

ガラスのレーザー割断に関する研究

金沢大学大学院 藤江典久, 有川龍郎, 上田隆司, 細川晃, 古本達明, 田中隆太郎

Study on the laser cleaving of glass materials

Kanazawa University Graduate School of Natural Science and Technology Norihisa Fujie, Taturou Arikawa,

Takasi Ueda, Akira Hosokawa, Tatsuaki Furumoto, Ryutarou Tanaka

Laser cleaving is a prospective technique for separating a wafer or thin plate from brittle materials such as glasses and ceramics. However, there is a problem that laser irradiation often causes the thermal damage. Thermal damage to the surface of the glass causes the deterioration of cleaving accuracy. Consequently, it is important to minimize the thermal damage. In this paper, new cleaving technique in which both CO₂ laser and Er:YAG lasers are used at the same time is examined to prevent the thermal damages.

1. 緒言

近年, セラミックスやガラス等の脆性材料の分断法として, 従来のダイヤモンドブレードダイシングに比べて切り代が小さく, 清浄な加工が可能なレーザー熱応力割断が注目を集めている. しかしながら, レーザ照射に伴う温度上昇によって, 加工物に副き裂やはく離が生じるなどの熱的影響が問題となっている.

そこで本研究では, CO₂ レーザ光を単独で照射した場合, CO₂ レーザ光と Er:YAG レーザ光の2つのレーザー光を同時に照射した場合について, ガラスを割断する方法を提案すると共に, 熱的影響抑制の効果について検討する.

2. 熱応力割断の原理

レーザー光を加工物に照射すると, 照射部は急激に温度が上昇して, 熱膨張する. これにより, レーザ照射部には圧縮応力場が, その周辺部分にはこれと釣合うように引張応力場が発生する. この引張応力場では応力が円周方向に働くため, その内部にき裂の先端が位置する場合, き裂が照射部中心に向かって進展することとなる. したがって, レーザ照射部を移動させながらき裂の進展を追従させることで, 材料の分断が可能となる.

今回提案している方法は, CO₂ レーザ光と Er:YAG レーザ光を同時に照射するもので, Er:YAG レーザ光を材料内部の加熱源として, CO₂ レーザ光を応力場発生源として用いている.

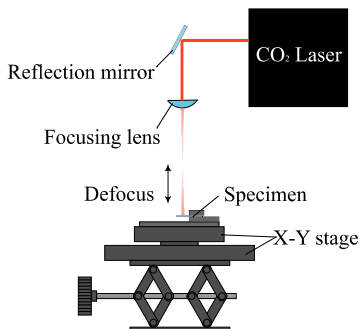


Fig.1 Experimental set up

Table1 Specimen

Specimen:	Soda lime glass
Installation of pre-clack:	Vickers indenter
Feed rate : (mm/s)	1~5
Size:	20×40
Thickness: (mm)	1.3~5

3. CO₂ レーザを用いた割断実験

3.1 実験方法 ガラスのレーザー割断において, 応力場の発生源として用いる CO₂ レーザは, ガラスに対する吸収率が大きく, 照射スポット径が割断の可否や性能に大きく影響を及ぼすことが考えられる.

そこで本実験では, デフォーカス量を変化させて照射スポット径を変え, その違いが割断結果に及ぼす影響について検討した.

実験条件及び試料を表1, 表2に示す. 試料は, 厚さが1.3~5mmのソーダ石灰ガラスを用いる. 試料端には, ピッカーズ圧子を用いてあらかじめ初期き裂を導入している. 実験装置概略図を図1に示す. 試料は, 片もちの加工物保持台に固定され, 試料端よりレーザー光を照射し, 一定の送り速度を与え割断を行う.

3.2 実験結果 図2は, 厚さが1.3mmの試料における割断実験結果である. 図より, デフォーカス量が大きくなるにつれて割断できる最小のパワーは次第に小さくなり, 40mmから55mmのときで最小となり, その後また大きくなることわかる.

