 実船試験

### (1) 供試船

供試船は毎航国内に帰港し、大きなトラブルもなく安定した就航実績を有すること、供試弁の経済的变化ができるだけはやく把握するためある程度早期噴霧不良やノズル外衣の腐食が発生していること、および本研究に対して船主および乗組員の理解と協力が得られることを条件として表 2.1 の 6 隻を選定した。

### (2) 試験方法および調査要領

- (a) 供試船 6 隻に対し表 2.2 の供試弁をそれぞれ組込む。
- (b) 実船試験中は弁・シートの潤滑は一切行なわず滑脂のみにとどめることにしたほかは各供試船の船内プラクティスに準拠することにした。
- (c) 取替えのため抜き出した供試弁は船内の試験ポンプで噴射試験を行ない弁開閉圧力、噴霧状態などの確認のほか外観調査して、ノズル外衣の腐食状態を調査する。
  - (d) 数値的にあらわし難い腐食や噴霧の状態は写真撮影して記録に残す。
  - (e) 使用燃料油の性状を調査し検討資料にする。
  - (f) 実船試験を終了した供試弁は陸揚げし調査試料に供する。

## 2.2.3 陸上調査

### (1) 噴射試験

陸上げした供試弁は陸上の試験装置により噴射試験を行ない弁機能の状態を確認する。

### (2) 外観調査

- (a) ノズル外衣の腐食、弁座部のガス洩れ、チップの焼損などについて発生の有無または状態を観察し、必要な写真撮影を行なう。
- (b) 弁・シート部を巨視的に観察し同時にその状態を写真撮影して噴霧不良の原因追求の検討資料とする。

### (3) 腐食及び摩耗計測

- (a) ノズル外衣の腐食量を計測し、耐食性を比較・検討する資料とする。
- (b) 弁リフト、針弁および同ガイド孔、噴孔径など問題になる部分の摩耗計測を行ない経時的変化を検討する資料とする。

### (4) 切開調査

弁・シート部および噴孔部の形状変化、ノズル外衣の腐食などの詳細な検討資料を得るために供試弁を切開してこれを調査する。同時に硬度測定も行なう。

## 2.3 試験結果

### 2.3.1 実船試験の経過

供試弁は遅延なく入荷し、直ちに組込みを行なって予定通り 6 月初旬より実船試験を開始したが、日船については動静の都合により 8 月下旬の組込みとなり約 3 ヶ月試験開始が遅れた。しかし、その後は試験に支障を来すようなトラブルの発生もなく順調に進捗した。

昨年度から継続の A , B , D 船は , D 船を除いて今期間中に試験を終了し , 供試弁を全数陸揚げした。また , 本年度試験開始の E ~ J 船のうち I 船は当初の計画にもとづき昨年 1 月に試験を終了したが , その他については供試船から試験延長の要請もあり , また陸上調査に必要な試料は確保されていることなどから継続して試験することとした。

### 2.3.2 実船試験結果

船内調査の結果を船別にして表 2.3 ~ 2.12 のチェックリストに示す。

ここには各供試弁抜き出し時の外観調査および噴射試験の結果をその状態に応じて記号 (○△●) で区別してあらわした。

試験項目毎にその要点を以下に説明する。

#### (1) 弁・シートの耐久性比較試験結果

(a) この試験では , 噴射試験の結果が判定の重要な基礎となる。

噴射試験は図 2.3 に示す装置により施行し , 開弁圧力の変化 , 前もれ , 後ダレの確認 , シュナール音 , 噴霧の良否など必要事項の調査を行なった。この詳細は表 2.3 ~ 2.12 に示したが結果を要約して次に述べる。

(I) 開弁圧力は組立時  $270 \text{ kg/cm}^2$  に調整するが , 使用後はある程度低下をきたすのが普通である。図 2.4 はその状況を示したものであるが ,ほとんどのが許容値内に収まっており ,これを越えて低下したものが 3 個発生したが , それらの噴霧状態 , 燃焼状態には何ら異常は認められなかった。

供試弁の形式の相違 , 又は使用時間の長短による何らかの特異性が生ずることが注目されたが , 一様の傾向を示すものは発見できなかった。

(II) 前もれの生ずるものは程度にもよるが , 概してシュナール音も悪く霧化の状態も悪くなる傾向を示した。表 2.3 ~ 2.12 に示した判定区分は次の基準によるものである。

記号	○	△	●
前もれの有無	無し	$200 \text{ kg/cm}^2$ 以上で有	$200 \text{ kg/cm}^2$ 以下で有
霧化状態	正常霧化する	霧化困難 (粒子粗い)	棒状噴射又は タレを伴なう

後ダレまでの噴射回数は噴射の強弱によって差があり , 強噴射させた場合は弱噴射させたときより回数は少なくなる。ベタ当り方式の SR-N 6 形ではこれが逆の傾向を示すのが特異である。実機使用時は噴射量とその速度からして SR-N 6 形の状態でも問題はないと思われたが , 低速時の排気温度が高くなり煙色も悪くなると報告された。これは噴霧の粒子が粗い又は半棒状噴射に起因して燃焼を悪くしているのではないかと判断される。

(III) 噴孔は掃除針で容易に除去できる程度の閉塞気味のものが数個に発生したが , カーボンの異常付着やチップ焼損などの不具合は全く発生しなかった。

(IV) 鈿弁の作動は完全に固着したもの , 動きの堅いものがそれぞれ 1 個発生し , 噴霧の不良を招いたが , それ以外は自由状態で動きの多少堅いものはあっても , それが霧化に悪影響をおよぼすものはなかった。

(b) 上記の噴射試験による噴霧不良の発生状況を図 2.5 に示す。現標準の SR-N 1 形 (RD 形機関用の弁 , シートはすべて SR-N 1 形と同一の組合せ ) の不良の発生割合を RD と RND の平均でみると約 15 % になるのに対し , SR-N 2 形は鈿弁の固着が原因で不良になったものが 1 個あるが , 弁・シート部は全く異常なく , また SR-N 3 形では , それらの不具合もなくきわめて良好な結果を得た。従って , 耐久性の点で N 2 形および N 3 形の組合せが効果的であると判断される。

一方 , 90° 角弁の SR-N 4 , N 5 形およびベタ当りの N 6 形はいずれも SR-N 1 形よりも不良の発生割合が高く , とくに N 6 形は全数が不良でこれらは改善にはつながらないことが判明した。

## (2) ノズル外衣の耐食性比較試験結果

(a) 試験の結果、腐食が皆無のものは得られなかつたが耐食材として選定した各供試材はいずれも現用のものより優れた耐食性を示した。これら腐食の特徴と代表例を図2.6および図2.7に示す。

CHRONIC 6 はSUS 32 と同様に触火部分に発生し弁座内には発生していない。これに対し盛金または溶射したものは弁座先端から内部へかけての腐食が著しく、材料によって腐食の発生位置が異なっている。KANIGEN メッキについてはメッキ層が短時間で侵されてむしろ母材の腐食傾向があらわれる。

(b) 表2.3～2.12 のチェックリストにもとづく外観調査の結果から腐食の良否を大別して集計すると図2.8 のとおりとなる。

現用のSUS 32, STELLITE 16.6 は約半数が不良になつており、とくにSUS 32 は使用時間の短かい割に不良になつたものが多い。その他の試験用供試材の中ではCHRONIC 6 が最も優れ、続いてMETECO 16C, COLMONOY 16.6, HASTELLOY-C, KANIGEN の順となる。

なお、W-Ni メッキは後述する全く形状の異なつたボア・クーリング形弁に用いたので材料自体の耐食性は同一レベルでは比較はできないが、最も状態の良かつたCHRONIC 6 に匹敵する好結果が得られた。

## (3) ノズル外衣のガスもれ防止試験結果

(a) ガス洩れ防止の対策として試験したSR-G1, G2 形は試験中溶接部の欠陥または塞栓の弛みなどの不具合もなくガス洩れは発生しなかつた。

両供試弁とも、標準形のノズル外衣相当部に防食のためKANIGEN メッキ、W-Ni メッキを施したが、G1 形に採用したKANIGEN メッキは短時間で侵され母材も著しく腐食した。これに対しW-Ni メッキを採用したG2 形は冷却水出入口側の弁座内が点食したもの腐食深さは0.1 mm/2000 hrs程度で問題になるほどのものでない。

図2.9 にその状況を示すが、このように腐食が大きく相違したのはメッキ材の耐食性の違いにもよるが、むしろ該部の肉厚の違いからくる差が大きいと判断する。

(b) 一体形供試弁は標準形にくらべ冷却室が噴孔から僅かに離れているため冷却不良に起因してカーボンの付着が多くなることが懸念された。

しかし、図2.9 にみられるとおりカーボンの付着は少なく標準形とくらべても何ら遜色ないことが確認された。

なお、ボア・クーリング形は冷却水入口温度を標準より10～20°C低い60～70°Cに調整して使用された結果である。

(c) 両供試弁ともノズル本体は材料として渗炭鋼(SMCM25)を用い弁・シートの組合せは、標準形状と同一のSR-N1 形としたが24個中3個に噴霧不良が発生した。この原因については材質および弁・シートの組合せが問題になるが、不良弁3個中2個にシート部および弁接触面に当りの弱い部分があることから少なくともこれらについては製作時の組合せ不十分が考えられる。

## (4) その他関連事項の調査結果

(a) 試験中に使用された燃料油の代表的な性状を図2.10に、分析値の1例を表2.13にそれぞれ示す。

比重(15/4°C)は0.97に近いものも數例あるが0.94～0.96のものが多く、粘度(RW 150°C)は45.0～70.0秒のものがほとんどである。

また、腐食に最も影響する硫黄分(wt%)については2.5～3.5%のものが多かつた。

以上からみて燃料油としては特別低質油の使用はなく現在国内で供給される平均的なものと云える。

(b) 供試機関の運航データの一例を図2.11および図2.12に示す。海象、気象の都合などによる性能値の変化はあっても試験に支障をきたすほどのものはなかつた。

弁・シートの組合せが異なることによる排気温度、燃焼圧力など機関性能との関連については断定できる特別の効果はつかめなかつた。

なお、最近は石油事情の逼迫から減速運転を余儀なくされているものも一部に出てきたり、これまでに経験のなかった新たな問題の発生も懸念される。

### 2.3.3 陸上調査の結果

#### (1) 噴射試験結果

(a) 陸揚げした供試弁は船内と同等の試験ポンプにより噴射試験を行なった。この結果は前記表2.3～2.12に併記したとおりで、船内と陸上で判定が大きく異なるものは42個中2個あったが、概して細部のくい違いはあっても総合評価では相違することはなかった。判定の異なった2個についてはノズルホルダーの合せ面不良および掃除不十分が原因として考えられた。

(b) 図2.13は噴射試験による噴霧の形状を示したものである。弁・シートの組合せが異なることによる各供試弁間の差は極端な差はないが、特徴としてあげられる点はSR-N1形が噴霧の拡がりが大きいのに対し他の形式弁はこれがあまり小さ目であること。SR-N4、N5形の90°角弁は噴霧の粒子が粗いことなどである。

SR-N6形は陸揚げしたものが不良弁のため判然としないが噴霧の拡がりの小さい点で他と一致している。

#### (2) 弁・シート部の観察結果

(a) 調査は実体顕微鏡により行なった。針弁についてはシート部との接触面およびガイド部摺動面を、ノズル本体はシート部をとくに噴霧不良弁に対する原因追究を主眼として調査した。

この結果、確実な原因が認めないものがあるが図2.14を参照しながら以下に状況を説明する。

SR-N1形 = シート側に当りの不完全なもの(A)および接触巾の拡大したもの(B)が検出された。不良はほとんどが前もれを生じることからシートの完全な接触が得られないことが考えられる。

SR-N2形 = 噴霧不良弁が1個発生したが弁・シートは異常に針弁ガイド部の当りが不均一で動きの堅いことが原因と考えられる。(C)

SR-N3形 = 不良弁の発生はなかったが浮き形弁のため針弁のシートとの接触面が段付状に摩耗しつつある(D)

SR-N4形 = 前もれを生ずるものに対して針弁角部に小さな欠けが発見された(E)、概してこの形式弁は針弁角部にカエリが生じている。

シート部に焼割れを生じているもの(F)が1個発見されたが、接触面を僅かに外れていたため噴霧への影響はなかった。

SR-N5形 = 僅かに前もれする程度の不良に対して原因が判然としないが、針弁側の小さな疵(G)が考えられる。

SR-N6形 = シート側に当り不良のもの1個発見されたが、他は外見上決定的な欠陥は発見できなかった。しかし、不良の状態が棒状噴射ないしは大きく前もれを生ずることから、ベタ当りのため完全な接触が得がたいことに原因すると考えられる。

弁の段付摩耗はN3形より顕著である(H)

#### (b) 針弁のシートとの接触巾を実測し経時的变化を調査した結果を図2.15に示す。

針弁にあらわれたこの接触巾の拡大傾向は60°角より90°角の方がまた弁の浮き形と沈み形とでは浮き形の方がそれぞれ進展は緩い。

同じ60°角でもSR-N2形より角度差の小さいSR-N1形が速いのは当然であり、沈み形弁に較べ浮き形弁の方が拡大の進展が緩いのはシート側の耐摩耗性が優れているためである。

90°角弁は接触巾だけをとらえれば問題はないようみえるが、針弁側にカエリや疵が生じるためその点で耐久性が損われる。

以上から考えるとSR-N3形が弁・シートの形状として適正組合せであると云える。

#### (3) 摩耗計測結果

##### (a) 弁リフトは針弁およびシート部の摩耗によって増大する。この許容値として+10%を規定しているが、実測の結

果はほとんどのものが $0 \sim 1/100 \text{ mm}$ と微量で、形式による特定の傾向も認められなかった。

従って、2~3000時間の使用で相互の比較を行なうのは困難である。

(b) 噴孔径も $+10\%$ まで許容されるが、検査針による実測結果では製作時に對し $1/100 \text{ mm}$ オーバーサイズの検査針が通過せずこれが通過したものがわずか1個あったに過ぎない。

(c) 針弁ガイド部の遊隙は製作時は $7 \sim 9/1000 \text{ mm}$ に收められる。実測結果は図2.16に示されるとおり、製作時に對し $\pm 2/1000 \text{ mm}$ の範囲で変化し計測誤差を考慮すれば摩耗はほとんどないとみて差支えない。

#### (4) ノズル外衣の腐食量計測結果

ノズル外衣の腐食はその発生範囲よりむしろ深さが寿命に影響する。

そこで図2.17に示す要領でこれを計測した。結果を図2.18および図2.19に示すが要点を以下に述べる。

(a) 図2.18は弁座より突き出た触火面の腐食である。従来のSUS32に対する現用のSTELLITE $\text{N}6$ は確かに改善の効果は伺えるが3~4000時間が耐久限度である。

これに対して対策品として選定した供試材はいずれも良好でとくにCHRONIC $6$ が優れ、これにMETECO $16C$ , COLMONOY $N6$ , HASTELLOY Cが続いている。しかし、KANIGENはSUS32と大差なく改善にはなっていない。

