

OTR profile measurement of a LINAC electron beam with portable ultra high-speed camera

T. Mogi*, S. Nisiyama, S. Tomioka, T. Enoto,
Division of Quantum Energy, Graduate School of Engineering, Hokkaido University
Kita-13jo Nisi-8chome Kita-ku Sapporo, Hokkaido, 060-8628, Japan

Abstract

We have studied on and developed a portable ultra high-speed camera, and so applied to measurement of a LINAC electron beam. We measured spatial OTR profiles of a LINAC electron beam using this camera with temporal resolution 80ns.

可搬型超高速カメラを用いた LINAC 電子ビームの OTR プロファイルの計測

1. はじめに

これまで本研究室では、プラズマ計測用の超高速カメラに関するさまざまな研究、開発を行ってきた。しかし、これらの超高速カメラは数 10ps~1ns の高時間分解能を目標としていたため大型であった。一方で、若干の時間分解能が犠牲となっても、可搬性を必要とする計測対象も少なくない。本研究では可搬型超高速カメラの開発を行い、この応用として LINAC 電子ビームの高時間分解能計測を目指している。

高エネルギーの荷電粒子が、密度の異なる物質の境界面を通過するとき、誘電率の違いにより可視領域から X 線領域にわたった OTR(Optical Transition Radiation) が発生する^[1]。OTR は非常に速い応答を示すため、その高時間分解能計測が行われてきた^[2]。この OTR を超高速カメラで撮影し、マクロパルスの時間的、空間的挙動を計測した。

2. 可搬型超高速カメラ

可搬型超高速カメラは ITT 製の近接型光増幅素子 F4769 を用いた、無掃引型フレーミングカメラである。CCD カメラには Nikon 製のデジタル一眼レフカメラ D100 を用い、その他レンズやベローズ等も市販されている一般のカメラアクセサリを用いることで可搬化を行った。シャッターリングおよび近接型光増幅素子の動作電源は浜松ホトニクス製の高圧電源 C6083 を用いた。

現時点でのこの超高速カメラの時間分解能は 80ns、空間分解能は 23 lp/mm であるが、今後装置全体の改良も含め、時間分解能をサブナノ秒程度、空間分解能を 40 lp/mm 程度まで向上させる予定である。

3. OTR プロファイルの計測実験

今回 OTR の光源として厚さ 0.5mm の平滑なステンレス板を用いた。このステンレス板を、LINAC 電子ビームの進行方向に対して 45° 傾けて設置した。そ

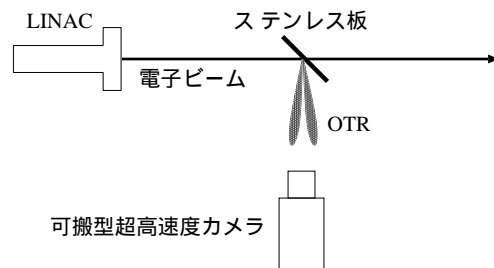


図 1: 実験体系

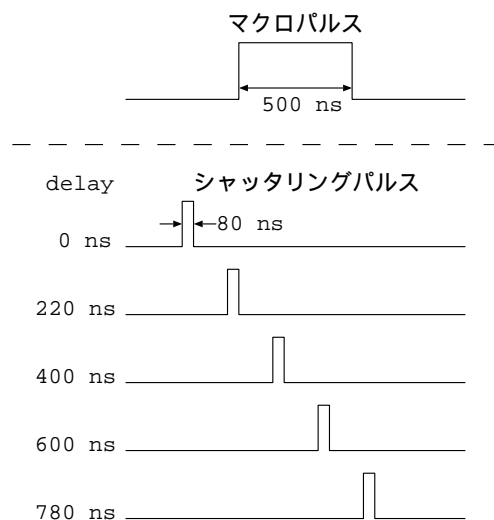


図 2: シャッターリングのタイミング

の 90° 方向に可搬型超高速カメラを設置し、OTR を撮影した。その実験体系を図 1 に示した。

電子ビームは北大の 45MeV electron LINAC を使用した。使用条件は加速エネルギー 45MeV、パルス幅 500ns、繰り返し周波数 10pps、ビーム電流 0.1μA、マクロパルス一個あたりの電荷量は 10nC とした。

