

ACCELERATION OF ELECTRONS BY WAKE FIELDS

Seishi TAKEDA, Masakazu YOSHIOKA*, Isamu SATO**,
Koji TAKATA** and Yasutaka FUKUSHIMA**

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

* Institute for Nuclear Study, University of Tokyo

** National Laboratory for High Energy Physics

Abstract

A wake field accelerator can generate high gradients up to a few hundred MeV/m by using transient electromagnetic fields excited by a high-current single bunch. Breakdown limits in the wake field accelerator are less severe than those in any other conventional accelerator by using the applied electromagnetic fields, since the high field strength exists only for an extremely short time of several picoseconds at any given point in the structure. In order to investigate the feasibility of the wake field acceleration, an elliptical structure has been constructed. Wake fields excited by a high-current single bunch of 16 nC which travels through one focal point of an elliptical structure are utilized in order to accelerate beam electrons passing through the other focal point of the structure. The measurements both in a particle mode and in a current mode have been carried out to estimate the energy gain of the accelerated electrons.

はじめに

e^+e^- storage ring によつて加速可能な粒子の最大エネルギーは、rf パワーと放射光によるエネルギー損失により制限され、100 GeV オード以上まで加速することは容易ではない。リニアックは放射光損失なしに e^+ や e^- を加速できるので、数100 GeV 以上の Colliding Machine では、2台のリニアックを対向させ、それぞれが e^+ 、 e^- の単一バッチを加速する linear Collider が注目されている。Ring と異なり linear Collider では e^+ 、 e^- が single pass でのみ加速されるので、linear collider の全長は重心エネルギーと加速場の平均勾配の比で決定される。従つて 2 TeV の linear collider を全長 20 km 以下で建設しようとするとき、100 MeV/m 以上の高勾配加速場が要求される。加速管内にこのような高勾配加速場を発生させるには、RF パルスの巾を短かくし multipactoring effect を小さくおさえる必要がある。disk-loaded 型に比較して群速度 v_g/c が1桁大きい bar-loaded や Disk & Washer 型の加速管は filling time が約 100 ns と短かく、高勾配加速場を得るのに適している。

Wake Field 加速器

Wake Field 加速器は大電流の単一バッチによつて structure 内に励起される過渡的電磁場を利用するもので、この場合 structure 内のどの位置においても、加速場のパルス中は Wake Field を励起する driving bunch のパルス中と同様数 10 ps と短かい。従つて放電破壊の限界は外部から電磁波を供給する RF 加速器と比較して充分高く、数100 MeV/m の高勾配加速場を得ることが可能である。大電流の単一バッチを structure に入射させると単一バッチを減速させる Wake Field が励起され、structure の周辺部へ向つて伝播する。structure 端で反射した後

伝播する Waka Field を或る点に向って集中できる様な structure を選択すれば、反射による field 反転で加速場が作られ、ここを通過するビーム電子は加速される。Driving Bunch を structure の低インピーダンス部に入射させた後、structure の高インピーダンス部は Waka Field を集中させると field strength を step up させることができる。高圧加速場を得るための Waka Field Transformer の概念は J. Weiland によって提案されている。

Waka Field による電子加速実験

Waka Field Accelerator の可能性を調べるために、楕円型 structure (長内径 800mm, 短内径 625mm, 焦点間 500mm, ギャップ 50mm) が作られた。一つの焦点は円形ライナックのトランスポートチューブと接続され、driving bunch として 16nC, 16ps の単一バンチを用いる。楕円 structure 内に励起された Waka Field は 800mm (~2.67ns) 伝播した後、もう一つの焦点に集中する。16ps, 16nC ($10^{11}e^-$) の単一バンチがこの structure を通過する際の loss parameter は、ライナック加速管でのエネルギー損失実験データから校正され、 148 keV/nC/m と推定された。

