

国内の加速器関連施設

ETIGO 加速器

長岡技術科学大学極限エネルギー密度工学研究センター 八井 浄 yatsui@vos.nagaokaut.ac.jp
<http://etigo.nagaokaut.ac.jp>, [Phone] 0258-47-9891, [FAX] 0258-47-9890

国立大学法人長岡技術科学大学では、昭和 53 年の開学当初から、パルス電力技術の開発と応用を主目的とするパルス粒子ビーム工学の教育研究を開始した (ETIGO プロジェクト)。平成 11 年には文部科学省令に基づく「極限エネルギー密度工学研究センター」が設置され、パルス電力技術および極限エネルギー密度工学の教育研究の国内唯一の拠点のセンターとして国内・外の多様なニーズに応えている。

現在、3 台の大型加速器が稼働しており、大強度パルス軽イオンビームによるアブレーションプラズマを用いた新材料の創製 (薄膜, 超微粒子, フラレン, カーボンナノチューブなど), 高エネルギーイオン注入による新化合物生成, 新材料・新化合物の RBS・ERDA・PIXE 分析, 大強度パルス相対論的電子ビー

ム (IREB) の環境応用 (排ガス処理, 廃液処理など), IREB との相互作用による大電力マイクロ波の発生 (仮想陰極発振器), など多数の研究開発プロジェクトを推進している。

ETIGO-II	3 MeV, 50 ns
	陽子: 230 kA, 重陽子: 46 kA, 電子: 460 kA
ETIGO-III	8 MeV, 30 ns
	電子: 5 kA
静電加速器	3.4 MeV
	H ⁺ : 10 μ A, He ⁺ : 0.5 μ A, B ⁺ : 75 μ A,
	O ⁺ : 150 μ A, Si ⁺ : 150 μ A, P ⁺ : 75 μ A

HIMAC

重粒子線がん治療装置 HIMAC

放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター 野田耕司 noda_k@nirs.go.jp
<http://www.nirs.go.jp/>, [Phone] 043-251-2111, [FAX] 043-251-1840

重粒子線がん治療装置 HIMAC は、1994 年 6 月の臨床試行開始以来、この 10 年で 2000 名を超えるがん治療を行ってきた。HIMAC は、3 台のイオン源、RFQ および DTL で構成される入射器、上下 2 台のシンクロトロン、3 つの治療照射室、物理汎用実験室、2 次ビーム実験室、生物実験室および中エネルギー実験室から構成されている。HIMAC の主なパラメータを表に示す。

その運転形態は、火曜日から金曜日の昼間は炭素イオンによるがん治療、火曜日から土曜日の夜間は、p ~ Xe までの一次ビームおよび入射核破砕反応で生成される RI ビームを共同利用研究に供給している。年間の運転時間は約 5500 時間で、30 分以上の故障率は 0.6% と非常に安定したビーム供給を行っている。

イオン源	10GHZ-ECR, 18GHZ-ECR, PIG
RFQ	入射, 出射エネルギー: 8 keV/n, 800 keV/n
DTL	入射, 出射エネルギー: 0.8 MeV/n, 6 MeV/n
シンクロトロン	最大エネルギー: 800 MeV/n@Si ¹⁴⁺ 周長: 129.6 m チューン: Q _x /Q _y = 3.13/3.68 取り出し法: 3 次共鳴 RF-KO 法 RF: 周波数: 1-8 MHz : 最大電圧: 6 kV
照射系	横方向照射野: ワブラー+散乱体 縦方向照射野: リッジフィルター法 線量モニター: 電離箱+SEM

県立静岡がんセンター 陽子線治療用加速器

県立静岡がんセンター研究所陽子線治療研究部 山下晴男 h.yamashita@scchr.jp

[Phone] 055-989-5222, [FAX] 055-989-5783

県立静岡がんセンターでは、急速な高齢化社会が迫る中、患者 QOL (Quality of Life) の維持を目指し、陽子線治療システムを病院開設に合わせて導入した。

陽子線治療システムの根幹を成す陽子線治療装置は、三菱電機㈱により設計製作され、医療用具の認可(平成 15 年)を受けた医療機器である。

陽子線治療装置の加速器は、イオン源と RFQ 直線型加速器を組合せた一体型の入射器 (Accsys 社製) と、周長 20 m 程度の主加速器 (小型シンクロトロン) とにより構成している。加速器の諸元を表 1 に記す。ビーム強度は、治療要求から算出した 2 Gy/min (最大体積により換算) を満たしており、呼吸同期信号によるビーム出射も可能である。治療時の加速器運転は、加速器運転員が介在せずに照射機器に対してビー

