

# 定常実験における超広帯域実時間データ収集

中西秀哉, 大砂真樹, 小嶋護, 今津節夫<sup>1)</sup>, 野々村美貴, 江本雅彦, 奥村晴彦<sup>2)</sup>, 長山好夫, 川端一男,  
LHD 実験グループ  
(核融合科学研究所, <sup>1)</sup>(有) プレテック, <sup>2)</sup>三重大学教育学部)

## Ultra-Wideband Real-Time Data Acquisition in Steady-State Experiments

NAKANISHI Hideya, OHSUNA Masaki, KOJIMA Mamoru, IMAZU Setsuo<sup>1)</sup>, NONOMURA Miki,  
EMOTO Masahiko, OKUMURA Haruhiko<sup>2)</sup>, NAGAYAMA Yoshio, KAWAHATA Kazuo,  
and LHD experimental group

*National Institute for Fusion Science, 322-6 Oroshi-cho, Toki 509-5292, Japan*

<sup>1)</sup>*Pretech Corp., 1-19-13 Kanayama-cho, Atsuta-ku, Nagoya 456-0002, Japan*

<sup>2)</sup>*Mie University, 1577 Kurima-Machiya-cho, Tsu 514-8507, Japan*

(Received 29 November 2005)

The ultra-wideband real-time data acquisition (DAQ) system has started its operation at LHD steady-state experiments since 2004. It uses CompactPCI standard digitizers whose acquisition performance is continuously above 80 MB/s for each frontend, and is also capable of grabbing picture frames from high-resolution cameras. Near the end of the 8th LHD experimental period, it achieved a new world record of 84 GB/shot acquired data during about 4000 s long-pulse discharge (#56068). Numbers of real-time and batch DAQ were 15 and 30, respectively. To realize 80 MB/s streaming from the digitizer frontend to data storage and network clients, the acquired data are once buffered on the shared memory to be read by network streaming and data saving tasks independently. The former sends 1/N thinned stream by using a set of TCP and UDP sessions for every monitoring clients, and the latter saves raw data into a series of 10 s chunk files. Afterward, the subdivided segmental compression library “titz” is applied in migrating them to the mass storage for enabling users to retrieve a smaller chunk of huge data. Different compression algorithms, zlib and JPEG-LS, are automatically applied for waveform and picture data, respectively. Newly made utilities and many improvements, such as acquisition status monitor, real-time waveform monitor, and 64 bit counting in digital timing system, have put the ultra-wideband acquisition system fit for practical use by entire staff. Demonstrated technologies here could be applied for the next generation fusion experiment like ITER.

**Keywords:** LHD, CompactPCI, real-time DAQ, steady-state experiment, data compression, titz library

## 1 はじめに

LHD 実験では定常プラズマ計測が平成 15 年度より本格稼働している。それに対応すべく計測データ収集系 (LABCOM システム) では、データ収集 (DAQ)・保存・ネットワーク転送、および収集監視の実時間化といった新機能の実現や、CAMAC に代表される従来型デジタイザの定常化対応などの研究開発に取り組み、15、16 年度と飛躍的な稼働実績を上げている。

2004 年には、超広帯域実時間データ収集・転送能力を備えた CompactPCI(cPCI) 規格ベースの新デジタイザが 6 計測で稼働し、1 計測で 80 MB/sec もの超広帯域データ収集や、高解像度カメラの連続画像データ集録にも対応し

た。LHD 計測全体では、従来の CAMAC バッチ収集系の 30 計測に対して、実時間収集系が前年度の 4 から 15 へ一気に伸びるなど順調に進展している。その結果、約 4000 秒の定常実験 (#56068) において 84 GB/shot という核融合実験におけるデータ生成量の世界記録を樹立した。(Fig. 1 参照) なお、計測データ量に関していえば、近年の急激な増加傾向は LHD 実験に限ったことではなく、米 C-Mod や欧 JET 装置などでも類似の現象が起こっており、核融合実験の分野で共通した課題になっている。

本システムの概要を Fig. 2 に示す。LHD プラズマ実験の計測データを、遠隔地からの利用を含めた全利用者に提供することを目的として構築されている。本研究では、従来の短パルス・プラズマ計測用のバッチ処理データ収集系 (右側) に対して、新たにバッチ処理・実時間処理の両方が実行可能な実時間データ収集系 (左側) を追加している。

