

乾板の画像解析

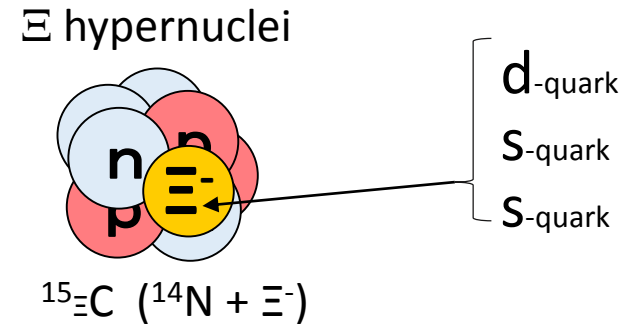
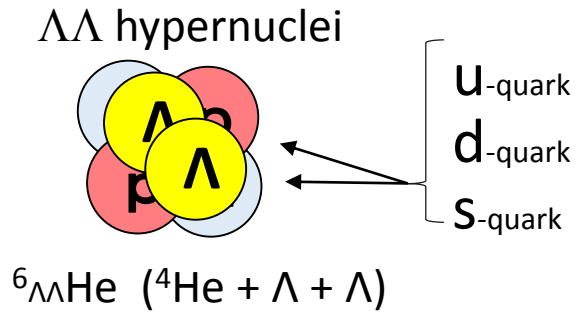
岐阜大学 吉田純也

- ・中村さんの不安定核物理の教科書よみました。

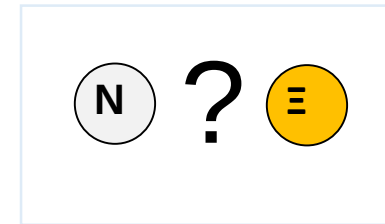
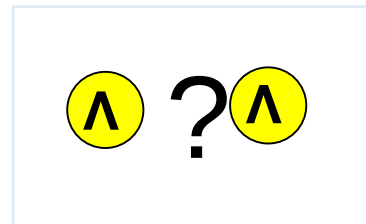
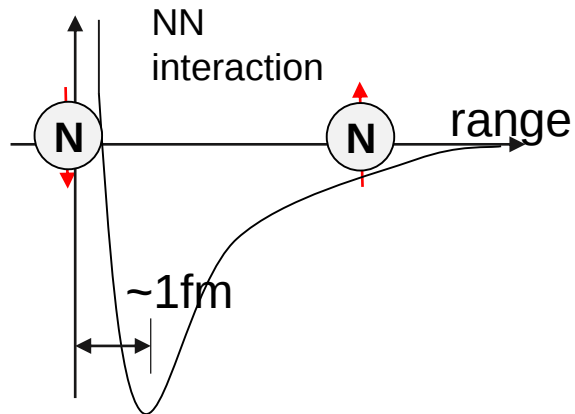
Double strangeness nuclei:

*Exotic nuclei made up of two s-quarks (lifetime $\approx 10^{-10}$ sec)

*Tiny neutron-star on the ground

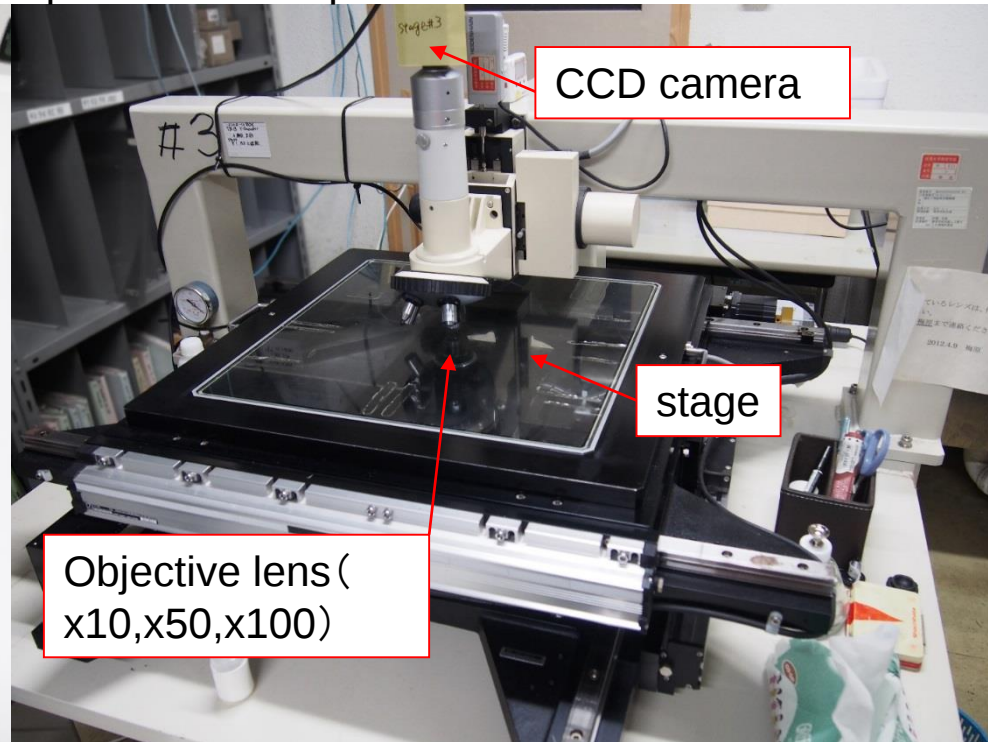
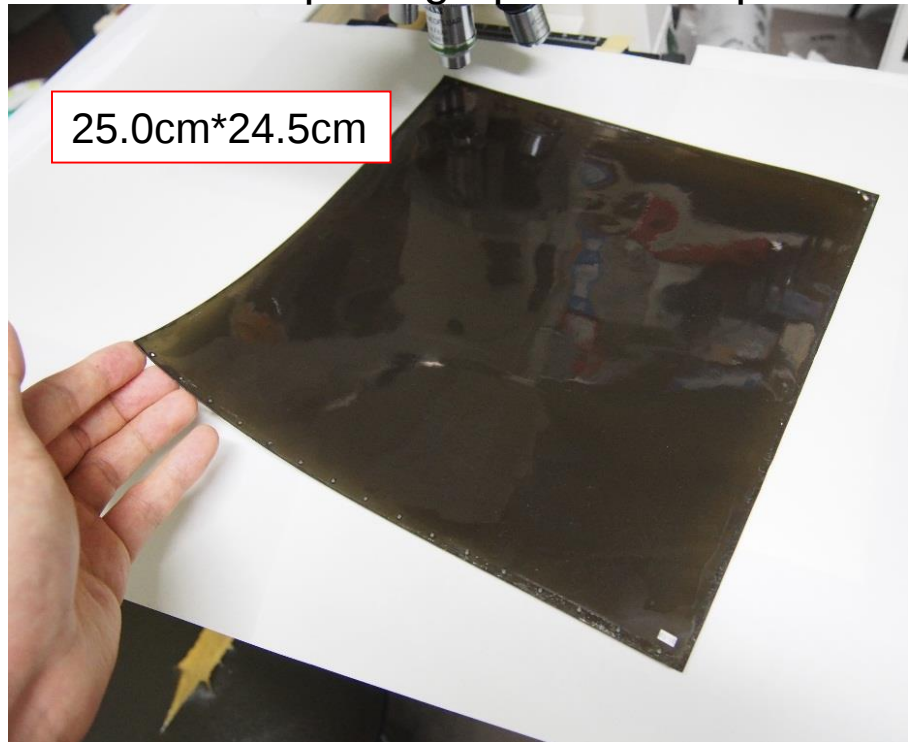


*Essential subject to understand baryon-baryon interactions and EOS of NS



Photographic emulsion sheet for double strangeness nuclei

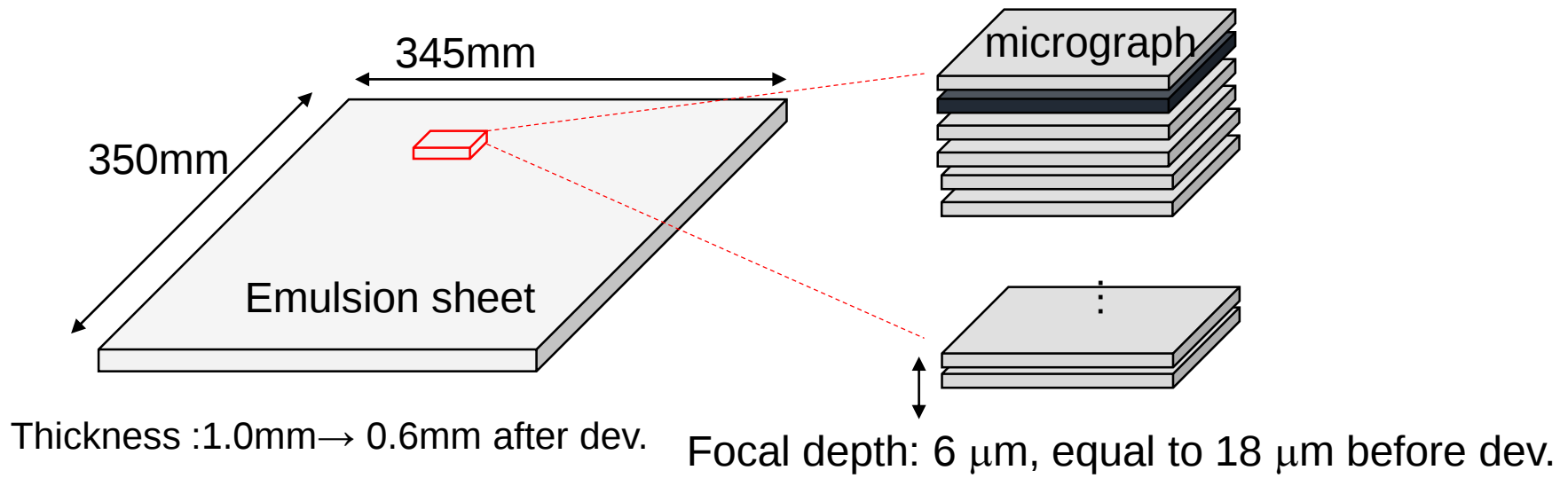
Sheet after photographic development Optical microscope



- *Photographic film having sub-micron of special resolution
- *Thick sheets: $T \sim 1\text{mm} \rightarrow \sim 0.5\text{mm}$ (after development)
- *7stages in Gifu-University and JAEA

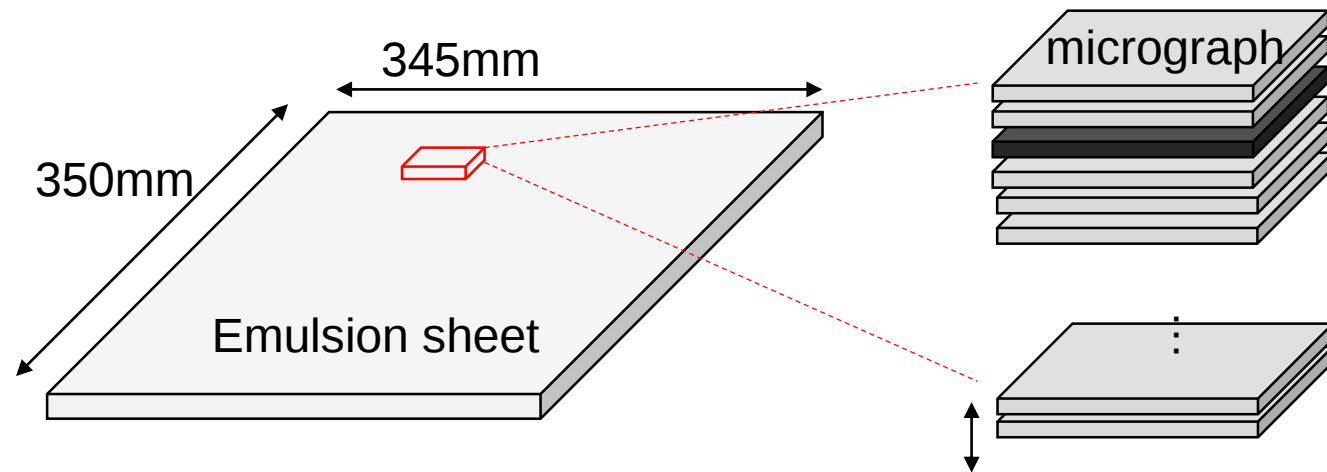
Under 20x objective lens

100 μ m



Under 20x objective lens

100 μ m

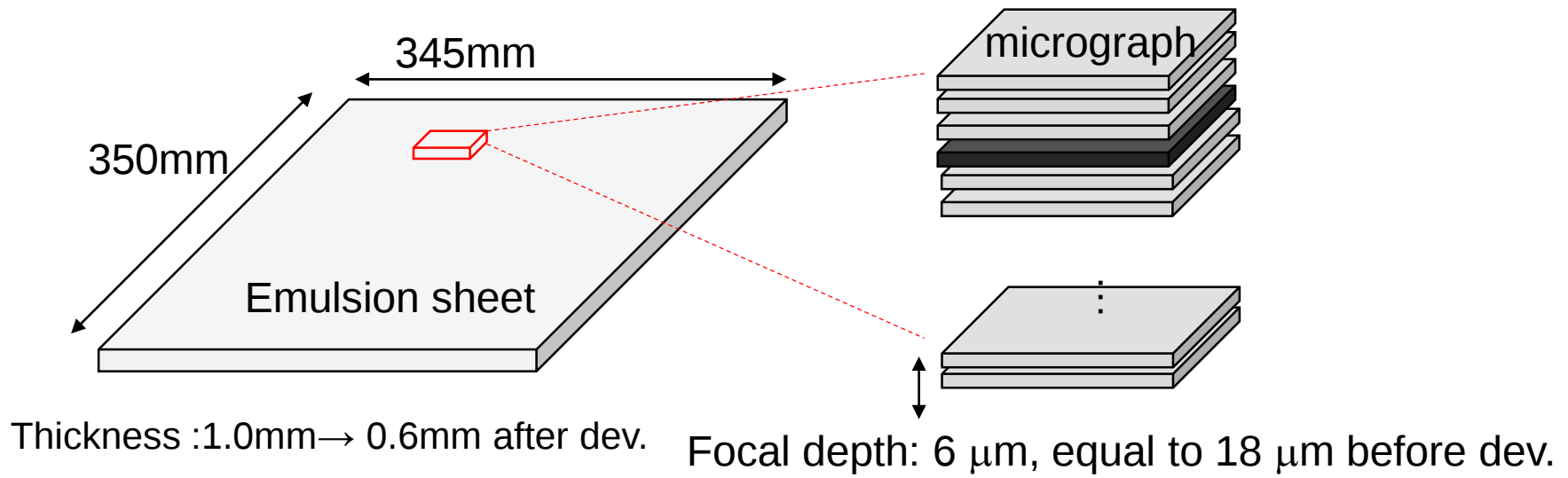


Thickness :1.0mm $\rightarrow$ 0.6mm after dev.

Focal depth: 6 μ m, equal to 18 μ m before dev.

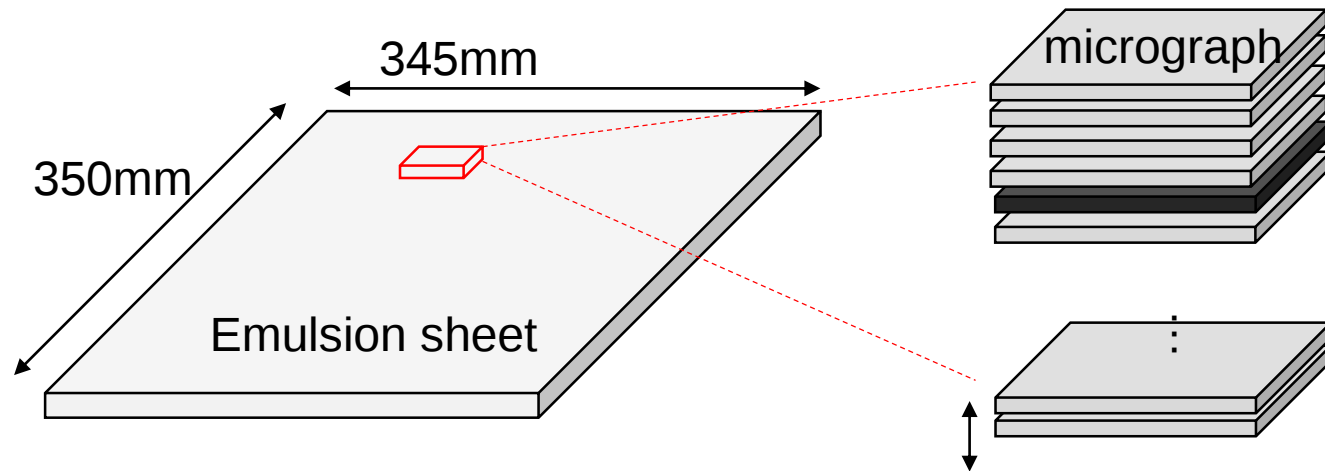
Under 20x objective lens

100 μ m



Under 20x objective lens

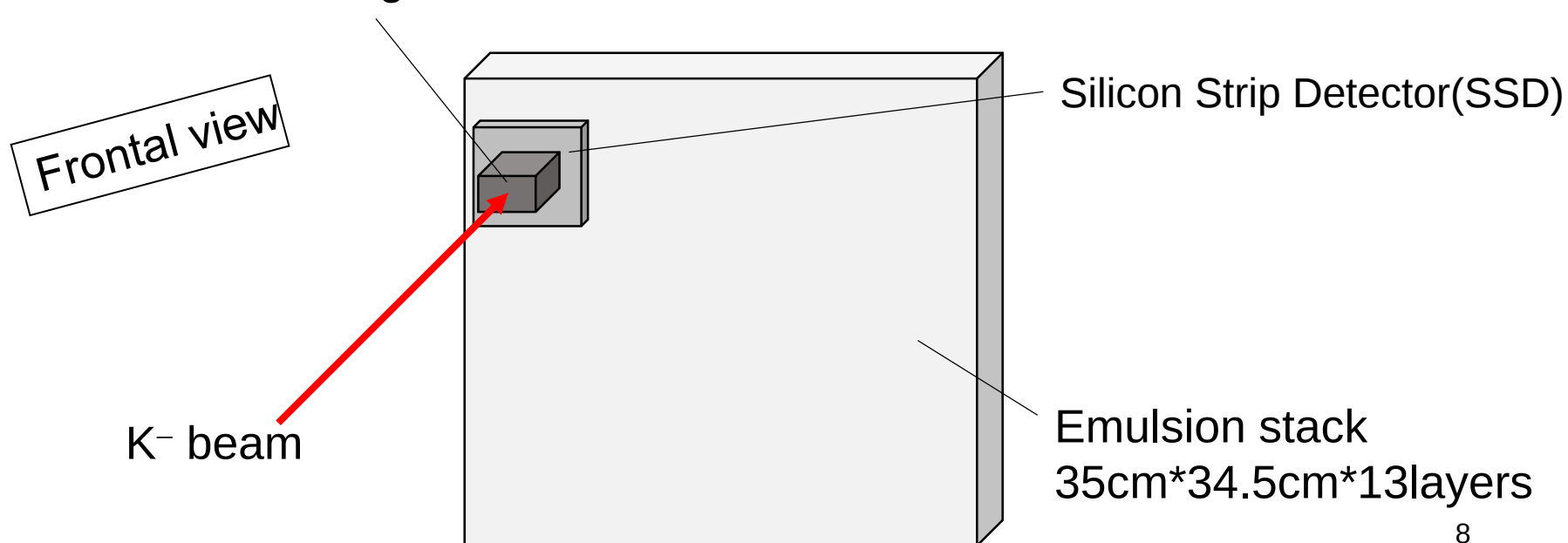
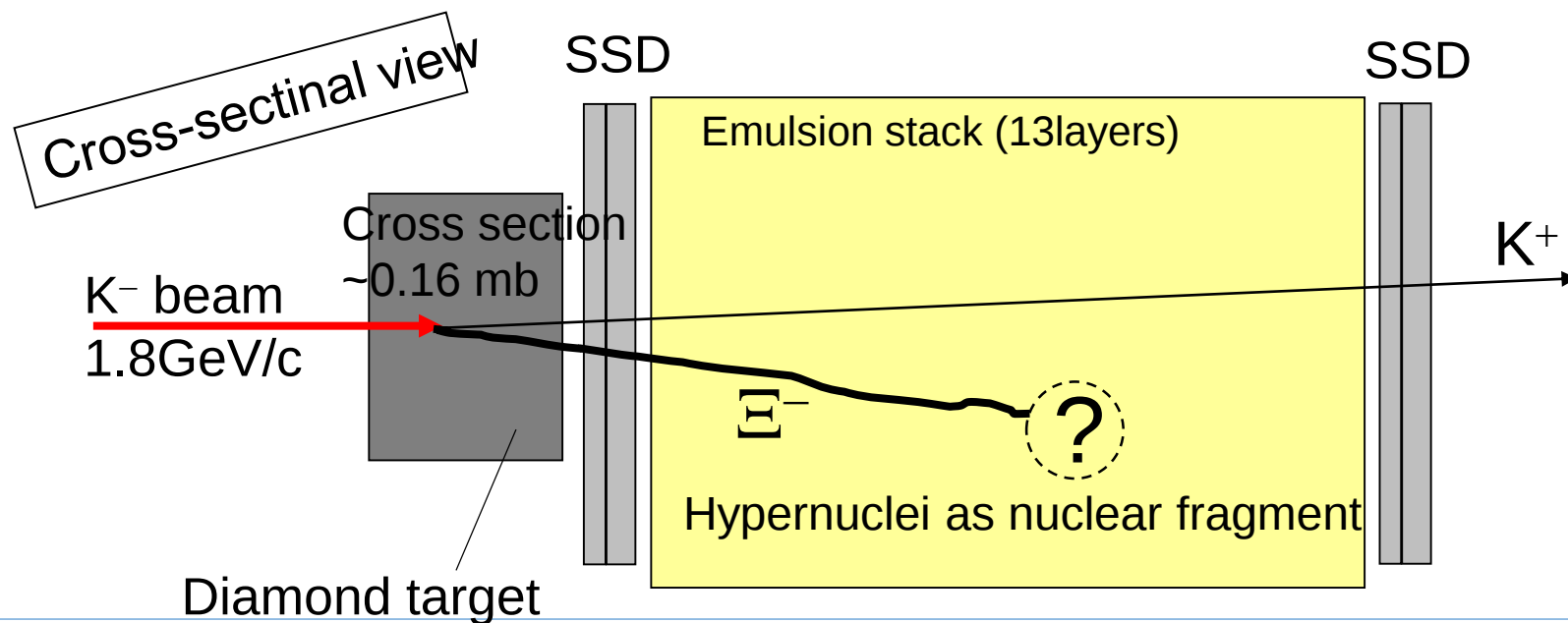
100 μ m



Thickness :1.0mm $\rightarrow$ 0.6mm after dev.

