

「常陽」1次主循環ポンプモックアップ(VII)

耐久試験後の材料検査

1977年8月

動力炉・核燃料開発事業団

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下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

「常陽」1次主循環ポンプモックアップ (M)

耐久試験後の材料試験

亀 井 満 *

深 田 富 啓 *

石 井 陽 一 郎 *

要 旨

高速実験炉「常陽」の建設に先行して、「常陽」1次主循環ポンプモックアップを製作し、昭和47年3月から、ナトリウム中での性能耐久試験が実施された。

昭和51年9月までにポンプの種々の性能試験が行なわれ、ナトリウム中での運転時間約16,000時間に達した。その後このポンプは、解体洗浄されたので、主要部品について材料検査を実施した。

材料検査の結果

- (1) ナトリウムベアリングについては、小さなピットとわずかながら浸炭現象が見受けられた。
- (2) シールリングについては、内ケーシング挿入時の小さな引かき傷とアイラッシュが見受けられた。
- (3) シールリング用のバネについては、浸炭による硬化が見受けられた。
- (4) 鋳物で作られたインベラについては、表面に孔食、浸炭、ニッケルの質量移行現象が見受けられた。

等であるが、現下では運転に支障を起こすような現象は見受けられなかった。

Material Test after Endurance Test of the
Primary Circulating Pump for JOYO

Mitsuru Kamei*, Tomihiro Fukada*,
and Yoichiro Ishii*

Abstract

With respect to mechanical sodium pump for the primary cooling system of JOYO, mock-up test has been continued on the pump test loop since April 1972, to demonstrate mechanical and hydraulic performance, and reliability for about 16,000 hrs.

Material test after endurance test (about 16,000 hours) has been carried out for sodium bearing, seal ring, spring and impeller,

The result is as follows.

- (1) small extent of pitting and slight carburization were observed in the sodium bearing.
- (2) small scratches which were probably caused during the installation of the inner casing and eyelashes were observed in the seal ring.
- (3) the increase of spring constant was found in the spring attached to the seal ring.
- (4) small hole corrosion on the surface, carburization, and Nickel transfer were observed in the impeller.

* Sodium Components Sec., Sodium Engineering Div.,
O-arai Engineering Center, PNC.

目 次

1. ま え が き	1
2. 装 置 の 概 要	2
2.1 ポンプの概要	2
2.2 試験装置の概要	4
3. 運 転 条 件 並 び に 運 転 経 過	7
3.1 運 転 条 件	7
3.2 運 転 時 間 並 び に 経 過	7
4. 検 査	11
4.1 検 査 部 品	11
4.2 ベアリング回転側の検査結果	12
4.3 ベアリング固定側の検査結果	14
4.4 シールリングベアリングハウジング側の検査結果	16
4.5 シールリングサンクション側の検査結果	19
4.6 バネ（ベアリング，ハウジング側およびサククション側）の検査結果	22
4.7 インペラの検査結果	24
5. 検 討	39
6. あ と が き	41
7. 参 考 文 献	42
附 録 写 真 集	43

目 次

図2-1	ポンプ断面図	3
図2-2	大型ナトリウムポンプ試験装置フローシート	6
図4-1	調査部品の配置	12
図4-2	硬さとその分布-ベアリング回転側-	13
図4-3	表面アラサ測定結果-ベアリング回転側-	14
図4-4	硬さとその分布-ベアリング固定側-	18
図4-5	表面アラサ測定結果-ベアリング固定側-	17
図4-6	硬さとその分布	20
図4-7	表面アラサ測定結果-シールリング ベアリングハウジング側-	21
図4-8	表面アラサ測定結果-シールリング サクシヨン側-	21
図4-9	ブレード断面の鑄造組織	24
図4-10	インペラブレードの位置関係	25
図4-11	断面組織硬さ試験片EPMA試料の採取位置	25
図4-12	引張試験片衝撃試験片の採取位置	26
図4-13	ブレードの表面硬さ	29
図4-14	ブレード各部の断面硬さ	30
図4-15	衝撃試験	31
図4-16	マウスリング表面粗さ結果	33
図4-17	ボス部表面粗さ結果	34
図4-18	ブレード断面におけるEMPAの元素分析	35

目 次

表 3 - 1	運転経過表	8
表 3 - 2	試験一覧表	9
表 4 - 1	検査項目	11
表 4 - 2	引張試験結果	15
	ベアリング回転側, 固定側の機械的性質	15
表 4 - 3	バネの製作仕様	22
表 4 - 4	バネ定数測定結果	23
表 4 - 5	インペラ各部の実体強度	32
表 4 - 6	推定原因一覧表	37
表 5 - 1	ま と め	40

1. ま え が き

昭和47年3月に「常陽」1次主循環ポンプ(モックアップ)の性能耐久試験を行なうために動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センターナトリウム機器構造試験室のポンプ試験装置に設置されて以来、昭和51年9月末まで約16,000時間ナトリウム中で運転された。

この間、ポンプのQ-H特性試験、コーストダウン試験、高温待期後の起動試験、キャビテーション試験、「常陽」運転マニュアル作成試験、低速低圧損試験、内ケーシング解体洗浄試験、耐久試験等を実施し、数多くの有意義なデータならびに経験が得られた。

これらの長期ナトリウム中運転によるナトリウム環境効果の資料を得るために耐久試験終了後のナトリウムベアリング(回転側、固定側)、シールリング(ベアリングハウジングサクシオン側)、インペラについて調査を行なった。

なお、本報告書は、日立製作所において実施された材料検査の結果によりまとめたものである。

2. 装置の概要

2.1 ポンプの概要

本ポンプは、「常陽」1次主循環ポンプのフルスケールモックアップポンプであり、概略仕様は下記の通りである。

ポンプの仕様

型式	自由液面式遠心ポンプ
口径	18B×12B(オーバーフロー8B)
定格流量	21.03 m ³ /min(at 370℃)
全揚程	70 m Na
設計温度	450℃
充填ガス	アルゴンガス
カバーガス圧力	100 mm Aq
駆動方式	可変速電動機直結式
定格回転数	930 rpm

駆動電動機仕様

型式	堅型可変速, 防滴構造
定格出力	330 kW
回転数制御方式	静止セルピウス方式
回転数制御範囲	10~100%
電源	三相交流 50 Hz 3000 V
極数	6 P

ボニーモーター

型式	VTBo-S
定格出力	2.5 kW
定格回転数	130 rpm
電源	DC-110 V

ループ配管と溶接で接続されていて取外せないアウターケーシングと抜き出し可能な内ケーシング部からなる。

1次系ポンプの断面図を図2.1に示す。ポンプ内ケーシング(内部構造)部は、インペラ、軸、軸受、軸封機構等からなり、駆動電動機が上部に直結されている。回転体部とその周囲の固定部は全て内ケーシング部に含まれているので、保守の際にはこの部分を独立に外に引き出すことができる。

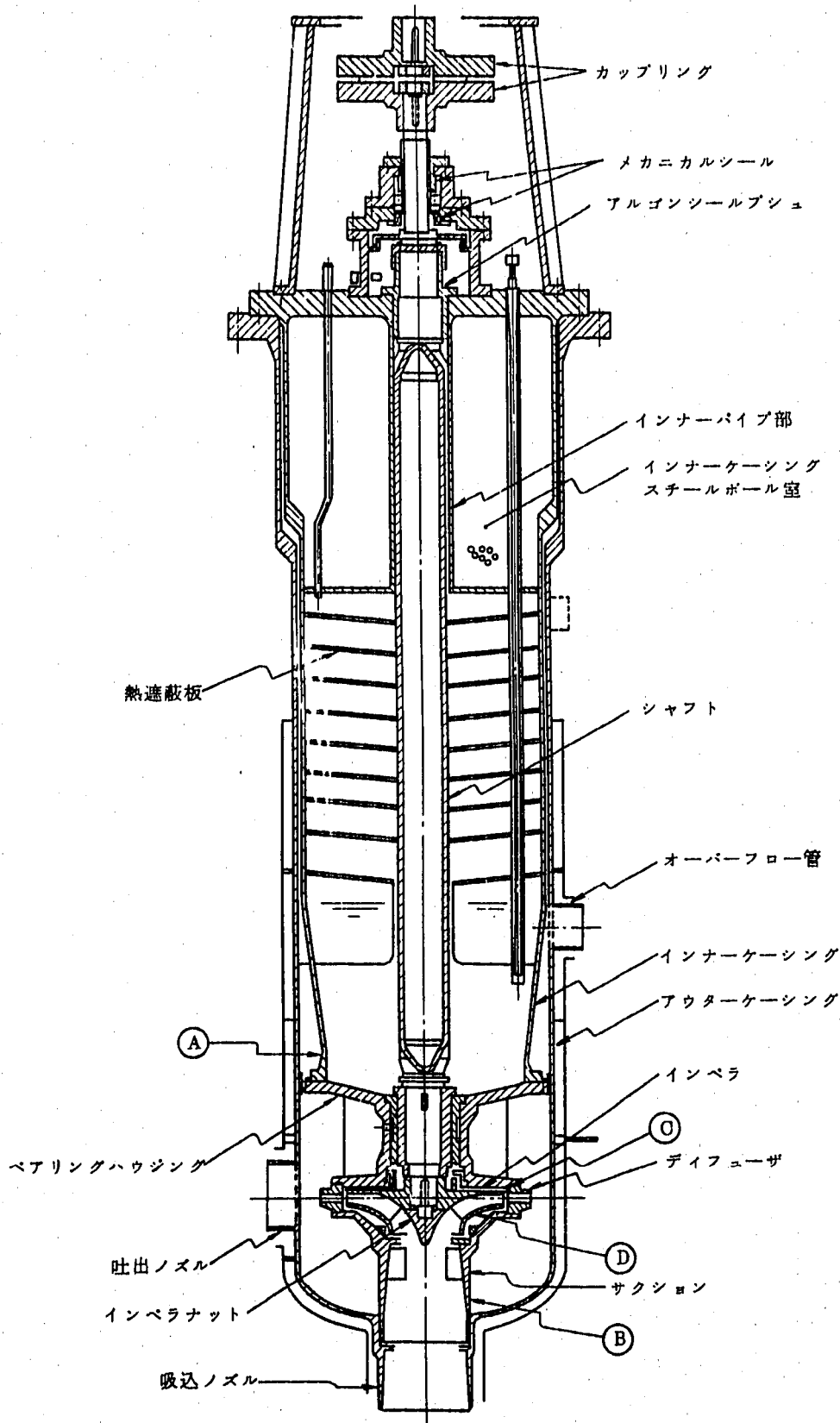


図 2.1 「常陽」 1次主循環ポンプ構造断面図

材質は主軸ジャーナル部などの一部を除き SUS304 で、鋳造品および圧延材、鍛造品の溶接構造を主体とするが部品の組立てにはナトリウム浸漬部分でもボルト締めネジ止めが用いられている。このほか内ケーシング内部には、液面計のウエルおよび予熱や運転中の温度監視のための熱電対が軸受や熱遮蔽板などに取付けられている。

本ポンプは昭和47年3月からナトリウム中の耐久運転が開始され、昭和50年12月迄に約15,000時間のナトリウム中耐久運転が実施され、昭和51年6月に「常陽」MK-I炉心圧損用ナトリウムベアリングと交換され約1,000時間ナトリウム中で運転された。従って今回調査されたナトリウムベアリングについては約15,000時間、その他の部品については約16,000時間のナトリウム浸漬であった。

2.2 試験装置の概要

大型ナトリウムポンプ試験装置は、「常陽」1次主循環ポンプ性能および耐久試験を実施できるよう構成され次の6系統からできている。

- (1) 主回路系
- (2) ナトリウム供給系
- (3) ナトリウム注入系
- (4) カバーガス系
- (5) ドレン系
- (6) 窒素ガス予熱系

図2.2にナトリウム系のフローシートを示す。主回路系は、「常陽」の主回路と同様窒素ガスで予熱できるように内管12B(SUS 27TP, Sch 20S) 外管は16B(SUS 27TP Sch 20S) の2重構造になっている。また、ポンプの性能試験のために流量計(二重管型くから型電磁流量計, オリフィス流量計)ポンプ出入口圧力計(NaK置換型), 12B, 6Bフリーズシール型流調弁が設けられている。空気冷却器(350kW)は、ポンプ試験装置の温度を調節するために設置されている。

ナトリウム供給系は、精製されたナトリウムをナトリウム供給ポンプによってポンプ加熱器に移送し、ナトリウム注入系を通して主回路にナトリウムをチャージするとともに、ポンプ加熱器から補助タンクに戻るオーバーフローラインと供給ラインによって、運転中の本系統のナトリウム自由液面のレベルを維持するようになっている。

ナトリウム供給系は、電磁流量計, ポンプ加熱器(100kW)等から構成されている。

ナトリウム注入系の主たる機能は、起動時にナトリウム注入ポンプによりポンプ加熱器からナトリウムを主回路に供給するとともに、主循環ポンプ運転時の吸込圧力を一定に保持することである。ナトリウム注入系は注入ポンプ(987ℓ/min, 3kg/cmG)および主循環ポンプのリー

クフロー量を測定するための電磁流量計等から構成されている。

カバーガス系の主たる機能は、ポンプ加熱器、主循環ポンプの自由液面の酸化防止を図ると共に主循環ポンプの軸封部圧力を正圧に保ち、空気の混入防止を図る。カバーガス系は、軸封アルゴンガス供給ライン、呼吸ガスラインおよびベーパートラップ（2基）から構成されている。ドレン系は、ポンプ試験装置のナトリウムを全て総合試験装置の補助タンクにドレンできる。緊急ドレンをできるようにドレン弁は電動になっている。窒素ガス予熱系は、総合試験装置の予熱系と共用になっており、主循環ポンプ本体および主回路を予熱できるようにしている。

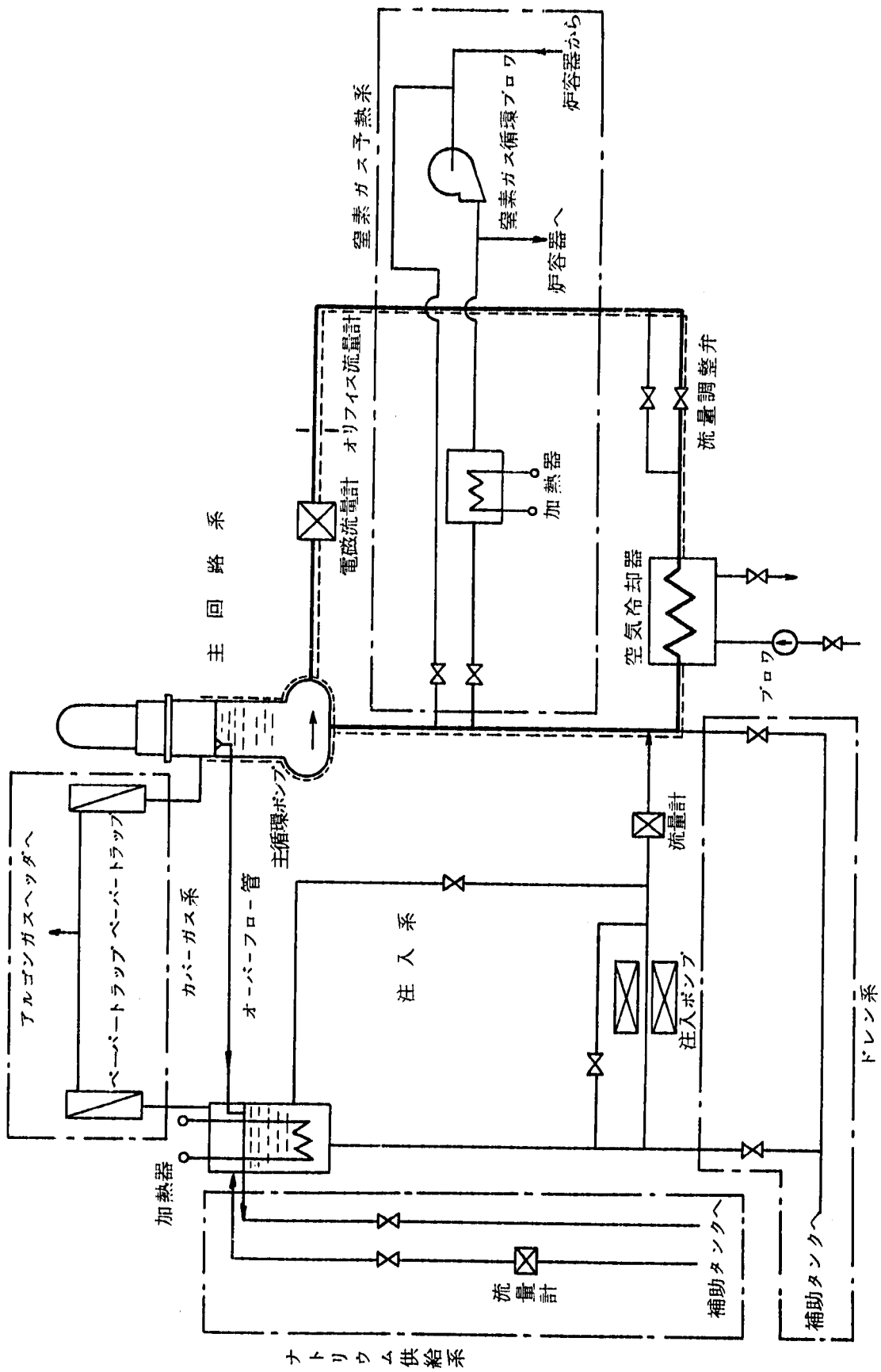


図 2.2 大型ナトリウムポンプ試験装置概略フローシート

3. 運転条件並びに運転経過

3.1 運転条件

本ポンプは「常陽」1次主循環ポンプのモックアップであって温度、流量、回転数等はほぼ「常陽」の運転条件と同様に設計されている。本試験期間中、大部分は「常陽」での100MWt出力時の定格運転並びに燃料交換時の運転条件で運転を行った。

100MWt出力時の定格運転条件

ナトリウム温度	370°C
ポンプ吐出流量	21 m ³ /min
ポンプ全揚程	70 m Na
カバーガス圧	100 mmAq
ポンプ回転数	930 rpm
ナトリウム純度	コールドトラップ温度150°Cで制御

燃料交換時の運転条件

ナトリウム温度	250°C
ポンプ吐出流量	21 m ³ /min
ポンプ全揚程	70 m Na
カバーガス圧	100 mmAq
ポンプ回転数	271 rpm
ナトリウム純度	コールドトラップ温度150°Cで制御

