

炭酸ガスレーザーを用いた陶磁器材料の切断加工に関する研究

デザイン・工芸部 桑原田聡，中村寿一，澤崎ひとみ，寺尾剛

The Study of Cutting Process of Ceramics using CO₂ Laser Machining

Satoru KUWAHARADA, Toshikazu NAKAMURA, Hitomi SAWASAKI and Tsuyoshi TERAOKA

市販の陶磁器原料を用いた陶板を被加工材として，炭酸ガスレーザーによる陶磁器材料の加工条件について検討を行った結果，試料厚3～10mmの陶板についてレーザー出力および切断速度を調整することで良好な切断結果が得られ，試料厚3～5mmでは切断幅が最小で約0.4mmであった。また焦点位置が試料表面より1～15mm移動しても切断が可能であることがわかった。このときの切断幅は，移動量にしたがって最大2.5mmまで増大し，表面が裏面よりも広い切断面となった。また相対密度の高い半磁器試料では，熱応力の影響による被加工材の割れやクラックが多く発生したために，切断可能な間隔等の検討等が必要であることがわかった。

Keyword：炭酸ガスレーザー，陶磁器，切断加工，加工条件

1. 緒言

陶磁器等のセラミックス材料は，一般的に硬度が高く，また脆い性質があるために機械加工が非常に困難である。現在ではダイヤモンド工具による切断，研削が主流であるが，高能率の加工ができないことや複雑な形状の加工が困難であるといった問題点を有している。

一方，レーザー加工は材料を局部的に溶融・蒸発あるいは分解して除去するために従来のダイヤモンド工具による加工では困難な高能率な加工や複雑形状の加工が可能であり，セラミックスの有力な加工方法として期待されているが，加熱によって発生する熱応力の影響により被加工材の割れやクラックの発生が問題となっている¹⁾。これらのレーザー加工特性については，アルミナ，ジルコニア，炭化硅素，窒化硅素等のファインセラミックスに関する研究が主に行われ，天然原料を用いる陶磁器材料についての検討は少ない^{1), 2)}。

そこで，今回は県内で使用されている市販の陶磁器原料を用いた陶板を被加工材として，炭酸ガスレーザー加工機による材料の厚みやレーザー出力，切断速度等の加工条件の検討を行った。

2. 実験

2.1 試料

陶磁器原料には，福島釉薬(株)製上仁清粘土（以下，陶器粘土）と半磁器粘土を用いた。これらの陶磁器原料をタタラ成形機により焼成後の厚さが約3，5，10mmとなるように調整し，200×300mmの直方体に成形した。各原料の成形体を乾燥後850℃で仮焼したものと仮焼後に1250℃で本焼成したものを被加工材料とした。焼成には，超高速昇温電気

炉（アドバンテック東洋(株)製 KSH-2）を用いて，1.5℃/minで昇温し設定温度で1時間保持した後自然冷却した。

使用した原料の化学組成を表1に，ノルム計算による鉱物組成を表2に示す。また各焼成温度における被加工材の焼結特性を表3に示す。被加工材の焼結特性には，見掛気孔率，かさ密度，真密度の測定を行い，かさ密度と真密度から相対密度を算出した。見掛気孔率およびかさ密度は，アルキメデス法で，真密度についてはピクノメーター法で測定を行った。

2.2 加工条件の検討

2.2.1 試料厚さと切断性

使用原料，試料厚，焼成温度等の違いによる切断特性について検討を行った。炭酸ガスレーザー加工機は(株)澁谷工業製ファルコンSを用いて，表4の加工条件のレーザー出力と切断速度を変化させ，切断の可否および切断が可能であった試料については，その切断幅の測定を行った。図1に加工実験の概略図を示す。

切断幅の測定は，デジタルマイクロスコープ（(株)キーエンス製VH-8000C）を用いて切断表面の観察により行った。

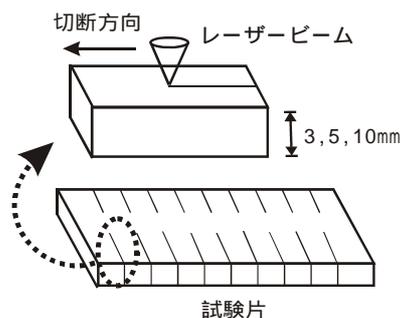


図1 加工実験の概略図

表 1 陶磁器原料の化学組成 (wt%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
陶器粘土	53.0	27.6	1.34	0.65	0.26	0.43	0.27	1.99
半磁器粘土	65.1	18.2	0.53	0.33	0.31	0.27	0.74	3.42

