

K中間子原子核の系統的調査 のための 大立体角スペクトロメータの 開発(I)

東北大先端量子、理研
木村佑斗 for the J-PARC E80 collaboration

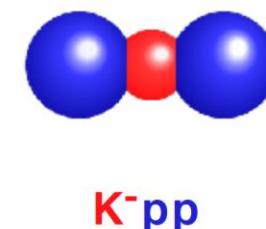
Contents

1. 次世代K中間子原子核実験
2. 円筒型検出器システムの概要
3. 中性子カウンターの透明度評価によるQA
4. 円筒型ドリフトチェンバーの位置依存性評価
5. まとめと展望

K中間子原子核

- K中間子原子核 = 反K中間子(\bar{K})と核子(N)の束縛状態

K^-pp 束縛状態の観測: J-PARC E15実験



- 存在検証から性質解明へ

- 軽いK中間子原子核の系統的調査

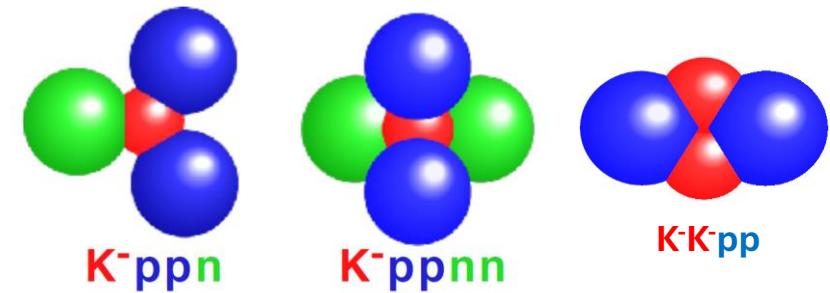
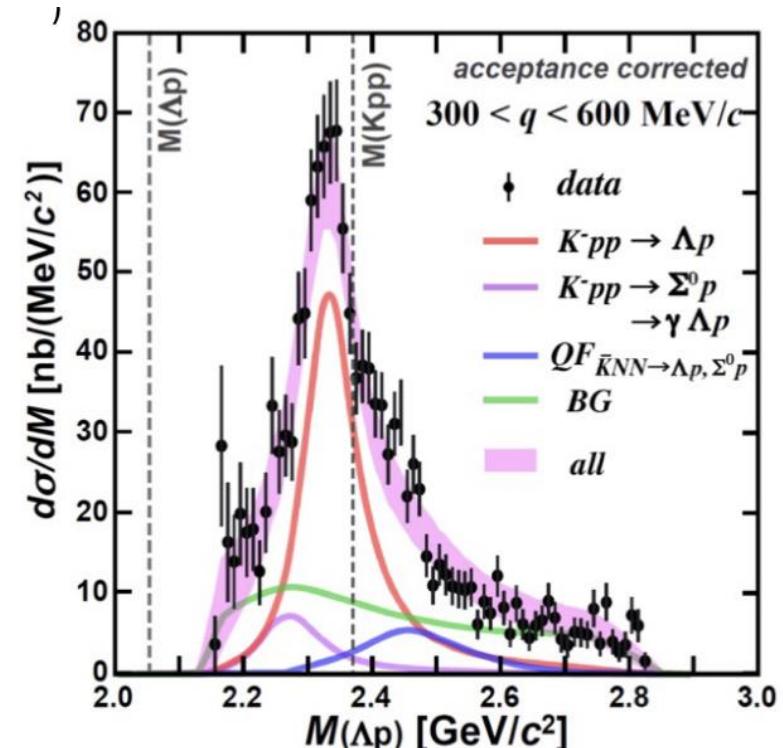
■ K^-ppn (J-PARC E80, 2027年開始予定)

■ K^-ppnn

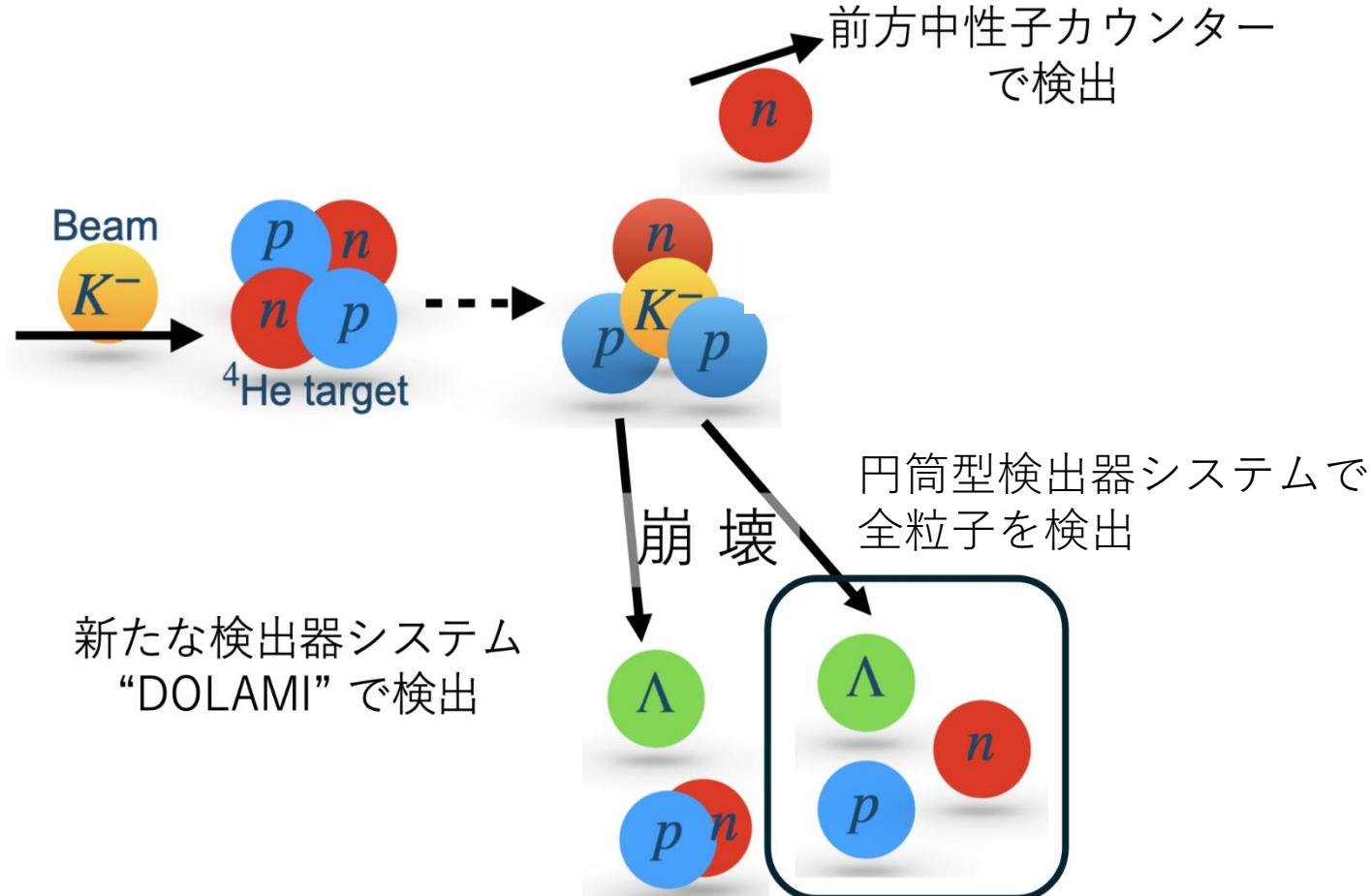
■ K^-pp のアイソスピンパートナー $\bar{K}^0 nn$ の存在検証とそれらのスピン・パリティ測定 (J-PARC E89)

■ (複数の \bar{K} を含むK中間子原子核)

■ K^-K^-pp



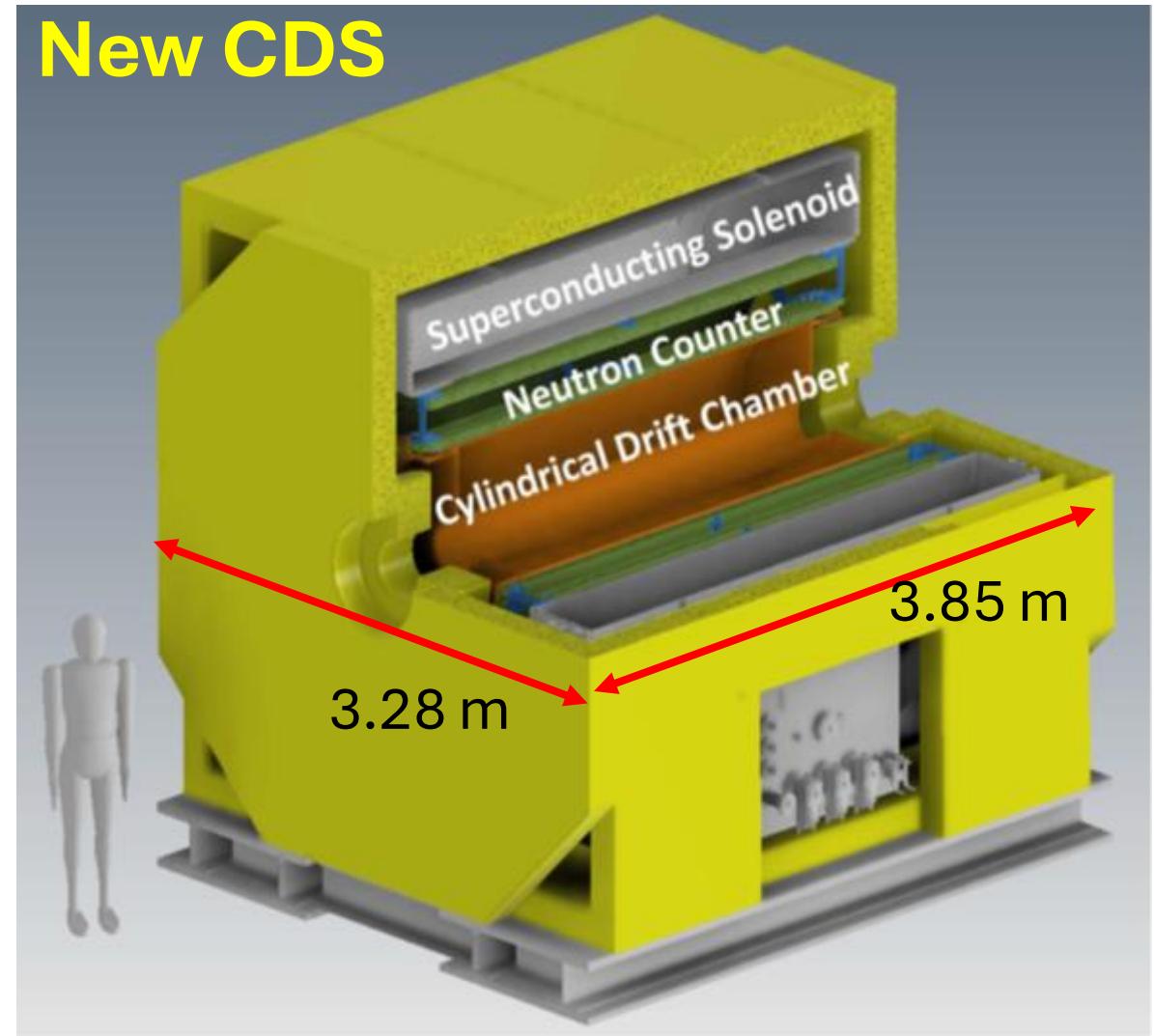
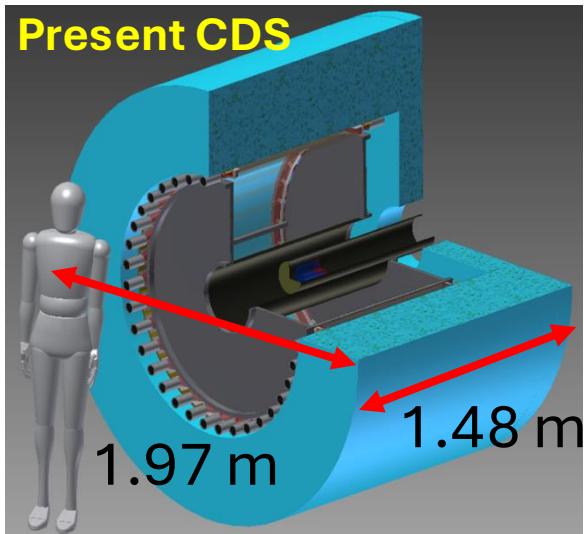
$K^- p p n$ 探索: J-PARC E80



