

## cERL ビーム運転時の放射線分布の簡易測定

# RADIATION DISTRIBUTION MEASUREMENT AT CERL WITH A GENERAL PURPOSE IMAGING FILM

本田洋介 \*<sup>A)</sup>、赤木智哉 <sup>A)</sup>、小菅淳 <sup>A)</sup>

Yosuke Honda\*<sup>A)</sup>, Tomoya Akagi<sup>A)</sup>, Atsushi Kosuge<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup>High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

### Abstract

Energy Recovery Linac is a linac based accelerator but it is possible to operate a high current beam based on the energy recovery scheme. A test ERL accelerator, cERL, is constructed in KEK and is under commissioning. One of the important issue in high current operation of ERL is beam loss control. In addition to radiation monitors that are originally prepared in the facility, we have been using a simple measurement using camera films. Distributing many films in the accelerator area, we can understand radiation map in one day of operation. Setup and examples of the measurement are shown.

## 1. はじめに

エネルギー回収型線形加速器 (ERL) は、線形加速器でありながら、エネルギー回収の原理によって大平均電流での運転を可能にする、新しい方式の加速器である。KEK に建設された cERL は、将来の大型の ERL 加速器に向けた試験加速器で、加速器要素の開発と大電流かつ高性能のビームの実証を目的として、現在コミッションング運転が行われている。

ERL の大電流運転において、最大の課題はビーム損失である。運転中は加速器シールド内外に分散して配置された放射線モニタを監視し、想定外に放射線量が上昇する箇所が無いことを確認しながら、少しずつビーム電流を増やして行くという調整がなされている。とくに、cERL の加速器室は、地上にコンクリートブロックを積み上げて作ったシールドで構成されており、ビーム損失は直接にシールド外側区域での放射線量に対応し、管理区域の基準で運転できる電流の上限が決まっている。今後の大電流化に向けて、現状でのビーム損失分布の理解と低減は重要である。

現在、cERL は、レーザーコンプトン散乱光源 (LCSS) の試験加速器としても用いられており、X 線イメージングなどの試験を行っている<sup>[1]</sup>。この試験では、ビームバックグラウンドの放射線の中で信号の X 線を測定しなければならない。ビームバックグラウンドは、ビームハローがダクトの開口で損失する際に生じる制動放射を起源としていると考えられている。ビームオプティクスの調整や、コリメータの挿入などの手法で、ハローを低減する努力をしているところであるが、調整の具合によっては簡単に信号がバックグラウンドに埋もれてしまう状態になってしまう。LCSS の特色である単色性を生かした測定を行うためにも、ビーム損失分布の理解と低減は重要である。

日々の運転調整において、ビーム損失の分布を把握することが重要であるが、放射線モニタの数は限られており、詳細な分布を議論するには十分でない。また、運転の状況に応じてモニタの配置を変更することが申請上容易ではない。可搬型の放射線モニタを用いてシールド

外側から測定して回ることも行っているが、シールドの厚みや開口の具合にも依存するので、損失分布がそのまま得られるとは言えない。そこで、シールド内に多数設置できる安価なモニタとして、市販のインスタントカメラ用フィルムを用意した。cERL は一日単位の運転を行っているが、運転前に加速器室内にフィルムを分散して設置しておき、一日の運転が終了した後に回収し、現像する。フィルムの感光度から、相対的に損失分布を議論することができる。リアルタイムでは無いものの、回収したらすぐに現像できるので、翌日の運転にはフィードバック出来、運転調整の効率化に貢献している。

## 2. セットアップ

### 2.1 測定の手順

インスタントカメラと言えば、ポラロイド社のものが有名であったが、現在、国内で最も入手性が高いものは、富士フィルムのチェキと呼ばれるものである。フィルムカートリッジ (instax mini) が販売されており、これを専用のカメラに装着し、撮影から現像までボタン一つでできる。各フィルムの端部には薬剤が仕込んであり、専用のカメラではシャッターを切った後、内蔵されたローラー機構を通過することで薬剤が塗布され、現像がなされて出てくる。

今の目的では、フィルムを1枚ずつ分散して配置したい。そこでまず、1枚ずつを遮光して収納する封筒のようなケースを自作で多数用意した (Figure 1)。市販カートリッジには遮光された状態で10枚のフィルムが入っている。暗箱の中でカートリッジを開封し、1枚ずつを遮光ケースに収めておく。これを運転前に加速器室内に設置する。

運転終了後に遮光ケースを回収し、再び暗箱の中で、遮光ケースから取り出し、もとのカートリッジに戻し、さらにカートリッジをカメラに装着する。

カメラのレンズ部を遮光してシャッターを切っても光が入らないようにした状態で、擬似的に撮影すると、フィルムが自動的に現像されて出てくることになる。

\*yosuke@post.kek.jp

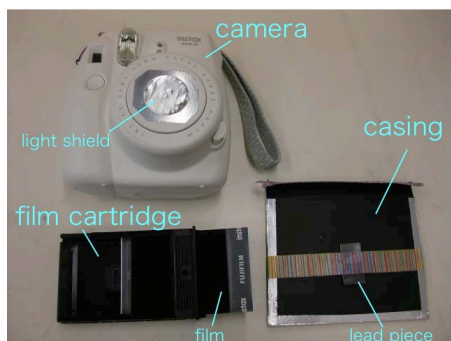


Figure 1: Setup of the camera and films.