ここでW-Niメッキが供試弁の形式は異なるが全然腐食が発生しなかったのは特筆される。

(b) 図2.19は弁座に囲まれた部分の腐食である。触火面に較べて腐食そのものの程度は軽く供試材による差はそれほど大きくない。

SUS32, CHRONIC $6$ はほとんど腐食がみられず良好である。

W-Niメッキはボア・クリーニング形弁で冷却水出入口側で点食が発生したが、 $0.03 \sim 0.05 \text{ mm}/1000 \text{ Hrs}$ できわめて微量であった。

#### (5) 切開調査

弁、シート部の形状変化、ノズル外衣の腐食状態などをさらに詳細に調査するため各供試弁について代表的なものを切断し巨視的に観察した。

その結果を以下に述べる。

(a) シート部の切断面を図2.20および図2.21に示す。本図から弁、シートの各種組合せの異なる状態は比較できるが、前記摩耗計測結果の項で述べたとおり接触部の摩耗がきわめて微量のため形状変化は判然とあらわれておらず組合せが異なることによる特異な現象は発見できなかった。

(b) 図2.22は弁、シート接触面の硬度を実測した結果である。表面硬度は針弁でHV800~900、シート部でHV1200~1300が得られいずれも図面指示値を満足し、焼入れ深さも問題ない。

(c) 図2.23は噴孔の形状変化を調査するため切断したものである。試料は摩耗計測で最大変化したもの用いた。噴孔については経時的な角部の摩耗、孔径の拡大が問題になるが、角部の摩耗については、内側の図面指示0.2Rに対し、実測0.15Rで、外側は面取り指示はないが約0.1Rの丸味がついている。しかし、これらは未使用品のものと比較してもほとんど差がみられない。また、噴孔径についてもとくに指摘するほどの特異な変化は認められない。

従って、一般に懸念されている噴孔の形状変化はこの種の水冷弁では特別問題にならないことが判明した。

(d) 図2.24はノズル外衣を切断して盛金または浴射部、および腐食部を示したものである。

盛金したSR-N2, N6形は母材(SUS27)への溶け込みが深く均一な仕上りになっていない。とくにN形のHASTELLOY Cは盛金時の収縮が大きく、そのため母材が消失しており盛金よりむしろ外衣を鋳造一体にする方がよいようである。

その点、浴射したSR-N4, N5形は計画通りの仕上りを得て問題ない。

一方、腐食に関してはSUS32, STELLITE $N6$ が肉厚の約半分まで侵され、とくにSUS32は使用時間の

割に腐食が大で使用限界に達している。CHRONIC 6は腐食の大きいものの例で良好なものは本図の半分以下である。METECO 16C, HASTELLOY Cは状態がよくあらわれていないが矢印の部分から上方へかけて全体が侵されている。COLMONOY 16.6も同様の傾向にあるが矢印の部分で溶射層が失われつつある。

なお、各供試材に対する腐食の程度は必ずしも本図によって代表されないものもあるが大略の傾向は出ており、破線部分が腐食発生位置で、矢印は最も顕著な部分を示す。

#### (e) 熔接形およびボア・クーリング形の切断面を図2.2.5に示す。

熔接、塞栓部分に問題のなかったことは前述のとおりであるが陸揚げ未済のため未使用品を切断してこれを確認した。

熔接形では電子ビーム熔接を採用したが裏波も均一で、また、ボア・クーリング形では塞栓は完全に密着しておりそれ施行上の不具合は全くない。

## 2.4 まとめ

これまでに実施した各種試験ならびに調査結果を要約し、長期無開放化に即した燃料弁の設計法について考察を加え本研究のまとめとする。

### 2.4.1 弁・シートの適正組合せについて

弁・シートの組合せと耐久性の関連はその検討の基礎となる該部の摩耗特性が予定した試験時間内では判然とあらわになかったため正確な検討が困難となったが、噴霧不良弁の発生状況(図2.5)、弁・シート部の巨視的観察結果(図2.14)、接触巾の拡大状況(図2.15)などを考慮して比較、検討するとSR-N3形が最も優れていると判断される。

即ち、N3形は噴霧不良弁の発生は全くなく、弁・シートの観察結果でも他の形式弁では接触巾の拡大ないしは接触不良、針弁角部のカエリ、疵の発生などの耐久性を短縮する何らかの具体的な損傷が発生しているのに対し、それらの不具合は認められなかった。

これらの状態はN2形でも同様に認められたが図2.15から明らかなどとく接触巾の経時的拡大が大きいためN3形が効果的であると判定した。

### 2.4.2 ノズル外衣の適正耐食材料について

ノズル外衣に発生する腐食は弁座から突出した触火面の腐食と弁座内の腐食に大別され、その状態はそこに用いられる材料によって異なる。

各種供試材による比較試験の結果(図2.8, 2.18, 2.19)CHRONIC 6は弁座内の腐食がほとんどなく、触火面の腐食も他の供試材に較べて少ないとから、また、触火面の腐食防止にすぐれた効果を示す足長弁座の併用が可能であることを考慮してCHRONIC 6を適正耐食材料であると判断した。

### 2.4.3 ノズル外衣の適正ガス洩れ防止方法

ノズル外衣のガス洩れは焼嵌部のシメシロの増大などの対策によって大巾に改善されたがその危険を完全に除去するために実施した一体形弁による試験結果(図2.9)は予想以上の効果をもたらした。

すなわち、熔接形では一応目的のガス洩れ防止の点で効果は認められたものの短時間の使用できわめて顕著な腐食が発生し、むしろ耐久性は低下して実用は不可能と判断された。しかし、ボア・クーリング形においてはガス洩れの防止はもちろん標準形状の燃料弁で現在問題になっているノズル外衣の腐食についても同時に解決することができ大きな収穫であった。ボア・クーリング形の腐食は全く発生がないがさきのCHRONIC 6以上の効果を示していることは今後の対策の方向を示唆するものである。

### 2.4.4 長期無開放化に即した燃料弁の設計法

本研究の実施によって、現在水冷式燃料弁においてとくに問題になっているノズルの早期噴霧不良、ノズル外衣の腐食およびガス洩れの発生に対し、その経時的变化をより明確に把握するとともに設計的予防措置を検討するうえでの具体的

指針を得ることができた。

これら研究の成果は長期無開放化を実現するうえで支障となっている当面の問題点を改善ないしは解消するもので、とくに次の2点を考慮することが肝要でこれらを適用することによってほぼ目的は達成されると考える。

(1) 弁・シートの組合せはSR-N3形(60°角、浮き形、弁・シートの角度差1°)を採用する。

(2) ノズル外衣を廃止した一体構造のSR-G2形(ボア・クリーリング形)を採用する。

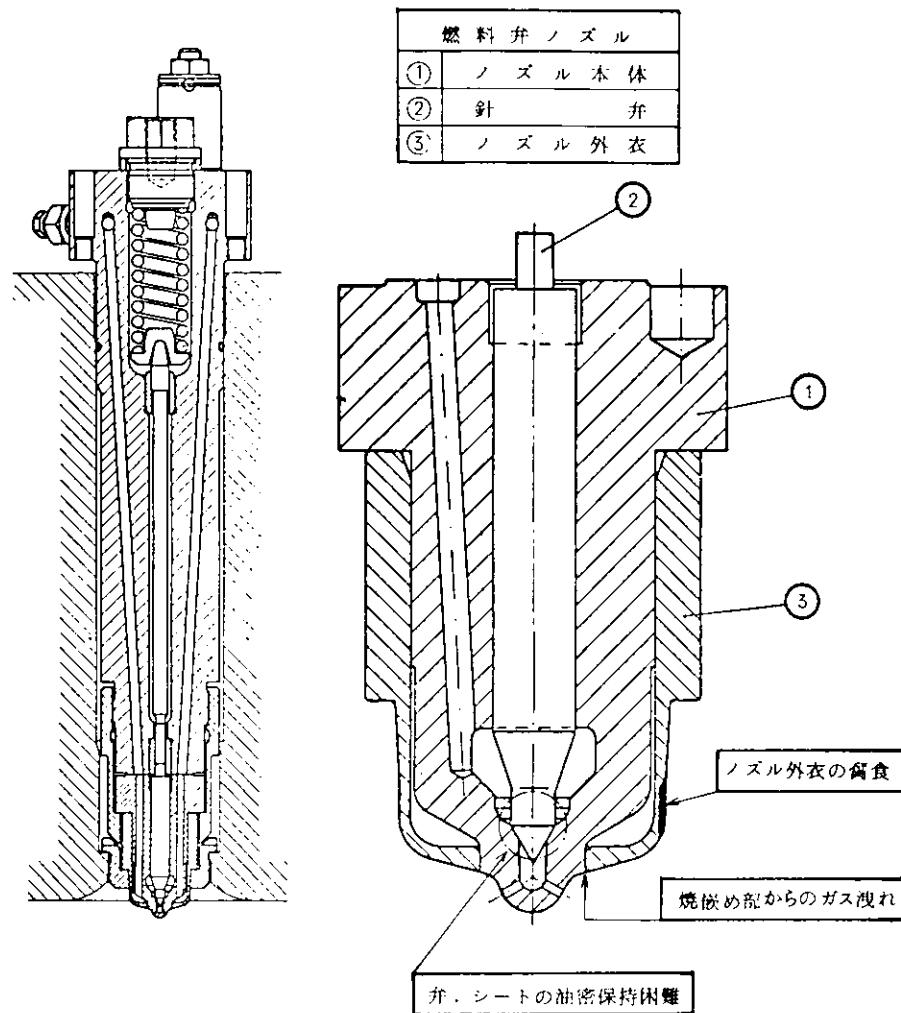
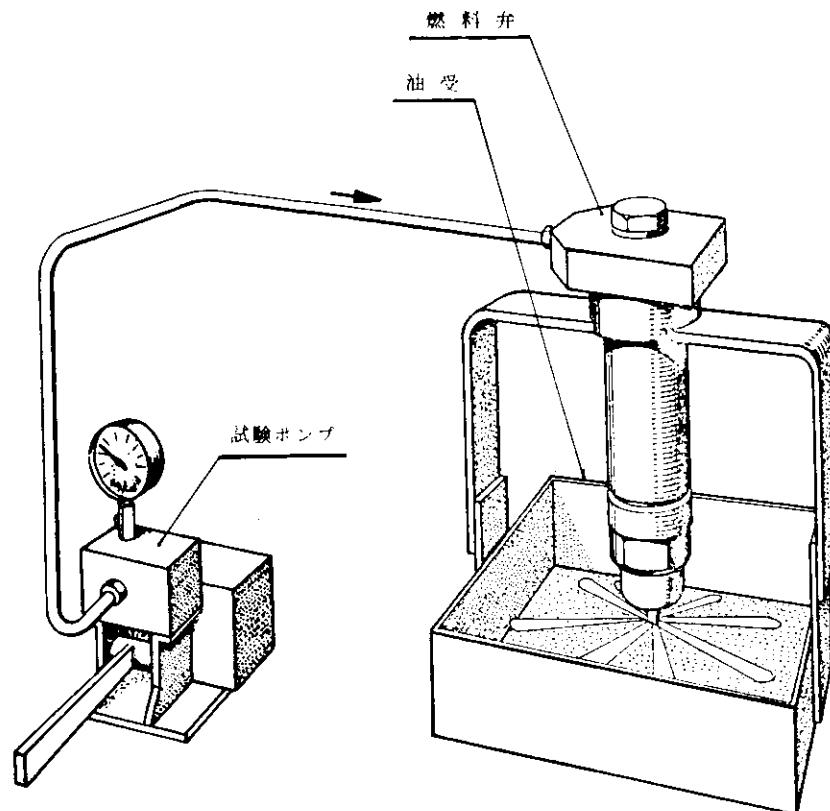


図2.1 水冷式燃料弁の特徴

	形 式	RNP 68, 76	SR-N1	SR-N2	SR-N3	SR-N4	SR-N5	SR-N6				
弁・シート耐久性比較用	特 徵											
	材 質	ノズル本体	窒化鋼 (SACM1)									
	針 弁	高速度鋼 (SKH2)										
	弁 リ フ ト	1. 8 mm			1. 3 mm		1. 8 mm					
	噴孔径	RND 68	135° × 10 × 0.725 φ									
		RND 76	125° × 10 × 0.825 φ									
ノズル外衣耐食性比較用	形 式	RND 68, 76	SR-N1	SR-N2 (SR-N2A)	SR-N3	SR-N4	SR-N5	SR-N6				
		RD 76	SR-N1	(SR-N2A)	SR-N2B	SR-N2C	SR-N2D	SR-N2E				
	特 徵											
	材 質	RND 68, 76	SUS 32	ステライトNo.6 (カニゼン)	クロニック6	メテコ16C	コルモノイ No.6	ハステロイC				
		RD 76	SUS 32	(カニゼン)	クロニック6	メテコ16C	コルモノイ No.6	ハステロイC				
	形 式	RND 68	SR - G 1		SR - G 2							
ガス洩れ防止用	特 徵											
	材 質	ノズル本体 (ノズル本体)	SNCM 25 (SNCM 25)		SNCM 25 (_____)							
	針 弁	SKH 2		SKH 2								
	外衣防食材	カニゼン メツキ		W-N1 メツキ								

