

FABRICATION OF THE S-BAND ACCELERATOR GUIDES FOR KEKB INJECTOR (III) - HIGH POWER TEST -

Seiya YAMAGUCHI, Yasuhito IGARASHI*, Kazuhisa KAKIHARA and Atsushi ENOMOTO

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305

* Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, Nagoya Aerospace Systems

10, Oye, Minato, Nagoya, Aichi, 455

Abstract

An accelerator guide for energy upgrade of KEKB project was high-power tested. Average accelerating electric field of 36MV/m was achieved for SLEDed pulse. Dark currents and radiation (neutron as well as gamma-rays) emitted from the accelerator guide has been measured in order to get the information about rf breakdown.

KEKB 入射器用 S バンド加速管の製作 (III) 一大電力試験一

1. はじめに

KEKB 入射器増強用加速管(S バンド, 準定電界型, 2m 長, 電鍍製)の大電力試験を行なった. 加速管の耐圧試験を行なうとともに, 加速管のコンディショニングの進展の様子の指標として, 電界放出電子による暗電流を測定した. また, 加速管の入口, 出口カップラーにおいて放電発生の可能性が指摘されているが, 放電の有無, 放電の場所, パルス内のタイミング等についての知見を得るために加速管から 90° 方向に放出される放射線 (ガンマ線および中性子) を NE213 液体シンチレータにより測定した. 図 1 に試験のセットアップを示す.

2. 耐圧試験

通常の KEKB 入射運転では, クライストロン電力(平均 41MW, 4μs)は高周波パルス圧縮器(SLED)により増幅されて 4 本の加速管に分配されるが, 今回の試験では立体回路を組替えて 1 本の加速管(A タイプ)への全電力投入を試みた. 最終的な最大投入電力および(1)式より計算される平均加速電界強度, E は,

$$E = \sqrt{\frac{(1 - e^{-2\tau})P\alpha r_0}{L}} \times M, \quad (1)$$

[τ : 減衰定数 (=0.303), P : クライストロン出力電力, α : 導波管での電力の減衰 (=0.932), r_0 : シャント抵抗(=58.01MV/m), L : 加速管の長さ (=1.8895m), M : SLED 増倍係数 (=1.85)]
SLED 離調時にそれぞれ 41MW, 23MV/m, SLED 同調時に 30MW, 36MV/m であった (KEKB の仕様は SLED 同調時にそれぞれ 10.5MW, 21MV/m). なお, パルス幅は 4μs, パルスの繰り返しは 50pps とした. この試験より, 現在製作中の加速管の耐圧には十分な余裕があることがわかった.

3. 暗電流の測定

暗電流の総量をファラデーカップ1(図1のFC1)により測定した(測定の際には SLED 離調). 図 2 に測定結果を Fowler-Nordheim(F.N.)プロットとして示す. F.N. プロットの傾きから求められる電界増倍係数 β の値を図3に示す. 約 4.5×10^7 ショット(50pps で約 250 時間)で β は一定の値 (今の場合, 約 70) に収束している. また, 図 4 に, 暗電流の運動量スペクトルを分析電磁石(図1の AM)とファラデーカップ2(同FC2)により測定した結果を示す(SLED は同調). 運動量の最大値は, 加速勾配と加速管長から計算される値よりも低い値を示している.

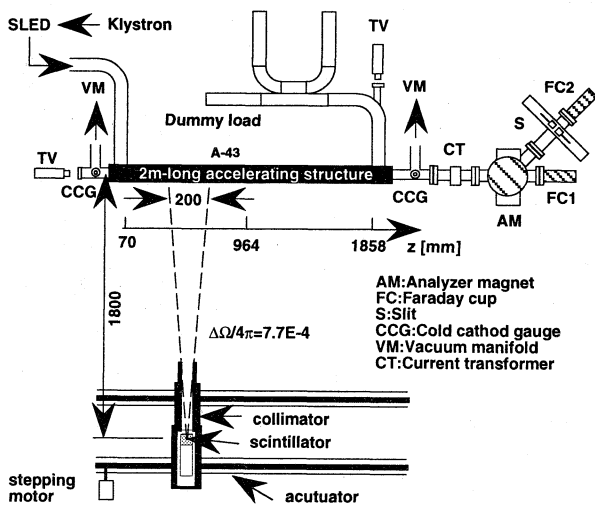


図 1 加速管大電力試験のセットアップ.

