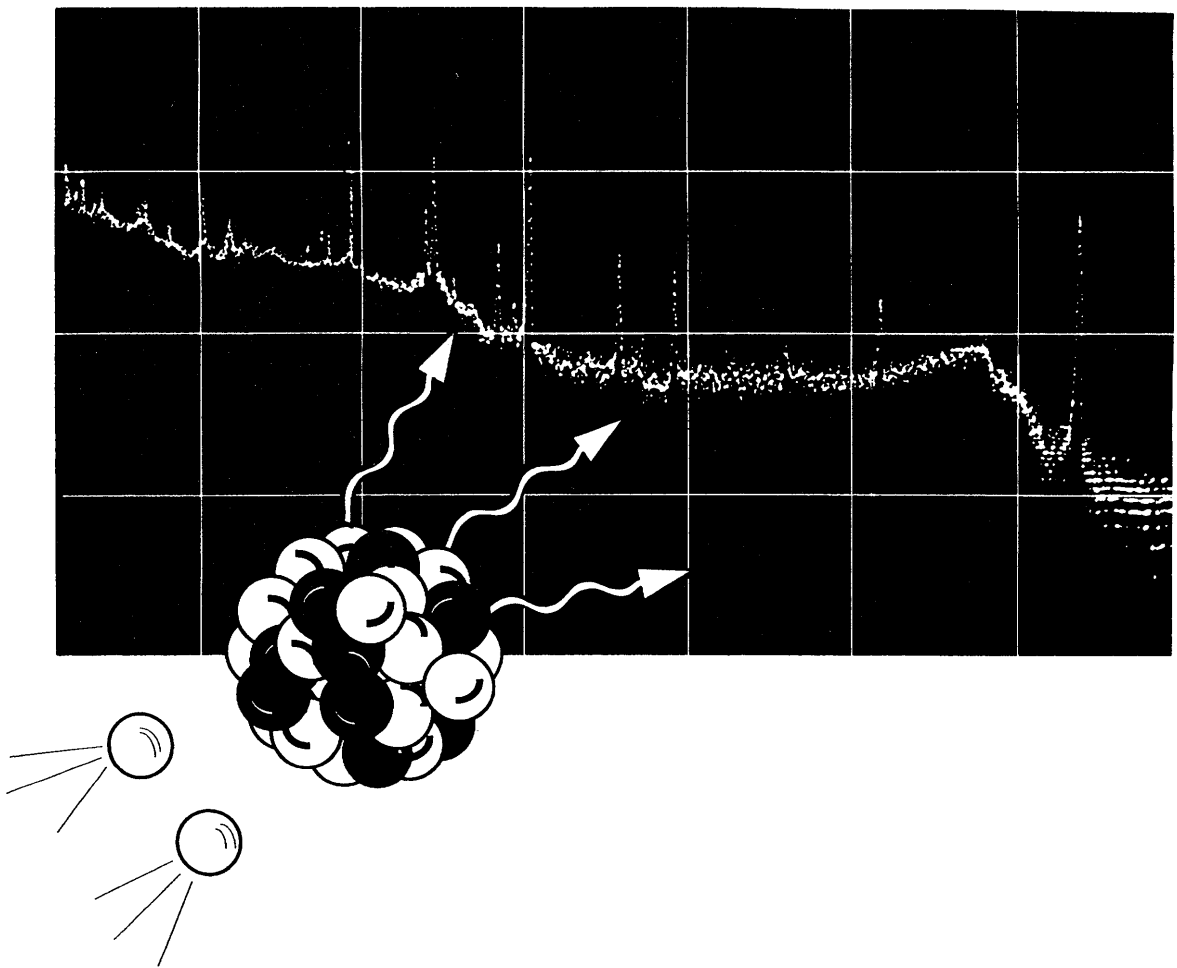


2000年3月

放射化分析

No. 10



放射化分析研究会

放射化分析研究会

Japan Association of Activation Analysis

(JA³)

会誌「放射化分析」

「Activation Analysis」

表紙図案は 岡田往子さん（武蔵工大原研）によるものです。

放射化分析 No. 10

目 次

講座「高純度材料の放射化分析」		
1. 高純度材料と放射化分析	重松俊男	…… 1
2. 高純度金属中の微量元素分析に関する研究	岡田往子	…… 6
研究紹介		
多重ガンマ線検出による微量元素分析法の開発	初川雄一	…… 19
若い声		
はじめの一步	久野章仁	…… 23
研究会報告		
CITA'99 分析信頼性国際会議	岡田往子	…… 25
	米沢仲四郎	…… 26
第43回放射化学討論会	薬袋佳孝	…… 27
施設便り		…… 30
原研施設利用共同研究		
立教炉利用共同研究		
東北大学・核理研		
特別寄稿		
研究炉海外事情	伊藤泰男	…… 36
動向		
日本放射化学会が設立しました！	関根 勉	…… 40
放射化分析研究会と日本放射化学会	海老原 充	…… 42
編集後記		…… 45
会員名簿		
広告		

高純度材料と放射化分析

NTT フォトニクス研究所 重松俊男

1. はじめに

「高純度材料」と「放射化分析」の関係においては、まず”材料ありき”で物事が進められる。有効な分析法の一つに過ぎない放射化分析を、少しでも多くの材料及び物性研究者に理解させ利用させるために、他の分析法にない長所である「正確さ」を全面に出し、全元素について、組成の多様な試料に対して迅速に対応できる体制を整えておく必要がある。更に開発した分析法に加え、信頼される正しい定量値を得るために、開発目的を含め対象材料の詳細を理解しておくことが大切である。なお高純度材料への適用例については岡田さんに任せ、これまでと違った視点から記述する。

2. 視点の違い

2.1 ”材料や” と ”分析や”

固体材料の系統的、効率的開発を意図した議論の中からキャラクタリゼーションの概念が生まれ、1968年に米国 National Research Councilにより、「材料の製造、物性研究、使用にとって重要で、材料の再生産に必要な組成や構造（欠陥を含む）に関する特徴や知見を記述すること」と定義された¹⁾。

新しい通信方式を先導する新しい材料の開発を強く意識して放射能利用分析法の開発を進めた経験から、定義で示された組成は、”分析や”が定量して得た値と言うだけの意味でなく、材料開発に与える効果が考慮され、物性や製造技術、欠陥を含む構造と密接に関連付けられた、”材料や”の視点に沿った組成であることが重要と考えられる。

2.2 高純度素材、材料とは？

高純度物質は、「純度が相当に高い物質に対して与えられた俗称。今日機器分析のめざましい発展に伴って分析感度は ppm から ppb の桁に到達する一方、分析の精度、信頼性も高揚され、それに基づいて従来考えられもしなかった高度の純度をもつ物質が分析によって確認されるようになった。その結果今まで知られなかった物性的特性が明らかにされるに及んで、一般の物質に対応して派生した新語である——」（武者宗一郎：分析化学辞典²⁾）。

筆者は、高純度素材は素材が持つ本来の性質を示すまで純度が高められた物質で、高純度（高機能）材料は更に有効不純物が添加され、一層の高機能化が図られた物質と考えている。半導体 Si や光ファイバーなどの開発研究で示されたように、最初に高純度素材、材料を開発して行く道が、キャラクタリゼーションの定義に従い、固体材料を科学的に開発できる唯一の方法である。それら高純度物質を除く多くは、程度の差はあるが、不純物に左右された特性を示しているに過ぎない。特にホウ素、炭素、窒素及び酸素が特性に絡むとそれら元素の分析法が少ない分、特性との関係は殆ど手が着けられていない。多くの物質が科学の入り口で足踏みしており、材料設計に基づく開発体制が本格的に整うにはまだ時間がかかる。

ここでは筆者流の高純度素材、材料の定義は置いて紹介したい。

2.3 物理分析、化学分析及放射化分析の役割と位置付け

大規模集積回路（LSI）の開発では、物理分析が製造グループや理論グループと密接に連携して、組成や構造の一次情報を迅速に知る手段として有効に活用され問題解決に向けて重要な役割を果たしている。また LSI 開発の著しい進展と共に分析装置や技術が飛躍的な進歩を遂げている。一方即応性に欠ける化学分析は、多少時間をかけても厳密に組成を決定したい場合に利用される。そして素子設計で、設計条件が厳しくなり相対濃度で対応できない場合、また有効不純物の挙動と特性の関係をより厳密に把握し制御する必要に迫られ絶対濃度による評価が不可欠な場合には、核反応を使用し、絶対量が評価できる放射化分析が極めて有望になる。原理的に系統誤差となる要因が少なく、正確に定量できる点で優れている。

放射化分析の役割は、更に誤差要因を一つひとつ解決し、系統誤差が低減された分析法を開発し、機能材料創製を可能にすることである。また他の化学分析法や物理分析法を更正して分析法全体の正確さを向上させ、“分析や” トータルの力を底上げすることも重要で、これによりマトリクス放射能の生成が大きく半減期の長い化学組成で、得られる成果が小さい材料では、代替の分析法による定量が可能になる。被爆のリスクを負い、分析コストが高い放射化分析を考慮すれば、こう云ったマネジメントは研究の重要なポイントになる。

3. 高純度素材、材料への適用

放射化分析法は衝撃する粒子により、ホウ素や炭素、窒素、酸素などに高感度な荷電粒子放射化分析、遷移金属元素や希土類元素など原子番号の大きい元素に高感度の中性子放射化分析、その他光量子放射化分析などが利用可能で、これらを相補的に用い、殆ど総べての元素を高感度で定量できる。

3.1 放射化学的方法と機器的な方法

放射化学的方法では、目的元素を純粋に分離して元素が放出する全 γ 線や全 β 線を高効率で計測する。放射化学分離では、対象が痕跡量であっても多量の安定同位体を担体として加え、定量的な化学反応や化学収率の補正を容易に行うことができる。特に不足当量分析法は化学収率の補正が不用で、正確な定量が期待できる方法である（不足当量分析法については、改めて記述することとしたい）。初めに述べた通り、物質のキャラクタリゼーション研究では、“素材、材料ありき”で始まり、選択する権利は材料側にある。迅速性と正確さが天秤で測られて目的に合う分析法が選ばれることを考えると、放射化分析でも迅速に定量できるように、各々元素の化学分離条件と基本操作を開発しておき、試料のマトリクスや特異な不純物元素を除去する条件のみを検討して対応できる体制を確立しておくことが大切になる。

一方機器的な方法は、次に示す条件が成り立つときに可能になる、

- (1) マトリクス元素の生成放射能が目的元素の生成放射能に比べて低い、
- (2) マトリクスから生成する放射性元素の半減期が短く、ある期間減衰させると目的核種の放射能に比べて低くなる、
- (3) γ 線を放出する放射性核種である。

このように制限は多く、例えば INAA に対応できる物質は分析条件に恵まれたケースと言える。興味深い点は、筆者の云う”高純度素材”の程度までは、分析法開発の難易さと材料開発における成果の大きさは殆ど関係しないことで、INAA は半導体 Si、石英系光ファイバーや発振器用水晶の開発などに極めて多用されている。なお(1)、(2)の適用が困難な場合は、郡別に分離してγ線スペクトロメトリーで多元素同時定量が行われる。

3.2 比較法とコンパレータ法

定量法には比較法とコンパレータ法がある。比較法では元素毎に比較標準が必要になるが、誤差要因の多くは相殺され、生成放射能と比較標準の重量から定量される。一方中性子照射場のスペクトル特性が一定の条件では、コンパレータ元素により中性子フリューエンスを測定して定量するコンパレータ法が適用される。核反応断面積や共鳴積分値で正確な定数を選択すると 10%程度の誤差で定量できる³⁾。

3.3 ”材料分析設計”

分析法には一長一短があり、材料の開発状況に応じて最も有効な分析法（コストなども判断基準の一つ）を選ぶ”材料分析設計（筆者の造語）”が重要になる。

分析に求められる条件に応じ、誤差 1%以内の定量を行う場合は、目的に適う条件を論理的に算定した不足当量分析を用いる。この方法で複数元素の逐次定量が可能である。数%程度の誤差が許される場合は、不足当量分析か比較法の INAA により、また 10%程度の誤差が許される場合は、Tb/Sc のデュアルコンパレータを用いる。日本原子力研究所東海研究所原子炉で照射する際は、照射系がブラックボックスであり、フラックスモニターに Tb/Sc のデュアルコンパレータを用いてフラックス変動の有無を確認すると共に、目的元素の定量に加えて検出核種の多元素同時定量を適宜に行うことも大切である。

放射化分析では、分析に望まれる条件に応じ、元素量から生成放射能を推定し、冷却時間を設定して残留放射能を求め、測定の条件が決定される。マトリクス元素の組成や不純物濃度に応じ、照射条件や冷却時間、化学分離の条件が決めることができる点でも分析設計が有効な分析法と言える。

放射化分析の主な適用領域を以下に示す。

- 化学組成の決定
 - ・ 有効不純物の濃度決定
 - ・ 表面、界面不純物の定量
 - ・ 汚染元素の濃度決定による製造プロセスの開発への寄与
- 濃度分布の決定
 - ・ 試料を分割、放射化分析：
 - ゾーンメルト法による精製効果の確認、
 - 結晶中不純物の偏析係数の決定、
 - ・ 化学エッチングによる深さ分布の測定：
 - 拡散プロファイルの決定
 - out diffusion の確認
- 他分析法の更正

4. 高純度材料を利用する高度放射化分析法の開発

半導体材料への適用例は岡田さんに記述いただいている。また「放射化分析による高純度物質の開発」について、例えば高純度化技術大系第一巻分析技術⁴⁾、その他の講座^{5), 6)}を参考にさせていただけたら幸いである。

ここでは高純度物質が放射化分析法の開発に寄与する点を述べる。

図1に、井戸型 Ge 検出器の井戸内/外で計測した検出効率を示す。井戸の外（通常の検出器）で得られた効率に比べて井戸内で得られる効率は15-20倍向上する⁷⁾。また半導体 Si を JRR-2 で270時間熱中性子照射し、³¹Si の放射能減衰後に井戸型検出器により測定したγ線スペクトルを図2に示す。この場合検出された不純物に起因する核種は、²⁴Na、¹²⁶Sb 及び ¹⁹²Ir の3核種に過ぎない。一般の試料では計測されるγ線スペクトル解析が複雑になり、適用が難しい井戸型検出器であるが、高純度化されて検出される核種が少ない系ではスペクトル解析が極めて容易で、検出効率の向上に対応して定量下限が向上する。

最近では更に高純度化が進み、半導体 Si で検出される核種は皆無と思われる。その Si ウエハー2枚を重ね合わせて接合すると、ウエハー表面の不純物元素は接合界面に閉じ込められる。続いて接合試料を切断し、中性子照射して接合試料表面の汚染を化学的に除去し、γ線を計測すると、Si 中の不純物から生成する放射性核種は無視できるからγ線計測して定量される不純物は、接合界面（Si ウエハ表面）に存在していた不純物元素と考えられ、表面の0.1ng /100cm²の不純物分析が可能になる⁵⁾。超清浄表面が接合する性質と超高純度 Si 及びバルク材料に有効な中性子放射化分析法の特徴を活かして初めて可能になる技術である。

この他、制御性がよく、選択的な化学エッチング技術を利用し、界面を挟むマイクロ域の拡散現象の解明、拡散定数など物理定数の決定に有効に用いられる。

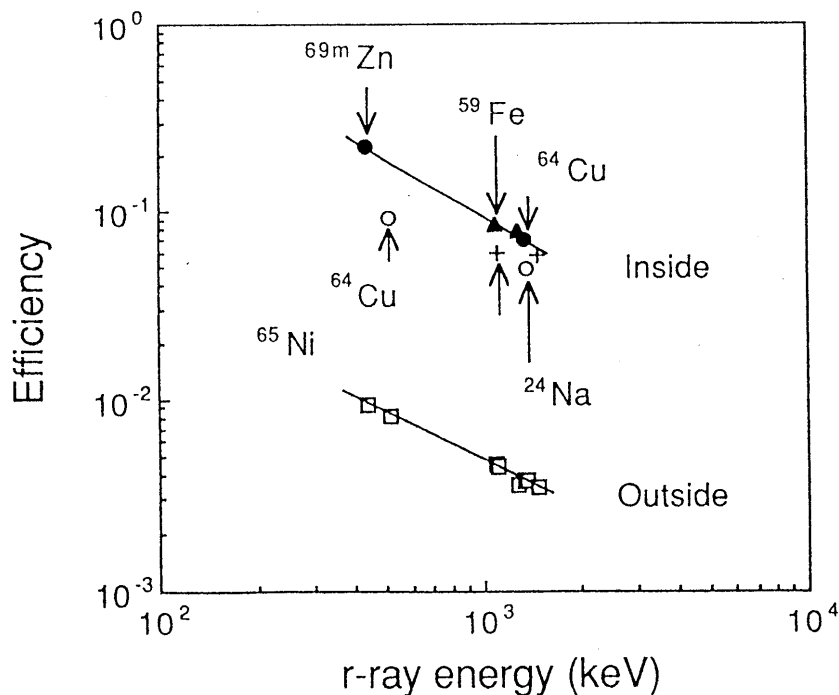


Fig 1 Efficiency of well-type Ge detector

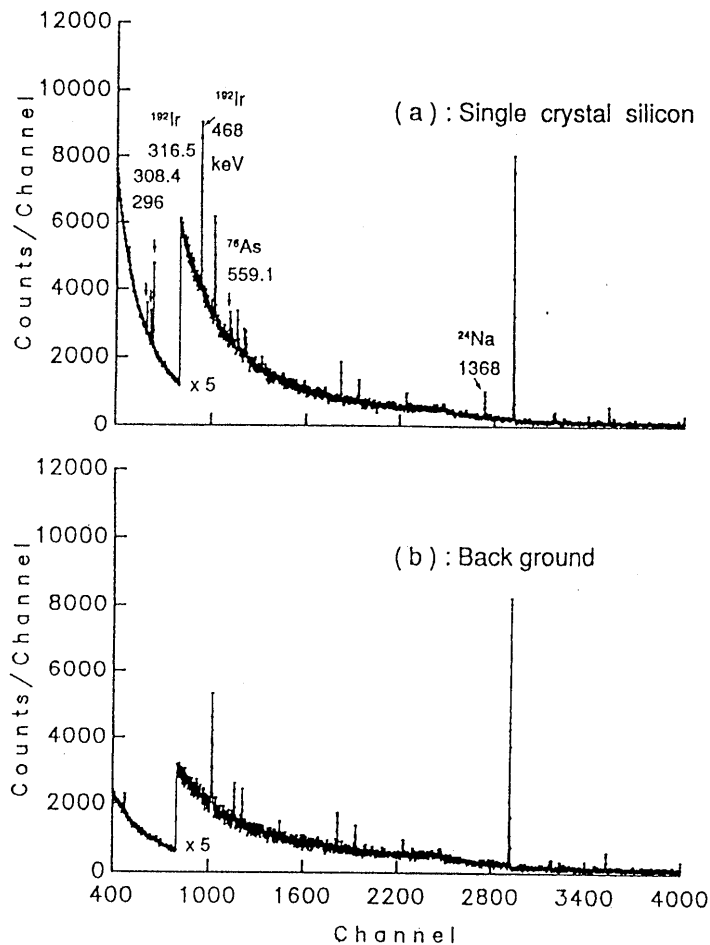


Fig. 2 γ -Ray spectra of single crystal silicon
Well-type Ge-detector, Measurement time : 3×10^5 s
(a) : Single crystal silicon, (b) : Back ground

5. 終わりに

少々弁解がましくなるが、大方の文献ファイルを整理してしまった状況で、日頃の筆者の考えを述べさせていただいた。講座として相応しくないところは、講座を主催した岡田さんを始め会員の皆様にお詫びする。同じテーマで若い方々に執筆いただけたら幸いである。最後に、「継続は力なり」。高純度材料開発に効果的な分析法の開発には長い時間をかけて互いに信頼し合える関係を築き上げることが最も重要になる。

参考文献

- 1) 学振第 141 委員会編：“マイクロビームアナリシス”，朝倉書院(1985)，p425.
- 2) 分析化学辞典：共立出版(1971)，p652.
- 3) 米沢洋樹，重松俊男：分析化学(Bunseki Kagaku)，35，737(1986).
- 4) 保母敏行監修：高純度化技術大系、第一巻分析技術，フテクノシステム，1996，p637.
- 5) 重松俊男：Radioisotopes，43(1994)432.
- 6) 重松俊男：Radioisotopes，35(1986)454.
- 7) T. Shigematsu, M. Polasek, H. Yonezawa and M. Katoh: J. Radioanal. Nucl. Chem., 216(1997) 237.

