JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	[技術報告] RBS（ラザフォード後方散乱分析装置）
Author(s)	伊藤，暢晃
Citation	国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学技術サービス部業務報告集 ： 平成20年度: 72-83
Issue Date	2009-11
Type	Presentation
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/9997
Rights	
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

1

[技術報告] RBS
（ラザフォード後方散乱分析装置）

伊藤　暢晃

北陸先端科学技術大学院大学
技術サービス部

本学RBS装置の概要

2

製造会社：日新ハイボルテージ（株）
現：（株）NHVコーポレーション
形式名　：　NT-1700H
購入年度　：　平成6年
ビームエネルギー　：最大 3.4 MeV(一価)
最大 5.1 MeV(二価)
測定可能最大膜厚：約 1 μm
分解能　：　約 30 keV、10 nm相当

管理者	堀田准教授 伊藤技術職員
機能	非破壊で、元素ごとの粒子の数と深さ情報を得ることができる。
特徴	他の装置では分からない、以下のような測定が可能 •重金属原子の絶対量測定 •結晶性の深さ方向依存性 •混合結晶中の不純物原子が入っている場所の特定
測定所要時間	1試料当たりの測定時間は30分程度。ただしビーム調整を含めると8時間程度かかる。
特記事項	京都・先端ナノテク支援ネットワーク該当装置であり、そのフォーマットに則った外部依頼も受け付けている。

