

蓄積リング運転モードに依存した電子損失時中性子線量の経時変化測定 NEUTRON DOSE MEASUREMENTS IN TIME SERIES AT ELECTRON LOSS DEPENDING ON THE OPERATION MODE OF STORAGE RING

成山展照[#]

Nobuteru Nariyama[#]

Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Abstract

Using battery-powered electronic neutron dosimeters, time-series neutron doses given by electron losses were measured above ID47 outside of storage ring for seven kinds of bunch filling patterns at SPring-8. After one-month measurements, the data were transferred to the personal computer. This procedure was repeated between 2016 April and 2018 December. The results showed that the neutron dose rates changed clearly after switching the operation modes. The dose rates were shown to decrease with lifetime of the operation mode using the least squares method.

1. はじめに

ビームロスの情報は、加速器運転上および放射線安全上、重要である。いつ、どこで、どの程度、発生したかがわかればロスの原因説明やロスシナリオの決定に役立つ。我々は、プラスチック飛跡検出器 CR-39 を収納部内に設置し中性子線量を測定することにより、入射部と超直線部両端において、ロスが他の場所に比べて大きい結果を得た [1]。中性子を測るのは、比較的等方に放出されるため、線量計の設置場所があまり制限されないためと、混在する散乱放射光に影響されないためである。

SPring-8 蓄積リングには現在、8通りの運転モードがある (Table 1)。バンチのフィリングパターンが異なるため、電子損失の程度も異なる。時系列測定の方が情報量としては多く、必然的に検出器は電子式になる。収納部内に検出部を設置する場合も考えられるが、運転モード変更時には収納部内に通常入室できない等、制約も多く、ここでは収納部外に検出部を設置することを考える。既設のエアモニターを利用できればよいが、測定場所に無い場合がほとんどである。必ずしも AC 電源を近くに確保できるとも限らないため、1, 2ヶ月の期間、連続作動するバッテリー方式の測定器が必要となる。幸い、そうした電子線量計が利用できるようになったため、今回、SPring-8 蓄積リングにて測定を行い、フィリングパターン毎のロス評価を行った。

2. 測定方法

SPring-8 蓄積リング (8 GeV, 100 mA) にて、2016 年 4 月～2018 年 12 月の期間、測定を行った。この間、運転モードは 8 通りに変更された。各々のセベラルバンチ運転モードのバンチモードを Tab. 1 に示す [2]。線量計を設置した場所は、入射点および ID47 (入射点近傍上流) 上の収納部天井上付近であり、常時立ち入り可能な管理区域内である。

線量計には、Mirion Technology 社の DMC3000 (中性子モジュール付き) を用いた (Fig. 1)。縦 13.1 cm、横 6 cm

の個人線量計で、 γ 線量と中性子線量を弁別して測定できる。単四乾電池使用により、連続 2000 時間動作する仕様である。1 サイクル期間、設置した後、LDM 320D 線量計リーダー (125 kHz 近距離通信) と DMC User ソフトを介して、時系列データをパーソナルコンピュータに取り込んだ。1 μ Sv 単位で記録された。

Table 1: Several-Bunch Operation Mode at SPring-8

運転モード	バンチモード
A	203 bunches
B	4-bunch train \times 84
C	11-bunch train \times 29
D	1/7-filling + 5 bunches
E	2/29-filling + 26 bunches
F	1/14-filling + 12 bunches
G	4/58-filling + 53 bunches
H	11/29-filling + 1 bunch



Figure 1: DMC3000 on the LDM320D reader.

[#] nariyama@spring8.or.jp

3. 結果と考察

ID47 上部にて 2016 年第1サイクル期に得られた中性子線量の時系列データを Fig. 2 に示す。1 μSv 以上 の変化があった場合のみポイントは記録され、Y 軸は積算値なので傾きが線量率を表すことになる。4/16 10:00 に A モードから D モードに変更されている(矢印)。中性子線量率はモード切り替え時を境に 0.06 $\mu\text{Sv/h}$ から 0.16 $\mu\text{Sv/h}$ に増大した。一方、 γ 線量はコンスタントに増大し、線量率は 0.07 $\mu\text{Sv/h}$ であった。これはコンクリートからのバックグラウンドによるものである。

