

# 引っ掻き試験によるウッドセラミックスの表面性状の評価について

近畿職業能力開発大学校

附属滋賀職業能力開発短期大学校 秦 啓 祐

Evaluation of Surface Characteristics of Woodceramics With Scratching Test

Keisuke HATA

**要約** ウッドセラミックスの外力（負荷）に対する影響について、ウッドセラミックス表面の引っ掻き試験から検討した。供試材であるウッドセラミックスの焼成温度、引っ掻き速度、ダイヤモンド圧子の押し込み荷重等をパラメータとして、引っ掻き溝の形状及びSEM観察からウッドセラミックスの表面性状について検討した結果、引っ掻き溝表面及び引っ掻き溝断面形状は多孔質構造であるために凹凸状に形成されやすく、引っ掻き溝幅及び深さは押し込み荷重の増加と共に大きく形成される。

## I 緒言

セラミックスの一種であるウッドセラミックスは多孔質構造の炭素材料であり、耐熱性、耐摩耗性、電磁波シールド特性、耐食性等を有し、機能性材料としての期待が大きい材料である。他方、構造的には硬くて脆い性質を持つ脆性的な材料といえる。

一般に、脆性材料の加工では研削加工が有効であるが、加工時に脆性破壊型による切りくずが生成され、亀裂生成を伴う。亀裂は切れ刃の前下方に進行した後、上向きに方向を変えるのが一般的であり<sup>(1)</sup>、亀裂の伝播条件によっては工作物表面に残留亀裂を残すと言われている<sup>(2)-(5)</sup>。

また、研削加工における砥粒の工作物への押し込み作用は、砥粒直下で発生する大きな応力とその分布により、種々の亀裂状損傷を発生させ、残留することが多く<sup>(6)</sup>、加工後における部材の強度低下の主因をなすと言われている。それ故に、亀裂生成について調査することは極めて重要と思われる。

これまで、この亀裂生成に関する研究には、単粒切れ刃による切削条痕の解析、硬質圧子の静的押し込み、準静的押し付け時の材料の変形挙動、クラック発生と

進展等<sup>(7)-(9)</sup>からの報告がある。さらには、Swainによるサファイア、ガラスの圧子による引っ掻き痕の破壊観察および微細亀裂発生<sup>(10)</sup>、Kirchner<sup>(11)-(13)</sup>によるホットプレス窒化珪素の単粒ダイヤモンドを用いた除去および亀裂進展、そして今中のMicro-flash法を利用した単粒研削時のセラミックスの破壊直接観察<sup>(14)</sup>等からの報告がある。

そこで、本研究では、脆性的な材料であるウッドセラミックスの表面にダイヤモンド圧子を押し込み、その時に生成される亀裂を観察した。

## II 実験方法

### 1 供試材

供試材は、MDF【ファイバーボードの一つである中質繊維板、密度：570kg/m<sup>3</sup>、含水率：8.5%、(株)住建産業製、Medium Density Fiberboard：以後MDFと称す】に熱硬化性のレゾールタイプのフェノール樹脂【PX-1600、(株)ホーネンコーポレーション社製】を含浸（含浸率：80質量%）したものを、焼成温度873K（密度：920kg/m<sup>3</sup>、硬さ：18~20HV）と1273

