

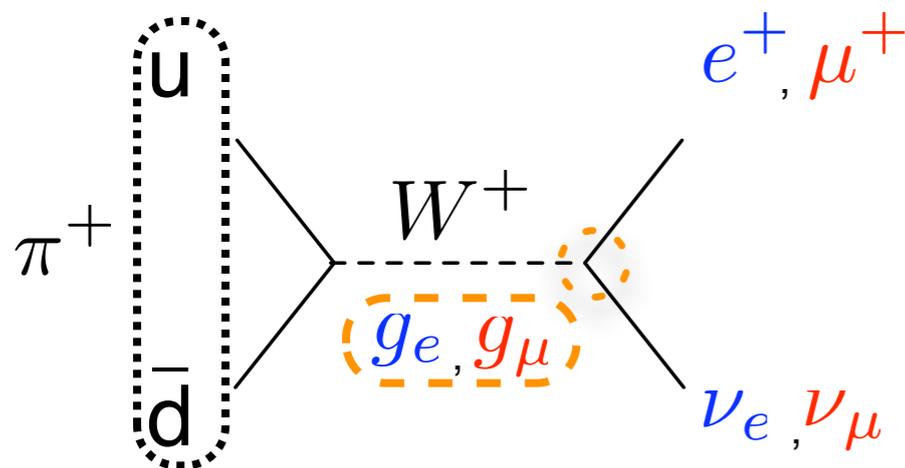
PIENU実験

久野研 D3 山田薫

- PIENU実験の物理
- PIENU実験の概要
- セットアップ
- エンジニアリングラン
- まとめ

$\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ 崩壊分岐比

標準理論



- W のレプトンへの結合定数は世代によらない

$g_e = g_\mu$ 電子-ミューオン普遍性

- ヘリシティ抑制により、 $\pi \rightarrow e$ は抑制される

$$R = \frac{\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e}{\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu} = \frac{g_e^2 m_e^2}{g_\mu^2 m_\mu^2} \left(\frac{m_\pi^2 - m_e^2}{m_\pi^2 - m_\mu^2} \right) \sim 10^{-4}$$

- $R^{\text{SM}} = 1.2353 \pm 0.0004 \times 10^{-4}$ (精度:0.01%)

過去の測定値

TRIUMF (E248): $R^{\text{exp}} = 1.2265 \pm 0.0034(\text{stat}) \pm 0.0044(\text{sys}) \times 10^{-4}$ (1992) 精度:0.5%

PSI : $R^{\text{exp}} = 1.2346 \pm 0.0035(\text{stat}) \pm 0.0036(\text{sys}) \times 10^{-4}$ (1993) 精度:0.4%

感度を持つNew Physics

Non universality : $g_e \neq g_\mu$ $SU(2) \times SU(2) \times SU(2) \times U(1)$ など

新しい擬スカラー相互作用 : ヘリシティ抑制の効かない相互作用に敏感 SUSYなど

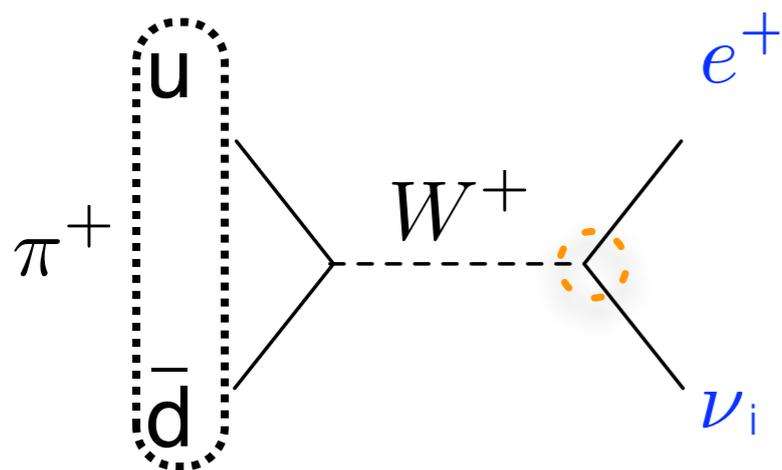
その他

PIENU実験の目標

分岐比 R を0.1%以下の精度で測定、擬スカラーのマススケール $< 1000 \text{ TeV}$



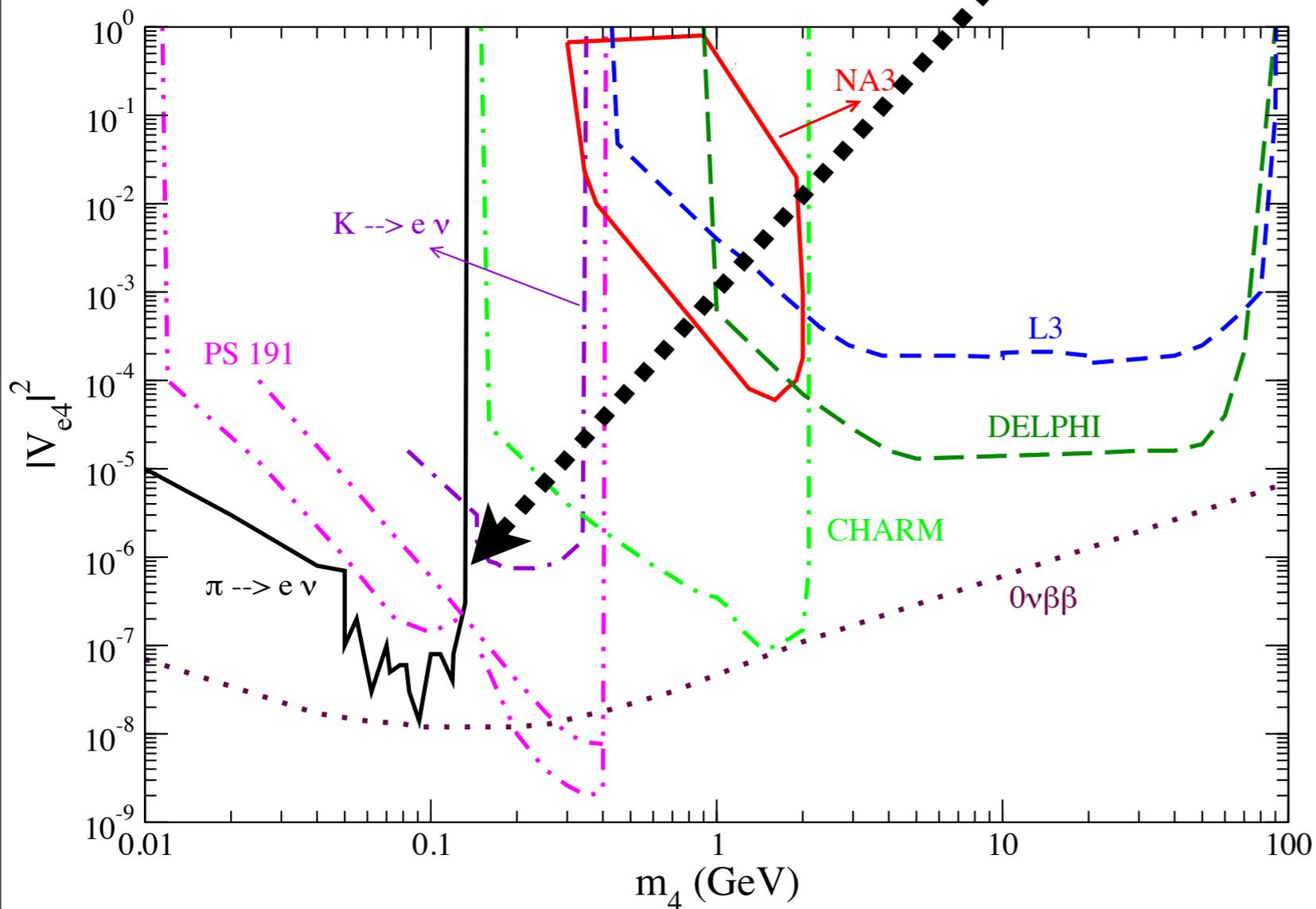
Massive Neutrino探索



- $\pi \rightarrow e \nu$ 崩壊の陽電子のエネルギー測定により Massive Neutrinoを探索

$$m_\nu = \sqrt{m_\pi^2 + m_e^2 - 2m_\pi E_e}$$

- $m_\nu = 50 \sim 130 \text{ MeV}$ のリージョンで $0\nu\beta\beta$ の次に感度が高い測定





PIENU実験

- TRIUMF研究所(カナダ バンクーバー) M13ビームライン
- PIENU group
 - カナダ、日本、アメリカから計25名(TRIUMF,大阪大学,UBC,KEK, BNL...etc)
 - 実験代表者：Douglas Bryman(UBC)、沼尾登志男(TRIUMF)
- スケジュール
 - ▶ 2005.12 実験の採択
 - ▶ 2008.10 M13ビームラインのアップグレード完了
 - ▶ 2008.11 全ての検出器コンポーネントのテスト
 - ▶ 2009.4~8 エンジニアリングラン
 - ▶ 2009.10~11 プロダクションラン (統計~20%)
 - ▶ 2010.4~11 プロダクションラン (統計100%)



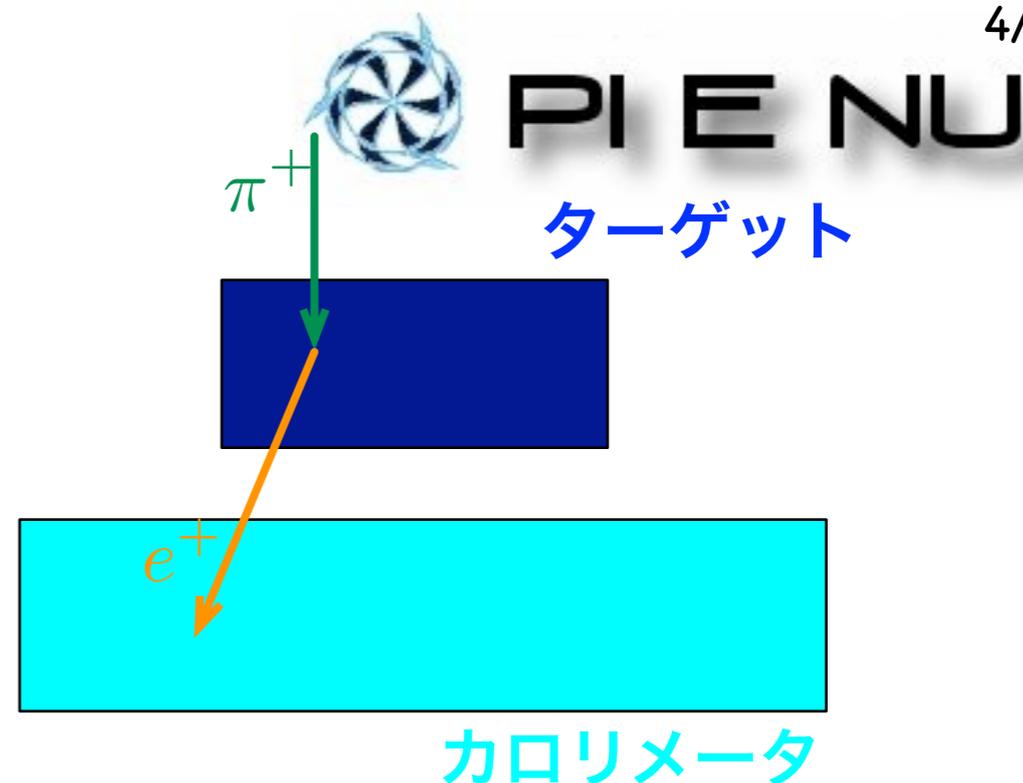
PIENU実験

- TRIUMF研究所(カナダ バンクーバー) M13ビームライン
- PIENU group
 - カナダ、日本、アメリカから計25名(TRIUMF,大阪大学,UBC,KEK, BNL...etc)
 - 実験代表者：Douglas Bryman(UBC)、沼尾登志男(TRIUMF)
- スケジュール
 - ▶ 2005.12 実験の採択
 - ▶ 2008.10 M13ビームラインのアップグレード完了
 - ▶ 2008.11 全ての検出器コンポーネントのテスト
 - ▶ 2009.4~8 エンジニアリングラン
 - ▶ 2009.10~11 プロダクションラン (統計~20%)
 - ▶ 2010.4~11 プロダクションラン (統計100%)

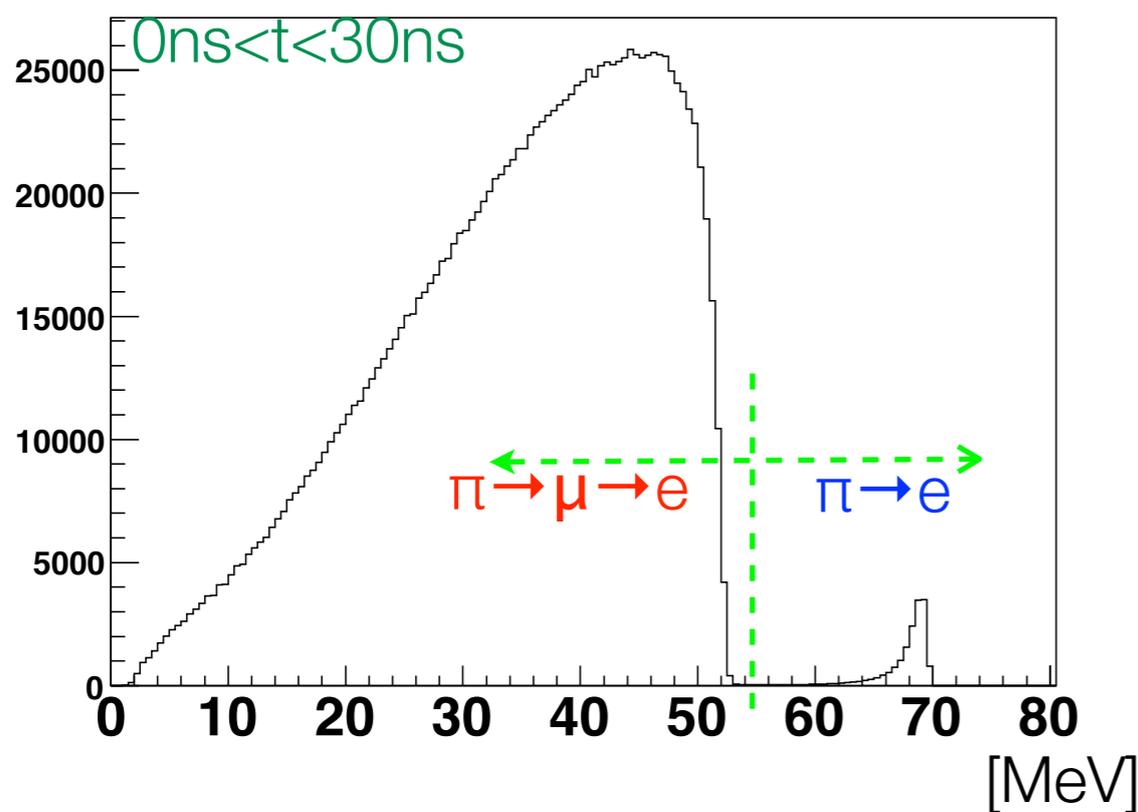
ついに実験開始!!

測定原理

- パイオンをアクティブターゲットに止め、崩壊した陽電子をカロリメータで検出
- 陽電子エネルギーにより崩壊モードを識別

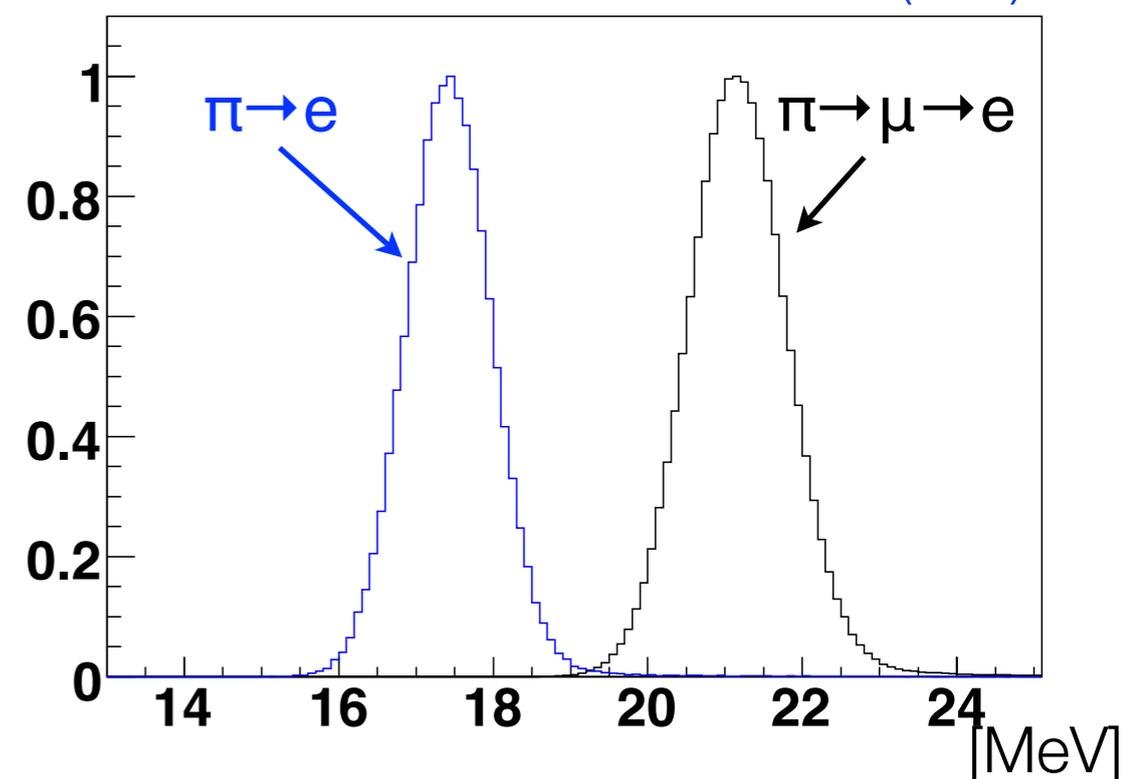


カロリメータでの検出エネルギー(MC)



- $\pi \rightarrow e$ ピークの低エネルギーテールが問題
- ターゲット情報により、 $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ をサプレスしてテールの量を評価と Massive neutrino search をおこなう。

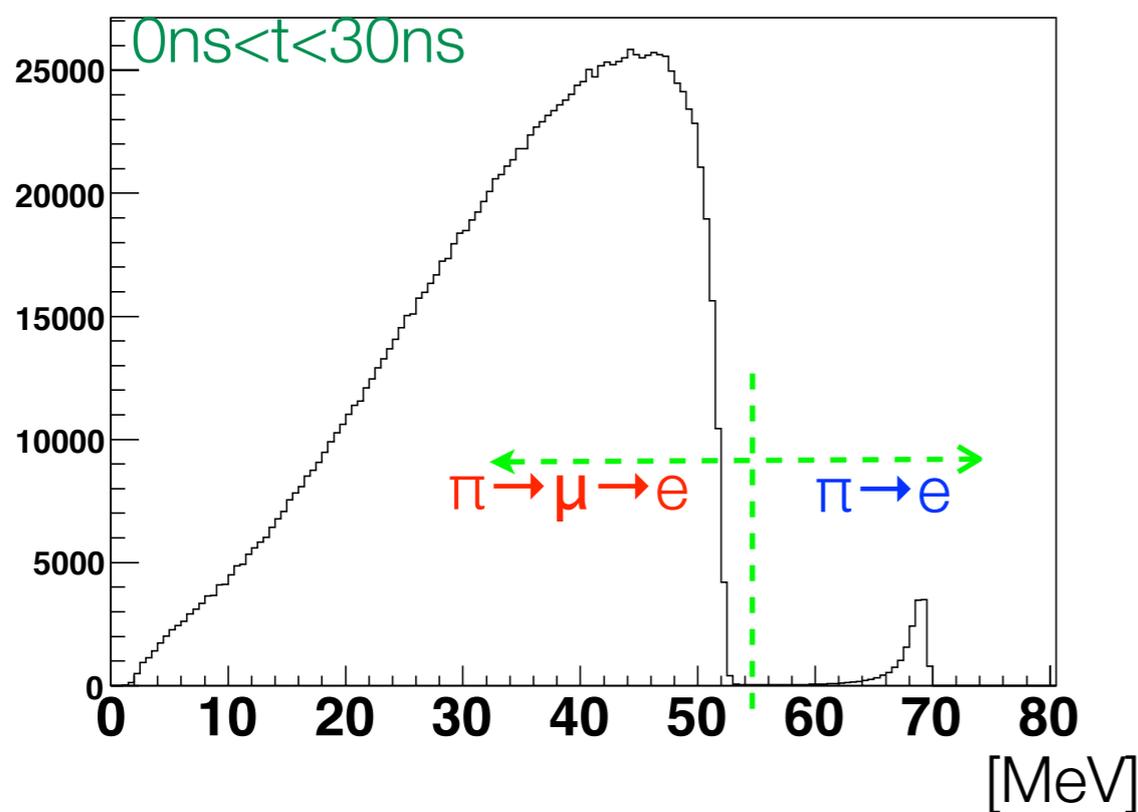
ターゲットでの検出エネルギー(MC)



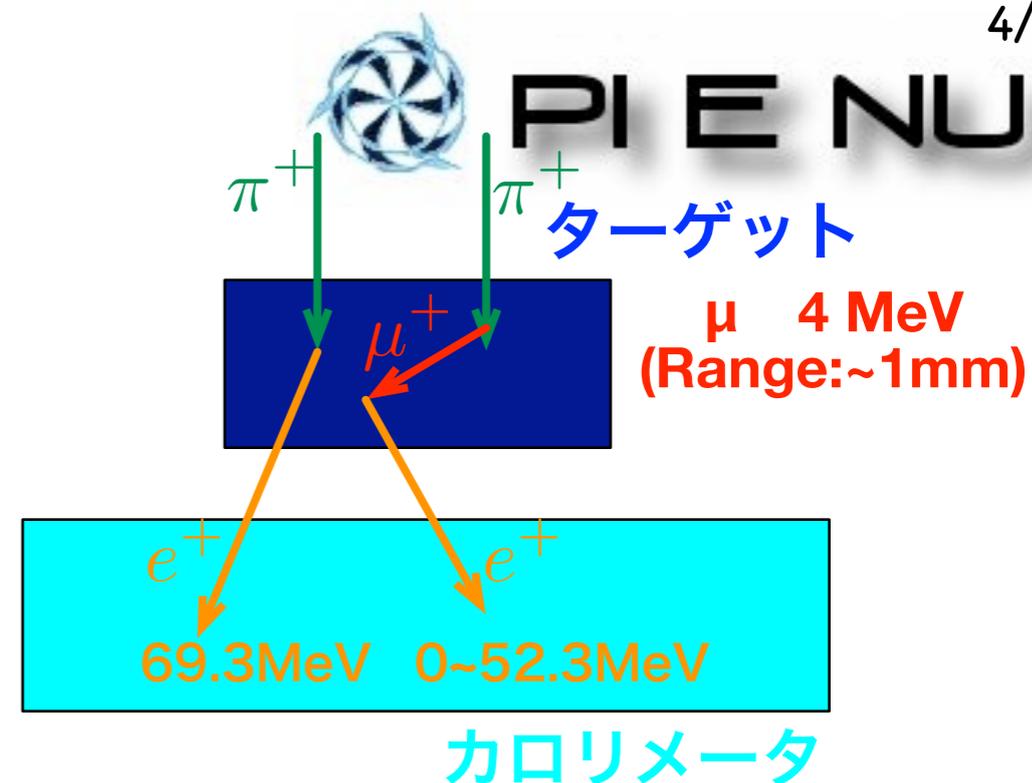
測定原理

- パイオンをアクティブターゲットに止め、崩壊した陽電子をカロリメータで検出
- 陽電子エネルギーにより崩壊モードを識別

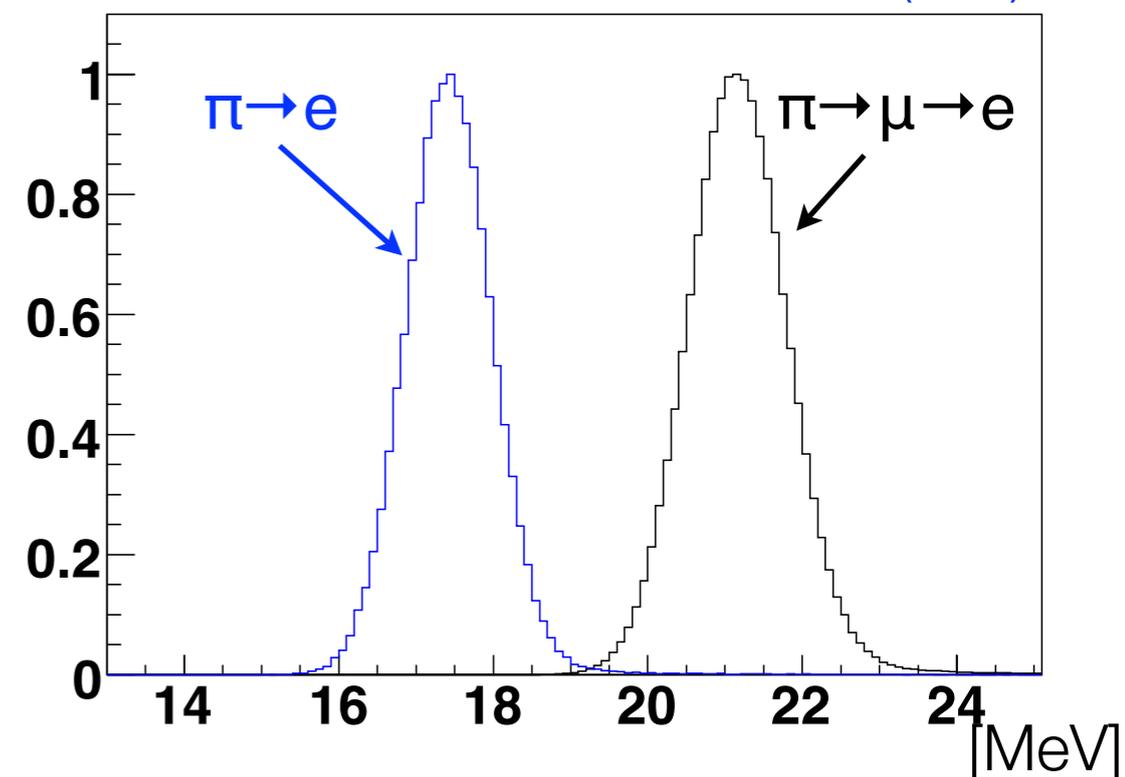
カロリメータでの検出エネルギー(MC)



- $\pi \rightarrow e$ ピークの低エネルギーテールが問題
- ターゲット情報により、 $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ をサプレスしてテールの量を評価と Massive neutrino search をおこなう。



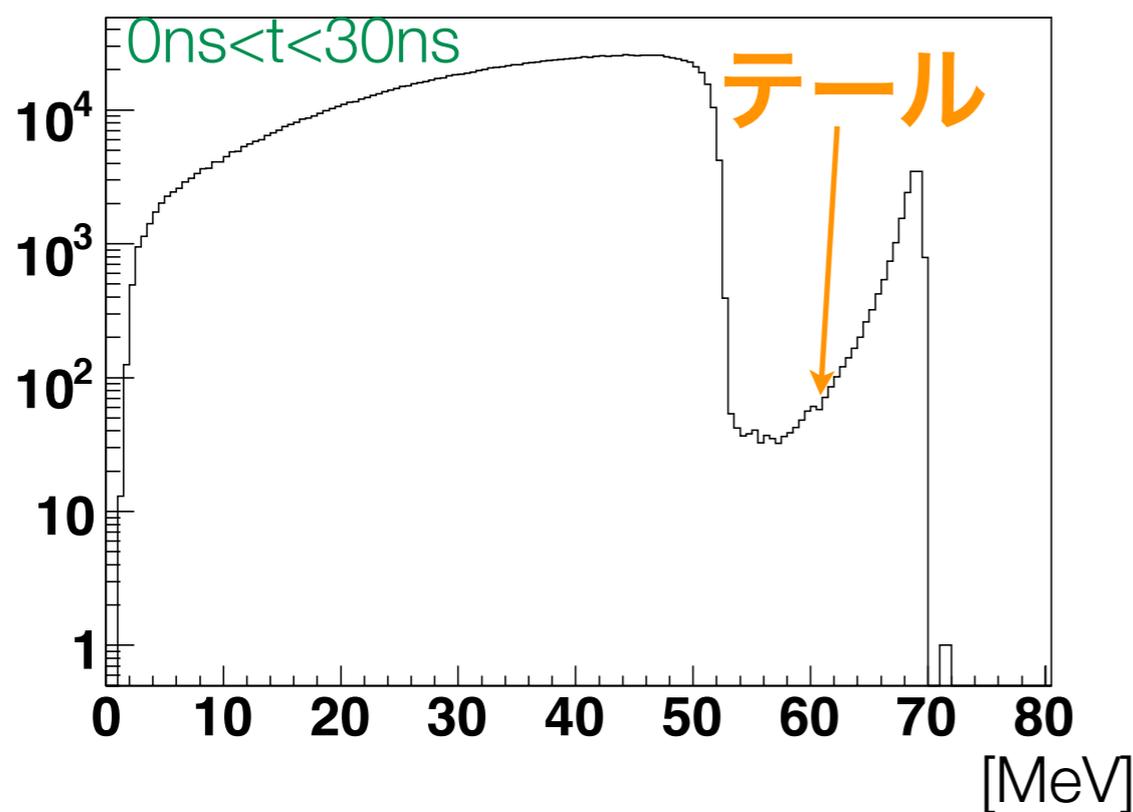
ターゲットでの検出エネルギー(MC)



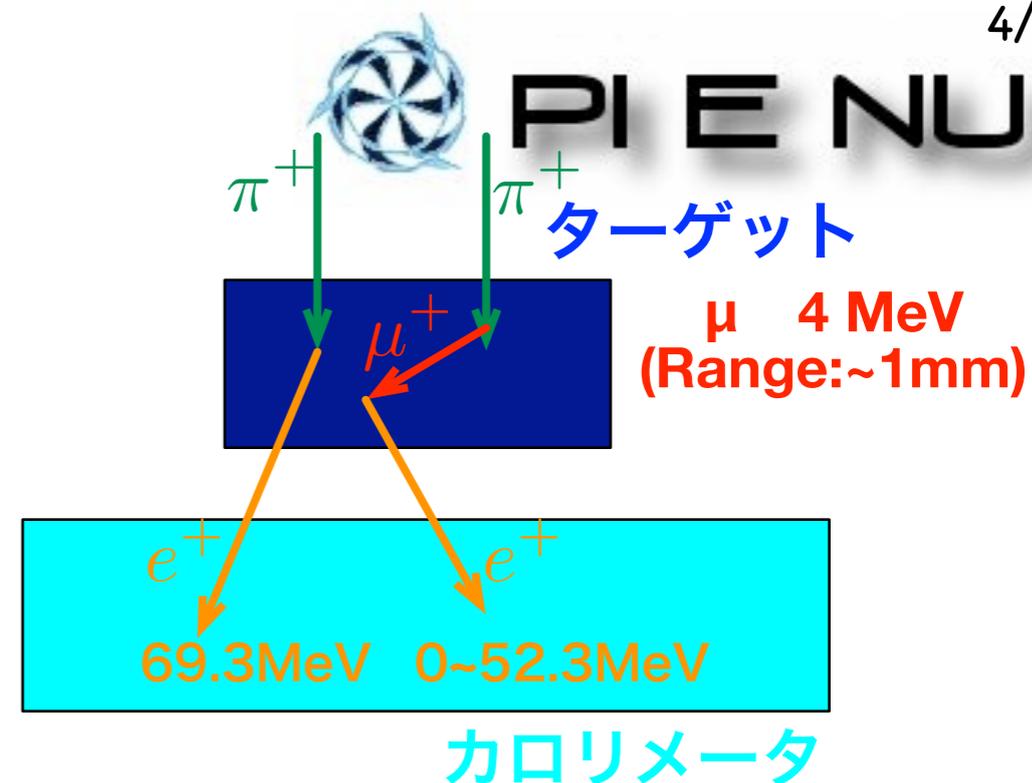
測定原理

- パイオンをアクティブターゲットに止め、崩壊した陽電子をカロリメータで検出
- 陽電子エネルギーにより崩壊モードを識別

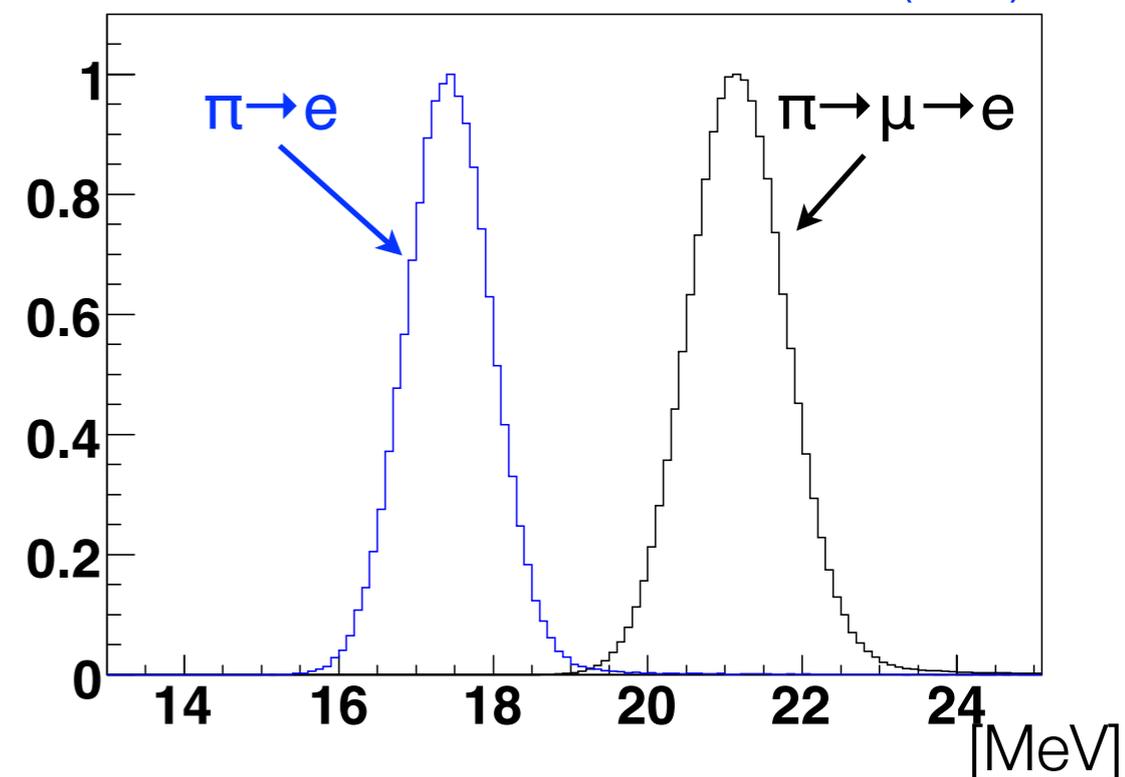
カロリメータでの検出エネルギー(MC)



- $\pi \rightarrow e$ ピークの低エネルギーテールが問題
- ターゲット情報により、 $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ をサプレスしてテールの量を評価と Massive neutrino search をおこなう。



