

# メタログガイド™

*Leila Bjerregaard*

*Kay Geels*

*Birgit Ottesen*

*Michael Rückert*

高品質な  
微細構造検査用  
試料作成ガイド

# メタログガイド

**Metalog Guide**

Published by Struers A/S  
Valhøjs Allé 176,  
DK-2610 Rødovre  
Denmark

1992 **Struers** 版權所有。  
第四改定 2008 年版。  
本書の内容は承認を得た上でご引  
用ください。

メタログ (**Metalog**)、メタログガ  
イド (**Metalog Guide**) 及びメタ  
ログラム (**Metalogram**) はストル  
アス社の商標です。

本書中の試料作成法と問題解決に  
ついての記事は、万全を期してい  
ますが、若し何かの誤りが見出さ  
れた時は連絡をお待ちしています。  
なお、ストルアス社は、メタログ  
ガイド中にある試料作成方法や指  
示による結果については一切責任  
を負いません。



□ 本 社 〒110-0015  
東京都台東区東上野一丁目 18 番 6 号  
タカラ第 3 ビル  
営業案内  
TEL 03(5688)2930  
FAX 03(5688)2927  
第一営業グループ  
TEL 03(5688)2931  
第二営業グループ  
TEL 03(5688)2932  
技術サービス  
TEL 03(5688)2920  
FAX 03(5688)2926  
アプリケーションラボ  
TEL 03(5688)2917  
FAX 03(5688)2928

□ 大 阪 営 業 所 〒550-0014  
大阪市西区北堀江一丁目 6 番 5 号  
大輪ビル  
TEL 06(6532)2661  
FAX 06(6532)1977

□ 名 古 屋 営 業 所 〒464-0075  
名古屋市千種区今池四丁目 4 番 1 号  
玉置ビル 1F  
TEL 052(732)1862  
FAX 052(732)2392

試料作成法 への最短経路	→	<b>1. メタログラム</b> 作成法選定用図表	<b>9</b>
↓	→	<b>2. メタログ メソッド</b> 試料作成法 10 種	<b>12</b>
	→	<b>3. 試料作成についての基本原理</b> 経済効率の良い試料作成	<b>37</b>
↓	→	<b>4. メタログ プロセス</b> 切断から検鏡用試料完成までの全試料作成工程	<b>40</b>
	→	<b>5. メタログ マスタ</b> 試料作成の理論 エキスパートシステム	<b>62</b>
↓	→	<b>6. 消耗品の仕様</b>	<b>102</b>
↓	→	<b>7. その他</b>	<b>110</b>

# はしがき

読者の皆様へ

メタログ ガイドは、工業材料の微細構造検査に用いる試料を作成する上で、皆様のお役に立てるよう編集してあります。

メタログ ガイドを編集した目標は、試料の作成を効率よく行える最短の方法を示すことにあります。試料作成の工程を詳細に検討を重ねた上で、新しい方法を開発すると共に既存の方法に改善を加えてあります。

ここに10種のメタログ メソッドを紹介してあります。効率よく高品質の試料を作成する上での必要事項が殆んど含まれています。

## エキスパート システム～メタログ マスタ

メタログ マスタは、メタログ ガイドの重要な部分を占め、エキスパートシステムになっています。“高品質な試料”を作成する上で役立つとともに、難しい材料の試料作成での問題を解決する助けになります。

これに加え、メタログ マスタには、工業材料の微細構造検査用の試料作成に係る理論について詳しく説明されています。

## メタログーストラクチャー～メタログ ガイド

1970年以來、ストルアス メタログは、全世界のメタログラファーに利用されて来ました。1981年には、ストラクチャーの出版が始まり、試料作成についての世界で最も広く読まれている専門雑誌となりました。これら二つの出版物とこのメタログ ガイドは、弊社の装置と消耗品のユーザー様のご意見とご協力で成り立っています。さらにより良い方法、より良い製品の開発に向け、ユーザー様との情報交換が最も重要であると考えています。

メタログ ガイドが、皆様にとって有益のものである事を願うと共に、将来での一層の御協力を期待しています。

ストルアス社

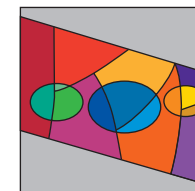
# 概 説

メタログ ガイドは、試料作成に関する総合的な参考書です。ストルアス社の機器と消耗品を用いた試料作成作業について、効率的で系統的なガイドラインが示してあります。

メタログ ガイドには、次の各章で構成されています。

## 1. メタログラム

特定の試料に対し夫々の特性に応じて、正しい試料作成法を選定するための図表。



## 2. メタログ メソッド

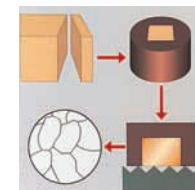
メタログラムには、応用範囲の広い試料作成法が10種含まれています。これら10種の作成法により、ストルアス社の広範囲にわたる消耗品を用いて、あらゆる材料をその硬度と延性に拘りなく取り扱えます。

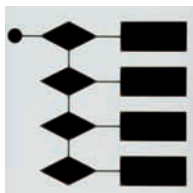
## 3. ストルアス社の試料作成についての基本原理

試料作成にかかわる事項についての、ストルアス社の基本原理について簡単な紹介。

## 4. メタログ プロセス

試料の特性や特別な要求に応じて消耗品を選定する為の表を含み、全試料作成工程の詳細な説明。





## 5. メタログ マスタ

試料作成の品質を系統的な方法によって改善するための総合的なガイドと試料作成理論についての詳細な説明。



## 6. 消耗品の仕様

メタログ メソッドで用いられている消耗品。

## 7. その他

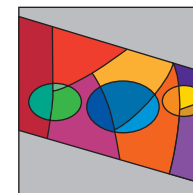
索引、文献表と硬度換算表。

皆様が、自身の材料に適した試料作成法を直ちに見つけるには、第1章**メタログラム**へ進んで下さい。試料作成の理論に関する更に詳しい知識は、第3章及び第4章を参照下さい。

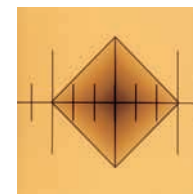
# 1. メタログラム

## はしがき

メタログラムに於いては、材料の物理的特性（硬度と延性）によって表わされています。試料作成法の選定は、この特性に基づいて行われます。



**硬度**：測定が最も容易な特性ですが、正しい試料作成法を見出すためには、材料についての情報としては不十分です。



**延性**：材料の塑性変形の難易を示しており、重要なものです。ある材料が機械研磨に対し、実際如何に応ずるか？それは変形し易いか、或いは作成中に亀裂や脱落を生ずるか？

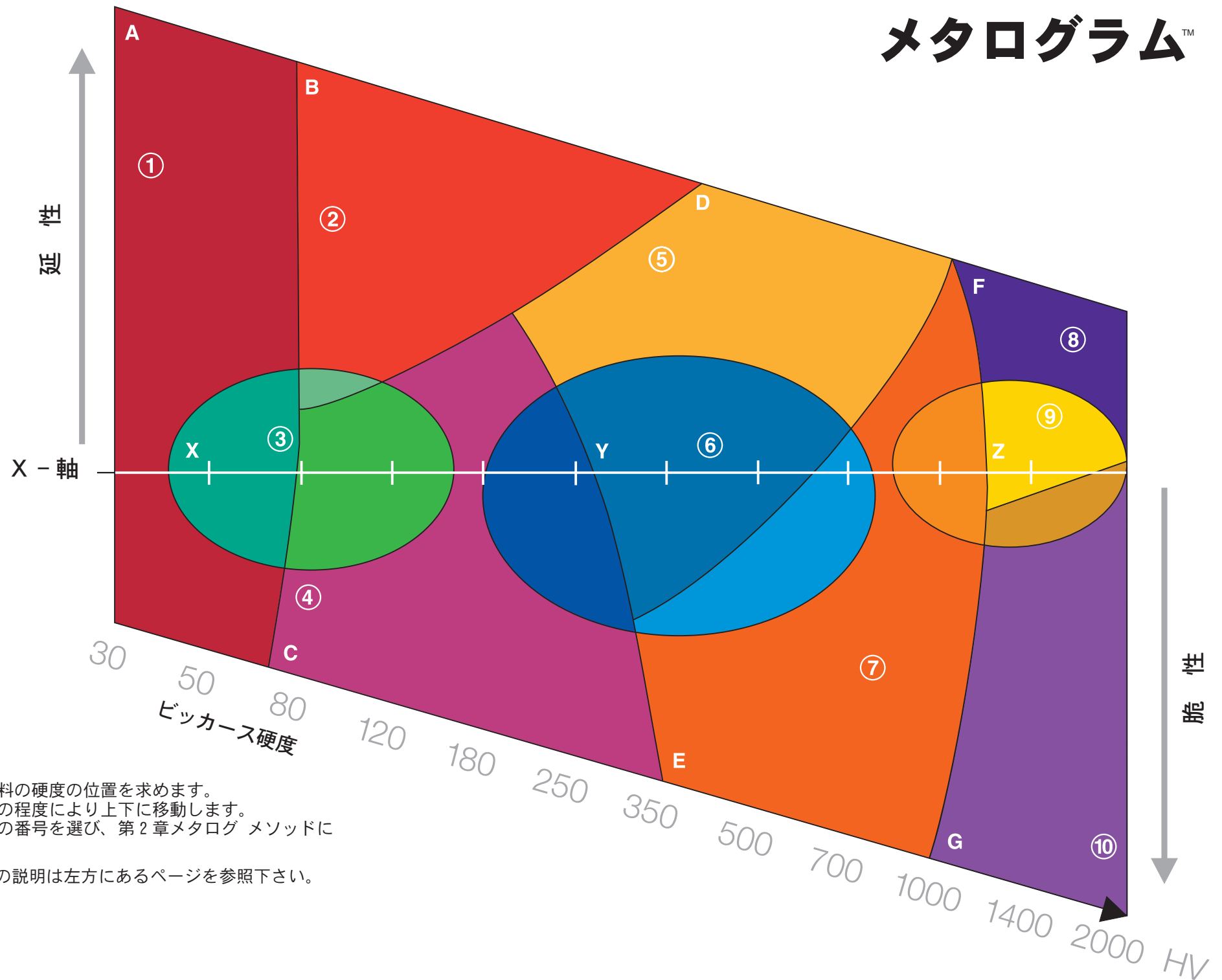


**メタログラム**は、様々な材料を硬度と延性の両者によって表わしています。硬度と延性は試料作成法の選定での因子に用いられます。

メタログラムの中に簡単に入れられない材料、例えば複合材料や皮膜、種々の相や成分で構成されている材料の試料作成には、次の原則が適用されます。

- 材料中の主要な成分に対して適した方法を選びます。
- 各工程の作業を終えた時点で試料を点検します。若し作成作業による欠陥が発生していたら、メタログ マスタを調べ対策を探します。関連している一般的な欠陥は縁だれ、浮彫、脱落と気孔です。
- 大部分のプラスチックは、メタログラムに示された作成法に従って試料を作成することができますが、特に軟質な可塑性材の場合には、塑性変形が生じます。そのような材料では、SiC 研磨紙を用いて #4000 まで研磨を行います。次に、DP（ダイヤモンド琢磨）工程を省き、OP（酸化物琢磨）工程で、OP-S 又は OP-U を用いて試料作成を行います。もし SiC 砥粒が試料に埋没する場合は、SiC 研磨紙にロウソクなどのワックスを塗布して、砥粒の埋没を回避します。

# メタログラム™



1. X軸上に材料の硬度の位置を求めます。
2. 材料の延性の程度により上下に移動します。
3. 適した方法の番号を選び、第2章メタログ メソッドに進みます。

材料例① - ⑩の説明は左方にあるページを参照下さい。

## メタログラムの解説

X軸は硬度を示し、ビッカースで表わされています。軟質の材料に用いる試料作成法の種類が硬質の材料に対するものより多いため、目盛は等分目盛となっておりません。一般に軟質材料では延性が大きく、他方硬質材料では脆性が大きくなっているため、**メタログラム**はそのような形状になっています。

## 試料作成法の選定

最初に、X軸上にその硬度の位置を求めます。次に、材料の延性に応じて、上方又は下方に移動します。延性は硬度と違い、明確な数値で定めることは容易ではありません。そのため従来の経験に依ってY軸上に位置を決めなければなりません。

**ある材料がどのような挙動を示すか**、換言すると延性であるか脆性であるかの知識を持っていなければなりません。

延性情報の助けになるように、具体的にいくつかの材料をメタログラムの中に表示してあります。(下記参照下さい。)

10種の試料作成法が、メタログラムの基礎となっています。

7種の試料作成法A～Gが、総ての種類の種類に対応しています。これらの方法で、高品質の試料が作成できます。

さらに、3種の簡便法、X、Y及びZが示されています。これら方法で非常に短時間に、許容可能な程度の品質が得られます。

## 材料例：

- ① Mg-AL 鍛造合金
- ② 純銅
- ③ Al-Si 合金
- ④ Cu-Zn 鍛造合金 (黄銅)
- ⑤ 鼠鑄鉄
- ⑥ 工具鋼
- ⑦ ボールベアリング鋼 100 Cr6 (JIS SUJ2)
- ⑧ WC/Co 焼結炭化物
- ⑨ 金属基材中の炭化物
- ⑩ セラミックス  $\text{Si}_3\text{N}_4$

## 2. メタログ メソッド

### はしがき

本章には試料作成方法が示されています。試料作成法は一連の作業工程で構成され、各工程毎に順次粒度を細かくした砥粒で、機械的に試料表面を削り取ります。通常次の各作業工程で構成されています。

面出し研磨	P G
精研磨	F G
ダイヤモンド琢磨	D P
酸化物琢磨	O P

(第4章**メタログ プロセス**にある詳細な説明を参照下さい。)

### 試料作成法の評価

品質とコストの点で最良の試料作成法を見出すため、現在のあらゆる作成法を全面的に厳しく評価しました。すべての試料作成法には、試料の再現性と平坦性を確保するため、MDシステムに関連した消耗品が使われています。

さらに、磁気円板を用いて作業面を保持するMDシステムは、研磨 / 琢磨の作業面交換を容易にする利点があります。

### 2つの区分

材料全体に対して7種の試料作成法を立案しました。これら7種の方法で、高品質の試料が作成できます。更に3種の簡便法も利用できます。この簡便法では、短時間で許容可能な程度の品質が得られ、大量の試料数を処理する場合に向いています。

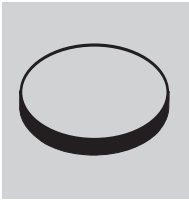
### 適用

試料作成法は、φ160mmの試料板に取付けられている6個のφ30mmの試料に対して設計してあります。試料の占有面積は埋込全体の約50%とします。

これらの数値と異なる試料に対しては、作成時間または加圧力を調整しなければならないことがありますので、16ページをご参照ください。

試料作成法は、17～36ページに記載してあります。

## 試料作成作業上のパラメータ



### 作業面

#### 試料作成で使われる研磨円板又は琢磨布

新しい材料で初めての試料作成をする際は、夫々の試料作成法で指示されている研磨円板 / 琢磨布を使用します。作成法を変更される場合、64 ページにある研磨 / 琢磨布表を参照ください。



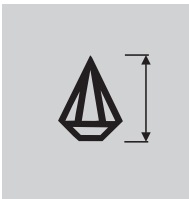
### 砥粒

#### 研磨と琢磨に用いられる砥粒

弊社の試料作成法では、ダイヤモンドが最も広く用いられています。例外として、軟質材料に使われる炭化ケイ素 SiC 砥粒による PG 段階と、条痕の残らない仕上を行うコロイダルシリカ砥粒による OP 段階があります。100 ページに記載している様に、砥粒は試料硬度の 2.5 ~ 3 倍の硬度がなければなりません。決して軟い砥粒に変更しないでください。・・・作成作業による欠陥を生じさせてしまう恐れがあります。

供給する砥粒の量は、研磨 / 琢磨用の作業面の種類と試料の硬度で左右されます。

弾性の低い布と硬質の試料の組合せは、弾性の高い布と軟質の試料の組合せより、砥粒の摩耗が激しいことから、より多くの砥粒を供給する必要があります。



### 粒度 / 粒径

#### 使用する砥粒の粒度 (#) 又は粒径 ( $\mu\text{m}$ )

試料に過度の損傷を与えるのを避けるため、可能な限り小さい粒径で試料作成作業を開始します。作業が順々に行われる段階では、作成時間を最小にするため、工程毎の砥粒サイズの間隔をできるだけ広くして砥粒を選定します。

## 潤滑剤

### 冷却と潤滑に用いる液剤

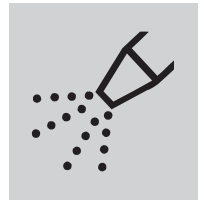
試料の材質や作業工程で、様々な潤滑剤が使い分けられます。ルーブリカント青と緑は高い冷却効果とスミアリングし難い効果がある低粘性の潤滑剤です。ルーブリカント青の溶媒がアルコールに対して、ルーブリカント緑は、水が主成分で一切のアルコールを含んでいません。ルーブリカント赤はスミアリングし易く、低冷却効果の特性があります。

高い材料研削率を求めるときは、ルーブリカント青や緑を用います。一方、ルーブリカント赤は軟質で延性の大きい材料の琢磨工程で使用されます。

潤滑剤と砥粒は、別々に供給されます。試料の材質と研磨 / 琢磨円板の種類に応じて、夫々異った量の潤滑剤と砥粒が供給しなければなりません。

一般に軟質の材料は、損傷を避けるために多めの潤滑剤を必要としますが、砥粒の消耗が僅かであるため、少量の砥粒ですみます。硬質の材料は、少量の潤滑剤ですみますが、砥粒の消耗が速いため、多めの砥粒を必要とします。

潤滑剤の供給量は、高品質の研磨状態になる様に正しく調整しなければなりません。琢磨布は湿った程度が最良で、濡れている状態でない様にします。余分の潤滑剤は試料と作業円板の間に厚い液体の層ができてしまい、作業円板から砥粒を流出させてしまいます。結果、材料研削率が低下してしまいます。



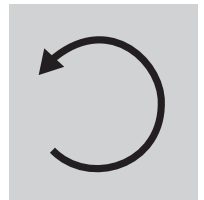
## 回転速度 (rpm)

### 研磨 / 琢磨円板の回転速度

PG 工程では、材料の研削を速く行うため、速い回転速度が用いられます。FG、DP と OP 工程では、研磨 / 琢磨円板と試料板は同じ回転速度が用いられます。また夫々の回転方向も同方向にしています。

(詳細の説明は、88 ページにある琢磨力学を参照)

遊離砥粒を用いた研磨などで、速い回転速度を用いると懸濁液を作業円板から飛散させてしまいますので、その結果大量の砥粒と潤滑剤が必要となってしまいます。





## 加圧力 (N)

試料板または単独試料を研磨 / 琢磨円板に押し付ける全体の力  
加圧力はニュートンで表わされます。試料作成法の中で示されている値は、試料板もしくは単独試料板に取付けられている30mm 径の試料 6 個に対するものです。試料は埋込済のもので、その面積は埋込材の面積の約 50%としています。

例えば、プレバマチック -2 やテグラフォース - 5 などで、試料を単独で作成する際、加圧力は条件表記載の数値を 1/6 に換算して試料毎に設定する必要があります。

もしこれより小型の試料であったり、試料板に取り付けられる試料数が少ない場合は、変形の様な損傷を避けるために加圧力を比例して減らします。

大形の試料については、加圧力を僅かに増し、代わりに作用時間を長くします。大きな加圧力は高い摩擦を生じさせる為、試料温度を上昇させ、熱損傷を発生させてしまいます。

詳細な説明については、次の項をご覧ください。



## 時間、分 (min)

試料の作成時間で、試料板が回転しながら、研磨 / 琢磨円板に押し付けられている間の時間

試料作成時間は分で示されます。浮彫や縁のだれの様な欠陥を避けるため、出来るだけ作成時間を短くします。

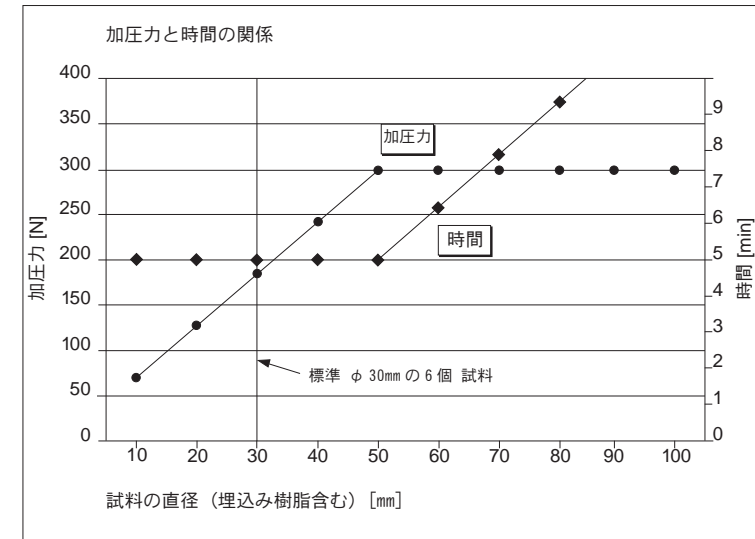
試料の大きさに応じて作成時間を調整する必要があります。

大きな試料では、時間を延長します。試料を 1 分毎に点検し、次の工程に進められるか判断します。

標準より小形の試料の場合は、時間は変えず、加圧力を減少します。

詳細な説明については、次の項をご覧ください。

## 試料作成条件の調整

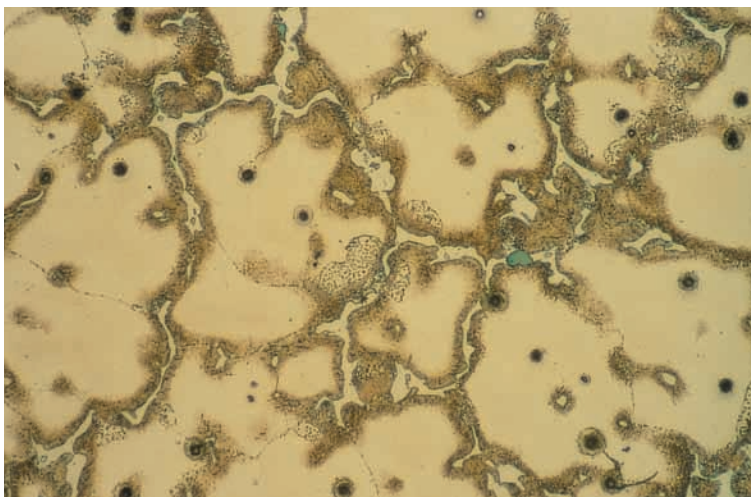


上記のグラフは、試料作成条件の調整について示すものです。垂直線は、30 mm 径試料が 6 個の場合、加圧力は概ね 180N で作成時間が 5 分であることを示しています。試料面積が異なる時 (X 軸の数値を参照) には、X 軸上で垂直線を左右に動かして照準させます。

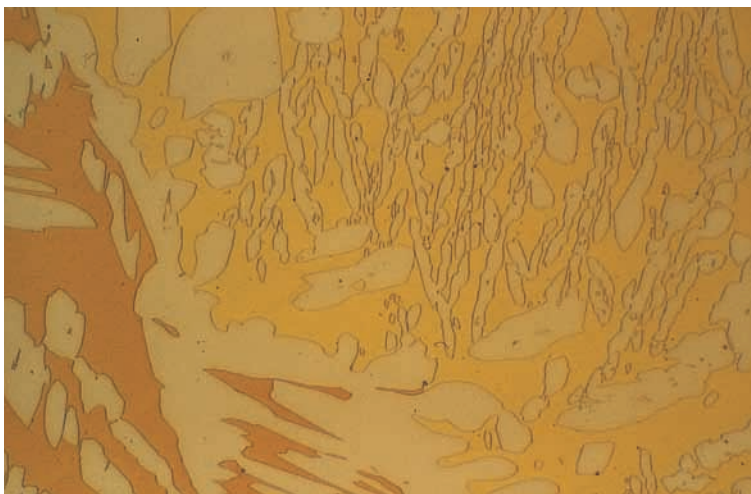
加圧力は、300N以上加えるべきではありません。大きい試料面積の場合、作成時間を延長させます。小さな試料面積でも作成時間は5分以下に減らすべきではありません。代わりに加圧力を下げます。メタログガイドに記載されている各作業工程での作業時間や加圧力は、試料の状況に則して、数値を変える必要があります。



Mg-AL 鑄造合金  
倍率：500x  
腐食液：  
モリブデン酸

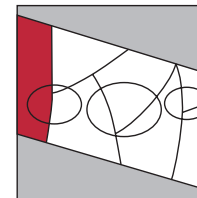


Cu58Zn42  
倍率：500x  
腐食液：  
クレムIII



## メタログメソッド

A



### 研 磨

作業工程	PG	FG
作業面	SiC-研磨紙	MD-Largo
砥粒	SiC	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	# 320	9 μm
潤滑剤	水	緑 / 青
[rpm]	300	150
加圧力 [N]	150	180
時間 [min]	平面まで	5

### 琢 磨

作業工程	DP 1	DP 2	OP
作業面	MD-Dur	MD-Mol	MD-Nap 又は MD-Chem
砥粒	DP-懸濁液	DP-懸濁液	OP-S又はOP-U
粒径	6 μm	3 μm	-
潤滑剤	緑 / 青	赤	-
[rpm]	150	150	150
加圧力 [N]	180	150	60
時間 [min]	4	3	1

