

Plan of HIF Driver Study by Intense Heavy-Ion Linac  
and Heavy Ion Cooler Synchrotron

Toshiyuki Hattori, Masahiro Okamura, Toshihiro Aida, Yoshiyuki Oguri,  
Kouichi Takeuchi, Yousuke Takahashi, Hideshi Mutoh, Yasuyuki Ishii  
and Takahide Hirata

Reserch Labolatory for Nuclear Reactor, Tokyo Institute of Technology  
2-12-1 O-okayama Meguro-Ku Tokyo 152 Japan

ABSTRACT

We propose the basic experiments plan for Heavy-Ion Inertial Fusion by Intense Heavy-Ion Linac system for ion beam pumped laser experiment at T. I. T. and the Heavy-Ion Cooler Synchrotron (TARN-II). In recent years, development of accelerator technology, i.e. heavy ion cooler synchrotron with cooling and RF stacking, ECR type heavy-ion source for high charge state and RF linacs of low and medium particle energy, produce a possibility of basic experiments for HIF. Our plan is told below.

東工大高強度重イオン線形加速器と中型重イオンクーラーシンクロトロン  
(TARN-II) システムによる重イオン慣性核融合用ドライバー研究計画

I. はじめに

核融合炉は、核反応に伴うエネルギーと物質の有効利用を目指す人類の究極のエネルギー源と言えよう。核融合プラズマ条件の発生方法として磁場閉込めと慣性閉込めの方法が対比されるが産官学で広く研究されている磁場閉込め装置に対して、慣性閉込めの方法はレーザーによる装置がレーザー技術開発の観点から行われているだけで、その他ビームによる研究はほとんどおこなわれていないのが現状である。特に大きな技術上の問題が無いと言われる重イオン慣性核融合に対する研究は基礎的研究でさえほとんど行われていないのが実状である。

中型の重イオン線形加速器と重イオンクーラーシンクロトロン及び近年の加速器技術の進歩を組み合わせることで重イオン慣性核融合の基礎的研究が十分可能と成った。そこで、東工大高強度重イオン線形加速器と重イオンクーラーシンクロトロン(TARN-II)を組み合わせたHIFドライバーとペレットの基礎的研究計画に付いて述べる。

II. 重イオン慣性核融合基礎研究用加速器に付いて

重イオン慣性核融合用ドライバーに関連する1980年代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、ドイツ、マックスプランク研究所のTSR等で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。

そこで原子炉工学研究所の「高位粒子線物質変換実験装置」の中の高強度重イオン線形加速器を増強すれば、巨大な線形加速器でなくても東京大学原子核研究所の重イオンクーラーシンクロトロン(TARN II)と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、バ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に必要なエネルギーを投入することも可能である。

Table-1 Parameters of Intense Heavy-Ion Linac at TIT

	RFQ	IHQ(1)	IHQ(2)	IH
Charge-to-mass ratio	$\geq 1/16$	$\geq 1/16$	$\geq 1/6$	$\geq 1/6$
Energy Input (MeV/u)	0.005	0.2	0.6	1.6
Output (MeV/u)	0.2	0.6	1.6	8.6
Number of cell	272	76	46	132
Tank Inner Diameter (cm)	74	72	74	46
Length (m)	4.0	4.0	4.0	12.0
Operation Frequency (MHz)	80	80	80	160
Synchronous Phase	$-90^\circ \sim -30^\circ$	$-30^\circ$	$-30^\circ$	$-20^\circ$
Shunt Impedance (M $\Omega$ /m)	18	300	180	160
Acceleration Voltage (MV)	3.2	6.4	6.0	42.0
RF Power (wall loss) (kW)	143	46	67	1040
Beam Load (kW at 5 mA)	16	32	30	210

### III. HIFドライバーの構成

現在建設のため設計中のRFQ型1台とIHQ型1台の線形加速器の後にIHQ型1台に2mのIH型を6台結合し荷電質量比6分の1のNからKr, Xeまでを核子当り8.6 MeVまで加速する。表1に線形加速器の諸パラメータを示す。軽イオンはp mAオーダー加速できるが、ECR型イオン源から取り出される $e \geq 1/6$ の重イオンは10 p $\mu$ A ~ 100 p $\mu$ Aであるので最大でこの程度である。

