

ニュースバル電子蓄積リングに於ける CSR バーストの時間構造

電気系工学専攻 物性・デバイス工学部門

TM05E044 宮原 晃康

1. 背景・目的

周波数が 0.3THz から 3THz の電磁波はテラヘルツ波と呼ばれ、電波と光波の両方の性質を有している。この波長領域の電磁波は最近になってようやく適当な光源、検出器が得られるようになり、応用研究が盛んになってきた。

このテラヘルツ波は粒子線加速器からも発生させることができる。通常、光速に近い電子の集団(バンチ)が磁場によって曲げられるときに放射光が発生する。バンチの進行方向長さが放射光の波長より十分短いとき、あるいはバンチ内の電子が非常に高密度になったとき、コヒーレントな放射光(CSR)が発生し、その強度は通常の放射光よりも極めて大きい。この CSR はテラヘルツ領域の光であり、加速器はこの領域の新しい光源として期待されている。

多くの放射光施設において、バンチ内の電子が高密度になったときに発生するバースト状の CSR が確認されているが、これまで出力のバラつきは定量的に評価されたことがない。本研究は、この CSR バーストの時間構造、および実用に向けた CSR バースト出力のバラつきの評価を目的とする。

2. 実験施設・装置

測定はニュースバル電子蓄積リングで行った。ニュースバルをシングルバンチで運転し、バースト状の CSR を発生させた。これをミリ波計測用ダイオードディテクターで検出した。なお、ディテクター保護のため、光路に Si フィルターを挿入した。

時間構造を測定するためにオシロスコープを、また周波数成分を測定するためにスペクトラムアナライザーを使用した。

3. 時間構造

蓄積電流値 3mA、5mA、10mA、15mA、25mA の 5 つの条件で、周波数成分の測定、時間構造の測定を行った。

(1) 周波数成分表示

周波数成分の蓄積電流依存を図 2 に示す。

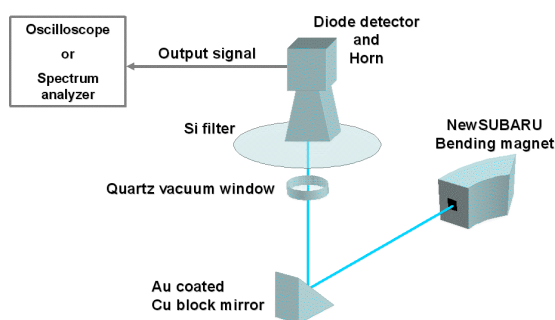


図 1 測定系

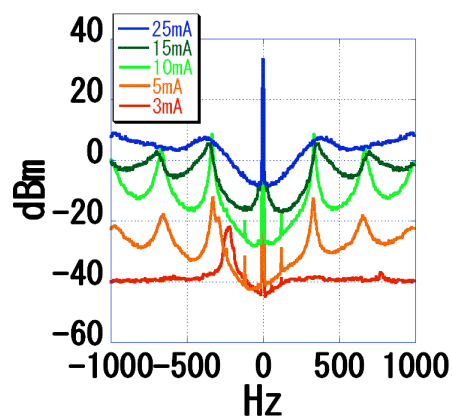


図 2 周波数成分の電流依存

電流値 5mA から 15mA において 330Hz との高調波のピークが確認された。このピークは電流値が増加すると幅が広くなり、電流値 25mA のときにはピークが非常に幅広くなり見えにくくなった。この周波数 330Hz は時間にして 3ms という周期に相当する。

(2) 時間構造

蓄積電流値 10mA のときの CSR バーストは、3ms の周期を持った準周期的構造をしていた。このバーストは、内部にさらに細かいピークを複数持っていた。

蓄積電流値 3mA から 25mA までの CSR バースト時間構造の蓄積電流依存性を図 3 に示す。蓄積電流値 3mA のものは、バーストの発生は見られるが周期性は無く、単発で現れていた。電流値 5mA から電流値 15mA までのものは、バーストがおよそ 3ms の準周期的な構造を持って発生していた。電流値 25mA のときはバーストの発生がランダムになり、周期性が見えなくなった。

上で述べたように 3ms という時間は周波数にするとおよそ 330Hz に相当することから、これらの準周期的構造は、周波数成分表示における 330Hz ピークと対応させることができる。電流値 3mA のときには 330Hz のピークが見られず、5mA から 15mA のときにおよそ 330Hz のバーストが発生し、25mA のときには周期性が見えにくくなった。

また、バースト強度の時間平均の蓄積電流依存性を調べたところ、電流値の二乗に比例をしていた。これは、過去に行われた CSR バーストの測定結果に矛盾しないものであった。

