

[13P-42]

Advancement and Application of Subpicosecond Pulse Radiolysis System —Introduction of Beam Position Monitor—

*A. SAEKI, K. KASEDA, T. KOZAWA, S. SUEMINE,
T. YAMAMOTO, Y. YOSHIDA and S. TAGAWA

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

Abstract

In order to research primary processes of radiation chemistry, a pulse radiolysis system using femtosecond laser has been developed at the Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University. In the system, deviation of beam position has an influence on data. For the purpose of calibrating data by information of beam position monitor (BPM), we plan to introduce BPM into subpicosecond pulse radiolysis system. Calibration of BPM and preliminary pulse radiolysis experiment were carried out.

サブピコ秒パルスラジオリシスシステムの改良と応用 —ビームポジションモニターの導入—

1. はじめに

放射線はこれまで、X線撮影や殺菌処理、構造解析など研究分野と産業界で多く利用されてきた。今後は、半導体リソグラフィに代表される放射線加工技術や、ガン治療、宇宙空間で使用される耐放射線材料などの分野に大きく期待され、ますます重要になる。放射線によって生成する中間活性種の挙動を、直接的に測定できる唯一の方法がパルスラジオリシスである。パルスラジオリシスとは、パルス状の放射線により生成された電子・ラジカル等の短寿命中間活性種の時間挙動を、発光あるいは吸収などを測定することにより、その反応過程を明らかにする方法である。

阪大産研では高時間分解能パルスラジオリシスシステムの開発を行っており、磁気パルス圧縮システム[1]・時間ジッター補正システム[2]を開発・導入したことによって最高時間分解能 0.80 ± 0.05 ピコ秒を達成した[3]。このシステムでは、光検出器やオシロスコープの時間分解能に依存しない測定方法であるストロボスコピック法を用いている[4]。この方法において時間分解能を決める要因は、励起源のパルス幅、分析光のパルス幅、両者の時間間隔の揺れ、サンプルセルの長さである。したがって、時間分解能を向上するには、これらの値を小さくすればよい。実験によって実際に得

られるデータは、横軸が時間、縦軸が Optical Density の時間プロファイルである。Optical Density はランベルトの法則により、サンプルセルの光路長と中間活性種の濃度に比例する。したがって時間分解能の向上のために光路長を短くすると、得られる信号強度も小さくなり SN 比が低下する。信号強度の揺らぎの原因として様々な要因が考えられるが、我々はこのうち励起源である電子ビームの位置揺らぎに注目し、ビームの位置揺らぎの情報を用いて実験データの補正を行うことを試みた。

電子ビームの位置揺らぎの情報は、ビームポジションモニター (BPM) [5]からのデータを処理することで得られる。まず BPM 補正実験を行い、位置に対する BPM のデータの係数を求めた。続いてサブピコ秒パルスラジオリシスシステムに導入し、実際の Optical Density の補正を試みた。

2. BPM 補正実験

図 1 に BPM の形状および較正実験配置を示す。BPM はストリップライン型で、材質はステンレス鋼である。断面図に示すように 4 つの電極は 90 度対称に配置し、電極の角度は BPM の中心から 60 度とした。

