

[2 a - 9]

## Backgrounds of darkcurrent in the ATF high gradient Linac

### I. -Simulation-

Dobashi, Katsuhiko<sup>1</sup>; Sugiyama, Kiyohiro<sup>1</sup>; Ishiyama, Hitoshi<sup>1</sup>; Okugi, Toshiyuki<sup>1</sup>; Kumita, Tetsuro<sup>1</sup>;  
Hirose, Tachisige<sup>1</sup>; Kurihara, Yoshimasa<sup>2</sup>; Takeda, Seishi<sup>2</sup>; Hayano, hitoshi<sup>2</sup>; Terunuma, Nobuhiro<sup>2</sup>;  
Hinode, Fujio<sup>2</sup>; Kubo, Kiyoshi<sup>2</sup>; Kuroda, Shigeru<sup>2</sup>; Oide, Katsunobu<sup>2</sup>; Urakawa, Junji<sup>2</sup>; Korhonen, Timo<sup>2</sup>;  
Naito, Takashi<sup>2</sup>;

1 Faculty of Science, Tokyo metropolitan university  
Hachioji, Tokyo 192-83, Japan

2 National laboratory for High Energy Physics;  
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

In a linear collider, backgrounds at a final stage of the linear accelerator should be suppressed as low as possible. Because of high accelerating gradient in the linear collider, darkcurrent due to field emission from the accelerating structure gives serious backgrounds. Measurement of the background were performed at Accelerator Test Facility (ATF) at KEK whose maximum accelerating gradient is about 52MeV/m.

To understand mechanism of the background, electromagnetic shower, arised from darkcurrent in the ATF Linac was simulated using GEANT3 code.

#### ATF 高電界リニアックのダーク電流によるバックグラウンド

##### I. シミュレーション

JLC等のリニアコライダの主リニアックでは従来の加速勾配の数倍の高加速勾配を実現しなければならない。高加速勾配を得るために加速電界を大きくすると、フィールドエミッションによるダーク電流が増加する。ダーク電流は電子銃のオン、オフに関係なく、加速のためのRFをリニアックに印加するだけで発生し、加速電場により加速される。フィールドエミッションによって発生した電子の一部はそのまま加速電界で加速されるが、加速管の構造やビームパイプなどに衝突して相互作用を起し、二次粒子を発生させる過程も考えられる。二次粒子として発生する電子や光子などの中で、電子などの荷電粒子の一部は再び加速電場によって加速され、また、加速された二次粒子が衝突してさらに粒子を発生させ、結果としてダーク電流の増倍効果が起こると考えられる。このようにして発生した加速管からのバックグラウンドによりビームの診断装置が誤動作して、ビームの制御が出来なくなる。このダーク電流は加速電場が大きいほど増加するのでリニアックの高加速勾配化に於いて大きな障害となっている。これまでいくつかダーク

電流について研究が行われている。RFパワー依存性については、シングルセルでのアイリスから電子の流出量という形で測定されており、0.6mの加速管構造に於いてダーク電流の増倍効果も観測されている。また、シミュレーションでは、MAFIAを用いて、フィールドエミッションで発生した電子が加速管の構造に衝突するまでの軌道の追跡が行われている。これらの研究のほとんどはフィールドエミッションで発生した一次電子に注目している。我々は、電子の他にγ線についても対象として、ダーク電流の発生メカニズムを解明し、このバックグラウンドに対する有効な対策を考える。

シミュレーションの目的：

我々は最大加速電場52MeV/mが発生できるJLC試験加速器(ATF Linac)を用いてダーク電流の測定実験を行っており、興味ある結果が得られている。これによりダーク電流の発生メカニズムが明らかになりつつある。我々が主に観測しているのは、一次電子が加速管の構造に衝突した後の、二次粒子の放出の様子であり、この過程を加速管の外部から

間接的に観測することになる。この観測結果の解析と共にシミュレーションを行うことにより加速器内部でのダーク電流のふるまいをより明らかにし、ダーク電流に縁のバックグラウンドに対する有効な対策を考えることができると考えられる。