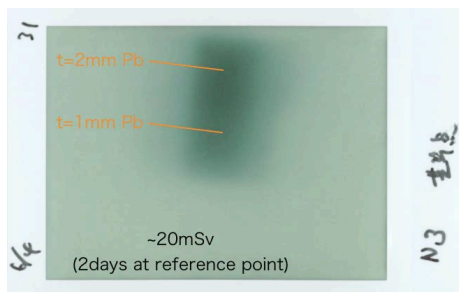


Figure 2: Calibration at 20 mSv.

## 2.2 測定例

フィルムが浴びた放射線量に応じて、黒 (感光なし) 色 → 青っぽい灰色 → 白色 → 黄色 → 黒色、となるようである。

感光度を放射線量の絶対値と対応させたい。主加速空洞近傍の北壁の位置に、1 台放射線モニタが設置されているが、主加速空洞の暗電流に起因して、ビームの状態に関係せずに、ほぼ一定の放射線量 (1 mSv/h) が観測されている。Figure 2 は、この位置に 2 日間置いたもので、20 mSv 相当の感光の具合を示す。エネルギー依存性の問題は残るが、これを指標として、大雑把に量の議論をすることが出来る。フィルムの前に、厚み 1 mm および 2 mm の鉛片を貼付けておいた影も確認できる。

測定点における量だけでなく、飛来方向の情報も得たいと考え、Figure 3 のように、フィルム中央に鉛の板を垂直に置いて設置した。飛来方向によって鉛が影をつくる方向が変わるので、放射線の発生源の方向が分かる。

## 3. 測定結果

系統的な測定は、cERL で CW 運転が開始された 2015 年 3 月終盤から行ってきた。Table 1 に、ここに示す測定例の運転状況を示す。

フィルムは、加速器内側の壁に沿って配置した。もともと、LCSS のバックグラウンド源を確認したかったこともあり、南直線部を中心に測定を行った。

Figure 4 は、4/3 の結果である。この日は、LCSS イメージングの実験を行った。南直線部でビーム損失が起



Figure 3: Setup with a lead plate for direction measurement.

Table 1: Summary of beam conditions.

date	effective beam charge	comment
3 Apr. 2015	70 $\mu$ A $\times$ 3 hours	LCSS imaging test
2~3 Jun. 2015	25 $\mu$ A $\times$ 1.5 hours	test for high current
24 Jun. 2015	70 $\mu$ A $\times$ 1 hours	tuning for LCSS

こっている様子が確認できた。一方、第 2 アークの出口付近ではほとんど損失が無いと思われる。

Figure 5 は、6/2~3 の 2 日間の測定の結果である。今後の電流増強に向けて、コリメータを使って放射線を低減、あるいは局所化、できないかを試験した。北直線部最下流のコリメータを使用した結果、そこでの放射線が増えたが、南直線部の損失が減少したことが確認できた。第 2 アークへのオプティクスマッチングが良く無かったと思われ、第 2 アーク入口と出口で放射線が発生している。これは、4/3 の傾向とは異なる。

Figure 6 は、6/24 の測定の結果である。北直線部最下流のコリメータは使用せず、入射器部のコリメータを使用した調整を行った。この調整で南直線部の損失はかなり改善し、LCSS の測定に関してはバックグラウンドを落とすことが出来た。第 2 アーク部出口は、まだ改善の余地がある。

## 4. まとめ

インスタントカメラのフィルムを使って、cERL 加速器室内のビーム損失分布の測定を行っている。簡便で安価な方法で日々のビーム調整による変化を一目で確認でき、コミショニングを進める上で大変役に立っている。なお、本研究の一部は、光・量子融合連携研究開発プログラムによるものである。

## 参考文献

- [1] T. Akagi *et al.*, "Development of a Compact High Brightness X-ray Source via Laser-Compton Scattering", 第 12 回加速器学会年会プロシーディングス.

