



**4.27 超高ピーク出力レーザーによる固体表面からの
イオンビーム生成に関する定量的研究**
**Quantitative Study of Ion Beam Production from Solid Surface
by the Laser with Very High Peak Power**

野田章、池上将弘、岩下芳久、白井敏之、頼宮祐、竹内猛、中村衆

京都大学化学研究所附属原子核科学研究施設

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

大道博行、林由紀雄、西内満美子

日本原子力研究所 関西研究所 光量子科学研究センター

〒619-0215 京都府相楽郡木津町梅美台 8-1

松門宏治、黎忠、福見敦

放射線医学総合研究所

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

上坂充、吉井康司、渡部貴宏、細貝知直、木下健一、大久保猛、鐘ヶ江幸男

東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設

〒319-1188 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-22

Akira NODA, Masahiro IKEGAMI, Yoshihisa IWASHITA, Toshiyuki SHIRAI,

Hiromu TONGU, Takeshi Takeuchi, Shu NAKAMURA

Institute for Chemical Research, Kyoto University

Gokano-sho, Uji-city, Kyoto 611-0011, Japan

Hiroyuki DAIDO, Yukio HAYASHI, Mamiko NISHIUCHI

Advanced Photon Research Center, Kansai Research Establishment,

Japan Atomic Energy Research Institute

8-1 Umemidai Kizu-cho, Souraku-gun, Kyoto 619-0215 Japan

Koji MATSUKADO, Zong LI, Atsushi FUKUMI

National Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anaghawa, Inage-ku, Chiba-city, Chiba 263-8555 Japan

Mitsuru UESAKA, Kouji YOSHII, Takahiro WATANABE, Tomonao HOSOKAI,

Kenichi KINOSHITA, Takeshi OKUBO, Yukio KANEGAE

Nuclear Engineering Laboratory, University of Tokyo

2-22 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1188 Japan

Scheme to collect effectively by rotating laser produced ions in the longitudinal phase space with use of an RF electric field synchronized to the high-power short-pulse laser has been developed. Results of experimental studies performed with 12 TW, 50 fs pulse laser to prepare the real exposition of 100 TW, 20fs laser are presented together with the design of the RF cavity for phase rotation.

. **Keywords : Short pulse laser, Phase rotation, Ion production, Thin foil target**

1. はじめに

荷電粒子線によるがん治療は1994年に放射線医学総合研究所のHIMACにおける炭素線治療の臨床試験の開始以来、患者の身体に対する負担が小さいこと及び患部の機能及び形状の保存に優れているという特徴のため、患者の"Quality of Life"の観点から近年注目を集めており、各地の自治体を中心に広範な普及を目指す動きが広まりつつある。こうした施設の小型化を、近年発達のめざましい超高出力・超短パルスレーザー技術をフルに活用して実現する可能性を探るのが本協力研究の主眼である。

超高出力短パルスレーザーによる高エネルギーイオンの発生は、核融合用の大パワーレーザーを用いて、米国のローレンスリバーモア研究所や英国のラザーフォードアップルトン研究所等で精力的に研究が進められてきたが、生成されるイオンのエネルギー分布は非常にブロードなものであり、イオン強度はエネルギーの増大につれて指数関数的に減少している[1,2]。この状況は、基礎、応用を問わずレーザー生成イオンビームを実用化する上での大きな障壁となっている。こうした状況を改善し、一定のエネルギー幅内におさまる生成イオン数の増大を図るため、我々はパルスレーザーに同期した高周波電場を用いて加・減速を行うことにより、縦方向位相空間内で回転させてやり、図1に示したように±5%のエネルギー幅のイオンを切り出し、±1%に縮減することを目指している。

2. 薄膜からのイオン生成の予備実験

平成13年度には位相回転システムについての概念設計を進めてきたが、こうしたスキームの設計のためには生成イオンのエネルギー分布等の基礎データが不可欠であり、原研関西研の100TW, 20fsレーザーによる実験に先立って、東大・工学系研究科原子力工学研究施設の12TW, 50fsレーザーを用いた予備実験を遂行した。実験に当たっては東大・工学系研究科原子力工学研究施設に既存の真空槽内で軸外し放物面鏡により薄膜ターゲット上にレーザーを直径15μm程度に絞って照射を行った。ターゲット

