

# Trajectory Simulation of Multipactoring Electrons in a S-band Pillbox RF Window

Seiya Yamaguchi, Yoshio Saito and Shozo Anami

National Laboratory for High Energy Physics

**Abstract** - Trajectory simulation of multipactoring electrons in a pillbox RF window has been made. The electric field distributions of travelling wave in the pillbox were calculated by using MAFIA. The distribution of incident energy weighted by impinging rate of multipactoring electrons on the alumina surface was calculated. The calculated result agreed well with the discoloring pattern of the window, which suggests that the alumina surface was degenerated by the single-surface multipactoring electrons.

## SバンドピルボックスRF窓中のマルチパクター電子の軌道のシミュレーション

### 1. はじめに

高エネルギー物理学研究所放射光実験施設の電子陽電子線形加速器の高周波源として、大電力クライストロン (2856MHz 最大30MW) が使用されているが、その出力部分及び導波管途中に設けられたアルミナセラミック窓 (比誘電率, 約9.0) の破壊が大きな問題となっている。RF窓の破壊は、マルチパクターによる絶縁破壊が原因と考えられているが、詳細なメカニズムは明らかにされていない。<sup>1, 2)</sup> そこでマルチパクター電子の挙動を調べるために、ピルボックス型RF窓 (図1) の電場分布をMAFIA<sup>3)</sup> により計算した。また、その結果を用いて、アルミナ表面から放出される電子の軌道のシミュレーションを行ない、アルミナに付与される電子のエネルギー分布を求め、アルミナの着色 (図2) との関係について調べた。

### 2. 電場分布の計算

ピルボックスに対する固有モードをMAFIAで求めると、伝送モードとしては、擬 $TE_{11}$ 、擬 $TM_{11}$ モード (各々偶モード, 奇モード), ゴーストモードとしては擬 $TE_{21}$ モード他3モードが得られた。図3

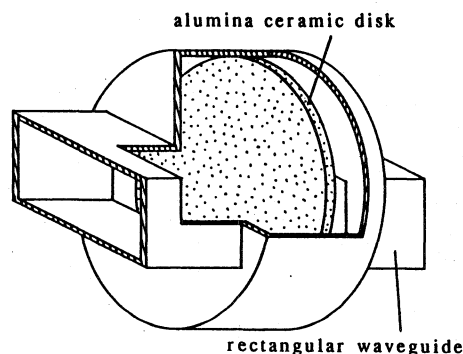


図1 SバンドピルボックスRF窓

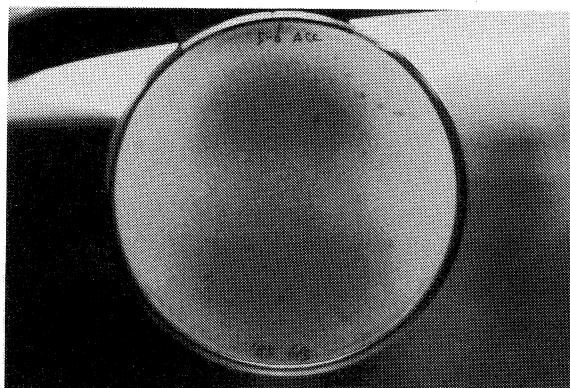


図2 アルミナセラミックの着色の様子

に各モードの電気力線の様子を示す。ゴーストモードの共振周波数は、そのいずれもが中心周波数から十分離れているので使用周波数帯域での寄与は無視できる。次に、固有モードから進行波の電場分布を求め、進行波の電場分布は、偶モード、奇モードの電場分布を $\pi/2$ だけ位相をずらして加えたもので与えられる。即ち、両固有モードの電場分布を $\vec{E}_e(\vec{r})$ 、 $\vec{E}_o(\vec{r})$  とすると、進行波の電場分布 $\vec{E}(\vec{r}, t)$  は次のように書ける。