Focal depth: 6 μ m, equal to 18 μ m before dev.

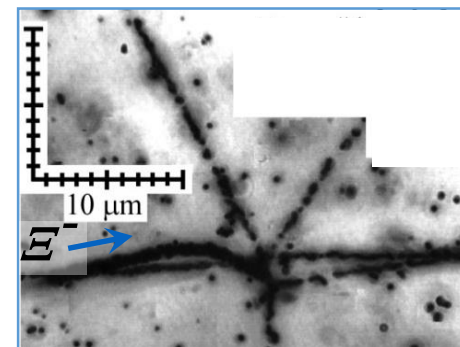
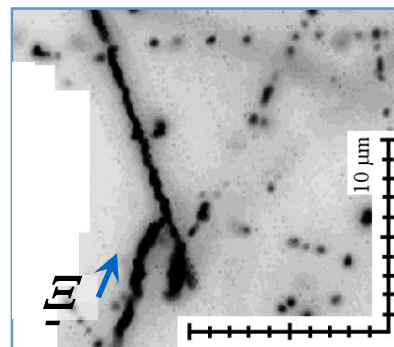
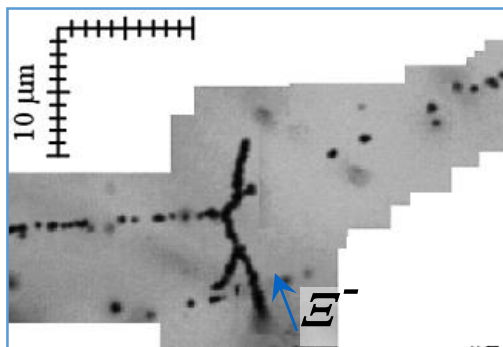
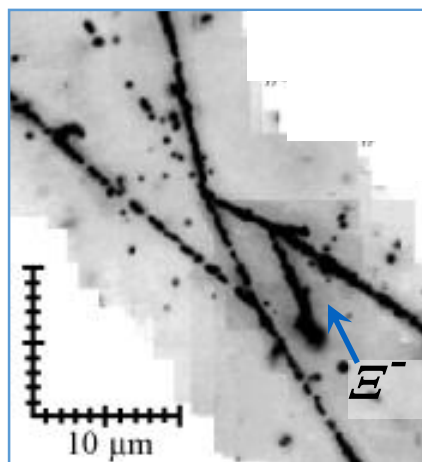
Hybrid method for J-PARC E07, double strangeness nuclei search



2000年代までに

検出された事象数: 9

核種決定、質量再構成に成功した事象数: 1



J-PARC E07 : 過去10倍の統計量でダブルストレンジネス核を生成する実験

* Photographic emulsion gel 800kg→2.1t

* Purity of K- beam 25%→85%

* Automated track following

* $A = 6 \sim 17$ $\Lambda\Lambda$ hypernuclei : $\Lambda\Lambda$ interaction, nuclear structure, $\Lambda\Lambda$ - ΞN coupling.

* Ξ hypernuclei (Ξ^- - ^{16}O , Ξ^- - ^{14}N , Ξ^- - ^{12}C): ΞN interaction, $\Lambda\Lambda$ - ΞN coupling.

NagaraStage GUI (Visual C#)

NagaraStage (C#)

Driver

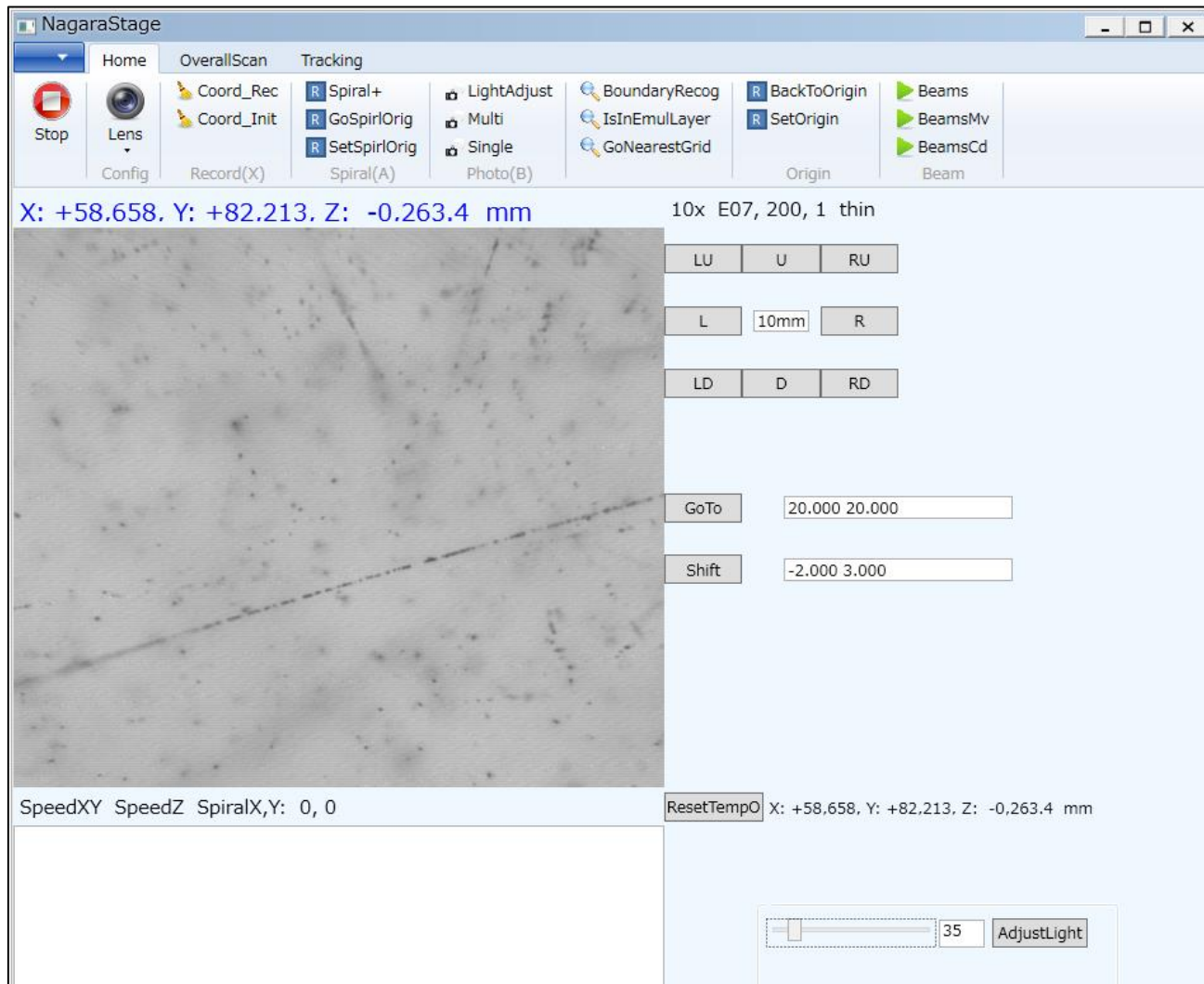
Driver

Img Proc.

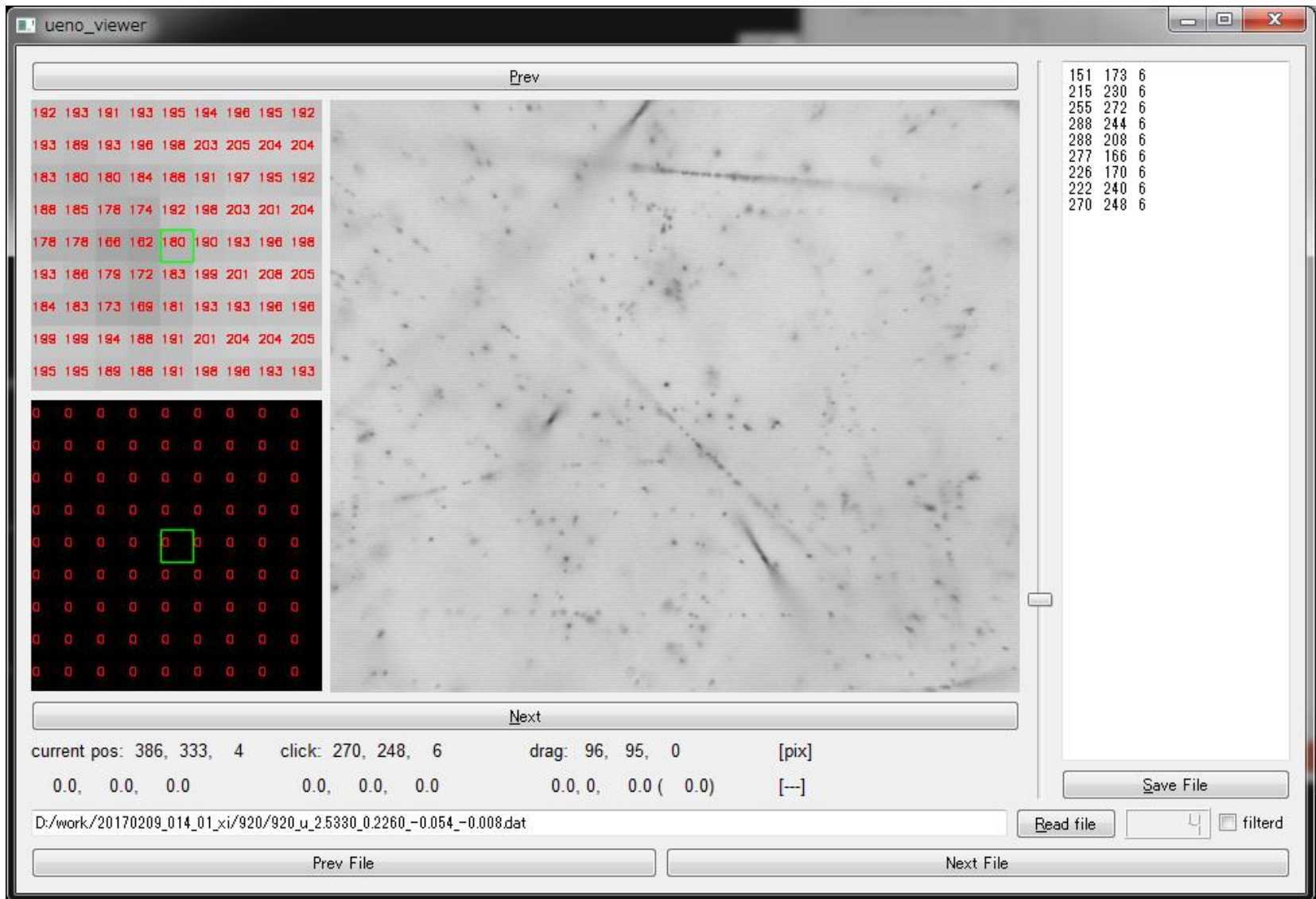
Stage

Camera

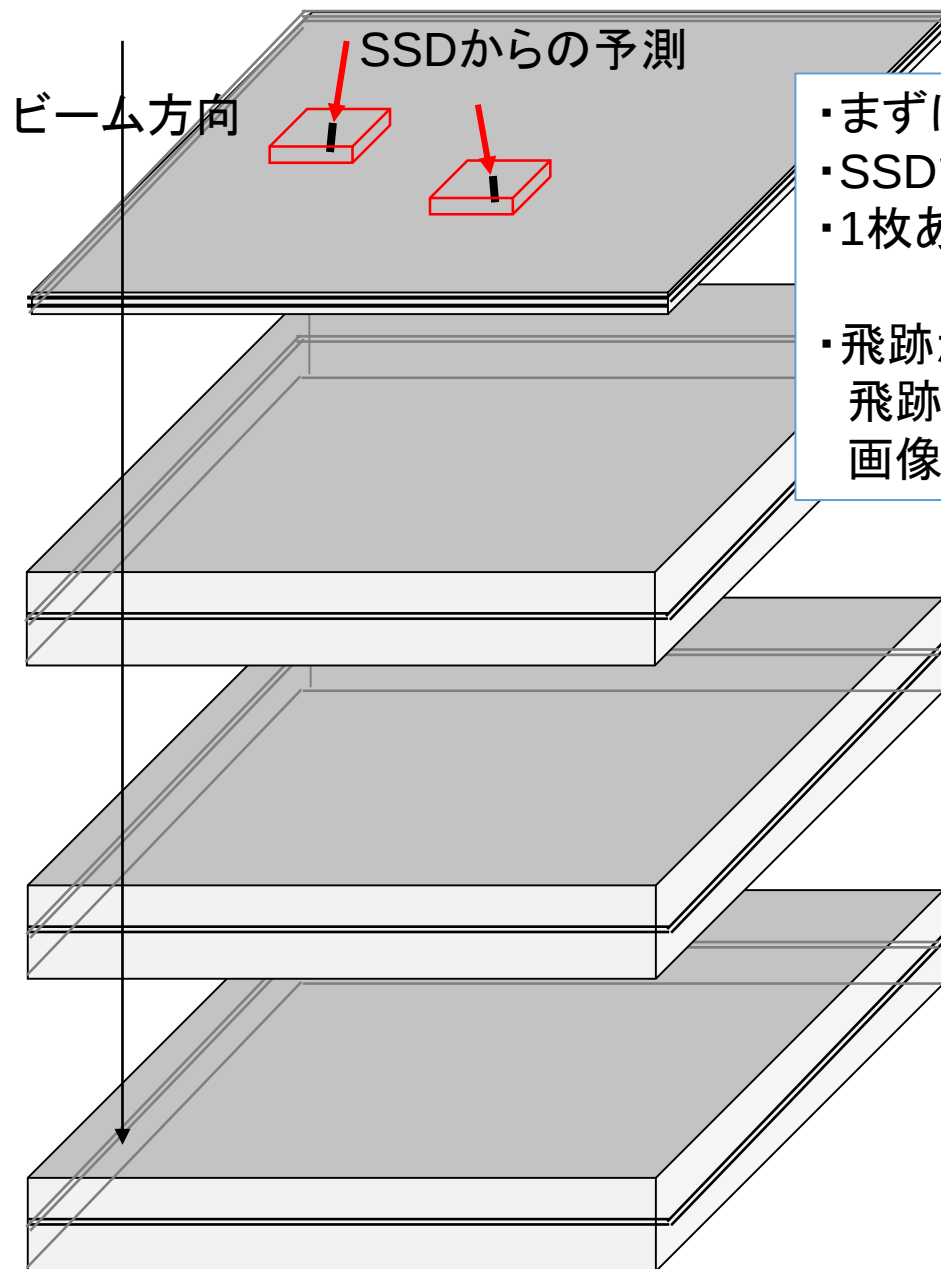
実際の画面



• viewer

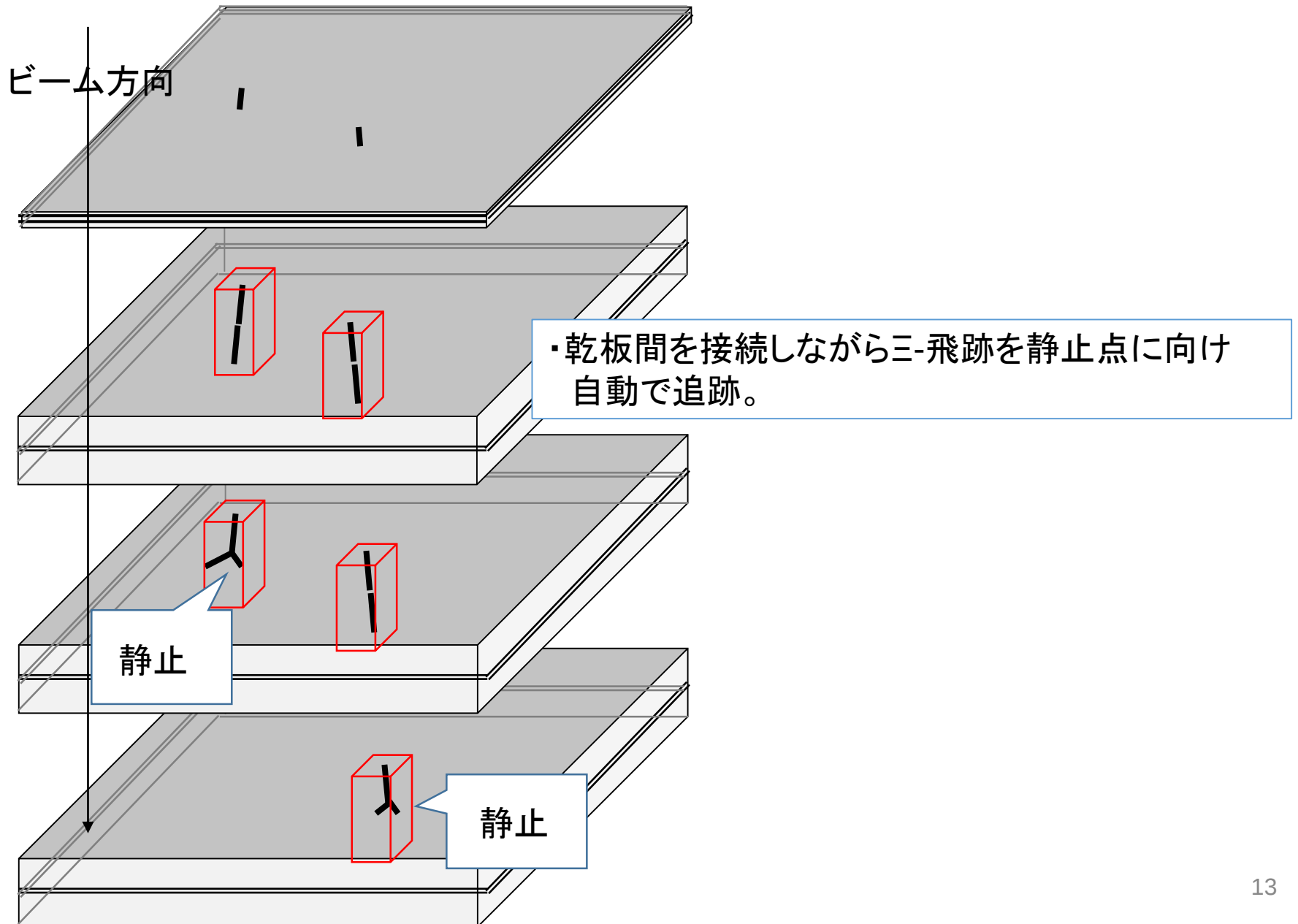


飛跡追跡の概要

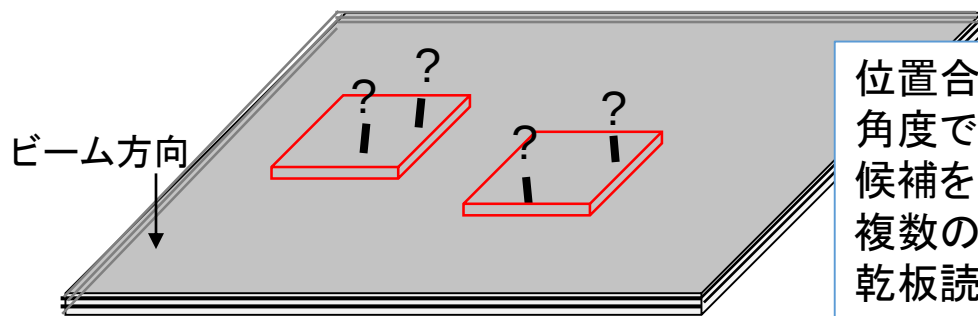


- ・まずは1枚目の薄型乾板に対して。
- ・SSDで予測した位置を、光学顕微鏡下で撮影
- ・1枚あたり約 10^3 箇所の読み出しを想定。
- ・飛跡があること、
飛跡が次の乾板へと貫通していることを、
画像処理で自動で判断。

