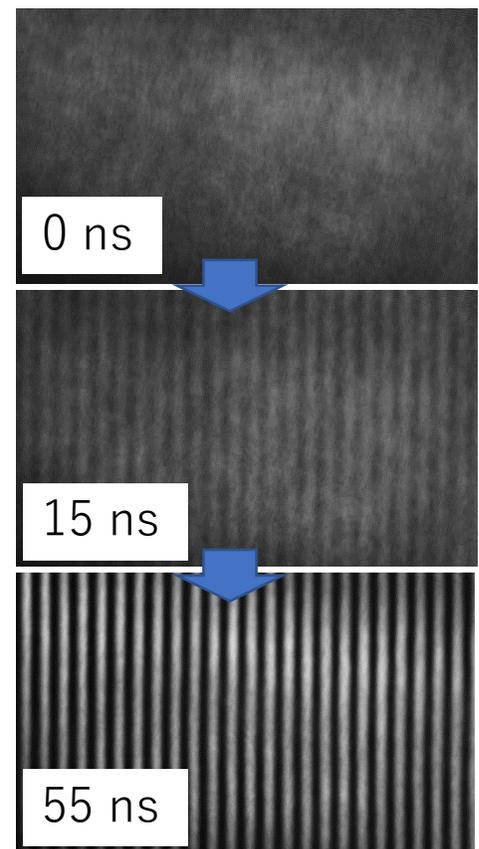


# レーザー加速のための オゾンガス光学素子

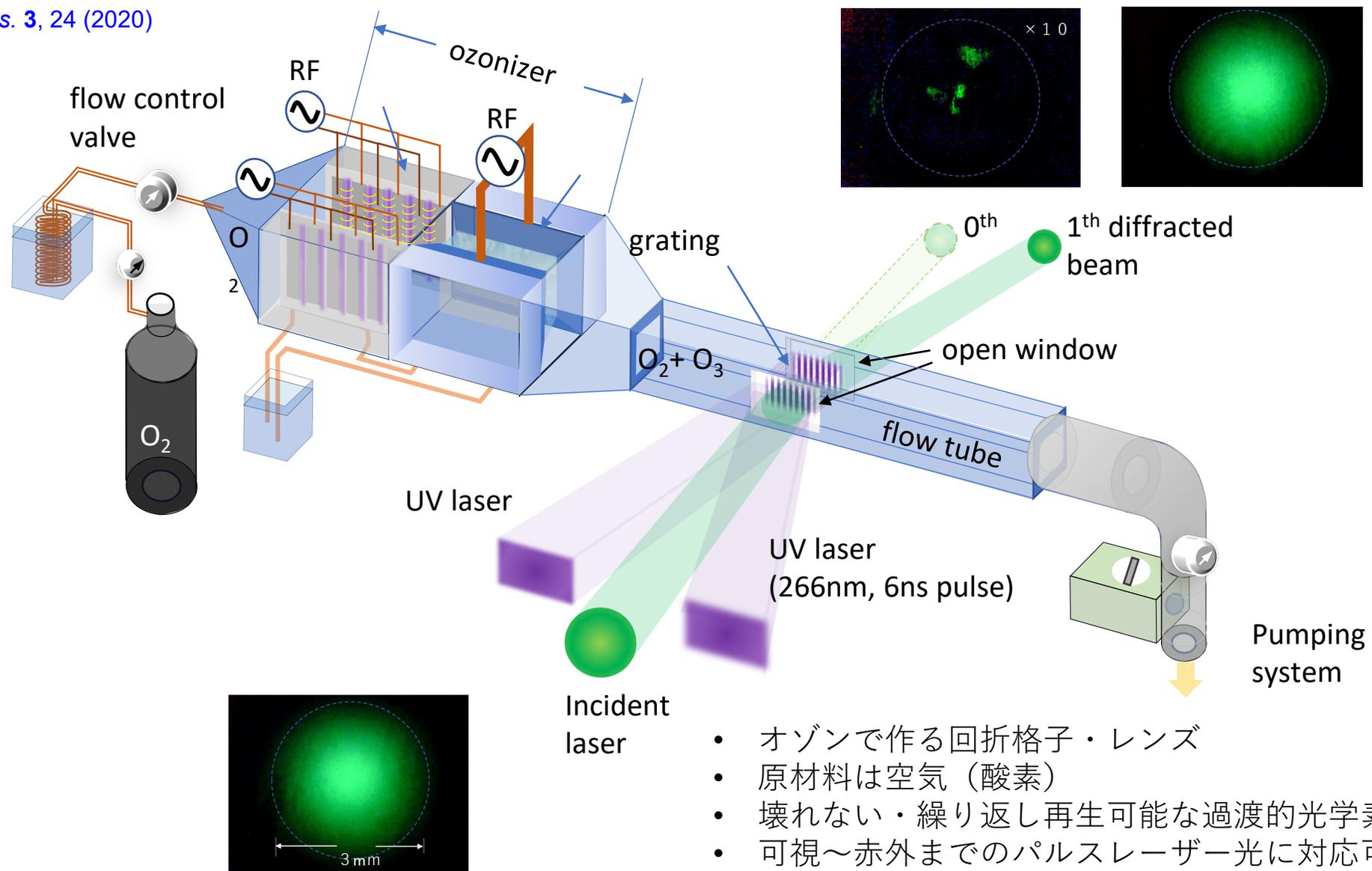
電気通信大学 道根百合奈, 米田仁紀

# 紫外レーザー書込みオゾン気体光学素子の開発

Y. Michine and H. Yoneda, *Com. Phys.* **3**, 24 (2020)



回折格子生成の様子



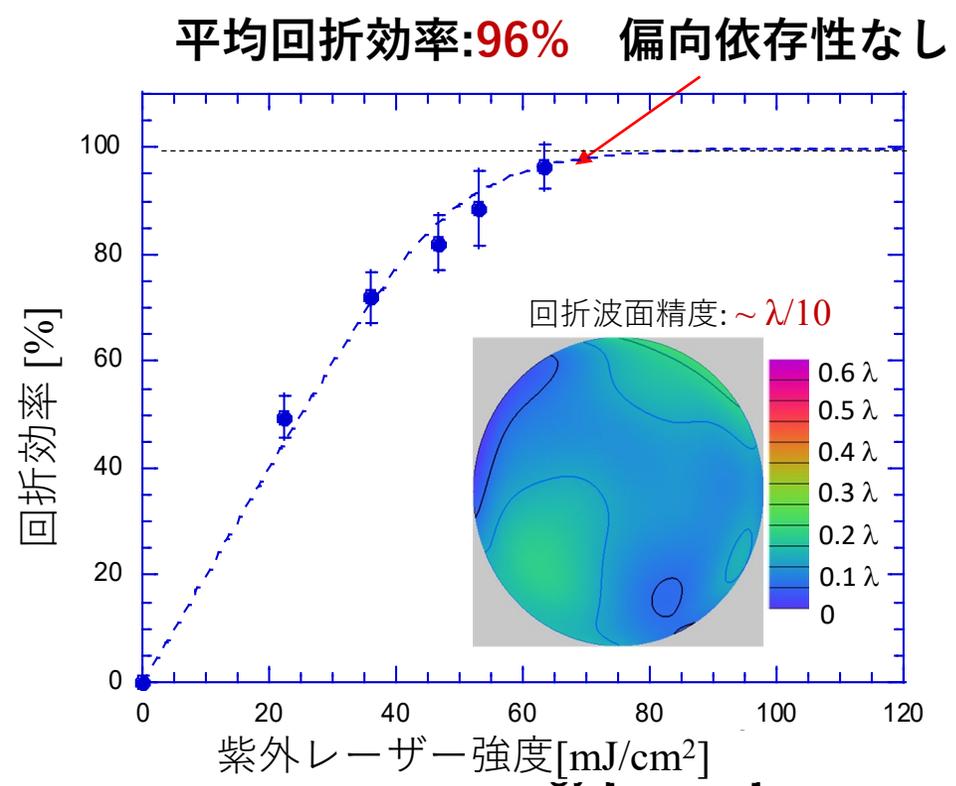
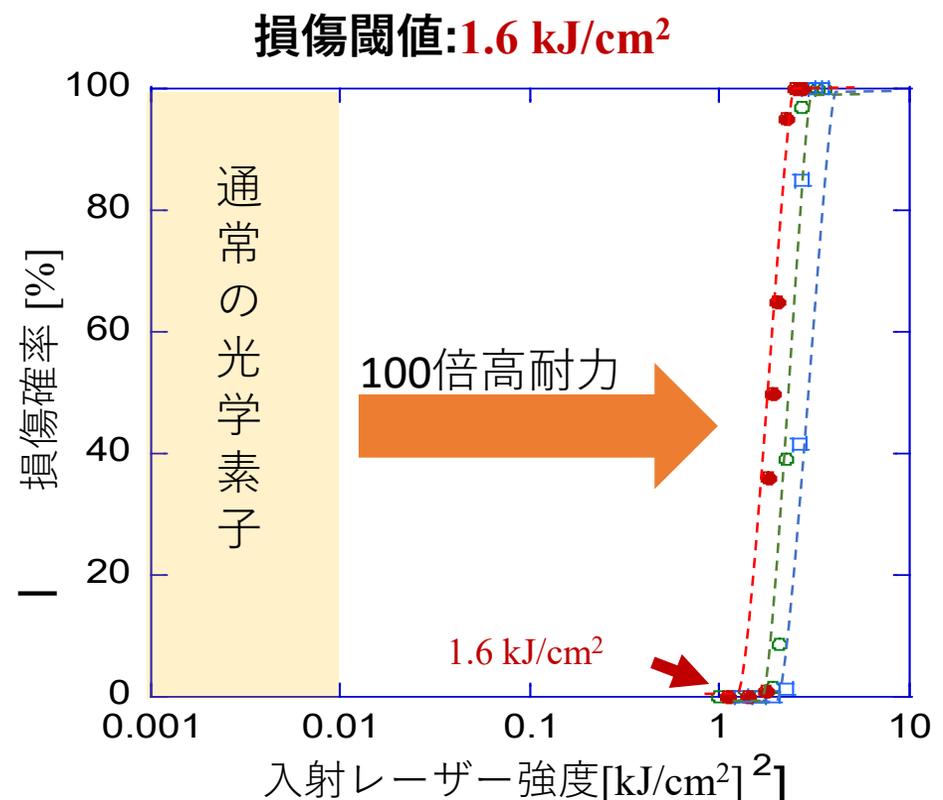
- オゾンで作る回折格子・レンズ
- 原材料は空気（酸素）
- 壊れない・繰り返し再生可能な過渡的光学素子
- 可視～赤外までのパルスレーザー光に対応可

