

## 750keV 負水素イオン源の高強度運転

高木 昭<sup>1</sup>、池上 清、五十嵐前衛、久保田 親

高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

### 概要

長基線ニュートリノ実験の為の KEK-12GeV 陽子シンクロトロン(12GeV-PS)のビーム増強運転に対応して、750keV 前段加速器の負水素イオン源からのビームの大強度かつ長期間の安定供給の為の改造がなされ。ライナックへの入射ビーム高強度ビーム化とビーム幅の高精度化、2台のイオン源の交互運転などにより、12GeV-PS の高強度安定運転に対処出来た。イオン源からの出力ビーム強度は最大 40mA が達成されている。

ここでは、これまでに実施された 750keV 前段加速器の故障対策および高強度運転に対処した装置の改善について述べる。

### 1 緒言

KEK-12GeV-PS の 750keV 前段加速器は 2 台設置されており、従来から最初の 1 台目(第 1 前段)を高強度負水素イオンビーム生成用に使用している[1]。2 台目(第 2 前段)は、これまでは偏極ビーム加速やヘリウムイオンビーム加速などに使用されてきた[2]。第 1 図は、750keV 前段加速器の配置図である。

長基線ニュートリノ実験の為の 12GeV-PS のビーム増

強運転に対応して、イオン源に対して、今までに増して高強度の負水素イオンビームとメンテナンスの為の運転休止時間を出来るだけ短くし長期間の連続運転とビーム強度の安定性が求められた。

これらの要求に対処する為、第 1 前段加速器の改造を行うと共に、第 2 前段加速器にも大強度負水素イオン源を設置して、加速管やビームラインの改造を実施した。これにより、高強度負水素イオンビームを 2 台のイオン源から交互に供給することが可能となったので、2 台のイオン源を交互にメンテナンスを行いながら連続的切れ間無くビームを供給出来るようになった。また、重故障などの緊急事態に対しても互いにバックアップとなる。

負水素イオン源には、表面生成型マルチカスプイオン源を用いており、プースター入射方式が負水素イオンビームの荷電交換多重入射方式に変更された 1985 年から約 18 年間に渡り 12GeV-PS のイオン源として使用されている。

これまでに実施された 750keV 前段加速器の故障対策としては、LaB6 フィラメントの採用、電子除去磁石の取り付け、Mo コンバーター電極の間接冷却化などがあり、大強度ビーム運転に対しては、ライナックへの入射ビーム幅を決めるビームチョッパーの半導体スイッチによる高速化を実施し、装置全体の制御を全面的にパソコンを介した制御方式に改造した。