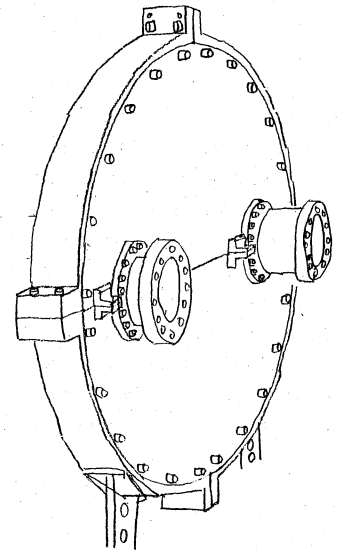


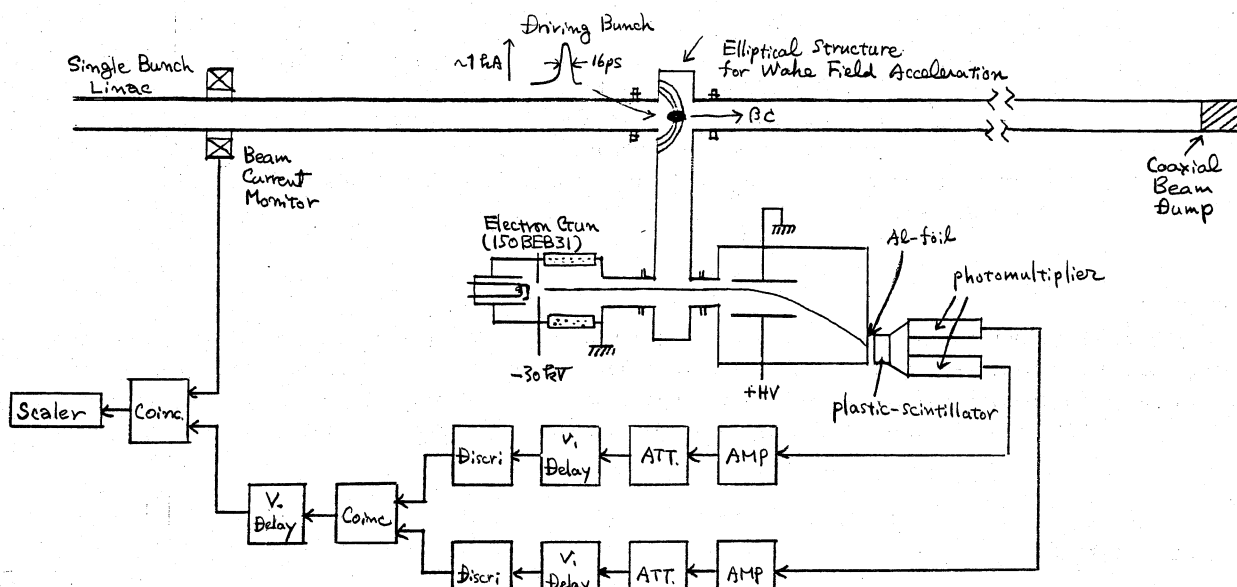
図 楕円 structure

また 16ps の Gaussian bunch の円筒空洞 (口径 300mm, ギャップ 50mm) での loss parameter は BCII によって 50 keV/nC/m と評価された。従って加速ビームの energy gain は、加速ビーム電子の σ が大で、加速 field に in phase のとき最大 40 keV と推定される。加速ビームは従ってリニアックからの単一バンチであるのが理想的であるが、2台のリニアックを利用することは不可能であるので、次の2種類の測定法にあわせて加速ビームの種類を選択した。エネルギー取得は静電型エネルギー分析器を用いて、加速ビームのエネルギー分布を測定することを目指す。

