

Fundamental Particle Physics Lab.

Division of Particle and Astrophysical Sciences

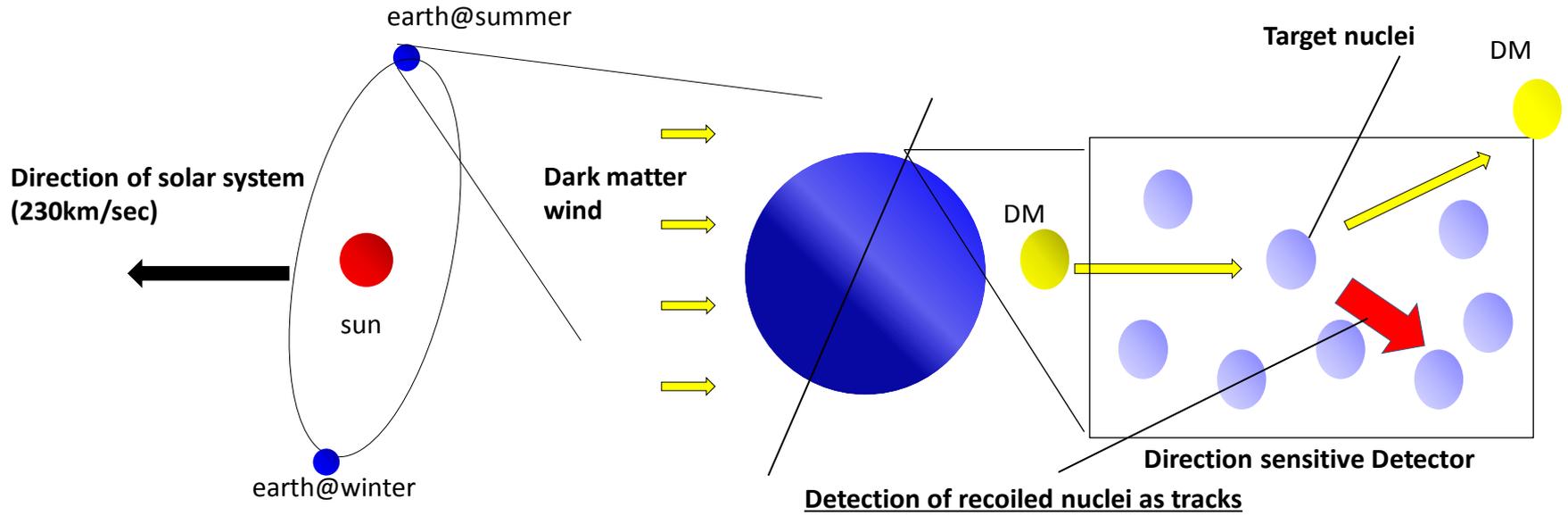
School of Science of Nagoya University

NIT (Nano Imaging Tracker) による 暗黒物質探索実験

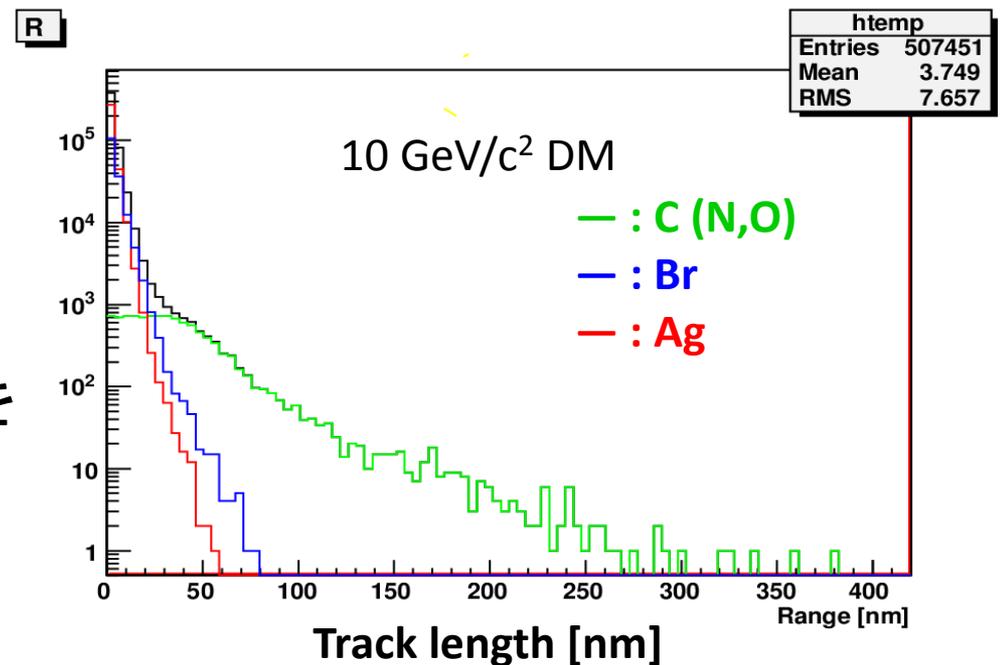
中 竜大
名古屋大学

極低バックグラウンド懇談会 2013年4月23-24日, 富山

Directional Dark Matter Search with Nuclear Emulsion

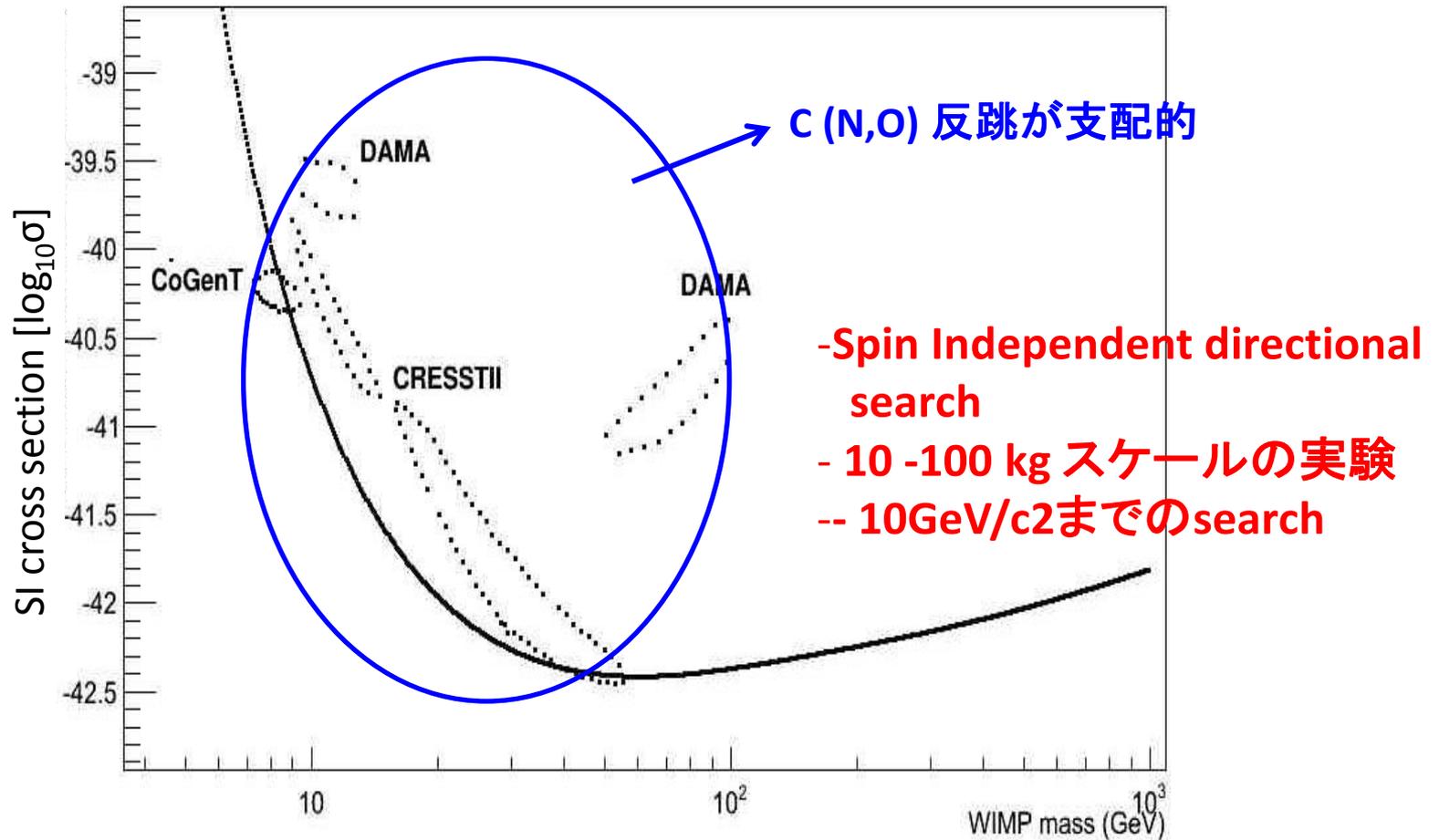


- 時間分解能がない
⇒ 白鳥座方向を赤道儀を使って追尾
- 400 nm以下の飛跡認識が必要
⇒ 超微粒子の高分解能原子核乾板を独自開発



Ideal sensitivity of emulsion detector