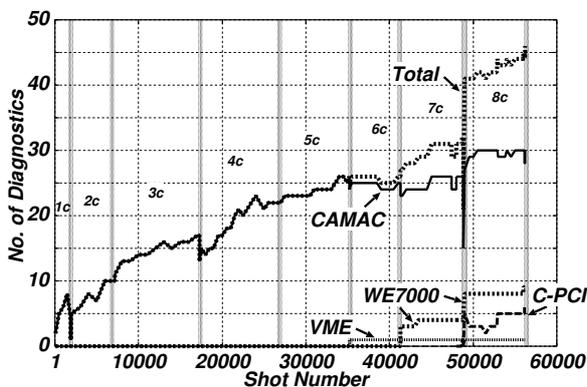
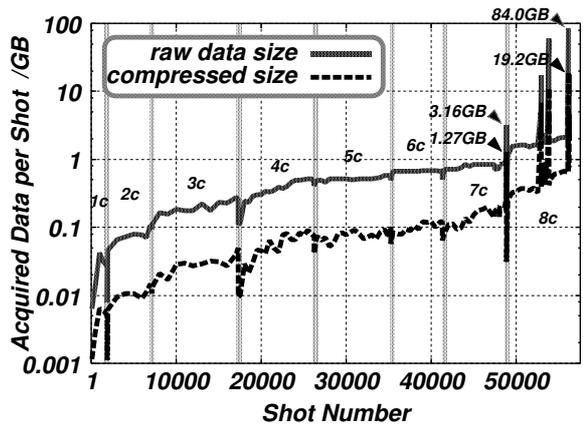


Fig. 1 Growth of data size (top) and the numbers of diagnostics by each kind of digitizer (bottom).

定常実験におけるデータ収集は、これまでの 10 秒内外の短パルス実験と比べて 2~3 桁長いプラズマ保持時間に対処する必要があり、基盤技術を全く新たなものに置換しなければ実現は困難である。その一つがデジタイザ規格である。長らく短パルス実験が一般的だった核融合プラズマの計測には、CAMAC 規格のデジタイザが広く用いられてきた。しかし、同デジタイザはバス規格の策定が 1970 年と旧く、データ変換 (= 生成) と同時にデータ転送をおこなう機能をもたず、実効伝送帯域も約 1 MB/s と低速なため、広帯域な実時間データ伝送には対応できない。それゆえ、プラズマ実験の定常化に対応するためには、高速実時間データ集録が可能な新デジタイザにシフトする必要があった。

新データ収集系では、持続時間が非常に長くなる定常実験でも、デジタイザのサンプリング速度を下げず、短パルス実験と同じ時間分解能で計測ができることが重要である。また同時に、放電継続中に実時間でデータの取出し・解析・表示ができる機能も求められる。このため本研究では、収集・保存・ネットワーク転送を含めた全処理を実時間で実行システム開発を行っている。

定常実験に対応するための新デジタイザ規格の導入・移行によって、大量のデータ収集が定常/短パルス実験の両方で可能になった結果、計測データ量は爆発的に増加し始

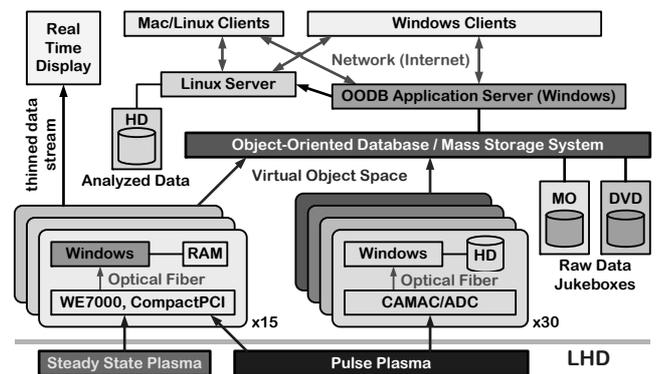


Fig. 2 Schematic view of the whole LABCOM data acquisition and management system structure.

