

「ラドン検出器を用いた放射線教育」

～ 放射線・放射能リテラシ向上のために～

筑波大学 数理物質系 特命教授 三明康郎

動機) 2つの問題意識

- ・ 放射線・放射能リテラシーの欠如
 - ✓ 福島原発事故以降、国民の放射線・放射能に関する知識の欠如が浮き彫りになった。大きな課題。
- ・ ハードウェアの機会の欠如
 - ✓ 実験装置や電気回路などを自ら開発・製作する機会が低下している。ソフトウェアとハードウェアのバランスが重要と思われるが、ハードウェアへの十分な機会が与えられていない。



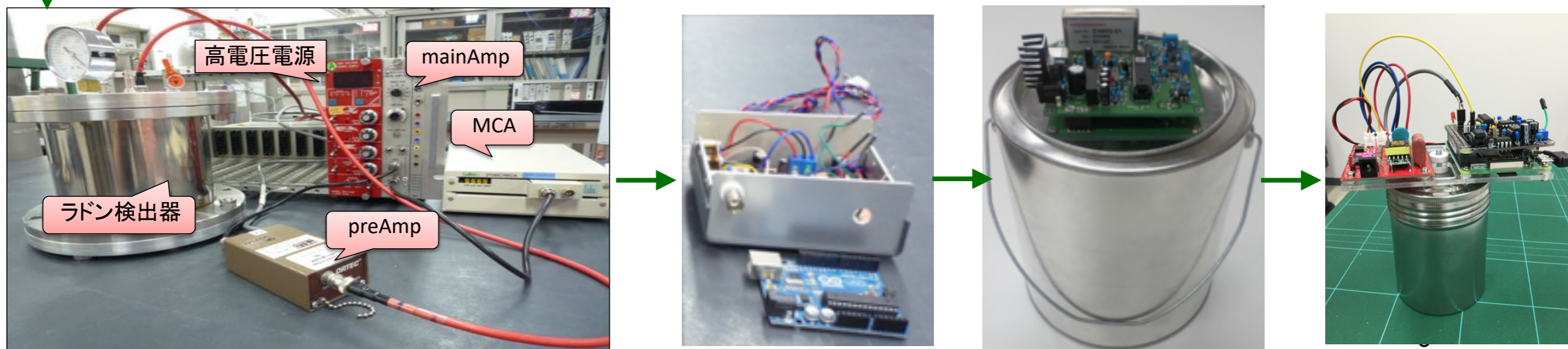
最もありふれた放射性物質ラドンを用いる放射線・放射能教育のための教材を提供したい

経緯

- 多くの先行研究を参考に
 - ✓ 根本、田阪、堀、奥村、梶田、竹内、
RADIOISOTOPES 46(1997)710
 - ✓ Takeuchi et.al., NIM A421(1999)334
 - ✓ 佐賀大H15年度修士論文 能戸信行氏 (大隅研)
 - ✓ 筑波大修士論文H11?年度志賀薫氏 (田岸研)
- 我々も卒業研究や修士論文から始めた
 - ✓ 筑波大H19年度卒業研究 常鵬
 - ✓ 筑波大H22年度卒業研究 H24年度修士論文
中島朋

実績

- KEKサマーチャレンジ
実験課題(2009~)
- 茗溪学園出前実験
- 奈良女 (2018-2019)卒
研課題 (下村研)
- 横浜国立大 (2019)
卒研課題 (南野研)
- 筑波大2-3年次課題探究
セミナー(2018-2019)



ラドン検出器を用いた放射線教育 —教材開発と実践—



中島 朋
三明 康郎

筑波大学教育研究科修士課程

筑波大学数理物質系

1. はじめに

ラドン ^{222}Rn は、半減期 3.8 日の放射性元素で、無色無臭の希ガスである。ウラニウム ^{238}U (半減期 45 億年) を起点に次々と原子核崩壊を繰り返して鉛 ^{206}Pb (安定) に至るウラン系列に属している。ウラニウムは地中の岩石や土壤に含まれているので、その崩壊過程でラドンが発生し地表にまでしみ出してきている。私たちの自然放射線被ばく量 (積算 2.4 mSv/年) の約半分は空気中のラドン吸引に起因する。

本稿は、身近に存在するラドンを題材として、原子核の崩壊や半減期、放射線のエネルギーについて学ぶ補助教材として、「ラドン検出器」を提案するものである。

2. 放射線教育

レントゲン撮影や X 線 CT、さらに陽子線や重

合成、地球や宇宙の歴史にまで想像を拡がらせることができるのではないだろうか。そういった意味で放射線教育は、放射線の恩恵とリスクの問題に留まらず、私たちの自然認識の根幹に関わる内容を包含しているのである。

さて、高等学校新学習指導要領の物理の原子の単元では、原子核の構成、原子核の崩壊および核反応などを理解することが求められている。しかし、放射線測定器として高等学校の教科書に記載されている霧箱や GM 計数管は、放射線の飛跡や量を測定することはできるが、原子核の崩壊や半減期、放射線のエネルギーについて学ぶための適当な実験教材は見当たらない。

放射線教育における放射性物質使用の有用性は、以前から指摘されていた¹⁾が、中高等学校の教育現場への放射線源の持ち込みや、その維持管理は大きな負担である。ラドンは空気中に広く存

教育教材用ラドン検出器の現状

2020.04版

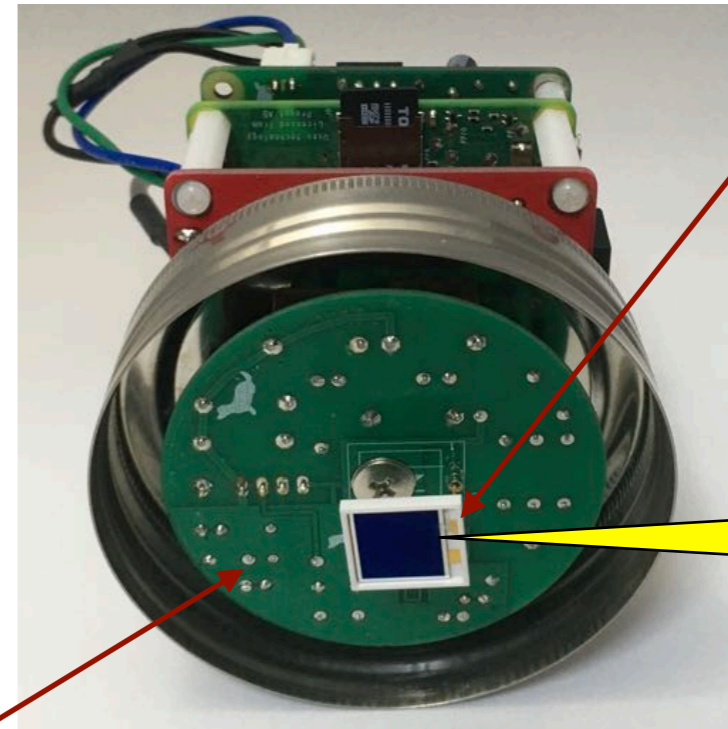


整形・ADC基板

Raspberry Pi

電源基板

プリアンプ



Si半導体

ラドン崩壊によって生成した娘核陽イオンをSi表面に静電吸着(-1kV)し、 α 線を測定

・ 特徴

✓ 組み立てキット

✓ Raspberry piを使用したIOT機器

✓ 制御／解析もWebアプリとして提供

・ 安価（目標5000円、現状2万円）

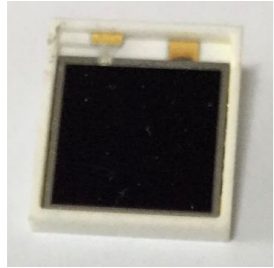
DC6V 1A

構成

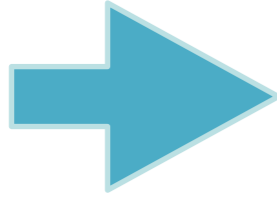
目標5000円、現状2万円

2020.04版

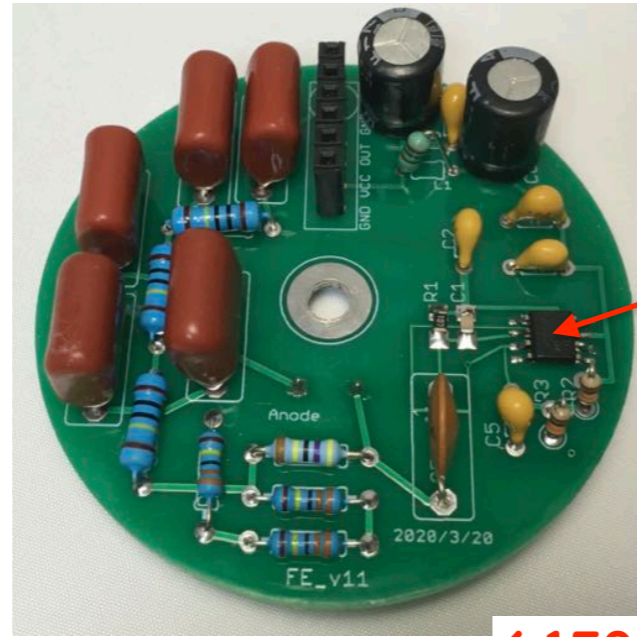
シリコン検出器
(Photo Diode)