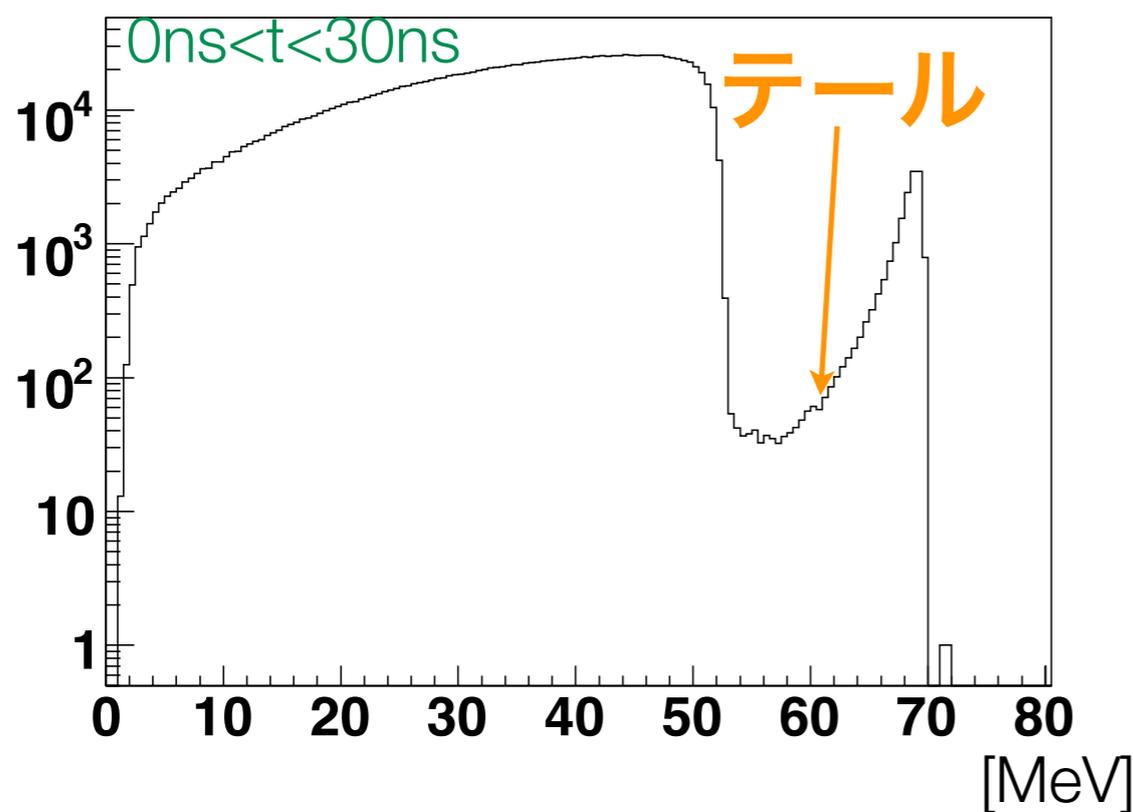
ターゲットでの検出エネルギー(MC)



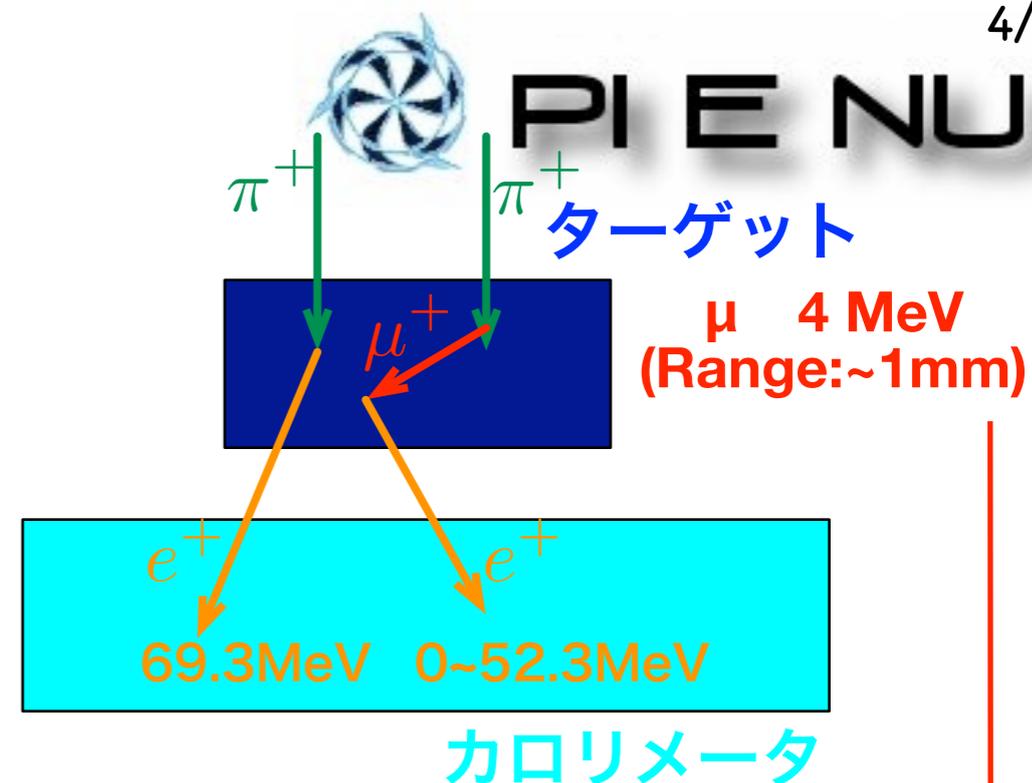
測定原理

- パイオンをアクティブターゲットに止め、崩壊した陽電子をカロリメータで検出
- 陽電子エネルギーにより崩壊モードを識別

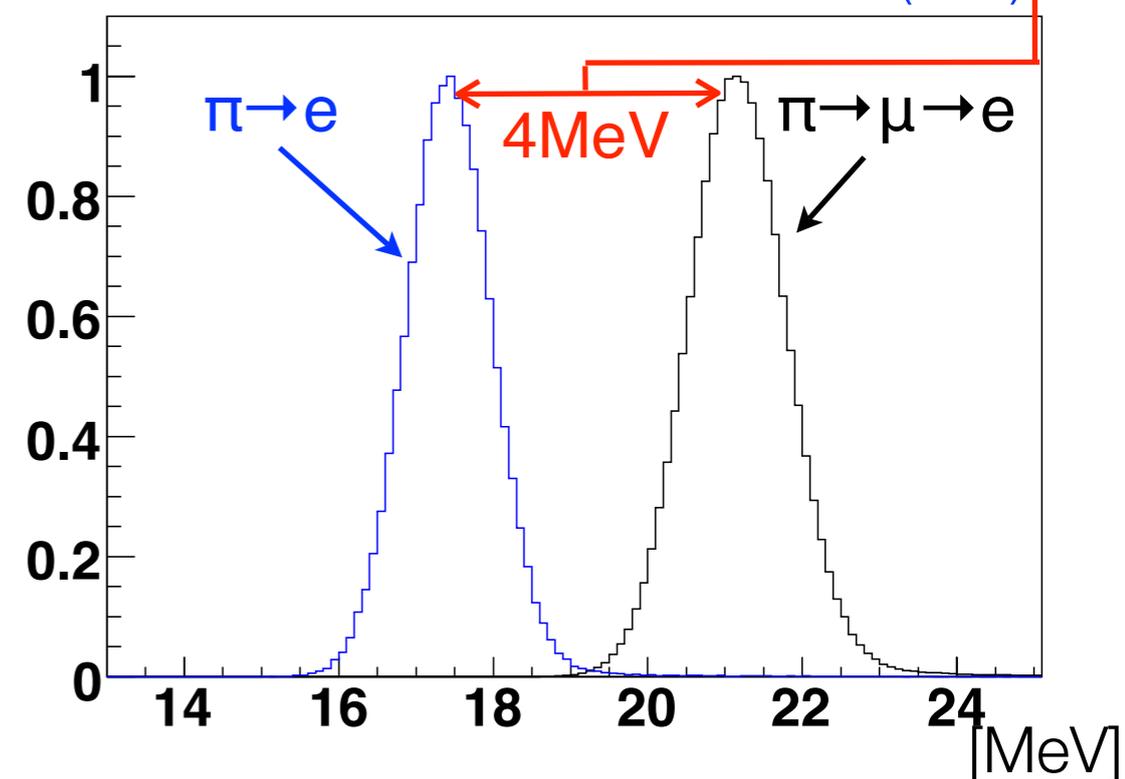
カロリメータでの検出エネルギー(MC)



- $\pi \rightarrow e$ ピークの低エネルギーテールが問題
- ターゲット情報により、 $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ をサプレスしてテールの量を評価と Massive neutrino search をおこなう。



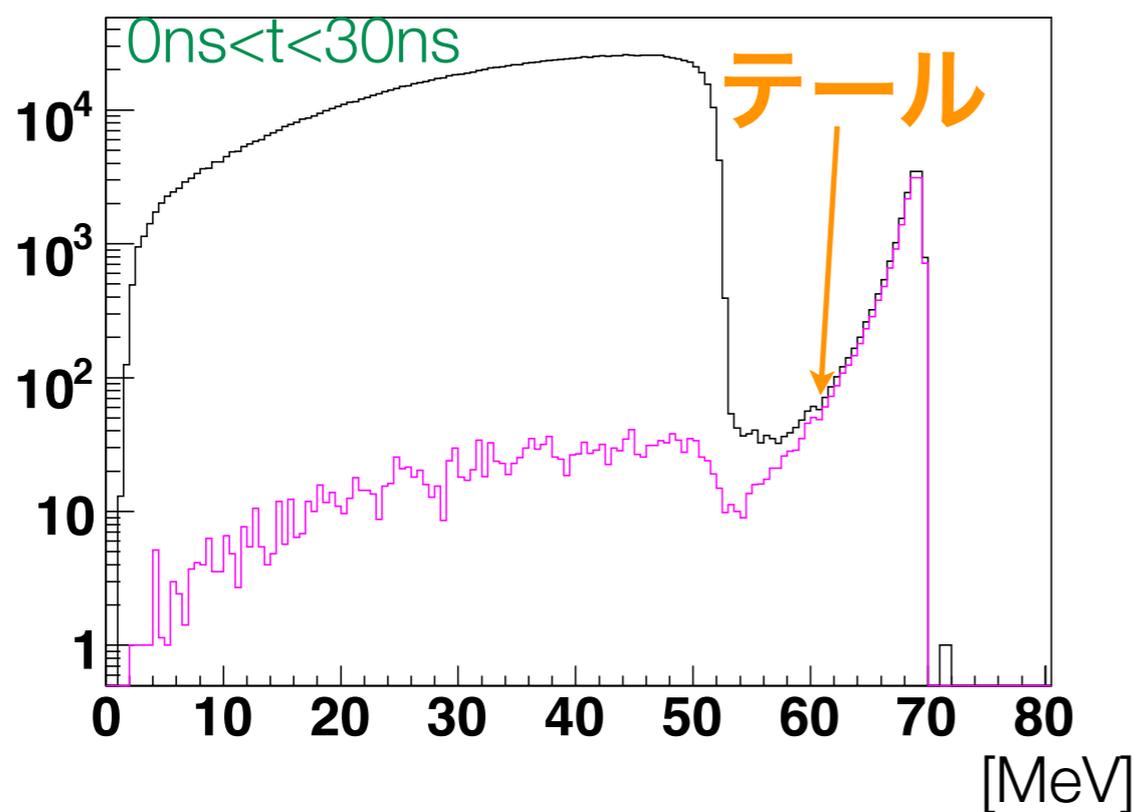
ターゲットでの検出エネルギー(MC)



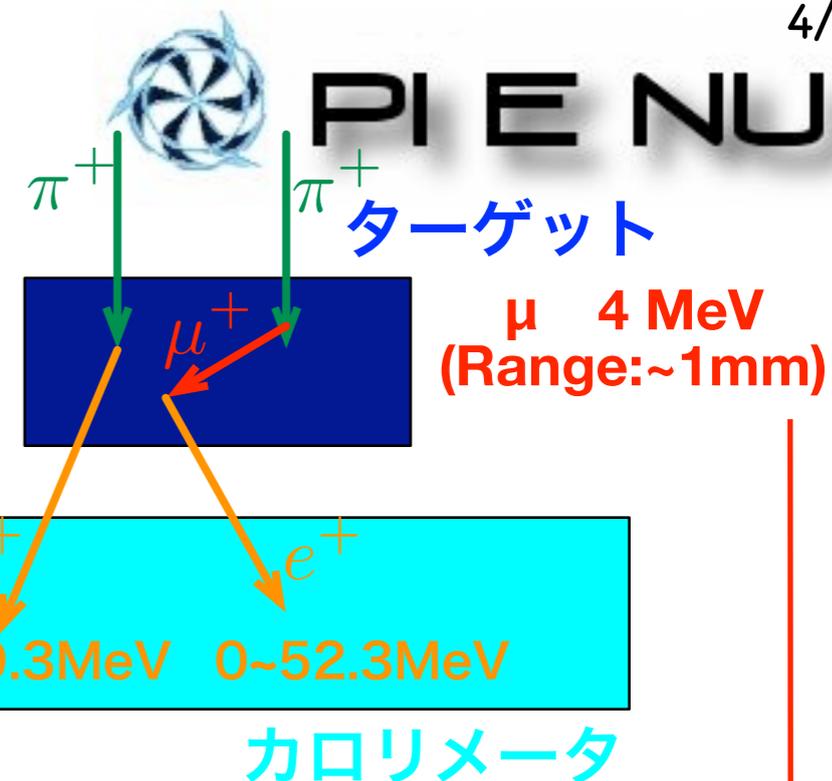
測定原理

- パイオンをアクティブターゲットに止め、崩壊した陽電子をカロリメータで検出
- 陽電子エネルギーにより崩壊モードを識別

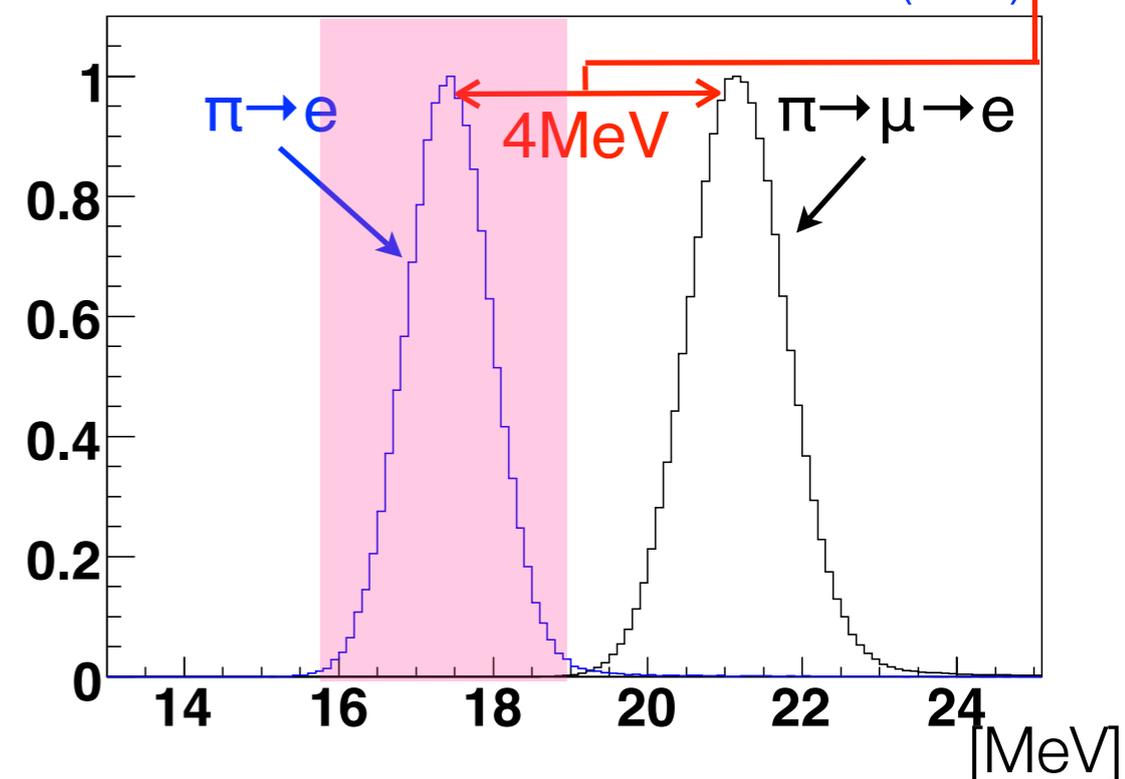
カロリメータでの検出エネルギー(MC)



- $\pi \rightarrow e$ ピークの低エネルギーテールが問題
- ターゲット情報により、 $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ をサプレスしてテールの量を評価と Massive neutrino search をおこなう。



ターゲットでの検出エネルギー(MC)



TRIUMF E248 : 前実験(~1992)



PIENU

結果

$$R = 1.2265 \pm 0.0034(\text{stat}) \pm 0.0044(\text{sys}) \times 10^{-4}$$

精度: 0.5% (stat: 0.28%, sys: 0.36%)

テール評価の系統誤差が最も支配的(0.25%)

問題点

(1) カロリメータでの検出エネルギー(NaI)

- シャワーリークによるテール(2%)の増加を防ぐため、

陽電子立体角が小さい(4π の2%) ← **統計の限界**

(2) ターゲットでの検出エネルギー

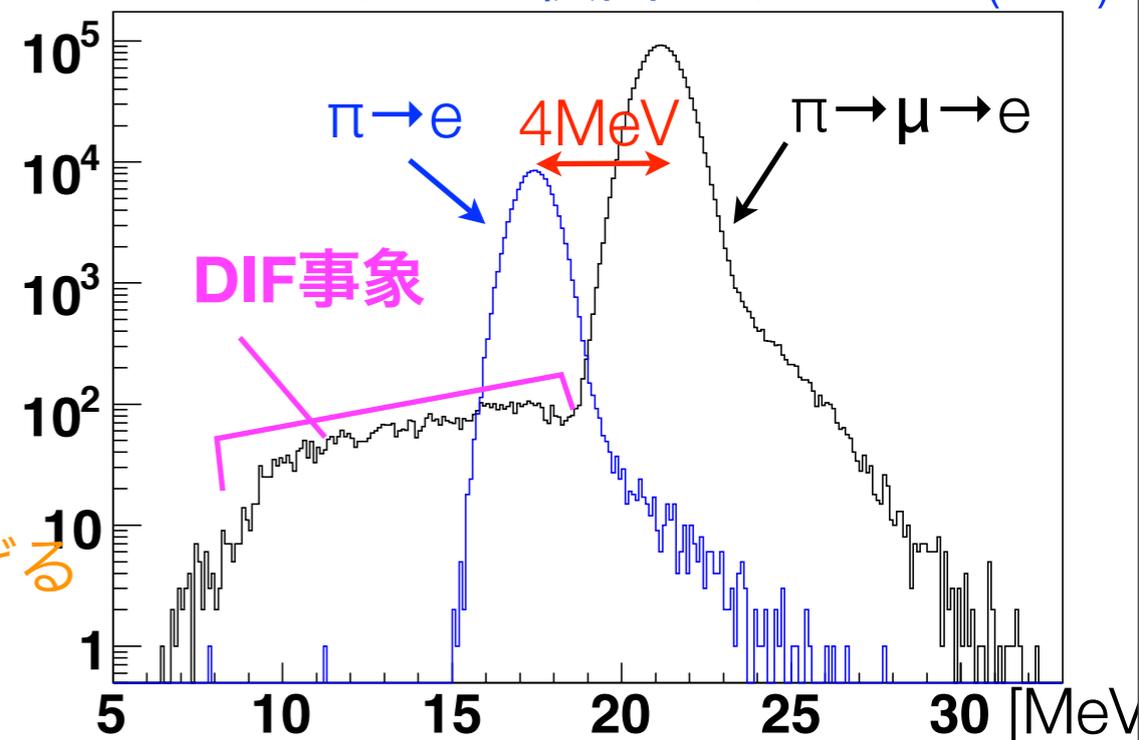
- パイオン **Decay-in-flight(DIF)** による $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ の事象の低エネルギー側への染み出し($\pi \rightarrow e$ 事象の20%)

← テール評価の誤差の原因

← ニュートリノサーチの感度を下げる



ターゲットでの検出エネルギー(MC)



TRIUMF E248 : 前実験(~1992)



PIENU

結果

$$R = 1.2265 \pm 0.0034(\text{stat}) \pm 0.0044(\text{sys}) \times 10^{-4}$$

精度: 0.5% (stat: 0.28%, sys: 0.36%)

テール評価の系統誤差が最も支配的(0.25%)

問題点

(1) カロリメータでの検出エネルギー(NaI)

- シャワーリークによるテール(2%)の増加を防ぐため、

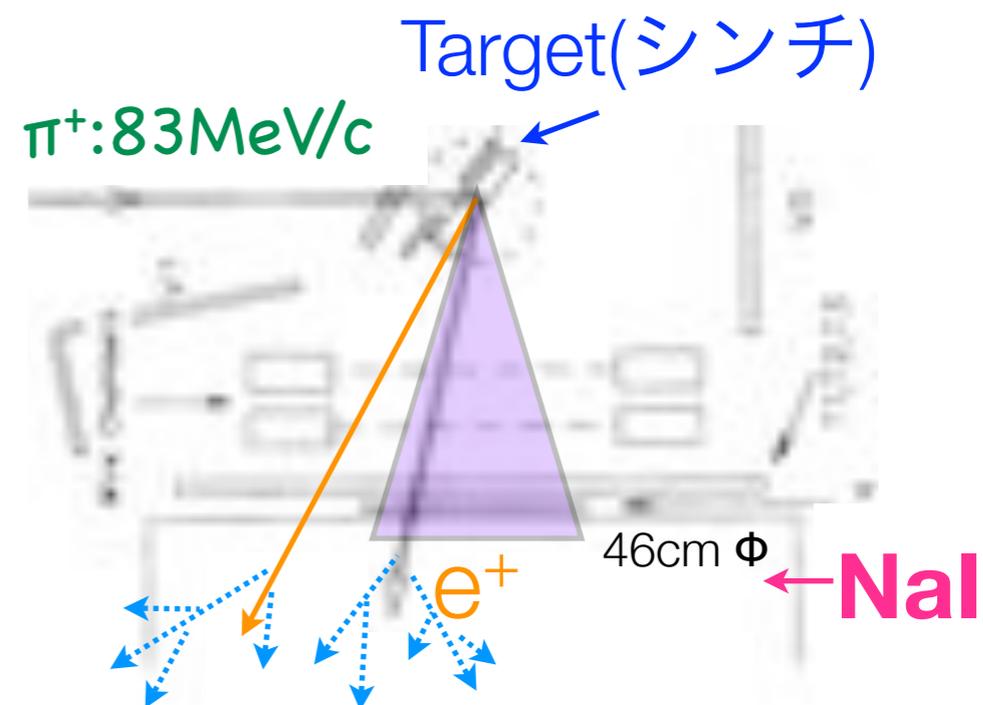
陽電子立体角が小さい(4π の2%) ← **統計の限界**

(2) ターゲットでの検出エネルギー

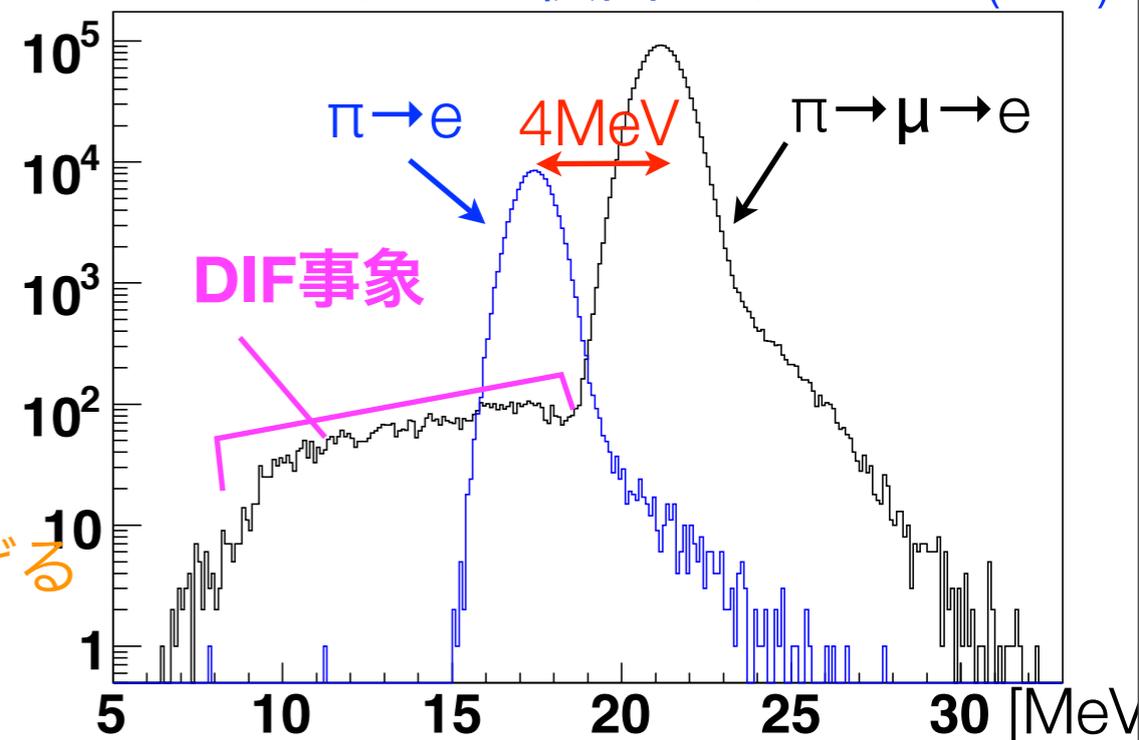
- パイオン **Decay-in-flight(DIF)** による $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ の事象の低エネルギー側への染み出し($\pi \rightarrow e$ 事象の20%)

← テール評価の誤差の原因

← ニュートリノサーチの感度を下げる

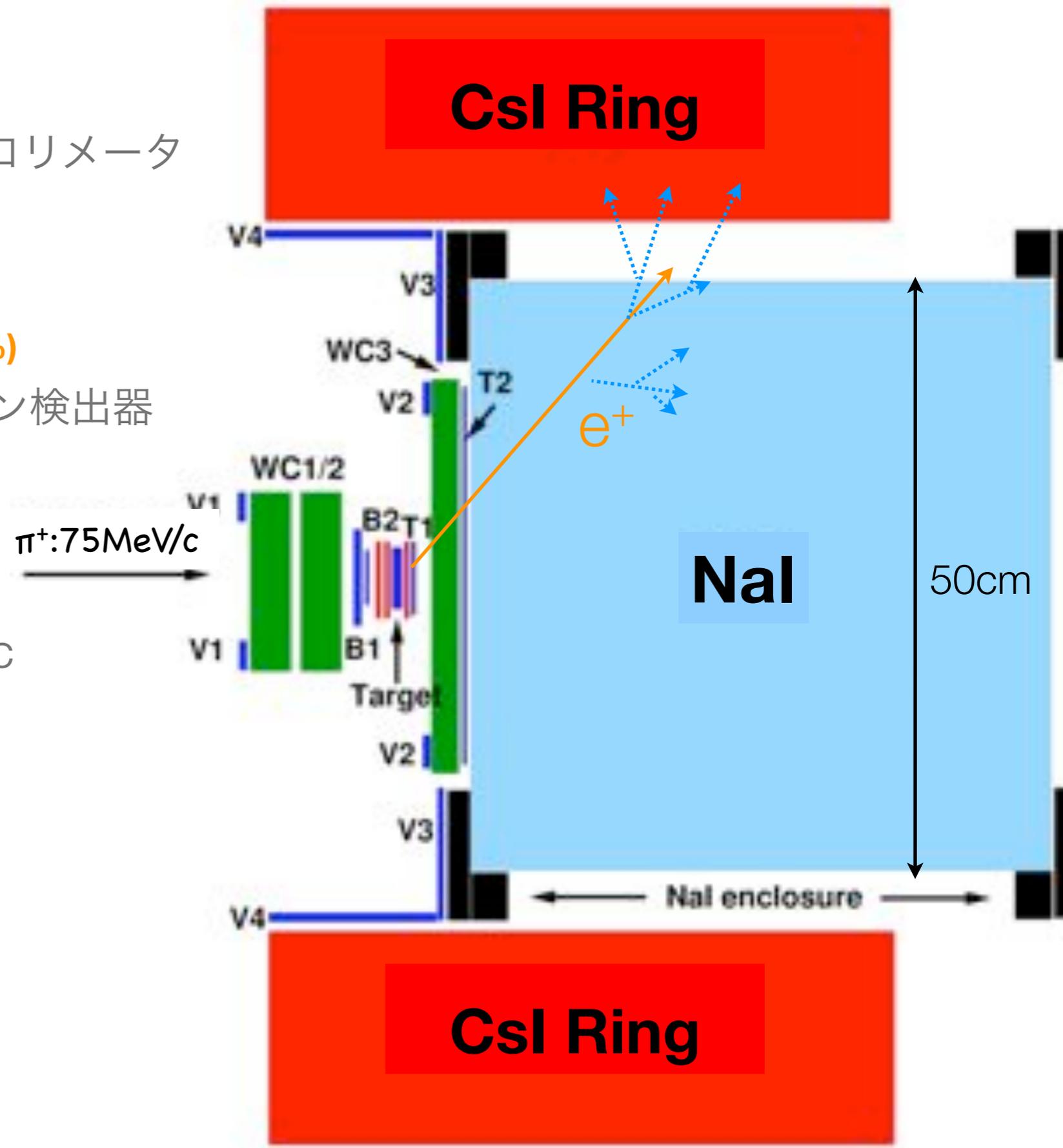


ターゲットでの検出エネルギー(MC)



PIENU検出器

- ターゲットに近接したNaI カロリメータ
 - ▶ アクセプタンス 4π の20%
- CsIのリング
 - ▶ シャワーリークの検出(8%→2%)
- ターゲットの上下流にシリコン検出器
 - ▶ 入射、放出粒子トラッキング
 - ▶ **DIF事象を1/4に**
- FADC読み出し
 - ▶ シンチレーター：500MHz FADC
 - ▶ カロリメータ：60MHz FADC
 - ▶ **パイルアップ除去**





PIENU

セットアップ



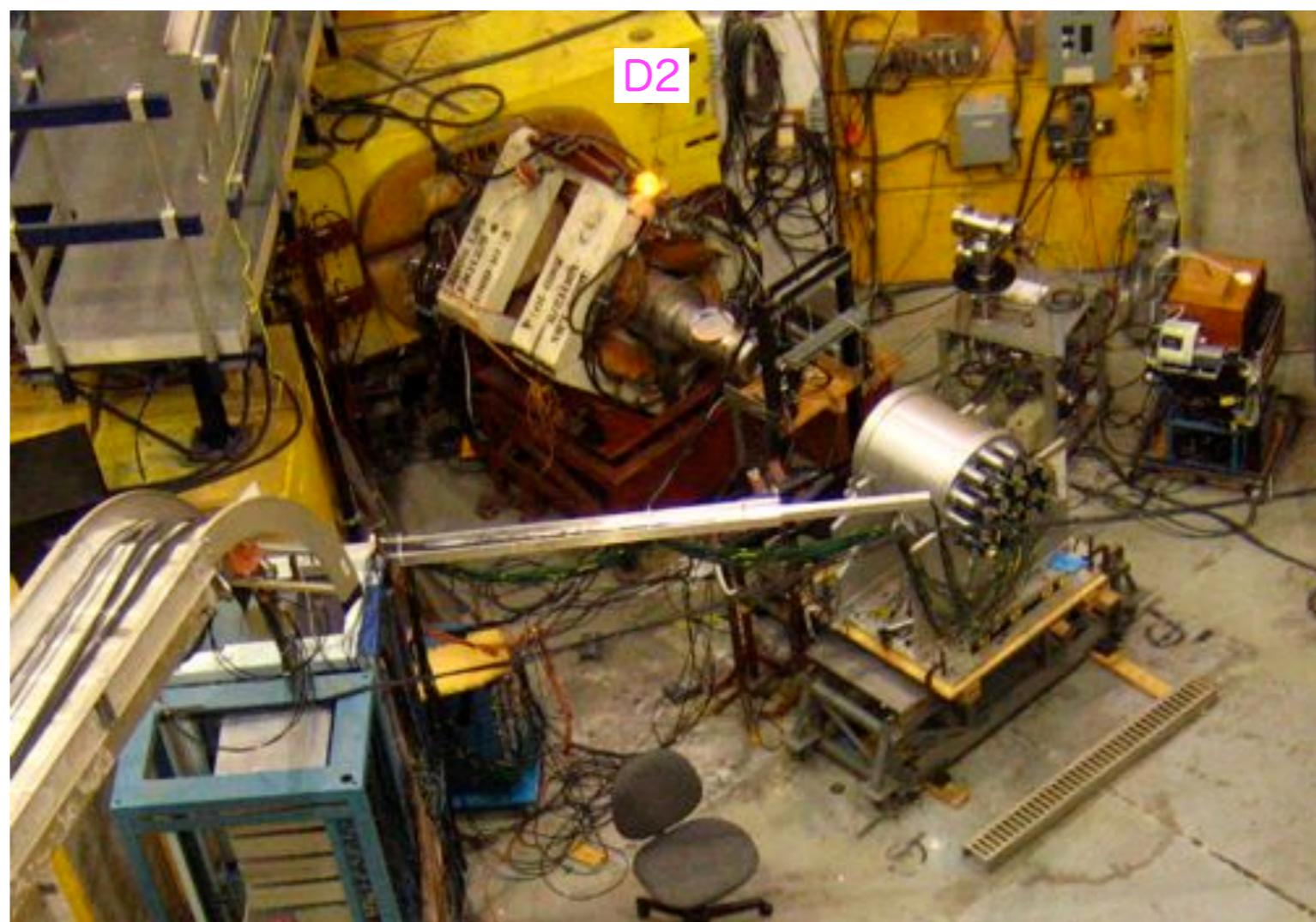
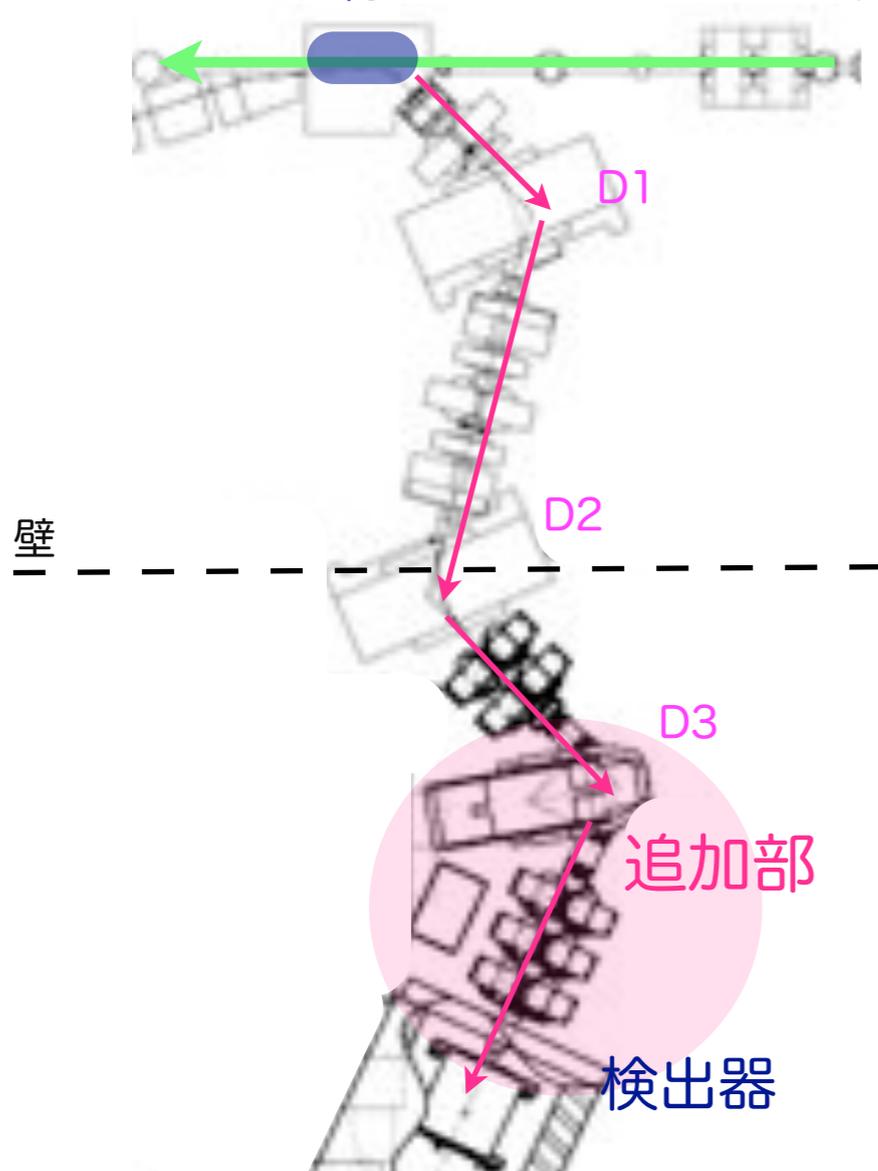
ビームライン

