

# J-PARC Main Ring への Archiver Appliance の導入 DEPLOYMENT OF ARCHIVER APPLIANCE AT J-PARC MAIN RING

山田秀衛 <sup>\*A)</sup>、土井幸之介 <sup>B)</sup>、青山俊明 <sup>B)</sup>、田島佑斗 <sup>B)</sup>

Shuei YAMADA <sup>\*A)</sup>, Kounosuke DOI <sup>B)</sup>, Toshiaki AOYAMA <sup>B)</sup>, Yuto TAJIMA <sup>B)</sup>

<sup>A)</sup>High Energy Accelerator Research Organization (KEK) / SOKENDAI / J-PARC Center

<sup>B)</sup>Kanto Information Service (KIS)

## Abstract

The control system of J-PARC Main Ring (MR) employs EPICS as its framework. Control points of MR have been archived with EPICS Channel Archiver since MR begun its beam operation in 2008. Along upgrade of MR, the number of control points to be archived are increasing, and the amount of data as well. Thus problems such as poor performance in data retrieval and troublesome management became remarkable in the operation of Channel Archiver. Archiver Appliance is a new archive system appeared in 2015. It focuses on data retrieval performance and zero oversight. We will report on deployment of Archiver Appliance at MR and status of migration from Channel Archiver to Archiver Appliance.

## 1. はじめに

J-PARC Main Ring (MR) は遅い繰り返しの大強度陽子シンクロトロンで、2008年5月にMRのビーム運転を開始した [1]。MR 加速器の制御システムは分散制御システムである EPICS [2] を用いて 2007 年に構築された [3]。

EPICS では、制御点のことを Channel あるいは Process Variable (PV) と呼ぶが、本稿では PV で統一する。MR 加速器には約 10 万点の PV があるが、2017 年現在そのうちの約 24000 点をアーカイブシステムを用いて記録している。

## 2. CHANNEL ARCHIVER

### 2.1 Channel Archiver の概要

MR では、加速器のコミッションが始まる半年前の 2007 年末以来、Channel Archiver [4] を用いて PV を記録してきた [5]。Channel Archiver の概要を Figure 1 に示す。Channel Archiver は (1) データを収集し記録する Archive Engine と (2) データを読み出す Archive Data Server の 2 つから構成されている。

Archive Engine は PV を監視し、その設定に応じて (a) 値が変化したら、あるいは (b) 設定された時間毎にサンプリングし、PV の値とタイムスタンプをディスクに書き込む。データは独自のバイナリ形式のデータファイルとインデックスファイルで、データファイルはあらかじめ設定されたファイルサイズを超える度に新しいファイルが作成される。Channel Archiver では 2 種類のインデックスファイルが使用される。ひとつは各 Engine がデータを書き出す際に作成されるもので、Sub-Archive インデックスと呼ばれる。もうひとつは、複数の Sub-Archive インデックスを纏めて作成するマスターインデックスで、データを読み出す際はこちらが使用される。

Archive Data Server はデータ閲覧用のクライアントソフトウェアからの要求に応じて、指定された PV の指

定された時間範囲のデータファイルをマスターインデックスに基づいて読み出し、クライアントに PV の時系列データを返す。Archive Data Server とクライアントとの通信には XML-RPC プロトコル [6] が用いられている。

MR では、真空 (ビームダクト内の圧力や真空ポンプの ON/OFF など)、電磁石 (電源の出力電流の設定値や読み返し、冷却水の温度など)、ビーム診断系 (ビーム強度やビーム位置など) といった加速器を構成する要素毎に PV を 27 のグループに分割し、各グループ毎に Archive Engine を実行している。また、データファイルやインデックスファイルの破損の影響を最小限に抑えるため、各 Engine を 1 日 1 回再起動して Sub-Archive インデックスを切り替えている。

### 2.2 これまでの運用で明らかになった問題

MR では、Archive Engine を KVM 仮想マシンで実行し、データを記録するストレージには NAS 装置 (NetApp FAS2240) を NFS マウントして運用している。

