

Master Thesis

長時間アルミナレーザーアブレーションにおける 蒸発物回収量安定化の検討

1

山上尋大, Lucas-Brian Christen, 松倉真帆, 小紫公也 (東京大学)

従来の2オーダー多い蒸発物回収量を達成し、ブルーム挙動安定化の手法の確立に成功した

- 217 mgの蒸発物を回収した — これは先行研究の回収板実験の回収量より2オーダー多い回収量である
- アルミニウムの析出には酸素吸着媒体の存在が重要である可能性が示唆された
- スポレーションとブルームスイングの原理を結論づけた +
- ²ブルーム挙動はレーザー強度とロッド回転速度で制御することができることが示された

01

Introduction

- **Backgrounds**
- **Previous study**

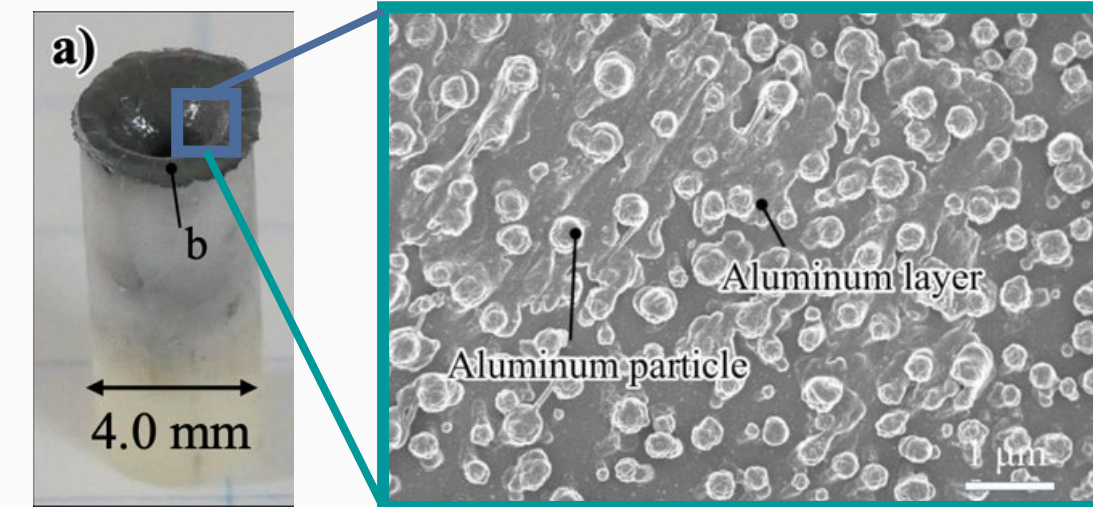
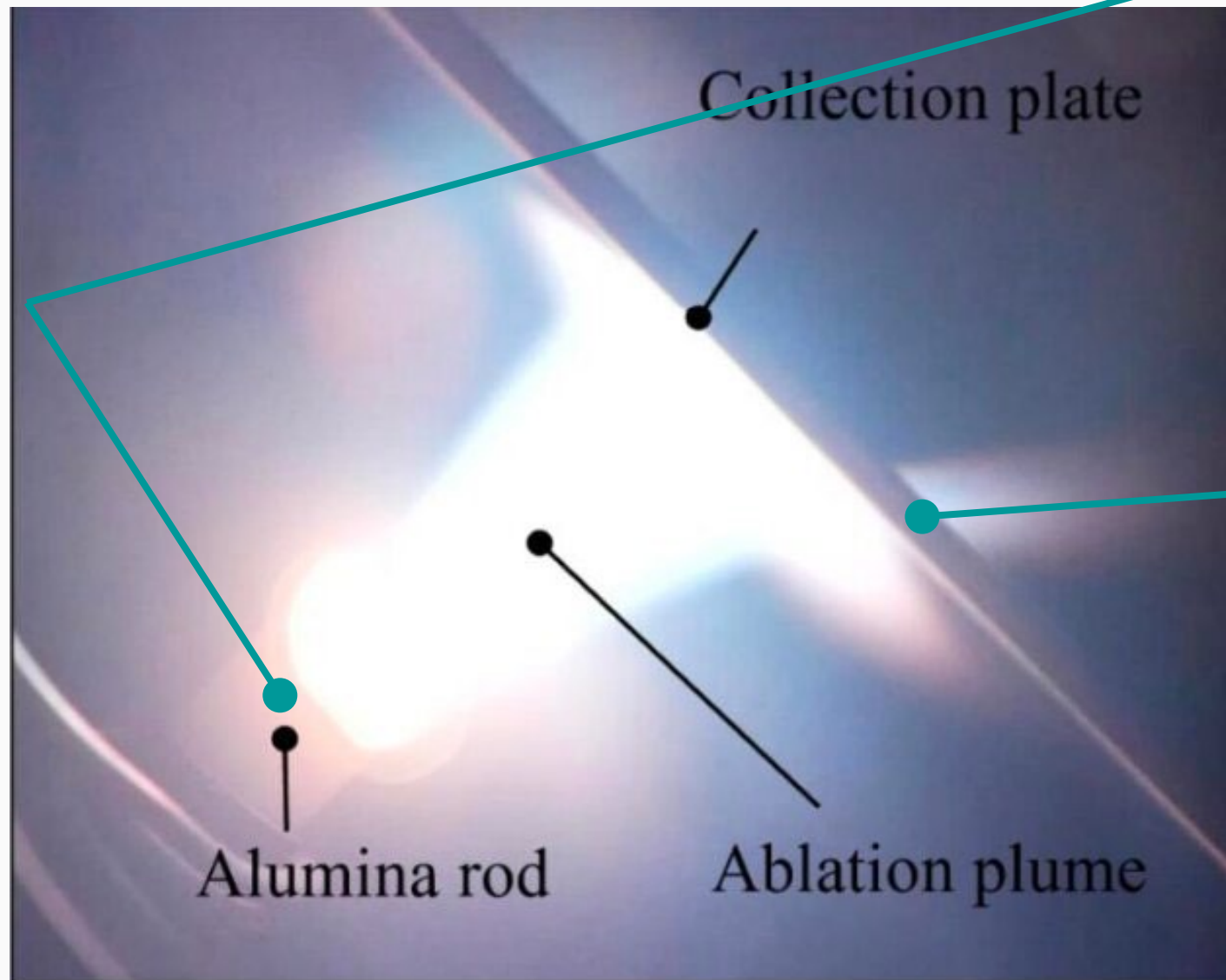
01