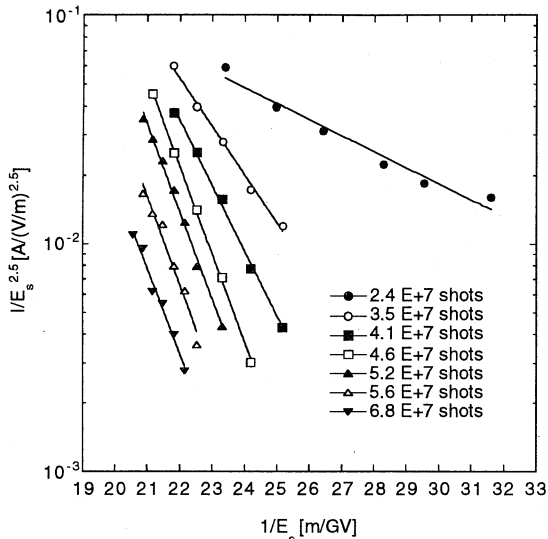


図2 Fowler-Nordheim プロット. 数字はコンディショニング開始時よりのショット数. $E_s = E_{acc} \times 2.1$.

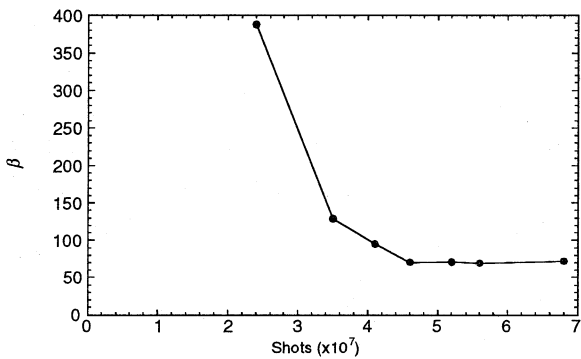


図3 電界増倍係数, β の履歴.

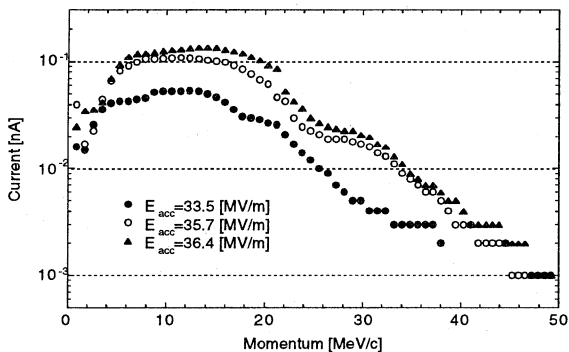


図4 暗電流の運動量スペクトル.

4. 放射線の測定

放射線の検出には NE213 液体シンチレーター(直径 2", 高さ 2") を用い, 波形弁別法によりガンマ線と中性子を分離し, 同時に測定した. 図 5 に回路系のブロック図を示す. なお, SLED を同調するとパイルアップにより測定不能となるため SLED 離調で測定した.

ゲート信号の幅 (t_w) および遅延時間 (t_d) を変化させたときの計数を図 6 に示す. $z=964$ の場合, パルス内で均等に放射線を発生しているが ($z=70, 1560$ の場合も同様), $z=1858$ の $t_w=1\mu\text{s}$ をみるとパルスの立上がりりと立下

がりで発生する中性子はパルスの中で発生するものの 5 倍程度強いことがわかる. 以下の測定では, t_w, t_d ともに $4\mu\text{s}$ に固定した.