# 現在までの原理実証実験成果

ナノ秒レーザーに対して、

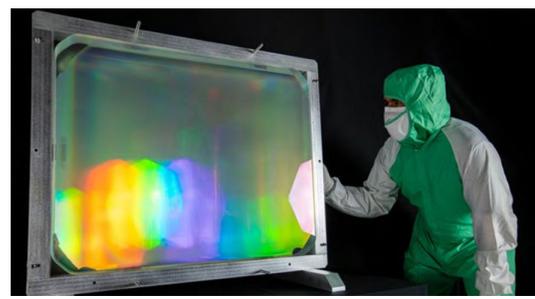
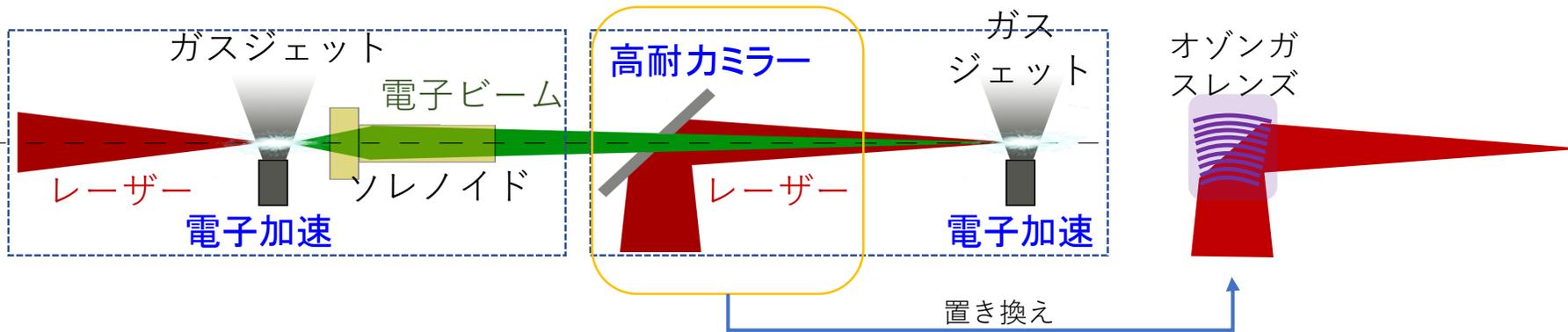
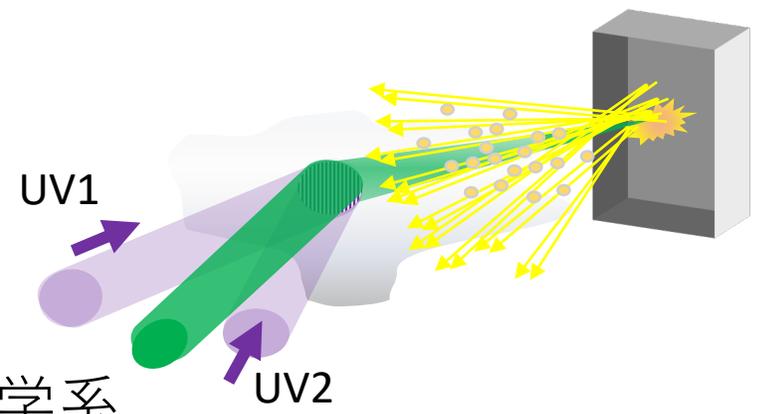
1. 高耐力 ( $1.6 \text{ kJ/cm}^2$  @6ns pulse)
2. 高回折効率 (96%)
3. 安定性 ( $\pm 4\%$  @ 96%)
4. 高波面品質 ( $\sim \lambda/20$  for  $4 \times 6 \text{ mm}^2$ )
5. 超低挿入損失 ( $< 10^{-5}$ )

を実証



光学素子の耐久性 +

- ①レーザーシステムの小型化
- ②ターゲット周辺のデブリフリー集光光学系
- ③電子追加速のための電子ビーム透過・レーザー反射光学系
- ④高耐力・長寿命なパルス圧縮用回折光学系



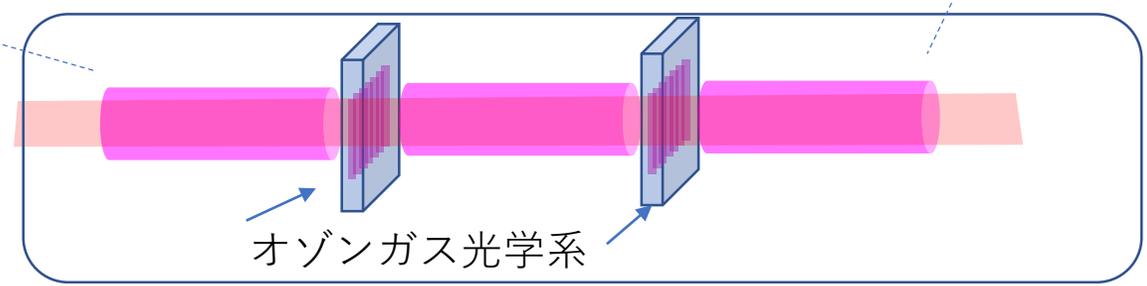
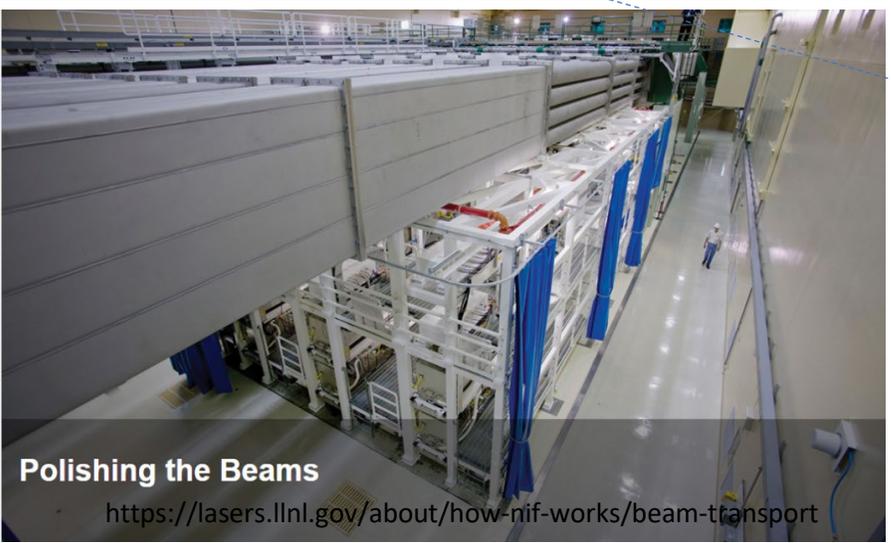
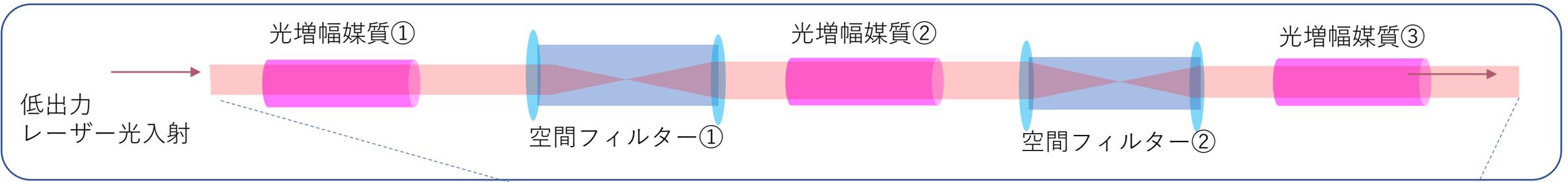
85 × 70 cm<sup>2</sup>  
⇓  
1 × 5 cm<sup>2</sup>

# ①レーザーシステムの小型化：レーザー増幅器間・波面補正光学系

## 既存レーザーシステムのダウンサイジング&波面補正

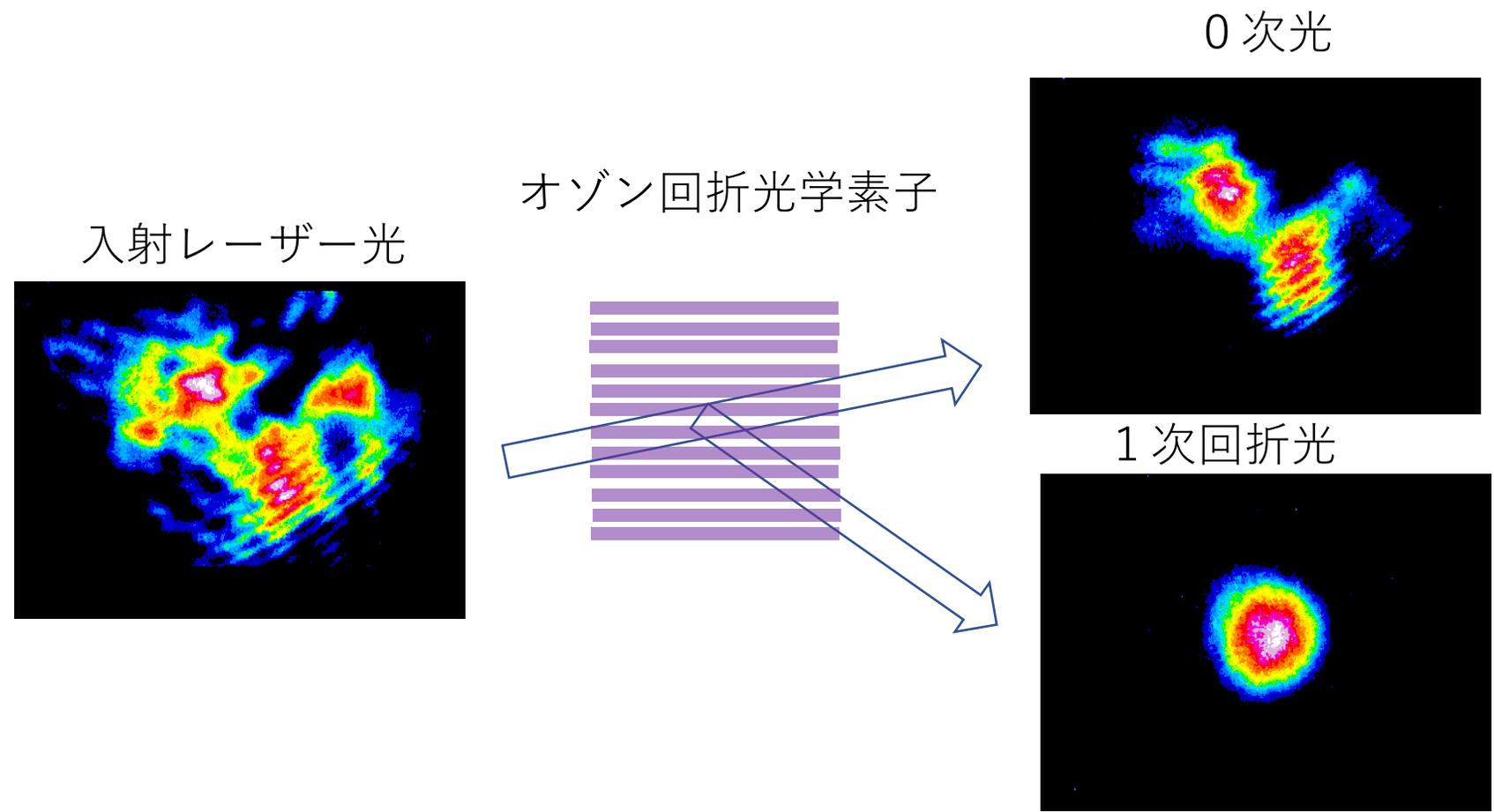
既存レーザーシステムでは、レーザー光増幅媒質の間に、歪んだ波面を補正（クリーニング）する空間フィルターが必須。

