

~エマルジョン解析に関して~

大統計ダブルラムダハイパー核検出実験 J-PARC E07

吉田純也(岐阜大学)

K.Imai^a, K.Nakazawa^b, H.Tamura^c, S.Ahmad^d, J.K.Ahn^e, B.Bassalleck^f, R.E.Chrien^g, D.H.Davis^h, H.Ekawaⁱ, Y.Y.Fu^j, S.Fukunaga^k, Y.Han^l, R.Hasan^d, S.Hasegawa^a, E.Hayataⁱ, M.Hiroseⁱ, K.Hoshino^b, K.Hosomi^a, S.Hwang^a, M.Ieiri^l, K.Ito^m, K.Itonaga^b, T.Kawai^m, J.H.Kimⁿ, S.Kinbara^b, R.Kiuchi^o, T.Koike^c, H.S.Lee^e, J.Y.Lee^o, C.Li, Z.M.Li, A.Mishina^b, K.Miwa^c, H.Noumi^p, S.Ogawa^k, S.Y.Ryu^e, H.Sako^a, S.Sato^a, T.Sato^m, M.Sekimoto^l, H.Shibuya^k, K.Shirotori^p, M.K.Soe^q, H.Sugimura^a, M.Sumihama^b, H.Takahashi^l, T.Takahashi^l, K.Tanida^o, K.T.Tint^r, A.Tokiyasu^p, D.Tovee^h, M.Ukai^c, K.Umehara^b, T.Watabe^m, T.Yamamoto^c, N.Yasuda^s, C.S.Yoonⁿ, J.Yoshida^b, T.Yoshida^s, D.H.Zhang^t, J.Zhou, S.H.Zhouⁱ, and L.H.Zhuⁱ

^aJapan Atomic Energy Agency (JAEA), Japan,

^bPhysics Department, Gifu University, Japan,

^cDepartment of Physics, Tohoku University, Japan,

^dAligarh Muslim University, India,

^ePusan National University, Korea,

^fDepartment of Physics and Astronomy, University of New Mexico, USA,

^gBrookhaven National Laboratory, USA,

^hUniversity College of London, UK,

ⁱDepartment of Physics, Kyoto University, Japan,

^jCLAE, China Institute of Atomic Energy (CIAE), China,

^kDepartment of Physics, Toho University, Japan,

^lKEK, High Energy Accelerator Research Organization, Japan,

^mDepartment of Physics, Nagoya University, Japan,

ⁿGyeongsang Nat'l University, Korea,

^oSeoul National University, Korea,

^pResearch Center for Nuclear Physics (RCNP), Japan,

^qMandalay University, Myanmar,

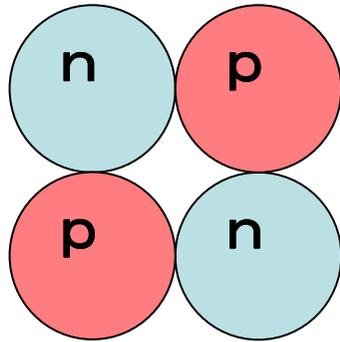
^rAdanabon University, Myanmar,

^sUniversity of Fukui, Japan,

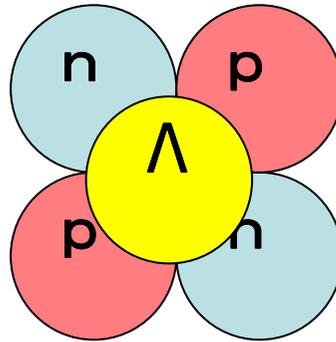
^tShanxi Normal University, China.

ダブルラムダハイパー核($\Lambda\Lambda$ 核)とは

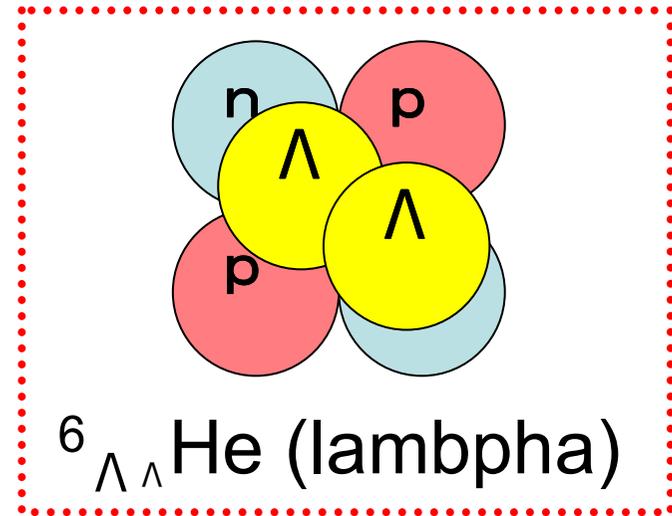
ラムダ(Λ)バリオン: ストレンジクォークを2つ含む原子核



${}^4\text{He}$

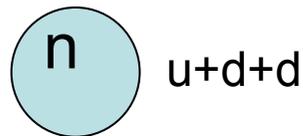
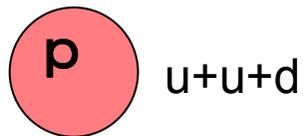


${}^5_{\Lambda}\text{He}$

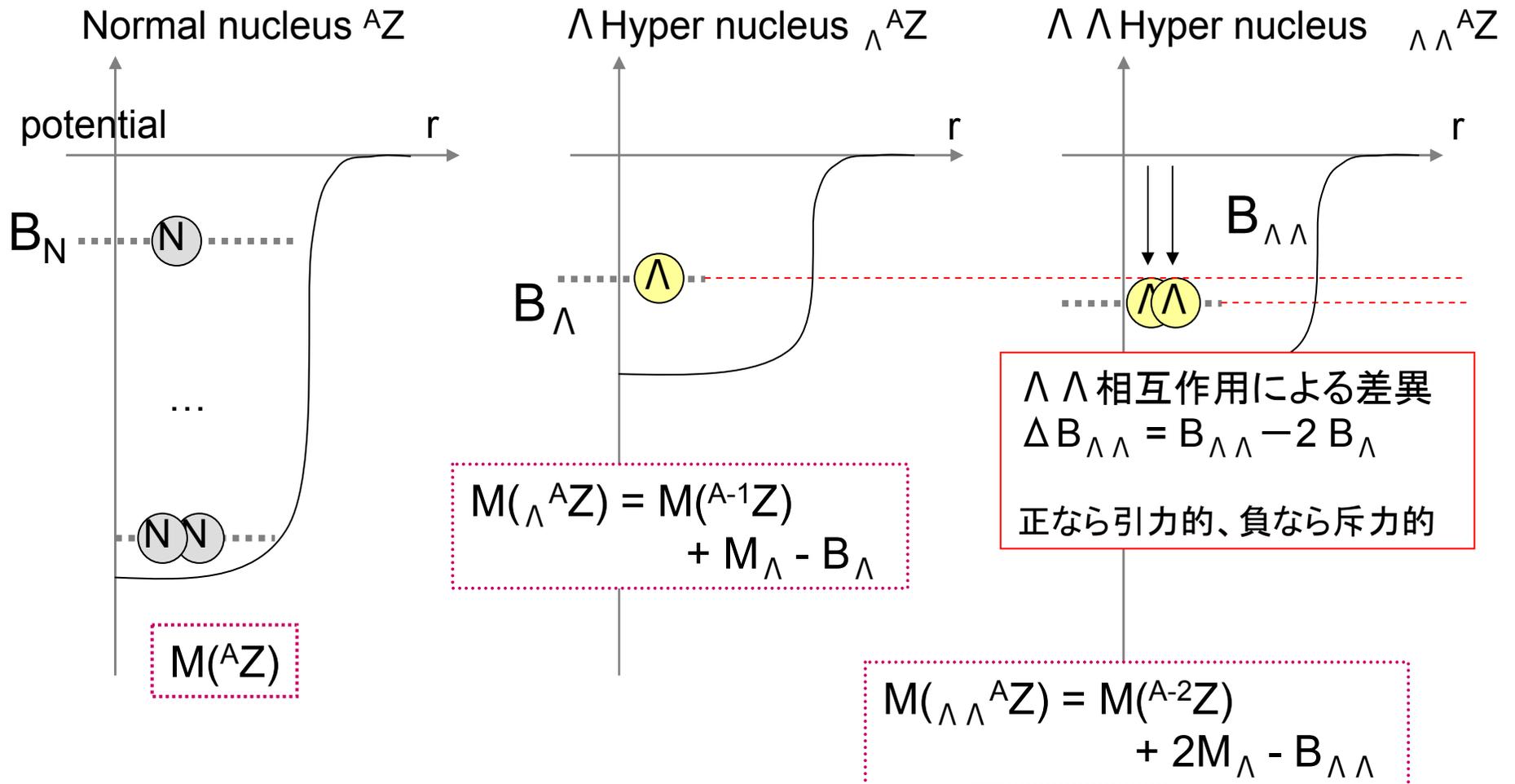


${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He (lambpha)}$

- ・ストレンジネスを含む核力の統一的理解のために、 Λ バリオン同士の相互作用を測定する貴重な研究対象



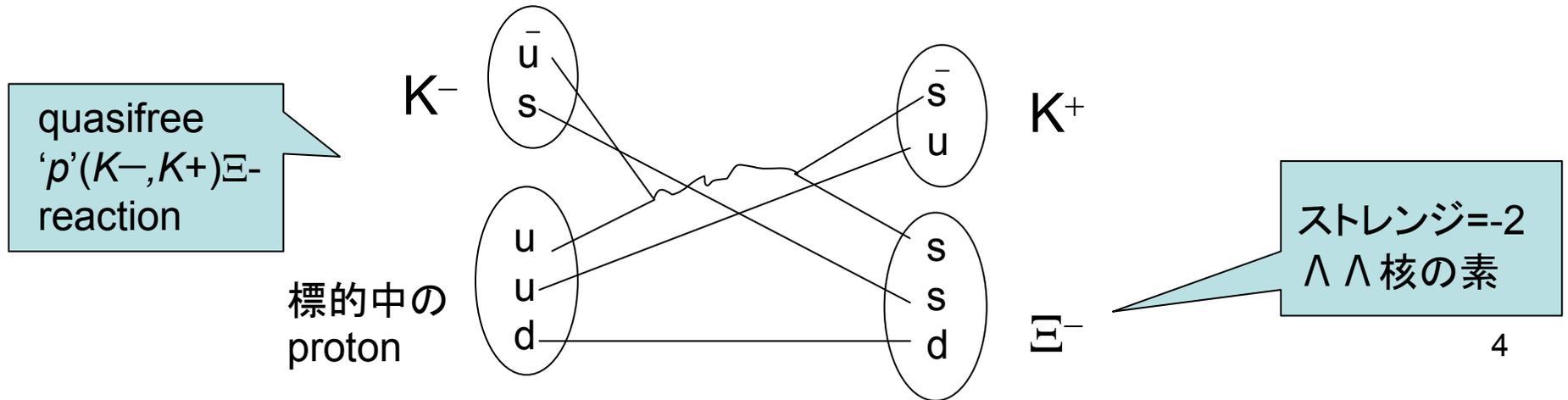
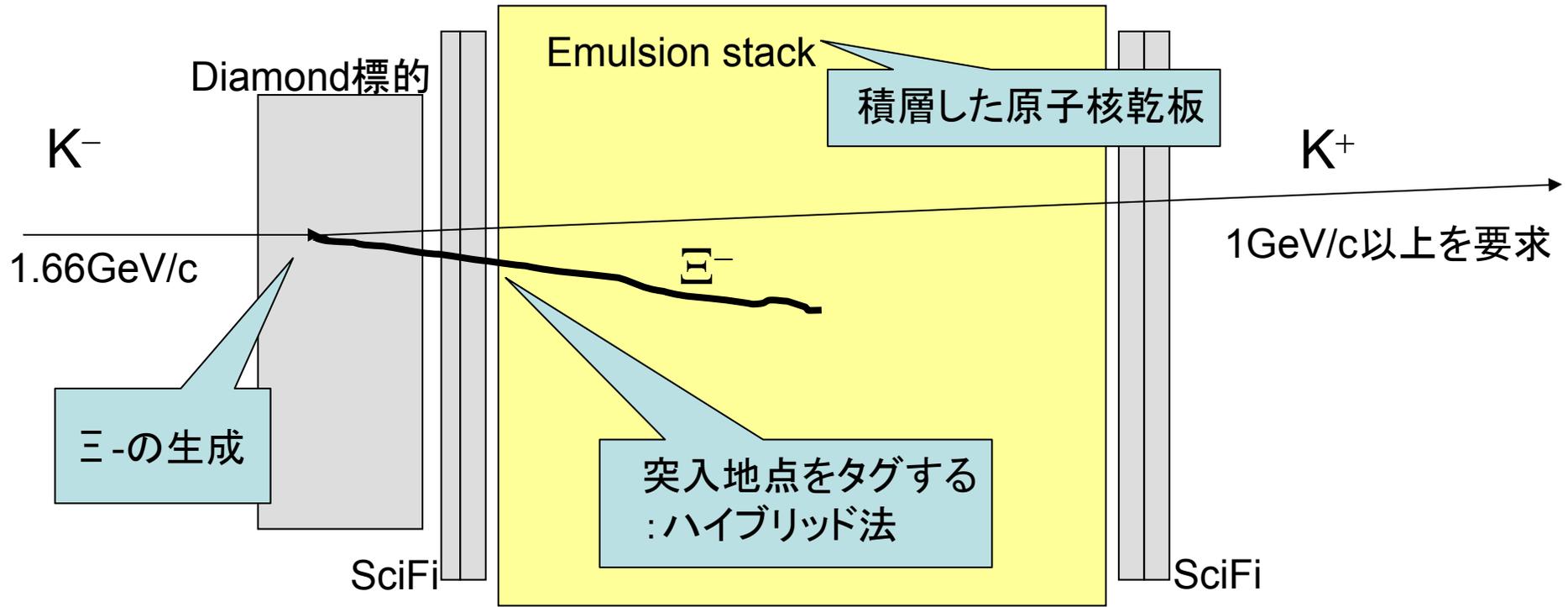
ΛΛ相互作用は、ダブルラムダハイパー核(ΛΛ核)の質量に顕れる



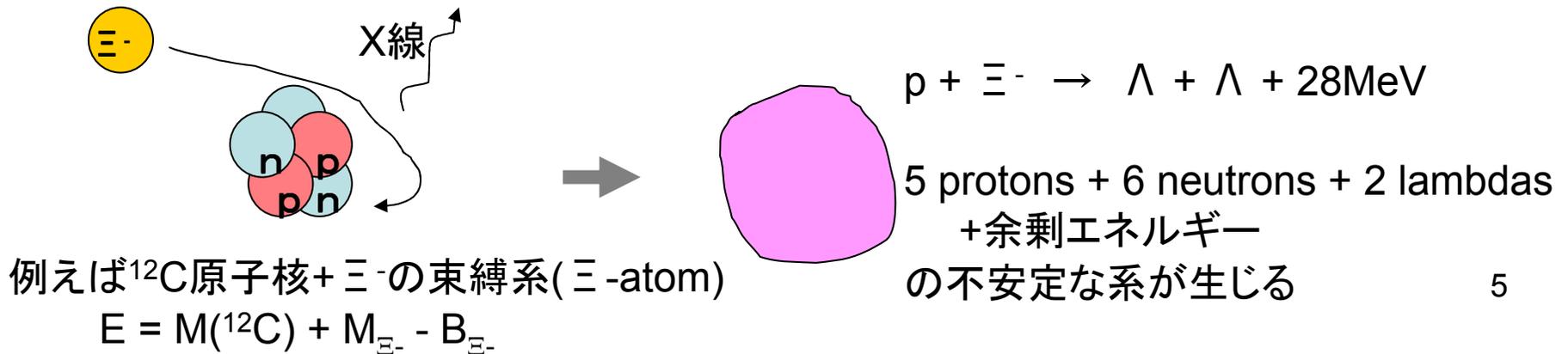
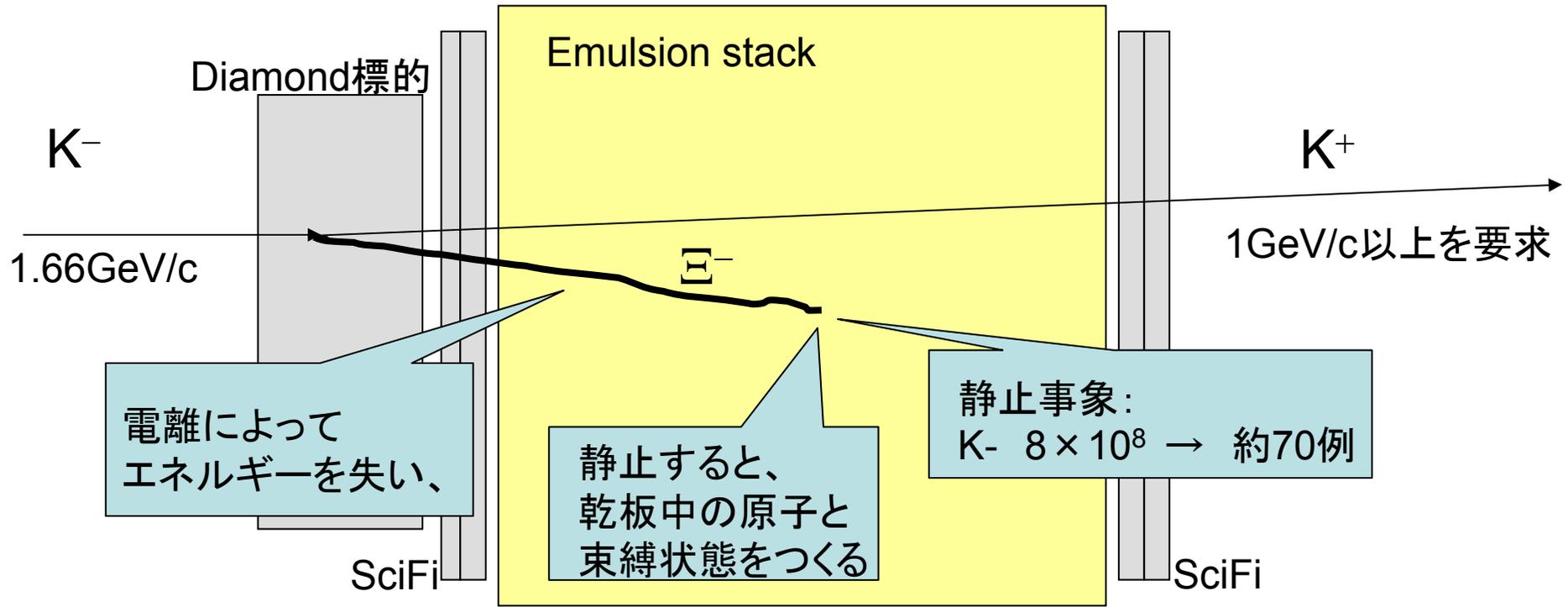
ΛΛ核の質量は、どのように測定する？