先行実験($K\text{-}pp$, E15)に比べ、
✓ 検出すべき崩壊粒子数の増加
✓ 中性子検出の必要性

検出器の
✓ 大立体角化
✓ 中性子検出能力の向上
が必要

Cylindrical Detector System, CDS



- ✓ 立体角: x1.6 (59% → 93%)
- ✓ 中性子検出能力: x7 (3% → 12% × 1.6)

CDS: 構成要素

■ Superconducting Solenoid Magnet

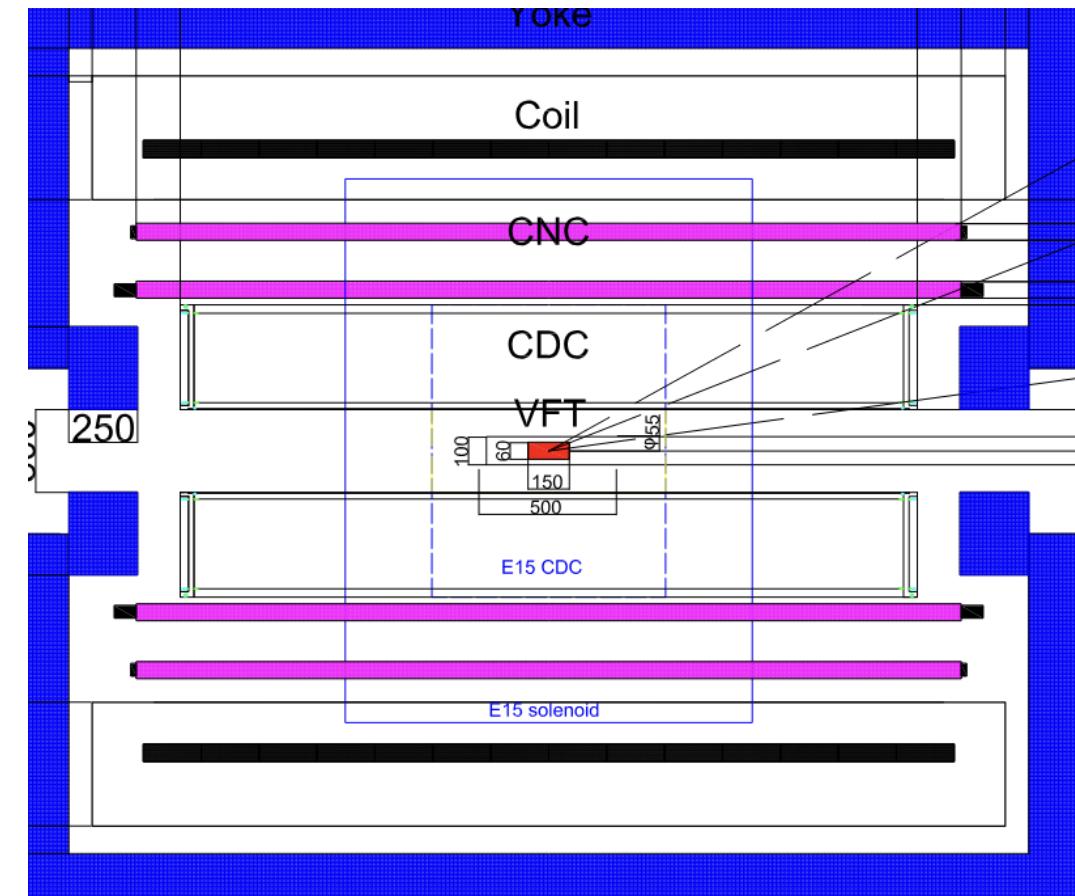
- 内径 1.8 m, 長さ 3.2 m
- Max. field of 1.0T @ center

■ Cylindrical Neutron Counter, CNC

- プラスチックシンチレータ
 - 300cm × 6cm × 6cm × 138本
- MPPCアレイ
 - 6mm角, 4x4 channel

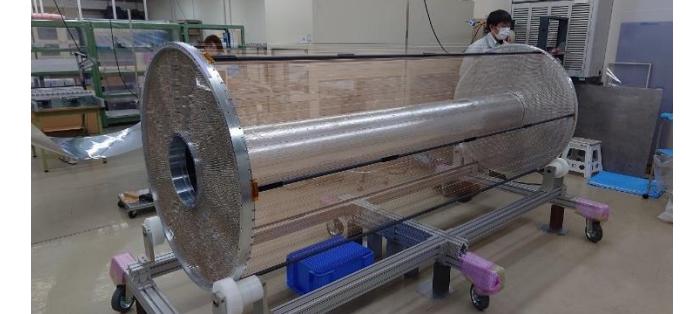
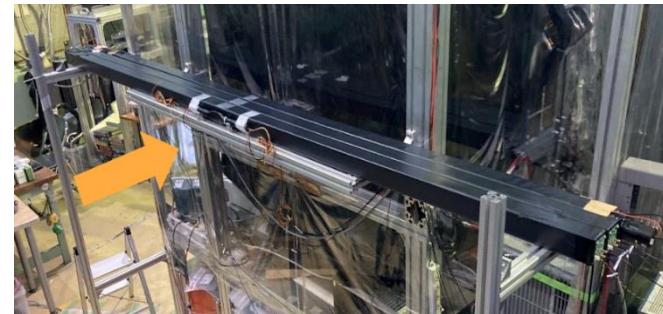
■ Cylindrical Drift Chamber, CDC

- ワイヤードリフトチャンバー
- 長さ 268 cm



CDS: 各要素のステータス

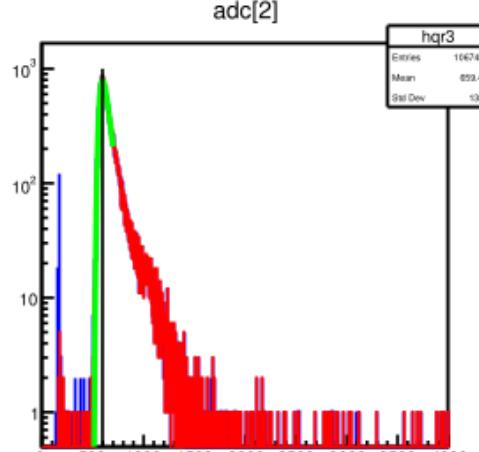
	Solenoid	CNC	CDC
これまで	<ul style="list-style-type: none">完成定格にて動作確認完了リターンヨーク無しで磁場測定完了 →計算値と一致	<ul style="list-style-type: none">時間分解能の調査 →位置依存無し@ELPH →MPPCを用いて 目標性能80ps達成@J-PARC	<ul style="list-style-type: none">実機完成コミッショニング中
本発表		<ul style="list-style-type: none">実機全138本切り出し完了実機に対してQA(品質保証テスト)	<ul style="list-style-type: none">テストチェンバーを用いて 読み出し回路の性能評価



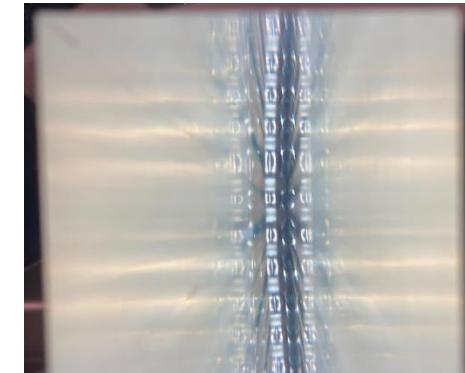
CNC: 時間分解能悪化の原因

時間分解能~90ps

QDC(raw, tdc cut)

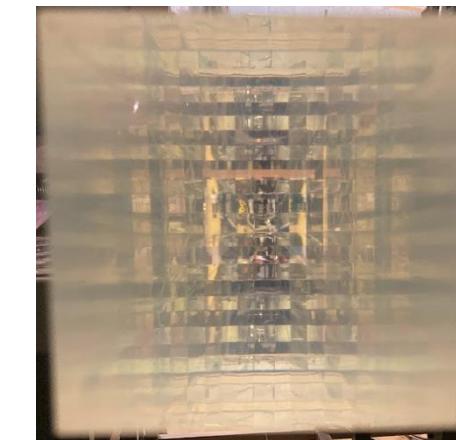
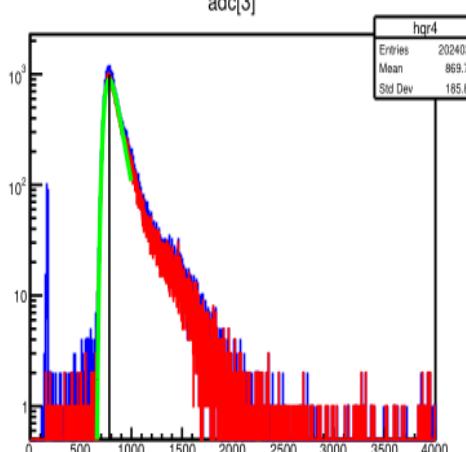