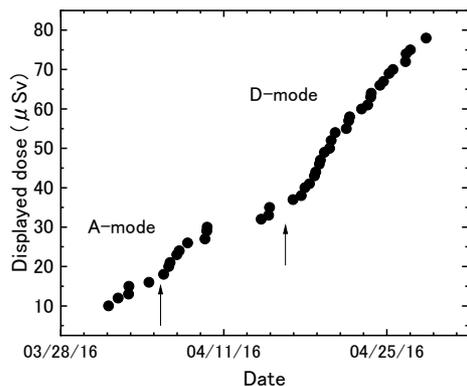


Figure 2: Neutron doses above ID47 in the 1st cycle in 2016. The arrow denotes the operation mode change.

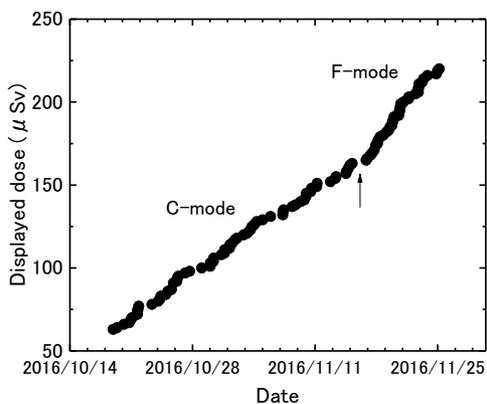


Figure 3: Neutron doses above ID47 in the 6th cycle.

第 6 サイクル期に得られた中性子線量の時系列データを Fig. 3 に示す。C モードの期間は、0.15 $\mu\text{Sv/h}$ であったが、F モードに変更になった後は、0.3 $\mu\text{Sv/h}$ に増大したことが明瞭に示されている。データが密に記録されており、1 μSv 以上の変化が多かったことが示されている。

Figure 4 は、第 7 サイクル期に得られた中性子線量の時系列データである。A モードでは、0.165 $\mu\text{Sv/h}$ であったが、H モードでは、0.05 $\mu\text{Sv/h}$ に下がっている。H モードは、概して線量率が低かった。一方、A モードは、傾きが途中で変化することが珍しくなかった。

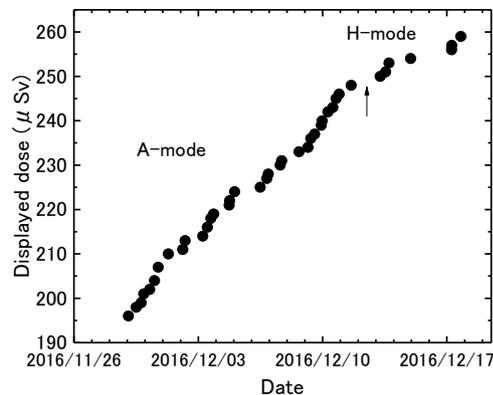


Figure 4: Neutron doses above ID47 in the 7th cycle.

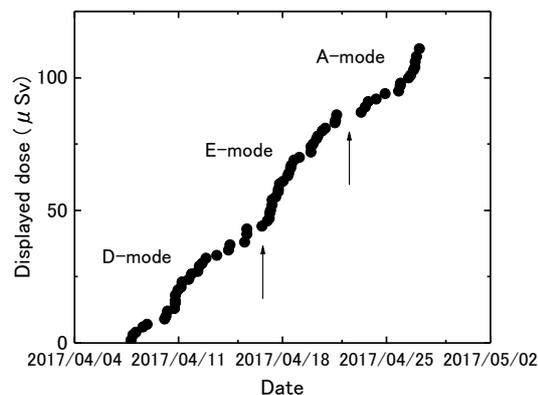


Figure 5: Neutron doses above ID47 in the 1st cycle in 2017.