飛跡追跡の概要



解析の際には
スタック毎、乾板毎に位置合わせ(アラインメント)が不可欠。

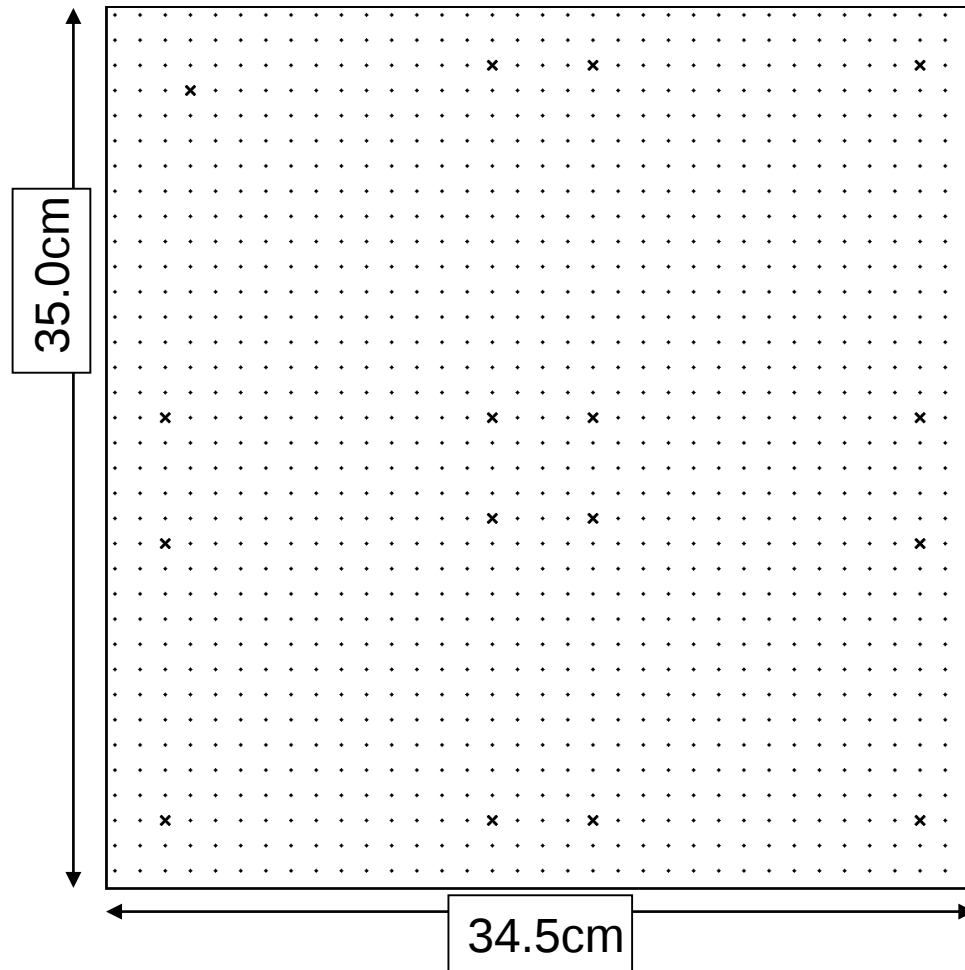


位置合わせの不定性が大きいと・・・
角度で区別できない飛跡が複数あった時、
候補を一意に決められず、
複数の飛跡を追うことになり、
乾板読み出しの負荷となる。

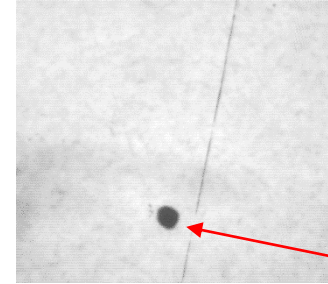
E07のために開発したアラインメント技術:

- (1) 現像による乾板の変形の補正
- (2) SSD-乾板1枚目のアラインメント
- (3) 隣接乾板間のアラインメント

(1) 現像による乾板の変形の補正 : グリッドマークを用いて。



乾板の初回観察時、
10倍対物レンズで全マークを撮影。



視野: 0.6mm*0.7mm
マーク直径: ~50 μ m



画像処理でマークの中心座標を算出。



予め顕微鏡で測定したネガの穴の座標
と比較することで変形補正のLookUpTable
を作成。

グリッドマーク:

全乾板表面に、10mm間隔にマークがプリントしてある。
 Φ ~50 μ m穴の開いた金属板(ネガ)を通して現像前に露光。

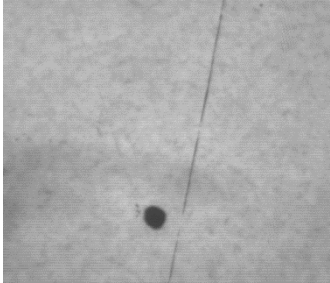
grid-marks measurement

1st step:

Emulsion setting
on microscope stage

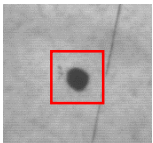
2nd step:

taking pictures for 34*35marks
under x10 lens



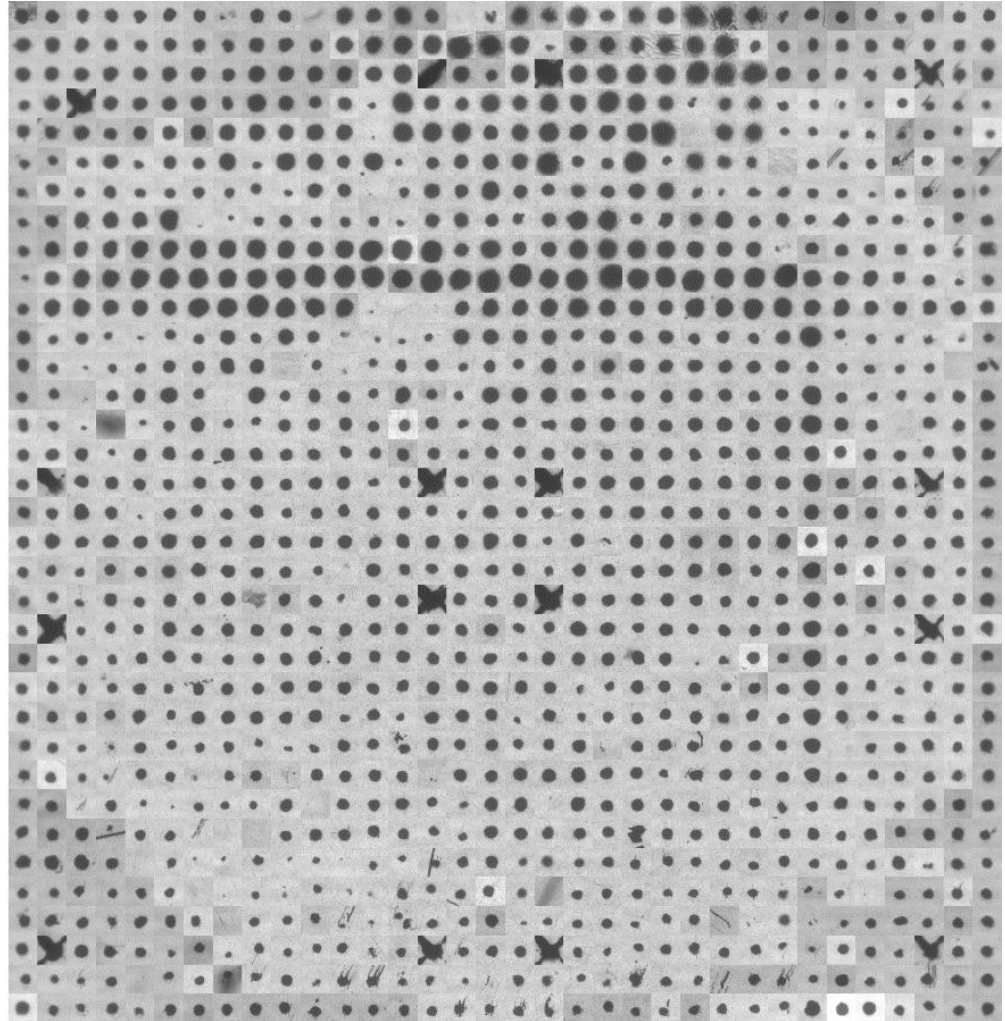
3nd step:

image recognition



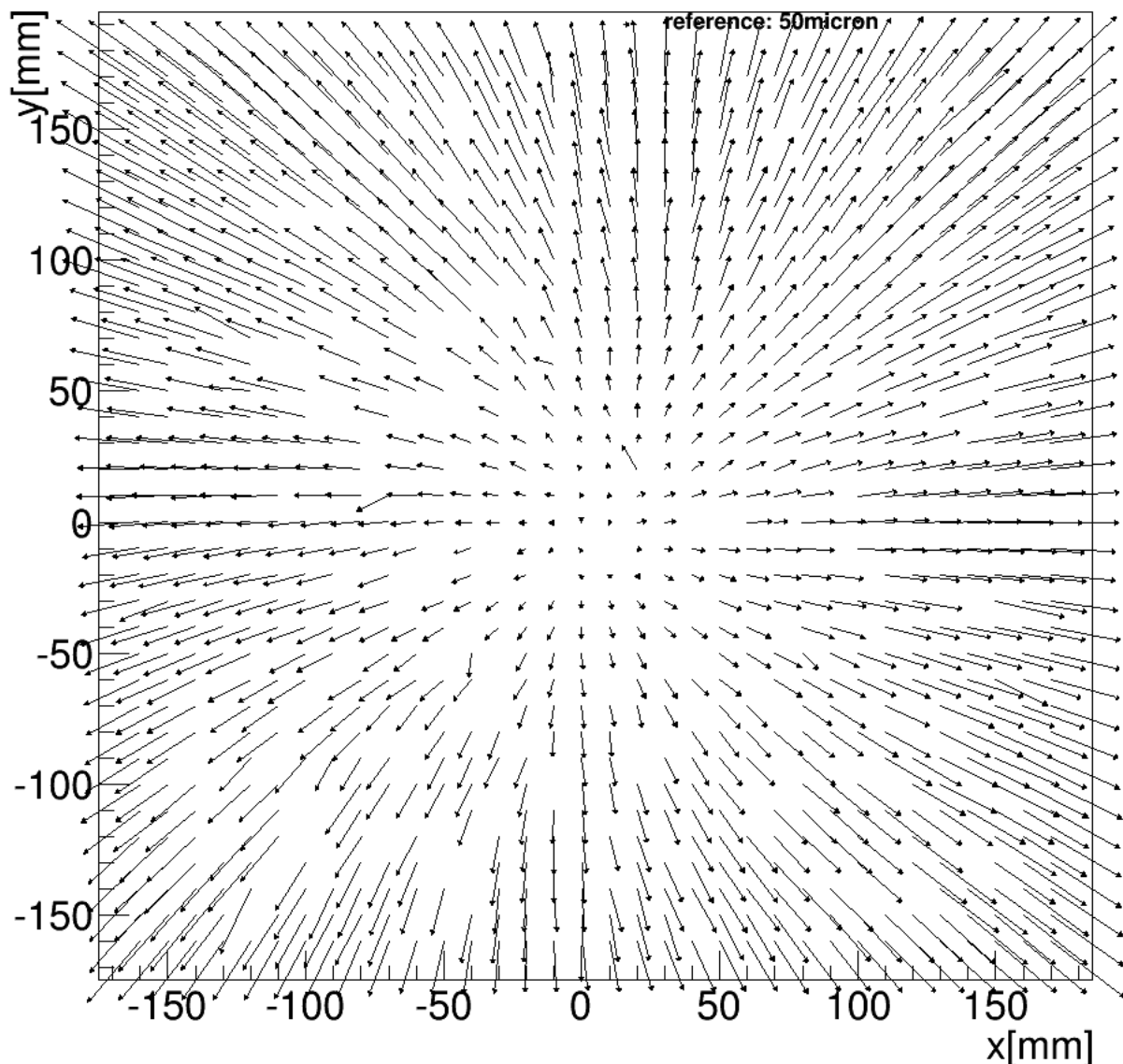
4th step:

making map with all the marks



2016 Jun. mod001pl01

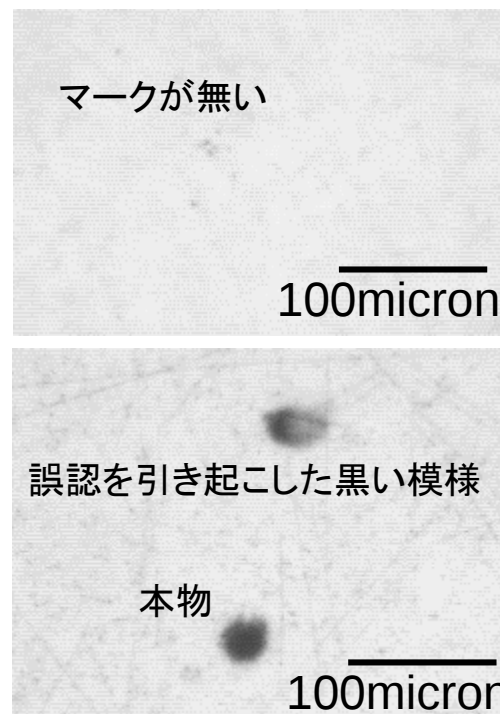
(1) 現像による乾板の変形の補正:とある乾板の変形をベクトル場であらわしたもの。



Mod004pl02 (450 μ m両面塗り厚型乾板)
原点とX軸を基準に合わせている。

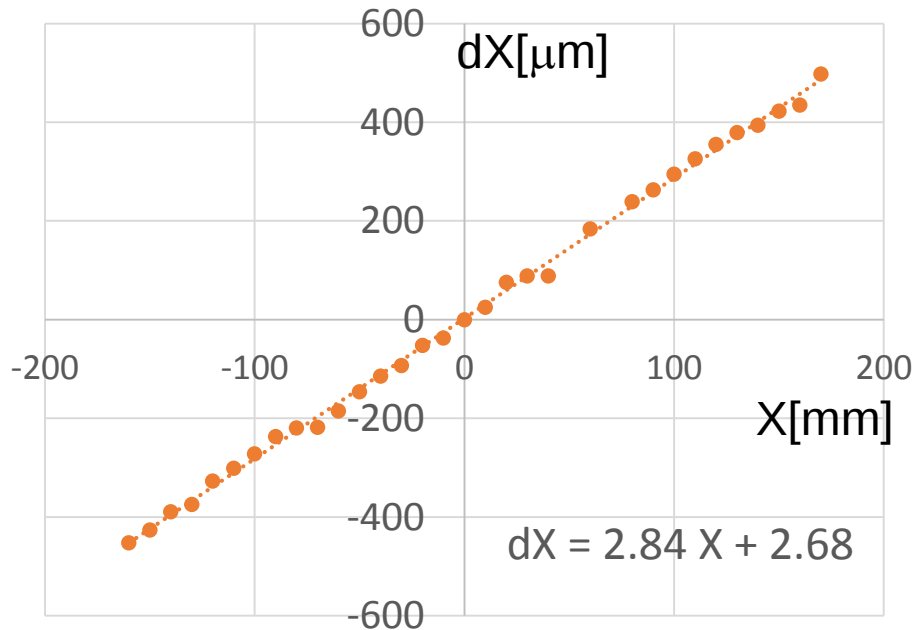
- ・マーク無しでベクトルの抜け
- ・数箇所マークの誤認識

があるものの、全体的に伸びている傾向が見える。

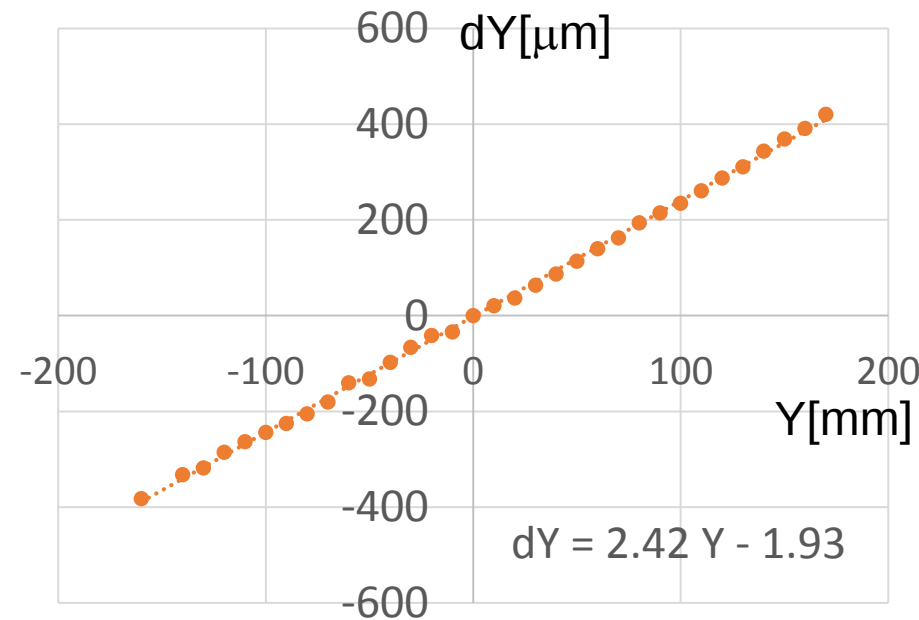


(1) 現像による乾板の変形の補正

X軸に沿ったマークのX方向の変形



Y軸に沿ったマークのY方向の変形

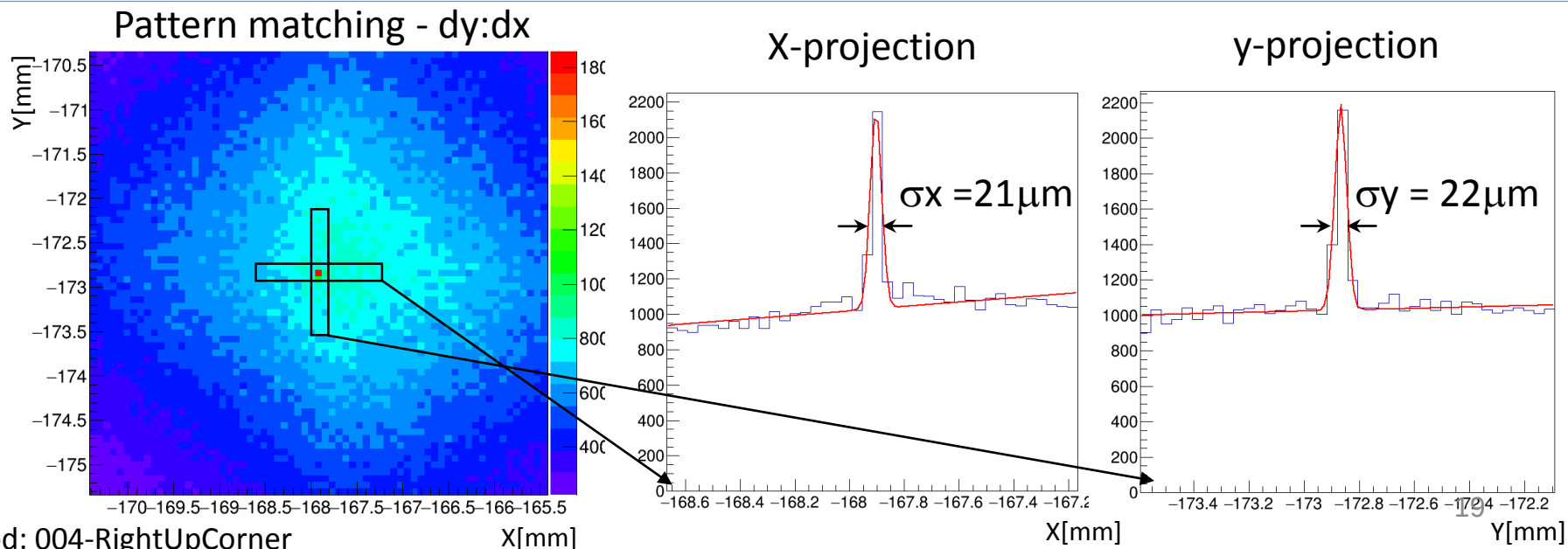
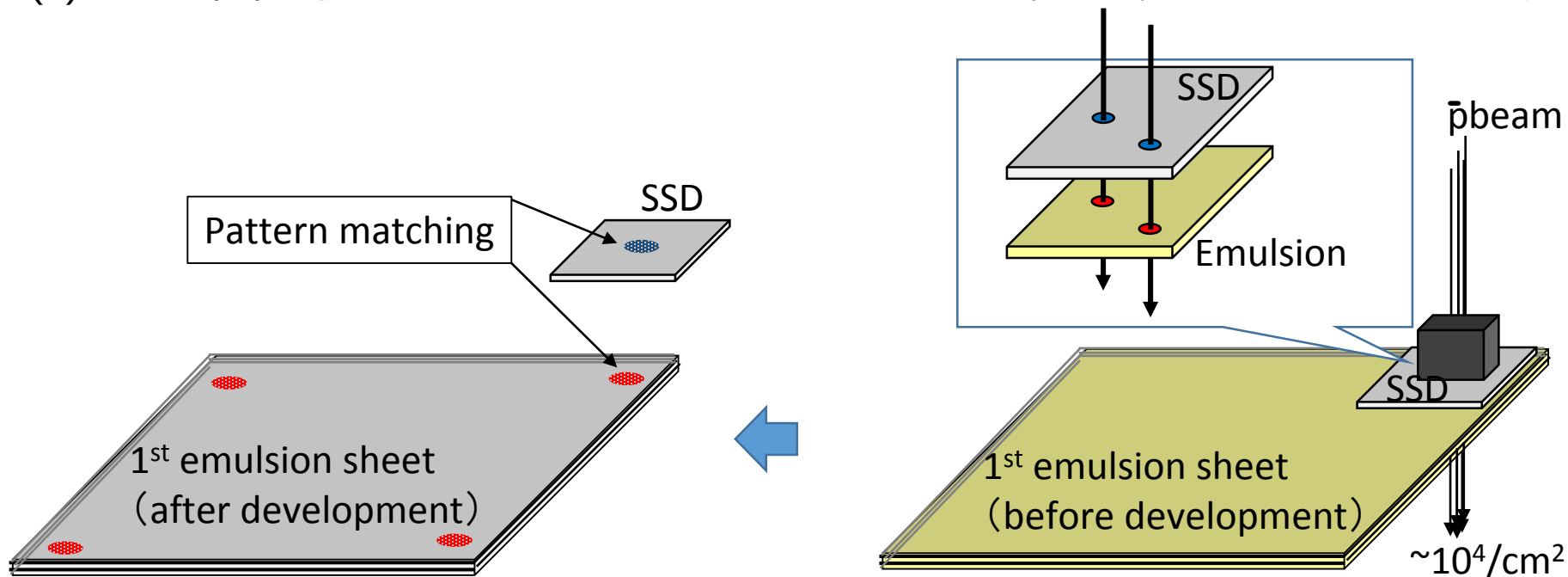


