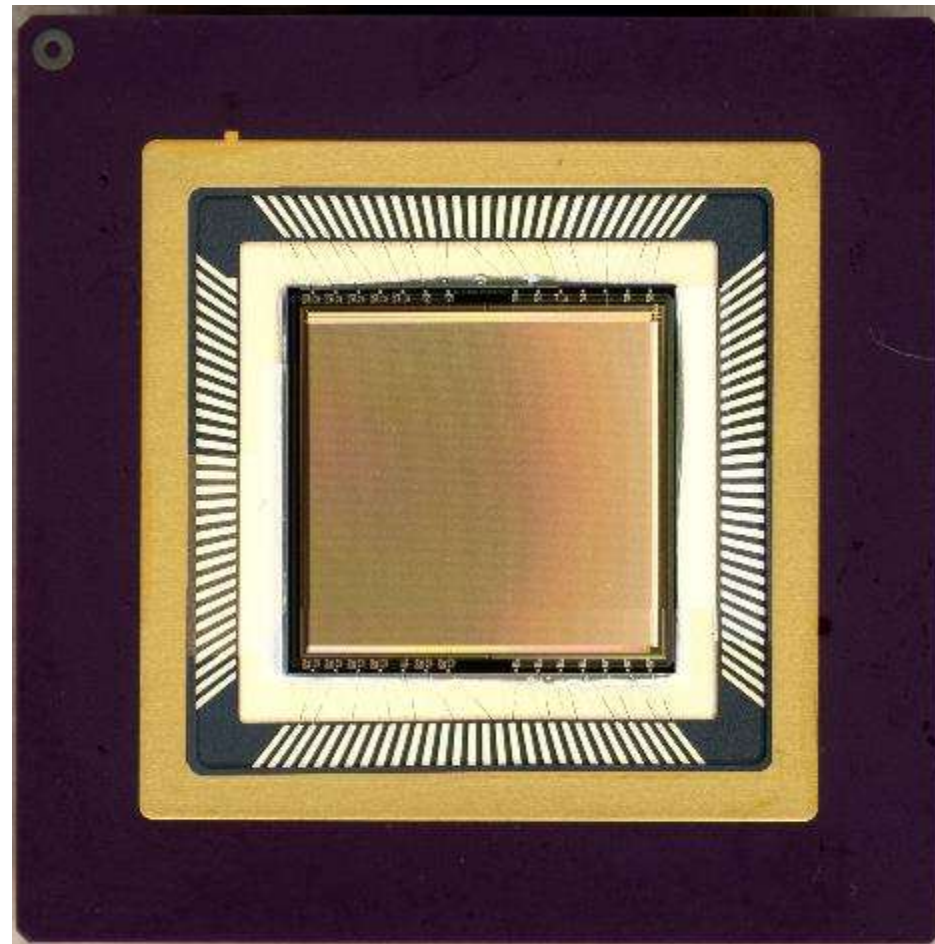


固体イオン検出器

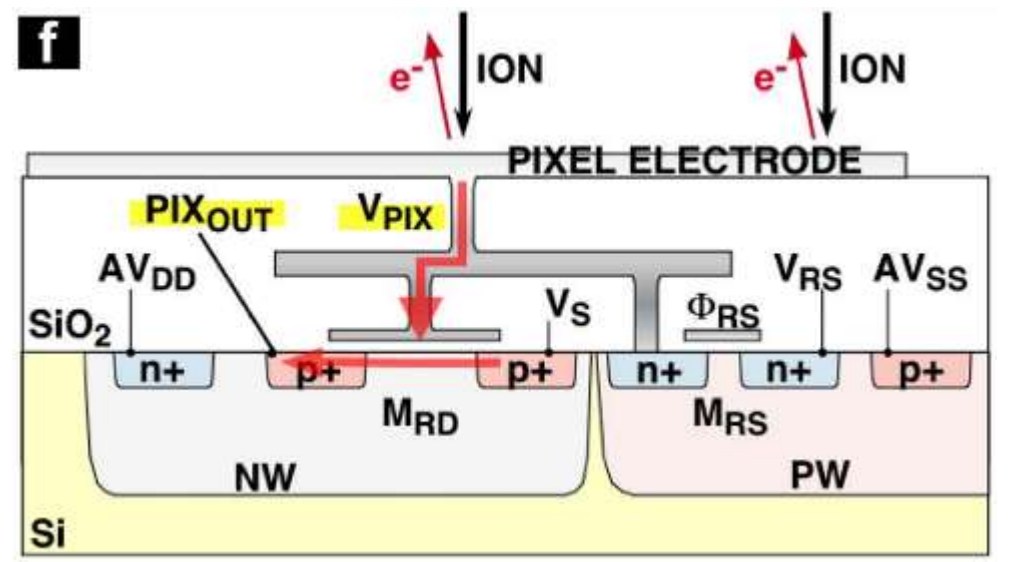
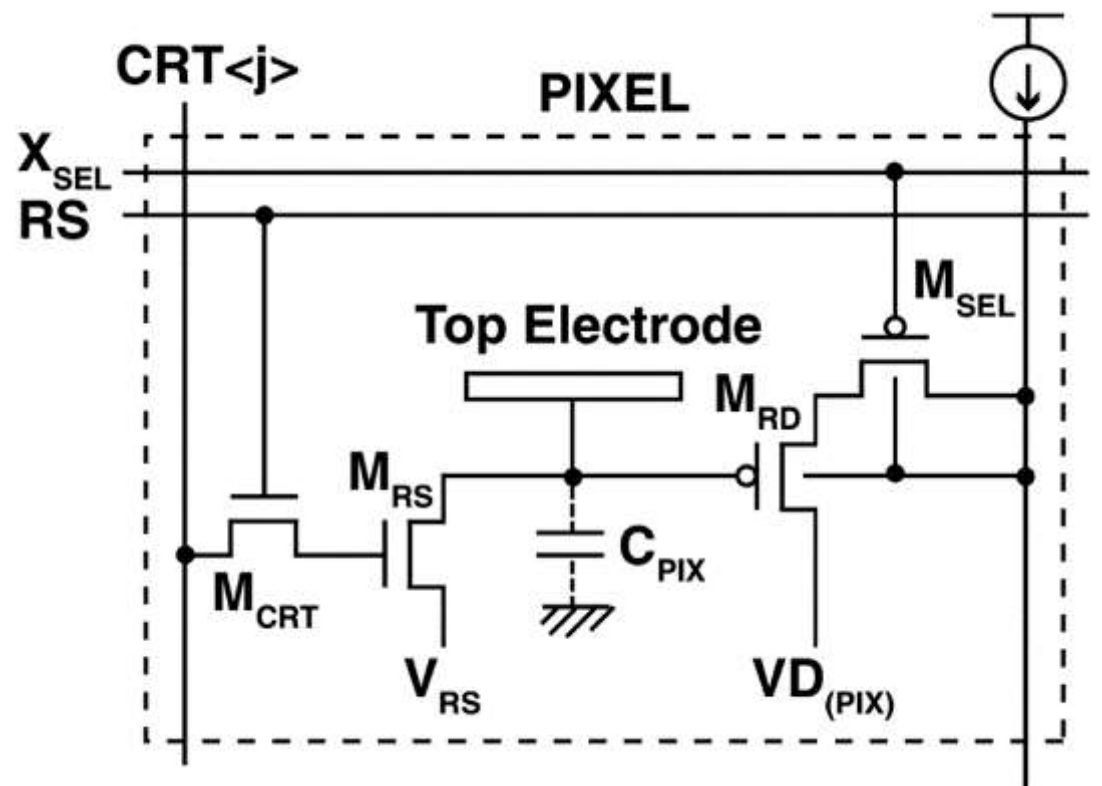
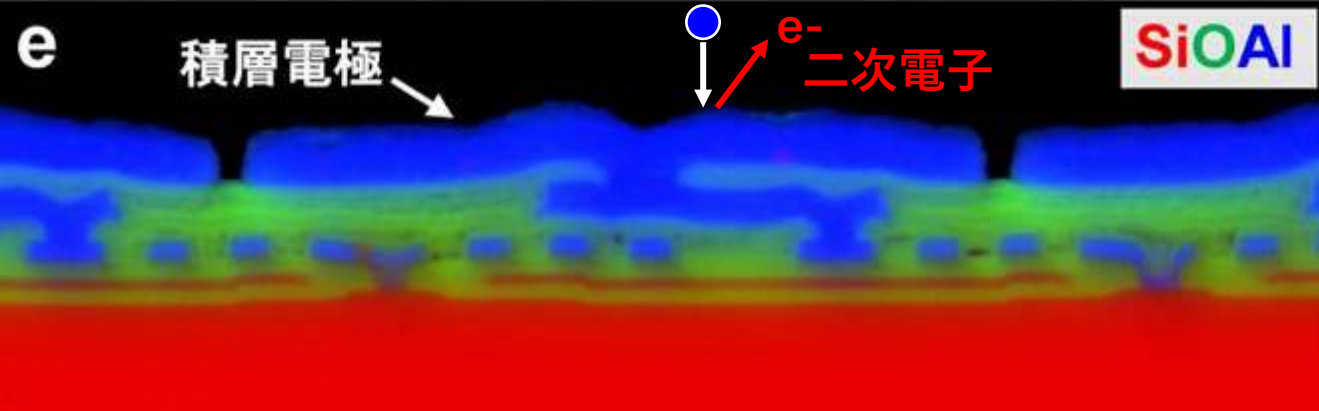
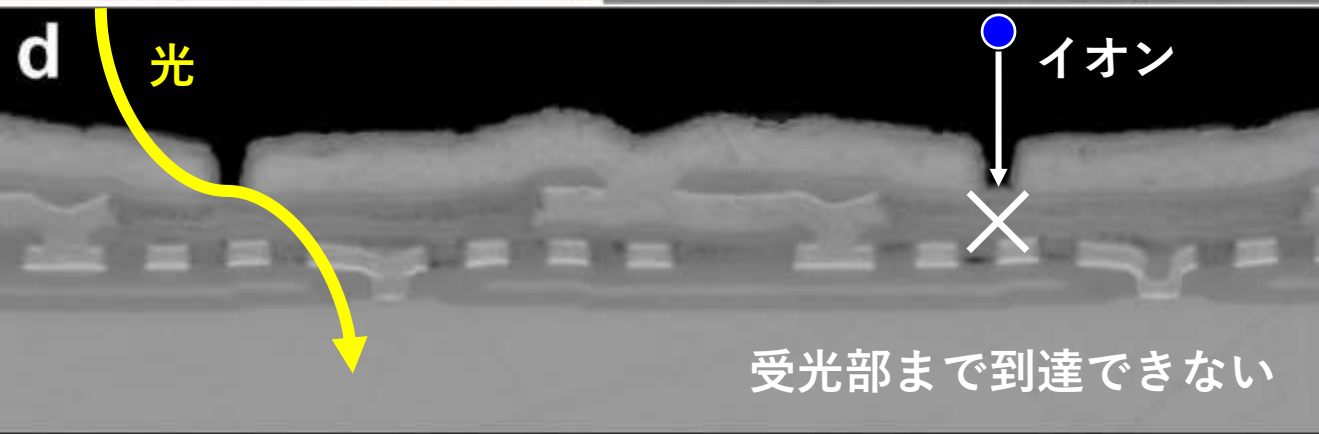
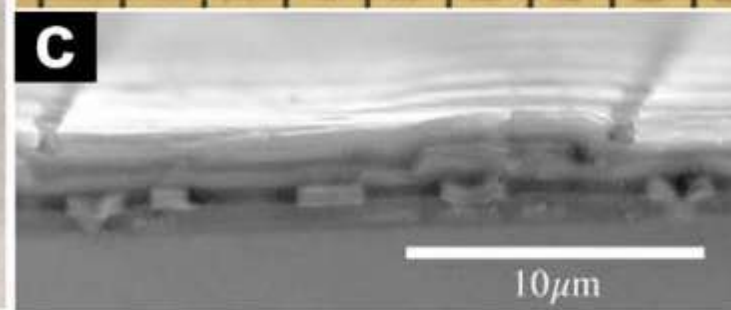
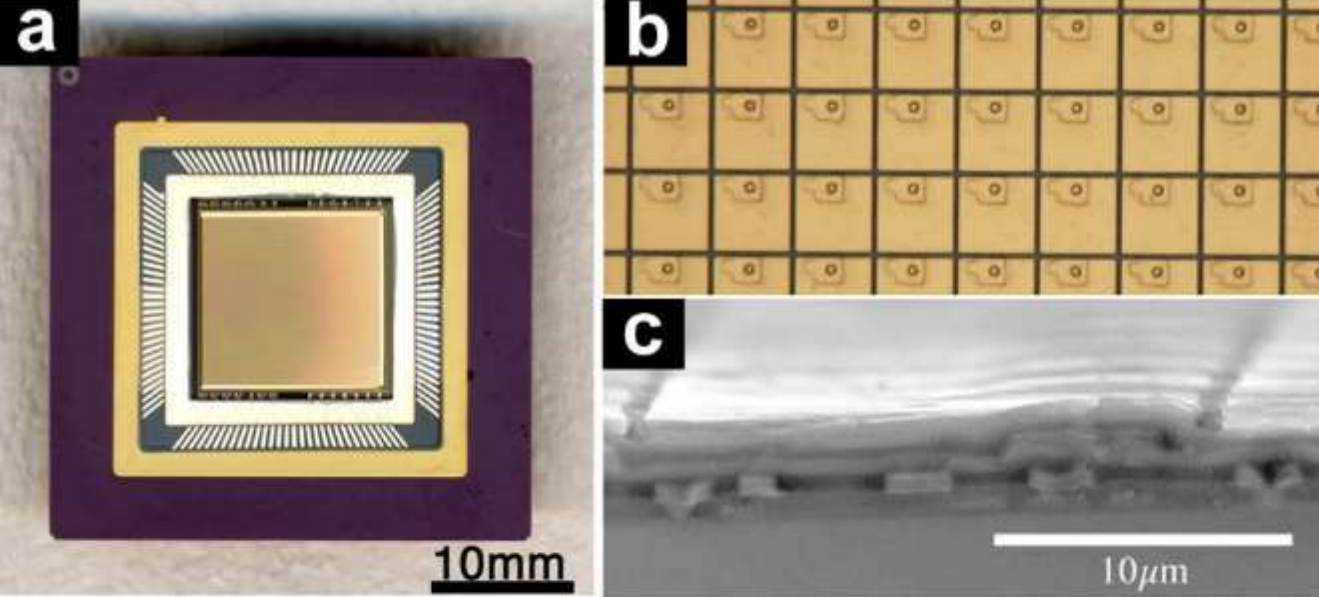
坂本 直哉（北大創成）



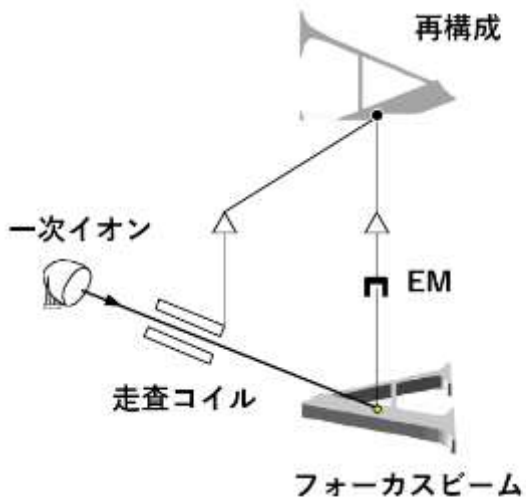
積層型固体撮像素子
SCAPS

特集：定量分析・同位体分析のためのイオン検出器

「二次元イオン検出器 SCAPS」坂本, J. Mass Spectrom. Soc. Jpn. 2021 年 69 卷 6 号 p. 176-181



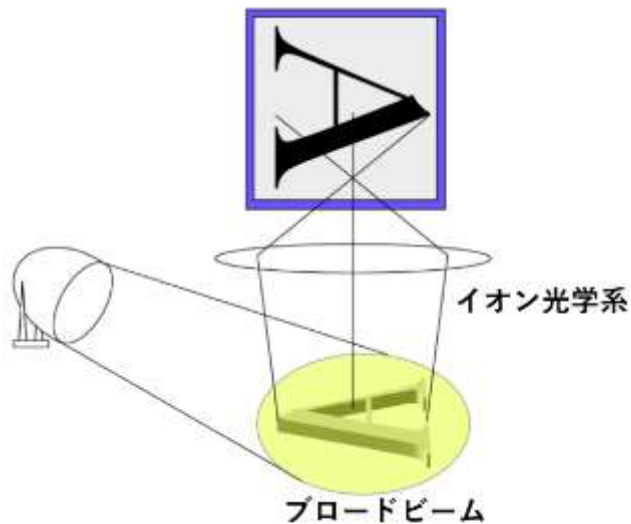
走査型



ビームを小さく絞ってスキャンする方式

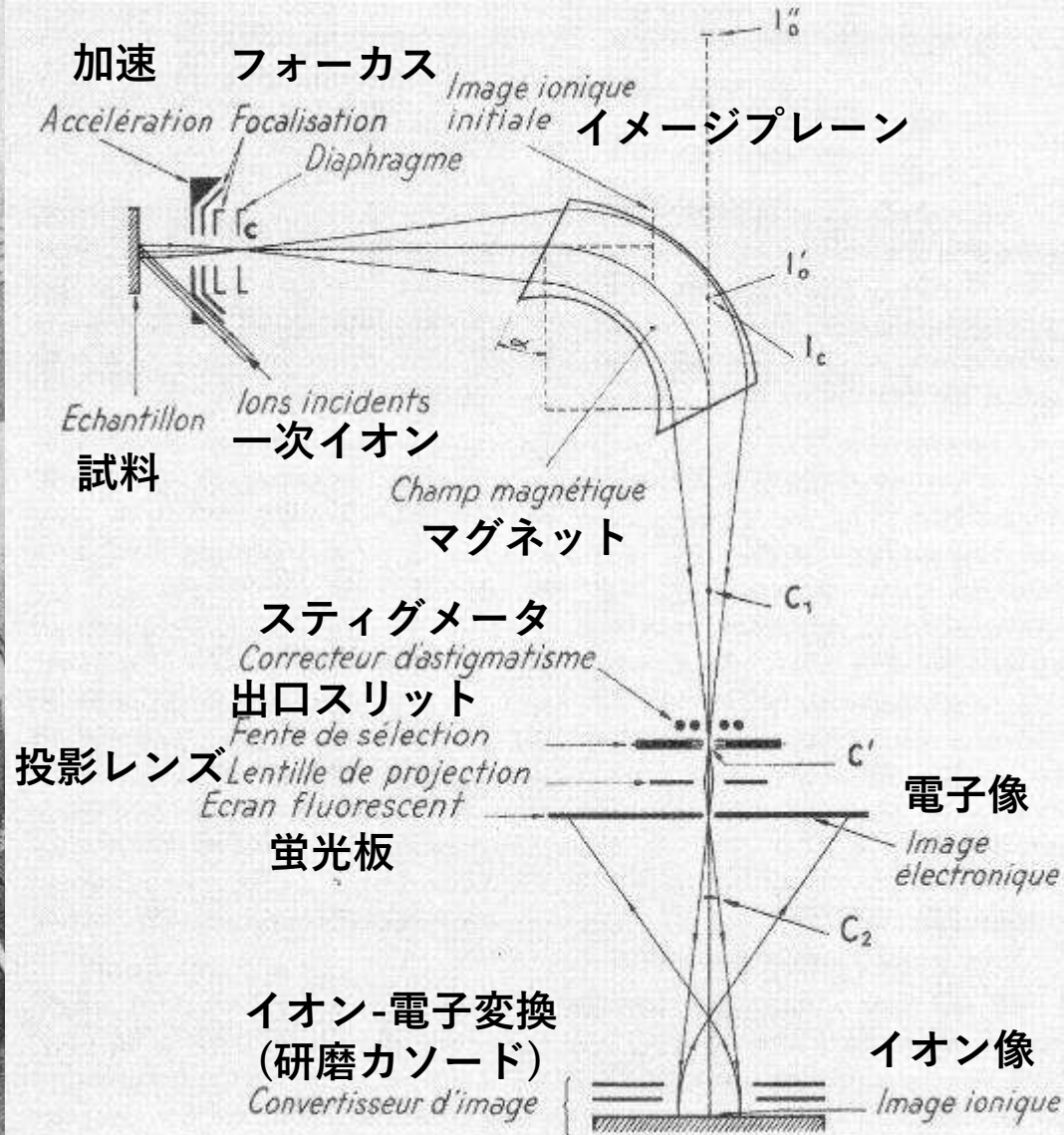
感度 ↔ 精細
トレードオフ

投影型



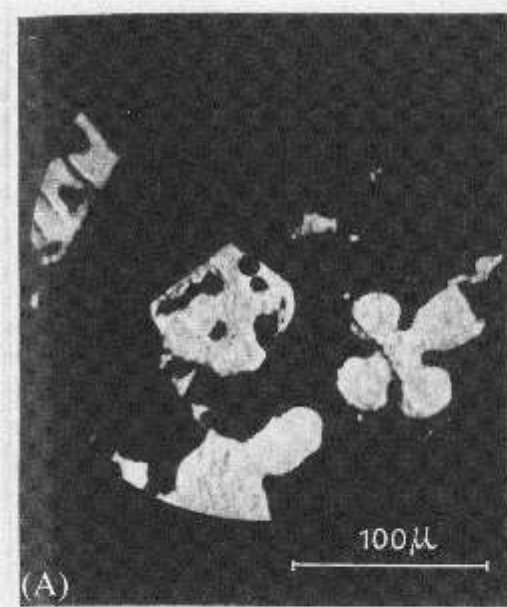
イオン光学系を使って像を投影する方式

感度 ~~↔~~ 精細
強いビームが使える

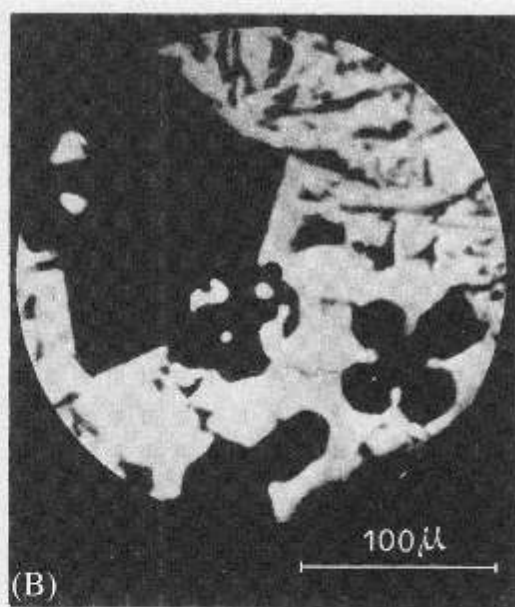


投影型 二次イオン質量分析装置 (投影型SIMS)

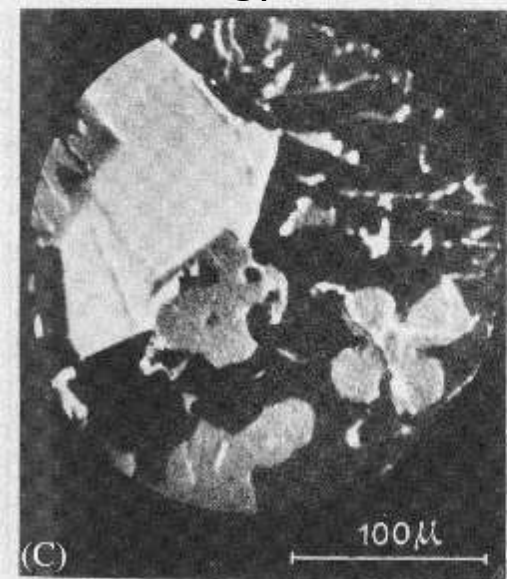
Castaing et Slodzian (1962)
J. Microscopie, 1, 395-410.



