

# FLUORESCENCE OF AIR BY ELECTRON IRRADIATION AND ITS APPLICATION FOR BEAM MONITORING

Ryoichi Taniguchi<sup>1</sup> and Norio Ito  
 Radiation Research Center, Osaka Prefecture University  
 1-2 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka, 599-8570

## Abstract

Images of air fluorescence with high energy electron irradiation were observed by the use of cooled CCD cameras. The fluorescence spectrum consisted mostly of the 2P band of  $N_2$  and the 1N band of the  $N_2^+$ . The decay constant of the fluorescence contained unexpectedly long term components. On the whole, the sufficient linearity of the fluorescence yield and the beam current was obtained. The method would be expected to be useful for a non-destructive electron beam profile monitoring.

## 電子線による空気の発光とビームモニターとしての応用

### 1. はじめに

電子線形加速器から電子線を空気中に取り出して照射する場合、途中の空気の発光分布を測定することによって、照射中のビームの非破壊モニタリングが可能となる。ただ、ビーム強度に比べて空気の発光は弱く、微弱光の測定が不可欠となる。本研究では、そのため近年様々な分野で使用されている高感度撮像デバイスである冷却型 CCD カメラを検討した。この冷却型 CCD カメラは安価である上に高感度であり定量性にも優れている。近年では紫外から赤外まで感度を有するものが開発されており、数十  $\mu$  秒オーダーのパルス撮像も可能である。

表 1：実験に用いた冷却型 CCD カメラ

カメラ	使用 IC	画像サイズ	備考
BU40L	ICX415AL	772 × 580	
BS40C	ICX415AQ	772 × 580	カラー
BU50LN	ICX415AL	772 × 580	
BU51LN	ICX285AL	1360 × 1024	
BU54DUV	KAI2020	1600 × 1200	紫外用

表 1 に、本研究で評価した冷却型 CCD カメラのリストを示す。これらは、いずれも(株)ビットランから供給されているもので、主として天体観測をターゲットにしている。図 1 に外観の一例を示す。これは BS40C の外観であるが、他のカメラも外観に大差はない。

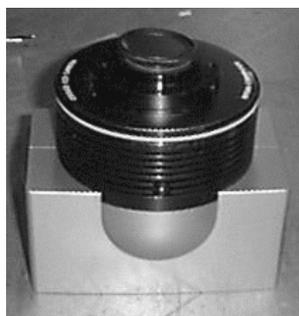


図 1 冷却型 CCD (BS40C) の外観

以下に紹介する評価では、主として表 1 の最初に示している BU40L を用いた。

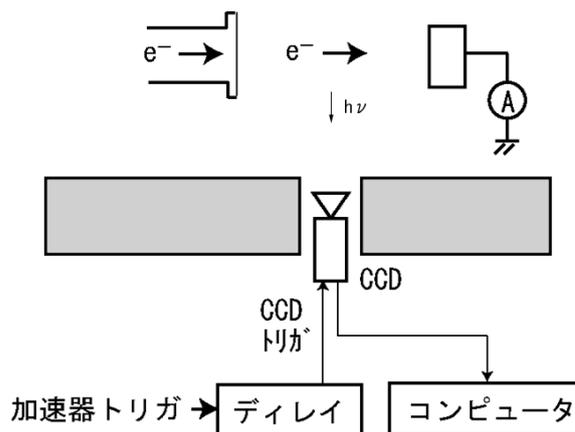


図 2 電子ビームによる空気発光の観察

### 2. 空気発光の観察

空気発光の観察では図 2 のような測定体系を用いた。実験は大阪府立大学の 18MeV 電子線形加速器を用いて行った。図のように、Ti 箔のウインドウを介して空気中に取り出された電子ビームは、空気中を約 20cm 飛行した後、アルミニウム製のビームストッパーに入射し、ここで電流が測定される。一方、ビームと 90 度方向に約 1m 離れた位置に CCD カメラを設置した。光学系には石英ガラス製の紫外線対応レンズを用いた。CCD カメラから出力された画像信号は、約 10 m 離れた遮へいの外に設置されているコンピュータに送られ、信号処理される。また、必要に応じて、加速器のメイントリガを遅延させた

