

DARUMA によるデータ収集・計測システムの現状

公益財団法人高輝度光科学研究センター 情報処理推進室

中田 謙吾、松本 崇博

古川 行人、平岡 裕治、松下 智裕

Abstract

我々は、DARUMA (Data collection And control system for X-Ray stations Using MADOCA) と呼ばれるビームライン (BL) 向けのデータ収集・実験計測システムのパッケージ開発をしている。このパッケージは、SPring-8 加速器制御で活用されている分散制御フレームワーク MADOCA^[1]を基盤としており、SPring-8 で標準的に使われる可読性が高いテキスト (SVOC 文型) によるメッセージ通信を用いている。DARUMA を活用することで、得られるメリットとしては、1) 機器制御のプログラムとユーザインタフェースのプログラムを分離して開発できるようになる、2) SVOC による機器制御の抽象化によるプログラムの可搬性の向上、3) 画像処理など機器制御以外のプログラムも SVOC の枠組みで部品化できる、4) 実験計測時に測定条件などの付加情報 (メタ情報) の収集が使える、など様々な特徴が挙げられる。これらの機能のため、実験セットアップ時の装置の組み替えにも柔軟に対応でき、既存の spec^[2]や LabVIEW^[3,4]、Visual BASIC などを用いた制御系に容易に組み込むことが可能となる。DARUMA は、BL 向けに整備されたフレームワークの提供のみならず、開発のための様々な支援ツールやプログラムも提供している。さらに、実際に BL で使われている多くの汎用の機器制御プログラムの提供から、これらと連携するビューアなどの汎用的なインタフェース、様々な画像処理機能を持ったプログラム群なども提供している。現在、常設でないものを含めれば、BL01B1、BL02B1、BL03XU、BL04B2、BL08W、BL10XU、BL13XU、BL14B2、BL19B2、BL35XU、BL36XU、BL37XU、BL40B2、BL46XU において実験計測に活用されている。

1. はじめに

SPring-8 における BL での実験は、数多くの機器の制御を組み合わせることで成り立っている。ステージやスリット、多軸回折系を動かすモーター制御から、電圧値の測定、温調の制御、二次元検出器など、多種多様な機器の制御と計測の組み合わせから構成されている。そして、制御するプログラムはそれぞれの BL や実験に応じて独自に作成されていることが多く、基本、これらの実験のプログラムは、ほぼ全てモノリシックに設計されている。ここでいうモノリシックの意味は、図 1 に示すように、一つのアプリケーションに、インタフェース、実験手順、データ管理、機器制御を書いていることを意味している。たとえば、モーターの制御と一つの検出器の制御などの小規模な利用であれば、一つのモノリシックなプログラムは十分に実用的であるとも言える。むしろ開発者が 1 人であり、小規模であれば、きめの細かいシステムの開発が可能であるとも言える。だが、問題は、制御する機器が増加した

時、制御するプログラムを別の実験や別の BL に持つて行く時、プログラムの開発当初に想定していなかった機器の制御をプログラムに組み込む時などである。設計が不十分であれば、プログラムのほとんどを書き直す必要があり、ごく一部のハードウェア部分の変更が、計測プログラム全体に影響を与えることは想像に難くない。そして多くの BL でのユーザ実験の場合、全てのケースを事前に想定してモノリシックに設計するのは困難である。モノリシックであることは、プログラム開発においては利点と欠点の両方を含む。

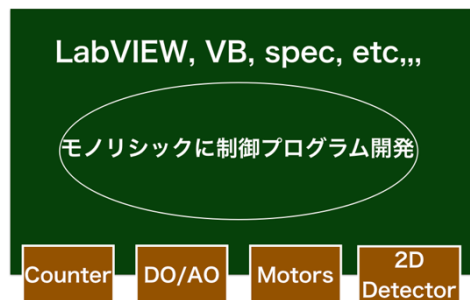


図 1 モノリシックな制御プログラムのモデル図

一般的には、モノリシック構造であれば、同時に他の部品の相関関係を考慮して関連部品のアプリケーションを更新する必要がある。特に複数の機器を Socket で直接制御する場合には通信に関する細心の注意が必要となる。そのため、測定システムを再構成することは容易ではなくなる。当然、プログラムのコーディングスタイルはそのプログラムを作成した人によってそれぞれ異なり、開発言語も異なることが多い。同じ機器を制御するからといって、隣の BL で開発されたプログラムを持ってきても、ほとんどの場合は再開発が必要となる。開発したプログラムを共有化・水平展開しにくい理由の一つは、それぞれの開発者の情報共有の問題よりもむしろアプリケーションの開発モデルに理由の一つがある。これらを解決する方法として、分散型の制御が加速器などの大規模なシステムでは古くから採用されている。

