

# Nuclear Emulsion for WIMP Search – directional measurement

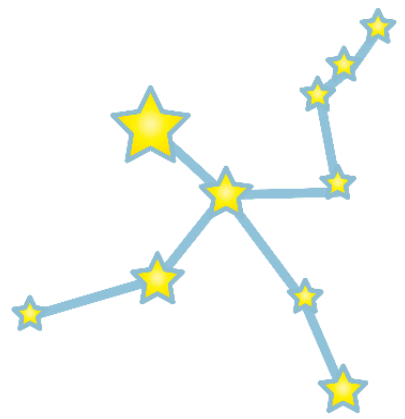
## NEWSdm実験の実験概要と現状について

東邦大学  
佐伯加奈

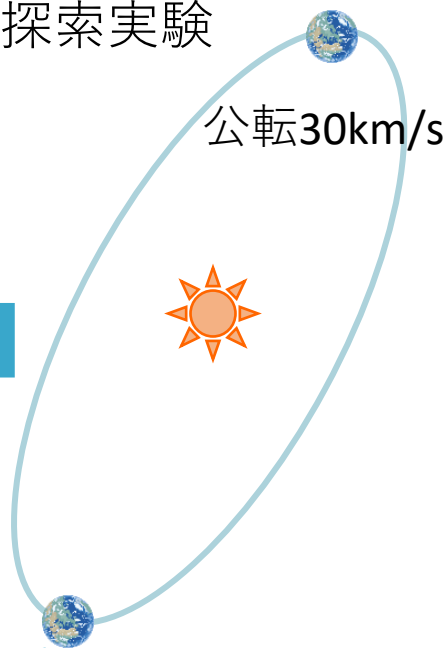


		
		
Bari GSSI LNGS Napoli Roma	LPI RAS Moscow JINR Dubna SINP MSU Moscow INR Moscow Yandex School of Data Analysis	Gyeongsang

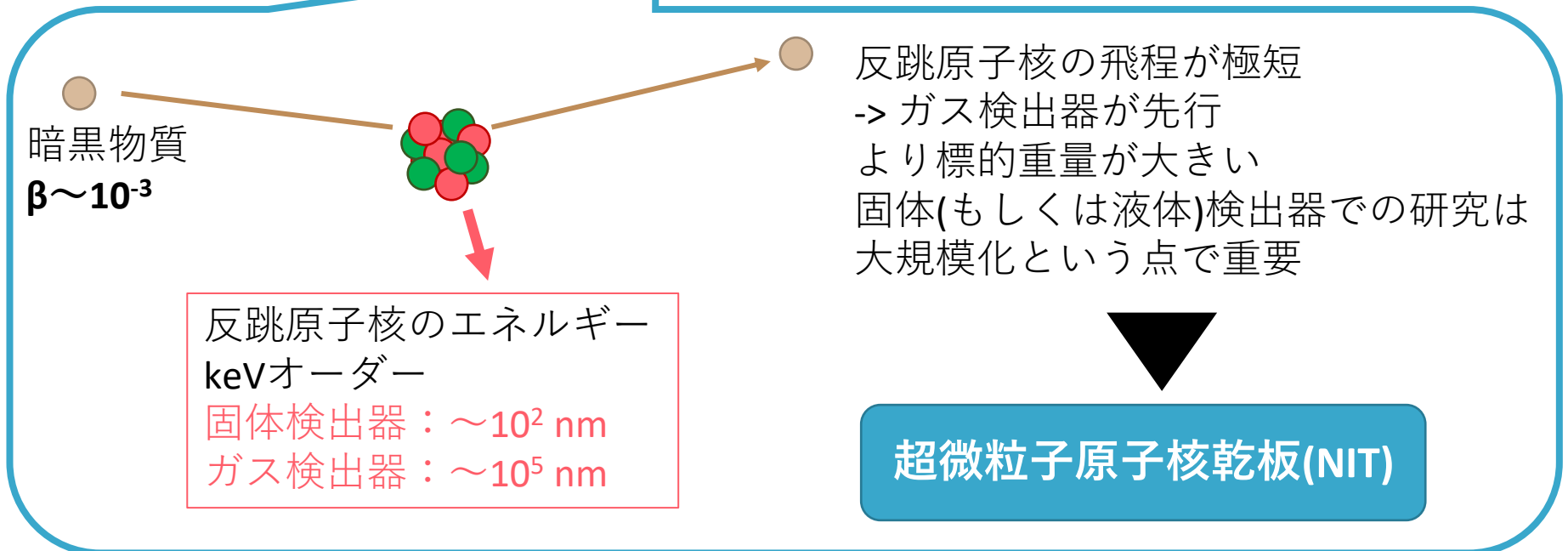
# 方向感度を持った暗黒物質直接探索実験



← 230km/s



<NITの利点>  
①BG源となるsub-MeV帯の中性子の測定を反跳陽子測定により精度良く評価できる  
②標的に重い原子核と軽い原子核を含む



暗黒物質  
 $\beta \sim 10^{-3}$

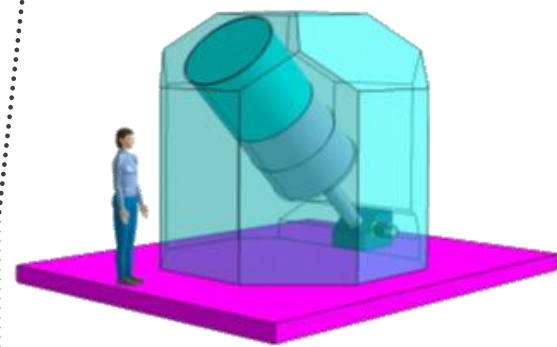
反跳原子核のエネルギー  
keVオーダー  
固体検出器： $\sim 10^2$  nm  
ガス検出器： $\sim 10^5$  nm