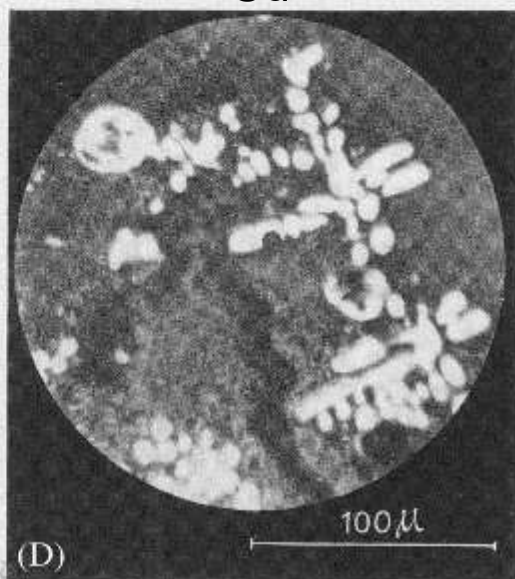
$^{24}\text{Mg}^+$



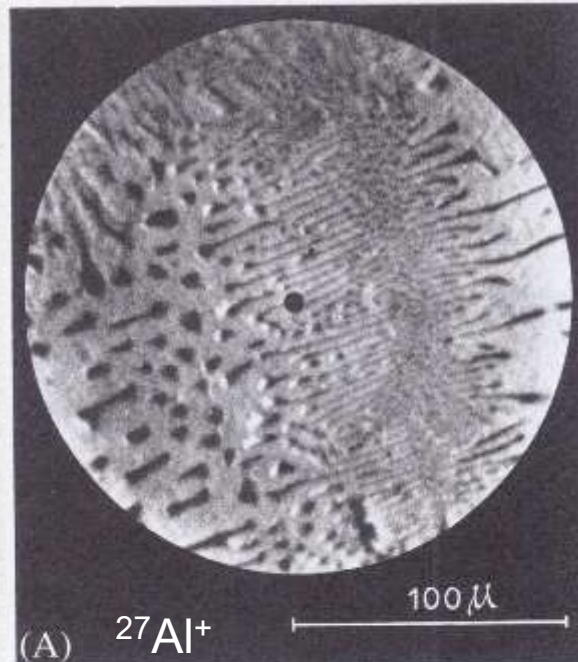
$^{27}\text{Al}^+$



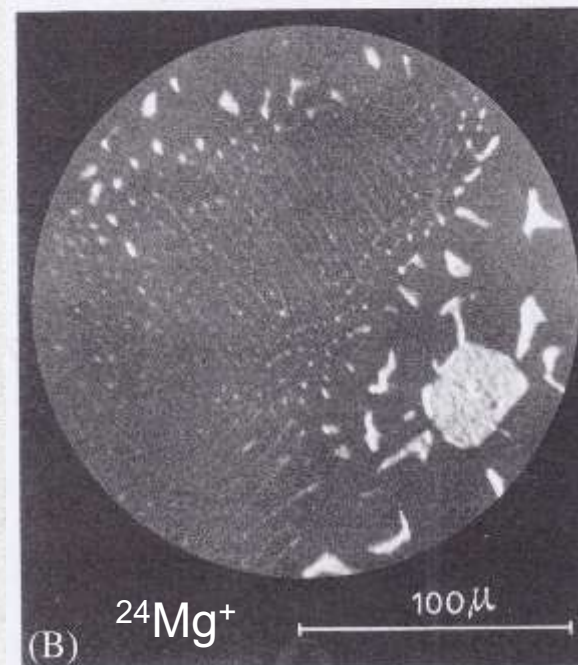
$^{28}\text{Si}^+$



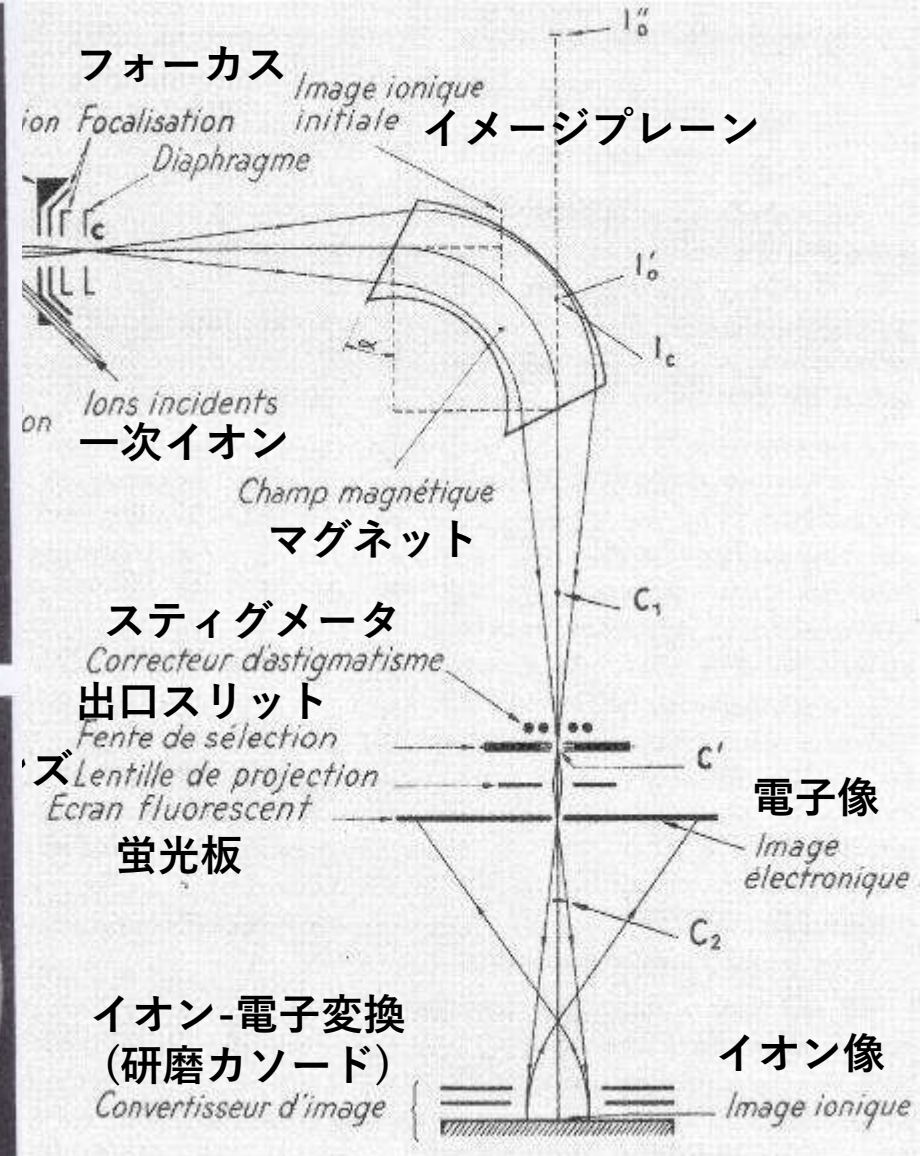
$^{63}\text{Cu}^+$



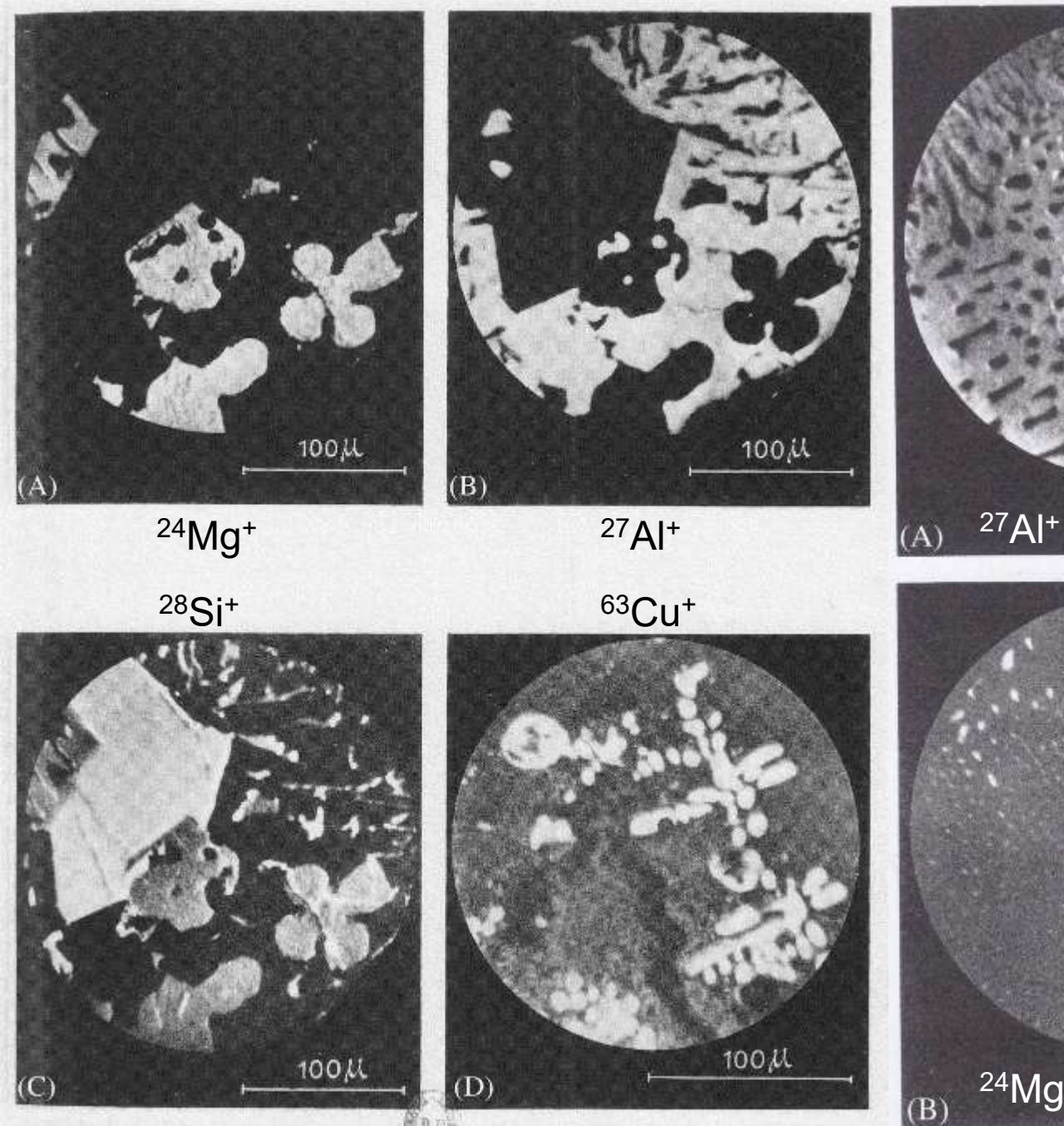
$^{27}\text{Al}^+$



$^{24}\text{Mg}^+$



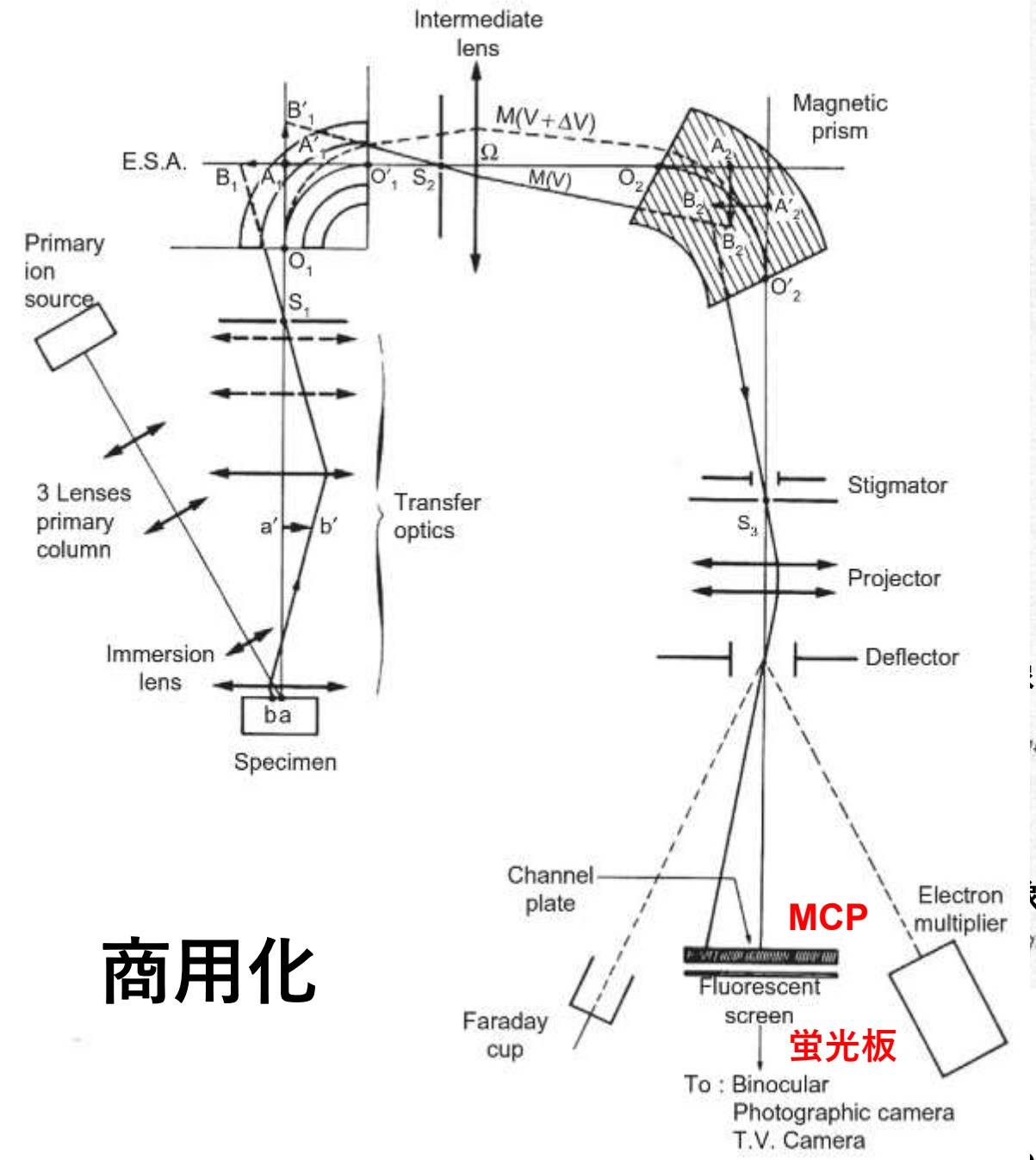
Castaing et Slodzian (1962)
J. Microscopie, 1, 395-410.



JOURNAL DE MICROSCOPIE
R. Castaing et G. Slodzian.

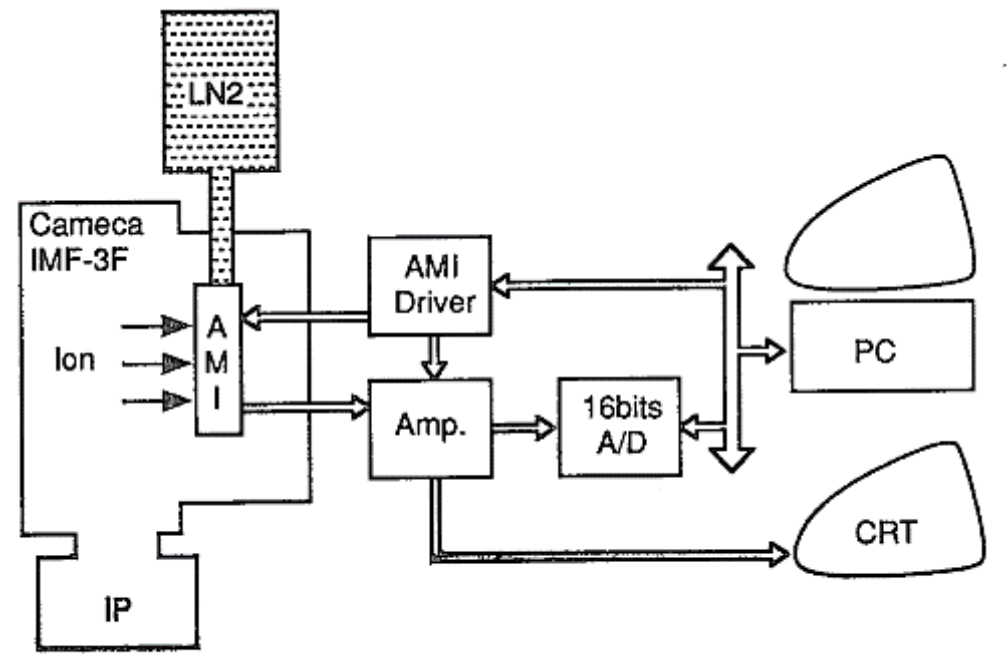
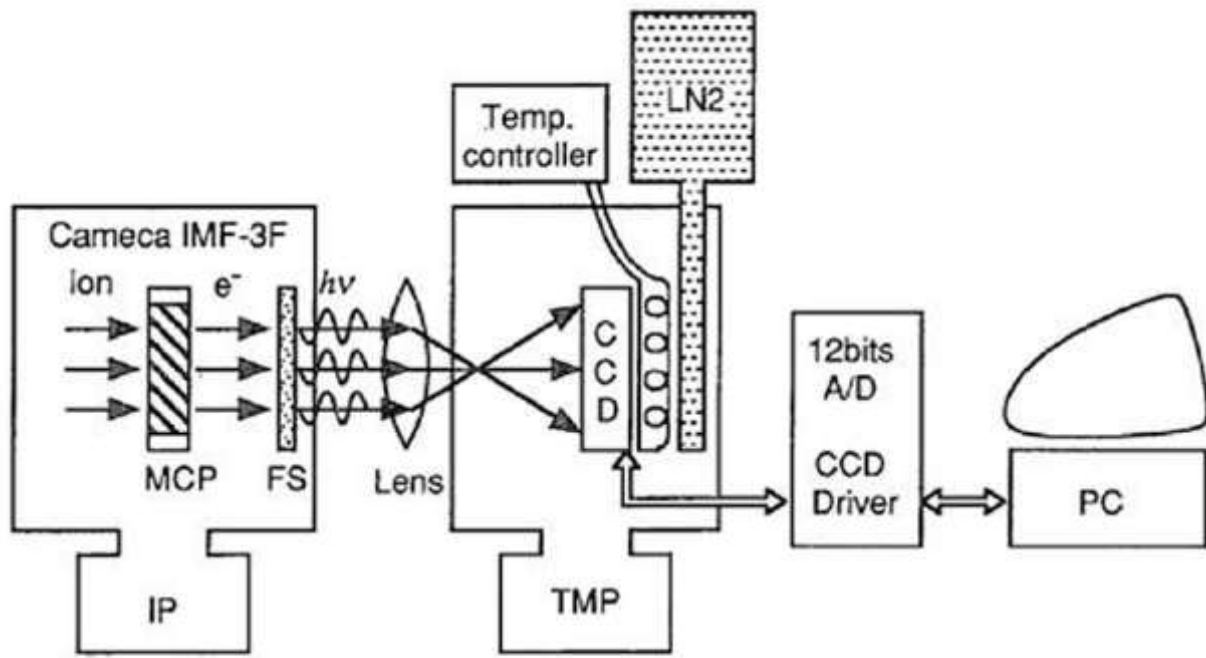
Vol. 1, N° 6
Planche II

MICROSCOPIE
G. Slodzian.



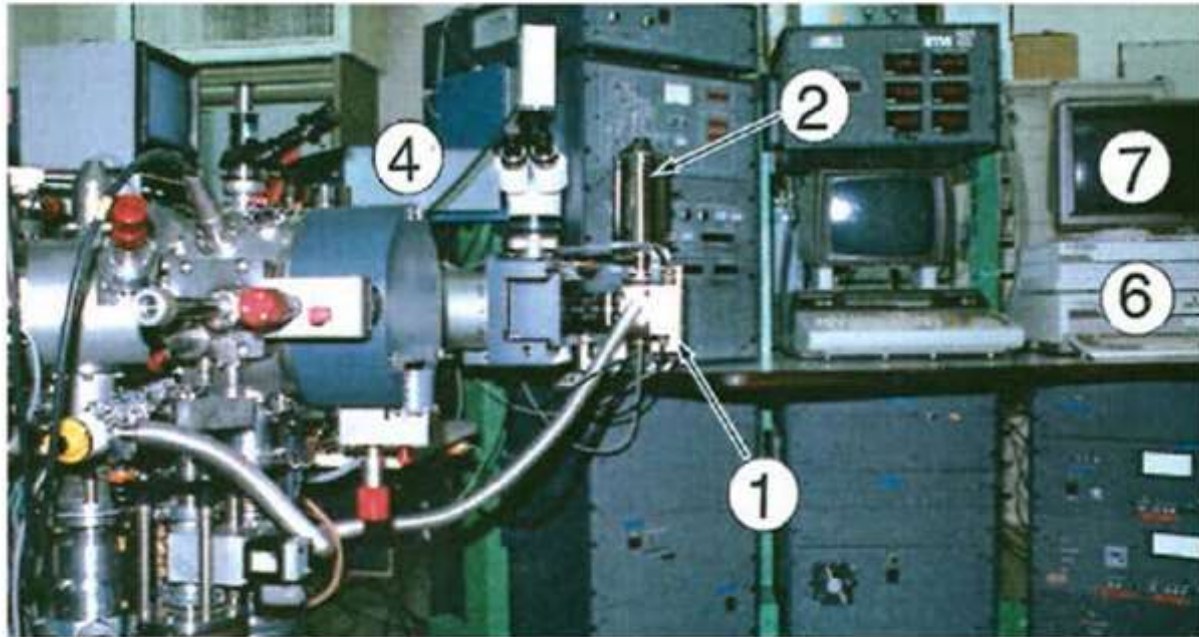
商用化

FIGURE 35 IMS 3F ion optical sketch (Rouberol et al., 1977).

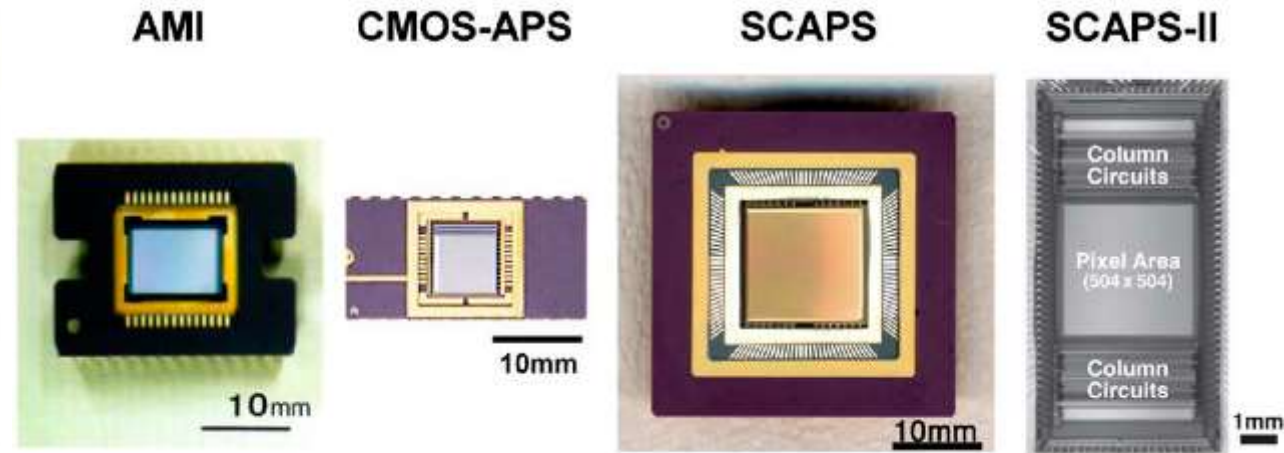


第7図 AMI を用いた二次元イオン検出システム (AIM-90).

坂本「アラユルニウム・同位体顕微鏡」
地質ニュース 450号, 59-66頁 (1992)

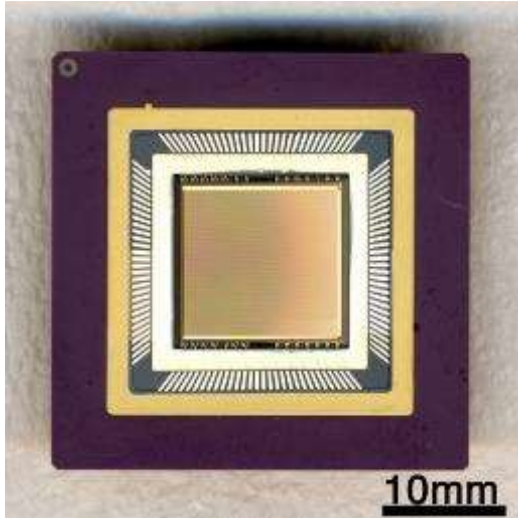


第4図 冷却型 CCD カメラシステム (AIM-88).

