

サンプルとターゲット

日本原子力産業会議

岡本 浩一

1. 序

核データを作りあげるには、大きく分けて4つの段階が考えられる。まず実験に用いる入射粒子（中性子、荷電粒子、ガンマ線など）の発生装置（原子炉、加速器、 ^{60}Co など）が一番始めにくる。次に測定される試料の準備（試料の作成、試料の組成分析）すなわちサンプルとターゲットの段階が続く。それから検出器を通して生の実験データが得られる。その後は、データの収集、解析、評価、理論との照合といったおなじみのプロセスに至るのがその仕組みである。

従来の核データの活動は、どちらかという、重点がこの最後の段階におかれてきていたといえる。しかし、前の3つの段階も同様に重要であることは、自明のことであり、これらが核データの活動のなかで従来あまり顧みられなかったことが、むしろおかしかったとさえいえる。以下にいろいろな例を示すことによって、サンプルとターゲットの段階での問題点をあげてみたい。言葉の定義として、サンプルは普通の意味での実験試料、ターゲットという場合は、速い中性子源としての T-Ti とか、Van de Graaff 加速器で用いる stripper foil などのいわゆる beam foil を指すときに用いる。

2. サンプルの成分についての問題点

2.1 同位体組成

地球の生成時より天然同位元素の存在比は決まっていたとされてきているが、最近の Geel での研究によると、必ずしも核種によっては一定でなく、その値に地域差があることがわかる。Okulo 現象で場所により ^{238}U の存在比が少ないことがあるのは、よく知られているが¹⁻³⁾、生産地が陸水起源か海水起源かによってホウ素鉱物中のボロンの同位元素 ^{10}B 、 ^{11}B の存在比が大別して2種類あるのは知る人ぞ知るどころである^{4, 5)}。Geel の調査では、このほか 10 以上の同位元素存在比のかなりの程度の相違が報告されている⁶⁻¹⁰⁾。

2.2 分析表

試料を購入すると添付の分析表を過大に信頼する傾向があるが、これは大変な間違い

で実験の種類によっては、自分の研究所で適当な方法での分析を実施することが絶対に必要になってくる。また化学者には、製造所の添付分析表はあくまでも一つの目安であり、実験の種類によっては充分気をつけるというのが常識であっても、化学専攻でない他の研究者は、いわゆる権威のある製造所発行の分析表はそのまま自ら分析しないで信頼してしまう傾向がある。また実際問題として、Under-developed laboratories (under-developed countries ではない!) ではとても自分のところで分析する能力のないところも多い。しかしこの様な分析をないがしろにした場合、得られた実験結果は garbage 以外の何物でもないことがありうることは、注意しなくてはならない。

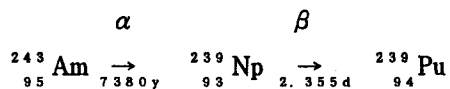
2.3 実験の種類よってのサンプルの作成上の考慮

これも考えれば当たり前のことであるが、同じ入射中性子でも van de Graaff をつかっての実験と原子炉中性子ビームでの実験では、得られる入射粒子のエネルギーが異なるので、自からサンプルの作成での異なった注意事項がある。溶液での断面測定の際、後者の原子炉中性子では H₂O、HNO₃ などの H を D で置換した試料を用いて出来るだけ H による中性子散乱を少なくするといった考慮が必要であるのは、大事な点である。

3. サンプルと時間的経過

3.1 放射性試料

これもまた、考えればあたりまえのことであるが、放射性元素の場合は特に注意が肝要である。ベルギーの Mol で実際おこった例が C. Wagemans によって報告されているので紹介する¹¹⁾。²⁴³Am の熱中性子による核分裂断面 (σ_f ≤ 0.07 b) の測定に当たって、測定中に崩壊の結果生成される 1 万倍も大きい²³⁹Pu の熱中性子・核分裂断面 (σ_f = 742.5 b) による著しい影響が述べられている。この過程は以下に示される。



そして、Wagemans は²⁴³Am の化学分離が断面測定の前に行われなければならないと注意している。

3.2 核反応での著しい 2 次効果

一般に 2 次の断面の効果 (大きさのオーダーとして 10⁻²⁴ が 2 回かかるので) は小さいと言えるが、例外の場合があることは注意しなくてはならない。その例として⁵⁸Ni (n, γ) ⁵⁹Ni (n, α) 反応がある^{12, 13)}。反応で生ずるアルファ粒子は使用中の

