

研究鉱物飛跡検出器を用いた未知宇宙線事象探索のための研究開発

学術変革「地下稀事象」領域研究会
「極稀事象で探る宇宙物質の起源と進化：新たな宇宙物質観測生のフロンティア」
2024/7/5 @ 大阪ホール

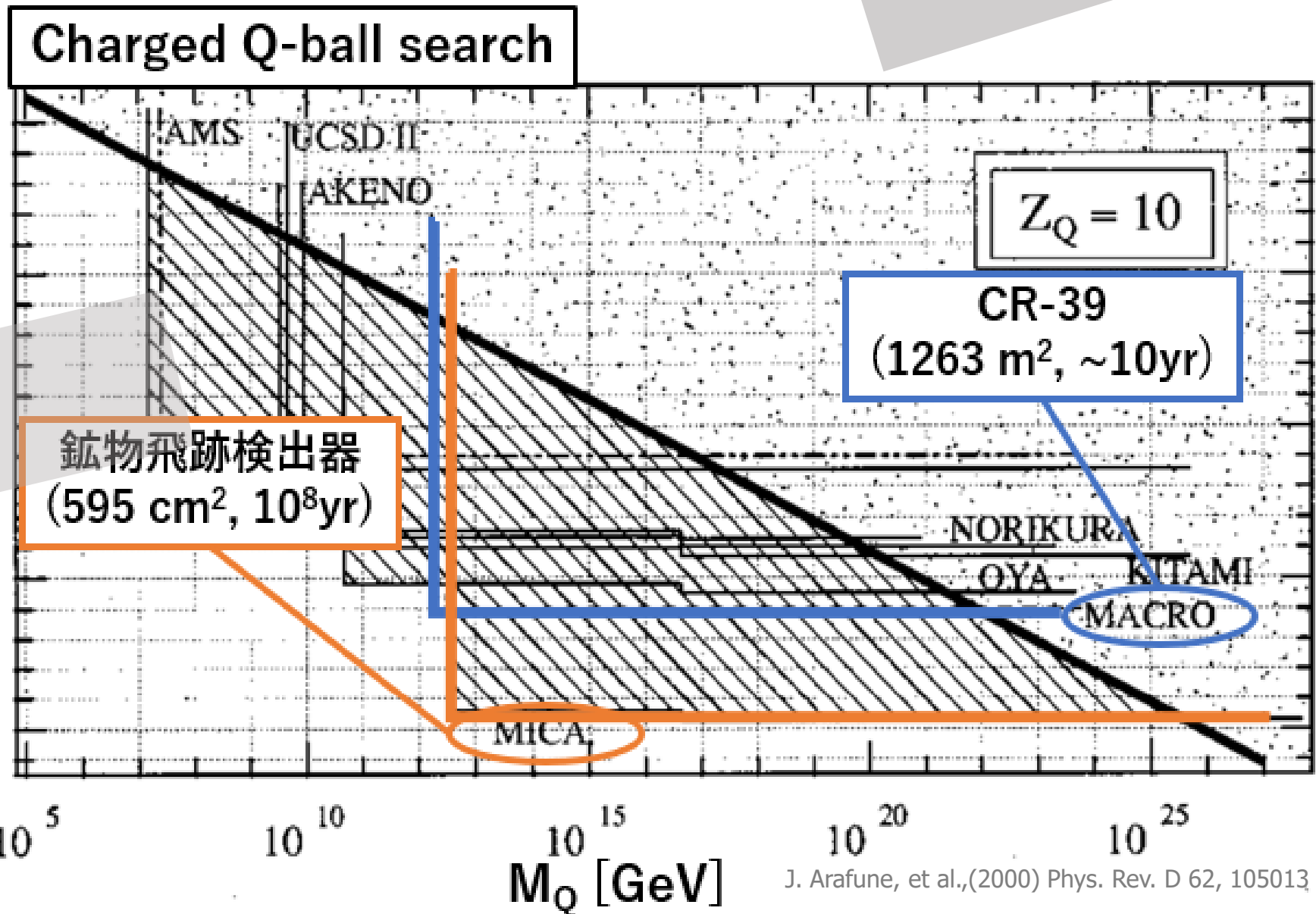
井戸 悠生, 中 竜大^A, 二村 翔大^B, 織瞳磨^C, 加藤 丈典^D
名大環境, 東邦理^A, 名大理^B, 鈴鹿高専専攻科^C, 名大ISEED^D

コラボレーションメンバー
高松海斗^B, 伊神洋平^E, 廣瀬重信^F, 村瀬孔大^{GH}, 白石卓也^I,
星野靖^I, 風間慎吾^J, 伊藤好孝^{DJ},
京大理^E, 海洋研究開発機構^F, ペンシルベニア州立大^G, 京大基研^M, 神奈川大理^N, 名大KMI^P

