

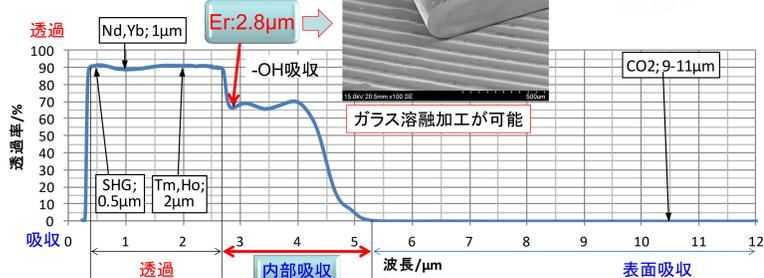
# 中赤外Erファイバーレーザーによるレーザー加工技術

Laser Processing Technology with Mid-infrared Er Fiber Laser

小田晃一, 小西大介, 三澤明日香, \*時田茂樹, 村上政直 (三星ダイヤモンド工業(株), \*大阪大学レーザー科学研究所)

## 中赤外波長レーザー

## 研究背景



ソーダガラス0.5 mmの光透過率とレーザーの発振波長

### 学術用途

- ・他波長レーザーの励起光源 (e.g. Fe:ZnSeレーザー)
- ・波長変換
- ・ガスセンシング
- ・同位体計測

### 産業用途

- ・ガラスや樹脂のレーザー加工 (切断、溶融、融着、微細加工)
- ・医療用途
  - ・歯科医療、皮膚治療
  - ・手術用メス

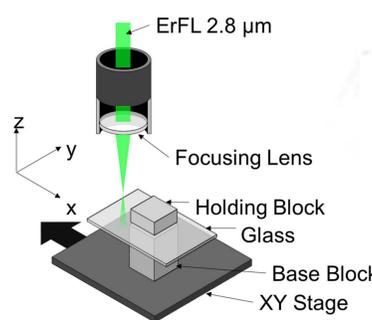
### 目的

2.8 μm帯 高出力・連続波発振Er:ZBLANファイバーレーザー (ErFL) を用いてガラスに対する新規加工技術を展開する  
面取加工を高速化する手法を開発する

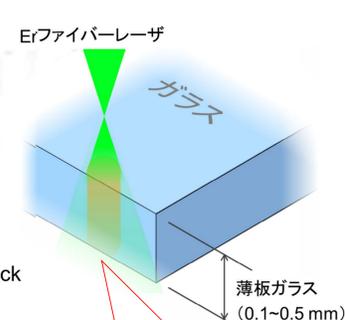
## Erファイバーレーザー装置



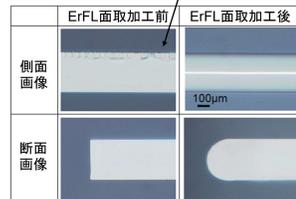
## 装置図



## 加工イメージ



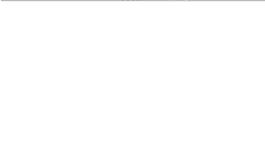
スライピングホイールによる微細な傷



### ガラスの面取について

スライピングホイールによって分断されたガラスは、ホイールの刃とガラスの接触部分に微細な傷が存在しており、ガラスの端面強度の低下の原因となる。端面溶融による面取加工を行うことで微細な傷を減らすことができ、端面強度を向上させることができる

ガラス分断に用いるスライピングホイール



無アルカリガラスに対する各波長での吸収係数と侵入長

	波長 μm	吸収係数 1/m	侵入長 mm
Erファイバーレーザー	2.8	1300	0.77
CO <sub>2</sub> レーザー	10.6	36000	0.027

