

DESIGN OF THE JHF 200-MeV PROTON LINEAR ACCELERATOR

T. Kato, S. Anami, M. Ono, E. Takasaki, F. Naito and Y. Yamazaki

High Energy Accelerator Research Organization

1-1 OHO, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken

Abstract

A 200-MeV proton linear accelerator for the Japanese Hadron Project (JHF) has been designed. It consists of a 3-MeV radio-frequency quadrupole linac (RFQ), a 50-MeV drift tube linac (DTL) and a 200-MeV separated-type drift tube linac (SDTL). A frequency of 324 MHz has been chosen for all of the rf structures. A peak current of 30 mA (H^+ ions) of 400 μ sec pulse duration will be accelerated at a repetition rate of 25 Hz. A future upgrade plan up to 400 MeV is also presented, in which annular-coupled structures (ACS) of 972 MHz are used in an energy range of above 150 or 200 MeV. One of the design features is its high performance for a beam-loss problem during acceleration. It can be achieved by separating the transition point in the transverse motion from that of the longitudinal motion. The transverse transition at a rather low-energy range decreases the effects of space-charge, while the longitudinal transition at a rather high-energy range decreases the effects of nonlinear problems related to acceleration in the ACS. Coupled envelope equations and equipartitioning theory are used for the focusing design. The adoption of the SDTL structure improves both the effective shunt impedance and difficulties in fabricating drift tubes with focusing magnets. An accurate beam-simulation code on a parallel supercomputer was used for confirming any beam-loss problem during acceleration.

JHF 200 MeV 陽子リニアックの設計

1. はじめに

大型ハドロン計画(参考文献1)の入射用の200 MeV陽子リニアックのデザインの概要がまとまった(参考文献2)。20年以上前に建設したKEK20 MeV陽子リニアックの運転と保守、そして1985年に行われた40 MeVまでのエネルギー増強の経験等を生かし、又、10年に及ぶ大強度陽子加速器の基礎研究と、5 MeV ビーム加速テストスタンドの経験をもとに、新しいアイデアを採用するデザインを行った。高エネルギーで大強度であることから、加速途中のビームの性質を良好に保ち、ビーム損失の少ないデザインを目標とした。ビームの平均的な性質のみならず、いわゆるハローの生成を含めた全体のビーム特性がよくなる事を目指した。又、システム全体として、構造的にも電磁学的にも簡明なタイプを採用して、全体の性能の向上と建設コストの削減を目指した。

2. 要求仕様

JHF 陽子リニアックの主な要求仕様を表1に示す。リニアックの建設計画は二段階に別けて考え

られているが、本論では、第一期計画について主に述べる。KEKの既存の陽子リニアックに比べると、平均電流が高い点と出力エネルギーが高い点にパラメーターの特徴がある。

3. リニアックの構成

加速管は出力エネルギーが3 MeVのRFQ、50 MeVのDTL、そして200 MeVのSDTL(参考文献3)により構成される。エネルギーを400 MeVまで増加させる将来計画では、150 MeVもしくは200 MeVより高いエネルギー領域で、周波数972MHz

表1 Required main parameters of the linac.

	Initial requirement	Final goal	
Particles	H^+	H^+	
Output energy	200	400	MeV
Peak current	30	60	mA
Beam width	400	400	μ sec
Repetition rate	25	50	Hz
Average current	200	800	μ A
Length	<150	~220	m
Momentum spread	± 0.1	± 0.1	%

のACS (参考文献4) を採用する。表2. にデザイン結果をまとめ、図1. にその構成を示す。3種類
の加速管の有効シャントインピーダンスを図2. に
示す。このデザインの特徴は、以下のようにまと
められる。

1. 200 MeV までの全ての加速管の周波数は
324MHz に選ぶ。
2. 50 MeV から 200 MeV のエネルギー範囲で
は、SDTL を選ぶ。
3. 出力エネルギーが3 MeV のRFQ を選ぶ。
4. SDTL から ACS への遷移エネルギーとして、
150 MeV または 200 MeV を選ぶ。
5. 全ての加速管に対して、クライストロンを
使う。

