

低エネルギーミューオンの飛跡検出に向けた 高空間分解能ガスチェンバーの開発

2019/2/19 第25回ICEPPシンポジウム

大阪大学久野研究室 M1 堀孝之

目次

- 導入
- ミューオンを用いた分析
- セットアップ
- 目的
- 検出器の要請
- ドリフトチェンバーの原理
- 空間分解能の見積もり
- 今後の展望
- まとめ

導入

小惑星探査機はやぶさ2



- はやぶさ2は小惑星リュウグウを調査し、サンプルを持ち帰ることを目指している。
- リュウグウ上で有機物が見つければ、生命の痕跡を探る手がかりとなる。
- 今年2月22日（明々後日！）にリュウグウに降り立つ予定

導入

はやぶさ2が持ち帰ったサンプルの分析

初期の分析では、化学組成などを、地球上の物質で汚染されないよう、ケースに入れた状態で分析する必要がある

どうやって分析する？

化学組成の代表的な分析手法

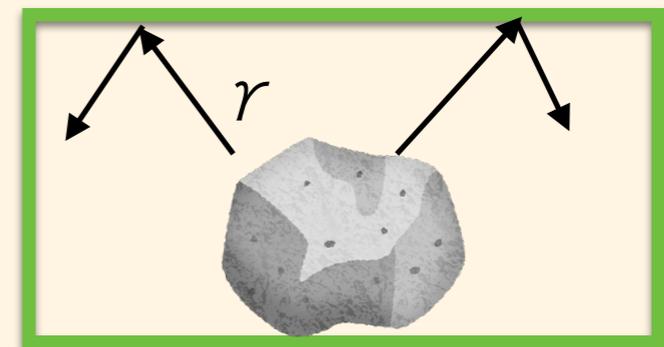
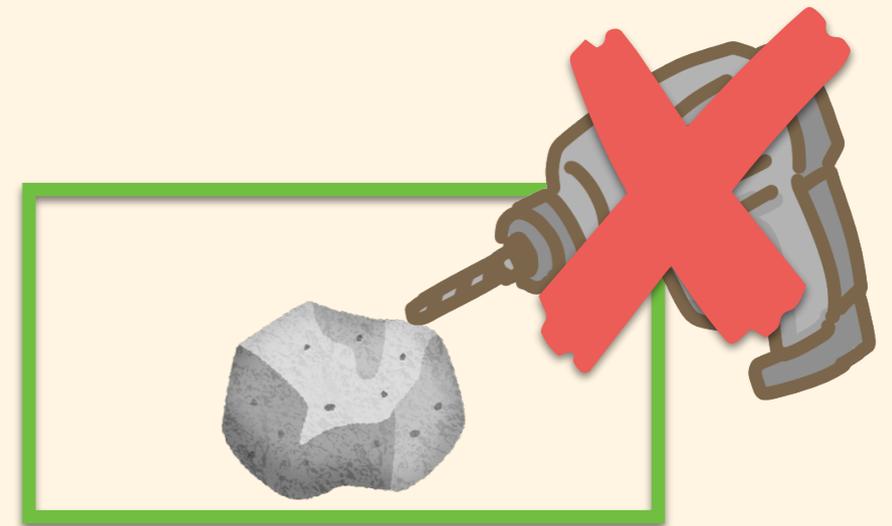
-質量分析器を用いた方法

試料を細かく砕く必要がある

-蛍光X線を用いた手法

X線のエネルギーが低く、ケースを貫通できない

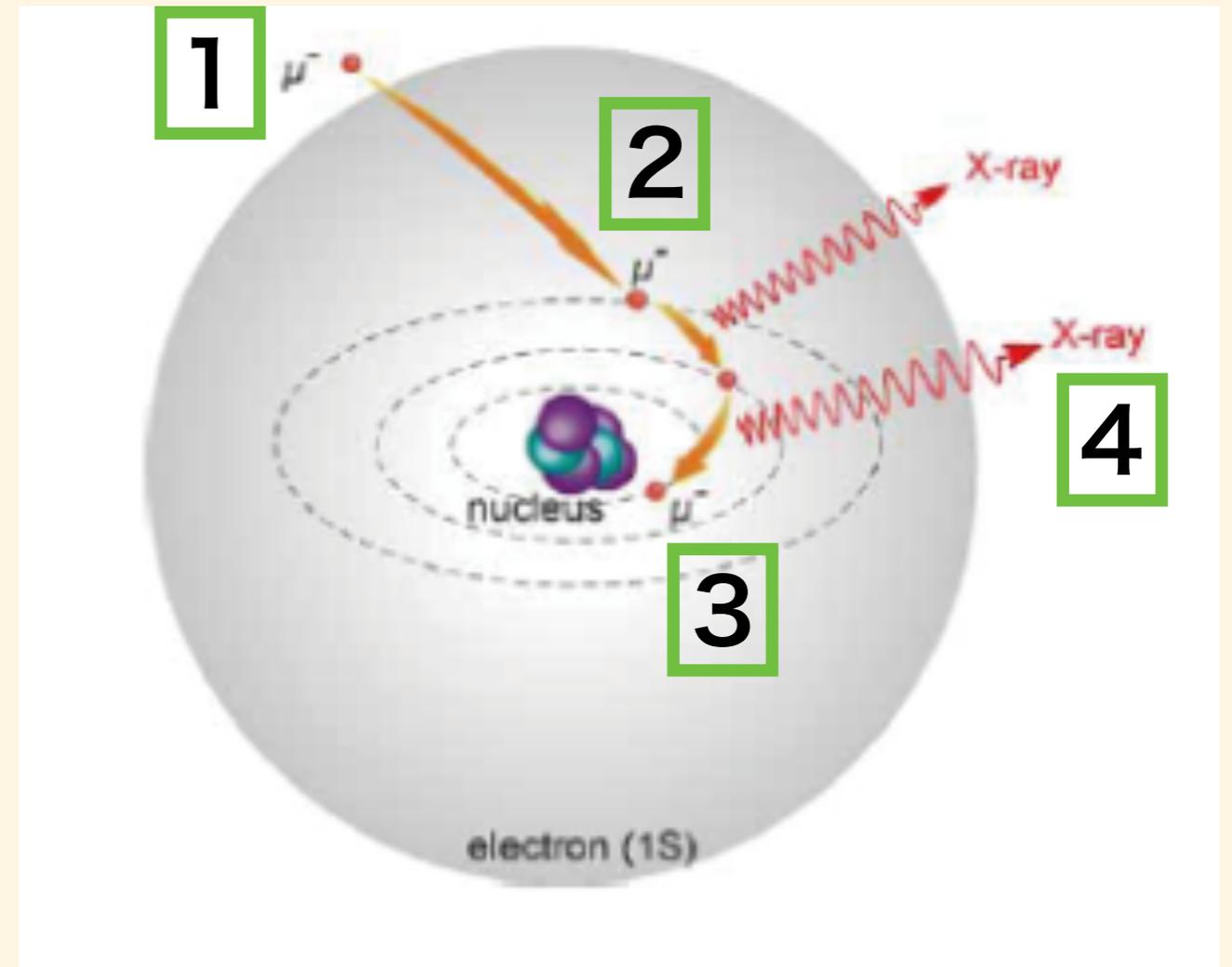
→ミュオンを用いた分析はこれらの問題を解決



ミュオンを用いた分析

ミュオンX線

1. ミュオンが物質に入射
2. ミュオンが原子にトラップされ、ミュオン原子を形成
3. 原子軌道上のミュオンが基底状態に落ちる
4. エネルギー準位の差に応じて、原子の種類に特有のX線が発生する



X線の発生原理は電子のものと同じ

しかし、ミュオンX線は電子の蛍光X線の200倍ものエネルギーを持つ

->ミュオンX線は容易にケースを貫通できる

初期分析の為の要請を完璧に満たす

MuSIC実験

@大阪大学核物理研究センター

ミュオンを用いた分析

Google 隕石 非破壊分析

すべて ニュース 画像 ショッピング 動画 もっと見る 設定 ツール

約 111,000 件 (0.31 秒)

隕石 非破壊分析 の学術記事

... : 有機物と微生物の宇宙空間曝露と微隕石及び微生物の捕... - 山岸明彦 - 被引用数: 11

... : スターダストミッション有機物分析部門の初期結果と隕石... - MATTER - 被引用数: 4

太陽系誕生時の有機物を含む隕石の非破壊分析に成功 - アストロアーツ
https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/9518_chondrite
 大阪大学などの研究グループが、地球外有機物を含む炭素質コンドライト隕石を非破壊 定量分析することに成功した。「はやぶさ2」が持ち帰る小惑星物質などの分析に、非常に有効な手法となる。【2017年11月16日 日本原子力研究開発機構/大阪大学】。このページに 3 回アクセスしています。前回のアクセス: 18/12/19

阪大ら、太陽系誕生時の有機物を含む隕石の非破壊分析に成功 | 財経新聞
<https://www.zaikei.co.jp/article/20171116/412132.html>
 2017/11/16 - 大阪大学の寺田健太郎教授、佐藤朗助教、二宮和彦助教らの研究チームは13日、日本原子力研究開発機構(原子力機構)及び現東京大学の橋省吾教授らと協力し、ミュオンX線分析法により、有機物を含む炭素質コンドライト隕石の非破壊...

[PDF] ミュオン特性 X 線による 隕石試料の非破壊分析
https://www.jrias.or.jp/books/pdf/201502_TENBO_TERADA.pdf
 料9) の化学組成を非破壊で調べる有効な分析手. 法として期待されている。本稿では、筆者らが行っている隕石試料. の特性 X 線分析の現状について紹介したい。2 ミュオン特性 X 線による元素分析の原理. ミュオン特性 X 線測定の実験装置については久.

素粒子ミュオンの連続ビームによる、太陽系誕生時の有機物を ... - ResOU
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2017/20171113_1
 2017/11/13 - 大阪大学核物理研究センターで世界最高効率の大強度ミュオンビーム生成装置MuSICの開発に成功し、日本初のDCミュオンビームを用いた非破壊物質分析を開始！。「はやぶさ2」が持ち帰る小惑星物質のキャラクタリゼーションを想定...

太陽系誕生時の有機物を含む隕石の非破壊分析に成功 - 阪大ら | マイナビ
<https://news.mynavi.jp>
 2017/11/20 - 大阪大学(阪大)は、DCミュオンビームを用いたミュオンX線分析法により、有機物を含む炭素質コンドライト隕石「Jbilet Winselwan」のMg、Si、Fe、O、S、Cの非破壊定量分析に成功したと発表した。

財経新聞 2018年12月20日 (木)

ホーム 経営・ビジネス 企業・産業 経済 マーケット 政治・社会

インターネット・セキュリティ ケータイ・スマホ・タブレット PC・家電・周辺機器 宇宙技術・天

広告は Google により終了しました
 問題がある広告として報告 広告表示設定

[IT・サイエンス]

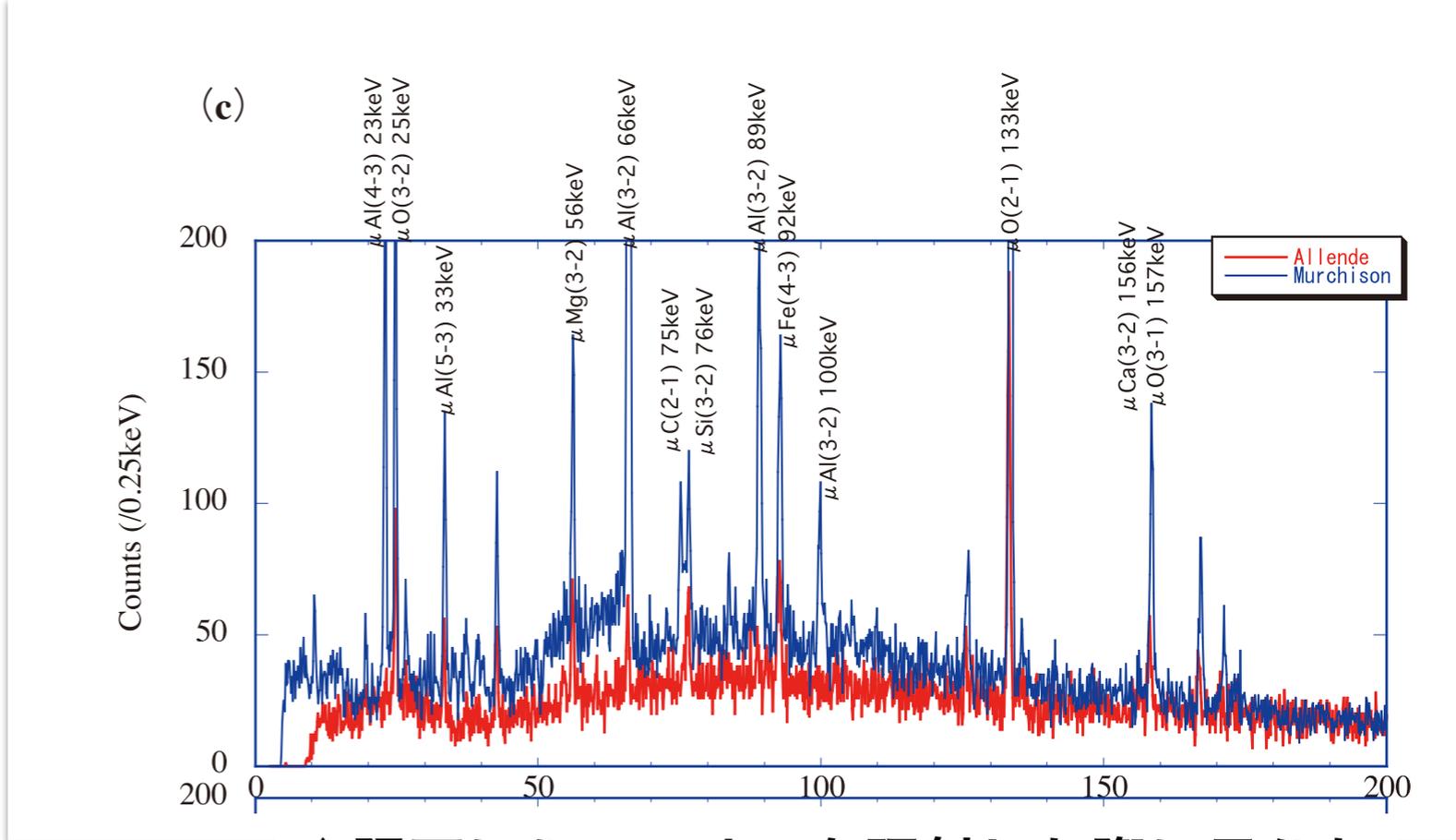
阪大ら、太陽系誕生時の有機物を含む隕石の非破壊分析に成功

2017年11月16日 11:48

大阪大学の寺田健太郎教授、佐藤朗助教、二宮和彦助教らの研究チームは13日、日本原子力研究開発機構(原子力機構)及び現東京大学の橋省吾教授らと協力し、ミュオンX線分析法により、有機物を含む炭素質コンドライト隕石の非破壊定量分析に成功したと発表した。