- ・三-粒子の静止事象を探索し、
- ・生成&崩壊時のQ-value + ParticleID の測定によって再構成する。

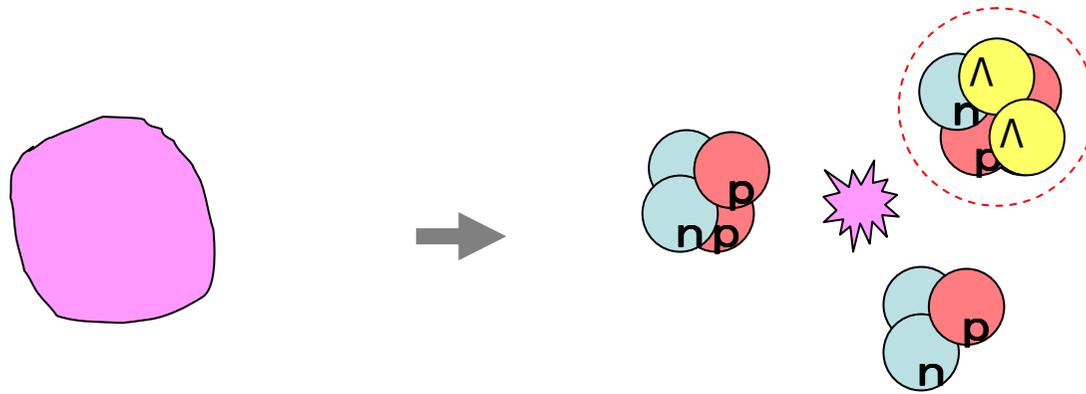
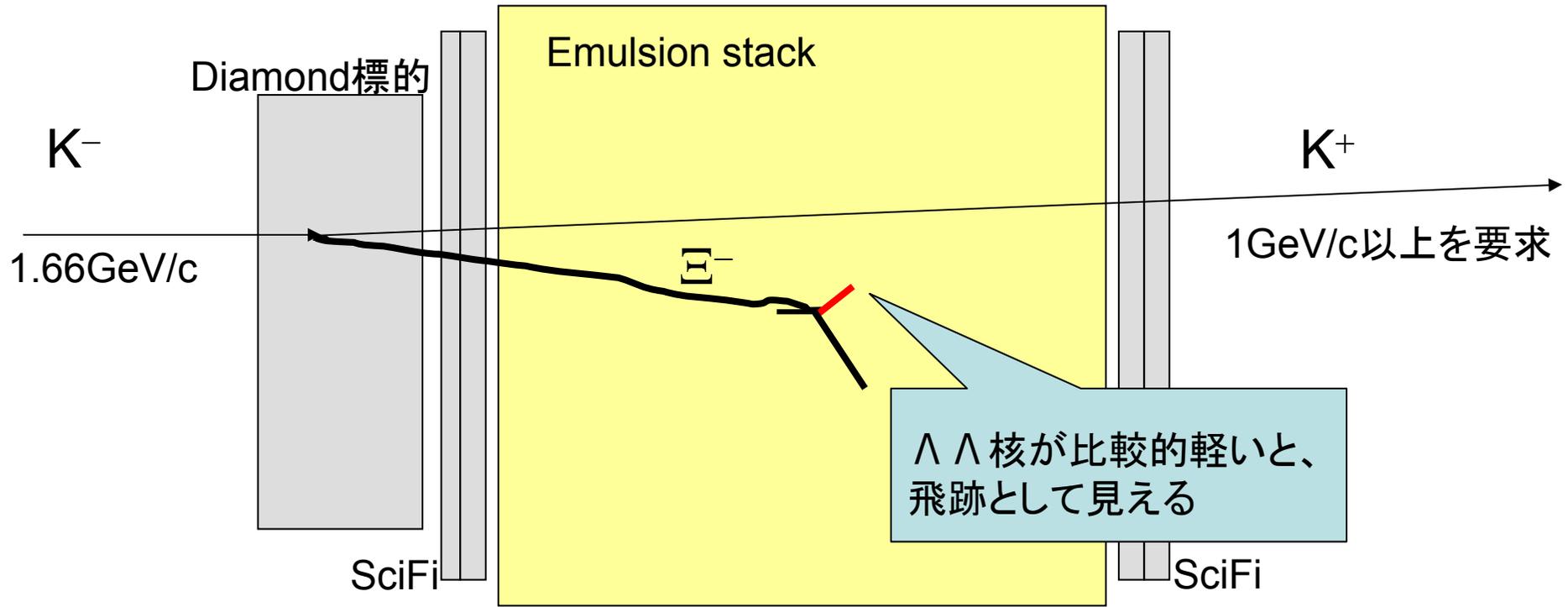
原子核乾板を用いた Λ Λ ハイパー核の検出と質量測定 (KEK-PS-E373実験)



原子核乾板を用いた Λ Λ ハイパー核の検出と質量測定 (KEK-PS-E373実験)

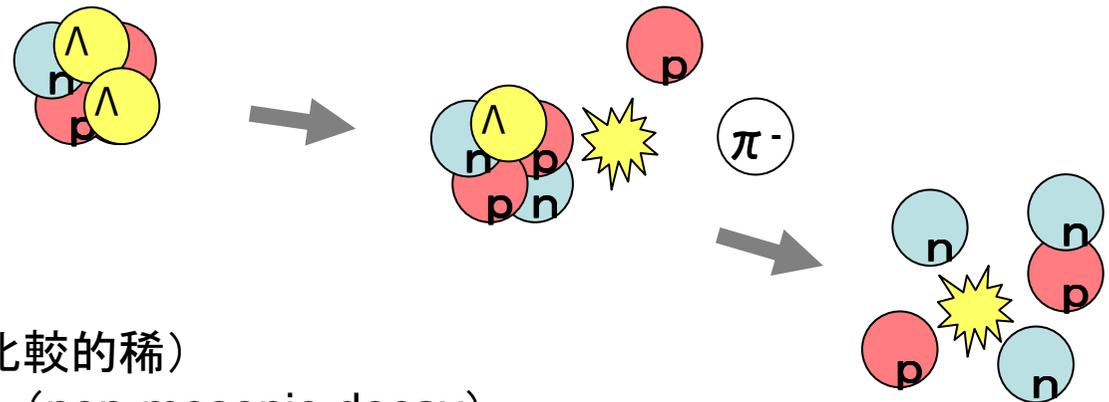
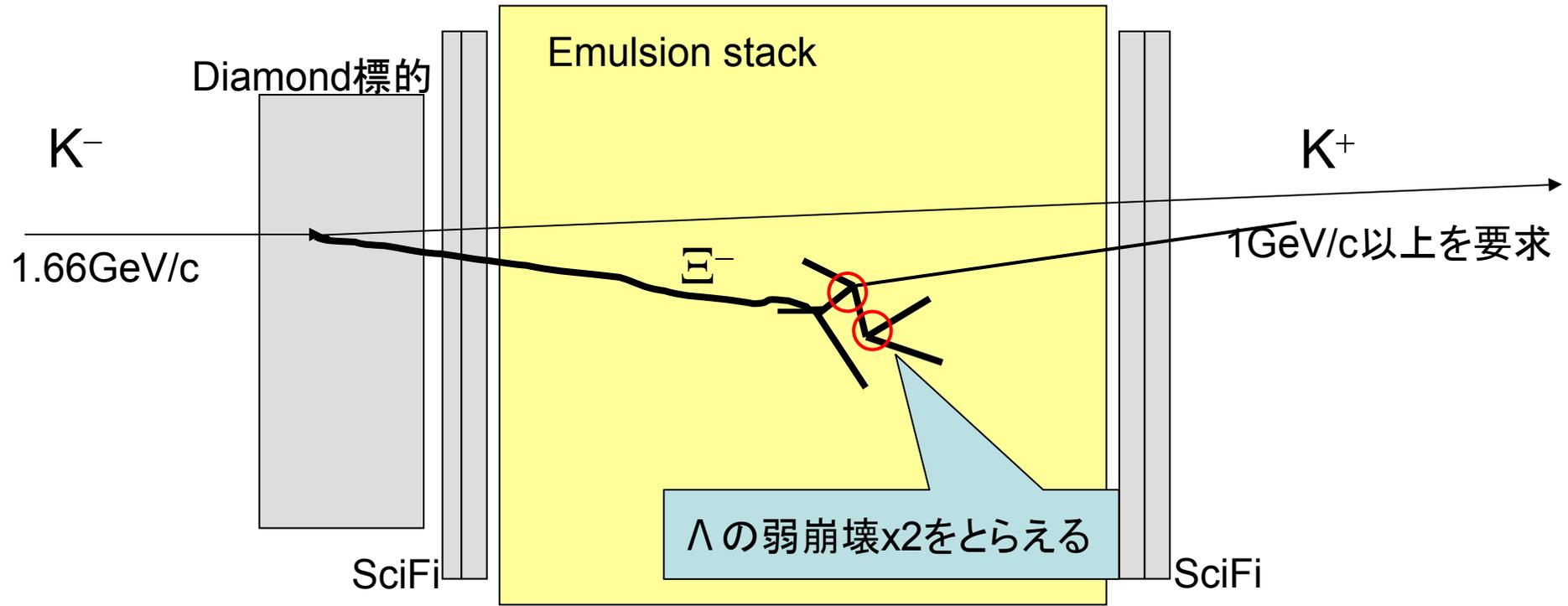


原子核乾板を用いた $\Lambda\Lambda$ ハイパー核の検出と質量測定 (KEK-PS-E373実験)



$\Lambda\Lambda$ が、運良く一つの原子核中に留まってくれた場合に $\Lambda\Lambda$ 核となる

原子核乾板を用いた Λ Λ ハイパー核の検出と質量測定 (KEK-PS-E373実験)



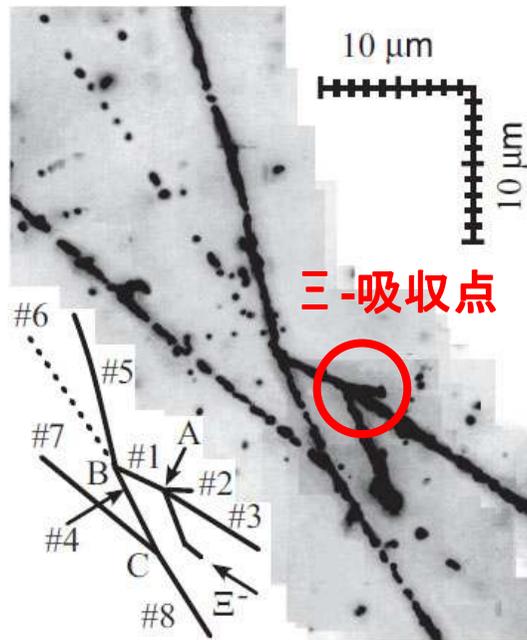
Λ の崩壊様式

$$\Lambda \rightarrow p + \pi^- + 37.8 \text{ MeV}$$

$$\Lambda \rightarrow n + \pi^0 + 41.1 \text{ MeV} \text{ (比較的稀)}$$

$$\Lambda + N \rightarrow n + N + 176.1 \text{ MeV (non-mesonic-decay)}$$

崩壊事象の再構成: 例) The NAGARA-Event



まず 三-静止点を探索し、3つの分岐点を確認
次に 核種の同定

それぞれの飛跡の長さ、角度を測定する。
(濃さ、散乱: ふらつきも重要な情報)

| Track | Length (μm) | θ (degree) | ϕ (degree) | Comment |
|-------|--------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| 1 | 8.1 ± 0.3 | 44.9 ± 2.0 | 337.5 ± 1.8 | double- Λ hypernucleus |
| 2 | 3.2 ± 0.4 | 57.7 ± 5.2 | 174.9 ± 2.9 | |
| 3 | 88.6 ± 0.5 | 156.2 ± 0.5 | 143.0 ± 1.0 | |
| 4 | 9.1 ± 0.3 | 77.7 ± 1.6 | 115.9 ± 0.8 | single- Λ hypernucleus |
| 5 | 82.1 ± 0.6 | 122.8 ± 1.0 | 284.2 ± 0.7 | stopped in base |
| 6 | 13697 | 81.0 ± 0.5 | 305.5 ± 0.2 | π^- |
| 7 | 742.6 ± 0.6 | 138.5 ± 0.2 | 322.1 ± 0.3 | stopped in D-Block |
| 8 | 5868 ± 20 | 52.2 ± 1.2 | 123.7 ± 0.7 | scattered before stopping |

崩壊事象の再構成: 例) The NAGARA-Event

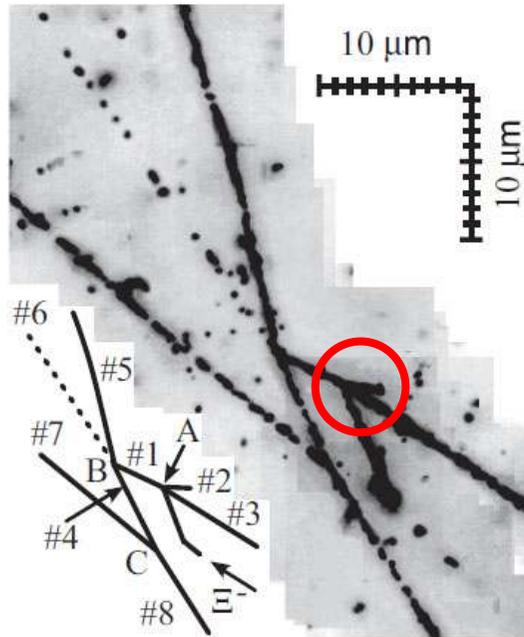


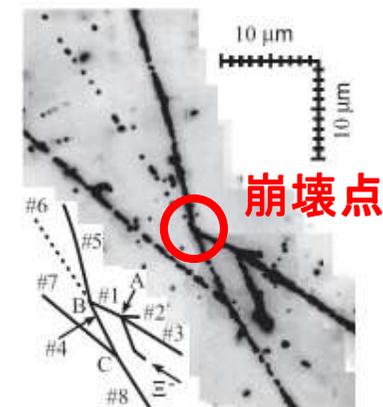
TABLE III. Possible production modes of the double hypernucleus. The errors on the mass of Ξ^- hyperon and the binding energies of single hypernuclei are not included in the errors on $B_{\Lambda\Lambda}$ and $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$. Only the cases of $\Delta B_{\Lambda\Lambda} < 20$ MeV are listed.

| Target | No. 1 | No. 2 | No. 3 | $B_{\Lambda\Lambda}$ [MeV] | $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ [MeV] | |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------|
| ^{12}C | ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ | ${}^4\text{He}$ | p | $2n$ | >16.9 | >10.6 |
| ^{12}C | ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ | ${}^4\text{He}$ | d | $1n$ | 14.5 ± 0.7 | 8.2 ± 0.7 |
| ^{12}C | ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ | ${}^4\text{He}$ | t | | 7.3 ± 0.2 | 1.1 ± 0.2 |
| ^{12}C | ${}_{\Lambda\Lambda}^7\text{He}$ | ${}^4\text{He}$ | p | $1n$ | 21.6 ± 1.3 | 13.3 ± 1.3 |
| ^{14}N | ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ | ${}^7\text{Li}$ | p | $1n$ | 24.4 ± 2.1 | 18.2 ± 2.1 |
| ^{14}N | ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ | ${}^6\text{Li}$ | d | $1n$ | 25.8 ± 1.3 | 19.6 ± 1.3 |
| ^{14}N | ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ | ${}^4\text{He}$ | ${}^4\text{He}$ | $1n$ | 17.9 ± 1.5 | 11.7 ± 1.5 |
| ^{14}N | ${}_{\Lambda\Lambda}^7\text{Li}$ | ${}^4\text{He}$ | t | $1n$ | 26.2 ± 0.9 | 17.2 ± 0.9 |
| ^{14}N | ${}_{\Lambda\Lambda}^9\text{Li}$ | p | ${}^4\text{He}$ | $1n$ | 31.5 ± 1.8 | 17.9 ± 1.8 |
| ^{16}O | ${}_{\Lambda\Lambda}^8\text{Li}$ | ${}^4\text{He}$ | ${}^4\text{He}$ | $1n$ | 31.1 ± 0.9 | 19.9 ± 0.9 |

P.R.L. 87, 212502 (2001)

- ・乾板中の中重核 (^{12}C , ^{14}N , ^{16}O) と Ξ^- が束縛したとする
- ・娘核種を仮定し、飛跡の長さから運動エネルギーに換算する
- ・運動量、エネルギーが保存するように $\Lambda\Lambda$ 核の質量を求める
- ・3本の飛跡は同一平面上にあるが、中性粒子の放出した場合も挙げる
- ・今回の表には記していないが、娘核が励起状態の場合もありえる

崩壊事象の再構成: 例) The NAGARA-Event



$\Lambda\Lambda$ 核の崩壊点においても同様に計算する

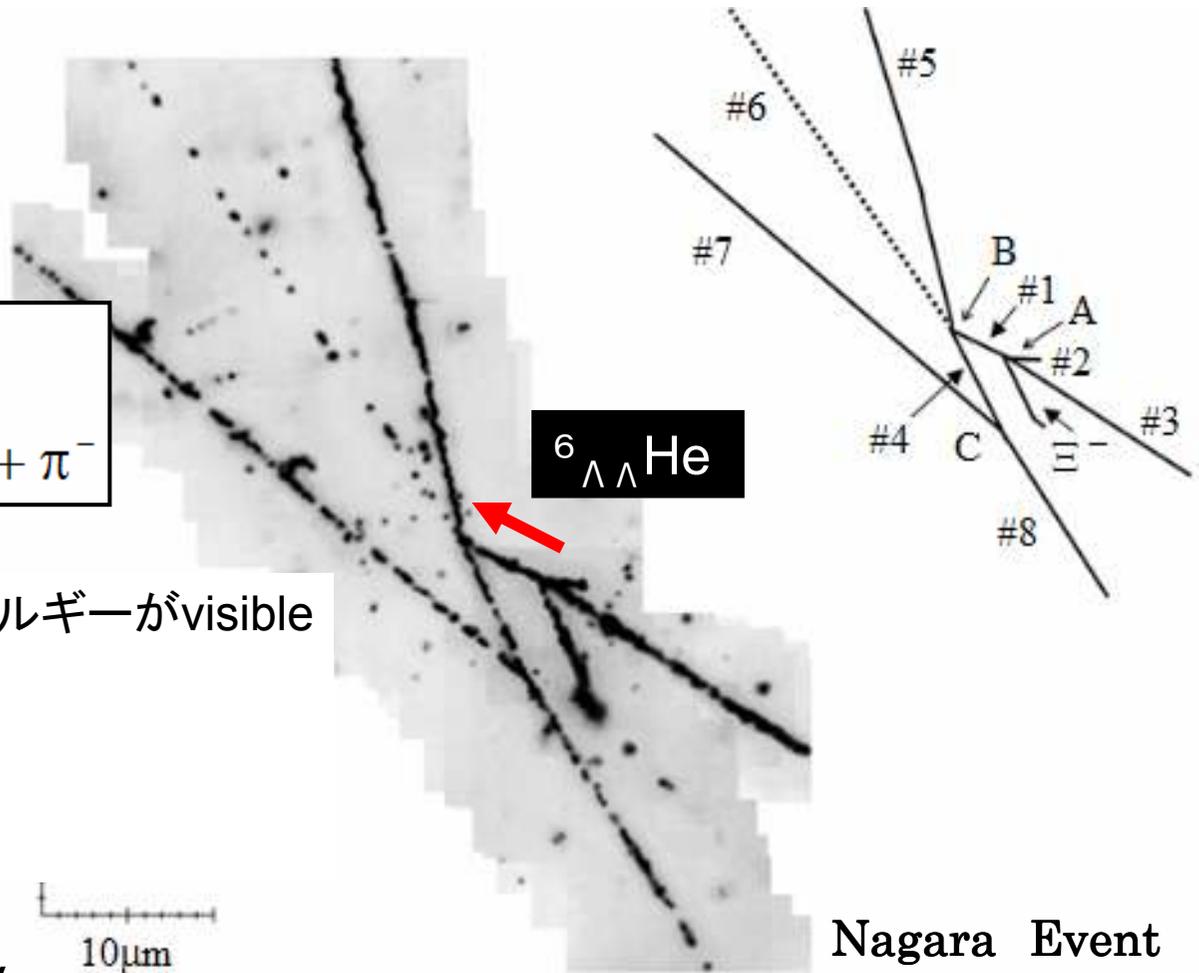
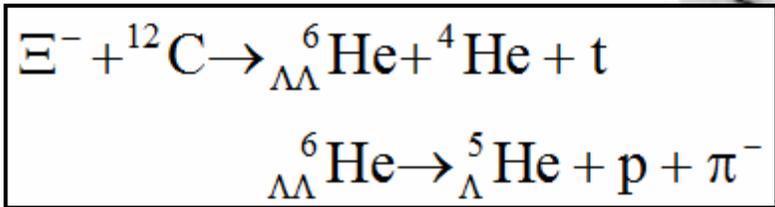
TABLE II. Possible decay modes of the double hypernucleus which include Λ He as a decay daughter. The errors on $B_{\Lambda\Lambda}$ and $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ do not include those of the binding energies of single hypernuclei. Only the cases of $\Delta B_{\Lambda\Lambda} > -20$ MeV are listed.