表 2 ノルム計算による鉱物組成 (wt%)

	陶器粘土	半磁器粘土
石英 (Quartz)	14.3	32.1
カオリナイト (Kaolinite)	62.4	32.6
正長石 (Orthoclase)	11.8	20.2
曹長石 (Albite)	2.3	6.3
灰長石 (Anorthite)	0.9	1.1
赤鉄鉱 (Hematite)	1.3	0.5
鋭錐石 (Anatase)	0.7	0.3
その他	0.4	0.3

表 3 焼成体の焼結特性

試料名	見掛気孔率 (%)	かさ密度 (g/cm ³)	真密度 (g/cm ³)	相対密度 (%)
陶器仮焼体	32.6	1.71	2.58	66.3
〃 焼結体	16.2	2.12	2.60	81.5
半磁器仮焼体	32.5	1.75	2.57	67.6
〃 焼結体	5.6	2.33	2.58	89.9

表 4 炭酸ガスレーザーの加工条件

焦点位置	試料表面
アシストガス	圧縮空気
アシストガス圧	4 kg/cm ²
ビーム形態	連続
平均レーザー出力	190 ~ 960W
切断速度	100 ~ 1000mm/min

2.2.2 レーザー焦点距離の移動と切断性

実験に使用した炭酸ガスレーザー加工機はX Y軸方向のみの制御であるため、複雑な形状への加工ではZ軸方向への焦点位置のずれが予想される。したがってこのずれを想定し、焦点位置を移動させた場合における切断特性について検討を行った。加工条件は表3の切断速度を200, 500mm/minとして、焦点位置を試料表面より上方向に1~15mm移動させ、試料厚やレーザー出力と切断幅の関係について検討を行った。

3. 結果と考察

今回、使用した材料の鉱物組成の中で、カオリナイトは一般的に耐火度が高く(1750~1770℃)、媒熔原料である長石類は1200℃前後で溶融するため、これらの構成割合と焼成温度からある程度の焼結特性が推定される。表2、表

3から陶器粘土ではカオリナイトが主鉱物として多く含有していることから1250℃焼成体の相対密度が低く、半磁器粘土ではカオリナイトの割合が陶器粘土よりも少なく、長石類が多いために焼成体の焼結が促進されている。

図2(a)~(d)にレーザー出力と切断速度の違いによる切断性を示す。ここで試料厚3, 5, 10mmのすべての切断が良好な場合、3, 5mmが良好な場合、3mmのみの場合、すべての試料の切断が不可の場合×として評価を行った。また図3(a)~(d)に切断速度が200, 500mm/minと一定にしたときのレーザー出力と切断幅の関係を示す。これらの結果から切断の可否については、レーザー出力が高く、切断速度が遅いほど厚みのある試料の切断も可能となる。しかしこの場合では、切断幅が広くなり(約1000Wで1.1~1.3mm)、切断により被加工材の溶融物(ドロス)の発生量も増える傾向となる。逆にレーザー出力を低くするほど切断幅が狭くなり、試料厚が3, 5mmの場合では最小幅で約0.4mmであるが、試料厚が10mmでは、切断可能なレーザー出力が600~800Wと大きくなるために最小幅は0.6~0.8mmとなる。

また使用した原料の種類および相対密度等の影響としては、切断速度の違いの場合(100~500mm/min)では大きな差はみられないが、相対密度の高い焼結体では切断速度が速く、試料が厚いほど切断が困難となる。特に半磁器焼結体

