

国内の加速器関連施設

学会設立記念特集

瞬間強力パルス状放射線発生装置

北海道大学工学研究科 鬼柳善明 kiyanagi@qe.eng.hokudai.ac.jp

<http://mird.qe.eng.hokudai.ac.jp/index.html>, [Phone] 011-706-6650, [FAX] 011-738-3106

本装置は、最大加速エネルギー 45 MeV の電子加速器を本体とするもので、Center, Right, Left の 3ヶ所のビームポートをもち、電子線の利用のみならず、2次粒子としての中性子、エックス線なども利用され

ている。加速器の仕様は左表のとおりである。

高性能冷中性子源が設置されているのが、他の小型加速器施設にない特徴である。速中性子の発生数は約 10^{11} n/sec である。小型加速器であるが故に、実験の要望に応じて実験条件を最適化でき、色々な特徴ある研究に利用されてきた。これまでの研究としては、1. 高性能加速器冷中性子源の開発、2. 中性子分光器開発、3. 中性子光学素子開発、4. 高速中性子スペクトル測定、5. パルスラジオリシス法による反応過程の研究、6. 放射化分析、7. 放射線計測、8. パラメトリック X 線に関する研究、9. ビームモニタの開発等、がある。今後はコンベンショナルな中性子回折実験等も行えるようにしていく予定である。

当施設を利用したい方は、担当者まで連絡いただければ、実験内容を含め御相談に乗ります。

電子線エネルギー	最大 45 MeV 以上(尖頭電流値 1 mA) 定常 30 MeV 以上(尖頭電流値 100 mA)
電子線最大平均 ビーム電流	Center 140 μ A Right 100 μ A Left 90 μ A
電子線パルス	パルス幅 0.01-3 μ s 繰り返し 単発, 10-100 pps
ビーム直径	5-10 mm

日本製鋼所製 BC168 (医療用小型サイクロトロン)

秋田県立脳血管研究センター 放射線医学研究部 高橋和弘 kazu@akita-noken.go.jp

<http://www.akita-noken.go.jp/main/index.html>, [Phone] 018-833-0115, [Fax] 018-833-2104

当センターでは PET (ポジトロンエミッショントモグラフィ) で用いる超短半減期ポジトロン放出核種の製造のため、1983年に医療用小型サイクロトロン BC168 を導入した。ビームエネルギーはプロトン 16 MeV, デュートロン 8 MeV で、最大ビーム電流は 50 μ A である。日常ルーチンでは核反応 $^{14}\text{N}(d, n)^{15}\text{O}$ で ^{15}O (半減期 2 分), $^{14}\text{N}(p, \alpha)^{11}\text{C}$ で ^{11}C (半減期 20 分) および $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ で ^{18}F (半減期 110 分) を製造している。 ^{15}O は自動合成装置を用いて H_2O , O_2 , CO という化学型にし、被験者に注入もしくは吸

入して脳血流量、脳酸素摂取量、脳血液量の測定に利用されている。 ^{11}C は自動合成装置を用いて ^{11}C -メチオニンなどのアミノ酸や ^{11}C -メチルスピペロンなどの神経伝達物質のレセプターリガンドに合成され、脳腫瘍や脳神経疾患の研究に利用されている。また、 ^{18}F は自動合成装置を用いてグルコースの類似化合物 ^{18}F -FDG (フルオロデオキシグルコース) に合成され、もっぱら腫瘍の診断に利用されている。昨年保険適用になったこともあり、 ^{18}F -FDG の検査数が著しく増加している。

島津製作所 MCY-1750 (医療用小型サイクロトロン)

日本アイソトープ協会 岩手医科大学 仁科記念サイクロトロンセンター
 (岩手医科大学サイクロトロンセンター) 世良耕一郎 ksera@iwate-med.ac.jp
 [Phone] 019-688-6071, [FAX] 019-688-6072

加速粒子: proton 16.9 MeV, deuteron 8.3 MeV, H_2^+ 8.3 MeV (proton 4.15 MeV)

最大ビーム電流: 陽子, 重陽子 $\rightarrow 50 \mu A$, $H_2^+ \rightarrow 30 \mu A$

イオン源: 冷陰極 PIG

磁場: hill で 17 kG

周波数: 54 MHz

特徴: 島津製作所が造った世界で唯一のサイクロトロン。コールドカソードのため、ビームの安定性が良い。RF は共軸タイプで、PM なしに立ち上がる。

応用としては、医療用小型サイクロトロンとして、世界で唯一、 H_2^+ 加速により PET (陽電子核医学) と PIXE (加速器を用いた微量元素分析) を同時に行う施設。この二者と、放射化分析、放射性薬剤を用いた動物実験等が 10 年前より全国共同利用に供されている。特に PIXE (Particle Induced X-ray Emission analysis) においては、医学、環境科学、歯学、獣医

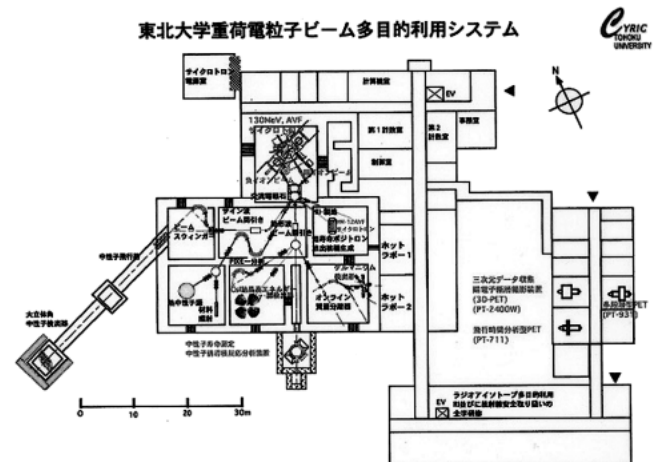
学、食品学、農学、生物学などのライフサイエンス系分野に加え、鉱物・地質学、分析化学、考古学、材料工学、宇宙物理学、文化財保護学等の多分野において大きな成果があげられている。特に当施設において開発が行われた「無調製、無標準定量法」は、世界における「有害元素による広域的環境汚染とそれに伴う人民の体内暴露調査研究」に応用され、産総研、環境研、国連の機関、国内外の大学などとの活発な共同研究が行われている。

現在我国だけでも 60 台以上存在する医療用小型サイクロトロンは、PET のみに使用されているため 1 日 24 時間の大半は眠っている。当施設ではエネルギーを 1/4 に落とすことにより PIXE への応用に成功したため、加速器をより効率的に使用し多分野に貢献することができた。

K=110 MeV AVF サイクロトロン, 12 MeV RI 製造用小型サイクロトロン

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 篠塚 勉 shino@cyric.tohoku.ac.jp
 [Phone] 022-217-7800, [Fax] 022-217-7997

K=110 MeV AVF サイクロトロン, 12 MeV RI 製造用小型サイクロトロンの 2 台のサイクロトロンで、理、工、医、薬、農の多分野での学内共同利用を行っている。全永久磁石型 14.5 GHz ECR イオン源により、水素よりアルゴンまでのイオンが加速できると同時に、負水素イオンの加速モードで大強度陽子ビーム (50 MeV, 300 μA を計画) の開発を行っている。小型サイクロトロンは PET 用放射性薬剤の製造に用いられ、実際の PET 診断に供給されている。大学の使命として、次代の加速器科学者、技術者を養成する上でも、「出来る限り手作り」をモットーに、学生、院生も参加した開発、利用を行っている。



KEK-PS (12 GeV 陽子シンクロトロン)

KEK 加速器研究施設 高崎榮一 eiichi.takasaki@kek.jp
 [Phone] 029-864-5711, [FAX] 029-864-5591

KEK-PS は、1971 年 4 月より建設が始まり、1976 年 3 月には 8 GeV まで陽子加速に成功し、1977 年 4 月からユーザへのビーム供給が始まった。750 keV 前段加速器、20 MeV 線形加速器、500 MeV プースターと 12 GeV 主リングの四段カスケード構成で建設された。1980 年偏極陽子加速計画（第 2 前段建設）が始まり、1985 年 4 月プースター入射を荷電変換方式に変更し、同年 10 月線形加速器は 40 MeV に upgrade された。その後、加速器の多機能化と高強度ビーム加速の選択を乗り越え、1995 年から K2K 用高強度ビーム加速の問題解決に本格的に取り組み、速い取り出し系

建設が始まり、1999 年より K2K ヘビーム供給を開始し、現在に至る。表に、現在までの主な KEK-PS の改善処置・特徴等を与える。

最近数年間の加速器運転時間は、約 6000 時間/年であり、また、高残留放射能領域下での加速器機器の保守維持・改善作業の難しさを実感しながら、加速器の調整・運転を行っている。

KEK-PS では、2005 年夏での 12 GeV 主リング shut-down をスケジュール化し、引き続き、500 MeV プースターの shut-down も予定されている。

種類	加速可能粒子種類	加速エネルギー	陽子最大（通常）ビーム強度	建設後の主なビーム改善作業	使用目的
前段加速装置 No. 1 (コッククロフト・ワルトン型)	H ⁺ , H ⁻ , D ⁺ , D ⁻	750 keV	870 mA (1978 年度) (約 25 mA; 負水素イオン)	<ul style="list-style-type: none"> 加速管内ガス圧調整 (耐放電, 1976 年頃). 重陽子・α 粒子加速テスト (主リングまで加速成功). 1985 年負水素イオン源に交換. 	直線加速装置の前段加速用
	⁴ He ²⁺ , ³ He ²⁺	1.5 MeV			
前段加速装置 No. 2 (コッククロフト・ワルトン型)	H ⁺ , H ⁻ , D ⁺ , D ⁻	750 keV	(約 25 mA; 負水素イオン)	<ul style="list-style-type: none"> 偏極陽子加速の為、建設 (1980 年～, 主リングまで加速成功). レーザー光による偏極イオン源開発・建設 (1980 年～). 重イオン源の開発. 	直線加速装置の前段加速用
	⁴ He ²⁺ , ³ He ²⁺	1.5 MeV			
直線加速装置 (アルバレー型リニアック)	H ⁺ , H ⁻ , ⁴ He ²⁺	40 MeV	200 mA (1978 年度, 20 MeV まで) (約 13 mA; 負水素イオン)	<ul style="list-style-type: none"> 大電力出力に 2.5 MW サーキュレータ設置 (1978 年頃). 1985 年第 2 タンク追加し、40 MeV に upgrade. 第 2 タンクの特徴 (ポスト安定化機能と永久磁石式四極電磁石使用) 	プースターリング入射器用
	³ He ²⁺	30 MeV			
シンクロトロン (500 MeV プースター)	H ⁺ , H ⁻	500 MeV	3.0 × 10 ¹² ppp (2003 年度)	<ul style="list-style-type: none"> head-tail の影響を抑える為、6 極電磁石設置. RF 系増強. 1985 年荷電変換入射系設置. 両極入射用セプタムの製作. プースター電磁石電源更新. バックレック, 8 極電磁石追加. 無同調 MA CAVITY 導入と RF 増幅器系更新. 	主リング用 NML ユーザーヘビーム供給 (1980 年より) パルス中性子源及び中間子 (μ) 源へ 医学治療用 (2002 年 7 月まで)
	⁴ He ²⁺	588 MeV	(約 2.5 × 10 ¹² ppp NML 行き)		
	D ⁺ , D ⁻	294 MeV	(約 0.6 × 10 ¹² ppp MR 遅い取り出し時)		
	³ He ²⁺	750 MeV	(約 1.3 × 10 ¹² ppp MR 速い取り出し時)		
シンクロトロン (12 GeV 主リング)	陽子, 重陽子	12 GeV	8 × 10 ¹² ppp (2003 年度, 9 バンチ)	<ul style="list-style-type: none"> RF-Cavity 追加, 引き続き増幅器系更新. B-chamber 交換 (残留 μ 減). BPM 更新と補正電磁石改造. Q-chamber 更新. t-jump 系設置. EP1 と EP2 同時取り出し系構築. 2FT 用主リング電源増強. 速い取り出し/遅い取り出し系の設置と両立. 6 極用電源更新. 8 極電磁石の最適化. インビダグス改善. white 信号によるバンチ shaping. 	素粒子等の実験ヘビーム供給 速い取り出し (K2K) 遅い取り出し (EP1 と EP2) IT コースへ
	⁴ He ²⁺ , ³ He ²⁺	24 GeV	(約 3.7 × 10 ¹² ppp 遅い取り出し時)		
			(約 6.6 × 10 ¹² ppp 速い取り出し時)		