【こちらも】冥王星の地名に「はやぶさ」が正式承認

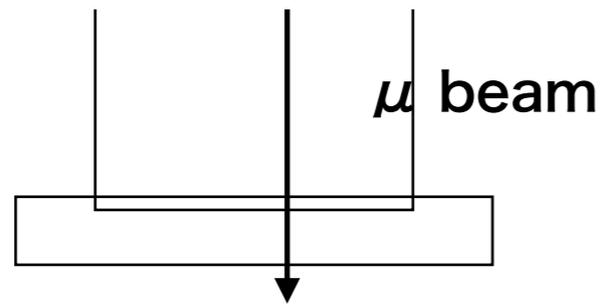
「はやぶさ2」が持ち帰る小惑星物質のキ



↑ 隕石にミュオンを照射した際に見えたエネルギースペクトラム @J-PARC

セットアップ

Top view



Trigger scintillator

Ge検出器

Meteorite
(target)

Decay electron
counter

Ge
検出器

BGO

(to detect
Compton scattering)

Side view



現状のセットアップではミュオンが止まった位置が細かく分からない

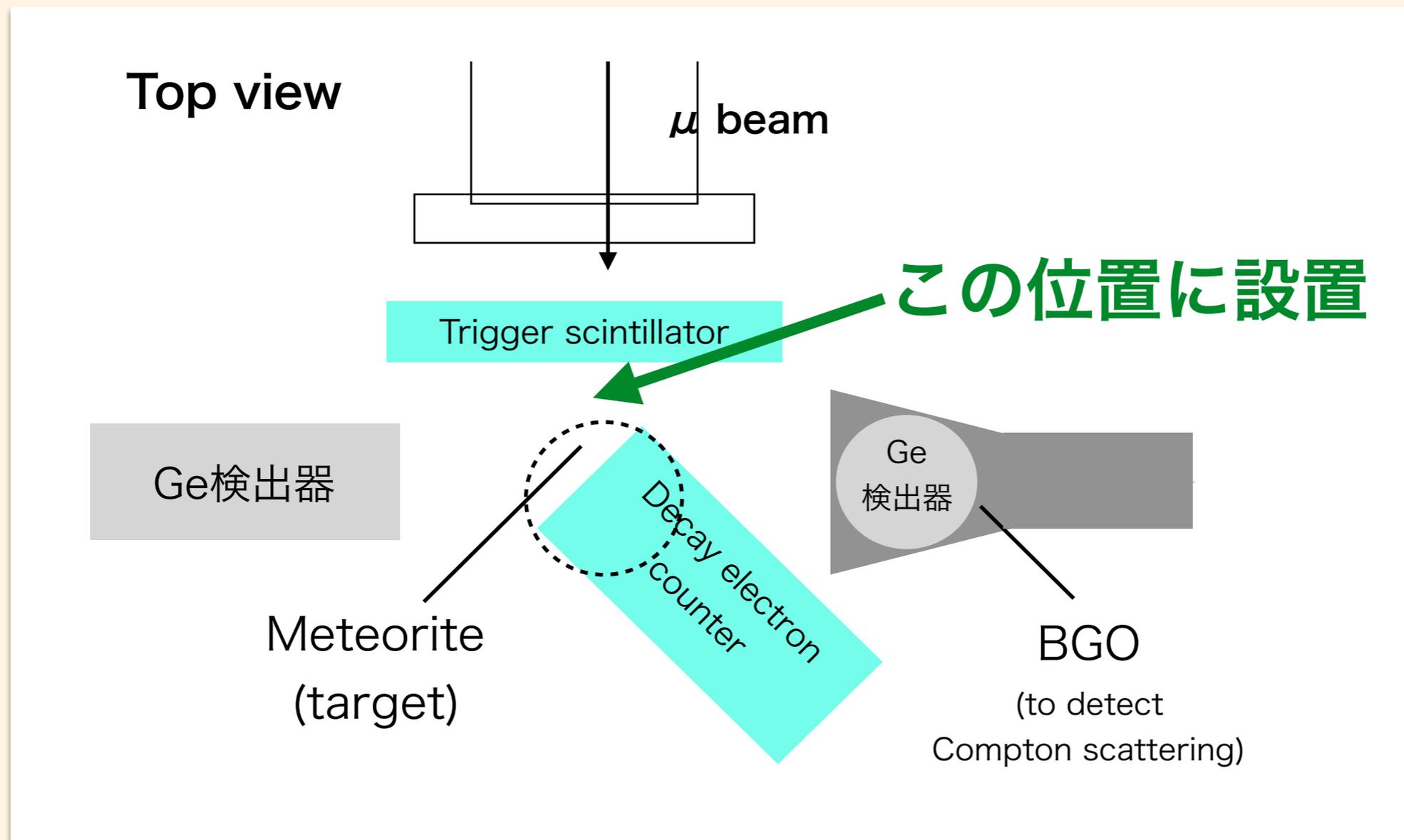
→試料内のどこに有機物があるのか明らかにしたい



meteorite(target)

目的

試料上流に飛跡検出器を設置し、試料中で
ミュオンが止まった位置の情報を得る。



検出器の要請

実際の位置分解能には次の3要素が関係する

- ① 検出器自体の位置分解能
- ② 検出器内部での多重散乱による位置分解能
- ③ 試料内部での多重散乱による位置分解能

要請

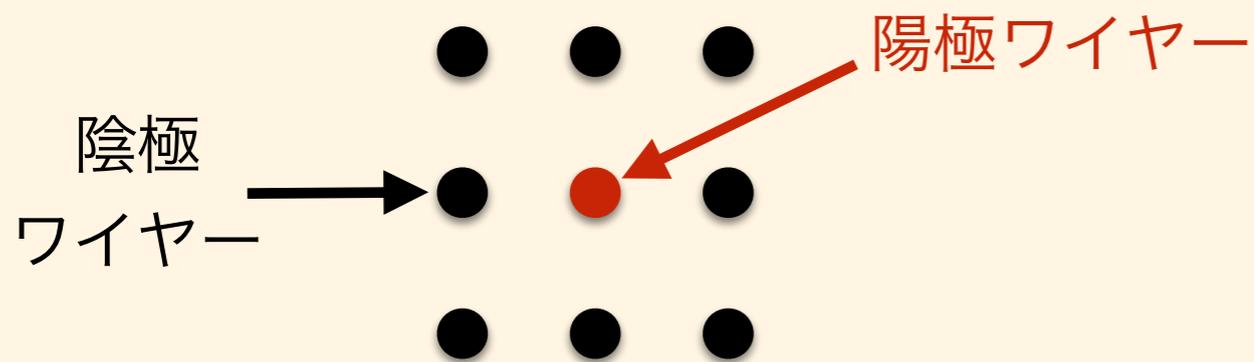
- ・ 上記3つの要素を踏まえた位置分解能 $\sigma \sim 100 \mu\text{m}$
- ・ 検出器は試料の上流に置くため、**検出器での多重散乱は抑えたい**
- ・ ビームのレートから考えて、**最大10kHz程度の読み出しレート**

→SSD等に比べて多重散乱の影響が少なく高分解能が実現可能な

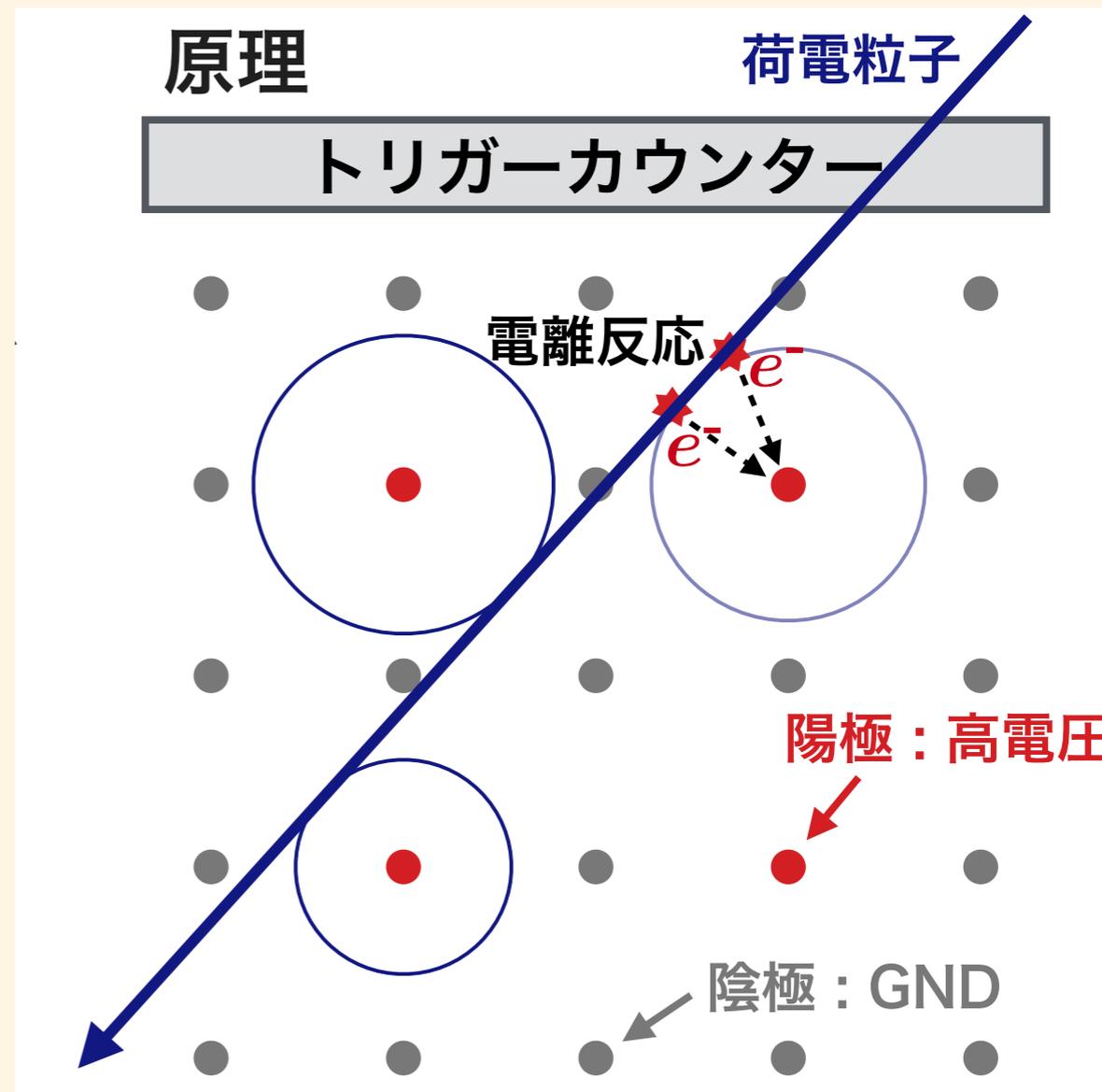
ドリフトチェンバーを選択

ドリフトチェンバーの原理

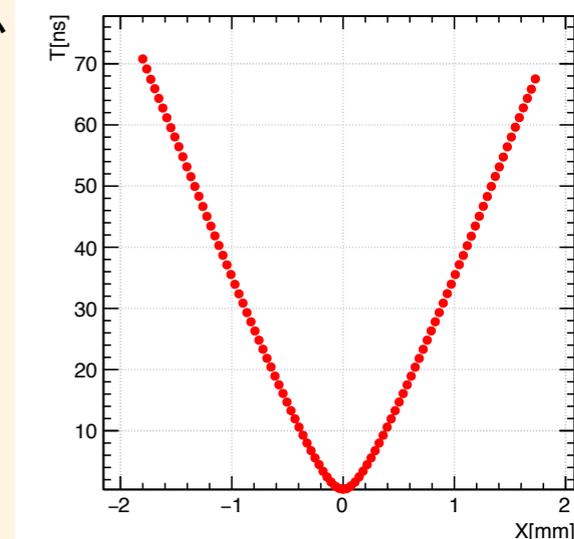
- セル...ドリフトチェンバーの最小単位



- ドリフトチェンバーは複数のセルから成る。
- ガスのイオン化によって発生する電子を検出する
- トリガーと陽極信号の時間から描かれる円の接線から飛跡を再構成
- 右図のような時間と距離の関係(XTカーブ)を作成し、時間情報を距離の情報に変換する