* E-mail: mogi@athena.qe.eng.hokudai.ac.jp

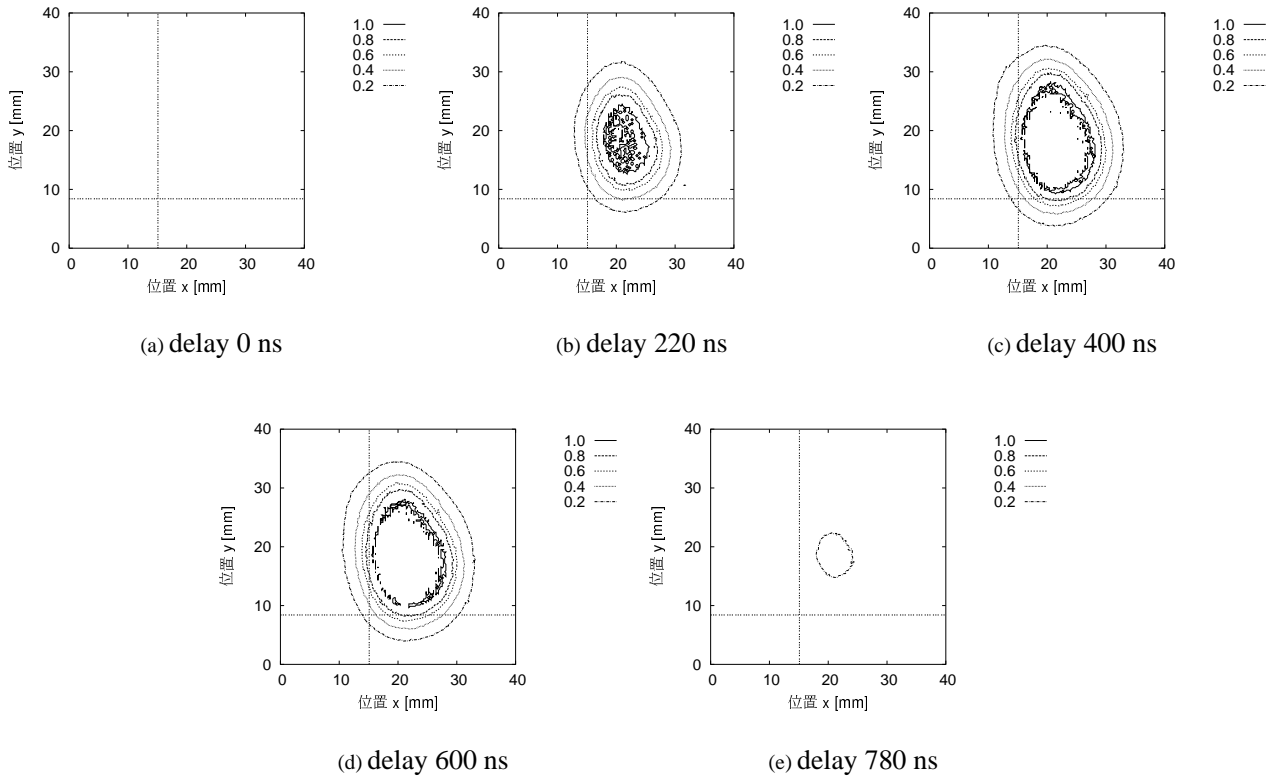


図 3: OTR の断面の発光強度分布 (10nC/bunch)

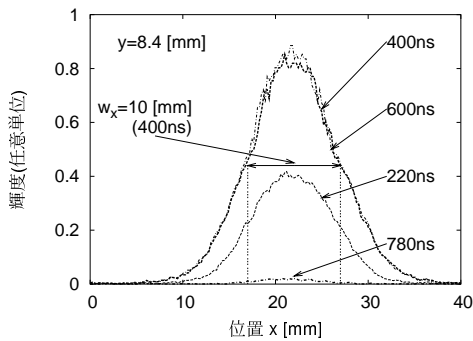


図 4: OTR の水平断面の発光強度分布 (10nC/bunch)

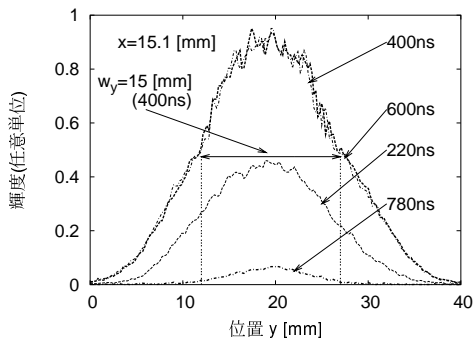


図 5: OTR の垂直断面の発光強度分布 (10nC/bunch)

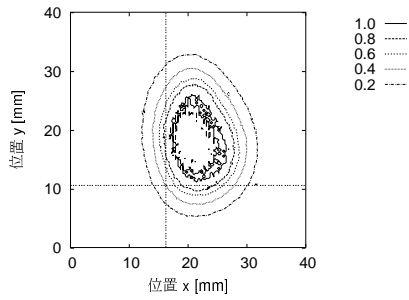
超高速カメラのシャッタリングのタイミングを図 2 に示した。今回シャッタリング時間は 80ns とした。シャッタリングパルスの遅延回路でシャッタリングのタイミングを約 200ns 毎に変化させて撮影した。このとき、遅延を与えていない時刻は電子ビームがステンレス板に到達せず OTR が発生しない時刻とした。このようにして、LINAC 電子ビームの各時刻における OTR プロファイルを計測した。