図2.2 供 試 弁 の 種 類



試験ポンプ主要目	
駆動方式	手動
プランジャー直径	22mm
プランジャー行程	30mm
噴射量	11.4cc/行程

図 2.3 燃料弁噴射試験装置

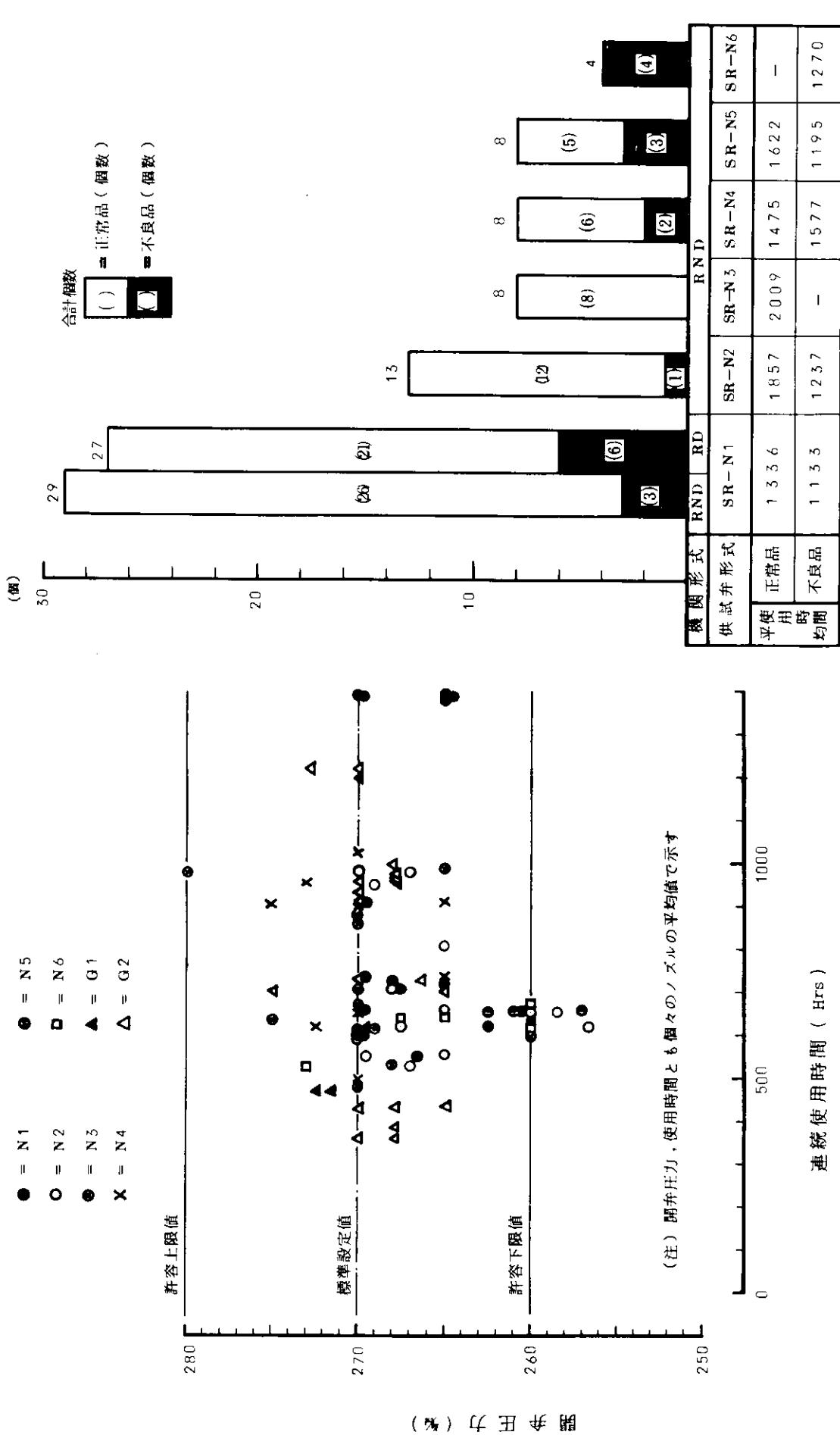


図 2.4 噴射試験時の開弁圧力

図 2.5 弁・シートの組合せによる噴霧不良発生状況

供 試 材	特 徵
SUS 32	腐食は弁座より突出した触火面④に発生し P側から S側へ吹きぬけたごとくで、しかも表面は虫喰い状を呈し無数の亀甲状のヘアクラックを伴なつてゐる。
KANIGEN	メツキ層が侵され母材も著しく腐食する。とくに弁座先端部が顕著で弁座内にも発生して耐食性は悪い。
STELLITE №6	触火面④の腐食に加えて弁座内⑥にも発生するが腐食深さはSUS 32より少なく、また⑥は④ほどの著しさはないが母材との盛金境界及び弁座先端部の浸食が大きい。
CHRONIC 6	SUS 32と同様腐食は触火面④に発生するのみであるが程度は軽く痕跡のみのものもあつて状態は良好である。
METECO 16 C	全体に腐食はクロニックに統いて良好であるが弁座内⑥に発生する腐食は母材との溶射境界から弁座先端にかけて帶状を呈しP.S.の方向に関係なく全周均一に発生するのが特徴である。
COLMONOY №6	METECO 16 Cとほぼ同様の腐食形態であるが、弁座先端位置で溝状に浸食し、前者より状態が悪い。
HASTLLOY C	触火面④の腐食は少ないが弁座内⑥の盛金部が腐食しほ材との境界がはつきりあらわれる。

図 2.6 ノマル外衣各供試材の腐食の特徴

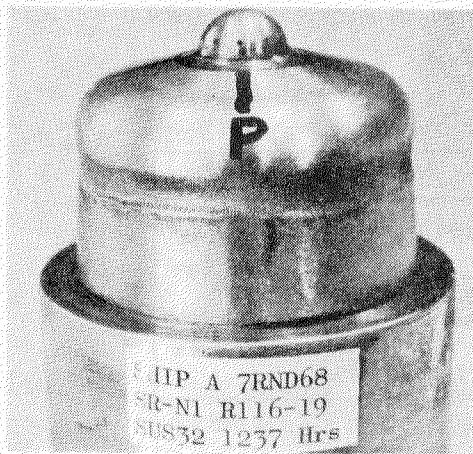


図 2.7 ノズル外衣各供試材の腐食状況

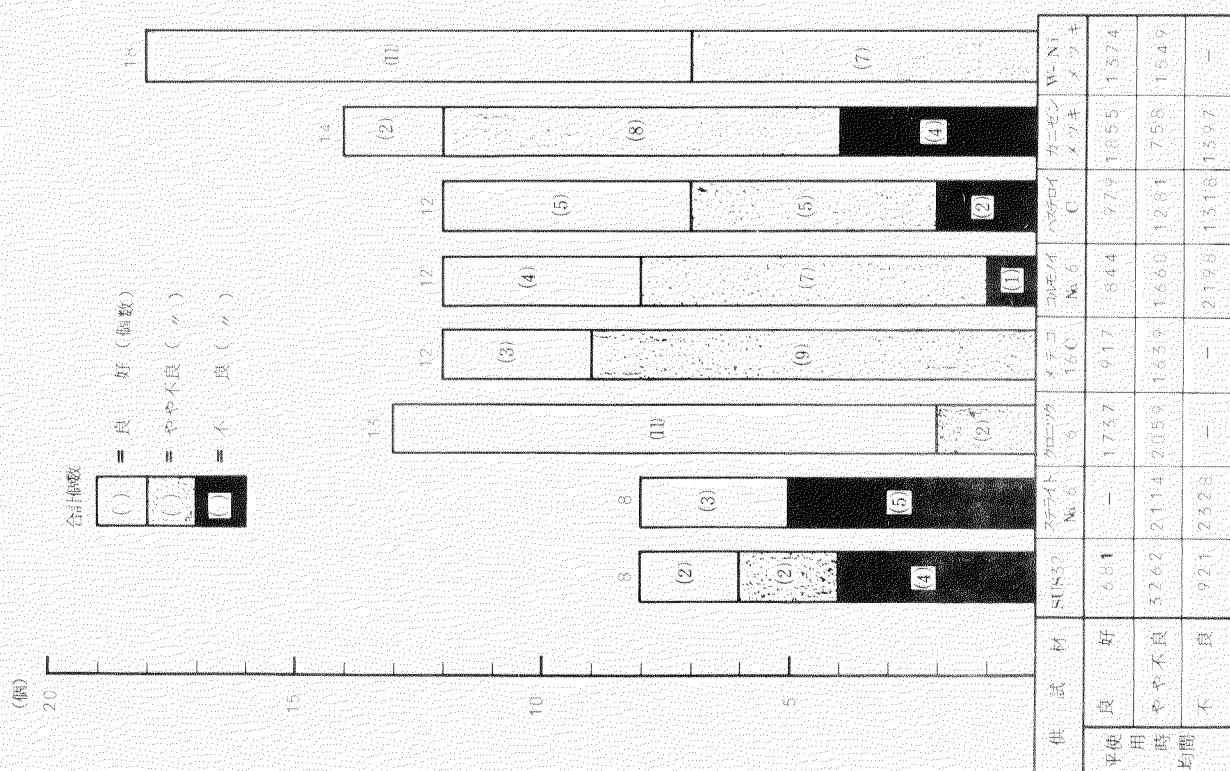


図 2.8 材料別ノズル外衣の腐食発生状況

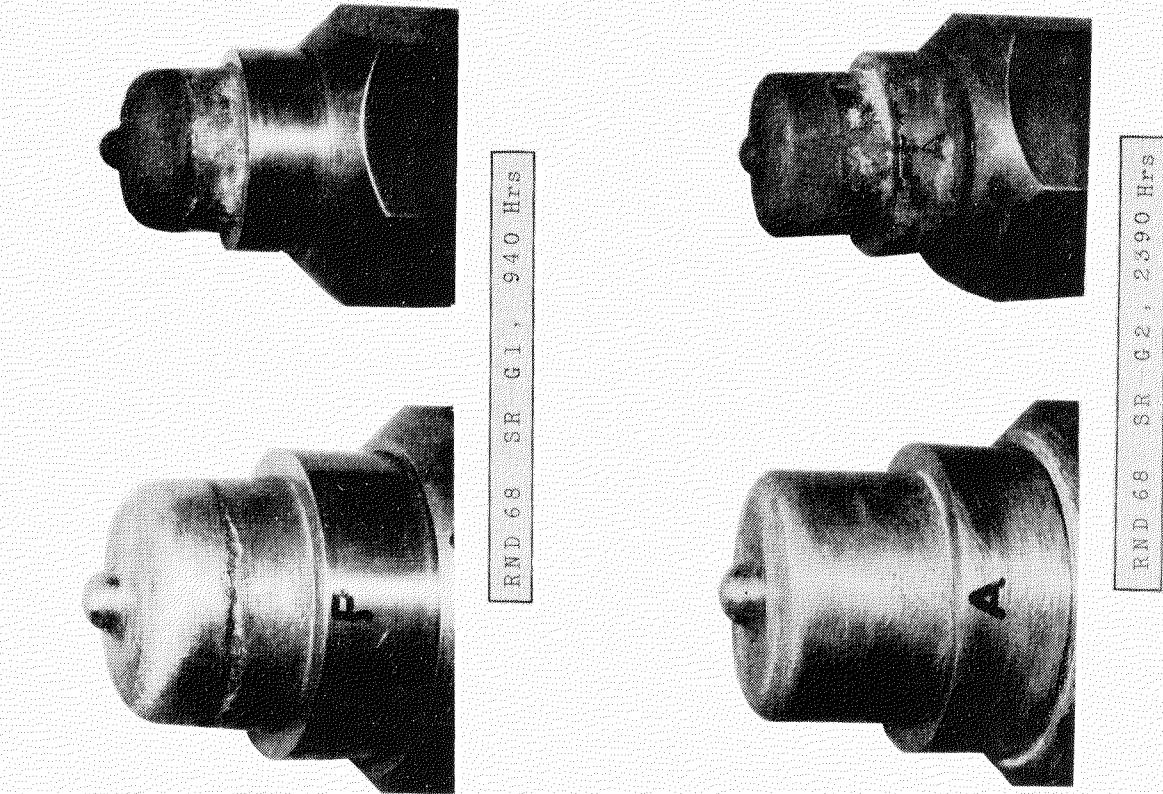


図 2.9 一体形供試弁の腐食およびカーボンの附着状況

(注) ◎は他の燃費分析値と共に示す。

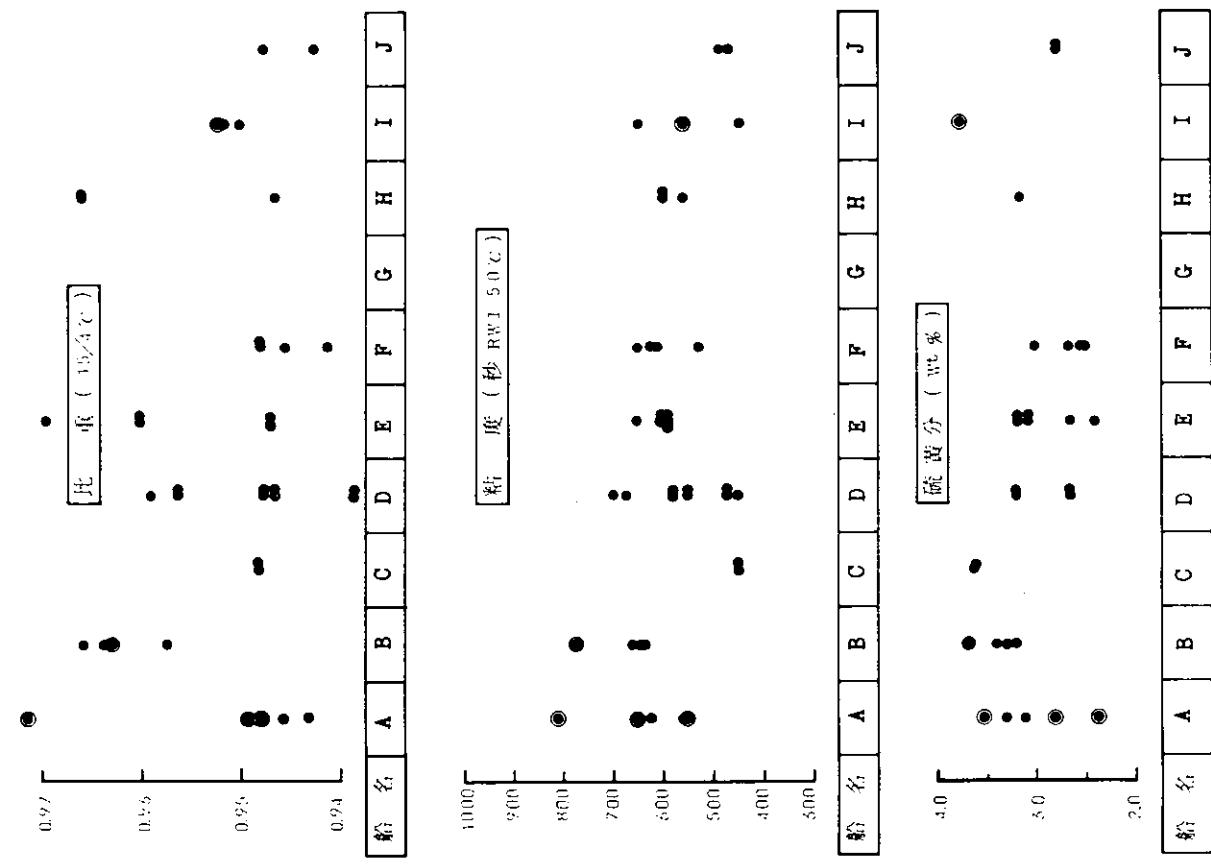


図 2.10 燃料油の代表性状(燃料積込時の油会社の仕様)