<sup>1</sup> tan@riast.osakafu-u.ac.jp

信号を CCD のトリガとして使用した。

図 3 に、連続でビームを取り出し、5 秒間のシャッター幅で撮像した時の空気発光画像、また、図 4 にシャッター幅が 1 秒、図 5 に 0.3 秒の時の画像を示す。電子ビームによる発光は画像中では白く表示されている。また、ビームは画像の左から右に飛行しており、ビーム径は、空気による散乱の影響を受け、右側に行くほど大きくなっていることが分かる。また、この発光のスペクトルの観測例を図 6 に示す。空気発光の大部分は窒素分子の第 2 励起成分 ( $N_2$  の 2P バンドおよび  $N_2^+$  の 1N バンド) で説明可能であり、340nm から 450nm までに分布する離散的なスペクトルとなっている。

また、図 7 は、これらの画像から得られた空気発光の光量と電子ビームのパルス数の関係を示している。具体的には、画像中の一定面積の発光領域の輝度を合計し、同じ面積で空気発光がない領域の輝度の差をとったものを縦軸に表示している。図のように良好な比例関係が得られている。

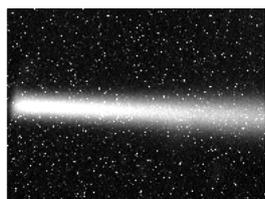


図 3 連続ビーム 1 (5 秒露光)

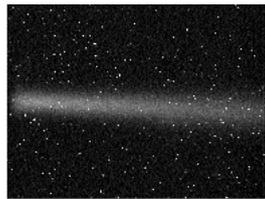


図 4 連続ビーム 2 (1 秒露光)

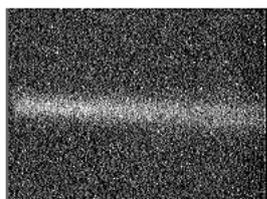


図 5 連続ビーム 3 (0.3 秒露光)

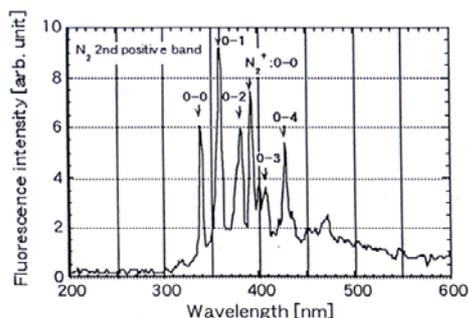


図 6 空気発光のスペクトル<sup>1)</sup>

### 3. 時間応答の評価

表 1 で示した CCD カメラは、いずれも外部トリガによる同期撮影が可能である。電子線形加速器の

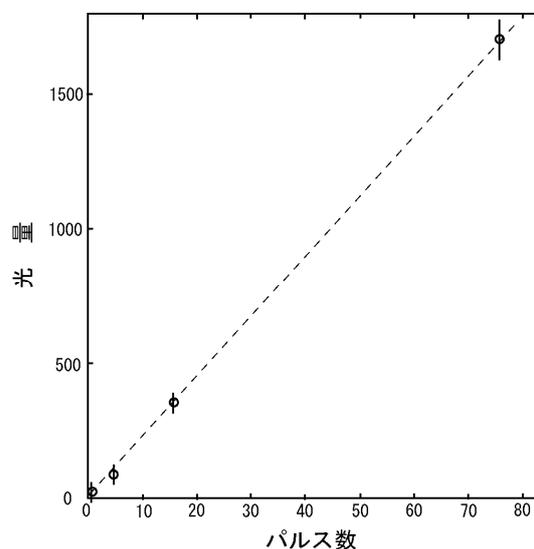


図 7 ビームパルス数と発光光量の関係

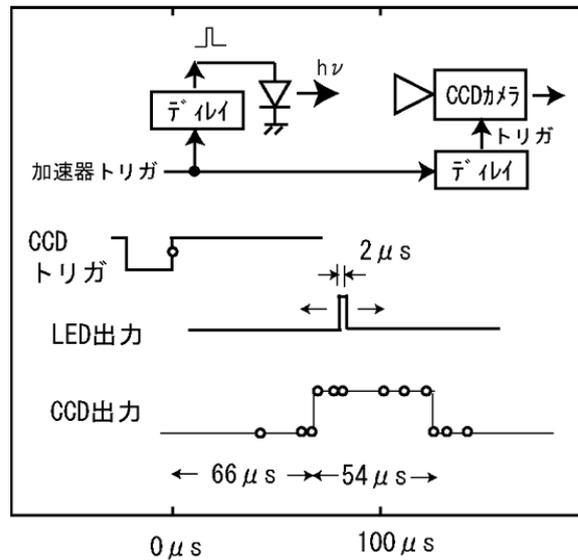


図 8 時間応答の評価

電子ビームはマイクロ秒のパルスであり、ビームモニターとして用いる場合、時間分解能の評価も重要な要素となる。本研究では、図 8 の上部に示したような体系を用いて時間分解能を評価した。図のように、発光ダイオード (LED) を標準光源として用いた。LED には、通常 2  $\mu$  秒幅のパルス印加する。メインのトリガには加速器のトリガを使用し、適当

