

## SACLA 用同期データ配信システムの開発 DEVELOPMENT OF TAG DATA SUPPLY SYSTEM FOR SACLA

阿部利徳<sup>#</sup>, 岡田謙介, 山鹿光裕  
Toshinori Abe<sup>#</sup>, Kensuke Okada, Mitsuhiro Yamaga  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute

### Abstract

This paper presents development of a new tag supply system for the data-acquisition (DAQ) system for SACLA user experiments. The X-ray Free-Electron Laser facility in SPring-8, SACLA, has delivered X-ray laser beams to users since March 2012 [1]. For the user experiments at SACLA, a dedicated DAQ system has been developed. The DAQ system is currently capable to operate with maximum ten sensors of multiport Charge-Coupled Device (MPCCD) for X-ray detection. The data of ten sensors are read out with individual readout modules. We implement a new tag supply system to ensure the reconstruction of the diffraction image of the user experiments. The tag data are used to synchronize the data. One master server receives a signal given by accelerator and the delivery of the tag data follows to five experimental hutches at SACLA and some of monitors at SACLA accelerator. We employ dedicated communication lines to deliver the tag data. The longest distance to deliver the tag data is about one kilometer.

### 1. イントロダクション

SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser (SACLA)は、0.062nm[1]もの短い波長で X 線自由電子レーザー(XFEL)を生成できるよう設計されている。加速器のコミッショニングは 2011 年 2 月に始まり、最短波長(0.063nm)は、2012 年 6 月[2]に達成された。高いピーク輝度、完全な空間干渉性、および 30 fs より短い極めて速い X 線パルスといった XFEL の特性は、様々な科学分野に新しい可能性を開くことが期待されている。SACLA は、2012 年 3 月以来、ユーザ実験に XFEL ビームを提供してきた。SACLA ユーザ実験用に、専用データ収集(DAQ)システムが開発されている。現在、この DAQ システムは、X 線の検知のための検出器 multiport charge-coupled device (MPCCD) [3]を、最大の 12 センサーまで動作させることができる。12 のセンサーのデータは、個々の読み出しモジュールで読み取られる。集めたデータは、MPCCD で観察された X 線の画像を形成するために、互いに同期しなくてはならない。この同期は、各読み出しモジュールのトリガカウンタを用いて行っていたが、実験装置を変更するごとに、このトリガカウンタを再同期しなくてはならなかった。今回、フロントエンドから直接同期データを組み込む方式を採用した同期データ配信システムを開発した。この論文では、この同期データ配信システムについて述べる。

次のセクションでは、SACLA DAQ システムについて概説する。その後、新しい同期データ配信システムの特徴と同期データ配信ネットワークトポロジについて議論する。同期データ配信システムの個々の機器についての説明が、次に続く。

### 2. SACLA DAQ SYSTEM

SACLA での X 線レーザーは、自己増幅自然放射 (Self-Amplification of Spontaneous Emission : SASE)機構により、パルス光として生成される。SASE を用いた X 線レーザーの特徴として、パルス強度、スペクトルなどの X 線レーザー特性が変動する。多くの実験では、X 線のパルスのシングルショットは、サンプル標本を破損する。実験データを解析するには、データおよびビームショットにタグ付けを行い、互いに関連させなくてはならない。ショット毎の DAQ は、記録されたデータを、オリエンテーション、サイズなどのような標本特性と関連させるために不可欠である。ほとんどの実験で、パルス波形のような一次元の(1D)データ、および、光学カメラや MPCCD からの二次元の(2D)データを取得する。60Hz の命令サイクルで同時に作動する 12 の MPCCD センサーでは、データ転送速度は 5Gbps に達する。

