

# 高出力超短パルスレーザーを用いた 高速ガラス切断技術“TOP Cleave”の産業活用

トルンプ(株)

中村 洋介

## “TOP Cleave” technology of high speed glass cutting with high power ultra short pulsed laser in several industries

Yosuke Nakamura

TRUMPF CORPORATION, Industry Management Group, Laser Engineering Department, Laser Division

### 1. はじめに

近年において超短パルスレーザーの高出力化、高パルスエネルギー化は目覚ましい進化を遂げている。特に薄ディスクを用いた超短パルスレーザーは、高いビーム品質を維持しつつ高出力と高パルスエネルギーを両立する事が可能である為、現時点においても自動車産業やスマートフォンを中心とした電子機器産業において、生産現場で大いに活躍している。Yb:YAG結晶である薄ディスクをレーザー発振媒質とするレーザー発振器は、固体レーザーに分類され、一般的にはディスクレーザーと呼称される。ディスクレーザーの大きな特徴は、レーザー媒質である薄ディスク自体を直接冷却する事で励起時に発生するレーザー媒質への熱影響を抑えることが出来ることである。その結果、

ロッドタイプの固体レーザーと比べ、高出力でビーム品質の高いレーザー光を発振する事が出来る。本稿で紹介する TruMicro 5070 もこの薄ディスクを用いてレーザー光を増幅している。薄ディスクをレーザー媒質とした高出力超短パルスレーザーは短いパルス幅と高いピークパワーによって、金属をはじめ、加工が困難なセラミックス、樹脂や金属の薄膜、複合材料、そして透過率の高いガラス材料までも、機械加工を上回る精度とスピードで加工が出来るようになりつつある。図1には超短パルスレーザーを用いた非熱加工例を、図2にはサファイアの微細加工画像をそれぞれ示す。本稿においては、超短パルスレーザーを用いたシングルパスでのガラス切断技術である TOP Cleave について紹介する。超短パルスレーザーを用いたガラス加工の大きな課題であった加工時間のブレークスルーとなり得る技術である。

〒226-0006 横浜市緑区白山 1-18-2

TEL 045-931-8333

FAX 045-931-7534

E-mail: laser@jp.trumpf.com



図1 超短パルスレーザーを用いた非熱加工（マッチへのエングレージング）

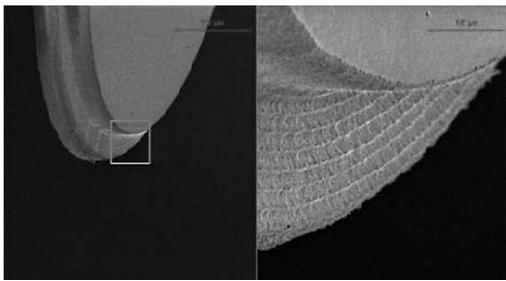


図2 サファイアへの微細加工

## 2. 超短パルスレーザーを用いたガラス加工技術

従来は超短パルスレーザーを用いたガラスのような透明材料の加工は、主に多光子吸収とアブレーションによって進められてきた。加工精度は非常に高いが、加工スピードが遅いことが産業での活用における大きな課題であった。加工スピードは我々の高出力グリーンピコ秒レーザー：TruMicro 5270（波長：515 nm，パルス幅：<math><10</math> ピコ秒，最大パルスエネルギー：150  $\mu\text{J}$ ，平均最大出力：60 W）を用いても1 mmの厚みのソーダライムガラスに対して1~3 mm/秒程度と、高速とは言い難い加工スピードである。その結果、超短パルスレーザーを用いたガラス材料への加工は、微細加工や小さい部品の切断、小径穴あけのように、産業における活用範囲が限定的であった。スマートフォンやウ

ェアラブル機器をはじめ、多くの製品でディスプレイやガラス製品が利用される近年においては、高品質で大面積のガラス切断技術が求められており、それに対して長年超短パルスレーザーによる切断技術の参入は困難であった。その様な市場の要求に対して、TOP Cleaveは1000 mm/秒以上でのガラス割断スピードを実現しており、フラットパネルディスプレイをはじめとした多くの産業に採用されている。