KEK 電子・陽電子入射器

KEK 加速器研究施設 榎本收志 atsushi.enomoto@kek.jp
 http://www-linac.kek.jp, [Phone] 029-864-5688, [FAX] 029-864-7529

8 GeV 電子, 3.5 GeV 陽電子, 3 GeV 電子, 2.5 GeV 電子の 4 種類のビームを KEKB-HER, KEKB-LER, PF-AR, PF の 4 つの円形加速器に入射する。年間運転時間は 10 か月半 24 時間連続運転で、KEK 内で最長。2004 年 1 月から KEKB には連続入射、PF-AR には 1 日 3 回、PF には 1 日 1 回の入射を行っている。

KEK 電子入射器は PF 入射器として 1978~1981 年度に 4 年計画で建設された。1982~1984 年度にはトリスタン実験のために 200 MeV 陽電子発生装置が建設された。その後、1994~1998 年度の KEKB 建設プロジェクトで運転を続けながら大規模な改造が行なわれ、現在の入射器となった。2003 年 3 月 3 日午後 3 時 33 分、1982 年度の運転開始以来 21 年間で運転時間が 10 万時間に達した。

KEK 電子・陽電子入射器は S バンド (加速周波数 2856 MHz) の準定電圧 2/3π モード進行波型加速管を用いた全長約 600 m の電子線形加速器である。旧型クライストロンとの寸法互換性を維持するためにコンパクトに開発された 50 MW クライストロン約 60 本

で 240 本の 2 m 加速管を運転する。加速利得は約 21 MeV/m で最大加速エネルギーは約 8.5 GeV である。陽電子は加速器のほぼ中央にタングステン標的を挿入することによって生成し、集束、加速する。陽電子生成用 1 次電子ビームは、大電流シングルバンチとしては電荷量 (約 10 nC)、バンチ幅 (約 10 ps) の点で限界に近い性能をもつ入射部によってつくられ、標的まで安定に加速されている。2002 年秋からは、2 つのシングルバンチを同一 RF パルス内において 96 ns 間隔で加速する「2 バンチ加速」を成功させ、陽電子を倍増した。

KEKB と PEP-II のルミノシティ競争では KEK と SLAC の入射器の力 (特に陽電子ビーム) の差が懸念されたが、その問題を克服し、ルミノシティ競争における KEKB の優位に貢献している。また、PF や PF-AR への入射器としても安定にビーム供給を続けている。入射器運転は 23 名の職員とシフト当り 2 名の運転業務委託要員、日中 3 名の保守業務委託要員によって維持されている。

KEKB B-ファクトリー 電子・陽電子非対称ダブルリングコライダー

KEK 加速器研究施設 生出勝宣 katsunobu.Oide@kek.jp

http://www.kek.jp., http://kek.jp, [Phone] 029-864-5300, [FAX] 029-864-0321

KEKBはY(4S)共鳴におけるB中間子の生成・崩壊実験のため、旧トリスタントンネルを利用して作られた電子・陽電子コライダーである。2001年4月に競争相手のPEP-IIを抜いて以来、世界最高ルミノシティーを誇る。2003年5月には設計性能10/nb/s (=10³⁴ cm⁻²s⁻¹)を越え、前人未達のルミノシティー・フロンティアを邁進している。また、衝突点有限交差角, ARES空洞, 特殊超伝導空洞, 世界最小衝突点ビームサイズ, 2.5πセルラティス, 電子雲不安定性対策, 陽電子2バンチ/パルス入射, 実験中連続入射等々, 加速器科学・技術上数々の新機軸を発明・実証してきた。KEKBに組み込まれたBelle検出器は世界から約400人の研究者が参加し、B中間子におけるCP非保存の発見を始めとする、数々の新発見をすでに達成し、今後も続々と成果が期待されている。

KEKB リングのマシンパラメータ (衝突時, 2004年5月19日現在)

	LER	HER	
周長	3016		m
粒子	陽電子	電子	
エネルギー	3.5	8.0	GeV
蓄積電流	1.7	1.2	A
バンチ数	1284		
バンチ間隔	6-8		ns
ハーモニック数	5120		
加速周波数	508.9		MHz
加速電圧	8	14	MV
空洞台数	常伝導 20	常伝導 12/超伝導 8	
偏向磁石曲率半径	15.9	106.0	m
ウィグラー曲率半径/全長	15.5/105.2	—	m
チューン $\nu_x/\nu_y/\nu_z$	45.506/43.55/-0.025	44.511/41.58/-0.022	
衝突点β関数	59/0.52	56/0.65	cm
エミッタンス	18/1.0	24/0.8	nm
衝突点ビームサイズ	100/2.3	120/2.3	μm
バンチ長	約8	約6	mm
エネルギー幅	0.073	0.067	%
運動量縮約率	3.4	3.4	10 ⁻⁴
ビーム・ビーム・パラメータ	0.108/0.067	0.072/0.057	
衝突点水平交差角	22		mrad
平均圧力	80	120	nPa
ビーム寿命	180	240	min
最高ルミノシティー	12.7		/nb/s
1日/7日/30日ルミノシティー	0.94/5.94/22.67		/fb
総積分ルミノシティー	258		/fb
稼働開始	1999年1月	1998年12月	
年間運転時間	約6500		時間

放射光研究施設ストレージリング (PF)

KEK 物質構造科学研究所 放射光科学研究施設 春日俊夫 kasugat@post.kek.jp

http://pfwww.kek.jp/, [Phone] 029-864-5632, [FAX] 029-864-2801

高エネルギー物理学研究所(現高エネルギー加速器研究機構)の放射光専用リングPFは1982年に完成した。完成当初のエミッタンスは450 nm.radであったが、1986年と1997年の二度にわたる改造により、この値は36 nm.radまで向上している。

PFは通常、多バンチモード、電子エネルギー2.5 GeV、初期ビーム電流450 mA、1日1回入射で運転を行っているが、1年間に20日程度電子エネルギー3 GeV(この場合の初期ビーム電流約200 mA)、さらに2週間程度単バンチモード(初期ビーム電流約70 mA、1日3回入射)で運転を行っている。

挿入光源のための直線部をより長く、さらにより多く確保するための直線部増強計画が進行中である。この計画のための作業は2005年3月から8月にかけて実行予定であり、同年秋からユーザーランを再開する予定である。

主なパラメータ

粒子	電子または陽電子
最大エネルギー	3 GeV
運用エネルギー	2.5 GeV, 3 GeV
入射エネルギー	2.5 GeV
リング周長	187 m
ハーモニック数	312
加速高周波	500.1 MHz
水平方向チューン	9.60
鉛直方向チューン	4.28
エミッタンス	36 nm.rad
初期電流	約450 mA
ビーム寿命	約60時間

大強度放射光リング (PF-AR)

KEK 物質構造科学研究所 放射光科学研究施設 春日俊夫 kasugat@post.kek.jp
<http://pfwww.kek.jp/>, [Phone] 029-864-5632, [FAX] 029-864-2801

高エネルギー物理学研究所（現高エネルギー加速器研究機構）の電子・陽電子衝突リング TRISTAN のブースターシンクロトロンとして建設された AR (Accumulation Ring) は、1996年に X 線領域の放射光専用リングに転用され、PF-AR (Photon Factory Advanced Ring) と改称された。1999年から2001年末にかけて、加速器研究施設と放射光研究施設（現放射光科学研究施設）の混成チームによりリングの大改修が行われ放射光専用リングとしての性能が大幅に改善された。

本リングの特徴はほぼ 100% 単バンチ運転を行っていることであり、時間分解実験のために、単バンチ不純度を 10^{-7} - 10^{-8} 程度以下に保っていることである。本リングの重要な応用の一つに医学利用（心臓冠状動脈撮影）がある。この場合は電子エネルギー 5 GeV, 2バンチ, 初期ビーム電流約 70 mA の条件で運転を行っている。

主なパラメータ

運用電子エネルギー	6.5 GeV
入射エネルギー	3 GeV
リング周長	377.27 m
ハーモニック数	640
加速高周波	508.57 MHz
水平方向チューン	10.15
鉛直方向チューン	10.21
エミッタンス	290 nm.rad
初期電流	約 60 mA
ビーム寿命	約 15 時間

ATF

先端電子試験加速器

KEK 加速器研究施設 浦川順治 junji.urakawa@kek.jp
<http://www-atf.kek.jp/atf/index-j.html>, [Phone] 029-864-5311, [FAX] 029-864-0321

1.5 GeV の電子線形加速器, 1.3 GeV のビーム冷却用蓄積リング (ダンピングリング) 及びビーム取り出し装置から構成されたりニアコライダー開発研究施設である。多バンチ電子ビームを生成・加速して、放射減衰によって生成される超偏平電子ビームをビーム取り出しラインに供給する。数ミクロンの偏平電子ビー

ムを使って、ナノメートルで軌道制御する技術開発を国際協力によって進めている。世界にリニアコライダー開発研究用試験加速器と呼ばれるものは、現在 TTF (DESY), NLCTA (SLAC), CTF (CERN) と ATF (KEK) の 4 つである。

