

氏 名 Vladimir Foguel

学位（専攻分野） 博士(学術)

学位記番号 総研大乙第113号

学位授与の日付 平成15年3月24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 Beam instrumentation in linacs for a Linear Colleder(LC)

論文審査委員 主査教授 高田 耕治  
                  助教授 陳 栄浩  
                  助教授 早野 仁司  
                  主任研究員 山崎 良成（日本原子力研究所）

## 論文内容の要旨

論文題目: Beam instrumentation in linacs for a Linear Collider (LC)

The design of future multi-bunch e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> linear collider is based on beams accelerated in very high gradient accelerator structures and having extremely small beam sizes in the collision point. For preservation of an emittance growth along the linear collider, high resolution and high accuracy BPMs are necessary. The requirements for BPMs in a LC depend on which part of LC they are installed in and do also on many other factors. In main linacs, where the number of BPMs will be around 4000, the cost of BPMs and their electronic circuits and the impedance of the BPM are most important factors. The resolution and accuracy of BPMs in this part should be comparable with the machining accuracy of accelerator structures and will be about 0.2-0.3 micrometer. It is preferable if some of these BPMs are capable of measuring the beam angle as well. For this purpose, a closed cavity BPM operated at frequency of 6424 MHz was proposed, and calculations and experiments for study of the beam position and angle measurement resolutions were made. In the final focus system, where the beam size comes down to a few nanometers, the required BPM resolution is about one nanometer and thus a special type of high resolution BPM is needed. This BPM also should be able to identify the position of each bunch in a multi-bunch train. A cavity sensor was proposed, which has a position resolution of about 1 nm. Another type of special cavity sensor was also proposed for measurement of the bunch position in a train relative to each other. To have the required high accelerating gradient along a linac and to produce an energy spread required by the BNS damping, we have to keep the phase between a beam and the RF accelerating voltage within an accuracy of about 1 degree. For many usages, we also need to know the bunch length distribution along a linac. This information is especially important when we first time start the beam operation. A special phase and bunch length sensor was proposed, which has combined functions of both of them in one device. Calculations and experimental results are presented.

## 論文の審査結果の要旨

Vladimir Foguel 氏の博士論文は、極めて微細なビームどうしの衝突を行う TeV 領域の電子・陽電子リニアコライダーで重要なビーム位置モニター (BPM: beam position monitor) の設計、開発、実用化研究についてまとめたものである。ビームの断面寸法は水平方向で約 300 ミクロン、垂直方向ではその 100 分の 1 であるので、30km に及ぶ加速器にそってのビーム位置検出と正規軌道へのフィードバックは、リニアコライダーに必須の機能である。

BINP (ロシア原子核研究所プロトビノ支所) では申請者が中心となって、マイクロ波空洞 BPM を永年にわたって開発してきた。独自の理論的考察をもとに設計、製作された BINP 型空洞 BPM は、はじめに米国 Brookhaven 研究所の試験加速器施設でビーム試験が行われた。ついで KEK (高エネルギー加速器研究機構) の試験加速器施設 (ATF) においてより精密なビーム試験が行われた。現在では、ビームエミッタンスで世界最小値を達成した ATF ダンピングリングの重要な一部として実用に供されている。

申請者の論文はこれら一連の研究をまとめたものである。特に、広く使われてきたボタン電極型、ストリップライン型などの BPM のビーム位置検出精度、分解能の限界を指摘したうえで、

- (i) マイクロ波空洞を複数個使用する BPM システムの提唱、
  - (ii) ビームの横方向位置のずれのみならず、加速管中心軸に対してビーム軌道がもつ角度をも検出する空洞構成の提案、
  - (iii) システム中に基準信号用空洞を挿入し、位置、角度の測定精度を確実なものにする、
  - (iv) 基準信号空洞は 2 つの異なるビーム高調波に同時に共振し、ビームの縦方向位置 (加速高周波に対する位相) ならびにビームバンチ長の測定も可能にする、
- などの独創的な提案がその骨子となっている。

これらを具体的に実証する作業は、KEK ATF 入射リニアックにおける X バンドパルス分配試験 (DLDS) でのビーム位相測定実験、および KEK ATF ダンピングリング外部取出しビームラインでのビーム位置測定実験として行われた。

DLDS 試験における位相測定は、S バンドリニアックのビームが誘起する信号の位相を、55m におよぶ DLDS 導波管を伝搬する 11.4GHz の極めて安定なマイクロ波位相を基準として行われた。そのために、ビームから見たインピーダンスが小さいリング状空洞を特に設計し、リニアックの上流と下流に設置した。それらの空洞では TM<sub>010</sub> モード (5.712 GHz) と TM<sub>020</sub> モード (11.424 GHz) が同時に共振するとともに、クライストロンからの高調波ノイズを減衰させる構造上の工夫も行っている。その結果、良好な位相検出感度を達成することが出来た。

外部取出しビームラインでの実験は、TM<sub>110</sub> モード (6.426 GHz) で共振する 3 個の円筒空洞を位置検出用とし、TM<sub>010</sub> モード (2.856 GHz) と TM<sub>020</sub> モード (6.426 GHz) に同時に共振する 1 個の円筒空洞を基準空洞とするシステムで行われた。この空洞システムはビーム軌道調整用 triplet 磁石群のなかに置かれ、ビーム位置を変化させたときの信号を観測した。また 基準信号空洞によるバンチ長測定は、ダンピングリングの加速空洞電圧をパラメーターとして行われた。実験では、電子数  $4E9 \sim 8E9$  の 1.3GeV バンチに対し水平位置、垂直位置とも 180nm という、リニアコライダー主リニアック加速管の製作精度よ

り小さい分解能が達成された。また基準空洞での 2 モードによるバンチ長測定や、位置検出用空洞の TE<sub>11</sub> モードによる軌道角度測定という初めての研究も行われた。

申請者がこの論文においてまとめた一連の研究は、マイクロ波空洞における周波数の異なる複数モードを活用して、バンチの位置、位相、長さを精密に観測しようとする極めてユニークなものである。共振周波数の安定化や検出回路の高 S/N 化に独自の電子工学的工夫も施されている。このように申請者の業績は、高い周波数成分をもつ微小バンチの測定技術を大きく進展させる基礎的研究である。そして近い将来に建設が期待されている電子・陽電子リニアコライダーのために極めて重要な技術基盤を提供するものといえる。審査委員会では、マイクロ波空洞 BPM における、この先駆的な実験研究について、全員一致で学位授与に相応しいと判定した。