高純度金属中の微量元素分析に関する研究

武蔵工業大学 工学部 エネルギー基礎工学科

岡田 往子

1. はじめに

機器中性子放射化分析法(INAA)による高純度金属中の微量元素に関する我々の研究は、1978年に半導体材料の誤動作の原因がウラン、トリウムおよびその娘核種が放出する α 線によることが指摘¹⁾されて以来、ウランおよびトリウムの分析が中心に行われた。当初、材料としてアルミニウム及び二酸化ケイ素などが中心で、これらのマトリックス元素は放射化しても短寿命核種が生成し、ウラン及びトリウムを定量する場合に妨害にならないため、ppbレベルで定量する要求に十分答えることができた²⁾。しかし、新たな材料の開発³⁾が進むに連れ、各種材料中のウラン及びトリウムを定量する必要が生じはじめた。要求される材料にすべてに対してppbレベルのウラン及びトリウムを定量するには、マトリックス元素からの生成放射能の影響などでINAA法では充分に応えることができなくなった。また、半導体メモリーの集積化が進み、高純度化技術のさらなる進歩により、数ppb以下のウラン及びトリウムを定量しなければならない要求も起こりはじめた。図1にソフトエラー率と α 粒子密度の関係⁴⁾を示す。ソフトエラー率の単位はFIT(Failures In Term)であり、エラー率が1時間あたり 10^{-9} のとき1FITと定義している。ソフトエラーの許容限界が一般に 10^4 FITであるとされているので、一桁低い値を望むとすると図から分かるように1Mbit MOS d-RAMで許容できる α 粒子密度の値で $10^{-6} \alpha / \text{cm}^2 \cdot \text{h}$ ということになる。このとき、①ウラン及びトリウムが試料内に天然存在比でかつ均一に存在していること、② α 線放出核種は ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th 及び ^{232}Th のみで ^{238}U と ^{230}Th 間では放射平衡が成立していること、③ α 線の平均エネルギーを5MeVとすることの3条件を仮定すると α 粒子密度とウラン及びトリウム濃度の関係は $10^{-4} \alpha / \text{cm}^2 \cdot \text{h}$ がほぼ1ppbに相当する。すなわち1M d-RAMの場合はウラン及びトリウム濃度では数十ppbレベルにおさえなければならないことになる。我々はその要求に答えるため、中性子放射化分析法をベースとしたより低レベルの分析法の開発に着手した。これが中性子照射のあとに化学分離操作を加える放射化学中性子放射化分析法(Radiochemical Neutron Activation Analysis: RNAA)である。歴史的には中性子放射化分析法は放射化学中性子放射化分析法(RNAA)が先行して行われてきたが、半導体、電子電気やコンピューターの発達に伴ない、多元素が同時に分析できる機器中性子放射化分析法(INAA)が主流になった。しかし、前述のように材料の高純度化が

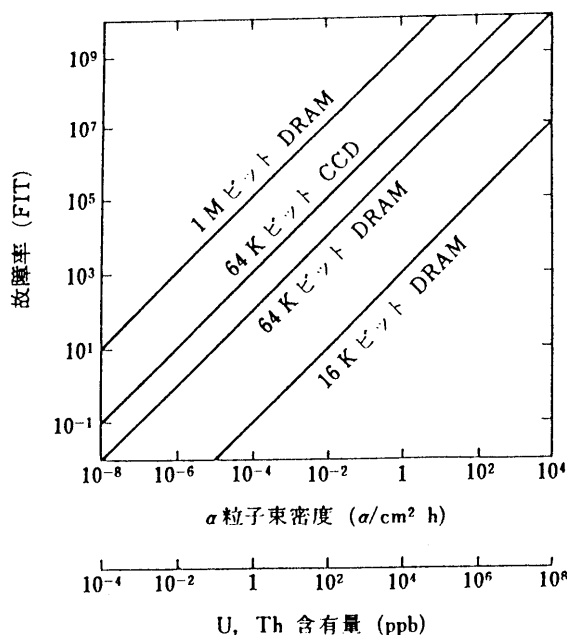


図1 ソフトエラー率と α 粒子密度の関係

進み、より低レベルな分析の必要性から、再び RNAA 法を用いることになった。この RNAA 法は他の化学分離法と異なり、照射前の試料調製ならびに照射時の汚染を注意すれば、化学分離操作中の汚染が少なく、特に高純度金属中の超微量元素の分析に非常に適している。また、微量・超微量元素を扱う上で非放射性の担体を加えることで揮散の影響を極力避けることもできる。しかし、化学操作中の放射線による被曝は INAA 法より、多くなる可能性が高いので十分に注意して行うことが必要である。ここでは高純度材料中のウラン及びトリウムの定量法を中心に述べることにする。

2. 照射試料の準備・原子炉照射

我々が用いた照射施設は武蔵工業大学・原子炉の中央実験管（熱中性子束密度： $3.8 \times 10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）、立教大学・原子炉の中央実験管（ $3.7 \times 10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）、日本原子力研究所大洗事業所の JMTR 水カラビット（ $1.0 \times 10^{14} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）及び日本原子力研究所東海事業所 JRR-3M の HR-1（ $2.0 \times 10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）である。武蔵工業大学及び立教大学原子炉での実験では試料を洗浄したポリエチレンに二重封入して、ウラン及びトリウム比較標準試料（ウラン、トリウム $10 \mu\text{g} / 10 \mu\text{l}$ をろ紙に添加し、ポリエチレンに二重封入したもの）とともにカプセルに入れ、5 及び 6 時間照射した。照射後 2 日程度で取り出し、粉末以外の試料は照射中の汚染を除去するためにアルコール洗浄または可能な金属はエッチングをし、秤量して化学分離操作を行った。JMTR 及び JRR-3M の水カラビットを用いた実験では合成石英管（図 2 石英管 A）に試料を入れ、凸のふたをし、その周囲を高純度アルミホイルで包み、ラビットに入れ、5 から 100 時間照射した。図 2 に使用した石英管の概略図を示す。B は比較標準試料用に作成した物で凹部分にマイクロピペットで $5 \mu\text{l}$ （ウラン、トリウム $5 \mu\text{g} / 5 \mu\text{l}$ ）をそれぞれに分注し、蒸発乾固させ、凸のふたをして、周囲を高純度アルミホイルに包み、試料といっしょにラビットに入れた。この場合、同一ラビット内で試料と比較標準試料の照射位置が異なるため、アルミニウム線を試料側面に着け、フラックスの補正に用いた。この石英管を用いたことで、石英管の熔封が必要なくなり、照射試料作成の時間を短縮する事ができ、また、作業時の汚染の心配も少なくなった。さらに照射後の試料取りだしの際の切断の必要がなくなり、被曝が少なくなった。

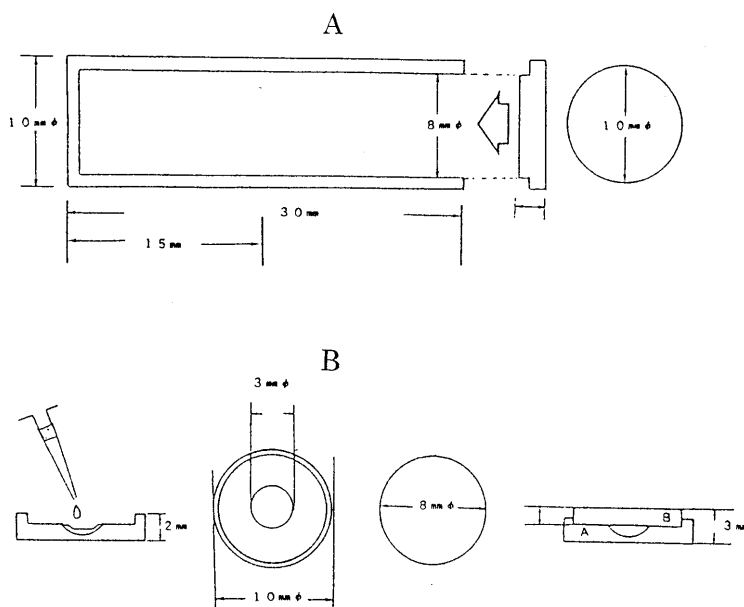
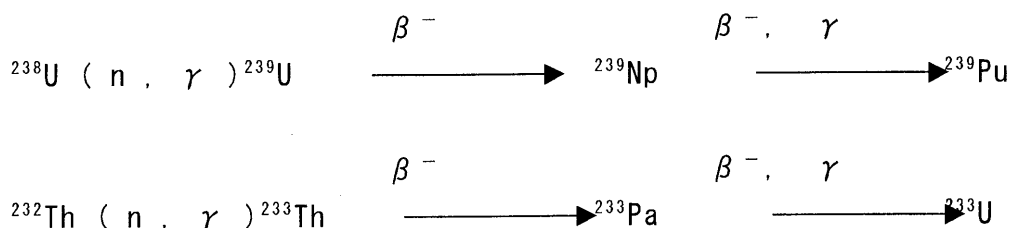


図2 高中性子束炉に使用する試料及び比較標準試料用の合成石英容器

3. γ 線測定・解析・核データ・定量下限値

化学分離操作後に半導体検出器と 4096 チャンネルの多重波高分析器とを組み合わせた γ 線測定装置 (GAMA システム)⁵⁾ で測定を行った。半導体検出器は鉄と鉛で構成されたしゃ蔽体の中に設置され、環境からの放射線を極力低減するよう工夫されている。そのため、高純度金属中の極微量な元素の定量に最適である。収集された γ 線スペクトルはパーソナルコンピュータを用いて、GAMA98 解析プログラム⁶⁾を使用した。この解析プログラムは γ 線エネルギー、同定核種、 γ 線ピーク面積、ピーク計数効率、元素含有量、検出限界値、元素濃度などを算出する。 γ 線スペクトルを解析するプログラムは主に γ 線ピークサーチ、ピークフィッティング、半減期補正及び核種ライブラリのプログラムから構成されている。ウラン及びトリウム解析に注目した核種は次の核反応で生成する ^{239}Np (半減期: 2.35 日) 及び ^{233}Pa (: 27.0 日) である。



定量下限値はバックグラウンドの平方根の 3 倍とした。また、定量下限値は測定時間及び試料重量で変化するので、測定時間を 12 時間及び試料重量を 2 g として規格化した。

4. ウラン及びトリウム定量例

4. 1 二酸化ケイ素⁷⁾

二酸化ケイ素は電子材料のシリコン基盤の原料、大規模集積回路 (LSI) の封止材あるいは光通信のガラスファイバーなどの用途に広く使用されている。二酸化ケイ素を照射すると主成分元素である酸素はほとんど放射化されず、また、ケイ素は生成放射能が比較的小さく、比較的短寿命核種である ^{31}Si (半減期: 2.62h), ^{28}Al (2.3min), ^{29}Al (6.6min) を生成するので中・長寿命核種を利用した分析では INAA でも非常に高感度で分析できる。

表1 高純度二酸化ケイ素中の不純物元素の定量下限値(ppm)

元素	定量下限値	元素	定量下限値
F	50	Sr	6
Na	0.0008	Mo	0.005
Mg	200	Ag	0.0008
Al	400	Sn	0.05
Cl	0.5	Sb	0.002
K	0.05	Te	40
Ca	200	Cs	0.0002
Sc	0.00007	Ba	0.06
Ti	60	La	0.0003
V	0.7	Ce	0.002
Cr	0.005	Sm	0.00009
Mn	0.03	Eu	0.0001
Fe	0.2	Yb	0.05
Co	0.002	Hf	0.0004
Ni	0.009	Ta	0.00009
Cu	40	Au	0.000008
Zn	0.008	Hg	0.0007
Se	0.001	Th	0.0001
Br	0.0007	U	0.005
Rb	0.005		

表1に INAA で分析した場合の各元素の定量下限値を示す¹⁾。多くの元素が ppb レベルで分析できることがわかる。F, Mg, Al, Ca, Ti, Cu, Te の定量下限値が他の元素より悪いのはマトリックス元素であるケイ素から生成される ³¹Si、²⁸Al、²⁹Al の影響である。ウランでは数 ppb およびトリウムではサブ ppb の分析が可能である。しかしながら、LSI あるいは VLSI の設計では 6N (99.9999%)、7N (99.99999%) の純度が要求されている。それに伴い、ppt のレベルを正確に分析することが望まれている。しかし、INAA では不純物の影響により ppt レベルの分析はできないため、不純物核種を除去する RNAA が有効な分析法となる。

図3に二酸化ケイ素中のウランおよびトリウムを定量するための化学分離操作を示す。フッ化水素酸で溶解し、加熱して蒸発乾固する。その際、ケイ素はフッ化物の形で蒸発する。次に9Mの塩酸で溶解して陰イオン交換クロマトグラフィーを行い、不純物を除去してウランおよびトリウムの目的核種である ²³⁹Np 及び ²³³Pa を選択的に分離する。その後、フッ化ランタン共沈法で沈殿に集め、フィルターに捕集して、γ線測定を行う。表2にウラン及びトリウム濃度が数十 ppb レベルから数 ppt レベルの9種類の二酸化ケイ素を分析した定量値及び定量下限値を示す。表から明らかのように、ウランの RNAA 定量下限値は INAA のそれに比較して2から10倍程度下げることができた。また、トリウムの RNAA 定量下限値は INAA に比べて3から20倍程度下げることができた。また、表の右欄にそれぞれの高純度二酸化ケイ素に含まれている代表的な不純物を INAA で定量した結果を示す。RNAA ではこれらの不純物が除去され、検出限界値を下げる事ができた。その結果、二酸化ケイ素中のウラン及びトリウムの数 ppt の定量が可能になった。

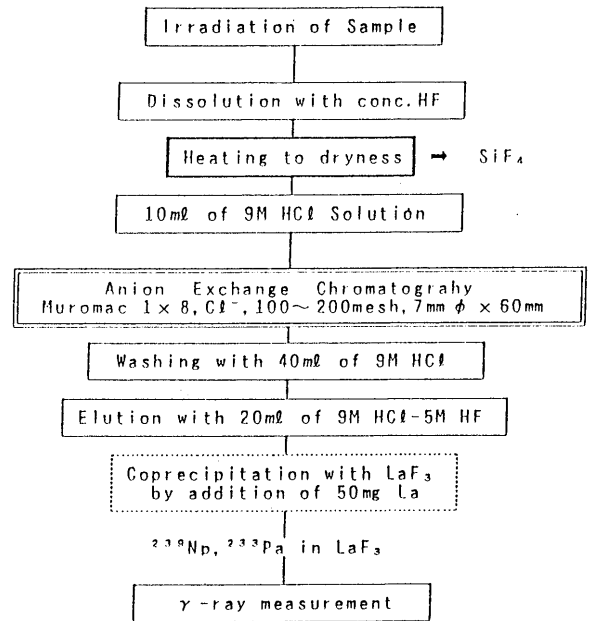


図3 二酸化ケイ素中のウラン及びトリウムのためのRNAA

表2 高純度二酸化ケイ素中のウラン及びトリウムのINAAとRNAAの定量下限値の比較 (ppb)

試料	濃度	ウラン 定量下限値		トリウム 定量下限値		
		INAA	RNAA	INAA	RNAA	
A	83	0.4	0.2	26	2	0.6
B	10	0.7	0.2	83	6	0.3
C	17	0.1	0.07	12	0.8	0.08
D	6.9	0.09	0.03	6.0	0.2	0.04
E	0.30	0.03	0.01	0.045	0.3	0.04
F	0.050	0.03	0.007	0.16	0.2	0.02
G	ND	0.02	0.004	0.0045	0.03	0.007
H	0.060	0.03	0.003	0.0017	0.08	0.007
I	ND	0.03	0.003	ND	0.09	0.006

ND: 定量下限値以下の値

表3 高純度アルミニウム中のウラン及びトリウム濃度

純度(%)	U含有量 (ppb)	Th含有量 (ppb)
99.9	1200	47
99.9	110	11
99.99	99	110
99.99	34	5.1
99.999	110	70
99.999	100	190
99.999	57	150
99.999	16	9.7
99.999	7.6	3.4
99.999	<1.0	<0.47
99.999	<2.4	0.69
99.9999	<0.69	<0.6
99.9999	0.65	1.4
99.9999	11	1.6
99.9999	<0.61	0.32

