

ネットワークを介した計測制御システムの開発 ～ 解離粒子測定 ～

(環境計測) 宗田隆宏

1 はじめに

現在、本研究室のデータ計測システムのコンピュータのオペレーティングシステム (OS) には MS-DOS が採用されている。MS-DOS はシングルタスクの OS であるので、この OS 上で動作する計測アプリケーションは、OS や他のプログラムからの割り込みの影響を受けることなく、計測だけを実行することが可能である。そのため、高速性が要求される計測用コンピュータの OS として MS-DOS は現在でもよく利用されている。一方、MS-DOS 自体の開発は既に終了されているために、制御インターフェイスを含めた最新の測定機器を MS-DOS 上で利用することは難しい。また、現在では一般に用いられているネットワークの利用が、MS-DOS では OS 側でサポートされていないため、MS-DOS を用いた計測システムでは、

- 複数のデータを同時に計測する場合、その計測のために複数のコンピュータを個別に操作しなければならない
- FD や MO などの外部ディスクを用いるか、RS232C 等の低速の通信手段によってでしか取得されたデータを移動できないため、複数データのオンライン解析が難しい

などの計測上の困難が生じる。そこで、本研究の目的は、OS に Linux を用い、複数データの同時計測とオンライン解析を 1 台のコンピュータからの遠隔操作で可能にするシステムを開発することとした。Linux を用いることには、

- ネットワークを用いたさまざまなサービスの利用が OS 側でサポートされている
- すべてのプログラムソースが入手可能であるため、計測システム用に OS を独自に改良したり、独自に計測制御機器用のドライバを開発することができる
- 開発環境を含め大部分がフリーである

などのネットワークを用いた計測システムを開発する上での大きな利点があるためである。

2 計測システムの概要

図 1 に開発したシステムの概要を示す。Linux のネットワーク機能を利用することで、制御コンピュータから各測定コンピュータを遠隔から集中制御すること、および制御コンピュータ上でのオンラインデータ解析を可能にしている。

制御コンピュータによるグラフィカルユーザインターフェイス (GUI) を用いた測定コンピュータの集中制御のために X Window System(X) を利用した。X は、画面にどのような線や点を描いたりするかを命令する X クライアントと、デバイスを制御し命令されたことを実際の画面に表示する X サーバの 2 つからなっている。X クライアントと X サーバは同一コンピュータで動作する必要がなく、TCP/IP を使っ

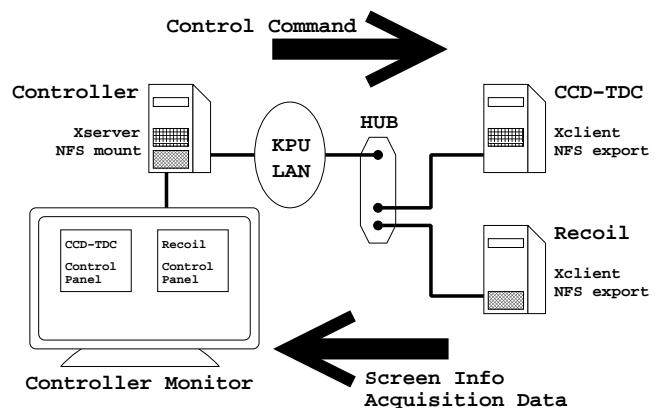


図 1: 各コンピュータの仕事概要図

てお互いに通信することができる。この機能を利用し、各測定コンピュータを X クライアント、制御コンピュータを X サーバとすることで X サーバ上の GUI ウィンドウによる測定コンピュータの遠隔制御を可能にした。また、1 つの X サーバには複数の X クライアントが接続できるため、制御コンピュータからすべての測定コンピュータを同時に、集中的に制御できるようにした。

複数データのオンライン解析を実現するために、Network File System(NFS) を用いた。NFS は、ネットワークで繋がれた他のコンピュータのディスクをあたかも自分のディスクのように利用することを可能にするものである。NFS によって各測定コンピュータのディスクを制御コンピュータにマウントし、データ解析を制御コンピュータで行わせた。これにより、各測定コンピュータに測定以外の過度の負担をかけることなしに、複数データのオンライン解析をすることが可能となった。

3 開発概要

3.1 分子解離粒子測定

今回この計測システムを、本研究室で行われている分子解離粒子測定実験に適用した。この実験は、検出器上での解離粒子間距離と分子が解離してから検出器に到達するまでの時間差を測定することで分子解離のダイナミクスを解明するためのものである。実験装置の概略を図 2 に示す。粒子間距離を測定するために CCD カメラ (CCD) を、時間差を測定するためにフォトマルチプライヤー (フォトマル) と CAMAC 規格モジュールの Time to Digital Converter(TDC) を用いている。フォトマルは光を検出すると信号を発生する装置で、今回は縦 16 mm 横 1mm のアノードを横に 16 本並べたマルチアノードフォトマルを用い、2 つ以上の粒子の時間差を測定できるようにしている。また同時に反跳標的イオンの電荷数を決定するために反跳イオンの飛行時間を測定した。測定するために Time to Amplitude Converter(TAC) と Analog to Digital Converter(ADC) を用いている。この測定に今回の計測システムを適用することで、上に述べた 3 つのデータを同時に取得し、オンラインでデータを解析、モニターすることを可能にした。