#### 消耗品の仕様

必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の

#### 消耗品の仕様

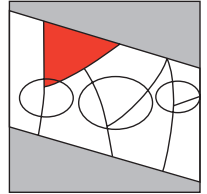
(101 ページ以降)へ

#### 試料作成法を改善するには？

第5章の

#### メタログ マスタ

(61 ページ以降)へ



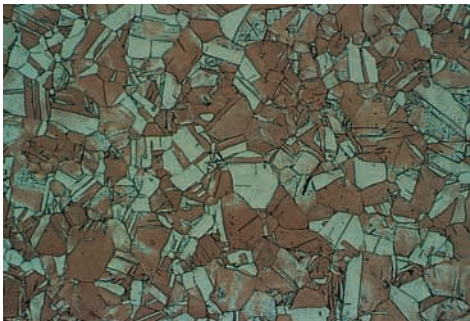
研 磨

作業工程	PG	FG
作業面	MD-Primo 220	MD-Largo
砥粒	SiC	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm
潤滑剤	水	緑 / 青
[rpm]	300	150
加圧力 [N]	120	180
時間 [min]	平面まで	5

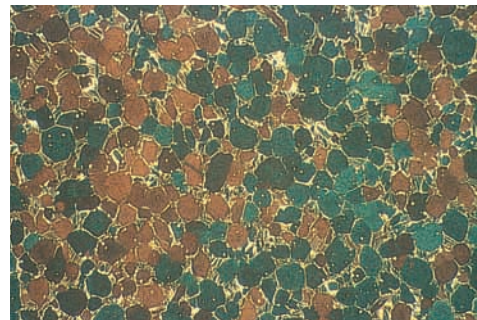
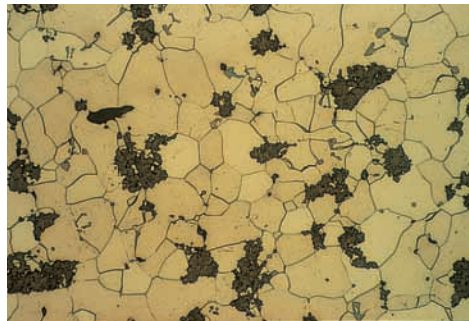
琢 磨

作業工程	DP	OP
作業面	MD-Mol	MD-Nap 又は MD-Chem
砥粒	DP-懸濁液	OP-S又はOP-U
粒径	3 μm	-
潤滑剤	赤	-
[rpm]	150	150
加圧力 [N]	150	60
時間 [min]	4	2

純銅  
倍率：50x  
腐食液：塩化銅アンモニウム



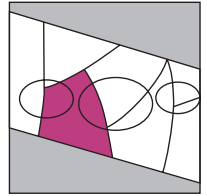
可鍛鉄鉄  
倍率：200x  
腐食液：ナイトール



チタン  
倍率：50x  
腐食液：NH<sub>4</sub>HF<sub>2</sub> 5%水溶液  
チタンや同性質の材料はメソッドBで作成されますが、DP工程は除きます。代わりにOP工程を2分間長くし、OP-Sに過酸化水素とアンモニア (OP-S 96ml、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2ml、NH<sub>3</sub> 2ml) を加えて用います。

**消耗品の仕様**  
必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の**消耗品の仕様** (102ページ以降)へ

**試料作成法を改善するには？**  
第5章の**メタログ マスタ** (62ページ以降)へ



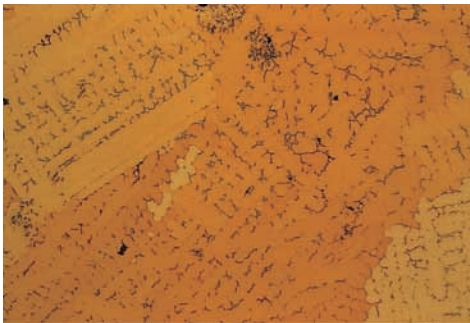
研 磨

作業工程	PG	FG
作業面	MD-Primo 220	MD-Largo
砥粒	SiC	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm
潤滑剤	水	緑 / 青
[rpm]	300	150
加圧力 [N]	120	180
時間 [min]	平面まで	5

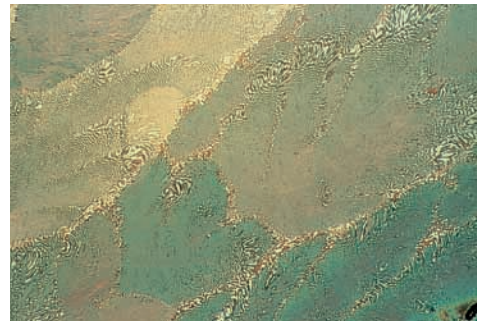
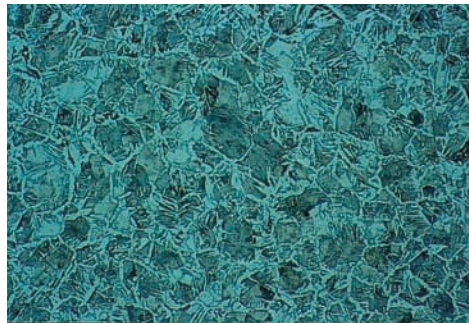
琢 磨

作業工程	DP	OP
作業面	MD-Dac	MD-Nap 又は MD-Chem
砥粒	DP-懸濁液	OP-S又はOP-U
粒径	3 μm	-
潤滑剤	緑 / 青	-
[rpm]	150	150
加圧力 [N]	180	60
時間 [min]	5	1

37% Zn-Cu 鍛造合金  
倍率：50x  
腐食液：クレムIII



中炭素鋼（過熱組織）  
倍率：200x  
腐食液：ナイトール

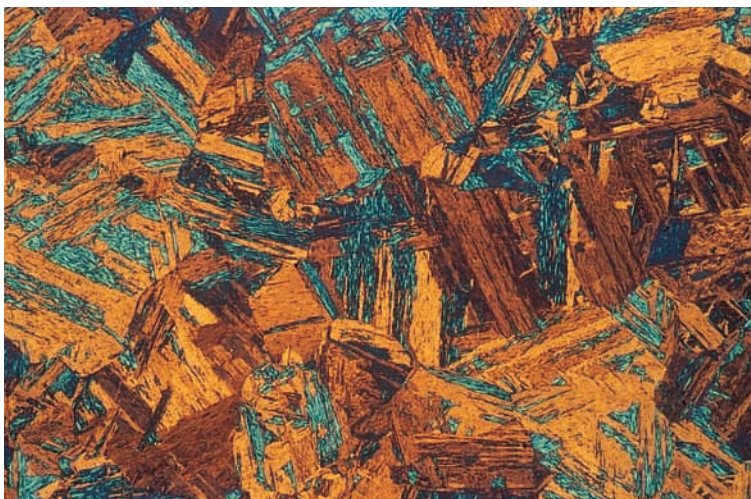


共晶 Cu 合金（8.4% P 含有）  
倍率：100x  
腐食液：クレムIII

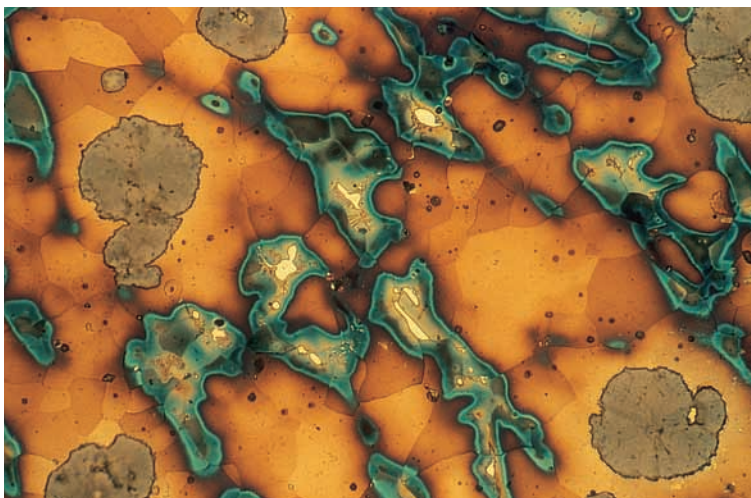
**消耗品の仕様**  
必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の**消耗品の仕様**（102ページ以降）へ

**試料作成法を改善するには？**  
第5章の**メタログ マスタ**（62ページ以降）へ

低炭素鋼  
倍率：100x  
腐食液：クレム I

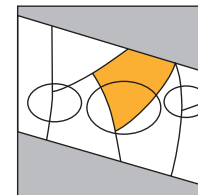


球状黒鉛鑄鉄  
倍率：50x  
腐食液：クレム I



## メタログメソッド

D



### 研 磨

作業工程	PG	FG
作業面	MD-Piano 220	MD-Allegro
砥粒	ダイヤモンド	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm
潤滑剤	水	緑 / 青
[rpm]	300	150
加圧力 [N]	180	180
時間 [min]	平面まで	4

### 琢 磨

作業工程	DP	OP
作業面	MD-Dac	MD-Chem
砥粒	DP-懸濁液	OP-A
粒径	3 μm	-
潤滑剤	緑 / 青	-
[rpm]	150	150
加圧力 [N]	180	90
時間 [min]	4	2

#### 消耗品の仕様

必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の

#### 消耗品の仕様

(102 ページ以降)へ

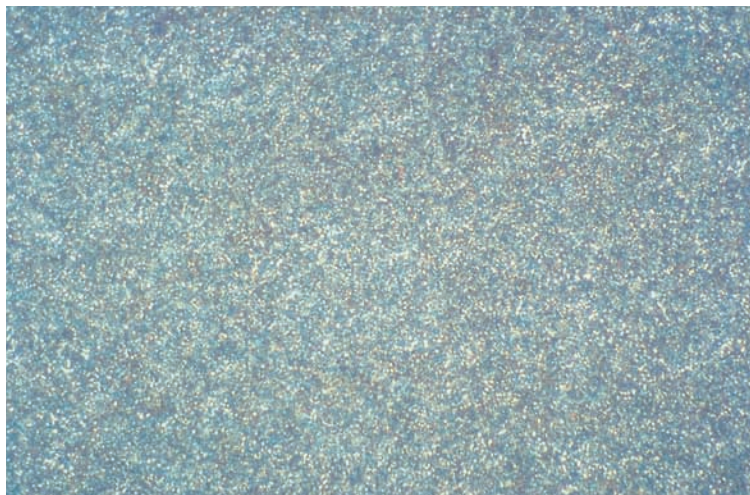
#### 試料作成法を改善するには？

第5章の

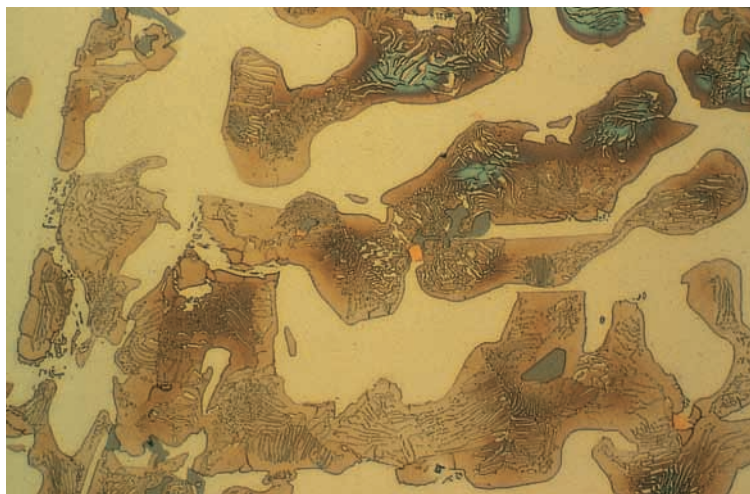
#### メタログ マスタ

(62 ページ以降)へ

100 Cr6 (JIS SUJ2)  
倍率：500x  
腐食液：ナイトール

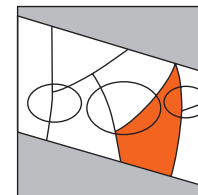


白鑄鉄  
倍率：500x  
腐食液：クレム I



## メタログメソッド

E



### 研 磨

作業工程	PG	FG
作業面	MD-Piano 120	MD-Allegro
砥粒	ダイヤモンド	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm
潤滑剤	水	緑 / 青
[rpm]	300	150
加圧力 [N]	180	180
時間 [min]	平面まで	4

### 琢 磨

作業工程	DP 1	DP 2	OP
作業面	MD-Dur	MD-Nap	MD-Chem
砥粒	DP-懸濁液	DP-懸濁液	OP-S又はOP-U
粒径	6 μm	1 μm	-
潤滑剤	緑 / 青	緑 / 青	-
[rpm]	150	150	150
加圧力 [N]	180	150	90
時間 [min]	4	3	1

#### 消耗品の仕様

必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の

#### 消耗品の仕様

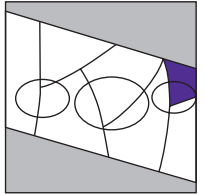
(102 ページ以降)へ

#### 試料作成法を改善するには？

第5章の

#### メタログ マスタ

(62 ページ以降)へ



研 磨

作業工程	PG	FG 1	FG 2
作業面	MD-Piano 120	MD-Allegro	MD-Largo
砥粒	ダイヤモンド	DP-懸濁液	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm	3 μm
潤滑剤	水	緑 / 青	緑 / 青
[rpm]	300	150	150
加圧力 [N]	180	210	210
時間 [min]	平面まで	5	5

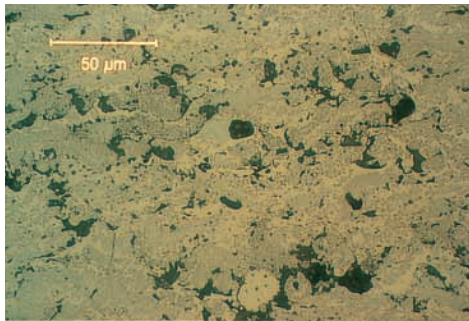
琢 磨

作業工程	DP	OP
作業面	MD-Dac	MD-Chem
砥粒	DP-懸濁液	OP-S又はOP-U
粒径	3 μm	-
潤滑剤	緑 / 青	-
[rpm]	150	150
加圧力 [N]	180	90
時間 [min]	5	2

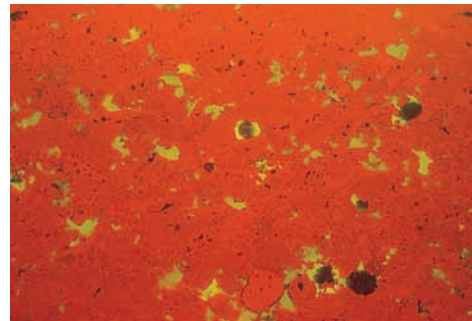
**消耗品の仕様**  
 必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の**消耗品の仕様**(102ページ以降)へ

**試料作成法を改善するには?**  
 第5章の**メタログ マスタ**(62ページ以降)へ

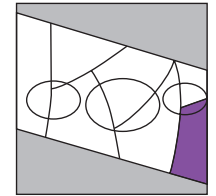
プラズマ溶射被覆、88/12 WC/Co  
 倍率：500x  
 明視野



同左写真(ほとんどの気孔にエポダイ着色のエポフィックス樹脂が充填されている。)  
 倍率：500x  
 蛍光照明



焼結炭化物  
 倍率：1000x  
 DIC (微分干渉コントラスト)

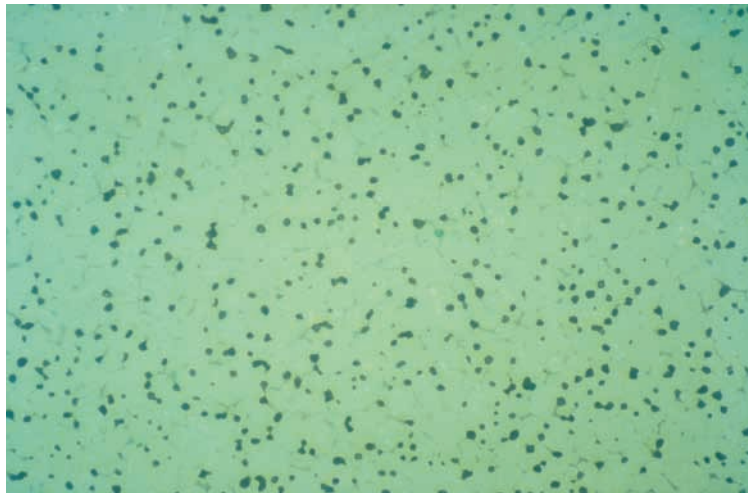


研 磨

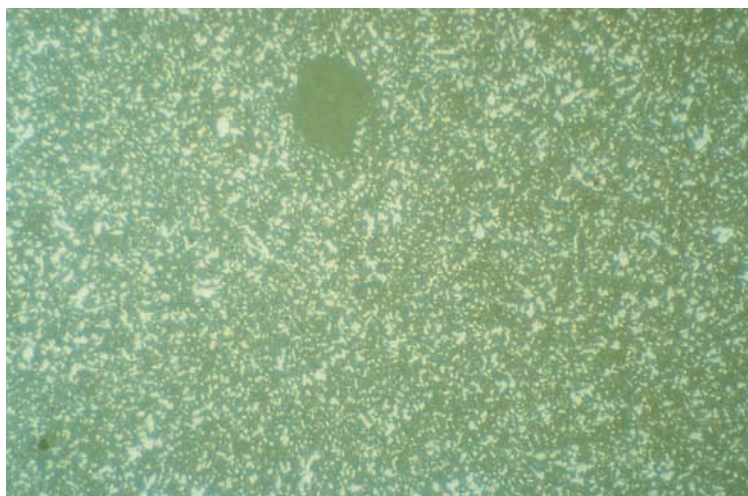
作業工程	PG	FG 1	FG 2
作業面	MD-Piano 120	MD-Allegro	MD-Largo
砥粒	ダイヤモンド	DP-懸濁液	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm	3 μm
潤滑剤	水	緑 / 青	緑 / 青
[rpm]	300	150	150
加圧力 [N]	180	210	210
時間 [min]	平面まで	5	10

琢 磨

作業工程	DP	OP
作業面	MD-Dac	MD-Chem
砥粒	DP-懸濁液	OP-S又はOP-U
粒径	3 μm	-
潤滑剤	緑 / 青	-
[rpm]	150	150
加圧力 [N]	180	60
時間 [min]	8	2



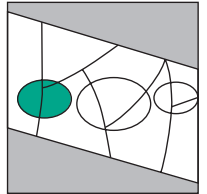
ZrO<sub>2</sub>  
倍率：200x



Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>  
倍率：500x

**消耗品の仕様**  
必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の**消耗品の仕様**(102ページ以降)へ

**試料作成法を改善するには？**  
第5章の**メタログ マスタ**(62ページ以降)へ



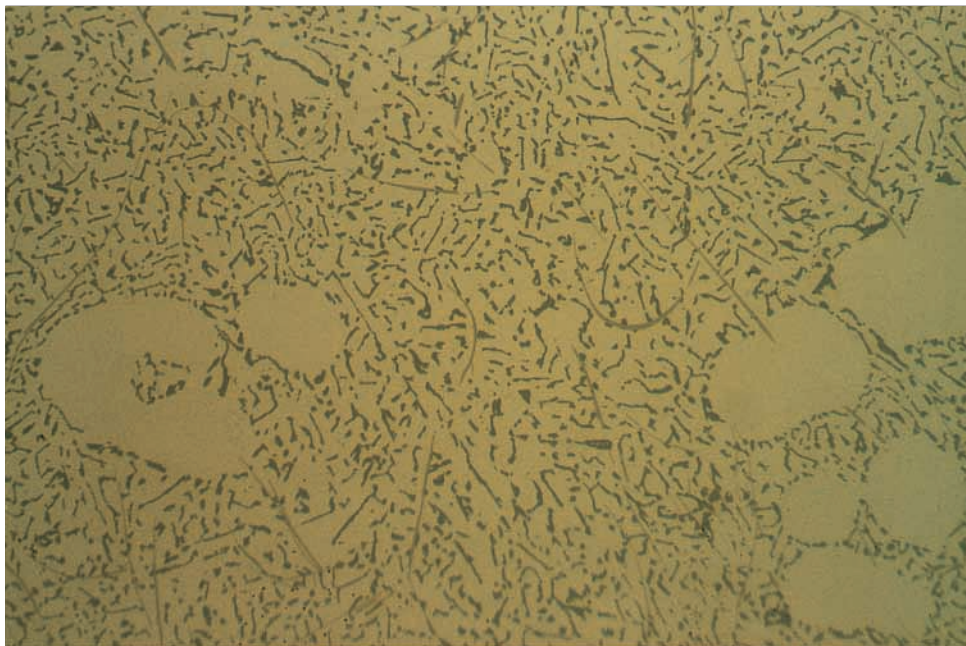
研 磨

作業工程	PG	FG
作業面	MD-Primo 220	MD-Largo
砥粒	SiC	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm
潤滑剤	水	緑 / 青
[rpm]	300	150
加圧力 [N]	120	180
時間 [min]	平面まで	5

琢 磨

作業工程	DP
作業面	MD-Nap
砥粒	DP-懸濁液
粒径	1 μm
潤滑剤	赤
[rpm]	150
加圧力 [N]	150
時間 [min]	3

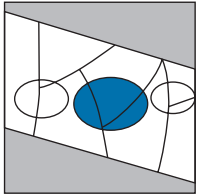
AL-Si 合金  
倍率：100x



**消耗品の仕様**  
必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の**消耗品の仕様**(102ページ以降)へ

**試料作成法を改善するには?**  
第5章の**メタログ マスタ**(62ページ以降)へ





研 磨

作業工程	PG	FG
作業面	MD-Piano 120	MD-Allegro
砥粒	ダイヤモンド	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm
潤滑剤	水	緑 / 青
[rpm]	300	150
加圧力 [N]	210	210
時間 [min]	平面まで	4

琢 磨

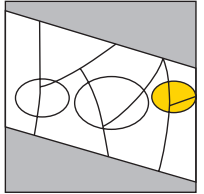
作業工程	DP
作業面	MD-Plus
砥粒	DP-懸濁液
粒径	3 μm
潤滑剤	緑 / 青
[rpm]	150
加圧力 [N]	180
時間 [min]	4

工具鋼  
倍率：200x  
腐食液：ナイトール



**消耗品の仕様**  
必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の**消耗品の仕様**(102ページ以降)へ

**試料作成法を改善するには？**  
第5章の**メタログ マスタ**(62ページ以降)へ



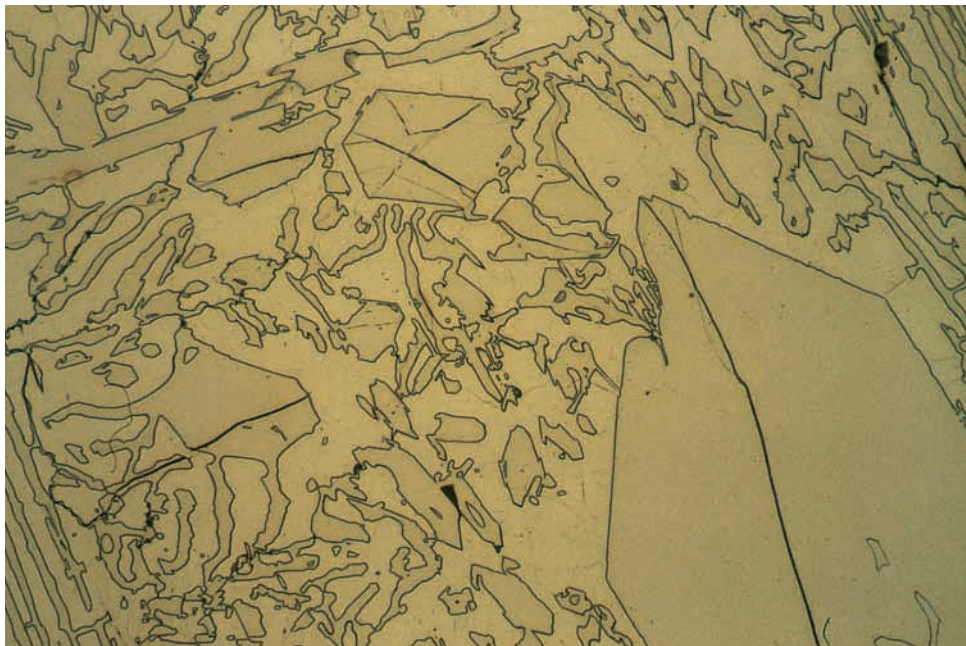
研 磨

作業工程	PG	FG
作業面	MD-Piano 120	MD-Allegro
砥粒	ダイヤモンド	DP-懸濁液
粒度/ 粒径	-	9 μm
潤滑剤	水	緑 / 青
[rpm]	300	150
加圧力 [N]	180	210
時間 [min]	平面まで	4

