

波形解析による検出器識別

「革新的信号波形解析が計測効率の高度化を実現する」

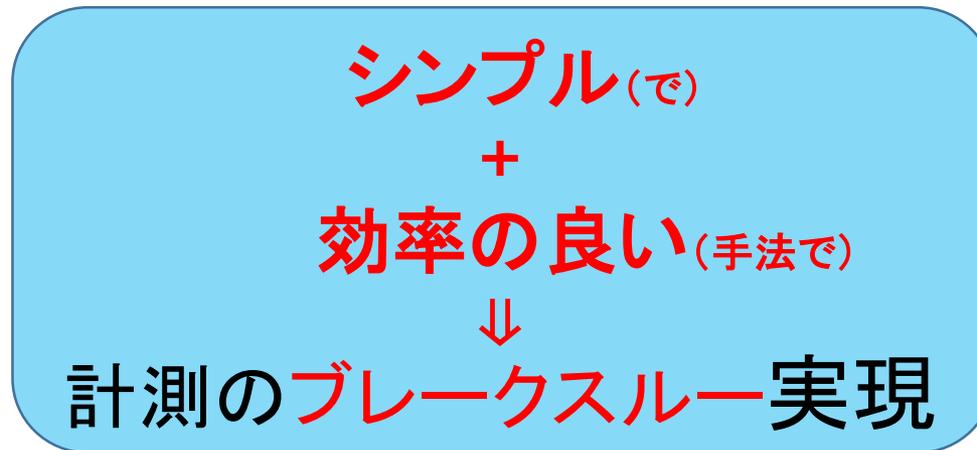
日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門 原子力基礎工学研究センター
燃料・材料工学ディビジョン 照射材料工学研究グループ

研究主幹 平出 哲也

令和2年9月1日

「革新的信号波形解析が計測効率の高度化を実現する」

波形解析による検出器識別



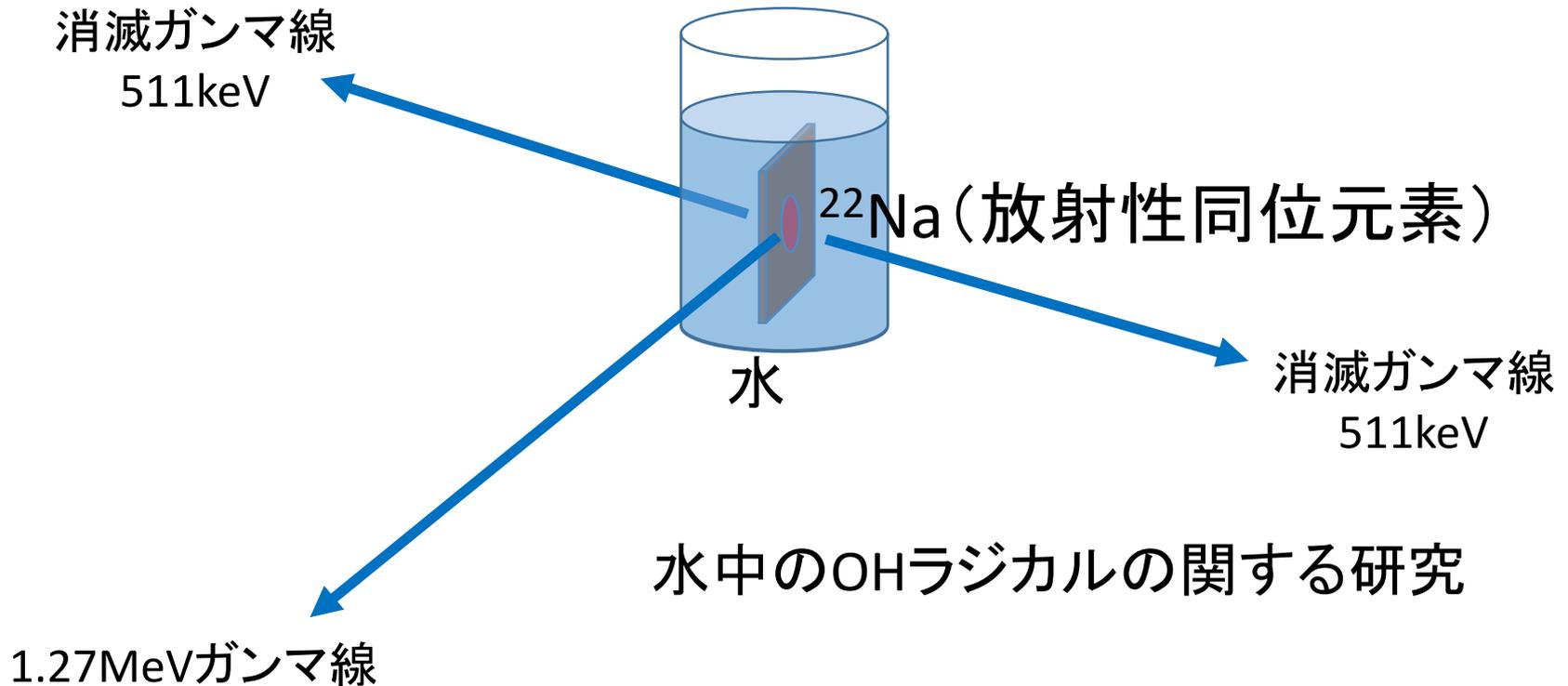
これからは 「信号も個性の時代」

まず、私の経験からお話させていただきます。

私が解決しなくてはならなかった問題

三重の偶然の一致による計測 = 低計数率

(トリプル・コインシデンス)



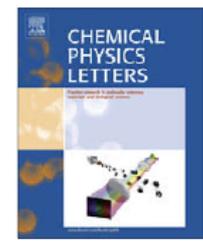
水中のOHラジカルに関する研究



Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Physics Letters

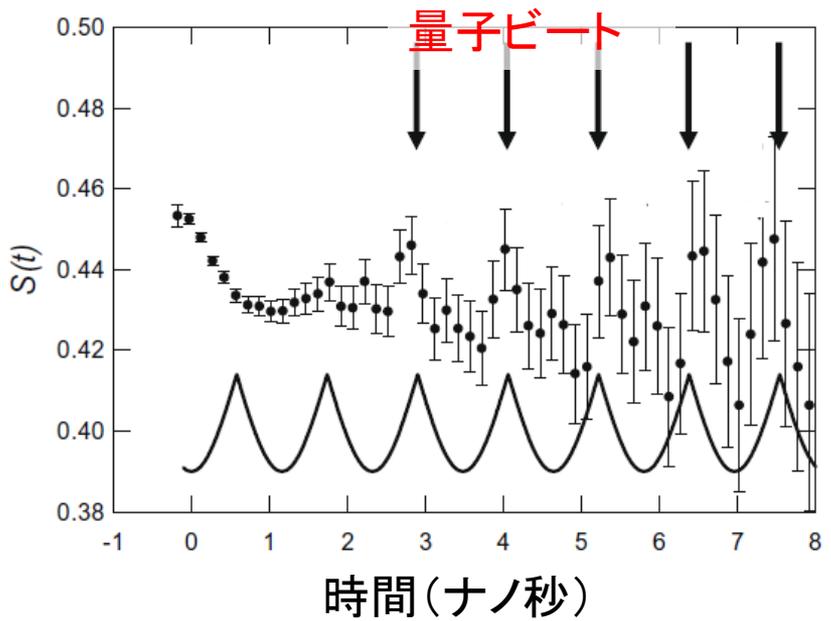
journal homepage: www.elsevier.com/locate/cplett



水の陽電子消滅寿命-運動量相関 (AMOC) 測定 オルト-ポジトロニウムの反応における量子ビートの可能性

平出 哲也

Nuclear Science and Engineering Directorate, Japan Atomic Energy Agency, Tokai 319-1195, Japan
Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 4-12-1 Narusawa, Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan



2. Experimental

Positron annihilation age-momentum correlation (AMOC) measurements [8] were performed using ^{22}Na (about 400 kBq) sealed in two 7.5 μm Kapton foils as the positron source. About 10% of the positrons annihilate within the foils. Ps does not form in Kapton foil and then there is just one lifetime component that gives about 38 ps. Hence SEIKO resolution of counts coming into $\pm 3 \times 10^{-3} m_e c$. m_e is the rest mass of a electron, and c is the velocity of light. The time resolution was about 230 ps. Total counts appeared near the 511 keV peak and in an about 10 ns time range of the AMOC measurement reached about 1 million. The count rate was about 0.9 cps. The energy resolution of AMOC measurements was not stable because of the long measurement time. Therefore it is difficult to compare S values between the mea-

