

[12P-16]

## BEAM PULSING OF C<sub>60</sub> ELECTROSTATIC INJECTOR ACCELERATOR FOR LINAC

Y.Takahashi<sup>\*</sup>, T.Hattori, H.Kashiwagi, T.Hata, I.Sugai<sup>A)</sup> and K.Noda<sup>B)</sup>

Research Laboratory for Nuclear Reactors Tokyo Institute of Technology  
2-12-1 Oh-okayama, Meguro-ku, Tokyo, 152, Japan

A)KEK, High Energy Accelerator Research Organization

B)National Institute of Radiological Sciences

### Abstract

The research which measured the energy loss by the interaction between C<sub>60</sub> fullerene beam and solid film using the TOF method was started. The beam pulsing equipment was manufactured in this reason. The method by the chopping was adopted for the pulsing, and 10kHz high frequency was applied between electrodes, and the 20V maximum voltage between electrodes was obtained. The 600keV acceleration will be carried out by the 200kV accelerating column, after pulsing is sent to C<sub>60</sub> fullerene beam drawn from electron impact type ion source at 300V in pulse intervals 50 μs and 4.6 μs pulse width. The APF-IH type linear accelerator that it settles the fullerene more and more using the APF focusing and accelerates at the high acceleration is designed and is manufactured, and this is made to be a linear accelerator of back step, the high energy acceleration will be carried out.

### 線形加速器入射用 C<sub>60</sub> 静電加速器ビームのパルス化

#### 1. はじめに

C<sub>60</sub> フラーレンビームの特徴の一つとして挙げられるのは、高密度の高エネルギービームを生み出す可能性を秘めていることである。

通常の炭素ビームと比較した場合、明らかに微小領域に高エネルギーが高密度で集中し、更に非常に繰り返し周期の短い高速パルスビームとなる。1mA/1mm 径の均一炭素ビームは炭素原子 60 個で直径 50 μm に対し、C<sub>60</sub> フラーレンビームは炭素原子 60 個で直径 0.7nm となる。

また、電荷と質量数の比が 1/720 と小さいため空間電荷効果が非常に小さく、ビームの収束が比較的容易である。

このような特性をもつ C<sub>60</sub> フラーレンビームと固体薄膜との衝突による相互作用を考えた場合、1 個の C<sub>60</sub> イオンによるインパクトの瞬間からそれら励起が緩和し、基底状態に戻るまでの時間を衝突時間とすると、この衝突時間内に第 2、第 3 の C<sub>60</sub> イオンが励起状態にある系に入射すれば、そのインパクトによって系の励起状態はインパクト毎に変化し、単体のイオンインパクトによる励起状態の重ね合わせでは記述できない非線形原子

衝突となる。

この特徴を用いたクラスター慣性核融合[1]なども想定されており非常に興味深いことにより、TOF 法を用いた C<sub>60</sub> フラーレンビームと固体薄膜との相互作用によるエネルギー損失を測定する研究を開始した。

#### 2. C<sub>60</sub> フラーレンビームのパルス化

以前の 100kV 静電加速器の実験で 1 μg/cm<sup>2</sup> 厚の炭素薄膜通過実験により、このエネルギー領域では C<sub>60</sub> イオンは中性化して炭素薄膜を出射することが推定された。そのために出射エネルギーを測定するためには TOF 法が必要であることが分かった。

TOF 法による固体薄膜中の C<sub>60</sub> フラーレンビーム阻止能の測定は、パルスビームを固体薄膜に入射することによって行う。電子衝撃型イオン源から引き出された C<sub>60</sub> フラーレンビームは直流ビームなのでビームをパルス化しなければならない。このパルス化には、高周波を印加してビームの進行方向に対して垂直方向に周期的に偏向きせビームを部分的に取り出すチョッピングによる方法を用い、このためのビームパルス化装置を設計・製作した。

\*Y.Takahashi, 03-5734-3055, thattori@nr.titech.ac.jp

ビームパルス化装置は、ビームを偏向させるためのチョッパーとチョッパーよりビームラインの下流に設けられたスリットからなる。

### 2.1 チョッパー空洞

チョッパーは内径 90mm、長さ 120mm の短管に高周波入力電極（電極板+電極支柱）とアース電極を取り付けた構造で、電極間を通過する荷電粒子を電極間電場によって偏向することができる。短管はアース電極と接しているため等電位となっている。よって高周波入力電極と短管との距離を出来るだけ取ることにより静電容量を減らし、電極間距離を 20mm と狭くして電極間に大きな電場が立つような構造にした。図 1 にチョッパー空洞を示す。

