

核理研 300 MeV リニアック, エネルギー-圧縮装置の性能.

東北大学核理研 島塚賢治, 一戸隆, 浦沢茂一, 小山田正幸, 窪田健雄, 栗原亮, 今野収,
柴崎善信, 庄田勝彦, 菅原真澄, 寺沢慶生, 中原和夫, 根本重信, 井藤正勝

電子リニアックからのビームの初相初序を高めるために, エネルギー-圧縮装置 (ECB) が有効であることが知られており, 核理研 300 MeV リニアックでも 51 年 6 月に設置された。既に電子散乱等の実験に使用されている。性能は良好で 0.2% のエネルギー-中核約 8 nA の電子ビームが得られている。これは従来の 6~8 倍の強度に相当する。毎定電圧中に改善された運転者の負担も著しく軽減された。

ECB の構成 ECB は加速器からのビーム (2856 MHz で約 5° にバンケされている) をデバンケさせるための電磁石系とエネルギー補償用の加速管 (Aecc) からなっている。全体の配置を図 1 に示した。電磁石系 (Mecc) はリニアックの出口直後に置かれ, 迂回路を形成している。この幾何学的な性質は図 2 に示すように, 各電磁石の磁極軸を平行に非色収差系にしている。1 枚ずつを図 2(a), (b) に示したように中心軌道に平行に入射したビームは再び平行に出て出て行く条件として自由空間と同じと見做すことができる。エネルギーの違う場合は (c) に示してあり, 高エネルギー電子は内側を, 低エネルギーの電子は外側を明るので, 異なる速度の軌道の長さのエネルギーによつて違いがバンケされることになる。単位エネルギー変位当りの軌道長差 (ラバラング係数 $\beta = \Delta l / (\Delta E / E)$) は, リニアックからのビームのエネルギー中 2%, 位相中核約 5° であることと考慮して 15.7 mm/% にするように電磁石系を設計した。これは 2856 MHz のマイクロ波に対する位相差は 17 $\beta = \Delta l / (\Delta E / E) = 53.6^\circ / \%$ に相当する。そこで, 3 電磁石と 2 電磁石の磁束密度比として $B_{1,3} / B_2 = 0.6$ を採用し, 2 電磁石の最大磁束密度 (B_{2max}) が適宜にならないようにした。また, 偏角角は $B_{1,3} / B_2 = 0.6$ のときデバンケ係数最大値を 38° と選んである。

ECB 用加速管として 300 MeV リニアック本体の予備品を使用した。この規格は, 2/3 π モード, $f = 2856$ MHz, 長さ $l = 1.05$ m, 三単位インピーダンス $r = 59$ M Ω /m, 電圧減衰定数 $I = 0.26$ nepers/m である。この加速管を使用した場合, $\gamma = (\Delta E / E)$ における中心エネルギーから離れた電子のエネルギー補正を行うために必要なマイクロ波入力力はビーム負荷を無視すると,

$$P = \frac{I}{2r} \left(\frac{1}{1 - e^{-I l}} \cdot \frac{\gamma}{\sin(\beta_0 \cdot \gamma)} E \right)^2$$

で与えられる。ここで E はビームの中心エネルギーである。 $\gamma = 1\%$ 相当のエネルギー変位を正しく電子ビームを補償するために丁度よいマイクロ波を供給したときの ECB 系の動作を図 3 に示した。この図では加速管から出てビームの位相中核を 5°, エネルギー-中核を 2% と仮定した。電磁石系を通過した後では Mecc と設けた矢印の方向にラバラングされる結果, 束の時刻ごとのエネルギー-中核は 0.09% になった。これは加速管を加速して矢印 Aecc の方向にエネルギー補正を可能であるが, 加速管場は正弦波的に 1% 変化しないので完全な補正にはならず約 0.2%

に圧縮されることになり、これらの結果から、0.2%の分解能の実験を行うとき、ECJが設置以前では全ビームの10%（2利用できたものが、ECJを使用すると100%利用できるようにになり、ビーム強度が10倍になることが予想された。0.1%の場合にはマイクロ波電力を少し弱めればよく、このときは1.5倍になることが期待できる。更に0.1%以下に圧縮できる場合は、最初の位相中5°さどの程度にすることができればよかった。加速器の現状から7-φ以上を望むのは困難であろう。以上の考察から知らぬよう加速器に供給されたマイクロ波の位相は、中心エネルギーの電子が通過するときに加速が行われ、ひょう調整と安定に保持された。これは、このためにはECJ加速器とプレバンパー(D)バンパー(B)の位相関係が一定に保つ必要があり、図1に示すようにプレバンパー、バンパーはマイクロ波を供給して、クライストロン(K1)から一部分力を分割しECJ加速器に送ることとした。第4加速器(A4)への導波管の途中から可変電力分割器(CAPD)に接続し取り出したマイクロ波は電力調整器(VAT)、移相器(PS)を通過して加速器に送る。導波管の全長は60mに及ぶので、途中での位相変化を防止するために強度が一定に保たれている。