XTカーブ



空間分解能の見積もり

空間分解能に関わる要素

ドリフトチェンバー 本体

- **Diffusion**

電子がドリフト中にガス分子の影響を受けて拡散する現象。

拡散によって陽極への電子の到達時間に差が生じ、空間分解能が悪くなる。

- **Primary Ion**

入射粒子の軌道上で電子イオン対が生成する位置の不定性による効果。

入射粒子の軌道が同じでも電子の生成位置が異なるとドリフト距離が異なり、時間情報のズレから空間分解能が悪くなる。

- **Electronics**

TDCの時間分解能や読み出し回路の応答時間による影響。

空間分解能の見積もり

Simulation上 仮セットアップ

ガス He:Isobutane=90:10

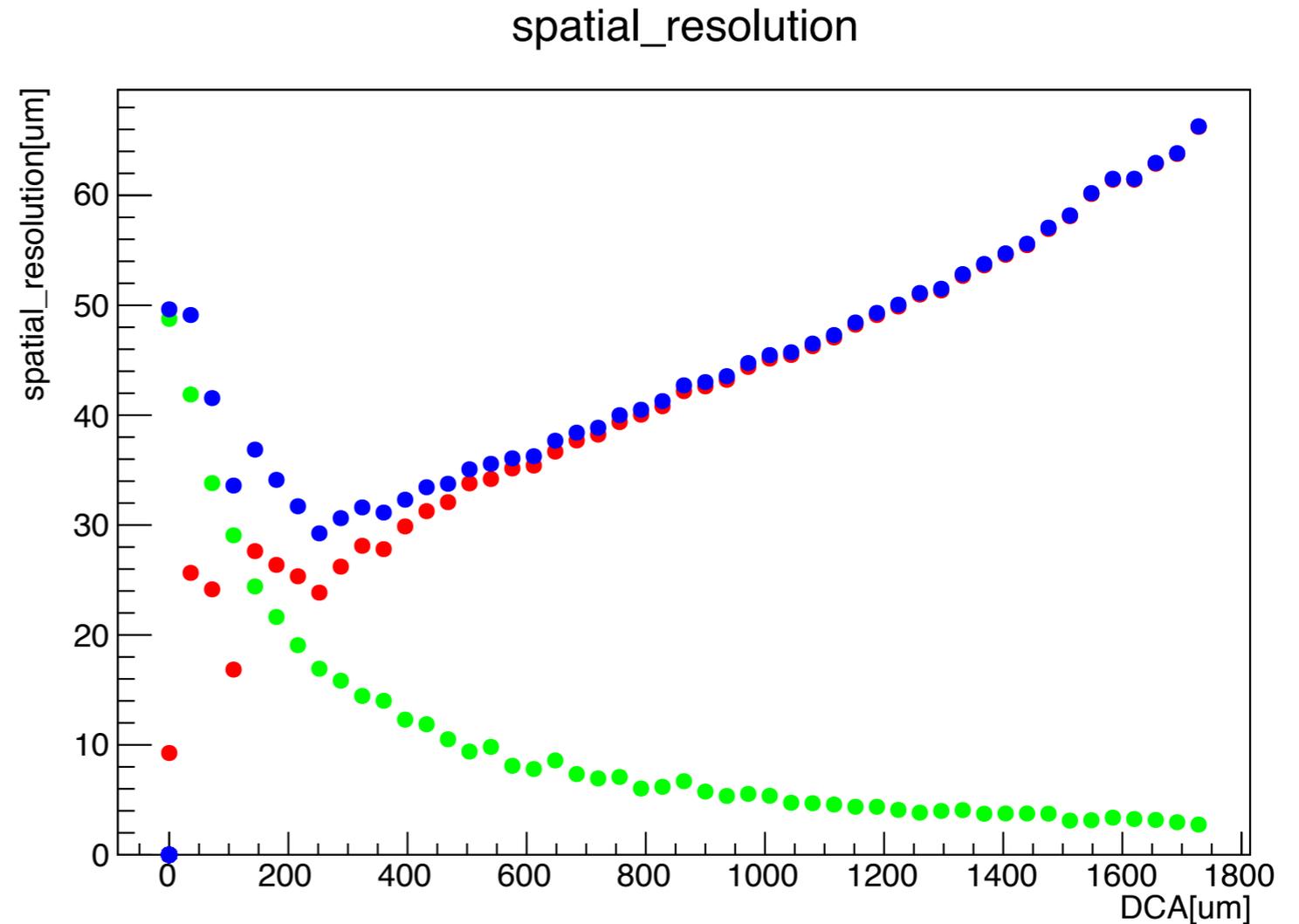
セルサイズ : 4mm

HV: 450V

Diffusion

Primary ion

The square-root of sum of squares



Garfieldによるシミュレーション

plotから、このセットアップにおける空間分解能は**最高70 μm ,最低30 μm 程度**。

今回はElectronicsの効果は考慮していないが、実際はElectronicsの効果も入り更に分解能は悪くなる。

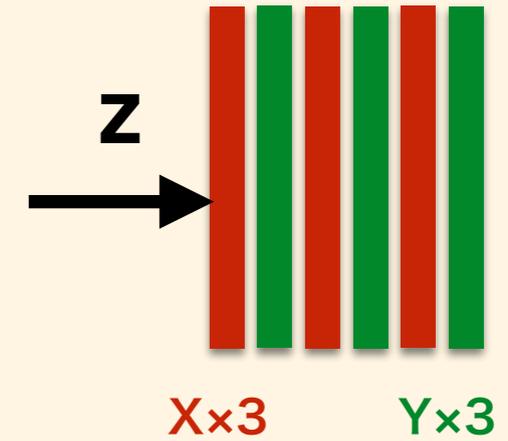
空間分解能の見積もり

シミュレーションの結果

チェンバーの空間分解能 30~70 μm に対し...

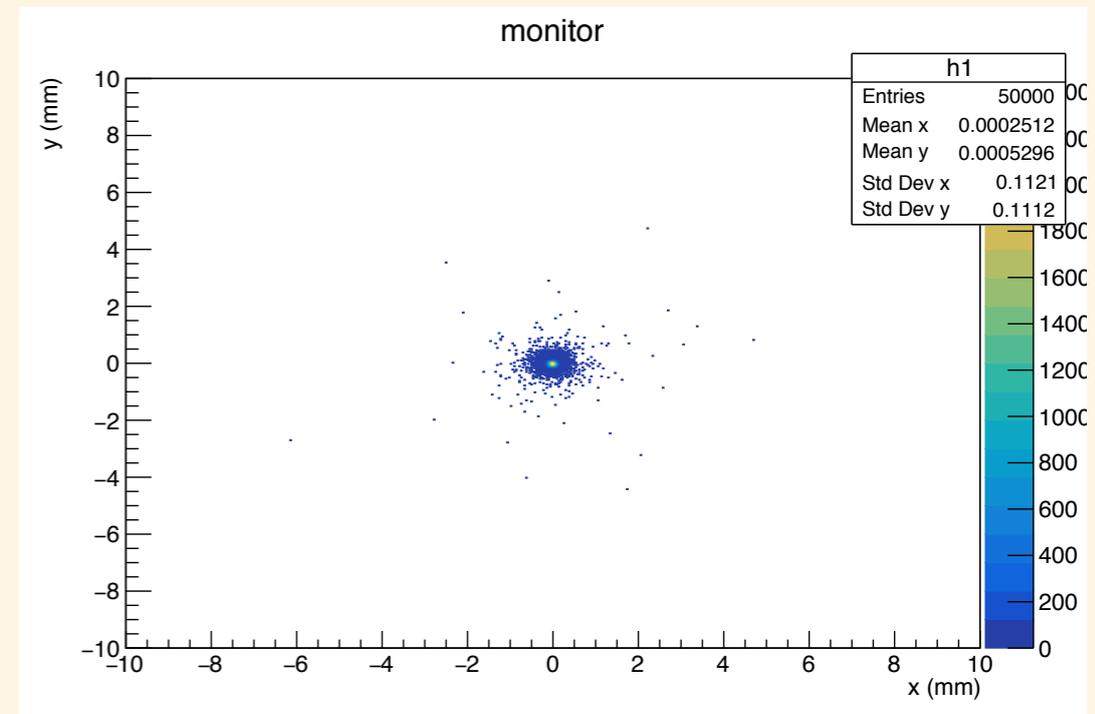
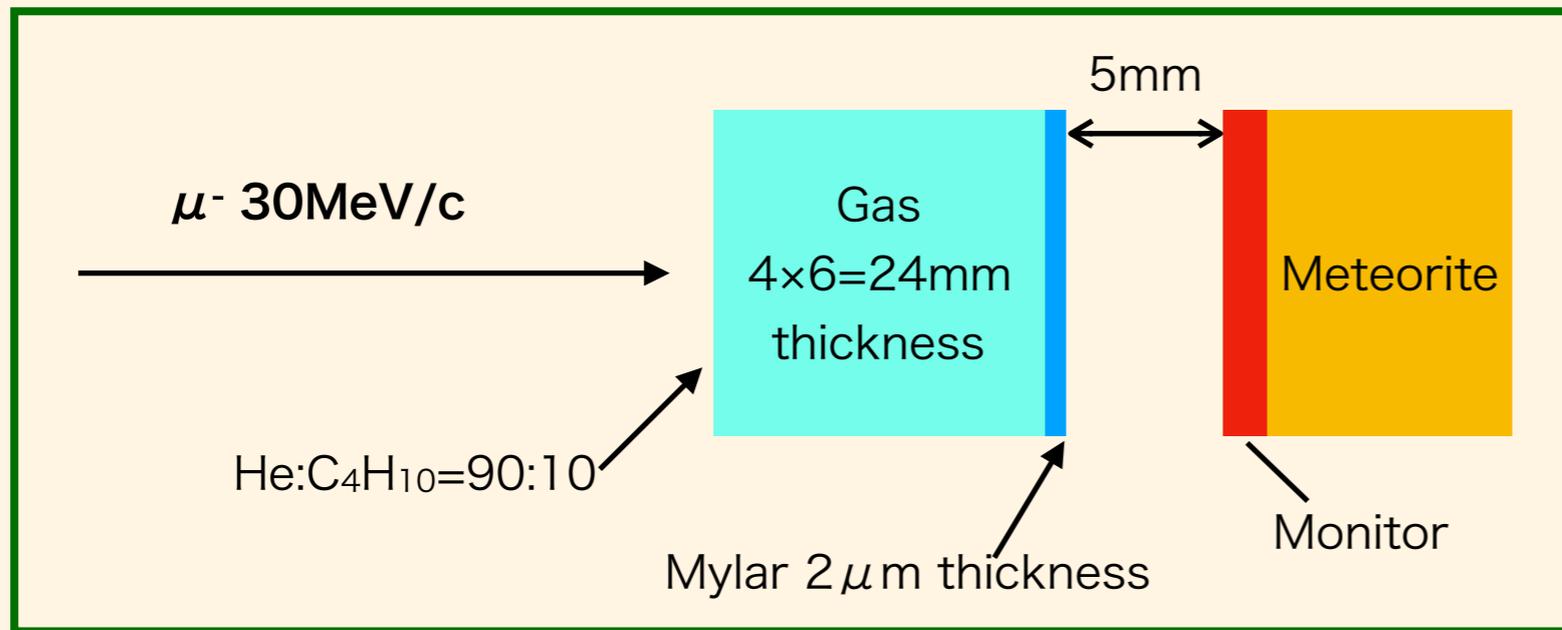
ドリフトチェンバーでの多重散乱

飛跡を構成する場合、チェンバーは最低6層必要。



1セルを4mmとし、30MeV/cのミュオンペンシルビームを入射した場合の

シミュレーション



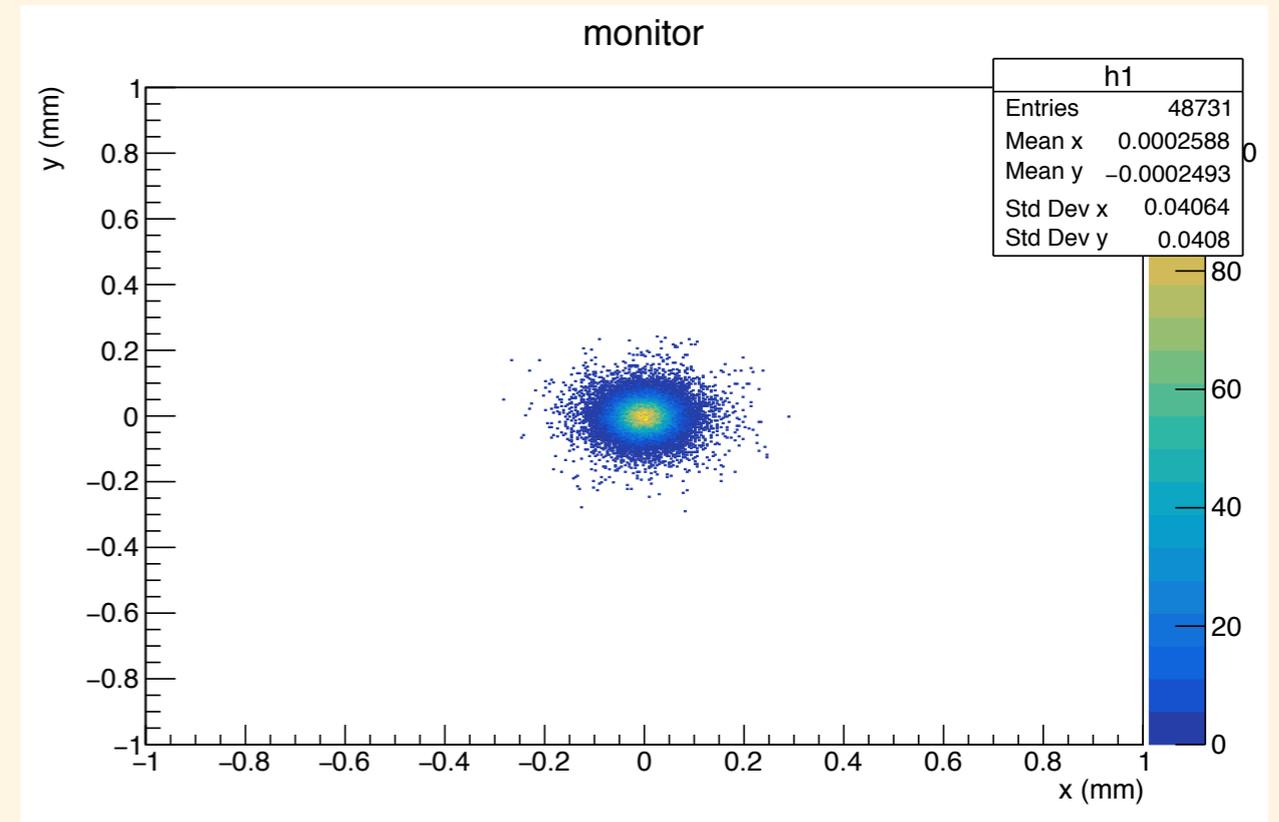
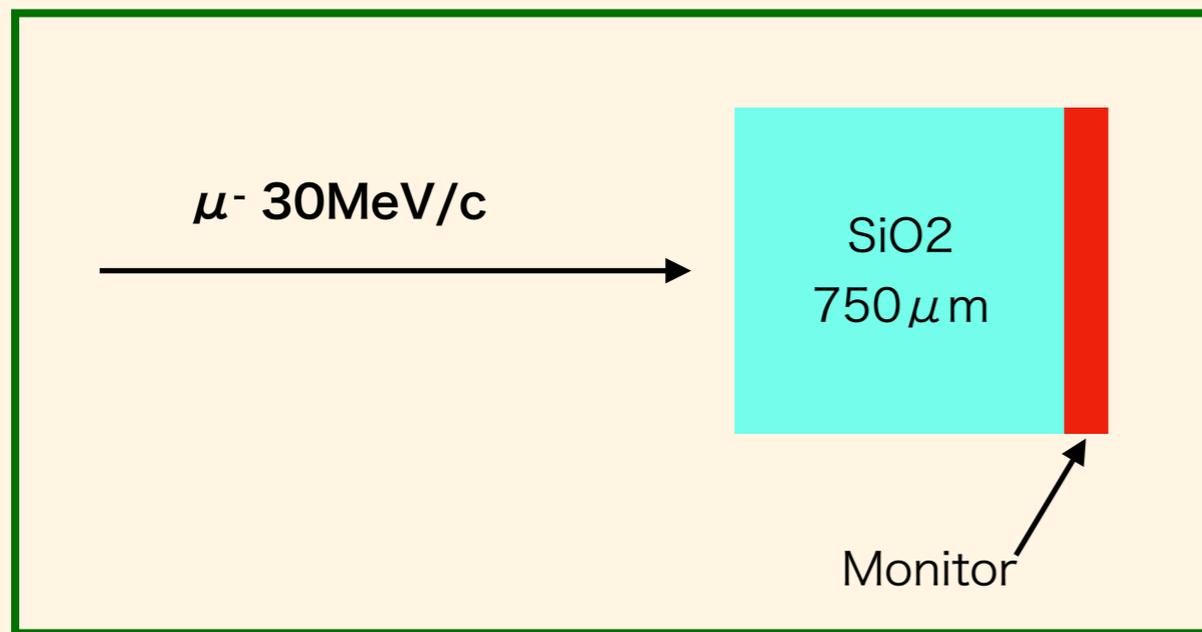
多重散乱による広がりは110 μm 程度というシミュレーション結果

空間分解能の見積もり

シミュレーションの結果

チェンバーの空間分解能 30~70 μm に対し...