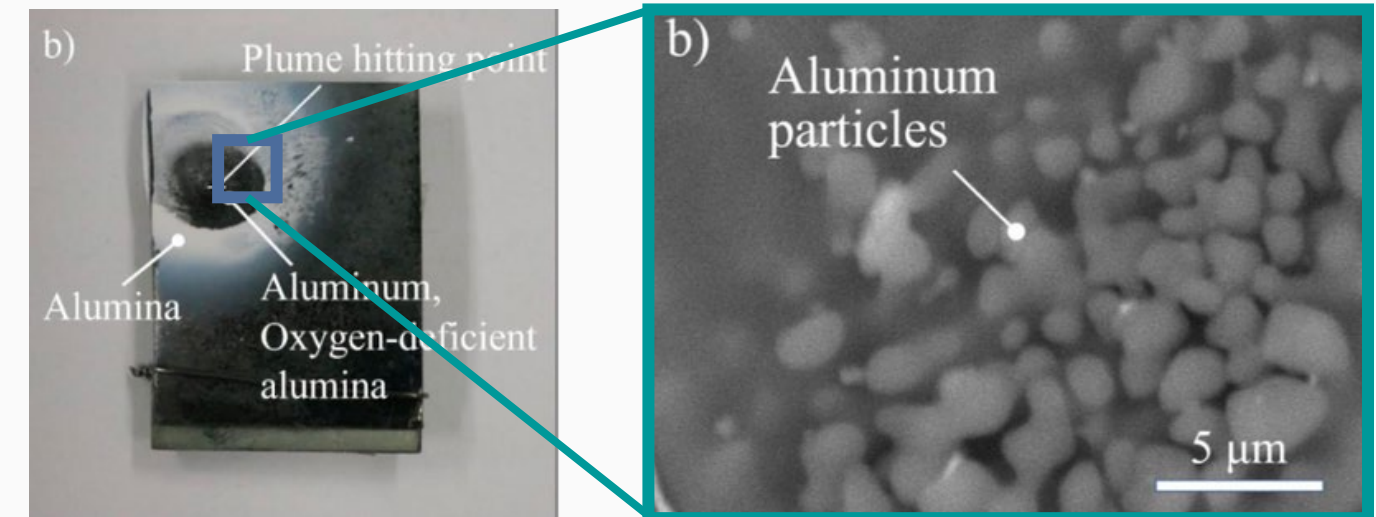
2種類のアルミ回収方法

1. ロッド上(AI:14 μg @1.5 kW/1 s) ^[1]

)



2. 回収板上(AI:110 μg @2 kW/1 s) ^[1]



4

▶▶ 回収板上での回収の方がAI回収量の観点で優れる

▶▶ 回収板上での蒸発物回収量は実用化には遠く及ばない(数 mg オーダー)