0.4mm/170mm = 0.2% ~ 0.3%の伸び率。

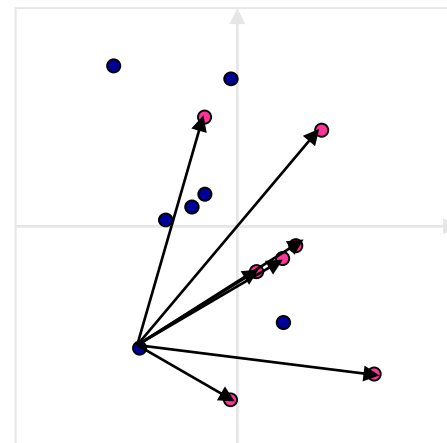
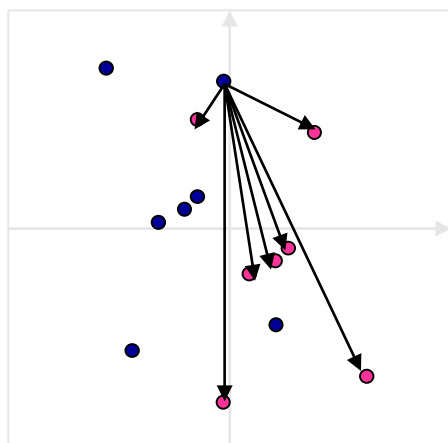
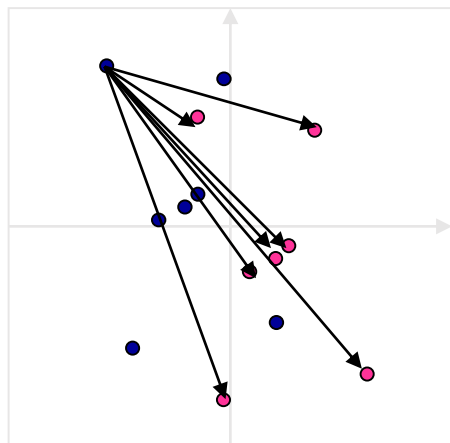
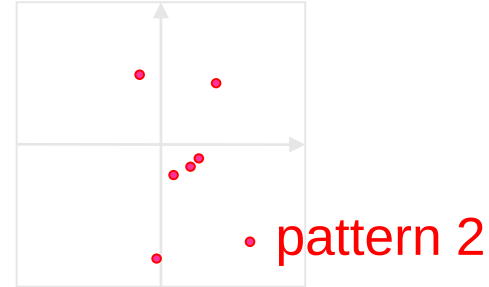
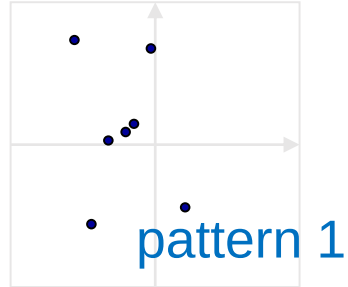
このような単純な線形Fittingでも、残差の標準偏差は (11.5μm, 6.2μm)

- ・解析に問題ない精度。
- ・ところどころ情報の抜けた箇所は、単純な線形補間で補間可能とみている。
- ・以降すべての乾板解析は、個々のLookUpTableで変形を補正して行う。

(2) SSD-乾板1枚目のアラインメント : 四隅に照射した疎な反陽子飛跡のパターンで。



青と赤の点の集団は同じパターンなのか。
どのようにずらしたら重なるか。

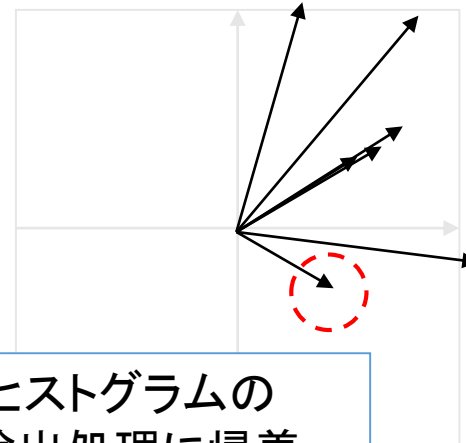


両者をまず適当に同じ座標系に載せ、
全ての組み合わせで矢印をひき、
原点を合わせ、二次元平面に累積していく。



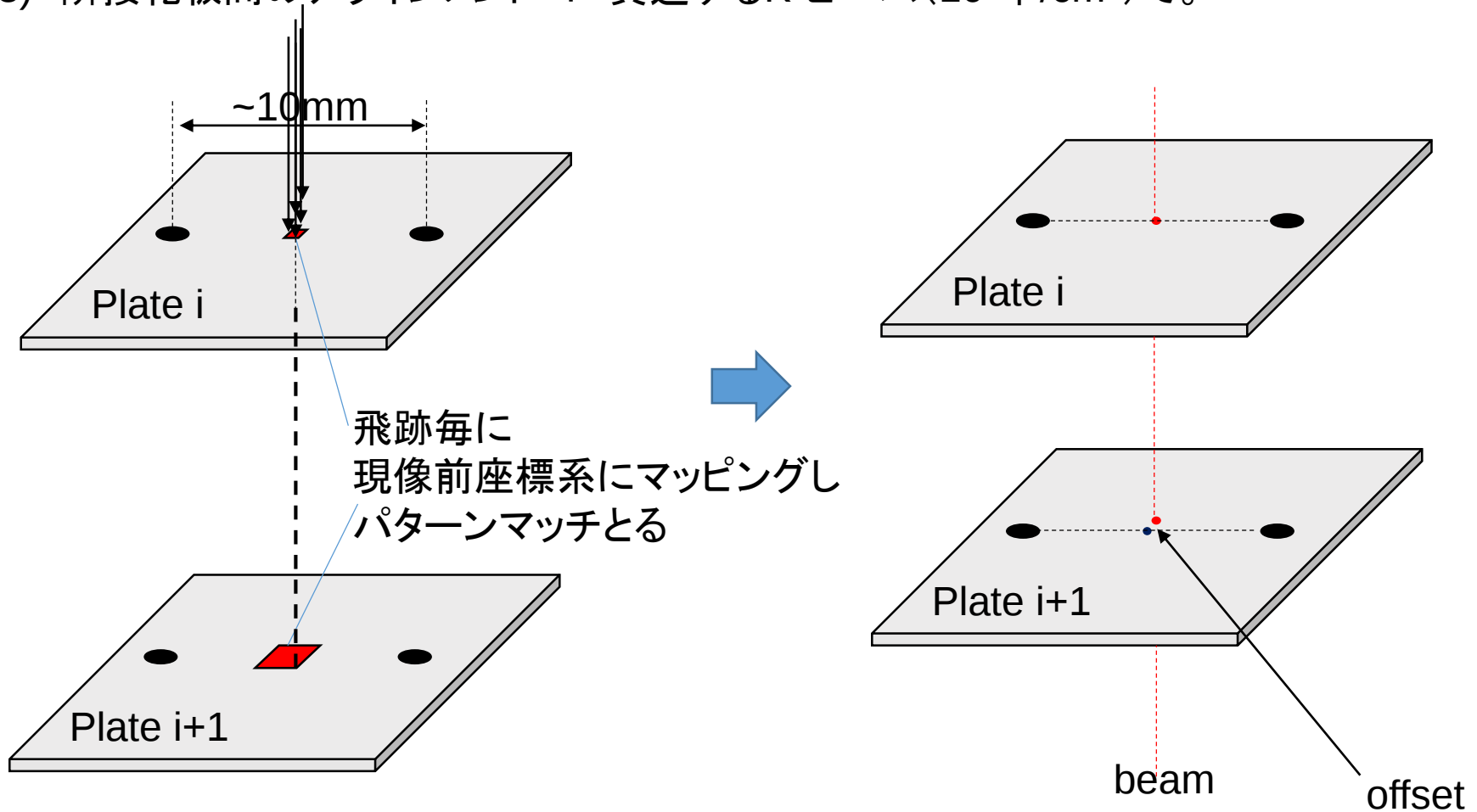
....

....



二次元ヒストグラムの
ピーク検出処理に帰着。

(3) 隣接乾板間のアライメント : 貫通するK-ビーム(10^6 本/cm²)で。



- ・上流: 約400 μ m四方
(10視野、飛跡1000本程度。)
- ・下流: 約2mm四方
(最大+-1mmのズレを見込んで。)

Mod004, pl01-02間@中央付近(0.0, -0.5)mm
飛跡本数

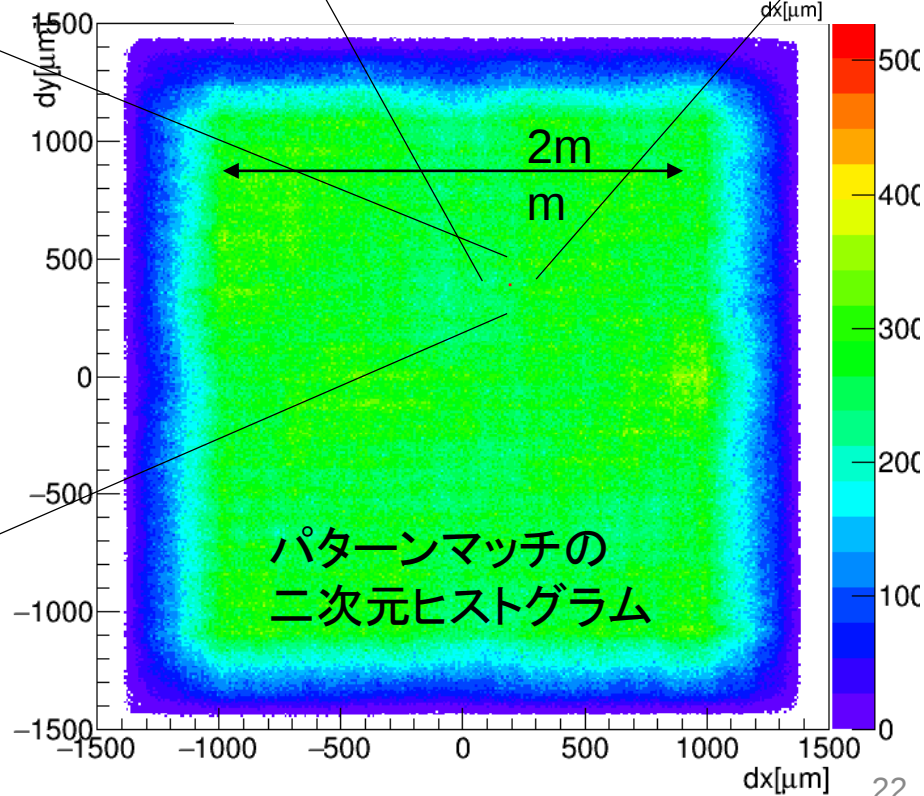
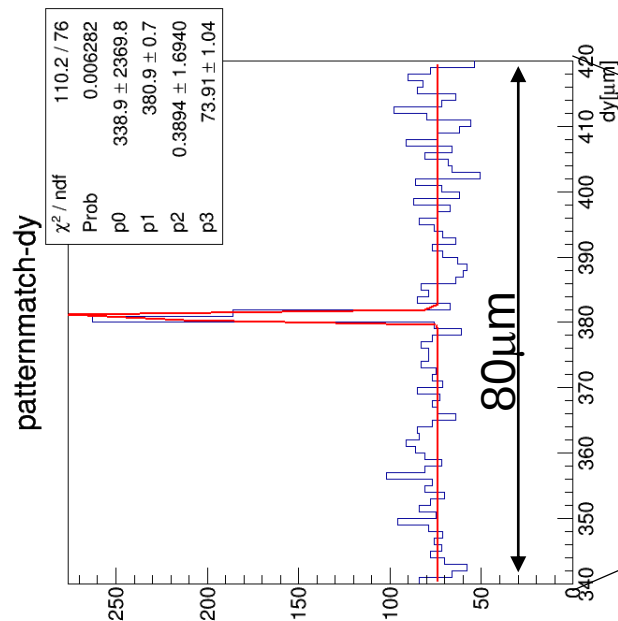
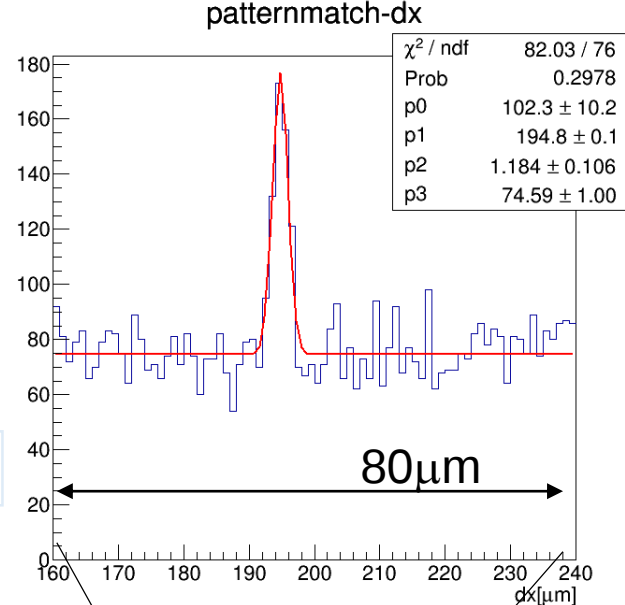
1.1k ($\sim 400\mu\text{m}$)² vs 28.5k ($\sim 2\text{mm}$)²

ピークの位置 (194.8, 338.9) μm

ピークの幅 (1.2, 0.4) μm

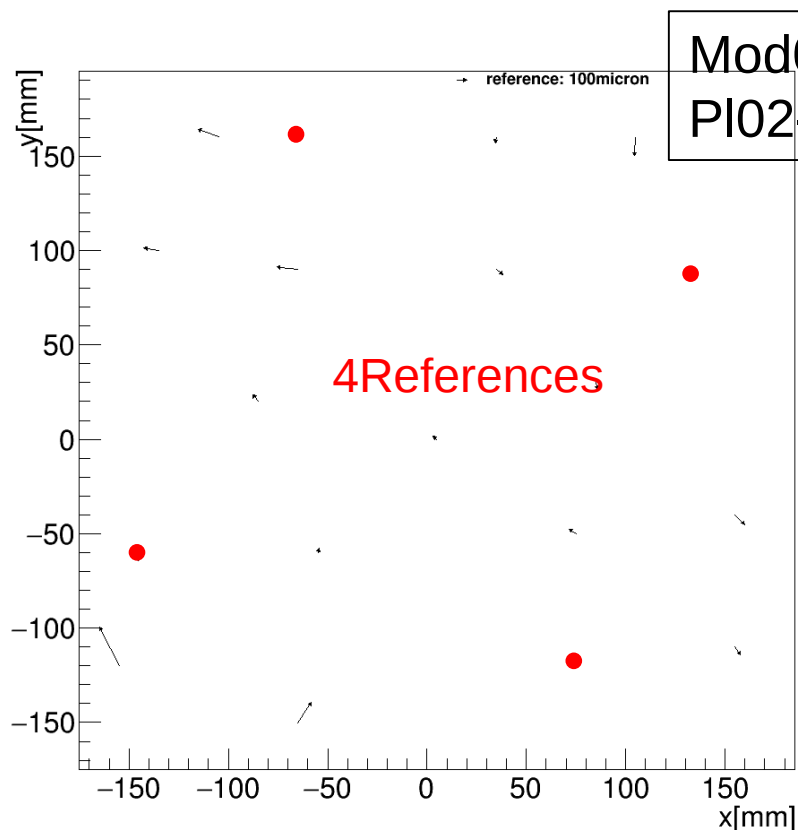
非対称性:ビームの角度分布

カド合わせの精度

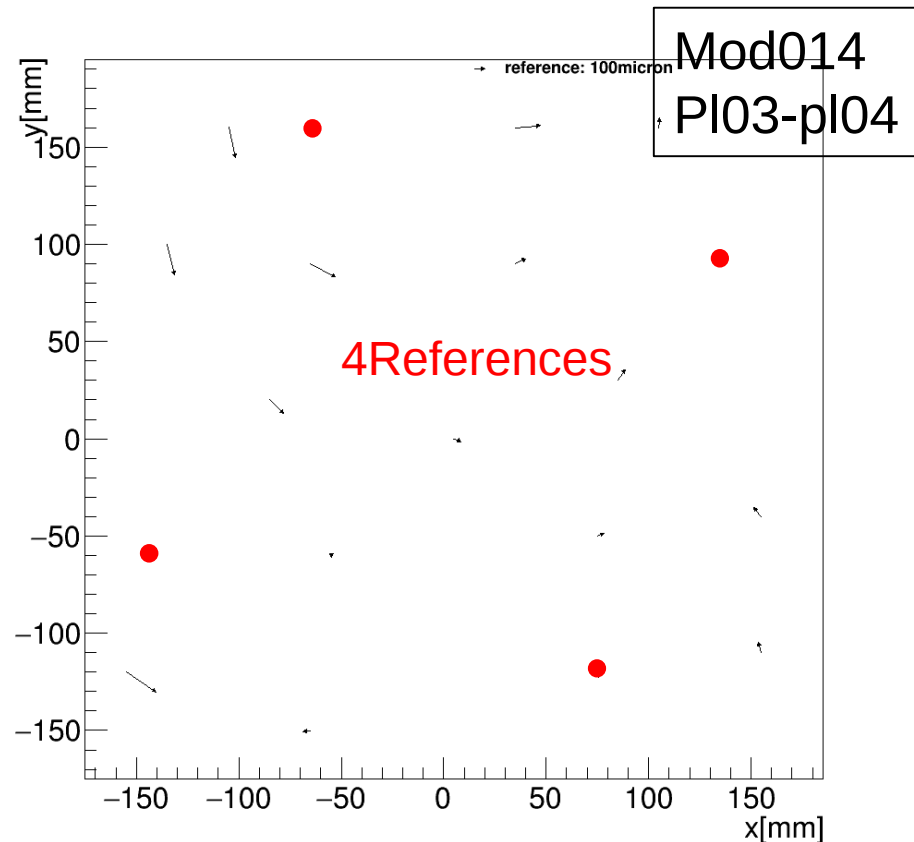


ピークまわり $\pm 40\mu\text{m}$, 幅 $\pm 15\mu\text{m}$ で
射影した一次元ヒストグラム
Const. + Gauss でfit

Residual; non-linear-deformation between beam-exposure and gridmark-printing



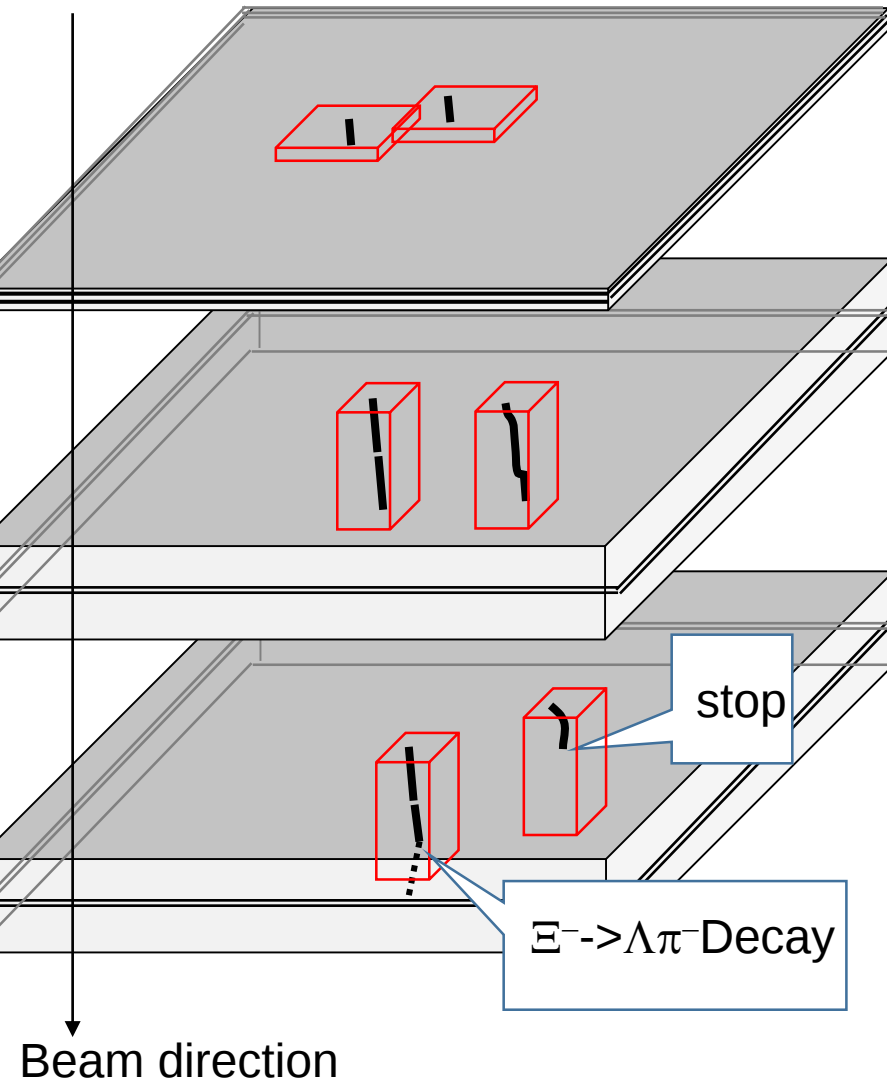
	Average[μm]	RMS[μm]
X	-30	20
Y	100	135



	Average[μm]	RMS[μm]
X	62	-34
Y	103	130

- ・50倍レンズ数視野の精度で予め座標系を構築しておく
- ・乾板またぎの際、 Ξ -飛跡の1本1本に対してパターンマッチをし接続を保証。
- ・2nd runからはグリッド照射をJ-PARCで行い、精度は $\sigma=20\text{micron}$ 程度になる見込み。

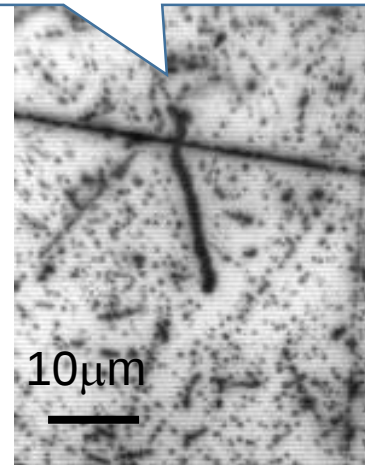
Track following : In Operation.