- TRIUMF M13ビームラインをアップグレード
- ダイポールマグネットによるベンドを1つ追加

性能

- ビームレート: ~60kHz	- 運動量: $75 \pm 0.8 \text{ MeV}/c$
- ビームスポット: ~1cm	- π : 82% μ : 16% e : 2%

π 生成標的 500MeV 陽子ビーム



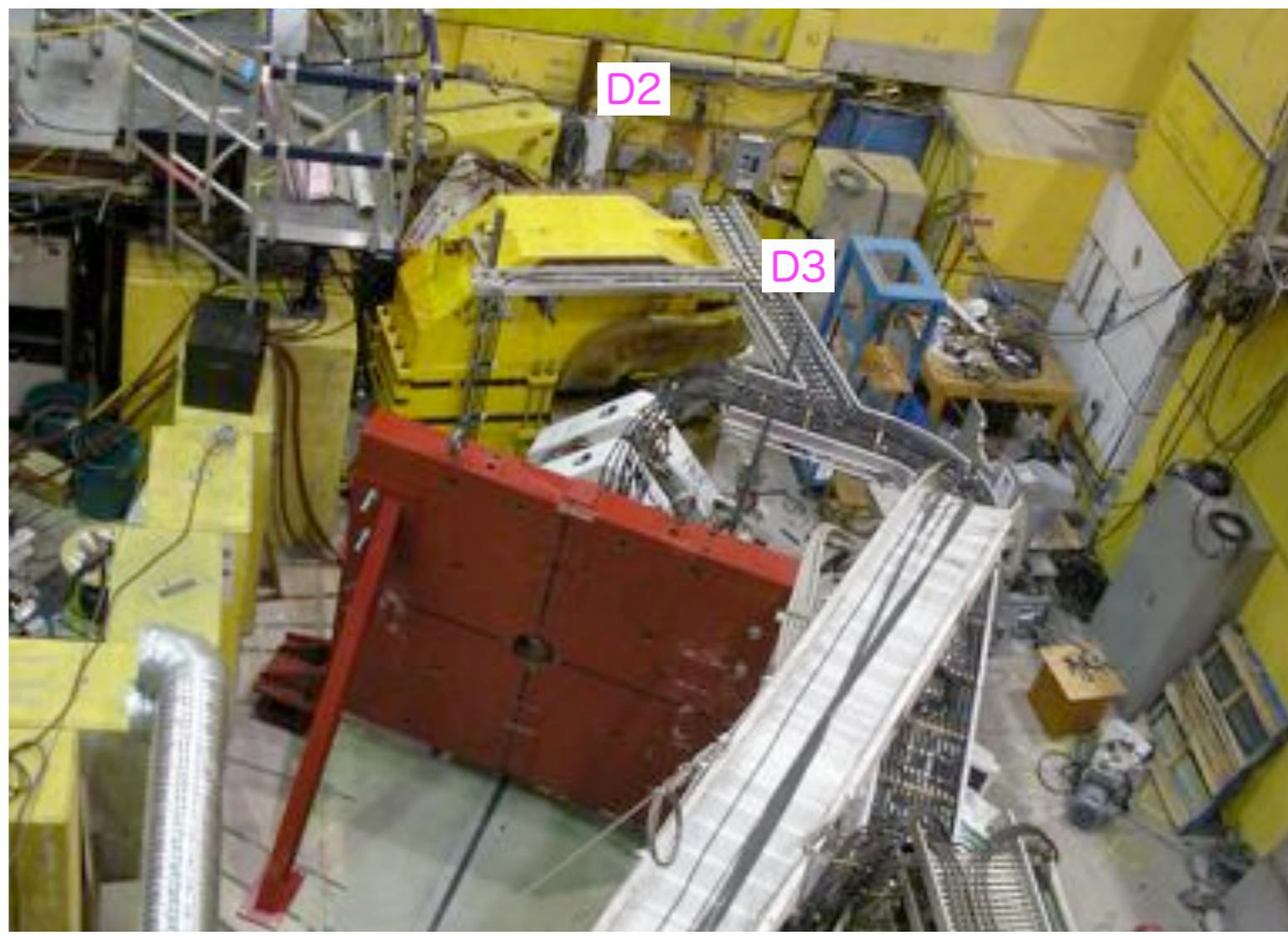
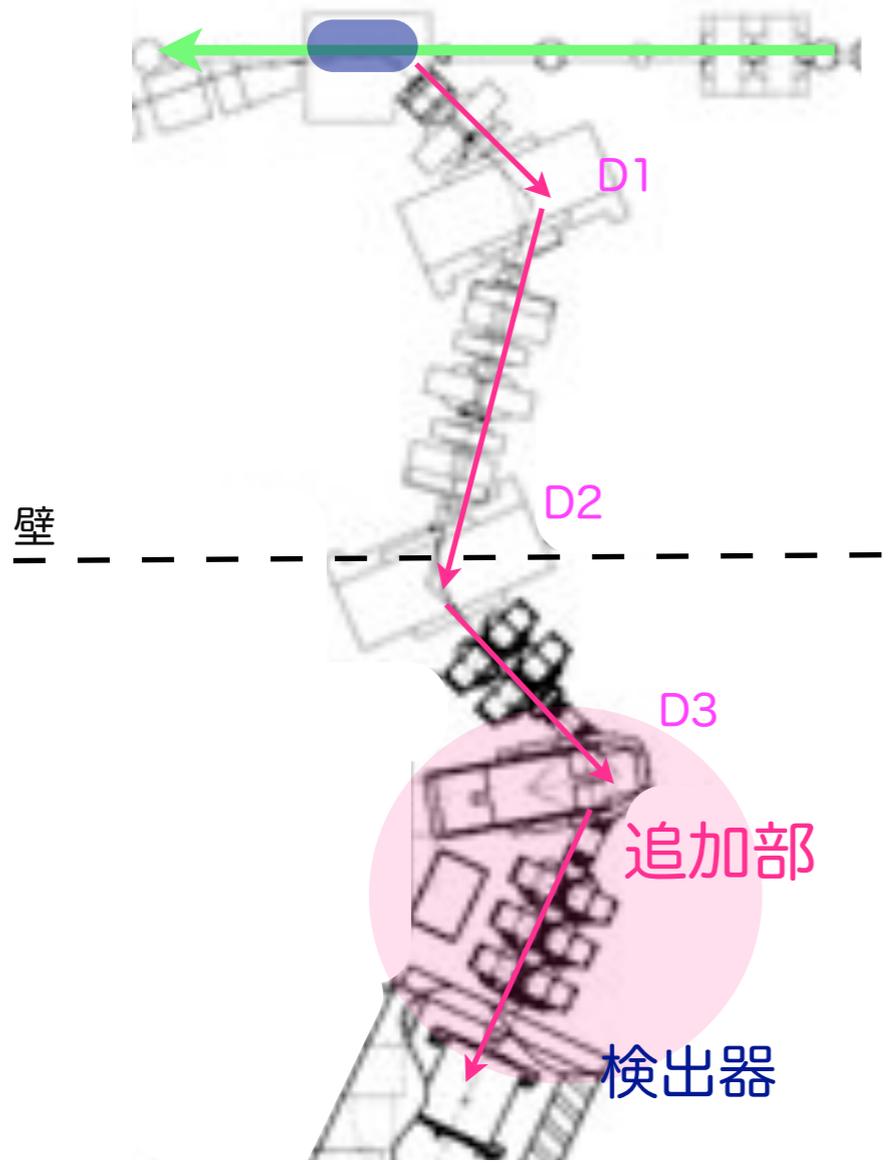
ビームライン

- TRIUMF M13ビームラインをアップグレード
- ダイポールマグネットによるベンドを1つ追加

性能

- ビームレート:~60kHz	- 運動量 :75± 0.8MeV/c
- ビームスポット:~1cm	- π:82% μ:16% e:2%

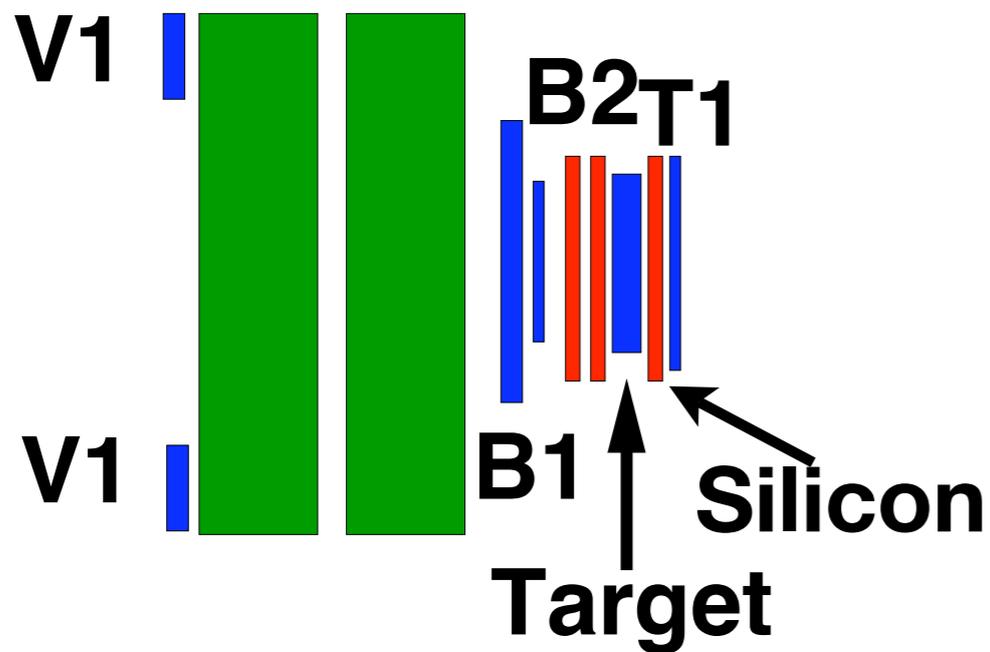
π 生成標的 500MeV 陽子ビーム





実際の検出器 1 (上流)

WC1/2

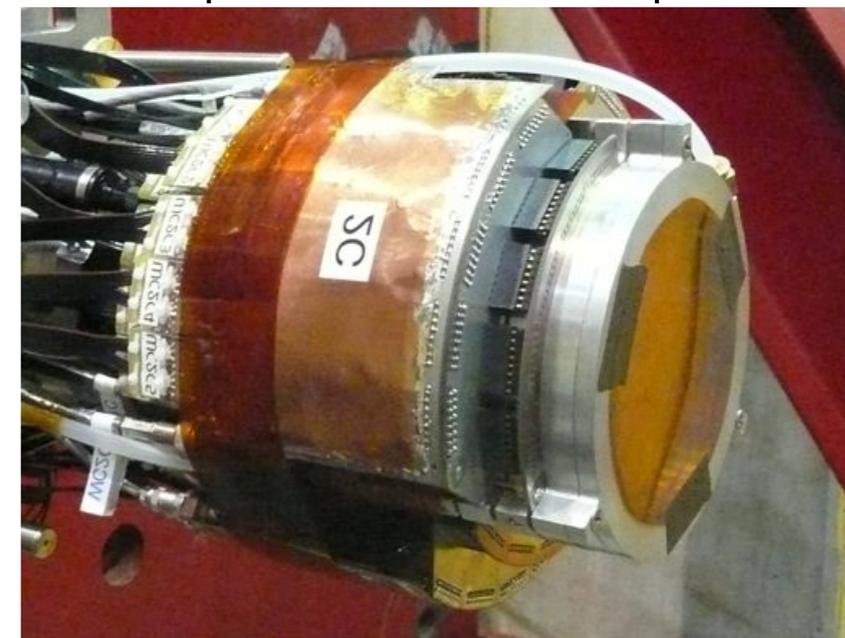
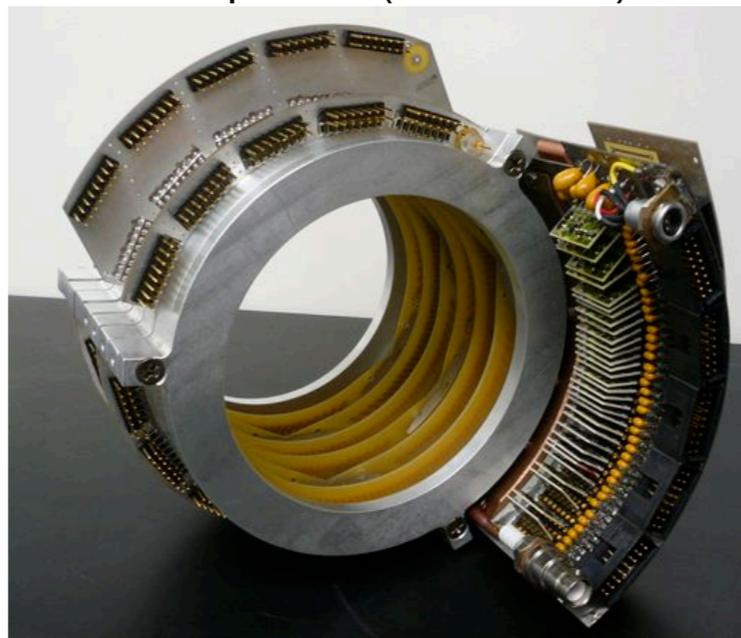


Wire Chamber1&2 (MWPC)

6 plane(UVW x2)

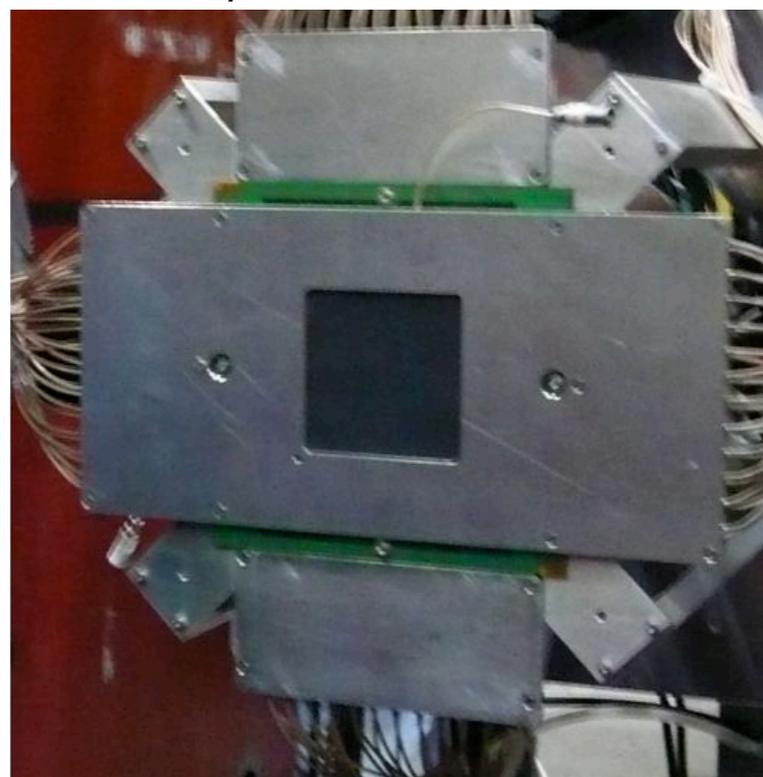
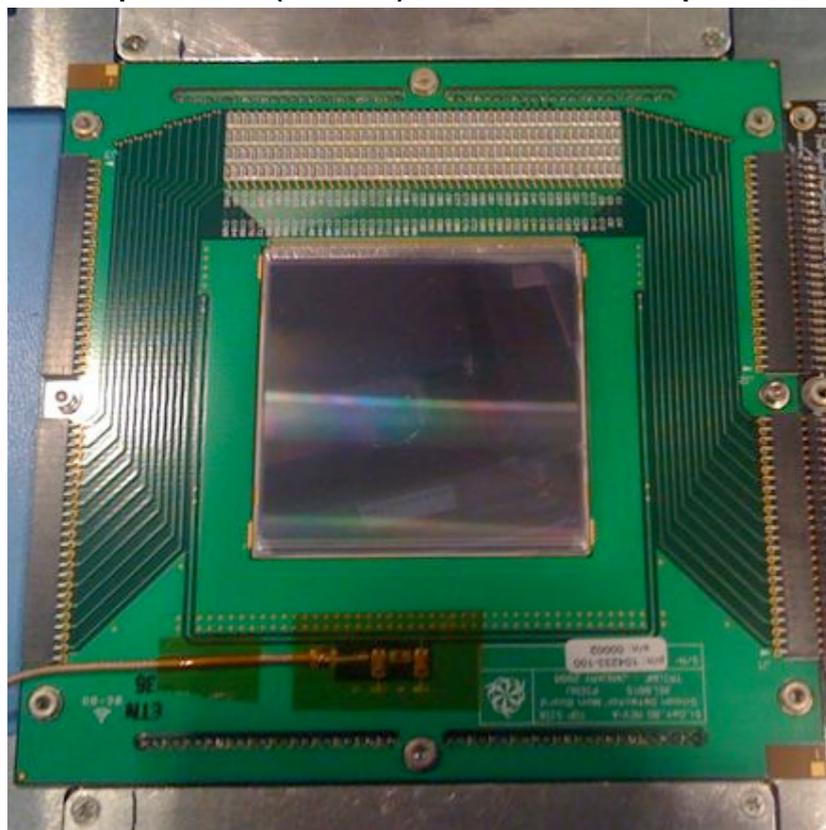
2.4 mm pitch

40 wire/plane



Silicon Strip

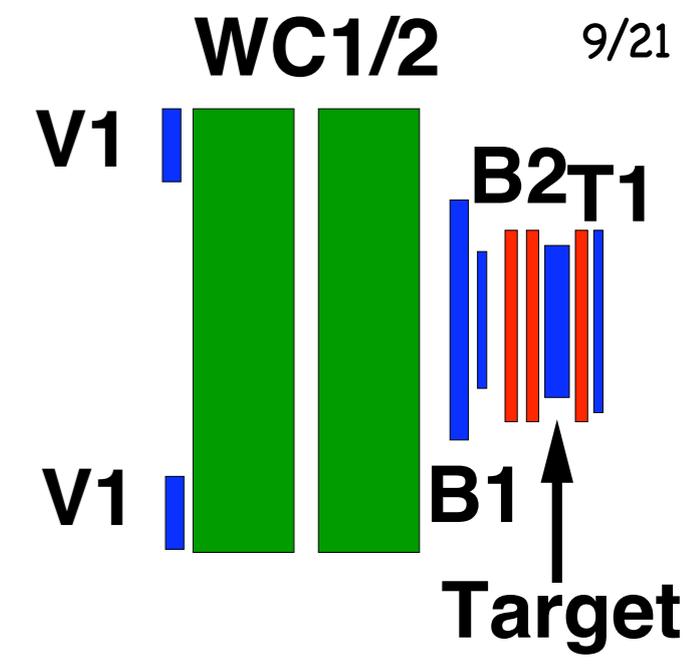
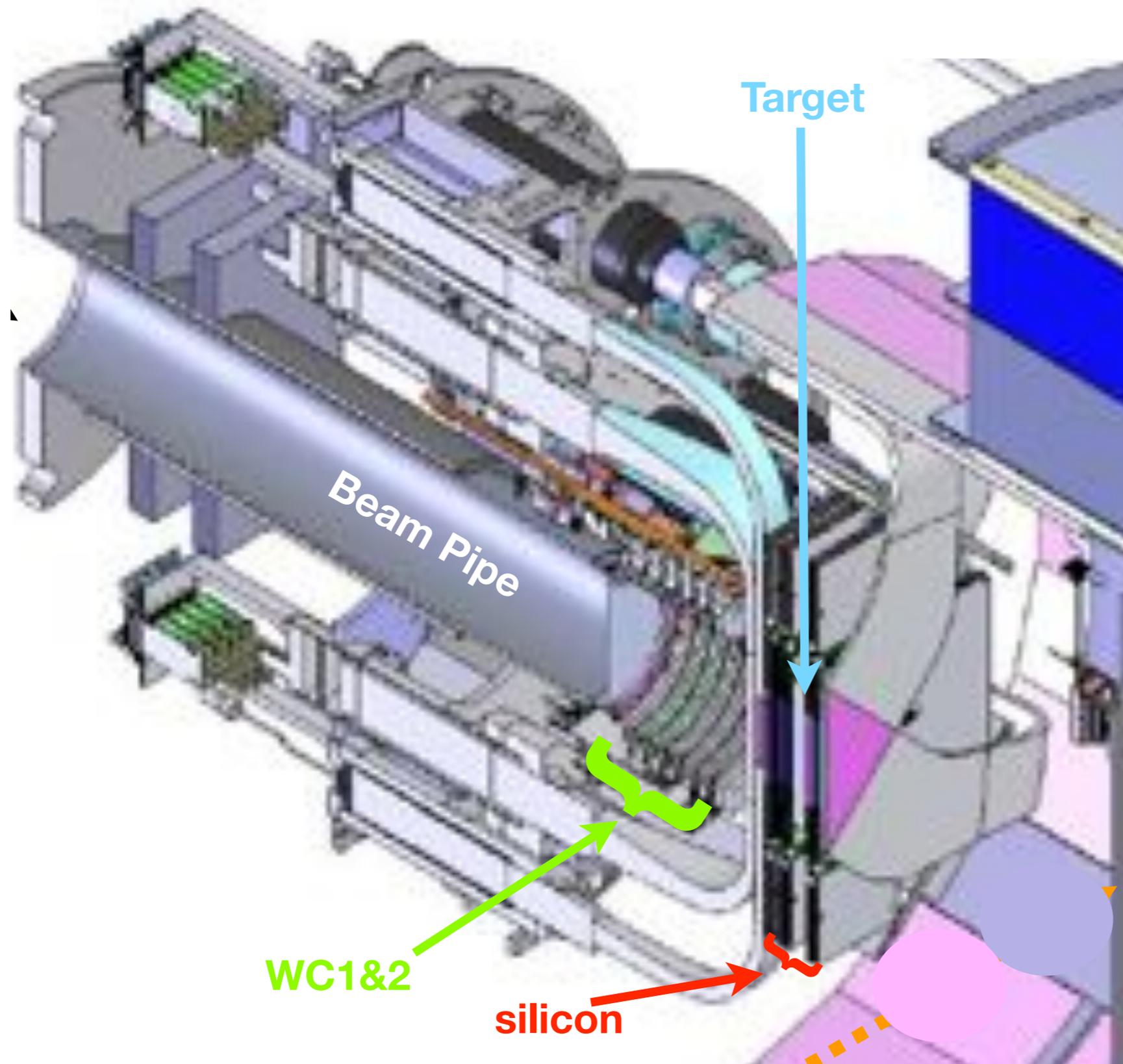
2 plane(X&Y) 320 um pitch 189 strip thickness :285 um



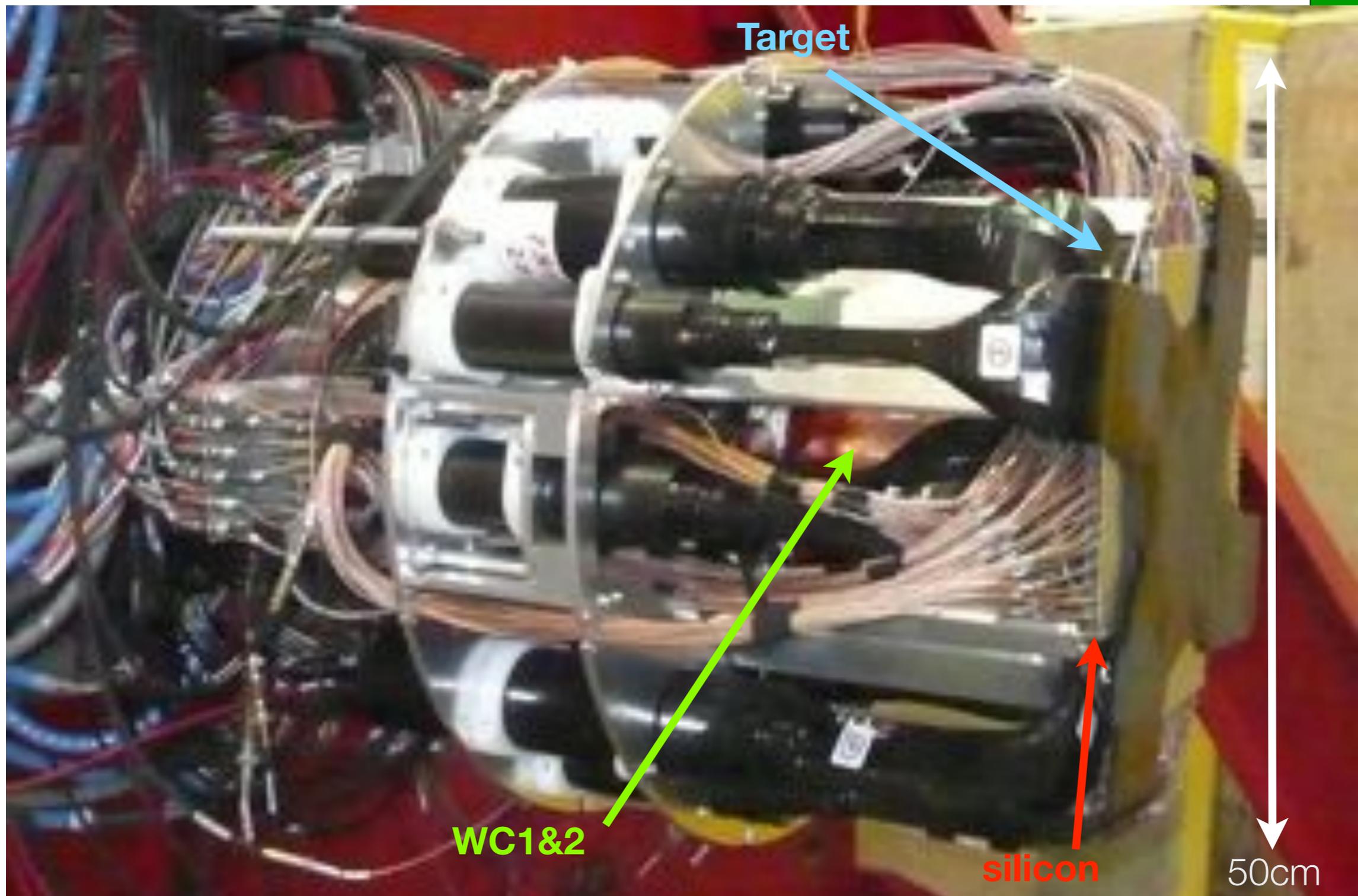
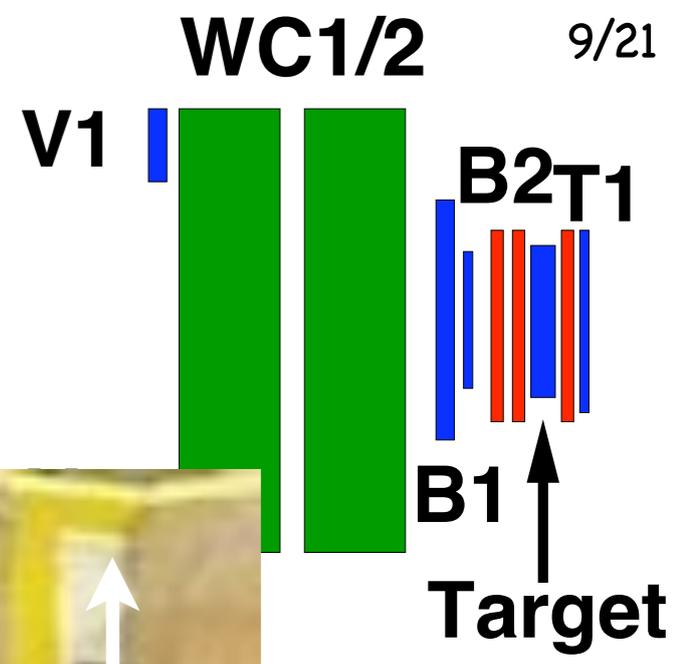
Scintillator assemble



実際の検出器 1 (上流)

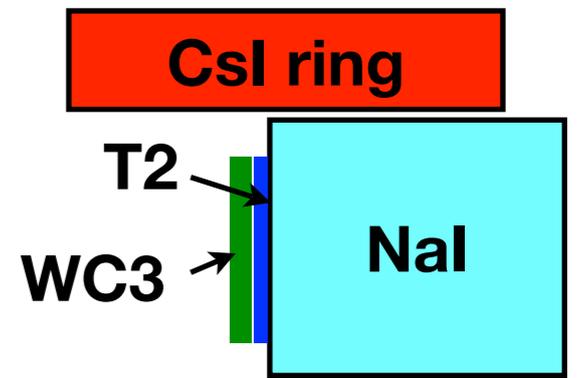
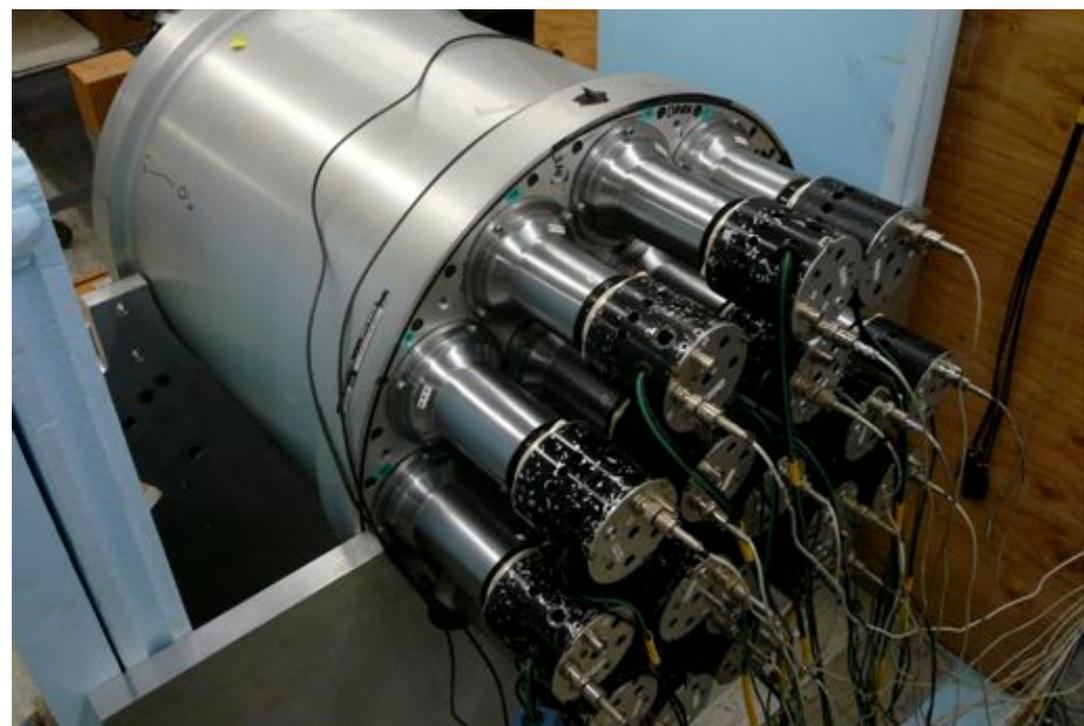


実際の検出器 1 (上流)



実際の検出器 2 (下流)

Nal: 直径:50 cm 奥行き:70cm 19PMTs

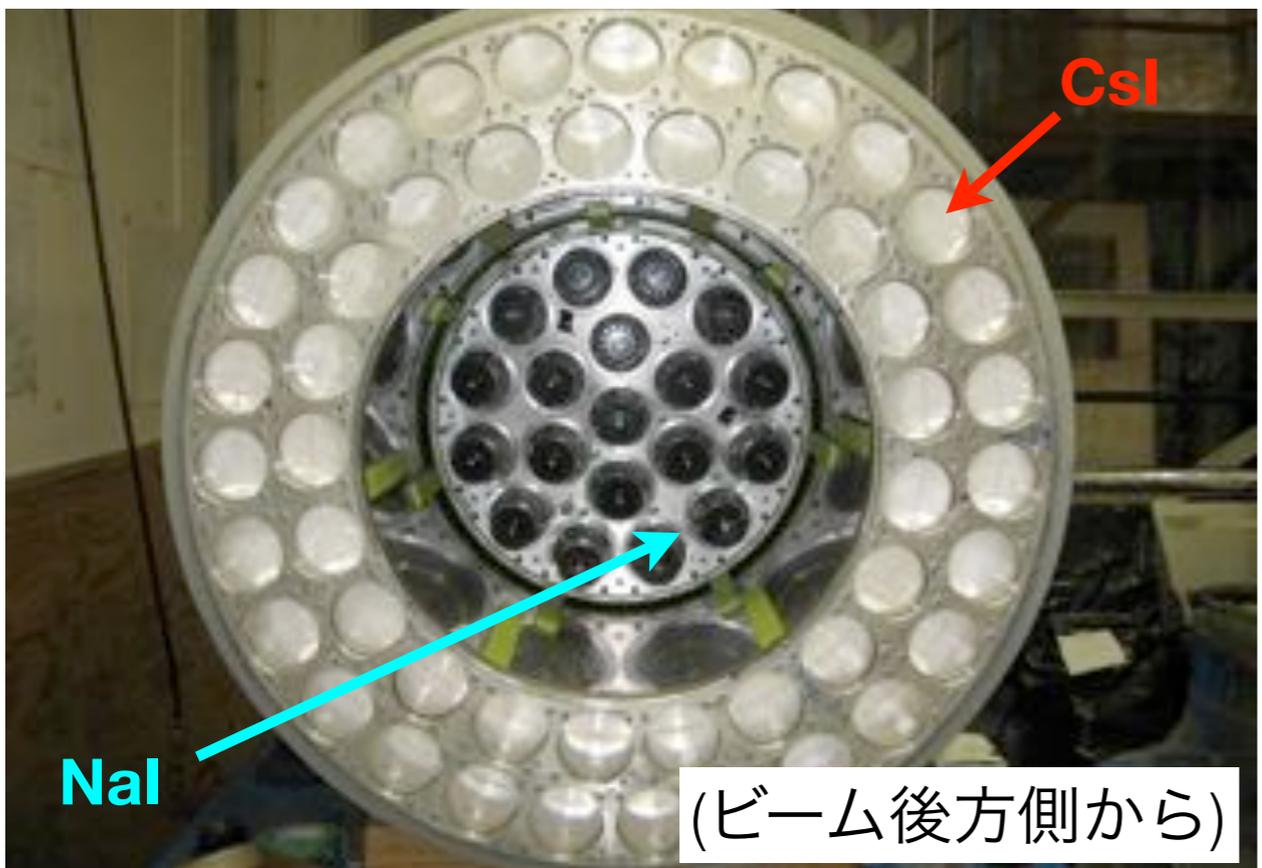


Wire Chamber3 (MWPC)