| Double hypernucleus | No. 2 | No. 5 | No. 6 | | $B_{\Lambda\Lambda}$ [MeV] | $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ [MeV] |
|----------------------------------|-----------------------------|-------|---------|------|----------------------------|-----------------------------------|
| ${}^5_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | | 7.1 ± 0.5 | 2.4 ± 0.5 |
| ${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | | 6.9 ± 0.6 | 0.6 ± 0.6 |
| ${}^7_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | $1n$ | < 8.6 | < 0.3 |
| ${}^7_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^6_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | | 6.3 ± 0.7 | -2.0 ± 0.7 |
| ${}^8_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | $2n$ | < 6.8 | < -7.2 |
| ${}^8_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ | d | π^- | $1n$ | < 7.4 | < -6.6 |
| ${}^8_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^6_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | $1n$ | < 6.6 | < -7.4 |
| ${}^8_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^7_{\Lambda}\text{He}^a$ | p | π^- | | 7.7 ± 0.8 | -6.3 ± 0.8 |
| ${}^9_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | $3n$ | < 7.2 | < -7.1 |
| ${}^9_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ | d | π^- | $2n$ | < 8.2 | < -6.1 |
| ${}^9_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ | t | π^- | $1n$ | < 11.2 | < -3.1 |
| ${}^9_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^6_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | $2n$ | < 7.2 | < -7.1 |
| ${}^9_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^6_{\Lambda}\text{He}$ | d | π^- | $1n$ | < 8.4 | < -5.9 |
| ${}^9_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^7_{\Lambda}\text{He}^a$ | p | π^- | $1n$ | < 11.2 | < -3.1 |
| ${}^9_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^7_{\Lambda}\text{He}^a$ | d | π^- | | 13.4 ± 0.5 | -0.9 ± 0.5 |
| ${}^9_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ | ${}^8_{\Lambda}\text{He}$ | p | π^- | | 6.4 ± 0.8 | -7.9 ± 0.8 |

^aWe took the value of 7.0 MeV for the upper limit of the Λ hyperon binding energy in ${}^7_{\Lambda}\text{He}$, because it has not yet been averaged

崩壊事象の再構成: 例) The NAGARA-Event

無矛盾な崩壊モードが
一種類のみ残ったとき
核種同定が成功したといえる。



中性粒子が発生しておらずエネルギーがvisible
Kinematic fittingにより、
カイ二乗を最小になるような
運動量、エネルギーを求める
(A.Mishina ポスター)

$$B_{\Lambda\Lambda} = 6.91 \pm 0.16 \text{ MeV}$$

$$\Delta B_{\Lambda\Lambda} = 0.67 \pm 0.17 \text{ MeV} \quad (\text{弱い引力である})$$

$$B_{\Xi^-} = 0.13 \text{ MeV} \text{ として}$$

$\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ はたった1例の事象から決められた

$\Lambda\Lambda$ 核研究史

1960s 原子核乾板中で、ダブルハイパー核と解釈可能な事象を検出

Danysz et al., Phys. Rev. Lett. 11(1963)29

D.J.Prowse, Phys. Rev. Lett. 17(1966)782

1977 Hダイバリオン(uuddss)の提唱

R.L.Jaffe, Phys. Rev. Lett. 38 (1977) 195.

$\Lambda\Lambda$ 核は存在するのかもしれないのか？

1991 KEK-PS-E176 $\Lambda\Lambda$ 核を実験的に検出

S.Aoki et al, PTP.85(1991)1287

その核種は？質量は？ $\Lambda\Lambda$ 相互作用は？

2002 KEK-PS-E373 NAGARA-Event $\Lambda\Lambda$ 相互作用は弱い引力である。

Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 212502

Phys. Rev C 88, 014003 (2013)

$\Lambda\Lambda$ 相互作用の核種依存性は？ : S=-2核の世界の開拓 (いまここ) ¹²

E373実験を拡大し、より多くの $\Lambda\Lambda$ 核を検出: J-PARC E07

E373実験の1桁上の統計量を見込む

Ξ -atomからのX線測定で(Ge検出器)、世界初の ΞN 相互作用を測定する

KEK PS-E373 から J-PARC E07 へ

- ・70L → 153L 使用乳剤体積
- ・ $\sim 20\%$ → $\sim 85\%$ K/ π ratio (設計値)
- ・700 → 10^4 Ξ -静止事象数
- ・7 → 10^2 ダブル Λ ハイパー核事象
- ・1 → 10 核種が一意に決まる事象

- ・大型乾板の量産: 塗布
- ・未曾有の大統計探索 & データ解析

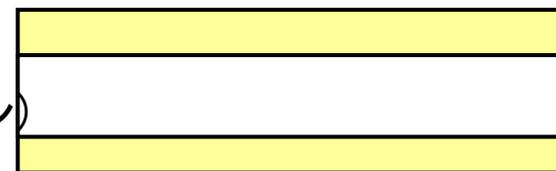
・大型乾板の量産：塗布の現状

厚型乾板 12枚/スタック

薄型乾板 2枚/スタック



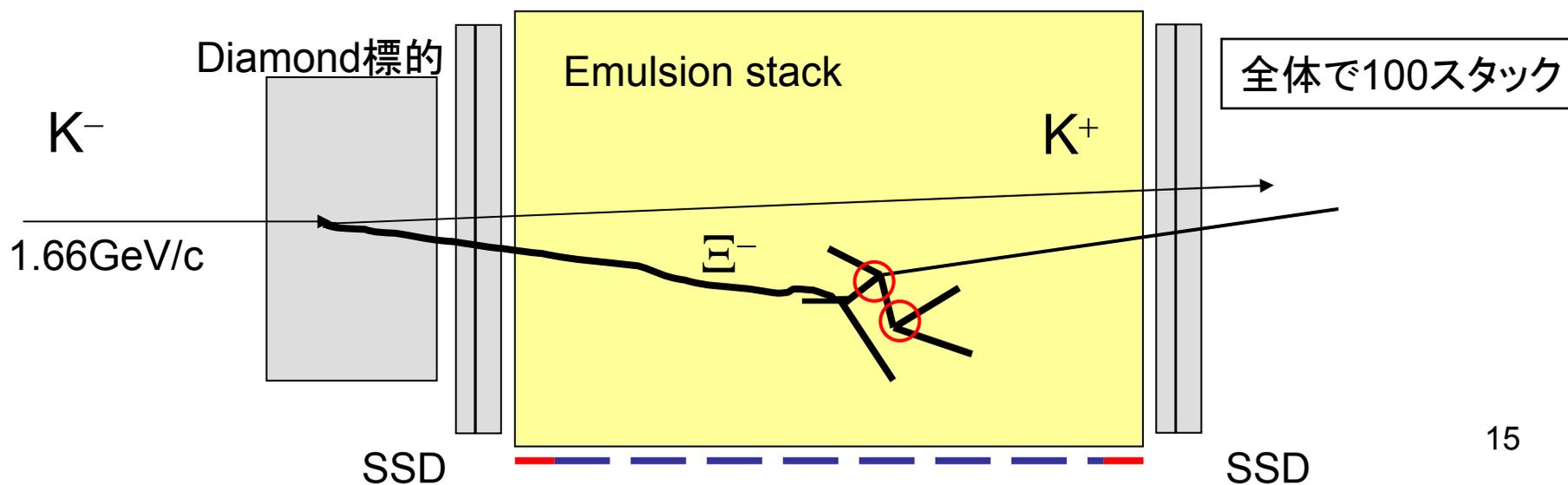
乳剤
ベース
(ポリスチレン)
乳剤

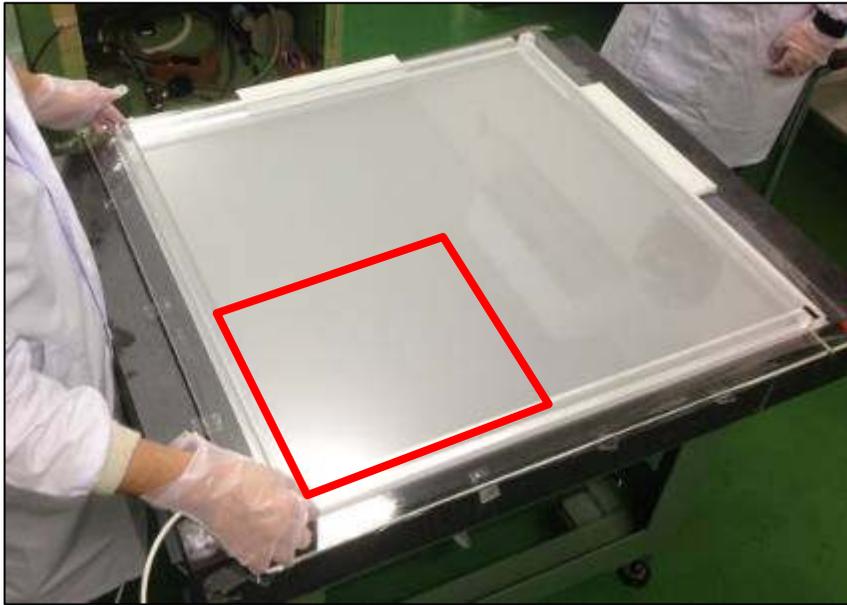


100μm
180μm
100μm

不感領域が少。
ΛΛハイパー核検出のため。

角度精度が良。
SSDからスタックへの飛跡接続のため。





ゼラチン溶液を用い、明室環境下で
塗布のデモンストレーション

左: ベースを水平にするために真空固定

左下: 溶かした乳剤を注ぐ

下: 乾燥棚に納める

乾板の大きさ: 34.5mm*35.0mm

顕微鏡ステージに載る最大の大きさ

スタックのビーム照射時の交換回数&
塗布の回数を最小限に。



岐阜大学 ハイパー核実験棟



<Pouring room>

Three flat stone bases , Hot bath
Cutting machine

<Drying room>

Temp 30 °C and R.H. 75%.

<Development room>

1200 liters' chemical solutions

(S.Kinbara ポスター)



Pouring room



Drying room



Development room

The first delivery of Emulsion Gel -- Dec. 6, 2013 --



240kg emulsion gel had arrived.

We have been preparing for mass production in full force.

*Second delivery : Dec. 25, 2013

*全部で10サイクル、2014年4月までつづく。 $5\text{kg} * 48 \text{ pots} = 240\text{kg}$



schedule (2nd cycle)

| | | |
|---------|---|-----------------------------------|
| 28 Dec. | Preparation | |
| 29 | Pouring 1st surface (18sheets) | |
| 30 | | Pouring 1st surface (18sheets) |
| 31 | Surface coat (18sheets) | |
| 1 Jan. | Pouring 2nd surface (18sheets) | Surface coat (18sheets) |
| 2 | | Pouring 2nd surface (18sheets) |
| 3 | Surface coat (18sheets) | |
| 4 | | Surface coat (18sheets) |
| 5 | Final dry | |
| 6 | Cutting 36sheets(710mm × 700mm) → 144plates(350mm × 345mm) | |

神岡鉱山内
エマルション保管用 鉛ブロックシールド (2013/12/24)



Emulsion mover

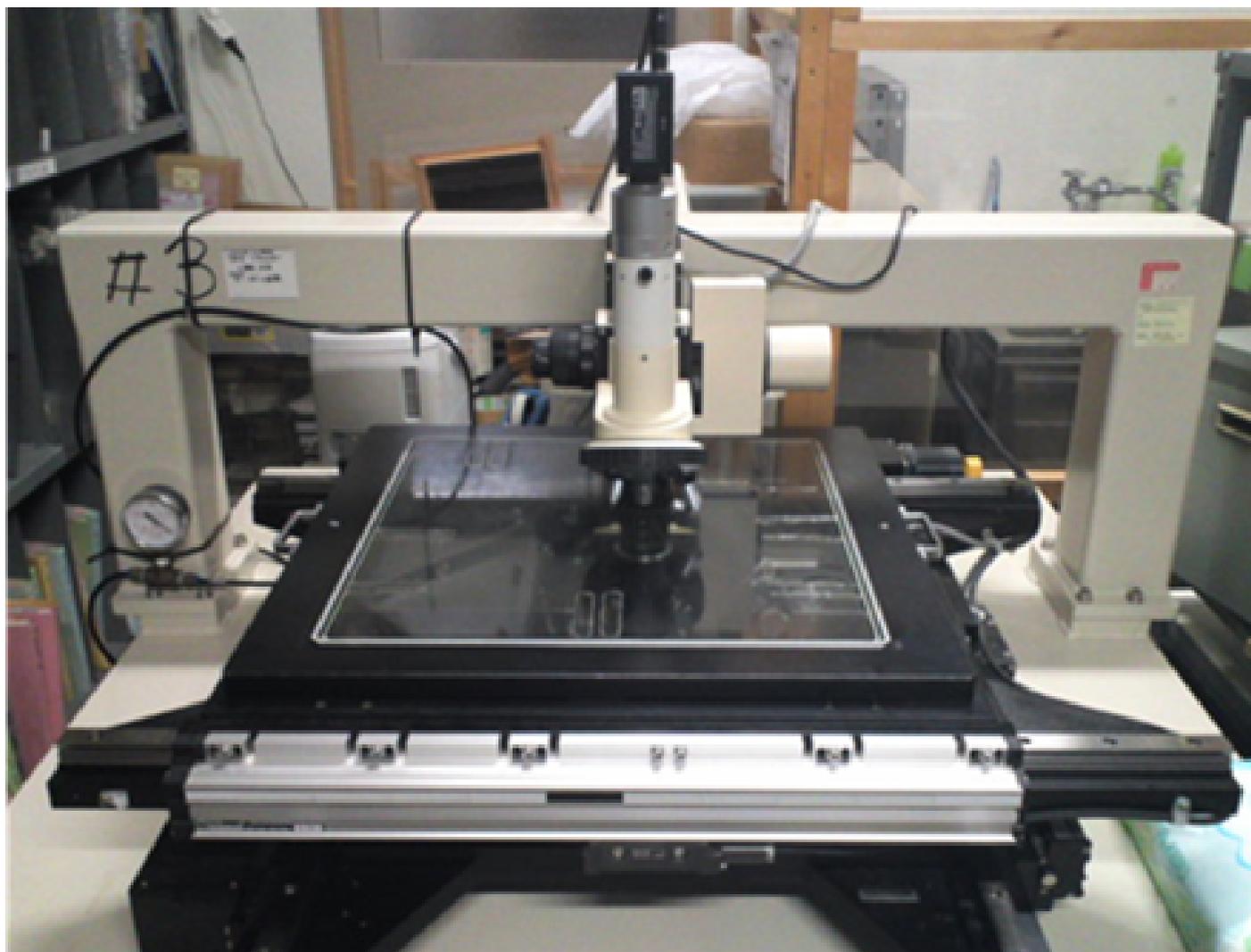
Hirose, Hayata (Kyoto)



大統計探索

~特に自動三追跡システム開発の現状~

大面積載物台 + 光学顕微鏡



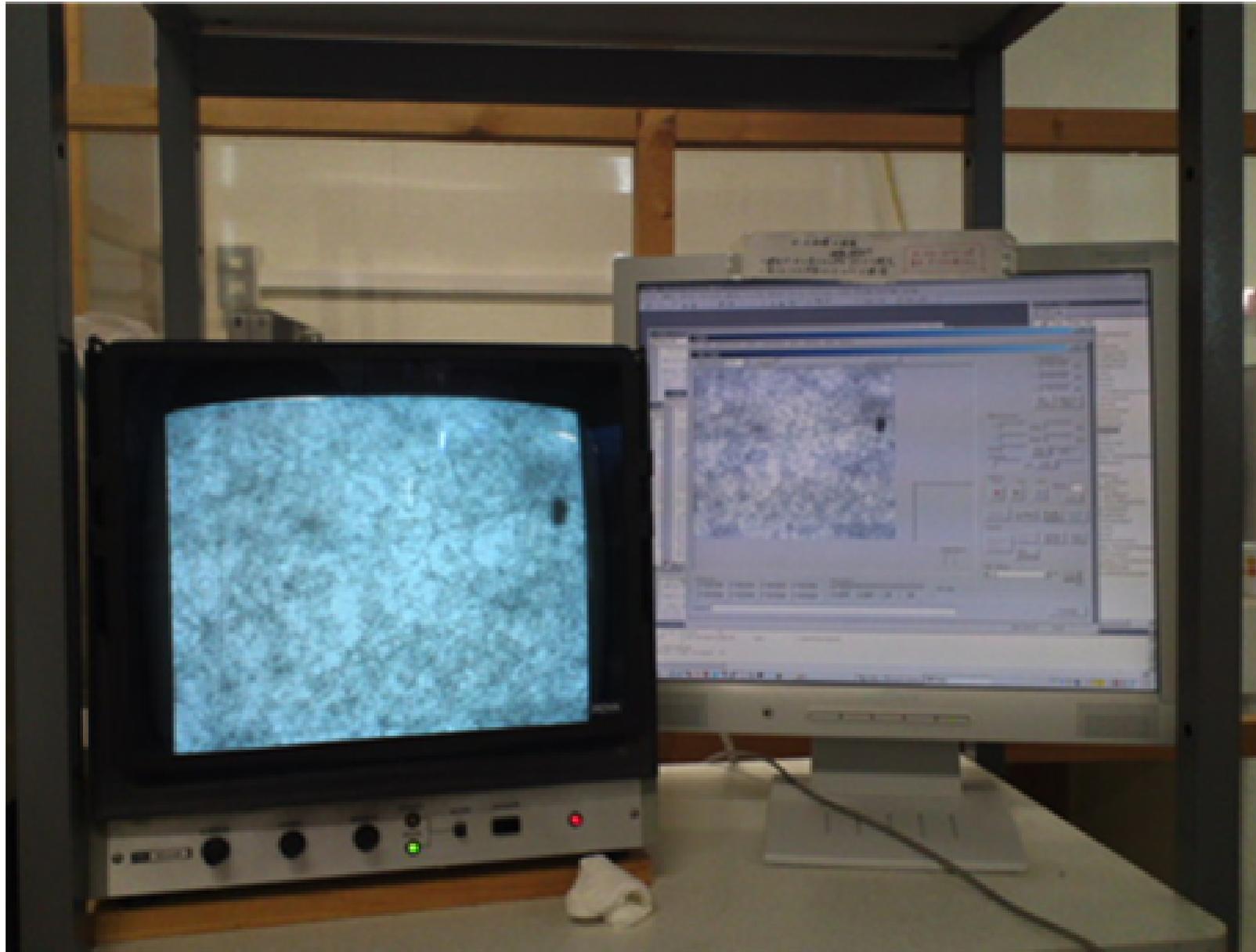
Scanning room in Gifu

*7 computer-controlled + 2 manual microscopes are in readiness.