9 年間のビーム運転の間に MR 加速器は性能を向上させてきたが、それに伴ってアーカイブの対象となる PV の数とデータサイズが年々増加してきた。このような中で、Channel Archiver の運用を続けて行く上で以下のような問題点が明らかになってきた。

- 32 ビット環境への依存。

MR 加速器が性能を向上させるとともに、加速器制御に用いられるアプリケーションは高度になった。2014 年には MR の制御計算機を充分な CPU

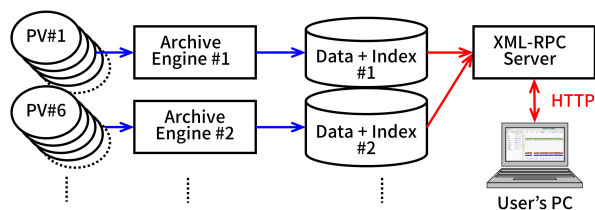


Figure 1: Schematic view of EPICS Channel Archiver.

\*shuei@post.kek.jp

パワーとメモリ容量を持ったモダンなシステムに更新し、OSも64ビットのScientific Linux [7]を採用した [8]。

その一方で、Channel Archiverの開発は2007年に終了した。Channel Archiverのデータ構造は32ビット環境に強く依存しており、64ビットOS上でも2GBを超えるデータファイルとインデックスファイルを抱えることができない。インデックスファイルが2GBを超えないように、手作業でインデックスファイルを分割する必要がある。

- データファイルやインデックスファイルの破損。MRでは毎月数回の頻度でデータファイルやインデックスファイルが破損している。データファイルが破損した場合は、該当するデータファイルを除外してマスターインデックスを手作業で再構築する必要がある。また、マスターインデックスが破損していた場合も手作業で再構築する必要がある。
- データの読み出しが遅い (5. 節)。

### 3. CSS ARCHIVER への移行の検討

#### 3.1 CSS Archiver の概要

2014年頃からChannel Archiverの代替となるアーカイブシステムを検討し始め、2015年にCSS Archiver [9]の試験運用を開始した。CSSはEPICSのユーザーインタフェースを構築するためのEclipseベースのソフトウェアで、

- BOY – GUIのビルダと実行環境
- Data Browser – リアルタイムデータとアーカイブからの取得した過去の時系列データのトレンドグラフの表示
- BEAST – アラームシステム
- 電子ログ
- アーカイブシステム

といった様々な機能が組み込まれた統合環境である。MRでは2015年に加速器制御システムのGUIにCSSを導入した [10]。BOYやData Browserの実行にはディスプレイとキーボード、マウス等が必要であるが、CSS Archiverはヘッドレスで実行可能である。

CSS Archiverの概要をFigure 2に示す。CSS Archiverでは、データの記録にリレーショナルデータベース (RDB) を用いている。RDBとしてはMySQL、Oracle、PostgreSQLが選択可能である。MRでは運用実績のあるPostgreSQLを採用した。

Channel Archiverの場合と同様に、CSS Archiverでもデータ収集プログラムはArchive Engineと呼ばれる。Engineはその設定に応じて (a) 値が変化したら、あるいは (b) 設定された時間毎にサンプリングし、PostgreSQLサーバにSQL文を発行して収集したPVの値とタイムスタンプを記録する。一方、クライアントはPostgreSQLサーバにPVと時間範囲を指定するSQL文を発行し、PVの時系列データを取得する。

CSS Archiverの試験を開始した当初は、Archive EngineとPostgreSQLサーバを同一の仮想マシン上で実行し、データは上述したNAS装置の予備領域に記録して

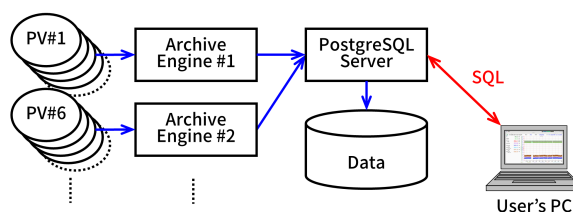


Figure 2: Schematic view of CSS Archiver.