原子炉材料（ステンレス・スティール）の経年変化での脆さの原因である。この場合、1次反応からの生成核種⁵⁹Niは天然の同位元素ではない。このような人工同位元素についての、反応断面積の情報は皆無といってもいいほどで、理論計算による推定が望まれるが、これは充分新しい核データの活動分野として発展するであろう。

3.3 測定の前、測定中、測定後の試料の計量

普通、実験では、測定前に厚さなどの計量を実行し、実験後の計量は行われぬ。しかし、前述の3.1の例が示すように試料自身に変化する場合とか、試料自身の幾何学的形状が実験前後に変化する可能性が考えられる時には、当然その検証が必要になってくる。特に、試料作成後 Oxidation、Hygroscopy、Sublimation、Crystallization などによる試料の変化を考慮する必要が指摘されている¹⁴⁾。このことはターゲットの場合も同じである。

3.4 サンプルの物理的性質による問題

硫黄（Sulphur）はたとえ常温でも昇華（Sublimation）してしまう。一様な試料を作るには蒸着法によるが、うすいformvarでそのあと試料を覆うなどの工夫が報告されている。これは大事なことで、さもないと実験中にサンプルが昇華してなくなってしまう¹⁵⁾。

³³S(n, n, α)反応断面積の値が52～180 mbの範囲に散らばっているのは一つにこの硫黄の物理的性質によるものである。現在はGeelの実験値115 ± 10 mbが推薦されている¹⁶⁾。

4. 試料の作成

4.1 サンプルの質量測定の精度

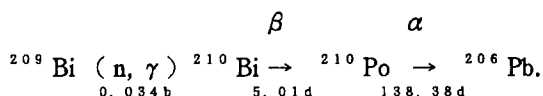
断面積の絶対測定の場合（分光測定では問題にならないが）にはこの精度が重要である。radioactive α counting は一番正確な方法で重量測定よりもはるかに精度が高い。しかしα計数は安定同位元素の場合は当然実施できず他の方法combustion（燃焼分析）、spectrophotometry（分光測光）、isotope dilution mass spectrometry (IDMS)（同位体希釈質量分析）などを使用する。しかし、これらのあるものは、destructive（試料を損なう）である点がいへん不都合である。

試料が薄くまたバックリングが薄い場合には、α粒子をあててその質量測定を行うが、この際、アルファ粒子のエネルギー損失とスペクトル光度測定による厚さ決定の両者を共用して質量測定を行うのが大事なことである。この様に、いろいろの場合の質量測定

の精度に充分留意して実験の報告書を吟味しなくてはならないのは当然のことである。

4.2 サンプルの特性を十分に吟味すること

必要なデータが全部実験で明らかになり、サンプルについての情報が特別にはいらぬ例として、 $^{209}\text{Bi}(n, \alpha)$ 反応があげられる。この時平行して起こる反応；



での 5.304 MeV の ^{210}Po α 粒子はエネルギースケール及び中性子束の較正に用いられる。 $^{209}\text{Bi}(n, \alpha)$ からのより高い 9 ~ 10 MeV の α エネルギースペクトルから信頼できるデータが得られる。しかしこれは大変稀な例で一般には実験に重要な試料パラメータは徹底的に調べる必要がある。

Wagemans は、熱中性子束を用いての試料の確認が有効であることを強調している。 $^{241}\text{Am} + n$ の三重核分裂の実験で添付の分析表から ^{241}Am が 99.995 % であることを信用すれば強い α 放出をする ^{241}Am の性質から ^{241}Am の質量決定が容易に決定できる筈であった。しかし ^{241}Am のよく知られた熱中性子による核分裂断面積 (3.15 ± 0.10) barns から熱中性子束による計数計測をしたところ 3 倍以上の核分裂を記録した。

これは ^{241}Am 試料のなかに不純物として 0.7 % もの ^{239}Pu ($\sigma_f = 742.5$ b, at thermal neutron energy) を含有していたことが判明した。これはサンプル供給者からの分析表には記載されていなかった¹⁷⁾。