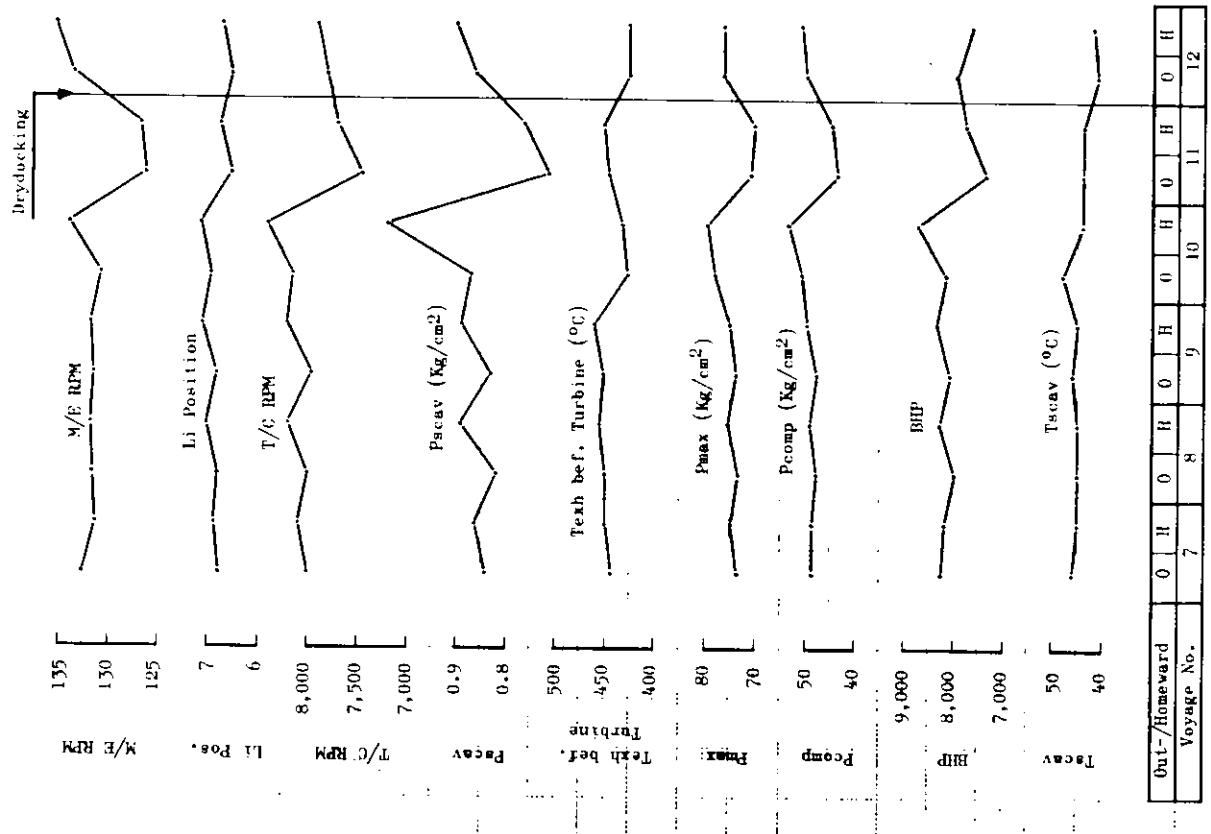


図 2.11 A 船主機 (.7RND68) 連航データ

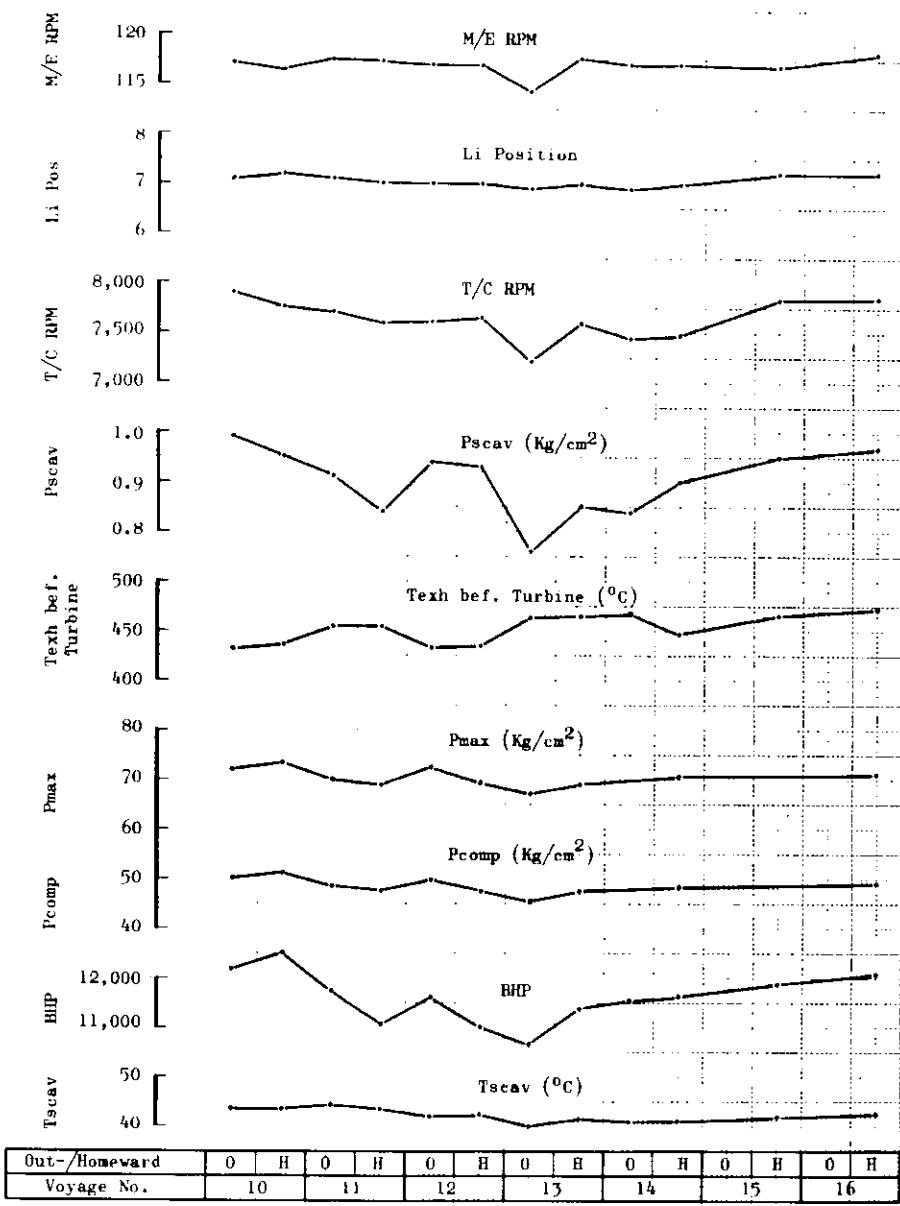
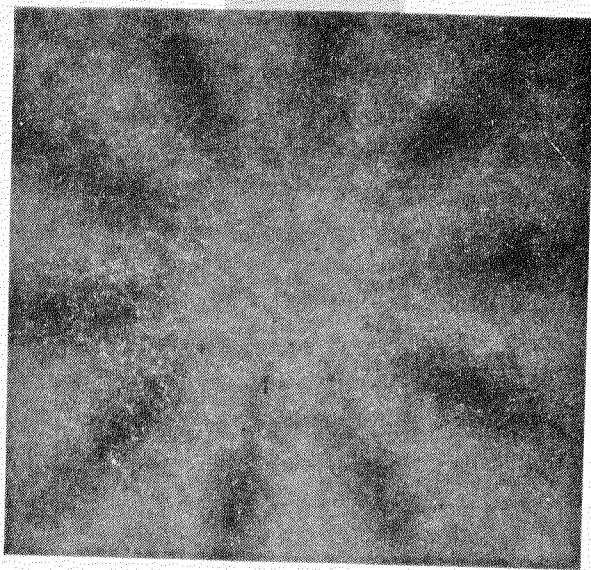
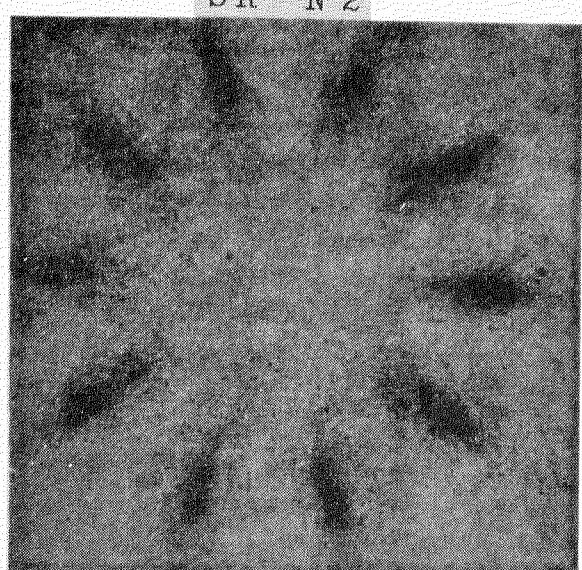


図 2.1.2 B 船主機 ( 7RND76 ) 運航データ

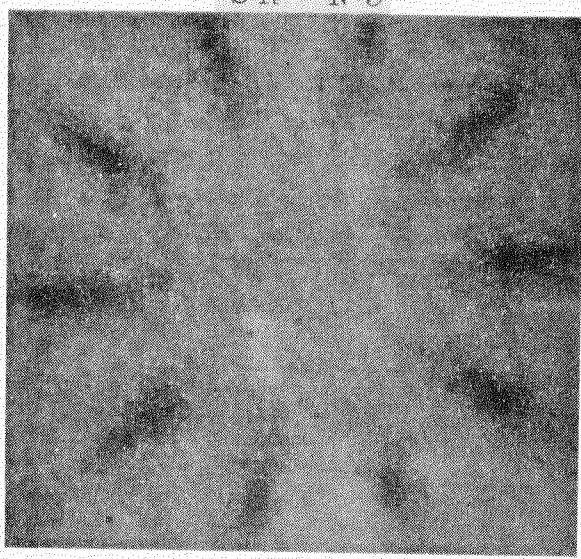
SR-N1



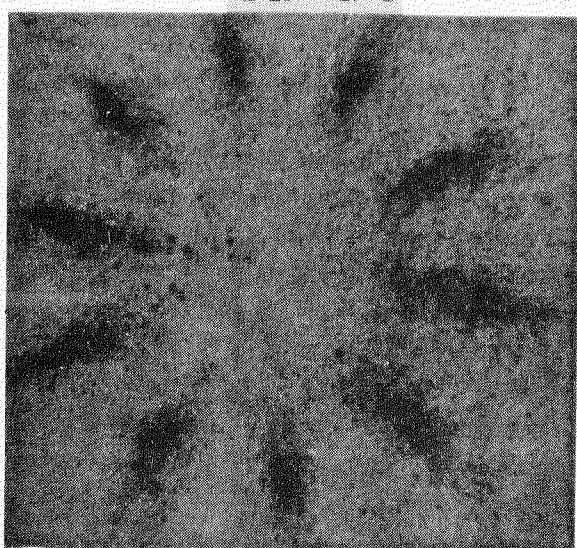
SR-N2



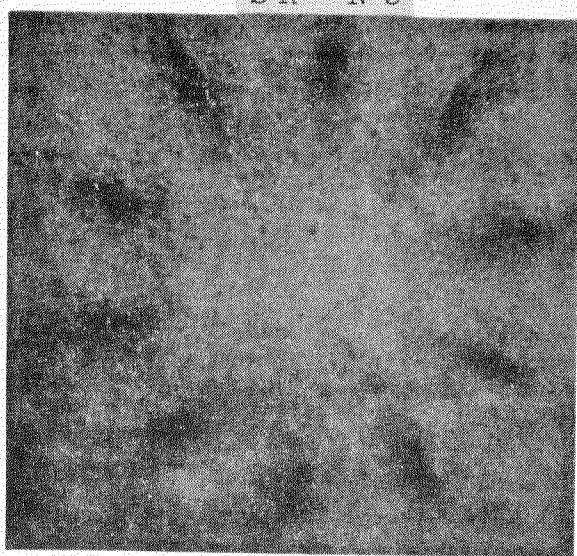
SR-N3



SR-N4



SR-N5



SR-N6

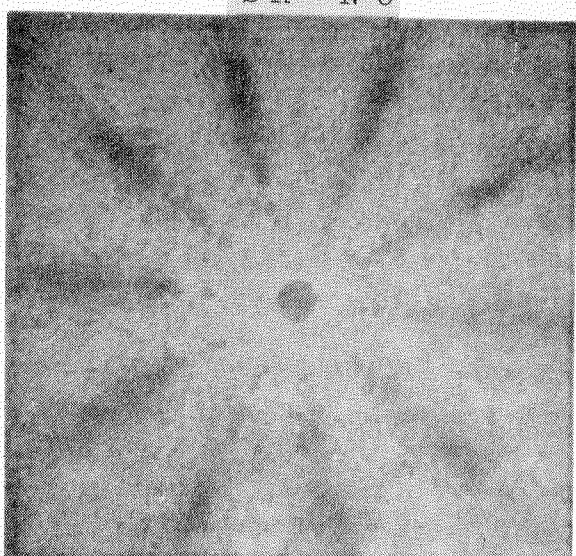


図2.13 各形式弁の噴霧の形状

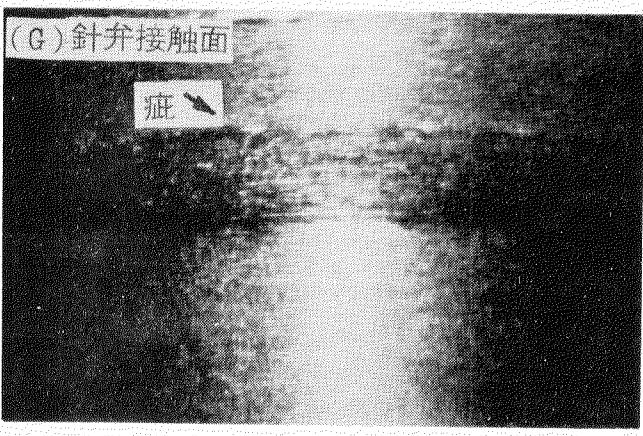
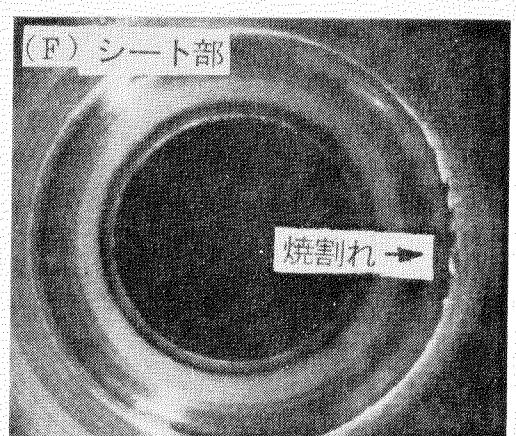
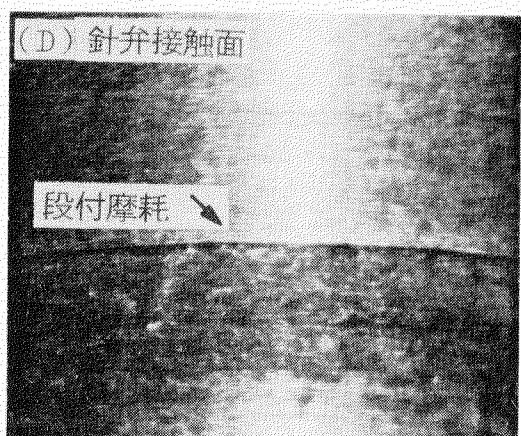
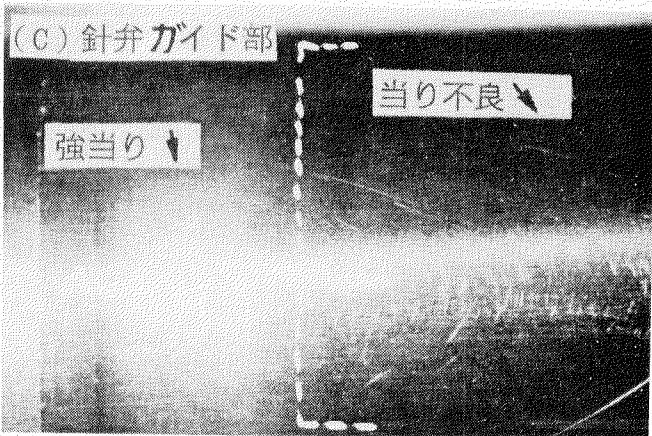
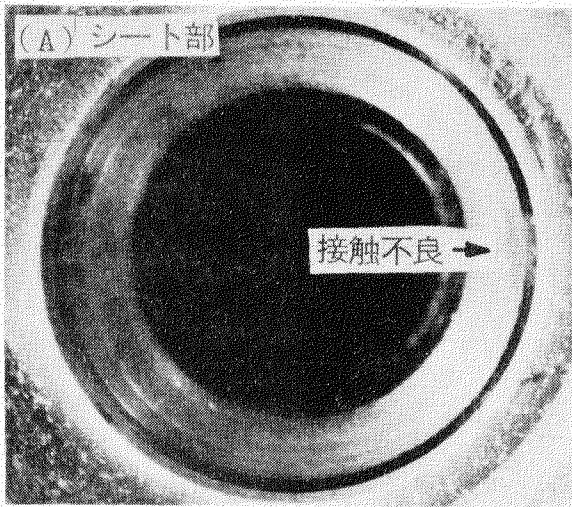


