

ビーム物理工学研究室

Beam Physics and Engineering Laboratory

主任研究員 片山 武司
KATAYAMA, Takeshi

当研究室は、理研における原子力特別研究「重イオン科学総合研究」において、重イオン慣性核融合の基礎的研究をなす「重イオンビームとプラズマの相互作用の研究」を実施すると共に、理研で推進中の重イオン加速器計画「RIビームファクトリー」に関連する「重イオン、電子加速器のビーム物理工学の理論的、実験的研究」、「レーザー光を用いた重イオン源の開発研究」を実施している。また電子ビーム励起プラズマの有機発光素子への応用、アーク放電プラズマによる炭素膜の生成と工業化の研究などを実施している。

1. 重イオン・電子加速器のビーム物理工学の実験的・理論的研究

(1) ビーム冷却の理論的・実験的研究(片山, 高仲^{*1}, Syresin^{*2}, Smirnov^{*2}, Zenkevitch^{*2}, Sidorin^{*2}; 若杉, 稲辺, 田辺 (RIビームファクトリー計画推進室))

イオンビーム、特に二次ビームとして生成される不安定核ビームは運動量幅、エミッタンスともに大きく、精密実験を行うのに適していない。そこで、広帯域のフィードバック系からなるストカスティック冷却法、および電子ビーム冷却法についてシミュレーションコードを開発し、高速ビーム冷却の可能性について理論的研究を実施した。ストカスティック冷却については検出器を試作し、放射線医学総合研究所との共同研究として実際の重イオンビームを用いてテスト実験を開始した。また電子ビーム冷却装置について高輝度電子ビームを生成・加速するための詳細設計を実施すると共に、4 アンペア電子銃の製作を行い、長時間運転テストを実施している。これらのビーム冷却法により得られる大強度高輝度重イオンビームの蓄積リング内におけるビーム安定性の理論的研究も併せて実施した。

(2) フェライト空洞試験研究および高速キッカー電磁石 R&D 研究(千葉^{*3}, 大川^{*2}, 大友^{*2}; 若杉, 稲辺 (RIビームファクトリー計画推進室))

MUSES 計画でビームの高周波蓄積のために、広帯域周波数可変 RF 空洞が要求され、これをフェライト空洞で達成するためにフェライトの特性を精密に調べる必要がある。このため試験空洞を製作し、種々のフェライトに対してその特性を測定した。各フェライトのバイアス電流に対する共鳴周波数と Q 値等の電磁特性を明らかにした。今後さらに、いくつかのフェライトに対して測定すると共に高電圧発生用、可変周波数空洞の設計・製作を行う。また、シンクロトロン、蓄積リングへのビームの入出射に対して、速い立ち上がりのキッカー電磁石が要求されており、その R&D 研究を始めた。実際にモデル電磁石を製作し、それを負荷として高電圧パルスを提供する電源を製作し、立ち上がり 80 ナノ秒の実機が達成された。

(3) 重イオンビームとプラズマ相互作用の研究(片山, 作美^{*4}, 小栗^{*2}, 西本^{*5})

低エネルギー酸素ビームにおいて、プラズマ中の阻止能のエネルギー依存性は固体標的の場合とまったく異なっ

た様相を示すことが分かっている。そこで理研線型加速器 (RILAC) を用い、Bi といった重イオンを使用して実験を行うために、理研リニアック棟に実験ラインの製作・開発を東大原子核科学研究センターと共同して行った。プラズマとの相互作用の位置までビームを輸送するために TRANSPORT を用いてビーム輸送を計算し、運動量が 360 MeV/c で、 $x = 2.849 \text{ mm}$, $\Delta x = 7.862 \text{ mrad}$, $y = 3.745 \text{ mm}$, $\Delta y = 5.981 \text{ mrad}$, $\Delta p/p = 0.15\%$ といった RILAC から出射される典型的なビームにおいて、プラズマ標の上でイオンビームを $x = 1.8799 \text{ mm}$, $y = 1.5037 \text{ mm}$ に絞れることが分かった。標的となるプラズマは、LiH 小球に Nd-glass レーザー (5 J, FWHM = 30 ns, $\sim 2 \text{ TW/cm}^2$) を照射して生成される。標的プラズマと相互作用したイオンのエネルギー損失は飛行時間法 (TOF) にて測定される。プラズマからの発光ノイズを除去するために、TOF 検出器に高圧パルス電圧を印加しゲート動作させる装置を開発した。酸素ビームを用いて導出した荷電状態分布、並びに阻止能のシミュレーションを用いて ^{84}Kr の場合を計算すると、プラズマによる阻止能増大は酸素ビームと比較して、より顕著になると予想された。