ガラス厚さ(数百μm)とほぼ同じ

- ・ガラスの内部まで加熱可能
- ・比較的低透過率なのでエネルギーロス少

## Erファイバーレーザーによる面取加工結果

### 面取結果の分類

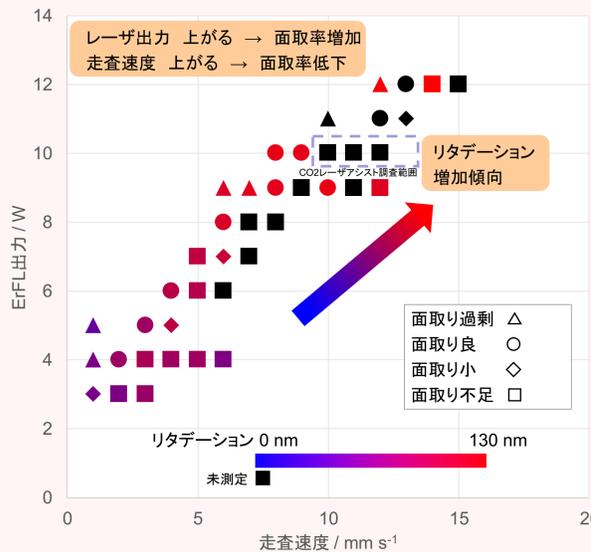
面取率 =  $\frac{\text{面取幅} \times 2}{\text{ガラス厚}}$

- △: 面取り過剰 (面取部の大きさがガラス厚を超えている, 面取率 > 100%)
- : 面取り良 (ガラスの裏面全体が面取されている, 100% ≥ 面取率 ≥ 75%)
- ◇: 面取り小 (ガラスの一部が面取されている, 75% > 面取率 ≥ 50%)
- : 面取り不足 (面取りが非常に小さい、もしくは面取されていない, 面取率 < 50%)

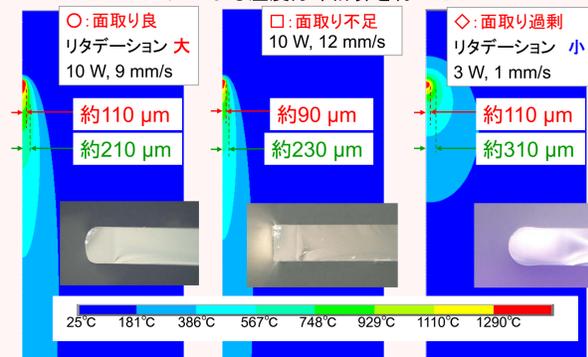
### 複屈折イメージング装置による残留応力の評価

ガラスを透過した光の偏光状態は、ガラス内部の応力によって変化

無アルカリガラス (0.2mm)におけるErファイバーレーザー面取加工マージン



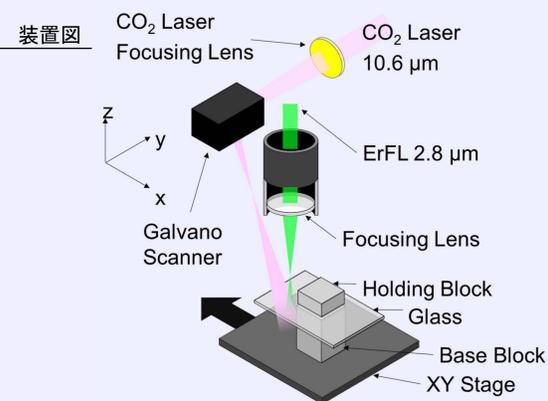
直接の加工部の温度測定が困難であるため、シミュレーションによる温度分布計算を行った



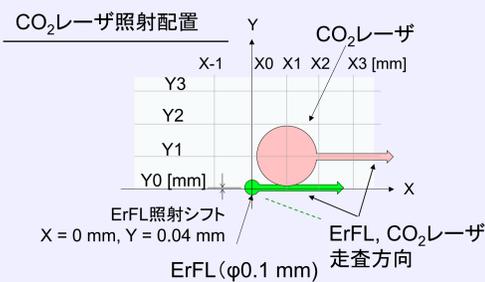
- ・Erファイバーレーザー照射位置での端面は、作業点温度(1290°C)を超えた
- ・作業点温度以上の温度分布は、面取良条件では広く、不足条件では狭い
- ・700°C付近の温度分布は、リタデーションが大きいと狭く、リタデーションが小さいと広い

自由表面がある場合、高温部とその周囲との温度差が残留応力を発生させる (宮本勇 (2019). レーザ加工学会誌 vol.26, No.1, 24-29) 残留応力を抑制する方法として、高温部とその周囲の温度差を少なくするため、CO<sub>2</sub>レーザーの加工部周辺への同時照射を試みた