図 2.14 噴霧不良弁の弁・シートの問題点

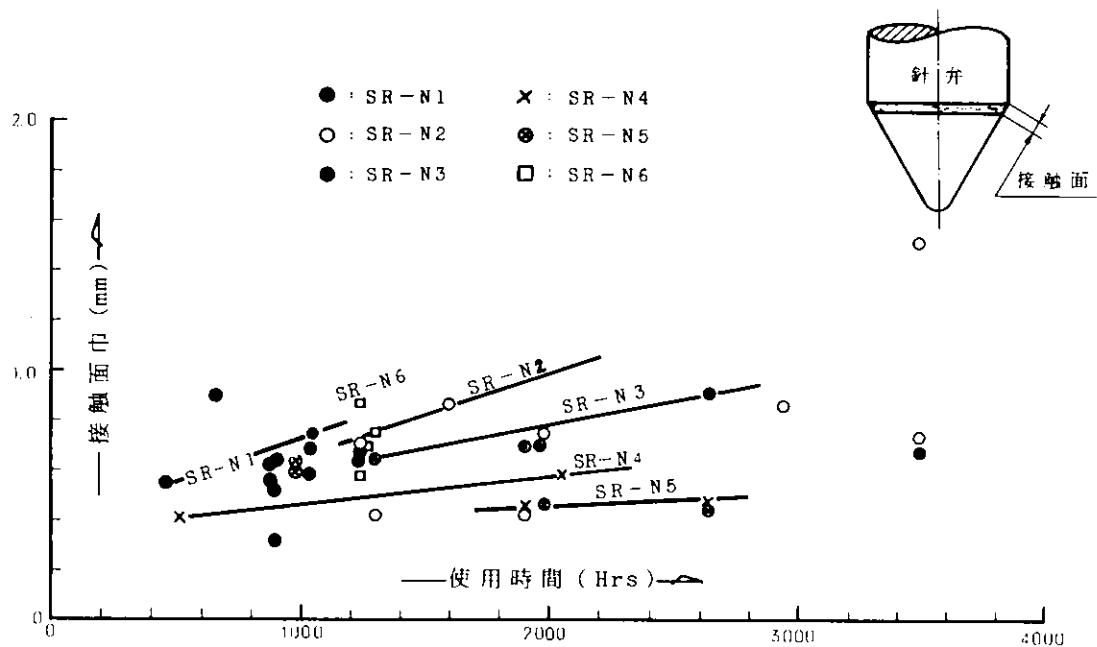


図 2.15 針弁シート部接触面の拡大状況

(注) 新品時を○(空)とした場合の使用後の変化量を示す

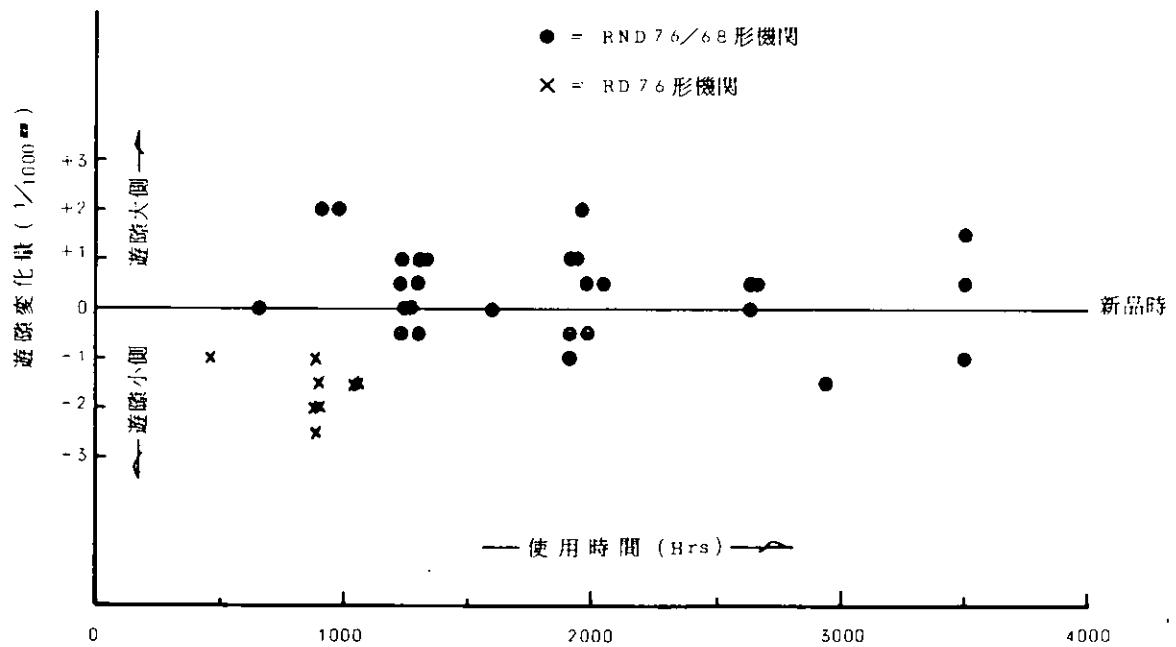


図 2.16 燃料弁ノズル本体と針弁の遊隙変化

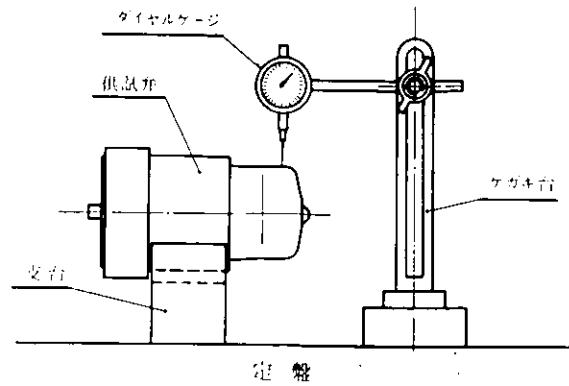


図2.17 ノズル外衣腐食量計測要領

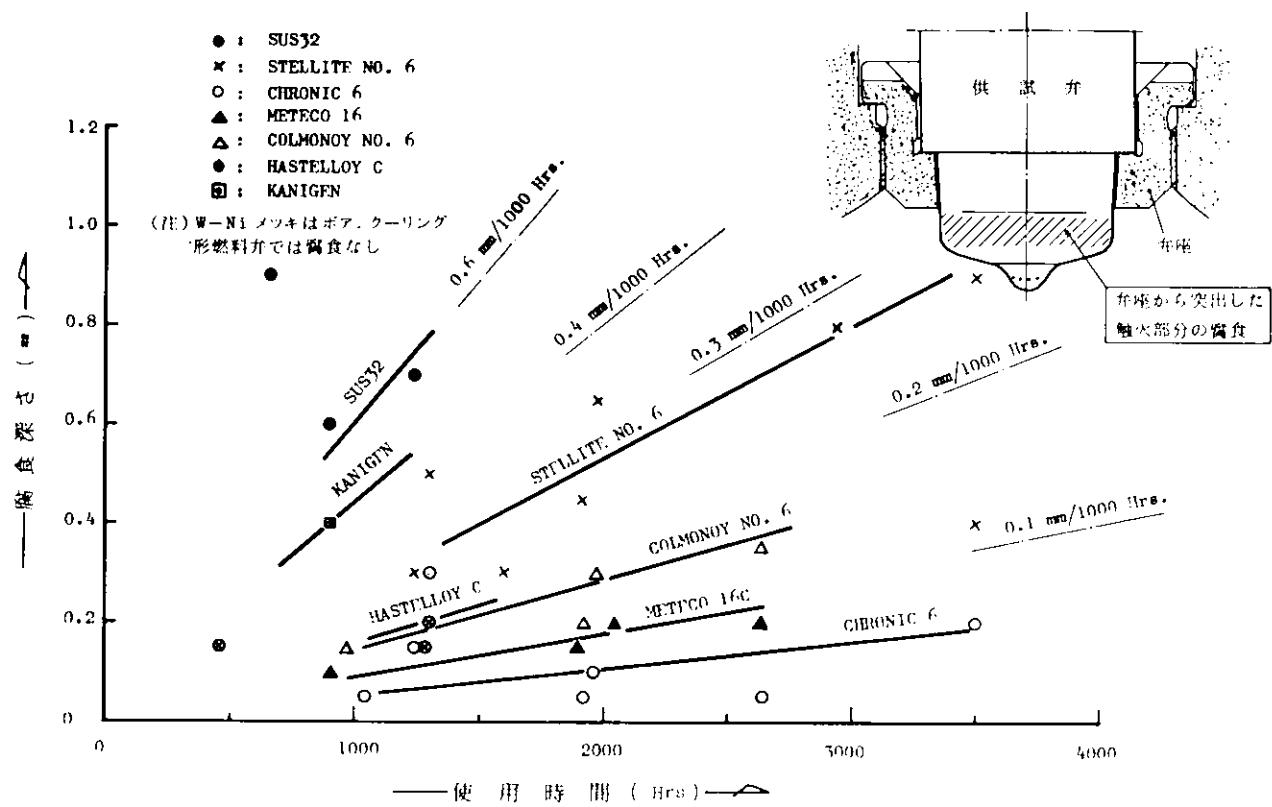


図2.18 ノズル外衣の実船耐食比較試験結果(その1)