タンタル回収板@1500 Kにてアルミニウム回収

表 プルーム衝突中心における回収物質一覧（冷却速度800 K/s）

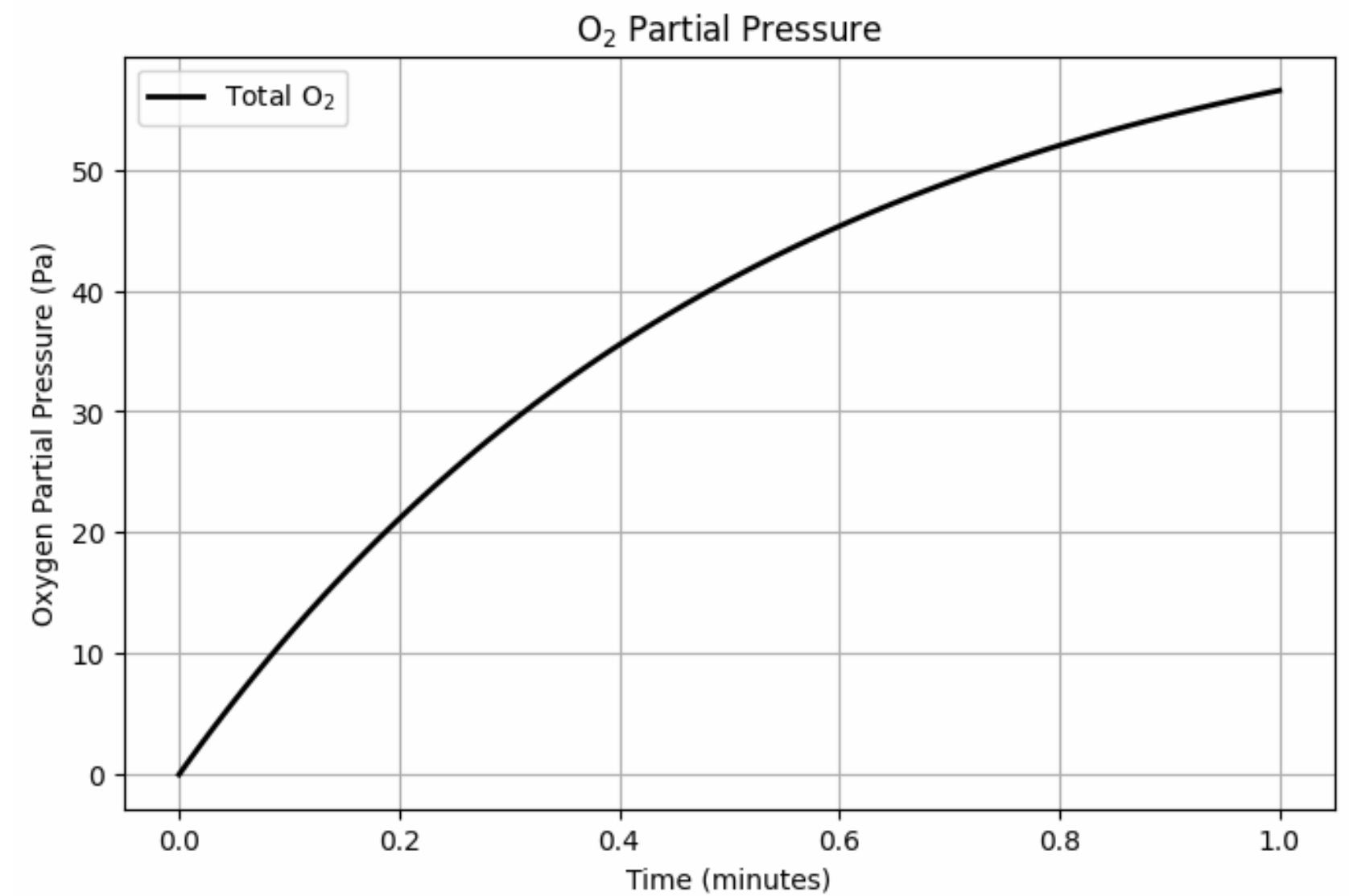
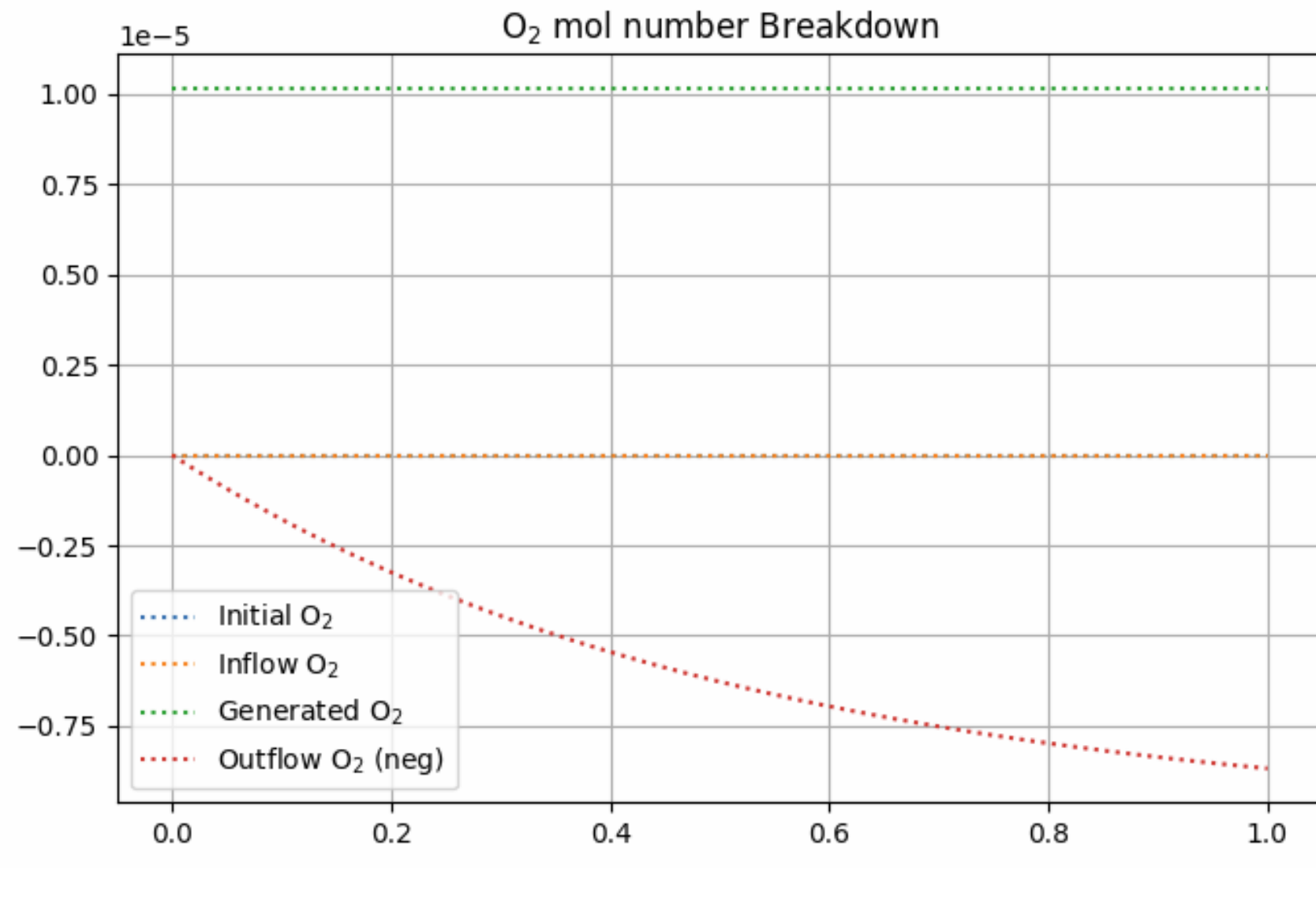
| 回収板温度/K (初期-最終温度) | タングステン | タンタル | アルミナ |
|----------------------|-----------|----------------------|------|
| 300-500 | アルミナ | アルミナ | アルミナ |
| 1000-1200 | 酸素欠陥型アルミナ | 酸素欠陥型アルミナ | アルミナ |
| 1500-1600 | 酸素欠陥型アルミナ | アルミニウム, 酸素欠陥型アルミナ | アルミナ |
| 2000-2100 | 酸素欠陥型アルミナ | 酸素欠陥型アルミナ | アルミナ |