ECJが設置された位置は、電子散乱用エネルギー分析系の入射側ビーム限定スリット(SDI)と分析電磁石(Mana)との間にあり、この間のビーム軌道の変化は実験室でのエネルギー変動となつて現われるので、ECJ内でのビーム位置を常時監視することが必要である。この目的のために、位置限定用各種スリットの他に、分割型BEM、BOR観測用のテレビカメラ等が適切に配置されている。このうち特に第2電磁石内のBORを見るテレビ(TV)及び第1電磁石間に置かれた分割型BEMはビームのエネルギー及びその中を知るのが非常に有効で、リアルタイムでの調整を容易にしている。

加速器の結果 実際のECJ性能を知りたために電子散乱を利用し加速器で行った。最初に電子散乱用分析系のエネルギー分析スリット(βAII)を完全に閉じ、加速器からビームの殆んどが実験室の電子散乱用標的(π)に到達できるようにして、雑散乱のピークを測定した。加速エネルギーが170MeV、散乱角が70°になるようにスペクトロメータを設置して測定した例を図4に示した。この場合、測定スペクトル中は今のままECJ系を通過した後エネルギー中を再現してとみれば、ECJ系によつてエネルギーが改善された半値中は0.15%にも達していることが分る。次に分析系スリットを0.15%にして散乱槽に到達するビーム強度を、マイクロ波の電力を量る時から測定したものを図5に示す。加速器への供給電力がクライストロンの4分割出力(A4以前に供給された電力)の16%のとき、電流最大になり、無補正時の10倍以上のビーム強度が得られている。この性能ラストの際に最大電流は3.5μA程度であったが、その後、電子散乱、(e,e'π)等の実験が何回も行われており、運転法の習熟とも相まつた。最近では0.2%の分解能で、8~12μAのビームが安定に保たれている。この電流は全加速電流の30~50%に相当するが、今後改善によつては、更にこの比率をあげることが可能と思われる。

以上述べて来たようにECJ設置工事は成功裏に終了したが、この間には核物理内外の研究者の深い理解と援助があったことに専ら記し、感謝の意を表す。

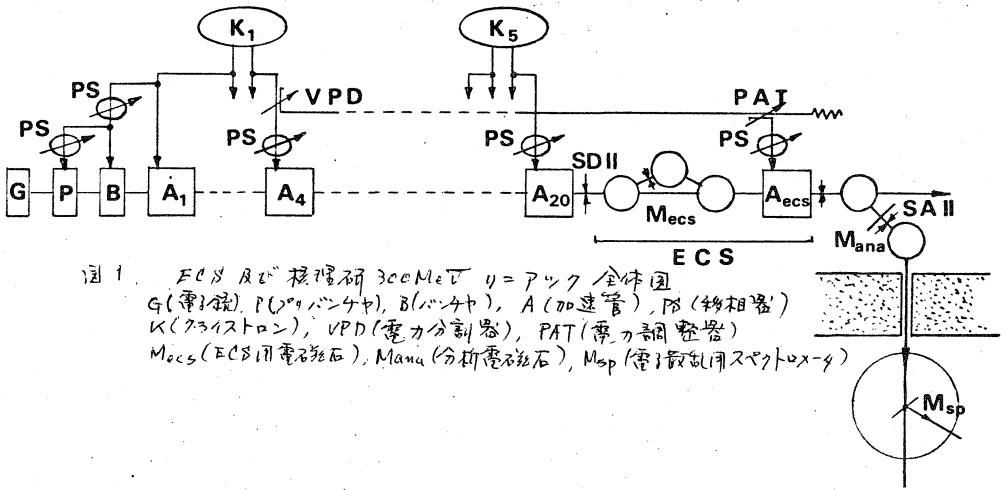


図1. ECS及び核陽子300MeVリニアック全体図
 G(電子銃), P(予バッチャ), B(バッチャ), A(加速管), PS(移相器)
 K(クライストロン), VPD(電圧分割器), PAT(電力調整器)
 Mecs(ECS用電磁石), Mana(分析電磁石), Msp(電子散乱用スペクトロメータ)

