

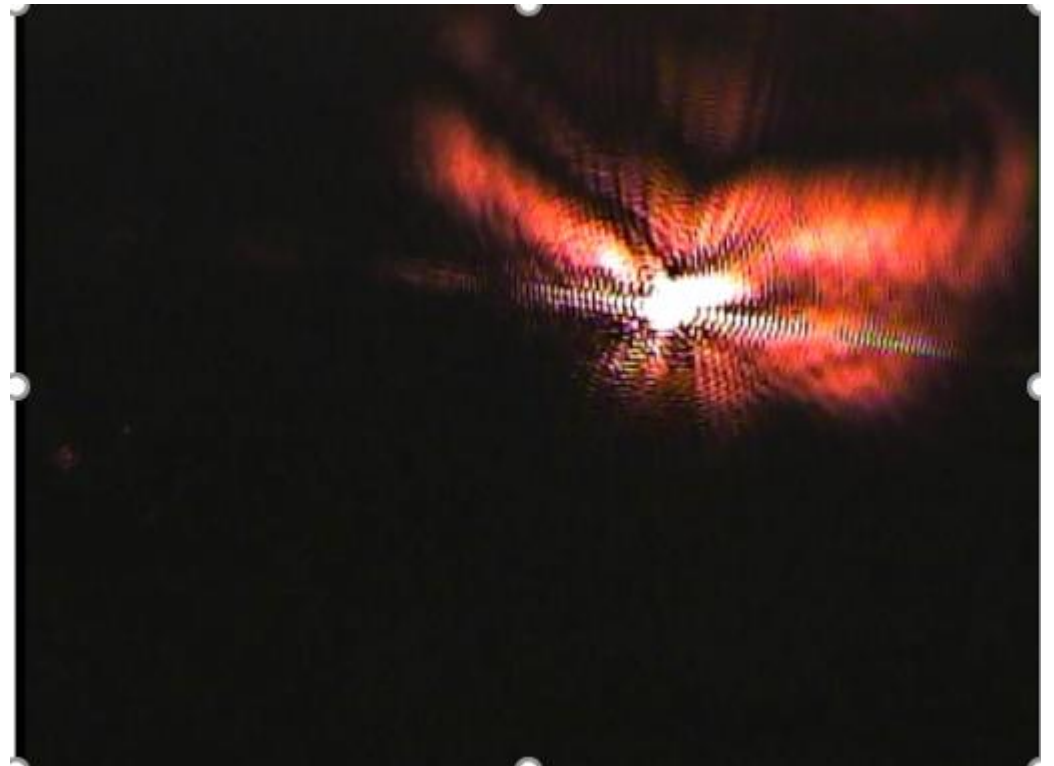
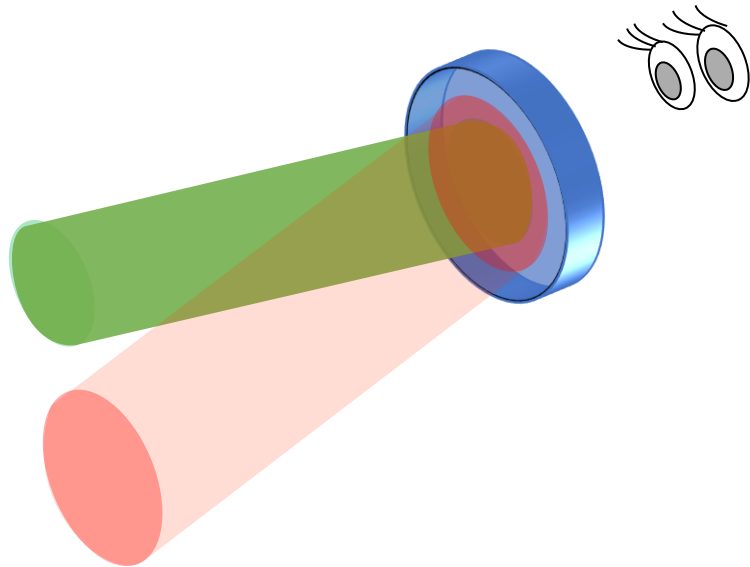
# 初めてのダメージフリー オプティックス： オゾンを利用した高性能ガス光学素子

電気通信大学 レーザー新世代研究センター  
特任助教 道根 百合奈

2021年5月13日

# 従来技術とその問題点

レーザーによる光学素子の破壊・損傷



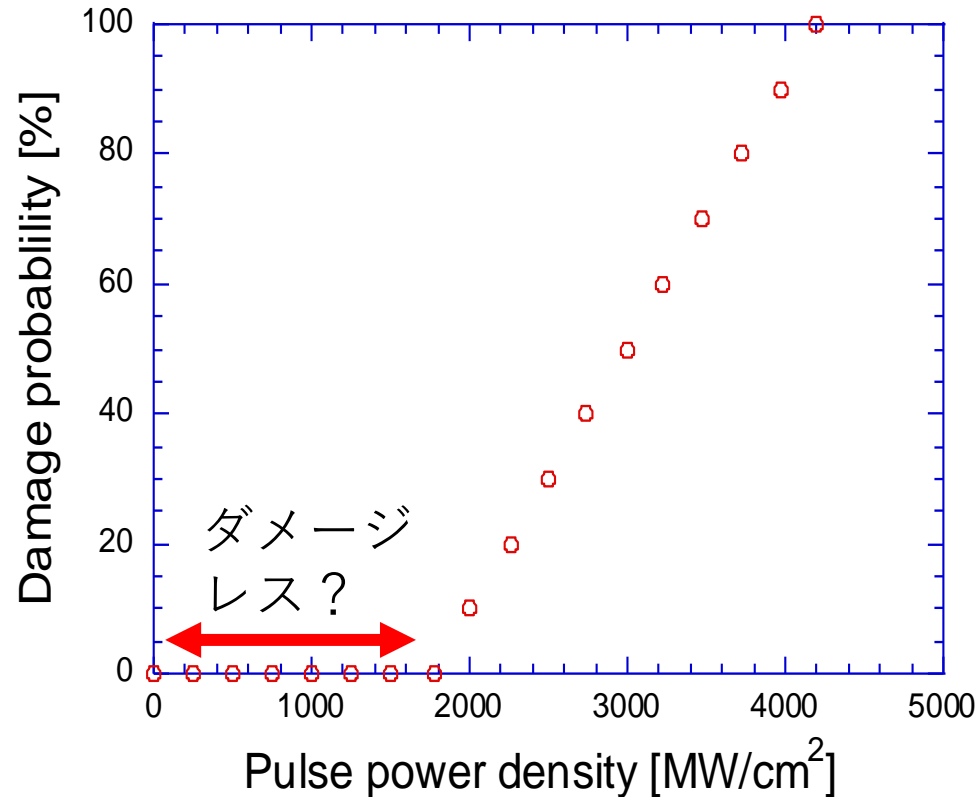
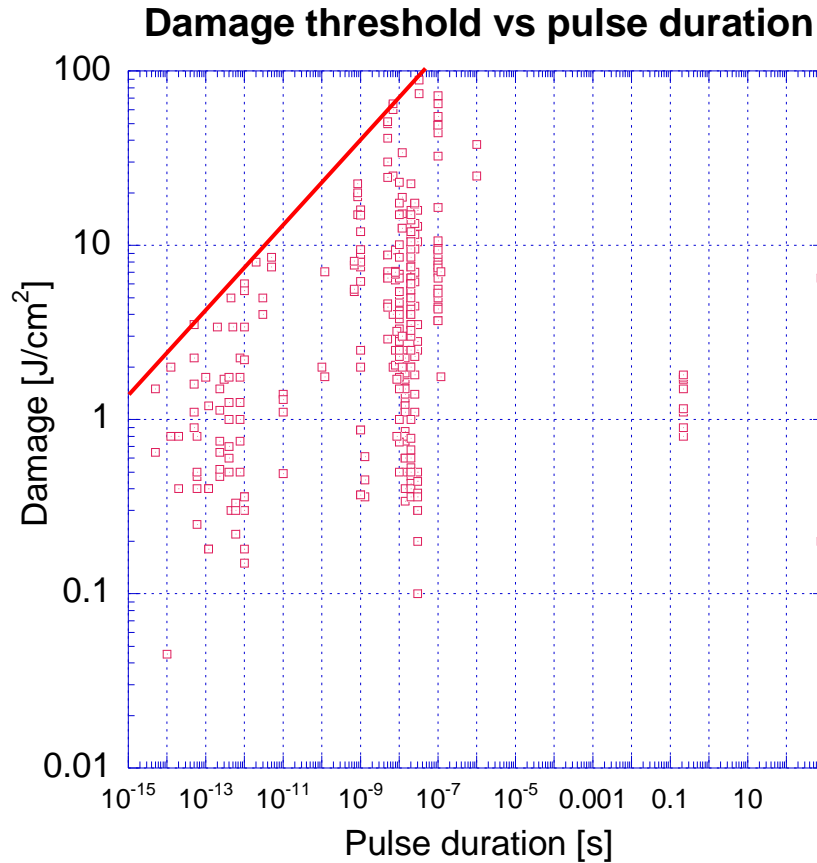
大丈夫だと思って使っていても、必ず壊れてしまう。