見た目



切断面表面の状態が悪い

時間分解能~75ps

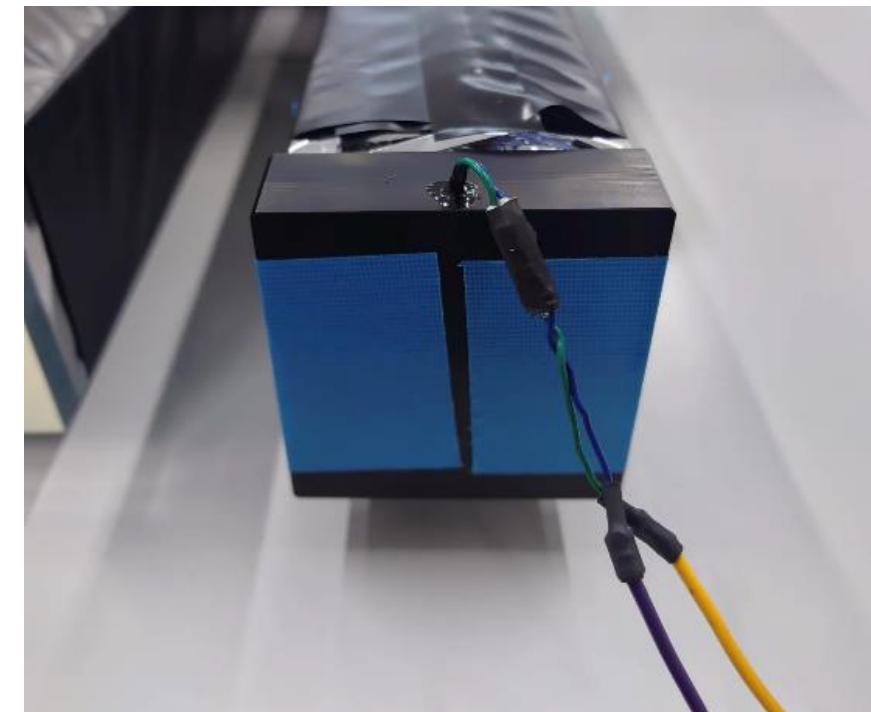
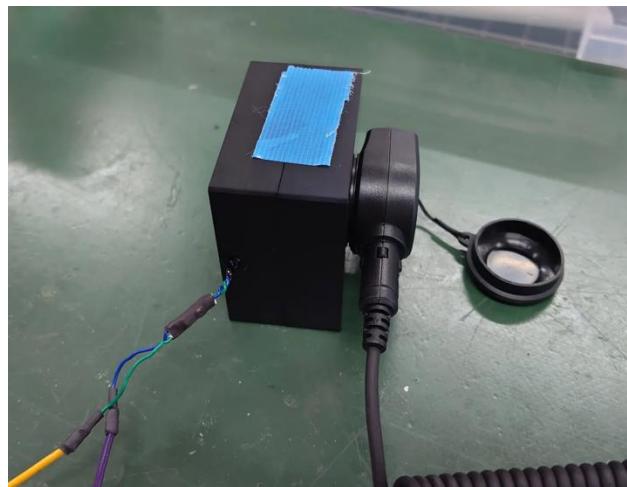


工場で簡易的に評価できないか？

CNC: 評価方法



LEDと照度計を用いた
透過度測定
CNC有とCNC無で
照度を比較



CNC: 時間分解能悪化の原因

時間分解能~90ps

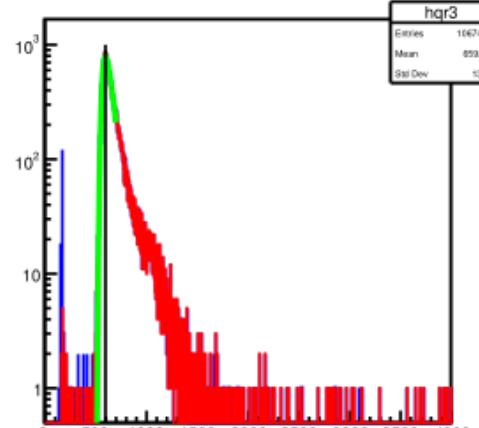
透過度測定値 28%

時間分解能~75ps

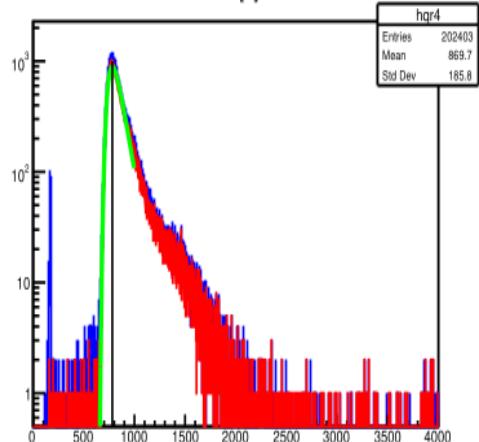
透過度測定値 37%

QDC(raw, tdc cut)

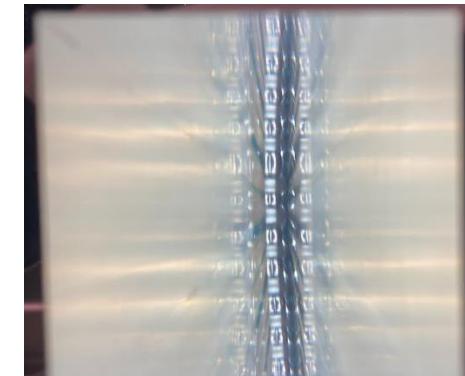
adc[2]



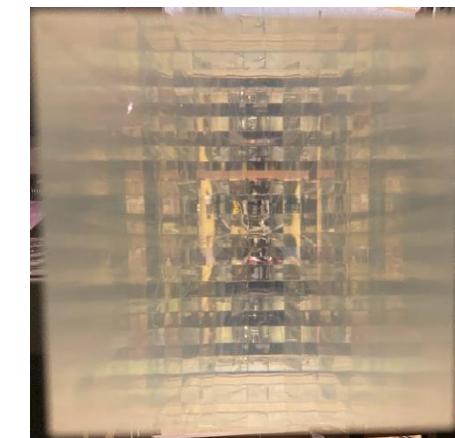
adc[3]



見た目



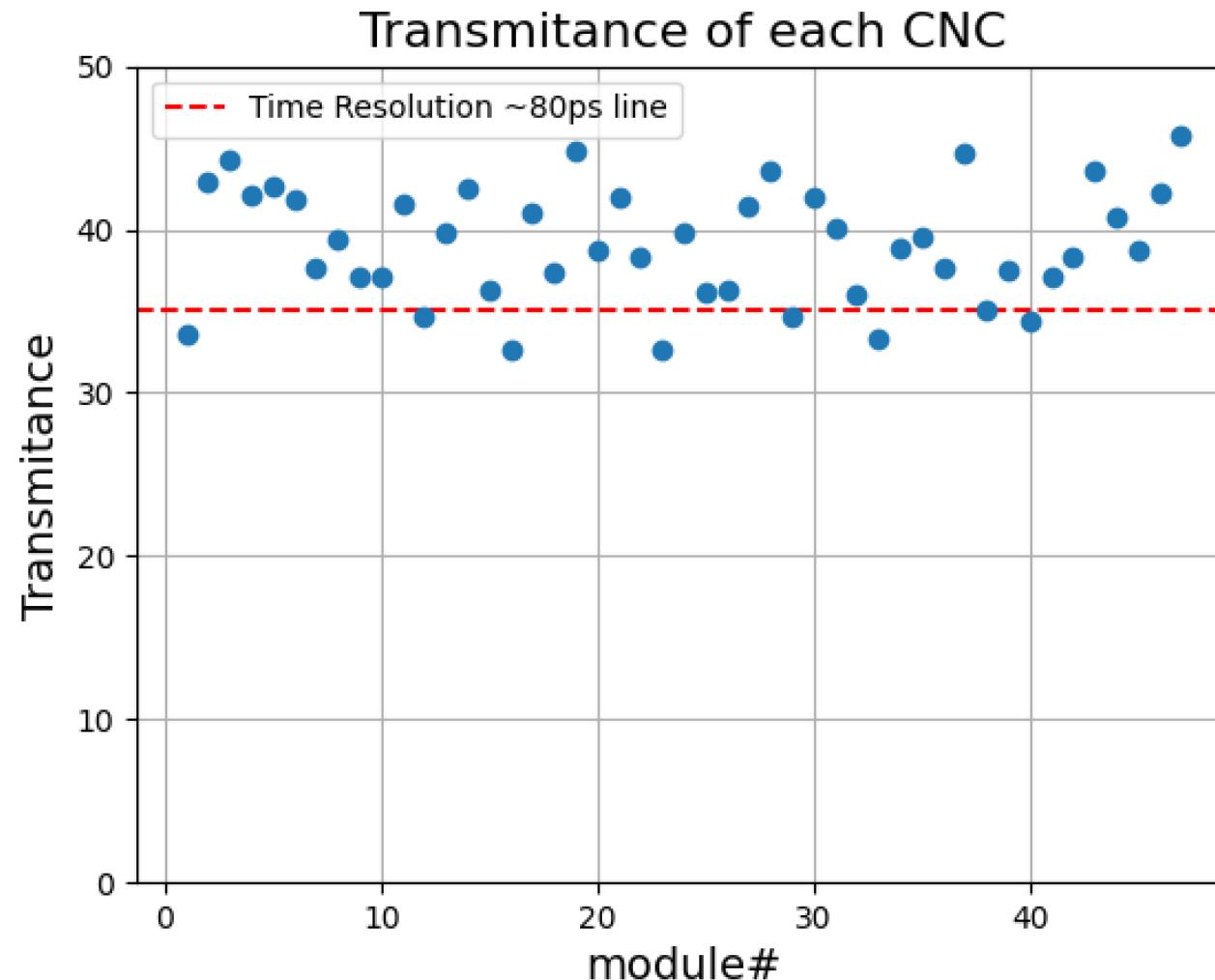
切断面表面の状態が悪い



簡易評価法を確立

By Shunto Sasaki (RARiS, M2)