1.Introduction



暗黒物質
・宇宙の構成要素の内3割
・質量はモデル依存
非常に重い暗黒物質を仮定
→鉱物飛跡検出器が最適解かも？

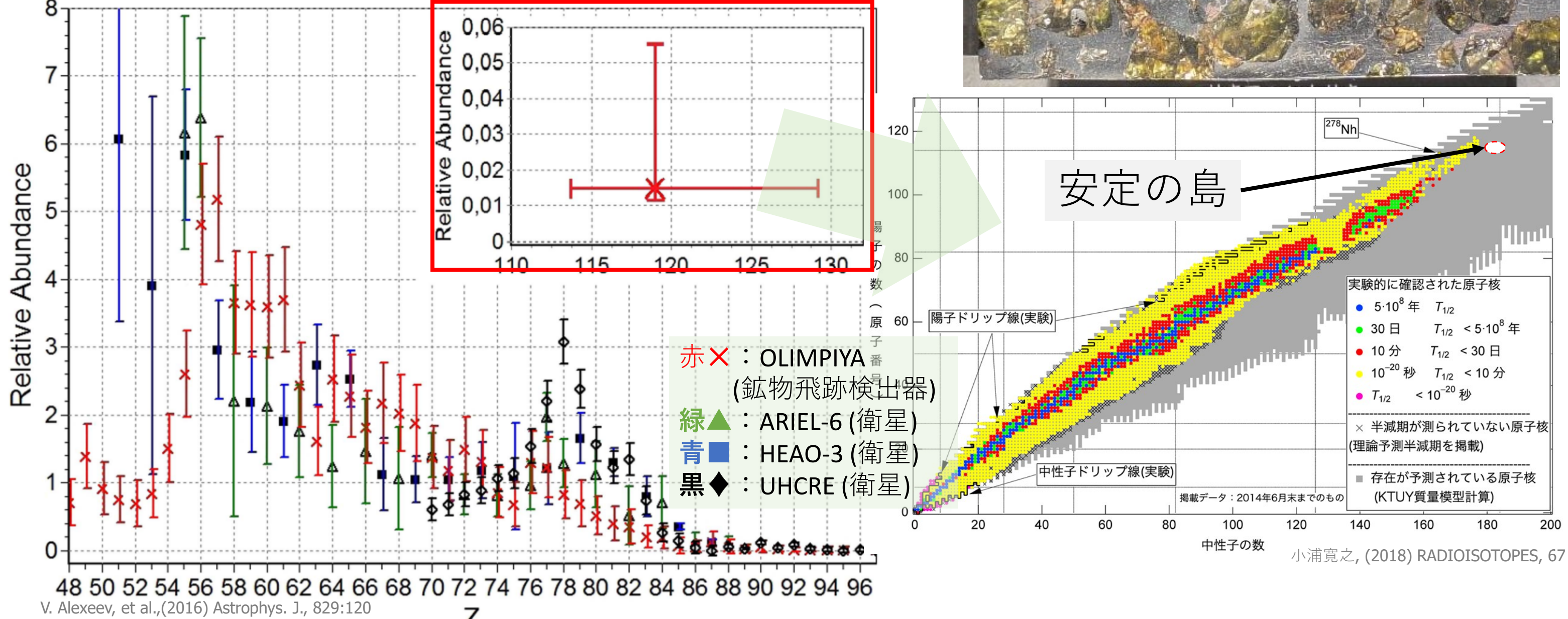


隕石中のカンラン石
→ $Z=119^{+10}_{-6}$ の飛跡が3本
大気の影響を避けた宇宙線探索
→鉱物飛跡検出器が最適解かも？

カンラン石



(隕石中の) カンラン石



先行研究の検証：エッチング条件、入射粒子識別能を行ったうえで
スキャンシステムと組み合わせることで未知宇宙線事象を探索する。

2. Method

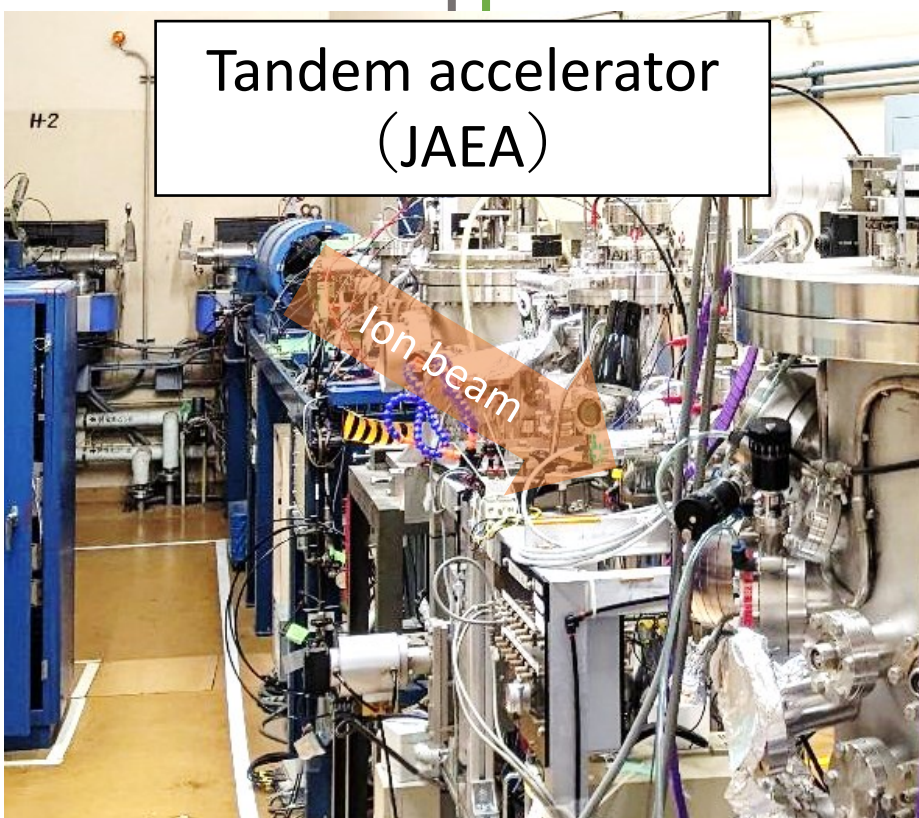