K (密度：930kg/m<sup>3</sup>、硬さ：20~25HV)のそれぞれで焼成したウッドセラミックス【東北化学薬品製(株)】を使用した。

図1はウッドセラミックスの原材料であるMDFの構造を示したものである。長さ数mm程度の廃材を利用した木材チップが板幅方向にランダムな方向を向き、それが板厚方向に積層されたものである。MDFの製造工程は乾式製法による製造方法であり、木材チップを連続蒸煮・解繊して、接着剤と混合してマット状とする。その後、熱圧プレスで圧縮成形して所定の厚さとし、調湿・仕上げする工程であり、木材と比べて比較的均質な材料となっている。ウッドセラミックスは図1に示す木材繊維間の空隙の所々にフェノール樹脂が入り込んだものを真空炉にて所望する温度で焼成したものであり、木材繊維の炭化層とフェノール樹脂の炭化層と空隙から構成される多孔質の脆性的性質を有する材料である。本実験で使用した供試材(厚さ：9mm、幅：30mm、長さ：90mm)の引っ掻き面は図1に示す板幅方向の面とした。なお、予め供試材の引っ掻き表面をバフ研磨によって整えた【引っ掻き面をRa2~4μm程度の粗さに調製】。

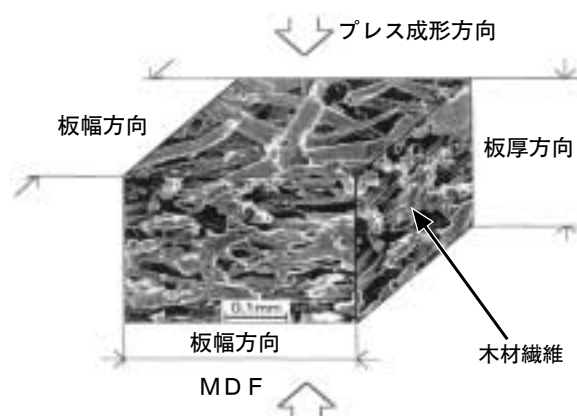


図1 SEM写真によるMDF構造の略図

## 2 引っ掻き試験機

市販のフライス盤 (TYPE:2MW、FORM:V、日立精機製) を利用して、図2に示す様な引っ掻き試験装置を作製した。

フライス盤のテーブル上に固定したエアシリンダー (シリンダー径20mm、ストローク長さ10mm、コガネイ社製) に供試材を取り付け、エアシリンダーに空気を送り込むことによって供試材をフライス盤本体の主軸に取り付けてあるダイヤモンド圧子 (四角錐、対面角：136°) に押し込めた。エアシリンダーへ送り込む空気は、押し込み荷重測定装置に取り付けられ

ている水銀の入ったU字管のパイプに連結している。

押し込み荷重の大きさは、エアシリンダーに空気を送り込む時に生じる水銀柱の高さの差 (空気圧力) にシリンダーの大きさを乗ずることにより表した。

## 3 引っ掻き試験

供試材をダイヤモンド圧子に所定の圧力で押し当て、その状態でフライス盤のテーブルを移動させることにより供試材の板幅方向の面に引っ掻き痕を形成させた。引っ掻き方向に対する四角錐のダイヤモンド圧子は、ダイヤモンド圧子の四角錐の隣り合う二つの面で行き届くエッジ部分が引っ掻き方向に向う様に取り付けた。供試材をダイヤモンド圧子に押し当てる際 (テーブル送り速度) は一定の速度とし、100、500、1000 mm/minの3段階とした。

## 4 引っ掻き溝の評価

押し込む圧力による引っ掻き溝幅および深さへの影響については、図3に示される様な引っ掻いた時の引っ掻き溝の破断面形状を触針式粗さ計でトレース (触針子の先端曲率半径：5μm) することにより評価した。引っ掻き溝の評価については図中の引っ掻き幅と引っ掻き深さとした。

さらに、引っ掻き溝破断部分についてはポリエステル樹脂で包埋し、バフ研磨後、光学顕微鏡を用いて引っ掻き溝断面を観察した。また、引っ掻き溝表面についてはSEM観察した。