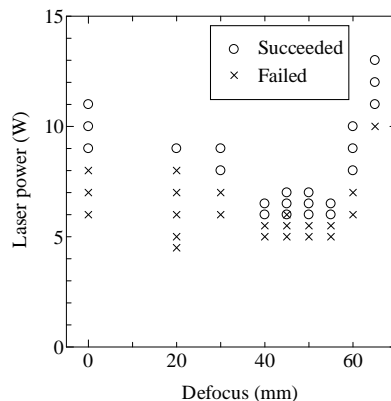


Fig.2 Relationship between laser power Q and Defocus df ($t=1.3\text{mm}$)

Table2 Experimental conditions

Laser:	Er:YAG laser	CO ₂ laser
Wavelength : (μm)	2.94	10.6
Irradiation mode:	PW	CW
Pulse frequency: (Hz)	8	-
Defocus : (mm)	0	0~80
Laser power : (W)	8.8	4.5~13
Feed rate: (mm/s)	1~5	

そこで、割断に必要なレーザーパワーが最小となったデフォーカス量40mmと55mmにおいて、それぞれ試料表面の観察を行い、熱的影響を調べた。その結果を図3に示す。図の写真は、分離した試料を0.5mm程度の間隙を空けて配し、それを上から撮影したものである。隙間以外で黒く観察されるのは、はく離した部分であり、デフォーカス量が55mmでは熱的影響がほとんど抑制できていることがわかる。

以上のことから、適切なデフォーカス量を設定することで、割断するのに必要なレーザーパワーを小さくすることができ、熱的影響を抑制することができる。本実験の結果を踏まえ、次章で設定するデフォーカス量を決定する。

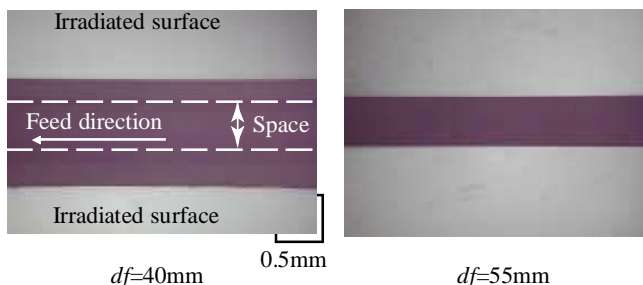


Fig.3 Picture of specimen(V=5mm/s,Q=6W,t=1.3mm)

4. CO₂ レーザと Er:YAG レーザを用いた割断実験

4.1 実験方法 前章の結果から、薄板ガラスであれば、CO₂ レーザ光で熱損傷を抑制し割断することができることを示した。しかしながら厚板ガラスはCO₂ レーザ光のみを用いた方法では熱的影響の抑制が困難であった。そこで本実験では、CO₂ レーザ光と Er:YAG レーザ光の2つのレーザー光を用いた割断方法を提案し、CO₂ レーザ光のみを用いた結果と比較し、熱的影響抑制の効果について検討する。図4に実験装置の概略図を示す。試料は、厚さが2～8mmのソーダ石灰ガラスを用いた。試料を片もちの加工物保持台に固定し、一定の送り速度でステージを移動させ、CO₂ レーザ光と Er:YAG レーザ光を加工物上に走査して割断を行う。図4に示すように、Er:YAG レーザ光は垂直に、CO₂ レーザ光は反射鏡で角度を変え、デフォーカス量に応じて54°～57°の方向から材料表面に照射する。図5に試料寸法及び各レーザー光の照射位置関係を示す。試料には、Er:YAG レーザ光が先に照射され、その後CO₂ レーザ光が照射される。ガラスの試料端には、あらかじめピッカース圧子を用いて初期き裂を導入している。実験条件を表2に示す。

4.2 実験結果 図6はCO₂ レーザ光と Er:YAG レーザ光を用いて割断したときの、試料厚さとレーザーパワー、算術平均粗さ、真直度の関係を示す。CO₂ レーザ光と Er:YAG レーザ光とを同時に用いた方はCO₂ レーザを単独で用いた方より、レーザーパワー、真直度共に小さくなっている。

図7は、厚さが5mmの試料について照射面を観察した結果である。

図より、CO₂ レーザ光を単独で用いた方は、はく離や副き裂などが発生しているのに対し、CO₂ レーザ光と Er:YAG レーザ光とを同時に用いた方法では熱的影響を抑制できていることがわかる。