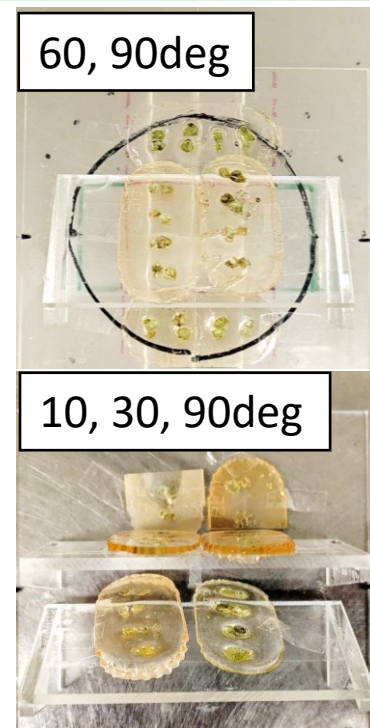
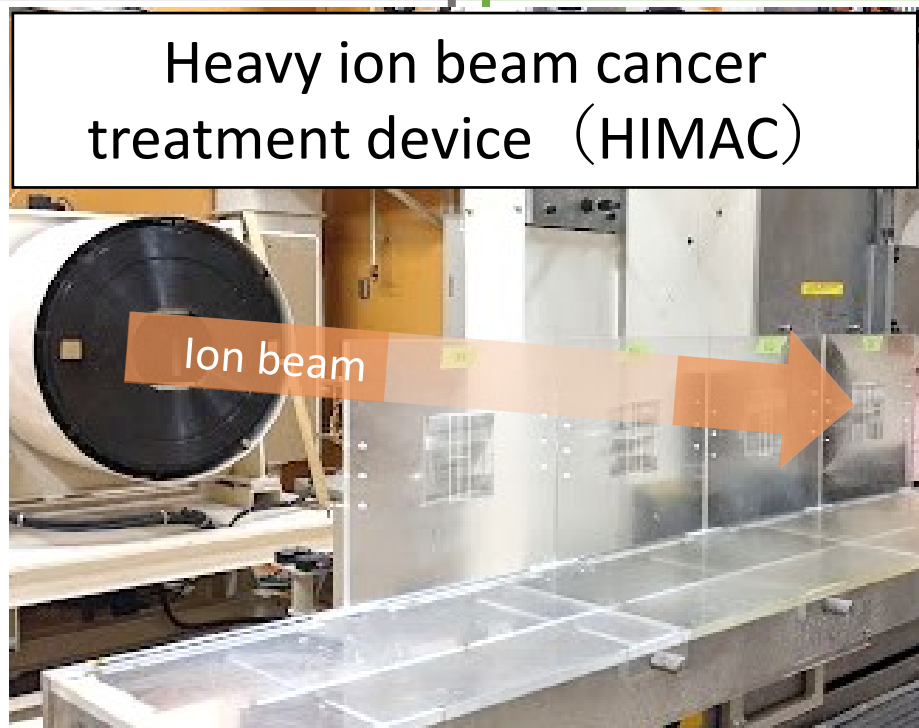
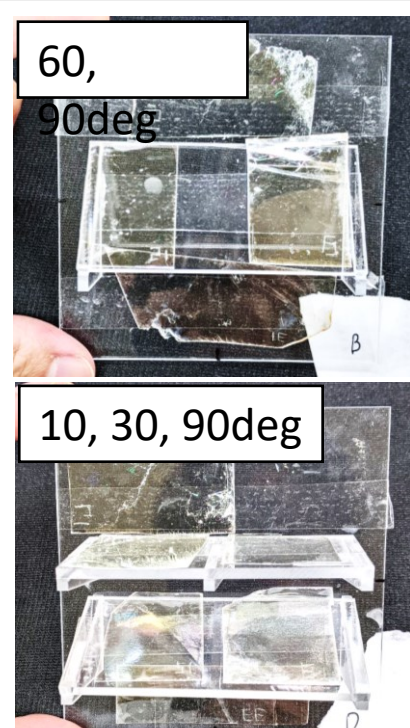
白雲母サンプルの照射条件一覧

照射核種	実質照射エネルギー	補足 (照射エネルギー, 減速材, 厚み)
Fe	18 GeV	500 MeV/n, アクリル板, 5 cm
	10 GeV	290 MeV/n, BF 6.95 mm
Xe	9 GeV	//, BF・LF, 6.95 mm・84 um
	5 GeV	//, BF, LF, 8.08 mm・84 um
	2,75 GeV	//, BF・LF, 8.68 mm・84 um