### 現在のレーザー



# ①レーザーシステムの小型化：レーザー増幅器間・波面補正光学系

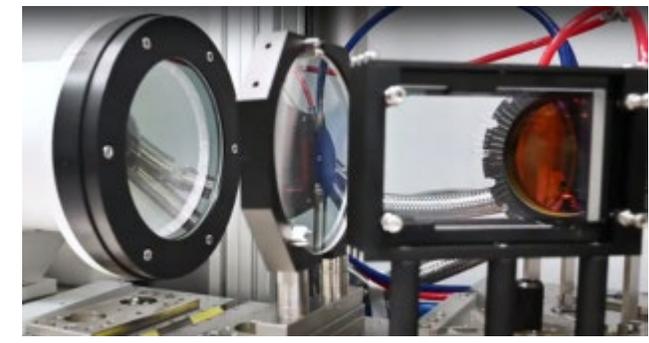
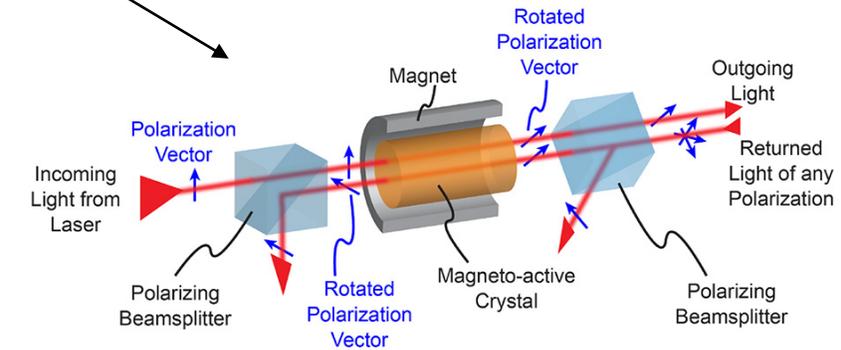
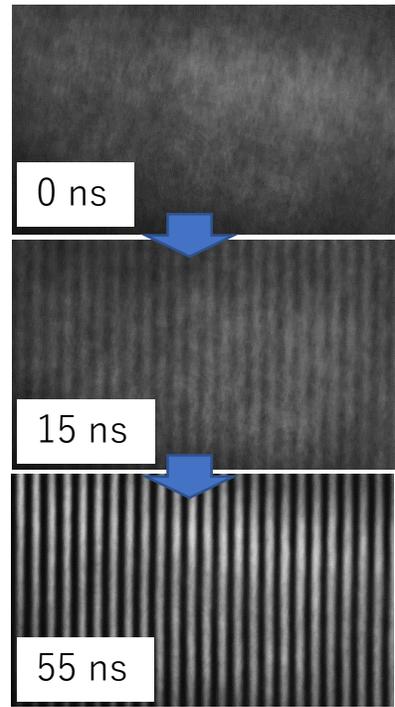
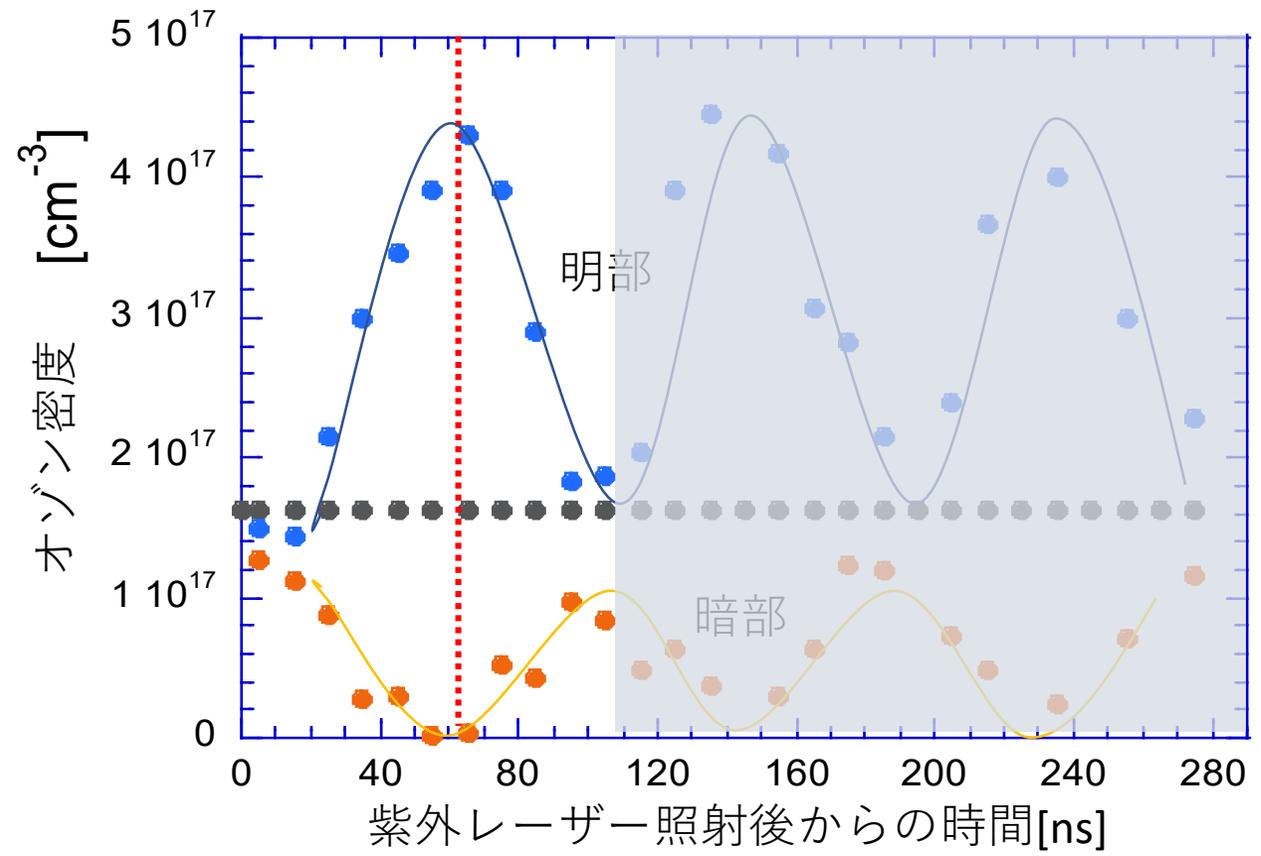
空間的な波面補正では、オゾン光学素子の特徴がそのまま利用できる。100J級レーザーで試験準備中。