光学ダメージは”確率”

- 高繰り返しレーザー
- 大面積光学素子

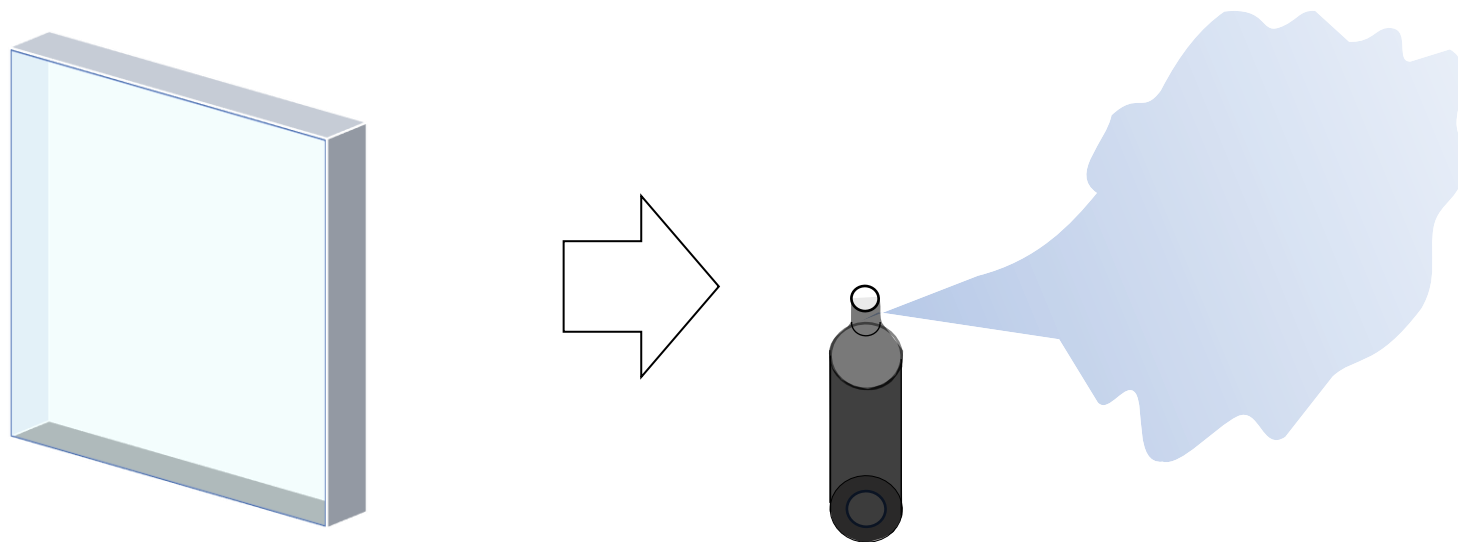
を考えると、

## これからはダメージをマネジメントする時代



# 新技術の特徴・従来技術との比較

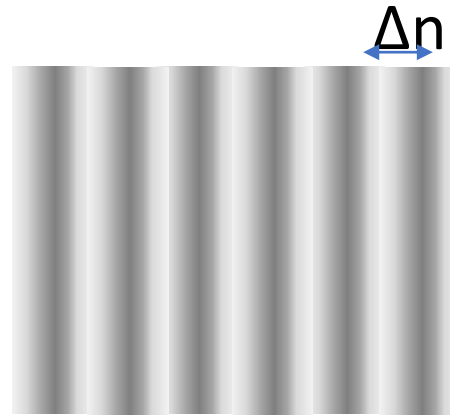
固体（ガラス）素子から“気体”素子へ



- 光学素子の破壊を気にする必要がなくなりました。
- 従来の100倍のレーザー強度を扱えます。

# 気体で光学素子を作るためには

ガスの中に大きな密度変調構造 (= 屈折率変調 $\Delta n$ )  
を作れば、光を操作できる (回折格子、レンズ)



## 難しいところは

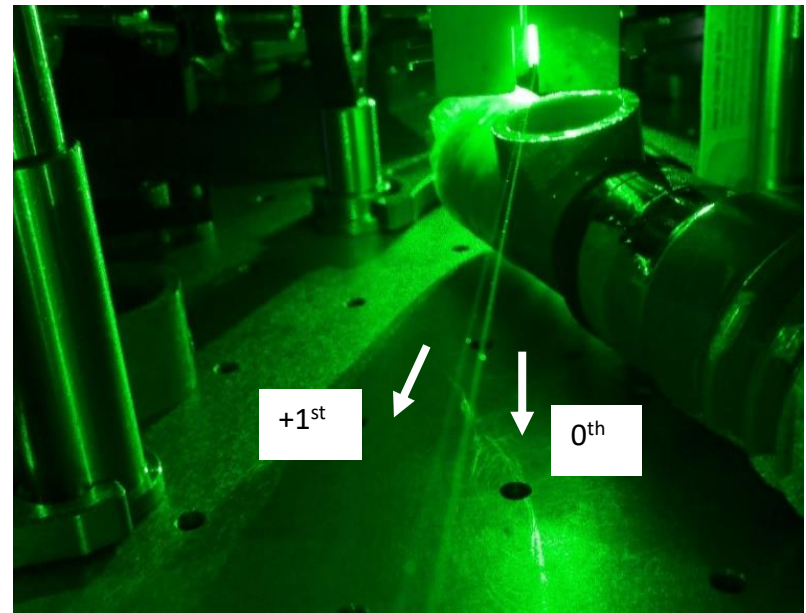
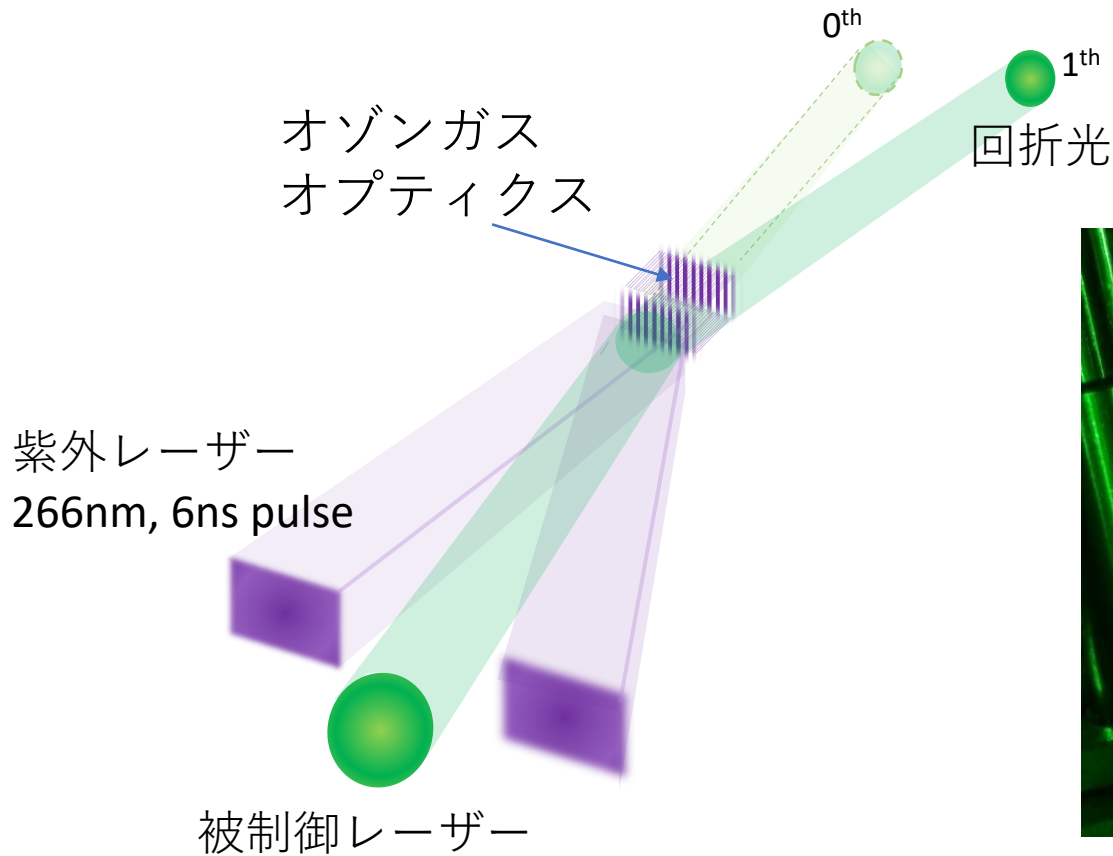
ガスは屈折率が小さい ( $n=1.0003$ )  
光を回折させるには、  
4桁目を動かさないといけない。  
(0 ~ 2気圧分の差！)