(4) レーザー光を用いた重イオン源の開発(片山, 岡村, 竹内^{*6}, Sharkov^{*2}, Kondrashev^{*2}, Mescheryakov^{*2}, 服部^{*2}, 中川, 矢野^{*3})

高強度パルス型イオン源としてレーザーイオン源の開発を行っている。レーザーイオン源とは、高強度のレーザー光を固体表面に照射することによって高密度プラズマを発生し、そのプラズマ中で形成される多価重イオンをビームとして利用するものである。現在、5 J-40 ns の炭酸ガスレーザーをドライバーとして実験が進められており、プラズマ中から引き出したビーム電流の測定が順調に行われている。これまでに使用したターゲットは Al, Pb であり、ターゲットチェーンに 30 KV のバイアス電圧を印可した場合で 28 mA-2 μs (Al) のビーム電流が得られている。また、この基礎実験と平行して、RFQ 型線形加速器へのイオンビームの高効率な入射方法を考案し実証実験を行っている。現在、炭素ビームを使った加速実験が東工大の重イオン RFQ を用いて行われており、すでに核子当たり 200 keV で 10 mA-1 μs のビームが得られている。この成功を受けて、さらに重いイオンによる実証実験の準備が進行している。

2. 電子ビーム励起プラズマの研究(浜垣, 加藤^{*2}, 原^{*2}, 榊原^{*2}, 橋本^{*2}, 坂本^{*2})

電子ビーム励起プラズマ法を用いることによりチッ素ガスの解離が他の放電励起法に比べて格段に優れていることを明らかにした。本年度は耐摩耗性が要求される摺動部品や金型などに無くてはならない表面処理技術となっている鉄鋼材料のチッ化処理を行った。通常的气体チッ化やイオンチッ化では, 表面にチッ化物層が形成されるために, 処理後の仕上げが必要になる。しかし, 電子ビーム励起プラズマ法による鉄鋼材料のチッ化処理においては, チッ化物層を形成しない条件でしかも短時間で通常の方法と同等のチッ化処理が得られた。コンパクトな多孔式電子ビーム励起プラズマ装置を開発し, 外部電源を用いることなく直径10cmにおいて一様なイオンエネルギーで絶縁物表面をスパッタできること, そのイオンエネルギーが電子ビームの加速電圧で制御できることを示した。この装置は動作ガス圧が広いので鉄鋼材料のチッ化処理に用いることを検討している。

3. アーク放電型金属プラズマ源の開発(丹波)

(1) 従来の円錐状カーボン陰極の代わりに直径42mmφ, 長さ80mmの円柱形状カーボン陰極を使用し, 陰極に形成されるアークスポットを円柱先端の断面に局所化させた結果, 高真空下, 添加ガス無しで連続的に動作するアーク放電型カーボンプラズマ源の長時間運転に成功した。そしてアークスポットにより円柱丸棒の長さ方向に15mmの長さまで円柱を減らすことができた。外部より長い円柱形状カーボン丸棒を順送する手段を設けると超長時間, 高密度カーボンプラズマを, 高真空下に生成できる。(特許出願済)

(2) 目標である金属プラズマイオンによる三次元の表面加工を遂行するとき, アーク放電型プラズマイオンの高多価化は, パルスの高電圧電源の容量を低減化でき設備投資を低減化できる利点がある。このため高真空下ミラー磁場中に形成される鉄アーク放電プラズマに6.4GHz, 1KWマイクロ波を印化し, 印加前後における鉄プラズマイオンの価数を二重収束型質量分析器で測定した。その結果, プラズマイオンはマイクロ波の印加前に比較して印加後1~2価より2~3価側にシフトすることを確認した。

