

先端技術領域

高性能2次元型高エネルギーX線検出器の 技術開発と物質構造研究への応用

1. 研究目的

第三世代放射光施設 SPring-8 が発生する X 線ビームは (1)高輝度、(2)高エネルギー、(3)大強度等の特性を有する。その科学的恩恵に浴するには X 線検出器技術の進展が不可欠であるが、特に高エネルギー X 線領域に於ける X 線画像検出器技術の立ち後れが著しい。同領域に求められる基礎技術の研究・開発を実施する本研究は、放射光利用実験に2次元型高エネルギー X 線検出器を導入する先端的計画と位置づけられる。本研究は、同検出器の具体的応用として、高エネルギー X 線領域に於ける散乱、透過、回折現象を時分割 X 線画像として観測する放射光利用実験を想定し、物質の組織・構造の動的過程を研究する分野への展開を指向するものである。

斯かる認識に基づき、本研究では、平成12年度より、128×128配列型 YAP 検出器をプローブとして採用し、且つ放射光実験に特化したデータ収集系を構築する研究開発を開始した^{[1][2]}。平成12年度、本研究は、基盤的データ収集系を用いて、全画面の一部を読み出し、同検出器の高エネルギー X 線に対する応答、各素子の光学的遮蔽等を評価した。その結果、同検出器が、原理的に、物質構造研究への応用が可能であることを確認した。

本研究の継続年度である平成13年度には、同検出器の全画面を読み出し、システムとして一体的に稼働させて実用化を計ることを目指した。

2. リニアミキサーを用いた読み出し方法の簡素化

図1は YAP 検出器受光部からの信号を処理するデータ収集系の模式図である。光電子増倍管からの信号線のうちアノード信号は、次段のリニアミキサー回路でまとめられディスクリミネーター回路に送られる。このとき図に示すように、各 PMT の同番号のアノード線を束ねている。このように結線した場合、8本のダイノード信号と16本のアノード信号の組み合わせから128本の光ファイバーのどれが発光したのかを特定することができる。このリニアミキサーを使うことの利点は次段にある PMT アンプ及びディスクリミネーター回路の使用台数を減らすことである。全256チャンネル分の PMT アンプとディスクリミネーター回路が必要なところ、48チャンネル分の使用で回路を組むことができ、データ収集回路系の占有スペース節約や、メンテナンス作業量の面で有利である。

YAP 検出器の最大の特徴は高エネルギー X 線イメージングであり、この観点から BL38B2を拠点とし、年度を通して評価実験を継続した。実験課題「YAP(Ce)検出器を