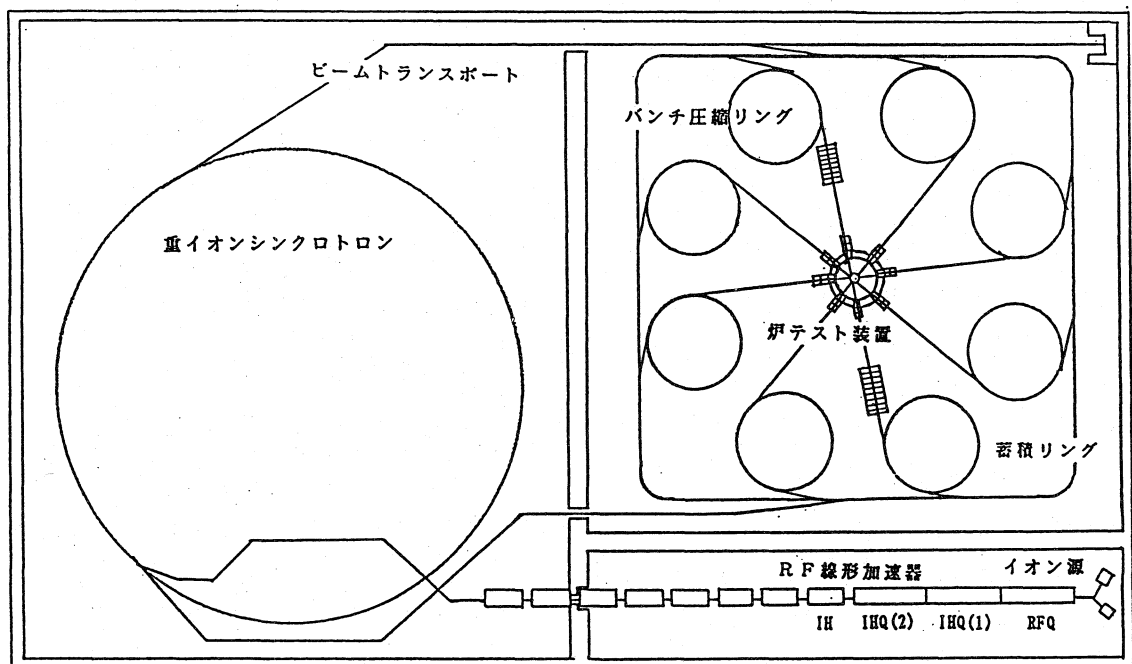
$^{132}\text{Xe}^{22+}$ イオンを加速する場合を例として述べる。重イオン線形加速器で8.6 MeV/uまで加速され、シンクロトロンに入射された1ターン $5.5 \times 10^7$ 個のイオンはマルチターン、RF蓄積と電子冷却により $1.4 \times 10^{11}$ 個蓄積され次に核子当り48.5 MeVまで加速される。シンクロトロンから速い取り出しで出射された $\text{Xe}^{22+}$ イオンを蓄積リングに電子ストリップして入射し蓄積する。次に蓄積リングからシンクロトロンに入射してXeのエネルギーを核子当り263 MeV、トータルエネルギー34.7 GeVまで加速し蓄積リングに蓄積する。クーラーシンク

ロトロン (TARN-II) の諸パラメータを表2に示す。

この繰り返しを6回することで蓄積リング中のイオン強度はリングの空間電荷不安定の限界  $8.3 \times 10^{11}$  個までに増加させ、4.6 kJ のビームパワーが蓄積されたことになる。このことを24回繰り返し24台のバンチ圧縮リングに蓄積し、ビームバンチを圧縮し同時に核融合用ペレットに入射すれば、ペレット慣性核融合のブレークイーブンに必要なパワー100 kJ が投入されブレークイーブンが達成される。重イオン慣性核融合基礎研究用装置の配置図を示す。

Table-2 Main Parameters of TARN-II Ring

Maximum Magnetic Rigidity	6.1 T·m
Max. Beam Energy Proton	1.1 GeV
Ion(q/A)	370 MeV/u
Circumfeerence	77.8 m
Average Radius	12.4 m
Radius of Curvature	4.05 m
Length of Long Straight Section	4.2 m
Rising Time of Magnet Excitation	3.5 sec
Max. Field of Dipole Magnets	15.0 kG
Max. Gradient of Quadrupole Mag.	70 kG/cm
Revolution Frequency	0.31 - 3.75 MHz
Harmonic Number	2
Vacuum Pressure	$10^{-11}$ Torr



重イオン慣性核融合研究装置配置

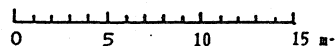


図 重イオン慣性核融合基礎研究用装置配置