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_e(\vec{r})a_e(t) + \vec{E}_o(\vec{r})a_o(t),$$

$$a_e(t) = \cos(\omega t + \pi/2), \quad a_o(t) = \cos(\omega t).$$

このようにして得られた1/8周期毎の進行波の電気力線 ( $x=0$ の面) の様子を図4に示す。擬TE<sub>11</sub>、擬TM<sub>11</sub>モードが交互に現われながら窓内を通過しており、アルミナに水平な電場だけでなく、垂直な電場も生じていることがわかる。

### 3. 電子の軌道のシミュレーション

2. 求めた電場分布を用いてアルミナ表面から放出される電子の軌道のシミュレーションを行った。電子は、アルミナ表面から一様に放出されると仮定し、また、アルミナ表面における帯

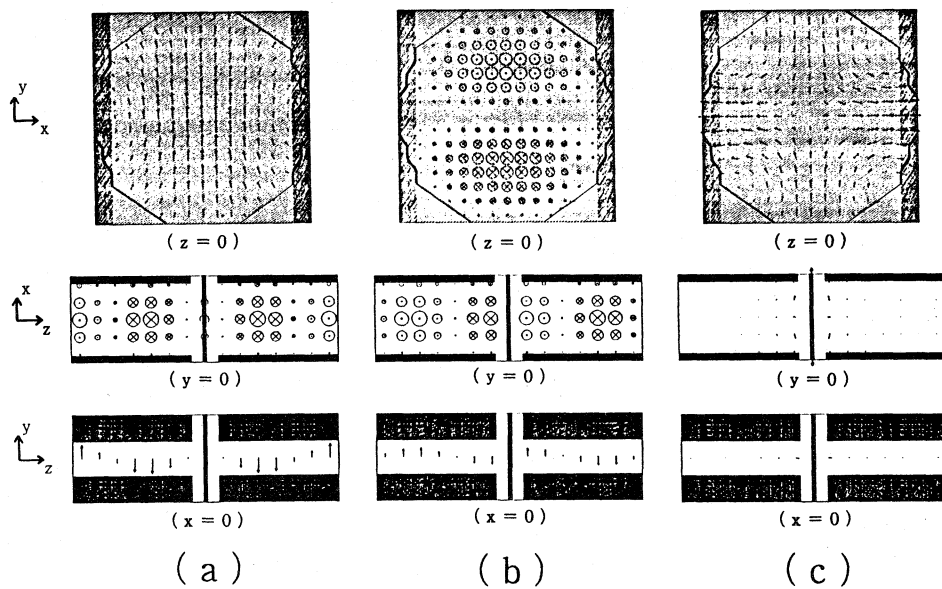


図3 TE<sub>11</sub>、TM<sub>11</sub>、TE<sub>21</sub>モードの電場分布

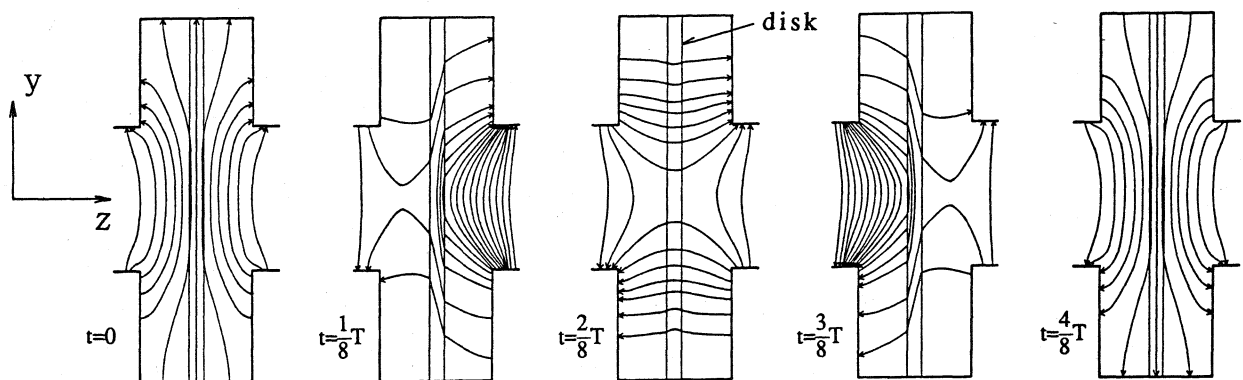


図4  $x=0$ の面における1/8周期毎の電気力線

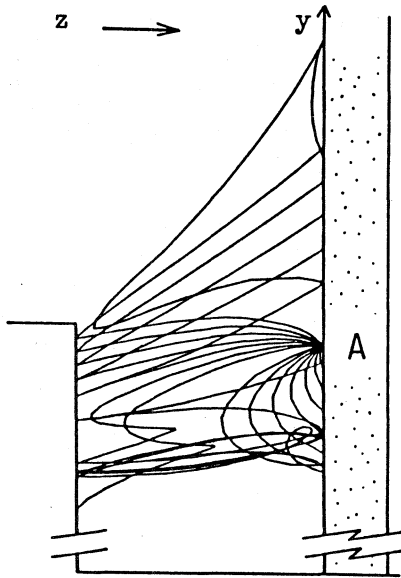


図5 電子の軌道の例

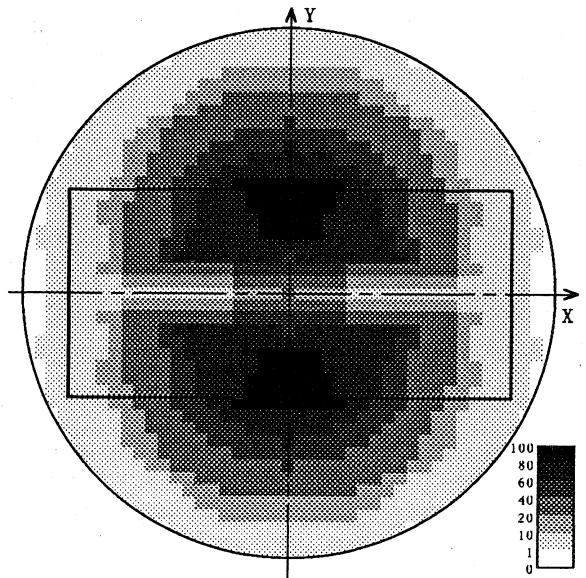


図6 電子の入射エネルギー分布

電は無いと仮定した。アルミナの二次電子放出 (SEE) 係数は、走査型電子顕微鏡を利用して測定した結果<sup>1)</sup>を用い、銅のSEE係数は、文献4の理論式より求めた値を用いた。電子の放出位置及び放出時のRF位相はモンテカルロ法により決定した。また、運動方程式の解法は、Runge-Kutta-Gill法によった。