

# 大面積湾曲2次元位置敏感型中性子検出器の開発

東北大学大学院理学研究科物理学専攻 石田健浩

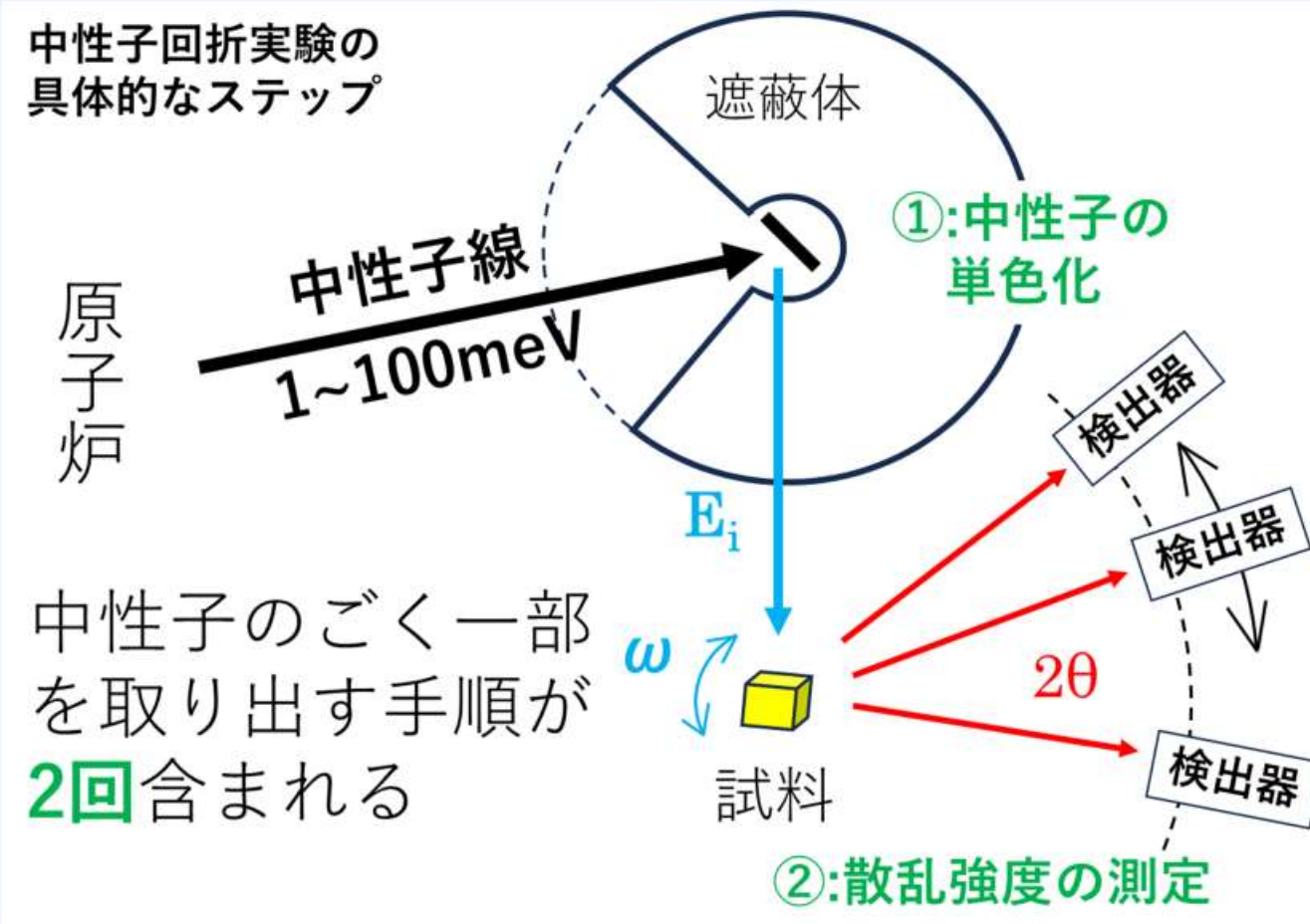
石田健浩<sup>1(当時)</sup>, 那波和宏<sup>1</sup>, 金城克樹<sup>1</sup>, 杉浦良介<sup>2</sup>, 浅見俊夫<sup>2</sup>, 野田幸男<sup>3</sup>, 木村宏之<sup>(故)</sup><sup>1</sup>, Myungkook Moon<sup>4</sup>, C.H.Lee<sup>4</sup>, 佐藤節夫<sup>5</sup>, 佐藤卓<sup>1(指導教員)</sup>  
<sup>1</sup>東北大多元研, <sup>2</sup>東大物性研, <sup>3</sup>東北大名誉教授, <sup>4</sup>KAERI, <sup>5</sup>KEK

