

国内の加速器関連施設

JAERI-AMS

原研タンデトロトン加速器質量分析装置

日本原子力研究所むつ事業所施設部 海洋調査研究室 天野 光, 北村敏勝 amano@popsvr.tokai.jaeri.go.jp
<http://www2.tokai.jaeri.go.jp/kaiyo/ams.html>, [Phone] 0175-45-1730, [Fax] 0175-22-4213

加速器質量分析装置 (AMS: Accelerator Mass Spectrometer) は, タンデム型加速器と質量分析装置を組み合わせた装置である. 平成9年4月に原研むつ事業所に導入されたAMSは, High Voltage Engineering Europa B.V. 社 (オランダ) 製の小型タンデム加速器を用いた新世代型 (Model 4130-AMS) で, 炭素の同位体比測定とヨウ素等の重イオンの同位体比測定が可能なイオンビーム入射方式の異なる2つのビームライン (炭素用: 同時入射方式, ヨウ素用: 逐次入射方式) を持っている世界で唯一のAMS施設である. 炭素については, 試料に含まれる炭素を二酸化炭素ガスとして分離・抽出した後, 鉄触媒で水素ガスによりグラファイト (炭素) に還元して測定試料とする. 500 mL の海水から無機形の C-14 を抽出, グラファイト化する海水処理自動ラインを有して

いる. ヨウ素については, 試料中のヨウ素を化学処理してヨウ化銀にして測定する. 測定試料は Al 製円柱状ホルダーの先端にプレスして詰め込み, ターゲットホルダーに 59 個まで装着, 自動的に連続測定ができる. イオン源は2つのビームラインともセシウムスプッター型負イオン源である. 測定について炭素ラインでは C-12, C-13 イオンビームはファラデーカップ, C-14 イオンはパルス電離箱型検出器, ヨウ素ラインでは, I-127 イオンビームはファラデーカップ, I-129 イオンは飛行時間型 (TOF) 検出器でそれぞれ測定している. 2003年度は, 約1000個の炭素, 約100個のヨウ素試料を測定した. 外部機関からの測定依頼試料は共同研究, 協力研究, 受託研究により対応している.

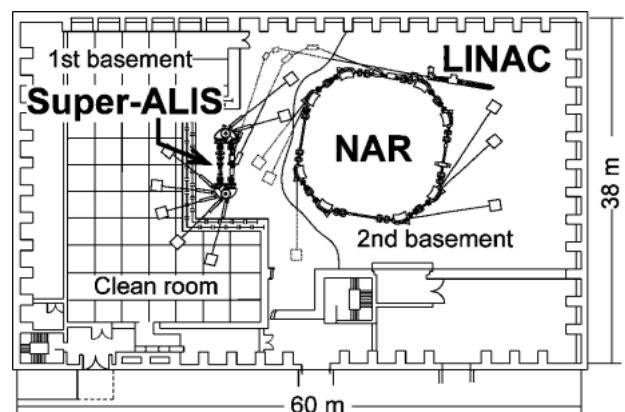
NTT 放射光施設

NTT 先端技術総合研究所 山田浩治 kyamada@aecl.ntt.co.jp
 [Phone] 046-240-2604, [FAX] 046-270-2372

当施設は2台の放射光用電子蓄積リング Super-ALIS, NAR および入射用線形加速器 LINAC (16 MeV, 250 mA) から構成される. Super-ALIS は超伝導偏向磁石を使用した世界初の放射光用電子蓄積リングである. Super-ALIS の周囲にはクリーンルームが設置され, 清浄な空間での実験が可能である. NAR は Chasman-Green ラティスの通常型放射光用電子蓄積リングであるとともに, Super-ALIS への入射用ブースターシンクロトロンとしても機能する.

当施設は社内外を問わず共同利用施設的に運用され, 基礎物性から微細加工にいたる幅広い分野のユーザーにより利用されている.