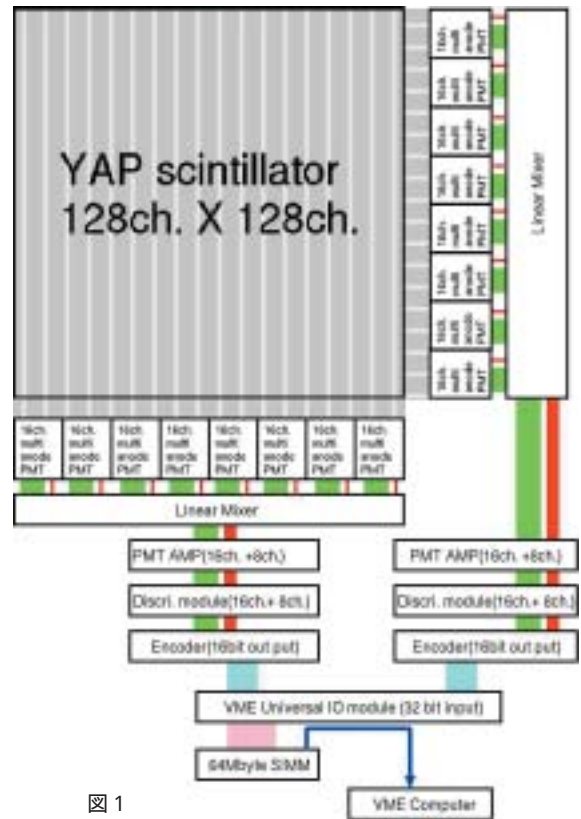


図1

用いた高エネルギーイメージング (R01A38B1-0023N)」を6月に実施し、20keV から100keV の範囲で、鉛のテストパターン透過像測定に成功した。また9月には、YAP 検出器の物質構造研究への応用のさきがけとして、新潟大学鈴木賢治助教授の試料提供を受けて、実験課題「YAP(Ce)検出器を用いた3層遮熱コーティング材料の高エネルギー X 線回折 (R01B38B1-0011N)」を実施し、20keV から100keV での回折像測定に成功した。以後、高エネルギー X 線回折実験を主たる応用例として評価を遂行した。リニアミキサー法では画像の一様性がどの程度実用に耐えるかが評価の主対象であったが、CAMAC システムを用いて実施した6月、9月の実験結果を基に128入力8出力のリニアミキサー実機を設計し、平成14年3月に導入した。

3. 高速位置座標変換モジュール (エンコーダー) の開発

放射光科学での高エネルギー X 線検出器技術は、素粒子・原子核実験をバックグラウンドに開発された機器を流用しているのが現状で、YAP 検出器の基本性能評価用に整備した CAMAC システムでは数キロ cps 程度が許容データ収集率である。本開発研究の中核は、YAP 検出器のプローブとしての性能を最大限に引き出す為にエンコー

ダーモジュールを独自に開発し、50MHzでの座標変換を実現した点にある。

リニアミキサーからの16チャンネル×2系統のアノード信号、及び、8チャンネル×2系統のダイノード信号は、電子増倍管用アンプで10倍に波高増幅された後、4台の16チャンネルディスクリミネーターに於いてロジック信号群に変換される。これらは、続くエンコーダーモジュールにより16ビット×2系統の位置・時間・トリガー情報等を含むデジタル信号に変換され、VME上のユニバーサルIOモジュール(UIO)に導かれる。エンコーダーモジュール及びUIOモジュールは、ALTERA社製のFPGA/CPLDチップを搭載しており、使用者が自由に内部回路をプログラミングすることができる。

6月のビームライン実験の際に、同エンコーダーモジュールの第一試作機を用いて16×16素子の高速読み出し試験を行い、11月には全受光面読み出し用の第二試作機を用いた評価実験「YAP(Ce)検出器を用いた、高エネルギー、高係数率でのX線イメージング(R01B38B1-0050N)」を行い、約2 Mcpsでの計測に成功した。時分割測定の実験としては、平成14年2月に実験課題「YAP(Ce)検出器を用いた、高エネルギーX線での静止画及び動画測定(R02A38B1-0008N)」を行った。同エンコーダーの機能として、1光子毎に時間情報を付加する事が原理的に可能で、保存されたイベント毎の生データから、オフライン解析により50MHzの基本周波数で任意の時間フレームでの時分割像抽出が可能である。試作機で良好な結果が得られたことを受けて、省電力対策を施した実機を製作し、2月より実用に入っている。

4. ユニバーサルIOモジュール(UIO)

UIOは、本研究の分担者が開発した最新技術であるが、本システムとのマッチングを計る為に、内部回路プログラムの最適化を行った。X、Y、2台のエンコーダーは同一のクロックにより50MHzで動作している。エンコーダーでは次段のUIOへの繋ぎ役としての32ビットデータへの変換とともに、幾つかのシンチレーターが同時発光した場合の処理も行っている。エンコーダーからの32ビットの信号はUIO上のSIMMに測定終了まで蓄えられ、測定終了後まとめてVME上のコンピューターに転送される。これらの回路系でデータ転送のボトルネックとなる部分はVMEバス速度であり、UIOからVMEコンピューターへのデータ転送が最も遅く、テスト信号での評価ではデータ取得率は0.7Mcps程度であった。この回路系では1 eventが32bitであるから、0.7Mcps = 22.4Mbps (bit per second)であり、VMEバスの平均データ転送速度といわれる20Mbpsに相当している。