## 中性子散乱実験の利点と弱点

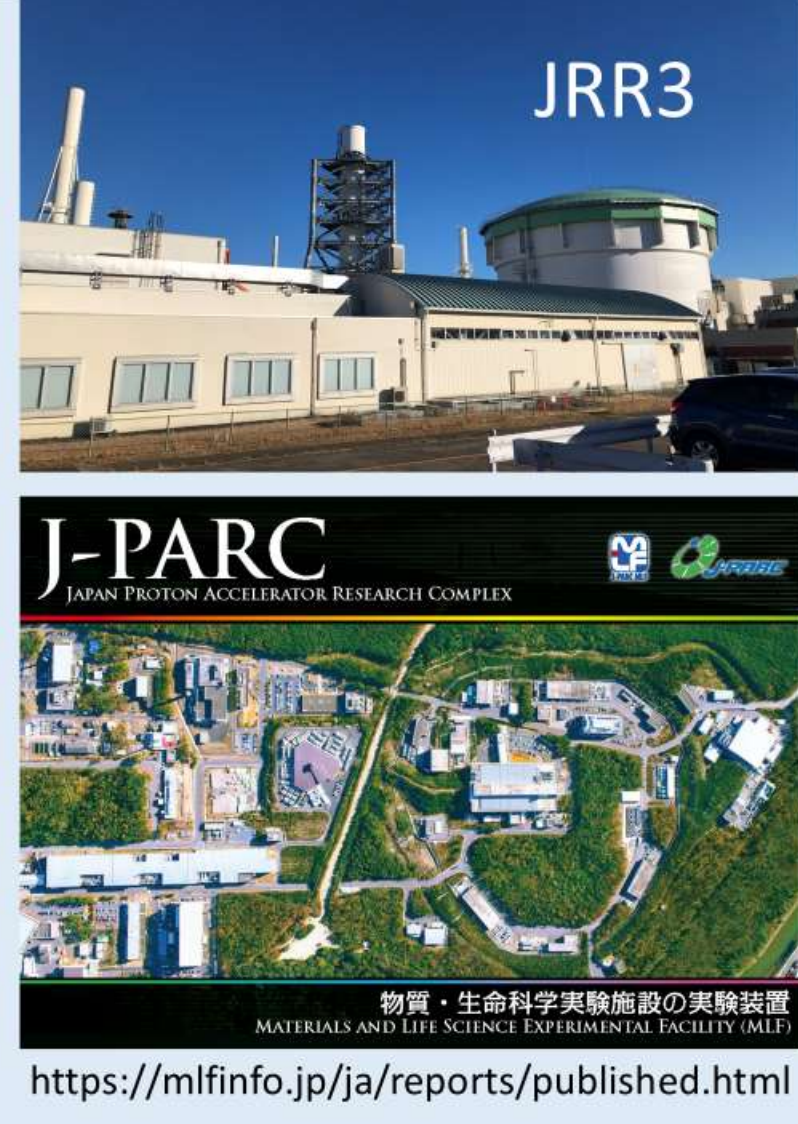
物性研究における強力な実験手法

- 原子核の情報を直接得られる
- 軽元素の観測にも適している
- 磁気的性質を探るのに不可欠
- 物質中の素励起の観測に適している

原子炉や加速器など大型施設でしかできない  
 コストがかかる上に得られる粒子数が少ない  
 → 中性子の無駄を減らす努力が必要



入射中性子の運動量を決め、散乱中性子の運動量を計測  
 小型検出器を使う場合、注目する位置に移動して検出された中性子数が散乱強度。検出器の無い方向に散乱した中性子は無駄になる  
 大型の検出器で、位置感知もできれば、中性子の無駄が減る