^{*1} 研究協力員, ^{*2} 共同研究員, ^{*3} 業務嘱託, ^{*4} 基礎科学特別研究員, ^{*5} 研修生, ^{*6} 技術研究生

誌上発表 Publications

(原著論文) *印は査読制度がある論文誌

Kobayashi T., McConville C. F., Nakamura J., Dorenbos G., Sone H., Katayama T., and Aono M.: "Study of diffusion and defects by medium-energy coaxial impact-collision ion scattering spectroscopy", *Defect Diffus. Forum* **183**, 207-214 (2000). *

Taniguchi K., Sugimoto M., Masuko S., Kobayashi T., Hamagaki M., Abraha P., and Hara T.: "High degree of dissociation of nitrogen molecules in large-volume electron-beam-excited plasma", *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, 999-1001 (2000). *

Tamba M., Kawamura K., Okazaki K., and Amemiya H.:

"Formation of diamond like carbon by a pure carbon arc under high vacuum", *Jpn. J. Appl. Phys.* **40**, 1064-1066 (2001). *

Tominaka T., Okamura M., and Katayama T.: "Analytical field calculation of helical coils", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **459**, 398-411 (2001). *

Yoneda K., Sakurai H., Gomi T., Motobayashi T., Aoi N., Fukuda N., Futakami U., Gacsi Z., Higurashi Y., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H., Kubo T., Kunibu M., Kurokawa M., Liu Z., Minemura T., Saito A., Serata M., Shimoura S., Takeuchi S., Watanabe Y., Yamada K., Yanagisawa Y., Yogo K., Yoshida A., and Ishihara M.: "Deformation of ³⁴Mg studied via in-beam γ -ray spectroscopy using radioactive-ion projectile fragmentation", *Phys. Lett. B* **499**, 233-237 (2001). *

(総説)

矢野安重, 後藤彰, 片山武司: "理化学研究所 RI ビームファクトリー計画", *加速器同好会通信*, **6**, 1-9 (1997).

(その他)

Batygin Y. and Katayama T.: "Spin depolarization in presence of beam-beam interaction", *Proc. 11th Symp. on Accelerator Science and Technology, Harima, 1997-10*, edited by Y. Miyahara, JASRI, Harima, pp. 282-284 (1997).

Takanaka M. and Katayama T.: "Transverse instability due to the space charge during the electron-cooling bunching of ion beams", *Proc. 1999 Particle Accelerator Conf., New York, USA, 1999-03~04*, edited by A. Luccio and W. MacKay, Brookhaven National Laboratory, New York, pp. 1719-1721 (1999).

Hamagaki M., Tada S., Suzuki T., Hara T., and Sakamoto Y.: "Electron beam excited plasma source with multi-hole-electrodes", *Proc. Plasma Science Symp. 2001 and 18th Symp. on Plasma Processing (PSS-2001/SPP-18)*, Kyoto, 2001-01, edited by Noriyoshi Sato and Hiroshi Fujiyama, pp. 97-98 (2001).

Taniguchi K., Sato H., Hamagaki M., Abraha P., Tsunekawa Y., and Hara T.: "Behavior of atomic nitrogen in high speed nitriding by electron-beam-excited plasma", *Proc. Plasma Science Symp. 2001 and 18th Symp. on Plasma Processing (PSS-2001/SPP-18)*, Kyoto, 2001-01, edited by Noriyoshi Sato and Hiroshi Fujiyama, pp. 99-100 (2001).

Tada S., Takashima S., Hori M., Goto T., Ito M., and Hamagaki M.: "Deposition of carbon thin films using multi-hole-grid electron-beam-excited plasma", *Proc. Plasma Science Symp. 2001 and 18th Symp. on Plasma Processing (PSS-2001/SPP-18)*, Kyoto, 2001-01, edited by Noriyoshi Sato and Hiroshi Fujiyama, pp. 579-580 (2001).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Tominaka T., Okamura M., and Katayama T.: "Analytical field calculation of helical dipole magnets for RHIC",