*Temperature and humidity is stable

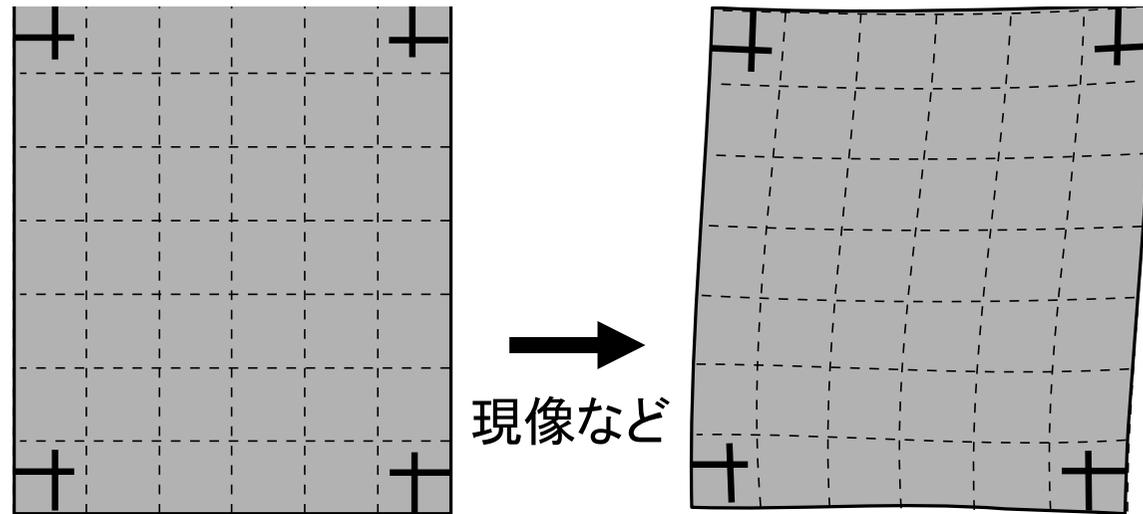


microscope-human interface software



従来の追跡方法の困難さ： 乾板-乾板飛跡接続時の位置あわせ

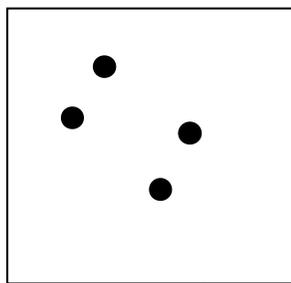
現像、温湿度環境の変化によって乾板が非線形に変形する
リファレンスから10mm離れるだけで、 1σ 15ミクロン程度の不定性が生じる



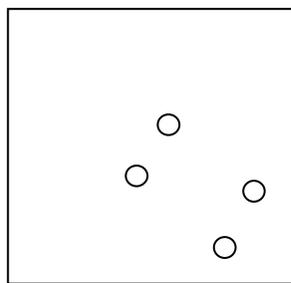
K-ビームのパターンマッチによって、
1視野ごとに位置あわせ(アラインメント)を行う

Alignment with beams' position (K.Umehara ポスター)

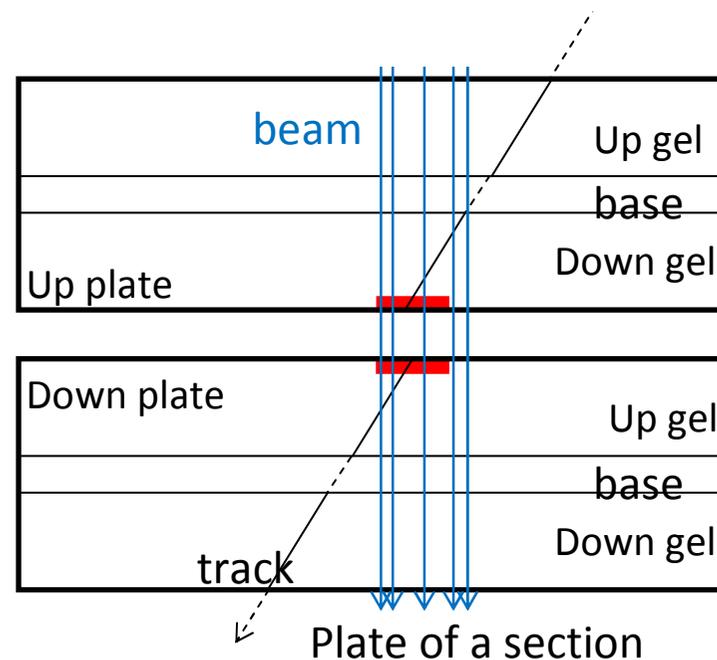
Up plate down gel



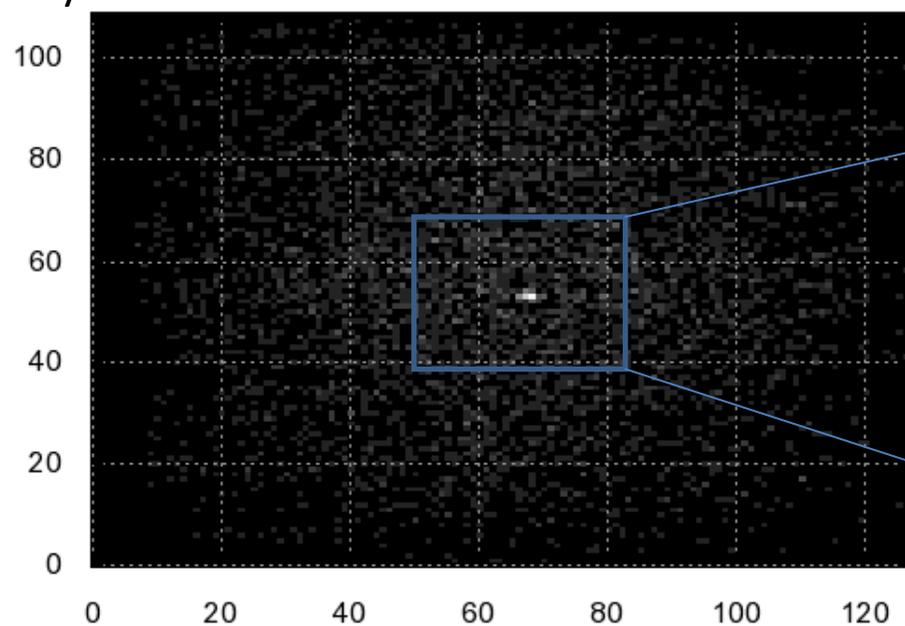
Down plate up gel



ビーム飛跡のパターン

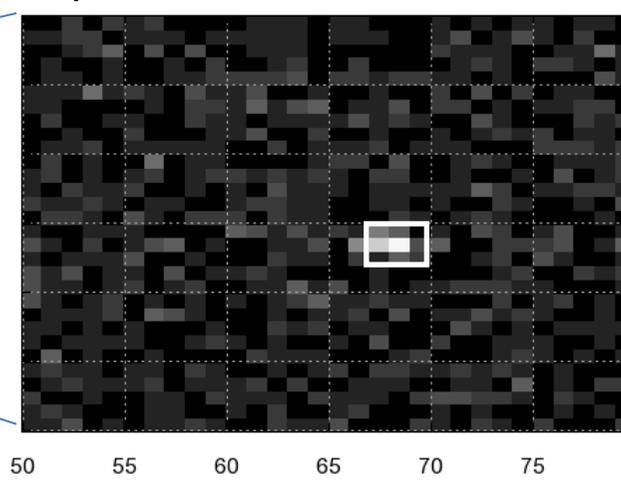


Δy



Δx

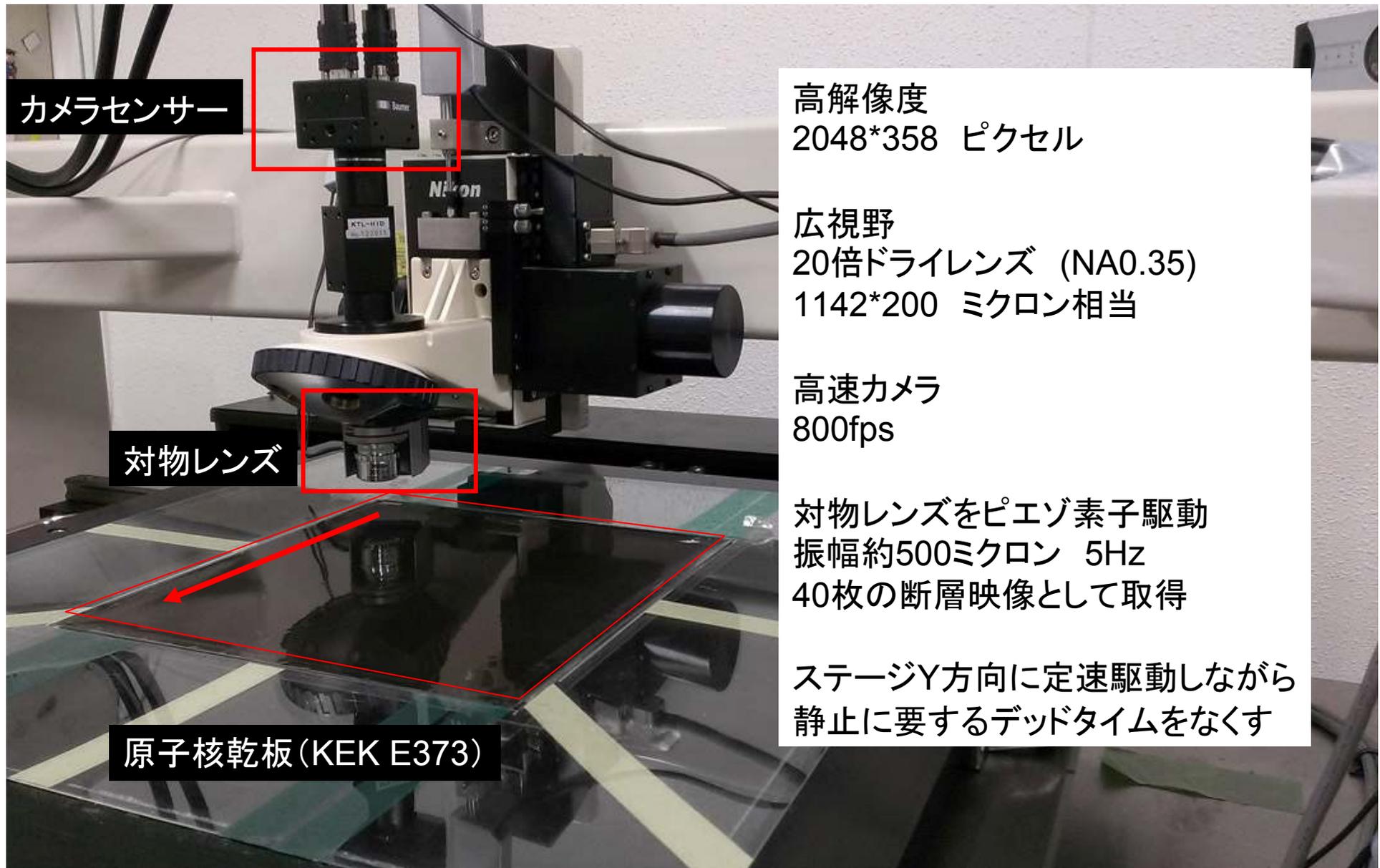
Δy



count

Position accuracy : $1.2 \pm 0.7 \mu\text{m}$.

Overall Scannin専用ステージ UNIOPT社との共同開発 EXPERT-G2



カメラセンサー

対物レンズ

原子核乾板 (KEK E373)

高解像度
2048*358 ピクセル

広視野
20倍ドライレンズ (NA0.35)
1142*200 ミクロン相当

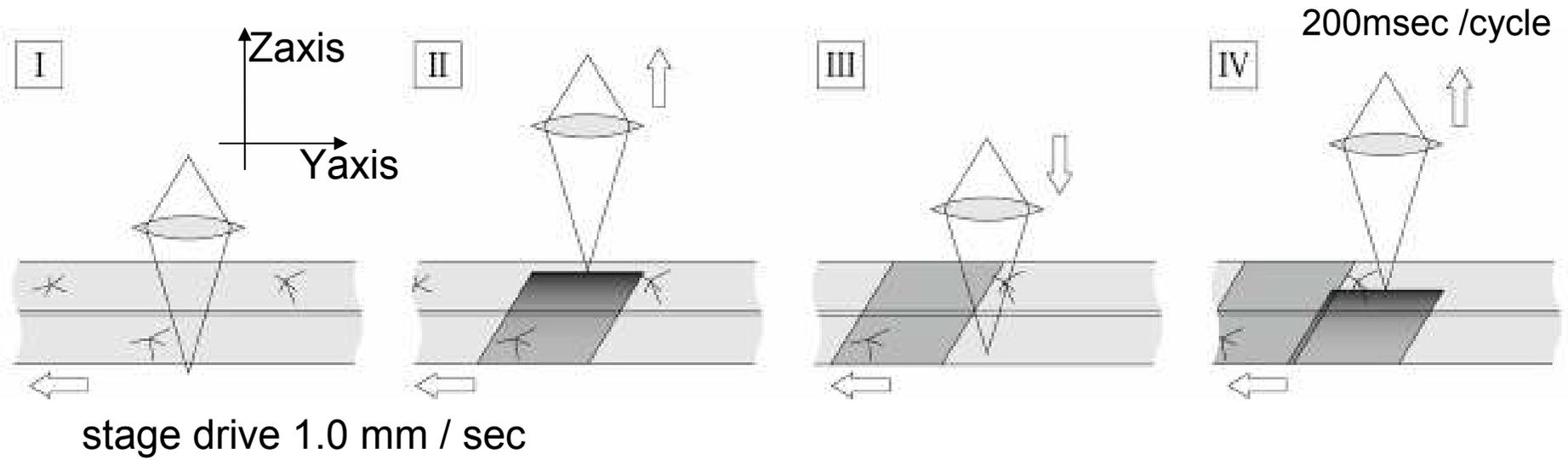
高速カメラ
800fps

対物レンズをピエゾ素子駆動
振幅約500ミクロン 5Hz
40枚の断層映像として取得

ステージY方向に定速駆動しながら
静止に要するデッドタイムをなくす

設計値 : E373乾板全体積 = 245mm*230mm*0.9mm を約18時間で走査。²⁸

Continuously stage moving: Y-Z plane



Continuously stage moving: X-Y plane

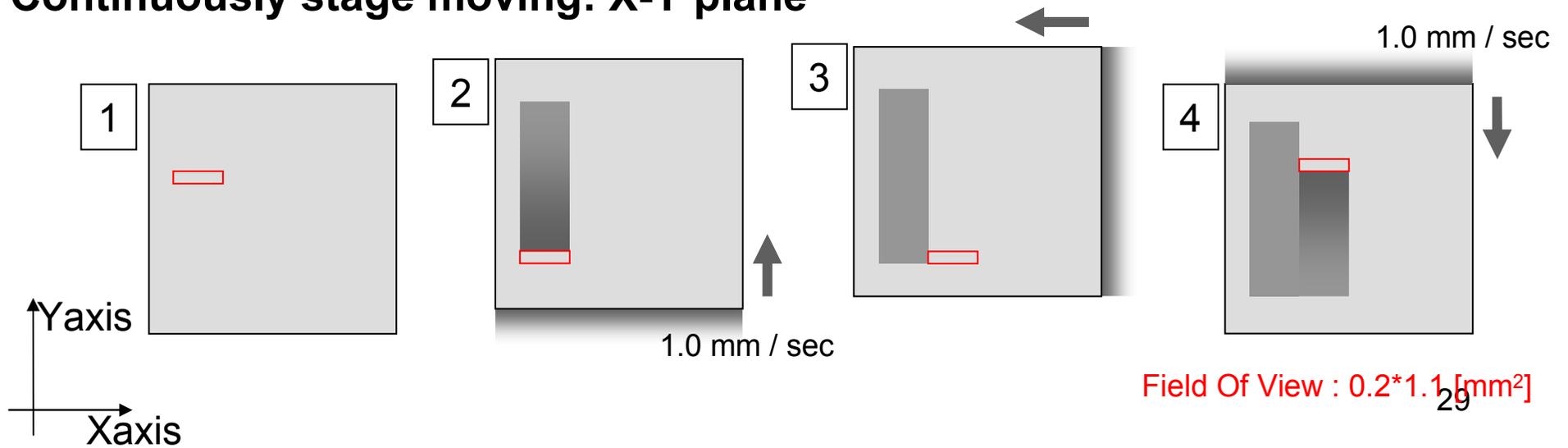
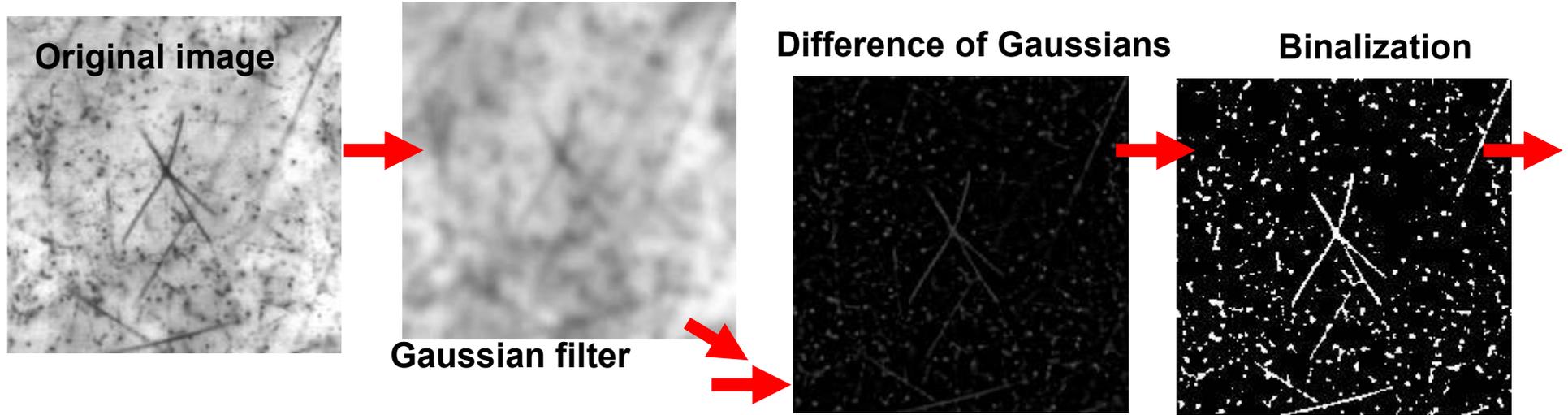


