

STUDY OF BEAM INSTABILITIES WITH HIMAC SYNCHROTRON

T.Uesugi^{A)}, K.Noda^{A)}, T.Fujisawa^{A)}, H.Uchiyama^{A)},
Y.Mori^{B)}, S.Machida^{B)}, Y.Hashoto^{B)}, E.Syresin^{C)}, S.Shibuya^{D)}

^{A)}National Institute of Radiological Sciences Anagawa, Chiba, 263-8555

^{B)}High Energy Accelerator Research Organization Oho, Tsukuba

^{C)}Joint Institute for Nuclear Research, Debna, Moscow region, 141980, Russia

^{D)}Accelerator Engineering Cooperation, Anagawa, Chiba, 263-8555

Abstract

With non-destructive two-dimensional beam profile monitors in HIMAC synchrotron, we have observed beam instabilities. First, we observed the resonant growth of a beam near a half-integer tune. Second, in a high-density beam with electron-cooling, it is observed that a beam profile rotates in transverse real space and the beam is lost by vertical oscillation. We will present these phenomena and their dependence on several conditions.

1 はじめに

HIMAC シンクロトロンでの非破壊型ビームプロファイルモニターを用いてビーム不安定性が起きている時のプロファイルを観測した。

第一に、半整数共鳴の近辺におけるビームサイズの増大を観測した。HIMAC シンクロトロン[1]においては、過去に半整数共鳴の観測実験が行われ、空間電荷効果によって共鳴条件の変化することが確認されている[2]が、当時を周回ビームのプロファイルを観測する手段がなかったため、唯一ビームロスを手がかりとする以外に方法がなかった。しかしながら、半整数共鳴によるビームロスはビームサイズの増大とアパーチャーの兼ね合いによって起こるので、共鳴付近でのビーム強度の限界等について詳しく知るためには、ビームサイズの増大についても調べる必要がある。今回は、チューンとビームサイズの関係を実測した。

第二に、電子冷却によるスタッキングを用いて高密度化されたビームの振舞いを観測した。このビームは、数回入射するごとに激しいビームロスが起こった。このときのビームプロファイルを SBPM で測定すると、ビームが鉛直方向に激しく振動していることがわかった。この現象について報告する。

2 HIMAC

2.1 シンクロトロン

ここで発表する実験は、すべて HIMAC シンクロトロン[3]において、入射エネルギー(6MeV/n)の C⁶⁺ビーム (半整数共鳴) または Ar¹⁸⁺ビーム (電子冷却) を用いて行われた。

2.2 非破壊型ビームプロファイルモニター

HIMAC シンクロトロンには、二種類の非破壊型ビームプロファイルモニターが設置されている。一つは RGBM(=residual gal beam profile monitor)[3]で、もう一つは SBPM(=sheet beam profile monitor)[4]である。RGBM はチェンバー内の残留ガスとの衝突による二次粒子を集めて MCP によって写像するタイプであるのに対し、SBPM はシート状にした酸素分子ビームを故意にチェンバー内に送り込み、これをターゲットとして二次粒子の分布を見る。シートビームは射出軸のまわりに 45 度傾けられているため、二次粒子の分布から周回ビームの二次元的な分布を知ることができる。本実験では主にこちらの SBPM を用いた。SBPM の MCP 面は直径 10 cm の円形で、ここに映る像は CCD カメラによって画像信号に変換され記録される。

表 2: チューンの変更パターン。

	Downward	Upward
time	Vertical bare tune	Horizontal bare tune
0-100	3.572	3.476
100-3200	Linearly decreased	Linearly increased
3200	3.494	3.499

3 半整数共鳴

3.2 実験方法

表 2 のように、半整数に近い鉛直チューンにおいてビームを入射し、その後集束磁場強度を時間的にチューンを変化させることによって半整数共鳴を起こさせた。水平方向のチューンは約 3.20 に固定されている。ビームがはじめから持つコヒーレント振動 (10~20msec) を静ま

らせるために、はじめの 100msec はチューンを固定し、安定化領域とした。

RF は使用せず、すべてコースティングビームを用いた。また、SBPM のゲートをビームの周回時間と同じ 4μsec とした。これはビームのコヒーレント振動によってビームサイズが実際より広がって見えることを防ぐためである。

3.3 実験結果

半整数共鳴を起こした時のビーム強度の時間的変化を図 1(A) に示す。ただし、横軸には各時刻でのベアチューンを探っている。実線はカレントモニター (DCCT) による測定、四角は SBPM の出力を全断面積で積分したもので、両者はよく比例している。

