筑波大学
University of Tsukuba

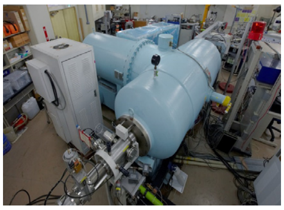
筑波大学タンデム加速器施設UTTAC

物質の分析、素子開発、物理計測への加速器・放射線の利用

筑波大学応用加速器部門　左高正雄、笹 公和、楢本 洋、工藤 博、上殿明良

加速器あるいは放射性同位元素から特性の異なる放射線（高速イオン、陽電子、γ線）を得ることができます。これらは物質の分析、加工、耐放射線試験等に利用可能です。筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門（UTTAC）の静電加速器から得られる核子あたり0.1～10MeVのイオンビームを物質に入射させたときに起きる現象とその応用の概略を下記に示します。UTTACでは、広範囲のイオン種と加速エネルギーを目的に合わせて選択することができます。さらに、^{22}Na、^{57}Co等の放射性同位元素から放出される陽電子、γ線を利用する物質分析を実施できます。UTTACでは外部ユーザーのための検出器系、解析システムが整備され、専門の研究者によってこれまでに開発された計測技術と得られた基礎データの蓄積により、多様な実験に対応できる支援体制が整っています。

最大電圧6MV（600万ボルト）のタンデム型静電加速器とビームライン（2015年3月本格稼働開始）

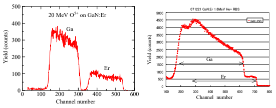


1MVタンデトロン加速器

高分解能イオン散乱分析装置（1MVコッククロフト型）

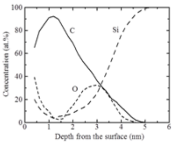
放射線による物質の計測と制御

RBS
- ■ 非破壊測定
- ■ 薄膜の深さ依存組成評価
- ■ 絶対組成の定量評価
- ■ 重元素ほど高感度検出(数10ppm)
- ■ 試料サイズは約5×5mmから
- ■ 単結晶試料では入射方位依存性の測定から結晶品質、欠陥の深さ分布、異種原子の結晶格子内位置の決定が可能



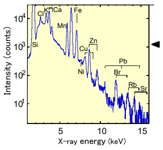
GaN:ErのRBSスペクトル。重イオンRBS(左)ではGaとErを分離できるが、軽イオンRBS(右)では両者は重なっている。

HR-RBS
応用例：ナノメータ未満の厚さの表面層解析



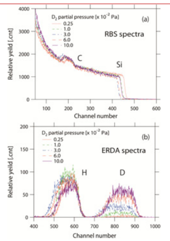
HR-RBSで観測されたDLC膜中のSi、OおよびCの深さ分布

PIXE
- ■ 薄膜の組成分析
- ■ 血液・脳・毛髪の微量元素分析
- ■ エアロゾル分析
- ■ 絵画・コインの非破壊分析
- ■ 岩石中の貴金属分析
- ■ 書物のインク分析
- ■ 鉱物中の流体包有物分析

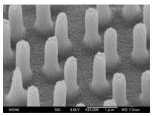


◀ 花崗岩中の流体包有物（微小な水泡）のPIXEスペクトル＝1.92MeV陽子ビームによる測定。

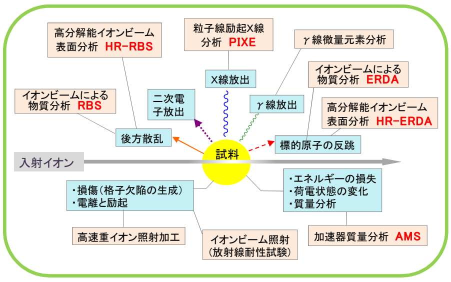
ERDA
応用例：物質中の水素、重水素の定量分析



Si基板上に堆積させた非晶質炭素中の水素の分析: 重水素をトレーサーとして加えた試料のRBS/ERDAの同時測定の結果

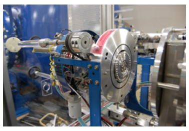


重イオンビーム照射とエッチングにより得られた酸化チタン単結晶表面の周期構造。ロッドの直径は400nm。



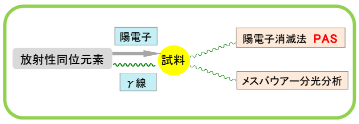
高分解能イオンビーム表面分析　**HR-RBS**
粒子線励起X線分析　**PIXE**
γ線微量元素分析
イオンビームによる物質分析　**ERDA**
イオンビームによる物質分析　**RBS**
二次電子放出
X線放出
γ線放出
高分解能イオンビーム表面分析　**HR-ERDA**
後方散乱
標的原子の反跳
入射イオン
試料
・損傷（格子欠陥の生成）
・電離と励起
・エネルギーの損失
・荷電状態の変化
・質量分析
高速重イオン照射加工
イオンビーム照射（放射線耐性試験）
加速器質量分析　**AMS**