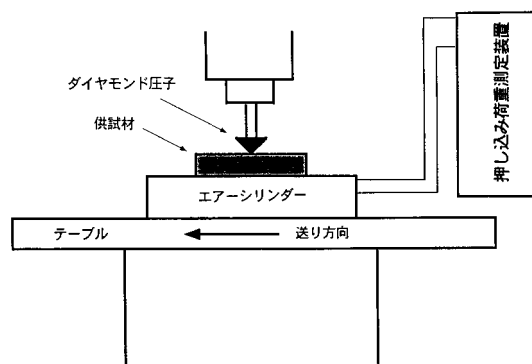


図2 引っ掻き試験装置の概略図

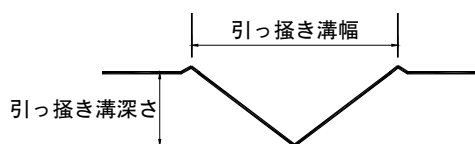


図3 引っ掻き溝破断面形状の模式図

### III 実験結果及び考察

#### 1 引掻き溝形状の大きさ

図4と図5は、引掻き溝幅に及ぼす押し込み荷重の関係性をテーブル送り速度の違いから示したものである。テーブル送り速度が100mm/minの場合、焼成温度873Kと1273Kのウッドセラミックスを比べると、873Kの方が引掻き溝幅は押し込み荷重の増加と共に広く形成されている。テーブル送り速度が1000mm/minの場合では、焼成温度の違いによる引掻き溝幅への影響は表れていない。

次に、図6と図7は、引掻き溝深さに及ぼす押し込み荷重の関係性をテーブル送り速度の違いから示したものである。図4と図5の場合と同じ様に、テーブル送り速度が100mm/minの場合、873Kの材料では引掻き溝深さは深くなっている。しかし、テーブル送り速度が1000mm/minでは焼成温度の影響を受けていない。引掻き溝幅及び引掻き深さに共に、テーブル送り速度が100mm/minの場合、焼成温度の違いが表れており、焼成温度が低い方が引掻き幅及び深さに共に大きく形成されている。この原因の一つとして、引掻かれる材料の硬さが影響していると考えられる。焼成温度873Kの硬さが18~20HVであるのに対し焼成温度1273Kの硬さは20~25HVと焼成温度が高い方が硬くなっている。すなわち、硬さの差が引掻き溝幅及び引掻き溝深さの大きさに影響したものと考えられる。一方、テーブル送り速度が1000mm/minの場合では、引掻き溝幅及び引掻き溝深さに共に、焼成温度による影響が表れていない。この原因として、以下のことが考えられる。1000mm/minのテーブル送り速度で引掻いた時に生ずる引掻き力の大きさは100mm/minのテーブル送り速度の場合と比べて非常に大きいと考えられる。それ故に、この引掻き力の大きさが材料間の硬さとは無関係に大きく影響しているのではないと思われる。本実験では、ただ単にダイヤモンド圧子を押し込み荷重から評価したものであり、これより評価するにはデータ不足であると思われる。今後、引掻き力の大きさに対する詳細な分析から評価する必要がある。

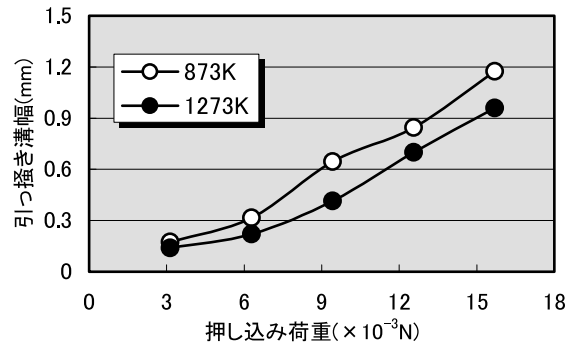


図4 引掻き溝幅に及ぼす押し込み荷重の影響 (テーブル送り速度: 100mm/min)