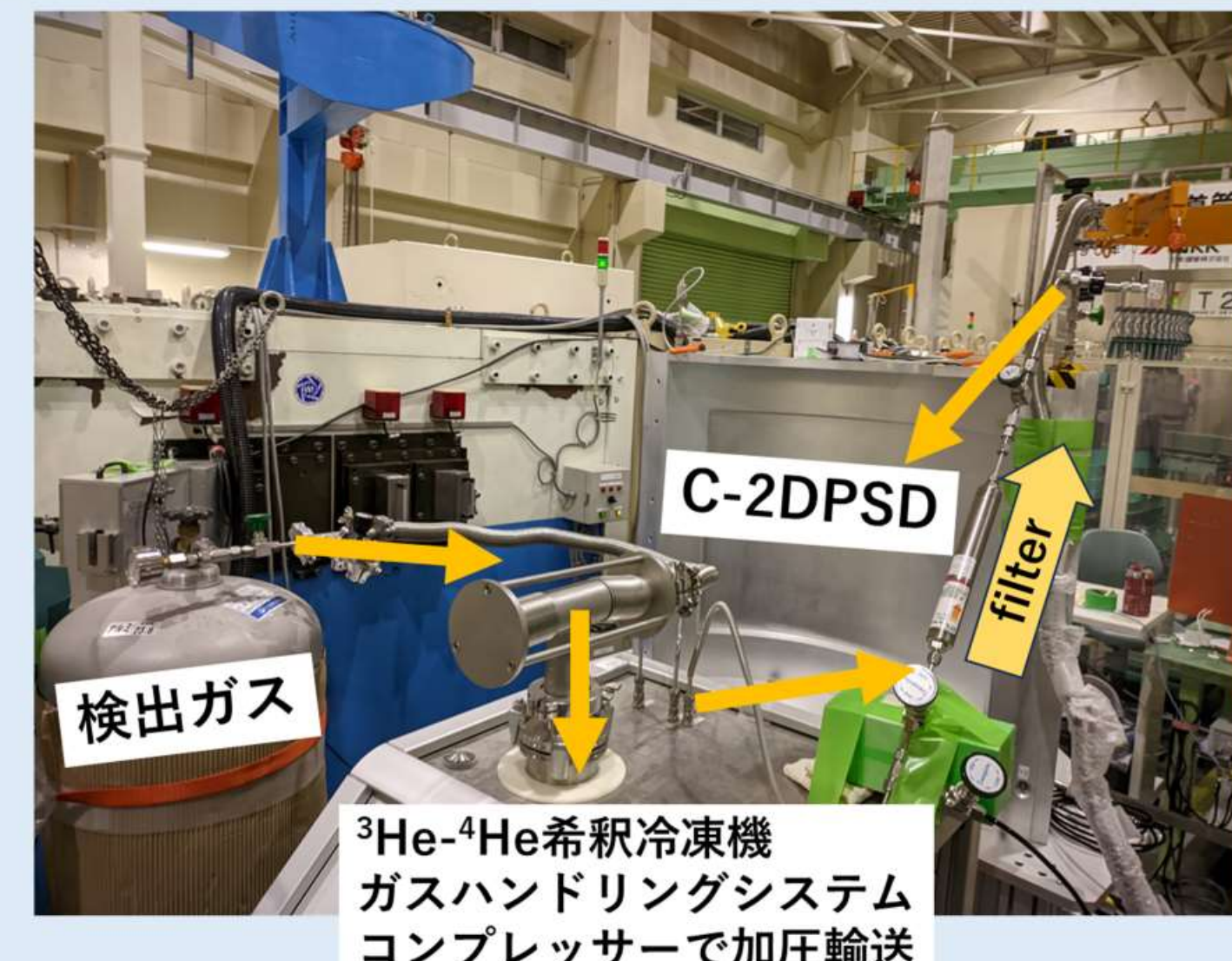


## 修復作業 検出ガスの封入

(石田, 那波, 金城, 杉浦, 浅見, 佐藤卓)

<sup>3</sup>Heは非常に貴重 (4000万円分)  
 無駄にしないよう工夫が必要

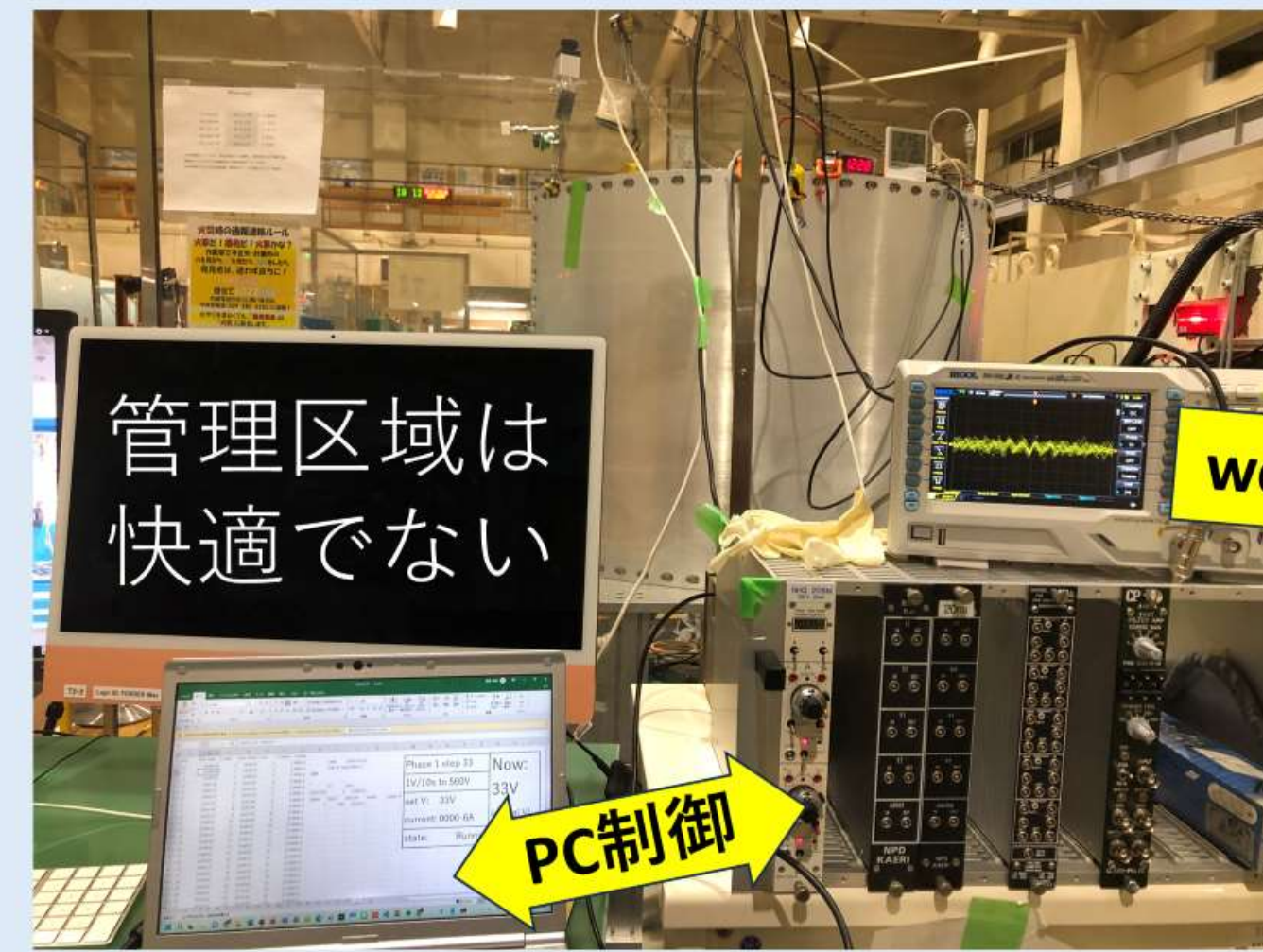
- 検出器にガス漏れがあった → O-ringを取り換え、<sup>4</sup>Heを封入して漏れないことを確認
  - 一晩かけて真空引きした後、検出ガスを封入 (<sup>3</sup>He+CF<sub>4</sub> 2atm)
- <sup>3</sup>He-<sup>4</sup>He希釈冷凍機の<sup>3</sup>Heを循環する機構を利用し無駄なく加圧輸送



## 修復作業 高電圧試験

(石田, 那波, 金城, 佐藤卓)