3 plane(UVW) 5 mm pitch 48 wire/plane

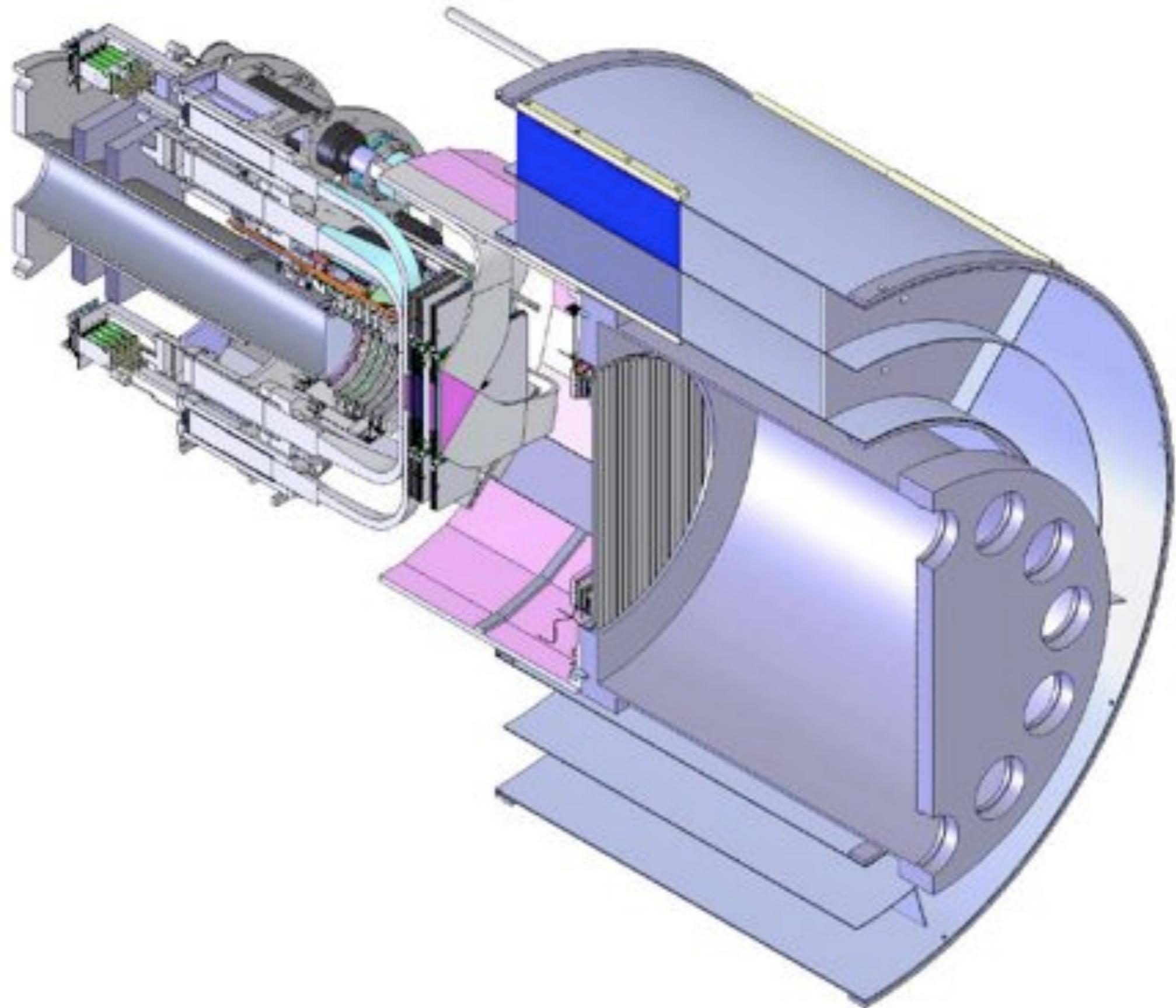


Csl: Crystal(10x10x25cm)x97個



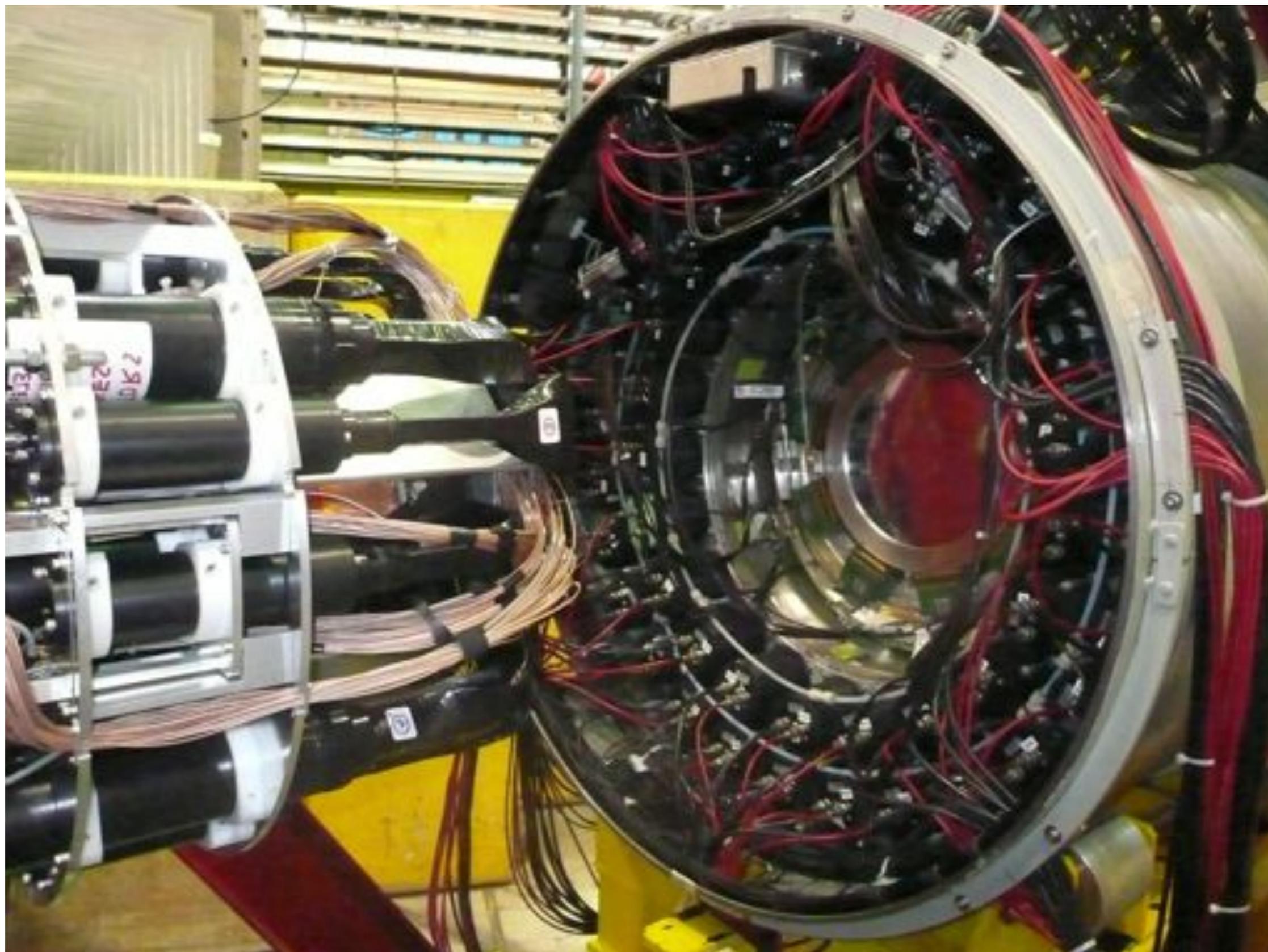


検出器全体像





検出器全体像





読み出し回路

COPPER system

プラスチックシンチレータ

- 500MHz FADC(阪大、KEK)
 - COPPER system(KEK)
 - FADCファームウェア開発(阪大)
 - Clock Distributor(阪大、KEK)
 - 2ch x 4枚 x 4 COPPER = 32 channel
- マルチヒットTDC(TRIUMF)

Nal, Cslカロリメータ

- 60 MHz FADC(TRIUMF)

シリコン位置検出器

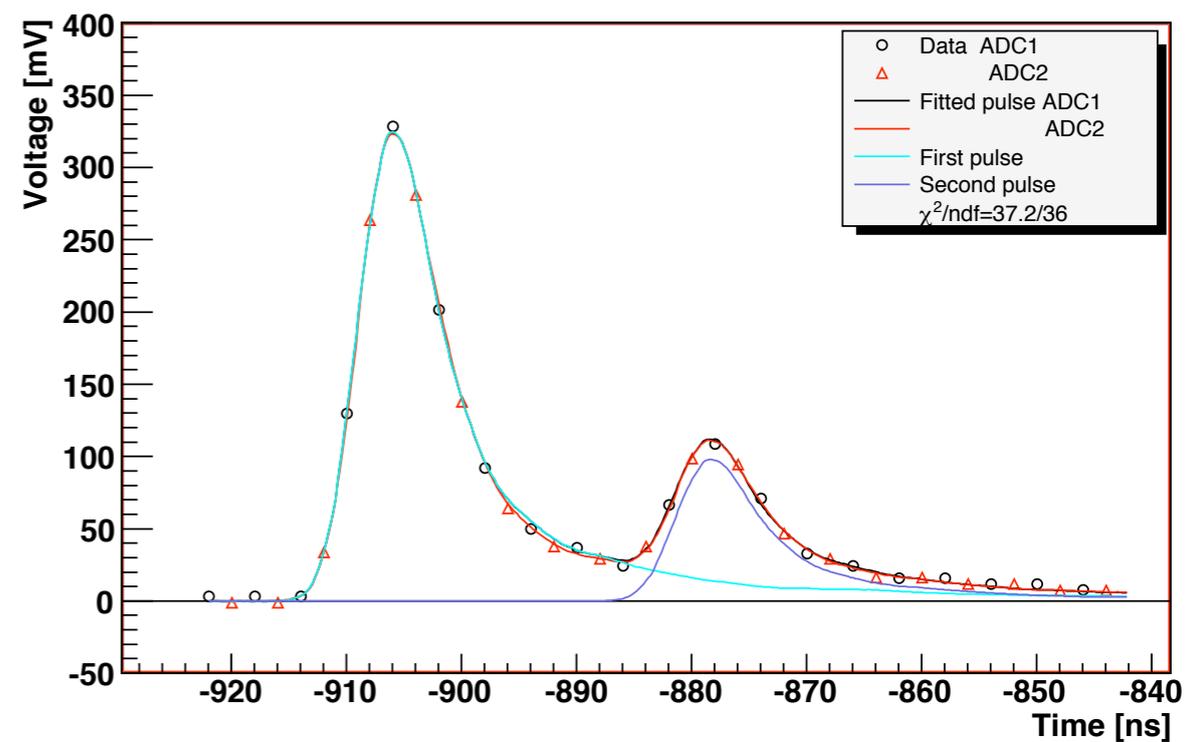
- 60 MHz FADC(TRIUMF)

ワイヤーチェンバー

- マルチヒットTDC(TRIUMF)



プラスチックシンチレータ信号($\pi^+ \rightarrow e^+$)

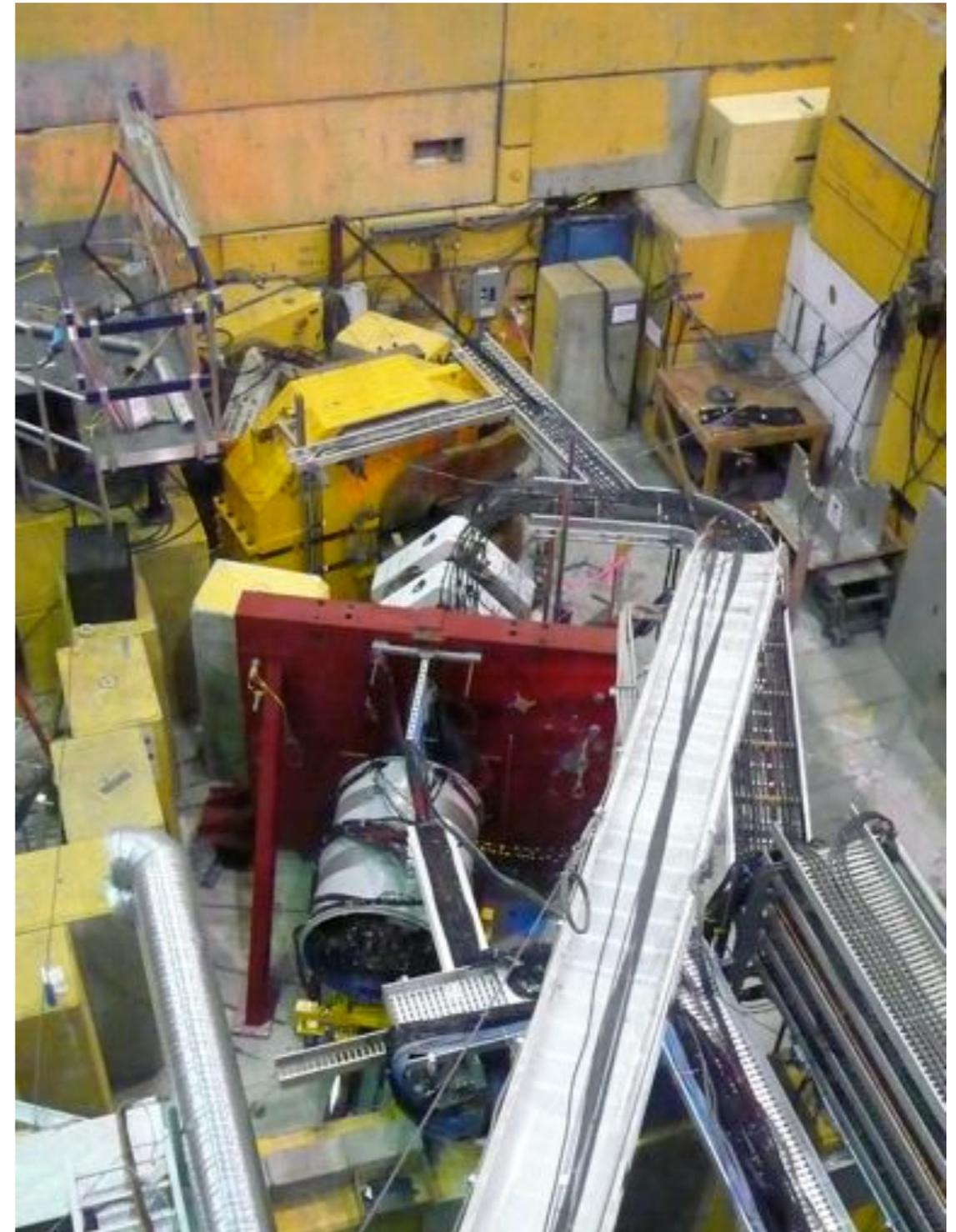


エンジニアリングラン



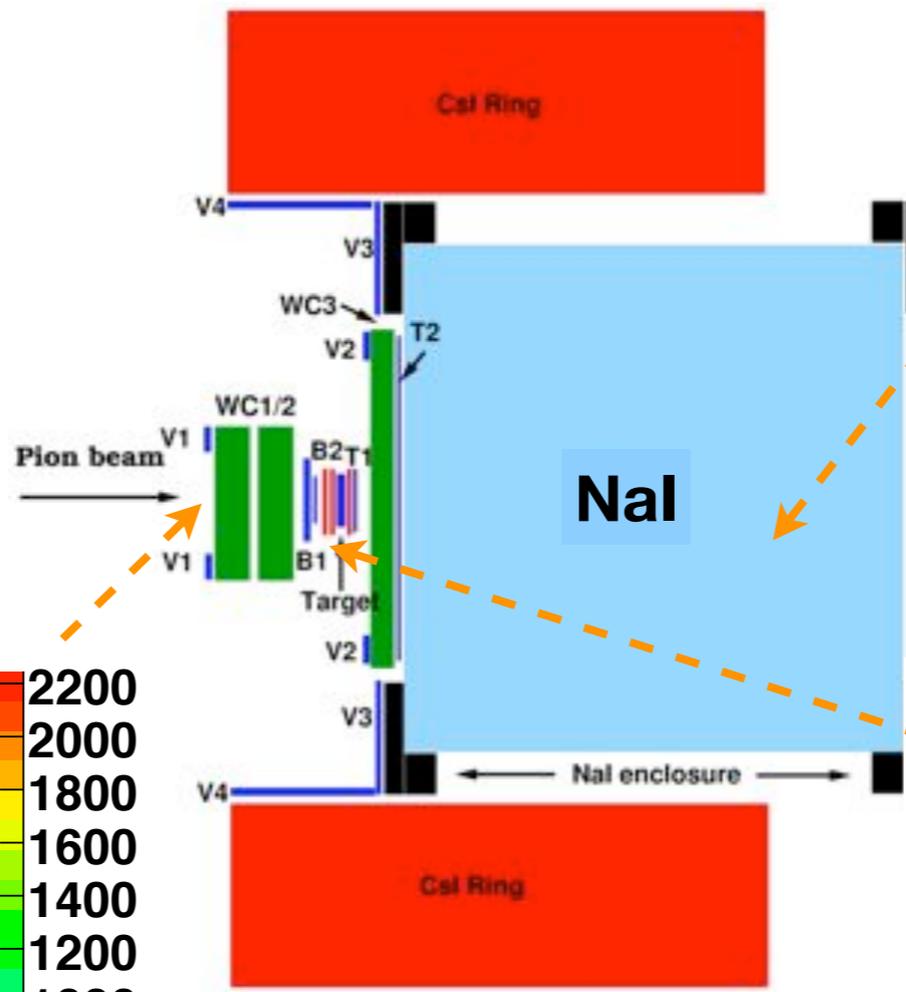
エンジニアリングラン

- 2009年4月～12月
- 検出器やトリガーのテストがほぼ完了
- トリガーレート ~600Hz
- Cut efficiency ~40%
- 約200万の $\pi^+ \rightarrow e^+$ 事象のデータを取得
(最終目標600万、前実験は20万)

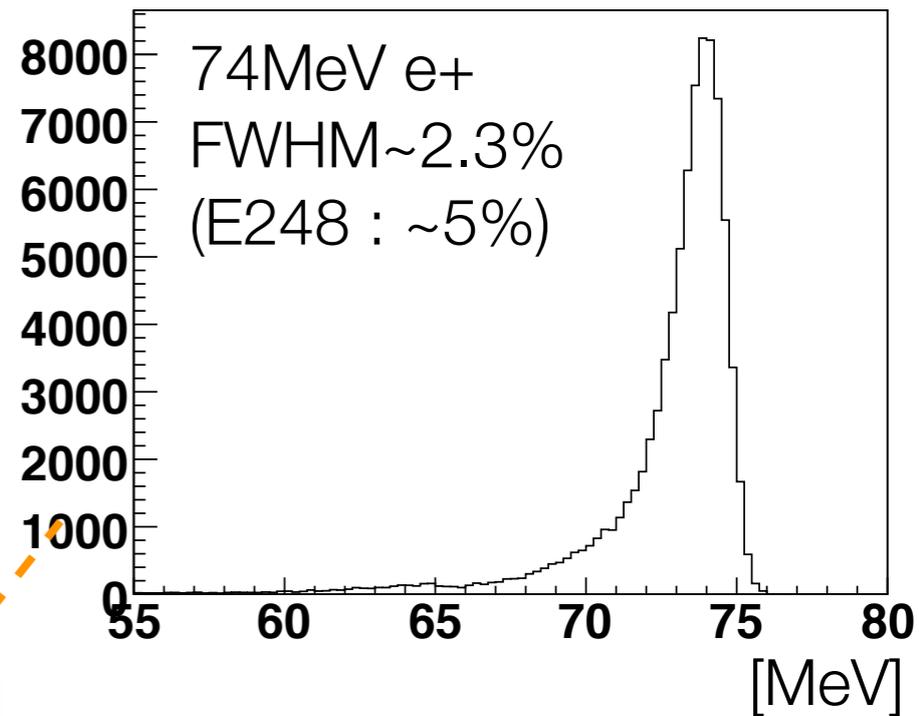


検出器の性能

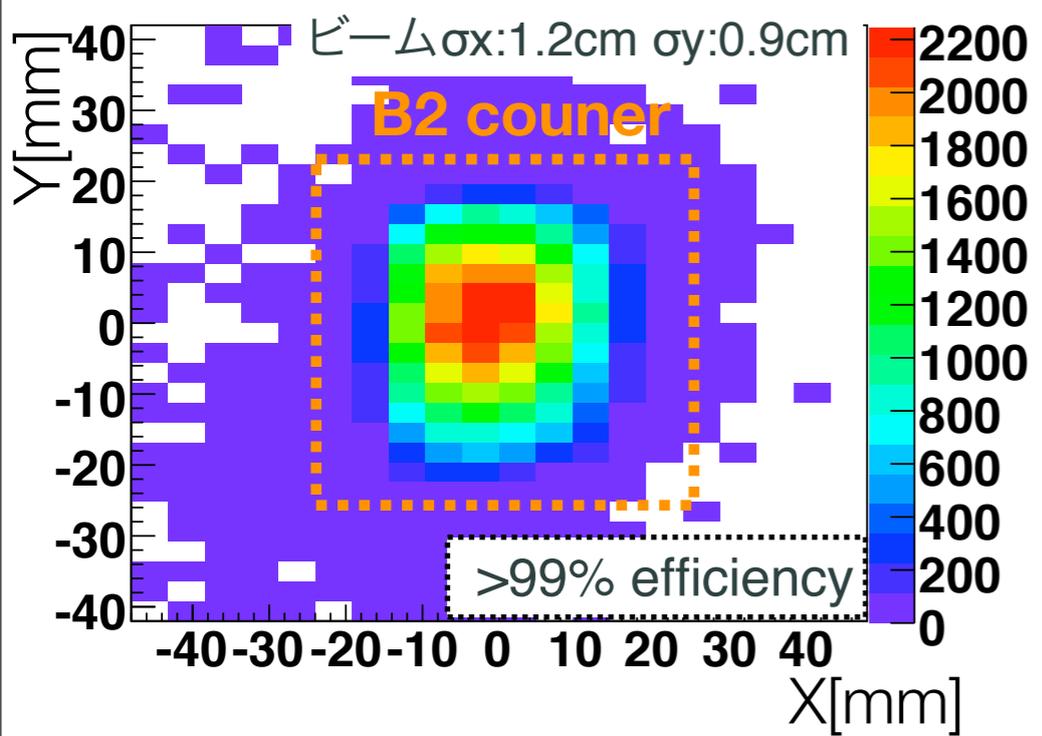
- NaI
 - 2.3%(FWHM) w/ 74MeV e+
- WC
 - e+検出効率99%以上
- シリコン
 - e+検出効率99%以上



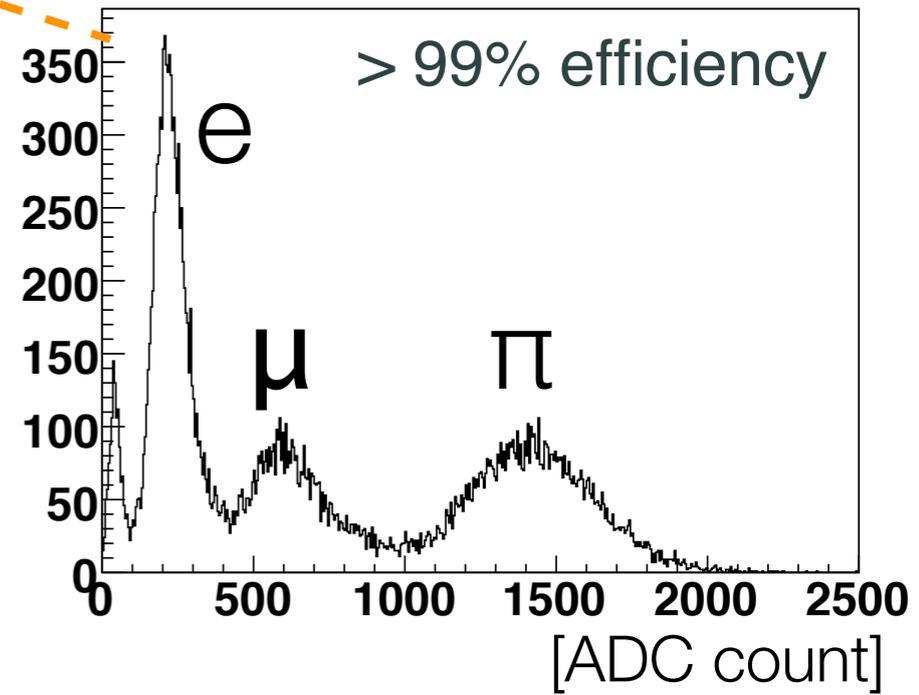
NaI energy spectrum



Beam profile with WC1



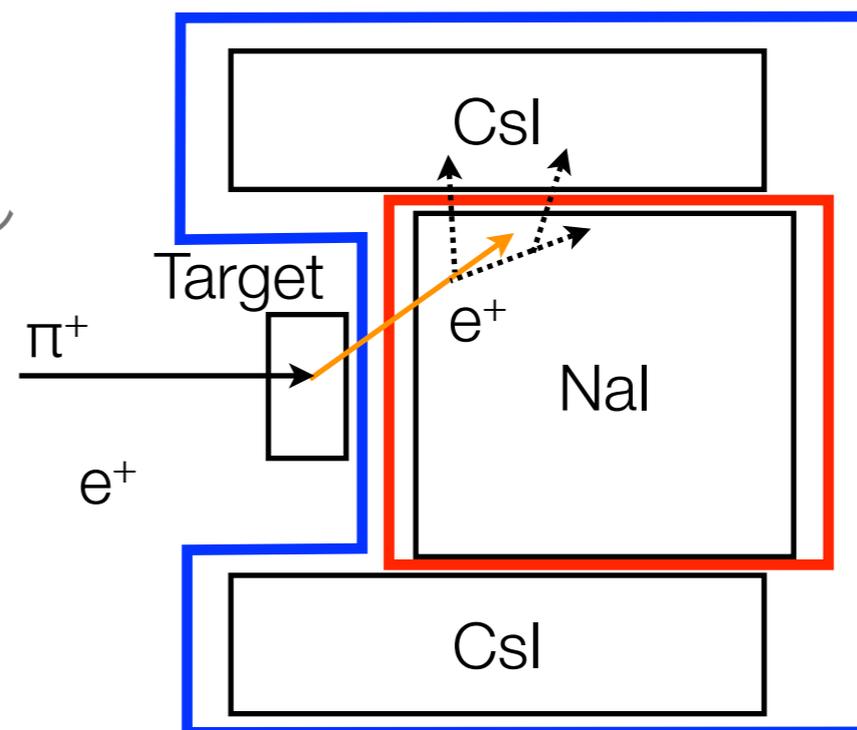
Si-strip energy deposit



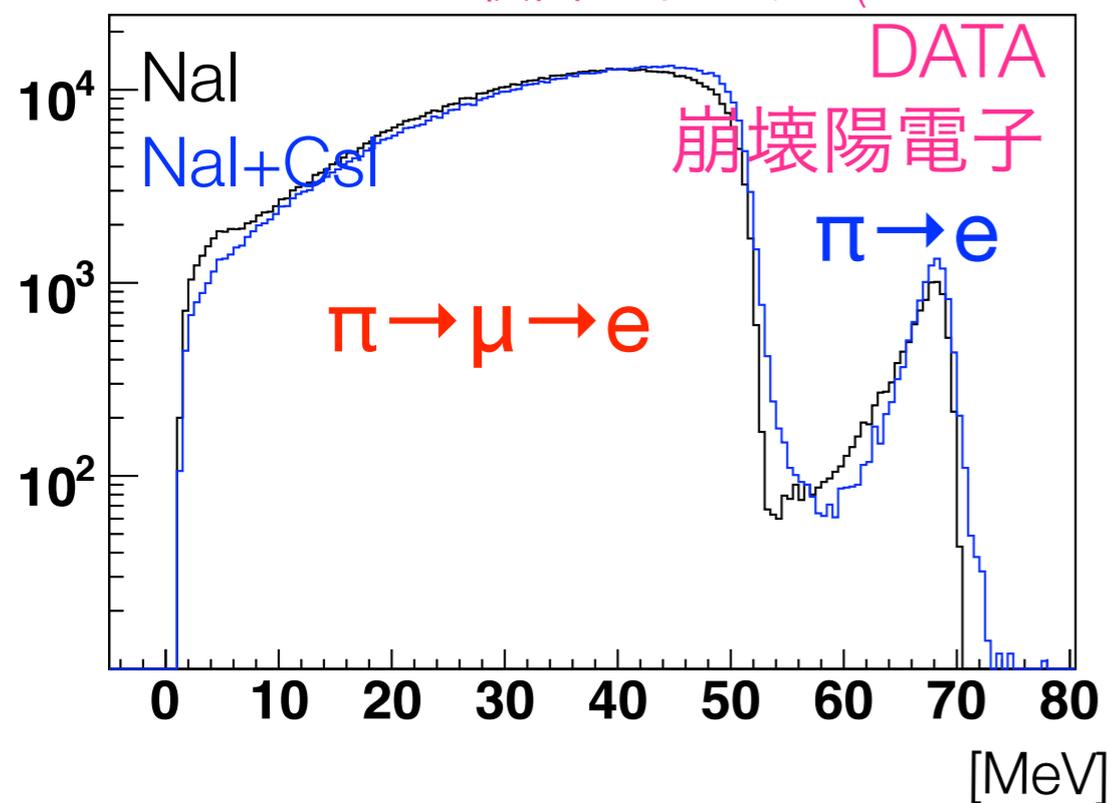


シャワーリークの検出

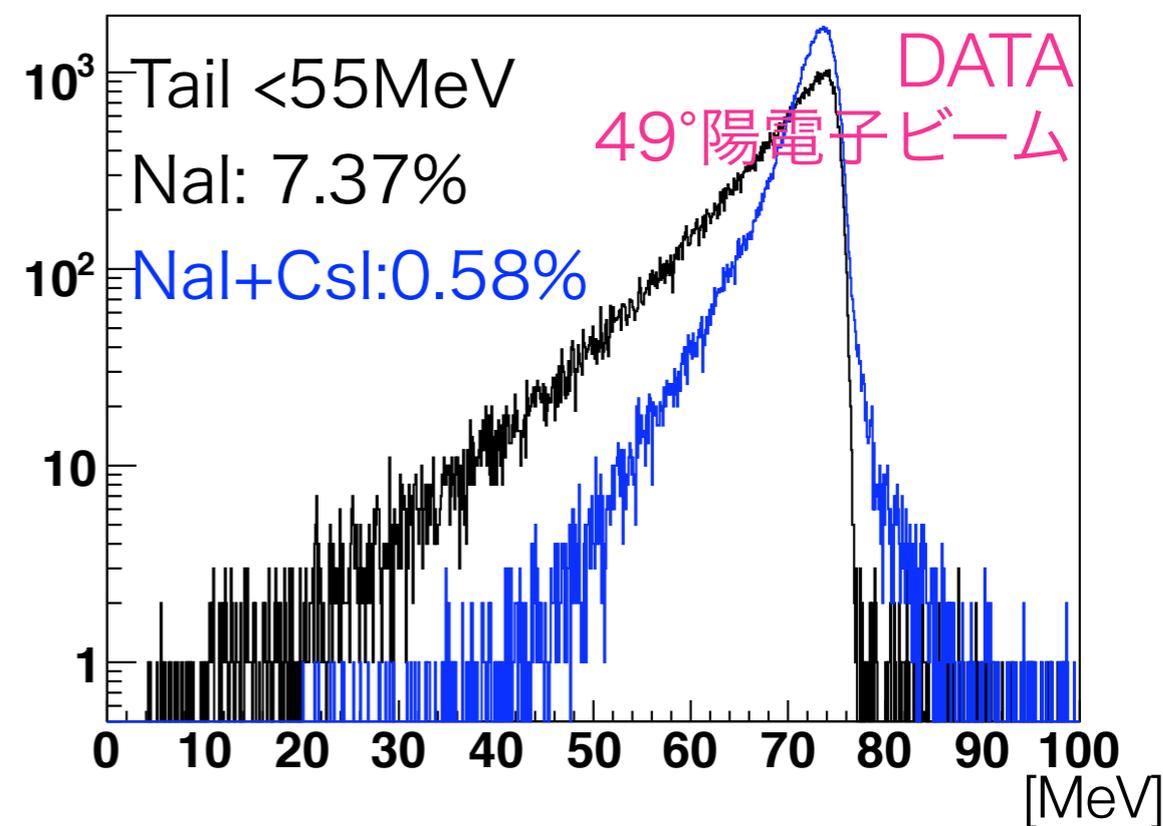
- CsIによるシャワーリークの検出
- 崩壊陽電子のエネルギー分布でテール減っていることを確認
- $\sim 50^\circ$ の陽電子ビームでテールが7.4% \rightarrow 0.6%になることを確認
- MCの予想とコンシステント



カロリメータでの検出エネルギー($\Delta t=6\sim 30\text{ns}$)



