

ピコ秒・サブピコ秒パルスラジオリシスシステムの制御・測定ソフトウェアの開発

佐伯 昭紀¹、総田 浩司、古澤 孝弘、吉田 陽一、田川 精一

大阪大学産業科学研究所

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

概要

ピコ秒およびサブピコ秒パルスラジオリシスシステムの制御および測定を行うソフトウェアを開発した。ソフトウェアは拡張性、安定性、モジュール化を考慮した設計になっている。このソフトウェアを使って、測定を行い、正常に作動していることを確認した。

1. はじめに

阪大産研では、放射線化学初期過程の研究のため、フェムト秒時間領域での測定が可能なパルスラジオリシスシステムを開発している。パルスラジオリシスとは、パルス状の放射線を試料に入射させ、同時に入射させた分析光の吸収や試料からの発光などを測定することにより、放射線によって生成された中間活性種の挙動を測定する方法である。これまでに、世界中の研究機関で、測定システムの開発およびそれを生かした研究が多くなされてきた^[1-8]。阪大産研では、フェムト秒レーザーを電子線加速器に同期したシステムを開発し^[9-10]、システムの最高時間分解能 0.8 ps を達成した。さらに SN 比を約 1 桁向上させる方法を組み込むことで^[11]、非常に有用なシステムになりつつある。

このシステムの制御および実際の測定には、専用のソフトウェアが必要であり、システムの開発と平行して製作を行ってきた。従来はピコ秒とサブピコ秒の実験は異なるビームポートで行っていたが、今年度、レーザー用のクリーンルームを設置して、トリガー系の再構成を行い、測定場所を共通にした^[12]。これに伴い、いくつかの測定機器を追加し、また、光学系のアライメント等を容易にするため、ソフトウェアを改良した。

2. ソフトウェアの構成

制御・測定ソフトウェアに求められる特性のいくつかを次に挙げる。

- 今後も測定機器等の追加、削除、変更があると予想されるので、そのような場合に対して容易に対応できる。
- リアルタイムでデータの表示、解析を行うことができる。

- 測定者が容易に使用できるように、マンマシンインターフェースを充実させる。
- 誤ったコマンドを実行することや予期せぬエラーが出たときにデータが失われないように、フェールセーフの機能を組み込む。
- 測定時間をできるだけ短縮する。

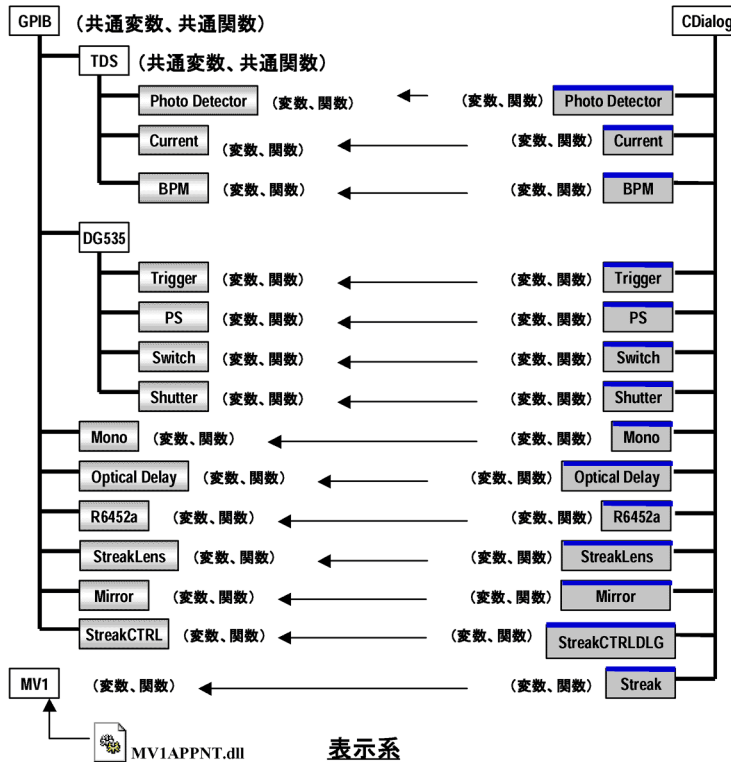
特性(a)に対応して、測定機器が共通の種類である場合や、同じ機能を提供する場合、共通の部分をモジュール化することで、同じコードを重複して記述することはなくなる。また、同じ機能を他の測定機器の機種で置き換える場合には、モジュール化を行っていれば、コマンドの中身だけを書き換えるだけで、他のモジュール及び測定用のコードにまったく手を入れることなく機器の変更に対応できる。このモジュール化を実現するのが、C++でのクラスとその継承の機能である。クラス概念は、測定機器のコマンド体系におけるモジュール化だけでなく、測定、表示、データ加工などにも適用できる。