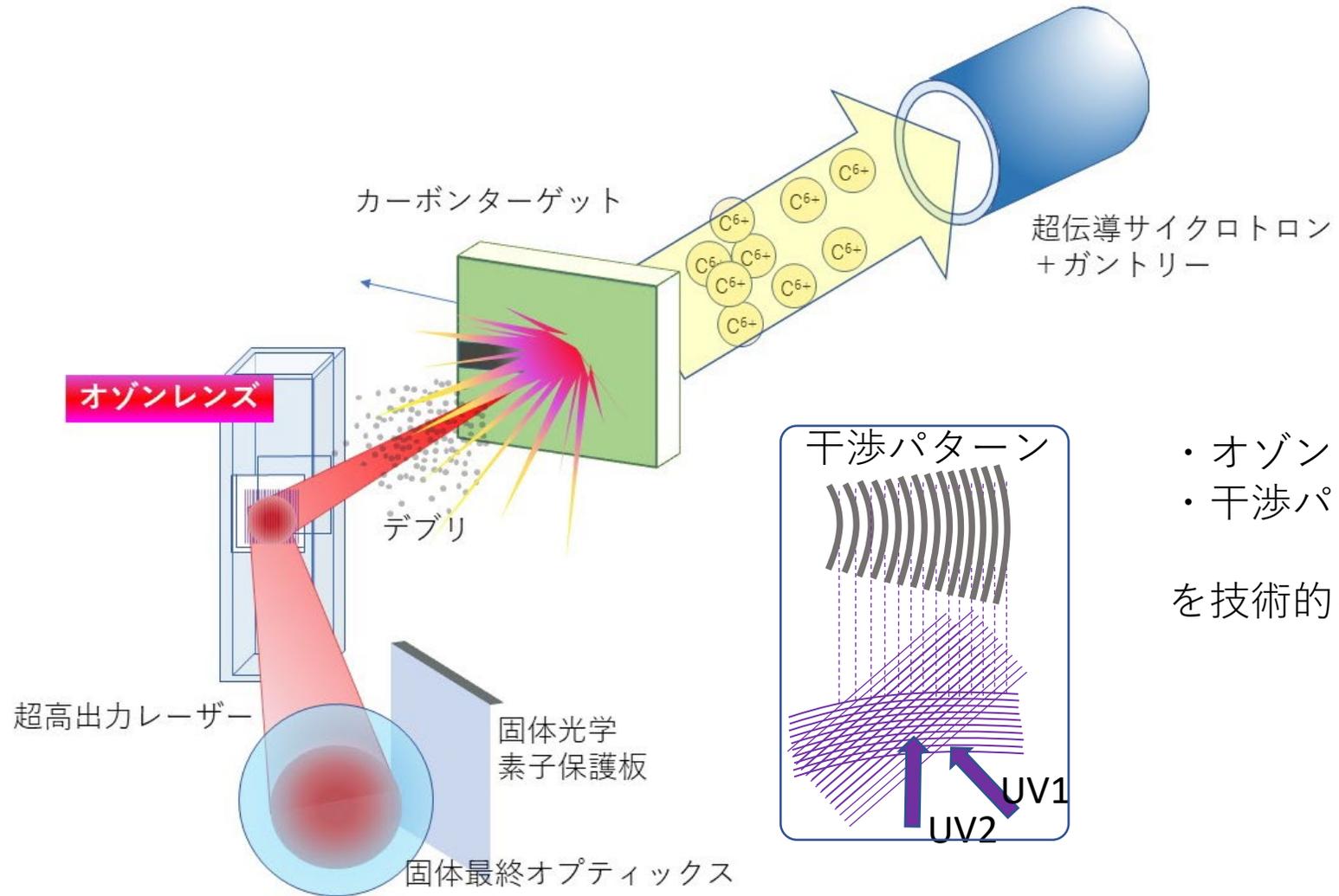
干渉計で作る高精度な粗密波により、高品質波面のみが選択的に回折

# ①レーザーシステムの小型化： レーザー増幅器間・波面補正光学系

時間的なフィルタリングもできれば、戻り光防止（アイソレーター）機能も兼ねられる。  
 ⇒オゾン粗密波の時間変調特性を制御する必要あり



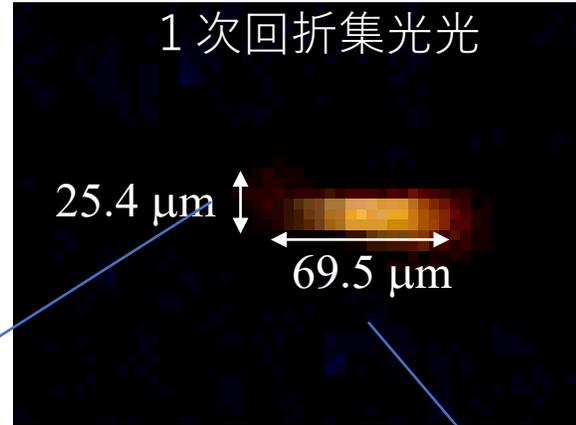
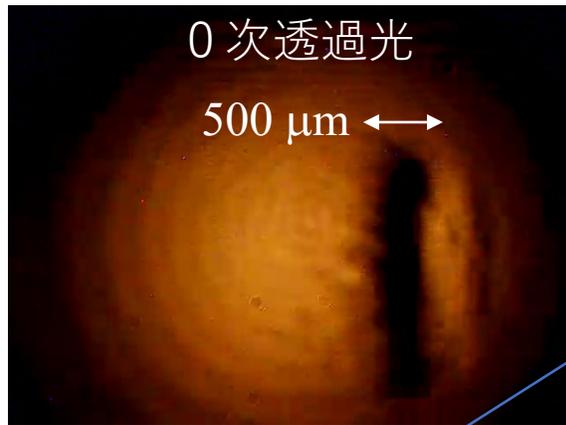
## ②ターゲット周辺のデブリフリー集光光学系



- ・オゾンレンズの高NA化
  - ・干渉パターンに対しての入射角のマッチング
- を技術的に確立させる。

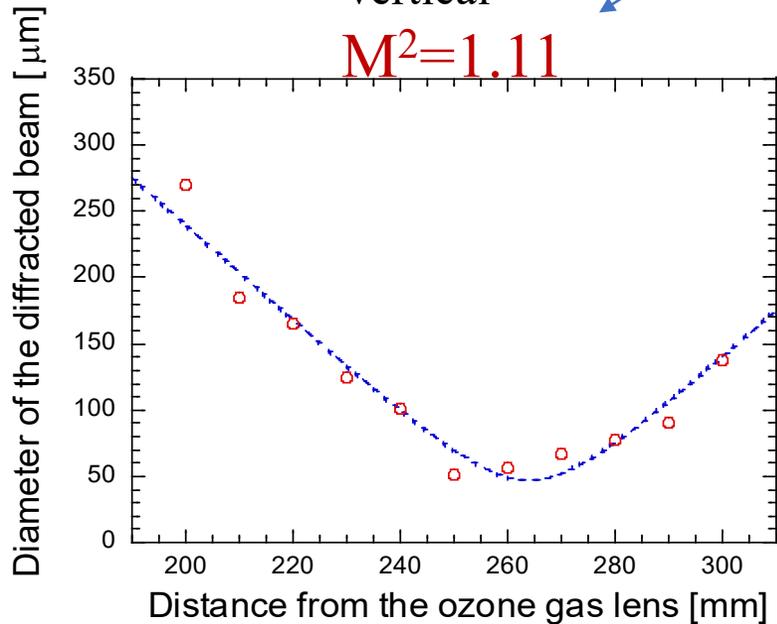
## ②ターゲット周辺のデブリフリー集光光学系

f = 260 mm レンズ条件での0次透過光と1次回折集光光

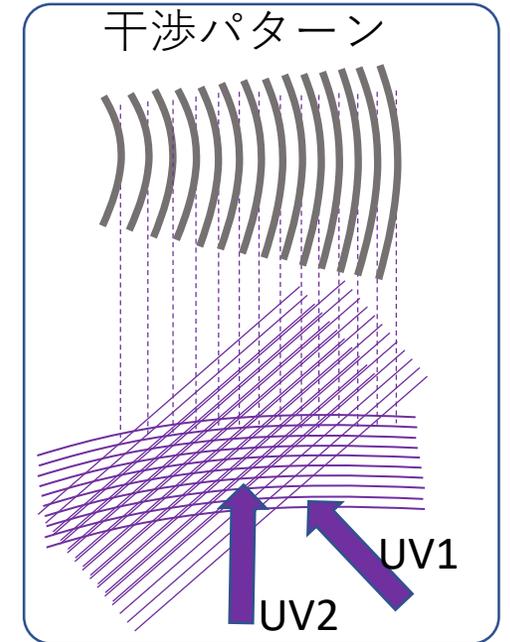
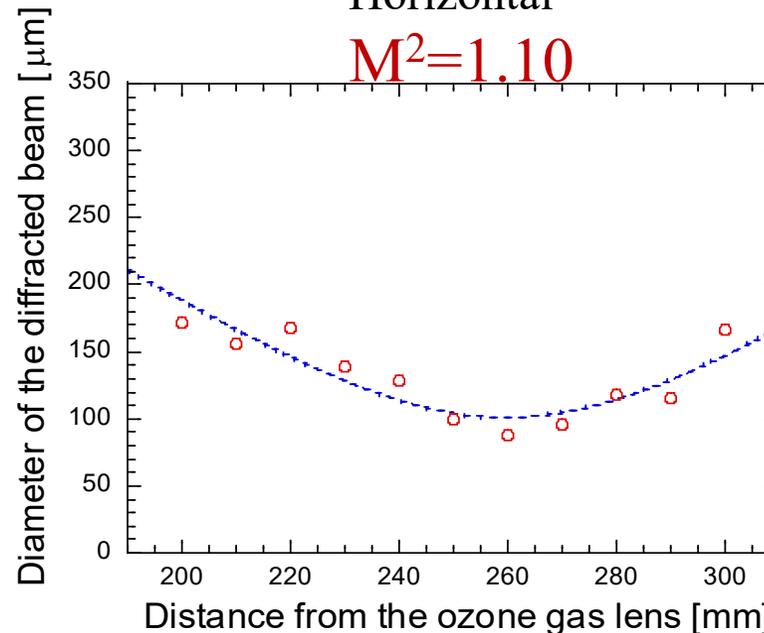


- ・集光性能はOK。
- ・縞間隔と非制御レーザー入射角のマッチング不一致の解決が課題。

Vertical  
 $M^2=1.11$



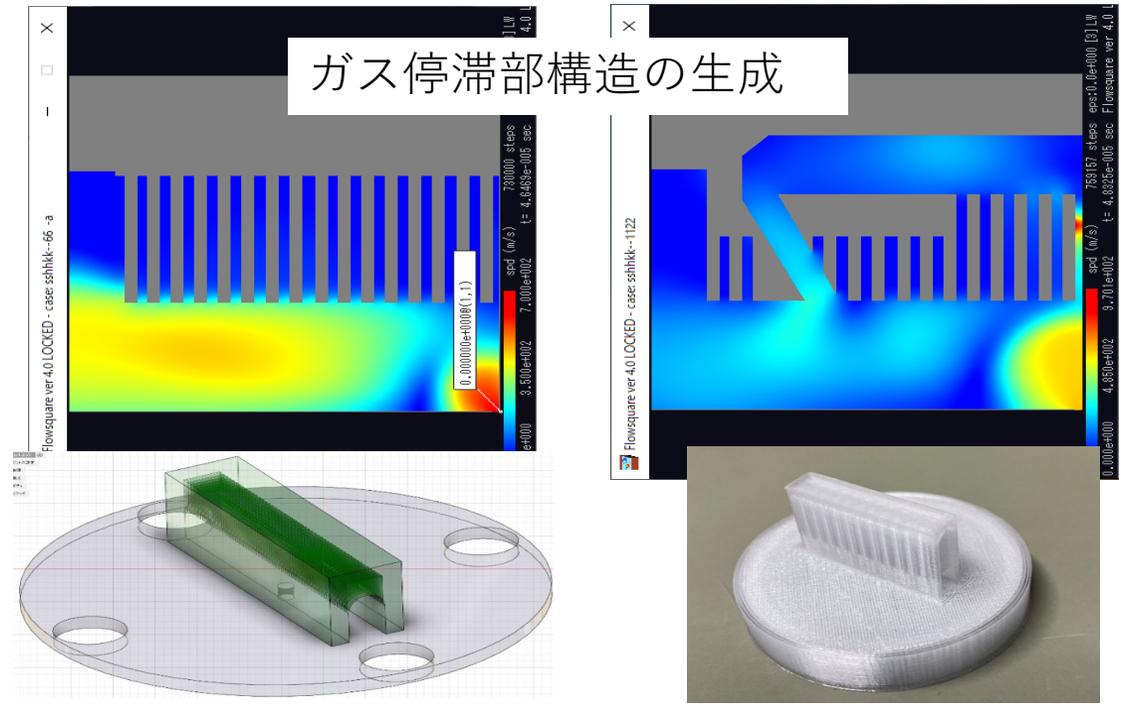
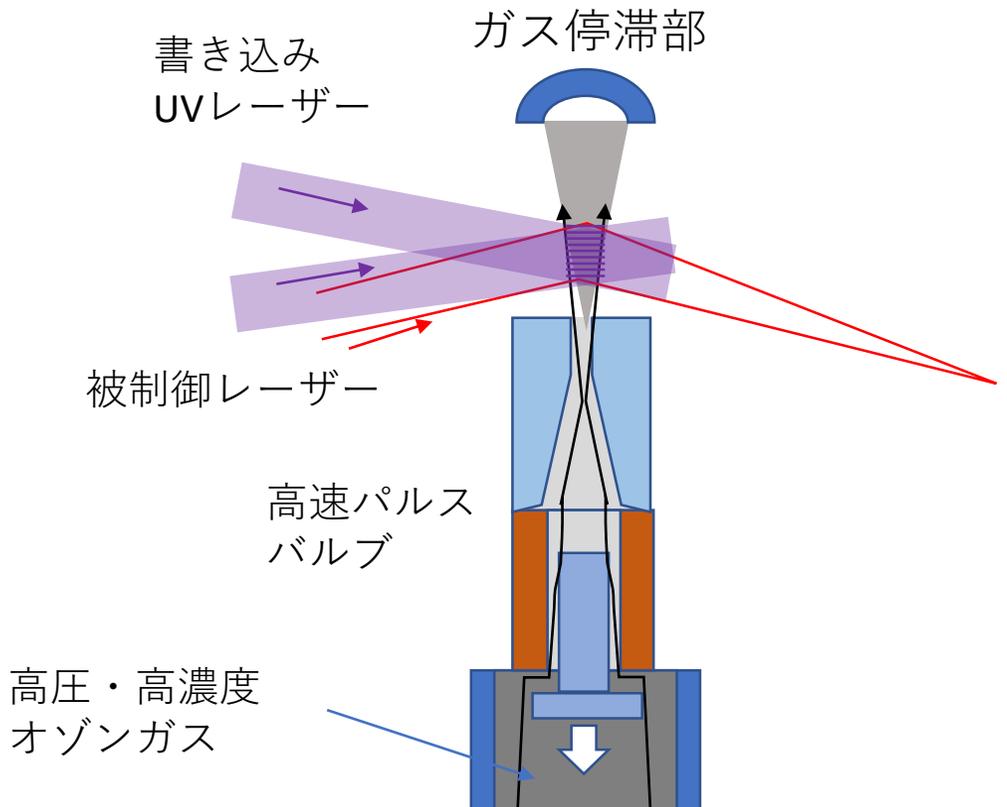
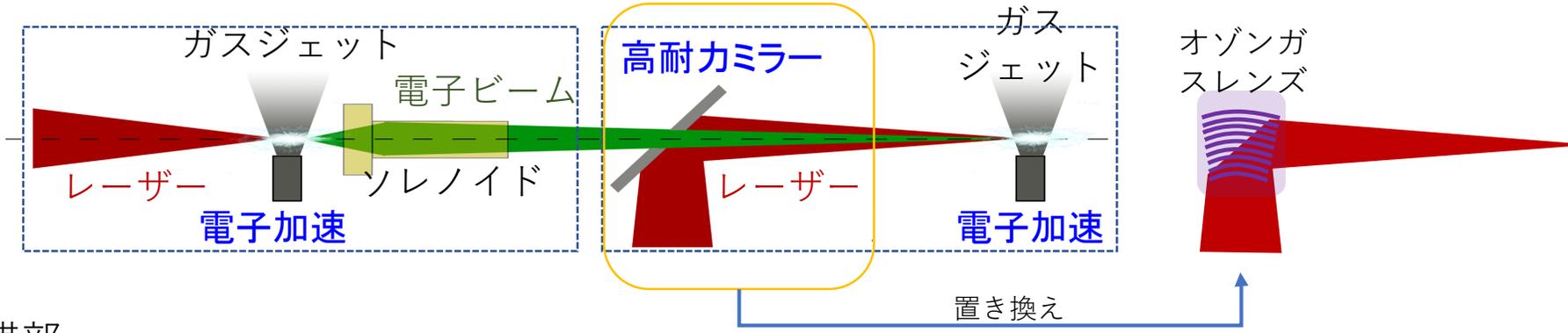
Horizontal  
 $M^2=1.10$