軌道の計算結果の一例を図5に示す (RF位相は10度おきにとってある)。マルチパクターとしては、一面性、二面性の両方が起きているが、銅のSEE係数は非常に小さいので、二面性マルチパクターの寄与はほとんど無視できる。図6は、入射電子の運動エネルギーに入射確率 (入射電子の個数) をかけた値の分布を等高線表示したものである (色が濃い所ほど値が大きい)。この結果は、図2の着色パターンとほぼ一致しており、アルミナの着色がマルチパクター電子の衝撃に起因するものであることを示唆している。

#### 4. まとめ

SバンドピルボックスRF窓の電場分布をMAFIAにより計算し、進行波の時間変化を求めた。その結果、擬TE<sub>11</sub>、擬TM<sub>11</sub>モードが14周期毎に現われること、また、ゴーストモードの寄与は無視できることがわかった。さらに、ここで得た電場分布を用いて、アルミナ表面から放出される電子の軌道のシミュレーションを行なった。その結果は、アルミナの着色が一面性マルチパクター電子の衝撃によるものであることを示唆している。

#### 参考文献

- [1] Y.Saito, et al., Rev. Sci. Instrum. 60, (1989) 1736.
- [2] Y.Saito, et al., IEEE Trans. on Elect. Insul. 24, (1989) 1023.
- [3] T.C.Barts, "MAFIA, A Three-Dimensional Electromagnetic CAD System for magnets, RF Structures and Transient Wake-Field Calculation", Proc. 1986 Linear Accelerator Conf.SLAC.
- [4] E.M.Barody, Phys. Rev. 78, (1950) 780.