チューンを上から半整数に近付けた時と下から近付けた時とでビームロスの速さが異なるのは、空間電荷効果によるチューンシフトがビーム強度に依存することから説明できる [2]。すなわち、ビームロスによってチューンシフトが回復されると、半整数に近付く速度が遅く (上側の場合) あるいは速く (下側の場合) なることが原因である。

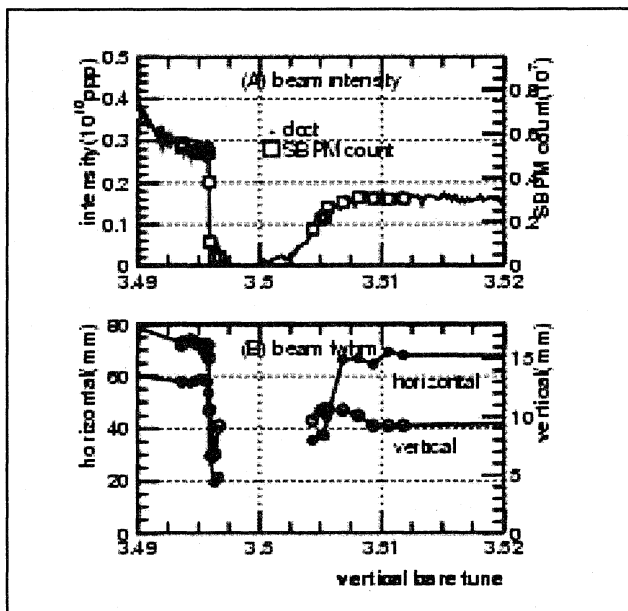


図 1 : 半整数共鳴によるビームロスとビームサイズ (FWHM) の増大。

SBPM によって得られたビームプロファイルを、水平軸および鉛直軸にそれぞれ射影した (図 2)。それぞれ、下向き / 上向きのチューン動作で、それぞれ 2550, 2750, 2780, 2800msec と 2700, 2780, 2790, 2800, 2850msec のタイミングのものを示している。また、これらのプロファイルから求めた半値全幅 (FWHM) を図 2(B) にプロットした。図 2(B) を見ると、チューンを上から半整数に近付けたときには、ビーム強度が減少する少し前に鉛直方向のビームサイズがゆるやかに増大し、最大で二割にまで達したところでビームロスがはじまっていることが見て取れる。一方、チューンを下から半整数に近付けた場合には、このような目立ったビームサイズの増大は見られない。このことは、空間電荷効果によるチューンシフトがビーム強度に依存したのと同様、ビームサイズにも依存することから

説明できる。チューンが半整数の上側にあるときには、 β 関数の増大に伴ってビームサイズが増大し、空間電荷密度を減少させる。そのため、空間電荷によるチューンシフトは軽減され、より半整数共鳴から遠ざかる。他方、チューンが半整数の下側にあるときには、ビームサイズの増大によってチューンはより半整数に近づき、ポジティブフィードバックをおこしてすぐさまビームが失われる。

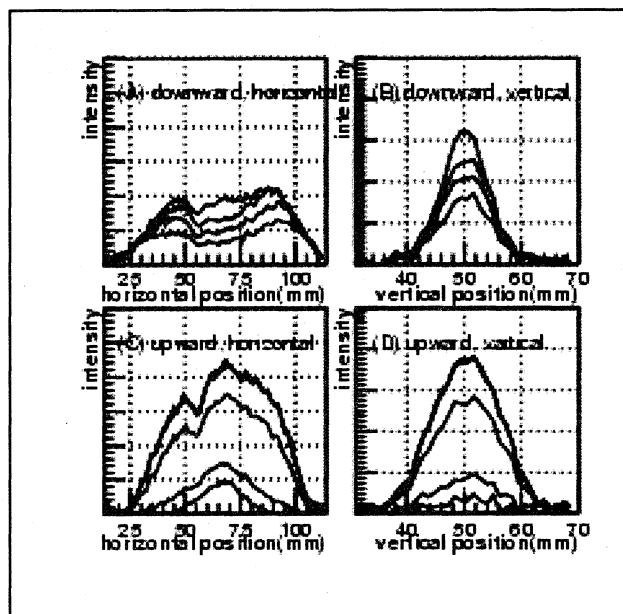


図 2 : 半整数共鳴におけるビームプロファイルの変化。

4 電子冷却されたビームの不安定性

HIMAC 入射エネルギーのビームに電子冷却をほどこすことによって、水平、鉛直ともに数 mm にまで圧縮されたビームが得られた。こうして出来た高密度のビームを取り出さずにスタックさせてビーム強度をあげると、2-10 回入射後にビームが不安定になり、ビームロスすることが観測された。ビームロス波形の一札を図 3(A) に示す。これは Ar^{18+} のコースティングビームを用いたもので、チューンは (3.69, 2.88)、また、冷却電子のビーム電流は 50mA である。図のように、二回入射ごとに 1 回のビームロスが規則正しく繰り返された。不安定性の起きるビーム強度はおおよそ 6×10^8 ppp である。