DARUMA では加速器などの大規模なシステムで用いられている一般的な開発スタイルである「分散型の制御フレームワーク」を用いることでこれらの問題に対処している。制御フレームワークとは、制御システムのソフトウェアを構築するためのライブラリ、分散のアーキテクチャを支えるための通信ミドルウェア及びそれらを管理するためのツール類からなるソフトウェア群である。放射光関係の制御フレームワークとして代表的なものは、EPICS⁵⁾や TANGO⁶⁾などがよく知られている。MADDOCA を含むこれらの制御フレームワークに共通する特徴は、ネットワークを介した分散制御系という点にある。DARUMA では通信の基本となる部分に MADDOCA II フレームワークを用いている。MADDOCA とは Message And Database Oriented Control Architecture の略で、SPRING-8 の加速器制御と BL の分光器系の制御などに用いられている。本稿では、DARUMA ソフトウェアのフレームワークを報告し、DARUMA が実験ステーションでの実験計測にどのように役立つかを示す。実装における DARUMA の詳細な側面は、後に詳しく説明を行う。

2. DARUMA フレームワーク

DARUMA は前節で説明した要求を満たすために開発された。DARUMA は Data collection And control system for X-Ray stations Using MADDOCA の略であ

り、BL 向けのデータ収集・実験計測システムのパッケージである。DARUMA の基本ポリシーは以下となる。

- BL 用機器の分散制御に MADDOCA を採用
- BL 向けに MADDOCA を使いやすくするためのライブラリ/ミドルウェア/ツール群を用意
- データ収集や画像処理などの一般的なソフトウェアツールも用意

SPRING-8 では MADDOCA が加速器と BL の分光器系の制御のために実装されているので、我々は特に苦労することなく、コストをかけずに、既存のシステムを用いるだけで、高い信頼性と高い安定性を持った分散制御を実験ステーションで行うことができる。これにより、加速器や分光器などで用いられている MADDOCA との協調制御ができるメリットも生まれる。さらに、我々自身の手で MADDOCA II フレームワークのメンテナンスを行っているため、BL 制御用に必要な機能を取り込むことが容易であるという利点もある。そのため、我々は分散制御の基本プログラムとして MADDOCA II を選択している。これらの詳細は後の節にて説明する。MADDOCA II では、Windows のサポート、LabVIEW⁷⁾や Python とのインタフェース、.NET Framework (C#, Visual BASIC) とのインタフェース、画像データなどの可変長データにも対応しており、これら MADDOCA II のいくつかの新機能は BL での計測に役立つものであると言える。

3. DARUMA を用いた実験ステーション制御

まず始めに、SPRING-8 加速器制御で用いている MADDOCA を用いた制御と、DARUMA を用いた制御の運用面における大きな違いについて述べる。DARUMA では、SPRING-8 の加速器制御のように中央制御室に BL の制御を束ねるわけではない点に注意して欲しい。DARUMA は、あくまで、それぞれの BL 毎

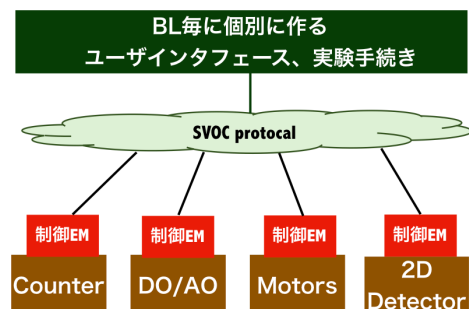


図2 分散型の制御プログラムのモデル図

に、それぞれの機器毎に閉じたネットワークでの運用となる。つまり、従来通りに、個別の BL 内での個別の機器の制御となる。そのため、BL の判断で自由に、実験毎に、DARUMA 機器の接続・追加・削除などを行える。DARUMA による開発・運用とは分散型の制御・開発モデルを BL に持ち込むことにある。DARUMA で採用されている分散型のモデルを図 2 に示す。DARUMA では、従来型のモノリシックなアプリケーション内の各機能を、異なるそれぞれ別の制御プログラム（ソフトウェアコンポーネント）に分離してある。誤解しないで欲しいのは、一つの単一のプログラム（ソースコード内）で、ライブラリなどで機能を分離しているわけではない点である。それぞれの機能は完全に独立したアプリケーションであり、単独の実行プログラムである。そのため個別のプログラムで機能は完結している。この点がライブラリの提供よりも動作安定性や再利用性が高くなる理由である。DARUMA のソフトウェアコンポーネントは、検出器などの機器制御のコンポーネントのみならず、データ収集のためのコンポーネント、画像処理のためのコンポーネント、画像ビューアもこれらのコンポーネントに含まれる。これらのコンポーネントのうち機器制御を行うコンポーネントを特に機器マネージャ (EM) と呼ぶ。これらのソフトウェアコンポーネントは、ネットワークを介して MADOCA のメッセージングから制御することが可能となる。ここで言うメッセージングは SVOC 文型を用いたテキストメッセージによる制御のことであり、次節にて詳しく説明する。当然、MADOCA を使用して分光器系の制御と組み合わせることも可能である。それぞれの機能を分散したソフトウェアモデルを持つ DARUMA を採用することは、以下のようないくつかのメリットを生み出す。