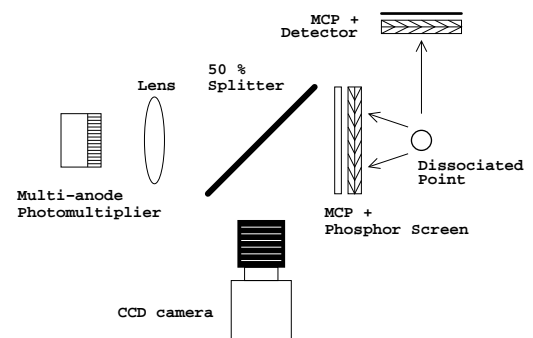


図 2: 測定装置配置図

3.2 測定プログラム

3.1で述べた 3 つのデータを同時計測するために、2 台の測定コンピュータを用意した (図 1)。一方のコンピュータ (CCD-TDC) で CCD および TDC からの信号を記録し、他方のコンピュータ (Recoil) で TAC からの信号を記録する。

CCD から転送されてくる画像データの容量を圧縮しハードディスクへの保存時間を短縮するために、ノイズレベル以上のデータのみを保存するプログラムを作成した。これは、CCD から転送されてきたすべての画素データ 1 つ 1 つについて、ノイズレベルよりも光強度データが上回っているかどうかを判断し、上回った場合にのみ、後でデータが復元できるようにデータの座標値と、判断フラグを付けて保存するプログラムである。このプログラムにより、20 枚/sec の最大画像取り込み速度が達成できた。

マルチアノードフォトマルの 16 本のアノードからの信号は、それぞれ TDC の 16 個のレジスタに時間データとし

て蓄積される．このすべてのレジスタのデータをハードディスクに保存する．TDC の処理が CCD の処理に比べて非常に高速であることを利用して，各データの取り込み性能を低下させることなく CCD と TDC からのデータを 1 台のコンピュータ (CCD-TDC) で同期保存処理させることを可能にした．この同期処理によって，CCD データを保存したときには，必ず対応する TDC データが保存されているのでプログラムの実行タイミングによるデータのずれが起きる心配がなくなり，データの信頼性が増した．

TAC からの反跳イオンのアナログ飛行時間信号を ADC でデジタル信号に変換し，測定コンピュータ (Recoil) でこのデータをハードディスクに保存した．反跳イオンの飛行時間は，他の 2 つと信号同期が難しいので，TAC からの時間信号の保存は別のコンピュータで行うようにした．

3.3 解析プログラム

解析プログラムは，重心導出プログラム，画像変換プログラム，計算プログラムの 3 プログラムから構成されている．重心導出プログラムの出力を用いて，画像変換・計算の各プログラムを実行する．また，それぞれのプログラムを制御コンピュータ上で実行させることで，データのオンライン解析を可能にしている．

重心導出プログラムは，CCD カメラの出力画像データから粒子像を探し出し，粒子像の数，粒子像の重心座標を出力するプログラムである．粒子像はいくつもの光点の集まりで，光点の集まりを 1 つの粒子像と認識する必要がある．各ページを Y 座標の小さい方向から確認していくことで，粒子像の一番 (左) 上の光点を見つけることができる．この点から，経験的に得た粒子像範囲 (X 方向に ± 10 ， Y 方向に $+15$) に含まれる光点を 1 つの粒子像とみなす方法をとった．図 3 に粒子像範囲の例を示す．

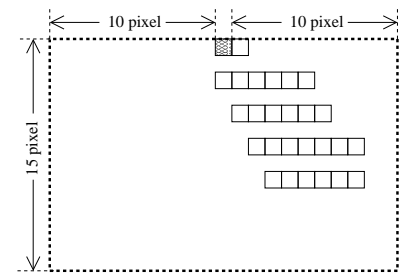


図 3: 粒子像範囲の例

画像変換プログラムは，重心導出プログラムの出力を元に必要な粒子像数のみを含む像を重ね合わせ，分子解離の傾向を目で確認するための画像を出力するプログラムである．計算の過程上 1 度に処理できるデータ数が 250 程度なので，データを 250 を越えないように等分割し，それぞれのデータで前処理を行い，再度その結果を元に最終処理を行い 1 枚の画像を作成した．出力画像フォーマットは Bitmap とした．理由は圧縮処理が必要ないことと，バイナリデータを見て実際のデータとの対応付けが容易にできるためである．