5. 結 言

(1) 薄板ガラスの場合、CO₂ レーザを用いる方法では、適切なデフォーカス量を設定することで、熱的影響を抑制することが可能である。

(2) 厚板ガラスの場合、CO₂ レーザを用いる方法では熱的影響抑制が困難であるが、CO₂ レーザと Er:YAG レーザとを同時に用いる方法で熱的影響を抑制し、真直度、粗さの良好な結果を得ることができる。

謝辞：本研究に多大なご支援をいただいた澁谷工業(株) に対し記して謝意を表する。

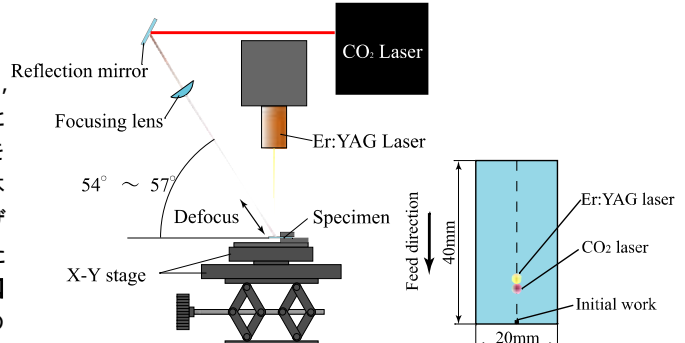
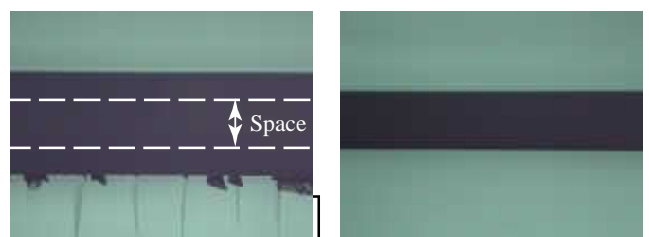


Fig.4 Experimental set up

Fig.5 Size of specimen



(a) CO₂ laser:6.5W

(b) CO₂ laser:5.5W, Er:YAG laser:8.8W

Fig.7 Picture of specimen (V=1mm/s,df=80mm,t=5mm)

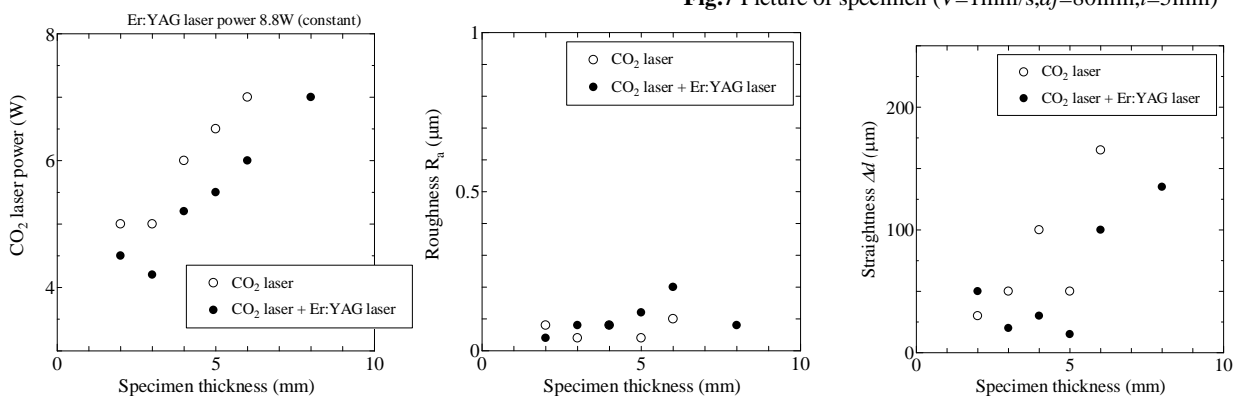


Fig.6 Relationship between Specimen thickness and Laser power, Straightness, Roughness (V=1mm/s,df=80mm)