## 3. 概要

TOP Cleaveとは超短パルスレーザー発振器：TruMicro 5070（波長：1030 nm，パルス幅：<math><10</math> ピコ秒，最大パルスエネルギー：250  $\mu\text{J}$ ，平均最大出力：100 W）と自社製の専用加工ヘッド（図3）とを合わせて使用する事で、最大約2 mmの厚みのガラスをシングルパスで割断を可能としたTRUMPFが開発した技術である。加工スピードは1000 mm/秒を超える事も可能であり、現時点では最速で直線スピード2800 mm/秒でのガラス割断を生産現場で実現している。その際の断面の粗さは $Ra < 0.5 \mu\text{m}$



図3 TOP Cleave 加工ヘッド

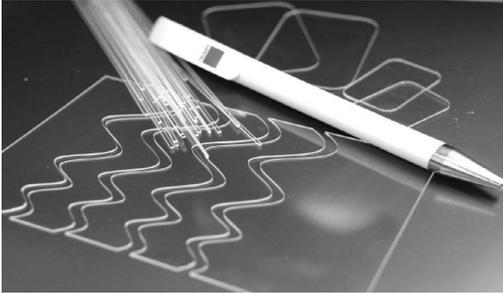


図4 TOP Cleaveで切断した強化ガラス

(参考値)であり、一般ガラス、光学ガラス、強化ガラス、そしてサファイアなど多くの透明材料を切断可能である。図4にTOP Cleaveで切断した強化ガラスを示す。

#### 4. 加工原理

TOP Cleaveの特徴は専用加工ヘッドによって、レーザー光を光軸方向にほぼ均一な強度分布にすることである。図5にTOP Cleaveと従来の集光光学系のレーザー光の光軸方向における強度分布を示す。この均一な強度分布により、超短パルスレーザーが照射された部分に多光子吸収を発生させ、そこを起点としてガラス表面から底面までに均一な modification をシングルパスで形成することが可能となる。この modification はガラス表面の光軸方向に微小な円形状に形成され、それを切断形状に合わせてステッチの様に並べることで、ガラス材料を任意の形状で切断することが出来るのである。これがTOP Cleaveの基礎加工原理である。均一な強度分布を持つレーザー光の長さは、最長で2 mm以上にすることが出来る。その結果、切断可能な透明材料の厚さも約2 mmとなる。実際の加工時においては、加工対象がこの均一分布しているレーザー光の範囲内に収まっていれば、材料の厚みに多少の誤差があったとしても、同等の精度で切断が可能である。このTOP Cleaveが持つ加工時のクリアランスは生産においての微小な加工対象の誤差で左右される可能性が低く、レーザー加工における重要なパラメータである焦点位置の管理を大幅に簡便化し

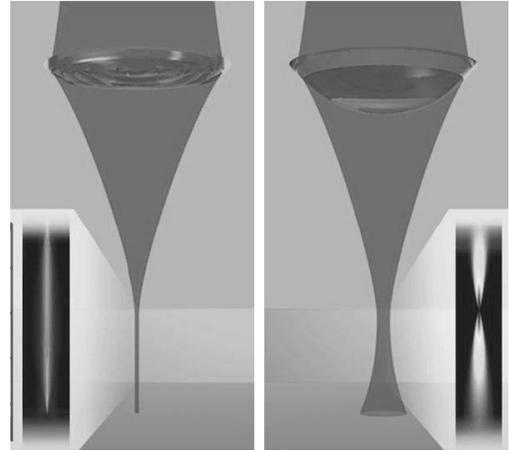


図5 TOP Cleaveの強度分布(左)と一般的な集光光学系の強度分布(右)