3.2 運転時間並びに経過

昭和47年3月にナトリウム浸漬されて以来、昭和51年9月までに種々の試験が実施されナトリウム中での全運転時間が約16,000時間であった。

運転経過表を表3-1に示す。

また本ポンプを用いて実施した試験一覧表を表3-2に示す。

表 3-1 「常陽」1次主循環ポンプ累運転時間

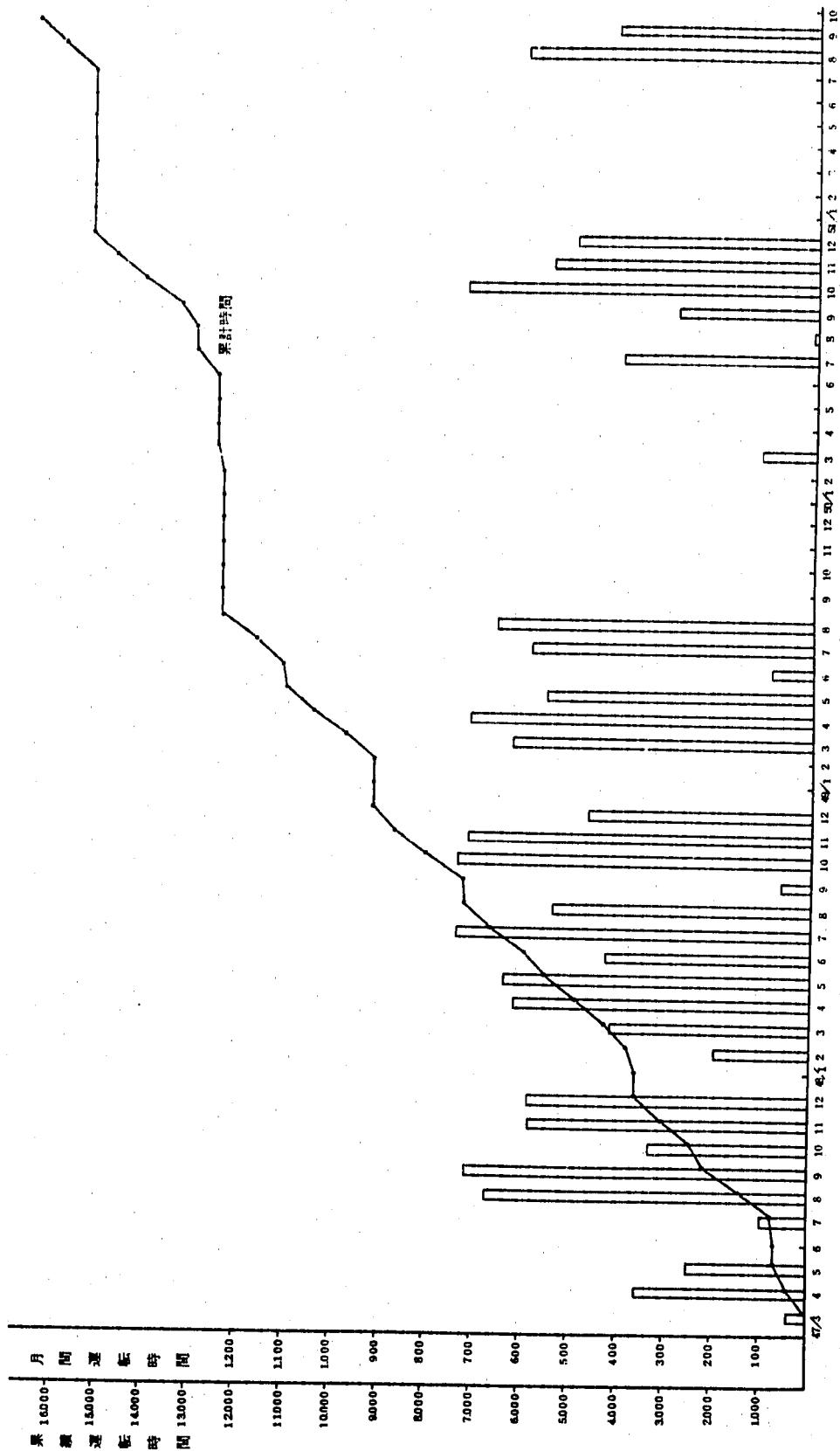


表 3-2 試験一覽表

順	試験項目	実施時期	「常陽」への反映	概 要	参 考 文 献
1.	予熱試験	S47.3	予熱運転マニュアル	2重容器としてのN ₂ ガスによる予熱法の確立。プロフの入熱のみで予熱できることが判明。連続昇温不可能	SN941-74-68 「常陽」1次主循環ポンプナトリウム中性能耐久試験
2.	ポンプ特性試験	S47.4~12	性能の実証	Q-H, η, 等の特性をナトリウムと水中で比較。定格点でのポンプ特性は、「常陽」での仕様が満足することが判った (21m ³ /km 70mNa at 370°C)	"
3.	コーストダウン特性	S47.8~12	"	コーストダウン時間(1/e) 10秒(設計値)を満足	"
4.	オーバーフロー量の測定	S47.3~S5.18	オーバーフロー量の推定	水テストとNaテストの差は、約2倍(Na), 運転時間によりオーバーフロー量変化	"
5.	低温運転試験	S49.6	予熱チャージ後の運転確立	実験炉の予熱温度が150°Cであるので150°Cでの運転を実施	"
6.	ポニモータ試験	S49.6	ポニモータ運転の確立	① 主モータ→ポニモータ切替試験 ② ポニモータによる連続運転(約1週間) 130rpm	"
7.	メカニカルシール耐久試験	S47.4~49.6	メカニカルシールの耐久性確認	① メカニカルシールの長時間耐久試験 (1度油リーク「大」によりメカニカル分解ラッピング) ② 油ユニットの循環ポンプトリップによるメカニカル耐久試験	"
8.	液面計の耐久試験	S47.4	液面計発振部を輸入(EEC)から日本製に交換	長軸用液面計の開発が遅れたため輸入(EEC)したが誘導型液面計の発振部のトラブルにより時々誤指示によりポンプトリップを引き起した。	"
9.	高温待期後再起動試験	S47.5~S50.12	(1) ポンプシャフトと選蔽ブラグとのギヤップを変更 片側1.5mm→5mm (2) ポンプ起動前に手廻しのできるよう改造予定	S47.5.10長時間ポンプを高温待期した後、起動しようとしたところ、過電流によりトリップし、起動できなかつた。解体して調べたところ、ポンプシャフトが選蔽ブラグの下部で接触していた。ギヤップを変更して、耐久試験を続行。 (1) ポンプを手廻しのできるよう改造 S48.3 (2) 高温待期後の起動テスト S50.7	SJ202 72-35 耐久試験用主循環ポンプ故障報告書 SN941 76-76 「常陽」1次主循環ポンプモックアップ 高温待期後再起動試験
10.	低速試験	S50.8~S50.12	ポンプ回転数80~110rpmの低速でのポンプ健全性の確認	「常陽」での運転回転数が当初設計の130rpm~930rpmが、約90rpmまでの低速にする必要が生じたので、水中(低圧損)およびN中80~110rpmの低速テストを実施した。	SN941 76-70 「常陽」1次主循環ポンプモックアップ 低速試験

表 3 - 2 試験 一 覧 表

順	試験項目	実施時期	「常陽」への反映項目	概要	参考文献
11.	内ケーシング解体洗浄試験	S47.5~S51.9	(1) 内ケーシング解体方法のリハーサル (2) 内ケーシング洗浄方法のリハーサル (3) 内ケーシング据付方法のリハーサル	(1) 試験装置に空気を混入させないようにキャスク, ドアバルブ等の用いた解体方法のリハーサル, 但し放射線遮蔽等を考慮せず。 (2) 「常陽」のポンプ洗浄槽による洗浄, ナトリウム残量, 付着量の推定 (3) キャスク, ドアバルブを用いたのポンプ据付 ◎計5回の内ケーシング引き抜き, 洗浄を実施した。	SN941 73-15 ナトリウム冷却系主循環ポンプの分解, 洗浄, 据付 SN941 75-43 「常陽」1次主循環ポンプモックアップ 耐久試験後の解体, 洗浄試験 (II) SN941 75-96 " " (N)
12.	キャピテーションテスト	S50.2~10		今後, 大型ポンプの設計のため, ポンプのキャピテーション試験を実施した。 水中テスト, とNa中テストのNPSHの比較検討	SN941 76-34 ポンプのキャピテーション試験 (I) 「常陽」1次主循環ポンプモックアップ 報告書作成中
13.	低圧損試験	S51.8~10	低圧損用ベアリングと交換し, ナトリウム中で確認テスト	ループを改造(低圧損)し, ポンプナトリウムベアリングを改造して, Na中で性能耐久試験を実施した。	"
14.	トリップ試験 (シーケンス)	"	「常陽」で生じたトリップ原因調査	「常陽」ポンプ(実機)でのシーケンス上でのトリップ調査をモータの起動マニュアルを変更して実施 ポンプを「常陽」から「もんじゅ」に交換するため, ポンプ外ケーシングを解体洗浄する。	"
15.	外ケーシング解体洗浄	S51.1~3		全ナトリウム中運転時間 約17,000時間の耐久試験を実施	
16.	耐久試験	S47.3~S51.10	耐久性の実証		

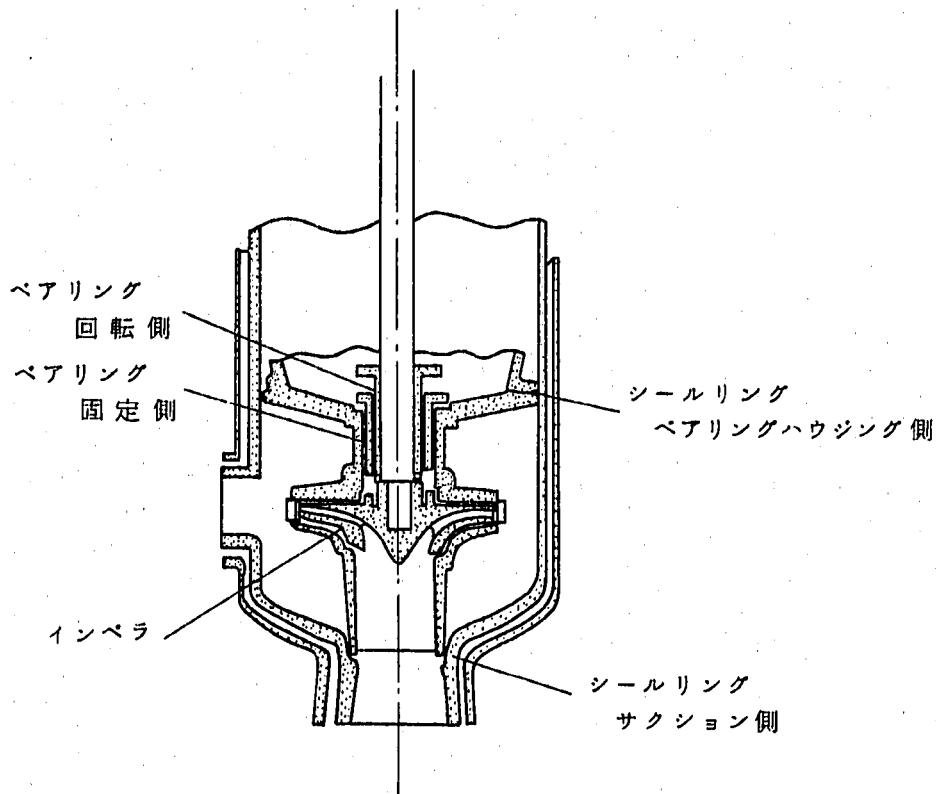


図 4-1 調査部品の配置

4.2 ベアリング 回転側の検査結果

(1) 単体観察

写真 1, 2 に実体の観察結果を示す。写真から, Co 固溶体の溶出および Cr 炭化物の脱落が観察される。ステライト表面において, 摺動面となる部分, 非摺動面となる部分を比較すると, 非摺動面の方がより多く, Co 固溶体の溶出が観察される。写真 1 に観察されるように摺動による軽微な損傷が見られる。

(2) 光学顕微鏡観察

写真 3 に, 写真 2 の断面組織を示す。写真から, Co 固溶体の溶出と Cr 炭化物の脱落が観察される。(深さは約 12μ) 写真 4 に示す摺動部断面組織は標準の組織を呈している。

(3) 電子顕微鏡観察

写真 5 に, Co 固溶体の溶出および Cr 炭化物の脱落を示す。

(4) 硬さとその分布

硬さ測定結果を図 4-2 に示す。硬さは, 基準硬さより高い値を示しているが, これは硬

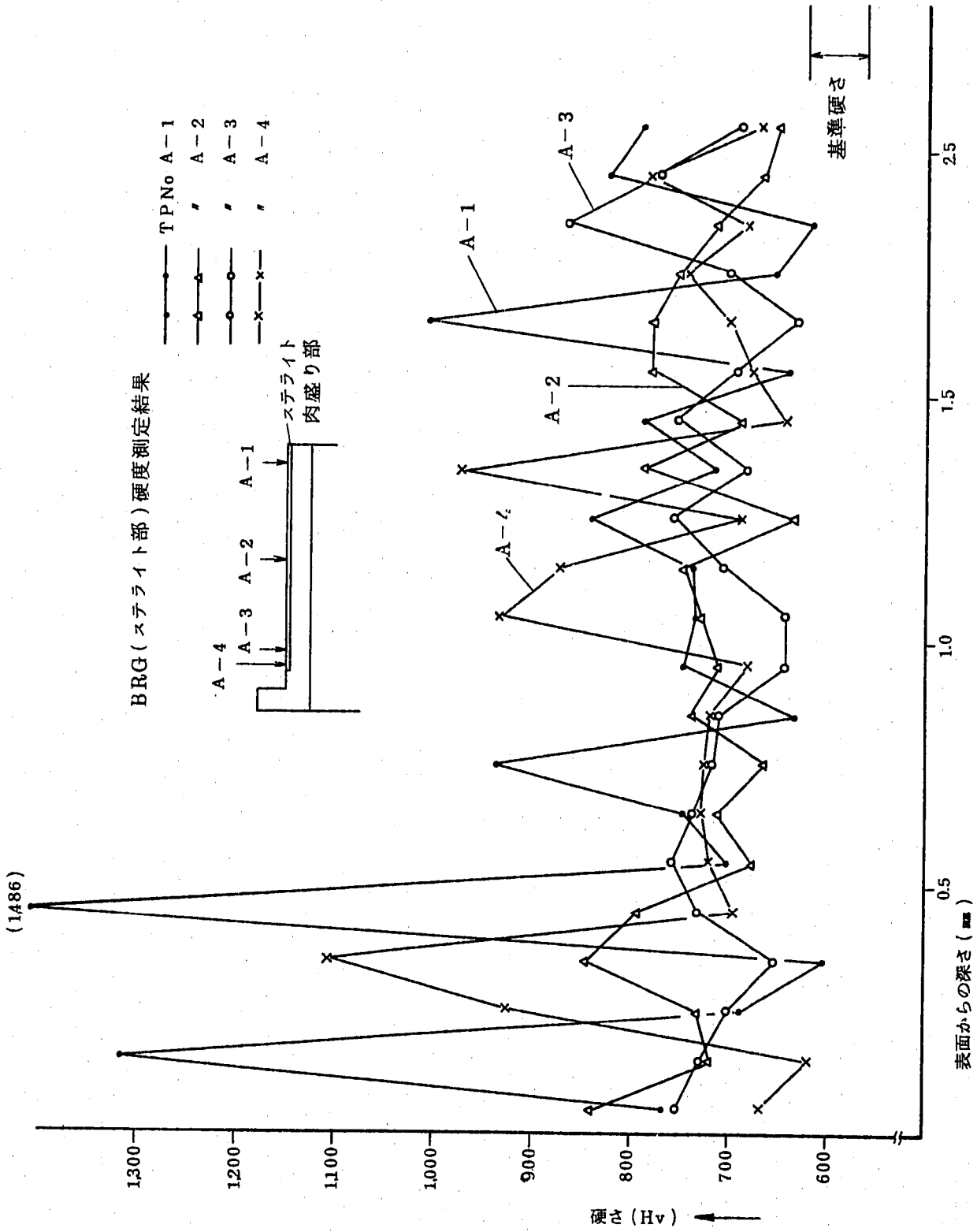


図 4-2 硬さとその分布 ベアリング回転側

質な Cr 炭化物が散在する材料をマイクロビッカースにより測定したためであり、浸炭による硬化ではないと考えられる。表面のアラサを測定した結果を図 4-3 に示す。Co 固溶体の溶出および Cr 炭化物の脱落した跡のアラサは考慮せず平均的な、アラサについて観察すると、そのアラサは直角方向で 0.72μ 、円周方向で 0.2μ となる。

(5) 引張試験結果

表 4-2 に、引張り試験結果を示す。表に示すように試験結果は、室温においてはすべて規格値を満足し、 400°C では標準値に近い値であり特に問題ないと考えられる。

(6) 結果の検討

調査結果から、Cr 炭化物の脱落および Co 固溶体の溶出が観察されたが、その深さは 1.2μ と軽微であった。その他の点については、ナトリウム中で運転することによる大きな変化はみられなかった。

4.3 ベアリング 固定側の検査結果

(1) 実体観察

写真 6, 7 に実体の外観観察結果を示す。片アタリの状況が観察され、アタリのあるところでも、機械加工のバイト目が残存しており、損傷は軽微と思われる。またピットらしきものも観察される。

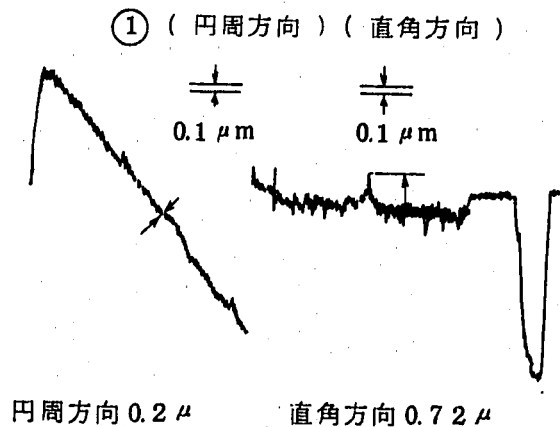


図 4-3 表面アラサ測定結果

表4-2 引張試験結果

ベアリング 回転側, 固定側の機械的性質

部品名	試験温度 (℃)	TP NO	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
ベアリング (回転側)	室温	規格 JIS	21以上	53以上	40以上	60以上
		1	24.2	64.7	60.0	68.1
		2	23.6	64.6	62.4	67.5
		平均	23.9	64.65	61.2	67.8
	400℃	標準値 (1)	13.7	45.2	49.0	69.9
		1	13.0	43.9	46.2	60.3
		2	12.7	42.0	47.4	55.8
		平均	12.85	42.95	46.8	58.05
ベアリング (固定側)	室温	規格 JIS	21以上	53以上	40以上	60以上
		1	22.9	64.0	72.4	75.0
		2	25.5	64.2	71.6	75.0
		平均	24.2	64.1	72.0	75.0
	400℃	標準値 (1)	13.7	45.2	49.0	69.9
		1	15.3	45.0	49.9	65.2
		2	18.3	45.1	52.6	64.6
		平均	16.8	45.05	51.25	64.9

(1) STRUCTURAL ALLDYS HANDBOOK
より抜粋

(2) 光学顕微鏡観察

写真 8, 9, 10 に写真 6, 7 の断面組織を示す。各々にアイラッシュ, ビット及び変態層が見られる。深さは, アイラッシュは 50 μ , ビットは 30 μ , 変態層は 40 μ と軽微な状況であった。

(3) 電子顕微鏡観察

写真 11 に片アタリの状況を示す。表面は荒れておりビットが観察される。

(4) 硬さとその分布

硬さ測定結果を図 4-4 に示す。硬さは心部において J I S 規格を満している。表面においては各々, 浸炭による硬化が観察される。

(5) 表面アラサ

表面のアラサを測定した結果を図 4.5 に示す。

アラサは 0.5 ~ 9.5 μ であり摩耗は軽微と思われる。

(6) 引張試験結果

調査結果からアイラッシュ, ビット, 変態層が観察されるが, 各々 50 μ , 30 μ , 40 μ と軽微であった。片アタリの摩耗がみられたが, バイト目の残存また, 表面アラサ測定結果から, 摩耗は軽微と思われる。

4.4 シーリング ベアリングハウジング側の検査結果

(1) 実体観察

写真 12, 13, 14 に実体の観察結果を示す。写真にみられるように引かき傷が一部に観察されるが, 局部的であり軽微と思われる。また, 微小なビットらしきものもみられる。

(2) 光学顕微鏡観察

写真 15, 16 に断面組織を示す。写真にみられるようにアイラッシュが観察される。深さは 40 μ と軽微とみなされる。組織は写真 15, 16 に観察されるように共異常はみられなかった。

(3) 電子顕微鏡観察

写真 17 に引かき傷付近の状況を示す。引かきによるメクレ現象がみられ, また直径 1 μ と微小なビットもみられた。

(4) 硬さとその分布

硬さ測定結果を図 4-6 に示す。硬さは, 心部においては, J I S 規格をみたしている。表面においては, ベアリング固定側表面と比較すると, 硬さは高い値を示している。これは浸炭によるものと, こすられたことによる加工硬化との相乗効果と思われる。