試料内部での多重散乱



試料をSiO₂とすると、試料内部750 μm の深さでのビームの広がりには**40 μm 程度**というシミュレーション結果

→チェンバーの空間分解能は、他の要素に比べて無視できない
より分解能を良くする必要がある

空間分解能の見積もり

恐らく現在世界最高精度のドリフトチェンバー

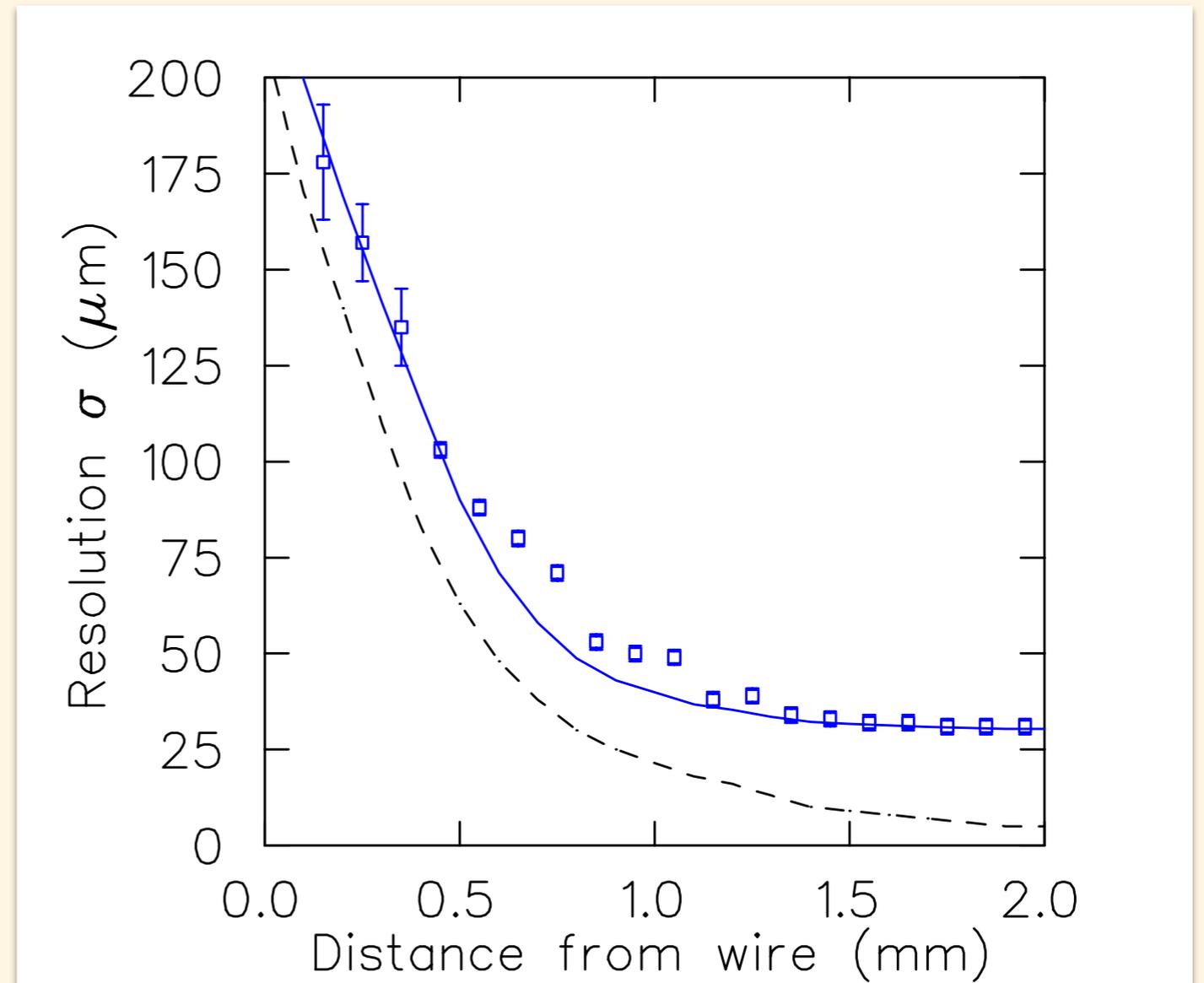
TWIST実験(TRIUMF) 1セルの空間分解能 $\sigma \sim 30\mu\text{m}$

ガス: DME $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

セルサイズ: 4mm

HV: 1900V

TWIST検出器の分解能
(横軸ドリフト距離・縦軸分解能)



今後の展望

- セルサイズを変更して再度シミュレーションをする
- ガスを変更してシミュレーション
特にTWIST実験で使われているDMEを検討する

→仕様決定

読み出し回路の決定

ビームテストで性能評価

まとめ

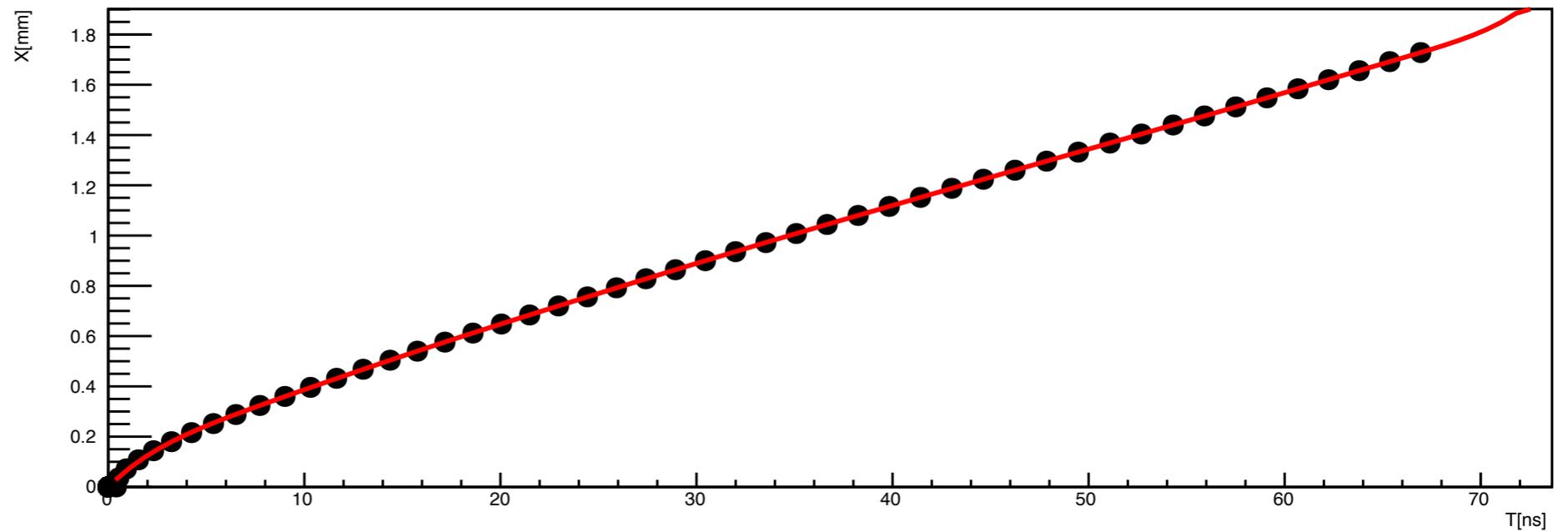
- ミューオンを用いた試料の非破壊分析方法は小惑星探査機はやぶさ2の持ち帰るリュウグウの試料の初期分析に適している
- 試料上流に飛跡検出器を設置し、試料中でミューオンが止まった位置の情報を得ることを目的としている
- Garfieldでシミュレーションを行い、セル、ガス等を変えながらより良い分解能を目指す
- 今後は仕様を決定し性能評価を行う

Back up

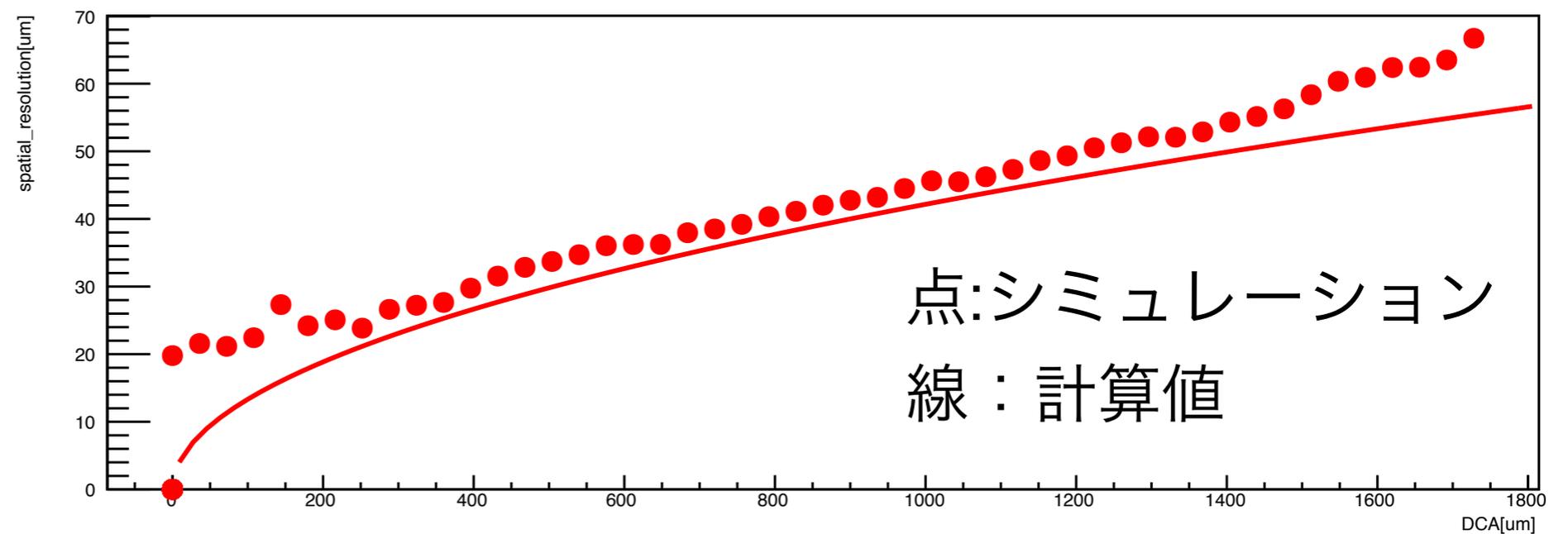
XTカーブのFit

13次関数でfit

XTカーブのFit

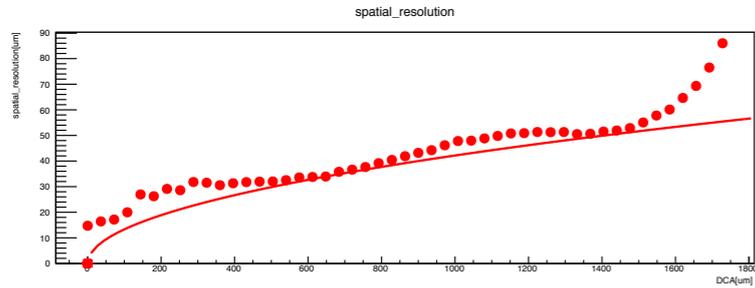
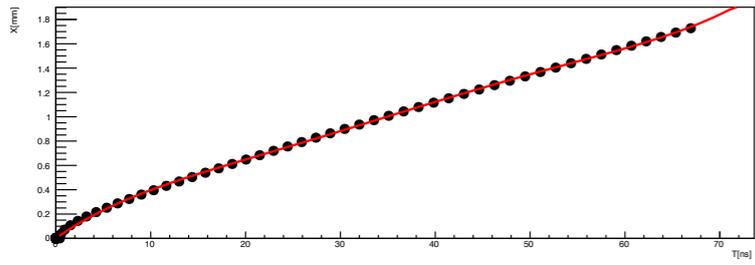


spatial_resolution

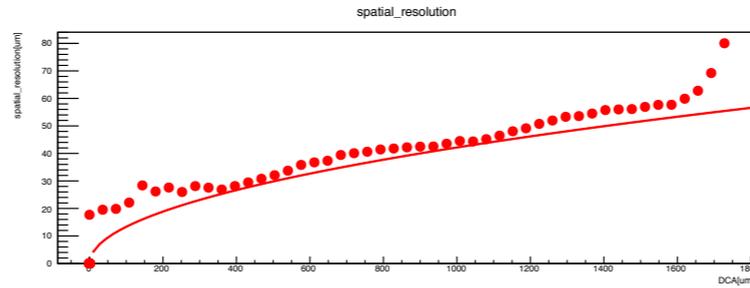
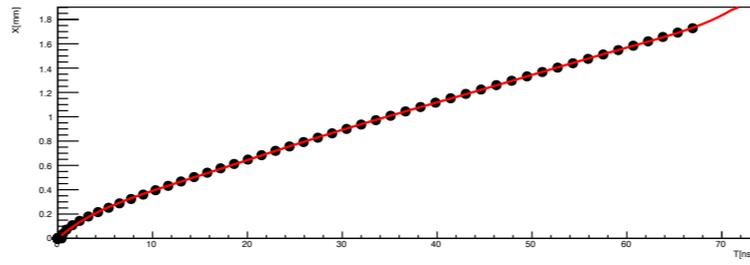