4. 結果

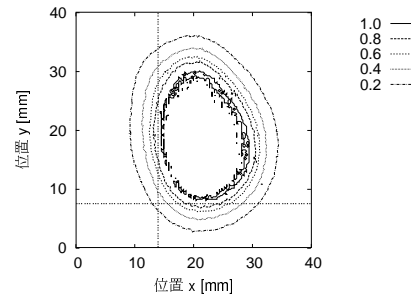
図 3 に各時刻での OTR の断面の発光強度分布を示した。ただし、各時刻での感度を同じとし、CCD カメラの飽和レベルで規格化した。図 3 において OTR の中心付近では、発光強度が CCD カメラのダイナミックレンジを越えたため、輝度が飽和状態となった。図 3 より、今回の実験で使用した電子ビームは垂直方向に長い楕円の形状をしていることがわかった。

図 4 は図 3 の発光強度が飽和していない $y = 8.4$ [mm] における水平断面の発光強度分布、同様に、図 5 は図 3 の $x = 15.1$ [mm] における垂直断面の発光強度分布を示した。長軸方向 (垂直方向: y) の半値幅は約 15mm、短軸方向 (水平方向: x) の半値幅は約 10mm であり、各時刻においてその半値幅が同等の結果を示したことにより、発光強度分布が相似であることがわかった。つまり、パルス幅 500ns での電子ビームのマクロパルスは、パルスの立ち上がりや立ち下がりにおいて、空間分布の断面形状が変化しないことがわかった。

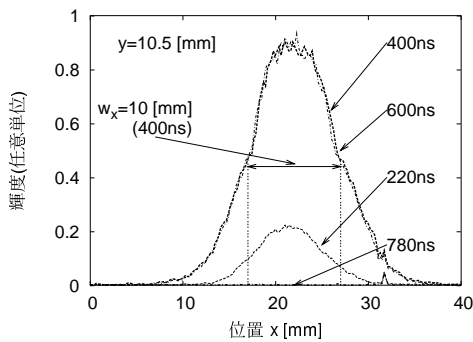
また、マクロパルス一個あたりの電荷量を変化さ



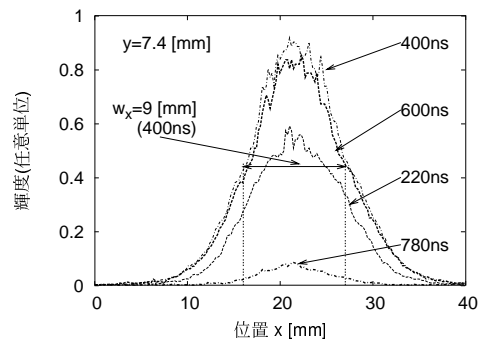
(a) 断面の発光強度分布 (400ns)



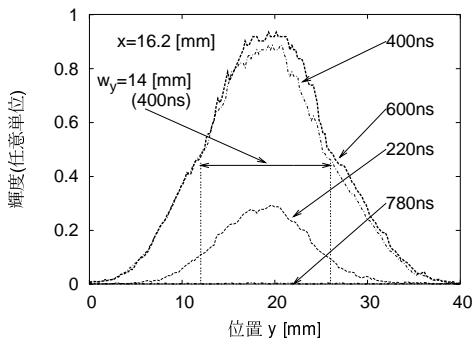
(a) 断面の発光強度分布 (400ns)



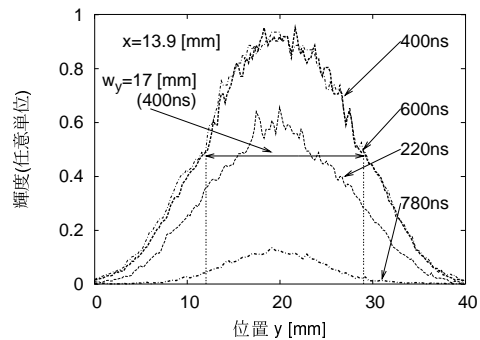
(b) 水平断面の発光強度分布



(b) 水平断面の発光強度分布



(c) 垂直断面の発光強度分布



(c) 垂直断面の発光強度分布

図 6: OTR の発光強度分布 (6nC/bunch)

図 7: OTR の発光強度分布 (16nC/bunch)

せたときの、OTRの発光強度分布を図6、図7に示した。図3(c)、図6(a)、図7(a)によりOTRのプロファイルがほぼ同等ビームの形状であると示された。

5. おわりに

今回の実験で、LINAC電子ビームによる時間分解能80nsでのOTRプロファイルの計測を行った。OTRの光量は十分大きいものであり、今後シャッターリング時間を今回用いた近接型光増幅素子の限界値と思われる10nsまで短くした場合でも、光量は超高速カメラの必要感度を満たしていると見込まれる。

今後は、シャッターリングパルス10nsまで短くし、スリットを用いたエミッタンスの測定、偏向電磁石を

用いたエネルギー分布の測定を行う予定である。さらに、可搬性を損なうことなく大幅な装置の改良を考慮にいて、サブナノ秒程度まで時間分解能の向上を目指している。

参考文献

- [1] L.Wartski et al., Journal of Applied Physics, Vol.46, pp.3644-3653, 1975
- [2] T.SAKAI et al., Proceedings of the 20th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.239-241, 1995