

技術報告

NIM モジュールを用いた液体シンチレーション分析器の構築

原 正憲, 二上 ひかり, 阿部 信介

富山大学 水素同位体科学研究センター
〒930-8555 富山市五福 3190

Construction of a Liquid Scintillation Analyzer with NIM components

Masanori Hara, Hikari Futagami and Shinsuke Abe

Hydrogen Isotope Research Center, University of Toyama
Gofuku 3190, Toyama 930-8555, JAPAN

(Received December 2, 2014; Accepted July 10, 2015)

Abstract

A conventional liquid scintillation analyzer is typically equipped with two photomultiplier tubes to distinguish the signals of disintegration events from the noise of photomultipliers. However, commercially available liquid scintillation analyzers are not designed to provide signal output from each individual photomultiplier. Considering this limitation, the liquid scintillation analyzer was assembled with NIM modules so that it could generate a bifunctional scintillation spectrum from the two photomultipliers. The pulse height of the bifunctional spectrum obtained increased with decreasing the quenching. This change was consistent with the principles of the liquid scintillation counting.

1. 緒言

液体シンチレーションカウンタは β 線を放出する核種の測定に利用されている。特に、 ^3H 、 ^{14}C 等の低エネルギーの β 線のみを放出する核種を僅かに含む液体中の放射能を定量出来る唯一の装置である。現代の液体シンチレーションカウンタは4000chの波高分析器を備えており、液体シンチレーション分析器(LSA)と言うべきものである。しかし、LSAによる放射能測定では、クエンチングによる影響を補正する事が必要不可欠である。クエンチングには主に二つの要因がある。一つは、放射線のエネルギーがシンチレータ内で発光分子まで上手く伝達されず、発光が起こらない化学クエンチングである。もう一つは、放射線のエネルギーは発光分子まで伝達され発光は起こるが、発生した光子がシンチレータ内で吸収されてしまいLSAの光電子増倍管(以下、PMT)まで届かないカラークエンチングである。化学クエンチングは市販のクエンチドスタンダードを用いて補正できるが、市販されているクエンチドスタンダードは ^3H と ^{14}C に限られている。その他の核種を測定する場合、測定者自身でクエンチドスタンダードを調製する必要がある。一方、カラークエンチングの補正方法は十分に確立されていない。有色の試料ではカラークエンチングを避けるために試料の脱色が必要なため、迅速な試料調製が出来ない。カラークエンチングが起こると、PMTにシンチレーション光が入射するまでの光路差により、PMTへ入射する光量に差が生じ、出力信号に差が現れる。この差にカラークエンチングの情報が含まれる。しかし、市販のLSAではPMTそれぞれの信号は外部に出力されない。

LSAによる測定で問題となる化学クエンチングとカラークエンチングの補正を同時に行う全クエンチング補正の手法が確立すれば、有色の試料を脱色処理を行うことなく、LSAによる放射能測定が出来るようになる。このためには、LSAに装備されているPMTそれぞれの波高出力を測定し、新たなクエンチング補正の手法を検討する必要がある。この観点より、様々な試料からのシンチレーションスペクトルをPMT毎に測定するLSAを構築した。その詳細をここで述べる。

2. LSA の原理

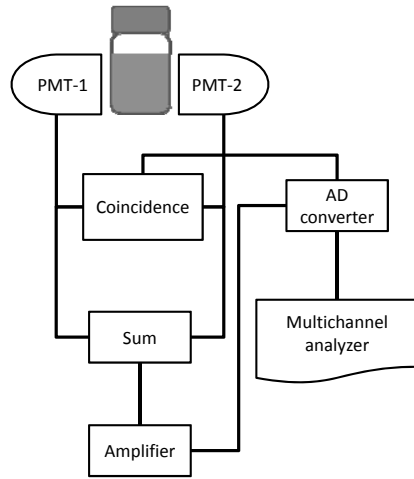


Fig. 1. Schematic diagram of a liquid scintillation analyzer.