Fit関数を使った
Diffusionの効果

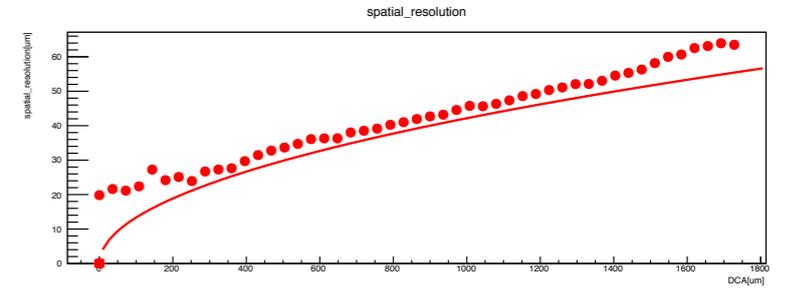
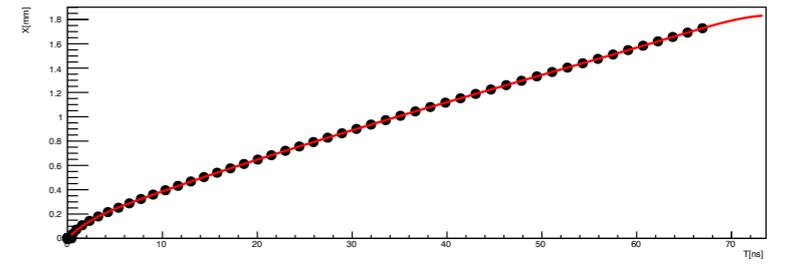
XTカーブのFit



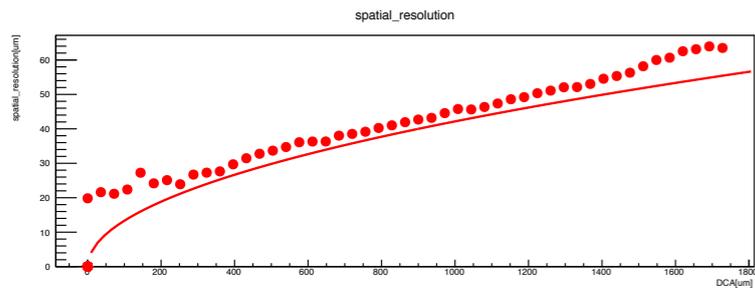
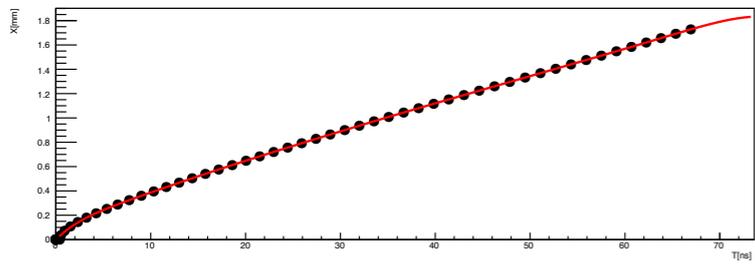
5次関数



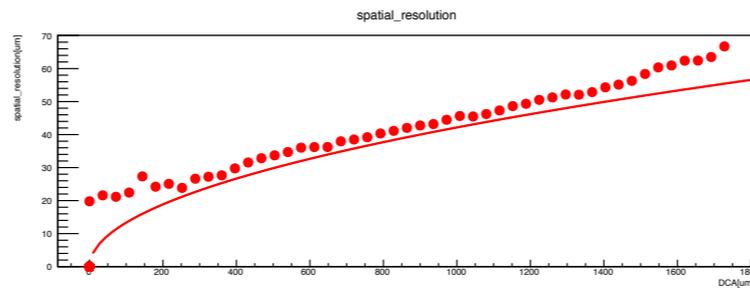
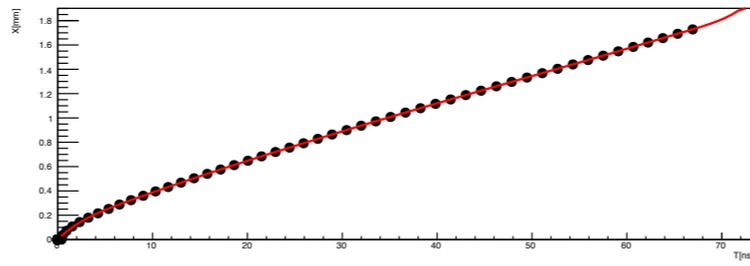
7次関数



9次関数



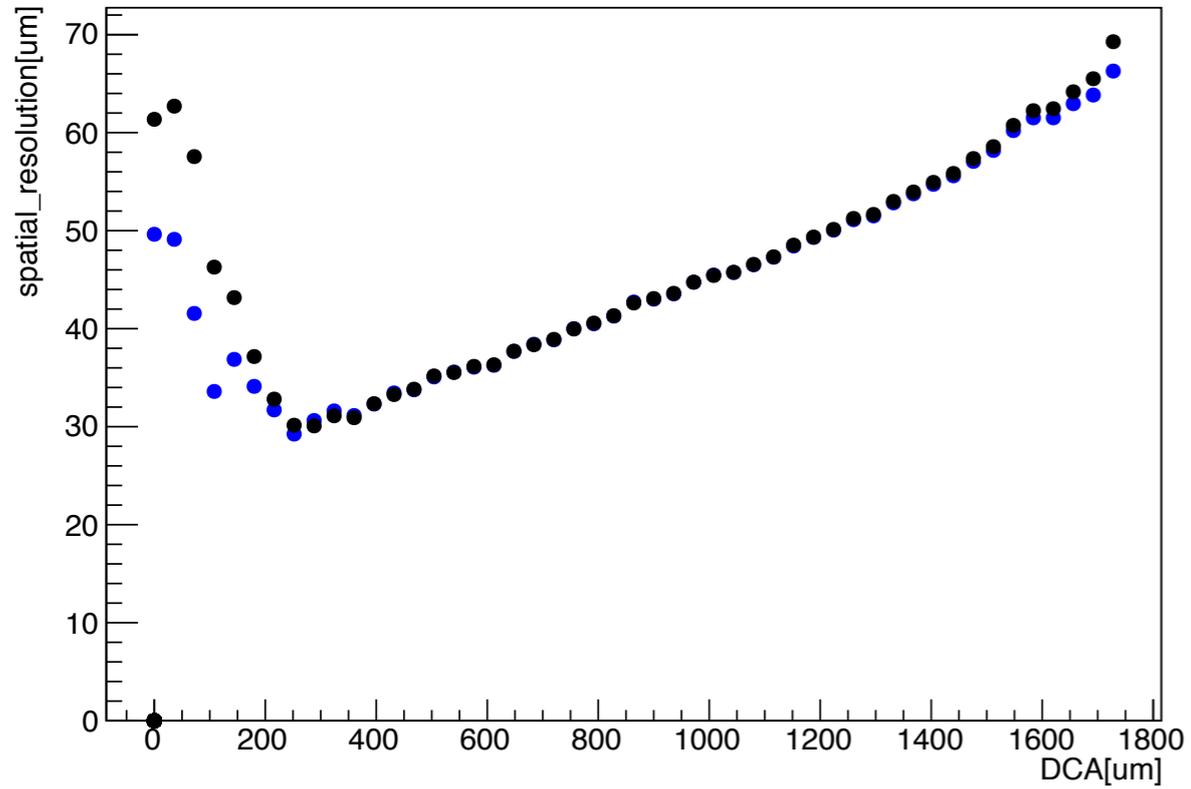
11次関数



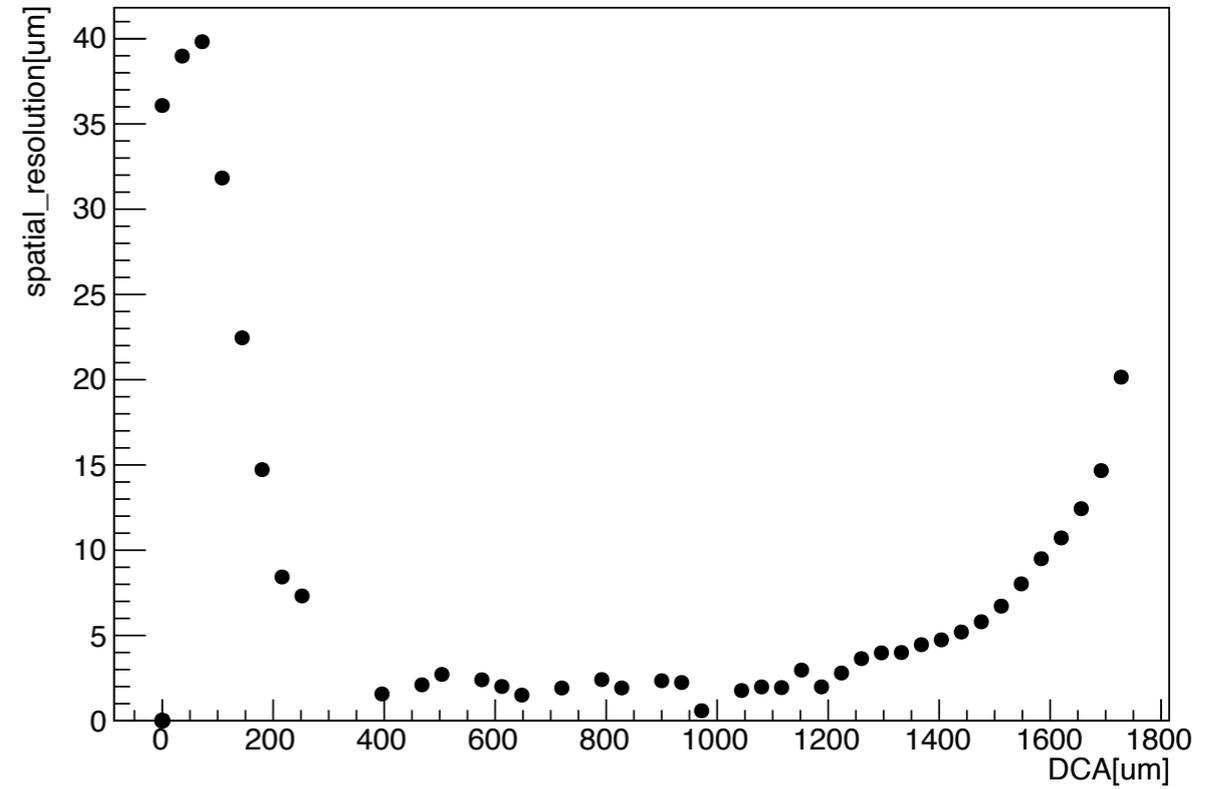
13次関数

空間分解能

spatial_resolution



spatial_resolution



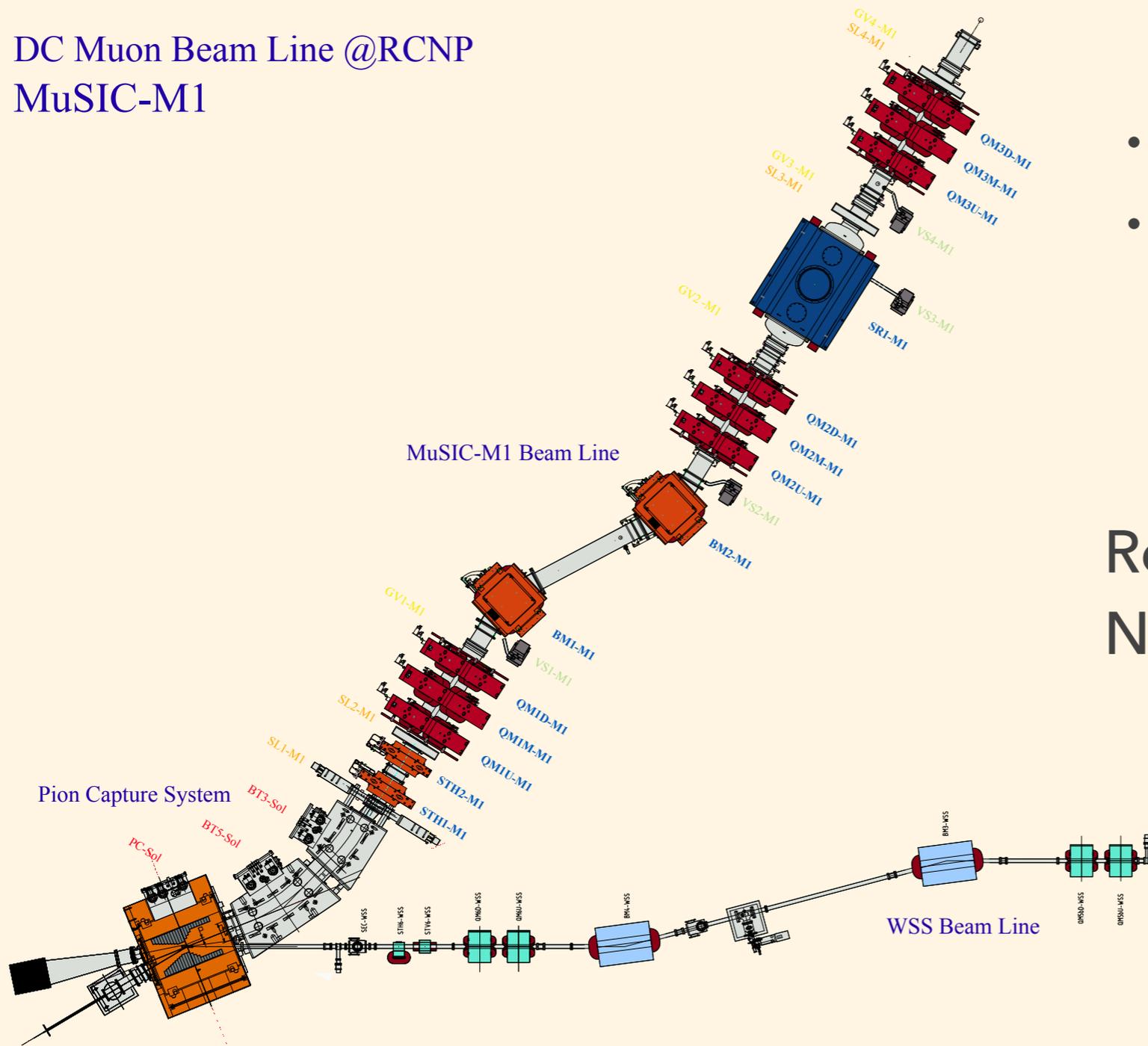
黒：total

青：diffusion+primary

右：黒-青

How to analyze by muon

DC Muon Beam Line @RCNP
MuSIC-M1



- DC muon beam line
- >First in Japan
- @RCNP in Osaka University Suita-campus
- Muon rate $\sim 10^5$ [counts/s]
- The highest efficiency in muon production in the world.