SI limit [25 kg·year R>125 nm], 90% C.L.



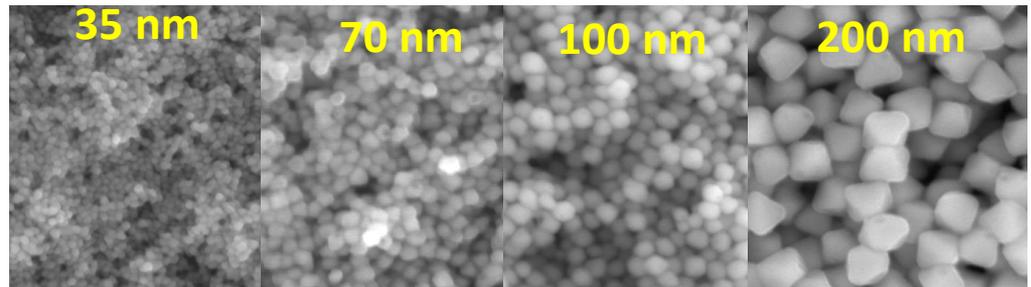
We already have experience of 100-1000 kg emulsion detector.
(e.g. DONUT, CHORUS experiment)

Detector Production

Production ability : ~ 2 kg emulsion detector / week

Self production and R&D in Nagoya University, Japan from Apr., 2010

結晶サイズが飛跡検出の分解能に多く依存する



Pouring on base

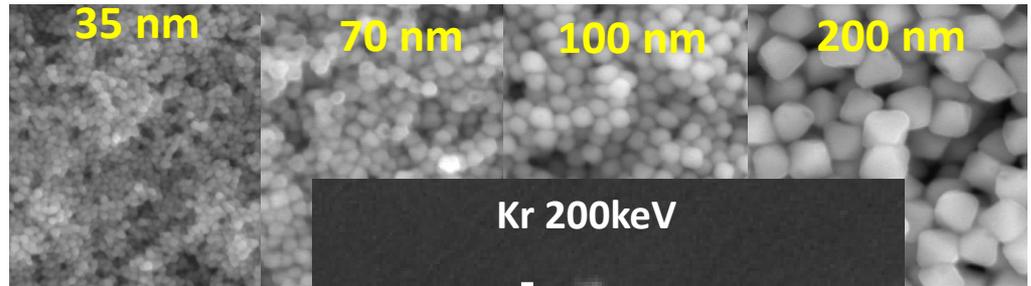


Detector Production

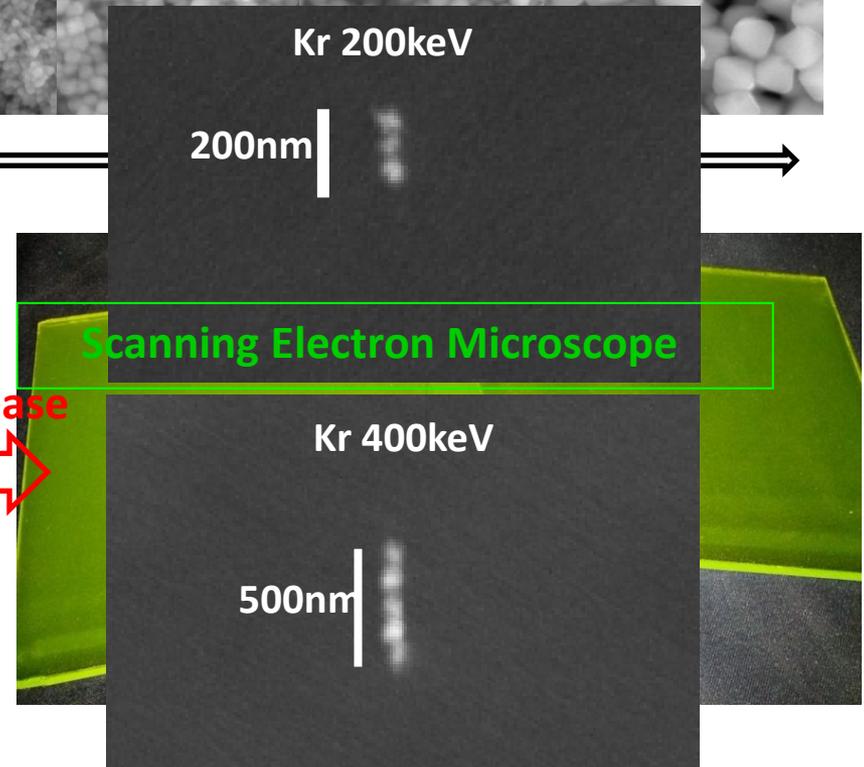
Production ability : ~ 2 kg emulsion detector / week