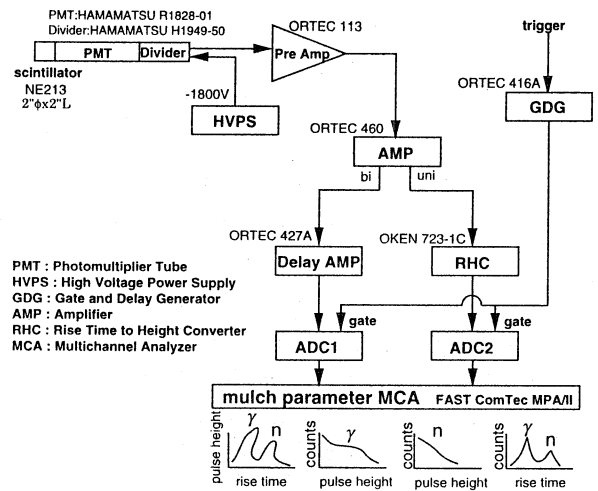
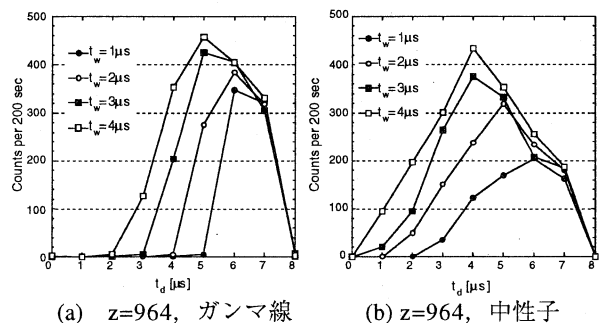
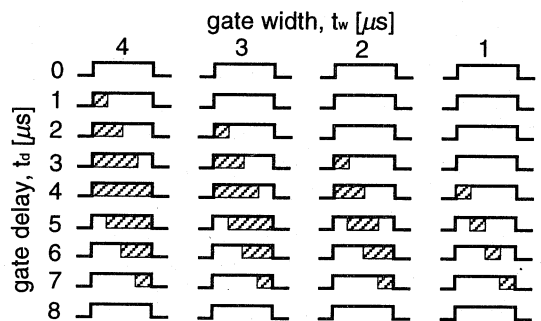
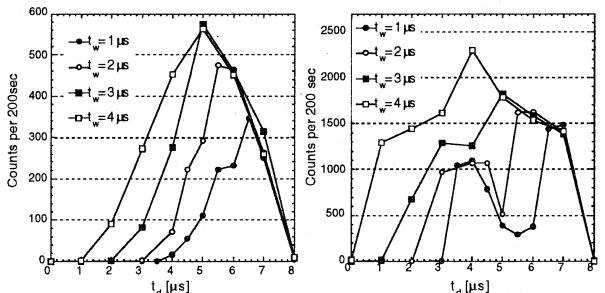


図5 放射線測定回路.



(a) $z=964$, ガンマ線

(b) $z=964$, 中性子



(c) $z=1858$, ガンマ線

(d) $z=1858$, 中性子

図6 ゲート信号の幅, 遅延時間を変化させた場合の計数. 斜線部分はパルス内でゲートが開いている時間.

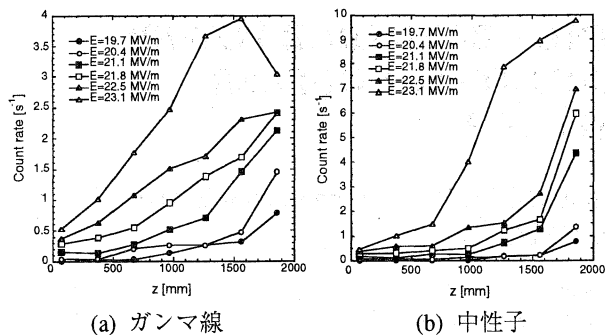


図7 計数率の検出器位置依存性.

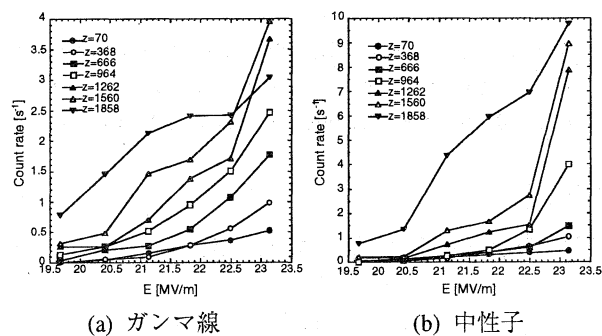


図8 計数率の電界強度依存性.

計数率の検出器位置依存性を図7に示す. $E=23.1\text{MV/m}$ を除き, ガンマ線, 中性子ともに指数関数的に増加しているのがわかる.