CNC: QA

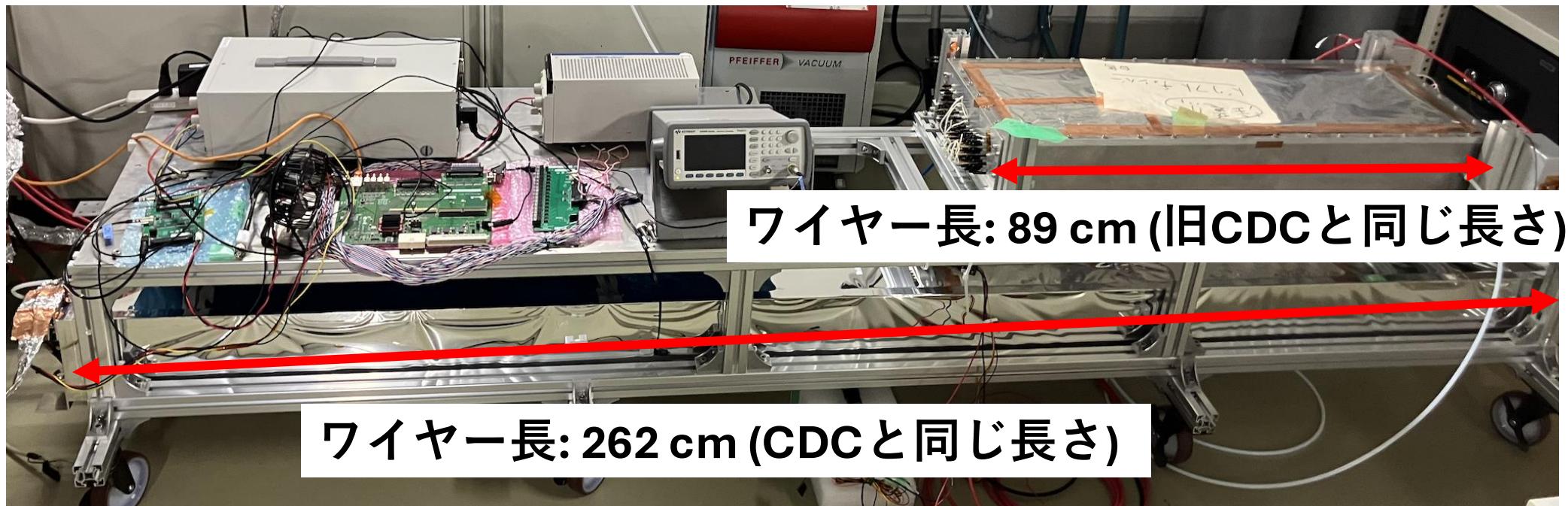


35%以下は再研磨予定

今年度中に完成予定

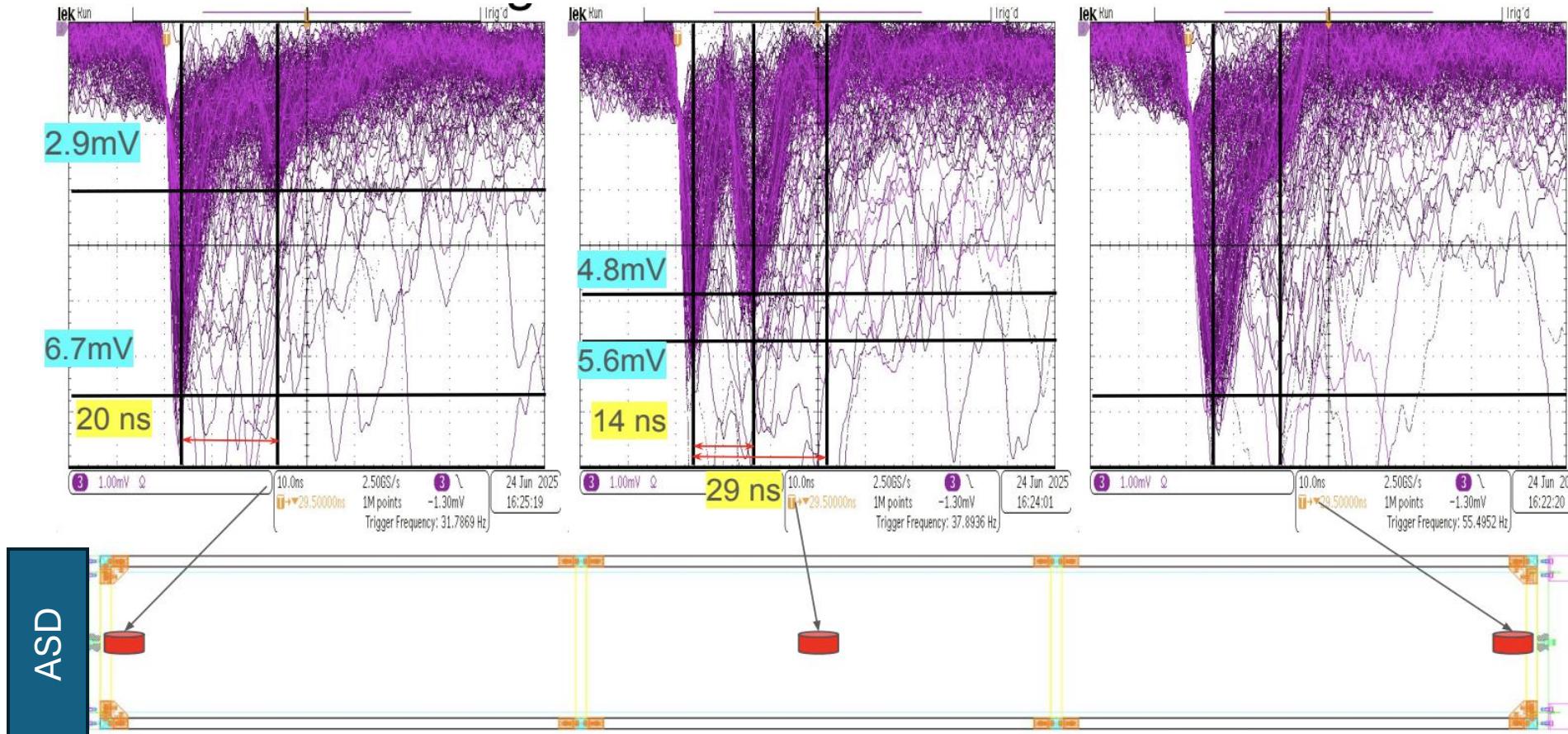
CDC: 位置依存調査

- テストチャンバーを使って以下を調査
 - 波形・検出効率の位置依存性
 - 読み出し回路の性能評価



CDC: 生波形

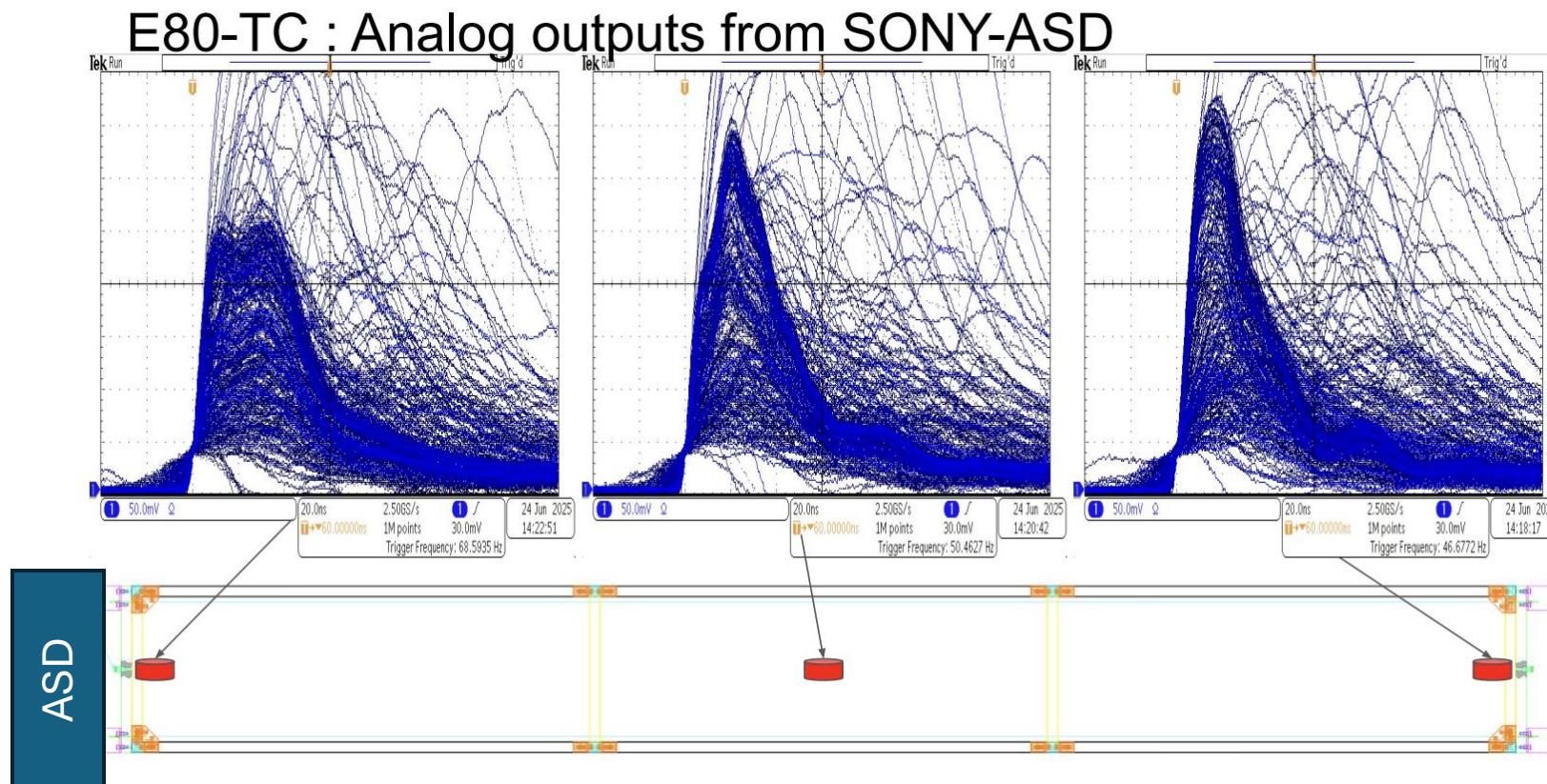
- 反射波の影響が見える
 - ✓ double-peak構造
 - ✓ 波高の位置依存がある