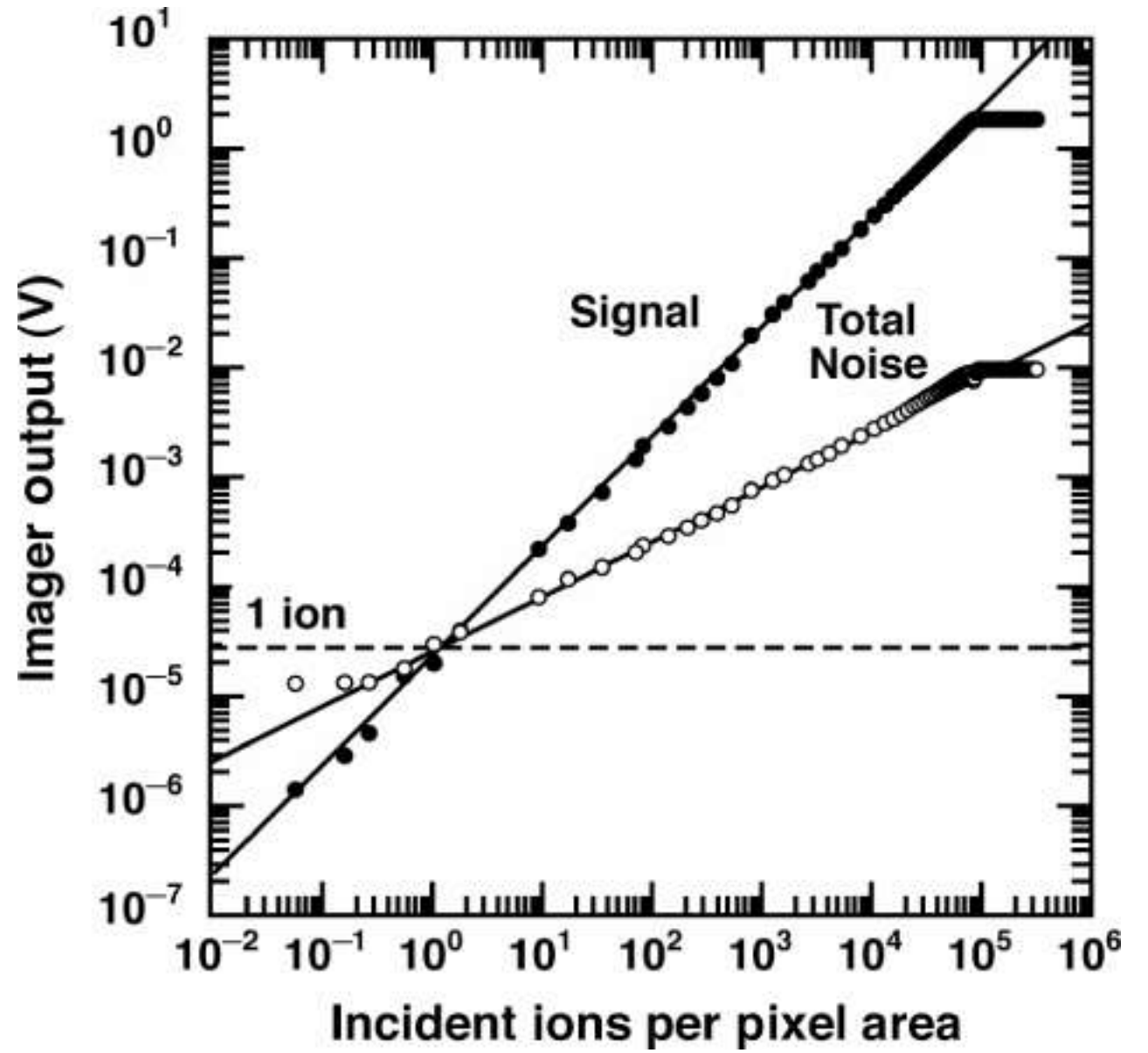
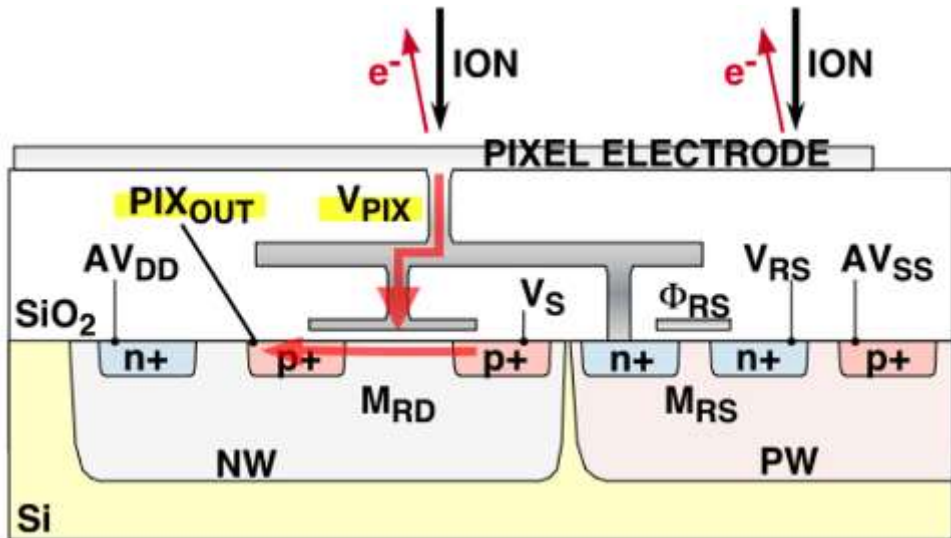


SCAPS

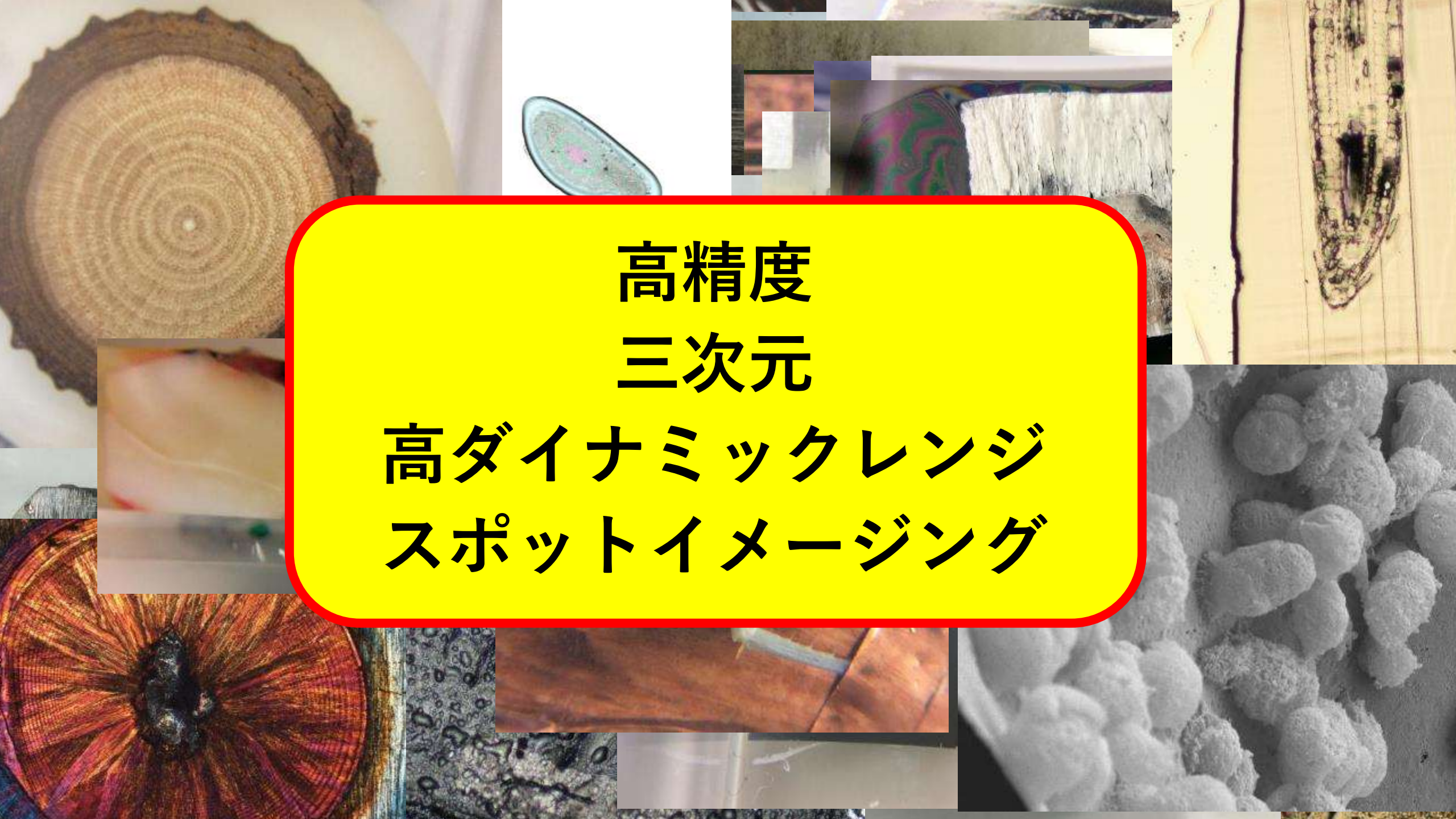
(Stacked CMOS Active Pixel Sensor)



- ✓ 600x576 画素
- ✓ 直接検出
- ✓ ロバスト
- ✓ 積分型
- ✓ 不感時間なし
- ✓ 非破壊読み出し

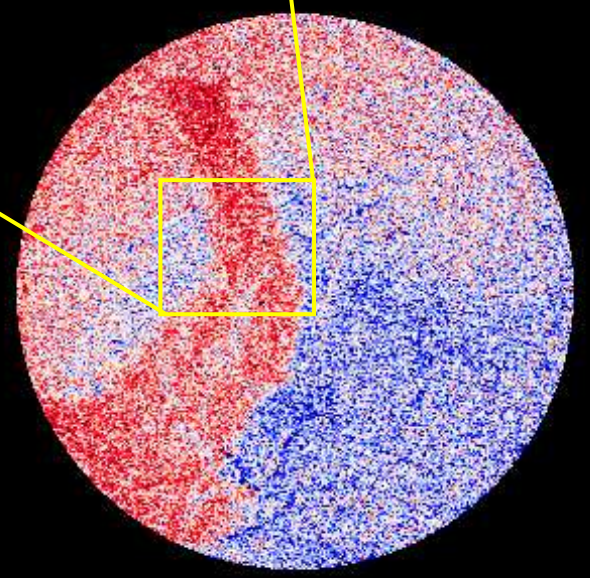
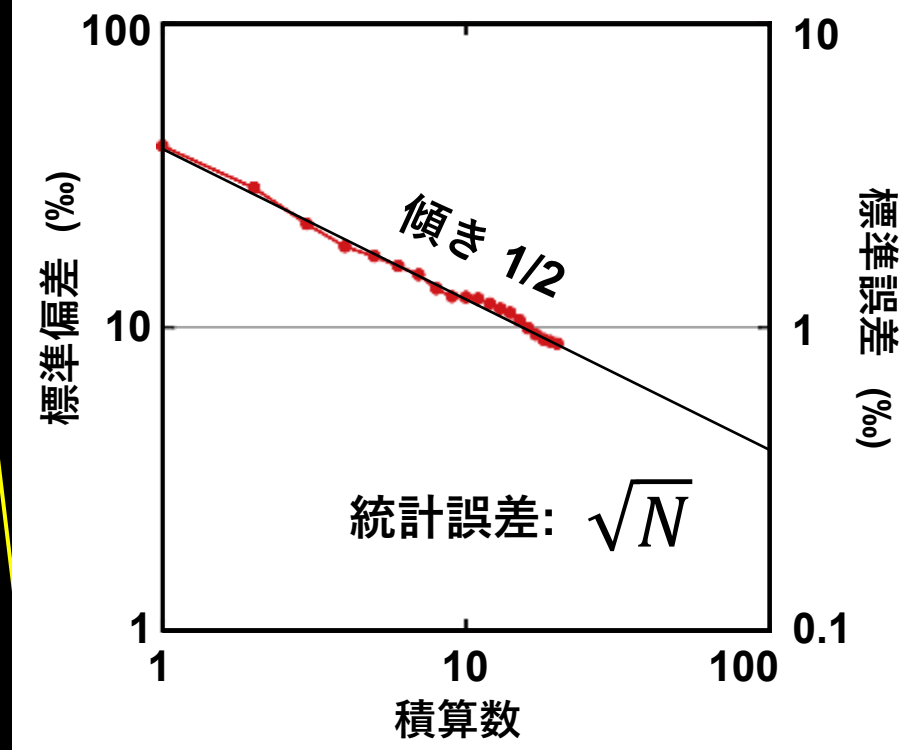
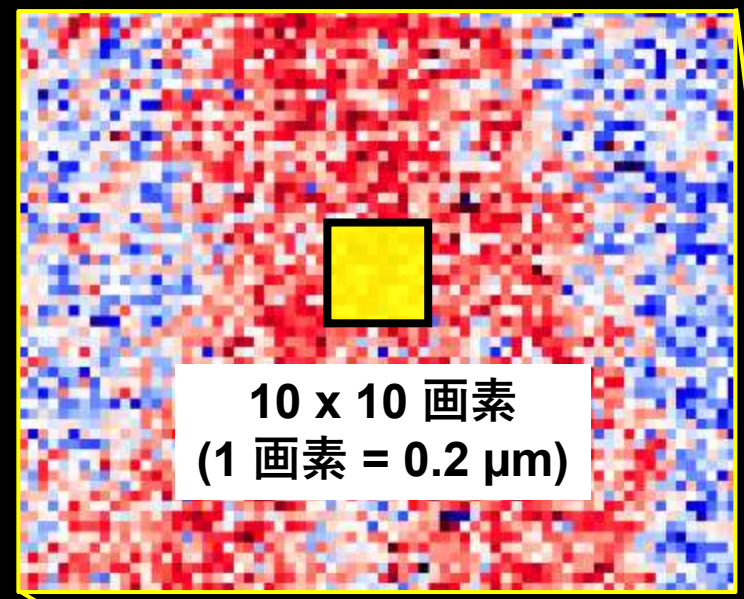
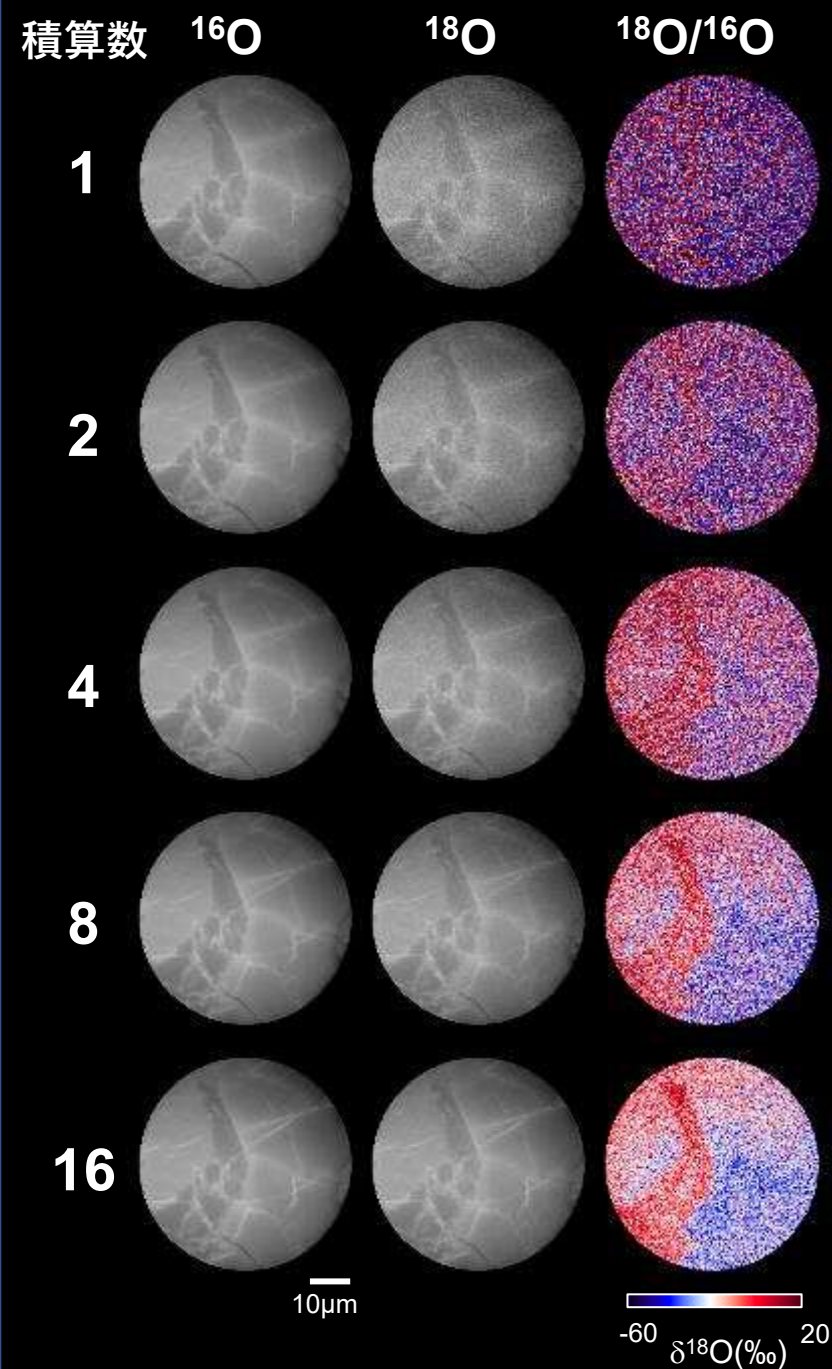


Nagashima+, 2001; Kunihiro+, 2001; Takayanagi+, 2001; Yurimoto+, 2003; Sakamoto&Yurimoto, 2006; Yamamoto+, 2010; Sakamoto+, 2012

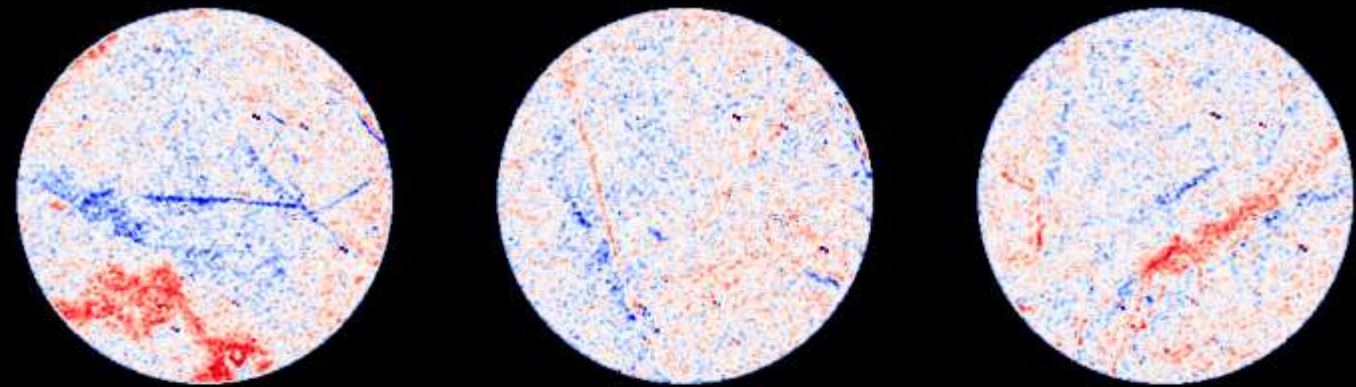


高精度
三次元

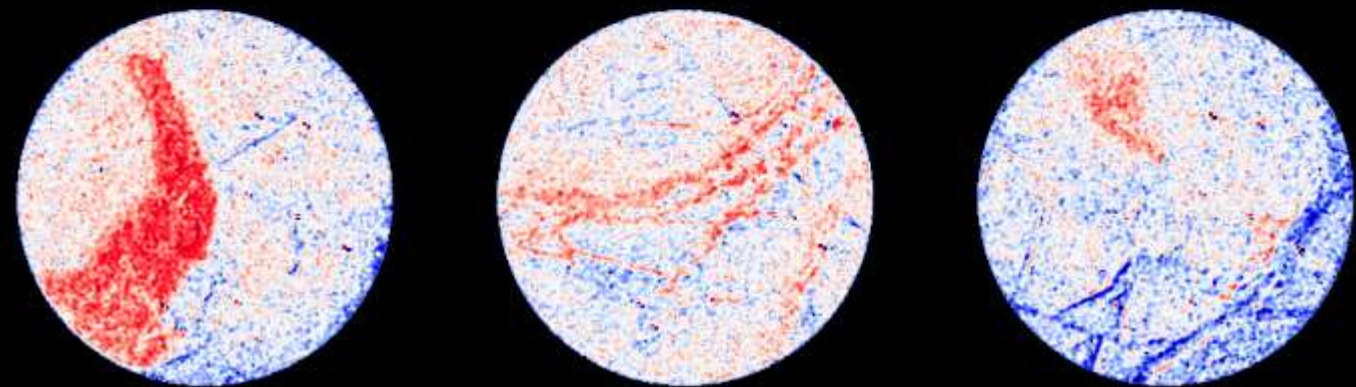
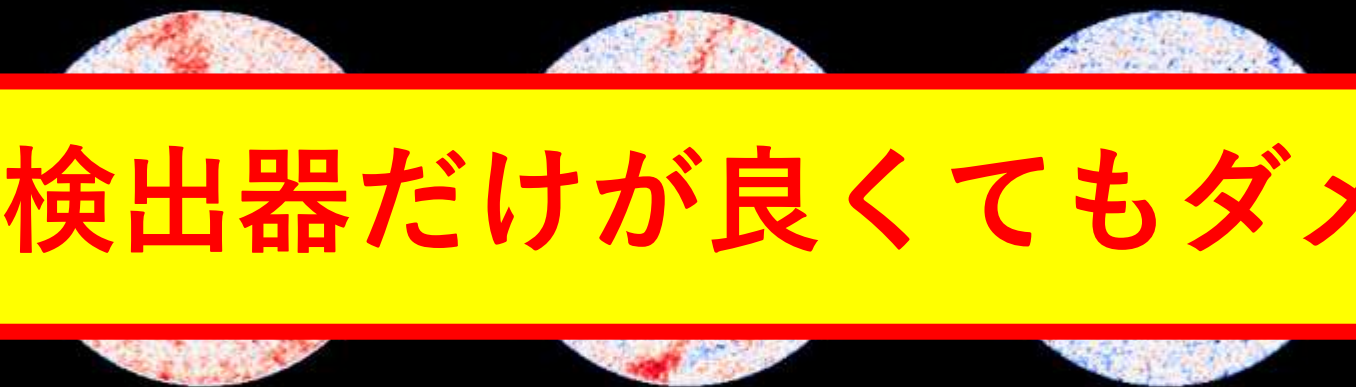
高ダイナミックレンジ
スポットイメージング