S3590-09
10mmx10mm
(10,000円)



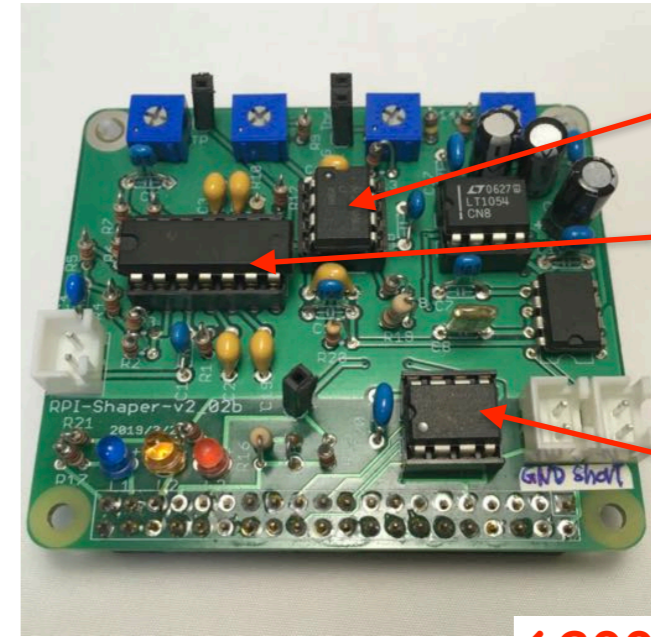
プリアンプ



OP (<200)

< 1500円

整形アンプとADC



S&H (~200)

OP (< 50)

ADC (160)

< 2000円

ラズパイ



Model A+ (3300円)
もしくは
Zero WH (2200円)

電源(-1kV, 5V)



昇圧回路
(~1000)

< 1500円

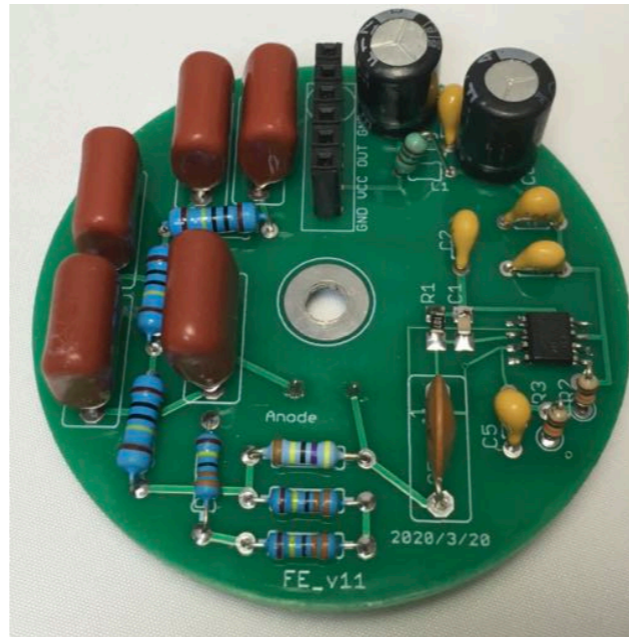
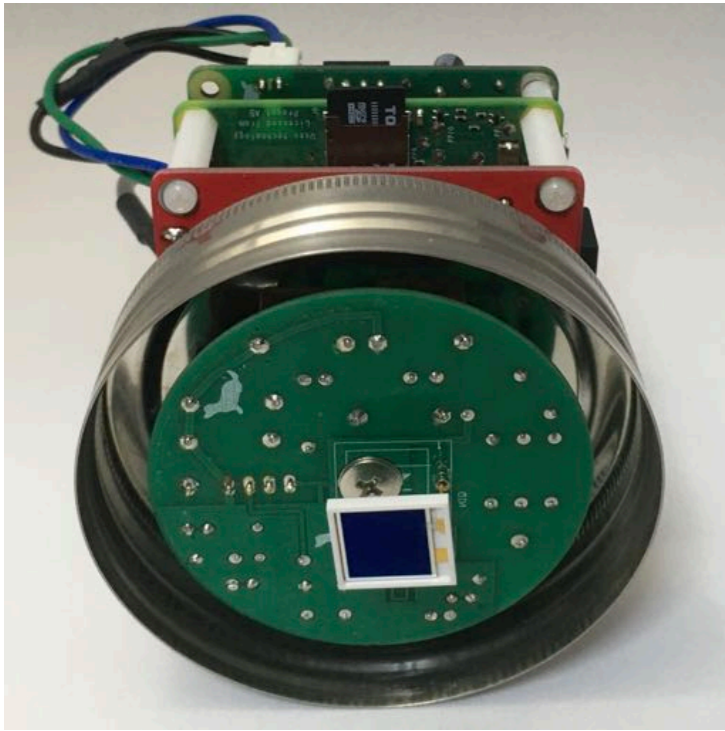


DC 6V 1A
(~650円)

①プリアンプの組み立て

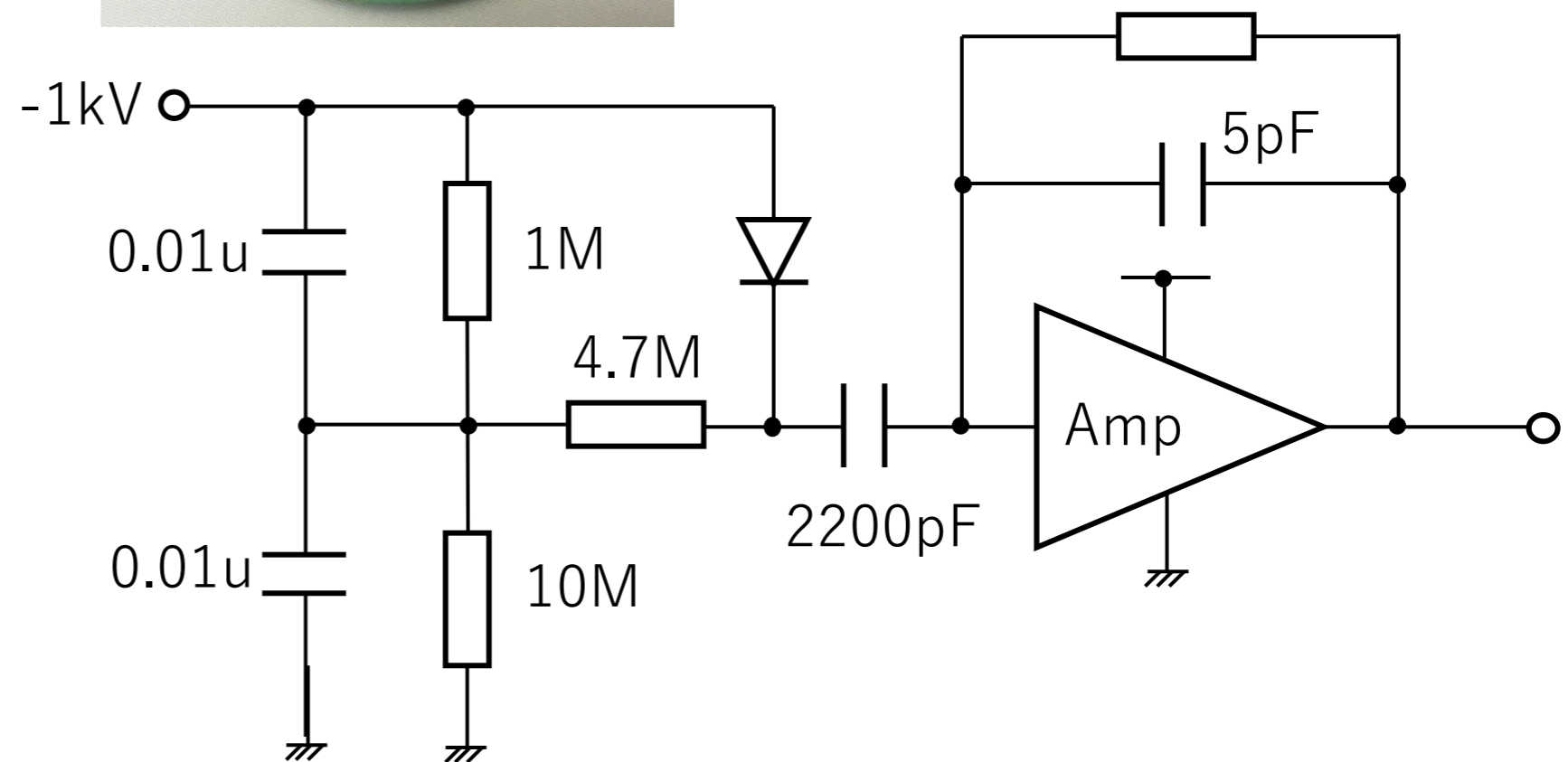
FE_v11版

半田付け作業時間～1時間



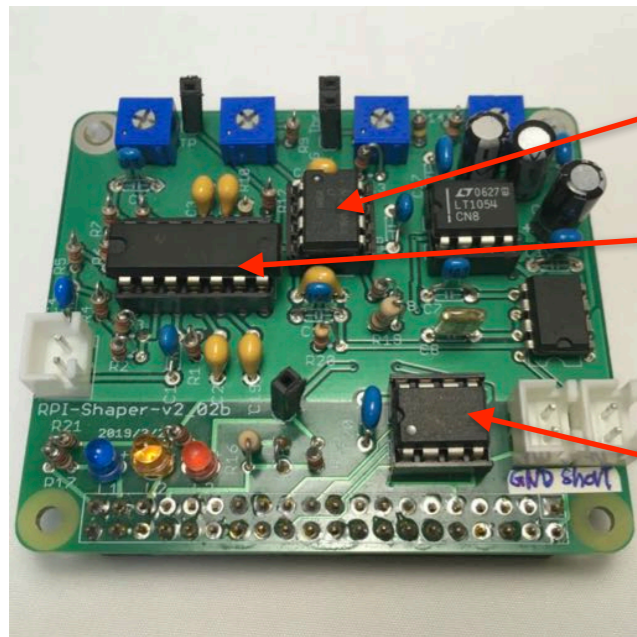
OP amp
OPA134
$I_{Bias}=5pA$
$20V/\mu s$

