

## 1P054

レーザープラズマ誘起 X 線によるピコ秒時間分解軟 X 線吸収分光の検討  
(東北大院・理<sup>1</sup>、東北大学・理<sup>2</sup>) 五月女光<sup>1</sup>, ○深井隆達<sup>2</sup>, 梶本真司<sup>1</sup>, 福村裕史<sup>1</sup>

### Toward picosecond time-resolved soft X-ray absorption spectroscopy using laser plasma-induced X-ray

(Tohoku Univ.<sup>1</sup>) Hikaru SOTOME<sup>1</sup>, ○Takamichi FUKAI<sup>1</sup>, Shinji KAJIMOTO<sup>1</sup>, Hiroshi FUKUMURA<sup>1</sup>

【序】X 線吸収分光は分子の電子状態やその周囲の結合様式を元素選択的に調べることができる手法である。特に 1 keV 以下の軟 X 線領域は、生物学的に重要な炭素、窒素、酸素といった軽元素の K 吸収端や遷移金属の L 吸収端が現れる重要な領域である。パルス X 線を用いた時間分解 X 線吸収分光をこの軟 X 線領域に適用すれば、光化学反応の途中にある分子の電子状態、そしてその時間発展を逐次観察することが可能となる。この種の時間分解測定は放射光施設で行われているが、その時間分解能は現状 100 ps 程度に留まっている。放射光 X 線以外のパルス X 線源として、高強度レーザー光を用い形成したプラズマから放射されるレーザープラズマ誘起 X 線が挙げられる。これまで我々はこの X 線源を使い硬 X 線領域で時間分解測定を展開してきたが[1]、今回検出範囲を軟 X 線領域に拡張し時間分解軟 X 線吸収分光の可能性を検討した。レーザープラズマ誘起 X 線を光源とすることができれば、時間分解能がピコ秒程度に縮まると期待できる。また、硬 X 線領域に比べ物質との吸収断面積が大きいことも軟 X 線領域で実験を行う上で大きな利点である。本発表では、ピコ秒時間分解軟 X 線吸収分光に向けて軟 X 線領域の発光に特化したレーザープラズマ誘起 X 線源の開発と、それを用い測定した定常吸収スペクトルについて報告する。

【実験】図 1 に軟 X 線吸収スペクトル測定のための実験配置を示す。Ti : Sapphire 再生増幅器 (800 nm, 150 fs, 0.8 mJ, 2.5 kHz) の基本波を対物レンズ (Mitsutoyo, M Plan Apo, 20x) を用い、チタン製ノズルから吐出させた水膜表面に集光照射することによりレーザープラズマを生成し X 線を発生させた。これまでの我々の研究から、水や電解質水溶液をターゲットとした X 線発生では、X 線を発生させるパルスより先行して微弱なプレパルスを照射することで X 線強度が増強されることが明らかになっている[2]。

そこで軟 X 線発生の条件として、単一パルス (0.3 mJ) を用いるシングルパルス条件と、発生強度が最大となる 4 ns の遅延をつけたプレパルス (0.06 mJ) とメインパルス (0.3 mJ) を用いるダブルパルス条件の 2 つを検討した。レーザープラズマより等方的に発生する X 線の一部を半導体検出器 (Amptek, X123-SDD) に導きそのスペクトルを取得した。吸収スペクトル測定では、X 線の光路中に薄膜試料を挿入しその透過 X 線のスペクトルを測定した。この際、空気による軟 X 線の吸収を低減するため、X 線の光路をヘリウムガスで満たした。

軟 X 線吸収分光用の試料としてポリビニルアルコール (PVA) 薄膜を用いた。6 mm 径の穴の空

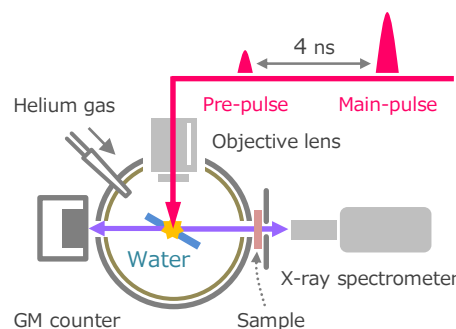


図 1. 軟 X 線吸収スペクトル測定のための実験配置

いたポリエチレンテレフタレートフィルムに 1wt%PVA 水溶液を滴下し穴を覆うように膜を作りそのまま減圧乾燥することにより、表面に支持体のない PVA 薄膜を作製した。光干渉測定からこの PVA 薄膜は厚さ 1-2  $\mu\text{m}$  程度であることが確認された。また、吸収端を観測するための試料として、塩化ナトリウムを分散させた PVA 水溶液を用い、同様の方法で薄膜試料を作製した。