	Super-ALIS	NAR
最大エネルギー	600 MeV	800 MeV
蓄積電流	780 mA (600 MeV) 1200 mA (520 MeV)	135 mA
RF 周波	124.855 MHz	124.985 MHz
最大偏向磁場	3.0 Tesla	1.44 Tesla



放射線標準施設棟バンデグラフ加速器

日本原子力研究所東海研究所 山本英明 yamaei@popsvr.tokai.jaeri.go.jp

http://www2.tokai.jaeri.go.jp/hphpwww/, [Phone] 029-282-5200, [FAX] 029-282-6063

原研の放射線標準施設棟では、バンデグラフ型加速器を導入し、中性子線量計のエネルギー特性試験等を専門に行える単色中性子校正場を整備している。p-Sc, p-Li, p-T, d-D 及び d-T 反応を用いて 8 keV~20 MeV の範囲で 10 点のエネルギーの単色中性子を発生予定であり、現在までに 144, 250, 565 keV 及び 5.0 MeV の 4 点が整備済みである。また、実際の作業場所の種々のスペクトルを模擬可能な校正場の開発も行っている。

加速器は、米国 NEC 社製ペレトロン (4UH-HC) であり、陽子又は重陽子を 4 MeV まで加速可能である。発生中性子エネルギーを安定させるため、電圧の高安定化を実現している。また、TOF 実験を行うため、パルスビーム運転が可能である。加速器は、校正位置への漏洩線を減らすために地下に設置されており、加速されたビームは 90° に 2 回曲げられ、中性子

照射室 1 階にあるターゲットまで導かれる。中性子照射室は、横 11.5 m × 縦 16.5 m × 高 12.3 m の大きさを有している。

この施設では原研における研究開発のみならず、大学との共同研究、メーカ等の特性試験を通じて国内へ中性子の基準供給を広く進めていくとともに、アジア地区への基準供給を通じて、アジア諸国の放射線防護の発展に寄与したいと考えている。

加速粒子・電圧	陽子, 重陽子・0.4~4.0 MeV
イオン電流	最大 50 μ A (ターゲット位置)
イオン源	デュオプラズマトロン
電圧安定度	± 100 V 以内
パルスビーム	繰返周波数: 0.5, 1, 2, 4 MHz パルス幅: 1.5 ns (FWHM)

若狭湾エネルギー研究センター (WERC) 加速器施設

若狭湾エネルギー研究センター 羽鳥 聡 hatori@werc.or.jp

[Phone] 0770-24-2300, [FAX] 0770-24-2301

財団法人若狭湾エネルギー研究センターは日本学术会议の「地域型研究機関構想 (1987)」による提言をもとに 1994 年に設立され、1999 年施設としての WERC もオープンした。WERC の研究事業として「原子力およびエネルギーに係る科学技術の活用に関する調査・研究」をかかっている。そのひとつに放射線利用技術研究があり、加速器ビームの利用研究を行っている。

WERC 加速器施設は 5 MV-タンデム型静電加速器と 200 MeV 陽子シンクロトロンを有し、イオン注入や大強度照射による材料の改質・損傷研究、イオンビーム分析手法による考古学試料や生物試料、材料や電子デバイスなどの元素・構造分析が行われている。細胞照射による放射線生物学・医学の基礎研究、品種改良、さらには、陽子線によるがん治療研究が行われている。

プラズマスパッター型イオン源	
H ⁻ パルス (200 μ s 20 Hz) < 18 mA peak (通常 8 mA)	
H ⁻ DC < 100 μ A, C ⁻	
荷電変換型イオン源	
アッダー Li 蒸気	
He ⁻ < 50 mA, H ⁻	
タンデム加速器	
ターミナル電圧	5 MV
昇圧方式	シェンケル型整流回路
搬送電流	1 mA
シンクロトロン	
H ⁺	200 MeV
重イオン (A/q=2)	55 MeV/u
加速周期	0.5 Hz
周長	33.2 m
チューン	x 1.75 y 0.85
取り出し	拡散共鳴による遅い取り出し
電流	H ⁺ (10 MeV 入射) < 8 nA (通常 3 nA)