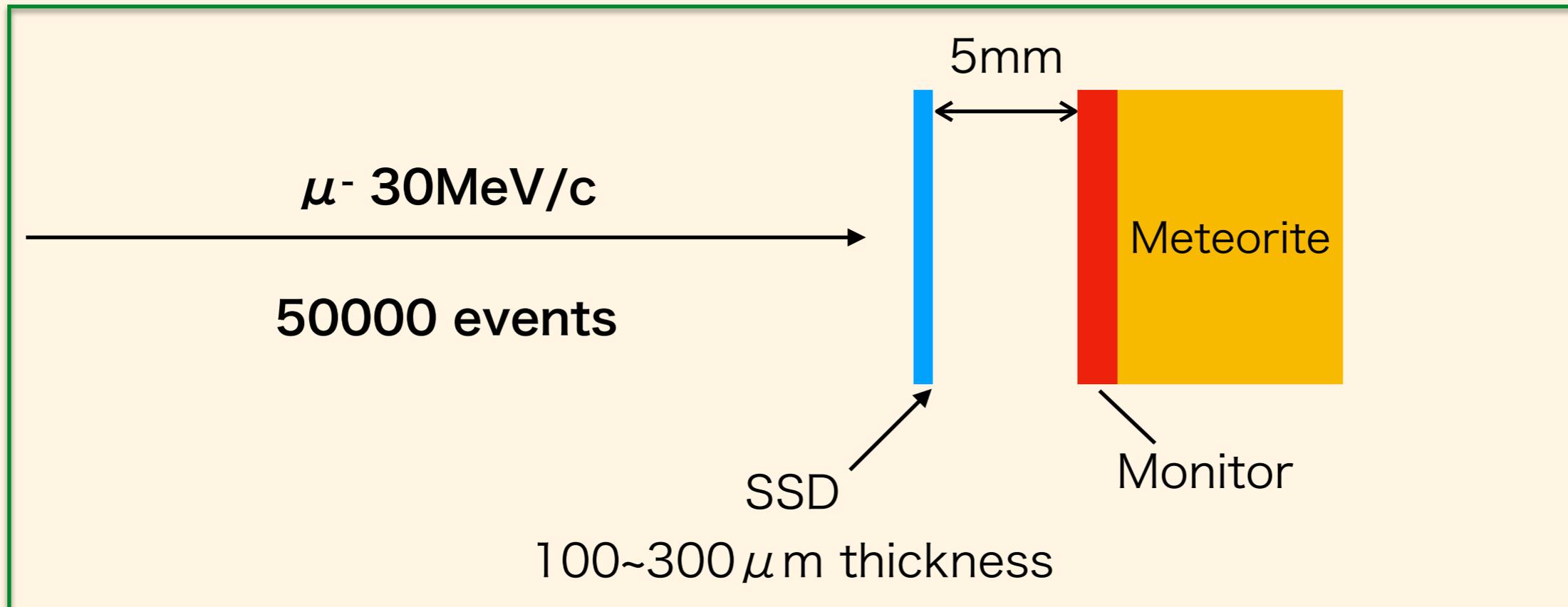
Research with Terada-lab,
Ninomiya-lab etc..

Choice of track detector

Multiple scattering by SSD

G4beamline simulation

- **Muon beam** 30MeV/c, pencil beam
- **SSD** made of silicon, 100 μ m~300 μ m thickness



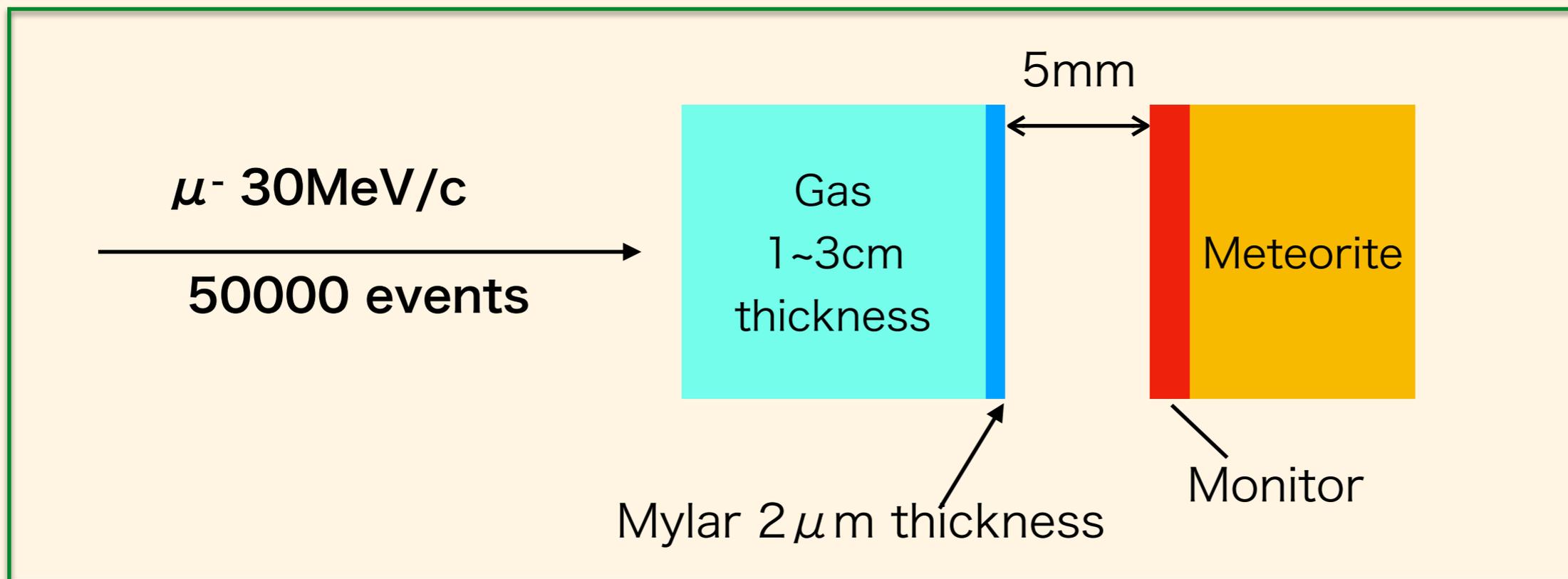
See the situation of multiple scattering of muon at monitor position

Choice of track detector

Multiple scattering by drift chamber

G4beamline simulation

- **Muon beam** 30MeV/c, pencil beam
- **Mylar** 2 μ m thickness
- **Gas** He:Isobutane = 90:10, 1cm~3cm thickness



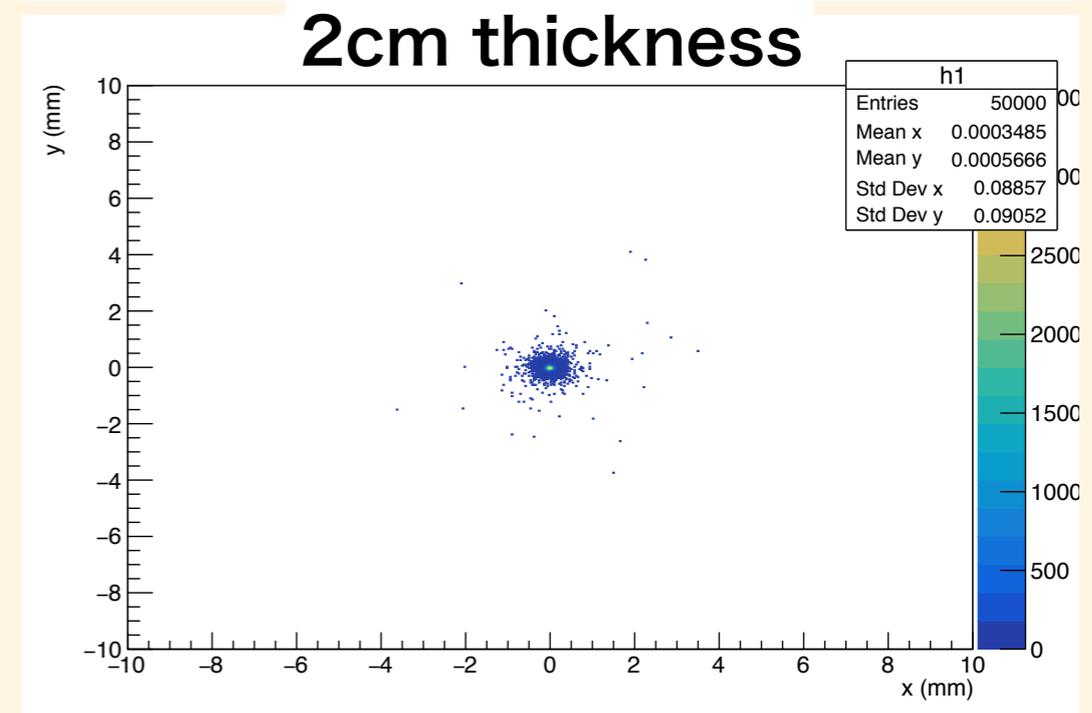
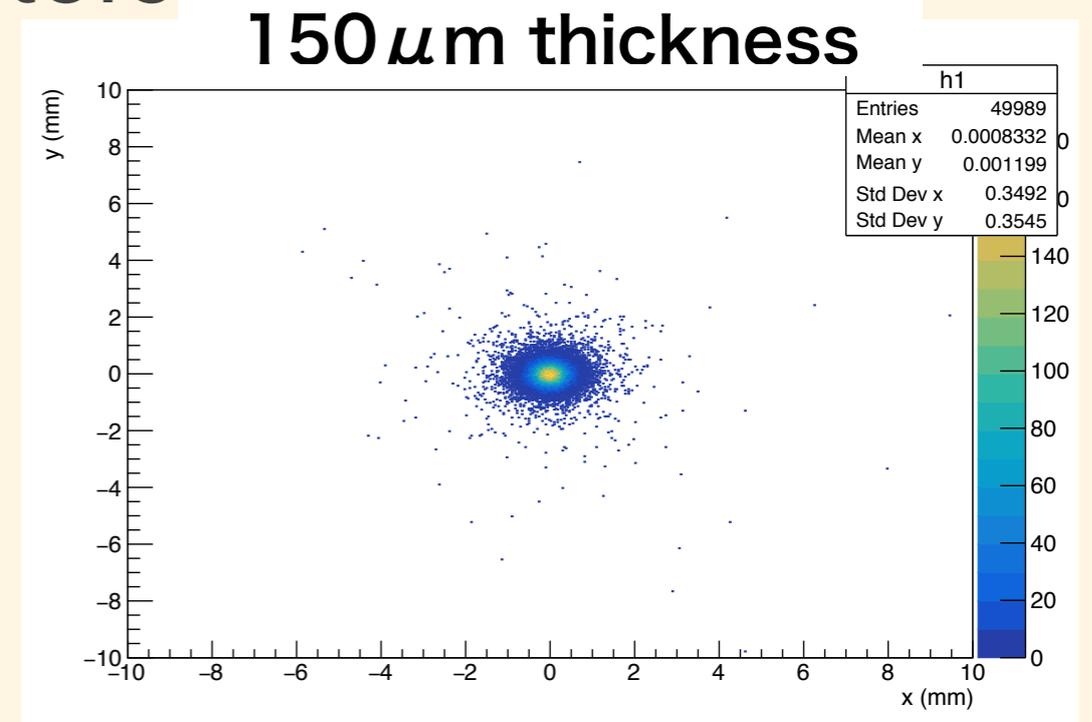
See the situation of multiple scattering of muon at monitor position