LSAによる放射能測定では、測定対象の液体試料は液体シンチレータと混合され、均質のシンチレータカクテルとする。このカクテル中で放射壊変が起こると、壊変に伴う荷電粒子からのエネルギー移行によりシンチレーション発光が起こる。この発光の強度は荷電粒子のエネルギーに比例する。また、発光の頻度はシンチレータ内での壊変頻度に対応する。LSAではこのシンチレーション発光の強度と発光頻度を測定する。

LSAの一般的な構成をFig. 1に示す[1]。通常のLSAではシンチレーション光の検出用に

2本光電子増倍管を備えており、これらPMTからの出力は同時計数回路につながれている。これは、PMTのノイズと放射線によるシンチレーション発光を区別するためである。両PMTより信号が同時に発せられた場合は、放射線によるシンチレーション発光と識別される。これにより、バックグラウンドの計数値が低く保たれる。分岐されたPMTの出力は加算回路により合成され、一つの波高信号とする。これは、トリチウムのようなエネルギーの低い β 線による波高を大きくさせるとともに、カクテル内での発光位置の補正の役割も担っている。加算回路から出力された信号は増幅回路により整形と増幅が行われる。次いで、この信号はアナログデジタル変換器へ送られ、信号の波高値はデジタルシグナルとなる。この際、変換されるデータは同時計数回路より出力されるゲート信号により弁別され、放射線のシグナルのみを選択する。変換されたデジタル信号はマルチチャンネルアナライザーにより、波高分析が行われシンチレーションスペクトルを与える。

3. NIMモジュールによるLSAの構成

構築したLSAの構成をFig. 2に示す。このLSAはNIM規格に準拠するモジュールを用いて構築した。使用したNIMモジュールをTable 1に示す。このLSA装置には、PMTとプリアンプが

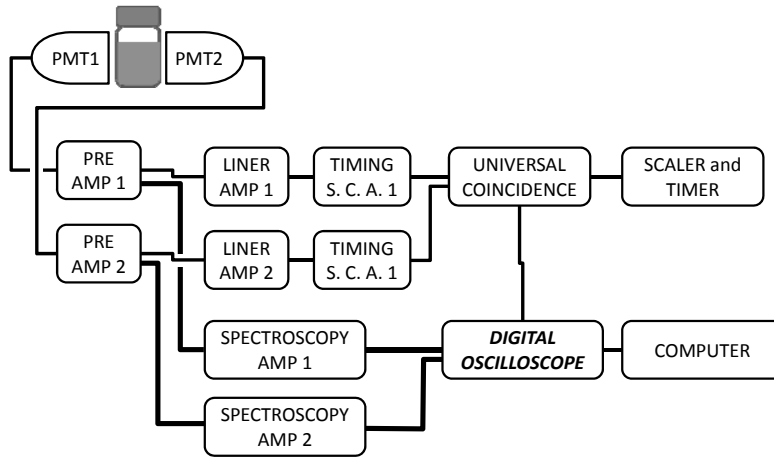


Fig. 2. Diagram of the liquid scintillation analyzer assembled with NIM components.

一体となったシンチレーションプローブを用いている。このプローブはPMTのダイノードとアノードから信号を出力出来るものであり、ダイノード出力は波高を分析する信号、アノード出力はタイミングを分析する信号に用いている。プリアンプからのアノード出力はリニアアン

プにより増幅と整形を行い、バイポーラー信号としている。そしてタイミングシングルチャンネルアナライザーにより、ゼロクロス点で、同時計数回路に対してタイミング信号を発信している。2つのタイミング信号に重なりがあれば、両PMTで同時に信号が発せられたとして、ゲート信号をデジタルオシロスコープに送っている。一方、ダイノードからの出力は波高分析に使用する。このため信号は良好な波高分解能が得られるユニポーラーのガウス波形へスペクトロスコピーアンプを用いて整形され、デジタルオシロスコープに送られる。デジタルオシロスコープでは同時計数回路からのゲート信号を受けて、4 μ 秒程度のサンプリングが行われる。このサンプリングされたデータはコンピュータに送られ、波高分析され、波高データが蓄積される。このデータサンプリングと波高分析はLabViewで書か