琢 磨

作業工程	DP
作業面	MD-Dac
砥粒	DP-懸濁液
粒径	3 μm
潤滑剤	緑 / 青
[rpm]	150
加圧力 [N]	180
時間 [min]	6

金属基材中の炭化物  
倍率：200x



**消耗品の仕様**  
必要な消耗品の仕様を素早く容易に探し出すには第6章の**消耗品の仕様**(102ページ以降)へ

**試料作成法を改善するには？**  
第5章の**メタログ マスタ**(62ページ以降)へ

### 3. 試料作成についての基本原理

工業材料の微細構造検査用の試料を作成する目的は、金属、セラミック、焼結炭化物、いかなる材質の試料でも、その**真の構造**を明らかにすることです。

この目的を簡単に達成するには、**系統的な試料作成法**を用いることです。通常の仕事で同じ材料を同じ条件で検査する際、毎回同じ品質が得られることが望めます。このことは試料作成の品質に**再現性**がなければならないことを表しています。ストルアス社の試料作成の理論は、次の4つの規準に基づいています。

#### 1. 系統的な作成法

試料の作成作業は、ほとんどの材料に適応できるルールに沿って行われます。

特性（硬度と延性）が同じ材料は、種類が異っていても類似した反応（振舞）を示すので、作成作業には同じ消耗品が必要となります。

従って、**メタログラム**では、総ての材料を所属している種類によらずに、その特性によって表わすこととなります。

消耗品については、その材質の振舞を判断し、科学的見地から考察され、その消耗品の最適用途が決められています。

この系統的な手法によって、**メタログ メソッド**と**メタログ マスタ**が得られ、これが**メタログ ガイド**の基礎となっています。**メタログ マスタ**では、簡単な質疑 / 応答を通して、高品質な試料を作成するためのアドバイスが書かれています。

#### 2. 再現性

一度或る試料作成法が確立され実行されれば、同じ材料に対して全く同じ品質が毎回得られなければなりません。この為には、標準で均質性のある高品質の消耗品を必要とします。また他に必須の要因として、次に示す作成作業上パラメーターを制御することが挙げられます。

回転速度と回転方向、  
試料に加えられる加圧力、  
砥粒と潤滑剤の種類と供給量、  
研磨時間。

作業に於けるこれ等の要因は、最終品質に大きく影響します。パラメーターの殆どは、自動制御機によってのみ調整・制御することができます。



#### 3. 真の構造

試料表面を検査する際、作成試料が正しい像を示していることが重要です。理想的には、次の要求項目が挙げられます。

変形のないこと、  
条痕のないこと、  
脱落のないこと、  
外来成分が含まれないこと、  
スミアリングのないこと、  
浮彫又は縁のだれのないこと、  
加熱による損傷のないこと。

然し、機械による試料作成でも、上記の要求事項と総て満たすことは不可能です。光学顕微鏡では見出すことのできない微細な構造上の損傷が残ってしまいます。しかし、このような微細な損傷が検査の結果に対して影響することはありません。

この様に、僅かの表面的な損傷だけが残っている完全に近い状態も、一般には**真の構造**と呼ばれています。



#### 4. 許容可能な品質

**真の構造**が必要となるのは極く僅かな場合だけです。多くの検査では、僅かの条痕や軽微な縁だれは問題になりません。**許容可能な程度の試料作成の品質**を得ることが必要です。仕上げられた表面は、夫々の解析に対し必要だと考えられる程度まで品質が良ければ十分です。必要以上の試料作成作業は、総経費を増やすだけです。



#### 経済効率の良い試料作成

仕上げ面についての要求事項から離れると、作成作業の総経費も重要になります。全試料作成工程中の試料作成時間、オペレーターの操作時間や消耗品の量が主要な要件になります。最も廉価な消耗品を用いれば、常に試料1個当りの費用が最低に抑えられるとは限りません。各消耗品の寿命と、それによって得られた表面の品質は、勿論関連しています。例えば、もしPG工程を材料研削率が高いことの理由だけで作業面を選んでしまった場合、次に続くFG工程は、PG工程で発生した過剰な変形のために延長させて研削しなければならないことがあります。全作成時間と費用を見積る場合、このようなことを考慮しなければなりません。

費用節減についての詳しい情報に関しては、弊社まで御連絡下さい。

## 4. メタログ プロセス

### はしがき

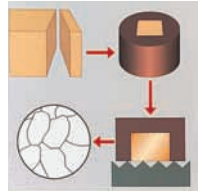
試料の作成作業は、数段階の作業に分かれて行われ、満足できる品質を確実に得るためには、夫々の段階を正しく実行しなければなりません。

**切断**、**埋込**と**機械研磨**の3段階の作業について、次に詳細に説明をします。

達成すべき品質がどのようなものであっても、再現性の高い品質を得るため、試料の作成作業は、系統的に行わなければなりません。

### 自動装置

3段階の作業総てにおいて、自動装置を用いると、最短の時間で、且つ最も経済的に高品質を得ることができます。





## 切断

材料の大きさや形状によっては、それを切断しなければならないことがあります。

切断では、次に行なう研磨を容易にしかも短時間で行うために、できる限り変形の少ない平坦な面にすることが要求されます。従って、最も適した切断法としては**湿式砥粒切断**が考えられます。この方法は所要時間の割に損傷の発生を最低に抑えられます。

**注意：切断した試料片は、母材の性質が示されている代表的なものでなければなりません。**

ストルアス社は、大形の材料が切断できる大容量切断機から、微細な材料が切断できる精密切断機まで、あらゆる種類の微細構造検査試料の切断に用いる機械を取り揃えています。これ等の切断装置には、自動機と手動機があり、材料の種類と能力についての様々な要求に対応することができます。



**アキュトム-50**は、卓上型の精密切断研磨機で、材料を正確に、また変形を抑えて切断できます。試料を回転及び揺動させる機能が搭載されています。0.005-3.00mm/秒の範囲で試料の送り速度を設定することができます。砥石の回転速度を5,000rpmまで100rpm毎に可変でき、5ミクロンの精度で試料位置決めと、限界加圧力の設定をおこなえます。

アキュトム-50の応用分野：  
すべての材料の正確な連続切断と  
薄片試料作成及び電子材料などの研削量制御



**エグゾトム-150**は、生産現場の環境下でも使用できる様に頑強に設計された切断機です。エグゾトム-150の高い切断能力と作業性の良い広い切断室があり、大形の材料もしくは大量試料の切断を可能にします。

独自のエクシカット機能で、素早い湿式切断を行い、砥石の消耗を抑え、平滑で切断損傷の少ない切断面に仕上げます。

オプションのアキシオカット装置を搭載すれば、更に大形の材料を切断できます。2つのシンプルな操作装置だけで全ての制御ができ、非常に簡単な操作になっています。

## 湿式砥粒切断

湿式砥粒切断では、砥粒と結合剤で構成される切断ホイールを使用します。

摩擦熱によって試料が損傷を受けるのを避けるため冷却液をホイールに掛けます。冷却液には切断部から切断屑を取除く作用もあります。

## 切断ホイールの選択

切断をする材料に応じ、異なる種類のホイールが必要になります。切断ホイールの選択は、材料の硬度と延性によります。セラミックや焼結炭化物には、メタルボンド又はベークライトボンドのダイヤモンドホイールで切断します。鉄鋼材料に対しては、ベークライトの結合剤を用いた酸化アルミニウム ( $Al_2O_3$ ) ホイールを用いるのが一般的です。立方晶窒化硼素 (CBN) ホイールも、高硬質の鉄鋼材料に使われます。非鉄金属には、ベークライトを結合剤とした炭化珪素 (SiC) ホイールで切断します。

## ホイールの設計

砥粒の種類を別とすれば、ダイヤモンド／CBN ホイールと SiC /  $Al_2O_3$  ホイールとの根本的な違いは、その設計にあります。ダイヤモンド／CBN ホイールは、その砥粒が極度に硬いことから、砥粒を保持するために耐久性の高い結合剤を用いていることから、長期にわたり性能を発揮できます。砥粒を含む薄い層だけが金属円板（連続リム）の周囲に取り付けてあります。これは長期消耗型のホイールです。他の砥粒、SiC と  $Al_2O_3$  は急速に消耗してしまいますが、廉価です。従ってホイールの全体が砥粒と結合剤で構成されています。これは消耗型ホイールと呼ばれます。

## ホイールの特性

### 1. 長期消耗型ホイール（第1図）

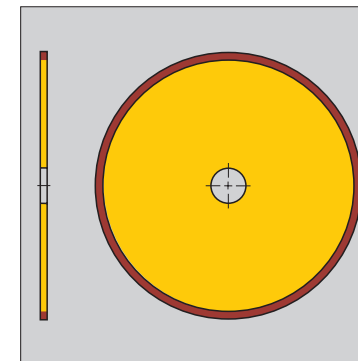
ダイヤモンドホイールは、砥粒の結合剤により2種に分かれます。メタルボンドによるものとベークライトボンドによるものです。共に極度に硬い材料の切断に用いられます。メタルボンドは、セラミックの様に脆性質材料に用いられます。ベークライトボンドは、焼結炭化物等の材料に用いられます。CBNホイールは、ベークライトボンドのみが用いられ、白鉄鉄の様な高硬度の鉄鋼材料の切断に用いられています。

### 2. 消耗型ホイール（第2図）

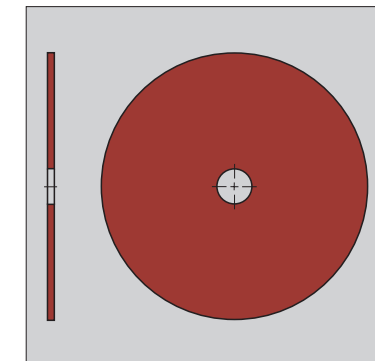
このホイールの切断特性は、結合剤の性質によって変わります。結合剤はその「硬さ」の度合すなわち砥粒粒子がホイールに保持されるか脱粒するかの度合で分類されます。「硬い」ホイールは、「軟い」ホイールに比べ砥粒を保持する能力に優れています。「軟い」ホイールは、切断箇所ですぐ結合剤が崩れるにつれて、新しい鋭利な砥粒が連続的に現れることから、硬くて脆い材料の切断に用いられます。「硬い」ホイールは、軟く延性の材料を切断する場合に用いられます。これに加え、硬い結合剤のホイールは、摩耗しにくいことから、経済性にも優れています。

個々の材料に対し正しい切断ホイールを選ぶことは極めて重要です。適切なホイールを使用すれば、変形を抑え、平坦な切断面にできます。切断面が良好であれば、後に続く研磨作業をよりスピーディーに行うことができます。

第1図



第2図



# 切断ホイールの選定

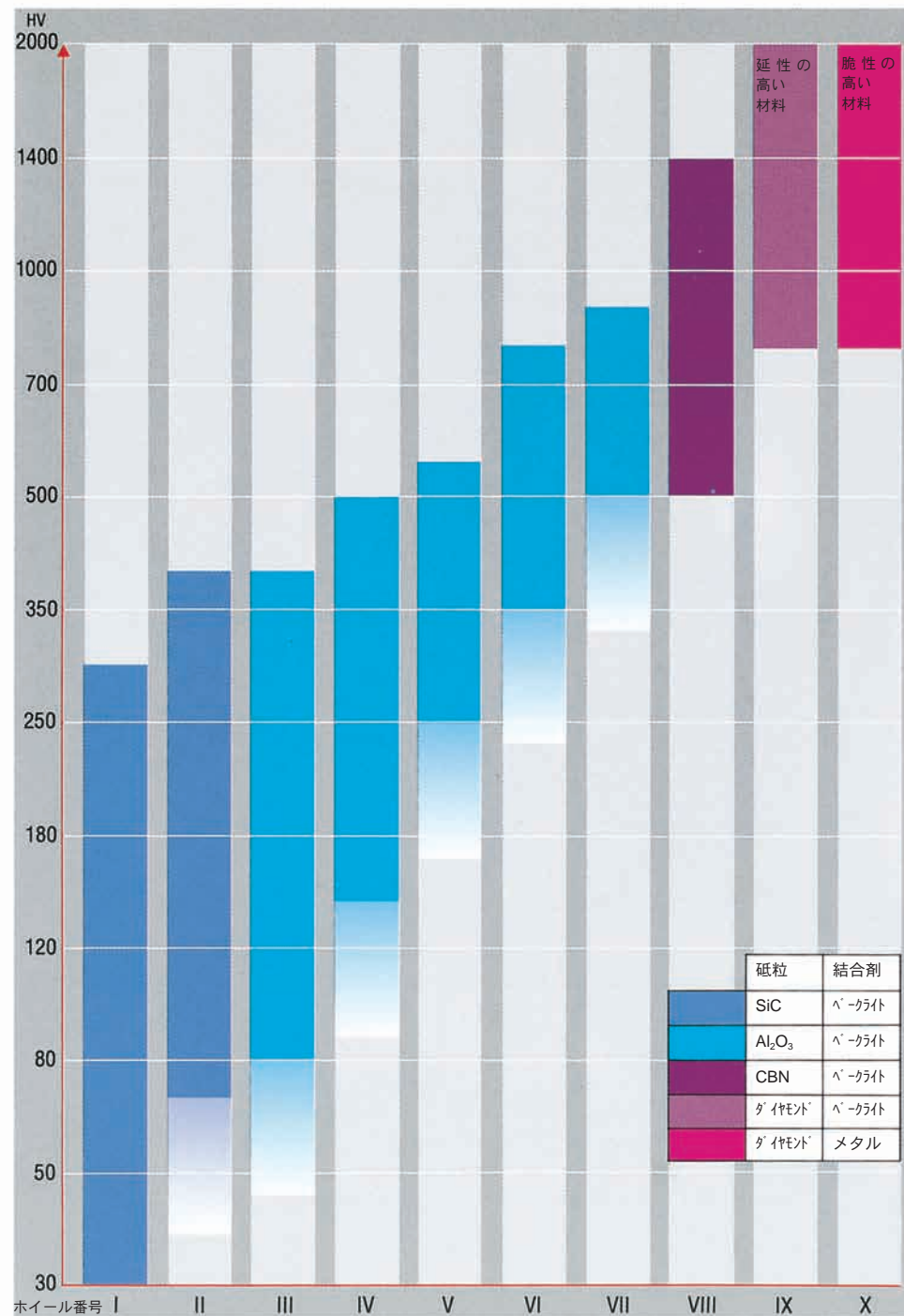
	切断機	エグゾトム -100/-150	アキシトム	ディスコトム -50/-60/-65	ディスコトム-5/-6 ラボトム-3	セコトム-10	アキュトム -5/-50	ミニトム
ホイール 番号	用途	コード	コード	コード	コード	コード	コード	コード
	プラスチック 超軟質材						SAW13** (旧370SA)	
I	非鉄系軟金属	10S43	10S35	10S30	10S25	10S20	10S15	M1D13 (旧331CA)
II	高延性金属 (Ti)	20S43	20S35	20S30	20S25	10S20	10S15	M1D13 (旧331CA)
III	軟質鉄鋼材料	30A43	20A35	30A30	20A25	30A20	30A15 40A15	B0C13* (旧355CA)
IV	中軟鉄鋼材料	30A43	30A35	30A30	30A25 33A25(薄刃)	30A20	30A15 40A15	B0C13* (旧355CA)
V	中硬鉄鋼材料	40A43 42A43(繊維強化)	40A35	40A30	40A25 46A25(3D)	50A20	50A15	B0C13* (旧355CA)
VI	硬質鉄鋼材料	50A43 52A43(繊維強化)	50A35 56A35(3D)	50A30	50A25 54A25(手動) 56A25(3D)	50A20	50A15	B0C13* (旧355CA)
VII	高硬鉄鋼材料	60A43 62A43(繊維強化)	60A35 66A35(3D)	60A30	60A25 66A25(3D)	B0C20* (旧655CA)	50A15	B0C13* (旧355CA)
VIII	極硬鉄鋼材料	B0C41* (旧108MA)	B0C36* (旧88EXO)	B0C31* (旧58UNI)	B0C25* (旧38TRE)	B0C20* (旧655CA)	B0C15* (旧455CA)	B0C13* (旧355CA)
IX	焼結炭化物 硬質セラミックス	B0D35 (旧26EXO)	B0D35 (旧26EXO)	B0D31 (旧25EXO)	B0D25 (旧24TRE)	B0D20 (旧652CA)	B0D15 (旧452CA)	B0D13 (旧352CA)
X	鉱物と セラミックス	M0D35 (旧85EXO)	M0D35 (旧85EXO)	M0D31 (旧55UNI)	M0D25 (旧25TRE)	M0D20 (旧630CA)	M0D15 (旧430CA)	M0D13 (旧330CA)

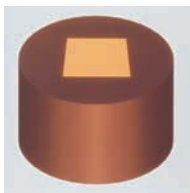
\* 砥粒：CBN

\*\* 鋸刃

切断ホイールの選定：

- 次のページにある図で、Y軸の上を切断する材料の硬度の位置まで上方に移動します。
- 右方に進み、合致する切断ホイールと交わらせます。  
若し1種類のみ材料を切断するのであれば、その材料の硬度値が対応硬度範囲の中央にくるような切断ホイールを選びます。  
2種以上の材料の場合は、全ての硬度に対応できるホイールを選びます。  
下方の色を薄くしてある柱は、更に低い硬度の材料にも使用できることを示しています。  
然し、この選択ではホイールの消耗が速く、非常に不経済ですので、例外的な場合のみ使用します。
- 各ホイールの番号（I - X）を読みとり、使用している切断機に用いる適正なホイールのコードが上の表から見出されます。





## 埋 込

取扱いを容易にしたり研磨の品質を改善するため、試料を樹脂の中に埋込みます。試料の縁を残したり、皮膜を保護する必要がある試料でも、埋込みが必要となります。

**注意：試料を最高品質にするため、試料は埋込の前に洗浄しておく必要があります。樹脂と試料との接着を良くするため、試料表面の油脂やその他の汚染物質を取り除きます。**

ストルアス社ではあらゆる規模用途にあわせた埋込プレスを取り扱っています。大中規模の試験室用としてシトプレス-10と埋込ユニットを2基搭載したシトプレス-20、小規模の試験室用としてシトプレス-1を推奨します。全ての埋込プレスには、25mm (1") から 50mm (2") 径のシリンダーが使用できます。



シトヴァック、多孔質材料の埋込と含浸に用いる真空含浸装置



シトプレス-20は、柔軟性と再現性を兼ね備えた埋込みプレスです。プロセス制御で、操作が簡単です。



## 埋込方法

高温加圧埋込（熱間埋込とも呼ばれます）と冷間埋込の2種の埋込方法があります。樹脂の種類だけでなく目的に応じて使い分けられます。

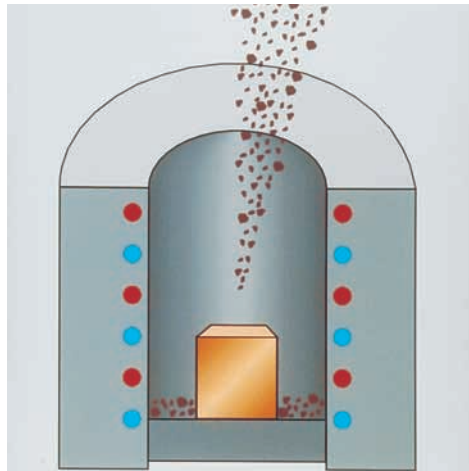
54 ページにある表に、夫々の樹脂の特性が示してあります。熱間埋込と冷間埋込の選択が簡単に行える様に、これ等の埋込方法の説明をします。

## 熱間埋込

試料は埋込プレスの中に置かれ（下図参照）、樹脂が加えられ、加熱高圧の下で処理されます。

熱間埋込樹脂には2種のものがあります。

1. **熱硬化性樹脂**は温度上昇で硬化します。これは**デュロプラスチック (Duroplastics)**とも呼ばれます。
2. **熱可塑性樹脂**は、温度上昇で軟化したり溶解したりしますが、冷却により硬化します。  
熱硬化性樹脂は高温で取出すことが可能ですが、埋込体を加圧下で冷却することを奨めます。これによって、収縮が抑えられ樹脂と試料との接着を良好に保つことができます。ストルアス社のプレスはすべて、埋込時間が最短となるように、水冷方式を用いています。



## 熱間埋込樹脂

樹脂名	用途	特性	材質
コンデュファスト	電解研磨	導電性 収縮性 極低	鉄粉充填剤含有アクリル樹脂 熱可塑性、ねずみ色
クラロファスト	透明埋込 多孔質材料 コンデュファスト用電解研磨 試料面の絶縁材	透明 収縮性 中	アクリル系樹脂 熱可塑性
ポリファスト	縁辺の保持	収縮性 極低 耐摩耗性 中	カーボン系充填剤含有フェノール樹脂 熱硬化性、黒色
	走査型電子顕微鏡 (SEM) 検査用	導電性 真空中で低放出	
イソファスト	縁辺の保持 平坦度	収縮性 低 耐摩耗性 大	ガラス繊維系充填剤含有 フタル酸ジアリル系樹脂 熱硬化性、緑色
デュロファスト	縁辺の保持 平坦度	収縮性 極低 密着性 優 耐摩耗性 極大	鉱物質充填剤含有Eポキシ系樹脂 熱硬化性、黒色
マルチファスト	連続埋込 バックアップ樹脂	収縮性 低 耐摩耗性 中	木粉充填剤含有フェノール系樹脂 熱硬化性、黒色
マルチファスト (緑)	連続埋込 カラーマーキング	収縮性 低 耐摩耗性 中	木粉充填剤含有フェノール系樹脂 熱硬化性、黒色
マルチファスト (赤)	連続埋込 カラーマーキング	収縮性 低 耐摩耗性 中	木粉充填剤含有フェノール系樹脂 熱硬化性、黒色
プレマウント	単純形状試料の連続埋込	取扱容易 収縮性 低 耐摩耗性 中	木粉充填剤含有タブレット状 フェノール系樹脂 熱硬化性、黒色

硬化時間	径25 mm (1")	径30 mm (1¼")	径40 mm (1½")	径50 mm
加熱/冷却時間	分	分	分	分
コンデュファスト	2 / 1	2.5 / 1	3.5 / 1.5	4 / 2
クラロファスト	3 / 6	3 / 6	4 / 6.5	4.5 / 8
ポリファスト	2.5 / 1.5	3 / 1.5	4 / 2	5 / 2
イソファスト	3 / 2	3.5 / 2	4 / 2.5	4.5 / 3
デュロファスト	3 / 2	3 / 2	4 / 2.5	5.5 / 3
マルチファスト	3 / 2	3 / 2	4.5 / 3	5.5 / 4
マルチファスト (緑)	3 / 2	3 / 2	4.5 / 3	5.5 / 4
マルチファスト (赤)	3 / 2	3 / 2	4.5 / 3	5.5 / 4
プリマウント	3 / 2	3 / 2	4.5 / 3	—

(シトプレス) 加熱時間は180℃です。加熱及び冷却時間は、試料の表面積が大きくそして熱伝導率が大きくなれば短くなります。

## 冷間埋込

試料を埋込み型の中に置きます。(下図参照) 冷間埋込樹脂の2、3種の構成成分を、体積比又は重量比で正しく計量します。これ等をよく攪拌し、試料を入れた埋込み型に試料を覆う様に注入します。

3種の冷間埋込樹脂が利用されています。

### 1. エポキシ樹脂

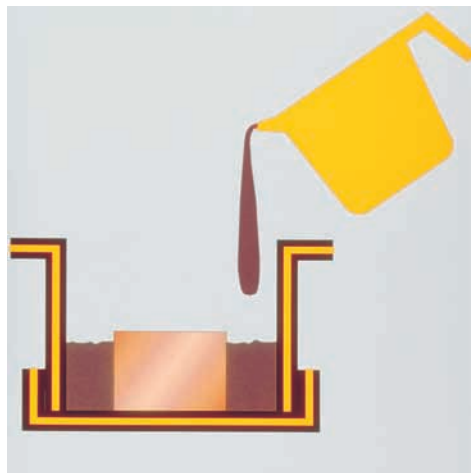
エポキシ樹脂は、総ての冷間埋込樹脂の中で収縮が最小です。その硬化時間は比較的長いですが、多くの材料に対する接着性は優秀です。またエポキシ樹脂は真空含浸に用いられます。エポキシ樹脂は、正しい割合の混合で、化学反応して重合します。硬化したエポキシ樹脂は耐久性樹脂で、通常の熱や薬品には犯され難いです。

### 2. アクリル樹脂

アクリル樹脂は、硬化時間が短かく収縮も無視できる程度で、使い易い樹脂です。これは触媒の添加で硬化をする自己重合型の成分で構成されております。硬化したアクリル樹脂は、熱可塑性で耐薬品性があります。

### 3. ポリエステル樹脂

ポリエステル樹脂は、アクリル樹脂と同様に触媒型の樹脂です。硬化時間は比較的短かく、硬化した試料は耐久性樹脂です。



## 冷間埋込樹脂

樹脂名	材質	特徴	硬化時間	埋込み型
スベシフィックス-20	エポキシ系	真空含浸 多孔質試料 鋳物試料	8時間	ウノフォーム
スベシフィックス-40	エポキシ系	真空含浸 多孔質試料 鋳物試料	3.5時間 (50℃雰囲気)	ウノフォーム
エポフィックス	エポキシ系	真空含浸 多孔質試料 鋳物試料	12時間	ウノフォーム
デュロシット	鋳物質充填剤含有 アクリル系樹脂	連続埋込 縁辺の保持 異形試料	20分	フレキシフォーム セリフォーム
ピアフィックス	アクリル系	連続埋込 異形試料	20分	フレキシフォーム セリフォーム
クラロシット	アクリル系	連続埋込 異形試料	20分	フレキシフォーム セリフォーム
ベルソシット	アクリル系	連続埋込 異形試料	10分	フレキシフォーム セリフォーム
セリフィックス	ポリエステル系	連続埋込	45分	フレキシフォーム セリフォーム