◆ 高温タンタルが酸素吸収剤として作用したのではないか？

チャンバー内酸素分圧の変化（見積もり）

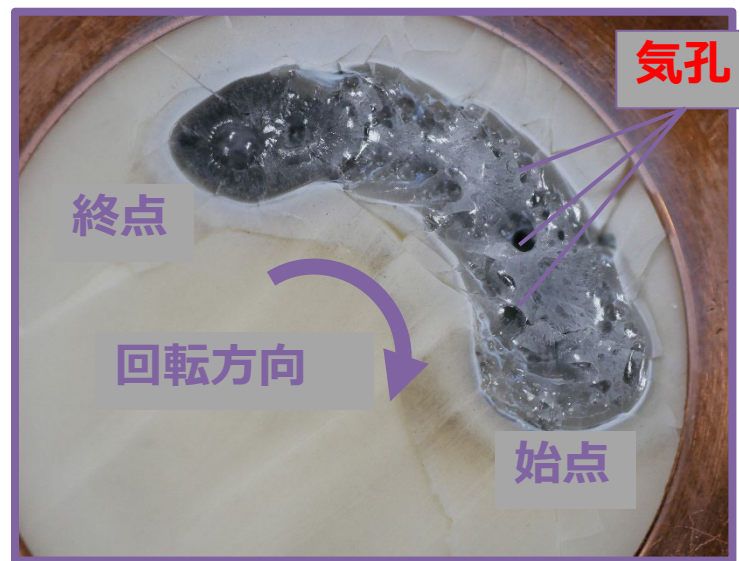
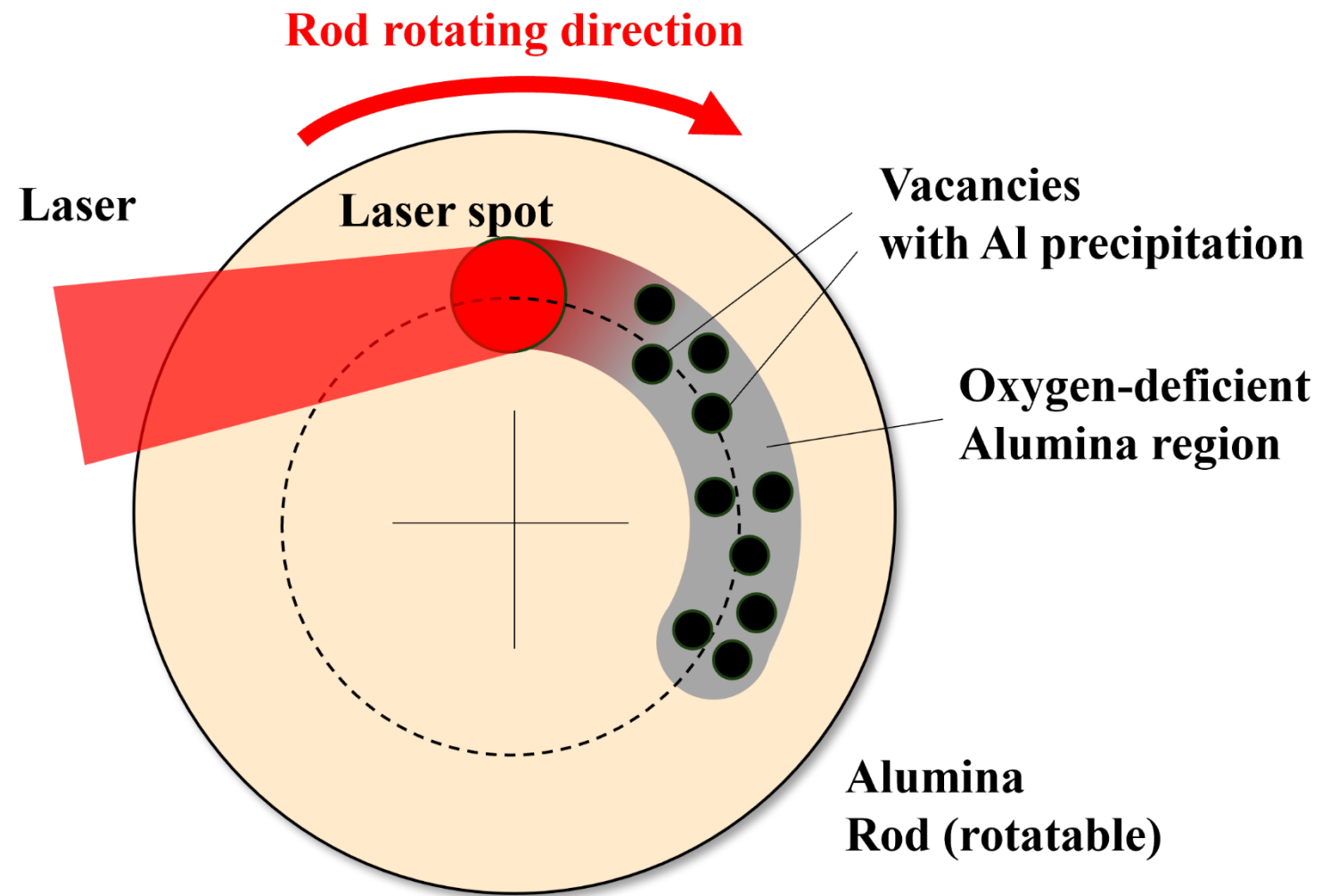
再酸化を防ぐため酸素分圧を下げる