- ・ユーザインタフェースと実験手順に集中してアプリケーションを作成できるため、測定アプリケーションの準備にかかる時間とコストが削減される
- ・他の BL で作成した機器制御コンポーネントをそのまま持って来ることができる
- ・様々な画像処理やファイル処理などを制御系と組み合わせることが非常に容易になる
- ・既存の制御系に、DARUMA のソフトウェアコンポーネントを組み込むことが容易である

表 1 DARUMA 対応機器一覧 (2019.06)

種別	装置	コメント
二次元検出器	PILATUS	100K, 300K (CdTe), 1M, 2M
	PerkinElmer XRD	(Opt-I/F) XRD1611 XRD1621 (Ethernet-I/F) XRD0822
	Andor Zyla	SDK3
	Andor iKonL	SDK2
	浜松ホトニクス HiPic	CCD/FPD
	Rigaku HyPix	HyPix 3000 HyPix 4000 HyPix 9000
ADC	PXI-NI-4492	DAQmx C-I/F
	PXI-NI-6612	
	NI-USB6000/6003	
Motor	tuji-PM16C-04XDL/16	
	tuji-PM2C-01	USB-serial
	SIGMA TECH FC-111	
	IMS MDRIVE Motor	for scatter less slit (開発中)
Counter	tuji-NCT0801B	
	tuji-CT0801E	
	MITUTOYO KA12, 200	リニアスケール用
DMM	Keithley 2701	
	ADC7352A	
温調	Cryo-con Model 24C	
FPGA	NI-9269	(Socket-base)
	NI-9239	
	NI-9403	
	NI-9260	

表 2 DARUMA 対応機器一覧 (BL14B2 制作)

種別	装置
イオンチャンバーガス混合器	アイデン M37-4209-01
カレントアンプ	Keithley 428
19SSD 用 DSP	テクノエーピー APN504
カメラシステム	キーエンス CV5500
DIO	コンテック DIO 1616In-fit
高温セル用温調器	チノー KP1000C
四重極型質量分析計	PFEIFFER GSD301
モノクロエンコーダーボード	Heidenhain IK220

表3 DARUMA の画像処理などの機器制御を行わないソフトウェアコンポーネント

汎用EM	機能
画像積算	ROIによる領域積算 最大値および座標取得 ある座標のピクセル値取得 連続積算 (for QXAFS)
円環積分	円環積分を行う
画像結合	複数の画像を結合し、PILATUSなどのモジュール間ギャップを補完する
画像ヘッダ処理	TIFF ヘッダに好きなメタ情報を書き込み、読み込みする
画像転送	画像を転送し、対応ビューアで表示する
二次元画像対応の指数演算	a, b, c, α , β , γ が既知の時に HKL マップを計算 (ビューアと組み合わせ撮像画像と重ねるなど)

DARUMA を BL における実験計測用に用いるには、DARUMA のソフトウェアコンポーネントを充実させることが重要となる。表1にDARUMA化がなされた機器リストの例を示す。我々は、BLのスタッフからの要求に基づいて、様々なBLのためにこれらのEM開発を進めている。これらのEMは可搬性が高く、一度作成すればどのBLでも利用可能となる。また、我々との共同開発により、BL14B2のスタッフなどが作成したEM群も別途ある(表2)。これらは、基本的には、他のBLでもそのまま使うことが可能である。特に、BLにおけるDARUMAの開発では、機器制御以外の画像処理などのソフトウェアコンポーネントの整備も行っているのも特徴となる(表3)。

無論、現時点で開発されているEMは、様々なBLにおける多種多様な機器を網羅するには至っていない。しかし、EMを構築するためのLabVIEWやPython、及びC言語などの様々な言語のインタフェースがある。要求に応じて、サポートされるEMの数を柔軟に増やすことが可能である。必要とあれば我々の開発ツールを用いて、BLのスタッフ自身が機器制御のデバイスをDARUMAのソフトウェアコンポーネントの形に整備することは容易である。DARUMA化を行えば、自身のBL以外でも作成したプログラムの水平展開が簡単になるメリットがある。

4. MADOCA によるメッセージングの詳細

DARUMAでは測定メッセージ管理にMADOCAを採用している。ここでは、実験計測システムにおけるMADOCAメッセージングコントロールの利点について説明する。MADOCAでは、コントロールのメッセージは、主語/動詞/目的語/補語(S/V/O/C)構文のテキストメッセージで構成されている。「S」は、フレームワークによって自動的に定義され、主にメッセージを送信するプログラムの情報を含む。「V」は、コマンドのアクションを表現する。「put」または「get」が主に用いられる。「O」は、メッセージのターゲットを識別するオブジェクト名となる。「C」は、アクションパラメータである。たとえば、V/O/Cとして「put/bl_03in_st1_detector_1/start」というメッセージを送信し(Sは上記のように省略される)、メッセージが「O」が登録されているEMに送信され、応答が返される。S/V/O/Cフォーマットのメッセージングでは、メッセージコマンドは抽象化されている。人間がコントロールの内容についてメッセージコマンドを容易に理解できるように設計するため、特定のデバイス情報は含まれないようにデザインするのが一般的である。