## 埋込方法の選定

試料の数量と要求される品質に応じて、2種の埋込方法で夫々の長所があります。

**熱間埋込**は、多数の試料が、試験室に次々と送られて来る場合に理想的な方法です。埋込まれた試料は高品質且つ一様な形状寸法をもち、作業時間も短くて済みます。

**冷間埋込**は、同時に多くの様々な試料が送られて来た場合に適しています。また個別に埋込む試料の場合にも適します。一般に、熱間埋込樹脂は冷間埋込樹脂に比べ廉価です。但し、熱間埋込には埋込プレス機が必要となります。

冷間樹脂の中には、真空含浸作業ができるものがあります。

## 真空含浸

セラミックスや溶射皮膜の様に多孔質の試料では、真空含浸が必要となります。表面に通じている気孔は、総て樹脂で充填されます。従って、このような脆い材料を樹脂によって補強することができます。脱落、亀裂或いは気孔のある試料の作成作業による欠陥を最小限に抑えます。

エポキシ樹脂だけが、低蒸気圧であり、低粘度であるために真空含浸に用いることができます。蛍光染料のエポダイは、エポキシ樹脂と混合して用いられ、樹脂で充填されている気孔は蛍光照明の下で簡単に識別することができます。

## 埋込材料

### 特性 用途/特性

熱 間	コンデューFAST	クワFAST	ホリFAST	イFAST	デュFAST	マルチFAST	プレキャスト
硬化時間 20分以内	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
取扱い容易さ							✓
縁辺の保持			○	x	x		
電解研磨	✓						
SEM			✓				
硬さ				✓	✓		
鋳物系充填剤					✓		
平坦度			○	x	x		
皮膜の保護			○		x		
透明		✓					
耐摩耗性				x	x		

材料全般用

軟質材用 (<HV 400)

硬質材用 (>HV 400)

冷 間	スプレックス -20	スプレックス -40	エポックス	デュロシット	ビエックス	クワシット	マルチシット	セリアックス
硬化時間 < 20 min.				✓	✓	✓	✓	
硬化時間 < 4 h.		✓						✓
硬化時間 > 4 h.	✓		✓					
縁辺の保持	○	○	○	x				
硬さ				✓				
低硬化温度	✓		✓					
鋳物系充填剤				x				
平坦度	○	○	○	x				
皮膜の保護	✓	✓	✓	✓				
半透明							✓	
透明	✓	✓	✓		✓	✓		✓
真空含浸	✓	✓	✓					
耐摩耗性				✓				
エポダイの 使用	✓	✓	✓		✓	✓		
アクリダイの 使用					✓	✓	✓	

材料全般用

軟質材用 (<HV 400)

硬質材用 (>HV 400)

# 機械研磨

## はしがき

機械研磨は、顕微鏡検査に用いる微細構造検査用試料の最も一般的な作成法です。砥粒粒子の粒度を順に細くする段階的な作業で、希望する表面状態が得られるまで、表面から材料を削り取るのに用いられています。

第3章ストルアス社の試料作成についての基本原理で説明しました様に、完全な仕上、即ち**真の構造**を得るまで試料作成作業が進められます。又は、試料面が特定の検査に対して許容できる程度の品質で、研磨作業を終了することもできます。

試料の解析や検査の種類によって、試料面に求められる品質が決まります。試料作成の到達すべき目標が何れであれ、研磨作業は、系統的に且つ最低限の費用で最高の品質が確実に得られる様な方法で実施されなければなりません。

## 作業工程の定義

機械研磨には**研磨**と**琢磨**の2種の作業工程があります。両工程についての更に詳しい理論的説明は、第5章メタログ マスタを参照下さい。

ストルアス社では様々な規模や種類の機械研磨装置を開発しています。作成能力、試料品質や試料の再現性などのご要望に対応できる研磨装置を取り揃えています。

メタログ ガイドの研磨条件表は自動機の条件として開発されています。今までの経験から試料の再現性や高い品質は、自動制御と密接に関係していると分かっています。更に、自動制御により消耗品の消費量が管理され、費用節減につながります。ストルアス社の装置と消耗品を組合せて用いれば、試料1個当りの費用を抑えられ、しかも最高の品質が得られます。

ストルアス社では、作成能力、試料の品質や再現性などすべてのご要望に対応できるよう様々な機種を用意しています。小規模のラボだけでなく大規模なラボや、多試料を処理できる全自動研磨装置から半自動研磨 / 琢磨機および手研磨機まで対応します。

**プレパマチック-2** 全自動研磨装置で、特に高い再現性が求められるラボに最適です。



頑強に設計された**アブラ**・シリーズは、試料処理数が極めて多い場合に最適です。



**テグラシステム**は、機器を組み合わせることができ、広範囲の用途に用いられる研磨装置です。



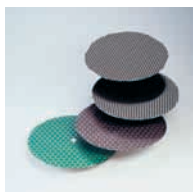
**ラボシステム**は、試料数の少ないラボ向けです。



**MDシステム**とは、磁気固定のできる研磨板と琢磨布の製品ラインアップです。φ 200 mm、φ 250 mmおよび φ 300 mmの円板サイズがあり、研磨板や琢磨布の裏に磁石で付けられる金属板が付けてあります。研磨 / 琢磨機のマグネット回転円板上で、試料作成工程に使用する作業面を簡単に交換できます。MDシステムにある研磨板を用いることで、研磨の工程数を減らせます。SiC研磨紙の粒度を順次細かくして研磨する工程を典型的な2工程だけに減らせ、試料作成時間を短縮できます。同時に試料の仕上がり品質が、SiC研磨紙に比べ驚くほど改善します。

### MDシステムの特徴

- ・ 作業性が良く、作業面の交換が容易。
- ・ 琢磨布を貼り付ける際の空気混入や皺が発生しない。
- ・ メンテナンスの低減。
- ・ 作業工程数を減らせ、作業時間を短縮。
- ・ 一定した高い材料研削率。
- ・ 縁だれ、浮き彫りやスミアリングがなく、平坦性の良い試料が可能。



### マグネット回転円板

**MD-ディスク**とは、すべての作業面に対応するマグネット回転円板です。全工程の作業面は一枚の円板だけで済みます。作業円板の保管スペースを取らず、経費の節減にもなります。



### 粗研磨用作業面

粗研磨用の作業面として3種のディスク（作業面）が用意されています。**MD-プリモ**は、SiC砥粒を用いたレジンボンドのディスクです。このディスクは、硬度HV40～150の軟質非鉄材に使用できます。**MD-ピアノ**は、ダイヤモンド砥粒を用いたレジンボンドのディスクで、硬度HV150以上の材料に使用できます。これらディスクは、一定の材料研削率を保持し、耐久性のある作業面です。このディスクの寿命はSiC研磨紙で換算すると、約60枚から100枚分の使用に匹敵します。



**MD-フォルテ**は、ダイヤモンド砥粒を用いたニッケルボンドのディスクです。ニッケルボンドは、レジンボンドより強力で、MD-ピアノに比べ寿命が長く、硬度HV40以上のすべての材料の粗研磨工程に使用できます。これら粗研磨用ディスクは水をループリカントとして用い、手研磨でも自動研磨でも使用できます。

### 精研磨用作業面

**MD-ラルゴ**と**MD-アレグロ**は、精研磨を1工程で行うことのできる合成ディスクです。MD-ラルゴは、硬度HV40～150の軟質材に用いられ、複合材の精研磨にもお勧めします。MD-アレグロは、硬度HV150以上の材料に使用します。何れのディスクもダイヤモンド懸濁液もしくはスプレーで砥粒を供給し、ループリカントで潤滑させて精研磨を行います。

**MD-ピアノ #1200**は、ダイヤモンド砥粒を用いたレジンボンドの精研磨ディスクです。硬度HV150以上の材料に使用できます。MD-ピアノ #1200は手研磨にも適しています。作業の際には、水をループリカントとして使用します。

### 琢磨作業面

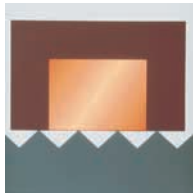
**MD-クロス**は、布素材の種類が豊富で、すべての琢磨工程に対応しています。MD-クロスを使用すれば、各琢磨工程ごとの煩わしい円板交換を省き、琢磨布の張り替え時に発生する円板と琢磨布との間に入り込む空気や皺の心配がいりません。

### ディスク保管用のキャビネット

試料作成用の作業ディスクを保管するための回転式キャビネットで、**MD-コンサート**と**MD-コンチェルティーノ**と呼ばれます。この保管用キャビネットは、作業ディスクを効果的に乾燥させ、外部からの異物混入を防ぐことができます。

### 適用範囲

硬度 HV	30	50	80	120	180	250	350	500	700	1000	1400	2000	
面出し研磨	MD-Primo					MD-Piano							MD-Forte
精研磨	MD-Largo											MD-Allegro	MD-Piano 1200, 600
琢磨	MD-Cloths												



## 研 磨

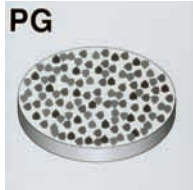
### はしがき

試料研削作業の中で、最初の段階は研磨と呼ばれます。正しい研磨をすれば、損傷や変形をうけた試料表面を除去でき、研磨によって導入される新しい変形を極く限られた量に抑えることができます。この工程の狙いは、その損傷を琢磨工程で可能な限り短時間で又簡単に除去できるように最小に抑え、平坦な試料面を得ることです。

研磨作業は、2種の作業工程に分けられます。

面出し研磨、**PG (Plane Grinding)**

精研磨、**FG (Fine Grinding)**



### PG

最初の研磨段階を面出し研磨PGと呼びます。面出し研磨によって、試料の初期状態や前処理状態に関係なく、すべての試料面が一様な状態になるように研磨されます。また固定試料板に取付けられた数個の試料を研磨する際は、この工程で試料面をすべて同じ高さに合わせる必要があります。この作業を“面出し”といわれます。

試料を素早く研削するため、粗い固定砥粒が用いられます。

試料材質によって、異った種類の砥粒が使われます。

SiC砥粒は、主に軟質材料 (HV150以下) の面出し研磨用として使用されます。MD-プリモにSiC砥粒が用いられています。

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>砥粒は、鉄鋼材に用いられている研磨材です。

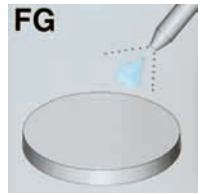
ダイヤモンド砥粒は、硬度の高い鉄鋼材、セラミックスあるいは焼結炭化物などの硬度HV150以上の材料に使用される研磨材です。MD-ピアノにダイヤモンド砥粒が用いられています。

一方、単独試料の場合、MD-アレグロやMD-ラルゴを精研磨工程で用いれば、PG工程を必要としない場合があります。

### FG

精研磨によって、試料面を琢磨作業で除去できる程度の僅かな変形が残った状態にします。低硬度材 (硬度HV150以下) や軟質母材の複合材の場合は、MD-ラルゴが用いられます。高硬度材 (硬度HV150以上) の場合は、MD-アレグロが用いられます。

MD-ラルゴとMD-アレグロは、共にダイヤモンド研磨材を用いて作業が行われます。ディスクの特有な表面は、ダイヤモンド砥粒が保持されるようになっています。作業面でダイヤモンド砥粒がしっかり固定された部分では、高い研削率で材料への損傷を低く抑えられながら試料が研削されます。同時にMD-アレグロとMD-ラルゴは、試料の平坦性を確保し、最低限のメンテナンスで作業が行えます。





## 琢 磨

琢磨作業の場合も、研磨作業と同様に、前工程で生じた損傷を除去しなければなりません。順に細い粒径の砥粒を段階的に用いることで琢磨が行われます。

琢磨は2種の作業工程に分けるられます。

ダイヤモンド琢磨、**DP** (Diamond Polishing)

酸化物琢磨、**OP** (Oxide Polishing)



### DP

ダイヤモンド砥粒は、速く材料除去ができ、高い平坦度を保てるために用いられます。

同様の効果がある砥粒は他にはありません。ダイヤモンドが高硬度であるために、あらゆる材料を一様に非常に切れ味良く研削できるためです。



### OP

ある種類の材料、特に軟く延性質の材料では、最高品質のために最終琢磨を必要とします。この工程では、酸化物琢磨が用いられます。

コロイダルシリカは粒径約  $0.04 \mu\text{m}$  で pH 約 9.8 の特性を持ち、化学的活性と緻密で緩やかな研削作用性の組合せにより、全く条痕や変形がない試料に仕上げます。**OP-U** は、あらゆる材料に適応し最高の仕上がりにできる懸濁液です。**OP-S** は化学反応を強めるために腐食液を添加して使用でき、特にその効果は、超延性質材に対して発揮されます。

**OP-A** は、酸性のアルミナ懸濁液です。低及び高合金鋼、ニッケル合金およびセラミックスの最終琢磨に用いられます。

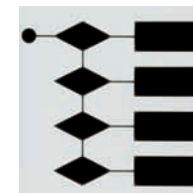
### 消耗品

琢磨工程では琢磨布 (詳細 107 ページ) が用いられます。ダイヤモンド琢磨では、潤滑剤が必ず使われます。布の種類やダイヤモンドの粒径及びループリカントは、琢磨される材質により選択されます。初期の作業工程では通常、低弾性の布と低粘性の潤滑剤が用いられます。

最終琢磨では、高弾性の布が使われ、さらに軟質材に対しては高粘度の潤滑剤が用いられます。

第2章にある10種の試料作成法では、夫々の材料に対し最も適している布が推奨されています。

## 5. メタログ マスタ



### はしがき

メタログ マスタは、試料作成法を最適に調整するためのツールです。この章では、作業中で生ずる恐れのあるあらゆる欠陥を検討し、それらに対する改善策を、工程毎に示されています。(65 ~ 96 ページ)。

説明を簡素化するため、標準的な専門用語が用いてありますが、これらは各項の始めに夫々の定義が示されています。又、末尾 (97 ~ 100 ページ) に、材料の研削と砥粒について理論的な詳細説明が加えてあります。

### 試料作成作業による欠陥

試料の作成作業による欠陥の一覧を次に示します。関係のあるページに、夫々の欠陥を示す写真があります。

	ページ
条痕	65-68
変形	69-70
スマアリング	71-72
縁のだけ	73-74
浮彫	75-76
脱落	77-78
間隙	79-80
亀裂	81-82
気孔率の誤認	83-86
コメット テール	87-88
汚染物	89-90
埋没砥粒	91-92
ラップ痕跡	93-94
シミ	95-96

# 総則

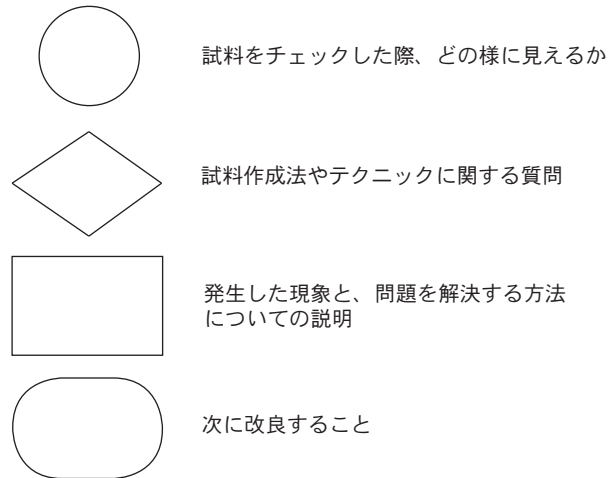
ある材料の試料作成法を改良するには、まずメタログラムからの最適な試料作成法で試料が研磨されていることが必要です。

守らなければならない基本的なルールがあります。

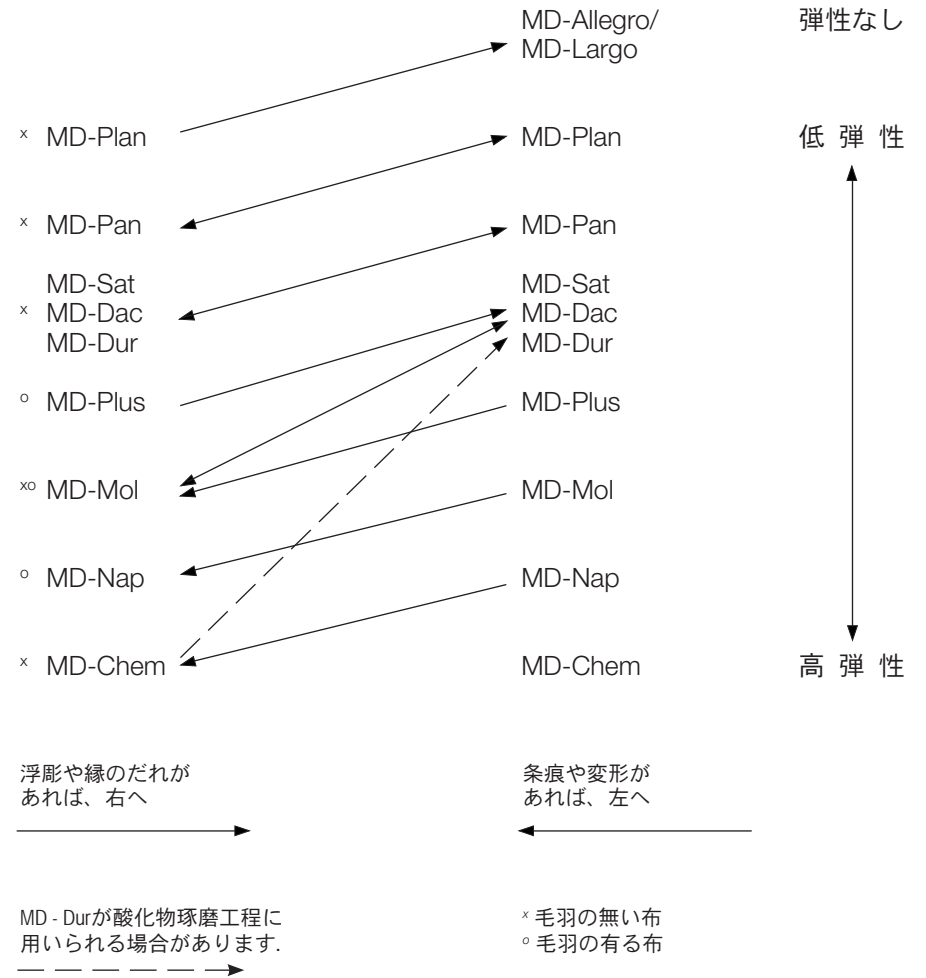
- 初めての材質を研磨する場合は、各作業工程毎に顕微鏡で試料をチェックします。これによって、欠陥がどの時点で発生したか容易に判断できます。
- 次の工程に進む前には、条痕、脱落或いは砥粒の埋没の様な前工程による欠陥が確実に全て取り除かれていることを確認してください。もしそうしない場合は、初期の工程による欠陥が、最終仕上りの面に現われてしまうことがあり、その欠陥がどこで発生したか確かめることは不可能になってしまいます。試料作成法の改良には、欠陥の発生工程を知る必要があります。
- 試料の作成時間は、できる限り短くします。不必要に長い時間は、消耗品を浪費させると共に、試料に縁のだれや浮彫のような損傷を起こすことがあります。
- 新しい琢磨布および研磨ディスクは、数分間の“慣らし運転”（捨て研磨）が必要になることがあります。また最高品質を保つため、円板のドレッシングや洗浄が必要になることもあります。

## エキスパート システム

試料作成品質を改善する方法や、欠陥を防ぐ方法を論理的系統図によって示されています：4種類の異なる枠が、夫々違った種類の情報を示すのに使われています。



# 研磨／琢磨作業面





## 条痕

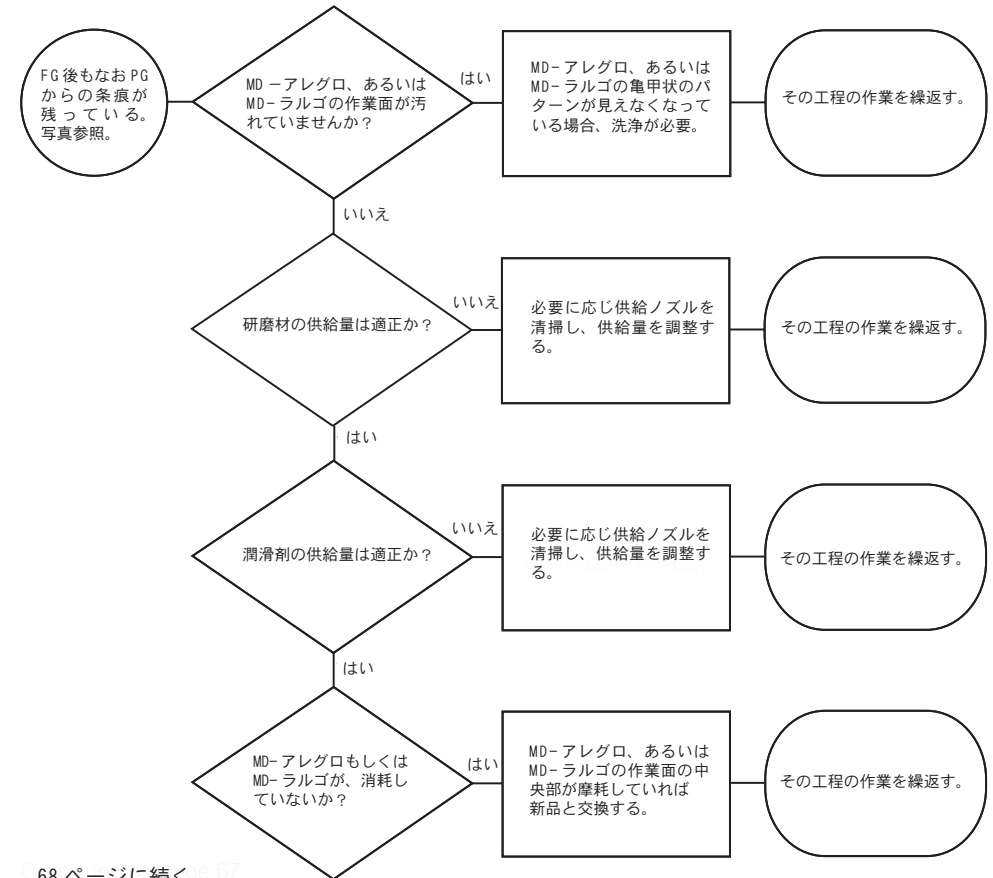
条痕は、砥粒粒子によって試料の表面に作られた溝です。

FG後の表面。PGによる条痕がまだ見られる。  
倍率：200x



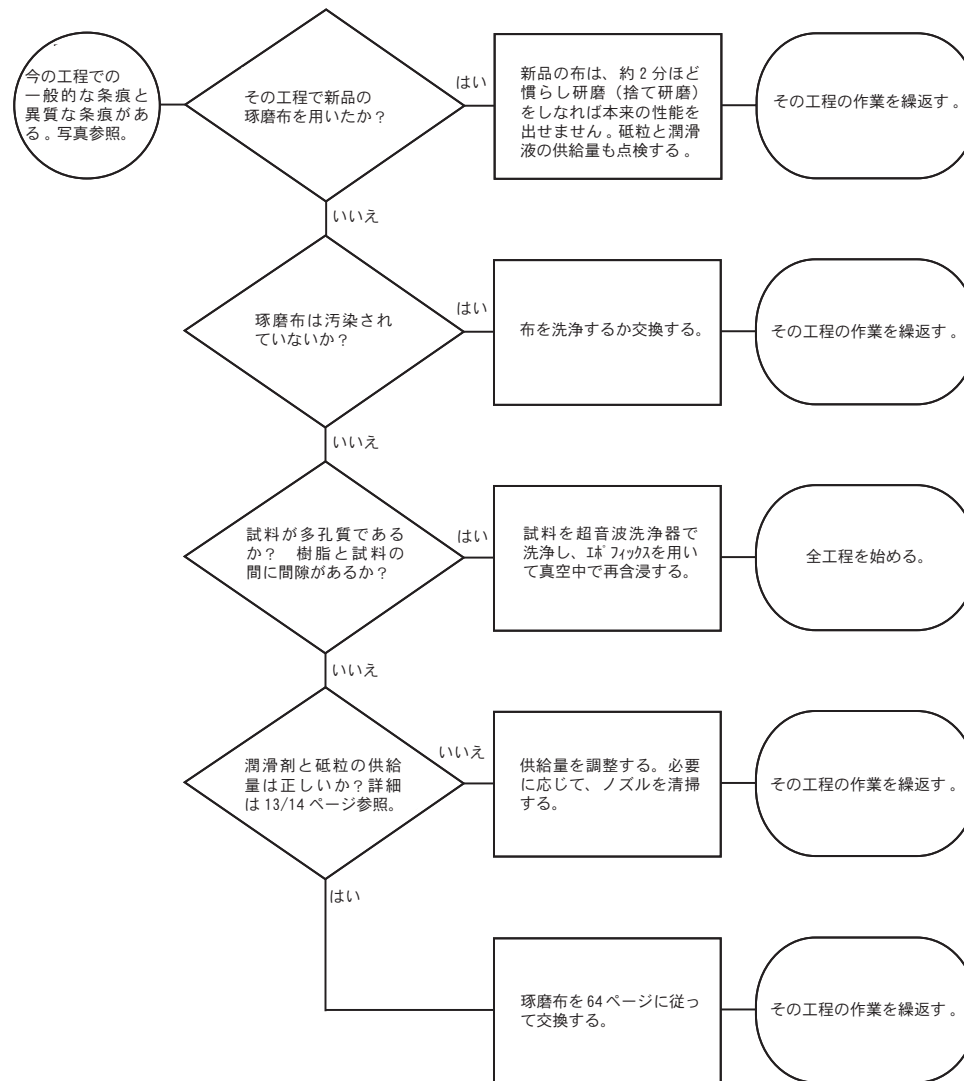
## 条痕

- PG後、固定試料板に取付けてある全ての試料表面が、全面にわたり一様な条痕を示していることを確かめます。
- 必要があれば、PGを繰り返します。
- 各作業工程後は、試料と固定試料板をよく洗浄し、前工程に使われた大きな砥粒が研磨 / 琢磨面に混入することを防ぎます。
- 現在の工程終了後、前工程での条痕がなお残っている場合は、最初の対策として作業時間を25～50%延長します。それでも効果がないときは、エキスパートシステムを利用します。