1秒間に0.9カウント
↓
100万カウントためるのに13日間

シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

私が解決しなくてはならなかった問題

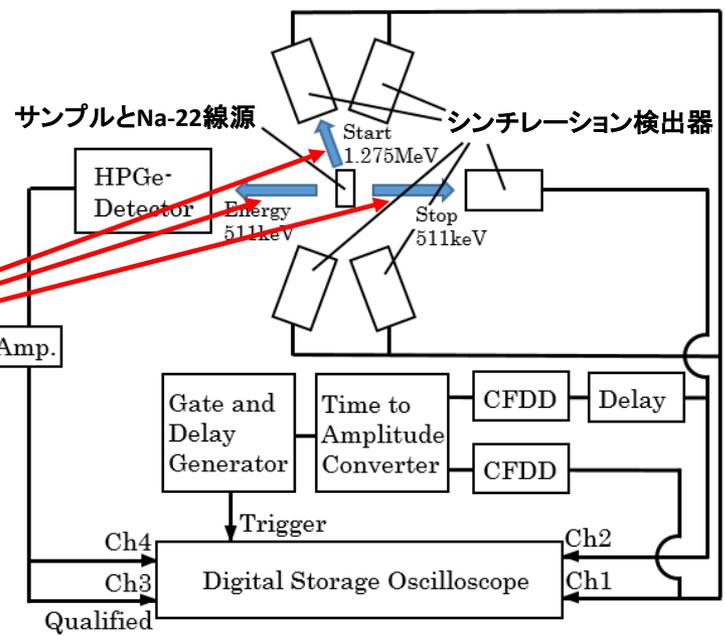
三重の偶然の一致による計測 = 低計数率

(トリプル・コインシデンス)

1回の測定(100万カウント)に2週間もかかる

計測時間を1/4にできたら画期的

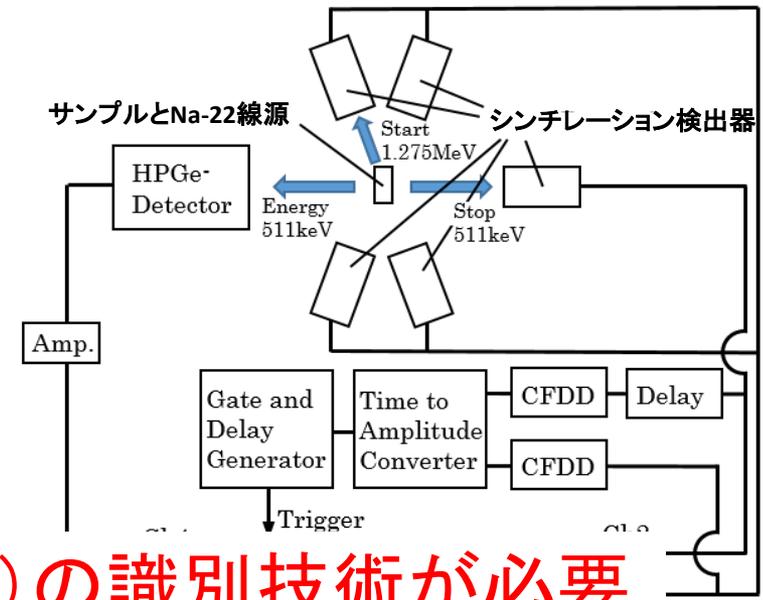
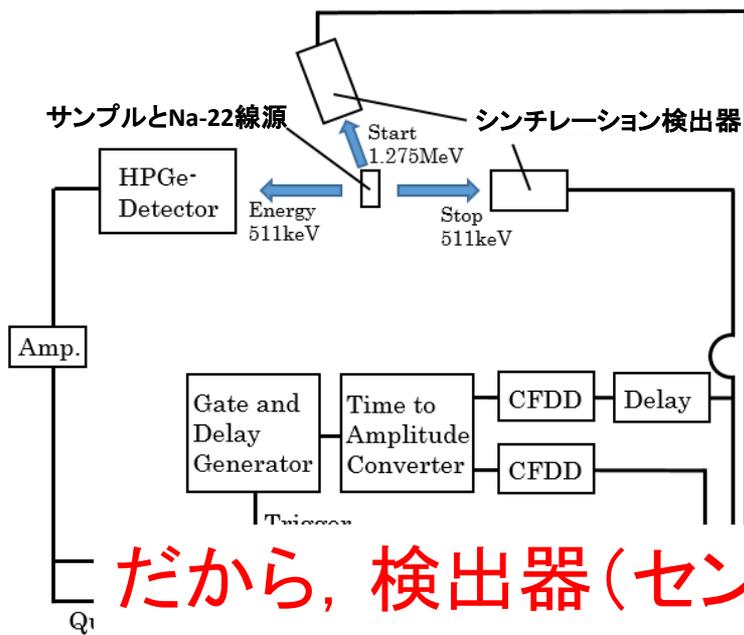
新しい研究の可能性



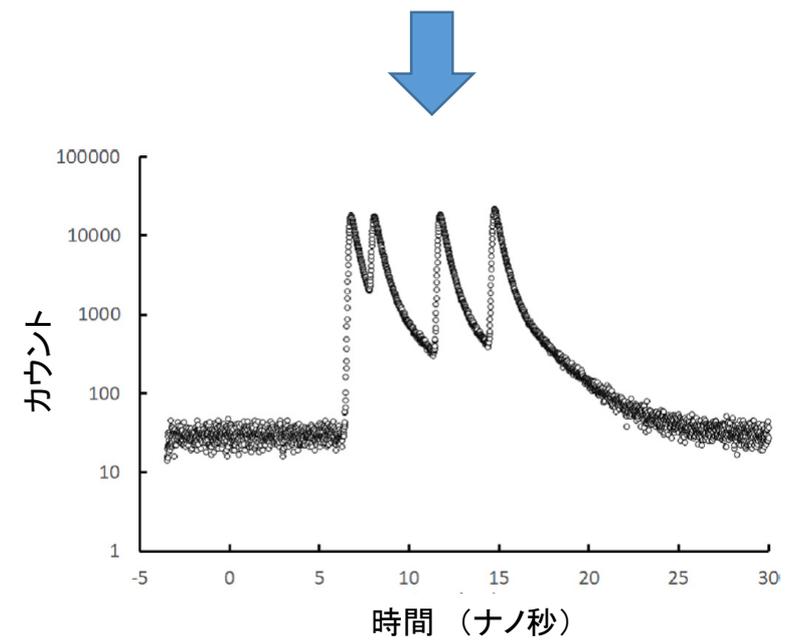
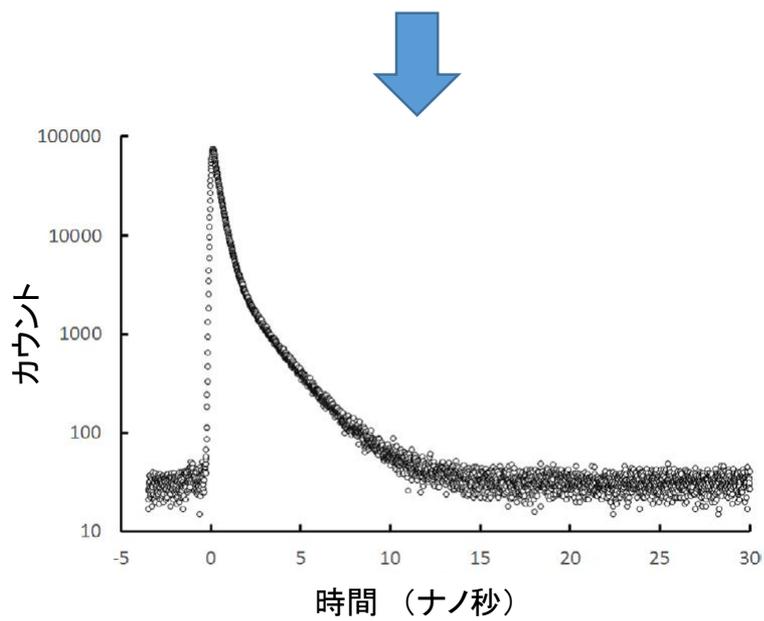
ガンマ線
どの方向に放出されるか
分からない

偶然の一致が
4倍になる

でも、どの検出器に
入ったか
わからないと駄目!!