特願2019-237955

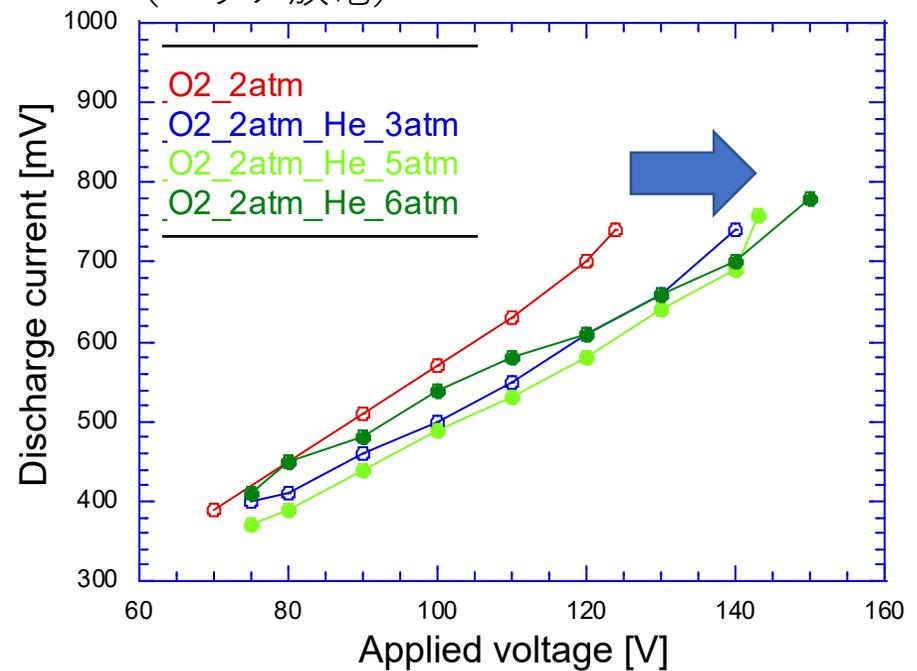
# ③電子追加速のための電子ビーム透過・レーザー反射光学系

真空対応オゾン光学素子の開発が必須。  
 高圧・高濃度オゾン生成&貯蔵技術開発が鍵

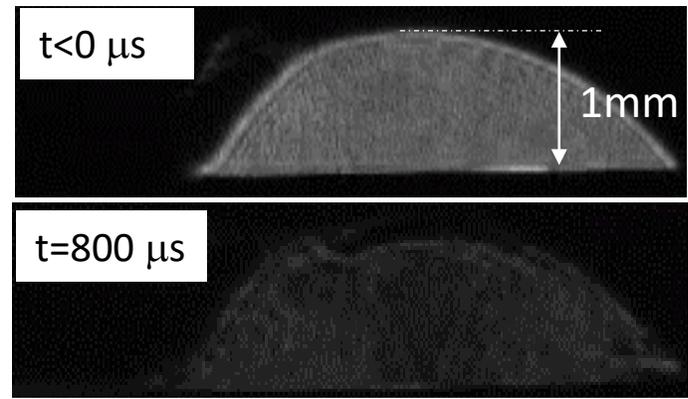
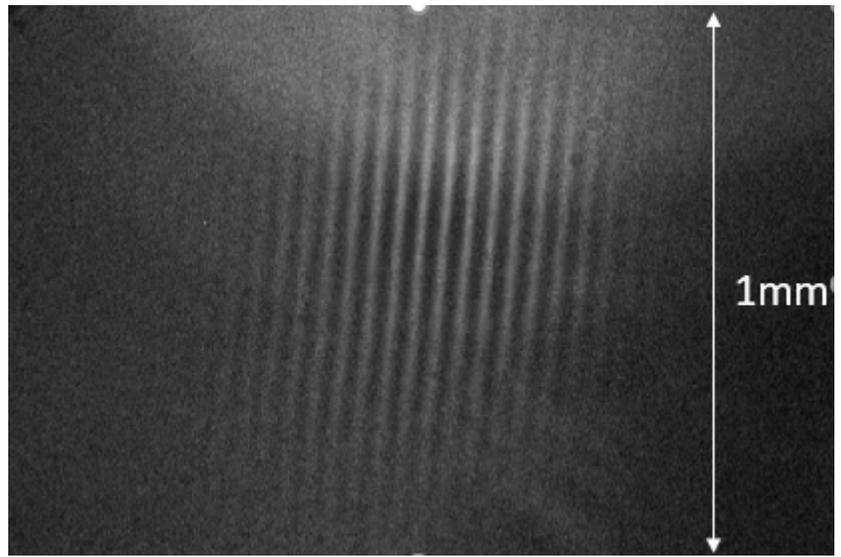


# ③電子追加速のための電子ビーム透過・レーザー反射光学系

2気圧酸素 + 6気圧Heで高压オゾン生成  
(バリア放電)