68 ページに続く

ダイヤモンド琢磨後の表面。FGでの条痕がまだ残っている。非常に深い縦方向の条痕はPGから残っていた可能性がある。  
倍率：200x



## 変形

変形には2種あり、弾性変形と塑性変形です。

弾性変形は、加えていた荷重が取り除かれれば無くなります。塑性変形は、冷間加工とも呼ばれます。研磨、ラップ或いは琢磨の後で表面近くの欠陥として生じることもあります。残留している塑性変形は、エッチングの後で初めて見ることができません。

ここでは、試料作成作業中に生じた変形だけを扱います。

曲げ、引抜き、引張り等の試料作成以前の処理により生じたものはすべて、試料作成法の変更で改善することができませんので考慮しないこととします。

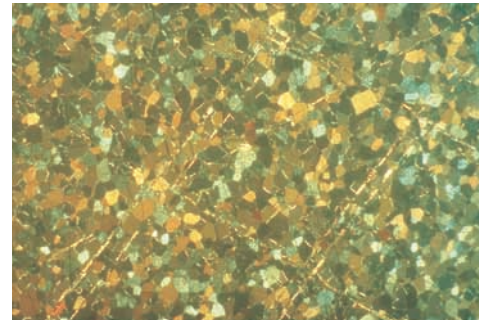
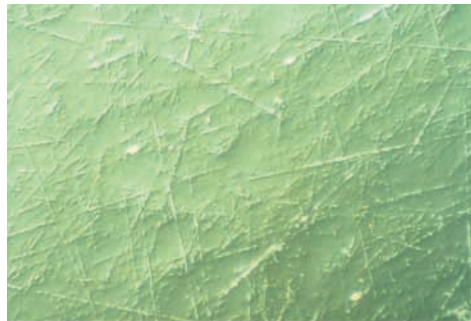
1. 短い線状変形、一種類の粒界に限定。

倍率：100x、DIC



2. 明確で鋭い線状変形。

倍率：200x、DIC

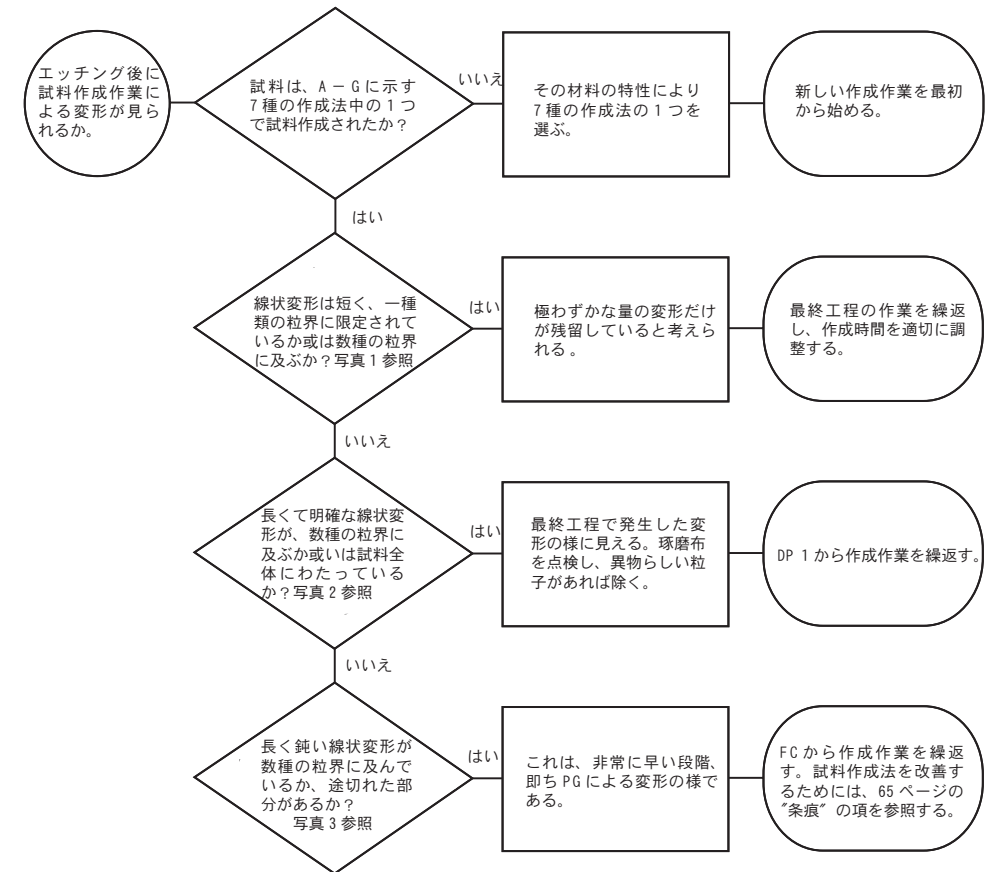


3. 鈍い線状変形、途切れている。

倍率：500x、偏光

## 変形

- 変形は、エッチング（化学的、物理的即ち光学的エッチング）の後で初めて現れる欠陥です。
- 若し変形と思われる線が、エッチングをしていない状態で、明視野中に見ることができたら、試料作成法を改良するため、先づ条痕の項を参照します。



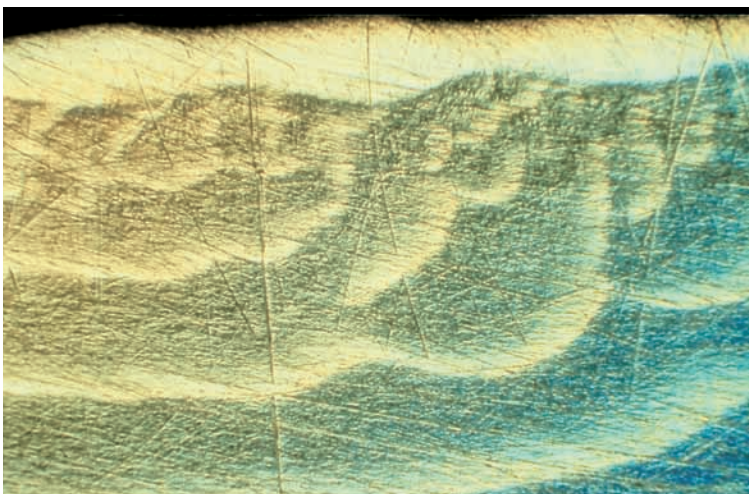
## スミアリング

試料面の広範囲にわたる塑性変形をスミアリングと呼びます。

1. 軟質で延性の高い鋼上のスミアリング  
倍率：15x、DIC



2. 軟質で延性の高い鋼上のスミアリング  
倍率：25x、DIC

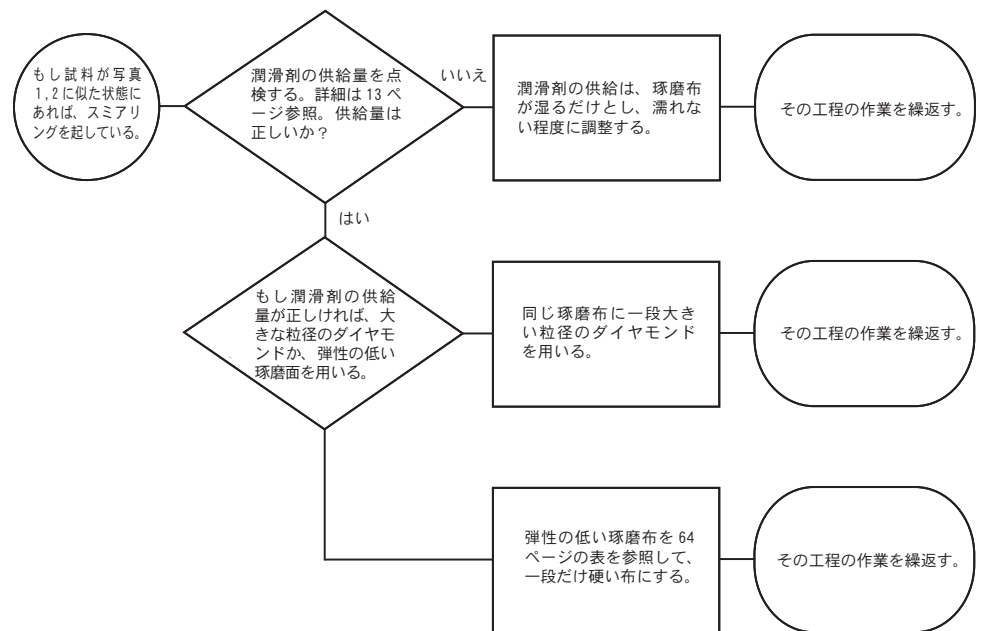


## スミアリング

材料が切削される代りに、表面上で押され、横に伸ばされています。その原因は、砥粒、潤滑剤、琢磨布あるいは、これらの組合せを誤って用いたため、砥粒がまるで切味が鈍くなった様な働きを示すためです。

スミアリングを防ぐには、3 種の方法があります。

1. 潤滑剤：潤滑液の供給量を点検します。スミアリングは、しばしば供給水準が低過ぎる時に起ります。潤滑液の供給量を適正に増やします。
2. 琢磨布：布の弾性が高すぎると、砥粒が布の中に深く押し込まれてしまい、切削できなくなることがあります。弾性の低い布に交換します。64 ページの表参照下さい。
3. 砥粒：ダイヤモンドの粒径が小さすぎるかもしれません。砥粒が材料に喰い込み貫通することができず、切削ができません。大きな粒径を用います。



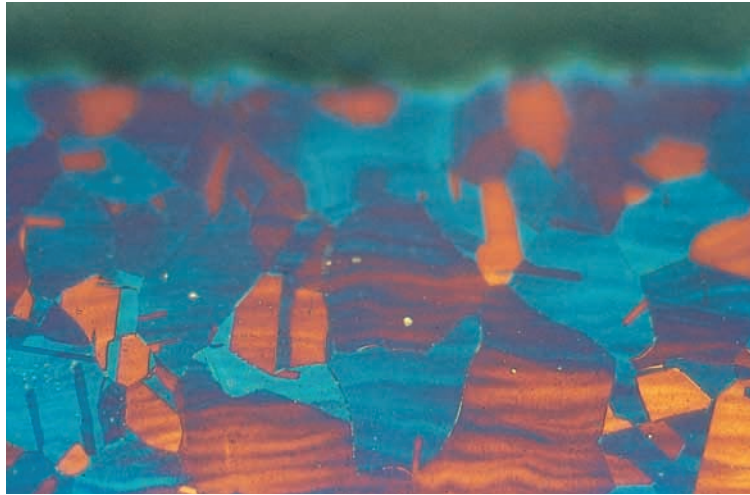
## 縁のだれ

弾性の高い琢磨布を用いると、試料の表面からばかりでなく、その縁に沿っても材料が除去されてしまいます。

この影響で縁のだれが起ります。

埋込まれている試料の場合でも、埋込み樹脂の研削率が試料の研削率より高い場合に、この影響が現われてしまいます。

琢磨力学に関する88ページも参照下さい。



1. 埋込み樹脂と試料の間にある隙間のため、縁がだれている。  
ステンレス鋼  
倍率：500x  
腐食液：ペラハ I

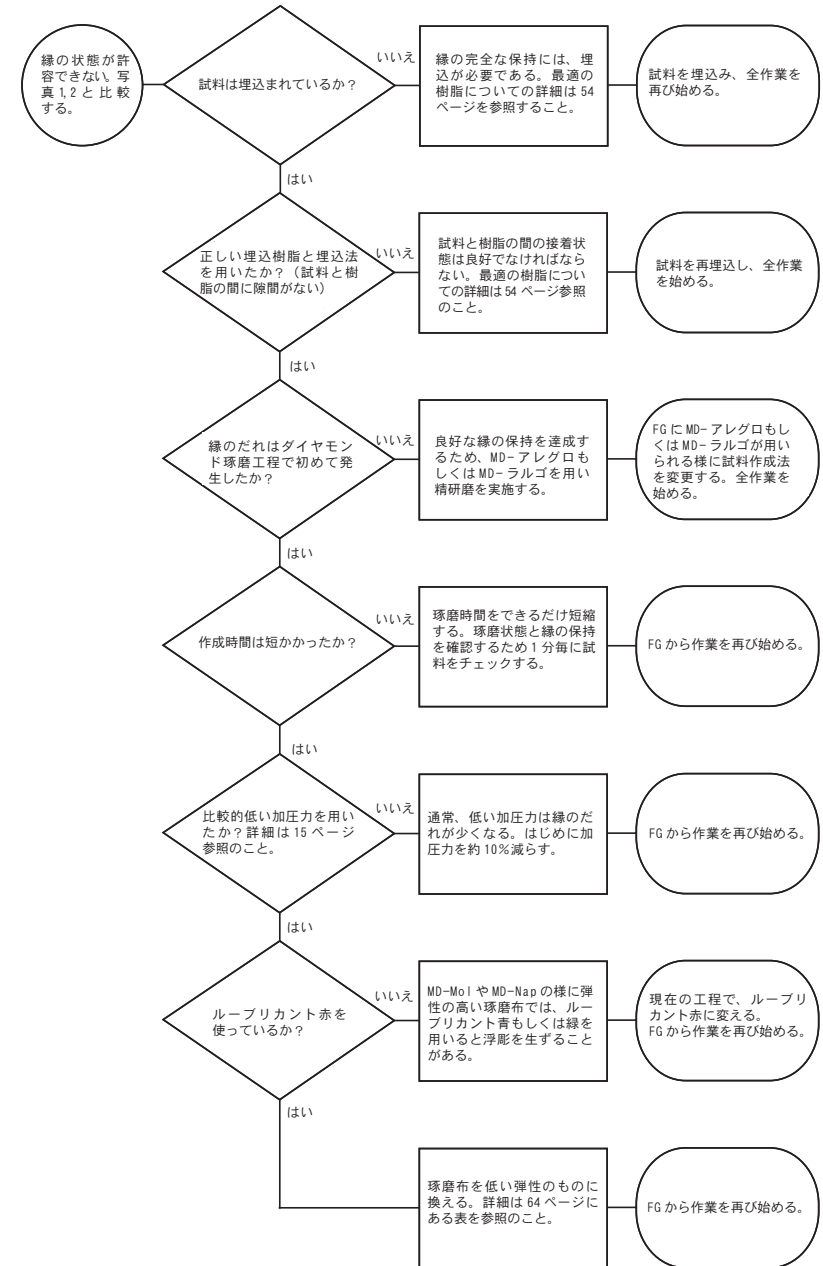


2. 良好な縁の保持  
ステンレス鋼  
倍率：500x  
腐食剤：ペラハ I

## 縁のだれ

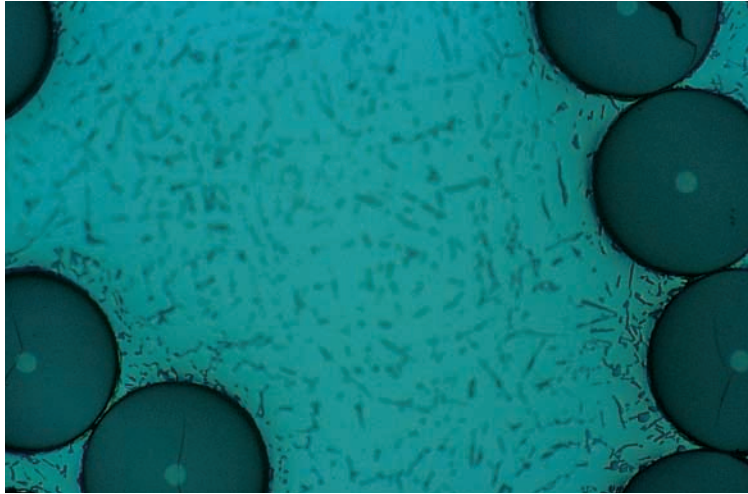
欠陥が発生した時点を知るため、各工程ごとに試料をチェックします。

何かの理由で、試料を埋込むことができない場合にも、次のいくつかのヒントが、縁の保持の改善に役立ちます。

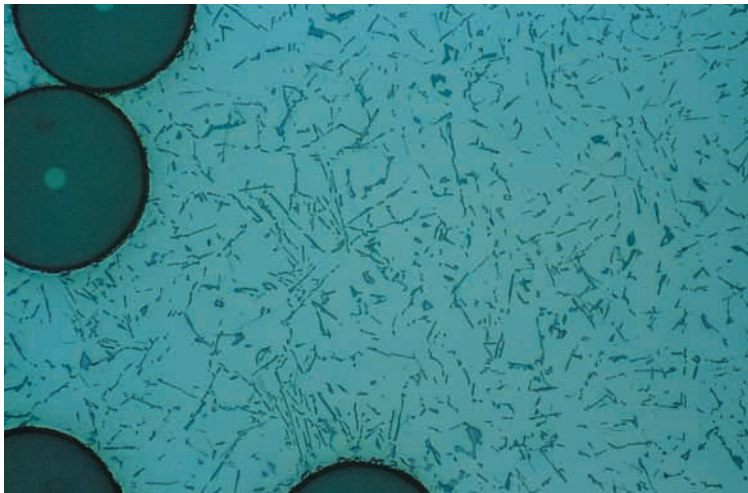


## 浮彫

異なる相状態を持つ材料は、各相の硬度や研削率の違いのため、異なる速度で除去されます。



1. Al-Si合金中の  
B<sub>4</sub>C繊維。  
繊維と母材間で浮彫  
倍率：200x



2. 写真1と同じ。  
但し浮彫はない。  
倍率：200x

## 浮彫

浮き彫りは、琢磨工程で初めて発生します。琢磨工程に移る前に試料を最適な状態にするには、硬度がHV150以下の材料には、MD-ラルゴを精研磨工程で使用し、硬度がHV150以上の材料には、MD-アレグロを精研磨工程で使用する必要があります。MD-ラルゴとMD-アレグロで、最適な試料の平坦性が確保できます。

浮き彫りを発生させないための最も重要な要素は、**試料作成時間と琢磨布の選定**です。試料作成時間は、できるだけ短い時間に留めおくことが重要です。新しい試料作成条件を設定する場合は、試料を1～2分間隔をもってチェックします。琢磨布は、試料の平坦性に大きく影響します。弾性の低い琢磨布は弾性の高い琢磨布に比べ、浮き彫りを少なくすることができます。

**試料作成条件の適正な変更については、73ページの“縁のだれ”を参照下さい。**

皮膜層及びコーティング材の浮き彫りに対しては、樹脂に埋め込むことで浮彫の改善につながります。第4章のメタログ プロセス“埋込”の項目を参照ください。

## 脱落

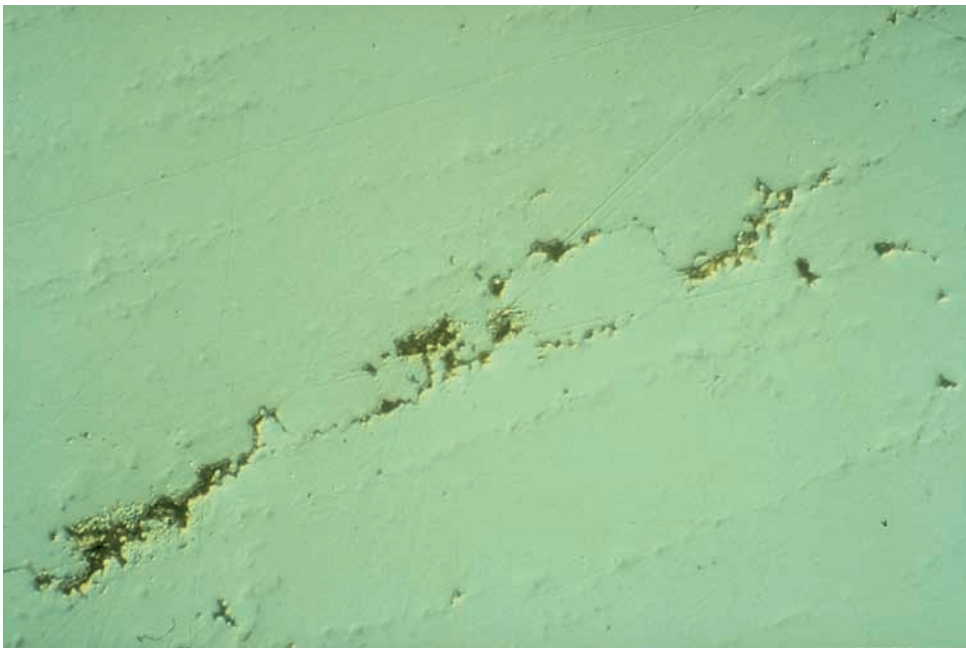
脱落は、研磨中に試料の表面からもぎ取られた粒子や細片の後に残された孔です。これは硬くて脆い材料や介在物のある材料で見られます。硬くて脆い材料では、塑性変形が起ることができず、表面にある材料が部分的に、砕けて抜け落ちたり、琢磨布によって引き出されたりすることがあります。

83～86ページにある“気孔率の誤認”の項を参照下さい。

介在物が脆性であったり、母材と大きく異なった熱膨張係数を有していることがあります。この様な試料は、比較的介在物の接着がゆるいか、介在物が砕け易く、毛羽の長い琢磨布によって介在物が引き出されることがあります。黒鉛も、毛羽の長い布を用いると、試料作成中に脱落したり“引き抜かれる”ことがあります。

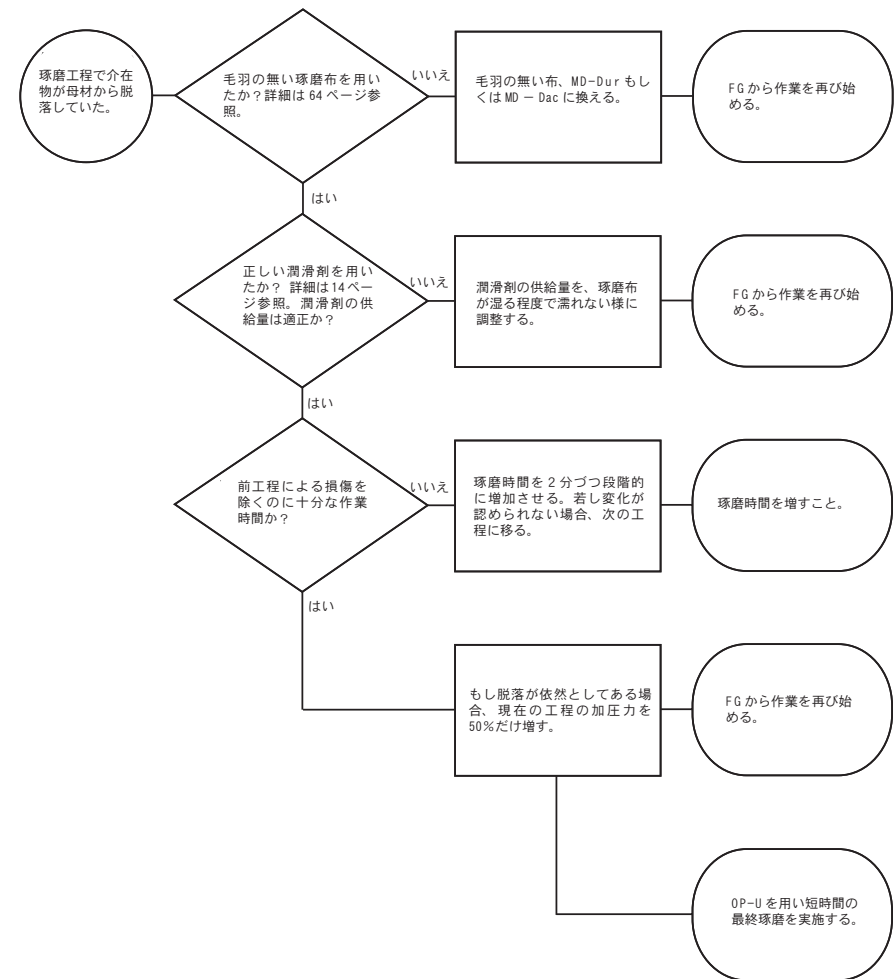
88ページの琢磨力学を参照下さい。

介在物の脱落と脱落した介在物による条痕を見ることができる。  
倍率：500x、DIC



## 脱落

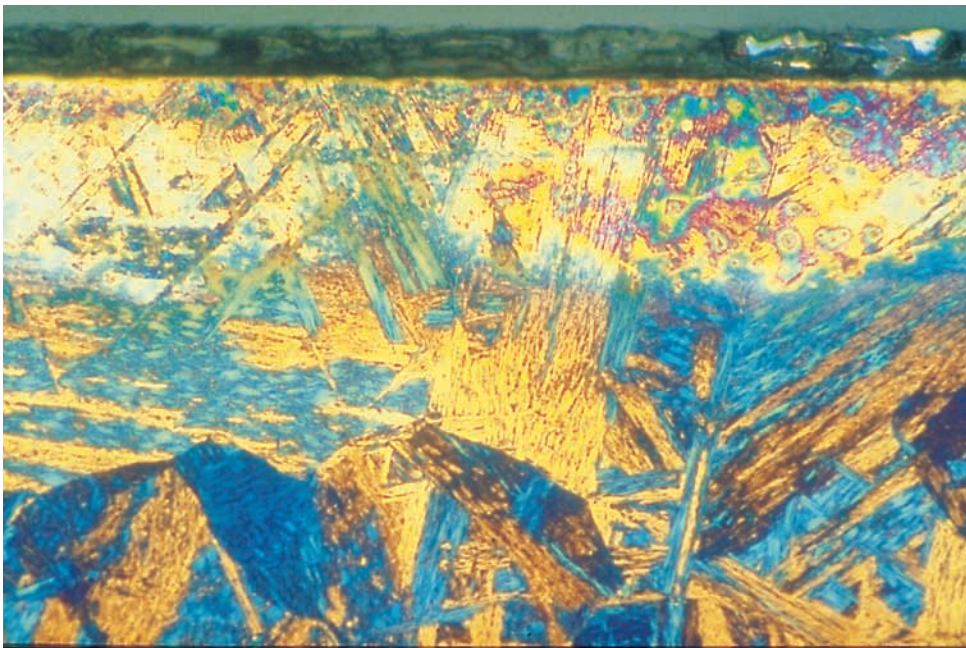
- 研磨後、試料の表面に黒い点や孔が見られます。写真参照。(83～86ページの“気孔率の誤認”も参照下さい)。
- 試料の切断や埋込で、試料にダメージを与えるような過剰な応力を加えない様に注意します。
- 面出し研磨や精研磨工程で大きな加圧力や粗い砥粒を用いません。
- MD-ラルゴは、MD-アレグロに比べ試料に対する衝撃が緩やかです。脱落の防止のために使用されます。
- 工程間で粒径の間隔を余り大きくとりません。作成時間を不必要に長びかせない様にします。
- 毛羽の無い琢磨布は母材から細片を“引き抜く”様な傾向がありませんので、これを用います。又、毛羽の無い布のほとんどは弾性が低く、高い材料研削率を有します。
- 各工程で、前工程での損傷を除去すると共に、それ自身で生じる損傷をできるだけ小さくします。
- 脱落が発生した時点を知るため、各工程毎に試料をチェックします。



