

本論文は、東京大学原子力専攻及び高輝度光科学研究センターで行われた、極短電子バンチ形状計測に関するものである。サブピコ秒の極短電子バンチ形状計測について、コヒーレント遷移放射のスペクトル解析による手法と電気光学効果による手法の有用性について、数値計算と実験両面から検討が行われている。

第一章では、サブピコ秒の電子バンチ生成源の1つとして、主に X 線自由電子レーザーに注目し、本論文で構築する極短電子バンチ形状計測体系の必要性について説明が行われている。また、既存の極短電子バンチ形状計測の手法についても比較検討がなされ、X 線自由電子レーザーにおいて非破壊・リアルタイムで電子バンチ形状を計測するためには時間分解能の改善が必要である現状について述べられており、本論文で構築する計測体系の動機付けが説明されている。

第二章では、極短電子バンチ長計測手法の一つであるコヒーレント遷移放射のスペクトル解析による電子バンチ長計測について、レーザープラズマ加速を用いた実験結果及び数値計算結果について述べられている。レーザープラズマ加速では電子ビームのエネルギー分散によってバンチ長が 2ps 程度まで広がっていることを General Particle Tracer による数値計算で示しており、これまでの実験結果と一致していることを示した。一方で、コヒーレント放射のスペクトル解析によるバンチ長計測では、リアルタイムでのバンチ長計測は困難であり、その点では電気光学効果によるバンチ長計測が優れていることについても触れられている。

第三章では、電気光学効果によるバンチ形状計測の理論について述べられている。特に、電気光学効果によるバンチ形状計測において時間分解能を制約する要因を列挙し、X 線自由電子レーザーで数 10fs の時間分解能でのバンチ形状計測を行うにあたり、支配的となる制約要因がレーザーのバンド幅と結晶の周波数特性であることを示した。

第四章では、本論文で構築するバンチ形状計測体系の設計について述べられており、本論文で開発を行った開発項目が列挙されている。また、バンチ形状計測について数値計算による分解能の見積が行われており、縦方向ではレーザーバンド幅の広帯域化によって 111fs の時間分解の達成が可能であること、横方向では 10 μ m の偏芯が検出可能であることを示した。一方で数 10fs の時間分解能達成のためには、有機 EO 結晶の活用が必要であり、そのための対策として DAST 結晶の使用を検討していることについても述べられている。

第五章では、本計測体系に必要なプローブレーザー光源の開発について述べられている。プローブ光源として、ラジアル偏光・円環形状レーザーの生成に成功しており、そのために必要となる光学素子の開発も行われている。3次元形状計測に必要なタイミング制御板の開発及び実験での実証、プローブレーザーの安定運転のための自動アライメントシステムの実現についても完了している。一方で、高時間分解能化に必要な白色レーザーについては、未だ生成実験が行われている中途の段階である。しかしながら、現在開発を完了している項目によって、電子バンチの3次元形状計測のためのシステムは完成している。

第六章では、本計測体系に必要な光学素子の開発について述べられている。電気光学効果によるバンチ長計測では、波長板や偏光ビームスプリッターが必須である。これら光学素子を、広帯域(600-1100nm)で使用可能となるよう、設計開発及び実験での性能評価を行った。広帯域における偏光状態の計測として円錐屈折による計測が行われており、偏光状態の計測手法として本計測手法が有用であることを示した。

第七章では、以上で開発を行ったプローブレーザー光源や光学素子を使用した、バンチ形状計測体系の構築について述べられている。ここでは SPring-8 のフォトカソード RF 電

子銃試験装置を用いて、3次元形状計測の原理実証実験を行うべく、必要となる体系の構築が完了している。

以上のように本論文は、極短電子バンチ計測手法として、コヒーレント放射のスペクトル解析による手法の数値計算・実験両面からの評価、電気光学効果によるバンチ形状計測の設計開発及び体系構築を行った。本計測体系は、非破壊・リアルタイムでの極短電子バンチ計測として、極短電子バンチ生成を行う加速器にとって必要不可欠のものである。3次元バンチ形状計測の概念は非常に独創的で、本体系構築のために開発した光学素子も光学の最先端のものであり、非常に価値が高い。

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。