このようなメッセージコマンドの抽象化はEM毎に行われる。これには様々な利点がある。たとえば、ある機器が故障をした時、その機器を新しい装置に入れ替えた例を考えてみる。この時、最新の機器を制御するEMが、以前の古い機器と同じメッセージコマンドで応答するようにEMを準備すれば、クライアントアプリケーションを更新する必要はない。MADOCAの抽象化されたメッセージコマンドにおけるこのような方針のために、実験に用いる機器の再構成を柔軟に実行することができる。

5. BL03XUへの適用

我々は、まず始めに、ソフトマター向けの小角散乱用BLであるBL03XUにDARUMAを適用した。BL03XU用のDARUMAを使用した測定システムの概略図を図3に示す。実験には、イオンチェンバー内の電流とフォトダイオード内の電圧の監視、ステージのモーター制御、slitの制御、タイミング信号、PILATUS検出器、浜松ホトニクス社のCCDとFFDなどの各機器を制御する必要がある。測定システムには

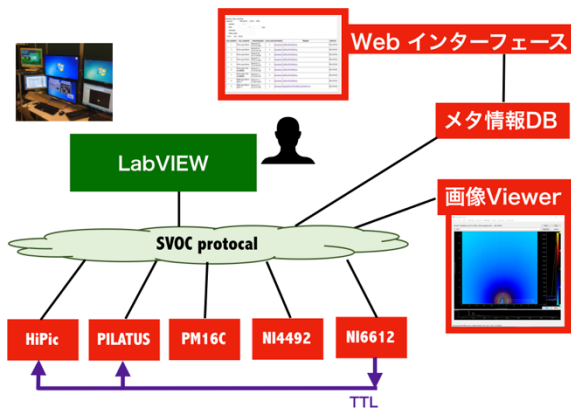


図3 BL03XU における DARUMA 対応 (赤は DARUMA のソフトウェアコンポーネント)

約 10 台のコンピュータが使用されている。DARUMA を実装するために、各機器向けにそれぞれの機器の EM を作成した。浜松ホトニクス の CCD、FPD は、HiPic を制御する EM を実装することで実現した。

それら DARUMA ソフトウェアコンポーネントにより、MADUCA のメッセージコマンド (SVOC) を用いて、各機器の制御から計測まで行える。SVOC の手順には、保存データの場所、カメラとトリガーの設定、測定 の操作などの初期化が含まれる。これらの SVOC 命令系は、汎用的なカメラの操作 SVOC 体系、モーター用の SVOC 体系などとして規定し、他の BL でも用いることができるように一般化している。たとえば、二次元検出器の制御 EM では、Perkin Elmer 検出器や Rigaku HyPix 検出器、Andor CMOS、CCD 検出器用のものを作成しているが、基本的には同じ SVOC 命令体系で検出器の操作ができるように設計している。そのため、PILATUS 向けに作成した実験制御系アプリケーションは、DARUMA のほとんどのコンポーネントでわずかな修正のみで動作する。このように、開発したコマンド手順は他の BL での測定にも柔軟に適用可能となる。

BL03XU における 1 回の測定では、二次元検出器を用いて、およそ数千枚程度の画像が撮像される。PILATUS-1M においては、典型的なデータ収集レートは約 10 Hz である。複数の検出器があるため、測定はトリガーのタイミングと同期して実行される。測定データはファイルとして保存サーバに保存され、二次元検出器の場合では 1 測定 1 ファイルの TIFF 画像として出力される。二次元検出器以外の各計測データにつ

いても、トリガーで同期され、複数の計測機器の個別データが、それぞれのストレージにファイルの形で分散保存される。そのため解析を行う場合は、個別にデータを探す必要がある。その際、検索の手助けとなるのは、フォルダ名に含められた測定条件などの情報とファイルの生成時間だけである。このため、特定のトリガーにおける撮像データと、それと同期している他の機器の計測データをリンクして参照するにはそれなりに手間がかかる。それらに対して、検索の柔軟性を向上させるために、DARUMA は測定 のメタ情報を NoSQL データベース、Elasticsearch[®] に保存する機能を有している。測定に紐付けられた測定条件などの付加情報はその測定 のメタ情報と呼ばれる。Elasticsearch には、REST API インタフェースを備えた Lucene に基づく検索エンジンがある。Elasticsearch はスキーマフリーの JSON ドキュメントを使用してデータを管理できるため、実験計測における様々なメタ情報を管理することが可能である。このメタ情報に対して、我々は、tomado[®] と呼ばれる Web フレームワークを用いて、簡便な Web インタフェースを開発した。これにより、検索、閲覧、計測ファイルのダウンロードを一元的に行うことを可能としている。このように DARUMA ではメタ情報収集機能を EM として実装可能な枠組みを用意しており、比較的容易にデータ収集機能を実現できる。