RBS装置を取り巻く状況 3

日本のメーカ

島津製作所 → 撤退

神戸製鋼所 → 高分解能タイプ（1keVレベル）を製作。 → 現在も販売中。

NHVコーポレーション → 新規の製造は終了。既存ユーザへのメンテナンスのみ担当。 → 期限は区切られていないが、メンテナンス終了の恐れ。

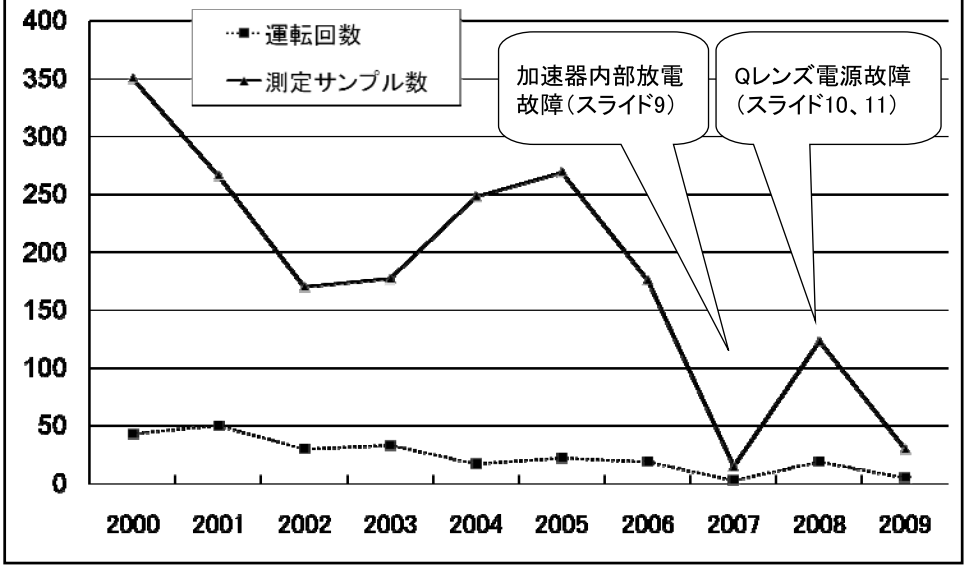
外国メーカ

- High Voltage Engineering Europe（オランダ）
- National Electrostatic Corp.（アメリカ）

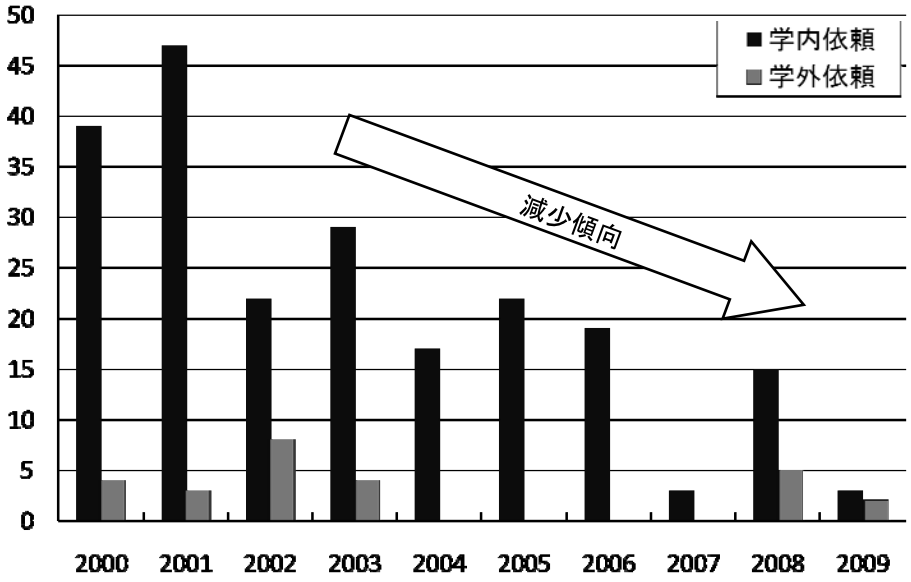
日本に海外からの加速器が多く売り込まれてきている。

本学におけるRBS装置の利用状況 4

（2000年1月～2009年6月）



年間運転回数（学内、学外）の推移 5



RBS維持管理の問題点 6

- 運転操作が難しく、専従の技術職員が必要。
- 加速器内部の部品が寿命に近づきつつあり、それらの故障・交換のためにはタンクを開放しなければならず、大型のものでは多額の費用を要する。
  ➡ 突発的なトラブルに対処しにくい。
  ➡ 京都・先端ナノテクネットワークのような特別な支援が必要。
- 設備整備計画では平成25年度に更新を目指しているが、装置自体が高価であること、維持管理に多額の費用がかかることがネック。
  ➡ 国からの特別な支援が必要。
- NHVコーポレーションではこれまでに30台余りが製作され、そのうちの約1/3が廃棄となり、正常に稼働しているものは半数以下と思われる。メンテ要員も減少・弱体化しつつあり、いつまで維持できるか不透明。
  仮に廃棄するとしても多額の費用が必要。
- 特異な機能を有するが、測定需要が多くなく、対費用効果の点で問題がある。
- 慎重な運転を心がけ、更新について検討していく。

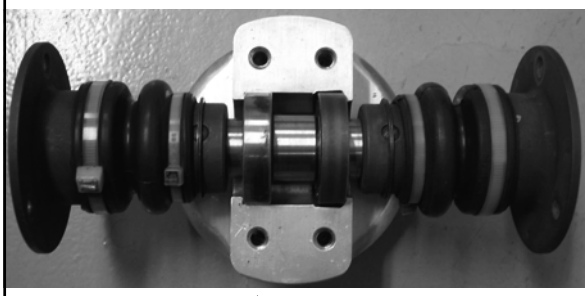
最近の主なメンテナンス事例

7

日付	故障個所	内容	紹介
2004年8月	冷却水フィルタ交換	カートリッジの寿命	
2004年11月	真空計	イオン源のLi汚染が原因	
2005年2月	ロータリーポンプ修理	オイル漏れ	
2005年11月	チラーユニット修理	冷媒漏れ	
2005年11月	プレアンプ修理	分解能が低下したため修理へ、 半導体検出器の寿命も併発。	
2006年2月	アンプ修理		
2006年11月	加速器修理	MGベアリングの破損	**スライド8**
2007年12月	ポテンショメータ交換	操作盤ツマミの寿命	
2007年12月	TMP電源交換	内部半導体の寿命	
2008年3月	加速器修理2	内部抵抗が劣化により破裂	**スライド9**
2008年11月	Qレンズ電源交換	電源の寿命	**スライド10,11**
2009年2月	加速器異常	発電電圧計(GVM)の異常	**スライド12**