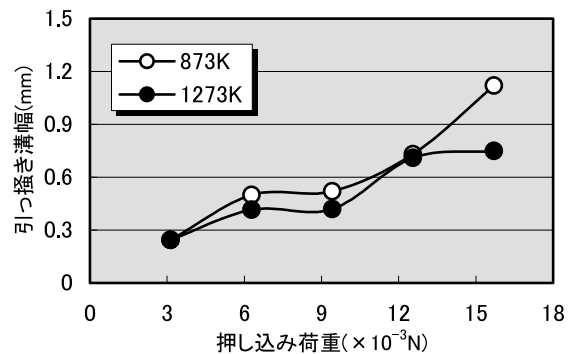


図5 引掻き溝幅に及ぼす押し込み荷重の影響 (テーブル速度: 1000mm/min)

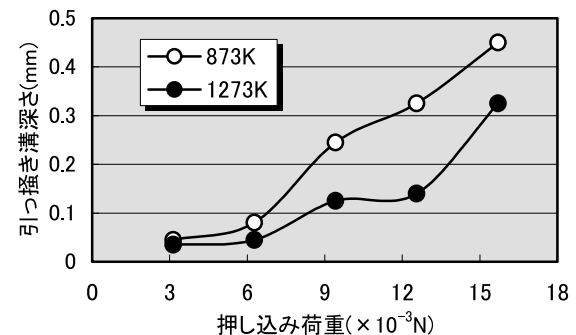


図6 引掻き溝深さに及ぼす押し込み荷重の影響 (テーブル速度: 100mm/min)

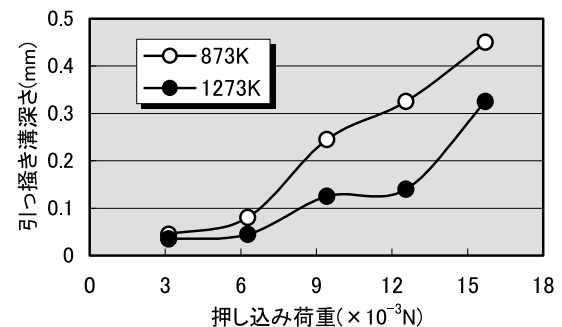
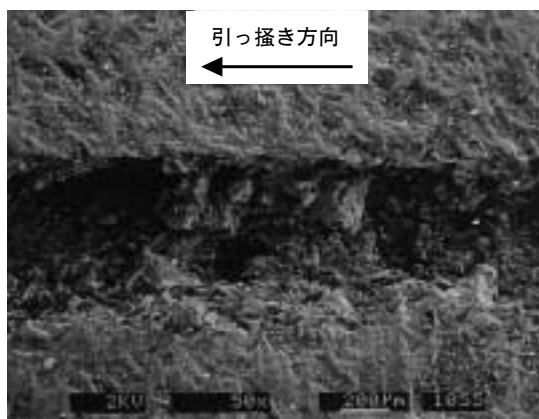


図7 引掻き溝深さに及ぼす押し込み荷重の影響 (テーブル速度: 1000mm/min)

## 2 引っ掻き溝形状のSEM観察

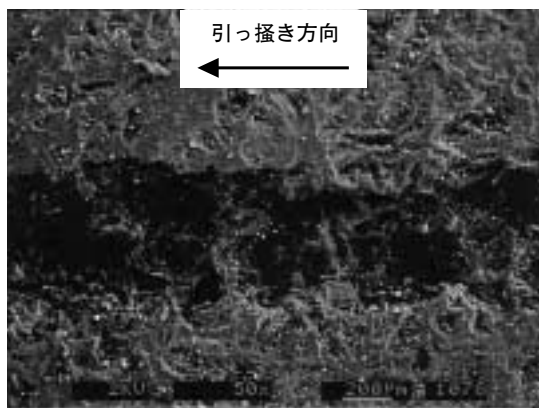
図8-A、Bおよび図9-A、Bに引っ掻き溝についてのSEM写真を示す。

図8-A、Bは焼成温度の違いから観察したものであるが、焼成温度の影響について引っ掻き溝幅の端部周辺及び引っ掻き溝底部分から観察すると、明確な違いを認めることはできなかった。引っ掻き溝幅の端部周辺で発生する欠けは焼成温度に関係なく発生している。引っ掻き溝底部の引っ掻き痕も同じように形成されている。