<: 定量下限値以下の値

4.2 アルミニウム^{8,9,10,11)}

アルミニウムはその優れた特性から、電子機器や情報機器等の半導体集積回路の配線材として広く利用されている。現在、アルミニウムは高純度化が進み、製品として5Nから6Nが生産されている。アルミニウムを放射化すると半減期の短い²⁸Al(半減期: 2.3m)、²⁷Mg(9.5m)と²⁴Na(15h)が生成するが、中・長寿命核種を使用した分析ではINAAでも多くの元素をppbレベルで定量できる。国内外の種々のメーカーで製造した高純度アルミニウム中のウラン及びトリウムをINAAで分析した結果を表3に示す。純度が増すにつれてウラン及びトリウムの含有量が減少しているのが分かる。しかし、同じ純度でもウラン及びトリウム含有量が異なっていることもわかる。これは精製方法の違いによるものと考えられる。また、同一精製法でも歩留まりの取り方で含有量が異なる例を紹介する。図4に99.999%のアルミニウムをゾーンメルト法で精製したインゴットをINAAで分析した結果を示す。これでわかるように全長1/4後方から指数的に含有量が増加していることが分かる。そのため、製品として切断する位置によってウラン及びトリウムなどの不純物の含有量が変わり、歩留まりも変わってくる。半導体材料としてのアルミニウム材は、ケイ素との合金の形で、シリコンウェハー上に蒸着され使用される。その蒸着方法として、スパッタ法と電子線によるものがある。それらの方法によるウラン及びトリウムの挙動を調べた例を表4に示す。標的のAl-Si合金の種類

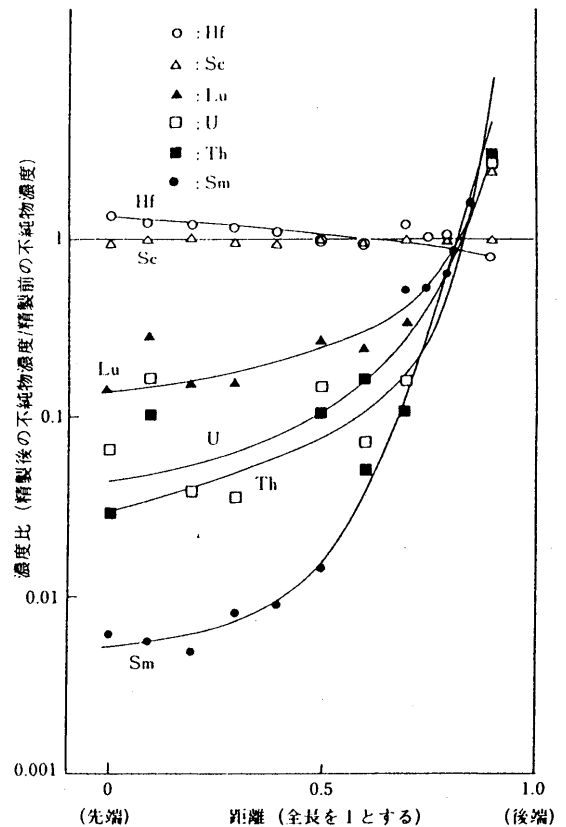


図4 ノーマル・フリージング後の高純度アルミニウム中の不純物元素の分布

は異なるが、スパッタ蒸着ではシリコンウェハー上によく蒸着しているが、電子線蒸着では定量下限値以上には蒸着していないことが分かった。ここまで示した値は INAA で分析したものであるが、さらに低レベル (ppb 以下) の分析になると RNAA を用いることになる。RNAA の操作方法は二酸化ケイ素とほぼ同様であるので省略するが、溶解では 6 M の塩酸を使用し、少量の塩化コバルト溶液を添加して溶解を促進している。その後、陰イオン交換分離を行い、選択的に ^{239}Np 及び ^{233}Pa を分離している。定量結果を表 5 に示す。INAA で定量下限値を上げていた ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{124}Sb , ^{181}Ta などが除去され、RNAA では ppt レベルの定量が可能になった。

表4 蒸着膜のウラン及びトリウム濃度

	U含有量 (ppb)	Th含有量 (ppb)
Al-2%Si合金(標的)	84	60
スパッタ蒸着膜	120	72
Al-50%Si合金(標的)	12	3.6
電子線蒸着膜	<1.7	<2.8

<: 定量下限値以下の値

表5 高純度アルミニウム中のウラン及びトリウム濃度(ppb)

試料	濃度	ウラン		トリウム	
		濃度	定量下限値	濃度	定量下限値
A	ND	0.005	0.005	0.031	0.009
B	0.0078	0.006	0.006	0.16	0.01
C	0.005	0.003	0.003	0.14	0.01
D	ND	0.002	0.002	0.02	0.008

ND: 検出されず、定量下限値以下の値

4. 3 銅^{12,13)}

銅は耐食性、導電性、熱伝導性が優れ、古くから各分野で利用されている材料である。近年、高性能銅材の開発が盛んになり、より高純度に、より高強度にと研究が進められている。特に IC の配線の分野では金線に代わる材料として注目されている。一般の銅材のうち、比較的高純度品といわれる無酸素銅 (OFC) は 4 N レベルで、高純度や超高純度と呼ばれるものは 6 N から 8 N である。銅を放射化すると ^{62}Cu (半減期: 9.76m), ^{60m}Cu (10.5m), ^{66}Cu (5.1m), ^{62}Co (13.9m) と ^{64}Cu (12.8h), ^{65}Ni (2.56h) が生成する。 ^{64}Cu は天然存在率 69% と大きく、半減期が 12.8 時間と比較的長いため、中・長寿命核種を分析する際にバックグラウンドのレベルを上げる。INAA の定量下限値はウランで数百 ppb、

トリウムで数十 ppb である。そのため、高純度化のニーズに応えるためには RNAA による分析が必要となる。銅の RNAA は基本的操作は二酸化ケイ素と同じであるが、7 M 硝酸で溶解し、そのまま陰イオン交換樹脂に流し、その後、溶離液を塩酸系に変える。マトリックスである銅は樹脂に吸着せずに早い段階で溶出する。

表 6 に INAA による 4 N 無酸素銅中の不純物の定量結果を示す。ただし、ウラン及びトリウムは RNAA の定量結果である。この 4 N 無酸素銅を原材料としてゾーンメルト法で精製したインゴットを 10 分割して分析した結果を図 5 に示す。図で分かるように、Au、及び Co はインゴットのどの部分でも濃度が変化せず、ゾーンメルト法では精製できない元素である。Sb 及び As は原材料中の濃度と比べ、試料の先端部で低く、後端部で高くなっていることからゾーンメルト法でこれらの元素は後端部に移動したことがわかる。ウラン及びトリウムは INAA 法で行ったため、定量されていない。

表 6 4N無酸素銅中の不純物元素の定量結果

元素名	元素濃度 (ppm)
Co	0.82
As	0.8
Se	0.28
Ag	10
Sb	1
Au	0.1
Th	0.0078
U	<0.0001

<: 定量下限値以下の値,
U,ThはRNAAによる分析値

表 7 に JRR-3M を用いて RNAA で行った 6N の高純度銅の分析結果を示す。ウラン及びトリウムの数 ppt の定量が可能になった。しかし、6N の銅中でウランは ppt レベル以下の濃度であることがわかる。

表 7 に JRR-3M を用いて RNAA で行った 6N の高純度銅の分析結果を示す。ウラン及びトリウムの数 ppt の定量が可能になった。しかし、6N の銅中でウランは ppt レベル以下の濃度であることがわかる。

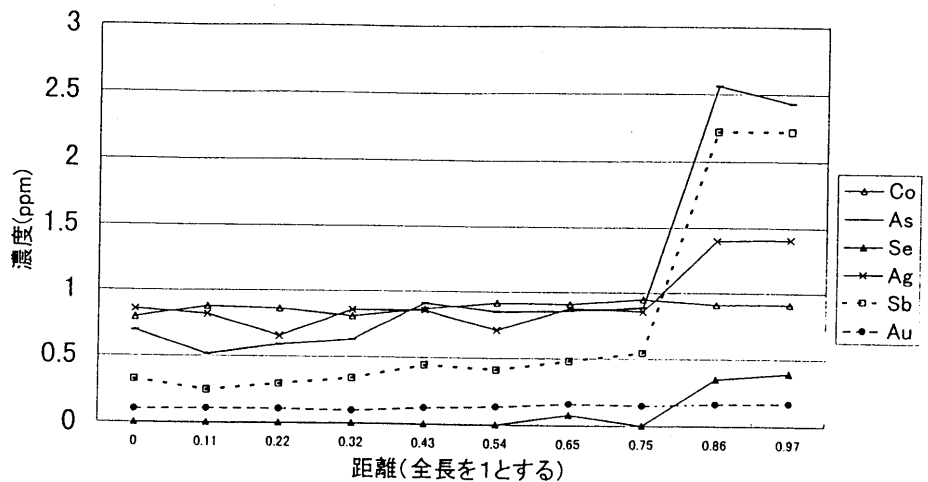


図 5 ゾーンメルティング後の高純度銅の不純物元素

表 7 6N高純度銅中のU及びThの定量結果

試料	定量値 (ppt)		定量下限値 (ppt)	
	U	Th	U	Th
1	ND	11	3.0	2.0
2	3.8	9.8	1.8	2.3
3	ND	6.0	3.7	2.5
4	ND	7.8	2.8	3.9
5	ND	11	3.1	4.1
6	ND	15	1.5	3.1
7	ND	8.7	2.2	1.8

ND: 検出されなかった

4. 4 酸化ニオブ¹⁴⁾

ニオブは加工性がよいことや高融点金属であることから、いろいろな分野で優れた構成材料として使われはじめている。特に超伝導体としてニオブを使用した素子の研究開発が盛んに行われている。ニオブを放射化すると⁹²Nb(半減期：6.3m)と^{92m}Nb(10.2d)が生成する。⁹²Nbは半減期が短いため、中・長寿命核種の分析には^{92m}Nbが問題となる。表8にINAAによる酸化ニオブ中の不純物元素の定量結果を示す。ここでわかるようにTaが不純物として多く含有しているのがわかる。いずれもウラン及びトリウムは定量できず、定量下限値が10ppbであった。酸化ニオブの場合は^{92m}Nbの除去と¹⁸²Taを除去する必要がある。

表8 INAAによる4種類の酸化ニオブ中の不純物元素定量結果

元素	元素濃度(ppm)			
	A	B	C	D
Ta	150	92	41	3.0
W	<0.5	<0.3	3.2	1.0
As	<0.3	<0.1	12	0.92
Sb	<0.05	1.3	0.35	1.2
Na	-	-	8.1	5.8
Mo	-	-	-	2.4
Br	<0.8	<0.1	<0.1	0.47

<:定量下限値以下の値

-:定量しなかったもの

表9 武蔵工業大学炉を用いた二酸化ニオブ中のウラン及びトリウムの定量結果

試料	定量値(ppb)		定量下限値(ppb)	
	U	Th	U	Th
A(INAA)	ND	ND	7.4	14
A(RNAA)	2.0	35	0.13	0.094
B(RNAA)	0.16	1.0	0.13	0.085
C(RNAA)	0.97	0.56	0.11	0.15
D(RNAA)	0.23	0.24	0.14	0.12

ND:検出されなかった

酸化ニオブのRNAAは照射試料をフッ酸と塩酸の混酸を溶媒として加圧容器で分解し、次に陰イオンクロマトグラフィーに流して^{92m}Nb及び¹⁸²Taを樹脂に吸着させて²³³Pa及び²³⁹Npを溶離する。残りの不純物を取り除くためにTBP溶媒抽出、最後にフッ化ランタン共沈を行い、γ線測定をする。表9に武蔵工大原子炉を用いてINAAとRNAAを行った時のウラン及びトリウムの定量結果を示す。

4. 5 チタン、タングステンシリサイド^{15,16)}

チタン、タングステンは高融点金属であり、スパッタターゲット材などとして広く使用されている。チタンを放射化すると⁵¹Ti(半減期：5.8m)、⁴⁷Ca(4.5m)、⁴⁶Sc(83.8d)、⁴⁷Sc(3.35d)、⁴⁸Sc(43.7h)、⁴⁹Sc(57.4m)が生成する。これらの中でウラン及びトリウムの定量に影響があるのは半減期の比較的長い^{46,47,48}Scである。実際にチタンをINAAで分析してみると、⁷⁶As、¹²²Sb、¹²⁴Sb、⁴⁶Scのピークが高く、バックグラウンドを支配している。特に⁴⁶Scは不純物核種の⁴⁵Scから(n, γ)反応で生成するため、

チタン中のウラン及びトリウムは定量下限値で ppm から ppb となる。そのため、RNAA で分析することが必要となる。また、タングステンシリサイドを放射化すると ^{181}W (半減期:130d), $^{180\text{m}}\text{Ta}$ (8.15d), ^{185}W (76.2dd), ^{187}W (23.8h) が生成する。特に ^{187}W は放射化反応断面積が 38barn (barn= 10^{-24}cm^2) と大きく、バックグラウンドを支配することになる。また、INAA では ^{187}W の他に不純物元素から生成される ^{182}Ta (半減期:115d), ^{124}Sb (2.8d) が検出され、ウラン及びトリウムの定量下限値をあげることになる。ケイ素は二酸化ケイ素の項で記述したようにそれ自身の生成放射能はウラン及びトリウムの定量には影響しない。

チタン及びタングステンの RNAA では溶解後、フッ化ランタン共沈を行ってマトリックスの除去をした後に、陰イオンクロマトグラフィーを適用して測定に妨害する核種の除去を行う。JMTR を用いた RNAA でタングステン中のウラン及びトリウムではサブ ppb 程度の定量及びチタンでは数十 ppt の定量が可能になった。

4. 6 高中性子束炉を利用した RNAA による各種高純度材料中のウラン及びトリウムの定量

表 10 にいままでに高中性子束炉すなわち JMTR 及び JRR-3M を利用して我々が分析した各種高純度材料中のウラン及びトリウムの定量値及び定量下限値を示す。アルミニウム及び二酸化ケイ素でサブ ppt レベル、銅及び酸化ニオブで数 ppt レベル、タングステンシリサイドで数百 ppt レベル、チタンで数十 ppt レベルの定量が可能であることがわかる。

表10 RNAAによる高純度材料中のウラン及びトリウムの定量値と定量下限値

高純度材料	定量値(ppb)		定量下限値(ppb)	
	U	Th	U	Th
二酸化ケイ素	0.060	0.0017	0.0002	0.0002
アルミニウム	0.0042	0.0011	0.0006	0.0008
銅	0.0038	0.0098	0.002	0.002
酸化ニオブ	0.045	0.020	0.004	0.002
タングステンシリサイド	0.40	0.54	0.2	0.2
チタン	1.4	3.0	0.02	0.009

5. 高純度鉄の分析例 ^{17, 18, 19)}

金属材料の高純度化は製品の性能向上や新機能材料の開発などのため、広い分野から望まれ、高純度化を進めるには不純物元素の分析技術の進歩も必要不可欠となる。人類が古くから用いてきた鉄も例外ではない。日本鉄鋼協会 (JSS) では鉄の生産管理及び品質管理を行うために高純度鉄標準試料を製作してきた。しかし、日本鉄鋼協会が出している認証値は 20 元素に満たない。将来さらに進むであろう高純度化に対応するため、多くの元素の認証値が必要となる。

鉄を中性子放射化すると、 ^{59}Fe (半減期: 4.50d), ^{54}Mn (313d), ^{56}Fe (2.58h) が生成す

るが、その放射能はさほど大きなものではない。そのため、比較的多くの元素が定量できる。表 11 に高純度鉄標準物質 JSS001-4 及び JSS003-4 の INAA の定量結果を示す。JSS001-4 では 7 元素、JSS003-4 では 11 元素定量できている。その他の元素については定量下限値が求められている。() 内は鉄鋼協会が定めた認証値及び参考値である。この分析値は、現在の INAA の技術で最良の条件で行ったもので、これ以下の定量を行うためには RNAA の力をかりることになる。表 12 に JRR-3M を用い、RNAA で分析したときの JSS001-4、JSS003-1 及び JSS003-4 中の Mo の定量した結果を示す。この RNAA は水酸化鉄分離法、陽イオンクロマトグラフィー及びリンモリブデン酸アンモニウム沈殿法を利用し選択的に Mo を分離する方法である。

表11 高純度鉄標準物質中の微量元素の定量結果

Element	JSS001-4		JSS003-4	
	this work	Certified	this work	Certified
Na	0.202 ± 0.018		0.206 ± 0.027	
Mg	<9.9	<0.4 *	<19	
Al	<0.19	<0.7 *	9.59 ± 0.27	7 *
Si	<490	<3 *	<920	43 ± 4.2
S	<210	1.9 ± 0.42	<360	1.5 *
Cl	1.74 ± 0.26		<1.1	
K	<1.8		<0.26	
Ca	<4.4	<0.5 *	<6.6	
Sc	<0.0036		<0.0033	
Ti	<2.8	<0.6 *	<3.6	
V	0.0371 ± 0.0070	<0.1 *	0.101 ± 0.006	
Cr	<8	<1 *	<8	5 ± 0.98
Mn	<8	0.03 *	31.1 ± 1.8	32 ± 1.7
Co	0.258 ± 0.014	0.3 ± 0.04	28.0 ± 0.9	29 ± 1.6
Ni	<3.4	<0.3 *	39.3 ± 2.4	36 ± 1.1
Cu	<0.81	0.5 ± 0.12	18.3 ± 0.9	18 ± 0.9
Zn	6.32 ± 0.94	6.8 ± 0.83	<0.82	
Ga	<0.075		<0.11	
As	0.191 ± 0.008	<0.3 *	0.228 ± 0.014	
Se	<0.13		<0.12	
Br	<0.020		<0.0099	
Rb	<1.0		<0.51	
Sr	<10		<12	
Zr	<21		<13	
Mo	<0.13	<0.3 *	0.630 ± 0.030	
Ag	<0.16		<0.14	
Cd	<0.33		<0.18	
In	<0.0013		<0.0016	
Sn	<9.8	<0.4 *	<6.7	
Sb	<0.0060		0.0290 ± 0.0023	
Te	<0.48		<0.33	
I	<0.041		<0.086	
Cs	<0.037		<0.031	
Ba	<4.8		<3.0	
La	<0.0032		<0.0023	
Ce	<0.16		<0.091	
Pr	<0.089		<0.018	
Nd	<0.35		<0.19	
Sm	<0.00058		<0.00035	
Eu	<0.0051		<0.0041	
Gd	<0.44		<0.40	
Tb	<0.022		<0.021	
Dy	<0.0061		<0.0065	
Ho	<0.0038		<0.0021	
Tm	<0.024		<0.016	
Yb	<0.018		<0.0074	
L	<0.0039		<0.0023	
Hf	<0.029		<0.023	
Ta	<0.017		<0.011	
W	0.252 ± 0.032	0.3 ± 0.09	0.349 ± 0.037	
Ir	<0.00081		<0.00054	
Pt	<0.12		<0.072	
Au	<0.00026		<0.00012	
Hg	<0.12		<0.075	
Th	<0.020		<0.011	
U	<0.0060		<0.0035	

< Lower limit of determination, * Reference value.