めている。これによるシステム運用負荷も予想を超えて過重になっており、人的負担を大幅に低減する自動運転システムや各種省力化ユーティリティの開発も緊急の課題となってきた。

以下では、新たに開発・稼動した超広帯域実時間データ収集系について述べたあと、同システムを実運用に供するための各種改良や補助機構の開発にも触れ、最後に、次世代実験に向けた新技術の実証としての意義を議論する。

## 2 超広帯域実時間収集の要件と開発

定常プラズマ実験を行うのに、広帯域リアルタイム・データ収集が不可欠な理由は主に二つある。一つは生成データの(一時)保管領域の問題である。プラズマ計測、特に揺動計測で一般的な 12 ビット 6 チャンネル 1 MHz サンプリングの ADC モジュールを例にとると、データ生成率は 12 MB/s (2 MB/s/ch) なので、1000 秒継続する定常プラズマのデータ量は 12 GB に達する。これはモジュール内に実装できるメモリー量を超えているので、生成データを全てモジュール内のバッファメモリに一旦蓄えて、その後一括でデータを読み出す従来の動作では収容しきれない。

もう一つは、プラズマ持続中のデータ表示(監視)の問題である。今までの短パルス放電実験では、大型装置でも持続時間が 10 秒内外であり、フィードバック制御に用いる特定信号のみリアルタイム処理が必要であった。しかし 1000 秒超の長パルスになると、その間計測データをモニターできないのは計測器運転に致命的なので、基本的に全ての計測でリアルタイム・データ収集が必要になる。

以上のことから、50 チャンネルの揺動計測を定常化するには、~100 MB/s の超広帯域リアルタイム・データ収集の実用化が不可欠だといえる。超広帯域実時間収集系に求められる機能を大まかに書くと以下ようになる。

- 多チャンネル・デジタイザからの同時データ生成。
- コンピュータ = デジタイザ間の光絶縁と遠隔制御。
- コンピュータへの実時間データ転送。
- データの実時間格納。

- データの実時間（遠隔）取出し・解析および可視化．
- 実時間演算によるフィードバック制御信号の出力．

核融合プラズマ計測で一般的にアナログ信号をデジタル化するのに使われるのが、チャンネル当り ~MHz のサンプリング速度で時間変化波形を時系列配列に変換するランジェントレコーダ型 ADC である．また、半導体 2 次元撮像素子 (CCD) もプラズマ計測分野に普及してきており、ビデオフレーム信号をデジタル化するフレーム・グラバもよく利用される．こちらも VGA(640x480) サイズのフルカラー CCD で約 70 MB/s など、高いデータ生成率となる．

### 2.1 新デジタイザ規格の選定・評価

データ集録をおこなう計測デジタイザのバスは一般にフィールドバス（計測バス）とよばれる．以下、デジタイザ・モジュールの集合体とそれを格納するシャーシ、フィールドバスの実体であるバックプレーン、同バス・コントローラなどの一式をまとめてデジタイザ・フロントエンド (DFE) とよぶ．

核融合を含めた高エネルギー物理実験では、DFE に CAMAC 規格が多く用いられてきたが、上述したとおり、実時間データ収集に十分な機能がない．これに替わるフィールドバスに求められる条件は、Fig. 2 の左側にも示したとおり、動作モードとして、ワンショット（バッチ処理）モードと、リアルタイム・ストリーム処理モードの両方を持ち、前者では CAMAC ADC 互換の動作を行い、後者では 1 筐体内に収納される 50 ~ 100 チャンネルのアナログ信号を、同時に無停止連続でデータ収集・転送できる能力である．

この要件とコストを考慮して、LHD では、中速サンプリング計測に横河電機製 WE7000 [1] を、高速計測に CompactPCI 規格に基づいた National Instruments 製 PXI [2] シリーズを採用した．PXI の収集試験では、MXI-3 光インターフェイスを使った場合 84 MB/sec、MXI-4 インターフェイスで 72 MB/sec のデータ転送レートを記録しており、LHD 実験でも 2004 年度以降、MXI-3 インターフェイスを用いて 80 MB/sec で安定稼働している [3]．また、WE7000 の転送レートは実測最大 2.2 MB/sec で、CAMAC の数倍程度と PXI に大きく劣るが、高サンプリングレートを要求しない計測には、比較的容易に実時間データ収集を行えるという利点もある．

### 2.2 実時間データ収集

収集ホスト PC 上で動作する実時間データ収集プログラムでは、使用するデジタイザやモジュール種別の違いは、ドライバ及びモジュール毎の個別制御コードの部分で吸収する．このため収集アプリケーションは、WE7000 と PXI の両デジタイザ・モジュールすべての制御コードを含んだ共通の実行バイナリとなっている．

データはホスト PC 上に転送された後、オブジェクト指向に則ったチャンネル・データ・オブジェクトとして共通に取り扱われる．また PXI では画像収録モジュールにも対応しており、画像データについても同様である．このよう