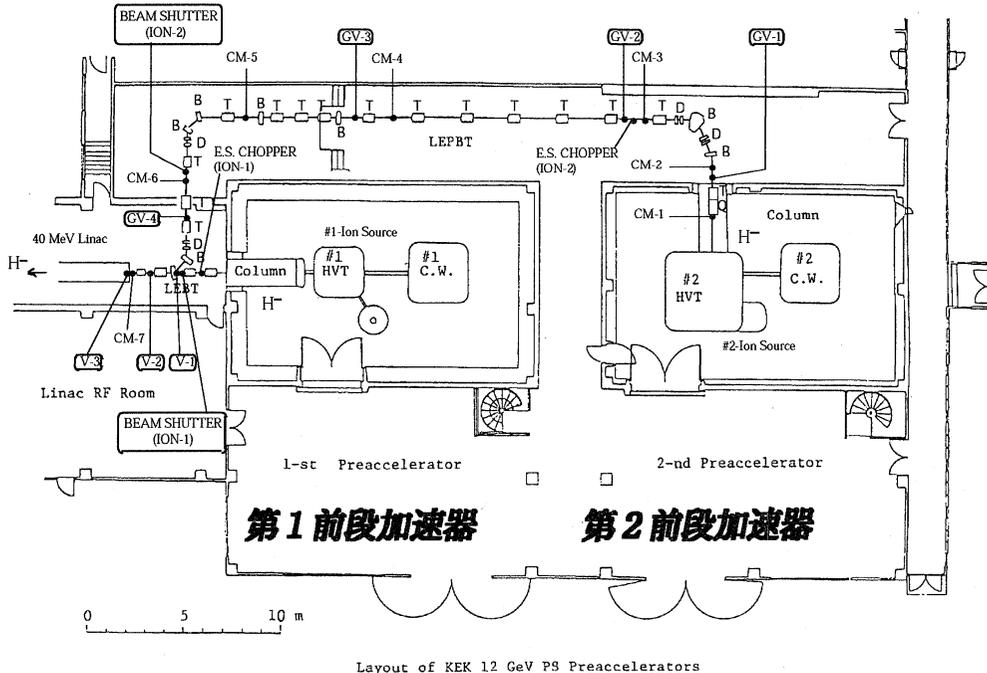


図 1 : 750keV 前段加速器配置図

<sup>1</sup> akira.takagi@kek.jp

## 2 イオン源の改良

負水素イオンビームの生成に採用された表面生成型イオン源を図 2 に示す。このイオン源は、当初はタングステンフィラメントを使用していましたが、長期運転が困難であることが試行運転の時点で判明したので、急速それに代わる物として LBL の K.N.Leung らがカスプイオン源用に開発した長寿命が期待できる六芳化ランタン (LaB6) フィラメントに置き換えることにした。

LaB6 フィラメントは、最初は板状の物を使用していたが、その後二重らせん型のフィラメント「ベータープラス」をメーカーの協力で開発し現在まで使用している。フィラメント寿命は 6000 時間以上が達成されている。

図 3 に、フィラメントがイオン源のフランジに取り付けられている状態を示す。図 2 で示すイオン源の紙面上の裏表側にこのフランジが取り付けられており、二個のフィラメントが使用されている。

負水素イオン源の為プラズマ中からの電子成分も同時にイオン源から引き出されてしまい、その量が負水素イオンの強度の 5 倍以上あるために、初期の運転では高電圧加速管内での放電が非常に激しかった。

この電子を抑制する為に、図 4 に示すように引き出し孔に永久磁石を装着した。これは、イオン源からの飛び出す電子の運動エネルギーとコンバータ電極表面で作られる負水素イオンビームとのエネルギーの違いを利用して、負水素ビーム中の電子成分を抑制するものである。これによって、電子成分はほとんど無くなり負水素イオンビームの 10%以下に押さえ込まれたと思われる。その結果、加速管の放電の頻度は著しく減少した。

## 3 イオン源・高圧のコンディショニング

750keV 前段加速器の立ち上げ運転前には、加速管の高電圧コンディショニングを行っている。これにより、加速管内の電極からのガスだしを十分行って、初めて 750kV の高電圧がフルに掛けられるようになる。次にイオン源自体のコンディショニングが必要である。加速管に高電圧を掛ける前に、すでにフィラメント通電によるイオン源自体のガスだしはかなりの程度行われており、イオン源および加速管共に高真空が保たれている状態である。

その状態からイオン源のアーク放電を開始して、アーク放電によるガスだしを行う。図 5 に示す様に、最初の立ち上げ時には、負水素イオンの比率が向上するのに 20 時間以上必要である。