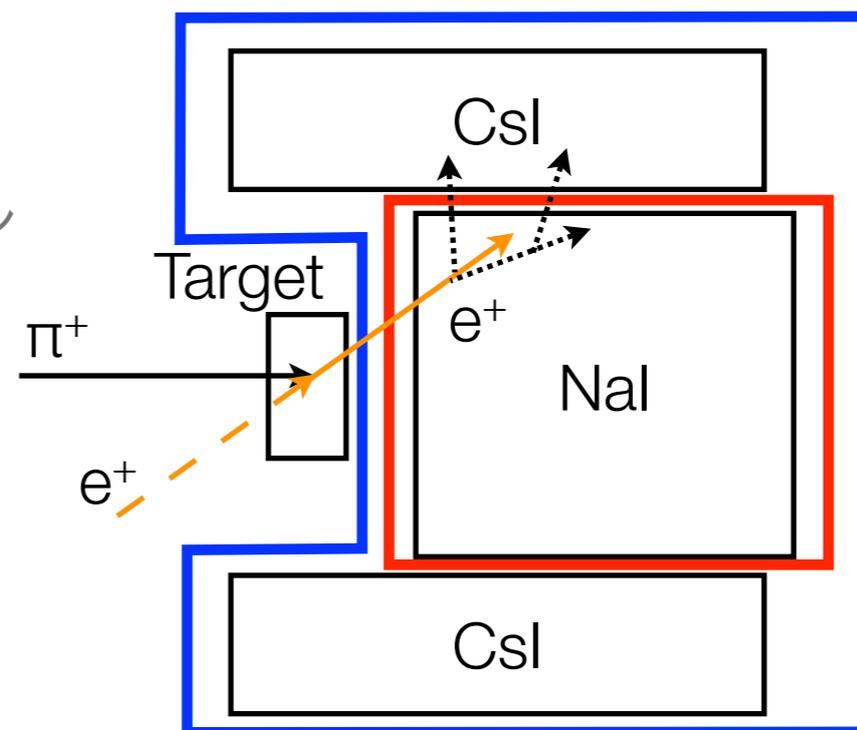
カロリメータでの検出エネルギー



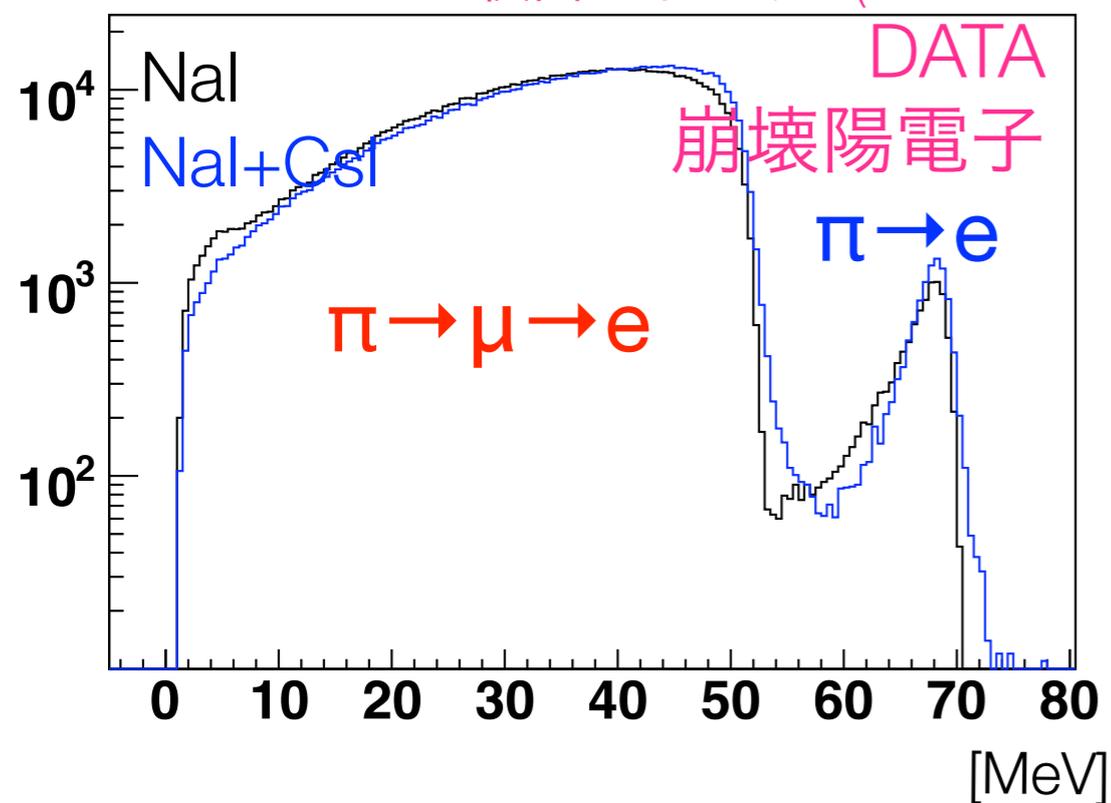


シャワーリークの検出

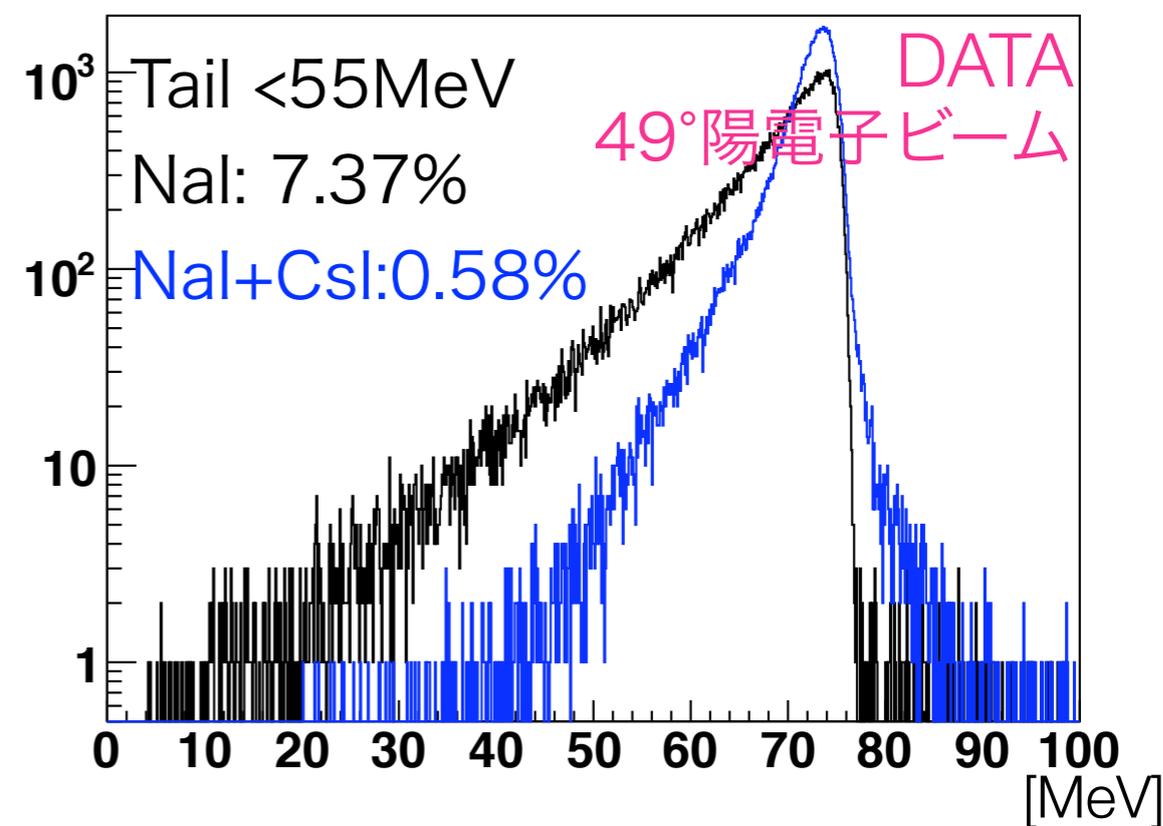
- CsIによるシャワーリークの検出
- 崩壊陽電子のエネルギー分布でテール減っていることを確認
- $\sim 50^\circ$ の陽電子ビームでテールが7.4% \rightarrow 0.6%になることを確認
- MCの予想とコンシステント



カロリメータでの検出エネルギー($\Delta t=6\sim 30\text{ns}$)



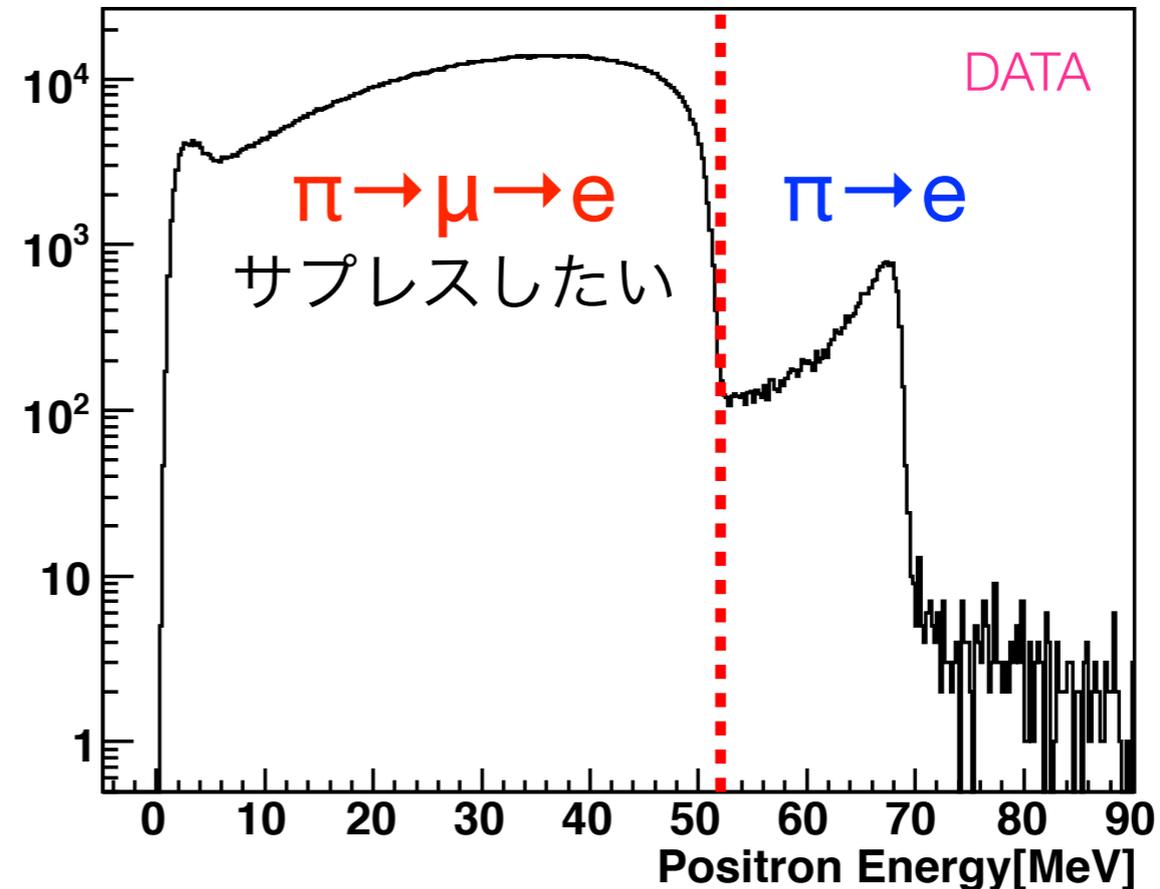
カロリメータでの検出エネルギー



$\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ サプレッション

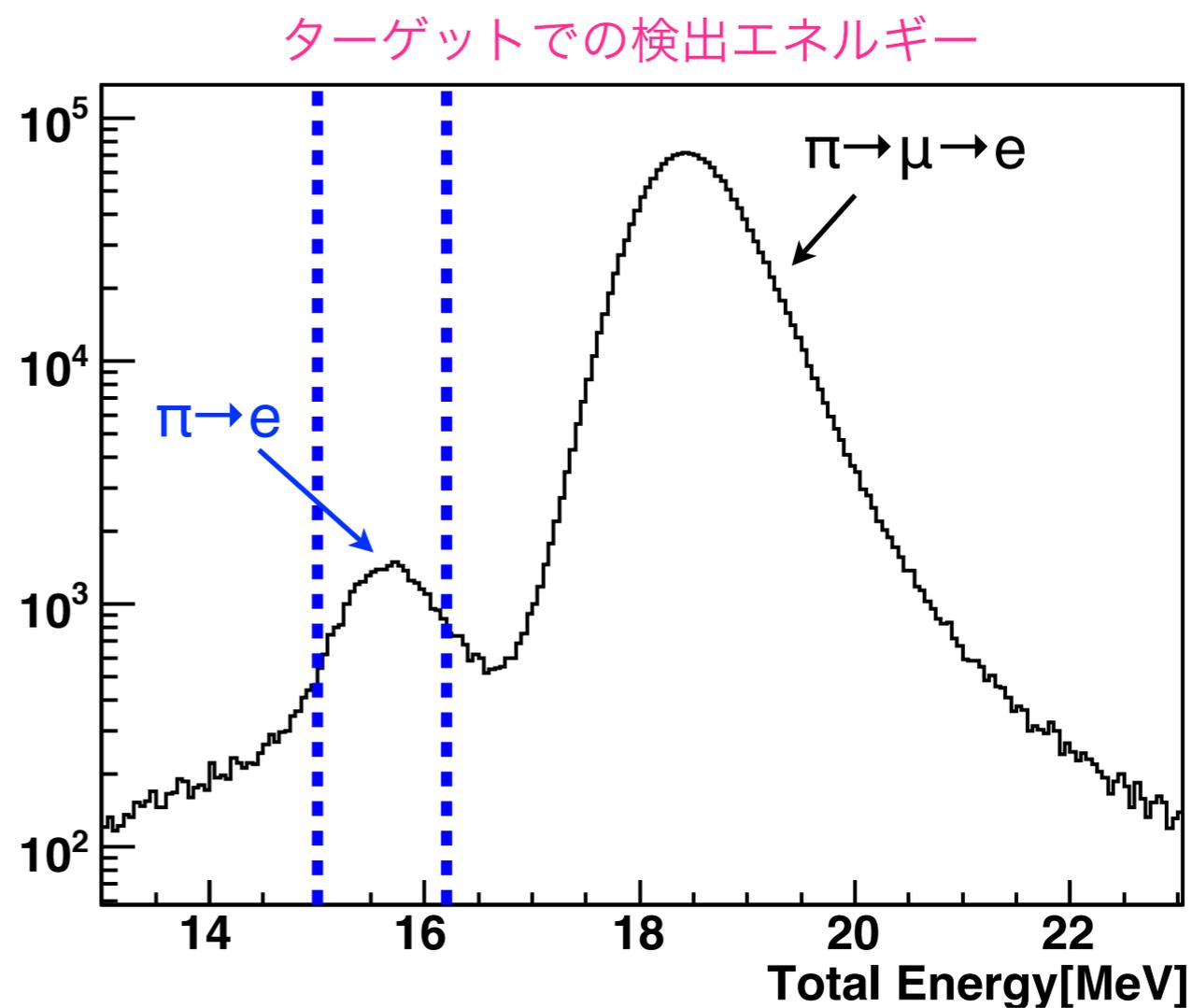
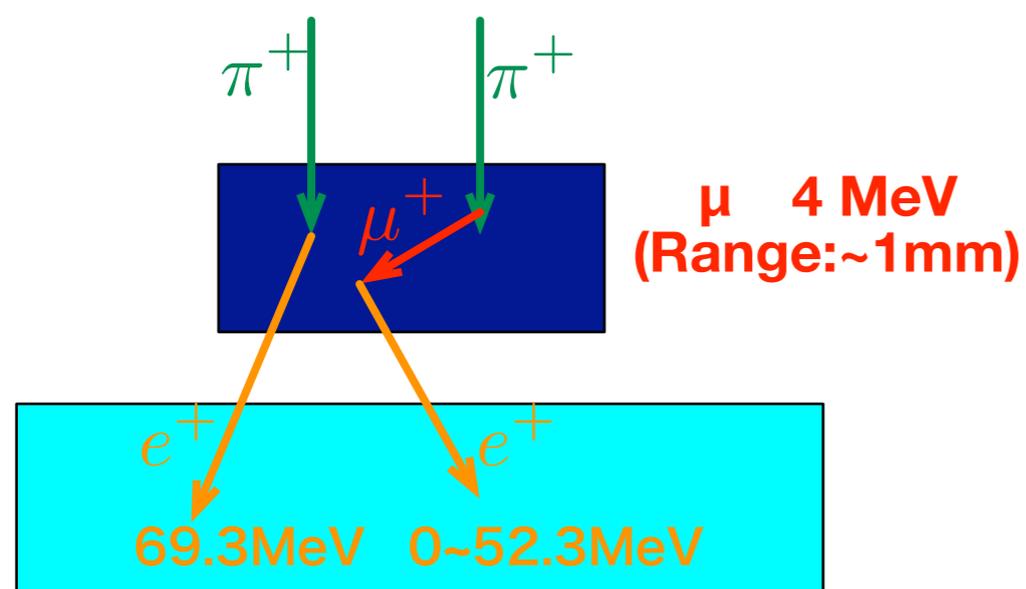
- πe テールの見積り、ニュートリのサーチには $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ のサプレスが必要
- 陽電子エネルギー以外の情報で $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ を識別
 - ターゲットエネルギーカット
 - トラッキング
 - 波形解析カット
- $S = N(52\text{MeV以下}) / N(52\text{MeV以上})$ でサプレッションを評価
 - 前実験は $S = 18\%$

カロリメータでの検出エネルギー ($\Delta t = 6 \sim 30\text{ns}$)

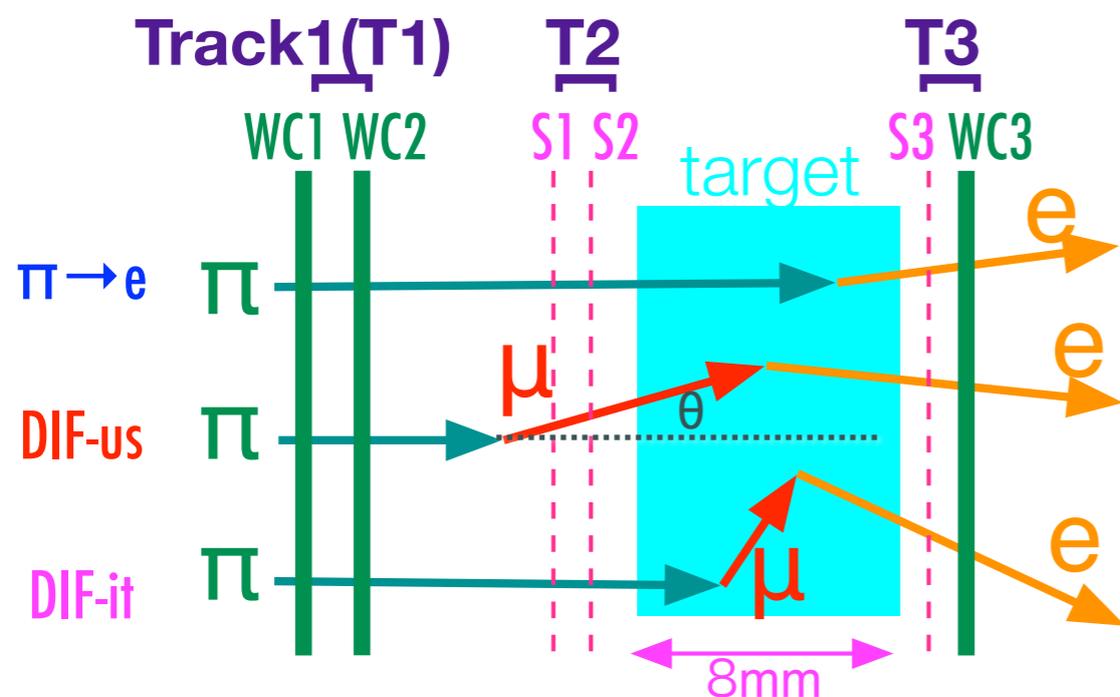


ターゲットエネルギーカット

- ミューオンによる4MeVの差

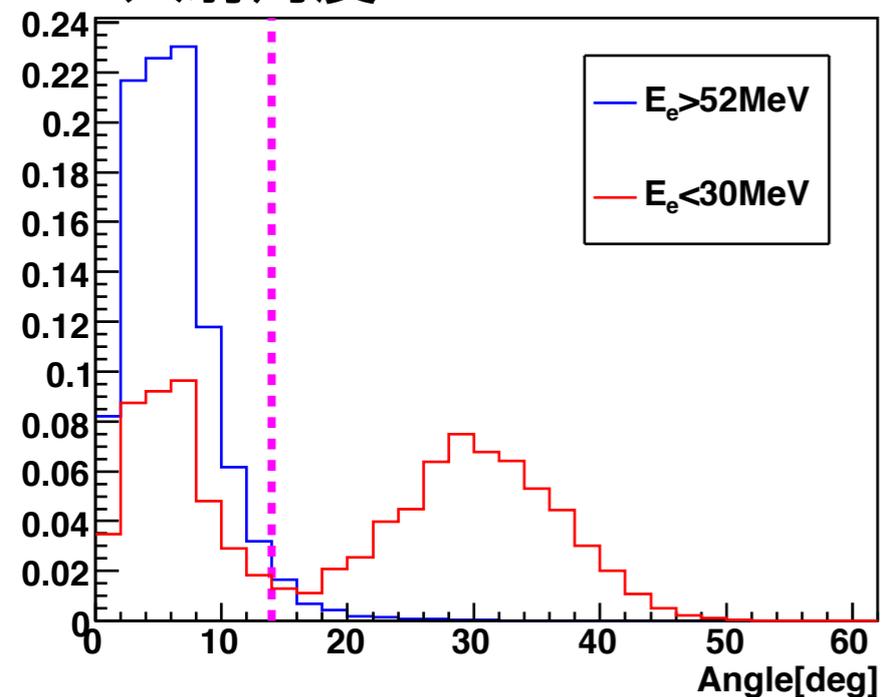


トラッキングカット

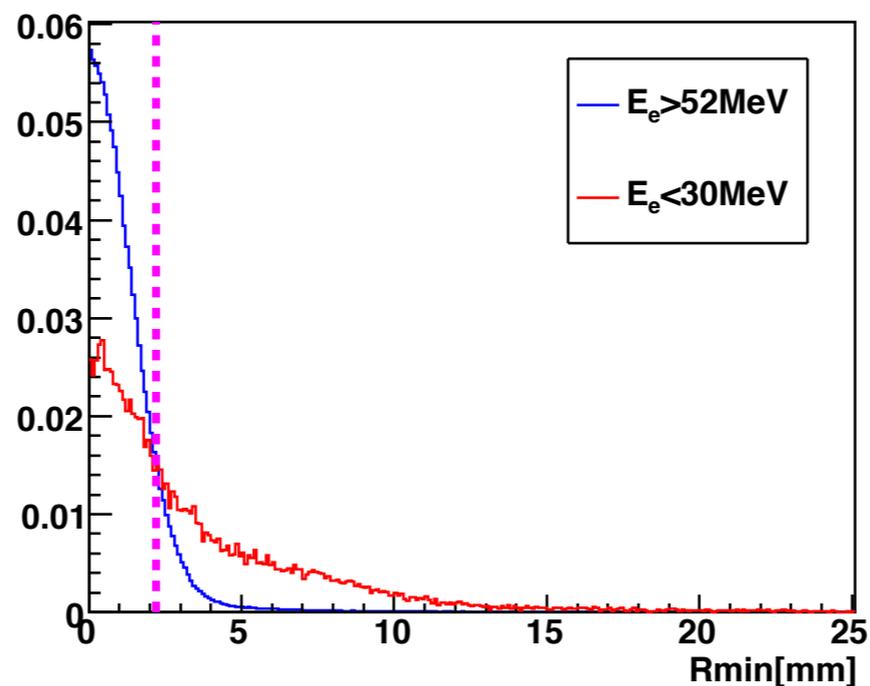


- 入射角度
- 崩壊点再構成

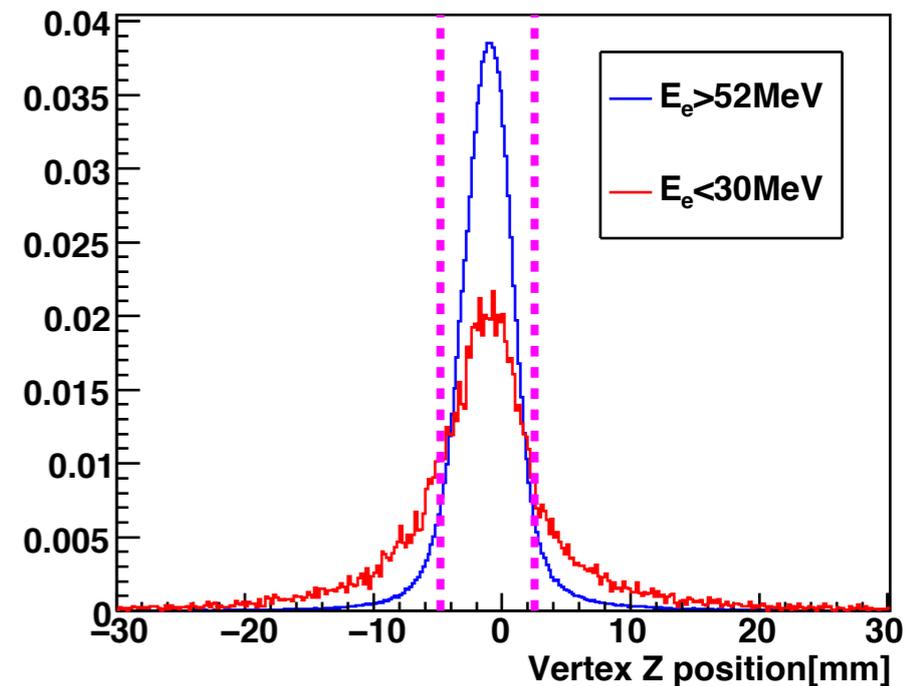
入射角度



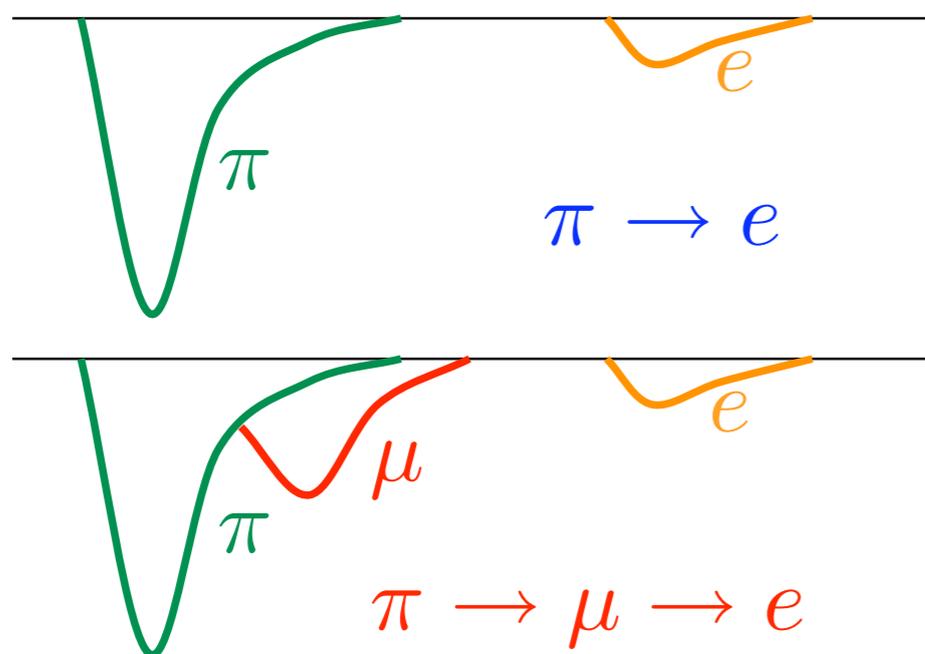
崩壊点最近接距離



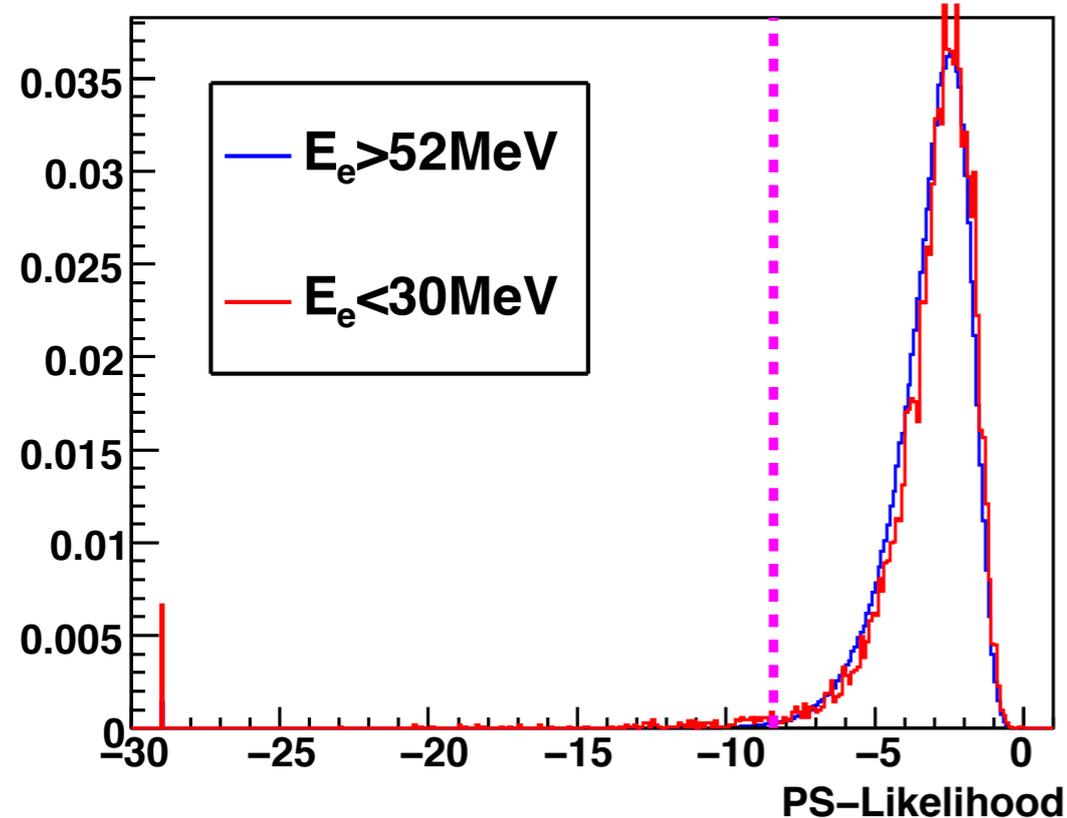
崩壊点のZposition



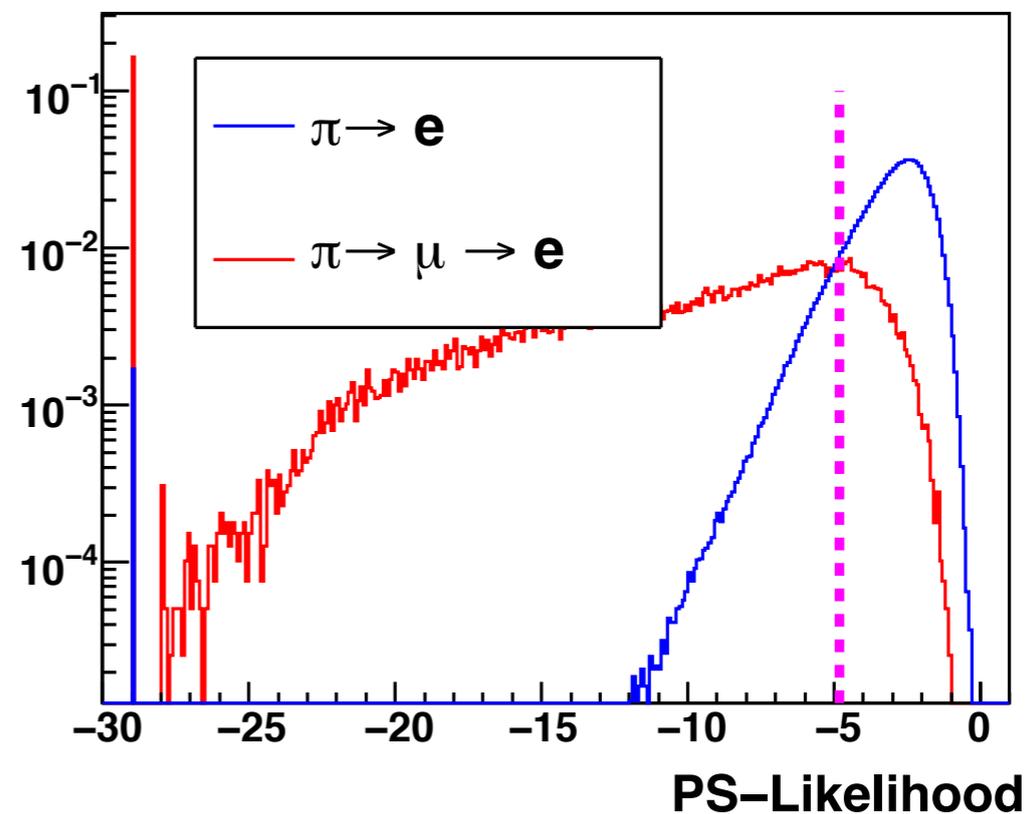
パルスシェープカット



- ターゲットPMTのFADC波形データによるミュオンの検出
- フィッティングからLikelihoodを定義
- あまり効いてない。
 - 残りのBGがDIFであることを示唆



DARサンプル

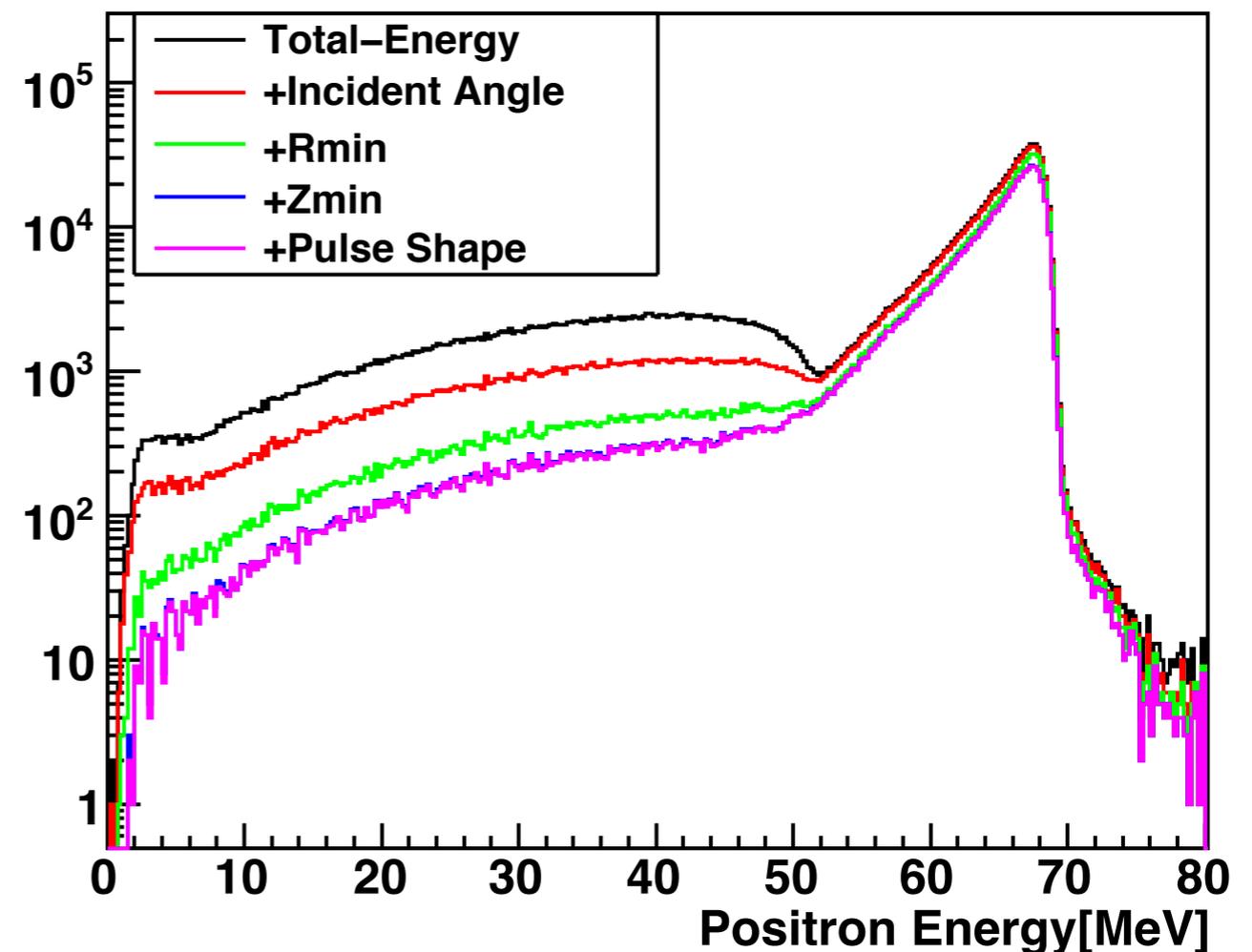


サプレススペクトル

$N(<52\text{MeV})/N(>52\text{MeV})$

- 7.7%を達成。
- 7.7%はpieテールも含む
- 前実験より二倍改善
- カット後の統計は前実験の4倍

Cut	$\pi e(>52\text{MeV})$ efficiency	$N_{<52\text{MeV}}/N_{>52\text{MeV}}$
Total-Energy	80%	40.1%
+Incident-Angle	77%	21.2%
+Rmin	65%	10.5%
+Zmin	56%	7.8%
+PS	56%	7.7%