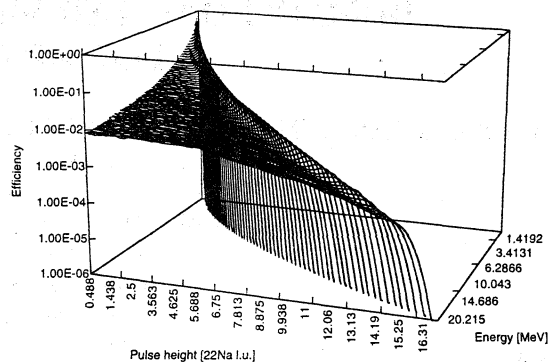
図8は計数率の電界強度依存性である. ガンマ線はほぼ指数関数的に増加するが, 中性子は $z=1858$ を除き, $E=23.1\text{MV/m}$ で急激に増加する.

ガンマ線および中性子の波高分布をアンフォールディングすることによりエネルギースペクトルを求めた. アンフォールディングに必要な, ガンマ線および中性子の応答関数行列は, それぞれ, EGS4[1], SCINFUL[2]コードにより求めた(図9). 検出器のエネルギー分解能は, 標準ガンマ線源(^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{22}Na)に対する波高分布の測定結果と EGS4 の計算結果を比較することにより決定した. また, 波高軸の較正は, 標準ガンマ線源に対するコンプトン端の1/2波高値を用い, 1次関数に最小2乗フィッティングした. アンフォールディングには FORISTコード[3]を用いた. 図10に, $z=1858\text{mm}$ (出口カプラー付近)におけるエネルギースペクトルを示す. ガンマ線, 中性子の線束はそれぞれ, 1.5MeV , 3MeV で最大となることがわかる. ガンマ線のエネルギーが低いのは, 前方性が強いいため, 検出器の置かれた 90° 方向では低エネルギー成分が主であるためであると考えられる. また, 中性子は主に銅の原子核の巨大共鳴により発生したものと考えられる.

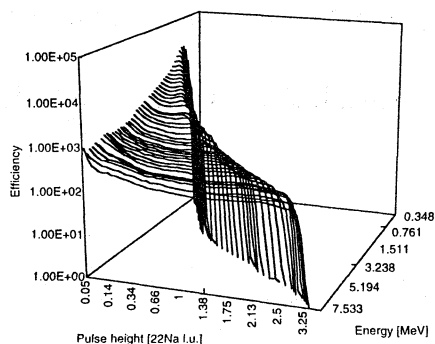
5. まとめ

KEKB用加速管の大電力試験を行ない, 仕様の3倍の電力を投入できることを確認するとともに, 暗電流, 放射線(ガンマ線, 中性子)の測定データを収集した. 今後,

シミュレーション等との比較検討を行なう予定である.

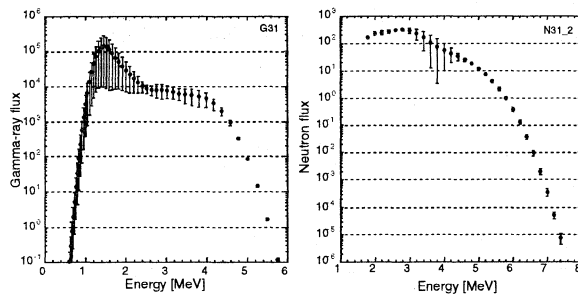


(a) ガンマ線



(b) 中性子

図9 応答関数行列, (a) ガンマ線, (b) 中性子.



(a) ガンマ線

(b) 中性子

図10 エネルギースペクトル. $z=1858\text{mm}$. (a) ガンマ線, (b) 中性子.

謝辞

KEKの肥後壽泰, 波戸芳仁両氏には貴重な助言を頂き, 原研の前川藤夫氏には FORIST コードの提供ならびに助言を頂いた. SCINFUL コードは NEA Data bank より提供を受けた. また, 放射線測定装置は一部, 動燃との共同研究費により整備された.

参考文献

- [1] W.R.Nelson, et al. SLAC-265 (1985).
- [2] J.K.Dickens, ORNL-6462 (1988).
- [3] R.H.Johnson, ORNL/RSIC-40 (1976).