BRG (固定側 SUS304) 硬度測定結果

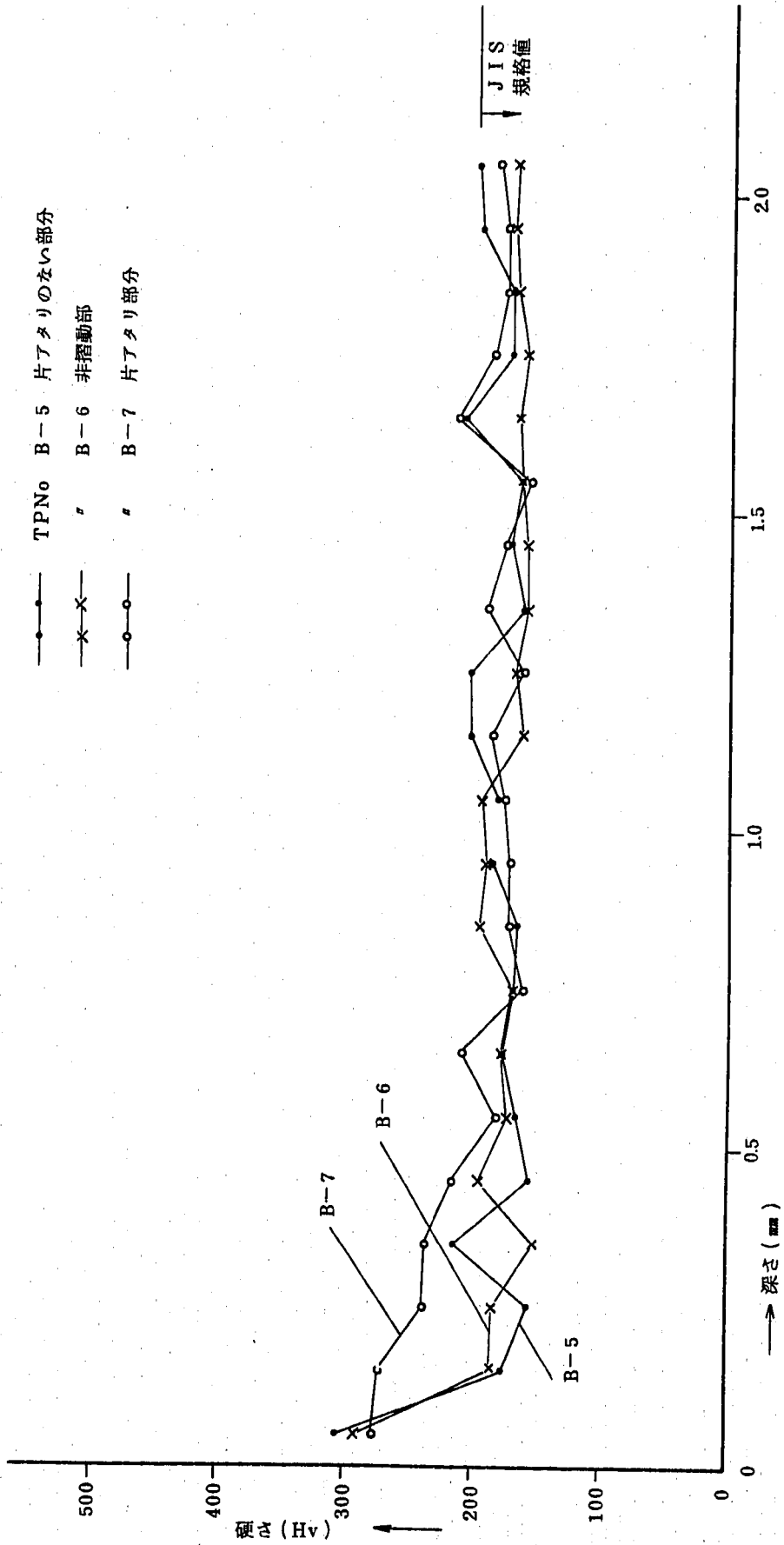


図 4-4 硬さとその分布 ベアリング 固定側

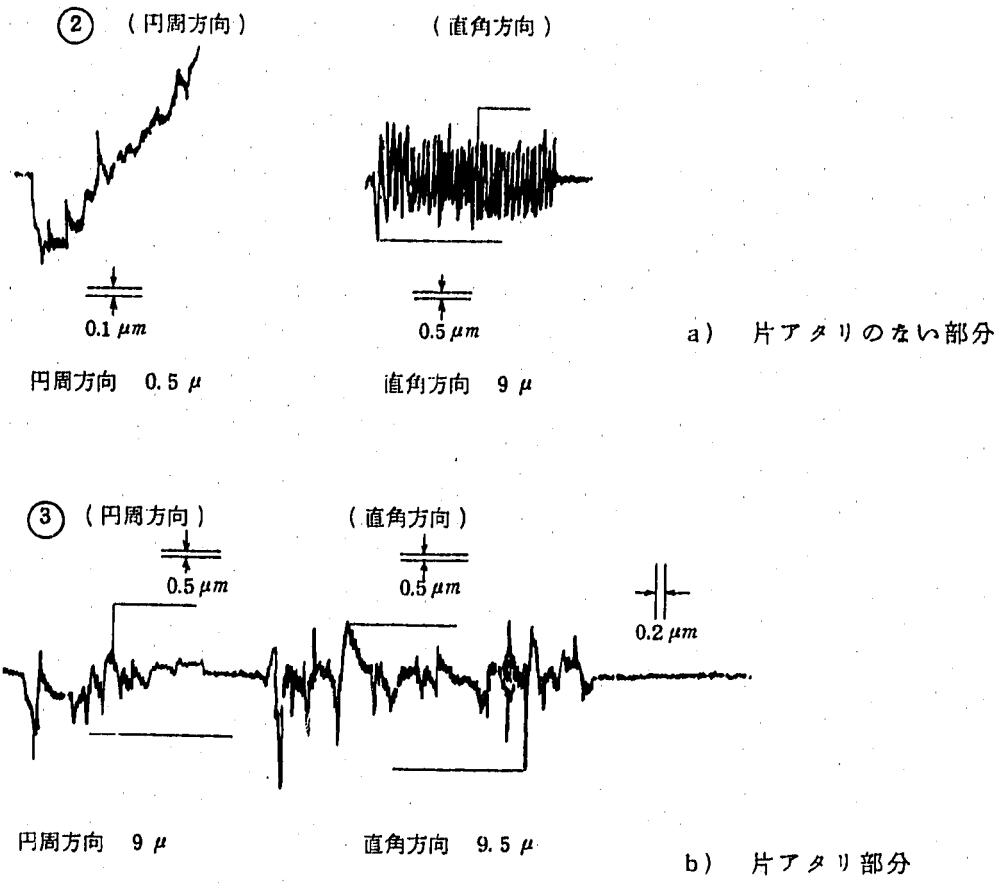


図 4-5 表面アラサ測定結果 ベアリング 固定側

(5) 表面アラサ

表面のアラサを測定した結果を図4-7に示す。表面アラサは $1.6\sim 3.4\mu$ であります。引かき部は、 6.2μ と深さは、軽微とみなされる。

(6) 結果の検討

表面には、引かき傷が観察されるが、その深さは、数 μ であり軽微である。この引かき傷は分解、組立時に生じたものと考えられるが、その傷の程度からシール性に影響を及ぼす程のものではないと考える。表面の硬化は、浸炭と加工硬化の相乗効果によるものと思われるが、特に問題ないと考えられる。また、微小なピットがみられるが、写真17から直径 $1\mu\phi$ であり、その損傷は軽微とみなせる。

4.5 シールリング サクシヨン側の検査結果

(1) 実体観察

写真18, 19, 20に実体の観察結果を示す。写真にみるように引かき傷、ピットが観察される。ベアリングハウジング側よりも軽微な状況となっている。

(2) 光学顕微鏡観察

写真21, 22, 23に断面組織を示す。表面層にはアイラッシュがみられ、深さは 100μ であった。組織には異常はみられなかった。(写真22, 23)。またピットも観察される。(写真24)が、深さは 9.2μ と軽微であった。

(3) 電子顕微鏡観察

写真25に引かき傷付近の状況を示す。表面は荒れており直径 5μ ほどの軽微なピットが見られる。

(4) 硬さとその分布

硬さ測定結果を図4-6に示す。硬さは心部においてはJIS規格をみたしていた。表面においては、ベアリング固定側表面と比較すると、硬さは高い値を示していた。これは、浸炭によるものと、こすられたことによる加工硬化との相乗効果と思われる。

(5) 表面アラサ

表面アラサを測定した結果を図4-8に示す。引かき傷は、実体観察からみると、ベアリングハウジング側のものより軽微な引かき傷と見られたが、表面アラサからは同程度の深さ($2.75\sim 7.5\mu$)であることがわかった。

(6) 結果の検討

表面には引かき傷およびピットが観察され、その深さは数 μ であり軽微であった。この引かき傷は分解、組立時に生じたものと考えられるが、その傷の程度からシール性に影響を及ぼす程のものではないと思われる。表面の硬化は、浸炭と加工硬化の相乗効果によるものと思

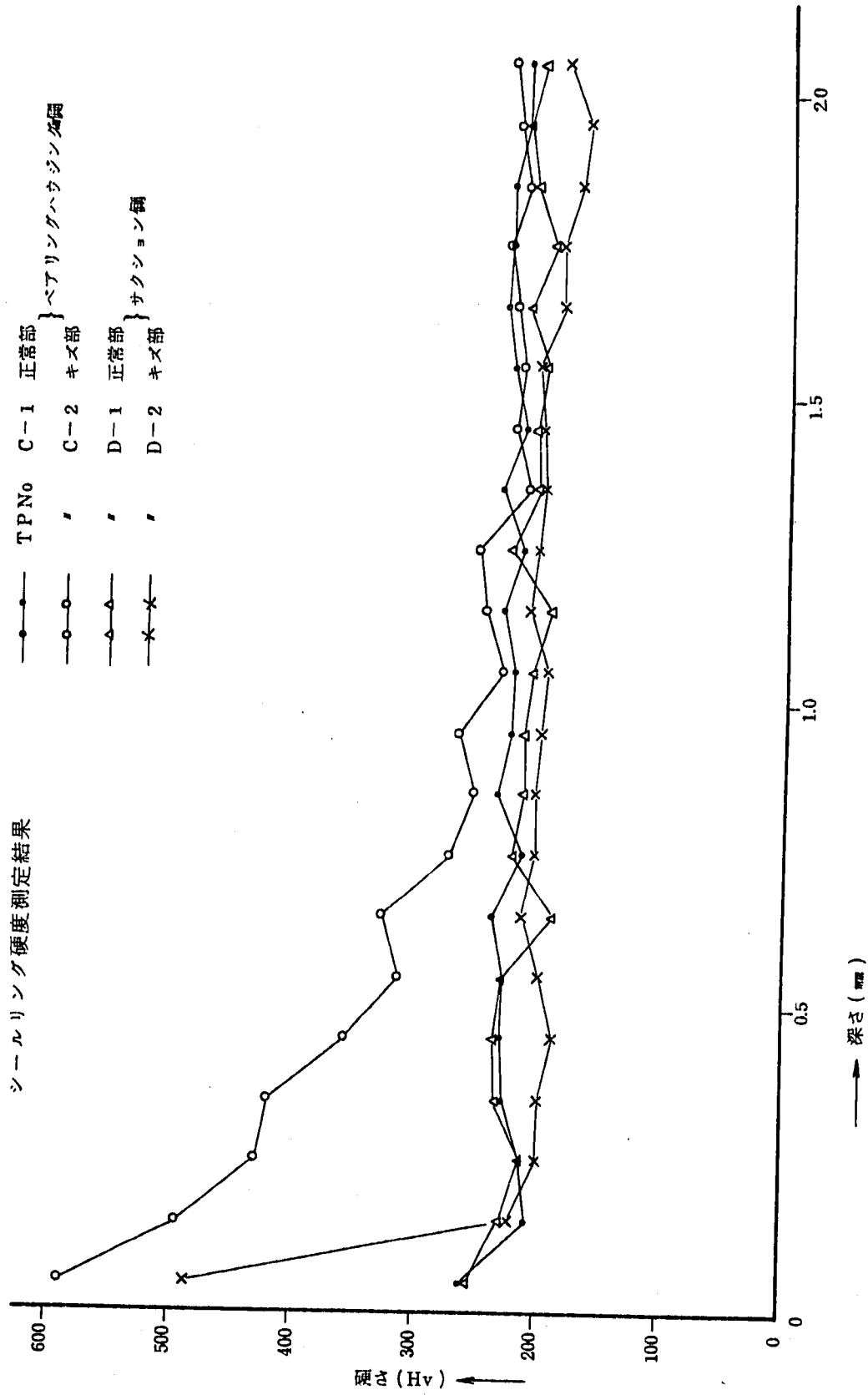


図4-6 シールリング硬さとその分布

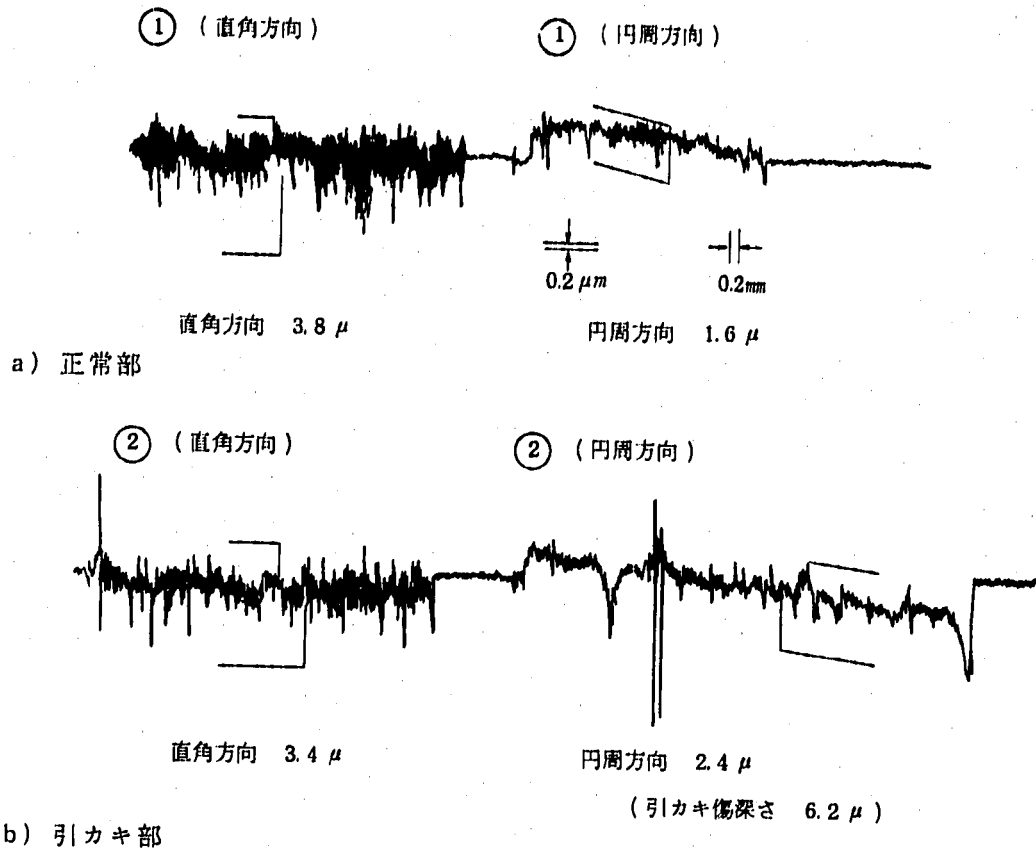


図 4-7 表面アラサ シールリング ベアリングハウジング側

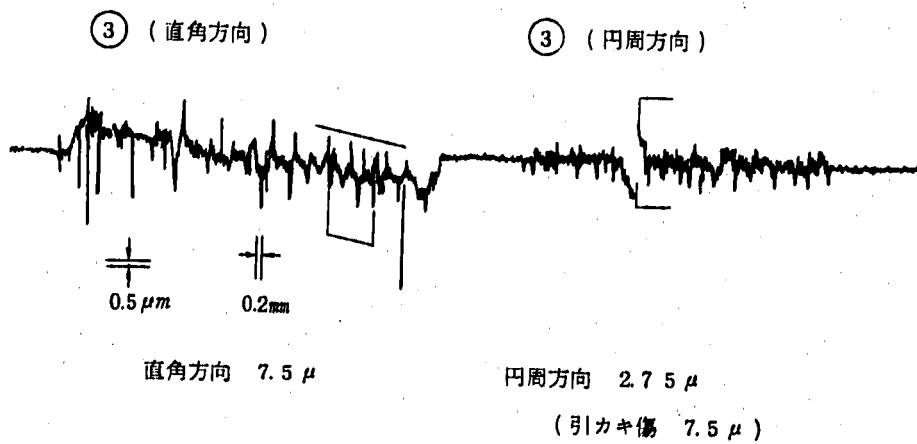


図 4-8 表面アラサ シールリング サクション側

われるが、特に問題はないと考えられる。

4.6 バネ（ベアリング、ハウジング側およびサクシヨン側）

(1) 外観検査

写真26, 27, 28に未使用品, 使用品の外観写真を示す。この写真からは, 未使用品, 使用品の差はみられなかった。

(2) バネ定数の測定結果

表4-4にバネ定数の測定結果を示す。測定機は, 藤井精機株式会社製のバネ試験機を使用し, 各荷重に対する縮み量からバネ定数を測定した。

表4-3にバネの仕様を示す。

図面指定バネ定数と実測バネ定数を比較すると若干の増加がみられた。また同一荷重をかけた時のバネ長さを未使用品, 図面指定値と比較すると, ベアリングハウジング側で約1mmの減少, サクシヨン側で約0.5mmの減少がみられた。

(3) 結果の検討

バネ定数の若干の増加がみられるが, これは浸炭による材料硬化によって生じたものと考えられる。バネのヘタリは, 内圧がかかるまでの初期の状態にてシールリング張力を補なうというバネの機能と運転実績（ポンプ据付後のオーパフロー量に特に大きな変化なし）より特に問題ないと考える。

表4-3 バネの製作仕様

項目 \ 部品名	ベアリングハウジング側	サクシヨン側
総巻数	5	5.5
巻数	3	3.5
自由高さ	13.5 mm	14.8 mm
作動時高さ	10 mm	10 mm
作動時荷重	6 ±0.6Kg	4.45 ±0.45Kg
バネ定数 kg/mm	1.54 ~ 1.89	0.83 ~ 1.02

← ※

$$\text{※ バネ定数} = \frac{\text{作動時荷重}}{\text{自由高さ} - \text{作動時高さ}}$$

表4-4 バネ定数 測定結果

部品名		荷重Kg	1	2	4	6	8	自由高さ mm	バネ径 mmφ	バネ定数
図面指定値※						10.		13.5	1.8	1.54~1.89
					10.			14.8	1.6	0.83~1.02
ベアリングハウジング 側未使用品 ※※	1	12.85	12.30	11.15	10.05	8.75	13.85	1.8	1.78	
	2	13.05	12.30	11.15	9.85	8.7	14.05	1.8	1.55	
	平均	12.95	12.30	11.15	9.95	8.73	13.95	1.8	1.66	
ベアリングハウジング側	1	12.15	11.25	10.1	8.85	8.1	13.15	1.85	1.78	
	2	11.4	10.75	9.55	8.55	7.65	12.75	1.8	1.6	
	3	11.35	11.	10.05	9.05	8.1	12.25	1.8	2.05	
	4	12.15	11.15	10.45	9.4	8.4	13.	1.8	1.9	
	5	11.8	11.2	10.2	9.1	8.3	12.8	1.8	1.88	
	平均	11.77	11.14	10.07	8.99	8.11	12.79	1.81	1.84	
サクシヨン側	1	12.2	11.25	9.55	8.00	7.45	13.25	1.64	1.23	
	2	12.25	11.55	9.75	8.1	7.5	13.45	1.65	1.15	
	3	12.15	11.4	9.25	8.05	-	13.6	1.6	1.23	
	4	12.2	11.25	9.35	8.1	-	13.45	1.65	1.25	
	5	12.15	11.25	9.45	8.	7.45	13.35	1.6	1.25	
	平均	12.19	11.34	9.47	8.05	7.47	13.42	1.63	1.22	

※ 上段 ベアリングハウジング側

下段 サクシヨン側

※※ サクシヨン側未使用品はなし。

4.7 インペラの検査結果

(1) 試料の採取位置

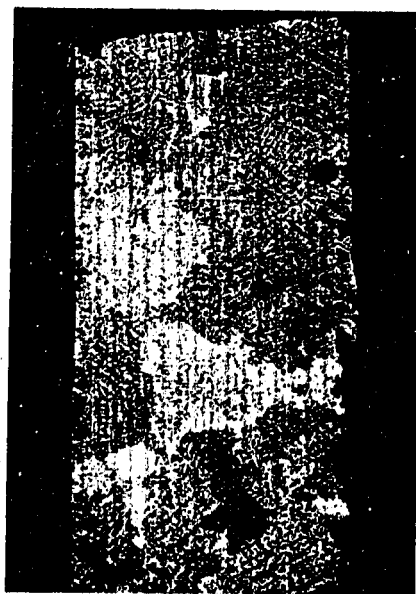
インペラの解体前にマウスリング付近のブレードについて実体観察を行ない(図4-9), 次いでインペラを切断し, ブレードの内面に関し調査した。

ブレードはキー溝を基点に時計まわりに1~7の記号をつけた(図4-10)。マイクロ組織, 硬さ測定用, 元素分析用試料は図4-10の№2ブレードについて吸込側, 中央および出口側より図4-11のように採取した。

また, 引張試験片, 衝撃試験片は, 図4-12に示すようにブレード, ボス, 前面および後面シュラウドより採取した。

(2) 実体観察

図4-16に示したブレード番号に対応した実体写真を写真29に示す。ここで№1のブレードは, 13,000時間の点検の際, 観察された孔食部をグラインダにより研磨したものである。また№2および№3のブレードは同じ時期に孔食部を一部除去し, そこを溶接(白色部)したものである。さらに№5にみられるブレード上の孔は, キャビテーションを想定し



↑ (×60) ↑
腹 背

図4-9 ブレード断面の鑄造組織

(1:1 HCl 沸騰液中15分浸漬)

