

# The AX-PET project: Demonstration of a high resolution axial 3D PET

E. Bolle<sup>a</sup>, A. Braem<sup>b</sup>, C. Casella<sup>c\*</sup>, E. Chesi<sup>d</sup>, N. Clinthorne<sup>e</sup>, E. Cochran<sup>d</sup>, R. De Leo<sup>f</sup>, G. Dissertori<sup>g</sup>, G. Djambazov<sup>g</sup>, V. Fanti<sup>h,i</sup>, K. Honscheid<sup>d</sup>, S. Huh<sup>e</sup>, I. Johnson<sup>g</sup>, C. Joram<sup>b</sup>, H. Kagan<sup>d</sup>, W. Lustermann<sup>g</sup>, F. Meddi<sup>b</sup>, E. Nappi<sup>f</sup>, F. Nessi-Tedaldi<sup>g</sup>, J.F. Oliver<sup>f</sup>, P. Pauss<sup>g</sup>, M. Rafecas<sup>i</sup>, D. Renker<sup>g</sup>, A. Rudge<sup>d</sup>, D. Schinzel<sup>g</sup>, T. Schneider<sup>b</sup>, J. Seguinot<sup>b</sup>, S. Smith<sup>d</sup>, P. Solevi<sup>e</sup>, S. Stapnes<sup>a</sup>, P. Weilhammer<sup>d</sup>

<sup>a</sup> University of Oslo, NO-0317 Oslo, Norway

<sup>b</sup> CERN, PH Department, CH-1211 Geneva, Switzerland

<sup>c</sup> ETH Zurich, CH-8092 Zurich, Switzerland

<sup>d</sup> Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA

<sup>e</sup> University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA

<sup>f</sup> INFN Sezione di Bari, I-70122 Bari, Italy

<sup>g</sup> Paul Scherrer Institute, CH-5232 Villigen, Switzerland

<sup>h</sup> University of Rome "La Sapienza", I-00185 Rome, Italy

<sup>i</sup> IFIC, E-46071 Valencia, Spain

**概要:** AX-PETは新しい幾何学的なコンセプト、高分解能 3D PET スキャナーのための、軸方向のLYSO結晶にWLSの層を挟んだ配列をベースにしている。そしてどちらも個別にG-APDで読み出している。PETの証明(2つの検出器モジュールを使ったコインシデンスを基にしている)は現在建設中である。

© 2009 Elsevier B.V. All rights reserved.

## 目次: 1. Introduction, 2. Detector description, 3. Detector performance, 4. Current status and future steps

**1. Introduction:** とてもいい分解能を主張する間の感度の工場はPET装置において重要な問題である。従来の放射線幾何学のPETでは、これら2つの面は厳密に反対に相互している。最も大きい機器の挑戦は実際に検出器内での光子と相互作用した深さ(DOI)の精密な測定である。精密にDOIの決定は平行な誤差を回避するための唯一の方法である。これは見ている入射の場を超えた空間分解能の非一様性へ導くだろう。一方、精密なDOI測定はしばしば、検出効率のコストで成し遂げられた。(例えば、小さい結晶)

AX-PET計画はPETの新しい幾何学のコンセプトを提案する。ここで、DOI測定と検出効率は分離して、両方同時に向上できる。

**2. Detector description:** AX-PETモジュール(図1)<sup>[1, 2]</sup>は6×8のLYSO結晶(それぞれ3×3×100 mm<sup>3</sup>)の配列であり、断層撮影で軸方向である。26個のWLSストリップ(0.9×40×3 mm<sup>3</sup>)の細い粒状のホドスコープはそれぞれ6層のLYSOの底面と垂直に置かれる、結晶内で光子が相互作用した点の軸座標の検出のために。それぞれの層は光学的にそして機械的に他と分離されている、カーボンファイバーの平面で。結晶とWLSストリップはどちらも個々にMPPCによって読み出される。これはガイガーモードで制御される多重アバランシェ・フォトダイオード。これらのデバイスは高いPDE(〜30%)、高ゲイン、コンパクトそして磁場に感受性のなさを特徴付けられる。これは今後MRIとPETデータの共同記録を可能にする。

ジオメトリの記述(高い光量を兼ね備えた)は結晶内で光子が相互作用した点の3成分を

直接測定することができる。これは広いエネルギー領域では妥当である、消滅ガンマ線 (511 keV) が全エネルギーを落とすことから、コンプトン散乱した光子の落としたエネルギー約 50 keV の最小検出可能まで。全3成分の空間分解能は粒状のシンチレータ板と WLS ストリップを通して単純に調整できる; 現在の設計では、数立方ミリメートルの全空間分解能が期待される。これは、陽電子の消滅の物理によって課せられた制限へ近い。デザインで軸のジオメトリとモジュール性は固有のデバイスの強み(アドバンテージ)を与える。ここで、高い感度が与えられる(例えば層数を増やすことによって)、分解能に傷をつけることなく(これは成分の粒状によって決定される)。さらなる感度向上はコンプトン散乱事象の一部再構成を加えることで得られる、このイベントはコンプトンの幾何学によって決定される。

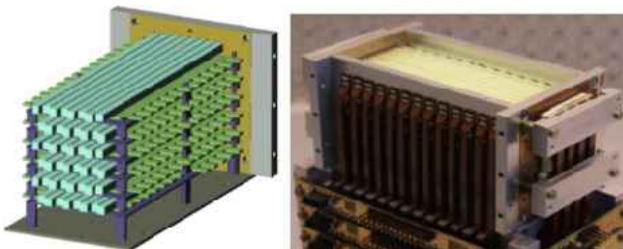


図1. 完全な AX-PET モジュール。左:モジュールの概念、6層の結晶とWLSをもつ。右:組み立てたモジュールの写真、機械的な構造を内部に持つ;光検出器がケーブルによってエレクトロニクスに接続されている一部が見えている。

[1] J. Seguinot, et al., *Il Nuovo Cimento C* 29 (4) (2005) 429.