照射核種	実質照射エネルギー	補足 (照射エネルギー, 減速材, 厚み)
Fe	70 MeV	—
	60 MeV	—
	10 MeV	70 MeV, ラップ, 13-15um
	5 MeV	60 MeV, ラップ, 13-15um
	1.6 MeV	70 MeV, ラップ, 18-20um
Xe	100 MeV	※BF: パイナリフィルター
Au	350 MeV	LF: ラミネートフィルム

白雲母サンプルのエッチング

エッチング試薬: HF溶液 時間: 80min



カンラン石サンプルの照射条件一覧

照射核種	実質照射エネルギー	補足 (照射エネルギー, 減速材, 厚み)
Xe	16 GeV	290 MeV/n, BF 6.4 mm
	10 GeV	//, BF 8.68 mm
	7.5 GeV	//, BF 9.83 mm
	4 GeV	//, BF 10.96 mm

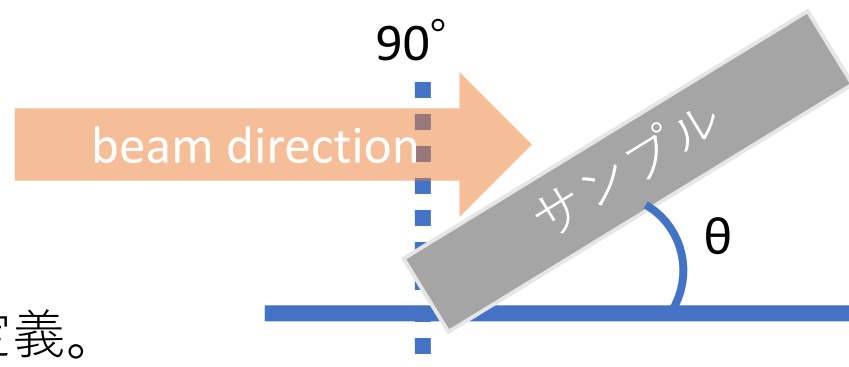
照射核種	実質照射エネルギー	補足 (照射エネルギー, 減速材, 厚み)
Xe	100 MeV	—
Au	350 MeV	—