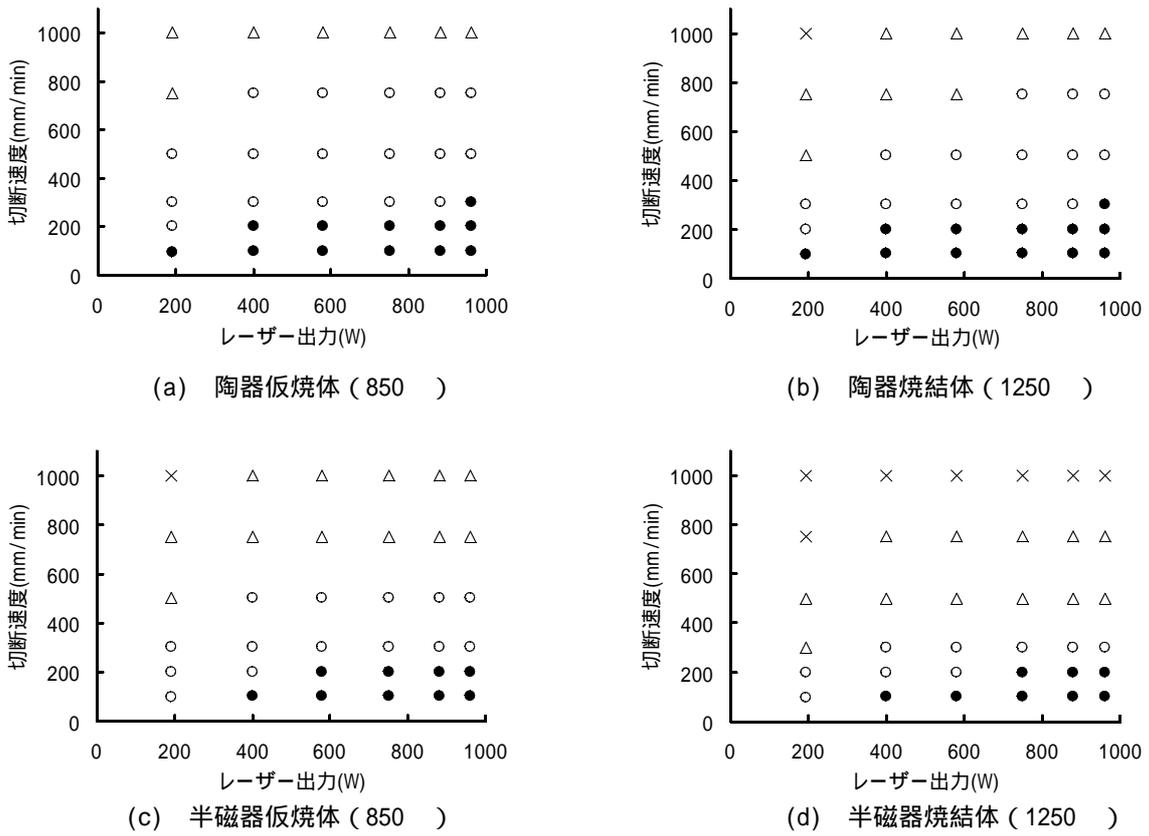


図2 レーザー出力と切断速度の違いによる切断性 (○: 試料厚3, 5, 10mmのすべての切断が良好, △: 試料厚3, 5mmの切断が良好, ●: 試料厚3mmの切断が良好, ×: すべての試料が切断不可)