Choice of track detector

Multiple scattering by each detectors

SSD	Std Div x [μm]
100 μm	270
150 μm	350
300 μm	550

Drift Chamber	Std Div x [μm]
1cm	42
2cm	89
2.4cm	110
3cm	150

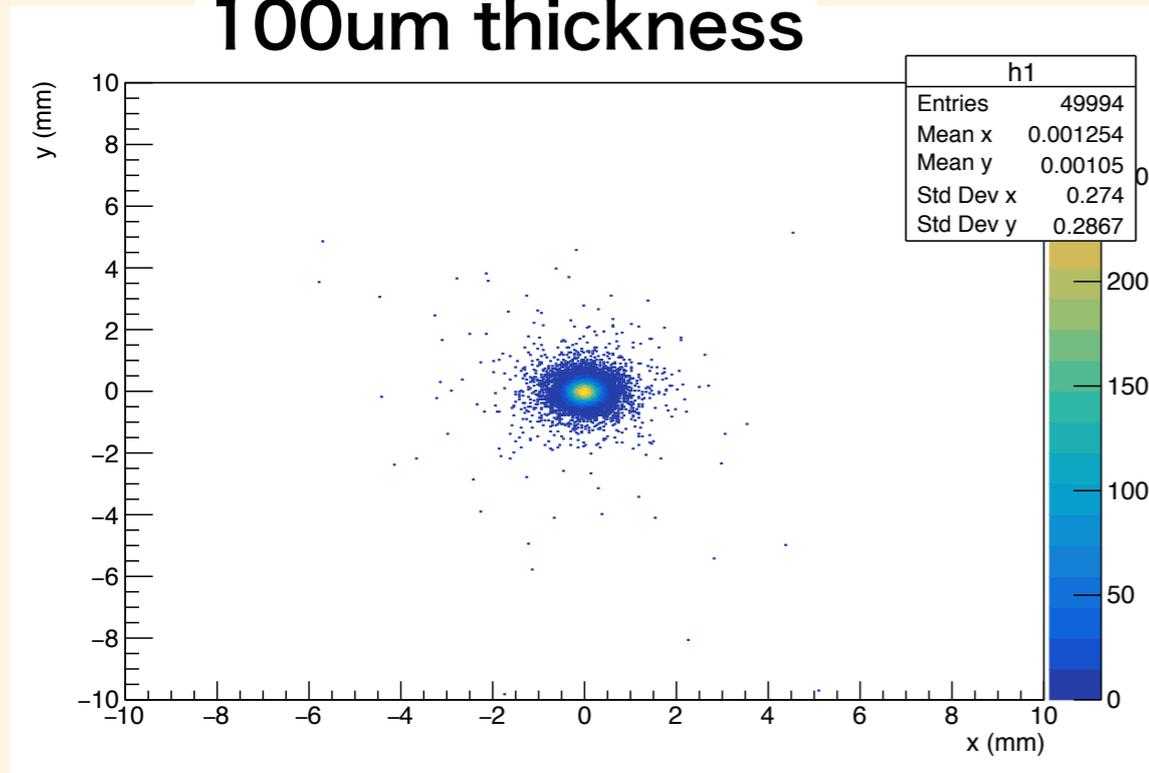


Conclusion: The drift chamber is less affected by multiple scattering

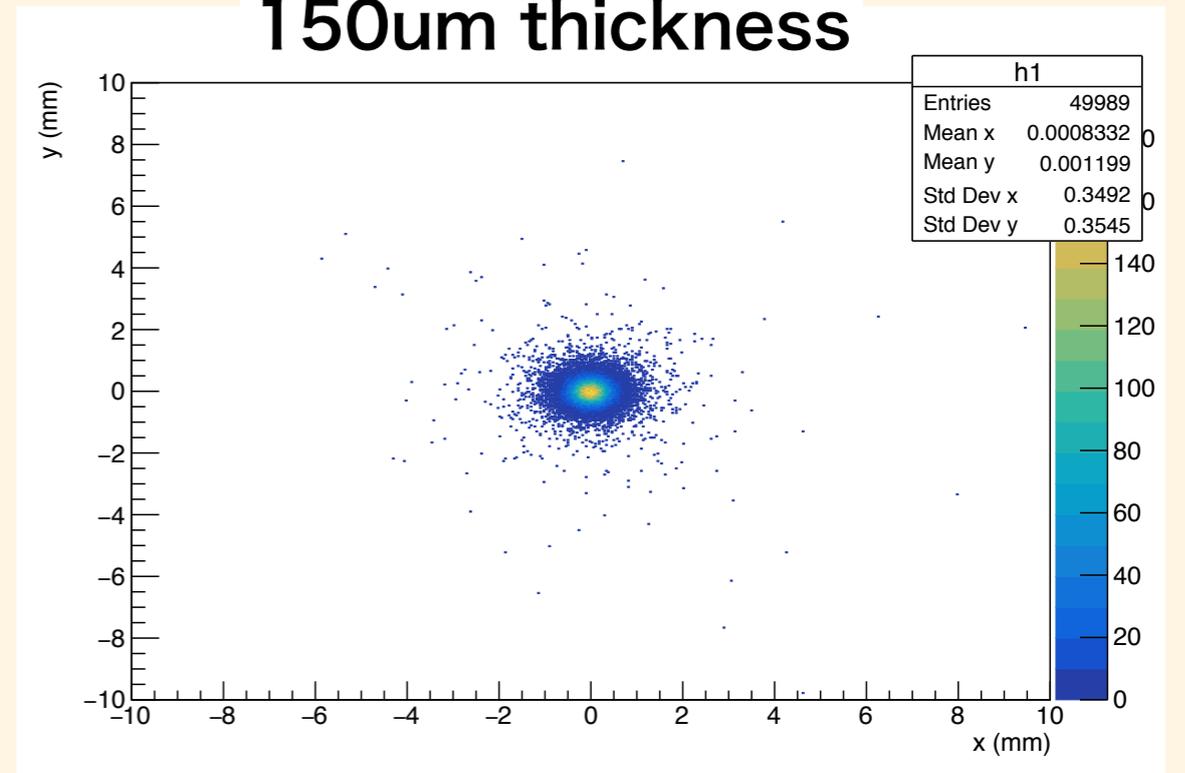
Choice of track detector

Result of SSD

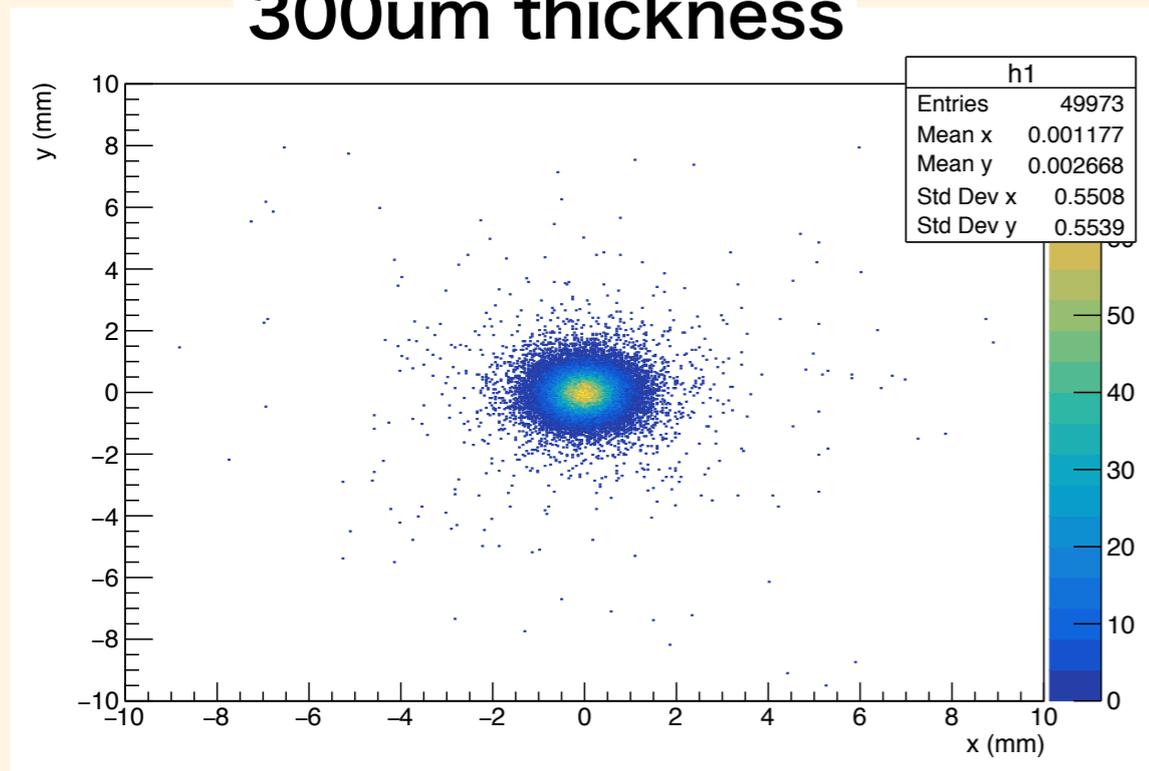
100um thickness



150um thickness

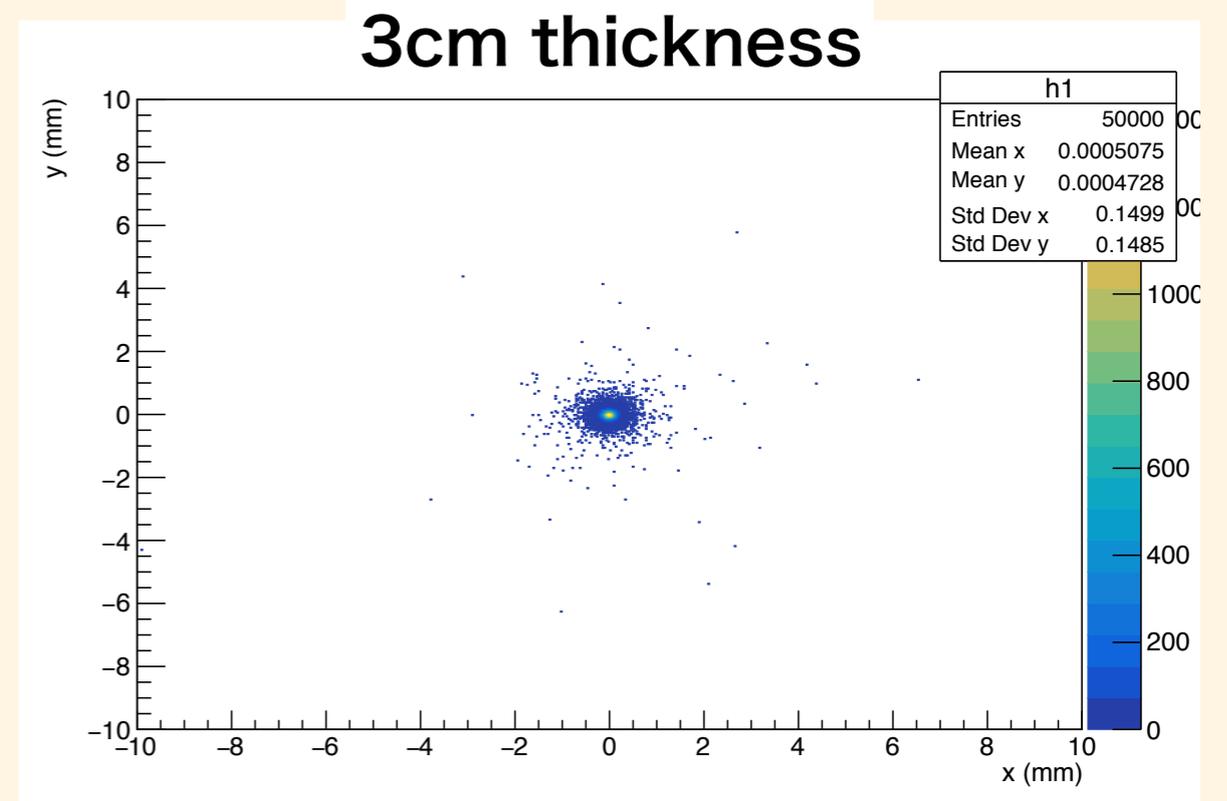
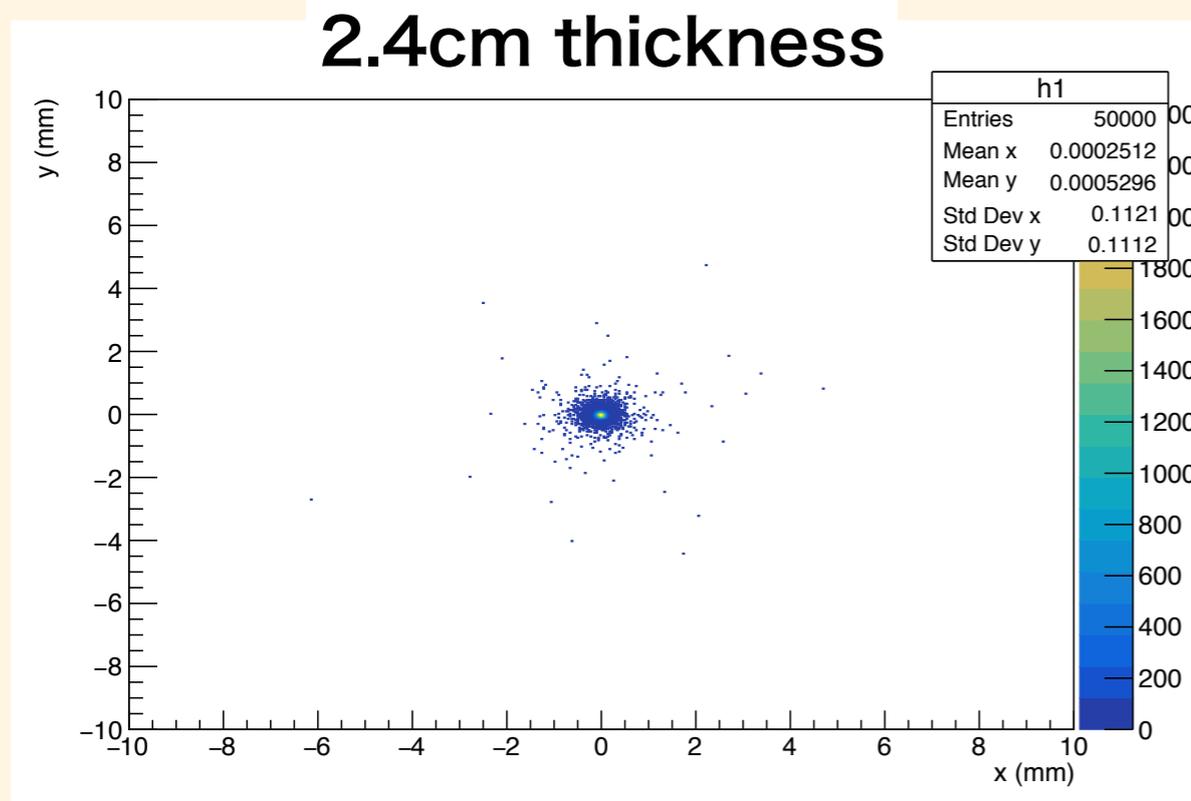
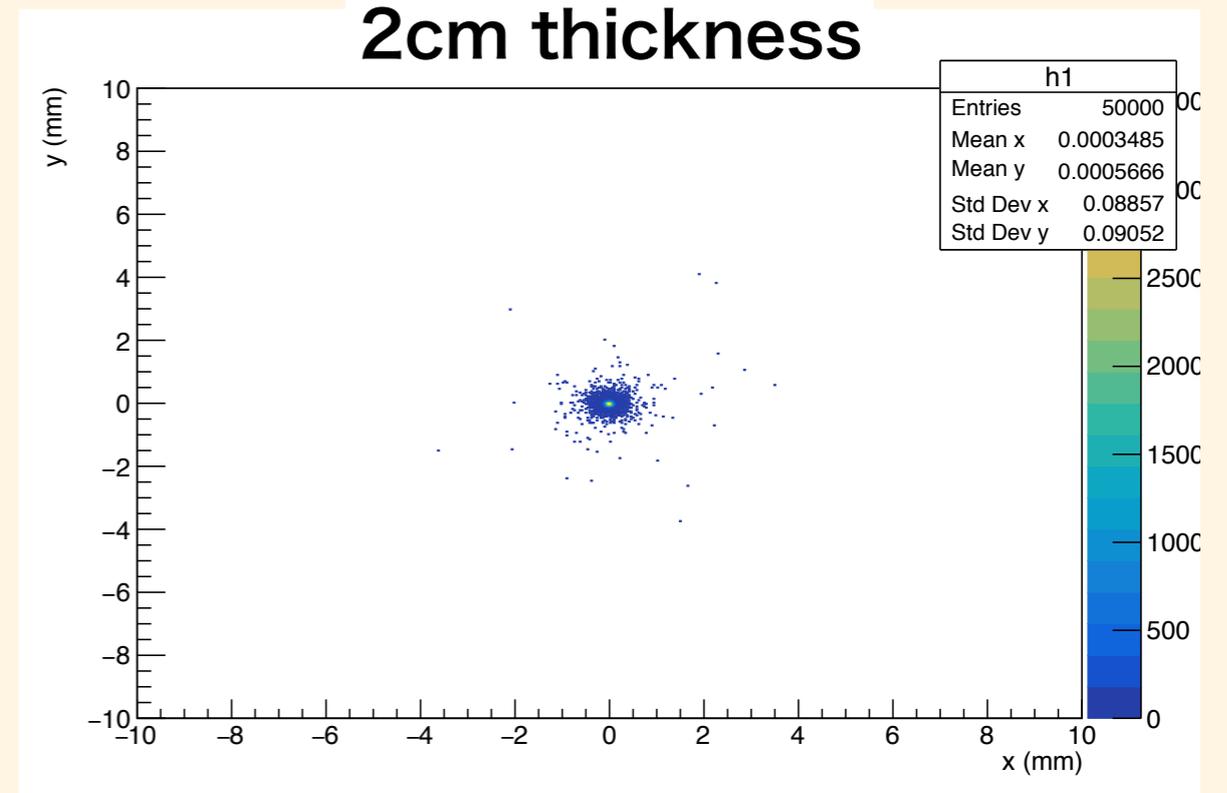
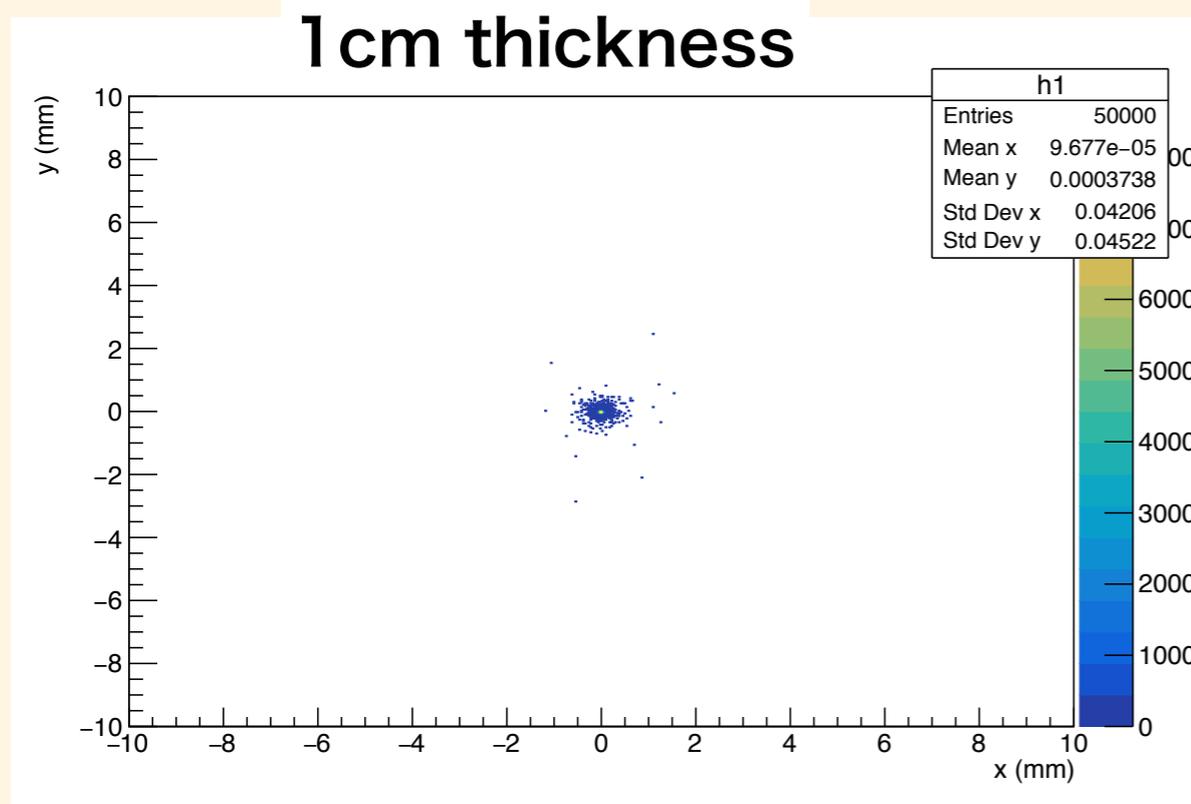