表12 RNAAによる高純度鉄標準物質中のMoの定量結果

Sample name	Concentration, ppb	Lower limit of determination, ppb
JSS003-4 ①	660	0.4
②	660	0.9
③	680	1.2
Average	670 ± 12	
JSS001-3 ①	8.2	1.9
②	8.2	1.1
③	8.7	1.7
Average	8.4 ± 0.3	
JSS001-4 ①	10.6	2.1
②	11.3	2.3
Average	11.0 ± 0.5	

Lower limit of determination is reduced on assume the counting for 50000 s. Irradiated for 6 h in JRR-3M.

6. 高中性子束炉照射を用いる際の留意すべき点 ^{20, 21, 22, 23, 24)}

原子炉を用いた中性子放射化分析法で高純度材料中の元素を超微量まで分析しようとする、今まで紹介したように照射した試料から目的核種のみを化学分離する RNAA が有効な手段であるとともに、試料重量の増加、高い中性子束密度及び目的核種に有効なだけの照射時間の増加などが挙げられる。そのため、我々は JRR-3M 及び JMTR などの高中性子束炉を用いて分析を行ってきた。高中性子束炉 ($10^{14} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$) は低中性子束炉 ($10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$) と中性子スペクトルが異なり、引き起こされる核反応も異なるため、注意しなければならない。また、長時間照射可能な高中性子束炉では比較的短時間照射 (最大 12 時間程度) に利用されている低中性子束炉であまり観察されない二重中性子捕獲反応が起こるため、注意しなければならない。前述した高純度材料で二重中性子捕獲反応として検出された核種を表 13 に示す。これらの核種は分析しようとする核種の検出を妨げることになる。そのため、高中性子束炉を用いて、高純度材料中の微量元素を分析する場合には RNAA が有効な手段となる。

表13 高純度材料中のウラン及びトリウム定量の際に二重中性子捕獲反応が観察された例

試料	一回目中性子捕獲 (n, γ)		二回目中性子捕獲 (n, γ)	
	標的各種	生成核種	(β^- 壊変)	生成核種
SiO ₂	³⁰ Si	³¹ Si	(³¹ P)	³² P
Cu	⁶³ Cu	⁶⁴ Cu	(⁶⁴ Zn)	⁶⁵ Zn
Nb ₂ O ₅	⁹³ Nb	⁹⁴ Nb		⁹⁵ Nb
代表的不純物	¹⁸¹ Ta	¹⁸² Ta		¹⁸³ Ta

7. 終わりに

高純度材料中の微量元素を分析する場合、中性子放射化分析法は有用な手段として活躍してきた。特に二酸化ケイ素やアルミニウムのようにマトリックス元素が放射化しづらい場合や放射化しても目的核種より半減期がかなり短い場合などは INAA でサブ ppb まで分析が可能であった。しかし、新材料の開発と高純度化技術の進歩により、様々な材料に対応する数 ppt 以下の分析が要求されている。このようなニーズに応えるために、中性子放射化分析法の感度を生かし、分析目的元素を限定する RNAA は高純度材料の分析には今後も有効な手段と考えられる。

参考文献

- 1) T. C. May, M. H. Wood: 16th Annual Proceedings of 1978 International Reliability Physics Symposium, p. 33 (1978)
- 2) 平井昭司: 真空冶金 (株) VMC ジャーナル, 13, 2 (1992)
- 3) 日経サイエンス: 超高純度金属, 1月号, 16 (1993)
- 4) 平井昭司: ぶんせき, 9, 639 (1988)
- 5) S. Suzuki, S. Hirai: Radiosotopes, 34, 10 (1985)
- 6) S. Suzuki, S. Hirai: Radiosotopes, 38, 315 (1989)
- 7) 岡田往子、平井昭司: 分析化学 (Bunseki Kagaku), 40, 549 (1991)
- 8) 平井昭司: 金属, 5, (1984)
- 9) 平井昭司: Semiconductor World, 10 (1984)
- 10) 平井昭司、早川泰弘: 分析化学 (Bunseki Kagaku), 36, 284 (1987)
- 11) 岡田往子、平井昭司: 分析化学 (Bunseki Kagaku), 42, 249 (1993)
- 12) 新島慎司: 武蔵工業大学原子力研究所 研究所報, MITR-891, 260 (1989)
- 13) 石毛崇之: 武蔵工業大学原子力研究所 研究所報, MITR-921, 155 (1992)
- 14) Y. Okada, S. Hirai, Y. Suzuki, T. Mitsugashira: Sci. Rep. RITU. A40, 25 (1994)
- 15) 浅野真毅: 武蔵工業大学原子力研究所 研究所報, MITR-941, 113 (1994)
- 16) 白石藤雄: 武蔵工業大学原子力研究所 研究所報, MITR-951, 260 (1995)
- 17) 鈴木章悟、平井昭司: 分析化学 (Bunseki Kagaku), 41, T87 (1992)
- 18) 鈴木章悟、平井昭司: 分析化学 (Bunseki Kagaku), 44, No. 3, pp. 209 (1994)
- 19) 山口直樹、岡田往子、鈴木章悟、平井昭司、三頭聡明: 分析化学 (Bunseki Kagaku), 42, No. 4, pp 421 (1999)
- 20) T. Mitsugashira, Y. Koma, S. Hirai, Y. Okada, N. Kurashima and H. Sakurai : J. Radioanal. Nucl. Chem., 143, 531 (1990)
- 21) T. Mitsugashira, Y. Koma, S. Hirai, Y. Okada : Sci. Rep. RITU. A35, No. 2, 256 (1991)
- 22) T. Mitsugashira, Y. Koma, S. Hirai, Y. Okada: J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles, Vol. 147, No. 1, 69 (1991)
- 23) T. Mitsugashira, Y. Koma, S. Hirai, Y. Okada: Anal. Sci., Vol. 7, Supplement (1991)
- 24) 岡田往子、平井昭司、三頭聡明: 分析化学 (Bunseki Kagaku), 41, (1993)

研究紹介

多重ガンマ線検出法による微量元素分析の開発

原研・初川雄一、大島真澄、早川岳人、藤嶋輔、篠原伸夫

多重ガンマ線検出装置は一般にクリスタルボールとも呼ばれ十数台から百台ほどのゲルマニウム検出器を 4π に配置した装置で、原子核実験、特に核分光の分野でめざましい成果を収めている。加速器を用いたインビーム実験では非常に多くのガンマ線、特に低い励起状態のガンマ線が観測されるが、高い分解能を有している多重ガンマ線検出装置を用いることによりごくわずかな遷移確率しか持たないガンマ線を取り出して観測することが可能となり原子核の超変形や高励起状態の分野での研究が進展している。多重ガンマ線検出装置に用いられているゲルマニウム検出器はゲルマニウム酸ビスマス結晶(BGO)シンチレーター検出器で囲まれておりそれぞれのゲルマニウム検出器は BGO 検出器とアンチコインシデンスを取る事によりゲルマニウム検出器のコンプトン散乱によりエネルギーをロスしたガンマ線を除くようになっている。これによりコンプトン散乱によって生じるバックグラウンドを $1/3\sim 1/10$ ほどに低減する事ができている。この事はコンプトン散乱を起こした(ピークにならない)ガンマ線とのコインシデンスを約 $1/10\sim 1/100$ に減らす事を意味しており、質の良いコインシデンススペクトルを得るためには欠かせないものとなっている。現在、原研東海研究所にはタンデム加速器に 12 台のゲルマニウム検出器からなる多重ガンマ線検出装置“GEMINI”が付設されている。(図-1) この多重ガンマ線検出装置を使って中性子放射化分析に応用する事により微量元素分析を試みた。

中性子放射化分析はその高い検出感度と広い適応範囲そして簡便さ、迅速さ故に多くの研究分野で活用されている。しかし多くの元素が共存している場合には主要成分から強いガンマ線が放出されるために微量成分からのガンマ線が妨害を受けてしまい、その特徴が失われてしまう事がある。特に多量のナトリウムやマンガンが含まれている岩石試料や生体試料の中性子放射化分析では ^{24}Na (半減期 15 時間)や ^{56}Mn (半減期 2.5 時間)が大量に発生するために長寿命の半減期を持つ同位体を生成する元素以外では化学分離等によりそれらの影響を低減してからでなければ、微量成分の測定は難しい。そこで本研究では先に説明した多重ガンマ線検出法の解析手法を中性子放射化分析法へ応用する事により化学分離を行わずに非破壊で微量成分の同時分析を試みた。多重ガンマ線分析法は放射性核種から発生する複数のガンマ線を同時に測定しこれを 2 次元マトリクスに展開するために従来のガンマ線スペクトルのエネルギー分解能が約 1000 であることを考えると 2 次元マトリクスを使う事により約 1000 倍の高いエネルギー分解能が期待でき、それにより共存する主要成分からの強いガンマ線場であっても微少なガンマ線を同時に観測する事が可能になる。

実験は地質調査所から配布されている標準岩石試料 JB-1A と JP-1 をそれぞれ約 100mg 原研研究炉 JRR-4 の気送管 HR-1 で 10 分間照射して、その後 5 時間後から JP-1 は約 1 日、JB-1A は 2 日後から 4 日間 GEMINI で測定した。得られたガンマ線のコインシデンスのペアはテープ上に記録され実験終了後に解析を行い、2 次元マトリクスを作った。図-2 は中性子照射を行った標準岩石試料 JP-1 を測定して得られた 2 次元マトリクスを示している。2 次元マトリクスは X 軸と Y 軸が対称になるように作られているので $Y=X$ の線で折り返すと同じ物になっていることがわかる。X 軸に

注目すると垂直に 4 本の直線が見られる。左から 511,846,1368,1810keV のガンマ線にそれぞれ相当する。消滅ガンマ線である 511keV の他に 846keV と 1810keV は ^{56}Mn から、1368keV は ^{24}Na からのものである。これらの直線の交点が真のガンマ線の同時事象を示している。例えば 846keV の線は Y 軸の 1810keV の直線と交わっているがこの好転は ^{56}Mn から発せられた 2 本の γ 線 846-1810keV のコインシデンスを表している。ちなみにこの交点のイベント数は 100 万カウントを超える。この交点を作っている直線はコインシデンスした 2 本のガンマ線のうち片方がコンプトン散乱によりエネルギーを失ったものを表している。GEMINI ではコンプトンサプレッサーを用いているために直線で示されるピークとコンプトンのコインシデンスを 1/3 から 1/10 に、また直線で囲まれた内側に相当するコンプトンとコンプトンのコインシデンスを 1/10 から 1/100 に低減することに成功しているので、非常に強い ^{56}Mn のガンマ線が共存していてもスペクトルの他の場所のバックグラウンドはほとんど無いことがわかる。この中から一例として 841.6-121.8keV の観測された $^{152\text{m}}\text{Eu}$ (半減期 9 時間) から発せられるガンマ線のペアを拡大図中に示した。この 2 次元マトリクスに 842keV にゲートをかけて 1 次元のエネルギースペクトルを切り出すと図-3 のように 121keV のピークを見出す事ができる。同様の手法で中性子反応(ほとんどは(n, γ)反応)によって生成する核種からのガンマ線を検出した。検出できた核種は JP-1、JB-1a の 2 試料併せて 27 元素で、そのうち ^{207}Bi はコンプトンサプレッサー中のビスマスに含まれる不純物が起源と考えられる。検出された核種は ^{24}Na , ^{56}Mn , ^{207}Bi 以外に ^{42}K , ^{46}Sc , ^{47}Ca , ^{48}Sc ($^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$ 反応), ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{72}Ga , ^{76}As , ^{82}Br , ^{131}Ba , ^{134}Cs , ^{140}La , ^{143}Ce , $^{152\text{m}}\text{Eu}$, ^{153}Sm , ^{160}Tb , ^{169}Yb , ^{177}Lu , ^{181}Hf , $^{182}\text{T a}$, ^{187}W , ^{233}Pa ($^{233}\text{T h}$ の娘核種), ^{239}Np (^{239}U の娘核種)であった。これらに加えて最近の岩石試料、及び隕石試料の分析において ^{75}Se , ^{99}Mo , ^{125}Sb , ^{175}Yb , ^{192}Ir , ^{194}Ir , ^{198}Au を検出した。核データを基に考察した結果 49 元素にこの方法が適応できる事が分かった。通常の中性子放射化分析の対象が約 75 元素であることを考えると本方法ではその約 2/3 を適応範囲としていることがわかる。ゲートスペクトルから得られたガンマ線のピーク面積から照射時間、経過時間、測定時間、検出効率、反応断面積、ガンマ線の放出確率、同位体の存在率を補正して検出された元素の定量を行った。得られた値は誤差の範囲で標準岩石の文献値と一致しておりこの方法が ^{24}Na や ^{56}Mn という強いガンマ線を放出する試料中の微量元素の定量分析に有効である事が示された。今後この多重ガンマ線分析法を用いた放射化分析をさらに発展させて行きたいと願っています。そのためにも皆様からの助言やアイデアをお待ちしております。よろしくお願いいたします。

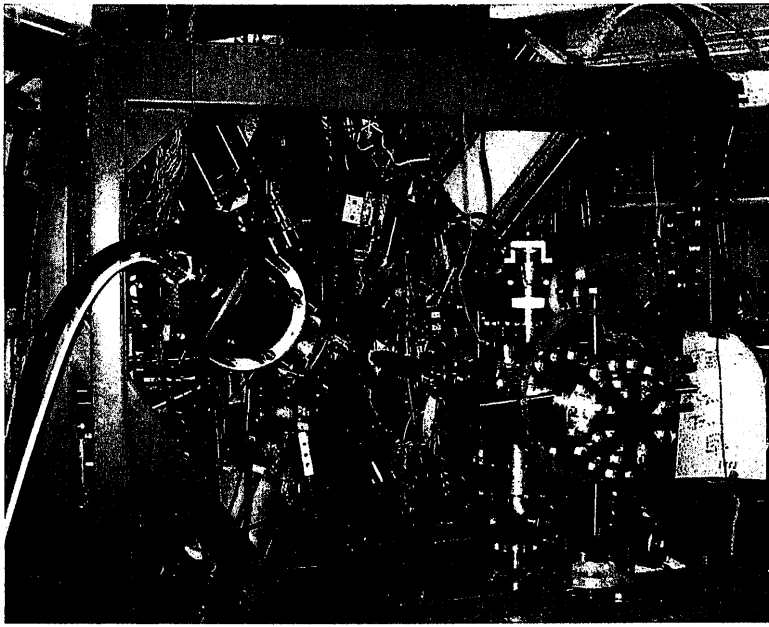


図-1 原研東海タンデム加速器に設置されているBGOコンプトンサプレサーを装備した12台のGe検出器からなる多重ガンマ線検出装置

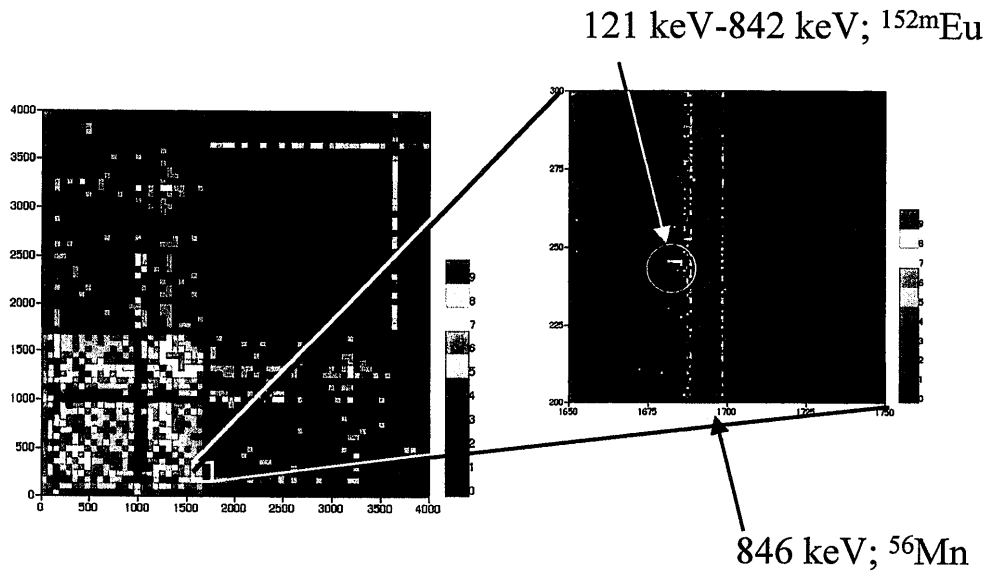


図-2 JP-1試料の測定によって得られた2次元マトリクス

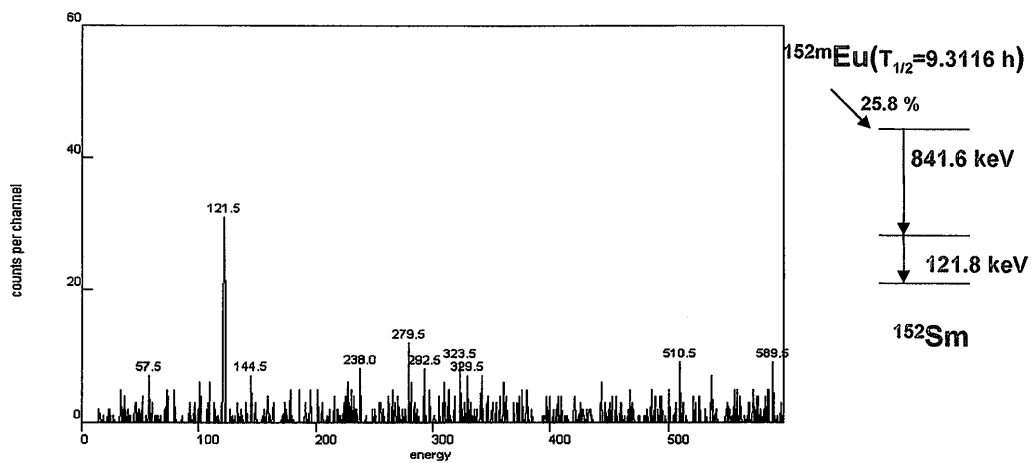


図-3 842 keVでゲートをかけて得たコインシデンススペクトル

はじめの一步

東京大学大学院総合文化研究科 久野章仁

こんにちは。今年 5 月に東京大学大学院総合文化研究科の助手になりました久野章仁と申します。どうぞよろしくお願いいたします。

僕が初めて学術雑誌に投稿した論文¹⁾は機器中性子放射化分析(INAA)と中性子誘起即発ガンマ線分析(PGA)を東京都の多摩川河口域堆積物に適用したものでした。そういう意味で、僕の研究者としての「はじめの一步」は放射化分析によってもたらされたわけで、放射化分析には深い恩義を感じています。

