

ファブリ・ペロー共振器によるライナック電子ビームの電子密度計測

後藤 由樹、宮下 隆志、西山 修輔、富岡 智、榎戸 武揚

北海道大学大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻

〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目

概要

本研究ではライナック電子ビームの電子密度分布を電子ビームに対して非接触型の計測法として、一般的には光学干渉計として用いられているファブリ・ペロー共振器を用いた。このファブリ・ペロー共振器は複数の周波数スペクトルを同時に取り出せる事、また、位相情報を保持したまま周波数スペクトルを取り出せるという利点があり、リアルタイムでの電子ビームモニタリングが期待される。

1 はじめに

現在、電子ビームの電子密度分布の計測法として様々なモニタリングシステムの研究が行なわれている。モニタには電子ビームに対して接触型と非接触型が挙げられるが、接触型モニタではチェレンコフ光や遷移放射光をストリークカメラで計測する方法が挙げられる。しかし、これらの方法では電子ビーム破壊を生じ他の実験を行ないながら同時のモニタは困難である。また、非接触型では広帯域として利用されているサンプリングオシロスコープで電子ビームの放射電磁界を直接計測する方法があるが、この方法では加速器のジッターが大きい場合サンプリングオシロスコープの使用は困難である。そこで、電子ビームに非接触にビームの放射電磁界(電磁波)をファブリ・ペロー共振器で計測し、その複素スペクトル強度より電子ビームの電子密度分布の幅を推定する計測法を本研究で試みている。

ライナックの電子ビームは加速周波数 2.85GHz の周期をもつ電子密度分布を形成している。そのため、電子密度分布は加速周波数の整数倍した成分で構成される電子ビームの放射電磁界の各周波数の複素スペクトル強度を計測し、それを逆フーリエ展開することにより電子密度分布の幅(マイクロパルス幅)を推定することが可能となる(図1参照)。そこで、本研究では、各周波数の複素スペクトルを取り出すフィルターとしてファブリ・ペロー共振器(以下FPRと略す)を用いる計測法としての有用性を検討した。

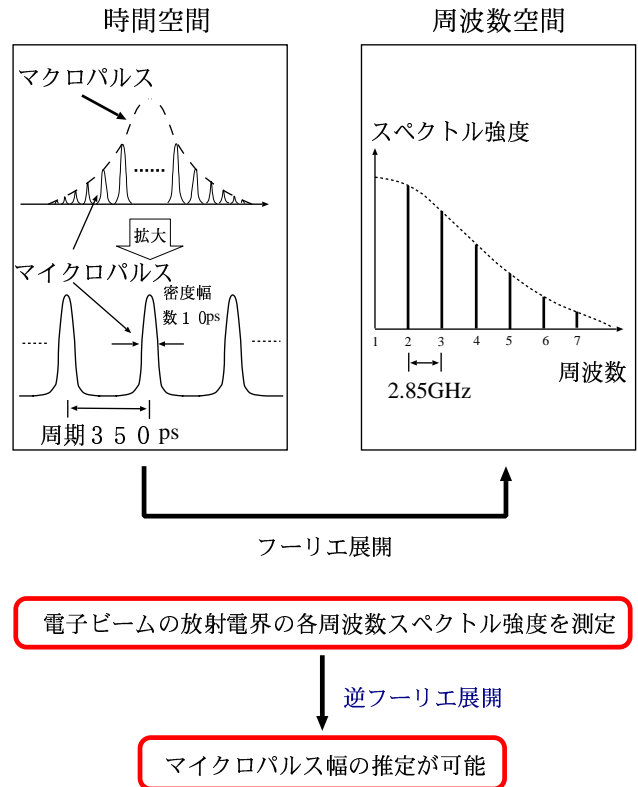


図 1: 電子ビームの電子密度分布

2 ファブリ・ペロー共振器

FPR はもともと光学干渉計として用いられ、二枚の曲率を持ったガラスを対向させ、内面の一部を透過させるようにしたものである。そこで、本研究ではそのガラスの鏡面に銅板をメッキすることにより放射電磁界(電磁波)の共振器として用いることができる。また、鏡面に曲率を与えることにより Q 値をあげることができる。