## 要求される能力は

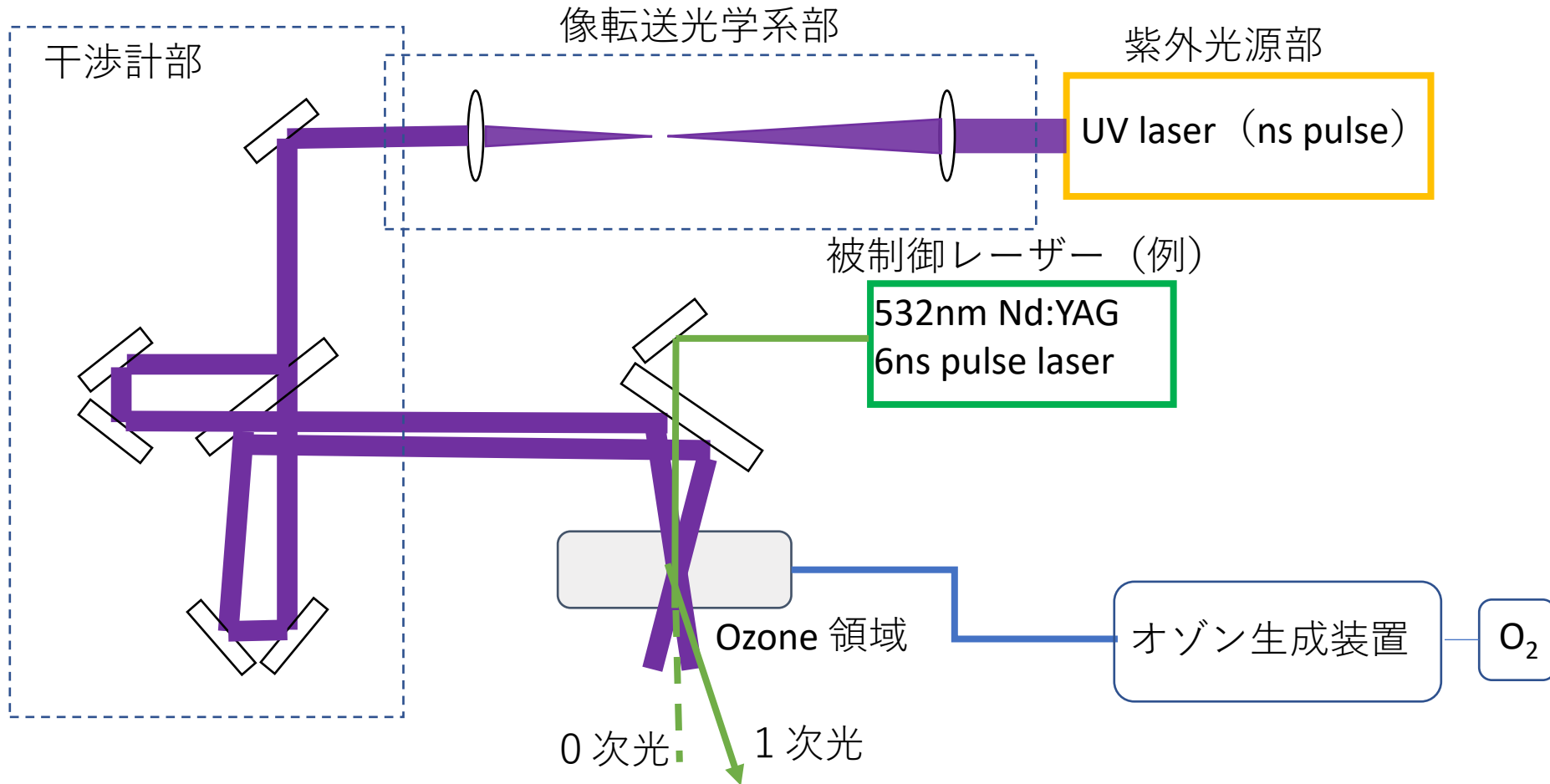
- 高耐力
- 高回折効率
- 安定性
- 高回折波面品質

# 新技術の特徴

## オゾンと紫外レーザーを利用した新しいガス光学素子を開発 (回折格子・レンズ)

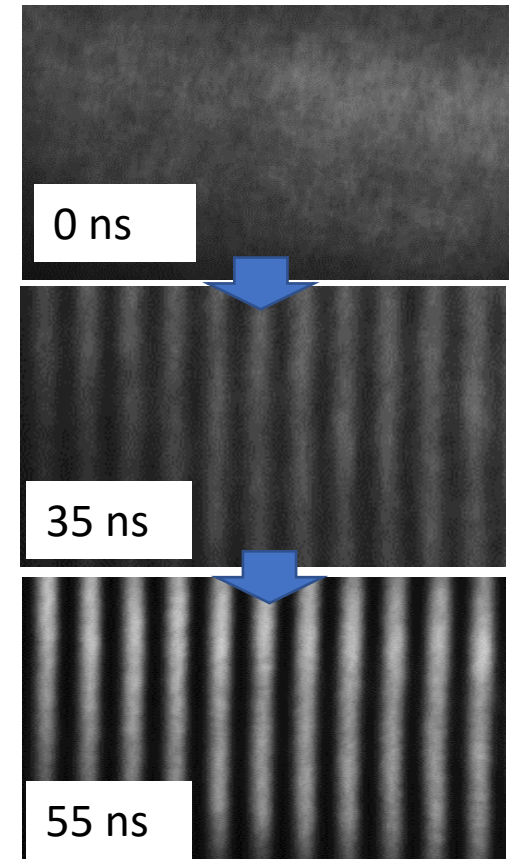
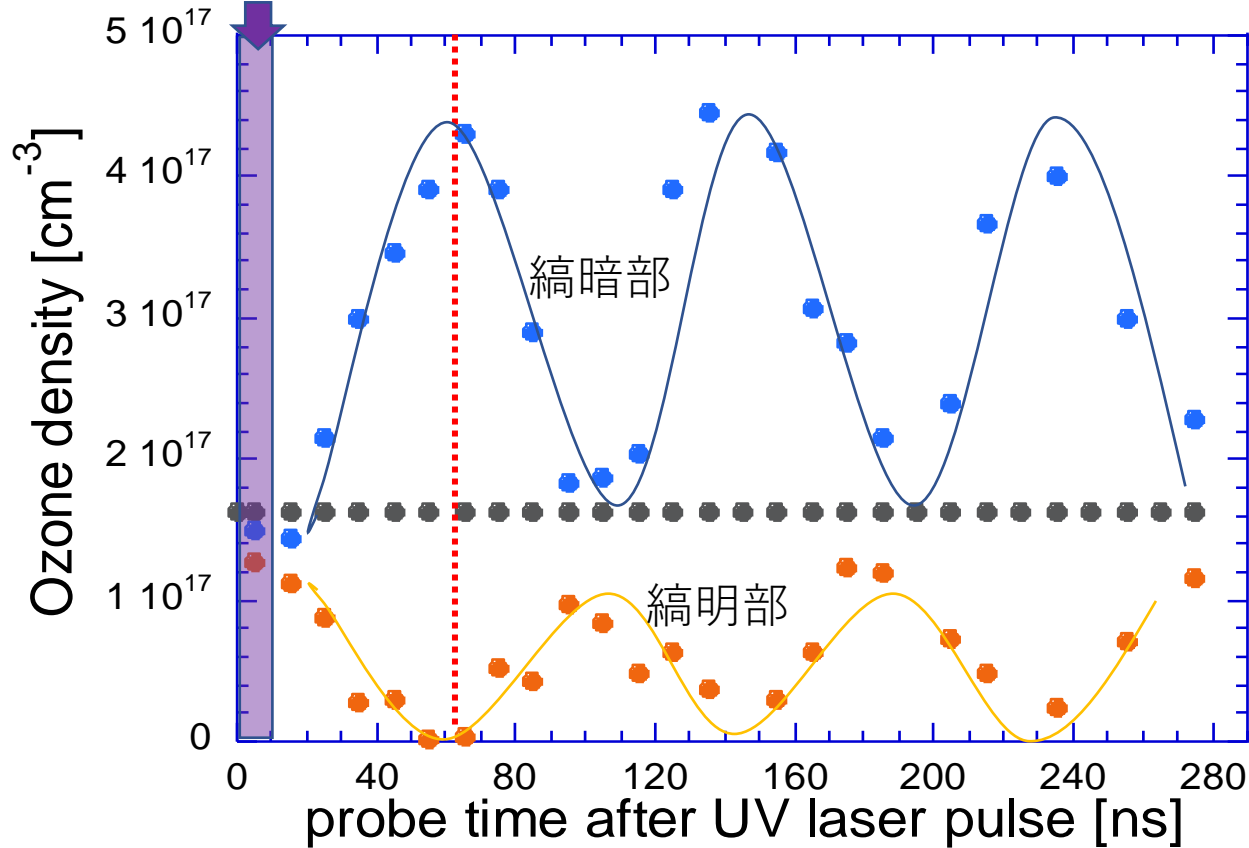