思い起こせば 5 年前、1995 年 1 月に初めて立教大学原子力研究所を訪れたのは僕が学部の 4 年生の時でした。教養学部基礎科学科第二(現在では広域科学科に名称変更)というのが所属していた学科の名前ですが、この学科には卒業研究が 2 つあります。1 つは個人で行う通常の卒業研究で、11 月に終えていたのですが、その時、2 つ目のグループで行う卒業研究の最中だったので、その日のグループ研究の方は同じグループのメンバーに一言断って免除してもらいました。取り組んでいた 2 つ目の卒業研究の内容は放射化分析とは全く関係のないものでしたが、2 年後の修士論文のために、また、研究室の先輩の手伝いをするために横須賀へ向かったのです。早朝、車を持っている先輩の家の最寄り駅に集合し、4 人で出掛けました。鞆の中には、フィルムバッジと多摩川河口域堆積物の深さの異なる 6 つの試料と国立環境研究所標準試料の Pond Sediment をポリエチレン袋に 2 重にシールしたものが入っています。先輩のご厚意で僕の試料も一部測らせてもらうことができたのです。車を走らせ、国道 134 号線で葉山の御用邸前を過ぎ、カーブを曲がると相模湾が眼前に開けます。程なく立教原研ですが、その前に手前のお弁当屋さんで昼ご飯を買い込んで実験に備えます。構内に車を止め、事務室で手続き。ポケット線量計を渡されると、これから原子炉の傍に行くんだなという緊張感を新たにします。間もなく原子炉の運転が始まるので、慌ただしく管理区域に入ります。それから後は先生や先輩に教えてもらうままに動き、初めての立教炉での測定は目が回る忙しさでした。約 10 分に 1 本、気送管でキャプセルを打って 60 秒照射するのですが、打つタイミングなどは先輩に考えて頂いて、試料の詰め替えや端末操作などを教えてもらいながら一通り経験しました。気送管で 1 本打つ単価などは、前もって聞いていたら緊張して余計にもたついてしまっていたかもしれません。昼ご飯を交替で食べ、測定も後半になってようやくモニタに映っているものの意味がぼんやりわかりかけてきた頃に、原子炉の運転を止める時間になり測定終了。慣れない作業に少し疲れ気味でしたが、構内を出たところのファミレスで夕飯を食べて元気を取り戻しました。データの解析の方は 2 つ目の卒業研究が終わるまで後回しになったので、解析も測定に劣らず大変なものだということがわかったのは、それからもうしばらく後のことでした。

しかし、(1)試料調製は湿式分析ほど大変でない、(2)測定は一度に大量に、(3)解析は後で端末の前に座って気の向くまま、という特長は僕らのような学科の出身者にとって都合の良いものと言えます。というのは、僕らの所属していた基礎科学科第二はその学科名からわかるように(わからないように?)広く自然科学の分野を学ぶ学科なので、特に化学を

専攻してきたわけではなく、固体試料を混酸で分解して溶液にしたりする操作などには慣れていません。一方、自然科学のどの分野でも計算機は使うので、計算機の扱いには力を入れていて、そちらの方が抵抗ありません。そういうわけで、僕らのような教育を受けてきた者にとって放射化分析のような手法は比較的とっつきやすいのです。標準試料について解析した結果が文献値と見事に一致すれば、俄然楽しくなってきます。

半年後、8月に今度は初めて日本原子力研究所東海研究所を訪れました。PGAです。前日に常磐道をひた走り、宿舎に泊まり、翌朝から1試料1時間強の測定を24時間。立教炉でのINAAとはだいぶ趣が異なります。糸通しを使うのは中学の家庭科の授業以来ですが、このおかげで針に糸を通すことができます。夕飯は試料交替の合間を狙って、教えて頂いた魚屋さんにダッシュで往復です。そこでは美味しいお刺身などの定食が食べられるので、原研東海に行く時の楽しみの一つになっています。

その後も何度か両施設で測定をした結果、興味深い結果が得られたので、投稿論文を書いてみました。PGAで特に感度良く分析できるカドミウムが、多摩川河口域堆積物深層部でかなりの高濃度に達することがわかったのです。これは測る前からカドミウム濃度が高かろうと思っていただけではなく、INAAとPGAで数十元素の分布が明らかになった結果、その中から自然に浮かび上がってきた事実であり、多くの元素の分布を比較することにより元素間の相互作用や元素の移動についての知見が得られました。環境試料は一般に複雑な混合物であり、その中から重要な情報を拾い出すには多くのデータの積み上げが不可欠なので、多元素が同時に感度良く分析できる放射化分析は有力な分析法です。論文の方は投稿に先立って共著者の先生方に目を通して頂いたおかげで無事にアクセプトしてもらうことができました。試料採取場所の多摩川河口域と立教炉と東海炉は地図上でちょうど一直線に並ぶので、僕は相模湾と鹿島灘を結ぶこのラインの上からはじめの一步を踏み出すことができたわけです。そのような経緯で日頃から中性子にはお世話になっており、両施設と多摩川河口域に足を向けて寝られないわけですが、そのためには、僕は頭を南東の方角に向けて寝相に注意する必要があります。

さらに、カプトガニが産卵する唯一の場所としても知られる大分県の八坂川河口域でも堆積物を採取し、同様の分析をしたところ、多摩川河口域との興味深い比較ができました。これについては熊本で開かれたアジア太平洋放射化学討論会で発表し、論文²⁾がプロシーディングスに載りました。以後も年に何度か測定をさせてもらっていて、前に放送大学で放射化分析について説明するためのビデオを撮影する際も出演させて頂きました。立教炉は僕に研究者としてのはじめの一步をもたらしてくれただけでなく、役者としてのはじめの一步ももたらしてくれたことになります(こちらの方は次の一步はないと思いますが)。

時は移ろい、僕もスタッフになることができ、今度の12月の立教炉での測定の際は、教養学部広域科学科の3年生が見学に来る予定です。この中から、またいつか「若い声」が生まれてくれれば、と思います。

¹⁾ A. Kuno, M. Matsuo, B. Takano, C. Yonezawa, H. Matsue, H. Sawahata, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **218** (1997) 169-176.

²⁾ A. Kuno, K. Sampei, M. Matsuo, C. Yonezawa, H. Matsue, H. Sawahata, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **239** (1999) 587-590.

CITAC'99 分析信頼性国際会議

— 21 世紀への化学計量学の実現に向けて —

(武蔵工大・工) 岡田往子

CITAC'99 分析信頼性国際会議が 1999 年 11 月 9 日 (火) から 11 日 (木) につくば国際会議場「エポカルつくば」で開催された。

CITAC (Co-operation on International Traceability in Analytical Chemistry: 分析化学における国際トレーサビリティ協力機構) は分析化学における国際的なトレーサビリティを確保するために設立されたものです。特に化学の分野ではトレーサビリティの確保が難しいため多くの問題点が残されており、国家標準物質の整備が急務となっています。こうした状況の中で、日本分析化学会と物質工学工業技術研究所が中心となって、分析信頼性全般に関しての日本最初の CITAC'99 分析信頼性国際会議が開催されました。

シンポジウムは講演 3 テーマ (標準物質開発の現状 (1)、分析化学とソレーサビリティ、標準物質開発の現状 (2)) で 6 件、ワークショップとして 4 テーマ (試験所認定の最新動向、不確かさの見積もりと評価、性能試験の実際、分析化学教育とトレーニング) で 12 件、ポスターセッションとして 7 テーマ (標準物質等、不確かさ、トレーサビリティ分析精度管理等、化学形態分析 高精度分析法の開発、放射線 X線利用分析法等、有機質量分析、ガス分析等) 99 件の発表がありました。放射化分析に関する発表は放射線 X線利用分析法等のテーマに 5 件、標準物質等のテーマに 2 件でした。以下に題目を記載します。

< 標準物質等 >

- P04 SI 単位にトレーサブルな金属系認識標準物質に向けて、2. 微量元素分析用審判分析法の開発
(武蔵工大、鋼管計測) 平井昭司、石橋耀一、磯部 健
- P08 NIES/NIRS Typical Japanese Diet の分析
(放射線医学総研、国立環境研) 河村日佐男、湯川雅枝、白石久二雄、新江秀樹、吉永 淳、森田昌敏

< 放射線 X線利用分析法等 >

- P82 中性子即発 γ 線分析法による各種標準物質の分析
(原研東海) 米沢仲四郎、松江秀明
- P83 機器中性子放射化分析法による「ヒト尿」標準試料中の微量元素の定量
(武蔵工大) 岡田往子、鈴木章悟、平井昭司
- P84 機器中性子放射化分析法による NIES/NIRS Typical Japanese Diet 標準の多元素定量
(武蔵工大) 鈴木章悟、岡田往子、平井昭司
- P85 INAA と PIXE 法を用いた植物試料中の微量元素の分析
(京大院農) 片山幸士
- P86 病態の把握を目的とする毛髪が多元素放射化分析によるデータ処理
(大妻女子大) 大森佐興子

CITAC'99 分析信頼性国際会議

(日本原子力研究所東海研究所 米沢伸四郎)

標記の国際会議が1999年11月9日(火)～11日(木)の日程でつくば市の国際会議場(エポカルつくば)で開催された。近年、雑誌及び各種学会等に於て“QA/QC”, “トレーサビリティ”及び“不確かさ”等が大きな話題となっている。これは分析値の信頼性を国際的な基準に基づいて評価して行こうというもので、ISOのガイドに基づいた試験所の認定、技能試験なども含まれている。ちなみにCITACは、Co-operation on International Traceability in Analytical Chemistry(分析化学に於ける国際トレーサビリティ協力機構)の略である。

このような状況のもと、日本分析化学等の主催により本会議が開催された。会議の参加者は総勢263人で、そのうち24人が海外からの参加者、その他は国内からの参加者であった。海外からの参加者は殆どが招待講演者で、CITACの関係者、標準物質関連の米国NIST、ベルギーIRMM、分析所の認定等の制度が充実しているオーストラリアなどからであった。研究発表は、招待講演とワークショップ及び一般参加者によるポスター発表により行われた。

招待講演は、標準物質の開発の現状、分析化学とトレーサビリティに関する講演が海外からの招待者と国内の研究者により行われた。また、ワークショップでは、試験所認定の最新動向、不確かさの見積りと評価、技能試験の実際、分析化学教育とトレーニング等に関するテーマで国内外の招

待者により講演と討論が行われた。ポスターによる一般の研究発表は、大部分が放射化分析以外のものであった。

一般発表の中での放射化分析の発表件数からも分かるように、我国ではまだ本分野への関心が低いようである。しかし、昨年4月に行われたMTAA-10等に於てもQA/QC、トレーサビリティ等は重要なテーマとして取り上げられており、国際的には放射化分析の分野でも大きな関心事となっている。方法論的な研究はほぼ終了し、種々の分野への応用が主な関心事となっている放射化分析に於て分析値の信頼性が一番問題になる。我々日本の放射化分析屋としてもこれらの問題に無関心ではいられないように思われる。

しかし、国際的なこのような状況に対して、 k_0 法の開発者のF. De Corte教授は先のMTAA-10において、「分析化学に於けるトレーサビリティは危険な考え」というJ. Hoste教授の言葉を引用し、現状のトレーサビリティなどの考えに批判的な意見を述べておられた。これは、 k_0 法に対してのトレーサビリティに関する批判に対しての反論であるが、筆者には大変興味深いものであった。

研究会報告 第43回放射化学討論会

(武蔵大学人文学部・根津化学研究所) 薬袋佳孝

放射化学討論会は10月13日(水)より3日間の会期でつくば国際会議場にて開催された。新設の会場は近代的な設備を擁し、国際会議場の名にふさわしいものであった。世話人を務められた高エネルギー加速器研究機構の近藤健次郎教授をはじめ、準備・運営に当られた関係諸氏のご努力により、討論会自体も例年以上の盛り上がりを見せた。この機会に厚く感謝の意を表したい。

討論会前日に、かねてより設立準備が進められて来た日本放射化学会が発足した。また、前月末にはJCO 臨界事故が発生するなど、放射化学を取り巻く状況には様々な変動が見られた。それらの影響は、以下に報告する通り、討論会のプログ

ラムなど様々な形で現れていた。そうした変化の渦中ではあったが、広い分野に渡る研究発表とそれぞれの発表についての真摯な学問的討論が展開されたのは、この討論会の永き良き伝統を髣髴とさせるものであった。次世紀・次世代に伝えるべき一種の「学風」がこの討論会には備わっている気がするのである。

放射化分析に関する発表は、招待講演1件、依頼講演1件、口頭発表12件、ポスター発表8件であった。この他の発表の中にも、放射化分析と関連したものがあるが、ここでは上記の発表について発表者と発表題目を列記する。

招待講演

2I02 Modern Nuclear Analytical Techniques and Their Applications in China,
(中国・中国科学院高能物理研究所) 柴之芳

依頼講演

1R02 地球化学・環境化学における中性子放射化分析の先端的利用, (武蔵大) 薬袋佳孝

一般講演

1C01 成長期における亜鉛の欠乏が他の微量元素の挙動に与える影響 (2)

(静大理) 吉田努・釜谷恵実・若狭仁・大山拓也・岩間基訓・矢永誠人・野口基子・大森巍

1C02 環境指標としての地衣類

(筑波大理工・国立科学博物館・筑波大化) 齋藤陽子・柏谷博之・池田龍一・関李紀

1C03 大気浮遊粒子の熱中性子放射化分析 - Cl/Na および Br/Na 比の季節変動 -

(立教大理・立教大原研) 泉水義大・戸村健児・佐々木研一

1C04 光量子及び中性子放射化法によるマウス臓器中の無機元素の定量

(金沢大院・金沢大医・金沢大自然・金沢大理・高エネ研) 広瀬由紀子・天野良平・鷲山幸信・羽場宏光・坂本浩・榎本和義

1C05 ゲルマニウム検出器系の分析化学への応用 (原研)

初川雄一・早川岳人・篠原伸夫・大島真澄

1C06 ^{14}C の迅速分離、検出法の開発と放射化分析への応用

(高エネ研・東北大核理研・NTT) 榎本和義・大槻勤・伊藤寛・鹿野弘二

1C07 k_0 -中性子即発ガンマ線分析法による Typical Japanese Diet 標準物質の多元素定量

(原研) 松江秀明・米沢伸四郎

- 1C08 単結晶ケイ素中に熱拡散したホウ素の即発ガンマ線線形
(東大理・大同工大・原研) 久保謙哉・酒井陽一・神保睦子・米沢仲四郎・松江秀明
- 1C09 放射化学的中性子放射化分析法による高純度ケイ素の元素分析
(都立大院理・金沢大 LLRL) 永峯隆行・大浦泰嗣・海老原充・中原弘道・小村和久
- 1C10 光量子放射化分析法と中性子放射化分析法を併用した隕石の分析
(都立大院理・東北大核理研) 瀬戸口美奈・大浦泰嗣・海老原充・中原弘道・大槻勤
- 1C11 放射化学的光量子放射化分析法による隕石ならびに岩石試料中のハロゲン元素の定量
(都立大院理・東北大核理研) Sk. A. Latif・大浦泰嗣・海老原充・中原弘道・大槻勤
- 1C12 中性子及び光量子放射化分析による異種産地の食用スパイス及び豆の微量元素定量
(原研・金沢大理・パキスタン原研) 宮本ユタカ・坂本浩・Jamshed. H. Zaidi・中西孝

ポスター発表

- 3P01 クロロアルカリ工場跡地付近の環境に残留する有機態ハロゲン (EOX)
(愛媛大農・ミシガン州立大・横浜市大医) 河野公栄・Kurunthachalam Kannan・鹿島勇治・松井三明・John P. Giesy・脇本忠明
- 3P02 セレン欠乏ラット肝細胞分画中の元素分布
(昭和薬大・理研) 松本謙一郎・上田幸代・浦田ひろみ・遠藤和豊・蛭沼利江子・榎本秀一・安部静子・安部文敏
- 3P03 ラットの即発 γ 線分析 (都立大院理・理研)
大浦泰嗣・榎本秀一・中原弘道
- 3P04 薄膜中の炭素、窒素の非破壊光量子放射化分析
(NTT PH 研・高エネ研・東北大核理研) 鹿野弘二・加藤正明・榎本和義・大槻勤
- 3P05 Mn 濃度の比較的高い鉄鋼試料中の Mn と V の INAA
(立教大原研) 戸村健児・戸室裕行
- 3P06 シダ植物の成熟葉と若葉組織中の希土類元素分布について
(京大原子炉・京大附属演習林) 高田実弥・西村和雄・田中愛子・藤井紀子・赤星光彦
- 3P07 琵琶湖の堆積物および間隙水中の微量元素の放射化分析
(愛知医大核医学セ・名大年代セ・京大原子炉・琵琶湖研・四日市大環境情報) 小島貞男・小田寛貴・中村俊夫・高田實彌・横田喜一郎・古川路明
- 3P39 機器中性子放射化分析法による標準土壌試料の分析
(明治大農・昭和薬大・静大理・NIST・Columbia 大・Meryland 大) 塚田正道・佐藤大英・遠藤和豊・矢永誠人・L.A. Currie・M.D. Glascock・J.M. Ondov・M. Han