カンラン石サンプルのエッチング

エッチング試薬: EDTA溶液 時間: 6, 12, 36, 48h

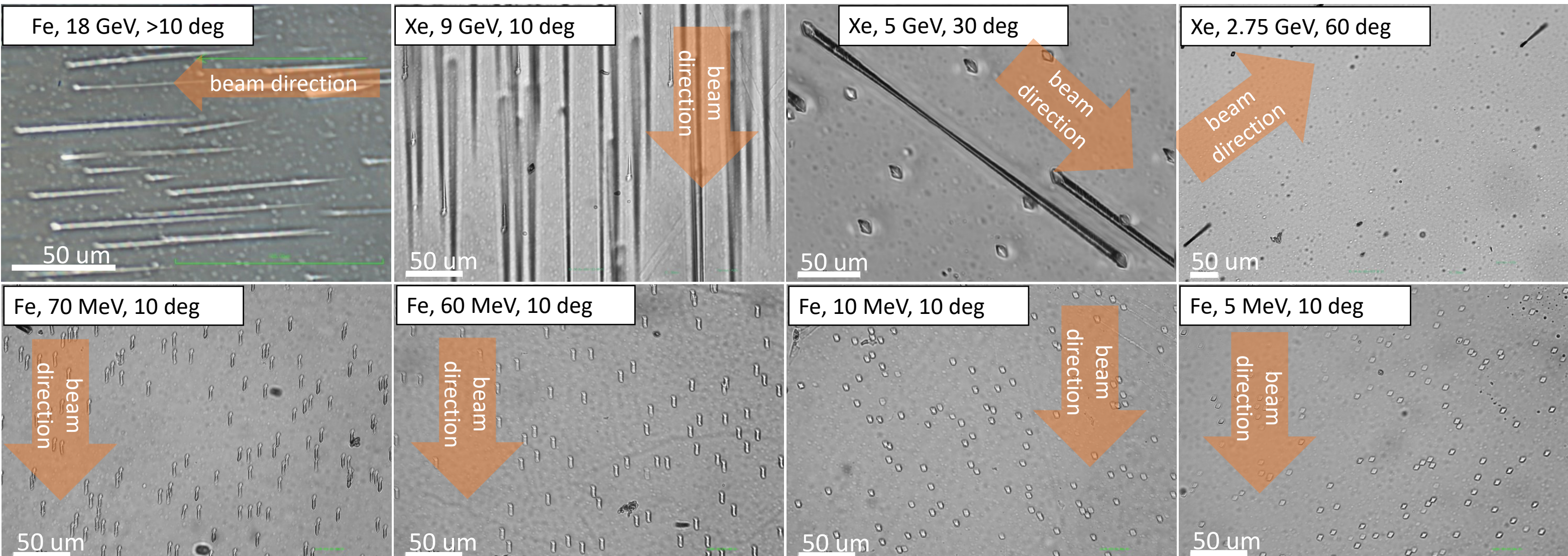
照射角度とその定義

全ての実験において、
照射角度10, 30, 60, 90°を設定。
(白雲母 Fe 18 GeVのみ0°を設定)
角度はbeamに対して平行を0°と定義。



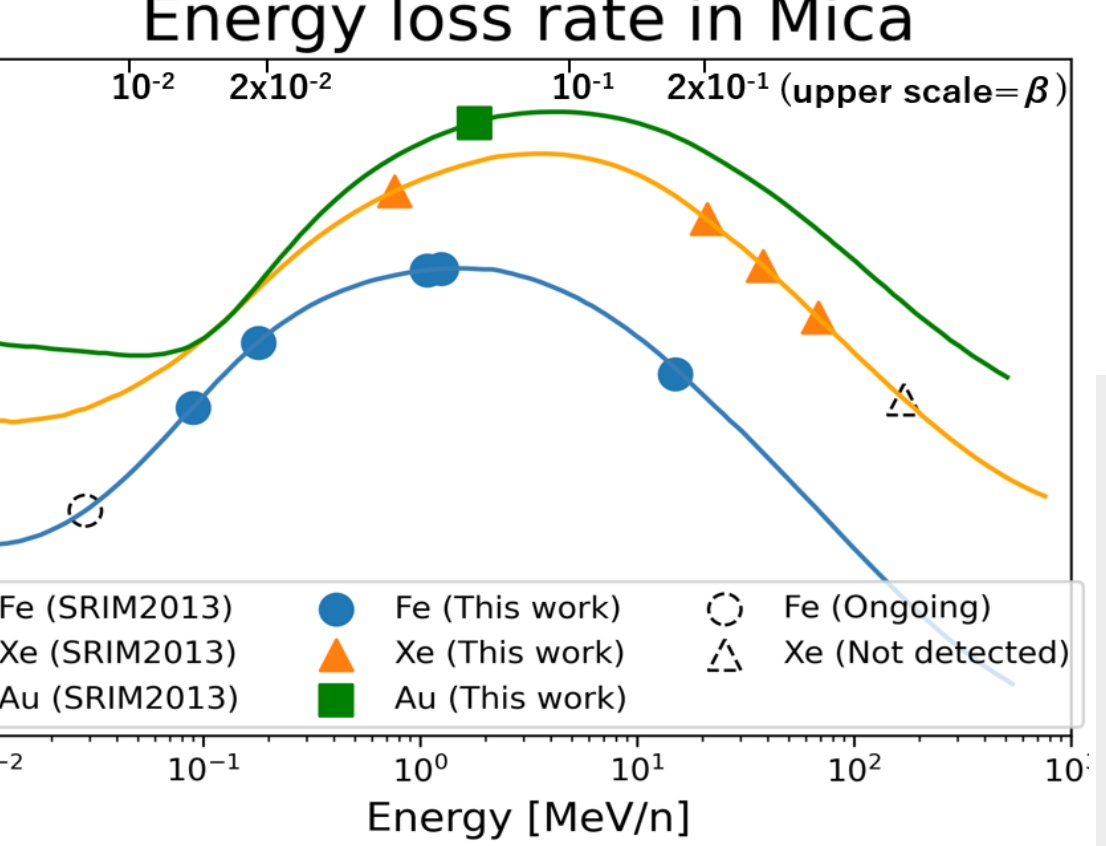