ム供給を行える自動制御機能を使い、自動運転を実施している。今後、将来計画の一環として高度照射技法 (Spot Scanning 照射法など) の開発計画に合わせて加速器関係の応用研究を開始する予定になっていません。

入射器	
• 加速粒子	H ⁺
• エネルギー	3 MeV
シンクロトロン	
• エネルギー	70~235 MeV
• 加速粒子数	8~10×10 ¹⁰ ppp
• 標準スピル長	400 ms
• 運転サイクル	0.5~0.6 Hz

MIRRORCLE-6X 放射光生命科学センター高輝度硬 X 線実験施設

立命館大学 COE 放射光生命科学センター 山田廣成 hironari@se.ritsumei.ac.jp

<http://www.bkc.ritsumei.ac.jp/se/re/SLLS/>, [Phone/FAX] 077-561-2680

立命館大学放射光生命科学センターは、プログラムが COE に認定されて 2003 年に設立された。高輝度硬 X 線施設は、基盤研究 S で、独力で開発した世界に例のない卓上型シンクロトロン、MIRRORCLE-6X を有する。外径 60 cm、電子エネルギー 6 MeV という低エネルギーかつ小型でありながら、硬 X 線で平均 10¹² 光子の Brilliance (ピークで 10¹⁴ 光子) を発生する。光源点サイズが 1 ミクロンで有るという意味で、大型放射光を凌ぐ最高品質の X 線を発生する。X 線エネルギーは 1 keV から 6 MeV をカバーする。発散角が大きいため大型動物の屈折コントラスト像を撮像できる。全光子量でも大型放射光を凌ぐ。利用装置としては、医療用・非破壊検査用イメージング BL、X 線顕微鏡 BL、タンパク質構造解析 BL、蛍光 X 線分析 BL を所有し、生命科学を重点課題として追究している。

	みらくる 6X
マイクロトロン入射器エネルギー	6 MeV
最大ピーク電流値	100 mA
パルス幅	1 μs
入射繰り返し数	400 Hz
シンクロトロン電子エネルギー	6 MeV
完全円形シンクロトロン電磁石外径	60 cm
軌道半径	15 cm
蓄積電流値	2.5 A
放射スペクトル	10 keV~6 MeV
輝度/s, mm ² , mrad ² , 0.1% band	10 ¹³ 光子 at 30 keV

MIRRORCLE-20 放射光生命科学研究センター高輝度遠赤外線実験施設

立命館大学 COE 放射光生命科学研究センター 山田廣成 hironari@se.ritsumei.ac.jp

<http://www.bkc.ritsumei.ac.jp/se/re/SLLS/>, [Phone/FAX] 077-561-2680

当施設は、高輝度遠赤外線放射光装置 MIRRORCLE-20 を所有し、中赤外から遠赤外線の光を用いて生命科学を展開している。装置は、20 MeV、軌道半径 15 cm の常電導完全円形シンクロトロンである。MIRRORCLE-6X 同様に、我々が独自に開発した物で、完全円形電子軌道の外周を環状ミラーで囲み、発生した放射光を一カ所から取り出す。臨界波長は 8 ミクロン。環状ミラーの内部では蓄積した放射光と電子ビームが相互作用するために、自由電子レーザー発振が起こる。山田による原理の提唱以来、14 年して、レーザー発振が観測された。利用装置として、FTIR、分散型分光照射装置を所有し、遠赤外線による、タンパク質の励起や、ガン細胞の選択的加熱を行う。学外との共同研究も行っている。

	みらくる20
マイクロトロン入射器エネルギー	20 MeV
最大ピーク電流値	30 mA
パルス幅	1 μ s
入射繰り返し数	100 Hz
シンクロトロン電子エネルギー	20 MeV
完全円形シンクロトロン電磁石外径	120 cm
軌道半径	15 cm
蓄積電流値	0.7 A
放射スペクトル	臨界波長 : 8 μ m
パワー	Average 1 mW

AURORA-1 立命館大学 超伝導小型放射光源

立命館大学 SR センター 山本安一 y-yama@st.ritsumei.ac.jp

<http://www.ritsumei.ac.jp/acd/re/src/index.htm>, [Phone] 077-561-2806, [FAX] 077-561-2859

立命館大学SRセンターの超伝導小型放射光源は、単体の超伝導電磁石を用いた真円形軌道の電子蓄積リングであり、私学では唯一の放射光源である。光源本体が非常にコンパクトであり、更に装置自身が放射線を遮蔽する構造であるため、光源点から至近距離での放射光利用が可能である。入射器には、エネルギー 150 MeV のレーストラック型マイクロトロンを用いている。