Self production and R&D in Nagoya University, Japan from Apr., 2010

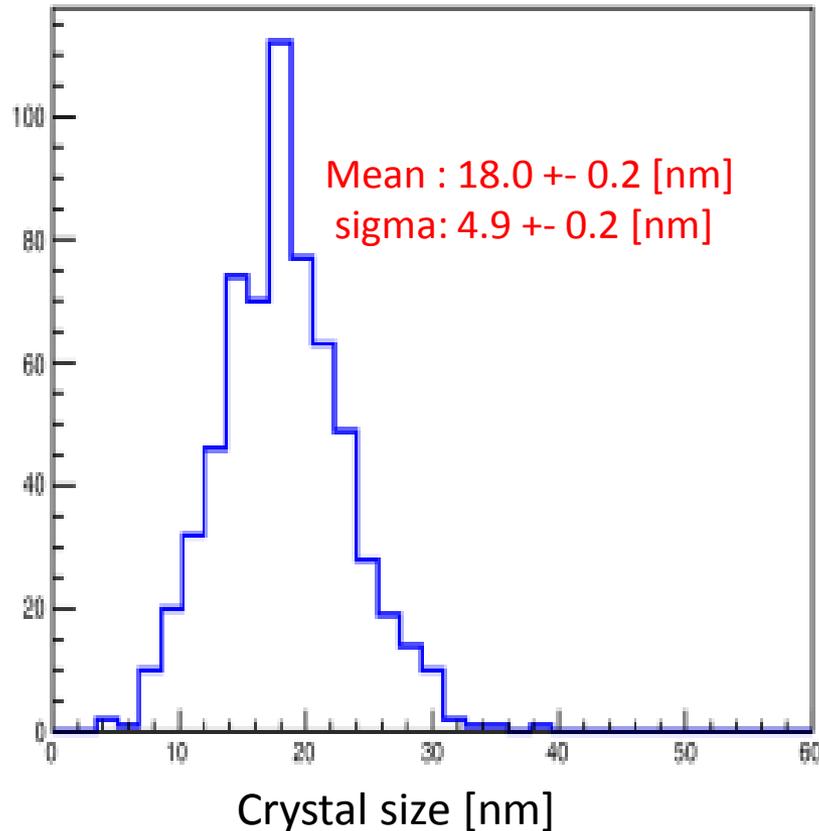
結晶サイズが飛跡検出の分解能に多く依存する



Pouring on base



Minimum crystal size



- PVA (ポリヴィニルアルコール)を用いることで、安定した超微粒子結晶を作ることができる。

-結晶サイズのコントロールの処方は確立。

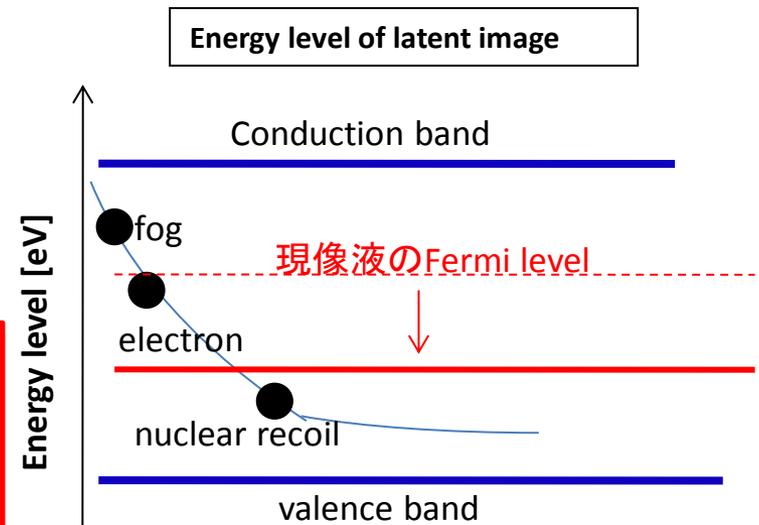
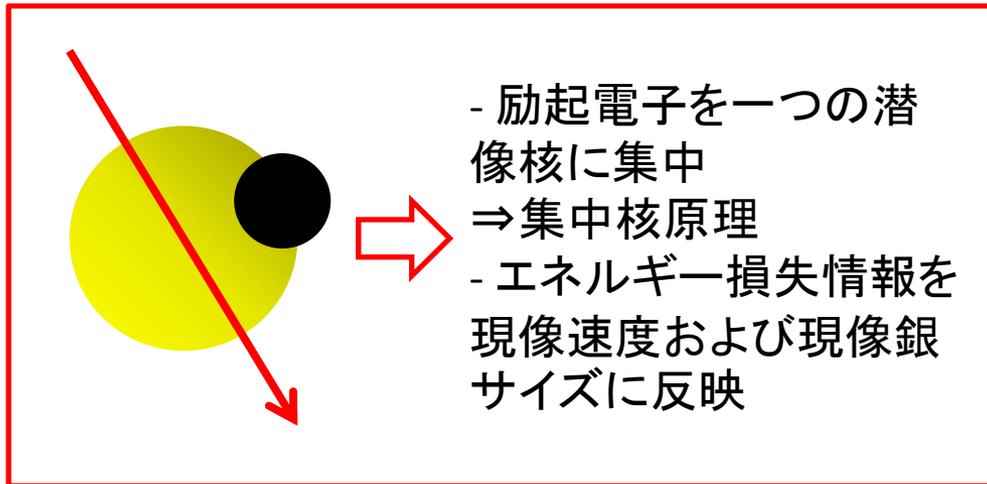
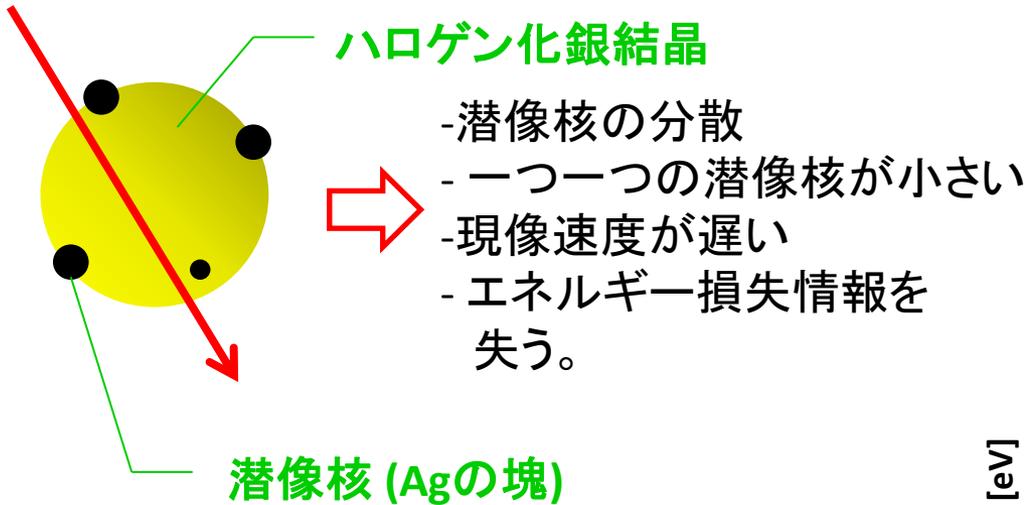


課題

- 超微粒子での感度コントロール技術は、まだ確立できていない。

- 電子-正孔の再結合の抑制
- バンドギャップ操作
- 最適な現像処理処方

現状の技術的課題



- 結晶内へ、深い電子トラップの導入
- 外部から電子トラップになるサイトを形成 (e.g. Au + S 増感) etc

マスプロダクションの展望

1. Current system (phase1) : 2 kg/week
⇒ kgスケールまでの実験は、現在のマシンで対応可能

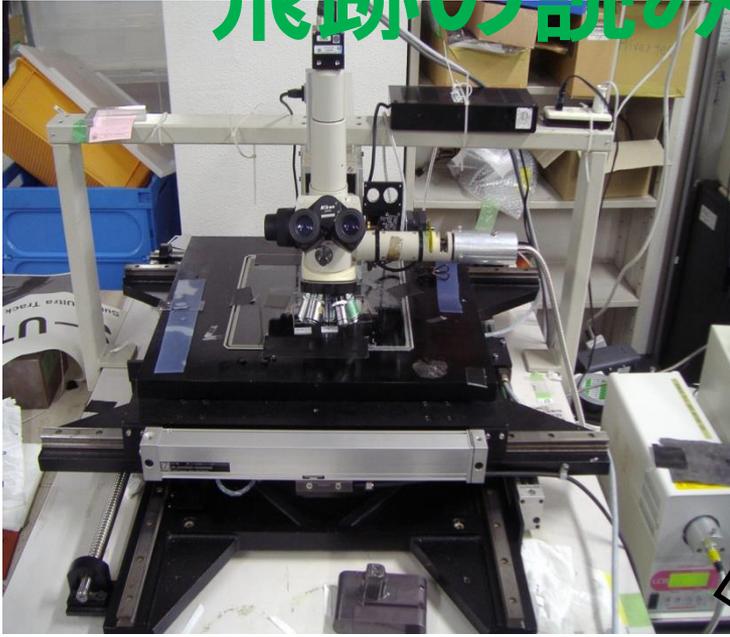
2. Next system (phase2) : 8 kg/week
⇒ ~10kgスケール
⇒ 2013年中に動作試験開始