CDC: 整形後波形

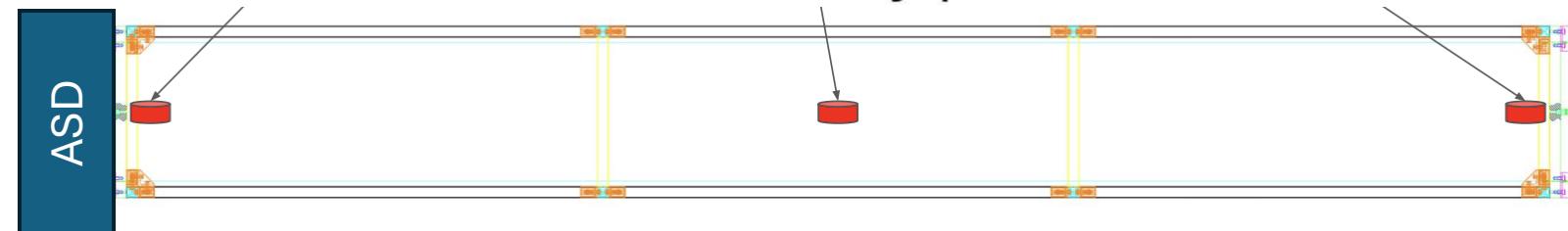
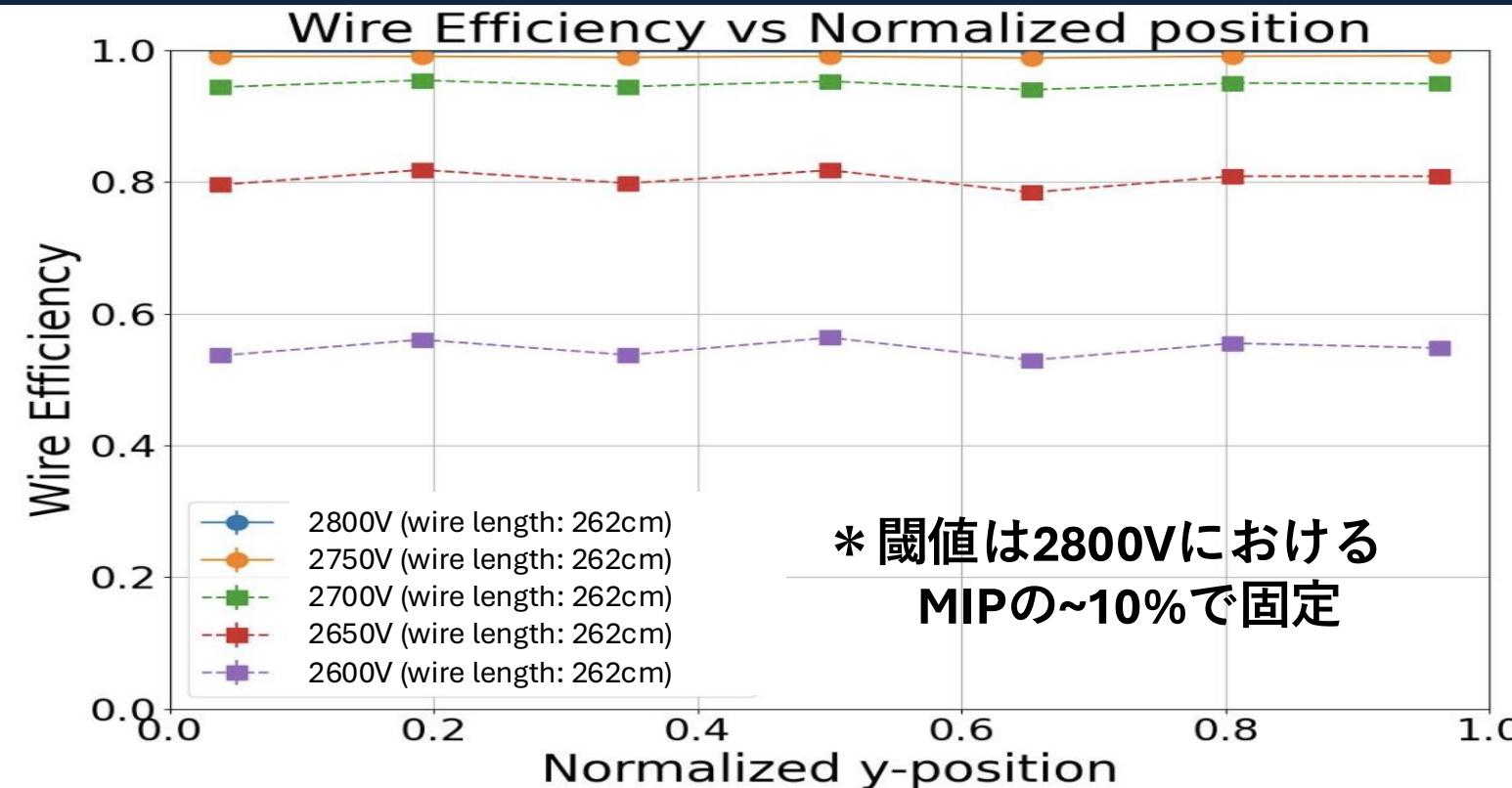
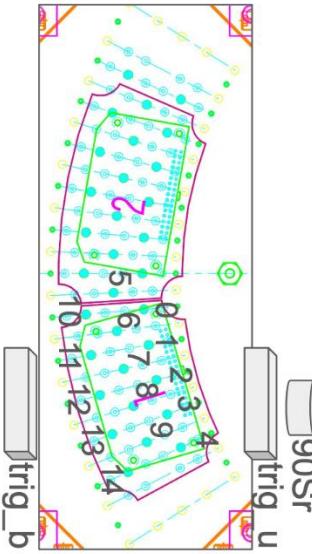
■ 時定数16nsのプリアンプ出力でも同様に反射波の影響

- ✓ 波形の位置依存がある
- ✓ 電荷量（面積）は一定



閾値とゲインの調整で検出効率を保てるか？

CDC (テストチェンバー): 位置依存性

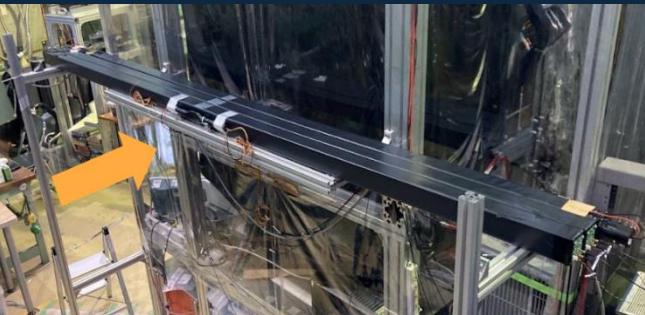


信号自体は反射波の影響で歪むが、検出効率に位置依存性はない
→ より高性能な新しいプリアンプ“ASAGI”を開発中 (SPADI-A)

Summary

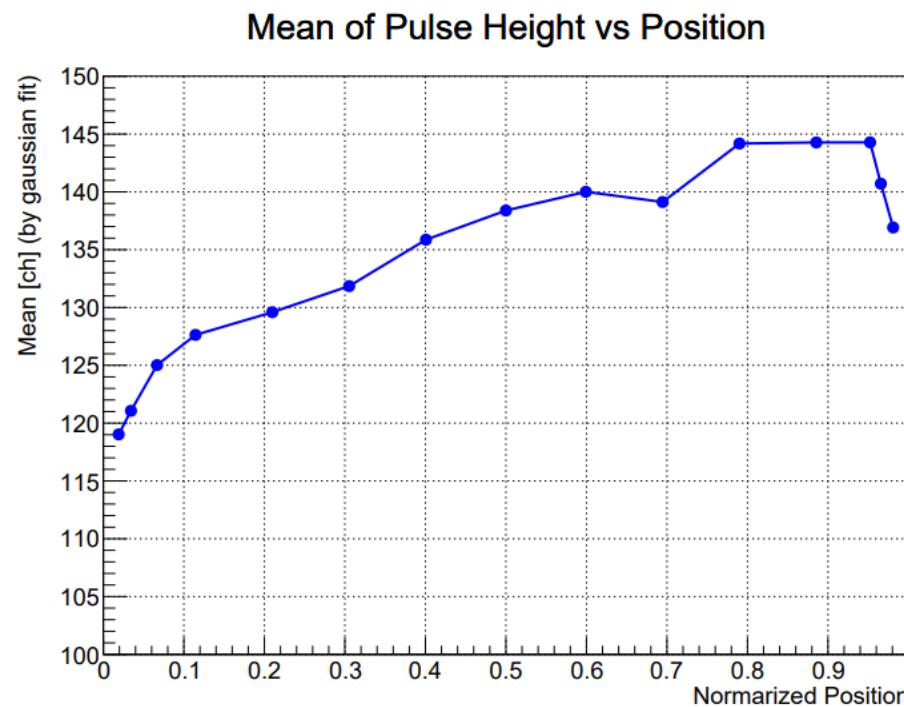
- ・次期K中間子原子核実験のための大立体角円筒型検出器群CDSを開発・建設をした。
 - ・ **Solenoid**
 - ・ 完成。
 - ・ 来年リターンヨークに入れて磁場測定予定。
 - ・ **CNC**
 - ・ 透過度が悪く、時間分解能が十分ではない個体があった。
 - ・ 工場で簡易的にできる評価法を確立し、透過度が悪いものは切断面を再度削る。
 - ・ 今年度中完成予定
 - ・ **CDC**
 - ・ 旧CDCから3倍長くなることから、性能に位置依存性が無いかを調査した。
 - ・ 位置依存なく~100%の検出効率が得られた。
 - ・ 実機でのコミッショニングを続ける。
- ・展望: 2026年 インストール、2027年 本実験(J-PARC E80)開始