較正実験は GPIB 接続した XY ステージを X 方向に

*A.SAEKI saeki03@sanken.osaka-u.ac.jp

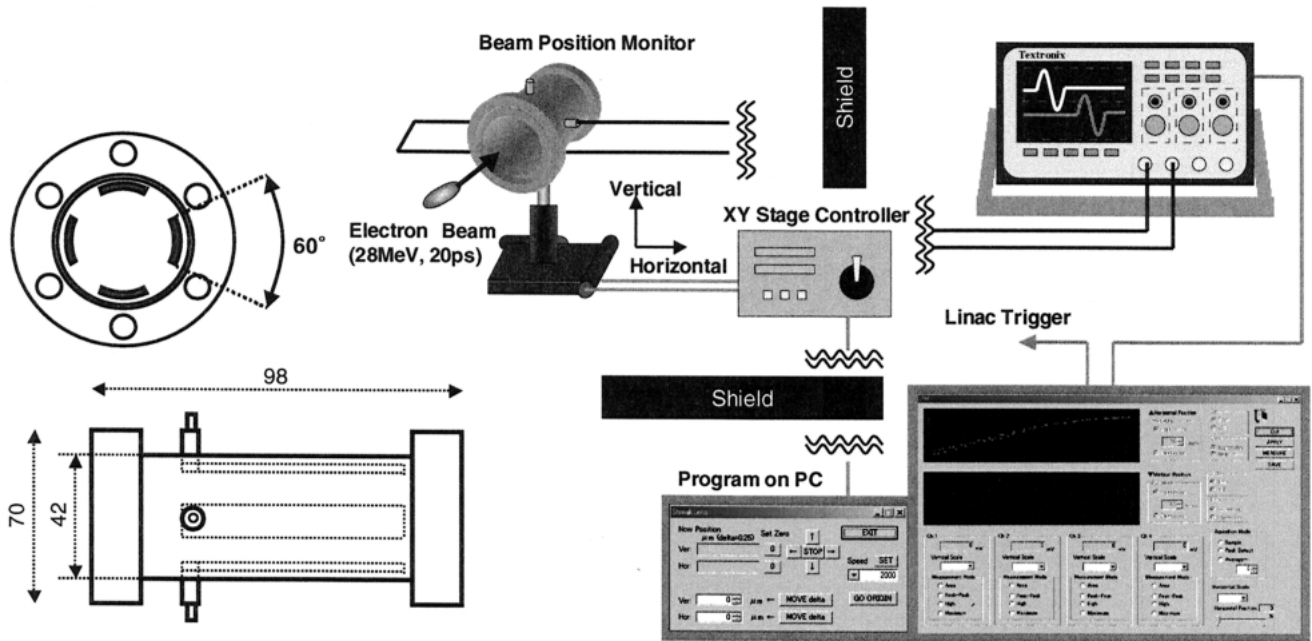


図1 BPMの形状および較正実験配置図

動かし、ステップごとに信号を取得した。また、Y方向依存性についても検討するため、Y方向に±1.5mm動かしたところでも同様の実験を行った。

水平方向からの電圧を V_1 、 V_2 、垂直方向からの電圧を V_3 、 V_4 とすると水平方向の位置 x は次のようになる。
[5]

$$x = \sum_{i,j=0}^3 a_{i,j} \left(\frac{\Delta x}{\Sigma_x} \right)^i \left(\frac{\Delta y}{\Sigma_y} \right)^j \quad (1)$$

$$\Delta x = g_1 V_1 - g_2 V_2 \quad (2)$$

$$\Sigma_x = g_1 V_1 + g_2 V_2 \quad (3)$$

$$\Delta y = g_3 V_3 - g_4 V_4 \quad (4)$$

$$\Sigma_y = g_3 V_3 + g_4 V_4 \quad (5)$$

$g_k (k=1\sim 4)$ はゲイン補正因子で、異なるケーブル中での減衰などによる不整合の補正に用いる。 a_{ij} は較正データを最小自乗法でフィッティングすることで得られる。図2に実験結果を示す。実験では同じ材質・長さのケーブルを用いたため、近似的に $g_1=g_2$ とした。また、 j については近似的に0次の項のみを考慮した。最小自乗法で得られたパラメータを表1に示す。

表1 フィッティングパラメータ

Vertical	a0	a1	a2	a3
0 mm	2.79	8.09	0.97	19.56
1.5 mm	5.63	8.43	1.86	9.40
-1.5 mm	4.64	9.05	-2.93	13.34

$\Delta x / \Sigma x$ が十分小さいときは、 $\Delta x / \Sigma x$ の2次3次の項を無視することができる。また、知りたい情報がビームの位置の絶対座標ではなく変動のみであるとき、 $\Delta x / \Sigma x$ の0次の項は影響しない。この条件のもとで表1の平均から $\Delta x / \Sigma x$ の1次の係数 a_1 を求めたところ、 $a_1 = 8.52 \pm 10\%$ 程度(mm)を得た。

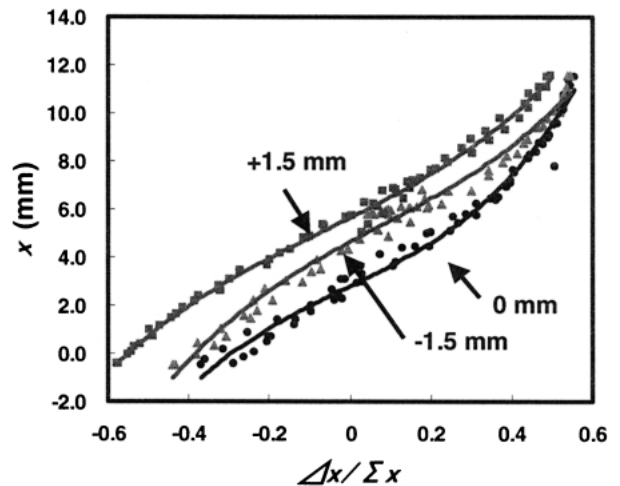


図2 BPMの較正実験結果(実線は(2)式でフィッティングしたもの)

3. パルスラジオリシスシステムへの導入

つづいて、サブピコ秒パルスラジオリシスシステム [2] に BPM を導入し、予備実験を行った。BPM は図3に示すようにサンプルの後方に設置した。また、ビーム位置の変動は主にビームのエネルギー変動に起因す

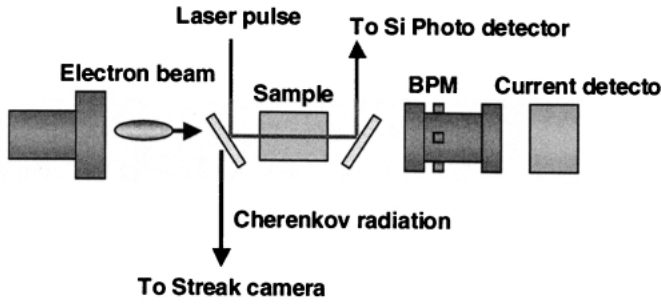


図3 測定におけるBPM等の配置図

ると仮定し、今回は水平方向のみで測定を行った。ストロポスコピック法による通常の Optical Density の測定に加え、電子ビームのワンショット毎に BPM からの信号データを取り込んだ。結果を図4に示す。