な遅延回路を介して、LED 電源パルスと CCD のトリガを作る。測定では、LED パルスと CCD トリガの間隔を適当に調整し、LED の発光を CCD が捉えた領域を図の下部に示している。CCD のシャッター速度は、最短 (0.1msec) に設定しているが、実際は図のように、シャッター幅は  $54 \mu\text{sec}$  であり、しかもトリガのタイミングよりも  $66 \mu\text{sec}$  遅れていることが分かる。

#### 4. パルス応答

パルス測定法を用いて、1パルスあたりの発光応答を評価した。ただし、前節で開発した測定回路は、遅延回路に限界があり、数百  $\mu\text{sec}$  以上遅い応答は測定できない。そのため、この部分の応答を評価するため、シャッター幅を長く変化させて測定した。図9にシャッター速度 1msec の画像、図10に 50msec、図11に 5sec の画像を示す。これらの画像は、発光を積分したものであり、比較には注意を要するが、後半の画像の方が若干明るくなっていることが注目される。図13はこれらの画像の発光量を比較したものである。発光量の評価には、連続ビームの評価と同様の解析を行った。図のように、秒オーダーの時間領域でも発光が残っていることが推測される。この領域の発光の積分値が図13の点線のようにであると仮定し、応答時間測定データと重ね合わせたものが図14である。図のように、発光は数十  $\mu\text{sec}$  の時定数で減衰した後でも、図の右側に示すように、僅かな発光が持続していることになる。発光総量で言えば1割以上の発光がこの領域で起こったことを意味している。窒素の励起の寿命は、長いものでも数十  $\mu\text{sec}$  程度であるとされている。窒素分子の振動励起を加味して説明するとしてもミリ秒程度が限界であり、今回測定された長寿命成分は、これらよりもはるかに長い。何らかのエネルギー移動過程あるいは消光・脱消光過程が介在している可能性が高い。



図9 1パルス画像1  
(1ms 後)



図11 1パルス画像2  
(50ms 後)



図12 1パルス画像3 (5秒後)

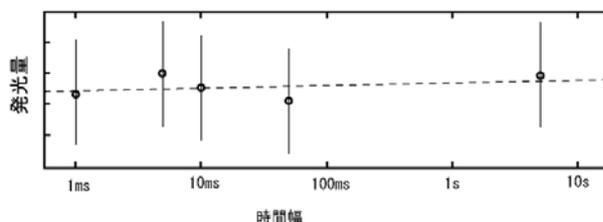


図13 1パルス画像の発光量とシャッター幅の関係

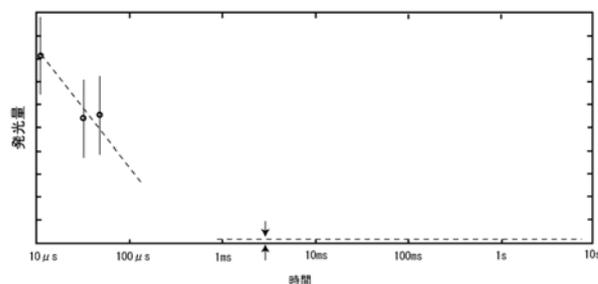


図14 1パルス発光応答の減衰

#### 5. まとめ

空気発光の発光強度は弱く、測定には冷却型 CCD のような高感度画像素子が必要であるが、今回示したように、ビーム強度と良好な比例関係を示している。遠隔測定が可能かつ、ビームに影響を与えないプロフィールモニターであり、電子線照射の際のオンラインモニターとして有望であると考えられる。

#### 参考文献

- [1] I.Wakamoto, K.Kurita, A.Morisue and R.Taniguchi, Proc. 14th IMEKO World Cong., Tampere, Finland, June 2-5(1997)pp150-154