焼成温度：873K、テーブル送り速度：100mm/min、押し込み荷重： $9.42 \times 10^{-3}$ N

図8-A 引っ掻き溝のSEM観察



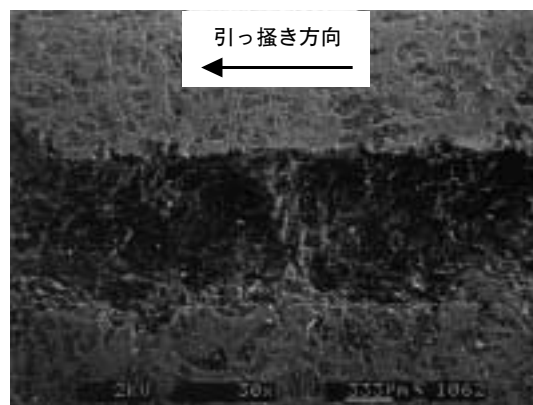
焼成温度：1273K、テーブル送り速度：100mm/min、押し込み荷重： $9.42 \times 10^{-3}$ N

図8-B 引っ掻き溝のSEM観察

一方、図9-A、Bはテーブル送り速度の違いから引っ掻き溝の端部周辺及び引っ掻き溝底部分を観察したものであるが、これも図8の場合と同様に差異を認めることはできなかった。テーブル送り速度が速いほど引っ掻き力による材料への負荷は大きくなることから影響も大きいと考えられる。しかし、多孔質構造の

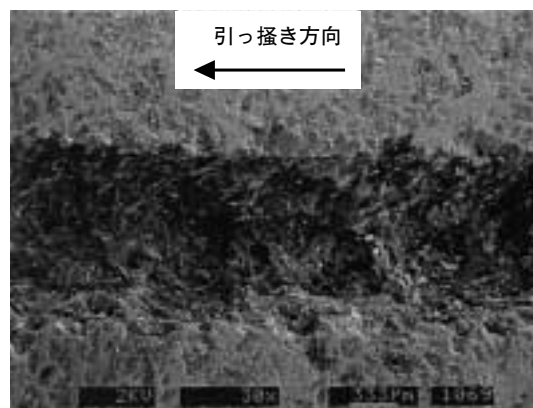
ウッドセラミックスは空隙がランダムに形成されており大きさも不均一であること、そしてウッドセラミックスが脆性的な性質を有することから明瞭な差が表れないものと考えられる。

図10-A及びBは、テーブル送り速度と押し込み荷重を変化させた時の引っ掻き溝の破断面状態を示す。図中の矢印部分が空隙である。テーブル送り速度の大きさに関係なく引っ掻き溝底部分は凹凸状に形成されており、さらにその部分から下層方向に向けて亀裂が形成されている。脆性材料で発生する亀裂については一般に鋭い先端を有し、脆性的な破壊の様相を呈する。しかし、多孔質構造のウッドセラミックスにおいては、発生した亀裂は空隙の部分と合体すると鋭い亀裂先端は存在しなくなる<sup>(18)</sup>と考えられる。詳細な機構については今後さらに検討する必要がある。



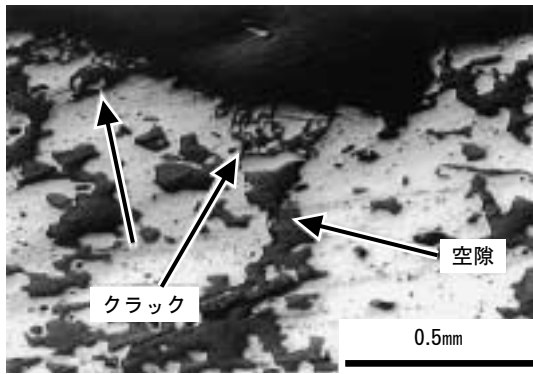
焼成温度：873K、テーブル送り速度：100mm/min、押し込み荷重： $15.7 \times 10^{-3}$ N