表面実装部品 3個



②整形アンプの組み立て

半田付け作業時間～2時間



S&H (~200)

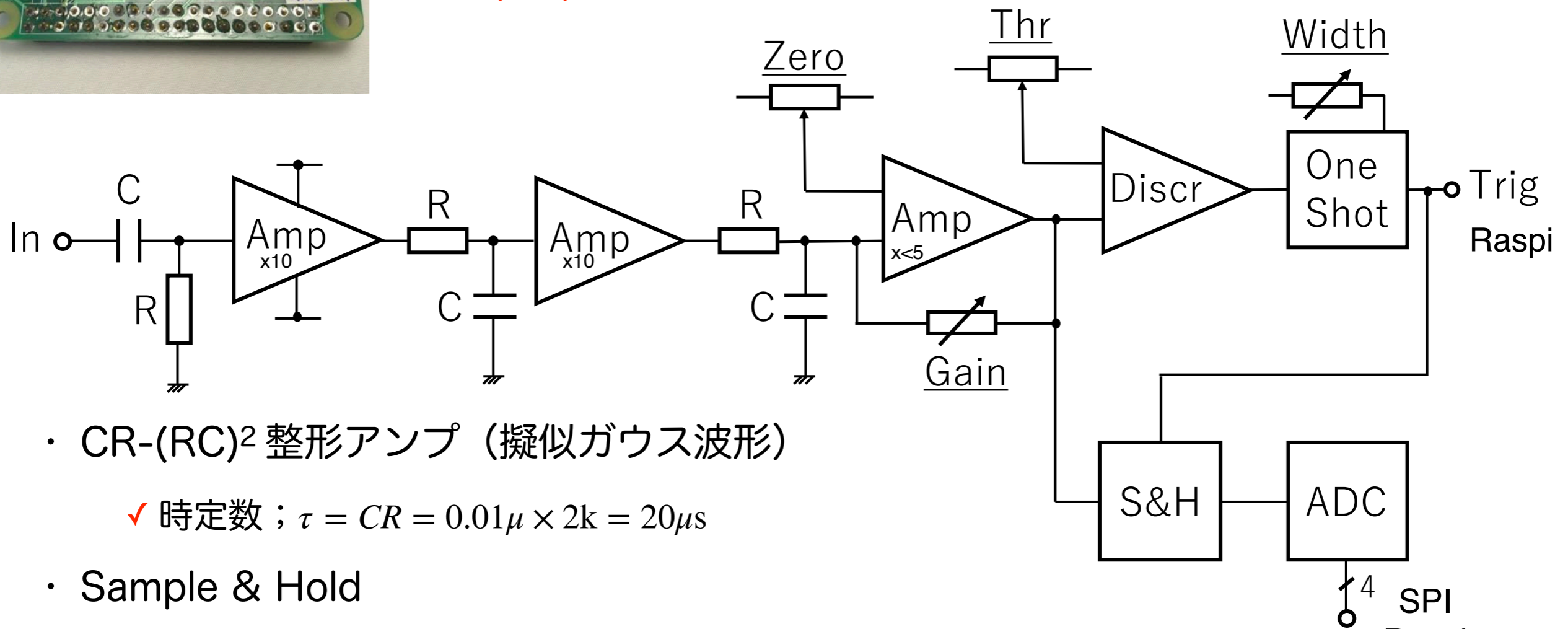
OP (< 50)

ADC (160)

OP Amp
4 ch
TL084

Sample & Hold
1 ch
LF398

ADC
10 bit
MCP3002
SPI



• CR-(RC)² 整形アンプ (擬似ガウス波形)

✓ 時定数 ; $\tau = CR = 0.01\mu \times 2k = 20\mu s$

• Sample & Hold

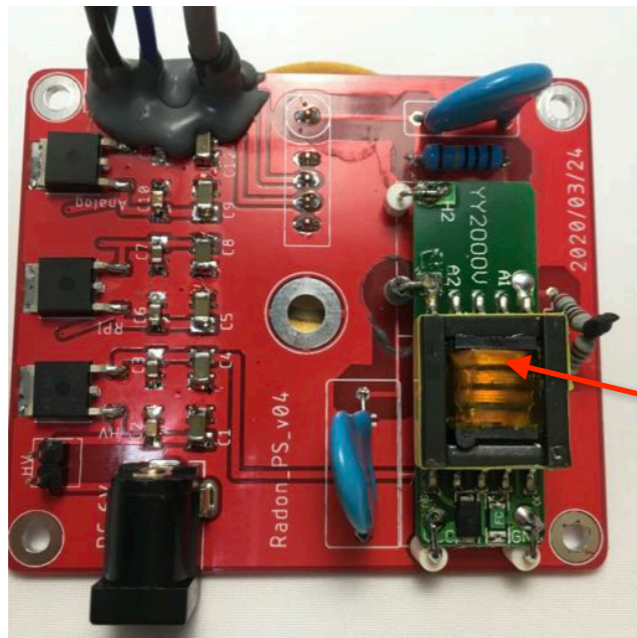
• 10bit ADC

③電源の組み立て

半田付け作業時間～1時間



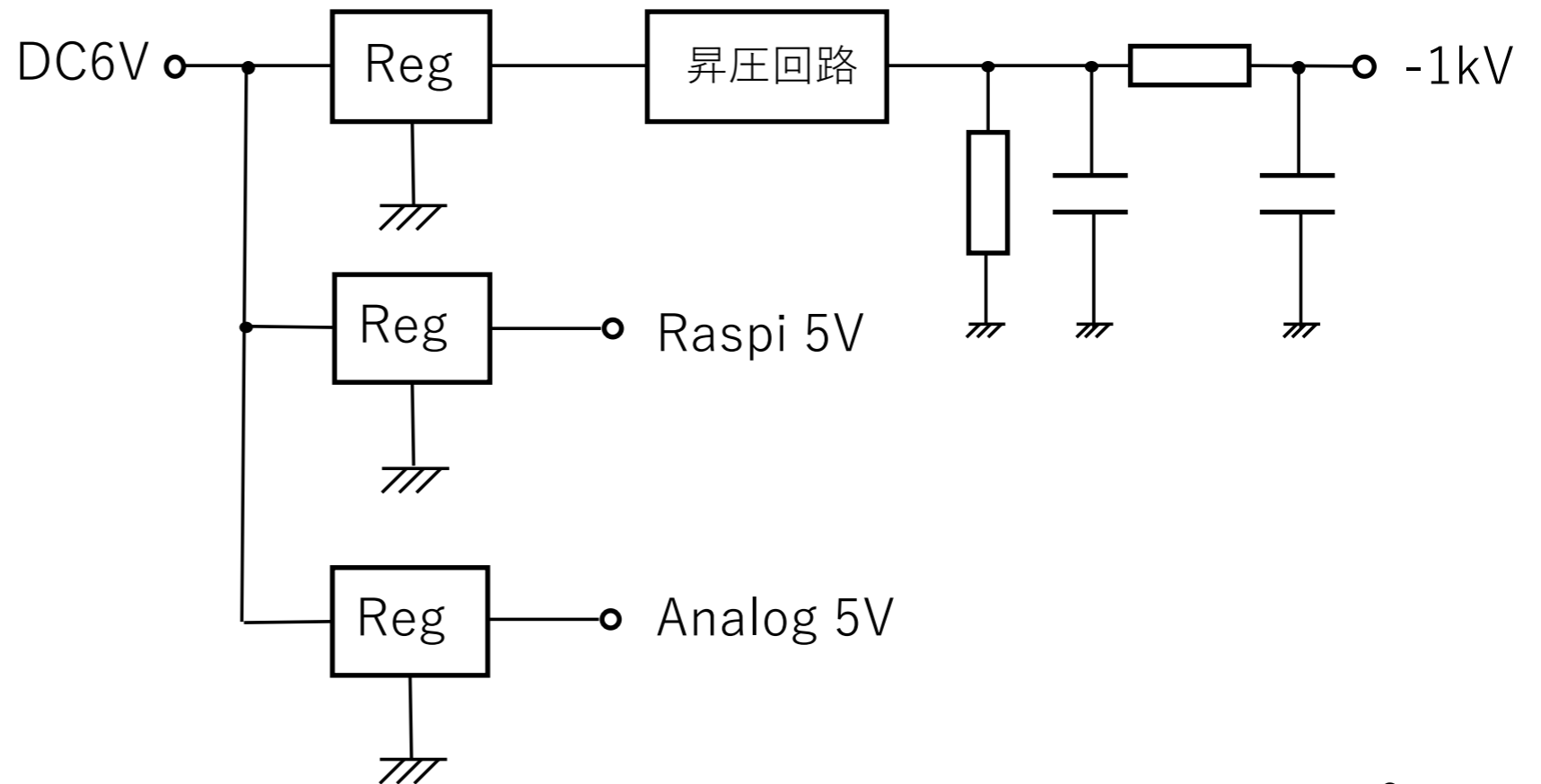
DC 6V 1A
(~650円)