ホームページをご参照ください。

J-PARC 用大強度陽子リニアック

KEK 大強度陽子加速器計画推進部 野口修一 shuichi.noguchi@kek.jp
[Phone] 029-864-5230, [FAX] 029-864-3182

本施設は日本原子力研究所 (JAERI) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の統合計画 (J-PARC 計画) が認可される前の平成 10 年に KEK の JHF 計画の一部として認められ、建設が開始された。その後、J-PARC 計画の認可に伴い、J-PARC リニアックの低エネルギー部として使われる予定である。製作されたリニアックは、30 mA の負水素イオン源、3 MeV の RFQ、バンチャー及び RF チョッパーが設置された 3 m の MEBT、3 台の DTL 及び 2 台の SDDL となる。平成 13 年にはイオン源のビーム試験が始ま

り、その後 RFQ, MEBT と続き現在は DTL の第一タンク (20 MeV) までの試験が行われている。これらは平成 17 年には原研に移設される予定で、放射化のレベルを上げないようにデューティは必要最低限に下げて運転されているが、ピーク電流については、全て設計仕様を満たしている。今後、ビーム診断系、RF のデジタルフィードバックシステムの試験及びビーム品質と各種パラメーターとの相関等のスタディーを秋までを目標に進め、運転を終了する予定である。

~~~~~

**NIES-TERRA (国立環境研究所 加速器分析施設)**

独立行政法人国立環境研究所 化学環境研究領域 柴田康行 yshibata@nies.go.jp  
<http://www.nies.go.jp/>, [Phone] 029-850-2450, [FAX] 029-850-2573

最大加速電圧 5 MV のタンデム型静電加速器を中心とする加速器質量分析 (AMS) 専用機。スパッタ型の 2 種類のイオン源 (固体用, ガス (CO<sub>2</sub>) 用) を有する。<sup>14</sup>C のほか、<sup>10</sup>Be, <sup>26</sup>Al などを主な測定対象とし、海洋学、古環境復元、炭素循環、さらには汚染物質の発生源の探索など、環境科学の幅広い分野で研究活動を続けている。試料処理技術の開発にも力を注

いでおり、10 µg までの微量の試料をグラファイト化できる技術の開発、分取ガスクロマトグラフを用いた化合物毎の <sup>14</sup>C 年代測定技術の開発、元素分析計を利用した迅速前処理技術の開発などをこれまで進めてきている。今後 <sup>36</sup>Cl の測定技術の開発まで、測定対象核種の拡大にも努め、より幅広い環境研究への応用を目指す。

## AIST

## 産総研電子加速器施設

独立行政法人産業技術総合研究所 光技術研究部門 山田家和勝 k.yamada@aist.go.jp

[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/research/research.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/research/research.html), [Phone] 029-861-5679, [FAX] 029-861-5683

産総研では、電子リニアック TELL と 3 台の小型蓄積リング (TERAS, NIJI-II, NIJI-IV) をベースとして、特徴ある量子放射源とその利用技術開発を行っている。TELL の低エネルギー部では、電子ビームを Ta の標的に照射して低速パルス陽電子ビームを発生させ、陽電子寿命計測による low-k 膜等ポーラス材料の空孔サイズ分布や空孔連結性評価等の産業利用が進んでいる。周長約 17 m の小型リング NIJI-II には直交遅延磁場型偏光可変アンジュレータが設置されており、液晶の光配向や、アミノ酸の絶対不斉分解の確認等、光源の特徴を生かした研究が行われている。NIJI-IV は周長約 30 m の自由電子レーザー (FEL) 専用リングで、6.3 m の長尺光クライストロンと低損失光共振器を組み合わせて、595~198 nm での FEL 発振が可能となっている。FEL の真空紫外域発振は国内で唯一 (世界で 4 番目) であり、光電子放出顕

微鏡 (PEEM) を組合せて、遷移金属表面微細構造の実時間観測も可能となっている。800 MeV の汎用蓄積リング TERAS には、前述と同型の偏光可変アンジュレータやレーザーコンプトン散乱によるエネルギー可変  $\gamma$  線発生装置等が設置されている。偏光アンジュレータ光による交流偏光変調分光法を用いた真空紫外域でのアミノ酸の CD 信号の検出、1~40 MeV のレーザーコンプトン散乱  $\gamma$  線を用いた、原子核研究やラジオグラフィック・CT による金属内部の非破壊観測等を行っている。放射光利用では、軟 X 線に対する希ガスの光吸収断面積や W 値の精密計測、フォトニック結晶の作製、走査型軟 X 線顕微鏡や透過型光電変換顕微鏡の開発と生体内物質可視化の研究等がある。また放射光を紫外以下の波長での絶対放射光源として利用し、重水素ランプ等の光源の分光放射輝度を校正するための研究も行っている。

## UTTAC

## 筑波大学タンデム加速器施設

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門 笹 公和 ksasa@tac.tsukuba.ac.jp

<http://www.tac.tsukuba.ac.jp/>, [Phone] 029-853-2491, [FAX] 029-853-2565

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門 (旧加速器センター) では、12UD ペレトロンタンデム加速器と 1 MV タンデトロン加速器の 2 台の静電加速器から得られる各種イオンビームを用いて、物理学、工学、化学、生物学、地球科学、環境科学、新機能素材開発、並びにこれらの境界領域を含む広い分野の基礎研究を行っている。各加速器の仕様を表に示す。米国 NEC 社製の 12UD ペレトロンタンデム加速器は、1976 年に完成して以来、最大使用ターミナル電圧 11 MV の性能を維持している。スパッター型重イオン源と独自開発によるラムシフト型偏極イオン源及び加速器質量分析専用イオン源 ( $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ -AMS) が稼働している。1998 年に導入された 1 MV タンデトロン加速器では主に RBS, PIXE による微量元素分析と高速クラスター実験が行われている。大学院教育等を行う学内共同利用施設であるが、「筑波研究学園都市」に

存在する加速器施設として、他の研究機関からの利用も共同研究という形で、積極的に受け入れている。

加速器の仕様

| 加速器     | 12UD タンデム                                                | 1 MV タンデトロン            |
|---------|----------------------------------------------------------|------------------------|
| 導入時期    | 1976 年                                                   | 1998 年                 |
| ターミナル電圧 | 2-11 MV                                                  | 0.1-1.0 MV             |
| 加速粒子    | H, D, He, Li, C, Mg, Al, Cl, Ca, Ti, Cu, Br, Nb, Ag, I 等 | H, He, クラスター (C, Al) 等 |
| ビーム電流値  | 3 $\mu\text{A}$ (H, D)                                   | 3 $\mu\text{A}$ (H 等)  |
| 年間運転時間  | 2500 時間                                                  | 350 時間                 |
| イオン源台数  | 3                                                        | 2                      |
| ビームライン数 | 10                                                       | 5                      |
| 利用分野    | 新機能素材開発, 原子核実験, AMS, 地球科学, 原子・物性研究等                      | 元素分析, クラスター実験          |

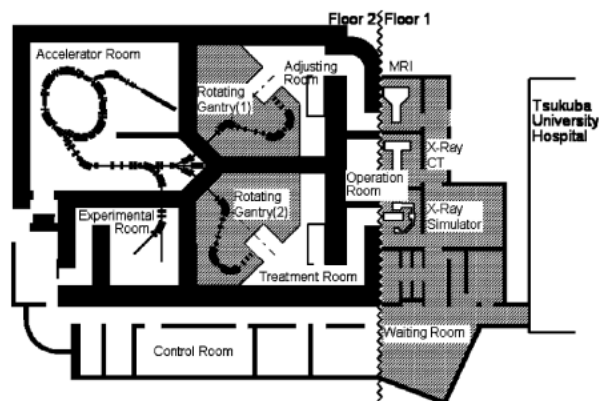
## PMRC

## Proton Medical Research Center (PMRC)

筑波大学陽子線医学利用研究センター 榮 武二 tsakae@md.tsukuba.ac.jp  
<http://www.pmrc.tsukuba.ac.jp>, [Phone] 029-853-7100, [FAX] 029-853-7102

陽子線医学利用研究センターは、陽子線がん治療のための専用施設として2001年9月から医学利用を開始している。それ以前は高エネルギー加速器研究機構において専用ビームラインを使い臨床研究を行っていた。現施設は筑波大学附属病院に隣接しており、最大エネルギー250 MeVのシンクロトロンから2つの回転ガントリー照射室にビームを導く。動く臓器に対して呼吸に同期した効率の良い照射を実現するために加速のタイミングを患者の呼吸に合わせることができる。ビーム位置の安定性と再現性が良く、照射室、エネルギーを変更後、調整なしで十分な精度のブロードビーム照射が実現できる。ライナック (RFQ + DTL 7 MeV) により、横方向多重入射を行う。リングの周長は23.3 m、エッジ角を持つ60度偏向磁石を使う分離機能型である。0.5秒周期の遅い取出しを行い、平均7 nAビームで、2 Gy/分の照射を行う。利用形態

は臨床応用のみであり年間230日運転され、治療実施率は99% (15年度)である。



## 5 MeV 電子加速器 (ダイナミトロン)

日本電子照射サービス株式会社 相川安之 Ysy\_Aikawa@EBIS.shi.co.jp  
<http://www.EBIS.jp>, [Phone] 0725-20-1005, [FAX] 0725-20-1006

1989年 (平成元年)、住友重機械工業㈱が当時その傘下にあった米国RDI社製のダイナミトロンを輸入し、茨城県つくば市に我国初の本格的電子線照射サービス施設 (つくばセンター) を開設したのが当社の始まりである。

爾来、高分子材料の架橋および分解、半導体の特性改善、医療用品・実験室用器材等のデイスターゼブル

製品の滅菌など、電子線照射利用対象の拡大と普及に努めてきた。

1998年 (平成10年)には、つくばセンターと同一仕様のダイナミトロンを設置して大阪府泉大津市に2番目の施設 (関西センター) を開設した。

以下に両センターの加速器他の主要性能を示す。

| 項目         | つくばセンター                                                       | 関西センター                                                        |
|------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 加速器名, 台数   | RDI社製ダイナミトロン 1基                                               | 同左                                                            |
| 加速エネルギー    | 0.5~5 MeV                                                     | 同左                                                            |
| ビーム出力      | 最大 150 KW                                                     | 同左                                                            |
| スキャン幅      | 1220 mm (100%)                                                | 同左                                                            |
| ビームライン数    | シングルスキャンホーン                                                   | ダブルスキャンホーン<br>No. 2ラインはX線変換専用                                 |
| 照射用カートコンベア | 全長: 90 m, 24カート<br>照射速度: 2~10 m/min<br>照射面: 1000 mm × 1500 mm | 全長: 81 m, 37カート<br>照射速度: 2~16 m/min<br>照射面: 1000 mm × 1500 mm |



## JAERI Tandem・Booster 原研 タンデム加速器・ブースター

日本原子力研究所東海研究所 加速器管理室 吉田 忠 yoshida@tandem.tokai.jaeri.go.jp  
<http://kikaku.tokai.jaeri.go.jp/tandem>, [Phone] 029-282-6320, [Fax] 029-282-6321

原研タンデム加速器は、世界最大級の静電型加速器であり、原研のみならず協力・共同研究により日本全国の大学、国立研究機関及び企業から利用されている。平成5年にタンデム加速器のエネルギーを最大4倍にする超伝導ブースターの完成により質量数180近傍までクーロン障壁を越えるエネルギーに加速できること、約40種のイオン（水素からビスマスまで）を加速できること及び希ガス（ネオン～キセノン）イオンも加速できる。利用は年間2回のマシンタイムにより約200日の運転で5000時間近い利用を図っている。本加速器施設はアクチノイド核を取り扱うことの出来る施設として日本では唯一の施設でもある。

タンデム加速器は、エネルギーの可変性、確度、イオンビームの多様性、純粋性から多くの基礎的研究に

利用され、日本の重イオン科学研究の発展に多大な貢献をしている。平成16年度から短寿命核の加速試験を開始し、17年度には本格的な研究利用も開始される予定である。

|            |                |
|------------|----------------|
| 最高加速電圧     | 18 MV          |
| 最大イオンエネルギー | 約 1 GeV        |
| 加速イオン種     | H~Bi           |
|            | Ne~Xe          |
| 最大加速電流     | H 3 $\mu$ A    |
|            | 他 ~0.5 $\mu$ A |
| 利用可能 B.L   | 11 本           |

## FNS

## Fusion Neutronics Source

日本原子力研究所 核融合工学部核融合中性子工学研究室 西谷健夫 nisitani@naka.jaeri.go.jp  
<http://fnshp.tokai.jaeri.go.jp/>, [Phone] 029-282-6859, [FAX] 029-282-5709