画像処理用のソフトウェアツールも開発を行った。DARUMA では、画像データを管理するために EM を用いることができる。MADUCA II は SVOC のテキストメッセージ以外にも、画像などのバイナリデータ (可変長データ) の送受信も行うことができる。そのため、画像データの転送にも EM を利用することができる。EM による画像処理を分離することで、図 3 の例のように、リモートコンピュータ上に自由に画像を表示することができる。画像データのデータフォーマットは MessagePack[®] で一般化されているため、LabVIEW などの言語で BL スタッフが自身の測定系に組み込むこともできる。無論、DARUMA が提供するソフトウェアコンポーネントであるビューアを用いてもよい。ビューアの各機能は、BL スタッフの意見で随時アップデートされている。このビューアは PyQt[®] で作成されており、Windows/Linux のどちらでも動作する。当

然、画像転送EMを用いないシステムでも最低限動作するように完全に単独でも動作するビューアとしても使える。

これら一連のシステムを作り上げ、BL03XUでの実験測定でDARUMAを使った動作テストは行われた。実際のユーザ実験で用いられる測定アプリケーション用に約20のGUIがあり、これらをDARUMAに置き換えることはまだ進行中である。

6. 産業利用BL (BL14B2、BL19B2、BL46XU) への適用

DARUMAは、既存の計測システムにそのまま追加できる柔軟性を持っている。通常のMADCOCA IIのメッセージング以外にも、Socketを介したSVOC通信ができる機能を提供している。そのため、Socket通信ができる制御系からは自由にDARUMAのソフトウェアコンポーネントを用いることができる。この機能は、Windowsマシン上でも動作するため、BLにおける既存のシステムへのビルドインが非常に容易にできる。

たとえば、DARUMAでは画像処理などのソフトウェアコンポーネントを提供している(表3)。BL19B2/BL46XUにおいては、X線回折の実験ではspecが主な制御系として用いられている。ここでは、既存のspecを用いた計測システムの変更をほぼせずに、DARUMAによる画像処理を追加し、システム全体の高性能化・高速化を行った例を紹介する。DARUMAのソフトウェアコンポーネントには、PILATUSの撮像画像からモジュール間ギャップを補完する機能、画像ファイルに自由にメタ情報を読み書き・追記する機能、関心領域の積算、最大のピクセル値、最大値を持つ座標、指定座標のピクセル値などを取り出す機能、様々な画像処理機能がある。既存の測定系に対して、これらの画像処理に係わるソフトウェアコンポーネントの追加は、わずか数行のspecのマクロ変更で実現される(図4)。これらは機器制御を行わないDARUMAのソフトウェアコンポーネント利用の活用例である。

また、産業利用推進室のXAFSビームラインであるBL14B2では遠隔実験対応のためにBLの制御系の多くをDARUMAに置き換えてある。そのため、ほとんどの測定機能がSVOCで制御可能であり、DARUMA

のコンポーネントの連携性が非常に高い。たとえば最近我々は、BL14B2へのユーザ持ち込み機器とBL14B2のQXAFS測定系を容易に結合できるような簡便なシステムを提供した(図5)。これは、NI-DAQ機器制御をDARUMAのコンポーネント化することで実現した。たとえば、TTL信号を受信してSVOC命令を発する機能や、SVOC信号を受信して、TTL信号を発する機能などである。このコンポーネントによりTTL信号とSVOCを相互に結びつけることができる。ユーザ持ち込み装置側でDARUMAによるソフトウェア開発をせずに、DARUMA機器と連携した測定が可能になる。たとえば、ユーザ持ち込み装置からのTTL送信をトリガーとしてSVOCを発することでQXAFS測定をスタートすることができる。そして、測定終了後のSVOCを受けることでユーザ持ち込み装置側にTTL送信し、持ち込み装置側でQXAFS後の処理をスタートすることができる。これにより、ユーザ持ち込み装置での前処理・後処理とQXAFSの測定が無駄な

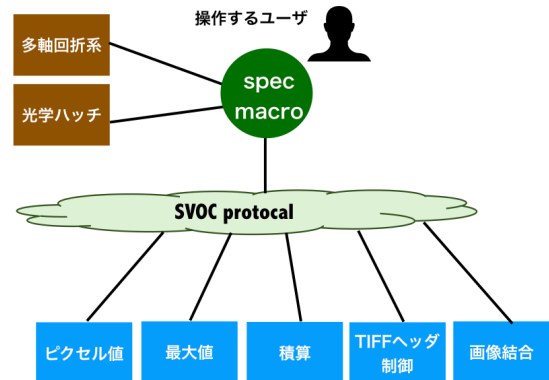


図4 BL19B2、BL46XUにおけるDARUMA (青はDARUMAの提供する画像処理に係わるソフトウェアコンポーネントを示す)