# 実際の光学系



# ガス光学素子の瞬間生成

紫外レーザーパルス照射時間



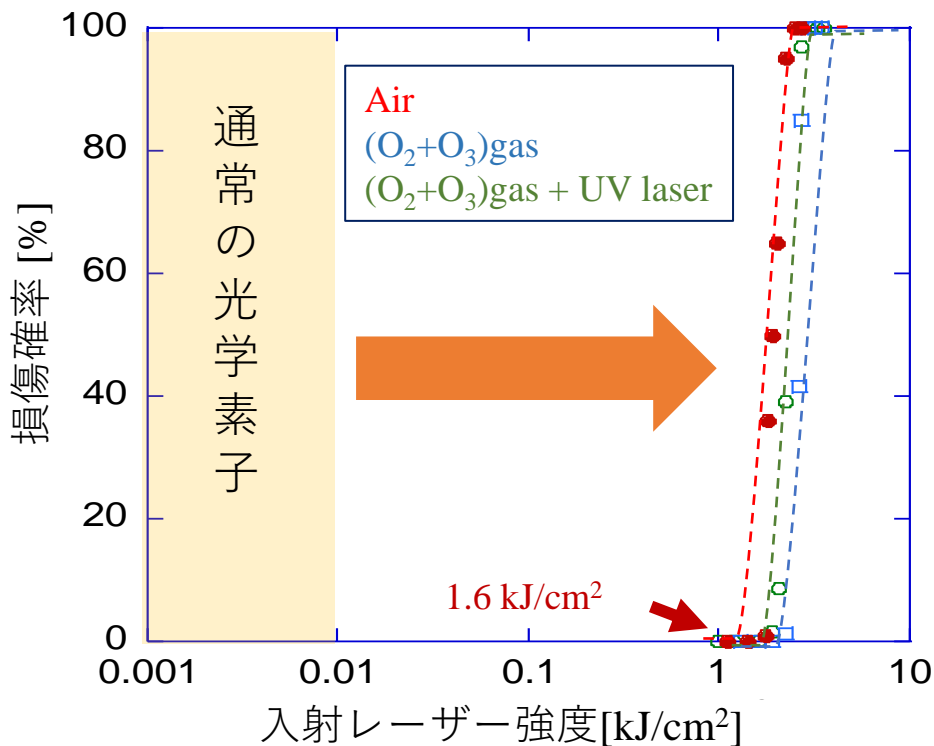
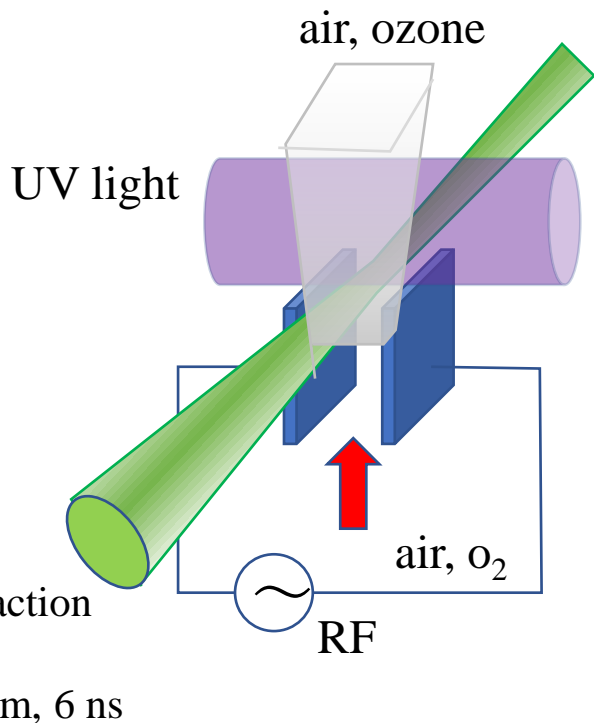
時間発展に伴うオゾンガス中での密度変調構造生成



# オゾン回折格子の性能

## ① 高強度レーザー耐力

ガスの光学破壊強度で決定される

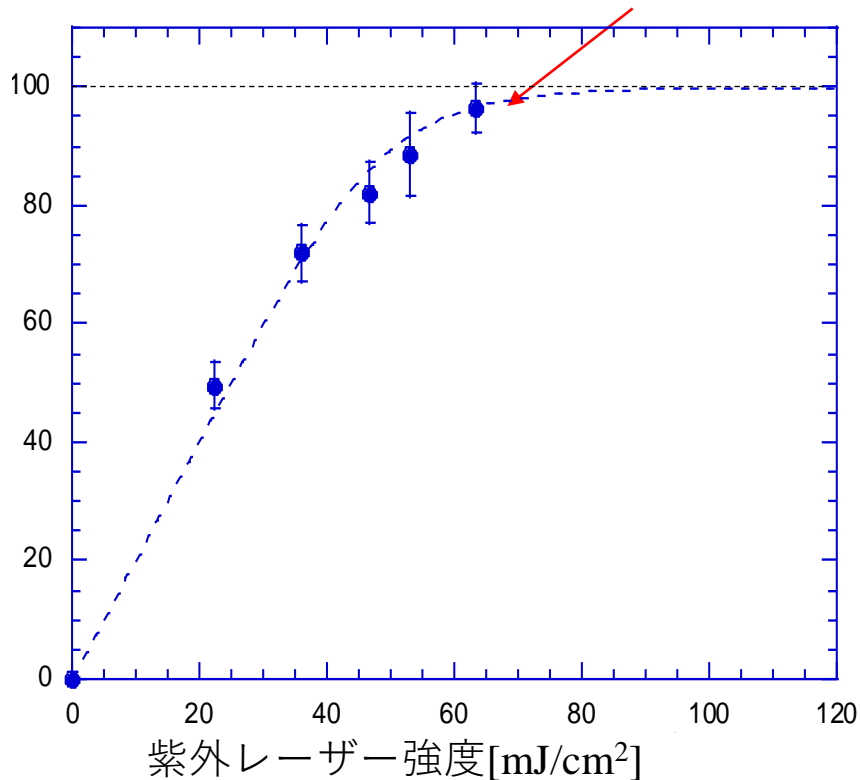


ナノ秒レーザーに対して  
**1.6 kJ/cm<sup>2</sup>** まで使用可能

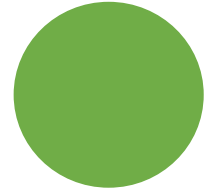
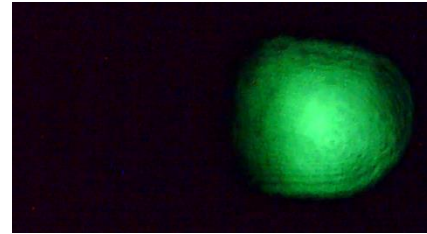
# オゾン回折格子の性能

## ②平均回折効率

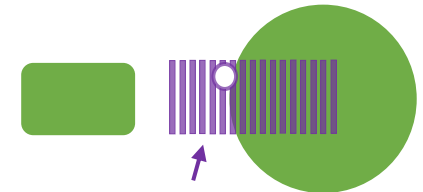
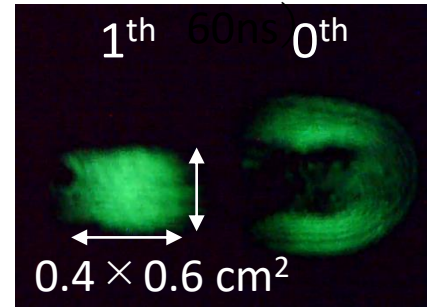
平均回折効率: **96%!**



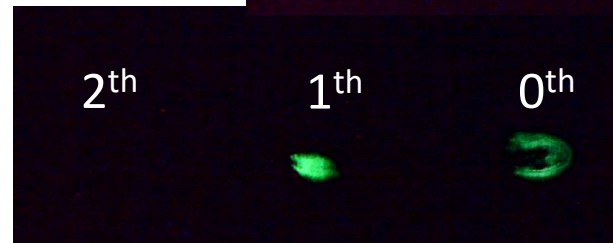
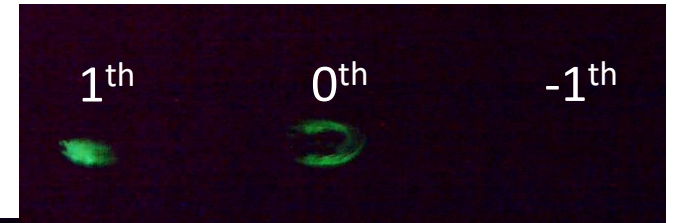
回折前