Image process

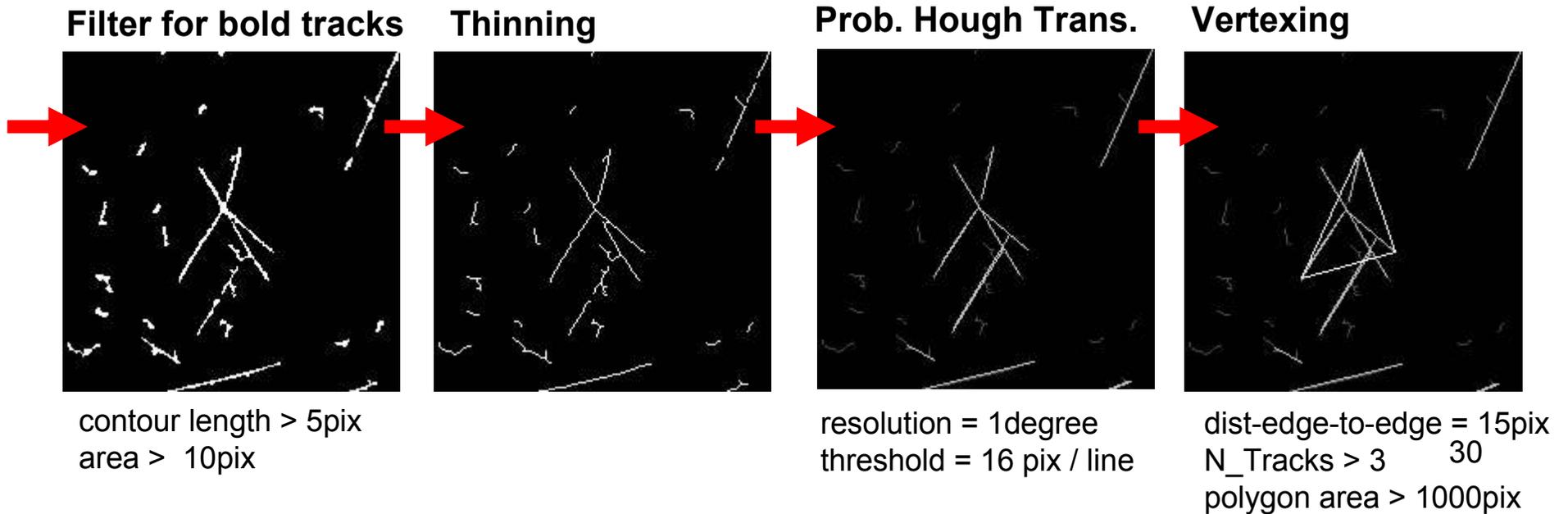


x20 Objective (NA0.35)
1 pix = ~0.6 micron

kernel size = 17pix

(smoothed – source)
if negative, brightness=0

threshold \approx peak*0.2



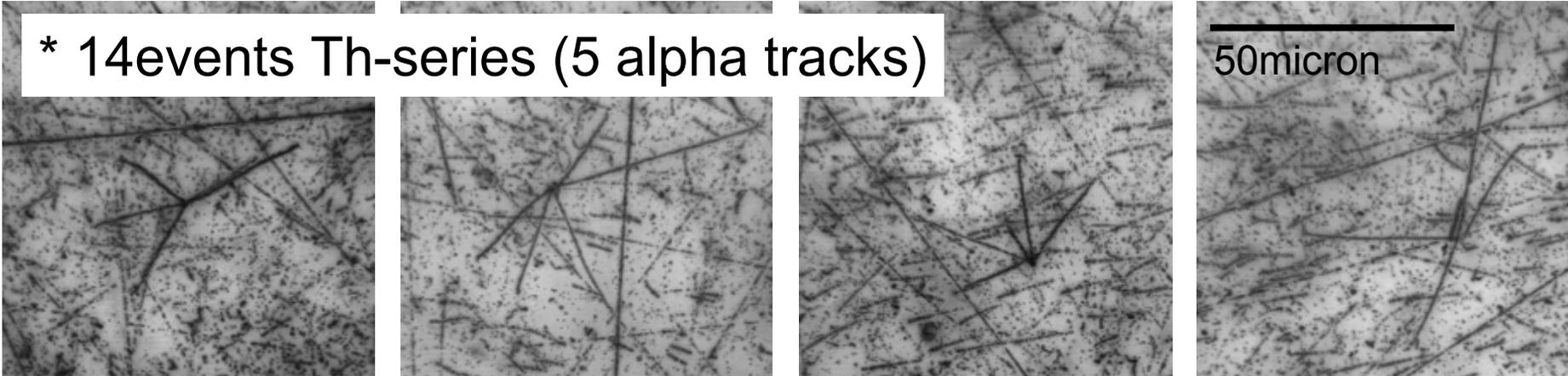
contour length > 5pix
area > 10pix

resolution = 1degree
threshold = 16 pix / line

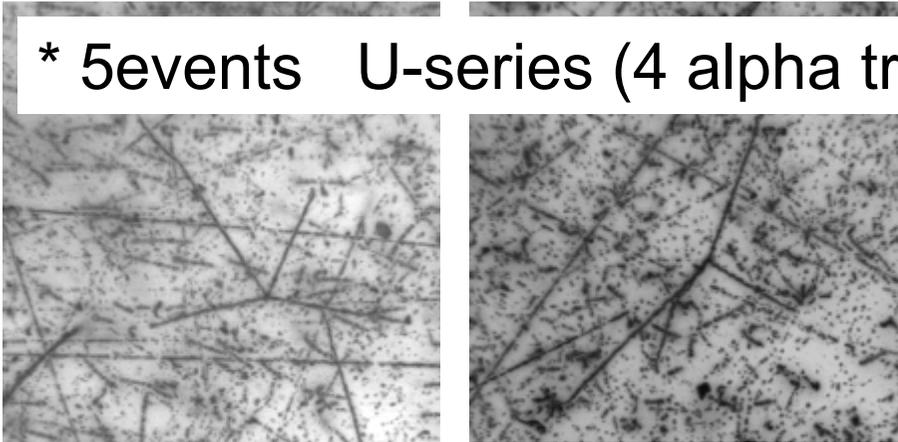
dist-edge-to-edge = 15pix
N_Tracks > 3
30
polygon area > 1000pix

alpha-decays under x50 objective

* 14 events Th-series (5 alpha tracks)



* 5 events U-series (4 alpha tracks)

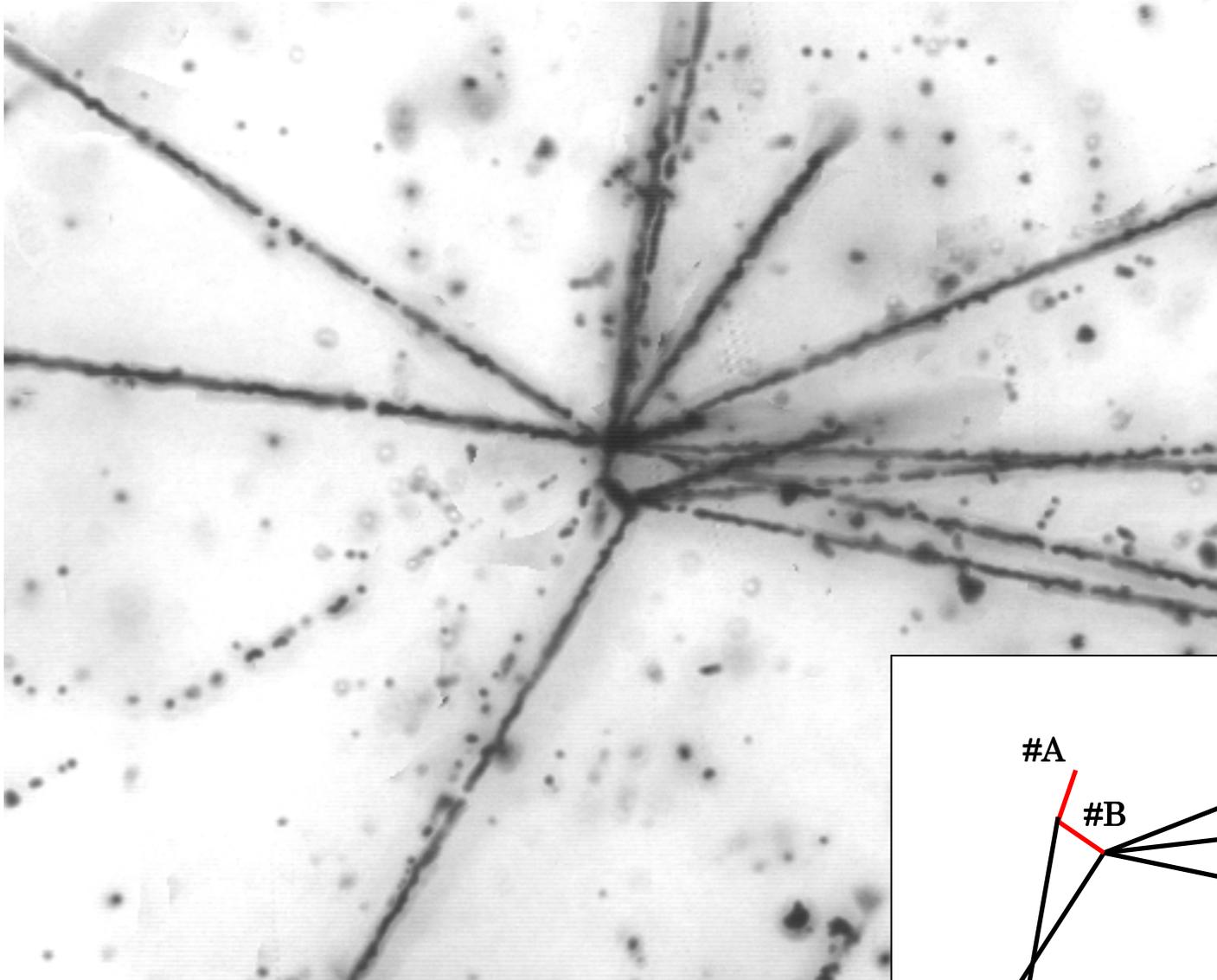


- * The ratio Th : U ~ 3:1 is natural.
- * The yield is practically enough

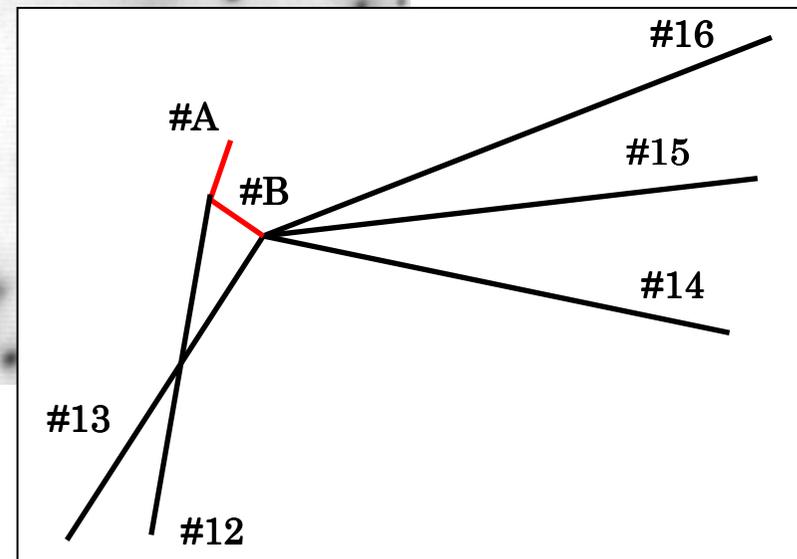
next steps are ...

- * Range measurement on microscope
 - > Range measurement by GUI
 - > Automated range measurement (R&D by Kobayashi)

検出された3-vertexes事象の一例（複数層写真を合成）
Beam Interaction: beam + 11fragments + DoubleHyper?



| | range (um) |
|-----|------------------|
| #A | 4.2 ± 0.1 |
| #12 | $>11.3\text{mm}$ |
| #B | 2.9 ± 0.1 |
| #13 | 370.5 ± 2.8 |
| #14 | 1452.7 ± 6.4 |
| #15 | 1029.7 ± 1.9 |
| #16 | 107.5 ± 2.7 |



まとめ

J-PARC E07で、
過去10倍の統計量のダブルΛハイパー核事象を得る

大型乾板の製作が開始(2013年12月)。
2014年4月まで行い、ビーム照射まで神岡に保管する。

三-飛跡全自動追跡の要素技術が確立した。
システムに組み込み、自動化のテスト運用を行う。

E07本番に向け、E373乾板の再解析でリハーサルを行う。

(わたくし吉田個人の仕事についてはポスターT01で)

乾板製作/解析の体制(2013年12月)

大量生産体制の確立・運用

金原・遠藤・伊藤・
M.K.Soe・
K.T.Tint・R.Xu
星野

仲澤

三-追跡の自動化

梅原

吉田

飛程-エネルギー変換
崩壊事象の再構成

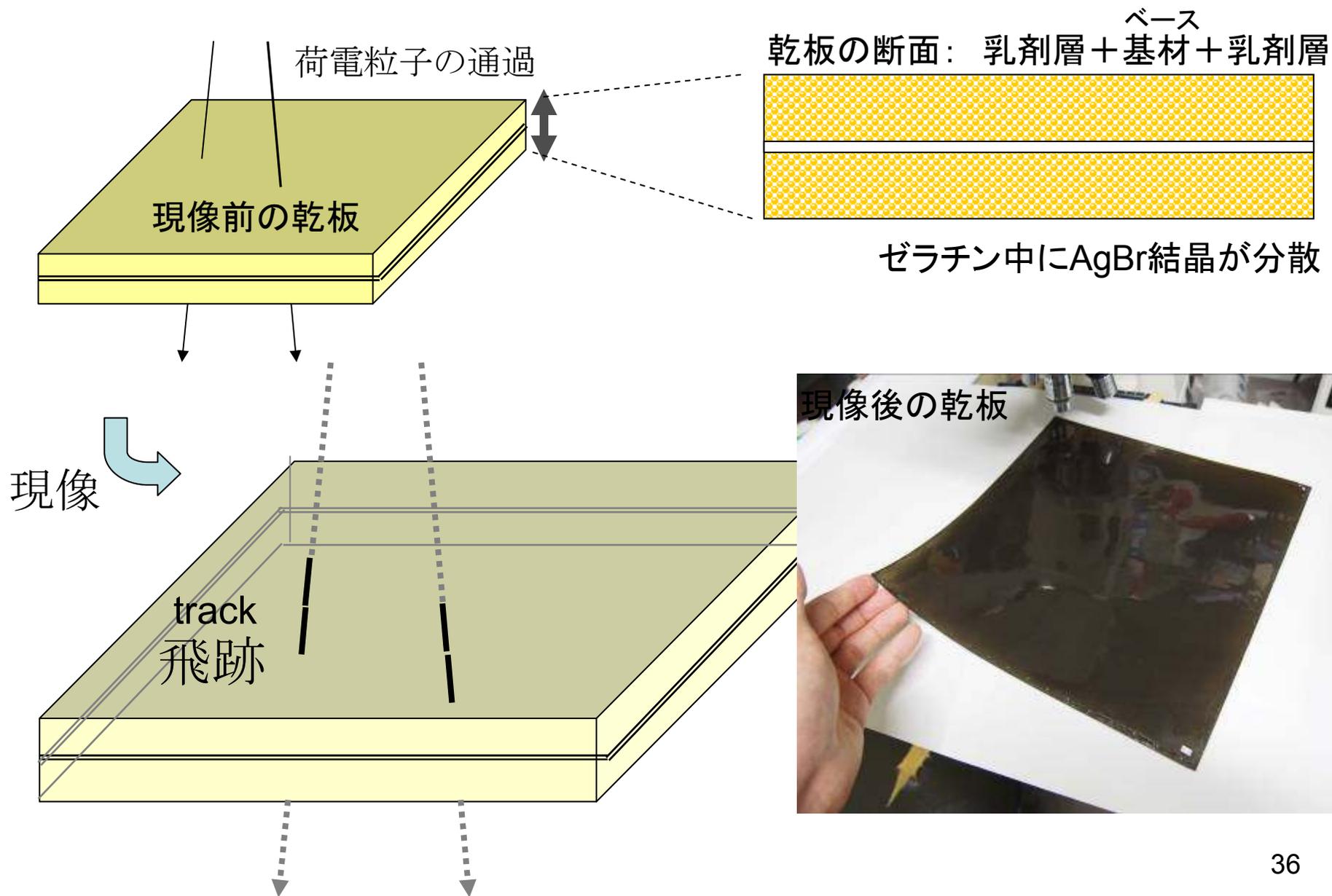
三品
山田・小林

大統計解析体制の構築

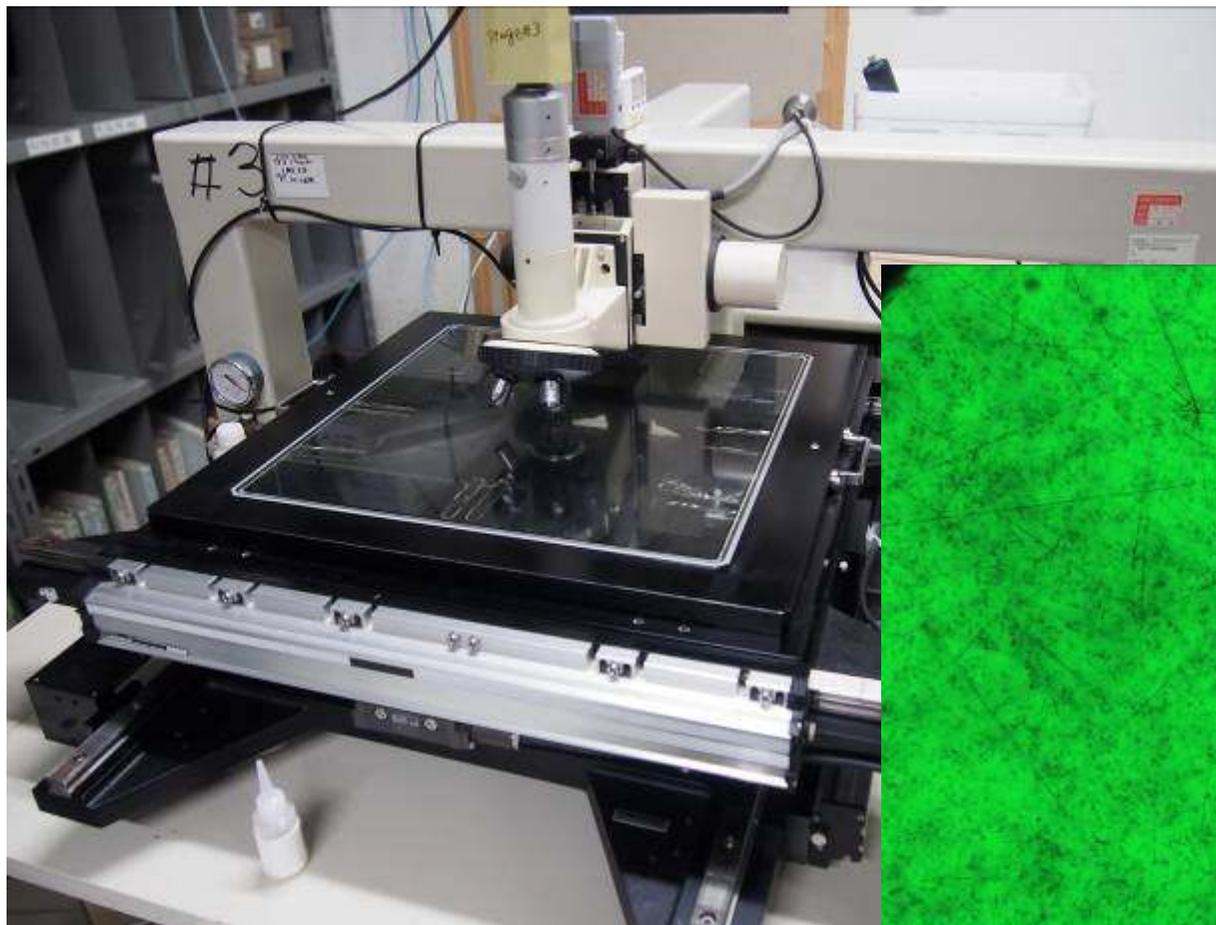
福永(東邦)・寺尾(東邦)
J.H.Kim(GNU)