昇圧回路
(~1000)

Regulator
1 ch
NJM2845

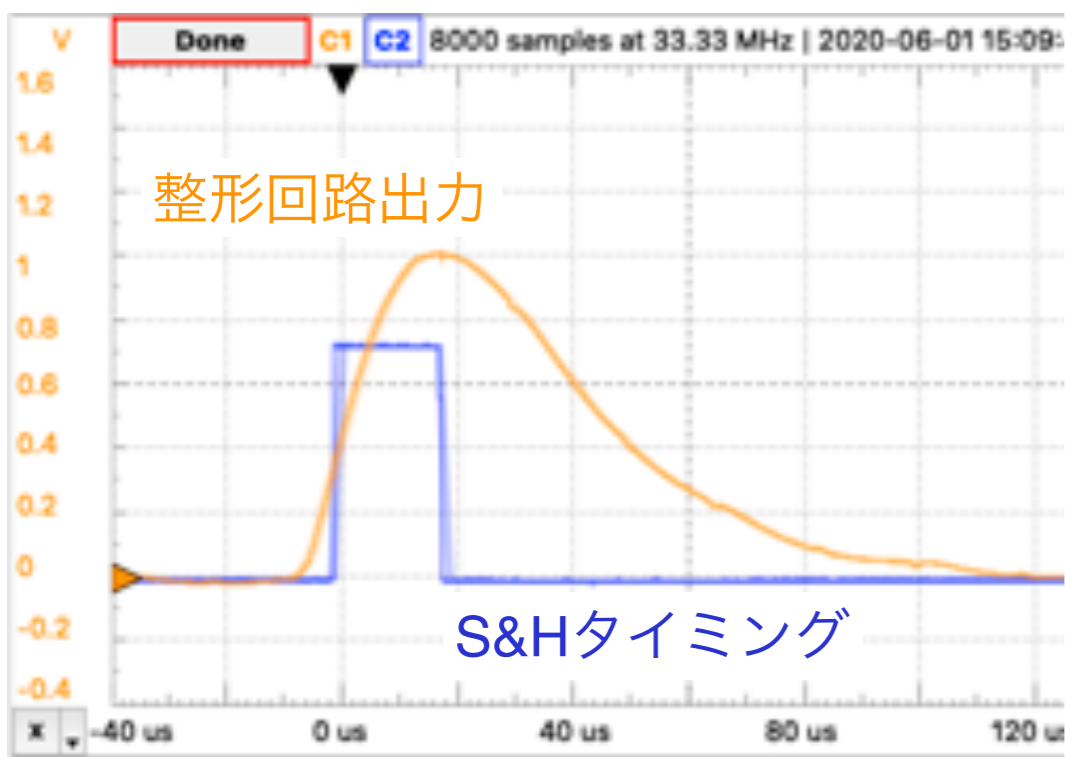
昇圧回路
1 ch
YY2000V
no reg.



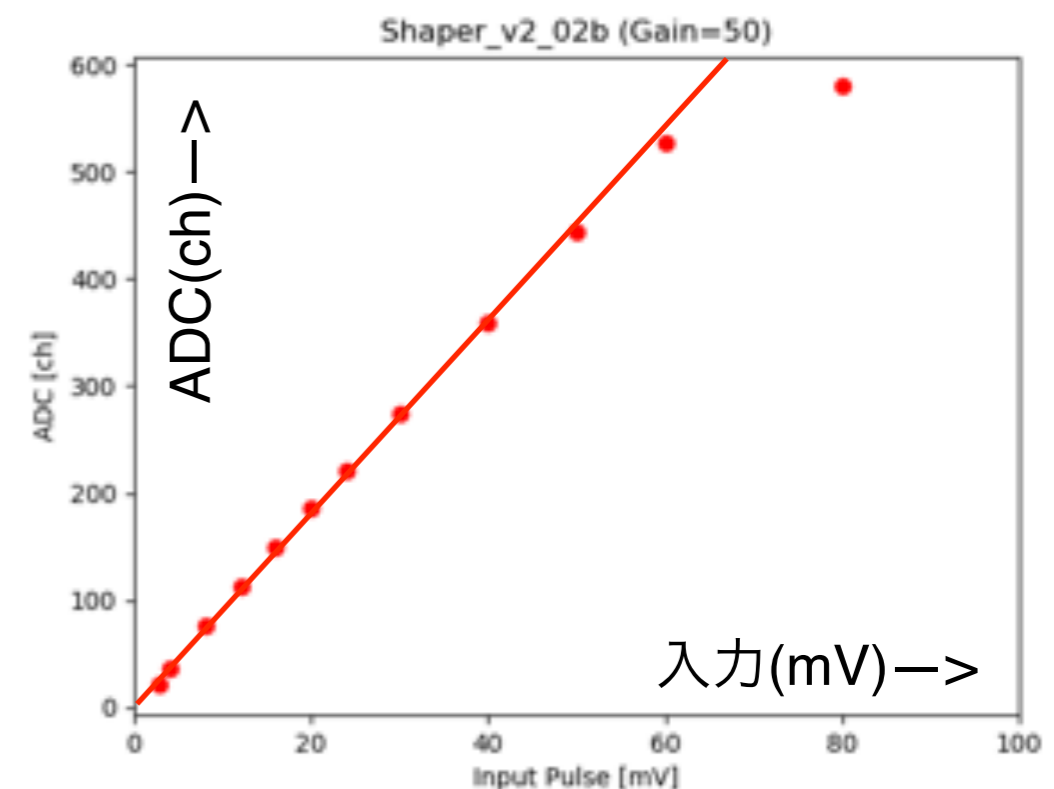
④整形回路の調整



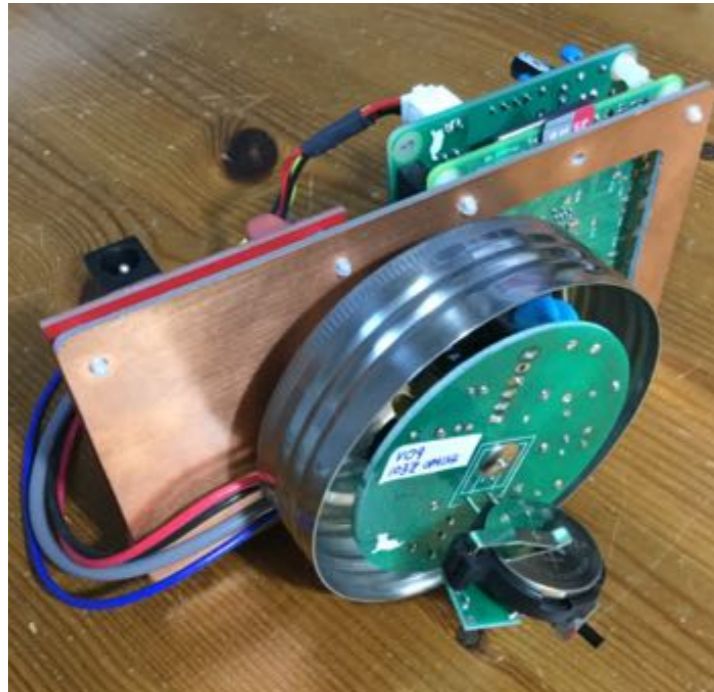
- Analog Discovery 2 を推奨
 - 2chオシロスコープ(14bit100Mサンプル/秒,30MHz)
 - ファンクションジェネレータ(±5V,14bit, 20MHz)
 - USB接続ノートパソコン 利用
 - 36720円 (同等機能の安価版もあるらしい)
- 4箇所半固定抵抗の調整
 - Gain ;
 - Zero(Bias) ; 無信号時0Vに
 - Thr ; 閾値設定 (テスター可)
 - Width ; Sample&Holdのタイミング調整