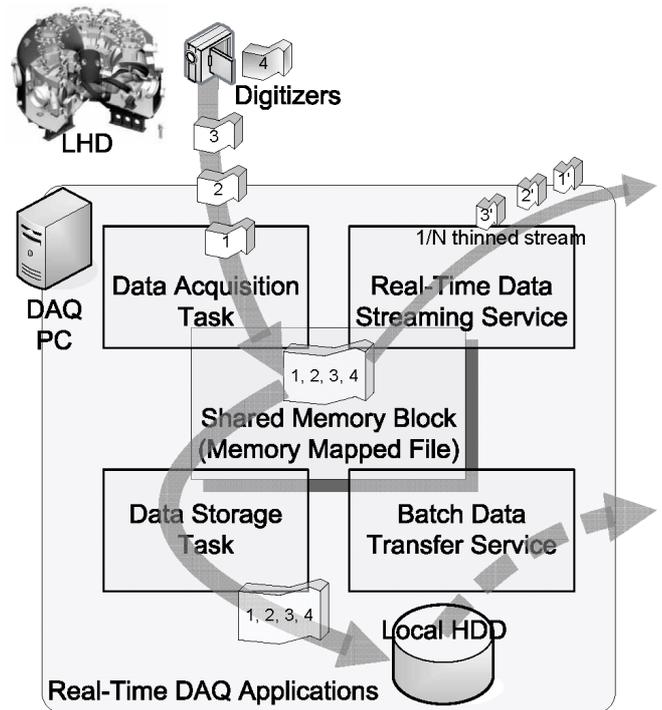


Fig.3 Shared-memory usage by multiple real-time and batch processing tasks.

に、デジタイザの違いをハードウェア制御部で吸収し、生成されたデータの取扱いは共通化することで、システム中で動作する複数アプリケーションでデータ取り扱いクラスの共用・再利用が図れている．

### 2.3 実時間データ保存

データ収集・保存・ネットワーク転送の動作モデルは Fig. 3 のとおりである．本データ処理系では、デジタイザから収集されたデータはホスト PC 上の共有メモリに一旦格納される．データ保存タスクとデータ転送サーバは、この共有メモリ上のデータにアクセスし、それぞれのジョブを行う．

Fig. 2 右側のバッチ収集系では、ホストで一旦メモリ上に収集されたデータを、そのまま主メモリー上で圧縮処理した後、ローカルディスクに保存する手法を採っていた．これにより保存サイズと書込みに要する時間が低減される．

しかし実時間データ収集系では、ローカルディスク保存の前に圧縮処理を行っていない．これは、実時間データ収集系ではデータ収集・転送の負荷が高いため、同じく高 CPU 負荷の圧縮演算が同時に行われることを回避するためである．高圧縮率が得られる zlib などの圧縮演算は一般にバッチ処理であり、現状では CPU 能力的にも、単位時間あたり発生するデータの圧縮を、その時間内で完了することができない．このため本システムでは、無圧縮のままデータ保存をすることで超広帯域性を確保している．

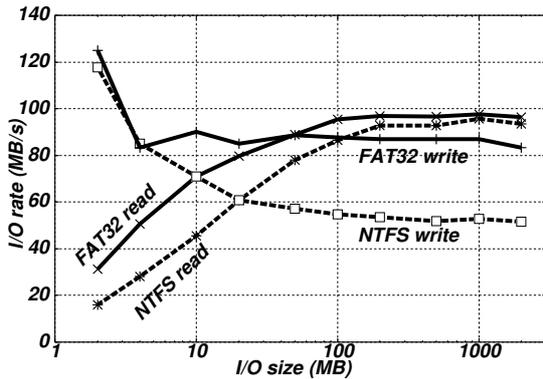


Fig.4 Data storing performance obtained by stripe set (RAID-0) of two HDDs. Read/write performances on light-weight FAT32 and secure NTFS filesystems can be seen. NTFS write never get to 80 MB/s, however, it will be possible by four HDDs.