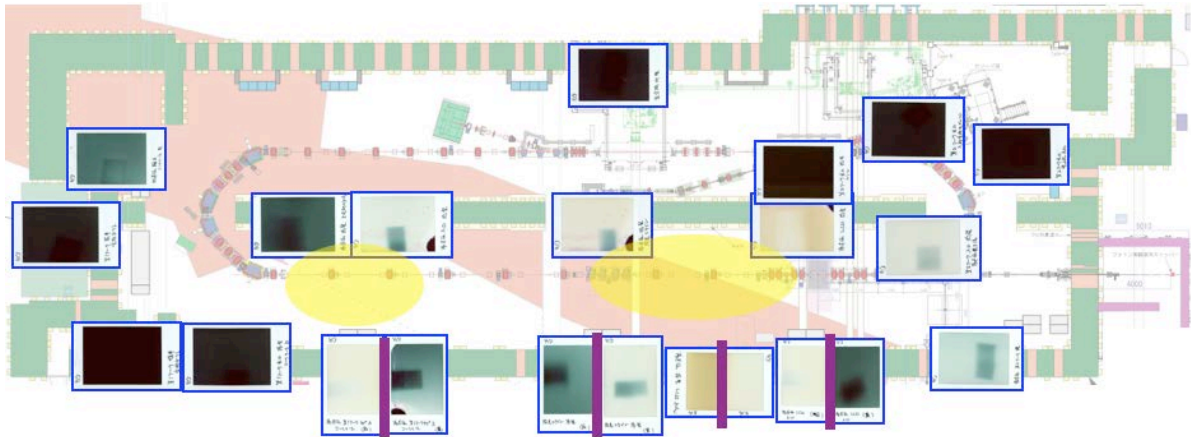


Figure 4: Result on 3rd April.

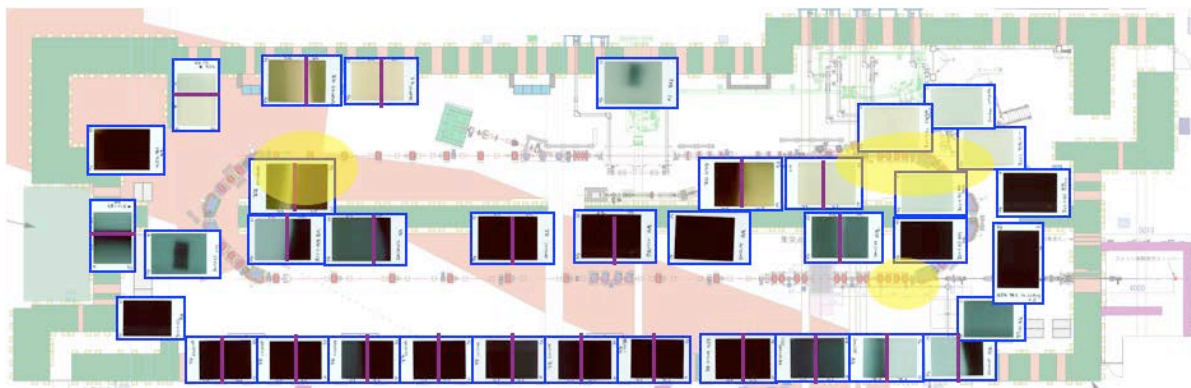


Figure 5: Result on 2nd~3rd Jun.

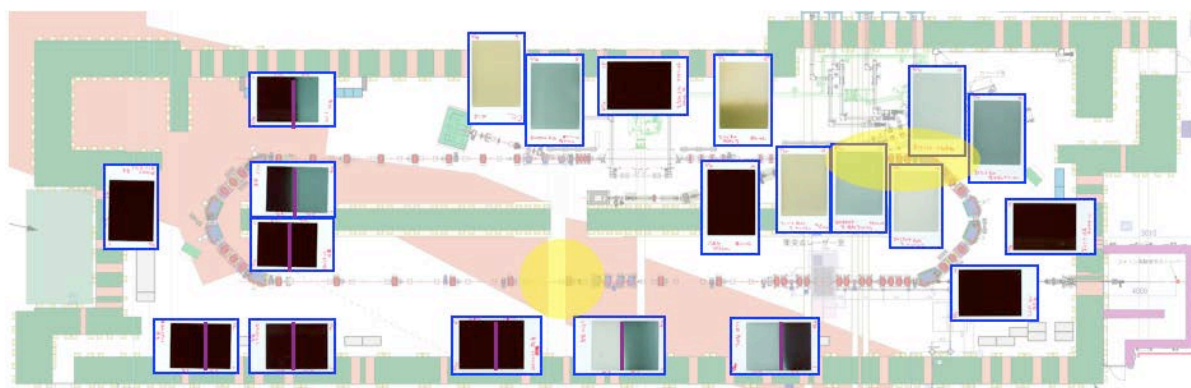


Figure 6: Result on 24th Jun.