4. それぞれの加速管について

1) RFQ

KEK で試作した 432 MHz の 3MeVRFQ は、
ピーク電流 13.2mA を、透過率 82.5%、エミッタ
ンス増加率 34% で加速しており (参考文献5)、
周波数 324MHz の RFQ は容易に製作可能である。

2) DTL

DTL は 3 本のタンクでビームを 3 MeV から
50 MeV まで加速する。それぞれのタンクは、
ビーム負荷と製作誤差に起因する摂動の効果を
抑えるために、ポストカップラーを使って安定
化する (参考文献6)。収束系のデザインには
coupled envelope equations と equipartitioning theory
とを使用する (参考文献7、8)。この為に、四
極電磁石 (参考文献9) を採用して、細かい
チューニングを行う予定である。

3) SDTL

SDTL のユニットタンクは、5 個のユニッ

トセルから構成される (図3)。SDTLには、縦の
運動の遷移点と横の運動の遷移点を分離する事
により、良質なビームを作る効果がある。収束
磁石がタンクの外に設置されているので、加速
管形状の最適化が自由に行え、加速システム全体
として、一層高い有効シャントインピーダンス
を達成できる。通常の DTL と比べると、ドリフ
トチューブ及びタンクの製作と整列が簡単にな
り、これは、収束磁石の数が減ると同時に、建
設コストの軽減につながるなどの長所がある。

4) CCL

将来のエネルギー増強において、エネル
ギーが 150 MeV または 200 MeV より高い領域
では、周波数 972MHz の ACS を使う予定である。
ACS に関しては、基本的な高周波空洞の問題は
既に解決されており、大電力試験にも成功して
いる。

5. 高周波源

クライストロンに求められる高周波出力は、空
洞励振電力とビーム電力 (0.5MW から 1.8MW に
分布している)、そして各種の損失等を考慮する
と 2.5 MW 以上となる。総数 19 ステーションの
クライストロンが必要である。

現在検討している新しいクライストロンの
パラメータを表3にまとめる。これは、Thomson
TH2134 を基に 2.5 MW から 3.0 MW にスケール
アップした。クライストロンで安定した動作が得
られているこれまでの経験から言えば、出力を 2.5
MW から 3.0 MW にするためにカソード電圧を 102
から 110 kV にしてもカソードに電圧がかかりにく
くなるような問題は起きないと予想される。ただ
し、より安定した 2.5 MW の出力を得るためには、
3 MW を出力できるクライストロンを開発する必

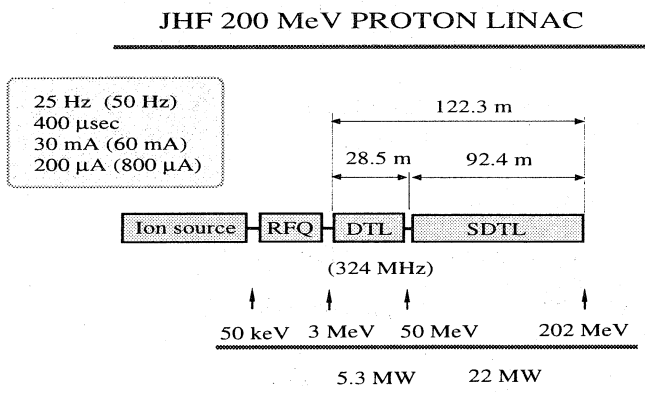


図1. JHF 200 MeV 陽子リニアックの構成。

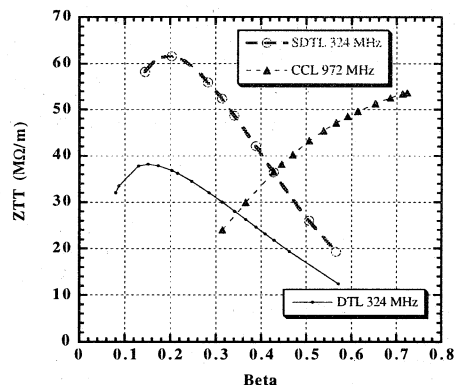


図2. JHF 陽子リニアックに使われる
有効シャントインピーダンス。

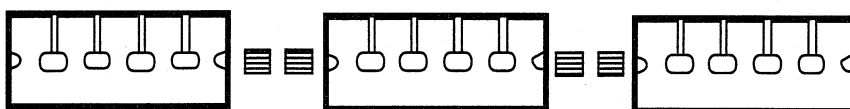


図3. SDTL加速管の構造図。収束磁石は四角で示している。

表2 Parameters of the JHF 200-MeV proton linac.