エマルジョン

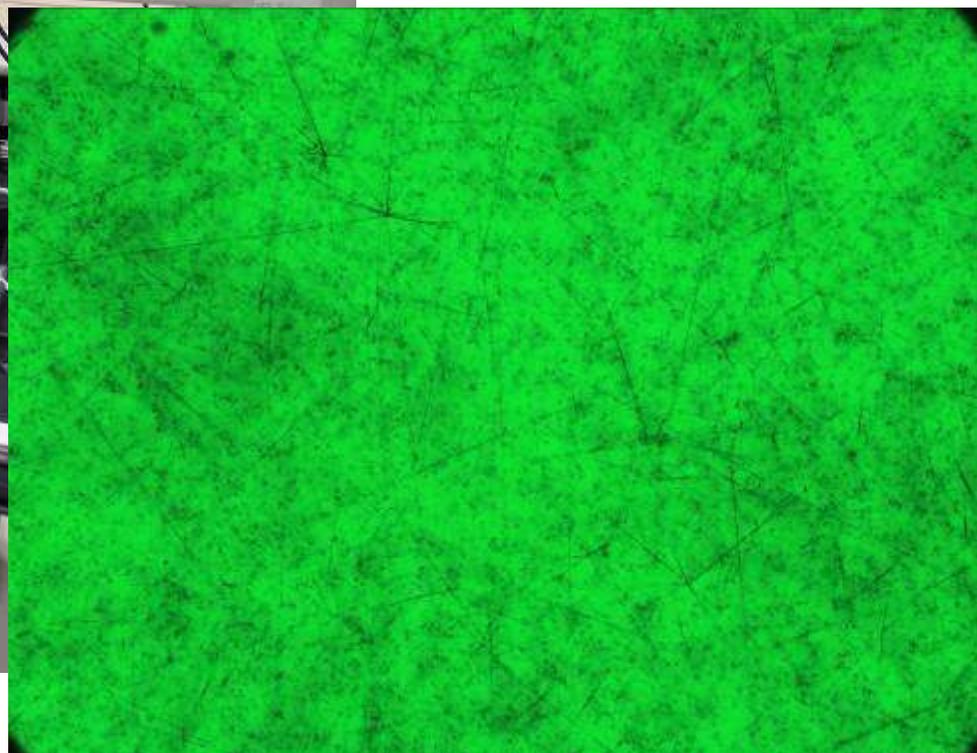
原子核乾板: 写真乳剤を用いた固体飛跡検出器。三次元的でサブミクロンの空間分解能



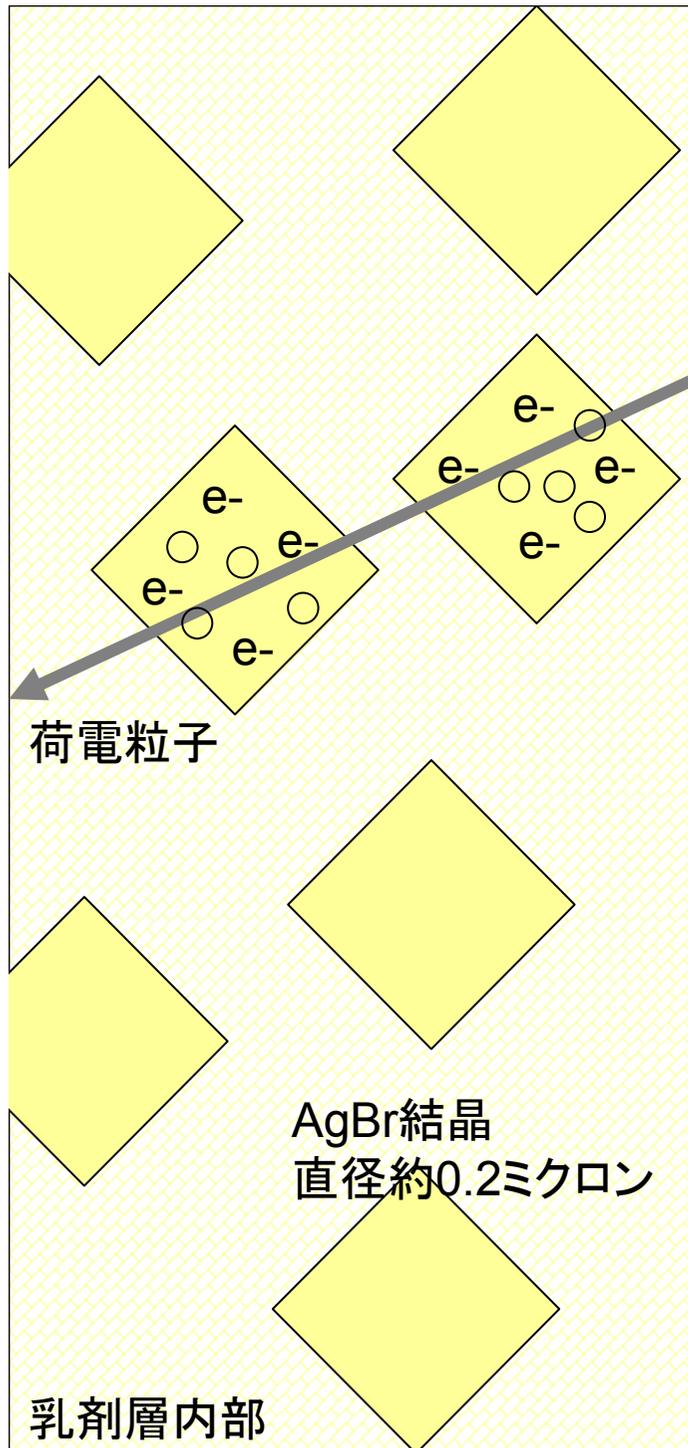
現像後の乾板を光学顕微鏡で読み取る



大面積顕微鏡ステージ
+ CCD撮像系



顕微鏡写真(20倍対物レンズ)
視野サイズ:約650*850ミクロン



荷電粒子の通過にともなう電離によって、
結晶内にいくつかの電子-正孔対が生じる。

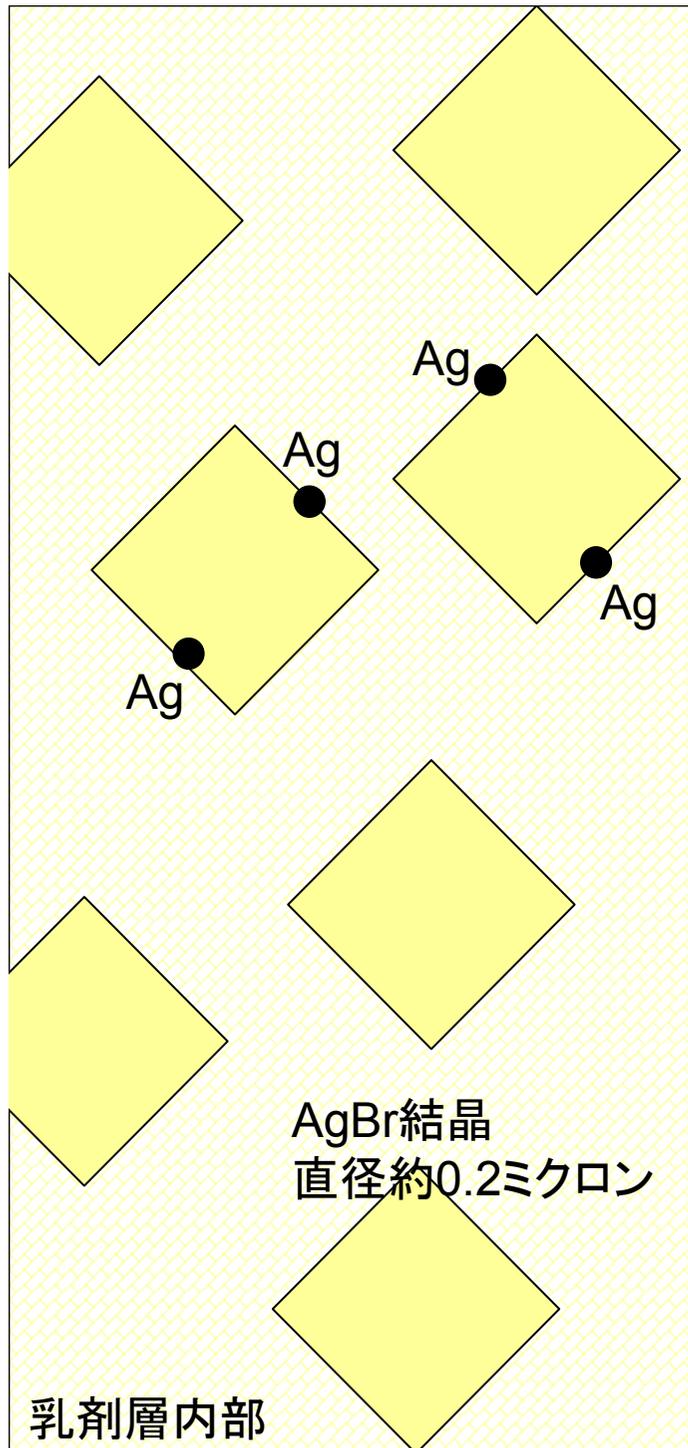


電子がトラップされ、
格子間銀イオンと結合して銀原子を生成する
 $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$

銀原子の周囲ではさらに電子トラップが起こり易くなり
銀クラスターが形成される。(潜像核)

AgBr結晶のバンド構造





荷電粒子の通過にともなう電離によって、
結晶内にいくつかの電子-正孔対が生じる。

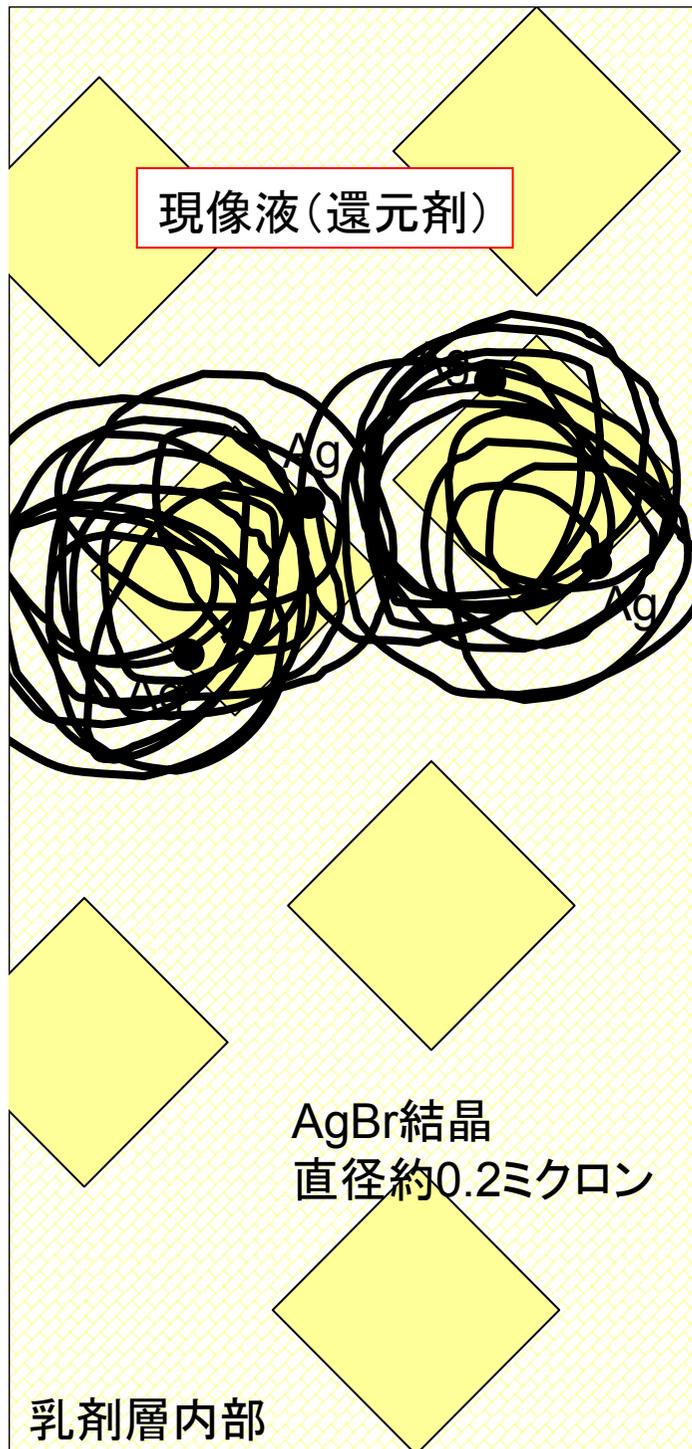


電子がトラップされ、
格子間銀イオンと結合して銀原子を生成する
 $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$

銀原子の周囲ではさらに電子トラップが起こり易くなり
銀クラスターが形成される。(潜像核)

AgBr結晶のバンド構造





現像(Development):

潜像核(銀)を還元反応によって化学的に成長させる。
直径1ミクロンの銀粒(グレイン)として可視化。



定着(Fix):

余分なAgBrを取り除く





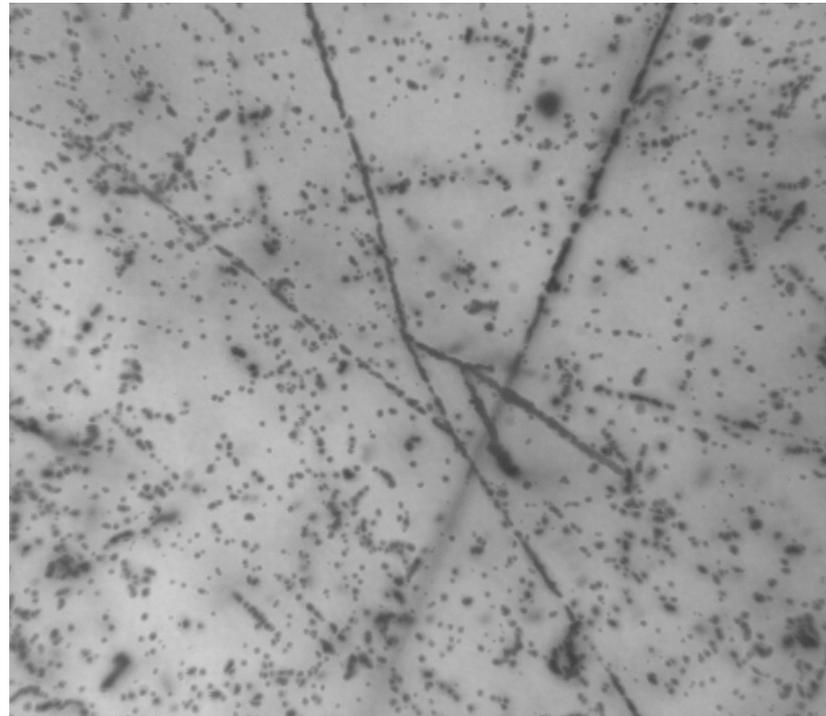
現像(Development):