検出器に高電圧をかけ比例計数領域を目指す  
 放電がないか監視しながら慎重に電圧を上げていく  
 放射線管理区域内は長時間の滞在に適していない  
 シリアル通信で電源をPC制御、PCを区域外からリモート操作  
 → 快適かつ効率的に改善 (320V/day→560V/day)



## 悲劇の検出器 C-2DPSD

(野田, 木村, Moon, Lee)

散乱強度は試料に対する角度に依存する  
 球面状に湾曲した形状が理想 → 開発が難しい  
 平面型の2次元検出器 → 斜入射中性子の補正が必要

Curved 2-Dimensional Position-Sensitive Detector

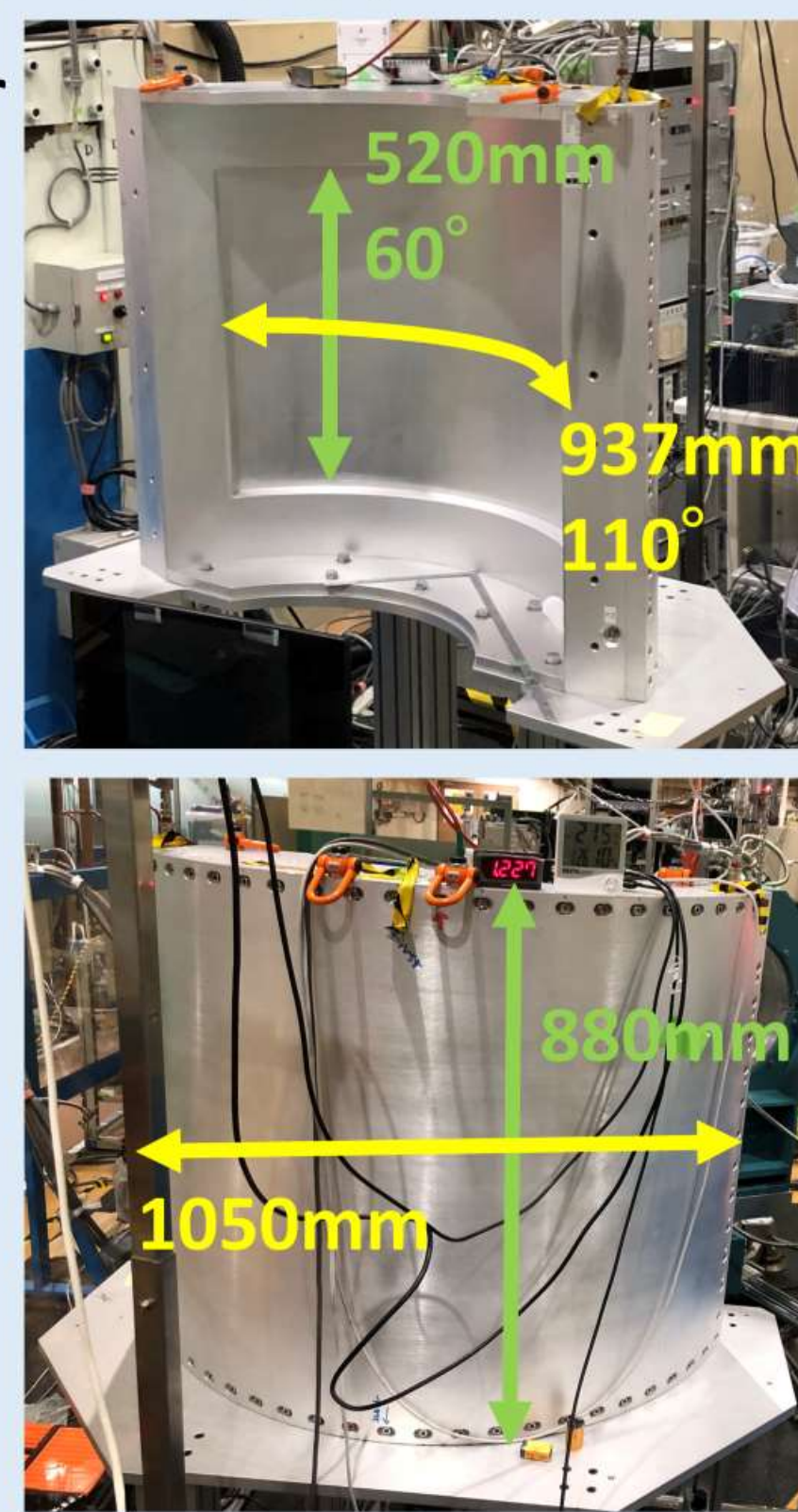
- 日韓の共同研究で10年以上前に開発
- 大面積湾曲型中性子検出器
- 世界でも非常に珍しい成功例

2011年 JRR3での運用に向け最終調整  
 東日本大震災によりJRR3が運転を停止  
 → 10年間一度も使われず放置

2021年 修復活動が始まったが...