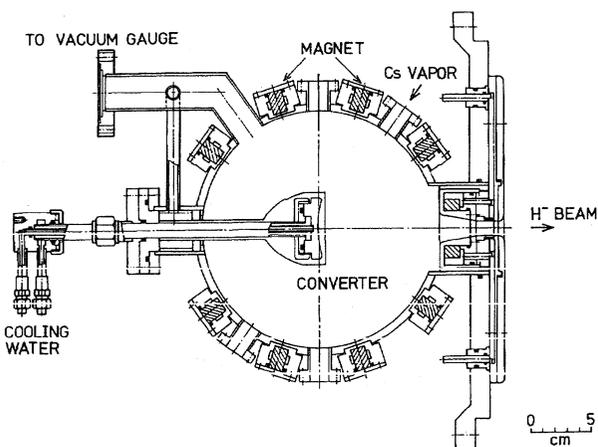


図 2：表面生成型負水素イオン源

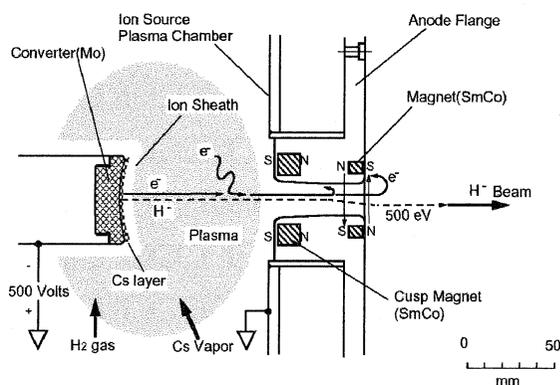


図 4：電子抑制磁石の動作説明図

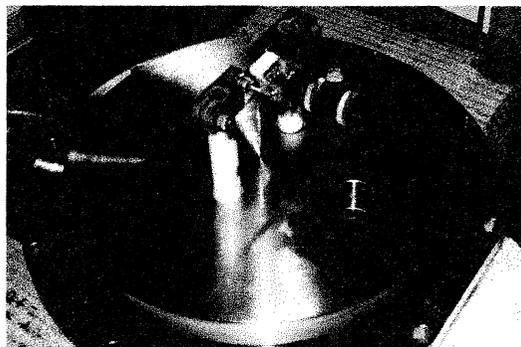


図 3：イオン源側板フランジに取り付けられた LaB6 フィラメント

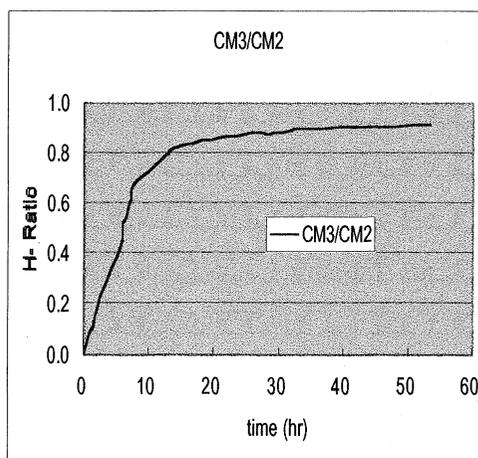


図 5：表面生成型イオン源からの負水素ビーム成分比の時間変化（大気開放・洗浄・真空排気後の最初の立ち上げ後の変化の様子を示す。）

## 4 大強度ビーム運転

表面生成型負水素イオン源からのビーム強度を増加させる方法は、まずアーク電流を上昇させる。フィラメント電流は十分なエミッションが保証できる様にアーク電圧が200V以下になるように電流の微調整する。

通常の運転時には、20~25mAのビームをイオン源から供給している。試験運転では、最高40mAのビーム強度を達成した。そのときのイオン源の動作パラメーターを表1に示す。図5は、12GeV-PSからの速い取り出し運転が始まる以前のイオン源の大強度試行運転中に於けるビーム強度の履歴であり、夏の3ヶ月間の記録である。イオン源のビーム強度(CM-2)が40mAを越えた時点で、ブースタービーム強度(BSTR)は、 $2.63 \times 10^{12}$ pppの最高強度記録を達成した。

このタイプのイオン源は、急に高強度に設定することが難しく、20mA以上のビーム強度を得るためには、ある時間の慣らし運転が必要である。特に、大気開放を伴うメンテナンスの後の真空排気・ガス出し後に行う最初の立ち上げ運転時には半日程度運転した後でなければCM-2で20mAに到達出来ない。