反跳原子核の飛程が極短  
-> ガス検出器が先行  
より標的の重量が大きい  
固体(もしくは液体)検出器での研究は  
大規模化という点で重要

**超微粒子原子核乾板(NIT)**

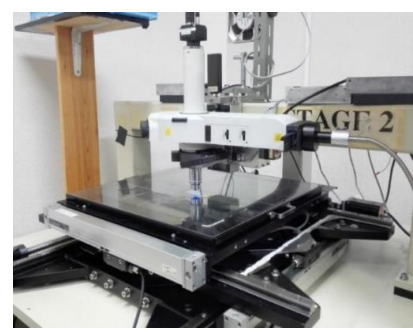
### デバイスの独自開発

赤道儀に載せ、白鳥座を追尾

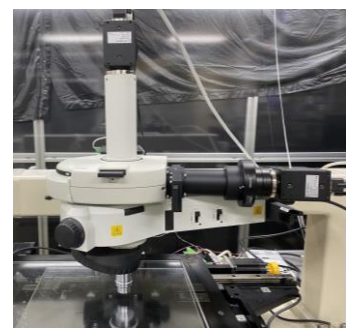


### 現像処理

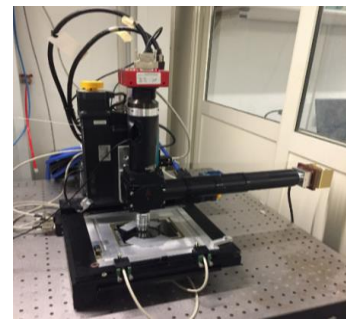
### 読み出し+解析



光学像形状



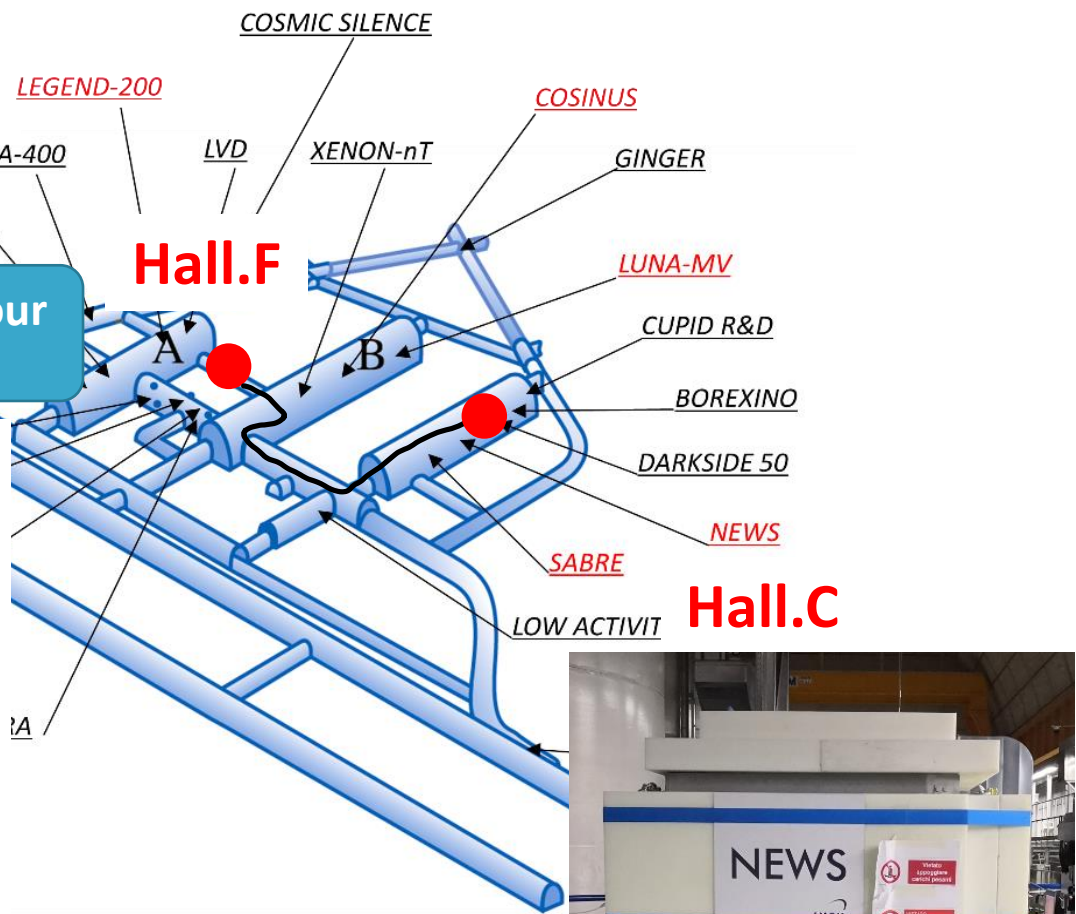
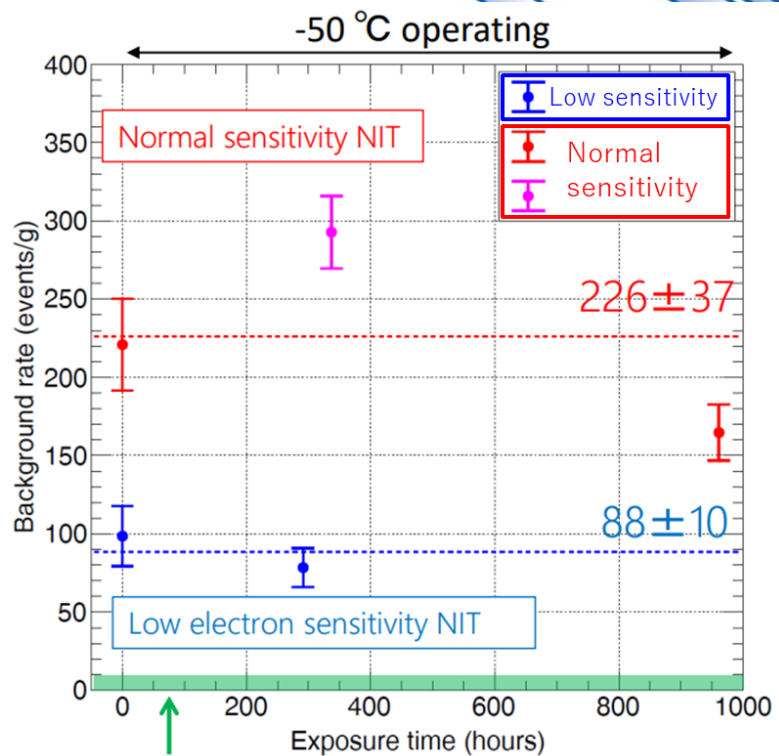
色情報



偏向情報

# LNGSにおける背景事象量評価

NIT製造 : ~100g /production /4 hour  
 現像処理



Shielded run

環境BG源      遮蔽力(simulation)

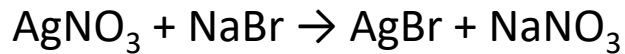
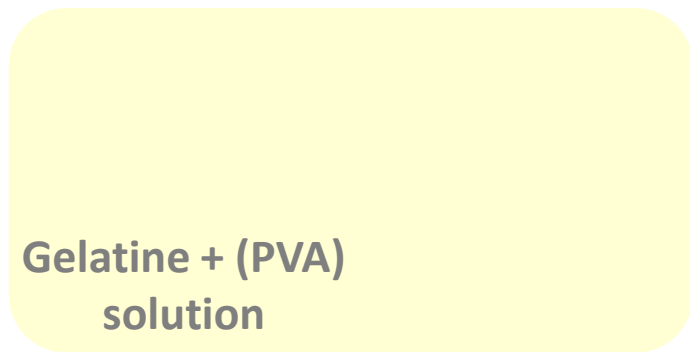
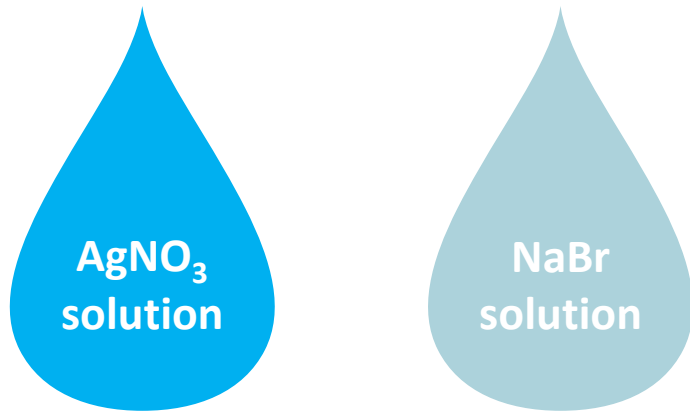
環境γ線      < 10<sup>-3</sup>

環境中性子      < 4.7 x 10<sup>-2</sup> (90 % C.L.)

