

[A16p01]

STATUS OF THE HIGH INTENSITY PROTON ACCELERATOR DEVELOPMENT AT JAERI

K. Hasegawa, M. Mizumoto, J. Kusano, T. Tomisawa, N. Ouchi, H. Oguri, M. Kinsho, T. Ito, Y. Touchi, Y. Honda, N. Akaoka, K. Mukugi, E. Chishiro, M. Ikegami, F. Noda, O. Takeda and H. Takado

Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan

Abstract

A high intensity proton linear accelerator with an energy of 1.5 GeV and an average beam power of 8 MW has been proposed for the Neutron Science Project at JAERI. The linac is required to operate in both pulse (up to 30 % duty factor) and CW mode. The front end part and the higher energy part of the linac are normal conducting and superconducting structures, respectively. This paper will present the status of the system design and the R&D work of the linac.

原研大強度陽子加速器開発の現状

1. はじめに

原研では中性子科学研究計画構想を提案しており [1]、そのための陽子リニアック（エネルギー 1.5GeV、平均ビームパワー 8MW）の設計検討と加速器要素の技術開発を行っている。ここでは、その概念や設計検討、ならびに開発の現状について報告する。

2. 加速器の構成

表 1 に加速器の運転仕様を示す。この加速器は、多様な実験形態に供する目的で、パルス運転と CW 運転の双方に対応する点が大きな特徴である。計画では、2つのステップのパルス運転と CW 運転との建設計画に分け、段階的なビームパワーの増強を目指しているが、エネルギーは当初から 1.5GeV としている。パルス第一期では、負水素イオンを加速し、平均ビームパワー 1.5MW（平均電流 1mA）を目指す。次にパルス第二期ではデュリティとピーク電流を共に向上させ、負水素イオンで 5MW へ増強し、併せて水素（正）イオンで 3MW

表 1 リニアックの運転モード

建設ステップ	1	2		CW
運転モード	パルス	パルス		CW
加速粒子	H-	H-	H+	H+
エネルギー (GeV)	1.5	1.5	1.5	1.5
ピーク電流 (mA)	16.7	30	30	5.3
パルス幅 (msec)	2	3.7	2.2	CW
繰り返し (Hz)	50	50	50	CW
デュリティ (%)	10	18.5	11	100
中間パルスデュリティ (%)	60	60	60	CW
ビームパワー (MW)	1.5	5	3	8

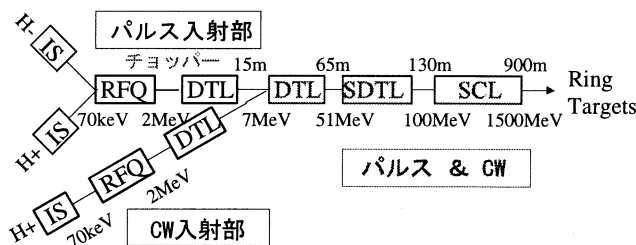


図 1 リニアックのシステム構成図

の正負同時加速を目指す。CW モードの運転では、水素イオンで平均ビームパワー 8MW を目指す。

図 1 に加速器の構成を示す。パルス運転と CW 運転では、運転デュリティや加速電流がそれぞれ数倍異なり、しかもパルス運転では蓄積リング入射のための中間パルス生成用チョッパーを必要とする。このため、加速電流や機器配置にビームダイナミクスが大きく依存する低エネルギー部について、パルス運転用と CW 運転用それぞれ独立とし、7 MeV の位置で合流する構成とした。

高エネルギー加速部には、消費電力の節約や放射化の低減が期待されることから、超伝導空洞を第一の候補として選択した。

3. 各加速器要素の設計・開発

3.1 イオン源

荷電変換による蓄積リング入射のために、パルス運転では負水素イオンの加速が必須の条件となる。負イオン源開発の準備段階として、既設のマルチカスプ型正イオン源を負イオン引き出し用に改造し、基本特性の測定を行った。オープンを用