図 1 に、本ソフトウェアで設計したクラスを示す。クラスは、大きく分けて、デバイス系・測定系・表示系・初期化系・デフォルトの 5 つがある。デフォルトのクラスはソフト作成時に自動的に作られるクラスであり、アプリケーションとしての機能を提供しており、必要に応じて追加記述を行う。図 1 において実線で囲ってあるのがクラスであり、各々のクラスの継承関係及びアクセスパスを示している。実線で囲っていないものはクラスのメンバ変数とメンバ関数のうち、特に重要な変数と関数を抜き出したものである。測定プログラムの記述は、測定ダイアログ (MeasXXX) 内にあるメンバ関数中に記述する。測定モードは、ピコ秒基本波用 (PICOF)、サブピコ秒白色用 (SPICOW) などがあり、初期化ダイアログを呼び出して、関数を実行することで、それぞれに対応した初期化コマンドを自動的に実行する。実際の測定の流れとしては、最小で初期化、測定開始、保存の 3 つのボタンを押すだけで行われ、大部分の処理は自動的に行われる。

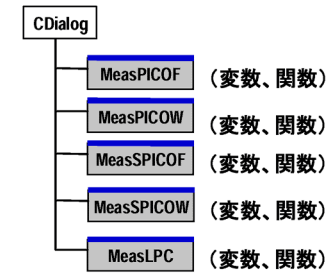
デバイス系のクラスは、外部変数 (extern) で宣言されているので、他のクラスから必要に応じてアクセスすることができる。したがって、測定モードが異なる時も、デバイス系のあるクラスの機能を容易に利用することができる。このような設計のもと、作成されたソフトウェアのインターフェースの一部を図 2 に示す。