京都大学医学部附属病院

京都大学医学部附属病院核医学科 河嶋秀和 kawap@kuhp.kyoto-u.ac.jp

[Phone] 075-751-3306, [FAX] 075-751-3217

Accelerated particles	Protons	Deuterons
Max. energy (MeV)	16	8
Max. beam current (μA)	50	50
Electromagnetic		
Role diameter	810 mm	
Extraction radius	325 mm	
Max. magnetic field	17.8 kG	
High frequency system		
	Protons	Deuterons
Harmonic number for acceleration	1	3
Frequency (MHz)	26	40
RF electric power	25 kW	
Dee voltage (kV)	35	25

京都大学医学部附属病院では、1982年にポジトロン断層撮像 (PET) 施設が開設されて以降、医用サイクロトロン (CYPRIS325; 住友重機械工業) を基礎研究と臨床検査の両面で活用してきた。今日の臨床においては、2-デオキシ-2-[^{18}F]フルオロ-D-グルコース ([^{18}F]FDG: 腫瘍, 脳, 心臓等を対象としたブドウ糖代謝率の診断薬) を始めとする種々の放射性薬剤の合成に対応すべく、 ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F の4核種を製造している。

サイクロトロンの仕様を表に示すが、加速粒子には陽子 (^{11}C , ^{13}N , ^{18}F 製造用), あるいは重陽子 (^{15}O , ^{18}F 製造用) を用いている。各粒子の加速エネルギー/ビーム電流は、陽子 16 MeV/25~40 μA , 重陽子 8 MeV/15~30 μA に設定し、一日に合計 1.5 時間~3 時間の運転を行っている。

京大工・量子理工学研究実験センター

京都大学工学研究科附属量子理工学研究実験センター 伊藤秋男 itoh@nucleng.kyoto-u.ac.jp

[Phone] 0774-38-3971, [FAX] 0774-38-3971

京都大学工学研究科附属量子理工学研究実験センターでは、表記した4台の加速器が稼働している。学内の共同利用装置として長年の教育・研究の実績があり、これまで極めて多数の学位取得者を輩出している。これらの加速器は所謂小型加速器に分類され、物質との相互作用研究を始め物性への応用研究に最も適しており、研究テーマも大学に相応しく「基礎的・萌芽的・挑戦的」な内容の研究が多数展開されている。

衝突素過程研究としては、スパッタリング、照射中での物性のその場観察、表面原子過程、C60分子の電離解離過程、電子捕獲損失過程、などである。応用研究では加速器は「道具」として用いられており、注入力と深さを制御したイオン注入、RBS・PIXE・

ERDA・NRA等の分析が行われている。なお、簡便かつ正確な大気圧PIXE法が確立しており、広くユーザーを獲得する予定である。現在の特色ある研究としては、アト秒衝突現象を直接観測する超高時間分解能測定技術の開発や、イオン・レーザー同時照射を利用した応用研究の開拓、液体ビームへの挑戦などが上げられる。

1.7 MV タンデム型	: H, He, すべての重イオン
2.5 MV バンデグラーフ型	: H, He, C, N, O 希ガスイオン
250 kV コッククロフト型	: H, すべての重イオン
2.0 MV バンデグラーフ型	: 電子専用

DuET 加速器

京都大学エネルギー理工学研究所 附属エネルギー複合機構研究センター

神保光一 kouichi jimbo@iae.kyoto-u.ac.jp

<http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/>, [Phone] 0774-38-3565

中性子の影響のうちにはじき出し損傷とHe生成に代表される核変換損傷に注目し、それらの構造材料に対するはじき出し損傷と核変換Heの影響、いわゆる同時効果をシミュレートすることを主目的として、京都大学エネルギー理工学研究所において、2台の静電加速器からなる「高度エネルギー機能変換装置」(通称DuET)が導入され各種実験に利用されている。DuETは最大加速電圧1.7 MVのタンデム型加速器(Tandetrion™), と最大加速電圧1.0 MVのシングルエンド型加速器(Coaxial Singletron™), 及び2基のターゲットステーションにより構成されている。これら2台の加速器はHigh Voltage Engineering Europe, B.V.によって納入された。材料照射ターゲットステーション2基, DuMISとHiMASはデュアルビーム型ステーションであり, 上記の2台の加速器のビームラインの交点に設置されている(写真)。