- 当時の開発グループが解散
- 研究資料がほぼ残っていない
- 関連業者が10年のうちに一部倒産

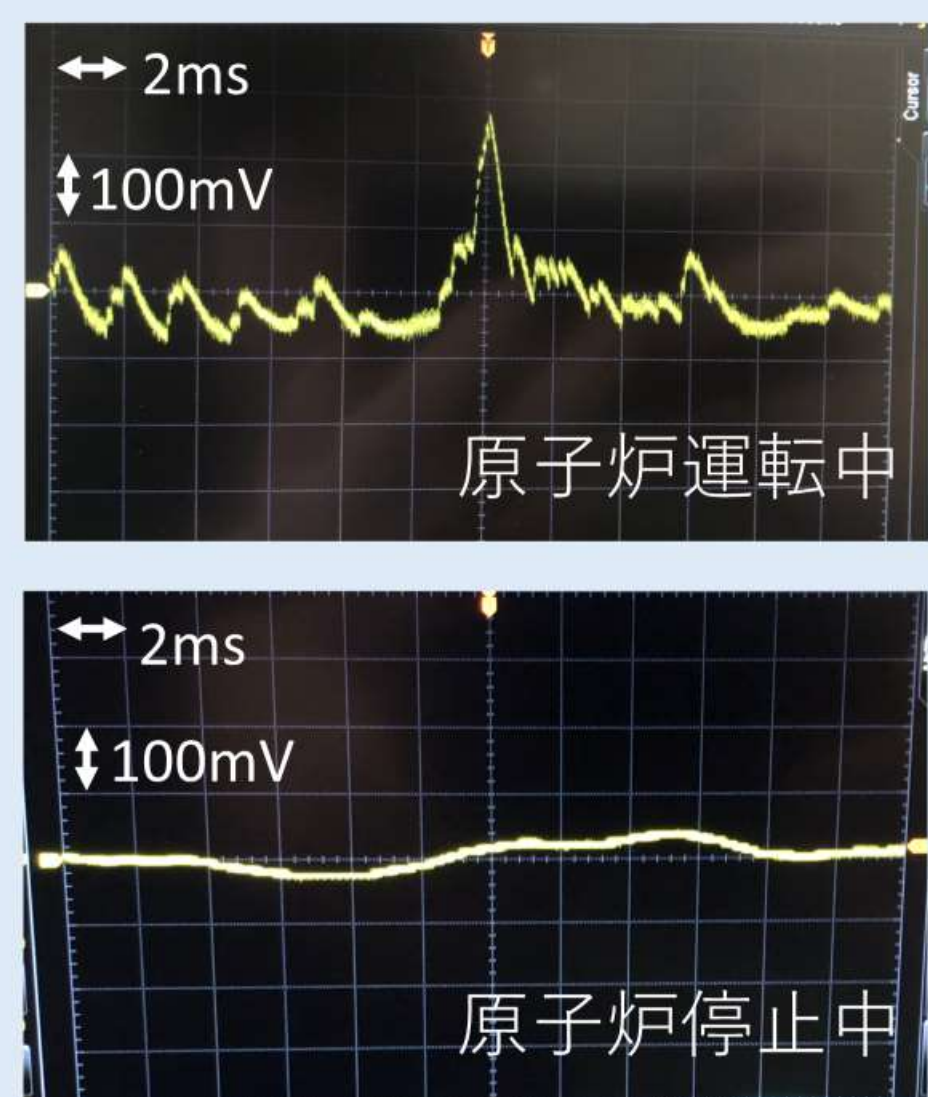
1から再開する課題も多く、活動は難航



## 中性子検出に成功

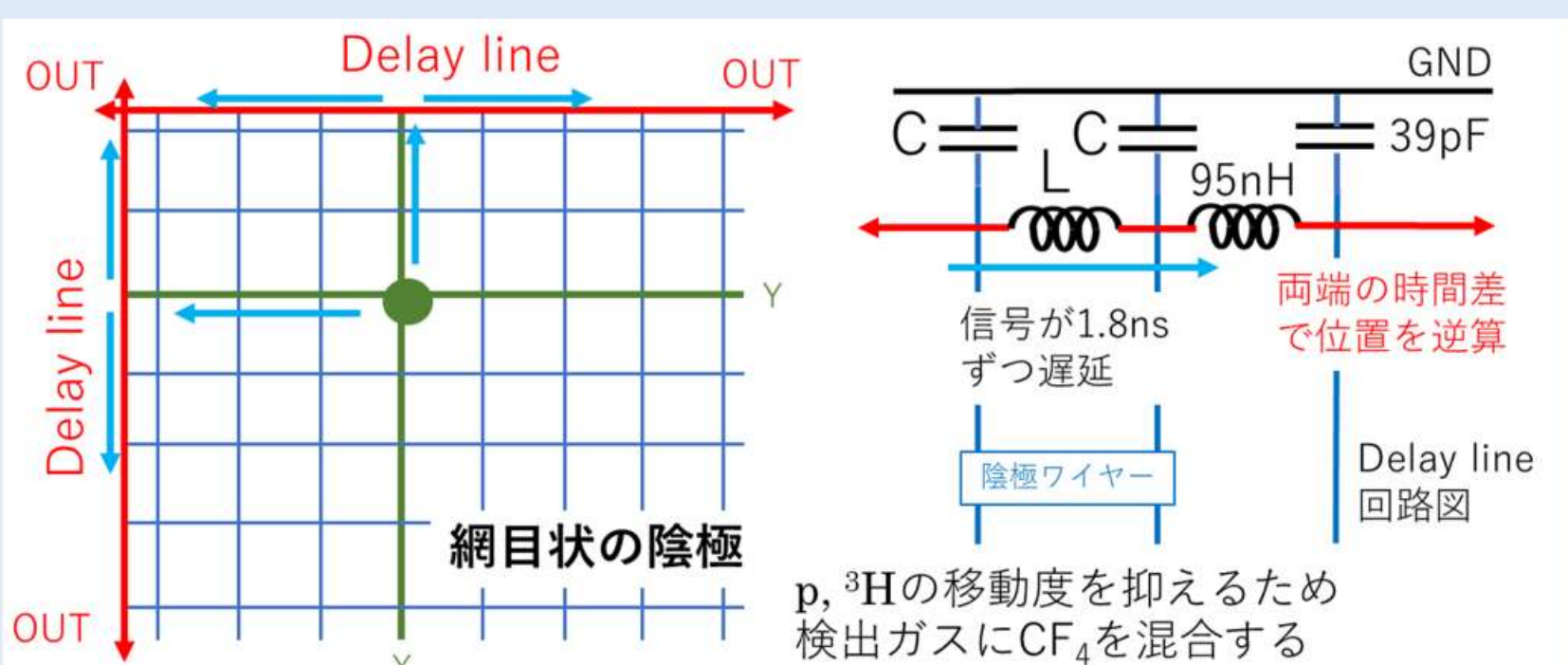
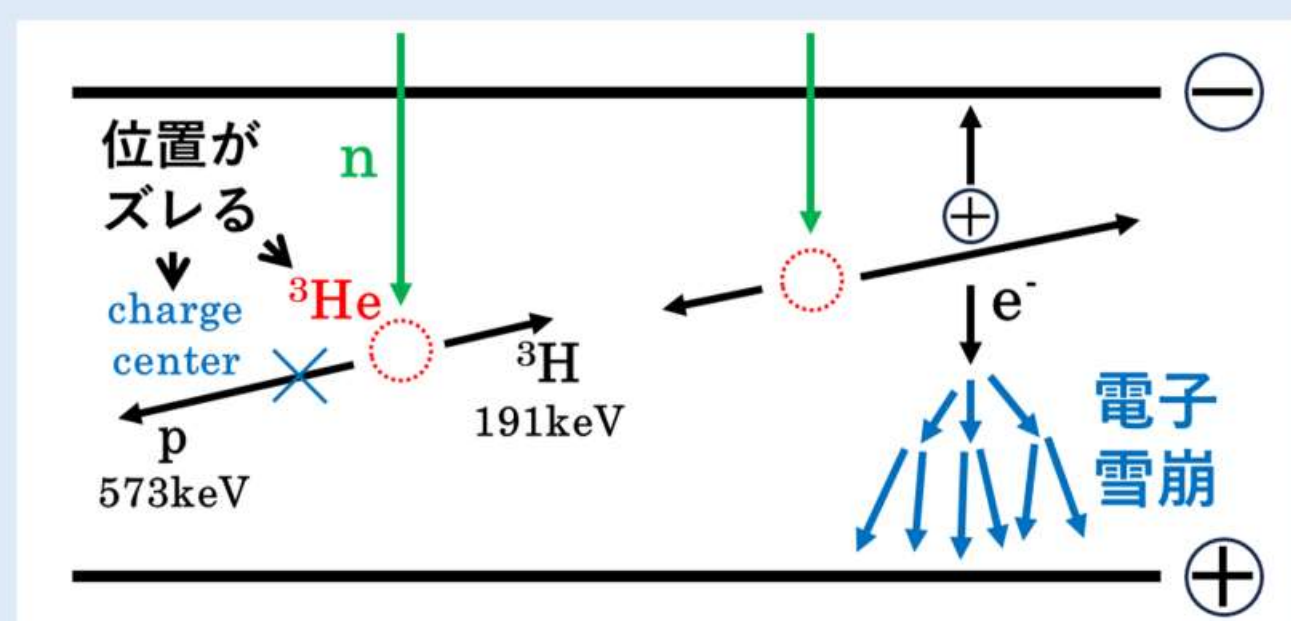
(石田, 佐藤卓)

高電圧試験が進み1000Vを超えた辺りで、  
 中性子検出の予兆を確認  
 階段状の信号：プリアンプの急激に上がった電圧が、過渡現象でゆっくり下がる間に次の信号が来ることで発生  
 この信号はビームタイム終了後に消滅  
 次に、ビーム停止中の信号を観察  
 停止中も放射化した物質からγ線が放射され、<sup>3</sup>Heでもある程度これを検出可能



## C-2DPSDの動作原理と修復に必要な課題

中性子から直接電気信号を得ることはできない → 他の放射線を検出  
 $^3\text{He} + n \rightarrow ^3\text{H} + p + 0.764\text{MeV}$   
 化学的に安定  
 γ線に反応しにくい } <sup>3</sup>Heは理想的大型検出器に向く



検出器は位置感知用の陰極が網目状に張られたMWPC軸に沿ったDelay lineに接続  
 → 信号が1.8nsずつ遅延  
 ワイヤーとDelay lineの端の距離が遅延時間に比例