2004年度には80 MB/secの実時間データ収集が実働したが、このデータ・レートは圧縮処理が間に合わなくなるだけでなく、一般的なハードディスク(HDD)の書き込み速度をも上回っている。このため、特にデータ・レートの大きな計測については、ストライピング(RAID-0)によりディスクへの書き込みレートを上げている[3]。Fig.4に示すとおり、HDDの高速キャッシュを超えるI/Oサイズでも、~90 MB/sの安定した書き込み性能が得られている。

LABCOSシステムでは、三階層型のデータ保存システムを構築している[4]。収集ホストのローカルディスク上に保存された生データは、実験の行われていない夜間に中期保存用ディスクに移送されるため、未圧縮の実時間収集データはその際に圧縮処理が実施される。当日の実時間収集ホストからのデータ読出しについては、無圧縮データも取り扱えるようデータ転送サーバに改良を加えている。

#### 2.4 実時間ネットワーク転送(ストリーミング)

超広帯域の収集データを、基本的に全てネットワーク上の実時間解析・表示クライアントに転送できることを要件に、ここでは実時間ストリーミングのクライアント/サーバ(C/S)系開発を行った。

2.3節で述べたとおり、今回開発したリアルタイム転送サーバは、同データ保存タスクやバッチ転送タスクと同じく、収集ホスト上の共有メモリ・データにアクセスする。これにより、保存と転送の両実時間タスクの非同期的動作が可能となる。

クライアント/サーバ間の接続には、信頼性と広帯域性を両立させる一般的な方法として、TCP/UDPの2系統を用いている。最初の接続要求やデータ送信開始・停止要求、転送チャンネルの指定、間引き率の設定といったセッション管理に関しては、信頼性のあるTCPを用いて行う。TCPセッションは送信停止・接続終了まで、接続管理用に維持される。これと並行して、送信開始以降、送信停止まで、

サーバは最新の収集データをUDPを用いて間断なく送り続ける。

クライアント側は送信されるUDPパケットを受信するだけで、通信エラー等が起こってもTCPのような輻輳処理は一切しない。失ったデータのタイムフレームは単に破棄される。これはリアルタイム・データ伝送の広帯域性をあくまで優先するためである。データ解析等の目的で抜けない正しいデータが必要な場合は、並行して走る実時間保存タスクで保存されたデータを取り出すことで対応できる。

このC/S系が、80 MB/sの実時間収集データを1 Gbps LANスイッチ経由で全て転送できることは確認している。しかし、計測信号の実時間モニターの目的には、広帯域転送の全データは必要なく、通信トラフィックやC/S両ホストの負荷を無用を増やすことになる。

そのため、各チャンネル転送においてデータの間引き率 $N$ を設定し、 $1/N$ に間引いたデータを送信する機能をサーバ側に持たせている。波形データでは $N$ サンプル毎に1サンプルを、画像データでは $N$ フレーム毎に1フレームを送る。

この実時間間引きデータ送信試験をモノクロVGAの時系列画像で行った結果、10 Mbps Ethernet上で1.2 MB/sec、毎秒4フレーム程度の表示レートが得られ、実用上問題のないモニタリング性能を確認している[5]。

#### 2.5 伝達遅れ(レイテンシ)性能

2節の冒頭で述べた要件のうち、最後のフォードバック制御出力に必要な基本性能が信号伝達遅れ(レイテンシ)である。伝送遅れと広帯域性(スループット)は相反するため、広帯域性を追求した本システムでは、伝達遅れを実時間監視が可能な範囲で最大限許容している。

例えば50チャンネルのWE7000計測の場合、各チャンネル20 kS/sサンプリングで2 MB/sのデータ生成率となる。専用光リンクで~2 MB/sの伝送帯域を維持するのに必要な送受信バッファサイズを調べると、ほぼチャンネル当り8~16 kS(16~32 kB)なので、レイテンシは16 kS/(20 kS/s) = 0.8 sとなる。

PXIでは、必要バッファサイズを調べた結果、~10 kS/ch以上でほぼ最大スループットが得られることが判った。しかし、連続運転時の収集開始遅れ時間のほうがこれより大きく、ADCモジュールの種類によってかなり差があるものの、およそ10~180 msである。いずれにせよ、1系統(1計測)で同時収集されるチャンネル数とADCのサンプリング速度、PXIの場合はADCモジュールの種類を適切に選ぶことで、レイテンシは10 ms程度まで比較的容易に低減できる。

しかし、高速なプラズマ保持フィードバック制御等では、1 msオーダーのレイテンシが必要な場合もある。WindowsやLinuxといった汎用OSでは、入出力バッファを用いて高スループットを実現している反面、他の処理が入った際(割り込み)の待ち時間が大きく、標準状態では割り込み応答性を~1 ms以下に常時抑えることができない。

このため従来は、VMEbus等の専用ハードウェアと割

込み応答に優れたリアルタイム OS によって、実時間処理系を、

- CAMAC PC/EWS + 汎用 OS … DAQ 系
- VMEbus 組込み CPU + リアルタイム OS

のように、計測データ収集 (DAQ) 系とは独立に並行させていた。ところが、昨今の PC 性能の向上により、他のタスク処理を部分的 (時間的) に抑止するなど OS 動作を少し調整するだけで、汎用 OS でも十分高速応答が可能になってきている [6]。