潜像核(銀)を還元反応によって化学的に増幅する。
直径1ミクロンの銀粒(グレイン)として可視化。



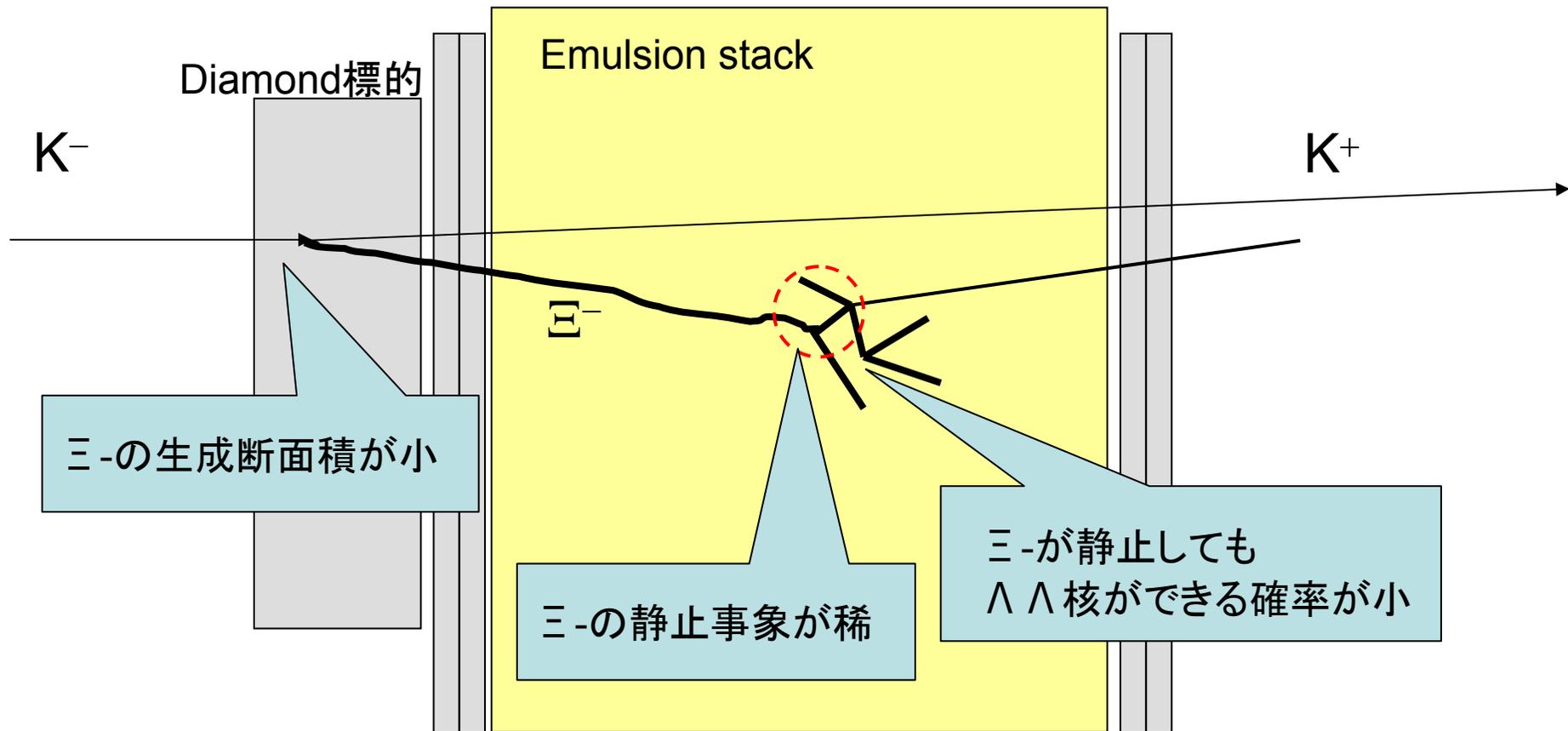
定着(Fix):

余分なAgBrを取り除く

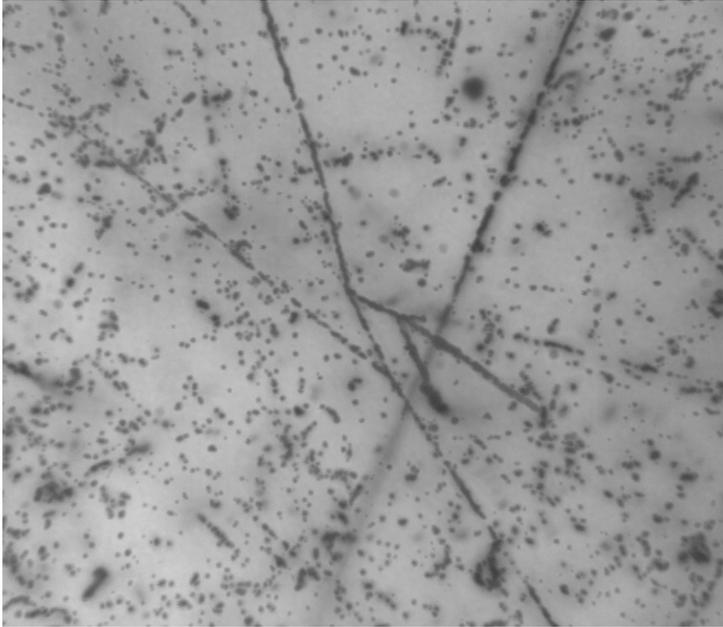


100倍対物レンズでの光学顕微鏡画像

なぜ原子核乾板か？



$\Lambda\Lambda$ 核生成は稀事象であり、バックグラウンドが膨大。
原子核乾板はサブミクロンの空間分解能をもち、Vertexトポロジーを直接見る事ができる。



乾板の情報量

乾板を多層式の光学データストレージと考える
グレイン=ビット情報

ビットの位置分解能を1micronとして
1枚の乾板(230mm*230mm*0.9mm)の情報量

= 6 TB

乾板が1000枚あれば 6 PB

- ・この情報量をどう生かすか。
- ・この膨大な情報量の中からいかに効率的に \wedge \wedge 事象を探索するか。
- ・これまで人力&肉眼観察で行っていた観察をいかに自動化するか。

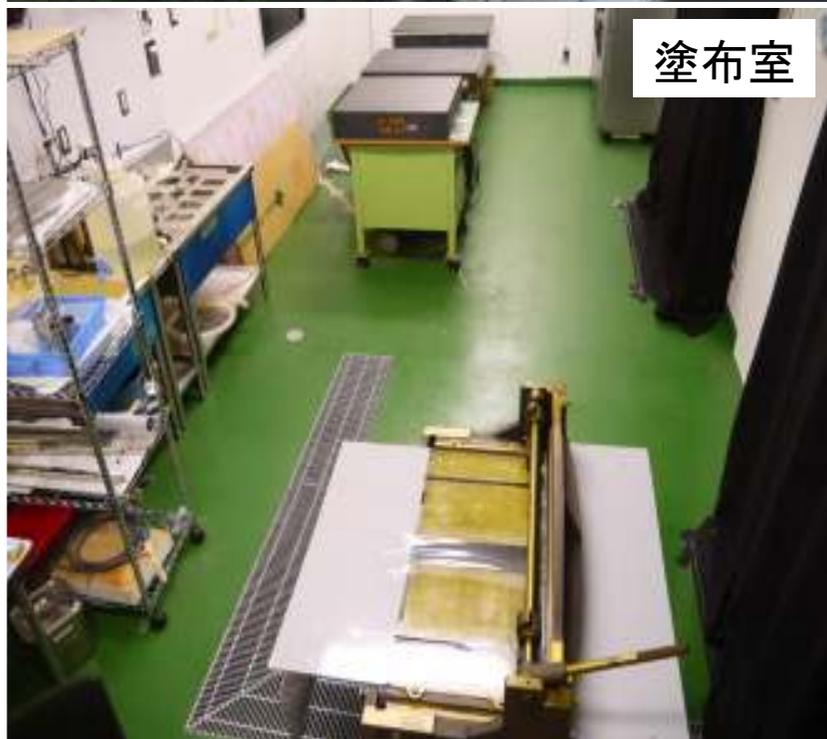
ダブルハイパー核実験棟



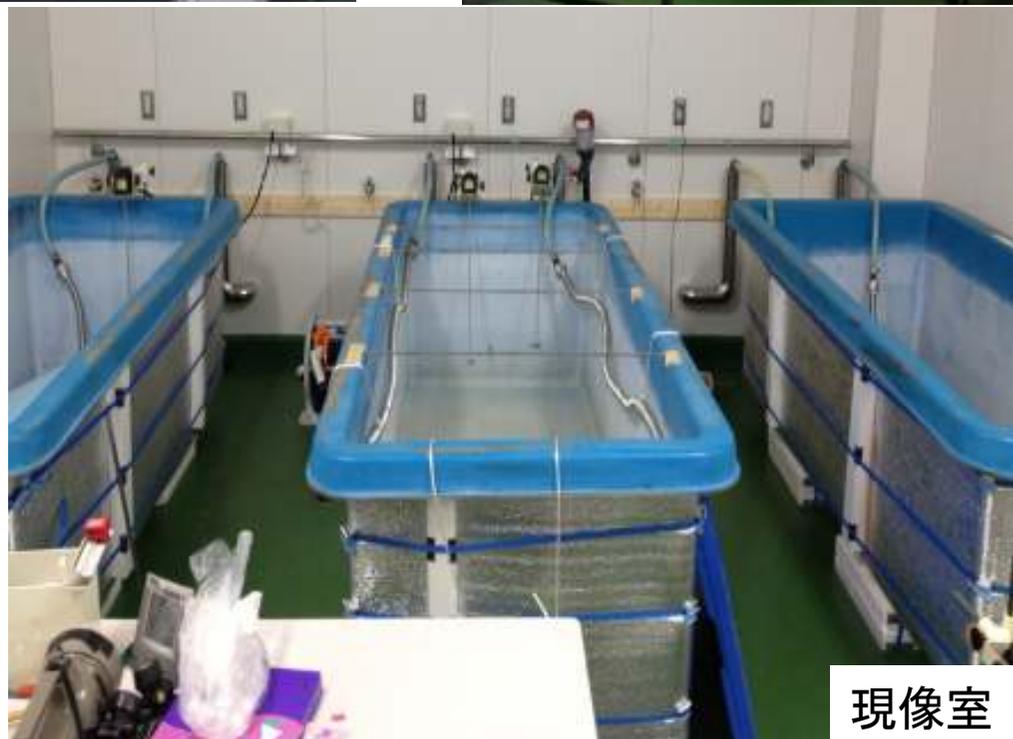
乾燥室



塗布室



現像室



これから来年にかけて乾板製作が山場をむかえる。

乾板の塗布台 x3



- ・水平な石常盤+ベースを真空固定するアクリル板
- ・湯煎して溶かした乳剤を垂らし、冷やして固める
- ・2013年12月から約4ヶ月かけて約1400枚を手作業で塗布する

表面コート

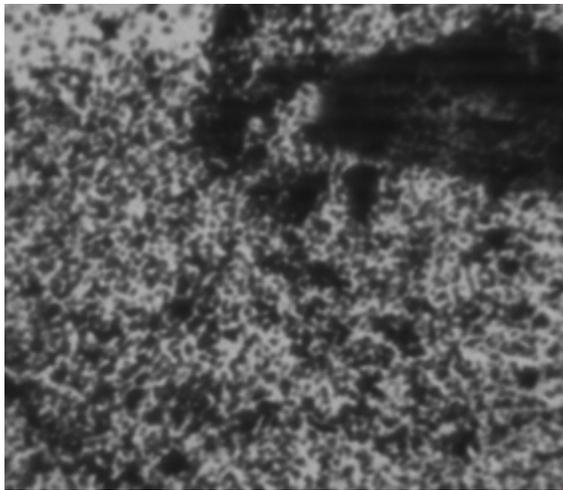
現像後の乾板表面に析出する銀をおさえるため、ゼラチンの薄い膜(1mm程度)を形成する

厚塗り乾板では初の試み。

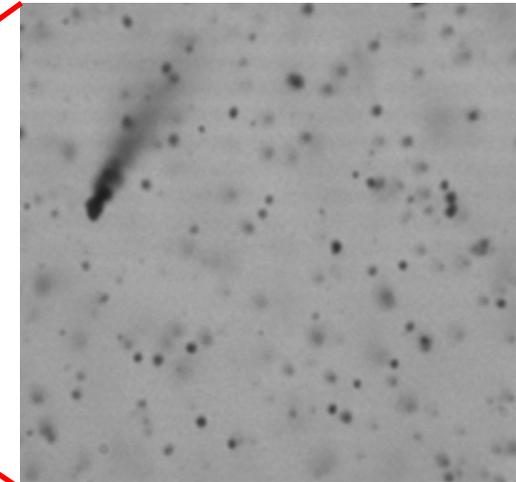
<成分>

- ・ゼラチン溶液
- ・界面活性剤溶液(3%)
ゼラチン溶液500gに8cc
- ・クロムミョウバン溶液(5%)
ゼラチン溶液500gに1cc

| 溶液の濃度 \ 時間 | 0分 | 10分 |
|------------|-----------|-----------|
| 1% | 2.2±0.2μm | 3.0±0.1μm |
| 0.3% | 0.5±0.1μm | 0.6±0.1μm |

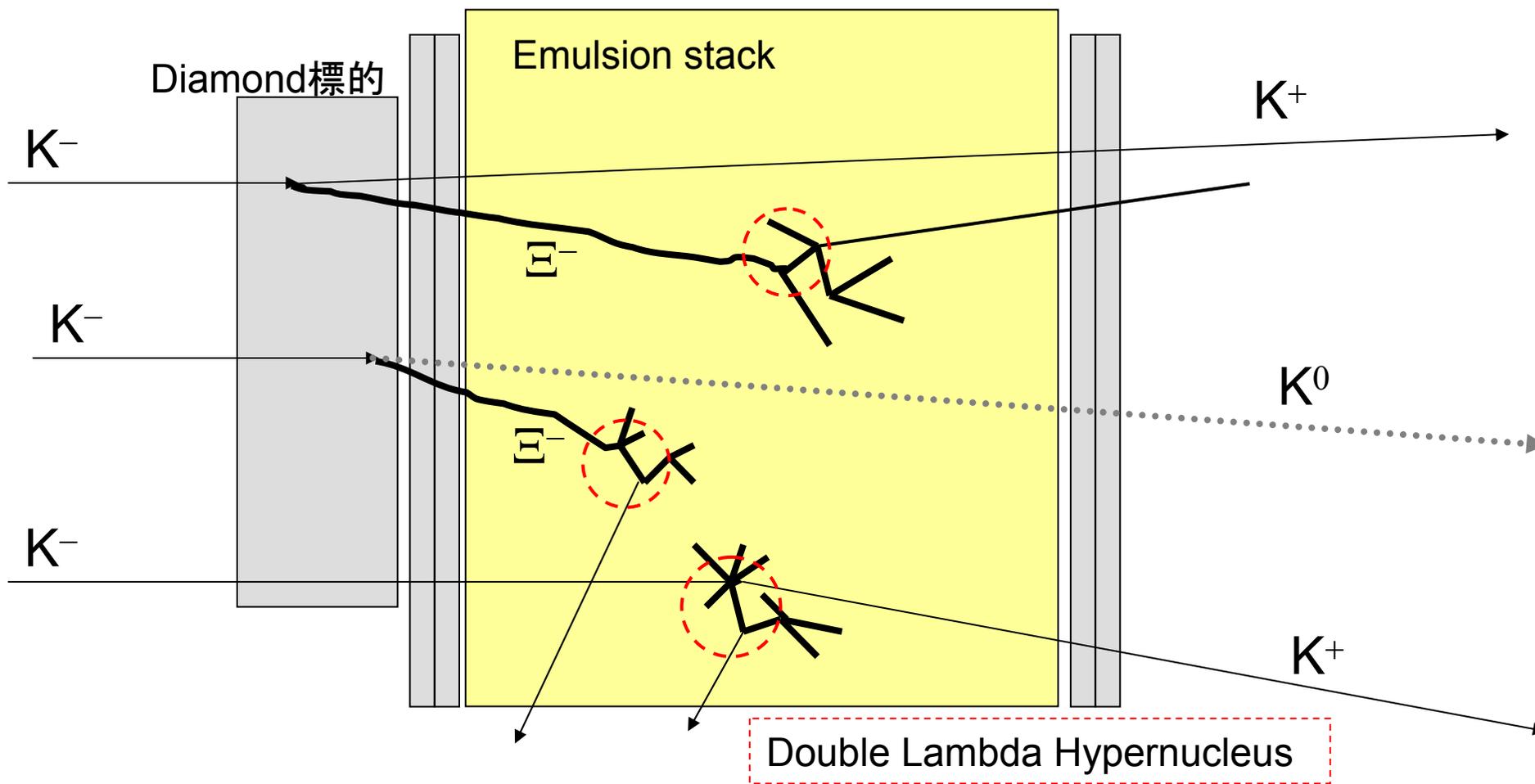


表面コートなし



表面コートあり

従来の探索方法: 複合実験法 (emulsion-counter hybrid method)