## 間隙

間隙とは、埋込樹脂と試料の間にあるすき間です。

樹脂と試料の間の間隙。エッチングは試料の汚染によって失敗している。  
間隙中にある微粒にも注意のこと。倍率：100x



## 間隙

試料を顕微鏡で検査すれば、樹脂と試料との間に間隙があるかないか判断できます。写真参照。  
この間隙から、試料作成作業上で様々な欠陥を生じることがあります。

- 縁のだれ（詳細は 73 ～ 74 ページ参照）
- 琢磨布の汚染
- エッチングの際の問題
- シミ（詳細は 95 ～ 96 ページ参照）

間隙が許容できない場合は、54 ページにある表を参照し、正しい樹脂の選択を行います。  
エポキシ樹脂を用いて真空含浸することで最良の埋込みができます。  
試料は、樹脂との接着を改善するため、常に洗浄し脱脂してください。

熱間埋込：正しい樹脂を選択し、間隙を防ぐため、試料をプレスで加圧しながら冷却します。

冷間埋込：過度に高い硬化温度を避けます。

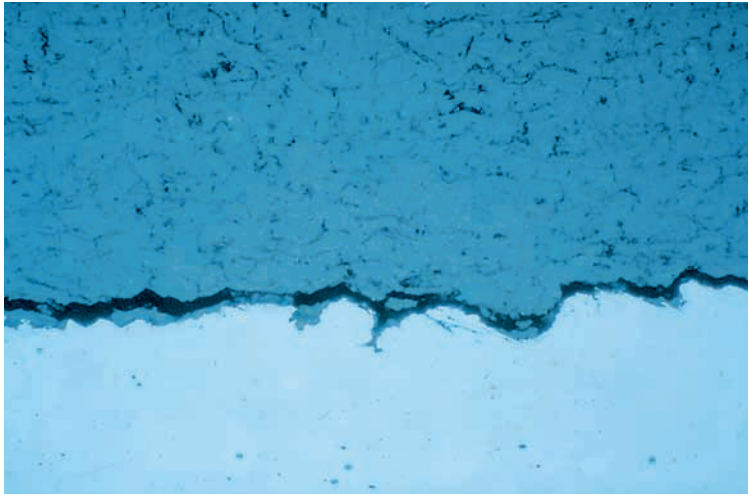
40mm 以上の大形の埋込では、必要があれば送風で冷却します。

間隙のある試料を保護するため、エポキシ樹脂を用いて真空中での再含浸できることがあります。  
試料を注意深く洗浄乾燥し、真空容器中に入れ、少量のエポキシ樹脂で間隙を埋めます。  
試料作成作業は、試料面にある余分のエポキシ樹脂を削り除くため、全工程を再び始める必要があります。

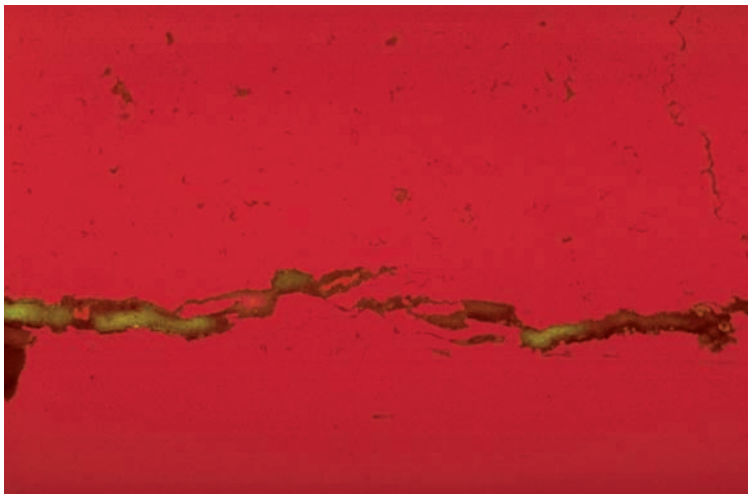


## 亀裂

亀裂とは、脆性質の材料や異なる相状態をもつ材料に発生する割れです。試料を機械加工するときに加えられるエネルギーが吸収できないほど大きい場合、その過剰なエネルギーが亀裂を生じさせます。



プラズマ溶射皮膜と基材間にある亀裂。  
亀裂は切断が原因。  
倍率：500x



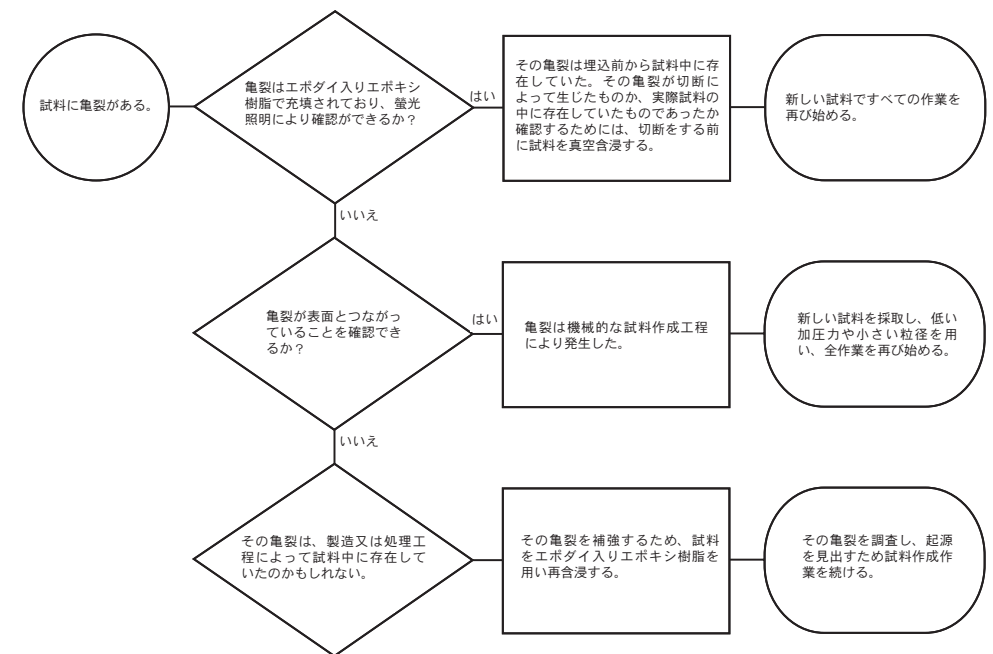
エポダイ入りエポフィックスで真空下で埋込まれた試料。亀裂は蛍光染料で充填されており、埋込み前から亀裂が試料中にあったことを示している。  
倍率：500x  
蛍光照明

## 亀裂

亀裂は、脆性質の材料や層状の試料で発生します。全作成工程を通じ取扱いに注意してください。  
**延性質の材料にある亀裂は、試料作成工程に起因するものではなく、試料作成前から既に試料中に存在していたものであるため、この項では扱いません。**

- 切断：**適切な切断ホイールを選ぶことが必要です。45 ページを参照。又遅い送り速度にします。皮膜試料を切断する際は、皮膜が先に切断ホイールで切られるようにし、基材が支持材の働きするようにします。試料の締付は、試料に何の損傷も与えない様な方法で行います。若し必要があれば、軟い緩衝材を試料と締付具の間に入れます。
- 埋込：**壊れやすい材料の埋込みには、熱間埋込は避け、冷間埋込で行い、できれば真空含浸を用います。唯一の例外として、シトプレス -10/20 でクロロファストを用いることができます。予熱をして加圧せずに樹脂を溶解することが可能です。

**注意：**真空含浸では表面からつながっている亀裂や空洞だけに樹脂が充填されます。収縮の大きい埋込材は使用しないようにしてください。基材から層を引離してしまうことがあります。

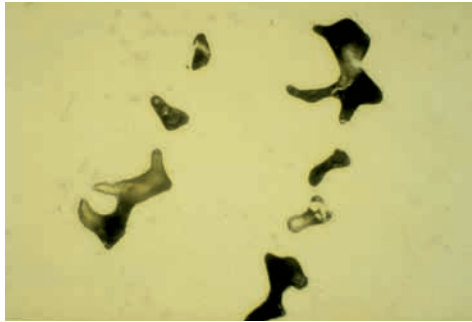


## 気孔率の誤認

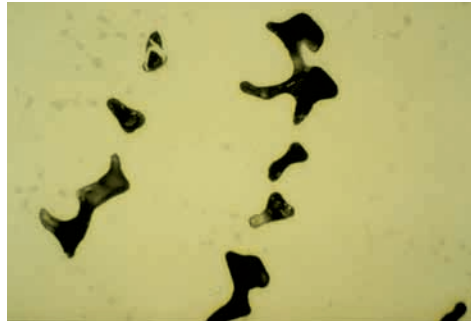
材料の中には、多孔質のものが 있습니다。例えば鑄造金属、溶射皮膜やセラミック等です。試料作成中の欠陥で間違っただ値を読まず、正しい気孔率になることが重要です。

### 軟質／延性材料

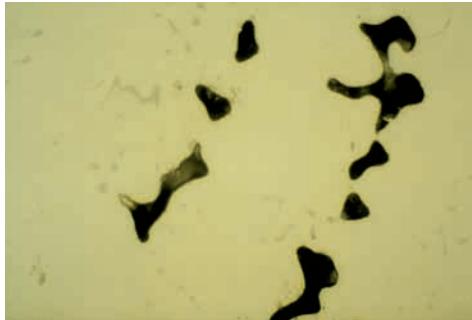
1. MD-Dur, 3 μm で 5 分間の琢磨後の超合金  
倍率：500x



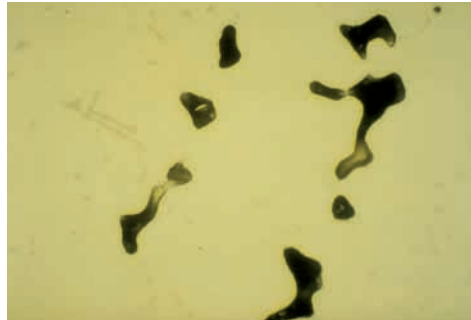
2. 1 と同じ試料  
但し MD-Dur, 1 μm で 1 分間の追加琢磨後



3. 2 と同じ試料  
MD-Dur, 1 μm でさらに 1 分間追加琢磨後



4. 3 と同じ試料。MD-Dur, 1 μm でさらに 1 分間追加琢磨後。正しい状態。



## 気孔率の誤認

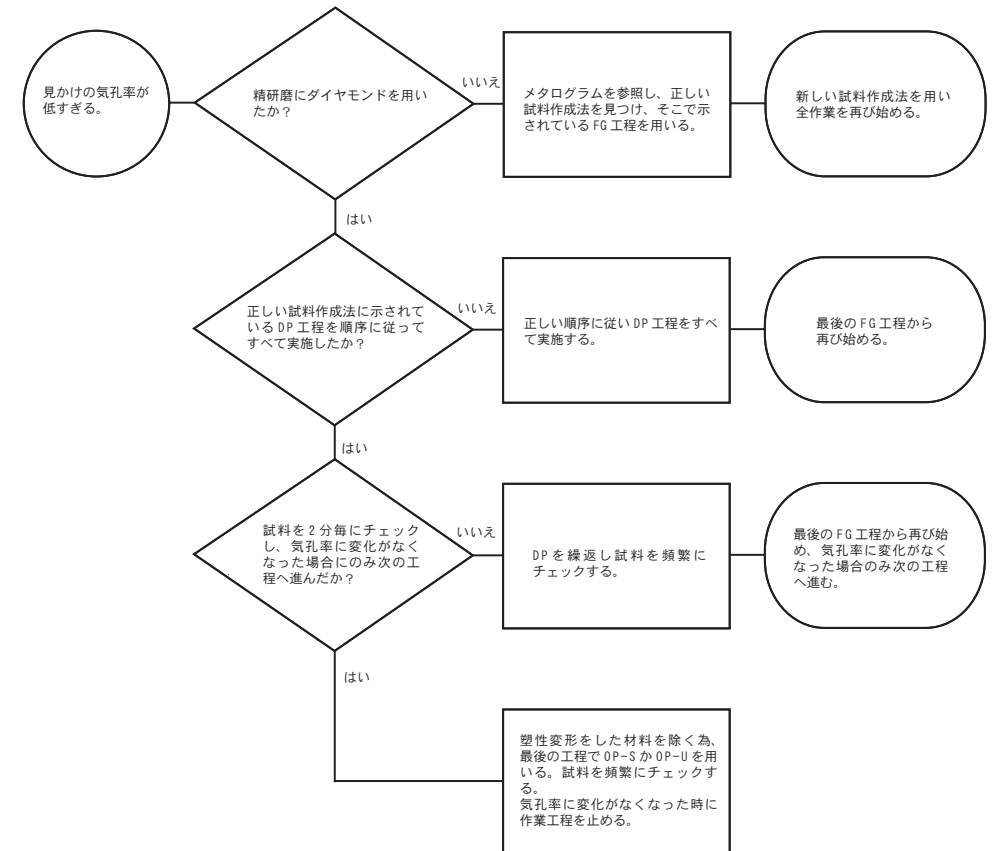
多孔性に関しては、材質の特性により 2 つの相反する影響があります。

軟質で延性質の材料は容易に変形してしまうため、細孔がスミアリングした材料によって覆われてしまうことがあります。検査では、低すぎる気孔率が示されてしまいます。

硬質で脆性質の材料では、初期の機械的な試料作成段階で、表面に割れを生じさせてしまうことがあります。(77～78 ページにある“脱落”の項も参照下さい)。その表面は、真の気孔率より高い値を示してしまいます。

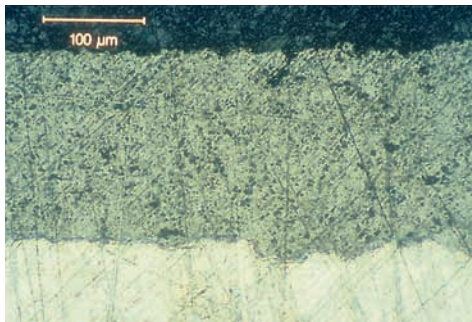
延性質材料は気孔率が低く現れ、細孔を開放しなければならないのに対し、脆性材料は気孔率が高く現われ、表面上の明らかな割れを取り除かなければなりません。

次のページに続く。

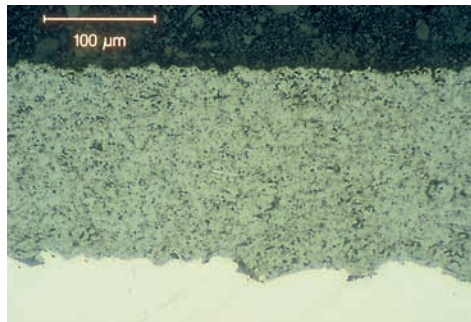


## 硬質／脆性材料

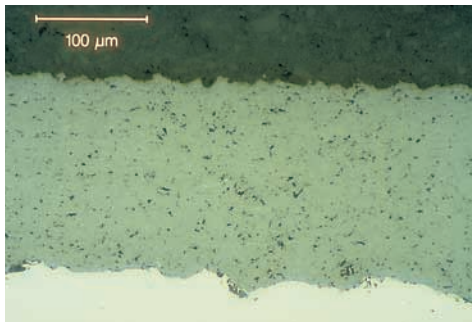
1. FG 工程後の Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> プラズマ溶射皮膜



2. 1 と同じ試料。但し 3 μm の琢磨 3 分実施後



3. 2 と同じ試料。但し MD-Nap, 1 μm で追加琢磨後。正しい状態。



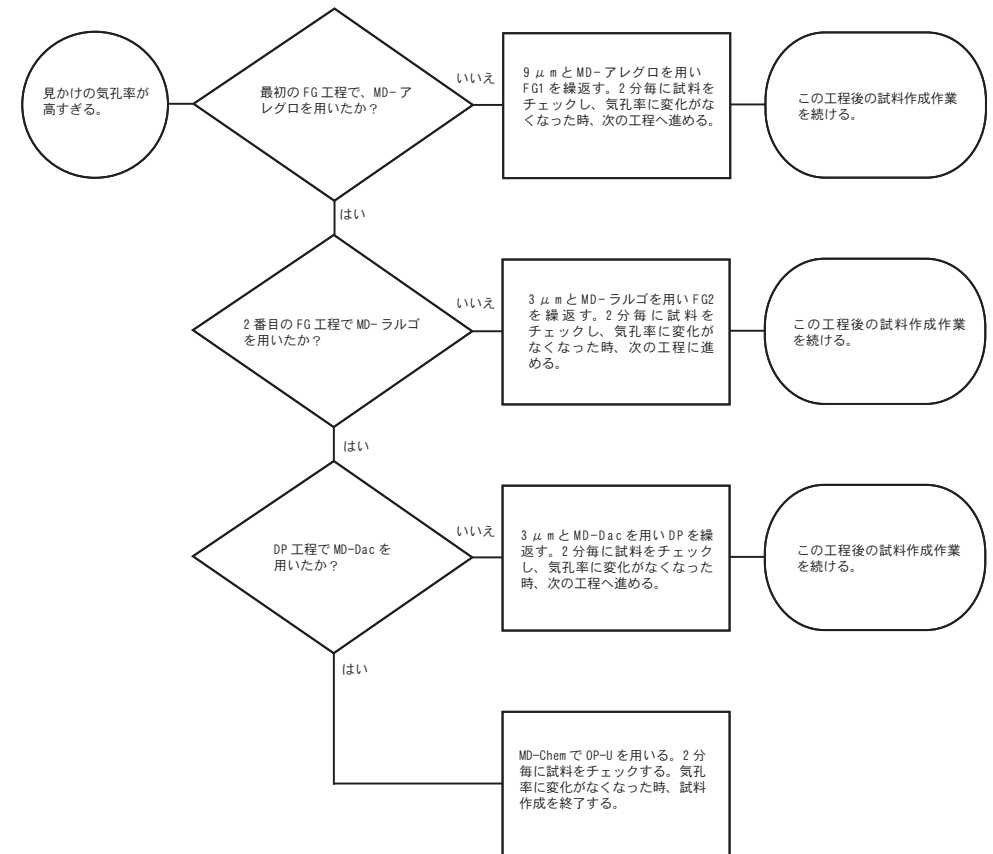
84 ページからの続き

皮膜材（皮膜 / 母材）に対し、正しい気孔率にするため、メタログメソッド F の採用をお勧めします。

ダイヤモンドによる琢磨を用い、試料を 2 分毎に顕微鏡でチェックします。変化を明確に知るため、毎回同じ場所をチェックします。一つの方法として、チェック部分に硬度計の圧痕で印をつけてもいいでしょう。（但し、脆性材料に対しては、さらに応力がかからないよう注意しなければなりません。）

次の琢磨工程への移行は、現在行われている工程で気孔率に変化がなくなった時にできます。

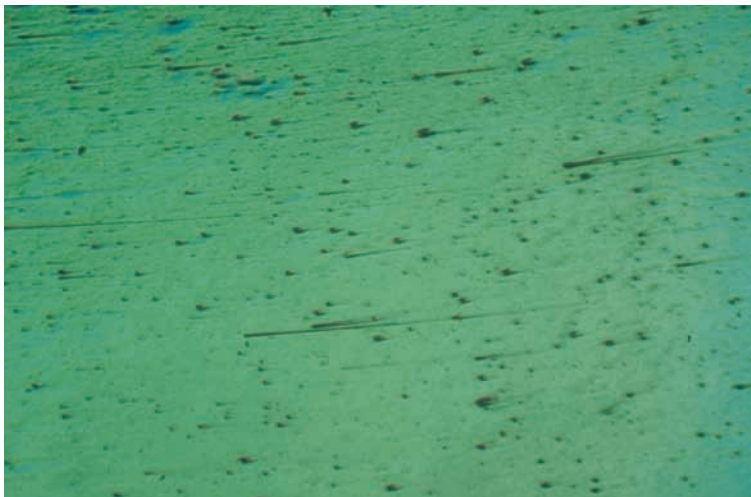
最終工程は、OP-U や OP-S の酸化物琢磨を行います。OP-U も OP-S も材料にまったく変形を起さず、緩やかに材料の除去が行えます。



## コメット テール

コメット テールは、介在物や細孔に隣接している場所で、試料と琢磨円板間の動作に方向性があるときに起ります。この特徴的な形から、“コメットテール”（彗星の尾）という名が付けられました。

コメットテールを防ぐ基本は、琢磨力学にあります。



1. コメットテール  
倍率：20x、DIC



2. コメットテール  
倍率：200x、DIC

## 琢磨力学

微細構造検査用試料の琢磨工程には、変動要素が多数あります。最も一般的で分かりやすいものは、琢磨布や砥粒の要素です。これらが琢磨工程に大きな影響を及ぼす一方、他の重要な要素が無視されてしまうことがあります。その要素とは琢磨力学です。力学、即ち琢磨布に対する試料の速度は、琢磨工程の最終的品質で重要な役割を果たしています。コメット テールや脱落、縁のだれなど、試料作成作業による欠陥は、力学上の不均衡によるものです。

ストルアス社の琢磨装置は、琢磨工程の力学を“最適”にするように設計されています。この最適化の設計によって、どのような材料でも非常に一様で非方向性の琢磨を可能にしました。琢磨力学を視覚化するため、計算モデル（コンピュータプログラム）が開発されました。このプログラムで、試料と琢磨布間の相対速度が計算され、結果が極座標グラフにプロットされます。このグラフが琢磨工程中の力学を“見る”ための簡単な方法になります。相対速度を計算することに加え、このプログラムは試料自身の表面を横切る速度の分散値（5mmの増減で）も計算できます。この分散値は試料の品質に対して非常に重要ですが、見落とされることがあります。

第1図と第2図は、2台の市販されている琢磨装置の力学をグラフで示したものです。第1図はストルアス製機械で得たもので、“理想的”即ち“最適”の力学条件を現しています。このグラフから、試料の相対速度は一定で、琢磨布上の位置に係わりないことが分ります。また、グラフのバンド幅が狭いことから分かるように、試料表面を横切る速度が分散していません。

第2図は確立した力学条件から逸脱した影響を示しています。この状態では、相対速度は試料が琢磨布の内から外へ移動するに従って激しく変化（0.25 - 1.70m/s）しています。この変動の原因は、試料板の速度（24rpm）と琢磨布の速度（125rpm）との差に関係しています。更に試料表面を横切る相対速度も、琢磨布の位置によって著しく変化しています。