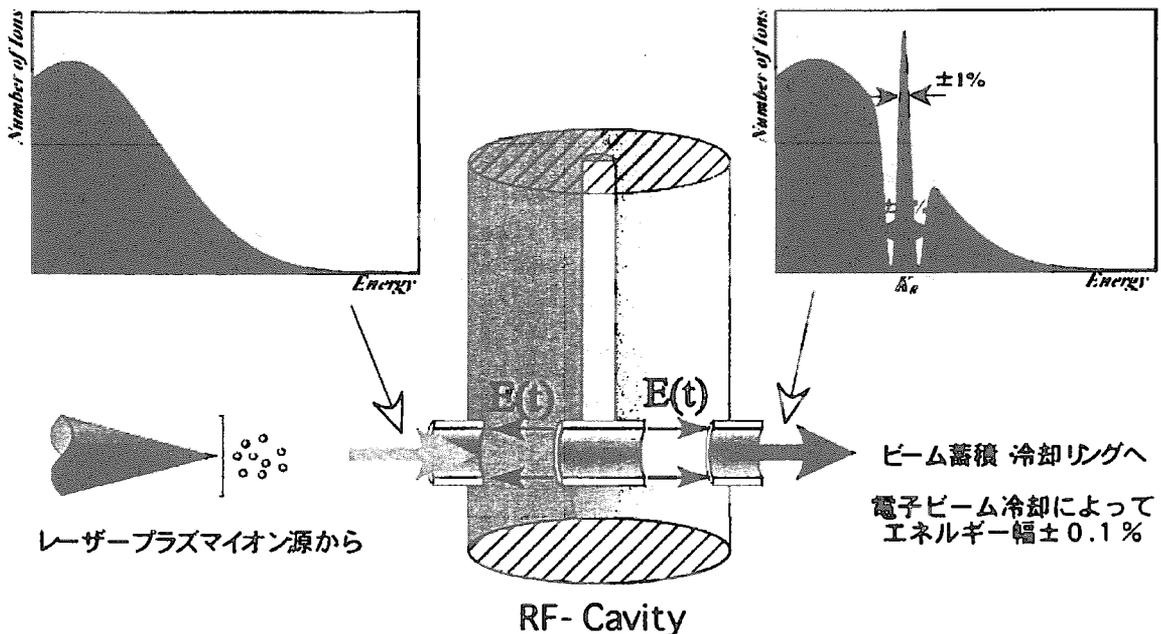


図1 位相空間回転によるエネルギー幅の縮減の原理図

ットとしてはTiの3μm, 5μm, 20μm及びTaの5μm, 10μm 15μmの厚さのものを用いた。図3にCR39の前面にAl箔を置き、イオンのレンジからエネルギーの推定を行って得られたエネルギー分布を示す。ま