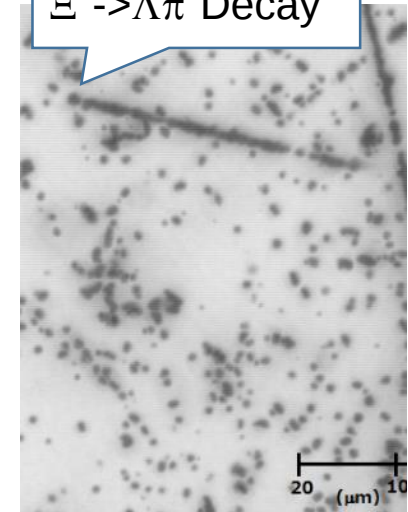
- SSD-pl01 connection
- beam pattern matching for adjacent sheets
- image taking around stopping point

Found events

Stop w/o fragment



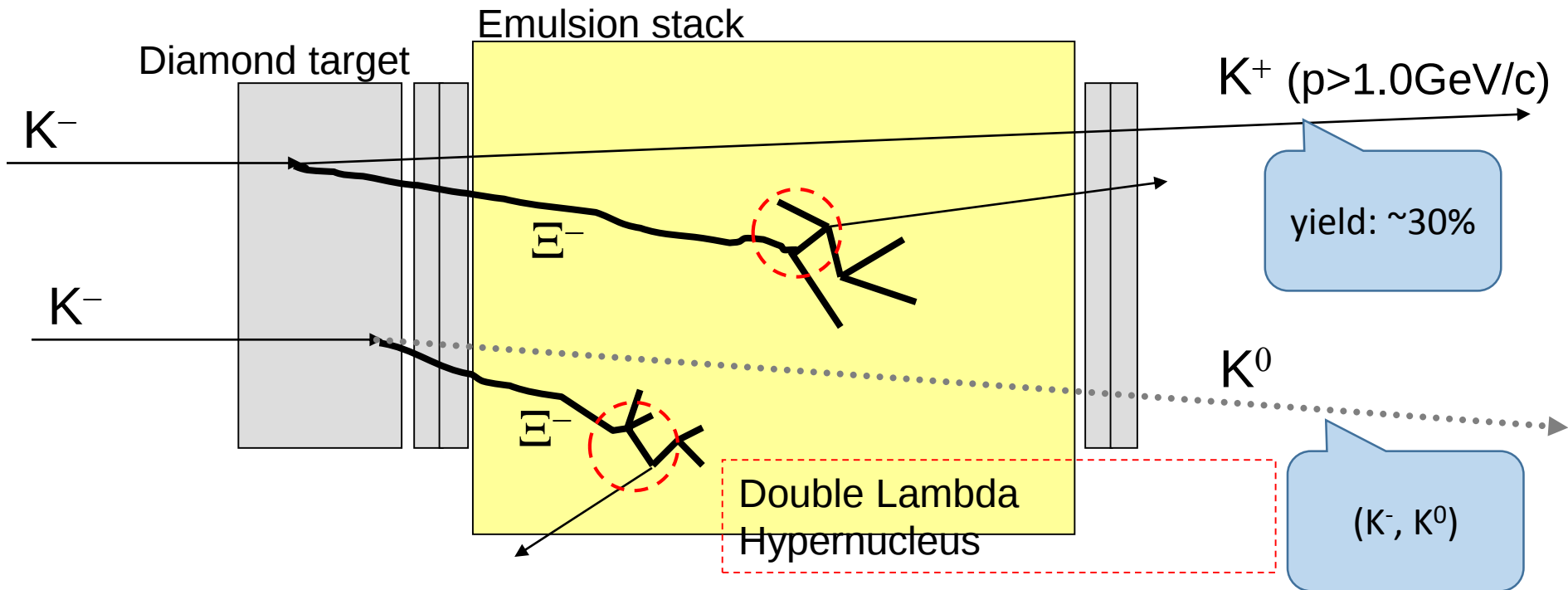
$\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$ Decay



How we obtain more double lambda hypernuclear events?

A new Experiment: J-PARC E07

A new searching method: Overall-scanning method

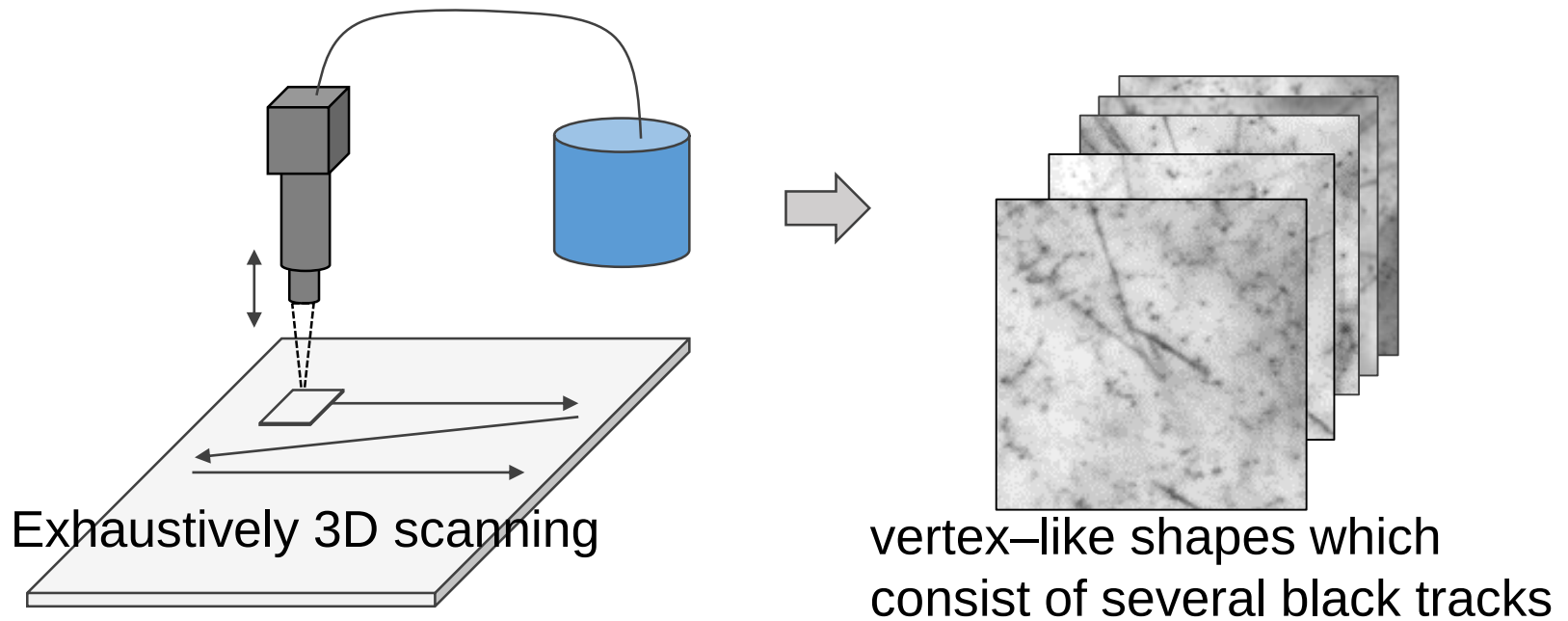


- Latent events (~ 10 times) may be recorded.
- Alpha decay search

“Overall-scanning method” by the “Vertex Picker”

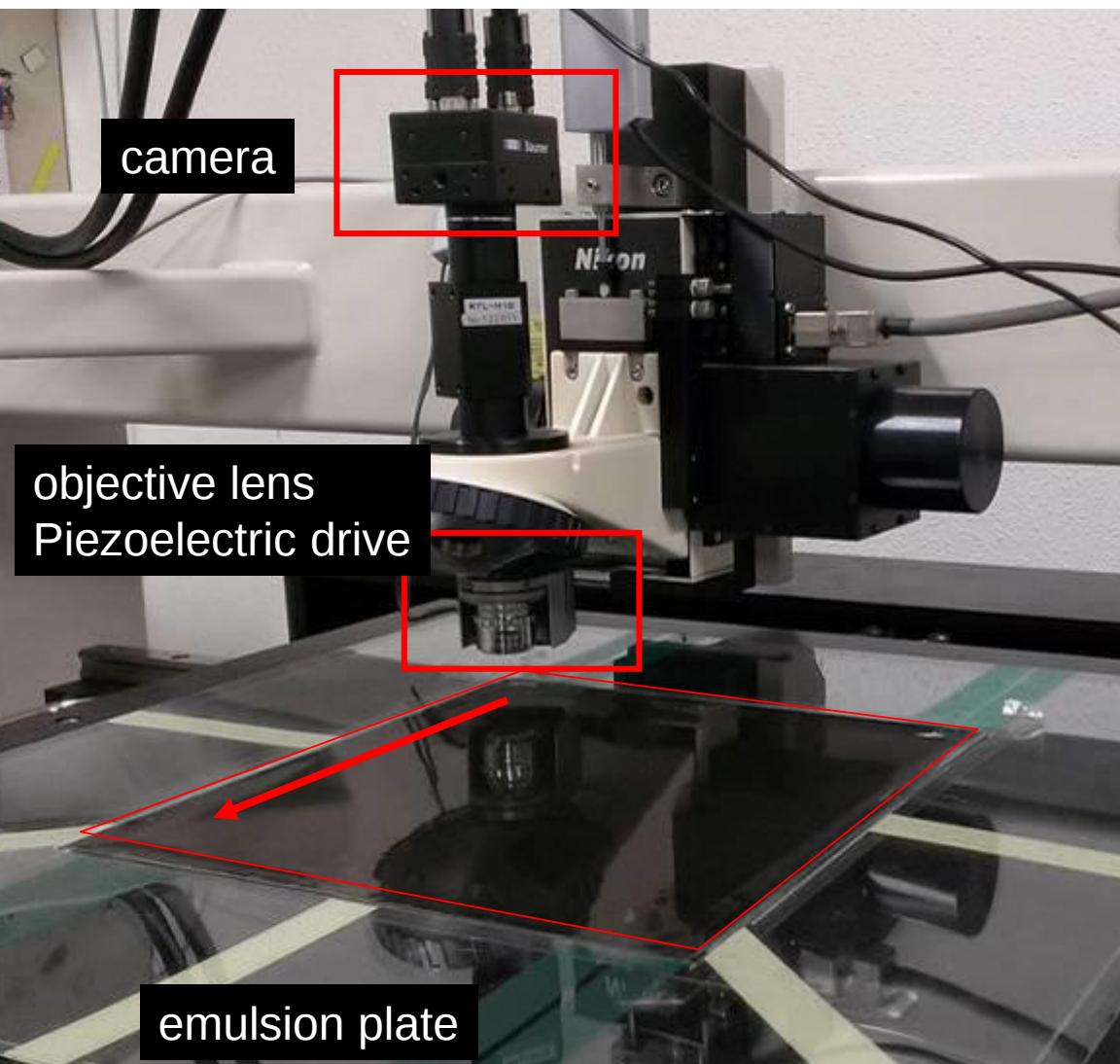
Concept and Key technologies;

- (1). 3-dimensional scanning under optical microscopic view.
- (2). Image process to find multi-vertex shape in emulsion.



J.Yoshida et al., NIM-A 847 (2017) 86–92

(1). Vertex picker (Stage#7,8)



high resolution CMOS
2048*358 pixel

high frame rate
800fps

wide F.O.V.
x20 dry lens (NA0.35)
1142*200 micron²

Piezoelectric drive
stroke 500 micron
period 5Hz
picture 40picts /cycle

Continuously stage moving

Designed speed:

10mm*10mm*0.9mm / 2min. = ~40 hours @plate (340*335*0.9[mm³])

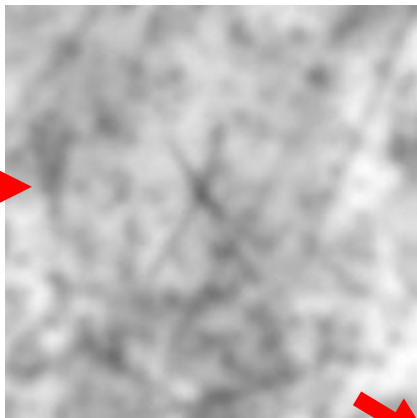
To accomplish scanning of ~1000 films within a few year.

Original image



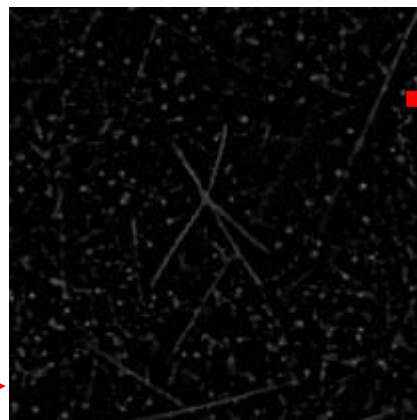
x20 Objective (NA0.35)
1 pix = ~0.6 micron

Gaussian filter



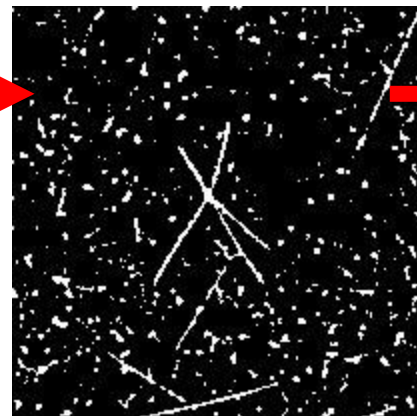
kernel size = 17pix

Difference of Gaussian



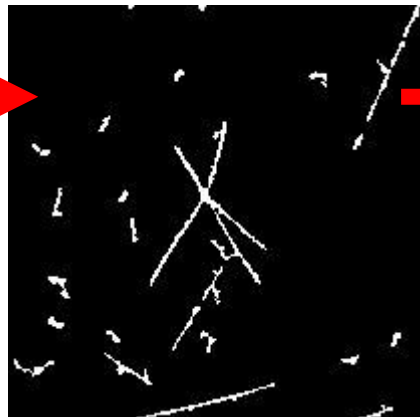
(smoothed – source)
if negative, brightness=0

Binalization



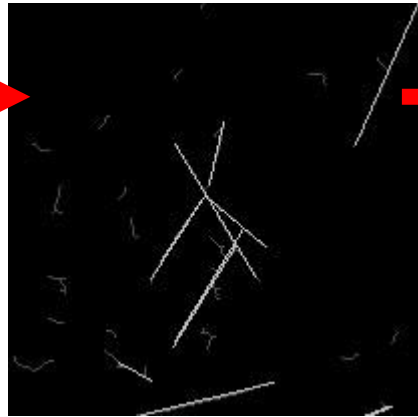
threshold $\sim$ peak*0.2

Filter for bold tracks



contour length > 5pix
area > 10pix

Prob. Hough Trans.