加速器修理(ベアリング破損)

8



↑破損したベアリング部分を取り出した図。Al製の台座が削れており、粉末になって飛び散っていた。

→ベアリング取り外し時の写真。作業員の手は削れて飛んだ「カス」で灰色に変色している。絶縁不良にならずに済んだのは不幸中の幸い。

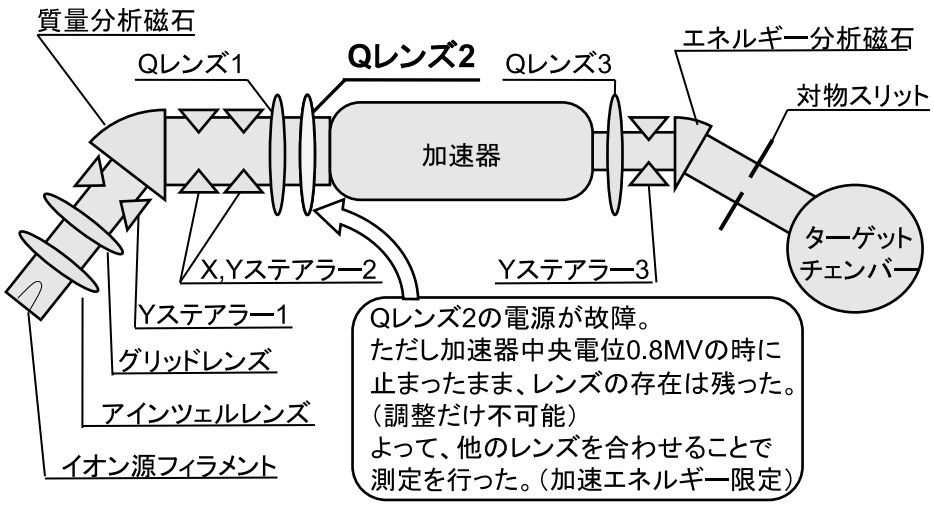
加速器大修理(内部抵抗破損)　9

内部電圧1.5 MVでRBS測定(耐用限界は1.7 MV)していた際に内部放電発生。
止まないため一旦は使用停止に。

↑破裂した抵抗。38段、12個ずつ
あるうちの、これ一つの破壊が原因

↑全ての放電跡をリュータで削った図。
白く見えるのが削った部分。

Qレンズ電源交換(構造模式図)　10



Qレンズ電源交換作業 11

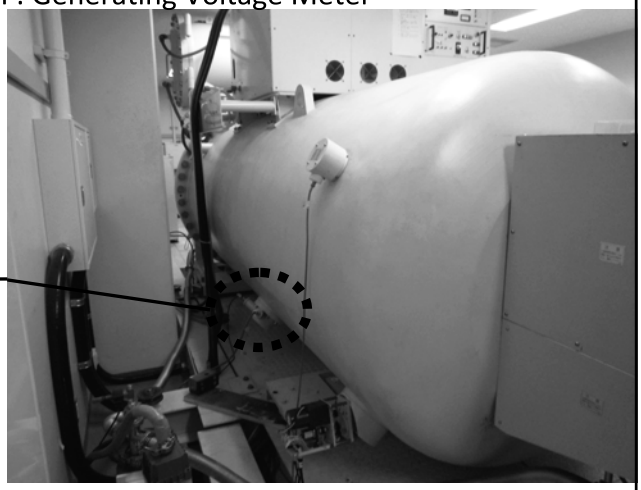
一番上のシャシー（シール貼付）が
壊れた電源。正負の両極に出力した。

下にあるのが新しい電源。
正用と負用の2台を同時に動かす
ことで同じ効果を得る。
出力は3mA、30W、10000V

ケーブルはこのシャシーメーカ、「松定
プレシジョン」のオリジナル端子。
ケーブル自体が装置の下を通ってい
るため、ケーブルの交換は不可。
高圧ゆえケーブルの改造も不可。
よって同じメーカから継続購入しか
できず、そのまま購入した。