- ・ 初期空気パージの徹底
- ・ 酸素フィルタの導入
- ・ 雰囲気気流（Ar）流量の増加



- アルミナのアブレーションの際に生じる酸素の分圧が支配的

移動表面アブレーション（H₂雰囲気中）



H₂ 0.9 atm, 4 rpm

| | N ₂ , r = 3 mm 15.1 mm ² /s | H ₂ , r = 3 mm 15.1 mm ² /s | H ₂ , r = 2 mm 10.1 mm ² /s | H ₂ , r = 3 mm 7.5 mm ² /s | H ₂ , r = 1.22 mm 6.1 mm ² /s |
|---------------|--|--|--|---|--|
| ロッド外観 | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
| 断面CT | (f) | (g) | (h) | (i) | (j) |
| 内部気孔 3Dデータ | (k) | (l) | (m) | (n) | (o) |

Al: 2.6 mg @ 1.5 kW 60 s

02

Collecting Evaporated Material

- Setup & condition
- Analysis method
- Results
- Discussion

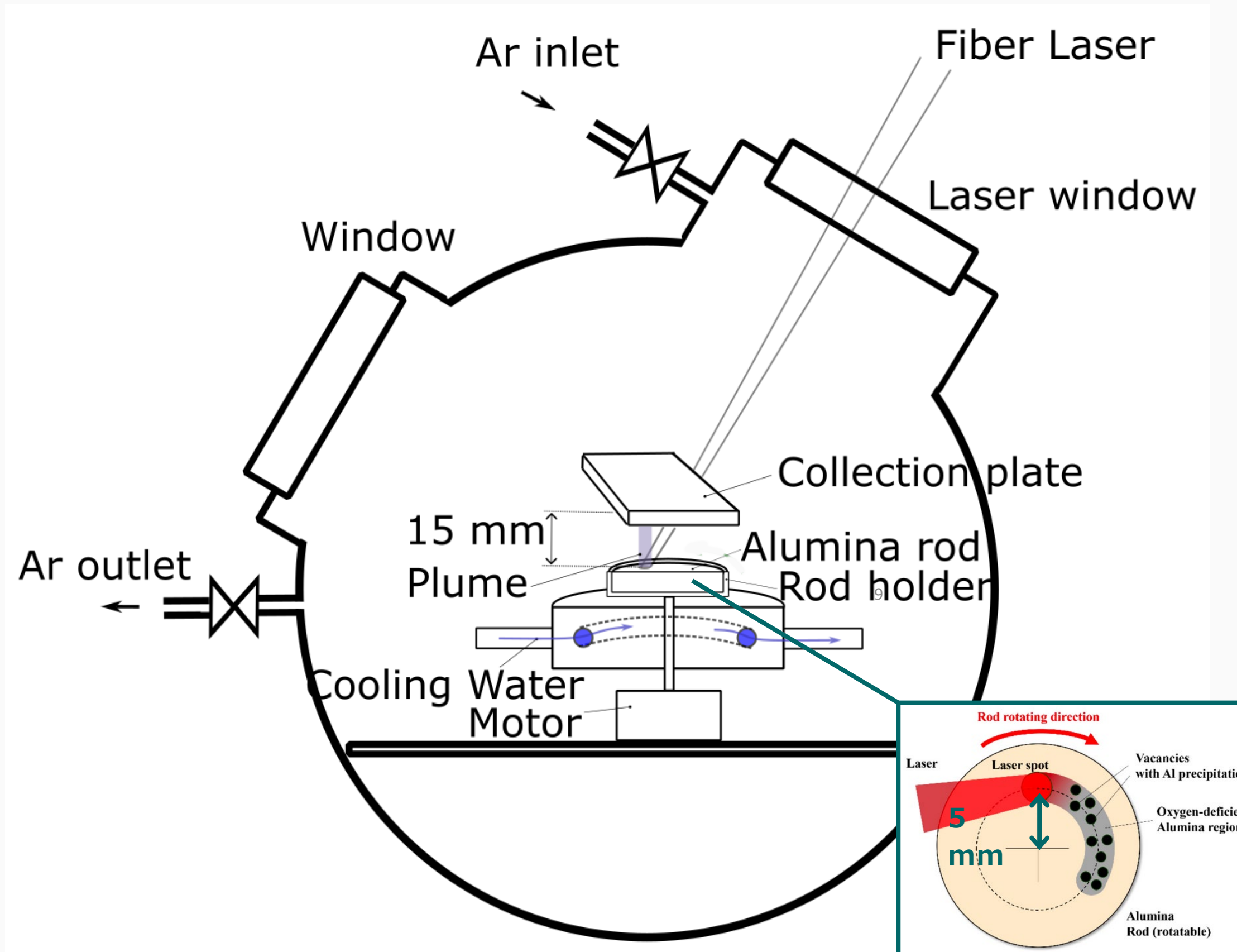
8

02



回収板実験の条件詳細

Setup & condition



回転アルミナロッド

- $\phi 20$ mm
- 厚さ5 mm
- 1~30 rpm

回収板

- 銅
- 20 mm \times 50 mm

雰囲気ガス

- **Ar**
- 1 atm

CWレーザー出力

- 1.5 kW, $\phi 2.2$ mm
- 15, 16%, 1分(予加熱)
- 80%, 15~20秒(アブレーション)

