

氏 名	わた 渡 なたまき 邊 環
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	論 理 博 第 1355 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	重イオンクーラーシンクロトロンTARN IIにおけるビーム軌道に関する研究とその補正のための高感度ビーム位置モニターの開発

(主査)

論文調査委員	教授 野田 章	教授 井上 信	教授 笹尾 登
--------	---------	---------	---------

論 文 内 容 の 要 旨

従来のシンクロトロンに於いては、 10^{10} 程度以上の強度のビーム加速を専ら扱っており、これより低強度のビームの取り扱い、ビームのモニターの観点から困難と一般には考えられていた。しかしながら、重イオンビームはその重い質量の故に、現実的な加速が可能となるような多価チャージステートのビームの強度は、陽子乃至は電子と比較して、飛躍的に低強度とならざるを得ない。この状況を克服して、重イオンクーラーシンクロトロンTARN (Test Accumulation Ring for NUM-ATRONの略) IIにおいて、低強度の重イオンをシンクロトロン加速し、更に低強度の分子ビームを電子ビームと軸合わせして、電子冷却を可能ならしめるような高感度のビームモニターシステムを開発するというのが本研究の主眼である。本研究に於いては、まず低強度の重イオンビームをTARN II リングで扱う際に、当初はビームモニターによる観測なしで、ビームの安定な周回を実現することが不可欠であるため、ビームの平衡軌道のずれ (Closed Orbit Distortion-C.O.Dと略す) を可能な限り縮減することを目指し、リングラティスを構成する電磁石の高精度の磁場測定を行い、その結果に基づき電磁石の組み合わせを工夫することにより、 $\pm 1.3 \times 10^{-3}$ から $\pm 3.5 \times 10^{-4}$ まで、C.O.Dを一桁近く縮減することに成功している。また、これらの電磁石を正六角形の形状に設置するに際して、設計上の理想的TARN II リングはその中心の周りに 60° の回転対称性を有することに着目し、この正六角形の頂点に位置する6台の電磁石の、水平面内での位置変位(2方向)と回転角(1方向)の合計18の未知数を、合計23乃至24の距離測定データを用いた拘束条件の元で、ハウスホルダー変換により解くアルゴリズムを確立し、部屋の中央に2重の壁が存在し、全ての距離は測定不可能な条件に於いても距離測定の誤差が存在しない条件では、 $1 \mu\text{m}$ 以下すなわち計算の精度以内で必要位置補正量を求めることの出来る手法を見いだしている。以上の結果、設置する建屋の条件下で実現可能な限界ともいえる $\pm 0.4\text{mm}$ 以下の位置精度で電磁石の据え付けを完了し、TARN IIにおいて無事 $1 \mu\text{A}$ オーダーの低強度ビームの安定な周回を実現している。

ビームの周回後は高感度ビームモニターの開発を推進し、具体的には、バンチしたビームがピックアップ電極上に誘起する信号の解析を、周波数領域と時間領域の両面から遂行し、 $100\text{k}\Omega$ 乃至は $1\text{M}\Omega$ の高い入力インピーダンスを用いたヘッドアンプを狭帯域のチューナブルフィルターといえるスペクトラムアナライザーと併せ持ちいることにより、 $1 \mu\text{A}$ (10^6 台の粒子数)のビーム強度で 0.3mm の精度でビーム位置の観測を行うことを可能としている。この過程に於いて、本研究で扱っているビームモニターのように容量性のピックアップの場合には、従来信じられてきた「入力インピーダンスの高いヘッドアンプは信号検出の利得は高いが、ノイズレベルが高いためS/N比が、低インピーダンスのものに比して悪くなる」という状況は成り立たず、 $100\text{k}\Omega$ 程度より高いインピーダンスを用いる方がS/N的にも有利であることを初めて示した。

さらに、この高感度・低雑音ビームモニターを水平方向に8台、垂直方向に6台使用し、水平、垂直各方向に設置されたそれぞれ12台および6台の補正電磁石を用いたC. O. D. 補正を行い、ビーム位置の標準偏差を水平方向で 4.0mm から 0.3mm に、垂直方向を 1.9mm から 0.4mm に減少させることに成功している。

また、この高感度ビーム位置モニターを、重イオンビームの加速時におけるフィードバック系や電子ビーム冷却時の重イ

オンビームと電子ビームの軸合わせに応用し、TARNIIを用いたビーム加速実験や分子ビームの解離性再結合を調べる実験に活用している。

論文審査の結果の要旨

重イオンビームのシンクロトロンによる高エネルギーへの加速や分子ビームの解離性再結合のような精密実験の遂行には、極めて低強度のビーム (10^6 から 10^4 (あるいはこれ以下)) をシンクロトロン乃至はクーラーリングであつかう必要があり、その正確なビームモニターリングは極めて困難と考えられていた。

申請者は、このような低強度ビームのモニターの開発に一貫して携わってきたが、その過程でまず低強度ビームが周回出来るリング、TARNIIの建設に取り組み、

1. 偏向電磁石の精密磁場測定とその解析を通じて、C.O.Dを一桁近く縮減できる電磁石の組み合わせを見だし、TARN II リングの性能向上に大きく貢献した。
2. 電磁石の据え付けに際しては、中央に二重の壁の存在する建屋の状況の下でも精密位置出しの可能なアラインメントの方式を確立し、建屋の状況の中で可能な限界の精度ともいえる $\pm 0.4\text{mm}$ 以下の精度を実現した。

TARN IIにおいて、低強度 (10^6) のビームの安定な周回の実現後、申請者は、高感度ビームモニターの開発に携わり、狭帯域のバンドパスフィルターであるスペクトラムアナライザーを高利得・低雑音のヘッドアンプと組み合わせ用いる可能性を追求してきた。中でも特筆すべきは、以下の事実を初めて示したことである。すなわち、本研究で使用している容量性のピックアップの場合には、従来信しられてきたような「高入力インピーダンスの増幅器は、信号利得は高いが、雑音レベルも高くなり、 S/N 比は低インピーダンスの場合に比して劣化する」という状況は成り立たず、信号利得、 S/N 比共に低インピーダンスの場合よりも有利になる条件があることを計算機シミュレーションと信号・ノイズレベルの実測値との比較を通じて示した。この結果により低雑音・高感度ビームモニターの実用化が確立し、その成果は、TARN IIにおける低強度重イオンビームの加速や超低強度の分子ビームの電子冷却の実現に結実している。

以上の理由から、本申請論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。

なお、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した分野について口頭試問した結果、合格と認めた。

また、電磁気学、原子核物理学、加速器物理学、粒子線物理学および外国語 (英語およびドイツ語) について、筆答および口頭の諮問を行い、本学大学院博士課程を修了した者と同等の学識を有することを確認した。