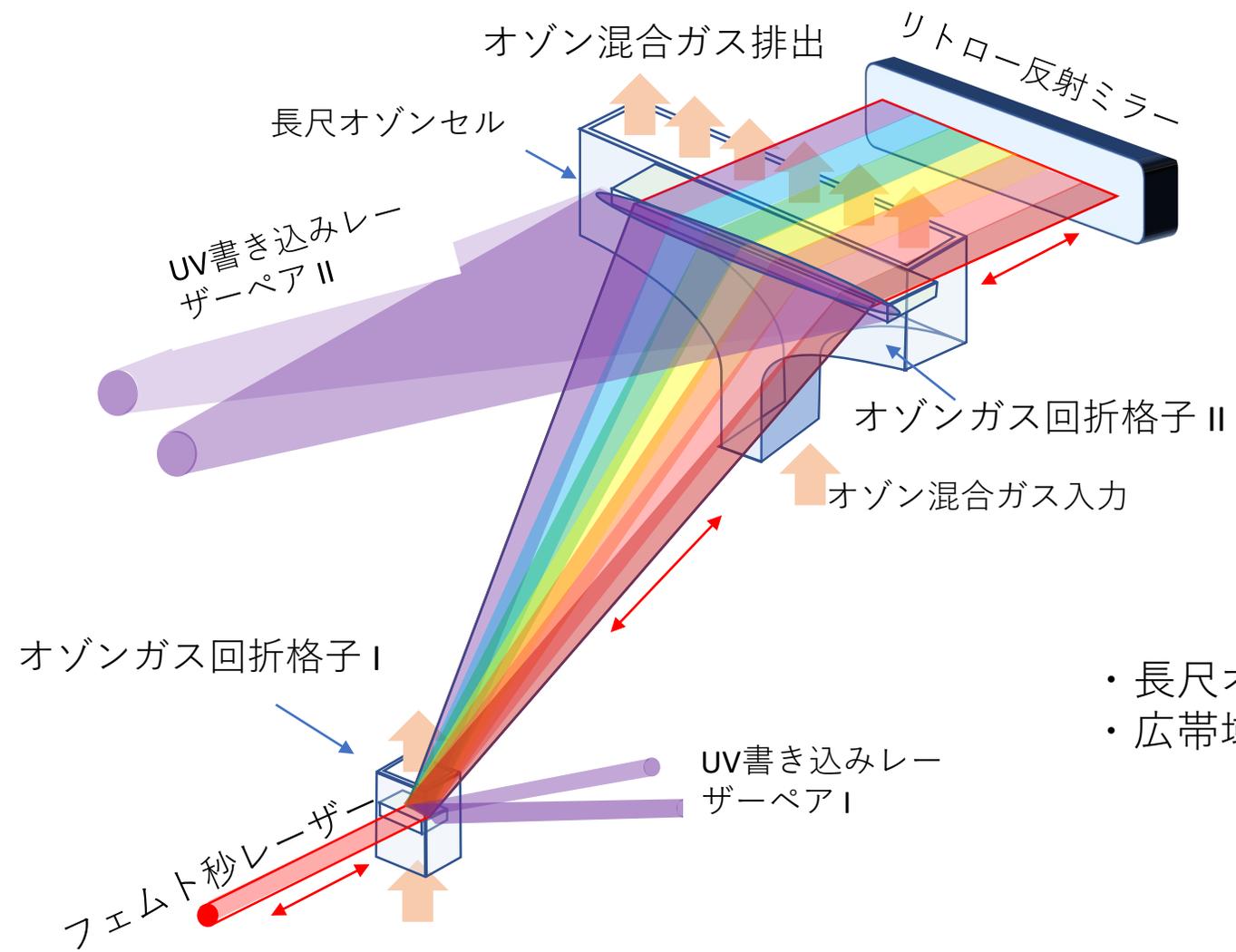


真空下での粗密波生成



- ・放電時のギャップ間隔短縮 + バッファガスによる高压化
- ・オゾン貯蔵技術

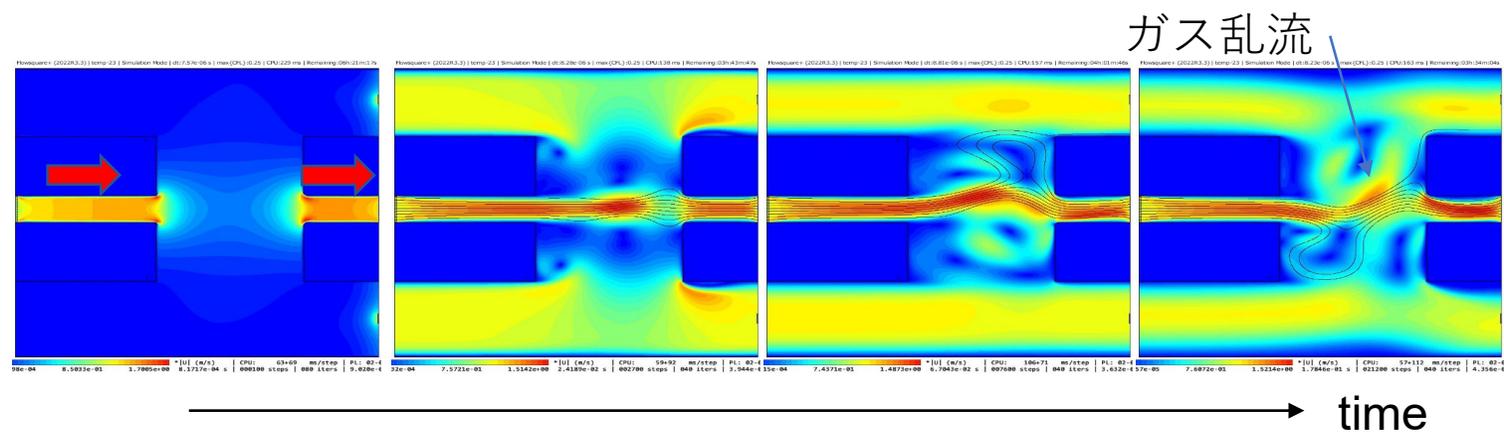
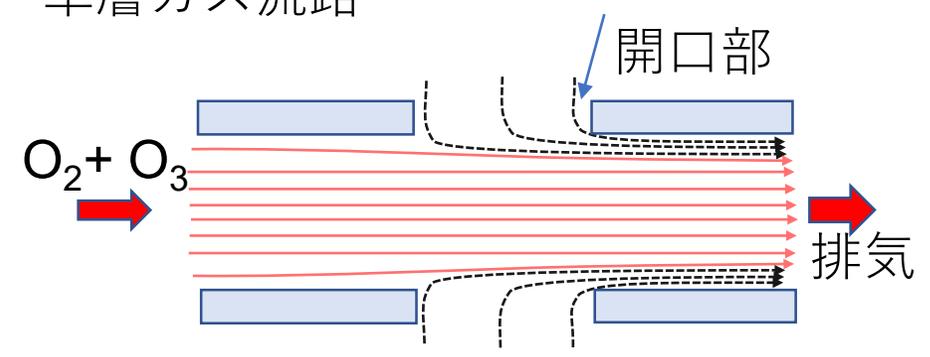
# ④高耐力・長寿命なパルス圧縮用回折光学系



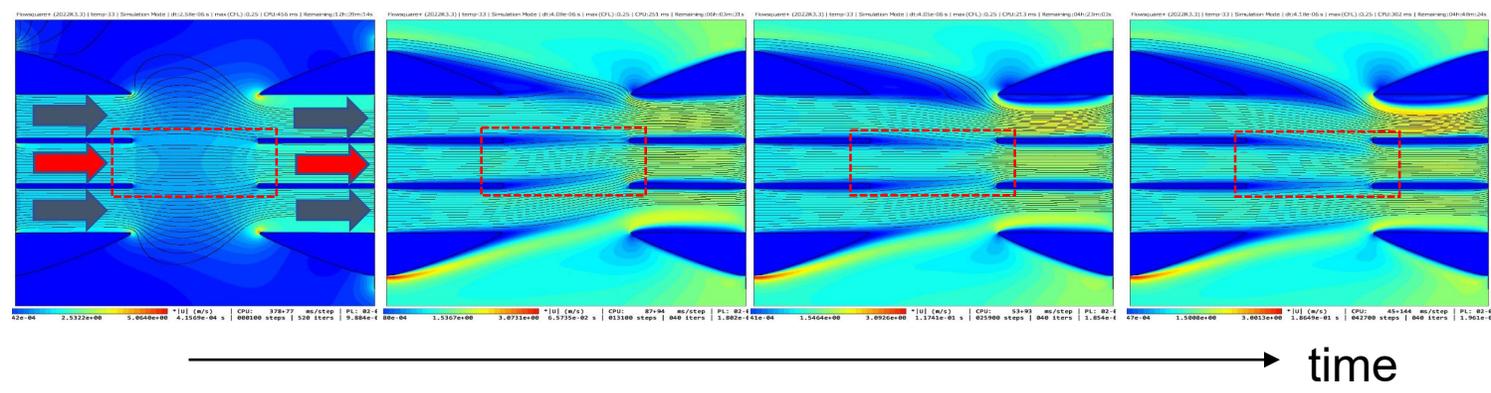
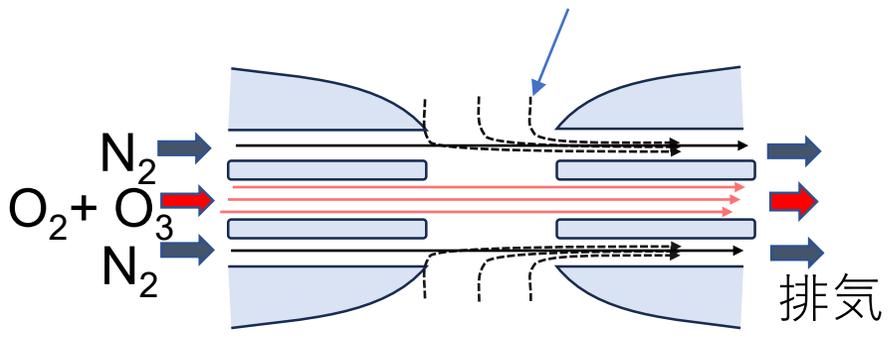
- ・長尺オゾンガス流路
- ・広帯域波長で効率良く回折できるか？

# ④パルス圧縮用回折光学系: 長尺ガス流路

単層ガス流路

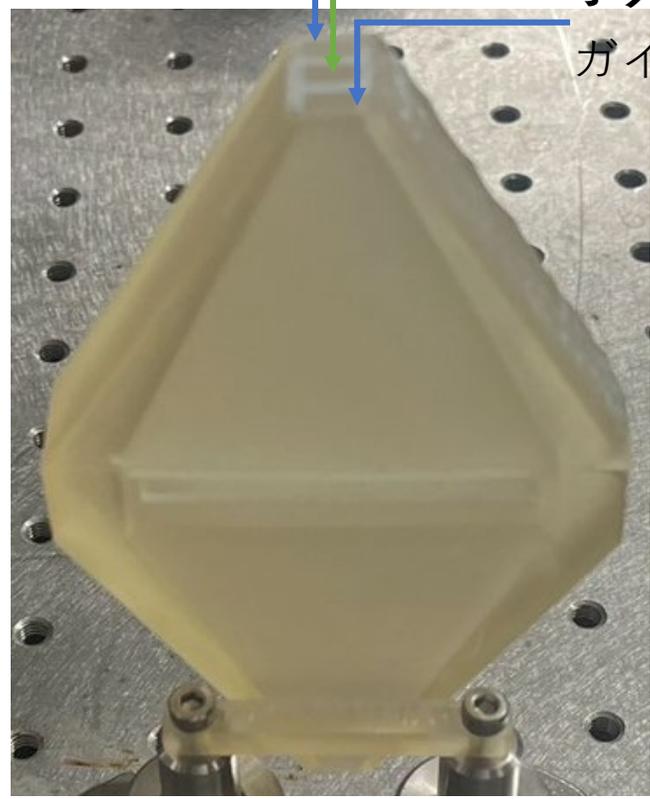
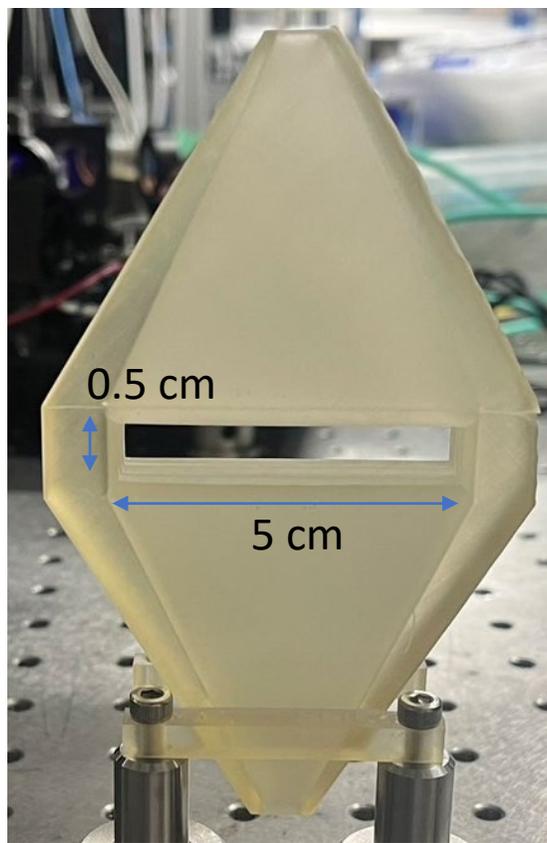