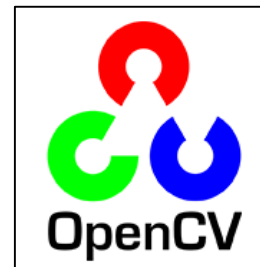


resolution = 1degree
threshold = 16 pix / line

Vertexing



dist-edge-to-edge = 15pix
N_Tracks > 3
polygon area > 1000pix



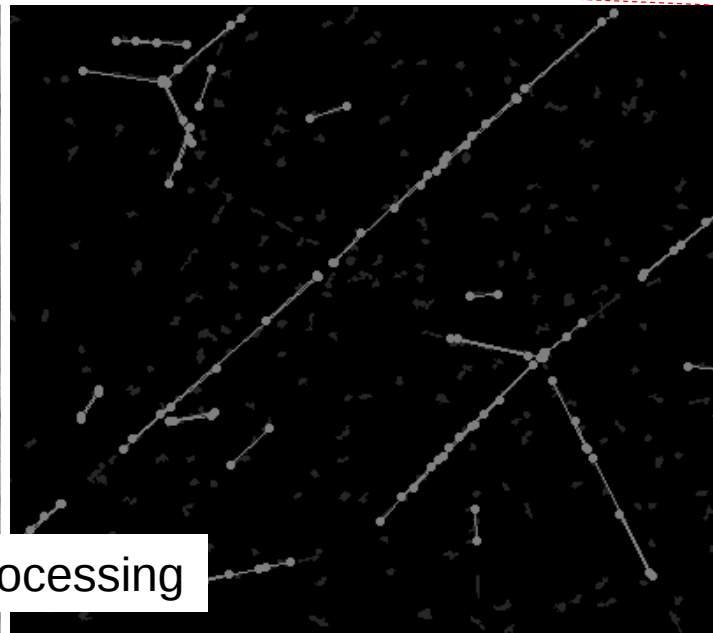
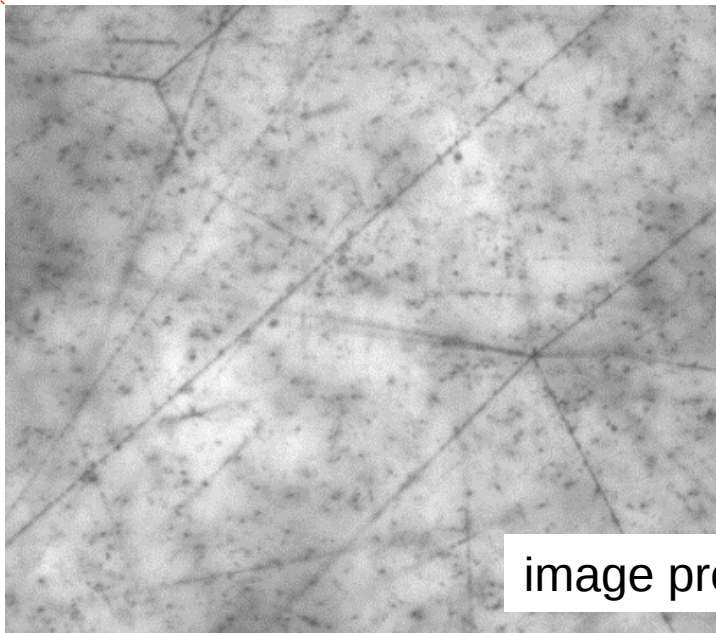
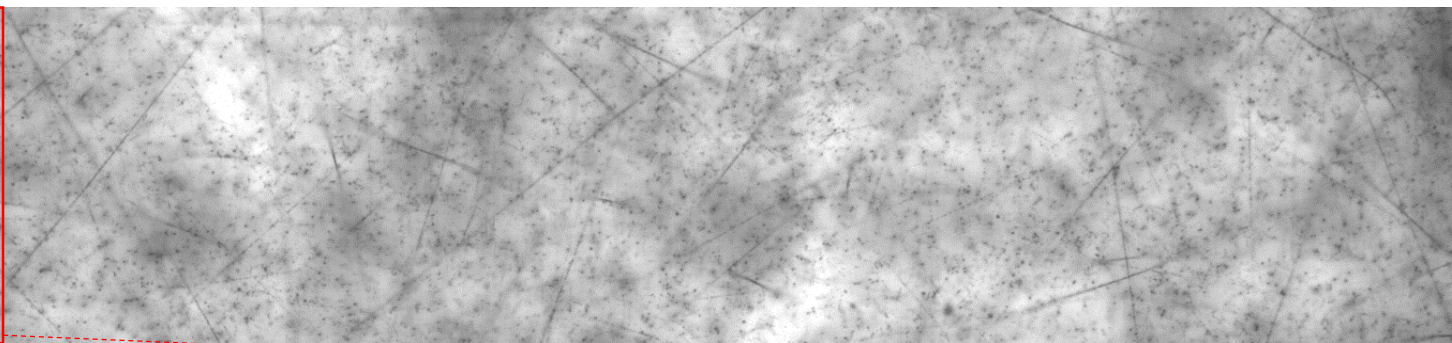
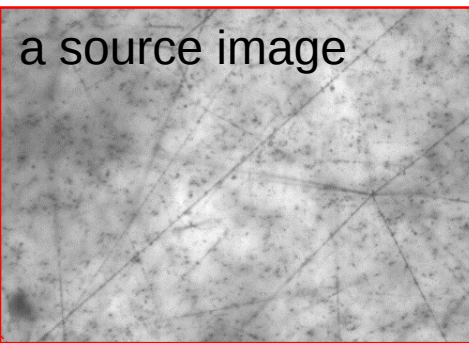
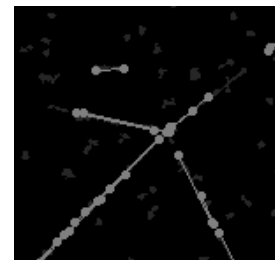
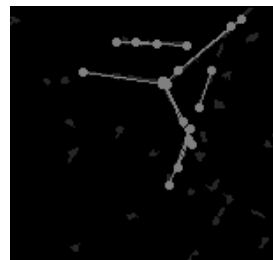
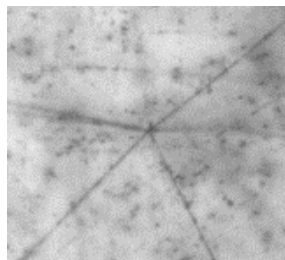
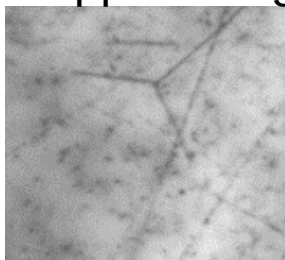
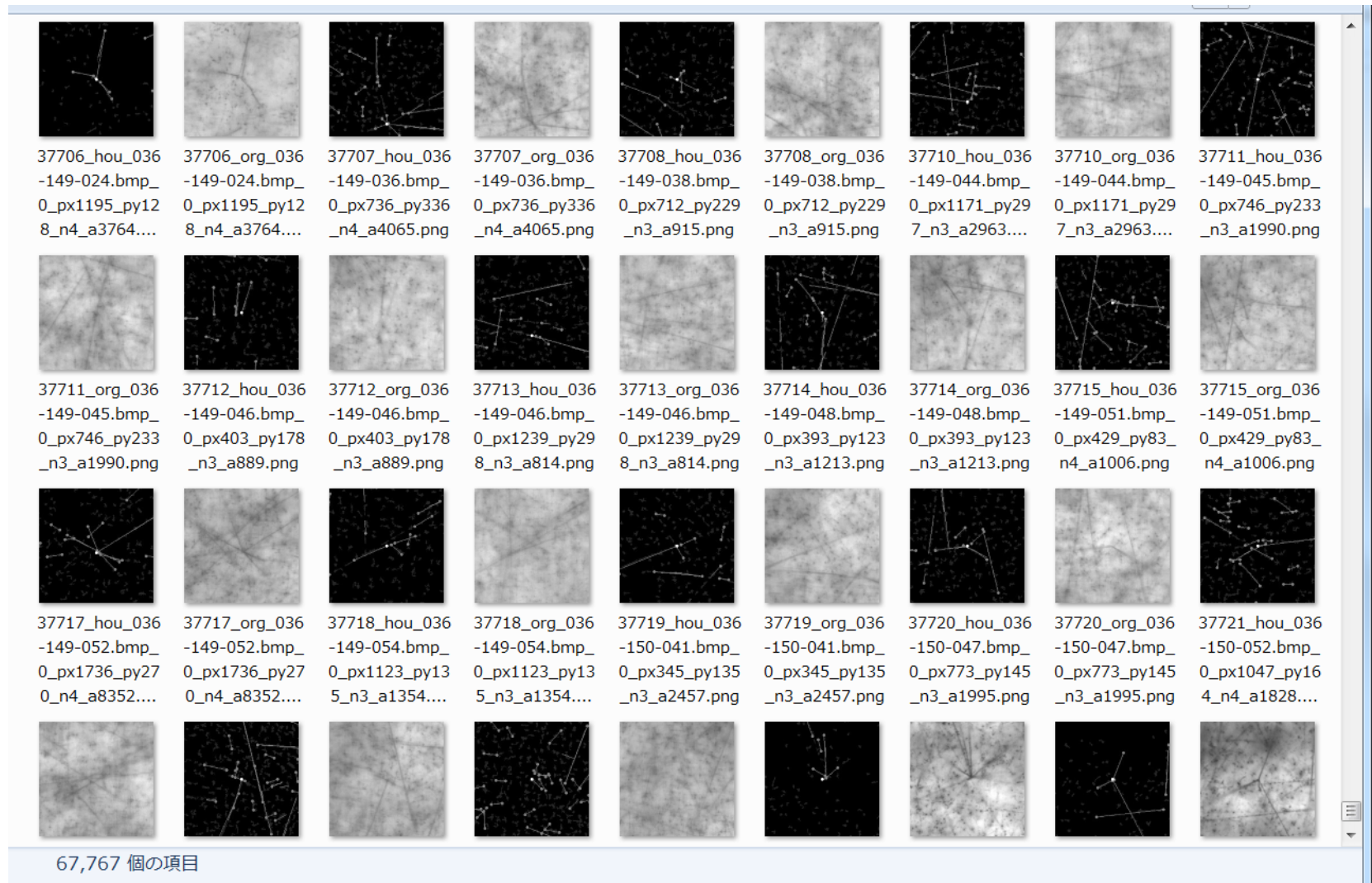


image processing

cropped images

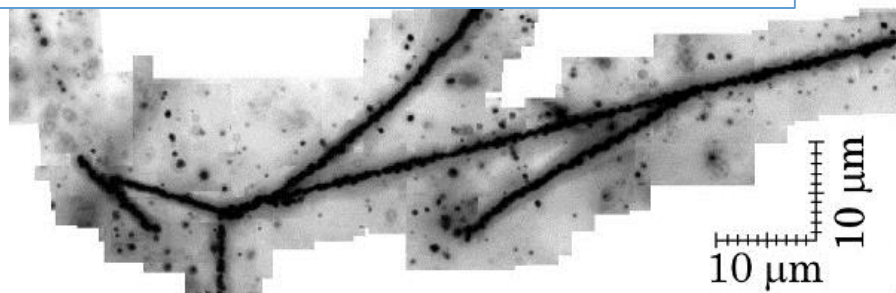




- OpenCV, an open source library for image processing in C++ and python, is used.
- Nearly 3k events were extracted in a volume of 10mm * 10mm * 0.9mm

- ・定常的にデータ取得を運用中
- ・ハイパー核のツイン事象(木曽イベント)を検出。初のグザイハイパー核検出と解釈。

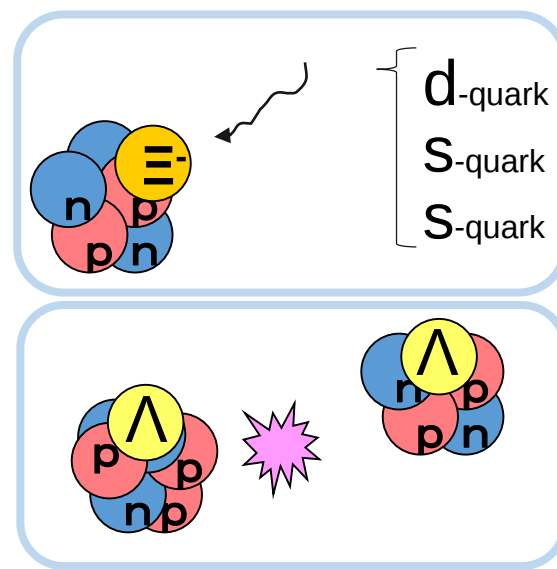
木曽イベント: $\Xi^- + {}^{14}\text{N} \Rightarrow {}^{10}_{\Lambda}\text{Be} + {}^5_{\Lambda}\text{He}$



三粒子と原子核の、強い相互作用による束縛状態。

$$B_{\Xi^-} = 1.11 \sim 4.38 \pm 0.25 \text{ MeV}$$

PTEP. (2015) 033D02.

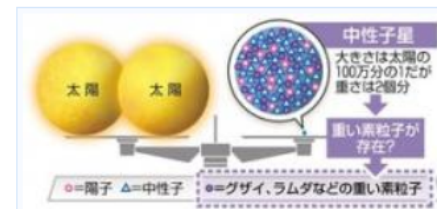


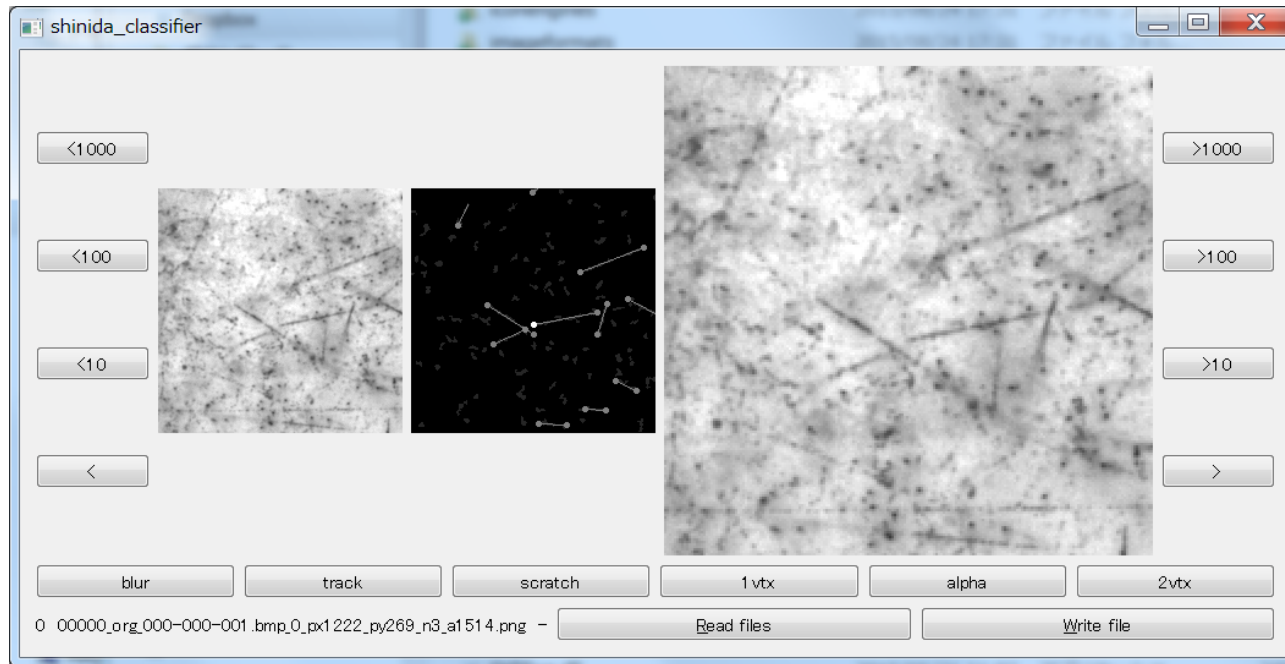
2015年1月19日 中日新聞 朝刊

岐阜、宇宙創生の謎に一步 中性子星に「グザイ」存在

岐阜大の仲沢和馬教授(実験物理学)と日本原子力研究開発機構(茨城県)などのグループは、恒星の最終形態である中性子星に含まれていると推定されている素粒子「グザイ」の性質を解明した。中性子星にグザイが存在することをほぼ確定する成果で、宇宙創生の秘密に迫る大きな一歩として注目される。

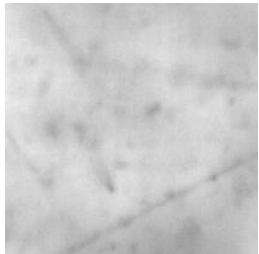
結果は、日本物理学会などがインターネットで発表する学術論文誌に近く掲載される。



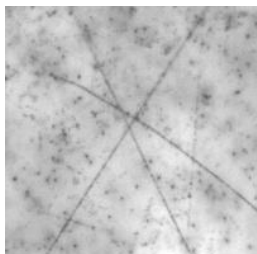


eye-check speed: 1000 events / hour

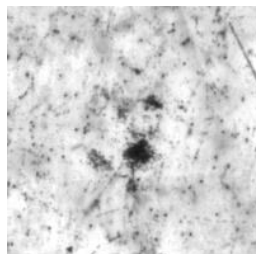
Categories:



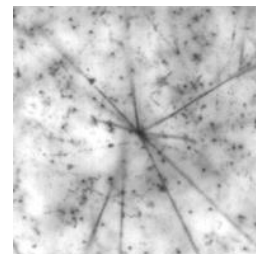
B:
blur



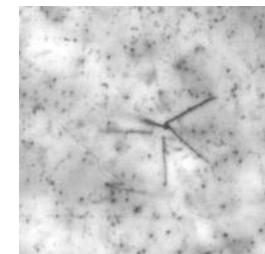
T:
through



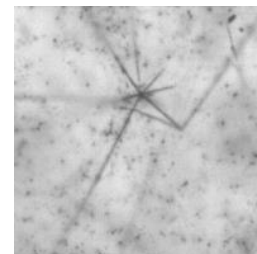
S:
object on surface



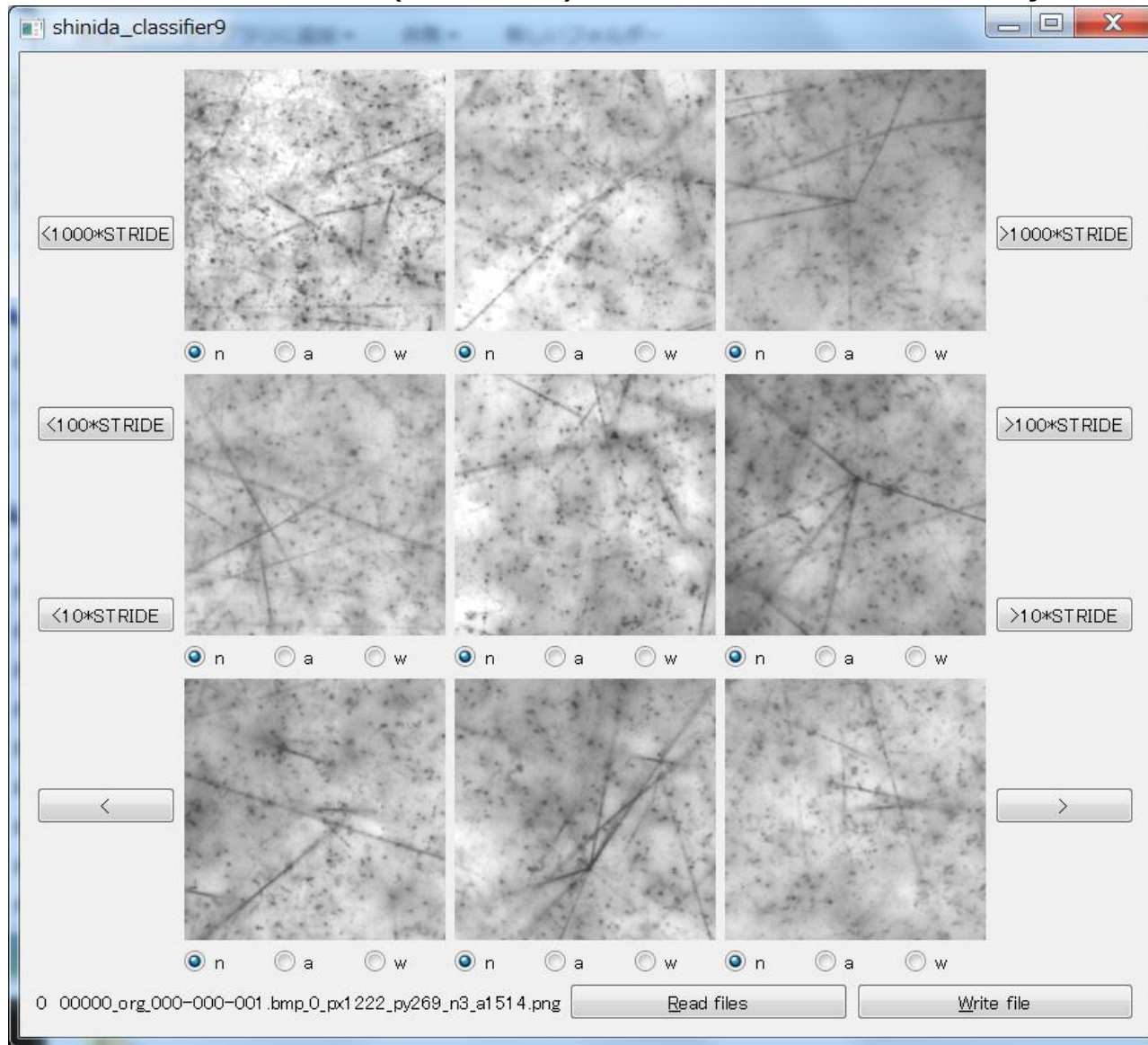
V:
vertex



A:
alpha decay



W:
2vertices

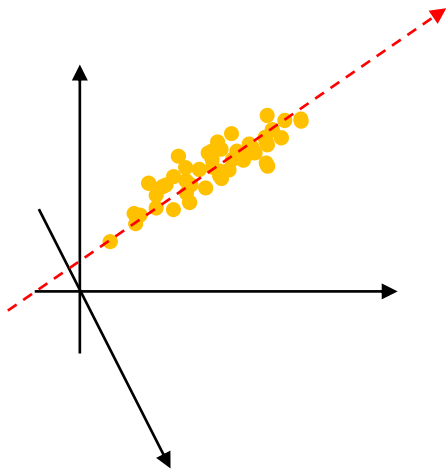


人の目による画像分類がボトルネック

機械学習 (Deep learning) による画像分類を導入。(2015年夏ごろから)

Deep Learning への道(1): 主成分分析

- ・100pix*100pixの画像は10000次元のベクトルであり、10000次元空間内の1点。
- ・画像分類とは、多次元空間の地図を作るのと等価。
- ・しかし、点の分布に強い相関がある場合、パラメータを削減できることがある



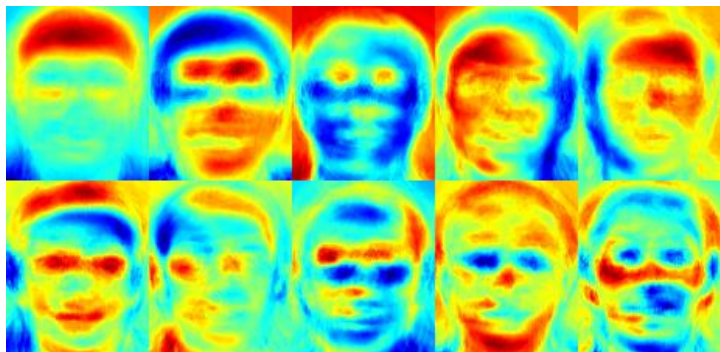
例: 3次元空間内に強い相関をもって分布している点群

赤い軸に射影した成分を考えるだけで
おおよその位置を表現できる

- ・点群を軸に射影した時、最も分散が大きくなるような軸を見つける
- ・さらに、その軸と直交し、次に最も分散が大きくなるような軸を見つける
- ・繰り返す
- ・正規直交基底に相当する軸を探す(主成分分析、PCA)