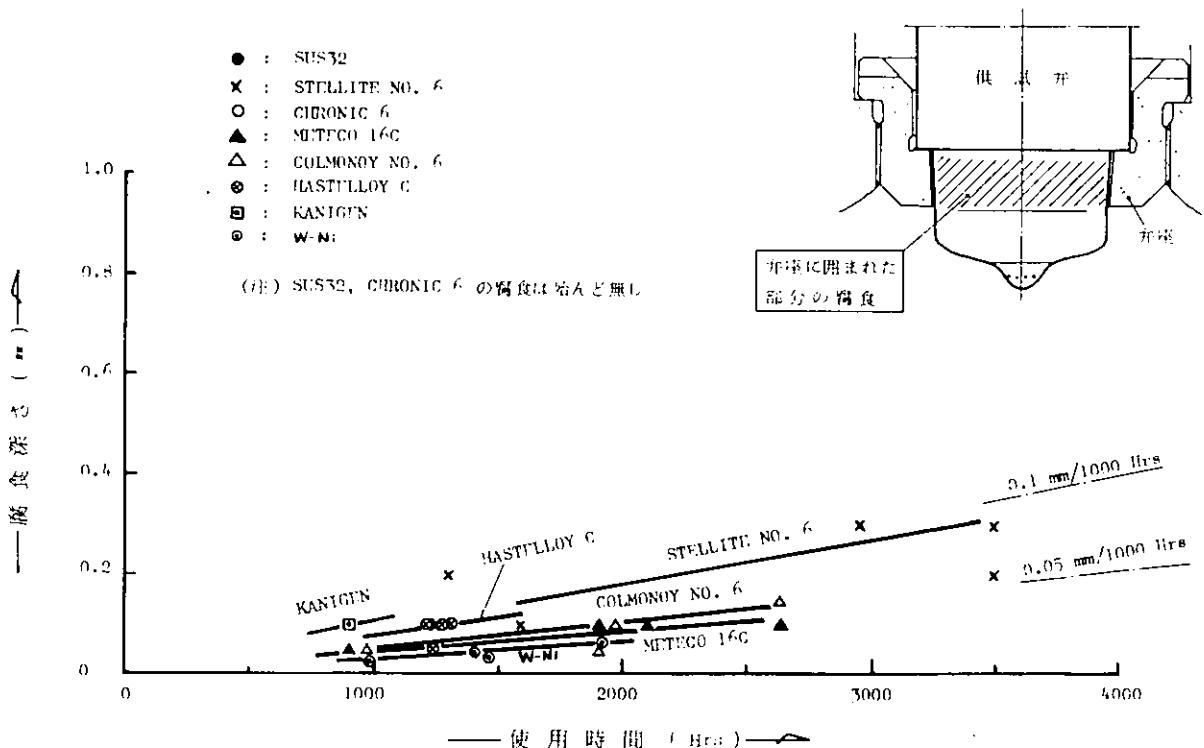


図2.19 ノズル外衣の実船耐食比較試験結果（その2）

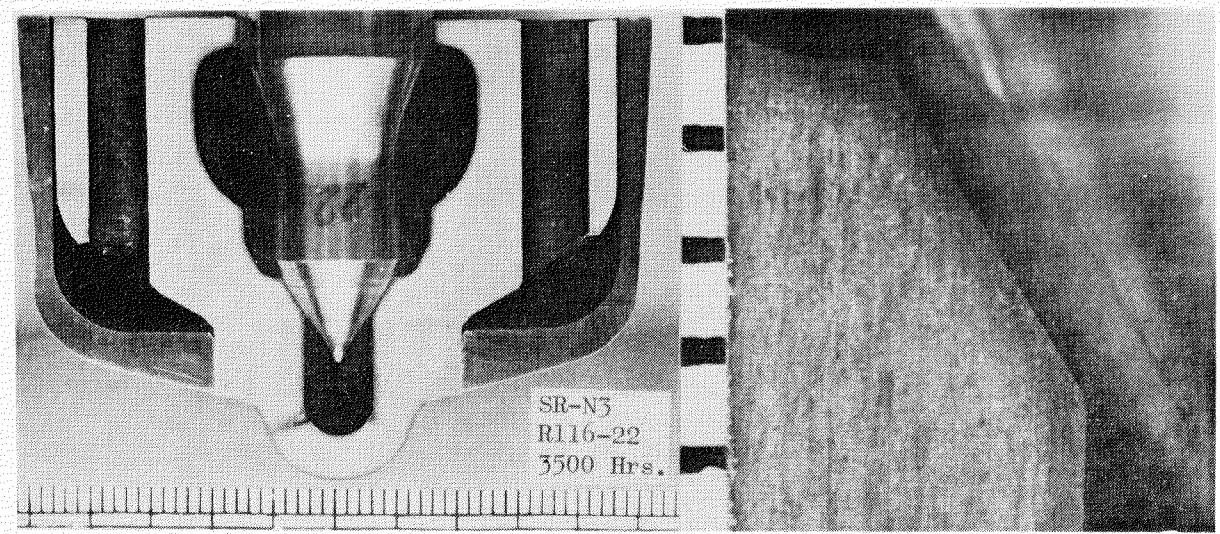
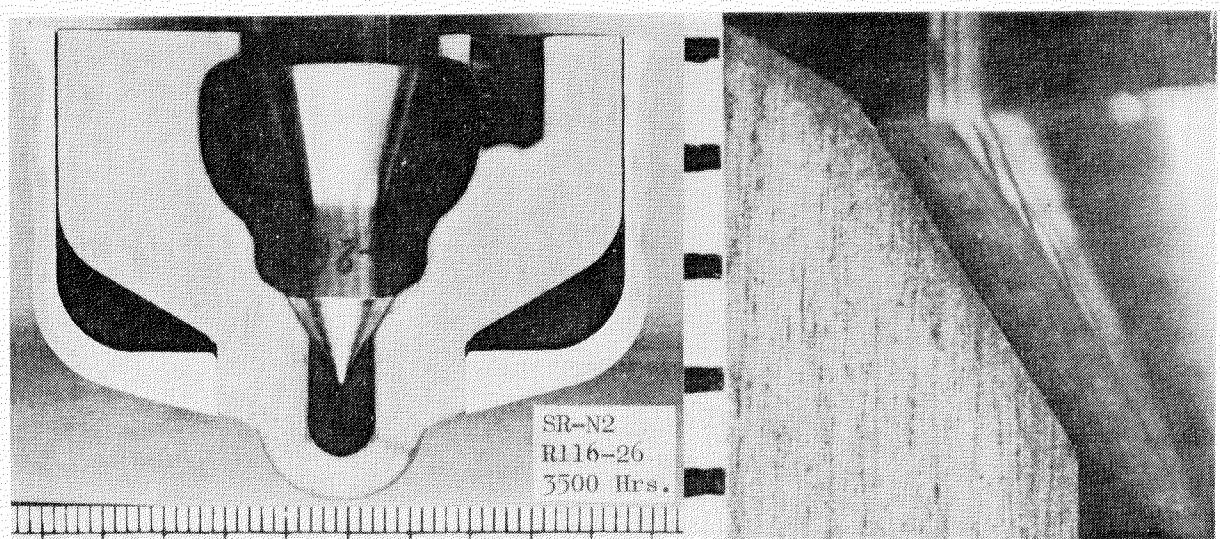
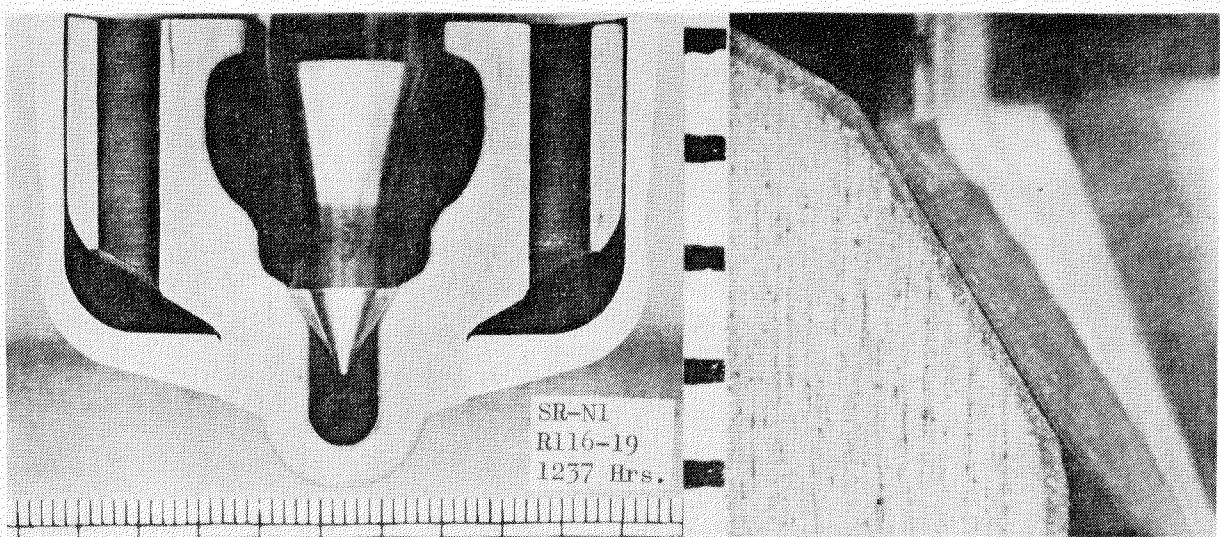


図2.20 シート部切断面 ( 1/2 )

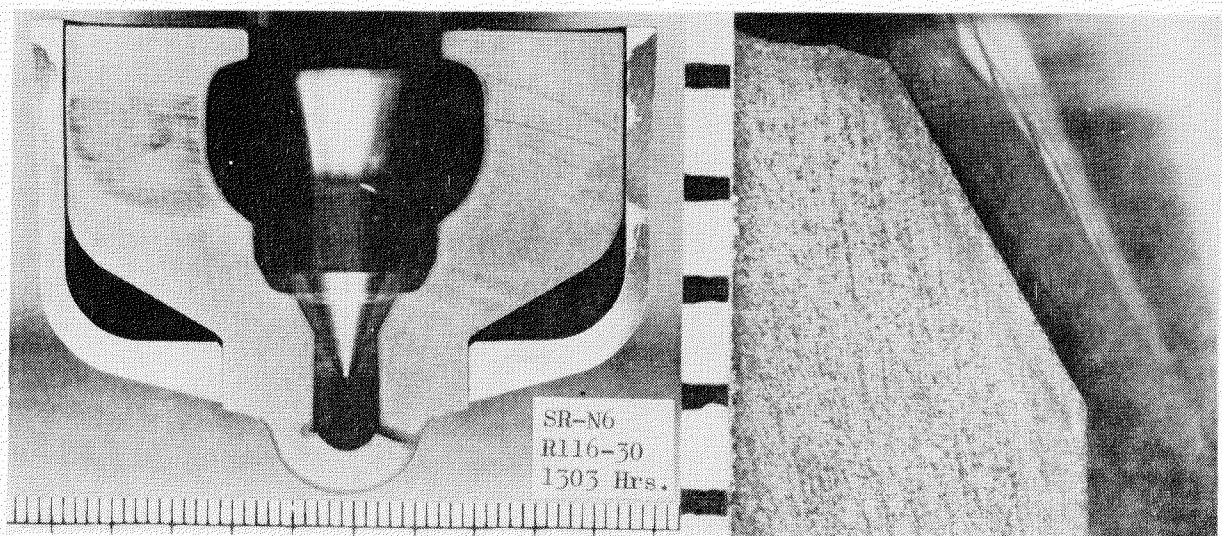
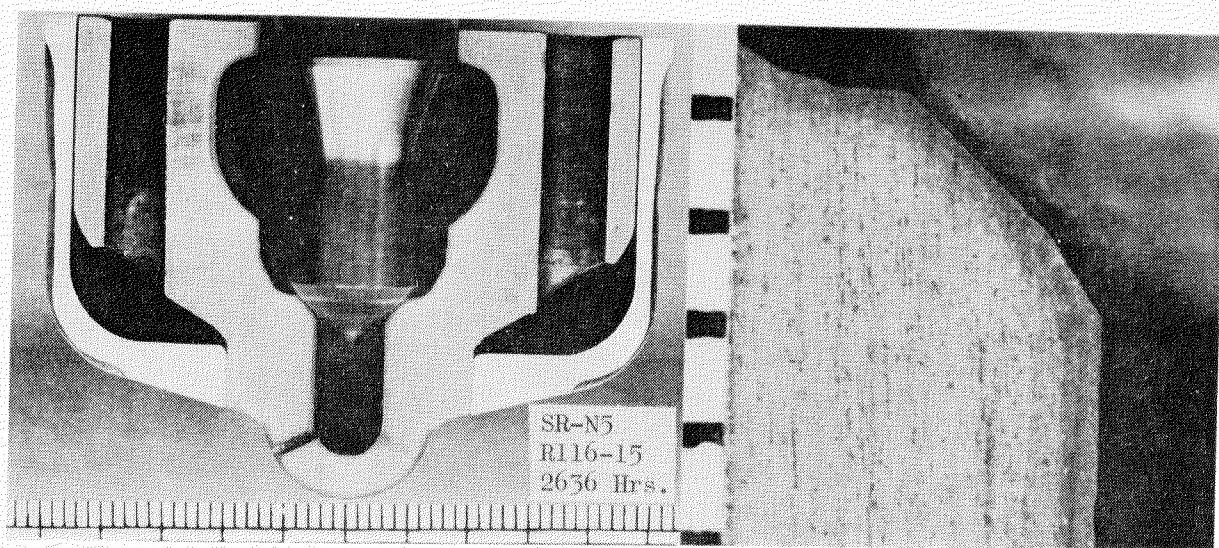
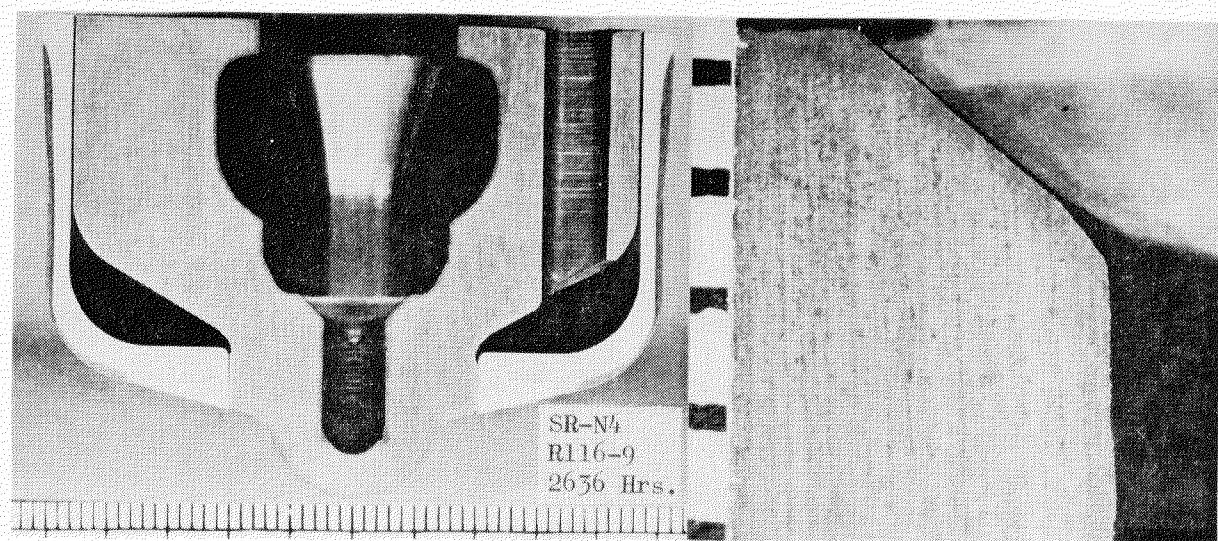


図2.21 シート部切断面 ( $\frac{3}{2}$ )

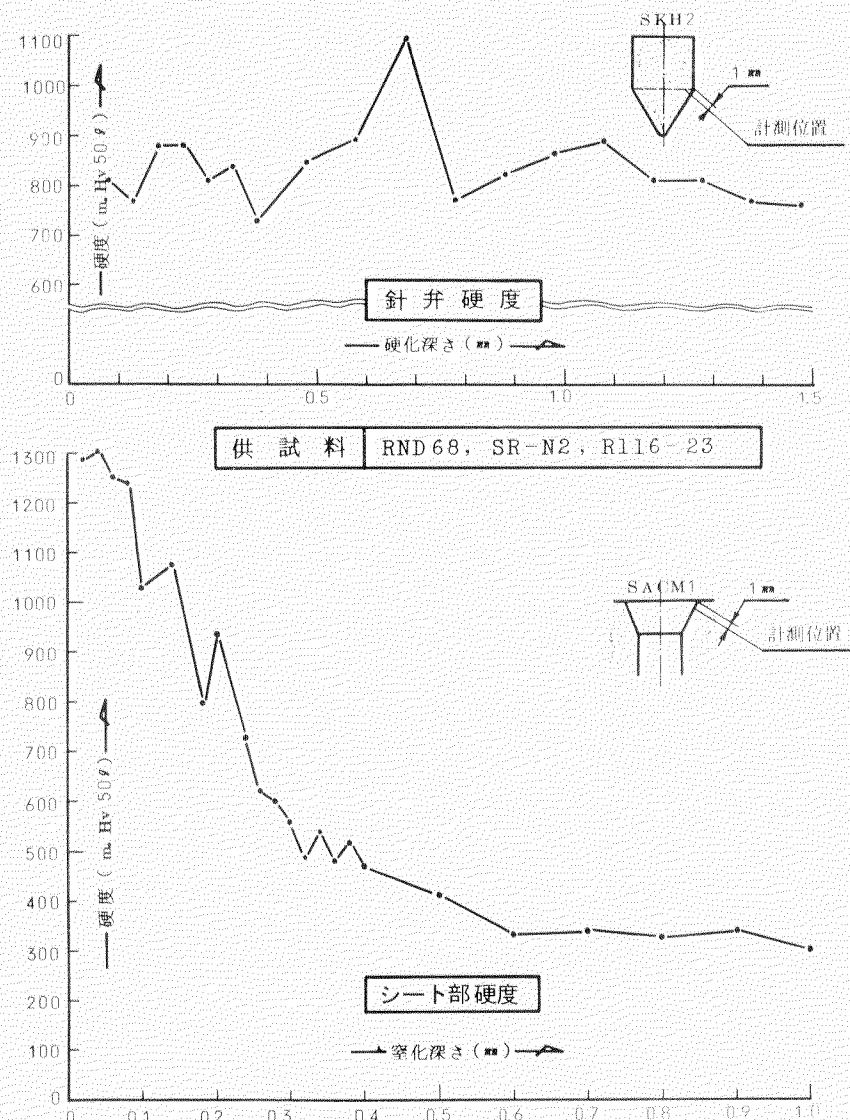
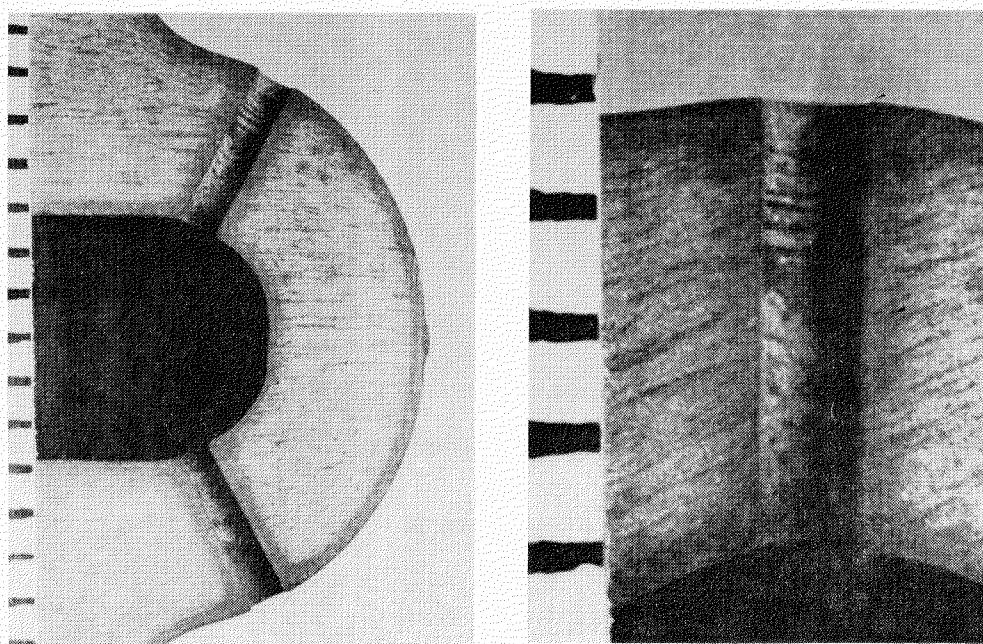