3層ガス流路



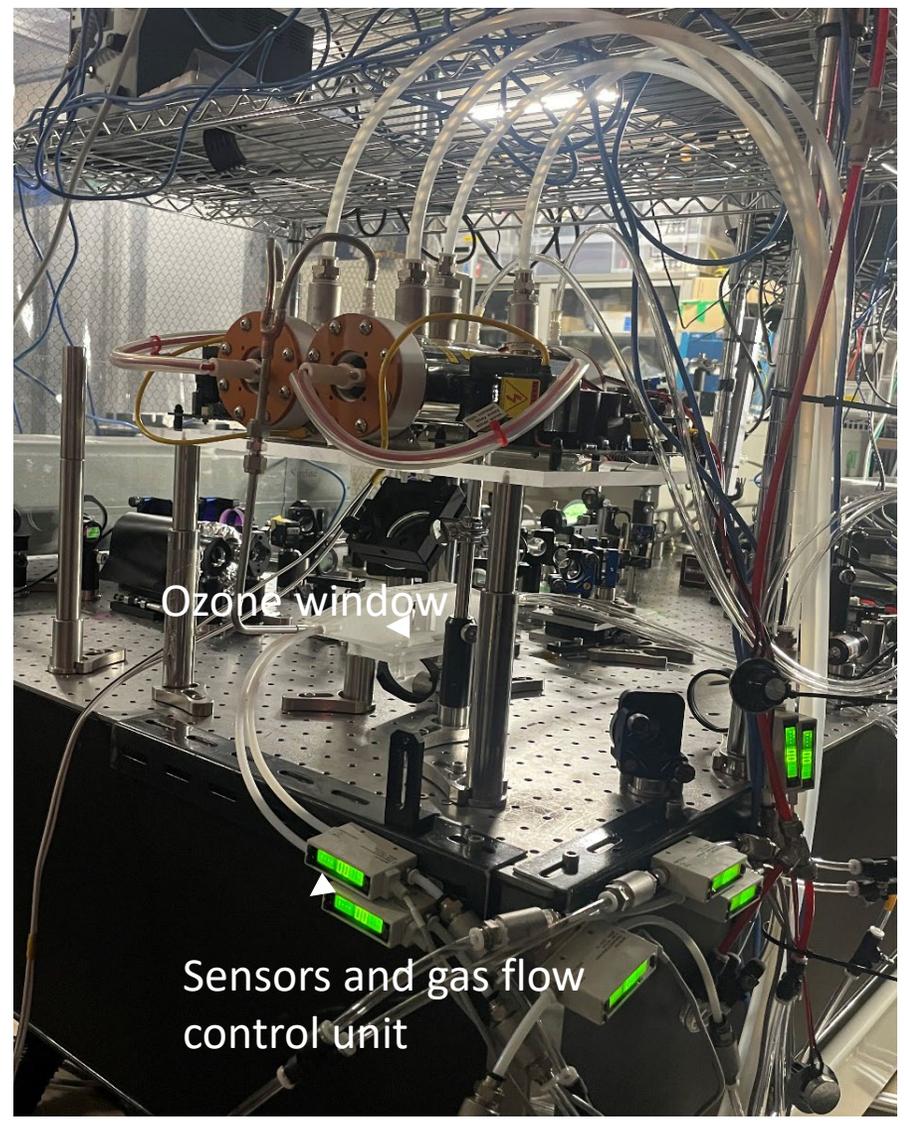
特願2024-055808

# ④パルス圧縮用回折光学系: 長尺ガス流路



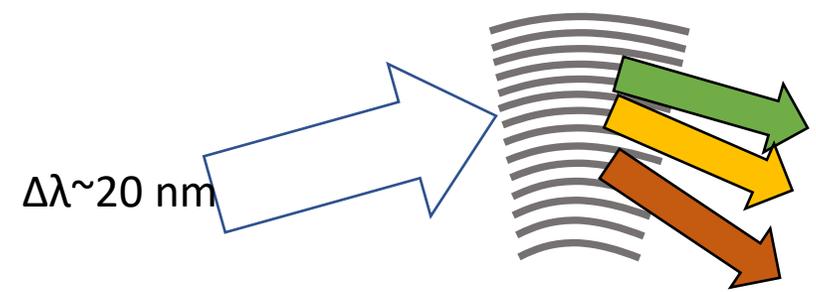
ガイドガスin  
オゾンガスin  
ガイドガスin

0.5 × 5cm<sup>2</sup>矩形開口流路

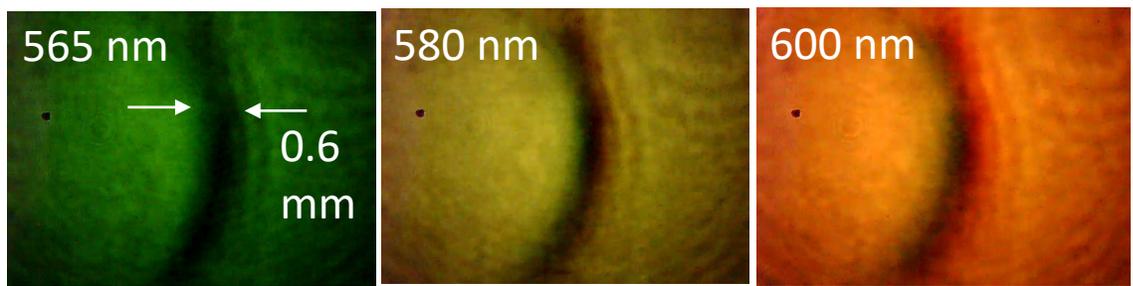


# ④パルス圧縮用回折光学系：広帯域性

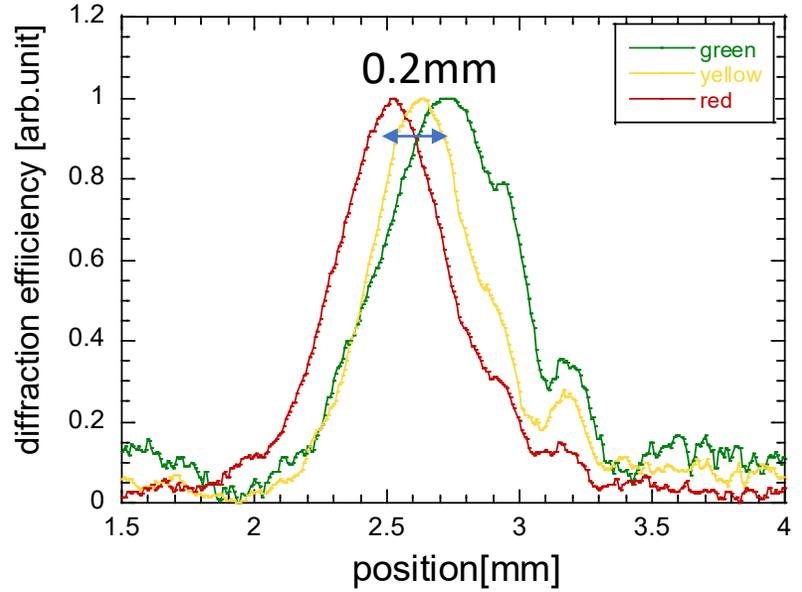
不等間隔ガスレンズでチェック



0次透過光像



ガスレンズ回折領域の波長依存性 (入射角一定、 $f=200$ )

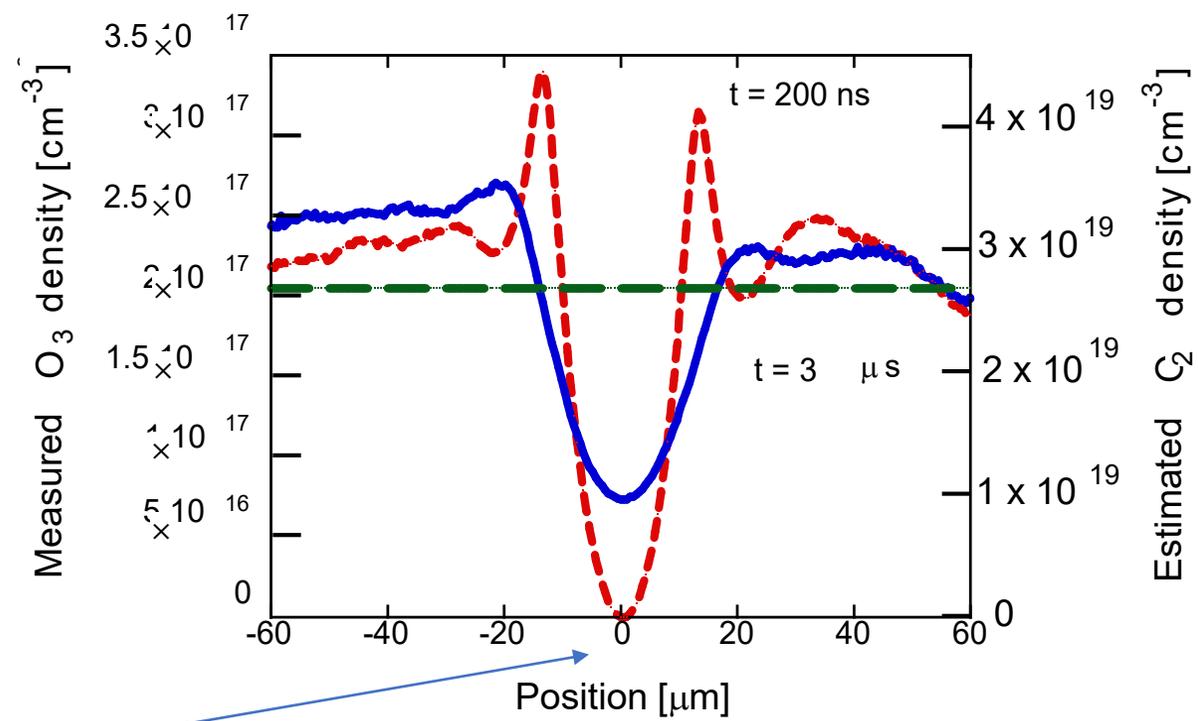
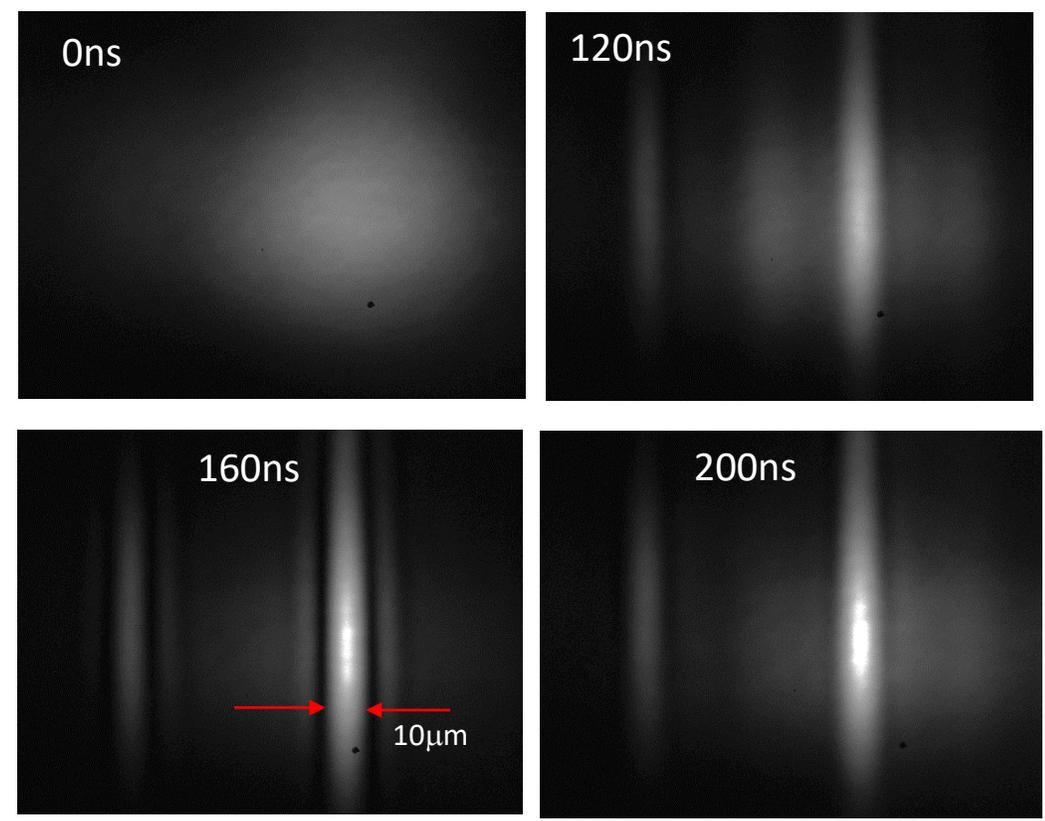


