

冷却ノズルを用いたレーザ加工技術の研究（第1報）

Study on Laser Processing Technology using a Cooling Nozzle (1st report)

冷却ノズルの試作と加工実験

Trial manufacture of a cooling nozzle and cutting test

鈴木好明*・福井慎二**・白倉豊**・柏木秀文***

Yoshiaki Suzuki, Shinji Fukui, Yutaka Shirakura and Hidefumi Kashiwagi

* 機械素材研究所、** 株式会社福井商会、*** 元機械素材研究所長

ガラスやセラミックス等の脆性材料は、硬くて脆いため刃物等による切断が困難で、砥石による切断でも加工効率が非常に悪い。そこで本研究では、炭酸ガスレーザを用いてガラスの切断加工を試み、その可能性を検証した。

レーザ切断の場合、熱の影響により割れが発生するので、割れ防止のために切断部周辺を冷却することを考え、冷却用のノズルを試作した。

冷却ノズルはレーザ加工機に容易に装着できる構造とし、冷却ガスには圧縮空気を用いた。加工実験の結果、アシストガスと併用してレーザ照射することで、ガラスの切断が可能であることが確認できた。

1. はじめに

熱伝導率の低いガラスのレーザ切断においては、熱による応力集中等により、亀裂や割れが生じる。対策として、直線切断の場合にはミシン目のようにスクライブ加工し、力を加え割る方法や、穴空け加工の場合には紫外線レーザ、フェムト秒レーザの使用が考えられる。しかし本研究では、最終的に必要な曲線等の自由形状加工と加工装置のコストを考慮して、既存の炭酸ガスレーザを使用して、ガラス切断を試みた。

一般に炭酸ガスレーザ切断では、レーザ照射による加熱で、対象物を溶融又は燃焼させて切断し、同時に高圧アシストガスの吹きつけで、溶融・燃焼を助長し、切断を進行させている。

切断はレーザの熱エネルギーとアシストガスで行われるが、ガラス切断部周辺の冷却を目的として、既存の加工機に装着可能なアタッチメント方式のノズルを試作し、その可能性について実験と考察を行った。

2. 切断用冷却ノズルの試作

2.1 冷却ノズルの概要

レーザ加熱による切断部周辺の熱を除去するための

冷却ガスを吹き付ける図1のような冷却ノズルを考案した。(a) に示すような一般の切断ノズルに装着可能なアタッチメント方式で、(b) に示すように、冷却ガスを切断ノズル側面から吹き付け、切断ノズル周辺からレーザ光及びアシストガスと並行に加工物へ冷却ガスを供給する仕組みである¹⁾。

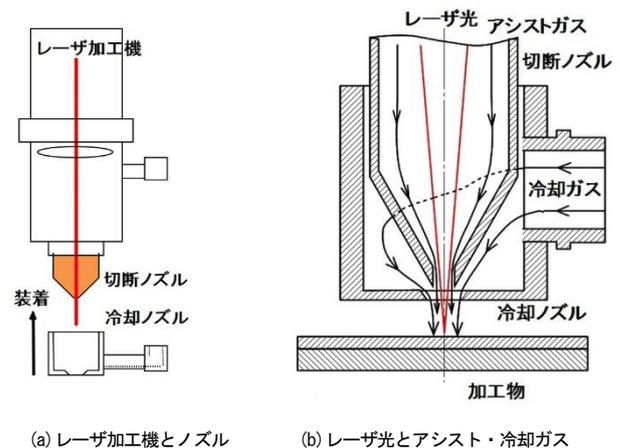


図1 冷却ノズルの概要

2.2 予備切断

冷却効果によるガラスの切断を確認するため、図1に示した切断ノズル周辺を冷却ガスで覆うような簡易的なノズルで切断実験を行った。冷却ガスとアシスト

ガスはコンプレッサーから供給される圧縮空気を使用した。

まず、入熱が少ないパルスによるレーザー照射を行い、切断が可能であることを確認した後、連続照射で直線の切断を行った。厚さ 1.1 mm ソーダガラスを切断対象とした。