Face Recognition with OpenCV

http://docs.opencv.org/2.4/modules/contrib/doc/facerec/facerec_tutorial.html



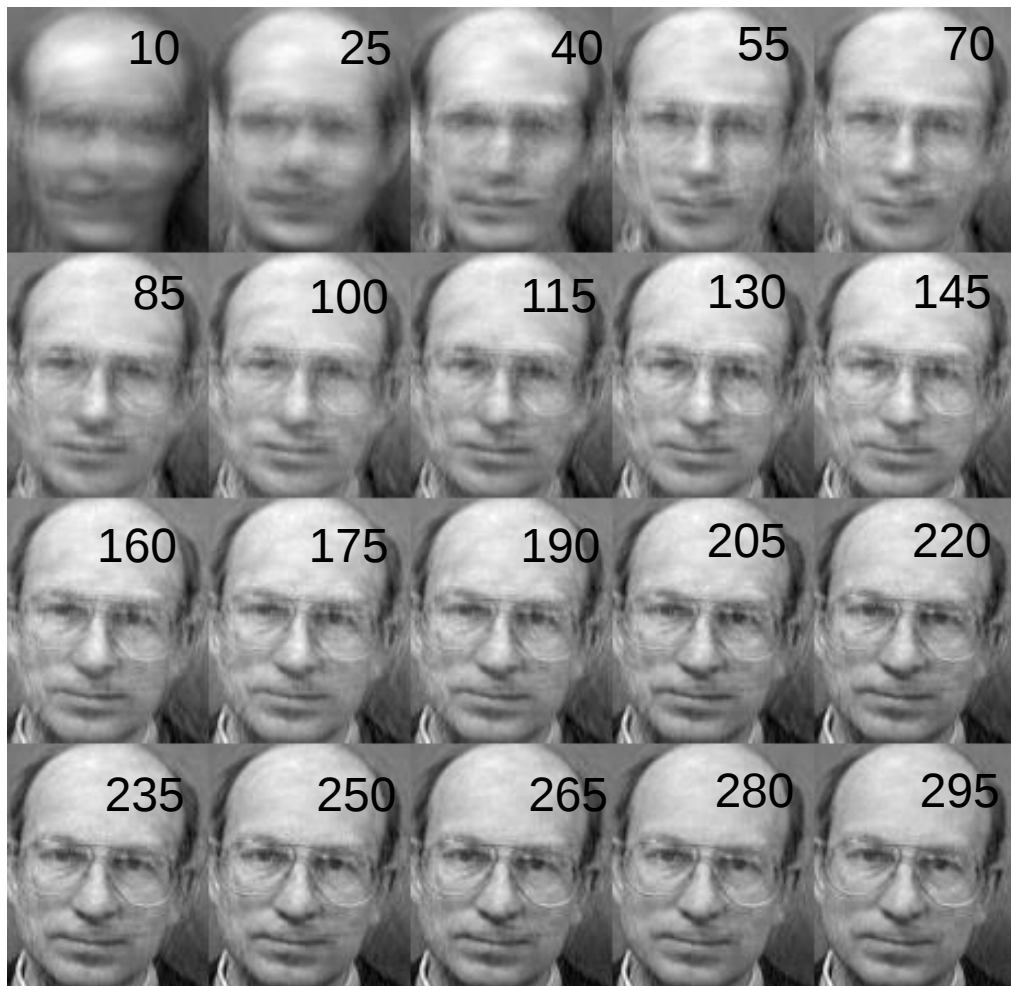
Eigenfaces

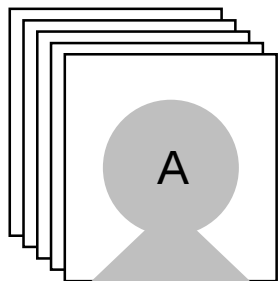
40人*10枚の画像セットから生成

右図:

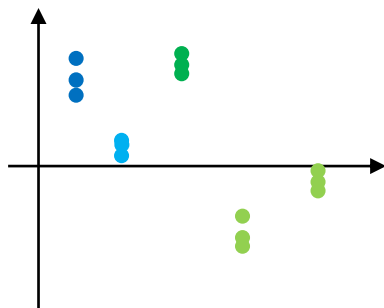
上位N個のEigenfacesの線形結合で
顔画像を復元。

150程度のパラメータ数で元の画像を
おおよそ復元できるとみなせる。

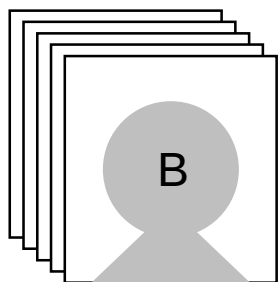




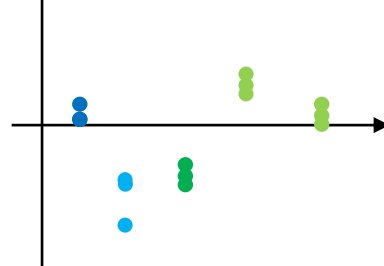
成分、内積



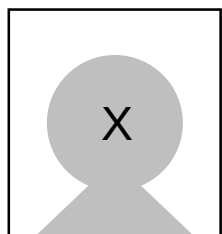
固有ベクトルの番号N



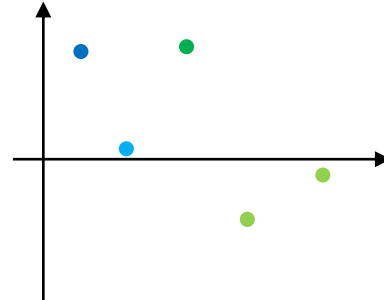
成分、内積



固有ベクトルの番号N



成分、内積



固有ベクトルの番号N

N個の数値にまだ相関がある場合は、
もう一度固有ベクトルを探してやってもよい。

Deep Learning への道(2):テンプレートマッチング、コンボリューション



テンプレート

内積計算

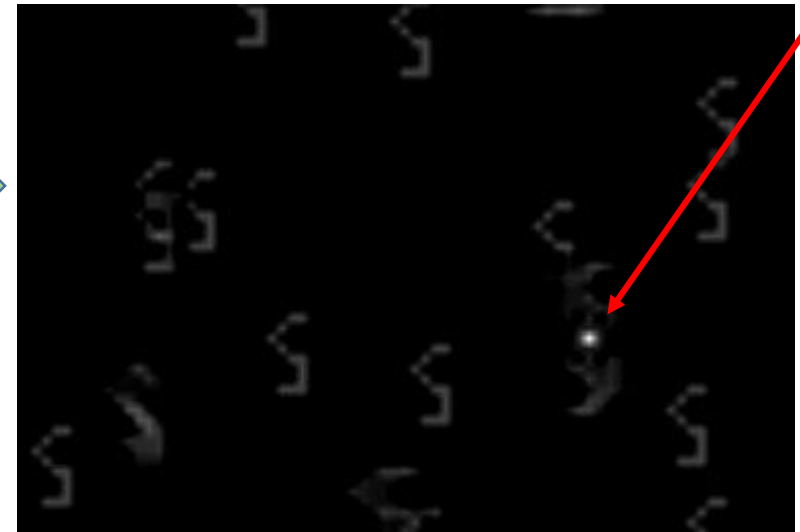
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0

元画像



窓枠をスライドさせていく

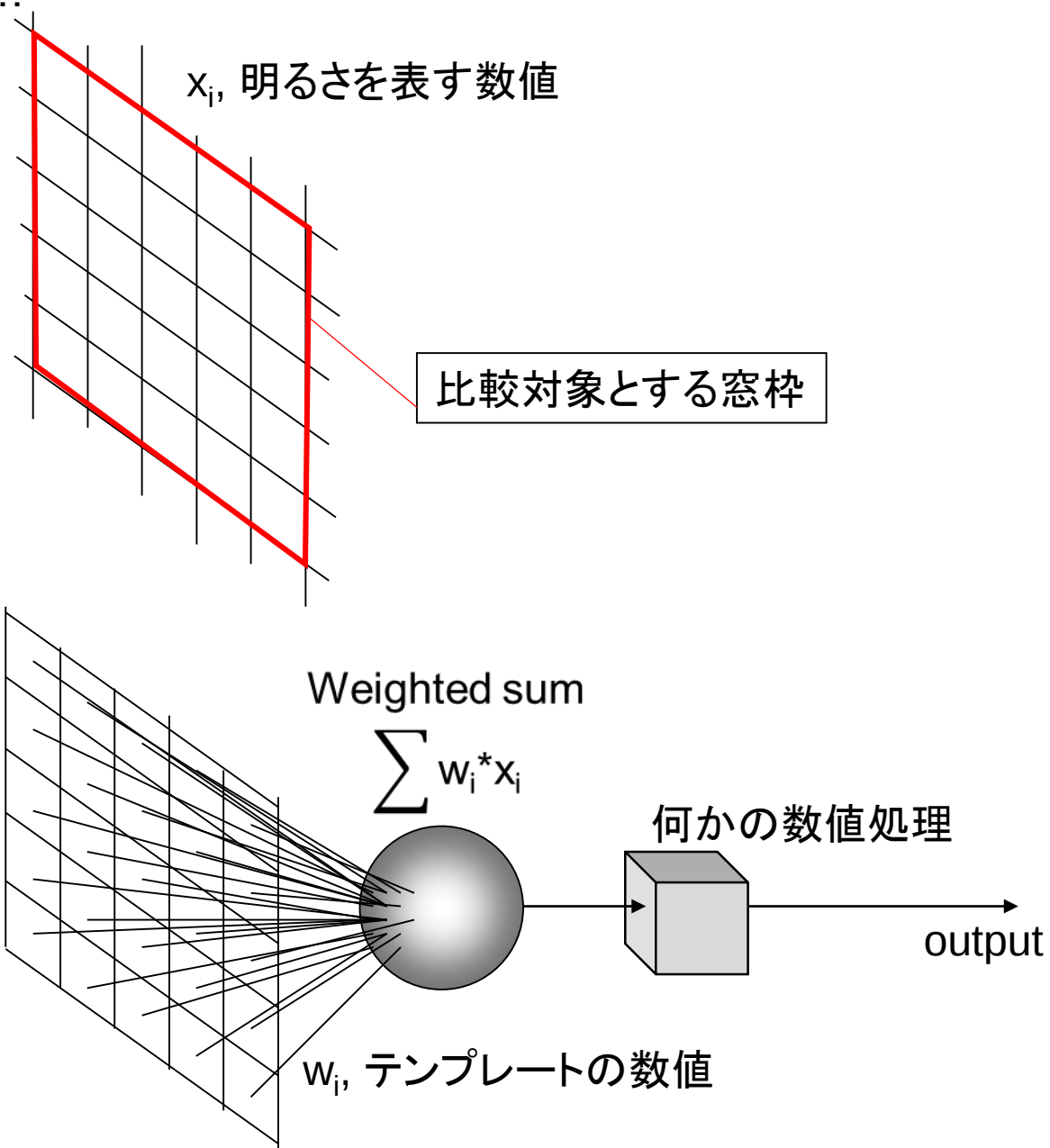
内積を明暗で表現したもの



“5” の場所

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0

図示すると...



バリエーションが豊富な物体の認識(手書き文字、運転席から見える風景)

- ・適切なテンプレートを用意し、適当な計算量で精度の良い識別器を作りたい



手書き数字のサンプル: MNISTより

入力: 3chカラー画像



Layer Activations

conv1



pool1



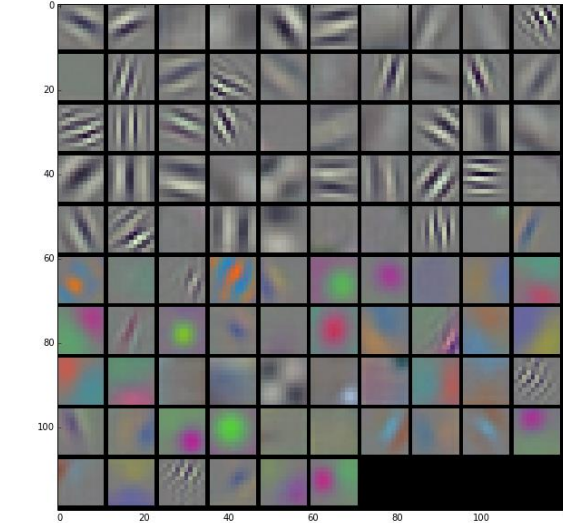
norm1



1st convolutionの結果
内積の値が負ならばゼロにする(activate function:ReLU)
96個のうち、64個を表示

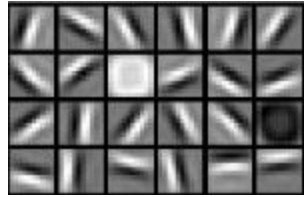
1st pooling (max-poolingによって1/2にダウンサイジングする)

正規化(Local Response Normalization)



輝度勾配を検出するテンプレート
11pix*11pix*3chカラー画像 96個

出力: 96ch 画像。 この次は5pix*5pix*96chのテンプレート256個でconvolution 41



ごく単純な形を認識させる

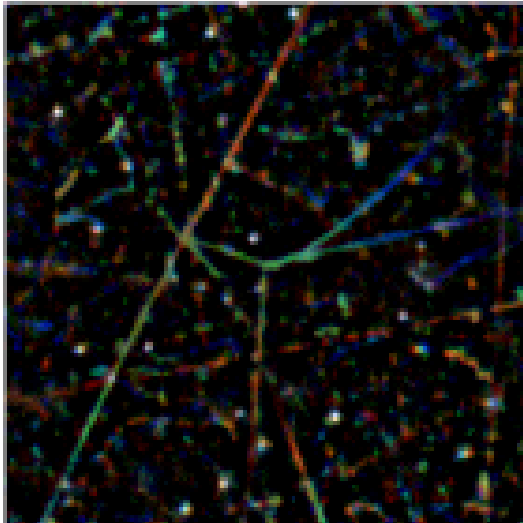
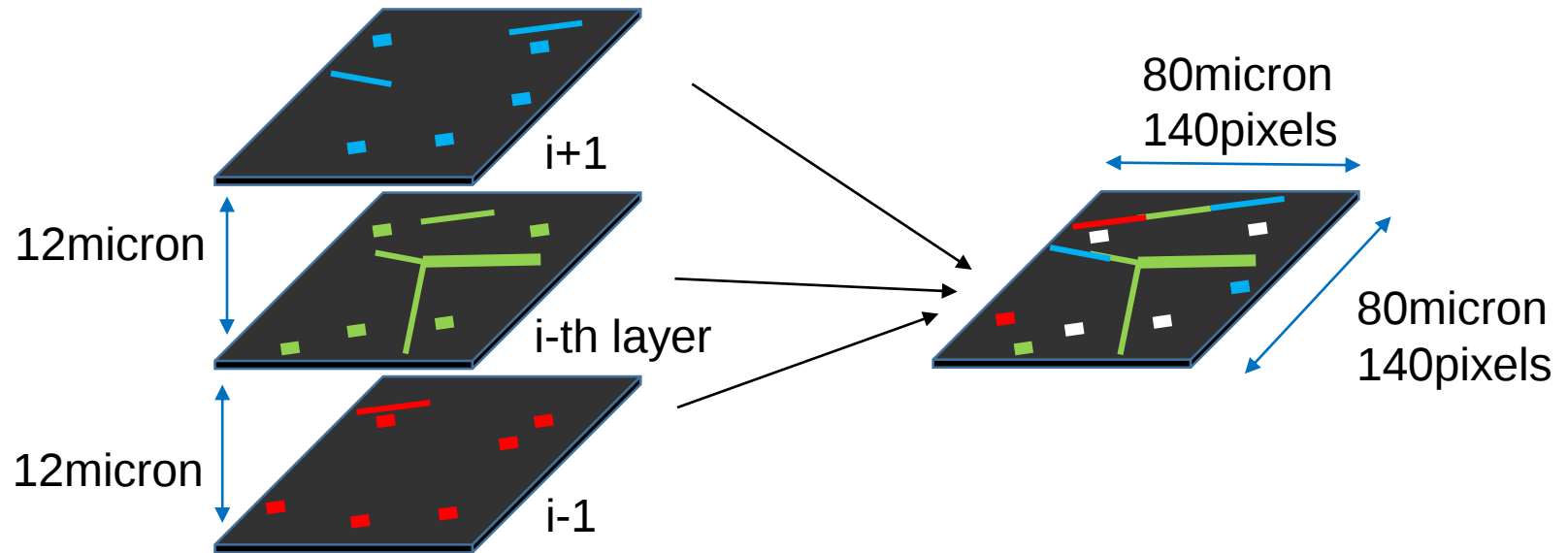


「単純な形」の組み合わせとして
やや複雑な形を認識させる

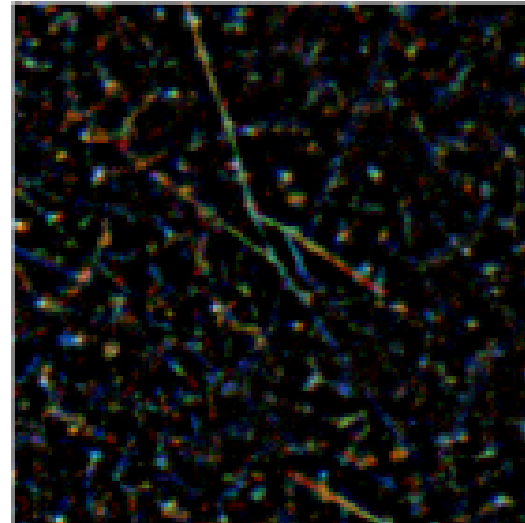


さらに複雑な形を認識させる

ちょうどRGBの3つあるカラーチャンネルを使って、3層分の深さ情報を表現



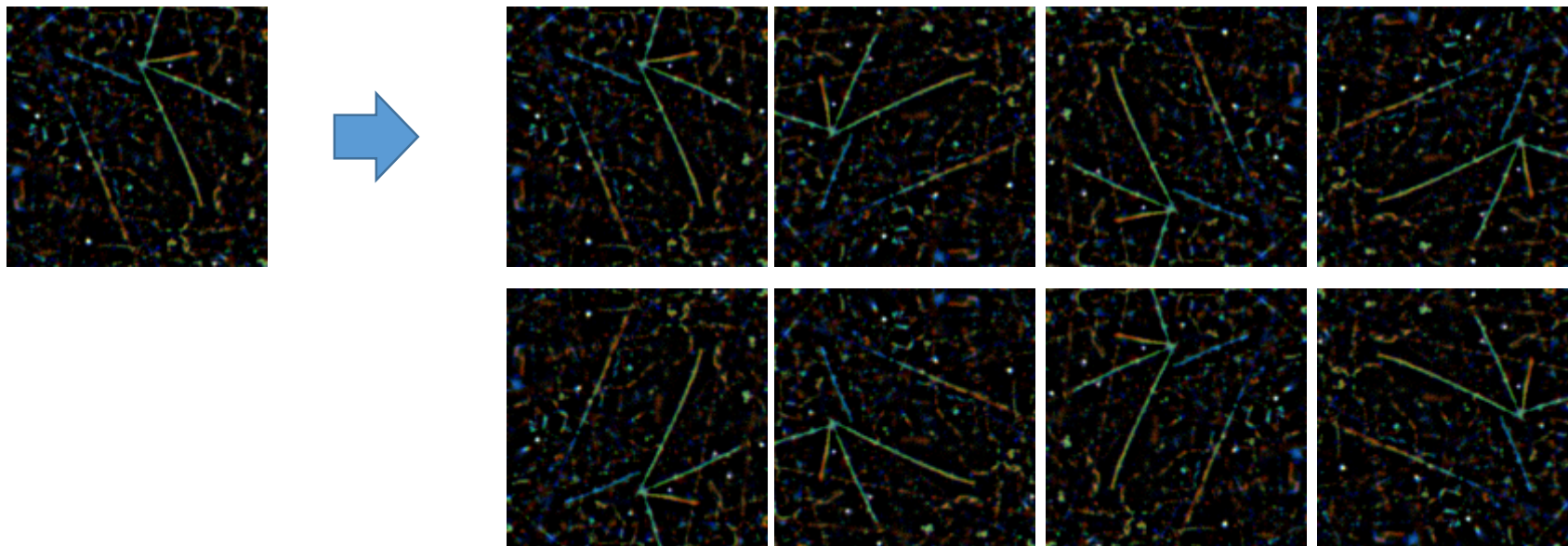
Kiso event



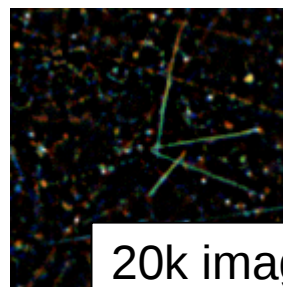
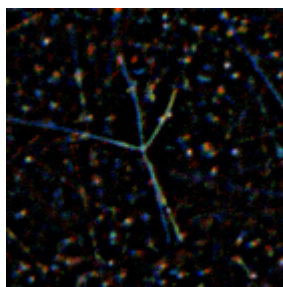
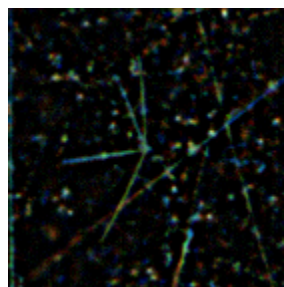
Nagara event