図4(a)において横軸は測定回数、縦軸は変動距離(mm)である。これを変動距離の最大値と最小値の差の500分の1ごとに範囲を決めカウントしたのが図4(b)の点である。実線はガウス関数でフィッティングしたものである。図4(b)の横軸はBPM較正実験で求めた係数 $a=8.52$ (mm) を使ってビーム位置変動に変換し、ガウス関数と数値データを、フィッティングで得られた平均値を引いた値でプロットした。フィッティングで得られた標準偏差 σ は 0.18 mm、変動の範囲は約 ± 0.4 mm であった。

図4のビーム位置変動は比較的安定しているときのデータであるが、様々な要因でビーム位置がドリフトしたときのデータを図5に示す。明らかにガウス関数から外れ、係数で換算すると変動範囲は約 ± 0.6 mm であった。

今回、BPMはサンプルセルの後方に設置したが、この場合、電子ビームのサンプル中における散乱等で位置情報の精度が落ちるので、将来的にはビームポートに組み込み、サンプル直前のビーム位置情報を得られるようにする予定である。

謝辞

BPM 導入に関して高エネルギー加速器研究機構(KEK) 小林 仁 教授、諏訪田 剛 助手に多くのご助言を頂きました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

[1] T.Kozawa et al., Nucl. Instrum. Meth, (1999) **A429**, 471
 [2] T.Kozawa et al., Nucl. Instrum. Meth, (2000) **A440**, 251
 [3] T.Kozawa et al., Proc 24th Linear Accelerator Meeting in

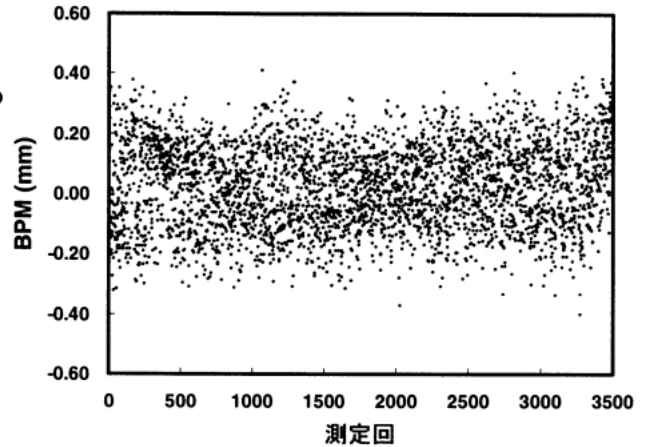


図4(a) BPMの信号変動

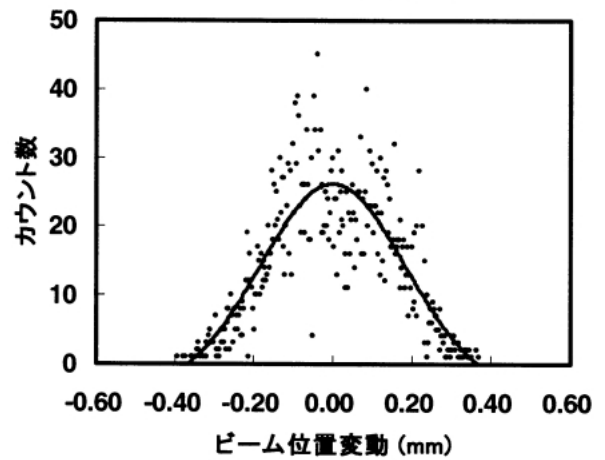


図4(b) ビーム位置変動のガウス関数によるフィッティング

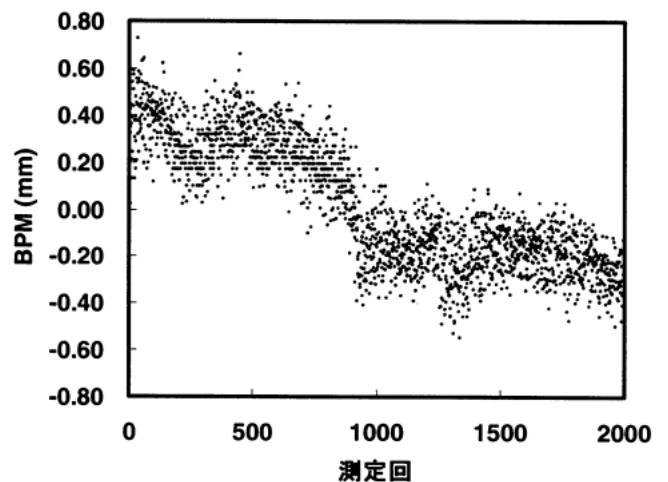


図5 BPMの信号変動

Japan, (2000)

[4] J.W.Hunt et al., Rev. Sci. Instr. **41**(1970) 333.
 [5] T.Suwada and H.Kobayashi, 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, p.175 (1998)