ている。なお、2 mm以上の長さの均一分布内で多光子吸収を発生させるためには、レーザー発振器自体が大きなエネルギーを持ったパルスを発振する事が不可欠である。さらに、高速加工の 위해서는高い繰り返し周波数が必要である。結果として生産装置においては、高パルスエネルギーで高出力のTruMicro 5070が活用されている。高出力に加え、パルスオンデマンドの機能を用いることで、直線部分と曲線部分の切断面の品質を同等に制御する事も可能である。

#### 5. 切断方法

先述の通りTOP Cleaveはガラス表面から底面まで modification を形成させる技術である。強化されたガラスに対しては、光軸方向に形成された modification が強化ガラス内部の応力バランスを破壊する事で、セルフリリースと呼ばれる外力を加えずにガラスを切断することが可能である。未強化のガラスやサファイアに対してはTOP Cleave加工後に外力を加えることで、強化ガラスと同程度の断面品質で切断することが可能である。この際の外力とは、ヒーターやCO<sub>2</sub>レーザーによる限定的な加熱と、ハンドブレイクの様に物理的に力を加えることである。加工対象に対して抜き加工が必要な場合には、TOP Cleave加工後に、化学エッチン

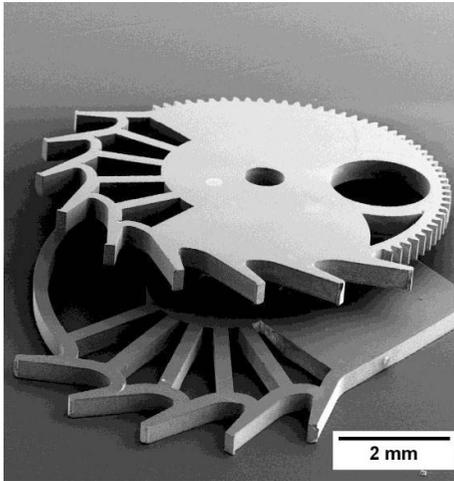


図6 TOP Cleave 加工後に化学エッチング処理を施したサファイア製歯車

グ処理を施すことで、実現可能である。TRUMPF 社内の実験において、化学エッチング処理による浸食は modification 部の方が未加工部と比較して 100~1000 倍早いと確認されている。また、化学エッチング処理後の切断面の精度は、TOP Cleave 加工のみでブレイクした切断面と同程度である。これらの特徴から、加工対象の抜き加工や複雑な微細形状についても TOP Cleave 加工と化学エッチング処理によって加工出来る。その時の最小径は 100  $\mu\text{m}$  以下である。図6は TOP Cleave 加工後に化学エッチング処理をした微小なサファイア歯車の画像を示す。

## 6. 今後の展望とまとめ

TOP Cleave は、スマートフォン等に使用されるフラットパネルディスプレイやサファイア

基板の切断を中心に急速な拡がりをみせている。その用途は半導体材料や微小な光学素子の様な高い加工精度が必要なアプリケーションから、高級ガラス食器のような民生品にまで拡大してきている。

TOP Cleave の目指す将来の展望の一つは、より厚いガラス材料の割断である。より厚いガラスをシングルパスで割断する為に必要なことは、よりパルスエネルギーの大きいレーザー発振器の開発である。現時点で既に 250  $\mu\text{J}$  ものパルスエネルギーで発振している TruMicro 5070 のパルスエネルギーをさらに高めることは簡単な事ではないが、ディスクレーザーの技術を用いることでそれは高い可能性で実現出来ると考えている。2 mm より厚いガラスの割断が可能になれば、ガラス市場において大きな割合を占めている建築用ガラスや自動車用ガラスの割断も可能となるであろう。超短パルスレーザーを用いたガラス割断技術は将来的には一般的な工法として認知されると確信している。

## 謝辞

本稿は TRUMPF と共に実験した、Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institute of Applied Physics の Dr. Malte Kumkar, Dr. Sören Richter, Daniel Großmann, Elke Kaiser と彼らの同僚たちの実験結果によるものである。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) U. Quentin, D. Flamm, K. Kaiser, M. Kummer, : Glass processing technology with ultrafast lasers. LPM (2016)