300um thickness

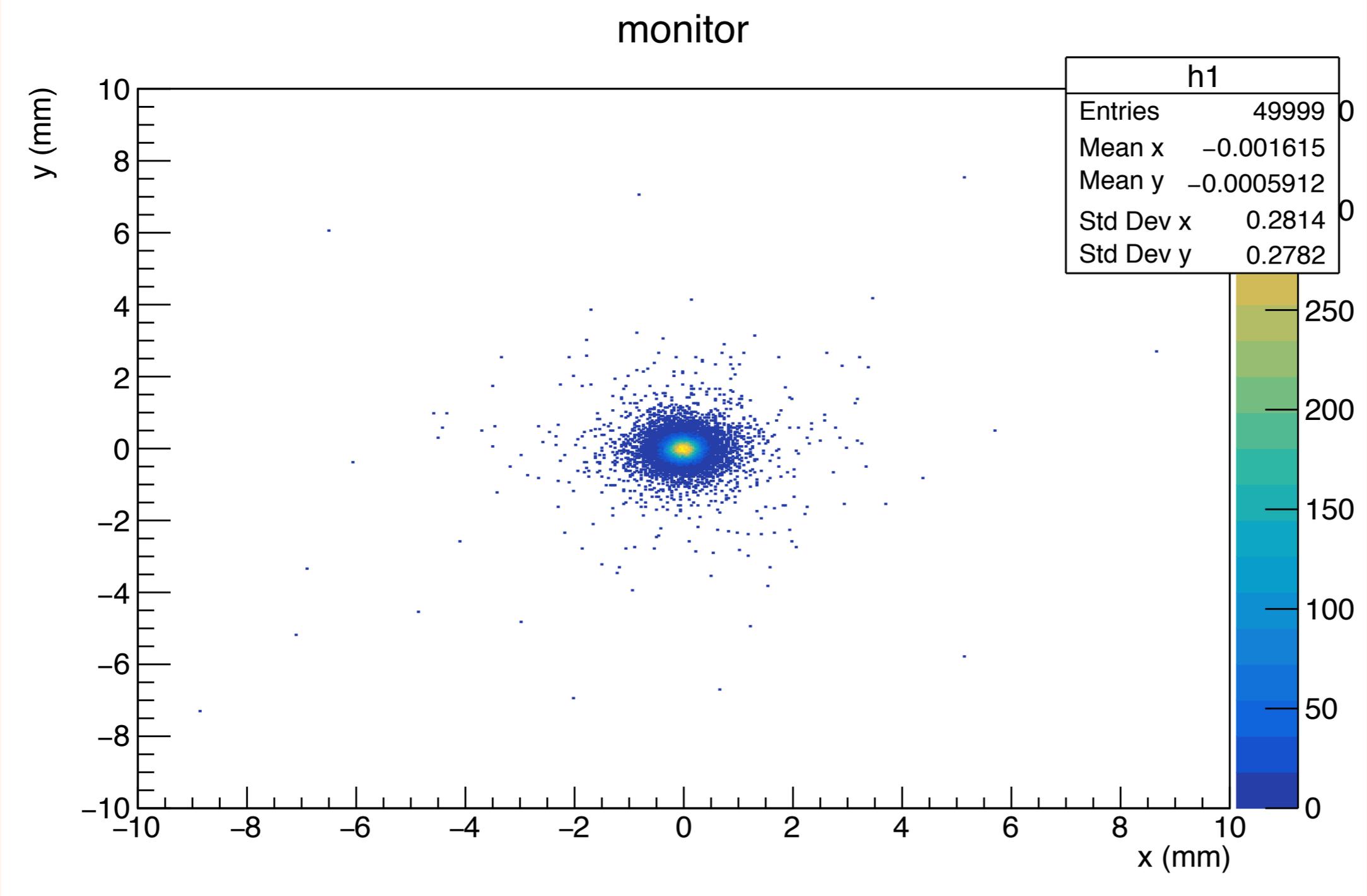


Choice of track detector

Result of drift chamber

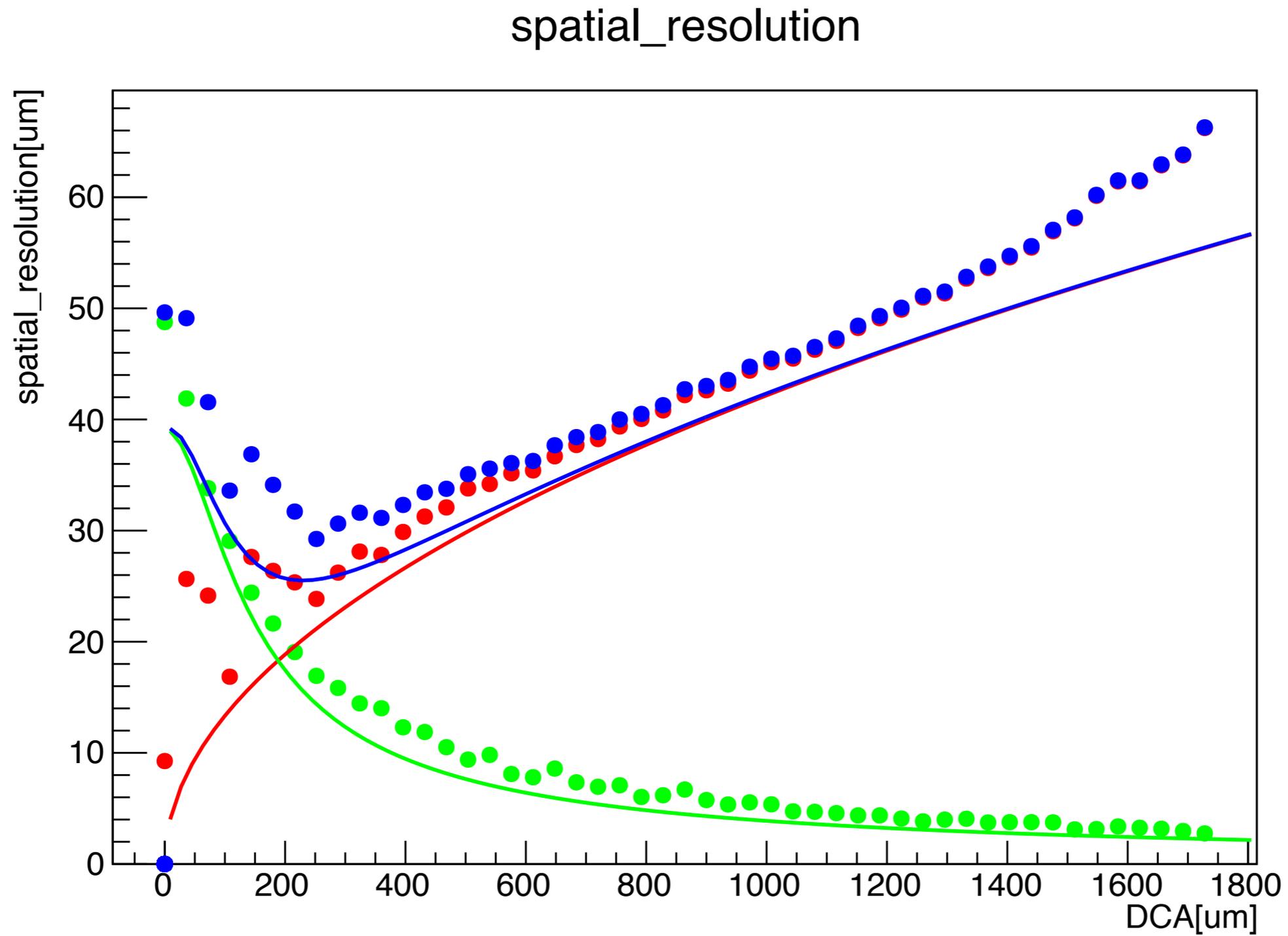


Multiple scattering in DME

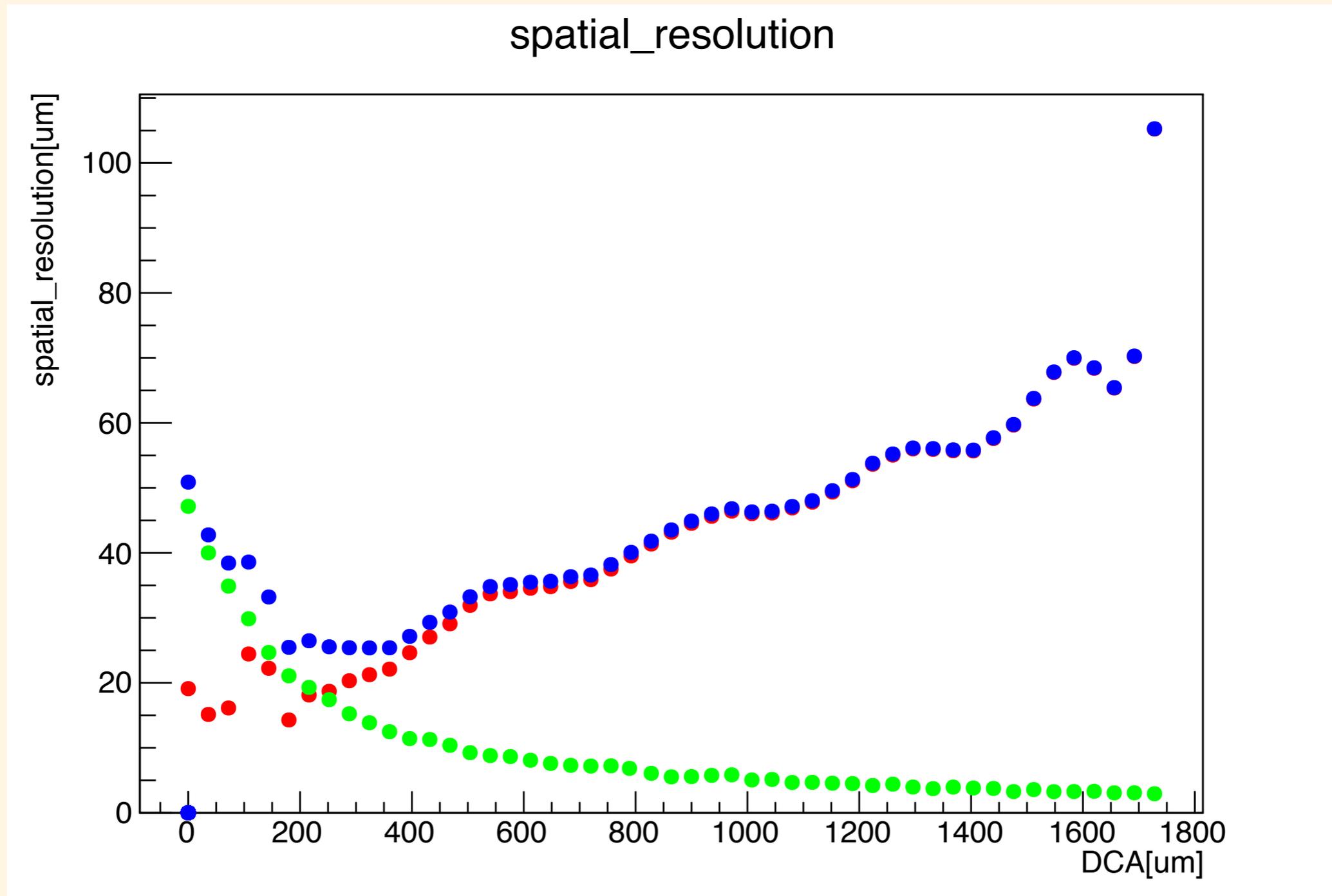


DME

空間分解能の見積もり



空間分解能の見積もり 1800V



今後の展望

想定されるデザイン

Cell size 4mm

