

FIRST PHASE PLAN FOR EXPERIMENTAL STUDY  
OF HEAVY-ION INERTIAL FUSION ACCELERATOR

Toshiyuki HATTORI, Masahiro OKAMURA, Yoshiyuk OGURI, Toshihiro AIDA,  
Kouichi TAKEUCHI, Kimikazu Sasa, Takashi ITOH and Masashi OKADA  
Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology,  
2-12-1 Oh-okayama, Meguro-Ku, Tokyo, 152 Japan  
Yousuke TAKAHASHI and Yasuyuki ISHII  
Japan Atomic Energy Research Institute  
1233, Watanuki, Takasaki, Gunma, 370-12, Japan

ABSTRACT

We propose the basic experiment plan of driver for heavy-ion inertial fusion by heavy-ion linac[1-3] system and the heavy-ion cooler synchrotron. As the first phase of planning, we will improve old heavy-ion accelerator system that accelerate small intensity around Cl ion with charge to mass ratio of 1/4 up to 2.4 MeV/amu. The injector of the system will exchange from the 1.6 MV Peletron Tandem accelerator to an RFQ type linac with an ECR heavy-ion source. According to building up the power sources of RF and focusing magnet, then it is able to accelerate intense around Xe ion with charge to mass ratio of 1/6 up to 2.4 MeV/amu. At the next stage of it, we will construct a heavy-ion cooler synchrotron having magnetic rigidity of 3 or 6 Tm and begin to study about HIF driver.

重イオン慣性核融合用ドライバー研究第1期計画

1. はじめに

重イオン慣性核融合用ドライバーに關連する1980年から現代までの新加速器技術の進歩は目ざましく、それほど高くないエネルギーに加速された重イオンでも、シンクロトロンに数1000ターン蓄積可能な電子冷却とRF蓄積を組合せた蓄積技術が研究され、1990年代に入ってからかなりの成功を収めている。このことからECR型イオン源からのそれほどビーム強度の高くない高電離重イオンを中型の重イオン線形加速器で加速し大量にシンクロトロンに蓄積することができ、シンクロトロンの空間電荷効果による不安定の条件近くまで蓄積することが可能である。

そしてペレットのブレークイーブン研究程度の基礎的実験研究に必要なビームは重イオン慣性核融合発電プラトンの様な巨大な線形加速器でなくても中型の重イオン線形加速器からの重イオンを中型の重イオンクーラーシンクロトロンに蓄積後加速することで得られるはずである。

そこで原子炉工学研究所の高強度重イオンRFQ線形加速器[1-3]と中型の重イオンクーラーシンクロトロンを組み合わせることで、十分重イオン慣性核融合の基礎的研究を展開することが可能である。さらに重イオン線形加速器の増強及び蓄積リング、パンチ圧縮リングとの組合せにより、慣性核融合用ペレットのブレークイーブンに必要なエネルギー(100kJ)を投入することも可能になる。[4,5]

原子力を指向する研究所が重イオン慣性核融合研究専用の実験装置を持ち、研究に専念できるようになれば非常にかっきてきなことに成ろう。

しかしながらそう簡単に話が進まないのが文部省傘下の大学付置研究所の特徴である。しかし核融合研究において、研究の整合性の有る発展の観点から見て重イオン慣性核融合の実験的基礎研究は極めて重要である。早急に大学、付置研究所、研究所が率先して研究を開始する必要がある。これは現代の先進工業国日本の世界人類に対する義務であると言えよう。

## 2. 研究第1期計画概要

そこで重イオン慣性核融合ドライバーの実験的研究として、東工大原子炉工学研究所の原子科学研究室にある重イオン加速器システムを利用して出来る研究を開始する。重イオン加速器システムのIH型線形加速器の高電流化のためにRFQ型線形加速器を増設し、より重い重イオンを加速出来る様にECR型多価重イオン源を入射できる入射系を製作する。IH型線形加速器の高周波源、収束系の増強を行って、加速強度の高電流化と遙かに重いXe程度の重イオンを加速可能に改造し、装置の有効利用を行う。重イオン慣性核融合ドライバー初段の実験的研究を行う。

