

研究責任者 大見和史

所属機関 KEK、加速器

研究課題名 加速器におけるビームビーム効果、ビーム不安定性の研究

研究組織 大見和史、多和田正文、D. Zhou

## 実施報告の詳細

加速器の偏向磁石は強度 1 T 程度の垂直方向一様磁場を有する。強い垂直磁場により高エネルギービームの軌道を設計角度回転させる役割を持つ。低エネルギー電子は垂直磁場中ではサイクロトロン半径が小さく磁場に巻き付いて磁力線の方向にしか運動できない。低エネルギー電子のサイクロトロン周波数は  $f=28$  GHz, エネルギー 100 eV の場合のサイクロトロン半径は  $17 \mu\text{m}$  で一般的な蓄積リングの水平方向ビームサイズ数  $100 \mu\text{m}$  に比べ小さい。その周波数はバンチ (1 cm) の通過時間に対応する周波数 30 GHz と同程度である。電子は垂直磁場に巻き付いて上下に運動し、真空チェンバー壁に吸収される。吸収された電子はある確率で二次電子を放出する。1 つの電子の吸収に対し何個の電子を放出するかを表す、二次電子放出係数は以下の式がよく使われる。

$$\delta_2(E) = \delta_{2,\text{max}} \frac{E}{E_{\text{max}}} \frac{1.44}{0.44 + (E/E_{\text{max}})^{1.44}}$$

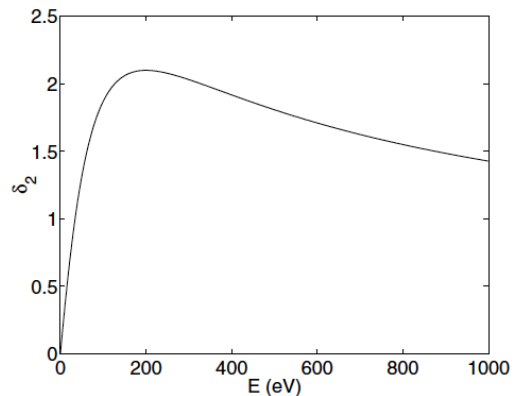


図 1：二次電子放出係数

図 1 は  $\delta_{2,\text{max}}=2.1, E_{\text{max}}=200\text{eV}$  の場合の二次電子放出係数である。1 つの電子の吸収に対し複数の電子が放出され、電子が増殖していくことを multipacting という。multipacting の効率が高いと、その領域の電子密度が上がり、密度の濃い柱が 1-2 本立つことが知られている。シミュレーションで電子の吸収、生成を行った結果の例を下図に示す。

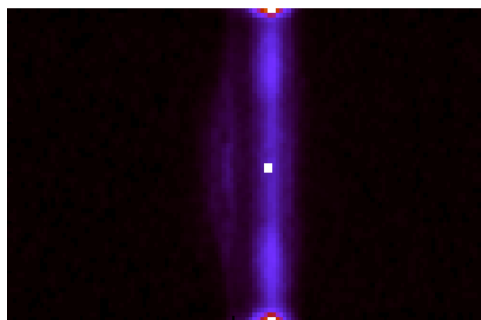


図 2： 偏向磁石内でのビームにより形成される電子雲分布。中央白点はビームの通過位置

図は真空チェンバーの断面での電子密度を示している。中央の白い点はビームの通過位置である。柱の位置はビームの通過位置によりかわる。柱の位置が変わればビームの受ける力もかわる。つまりこの偏向磁石内での柱状の電子雲が、ビームとの集団運動を起こし、不安定になる。

図 3 にビームの運動 (通過位置) と電子雲の分布の動画の一部を表す。ビームが左側に寄っているとき、

柱は右により、ビームが右のとき電子雲は左となり、集団運動をしていることがわかる。

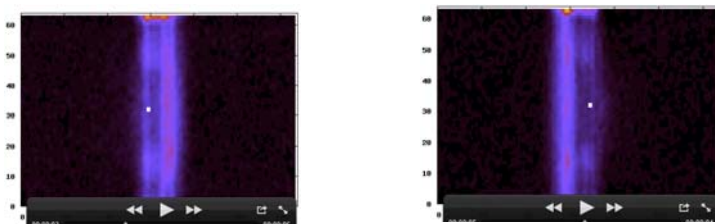


図3: ビームと電子雲の柱の集団運動

その集団運動の振幅が時間に対して増大していくのが不安定性である。ここではバンチの通過位置がバンチごとに変動しているのがバンチ結合型不安定性と呼ぶ。図4左にビームの周回ごとの振幅の増大を示す。振幅の増大はこれまでの説明通り水平運動に顕著である。増幅速度は50周程度であり、非常に早い。ビームの振動振幅をバンチの通過位置をフーリエ解析すると図4右のようになる。実験でこの種の振動を見ることは、ビーム位置モニターの信号をスペクトルアナライザーに入力するだけで、加速器では日常的に行われている。

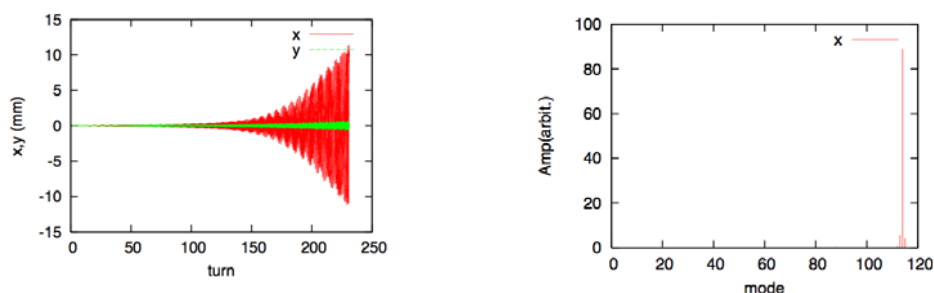


図4: ビームと電子雲の集団運動によるビーム振幅の増大と、ビームの振動モード

実験的にイタリア Frascati、DAFNE 電子陽電子衝突器で観測されている遅いモードのバンチ結合型不安定性がまさにこの現象であるとみられる。