1996 年に運転を開始して以来、学内外の利用者に対して、放射光を供給しつづけている。利用運転時間は、平日の 10 時～20 時であり、年間で約 1500 時間供している。

周長	3.14	m
入射エネルギー	0.15	GeV
蓄積エネルギー	0.575	GeV
蓄積電流値	300	mA
RF 周波数	190.86	MHz
臨界波長	1.5	nm
ビームライン数	16	

京都大学小型量子放射発生装置 KU-FEL

京都大学エネルギー理工学研究所 山崎鉄夫 yamazaki@iae.kyoto-u.ac.jp

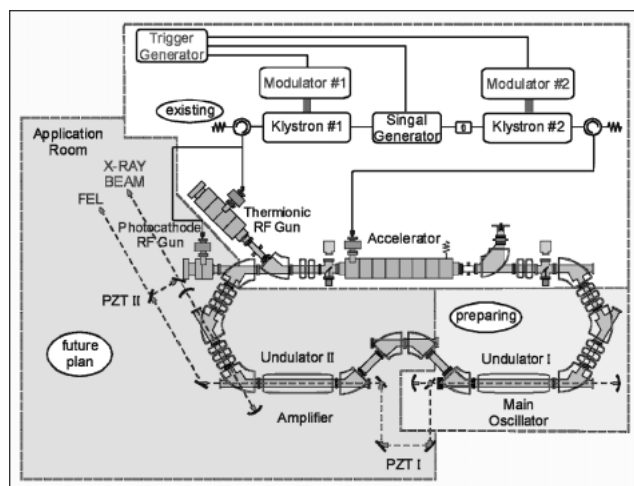
http://wonda.iae.kyoto-u.ac.jp/, [Phone] 0774-38-3420, [FAX] 0774-38-3426

京都大学エネルギー理工学研究所においては、大学の研究所レベル、産業界において使用可能な小型で経済的な自由電子レーザー (free-electron laser, FEL) 装置の研究・開発を進めている。FELは、当面当所におけるエネルギー科学研究等に使用される予定である。勿論、将来的には所外、学外のユーザも視野に入れている。FELの波長範囲は赤外～遠赤外領域を目標にしている。計画の概要の概念図を右に示す。Sバンド4.5空腔熱陰極高周波電子銃によって入射部の小型化を図り、放射線遮蔽の負担を軽減することに主眼を置いたエネルギー回収、偏光可変なFEL、大出力でも狭帯域なFELを発生するための2段階FEL方式、FELを使用した逆Compton散乱による高輝度準単色X線の発生等を計画している。また、光陰極高周波電子銃を並列に設置して、目的に応じて使用するための準備も進めている。

熱陰極型高周波電子銃の最大の短所である back-bombardment 現象に関しては、その定量的な測定を行い、種々の解決法を試みている。2003年から本格的加速実験を行い、約40 MeVまでの加速に成功した。Nd-Fe系のアンジュレータと光共振器は、不十

分ではあるが、既に設置可能になっている。

当面は10 μm 付近のFELの発振を予定しているが、新型アンジュレータの設置、光陰極の使用等によって、4～16 μm 、更に長波長領域に範囲を広げることが計画している。



甲南大学バンデグラフ

甲南大学理工学部 山県民穂 yamagata@center.konan-u.ac.jp

[Phone] 078-435-2469, [FAX] 078-435-2539

甲南大学理工学部のタンデム・バンデグラフは昭和63年に導入された。50 cmの加速管長で最大1.5 MVの電位勾配を持つため、加速器の入り口から出口までが約1.2 mと小さく、狭い実験室に設置可能であった。負水素イオンはシース・ロッド方式によりイオン源から直接引き出され、負ヘリウムイオンは正イオンを引き出し、アルカリ蒸気炉で負イオンに荷電変換する。

主として、AMSによる天然試料中の重粒子探索、PIXEによる微量元素分析、原子衝突、イオンと物質の相互作用、原子核共鳴反応の研究に用いられている。

タンデム・バンデグラフ	A-TDM-11500
ペレット・チェーン方式	日本真空技術社製
最大ターミナル電圧	1.5 MV
最大加速電流	1 μA (陽子)
	0.1 μA (ヘリウム)
荷電変換	N_2 ガス・ストリッパ
ターミナル・グランド間加速管長	50 cm
イオン源	デュオ・プラズマトロン
最大引き出し電流	10 μA (H^-)
引き出し電圧	20 kV