3. Results

各照射で得た飛跡画像



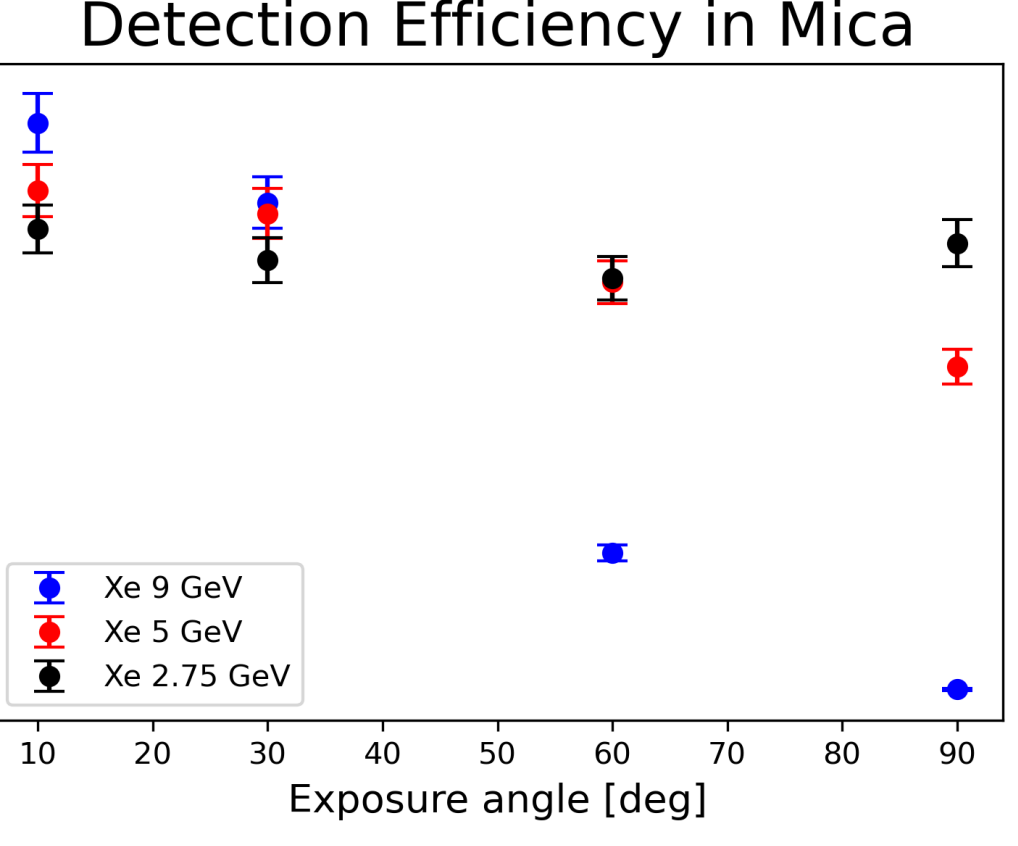
照射により形成された様々エネルギーおよび入射角度における飛跡の画像。線状の飛跡がion beamによるもので、点状に見えるものは白雲母に含有されるウランの崩壊によって生じる α -recoil trackと呼ばれるバックグラウンド。貫通する程長い飛跡となることが予想されるCharged Q-ballの探索時における参考画像として用いる。