いてチェンバー内にセシウム蒸気を導入することにより、負イオンの引き出し電流が 2.5 倍に増加し、 e/H 比も 39 から 5 に大幅に減少することを確認した。また、デューティ 5%における加速電流は、最大で 21mA (電流密度: 33mA/cm²)を達成した[2]。

今回、新たに負イオン用として設計したイオン源を製作し測定を開始した。これは、プラズマチェンバーの磁場配置が容易に変更できる点や、差動排気により電極部分の真空度が向上できる構造を特徴とする。今後はこのイオン源を用いた詳細な特性試験、加速電流の向上試験を実施し、目標である 30~50mA の達成を目指す。

3.2 RFQ

原研では平成 3 年度以来、OMEGA 計画に基づいて 100mA ピーク、10%デューティを目標とした RFQ を開発してきた[3]。中性子科学計画での要求仕様は、ピーク電流は最大でも 40mA 以下であり、デューティ的には 10%~100%と高くなった。このため、パルス用、CW 用それぞれについて新たに RFQ の設計を行った[4]。

表 2 に主要なパラメータを示す。設計には RFQUICK コードで得られた結果を基本とし、シェーパー入口部分のパラメータは、一部マニュアルで調整した。一般的に用いられている最大電場強度 (1.8 程度) を下げて 1.65 (パルス用) および 1.5 (CW 用) 倍のキルパトリック電圧で設計し、高デューティでの安定な運転、発熱密度の減少を図った。

PARMTEQ を用いたビームダイナミックスの結果、50mA までの加速電流に対して 98%以上の透過率が期待される。

R&D で製作・試験を行った RFQ では、ベーン

表 2 RFQ の主要なパラメータ

	パルス用	CW 用
加速電流 (mA)	20 - 40	~7
エネルギー (MeV)	0.07 - 2	0.07 - 2
周波数 (MHz)	200	200
長さ(m)	3.45	3.57
ベーン間電圧 (kV)	98	89
最大電場強度 (Ek)	1.65	1.5
ピーク壁ロス* (kW)	325	266
デューティ (%)	~30	100
平均壁ロス* (kW)	~100	266

* SUPERFISH の結果に対し 43 % の余裕を含む

とタンク間の高周波コンタクト部の過熱の問題が、10%デューティで安定に運転する上での障害となった。この経験を踏まえ、ロー付けによるベーンとタンク一体構造の開発に着手した。無酸素銅のベーンとタンクをそれぞれ 4 分割、合計 8 分割で製作し、真空ロー付により長さ約 50cm の試作機を製作した。これに高周波電力 40kW、20%デューティまでのハイパワー投入を行った。この試作・試験では、ベーンのアライメント精度が十分に取れなかった問題や、真空気密の問題が明らかになり、分割数や治具、工程の見直しを行っている。

3.3 DTL

表 3 に DTL の主要なパラメータを示す。DTL の設計は、7MeV 位置でのマージを考慮し、51MeV までは通常の DTL、それ以降 100MeV までを SDTL (Separated-Type DTL)とした[4]。SDTL[5]は、数セル (ここでは 5セル) の比較的短いタンクを用い、タンクの外に配置した Q 磁石のダブルレット方式による収束を行うもので、よりシンプルな構造であること、次段の超伝導加速部とのスムーズなマッチング特性が得られることなどの利点から採用した。

CW までのデューティで運転することから、平均加速電場 E_0 は 1.5MV/m と比較的 low に設定し、高周波電力損失や発熱密度を抑えるようにした。

Q 磁石の磁場勾配は、縦方向のエミッタンス増加を抑える観点から Equipartitioning の条件を満たすように設計した[6]。PARMILA によるビームシミュレーションの結果、rms エミッタンスの増加は最大で 7%であった。DTL 前半部分で多少の mismatching が認められるため、このエミッタンス増加については更に改善の余地がある。