回折後 (紫外レーザー照射後)

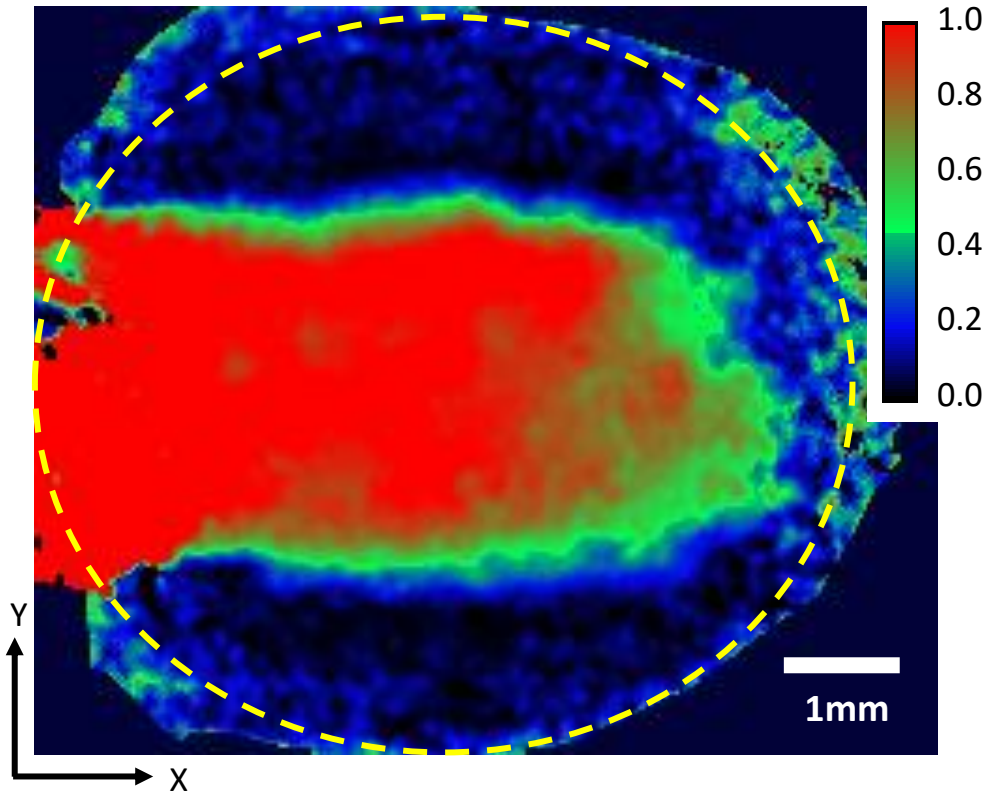


紫外レーザー照射領域



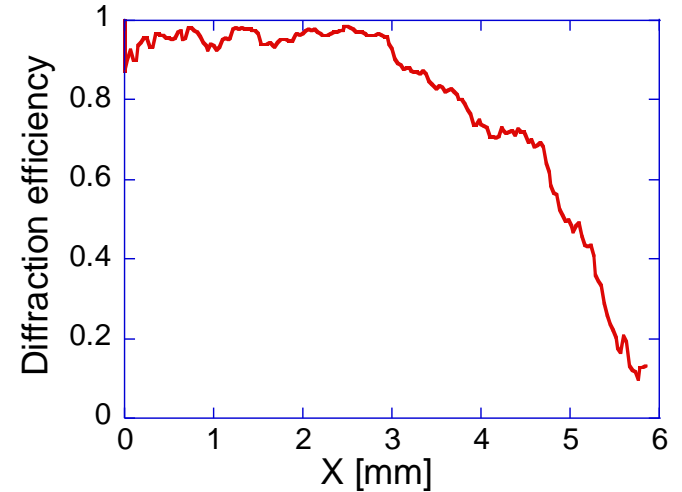
# オゾン回折格子の性能

## ③回折効率マップ

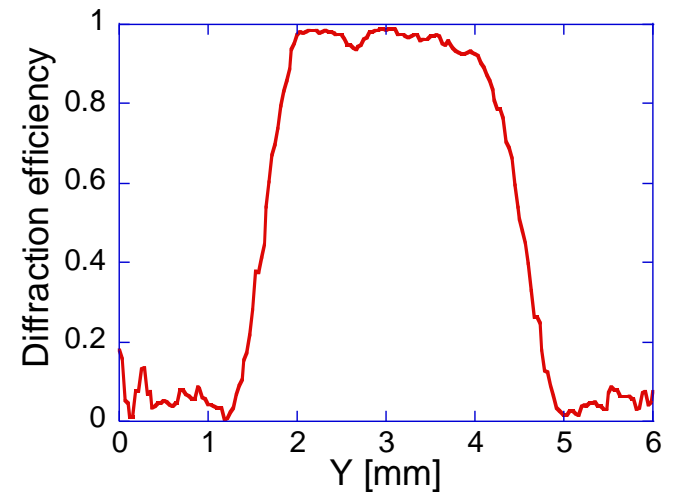


紫外レーザー照射範囲で  
均一な回折効率を実現

水平方向



垂直方向



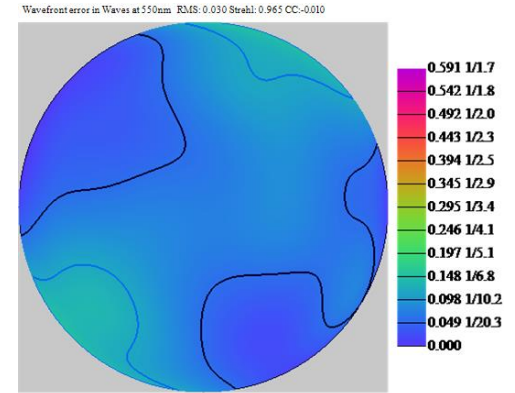
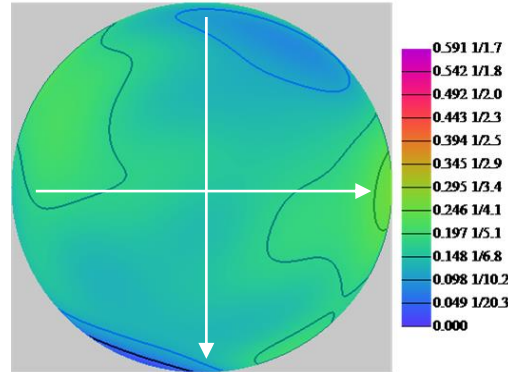
# オゾン回折格子の性能

## ④ 回折波面

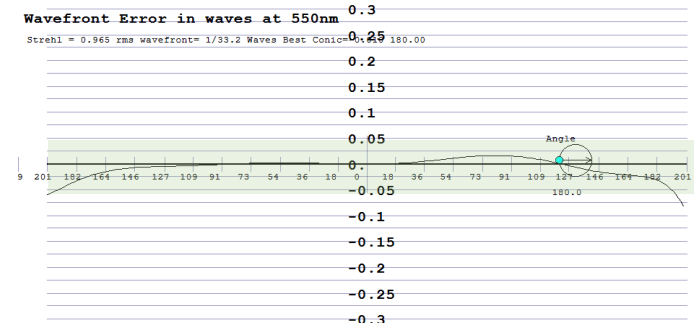
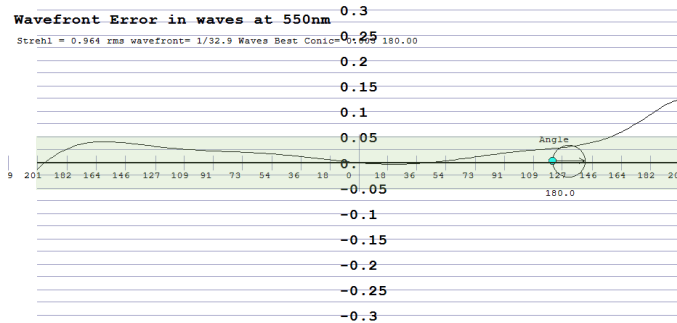
### ① 0次透過光