だから、検出器(センサー)の識別技術が必要



解決したい問題

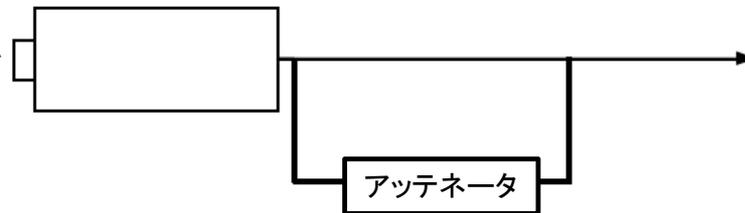
シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

検出器(センサー)の識別技術が必要

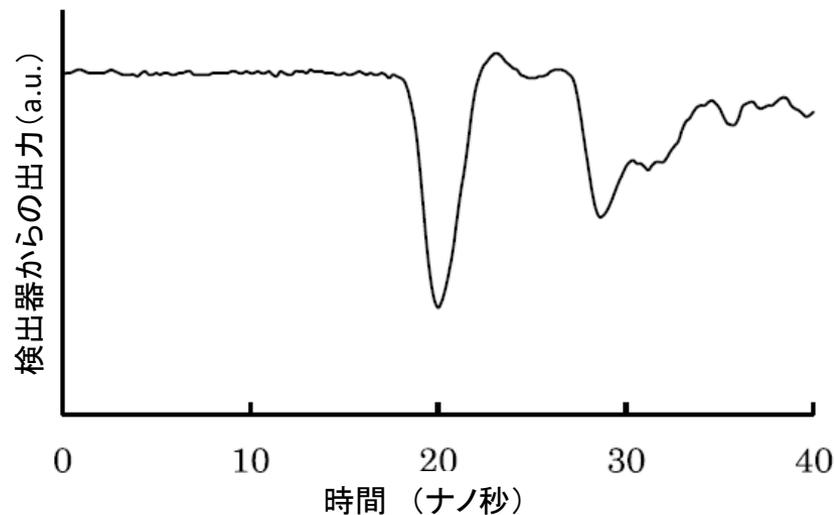
ガンマ線



シンチレーション検出器



実際の検出器とループの様子



シンチレーション検出器
(手作りの一例)

解決したい問題

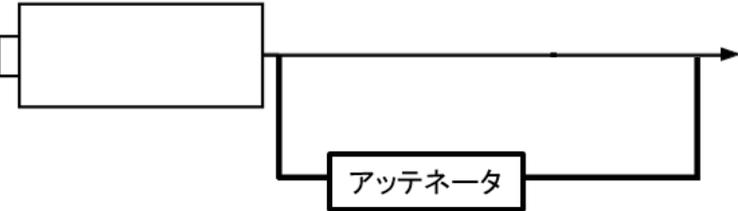
シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

検出器(センサー)の識別技術が必要

ガンマ線



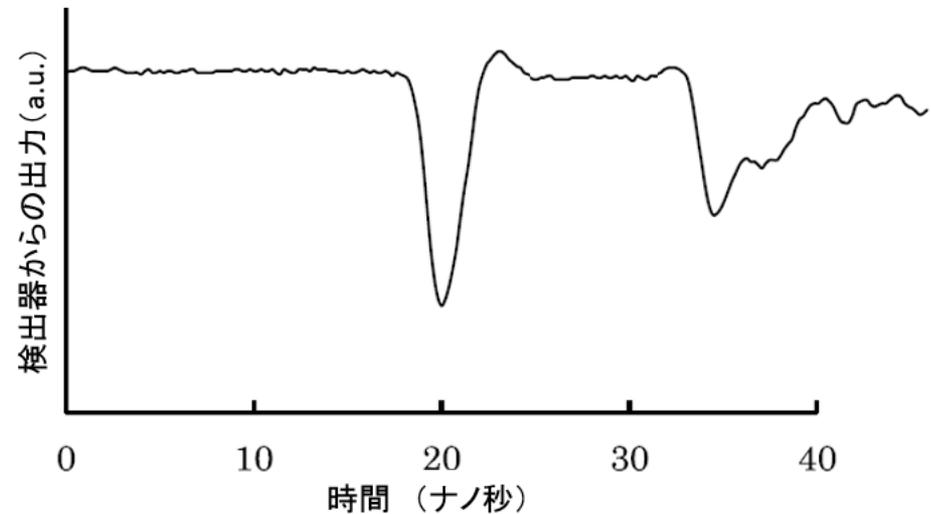
シンチレーション検出器



ループのケーブルを長くする



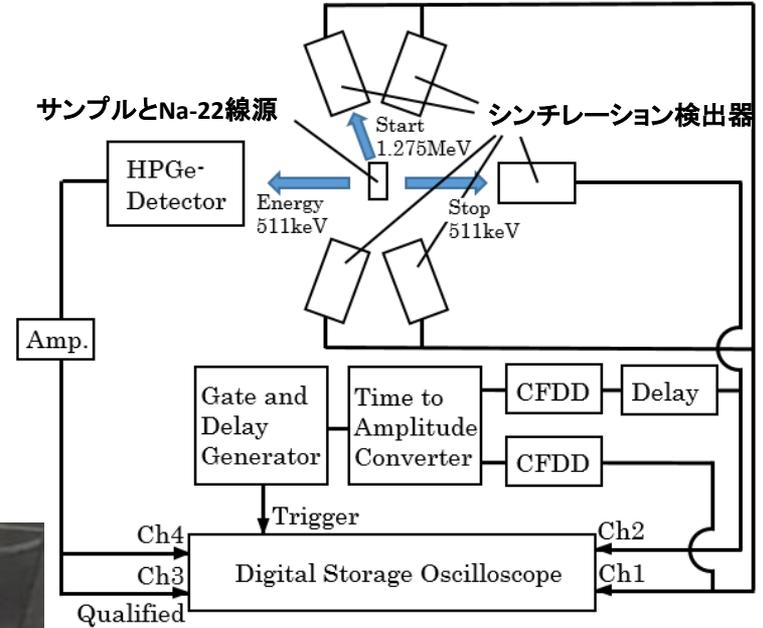
実際の検出器とループの様子



シンチレーション検出器
(手作りの一例)

シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

そして解決した問題



AMOCAnalysis Ver.6.30e VB2017 (4 start detectors)

Waveform drawing

Directory: e:\AMOCdata\Oka Reference

File name: AO200414 Save setting Load setting

5 GS Lifetime meas. range: 200 ns No. of segments: 50

Loading Ch: 1 Drawing segment number (0 to 49): 2

Cycle no. displayed: 2 Draw

Waveform analysis

No. of cycles for analysis: 1000

Under analysis: 1000

Start & Stop

Peak Height Peak Area Baseline
 Rise Detector discrimination
 Peak time (E) Baselines (E)

No. of start detectors: 4

Detector	Start	To	Area
Detector1	42	To 45	
Detector2	87	To 93	
Detector3	114	To 117	10.892967
Detector4	73	To 79	14.822967

Area to be drawn: 0 To 256 Log

Detector discrimination: **← これだけ**

AMOC analysis

Cursor coordinates: (0 0)

Detector	Start	To	Stop	Energy
Detector1	110	To 250	100 To 250	Peak time (E): 68 To 133
Detector2	110	To 250		Baseline (E): 115 To 131
Detector3	110	To 250		start CF(%): 20
Detector4	110	To 250		

Peak Area: Detector1 0 To 333, Detector2 0 To 333, Detector3 0 To 333, Detector4 0 To 333

Baseline: 40 To 51, 42 To 48, 43 To 60

Rise: 45 To 58

Plot Area: 0 To 3400

Redraw lifetime spectrum energy/point: 0.030416667 keV/ch

Ch3+4 gain: 160 mV

AMOC analysis progress: 59398

S(t): 0 To 3 10^{-3} x mc Time zero: 350 S(t)time/ch: 1000

W(t): 19 To 30 10^{-3} x mc Mome. zero: 363.969911 Shift points: 0

Back ground: 2500 To 3200 for mome. dist. output: -1 To 10 nsec

S and W analysis

見た目はごちゃごちゃしていますが、識別の部分はシンプルです。

Wave form No. of 2 / 2 Segment / 1 ch was displayed.
 Wave form No. of 2 / 3 Segment / 1 ch was displayed.
 Drew the peak histogram.
 e:\AMOCdata\Oka\LAO200414.csv was loaded.
 Drew the detector ID analysis.
 e:\AMOCdata\Oka\MAO200414.csv was saved as the result.
 Drew the detector ID analysis.
 e:\AMOCdata\Oka\MAO200414.csv was loaded.
 Wave form No. of 2 / 3 Segment / 1 ch was displayed.

AMOCAnalysis Ver.4.03e VB2017 (4 start detectors)

Waveform drawing
 Directory: G:\AMOCdata\water Reference
 File name: AW190911 Save setting Load setting
 5 GS Lifetime meas. range: 200 ns No. of segments: 50
 Loading Ch: 1 Drawing segment number (0 to 49): 1
 Cycle no. displayed: 7 Draw

Waveform analysis
 No. of cycles for analysis: 10000
 Under analysis: 10000
 Area to be drawn: To 256
 Analysis: Log

Start & Stop
 Peak Height Peak Area Baseline
 Rise Detector discrimination
 Peak time (E) Baselines (E)
 No. of start detectors: 4

2つ目のピークまでの時間

ループ回路が短い
2つ目のピークが早い

これらの信号から別の検出器と識別できる

AMOCAnalysis Ver.4.03e VB2017 (4 start detectors)

Waveform drawing
 Directory: G:\AMOCdata\water Reference
 File name: AW190911 Save setting Load setting
 5 GS Lifetime meas. range: 200 ns No. of segments: 50
 Loading Ch: 1 Drawing segment number (0 to 49): 1
 Cycle no. displayed: 7 Draw

Waveform analysis
 No. of cycles for analysis: 10000
 Under analysis: 10000
 Area to be drawn: To 256
 Analysis: Log

Start & Stop
 Peak Height Peak Area Baseline
 Rise Detector discrimination
 Peak time (E) Baselines (E)
 No. of start detectors: 4