AMS
- ■年代測定（文化財科学・考古学）
- ■地球環境科学研究
- ■創薬研究開発: マイクロドーズ臨床試験
- ■原子力関連施設のクリアランス調査
- ■食品等の産地同定
- ■大気汚染物質の起源探査

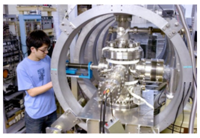


試料40個を装填可能なAMS用負イオン源装置

宇宙用半導体素子等のイオンビーム照射実験用の真空散乱槽(直径1m、高さ0.7m)。内部にはA5判の面積を走査できるターゲット駆動機構、ターンテーブル、スリットなどが取付けられている。



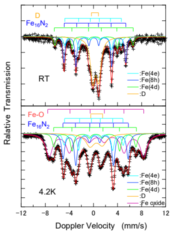
陽電子
放射性同位元素
γ線
試料
陽電子消滅法　**PAS**
メスバウアー分光分析



低速陽電子ビーム解析装置

PAS
- ■半導体基板, 単結晶薄膜の点欠陥評価
- ■金属表面近傍の点欠陥検出
- ■アモルファス膜の空隙のサイズ分布、深さ分布評価
- ■高分子等の自由体積のサイズ分布評価

メスバウアー分光分析
- ■化合物、酸化物内の鉄原子の価数状態
- ■物質の磁性状態（常磁性、強磁性）
- ■試料温度は室温、77K、4.2K
- ■薄膜、ナノ粒子が測定可能
- ■試料厚みは数10mmまで
- ■内部転換電子法で表面敏感な計測

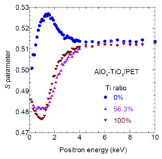


Fe$_{16}$N$_2$ナノ粒子のメスバウアースペクトル。横軸はγ線エネルギー変化量に相当

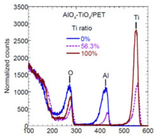
産業利用の例

利用例1：高エネルギーイオンビームを用いた無機薄膜の評価
利用機関名：キリンビール株式会社

陽電子＋イオンビーム＝複合分析の活用 ➡ 新機能ペットボトル材料の開発

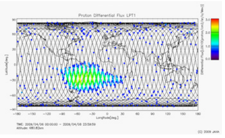


AlO$_x$-TiO$_x$/PET 試料のS パラメーターの陽電子打ち込みエネルギー依存性



AlO$_x$-TiO$_x$/PET 試料のRBS スペクトル

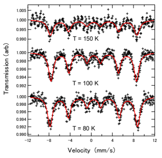
利用例2：人工衛星搭載放射線観測装置の開発
利用機関名：明星電気＋JAXA



UTTACのイオンビームで校正した検出器で測定された地球上空680kmにおける14～18MeVの陽子微分線束の分布[UTTAC施設利用成果報告書より引用]

宇宙の高エネルギー荷電粒子の観測用検出器が宇宙航空研究開発機構(JAXA)により開発され、UTTACのイオンビームを利用して検出器出力の粒子エネルギー変換式を決定した。これで実用可能になった検出器は温室効果ガス観測用の技術衛星GOSAT衛星に搭載され平成21年1月に打ち上げられた。得られた放射線データ（陽子微分線束の分布）から地球環境に密接な関わりを持つ地球上空の宇宙放射線環境の詳細を明らかにすることができた。

利用例3：メスバウアー効果による酸化鉄ナノ粒子の電子状態の研究
利用機関名：日立マクセル株式会社

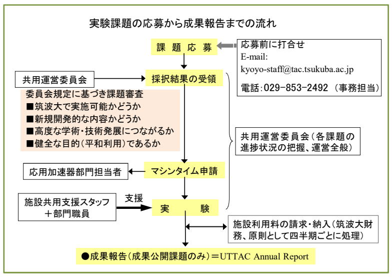


マグネタイト・ナノ粒子分散体のメスバウアースペクトル

医学分野での利用が期待されるナノ構造を持つ材料としての酸化鉄ナノ粒子の磁気的性質が明らかにされた。

UTTAC利用のしかた

実験課題の応募から成果報告までの流れ



課　題　応　募
応募前に打合せ
E-mail:
kyoyo-staff@tac.tsukuba.ac.jp
電話：029-853-2492（事務担当）
共用運営委員会
採択結果の受領
委員会規定に基づき課題審査
■筑波大で実施可能かどうか
■新規開発的な内容かどうか
■高度な学術・技術発展につながるか
■健全な目的（平和利用）であるか
共用運営委員会（各課題の進捗状況の把握、運営全般）
応用加速器部門担当者
マシンタイム申請
施設共用支援スタッフ＋部門職員
支援
実　　験
施設利用料の請求・納入（筑波大財務、原則として四半期ごとに処理）
●成果報告（成果公開課題のみ）＝UTTAC Annual Report