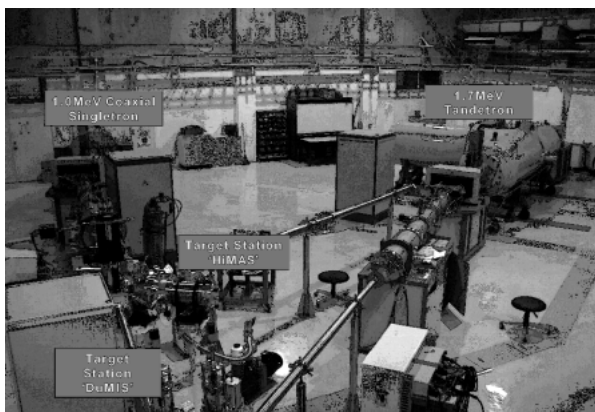
タンデム型加速器にはQ-snoutなる導電製の円筒が加速導入部に設置されているので, 初段加速におけるpre-accelerationを必要とせず, インジェクターは特にCageなしの小奇麗な使いやすい配置となっている。インジェクターにはSputter負イオン源, 及びDuoPlasma負イオン源が, 引き出し電圧を無視すれば, ほぼ接地状態で装備してある。

DuoPlasma (HVEE model 358)イオン源は, He⁻イオンを引き出せる点がその特徴の一つである。He⁺イオンはインジェクターにおいて20 kVで引き出され, リチウムLiを使ったCharge Exchange Canal中

でHe⁻に変換される。従ってHe²⁺イオンは最終的に最大エネルギー5.1 MeVまで加速できる。またH⁺イオンは最大エネルギー3.4 MeVまで加速できるが, 大学ということもあり通常は水素の加速は考慮していない。一方Sputterイオン源(HVEE model 860A)では, インジェクターにおいて負イオンは30 kVで引き出される。Cu, Si, Au, Ni, Oのように多彩なイオン種を一価あたり最大エネルギー1.7 MVまで加速することが可能である。鉄(Fe)の場合は, 酸化鉄Fe₂O₃の粉末を詰めた銅製のターゲットを使いFeO⁻イオンとして引き出せるが, Sputterイオン源に水素ガス導入型カソードを使った場合FeH⁻イオンとしても引き出すことができる。これら負イオンは, まずLow Energy Magnetで一種類のspeciesだけが選び出されて, 加速導入部から正電位である加速管中のTerminalに向けて加速される。この負イオンはTerminalにおいて窒素ガストリッパーで正イオンに変換されたあと, 接地方向に再び正イオンとして加速され高エネルギーを得る。次にHigh Energy Magnetで再び一種類のspeciesだけが選び出されて, 材料照射ターゲットステーション導かれる仕組みになっている。その途中にはビームレンズシステム等があり実験に適したビーム形に整えられる。

シングルエンド型加速器はHVEEの従来型(In-line Singletron™)をコンパクト化した新型で, 加速器室の限られた面積内に, 1.7 MeVタンデム型加速器に次ぐ2台目の加速器として配備された。このシングルエンド型加速器では, コンパクト化するため, Schenkel (Parallel fed Cockroft-Walton)回路と加速管が同軸化されている。RFイオン源(HVEE model SO-173)を装備しており, 水素, 水素分子, 及び一価のヘリウム等の正イオンを最大エネルギー1.0 MVまで加速できる。イオン種はタンク内に2本のガスボンベしか装備できないことにより制限されるが, そのガスボンベを取り替えることにより, 常温でガス状元素であるかぎり, 原則的に何でも加速可能である。

両加速器の高圧電源回路は同規格で, 半導体製のRFドライバーの100 V程度の出力を, 直列共振を利用して100 kV近くまで昇圧してSchenkel回路に導いているのが特徴であり, 非常に制御しやすい。