FPR は開放型の共振器で鏡面間隔を変化できる。図 2 に示すように、入射スリットから入射した放射電磁界(電磁波)は鏡面に曲率があるため、ある鏡面間隔では FPR 内で反射を繰り返し共振するが、ある鏡面間隔では FPR の開放部より洩れてしまう。鏡面間隔に対する共振特性はそれぞれの周波数に依存するため、周波数選択性を有する。また、曲率を変えることで共振器の鏡面間隔に対する特性を変えることができる。このように

FPR は曲率、鏡面間隔によってその特性を変えることができる。そこで、同じ鏡面間隔で同時に複数の周波数を位相情報を保持したまま検波することが可能である。

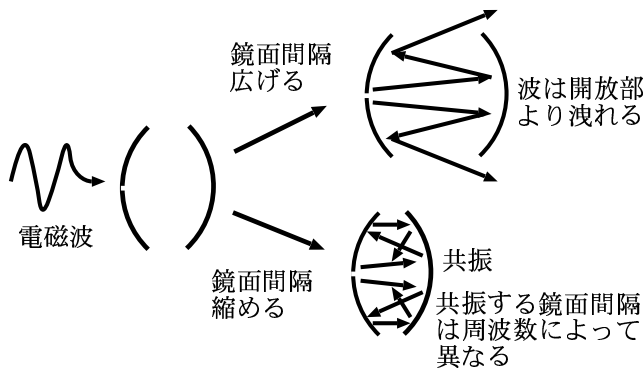


図 2: FPR の共振特性

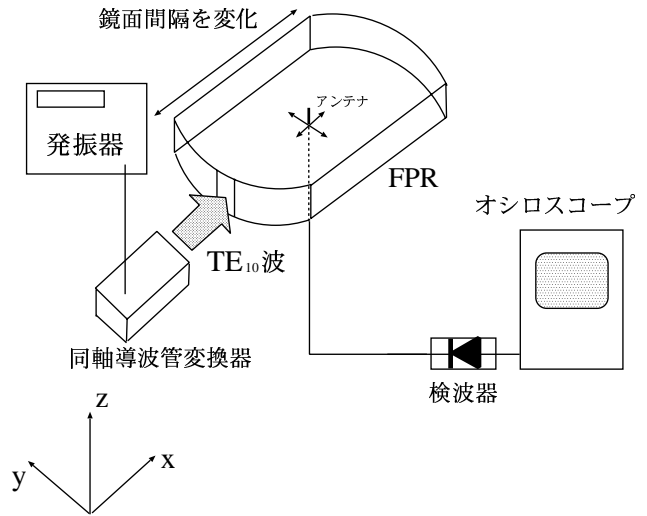


図 3: 実験 1 : 発振器による計測体系

3 実験

今まで、FPR を用いて各周波数を計測し、また、異なる周波数間の位相差を計測した。しかし、計測を行なったのは限られた周波数のみであった。電子ビームの電子密度分布幅の推定には複数の周波数を計測することが必要となる。そのためには FPR の曲率を変える、アンテナの挿入位置を変えるなどし、複数の複素スペクトルが検出できるように調整しなければならない。適切な FPR を設計するには、解析によるアプローチが必要がある。しかし、過去の解析結果と計測結果は定性的な一致が見られたものの、定量的な一致は見られなかった。また、検出された信号が入射ポートのみから入射した放射電磁界のみならず、FPR の開放部から入射してくる放射電磁界の影響の程度、計測体系の妥当性を確認する必要がある。

そこで、実際に FPR 内部の電界分布の様子をマイクロ波発振器により平面波 (TE_{10} 波) を直接 FPR の入射ポートから入射させた場合 (実験 1) と電子ビームの放射電磁界を入射ポートから入射させた場合 (実験 2) と境界要素法による解析結果の比較を行なった。計測は同軸ケーブルの中心導体を 11mm 露出したモノポールアンテナを FPR 内を X 軸方向に 5mm、Y 軸方向に 10mm 刻みで動かして行なった。また、今回は FPR の鏡面間隔を 107mm、8.55GHz の周波数での条件で行なった。実験 1 では検波器、実験 2 ではバンドパスフィルター、検波器を併用しオシロスコープで計測した。