加速器異常（発電電圧計GVMの不良） 12

GVM : Generating Voltage Meter



測定準備中に、加速電圧表示とデバイダー電流値（安定した電位勾配を得る
ために流す）の比率がおかしいことを発見。実際の加速量は表示より少なく、
調べてみると加速量を調べるGVMの異常だった。加速器を開けるのは
大工事となるため、デバイダーで読み取る形に改造して運用に復帰。

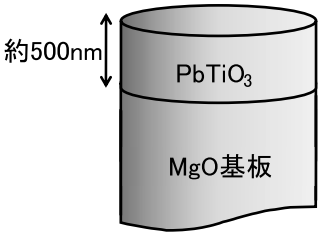
13

RBS測定事例

以下の測定は、
西田　謙　先生（防衛大学校）
坂井　穣　先生（ Université François Rabelais de Tours ）
お二方の依頼に基づき測定されたものです。
測定内容の分析、理解に関してご指導いただき、さらに快く
掲載許可をいただきましたことについて、お礼申し上げます。

背景

14



$PbZr_x Ti_{1-x} O_3$（チタン酸ジルコン酸鉛）
➡ 圧電材料として広く使われている

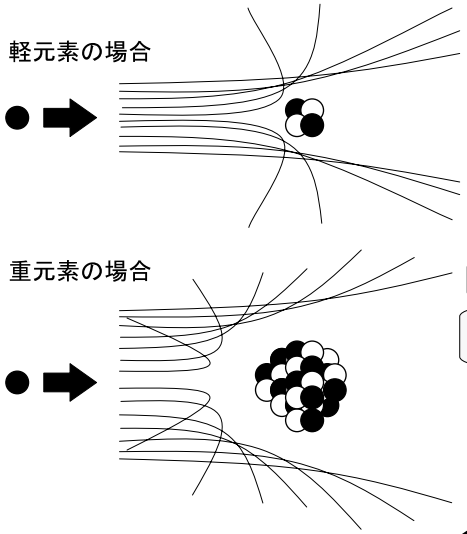
成膜時の熱処理でダメージを受けやすい
⇨ Pb欠陥、O欠陥
➡ 絶縁抵抗低下、自発分極量低下