Table 1. LSA components

Name	Product
Scintillation probe (PMT, Pre-amplifier)	OKEN SP-200
Linear amplifier	OKEN 704-4B
Timing single channel analyzer	OKEN 706-2B
Universal coincidence	OKEN 708-3
Scaler and Timer	OKEN 711-7
Spectroscopy amplifier 1	Canberra Model 2021
Spectroscopy amplifier 2	Canberra Model 2025
Digital oscilloscope	Tektronix DPO3014

れたアプリケーションにより行われる。蓄積されたデータはROOT[2]によりヒストグラムデータに変換し2次元シンチレーションスペクトルを構成する。

シンチレーションスペクトルを測定する際のPMTに印加する電圧は1.7 kVとした。

4. シンチレーションスペクトルの測定結果

Fig. 3に同時計数回路からのゲート信号及びスペクトロスコピーアンプの出力波形をデジタルオシロスコープで測定した一例を示す。1チャンネルと2チャンネルはアンプからの信号波形、3チャンネルは同時計数回路からのゲート信号を示している。同時計数回路からの $1\mu\text{s}$ のゲート信号の立ち上がりトリガーとしてサンプリングを行った。アンプから出力される信号出力はゲート信号の立ち上がりより $1\mu\text{s}$ 遅れて立ち上がりが起こっていることが分かる。これは、スペクトロスコピーアンプでの波形整形のためのシェーピングタイムを $1\mu\text{s}$ としたためである。このシェーピングによる遅れを考慮することにより、ゲート信号の立ち上がりトリガーとすることができ、アンプからの信号波形の最大波高値が測定出来ることが分かった。また、信号波形は左右対称なガウシアンを示しており、波形の終端のアンダーシュートは大きな

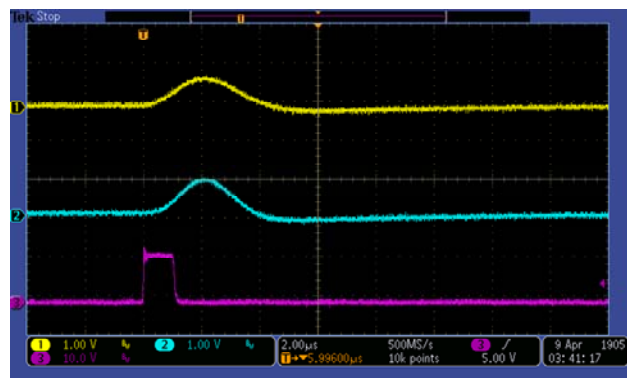


Fig. 3. Pulse shape of PMT outputs through spectroscopy amplifiers and gate signal.

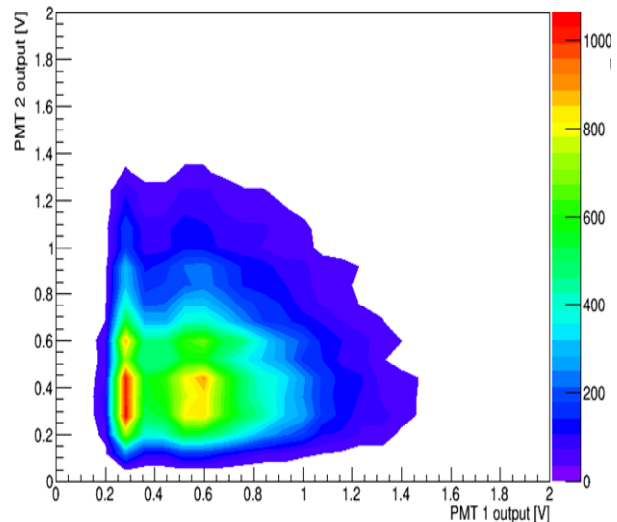


Fig. 4. Bifunctional scintillation spectrum of ^{14}C from individual PMTs.