Delay line両端の信号の時間差が座標値に線形対応

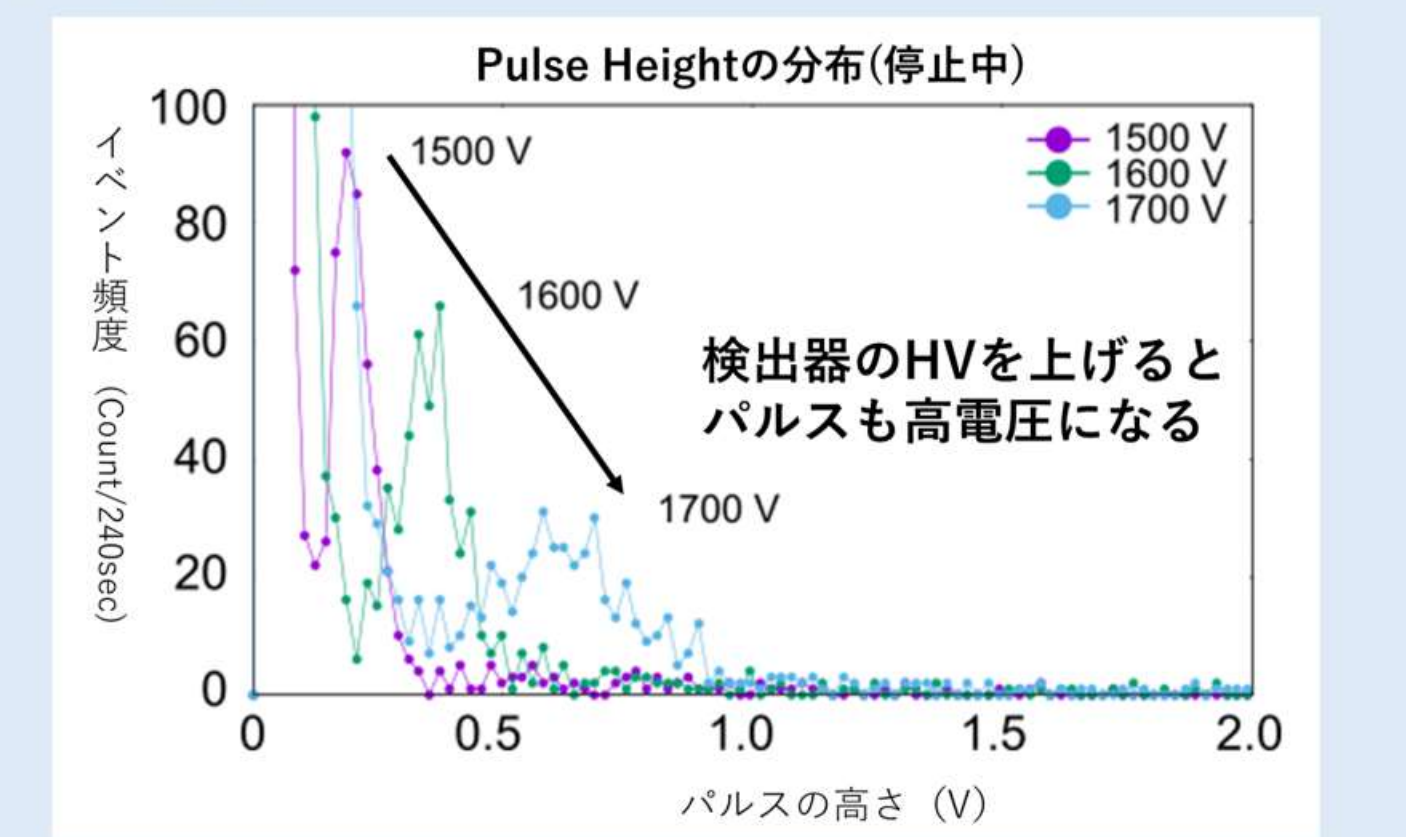
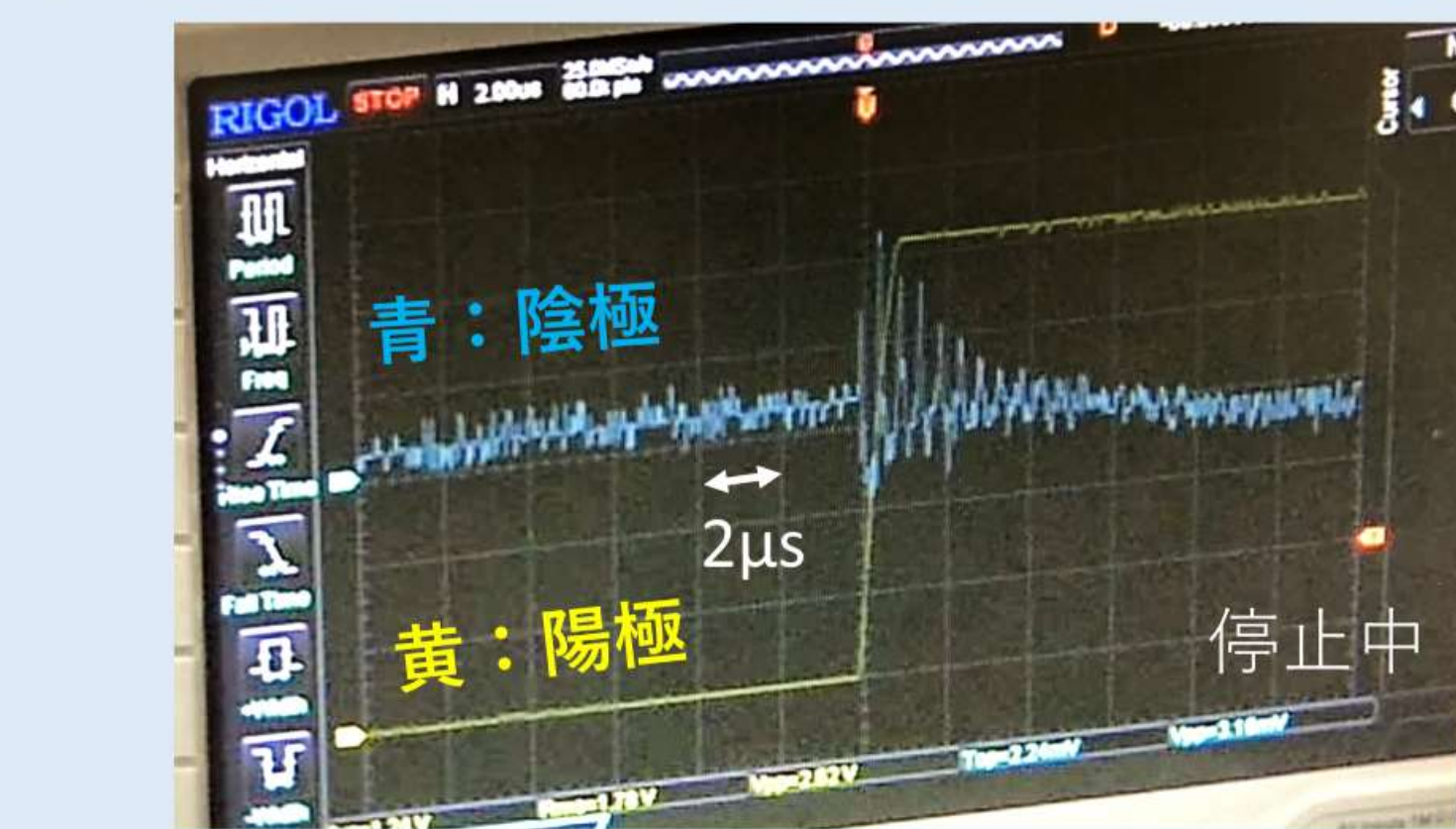
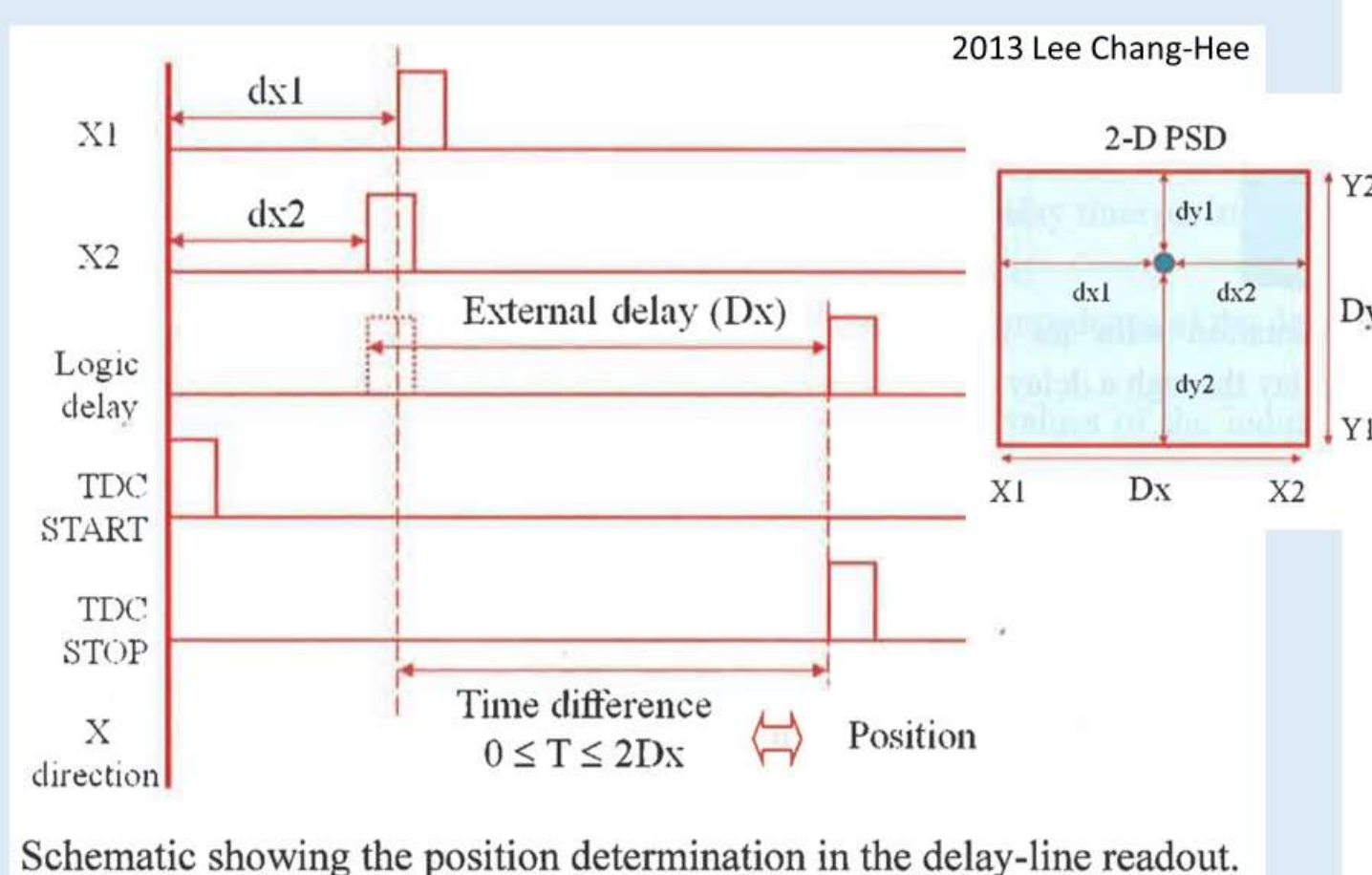
→ 計4つの読み出しから2次元的な位置情報が得られる

C-2DPSDは高い検出効率(500kcps)を目指して開発された

→ 高速な解析のため専用の外付けエレクトロニクスも開発

必要な課題:

- エレクトロニクスが破損 → 1から再開が必要 (佐藤節夫)
- 検出ガスの封入と 比例計数領域まで高電圧をかける試験



陽極の反応の直後に陰極の電圧が500ns程度の周期で振動  
 信号が陰極のDelay line (最大遅延240ns) を往復している  
 検出器電圧を上げるとパルスも高い方へ推移 → 比例計数領域

運転開始直後  
 パルスが急激に増加  
 → 約2000cpsの信号  
 放射線量と比較し  
 中性子だと判明



## まとめと今後の展望

悲劇的な運命をたどったC-2DPSDだったが、我々の活動により検出ガスを安定的に保てるようになり、高電圧試験を進めると中性子検出ができるまでに修復できたことが確かめられた。今後はエレクトロニクスを導入し、位置感知や500kcpsのカウンtrateを目指した調整を進めることになる。