広帯域性を犠牲にしたレイテンシ優先の収集プログラムに変更する必要があるものの、DAQ 系と同じハードウェアと OS、開発環境を用いて、~1 ms の高速閉ループ制御系が組めるコスト上保守上のメリットは非常に大きい。DAQ 系と実時間計測制御系の融合は、今後大きな潮流となるであろう。

### 2.6 収集進捗状況の実時間監視

計測データ量の急増と実験の長パルス化によって、システム運用負荷もまた予想以上に過重になっている。特に 17 年度に 50 計測を超えた LHD 並行分散収集系では、人的負担を大幅に低減する必要が高まり、分散エージェントと IP マルチキャスト、Web / サーバサイド Java 技術をベースにした、新たなインテリジェント自動運転・監視システムを開発し運用に供した。

Fig. 5 に示すとおり、警告・エラー等のイベント発生をいち早く認識できるように整列させるなど、表示に運転者支援の工夫を施している。また本 GUI ツールを用いて、データ収集系の個別・一括制御をネットワーク経由で実現することにより、運転者の現場での障害対応機会を減らしている。

## 3 長大データ取扱いの改善

超広帯域実時間系は従来より 2 桁以上高いデータ収集能力を提供する反面、新たな問題もあちこちで表面化させた。その一つが、サンプル数やサンプリング・クロックの計数 (カウンター) 値が、32 ビット整数上限を超える問題で、長大化に伴って全面的な 64 ビット化が必要となった。

また、サンプリング・クロックを生成している LHD 計測タイミングシステムは、1 MHz ベースクロックで動作しており、内臓の 32 ビット整数カウンタでは最大約 4300 秒までしか計数できない。このため、ベースクロックを 1/10 分周された 100 kHz に落として、計数時間を 10 倍する改修を行うと共に、対応アプリケーションの関係箇所全てを、64 ビット整数に変更する作業も行っている。

今までの LHD 計測データを全て保管している大規模ストレージとして、2004 年度まで使用していた DVD チェンジャについても、データ保存量が 100 GB/day に増え、複製分も含めて毎週 200 枚の DVD-R 作成負荷が過大となった。そのため、容量 4.7 GB の DVD による増強をあきらめ、2005 年からは 1 枚あたり 30/60 GB の容量を持つ UDO (Ultra-Density Optical) ディスク・ライブラリ装置へと移行している。

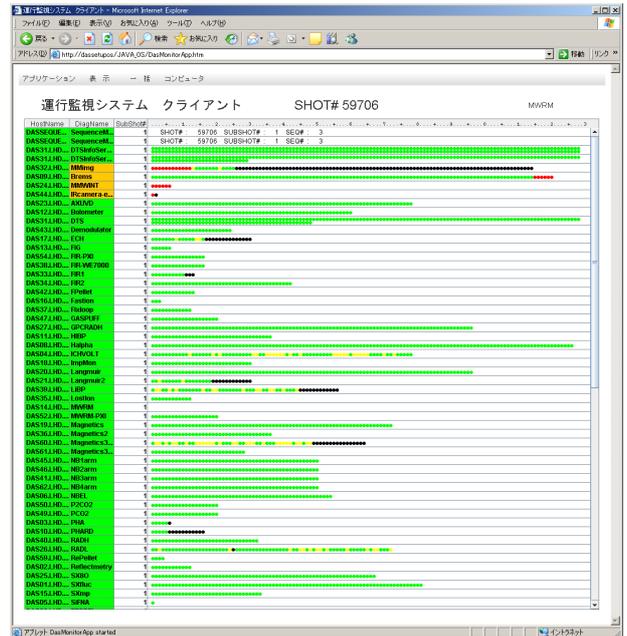


Fig.5 Java applet for the real-time data acquisition monitor: Each line means one DAQ where each dot shows the status of the acquisition channel. If a DAQ has some warnings or errors, it will be displayed at the top of this list. All the status are refreshed in every two second.