単結晶、セラミックス	薄膜
既にこの現象に関して詳しく報告されている	絶対量が少なく、難しい

➡ 依頼元：薄膜試料におけるPb,O欠陥量を測定したい。

Pb：蛍光X線分析（高感度測定）
O：非ラザフォード弾性共鳴散乱法で測定（**本報告**）

一般的なラザフォード散乱の特徴 15



軽元素			
弱	弱	小	少
相互作用力	反射粒子のエネルギー	散乱断面積	反射粒子数
強	強	大	多
重元素			

クーロン力

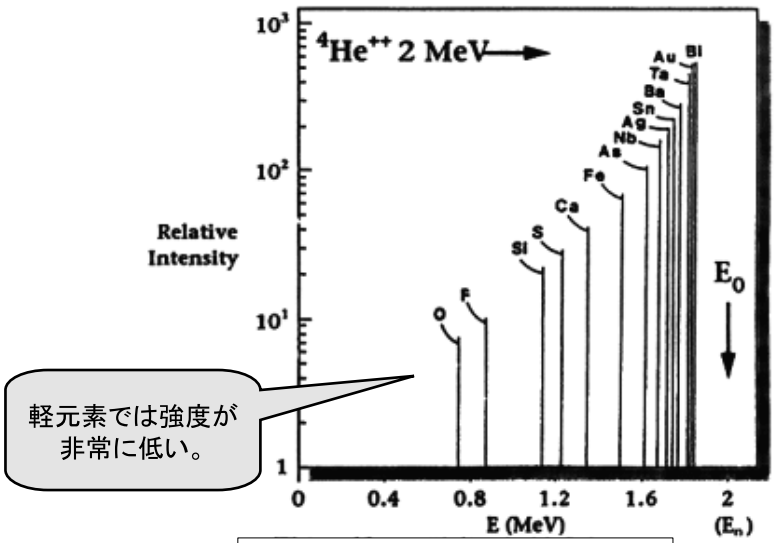
2体間での弾性衝突
運動エネルギー保存

一定角度(検出器)へ
跳ね返る入射面積
原子核が大きいため
この範囲の面積も大

1. 検出されるエネルギー ：
軽元素→低、重元素→高
2. 検出される粒子数 ：
軽元素→少、重元素→多

RBS法は軽元素の測定に不向き！

反射粒子数と元素の関係(文献資料による) 16



軽元素では強度が
非常に低い。

反射粒子エネルギー (keV)

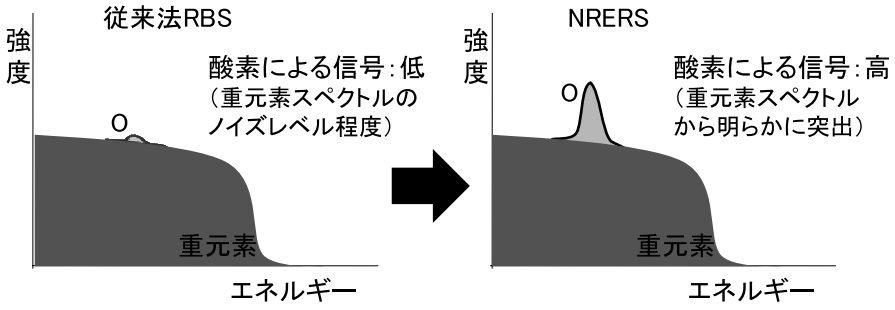
非ラザフォード弾性共鳴散乱法 17

（NRERS：non-Rutherford elastic resonance scattering）

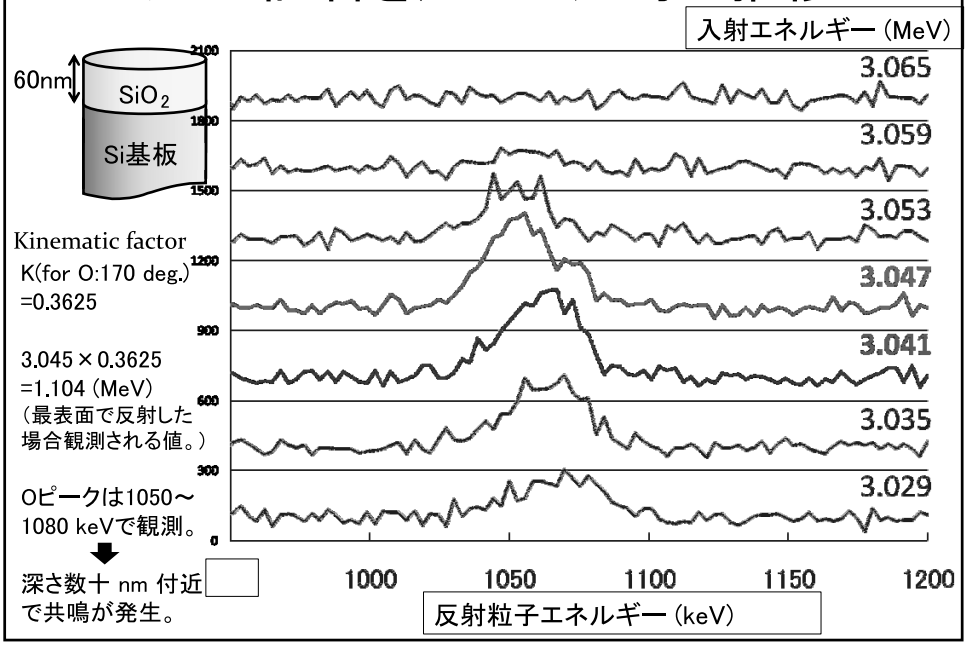
軽元素に対して、特定のエネルギーを持つ入射粒子を当てた場合、信号強度が1～2桁程度大きくなる。（共鳴）