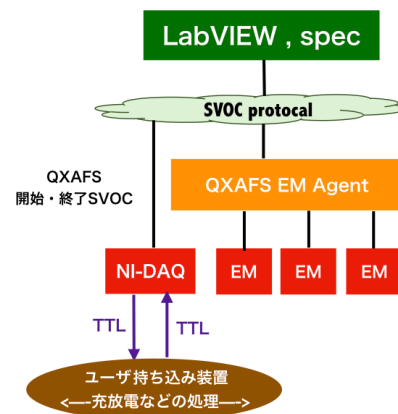


図5 BL14B2におけるDARUMAの活用例

くリンクし、自動化も可能となった。ユーザ側に MADOCA の SVOC 送受信を行うプログラムを作成する必要はなく、汎用的な TTL で SVOC が制御できるメリットは、ユーザ持ち込み装置と BL 側との連携向上に大きな役割を果たす。NI-DAQ による TTL と SVOC の連携は、BL36XU におけるユーザ実験にも利用された。DARUMA では、このように簡便かつ柔軟にユーザの持ち込み装置を、BL の測定系に結合できるスキームを提供している。

7. BL04B2, BL08W (BL01B1, BL36XU, BL37XU) における DARUMA の適用

前述までの説明の通り、DARUMA による機器の制御は、1) 機器制御プログラムを独立したソフトウェアコンポーネントに押し込んでいる、2) コンポーネントへの通信は SVOC 命令で抽象化されている、という特徴を持つ。そのため、実験毎のシステムの変更が容易である。特に、検出器メーカーから C 言語でのみ制御が提供されている PerkinElmer 検出器のような機器の DARUMA 化は、迅速かつ柔軟な BL への対応には有益である。通常ならば、C 言語で作成した制御プログラムを、それぞれの BL で制御に用いている様々なプログラム言語から読み出せるようにする必要がある。それは、制御プログラムの実装を複雑にする。当然 BL の測定系毎にこれらは作る必要がある。しかし、一度 DARUMA 化を行えば、LabVIEW や Visual BASIC から SVOC テキストのわずか数行の追加・変更のみで、機器の変更から組み合わせまで変更できる。それぞれの BL 毎や実験固有のセットアップ毎の変更はわずか数行の改変で終了する。

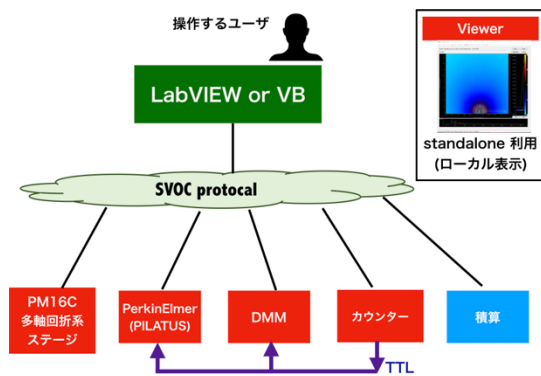


図6 BL01B1, BL04B2, BL08W, BL36XU, BL37XU で用いられた DARUMA の構成例

BL04B2 で用いられている二次元検出器を用いた非晶質 PDF 解析用の測定システムは、実験の度に BL08W を始め様々な BL へ運ばれ、様々なセットアップで実験されることが多い。PerkinElmer, PILATUS などの二次元検出器、Keithley 2701 などの DMM から、カウンター、PM16C を用いたステージの制御、19 軸多軸回折系の制御、カウンターからの TTL による時分割測定などの様々なセットアップが必要となる。これを実験毎に組み直して、それぞれの BL に移動し、必要に応じてそれぞれの BL の制御系と連携させる。DARUMA 化することにより、これらの制御系の開発が容易になることは実証されている^[2] (現時点では、TTL 同期による時分割の実験はまだ行われていない)。実際の開発では、BL スタッフ及びテクニカルスタッフなどによって比較的短時間で、SVOC の送受信による制御プログラムの構築が行われた (図 6 はセットアップの一例を示す)。これは、DARUMA によるソフトウェアコンポーネント化と SVOC の抽象化の成果であるが、我々のコンポーネント開発と、BL 側の開発の連携がうまく機能した例でもある。

8. BL13XU における DARUMA の実装

DARUMA は、SVOC 命令により機器の制御が抽象化されている。異なる機器でも同じ SVOC 命令で操作が可能となるため、実験制御を行うクライアントアプリケーションの変更なしに、装置を操作することが可能である。特に、BL13XU では、PILATUS と Rigaku HyPix などの検出器の入れ替えが多く、機器変更を行っても、同じ spec のマクロ体系での制御が望まれていた。DARUMA は、異なる二次元検出器であっても SVOC の操作体系はほぼ一般化されており、概ね同じ