### 3.1 データの時分割保存と取り出し

長時間持続する定常プラズマ実験の収集データを 1 ファイルで保存すると、書込みがその間続くことになり、読み出しプロセスが同ファイルへ自由にアクセスできなくなる。またサイズも極めて大きくなり、データ移送の取り扱い等も難しくなる。

このため、実時間収集系のデータ保存は、短パルス実験シーケンスの放電開始 ~ 終了と同じ 10 秒を単位として、分割する方法をとった。分割された各 10 秒区間にはサブショット番号を 1, 2, 3, ... と順につけていくので、放電のどのあたりの時間帯なのかが、番号から直観的にわかる。また、持続中のプラズマの 10 秒前の実験データを過去データとして取り出し、各種バッチ処理も行うことができる。

しかし、PXI 等による高サンプリングレート多チャンネル収集の場合、多チャンネル・データを 2 次元配列として取り出すと、10 秒の生データ配列でも数 100 MB を超え、クライアント計算機の主記憶領域を占有してしまう。この問題を解決するためには、圧縮されている保存データの内部に、さらに細かく部分取り出しができる構造を持たせる必要がある。ここでは、10 秒データをさらに分割された一連の圧縮ブロックとして細分化・保持し、データ取り出しは 1 つまたは複数の圧縮ブロックを指定できるよう改造を行った (Fig. 6 参照)。

分割圧縮ブロックの取り扱いには、東京工業大学の大規模データ圧縮ライブラリ titz [7] を採用し、標準の zlib 圧



Fig.6 Internal format of titz compressed blocks: The whole structure holds at most 10 s long time series data. Every block sizes depend on their compression ratios even though their raw sizes are the same. For camera data, it is suitable to store one video frame in each block.

縮の他に、次小節に述べるとおり、画像圧縮メソッドも利用できるよう新たに改良を加えている。

### 3.2 圧縮メソッドの最適化

Fig.1 左のグラフが示すとおり、1ショット当りの生データ量と圧縮後データ量の比は二つの折れ線の間隔に相当するが、2004年度のLHD実験第8サイクルでは、それまでと比べかなり狭まっている。具体的に、2003年と2004年の典型的な短パルス実験におけるデータ圧縮率を調べても、18.9%から30.3%へと大きく悪化している。

この原因を究明するため、まずデータサイズの増大に伴う圧縮率の変化を調べた。しかし、利用しているzlibでは、圧縮率はデータサイズに関わらずほぼ一定で、かかるCPU時間もサイズに比例して長くなり、大きく悪化しないことが確かめられた[5]。

次に、2004年に大幅に増えているカメラ計測データの圧縮率を調べたところ、波形データの平均が27.5%の圧縮率であるのに、画像データでは35.5%と悪化しているのが判った。カメラ計測データは既に全収集量の35%程度を占めており、これが全体の圧縮率を低下させた原因と同等された。

従来から使用してきたzlibは、本来1次元データの圧縮アルゴリズムであり、2次元画像には最適化されていない。実験生データは無劣化(ロスレス)で保存することが求められるため、各種ある画像圧縮アルゴリズムのうち、無劣化のPNGとJPEG-LSについて、zlibと対比して調べた結果がTable 1である。圧縮率・CPU使用時間ともにJPEG-LSがかなり良い結果を出しているのが判る。

この結果に基づき、3.1節に記したとおり、zlibに替わる画像データ用の圧縮メソッドとしてJPEG-LSを組み込み、波形と画像のデータ種でメソッドを自動的に切替える改造を行っている。

Table 1 Compression ratios by zlib, PNG, and JPEG-LS [5]: Here 580x480 16-bit gray-scale picture (556800 bytes) was used.

	comp. size (B)	ratio (%)	cpu time (s)
zlib	217 493	39.1	0.113
PNG	192 958	34.7	0.220
JPEG-LS	137 651	24.7	0.031

## 4 まとめと評価

LHDにおける定常プラズマ実験の本格化にあわせて、本研究では、データ収集・保存・ネットワーク転送・運転監視の各機能の実時間化と、長大データ取扱い性能の改善という二つの大きな開発を行い、その有用性を実証した。2004年実験でのデータ収集運転においては、1計測で最大80 MB/sの超広帯域データ収集や、カメラによる連続画像データ集録に対応し、LHD計測全体で84 GB/shotの世界新記録を達成した。モニタリング機能においても、波形データと画像データ双方のストリーミングを行い、10 Mbpsのネットワーク上でも実用上問題なく利用可能であることを確認した。

次世代実験装置として建設が始まるITERのデータ生成量はTable 2のように試算されている。

Table 2 ITER data rates and volumes [8]

source channel	0.5-1 M	ch.
source rate	10-100	GB/s
volume/pulse	100-1000	GB
volume/year	200-3000	TB