- 1997 Particle Accelerator Conf. (PAC '97), (TRIUMF, University of Maryland), Vancouver, Canada, May (1997).
- Tominaka T., Hatanaka K., and Katayama T.: "Multipole expansion for a single helical current conductor", 1997 Particle Accelerator Conf. (PAC '97), (TRIUMF, University of Maryland), Vancouver, Canada, May (1997).
- Takanaka M. and Katayama T.: "Transverse instability due to the space charge during the electron-cooling bunching of ion beams", 1999 Particle Accelerator Conf., (Brookhaven National Laboratory), New York, USA, Mar.-Apr. (1999).
- Yoneda K., Sakurai H., Gomi T., Motobayashi T., Aoi N., Fukuda N., Futakami U., Gacsi Z., Higurashi K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H., Kubo T., Kunibu M., Kurokawa M., Liu Z., Minemura T., Saito A., Serata M., Shimoura S., Takeuchi S., Watanabe Y., Yamada K., Yanagisawa Y., Yogo K., Yoshida A., and Ishihara M.: "Gamma-ray spectroscopy of ^{34}Mg via RI beam fragmentation", 5th Int. Conf. on Radioactive Nuclear Beams (RNB5), (CERN and the ISOLDE collaboration), Divonne, France, Apr. (2000).
- Rizawa T., Katayama T., Tanabe T., Takama S., and Yamashita A.: "Design study of the ACR electron-cooler for RIBF", 7th European Particle Accelerator Conf. (EPAC 2000), Vienna, Austria, June (2000).
- Takeuchi T., Katayama T., Nakagawa T., Okamura M., Yano K., Sharkov B., Kondrashev S., and Shumshurov A.: "Laser ion source for RIKEN MUSES project", 7th European Particle Accelerator Conf. (EPAC 2000), Vienna, Austria, June (2000).
- Ohtomo K., Inabe N., Katayama T., Tanabe T., and Wakasugi M.: "New lattice design of Accumulator Cooler Ring for MUSES", 7th European Particle Accelerator Conf. (EPAC 2000), Vienna, Austria, June (2000).
- Tamba M., Kawamura K., Okazaki K., and Amemiya H.: "Formation of DLC by a pure carbon arc under high vacuum", 13th Int. Conf. on High-Power Particle Beams, Nagaoka, June (2000).
- Kobayashi T., McConville C. F., Dorenbos G., Sone H., Katayama T., and Aono M.: "Medium-energy coaxial impact-collision ion scattering spectroscopy", 28th IUVSTA Workshop on Ion Beam Techniques for the Analysis of Composition and Structure with Atomic Layer Resolution, (IUVSTA (International Union for Vacuum Science, Technique and Applications), CLRC Daresbury Laboratory), Abingdon, UK, June (2000).
- Kim J., Saito F., Suzuki N., Wei L., Kurihara T., Nagashima Y., Okamura M., Itoh Y., Goto A., Hyodo T., and Saito F.: "A design of spin rotator for polarized slow positron beam at RIKEN", 12th Int. Conf. on Positron Annihilation (ICPA-12), München, Germany, Aug. (2000).
- Takeuchi S., Shimoura S., Motobayashi T., Akiyoshi H., Ando Y., Aoi N., Fülöp Zs., Gomi T., Higurashi Y., Hirai M., Iwasa N., Iwasaki H., Iwata Y., Kobayashi H., Kurokawa M., Minemura T., Ozawa S., Sakurai H., Serata M., Teranishi T., Yamada K., Yanagisawa Y., Zhong L., and Ishihara M.: "Isobaric analog state of ^{14}Be ", Int. Symp. on Perspectives in Physics with Radioactive Isotope Beams 2000 (RIB00), (RIKEN and Center for Nuclear Study, University of Tokyo), Hayama, Nov. (2000).
- Yoneda K., Sakurai H., Gomi T., Motobayashi T., Aoi N., Fukuda N., Futakami U., Gacsi Z., Higurashi Y., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H., Kubo T., Kunibu M., Kurokawa M., Liu Z., Minemura T., Saito A., Serata M., Shimoura S., Takeuchi S., Watanabe Y., Yamada K., Yanagisawa Y., Yogo K., Yoshida A., and Ishihara M.: "Very large deformation of the neutron-rich isotope ^{34}Mg from in-beam gamma-ray spectroscopy with RI beam fragmentation", Int. Symp. on Perspectives in Physics with Radioactive Isotope Beams 2000 (RIB00), (RIKEN and Center for Nuclear Study, University of Tokyo), Hayama, Nov. (2000).
- Yoneda K., Sakurai H., Gomi T., Motobayashi T., Aoi N., Fukuda N., Futakami U., Gacsi Z., Higurashi Y., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H., Kubo T., Kunibu M., Kurokawa M., Liu Z., Minemura T., Saito A., Serata M., Shimoura S., Takeuchi S., Watanabe Y., Yamada K., Yanagisawa Y., Yogo K., Yoshida A., and Ishihara M.: "In-beam gamma-ray spectroscopy with RI projectile fragmentation", Workshop on Direct Reactions with Radioactive Isotope Beams, (Rikkyo University), Tokyo, Nov. (2000).
- (国内会議)
- 谷口和成, 佐藤嗣紀, 龍治真, 小林聡宏, 浜垣学, 藤井貞夫, 恒川好樹, 原民夫: "電子ビーム励起プラズマ装置による高合金鋼の高速窒化", 第 61 回応用物理学会学術講演会, 札幌, 9 月 (2000).
- 四日市悟, 市原卓, 延與秀人, 後藤雄二, 澤田真也, 竹谷篤, 林直樹, 浜垣秀樹, 渡邊康: "PHENIX computing center in Japan (CC-J) の開所と運用状況", 日本物理学会第 55 回年次大会, 新潟, 9 月 (2000).
- 佐藤嗣紀, 谷口和成, 恒川好樹, 原民夫, 龍治真, 藤井貞夫, 浜垣学: "電子ビーム励起プラズマ法による鉄鋼材料の高速窒化", 第 51 回日本熱処理技術協会講演大会, 東京, 11 月 (2000).
- 浜垣学, 多田重和, 鈴木剛, 原民夫, 坂本雄一: "多孔式電子ビーム励起プラズマソース", プラズマ科学シンポジウム 2001/第 18 回プラズマプロセス研究会, (応用物理学会), 京都, 1 月 (2001).
- 多田重和, 高島成剛, 堀勝, 後藤俊夫, 伊藤昌文, 浜垣学: "多孔式電子ビーム励起プラズマソースの炭素薄膜への応用", プラズマ科学シンポジウム 2001/第 18 回プラズマプロセス研究会, (応用物理学会), 京都, 1 月 (2001).
- 谷口和成, 佐藤嗣紀, 浜垣学, Abraha P., 恒川好樹, 原民夫: "電子ビーム励起プラズマ装置による高速窒化処理における窒素原子の挙動", プラズマ科学シンポジウム