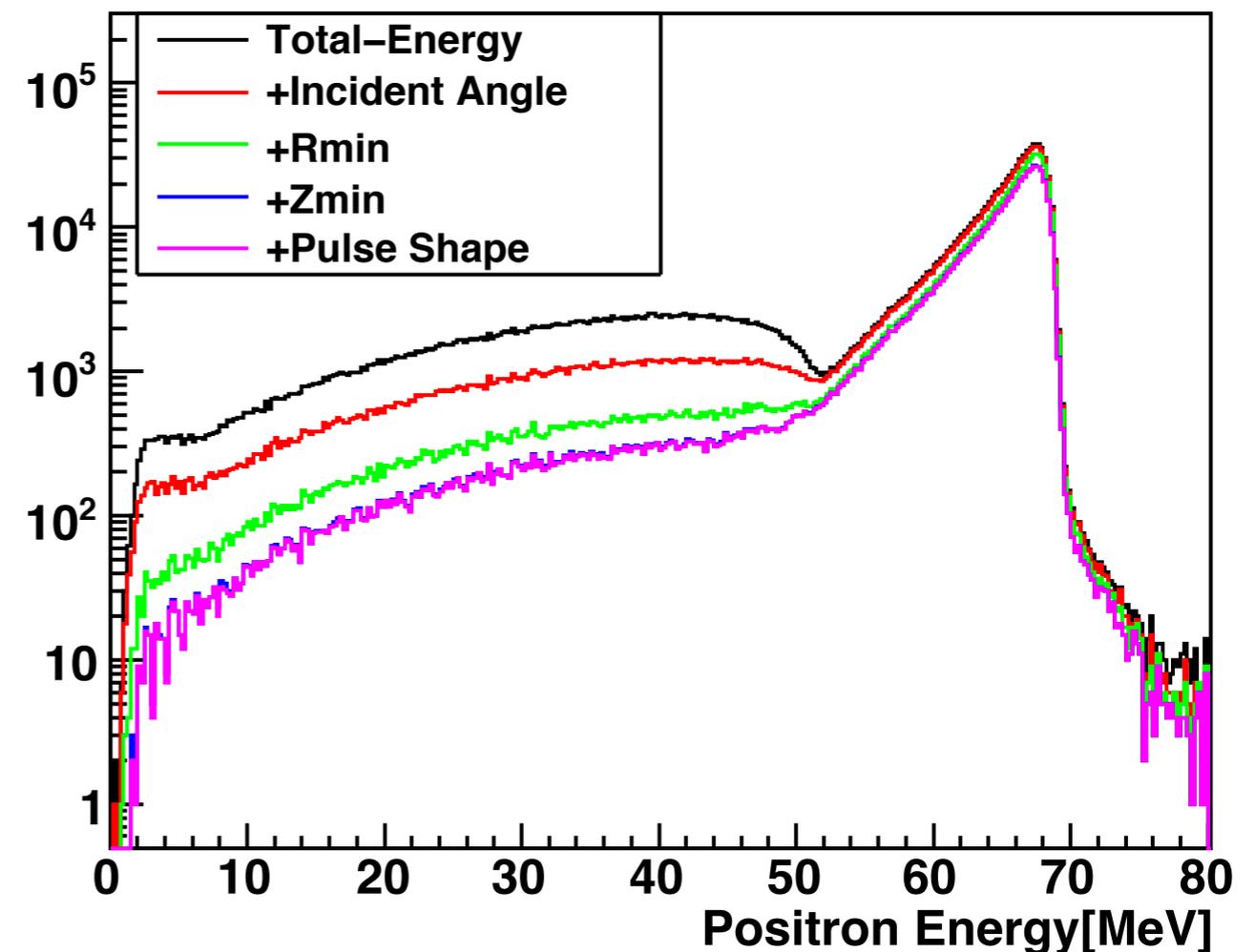
サプレススペクトル

$N(<52\text{MeV})/N(>52\text{MeV})$

- 7.7%を達成。
- 7.7%はpieテールも含む
- 前実験より二倍改善
- カット後の統計は前実験の4倍

Cut	$\pi e(>52\text{MeV})$ efficiency	$N_{<52\text{MeV}}/N_{>52\text{MeV}}$
Total-Energy	80%	40.1%
+Incident-Angle	77%	21.2%
+Rmin	65%	10.5%
+Zmin	56%	7.8%
+PS	56%	7.7%

この陽電子エネルギースペクトルを用いたMassive neutrino searchがD論のテーマ



サプレススペクトル

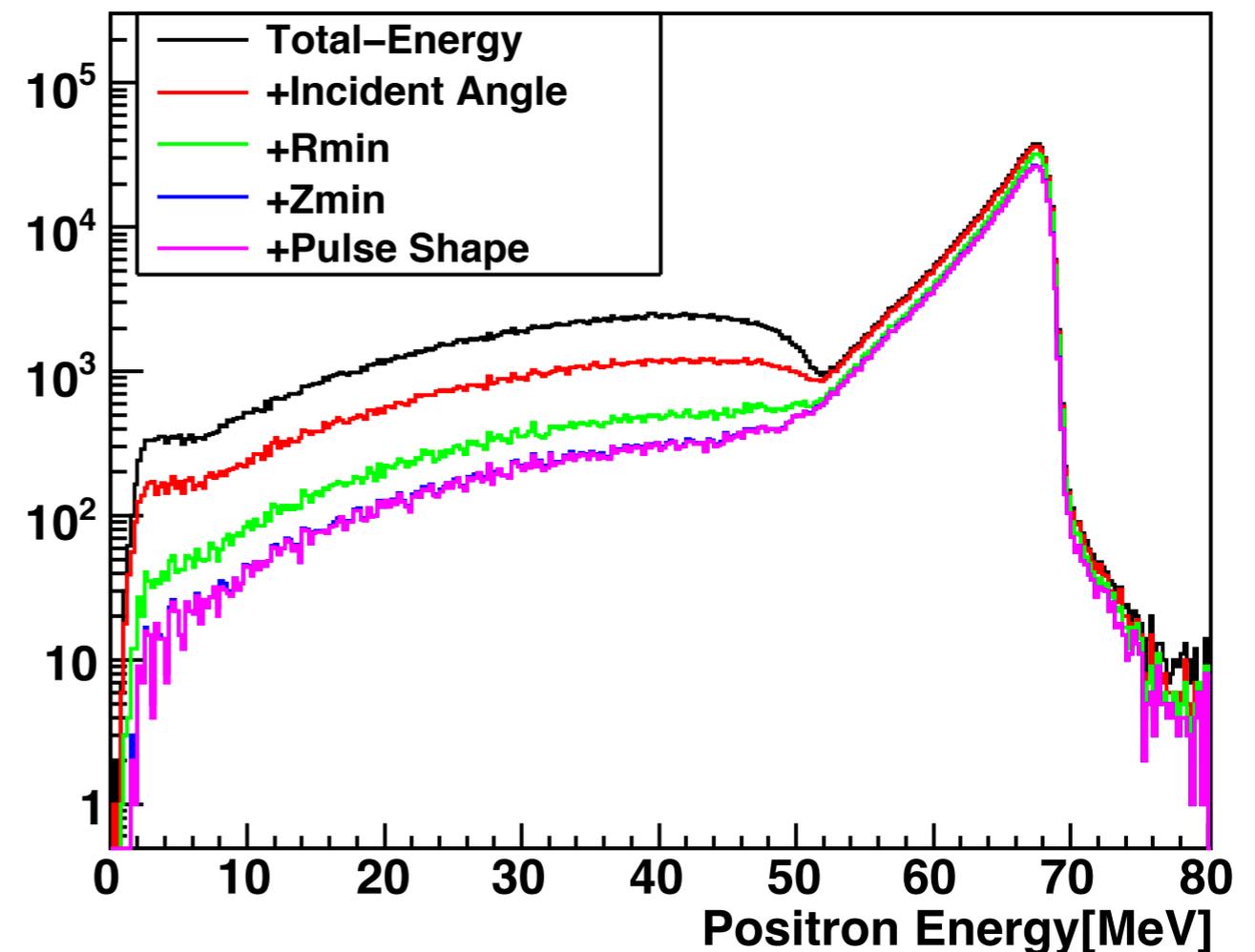
$N(<52\text{MeV})/N(>52\text{MeV})$

- 7.7%を達成。
- 7.7%はpieテールも含む
- 前実験より二倍改善
- カット後の統計は前実験の4倍

Cut	$\pi e(>52\text{MeV})$ efficiency	$N_{<52\text{MeV}}/N_{>52\text{MeV}}$
Total-Energy	80%	40.1%
+Incident-Angle	77%	21.2%
+Rmin	65%	10.5%
+Zmin	56%	7.8%
+PS	56%	7.7%

この陽電子エネルギースペクトルを用いたMassive neutrino searchがD論のテーマ

2月頭のD論公聴会にいるはずなので、ぜひ話をききにきてください。





まとめと今後

まとめ

- 分岐比 $R = \Gamma(\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e) / \Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)$ を **0.1%以下** の精度で測定することを目指した **PIENU実験** がカナダTRIUMF研究所で行われている。
- NaIのまわりを囲う**CsIリング**によるシャワーリークの検出、ターゲット前後の**シリコン検出器**による**トラッキング**などにより**統計30倍**、**系統誤差1/5**が期待。
- 2009年4月～8月に**エンジニアリングラン**を行い、 $\pi^+ \rightarrow e^+$ 崩壊を**200万事象**(最終目標: 600万)のデータを取得。
- $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ のサプレスが前実験に比べて2倍程よくなっていることを確認された。
- 現在D論を鋭意製作中。

今後

2010年

- 4月～11月 **プロダクションラン**(前実験の30倍)

2010年

- 4月～11月 **プロダクションラン**(前実験の60倍??)

おまけ

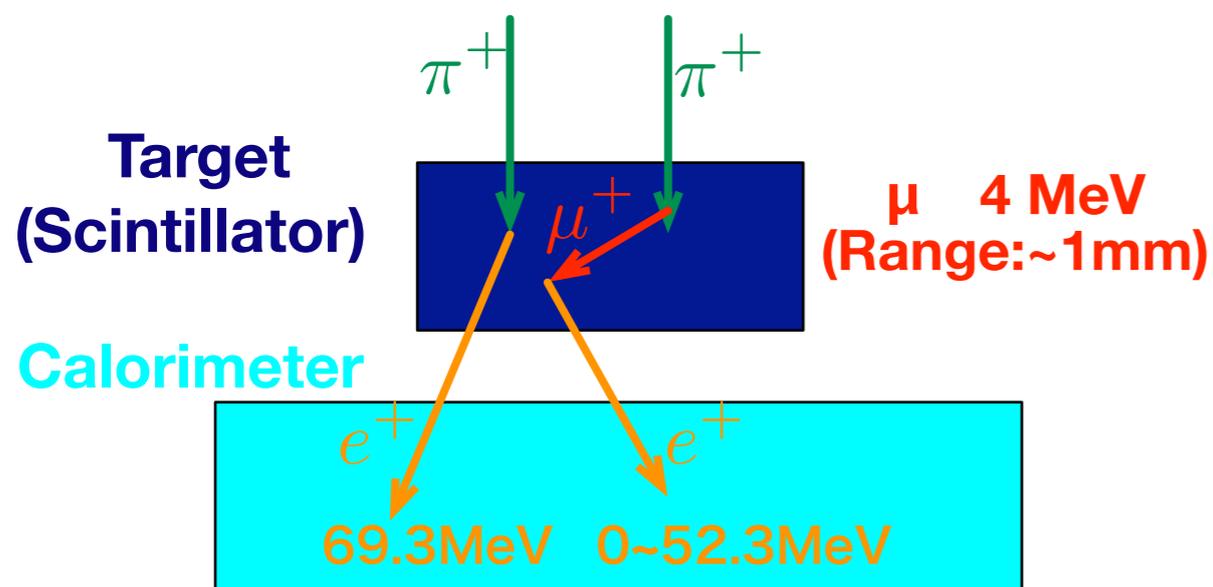




PIENU

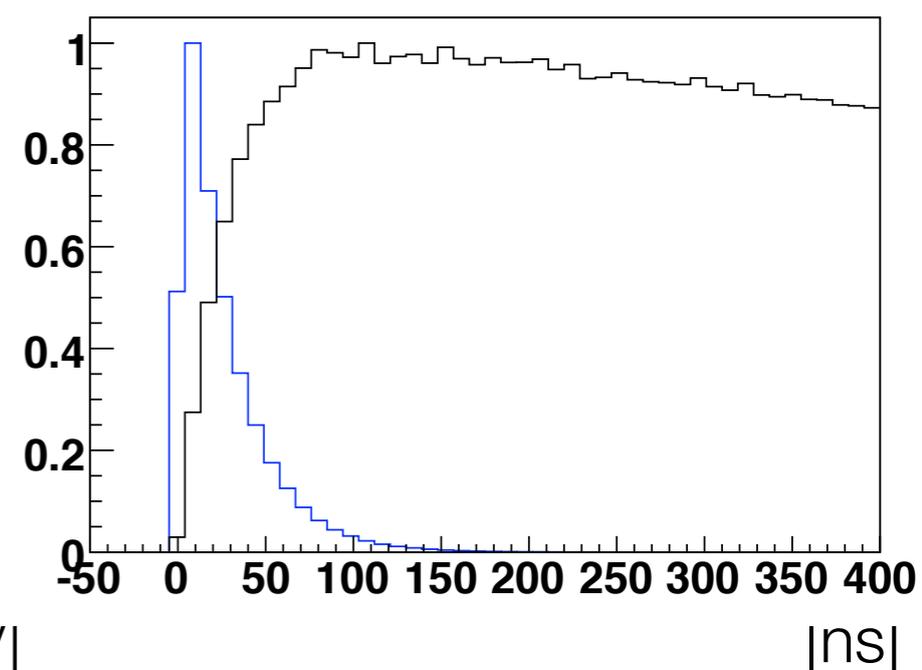
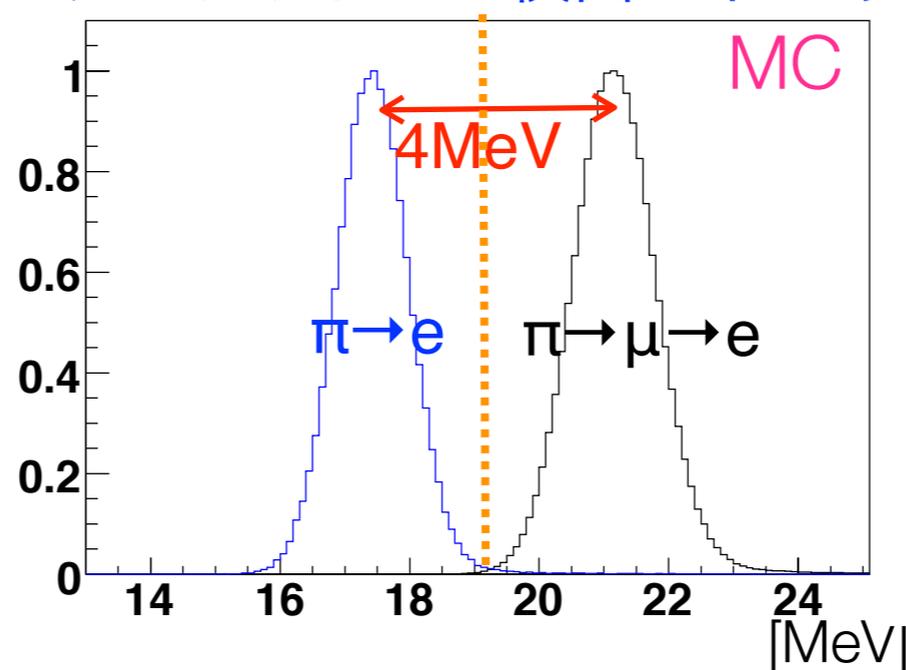
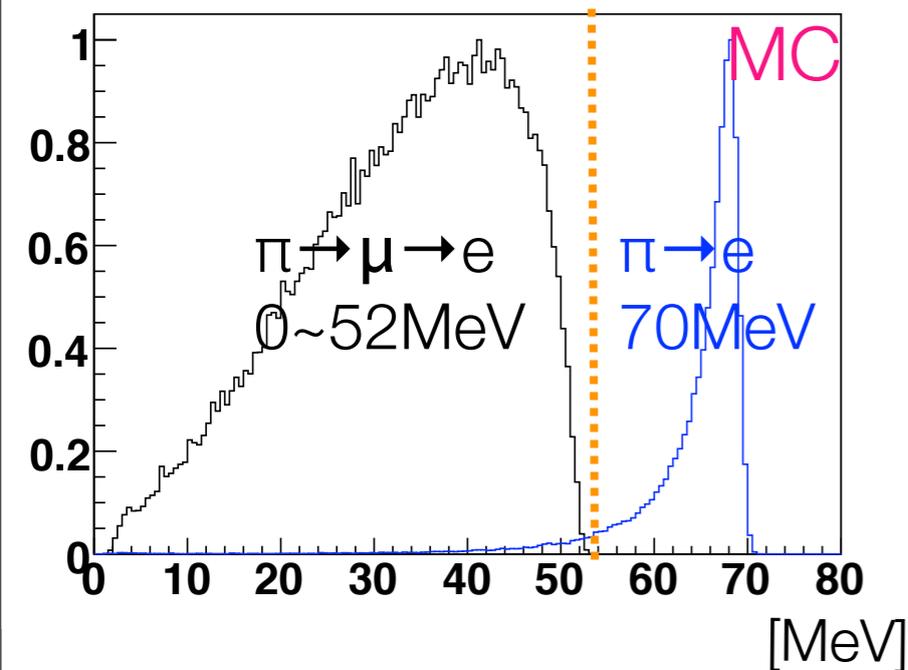
Backup

測定原理

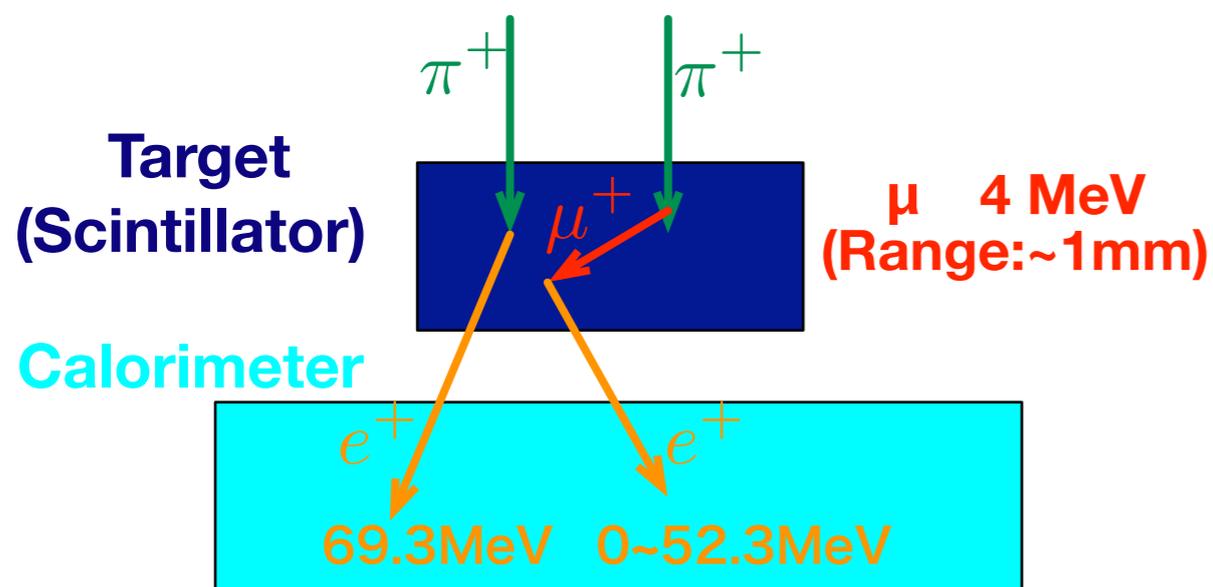


- 崩壊モード識別
 - カロリメーターでの検出エネルギー
 - ターゲットでの検出エネルギー
- Raw branching ratioの算出
 - タイムスペクトルの同時フィット
- Raw branching ratioの補正
 - テール補正 (最も大きい誤差要因)
 - シャワーリーク
 - パイオンのdecay in flight(DIF)
 - その他の補正

カロリメーターでの検出エネルギー ターゲットでの検出エネルギー タイムスペクトル ($\tau_{\pi^+} - \tau_{e^+}$)

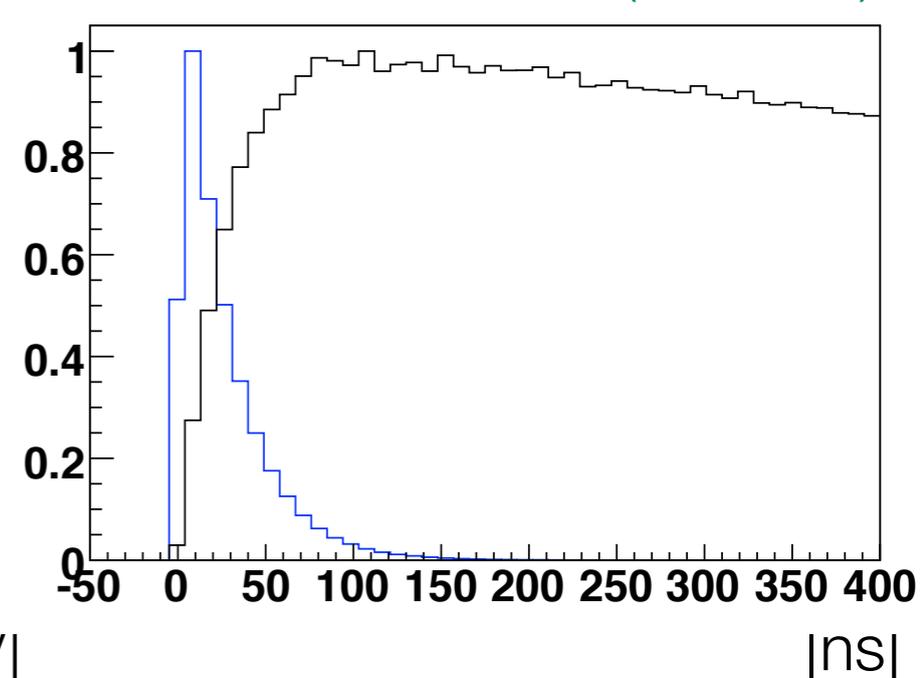
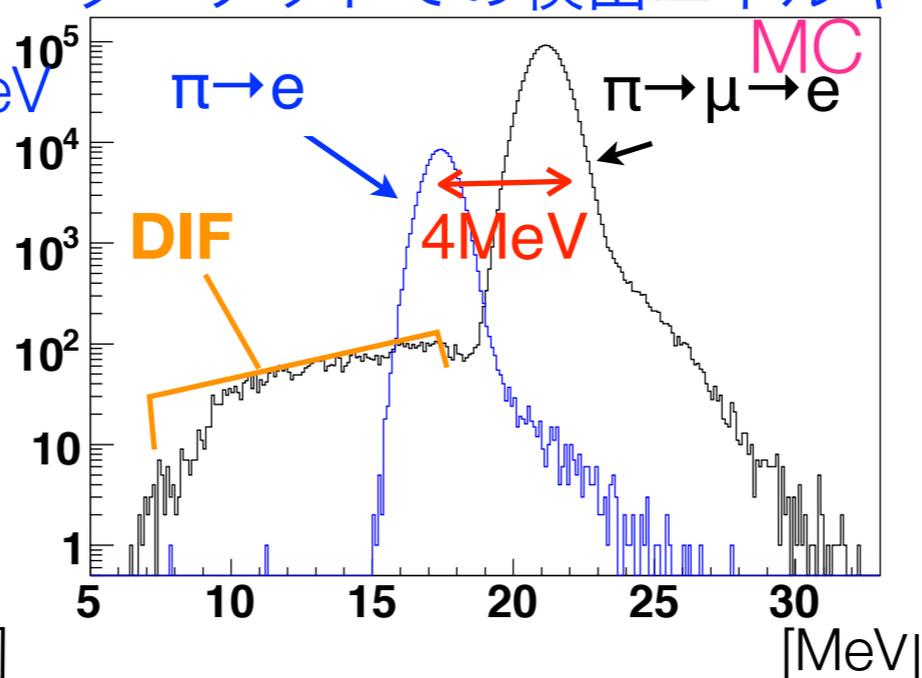
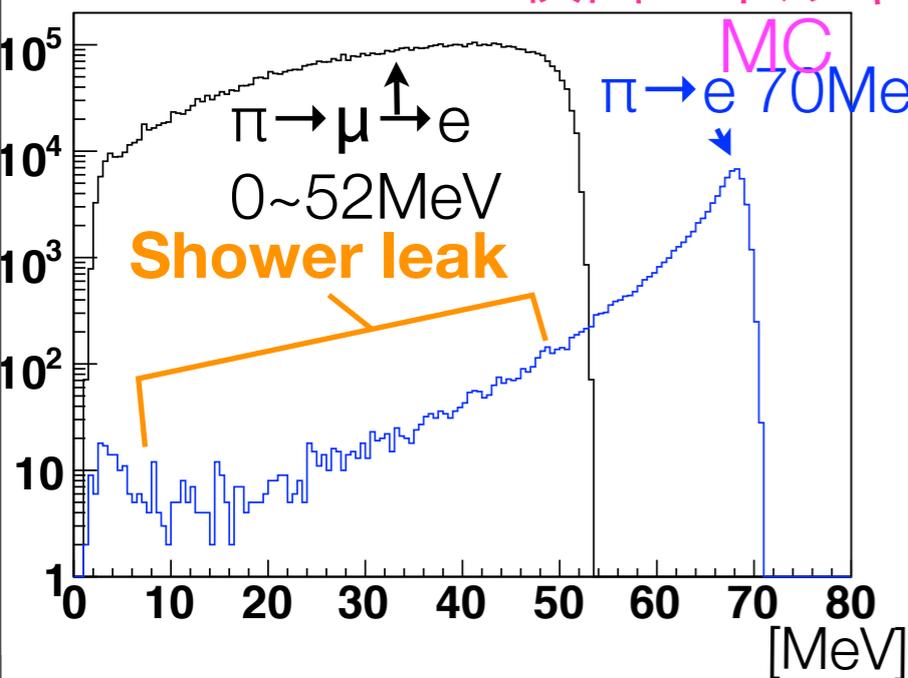


測定原理

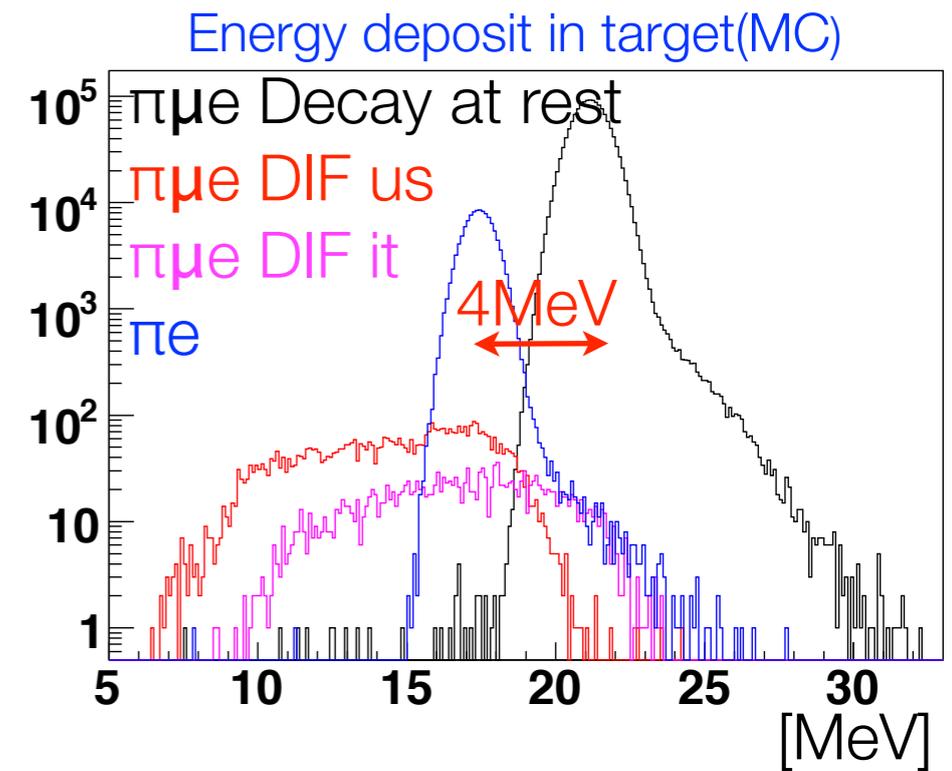
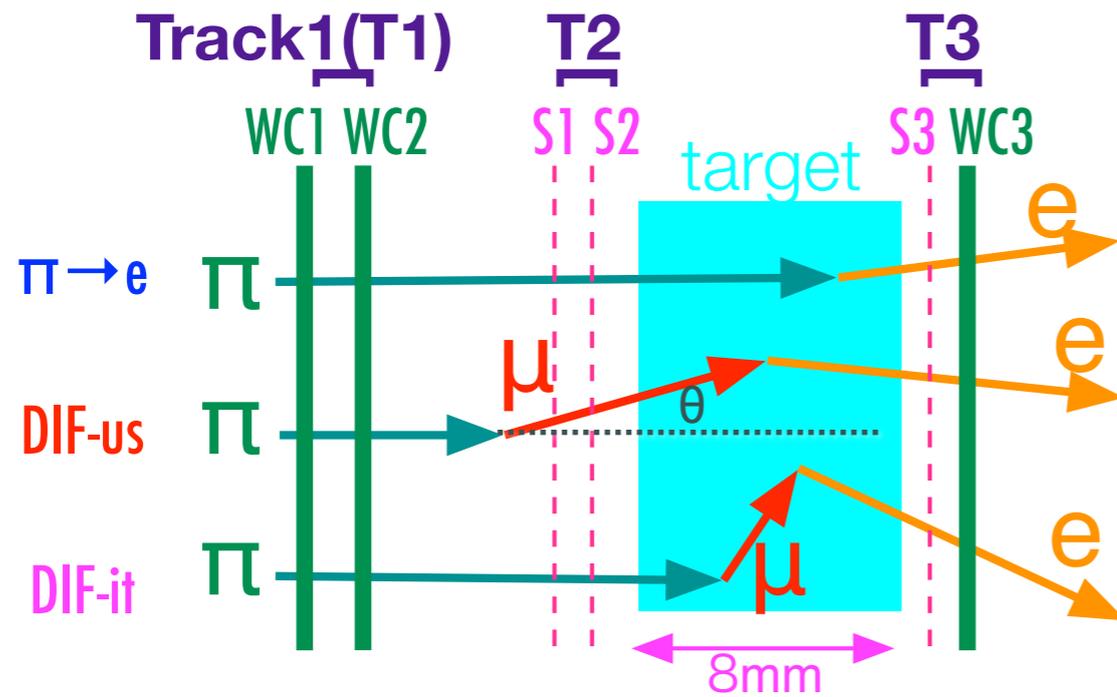


- 崩壊モード識別
 - カロリメーターでの検出エネルギー
 - ターゲットでの検出エネルギー
- Raw branching ratioの算出
 - タイムスペクトルの同時フィット
- Raw branching ratioの補正
 - テール補正 (最も大きい誤差要因)
 - シャワーリーク
 - パイオンのdecay in flight(DIF)
 - その他の補正

カロリメーターでの検出エネルギー ターゲットでの検出エネルギー タイムスペクトル ($\pi^+ - e^+$)



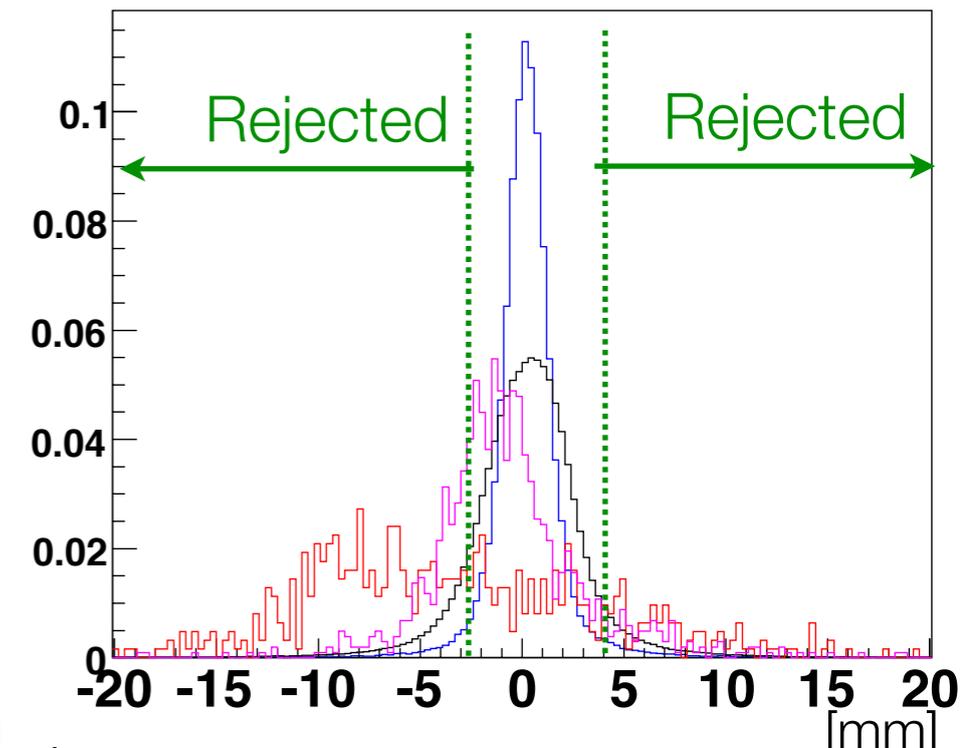
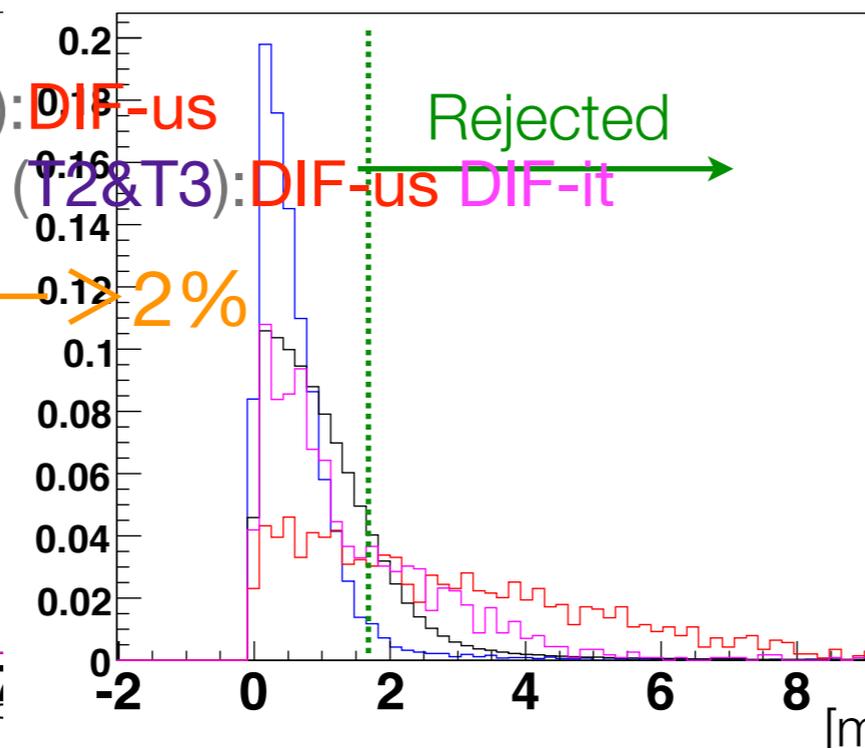
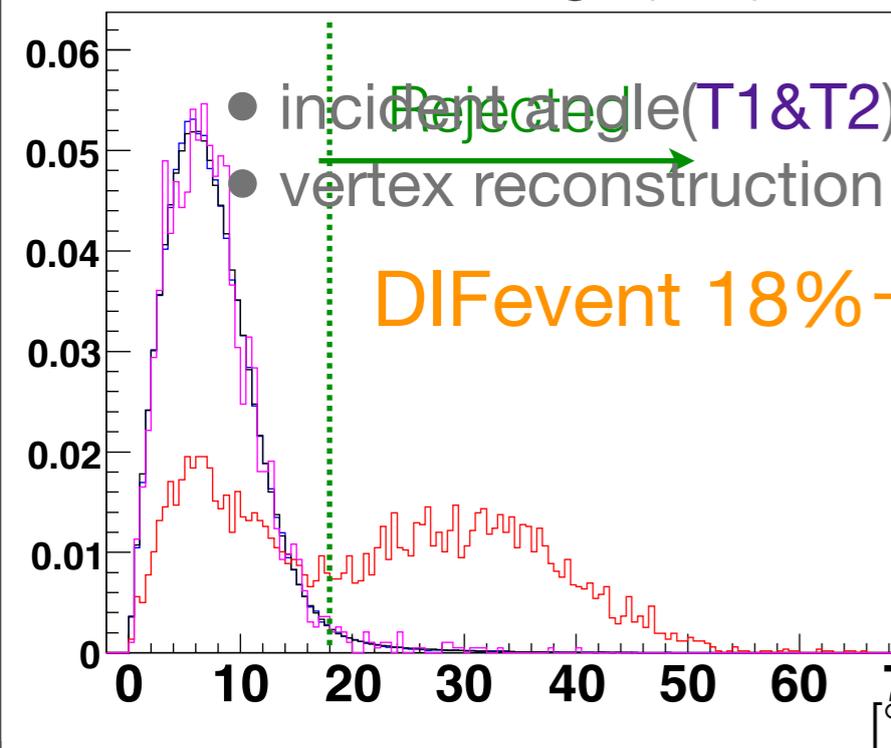
Decay In Flight



incident angle(MC)