$\Delta\lambda \sim 20 \text{ nm}$  で回折可能。(回折位置は0.2mm程度のずれ)  
 より広帯域のレーザー光での対応は難しい??  
 (各波長ごとに入射角の調整、ガス厚みの低減、 $\Delta n$ の増加)

# ④粗密構造の時間発展吸収計測像の観測

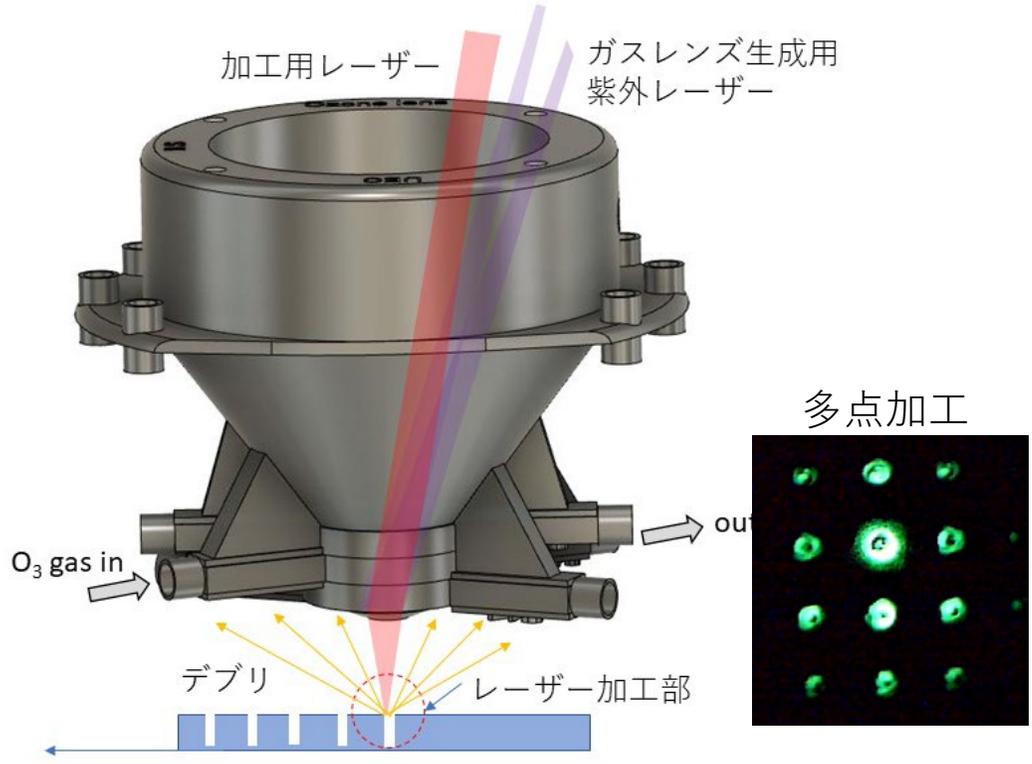
Y.Michine, et al., Physics of Fluids 36, 041703 (2024)

UV: 110 mJ/cm<sup>2</sup>



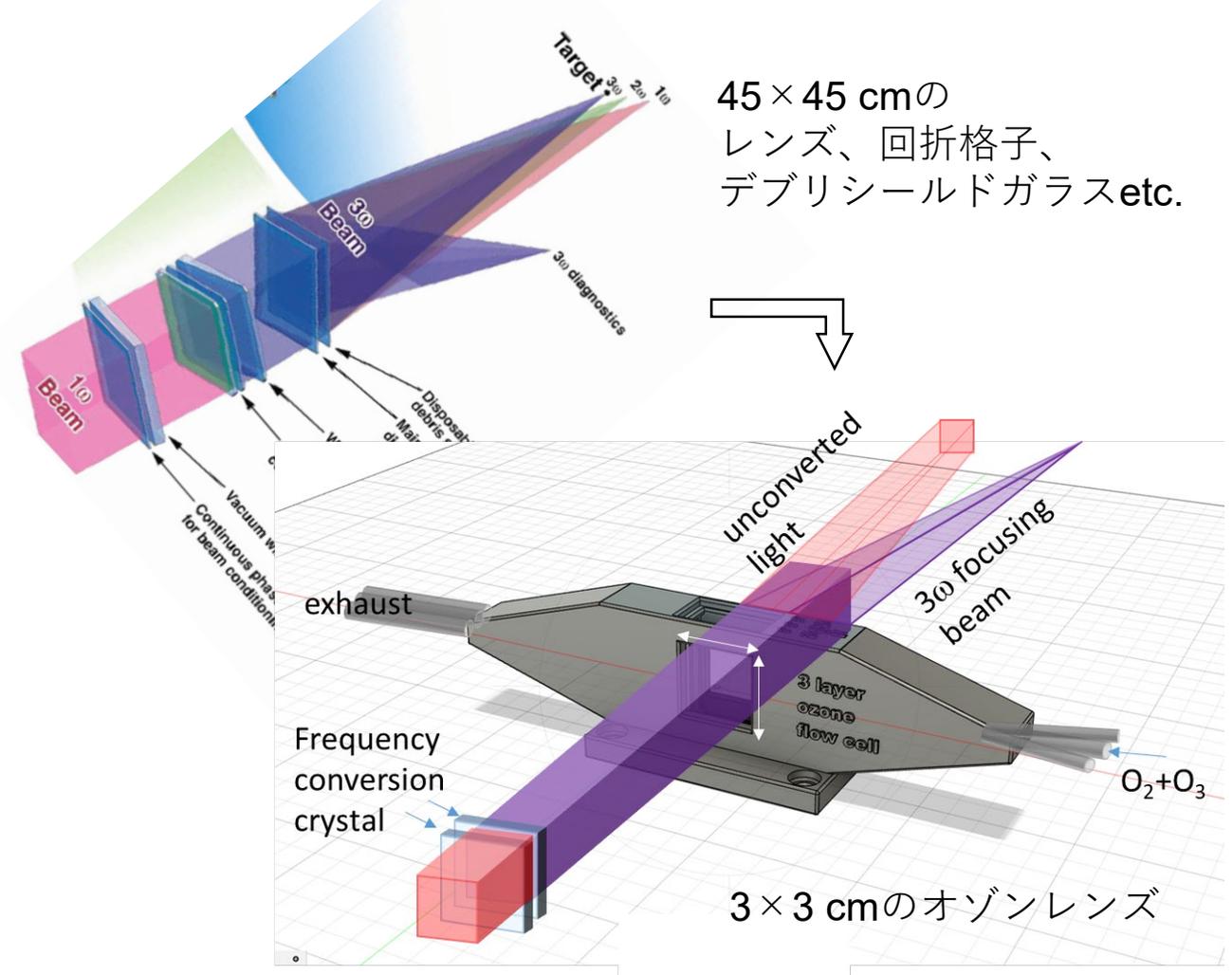
ピーク時には疎な部分でO<sub>3</sub>密度は0に。ガス中に急峻な屈折率ジャンプができています

## レーザー加工時のデブリ（材料の飛散物）問題の解決

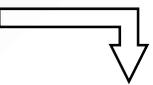


レーザー照射部で融解したデブリが光学素子に付着、  
 損傷の原因に  
 ⇒ガス光学素子で、メンテナンス&ダメージフリー  
 なレーザー加工システムの構築

## 米国国立点火施設 レーザー核融合の最終集光光学系



45×45 cmの  
 レンズ、回折格子、  
 デブリシールドガラスetc.



3×3 cmのオゾンレンズ

気体媒質を使用する新しい光学素子をレーザー加速システムに実装させるため、現在、以下のR&Dが進行している。

① レーザーシステムの小型化

オゾン素子の高品質波面弁別、時間的スイッチングでフィルターの置き換え

② ターゲット周辺のデブリフリー集光光学系

オゾンレンズの高NA化に向けた原理実証試験と計算コードが開発完了

③ 電子追加速のための電子ビーム透過・レーザー反射光学系

真空対応オゾン素子の生成。 高圧・高濃度オゾン生成は今後の課題

④ 高耐力・高寿命なパルス圧縮用回折光学系

より広帯域波長に利用できる粗密波励起が可能になった。次は実際の超短パルスレーザーでの試験へ

その他、レーザー加工やレーザー核融合のためのオゾン光学素子の応用研究も進行中。