

「中間的なQ値で特徴付けられるリングインピーダンスの研究」

東北大学大学院原子核理学研究施設濱研究室

大学院博士課程後期3年

田中拓海

1. 研究目的

2.

バンチ結合型不安定性の起源で加速空洞の高次モードの狭帯域バンドインピーダンスとシングルバンチ不安定性をもたらす極めて低いQ値で表されるビーム航跡場を生成するビームダクトの広帯域インピーダンスは良く研究されている。本研究ではRF周波数のサブハーモニクス領域で両者の中間的な周波数帯域及びQ値を持ち、ギャップを設けたフィルパターンのマルチバンチ運転における先頭から数バンチに影響を与えるようなリングインピーダンスの存在、またその性質を実験的に捕らえ、モデル計算等と比較・研究することを目的とする。

2. 実験

2.1 ストリークカメラによるバンチ測定

SPring-8 蓄積リングを周回するバンチが偏向電磁石部で放つ光をストリークカメラを用いて測定することでそのバンチ形状、バンチ重心、バンチ長を導出する実験を行った。異なるバンチフィリングにおける測定を行い、バンチ形状、バンチ長、バンチ重心の変化を比較した。本実験に用いたストリークカメラはHamamatsu C5680 (浜松ホトニクス社製)である。加速周波数を7分周したのトリガ信号でシンクロスキャン (Hamamatsu M5675) し、データ取得を行った。複数バンチが周回している運転の場合、1つのバンチ形状が測定できる160 psの掃引時間軸とリング1周分のバンチ間の時間差が分かる5マイクロ秒の掃引時間軸の2時間軸掃引を行った。ストリークカメラへの入射光は、放射光をアクロマティックレンズを用いて色収差を相殺させ、バンドパスフィルター(中心波長 = 442 nm, 半値幅 = 10 nm)を用いて準単色化してストリークカメラに入射させた。3種類のバンチフィリングに対してストリークカメラによる同様の測定を行った。

2.2 実験結果

各バンチフィリングのバンチ形状、バンチ重心、バンチ長(複数バンチの場合のみ)を実験データより得た。ただし、バンチ重心とバンチ長はバンチ形状のデータを統計処理上の平均値(期待値)と分散を算出する方法で求めた。

2.2.1 "Single bunch" の測定

バンチ電流値を変化させながらストリークカメラで単バンチの形状を測定した。バンチ電流値が大きくなるにつれてバンチ形状が左右非対称になる様子が分かった。single bunch 運転でバンチの形状が変化していることから、蓄積リングには加速空洞以外にもsingle bunch instability の原因となる広帯域のリングインピーダンスが存在している可能性がある。バンチ重心及びバンチ長の電流値依存性を測定した。

2.2.2 "1/12 fill + 10 single bunches" の測定

バンチフィリングが"1/12 fill + 10 single bunches"のときにストリークカメラで2時間軸掃引(縦軸: 160 ps, 横軸: 5 ms)によるデータ取得を行った。RF周波数に対するタイミングがバンチ毎に変化していることが分かり、これも蓄積リングに広帯域以外の縦方向インピーダンスが存在している可能性があると考えられる現象である。

バンチ形状の左右の非対称性に着目すると、single bunchの方がmulti-bunchに比べて左右の非対称性が大きいことが分かった。

2.2.3 ” 1/7 fill + 5 single bunches ” の測定

バンチフィリングが” 1/7 fill + 5 single bunches ” のときにストリークカメラで2時間軸掃引（縦軸：160 ps, 横軸：5 ms）によるデータ取得を行った。multi-bunch の下流の1 つ目のsingle bunch のバンチID をNo.1 として、各single bunch を同じ条件で全て測定した。この測定結果より” 1/12 fill + 10 single bunches ” と同様にsingle bunch の形状が左右の非対称性を持っていることが分かる。

3 まとめと今後の課題

バンチ電流値に対してバンチ形状が左右非対称に変化することが分かった。これはリングの広帯域インピーダンスの影響である可能性が考えられる。このことを説明する方法としてポテンシャル井戸歪み（Potential-well distortion）効果を仮定し、インピーダンスモデルを与えて、Haissinski 方程式を数値的に解いて、実験結果と比較することによって、リングインピーダンスの性質を把握できると考えられる。今回の測定結果ではsingle bunch 部分は各バンチ形状が左右非対称になっており、リングインピーダンスの抵抗成分が無視できないことが分かった。

リング1 周に渡ってバンチ重心のRF 位相に対するタイミングが最大50 ps 変化しており、その変化は2時間軸掃引ストリーク画像の横軸を見たときに数マイクロ秒 のオーダーで徐々に変化していることも分かった。この時間域 の変化は広帯域のリングインピーダンスでは説明できず、即ち加速空洞のような高いQ 値を持つ構造体の影響だと考えられる。

今後は、まずsingle bunch のバンチ形状変化を起こす広帯域のリングインピーダンスについて、その性質と大きさを調べることである。第2 にその影響を排除した時に残る狭帯域側のインピーダンスについて調べる必要があると考える。