Detector discrimination Shift time (ns)

Detector1	42 To 45	7.529132
Detector2	97 To 102	14.674313
Detector3	114 To 117	10.925587
Detector4	184 To 197	15.225587

Peak Height Peak Area No. for tir
 by PATFIT

AMOC analysis

Energy
 Peak time (E) Spectrum time/ch
 74 To 107 10 ps
 Baseline (E) start CF(%) 20
 115 To 131 stop CF(%) 20
 Baseline at tale (E)
 115 To 133
 Calculation progress
 Ch3 offset 20000
 Ch3+4 gain 20000
 160 mV
 AMOC analysis

Detector3 0 To 333
 Detector4 0 To 333

Baseline	40 To 51	42 To 48
Rise	90 To 122	84 To 125

Plot Area 0 To 3400
 energy/point 0.030416667 keV/ch

AMOC analysis

Wave form No. of 5 / 2 Segment / 1 ch was displayed.
 Wave form No. of 6 / 2 Segment / 1 ch was displayed.
 Wave form No. of 7 / 2 Segment / 1 ch was displayed.
 Save the lifetime data of G:\AMOCdata\water\AW190911.csv.
 Save the energy data of G:\AMOCdata\water\EA190911.csv.
 Drawed the detector ID analysis.
 G:\AMOCdata\water\AW190911.csv was loaded.
 It is 2019/09/18 19:30:31, now.
 Calculation will be finished around 2019/09/18 19:33:00.
 Timezero = 85.9132
 Timezero = 91.4313
 Timezero = 92.5587
 Timezero = 92.5587
 Time shift analysis results are displayed.

検出器を識別して解析を実施

ループ回路が長い
2つ目のピークが遅い

Calculation progress

Detector1	0 To 333	0 To 333	Baseline at tale (E)	stop CF(%)	20
Detector2	0 To 333	0 To 333	115 To 133	Calculation progress	
Detector3	0 To 333	0 To 333	Ch3 offset	played.	20000
Detector4	0 To 333	0 To 333	0.7 V	played.	
Baseline	40 To 51	42 To 48	Ch3+4 gain	played.	20000
Rise	90 To 122	84 To 125	160 mV	played.	

Plot Area 0 To 3400
 energy/point 0.030416667 keV/ch

AMOC analysis

Wave form No. of 5 / 2 Segment / 1 ch was displayed.
 Wave form No. of 6 / 2 Segment / 1 ch was displayed.
 Wave form No. of 7 / 2 Segment / 1 ch was displayed.
 Save the lifetime data of G:\AMOCdata\water\AW190911.csv.
 Save the energy data of G:\AMOCdata\water\EA190911.csv.
 Drawed the detector ID analysis.
 G:\AMOCdata\water\AW190911.csv was loaded.
 It is 2019/09/18 19:30:31, now.
 Calculation will be finished around 2019/09/18 19:33:00.
 Timezero = 85.9132
 Timezero = 91.4313
 Timezero = 92.5587
 Timezero = 92.5587
 Time shift analysis results are displayed.

シンチレーション検出器

AMOCAnalysis Ver.4.03e VB2017 (4 start detectors)

Waveform drawing

Directory: G:\AMOCdata\water Reference

File name: AW190911 Save setting Load setting

5 GS Lifetime meas. range: 200 ns No. of segments: 50

Loading Ch: 1 Drawing segment number (0 to 49): 1

Cycle no. displayed: 7 Draw

Waveform analysis

No. of cycles for analysis: 10000

Under analysis: 10000

Area to be drawn: 0

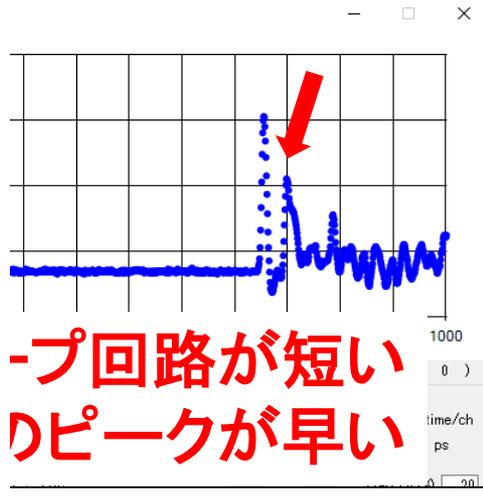
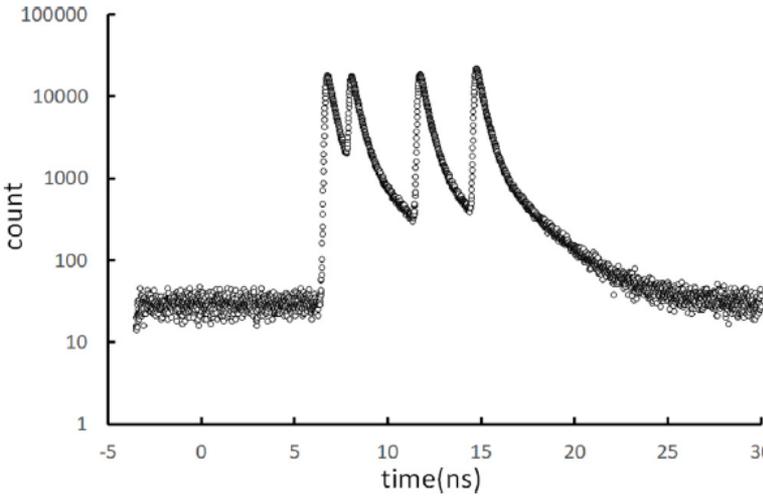
Start & Stop

Peak Height Peak Area Baseline

Rise Detector discrimination

Peak time (E) Baselines (E)

No. of start detectors: 4



- プ回路が短い
ピークが早い

これらの信号から別の

AMOCAnalysis Ver.4.03e VB2017 (4 start detectors)

Waveform drawing

Directory: G:\AMOCdata\water Reference

File name: AW190911 Save setting Load setting

5 GS Lifetime meas. range: 200 ns No. of segments: 50

Loading Ch: 1 Drawing segment number (0 to 49): 1

Cycle no. displayed: 7 Draw

Waveform analysis

No. of cycles for analysis: 10000

Under analysis: 10000

Area to be drawn: 256

Start & Stop

Peak Height Peak Area Baseline

Rise Detector discrimination

Peak time (E) Baselines (E)

No. of start detectors: 4

Detector discrimination Shift time (ns)

Detector 1	42 To 45	7.529132
Detector 2	97 To 102	14.674313
Detector 3	114 To 117	10.925587
Detector 4	184 To 197	15.225587

Peak Height Peak Area No. for tir

by PATFIT

Wave form No. of 5 / 2 Segment / 1 ch was displayed.

Wave form No. of 6 / 2 Segment / 1 ch was displayed.

Wave form No. of 7 / 2 Segment / 1 ch was displayed.

Save the lifetime data of G:\AMOCdata\water\AW190911.csv.

Save the energy data of G:\AMOCdata\water\AW190911.csv.

Drawed the detector ID analysis.

G:\AMOCdata\water\AW190911.csv was loaded.

It is 2019/09/18 19:30:31, now.

Calculation will be finished around 2019/09/18 19:33:00.

Timezero = 85.9132

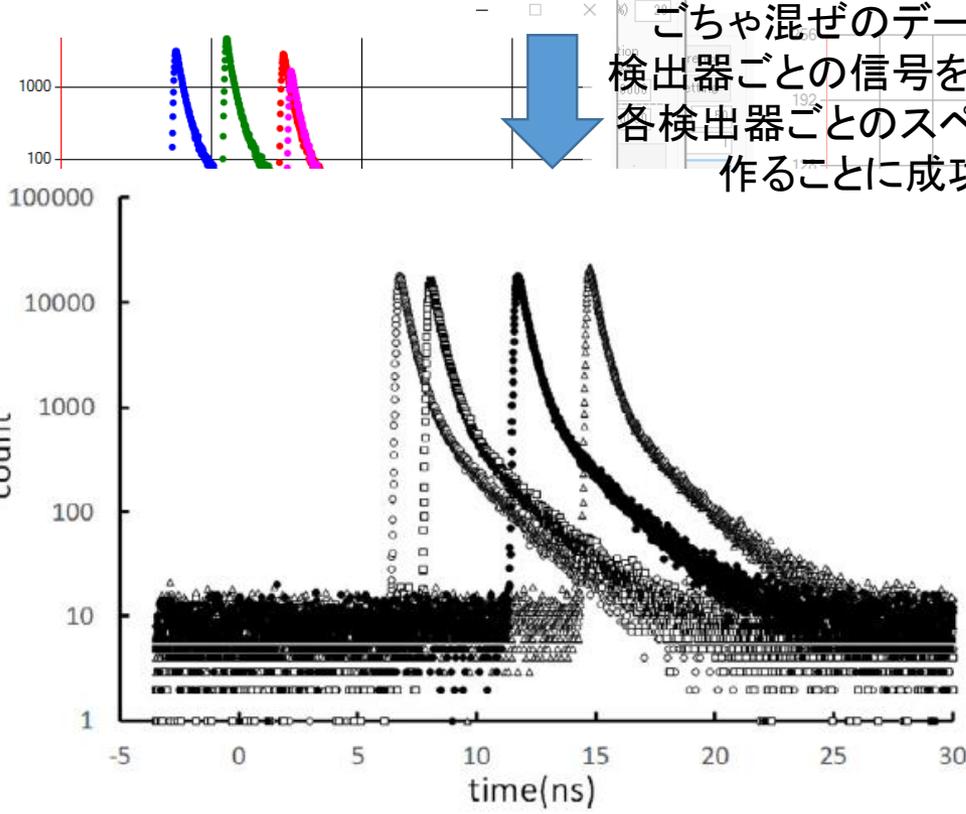
Timezero = 91.4313

Timezero = 92.5587

Timezero = 92.5587

Time shift analysis results are displayed.