3. Future plan : phase2のマシンを数台
⇒ 数10-100 kg スケール



製造コスト : ~15万 円/kg
装置 : ~1000万円/facility

飛跡の読み取り・解析システム

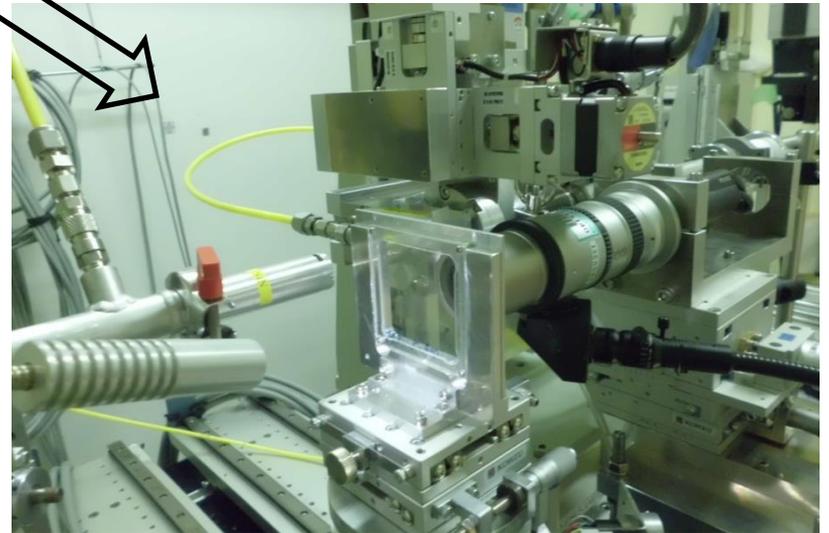


光学読み取りシステム

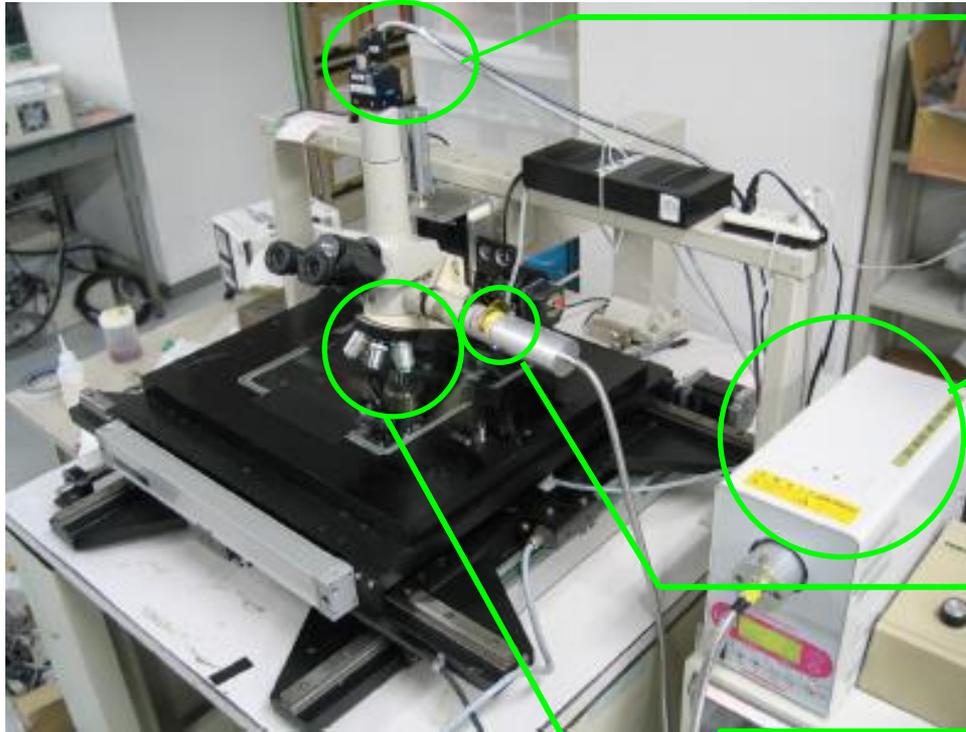
- 大面積の検出器の中からシグナルの候補を選別
- すべての候補の位置情報を記録

X線顕微鏡システム @ SPring8

- 光学顕微鏡で選別された候補をピンポイントにチェック
 - より高分解能な解析
- ⇒ ノイズ-シグナル 選別



Prototype of readout system



Camera : DALSA 1M 120fps
cell size : 7.4 μm
⇒ Test中 4M 180 fps
cell size : 5.5 μm

Light source : Hg-Xe lump
⇒ short wavelength readout

Optical filter
⇒ 波長選別

NIKON
NA : 1.25
Magnification : x100
⇒ high NA lens
new design lens
を検討中

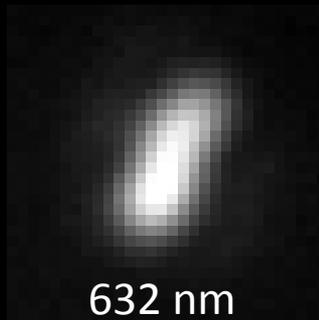
現状での解析スピード
⇒ ~ g / month



-Stage 駆動でリミット
-振動対策
-無駄なmotionの削減
etc

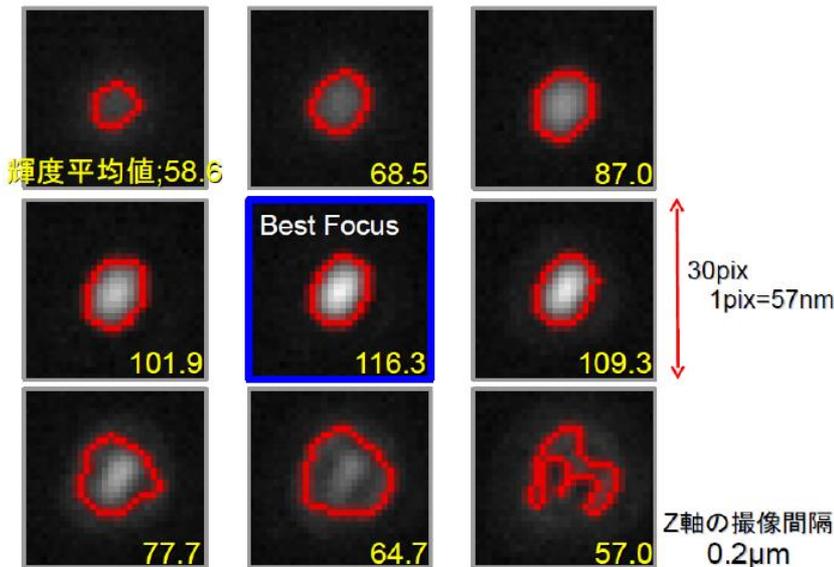
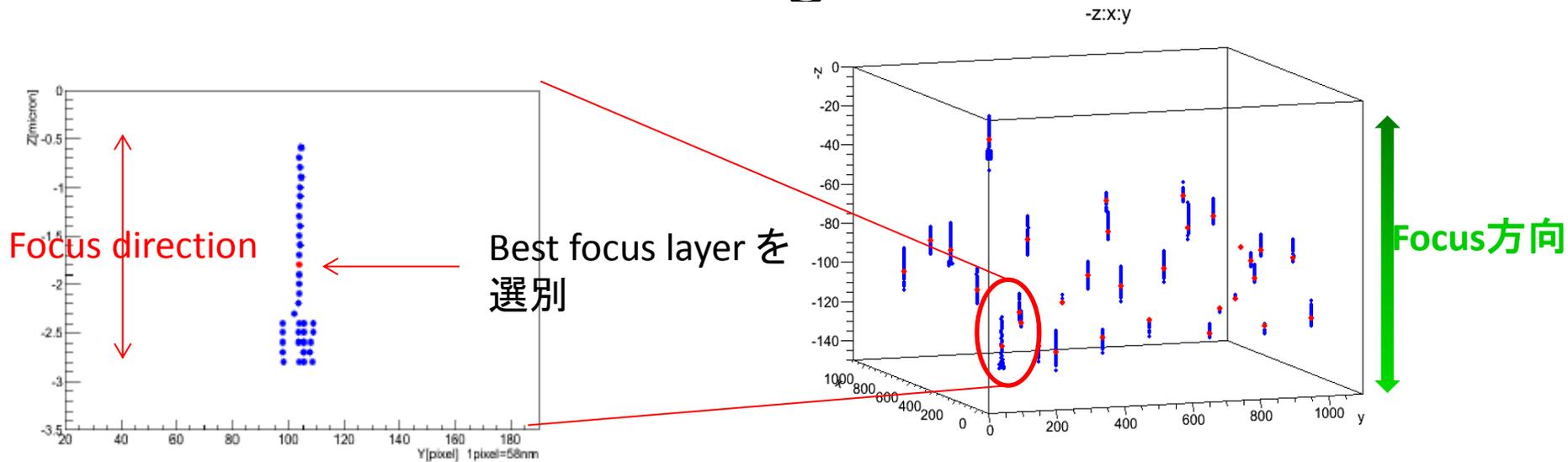
- 3D position information (x,y,z)
 - quality of grain
 - brightness
 - shape
 - area
- etc

Demonstration using heavy recoil nuclei tracks induced by 14 MeV neutron (D-T nuclear fission reaction)



Mostly Br recoil (170 - 600keV) because of low sensitivity tuning.