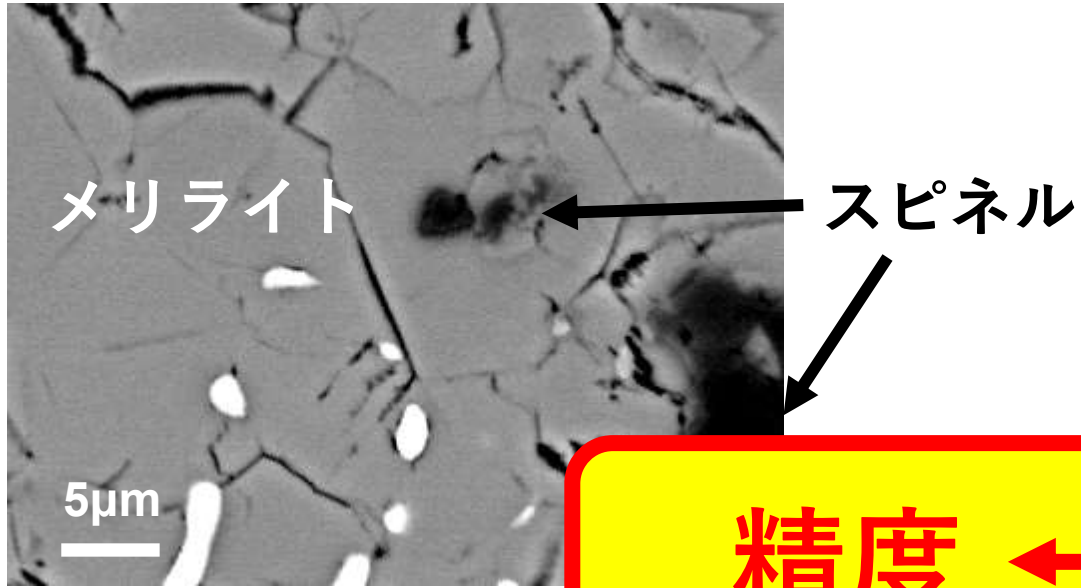
< 1 ‰



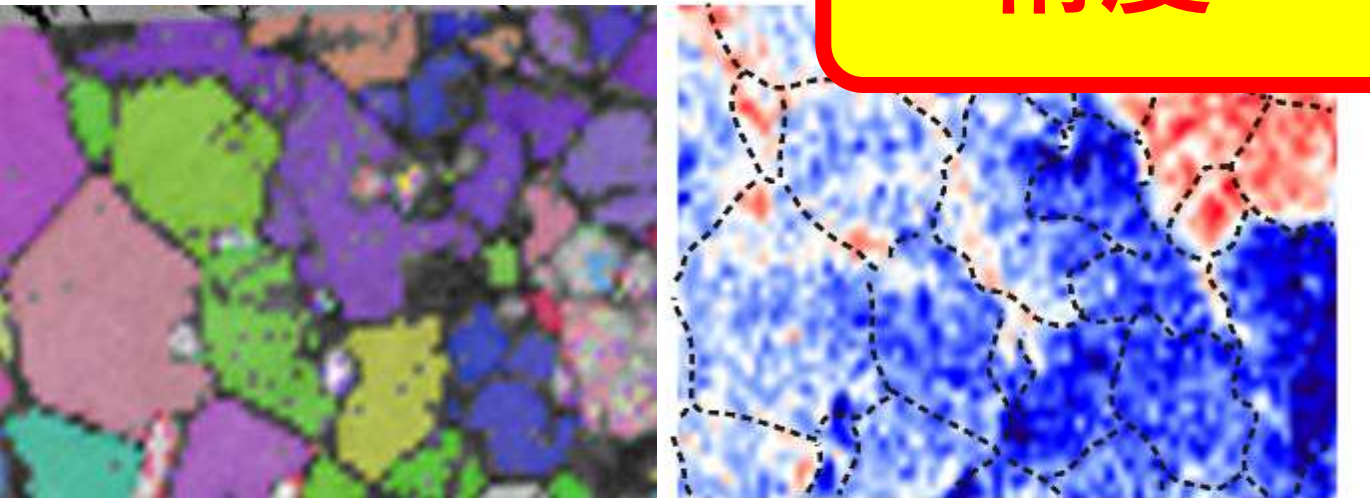
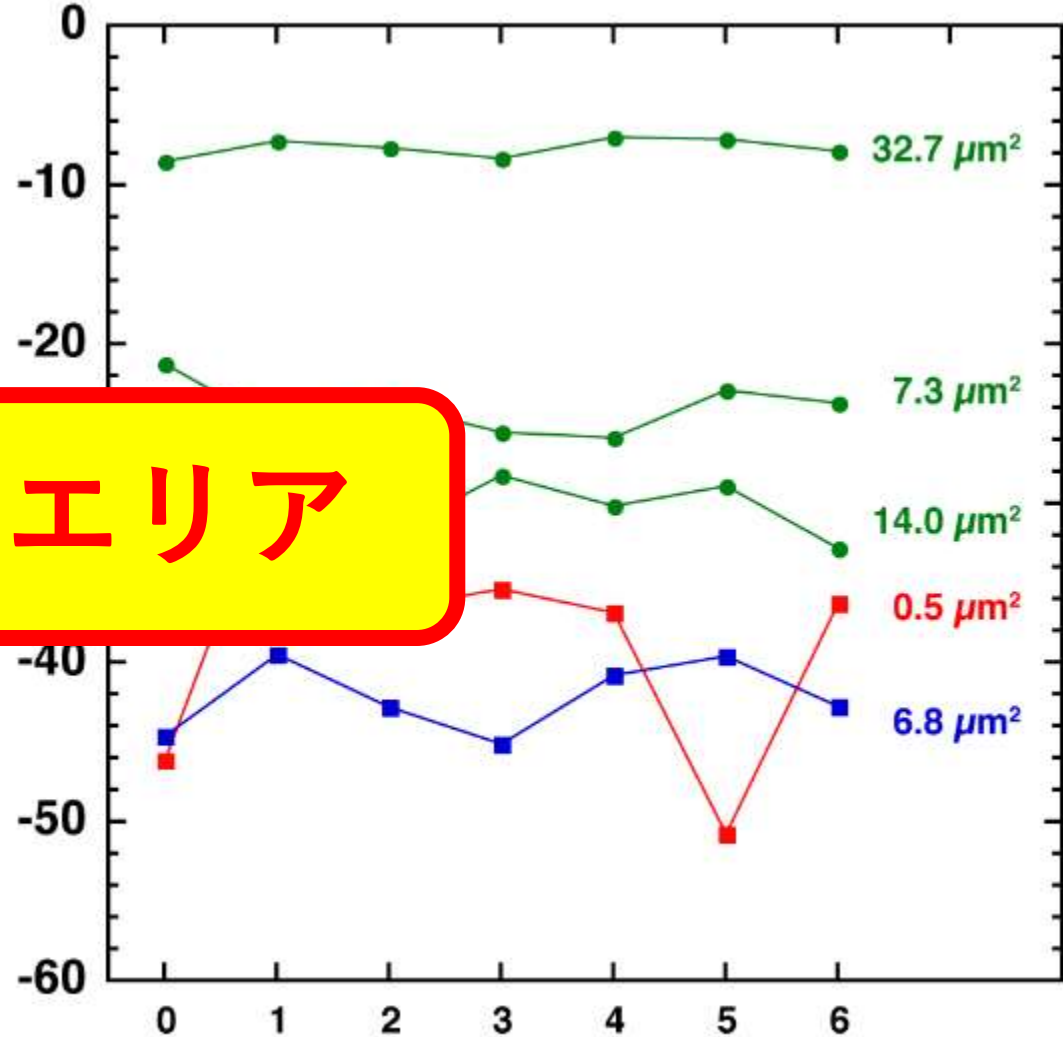
検出器だけが良くてもダメ



高精度



精度 ↔ エリア

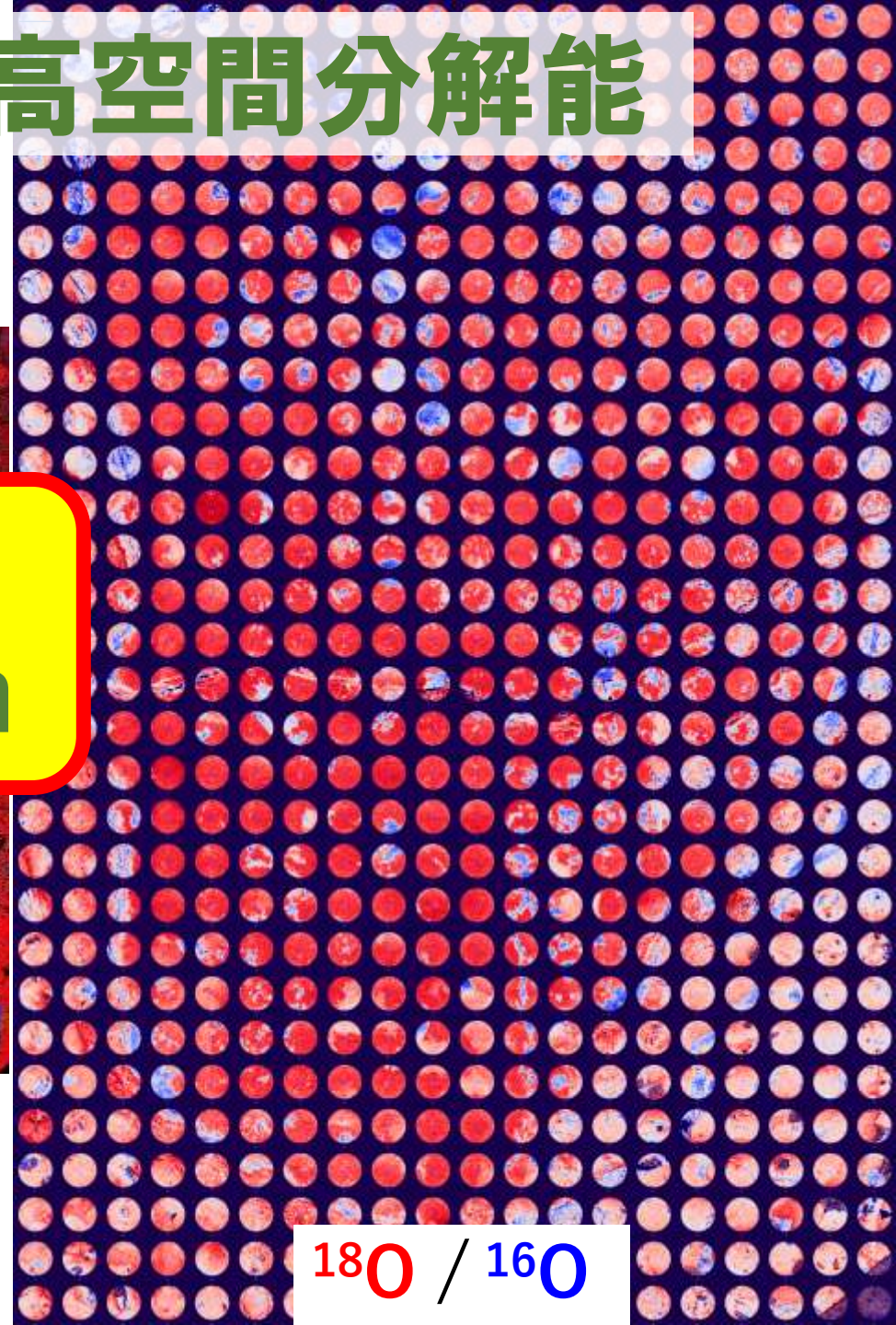
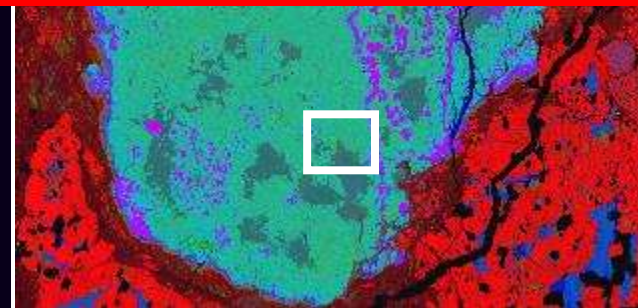
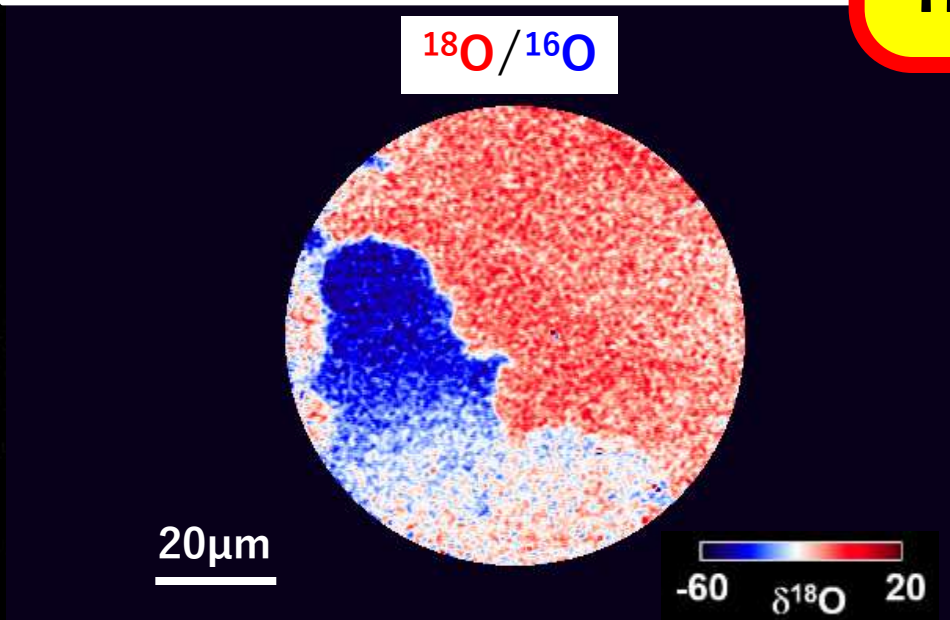


分析サイクル

広範囲 & 高精度 & 高空間分解能

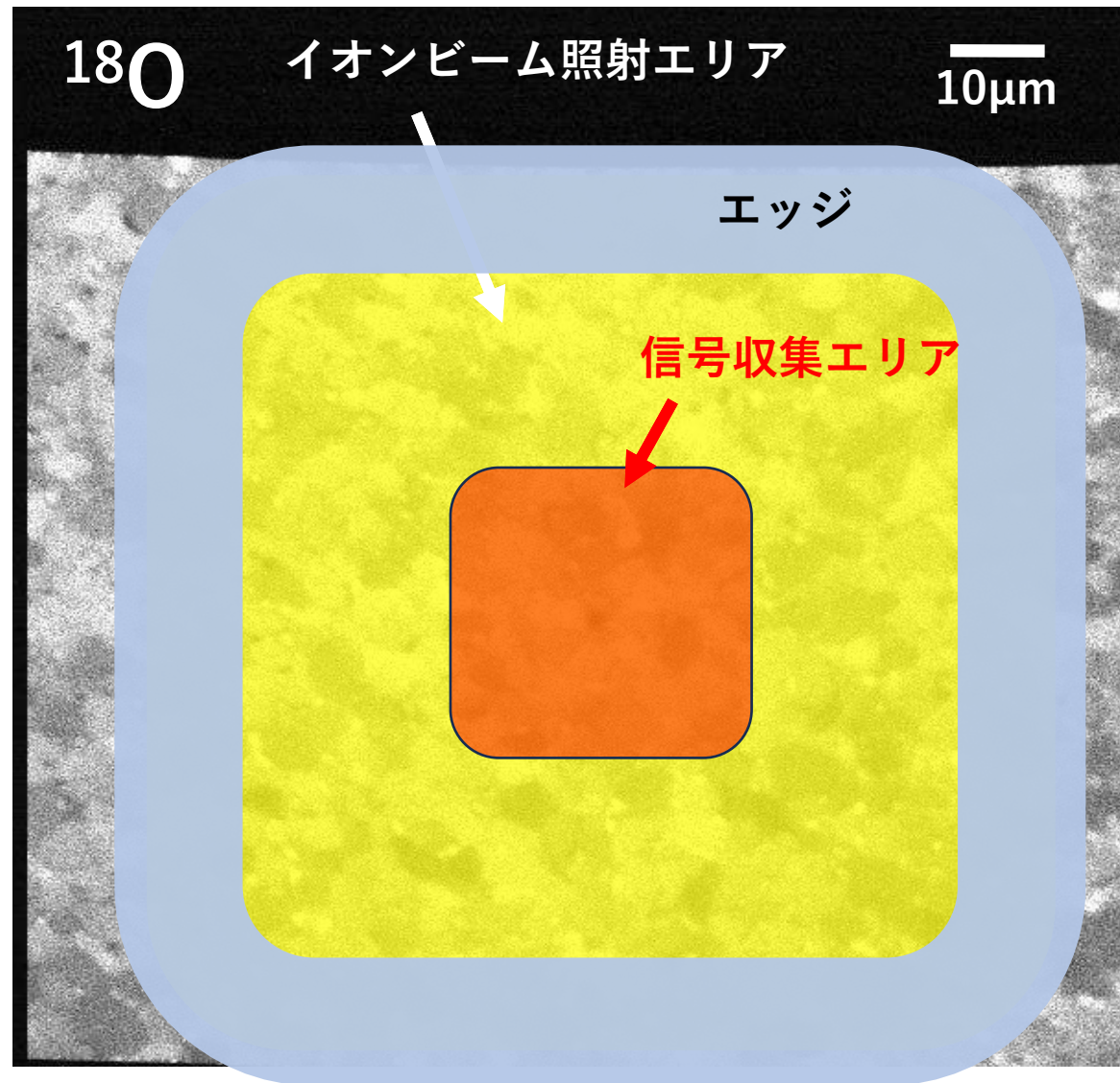
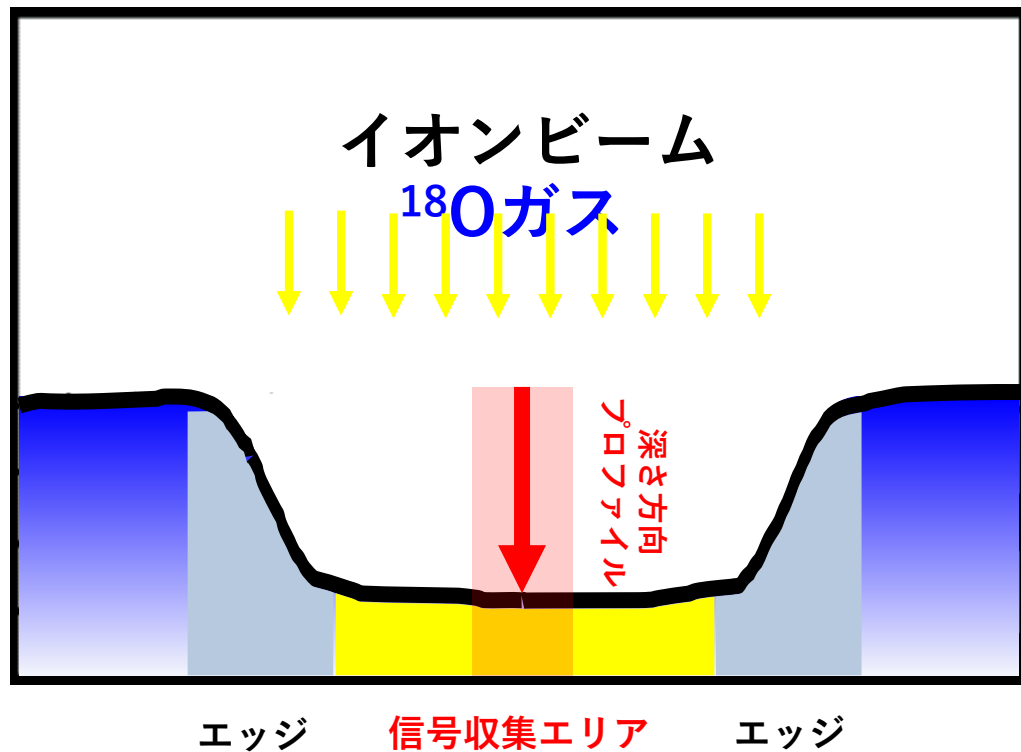


範囲 mm^2
精度 $\text{‰} / \mu\text{m}$



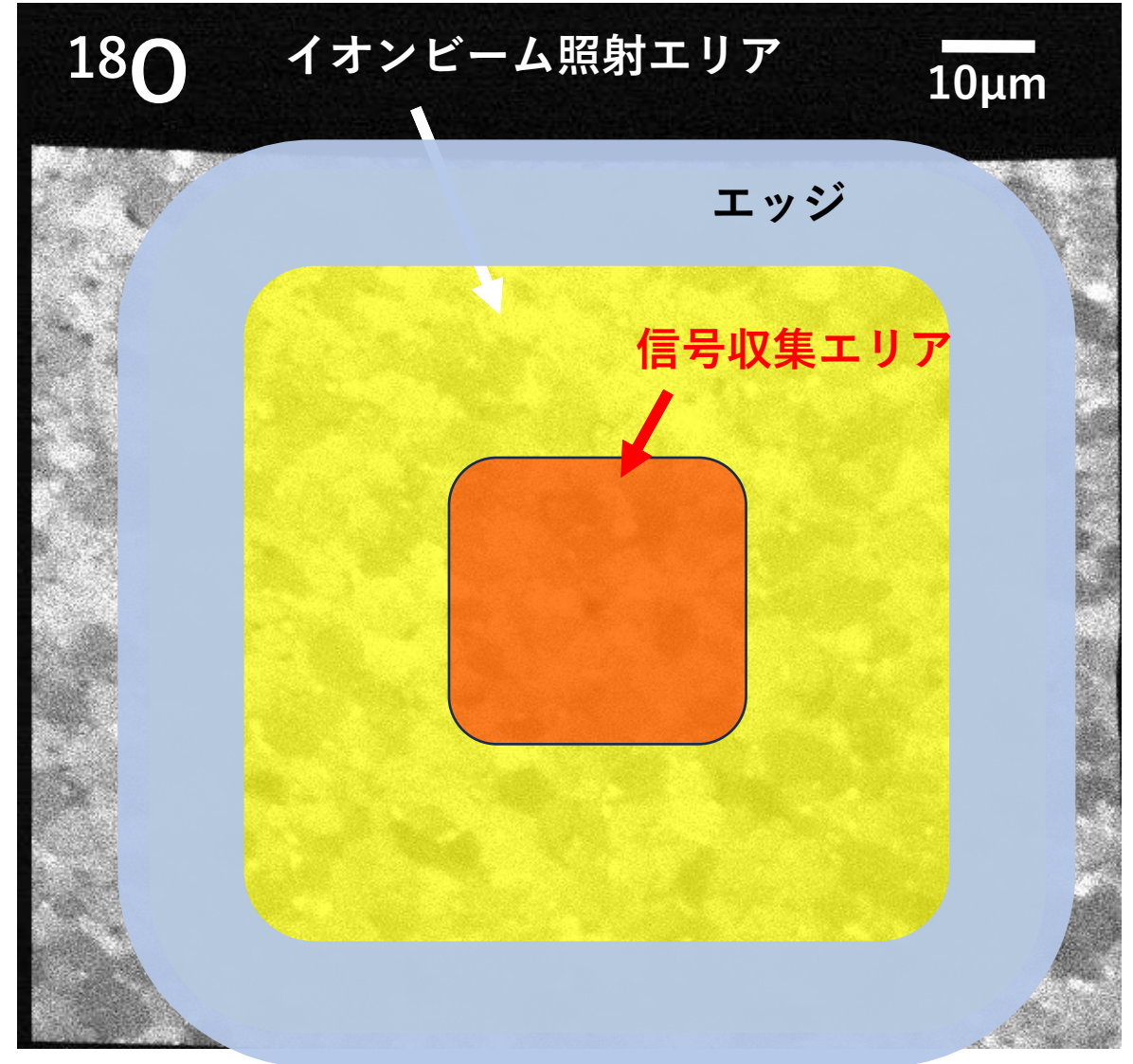
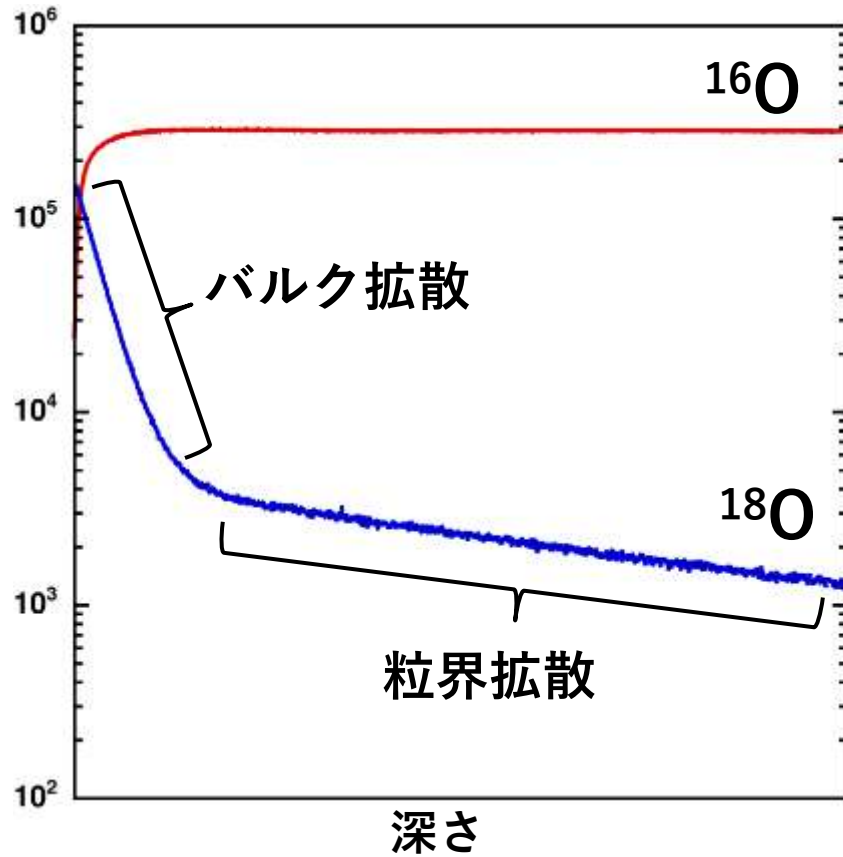
三次元