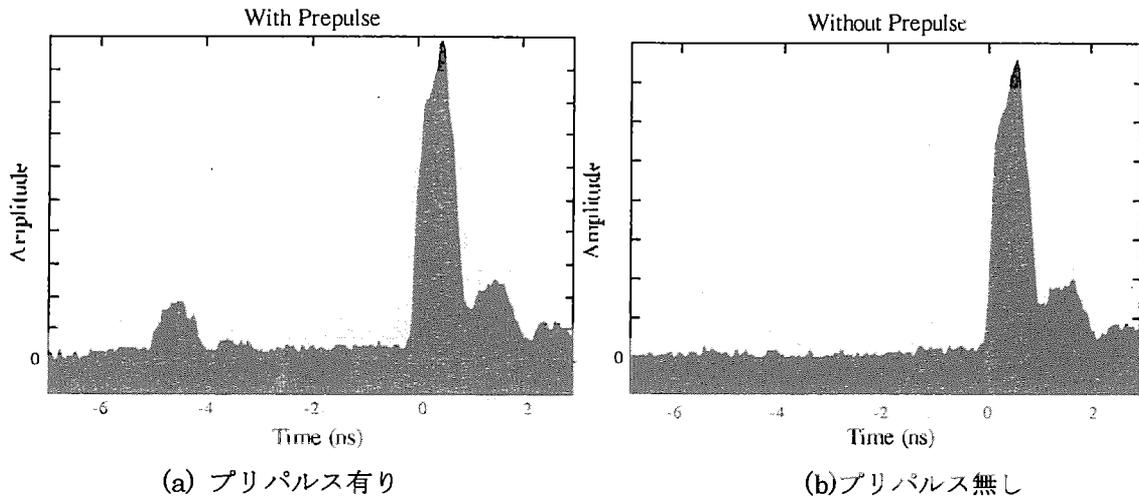


図2 12TW, 50fs パルスレーザーの時間構造

だ精度的に充分とは言いが、プリパルスがない条件では、一般的に高エネルギーまで生成イオンの分布がのびていることが見て取れる。シミュレーションからも高エネルギーイオンビームの生成のために、プリパルスの制御が極めて重要であることが予言されており[3]、今後プリパルスの満たすべき条件を実験を通じて定量的に明らかにしていくことが本質的に重要であると考えている。