鉛 : 5.6cm  
 ポリエチレン : 31.5cm



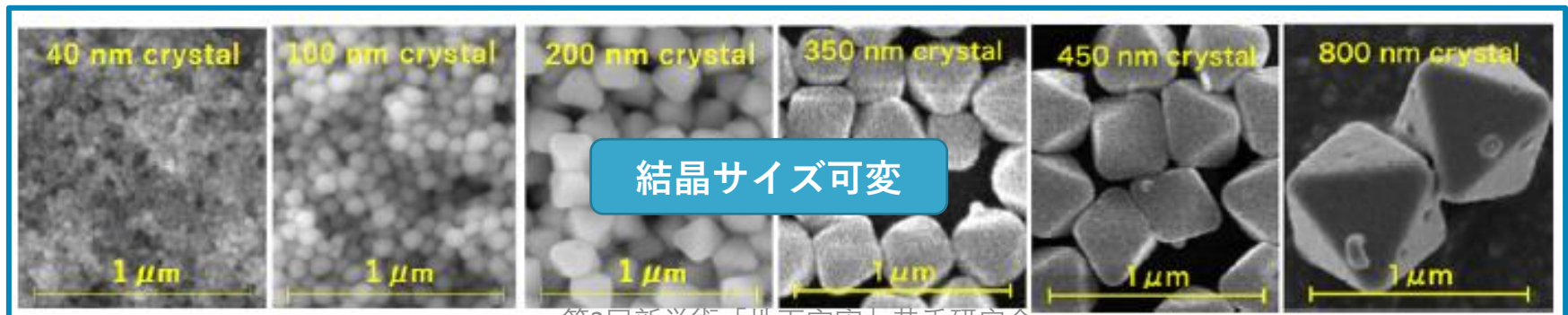
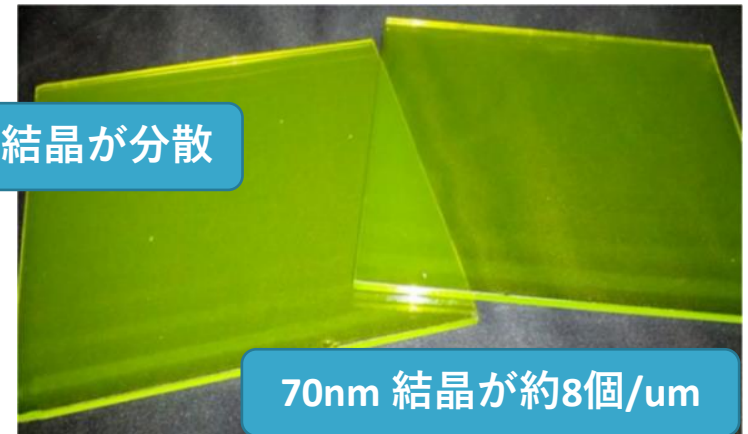
# 原子核乾板



Element	Atomic fraction [%]
Ag	8.4
Br heavier DM	8.1
I	0.3
C	22.7
N Main target	5.2
O	12.5
H Neutron Boosted DM	42.8