この電極間にパルスジェネレーターから得られる 10kHz の高周波を印加し、電極間最大電圧 20V を得た。

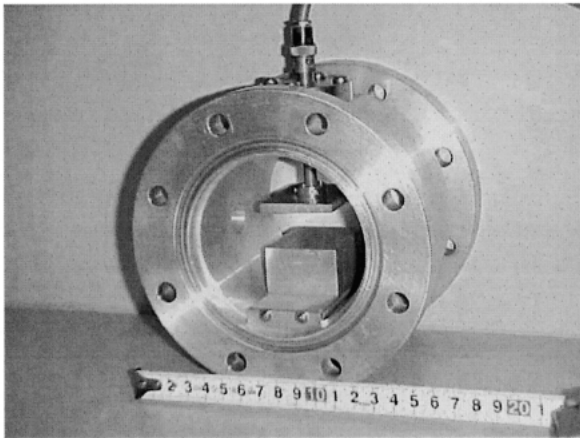


図 1 Chopper cavity

### 2.2 パルスビームの特性

チョッパーの電極間の電場が 10kHz の周期で変化し、ビームが受ける力も 10kHz の周期で変化するのでビームは上下に振られる。このとき 20kHz の周期でビームは偏向を受けなくなり、この偏向を受けないビームがスリットを通りパルスビームとなる。よってパルスビームの周波数は電極間に印加する高周波の 2 倍の 20kHz となる。

電極からスリットまでの距離を 500mm、電極間隔を 20mm、スリット幅を 10mm とすると電子衝撃型イオン源から 300V で引き出された  $C_{60}$  フラ

ーレンビームをパルス間隔  $50 \mu s$ 、パルス幅  $4.6 \mu s$  のパルスビームに変換できることがわかった。

またスリット幅 (10mm) を狭くすることによりパルス幅を短くすることができる。

図 2 にビームパルス化の全体図を示す。

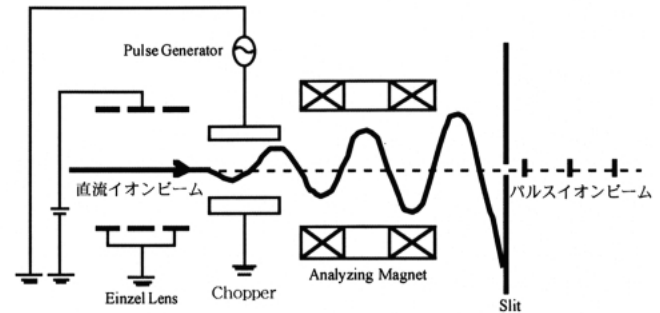


図 2 Layout of the beam pulsing equipment

### 3. 200kV 加速前段静電加速器

図 3 に電子衝撃型イオン源と分析系を示す。

イオン源、分析系、真空排気系とそれぞれの電源を 4 本の碍子で絶縁された 2 台の上に乗せた高圧ターミナルを 200kV まで昇圧する。現在 100kV まで昇圧し  $C_{60}^{3+}$  で 300keV 加速に成功している。

イオン源は、アルミナ製坩堝から昇華した  $C_{60}$  フラーレンをタンタル線フィラメントからの熱電子を加速し電子衝撃で  $C_{60}$  フラーレンをイオン化する電子衝撃型である。アルミナ製坩堝は 300V に昇圧している [2]。