¹ E-mail: saeki03@sanken.osaka-u.ac.jp

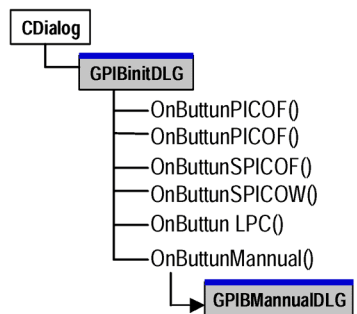
デバイス系



測定系



初期化系



表示系

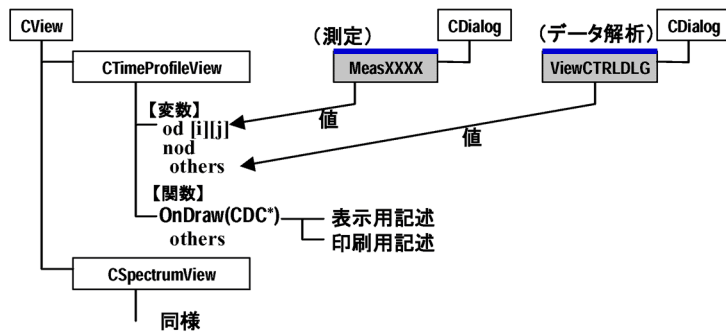


図 1 : ピコ秒・サブピコ秒パルスラジオリシス用制御・測定ソフトウェアのクラス構成

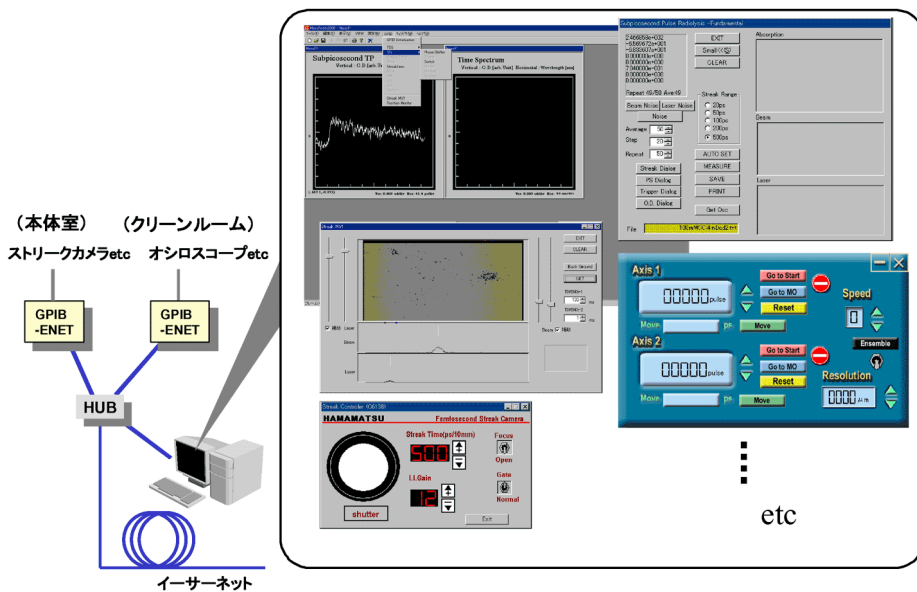


図 2 : ソフトウェアの GUI および制御機器への接続状況

3. 実験結果

図3に本ソフトウェアを導入したサブピコ秒パルスラジオリシスシステムによって測定された、790 nm におけるn-ドデカン中でのカチオンラジカルの時間挙動を示す。

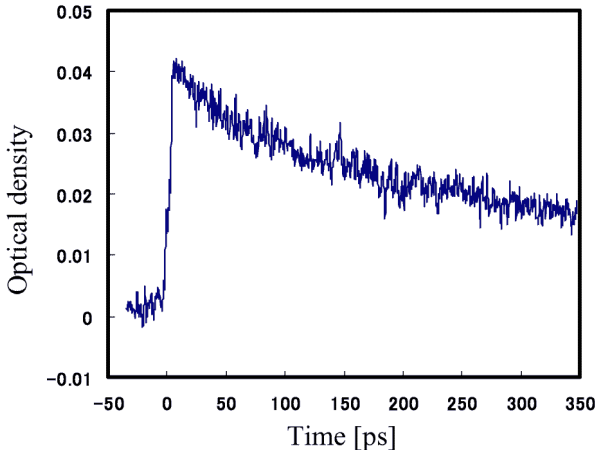
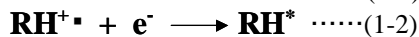
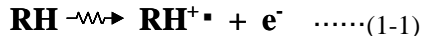


図3：本ソフトウェアを用いて測定されたn-ドデカン中のカチオンラジカルの時間挙動（790 nm）

低 LET の放射線が液体溶媒中に入射すると、その軌道と二次電子の軌道に沿ったスパーと呼ばれる領域で、イオン化によってカチオンラジカル (RH^{•+}) と電子 (e⁻) が生成される(式 (1-1))。



イオン化の後、電子は周りの溶媒分子と相互作用することによって、その運動エネルギーを失い、やがてフェムト秒の時間スケールで熱平衡化すると考えられている。その後、電子（カチオンラジカル）は拡散とクーロン力によって移動する。液体アルカンのように比誘電率が小さい溶媒中では、クーロン力が長距離まで及ぶので、電子は時間の経過とともに、大部分が親カチオンと再結合反応する。この反応はジェミネートイオン再結合（式(1-2)）と呼ばれ、放射線化学初期過程として重要な反応の一つである。図3は、ジェミネートイオン再結合によって、カチオンラジカルが減少していく様子を示している。

4. 今後の展開

今回開発したソフトウェアは、測定用の PC 上でのみ作動させている。また、測定データもこの PC に保存し、データ解析は Excel 等の表計算ソフトや専用開発したソフトを使って行っている。したがって、測定後のデータ管理は、各々の測定者自身にゆだねられており、データを共有することや、以前のデー

タの SN 比や吸収強度を比較することはあまり行われてこなかった。このことを解決するために、測定ソフトウェアにデータベース機能を組み込み、測定、データ解析、データの共有化を総合的に行うことのできるプラットフォームを開発することを考えている。このシステムに求められる特性として、

- ① 端末の種類、場所を選ばない。
- ② セットアップ中の全構成機器にアクセスし、状態の診断を行うことができる。
- ③ マルチスレッドの採用によって測定作業と高度な解析作業の並列処理を行う。
- ④ データベースにより測定データの共有化を行い、研究の効率化を計る。

ことなどが考えられる。以上のことをシステムに組み込むと、現在のシステムよりも処理及びコーディングがさらに複雑になることが予想されるので、各々のスレッドやデータ伝送にデッドロックが生じないように、スケジューリングや同期を行う必要がある。また、今回のソフトウェアと同様に、測定機器の追加、削除、変更に対応できる設計にし、測定ごとのセットアップや初期化を容易にできるようにしなければならない。

参考文献

- [1] Jonah C.D, Radiat. Phys. Chem. 21(1983) 53.
- [2] Y.Yoshida, S.Tagawa, M.Washio, H.Kobayashi and Y.Tabata. Radiat. Phys. Chem. 34 (1989) 493
- [3] S.Tagawa, Radiat. Phys. Chem. 21 (1983) 45
- [4] Y.Katsumura, Y.Tabata and S.Tagawa, Radiat. Phys. Chem. 19 (1982) 267
- [5] Y.Yoshida et al., Radiat. Phys. Chem. 60 (2001) 313
- [6] A.Saeki et al., Radiat. Phys. Chem. 60 (2001) 319
- [7] K.Okamoto et al., Radiat. Phys. Chem. 60 (2001) 417
- [8] S.Tagawa, Radiat. Phys. Chem. 21 (1983) 45
- [9] Kozawa T., Mizutani Y., Yokoyama K., Okuda S., Yoshida Y. and Tagawa S. Nucl. Instrum. Meth. A429 (1999) 471.
- [10] Kozawa T., Mizutani Y., Miki M., Yamamoto T., Suemine S., Yoshida Y. and Tagawa S. Nucl. Instrum. Meth. A440 (2000) 251.
- [11] T.Kozawa, et al., “リニアック技術研究会論文投稿要領” Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2001
- [12] K.Kaseda, et al., “リニアック技術研究会論文投稿要領” Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2001