図2.22 針弁およびシート部硬度実測結果



SR-N4, R116-10, 1914 Hrs

図2.23 噴孔部切断面 (RND76)

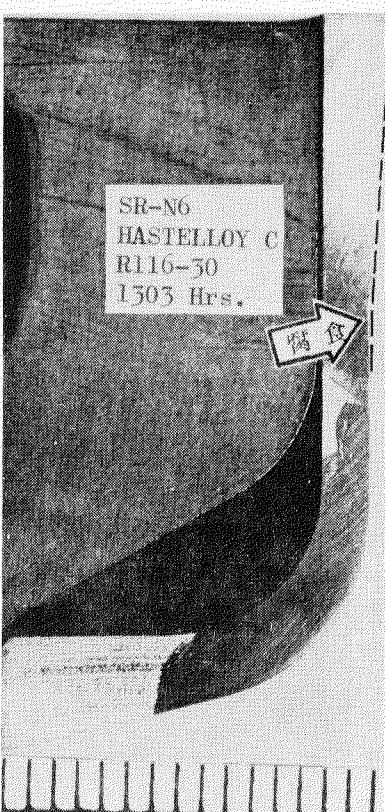
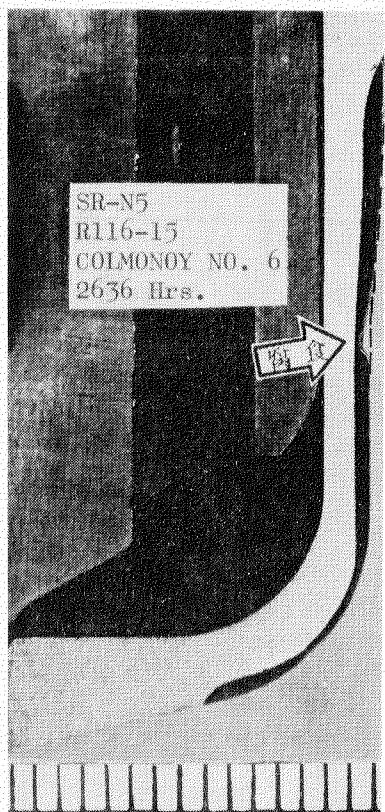
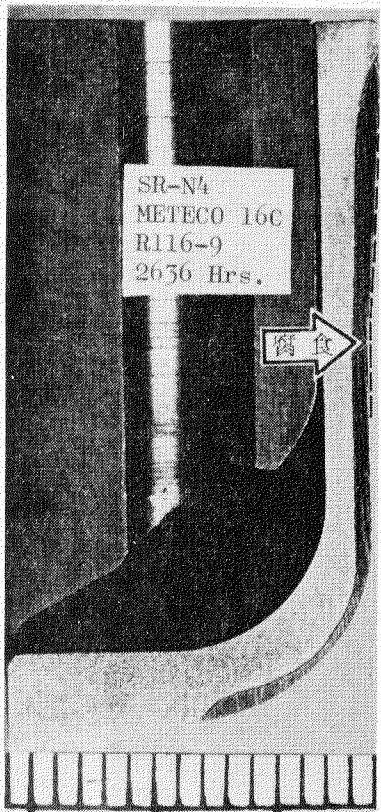
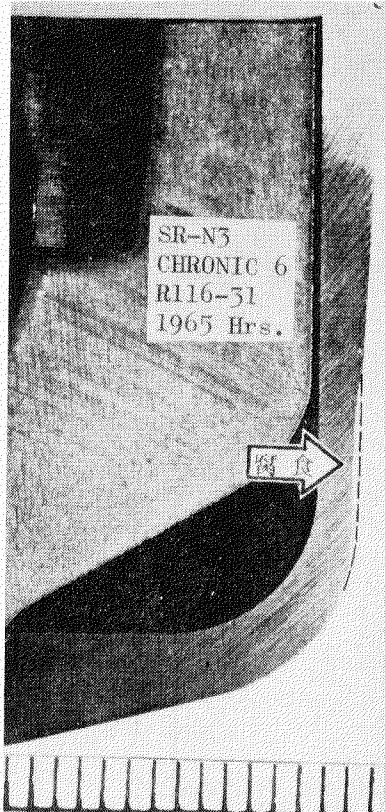
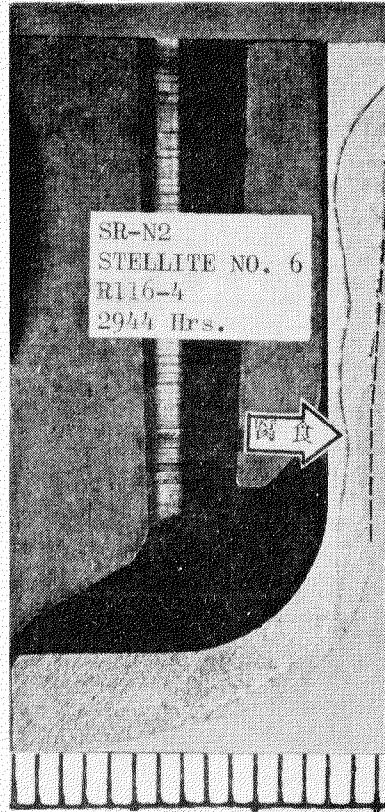
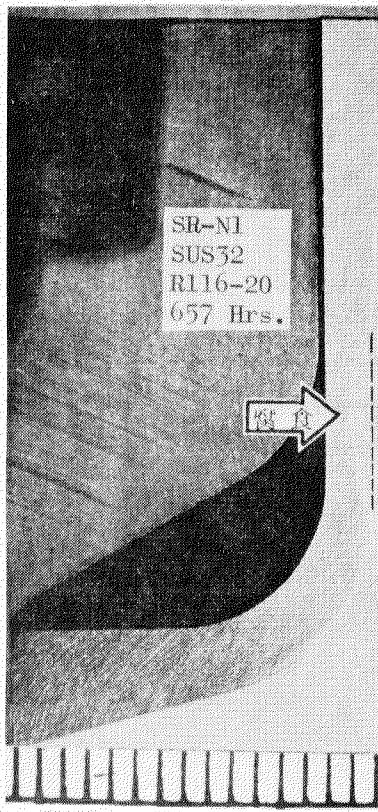


図 2.24 ノズル外衣の切断面

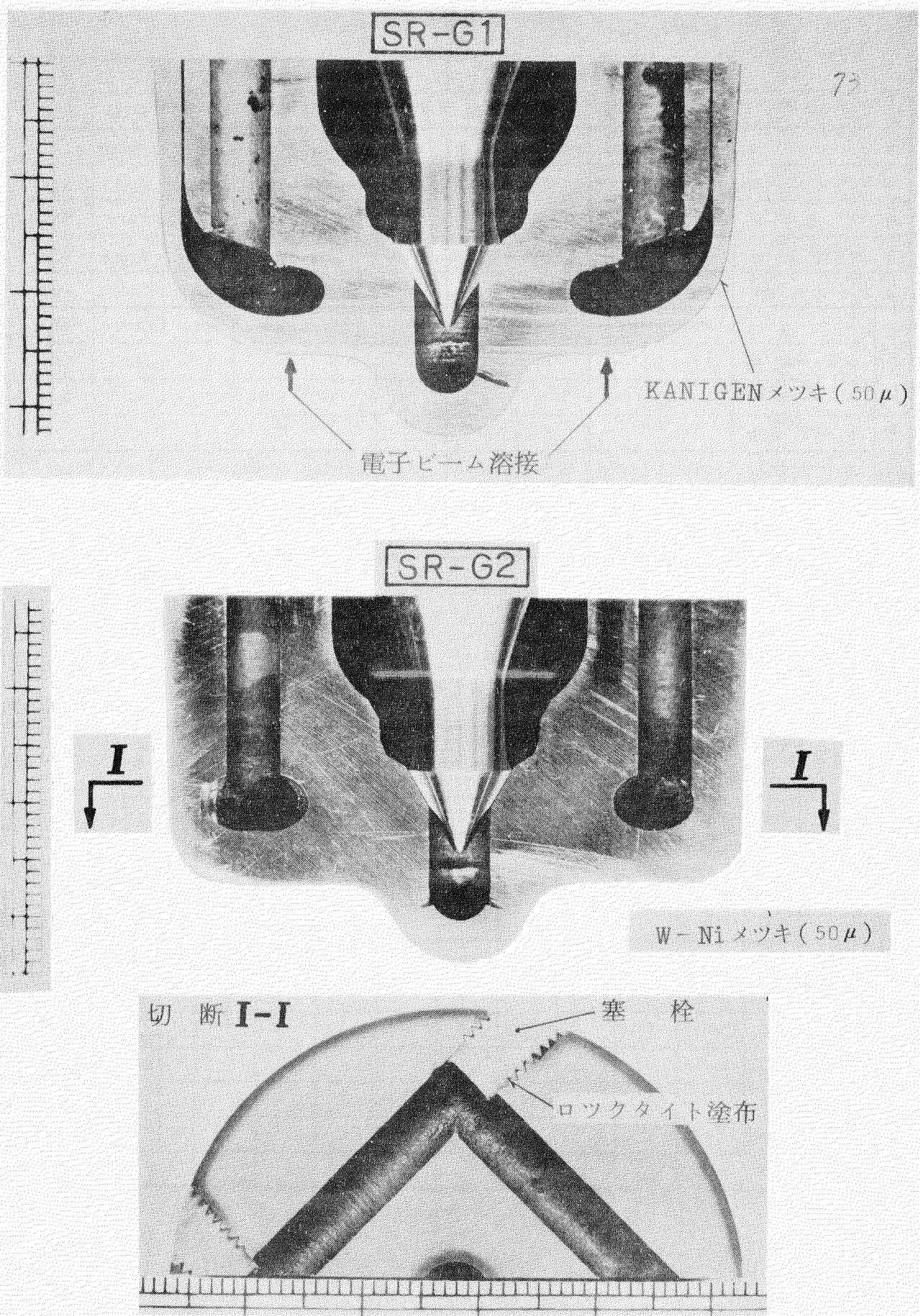


図 2.25 一体形供試弁の切断面

図 2.1 供試船 主要目

要 目	船 名	昭和47年度 = 4 隻				昭和48年度 = 6 隻					
		A 船	B 船	C 船	D 船	E 船	F 船	G 船	H 船	I 船	J 船
船 种	バラ積み船	チップ船	バラ積み船	木 材 船	バラ積み船	バラ積み船	バラ積み船	バラ積み船	LPG運搬船	鉱石船	
載貨重量トン数	32875	57600	51091	24500	32967	22536	19400	22000	32707	45132	
航 路	オーストラリア	オーストラリア	南米	北米	オーストラリア	オーストラリア	北米	オーストラリア	ペルシヤ	南米	
主な埠港地	横浜	清水	水島、川崎	千葉他数港	横浜	八戸、新潟	横浜	新潟	大阪、唐津	千葉	
航海ビッチ(約)	3.0ft	4.0ft	6.0ft	4.5ft	3.0ft	3.0ft	9.0ft	3.0ft	4.0ft	6.0ft	
機 閣	形 式	7RND68	7RND76	8RD76	6RND68	7RND68	6RND68	7RND68	6RND68	7RD76	7RD76
	シリンダ径 (mm)	680	760	760	680	680	680	680	680	760	760
	ストローク (mm)	1250	1550	1550	1250	1250	1250	1250	1250	1550	1550
	シリンダ数	7	7	8	6	7	6	7	6	7	7
	出 力 (PS)	10500	14000	12800	9200	10500	9900	10900	9900	11200	11200
	回転数 (rpm)	137	122	122	150	137	150	147	150	122	122
	平均有効推力(kN)	10.85	-10.50	8.39	10.90	10.85	10.90	10.50	10.90	8.39	8.39

図 2.2 実船試験実施の供試弁個数

船 種 類 名 称 形 式	RND68, 76 RD 76	SR - N1	SR - N2 (SR-N2A)	SR - N3	SR - N4	SR - N5	SR - N6	SR - G1	SR - G2	合 計	
		SR - N1	SR - N2A	SR - N2B	SR - N2C	SR - N2D	SR - N2E	-	-		
A 船	7 RND 68	2	4	4			4			14	37
B 船	7 RND 76		4	2	4	4				14	(47 年 度)
C 船	8 RND 76			3							3
D 船	6 RND 68									6	6
E 船	7 RND 68								12	12	65
F 船	6 RND 68	2	(2)	2	2	2	2			12	(48 年 度)
G 船	7 RND 68	2	(4)	2	2	2	2			14	
H 船	6 RND 68							6		6	
I 船	7 RD 76	2	2	2	2	2	2			12	
J 船	7 RD 76	1	2		2	2	2			9	
合 計		9	18	15	12	12	12	6	18	10	