※絶対量評価はできず、比較のみ可能

入射粒子	試料	共鳴エネルギー
4He	16O	3.045 MeV
4He	12C	4.270 MeV
1H	15N	6.385 MeV



テスト試料を用いた共鳴の推移 18



Kinematic factor
K(for O:170 deg.)
=0.3625

3.045 × 0.3625
=1.104（MeV）
（最表面で反射した場合観測される値。）

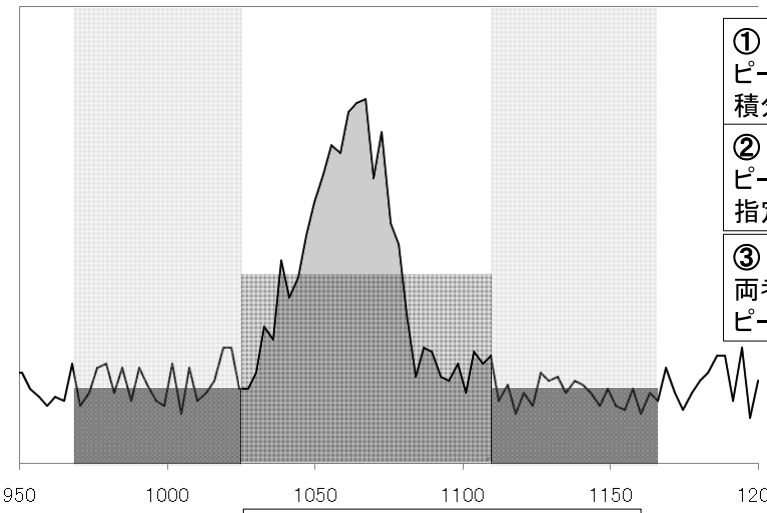
Oピークは1050～1080 keVで観測。

深さ数十 nm 付近で共鳴が発生。