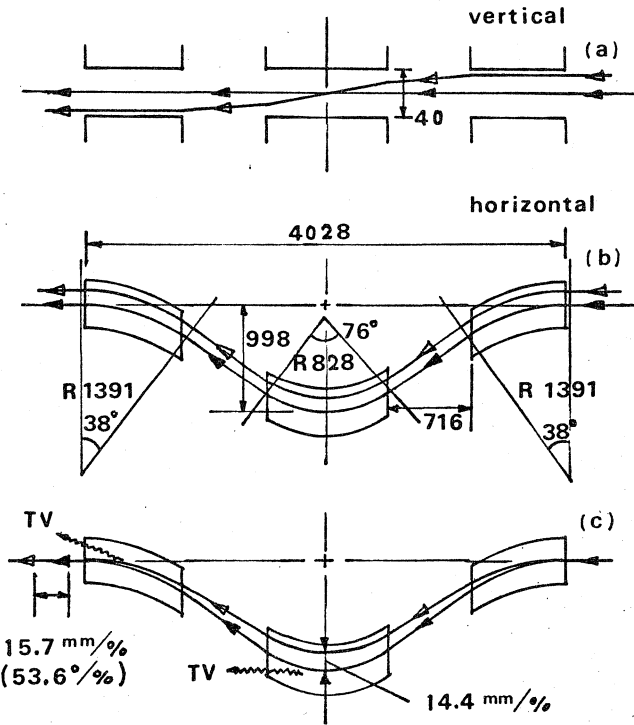


図2. ECS電磁石系及びビーム軌道

- (a) 平行入射ビーム(垂直方向)の軌道
- (b) 平行入射ビーム(水平方向)の軌道
- (c) エネルギー不揃い場合の軌道, デバウチング係数(53.6%/%)
 SOR観測用テレビの位置をTVで示す。

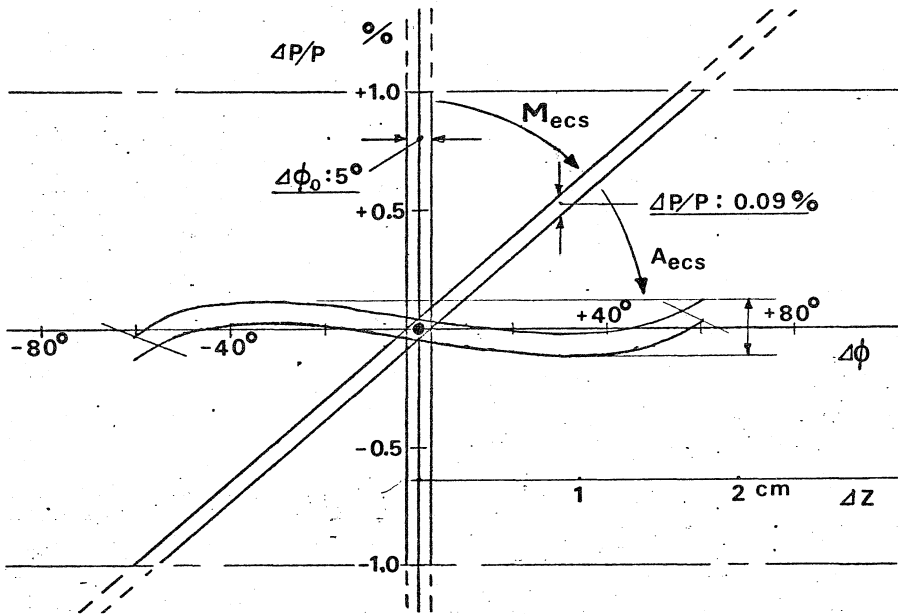


図3. 加速器からのビーム。エネルギー中 $\pm 1.0\%$ 、バンチ中 5° としたときの ECL の動作図。ECL の電圧変動により矢印 M_{ecs} 方向にバンチがずれ、加速管により A_{ecs} 方向にエネルギー補正される。

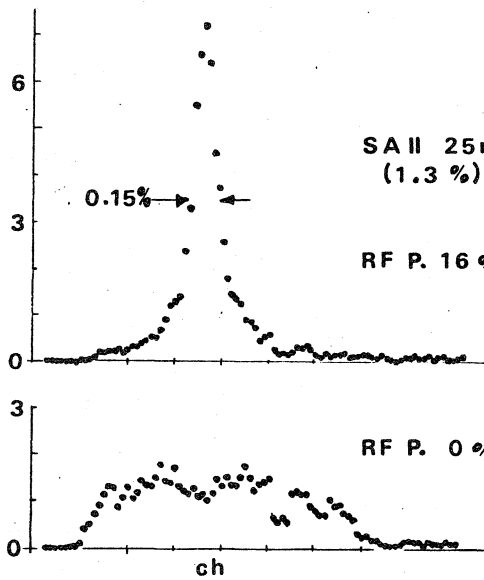


図4. ECL を動作させた場合(上)とさせない場合(下)のエネルギースペクトルの比較

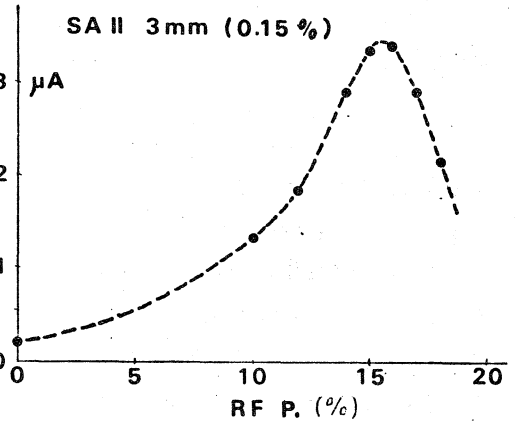


図5. 分解系分解能を 0.15% にしたときの、ビーム強度とマイクロ波電力の関係。