ゼラチン中に結晶が分散

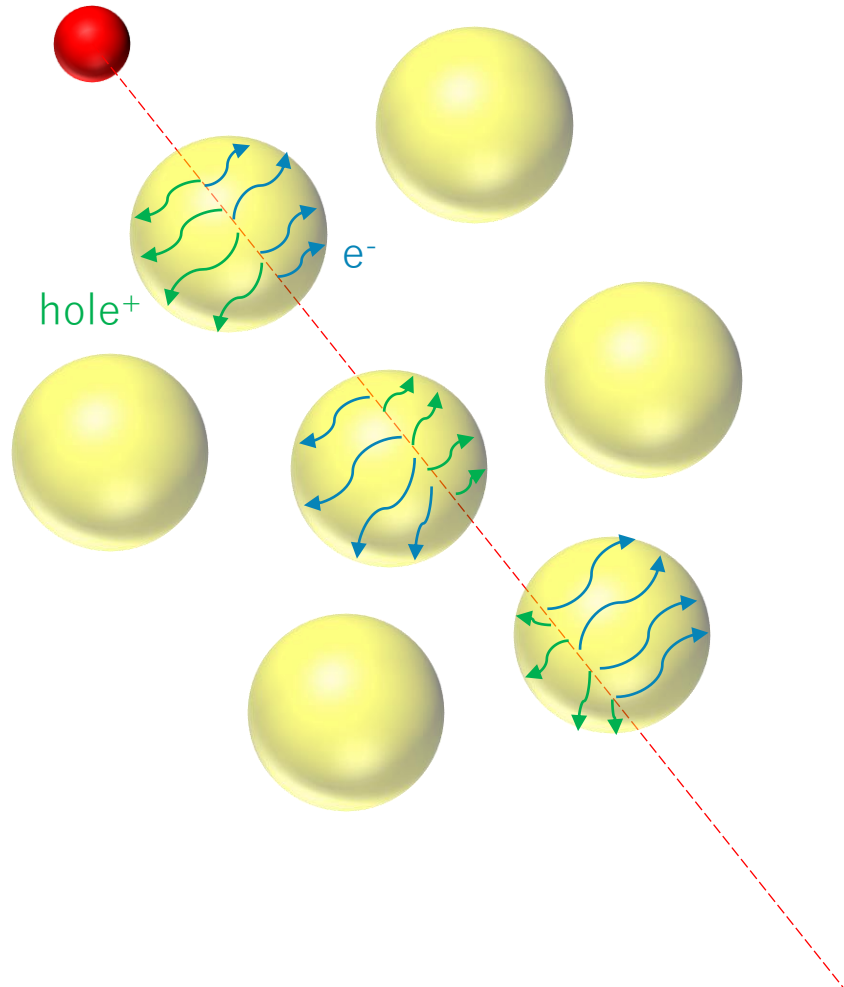
NIT→



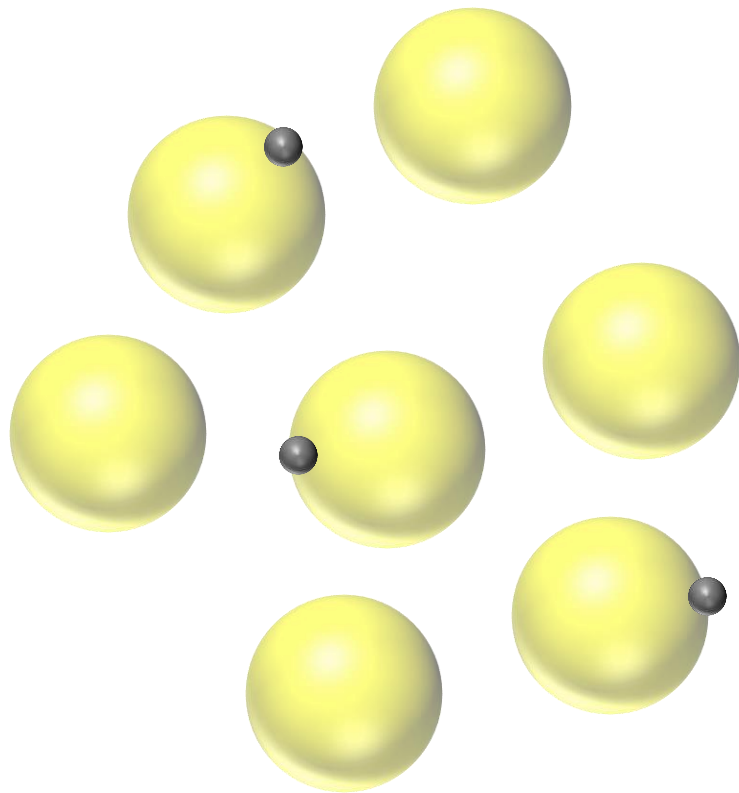
# 飛跡検出原理

電離作用->励起電子生成  
励起電子数  $\propto dE/dx$

荷電粒子



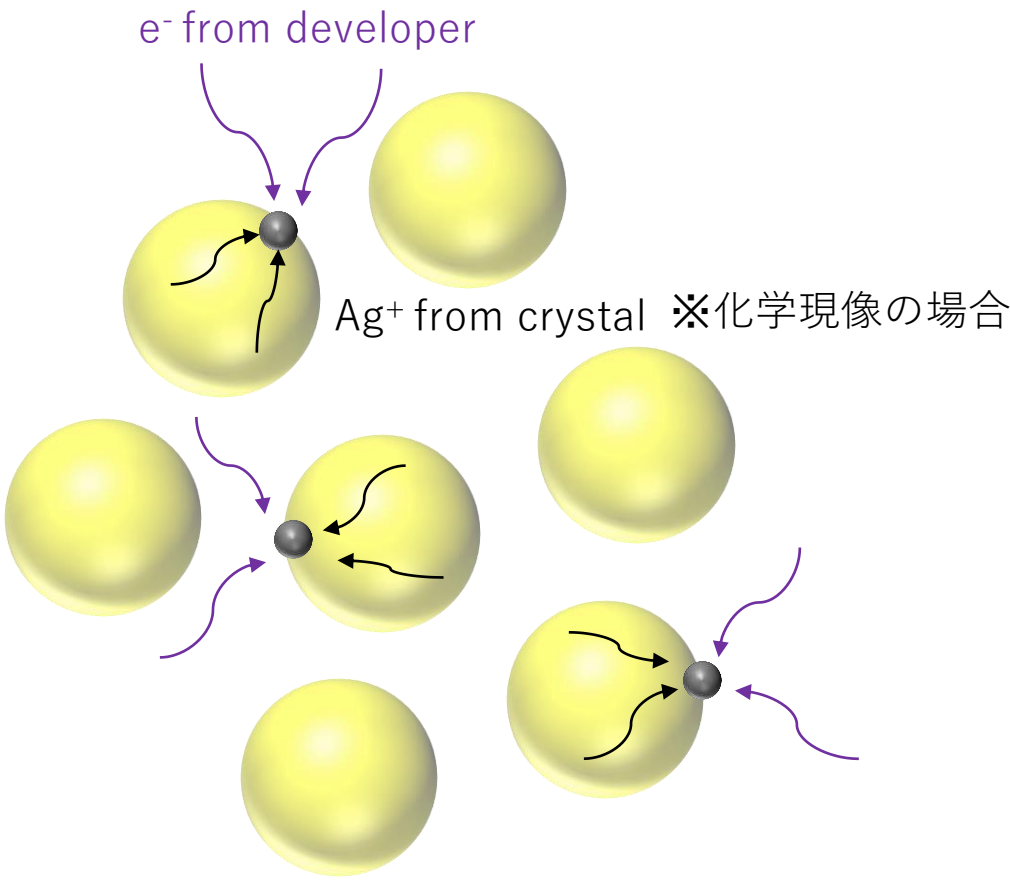
# 飛跡検出原理



電離作用->励起電子生成  
励起電子数  $\propto dE/dx$

励起電子捕獲  
格子間銀イオンと結合  
銀原子が生じる

# 飛跡検出原理



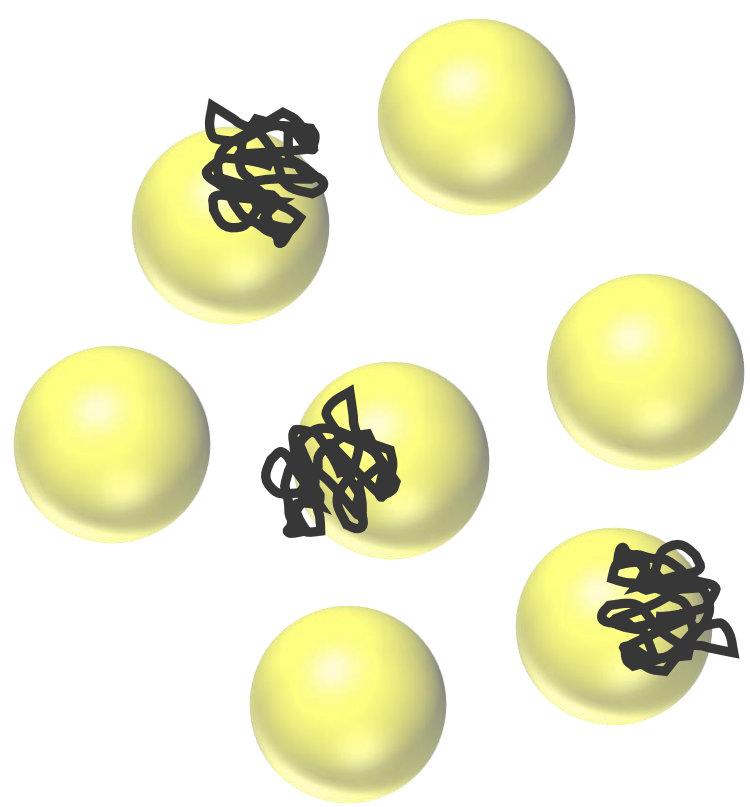
電離作用->励起電子生成  
励起電子数  $\propto dE/dx$

励起電子捕獲  
格子間銀イオンと結合  
銀原子が生じる

現像処理によって、電子が供給  
可視サイズのフィラメント状に成長



# 飛跡検出原理

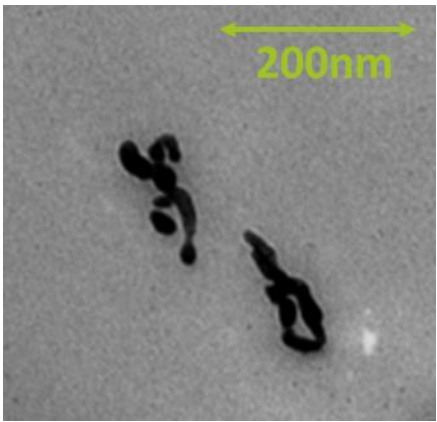


電離作用->励起電子生成  
励起電子数  $\propto dE/dx$

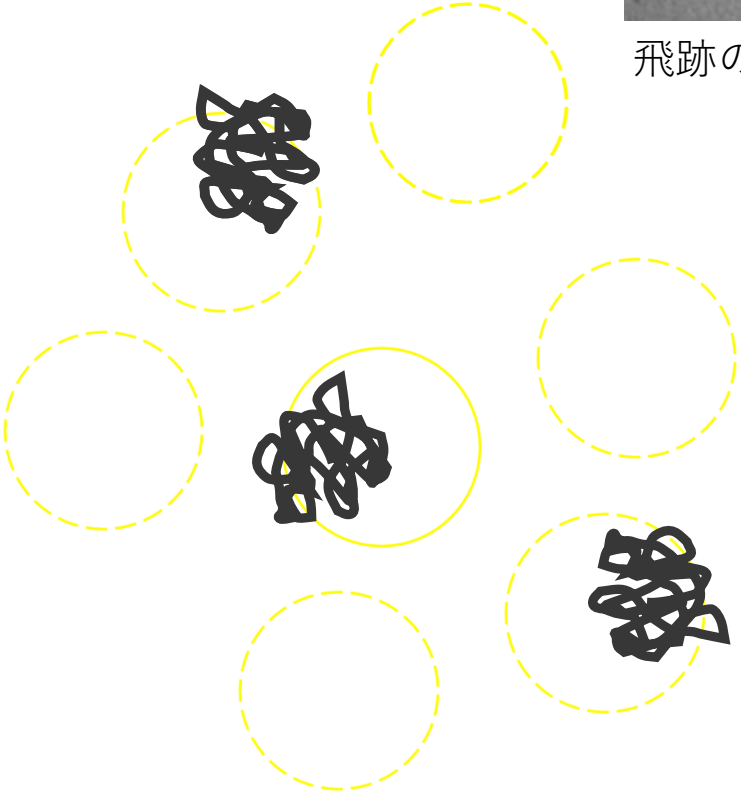
励起電子捕獲  
格子間銀イオンと結合  
銀原子が生じる

現像処理によって、電子が供給  
可視サイズのフィラメント状に成長

# 飛跡検出原理



飛跡の銀フィラメント  
(SEM画像)