デューティ 20%のハイパワー試験を行ったモデルタンク[7] (DTL 最上流部の約 1m 部分に相当) を用い、CW デューティまでのハイパワー試験を

表 3 DTL の主要なパラメータ

	DTL	SDTL
エネルギー (MeV)	2-51	51-100
周波数 (MHz)	200	200
E_0 (MV/m)	1.5	1.5
タンク数	3+1	17
長さ (m)	58	64
同期位相 (deg)	-55 to -30	-30
ZTT (MΩ/m)	30 to 43	49 to 33

行う予定で、現在整備を進めている。

3.4 超伝導加速部

表4に超伝導加速部の主なパラメータを示す。システム設計の結果として、8個のセクションの分割と、各セクションの加速エネルギーの配分を決定した[8]。また、パルス運転で問題となるローレンツ力による空洞変形についても、詳細な検討を行った[9]。

空洞の開発では、 $\beta=0.5$ に相当するニオブ単空洞の試作、縦測定試験を行っている。この結果、最大表面電場で32MV/m(4.2K)および44MV/m(2.1K)を得ており[10]、これは設計仕様である16MV/mを十分に達成する値である。こうした高い性能を達成するためには、空洞洗浄を行う超純水の水質管理が重要なポイントとなる[11]。

現在、 $\beta=0.886$ の単空洞、および $\beta=0.5$ の5セル空洞の試作を進めている。

表4 超伝導加速部の主要なパラメータ

エネルギー (MeV)	100 - 1500
周波数 (MHz)	600
最大表面電場強度 (MV/m)	16
空洞あたりのセル数	5
平均同期位相 (deg)	-30
収束方式	ダブレット
収束要素あたりの空洞数	2
空洞セクション数	8
空洞数	284
長さ (m)	690

3.5 高周波源

高周波電力として、低エネルギー部には、周波数200MHzでRFQに300kW、DTLに9MW、高エネルギー部には600MHzで25MW(パルス運転時)または7.5MW(CW運転時)が必要とされる[12]。また、システムとしては、運転モードにより、パルスとCWに対応することが要求される。

低エネルギー部用は、最終段に4極管である4CM2500KG(EIMAC)を基本とし、0.5~1MW出力の増幅器としての基本動作特性、全体構成などの検討を開始した。ダイアクロードを含めた今後数年間にわたる管球の開発状況も視野に入れて検討する予定でいる。

高エネルギー部用は、クライストロンを基本として検討している。1MWクラスの出力やデューティ上、技術的に大きなハードルは無いものと考えているが、運転モードにより同じクライストロンから出力する電力やデューティが数倍異なり、効率の低下が問題となる。IOT (Inductive Output Tube) の適用可能性も含め、効率の評価や向上の検討を行っている。

周波数600MHz、出力35kW-CWのIOT高周波源が今秋に納入される予定であり、この特性試験を通して性能を評価できるものと期待している。

4. まとめ

中性子科学計画用加速器のシステム設計と各加速器要素の技術開発を行っている。加速器構成では、パルス用とCW用の入射器を用い、7MeVの位置で合流する構成で設計を行った。

加速器要素では、設計検討を行うとともに、要素技術の開発を進めている。負イオン源の加速電流の向上、一体型構造RFQの製作方法の確立、DTLモデルのCWハイパワー試験、多セル超伝導空洞の試作試験、高周波源の設計とIOT高周波源の評価が当面の課題である。

参考文献

- [1] M. Mizumoto et al., LINAC96, Geneva, pp662-664 (1996)
- [2] H.Oguri et al., EPAC98, to be published.
- [3] K. Hasegawa et al., Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 34, No.7 pp.622-627 (1997)
- [4] K. Hasegawa et al., EPAC98, to be published.
- [5] T.Kato, KEK Report 92-10 (1992).
- [6] K. Hasegawa et al., APAC98, to be published.
- [7] N. Ito et al., LINAC94, Tsukuba, pp119-121 (1994)
- [8] Y. Honda et al., APAC98, to be published.
- [9] K. Mukugi et al., these proceedings.
- [10] J. Kusano et al., these proceedings.
- [11] N. Akaoka et al., these proceedings.
- [12] E. Chishiro et al., APAC98, to be published.