[2] A. Braem, et al., *Nucl. Instr. and Meth. A* 580 (2007) 1513.

**3. Detector performance:** 様々な成分の特徴の研究(準備段階の小型試作と同様)は AX-PET の可能性を証明した。高い光量 (511 keV で $\sim 1,000$  pe)、そして良い軸分解能 ( $\sim 1$  mm FWHM) を示した<sup>[3,4]</sup>。現在、”予備のモジュール(pre-module)” (16個のLYSOと52個のWLSを構成する)は2層で配置する(つまり、1/3モジュール)、エレクトロニクスの全読出しとDAQチェーンの組合せはテストした。結晶のエネルギーキャリブレーションが511 keVの光電ピークとLYSOの202 keVと307 keVの内部放射能2つを使って実行した、図2に示すように。良い分解能 $\sim$ FWHM11.5%を得た、図3に示すように。ヒットの多重性(16結晶のジオメトリの不完全なこまでの測定?)はコンプトン散乱事象(全統計の25%、図4を見よ)の高いパーセントを示す。全モンテカルロシミュレーションと納入した再構成イメージソフトウェアを開発している。単純に線源を拡張した再構成の最初の成功を達成した。

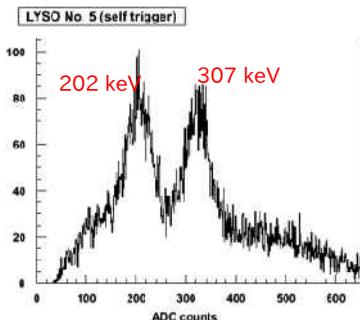


図2. LYSO結晶の内部放射能の典型的なエネルギースペクトラム、組立て配列”Pre-Module”における。

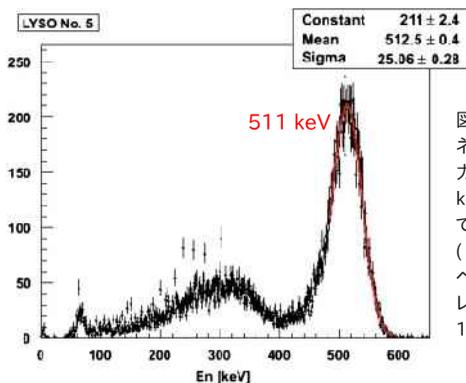


図3. 結晶内で検出された光子の典型的なエネルギー分布 (Pre-module 配列の 16 の出力)、ここで配列は  $^{22}\text{Na}$  線源からの消滅 511 keV を当てている。配列のエネルギー和において高エネルギー・ディスクリミネータのしきい値 (~ 400 keV) をトリガーのために使用する。スペクトラムの示すのはすでにエネルギーキャリアレーションしている。エネルギー分解能約 11.5% (FWHM) を観測した。

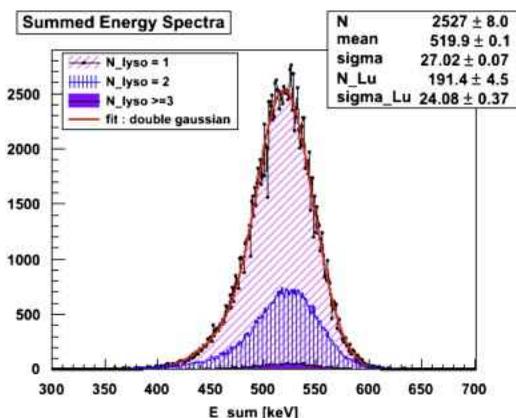


図4. Pre-module 配列における LYSO 結晶のエネルギー和スペクトラム、異なる結晶多重性で ( $N_{\text{LYSO}} = 1, 2, 3$  以上)。このプロットは図3で説明したのと同じラン(測定)状態であると言及しておく。結晶に1と2ヒットの事象の確率(%)はそれぞれ75%と25%である。2個の結晶よりも多いイベントのゆらぎは無視してよい。検出された光電ピークの非対称性の観測は Lu (ランタン) の X 線エスケープピーク (63 keV 未満のピーク) によって説明される。ダブル・ガウス・フィッティング関数 (平均値  $E_0$  と  $E_0 - 63$  keV) は全領域のデータを上手く説明している。

[3] A. Braem, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 586 (2008) 300.

[4] E. Bolle, et al., in: Conference Record IEEE Meeting 2008, Dresden, 2008.

**4. Current status and future steps:** 最初の全モジュールの組立てを完了した。そしてモジュールは CERN で  $^{22}\text{Na}$  点線源からの 511 keV 光子でキャリアレーションした。軸平面に沿って異なる位置において、2つ目のモジュールは現在構成中。2つのキャリアレーションしたモジュールは同時に使用する予定だ、まず、 $^{22}\text{Na}$  線源で、そして放射トレースを基にした  $^{18}\text{F}$  で満たされた従来のファントム (radiopharmaceutical center @ETH, Zurich)、デモンストレータの最終的な性能の評価のために。再構成ソフトウェアの適性は同時に進行中である。