### ② 1次回折光

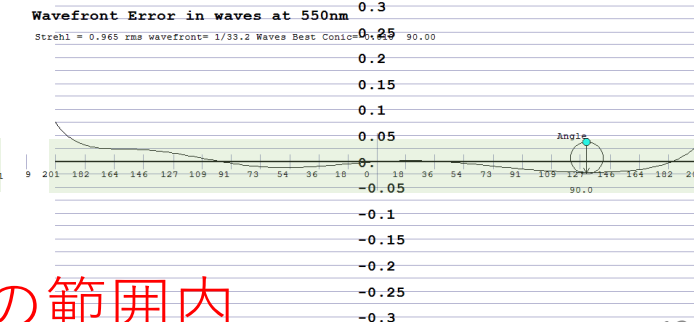
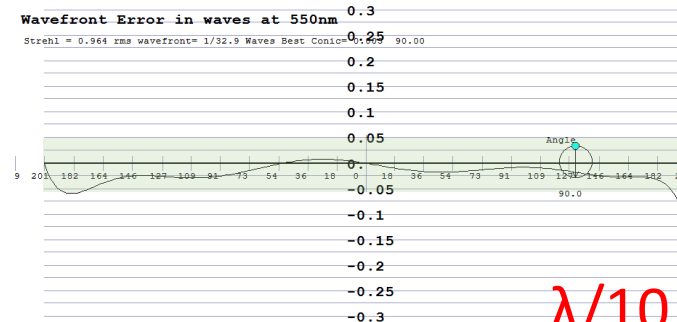
等高線：  
1目盛り  $\lambda/20$



水平方向断面  
(ガスフロー方向)



垂直方向断面  
(ガスフローに  
垂直方向)

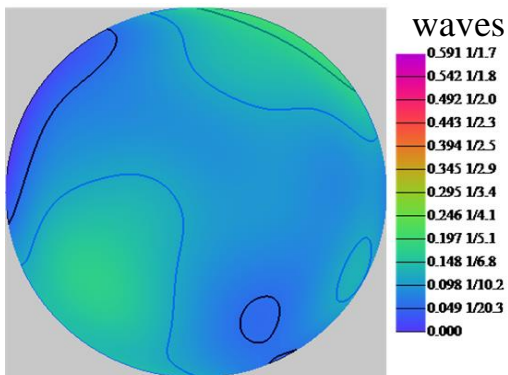


$\lambda/10$ の範囲内

# オゾン回折格子の性能

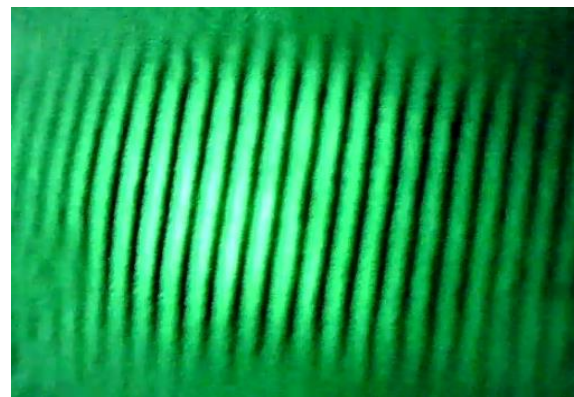
## ⑤ 高強度レーザー照射化での回折波面

③ 1次回折光波面  
( $I=1.6 \text{ kJ/cm}^2$ 、損傷閾値とイコールの場合)



Fringe images

③ 1<sup>st</sup> ( $I=1.6 \text{ kJ/cm}^2$ )



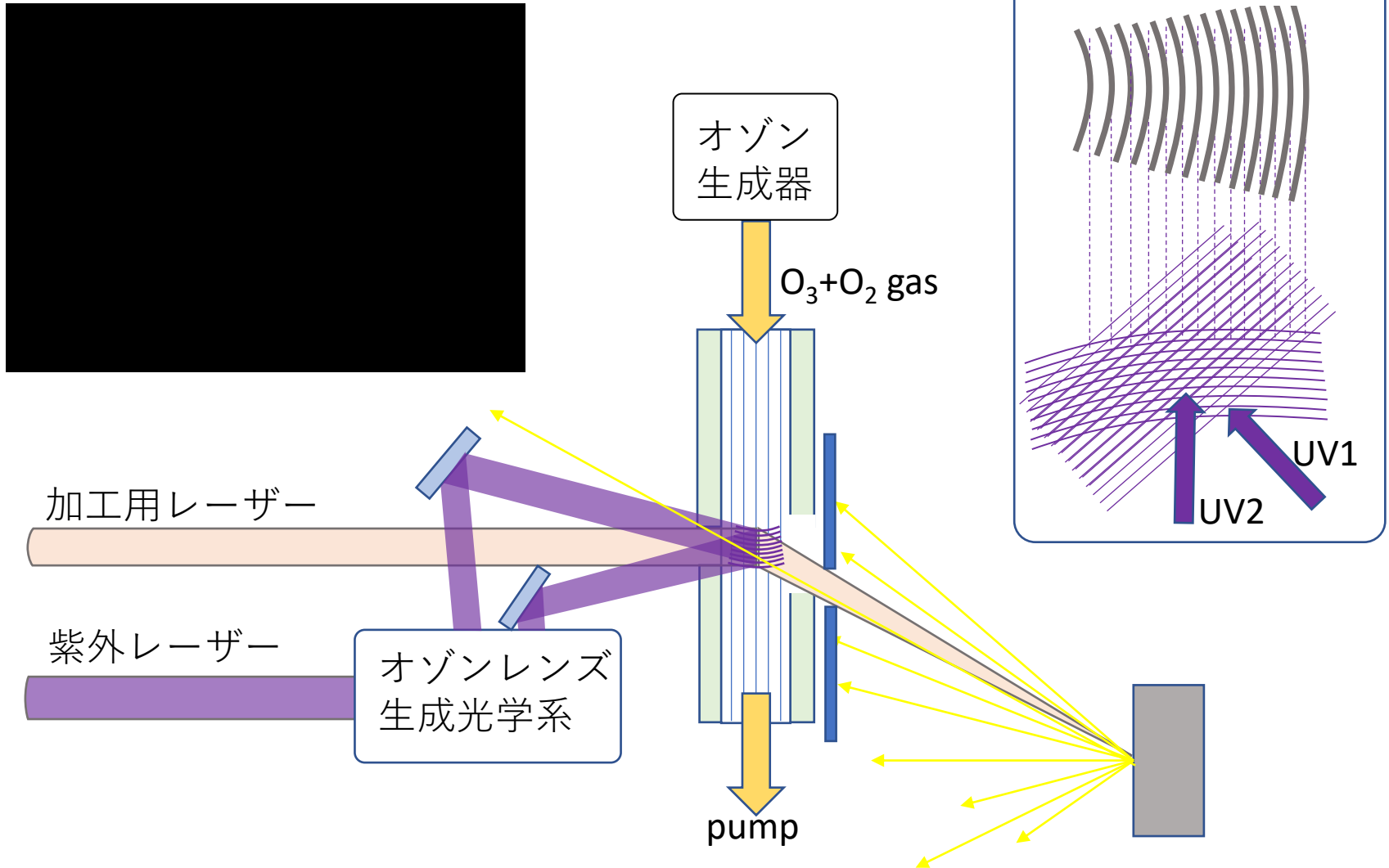
④ 1<sup>st</sup> ( $I=2 \text{ kJ/cm}^2$ )