いた。仮想マシンの構成をTable 1に、ホストマシンとなったBlade計算機の構成をTable 2に示す。

2016年にはファイルサーバを用意し、ディスクI/Oの高速化によるデータ読み出し性能の向上を図った。ファイルサーバの構成をTable 3に示す。PostgreSQLサーバに可能な限り大容量のメモリを割り当てるために、ファイルサーバ上でPostgreSQLサーバを実行し、仮想マシン上でArchive Engineを実行する構成とした。

#### 3.2 CSS Archiver の問題点

CSS ArchiverはChannel Archiverの代替となるアーカイブシステムの候補として導入した。2015年から2017年までの約2年間の運用で、

- 期待したほど読み出し性能が向上しなかった (5. 節)
- ディスク消費量が多い (5. 節)
- CSS Archiverの開発も終了してしまった
- Channel Archiverからデータを移行するツールを新規に開発する必要がある

ということが明らかになった。そこで、Channel ArchiverとCSS Archiverの両方を運用しながら、これらとは異なるアーカイブシステムを検討することになった。

Table 1: Specifications of Virtual Machine

Host Machine	IBM Blade Center HS22
Type of Virtual Machine	KVM
Processor	6 cores
Amount of Memory	16 GB

Table 2: Specifications of Blade Computer

Machine Type	IBM Blade Center HS22
Processor	Xeon E5-5504 (4 cores) × 2
Amount of Memory	20 GB (800 MHz DDR3)
Storage	NFS Server (NetApp FAS2240)

### 4. ARCHIVER APPLIANCE による解決

#### 4.1 Archiver Appliance の概要

Archiver Appliance [11]は2015年に登場した、EPICSの新しいアーカイブシステムで、

Table 3: Specifications of File Server

Machine Type	Lenovo System x3630M3
Processor	Xeon E5607 (4 cores) × 2
Amount of Memory	24 GB (1333 MHz DDR3)
Storage	20 TB (2 TB × 12; RAID5)

- データの読み出しが速い
- 管理の負担軽減が図られている
- クラスタリングによる負荷分散が可能である
- 3層の階層型ストレージをサポートしている
- Apache Tomcat [12] を用いた Java Servlet である

といった特徴がある。

Figure 3 に Archiver Appliance の概要を示す。データ収集 Servlet は、Channel Archiver や CSS Archiver と同様に Engine と呼ばれる。Engine は PV を監視し、その設定に応じて (a) 値が変化したら、あるいは (b) 設定された時間毎にサンプリングし、PV の値とタイムスタンプをディスクに書き込む。データファイルは Google Protocol Buffers [13] を用いたバイナリファイルである。Archiver Appliance では PV 毎に異なるディレクトリを作成し、データファイルをあらかじめ設定された時間間隔毎に分割することで、データ読み出しの高速化を図っている。

データを読み出す Servlet である Data Retriever とクライアントとの通信には HTTP を用いる。クライアントは取得したいデータの PV 名、開始時刻、終了時刻はクエリ文字列として Data Retriever の URL の末尾に追加し、HTTP リクエストを発行する。URL を切り替えることで

- JSON
- Google Protocol Buffers
- テキストファイル
- CSV ファイル
- MATLAB 書式設定済ファイル

といった様々な形式で時系列データを読み出すことが可能である。また、クエリ文字列に追加することで、指定した時間間隔の

- 平均値
- 標準偏差
- 最大値、最小値
- 最頻値
- メディアン
- 最初の値、最後の値

といった値を取得することも可能である。

Archiver Appliance で記録したデータを読み出すには、

- 内製の Web アプリケーション [14]
- バージョン 4.3 以降の CSS (Figure 4)
- Archiver Appliance 対応版 Java Archive Viewer [15] (Figure 5)

といったクライアントが利用可能である。また、有志の手により

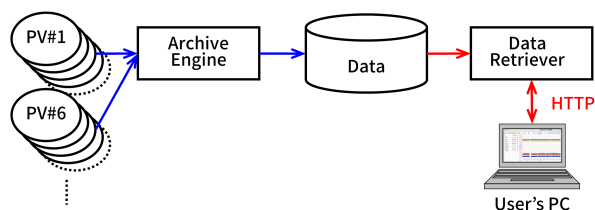


Figure 3: Schematic view of Archiver Appliance.