検出



ごちゃ混ぜのデータから
検出器ごとの信号を識別して
各検出器ごとのスペクトルを
作ることに成功.

回路が長い
ピークが遅い

0 To 333 Baseline at tale (E) stop CF(%) 20

115 To 133 Calculation progress

Ch3 offset 0.7 V

42 To 48 Ch3+4 gain 20000

84 To 125 160 mV

AMOC analysis

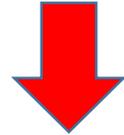
energy/point 0.030416667 keV/ch

Time zero 350 S(t)time/ch 150

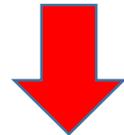
Mome. zero 388.381103 Shift points 7 S and W analysis

for mome. dist. output -1 To 10 nsec

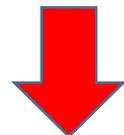
一回の測定に2週間もかかる
計測時間を1/4にできたら画期的



3日で測定できるようになりました
(研究の効率が劇的に良くなった)



経時変化を追えるようになる
(新しい研究の可能性)

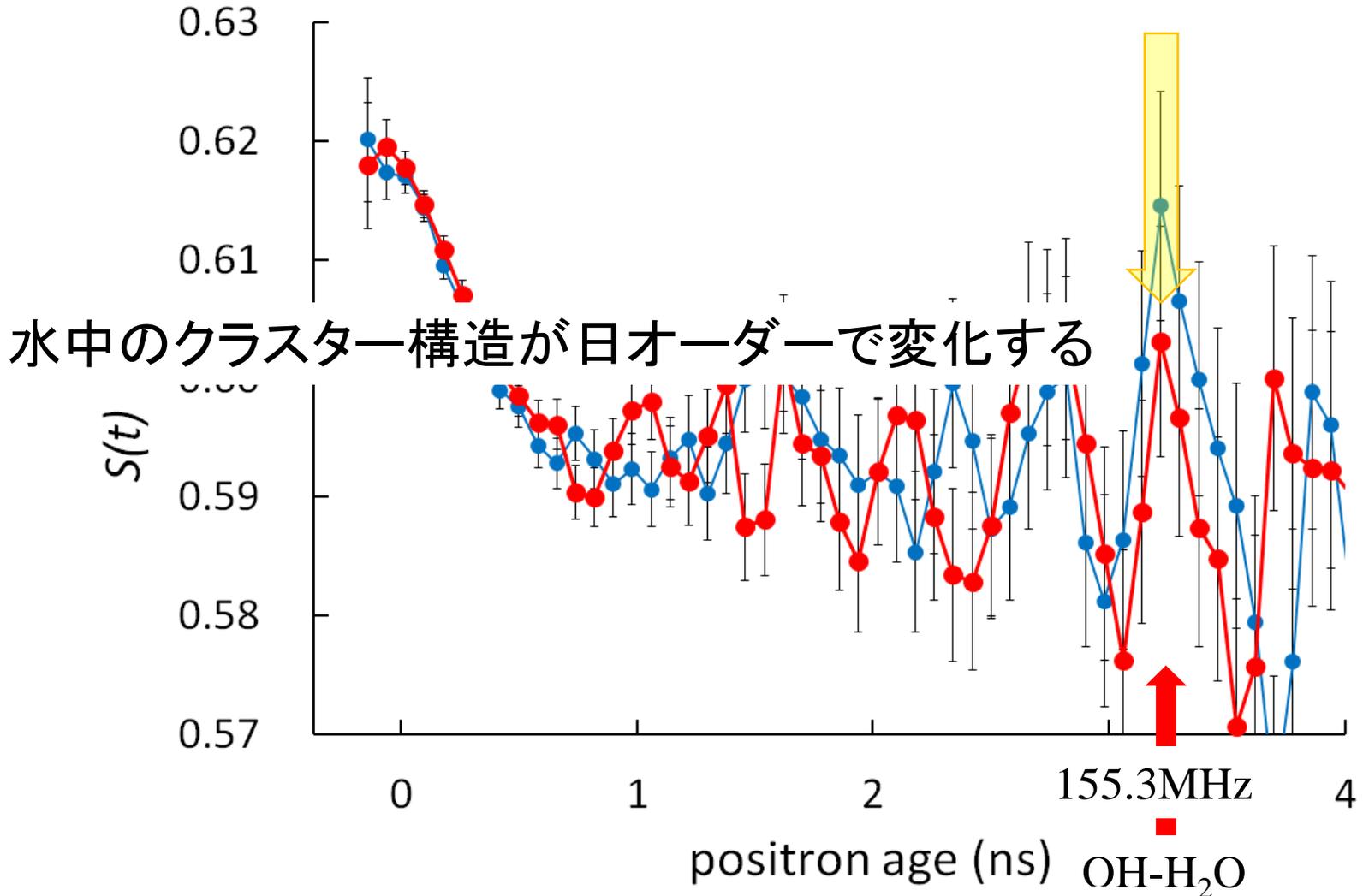


本当に新しい現象を見出してしまいました
それが...

10°C水中で8日間測定

時間分解能166ピコ秒 (FWHM) (世界最高水準)

● : 最初の4日間 ● : 次の4日間



解決したい問題

検出器(センサー)の識別技術が必要

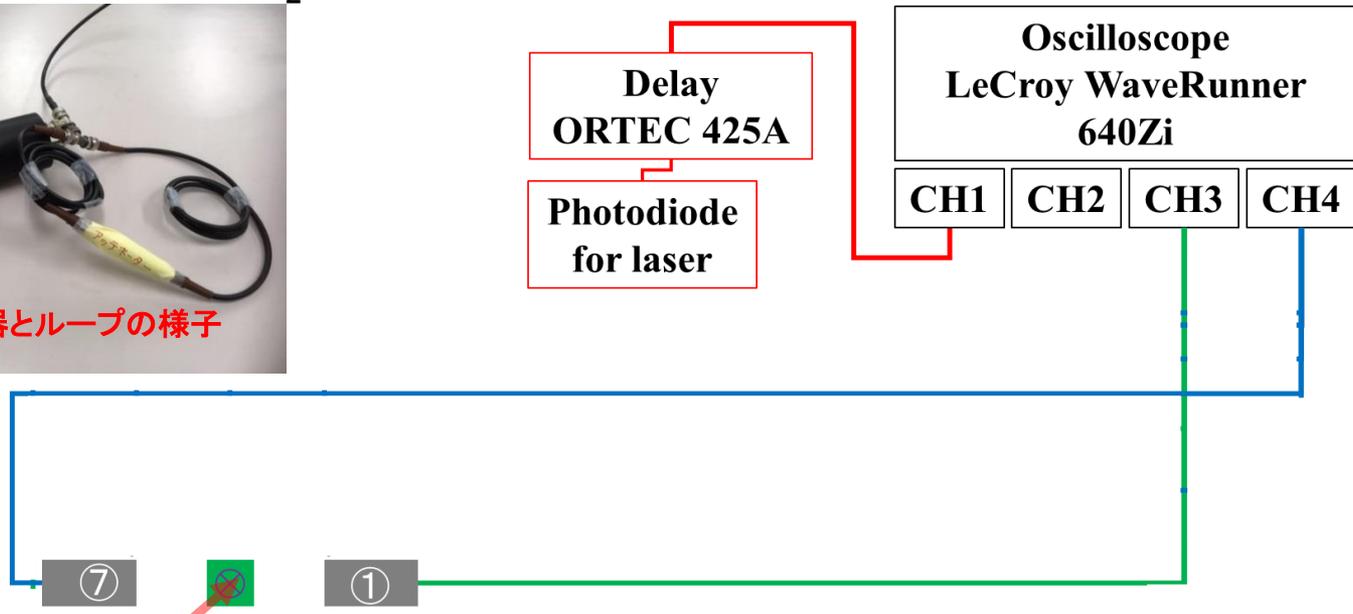
分子科学研究所における
高エネルギーパルスX線による実験計画

シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

アレイ配置BaF₂-PMT検出システム



実際の検出器とケーブルの様子



高エネルギーパルスX線

解決したい問題

検出器(センサー)の識別技術が必要

分子科学研究所における
高エネルギーパルスX線による実験計画

シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

アレイ配置BaF₂-PMT検出システム

Oscilloscope

検出器(センサー)を増やすだけで6倍の効率
マシンタイムが1/6になる = 効率的な共同利用

実際の検出器とループの様子



高エネルギーパルスX線

特徴は何か(ターゲット)