Fusion Neutronics Source (FNS) は、中性子発生用の静電加速器であり、核融合の中性子に関連する各種中性子反応断面積測定、遮蔽特性、中性子計測法開発、核融合炉増殖ブランケット核特性等の研究を行っている。トランス積層型（コッククロフト・ワルトン型と類似）で、加速電圧は、最大400 kVである。加速粒子は重陽子で、トリチウムを吸着させたターゲットに入射し、 $d(T, \alpha)n$  反応により、14 MeVの中性子を発生させる。ビームラインは0°と80°の2本があり、0°ビームラインには本施設の目玉である37 TBq

(1000 Ci) の回転トリチウムターゲットが取り付けられている。また80°ビームラインには0.37 TBq (10 Ci) のトリチウムを吸着させた固定トリチウムターゲットを使用している。イオン源も各ビームライン毎にあり、0°ビームライン用は最大電流40 mAでDC専用、80°ビームライン用は最大電流2 mAでDCとパルス運転が可能である。イオン源の方式は当初はデュオプラズマトロン型であったが、現在バケット型である。中性子発生量としては0°ビームラインで $4 \times 10^{12}$  個/s、80°ビームライン用で $2 \times 10^{11}$  個/sである。

## TIARA

## TIARA 加速器

日本原子力研究所高崎研究所 荒川和夫 kazu@taka.jaeri.go.jp  
<http://www.taka.jaeri.go.jp>, [Phone] 027-346-9350, [FAX] 027-346-9690

TIARA (Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application) は、材料・バイオ科学研究専用として世界で最初に建設されたイオン加速器施設で、K110AVF サイクロトロン、3 MV タンデム加速器、3 MV シングルエンド加速器、400 kV イオン注入装置から構成されている。20 keV~1 GeV までの広いエネルギー範囲をカバーし、H~Bi までの多種類のイオンが利用できる。

施設の特徴としてサイクロトロンでは、1)磁場高安定化 ( $\Delta B/B=1 \times 10^{-5}$ )、2)フラットトップ加速、3)重イオンマイクロビーム照射、4)精密照準高速自動シングルイオンヒット、4)カクテルビーム加速などのユニークな加速器・ビーム技術を実現している。

静電加速器では、1)世界唯一のトリプル (3重) 照射 (3基の加速器同時使用)、2)高速 (MeV) クラス

ター (C2~C60) イオンビーム照射、3)イオンマイクロ (サブミクロン) ビーム照射、などが可能である。

研究課題は公募しており、全体のマシンタイムの約6割が外部機関の研究者に利用されている。現在、ナノビーム形成に向けてビームの高品位化に努力している。

|               |      |              |
|---------------|------|--------------|
| AVF サイクロトロン：  | プロトン | 5~90 MeV     |
|               | 重イオン | 27.5 MeV/n   |
| 3 MV タンデム：    | プロトン | 0.8~6 MeV    |
|               | 重イオン | 0.8~21 MeV   |
| 3 MV シングルエンド： | 軽イオン | 0.4~3 MeV    |
| 400 kV イオン注入： | プロトン | 0.02~0.4 MeV |
|               | 重イオン | 0.02~1.2 MeV |

## 群馬病院サイクロトロン

群馬大学医学部附属病院サイクロトロン 香山 二郎 jkayama@showa.gunma-u.ac.jp  
 [Phone] 027-220-8660, [FAX] 027-220-8661

群馬大学医学部附属病院に小型サイクロトロンとポジトロン断層装置 (PET) を備えたサイクロトロン診断棟が昭和 59 年に設立され、研究と臨床検査が実施されてきた。当院に設置されているのは日本製鋼所 (JSW) 製 BC1710 で自己遮蔽型の病院内サイクロトロンである。加速エネルギーは陽子 17 MeV、重陽子 10 MeV でポジトロン CT 検査に使用する陽電子放出核種 ( $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ ) を作っている。サイクロトロンの主な運転時間は朝 8 時 30 分から 10 時まで約 1 時間 30 分でビーム電流約 30  $\mu\text{A}$  で運転している。

|          |   |      |               |
|----------|---|------|---------------|
| 直径       |   | 215  | cm            |
| 高さ       |   | 220  | cm            |
| 最大エネルギー  | P | 17   | MeV           |
|          | D | 10   | MeV           |
| 最大ビーム電流  |   | 50   | $\mu\text{A}$ |
| RF 波周波数  | P | 43.5 | MHz           |
|          | D | 47   | MHz           |
| 最大 RF 出力 |   | 28   | KW            |
| ビームライン   |   | 1    |               |

検査数は年間約 1400 人で、 $\text{C}^{15}\text{O}_2$  ガスや  $^{15}\text{O}_2$  の持続吸入による局所脳血流や局所酸素消費率等の検査や、 $^{18}\text{F}$ -デオキシグルコース (FDG) を静脈投与し、脳、心筋、ガンなどのグルコース代謝の検査を行っている。

## RARF/RIBF

## 理研加速器研究施設 (RARF/RIBF)

理化学研究所 (和光研究所) 加速器基盤研究部 加瀬昌之 mkase@riken.jp  
<http://www.rarf.riken.go.jp/>, [Phone] 048-467-9451, [FAX] 048-461-5301

理研加速器研究施設 (RARF: RIKEN Accelerator Research Facility) は、可変周波数の重イオンリニアック (RILAC), AVF サイクロトロンとリングサイクロトロン (RRC: RIKEN Ring Cyclotron) の3台の加速器から構成されている。RRCは、軽い元素の加速には AVF を入射器として、重い元素の加速には、RILAC を入射器として運転する。1986年より多種類の重イオンビームを、原子核研究をはじめ物性、化学、工学、生物、農学等の広範な応用研究の分野の実験に供給している。核子あたり 100 MeV 以上の大強度の重イオンビームが得られることから、RI ビームの効率的な生成に適し、専用の RI ビームライン

(RIPS: RIKEN Projectile-fragment Separator) により広範に RI ビーム実験を行っている。さらに他種類の RI ビームを生成するため RI ビームファクトリー (RIBF) 計画が進行中で3台の新たなリングサイクロトロンを建設中である。2006年までに核子あたり 350 MeV のウランビームの加速を目指している。この計画では RILAC-RRC が入射器として使われる。RILACは、近年イオン源の改良とブースターを新設し単独で原子核実験が可能になり超重元素探索の実験が精力的に行われている。AVFは、東京大学原子核科学研究センター (CNS) と共同研究により高度化が進められている。

|                             | RRC                                                                                                                                        | AVF                                                                                                                                 | RILAC                       |                                                                                                                                                            |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| K 値                         | 540 MeV                                                                                                                                    | 70 MeV                                                                                                                              | イオン源                        | 18 GHz-ECR イオン源 2台                                                                                                                                         |
| セクター電磁石                     | 4台 (総重量 2100 トン)                                                                                                                           | セクター数 4 (110 トン)                                                                                                                    | 基本周波数 (f)                   | 17~45 MHz                                                                                                                                                  |
| 入射・取出半径                     | 0.89 m · 3.56 m                                                                                                                            | 垂直入射 · 0.714 m                                                                                                                      | 入射加速                        | FC-RFQ (f) 1台                                                                                                                                              |
| 加速周波数                       | 18~45 MHz                                                                                                                                  | 12~24 MHz                                                                                                                           | 主加速器                        | ヴィデレー型共振器 ×6台                                                                                                                                              |
| ビームの例<br>(粒子, エネルギー,<br>強度) | 偏極重陽子, 135 MeV/u, 100 pA<br><sup>28</sup> Si, 135 MeV/u, 100 pA<br><sup>40</sup> Ar, 95 MeV/u, 70 pA<br><sup>48</sup> Ca, 63 MeV/u, 100 pA | p, 14 MeV, 2000 pA<br><sup>10</sup> B, 7.8 MeV/u, 300 pA<br><sup>18</sup> O, 7 MeV/u, 500 pA<br><sup>24</sup> Mg, 7.5 MeV/u, 200 pA | ブースター                       | 2f 共振器 ×6台                                                                                                                                                 |
| イオン源                        |                                                                                                                                            | ECR イオン源 ×2, 偏極イオン源                                                                                                                 | ビームの例<br>(粒子, エネルギー,<br>強度) | <sup>40</sup> Ar, 5.8 MeV/u, 5000 pA<br><sup>48</sup> Ca, 3.6 MeV/u, 570 pA<br><sup>70</sup> Zn, 5.2 MeV/u, 1000 pA<br><sup>86</sup> Kr, 2.7 MeV/u, 200 pA |

## バンデグラフ

東京工業大学理工学研究科基礎物理学専攻 川崎克則 kkawasak@vdg.phys.titech.ac.jp  
 [Phone] 03-5734-3084, [FAX] 03-5734-2741

加速電圧: 4.75 MV  
 加速粒子: H<sub>2</sub>, He, Ne 等  
 ビーム最大電流: 100 μA (H<sub>2</sub>)

東工大の使用者に限らず、学外の次の大学の方々も利用している。武蔵工大、神奈川大学、横浜国立大学、東海大学、東京家政大学、更に高エネルギー加速器研究機構の方々も利用している。

現在は、PIXE 分析、チャネリング、RBS、生命の起源を探る、イオンビーム (Ne) 照射によるカーボン薄膜の寿命、等々、の実験に使用されている。

東京工業大学のヴァンデグラフ型粒子加速装置は、1969年に建設されて以来、当初より学内外の共同利用に供されており、イオンビームを用いた学際的研究の新しい側面を切り開いてまいりまし

た。宇宙・生命・環境・などの基礎研究、測定器の開発、教育と多岐にわたり利用され、建設以来 35 年にわたり常に第一線で使われてきた。