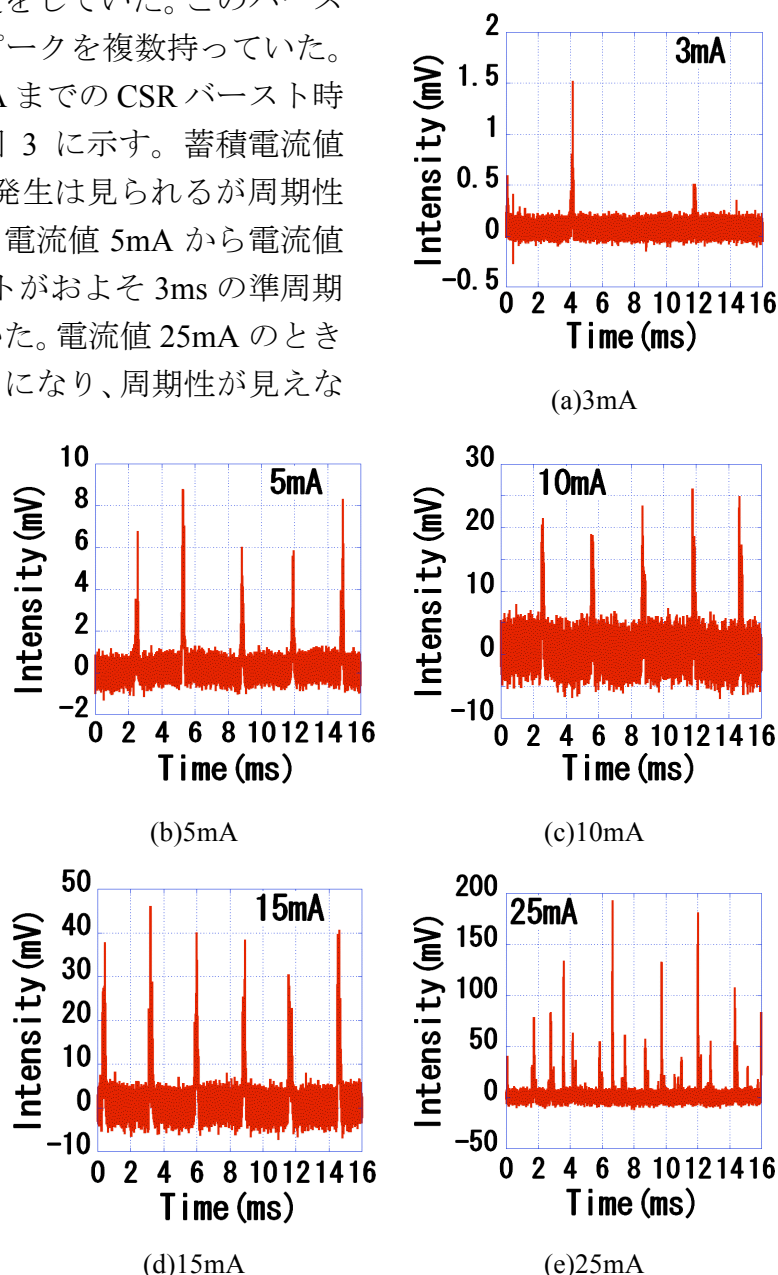


図 3 CSR バースト時間構造の蓄積電流依存

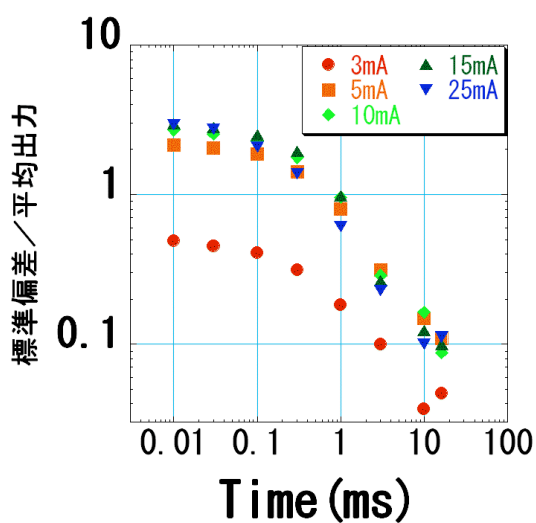
4. 出力分布と出力のバラつきの評価

得られた CSR バーストに対して一定時間内における出力分布を取り、各蓄積電流値に対して CSR の平均出力と標準偏差の比を求めた。これは CSR バーストの出力のバラつきを表す。

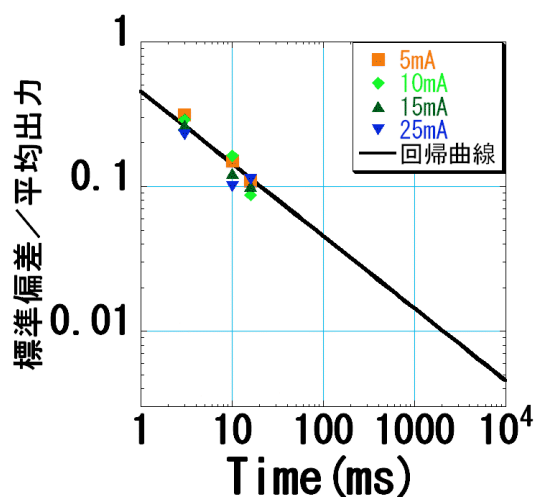
バーストの発生が少なかった蓄積電流値 3mA の場合を除いて、バーストの一定時間内でのバラつきはほぼ同程度になった。時間幅が 3ms のとき、5mA 以上の電流値において時間平均出力と標準偏差の比 $\frac{\sigma_P}{P}$ は 0.3 程度となった。

3ms 以上の時間において、バーストに再現性、履歴性が見られないと仮定し各々のバーストはランダムに発生していると考え、この比は照射する時間 T に対して $\frac{1}{\sqrt{T}}$ に比例するとみなせる。回帰曲線が測定値とよい一致をしていることからこの推定は正しいと考え、この曲線を基にバラつきが一定水準以下になるために必要な照射時間を推定し、表 1 に示す。

10ms オーダーの照射でバラつき 10%、100ms オーダーの照射でバラつき 5%、1s オーダーの照射でバラつき 1%を達成し、これより CSR バーストは利用実験に十分実用できると考えられる。



(a)平均出力と標準偏差の比



(b)ばらつきの評価

図 4 平均出力と標準偏差の比(バラつき)の評価

表 1 バラつきの値が一定水準になるための照射時間

バラつき (%)	照射時間
10%	20ms
5%	85ms
1%	2s