## CO<sub>2</sub>レーザーアシストErファイバーレーザー面取加工 特許出願中



CO<sub>2</sub>レーザーアシストErファイバーレーザー加工  
・ErファイバーレーザーとCO<sub>2</sub>レーザーを同時照射  
・CO<sub>2</sub>レーザー照射位置の影響を調査



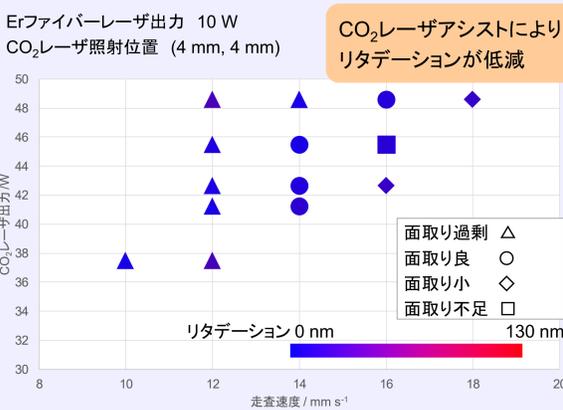
CO<sub>2</sub>レーザー照射配置によってリタデーションと面取率に変化が生じる

Erファイバーレーザー出力 4 W  
CO<sub>2</sub>レーザー出力 11 W  
走査速度 4 mm/s

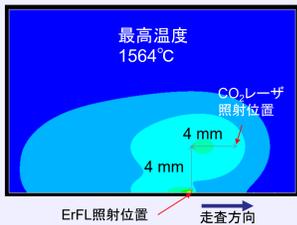
シフトY	シフトX	面取率				リタデーション [nm]			
		-1	0	1	2	-1	0	1	2
5	5	31%	83%	84%	98%	12.1	5.9	10.5	6.9
4	4	73%	86%	90%	88%	12.1	12.4	14.6	20
3	3	66%	77%	87%	91%	101%	105%	38.1	29.6
2	2	71%	71%	99%	100%	78%	54.9	53.1	56.2
1	1	25%	77%	41%	78%	81.4	80	79	83.2
0	0	49%	42%	19%		101	103	95.2	90.4

CO<sub>2</sub>レーザー照射位置をErファイバーレーザーからX軸方向に前方、Y軸方向に離すと、リタデーションは減少した  
ErFL位置と走査方向

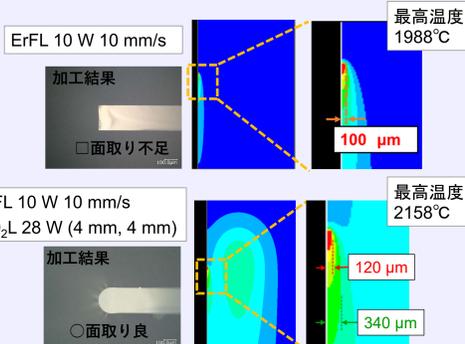
### 高速 高出力でのCO<sub>2</sub>レーザーアシスト加工結果



CO<sub>2</sub>レーザー照射による温度上昇の最高温度位置は走査方向の後方に現れる。CO<sub>2</sub>レーザーをErファイバーレーザーより前方にすることでそれぞれの温度上昇ピーク位置を接近させる



Erファイバーレーザー照射では面取加工されない条件でも、CO<sub>2</sub>レーザーアシストを行うことによって面取加工が可能になり、面取率向上によって面取加工速度が向上  
シミュレーションによる検証では、ガラス端面温度が更に上昇し、高温領域の幅が広がっていた



### まとめ

Erファイバーレーザーによるガラス端面溶融加工を検証  
12 W, 13 mm/sでの面取に成功  
しかし、照射部分に強い引張応力が発生

CO<sub>2</sub>レーザーアシストによる新規加工手法を開発  
残留応力の低減と面取率の向上の両立に成功

### 展望

- ・端面溶融加工の高速化の実証(目標加工速度30 mm/s)
- ・CO<sub>2</sub>アシスト加工による更なる加工高速化の検証
- ・2.8 μm帯レーザーによるガラス・樹脂の新規加工法の開発