さらに重イオン蓄積リングを建設し、電子ビームクーリング技術と組み合わせることで慣性核融合用重イオン蓄積リングへの重イオン、クラスターイオンの大強度入射、蓄積に関するビームシミュレーション実験が可能となる。さらにターゲット実験のためのビーム圧縮実験も可能となる。第1期計画の研究装置の平面図を図1に示す。

## 3. IH型重イオン線形加速器システムの改造

東工大重イオン線形加速器システム[6]は1.6MVタンデムペレットロンを入射器とする塩素程度までの、電荷と質量の比 $q/A = 1/4$ 以上の小電流イオンをIH型線形加速器で核子当り2.4MeVまで加速する性能を持っている。このIH型線形加速器の加速電圧の放電に対する余裕、収束用4重極電磁石の余裕が有ることから、高周波電源の増強、4重極電磁石電源の増強及び冷却系の増強を行う。又高周波電源に関してはデューティファクター10%程度のパルス電源に改造する予定である。

これらの可能性及びイオン源の性能も考えて、100kJ重イオン慣性核融合基礎実験装置計画と同じ $q/A = 1/6$ 以上のイオンを加速可能な高電流重イオン加速器システムに改造する計画せある。

表1に現在と改造後のIH型線形加速器の主要パラメータを示す。

Table-1 Parameters of Linacs for Heavy-Ion Driver Experiment at 1st Phase

	RFQ Linac	IH Linac	Old IH Linac
Charge-to-mass ratio	$\geq 1/6$	$\geq 1/6$	$\geq 1/4$
Energy Input (MeV/amu)	0.005	0.24	0.24
Output (MeV/amu)	0.24	2.4	2.4
Cavity Inner D. (cm)	120	140	140
L. (m)	2.5	7.0	7.0
Operation Frequency (MHz)	48	48	48
Synchronous Phase	$-90^\circ \sim -30^\circ$	$-30^\circ$	$-30^\circ$
Shunt Impedance (M $\Omega$ /m)	23	182	182
Acceleration Voltage (MV)	1.4	13.0	8.6
RF Power (wall loss) (kW)	35	180	80

## 4. 多価ECRイオン源とRFQ型線形加速器の増設

現東工大重イオン加速器システムは入射器が1.6MVタンデムペレットロンである。

そのため加速器システム全体としては塩素程度のイオンまでを小電流で加速する性

能しか持たない。より重イオン化、より高電流化が必要である。

そこで、1980年代に進歩し一般化した多価用重イオンECR型イオン源[7,8]で高電流多価イオンを発生させ、それを4ベータタイプのRFQ型線形加速器を新設して加速し入射器とすることにした。

イオン源中でECR型イオン源は多価重イオンを高電流で発生する性能を持っており、日本でも幾つかの研究所で研究が行われている。特に東大核研、東工大、放医研、日本製鋼所による核研グループの14GHz ECRイオン源の性能は世界のトップに有ると言えよう。核研グループのECRイオン源とほぼ同じ性能を持つCENG研究所のECRイオン源CAPRICEの各元素に対する多価重イオンの生成量を検討すると、 $q/A=1/6$ 程度のXeイオンの生成電流量は0.1mAから1mAである。基礎研究が可能な電流量で有る。

そこで東工大重イオン線形加速器システムの1.6MVタンデムペレトロンに代わりにRFQ型線形加速器を建設してIH型線形加速器の入射器にする。RFQ型の加速空洞の共振周波数は主加速器であるIH型線形加速器の共振周波数の48MHzに統一するのが良いが、これから検討する必要がある。現在東工大原子炉研で建設している高強度RFQ型重イオン線形加速器の共振周波数は80MHzで加速空洞径は72.5cmである。そのことから48MHz RFQ型空洞の直径は120cmとなり長さは2.5mとなる。電力効率を考慮すると空洞は4ベイン型が良いが、大型化したことによるベインの設定精度等どのような問題が起こるか検討する必要がある。