ありがとう
ございました。

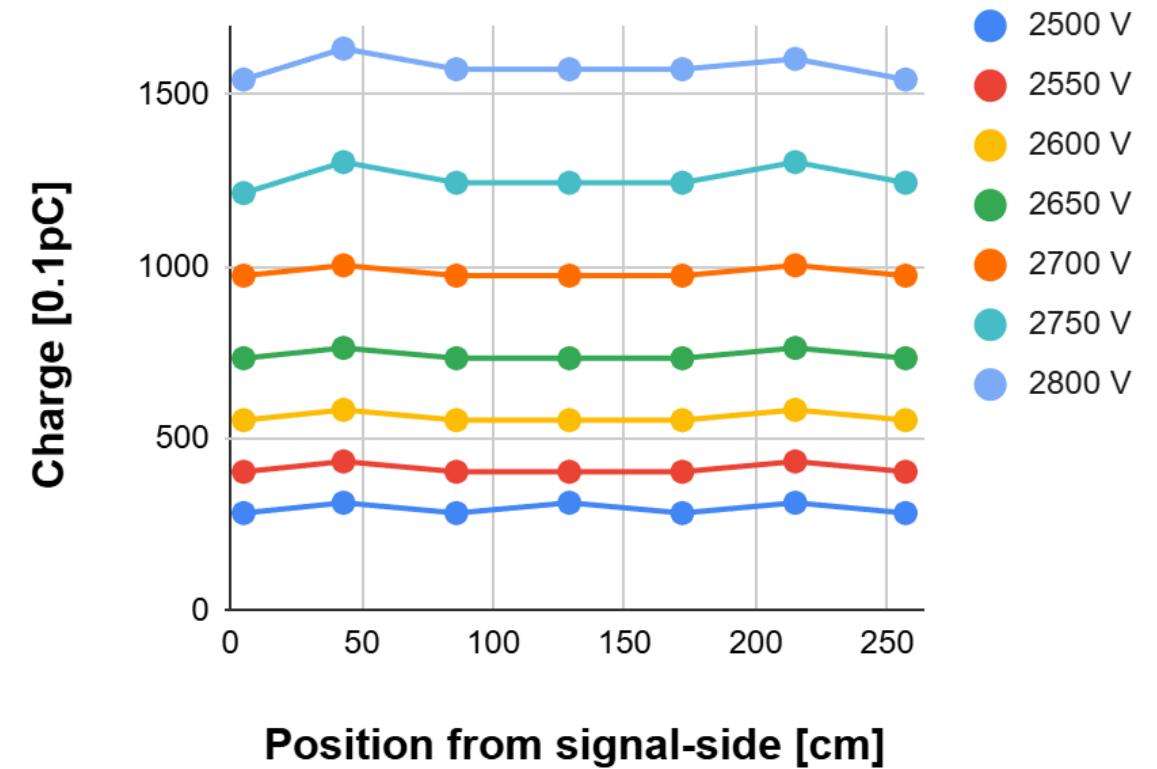


Backup

Pulse Height and Total charge



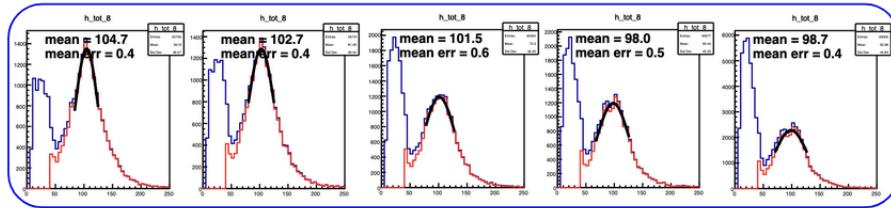
Charge vs Position (Main Peak)



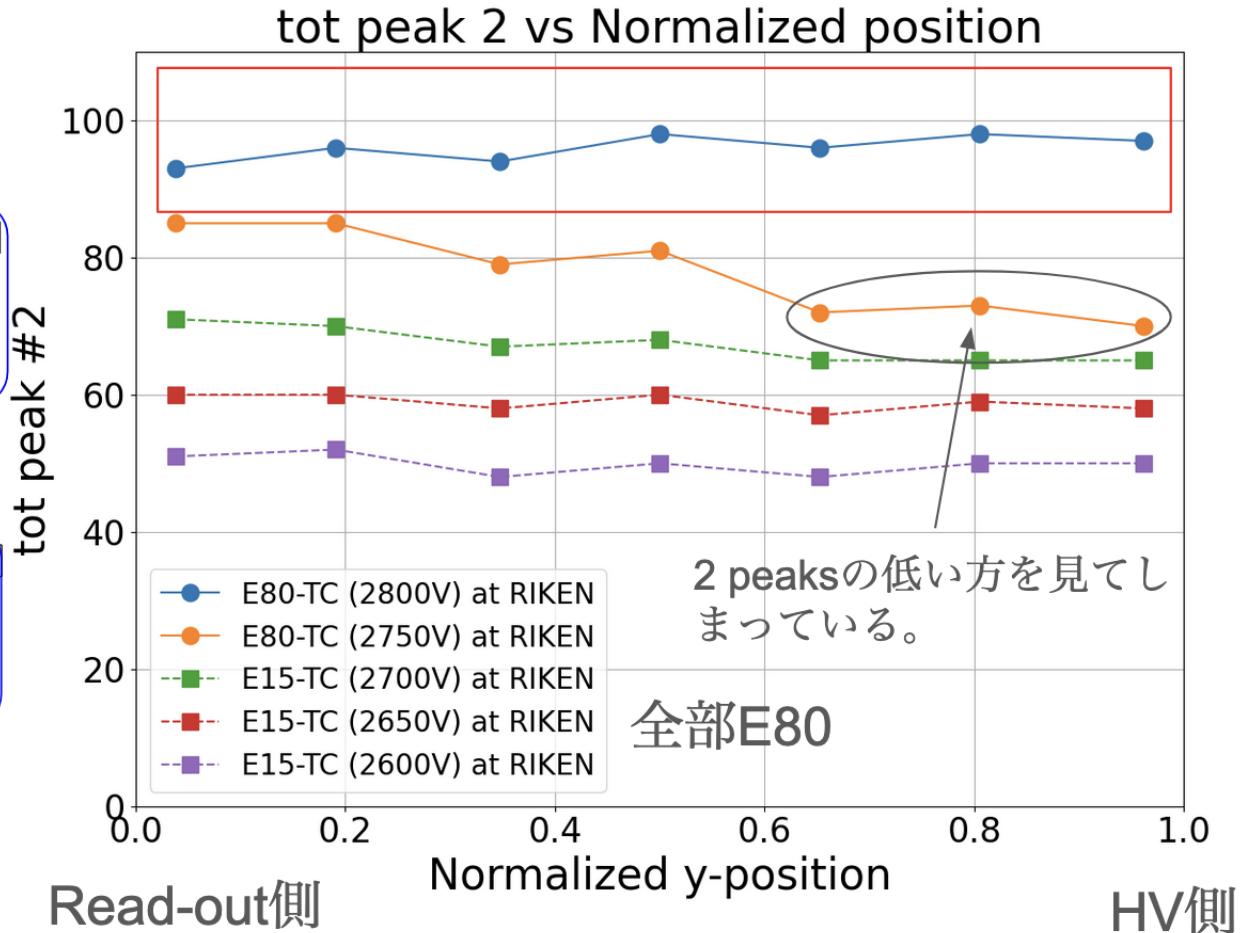
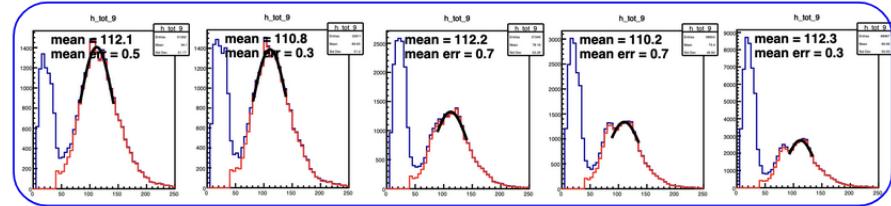
ToT: E80-TC

E80-TCのToTの場所依存はほぼ無い。

Wire#8



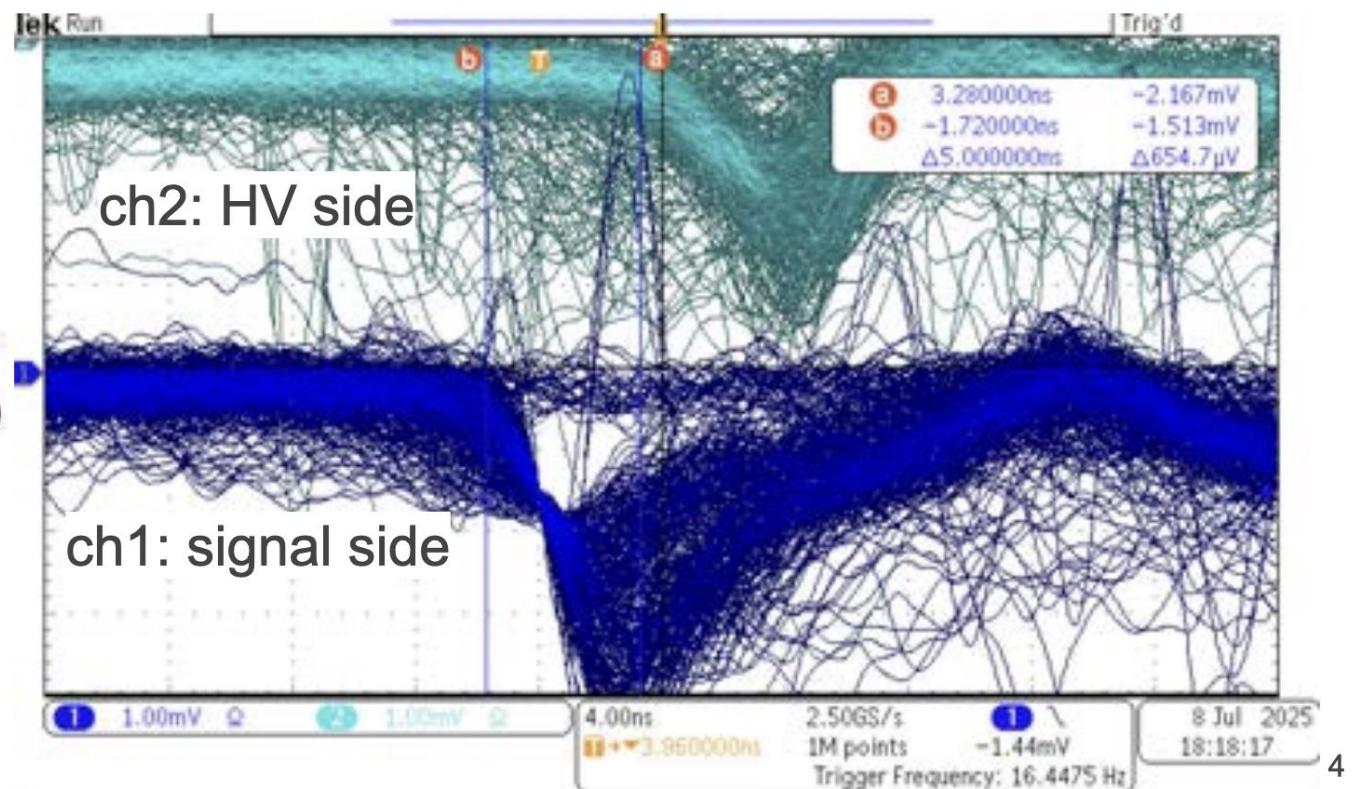
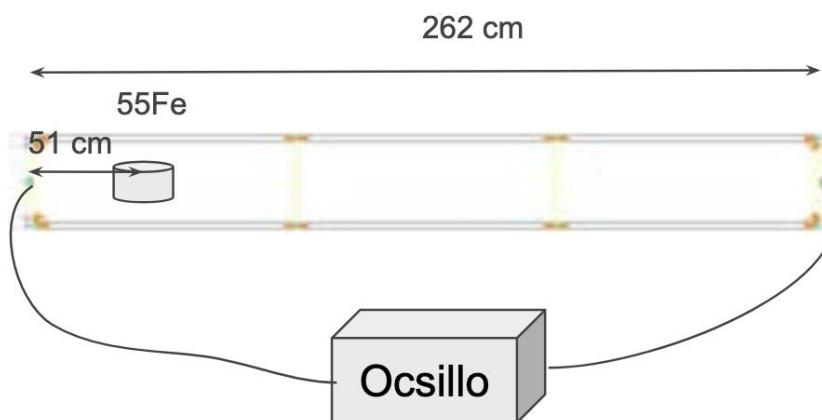
Wire#9