AD2のファンクションジェネレーター機能を使った線形性のテストの例

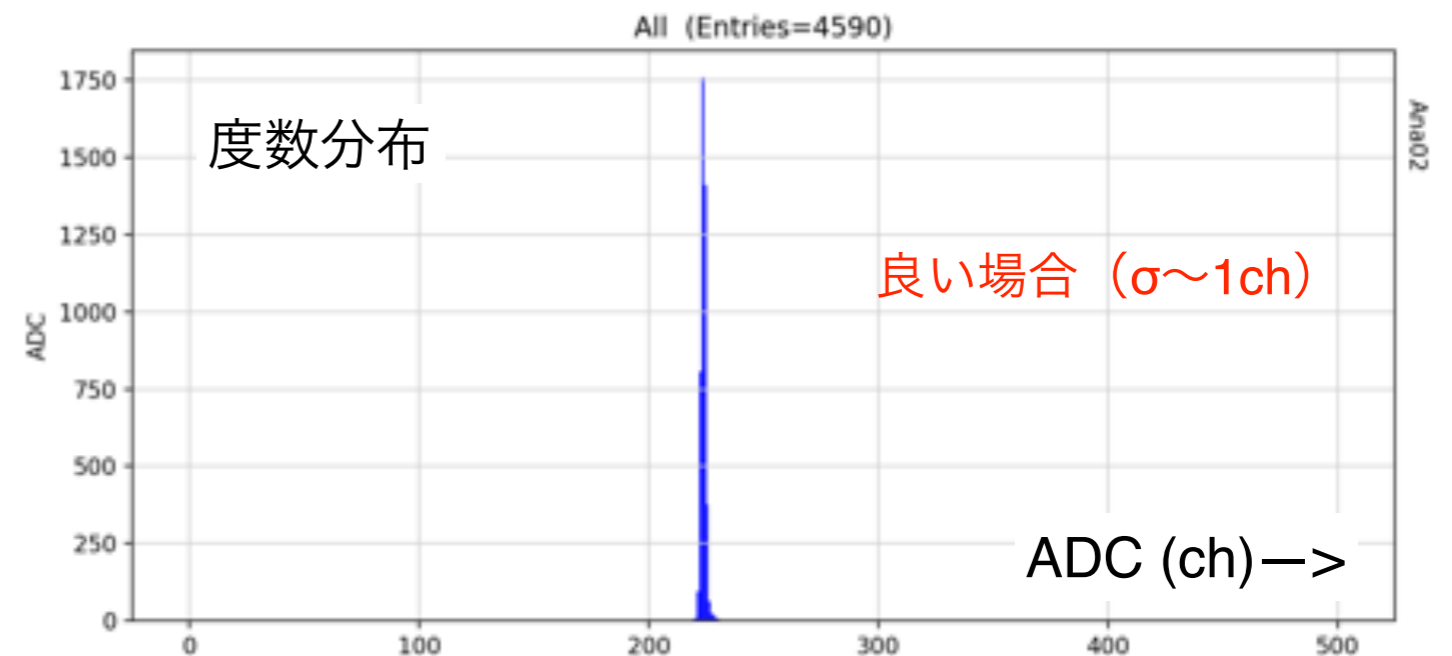
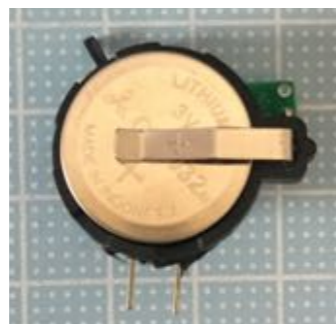
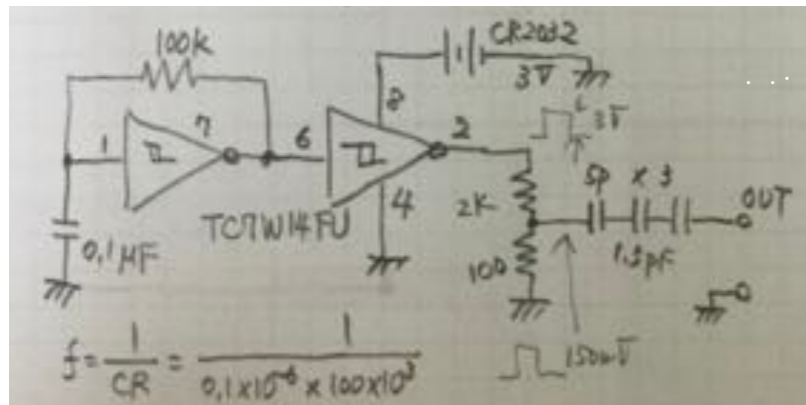


⑤電池駆動パルサーによる動作確認



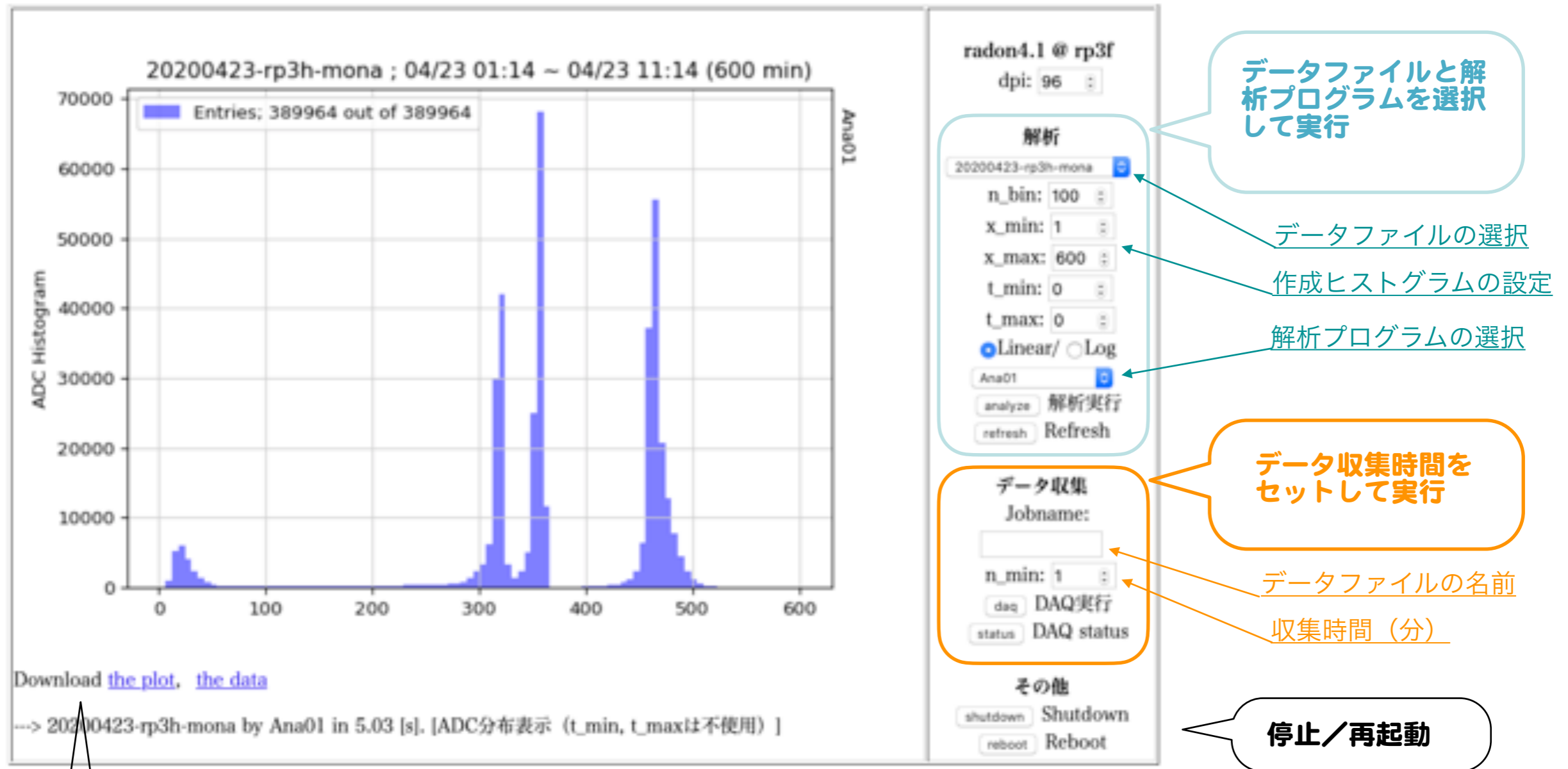
- Photo Diodeの代わりに電荷パルサー
 - ✓ 1kV下で評価可能
 - ✓ 電池駆動の100Hz 150mV矩形波
 - ✓ 1.5pFを通して $Q = CV = 1.5\text{pF} \times 150\text{mV} = 220 \text{ fC}$
 - ✓ $Q(5\text{MeV}) = 1.6 \times 10^{-19}\text{C} \times 5\text{MeV}/4\text{eV} = 180 \text{ fC}$

pulser-GV ; 03/18 13:27 ~ 03/18 13:28 (1 min)