図9-A 引っ掻き溝のSEM観察



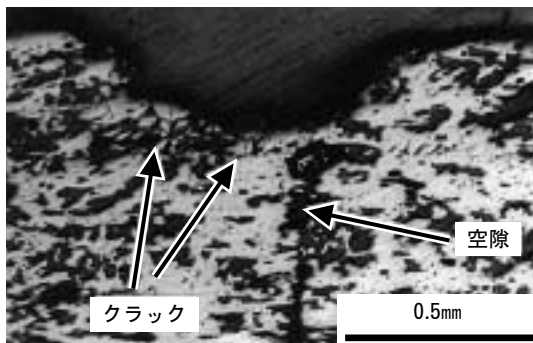
焼成温度：873K、テーブル送り速度：1000mm/min、押し込み荷重： $15.7 \times 10^{-3}$ N

図9-B 引っ掻き溝のSEM観察



焼成温度：873K、テーブル送り速度：100mm/min、  
押し込み荷重： $9.42 \times 10^3 \text{N}$

図10-A 引っ掻き溝破断面のSEM観察



焼成温度：873K、テーブル送り速度：500mm/min、  
押し込み荷重： $15.7 \times 10^3 \text{N}$

図10-B 引っ掻き溝破断面のSEM観察

#### IV 結 言

引っ掻き試験からウッドセラミックスの表面性状について評価した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 引っ掻き溝幅および引っ掻き深さは、押し込み荷重の増加と共に大きく形成される。
- 2) 多孔質構造の脆性材料であるため、引っ掻き溝幅の端部周辺および引っ掻き溝深さ方向には欠けが発生しやすく、凹凸状に形成される。

#### [参考文献]

- (1) 杉田忠彰, 上田完次, 橋本知明: 精密機械, 51 (10), 1985, p.1940.
- (2) 伊藤正治: セラミックス, 18, 1983, pp.479-484.
- (3) D.B.Marshall, A.G.Evans, B.T.KhuriYakub, J.W.Tien and G.S.Kino: Proc., Royal Soc., Lon., A385, 1983, pp.461-475.

- (4) M. Hukulinen : J., Mater. Soc., 20, 1985, pp.1049-1060.
- (5) B. Lawn and R. Wilshaw : J., Mater., Soc., 10, 1975, pp.1049-1081.
- (6) 佃 昭, 近藤洋人, 黒田泰幸, 植松敬三 : J., Ceram., Jap., 103(3), 1995, pp.268-273.
- (7) 今中治 : 機械と工具, 6, 1983, p.26.
- (8) 田中芳雄, 井戸守 : 機械と工具, 6, 1983, pp.33.
- (9) 吉川昌範, 張 壁, 戸倉 和 : 窯業協会誌, 95 (10), 1987, pp.961-969.
- (10) M. V. Swain : Proc., Roy., Soc., Lond., A336, 1979, p.575.
- (11) H. P. Kirchner and E. D. Lssacson : J. Amer. Ceram. Soc., 65, 1982, p.55.
- (12) H.P. Kirchner: Comparison of Single-point and Multipoint Grinding of Glass, J.Amer.Ceram. Soci., 67, 1984, p.127.
- (13) H. P. Kirchner, R. M. Gruver and D. M. Penetration during Abrasive Machining of Ceramics, in The Science of Ceramics Machining and Surface Finishing II, Ed. by B. J. Hockey and R. W. Rice, NBS Spec. Publ., 562, 1979, pp.23-42.
- (14) O.Imanaka, S.Fujino and S.Mineta: The Science of Ceramic Machining and Surface Finishing, Ed. by S. J. Schneider, Jr. and R. W. Rice, NBS Spec. Publ., 348, 1972, pp.37-44.