E80-TC: Transmission velocity

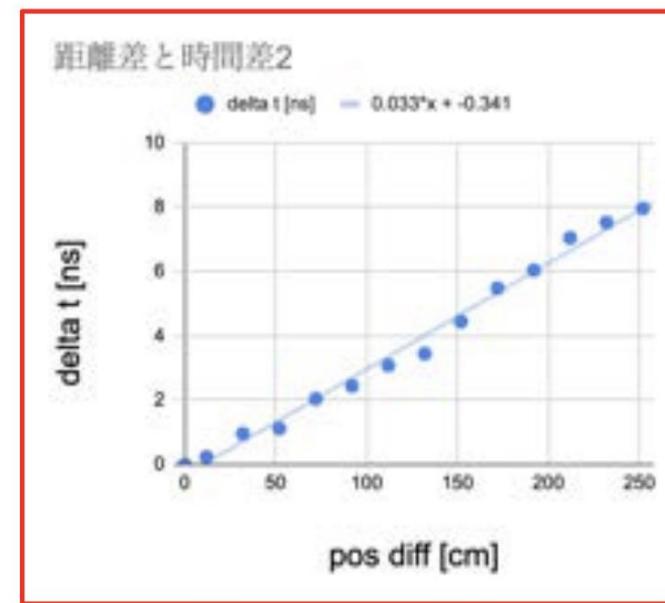
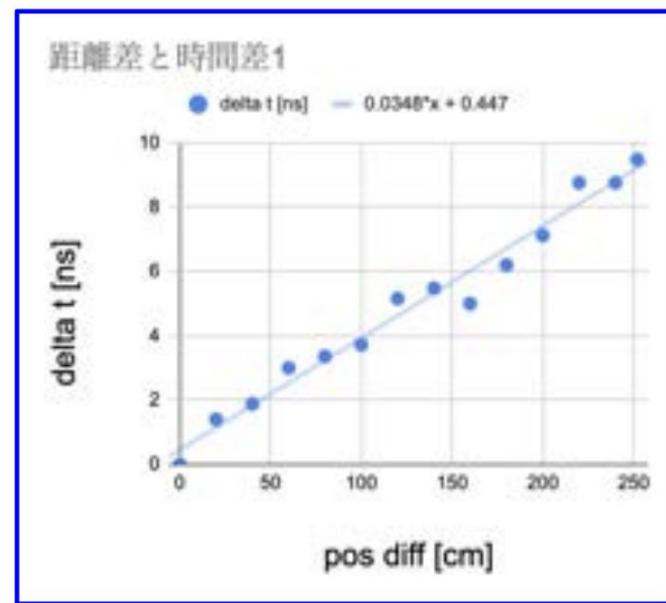
- Read the wave forms from both signal and HV side with oscillo

Example:
pos = 51 cm from the edge of signal side



E80-TC: Transmission velocity

pos [cm]	pos diff [cm]	delta t [ns]
5	252	9.48
11	240	8.76
21	220	8.76
31	200	7.12
41	180	6.2
51	160	5
61	140	5.48
71	120	5.16
81	100	3.72
91	80	3.36
101	60	3
111	40	1.88
121	20	1.4
131	0	0
137	12	0.24
147	32	0.96
157	52	1.12
167	72	2.04
177	92	2.44
187	112	3.08
197	132	3.44
207	152	4.44
217	172	5.48
227	192	6.04
237	212	7.04
247	232	7.52
257	252	7.96

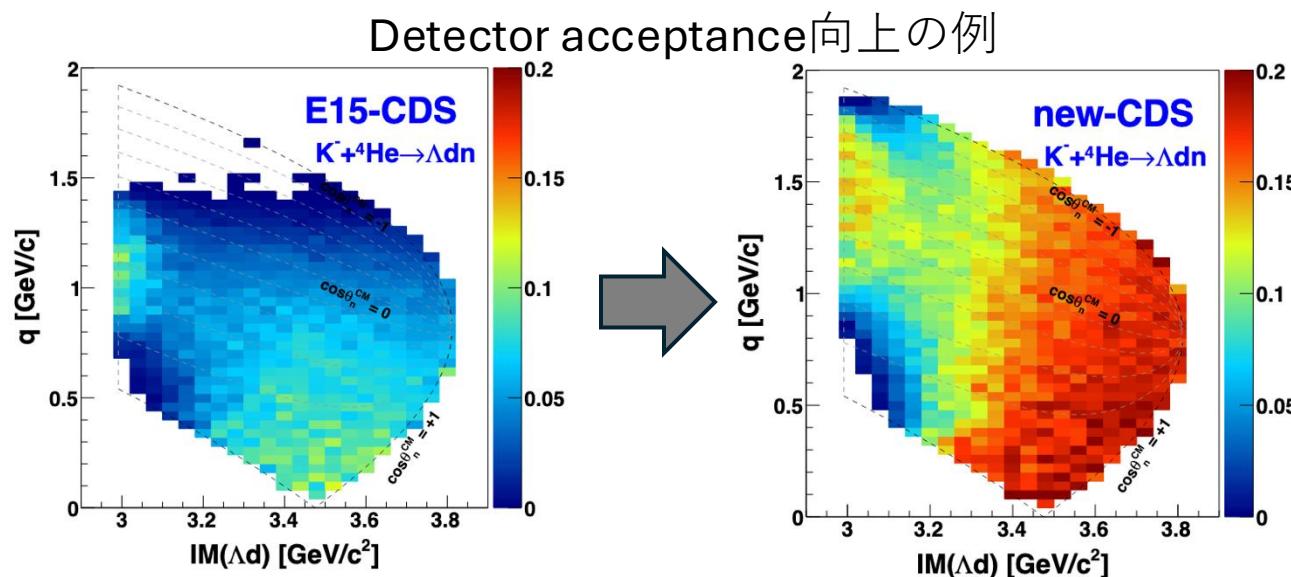


Result: $\sim 0.034 \text{ ns / cm} = \sim 3.4 \text{ ns / m} = c$

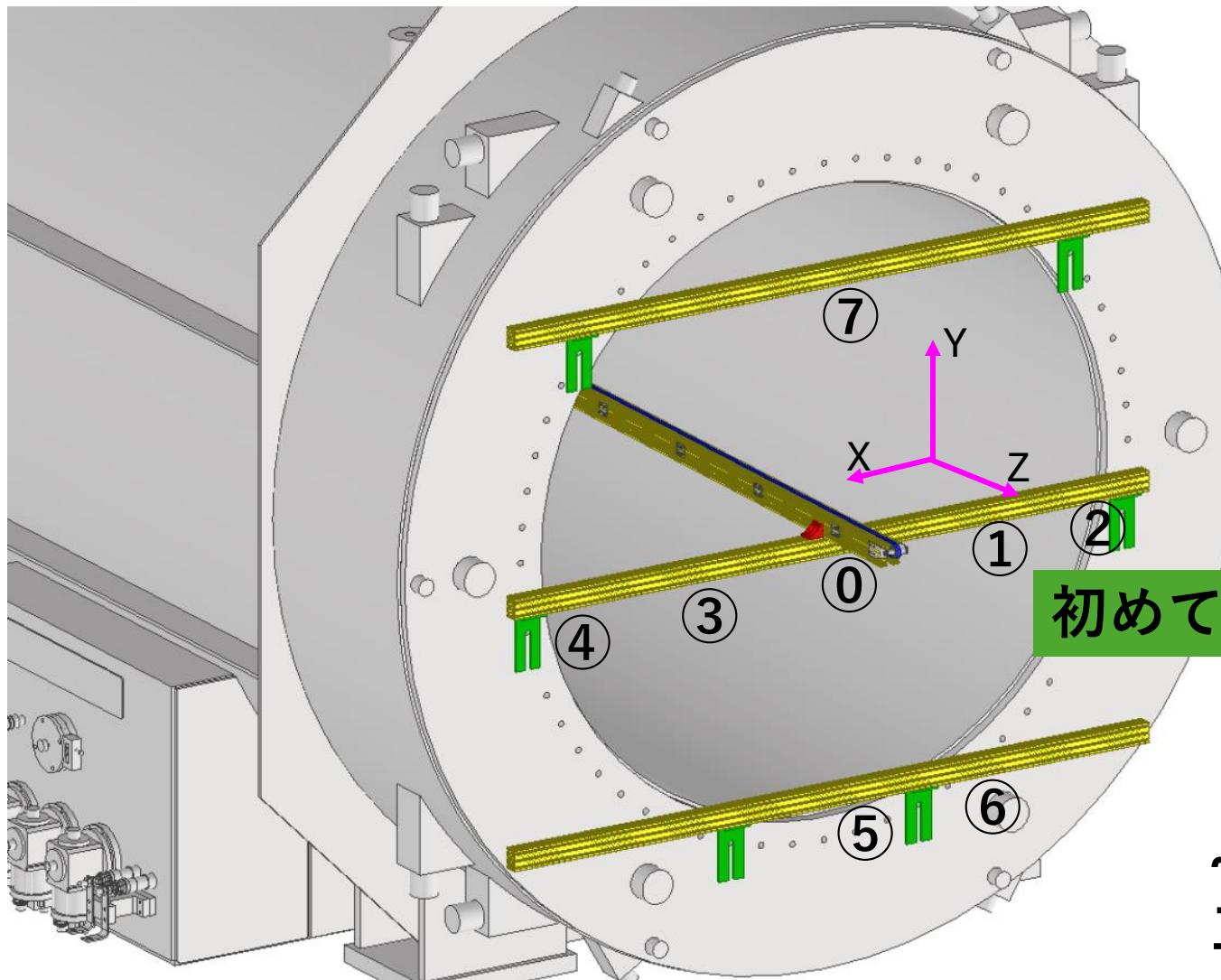
Cylindrical Detector System

Table 2: Estimated K^-ppn yield for a three-week data taking using the 90 kW MR beam power.