pythonによるWebアプリ

3月以降の引きこもり生活の成果

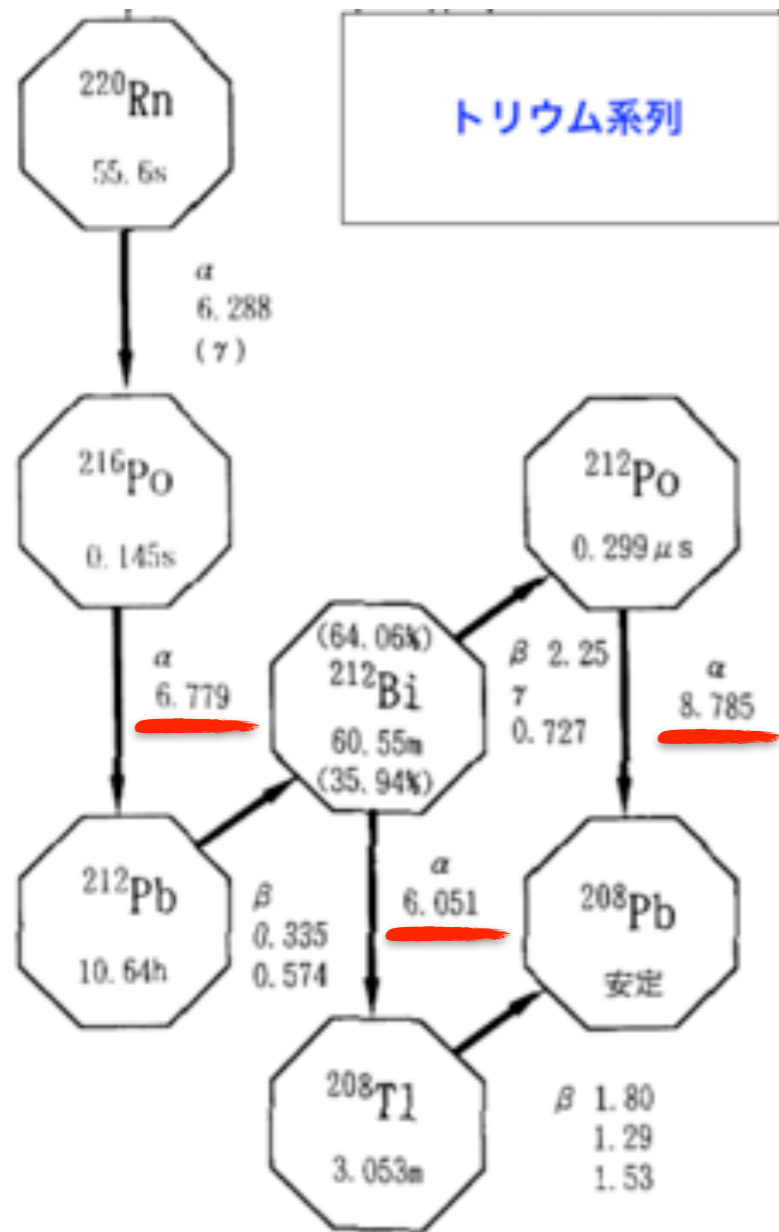


データファイルやプロットのダウンロード

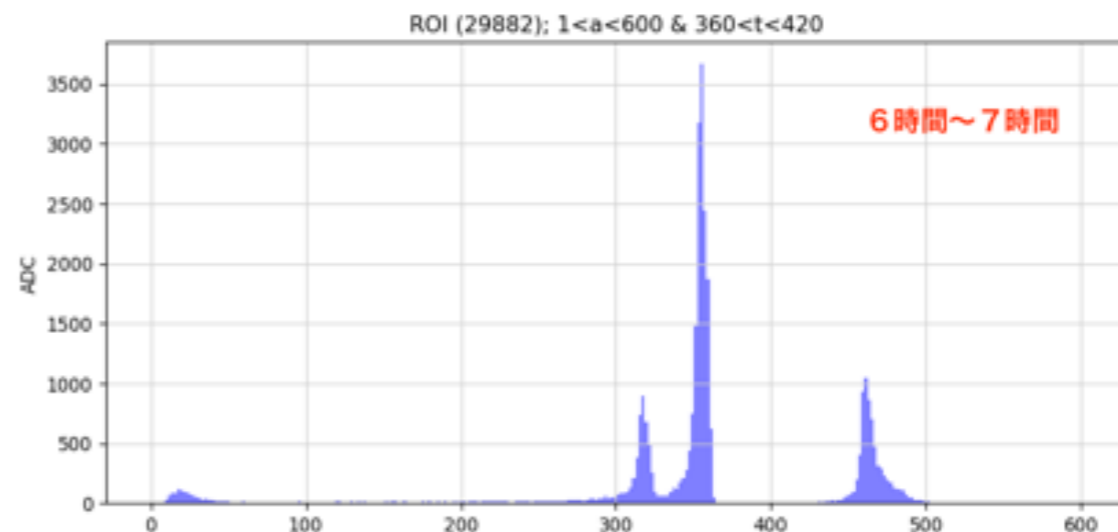
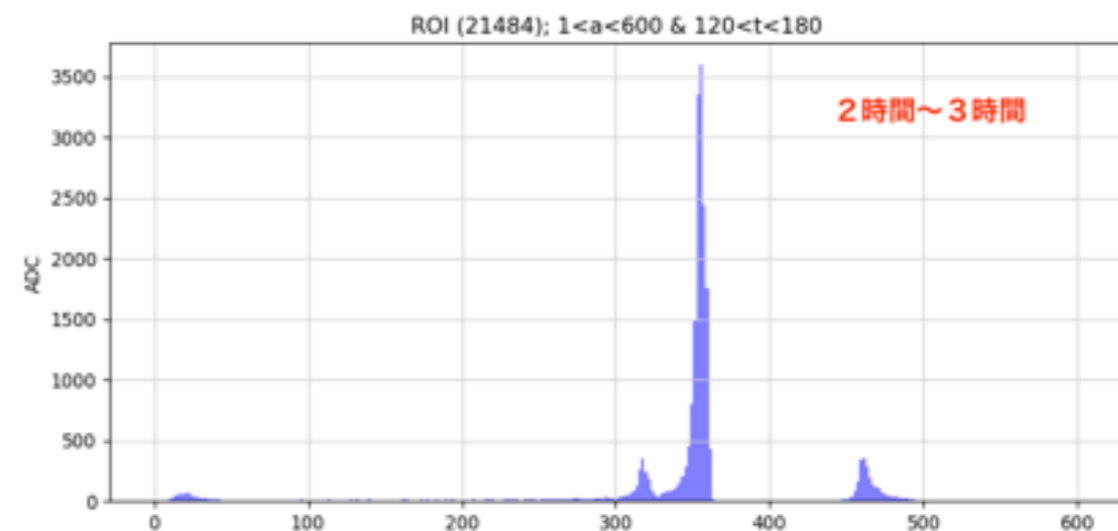
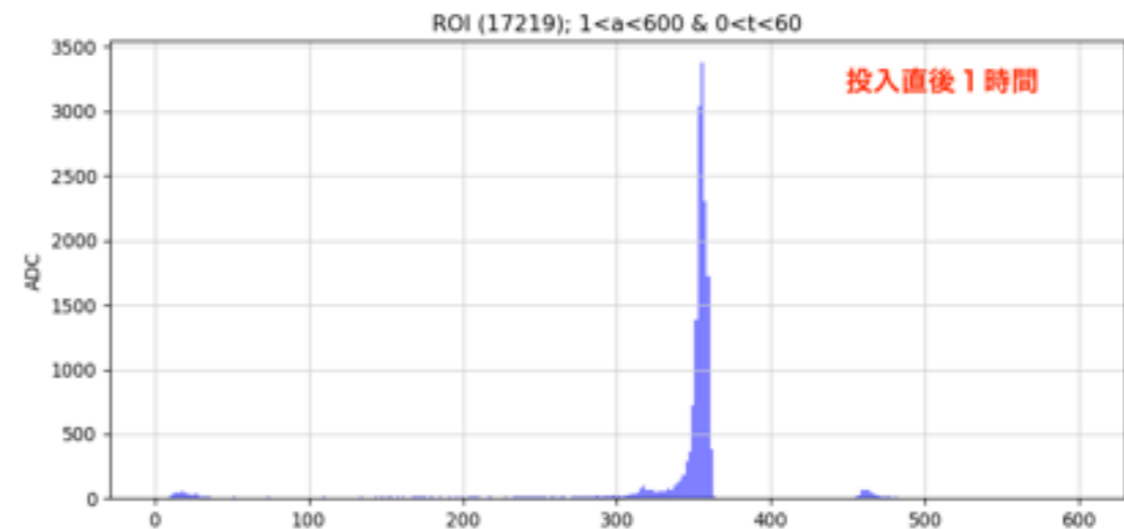
- ・ ラズパイ上で走るWeb Server
- ・ IPADやPCから、データ収集や解析を制御
- ・ 同一プログラムをPC上でも実行可能