電離作用->励起電子生成  
励起電子数  $\propto dE/dx$

励起電子捕獲  
格子間銀イオンと結合  
銀原子が生じる

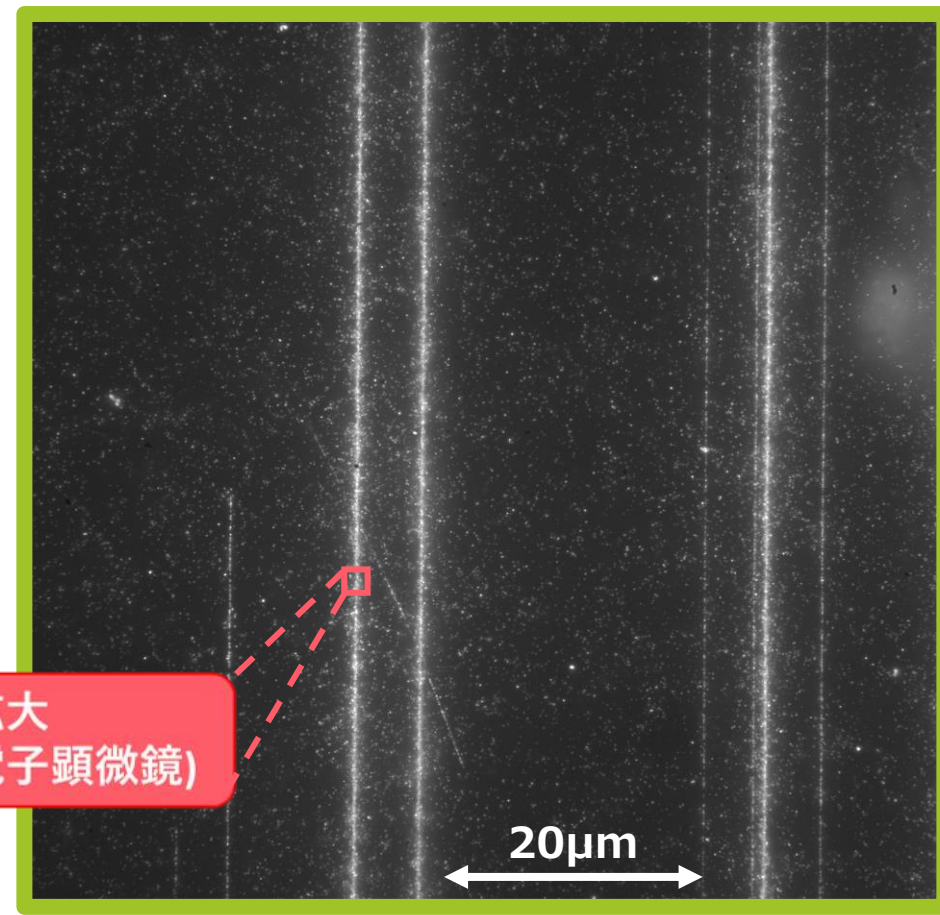
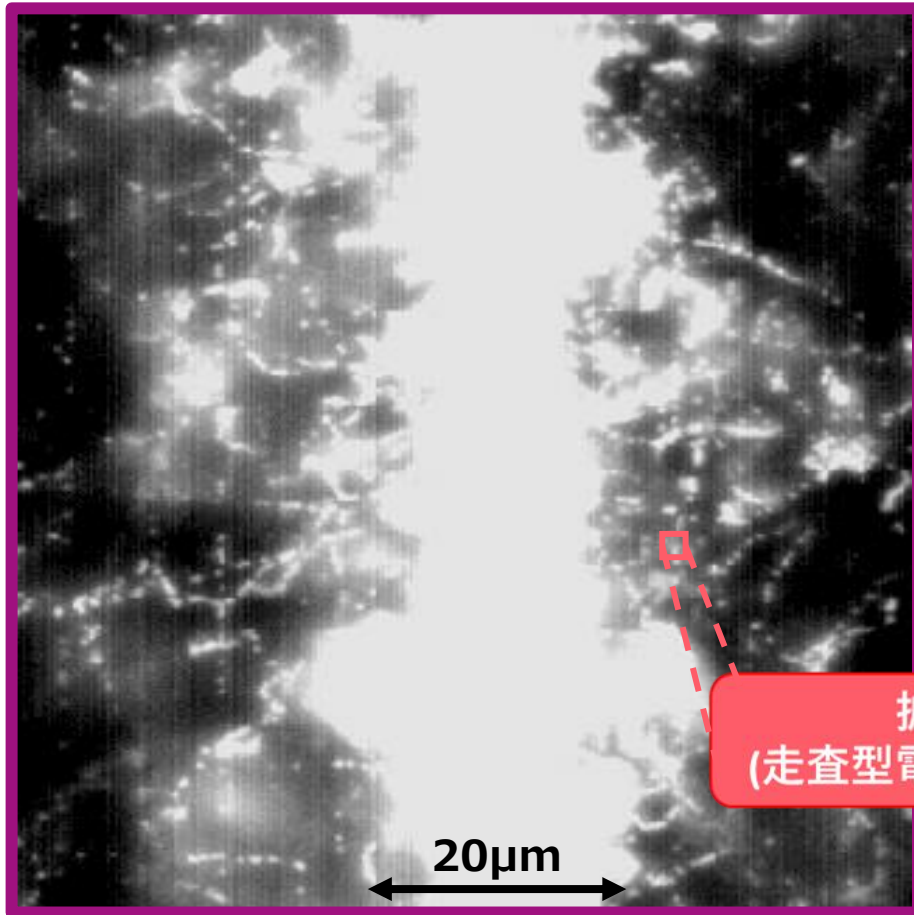
現像処理によって、電子が供給  
可視サイズのフィラメント状に成長

定着処理によって、結晶は溶解  
銀フィラメントのみが残る  
現像銀の連なりが飛跡として観察可

# 従来の原子核乾板と超微粒子原子核乾板NITの飛跡の比較(Pb 150GeV/n)

従来(200nm, 2個/um)

NIT(70nm, 8個/um)