$\lambda/10$ の範囲内

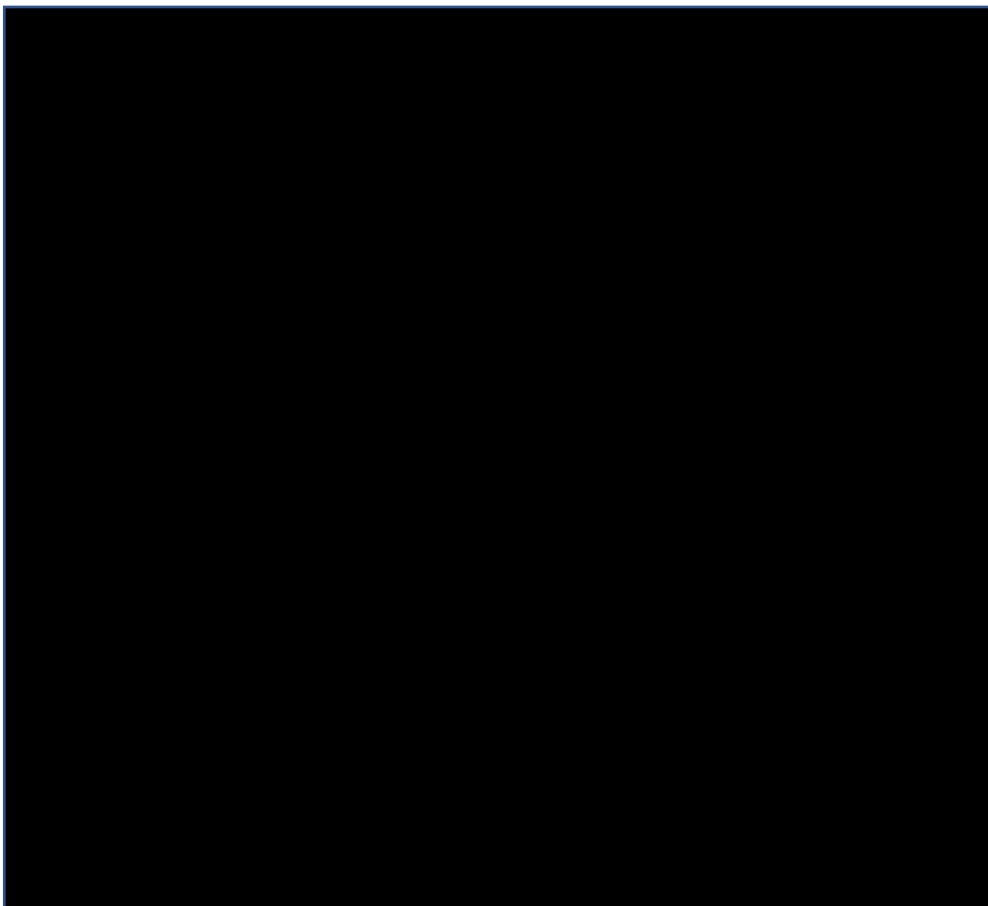
# 新技術の特徴②

## オゾンガスレンズ

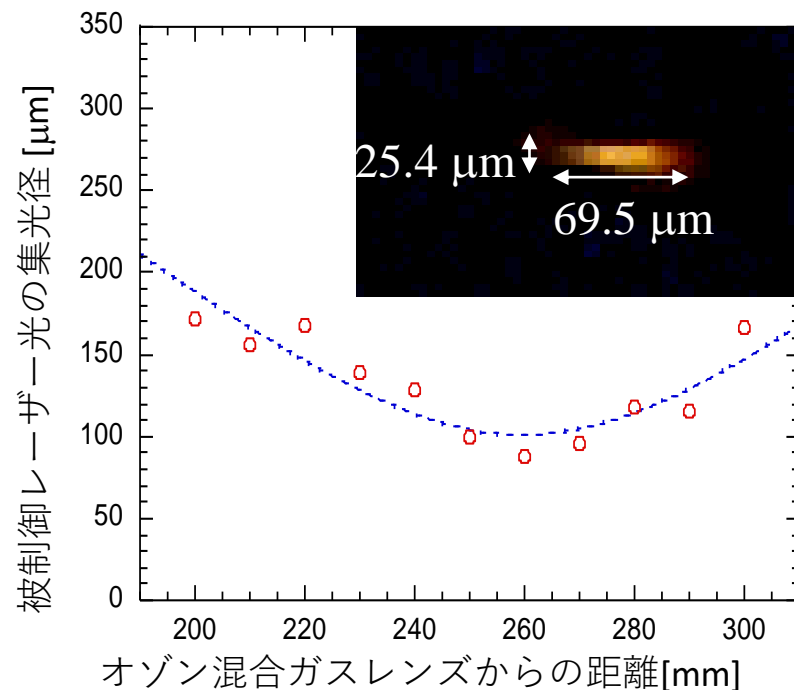


# オゾンレンズの性能

1064nm,300mJ,3ns レーザーのエアブレイクダウン



理想集光条件M2 = 1.1 を達成



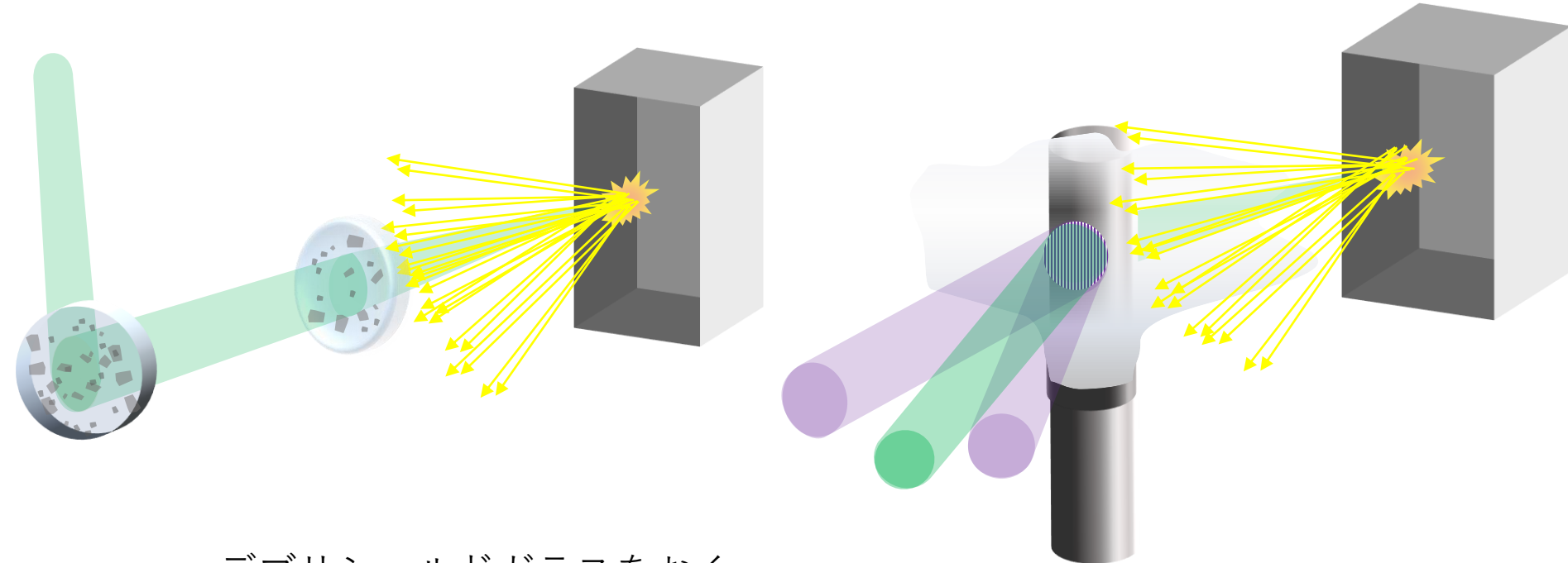
# 想定される用途

## パルスレーザー加工におけるデブリ問題の解決

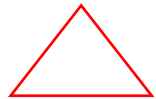
レーザー照射部で融解したデブリが  
光学素子に付着、損傷の原因に



完全メンテナンスフリーで  
動作可能に



- デブリシールドガラスをおく
- 低圧のガスを流す
- 加工物とレンズの間に液体を置く
- 磁場を印加する

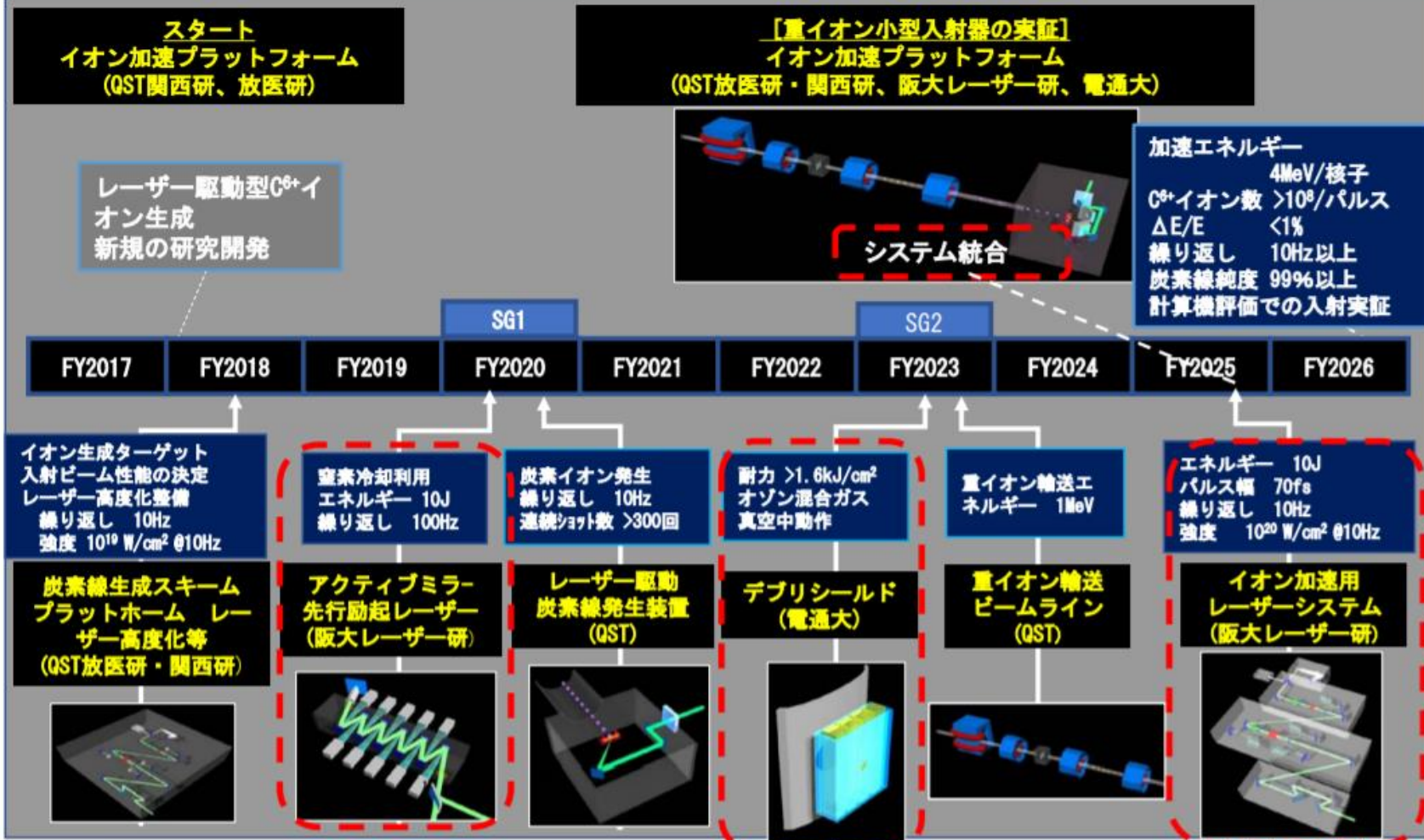




# 想定される用途

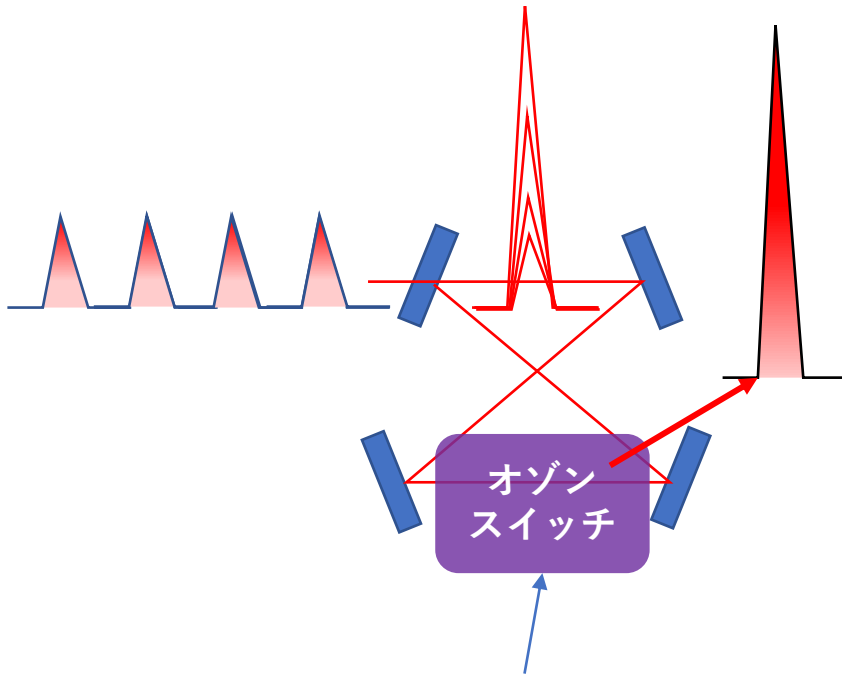
## レーザーイオン加速でのデブリシールド

### ② イオン加速(ロードマップ)



# 想定される用途

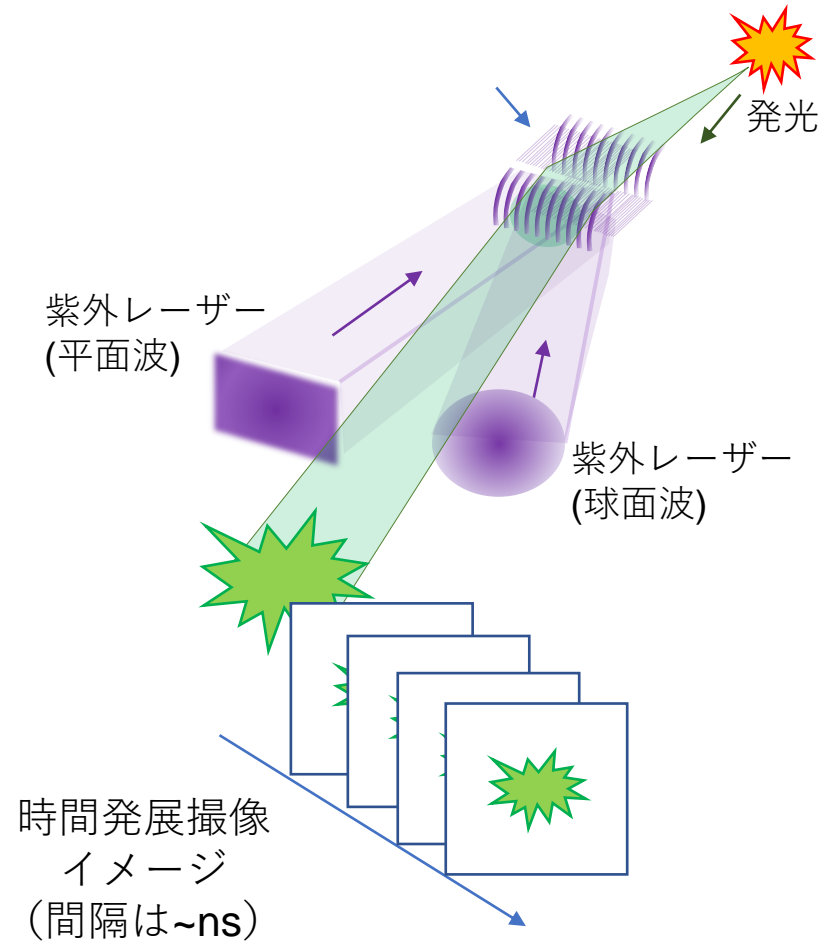
## パルスレーザーの新方式 オゾンスイッチ



ガスの超低損失性を利用

ロス： $O_2+O_3$ ：11ppm

## オゾンレンズ 超高速瞬間イメージング



# 実用化に向けた課題

実用化（具体的な製品化）のために企業の皆様方と以下のような課題を解決していきたいです。

1. オゾン生成部・ガス素子部、紫外レーザー光源・紫外レーザー干渉計部をひとまとめにコンパクト化
2. オゾンガスは人体に有害。ガス素子部（オープンウィンドウ）の十分な安全性の確立