最近も、東京工業大学の利用者ばかりではなく、武蔵工大、神奈川大学、横浜国立大学、東海大学、東京家政大学さらには、高エネルギー加速器研究機構の方々にも利用されている。

現在は、5本のビームコース (1本はフリー) にそれぞれのチャンパーが設置され、PIXE 分析法・RBS・チャネリングを利用し、材料・考古学・環境・そして、検出器の開発などに、原始大気への陽子線照射による生命発生の研究、炭素薄膜へのイオンビーム照射による炭素の物性的研究などに利用されている。

## 早稲田大学・レーザーフォトカソード RF ガン

早稲田大学理工学総合研究センター 鷺尾方一 washiom@waseda.jp

<http://www.f.waseda.jp/washiom/>, [Phone] 03-5286-3893, [FAX] 03-3205-0723

タイプ：s-バンド レーザーフォトカソード RF ガン  
(BNL-Gun IVタイプ)

エネルギー：約 4.5 MeV

バンチ長：&lt;10 ps (FWHM)

カソード：銅またはマグネシウム

励起用レーザー：モードロック Nd:YLF  
第 4 高調波(262 nm)

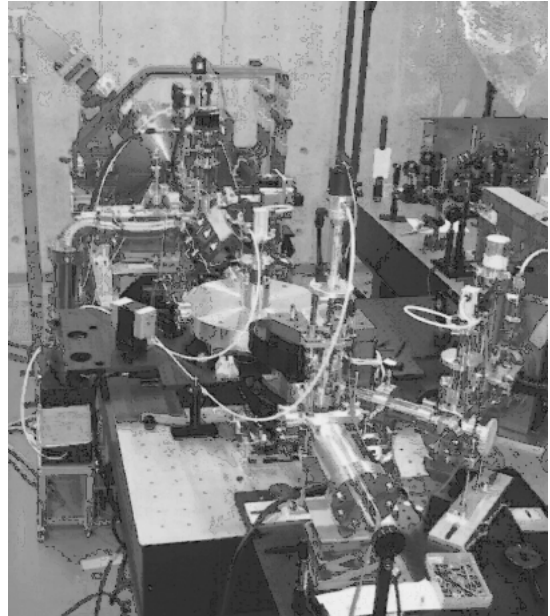
エミッタンス：10 mm·mrad 以下

特徴：

- ・ 加速器長さ 10 cm の超小型 RF 加速器
- ・ レーザー RF 間の時間ジッター 300 fs 以下
- ・ レーザー 出力安定化装置付設

用途

- ・ 高品質電子ビーム発生
- ・ ビーム診断法開発
- ・ ピコ秒パルスラジオリシス実験
- ・ 逆コンプトン散乱法による軟 X 線発生
- ・ その他のビーム応用実験



システムの外観

## UVSOR

自然科学研究機構分子科学研究所 加藤政博 mkatoh@ims.ac.jp

<http://www.uvsor.ims.ac.jp/>, [Phone] 0564-55-7402, [FAX] 0564-54-7079

分子科学研究所・極端紫外光研究施設 (UVSOR) は 1983 年の運転開始から 20 年以上にわたって、我が国における主要なシンクロトロン放射光源のひとつとして稼動を続けている。加速器複合体は、ビームエネルギー 15 MeV の線形加速器と 600 MeV のブースターシンクロトロン、750 MeV、周長 53 m の電子蓄積リングで構成されている。極紫外・軟 X 線を得意とする放射光源であり、現在約 20 本の放射光ビームラインが稼動している。年間約 36 週間運転され、60 機関約 800 人の所外研究者を受け入れている。また、光源研究・加速器研究においても、自由電子レーザー開発など、世界的な成果を上げてきた。2000 年には、第 3 世代光源に対抗するために、UVSOR 高度化 (UVSOR-II) 計画を立案した。これは光源リングの周長や形状を保ったまま、収束電磁石の配置を最適化し、挿入光源設置可能な直線部数をそれまでの 3

本から 6 本へと倍増し、また、電子ビームのエミッタンスを従来の 160 nm-rad から 27 nm-rad へと小さくするという計画であり、また、老朽化の進んでいる挿入光源、ビームライン、加速器機器の更新も含まれていた。この計画は 2002 年度に予算化され、2003 年 4 月から 6 月の 3 ヶ月間で加速器の大改造を行った。7 月中旬より UVSOR-II の立ち上げ調整を開始し、予定通り 9 月より共同利用実験を再開した。現在、真空封止型、可変偏光型など 3 本のアンジュレータが稼動しており、さらに 3 本が設置可能となっている。今後アンジュレータの増設、ビームラインの建設を急ぐとともに、RF 空洞の増強によるビーム寿命の改善、軌道安定性の改善などを進めていく予定である。また低エミッタンス電子ビームを活用して、自由電子レーザー開発などの光源開発研究もこれまで以上に推進していく予定である。

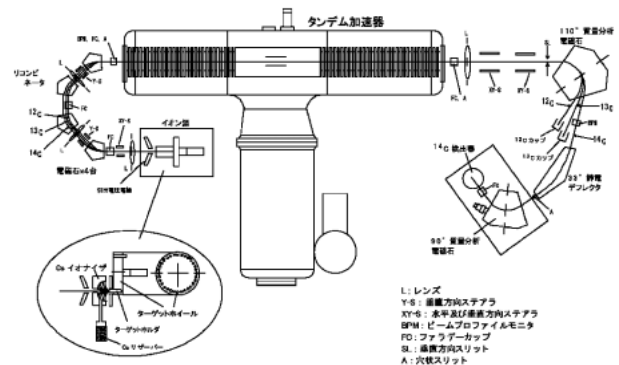
## タンデトロン加速器年代測定システム

名古屋大学年代測定総合研究センター 中村俊夫 nakamura@nendai.nagoya-u.ac.jp  
<http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp>, [Phone] 052-789-2579, [FAX] 052-789-3092

年代測定センターでは、46億年にわたる地球史のさまざまなイベントを年代学に基づいて解析するために、タンデトロン加速器による放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代測定および電子線マイクロアナライザーによる CHIME (U-Th-Pb) 年代測定を2本の柱として研究を行っている。タンデトロン加速器年代測定システムは、環境中の炭素同位体の存在比 ( $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  比が  $10^{-12}\sim 10^{-15}$ ) を高感度、高精度に測定するための専用の装置である。試料の  $^{14}\text{C}$  濃度から、試料が炭素の循環系から隔離された年代が算出される。 $^{14}\text{C}$  年代は、 $^{14}\text{C}$  濃度に他ならない。試料の歴史上の年代、すなわち暦年代は、 $^{14}\text{C}$  年代-暦年代校正データセットを用いて、 $^{14}\text{C}$  年代を校正して得られる。 $^{14}\text{C}$  年代の誤差は、数千年前までの若い試料で  $\pm 20\sim\pm 30$  年 ( $\pm 1\sigma$ ) であるが、暦年代の誤差は校正のプロセスにより大きくなる。 $^{14}\text{C}$  年代測定は、ほとんどの生物関連試料に適用できる。年代測定システムの課題は、年代の誤差を小さくする、試料の量を少なくする、測定可能な古い年代幅を広げる等である。また、タンデトロン加速器年代測定は学内共同教育研究利用であるが、実質的には共同研究により学外者の利用にも拡大されてい

る。

タンデトロン加速器システムは、マルチカソード (59個搭載型) セシウムスパッタ負イオン源、 $^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{14}\text{C}$  同時入射用のリコンビネータ、2.5 MV のコッククロフトウォルトン型タンデム加速器、110度偏向電磁石、33度偏向静電デフレクタ、90度偏向電磁石および電離箱検出器から構成される。システムの構成を図に示す。



## Ion Beam Surface Analysis Laboratory

## イオンビーム表面解析装置室

名古屋大学大学院工学研究科 曾田一雄 j45880a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp  
<http://x2.nucl.nagoya-u.ac.jp>, [Phone] 052-789-4683, [FAX] 052-789-5155

イオンビーム表面解析装置室のバンデグラフ型イオン加速器は、バンデグラフ運営委員会の下、工学研究科量子工学専攻量子ビーム物性工学(曾田)グループを中心に学内共同利用施設として運用されている。

バンデグラフ加速器は、横型で、イオンビームを5つのビームラインに振り分けることができる。このうち、3つは高真空測定用であり、2つは超高真空対応で、オージェ電子分析、X線光電子分析、低エネルギー電子線回折、高エネルギー反射電子線回折、同軸型直衝突イオン散乱分析などの各種表面分析装置を備えている。これらの装置は、ラザフォード後方散乱分光法(RBS)や反跳粒子検出分析法(ERDA)ならびに核反応粒子検出法(NRA)によって結晶表面構造の解析、固体材料表面層・薄膜材料の元素分析及び結晶性評価、材料中の水素同位体分析、また、材料とイ

オンビームとの相互作用に関する研究に使用される。

本装置は、1982年に設置されたものであるが、昨年度には加速管等のオーバーホールを行い、主に10グループが年間150日程度活発に利用している。学外者の利用形態は現時点では「共同研究」であるが、試料分析委託の受入なども検討中である。

|         |                                                |
|---------|------------------------------------------------|
| 加速器の名称  | バンデグラフ AN2500                                  |
| 加速粒子    | p, $^3\text{He}^+$ , $^4\text{He}^+$           |
| 最大加速電圧  | 2 MV                                           |
| 最大ビーム電流 | 10 $\mu\text{A}$                               |
| ビームライン数 | 5                                              |
| 主な用途    | 固体表面層・薄膜材料の元素分析及び構造解析・結晶性評価<br>材料表面層の水素同位体深さ分析 |

## 中性子発生装置（電子線型加速器）

京都大学原子炉実験所 中性子発生装置室 高見 清 takami@rri.kyoto-u.ac.jp  
<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/LINAC/>, [Phone] 0724-51-2349, [FAX] 0724-51-2602

最高エネルギー：46 MeV

最高出力：～5 kW（30 MeV, 500 mA, 4  $\mu$ sec, ～80 Hz）

ロングパルス：0.1～4  $\mu$ sec 0～100 Hz max 500 mA

ショートパルス：10～100 nsec 0～300 Hz max 6 A (22 nsec)

## 特徴

1965年設置の古いマシンであるが今も現役で、このエネルギーで最高クラスのパワーを生かした特徴ある多様な研究に利用されている。年間運転時間（ビームON）は～1,200時間（'03年実績）

現在、行われている実験紹介

- 中性子実験：TOF法では0.005 eV～80 keVの広

いエネルギー領域で中性子核データ測定が可能で、国内唯一の鉛スペクトロメータを使った微量試料の中性子核データの高精度測定もできる。

- コヒーレント放射光実験：波長範囲0.5～10 mmのミリ波サブミリ波領域の高強度広帯域パルス光源。高分解ビーム診断法の開発研究や自由電子レーザーの基礎研究、液体ヘリウム温度やパルス強磁場中での吸収反射分光やパルスラジオリシスなどの物性研究に利用されている。
- 中性子・X線照射による同位体製造：X線照射では、原子炉で製造困難な同位体が製造できる。
- 電子線照射損傷実験：国内では他で行われていない液体窒素温度での照射も長年続けられている。

## 京大化研 先端ビームナノ化学センター 加速器施設

京都大学化学研究所附属先端ビームナノ科学センター 野田 章 noda@kyticr.kuicr.kyoto-u.ac.jp  
 [Phone] 0774-38-3281, [FAX] 0774-38-3289

## 陽子線形加速器

433 MHz RFQ (2 MeV) + Alvarez (7 MeV)

大強度陽子加速器中のビームダイナミクス研究を目的として設置。

縦方向ビームエミッタンス測定、パルスビームの（横方向）エミッタンス測定等を実施。

電子線形加速器 2857 MHz (S-Band) 100 MeV

電子蓄積・ストレッチャーリング KSR

蓄積リングモード 最大エネルギー

300 MeV, バンチ数 10

ストレッチャーモード エネルギー 60～100 MeV

遅い取り出し（3次共鳴+RFKO）時間幅

0.1～100 秒

## イオン蓄積・冷却リング S-LSR（建設中）

炭素 2 MeV/u

陽子 7 MeV

マグネシウム 35～50 keV (total kinetic energy)

レーザー生成イオンビームの位相回転、電子ビーム

冷却、レーザー冷却

## フォトカソードマイクロトロン, プラズマカソード

日本原子力研究所関西研究所 光量子科学研究センター 神門正城 kando@apr.jaeri.go.jp

[Phone] 0774-71-3384, [FAX] 0774-71-3316

## フォトカソードマイクロトロン

入射器にフォトカソード RF ガンをを用いたマイクロトロン電子加速器.

電子を 150 MeV まで加速し, シングルバンチ, 10 Hz (最大 60 Hz) で運転される. フォトカソードを用いているので, 低エミッタンス (< 10  $\pi$ mm-mrad), 電荷量可変 (10 fC-100 pC) という特長を持つほか, 10 ps 以下の短バンチ性能, 0.1% のエネルギー単色性能を持つ. 原研にある 100 TW, 20 fs のチタンサファイアレーザーと高精度に同期させてレーザー航跡場加速や逆コンプトン散乱などの高強

度レーザー・電子ビームの相互作用研究が行うことができる.

## プラズマカソード

上記の高強度レーザーをプラズマ中に集光するとレーザー加速機構によりレーザー単独でエネルギー最大 35 MeV, ビーム拡がり 10 度, 電荷量 5 nC までの電子発生が確認されている. 我々はこれを「プラズマカソード」と呼び, 高品質の電子源として発生機構やビーム品質の計測, 向上を目指して研究を進めている.

## 阪大産研電子ライナック

大阪大学産業科学研究所 加速器量子ビーム実験室 磯山悟朗 isoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/rl/>, [Phone] 06-6879-8485, [FAX] 06-6879-8489

大阪大学産業科学研究所附属産業科学ナノテクノロジーセンター加速器量子ビーム実験室では, Lバンドライナック (1300 MHz), Sバンドライナック (2856 MHz), RF 電子銃ライナック (レーザー光陰極, 2856 MHz) の 3 台の加速器を有している (RF

電子銃ライナックについては現在承認申請中). これらの加速器は, 放射線物性, 放射線化学, 放射線医学, 生物, 加速器と量子ビーム発生の基礎及び応用研究, およびナノテクノロジーの研究に利用されている.

| 加速器名称       | 運転モード   | 最大エネルギー | 最大ピーク電流<br>or 電荷量 | 入射電子ビーム時間幅<br>or バンチ数 | 最大繰り返し |
|-------------|---------|---------|-------------------|-----------------------|--------|
| Lバンドライナック   | 単バンチモード | 40 MeV  | 91 nC             | 20 ps                 | 60 pps |
|             | 過度モード   | 40 MeV  | 30.6 A            | 8 ns                  | 60 pps |
|             | 定常モード   | 40 MeV  | 1.9 A             | 4 $\mu$ s             | 60 pps |
|             | 長パルスモード | 37 MeV  | 1.9 A             | 8 $\mu$ s             | 30 pps |
| Sバンドライナック   | 定常モード   | 150 MeV | 1.6 A             | 2 $\mu$ s             | 30 pps |
| RF 電子銃ライナック | 単バンチモード | 40 MeV  | 20 nC             | 1 bunch               | 30 pps |
|             | 多バンチモード | 40 MeV  | 20 nC             | 5 bunch               | 30 pps |

## RCNP サイクロトロン

大阪大学核物理研究センター 加速器研究部門 佐藤健次 sato@rcnp.osaka-u.ac.jp  