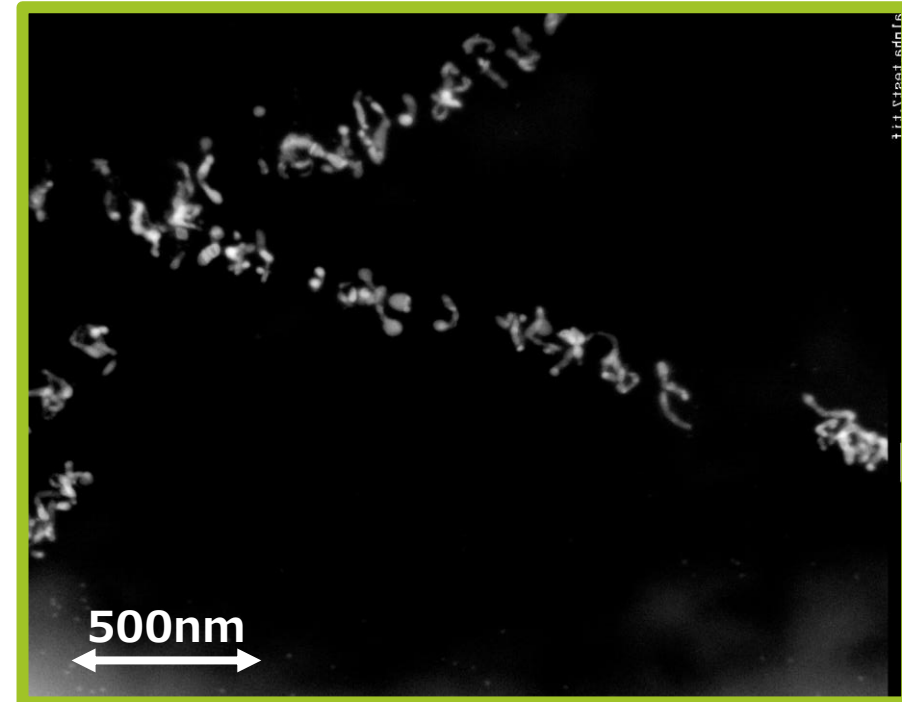
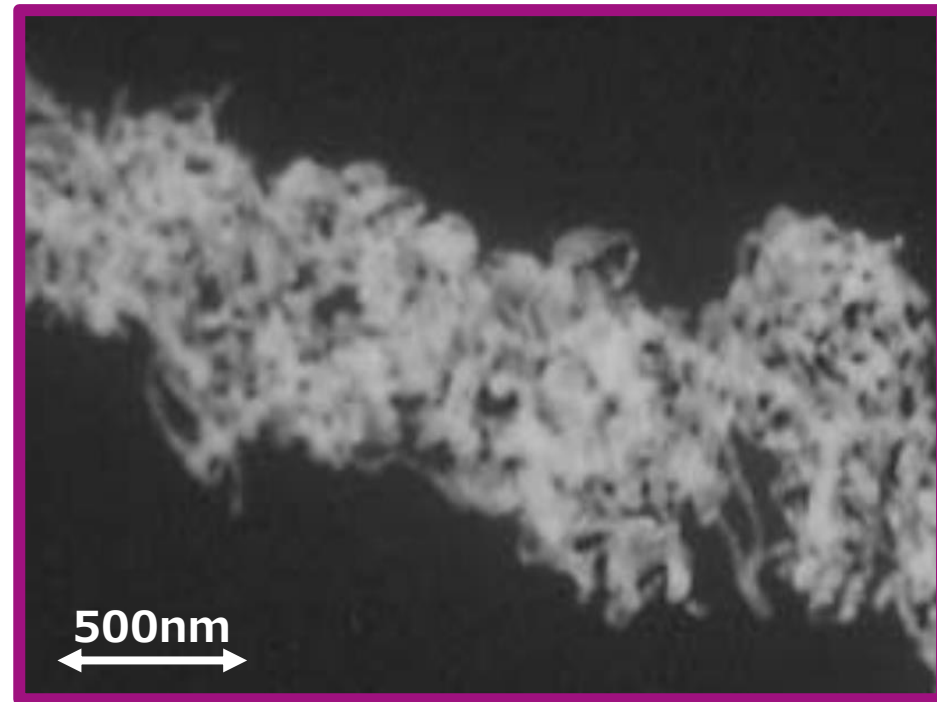
拡大  
(走査型電子顕微鏡)

落射型光学顕微鏡画像

# 従来の原子核乾板と超微粒子原子核乾板NITの銀フィラメントの比較

従来(200nm, 2個/um)

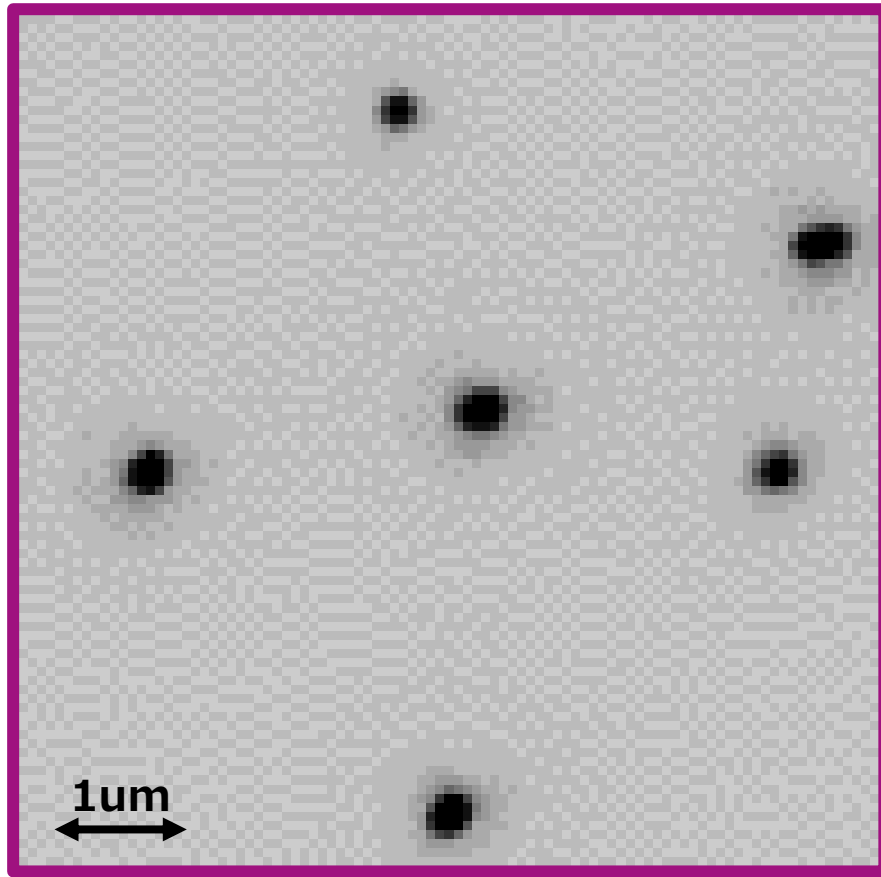
NIT(70nm, 8個/um)



走査型電子顕微鏡画像

# 従来の原子核乾板と超微粒子原子核乾板NITの飛跡の比較(60keV 炭素)

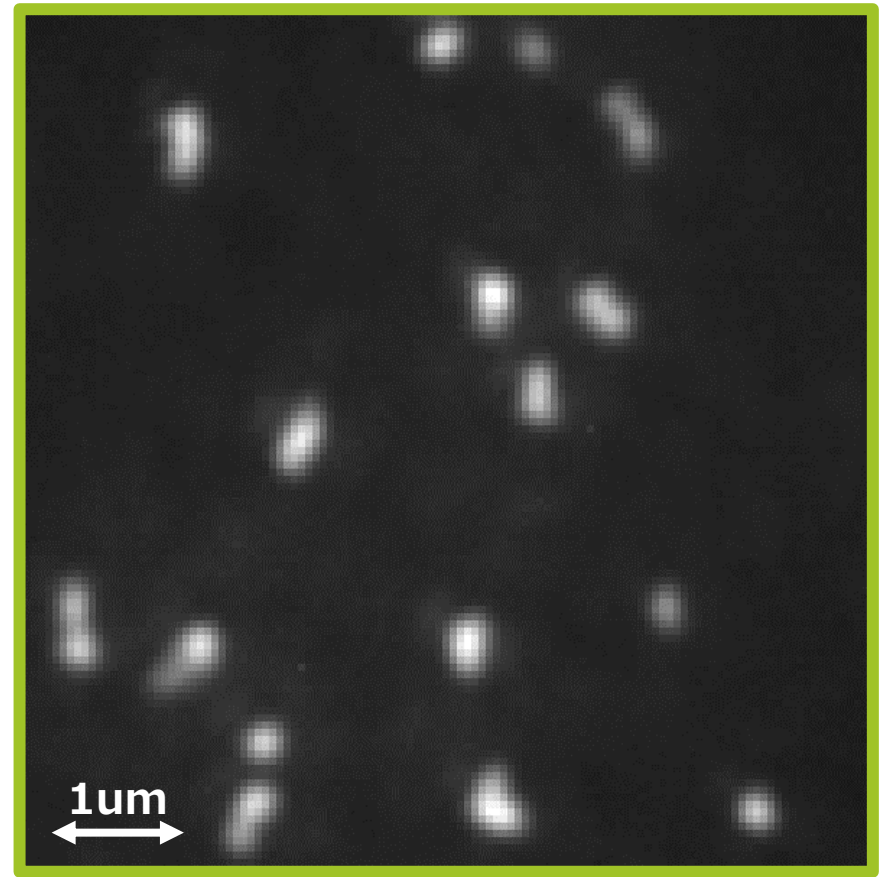
従来(200nm, 2個/um)