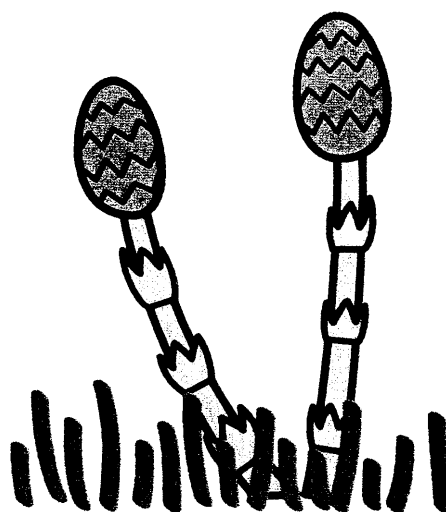
発表内容からみると、分離・検出・解析に関する基礎領域に関わるものの他に、多様な応用領域への展開が志向されていることが分かる。放射化分析は成熟した分析法と位置付けられることが多いが、基礎領域での研究の展開は将来の放射化分析の応用の様態を変えていく可能性をはらんでおり重要である。核反応と分離法の組み合わせ、新検出系の適用、 k_0 法のような分析システムの構築など、様々な可能性を期待させる基礎研究の一層

の発展を期待したい。応用領域では、対象とする系として生物試料を取り上げる傾向がより定着してきた印象を持つ。環境科学分野の研究と位置付けられる場合でも、生物試料が放射化分析の重要な対象となって来ている傾向がみられる。材料科学への応用も依然として活発であり、バイオ・材料・環境などの次世紀の重要課題に放射化分析が一層の寄与を示していくことを期待させるものである。

今回の討論会では、1 日目の夜にパネル討論会—新学会に期待する—が開催され、恒例の放射化学分析分科会は第3日昼に開催された。パネル討論会では設立されたばかりの日本放射化学会の今後の発展の方向や学会事業などが議論された。放射化学分析グループを代表する形で海老原 充本会幹事が分科会等の今後のあり方について、パネラーとして意見を述べた。これを受ける形で、討論会第3日の分科会では、今後の分科会組織と学会との関係や本研究会との関係などが協議された。通例の分科会では、外部から講師の先生をお呼びするなど、学術情報の交換が主な目的であった。しかし、今回に限っては、学会・研究会のあり方や将来像などについての活発な議論が、世話人である榎本和義本会幹事を中心に展開されることとなった。昼休みの短時間では結論が出ることは無かったが、放射化学分析の将来の発展を期しての様々な意見が出された。

今回の討論会は第3日に JCO 臨界事故についての特別セッションが開催されるなど、通例の放射化学討論会とは異なる雰囲気を感じられた。新たな時代を迎えようとする今、佳き伝統を引き継ぎつつ、新たな学問の発展を担う次世代の育成を図っていく場であることが討論会の役割の一つであろう。変革の時代の中、変わるべきものと変わらざるべきものを見定めることの重さを感じるのである。

なお、次回討論会は2000年9月に甲南大学(世話人、酒井 宏教授)にて開催の予定である。また、日本放射化学会の発足に伴い、放射化学討論会は日本放射化学会年会を兼ねることとなった。このため、次回討論会は2000年日本放射化学会年会／第44回放射化学討論会として開催の運びとなっている。20世紀最後の討論会が放射化学分析の次世紀の発展におけるエポックとなることを期待したい。



原研施設利用共同研究

平成12年度の原研施設利用共同研究の申請課題の審査が平成11年12月に開かれた採択会議で決まりました。その中から放射化分析研究会の会員に近い分野の研究課題一覧を抜き出して以下にリストします。原研施設利用共同研究には、これらの他に研究炉の高度化、中性子散乱研究、バックエンド化学プロジェクト共同研究、放射線高度利用研究プロジェクト共同研究などがあります。

1. 原子核をプローブとする物理・化学研究

- | | | |
|------------------------------|-------------------|-------|
| 1. 中性子寿命の精密測定 | 高エネルギー
加速器研究機構 | 真木 晶弘 |
| 2. 低温核偏極による局在モーメントと交換相互作用の研究 | 新潟大学 | 大矢 進 |
| 3. メスバウアー分光法による無機化合物の研究(IV) | 東邦大学 | 高橋 正 |
| 4. 核壊変原子を用いた化学状態分析 | 宮城教育大学 | 玉木 洋一 |

2. 放射線とイオンビームによる物質構造の研究と改質・合成

- | | | |
|--|-------------------|-------|
| 5. 電子線ならびにガンマ線をを用いたグラフト重合による
ホスホン酸型キレート繊維の開発 | 熊本大学 | 城 昭典 |
| 6. 高分子材料に対する放射線損傷の基礎過程の研究 | 高エネルギー
加速器研究機構 | 沖 雄一 |
| 7. アルミナ皮膜へのイオン注入とそのEL特性 | 東京都立大学 | 森崎 重喜 |
| 8. 高速及び熱中性子照射による石英及び長石中の点欠陥
生成と物性研究 | 山口大学 | 福地 龍郎 |
| 9. 陽電子消滅測定法による核融合炉トリチウム増殖材中の
照射欠陥の研究 | 静岡大学 | 奥野 健二 |
| 10. 電子線を照射した高分子絶縁材料中の空間電荷測定 | 八戸工業大学 | 藤田 成隆 |
| 11. 宇宙望遠鏡用光学素材の放射線耐性の研究 | 国立天文台 | 末松 芳法 |
| 12. InGaAs系デバイスの放射線損傷とその低減法に
関する研究 | 熊本電波工業
高等専門学校 | 大山 英典 |
| 13. 低温水素イオン注入シリコンの欠陥構造分析 | 愛知工業大学 | 徳田 豊 |
| 14. シリコン中の水素・点欠陥複合体の研究 | 東北大学 | 末澤 正志 |
| 15. NiおよびFe中の照射欠陥と水素の相互作用に関する
陽電子消滅寿命測定法による研究 | 九州大学 | 蔵元 英一 |
| 16. 内部起源粒子線による石英中の常磁性格子欠陥の生成
効率の研究 | 岡山理科大学 | 豊田 新 |
| 17. 陽電子消滅及び電子スピン共鳴測定によるシリコン、
ダイヤモンド、黒鉛及び石英ガラス中の電子線ガンマ線
照射欠陥の研究 | 東北大学 | 長谷川雅幸 |
| 18. α 線トラック法による鉄鋼材料中のボロンの観察 | 東京大学 | 森 実 |
| 19. 炉内中性子・ γ 線強度測定のための即応答性自己出力型
検出器の開発 | 名古屋大学 | 瓜谷 章 |
| 20. 電子機能性材料の放射線照射効果(III) | 東京大学 | 寺井 隆幸 |

3. 生物に対する放射線効果

- | | | |
|---|-------|-------|
| 21. γ 線とイオンビーム照射が植物に与える育種効果 | 鹿児島大学 | 佐藤 宗治 |
| 22. 悪性脳腫瘍に対する熱外中性子による中性子捕捉
療法のための基礎的・臨床的研究 | 筑波大学 | 能勢 忠男 |
| 23. JRR4号炉の熱中性子を用いた悪性黒色腫に対する熱
中性子捕捉療法の臨床応用 | 筑波大学 | 大塚 藤男 |
| 24. ドラックデリバリーシステムの中性子捕捉療法への応用 | 東京大学 | 柳衛 宏宣 |
| 25. 原子炉生産核種による放射性医薬品の製造法の研究 | 金沢大学 | 安東 醇 |
| 26. タングステン化合物の放射線防護作用に関する研究 | 茨城大学 | 一政 祐輔 |

4. 中性子利用分析・放射化分析

- | | | |
|--------------------------|------|-------|
| 27. 放射化分析のための新規な予濃縮技術の開発 | 山形大学 | 阿部 重喜 |
|--------------------------|------|-------|

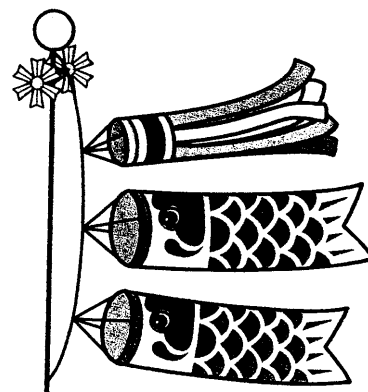
28. 隕石試料の放射化分析(Ⅲ)	日本大学	永井 尚生
29. 中性子放射化分析による宇宙・火山起源物質の研究(Ⅱ)	立正大学	福岡 孝昭
30. 地圏環境における元素分布・循環の研究	名古屋大学	田中 剛
31. 植物試料の元素分析	東京大学	中西 友子
32. 植物の葉等への特定元素のとり込み	北海道大学	増子 捷二
33. 微生物中無機元素の動態解析	宮崎医科大学	中島 暉
34. ホタテガイのカドミウム濃縮機序の研究	北海道大学	大西 俊之夫
35. 生理活性物質中の微量元素に関する研究	共立薬科大学	本間 義夫
36. γ 線トラックを利用した鋼中ボロンの状態分析システムの確立	東京大学	柴田 浩司
37. 固相同位体分離・濃縮への超重力場の応用	熊本大学	岸川 俊明
38. 宇宙物質の中性子放射化分析(Ⅲ)	東京都立大学	海老原 充
39. 合成標準試料によるK α 放射化分析の品質保証	秋田大学	岩田 吉弘
40. K α 法による宇宙・地球化学的試料の定性分析	東京大学	伊藤 泰男
41. 岩石の酸性変質と二次鉱物の生成に伴うランタノイド元素の移動	上智大学	大井 隆夫
42. 九州南部四万十帯に関するF T年代測定と放射化分析	鹿児島大学	鈴木 達郎
43. 中性子放射化分析による環境汚染指標生物ダンゴムシの検討	武蔵野短期大学	川西 幸子
44. 地衣類を環境指標として用いるための基礎研究	筑波大学	関 李紀
45. アーバスキュラー菌根の形成が宿主植物の各種元素の吸収に及ぼす影響	千葉大学	鈴木 弘行
46. 中性子放射化分析法による隕石中の ^{53}Mn の定量	東京都立大学	大浦 泰嗣
47. 中国で採取された風成塵堆積物の放射化分析	北海道大学	豊田 和弘
48. カツオドリ (<i>Sula leucogaster</i>)の有機態ハロゲン(Cl, Br, I)	愛媛大学	脇本 忠明
49. 歯科材料の放射化分析—陶材粉末中のウランの分析	日本大学	森脇 一成
50. 沖縄トラフ熱水沈殿物の放射化分析	山形大学	中島 和夫
51. 西南日本弧の火成岩、変成岩試料の全岩石化学分析	東京経済大	新正 裕尚
52. 地層中の年間線量評価のためのU, Thの放射化分析	北海道教育大	雁沢 好博
53. 炭素材料による環境モニターの開発と応用	九州大学	前田 米藏
54. 植物による大気中エアロゾルの補足能力と滞留時間	九州大学	大崎 進
55. 海洋底堆積物・基盤岩の放射化分析	武蔵大学	薬袋 佳孝
56. 高純度鉄標準物質及び高純度金属中の微量元素の分析法の開発	武蔵工業大学	平井 昭司
57. 放射化による金属フラーレンの研究(Ⅱ)	東京都立大学	末木 啓介
58. 胎児期および成長期における垂鉛欠乏がその後の発育に与える影響(Ⅱ)	静岡大学	矢永 誠人
59. 中性子放射化分析法による生体中末同定有機体ヨウソの検索	横浜市立大学	鹿島 勇治
60. 生体内に存在する微量元素の放射化分析	理化学研究所	榎本 秀一
61. 森林生態系における微量元素の循環	弘前大学	鶴見 寛
62. K α 標準化法を用いた炭酸塩岩中の微量元素の中性子放射化分析	群馬大学	相沢 省一
63. 堆積岩と堆積物の中性子放射化分析	東京大学	松本 良
64. 河川及び干潟堆積物試料の放射化分析	東京大学	松尾 基之
65. カンボジア・プノンペン市の大気エアロゾル中元素濃度に関する研究	横浜市立大学	松井 三明
66. 海底堆積物コア試料における微量元素の分布と特徴	武蔵工業大学	本多 照幸
67. セレン欠乏ラット生体内抗酸化ネットワークに関与する遷移金属元素の挙動解析	昭和薬科大学	遠藤 和豊
68. 温泉水中のランタノイドの溶存状態に関する研究	上智大学	木川田喜一
69. 環境指標としての樹木年輪中の微量元素の定量	京都大学	片山 幸士
70. サンゴ礁ボーリング試料の放射化分析	琉球大学	大出 茂

5. 中性子利用分析・即発ガンマ線分析

- | | | |
|---|--------|-------|
| 71. 固体環境試料および地球化学的試料の即発ガンマ線分析(Ⅱ) | 東京大学 | 松尾 基之 |
| 72. 火山岩試料の即発 γ 線分析 | 立正大学 | 福岡 孝昭 |
| 73. 隕石試料の即発 γ 線分析(Ⅱ) | 東京都立大学 | 海老原 充 |
| 74. 考古遺物およびその原材料の即発 γ 線分析による産地
推定と技法解明 | 武蔵大学 | 薬袋 佳孝 |
| 75. 同位体分離・濃縮への凝縮系超重力場の応用 | 熊本大学 | 岸川 俊明 |
| 76. 動物のHeme鉄に含まれる同位体($^{54}\text{Fe}/^{56}\text{Fe}/^{57}\text{Fe}$)の測定 | 秋田大学 | 中村 彰 |
| 77. 電解および無電解ニッケル合金皮膜中のBとHの分布 | 東京都立大学 | 森崎 重善 |
| 78. 即発 γ 線分析の大型試料への適用(Ⅲ) | 東京都立大学 | 大浦 泰嗣 |

6. 中性子利用分析・中性子ラジオグラフィーによる構造解析

- | | | |
|--|---------|-------|
| 79. 植物試料の中性子ラジオグラフィ | 東京大学 | 中西 友子 |
| 80. 熱中性子ラジオグラフィによる固気系流動層の可視化 | 関西大学 | 小澤 守 |
| 81. 熱中性子ラジオグラフィによる熱流動現象の可視化と計測 | 神戸大学 | 竹中 信幸 |
| 82. JRR-3M冷・熱中性子を用いたラジオグラフィー
技術の高度化-Ⅲ | 京都大学 | 三島嘉一郎 |
| 83. 厚い水性試料の中性子ラジオグラフィ | 藤田保健衛生大 | 加藤 一夫 |
| 84. JRR-3M TNRF・CNRFにおけるIP・NR
技術の開発と応用研究 | 名古屋大学 | 玉置 昌義 |
| 85. 中性子ラジオグラフィーによる米沢藩火縄銃製造技術の
解明 | 新潟大学 | 鈴木 賢治 |
| 86. 多色発光蛍光体を用いた中性子 $\cdot\gamma$ 線ラジオグラフィの
研究 | 武蔵工業大学 | 持木 幸一 |
| 87. イオン伝導性固体材料中の水素ならびにリチウムの定量
と拡散挙動の解明 | 鳥取大学 | 江坂 享男 |



立教炉利用共同研究

立教大学原子炉利用共同研究は、平成 1 年度いっぱいをもって共同利用運転を停止します。これをもって東京大学・原子力研究総合センターが運営を預かってきた「立教炉利用共同研究」も 25 年間の幕を閉じることになりますが、その長い間の活動を振り返って締めくくるために、下記の 2 つの記念行事が行われます。

1. 「立教炉共同利用 25 年記念誌」刊行
2. 「立教炉共同利用 25 年記念講演会」 (平成 12 年 3 月 15 日)

記念誌は、25 年の経緯、代表的な研究成果、発表論文のリスト、多くの方々からの寄稿、その他資料などからなります。過去から現在にわたる利用者の多くのご協力を得て立派なものが出来そうです。これは記念講演会で配布されます。

講演会のプログラムを下記に示します。奮ってご参加ください。

立教炉共同利用 25 年記念講演会		
日 時：平成 12 年 3 月 15 日 13:00～17:30		
場 所：東京大学山上会館		
主催／東京大学原子力研究総合センター 共催／立教大学原子力研究所		
13:00～		
1. 開会		
2. 挨拶		
	原子力研究総合センターより	原子力研究総合センター長
	立教大学より	立教大学総長
	利用者より	東京都立大学
		近藤 駿介 大橋 英五 中原 弘道
13:30～		
3. 報告	「立教炉共同利用 25 年間の成果」	
	立教炉共同利用の成果報告	立教大学原子力研究所
	放射化分析-1	武蔵工業大学
	放射化分析-2	東京大学
	ホットアトム化学	筑波大学
	フィッション・アルファ・トラック法	島根大学
	放射線応用	愛知工業大学
		原沢 進 平井 昭司 松尾 基之 荘司 準 大平 寛人 森 千鶴夫
15:30～	----- 休 憩 -----	
15:45～		
4. 講演		
	「理科教育と原子力」	元東京大学総長
	「研究炉の今後の在り方について」	原子力研究総合センター
		有馬 朗人 伊藤 泰男
17:15～		
5. 挨拶	学術会議・原子力基礎研究連絡委員会	東京大学名誉教授
6. 閉会	立教炉利用共同研究委員会委員長	東京大学教授
		秋山 守 松本 良
17:45～		
	懇 親 会	

なお、立教炉で行われている多くの照射利用研究が継続できるようにとの配慮から、「立教炉利用共同研究委員会」と「原研施設利用共同研究委員会」の間に合意があり、また日本原子力研究所・研究炉部も積極的な協力の意志を示しています。関連して、平成 11 年 10 月 18 日に「立教炉から原研炉への利用移行説明会」が原研東海研内で行われました。これまで立教炉を使ってこられた方の内 20 名が参加して、原研炉や測定室の見学を含めて熱心な説明、検討が行われました。多くの人々の一番の関心は、中性子束が立教炉に比べて一桁以上大きいことからくる使い勝手にあったようです。JRR-4 については通常 3.5MW の運転であるところを、必要に応じて立教炉並の 100kW の低出力運転をして欲しいとの利用者の希望に、原研からも前向きに検討する旨の回答がありました。その後平成 12 年度の原研施設利用共同研究の課題募集があったわけですが、実際、放射化分析を中心に課題数が大幅に増えています。