拡散実験



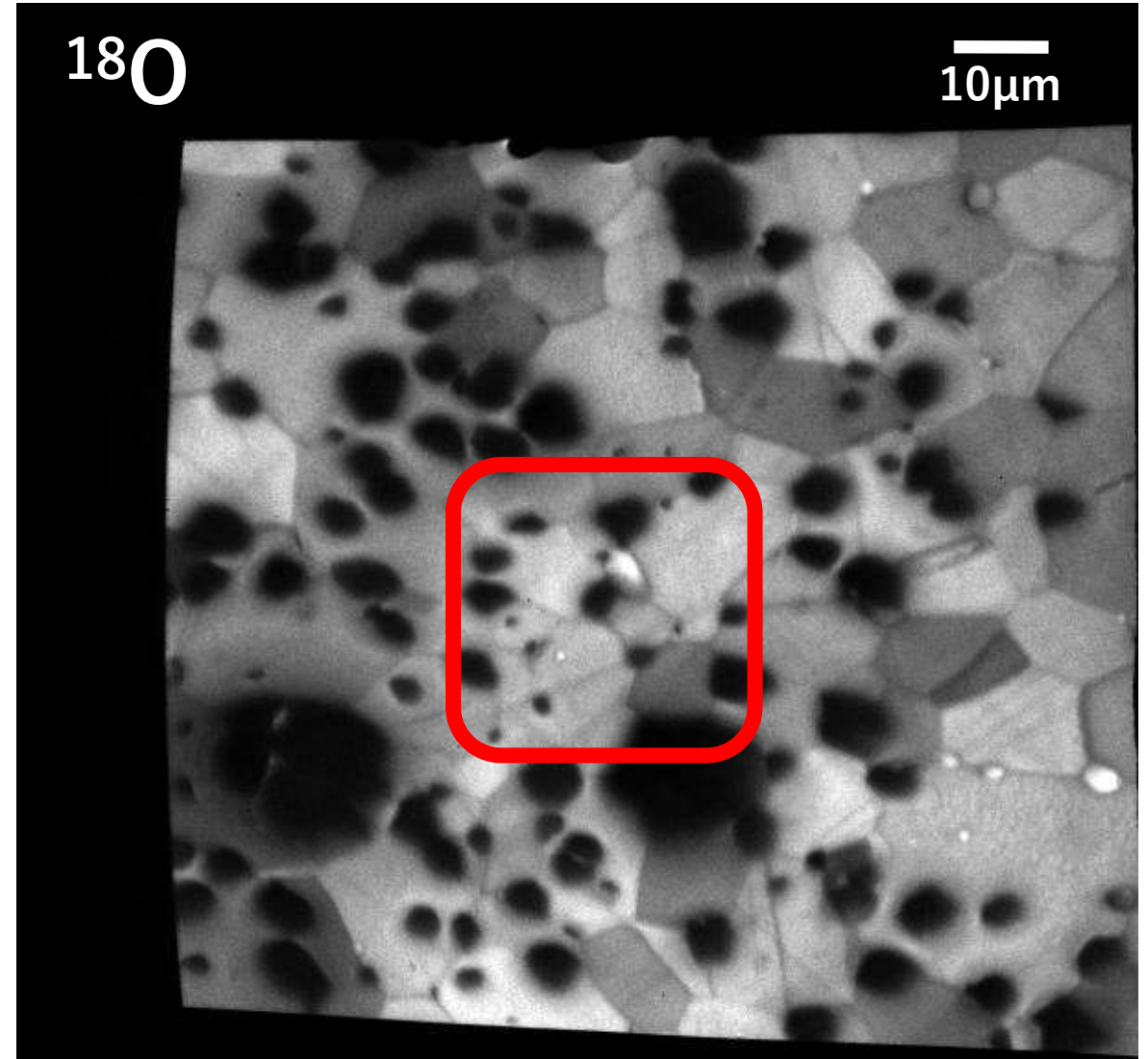
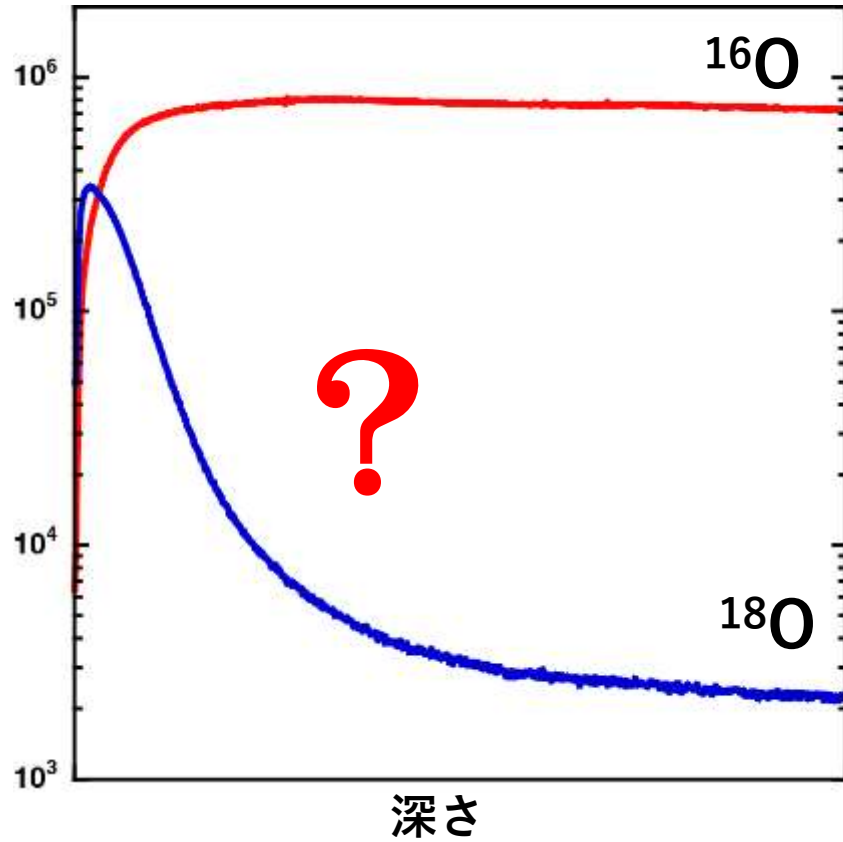
三次元

深さ方向プロファイル
(検出器：二次電子増倍管)



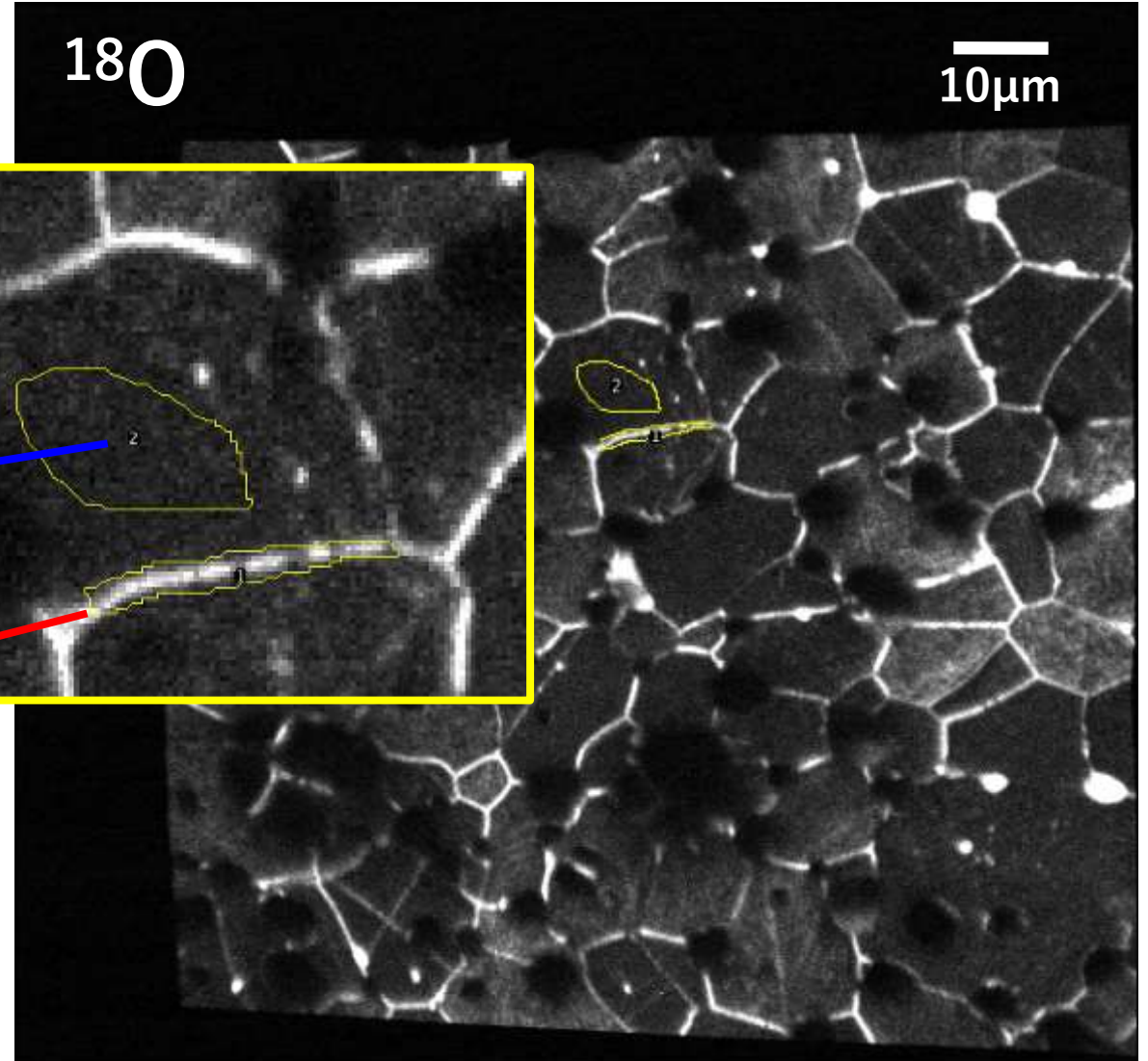
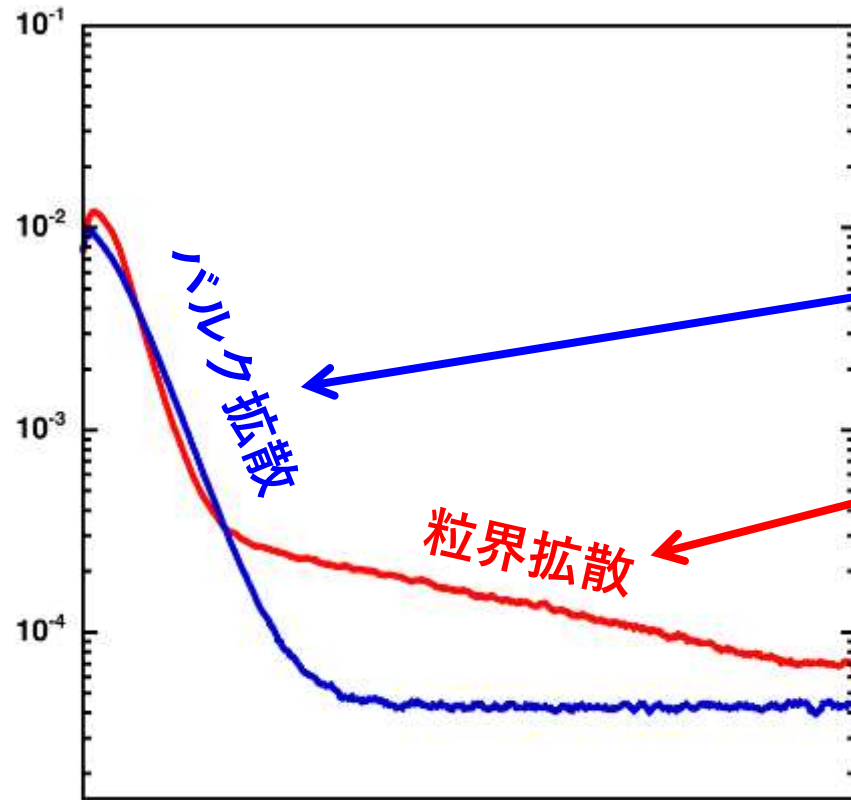
三次元

深さ方向プロファイル
(検出器：二次電子増倍管)



三次元

深さ方向プロファイル
(検出器：SCAPS)



小惑星リュウ
C0002-C1

12C

13C

12C



最表面

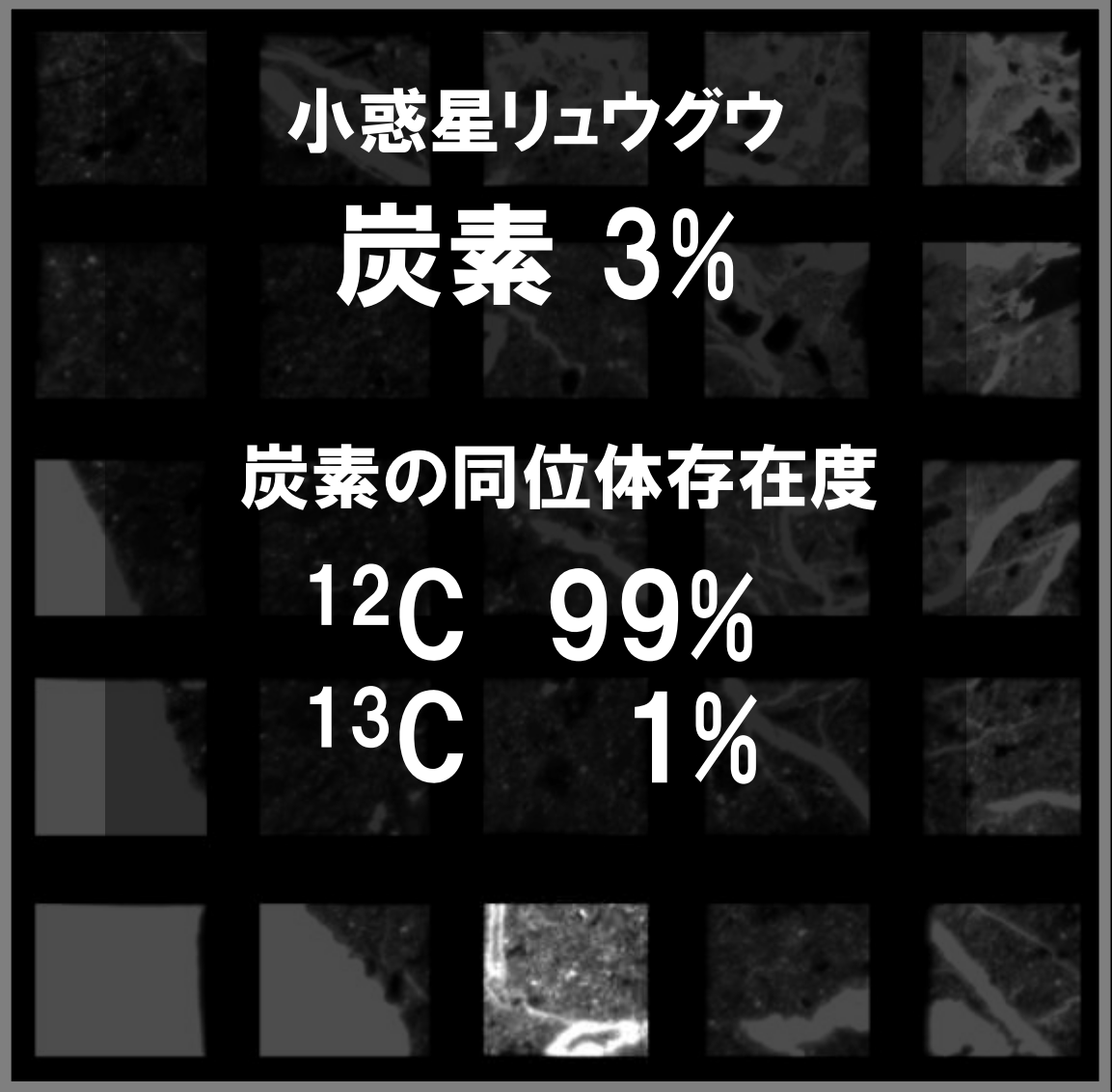
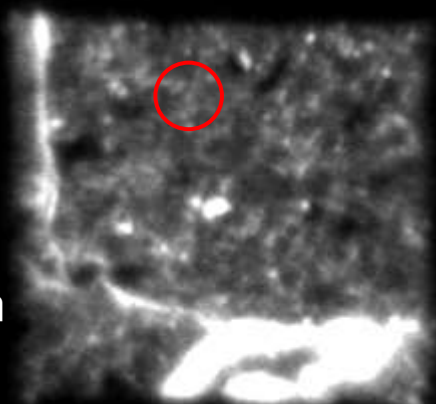
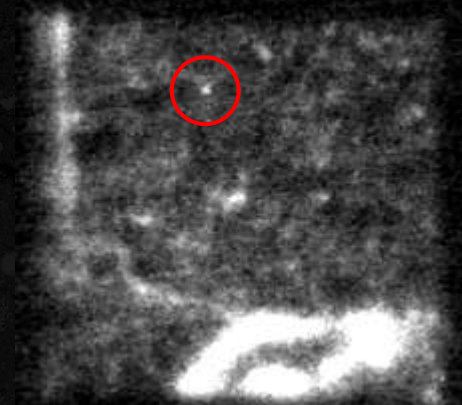
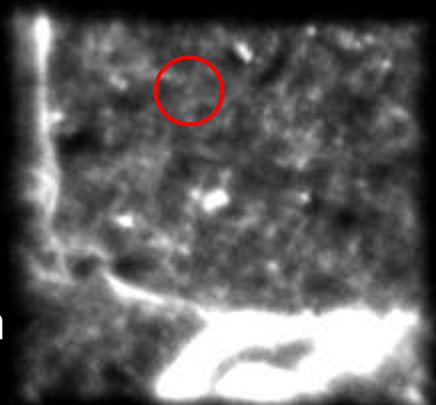
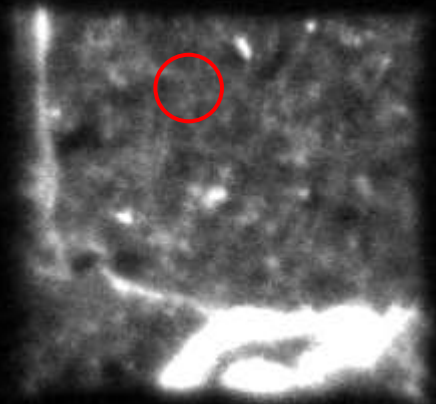


深さ ~ 20 nm

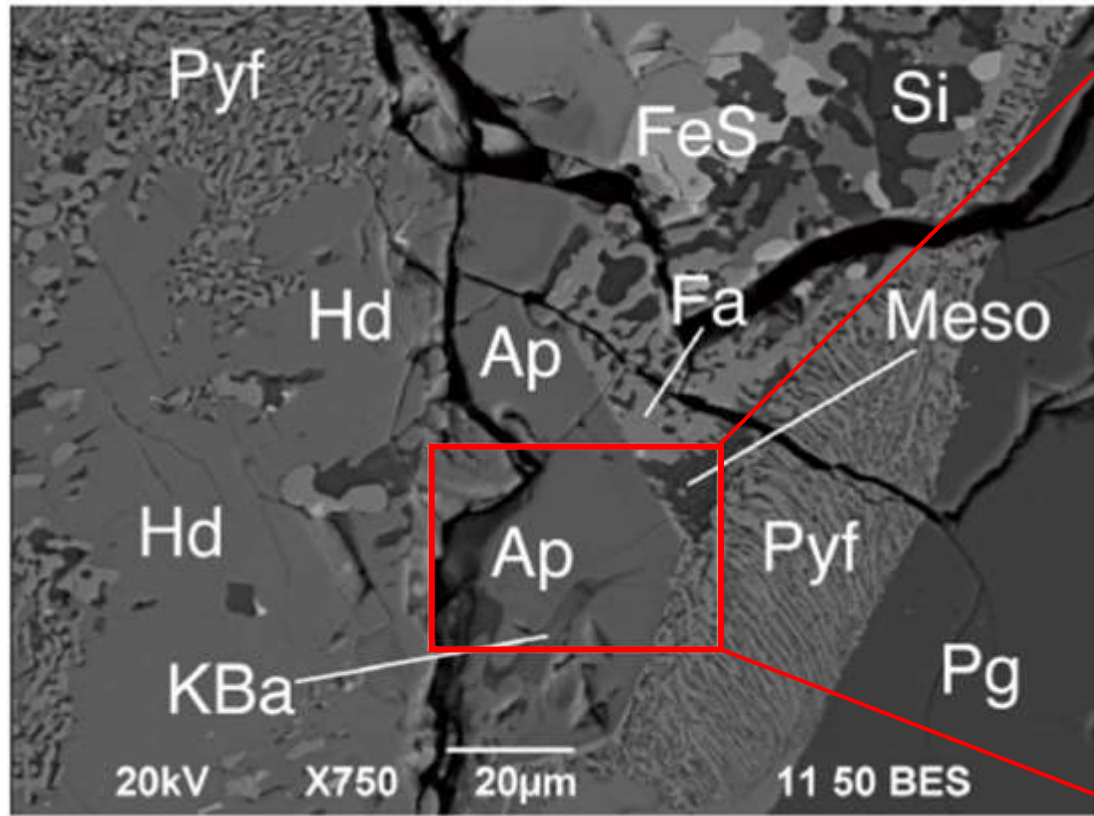


深さ ~ 40 nm

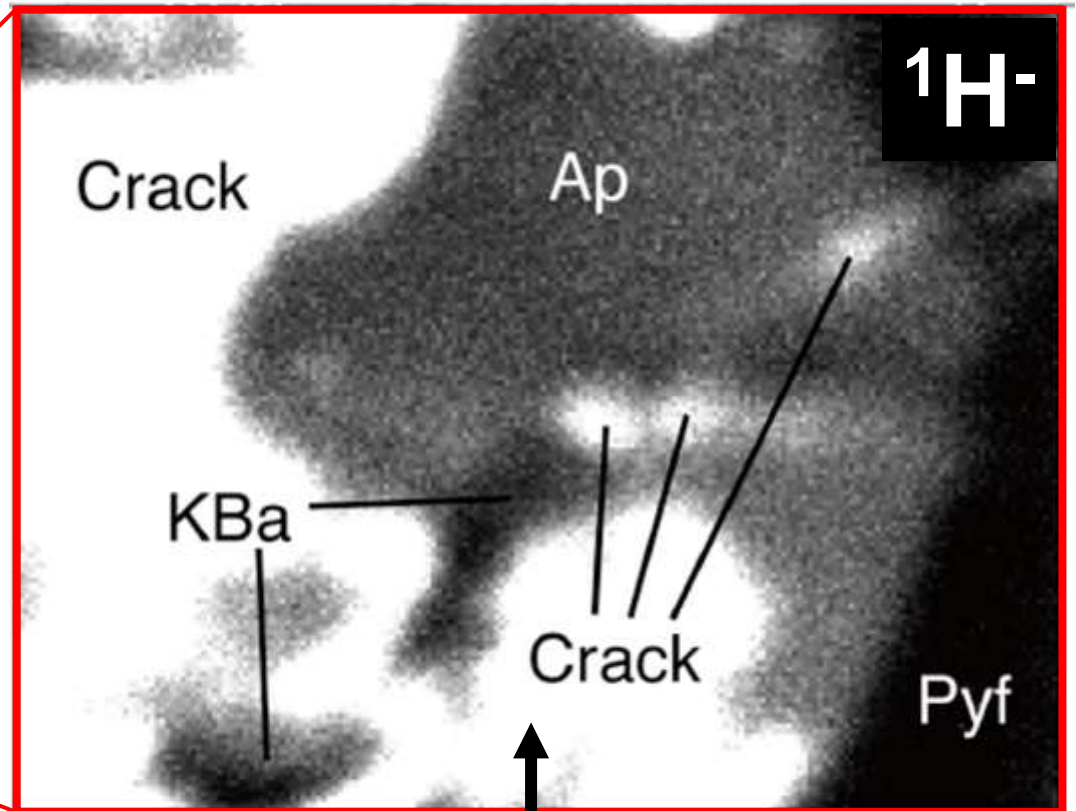
500 μm



高ダイナミックレンジ



アポロ月試料



地球のコンタミ
(吸着水)