表1：40mA到達時のイオン源運転パラメータ

アーク電流	83A
アーク電圧	109V
アークパルス幅	180 $\mu$ sec
コンバーター電圧	650V
水素ガス流量	7.7cc/min
フィラメント電流・電圧および温度	
FIL-1	72A・8.0V・1400 $^{\circ}$ C
FIL-2	73A・8.1A・1390 $^{\circ}$ C
コッククロフト電圧・電流	749.5kV・2.08mA
ビーム強度 (S/H値)	
CM-2	39.1mA (Ion source output) (最高記録41.1mA)
CM-7	35.0mA (Linac input)
20CT	22.0mA (20MeV Linac output)
40CT	21.1mA (40MeV Linac output)

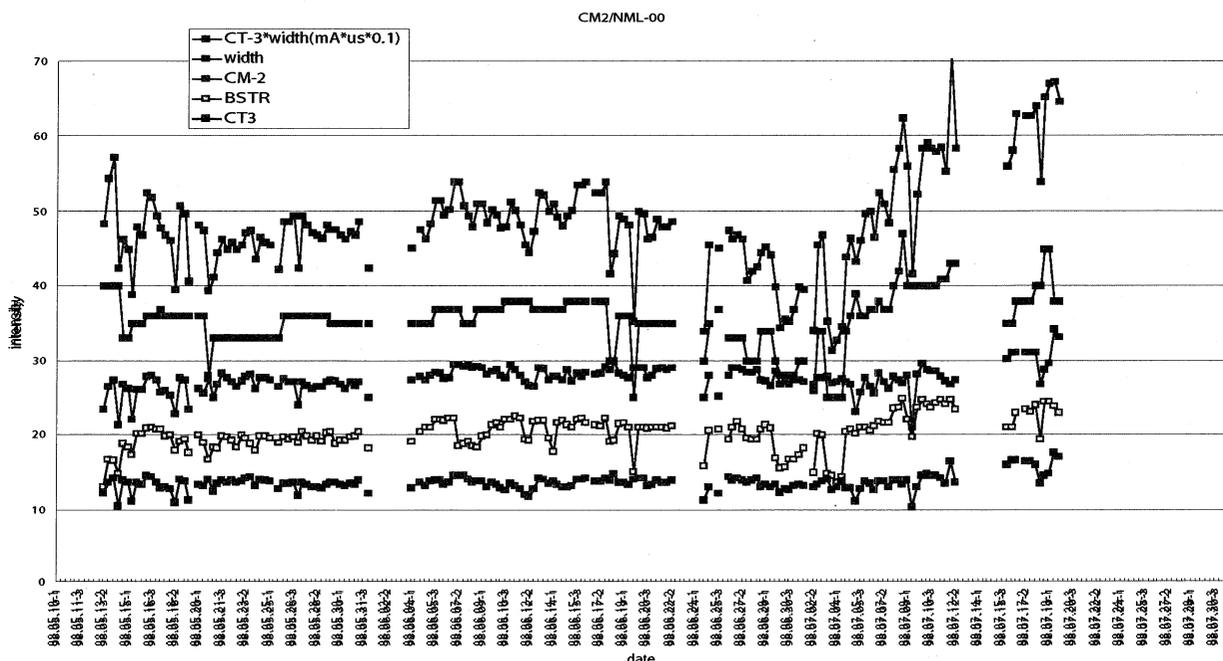


図6：ビーム増強試験運転中のイオン源・  
グラフ上の折れ線の上から順に：  
CT-3 x width：ブースター入射強電荷量  
width：Linac beam pulse width  
CM-2：イオン源ビーム強度 (パルス高)

ライナック・ブースタシンクロトロン  
のビーム強度  
BSTR：ブースターシンクロトロンビーム強度  
CT-3：ブースター入射ビーム強度 (パルス高)  
運転時)

## 参考文献

- [1] A. Takagi, *et al.*, PAC85, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-32(5)1985, p.1782-1784
- [2] A. Takagi, *et al.*, Proceedings of the 10th Symposium of SAST(1995), JAERI-Conf 95-021, p.43-45.