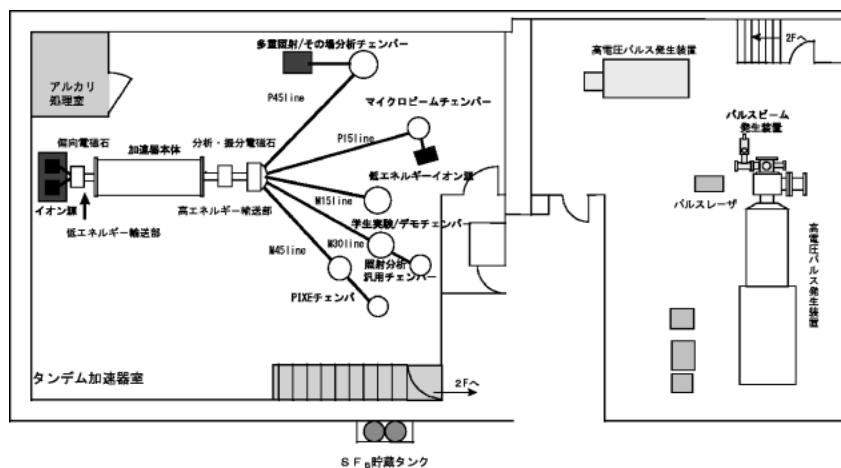


神戸大学 加速器・粒子線実験施設

神大海事科学部動力環境科学講座 北村 晃 kitamura@maritime.kobe-u.ac.jp

http://www.kobe-u.ac.jp/pbe/, [Phone] 078-431-6302, [Fax] 078-431-6369

核反応を応用する工学，原子核エネルギー利用上の工学的問題，そして海洋環境科学に関連する種々の問題を教育・研究することを目的として，1980年度に設置された．タンデムファンデグラフ型静電加速器ペレットロン5SDH2がその中核装置であり，パルスイオン注入装置を附属設備としている．1997年度の更新以降，学内外共同利用設備として使用されている．



加速器名	(A) タンデムペレットロン5SDH2	(B) パルスビーム発生器 ER2
加速粒子	p, He ²⁺ , C ⁴⁺ , 他各種重イオン (≦5 価程度)	p, C ⁺ , F ⁻
最高エネルギー	1.7 MV tandem	0.4 MV
平均電流	1 μA	—
ピーク電流	1 μA	陽子 20 kA, 電子 130 kA
パルス幅・繰り返し	—	60 ns · 0.1 Hz
主な用途	核融合材料分析, 環境試料分析, ナノスケール照射効果の研究, 放射線検出器の研究, 中性子の発生と応用研究	大強度ビーム発生, 瞬間大強度ビーム照射効果の研究
その他特記事項	ビームライン 5 本	蓄積エネルギー 5 kJ

LEENA

LEENA レーザ励起電子線形加速器

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所 宮本修治 miyamoto@lasti.u-hyogo.ac.jp

http://www.lasti.himeji-tech.ac.jp/Index-J.html, [Phone] 0791-58-0462, [FAX] 0791-58-0242

LEENA (Laser Emitted ElectroN Accelerator) は兵庫県立大学高度産業科学技術研究所の附属放射光施設 NewSUBARU 実験棟内に設置されている，赤外自由電子レーザー，遠赤外放射光の発生と計測試験のための低エネルギー加速器で，高周波加速器，ウィグラー・光共振器システム，および励起レーザーシステムから構成されている．発生する赤外から遠赤外光は，物質との相互作用研究に利用する予定である．レーザー光励起高周波電子銃の使用が特徴で，加速高周波に同期した，ピコ秒レーザーシステムは時間安定性 1 ピコ秒程度で運転される．赤外光は，5 MeV 電子ビーム運転で 65-70 μm，15 MeV 運転で，10-12 μm が発生できている．