従来技術(例)

RADIOISOTOPES, 46, 33-44 (1997)

光ファイバを利用した放射線計測技術†

前川立行

(株)東芝 原子力技術研究所 電子応用システム担当

210 神奈川県川崎市川崎区浮島町 4-1

光導波型シンチレータ

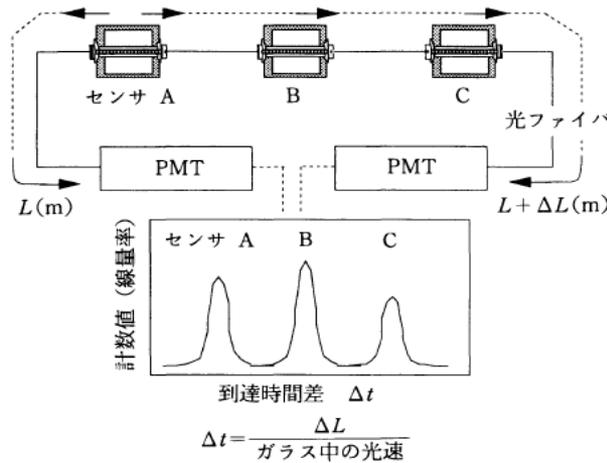


図 20 多点測定体系

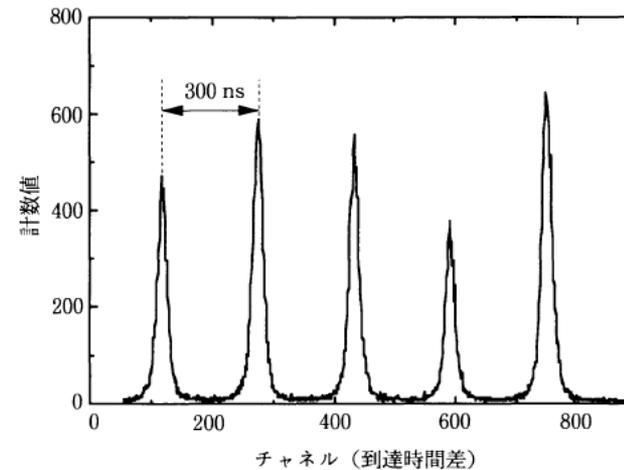


図 21 多点測定例 (プラスチックシンチレータ)

利点: 光ファイバーで放射線による発光を伝送. 電源等不要.

特徴: 複数のセンサからの信号を時間差を用いて弁別. センサの位置情報が得られる.

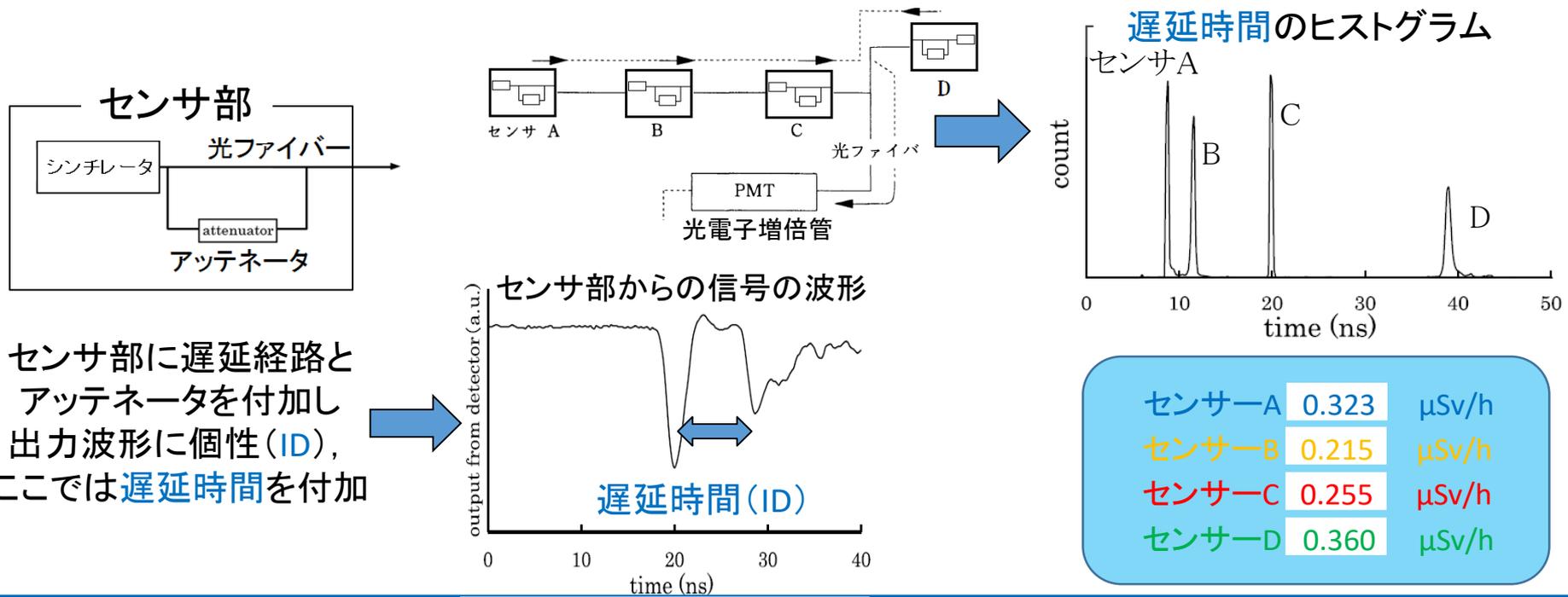
欠点: 光ファイバーがある部分以外にセンサを増設できない. 光ファイバーの分岐ができない.

特徴は何か(ターゲット)

検出器(センサー)の識別技術

シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

新規技術の応用(提案) こんな使い方ができるかも... 電気信号でなく光に 응용



利点(変わらず): 光ファイバーで放射線による発光を伝送. 電源等不要.

特徴(大きく進歩): どこの位置に配置しても, ID(遅延時間)でセンサを識別できる.

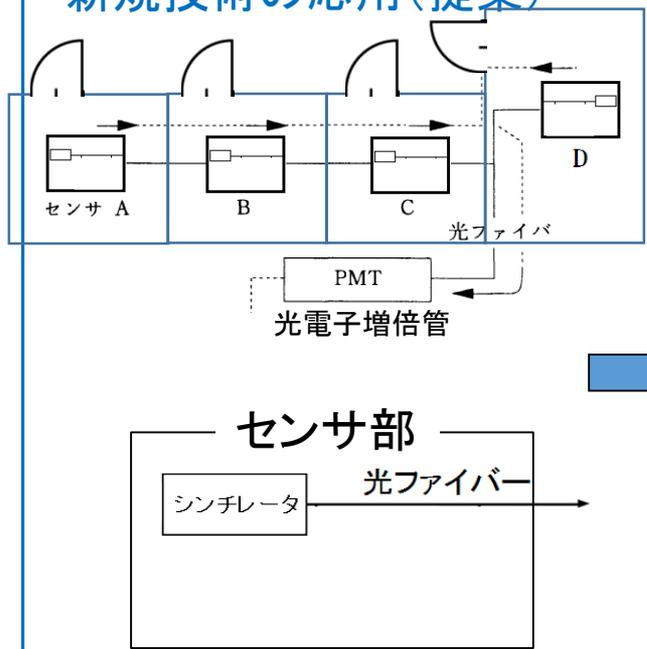
欠点(克服): 光ファイバー経路の分岐, センサの増設も自由.