透過型光学顕微鏡画像

↓ Ion 10°  
照射

NIT(70nm, 8個/um)



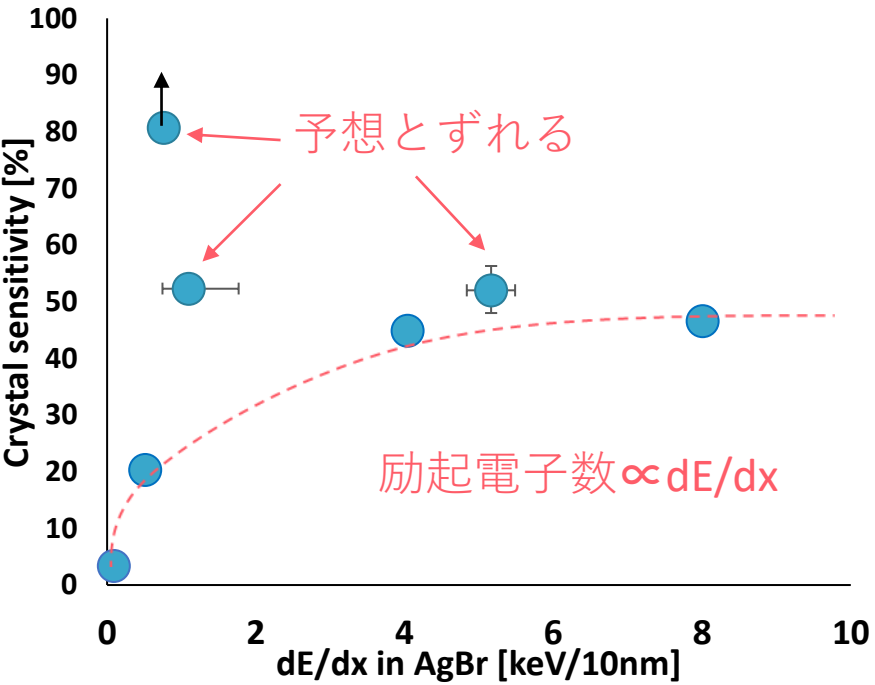
落射型光学顕微鏡画像

原子核乾板の分解能は  
"結晶サイズ"と"結晶密度"  
によって決まる

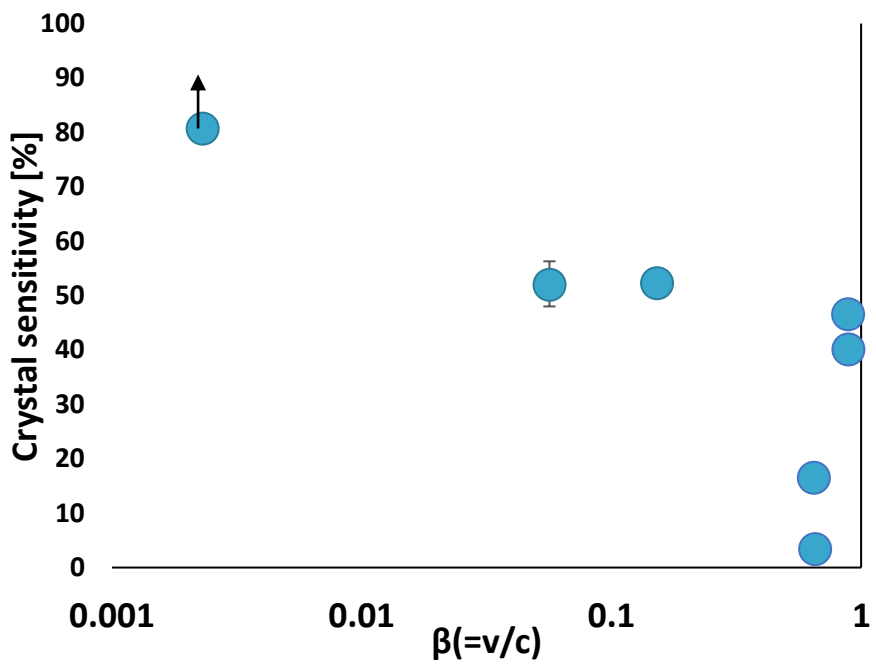
# 暗黒物質探索におけるNIT

シグナル： $\beta \sim 10^{-3}$ 程度の粒子飛跡  
 原子核乾板の感度因子 =  $dE/dx$ の値 としてきた( $\beta \sim 1$ )  
 しかし、 $\beta \sim 10^{-3}$ と $\beta \sim 1$ では阻止能のメカニズムが異なる  
 従来の飛跡検出原理が暗黒物質探索に適用できる？

**dE/dx for Crystal sensitivity**



**$\beta$  for Crystal sensitivity**



低速イオンに対する感度が高い

※結晶感度 = 現像銀数 / 貫通した結晶数



高分解能の飛跡読み取りかつ高速解析

光学分解能以下の情報をどのように取り出すか

1

sub-um 長飛跡の  
"高精度"かつ"高速"  
な全自動読み取り

2

プラズモン共鳴を  
応用した色解析  
現像銀の大きさから  
dE/dxを評価

3

プラズモン共鳴を  
応用した偏光解析  
隣り合った現像銀を分離

# 飛跡自動読み取り装置

<コンセプト>

sub-um 長の飛跡の

”高精度”かつ”高速”な自動読み取り

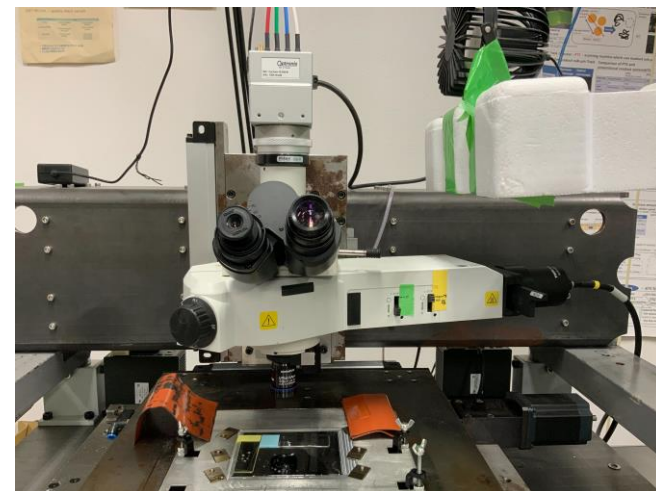
<性能>

落射型顕微鏡

光学分解能 : 191nm(理論値)