現在，高周波電子銃と加速管の間に，パルス圧縮のための α 電磁石を設置し，マイクロパルスの圧縮を準備中である．また，平面 LaB₆ 結晶の代わりに，タングステン・ニードルフォトカソードを用いる基礎実験も実施している．

電子線形加速器	
高周波電子銃	1 MeV
高周波加速空洞	17 段 5~15 MeV
高周波周波数	2856 MHz
最大ビーム電流	100 mA (マクロ)
パルス構造	マクロパルス
	5 μs, 10 Hz
	マイクロパルス (光電子)
	16 ps, 89.25 MHz
	マイクロパルス (熱電子)
	30 ps, 2856 MHz
励起レーザー	Nd : YLF ω~4ω
パルス構造	マクロパルス
	10 μs, 10 Hz
	マイクロパルス
	14 ps, 89.25 MHz
エネルギー	3ω (351 nm)
ウィグラー/光共振器	
周期長/周期数	16 mm/50
共振器長	3.359 m
K 値	0.3-0.98
共鳴波長 (5-15 MeV)	10-100 μm

HIRRAC 加速器

広島大学原爆放射線医科学研究所 田中憲一 tanakake@hiroshima-u.ac.jp

[Phone] 082-257-5884, [Fax] 082-257-5880

広島大学原爆放射線医科学研究所（原医研）の放射線生物研究用加速器（HIRRAC: Hiroshima University Radiobiological Research Accelerator）は1991～1993年にかけて設置された。基本性能を表1に示す。HIRRACでは、ターゲット（ ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^3\text{H}$ ）と加速粒子の組み合わせにより0.1～17 MeVの範囲で準単色の中性子が得られ、最大線量率は100 cGy/minと国内では最高クラスである。

設置当初の目的は、HIRRACからの準単色中子と ${}^{252}\text{Cf}$ からの核分裂中子を用いて広島原爆の人体影響を明らかにすることであった。現在では、中子照射の他に、中子線の影響研究の一環としての陽子の生物効果の検討、また微量元素分析（PIXE）、中子ラジオグラフィ、原子核物理実験や放射線ガン治

療（BNCT）の基礎実験など広範囲の目的に用いられている。

HIRRACは、原医研所員の研究、並びに、原医研所員と他学部・他機関の研究者との共同研究に利用されている。主な運転時間は、午前9時から午後5時までである。

表1 HIRRACの基本性能

	最大	最小
${}^1\text{H}^+$ 電流	1 mA	< 10 nA
D^+ 電流	700 μA	< 10 nA
${}^4\text{He}^+$ 電流	300 μA	< 10 nA
加速電圧	3.0 MV	0.2 MV

九州大学病院サイクロトロン

九州大学病院放射線部 桑原康雄 kuwabara@dr.hosp.kyushu-u.ac.jp

[Phone] 092-642-5788, [FAX] 092-642-5708

○加速器

BC1710（日本製鋼所製）

最大加速エネルギー：陽子；17 MeV,

重陽子；10 MeV

自己遮蔽型

昭和58年3月に既存の九州大学附属病院放射線部核医学施設を拡充する形で建物（地下1階，地上2階，600 m²）とサイクロトロンが設置され，さらに翌59年3月にPET装置が導入されPET施設が完成した。放射性医薬品を合成するホットラボ室には3基のホットセルが設置された。その後，平成10年のPET装置更新に合わせて放射性医薬品合成装置やサ

イクロ周辺機器を更新したが，サイクロ本体は当初のままであり，老朽化や放射化により装置の維持管理が年々大変となっている。新しい薬剤の審査や臨床利用の指針を決める「九州大学病院サイクロトロン生産放射性同位元素の医学利用に関する委員会」がこれまでに認可した薬剤はO-15酸素，O-15水，C-11メチオニン，C-11ラクロプライド，F-18FDG，F-18FDOPA，F-18エストラジオール等10数種類である。最近はこのPET施設同様に腫瘍の検査が増え，月に2日のメンテナンス以外は臨床検査あるいは新しい薬剤の開発のためほぼ毎日稼働している。