特徴は何か(ターゲット)

検出器(センサー)の識別技術

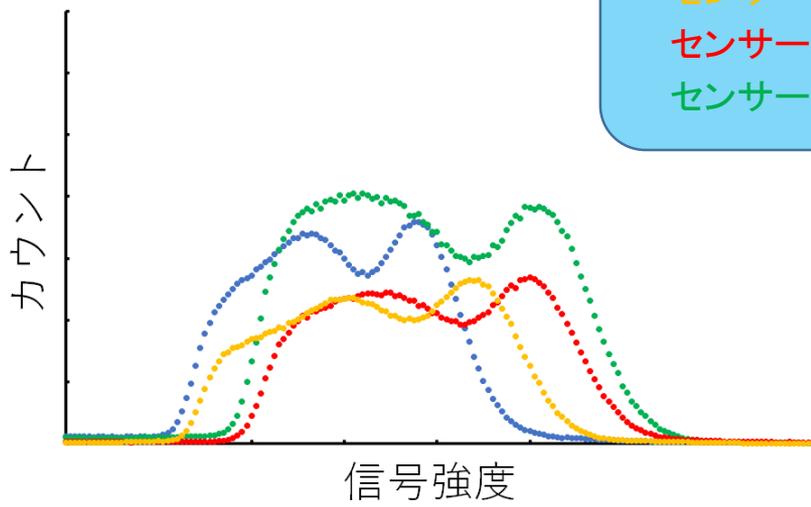
シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

新規技術の応用(提案)



ただ繋ぐと全部混ぜこぜ

センサーA	0.323	μSv/h
センサーB	0.215	μSv/h
センサーC	0.255	μSv/h
センサーD	0.360	μSv/h

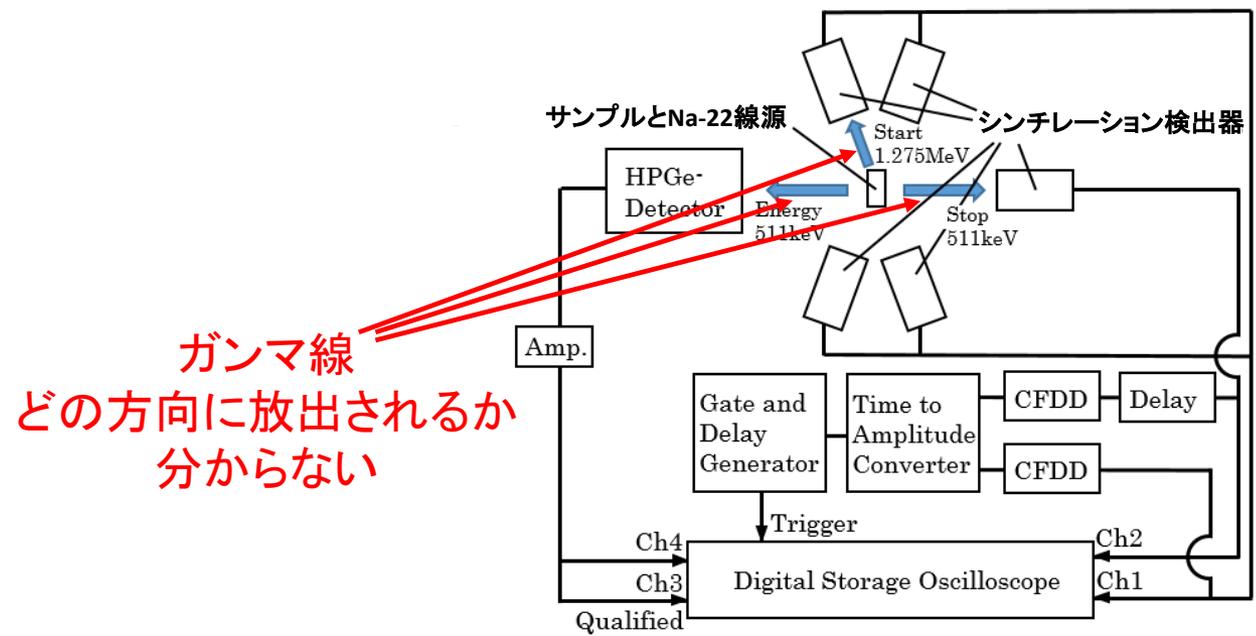


信号の個性化(どんな方法でもOK)

- 利点(変わらず): 光ファイバーで放射線による発光を伝送. 電源等不要.
- 特徴(大きく進歩): どこの位置に配置しても, ID(遅延時間)でセンサを識別できる.
- 欠点(克服): 光ファイバー経路の分岐, センサの増設も自由.

検出器の数を増やせる

シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

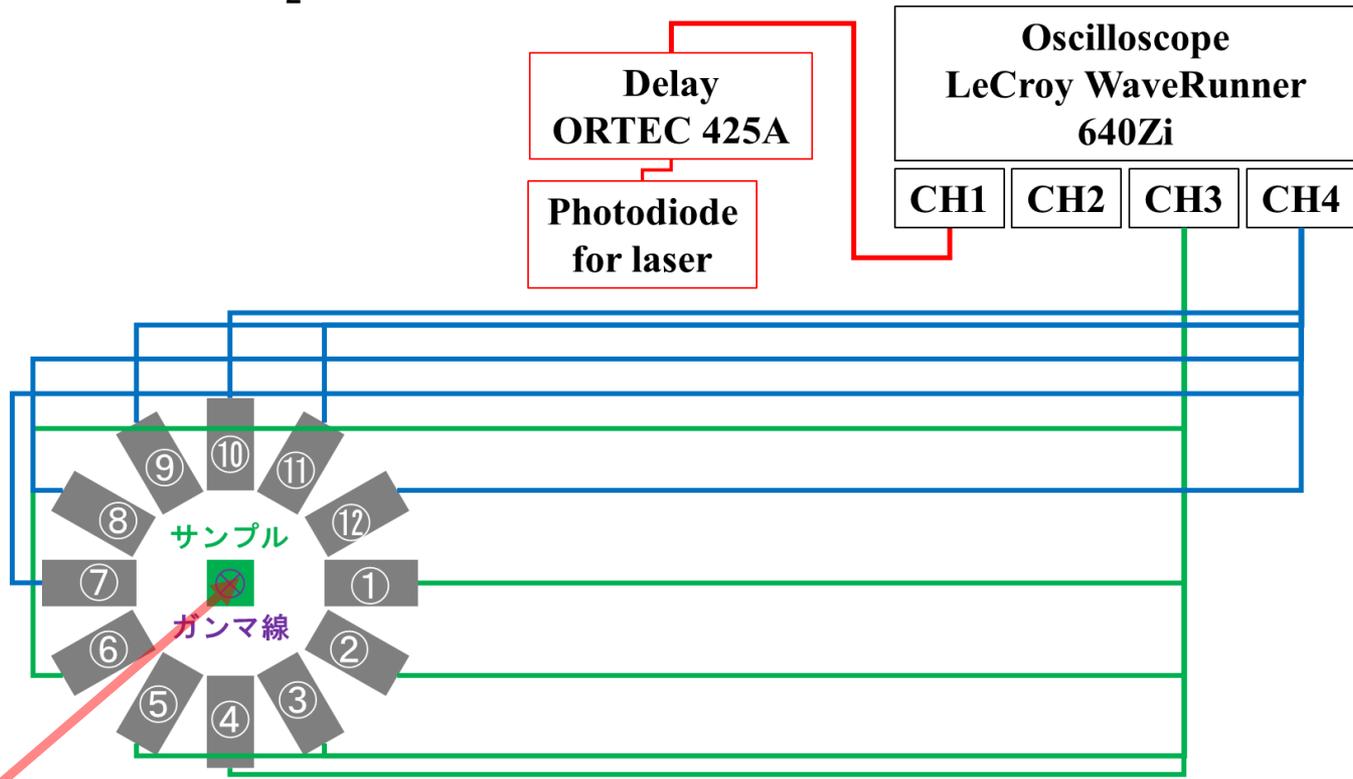


検出器の数を増やせる

シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

分子科学研究所における
高エネルギーパルスX線による実験計画

アレイ配置BaF₂-PMT検出システム



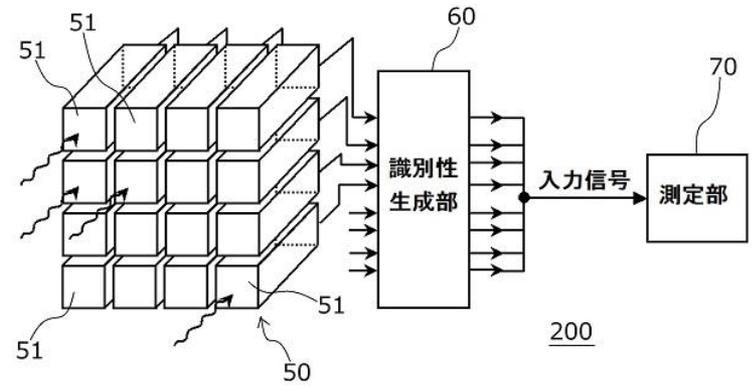
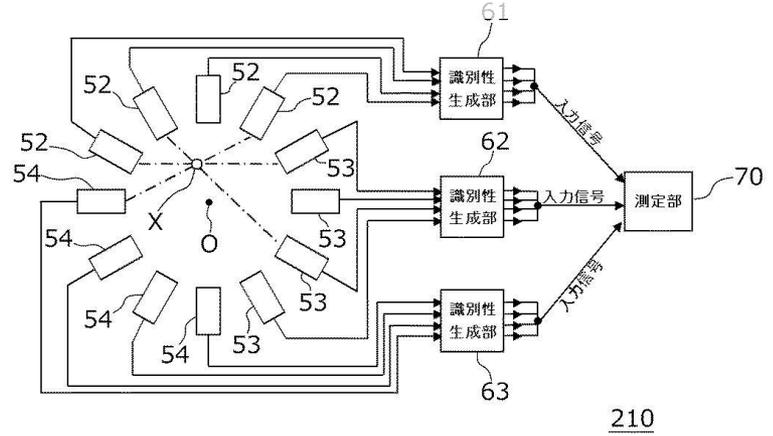
高エネルギーパルスX線