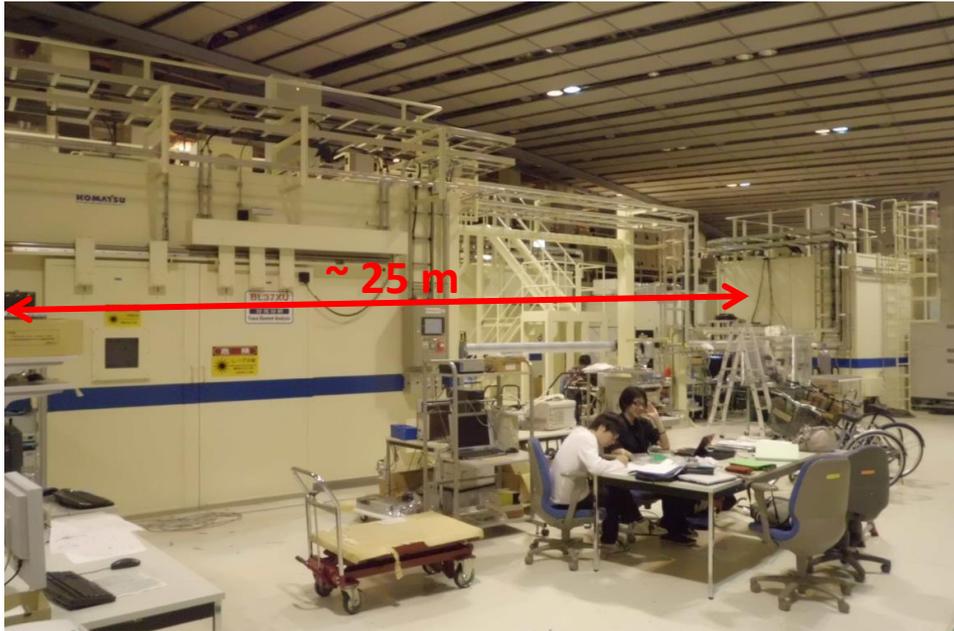
All automatic signal selection



- 3D position information
- Brightness
- area
- shape (elliptical fitting parameter)



X-ray Microscope @ SPring-8



BL47XU → **BL37XU**

対物レンズ (Zone Plate) – 撮像系間距離

7m → **25 m**

⇒ 理想的な分解能を達成できる。

- 拡大率を変えた観察が可能。

Ta (100nm thickness) パターン
70 nm line/70 nm space

Δx is better than 70 nm.

Ta 8 keV, $\delta = 4.0E-5$, $\beta = 3.7E-6$
[c.f. Ag 8 keV, $\delta = 3.0E-5$, $\beta = 2.7E-6$]

X-ray energy : 8 keV

Focussing lens : zone plate (50 nm)

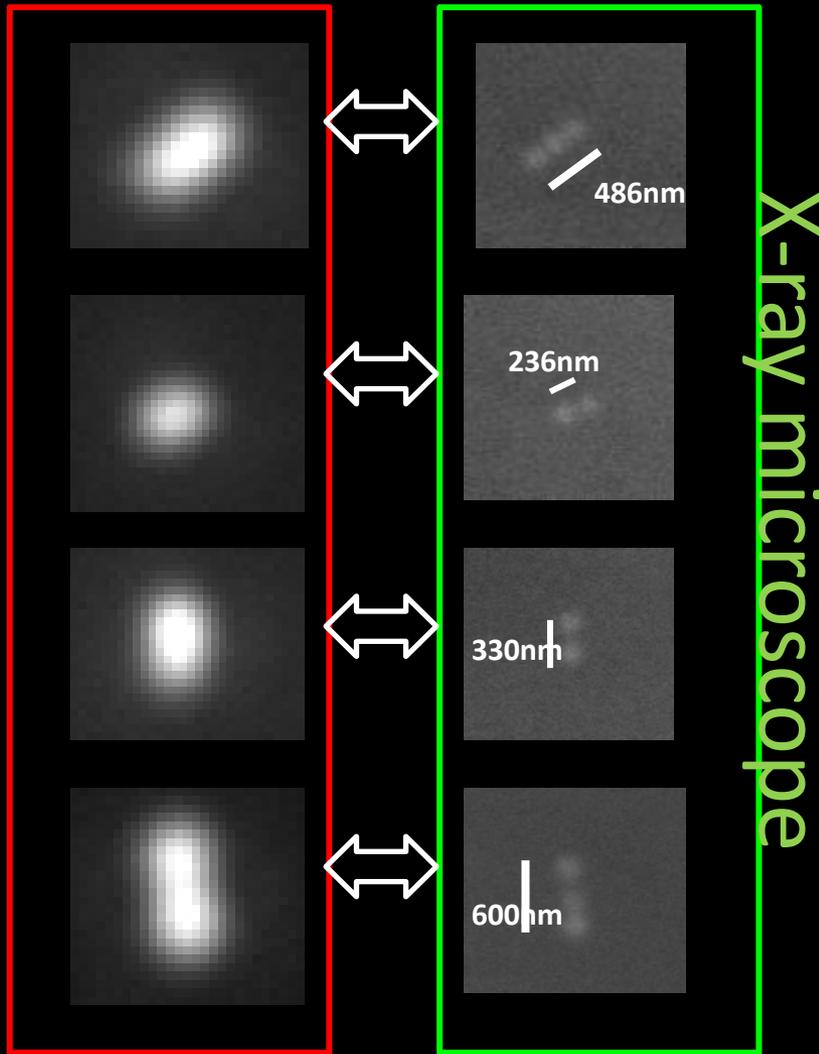
optics method : Zernike phase contrast



6 keV phase contrastによる高コントラスト撮像試験も準備中

Matching of recoiled tracks between Optical and X-ray MS

Optical microscope



14 MeV neutron (D-T nuclear fission)
recoil tracks

光学顕微鏡との対応付け精度
対応付け成功率 > 99 %
予想位置との位置ずれ < 10 μm
解析スピード : ~ 7800 events/day



1. 現状で、すでに座標登録することで、すべての視野の自動撮像が可能
2. X-ray MS像の自動解析も検討中
3. さらなる高コントラスト、高分解能化、高輝度化も並行してスタディ

SPring-8におけるX線顕微鏡

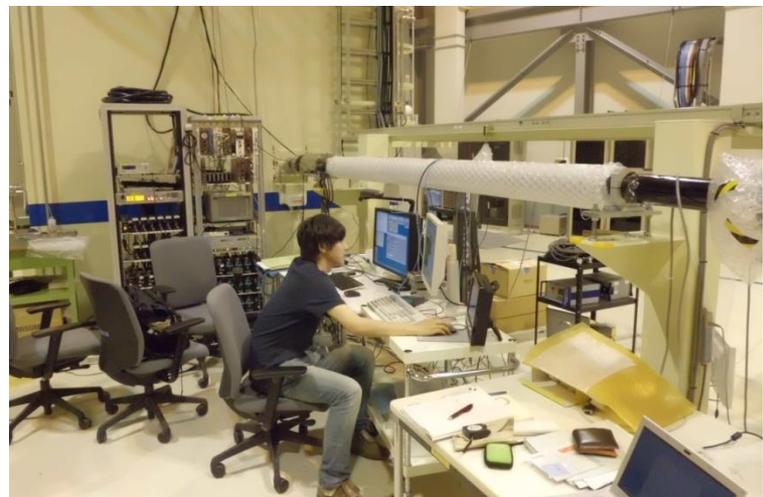
現状:

- ① ビームライン : BL37XU (+BL47XU)
- ② マシンタイム獲得 : 一般課題応募に半年ごとに応募して獲得
※BL37XUは比較的倍率は低い。ここ、2-3年は、コンスタントにマシンタイム獲得
- ③ 獲得マシンタイム : 18 シフト/半期 @ BL37XU
(1 シフト= 8 hours)
- ④ 使用コスト : 10万円(消耗品費)+旅費/半期



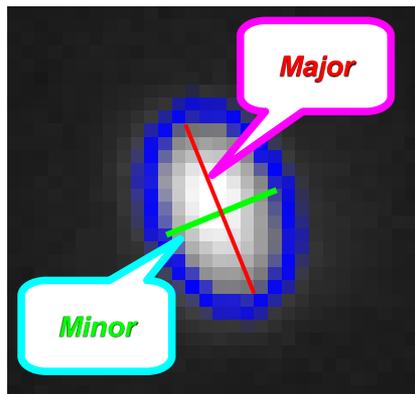
- 長期利用課題** : 3年間の長期課題として応募
成果公開優先課題 : 競争的資金を獲得した課題で一定額の利用を支払う
(131,000円/shift)
重点パワーユーザー課題 : 5年間 (ビームライン
総シフト数の20%まで)

光学解析で、どこまで絞れるかによる。

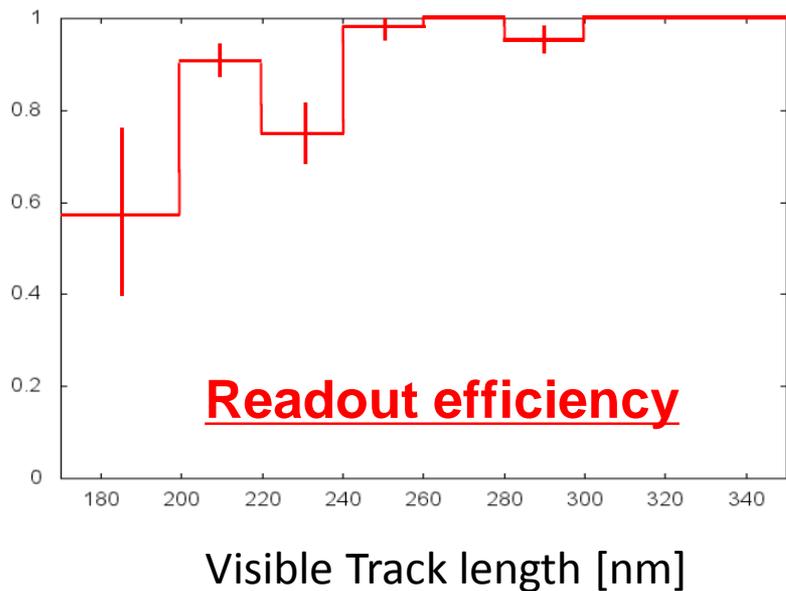


Signal Selection by Optica

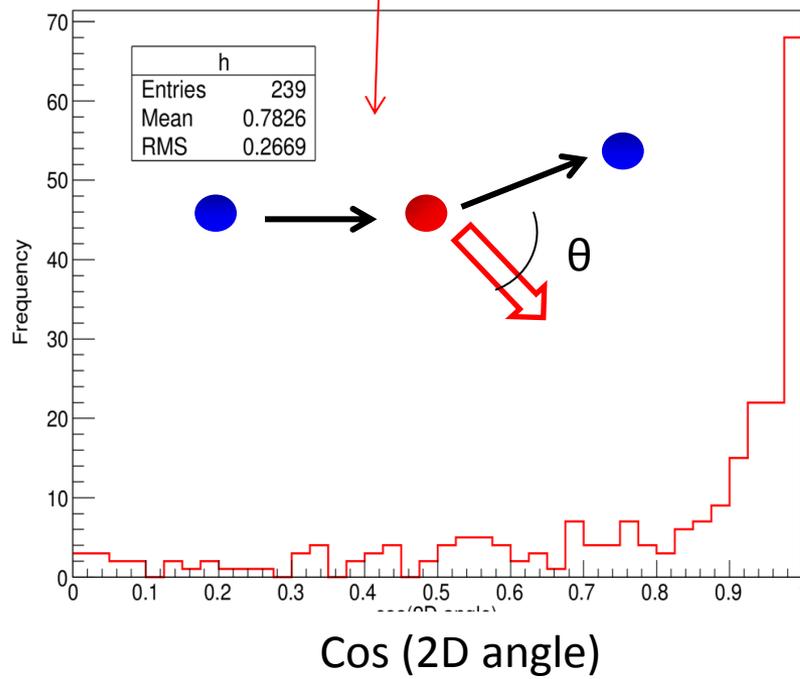
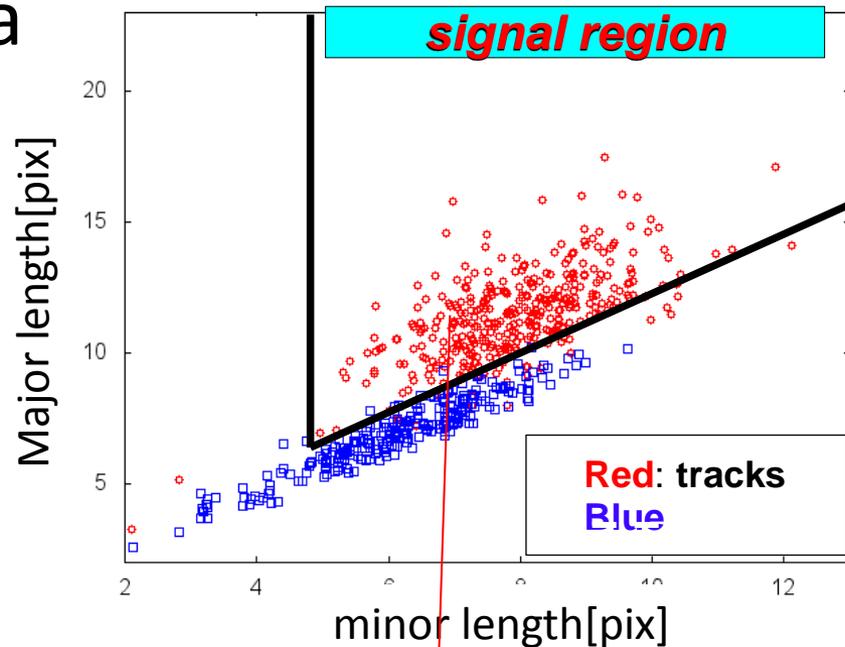
現状、楕円フィッティングをベースにしたシンプルなセレクション



