

ペタバイトの実験データを運用する

中西 秀 哉

大型ヘリカル装置(LHD)の高温プラズマ計測は、1998年の実験開始からほぼ順調に進展し、当初10内外だった計測機器も、今では80以上に増えています。温度、密度といったプラズマ主要パラメータの時間変化の計測や、プラズマの局所的全体的な「揺れ」を測る揺動計測、プラズマから放射される様々な光の粒(光子)を数える光量子計測など、じつに多彩な計測器が一斉にデータを収集します。最近ではCCDのような半導体撮像素子の発達、普及がめざましく、目に見えない赤外線やエックス線領域の二次元画像を高速・高解像度で収録するカメラも増えてきました。

こうした多様な計測器は、過去12年かけて徐々に拡充されてきました。図1はこれまでの変遷を、実験1回あたりの総データ量で表したものです。このように、計測器全体から収集されるデータ量は10年で約100倍に増え、1回あたり10.6ギガバイト¹に達しています。その一方で、実験は開始当初と変わらず3分毎に1回、一日170回前後とほぼ一定です。つまり、計測器の数で10倍弱、データ量で約100倍になった実験データを、LHDのデータ処理システムは当初と同じ時間内に処理している訳です。当然これには大幅な性能向上が必要です。

LHDには物理研究と大型プロジェクトの両

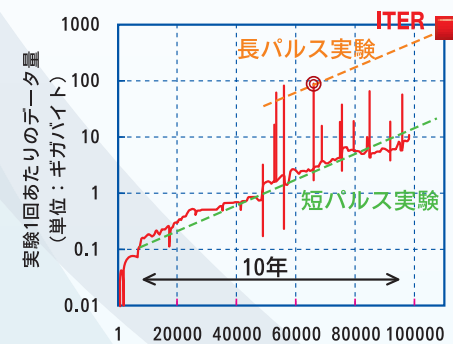


図1 LHDで収集された実験1回あたりの計測データ量の変遷のようす。赤丸印が90ギガバイトの世界記録達成を示しています。

側面があり、そのデータ処理システムには柔軟性と信頼性が同時に求められます。10年で100倍は、毎年5割以上のデータ増が続くことを意味します。5年先、10年先を見据えた先進性と絶え間ない性能改善が、システムの研究開発に求められます。

LHDデータ処理システムは、計測器が生成した「生」データを収集、運用するLABCOMシステムと、それをプラズマの各種状態量に変換したものを取り扱う解析サーバシステムの2つで構成され、それぞれデータ利用の効率化をめざした研究開発を行っています。システムの概要は、既に「LHD計測データ処理」²の記事で報告されていますので、以下では最近の研究動向と成果についてご紹介します。

1. 定常実験を支える広帯域リアルタイムデータ処理

核融合実験では、数秒間に集中して高温・高密度プラズマの生成をめざす「短パルス」放電が大半を占めますが、超伝導磁場コイルを用いたLHDでは、長時間プラズマを保持する「定常長パルス実験」が可能で、2004年から本格的なプラズマ定常・長パルス実験が始まり、2006年には1時間を超える維持にも成功しています。

短パルス実験では、計測データを放電後に一括処理すれば十分でしたが、定常実験では、データをその場その場で次々処理するリアルタイム(実時間)処理が必要です。長時間にわたり～数メガヘルツの速い高温プラズマ揺動を観測しつづけるには、膨大なデータ量を扱わなければならない、当時の核融合実験では前例のない未踏領域でした。

LHDの高速リアルタイム収集系開発では、定常実験本格化の数年前から1計測あたり毎秒100メガバイトの処理を実現すべく研究に着手、毎秒70 → 80 → 110 → 160メガバイトと性能を