なお、パルスは瞬時に設定値を超える大出力のスーパーパルスと、出力を設定値に保つノーマルパルスの2方法で行った。レーザーの焦点はディフォーカスをかけた。

実験に使用した炭酸ガスレーザー加工機の主な仕様は表1のとおりである。

表1 炭酸ガスレーザー加工機の主な仕様

項目	仕様
レーザー波長	10.6 μm
出力可変範囲 (P)	200 ~ 1000 W
パルスピーク値 (P)	最大 2000 W
パルス周波数 (Q)	10 ~ 2500 Hz
パルスデューティ (R)	1 ~ 100 %
最大加工送り速度 (F)	8000 mm/min

亀裂、割れ等が発生なく切断が可能であった場合の加工条件を表2、切断状況の俯瞰と切断断面の写真を図2に示す。微小クラック生成やドロス付着があるものの、冷却を行うことでガラス切断が可能であることが確認できた。

表2 切断可能な加工条件

出力 (P)	300 W
パルス周波数 (Q)	4000 Hz
パルスデューティ (R)	0.3 %
送り速度 (F)	4200 mm/min
アシストガス圧力 (A)	0.05 Mpa
冷却ガス圧力 (R)	0.1 Mpa

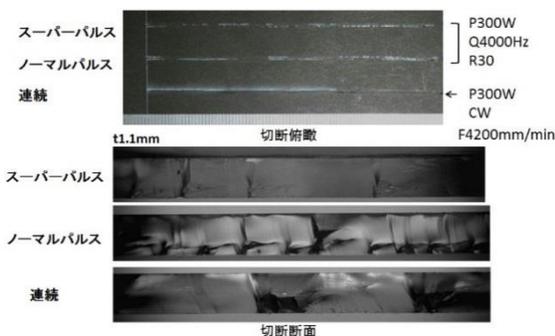


図2 ガラス切断状況

2.3 冷却ノズルの試作

ガラスの切断には加工部周辺の冷却に効果があるこ

とが確認できたが、精密な加工を行うためにはレーザーのフォーカス点（切断ノズル先端から 1.5 mm）近傍で切断することが必要なため、より精細なノズルを試作した。

初めに、冷却ガスの適切な吹き出し角を求めるため、単一口ノズルで角度を変え切断実験を行った。加工機の切断ノズル外形の角度が水平と 60°であるため、吹き出し角を 15°から 60°まで、角度を変化させ直線切断を行った。アシストガスと冷却ガスは、予備切断と同様にコンプレッサーからの圧縮空気を調整しながら供給した。

実験は、加工進行側からノズルでガスを吹き出しながら冷却した。その結果、吹きつけ角 45°以下の低角度で切断面が生成できることを確認した。実験の様子を図3に示す。

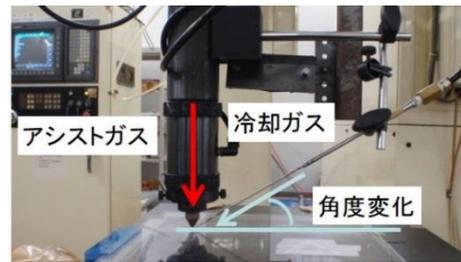


図3 冷却ガス吹きつけ角度検査実験

予備切断による切断面周辺の広範囲の冷却と、吹きつけ角度の検査実験による低角度での吹き出しの効果 considering, a cooling nozzle was fabricated. The cooling nozzle is composed of an inner cover and an outer cover as shown in Figure 4. The cooling gas is supplied from two ports in the axial direction so that the gap between the inner and outer covers can be 1 mm, and the blowing angle is 15°.