楕円率とサイズを飛跡認識のパラメータ



短波長解析、高分解能カメラ&レンズ、精密形状認識により、より選別能力を上げる。



光学顕微鏡システム解析における角度分解能



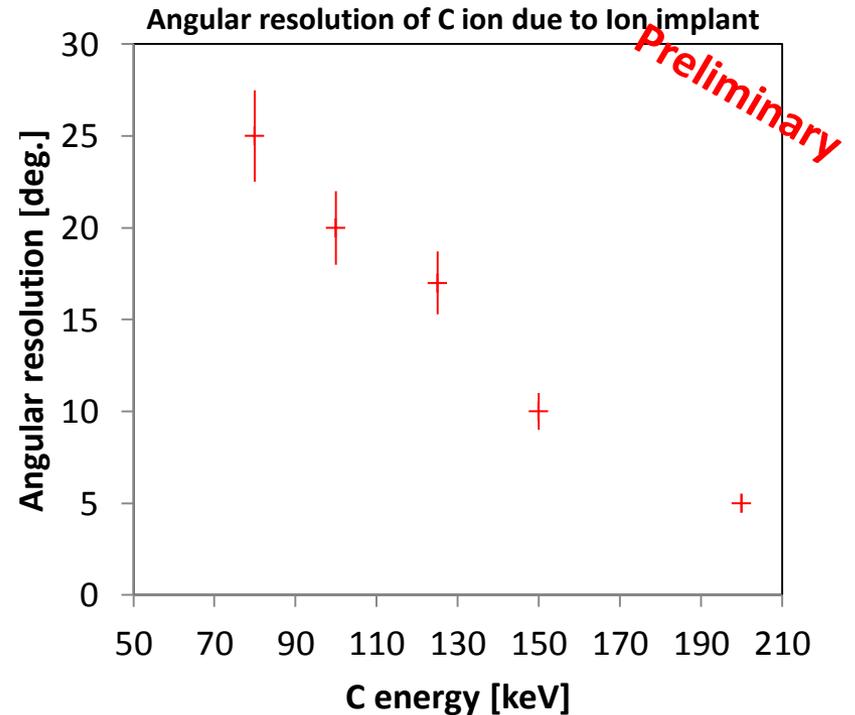
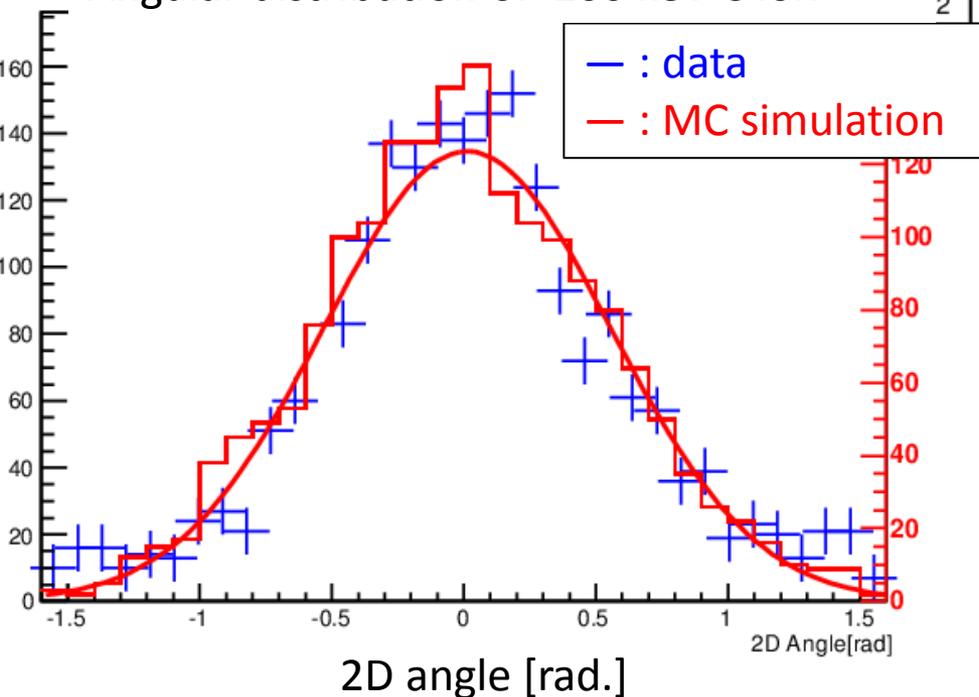
Angular resolution is better than about 25 deg. for 80 keV C recoil tracks.

[Crystal size : 44.6 +/- 0.4 nm]



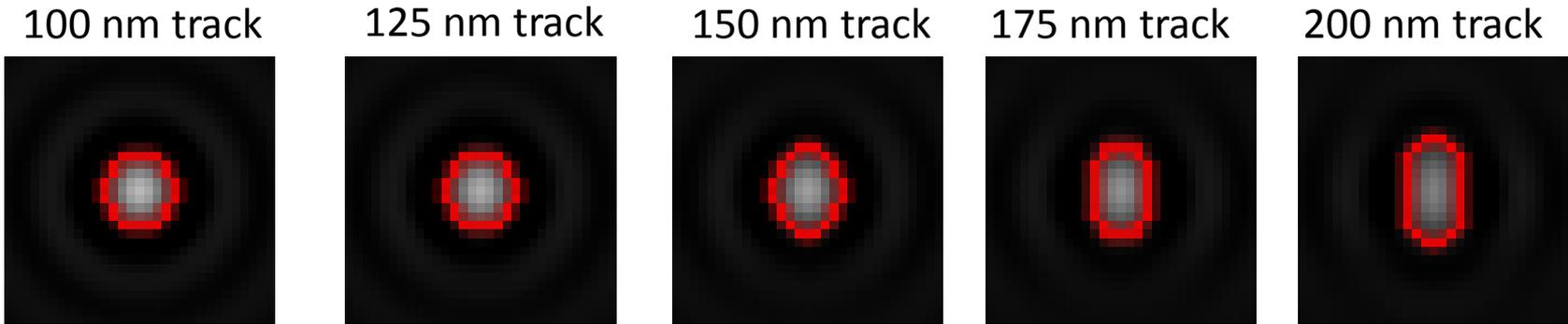
Ang. Resolution will be better with confirmation of X-rays microscope.

Angular distribution of 100 keV C ion

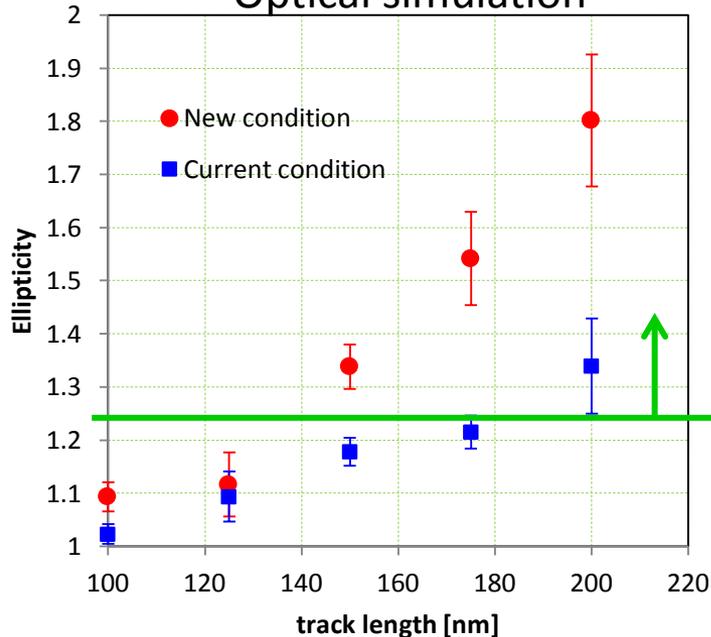


光学解析の展望

- DALSA1M120 (cell size : $7.5 \times 7.5 \mu\text{m}^2$) → SENTECH CMB4MCL (cell size : $5.0 \times 5.0 \mu\text{m}^2$)
- Wavelength for readout : 550 nm (green) → 450 nm (blue)
- Numerical Apperture : 1.25 → 1.40



Optical simulation



→ visibleなtrack lengthで150 nmまではselection可能。

→ 1.2倍のメカニカルな引き延ばしで、10 GeV/cまでの探索は、原理的に可能。
(技術的には、2倍までの引き延ばしは経験あり)

→さらなる解析手法で、noiseとの識別能力を向上させる。

スキャニングシステムのスピード

現状でのscanning speed

~ g/month (- 2015 年)