3. オートアライメントシステムの構築。回折効率の最大化（干渉縞や被制御レーザー光入射タイミング・入射角度の制御）、ビームスキャンなど

# 企業様への期待

以下のような技術的なシーズをもつ企業様からの協力をお願いします。

- 希ガス中の高密度オゾン生成
- 高圧・高濃度オゾンガス生成
- 超高速パルスバルブ
- オゾン混合ガスの層流保持技術

# 企業様への期待

- レーザー関連、光学素子関連企業、光学系の自動制御が得意な企業、オゾンを扱う企業などの技術力で、製品化していくことを期待します。
- 高強度・高出力レーザーや高繰り返しレーザー関連製品を扱う企業で、システムへのガス光学素子の試験導入の御要望があれば、なんでもお寄せ下さい。
- その他、レーザーのデブリでお困りの方、デモンストレーションをご希望の方なども、是非ご相談ください。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : レーザー光の回折方法及び回折光学素子装置
  - 特許番号 : 5936110
  - 出願人 : 国立大学法人電気通信大学
  - 発明者 : 米田仁紀
- 
- 発明の名称 : レーザー光の回折集光方法及び回折集光光学素子装置
  - 出願番号 : 特願2019-237955
  - 出願人 : 国立大学法人電気通信大学
  - 発明者 : 米田仁紀、道根百合奈

## 産学連携の経歴

- 2016年－2017年 (株) オハラと共同研究実施
- 2018年－現在 JST未来社会創造事業（レーザー加速）を開始
- 2020年－現在 大興製作所と共同研究実施

# お問い合わせ先

**国立大学法人電気通信大学 産学官連携センター  
産学官連携ワンストップサービス**

**TEL 042-443-5871**

**FAX 042-443-5725**

**e-mail [onestop@sangaku.uec.ac.jp](mailto:onestop@sangaku.uec.ac.jp)**