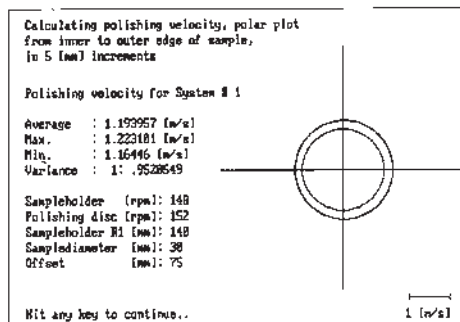
“最適な”力学条件を確立するためには、次の条件を守らなければなりません。

- 試料板と琢磨布は同一の方向に回転すること
- 試料板と琢磨布は同一の速度で回転すること

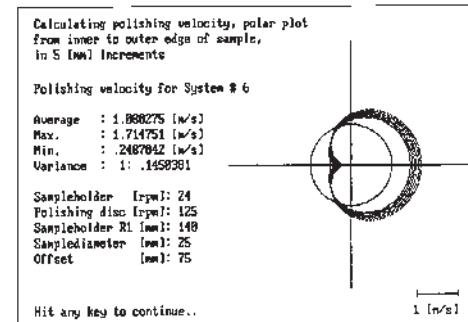
琢磨について“最適な”力学条件にすることで、コメット テールや脱落、縁のだれのような試料作成作業による欠陥がない、安定した高品質の微細構造にできます。

（上記はストラクチャー 25、3-7、1992のS.D.GlancyとM.J.Damgaardによる“A Study in the Dynamics and Wear of Rigid Disc Systems”を引用したものです。）

第1図



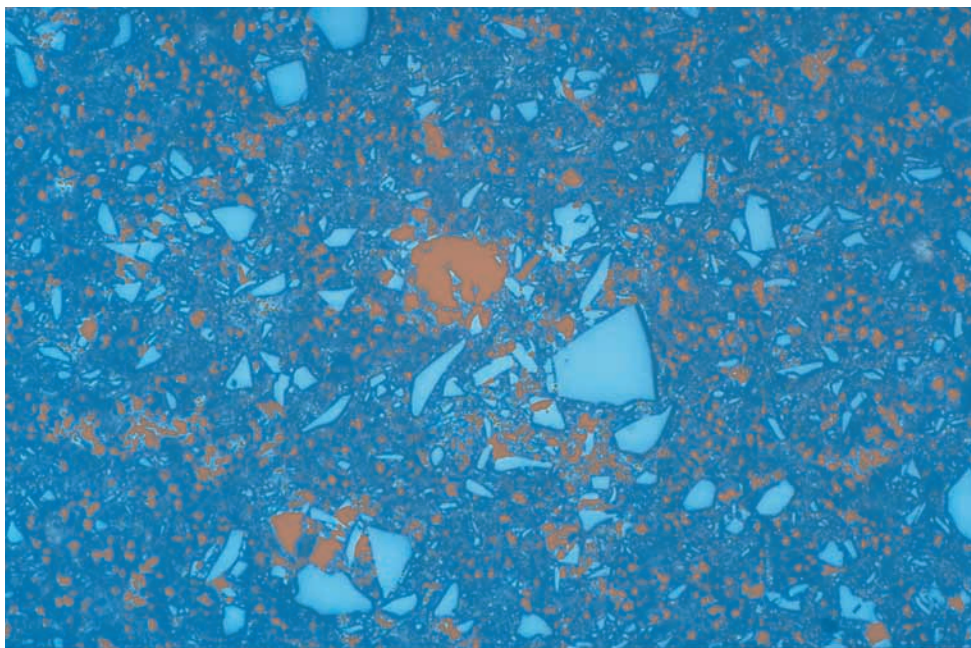
第2図



## 汚染物

研磨工程や琢磨工程中に試料表面上に堆積し、試料の材料以外の物質を汚染物と呼ばれます。

銅が前の工程で試料表面上に堆積している。B<sub>2</sub>C 粒子とアルミニウム地の間にあ  
る僅かな浮彫によって、銅が捕捉されている。倍率：200x



## 汚染物

汚染はあらゆる種類の物質で発生します。

前の工程で研削された物質や汚れの粒子が、琢磨中に試料面上に堆積することがあります。

顕微鏡検査で、実際は存在していないはずの“介在物”や組織の一部が見出されてしまうことがあります。

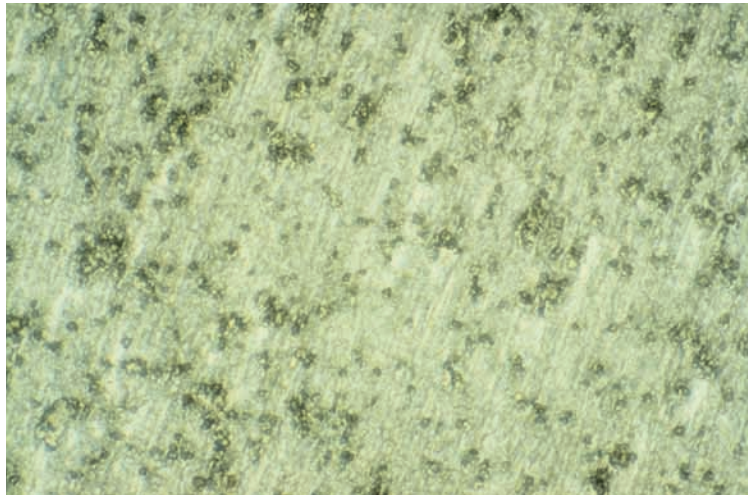
琢磨円板は、外来の粒子が円板に混入するのを防ぐため、常に防塵キャビネットに保管してください。

汚染物とその試料に属するものであるかどうか疑問である場合は、琢磨布を清浄するか交換し、試料作成作業を精研磨の工程から繰返します。

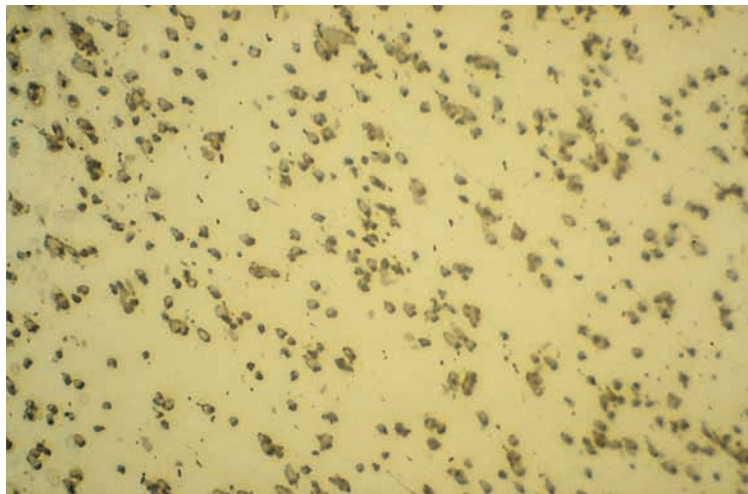
## 埋没砥粒

砥粒粒子が試料の表面に押し込まれた状態。

1. アルミニウム：  
弾性の低い円板を  
用い、 $3\mu\text{m}$ の  
ダイヤモンドで研磨、  
多数のダイヤモンド  
が試料に埋没し  
ている。  
倍率：500x



2. 上と同じ試料：  
但し最終琢磨後。  
大部分のダイヤモンド  
は依然試料に残っ  
ている。  
倍率：500X



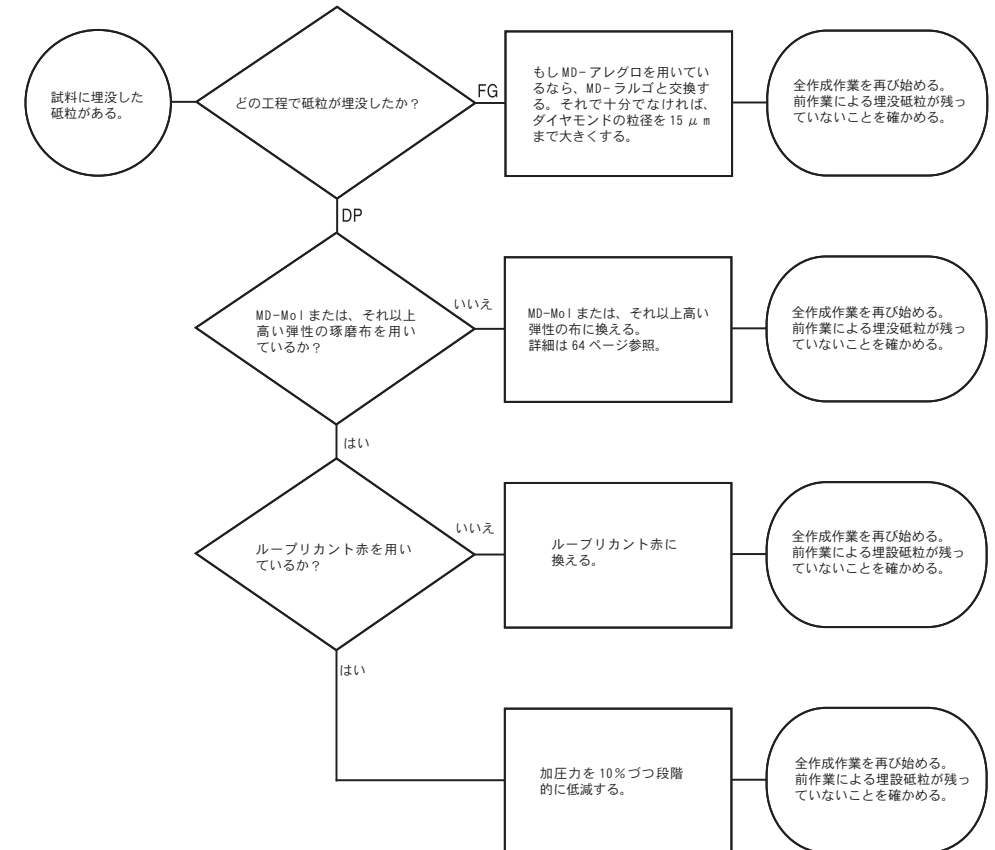
## 埋没砥粒

軟質の試料に、砥粒粒子が埋め込まれてしまうことがあります。

原因として小さすぎる粒径の砥粒、非常に低い弾性の研磨円板や琢磨円板、非常に低い粘性の潤滑剤が考えられます。

また、これら組み合わせられることでも埋没砥粒が生じてしまうことがあります。

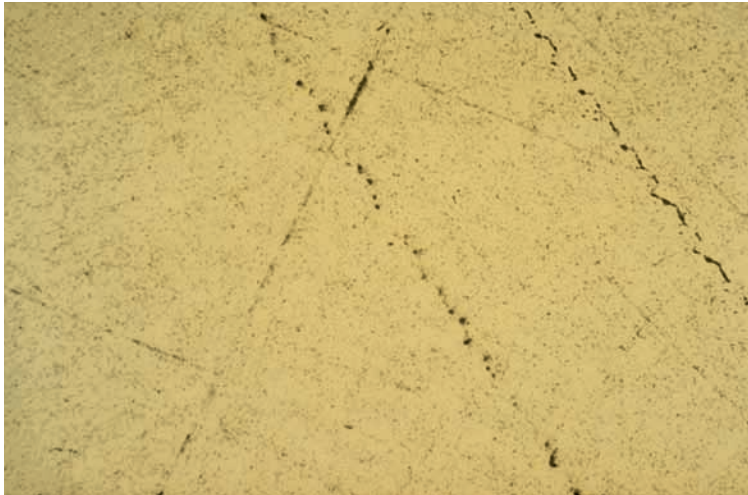
- MD-プリモ # 1 2 0 で面出し研磨工程を行う際、軟質の試料に砥粒が埋没する恐れがあります。継続して、2 工程目で MD-プリモ # 2 2 0 で粗研磨を行い、MD-ラルゴで精研磨を続けます。この精研磨で埋没砥粒は取り除かれることがあります。
- MD-アレグロは、硬度 150HV 以下の材料には適しません。砥粒が、円板に固定される代りに、試料中に押し込まれ、固く埋没されるてしまいます。MD-アレグロの代わりに MD-ラルゴを使用します。
- 軟質の試料を琢磨する際、 $3\mu\text{m}$  以下の粒径には、高弾性の布のみを使用します。64 ページの表参照。
- 軟質の試料の最終琢磨で細かいダイヤモンド砥粒を用いる際は、粘度の高い潤滑剤のルーブリカント赤を使用します。



## ラップ痕跡

これは、硬い試料表面を砥粒が自由に移動したことによりできた圧痕です。

研削作用による条痕ではありません。代りに、砥粒が材料を研削せず試料表面上を転がったことによる明瞭な痕跡です。



1. ジルコニウム合金上のラップ痕跡：  
円板の回転に合わせて、砥粒の転がった痕跡が明瞭に見られる。

倍率：200x



2. 最終琢磨後のラップ痕跡：  
非常に深い圧痕が依然見られる。また、ラップ痕跡に沿った表面の変形も見られる。

純チタン  
倍率：500x、DIC

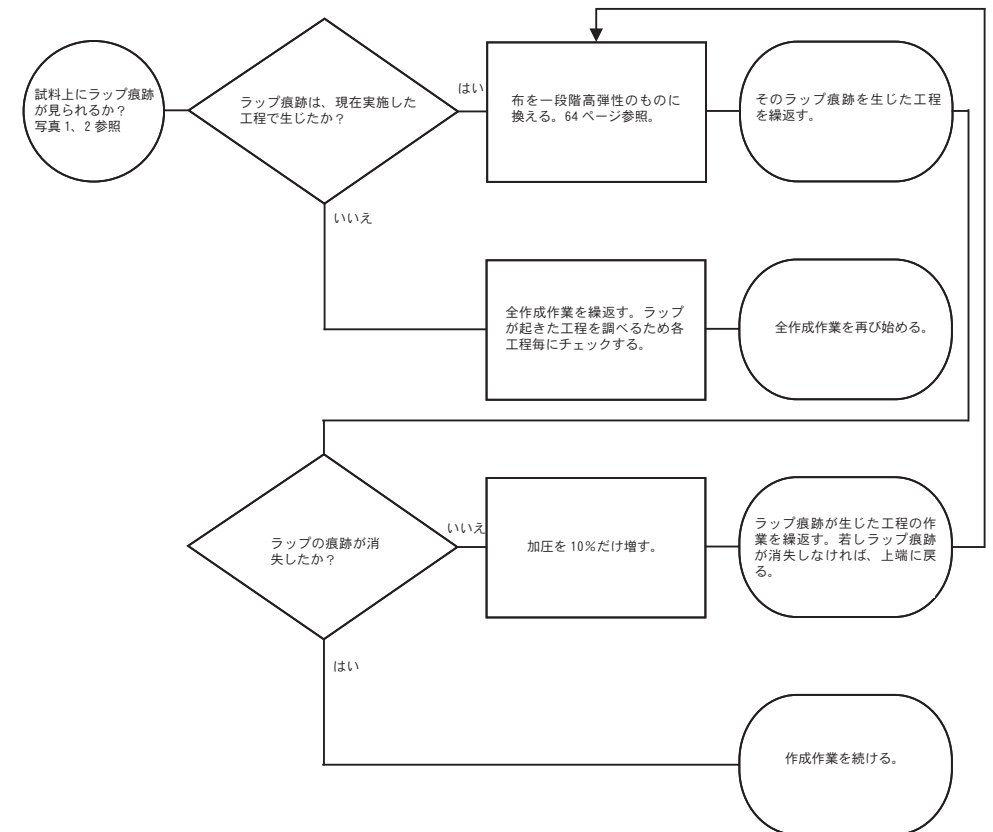
## ラップ痕跡

研磨で試料が砥粒の上を通過する間に、砥粒が固定された位置で留まっていなかった場合、砥粒は転がり始めてしまいます。砥粒が材料を研削する代わりに、砥粒が試料材の中に押し込まれて、深い変形を起こしたり、単に試料表面から小片をたたき出したりします。(97 ページの詳細説明を参照)

ラップ痕跡は研磨中でも又琢磨中でも作られます。

その原因は、間違った円板／布の作業面の使用や間違った加圧力です。

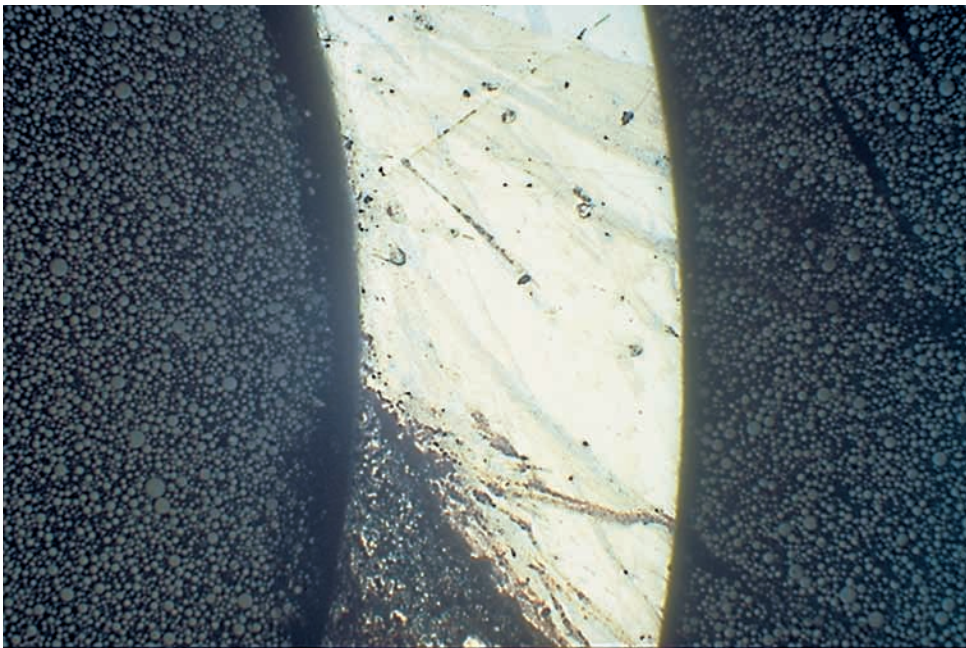
またこれ等の組合せからもラップ現象を起すことがあります。



## シミ

シミは、試料表面の変色です。典型的な原因は外部の異物の付着です。

樹脂と試料の間にある間隙による試料のシミ  
倍率：20x



## シミ

シミは試料を洗浄あるいはエッチングした後でしばしば見られます。

●試料と樹脂の間には隙間（79～80ページ参照）がある場合、試料を乾燥したり顕微鏡上で検鏡中に水やアルコールやエッチング液が隙間からしみ出してしまふことがあります。試料面の一部が変色し、検査が困難になったり、時には不可能になることもあります。

### 54 ページで収縮率の少ない埋込樹脂を選びます。

●試料は、各作成工程後に洗浄され、素早く乾燥させます。

●試料乾燥に圧縮空気を使用している場合、圧縮空気に油や水が含まれていることがあるため、最終琢磨の後の試料乾燥では、圧縮空気の利用を避けます。

●若し 0P 琢磨後の洗浄が正しく行われない場合、試料表面に白い層が残ることがあります。

**0P 工程の最後の 10 秒間は、琢磨布に水を流し、試料と琢磨布を両方洗浄します。**

●試料の洗浄には高温の水は使用しません。冷水より作用が活性になり、次に行うエッチングが激しく反応してしまいます。

●試料を通常の室内に放置しないでください。湿気で試料に悪影響を及ぼすことがあります。保存の為に、常に試料をデシケータで保管してください。



# 機械研磨

機械研磨の基本プロセスは、砥粒を用いる材料除去です。材料除去には、3種のメカニズムがあり、変形を発生する度合により次のように挙げられます。

1. ラップ
2. 研磨
3. 琢磨

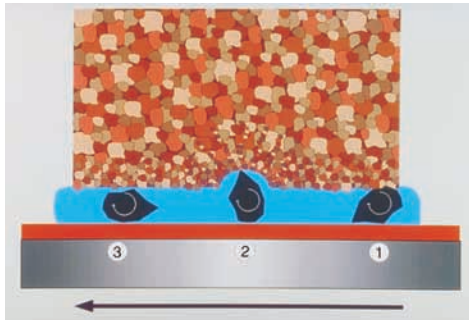
これらの研磨メカニズムの作用と、試料表面への影響を解析します。

## ラップ

ラップでは、砥粒は硬い作業面の上に、懸濁液で供給されます。砥粒はその作業面に押し込まれず、固定されることができない為、転がってあらゆる方向に自由に移動してしまいます。そのため砥粒が試料表面から小片をたたき出し、深い変形を起こしてしまいます。遊離している自由な砥粒では、試料の表面から綺麗に“小片”を作ることができない為に変形を起こします。この理由で、ラップでは材料の除去率（一定時間で除去される材料の量）は非常に低く、作業時間は非常に長くなります。軟質材料では、砥粒がしばしば試料表面に押し込まれ、固く埋没されてしまいます。

**深い変形と埋没砥粒**は共に、微細構造検査用試料の作成作業に極めて望ましくありません。

上記の理由により、ラップは、セラミックや鈹物の様な非常に硬くて脆い材料の試料作成にのみ用いられます。



### ラップ

- 試料表面を通過中の回転している砥粒の3位置
- 位置1：砥粒が試料表面に進入。
  - 位置2：砥粒が転がり、試料面の小片をたたき出している。“たたき出し効果”によって、激しい変形が試料中に生じる。
  - 位置3：砥粒は試料面と接触しないで回転する。砥粒が再び試料を通過する際、砥粒の形状によって、大なり小なりの小片が再びたたき出される。

# 研磨

研磨は、試料材から小片を削り出すために固定砥粒を用いた材料除去です。（下図参照）

鋭い砥粒で小片を削り出す作業では、試料中に発生する変形を最小に抑え、材料除去率を最大にさせます。琢磨も基本的には研磨と同じメカニズムを用いています。以下を参照下さい。

## 研磨（琢磨）工程

研磨（琢磨）には、以下の条件が求められます。

### 1. 切削力

試料面と砥粒の間にかかる圧力は、小片を削り出すことのできる切削力を発生するのに十分なくらい大きくなければなりません。（次を参照）

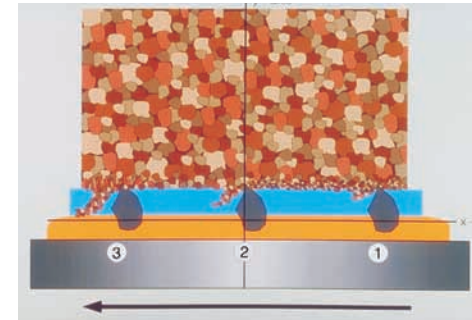
### 2. 水平に固定されている砥粒

砥粒は、十分な切削力が得られるために、試料の通過中は水平に固定されていなければなりません。

### 3 垂直方向の押込み

砥粒は、削り出される小片の大きさが所望の大きさになる様に、垂直方向に支えられ、試料面に押込まなければなりません。小片の大きさと材料除去率には密接に関係があります。

**面出し研磨 P G**：高い材料除去率を得るために、比較的大粒の固定砥粒が使用されます。MD-プリモやMD-ピアノは、面出し研磨工程に用いられます。これらを用いると全体的に平坦な試料が得られ、後続の精研磨工程の作業時間が短縮されます。更に、MD-プリモとMD-ピアノは、試料の縁ダレ防止に優れています。MD-プリモはSiC研磨材を含有し、硬度HV150以下の低硬度材料の研磨に用いられます。MD-ピアノは、ダイヤモンド研磨材を含有し、硬度HV150以上の高硬度材料の研磨に用いられます。MD-プリモとMD-ピアノは、共に研磨材はレジンボンドで保持されています。これら研磨砥粒が摩耗する過程で、一定した材料除去が行われます。



### 研磨（琢磨）

- 試料表面を通過中の固定された砥粒の3位置
- 位置1：砥粒が試料表面に進入。砥粒はX方向に固定されている。一方Y方向はある程度の動き（弾性）が起る。小片は砥粒が試料に進入した時点から作り始められる。
  - 位置2：砥粒が中途にあり、小片が大きくなりつつある。
  - 位置3：砥粒が試料面外へ通過し、試料面に条痕を残している。また試料面は比較的小さい変形に抑えられている。

**精研磨FG**：15, 9, 6  $\mu\text{m}$ の砥粒サイズで、高い材料除去率が得られます。研磨円板はMD-ラルゴ、MD-アレグロやMD-Plan、MD-PanそしてMD-Durなどの低弾性で硬質の琢磨布です。MD-ラルゴとMD-アレグロは、硬質の合成ディスクで、供給されるダイヤモンド砥粒を作業面に固定させ、精研磨を容易に行うことができる特殊な合成ディスクです。MD-ラルゴとMD-アレグロは材料除去率が高く、試料の高い平坦性と縁辺の保持に優れています。試料に掛ける加圧力は、大きい小片を削り取るため、比較的高く設定します。

**琢磨DP**：琢磨の際、試料に条痕や変形を残さない仕上がりにするには、切削屑を小さくすることが必要です。MD-MolやMD-Napなどの弾性のある琢磨布と、3  $\mu\text{m}$ 又は、1  $\mu\text{m}$ といった微細な砥粒を用いて切削屑が殆ど生じない様になります。試料に対する加圧力は低く設定され、琢磨中に生ずる切削屑を小さくさせます。