<http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp>, [Phone] 06-6879-8930, [FAX] 06-6879-8899

核物理研究センターは全国共同利用研究機関で、加速器施設としては、6 スパイラル・セクター分離型で K400 でフラット・トップ加速のリング・サイクロトロンを主加速器とし、3 スパイラル・セクター一体型で K140 の AVF サイクロトロンを入射器とするカスケード・マシンがあり、いずれも可変エネルギー・可変粒子の性能を有している。中間エネルギー領域において、世界最高の分解能での共同利用実験研究が推進されているが、運転経費の縮減の影響を受け、最近では、年間、5000 時間程度が共同利用に供されている。

AVF へは、その上部で外部に設けられた、ECR イオン源や偏極イオン源等から多種多様なイオンビームが垂直に入射されるが、これまでは、陽子を始めとする軽い重イオン ( $^{18}\text{O}$  までの 12 種類) の高品質ビームの供給に重点が置かれて来た。しかし、AVF の更

新予算が認められたのを機会に、加速電圧のフラット・トップ化を行い、さらなる高品質化を目指すと共に、ビーム強度増強、加速粒子の種類増加、等々を実現し、従来の研究分野のさらなる発展に加えて、Kr までの重イオンによる、新たな研究分野の開拓にも取り組む。

世界最高の分解能としては、例えば、リングからの 400 MeV 陽子のエネルギー幅が、 $2 \times 10^{-4}$  を上回ることを指すが、これは、電磁石の鉄芯温度を安定化することによって磁場を長時間安定にした結果、数年前に、実現されたものである。このビームは、GRAND RAIDEN との従来の分散整合に加えて、ビーム輸送系の改造により実現出来るようになった角度分散整合により、 $2 \times 10^{-5}$  程度の高分解能での測定を、可能にした。

## 大阪府立大学 (OPU) 加速器施設

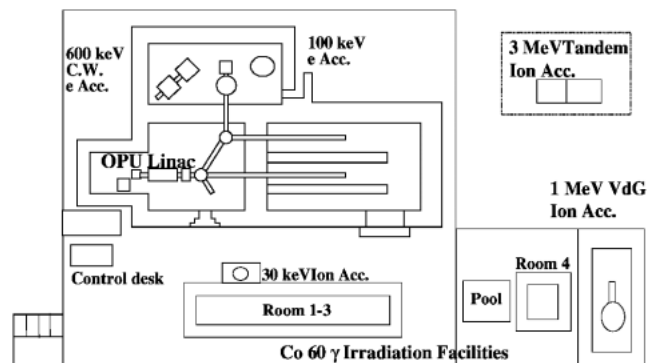
大阪府立大学先端科学研究所 奥田修一 okuda@riast.osakafu-u.ac.jp  
<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/>, [Phone] 072-236-2221, [FAX] 072-254-9938

先端科学研究所・放射線総合科学研究センターは、前身の大阪府立放射線中央研究所 (大放研) 以来 40 年余の歴史を持つ。コバルト 60  $\gamma$  線照射施設、電子・イオン加速器利用施設、および非密封 RI 施設の総合的な放射線利用センターとして、所内外や民間の利用が行われてきた。平成 17 年度に、新たな量子線利用施設への改組が予定されている。

加速器・放射線照射施設の概要を図に示す。現在主に次の電子、イオン加速器が種々のテーマで利用されている。

- 1) 18 MeV OPU 電子ライナック：電子線パルスラジオグラフィ、超微弱電子線の発生と利用、材料の低温、高温での照射、高分子化合物の電子線架橋、放射化分析、パルスラジオリシス、遠赤外放射、高性能ライナックの開発。
- 2) 600 keV コッククロフトウォルトン電子加速器：物質の表面改質、閾エネルギー付近での半導体照射欠陥の研究、人工衛星に搭載する電子デバイスの照射試験。

- 3) 3 MeV タンデム型イオン加速器 (陽子, He) : RBS 表面分析, PIXE 分析, 照射誘起表面拡散。
- 4) 1 MeV バンデグラフイオン加速器 (陽子, 重陽子, DT 中性子源) : 中性子利用や表面分析など特徴ある研究を終え, 陽子サイクロトロンの導入が計画されている。





## MELCO-SR

## 三菱電機 SR 装置

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 田中博文 tanaka.hirofumi@wrc.melco.co.jp  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/>, [Phone] 06-6497-7124, [FAX] 06-6497-7288

三菱電機 SR 装置は、兵庫県尼崎市の先端技術総合研究所に設置されており、1993 年より主として半導体の微細加工 (x 線リソグラフィ) の研究に放射光を供給している。電子加速器は、1) 20 MeV のライナック、2) 1 GeV のブースター・シンクロトロン、3) 0.6 GeV の蓄積リングの 3 台から構成される。1) ライナックは S バンド定在波型、2) ブースター・シンクロトロンは FODO の六角形状で加速蓄積運転が可能、3) 蓄積リングはレーストラック形状で超電導偏向電磁石が永久電流モードで運転、という特徴を有する。一日 2~3 回蓄積リングに電子ビームを入射し、年間 2000 時間程度放射光を供給しており、サブ 100 nm までの超微細パターンの安定形成を実現している。

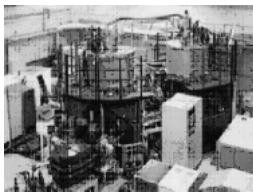


Figure: Overview of the storage ring.

| 電子ライナック       |      |     |
|---------------|------|-----|
| 加速管長          | 1.6  | m   |
| 最大エネルギー       | 20   | MeV |
| 加速電流          | 100  | mA  |
| ブースター・シンクロトロン |      |     |
| 周長            | 34.6 | m   |
| 最大エネルギー       | 1    | GeV |
| 加速電流          | 60   | mA  |
| 蓄積リング         |      |     |
| 周長            | 9.2  | m   |
| 最大エネルギー       | 0.6  | GeV |
| 蓄積電流          | 430  | mA  |
| RF 周波数        | 130  | MHz |
| 偏向磁場強度        | 3.5  | T   |
| ビームライン数       | 3    | 本   |

## NewSUBARU

## ニュースバル

兵庫県立大学 (姫路工業大学) 高度産業科学技術研究所 安東愛之輔 ando@lasti.u-hyogo.ac.jp  
<http://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/Index-J.html>, [Phone] 0791-58-2503, [FAX] 0791-58-2504

放射光源施設ニュースバルは、兵庫県が SPring-8 との全面的な協力関係の下、設計・建設し運用している。SPring-8 敷地内にあり、その LINAC を入射器としており、蓄積リングの主な性能を表に示す。リングとしての特徴は、1) 基本的に 60° 偏向/ユニットの DBA Lattice、2) 約 15 m の長直線部 2 箇所、3) モーメンタム・コンパクション・ファクターを正負にわたって自由に設定できる逆偏向電磁石 6 台の導入、等があげられる。

利用運転は平日の 12 時から 21 時を基本とし、1.5 GeV 運転は 1 回/週程度で、年間約 2000 時間供されている。1 GeV 時は、蓄積電流値を ~250 mA の一定に保つ、「トップ・アップ」運転が実施されている。

本大学以外者の利用形態は現時点では「共同研究」

しか無いが、公的機関の研究者の場合は担当教員レベルの合意で充分である。設置目標の一つである放射光の本格的産業利用が始まったので、次は極短パルス電子ビームの安定的実現に向け努力中である。

|          |           |               |
|----------|-----------|---------------|
| 周長 (大きさ) | 118.731   | m             |
| 入射エネルギー  | 1.0       | GeV           |
| 最大エネルギー  | 1.5       | GeV           |
| 最大蓄積電流   | 500 (>50) | mA (Single)   |
| チューン     | 6.29/2.23 | $\nu_x/\nu_y$ |
| RF 波周波数  | 499.95    | MHz           |
| 最大 RF 出力 | 140       | kW            |
| 挿入光源数    | 3         |               |
| ビームライン数  | 8 (11)    | (含分岐)         |

## 兵庫県粒子線がん治療装置 PATRO

兵庫県立粒子線医療センター 装置管理科 板野明史 a.itano@hibmc.shingu.hyogo.jp  
<http://www.hibmc.shingu.hyogo.jp/>, [Phone] 0791-58-0100, [FAX] 0791-58-2600

粒子線がん治療装置 PATRO (Particle Accelerator for Therapy, Radiology and Oncology) は、兵庫県立放射線単科病院・粒子線医療センターの基幹施設である。陽子線、炭素線両方の治療を実施できる国内外唯一の施設である。装置は、10 GHz ECR イオン源 2 台、1 MeV/u RFQ, 5 MeV/u Alvarez ライナック (200 MHz), 周長 93.6 m の 320 MeV/u シンクロトロン、高エネルギービーム輸送系及び患者照射機器から構成されている。水平・垂直照射室、45 度斜め照射室 (以上臥位)、小照射野座位水平照射室および 2 つの陽子線回転ガントリー照射室の計 5 照射治療室が有る。治療運転は、平日の朝 6 時から 9 時までが、装置起動、加速器ビーム調整および照射系線量校正、9 時から 17 時頃までが患者照射治療、それ以降 22 時までが治療照射野・照射線量の校正測定 (新患測定) と装置の停止である。土曜日は装置の点検及び

不具合改修に当てる。13 名の加速器・照射機器運転維持員 (加速器エンジニアリング) が、平日 2 シフト、週末 1 シフトで勤務している。定期点検は年末年始をはさんだ 3 週間があてられる。2003 年 4 月からは一般治療 (有料) を開始している。

|          |                          |          |
|----------|--------------------------|----------|
| ビームエネルギー | 70-230 MeV/u             | 陽子線      |
|          | 70-320 MeV/u             | 炭素線      |
| ビーム強度    | $7.3 \times 10^{10}$ pps | 陽子線      |
|          | $1.2 \times 10^9$ pps    | 炭素線      |
| 平均吸収線量率  | 5 GyE/min                |          |
| ビーム飛程    | 40-300 mm                | 陽子線      |
|          | 13-200 mm                | 炭素線      |
| 照射野大きさ   | 15 cm × 15 cm            | 固定ポート    |
|          | 10 cm $\phi$             | 水平小照射ポート |
|          | 15 cm $\phi$             | 回転ガントリー  |

## HiSOR

広島大学放射光科学研究センター 堀 利匡 toshiori@hiroshima-u.ac.jp  
<http://www.hsrb.hiroshima-u.ac.jp/>, [Phone] 082-424-6996, [FAX] 082-424-6294

小型軟 X 線光源 HiSOR は、国立大学法人に所属する唯一の放射光源である。平成 8 年、広島大学に新設された放射光科学研究センターに学内共同教育研究施設として設置され、平成 14 年から全国共同利用施設として広く学外の研究者に開放されている。蓄積リングは周長が 22 m で、挿入光源を有する光源として世界最小である。左右両側に 180° 偏向電磁石を配するレーストラック型リングであり、2 本の直線部にそれぞれ全長約 2 m の直線及び円偏向アンジュレータが設けられている。このアンジュレータ光を数 meV の分解能で利用できる光電子分光用ビームラインの人氣が高く、固体物理を中心とする物質科学の研究に供されている。蓄積リングの主な性能を表に示す。

入射器は加速エネルギー 150 MeV のレーストラック型マイクロトロンで、リングと同様にコンパクトである。別室に置かれた入射器は、1 日に 2 回リングへ

の入射に使われるほか、併設の超高速電子周回装置 REFER への入射器としても運転され、稼動時間は後者が圧倒的に長い。

現在、スタッフ不足のためにユーザー利用時間が 10-19 時 (1 日に 2 回入射) と短く、この延長が当面の課題である。

|          |           |               |
|----------|-----------|---------------|
| 周長 (大きさ) | 21.95     | m             |
| 入射エネルギー  | 0.15      | GeV           |
| 蓄積時エネルギー | 0.7       | GeV           |
| 蓄積電流     | 350       | mA            |
| チューン     | 1.67/1.74 | $\nu_x/\nu_y$ |
| RF 周波数   | 191.24    | MHz           |
| 臨界波長     | 1.42      | nm            |
| 挿入光源数    | 2         | アンジュレータ       |
| ビームライン数  | 12 (13)   | (含分岐)         |

## REFER

広島大学大学院先端物質科学研究科 遠藤一太 iendo@hiroshima-u.ac.jp  
 [Phone] 082-424-7035, [FAX] 082-424-7035

この装置は広島大学放射光科学研究センターの電子蓄積リング HiSOR 入射器の 150 MeV マイクロトロン<sup>1</sup>の空き時間を有効利用して、ユニークな教育研究をおこなうことを目指して広島大学ベンチャービジネスラボラトリー (VBL) が設置したものである。装置の呼称は Relativistic Electron Facility for Education and Research (REFER) である。主要装置は 45 度偏向磁石 8 個からなる弱収束リングであり、平成 8-9 年度に建設された。標準的にはマイクロトロン 10 Hz の繰り返しで入射し、周回電流は 2 mA 程度である。ビーム強度は低い<sup>2</sup>が 80% 以上の高デューティファクターの電子ビームが利用できることが特徴である。実験計画は VBL が学内の大学院生やスタッフから実験提案を受け、審査委員会の議を経て決定する。内部標的実験と引き出しビーム実験がほぼ半々である。パラメトリック X 線の増大法、結晶内  $e^+e^-$  対創生断面

積の増大効果の実証、ベリリウム箔からの単色可変波長 X 線発生現象の発見、ドリフトチェンバーにおける 2 トラック分離能の実測などが採択実施された実験の例である。

今のところ専任スタッフがいないので、運転および維持改善業務はポスドクと利用者グループが分担しておこなっている。

|           |       |     |
|-----------|-------|-----|
| 周長 (大きさ)  | 13.7  | m   |
| 入射エネルギー   | 0.15  | GeV |
| 入射繰り返し    | 10    | Hz  |
| 周回電子エネルギー | 0.15  | GeV |
| 蓄積電流      | 2     | mA  |
| RF 周波数    | 697.5 | MHz |
| 引出ビームライン  | 1     | 本   |
| 内部標的ポート   | 4     | 個   |