施設の外部利用における筑波大施設利用細則（抜粋）

（成果の利用等）
第18条　利用者は、共用施設の利用により得られた成果等を公開するときは、「国立大学法人筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門共用事業利用」によるものであることを明記しなければならない。

（秘密保持）
第15条　本学及び利用者は、共用施設の利用によって知り得た情報のうち相手方より秘密の取扱いの下に開示された情報は、相手方の書面による事前の同意なしに、それらを第三者に開示しないものとする。ただし、それらの情報が次の各号のいずれかに該当する場合は、この限りでない。
（1）既に公知であったもの
（2）自己の責めによらず公知となったもの
（3）第三者から秘密保持義務を負うことなく正当に入手したもの
（4）既に自己が所有していたもの
（5）相手から知り得た情報によらず独自に創出又は発見したことが書面等により立証できるもの
（6）公的機関に報告する法的義務があるもの及び公的機関により開示を命じられたもの

（知的財産権の管理）
第20条　共有に係る知的財産権のうち本学の持分に係る知的財産権の管理については、本学の定めるところによる。

タンデム静電加速器施設利用料

利用課題の種類	分類	区分	利用単位と利用料金（円）		利用料金の内訳（円/日） 施設利用料	高度化設備負担金	高度化計測負担金
成果占有	6MVタンデム加速器	宇宙用半導体照射	1日あたり	280,000	152,000	120,000	8,000
		加速器質量分析AMS	1日あたり	225,000	152,000	65,000	8,000
		マイクロビーム	1日あたり	310,000	152,000	150,000	8,000
		その他（6MVタンデム）	1日あたり	160,000	152,000	–	8,000
	1MVタンデトロン加速器	タンデトロン高度化イオン源	1日あたり	82,000	58,000	16,000	8,000
		その他（タンデトロン）	1日あたり	66,000	58,000	–	8,000
	高分解能イオン散乱装置	高分解能イオン散乱	1日あたり	72,000	36,000	36,000	–
	放射性同位元素利用実験	陽電子消滅	1日あたり	82,000	47,000	27,000	8,000
		メスバウアー分光	1測定あたり	34,000	26,000	–	8,000
		超伝導磁石（メスバウアー分光オプション）	1日あたり	50,000	50,000	–	–
		線源利用	1日あたり	28,000	20,000	–	8,000
	質量分析試料処理	AMS-炭素試料処理	1日あたり	84,000	20,000	64,000	–
	高精度放射線検出	高度化放射線計測	1日あたり	28,000	20,000	–	8,000
成果公開	6MVタンデム加速器	宇宙用半導体照射	1日あたり	76,000	76,000	–	–
		加速器質量分析AMS	1試料あたり	2,000	76,000 (/38)	–	–
		マイクロビーム	1日あたり	76,000	76,000	–	–
		その他（6MVタンデム）	1日あたり	76,000	76,000	–	–
	1MVタンデトロン加速器	タンデトロン高度化イオン源	1日あたり	29,000	29,000	–	–
		その他（タンデトロン）	1日あたり	29,000	29,000	–	–
	高分解能イオン散乱装置	高分解能イオン散乱	1日あたり	29,000	29,000	–	–
	放射性同位元素利用実験	陽電子消滅	1日あたり	23,500	23,500	–	–
		メスバウアー分光	1測定あたり	13,000	13,000	–	–
		超伝導磁石（メスバウアー分光オプション）	1日あたり	25,000	25,000	–	–
		線源利用	1日あたり	10,000	10,000	–	–
	質量分析試料処理	AMS-炭素試料処理	1日あたり	10,000	10,000	–	–
	高精度放射線検出	高度化放射線計測	1日あたり	10,000	10,000	–	–
トライアル	産業利用および産学連携利用を対象、期間1年、1利用単位は原則2日、成果等は公開（特許取得等の理由により2年延期可		無料				

（注1）利用料金には別途消費税が加算されます。（注2）成果公開とは、秘密保持義務が生じない利用形態で、UTTAC年報における成果・進捗報告が義務付けられます。（注3）加速器質量分析およびメスバウアー分光では、１日に処理できる平均試料数をもとに利用料金を設定しています。

筑波大学・研究基盤総合センター・応用加速器部門
電話番号：029-853-2492（事務担当）　　029-853-4341（技術相談窓口）
e-mail：kyoyo-staff@tac.tsukuba.ac.jp　URL：http://web2.tac.tsukuba.ac.jp/kyoyo/