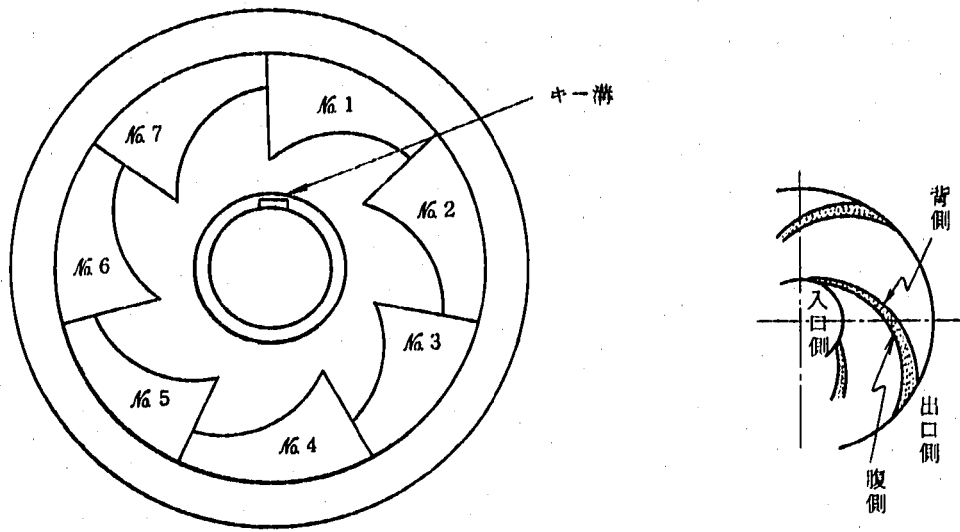


図4-10 インペラブレードの位置関係

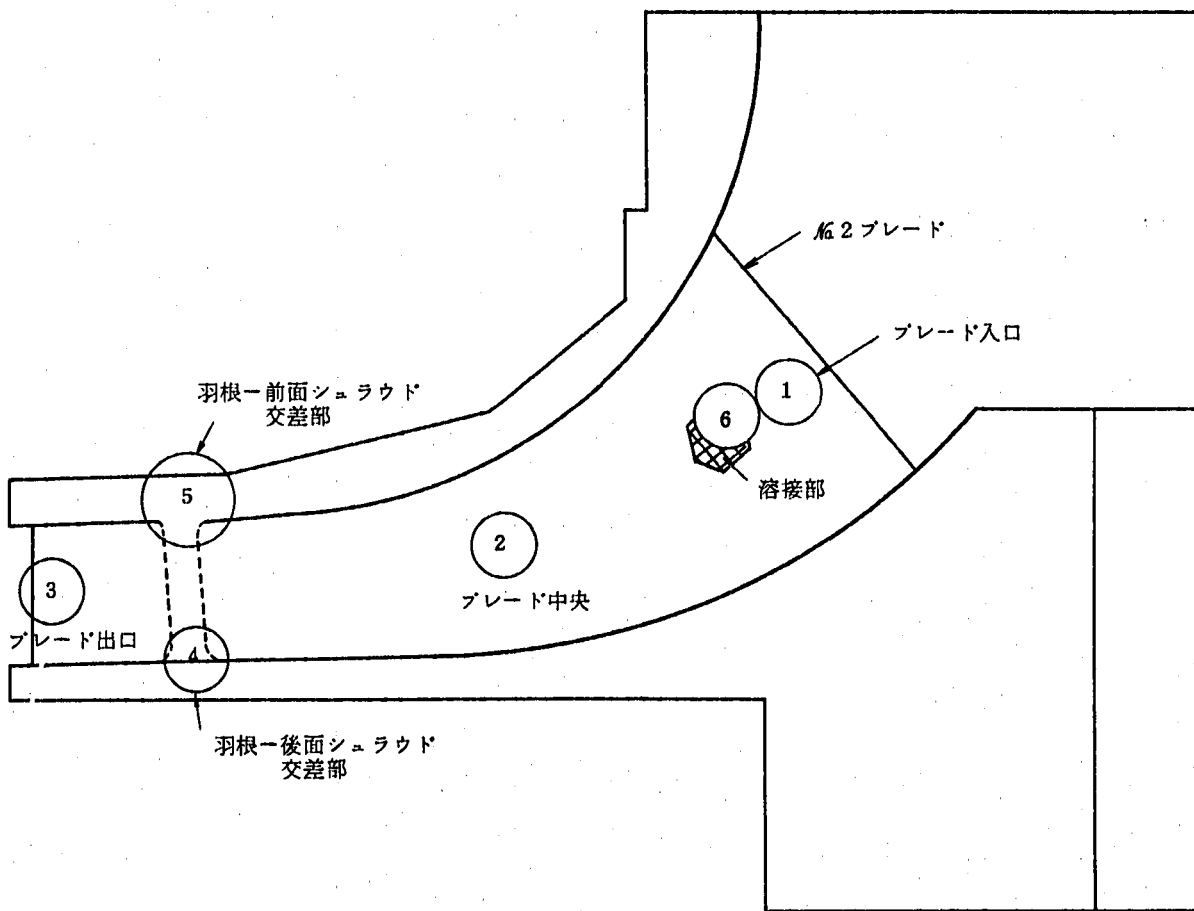
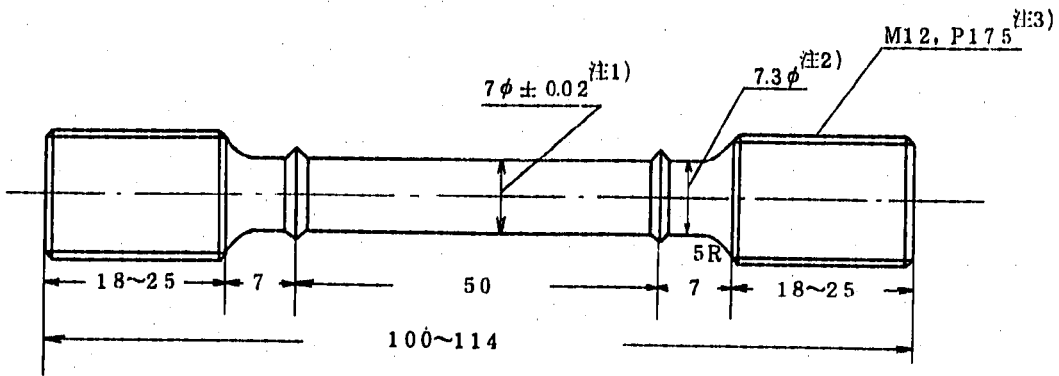


図4-11 断面組織 硬さ試験片, EPMA 試料の採取位置



常温および高温引張試験片の形状

- 注1) ボス, 後面シュラウドからの採取片 10φ ± 0.02
- 注2) " " M18, P2.5
- 注3) " " 10.3φ

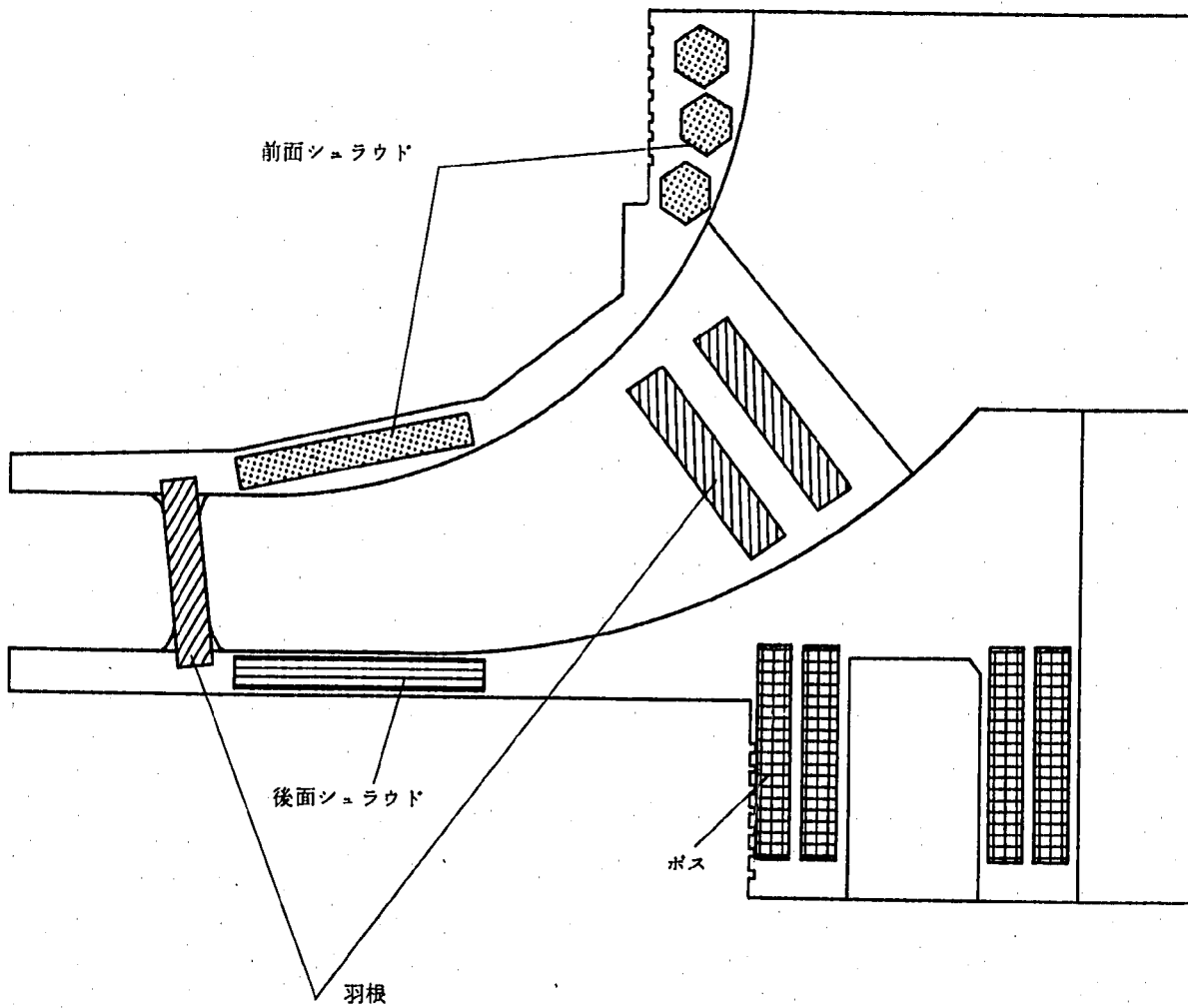


図4-12 引張試験片, 衝撃試験片 (JIS3号)の採取位置

流れに乱れを与えるため加工したものである。ここで明らかなことは、各ブレード上に0.1～1.0 mm程度の微細な孔食が多数みられることであり、13,000時間の時点で加工を施した板1のブレードでは、その程度が極めて少なく、また写真30に示すように溶接部分には実体観察ではほとんど微細な孔食はみられない。

写真31に入口ブレードの背側の孔食の状態を示す。孔食以外の部分でも表面は滑らかな状態ではないが、これはナトリウムとの反応によるものではなく、鋳造品としての肌が十分でなかったためと思われる。

写真32に羽根中央部に相当する部分の拡大写真を示す。微細な孔食がみられるが、入口ブレードのそれらと比較すると少量である。

また、写真33に羽根、シュラウド付根の概観を示すが付根に微小欠陥が多い。

写真34にブレード出口の状態を示すが入口側より孔食は少量であり、また羽根シュラウドの付根にはほとんど見当たらない。

(3) 光学顕微鏡観察

図4-11に示した各部分より採取した試験片について光学顕微鏡観察を行なった。

写真35に入口ブレードの断面組織を示す。写真35-1はブレードの腹側の孔食を中心としたものであり、写真35-2は背側のそれである。孔食は部分的に生じており、孔食以外の部分とは組織上で明瞭な腐食はみられない。また、ブレード腹側の部分は浸炭したと考えられる異色の線状痕（以下アイラッシュと称する）が孔食およびそれ以外の部分でも多量に観察されるが背側はほとんどアイラッシュはみられない、また孔食の深さは0.1～0.3 mmであり、写真35-2に示すように孔食の底部近傍に微細な鋳造欠陥がみられる。

写真36に溶接部付傍の組織孔食を示す。孔食は溶接部には現われていない。

羽根中央部（図4-11の②）の断面組織を写真37に示す。ブレード腹側には50 μm程度のアイラッシュがみられるが孔食は少なく小さい。逆にブレード背側にはアイラッシュの生成は少ないが0.3 mm径、0.2 mm深さ程度の孔食がみられ孔食の底部近傍に鋳造時の微小欠陥がみられる。

写真38にブレード出口付近の断面組織を示す。ブレード背側、腹側、先端部共にアイラッシュの生成が激しいが孔食はみられない。

写真39-1にブレードおよび後面シュラウドとの交差部の断面組織を示す。交差部腹側にアイラッシュがみられるのに対し背側はまったくみられない。

また、孔食は腹側が軽微であるのに対し、ブレード背側は剝離直前の様相を示している。この場合も孔食の近傍には鋳造時の微小欠陥がみられる。

写真39-2に前面シュラウドの断面組織を示す。これによれば前面シュラウドの機械加工面はバイト痕跡が残存しており、アイラッシュの生成はみられるが孔食は皆無である。

また、流路側では表面に微小な孔食がみられ、他の部分と同様孔食の近傍に鑄造による微小なポアがみられる。

(4) 電子顕微鏡観察

走査型電子顕微鏡 (SEM) により孔食部および前面シュラウド機械加工面の高倍率観察を行なった。

孔食部の様相を写真 40 に示す。孔食は皿型に生じた後、一部で深くなっている。深く腐食された部分の底部は凹凸が激しい。この原因は明確ではないが、鑄造時のデンドライトの様相に近似している。

また、写真 41 には機械加工面についての観察を示すが、加工時のバイトの痕跡が残存し一部加工時に剝離したと思われる部分がみられるが、Na による腐食はみられない。

(5) 硬さ試験

1) 表面硬さの測定は通常、ロックウェル硬度計およびショア硬度計を用いて行なったがプレート等の薄肉のものに適用する場合、反発力を利用するため真の値が求められない。従って今回の測度は、各断面の表面から $50\mu\text{m}$ の深さを表面硬さとし、硬度計は、マイクロビッカース計を用いた。

各部の表面硬さを図 4-13 に示す。ブレード腹側では入口付近と出口付近の硬さが高く、中央部は低い。またブレード付根も一部高い値を示しているが、この部分は写真 39 に示す部分でありアイラッシュの生成が激しい。ブレード背側も腹側と同様な傾向であるが腹側の硬さに比較し小さな値となっている。この原因はブレード腹側にアイラッシュの生成が激しくみられるのに対し背側が少ないことから浸炭の程度の差によるものと思われる。

2) 断面硬さ

図 4-14 にブレード各部の表面からの硬さの分布を示す。

ブレード腹側は入口、出口の表面付近で硬化しているのに対しブレードの中央はそれほどの硬化はしていない。また、ブレード背側の硬さ分布もほぼ同様であるが出口部は腹側の硬さより大きくこれはマイクロ組織の観察でみられるようにアイラッシュの生成が小さいためと考えられる。

アイラッシュは機械加工の際、強く加工を受けた部分に浸炭が生じたと考えられるが硬さの分布からみてその浸炭層は $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ とと思われる。

また、浸炭あるいは硬度の上昇と孔食の間には明らかな関連はなく、硬化層が腐食の進行には直接の影響を与えているとは考え難い。

(6) 機械的性質

図 4-12 に示した各部分より採取した試験片により引張および衝撃試験を行なった。試

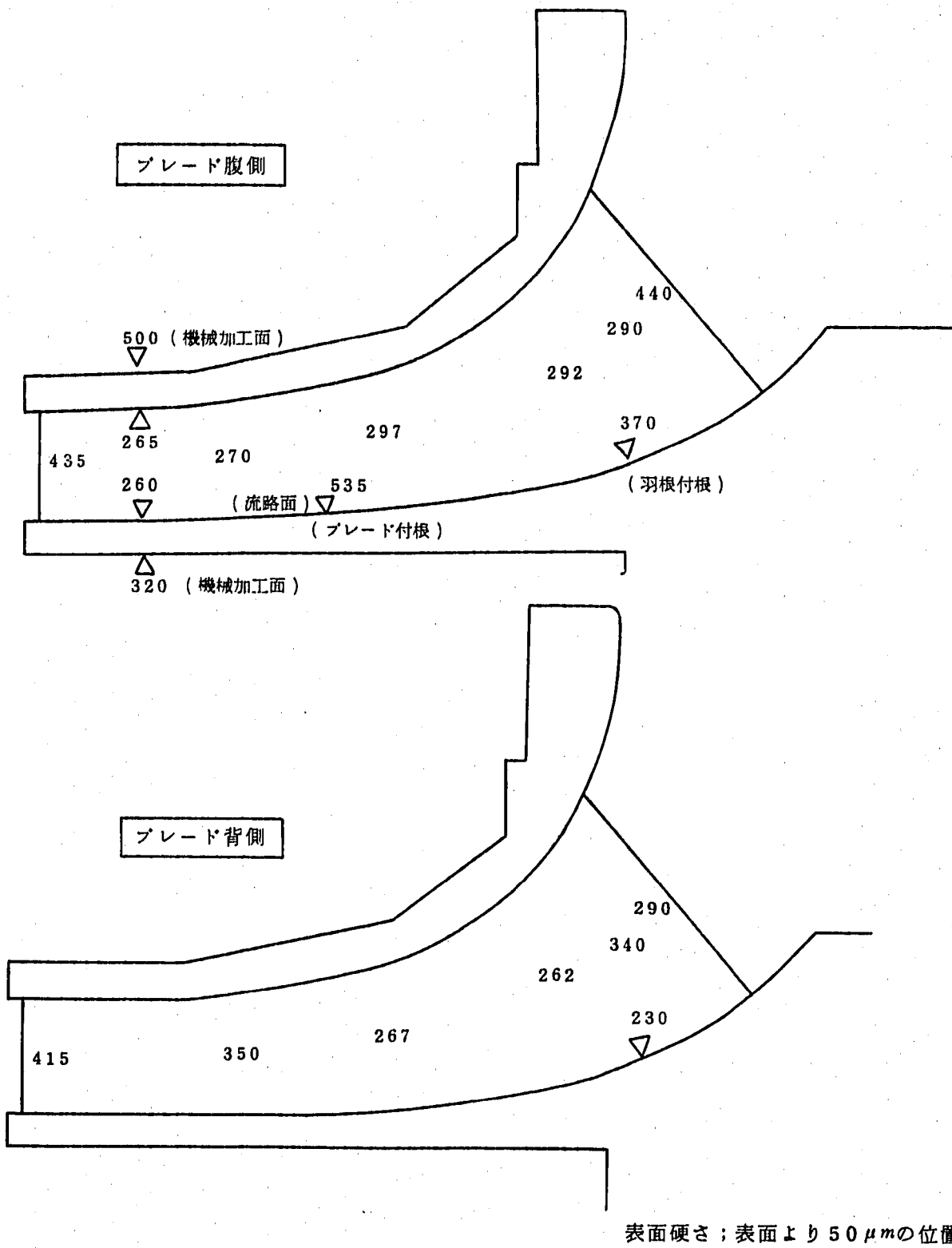


図 4-13 ブレードの表面硬度 (Hv)

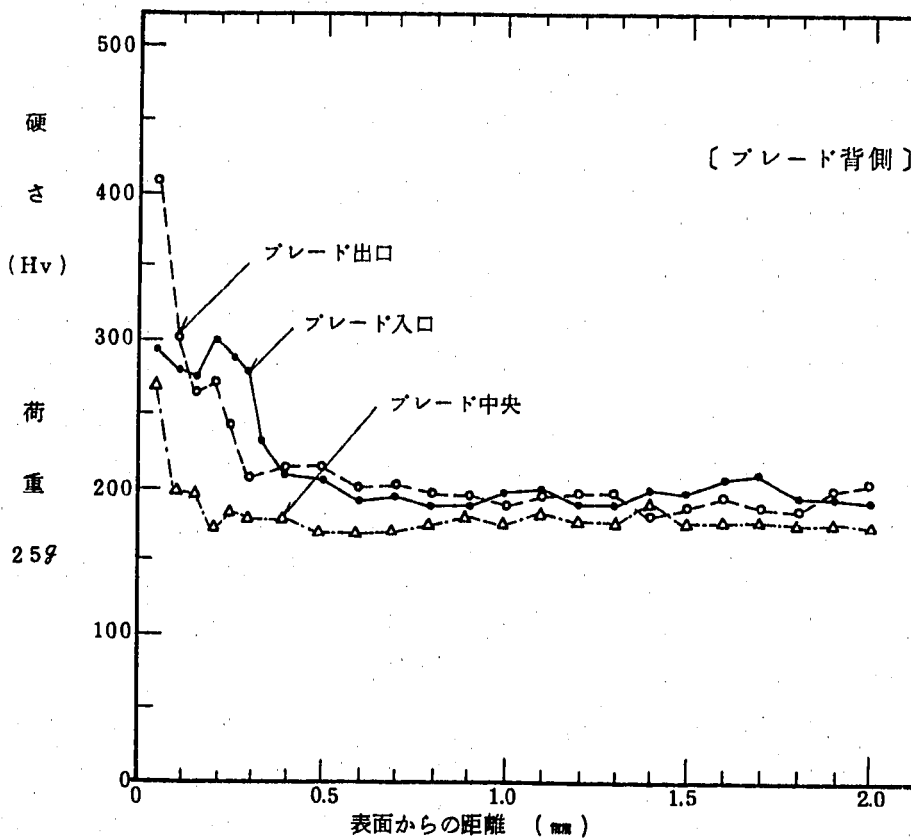
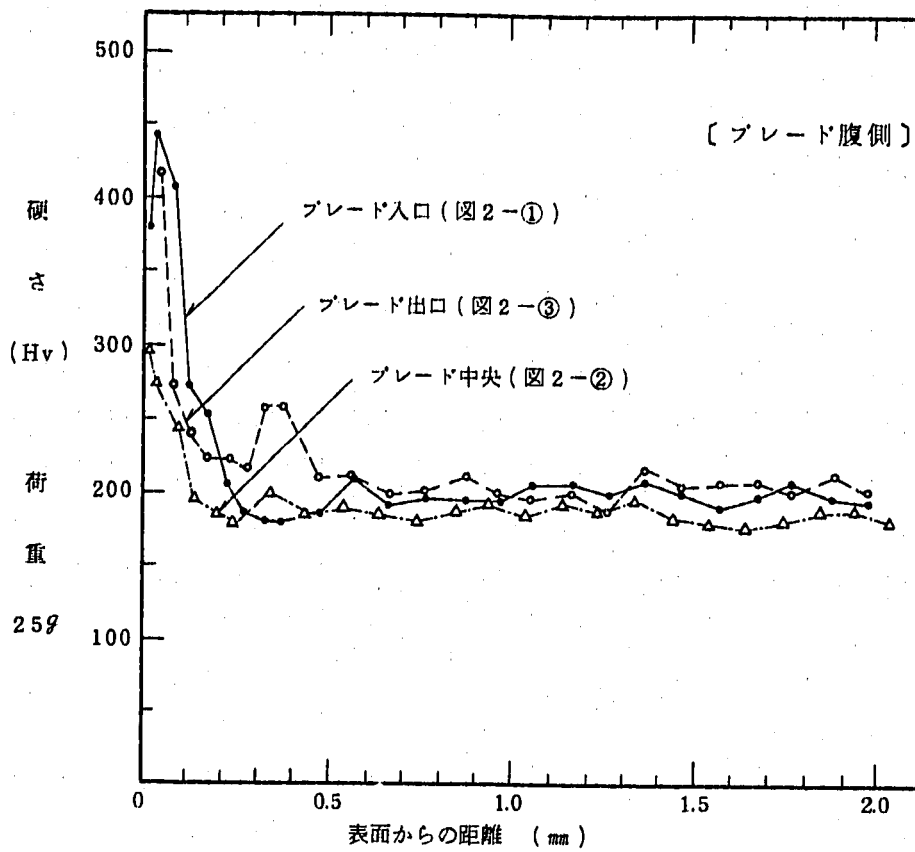