Figure 1 に、SACLA ユーザ実験用 DAQ システムの概略を示す。SACLA ユーザ実験用 DAQ システムの詳しい記述は、[4]に記載されている。SACLA ユーザ実験用 DAQ システムは、フロントエンドエレクトロニクスやコンピュータで構成され、トリガ分配器/カウンタ、制御および監視システム、データハンドリングサーバ、リレーショナルデータベース、階層型ストレージを含む。ユーザ独自の機器を DAQ システムに組み込むことができるように、ユーザ用ネットワークを DAQ ネットワークに、ファイアウォールを介して間接的に接続できるようにしてある。このような柔軟性を持たせて、DAQ システムは設計されている。

<sup>#</sup> toshinori.abe@spring8.or.jp

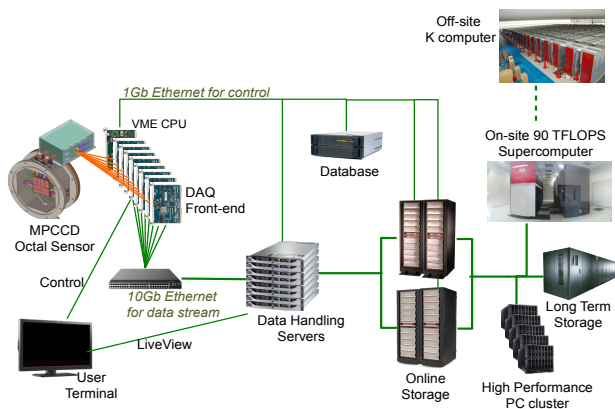


Figure 1: Schematic view of the DAQ system for user experiments at SACLA as of May, 2014.

オンラインデータ評価のための高性能コンピュータによるデータ前処理、又はデータマイニングを必要とする実験のために、実験データは、13 TFLOPS と高性能 I/O ストレージ (8 GB /秒) を持つ PC クラスタに転送することができる。2014 年、90 TFLOPS スーパーコンピュータが、解析能力を高めるために追加された。

### 3. SACLA 用同期データ配信システム

SACLA 実験用 DAQ のセットアップは、実験装置および設定条件がユーザ毎に違うため、ユーザの要求に応じて変更する必要がある。セットアップが変更されるたびに、各読み出し装置のトリガカウンタについて、実験データを同期するために再同期させる必要がある。また、トリガカウンタは、トリガ信号にのったノイズや何らかの電気障害による干渉の影響を受ける可能性がある。これらの分散型 DAQ のシステムに起因する問題点を解決するために、我々は、この読み出し機器毎のトリガカウンタからなる同期システムに置きかわる、tag-data-master / distributor / receiver モジュールをベースとした同期データ配信システムを開発した。次のサブセクションでは、同期データ配信システムの概略を説明し、次いで、同期データ配信システムの個々のモジュールの説明を行う。

#### 3.1 SACLA 用同期データ配信システムの概要

Figure 2 に、同期データ配信システムの概略図を示す。SACLA 用同期データ配信システムは、tag-data-master / distributor / receiver モジュールから構成されて、同じビームショットであることを識別する同一のタグ番号を、自動的にシステムのデータに埋め込む。トリガカウンタを用いた場合に行われていた、タグ番号の再同期化手順は、検出器構成が変更された場合でも必要ない。同期データ配信システムの堅牢性を担保し、同期データ転送の高い信頼性を実現するために、同期データを配信するためのネットワークトポロジにツリー型を採用した。同期デー

タ配信システム内のモジュールに問題が発生した場合でも、このネットワークトポロジでは、システム全体がダウンすることなく、問題発生箇所以外のシステムで同期データを配信することができる。Tag-data-distributor モジュールは、各 SACLA 実験ホール前に設置されている実験装置用ラック群それぞれに 1 台設置されている。1 台の tag-data-distributor モジュールは SACLA 加速器内に設置され、ビーム位置監視システムに使用されている。同期データを配信する最も長い距離は、約 1 キロメートルになる。そのため、tag-data-master と tag-data-distributor モジュール間は、光接続を採用している。

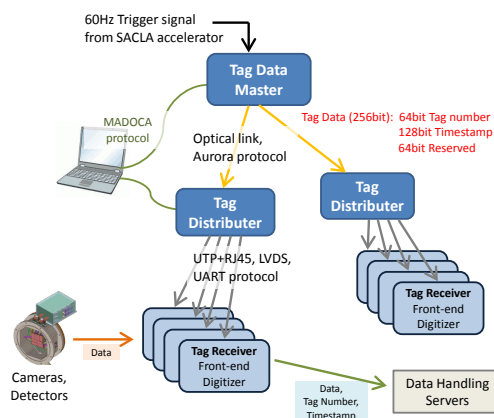


Figure 2: Schematic view of the tag data supply system.