Closest approach(MC)

Z position of vertex(MC)



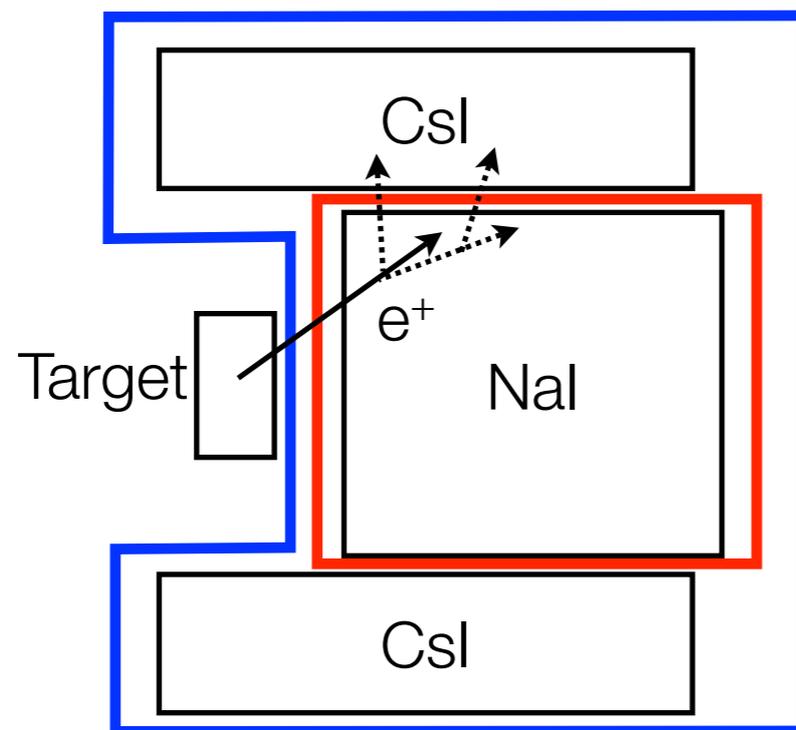


誤差目標

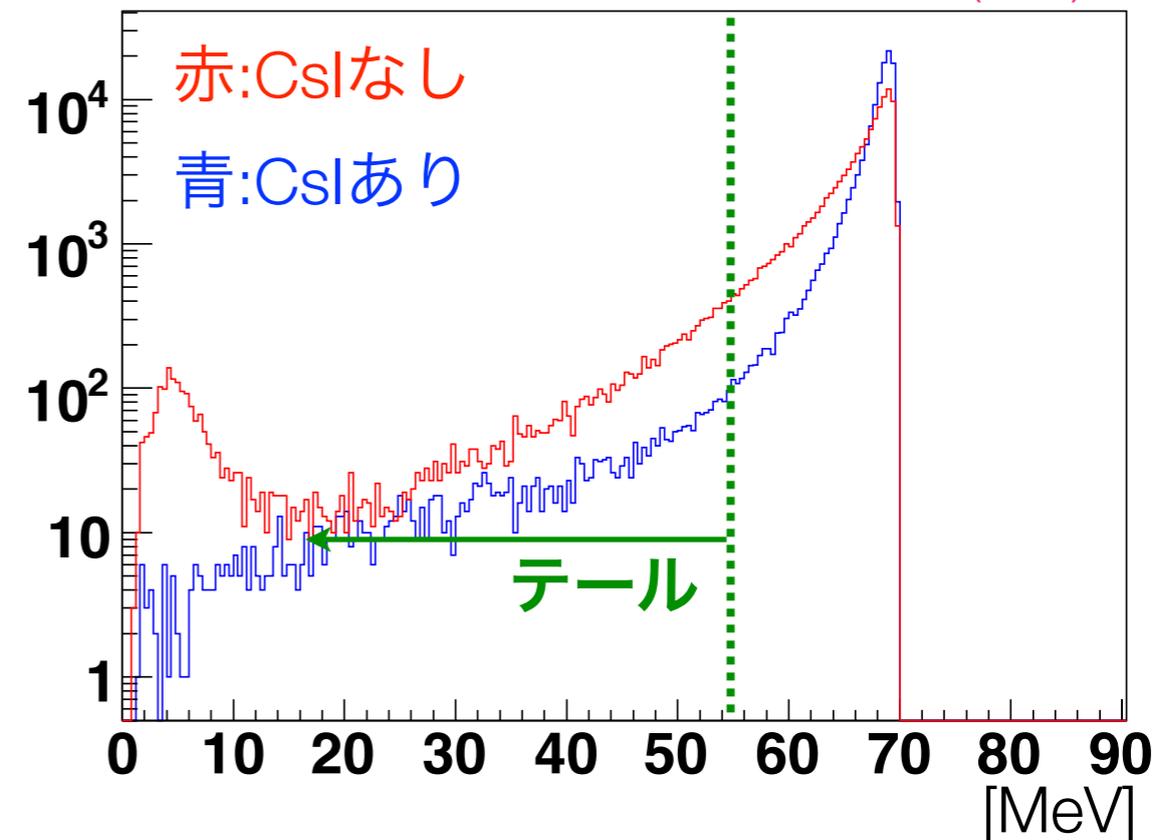
	E248 TRIUMF 1992	PIENU	
統計誤差	0.28%	0.05%	アクセプタンス10倍 & ランタイム3倍
テール補正	0.25%	0.03%	シャワーリークの検出 DIFイベントの削減
アクセプタンス評価	0.11%	0.03%	アクセプタンス増加 MCの改善
パイオン寿命	0.09%	0.03%	最新の実験結果の値を使用
その他	0.11%	0.03%	キャリブレーションの改善、その他
合計	0.5%	0.08%	統計誤差,系統誤差共に1/5以下が目標

シャワーリークの検出

- 立体角増加(2%→20%)により陽電子エネルギーの低エネルギーテール増加(8.6%)
- CsIリングによるシャワーリークの検出



カロリメータでの検出エネルギー(MC)



- **テール** (55MeV以下) : 8.6% → **2.2%**

CsIによりテールの量を前実験と同程度に保ったまま立体角を10倍が期待

TRIUMF E248 : 前実験(~1992)



結果

$$R=1.2265 \pm 0.0034(\text{stat}) \pm 0.0044(\text{sys}) \times 10^{-4}$$

精度:0.5% (stat:0.28%,sys:0.36%)

テール評価の系統誤差が最も支配的(0.25%)

問題点

(1) カロリメータでの検出エネルギー(NaI)

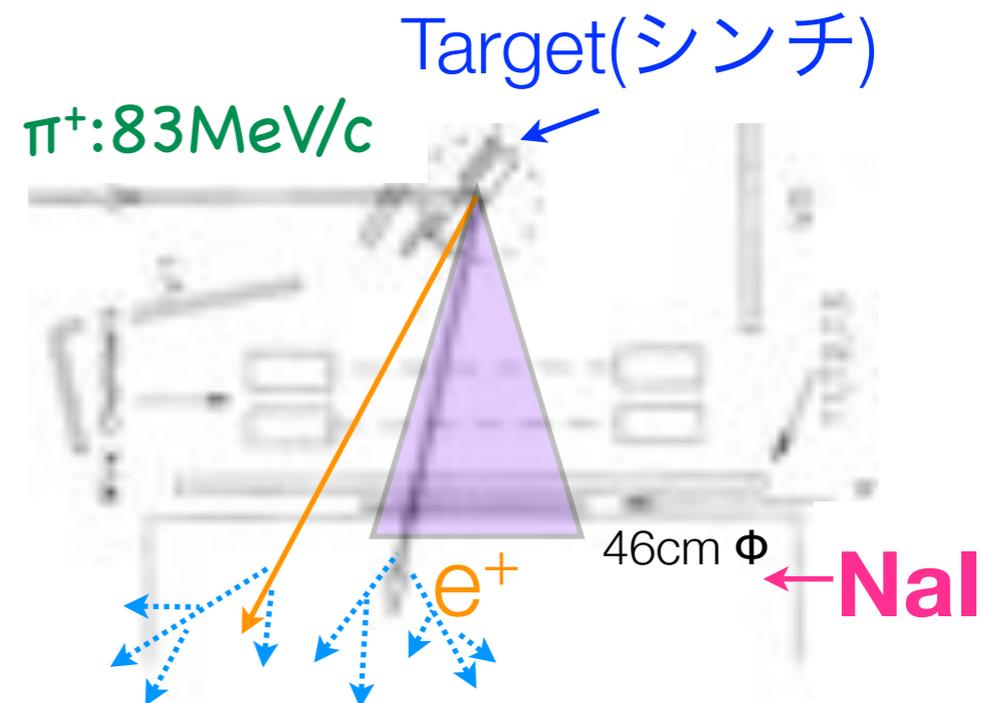
- シャワーリークによるテール(2%)の増加を防ぐため、

陽電子立体角が小さい(4π の2%) ← 統計の限界

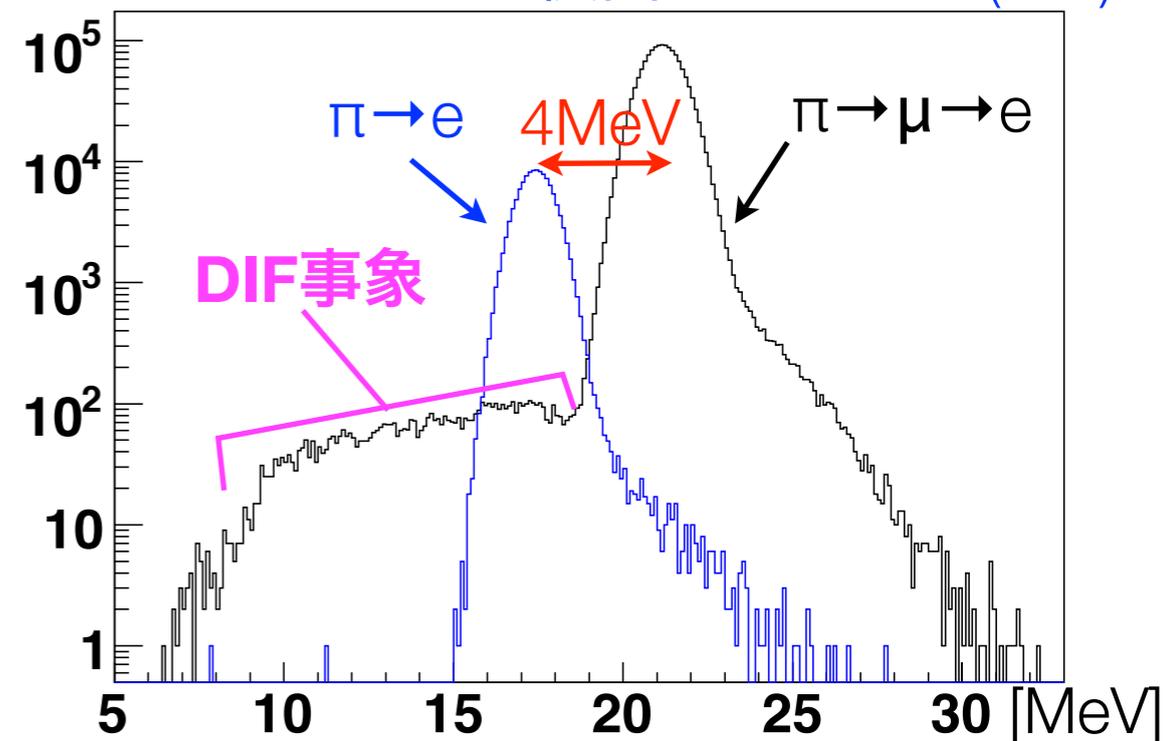
(2) ターゲットでの検出エネルギー

- パイオン **Decay-in-flight(DIF)** による $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ の事象の低エネルギー側への染み出し($\pi \rightarrow e$ 事象の20%)

← テール評価の誤差の原因



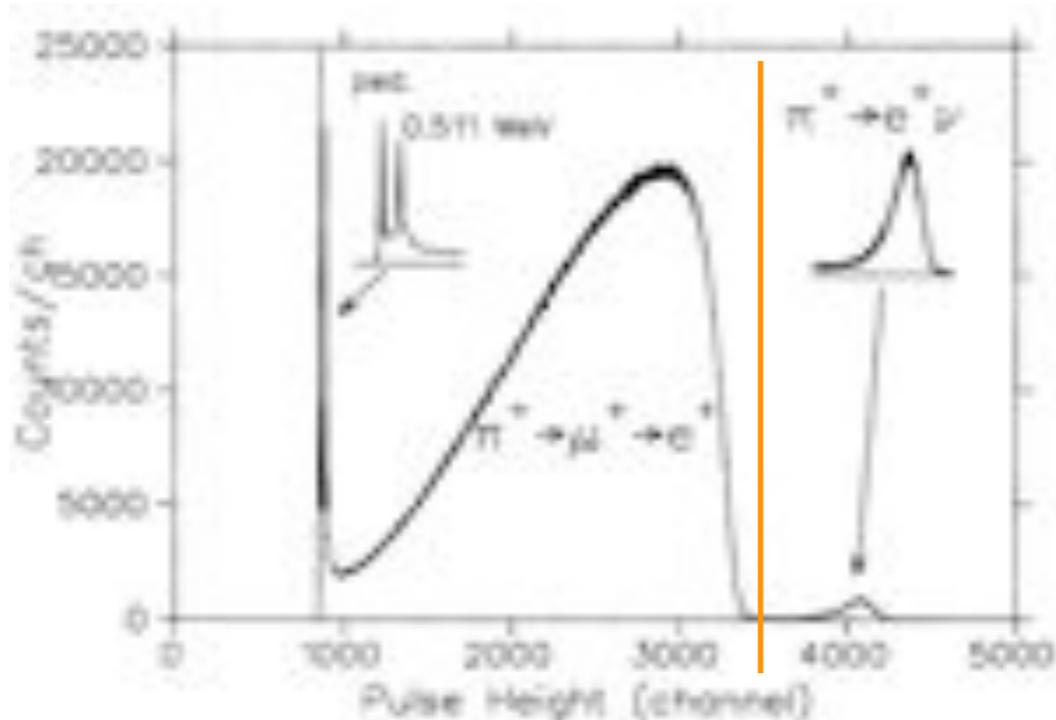
ターゲットでの検出エネルギー(MC)



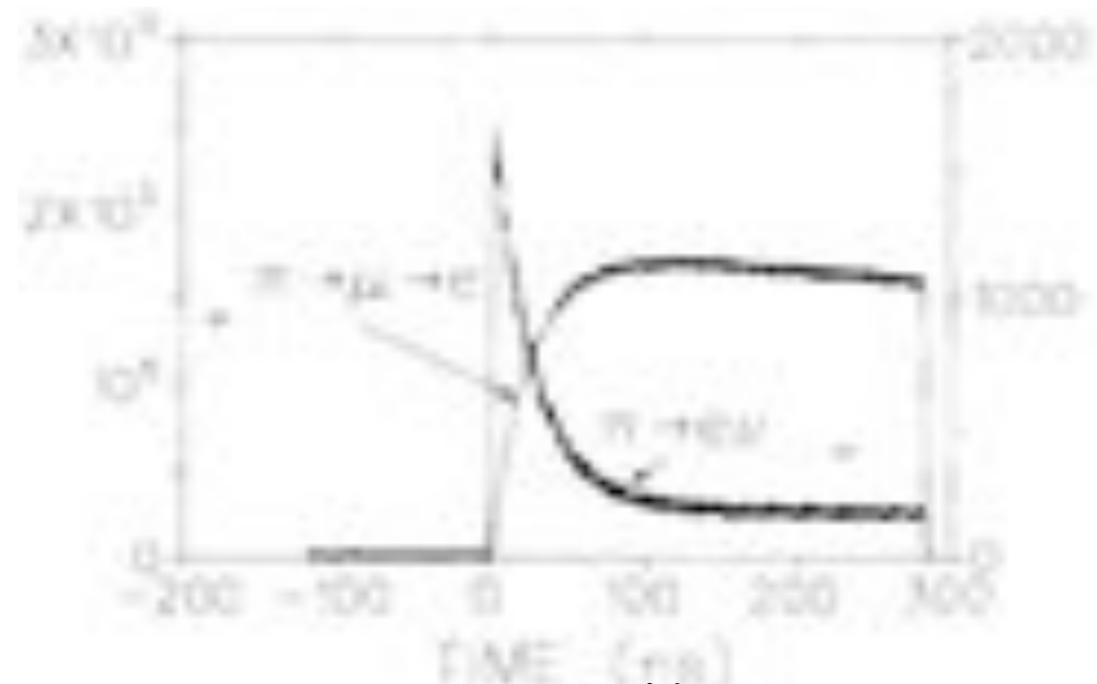
TRIUMF E248 : 前実験 (~1992) PIENU

パイオンをターゲットに止め、崩壊陽電子を検出
 陽電子のエネルギー測定により崩壊モードを識別
 時間分布を同時フィットしてRaw Branching Ratioをもとめる

$$R_{exp} = R_{raw} \times \epsilon_{cor} \leftarrow \text{いくつかの補正が必要}$$



Energy deposit in NaI



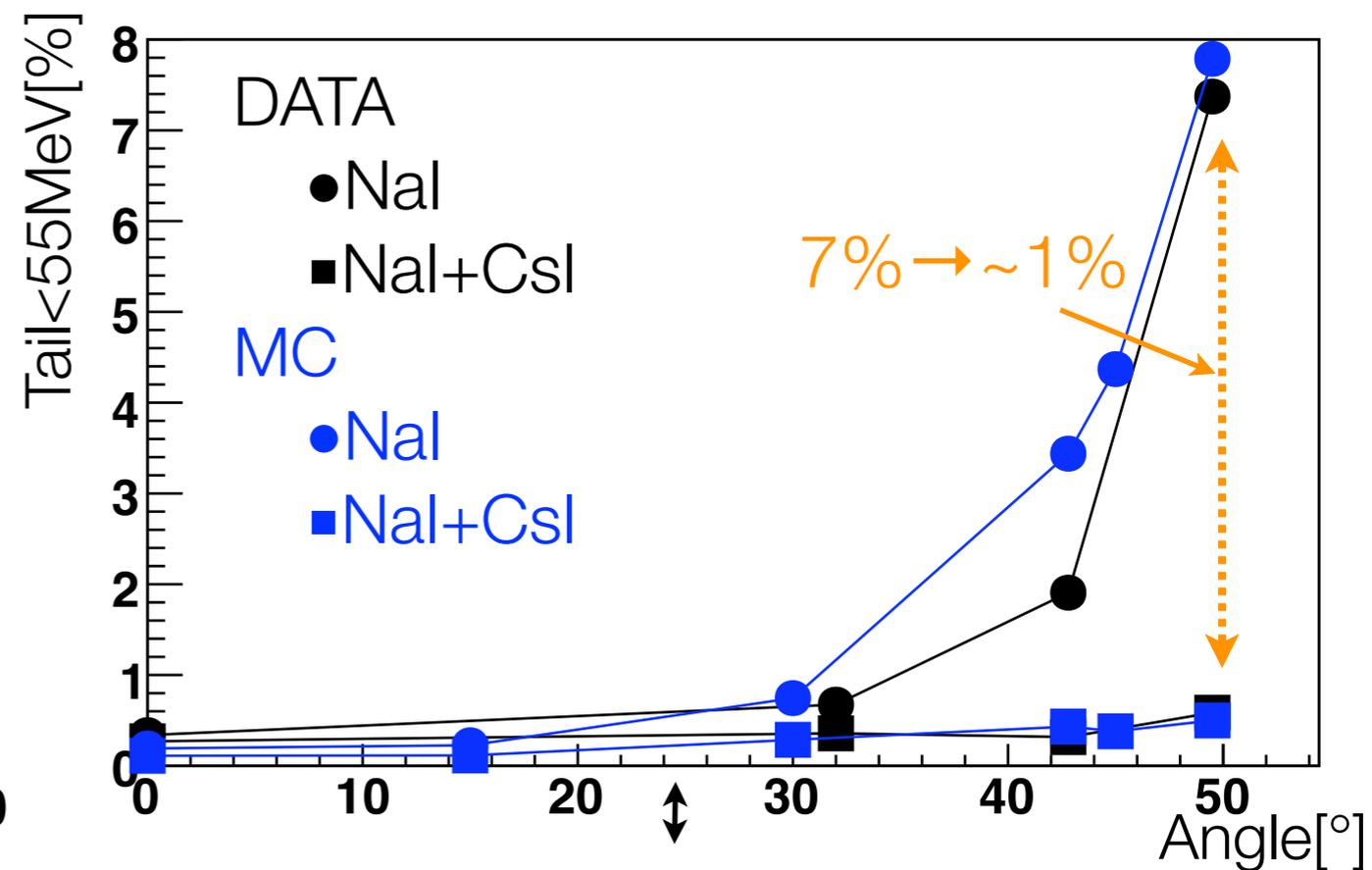
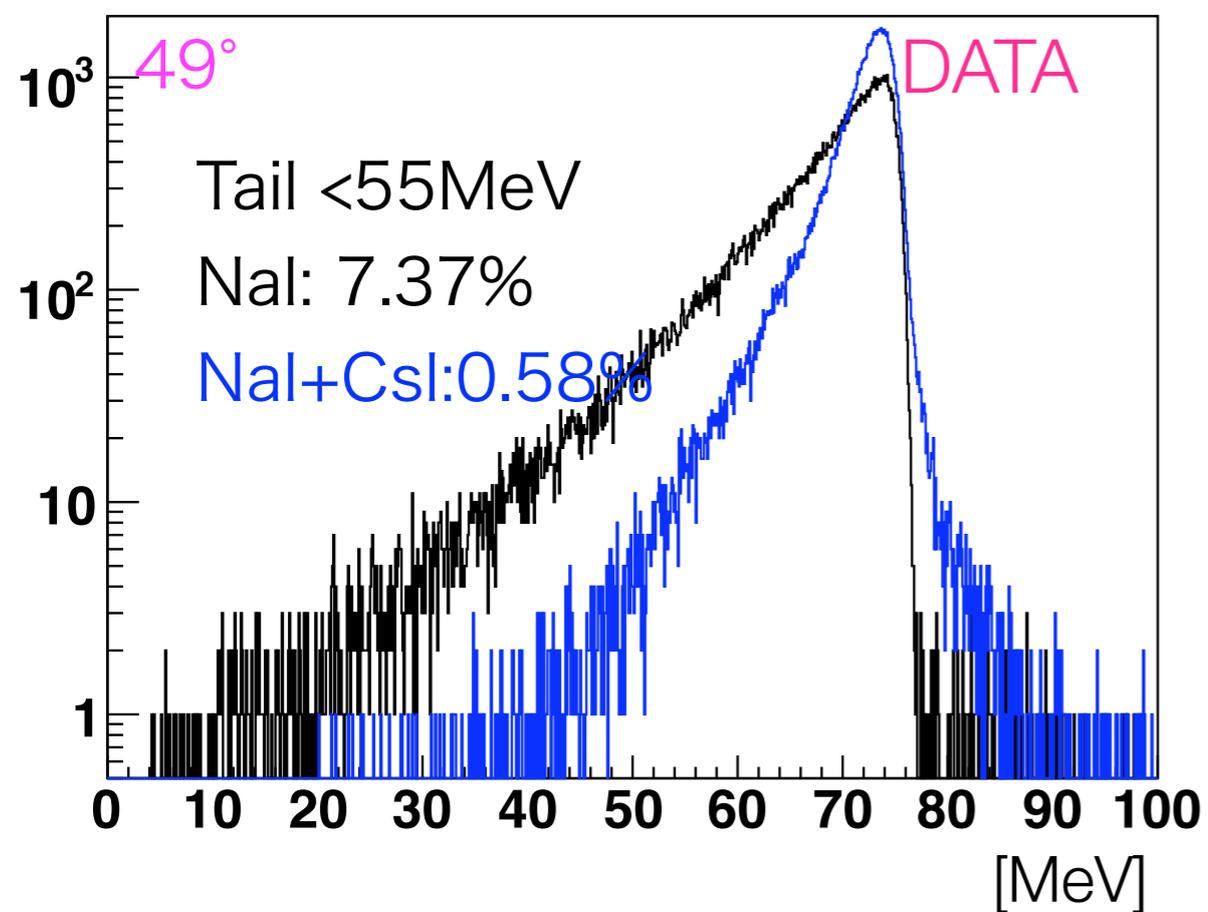
Decay time

$$R^{exp} = 1.2265 \pm 0.0034(\text{stat}) \pm 0.0044(\text{sys}) \times 10^{-4} \quad \text{精度: } 0.5\% (0.28\%, 0.36\%)$$

シャワーリーク検出テスト 3



- 陽電子ビーム
- 0°, 32°, 42°, 49°に検出器を動かして測定



CsIにより~7%のテールが1%以下になっていることを確認

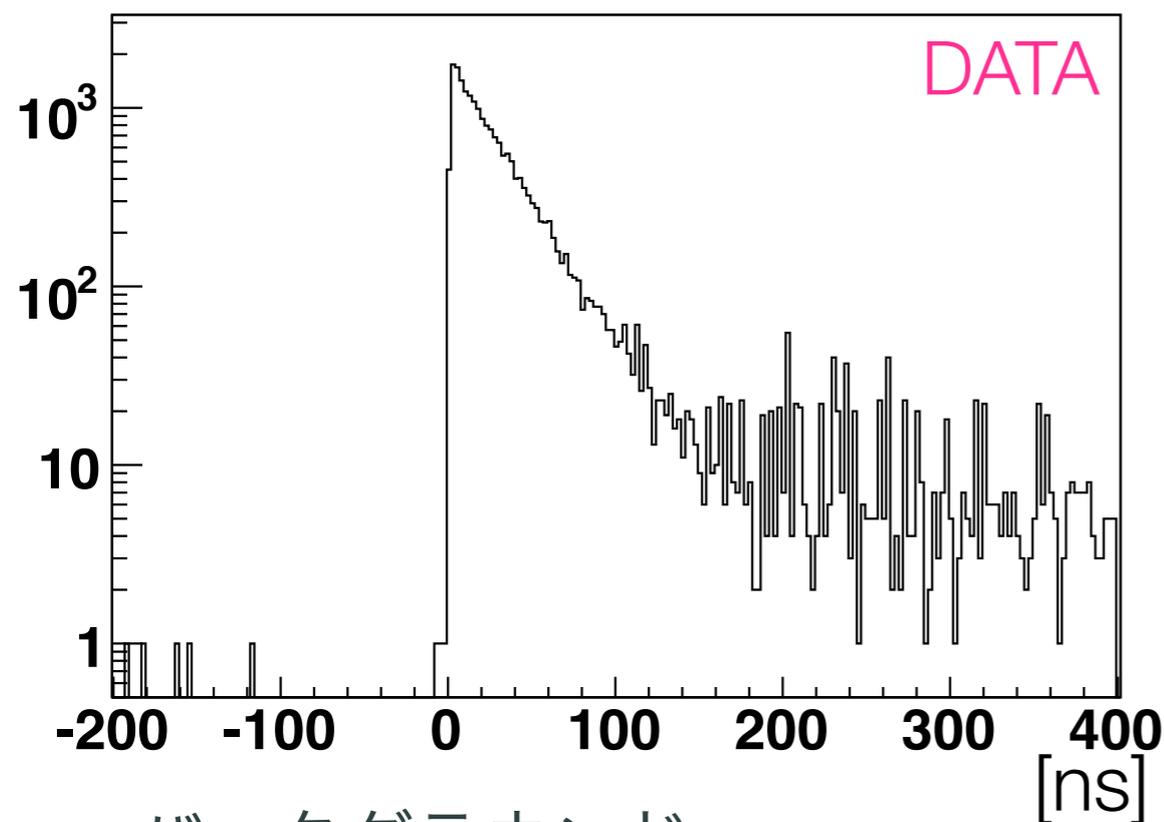
実際の $\pi^+ \rightarrow e^+$ のテールがMCで得られた結果と同程度になると考えられる

崩壊時間分布 ($\tau_e - \tau_\pi$)

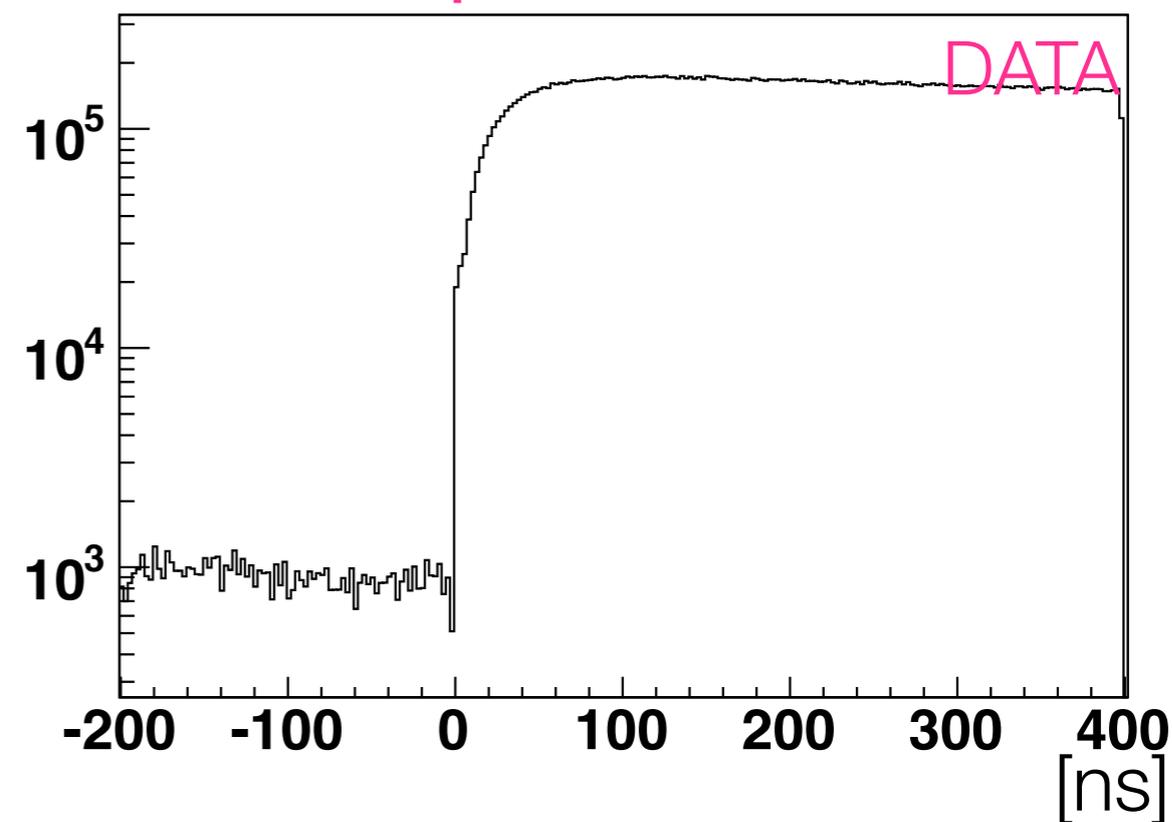


PIENU

$\pi \rightarrow e$ candidate



$\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ candidate



バックグラウンド

- $\pi \rightarrow e$ ~0.2% (主にパイルアップ)
 - パイオンライフタイム以降のデータから形を予想
- $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ ~0.5% (主に古いパイオンからの崩壊陽電子)
 - ビームタイミング以前のデータから形を予想

これらを考慮してフィッティングにより分岐比を出す

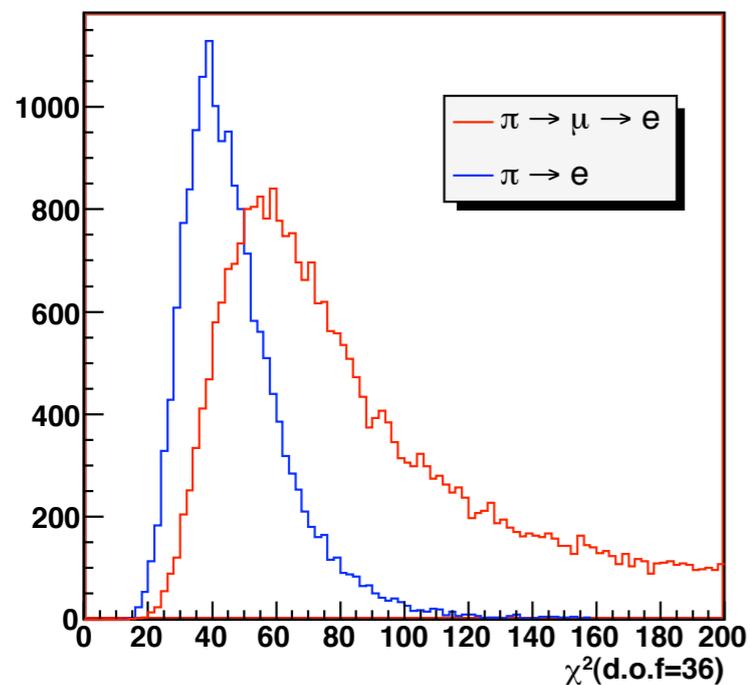
BGの分布を~10%の精度で押さえられるとすると

BGによる系統誤差は~0.01%に押さえられることが期待

波形解析

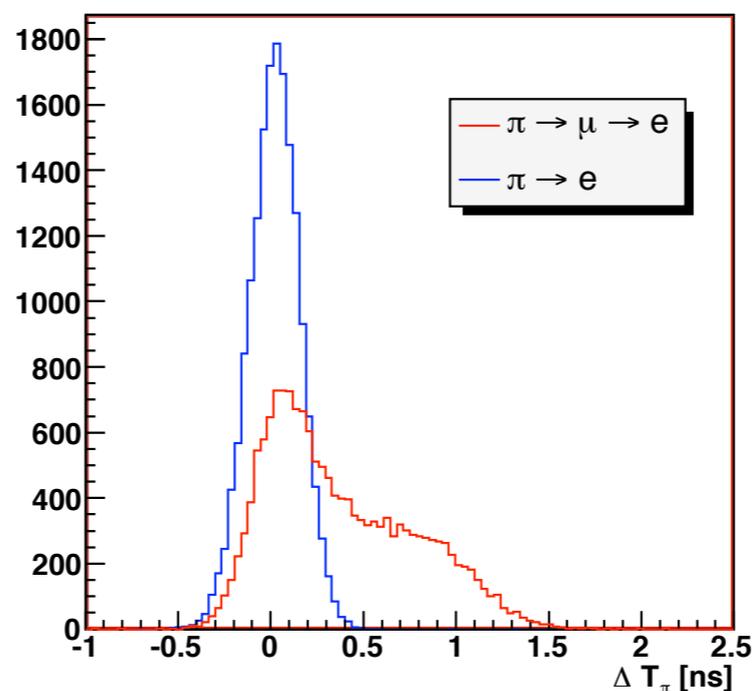
$$\chi^2$$

χ^2 が大きい ($T_\pi \ll T_\mu \ll T_e$)