図 4-14 ブレード各部の断面硬さ

験条件は次の表に示す通りである。

引張試験

- A) 試験機 島津製 AUTOGRAPH 1S-20T
- B) 標点距離 3.5 4 D D: 平行部の径
- C) 引張速度 3 mm/min
- D) 高温(400℃)試験 昇温速度 約 400℃/0.5H
保持時間 昇温後 10分以上
- E) 降伏点の判定 応力-歪曲線の接線から離脱する応力
- F) 絞りの判定 鋳鋼のため真円に近くは絞れない。

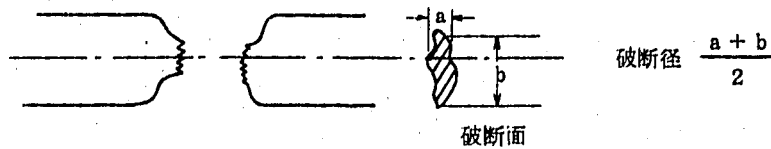


図 4-15 衝撃試験 50kg-m シャルピ衝撃試験室温

機械的性質の結果を表 4-5 に示す。この表より明らかに常温においては JIS の規格を大幅に上回り、また通常の SUS304 相当鋳鋼品の溶体化処理時の強度と大差はない。つまり 15,000 時間の高温ナトリウム中での劣化はないと言える。

400℃の結果については、鋳鋼の場合比較データはないが同様に調査した軸受材の強度に比べ、若干低下する程度である。これは鋳鋼品であることに起因するもので高温においても SUS304 と異なった挙動をすることはない。

衝撃試験の結果も良好である。ボス部は肉厚が厚く鋳造時の冷却が遅くなるため組織が粗大化し衝撃値は多少低下する。

(7) 摺動部の表面粗さ

図 4-16, 図 4-17 にマウスリングおよびボス部の外観と表面粗さを示す。マウスリング部は摩耗を受けた場合は全くなく軸方向の表面粗さ測定に 15 μm 前後の機械加工の痕跡が残存している。

他方、図 4-17 に示すようにボス部には摩耗の痕跡がみられ、表面粗さ測度でも円周方向の一部で 7 μm の凹凸がみられるのに対し軸方向では機械加工の跡は、ほぼ完全に摩耗している。

(8) 表面の質量移行

図 4-18 にブレードの腹側背側の正常部と孔食部の Fe, Ni, Cr の元素分布を示す。

表4-5 インペラ各部の実体強度

試験温度 性質 TPPの採取位置	室					温					400℃					
	降伏強さ Kg/cm ²	引張強さ Kg/cm ²	伸び %	絞り %	衝撃値	降伏強さ Kg/cm ²	引張強さ Kg/cm ²	伸び %	絞り %	衝撃値	降伏強さ Kg/cm ²	引張強さ Kg/cm ²	伸び %	絞り %	衝撃値	
後面シユラウド	26.7	67.7	65.5	66.4	22.9 24.2	14.0	36.9	30.8	51.7							
	27.4	69.0	59.2	67.8	20.0 23.0	14.1	38.5	36.9	50.3							
	(27.1)	(68.4)	(62.4)	(67.1)	(24.4)	(13.6)	(37.4)	(36.0)	(52.9)							
ボ ス	23.9	62.1	65.5	60.3	23.6 23.0	11.5	36.2	38.6	60.0							
	23.6	58.6	56.4	66.3	25.4 23.0	14.0	38.2	40.1	64.0							
	21.0	61.1	64.0	66.9	22.4 22.4											
(平均)	(22.8)	(60.6)	(62.0)	(64.5)	(23.3)	(12.8)	(37.2)	(39.4)	(62.0)							
フレード入口	24.7	61.1	61.0	74.0	27.2 24.8	11.6	35.3	34.1	47.9							
	24.7	65.7	62.3	74.2	25.4 36.2	14.6	32.7	32.0	44.8							
					32.6 25.4											
(平均)	24.7	63.4	61.7	74.1	(28.6)	13.1	34.0	33.1	46.4							
前面シユラウド	26.5	68.6	61.3	70.0	29.0 30.2 27.8	13.1	37.6	37.6	52.9							
	27.0	59.6	63.8	66.5	27.8 29.8 29.6	14.3	37.0	37.5	55.4							
	(26.8)	(64.1)	(62.6)	(68.3)	(29.0)	(13.7)	(37.3)	(37.6)	(54.2)							
SCS13規格		45以上														

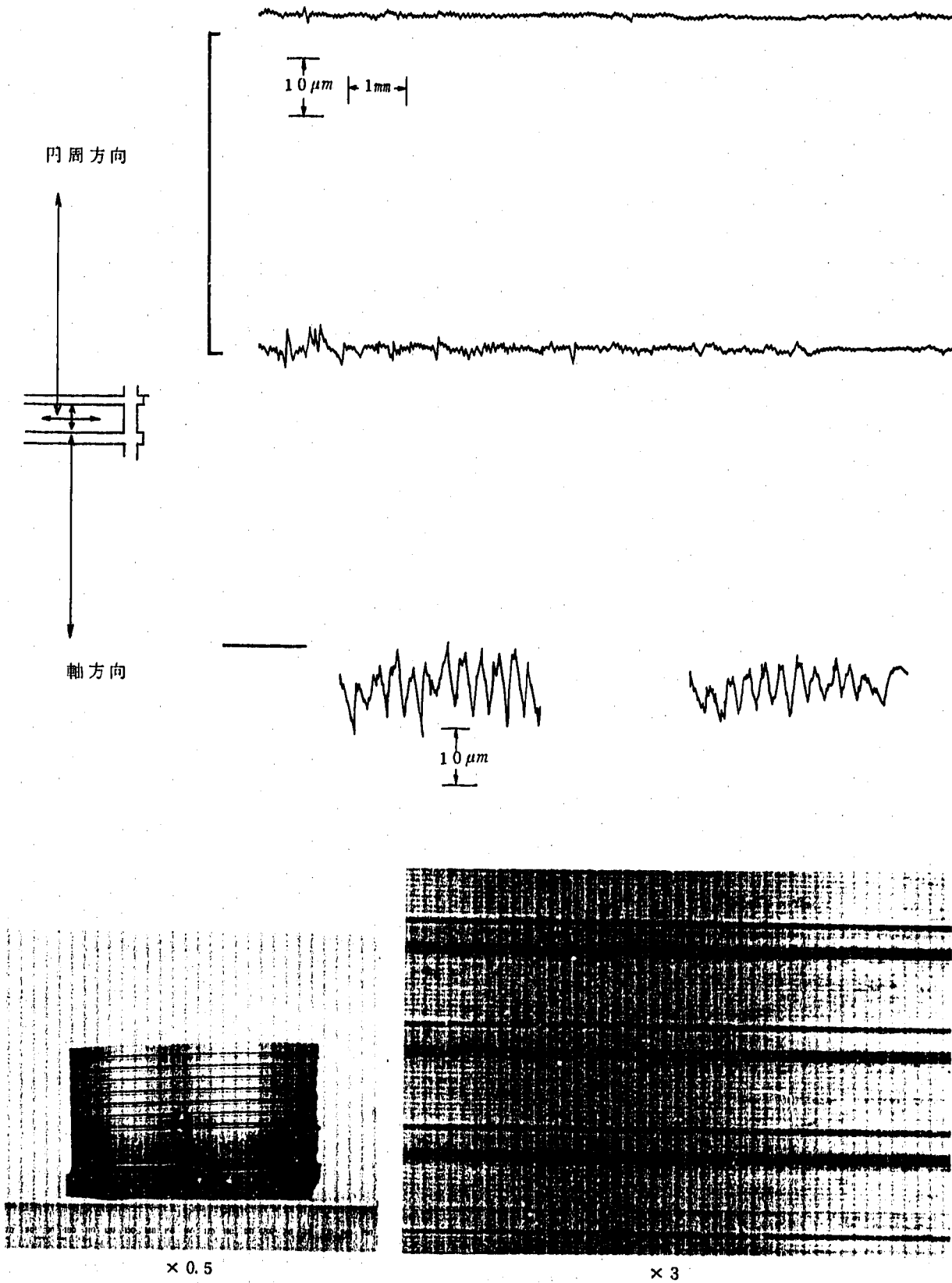


図 4-16 マウスリング部表面粗さ結果

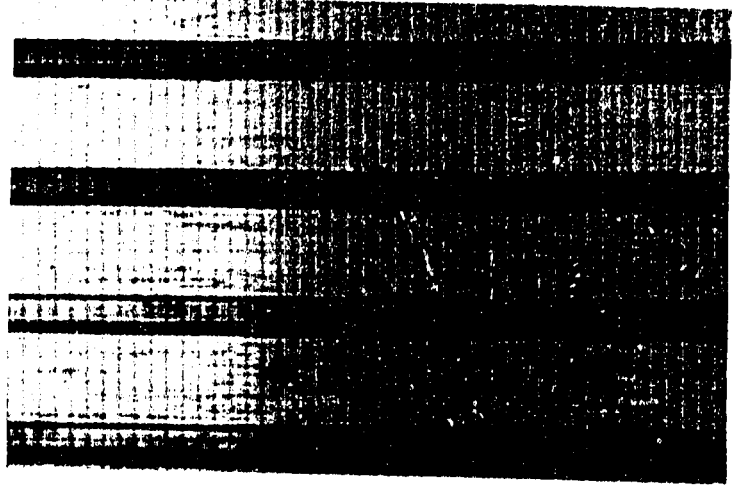
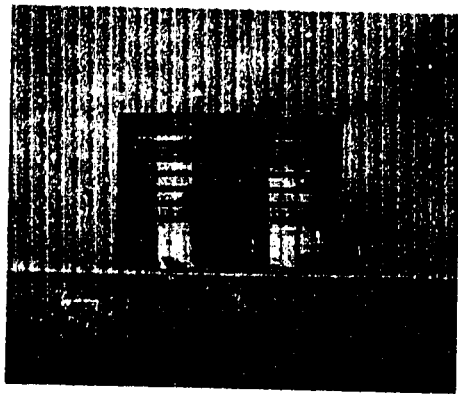
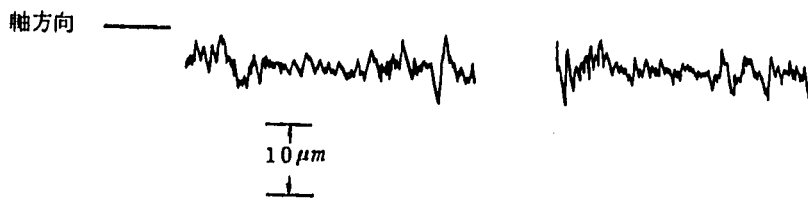
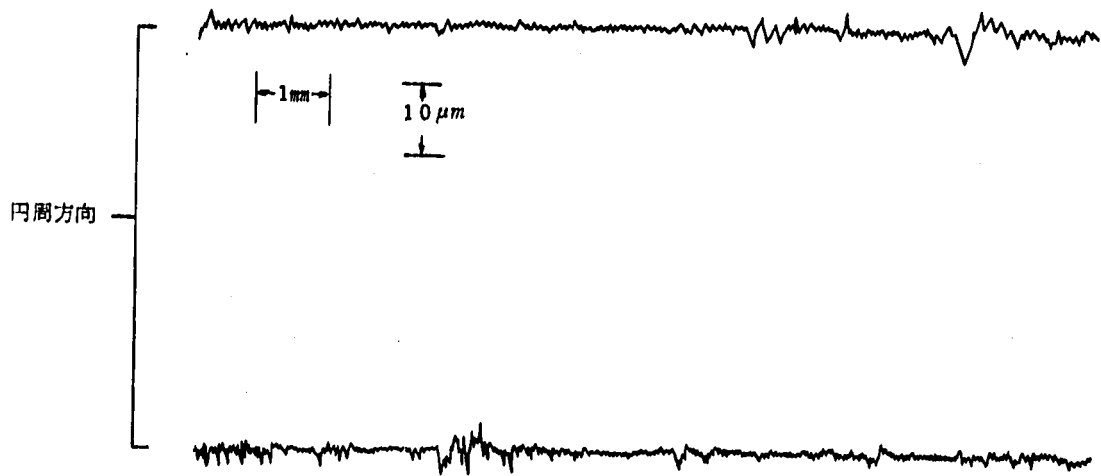
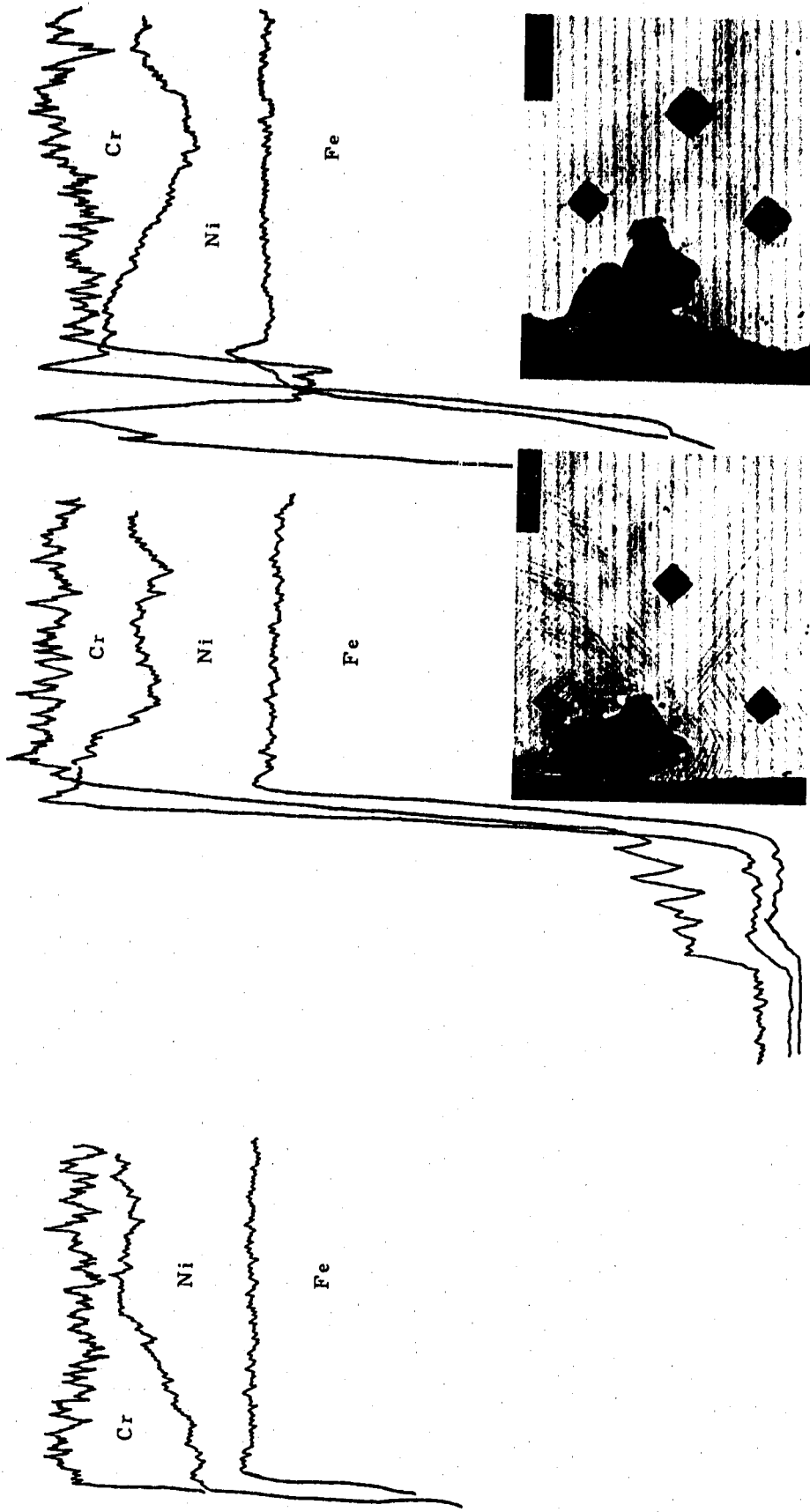


図 4 - 1 7 ホス部表面粗さ結果



25 μm

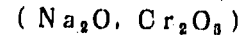
正常部 2-2 (腹部)

欠陥部 2-1

(背側) 欠陥部

図 4-18 ブレード (入口付近) 断面における EPMA の元素分析

これによれば、正常部でNiの溶出がみられ孔食部では逆にNiの若干の増加が観察される。Crは、特徴的な変化はみられなく、Na, Cr, O₂等の複合酸化物は表面に生成していない。



図には示していないが、前面シュラウド機械加工面のNi, Crの変化はない。

以上、元素の質量移行については、Niに多少の移行が観察されるが孔食に対しては、顕著な影響は与えていないと思われる。

(9) 結果の検討

1) 正常部について

孔食の発生していない部分については、表面層で0.2 mm程度の浸炭現象がみられ、同時にその部分は硬化している。また質量移行もNiの溶出がみられるが、Crには変化が認められない。これらの傾向は、既に調査した結果とほぼ一致する点であり、一般に報告されている全面腐食の形態と同じと考えてよい。従って、正常部の腐食に関しては鍛造あるいは圧延材と同じ進行になると思われる。

2) 孔食部について

一般に報告されているNa中の腐食は全面腐食であり今回認められた孔食はほとんどない。

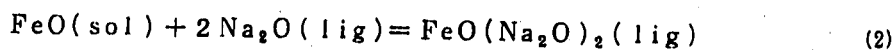
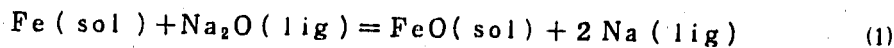
今回調査したインペラは、鋳鋼品であり、鍛造または圧延材と比べ、組織、結晶粒等の不均一性がある。そこでブレードの一部を塩酸による強腐食し、鋳造組織との関連を調査した。これによると孔食の近傍には、微細な欠陥が現われ孔食と関連があるように思われる。

また、結晶粒は鍛造材等に比較し、かなり粗いが孔食が粒界に沿った形跡も見られない。

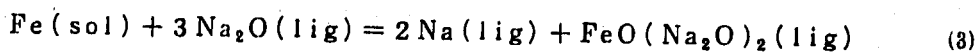
3) 孔食の推定原因

(1) 表4-6でまとめた原因の一つは、酸素の存在によるNa, Fe等の反応である。

この反応は一般に次のように考えられている。



(1)+(2)



上式のようにFe, Na, Oの複合酸化物の溶出が生じるが通上、Oの存在はNa中に含まれる10 ppm前後で少量である。しかし、孔食部に酸化層が残存していれば選択的に腐食される孔食が生じる。

酸化物の存在の可能性は不可欠のものがある。

① 鋳造時の表面微小欠陥が、冷却時あるいは熱処理時に酸化された。ブレードの孔食

表4-6 推定原因一覧表

調 査 結 果	考えられる原因
(1) δ -フェライトとの顕著な相関はない。	δ -フェライトの晶出
(2) 結晶粒に沿った形跡はない。	結晶粒の粗大化
(3) デンドライトと若干の関係がある。	凝固形態…デンドライト
(4) 孔食の近傍に微小欠陥がある。	鑄造時の表面直下の微小欠陥
(5) ブレード先端に孔食がない。 (6) 孔食発生部はグラインダ研磨が充分に行われていたか否かはつきりしないところもあった。 (7) 背側、付根付近に鑄肌が残存していた可能性がある。	表面清浄度 (組み立て前)
(8) 孔食部、正常部に元素移行の一定傾向は特にない 孔食部 Ni増 正常部 Ni減 } のところがある。 (9) 浸炭現象はブレード腹側は入出口共に認められる 背側は出口付近に多い。	元素の質量移行
(10) 酸素との反応が考えられる。	Na, Oとの反応
(11) 孔食の形態からキャビテーションの可能性は少ない。	キャビテーション
(12) 強度試験の結果から材質の劣下の影響はない。	強度の劣下

- ② 鋳肌の残存あるいは溶体化熱処理時の黒皮の残存プレート背側および付根の孔食
- (2) 本ポンプは今回の解体検査時に、水洗浄回数が5回に達している。Naからの機器の取出し、洗浄、再度Naへの浸漬の過程で鋳物表面での何らかの錯化学的反応も考えられる。
- (3) 本ポンプの使用条件下では、一二の試験を除いてキャビテーションを起り得ない。しかし、インペラ表面でのミクロ的ピッチング現象、鋳物との相関関係は注目を要する。

4) 結 論

16,000時間、Na中で運転されたインペラを調査した結果を要約し、次に示す。

- (1) 表面近傍に浸炭、硬化した層が認められる。
- (2) 質量移行は、Niについて認められる。
- (3) ブレード上に微細な孔食が認められた。
- (4) 孔蝕の原因はSUS鋳肌とNaと酸素を介在とした化学的なもの、洗浄、機械的なものが考えられるが、運転に支障は来たしていない。
- (5) 孔食以外の腐食の進行は極めて軽微と言える。