計算プログラムは，重心導出プログラムの出力， TDC の出力， TAC の出力を元に粒子像を 2 つのみ含むデータから，2 原子分子の分子軸と入射方向の間の角度 θ ，解離エネルギー ε を計算し導出するプログラムである．2 原子の各質量を， m_1 m_2 ，2 原子分子の入射速度を v_0 ，検出器上での解離粒子間距離を D ，分子の解離地点から検出器までの距離を L ，分子が解離してから検出器に到達するまでの飛行時間差を ΔT ，とすると計算に必要な式は，式 (1)(2) のようになる．

$$\tan\theta \cong \pm \frac{D}{\Delta T v_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon \cong \frac{v_0^2}{2L^2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \{D^2 + (\Delta T v_0)^2\} \quad (2)$$

3.4 各プログラムの GUI フロントエンド

制御プログラムと解析プログラムは C 言語を用いて作成されているため、実際に使用する際には、コマンドを用いて実行する必要がある。ただし、コマンドでしか実行できないと実行時のコマンドミスにより正しく動作しない場合がある。それを防ぐために、最低限の実験条件入力以外はマウスなどによって実行できるような GUI フロントエンドを Ruby/GTK を用いて作成した。これにより制御コンピュータ上では、CCD-TDC 取り込み制御ウィンドウ、Recoil 取り込み制御ウィンドウ、データ解析ウィンドウ、の 3 つの GUI ウィンドウを操作するだけで全ての測定および解析が可能となった。図 4 に、各 GUI ウィンドウのスクリーンショットを載せる。ボタン動作で、動的なドライバの組込み、保存ファイル名やプログラム実行パラメータ設定などが可能である。

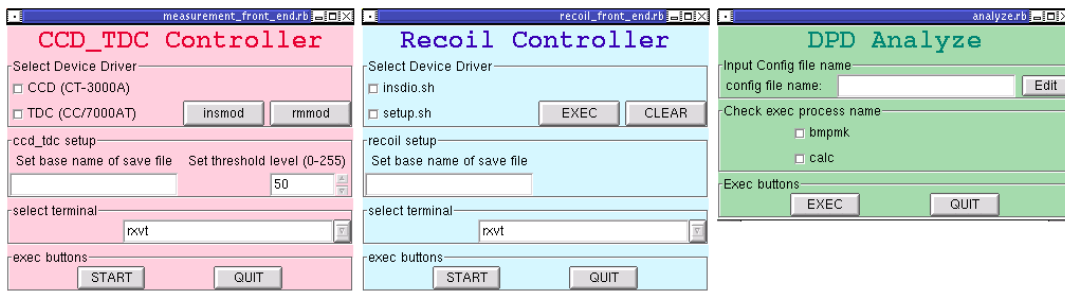


図 4: GUI ウィンドウスクリーンショット

4 システム評価テストおよび結果

開発したシステムが正しく機能するか、その性能評価テストを行った。今回の実験に置いて、入射イオンには H_2^+ を 20 kV で加速したものをを用いた。図 5、図 6 に重心導出プログラムと画像変換プログラムを用いて出力した結果を載せる。10,000 データを解析し、1 データに重心を 1 つまたは 2 つのみ含むデータを取り出し、各データ像を重ね合わせたものである。図 5 は 1 粒子のみが含まれる像で、中心付近に非常に像が集中していることが読み取れる。図 6 は 2 粒子のみが含まれる像で、中心とその回りに像が広く分布していることが読み取れる。この画像から分子解離の位置傾向が読み取れる。

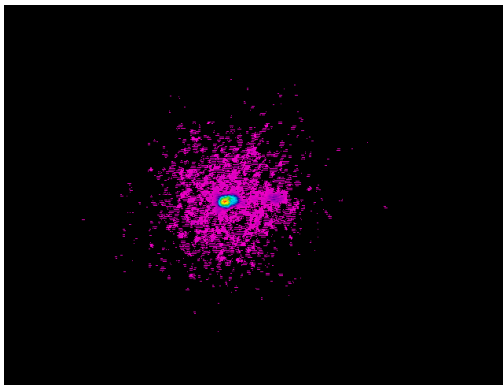


図 5: 画像変換プログラムによる 1 粒子出力

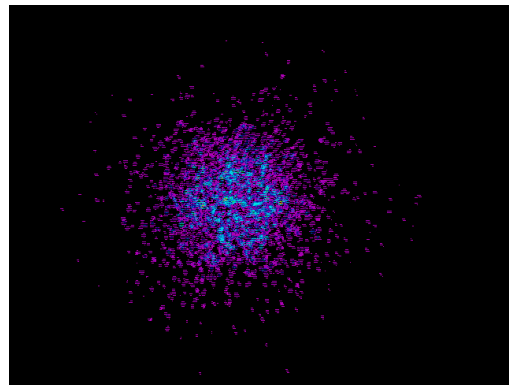


図 6: 画像変換プログラムによる 2 粒子出力