このVMEバスの問題は画像測定時にSIMMにデータを溜め込むことで回避し、テスト信号による評価では3 Mcps

を達成した。より早いメモリーを採用し高速化する事がテーマとして考えられるが、本研究とは別に新規の課題として今後議論したい。

イベント毎の情報をメモリーに記憶する現行の手法では、SIMM1枚当たりの最大容量が128Mバイトである為、1回の露光での許容光子数が32Mイベントに制限される。長時間露光実験への対応としては、メモリー空間に複数のヒストグラム領域を確保し、与えられた時間ステップで時分割フレームにデータを蓄積する方法が原理的に可能であるが、本プロジェクト終了後、実利用の中で高度化させる。

5. 物質構造研究への応用

YAP検出器開発プロジェクトは、高エネルギー、高時間分解能の画像検出器としての技術開発と同時に、具体的な応用を探る事も重要課題としてスタートした。SPring-8に於ける高エネルギーX線回折実験では、単素子のシンチレーターをゴニオメーターのアームにのせてのスクリーン測定が主流である。同様の実験に於いて単素子のシンチレーターをYAP検出器に置換した場合、YAP検出器の受光面が1mm×1mm×6mmのYA10₃:Ceシンチレーターを[128×128]に2次元配列した構造を有することから、1mm角スリットの[128×128]2次元配列を実現することになる。現行の単スリット系に比較して、2方向で2桁の迅速測定、統計量で2桁の精密測定が可能になり、必要な露光時間を時間単位から秒単位へと短縮する為、高温実験で試料を長時間高温に維持するのが困難な場合に、或いは温度変化に対して敏感に構造変化するようなケースを扱う場合に著しく有効な手段を提供する。また、この事は単に時間の節約に留まらず、フラックスの減少から単素子シンチレーターの計測では実行上70keVが限界であったところを、より高エネルギーのX線利用を可能にする。

平成14年3月には、実験課題「YAPイメージャーのX線入射150keV領域への拡張(R02A38B1-0023N)」を行い、銅とアルミニウムの薄い板の回折像を150keVでの回折像の取得に成功した。図2は、0.5mmのアルミニウム板の上に0.2mm厚の銅板を重ね、150keVのX線を表面に対し2度の角度で3分間露光した際の回折像である。図3は、1ピクセル当たりの動径方向の強度分布である。X線が実行厚18mmの銅層を透過し、アルミニウム層からの反射が、さらに18mm程度の銅層を透過して回折像が観測されている。これ程の深部層の精密測定は、切断面を電子顕微鏡で走査する事は行われていたが、内部応力評価等では非破壊での測定が必要で、SPring-8の恩恵を示す典型といえよう。

本プロジェクトでは、静的構造の測定に留まったが、次年度からの実利用研究では時分割測定による動的過程の探索を速やかに開始し、放射光科学の新しい分野を開拓するであろう。

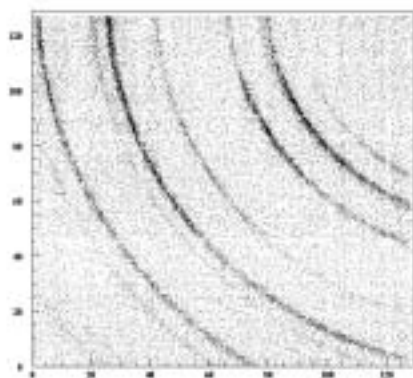


図 2

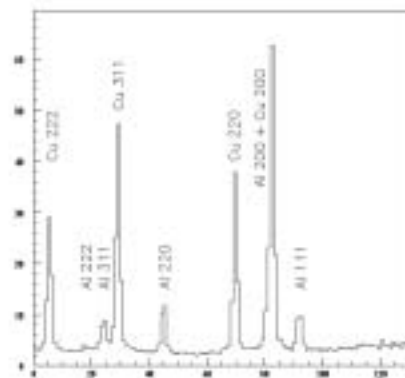


図 3

参考文献

- [1] 鈴木昌世 ; SPring-8 年報2000 , p.126-127
- [2] M .Suzuki et al .: *Nucl .Instr and Meth* A467-468 (2001) 1121-1124 .

ビームライン・技術部門 鈴木 昌世