

審査の結果の要旨

氏名 夏井 拓也

本論文では、X-band ライナックについての研究を行い、その成果をまとめている。高周波電子ビーム加速の分野ではリニアコライダーなどの研究分野で X バンド周波数帯の加速器開発がなされてきた。X バンド周波数帯は従来よく用いられてきた S バンド周波数帯の 1/4 波長の高周波であり、S バンドに比べて加速効率がよく波長が短いため高周波機器が小さくなるという利点がある。近年、この X バンド周波数帯を産業用のライナックにも利用する動きが活発になってきている。本論文では医療用コンプトン散乱 X 線源や非破壊検査用ライナックに X バンド高周波加速を応用する研究をまとめている。

非破壊検査用 950 keV ライナックにおいては、設計・実験を行い、一定の成果をあげている。また、そこで発生した特殊な現象を解析するために、新たな計算手法を提案し、計算コードとして完成させている。この特殊な現象とはライナックのパルス内のビーム電流振動現象であり、ビームローディングが起因していた。このような現象を計算できる方法として PIC (Particle In Cell) 法があるが、今回の現象には適用できないと結論付けられている。それは、PIC 法で計算できる時間スケールは高周波の周期で数周期分ほどの時間で、今回のように 1000 周期以上の計算では時間的にも難しい。さらに、加速管のように Q 値が高い共振空洞の連成振動体においては、個々の空洞のわずかな周波数差であっても性能に大きく影響が出る。そのようなものを PIC で計算しても長時間計算では誤差が蓄積されて正確な結果を出すことは非常に難しい。このような考察の結果として、時間的、精度的に今回の現象に適している方法として等価回路計算を応用することになった経緯が説明されていた。

等価回路計算とは加速管を考えると、電磁場を直接解くのではなく、共振空洞連成振動体としての加速管特性を電気回路に置き換える、という方法である。この方法では、各空洞の共振周波数、結合係数、Q 値などが直接設定できるため、加速管特性を決定付けるこれらの数値に誤差が入ることがない。そのため長時間計算でも正確に加速管の特性を再現できる。また、計算速度も非常に速い。この方法にビーム加速計算を繰り返すことで今回の現象をシミュレーションできる。ビーム加速計算は計算時間の関係から 1 次元モデルとし、回路モデルからの電磁場情報を受けて加速し、その加

速によるビームローディングをまた回路モデルにフィードバックするという方法を用いていた。

等価回路法自体は、一般に知られた方法であるが、そこにビームの効果を時間領域で計算するための手法を導入し、計算コードとして実証したことは学術的に重要でありかつ新規性もある。ビーム振動現象も計算によって再現され、その原因の物理的描像も説明されている。

そこから、問題点をまとめ、改善策を施した2号機の設計を行なっている。ここではサイドカップル空洞を用いて1号機よりもこのエネルギーの電子ビーム加速に適した形のライナックを設計できている。

コンプトン散乱 X 線源用 X バンドライナックシステムは、医療用の単色 X 線撮影用として東大で開発が進められてきた。この装置においては、ビーム輸送を開始によりさまざまな問題が明らかになってきたようだが、その問題点をまとめ、対策の方法とその結果がよくまとめられている。熱カソード X バンド RF gun によるコンプトン散乱装置は世界でも唯一の装置であり非常に先進的であるが、その装置において、ビームの測定を行い、エネルギースペクトル、エミッタンスを評価している。

X 線発生実験においては、X 線シグナルの取得には至っていないが、その原因を考察し、現在もっとも影響が大きい部分を特定している。これは、電源モジュレータの不安定性からノイズ X 線が多くなってしまったことに言及されている。また、その影響がどれほどビームに影響するかも評価しており、今後の指針も示している。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。