プルームのスイングによるアルミ回収率低下

スイング抑制のためには、ロッド表面を平らに保つことが重要

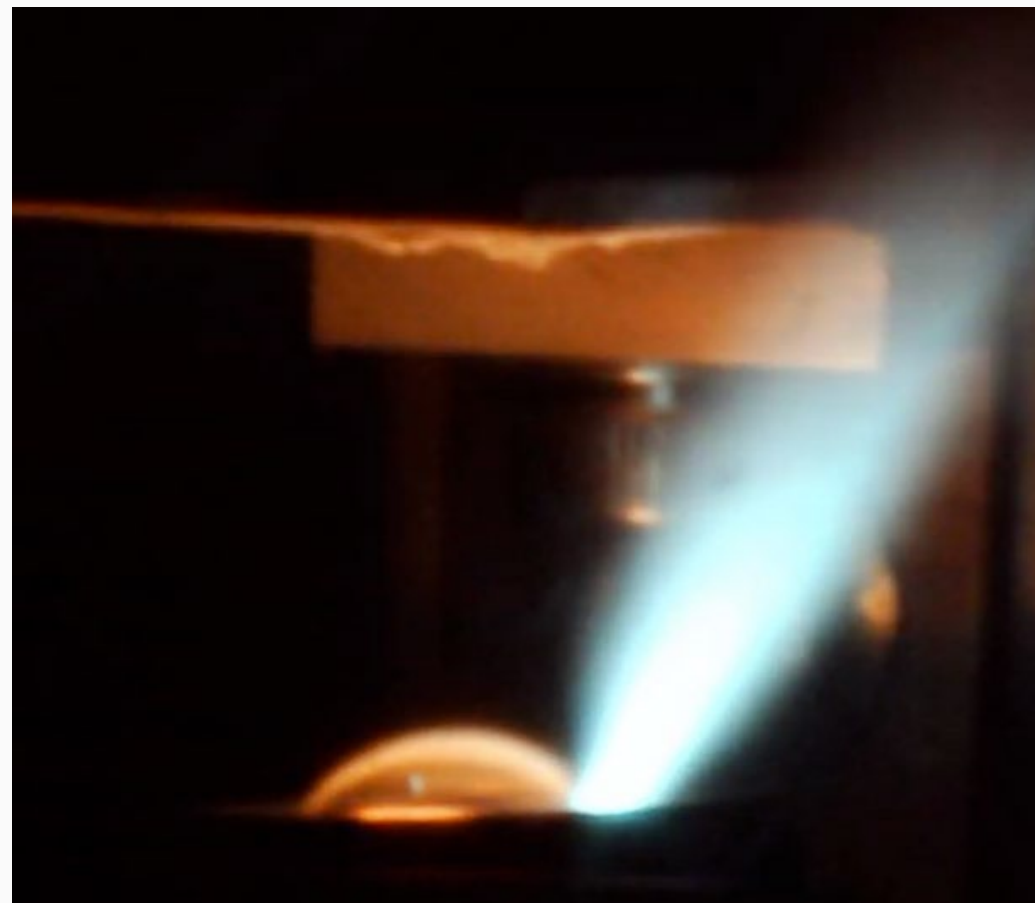
- プルームはレーザースポットの表面に対し垂直方向に進展する性質を持つ
- ロッド全体に跨る破砕は不連続な断面を生み、スイングの原因となる