5. 検 討

「常陽」1次主循環ポンプ（モックアップ）は、約16,000時間ナトリウム中耐久試験が実施された後、主要部品についての材料検査結果を要約し表5-1に示す。

- (1) ナトリウムベアリングについて、ナトリウムに流速は明確でないが、10~100 m/secと推定され、この高流速下における材料腐蝕について、大きな問題が生じていなかった。また、ベアリング固定側と回転側の接触傷も大きなものが発見されていないことは、正常に運転されていたものと判断される。
- (2) シールリングについて、理想的には、外ケーシングとシールリングは密着しているのでナトリウムは流れない筈であるが、現実的にはオーバーフロー量から判断すると洩れがあり、非常に小さい間隙を高流速で流れていたと考えられる。しかし、高流速による影響は認められなかった。シールリングに引かき傷が観察されたのは、ポンプ内ケーシングを挿入する時に傷ついたものと思われる。
- (3) バネについて、バネ定数の変化がみられるが、この原因は、浸炭によるものと考えられる。浸漬時間との関係を明確にできないが、16,000時間程度では、使用上さしつかえないことが判った。
- (4) インペラについて、インペラに孔食がみられたが、現時点では有害な欠陥でないと考えられる。このポンプの運転状況は、req.NPSHの約3倍で運転していたので一般的な流力特性上のキャビテーションの影響は少ないと考えられる。鋳物特有の問題により孔食が発生したと考えられるが、鋳物の材料試験について今後試験する必要がある。
- (5) 浸炭現象について、このポンプは、250~370℃の等温運転であるため、浸炭現象や質量移行現象はおきにくいと考えられるが、純化装置を介して幾分、浸炭現象や質量移行が生じたものと考えられる。

今回の材料検査の結果から高速実験炉「常陽」で使用される場合の注意事項として、

- (1) 実機の場合はコールドレグポンプであるので、浸炭現象や質量移行現象が、モックアップ試験運転の場合よりも大きいと考えられるので、解体時にチェックすること。
 - (2) 実機の場合は、熱変化（特に400℃以上になる場合があると推定される）が大きいと思われるので寸法変化やステライトの肉盛等に損傷が生じるかも知れないので解体時にチェックすること。
- 等である。

表5-1 ま と め

	観 察 結 果	損傷の大きさ	推 定 原 因	評 価
ベアリング回転側	1 C。固溶体の溶出がみられる。	1 2 μ	Na 中での溶出	軽 微
ベアリング固定側	1 アイラッシュがみられる。 2 変態層がみられる。 3 ビットがみられる。 4 浸炭による硬化がみられる。	50 μ 40 μ 30 μ Hv 300 前後	浸炭現象 Na 中での変化 " 溶出 浸炭現象	軽 微 " " "
シーリング (ベアリング ハウジング側)	1 引かき傷がみられる。 2 アイラッシュがみられる。 3 ビットがみられる。 4 浸炭による硬化がみられる。	6.2 μ 40 μ 直径 1 μ Hv 590	部品挿入時のもの 浸炭現象 Na 中での溶出 浸炭現象	軽 微 " " "
シーリング (サクシジョン側)	1 引かき傷がみられる。 2 アイラッシュがみられる。 3 ビットがみられる。 4 浸炭による硬化がみられる。	7.5 μ 100 μ 9.2 μ Hv 485	部品挿入時のもの 浸炭現象 Na 中での溶出 浸炭現象	軽 微 " " "
バネ	1 バネ定数の増加がみられる。 2 ヘタリがみられる。	最大 1.19 倍 約 1 μ	浸炭現象	軽 微 使用上問題はない。
バネ	1 バネ定数の増加がみられる。 2 ヘタリがみられる。	平均 1.28 倍 約 0.5 μ	浸炭現象	軽 微 使用上問題はない。
インペラ	1 アイラッシュがみられる。 2 浸炭による硬化がみられる。 3 Ni の質量移行がみられる。 4 ビット (孔食) がみられる。	最大 270 μ " Hv 410 微 少 0.1 ~ 0.3 μ	浸炭現象 " Na 中での溶出 インペラ製造時の酸化層に 原因がある。	軽 微 " " 今後の進展は軽微

6. あ と が き

「常陽」1次循環ポンプ（モックアップ）が、昭和47年3月にナトリウム運転を開始して以来、昭和51年9月まで4年6ヶ月に亘り種々の試験が実施されてきた。ナトリウム中浸漬時間は、約16,000時間と試験ポンプとしては、世界でも長時間運転された部類と入ると考えられる。このように長時間高温ナトリウムに浸漬運転されたこのポンプは材料試験片としても貴重な資料であるため、解体後ナトリウムベアリング等の材料試験を行い有要なデータが得られた。これらのデータは今後の「常陽」の運転や、「もんじゅ」以降のポンプの設計に役立つものと信ずる。

最後に本材料試験を実施して頂いた日立製作所土浦工場の関係者並びに4年6ヶ月の長い間運転試験に御協力頂いたナトリウム機器構造試験室の関係者に深く感謝する次第である。

7. 参 考 文 献

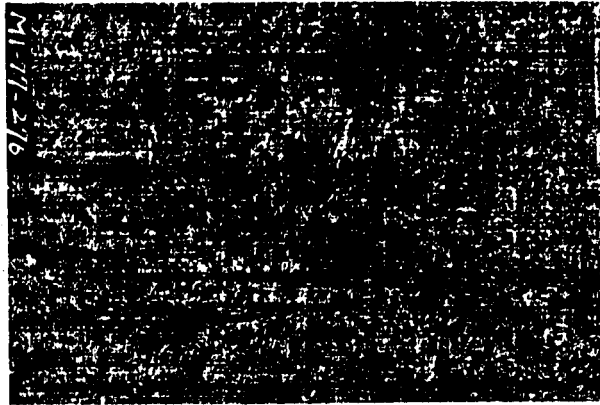
- | | | | |
|-----|-----|---|-------------|
| (1) | 戸袋他 | ナトリウム冷却系主循環ポンプの分解, 洗浄, 据付, | SN941 73-15 |
| (2) | 明間他 | 「常陽」1次主循環ポンプ ナトリウム中耐久試験 | SN941 74-68 |
| (8) | 深田他 | 「常陽」1次主循環ポンプモックアップ(II)
耐久試験後の解体洗浄試験 | SN941 75-43 |
| (4) | 西口他 | ポンプのキャピテーション試験(I)
「常陽」1次主循環ポンプモックアップ | SN941 76-34 |
| (5) | 富樫他 | 「常陽」1次主循環ポンプモックアップ(IV)
低速試験 | SN941 76-70 |
| (6) | 永松他 | 「常陽」1次主循環ポンプモックアップ(V)
高温待機後起動試験 | SN941 76-76 |
| (7) | 真鍋他 | 「常陽」1次主循環ポンプモックアップ(VI)
MK-1炉心低圧損のためのナトリウム軸受テスト | SN941 77-33 |

附 録 写 真 集



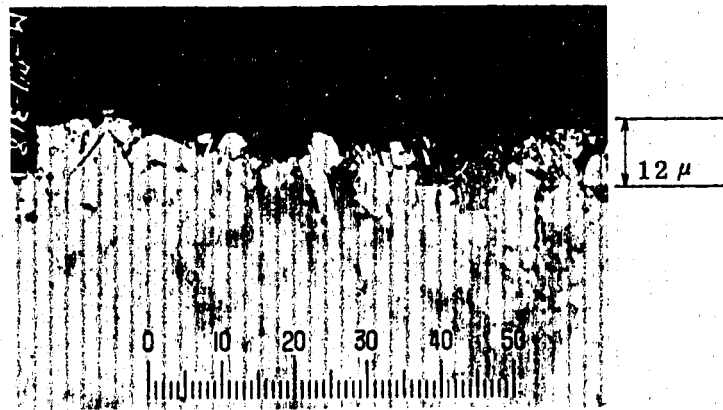
非摺動部 ← | ← 摺動部 → | → 非摺動部

写真1 実体観察



×37.5

写真2 実体観察(非摺動部)



×400

写真3 断面組織(非摺動部)

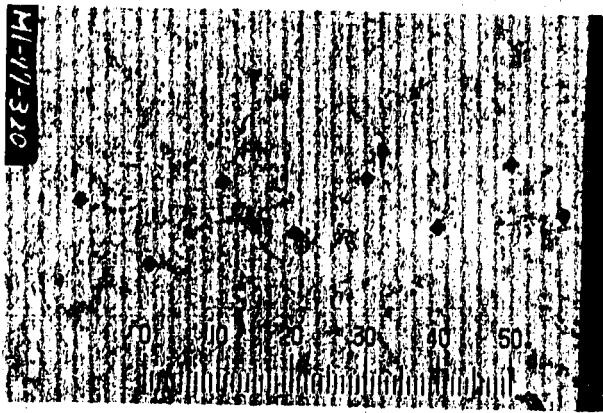


写真4 摺動部断面組織 ×100



写真5 電子顕微鏡による観察
(非摺動部) ×1,000

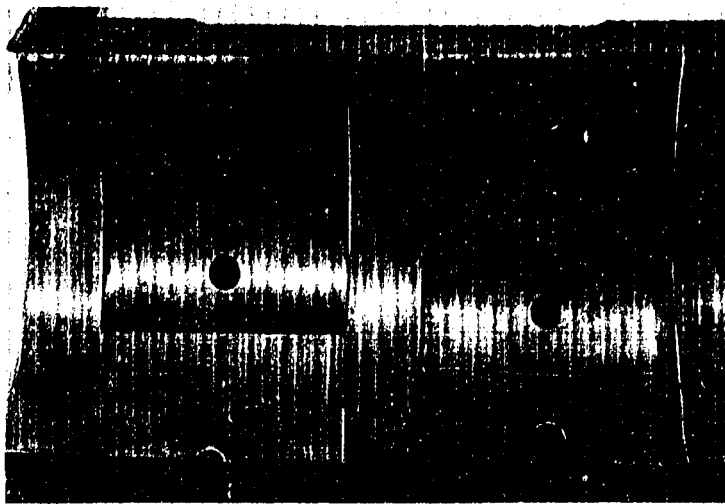
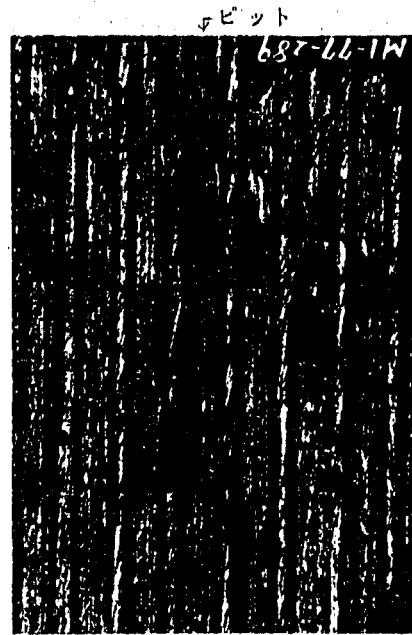


写真6 実体観察
片アタリのない部分



↑
ビット目 ×37.5



写真7 実体観察
片アタリ部分



↑
ビット目 ×37.5

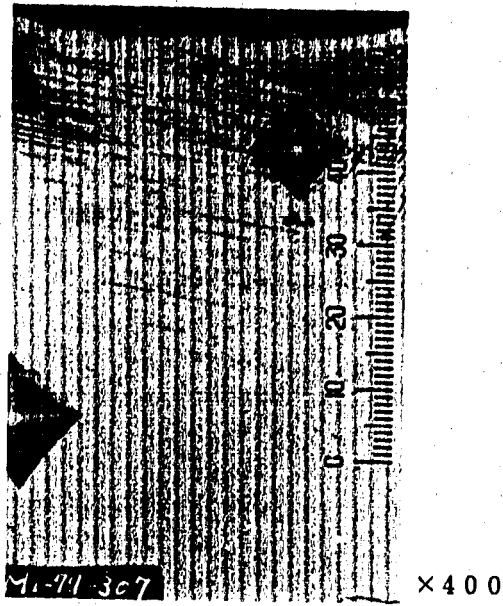
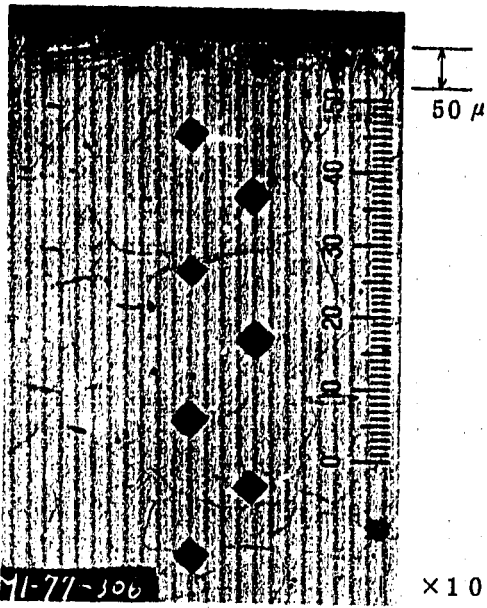


写真8 断面組織

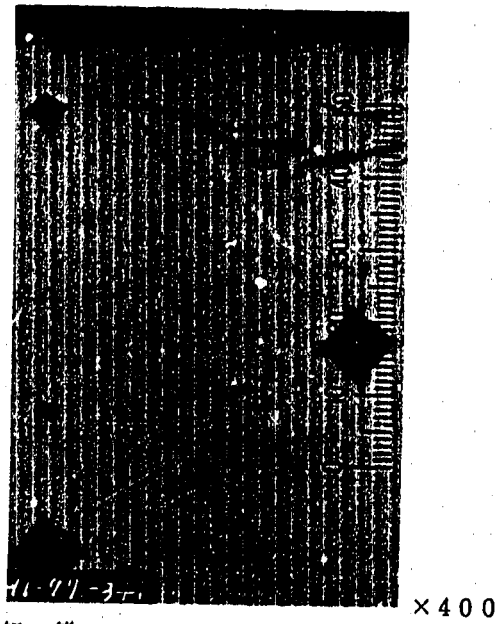
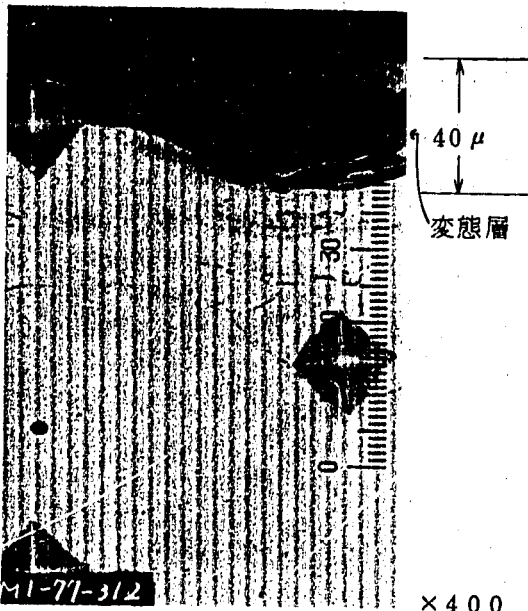
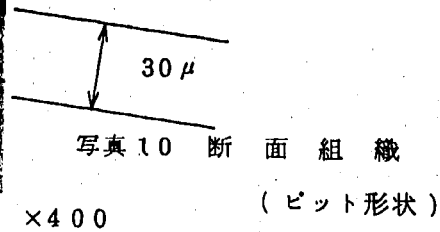
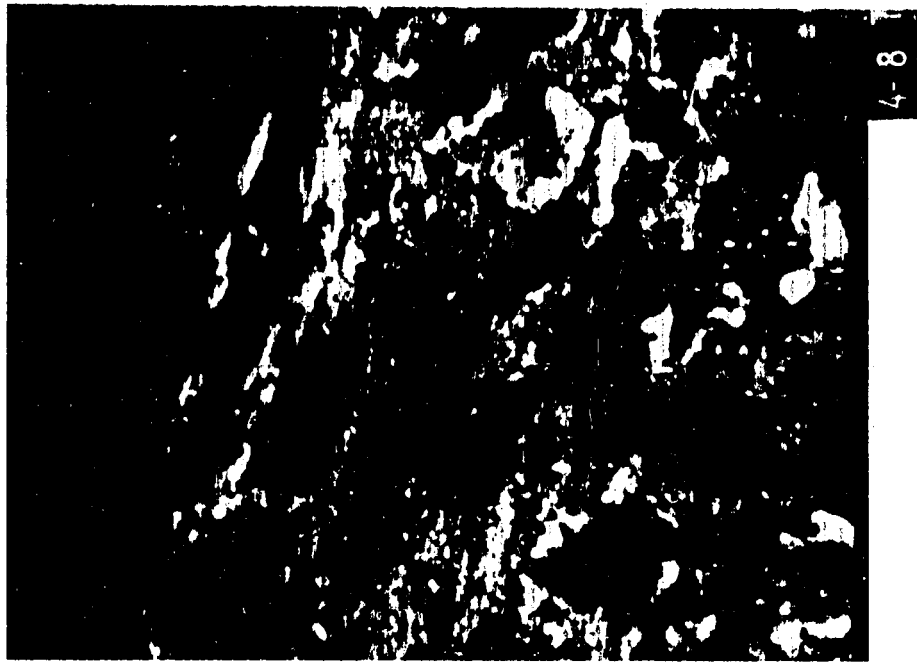


写真9 断面組織





←ピット

写真11 電子顕微鏡による観察

×3,000

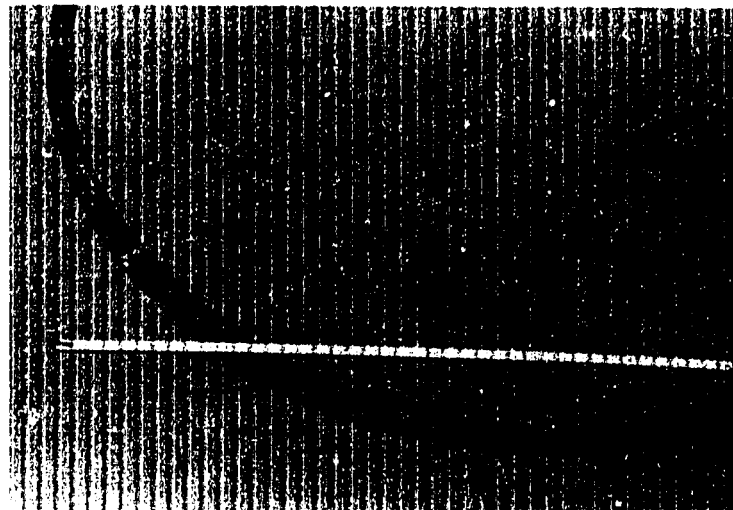
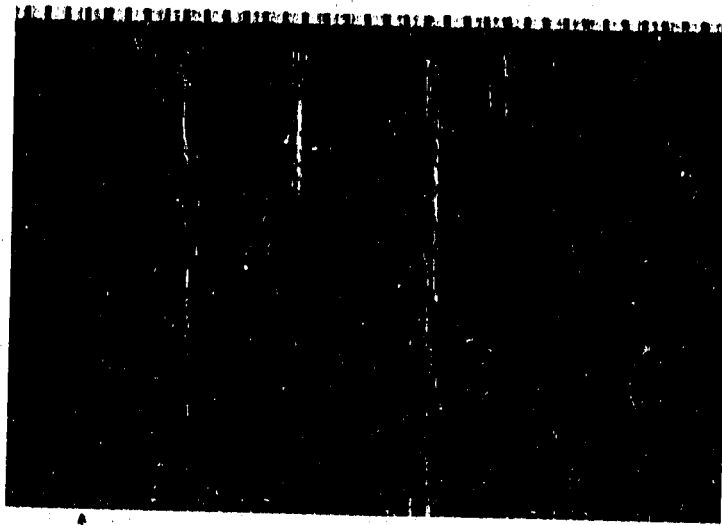
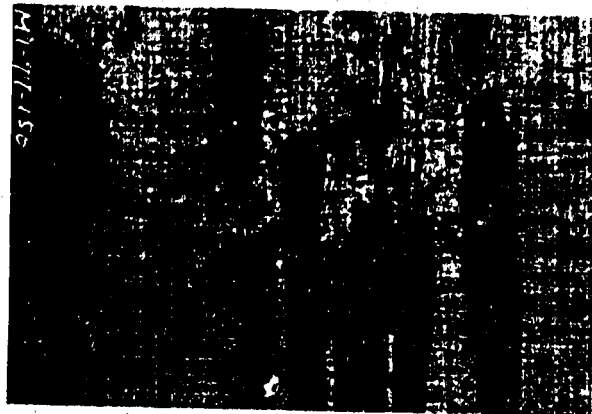