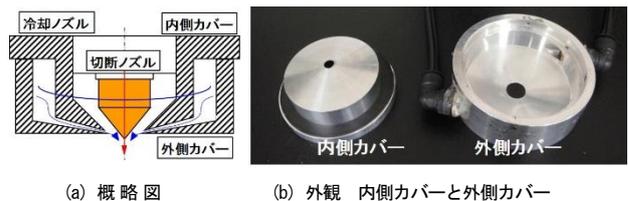


図4 試作した冷却ノズル概略図と外観

2.4 切断実験

試作した冷却ノズルを用いて、ガラス切断に必要な

条件を求める加工実験を行った。対象として、液晶表示装置用ガラス基板等として使用され、需要増加が見込まれる厚さ 0.3 mm と 0.5 mm の無アルカリガラスを切断した。

切断条件は表 3 のとおりで、連続照射による出力とした。

表 3 切断条件

出力 (P)	100~500 W (50 W 間隔)
送り速度 (F)	400,800,1200,2400,3600,48000 mm/min
アシストガス圧力 (A)	0.05, 0.1 MPa
冷却ガス圧力 (C)	0.1, 0.2 MPa

3. 結果と考察

3.1 切断可能な加工条件

前項の切断条件でレーザー加工を行い、加工中の割れ、加工後の亀裂発生、加工面の蛇行が生じない時を切断可能と定義した。

切断不可能な状態は、レーザーが貫通しない、加工中に割れてしまう、切断できても時間経過と共に亀裂が発生し割れてしまう等の場合であった。

切断可能であった時の出力と送り速度の関係を図 5 に示す。厚さ 0.3 mm と 0.5 mm 共に、出力 100 W から 300 W、送り速度 1200 mm/min から 2400 mm/min の範囲内で切断が可能であった。また適正なガスの圧力はアシストガス 0.1 MPa、冷却ガス 0.2 MPa であった。

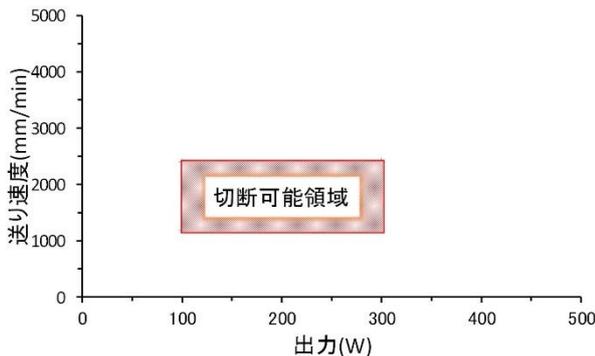


図 5 無アルカリガラス切断可能条件

切断可能であった加工の中で、良好な切断面が生成した場合の切断面と切断層を図 6 に示す。加工進行方向に対して右側の切断面を R 側、左側を L 側と記した。R 側と L 側共にドロスは付着していないが、切断面の様子が異なっており、R 側が割断面、L 側が切断面に近

