

1 GeV PROTON LINAC

T. Kato

National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

A 1 GeV proton linac for Large Hadron Facility is preliminarily designed. It consists of three accelerating sections, a 3 MeV - 400 MHz - RFQ linac, a 150 MeV - 400 MHz - drift tube linac and a 1 GeV - 1200 MHz - coupled cavity linac. Fundamental parameters of these structures are presented and discussed.

1 GeV 陽子リニアック

1. 序

大型ハドロン計画¹⁾の入射器に 1 GeV 陽子リニアックを使用する構想が、1986年に打ち出され、検討が加えられてきた²⁾。本稿には過去 1 年間にわたる作業³⁾をまとめている。これは、今年 6 月に KEK 内で発足した大強度陽子リニアックワーキンググループの基本方針（加速器の構成）の原案となっている。要求されるリニアックの性能を次に示す。

加速エネルギー	1 GeV	ビーム電流	20 mA		
ビームパルス幅	400 μ s	繰り返し	50 Hz	全長	約 500 m

平均加速電流が大きい事、高周波に関して長いパルス幅で duty が大きい事等が設計上で常に留意すべき点となる。全長を短くする為に、加速電場を大きめに設定するのが、特徴となる。

2. 全体の構成

Fig.1 と Table 1 に 1 GeV 陽子リニアックの構成を示す。リニアックの主要なパラメータの選択において重要な指針は、加速効率である。DTL (drift tube linac, 400 MHz) と CCL (coupled cavity linac, 1200 MHz) の effective shunt impedance (Z_{TT}) を Fig.2-3 に示す。RFQ の加速効率は、近似的に ユニットセルの長さに反比例する。従って、Fig.1 に示すように、粒子エネルギーの変化に伴って、加速管の構造を変える事により全系の加速効率を大きくしている。普通の金属を使用する空洞では Z は周波数の平方根に比例するので、全系の周波数を高く選ぶ事が有利であり、利用出来る RF 電源、製作可能な加速管構造、安定なビーム加速等を考慮して決める。

3. RFQ と DTL

DTL の周波数を 400 MHz にすると、RFQ の周波数と出力エネルギーの選び方が重要となる。RFQ の横方向のアクセプタンス ϵ は、 $\epsilon \propto a^2 / \beta \lambda$ (集束力が一定の時、 a =bore radius, $\beta=v/c$, λ =wave length) となるので、周波数が低い方が望ましい。従って 400 MHz 又は、200 MHz が考えられる。前者の場合に得られる横方向アクセプタンスは充分大きいとは言えない。後者の

場合には、DTL の縦方向のアクセプタンスへうまく入射させる事が重要となり、それは、DTL内の phase damping を経て、CCL内の beam dynamics を通じて beam loss に影響する。DTL の横方向の集束は FODO の永久磁石で行う事が考えられる。DTL への入射エネルギーが変わる時に、位相進み 90° と 60° の場合に必要な磁場勾配を Fig.4 に示す。入射エネルギーを 2 MeV 以上にとれば、永久磁石への負担が小さくなりそうである。

4. CCL

空洞の構造として、TRISTAN に使用されている APS (alternate periodic structure)、他に SCL (side coupled linac) が候補にあがっており、今後の検討に委ねられる。本稿に示した計算は SCL のパラメーターを使用している。CCL では focusing system (doublet) をタンクとタンクの間にごく置く事になるので、横方向アクセプタンスを確保する為の一つのタンクの長さに制限がある (2 ~ 3 m)。使用するモードは長所の多い $\pi/2$ モードであるが、隣合う二つのモードは充分離れていなければいけない事から、 N をセル数とすれば、 $N < \gamma \pi Q_L / 2$ ($\gamma =$ coupling coefficient, $Q_L =$ loaded Q value) が必要となる。 $\gamma = 0.05$, $Q_L = 7000$ とすれば、 $N < 550$ となる。150 MeV では、 $N = 400$ とすればタンク長さは 13m となる。これらは利用可能なクライストロンの最大出力電力と RF system の構成とを、あわせて考慮すべき問題である。

一つのタンク内で粒子は加速されて β は大きくなる。加速管の製作の点からは、セル長さ ($\beta \lambda / 2$) がタンク内で一定の方が望ましい (constant β structure) が、この場合には、ビームの安定位相が小さくなる事により (phase slip) 加速効率は減少する。DTL のようにセル毎に長さを変えれば (variable β structure) phase slip の問題はなくなるとしても、製作コストが高くなり、RF tuning も少し複雑になる。

入射付近のタンクの長さを短くする事により (ショートタンクと呼ぶ)、横方向アクセプタンスを大きくする事が出来る。この場合、タンク間のドリフトスペースが結果的に長くなり、(constant β structure では) phase slip が小さくなる事も手伝って縦方向のアクセプタンスは減少する (Fig.5)。

加速電場の選択はもっとも重要な問題であるが、敷地の制約から (全長約 500 m)、 $E_0 = 4$ MV/m となっており、rf defocusing 力 (Δrf) の効果が大きくなる。例えば、横方向アクセプタンスは、ビームの入射 RF 位相に大きく影響される (Fig.6) ので、ビームロスの振舞いに影響を与える。

5. まとめ

平均ビーム電流が大きいので、ビームロスと極力抑えるように (1 % 以下) 配慮しなければ、実際の運転に支障を来す。ビームシミュレーションによれば、タンクの電場と位相に要求される精度はかなり厳しいものがあり、その上、きついビームローディングを考えると、課題は大きい。

参考文献

- 1) 大型ハドロン計画構想、東京大学原子核研究所、1987年6月。
- 2) 大型ハドロン計画加速器研究会、東京大学原子核研究所、1986年12月、報告書出版予定。
- 3) T.Kato, 1 GeV リニアックの試み、KEK, ASN-259(1986), ASN-265(1987), ASN-271(1987)。

Table 1 Parameters of 1 GeV proton linac.