本研究の照射エネルギーと阻止能



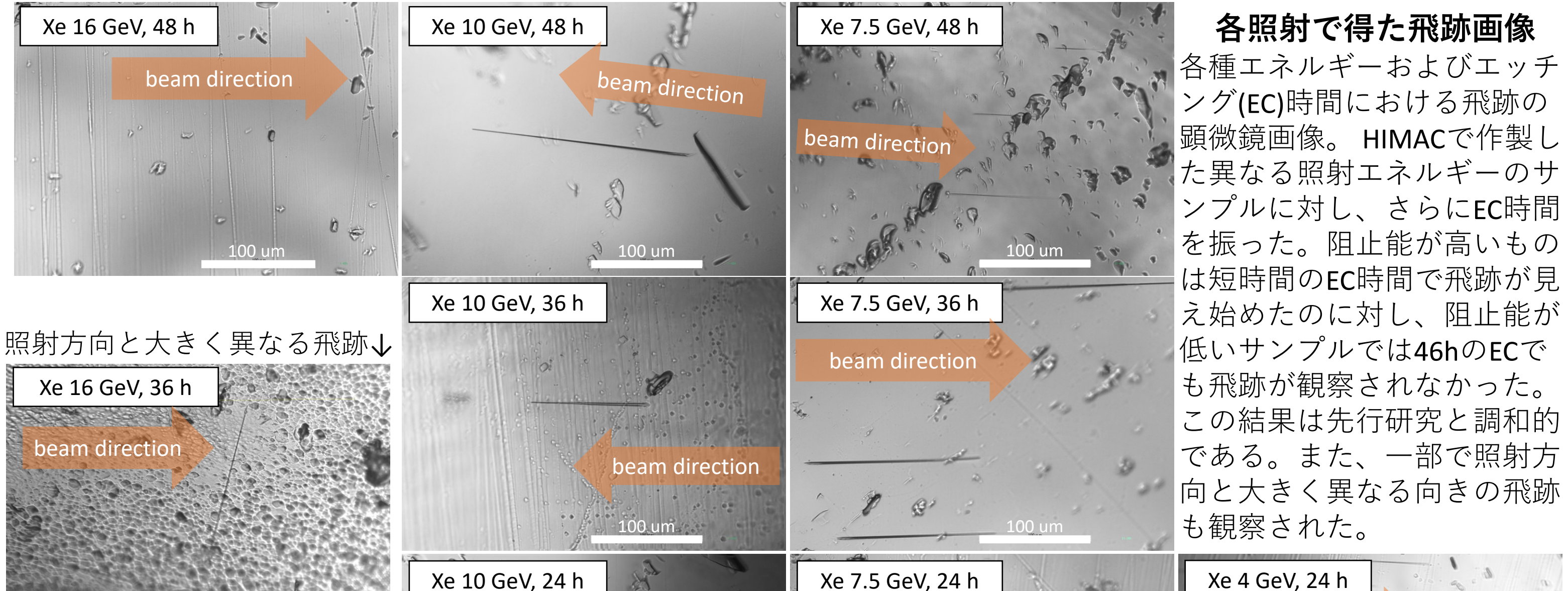
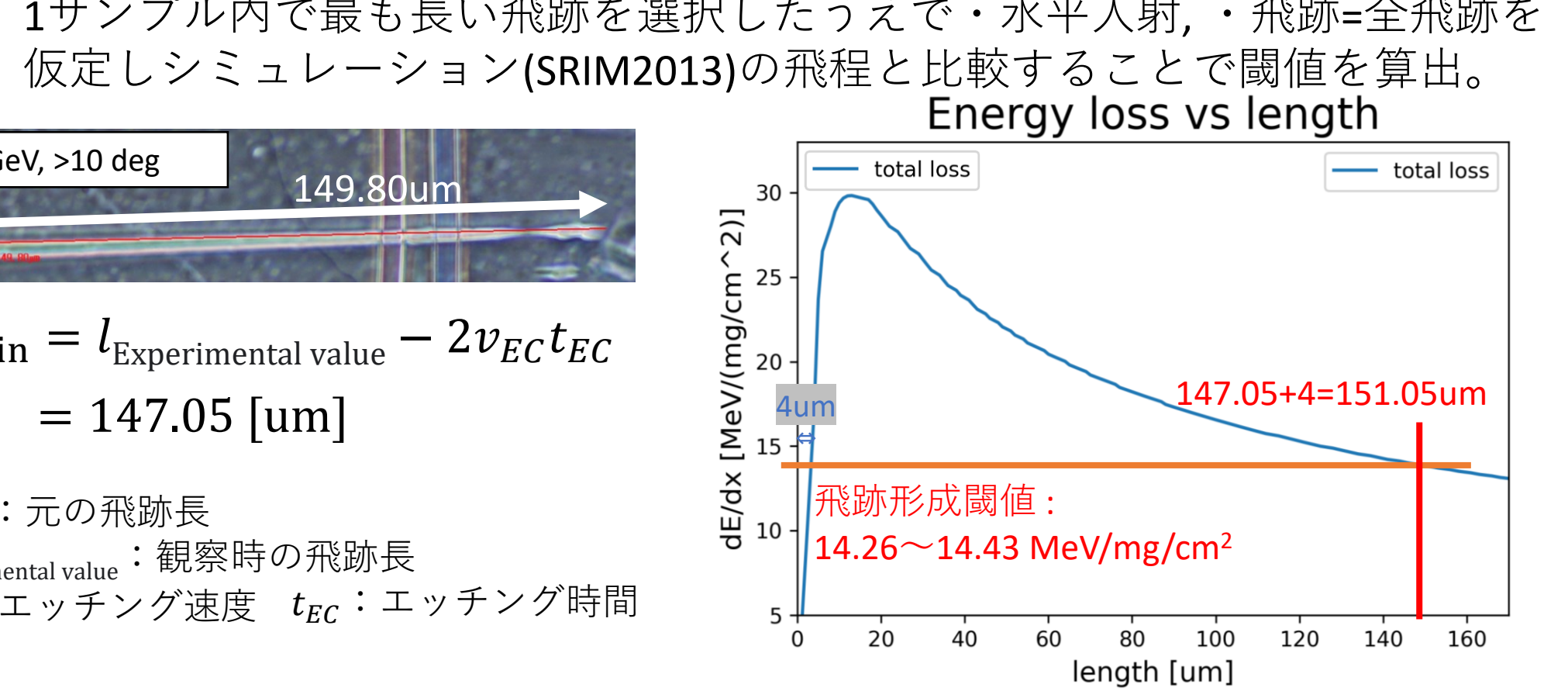
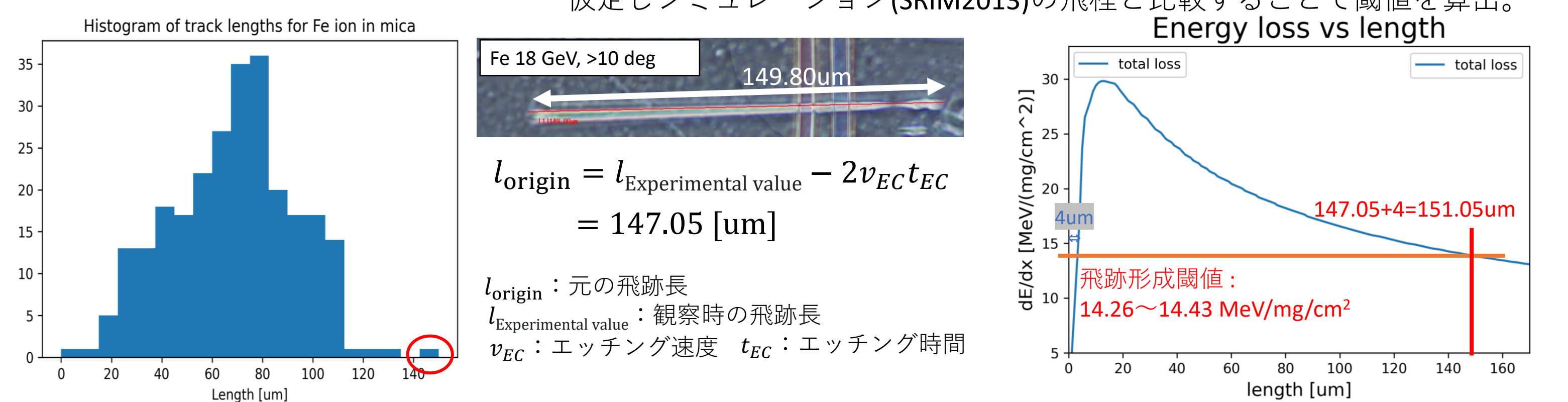
本研究の照射実績。これまでは高エネルギー領域のキャリブレーションを中心にやってきた。