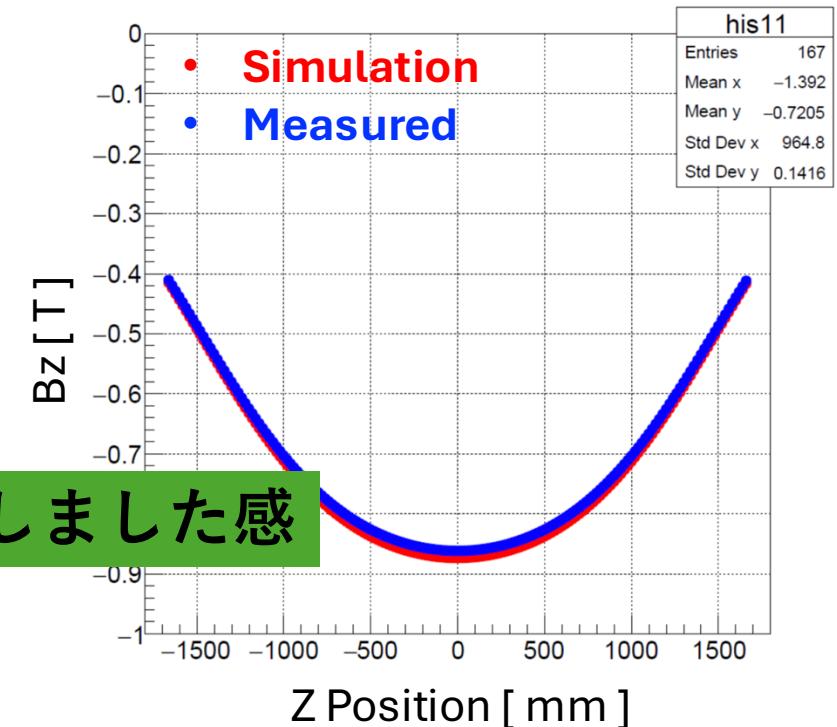
decay mode	Λd	Λpn
$\sigma^{tot} \cdot BR$	assumed to be $5 \mu\text{b}$	
accelerator up-time	0.9	
# of K^- beam	155×10^9	
# of K^- on target	100×10^9	
# of expected yield	1.2×10^4	1.2×10^3



ソレノイド: 磁場測定@TOSHIBA



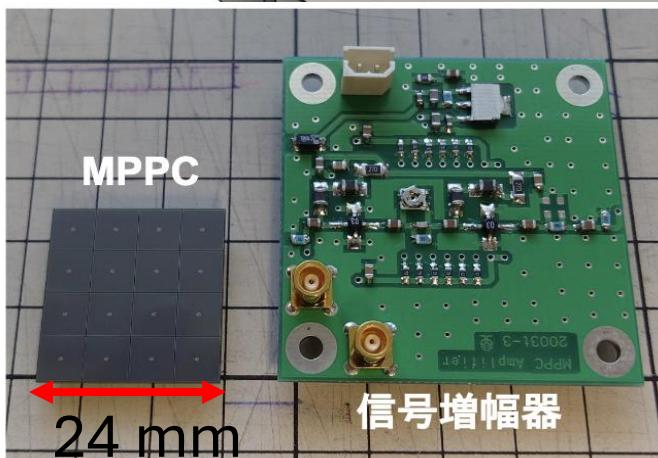
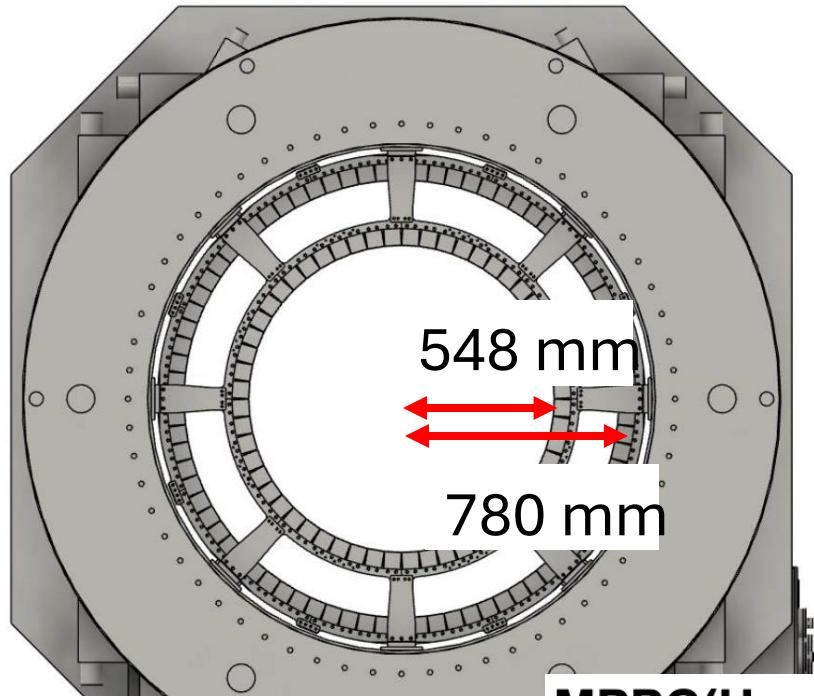
ヨークなしでの磁場測定結果@TOSHIBA
(Z方向Scan, Pos ①, I = 189A)



~2%
工場レベルでは設計通り励磁できた

✓ 来年度夏～秋: リターンヨークにインストール → 最終磁場測定

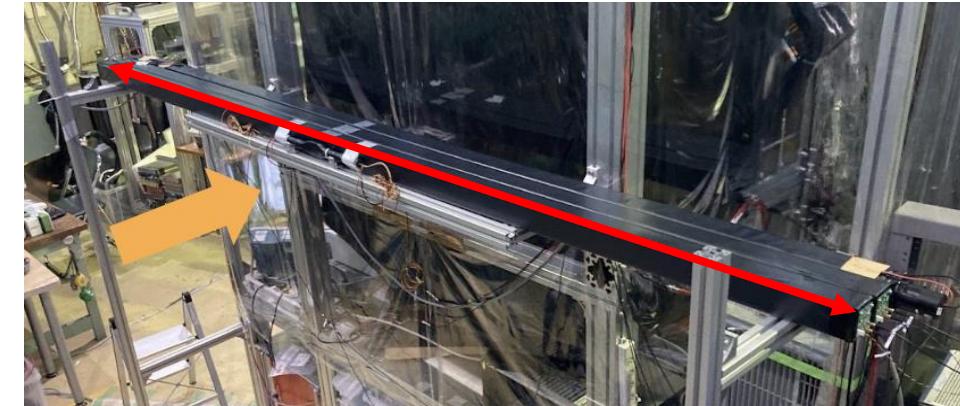
CNC



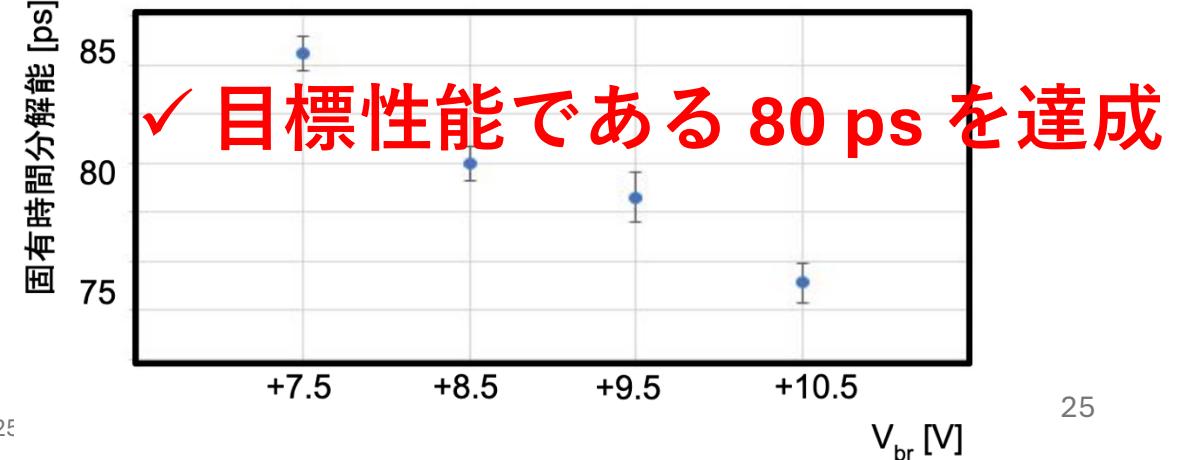
MPPC(Hamamatsu)

- S13361-6050AE-04
- 6 mm角の4×4 array
- hybrid × pararell結合で
1 ch読出
- 面積: ~ 580 mm²
- 量子効率: 40 %
- 信号増幅器
- 2段のRF増幅器
- PZC回路

- 内側56本、外側80本
 - 2層のプラスチックシンチレータアレイ
 - 300 mm * 60 mm * 60 mm



MPPCの時間分解能のバイアス依存性



CNC: 透過度

総まとめ:CNC1-8

- KIKUSUI電源は12.00V, 0.11Aで安定、BG~ 0 lxより無視、ref.の値は安定して~ 37000 lxだった。

	4面研磨(切斷△)	6面研磨(切斷○)	4面研磨(切斷○)					
	CNC1	CNC2	CNC3	CNC4	CNC5	CNC6	CNC7	CNC8
#1	12628	13219	12303	17120	15017	16195	16028	15656
#2	12634	13205	12362	17181	14987	16025	16042	15590
#3	12687	13223	12336	17006	15074	16020	15842	15555
#4	12704	13229	12337	17084	15084	16017	15901	15573
#5	12687	13268	12321	17030	15144	16014	15790	15530
ave	12668	13229	12332	17084	15061	16054	15921	15581
σ	0.3%	0.2%	0.2%	0.4%	0.4%	0.5%	0.7%	0.3%

切断が良い&
キャスト面を磨かない
ほど明るい傾向?
だがCNC4だけ異様に明
るい、