表2.3 A船(供試機関=7RND68)燃料弁試験チェックリスト

判定区分：○=良好状態 △=良、不良の中間状態 ●=不良状態

\* 陸揚げ掃除後の噴射試験結果を示す。

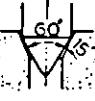
表2.4 B船(供試機関=7RND76)燃料弁試験チェックリスト

供試 シリ ンダ 1	供 試 弁 形 式	弁・シート の組合せ および 外衣材質	供 試 弁 番 号	外 観 調 査	噴 射 試 験						自由状態 での針弁 の動き	燃 料 性 能 の異常 有無	総 合 判 断							
					使用時間 (累計)	噴孔部カーボン	外衣部カーボン	チップ 焼損の有無	外衣の腐 食	外衣 継合部 の有無	弁 座 内	弁 座 のガスも れ	噴 露 の良 否	針弁閉 きの良 否	シ ュ ナ ー 者 音 の良 否	前モレ の有無	後外ま での噴 射回数	啓開圧力 調整時= 270%		
1	S R - N 2	ステライト No.6	R116-4	1051-55	○	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	16	270		○ ○ △ ●
				2288-33	○	△	○	●	△	○	○	○	○	○	○	○	14	270		○ ○ ○ ○
				2944-33	○	△	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	35	260		○ ○ ○ ○
				(2944-33)													2553	270	○	- ○ ● ● *
			R116-5	323	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1524	260		○ ○ ○ ○
				623-15	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	14	270		○ ○ ○ ○
				1605-57	○	△	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	30	270	△	- ○ ○ △ *
				(1605-57)													3050	270		
			R116-8	1051-55	○	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	17	270		○ ○ ○ △
				1980-15	○	△	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	21	270		○ ○ ○ ○
				(1980-15)													2333	270		- ○ ○ ● *
2	S R - N 3	クロニツク No.6	R116-11	981-33	○	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	15	268		○ ○ ○ △
				1914-15	○	△	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	17	270		○ ○ ○ ●
				(1914-15)													2037	270		- ○ ○ ● *
			R116-13	1051-55	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13	270		○ ○ ○ ○
				1980-15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	28	270		○ ○ ○ ○
				2636-15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18	270		○ ○ ○ ○
			R116-16	(2636-15)													1018	270	△	- ○ ○ ○
				323	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1717	270		○ ○ ○ ○
				981-33	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	21	270		○ ○ ○ ○
3	S R - N 4	クロニツク No.6	R116-9	1300-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	270		○ ○ ○ ○
				1914-15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	16	270		○ ○ ○ ○
				(1914-15)													818	270	△	- ○ ○ ○
			R116-10	1051-55	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13	270		○ ○ ○ ○
				1980-15	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	18	275		○ ○ ○ ○
				2636-15	○	△	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	40	265		○ ○ ○ ○
			R116-12	(2636-15)													1480	270	△	- ○ ○ △
				323-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1830	270		○ ○ ○ ○
				981-33	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	1435	275		○ ○ ○ ○
4	S R - N 4	メテコ160	R116-14	1914-15	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	1430	270	○	- △ △ △ *
				(1914-15)													930	270		
			R116-15	1051-55	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	17	270		○ ○ ○ ○
				2052-01	○	△	○	△	△	○	○	○	○	●	●	●	1	270		○ ○ ○ △
				(2052-01)													1340	270		- ○ ○ △
			R116-17	909-47	○	△	○	△	△	○	○	○	○	○	△	△	4	275		○ ○ ○ △
				(909-47)													1530	270		- ○ ○ △
5	S R - N 5	コルモノイ No.6	R116-19	1051-55	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13	270		○ ○ ○ ○
				1980-15	○	△	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	25	270		○ ○ ○ ○
				2636-15	○	△	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	26	270		○ ○ ○ ○
			R116-20	(2636-15)													1332	270		- ○ ○ ○
				323-	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1523	270		○ ○ ○ ○
				981-33	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	15280			
			R116-21	1914-15	○	△	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	30	275		○ ○ ○ ○
				(1914-15)													1526	270		- ○ ○ ○
6	S R - N 5	コルモノイ No.6	R116-22	1051-55	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	101	260		○ ○ ○ ○
				1980-15	○	△	○	△	△	○	○	○	○	●	●	●	1	270		○ ○ ○ △
				(1980-15)													61	270		- △ △ △
			R116-23	981-33	○	△	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	1	280		○ ○ ○ △
				(981-33)													81	270		- ○ ○ △
7	S R - N 5	コルモノイ No.6	R116-24	1914-15	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	280		○ ○ ○ △
				(1914-15)																
			R116-25	981-33	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	8	1	270	○ ○ ○ △
				(981-33)																

判定区分： ○ = 良好状態 △ = 良・不良の中間状態 ● = 不良状態

\* 陸揚げ掃除後の噴射試験結果を示す。

表 2.5 C 船(供試機関 = 8RD76) 燃料弁試験チェックリスト

供試 シリ ンダ ー	供 試 弁 形 式	弁・シート の組合せ および 外衣材質	供 試 弁 番 号	使 用 時 間 (累 計)	外 観 調 査				噴 射 試 験				燃 焼 性 能 の異 常 有 無	総 合 判 断					
					噴 孔 部 カ ー ボ ン	外 衣 部 カ ー ボ ン	チ ップ 焼 損 の有 無	外 衣 の 食 肉	外 衣 部 合 部 内	弁 座 の ガ ス も れ	弁 座 先 端	噴 孔 閉 塞 の 有 無	針 弁 固 着 の 有 無	噴 霧 の 良 否	前 モ レ の 有 無	後 外 は 噴 射 回 数	密 閉 圧 力 調 整 時 = 270 %		
					堅 い	普 通	弛 い												
2	S R - N 2 B		4 5 2 - 3	307-25	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	270	○	○	○
				1208-35	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	265	○	○	○
				1786-15	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○
			4 5 2 - 2	307-25	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	270	○	○	○
				1208-35	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	265	○	○	○
				1786-15	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
			4 5 2 - 1	307-25	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	270	○	○	○
				1208-35	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	265	○	○	○
				1786-15	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
			クロニツク6	(注) 本船は供試弁組込後、三回出航時に船舶替えられたため一部不明の部分があるが、本船からの報告書にもとづき判定している状況のみ記載した。	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

判定区分： ○・良好状態 △・良・不良の中間状態 ●・不良状態

表2.6 D船(供試機関=6RND68)燃料並試験チェックリスト

(注) ノズル外衣の断食は断食のため施行しているW-W<sub>1</sub>メソキの点食である。  
ノズルの冷却水温度は人口で約16°Cに調整(標準より約2°C低い)

判定区分：○=良好状態 △=良・不良の中間状態 ●=不良状態

表 2.7 E 船(供試機関=7RND68)燃料弁試験チェックリスト

判断区分：○・良好状態 △・良・不良の中間状態 ●・不良状態

表2.8 F船(供試機関=6RND68)燃料弁試験チェックリスト

判定区分：○ = 良好状態 △ = 良・不良の中間状態 ● = 不良状態

表 2.9 G 船(供試機関=7 RND68) 燃料弁試験チェックリスト

供試 シリ ンダ ー	供 試 弁 形 式	弁・シート の組合せ および 外衣材質	供 試 弁 番 号	外 観 調 査	使 用 時 間 (累 計)	噴 射 試 験										燃 料 性 能 の異 常 有 無	合 成 判 断						
						噴孔部 カーボン	外衣部 カーボン	チップ 焼損の有無	外衣 腐 食	外衣 嵌合部 の丸	弁座 内	弁座 先端	弁座 ガスもれ	噴孔 詰塞の有無	針弁 回着の良否	シナ 音の良否	噴霧 の良否	前モレ の有無	後外は 噴射回数	喷射圧力 開閉時= 270%			
						堅 い	普 通	地 い	堅 い	普 通	地 い	堅 い	普 通	地 い	堅 い	普 通	地 い	堅 い	普 通	地 い			
1	SR-N1	SUS 32	705 657	154-21 154-22	705 657	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	18	18	265	○	○	○
						○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	8	19	260	○	○	○
2	SR-N2A	カニゼン メツキ	705 657	154-23 154-25	705 657	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	16	23	268	○	○	△
						○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	13	23	265	○	○	△
3	SR-N2A	カニゼン メツキ	554 808	154-24 154-26	554 808	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	18	25	265	○	○	△
						○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	17	18	265	○	○	△
4	SR-N3	クロニツク6	705 705	154-17 154-18	705 705	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	17	20	268	○	○	○
						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20	19	265	○	○	○
5	SR-N4	メテコ16C	705 657	154-03 154-05	705 657	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	10	25	270	○	○	○
						○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	12	22	270	○	○	○
6	SR-N5	コルモノイ No.6	705 657	154-08 154-09	705 657	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	19	24	270	○	○	○
						○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	9	27	270	○	○	○
7	SR-N6R	ハステロイC	705 657	154-28 154-30	705 657	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	18	19	268	○	○	○
						○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	12	22	270	○	○	○

判定区分: ○ = 良好状態 △ = 良・不良の中間状態 ● = 不良状態

表2.10 H船(供試機関=6RND68)燃料弁試験チェックリスト

供試シリンドラー	供試弁形式	供試弁番号	使用時間 (累計)	外観調査						噴射試験						燃焼性能の異常有無	合判断				
				噴孔部カーボン	外衣部チップ焼損の有無	外衣の食い込み	溶接部腐食の有無	弁座のガスもれ	噴孔閉塞の有無	計弁固着の良否	噴霧の良否	前モレの有無	後外まくでの噴射回数	启閉圧力調整時=270kgf	自由状態での針弁の動き	堅い	普通	弛い	弁機能	ノズル外衣	
1	S R - G 1	カニゼン メツキ	631-42	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	11	23	260		○ ○ ●			
			940-	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	10	20	275		○ ○ △			
				○	○	○	●	△	○	○	○	○	○	16	20	270		○ ○ ●			
			610-05	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	△	3	3	270		○ △ △		
			940-	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	6	20	273		○ ○ △		
				○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	13	20	270		○ ○ △		
			1201-02	○	○	○	●	△	○	○	○	○	○	○	7	22	270		○ ○ ●		
(注) 溶接形ノズルではノズル外衣部の肉厚は標準形状のものより1mm薄くしている。(材質はSNCM25)																					
判定区分: ○ = 良好状態 △ = 良・不良の中間状態 ● = 不良状態																					

表2.11 I船(供試機関=7RD76)燃料弁試験チェックリスト

供試シリ ンダー	供 試 弁 形 式	供 試 弁 番 号	供 試 弁 形 式	供 試 弁 番 号	供 試 弁 形 式	供 試 弁 番 号	供 試 弁 形 式	外観調査				噴射試験				燃焼性能の異常有無	合 判 断		
								噴孔部 外衣部 チップ燃焼の有無	外衣 内 井座先端 井座内	外衣嵌合部の 井座のガスもれ	噴孔閉塞の有無	針弁固定の良否	噴霧の良否	シユーチ音の良否	前モレの有無	後外は噴射回数	強噴射	弱噴射	启開圧力 調整時=270kg
1	S R - N 1	888-	888-	○ ○ ○ ● ○ ●	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	20 265	○ ○ ○ ○ ○ ○	●	*
	SUS32	899-39	899-39	○ ○ ○ ● ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	38 270	○ ○ ○ ○ ○ ○	●	*
2	S R - N 2 A	888-	888-	○ ○ ○ △ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	18 265	○ ○ ○ ○ ○ ○	△	*
	カニゼン メツキ	899-39	899-39	○ ○ ○ △ △ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	37 270	○ ○ ○ ○ ○ ○	△	*
3	S R - N 2 B	745-	745-	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	22 265	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	*
	クロニック6	1042-39	1042-39	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	20 268	○ ○ ○ ○ ○ ○	△	*
4	S R - N 2 C	888-	888-	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	15 270	○ ○ ○ ○ ○ ○	△	*
	メテコ16C	899-39	899-39	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	30 270	○ ○ ○ ○ ○ ○	△	*
5	S R - N 2 D	745-	745-	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	20 270	○ ○ ○ ○ ○ ○	△	*
	コルモノイ ク6	1042-39	1042-39	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	33 270	○ ○ ○ ○ ○ ○	△	*
6	S R - N 2 E	888-	888-	○ ○ ○ ○ ○ ○	● ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	2 270	○ ○ ○ ○ ○ ○	●	*
	ハステロイC	460-03	460-03	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	20 270	○ ○ ○ ○ ○ ○	●	*

判定区分: ○ = 良好状態 △ = 良・不良の中間状態 ● = 不良状態

表 2.12 J 船(供試機関=7RD76)燃料弁試験チェックリスト

供試 シリ ン ダ ー	供 試 弁 形 式	弁、シート の組合せ および 外衣材質	供 試 弁 番 号	使 用 時 間 (累計)	外観調査				噴射試験				燃 料 性 能 の異常 有無	総 合 判 断			
					噴孔部 カーボン	外衣部 カーボン	チップ 燃焼の有無	外衣の 食 肉	外衣 総合部 のれ	弁座の ガスもれ	噴孔開 きの良 否	シュー アル音 の有無	針弁固 着の有無	前モレ の有無	後外泄 での噴 射回数	启閉圧力 調整時= 270% 启閉圧力 調整時= 270%	
					947-	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		
1	S R - N 1	SUS32	947- 2322-18 3710-48	4 9 6 - 3	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
2	S R - N 2 A	カニゼン メツキ	947- 2322-18 1388-30	4 9 6 - 6	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
4	S R - N 2 C	メテコ16C	947- 2322-18 1388-30	4 9 6 - 14	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
5	S R - N 2 D	コルモノイ 16.6	947- 2322-18 1388-30	4 9 6 - 21	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
6	S R - N 2 E	ハステロイC	947- 2322-18 1388-30	4 9 6 - 27	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

判定区分： ○ = 良好状態 △ = 良・不良の中間状態 ● = 不良状態

表2.13 燃料油分析試験成績表

項目\試料	A	B	C	D	E
比重(15/4°C)	0.9480	0.9715	0.9493	0.9630	0.9523
反応	-	-	-	-	中性
引火点(°C)	-	-	-	-	95
粘度 (50°C)	CST 秒 RWI	135.2 551.6	200.1 816.6	159.6 651	189.7 773.9
残留炭素分(%)	9.29	12.26	9.00	11.83	9.09
灰分(%)	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
水分(%)	痕跡	痕跡	痕跡	微量	痕跡
硫黄分(%)	2.38	3.52	2.81	3.69	3.77
水素分(%)	11.58	11.01	11.36	-	11.31
発熱量	高位 (kal/kg)	10345	10245	10340	-
	低位	9730	9650	9725	-
N-ベンタン不溶分(%)	0.42	0.50	0.37	0.35	0.29
ナトリウム(ppm)	-	-	-	7.5	2.5
バナジウム(ppm)	-	-	-	17.5	38.5

(注) 試料は主機入口一次廻器空気抜きより採油