10µm

同位体存在度の差が大きい

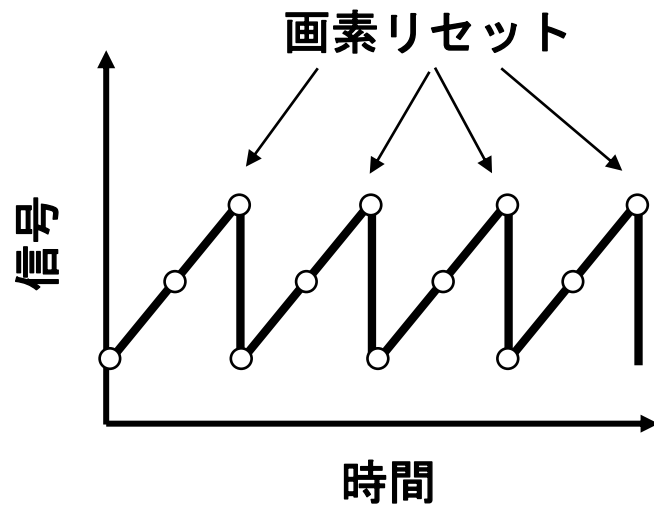
^1H : 99.9885

^2H : 0.0115

+ 不均質な濃度分布

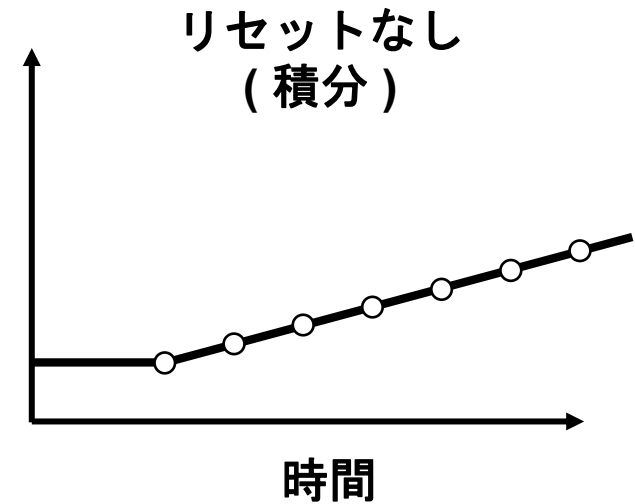
高ダイナミックレンジ

入射イオンの多い画素

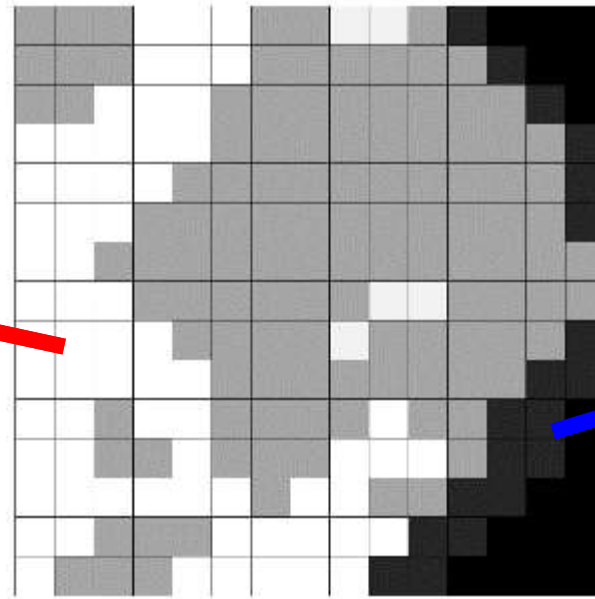


破壊読出し
(DRO)

少ない画素

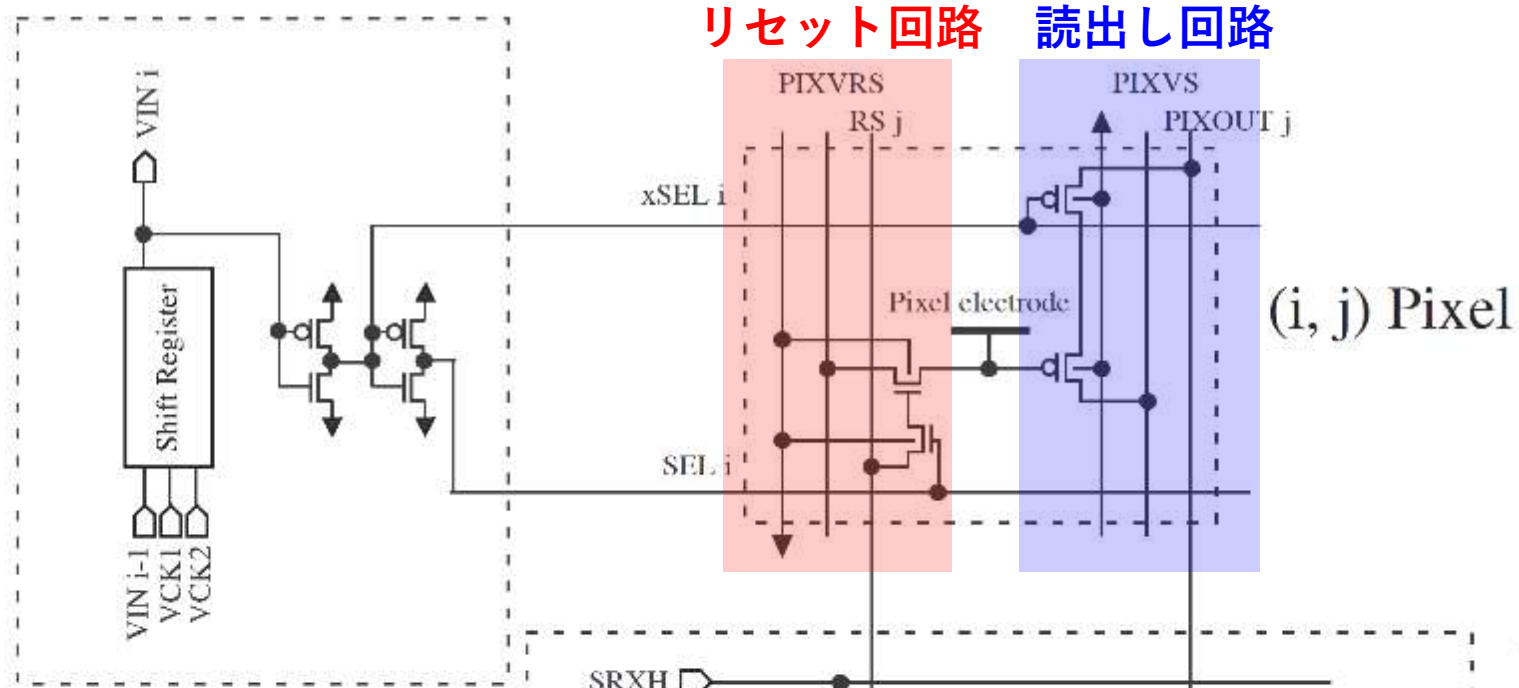


非破壊読み出し
(NDRO)



リセット回路 読出し回路

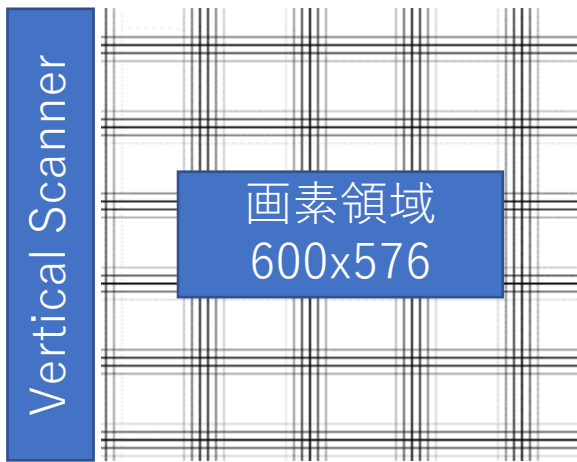
Vertical Scanner



(i, j) Pixel

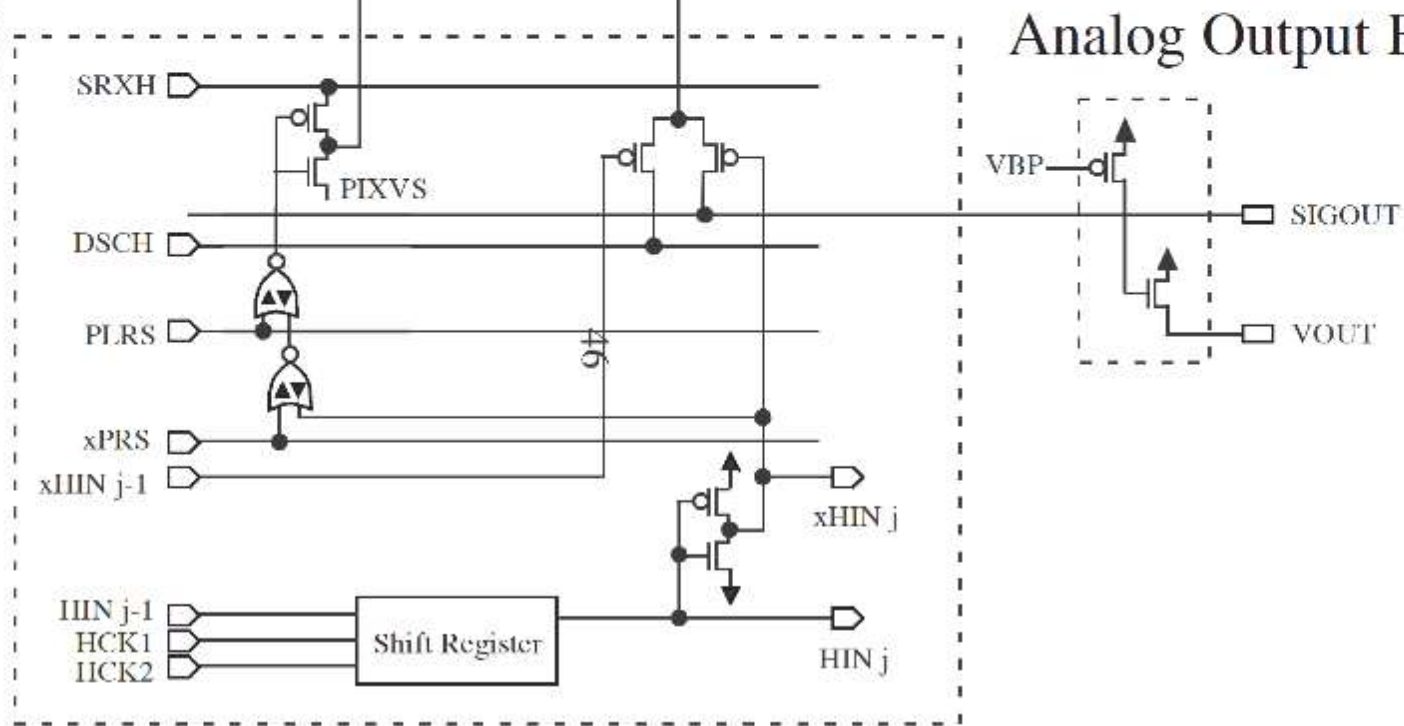
Analog Output Buffer

Chip Design



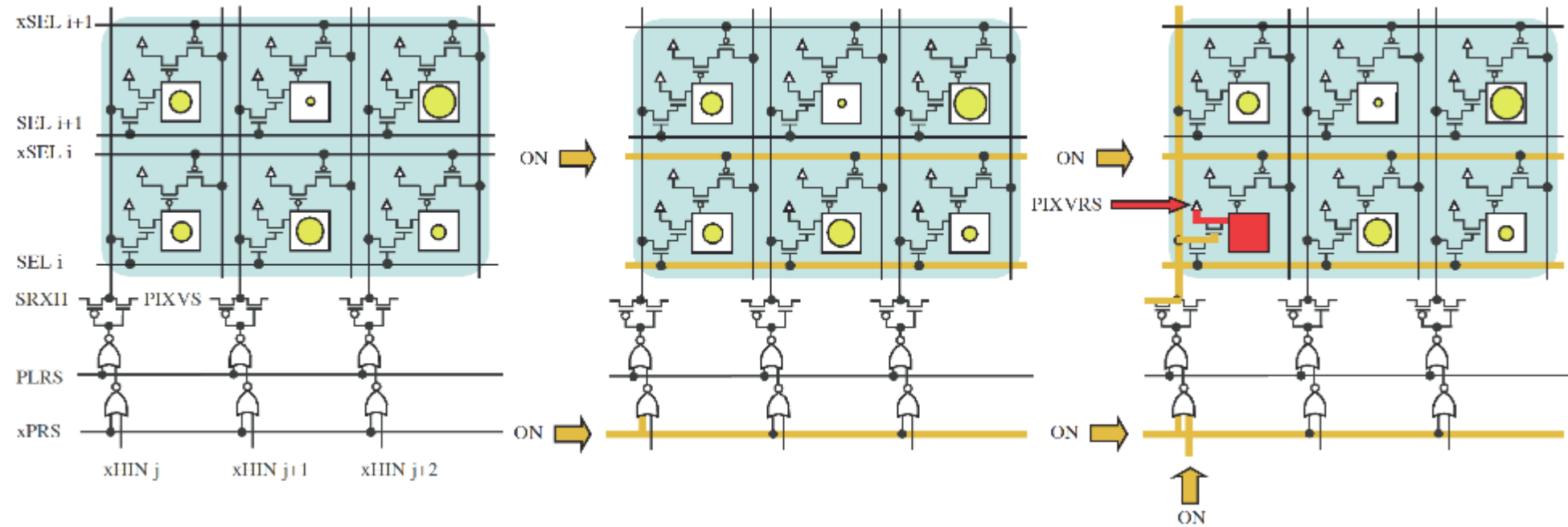
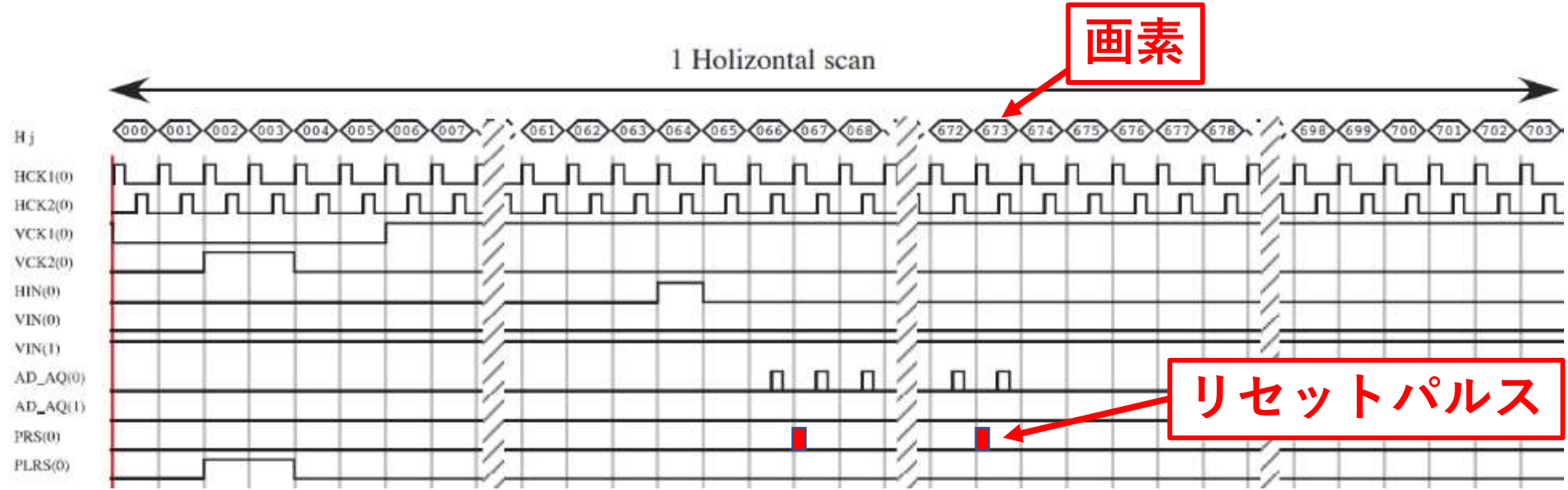
Horizontal Scanner