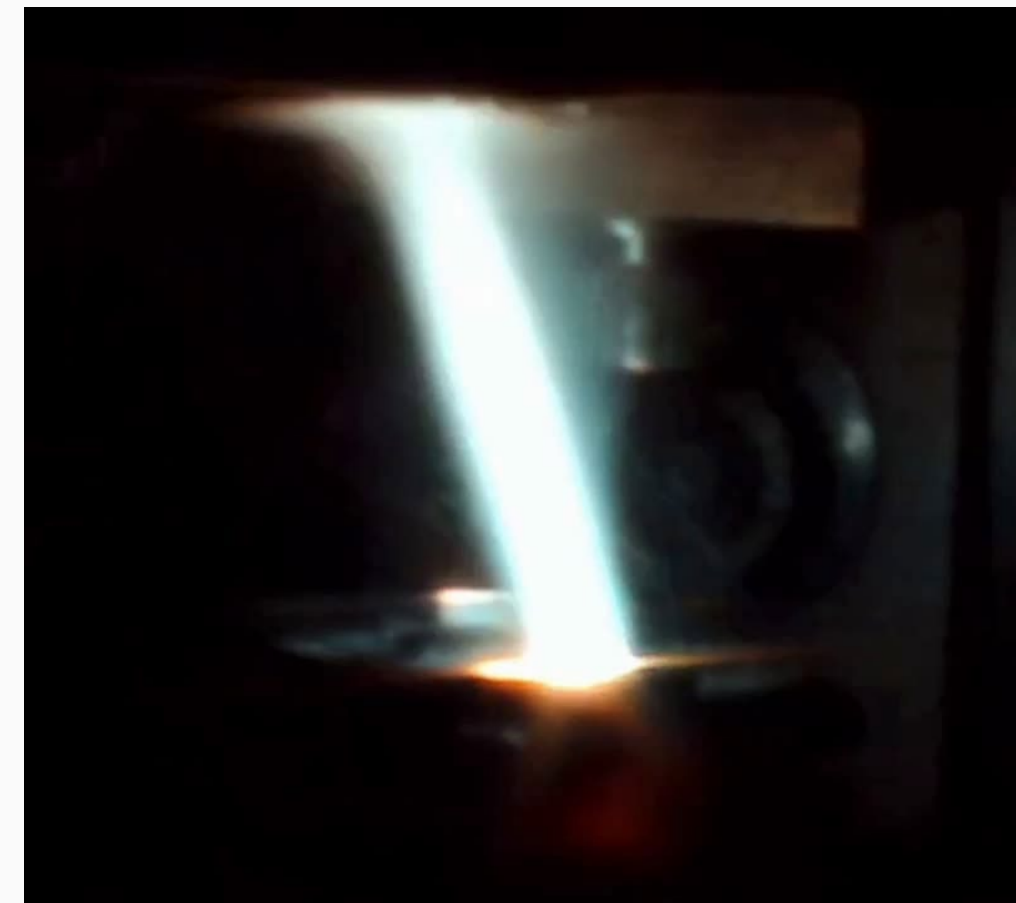
プルームスイングの画像

どんな回転速度でもドームが生じ、アブレーション面が傾き斜めにそれた

- 回転速度が6 rpm以上ではレーザーが掃いた後方にアルミナ沸点を超える領域が存在し、その上にアルミナ気体が溜まる
- ドーム状気体がロッドの表面状態を変え、プルームの方向も変える



6 rpmの実験でのスイング画像



6 rpmの実験動画

| ロッド回転速度 | 実験 # | 予加熱 パワー | 予加熱時間 | アブレーション パワー | アブレーション条件詳細 |
|---------|------------|------------|-------|----------------|-------------------|
| 1 rpm | 長時間アブレーション | 150 W(10%) | 180 s | 1500 W | 60秒の連続照射 |
| 6 rpm | 1 | 225 W(15%) | 60 s | 1200 W | 20秒の間欠照射 |
| 6 rpm | 2 | 225 W(15%) | 60 s | 1200 W | 10秒の間欠照射→10秒の連続照射 |
| 30 rpm | 3 | 240 W(16%) | 60 s | 1200 W | 10秒の間欠照射→5秒の連続照射 |
| 10 rpm | 4 | 240 W(16%) | 60 s | 1200 W | 10秒の間欠照射→5秒の連続照射 |

※間欠照射とは15msごとにオンオフを繰り返す挙動を指す

間欠照射はロッド表面とブルームの進展方向に影響を及ぼさない

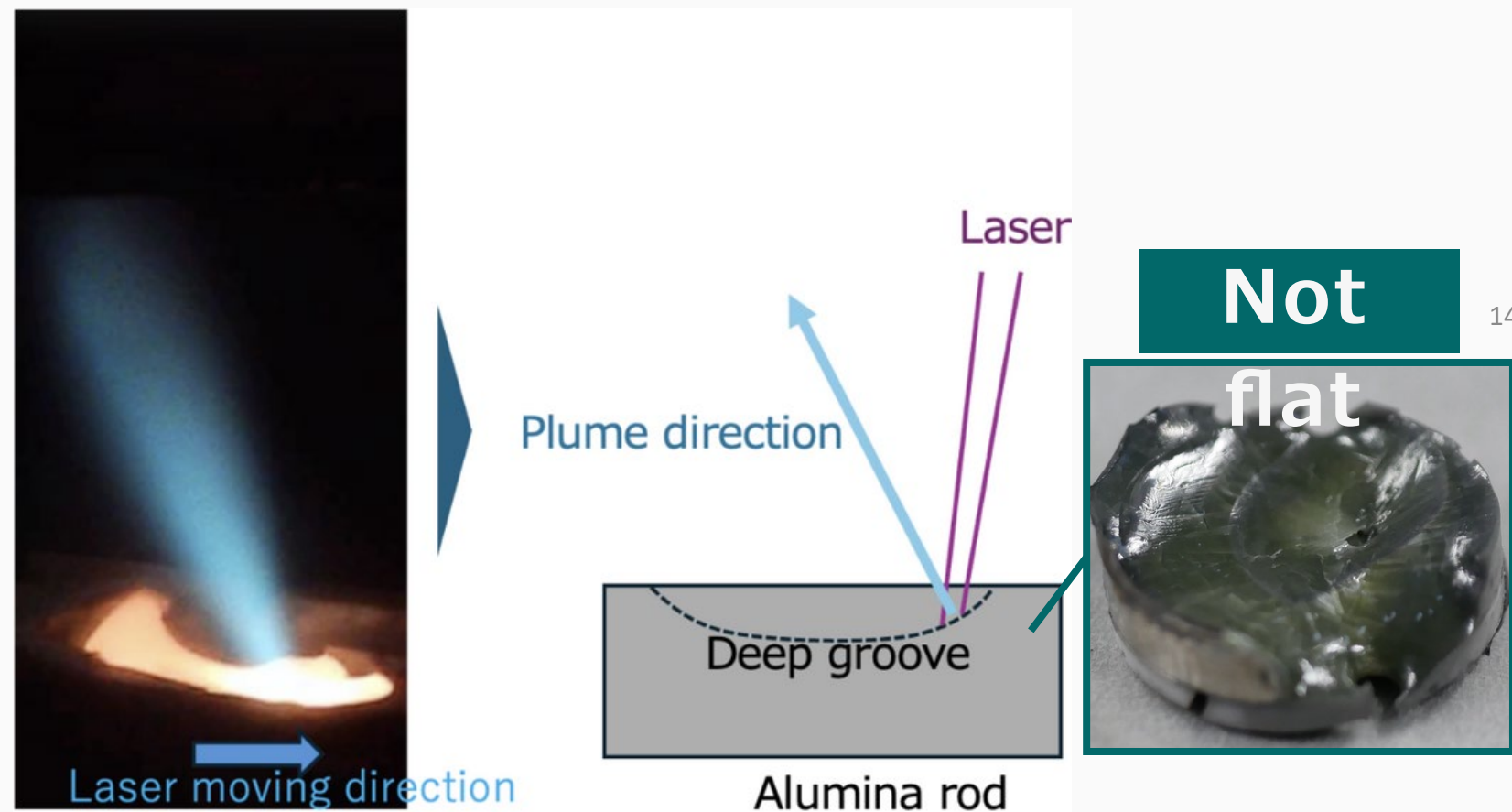
- 間欠照射ではレーザーは表面を掘るほどには至らない
- ロッド表面が平坦に保たれ、その結果ブルームがそれずに進んだ