⑥ 測定／解析例 1

モナズ石を投入直後から10時間測定

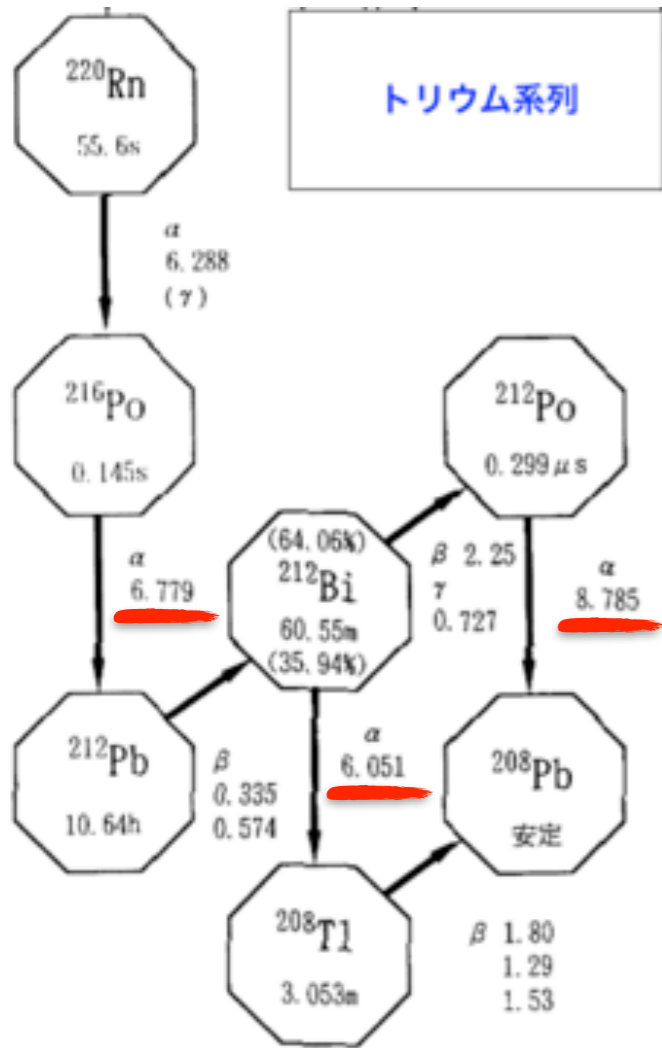


- 3つのピーク
 - ✓ 真ん中のピークは同じ高さ
 - ✓ 両側のピークは時間と共に成長

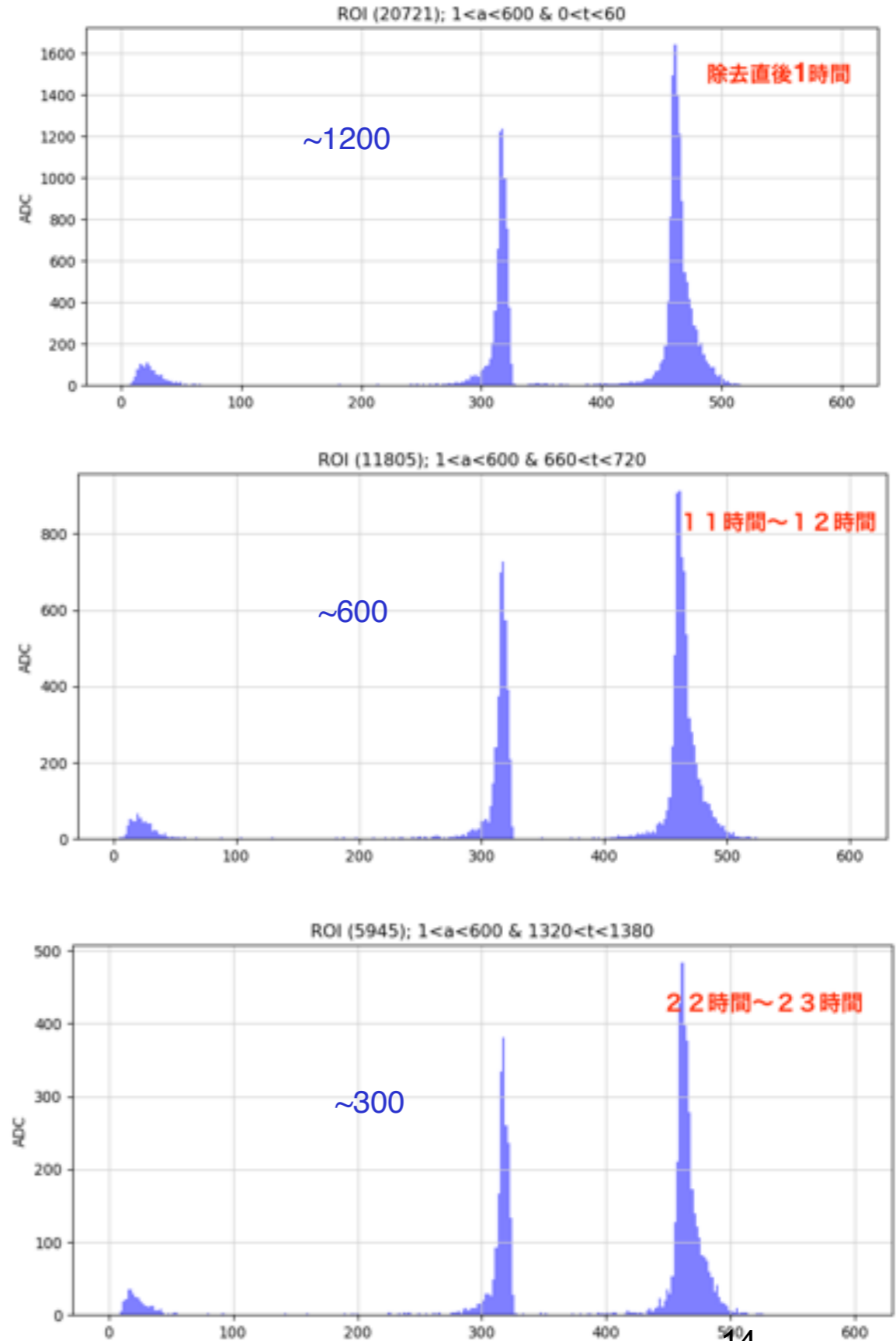
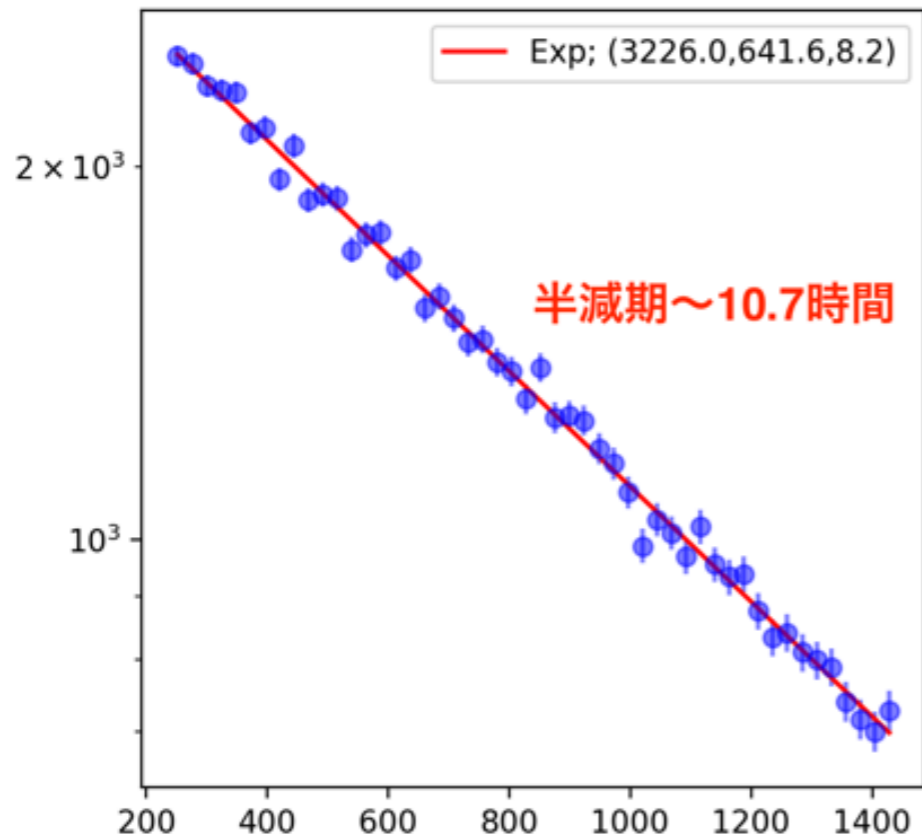