#### 4. 砥粒の供給

作業工程中、常に適正な量のダイヤモンド砥粒が作業面にあることが重要です。

もしダイヤモンド砥粒が、DP-ペーストやDP-スティックの様に、長い間隔を置いて大量に供給されると、その工程の状態は、有効な砥粒の数と共に変化してしまいます。

作成工程を最高の状態に維持する為には、砥粒はできるだけ短い間隔で、できる限り少量ずつ加えなければなりません。したがって、工程間中に自動的に供給できるDP-懸濁液の使用を推奨します。自動供給により、常に新しく鋭い砥粒が供給されます。試料1個当りの費用を抑え、常に再現性の高い工程が実現できます。

#### 5. 潤滑

試料面と研磨/琢磨作業面の間に十分な潤滑が必要なのは下記の3つの理由からです。

**研削性の向上**：適正な潤滑剤は、研削を改善し、条痕の深さと変形を最小にさせます。

**摩擦の低減**：試料と作業面との間の摩擦は適正でなければなりません。潤滑剤が少なすぎると過熱を引き起こし、潤滑剤が多すぎると、砥粒を洗い流し、更にハイドロプレーン状態を起こしてしまい研削作用を低下させます。

**冷却**：研磨/琢磨の理想的な条件でも摩擦熱を発生してしまいます。正しい潤滑剤の使用により摩擦熱を低く抑えられます。

**注意**：理想的な状態にするため、砥粒を潤滑剤と分け供給することが望まれます。最適な状態にするため、必要に応じ砥粒を多く供給し、潤滑剤を少なく供給させたり、砥粒を追加供給せずに潤滑剤を多く供給させる場合があります。

## 琢磨

工程としての琢磨は、前記の研磨と共に説明してあります。

琢磨には、試料作成作業の最終工程が含まれています。順次粒径を細くし、高弾性の布を用いることで、精研磨による全ての条痕と変形を取除くことができます。琢磨で起る損傷は、布の弾性による浮彫と縁のダレだけです。この様な欠陥は、琢磨時間をできる限り短く保つことで軽減されます。

## 砥粒

材料除去率は、砥粒の種類に密接に関連しています。

**ダイヤモンド**は“砥粒の王”です。今迄知られている材料の中で最高の約8000HVの硬度があります。あらゆる材料や相を容易に研削できることを意味しています。多くの種類のダイヤモンドがあります。

多結晶ダイヤモンドは、小さい刃先を多数有するため、浅い条痕で高い研削性があることが、テストで示されています。

**SiC**、炭化珪素、硬度約2500HVで、研磨紙や切断ホイールに広く用いられている砥粒です。主として非鉄金属に使われます。

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**、酸化アルミニウム、硬度約2000HVで、研磨砥石や切断ホイールに用いられている砥粒です。主として鉄鋼の試料作成に使われます。かつて琢磨用として広範囲に用いられていましたが、ダイヤモンド製品が使われるようになり、その有用性を大幅に失いました。

**注意**：Samuels\*氏によると、砥粒の硬度は、試料材質の硬度の約2.5から3倍でなければなりません。SiCやAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、セラミックや焼結炭化物の様な材料には研磨にも琢磨にも用いることができません。

\*L. E. Samuels:  
Metallographic Polishing by Mechanical Methods,  
3rd Edition, 108ページを参照

## 6. 消耗品の仕様

### メタログ メソッドの消耗品

メタログ メソッドで用いられている消耗品は総て本章に記載されています。メタログ メソッドに記載されていないが、他に選択できる消耗品も紹介されています。

### メタログ消耗品—确实性

メタログ メソッドとメタログ消耗品の組合せで、高品質の試料作成ができます。また、何度でも同じ品質が得られることを意味する試料作成の再現性が確保されます。

# 切断ホイール

用途	切断ホイール径 mm × 刃厚 mm						
	軸径 32 mm				軸径 22 mm	軸径 12.7 mm	
	432 x 3.0	350 x 2.5	300 x 2.0	250 x 1.5	203 x 0.8	150 x 0.5	125 x 0.5
プラスチック 超軟質材							SAW13 125 x 0.6
非鉄金属 軟質材	10S43	10S35	10S30	10S25	10S20	10S15	30A13
高延性金属 (チタン)	20S43	20S35	20S30	20S25	10S20	10S15	30A13
軟質鉄鋼材	30A43	20A35	30A30	20A25	30A20	30A15 40A15	30A13
中軟鉄鋼材	30A43	30A35	30A30	30A25 33A25(250x0.8)	30A20	30A15 40A15	30A13
中硬鉄鋼材	40A43 42A43(繊維強化)	40A35	40A30	40A25 46A25(3D)	50A20	50A15	50A13
硬質鉄鋼材	50A43 52A43(繊維強化)	50A35 56A35(3D)	50A30	50A25 54A25(手動) 56A25(3D)	50A20	50A15	50A13 B0C13*
高鋼鉄鋼材	60A43 62A43(繊維強化)	60A35 66A35(3D)	60A30	60A25 66A25(3D)	B0C20 203 x 0.9	B0C15 152 x 0.8	B0C13*
極鋼鉄鋼材	B0C41 406 x 1.8	B0C36 356 x 1.8	B0C31 305 x 1.8	B0C25 252 x 1.3	B0C20 203 x 0.9	B0C15 152 x 0.8	B0C13*
焼結炭化物 硬質セラミックス		B0D35 350 x 1.5	B0D31 305 x 1.8	B0D25 251 x 1.1	B0D20 203 x 0.9	B0D15 152 x 0.8	B0D13 127 x 0.6
鋇物と セラミックス		M0D35 356 x 1.5	M0S31 305 x 1.5	M0D25 250 x 1.1	M0D20 203 x 0.6	M0D15 152 x 0.4	M0D13 127 x 0.4

\*B0C13: CBN, 127 x 0.6 mm

# 埋込材料

熱間樹脂	1 kg	2.5 kg	7.5 kg	25 kg	25 mm 径 10 kg	30 mm 径 10 kg	40 mm 径 10 kg
	コード	コード	コード	コード	コード	コード	コード
コンデュファスト	RESFE	-	-	-	-	-	-
クロロファスト	CLAON	-	CLAME	CLALA	-	-	-
ポリファスト	FAPSA	-	FAPME	-	-	-	-
イソファスト	RESDI	-	RESTY	-	-	-	-
デュロファスト	RESIF	-	RESEN	-	-	-	-
マルチファスト	-	RESRU	RESUK	RESLA	-	-	-
マルチファスト緑	-	FAGSA	FAGME	-	-	-	-
マルチファスト赤	-	MUREM	MURES	MURET	-	-	-
プリマウント	-	-	-	-	RESUN	RESGI	RESAM

冷間樹脂	キット	樹脂	硬化剤	粉体	液体
	コード	コード	コード	コード	コード
スハ <sup>+</sup> シフィックス-20	EPO20	1 L EPOIN	½ L EHA20	-	-
スハ <sup>+</sup> シフィックス-40	EPO40	1 L EPOIN	1 L EHA40	-	-
エポフィックス	EPOFI	1 L EPOES	½ L EPOAR	-	-
ベルソシット	VERKI	-	-	3kg VERPO	1 L VERLI
クラロシット	CLAKI	-	-	3kg CLAPO	1 L CLALI
ピアフィックス	VIAFI	-	-	3kg VIAPO	1 L VIALI
デュロシット	40200080	-	-	3kg40200081	1L 40200082

アクセサリ: 埋込み型	25 mm 径	30 mm 径	40 mm 径	1¼" 径	1½" 径
	コード	コード	コード	コード	コード
フレキシフォーム	SILMO	SILTE	SILPY	SILQU	SILHA
ウノフォーム	UNOMO	UNOTE	UNOPY	UNOIQ	UNOIC
セリフォーム	SPEMO	SPETE	SPEPY	-	-

アクセサリ: クリップ	6 mm 100 個	9 mm 100 個	50 個
	コード	コード	コード
支持クリップ	CLIMO	CLIPS	-
マルチクリップ	-	-	CLIFE

アクセサリ:	
蛍光染料	コード
エポダイ	EPOLU
染料	コード
アクリダイ	METAD

## 面出し研磨作業面

MD-プリモ				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
用途		HV	砥粒/ボンド	コード	コード	コード
軟質材	MD-プリモ 120	< 150	SiC/レジン	MARXA	MARFI	MAROT
	MD-プリモ 220	< 150	SiC/レジン	MARAX	MARIF	MARTO

MD-ピアノ				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
用途		HV	砥粒/ボンド	コード	コード	コード
材料全般	MD-ピアノ 80	> 150	ダイヤモンド/レジン	MANPA	MANPI	MANPO
	MD-ピアノ 120	> 150	ダイヤモンド/レジン	MANAX	MANIF	MANTO
	MD-ピアノ 220	> 150	ダイヤモンド/レジン	MANXA	MANFI	MANOT

MD-フォルテ				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
用途		HV	砥粒/ボンド	コード	コード	コード
材料全般	MD-フォルテ120	> 40	ダイヤモンド/メタル	MAFAX	MAFIF	MAFTO

研削砥石				マップス / アブラプラン	ブレバマチック-2
用途	HV	砥粒	粒径	コード	コード
軟延性質材	< 250	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	# 600	ABGOF	
硬質材	> 250	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	# 150	ABGAL	PAMST*
セラミックスと焼結炭化物	< 800	ダイヤモンド	# 120	ABWEE	

SiC 研磨紙				円板径 305 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 230 mm (9")	円板径 200 mm (8")
用途	HV	砥粒	粒径	コード のりなし/あり	コード のりなし/あり	コード のりなし/あり	コード のりなし/あり
材料全般	30-800	SiC	# 80	ROTUS/PAPPE	VARUS/PAPFI	ROTAR/PAPRO	PAPER/PAPNO
			# 120				
			# 180				
			# 220				

\* プレバマチック、ブレバマチック-2(PAMTA)のポジション1に対応

## 精研磨作業面

MD-ラルゴ				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
用途	HV	砥粒	粒径	コード	コード	コード
材料全般	< 150	*	15 ~ 3 μm	MALAX	MALIF	MALTO

MD-アレグロ				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
用途	HV	砥粒	粒径	コード	コード	コード
材料全般	> 150	*	15 ~ 6 μm	MADAX	MADIF	MADTO

MD-ピアノ				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
用途		HV	砥粒/ボンド	コード	コード	コード
材料全般	MD-ピアノ1200	> 150	ダイヤモンド/レジン	MANLE	MANLI	MANLO

MD-フーガ				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
用途	SiC研磨紙用接着円板			コード	コード	コード
材料全般	SiC研磨紙 (のりなし) 用			MUGMA	MAGFI	MUGTO

MD-ロンド				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
用途	琢磨布 (のり付) 用 MDシステム対応無地円板			コード	コード	コード
材料全般	琢磨布 (のり付) 用			RONAL	RONIF	RONLA

SiC 研磨紙				円板径 305 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 230 mm (9")	円板径 200 mm (8")
用途	HV	砥粒	粒径	コード のりなし/あり	コード のりなし/あり	コード のりなし/あり	コード のりなし/あり
材料全般	30-800	SiC	# 320	ROTUS/PAPPE	VARUS/PAPFI	ROTAR/PAPRO	PAPER/PAPNO
			# 500				
			# 800				
			# 1000				
			# 1200				
軟質材	30-400	SiC	# 2400				
			# 4000				

\* 研磨材の供給が必要

## 精研磨作業面

MD-クロス				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
名称	硬質 / 弾性	砥粒	用途	コード	コード	コード
MD-Plan	硬 / 極低	15, 9, 6 μm	セラミックス、焼結炭化物、 鋳物	MEPLA	MUPLA	MAPLA
MD-Pan	硬 / 低	15, 9 μm	鉄鋼材、複合材、 焼結炭化物、皮膜材	MEPAN	MUPAN	MAPAN
MD-Sat	硬 / 中	15, 9 μm	鉄鋼材、非鉄 皮膜材、プラスチック	MESAT	MUSAT	MASAT
MD-Dac	硬 / 中	15, 9 μm	鉄鋼材、非鉄 皮膜材、プラスチック	MEDAC	MUDAC	MADAC
MD-Dur	硬 / 中	15, 9 μm	鉄鋼材、非鉄 皮膜材、プラスチック	MEDUR	MUDUR	MADUR

## 琢磨作業面

MD-クロス				円板径 300 mm (12")	円板径 250 mm (10")	円板径 200 mm (8")
名称	硬質 / 弾性	砥粒	用途	コード	コード	コード
MD-Plan	硬 / 極低	9, 6, 3 μm	セラミックス、焼結炭化物、 鋳物	MEPLA	MUPLA	MAPLA
MD-Pan	硬 / 低	15, 9, 6, 3 μm	鉄鋼材、複合材、 焼結炭化物、皮膜材	MEPAN	MUPAN	MAPAN
MD-Sat	硬 / 中	9, 6, 3, 1 μm	鉄鋼材、非鉄 皮膜材、プラスチック	MEDUR	MUDUR	MADUR
MD-Dac	硬 / 中	9, 6, 3, 1 μm	鉄鋼材、非鉄 皮膜材、プラスチック	MEDAC	MUDAC	MADAC
MD-Dur	硬 / 中	6, 3, 1 μm	鉄鋼材、非鉄 皮膜材、プラスチック	MEDUR	MUDUR	MADUR
MD-Mol	軟 / 高	6, 3, 1 μm	鉄鋼材、非鉄 最終琢磨	MEMOL	MUMOL	MAMOL
MD-Plus	軟 / 高	3 μm	鉄鋼材、焼結炭化物、 ワンステップホーリング	MEPLU	MUPLU	MAPLU
MD-Nap	極軟 / 極高	1 μm, ¼ μm OP-U, OP-S, OP-A	材料全般の最終琢磨 酸化物琢磨	MENAP	MUNAP	MANAP
MD-Chem	軟 / 高	OP-U, OP-S, OP-A, OP-Sと添加剤	材料全般の最終琢磨 酸化物琢磨	MECHE	MUCHE	MACHE

## 研磨材と潤滑剤

ダイヤモンド製品	35 μm	15 μm	9 μm	6 μm	3 μm	1 μm	¼ μm
名称	コード	コード	コード	コード	コード	コード	コード
DP-懸濁液, P 2.5 L		SPUFI	SPUNI	SPUEX	SPUTE	SPUON	SPUQU
DP-懸濁液, P 500 ml		SOPFI	SOPNI	SOPEX	SOPTE	SOPNO	SOPQU
DP-懸濁液, P 125 ml*				SEPEX	SEPTA	SEPON	
DP-懸濁液, A** 500 ml		SYKFI	SYKNI	SYKEX	SYKTE	SYKNO	SYKQU
DP-懸濁液, M 500 ml		SEMFI	SEMNI	SEMEX	SEMTE	SEMNO	
DP-スプレー, P 150 ml	SPRAL	SPRUF	SPRAC	SPRIX	SPRET	SPRON	SPRYT
DP-スプレー, M 150 ml		SMAUF	SMAAC	SMAIX	SMAET	SMAON	
DP-スティック, P 25 ml		KITIF	KITNI	KITEX	KITTE	KITON	KITQU
DP-ペースト, P 10 g		DIFTE	DININ	DIATE	DEPOA	DEPOB	DEPOC
DP-ペースト, M 10 g		SYNOT	SYNNI	SUNXI	SYNTE	SYNSU	SYNTY

潤滑剤製品			コンテナ 1 Lit.	コンテナ 5 Lit.
名称	仕様	コード	コード	コード
DP-ルーブリカント	緑	LUGON	LUGFI	
	青	DEPTI	DEPIF	
	赤	DEPOA	DEPOB	
	茶**	LUBON		
	黄**	LUYON		

酸化剤製品	コンテナ 1 Lit.	コンテナ 5 Lit.	コンテナ 500 ml
仕様	コード	コード	コード
OP-A			OPAHA
OP-S	OPSOT	OPSIF	
OP-U	OPUNO	OPUFI	

\* ポンプボトル

\*\* 水に敏感な材料に推奨

## 7. その他

### 文献表

#### 書籍

##### **A History of Metallography**

C. St. Smith  
The University of Chicago Press (1960)  
A popular exposition of the history of metallography.

##### **Metallographie**

H. Schumann  
VEB Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1967).  
A textbook based on a broad interpretation and a large collection of examples of lightmicroscopic structures.

##### **Metallography**

George Vander Vort  
Principle and Practice.  
McGraw-Hill Book Company (1984).

##### **Metallographie Polishing by Mechanical Methods**

L. E. Samuels  
3rd. Edition 1982, published by ASM  
An exhaustive description of mechanical polishing with examples.

##### **Handbuch der metallographischen Ätzverfahren**

M. Beckert u. H. Klemm  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1966).  
A comprehensive collection of etching recipes.

##### **Metallographisches Keramographisches Plastographisches Ätzen**

G. Petzow  
6. überarbeitete Auflage  
Gebrüder Bornträger Verlag, Stuttgart (1984).  
A comprehensive collection of etching recipes for all types of materials.

##### **Metallkunde für Ingenieure**

A. Guy, Deutsche Bearbeitung  
G. Petzow  
Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt a.M. (1970).  
An elementary introduction to metallurgy with a particular view to metallography.

##### **De Ferri Metallographia**

I: Fundamentals of Metallography, by L. Habraken and J. L. de Brouwer.  
II: Structure of Steels, by Schrader and A. Rose.  
III: Solidification and Deformation of Steels by Annick and J. Pokorny.  
IV: Recent Examination Methods in Metallography/The Metallography of Welds.  
V: Fractography and Micro-fractography  
Presses Académiques Européennes (1966). (I)  
Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf (II)  
Berger-Levrault, Paris/Nancy (III)  
A broad and detailed account of metallography and its applications.

**Sonderbände der Praktischen Metallographie**

Proceedings from the annual conferences of the DGM Carl Hanser Verlag, München.

**Metals Handbook**

Various volumes.

**Metallographic Atlas of Powder Metallurgy**

W. J. Huppmann, K. Dalal  
Verlag Schmid GmbH, 1986.

**Metallographie der Gusslegierungen**

W. Jähnig  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1971.  
A collection of micrographs of castings.

**Schweisstechnischer Gefügeatlas**

V. Horn  
VEB Verlag Technik, Berlin 1974.  
An extended collection of micrographs of welding seams.

**Metallographic Etching**

G. Petzow  
American Society for Metals.  
Metals Park, Ohio 44073, 1978.

**Elements of Ceramics**

F. H. Norton 1972  
Addison + Wesley.

**Metallographische Anleitung zum Farbätzen nach dem Tauchverfahren**

E. Weck, E. Leistner  
Metallographic Instructions for color etching by immersion.  
Part 1, 2 and 3.  
Deutscher Verlag für Schweißtechnik 1982.

**ASM - Metal Reference Book**

Second Edition  
1983 ASM.

**Präparative Metallographie**

H. Waschull (1993)  
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie  
Leipzig - Stuttgart.

定期刊行物

**Praktische Metallographie/Practical Metallography**

(Bilingual German-English/monthly).  
Carl Hanser Verlag,  
Kolbergerstrasse 22,  
8000 München 80.

**Metallography**

(English/bimonthly).  
American Elsevier Publishing Comp.  
Inc., New York/USA. 52 Vanderbilt Avenue.

**Metallographische Arbeitsblätter**

(German/quarterly)  
Fachunterausschuss.  
Metallographische Werkstoffprüfung der KTD,  
3011 Marburg. Masenstr. 20.

**Structure**

(English, German, French editions - 2 times a year).  
Struers A/S, Valhøjs Allé 176  
DK-2610 Rødovre, Denmark.

**Advanced Materials and Processes**

English/monthly).  
ASM, Materials Park, Ohio 44073,  
USA.

**Zeitschrift für Metallkunde**

(German/monthly)  
Carl Hanser Verlag,  
Kolbergerstrasse 22,  
8000 München 80.

**Archiv für das Eisenhüttenwesen**

(German/monthly)  
Verlag Stahleisen, Düsseldorf.

**Metall**

(German/monthly)  
Metall-Verlag GmbH.,  
Berlin-Grünewald, Hubertusallee 18.

**Metals and Materials**

(English/monthly).  
Institute of Metals 1, Carlton House  
Terrace, London S. W. 1.

**Zeitschrift für Werkstoff-Technik**

(German/every 6 weeks).  
Verlag Chemie GmbH. 694  
Weinheim/Bergstr. Pappelallee 3.

**Materials Science and Engineering**

(English/monthly).  
Elsevier Sequoia S.A. P.O. Box 851,  
1001 Lausanne 1, Switzerland.

**Materials Characterization**

(English/monthly).  
Elsevier Science Publishing Co. Inc.



硬度換算表

ビッカース 硬さ	ブリネル 硬さ 10mm WC球	ロックウェル 硬さ		
		荷重 3000 kg	B スケール 100 kg荷重	C スケール 150 kg荷重
940			68.0	76.9
920			67.5	76.5
900			67.0	76.1
880	(767)		66.4	75.7
860	(757)		65.9	75.3
840	(745)		65.3	74.8
820	(733)		64.7	74.3
800	(722)		64.0	73.8
780	(710)		63.3	73.3
760	(698)		62.5	72.6
740	(684)		61.8	72.1
720	(670)		61.0	71.5
700	(656)		60.1	70.8
690	(647)		59.7	70.5
680	(638)		59.2	70.1
670	(630)		58.8	69.8
660	620		58.3	69.4
650	611		57.8	69.0
640	601		57.3	68.7
630	591		56.8	68.3
620	582		56.3	67.9
610	573		55.7	67.5
600	564		55.2	67.0
590	554		54.7	66.7
580	545		54.1	66.2
570	535		53.6	65.8
560	525		53.0	65.4
550	517		52.3	64.8
540	507		51.7	64.4
530	497		51.1	63.9
520	488		50.5	63.5
510	479		49.8	62.9
500	471		49.1	62.2
490	460		48.4	61.6
480	452		47.7	61.3
470	442		46.9	60.7
460	433		46.1	60.1
450	425		45.3	59.4
440	415		44.5	58.8
430	405		43.6	58.2
420	397		42.7	57.5
410	388		41.8	56.8

ビッカース 硬さ	ブリネル 硬さ 10mm WC球	ロックウェル 硬さ		
		荷重 3000 kg	B スケール 100 kg荷重	C スケール 150 kg荷重
400	379		40.8	56.0
390	369		39.8	55.2
380	360	(110.0)	38.8	54.4
370	350		37.7	53.6
360	341	(109.0)	36.6	52.8
350	331		35.5	51.9
340	322	(108.0)	34.4	51.1
330	313		33.3	50.2
320	303	(107.0)	32.2	49.4
310	294		31.0	48.4
300	284	(105.5)	29.8	47.5
295	280		29.2	47.1
290	275	(104.5)	28.5	46.5
285	270		27.8	46.0
280	265	(103.5)	27.1	45.3
275	261		26.4	44.9
270	256	(102.0)	25.6	44.3
265	252		24.8	43.7
260	247	(101.0)	24.0	43.1
255	243		23.1	42.2
250	238	99.5	22.2	41.7
245	233		21.3	41.1
240	228	98.1	20.3	40.3
230	219	96.7	(18.0)	
220	209	95.0	(15.7)	
210	200	93.4	(13.4)	
200	190	91.5	(11.0)	
190	181	89.5	(8.5)	
180	171	87.1	(6.0)	
170	162	85.5	(3.0)	
160	152	81.7	(0.0)	
150	143	78.7		
140	133	75.0		
130	124	71.2		
120	114	66.7		
110	105	62.3		
100	95	56.2		
95	90	52.0		
90	86	48.0		
85	81	41.0		

索引

ページ

あ	アクリル樹脂	51
う	浮彫	75
	埋込	47
	埋込樹脂	50/52/54/104
え	Eボダイ	53
	MD システム	57
	延性	8
おか	汚染物	89
	加圧力	15
	回転速度	14
	間隙	79
き	機械研磨	55/97
	気孔率の誤認	83
	許容可能な品質	38
	亀裂	81
け	経済効率の良い試料作成	38
	系統的な作成法	37
	研磨	59/98/105/106
こ	硬度	8
	硬度換算表	113
	コメントテール	87
さ	再現性	37
	材料例	11
	作業面	13
	酸化アルミニウム	100
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ホイール	43
	酸化物琢磨	61
し	CBN ホイール	43
	時間	15
	湿式砥粒切断	43
	シミ	95
	試料作成作業上のパラメータ	13
	試料作成作業による欠陥	62
	試料作成条件の調整	16
	試料作成についての基本原理	37
	試料作成法の選定	11
	試料面積	16
	潤滑剤、潤滑	14/99/108
	消耗型ホイール	44
	条痕	65
	真の構造	39
	真空含浸	53
す	スマアリング	71
せ	精研磨	60/99
	切断	41
	切断ホイール	43/103
	切断ホイールの選定	45/46

ページ

た	ダイヤモンド	100
	ダイヤモンド琢磨	61
	ダイヤモンドホイール	43
	琢磨	61/99/100/107
	琢磨力学	88
	脱落	77
	炭化珪素	100
	SiC ホイール	43
	弾性	64
ち	長期消耗型ホイール	44
と	砥粒	13/100
ね	熱可塑性樹脂	49
	熱硬化性樹脂	49
	熱間埋込	49
	熱間埋込樹脂	50
ふ	縁のだれ	73
	文献表	110
へ	ベークライトボンド	44
	変形	69
ほ	ポリエステル樹脂	51
ま	埋込砥粒	91
め	メタルボンド	44
	メタログ プロセス	40
	メタログ マスタ	62
	メタログ メソッド	12
	メタログラム	8
	面出し研磨	59/98
ら	ラップ	97
	ラップ痕跡	93
り	粒度/粒径	13
れ	冷間埋込	51
	冷間埋込樹脂	52