pixel分解能 : 55 x 55 nm

最大読み取り速度 : 105 g/ year

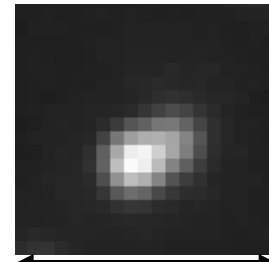


## 楕円形状解析

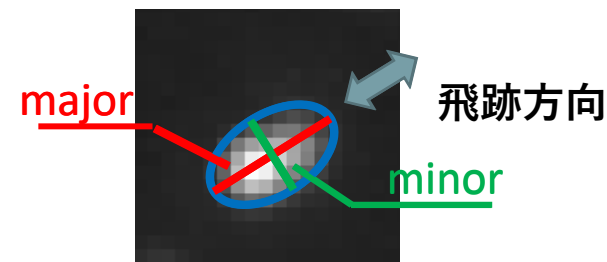
光学像の形状から飛跡らしさを取得

$$\text{楕円率} = \frac{\text{major}}{\text{minor}}$$

100 keV C ion



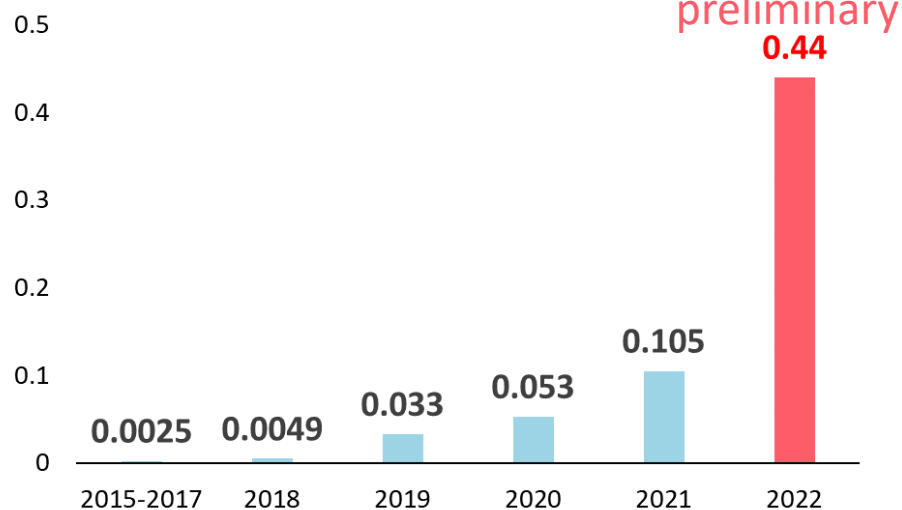
1 um



M. Kimura and T. Naka, NIM A, **680** (2012) 12-17  
A. Umemoto et al, PTEP, 2020, **10**, 103H02(2020)

+ CNNを用いた事象選別  
+ Manual Check

PTS3での最大読み取り速度 [kg/year]



## 色解析

<コンセプト>

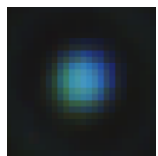
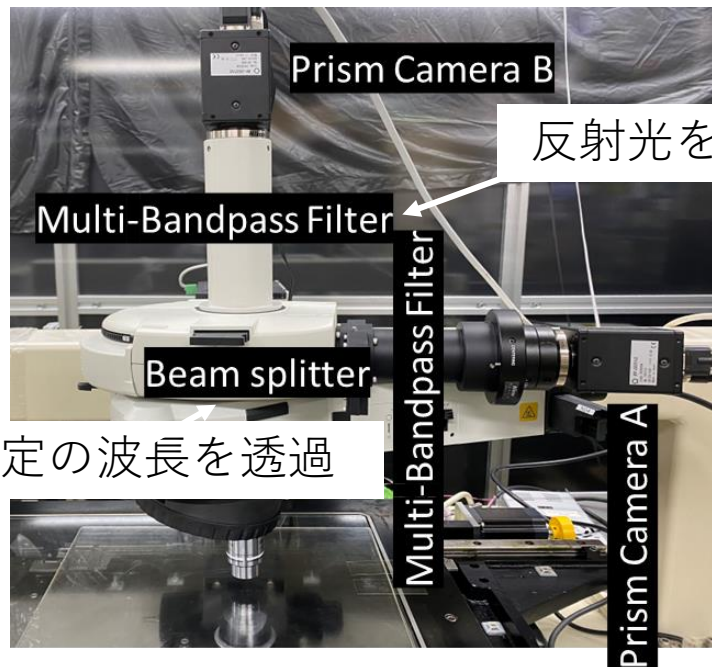
局在表面プラズモン共鳴を応用

色→現像銀の大きさ→ $dE/dx$ を評価

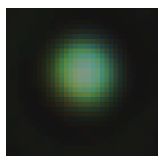
→粒子識別やノイズ識別において有用

<性能>

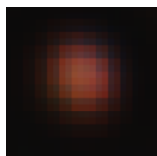
重なりが少ない**6波長**で同時撮像可



40nm



80nm



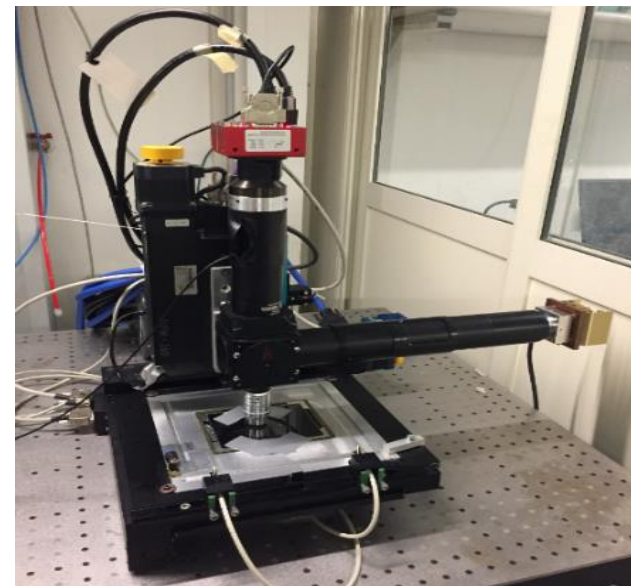
120nm

## 偏光解析

<コンセプト>

局在表面プラズモン共鳴を応用

光学分解能以下で隣り合った現像銀を分離することで分解能上昇



分解能\* :  $4.7 \pm 0.1\text{nm}$

100keV 炭素イオンの角度分解能\* :  $17 \pm 2^\circ$

\*A. Umemoto, T. Naka, A. Alexandrov and M. Yoshimoto, PTEP 2019, 013D02(2019)

## まとめ

NEWSdm実験とは、  
固体飛跡検出器、超微粒子原子核乾板(NIT)を使用した暗黒物質の方向探索実験  
現在は、背景事象量評価と結果の理解を進めている

NITは分解能を決定する結晶サイズを  
従来の200nmから70nmへ微粒子化した超微粒子原子核乾板

NITは速度が小さい粒子に対して高い感度を示す

暗黒物質による反跳原子核の飛跡は数100nm程度と極短なため、  
光学分解能以下の解析技術が求められる

NITに記録される飛跡はフィラメント構造を持った銀粒子で構成されるという特有な情報を取り出すかが重要

そこで、

- ①高速・高分解能の飛跡自動読み取り装置
- ②表面プラズモン共鳴を応用した色解析と偏光解析  
開発中