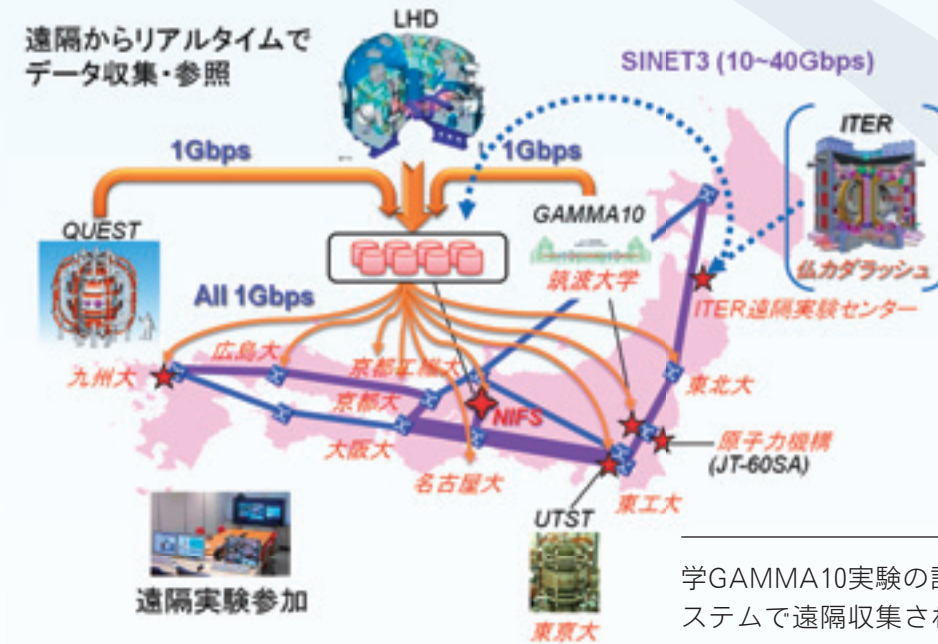


図2 現在の「核融合バーチャルラボラトリ」システム。分散する核融合研LHD、九州大学QUEST、筑波大学GAMMA10の各実験データを一元管理し、高速ネットワークを通して全国の共同研究拠点に等しく高速データアクセスを提供するほか、データ運用負荷の合理化も図れます。

伸ばした結果、現在は核融合分野で世界最速となっています。2006年には、核融合実験1回のデータ収集量90ギガバイトで世界記録も樹立しています。図1のとおり、世界最速のLHDシステムは、次世代の国際熱核融合実験炉ITERのデータ量を既にとらえつつあり、プロトタイプ的役割が大いに期待されています。

2. 核融合バーチャルラボラトリ(FVL)による遠隔実験の促進

核融合研究のような大規模実験、いわゆるビッグサイエンスでは、「遠隔実験」は次世代の研究環境にならざるを得ない技術と目されています。実験装置の少数・大型化、いわゆる「選択と集中」によって、遠隔地にある大型装置を用いる共同研究へのシフトが生じるため、今まで以上にアクセス性を良くする必要がある訳です。

他方、最大40ギガビット³/秒の通信帯域をもつ国立情報学研究所の学術情報ネットワークSINETでは、共同研究向けに仮想の閉域網を構成し各分野に提供しています。核融合分野の共同研究向け閉域網はSINETと呼ばれています。核融合バーチャルラボラトリ構築プロジェクトは、SINET上にLHDの大規模分散型データ処理システムを拡張し、他装置の実験データも共有する新たな試みとして2008年に本格始動しました。図2はその概念図で、LHDと九州大学QUEST実験、それに2009年より参加した筑波大

学GAMMA10実験の計測データがLABCOMシステムで遠隔収集され一元的に格納、SINETを経由して全国の共同研究拠点にリアルタイムに再配布されます。SINETの安全性を活かした計測器の遠隔制御や、実験の様子を実況中継するリアルタイムビデオ配信、実験内容・計画を相談するTV会議システムも併せて整備されています。

3. 統合データプラットフォーム構想と今後の展望

コンピュータ分野では、多数のパソコンでグループ処理を実現する「クラウド・コンピューティング」技術が注目を集めています。LHDデータ収集システムでは、80計測を並行処理する収集コンピュータ群、収集データの保存装置(ストレージ)群ともに冗長分散構成すなわち「クラウド」方式を採用することで、高速サンプリング化、長時間化、多チャンネル化、多計測化、そしてバーチャルラボラトリによる多装置化を実現しました。

今後は、理論モデル計算、数値シミュレーション、実験という核融合研究のデータ三本柱が全て扱える「マルチソース対応」が課題となります。並行して、新プラズマシミュレータをベースに数値試験炉⁴の構築プロジェクトも進められており、近い将来、統合データプラットフォームが実現、核融合研究の効率が飛躍的に向上することが期待されています。

(高温プラズマ物理研究系 准教授)

¹ 1ギガバイトは10⁹(10億)バイト。バイトはデータ量の単位で英数字1文字に相当。
² 核融合科学研究所ニュースNo.108 (1999年12月号)
³ ビットは情報量の最小単位で8ビット=1バイト。
⁴ 核融合科学研究所ニュースNo.187 (2009年4,5月号)