Tag-data-master と tag-data-distributor モジュールは、ARM CPU 上で実行する組み込み Linux システムがインストールされている。組み込み Linux 上で MADOCA フレームワーク[5]が動作しており、このことにより、MADOCA コマンドプロトコルを用いてこのシステムを直接制御することができる。同期データ配信システムに要求されている性能を Table 1 にまとめた。次に、同期データ配信の動作シーケンスを説明する。

Table 1: Characteristics of Tag Supply System

Item	Value
繰り返し周波数	60Hz
最大繰り返し周波数	300Hz
最大同期データ配信距離	1km
コントロールフレームワーク	MADOCA
同期データ長	256bits

#### 3.2 動作シーケンス

同期データ配信システムのタイミングチャートを Figure 3 に示す。SACLA 加速器タイミングシステムからトリガ信号が送られると、tag-data-master モ

ジュールは、同期データ 256 ビット長のなかに、タグ番号とタイムスタンプデータを生成する。これらの同期データは、Aurora プロトコルによる光接続を介して、複数の tag-data-distributor モジュールに送信される。Tag-data-distributor モジュールは、同期データを受信すると、受信状態を tag-data-master モジュールに返す。Tag-data-distributor モジュールは、同期データの受信に成功すれば、フロントエンド・デジタイザ (tag-data-receiver) モジュールに同期データを転送する。Tag-data-receiver モジュールは、tag-data-distributor モジュールへ、同期データ受信状態を返信する。上記のすべての動作シーケンスは、X 線自由電子レーザービームが到着する前、15msec 以内に終了しなくてはならない。

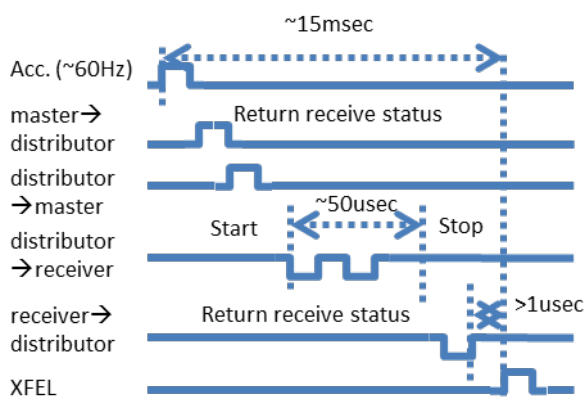


Figure 3: Timing sequence of the tag data supply system.

### 3.3 Tag-data-master モジュール

Tag-data-master モジュールは、同期データ配信システムに、タグ番号とタイムスタンプデータから構成される 256 ビット長の同期データを生成する。Tag-data-master モジュールは、可能なかぎり COTS を使用し、TB-7K-325T-IMG、TB-7Z-020-EMC および TB-BD-FMC-OPT4 から構成されている[6]。TB-7K-325T-IMG は、加速器からのトリガ信号を受信し、引き続き発生する同期データ配信シーケンスを管理する。TB-7Z-202-EMC は、TB-7K-325T-IMG と通信して、イーサネット経由で MADOCA 制御機能を実行するために、組込み Linux がインストールされている。TB-BD-FMC-OPT4 は、光通信を介して同期データを配信するために使用され、4つの光通信ポートがある。