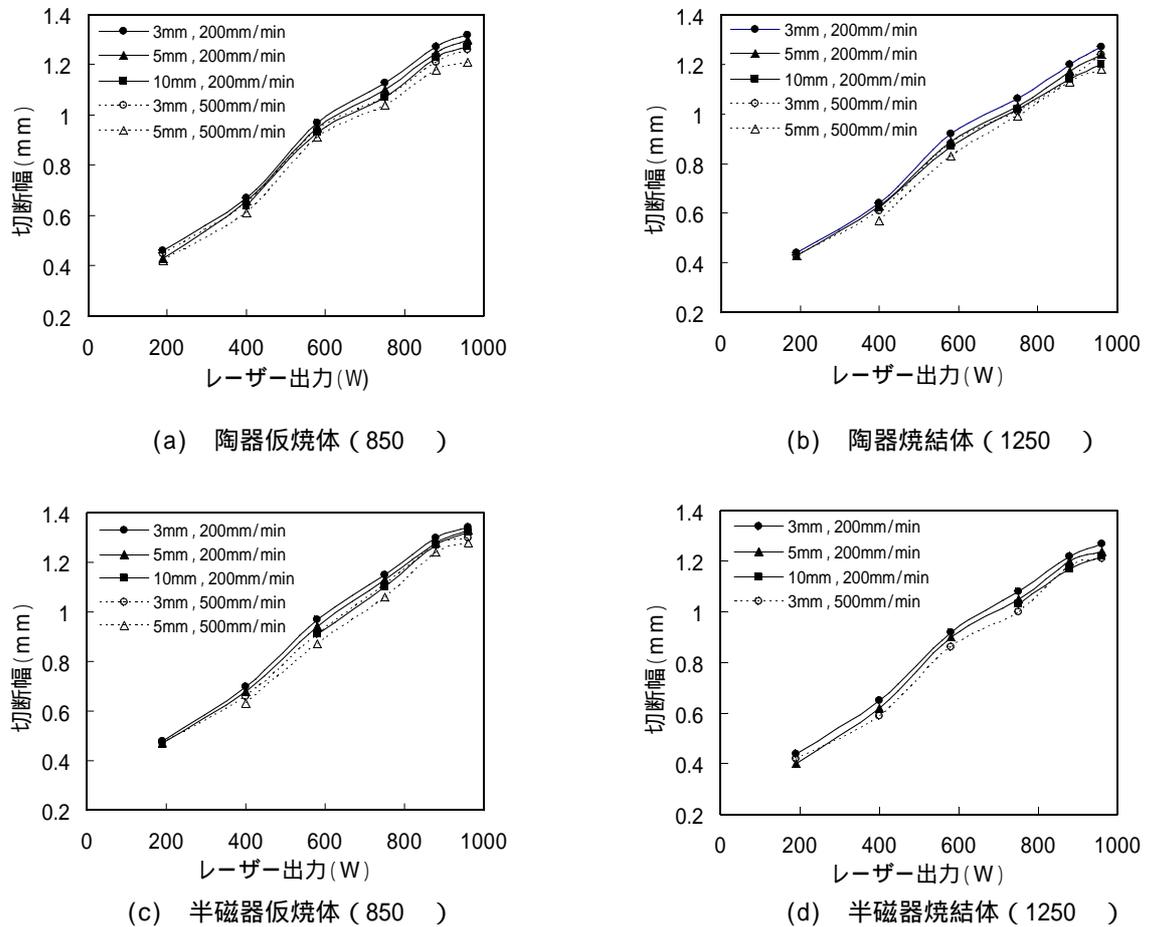


図3 一定加工速度でのレーザー出力と切断幅の関係 (加工速度: 200mm/min, 500mm/min)

では、切断箇所を移動ながら同一試料片による繰り返しの切断試験中に、加熱によって発生する熱応力の影響で被加工材の割れやクラックが多く発生した。このことから切断可能な間隔等の検討や相対密度の低い試料（仮焼体）での前加工等の工夫が必要である。

次に図4(a)～(d)に平均レーザー出力が約400, 750Wにおける焦点位置の移動量と切断幅との関係を図5に、切断面およびその断面写真を示す。図4から半磁器焼結体を除いた場合、厚みが3～5mmの試料において、焦点位置のずれが15mmであっても切断可能であり、レーザー出力が高く、Z軸方向への移動量が大きいほど、その切断幅も広くなった。特に焦点位置のずれが切断幅に大きく影響し、1mmのずれで約1mmの切断幅のものが1.5mmのずれで最大約2.5mmまで増大し、そのときの切断面も試料表面付近での切断幅が最大で、裏側ほどその幅も小さくなった。また切断幅の増大によりドロスの発生量も増加する傾向であった。ドロスについては、予備試験によりアシストガスの種類やその圧力等についての検討を行ったが、その発生量はレーザー出力や切断速度等による切断幅の影響が大きく、これらのアシストガスによる差はほとんどみられなかった。したがって被加工材の厚みやレーザー出力等の切断条件の最適化によって切断幅を小さくすることで、被加工材の溶融物で