表1にRFQ型線形加速器の主要パラメータを示す。加速高周波源は主加速器のIH型線形加速器と同じデューティファクター10%にする。

## 5. 重イオンクーラーシンクロトロン

重イオン慣性核融合ドライバーの低エネルギー部の実験的研究は東工大重イオン加速器システムを改造することで可能としても、蓄積リングへの入射、蓄積等のビームハンドリングの研究を行うことは不可能である。そこで重イオン蓄積リングを建設して、電子ビームクーリング技術と組み合わせることで慣性核融合用重イオン蓄積リングへの重イオン、クラスターイオン等の大強度入射、蓄積に関するビームシミュレーション実験を行うことを計画している。さらにターゲット実験のためのビーム圧縮実験も可能となる。

東工大原子炉研・原子科学研究室の小改築で収納可能な大きさの重イオンクーラーシンクロトロンを2種類を検討した。マグネチック・リジリティーが6.1T・mと3.5T・mの場合のパラメータを表2に示す。

Table-2 Main Parameters of Cooler Synchrotron Ring

	Example(1)	Exempl(2)
Maximum Magnetic Rigidity ( T・m )	6.1	3.5
Max. Beam Energy Ion( $q/A=1/2$ )	370	140
Ion( $q/A=1/6$ ) ( MeV/amu )	49	16.6
Injection Energy ( MeV/amu )	2.4	2.4
Circumference ( m )	41.2	31.4
Revolution Freq. ( $q/A=1/6$ ) ( MHz )	0.52 - 2.27	0.68 - 1.8
Average Radius ( m )	6.6	5.0
Radius of Curvature ( m )	4.05	2.2
Length of Long Straight Section ( m )	6.1	7.0
Rising Time of Magnet Excitation(sec)	3.5	3.5
Max. Field of Dipole Magnets ( kG )	15.0	16.0
Vacuum Pressure ( Torr )	$10^{-11}$	$10^{-11}$

REFERENCES

1. M.Okamura, T.Hattori, Y.Oguri, T.Aida, K.Takeuchi, O.Takeda, K.Sato, Y.Tanabe, N.Tokuda and S.Yamada.; Proc. of 8th Sym. Acc. Sci. and Tech., 8(1991)131-132
2. O.Takeda, K.Satoh, Y.Tanabe, S.Kawazu, M.Yamaguchi, M.Okamura, T.Hattori and Y.Oguri; Proc. 3rd European Particle Accelerator Conference, Berlin, Germany, March 24-28, 1992 p1334-1336
3. M.Okamura, Y.Oguri, Y.Takahashi, T.Hattori, O.Takeda, K.Satoh and Y.Tanabe Proc. 1992 Linear Accelerator Conference, August 24-28, Ottawa, 1992 p65-67
4. T.Hattori, M.Okamura, T.Aida, Y.Oguri, K.Takeuchi, Y.Takahashi, H.Muto, Y.Ishii and T.Hirata.; Proc. of 8th symp. Acce. Sci. and Tech., 8(1991)419-421
5. T.Hattori, M.Okamura, Y.Oguri, T.Aida, K.Takeuchi, K.Sasa, Y.Takahashi and Y.Ishii ; Proc. of Intern. Symp. on Heavy Ion Inertial Fusion, Frascati, Italy, 25-28 May, 1993, (1993)p40
6. T.Hattori, K.Sato, H.Suzuki, Y.Oguri and E.Arai.; Proc. 1986 Intn. Conf. of Linear Accelerator, Stanford, 1986 p377-379.
7. R.Geller, F.Bourg, P.Briand, J.Debernardi, M.Delaunay, B.Jacquot, P.Ludwing, R.Pauthenet, M.Pontonnier and P.Sortais; Proc. Int. Conf. on ECR Ion Sources and their applications, NSCL Report #MSUCP-47 (1987)1-32.
8. T.Hattori, T.Hirata, H.Suzuki, S.Yamada, M.Sekiguchi, Y.Ohosiho, E.Tojyo, M.Oyaizu, Y.Shirakabe and K.Sawada; Proc. of 7th Symposium Accelerator Science and Technology, 7(1989)71-73.