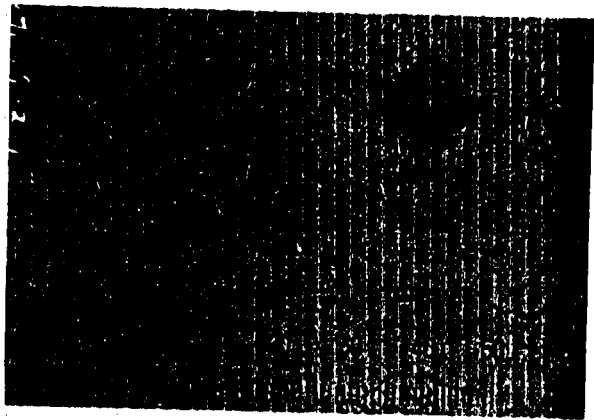
写真12 シールリング(ベアリングハウジング側)外観



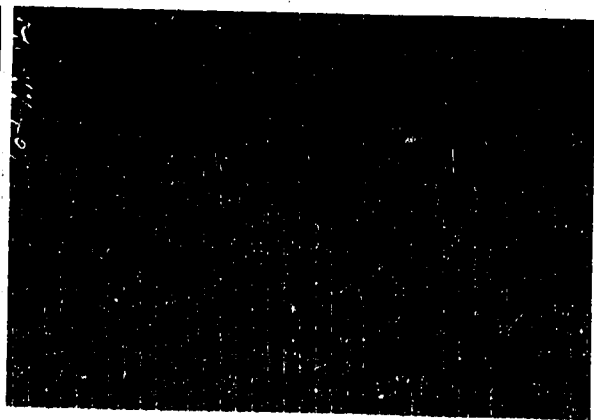
↑
ピット 写真13 実体観察



↑
ピット ×37.5
写真14 実体観察



×400
写真15 断面組織



×400
写真16 断面組織

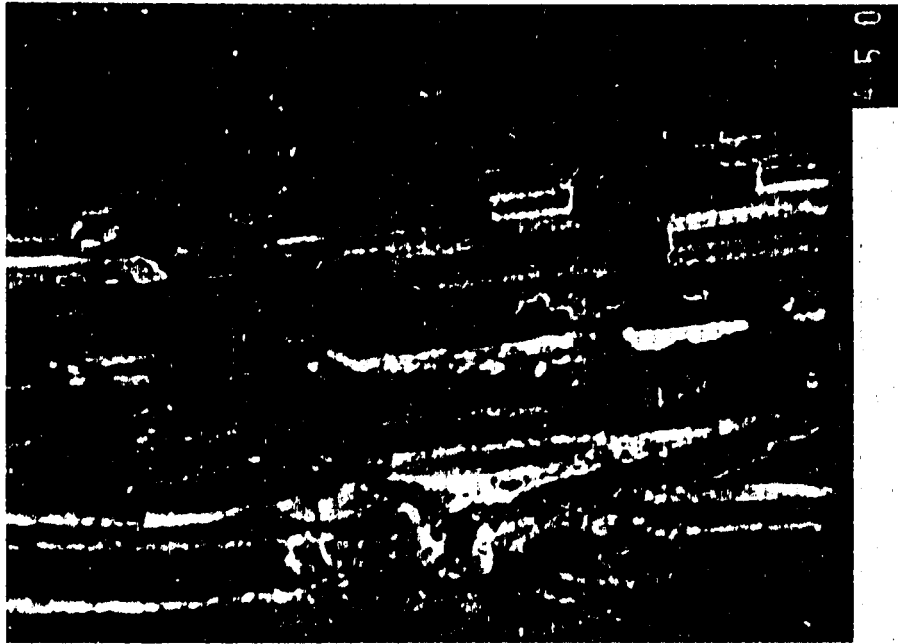


写真17 電子顕微鏡観察

×3,000

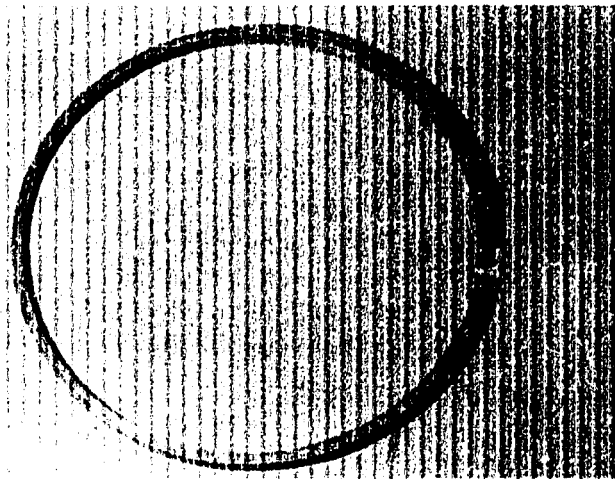
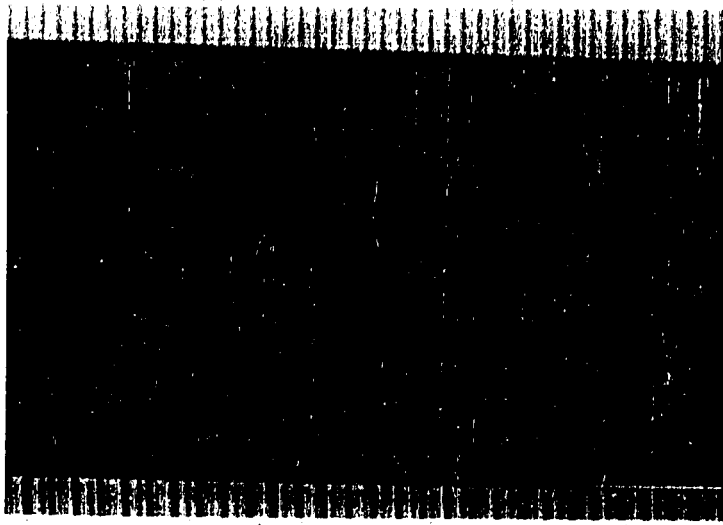
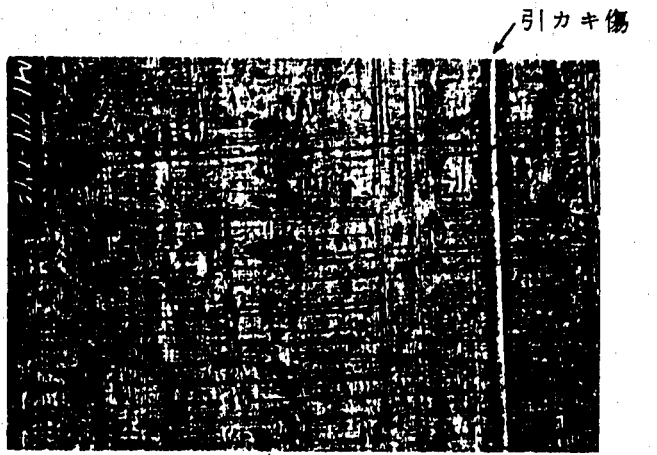


写真18 シールリング(サクシヨン側)外觀



↑
ピット
写真19 実体観察



↑
ピット
×37.5
写真20 実体観察

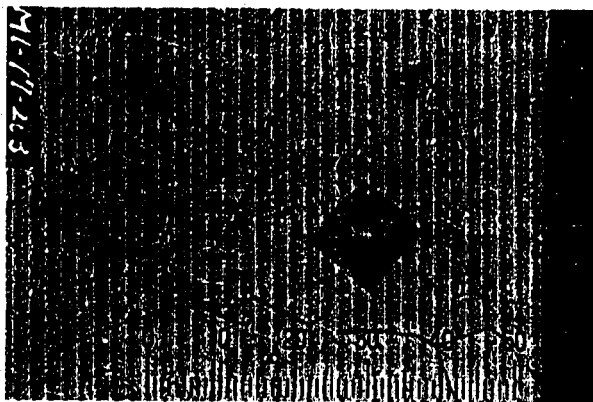
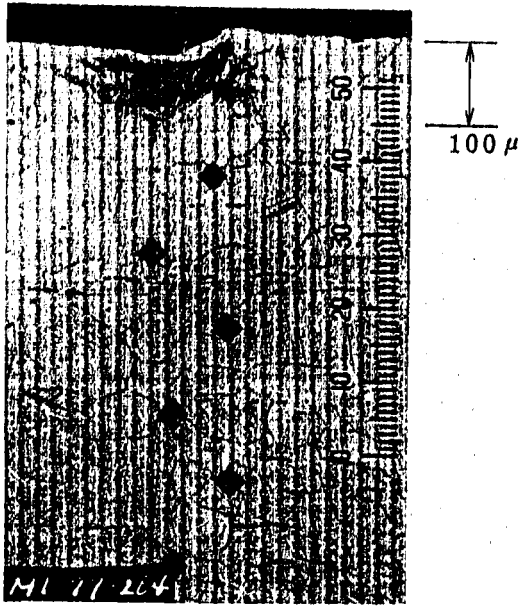
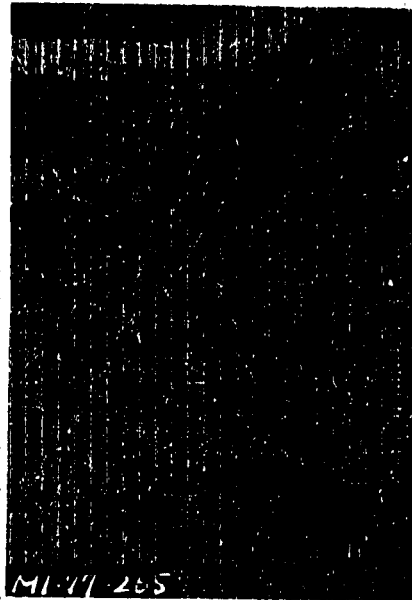


写真21 断面組織



×100

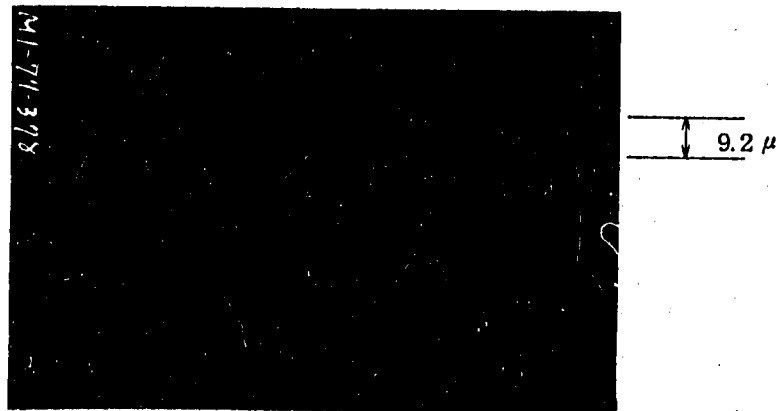
写真22 断面組織



×400

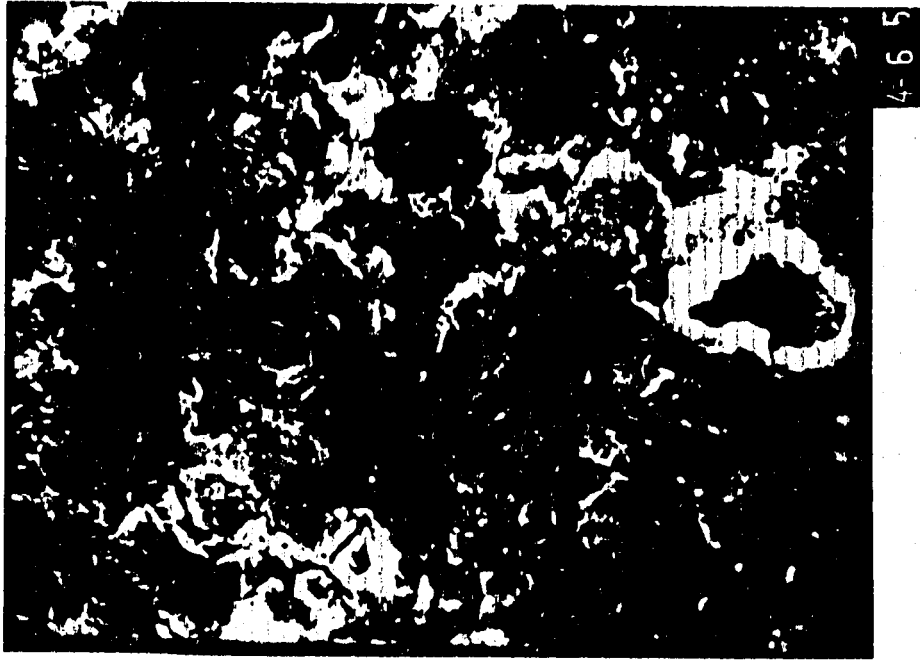
写真23 断面組織

(写真21拡大)



×600

写真24 断面組織(ピット形状)



← ピット

×3,000

写真25 電子顕微鏡観察



写真26 未使用品

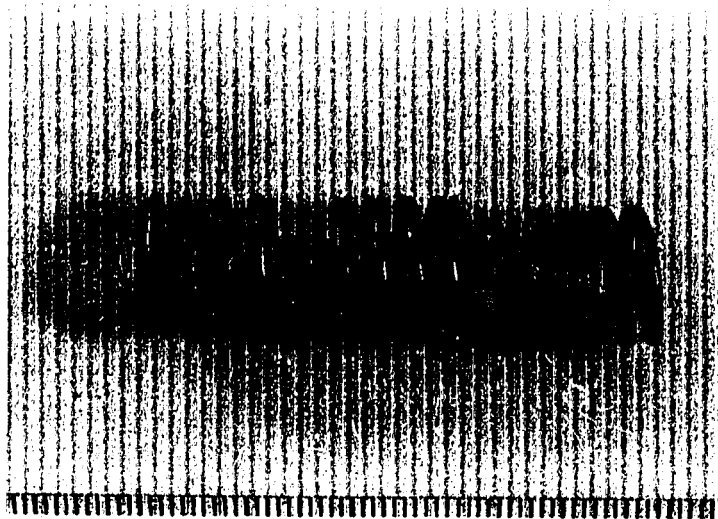


写真27 使用品 ベアリングハウジング側

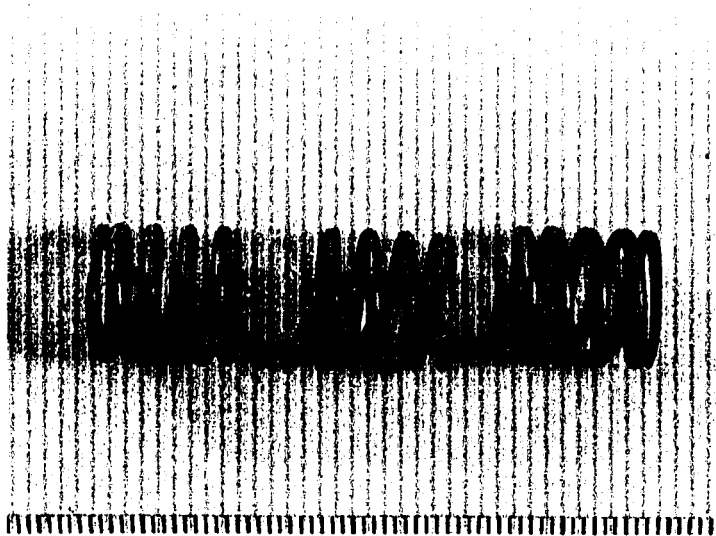
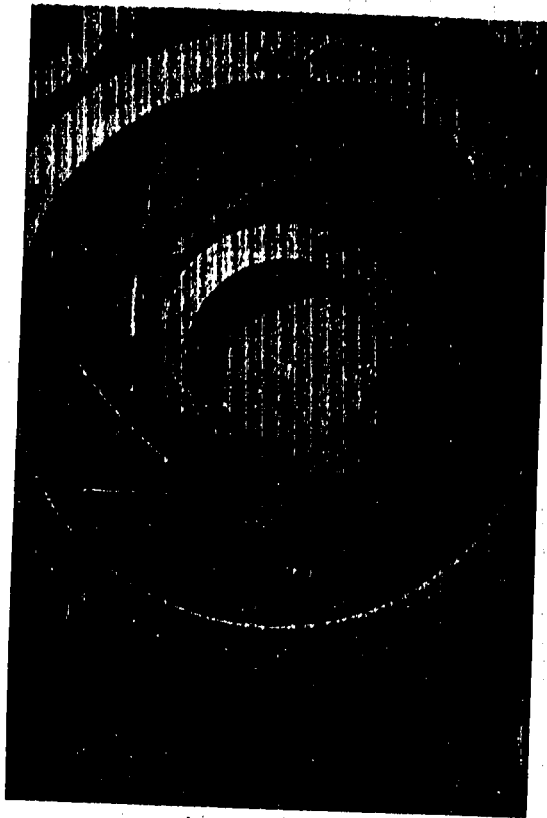
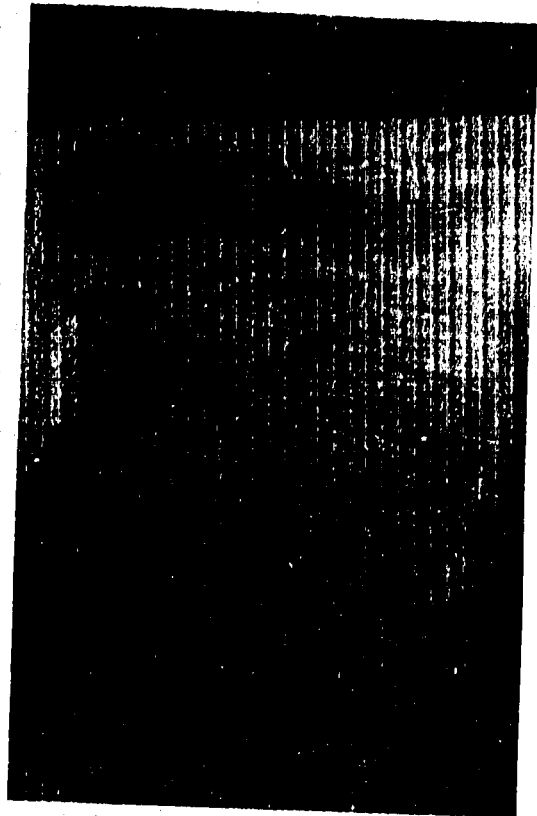


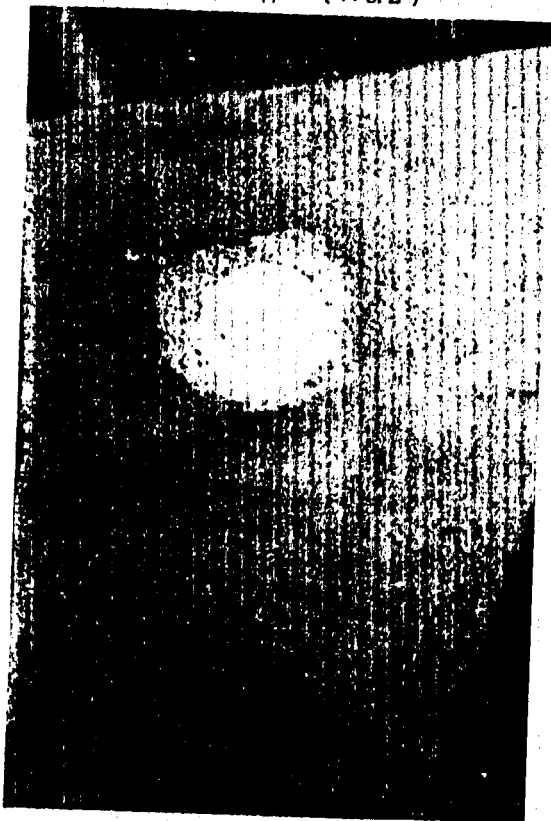
写真28 使用品 サクション側



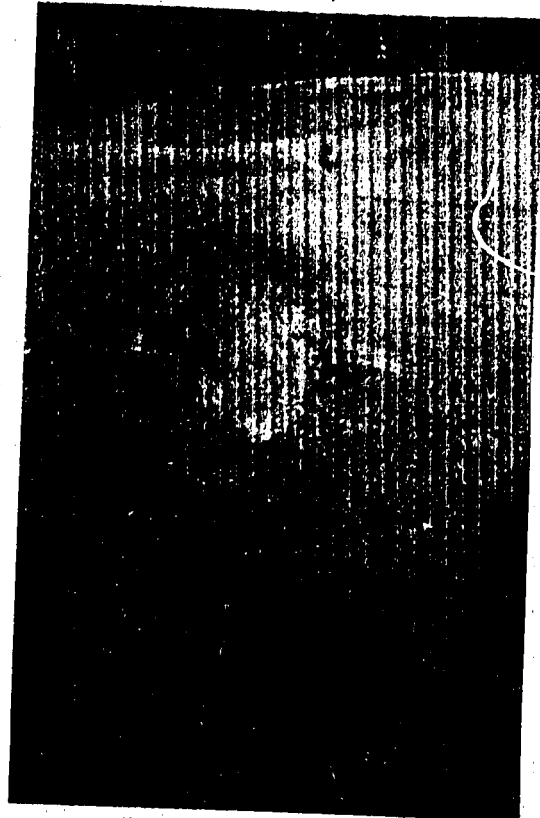
全体 (×0.2)



No. 1 (×0.9)

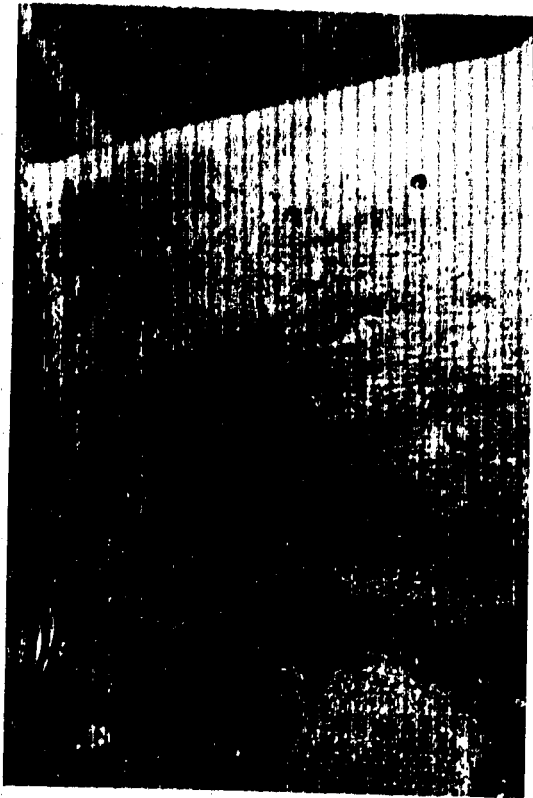


No. 2 (×0.9)