2001/第18回プラズマプロセス研究会, (応用物理学会), 京都, 1月(2001).

谷口和成, 佐藤嗣紀, 小林聡宏, 浜垣学, 恒川好樹, 原民夫:
“電子ビーム励起プラズマ装置による鉄鋼材料の窒化特性”,
第48回応用物理学関係連合講演会, 東京, 3月(2001).

Research Subjects and Members of Beam Physics and Engineering Laboratory

1. Beam Physics and Engineering of Heavy Ion and Electron Beams
 - (1) Theoretical and Experimental Study of Beam Cooling
 - (2) R&D Study on Ferrite Cavity and Fast Kicker Magnet
 - (3) Interaction of Heavy Ion Beams with Laser Induced Plasma
 - (4) Development of Laser Ion Source
2. Study of Electron Beam Excited Plasma
3. Development of Arc Discharge Metal Plasma Source
 - (1) Long Time Operation of Carbon Arc Discharge
 - (2) Heating of Arc Discharge Plasma

Head

Dr. Takeshi KATAYAMA

Members

Dr. Kiyohiko OKAZAKI
Dr. Moritake TAMBA
Dr. Manabu HAMAGAKI
Dr. Tamaki WATANABE
Dr. Masato NAKAMURA
Dr. Masahiro OKAMURA
Dr. Akira SAKUMI^{*1}
Dr. Yoshiyuki YANAGISAWA^{*1}
Dr. Satoshi YOKKAICHI^{*1}
Dr. Khalid CHOUFFANI^{*2}
Dr. Meiqin XIAO^{*2}
Dr. Chong-Cheoul YUN^{*2}
Dr. Masao TAKANAKA^{*2}