このとき、ビームポジションモニターからの信号のスペクトルを見ると、二回入射後に激しく鉛直方向のベータatron サイドバンドが励起されていた。ゲート時間 2msec として SBPM でビームプロファイルを測定したものが、図 4 である。電子冷却に伴って水平方向のビームサイズが減少する一方、鉛直方向には、コヒーレントなベータatron 振動によって大きく増大している様子がみられる。プロファイルから求められたビームの FWHM を、図 3(B) にプロットした。

不安定性の原因としては今のところ、イオンビームと冷却電子ビームの軸の微小なずれによってこれらが相互にコヒーレントな振動を励起し合う electron heating [5,6] が有力であると考えられている。現在この検証実験と、不安

定性の抑制の研究が続けられている。

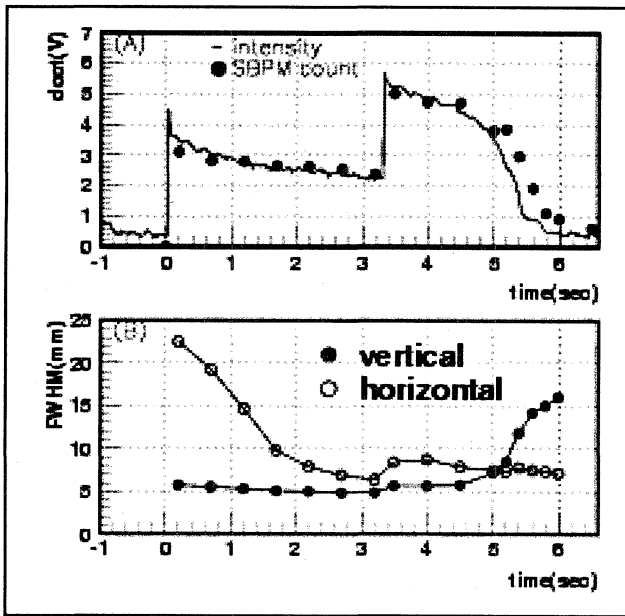


図3：電子冷却された高密度ビームの不安定性によるビームロスと SBPM で見たプロファイルのサイズ変化。

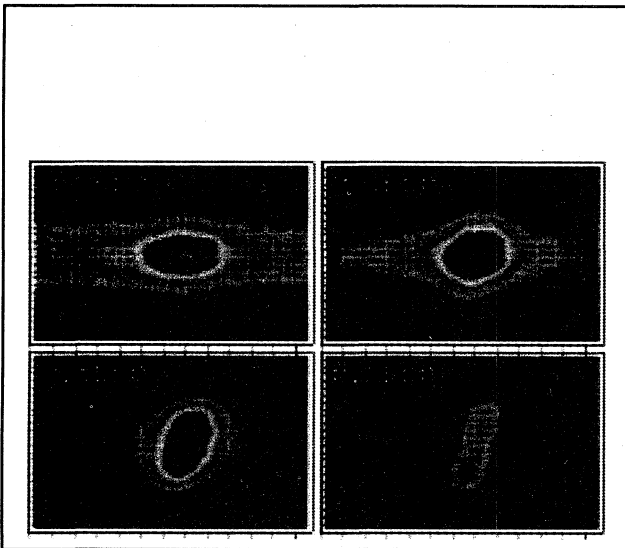


図4：電子冷却された高密度ビームの不安定性；SBPM で見たプロファイル。

5 謝辞

本研究にあたり、AEC の皆様には HIMAC 加速器の運転をはじめ大変お世話になりました。深く感謝します。また、本研究は HIMAC 共同利用研究として行われました。

参考文献

[1] Y.Hirao et al., Nucl.Phys. A538(1992).

- [2] T.Uesugi *et al.*, Phys.Rev ST Accel. And Beams 5, 044201(2002).
 [3] T. Honma, *et al.*, Nucl.Instr. and Meth. A490(2002),
 [4] H. Uchiyama, *et al.*, in this proceedings, Y. Hashimoto *et al.*, in proceeding of EPAC 2002, Paris(2002), T.Fujisawa *et al.*, Nucl.Instr. and Meth. A506(2003).
 [5] V.V.Parkhomchuk *et al.*, Journal of Experimental and Theoretical Physics, v 91, N5(2000).
 [6] P.R.Zenkevich *et al.*, Nucl.Instr and Meth. A441(2000).