#### シミュレーション方法：

フィールドエミッションにより放出された一次電子はカプラーより入力された加速管内のRFによる電場により加速され、その一部は加速管の構造に衝突して $\gamma$ 線や電子などの二次粒子の放出を引き起こす。理想的なシミュレーションを行うには、加速管内のRFの過渡現象をMAFIA等の電磁場計算プログラムにより解析し、フィールドエミッションが起こる場所や電子の発生量を計算してそれを元にして、電子を発生させなければならない。又、このように電子を発生させた後、先に計算した電場中で電子の運動を追跡し、加速管の構造に衝突したときは、二次粒子の発生を考えなければならない。我々はシミュレーションの構築の最初の段階として、今まで殆ど顧慮されていなかった二次粒子の発生に注目し、加速管の構造に電子が衝突した後の一次電子や二次粒子の振る舞いについて、GEANT3によりシミュレーションを行った。GEANT3は、本来は高エネルギーの衝突実験の検出器のシミュレーションとして用いられているもので、電磁シャワーのシミュレーションを行うことが出来るが、電場が存在する場合のシミュレーションをサポートしないため、そのままでは電場中の電子の運動を追跡する事が出来ない。従って、初期のシミュレーションでは、一次電子がRF電場で加速され、必ず加速管の構造に衝突すると仮定して、衝突する直前をシミュレーションの開始点とする事にした。フィールドエミッションによる電子の発生については、電界が集中している部分で起きていると考え、いくつかの場合を仮定してそれぞれの条件についてシミュレーションを行う。この後電場中での荷電粒子の運動を追跡できるようにプログラムに改良を加え、RFは一次元の電場として考え、位相の変化による電子の運動までを考えてシミュレーション出来るようにする。空間電荷効果は無視する。

#### 結果：

まず最初に、フィールドエミッションの場合を考える前に、より単純な場合として、あるエネルギー(100MeV, 1GeV, 10GeV, 100GeV)を持った電子が一番最初のディスク(加速管の中を仕切っている板, ATF Liniacでは85枚)に、ビーム軸方向に衝突した場合についてシミュレーションを行った。これは加速されたビーム又はダーク電流が加速管に衝突した場合を想定している。但し加速電場は考えなかった。結果はエネルギーが1GeV程度ではほとんど下流まで届かず、 $\gamma$ 線が加速管の側面からそれて行く様子が見られた。またエネルギーが100MeVの時、電子が衝突するディスクを変えて下流のディスクに当たるようにしてみると、かなり下流(70~80番目のディスク)に衝突しないと最下流でダーク電流(電子、 $\gamma$ )が出てこない事がわかった。これらはGEANT3のdebugging modeで粒子の軌道をdrawさせて、一つ一つイベントを観察した。またイベント数を増やして、最下流( $r < 0.7\text{cm}$ )と、側面について粒子の種類( $\gamma$  or  $e^\pm$ )、エネルギー、横側についてはさらに加速管から出たときの加速管の上流からの距離を含めたパラメータを記録し解析した。結果は、横から出てくるのはエネルギーの低い $\gamma$ 線で、大量に検出され、最下流部については横側と同じくエネルギーの低い $\gamma$ 線が大量に検出され、電子は数は2桁ほど少ないが高いエネルギーにピークが見られた。また下流部まで到達した粒子は1GeVまでは100000イベントでも全く検出されず、100GeVの10イベントでは500程度であった。

次に、フィールドエミッションで発生した電子について同様の過程を考える。一次電子について、次のような仮定をした。フィールドエミッションは上流部のカプラーで起こるとし、その後一次電子は加速電場で加速され、あるディスクの縁に衝突するとした。従って、ディスクに衝突するときのエネルギーは、カプラーとディスクとの距離に比例すると考えられる。どのディスクに衝突するかはrandomに決定し、そのディスクに応じたエネルギーを電子に与え、前の方法と同じく解析した。特にこの場合では、一次電子がどの