あるドロスの発生量を少なくできる。

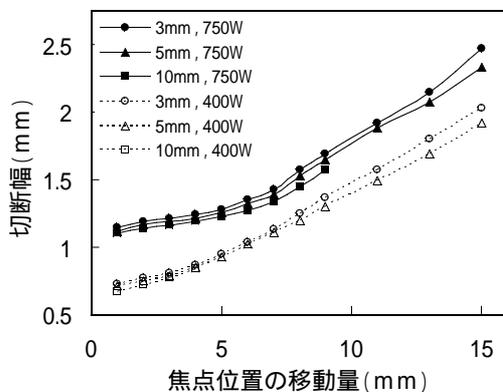
4. 結言

県内で使用されている市販の陶磁器原料を用いた陶板を被加工材として、炭酸ガスレーザー加工機による陶磁器の加工条件について検討を行った。

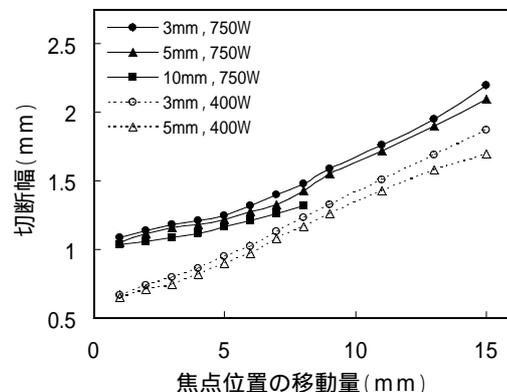
試料厚3～10mmの陶板についてレーザー出力および切断速度を調整することで良好な切断結果が得られ、試料厚3～5mmでは、切断幅が最小で約0.4mmであった。また焦点位置が試料表面より1～15mm移動しても切断が可能であることがわかった。このときの切断幅は、焦点位置の移動量にしたがって最大2.5mmまで増大し、表面が裏面よりも広い切断面となった。しかしながら相対密度の高い半磁器試料では、熱応力の影響による被加工材の割れやクラックが多く発生したために、切断可能な間隔等の検討等が必要である。

参考文献

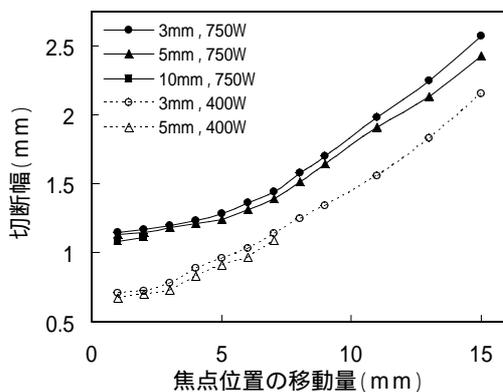
- 1) "最新レーザ加工技術総覧", (株)産業技術サービスセンター (1994) p.80-95
- 2) "セラミック加工ハンドブック", (株)建設産業調査会 (1987) p.385-395



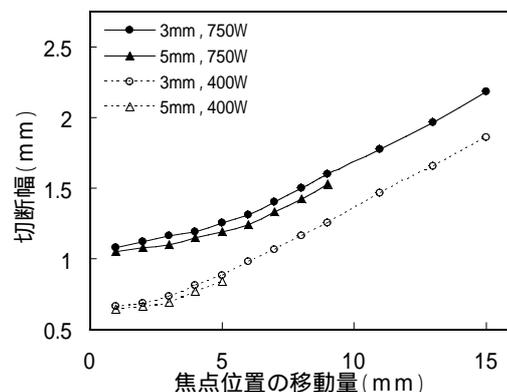
(a) 陶器仮焼体 (850)



(b) 陶器焼結体 (1250)

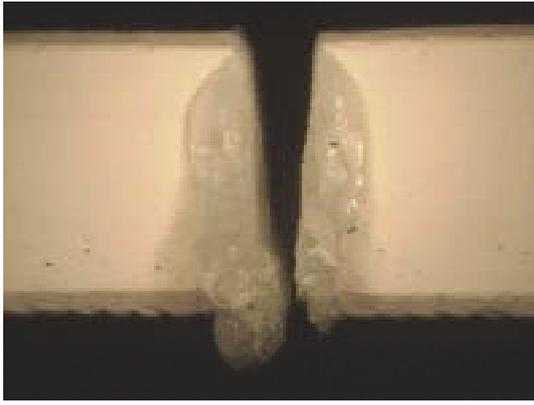


(c) 半磁器仮焼体 (850)



(d) 半磁器焼結体 (1250)

図4 焦点位置の移動量と切断幅の関係(レーザー出力:400,750W)



(a) 切断面写真



(b) 切断面の断面写真

図5 切断面およびその断面写真（陶器仮焼体，試料厚5mm，レーザー出力750W，焦点距離移動量15mm）