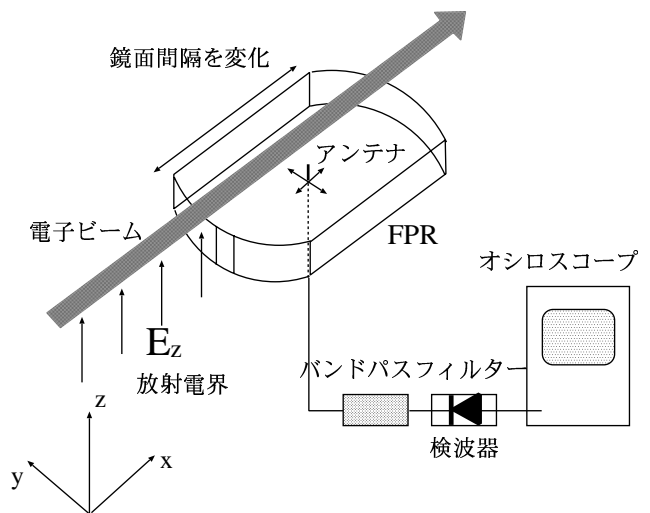


図 4: 実験 2 : ライナックによる計測体系

4 計測結果

図 5～図 7 にそれぞれの計測結果を示す。但し、解析結果での鏡面間隔は実験時の計測誤差を考慮し、実験結果に近い解析結果を用いているため、実験とは異なる鏡面間隔での解析結果を示した。図の等高線はエネルギー強度であり、その等高線の間隔は見やすくしているため一定ではない。また、FPR への入力エネルギーを評価していないため、図の等高線は相対値を示している。8.55GHz でのそれぞれの発振器、ライナック、解析の計測結果は大体の一致がみられた。特に発振器とライナック

クでの計測結果から FPR の開放部から電子ビームの誘起によって発生する輻射波が FPR 内部に入ることが問題とされていたが、その影響はないことが評価できた。これらの結果より計測体系の妥当性を確認することができた。

5 まとめ

今回の実験において FPR 内の内部電界が解析結果と比較して大体の一致が見られるものの等高線の乱れがある。これは、鏡面間隔を自由に变化できるようにするため、可動部の部分でのシールドが完全ではなかったこと、曲率が完全ではなかったことなどが考えられる。また、今回の実験では 2.85GHz、5.70GHz 等の他の周波数の検出ができなかった。これは、低い周波数においては FPR の入射ポートが大きいこと共振されにくいという事も考えられる。今後、更に精度を上げると共に他の周波数を検出するため、FPR の再設計が課題である。

参考文献

- [1] Y.Mizusawa et al., Proc. of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.383-385, 1999
- [2] T.Miyashita et al., Proc. of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.389-391, 1999
- [3] 水沢芳樹,『ファブリ・ペロー共振器を用いた LINC 電子ビーム波形測定』,北海道大学修士論文,2000
- [4] 宮下隆志,『ファブリ・ペロー共振器による LINAC 電子ビーム微細構造パルス波形測定』,北海道大学修士論文,2001



図 5: 発振器による FPR 内部電界 (鏡面間隔 107mm)

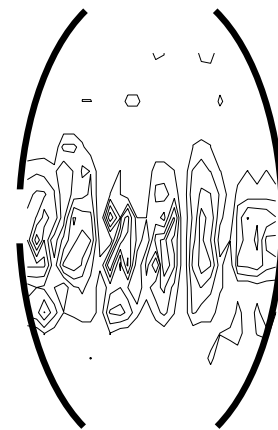


図 6: ライナックによる FPR 内部電界 (鏡面間隔 107mm)

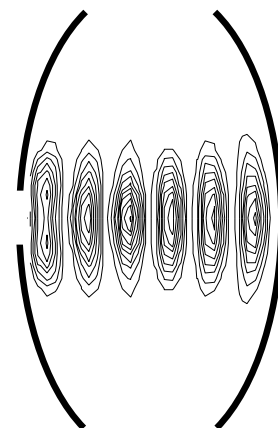


図 7: 解析による FPR 内部電界 (鏡面間隔 110mm)