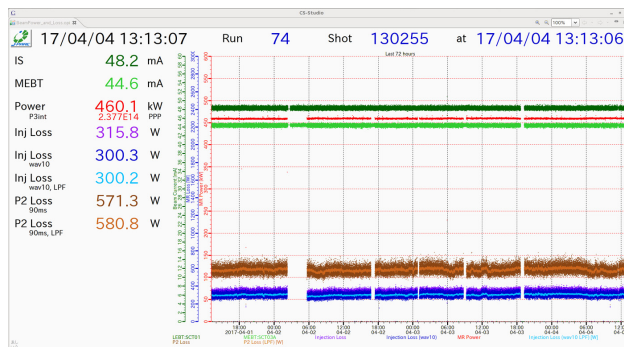


Figure 4: Screenshot of CSS. Trends of beam power and beam loss in MR for 3 days are shown.

- arget – Channel Archiver と Archiver Appliance の両方からデータを読み出す。また、Channel Archiver のデータを Archiver Appliance のデータに変換する。
- a2aproxy – クライアントからの XML-RPC のリクエストを Archiver Appliance の HTTP リクエストに変換するプロキシ。既存の Channel Archive クライアントから透過的に Archiver Appliance のデータを読み出せるようになる。

がといったユーティリティ集が開発されている [16]。

MR では Table 3 に示す構成の 2 台目のファイルサーバを用意し、2017 年 1 月に Archiver Appliance の試験運用を開始した。2 月には Channel Archiver でアーカイブしている全ての PV の Archiver Appliance によるアーカイブを開始し、7 月に MR 加速器の運転が停止するまで、継続してデータを収集し記録した。半年間の運用の間、とくに問題は発生しなかった。

## 5. アーカイブシステムの比較

Archiver Appliance、CSS Archiver、Channel Archiver を半年～数年に渡って実際に運用したので、データのサイズとデータの読み出しに要する時間を比較した。

Table 4: Estimate of Data Size

Archiver Appliance	~ 1.4 TB/year
CSS Archiver	~ 5.8 TB/year
Channel Archiver	~ 1.3 TB/year

Table 4 は 3 つのアーカイブシステムで見積った 1 年当たりのデータサイズである。CSS Archiver は Channel

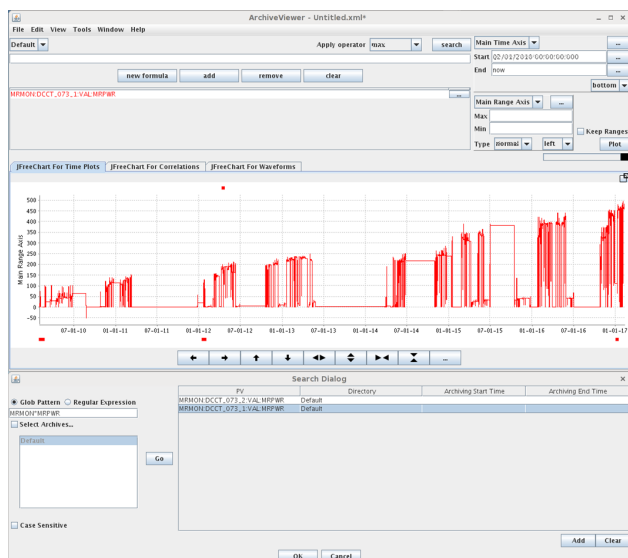


Figure 5: Screenshot of Java Archive Viewer. Evolution of MR beam power from 2010 to 2017 is shown.