共鳴度合いの定量化

19

手順の説明
（一例：.3.041 MeV）



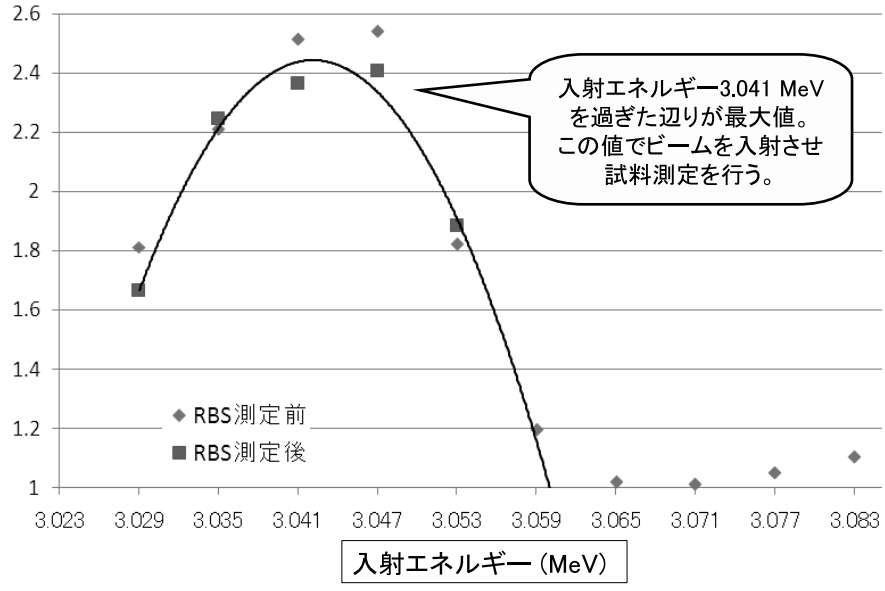
①
ピーク部分を
積分し、平均化

②
ピーク周辺領域を
指定し、平均化

③
両者の比率から、
ピーク大小を決定

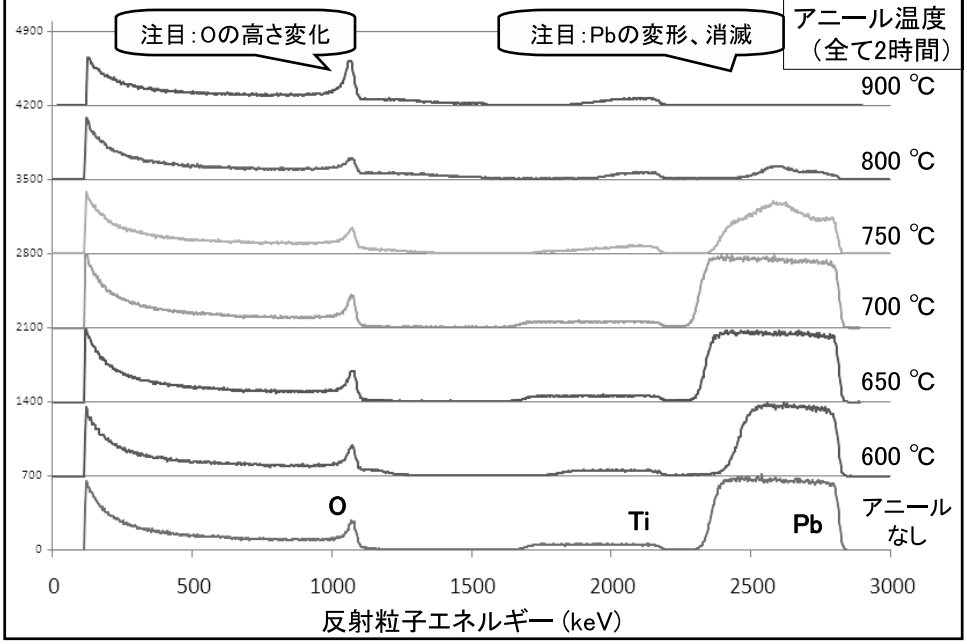
共鳴ピーク積分値の推移

20



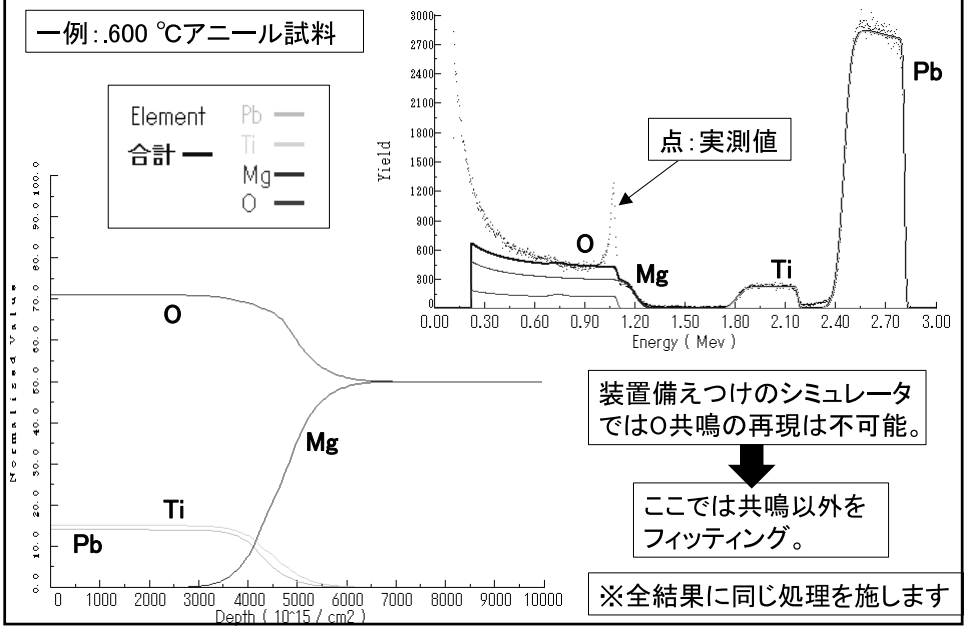
入射エネルギー3.041 MeV
を過ぎた辺りが最大値。
この値でビームを入射させ
試料測定を行う。