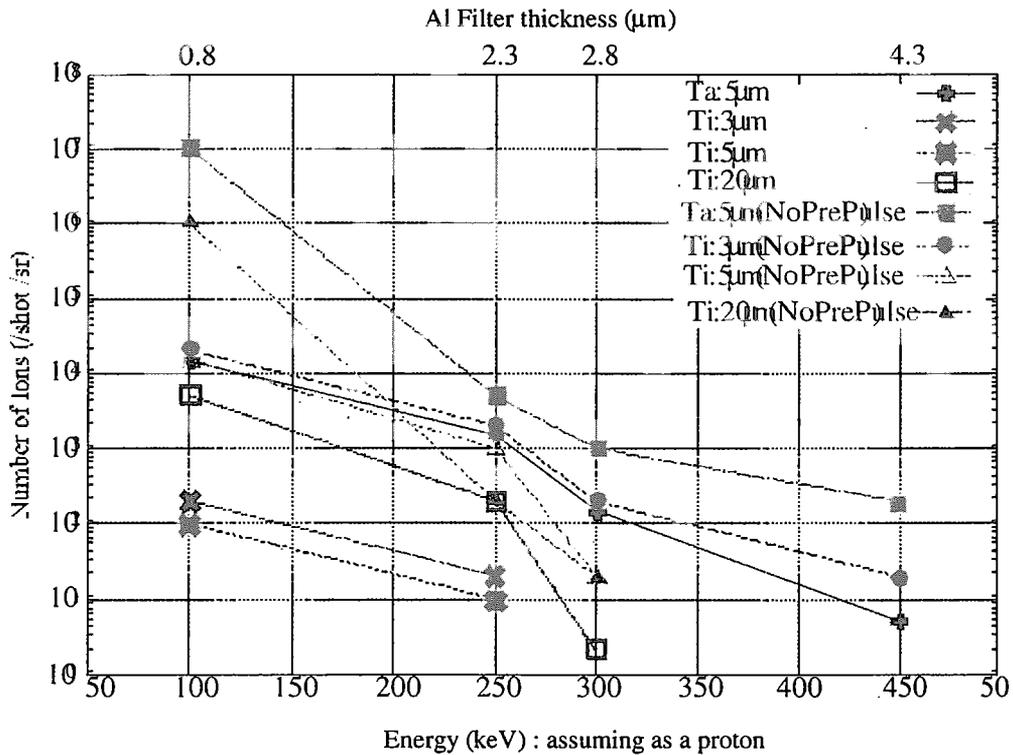


図3 各種のターゲットにレーザーを照射した場合の生成イオンのエネルギー分布

3. 位相回転空洞の設計

レーザー生成イオンビームのエネルギー幅縮減のための縦方向位相空間回転のための高周波空洞としては、4分の1波長、2ギャップ共振器を採用することとし、パルスレーザーとの位相同期をとるために、種レーザーの源発振周波数の倍波の高周波を採用する方針で昨年度から検討を進めてきた。前述の様なイオン生成の実験の進展及び諸外国のレーザー生成イオンビームの特性に関する実験結果の報告をにらみ合わせて、高周波空洞のイオンビームに対するアクセプタンスは可能な限り大きく確保する必要があるとの結論に達し、2ギャップのドリフトチューブの内径は50mm とする設計とした。この場合、電場計算によれば源発振の倍波を用いたのでは、波長が短いためギャップに発生する電場の動径方向の位置依存性が大きくなり、イオンビームのエネルギーゲインに動径方向の位置依存性が大きく現れるので好ましくないことが判明してきた。この状況を改善するため、位相空間回転の高周波は種レーザーの基本周波数と同一とすることとした。原研関西研の100TW, 20fsレーザーの源発振周波数は82.7MHzであり、高周波空洞はこの周波数での運転を基本として設計することとしたが、現在補助用に開発されている10TWレーザーの周波数

79.3MHz にも対応できるようにブロックチューナーの着脱でこれら2つの周波数の運転が可能な設計としている。図4に以上に述べた方針に基づき、現在製作を進めている位相空間回転用高周波空洞の構造図を示した。今年度中にこの高周波空洞を完成させ、補助用の10TWレーザーでのテスト実験を経た後、来年度早々には100TW, 20fsレーザーでの実験に取り組む予定である。

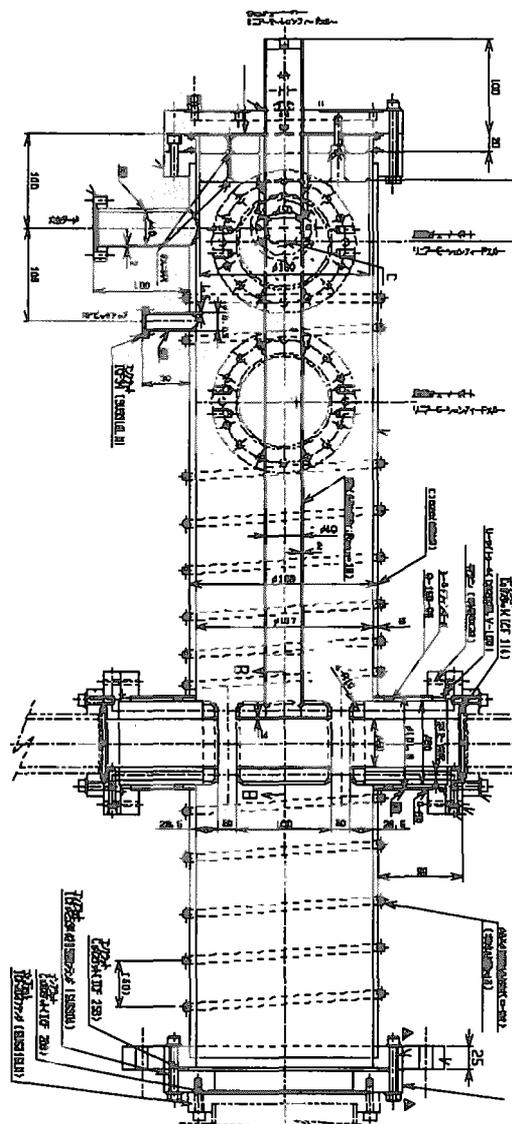


図4 製作中の縦方向位相空間回転用 $\lambda/4$ 2ギャップ高周波空洞

:参考文献

- [1] R.A. Snavely et al., Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 2945-2948.
- [2] E.L. Clark et al., Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 1654-1657..
- [3] A.G. Zhidkov, L.V. Zhigilei, A. Sasaki and T. Tajima, Appl. Phys. A73 (2001) 741-747.