測定／解析例 1

モナズ石を除去後24時間測定

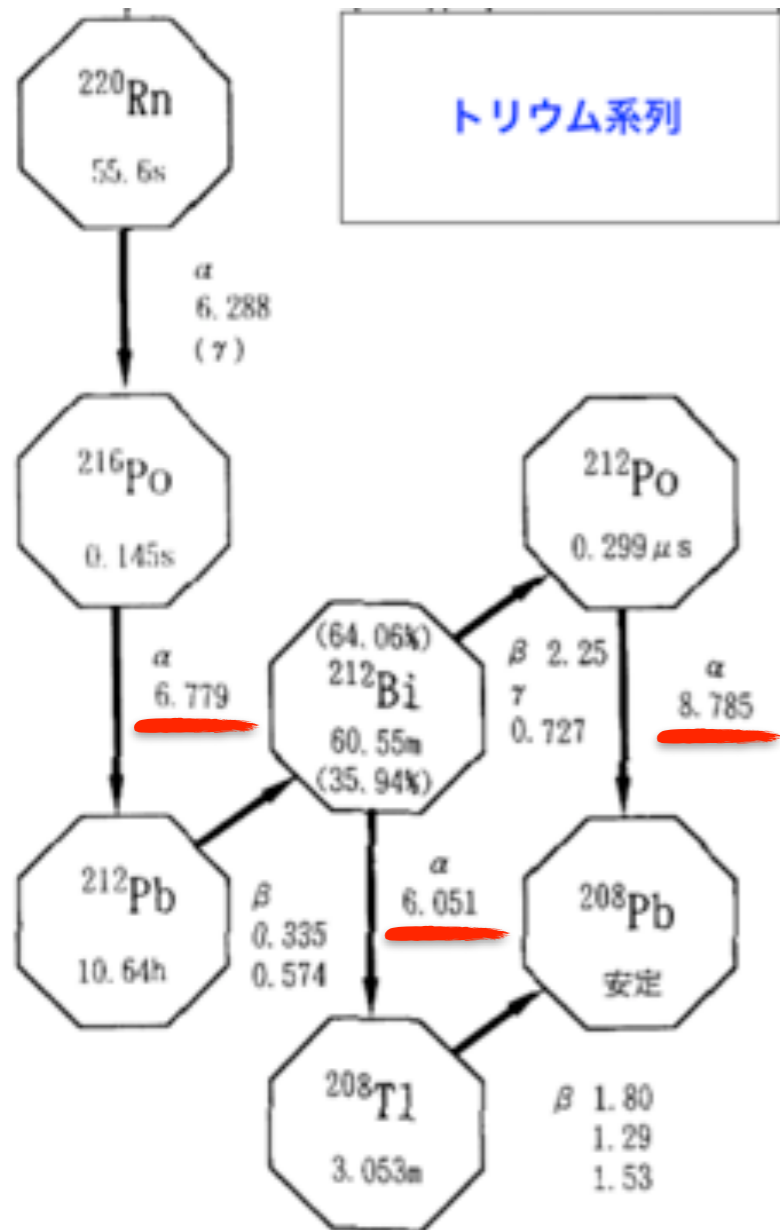


- 3つのピーク
 - ✓ 真ん中のピーク消えた
 - ✓ 両側のピークは時間と共に減衰
 - ✓ 11時間後に約半分

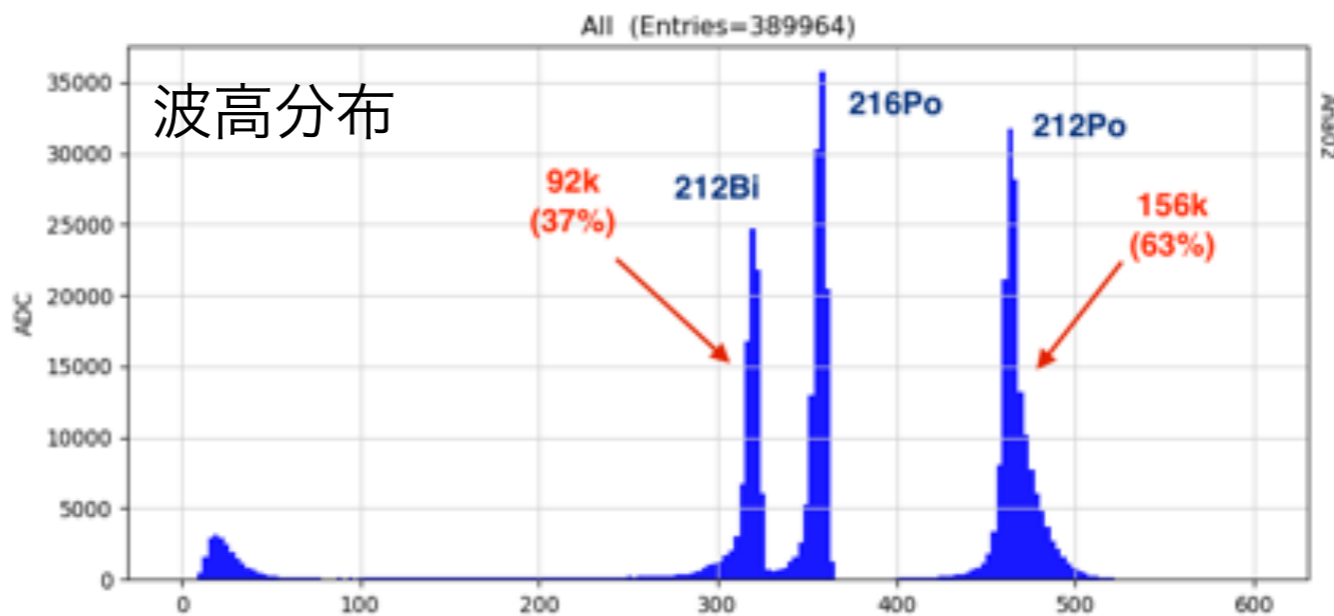


測定／解析例 2

モナズ石を投入して10時間測定



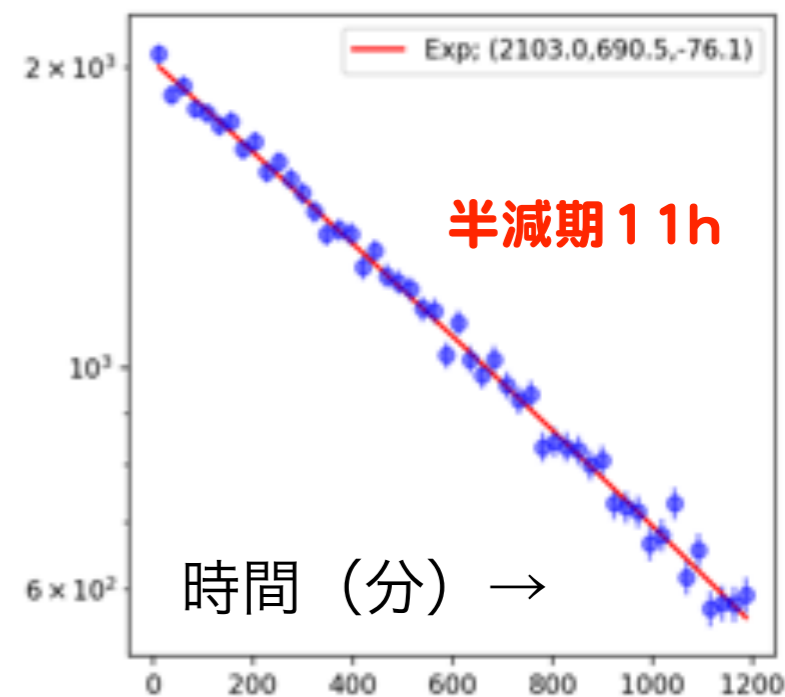
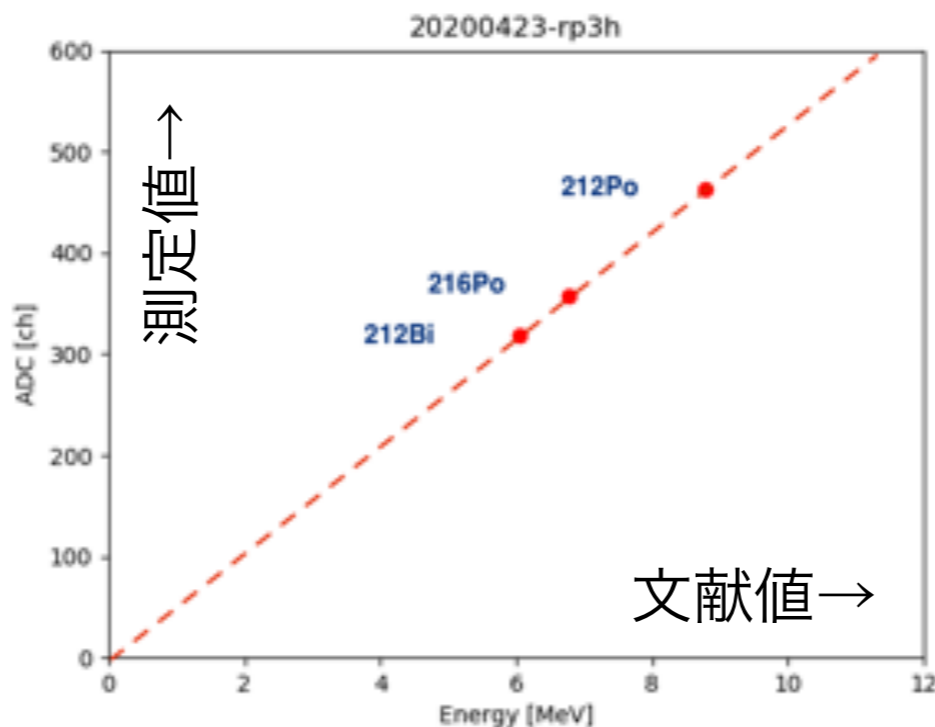
20200423-rp3h-mona ; 04/23 01:14 ~ 04/23 11:14 (600 min)



3つのピークとエネルギーの対応

取り除いた後20時間測定

α 線のエネルギーと半減期で同定



まとめ（お願い）

- ・ 特徴

- ✓ 組み立てキット
- ✓ Raspberry piを使用したIOT機器
- ✓ 制御／解析もWebアプリとして提供

- ・ お願い

- ✓ 意見をください
 - ・ 価格、対象学年、使い方、、、
- ✓ 応援してください
 - ・ 教材開発、共同開発、経済的、精神的、
- ✓ 使ってください
 - ・ 1セット約2万円
 - ・ ソフトウェア、組み立て説明書やプレゼン資料なども提供します