^{*1} Special Postdoctoral Researcher

^{*2} Contract Researcher

in collaboration with

Dr. Kiyoshi OGIHARA (Beam Technology Div.)
Dr. Takane KOBAYASHI (Surface and Interface Lab.)
Dr. Toshiya TANABE (RIBF Project Office)
Dr. Masanori WAKASUGI (RIBF Project Office)
Dr. Naohito INABE (RIBF Project Office)

Visiting Members

Dr. Robert A. JAMESON (Los Alamos Natl. Lab., USA)

Dr. Alexander BOLSHAKOV (ITEP, Russia)
Dr. Nikolai DIKANSKI (Budka Inst. Nucl. Phys., Russia)
Dr. Wilfried GALSTER (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Hideki HAMAGAKI (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Tamio HARA (Toyota Technol. Inst.)
Dr. Yuichi HASHIMOTO (Canon Inc.)
Dr. Toshiyuki HATTORI (Res. Lab. Nucl. React., Tokyo Inst. Technol.)
Ms. Midori HIRANO (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Shigeki KATO (KEK)
Dr. Dmitry KOCHKAREV (ITEP, Russia)
Mr. Kiyoji KOHNO (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Sergei KONDRASHEV (ITEP, Russia)
Dr. Iouri KOROTAEV (JINR, Russia)
Dr. Shigeru KUBONO (CNS, Univ. Tokyo)
Mr. Shogo KUBOTA (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Igor MESHKOV (JINR, Russia)
Dr. Takashi MIYACHI (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Shunji NISHIMURA (CNS, Univ. Tokyo)
Mr. Masahiro NOTANI (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Masao OGAWA (Tokyo Inst. Technol.)
Dr. Yoshiyuki OGURI (Res. Lab. Nucl. React., Tokyo Inst. Technol.)
Mr. Yukimitsu OHSHIRO (CNS, Univ. Tokyo)
Mr. Kyoichiro OZAWA (CNS, Univ. Tokyo)
MR. Takao SAKAGUCHI (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Takeshi SAKAKIBARA (Chuo Univ.)
Dr. Yuichi SAKAMOTO (Nichimen Co.)
Dr. Boris SHARKOV (ITEP, Russia)
Mr. Fumio SHIMOKOSHI (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Susumu SHIMOURA (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Anatoly SIDORIN (JINR, Russia)
Dr. Alexander SKRINSKY (ITEP, Russia)
Dr. Alexandre SMIRNOV (JINR, Russia)
Dr. Evgeny SYRESIN (JINR, Russia)
Mr. Seisaku TAKAKU (CNS, Univ. Tokyo)
Mr. Yoshito TANAKA (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Takashi TERANISHI (CNS, Univ. Tokyo)
Ms. Meiko UESAKA (CNS, Univ. Tokyo)
Mr. Shin-ichi WATANABE (CNS, Univ. Tokyo)
Mr. Norio YAMAZAKI (CNS, Univ. Tokyo)
Mr. Mitsuteru YUKITAKE (Hitachi, Ltd)
Dr. Pavel ZENKEVITCH (ITEP, Russia)
Mr. Takeshi TAKEUCHI (CNS, Univ. Tokyo)
Mr. Masaki SERATA (Coll Sci., Rikkyo Univ.)
Mr. Takashi MATSUMOTO (CNS, Univ. Tokyo)
Dr. Yoshiaki CHIBA

Trainees

Mr. Shin-ichiro MICHIMASA (Univ. Tokyo)
Mr. Souichiro KAMETANI (Waseda Univ.)
Mr. Munetaka TAMAI (Waseda Univ.)
Mr. Tsukasa USHIRODA (Nagasaki Inst. Appl. Sci.)
Mr. Kouji UE (CNS, Univ. Tokyo)

Mr. Kouichi KATOU (Waseda Univ.)
Mr. Ken OYAMA (Univ. Tokyo)

Mr. Takeshi NISHIMOTO