2017 年第1サイクル期に得られた中性子線量の時系列データを Fig. 5 に示す。D、E、A モードと変遷し、線量率は、D モードが 0.21 $\mu\text{Sv/h}$ 、E モードが 0.30 $\mu\text{Sv/h}$ と高かった。A モードは、傾きが途中で増大した。

このようにデータはコンスタントな傾きとして記録されるものもあれば、傾きが変動するものもある。コンスタントな傾きの値を以下では採用した。

バンチモードによるロスの違いを特徴付けるものとして電子入射間隔や寿命がある。平均入射間隔は、データとして公表されている[2]。一方、寿命は SPring-8 の運転状況のホームページに数値とグラフが表示されるが、数値は表示されない場合もある。

Table 2 に運転モード毎の得られた中性子線量率を、平均入射間隔[2]、寿命と共に示す。寿命は変動があるので、一つの代表値である。寿命は運転モードに依存し、すなわちロスが依存し、入射間隔とロスは必ずしも相関関係がないように見える。B、C モードは、入射間隔が長い割には線量率が高い。D、E、F モードは入射間隔が短く、全体に線量率も最も高かった。H モードは、入射間隔、寿命共に長く、シングルバンチカレントも高く、線量率は全体に最も低かった。

Table 2: Dose Rates at the Operation Modes

Op. mode	Av. inject. interval (s)	Lifetime (h)	Dose rate ($\mu\text{Sv/h}$)
A	30	18	0.165, 0.08, 0.06, 0.08, 0.08
B	40	24	0.24, 0.15
C	40	30	0.15, 0.13, 0.16, 0.13
D	20	16	0.16, 0.21, 0.13
E	20	12	0.30, 0.21
F	20	23	0.30, 0.14, 0.11
G	20	24	0.175
H	40	40	0.05, 0.07, 0.12, 0.05, 0.032

Table 2 の寿命と線量率の関係をプロットしたのが、Fig. 6 である。赤い直線は、最小自乗近似線であり、ばらつきは多少あるものの、線量率は寿命が長くなるほど

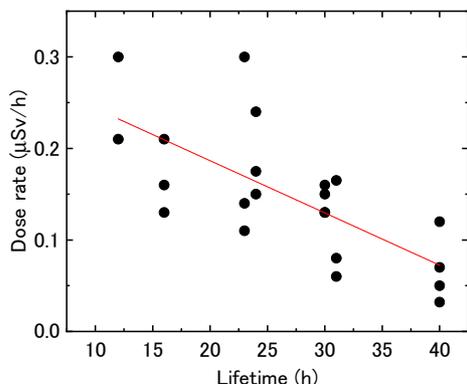


Figure 6: Neutron dose rates as a function of lifetime.

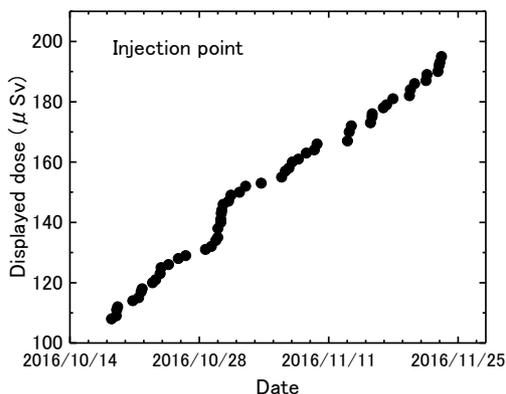


Figure 7: Neutron doses above the injection point in the 6th cycle.

ど小さくなっていることがわかる。最大2倍の差が観察された。すなわち、DMC3000 電子式線量計は、中性子の検出を通して、電子損失の情報を与えることが示された。

入射部上にて第1サイクル期に測定した中性子線量結果は、Fig. 7 に示す。運転モード変更による変化は見られず、10/29 10:00 にユーザータイムが終了し、マシンスタディが始まった時に線量が 11 μSv 上昇している。

4. まとめ

SPring-8 蓄積リング ID47 天井にて測定を行い、運転モード切り替え後に中性子線量率が明らかに変化することが示された。運転モード毎の寿命を横軸に線量率をプロットすると、寿命が長くなると線量率は小さくなる傾向にあることが示された。運転モード間の線量率の大小関係は、さらにデータを蓄積する必要がある。

DMC3000 電子式線量計は、バッテリーで1ヶ月以上、中性子の時系列データを測定できるユニークな検出器である。任意の場所にて電子ロス等の情報を得ることができるのは大きな特長である。

参考文献

- [1] N. Nariyama, "Radiation doses produced at the straight sections in the storage ring of Spring-8", Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013.
- [2] http://www.spring8.or.jp/ja/users/operation_status/sc_hedule/bunch_mode