い表面状態を示していた。切断層は連続的な形状で反りを生じていた。

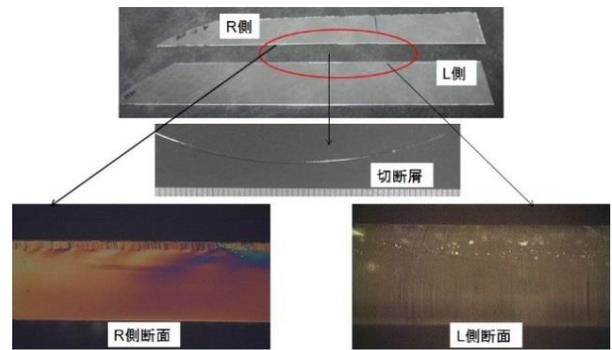


図 6 良好な切断時の切断面と切断層

3.2 切断層と切断面に関する考察

図 6 に示した良好な切断面が得られた時の切断層の電子顕微鏡による拡大写真を図 7 に示す。

断面は、円形と台形が重なり合ったような形状をしており、全体は、楕円状の連続した形状で、図 6 から観察されるように反っている。

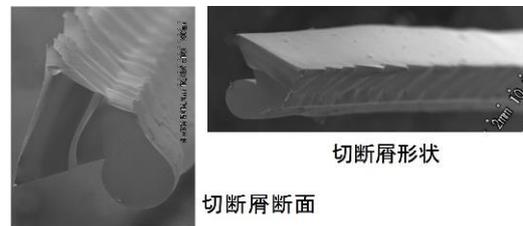


図 7 切断層拡大写真

この切断層と切断面の左右断面形状の違いから、図 8 に示すようなことが推察される。

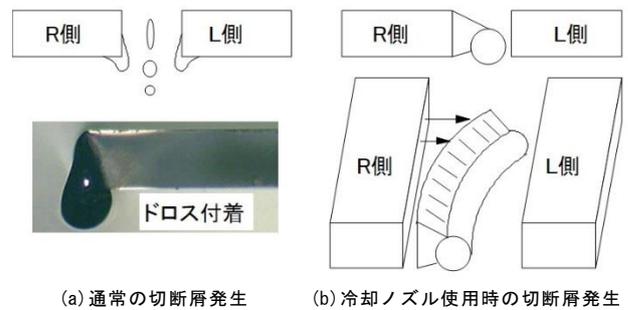


図 8 切断面と切断層模式図

一般に、レーザー切断における切断面の生成では、図

8 (a) に示すように、レーザ加熱とアシストガスにより、入力側から被切断物が熔融し、一部は出口側に排出され、同時に切断面の両側に一部ドロスとして残ると考えられている。

加工後に割れてしまう場合は、図8 (a) の写真に示すように、レーザの加熱により生じたドロスが、加工面に付着したままである。この場合、ガラスが一度熔融した後に冷却過程で歪みを生じるため、割れに至るのではないかと考えられる。

実験で得られた良好な切断が行われた場合は、図8 (b) に示すように、冷却ガスの吹きつけにより、一方 (L 側) には、ドロスが断面に残らず熔融されながら連続的に切断された切断面となり、切り離されたドロスが冷却され収縮し、切断層として剥離されることで、もう一方 (R 側) の面に、割断面が生成されるのではないかと推測される。

また、図7と図8 (b) に示した切断層の形状は、円形部が熔融した側、台形部の底辺が割断した側に対応しているものと考えられる。

従って、熔融による切断と、剥離による割断という左右非対称の断面を生じさせ、熔融物が断面に残らない加工を実現することで、割れを防止し、良好な加工面が得られるのではないかと考えられる。

4. おわりに

本研究では、炭酸ガスレーザによるガラス切断時の冷却に着目して、初めにアタッチメント方式の冷却ノズルを試作し、次に、その冷却ノズルを加工機に装着し加工実験を行った。その結果、加工中の冷却により割断面と切断面の生成がガラスの切断に効果的であることが確認できた。

このように左右非対称な加工面が生成できるのは、冷却ガスの吹き出し口が切断ノズル周辺を覆うドーナツ形状となっているため、エアーが渦を巻きながら吹き出しているからではないかと思わすが、現段階ではその検証までは実施できていない。

以上のように、エアーの流れについての解析をはじめ、切断面の品質の向上など、解決しなければならな

い課題も多く残されている。

今後は、冷却メカニズムの解析をはじめ、品質向上のための冷却ノズルの改良と、加工対象となるガラスの材質や加工形状に合わせた切断条件を求めて行く必要がある。

謝辞

本研究は、公益財団法人 JKA から競輪等の収益の一部である自転車等機械工業振興事業の補助を受けた設備を利用して行いました。

文献

- 1) 特許第 4719857 号、発明の名称 アタッチメント、特許権者 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター、福井慎二