~~~~~

広島大 2.5 MV バンデグラフ

広島大学工学研究科放射線総合実験室 西山文隆 fnishi@hiroshima-u.ac.jp
 [Phone] 082-424-7620, [FAX] 082-424-7619

加速器の型式：シングルエンド型バンデグラフ AN-2500 (日新ハイボルテージ製・1983 年設置)
 加速電圧：0.2 MV~2.5 MV
 安定度：リップル < 2 kVp-p, ドリフト < ±1 kV
 イオン源：PIG 型 (Nd-Fe-B 磁石) および RF 型
 利用可能なイオン種：H, He-3, He-4, C, N-14, N-15, O および Ar
 主な用途：イオンビーム分析 (PIXE, ERDA, RBS, NRA, PIGE, Channeling)

イオン注入による表層改質 (C, N-14, N-15, O)
 PIXE はミリビーム PIXE・外部ビーム PIXE が可能、マイクロビーム PIXE は建設中
 Channeling と PIXE, NRA, PIGE の同時測定が可能
 利用形態：学内共同利用施設であるが外部との共同研究も可能、詳細はお問い合わせ下さい。
 その他：He の II 価イオンも利用可能 (PIG イオン源使用時)

九州大学タンデム加速器実験室

九州大学大学院理学研究院物理学部門 相良建至 sagara@kutl.kyushu-u.ac.jp
 http://www.kutl.kyushu-u.ac.jp, [Phone] 092-642-2707, [FAX] 092-642-2553