SCL linac		DTL	RFQ
Frequency (MHz)	const. β variable	400	400
Input energy (MeV)	1200 150	3	0.05
Output energy (MeV)	1000 1000	150	3
Length (m)	310.2 297.4	72.0	2.77
Total length (m)	434.8 416.1		
No. of tanks	152 146		
No. of cells	3354 3206	302	282
E_0 (MV/m)	4 4	3	109 kV*
RF power (MW)	86.0 82.2	9.8	0.65
stable phase (degree)		-26	-90 ~ -30
ϕ_1 (degree)	-45.6	-30	
ϕ_2 (degree)	-58.2	-30	
$\epsilon_{x,y,n}$ (π cm m)	2.3 2.7	2.1	0.1

* Vane voltage. RF power is ideal value + 30 % increase.

SCL の最初の 12 タンクは short tank. ϕ_1 は short tank 内の最小位相、 ϕ_2 は normal tank 内の最小位相。

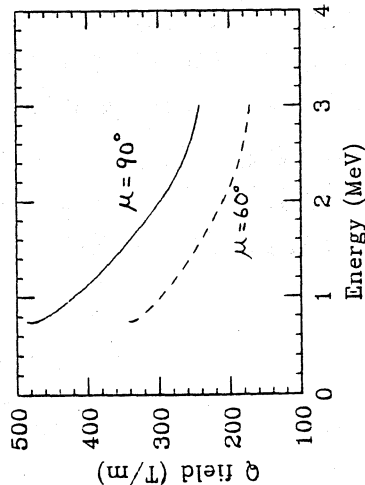


Fig. 4 Required magnetic gradient vs. injection energy.

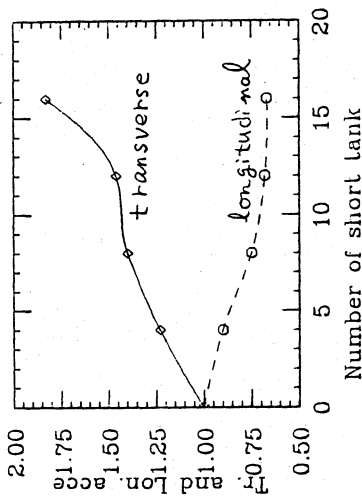


Fig. 5 Relative acceptances (SCL, constant β structure) vs. number of short tanks.

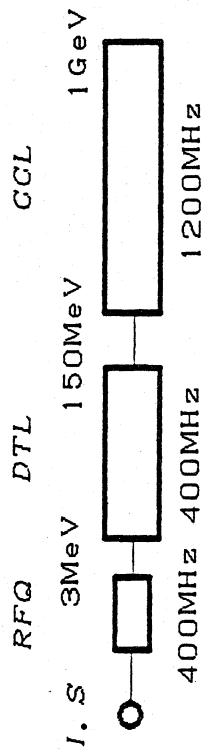


Fig. 1 1 GeV リニアックの構成。

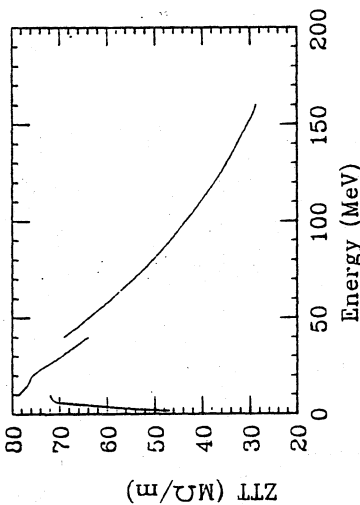


Fig. 2 ZTT vs. energy (DTL).

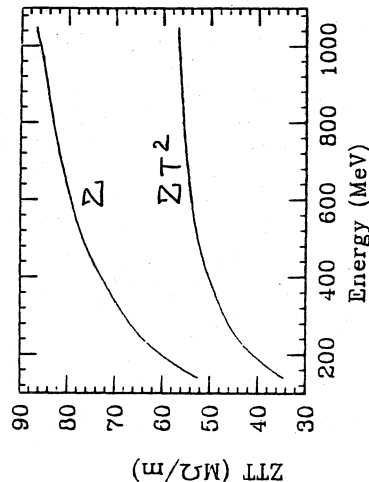


Fig. 3 Z and ZT² vs. energy (SCL).

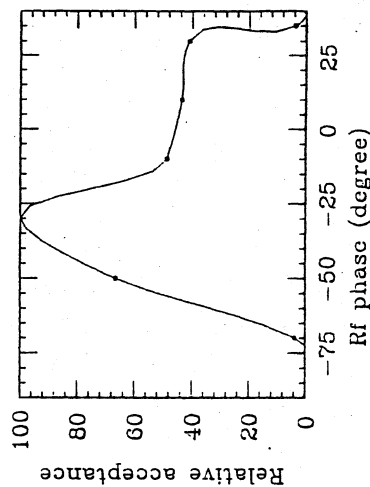


Fig. 6 Relative transverse acceptance (SCL) vs. rf phase.