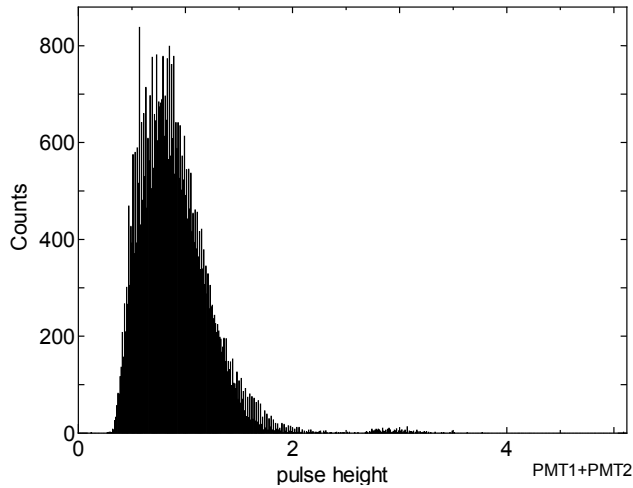


Fig. 5. Sum scintillation spectrum of ^{14}C .

広がっていることが分かる。しかし、シンチレーションスペクトルより、PMT2に比べPMT1で波高値が僅かに小さいことが分かる。また、Fig. 5にPMT1とPMT2の波高値の和を用いたシンチレーションスペクトルを示す。この際、波高値の和を0.1Vの幅でヒストグラムを作成した。Fig. 5に示したシンチレーションスペクトルは市販のLSAにより得られるシンチレーションスペクトルに対応する。構築したLSAのシンチレーションスペクトルは市販のLSAで得られるスペクトルに比べ低波高側での計数値が少ない。これは、タイミングシングルチャンネルアナライザの弁別レベルが0.1Vになっており、小さなシグナルが弁別され読まれていないことが挙げられる。これを改善するためにはリニアアンプの増幅率を最適化する必要がある。

Fig. 4, 5に示したシンチレーションスペクトルは、試料のクエンチングを強くするに従い低波高側に圧縮されることを確認しており、この変化はLSAの測定原理より予想されるものである。

以上のことより、構築したLSAはシンチレーションスペクトルを測定出来ることが示された。しかし、低波高領域での2次元シンチレーションスペクトルを測定するためには、リニアアンプとスペクトロスコピーアンプの増幅率の最適化が必要である。さらに、デジタルオシロスコープを用いた波高分析部をマルチチャンネルアナライザに変更することで、より高分解能のシンチレーションスペクトルを取得出来る装置と成る。

い。つまり、連続する信号においても適切に波高の分析が出来ることが示された。

Fig. 4にPMTそれぞれの波高値の分布を色の変化で表した2次元のシンチレーションスペクトルを示す。なお、このシンチレーションスペクトルの構築では、0から5Vの範囲を125の等間隔に分け、それぞれの頻度を求めた。得られた2次元のシンチレーションスペクトルの等高線は扇型に

5. まとめ

LSAでの放射能測定において重要なクエンチングの補正方法を検討するために、それぞれのPMTから信号を取り出すことの出来るLSAをNIMモジュールにより構築した。このLSAはそれぞれのPMT出力から2次元のシンチレーションスペクトルを測定することが出来た。しかしながら、低波高側で計数が落ちており、同時計数回路側での弁別レベルを最適化する必要があることが分かった。

それぞれのPMTからの出力が測定出来るこの装置はクエンチングの補正方法の検討に有用な装置である。

参考文献

- [1] M. F. L'Annunziata, "Liquid Scintillation Analysis: Principles and Practice", In "Handbook of Radioactivity analysis" 2nd Ed., Academic Press, 2003.
- [2] <http://root.cern.ch/drupal/>