AOB

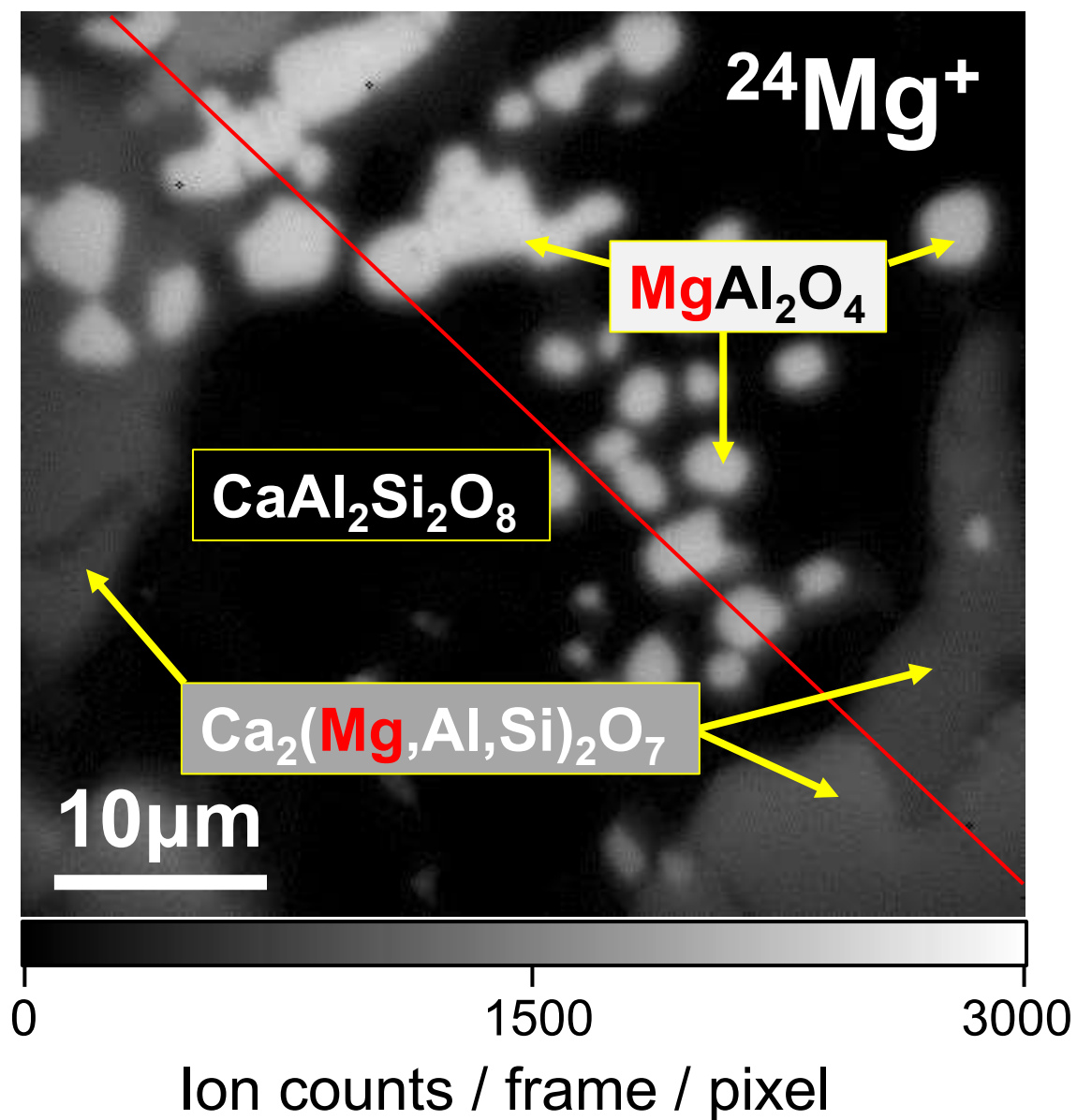


Horizontal Scanner

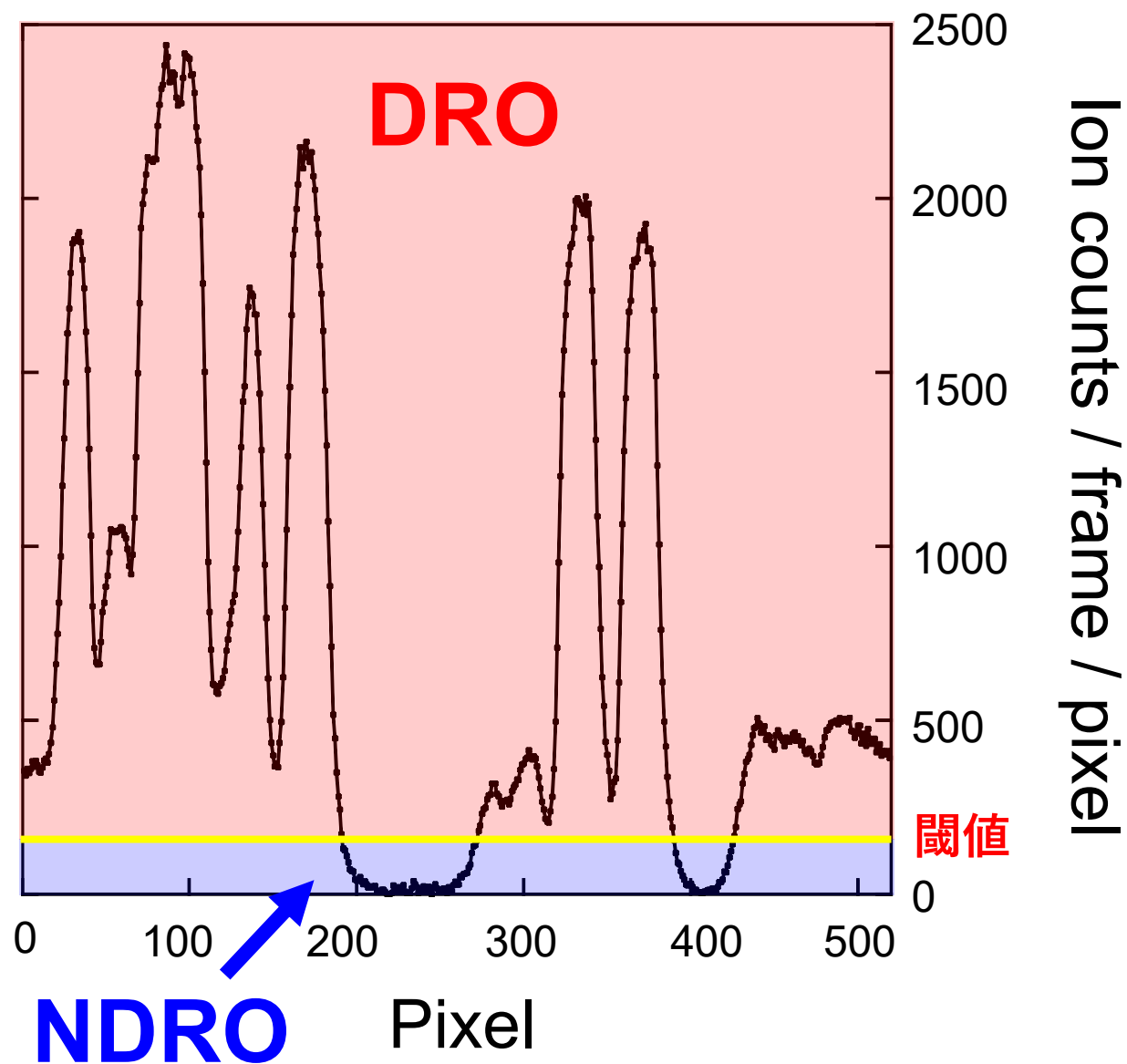
個別画素リセット



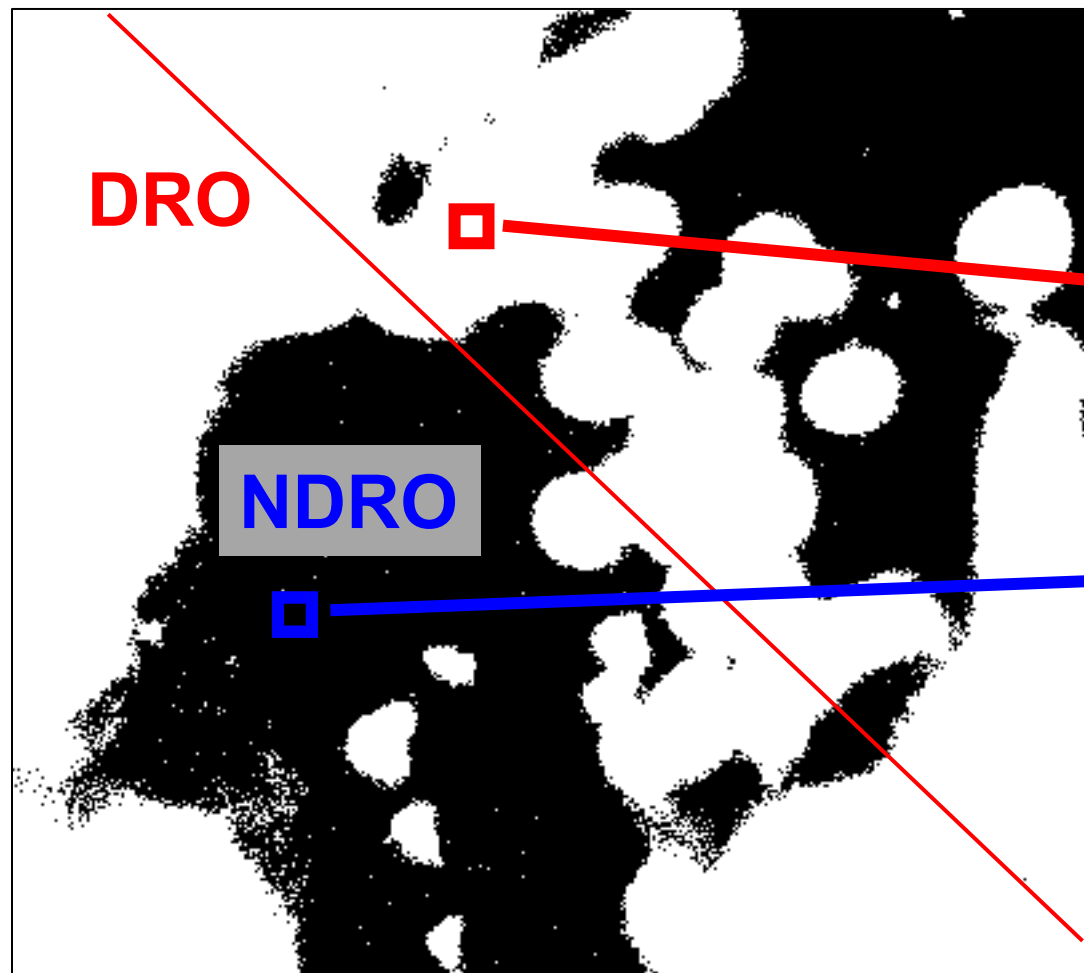
リファレンス画像



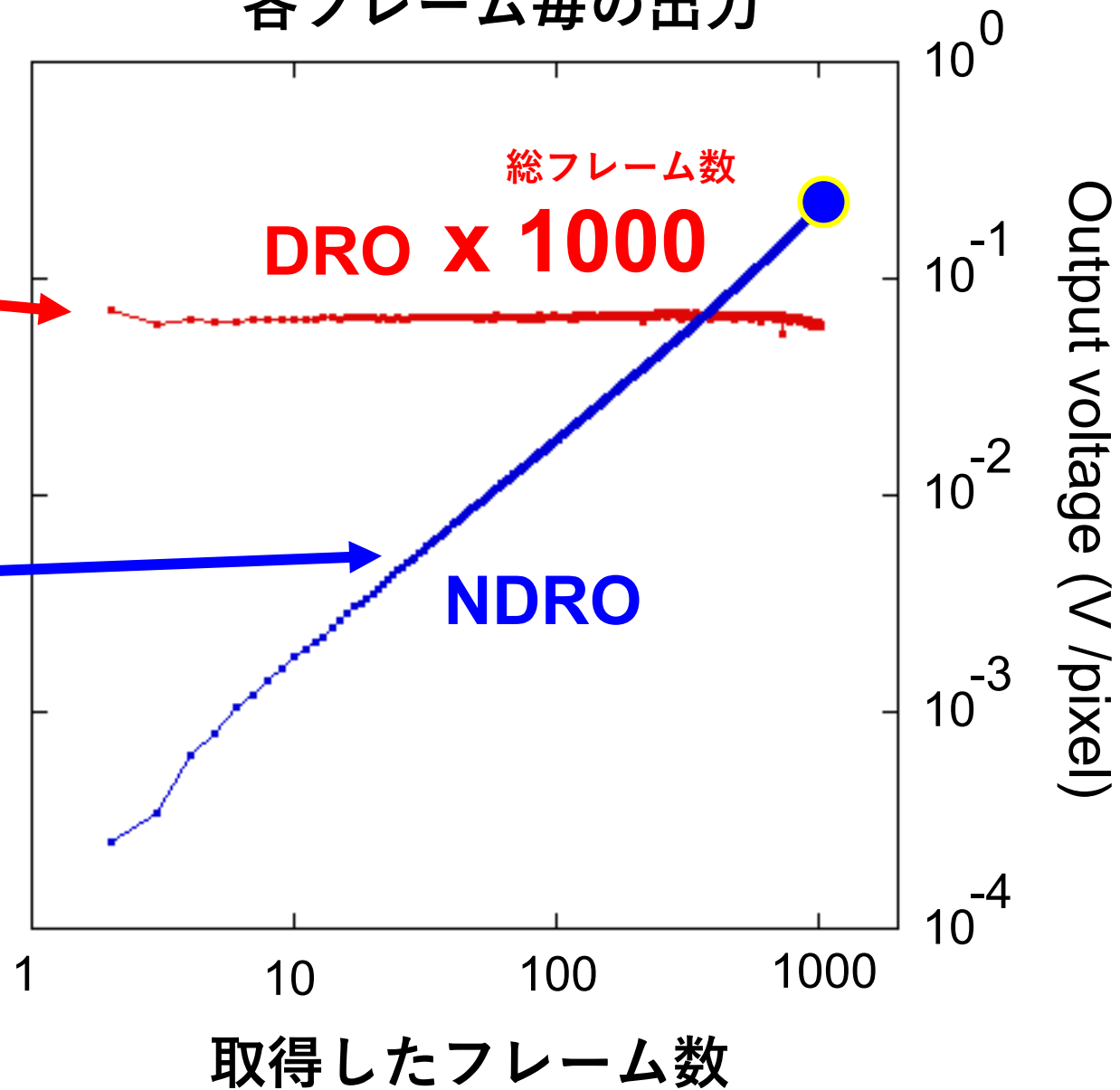
ラインプロファイル



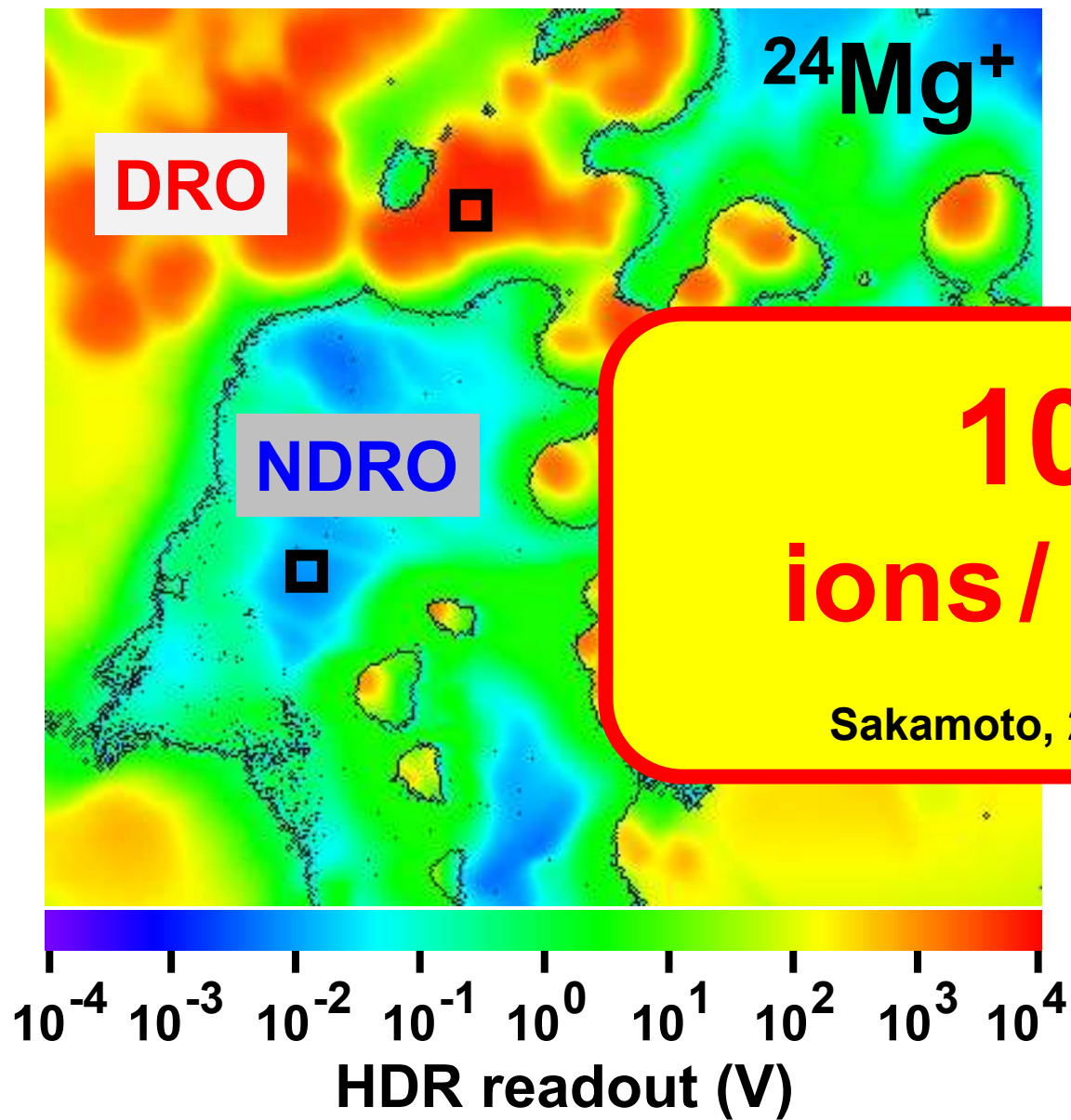
DRO-NDRO マップ



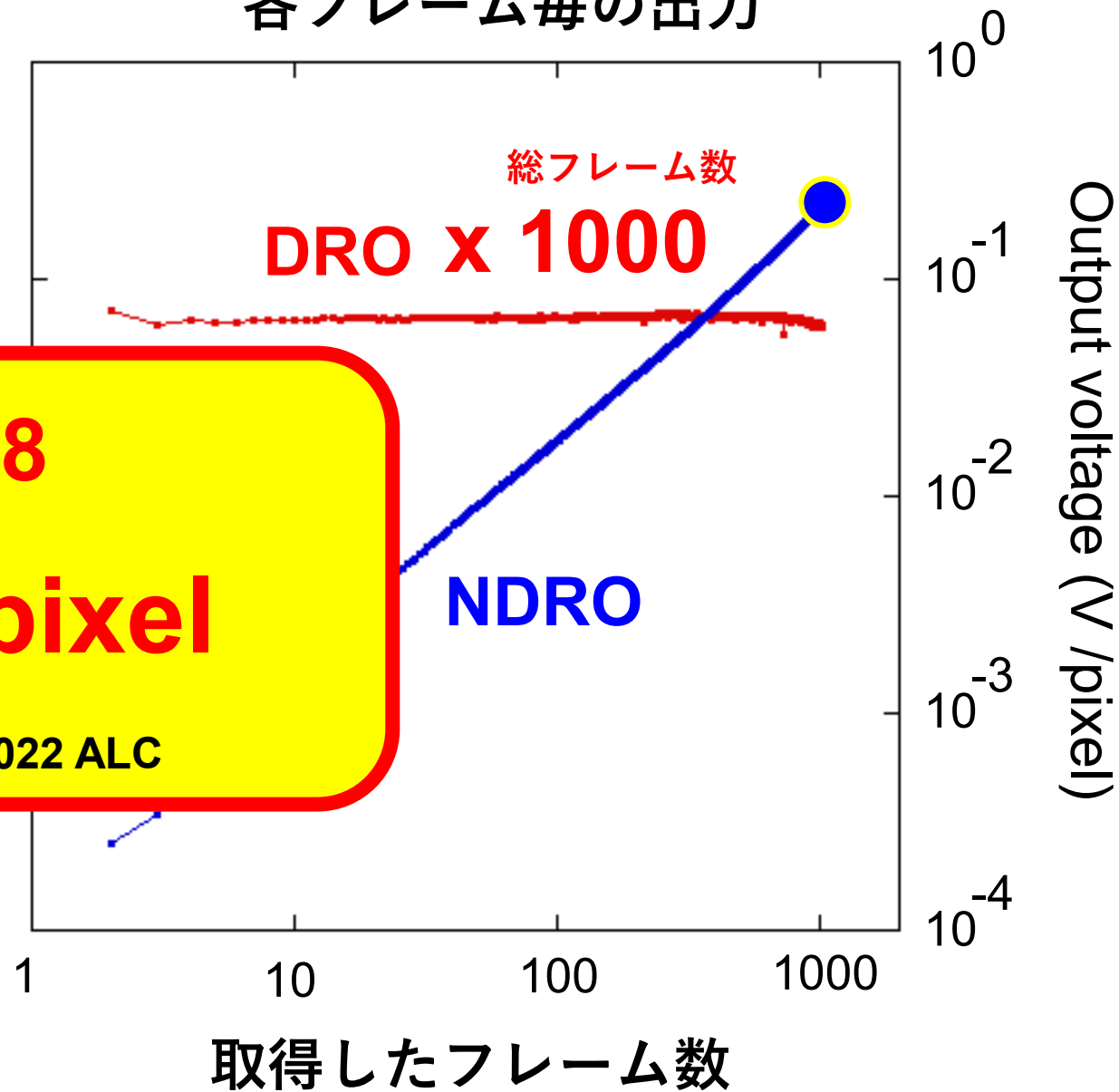
各フレーム毎の出力



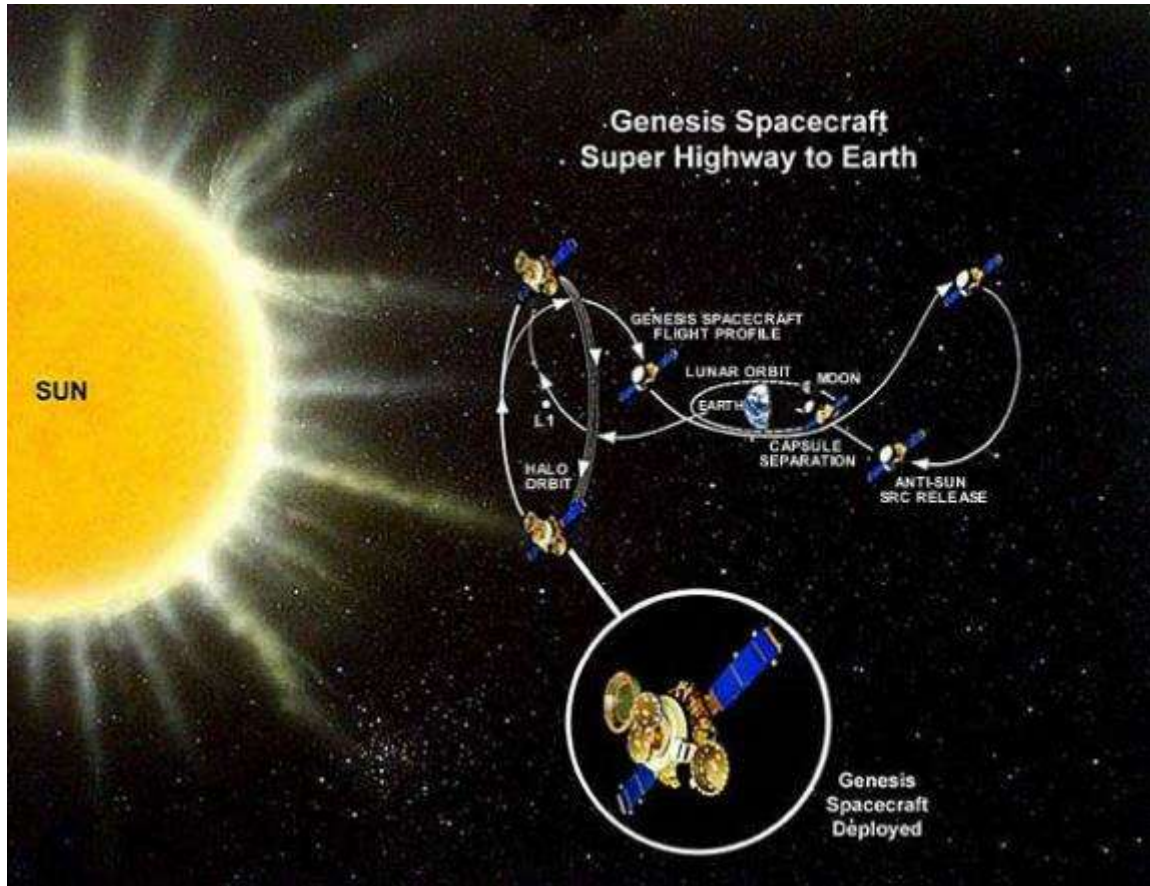
合成したイメージ
(対数スケール)