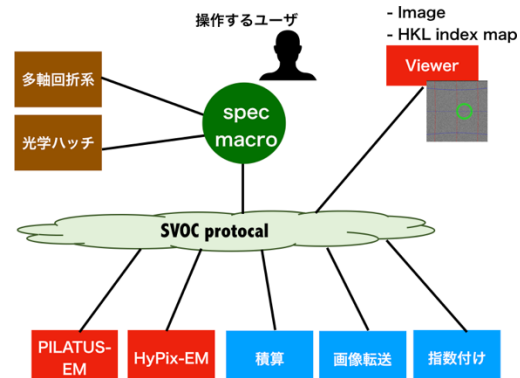


図7 BL13XU における DARUMA の活用例

spec のマクロで制御可能である。我々は、BL13XU の既存の制御系を変更することなく、機器の入れ替えが柔軟にできるシステムとして、DARUMA を適用した。さらに、BL13XU では、DARUMA の画像処理コンポーネントの組み合わせを spec から制御し、検出器制御などと合わせて有機的に連携するように構築している (図7)。画像ビューア、画像転送機能、関心領域での画像の積算機能、画像中の最大ピクセル値の座標取得、指数付け計算などである。特に、指数付け計算を行い、その結果を二次元検出器による撮像画像と共に表示する機能は、SES との共同開発で進めた (現時点では、ユーザ実験投入のための最終調整中である)。また、Rigaku の HyPix の検出器側が提供するプリミティブな制御は Socket であるが、データ Socket とコントロール Socket の2本の Socket を協調して制御する必要がある。そのため、機器の制御プログラムそれ自体が非常に煩雑になる。これらを実験制御系プログラムに簡便に組み込むには、DARUMA による抽象化された SVOC 体系で制御できるソフトウェアコンポーネント化は有益である。ここで開発した HyPix の制御の DARUMA のソフトウェアコンポーネントは、BL08B2 への導入を行う予定である。

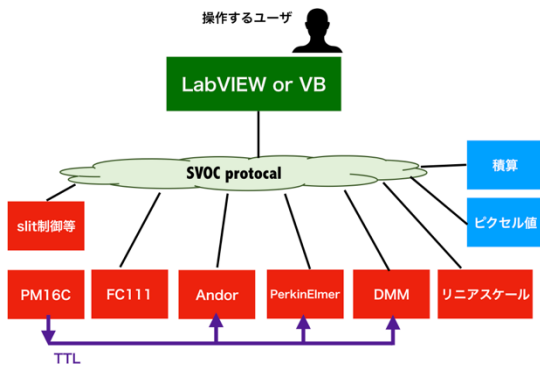


図8 BL10XU における DARUMA の活用例

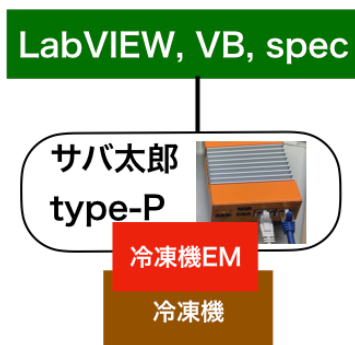


図9 冷凍機の制御における DARUMA の活用

9. BL10XU における DARUMA の実装

DARUMA を用いた、Andor 検出器と PerkinElmer 検出器を用いた実験計測システムを構築した (図8)。どちらも、メーカーからは C/C++ 言語による制御のみ提供が行われており、前述のように、DARUMA によるコンポーネント化が特に有効な例である。その他、BL10XU では、SIGMATECH のフィードバック型ステージコントローラの制御や、ツジ電子の USB 接続型のモーターコントローラ PM2C-01、ミットヨのリニアスケール用カウンター、DMM の ADC7352A など様々な機器の DARUMA 化を進めた。これらの装置を用い、モーターコントローラのパルスに連動する TTL 信号同期の fly by 撮像システムなどが構築されている。この DARUMA 化により、BL のスタッフが LabVIEW などで、短時間で、その場で、ユーザの要望に合うような測定システムをビルドできるようになったと言える。また、PerkinElmer 検出器などのコンポーネントの多くは BL04B2 での開発から水平展開をすることで最小の労力で開発を進めることができています。

10. BL01B1, BL02B1, BL02B2, BL08W, BL09XU, BL10XU, BL35XU 及び BL39XU における冷凍機制御の DARUMA 化

冷凍機 (Cryon-24 Model) をユーザ実験毎に BL01B1, BL02B1, BL02B2, BL08W, BL09XU, BL10XU, BL35XU, BL39XU などの各 BL へ持ち込み、それぞれの BL 独自の制御系 (LabVIEW, Visual BASIC, spec) に組み込むためのシステムの構築に DARUMA を用いた。様々な言語を用いた独自のシステムと短時間で連携させるのは、DARUMA の利用が適切である。このシステムでは冷凍機の DARUMA 制御コンポーネントをまるごと持ち運びしやすいように、専用のマイクロサーバを用いたシステムを構築した (図9)。これにより、BL 側では DARUMA のサーバなどの用意は一切必要なくなり、さらに可搬性が上がることになった。サーバには冷凍機とペアで持ち運びしやすいこと、計測の邪魔にならないファンレスであること、2つの Ethernet I/F があり冷凍機との中継器になること、など様々な理由から、DARUMA のソフトウェアコンポーネントを載せるサーバとして、「サバ太郎」¹³⁾をチョイスした。同様のサバ太郎を用いた DARUMA のサーバ運用は、