【結果と考察】まず軟 X 線領域の吸収スペクトルを測定するにあたり、低エネルギーの軟 X 線が発生するような X 線の発生条件を求めた。図 2 に異なる条件下で発生させた X 線発光スペクトルを示す。発光スペクトルの高エネルギー側の指数関数的な傾きはレーザープラズマ中の電子温度のボルツマン分布を反映したものであり、ダブルパルス条件の方がシングルパルス条件より電子温度が高いことが分かる。低エネルギー側に対しこの分布を外挿すると、3 keV 以下の軟 X 線領域ではシングルパルス条件の方が発生強度は高いと予想される。この結果は、総フォトン数はダブルパルス条件の方が高いが、軟 X 線領域に限って言えば電子温度の高いダブルパルス条件よりむしろ電子温度を低く抑えたシングルパルス条件の方が有利であることを意味している。

次にシングルパルス条件下で発生させた X 線を使い、PVA 薄膜中に分散させた塩化ナトリウムの透過率スペクトルを測定した。図 3 に試料有りとなしの透過 X 線のスペクトル及びこれらから導出した透過率スペクトルを示す。試料無しのスペクトルでは 1 keV の低エネルギーまで X 線が発生していることが確認できる。一方、試料有りのスペクトルには 2.8 keV 付近に Cl の K 吸収端が観測された。また、透過率スペクトルは、計算値[3]とよく一致し正しくスペクトルが測定できていることが分かる。現段階ではベリリウム窓のある半導体検出器を用いたスペクトル測定であるため、測定範囲は 1 keV まで、エネルギー分解能は 140 eV 程度に限られているが、今後真空チャンバー内に設置した不等間隔回折格子[4]を用いて数 eV の分解能でスペクトルを取得する予定である。

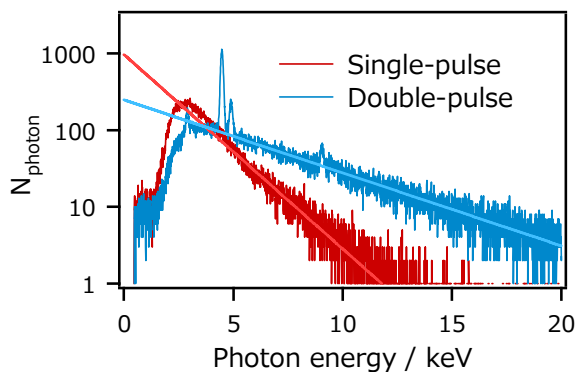


図 2. 水をターゲットとして発生させたレーザープラズマ誘起 X 線の発光スペクトル

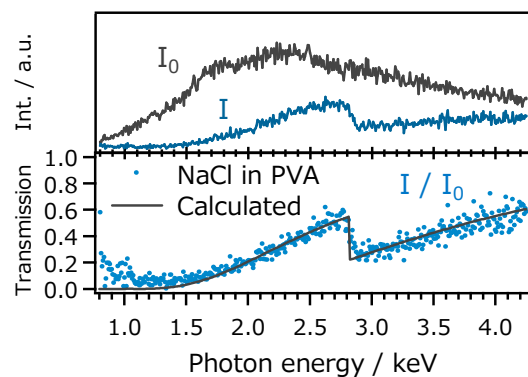


図 3. ポリビニルアルコール薄膜中に分散させた塩化ナトリウムの軟 X 線透過率スペクトル

#### 【参考文献】

- [1] 五月女光, 東遥介, 朝見翔, 梶本真司, 福村裕史, 第 7 回分子科学討論会, 1C15(2013).
- [2] K. Hatanaka, H. Ono, H. Fukumura, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 064103(2008).
- [3] B.L. Henke, E.M. Gullikson, J.C. Davis, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **54**, 181(1993).
- [4] M. Terauchi, H. Takahashi, N. Handa, T. Murano, M. Koike, T. Kawachi, T. Imazono, N. Hasegawa, M. Koeda, T. Nagano, H. Sasai, Y. Oue, Z. Yonezawa, S. Kuramoto, *Microscopy*, **62**, 391(2013).