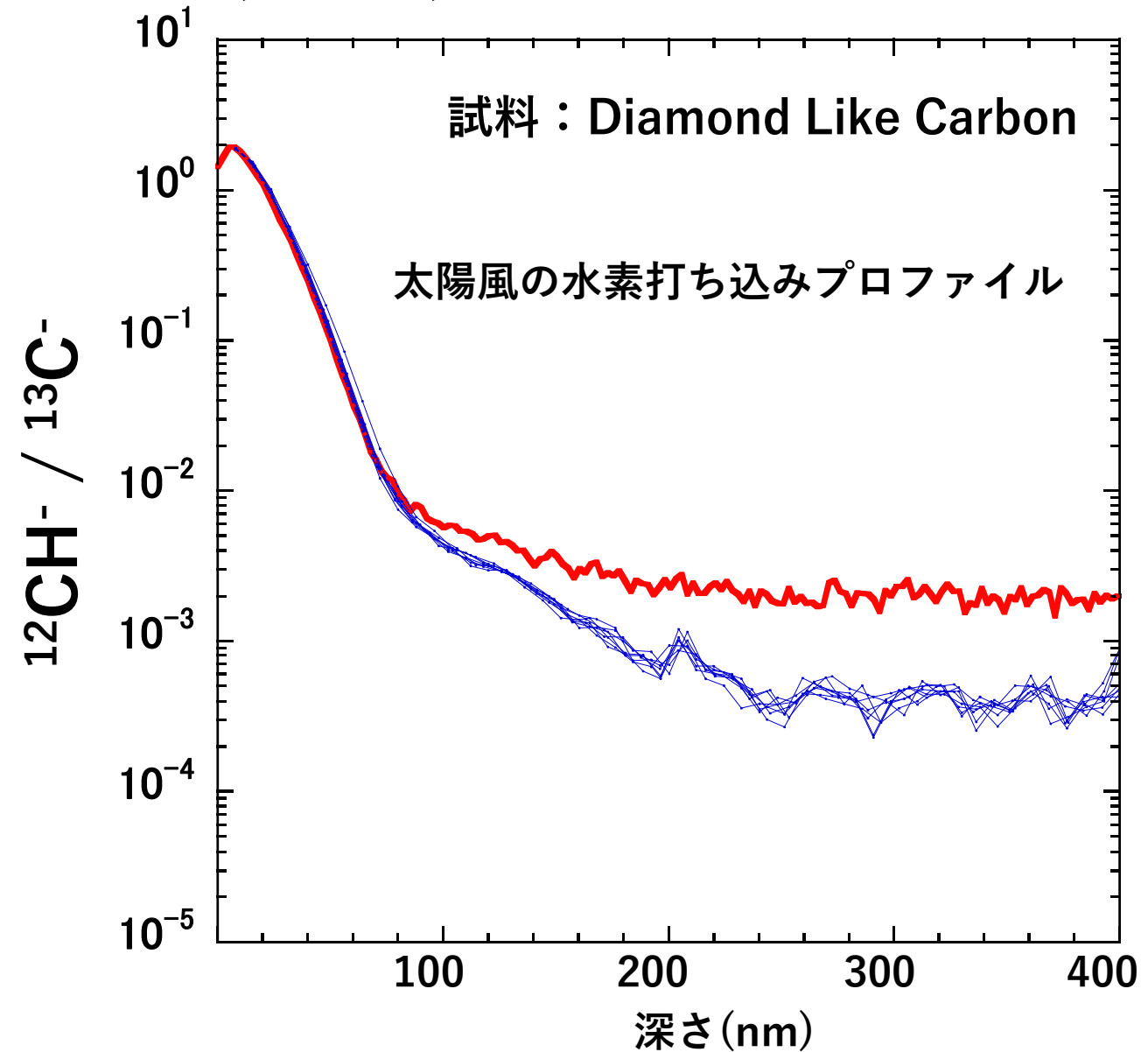
各フレーム毎の出力



スポットイメージング

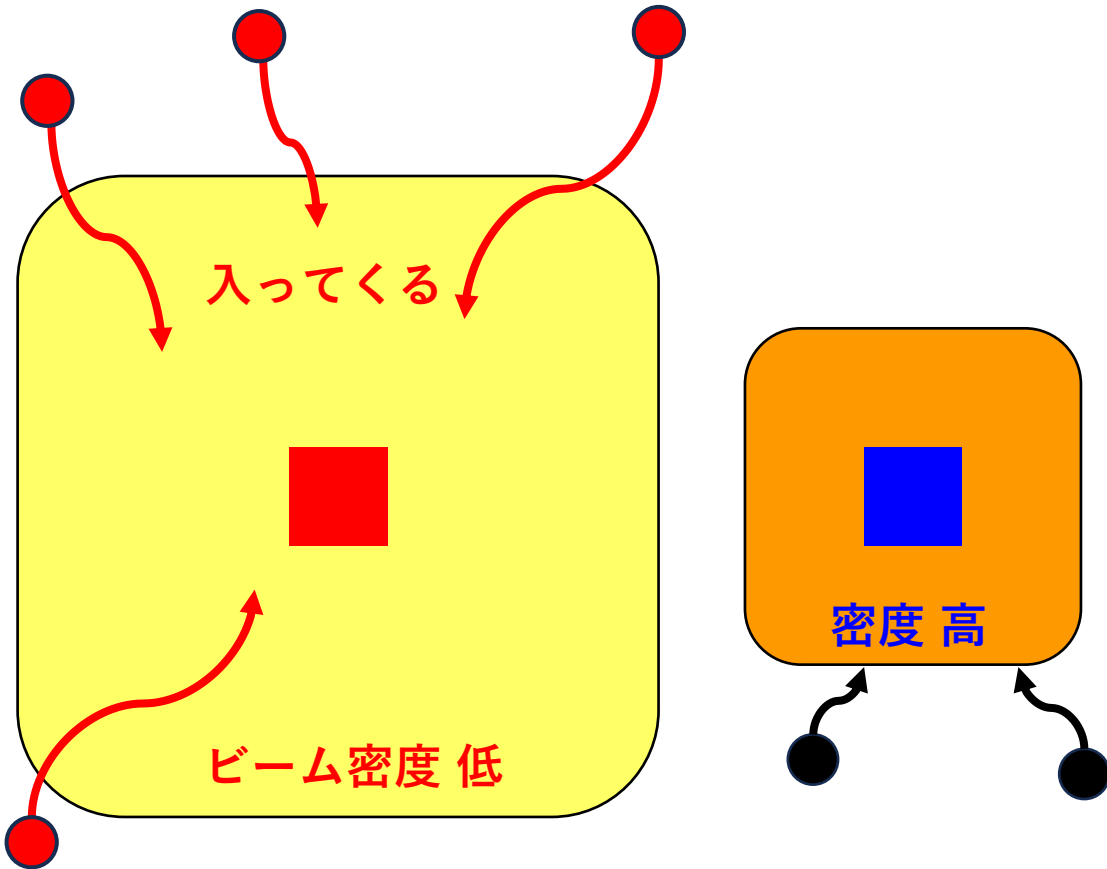


ジェネシス計画：太陽風を捕獲

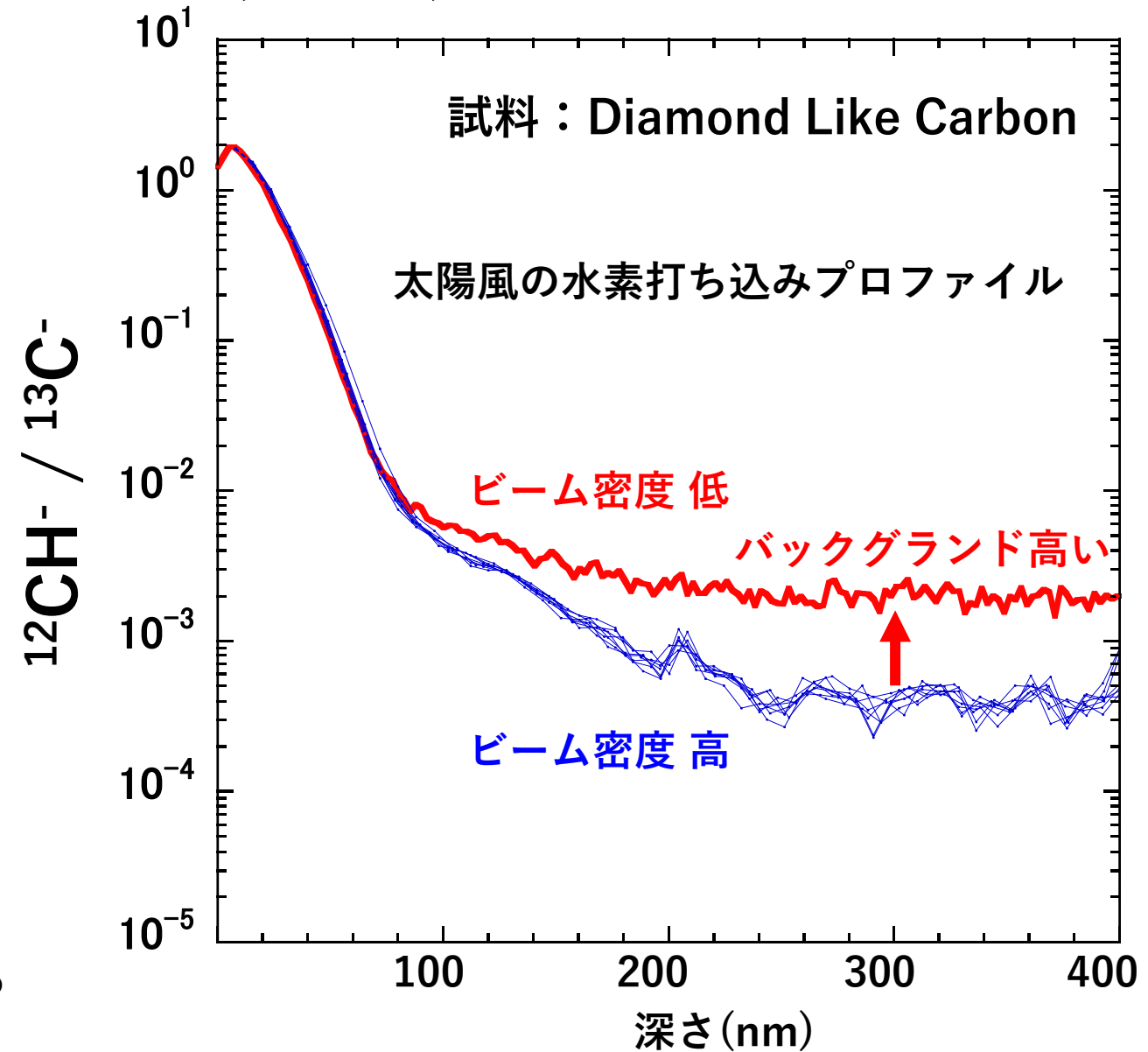


スポットイメージング

真空チャンバー内の水素

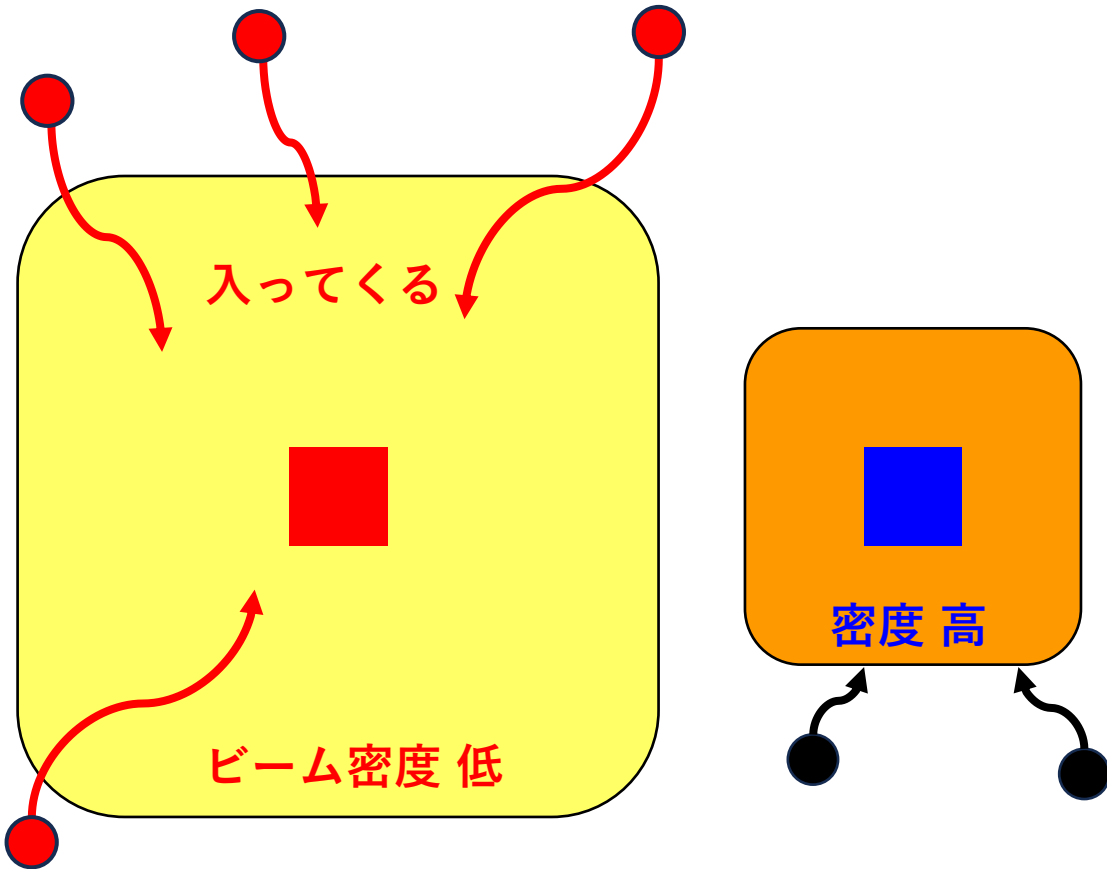


● 同じ強度のスポットビームで照射エリアを変える

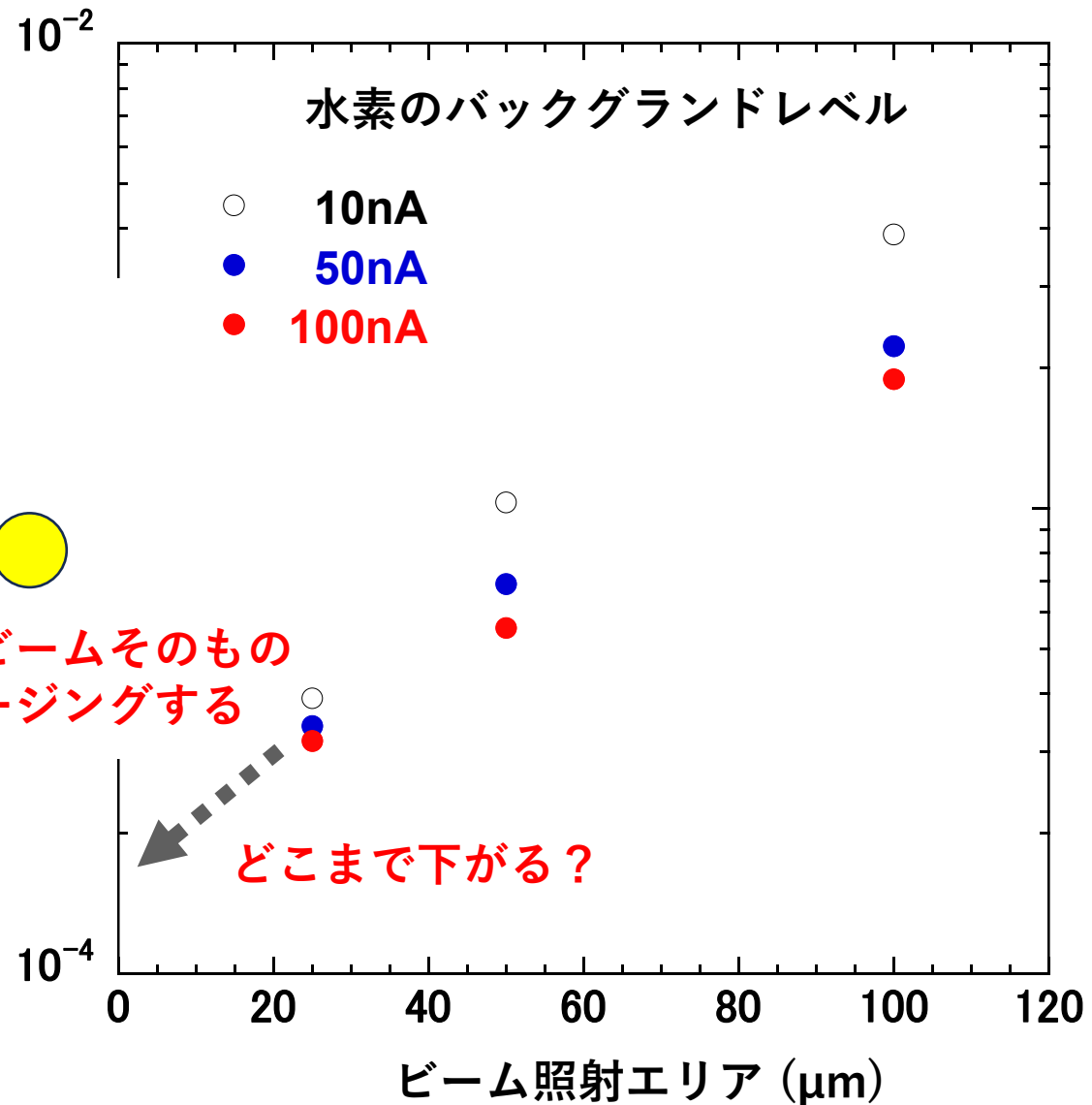


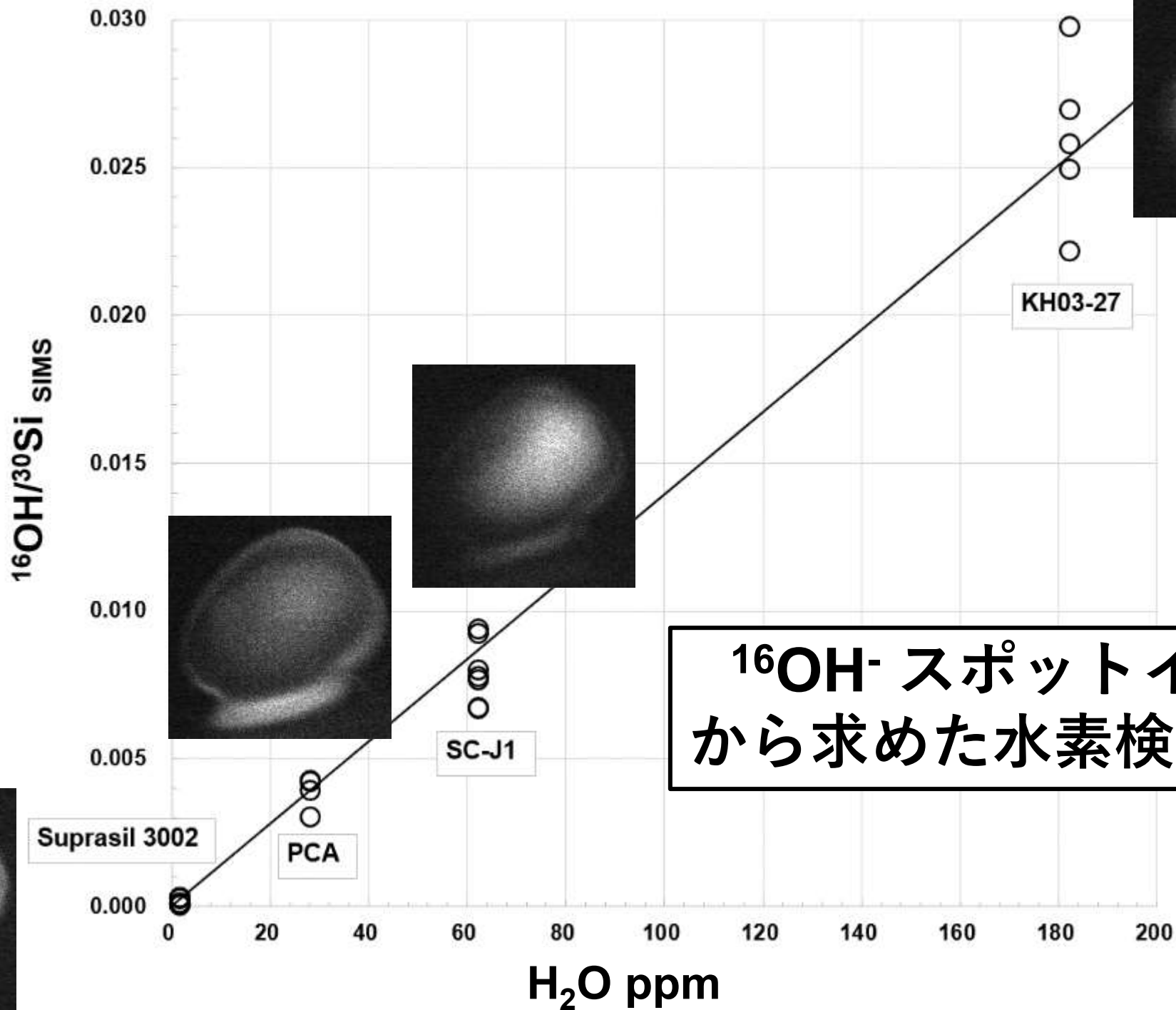
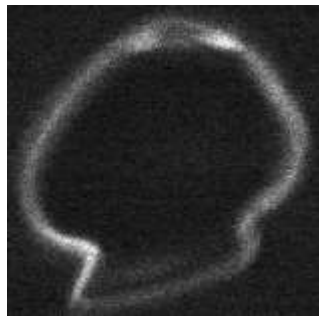
スポットイメージング

真空チャンバー内の水素

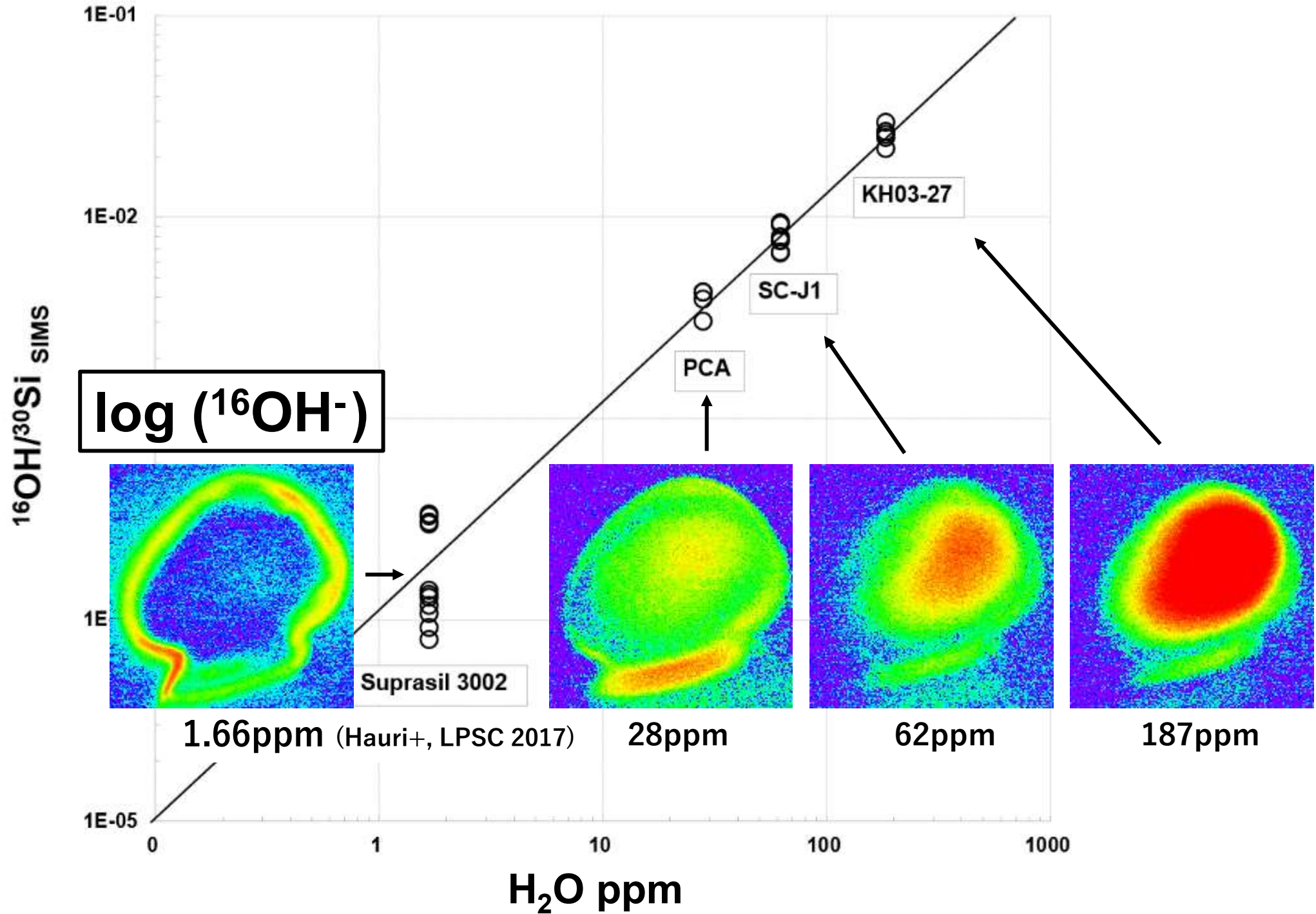


● 同じ強度のスポットビームで照射エリアを変える



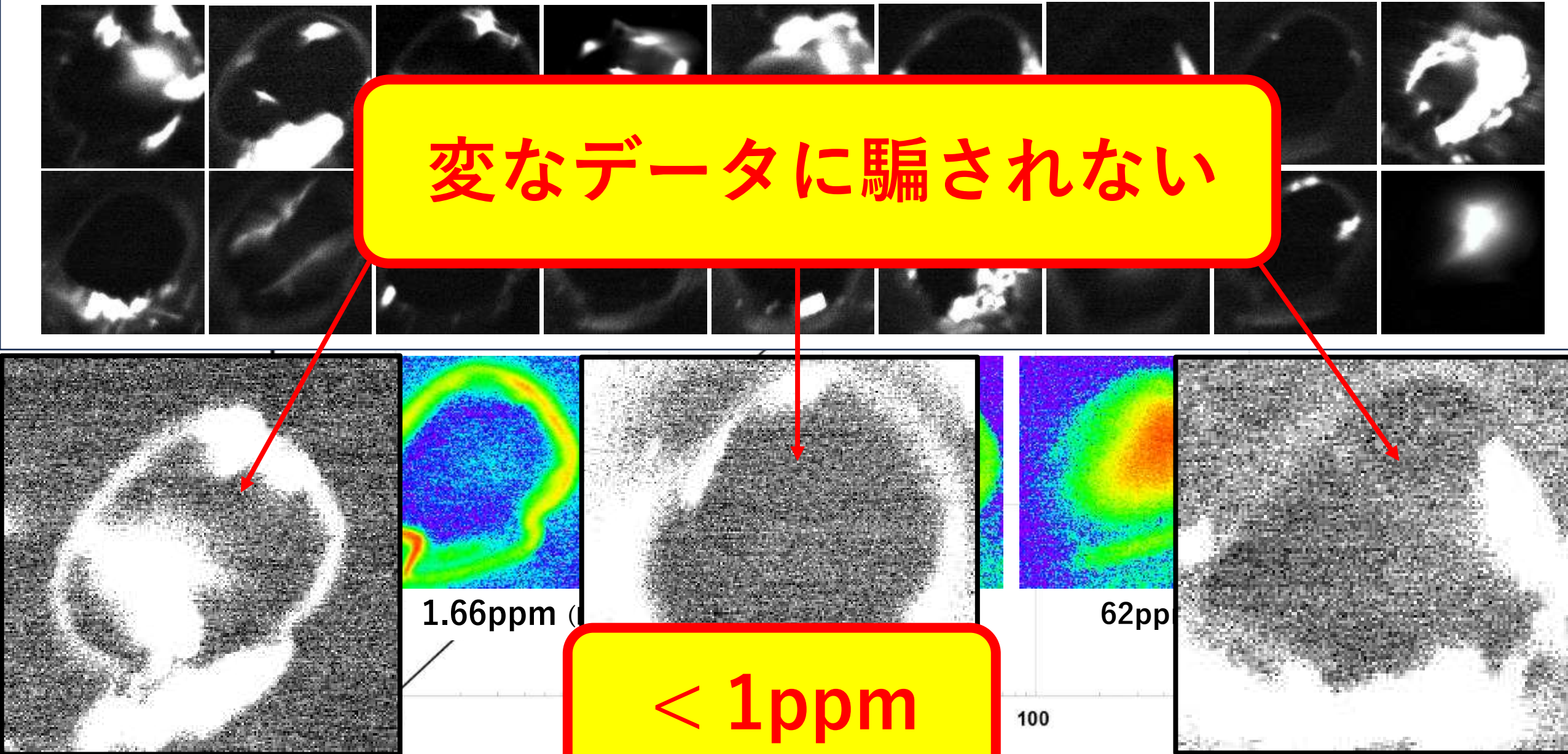


**$^{16}\text{OH}^-$ スポットイメージ
から求めた水素検量線(Cpx)**



隕石の水素スポットイメージ (Cpx in ECs)

変なデータに騙されない



まとめ

- SCAPSは、表面の積層電極でイオンを直接検出可能な電荷蓄積型の画素を二次元的に配置した固体イオン検出器です。
- 良好な線形性、高ダイナミックレンジ、ロバスト、不感時間がないなど、同位体分析に有利な多くの特性を有します。
- 投影型SIMSと組み合わせることで、高精度、広範囲、三次元、スポットイメージングなど様々な同位体分析が可能となりますが、信頼性の高い結果を得るには装置や試料の状態、分析条件の最適化など他の要素も重要です。