2005年LHD実験における本システムのデータ収集量は、短パルス実験で約3 GB/pulseであり、生成率も1 GB/s程度で、ITERとはまだ1桁の開きがある。しかし、LHDの計測チャンネルが約3000で、CAMACなど旧来デジタイザも継続利用している点を考慮すると、1計測当り40~80チャンネルで80 MB/sの能力をもつ本データ収集系によって、ITERプラズマ計測系は十分構築可能であることも判る。

本システムの開発・実用化に際しては、極めて長大化したデータが、今まで表面化しなかった諸問題をシステムのうちで浮上させ、派生した多くの改修を余儀なくされた。32ビット整数上限の問題やシステム運転監視の負荷低減などは、広帯域データ収集の稼動に付随した必須要件だったともいえる。

本研究では、こうした定常データ収集実現にかかる諸課題に対して、具体的な解決手段の組み合わせを実証結果とともに提示することができた。

## 謝辞

大規模データ圧縮ライブラリtitzの利用をご快諾下さった開発者の東京工業大学青木尊之先生に感謝します。本研究はNIFS研究コードNIFS05ULHH503、NIFS05KCHH004に支援されています。

## 参考文献

- [1] 横河電機(株) Test&Measurement 事業部: 「PCベース計測器 WE7000」 <http://www.yokogawa.co.jp/Measurement/Bu/WE7000/> (2003).

- [2] National Instruments, *PXI and CompactPCI* <http://www.ni.com/pxi/ja/> (2005).
- [3] Nakanishi H., Kojima M., Ohsuna M., Komada S., Nonomura M., Yoshida M., Imazu S. and Sudo S., *Fusion Eng. Design* **66-68**, pp. 827–832 (2003).
- [4] Nakanishi H., Kojima M., Ohsuna M., Nonomura M., Imazu S. and Nagayama Y., *Multi-Layer Distributed Storage of LHD Plasma Diagnostic Database*, Proc. of Joint Conference of 14th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion and 4th International Conference on Atomic and Molecular Data and Their Applications, Oct. 5–8, Toki, Japan (2004).
- [5] M. Ohsuna, H. Nakanishi, S. Imazu, M. Kojima, M. Nonomura, M. Emoto, Y. Nagayama and H. Okumura, *Unification of Ultra-Wideband Data Acquisition and Real-Time Monitoring in LHD Steady-State Experiments*, Proc. of 5th IAEA TM on Control, Data Acquisition, and Remote Participation for Fusion Research, July 12–15, Budapest, Hungary (2005).
- [6] J. Stillerman, M. Ferrara, T. Fredian and S. Wolfe, *Digital Real Time Plasma Control System for Alcator C-Mod*, Proc. of 5th IAEA TM on Control, Data Acquisition, and Remote Participation for Fusion Research, July 12–15, Budapest, Hungary (2005).
- [7] 青木 尊之:「東京工業大学 大規模データ圧縮ライブラリ titz」  
<http://www.nr.titech.ac.jp/~taoki/Activity/titz.html> (2001).
- [8] J. Lister, I. Yonekawa, J. How and S. Maruyama, *Where might the ITER data challenges lie?*, Proc. of 5th IAEA TM on Control, Data Acquisition, and Remote Participation for Fusion Research, July 12–15, Budapest, Hungary (2005).

表目次

1	Compression ratios by zlib, PNG, and JPEG-LS [5]: Here 580x480 16-bit gray-scale picture (556800 bytes) was used. . . . .	6
2	ITER data rates and volumes [8] . . . . .	6

図目次

1	Growth of data size (top) and the numbers of diagnostics by each kind of digitizer (bottom). . . . .	2
2	Schematic view of the whole LABCOM data acquisition and management system structure. . . . .	2
3	Shared-memory usage by multiple real-time and batch processing tasks. . . . .	3
4	Data storing performance obtained by stripe set (RAID-0) of two HDDs. Read/write performances on light-weight FAT32 and secure NTFS filesystems can be seen. NTFS write never get to 80 MB/s, however, it will be possible by four HDDs. . . . .	4
5	Java applet for the real-time data acquisition monitor: Each line means one DAQ where each dot shows the status of the acquisition channel. If a DAQ has some warnings or errors, it will be displayed at the top of this list. All the status are refreshed in every two second. . . . .	5
6	Internal format of tiz compressed blocks: The whole structure holds at most 10 s long time series data. Every block sizes depend on their compression ratios even though their raw sizes are the same. For camera data, it is suitable to store one video frame in each block. . . . .	6