関連する情報

2 年ほど前放射化分析研究会が中心になって、立教炉の共同利用を継続することを訴えて行った「立教大学原子炉の共同利用延長に関する要望・署名」が契機の一つとなって日本原子力産業会議に於かれた「研究炉の在り方に関する検討懇談会」は昨年 3 月に「中間報告」を出しましたが、引き続き検討を続けており、今年の 3 月に「最終報告」が出される見込みです。

立教炉の共同利用運転が停止になっても、研究炉に関する問題は引き続き検討されていかなくてもはなりません。皆様も引き続きこの問題について関心を寄せ、かつ応援して下さい。

東北大学核理研

東北大学核理研では平成12年度前期の課題申込の締め切りが終わり、以下の様な放射化学物性関連分野の課題が申し込まれました。核理研は全国共同利用施設ではないため旅費の制度は整っていませんが皆さまの積極的な利用をお待ちしています。

平成12年度前期 RI 関係共同利用課題申込リスト

放射化学物性関連分野

2380	鹿野弘二	NTT	ファイバアンプ用ガラス中の炭素の光量子放射化分析
2381	梶本和義	KEK 田無	軽元素の光量子放射化分析のための迅速化学分離法の開発
2382	藤川辰一郎	院工	マグネシウムおよび SiC における拡散
2383	山村朝雄	金研	ネプツニウム精製システム開発を目的としたイオン交換 クロマトグラフィーの過負荷状態の解析
2384	三頭聡明	金研	Th-229m の製造とその崩壊特性
2385	原田雅幸	東工大	沈澱法にもとづく核分裂生成物およびアクチニド元素の系統的分離法の研究
2386	秋葉健一	素材研	バイオポリマーを用いた抽出剤のマイクロカプセル化と核種分離
2387	海老原充	都立大	光量子放射化分析法による隕石試料中のハロゲン元素の定量
2388	大槻 勤	核理研	標識化による金属内包フラーレン及びヘテロフラーレンの研究
2389	中西 孝	金沢大	$^{230}\text{Th}(\text{g},\text{n})$ 反応で生成する $^{229\text{m}}, ^{229}\text{Th}$ の反跳捕集
2390	関根 勉	院理	長寿命放射性核種の環境中移行における基礎化学反応研究

東北大核理研 大槻 勤

研究炉海外事情

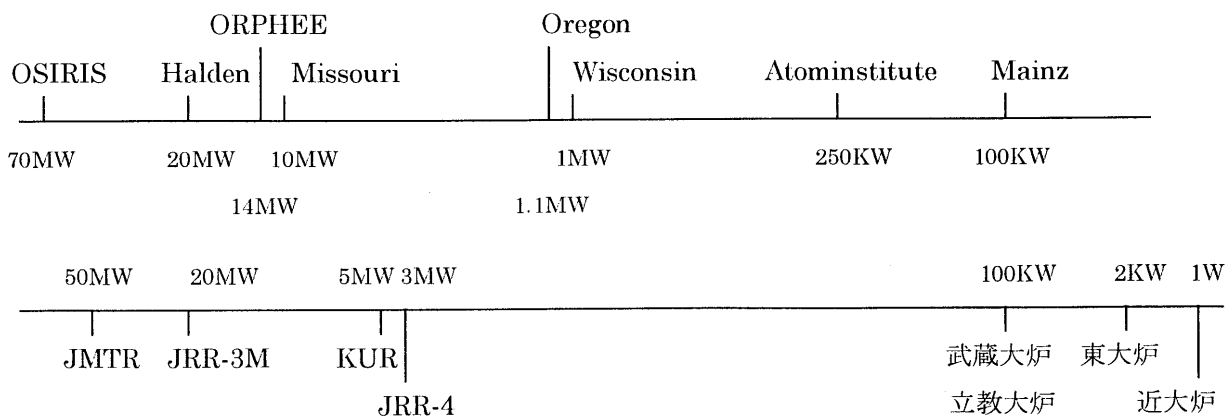
東京大学・原子力研究総合センター 伊藤泰男

日本原子力産業会議では平成10年から「研究炉に関する検討懇談会」を設けて、研究炉に関わる諸問題を検討し、研究炉の在り方について見直し、将来に向けた展望を国および産業界に提案する作業を進めています。この活動については、平成10年秋に行ったアンケート調査や平成11年4月に発行された中間報告書によってご存じの方が多いと思います。私はその一環として、平成11年11月に研究炉の海外調査に派遣していただく機会を得ました。

調査メンバーは4人という少人数で、期間も2週間（working day にして10日）に Saclay 研究所（仏、研究炉は Orphee/Osiris）、Atominstitute（オーストリア）、Riso 国立研究所（デンマーク）、Mainz 大学（独）、Halden 研究所（ノルウェー）、ウィスコンシン大学、ミズーリ大学、オレゴン州立大学（以上3カ所、米）の順に8カ所を見て回るという過密スケジュールで、毎日朝から昼過ぎまで研究炉を訪問し、午後は飛行機での移動に時間を使うというパターンでした。おかげで夕食はほとんど機内食で事足りて、レストランに繰り出してグルメを楽しむなどということも少なかったのです。食事で思い出す

のは Mainz でお昼に連れていってもらったピザ専門店に“Pizza Sophia Lauren”というメニューがあるので、“どんなの？”と聞いたら向こうのプロフェッサーは“卵さ”と云ってニヤニヤ笑うのですね。面白そうなので注文してみたら、ピザに目玉焼きが2つ乗っているだけのものでした。でも、ボリューム豊かに突き出ている Sophia Lauren を連想させられておいしかった。（脱線してしまった、、、）

9 施設の研究炉の主要仕様を日本の研究炉と出力規模で比較すると次の図のように、武蔵炉・立教炉程度から JMTR 相当のものまでにわたっています。これらは、世界的には一様に苦しい運営状況にある研究炉一般の中でも、良く生き延びて活躍しているということで、訪問先として選定したのでした。そしてこれらの研究炉について、予算、マンパワー、利用状況、規制の問題、バックエンド（使用済み燃料の処分、廃炉の問題）など、研究炉の健全な利用を支える条件について調査してきたわけです。詳細は別途正式な報告書に譲ることにして、ここでは放射化分析利用とその周辺に引き寄せて見聞記を報告します。



1. 教育利用

研究用原子炉の目的の第一は云うまでもなく、核分裂とそれに関連することがら（放射線、エネルギー利用、中性子利用など）に関する教育をすることです。この教育は今でも重要で、10MW までの研究炉ではどこでも教育に格別の努力を傾けていました。原発を持たない国（オーストリア、デンマーク）でも、研究炉は基礎科学教育のために必要なものと認識されていました。ここら辺の事情は、電力の多くを原子力に依存しようとしていながら研究炉の存在が不当に貶められている日本とは大分違うように思います。Wisconsin 大学炉では我々の訪問と時を同じくして20名ほどの高校生の一団が現れました。コントロール室の入り口に大きなディスプレイがあつて、核分裂の様子などがアニメーションで説明されていましたが、所員はこのような教育にも多大の労力と熱意を傾けているようでした。その背景には、アメリカにはエネルギー省（DOE）に Reactor Sharing Program（研究炉共同利用プログラムとでも訳すものと思いますが）があつて、共同利用と教育を支援していることがあるようです。日本にも文部省の「原子力施設共同利用制度」があつて“共同利用研究”を支援していますが、“教育”については全く手当されていないのとは少し違います。

更に、原子力従業員への教育・再教育のプログラム（仏国、独国、オーストリア）や、政府役人に対する教育プログラム（Atom Institute）などがあることも印象深く知りました。仏では原子力発電所のオペレータなどの原子力作業員には5年に1回再教育（refreshing education）が行われているということです。日本では、原子力発電所のオペレータの育成や教育は会社独自のシミュレーターを用いた教育によって万全であると了解している面があるのですが、日本原子力産業会議の検討懇談会ではそのことに疑問を提起しています。JCO 事故の直後、茨城県の橋本知事が

“原子力施設で働く人たちは大学などの研究炉で教育・訓練されているのでしょね”と云われたのですが、無論そのような教育・訓練などされていないというのが答えです。

規制担当の政府役人に対する教育プログラムにも学ぶべきことを感じました。どこかの国のお役人は（知識と経験の不足が災いして）安全側に過剰規制することで有名ですが、社会に責任あるお役人こそしっかり教育されるべきではないでしょうか？お役人に一言云われるとペコペコしなくてはならず、“教えて差し上げる”など思いつかない状況を反省したいものです。

米国では民間事業所の従業員に対する教育・再教育は行われておらず、企業内教育に委ねているところは日本に似ています。しかし今後の研究炉存立の理由付けとしても民間教育への利用は重要であるとの認識を持っているようでした。

2. 研究への利用

当然のことですが、小さな研究炉では一様に放射化分析が行われています。中性子ラジオグラフィやフィッシュトラック法は行われたり行われなかったりです。これらの利用で研究炉を経済的に維持できる程ではないものの、放射化分析への期待は高まっているように見えました。Missouri 大炉は民間の会社から移ってきたというやり手所長の方針によって全般的に営業色が強いのですが、放射化分析ががっちり営業に組み込まれています。しかしγ線スペクトロメータはGe 半導体検出器を鉛ブロックで囲い込んだままの簡単なものでした。オートサンプルチェンジャーは無いのですかと聞いたら、毎夕1回試料を取り替えるルーチンなので必要ないという返事が帰ってきてビックリしましたが、それも一つの考え方もかもしれません。実際オートサンプルチェンジャーが無い代わりに、γ線スペクトロメータが一部屋に6台もあつて全て稼働しており、学生がサンプルチェンジャーを勤めていました。ここでは

近い将来 ICP-MS も導入したいと云っていました。これはとても良い考え方だと思います。放射化分析で信頼性の高いデータを出す一方、放射化分析が苦手な元素について ICP-MS で補完すれば、本当の多元素分析センターとして成り立つのではないのでしょうか。多元素同時分析を、それも営業としてやるなら K_0 法に限ると云ったら、それはダメだと云うのでこれにもビックリ。何故だ？と聞いたら、Missouri 大学炉は色々なことに使っているので、他の照射に依存して照射場のパラメータが変わるのだという説明で妙に納得し、変な言い方ですが、うらやましくも感心しました。何故なら、他の利用によって照射場が煩わされるような“贅沢な”悩みは日本では当分しないで良いでしょうから。それよりも、もっともっと利用しないと研究炉の存立が危ういというのが正直な現実です。

なお、大きな研究炉では中性子散乱が研究炉の意義を主張できる重要な研究課題と見なされていることも付け加えておかないと公平を欠くこととなります。建設中或いはこれから建設される研究炉（独の FRM II、オーストラリアの新しい研究炉、仏国 Jules Horowitz 計画など）は全て大型炉ですが、そこでは中性子散乱が利用の中心とされています。

3. 医用・民生利用

医用 R I の製造は、それが可能なところ（約 1MW 以上）ではどこでも行われていて、営業上トップの実績です。シリコンドーピングも 10MW 以上の炉で多く行われていますが、そこでは日本の半導体産業（実際に幾つかの企業の名前が立て続けに出てきた）が上顧客だ（OSIRIS, Riso など）との話に、“日本があなたの研究炉の活性化の役に立ててうれしいです”と下手な冗談を云ってみただけれど、内心は複雑な思いでした。Missouri 大炉は色々と営業色の濃い中でも、白トパーズに速中性子を照射してブルートパーズに変身させ

て営業しているのは特異でした。我々も原子炉で綺麗なブルーになったお土産をいただいてニコニコ。シリコンドーピング、トパーズ着色いずれの場合も営業として成り立つ大きな理由は、残留放射能への規制の緩いこと（仏では 40Bq/g 以下持ち出し可能）にあるのでしょうか。日本では、例え研究用と云えども、照射物の放射能がバックグラウンド以下にならないと外に持ち出せないのに比べると格段の違いです。欧米の合理的なものの考え方がここでも伺えるのです。

4. 共同利用

どの研究炉もなんらかの形で共同利用されています。欧州の研究炉は EU 内の相互乗り入れ利用が常識になっています。大学の利用は無償、企業の利用は有償というのが一般的です。日本では大学と云えどもお金を払わなくてはなりません（その代わり、文部省がお金を肩代わりして利用を支援してくれる制度があるのですが）。

米国では既に述べた Reactor Sharing Program が 1975 年から行われています。これは研究炉を所有しない大学が大学所属の研究炉を利用すること、或いは小型研究炉関係者がより大型の研究炉を利用することを助成するもので、文部省の「原子力施設共同利用」に似ています。Wisconsin 大炉のように小さなところはこの資金に依存するところが大きく、Missouri 大炉のような大きな炉ではこの資金の割合は僅かのような感じです。

なお、米国には TRTR (The National Organization of Test, Research and Training Reactors) という組織があって、政府、大学、国立研究所、民間の研究炉に横断して、教育、基礎・応用研究、民生利用、米国の国際競争力強化を目的とする活動を 1976 年から行っています。類似の制度は今日本にはありませんが、TRTR と Reactor Sharing Program のような機能も持ち、利用と管理運営両面の支援を強化する制度として「研究炉機構」が提案されようとしています。

「研究炉機構」の案を説明したら、どこでも“それは良い考えだ”と大いに評価してもらえました。

5. パブリックアクセプタンス (PA)

今回訪問した研究炉は、市街地から離れているためPAが大きな問題とはならない施設(Saclay, Riso, Missouri)もありますが、市中にあるかまたは近接している施設(Atominstiute, Halden, Mainz, Wisconsin, Oregon)の方がむしろ多かったです。特にAtominstiuteは施設境界の柵のすぐ向こうに小ぎれいな個人住宅が取り囲んでいるのですが、武蔵工大炉が付近の住民から排斥を受けて10年以上運転再開出来ない状態にあることに心を痛めていたので、とてもうらやましく思いました。このような良好なPA状態にあるのは、(自慢の種のように見受けられた)こまめな点検保守に加えて一般人への施設開放(見学)を行うなど、市民との信頼関係が築かれていることが大きいと推察されました。

一方、市街地からの距離に関わりなく、どの施設でも一般の教育に開放することに積極的でした。この場合、原子力宣伝ということではなく、科学を学ぶ道具と認識して一般に伝えるという姿勢が鮮明です(unbiased educational purpose)。

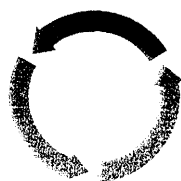
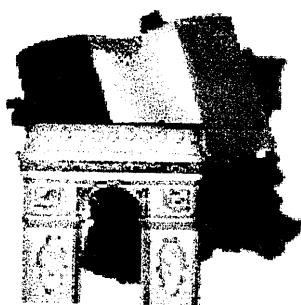
6. おわりに

ちょうどJCO事故の直後だったので、事故について根ほり葉ほり聞かれるのではないかと人からも脅かされて、JCO事故の資料を集めて準備し

て行きました。実際、臨界事故の話題が出なくは無かったのですが、我々から多くを聞き出そうという姿勢は感じられませんでした。遠慮していたのかもしれませんが、彼らはこの道の専門家ですから科学技術的なことは理解済みと考えるのが妥当でしょう(後で知ったことなのですが、オレゴン州立大学では我々が行った前の週にJCO事故に関するセミナーをやっていて、しかもその内容をホームページに掲載していました)。むしろ“あの事故で人は死んだの?”と、あたかも火災のような災難を思えばかってくる問いかけに、こちらも災難の当事者が言葉少なくなるような風でした。大変馬鹿な余計な事故を起こしてくれたね、と面と向かって云われなかったのが救いでした。しかし日本の研究炉が正当にかつ大切に使われていないことを比較実感した今、あの事故は起こるべくして起こったと思いを新たにせざるを得ません。

「原子力依存社会」に生きる我々は研究炉のあり方(その必要性と正しい使い方)についても、もっと真剣に考えなくてはならないと思うのです。

(2000年1月6日 記)



日本放射化学会が設立しました！

東北大学大学院理学研究科 関根 勉

平成11年10月13日～15日に茨城県つくば市のつくば国際会議場で第43回放射化学討論会が開かれましたが、それに先立って10月12日午後に同会場で設立総会が開かれ、日本放射化学会 (the Japan Society of Nuclear and Radiochemical Sciences) が正式に発足いたしました。

平成8年の第40回放射化学討論会(理研)の開催中に、学会としての組織化の話がでたことがそもそもの発端であったとのことですが、その後機運が高まって、第42回放射化学討論会(平成10年)時に学会設立準備委員会を立ち上げ、平成11年10月の設立に至りました。この第42回放射化学討論会はたまたま仙台で開かれ、私どもの研究室が中心となってお世話したこともあり、その時の世話人である工藤博司教授(東北大院理)が設立準備委員会の委員長を務めることとなりました。同研究室に所属する私も好むと好まざるとに関わらずその準備をお手伝いすることになり、こうして皆様にその設立をお知らせしている次第です。

以前より、放射能や放射線という言葉は原爆や原子力に関連しているため、人に害を与えるだけのものとしてとらえられ、また閉鎖的な原子力開発やたび重なる原発事故も手伝って、社会的には好ましくないものとして受け入れられる風潮にあったと思います。それにとどめを刺すように昨年9月末には痛ましい臨界事故が起こってしまいました。それから2週間も経たないうちに、放射能・放射線に関わる「放射化学」という名前の学会の設立行事を行わなければならなかったのは、なんとも複雑な気持ちでした。特に、設立総会やそれに引き続く第43回放射化学討論会をお世話された高エネルギー加速器研究機構の近藤健次郎教授はじめ討論会実行委

員会の方々は大変であったと思います。

この放射化学会は、何回も名前が出てくるとおり、放射化学討論会に参加してきたメンバーを中心に立ち上げられ、また現在の会員構成もそれに準じていることは間違いありません(ちなみに現在の会員数は390名です)。ただし、何の学会組織もなく、それぞれ個人の研究対象等に応じた他学会に所属した参加者が集まるという放射化学討論会が、1957年以来、数十回も続いて来たことを考えると感慨深いものがあります。