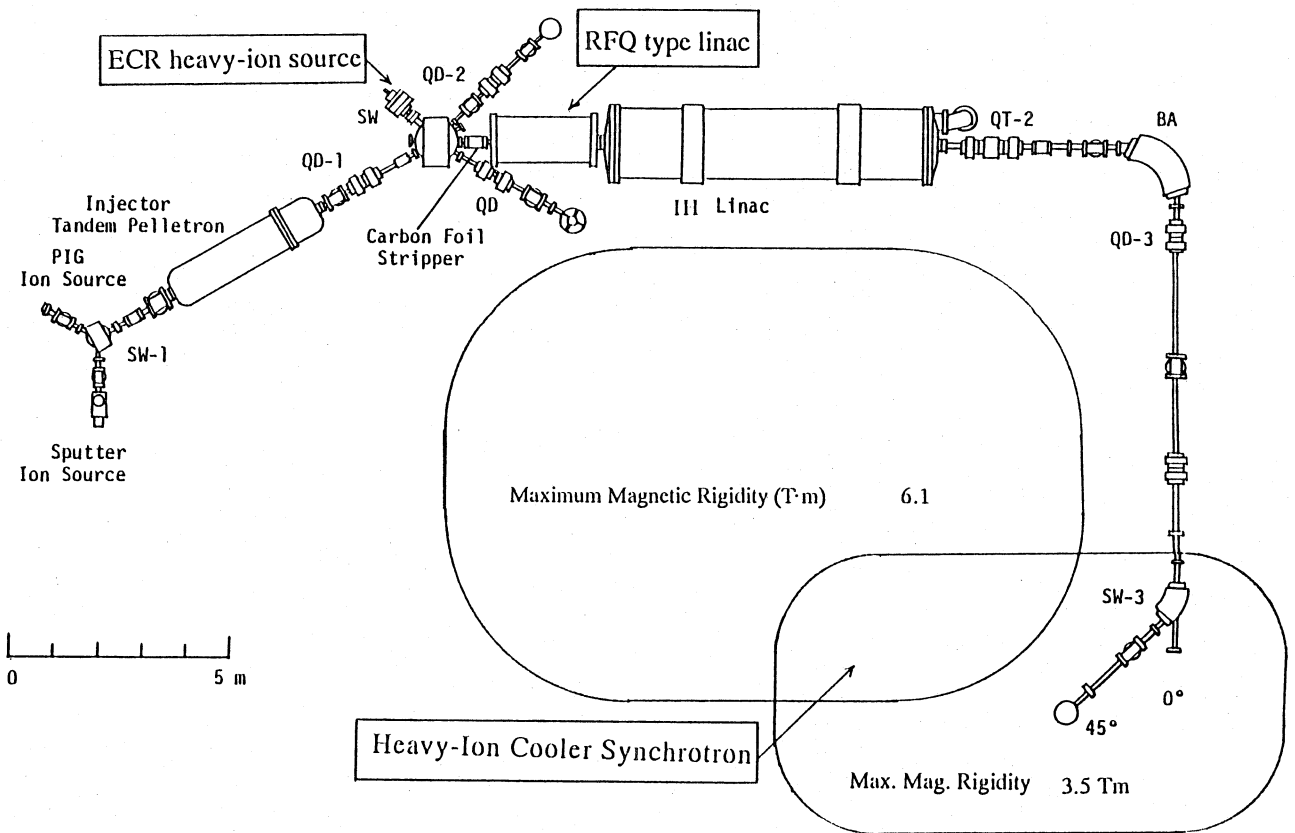


図1 重イオン慣性核融合用ドライバー研究第1期計画のレイアウト