高エネルギー領域の飛跡形成効率



飛跡形成効率(Efficiency)=飛跡量/照射量。高エネルギー領域では飛跡形成効率の角度依存性が見られた。

高エネルギー領域の飛跡形成閾値算出



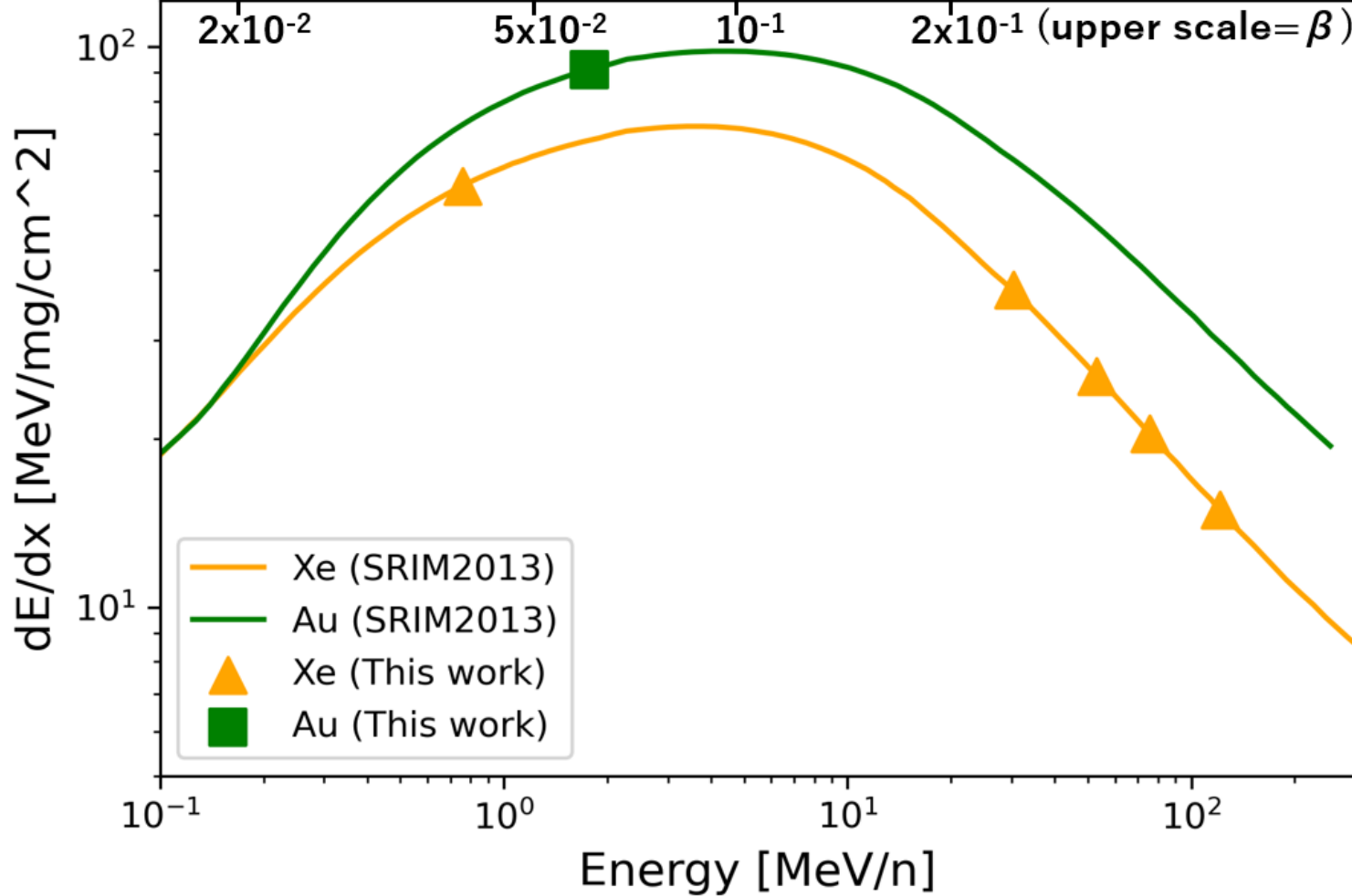
各照射で得た飛跡画像

各種エネルギーおよびエッチング(EC)時間における飛跡の顕微鏡画像。HIMACで作製した異なる照射エネルギーのサンプルに対し、さらにEC時間を振った。阻止能が高いものは短時間のEC時間で飛跡が見え始めたのに対し、阻止能が低いサンプルでは46hのECでも飛跡が観察されなかった。この結果は先行研究と調和的である。また、一部で照射方向と大きく異なる向きの飛跡も観察された。

カンラン石の照射実績。

エッチングなどのハンドリング確立後、先行研究の飛跡形成閾値の検証を行った。

Energy loss rate in Olivine



4. Summary & Prospects

- ✓ 様々な飛跡画像、特にQ-ballで想定される、サンプルを貫通する飛跡等を取得
- ✓ 高エネルギー領域で飛跡形成効率の角度依存性を確認
- ✓ 高エネルギー領域における飛跡形成閾値を算出
→限定的であるがQ-ball探索を行うためのデータセットが揃った。
- ✓ QTSはハード面を仕上げて夏頃スキャン開始を目指す
- ✓ 飛跡が残ることを確認
- ✓ エッチング手法の検証完了
- ✓ 飛跡がエッチング時間に応じ成長することを確認
- 高エネルギー領域の校正が完了したため、低エネルギー領域の校正(以下)を開始する。
 - ・低エネルギー領域の飛跡形成閾値
 - ・低エネルギー領域の飛跡形状
 - ・低エネルギー領域の飛跡光学像これらを明らかにしたうえでQ-ball探索を行い、QTSと組み合わせることにより・探索Limit更新・他の粒子探索への応用を目指す。
- ✓ QTSを用いて大規模な探索ができる可能性
- ✓ 今後のサンプルリターンミッションにおいて粒子探索が出来る可能性