- バックグラウンドスタディ
- signal selectionの最適化
- その他、ハードウェアの実証試験



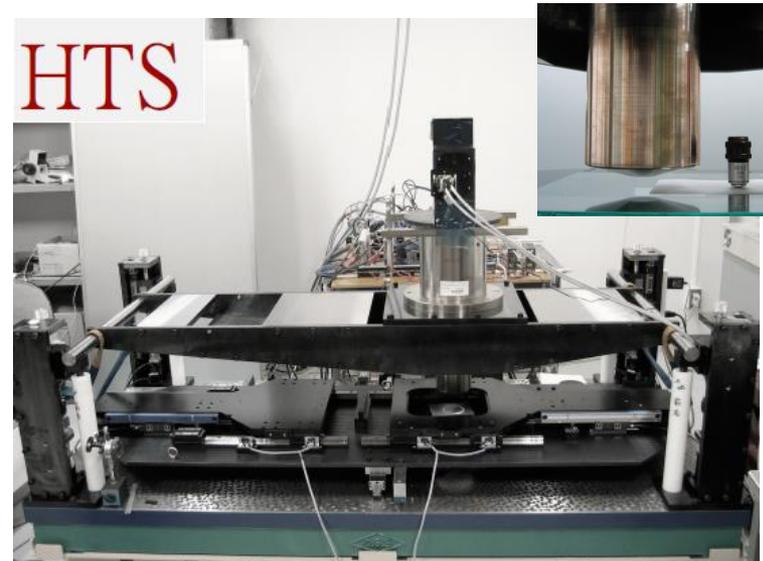
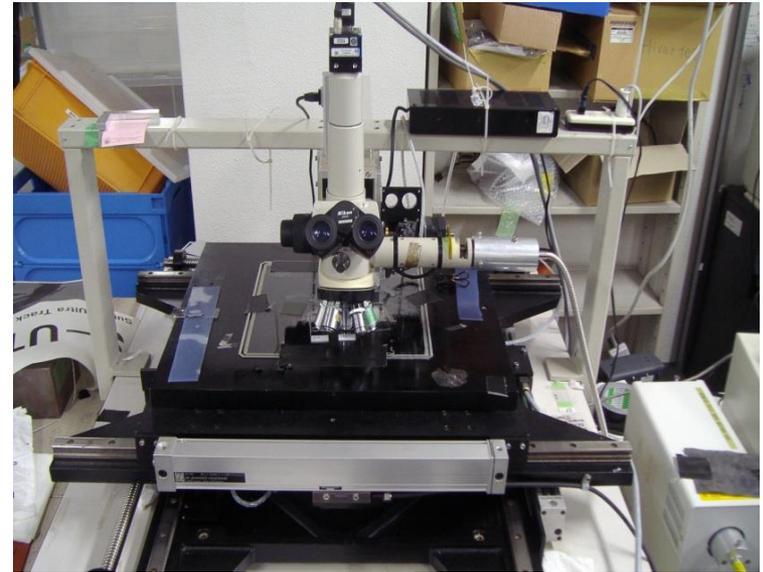
10- 100 g/month (~kg/year) (2015-2017)

- ステージ振動 (現在、対策はしていない) 対策
- 無駄なモーション・撮像



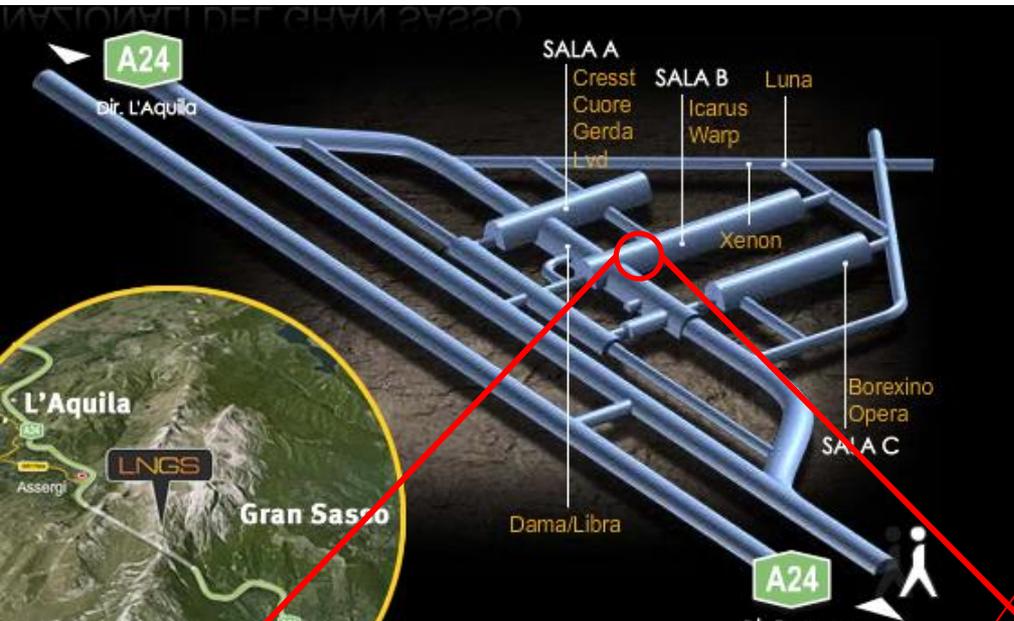
1- 10 kg/month (~100kg/year) (2017-)

- 2 (またはそれ以上)段階スキャニング
- 輝度情報 + 散乱波長のみで、低倍率解析
- candidateのみ、再度高倍率・高解像度で解析



R&D underground facility in Gran Sasso

Gran Sasso (LNGS), Italy



2nd Floor: Detector Production



一通りの作業環境はほぼ完成。



今後の計画

- 温湿度管理体制
- 特殊現像液の調合
- fiducial mark 焼き付けシステムの構築



Status and Near future R&D Plan

2011

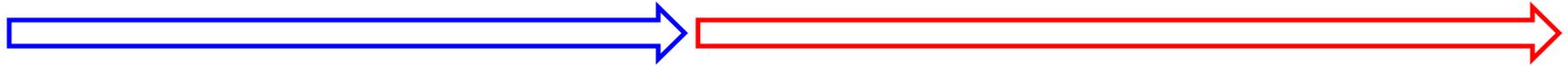
2012

2013

2014

2015

2016



Detector study

Study of self-production method for fine grained nuclear emulsion

Sensitivity tuning for phase.1 type and stability check

Sensitivity tuning for fine grained emulsion



Optical readout system

Construction of readout system based on the optical microscope

Start of BG study and R&D for BG discrimination (neutron, electrons)

BG study and upgrade for high-speed and high-resolution



X-ray microscope system

R&D of X-ray microscope and pin-point checking system at BL47, 37XU of SPring8

Standard run + R&D of large emulsion setting and high contrast



Facility and Run

Construction of R&D facility at Gran Sasso

1 – 10 g scale BG study

Scale-up



		2013年 度	2014年 度	2015年 度	2016年 度	2017年 度	2018年 度	2019年 度	2020年 度	2021年 度	2022年 度
プロジェクト名: NIT	実験 フェーズ	R&D	R&D, 建 設	コミッ ショニン グ, R&D	コミッ ショニン グ, R&D	R&D	R&D, 建 設	コミッ ショニン グ	観測	解析	建設
	必要経費 (億円)	0.05	0.05	<0.1	<0.1	0.1	0.1	-	-	-	-
	既存人数	6	4	4	3	-	-	-	-	-	-
	不足人数	0	3	4	6	10	10	10	10	10	10

Phase.01
~ g scale run

Phase.02
0.1 – 1 kg scale run

Phase.03
>10 kg
scale run

現在~3年 : 基盤B + 若手 クラス
3年以降(kg scale) : 基盤Aクラス

読み取りシステムアップグレード
赤道儀のスタディ

エマルジョン製造システムのスケールアップ

※ 人数は実行部隊
人件費は含んでいない

まとめ

- 大質量のdirectional dark matter searchのための超高分解能原子核乾板を独自開発
- \sim g/monthのスピードで、automaticにイベント解析できるシステムを構築
- X線顕微鏡をSPring8で開発
(<70 nmの分解能で、数1000 event/dayの解析可能)
- 効率の良い潜像形成ができる結晶の開発が必要
- 40 nm 結晶プロトタイプで、 $E_{th} > 90$ keVnr, 20 nm > 45 keVnrの実験を目指す。
- 2013, 2014年度は、定量的なバックグラウンドスタディを進めて、まずはg scaleの実験をスタートする