Archiver の約 4 倍のディスク消費量であるのに対し、Archiver Appliance は Channel Archiver と同程度の消費量である。

Figure 6 は各アーカイブシステムからデータを読み出すのに要する時間の比較である。1 Hz で更新される PV の時系列データを、時間の範囲を 1 時間、1 日、1 週間、4 週間、1 年と変化させて読み出すのに要する時間を比較した。データを読み出す前にサーバのキャッシュを毎回クリアした。Archiver Appliance で記録していない期間のデータについては、Channel Archiver のデータを変換した。また、Channel Archiver からデータを読み出す XML-RPC サーバには、Table 2 と同じ構成の予備の Blade 計算機を使用した。

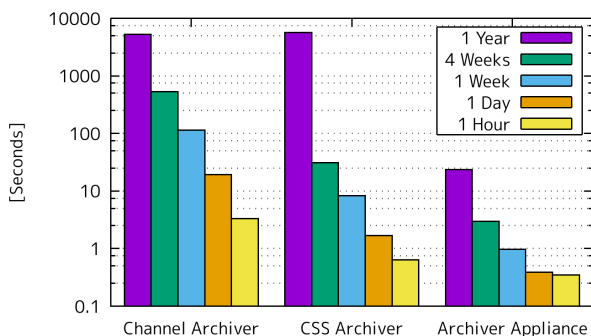


Figure 6: Benchmark of data retrieval from various archive system.

Channel Archiver では、データを読み出す期間が長くなると、所要時間が指数関数的に大きくなるのがわかった。また、CSS Archiver は 1 カ月程度までの期間ならば Channel Archiver よりもデータの読み出しが高速であるが、1 年のオーダーになると急激に遅くなって Channel Archiver と同程度になることがわかった。Archiver Appliance は、いずれの期間の場合も他の 2 つ

のアーカイブシステムよりもデータの読み出しも高速であった。

## 6. まとめと今後の展望

Channel Archiver の代替となるアーカイブシステムとして、CSS Archiver と Archiver Appliance を比較した。Archiver Appliance はデータの読み出し速度とデータサイズの両方の点で、Channel Archiver の代替として有望である。MR では 2017 年 7 月に Channel Archiver と CSS Archiver による PV の記録を停止した。2017 年 10 月の加速器の運転再開の際には、アーカイブシステムを Archiver Appliance に一本化する予定である。これまでの約 10 年間で Channel Archiver で記録した PV の総数は、現在アーカイブしていない PV も含めて約 30000 である。これらの全データは、破損したデータファイルやインデックスファイルを修復しながら、目下 Archiver Appliance に変換中である。2017 年 7 月現在、PV の数で約 60% の変換が終了している。

## 参考文献

- [1] T. Koseki *et al.*, “Beam commissioning and operation of the J-PARC main ring synchrotron”, Prog. Theor. Exp. Phys (2012) 02B004.
- [2] EPICS – Experimental Physics and Industrial Control System; <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [3] N. Kamikubota *et al.*, “J-PARC Control toward Future Reliable Operation”, Proceedings of ICALEPCS 2011, pp.378 (2011).
- [4] Channel Archiver; <https://ics-web.sns.ornl.gov/kasemir/archiver/>
- [5] N. Kamikubota *et al.*, “Data Archiver System for J-PARC Main Ring”, Proceedings of IPAC’10, wepeb001 (2010).
- [6] XML-RPC.com; <http://xmlrpc.scripting.com>
- [7] Scientific Linux; <http://www.scientificlinux.org>
- [8] S. Yamada *et al.*, “Renovation of Control Computers for J-PARC Main Ring”, Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, SAP099, pp.782 (2014).
- [9] CSS – Control System Studio; <http://controlsystemstudio.org/>
- [10] S. Yamada *et al.*, “Deployment of Control System Studio at J-PARC Main Ring”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEP103, pp.543 (2011).
- [11] The EPICS Archiver Appliance; [https://slacmshankar.github.io/epicsarchiver\\_docs/](https://slacmshankar.github.io/epicsarchiver_docs/)
- [12] Apache Tomcat; <http://tomcat.apache.org/>
- [13] Google Protocol Buffers; <https://developers.google.com/protocol-buffers/>
- [14] K. Doi *et al.*, “Current status and future prospect of J-PARC main ring archive web viewer”, Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEP103, (2017).
- [15] Java Archive Viewer; [https://github.com/slacmshankar/epicsarchiverap\\_archiveviewer](https://github.com/slacmshankar/epicsarchiverap_archiveviewer)
- [16] Channel Archiver shell tools; <https://github.com/epicsdeb/carchivertools>