

本論文の著者により訂正依頼がありました。訂正箇所は下記 136 ページの赤枠内です。  
訂正後の内容は次ページに掲載してあります。

PASJ2016 TUOM04

め、B 点以降はエミッタンスが増大に転じる。Figure 1 の下部に、 $r_x$  と  $r^2$  の  $r$  方向分布の変化の様子を、赤線、青線で示した。詳しいメカニズムについては、著者等の論文 [1] を参照して頂きたい。

本計算例については、[2] において詳しい解析が行われている。なお、Figure 1 に示すエミッタンスの低減は高精度の計算が必要で、論文 [1] を出版した時点では、手元にあるコードの内では KUAD2 [3] のみでしか計算できなかった。その後、著者が新たに開発した、Bulk-to-Point calculation Code [4] でも計算できるようになり、計算結果の信頼性が確保されつつある。

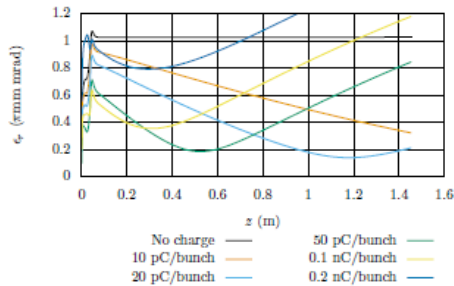


Figure 3: Examples of the emittance reduction for a pulsed beam of the SPring-8 rf gun cavity.

Table 1: Parameters Used in Calculations for the SPring-8 rf Gun Cavity

Laser width	20 ps uniform
Laser spot size	φ1.2 mm uniform
Maximum electric field on cathode surface	157.0 MV/m
Beam energy at exit of cavity	3.6 MeV
Initial rf phase	sin 5°
Initial emittance	0 mrad

パルスビームについてもエミッタンスの低減が見られる。Figure 3 に、SPring-8 の S バンド rf 電子銃空胴後のエミッタンスの低減について示す。著者の開発した Multiple Beam Envelope Equations [5] でトラッキングしたものである。rf 電子銃空胴 [6] は  $z = 0 \sim 75$  mm の範囲にあり、カソード鏡像効果を考慮した計算を行っている。計算パラメータを Table 1 に示す。空胴から出た後は、フリースペースを  $z = 1.4$  m までトラッキングしている。連続ビームの場合とは異なり、規格化 rms エミッタンスはバンチ全体の投影エミッタンス、すなわち時間を固定して期待値を計算しており、以下のよう

$$\epsilon_r(z) = \langle \gamma \rangle \langle \beta \rangle \sqrt{\langle r^2 \rangle \langle r'^2 \rangle - \langle r \cdot r' \rangle^2} \quad (2)$$

投影エミッタンスの低減は、バンチ内各スライスエ

ミッタンスの位相空間プロットの  $r$  軸に対する角度が時間とともに異なった変化をするために起こることがある。これに対し Fig. 3 では、空間電荷効果を考慮しない場合、空胴を出た後のエミッタンスが一定値を示している。これは、各スライスエミッタンスの  $r$  軸に対する角度が時間に依って変化していないことを示しており、空間電荷効果を考慮した場合でもほぼ当てはまる。したがって、rf 電子銃空胴出口以降、パルスビーム内の各スライスエミッタンスが空間電荷効果によって一旦減少している筈である。

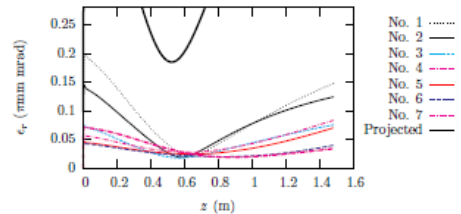


Figure 4: Reductions of each slice emittance of the SPring-8 rf gun cavity with charge of 50 pC/bunch.

Figure 4 に、Fig. 3 に示した計算結果の内、50 pC/bunch の場合について、バンチ内各スライスエミッタンスの振舞を示す。No.1 がバンチ先頭であり、No.7 が後方である。実際に各スライスエミッタンスが減少しており、最小を示す  $z$  方向位置はほぼ一致している。これに応じて、投影エミッタンスもほぼ同じ位置で最小値を示す。

なお、このシミュレーションは  $r-z$  の 2 次元で行っているが、電子銃空胴電磁場は軸対称空胴を仮定して MAFIA で計算を行っている。空胴の  $B_\theta$  は  $J_1(\frac{r}{a})$  の関数となり、ビーム軸近傍でも  $r$  に対し僅かに非線形である。空間電荷を考慮していない場合のエミッタンスが値を持っているのは、各スライスエミッタンスの  $r$  軸に対する角度が異なっているためでもあるが、 $B_\theta$  の非線形性により、各スライスエミッタンスが  $r-r'$  空間で上に凸となっていることの方が大きい。空間電荷を考慮した計算においては、空胴の  $B_\theta$  による僅かな  $r-r'$  空間での歪みさえも空間電荷効果により補正された結果、空間電荷を考慮しない場合よりもエミッタンスが小さくなっていると考えられる。

効果が強く働くほど急減に減少し、エミッタンス最小点がカソード寄りとなる。ただし、最小点でのエミッタンスの値は、空間電荷効果が強く働くほど大きい傾向にある。

## 2. ソレノイドコイルによるビームフォーカスとエミッタンスの減少

実際の加速器では電子銃以降に様々なデバイスが置かれる。ここでは、ソレノイドコイルによるビームフォーカスがエミッタンスに与える影響について考察する。

Figure 5 に、Fig. 1 と同一条件のカソードから連続で引き出したビームに対し、 $z = 20$  mm に位置するソレノ

前ページ赤枠部分の訂正後の内容は下記の通りです

なお、空間電荷効果を考慮しない場合のバンチ内各スライスエミッタンスは、rf 電子銃空洞の  $B_r$  の非常に僅かな非線形性のみ起因するものであり、考慮した場合のものよりも2桁ほど小さく計算される。にもかかわらず、投影エミッタンスが空間電荷を考慮した場合よりも大きいのは、 $r$ - $r'$  位相空間内で各スライスの  $r$  軸に対する傾きが異なっているためである。本シミュレーションでは、rf 電子銃空洞での初期 rf 位相は Table 1 に示す通り 5 度である。このため、電子のエミッション時、バンチ先頭では後方に比べエネルギーが低く、同時に空洞の  $B_\theta$  が大きいので大きな集束力が働く。バンチ後方になるにしたがって集束力が小さくなる。結果として位相空間内各スライスの傾きが異なってしまう。これに対し空間電荷効果が働く場合は、バンチ先頭でビームが絞られても、空間電荷効果による反発力によってバンチ後方とビームサイズが同等になる場合が存在し、本シミュレーションの場合ちょうど 50 pC/bunch の場合に相当する。この場合は位相空間内で各スライスの傾きがほぼ揃っているため、空間電荷効果を考慮した場合の方が考慮しない場合よりも投影エミッタンスが小さくなるという事象が起こっている。空間電荷効果を考慮した場合、スライスエミッタンス自体も低減するが、考慮しない場合のスライスエミッタンスよりも小さくなるということではない。