今回、設立準備のお手伝いにあたり、入会申込書1枚1枚を見ることになった私は、それらを束ねた時の物理的な重みもさることながら、申込書に書かれていた「学会に対する要望や意見」を見たときはさすがにズシリとききました。日本放射化学会を知っていただくためにその中からいくつかをご紹介します。「20～30年前に学会にしておけばよかった」、「学会設立は長年の夢」、「今まで討論会の主催がなかったことが不思議だ」など設立を待ち望んでいた声がありました。また、「農学においても放射化学的発想が広がることを期待して入会した」、「放射性廃棄物処理処分や環境の分野で貢献したい」、「“光”の分野と関わりながら新たな方向性を見いだせれば・・・」、「学界、産業界の活性化のために協力したい」、「一般市民の放射線理解が深まるための活動を」など幅広い分野にわたって学協会・産業界と関わり、教育を含む社会的な役割を果たすことが期待されていることがうかがえます。さらに、「国内に限らず、国際的な発展」が望まれ、「学会誌に期待して入会した」、「特色ある活動、学会誌を」といった学会活動の芯となる学術誌に期待する言葉も目に付きます。こういった“一言”を読んで私は元気づけられましたが、それだけでなく、学会の

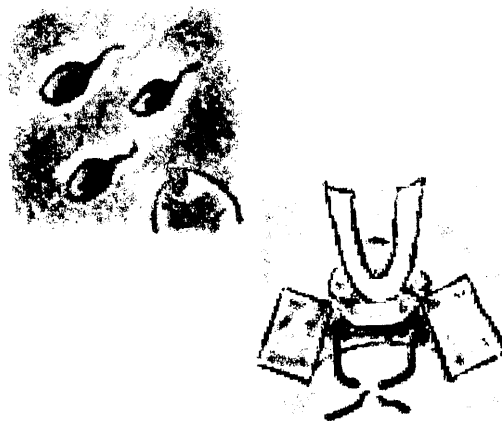
進むべき方向を示唆しているような気がしてなりません。少しくどくなりますが、「開かれた学会を」、「広い組織で運営してほしい」、「しきいの高くない学会に」、「他の分野の方々との交流が楽しみ」という一連の言葉も印象強いものでした。学会運営が身近なものとして感じられ、また放射化学自身の間口が広いこともあるため偏らない運営を望んでいるほか、さらに新しい分野の方々との交流を楽しみにしています。“放射化分析”は、放射化学の分野においても中心的な役割を果たしている分野でありますから、まだ放射化学会に入られていない放射化分析研究会の方々にもぜひ目にとめていただければと思います。

放射化学会会員には、放射化学討論会の要旨集は学会誌別冊として全員に配布されるほか、「放射化学ニュース」が届きます（ニュースは現在第2号まで配付されました）。また、英文誌である

日本放射化学会誌 (Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences) も配付されます。この学会誌第1巻も3月末の刊行に向けて、現在鋭意準備中です。また、論文誌に投稿された論文は、掲載可となった段階で著者の同意の上で、学会ホームページ上に公開される予定です（学会ホームページアドレス：

<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jnrs>)

まだ産声をあげたばかりの学会で、正直申し上げて準備万端整えられてスタートしているわけではありません。私としては、中原弘道会長（都立大教授）、坂本 浩副会長（金沢大教授）、工藤博司副会長（東北大教授）を軸として、種々の経験を糧としながら、国内・国際的に認められる学会に育ててほしいと願っています。



放射化分析研究会と日本放射化学会

都立大・海老原充

1. はじめに

放射化分析研究会が設立されて、この3月で丁度5年になります。もともとは、共同利用原子炉施設のユーザーが大学開放研(東京大学原子力研究総合センター東海分室)を中心としてまとまったものですが、放射化学関係の研究者の組織がなかったこともあり、放射化分析に直接関わっていない方も少なからず会員となりました。これまで会誌の発行を主な活動として来ましたが、昨年来、夏の学校や研究会を開催するなど、活動の幅を少しずつ広げつつあります。そのような中で、昨年10月に放射化学会が設立されたことは多くの会員の方がご存じの通りです。その結果、上に述べた放射化分析にあまり関わりを持たない放射化分析研究会の会員の方ももとより、多くの放射化分析研究会の会員の方も放射化学会にも入会されたのが現状であろうと思われます。このように、放射化分析研究会と放射化学会は現状ではある距離をおいて独立に存在する2つの組織ですが、両者の関係が今後どのように推移していくのかという点に関しては、2

2. これまでの議論

幹事レベルで放射化学会に対する問題を議論した最初の機会は1998年11月、原研(東海)で開催された放射化分析支援システム研究会後の拡大幹事会での場でした。そこでの議論は、(1)放射化分析研究会と放射化学会は目指すところが違うので、しばらくは様子を見る、(2)放射化分析研究会は原子炉施設のユーザーの集まりで

つの組織の属しているものにとっても、あるいは放射化分析研究会のみに属しているものにとっても、大変関心のあるところではないかと思います。

放射化分析研究会の幹事会では放射化学会が設立される前から、設立後の放射化学会とどのような関係を保つのが放射化分析研究会及びその会員としてbetterであり、happierなのかを議論してきました。その結果が現在の姿であり、私の目には両組織はある一定の距離を保ちつつ、かなり同じ方向にベクトルを向けながら進んでいるようにみえます。今後この距離や2本のベクトルのなす角度をどう変化させたらよいかを、会員各位がそれぞれの立場で考える必要があるかと思っています。ここでは、これまで幹事会で行ってきた議論の経緯を会員の皆様に紹介し、今後の2つの組織の関係を考える上での参考にしていただければと思います。放射化学会設立の経緯と学会の現況については本号の別掲記事をご覧ください。

あり、原子炉施設の将来を考えれば、早い段階から放射化学会に何らかの形(例えば、分科会や部会のような形)で関わる方が会員のプラスになる、という2つの議論に分かれました。これを受けて、同12月、在京4幹事(当時)(薬袋、榊本、福岡、海老原)間で議論を深めるための話し合いを持ちました。当日は放射化学会対応以外に

も、放射化分析研究会として今後どう活動すべきかということも併せて議論しました。放射化学会対応問題は、結局は11月の議論の再現でしたが、放射化学会の姿が見えない以上、放射化分析研究会としても動きようがないので、しばらく様子を見る、ということで一応その場は収まりました。

1998年12月末に放射化学会設立準備小委員会（以下準備委員会とする）が高エネ研で開催されました。放射化分析研究会からの代表として同準備委員会に出席している立場から、これまで放射化分析研究会で行われてきた話し合いの内容を紹介しました。ここで強調した点は、（1）放射化学会の姿がはっきりしない以上、放射化分析研究会として態度を決めかねる、（2）放射化分析研究会のメンバーにとって放射化学会に入ることのプラス要因（“メリット”）が現状では見えない、（3）従来の放射化学討論会の分科会と放射化学会にできる予定の部会の関係が判然としない、という点です。（1）の問題は準備小委員会での議論の中で、新学会は旧来の狭い核化学、放射化学の研究のみを志向せず、周辺分野も包含した核・放射科学（化学でない）の研究組織となることを目指すことが合意されました。新学会の実体がどうなのかは現状では必ずしも鮮明ではありませんが、理念的にはその通りの形で発足し、会誌の英文名（*The Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*）もこうした議論を反映しているとみていいとおもいます。

（2）の放射化分析研究会のメンバーにとっての「得失」問題ですが、運営を独立採算で行い、共通する活動に対しての補助が得られる「得」については準備委員会でも同

意が得られたのですが、放射化分析研究会のメンバーの中に「放射化学」と縁遠い人が居て、放射化学会の分科会ということに違和感を持ち、それが引き金となってメンバーを離れる可能性がある点を「失」とする点に関しては、準備委員会としてはなす術がありませんでした。100%放射化分析研究会側の問題であるからです。（3）の問題は、学会が発足して半年になりますが、分科会と部会の関係は明瞭ではありません。放射化学討論会（放射化学会年会）の分科会は存続していますが、部会という組織はまだ存在していません。

1999年新年になって、12月の設立準備委員会での議論を踏まえて再度在京4幹事で話し合いを持ちましたが、結果的にはその前の話し合いの時と同じ結論、つまりしばらく様子を見る、というところに落ち着きました。ただし、このとき結論は、将来放射化学会と密接な関係を持つ方向を重視するが、“今”である必要がないので、しばらく新学会の活動を静観しよう、という点で前回のものとはかなりニュアンスが異なるものでした。また、将来の形はどうであれ、放射化分析研究会としての活動を強化しようということ全員一位で確認しました。この活動の強化として、一つは夏の学校や研究会の開催に、もう一つとして幹事間の役割分担を明確にすることにつながりました。

この後、放射化分析研究会側では放射化学会対応問題に関して特別の議論をする機会がなく、昨年10月の放射化学会の設立を経て現在に至っています。

3. 今後の課題

長々とこれまでの経緯を紹介しましたが、はじめに述べたとおり、これまでの議論の延長上に現在の放射化分析研究会があります。さて、今後どうしたらよいでしょう？もうしばらく現状のまま推移することになると思いますが、いずれこの問題を真剣に考えてみる必要があります。さしあたって具体的な問題として、放射化学討論会の際に開催される放射化分析分

科会をどう運営するかという問題があります。昨年の討論会（学会年会）の際に、今後の分科会開催に関して放射化分析研究会が深く関わるのが合意されました。放射化分析研究会と放射化学会がどういう距離で位置するのが各組織の会員にとって better であり happier なのか、折に触れて活発に議論していきましょう。

以下は、放射化学ニュース第2号（2000年2月、日本放射化学会）に掲載された放射化分析研究会の紹介記事です。
（日本放射化学会の許可を得て転載）

放射化分析研究会

「放射化分析研究会」(Japan Association of Activation Analysis: JA³ “JA cubed” と読む)は、1994年暮に32名の発起人によって設立されました。それは、放射化分析は研究としては一段落し、正確さに優れた超微量非破壊多元素同時分析としての特徴が実用的に評価されて多くの分野で応用されるようになってきているにも関わらず、多くの分野に分散している利用者の情報交換や連携の場が無いという状態を背景にしていました。このような状態では、これから放射化分析を試みたいと考える人たちへの支援を行うことや、新しい研究開拓の芽を育てたり、原子炉周辺の研究設備や制度の改良・発展につながる要求を結集することが出来ないと反省された訳です。

当初東京大学・原子力研究総合センター・東海分室（大学開放研究室）に事務局を置いて130名の会員で発足したJA³は現在160名に増えています。これまで会誌「放射化分析」を9号発行して、放射化分析に関する知識の普及と深化、放射化分析利用の現状の整理、施設・研究室紹介などを行ってきました。また毎年「放射化分析支援システム研究会」（放射線利用振興協会）を支援し、昨年夏には「放射化分析（夏の）学校」を開催するなど、活動が徐々に活発になってきています。現在会の幹事は17名で構成されていますが、毎年半数を交代することによって固定されない運営をはかっています。

放射化分析には放射化の励起源として原子炉や加速器が必要です。従って、放射化分析を円滑かつ健全に行っていくためには、大型研究施設のあり方というような社会的な問題への関わりが生じます。実際本会が発足した当時既に武蔵工業大学炉は運転休止中で、立教大学炉は共同利用停止を検討中でした。「立教大学研究用原子炉の共同利用継続に関する要望」アンケート活動が行われ（1997年）、要望書が各方面に発信されましたが、その活動の中心は本会にありました。この活動がきっかけで、学術会議の原子力関係の4つの研究連絡委員会から「私大炉の運営を公的資金によって支援することについて」や日本原子力産業会議から「研究炉に関する検討懇談会報告」（会誌 No. 8 参照）が出されるに至っています。

放射化分析研究会は、放射化学の中でも問題意識を集中しやすい部分で先行的に組織化が行われたと見る事が出来ます。日本放射化学会設立にあたって、これと本研究会をどのように関係づけるかがかなり検討されましたが、研究手段として放射化分析を活用している研究者には「放射化学」の枠に収まらない面が少なからずあります。放射化分析はそのように“進化”したと積極的に評価することが出来るわけですが、この進化を貫徹させることを第一の要件として、日本放射化学会との良い関係を築き上げていくことが、本研究会の大きな課題です。

(東京大学・原子力研究総合センター 伊藤泰男)

編集後記

これまで伊藤幹事が一手に引き受けてこられた編集をお手伝いして、小冊子ながらも一冊の形にすることがどんなに大変かと言うことがよく分かりました。何事も経験してみるものですね。ともかく今年度(1999年度)中にNo. 10の発行ができ、なんとか遅れを取り戻すことができました。これでようやく「つ」離れができたことにはなりますが、これもこれまでの伊藤幹事のお骨折りの賜であることは間違いありません。これからは3桁を目指して進むこととなります。今のペースだと45年かかることとなりますが、そのころは「放射化分析」はどうなっているのかな、などと心配しても仕方がないので、今後も1号1号充実させるよう会員の皆様の協力をお願いいたします。今号は本年度3冊目ということもあり、多少スリムになりましたが、内容に免じてお許しいただければと思います。

(E. M.)

放射化分析研究会申し合わせ

第1章 総則

第1条 本会は放射化分析研究会 (Japan Association of Activation Analysis, JA³) と称する。

第2条 会員相互の交流を行うことによって、放射化分析および関連分野の研究の進展を図り、放射化分析の発展、普及に寄与することを目的とする。

第3条 前条の目的を達成するために次の活動を行う。

- (1) 機関誌「放射化分析」およびニュースレター（不定期）の発行
- (2) 研究会、講習会等各種学術的行事の開催
- (3) 放射化分析施設の整備、将来計画及び国際交流等の放射化分析に関わる活動に対する会員の総意のまとめと提言
- (4) その他前条の目的を達成するために必要な事業

第2章 会員

第4条 会員は正会員および賛助会員とする。

- 1) 正会員は本会の趣旨に賛同しその活動に参加する一般個人および学生
- 2) 賛助会員は本会の主旨に賛同し、その事業を援助する組織又は団体

第5条 所定の入会申込書によって申し込みがあり、幹事会で入会が適当と認められたものを会員とする。また退会する場合には、本会事務局に届け出なければならない。

第3章 幹事及び幹事会

第6条 会の運営は、幹事若干名で構成される幹事会で行う。幹事は編集・行事・庶務・会計などの業務を行う。

第7条 幹事の任期は2年とし、毎年4月に半数を交替する。幹事の再任を妨げない。幹事は専門と地域の均衡を考慮して前任の幹事会で推薦して会員に周知し（会誌またはニュースによる）、特別の問題が指摘されないことをもって選出される。

第4章 会費および会計監査

第8条 会員は入会時および年度初頭に以下の会費を納入しなければならない。

正会員 (一般) 2,000円、 (学生) 1,000円

賛助会員 1口 25,000円

第9条 会計年度は4月1日から翌年3月31日とする。

第10条 会計監査は会員より選出される。会計監査は会の収入、支出が正しく運用されていることを監査する。

第5章 事務局

第11条 本会の事務一般業務を行うため事務局を置く。事務局担当幹事を幹事会代表とする。

第12条 事務局は適宜持ち回ることとし、幹事会の合議によって決める。

本会誌の内容および投稿募集

放射化分析研究会の情報媒体は、定期刊行機関紙「放射化分析」、不定期の「放射化分析研究会ニュース」、および電子メールです。

会誌「放射化分析」は下記の記事で構成されます。

講座・特集・解説

専門的な記事を毎号企画していきます。

記事の内容についてのご希望や提案をお寄せください。

研究紹介

放射化分析に関する研究、放射化分析を用いた研究を紹介していきます。研究の当事者にまとめた内容を執筆していただくものと、秀れた論文を紹介するものがあります。特に紹介したい研究についてご意見をお寄せください。

実験手引き Q&A

会員から質問を受けて、回答やアドバイスを掲載します。どのような質問でも結構です。回答者は幹事会が責任をもって会員の中から選定します。

施設・研究室紹介

放射化分析を行うことができる施設については、放射化分析関係の共同利用、共同研究が行われている施設で採択されている研究課題などを掲載します。また放射化分析を行っている研究室の紹介を適宜行います。

談話室

会員の気軽なおしゃべりの場です。要望、話題、新刊紹介、その他、どのような内容でも結構です。

若い声

学生や着手研究者およびこれから放射化分析を手がけようとする方々の新鮮な声を反映させる欄です。

研究会報告・最近の動向等

最近開催された研究会の報告です。放射化が取り扱われている研究は広範囲な分野に顔を出している筈です。放射化が関係している研究課題が1件でもあれば、この欄に取り上げたいと思います。会員の皆さんがらの情報提供をお待ちしています。

アナウンスメント

論文紹介（発表論文アブストラクト）

会員から届けられた論文別刷りを元に、発表された学術論文のタイトルとアブストラクトが随時掲載されます。博士・修論文の要約も掲載します。

会員名簿

原稿はA4横書き、40字×40行、上下マージン25mm、左右マージン20mmを標準として、そのままオフセット印刷又はコピーして使える形に清書して送付して下さい。編集の際にレイアウトを工夫させていただくこともありますので、念のためファイルをフロッピーディスク添付して下さい。

(ファイルはMS-DOSのテキスト又はMS WORDが最適ですが、Macintoshのファイルやワープロ専用機のファイルもかなりの程度処理できます)

電子メールリングシステム

会員及び幹事会の電子メールアドレスが、下記のエイリアスに登録されています。これを用いて会員相互の交流・意見交換を促進していきます。

会員 : JA3@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp

幹事会 : JA3-kanjikai@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp

JA3@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp に発信すれば、(電子メールアドレスが登録されている)会員全体に配信されます。幹事会・事務局への連絡・要望等はJA3-kanjikai@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp に発信して下さい。

メールアドレスを登録しているけれど、事務局等からの電子メールを受け取ったことの無い会員は、アドレスがエイリアスに正しく入力されていない可能性があります。
お心当たりを事務局宛ご連絡下さい。入力を修正します。

放射化分析研究会

事務局 319-1195 茨城県那珂郡東海村 日本原子力研究所内 大学開放研究室

TEL 029-282-5516 FAX 029-287-2464

E-mail : JA3-kanjikai@kaihoken.tokai.jaeri.go.jp

Home Page : <http://kaihoken.tokai.jaeri.go.jp/JA3.htm>

幹事

伊藤泰男	海老原充	岡田往子	大槻 勤	片山幸士	重松俊男	関 李紀
高田實彌	戸村健児	豊田和弘	福岡孝昭	榎本和義	松尾基之	葉袋佳孝
百島則幸	結田康一	米沢仲四郎				