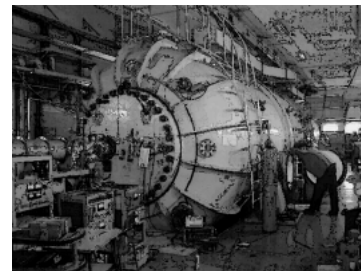
九州大学のタンデム加速器は、独自のペレットチェーン式荷電運搬システムを取り入れた、大学の研究者・学生による手作りの加速器である。1972年より建設を始め、1980年にはターミナル電圧 11 MV を達成した。世界最高の電位勾配を持つタンデム加速器である。

この加速器は、主として原子核物理学の研究に用いられ、現在は小数核系による 3 体力の研究や、天体核反応である ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$ 反応の測定に大きな精力が注がれている。また、広範な応用を目指して加速器質量分析 (AMS) 装置の整備も行われている。正式には共同利用施設になっていないが、他部局・他機関からの利用も歓迎しており、実際に学内外の研究者による利用実績がある。

九州大学は福岡市西部の糸島半島内に新キャンパスを建設中で、来年度より順次移転が行われる。四半世紀前に自作した加速器の移設は現実的ではないため、新たな加速器の建設を目指している。

タンデム加速器の主な仕様

- 最高ターミナル電圧：11 MV
- 最低ターミナル電圧：0.5 MV (加速・減速方式)
- 主な加速粒子：陽子、重陽子、 ${}^{12}\text{C}$ などの重イオン
- 実験室：2 実験室に計 4 本のビームライン
- 主な測定装置：汎用大型散乱槽、天体核反応測定用粒子分析器



佐賀県 1.4 GeV シンクロトロン光源 (佐賀 LS) — 低運転コストの高輝度光源を目指して —

佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター 光源整備チームリーダー 富增多喜夫 tomimasu@saga-ls.jp
 [Phone] 0942-83-5017, [FAX] 0942-83-5196

佐賀県 1.4 GeV シンクロトロン光源 (佐賀 LS) は、地方自治体である佐賀県が設計し、運転する日本では最初の光源として鳥栖市弥生が丘に建設されている。佐賀 LS の場合予算とスペースの制約があり、250 MeV リニアックによる低エネルギー入射蓄積・加速方式を採用している。

佐賀リングの周長は 75.6 m で、既存の 1.5 GeV 級リングの約 2/3 の周長にした低コスト設計であるが、光源輝度は最強になるように設計されている。このためリングの長直線部での電子ビームのエネルギー分散を 0.3-0.62 の有限の値にしてビームサイズを小さくしている。蓄積電子エネルギーを 1.5 GeV にせず 1.4 GeV にし

たのは、施設の消費電力を夏季でも 2000 kW (毎時 4 万円程度) 以下に抑えて運転コストを下げるためである。佐賀 LS では 20 本以上のビームライン (最長 36 m) を設置できる。偏向電磁石と設置が予定されている 7.5 T ウィグラーからのシンクロトロン光の臨界エネルギーはそれぞれ 1.9 keV と 9.8 keV である。将来の電子入射器活用の一つとして低エネルギー部の 28~36 MeV 電子ビームを用いる二つ (4~10 μm , 7~22 μm) の赤外自由電子レーザー装置の設計も進められている。リングとリニアックの組立て・調整は順調に進行中で、放射光発生は 2004 年 12 月を予定している。

表 1 佐賀 1.4 GeV リング, 電子ビーム等の主なパラメータ (目標値)

Electron beam energy	0.2~1.4 GeV	RF frequency (MHz)	499.8
Beam current & life	300 mA & 5 hs at 1.4 GeV	Harmonic number	126
Circumference	75.6 m	Momentum compaction	0.008074
Lattice	DB×8	Injection energy (MeV)	262
Straight sections	2.93 m × 8	Dipole & number	11.25° edge focusing & 16
Emittance (nm·rad)	15 [35 (7.5 Twiggler)]	Radius & field	3.2 m & 1.459 T
Tunes	6.796, 1.825 [6.796, 1.825]	Number of quadrupoles	40 (16QF1, 16QD1, 8QF2)
Energy spread	0.000672 [0.00079]	Length (m)	0.2 0.2 0.3
Radiation loss (keV)	106 [123]	Max. gradient (T/m)	27 27 25
Bunch length (mm)	8.8 [10.35]	Number of sextupoles	32 (16SF, 16SD)
Beam size at straight section (coupling = 0.01 at $\eta = 0.62$)		Length (m)	0.1 0.14
σ_x (μm)	580 [680]	Max. gradient (T/m ²)	150 150
σ_y (μm)	34 [52]		

SPring-8*

高輝度光科学研究センター 加速器部門 熊谷教孝 kumagai@spring8.or.jp

<http://www.spring8.or.jp/j/index.html>, [Phone] 0791-58-0851, [FAX] 0791-58-0870

SPring-8は第三世代の高輝度硬X線放射光光源で、全エネルギー入射器（1 GeV 線型加速器と8 GeV ブースターシンクロトロン）と、周長 1436 m の蓄積リングと 62 本の放射光ビームライン（計画）で構成されている。蓄積リングはチャスマン・グリーン型磁石配列 44 セルと、11 セル毎に 30 m の長直線部を持つ 4 回対称のリングである。8 GeV での電子ビームの水平方向のエミッタンスは、直線部に運動量分散値を漏らす低エミッタンスモードで 3 nmrad, x-y 結合比は 0.1% 以下、また電子ビームの軌道変動 (rms 値) は水平方向で 4 ミクロン以下、垂直方向で 1 ミクロン以下である。蓄積電流は 100 mA, ビーム寿命は挿入光源のギャップを閉じた状態で、多バンチモードの時 100 時間程度、バンチ当たり 1 mA の小数バンチモードの時 10 時間程度である。ビーム入射は、現在 1 日 1~2 回であるが、平成 16 年 5 月からは、ミラー等光学機器と軌道のさらなる安定化を図るために、蓄積電流値を常に 100 mA に保つ常時入射方

式（トップアップ運転）を導入する予定である。年間の総運転時間は約 5500 時間で、その内 4500 時間が放射光利用等に、残りが加速器・ビームラインの調整およびマシンスタディー等に用いられている。現在、故障率は 1% 程度と低い水準にあるが、今後機器の放射線損傷により故障率の上昇が深刻化する恐れがある。

放射光ビームラインの数は、挿入光源から 38 本、偏向電磁石部から 24 本の計 62 本で、このうち 1 km の長尺ラインが 3 本、300 m の中尺ラインが 9 本、残りが普通長ビームラインである。輝度は、長さ 4.5 m のアンジュレータで 7×10^{20} (phot./sec/mm²/mrad²/0.1%b.w.)、長さ 25 m のアンジュレータで 2.5×10^{21} (phot./sec/mm²/mrad²/0.1%b.w.) と世界最高値を実現している。今後、最先端の科学技術を駆使し、輝度以外の SPring-8 施設の潜在的資源の開拓、たとえばサブピコ秒短パルス放射光の生成、大強度 MeV 光子の生成等を進めていく。

自由電子レーザー研究施設*

大阪大学工学研究科 施設長 堀池 寛, 教授 粟津邦男 horiike@nucl.eng.osaka-u.ac.jp

<http://www.fel.eng.osaka-u.ac.jp>, [Phone] 072-897-6410, [FAX] 072-897-6419

本研究施設は、工学研究科の施設として平成 12 年度より色々な研究に使用されている。主要な仕様性能は右上に示す通りで、長波長から短波長までの 4 種類のウイグラーを備えている。建屋一階にある主加速器室は低エネルギー側と高エネルギー側に 2 分され、部分負荷運転が可能である。光は三階に導かれ 4 室ある実験室に直列に供給される。二つの実験室では高度生体研究が可能である。医歯学系との共同研究が本施設一つの特徴で、装置の運転時間が、生体医療分野 60%, 半導体物性分野 25%, 残りを化学と装置研究に配分されている。そのため運転は MIR 領域が多く、その他の領域のユーザーに答えきれていない。利用の希望をこなすため、下段に示す第 2 ビームラインの整備を進めており、近々並列運転が可能になる。

学内のセンターや施設の再編成に伴い、当施設の将来計画が議論されている。

電子リニアック		グリッドパルス電子銃
最大エネルギー	170	MeV
加速電流	2	μ A
RF 周波数	2,856	MHz
電子リニアック		高周波電子銃
最大エネルギー	20	MeV
加速電流	2.5	μ A
RF 周波数	2,856	MHz

原研フェムト秒超伝導リニアック駆動自由電子レーザー施設*

日本原子力研究所関西研究所 光量子科学研究センター 東海駐在 峰原英介 eisuke@jfel.tokai.jaeri.go.jp
 [Phone] 029-282-5464, [FAX] 029-282-6057

エネルギー回収型超伝導リニアックによって駆動される自由電子レーザーで、世界で唯一、フェムト秒 FEL パルスを世界最高平均出力数 2, 3 kW 得ることができる。また世界でジェファーソン研に次いで世界で 2 番目のエネルギー回収運転に成功した。最高エネルギーは回収時に 20 MeV 倍増モードで 38 MeV

である。組込型冷凍機を使用し、連続運転が可能で連続無停止低温保持が可能、このため 10-20 年間以上液体ヘリウムの充填が不用である。現在の準 CW から CW への変更と 10-20 kW の発振を目指して現状の 5 mA から 50 mA へ増力中である。



図1 原研フェムト秒 10 kW 超伝導エネルギー回収型リニアック自由電子レーザー

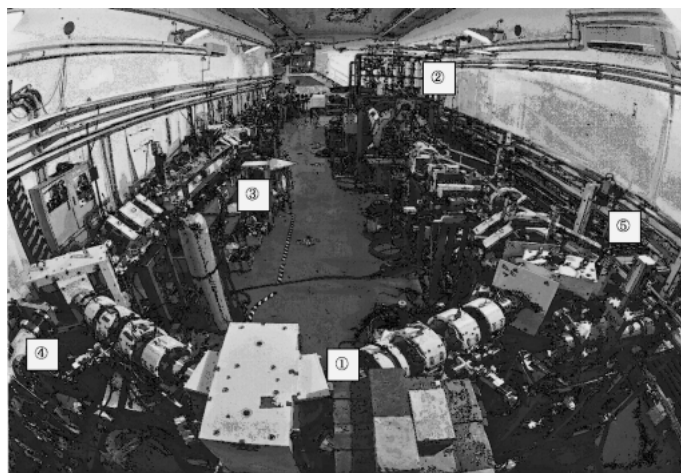


図2 原研超伝導エネルギー回収型リニアックの加速器室写真。等時性 180 度後半部周回系
 ①, 主加速器①, アンジュレーター③, 光共振器④, 入射ライン⑤。