シンプル
+
効率の良い
↓
ブレークスルー

検出器の数を増やさなくても

世の中にはすでにたくさんの検出器で構成されている装置がたくさんある。

応用できるかもしれない装置の例

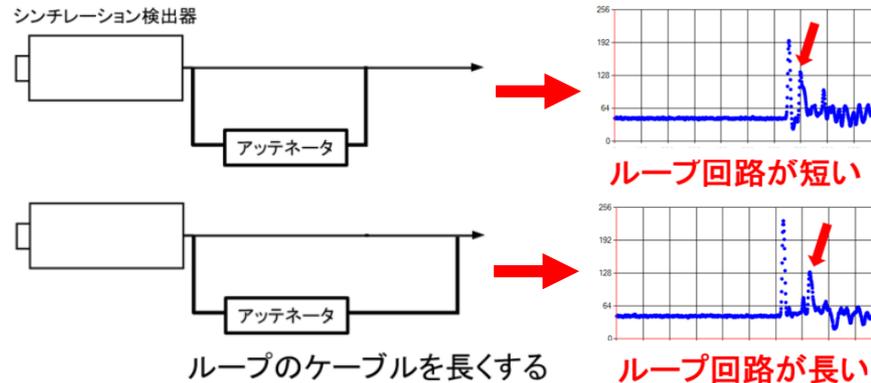


特願2017-239693「陽電子消滅寿命測定装置、放射線計測器の調整方法、放射線計測器」申請資料

応用先はいくらでもある。

革新的信号波形解析が計測効率の高度化を実現する まとめ(復習)

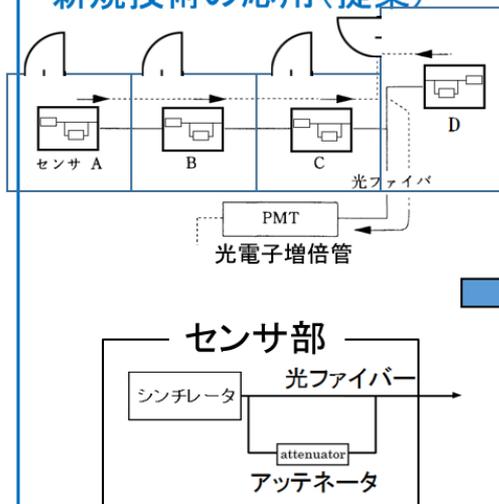
信号の個性化の実施例



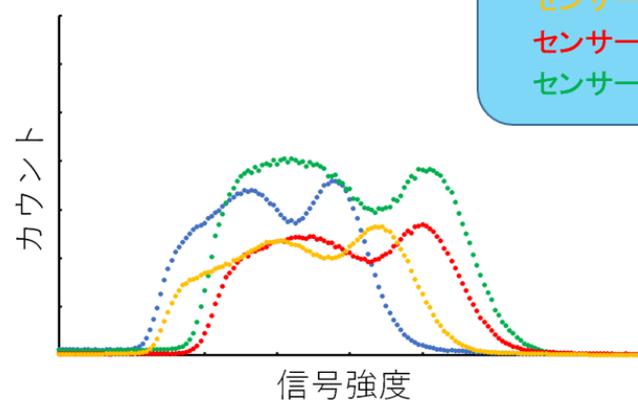
本アイデアの構成例です。

検出器の出力部にループ回路を作り、意図的に遅延信号(個性)をつくる。
遅延信号の形で検出器を識別することで、以下の実施効果のような計測が可能。

新規技術の応用(提案)



センサーA	0.323	μSv/h
センサーB	0.215	μSv/h
センサーC	0.255	μSv/h
センサーD	0.360	μSv/h



信号の個性化(どんな方法でもOK)



Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



Detector identification by waveform shape analysis for effective data acquisition: Improvements in time resolution and count rate for positron annihilation age–momentum correlation measurement



T. Hirade^{a,e,*}, H. Ando^b, K. Manabe^c, D. Ueda^d

^a Nuclear Science and Engineering Centre, Japan Atomic Energy Agency, Tokai, 319-1195, Japan

^b Osaka Prefecture University, 1-2 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai City, Osaka 599-8570, Japan

^c Department of Chemistry, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

^d Quantum Science and Engineering Centre, Kyoto University, Uji 611-0011, Japan

^e Institute of Quantum Beam Science, Ibaraki University, 4-12-1 Narusawa, Hitachi, Ibaraki, 316-8511, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:

Digital
Positron annihilation
 γ -ray
Scintillation detector
Ge semiconductor detector
Digital oscilloscope

ABSTRACT

In this paper, we propose a detector identification method that uses waveform shape analysis. This method can be used in many experimental contexts involving detectors, leading to effective data acquisition. Detector identification can additionally be used for other critical tasks, such as determining detector position. In this study, we used the proposed detector identification method to perform positron annihilation age–momentum correlation measurements. Instead, of one detector, four scintillation detectors were used for detecting 1.275 keV gamma-rays from ²²Na, a positron emitter. This method resulted in a fourfold higher count rate. Therefore small scintillators that are inevitable to have a low count rate could be also used for scintillation detectors to improve the time resolution, as a favourable time resolution such as 170 ps (full width at half maximum) is often required in research.

5. 結論

本論文では、波形形状解析を用いた検出器識別手法を提案した。この手法は、陽電子消滅寿命-運動量相関(AMOC)測定で高い時間分解能と高いカウントレートを実現するために適用された。4つのスタート検出器を使用することにより、本手法は、通常、1つのスタート検出器を使用して達成されるカウントレートの4倍を達成した。ただし、AMOCへのこの手法の適用は単なる例である。検出器の識別方法は、他の多くの実験が行われる状況においても適用できる。ここで説明する方法は、信号のメインピークと遅延サブピークの間隔の時間間隔の解析によるものである。しかしながら、検出器を識別するための方法はいろいろ存在する。私たちはパターン認識や人工知能(AI)における機械学習などによる研究が近い将来にこの手法の発展につながると信じている。



実際の検出器とループの様子

企業への期待

- 検出器（センサー）のメーカーには、検出器からの信号に個性を付与する機能を装備することを検討して頂きたい。（ループ回路なら、安い。それ以外にもいろいろできるはず。）



スイッチで識別

本技術に関する知的財産権

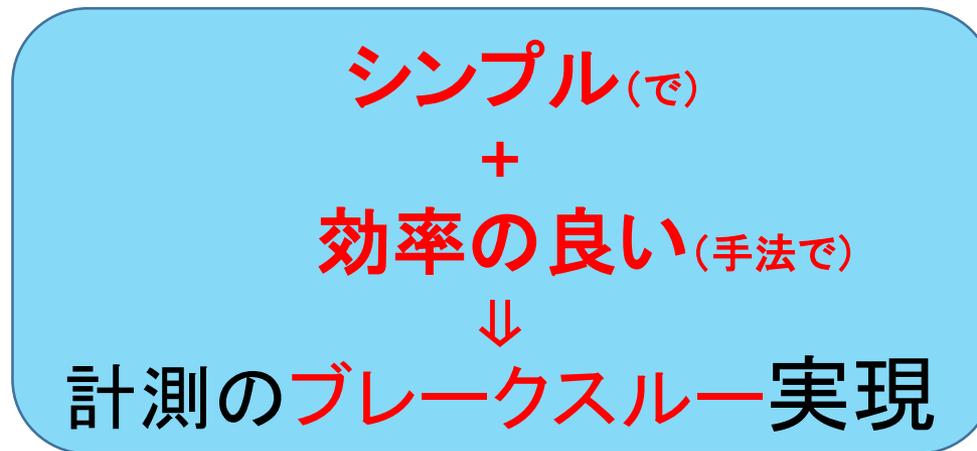
- 発明の名称 : 陽電子消滅寿命測定装置、
放射線計測器の調整方法、放射線計測器
- 出願番号 : 特願2017-239693(特開2019-105598)
- 出願人 : 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
- 発明者 : 平出 哲也、安藤 太一、真鍋 賢介、上田 大介

産学連携の経歴

- 2017-2018 日本原子力研究開発機構 萌芽研究開発制度に採択
 「陽電子消滅の量子ビートを用いた
 水中の放射線誘起短寿命活性種に関する研究」
- 2017 上記研究テーマで以下の3名の学生を特別研究生として受け入れ、装置開発を実施し、特許出願
 安藤 太一(大阪府立大学大学院)
 真鍋 賢介(東北大学大学院)
 上田 大介(京都大学大学院)
- 2020-2022 科研費基盤研究(C)に採択
 「ポジトロニウムとのスピン相関に基づく新手法による水中のOHラジカルに関する研究」

「革新的信号波形解析が計測効率の高度化を実現する」

波形解析による検出器識別



これからは 「信号も個性の時代」

ご清聴ありがとうございました.

お問い合わせ先

国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構
研究連携成果展開部

TEL : 029 - 284 - 3420

e-mail : seika.riyou@jaea.go.jp