ディスクに当たったかというパラメーターも含めた。最下流部での中心からの距離に対する粒子のエネルギーと数の依存性を調べた。結果を見ると、中心部分では、 $e^-$ はエネルギーの高い位置にピークが見られ $\gamma$ 線は数は多いがエネルギーは低く分布していた。軸から離れると、 $e^-$ はエネルギーは低くなり $\gamma$ と同じようなエネルギースペクトルになった。次に最下流部で中心部分のみ( $r < 0.7\text{cm}$ )に注目して、一次電子の衝突したディスクと検出された粒子の関係を調べると、一次電子が70~80番目のディスクに衝突したときに粒子が検出されていることがわかった。これは前の結果と同じで、二次電子が加速されないため、下流まで届かずに減衰していると考えられる。また横側で同様に調べると、一次電子が衝突したディスクから5~10枚分下流でほとんどの二次粒子が検出されており、これも先の結果と同様であろうと考えられる。

また、測定では側面に検出器を取り付けてエネルギーデポジションを測定しているが、測定位置での粒子の総エネルギーを計算し、測定結果と比較した。実験値では測定位置とエネルギーには指数関数的な関係が見られたが、シミュレーションでは直線的な関係になった。これは二次電子が加速されないことに加え、最初のフィールドエミッションの仮定にも問題があるためではないかと考えられる。

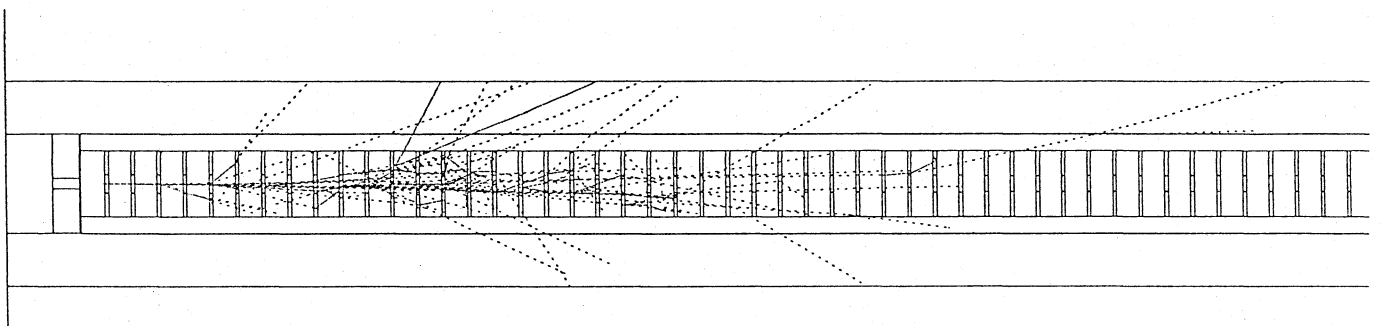
そこで一次電子の発生を加速管の全ての

ディスクのアイリス(ディスクに開いている丸い穴)の縁から起こっているものとした場合を考えた。これは前の電子の発生がカプラーのみの場合の、全体での重ね合わせと考えられる。この条件では、横側で検出される粒子は下流に行くに従い、指数関数的に増加し、これは実験に近い結果である。

この条件でRFの詰まっている部分を考慮にいれて、その時間に対する粒子の変化についてシミュレーションを行った。つまり先の条件の上で、電子が加速される部分を考えて、電子にそれに見合ったエネルギーを与えた。実際の測定のFADCのタイムスペクトルには、時間とともに下流に移動するピークが見られるが、シミュレーションでも同じ様な傾向が見られた。

結論：

今回のシミュレーションでは、一次電子の発生(イベントジェネレーション)については電場が集中する部分から電子が発生していると考えた。荷電粒子の運動については、電磁場計算プログラムで計算したものではなく近似された電場を用いている。今回は色々な条件を考えて実験と比較することにより、実験結果について、より確かに理解する為の助けとする事が出来た。ダーク電流の影響を抑えるための対策を考えるための材料とする事が出来るであろう。



図：1GeVの電子が加速管の最初のディスクに衝突した場合  
(実線：電子または陽電子 点線： $\gamma$ 線)