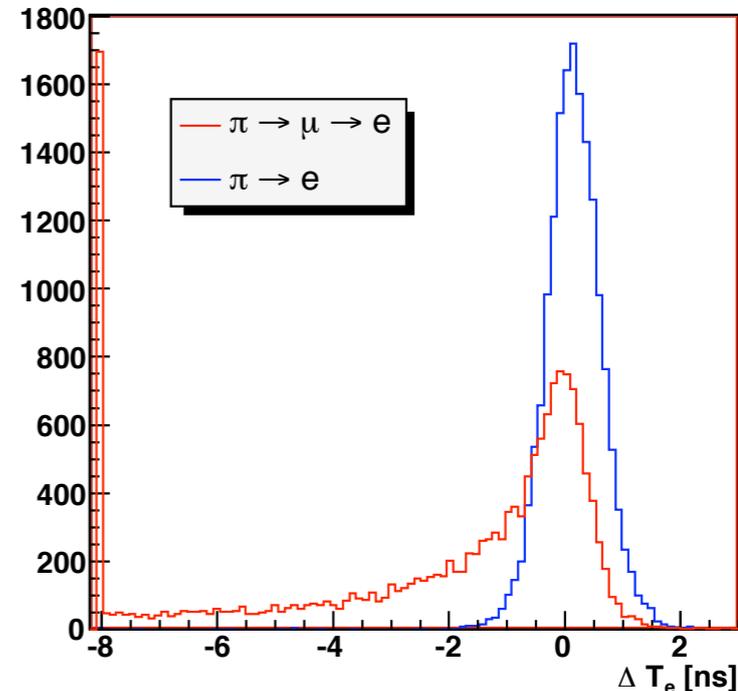
$$\Delta T_\pi = (T_1^{TA} - T^{BI})$$

ΔT_π が大きくなる ($T_\pi \approx T_\mu$)

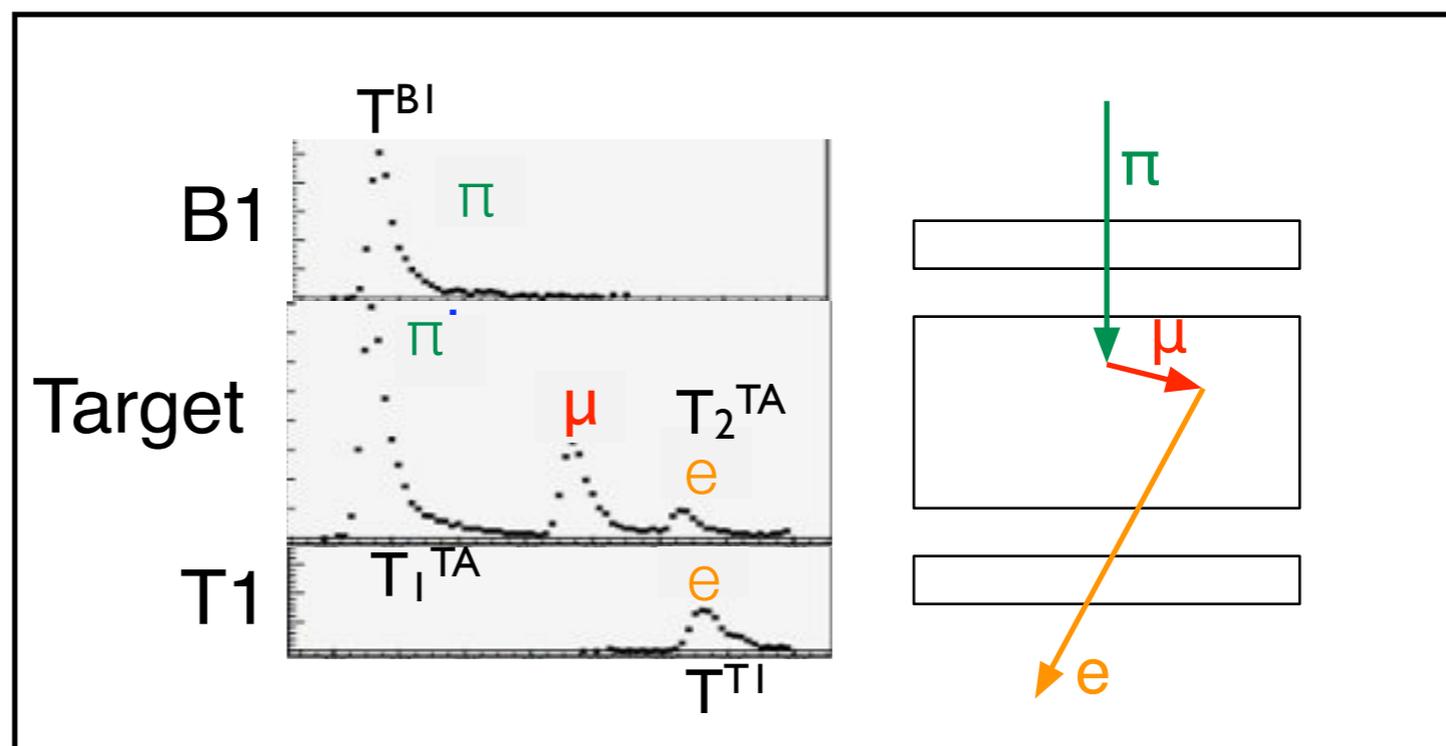
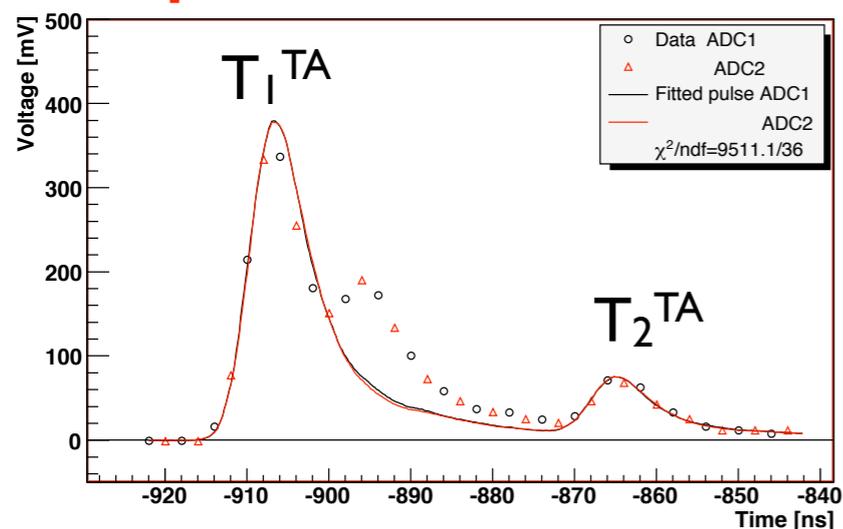


$$\Delta T_e = (T_2^{TA} - T^{TI})$$

ΔT_e が小さくなる ($T_e \approx T_\mu$)



$\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$



波形解析

χ^2 、 ΔT_π 、 ΔT_e の確率関数(p)を定義

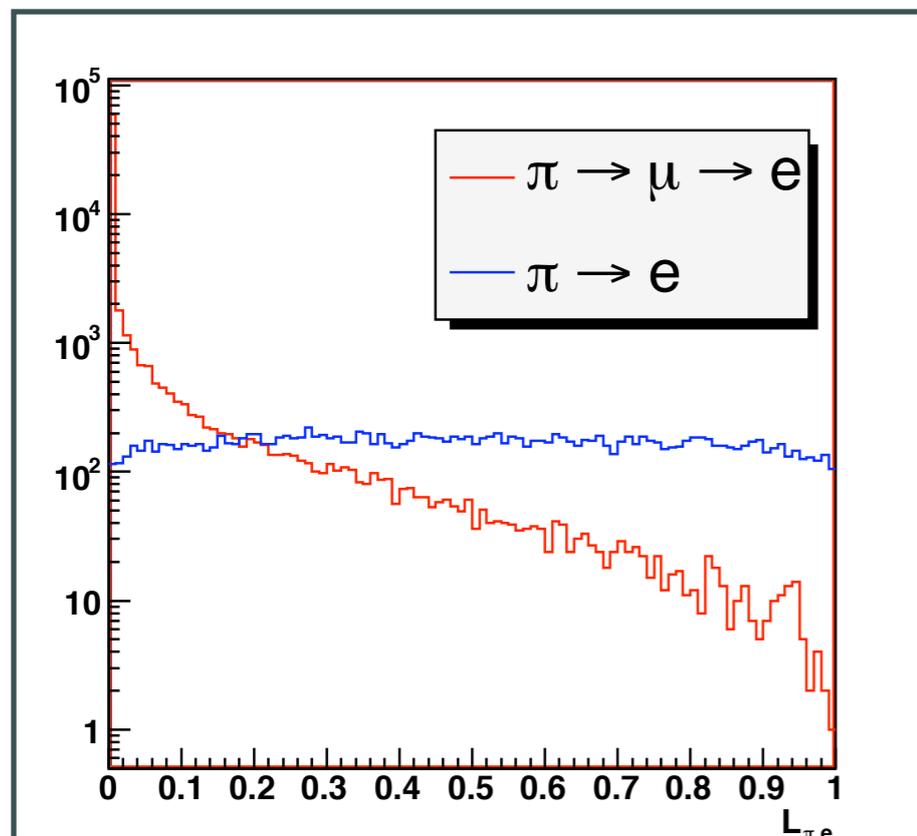
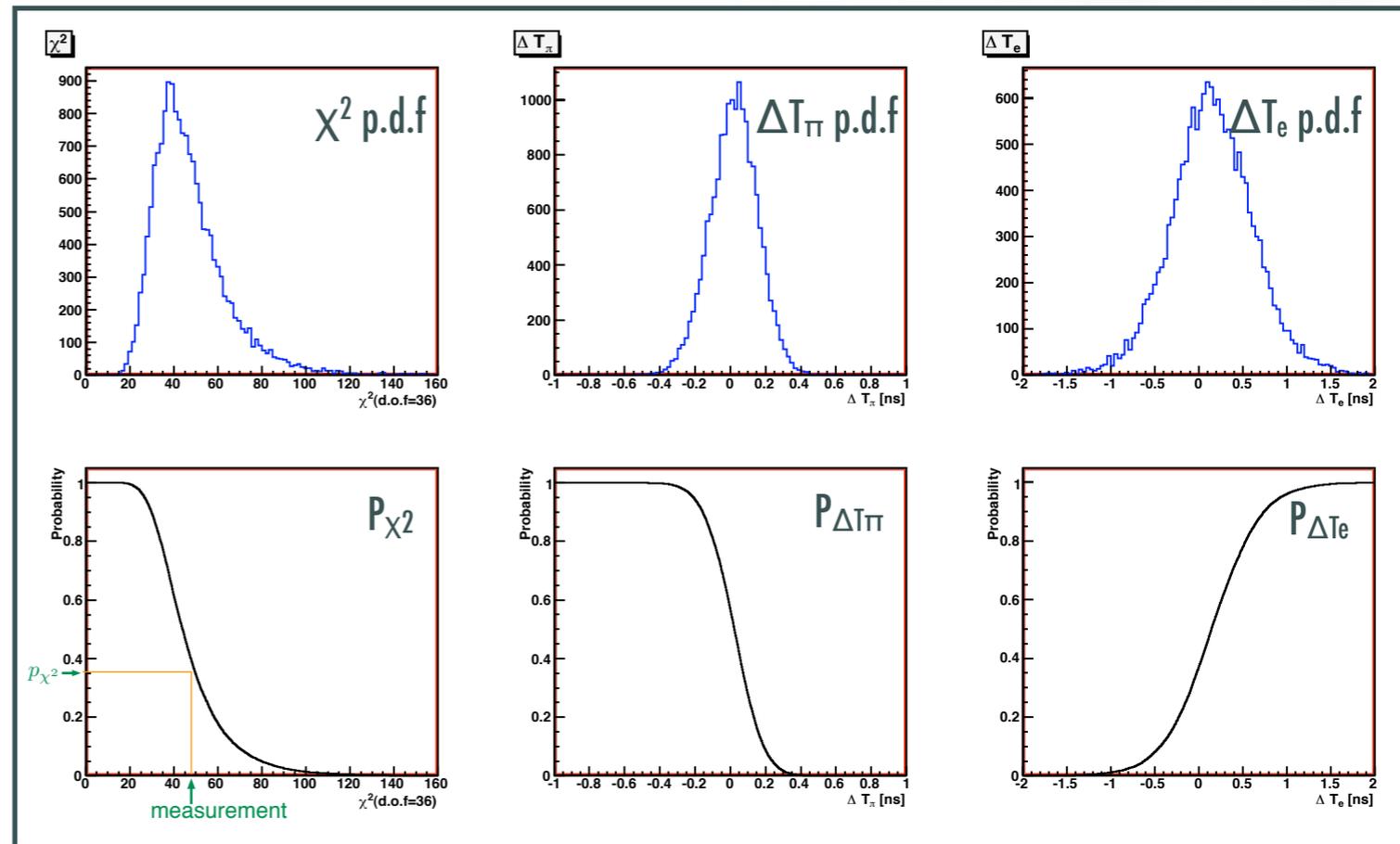
$P_{\Delta T_e}$ は積分方向が逆

Likelihoodの定義

確率空間で一様になるように規格化

$$P = p_{\chi^2} \times p_{\Delta T_\pi} \times p_{\Delta T_e}$$

$$L_{\pi e} = P(1 - \ln P + \frac{1}{2}(\ln P)^2)$$



波形解析カット

カット領域： $L_{\pi e} > 0.1$

アクセプタンス：91%

サプレッション： $8.36 \pm 0.07\% \sim 1/10$

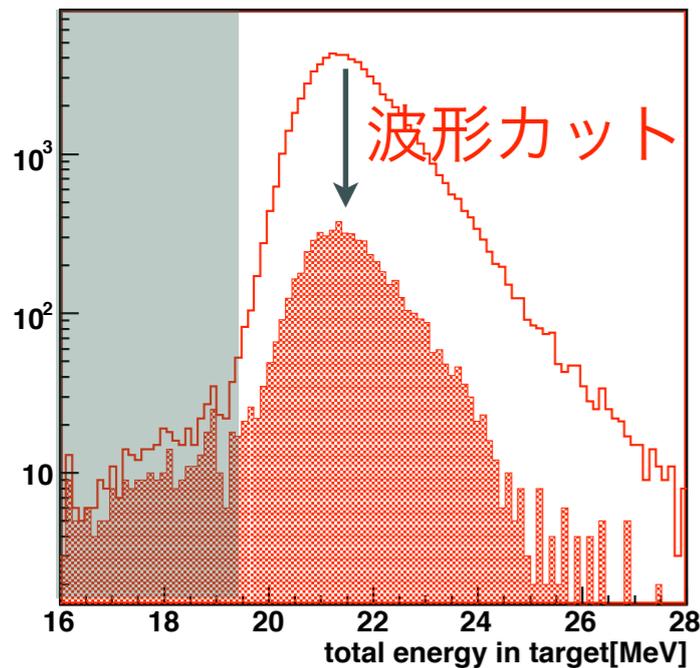
パイオンから1.2ns以上離れた

ミュオンパルスを識別していることに値する

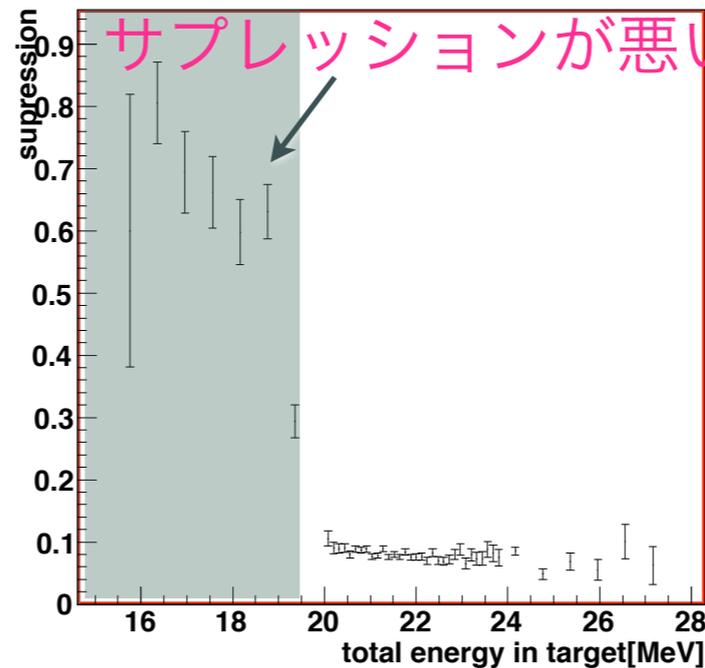
波形解析とdecay-in-flight事象

波形解析カットとターゲットエネルギー

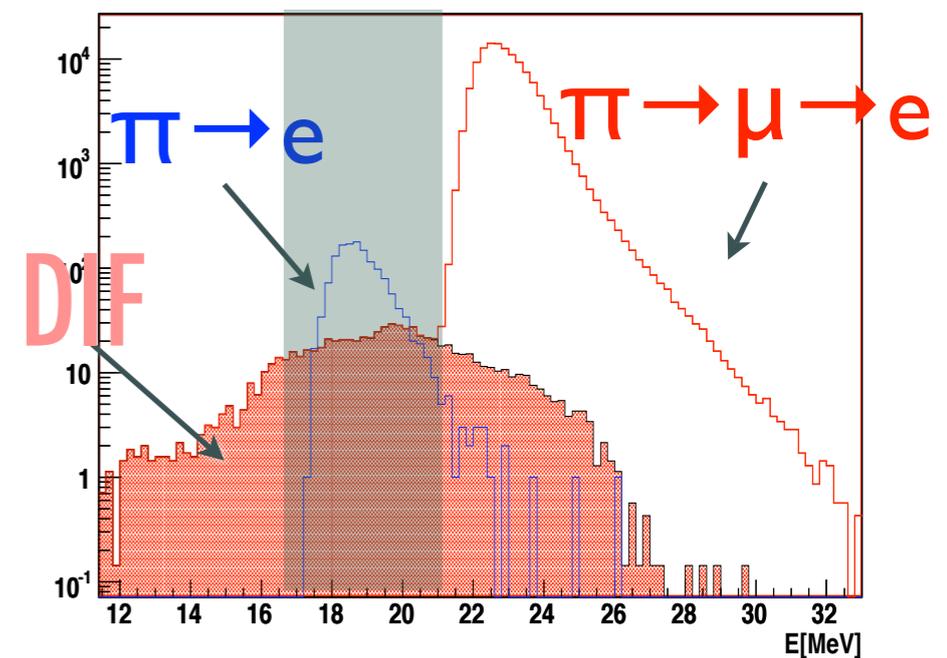
$\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ データ



Suppression=after cut / before cut



モンテカルロ



$E_{\text{target}} < 20 \text{ MeV} : \sim 70\% \text{ のサプレッション}$

波形解析カットの効きが悪い

ビーム π のdecay-in-flight(DIF)事象が支配的

Lepton Universality and New Physics

$$\frac{g_e}{g_\mu} = 1?$$

New pseudoscalar interaction:

$$1 - \frac{R_{e/\mu}^{New}}{R_{e/\mu}^{SM}} \sim \mp \frac{\sqrt{2}\pi}{G_\mu} \frac{1}{\Lambda_{eP}^2} \frac{m_\pi^2}{m_e(m_d + m_u)}$$

$$\sim \left(\frac{1\text{TeV}}{\Lambda_{eP}}\right)^2 \times 10^3$$

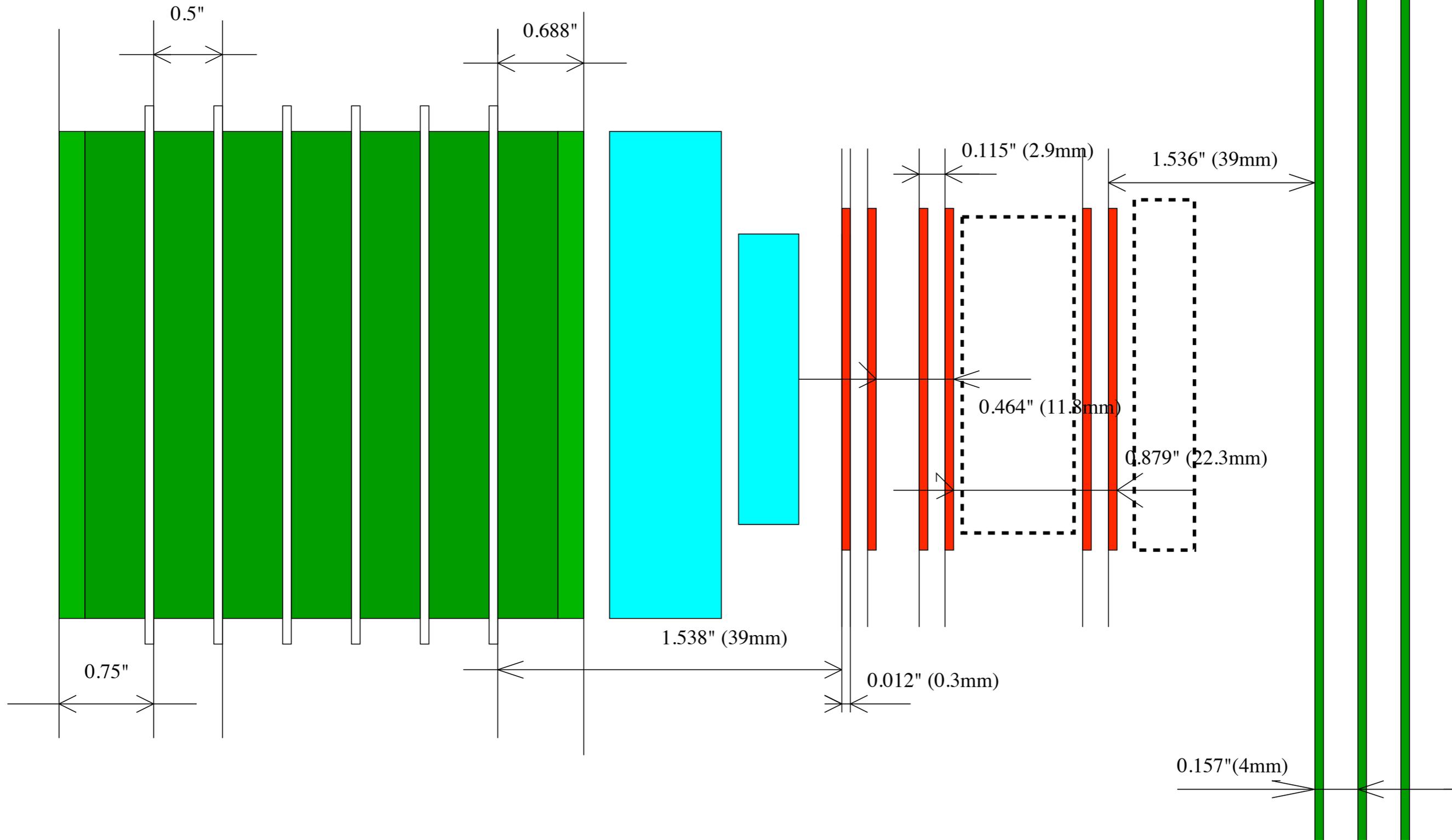
Process	g_e/g_μ
$\pi \rightarrow e\bar{\nu} / \pi \rightarrow \mu\bar{\nu}$	0.9985 ± 0.0016
$K \rightarrow e\bar{\nu} / K \rightarrow \mu\bar{\nu}$	1.012 ± 0.01
$\tau \rightarrow e\bar{\nu}\nu / \tau \rightarrow \mu\bar{\nu}\nu$	0.9999 ± 0.0021
$\nu_e\nu_\mu$ scattering	1.10 ± 0.005
W decays	0.999 ± 0.011

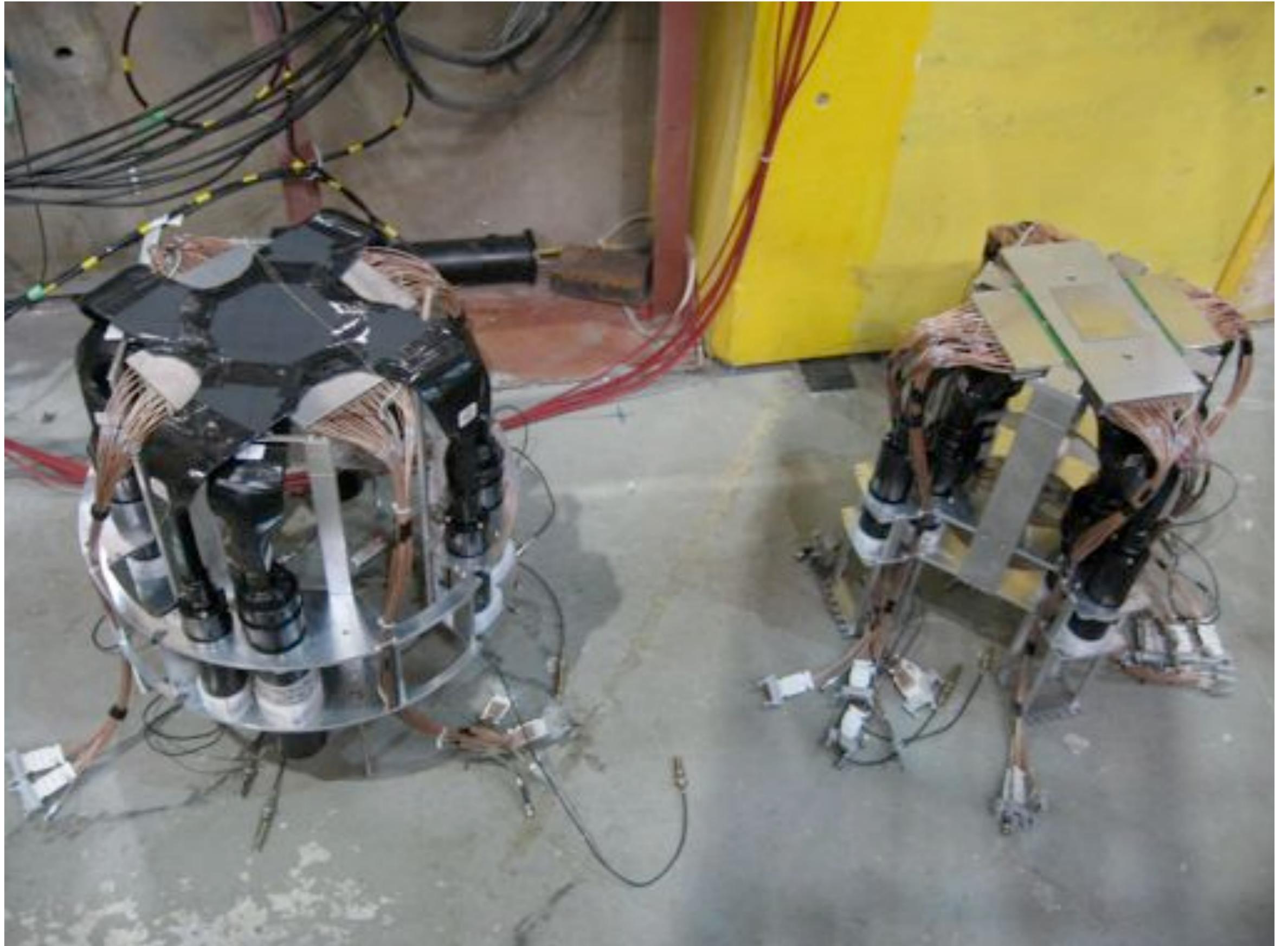
0.1% measurement $\Rightarrow \Lambda_{eP} \sim 1000 \text{ TeV}$

PIENU : $g_e/g_\mu < 0.05\%$

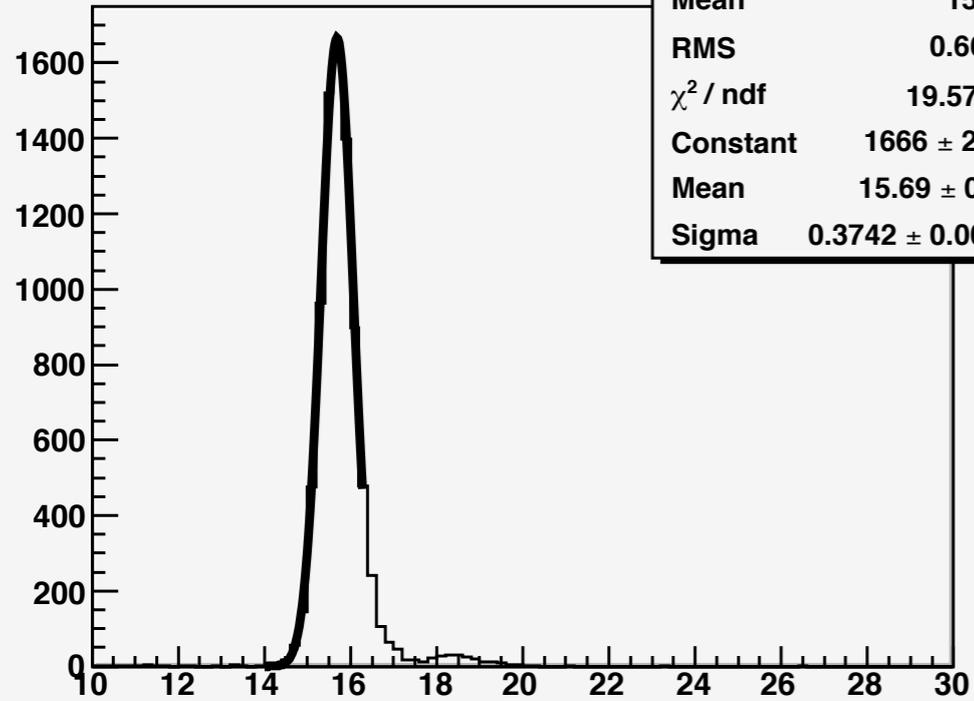
- o *Massive ν 's*
- o *Scalar coupling*
- o *Leptoquarks*
- o *Compositeness*
- o *R-Parity violation SUSY*
- o *...*

Geometry



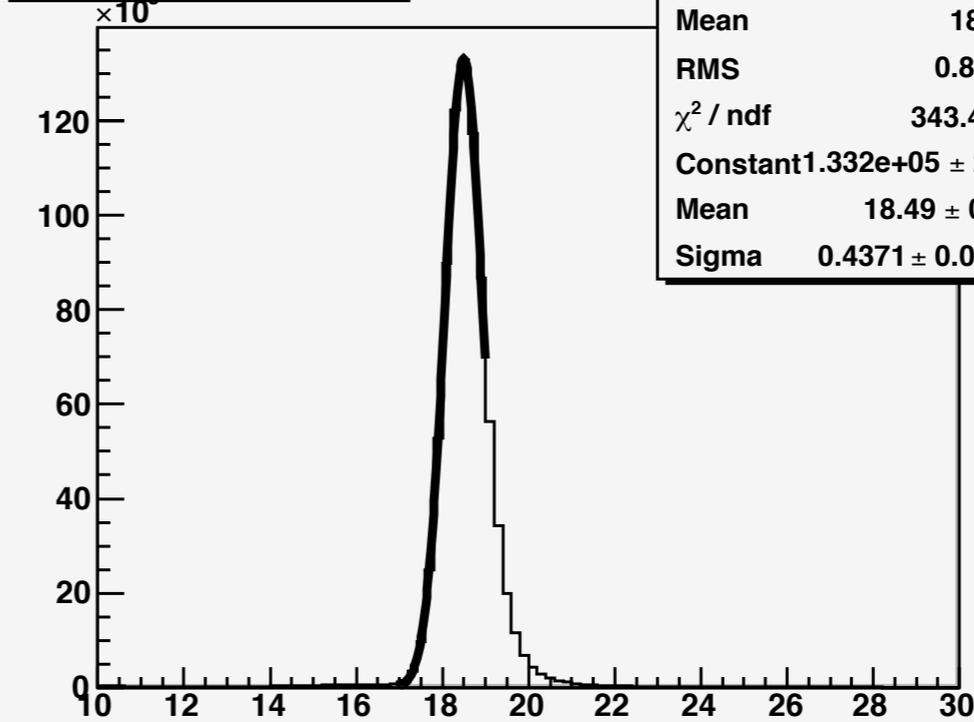


Total energy :pie



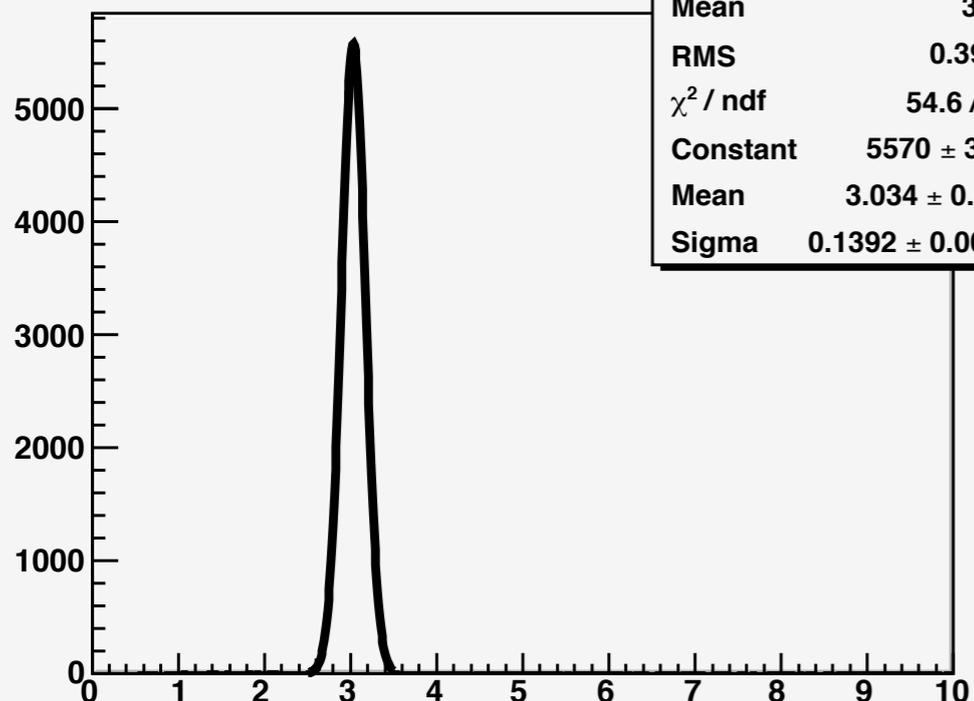
Entries	8345
Mean	15.79
RMS	0.6692
χ^2 / ndf	19.57 / 9
Constant	1666 ± 24.5
Mean	15.69 ± 0.00
Sigma	0.3742 ± 0.0040

Total energy :pimue



Entries	799708
Mean	18.55
RMS	0.8454
χ^2 / ndf	343.4 / 7
Constant	1.332e+05 ± 204
Mean	18.49 ± 0.00
Sigma	0.4371 ± 0.0007

4MeV muon in target



Entries	39465
Mean	3.05
RMS	0.3928
χ^2 / ndf	54.6 / 17
Constant	5570 ± 35.2
Mean	3.034 ± 0.001
Sigma	0.1392 ± 0.0005

pie:15.7MeV sigma :2.4%
pimue:18.5MeV sigma :2.4%

4MeV muon: 3.0MeV sigma:4.4%

Resolution is really good !!