1) 粒子モードによる測定

高エネルギー物理実験で常用されている粒子モードで加速電子のエネルギー分布を測定するとき、 $E \pm \Delta E$ の電子の個数を event に対応する確立として定める。従って加速ビームは Waka Field の 16ps のパルス中内に1個以下の電子が存在する弱電流ビームでなくてはならない。この場合、コインシデンスがとれるので、加速ビームは DC ビームでよく、オシロスコープ用電子銃を用いた。30 keV, 10mA 以下の電子ビームは静電型分析器で偏向される。分析器出口に張られた Al-foil を通過した電子をプラスチックシンチレータで検出する。driving bunch である単一バンチがトランスポート系の Beam Current Monitor を通過する信号を Master Trigger に用い、プラスチックシンチレータの光は2本の photomultiplier で coincidence をとって検出する。結果はトランスポート系を通過してくる 16nC の大電流単一バンチ中の1部のこぼれた電子が作る photon バーストが信号レベルより高く、シールドを完

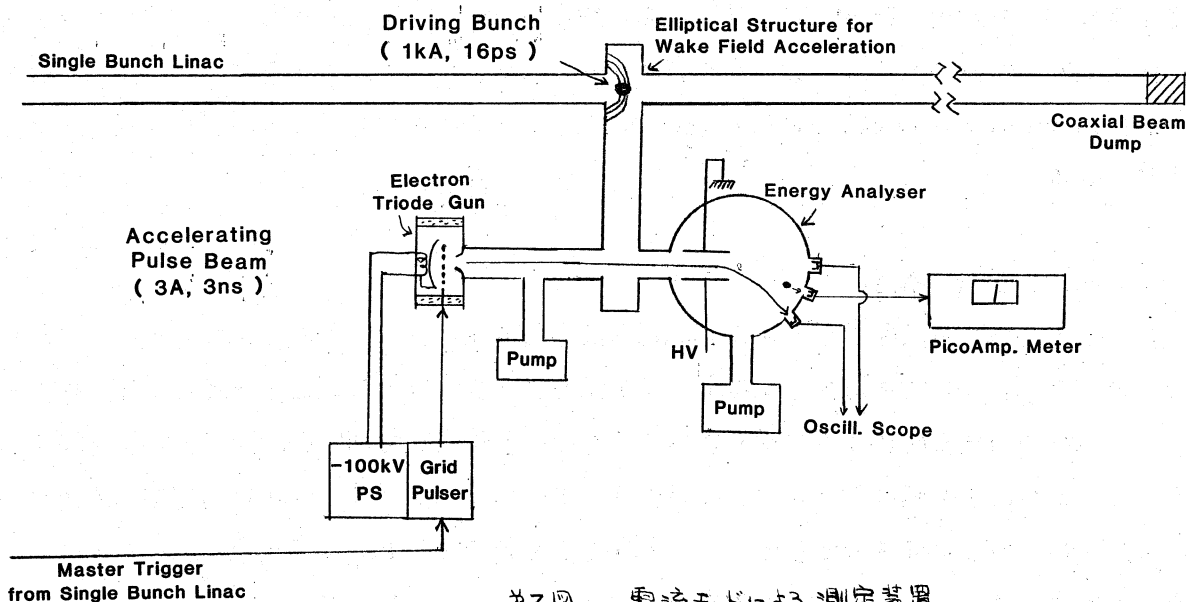
全に成ることは困難であるので、次の電流モードによる測定法に変更した。



※2図 粒子モードによる測定装置

2) 電流モードによる測定

Wake Field 加速の Driving bunch として利用している単バッチ (16 ps, 16 nC) のピーク電流は約 1 kA であるので、加速バッチの電流を 10 A (driving bunch の 1%) まで増大しても充分 energy transfer できると考える。10 A の bunch を発生させるのは困難であるので、ナノ秒パルスビームを用い、そのビーム中の一部の電子で Wake Field によって energy の増大したものを Faraday Cup で集め、pico-ampere オーダーで電流を測る。電子銃は、最大 5 MeV S バンドライナック用三極管を用い、driving bunch と加速パルスビームの同期をとるため、Single bunch Linac の master trigger を delay させ、grid pulser を制御する。現在装置をセッティング中である。



※3図 電流モードによる測定装置