

フェムト秒プラズマX線光源：設計と試作準備

竹内佐年、田原太平

田原分子分光研究室、理研

基本分子が起こす光化学反応だけでなく、機能性物質の光誘起相転移、光受容タンパク質の機能発現など、光照射によって引き起こされる過渡現象の解明は、分子科学、物質科学、生物科学などの広範な分野に共通する重要課題である。これらの現象は、分子レベルでみれば反応分子から生成分子への変化であり、さらに詳しくみれば分子の中の核が動き、化学結合の開裂、生成などが起った結果であるといえる。したがって、光照射後の分子の構造変化を、核運動の時間スケールであるフェムト秒オーダーで観測し追跡することは、光誘起現象の究極の理解につながると期待される。これまで超高速時間領域における分子構造の研究はおもに時間分解振動分光により行われてきた。特にここ数年間で、フェムト秒スケールでの構造変化をラマンスペクトルの変化として観測できるようになり[1, 2]、反応途中の分子の連続的な構造変化の追跡も実現された[3]。しかし多くの場合、ラマンスペクトルから分子構造を直接的に導き出すことは容易ではない。

このような背景のもと、“分子の瞬時構造のスナップショットを原子位置分解能で撮る”、という観点から、(硬)X線領域における超短パルス光の発生とそれを用いた回折、吸収、発光の実験が興味を集めている。特に放射光施設のX線光源は高輝度性に優れ、レーザー光源との同期により 100 ps 程度の時間分解能での回折像の取得が報告されている[4]。また特殊なゲート法により時間分解能をフェムト秒領域まで高める努力が行われている[5]。最近では、超短パルス性をも兼ね備えたX線自由電子レーザーの発振が報告され、レーザーとの精密な同期の問題が解決されれば、フェムト秒X線実験の有望な光源として期待されている。

一方、実験室スケールでのフェムト秒X線光源の1つとして、高強度フェムト秒パルス光を金属ターゲットに照射して発生させるプラズマX線源の開発、研究も行われている[6]。ターゲットの劣化やそこから発生するいわゆるデブリの問題など、実験上の課題はあるが、レーザー光との完全な同期が可能である点は時間分解測定に適しているといえる。そこでわれわれは、フェムト秒領域でのX線回折、発光の実験を目標として、高強度 kHz レーザーをベースにしたプラズマX線光源の開発を進めている。まだ組み立て前の段階であるが、試作機の概要と準備段階について報告する。

試作機の全体構成の模式図を図1に示す。使用するレーザー光源はフェムト秒チタンサファイア再生増幅器の出

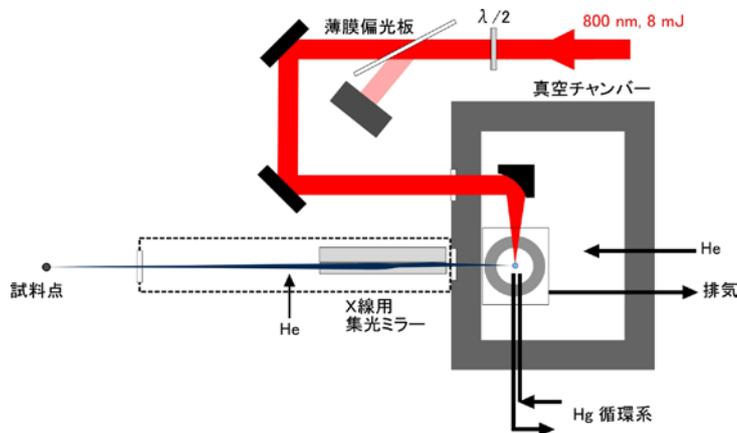


図1 プラズマX線発生装置の模式図

力光（800 nm, 8 mJ, 75 fs, 1 kHz）であり、それを半波長板と薄膜偏光板の組み合わせにより減光した後にX線発生用チャンバーに導入する。チャンバー内において、放物面鏡（ $f = 76.2$ mm）によりレーザー光を集光し、この集光位置にターゲットとしてガラスノズルから水銀を噴出させる。水銀はX線発生に適した重金属の1つであり、かつ、液体であるため循環が可能である[7]。このため、従来の金属筒や金属薄膜テープを回転する方式に比べて長時間の連続運転が可能であると期待される。この試作機では、レーザー集光部に生じるプラズマから放出される水銀の $L\alpha$ 特性発光線（9.99 keV）を利用する予定である。なお、水銀ジェット部は厚さ 5 mm の硬鉛性円筒容器に納め、ステンレス製チャンバーの内壁にも厚さ 5 mm の鉛を貼り、さらに、チャンバー周辺の光学定盤上に鉛製のハッチを設けている（図2）。発生したX線は Be 窓を通してチャンバー外部に取り出され、楕円面形状をもつ多層膜ミラー対により 5 倍の拡大比で集光される。これにより、プラズマ点から放出されるX線のうち約 1.6° の立体角に放出される部分を試料点に集光することができる。



図2 光学定盤に設置したプラズマX線発生用チャンバーと鉛ハッチ

参考文献

- [1] S. Fujiyoshi, S. Takeuchi, T. Tahara, *J. Phys. Chem. A* **107**, 494 (2003).
- [2] P. Kukura, D. W. McCamant, R. A. Mathies, *Annu. Rev. Phys. Chem.* **58**, 461 (2007).
- [3] S. Takeuchi, S. Ruhman, T. Tsuneda, M. Chiba, T. Taketsugu, T. Tahara, *Science* **322**, 1073 (2008).
- [4] F. Schotte, M. Lim, T. A. Jackson, A. V. Smirnov, J. Soman, J. S. Olson, G. N. Phillips Jr., M. Wulff, P. A. Anfinrud, *Science* **300**, 1944 (2003).
- [5] R. W. Schoenlein, S. Chattopadhyay, H. H. W. Chong, T. E. Glover, P. A. Heimann, C. V. Shank, A. A. Zholents, M. S. Zolotarev, *Science* **287**, 2237 (2000).
- [6] M. Bargheer, N. Zhavoronkov, Y. Gritsai, J. C. Woo, D. S. Kim, M. Woerner, T. Elsaesser, *Science* **306**, 1771 (2004).
- [7] C. Reich, C. M. Laperle, X. Li, B. Ahr, F. Benesch, C. G. Rose-Petruck, *Opt. Lett.* **32**, 427 (2007).