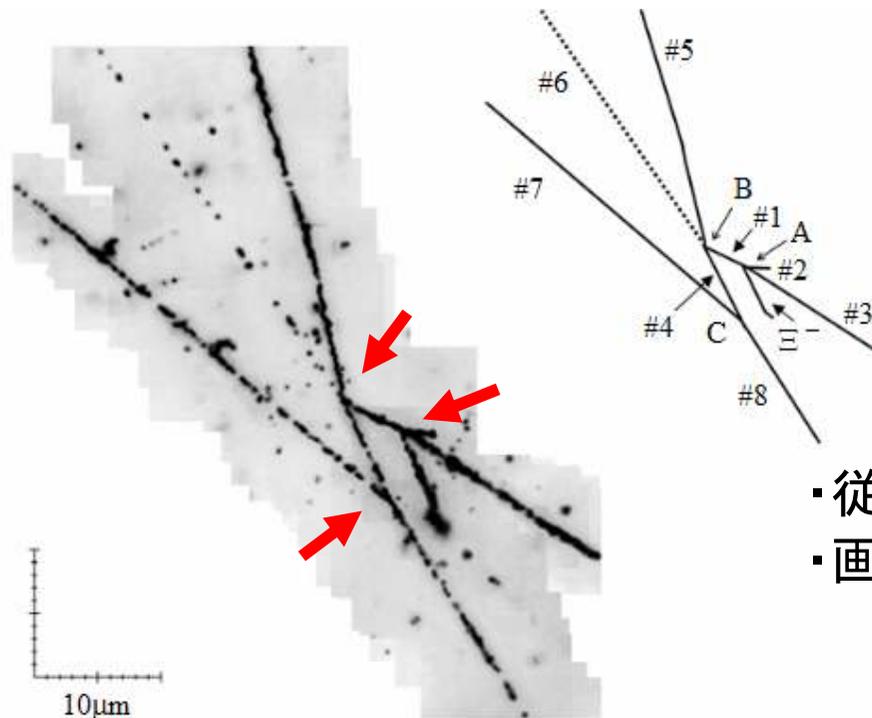


従来の方法としては最も効率的
だが、生成事象の多くに感度が無い

K^+ の立体角 : 50%
 K^+ が崩壊せず運動量と電荷が測定できる : 30%
 (K^-, K^+) 反応 : 50%

ダブルラムダハイパー核大統計検出のための原子核乾板解析手法 「Overall scanning」

- 原子核乾板の全体積を光学顕微鏡で走査し、
(1) 高速顕微鏡画像取得の開発
- 少なくとも1つの分岐点をもつパターンを検出
(2) 画像解析の開発



- 従来の10倍の統計量をねらう
- 画像処理の関連技術の発展で可能に

Overall Scanning と解析のストラテジー

Phase I : 技術開発 兼 E373乾板の再解析

先の実験(KEK E373)の乾板を用いて技術開発
E373乾板の全体積をスキャンし、
従来比10倍、70例のダブルΛハイパー核検出をねらう

Phase II : E07実験解析のアシスト

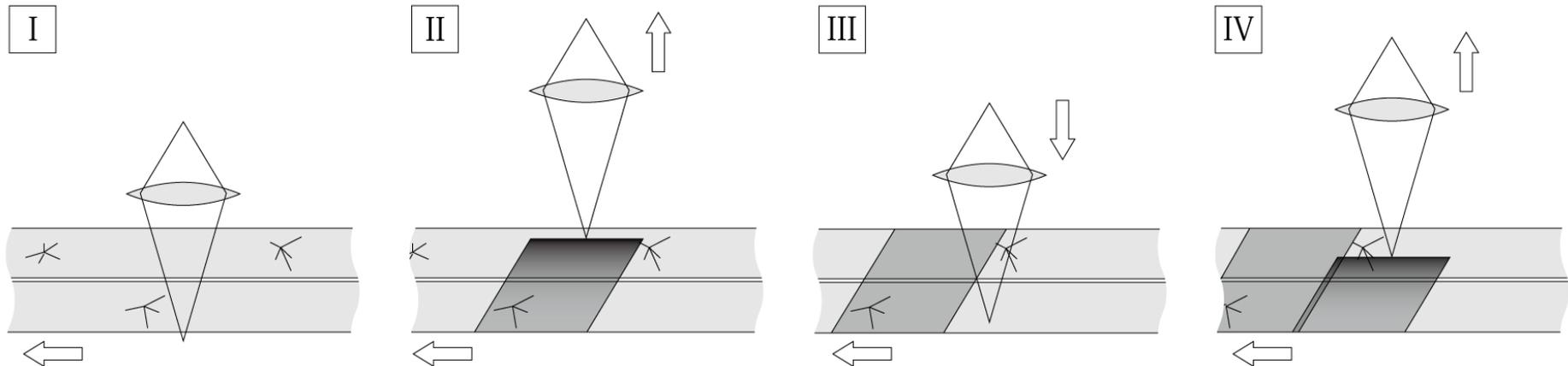
キャリブレーションソース: アルファ崩壊の探索高速化

Phase III : E07乾板の再解析

E07乾板の全体積をスキャンし、
プロポーザル比10倍、 10^3 例のダブルΛハイパー核検出をねらう

1) 高速顕微鏡画像取得

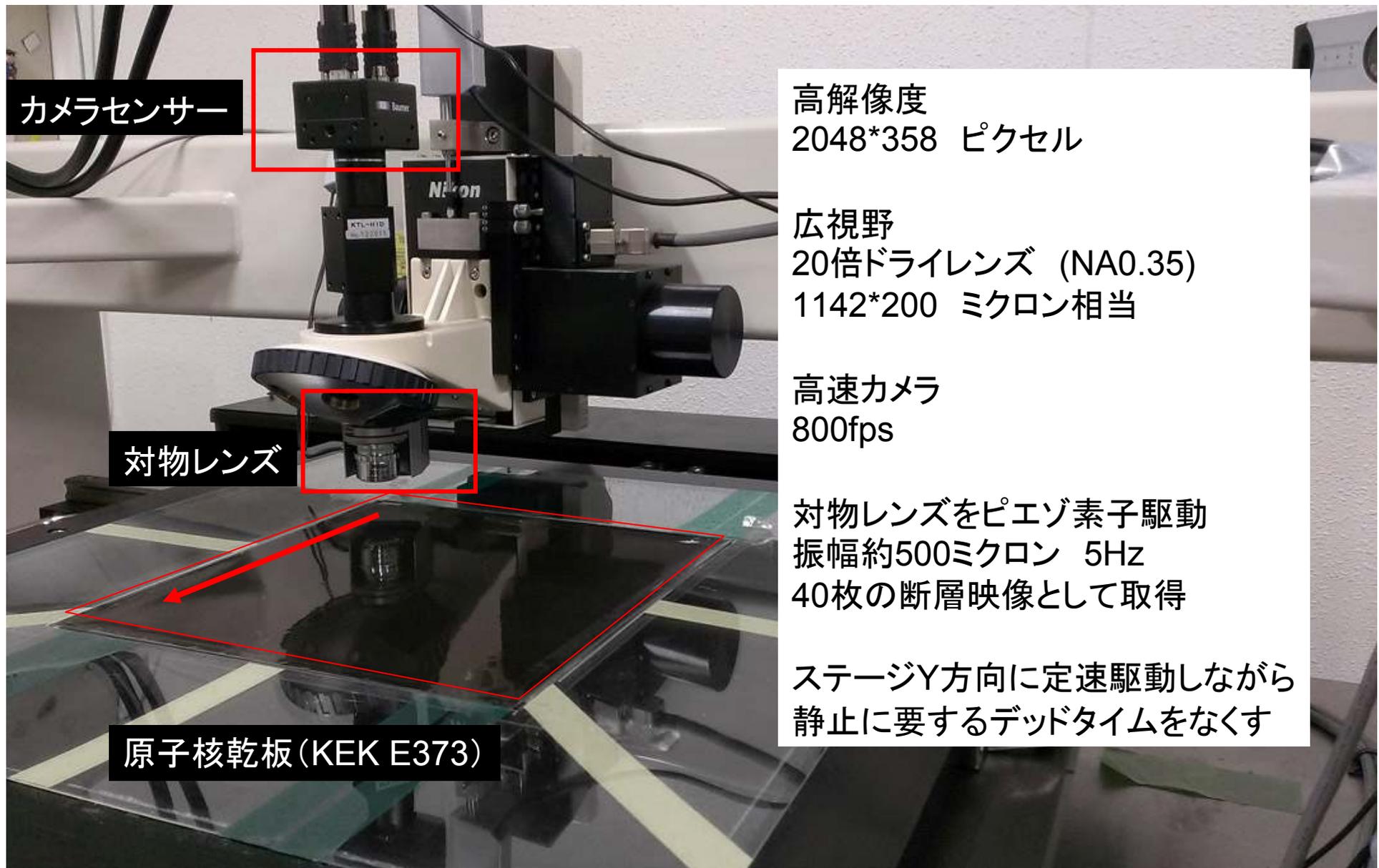
原子核乾板を、高速に、網羅的に走査するためのポイント



$$\text{走査速度 [mm}^3/\text{s]} = \text{視野面積[mm}^2/\text{pic]} * \text{被写界深度[mm]} * (\text{Z振動数} * \text{視野数})[\text{pic/s}]$$

- ・1視野のサイズを広くし、適度な被写界深度の光学系を用いる(20倍対物レンズ)
- ・対物レンズの振動を高速に行う
- ・一方向に一定速度で動かし、加速にともなう機械の振動を生まない
- ・高画素、高フレームレートのカメラセンサーで撮影する

専用ステージ(Stage#7, #8) UNIOPT社との共同開発 EXPERT-G2



高解像度
2048*358 ピクセル

広視野
20倍ドライレンズ (NA0.35)
1142*200 ミクロン相当

高速カメラ
800fps

対物レンズをピエゾ素子駆動
振幅約500ミクロン 5Hz
40枚の断層映像として取得

ステージY方向に定速駆動しながら
静止に要するデッドタイムをなくす

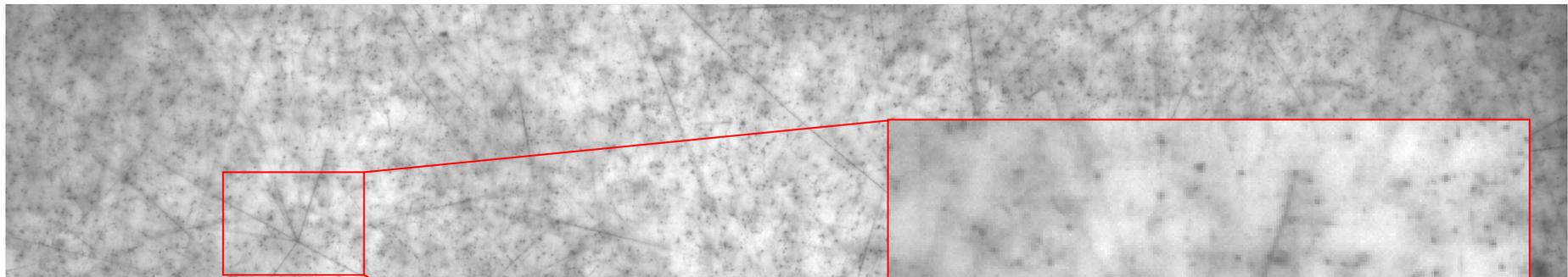
設計値 : E373乾板全体積 = 245mm*230mm*0.9mm を約18時間で走査。⁵¹

<これまで>

3月末、岐阜大学に顕微鏡ステージ、カメラ、ピエゾ素子、PCを搬入
光学系立ち上げ
顕微鏡解析室の改装、温湿度管理体制の運用
基本的な制御ソフトウェアの開発

<現状>

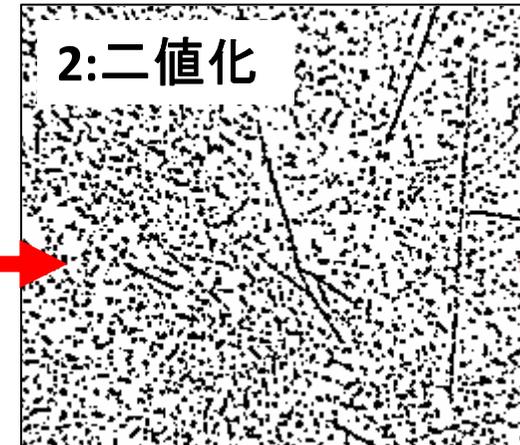
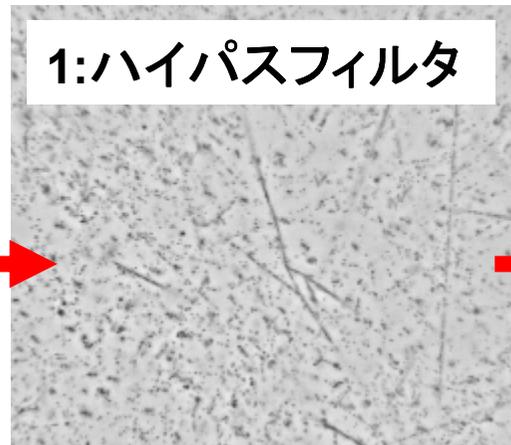
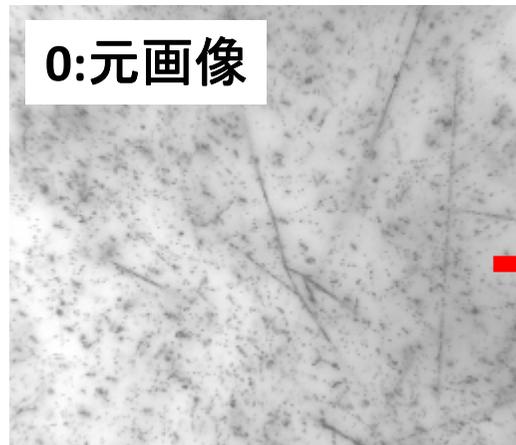
ピエゾ駆動とカメラ撮影の同期制御がほぼ実用段階に達した(2013年10月上旬)



新光学系で撮影した画像

- ・画素 2048*358 ピクセル
- ・視野 1142*200 ミクロン相当

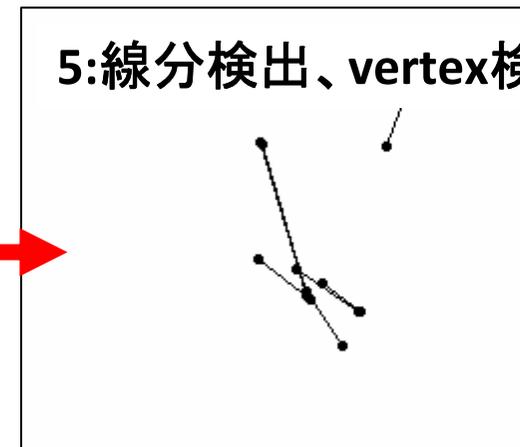
2) 画像解析の過程



・背景の濃淡を均一化

・情報量を圧縮
・以降の画像処理に必要

↑ リアルタイムに処理



・黒領域の輪郭の長さや面積を評価

・飛跡を幅1pixelに削る
・直線検出を容易にする

・”確率的ハフ変換”を用いる
・線分の幾何学的配置を評価

画像処理の各種パラメータは、
何枚かの画像を見ながら暫定的に決めた。

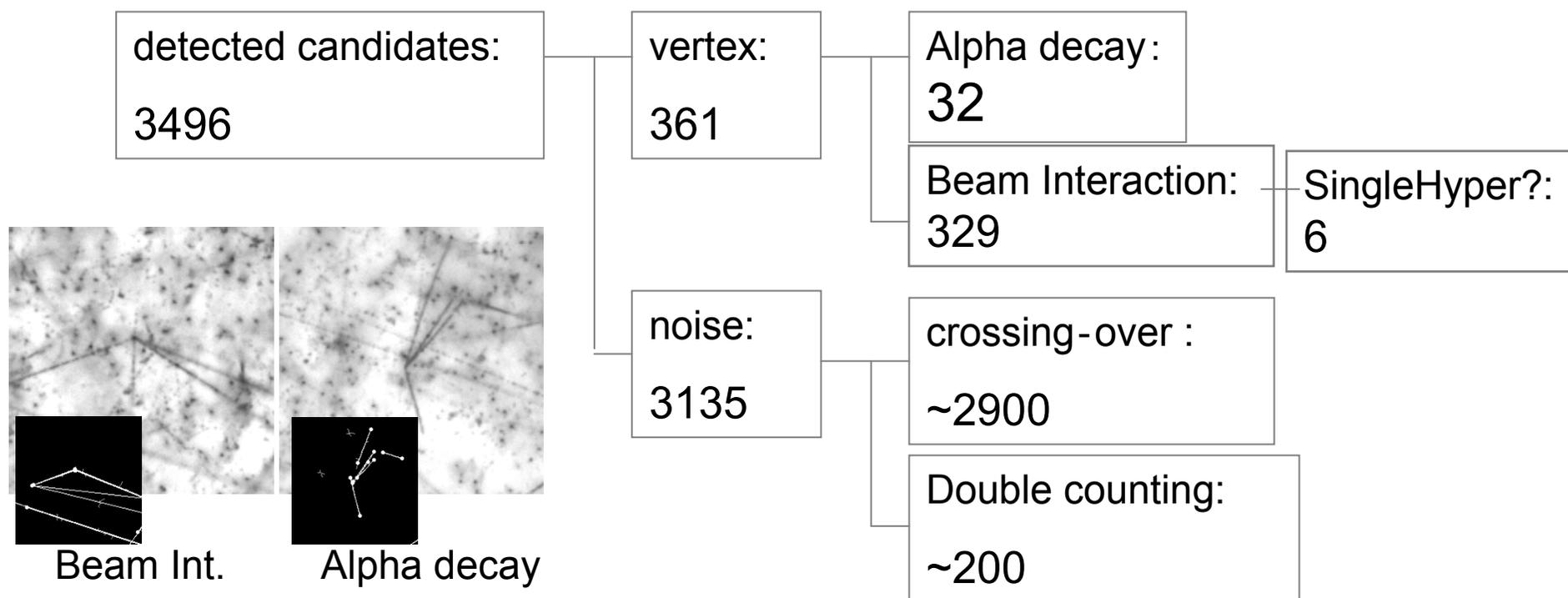


現時点のvertex抽出のクオリティ

スキャン乾板: E373 mod86 pl7 (乾板製作から約1年間神岡に保管)

スキャン体積: 2.2mm * 10mm * 0.9mm

検出されたvertex候補を、目視確認によって分類した。(preliminary)



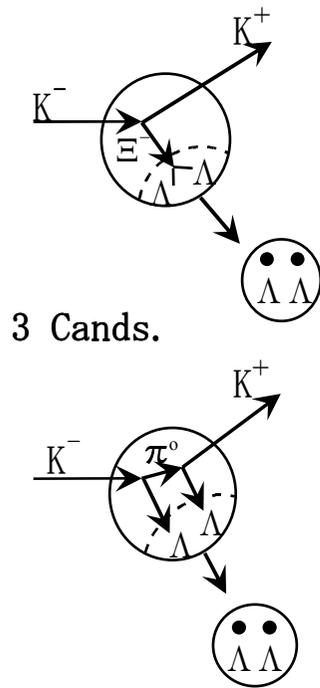
- ・crossing-overをカットするためのフィルターを開発している。
- ・アルファ崩壊の収量は現時点のセレクションで実用的である。
- ・SingleHyperの検出数は期待値よりも多い？ 今後定量的な評価を行う

1回あたり約10時間の連続運転試験 → ハイパー核検出に特化した目視確認（8月）

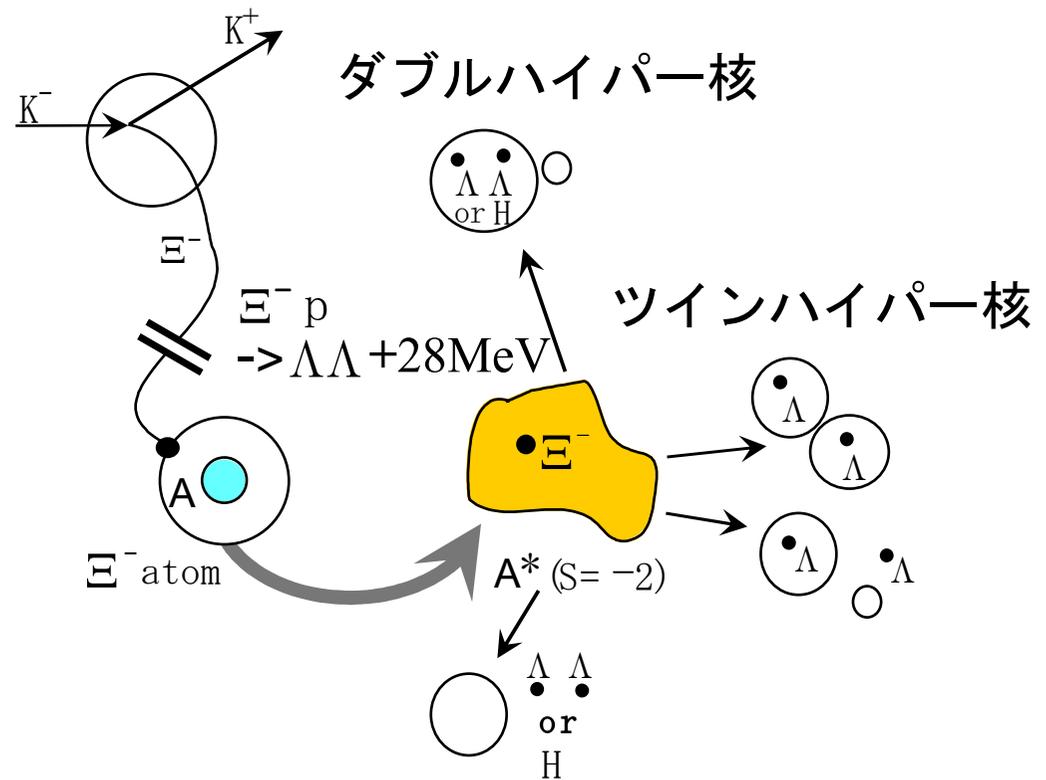
| 工程 | インプット | アウトプット |
|---------|------------------------------|---|
| Scan | 乾板2枚を対象 | 81.3cm ² * 0.9mm |
| 画像処理 | ~1.5 * 10 ⁶ picts | 2.2 * 10 ⁵ VTXCands |
| 画像目視 | 8.4 * 10 ⁴ picts | ~250 2VtxCands (HyperNuclCands) 5例 3VtxCands |
| 対物x50で | 5例 3VtxCands | 3例 x100観察へ 2例 3VTXではないと判断 |
| 対物x100で | 3例 | 2例 詳細解析へ 1例 3VTXではないと判断 |

ダブルハイパー核 ($\Sigma^{-}\Sigma^{-}$ systems) の生成法

- 直接生成



- Ξ原子を介して(KEK-E373)



Λ粒子の寿命: 10^{-10} (100億分の1) 秒