実験 # 1 での間欠照射の動画

レーザー強度は大きすぎず小さすぎないことが必要

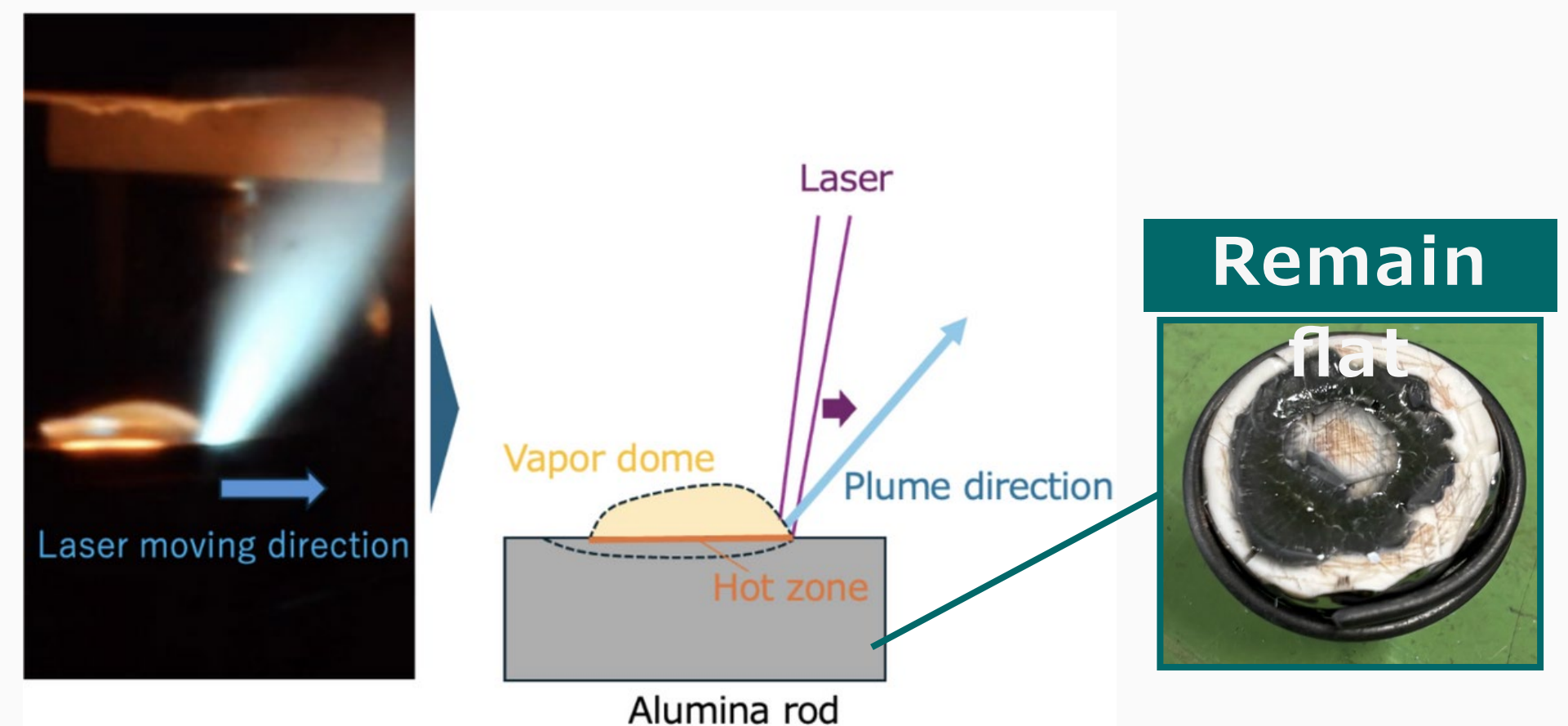
- レーザー強度が高すぎるとロッドを深く掘り斜面を形成してしまう
- アブレーションのためには一定以上のレーザー強度が必要



長時間アブレーション実験でのブルームスイングのメカニズム

連続照射において一定以上の回転速度は避けるべきである

- 一定以上の回転速度では, レーザー後方にアルミナ気体のドームが存在できる
- ドーム形成には1秒程度時間を要するため, 間欠照射ではそもそも発生しない



6 ~ 30 rpmの実験でのブルームスイングのメカニズム

04

Conclusion

- Conclusion

15

04



ブルーム挙動安定化の手法を確立し、従来より2オーダー多い蒸発物回収量を達成した

- プルームのスイングは**レーザー間欠照射**により抑制できることを発見した
- 1分間で**217.0 mgの蒸発物回収に成功した**— これは先行研究よりも2オーダー高い回収量（付着量）である
- 今後は、水素雰囲気中でブルームスイングを抑えることに挑戦したい。