Injection energy	3.0	MeV
Output energy	202.5	MeV
Frequency	324	MHz
Particles	H ⁻	
Peak current	30	mA
Beam width	400	μsec
Repetition rate	25	Hz
Average current	200	μA
Total length (structure only)	92.9	m
Total length	122.3	m
Total rf driving power	21.3	MW
Total rf power (30 mA)	27.3	MW
Number of klystrons(*)	19	

(*)includes for RFQ and debuncher

RFQ

Frequency	324	MHz
Injection energy	50	keV
Output energy	3	MeV

DTL

Frequency	324	MHz
Injection energy	3	MeV
Output energy	50.06	MeV
Number of tank number of cells	3	
Total length	150	
Total length	28.51	m
Rf driving power (*)	3.92	MW
Beam power (30mA)	1.41	MW
Total power (30mA)	5.33	MW
Number of klystron	3	
Focusing method	Equipartitioned focusing	
Stabilization	Post-stabilized	

要がある。

各々のクライストロンのアノードには、個々にあるパルス変調器によってパルス電圧が供給される。変調器は各々の分割抵抗比を変えることで、段階的に出力電圧を調整することができる。こうして、1台の共通電源につながるクライストロンの出力設定がまちまちであっても、それぞれのクライストロンを飽和時出力80%の動作点で運

SDTL

Frequency	324	MHz
Injection energy	50.058	MeV
Output energy	202.488	MeV
Number of tank number of cells	31	
Structure length	155	
Total length	65.9	m
Rf driving power	92.4	m
Beam power (30mA)	17.4	MW
Total power (30mA)	4.6	MW
Number of klystron	22.0	MW
Accelerating field	14	
Energy gain	3.86	MV/m
Drift space	2.86 - 1.92	MeV/m
	0.67-1.03	m

転することが可能となる。

参考文献

1. 大型ハドロン計画提案書、KEK (97年5月)
2. T. Kato, "Design of the JHP 200-MeV Proton Linear Accelerator," KEK report 96-17 (1997).
3. T. Kato, "Proposal of a Separated-Type Proton Drift Tube Linac for a Medium-Energy Structure," KEK Report 92-10 (1992).
4. T. Kageyama et al., "Development of Annular Coupled Structure," Proc. 1994 International Linac Conf., p. 248 (1994).
5. A. Ueno et al., "Beam Test of the Pre-Injector and the 3-MeV H⁻ RFQ with a New Field Stabilization PISL," Proc. 1996 International Linac Conf., p.293 (1996).
6. F. Naito et al., "RF Characteristics of a High-Power Model of the 432 MHz DTL," Proc. 1994 International Linac Conf., p.137 (1992).
7. M. Reiser, "Theory and Design of Charged Particle Beams," Section 5, John Willy & Sons, 1994.
8. R. A. Jameson, "Beam-Intensity Limitations in Linear Accelerators," IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-28, 2408 (1981).
9. 吉野他," JHF 324MHz-DTL 用四極電磁石の研究 (II)", 本研究会発表

表3 324-MHz Klystron Specifications

	Maximum rating (Objective)	Operated (Saturation)	TH-2134 (Test Linac)
Structure	5 cavities, horizontal position		
RF window and connection	coaxial, WR-2300		pill box, WR-1800
Frequency	MHz	324	432
Peak output power	MW	3.0	2.5
Average output power	kW	98	81
Pulse width	ms	650	650
Repetition rate	pps	50	50
Duty	%	3.25	3.25
Beam voltage	kV	110	102
Beam current	A	50	45
Mod. Anode voltage	kV	93	86
Efficiency	%	55	55
Gain	dB	46	46