### 3.4 Tag-data-distributor モジュール

Tag-data-distributor モジュールは、光通信を経由して、tag-data-master モジュールから同期データを受信して、RJ45 コネクタとシールド無しツイストペア (UTP) ケーブル、またはカメラリンクコネクタとカメラリンクケーブルを介して、Tag-data-receiver モジュールに同期データを配信する。ノイズに対する堅牢性を強化するために、UTP やカメラリンクケーブルを介した同期データ転送に低電圧差動信号

(LVDS) を使用している。また、UTP およびカメラリンクケーブルの通信プロトコルに調歩同期方式である UART (=Universal Asynchronous Receiver Transmitter) を採用している。Tag-data-distributor モジュールは、tag-data-receiver モジュールに同期データを送信し、tag-data-receiver モジュールは、同期データの受信状態を返信する。Tag-data-receiver モジュールが、同期データの受信に失敗した場合、tag-data-distributor モジュールは、一度だけ同期データを tag-data-receiver モジュールに再送信する。

### 3.5 Tag-data-receiver モジュール

4 つのタイプ tag-data-receiver モジュールを開発した。2 つの tag-data-receiver モジュールは、カメラデータ読み出しのためのものである。1 つの tag-data-receiver モジュールは、VME バスシステムにおける同期データを処理するためのものである。最後の 1 つの tag-data-receiver モジュールは、PCI Express インターフェースを介してコンピュータに同期データを与えることができる。

Figure 4 に、新しい同期データ配信システムでの tag-data-distributor モジュールと tag-data-receiver モジュールのインストールの一例を示す。同期データ配信システムは、2014 年 4 月にインストールされ、それ以降安定して動作し続けている。

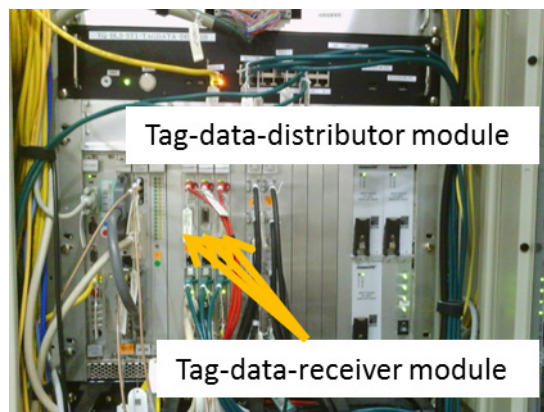


Figure 4: One example of the installation of tag-data-distributor and tag-data-receiver modules.

## 4. まとめ

私たちは、新しく同期データ配信システムを開発し、SACLA のユーザ実験用 DAQ システムに組み込んだ。Tag-data-master、tag-data-distributor、tag-data-receiver モジュールと、様々なモジュールを新しく作製し、これらのモジュールをツリートポロジで接続している。新しい同期データ配信システムは 2014 年 4 月にインストールされ、それ以降安定して動作している。

## 参考文献

- [1] T. Shintake et al., “X-ray FEL project at Spring-8 Japan”, Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference of Synchrotron Radiation Instrument (SRI2003), 227(2004).
- [2] H. Tanaka et al., “A Compact X-ray free-electron laser emitting in the sub angstrom region”, Nature Photonics, vol. 6, pp. 540-544, 2012.
- [3] T. Kameshima et al., “Development of an X-ray Pixel Detector with Multiport Charge-Coupled Device for X-ray Free-Electron Laser Experiments”, Rev. Sci. Instr. 85, (2014) Art. Num. 033110.
- [4] M. Yamaga et al., “Control and Data Acquisition System for X-Ray Free-Electron Laser Experiments at SACLA”, 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), Oct. 29-Nov. 2, 2012, Anaheim, USA.
- [5] R. Tanaka et al., “The first operation of control system at SPring-8 storage ring”, Proceedings of ICALEPCS 97, Beijing, China, 1(1997).
- [6] <http://solutions.inrevium.com/products/base/kintex7/tb-7k-325t-img.html>  
<http://solutions.inrevium.com/products/base/zynq/tb-7z-020-emc.html>