$PbTiO_3$ 試料測定結果（規格化済み） 21



$PbTiO_3$ 試料分析（シミュレーション） 22

一例：.600 ℃アニール試料



装置備えつけのシミュレータではO共鳴の再現は不可能。

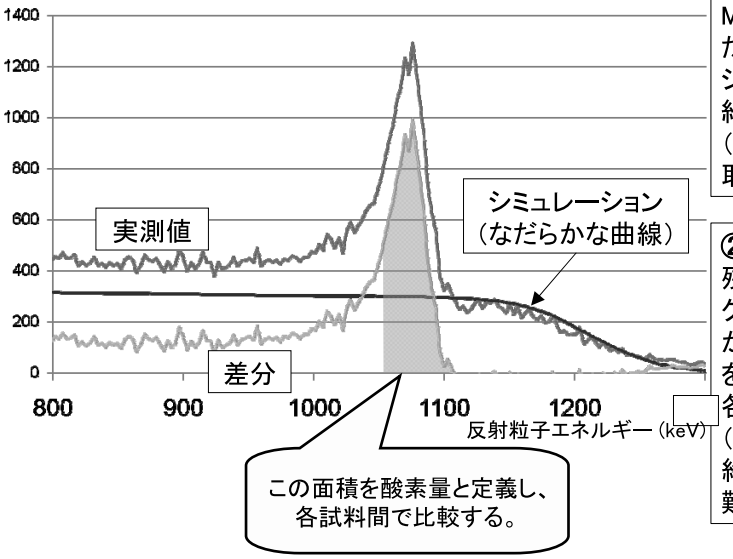
ここでは共鳴以外をフィッティング。

※全結果に同じ処理を施します

酸素ピークの解析

23

一例：.600 ℃アニール試料

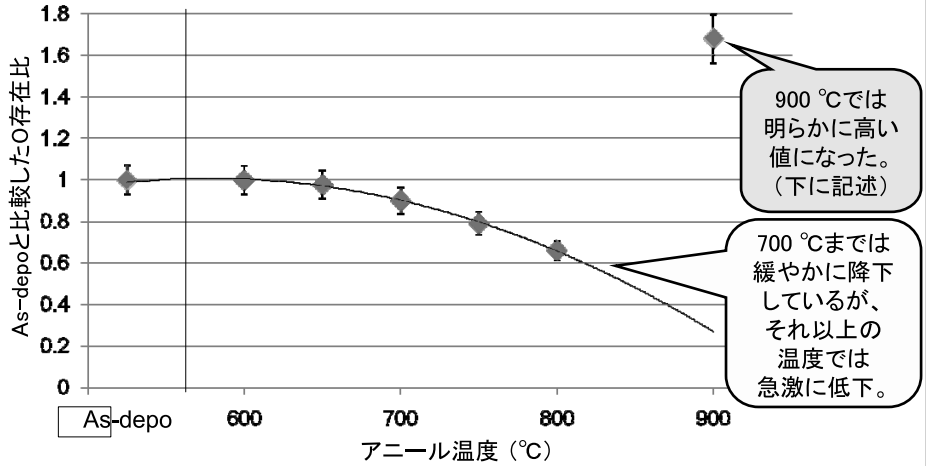


①
Mgの影響を避けるため、実測値からシミュレーション結果を差し引く（O共鳴部分だけを取り出す）

②
残ったO共鳴スペクトルのうち、右端から左の半値までを積分して、これを各試料間で比較（左側はピーク終わりの定義が難しいため。）

結果

24



●期待通り、アニール温度の上昇と共にO濃度が落ちている。
●ただし、900 ℃の時だけ大きく異なった値が出た。全体スペクトルを見ると（シート21番）既にPbが残っておらず、もはや$PbTiO_{3-x}$　ではなくなっている。このことによる影響と思われる。（類似現象は$SrRuO_3$ サンプルでも発生）