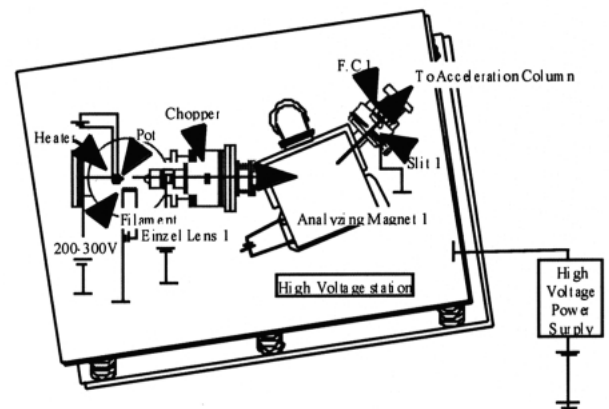


図 3 Layout of the Ion Source

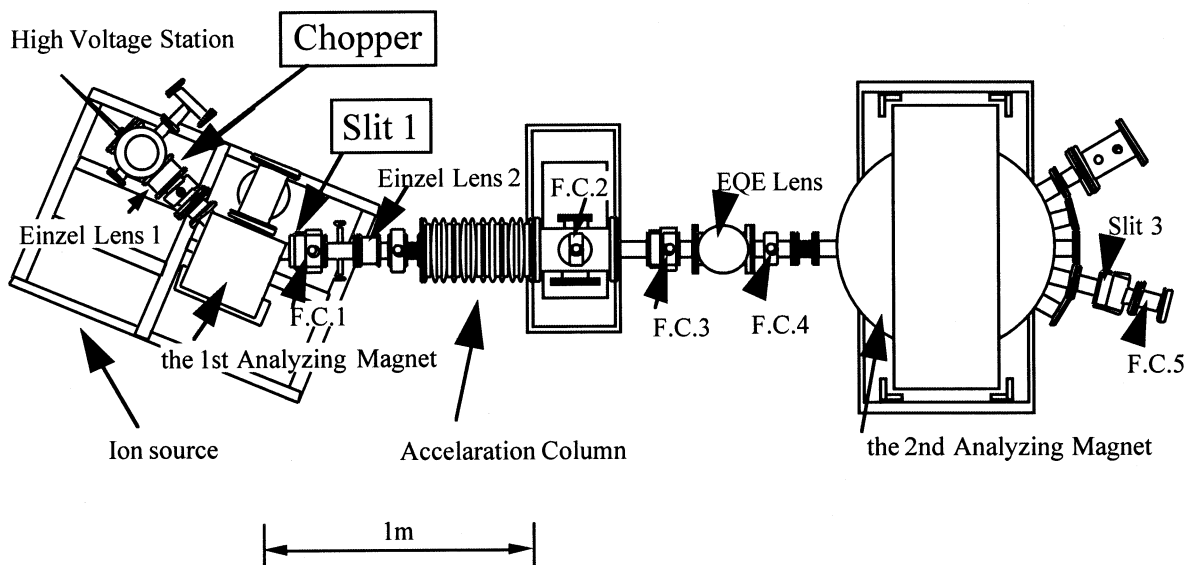


図4 Layout of fullerene ion acceleration system up to 200kV

図4に $C_{60}$ フラレン加速装置の全体図を示す。イオン源から引き出されたイオンビームはチョッパーにより偏向させられ、アインツェル・レンズで収束後、 $45^\circ$ 分析磁石で電荷と質量の比によって選別され、スリットでパルス化される。

その後200kV加速管で加速された $C_{60}$ フラレンパルスビームは、ファラデーカップ(F.C.)3の位置に挿入された炭素薄膜( $1\sim 5\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の各種のターゲット)と相互作用する。ターゲットを通過したビームを3連静電4重極レンズで収束後、第2分析磁石で $15^\circ$ 偏向してスリット3とF.C.5で分析を行う。

#### 4. フラレン加速線形加速器

前段加速として200kV加速を考えても、質量数が1000程度の1価クラスターでは $0.2\text{keV}/u$ の非常に低いエネルギーしか得ることができない。

一方IH加速構造は低速領域で高シャントインピーダンスを示し、高加速率が可能である。フラレンの場合、空間電荷効果が影響するほどのビーム電流が入射しないので、APF(Alternative Phase Focusing)収束を利用してフラレンを収束し高加速率で加速するAPF-IH型線形加速器を設計した[3]。 $0.2\text{keV}/u$ から $3.2\text{keV}/u$ まで $\varepsilon = 1/1000$ 粒子を加速する線形加速器を設計した。粒子軌道計算の結果、軸方向、横方向 $40^\circ$ ,  $240\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ の粒子を安定に加速することができることが分かった。

#### 5. まとめと将来計画

$C_{60}$ フラレンビームと固体薄膜との相互作用によるエネルギー損失をTOF法を用いて測定する研究を開始した。このためにビームパルス化装置を製作した。パルス化にはチョッピングによる方法を採用し、電極間に10kHzの高周波を印加し、電極間最大電圧20Vを得た。電子衝撃型イオン源から300Vで引き出された $C_{60}$ フラレンビームをパルス間隔 $50\mu\text{s}$ 、パルス幅 $4.6\mu\text{s}$ でパルス化した後、200kV加速管で $600\text{keV}$ 加速を行う予定である。そしてAPF収束を利用してフラレンを高加速率で加速するAPF-IH型線形加速器を設計・製作し、これを線形加速器に入射して $3.2\text{keV}/u$ まで $C_{60}^{3+}$ イオンの加速を行う。

さらに線形加速器で加速した $C_{60}$ フラレンを小型の蓄積リングに入射し、加速、蓄積する研究計画もある。

#### 参考文献

- [1] N.Tahir, Nucl. Inst. and Meth, B 88 (1994) 127.
- [2] S.Majima, T.Yoshida, N.Hayashizaki, K.Isokawa, T.Ito, K.Sasa and T.Hattori: Production and Acceleration of Multiply Charged  $C_{60}$  and  $C_{70}$  Fullerene Ions; Nucl. Inst. and Meth., A415 (1998) 653-656.
- [3] T.Hattori, N.Hayashizaki, S.Majima, et al: Review of Scientific Instruments, 71 (2000) 1049-1051.