No. 3 (×0.9)

写真29 インペラブレード実体写真(その1)



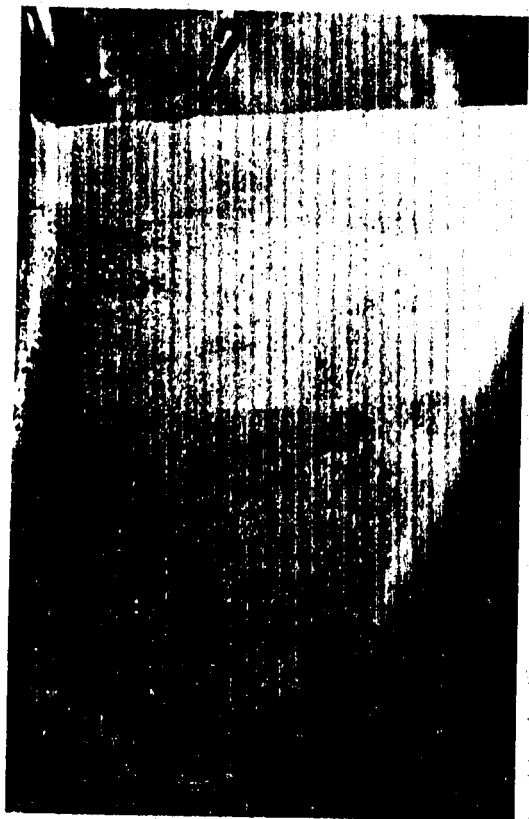
No. 4 (×0.9)



No. 5 (×0.9)



No. 6 (×0.9)



No. 7 (×0.9)

写真 29 インペラブレード実体写真(その2)

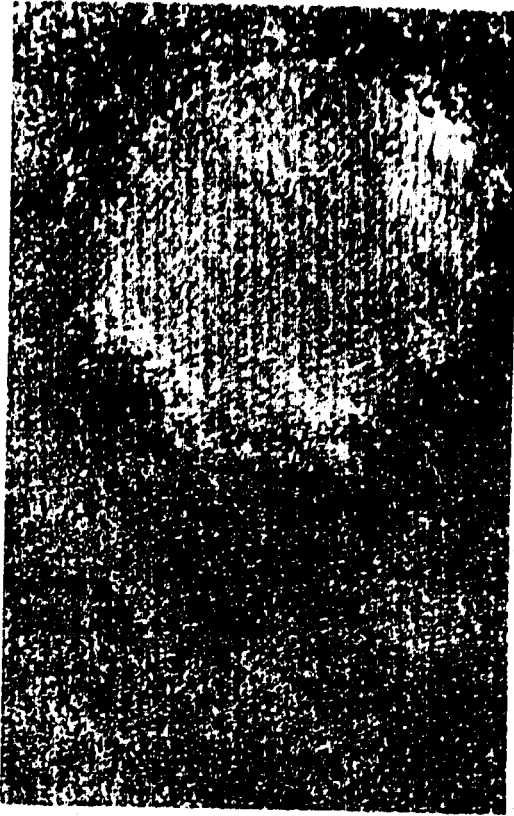


写真30 No.2ブレード腹側および溶接部(×2.3)

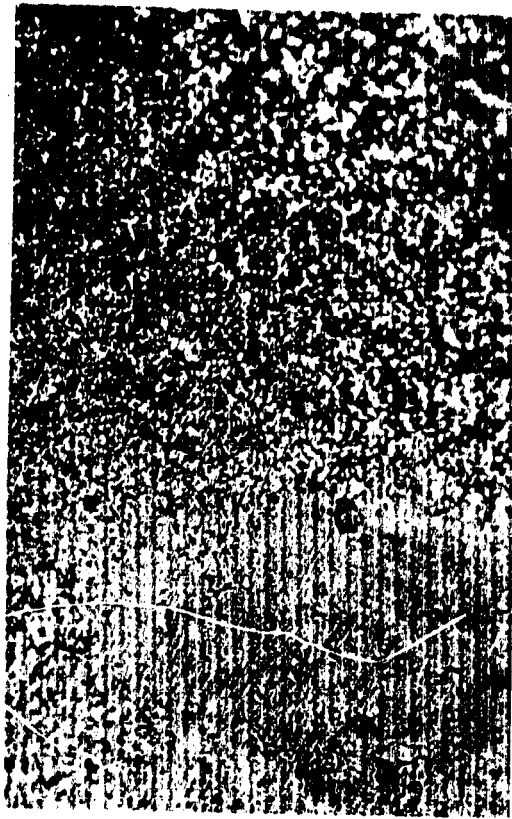


写真31 No.2ブレード入口背側(×2.3)



写真32 No.2ブレード中央部(×1.1)

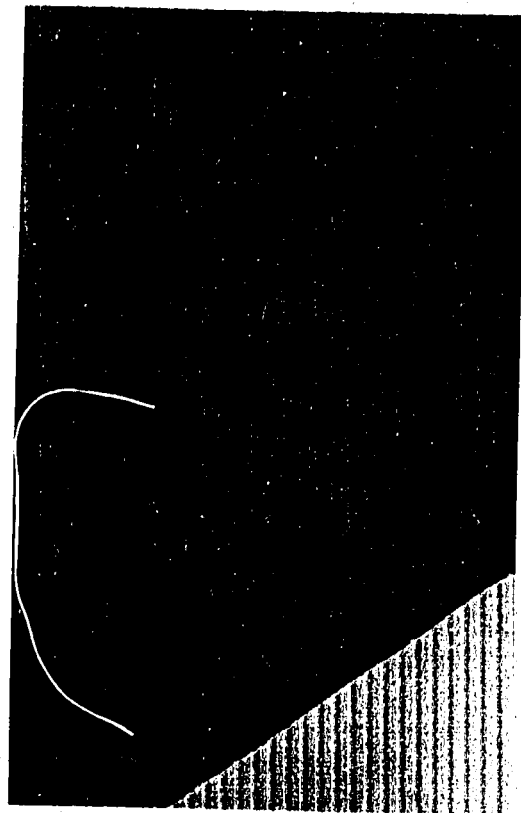
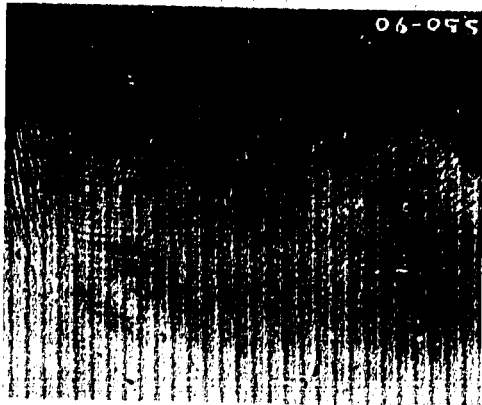


写真33 No.2ブレード・シュラウド(×1.1)

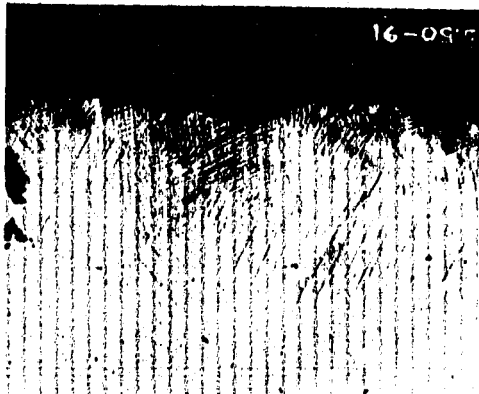


写真34 No.2 ブレード出口

(×0.83)



(×50)

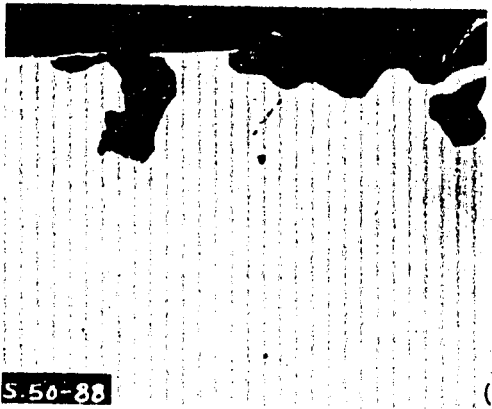


(×50)

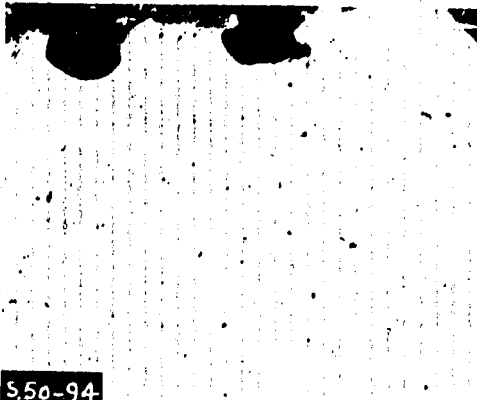


(×50)

写真 35-1 ブレード腹側

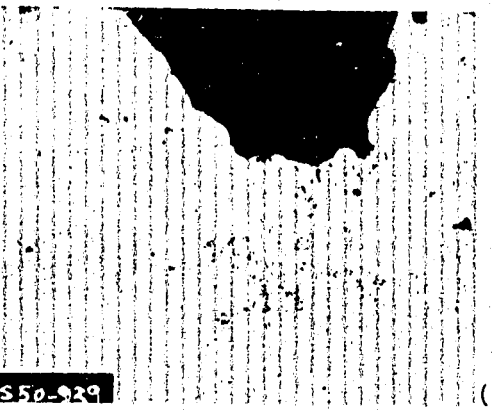


(×50)



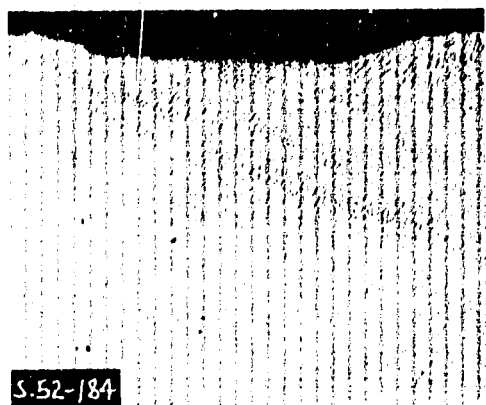
(×50)

図 10-2 ブレード背側



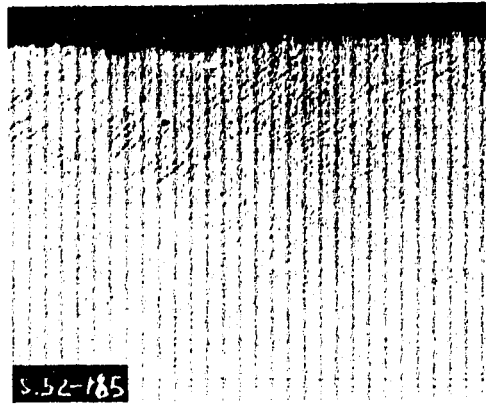
(×100)

写真 35-2 ブレード入口付近の断面組織



S.52-184

(×100)



S.52-185

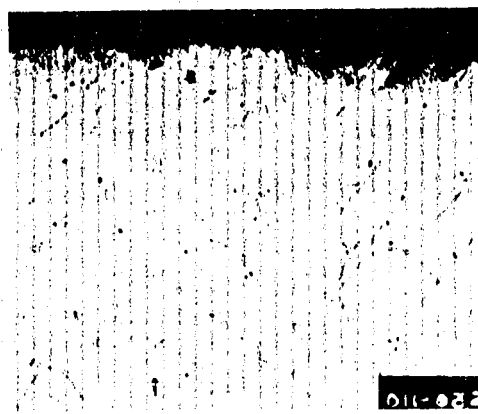
(×100)



S.52-183

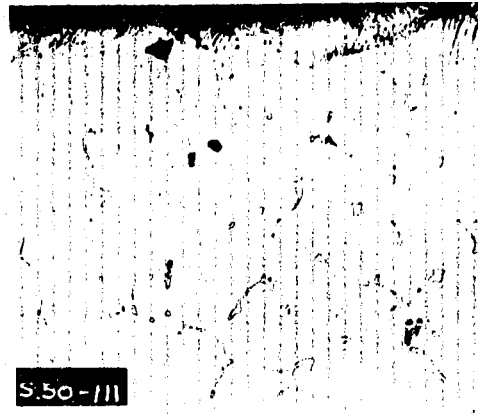
(×50)

写真36 ブレード入口溶
接部の断面組織



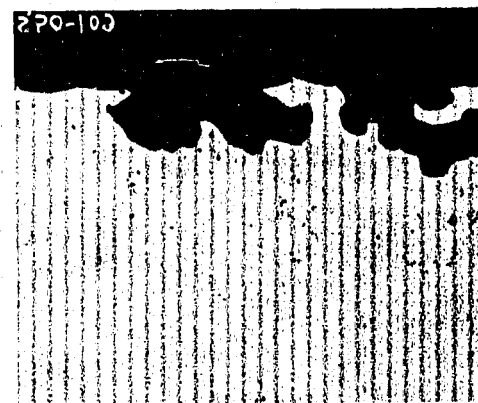
011-022

(×50)



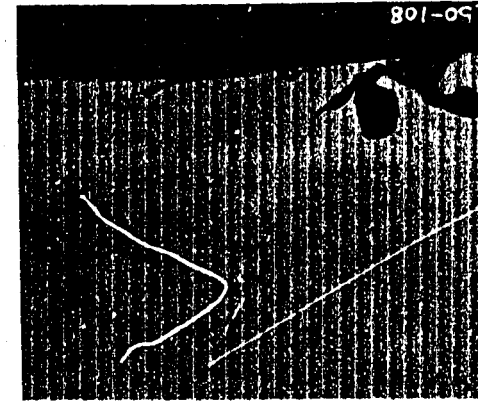
S.50-111

(×50)



270-100

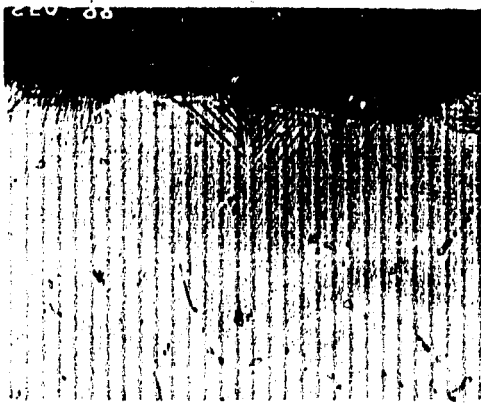
(×50)



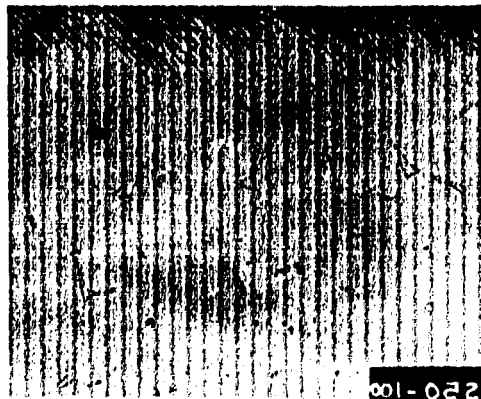
801-095

(×50)

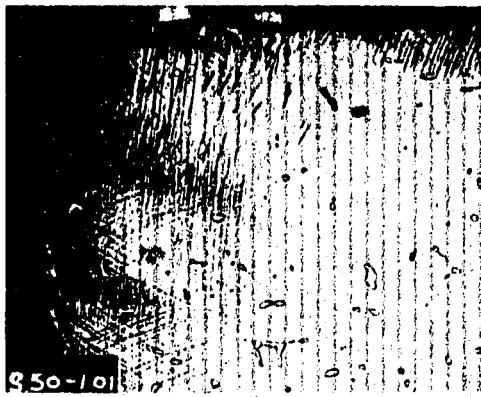
写真37 羽根中央部の断面組織



ブレード腹側 (×100)



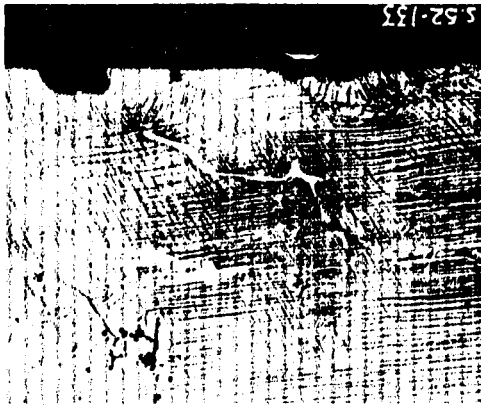
ブレード背側 (×100)



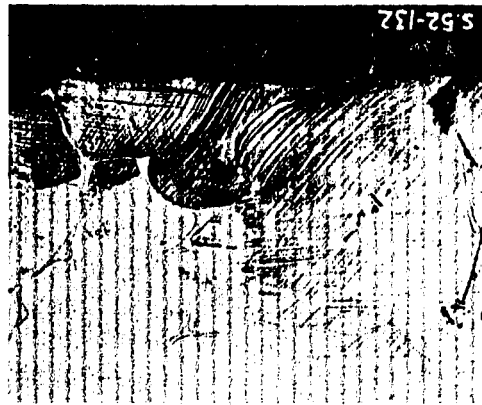
ブレード先端 (×100)

写真 38 ブレード出口の断面組織

腹側

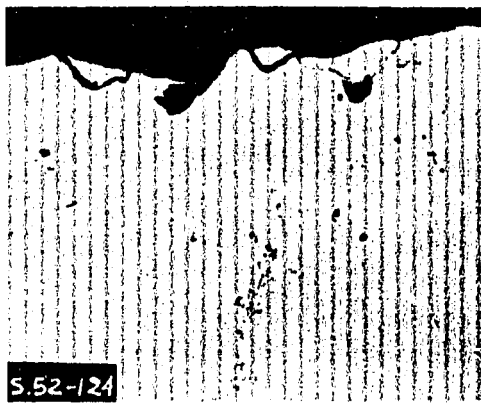


(×100)

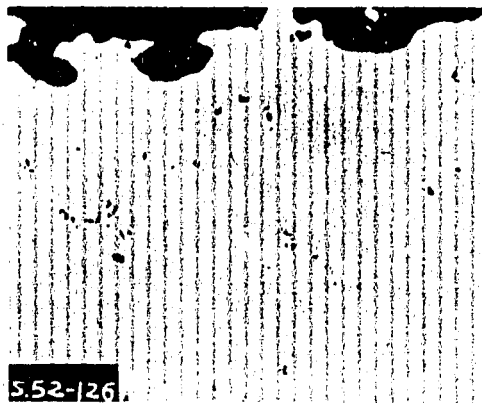


(×100)

背側



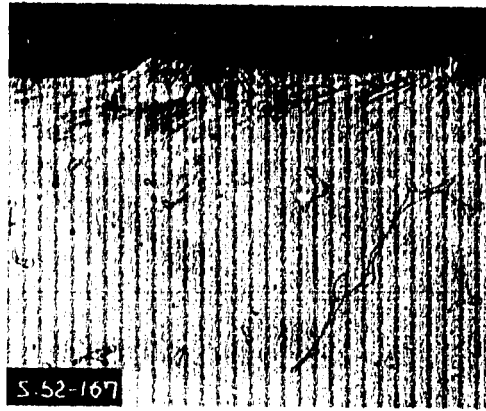
(×50)



(×50)

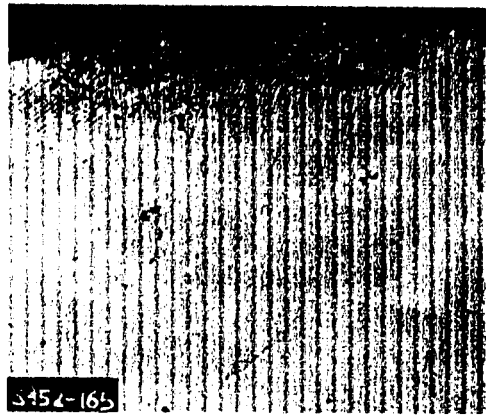
写真 39-1 ブレード後面シュラウドの交差部

機 械
加工面

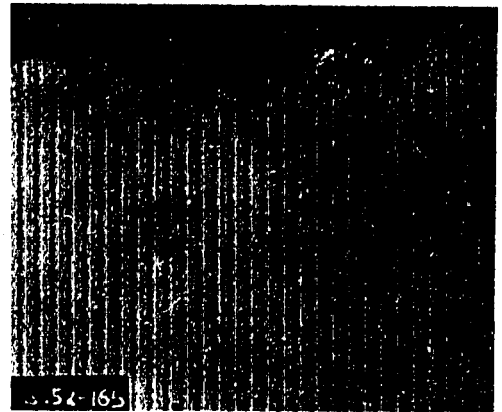


×100

流 路 面



×100



×100

写真39-2 前面シュラウド一流路面の断面組織

写真40 ブレードに生じた
孔食のSEM観察



×3,000

写真41 シュラウド表面の
SEM観察



×1,000