BL19B2での運用実績がある。冷凍機と共にこれらの機器を持ち運ぶことで、BL 担当者は、定型の SVOC を Socket で送るだけで冷凍機の制御を行うことができる。このシステムは最初から多くの BL での運用が前提であるが、まだ投入したばかりであるため、現時点では BL08W のみの実績である。

11. その他の BL における DARUMA の適用

BL02B1 において、PerkinElmer 検出器と多軸回折系を連携させる実験のために、DARUMA のコンポーネントを用いた。BL02B1 の主制御系である spec と、PerkinElmer 検出器対応の DARUMA コンポーネント、DARUMA 対応の画像ビューア及びいくつかの画像処理支援ツールを連携させた。使用された PerkinElmer 検出器は XRD0822 及び XRD1621 であり、それぞれ Ethernet-I/F 及び、Opt-I/F+グラバーボードを用いた構成となる。そのため、XRD0822 と XRD1621 は通信のハードウェアレイヤーは大きく異なる。しかし、DARUMA のコンポーネントを用いることでまったく同じ SVOC で制御できるようにしている。

BL40B2 においては、機器制御としての DARUMA コンポーネントではなく、画像の自動解析として DARUMA が用いられている。円環積分の DARUMA コンポーネントを、検出器による撮像がある度に（ファイルの更新がある度に）バックグラウンドで自動的に動かしている。これにより、自動的に円環積分を行い、結果を出力し続ける仕組みを実装している。他にも、DARUMA 関連のソフトウェアとして、様々な画像変換ツールも用意しており、HDF5 から TIFF などの変換など、多種多様の画像周りのツールを充実させている。これらは、ユーザ実験や BL の要望に合わせて随時追加更新を進めている。

12. まとめ

BL におけるデータ収集と制御のために DARUMA の開発を行っている。DARUMA は、SPring-8 の実験計測に分散制御、及び開発スキームを持ち込むことに成功している。メッセージングには MADOCA II を用いている。BL における実験計測のそれぞれの機能は、機器制御マネージャ (EM)、データ収集、画像処理などのソフトウェアコンポーネントに分けられ、これら

は MADOCA のメッセージングコマンドで制御することが可能となる。DARUMA を用いると、測定アプリケーションの迅速な準備とソフトウェアの再利用、BL 間でプログラムの水平展開を容易に促進できる。現時点では、常設でないものを含めれば、BL01B1、BL02B1、BL03XU、BL04B2、BL08W、BL10XU、BL13XU、BL14B2、BL19B2、BL35XU、BL36XU、BL37XU、BL40B2、BL46XU では運用実績が積まれている。DARUMA のドキュメント化及びソースコードの公開体制、共同開発体制は随時進められており (<http://daruma.spring8.or.jp/>)、画像処理の様々なソフトウェアコンポーネントや各種ツールの改善、文書やインストーラーの充実などは BL スタッフやユーザの声と共に進められている。

参考文献

- [1] T. Matsumoto *et al.*: *Proc. ICALEPCS2013, Proc. ICALEPCS2015, Proc. ICALEPCS2017.*
- [2] spec (<https://certif.com/spec.html>)
- [3] LabVIEW (<http://www.ni.com/labview>)
- [4] T. Matsushita *et al.*: *SPring-8/SACLA Info.* **20** (2015) 116-119. (<https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=32203>)
- [5] EPICS (<http://www.aps.anl.gov/epics/>)
- [6] TANGO (<http://www.tango-controls.org/>)
- [7] Y. Furukawa *et al.*: *Proc. ICALEPCS2013.*
- [8] Elasticsearch (<https://www.elastic.co/products/elasticsearch/>)
- [9] tornado (<https://www.tornadoweb.org>)
- [10] MsgPack (<http://msgpack.org/>)
- [11] PyQt (<https://riverbankcomputing.com/>)
- [12] K. Ohara *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **25** (2018) 1627-1633.
- [13] サバ太郎 (<http://www.pinon-pc.co.jp/>)

中田 謙吾 NAKADA Kenjo

(公財) 高輝度光科学研究センター 情報処理推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0980 ext 3536
e-mail : kengo.nakada@spring8.or.jp

松本 崇博 MATSUMOTO Takahiro

(公財) 高輝度光科学研究センター 情報処理推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0980 ext 3270
e-mail : matumot@spring8.or.jp

古川 行人 FURUKAWA Yukito

(公財) 高輝度光科学研究センター 情報処理推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-1026
e-mail : furukawa@spring8.or.jp

平岡 裕治 HIRAOKA Yuji

(公財) 高輝度光科学研究センター 情報処理推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0980 ext 3758
e-mail : hiraokay@spring8.or.jp

松下 智裕 MATSUSHITA Tomohiro

(公財) 高輝度光科学研究センター 情報処理推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0930
e-mail : matusita@spring8.or.jp