8万3千枚の分類済み画像に対し、
Data Augmentationを用い、
画像サンプルを67万枚にした。

Data Augmentation: 反転、回転で、この場合は8倍に増した。



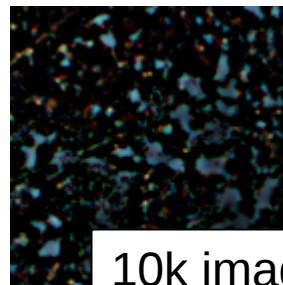
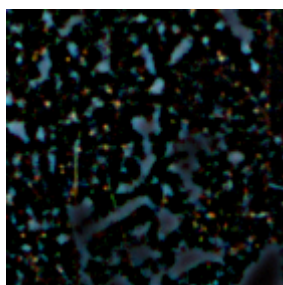
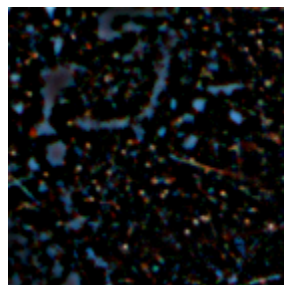
a, alpha decays



20k images

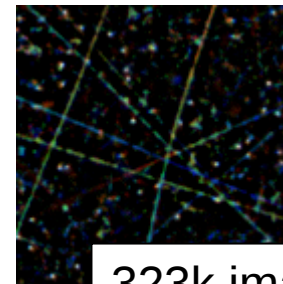
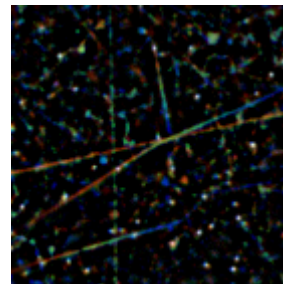
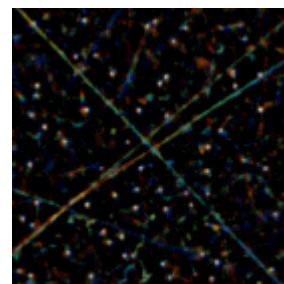
75%
for training

b, blur
s, object on surface



10k images

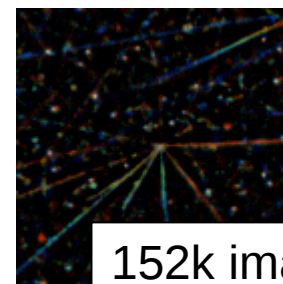
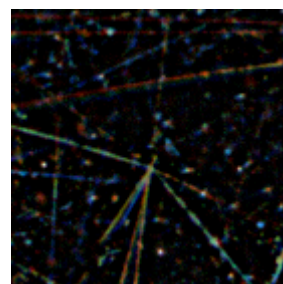
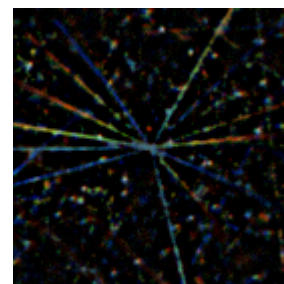
t, through



323k images

25%
for validation

v, vertex
w, 2-vertices



152k images

Training

OS: Ubuntu 14.04 LTS

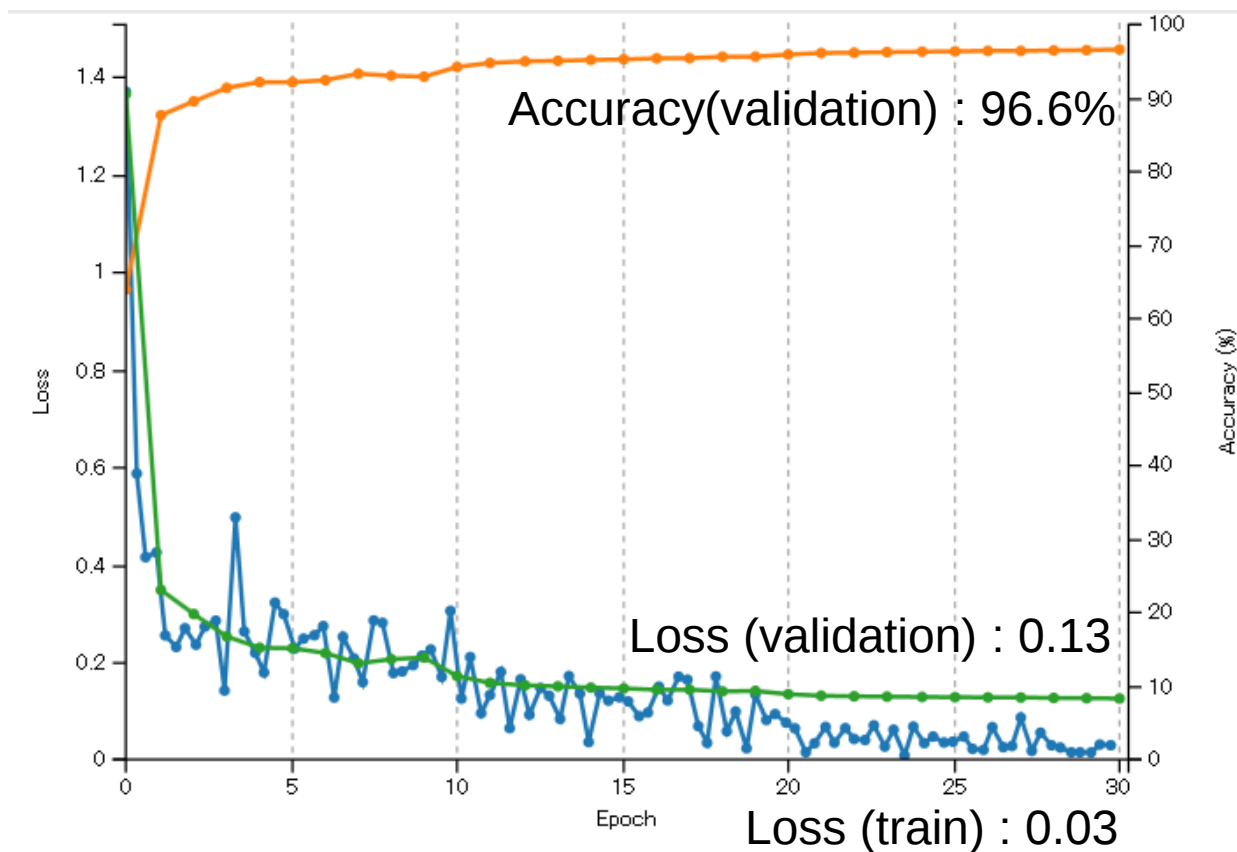
GPU: GeForce GTX 970

Tool: Caffe developed by the BVLC

Network: AlexNet

学習時間: 7時間半

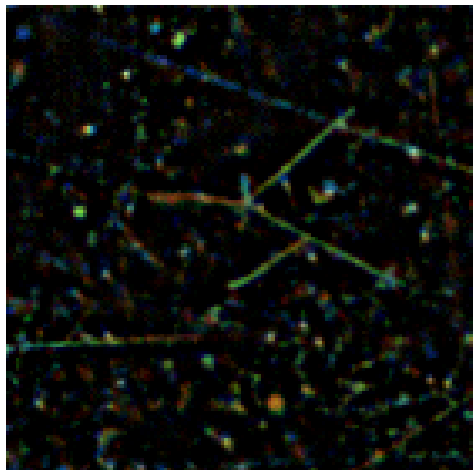
Training progress



@30th epoch

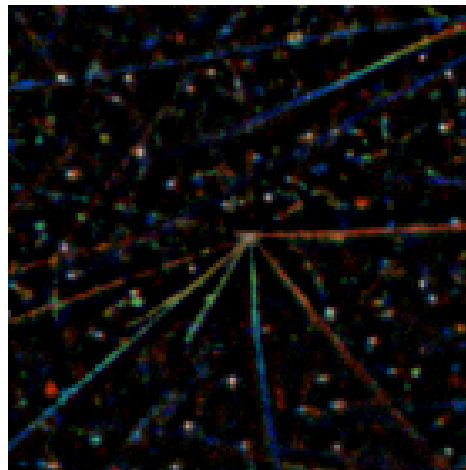
画像分類の結果の例:

正解



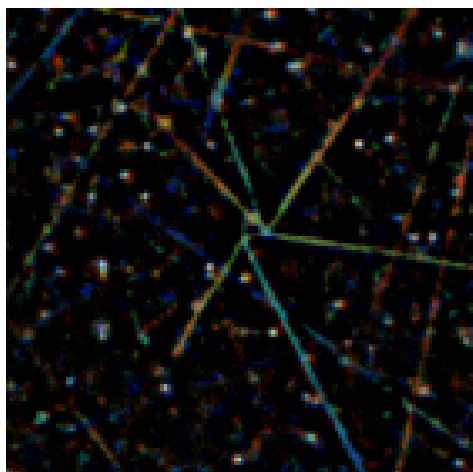
91.72% **a**
7.44% vw
0.79% t
0.06% bs

正解



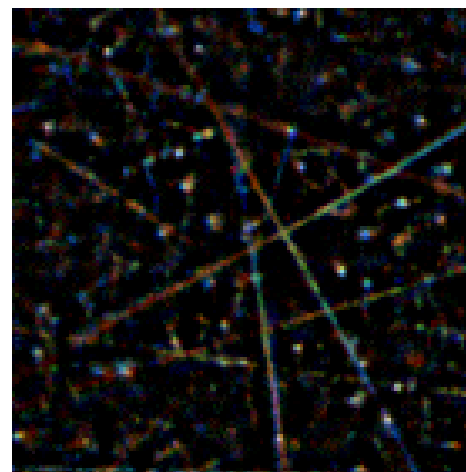
99.69% **vw**
0.30% a
0.01% t
0.00% bs

正解

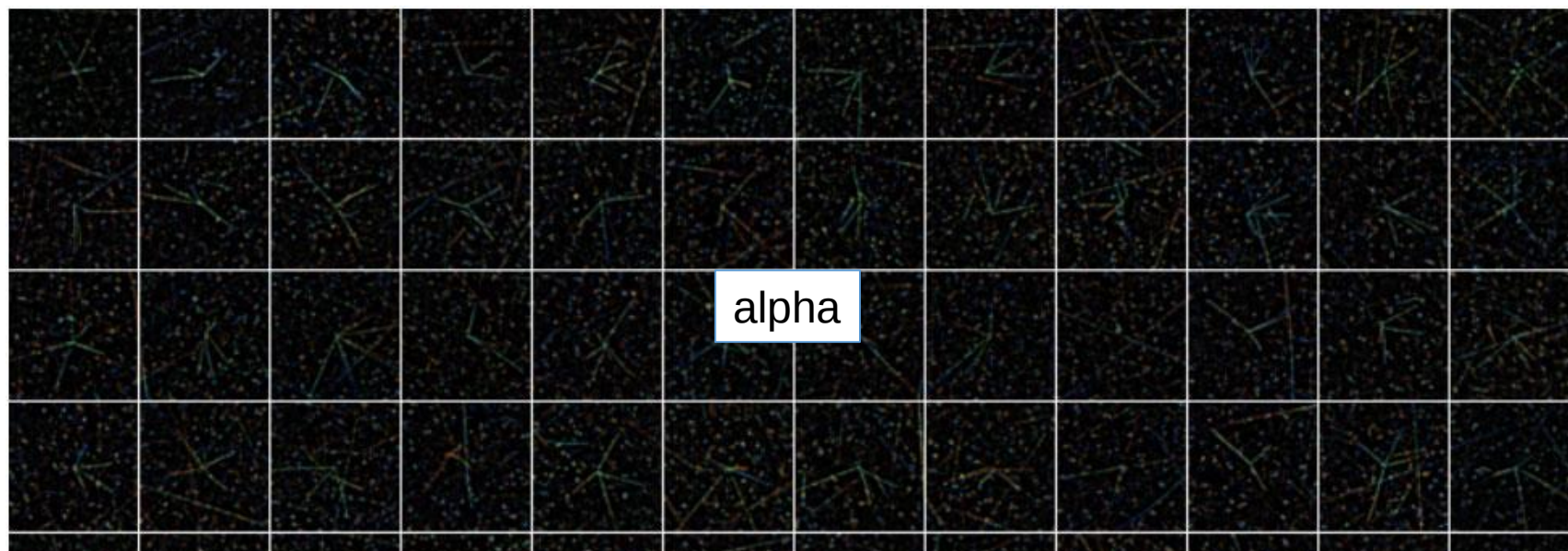
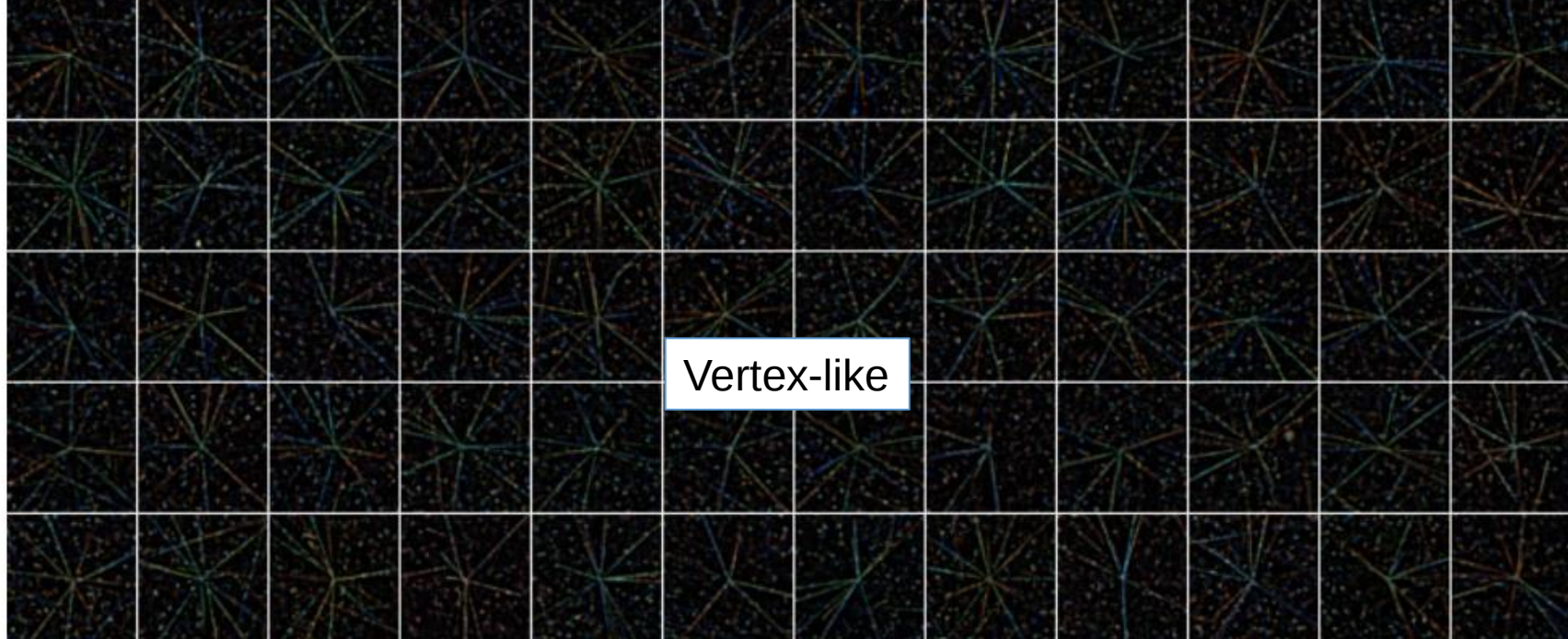


99.80% **vw**
0.15% a
0.04% t
0.01% bs

正解



95.30% **t**
4.39% vw
0.18% bs
0.12% a



集めてきた個体に変なバイアスがかかっていないか(念のため)検証中

名古屋のエマルショングループの歴史

丹生潔名誉教授

高エネルギー宇宙線の間接子多重発生の研究

チャーム粒子の発見

1980年代

ニュートリノビームを使ったチャーム粒子の研究 (FNAL E531など)

ハドロンビームを使ったB粒子の研究 (FNAL E653など)

ダブルハイパー核の研究 (KEK-PS E176)

など

1990年代

タウニュートリノ検出 (FNAL Donut 丹羽名誉教授)

ニュートリノ振動実験 (CERN CHORUS)

ダブルハイパー核の研究 (KEK-PS E373)

飛跡読取装置が開発され
解析に投入。

2000年代

ニュートリノ振動検証実験: OPERA

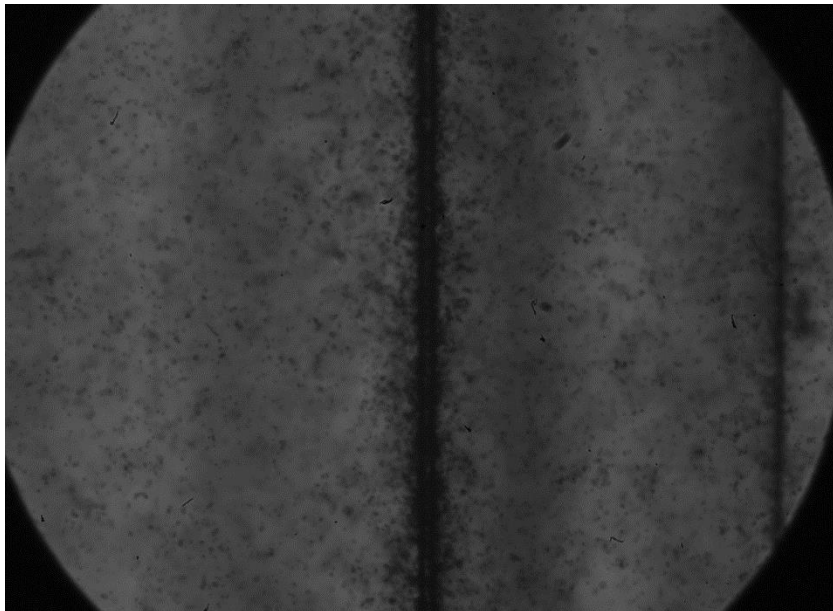
2010年代

- ・宇宙線ミュオンラジオグラフィ: 巨大構造物の透視
- ・Neutrino Interaction research with Nuclear emulsion and J-PARC Acc.
- ・Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion
- ・Directional Dark Matter Search
- ・中性子検出
- ・ダブルストレンジネス核

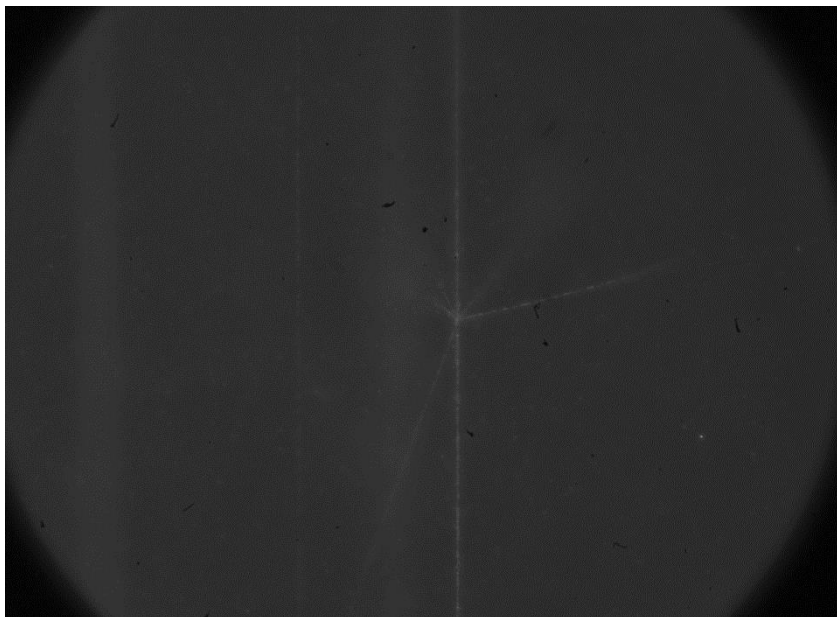
吉田の興味

- ・ダブルストレンジネス核 (KEK-PS E373, J-PARC E07)
- ・ダブルストレンジネス ($S=-2$)
- ・高エネルギーのハドロンジェットの解析
- ・重イオン衝突
- (・ミュオンラジオグラフィ)

CERNで Pb150 AGeVを照射した乾板



透過光で。AgBr結晶サイズ200nm



落射光学系で。AgBr結晶サイズ40nm

現存する乾板を読み出して、
将来の実験に繋がる情報が
何か引き出せないのか。

まとめ

- ・J-PARC E07は、過去10倍統計量の事象探索の主要部を数年以内に終えるべく、画像処理技術を用いた「自動追跡」を前提として設計されている。
- ・乾板のミクロン精度の位置合わせにより、飛跡接続の信頼性を保証。
- ・現在E07 2016年1strunの乾板を解析中。
吉田は2016年秋以降、こちらに100%effortでやっている。
- ・複合実験法による追跡技術開発のかたわらで、全面探索法を開発中。
- ・Deep Learningを用いた画像分類を導入。
- ・E07の先の計画を構想している。
800GeV陽子、重イオン等を照射した乾板から、何か情報が引き出せないか。
 Ω ハイパー核？チャーム核？
- ・吉田、4月からJAEAへ。
- ・吉田の後輩の吉本氏が、春から岐阜大にポスドク研究員として着任予定。

conv1

Weights (Convolution layer)