4.3 他物質をまぜての試料作り

たとえば硝酸溶液を作って遅い中性子断面積の値の大きい試料の希薄溶液を作る場合 DNO_3 in D_2O を準備する技術、アルミニウム粉末をバインダーに使っての試料作成などがあるが、必ずしも詳細には紹介されていない。基礎物理実験のテキストまでの詳細はいらないまでも、核データを取り扱う者には必要な知識と思うし、その方面の考察が核データの分野でも行われる様に望みたい

Jaklovsky の核実験用試料の作成についての文献の収集は大変貴重であるが¹⁸⁾、いささか古いので改訂が必要である。

4.4 特殊試料の作成

酸化物の還元の問題は稀土類酸化物、アクチナイド酸化物などの試料作成にあたってだいじな技術である。また核物質管理の保障措置作業での試料分析の際に必要ないわゆる高純度レファレンス・サンプルの作成なども重要な仕事である¹⁸⁾。

試料を支持する基盤材料（たとえばマイラーなどの薄いフィルム）の研究、試料の均一性測定技術の開発、self-support の試料作成技術などは職人技術者の腕に頼るにしかない。しかし、その技術者に対する待遇、地位などについての配慮が少なく、現状では、これら技術者の後継者の養成はあまり関心が払われているとは思えない。

この稿では異質のテーマかもしれないが、こういった技術者に対する待遇、養成の問題をないがしろにしては、いくら基礎、先端研究、基盤技術の開発と叫んでも意味がないのではなからうか。

4.5 放射性同位元素の試料

Am、Cm などの試料作成には特別のテクニック（たとえば電着）が必要である。超ウラン元素（TRU）の調査はかなりおこなわれているが、実際に核データを得るための超ウラン元素の実験試料の作成の技術の習熟と開発は、文献を読むだけでは得られない。Geel で、J.Pauwels に Safeguard standard 試料の作成の苦労話とともに教えてもらったが、こういう技術は自分で実際しないと分からないことが多い。もっともこれは、なにも超ウラン元素の試料作成の場合だけではない。いろいろのノウ・ハウや細かいテクニックはやはり自分自身で身につけるのが大事であるが、同時に実験を行う者がその試料作成過程と一緒にいることも必要である。実験者にとっては致命的な過程や、媒介物の混入のチェックも大事なことである。

核分光學での例えば²²⁶Ra 試料の作成についてのいろいろの問題もこの項に入る。

4.6 試料作成中の試料成分の変化

これもその分野の技術者にとっては自明の事実であるが、作成中に同位体成分が変わる例として、原子炉中性子束の測定に使われるリチウム Li 試料の場合を例としてみる。

このリチウム試料はふつう Al 板に金属リチウムを真空蒸着 (vacuum evaporation) 法で作成されるが、この際軽い核種である⁶Li と⁷Li が蒸着過程をへて Al 板に蒸着する量には差があることが知られている。従って Al 板に蒸着後に Li の質量分析を実施しないかぎり、このいわゆる天然 Li 元素による熱中性子束の測定値には ambiguity が存在する。この同位体成分が真空蒸着の過程で変化することは、分析化学の人には当たり前のことであっても²⁰⁾、物理関係の人にはあまり知られていない。実際に数パーセントの変動がリチウムの同位体比に起こるとしたら、試料作成後の分析が核データの実験にいかんにか大事ながことが理解できるであろう²¹⁾。

4.7 特にステンレス・スチールの場合の問題

原子炉に使用されるスチールは、照射、高温、腐食などきびしい条件下で用いられる

ために、物理的・機械的性質にすぐれ、耐腐食性にもすぐれている必要がある。スチールの基本成分は Fe、Cr、Ni で第 4 番目の成分として Si、Mn を加えたり（ナトリウムとの腐食多い）、Mo、W、Nb、Al を加える（腐食が少なくなる）。ところがここに普通の分析表には記述されていない窒素（Nitrogen）の含有量の問題が原子炉構造材料として起こってくる。それは $^{14}\text{N}(n, \alpha)$ 反応（いわゆる gas production cross section）に関連するもので、時には大きな問題になる。私自身がこの問題で、Geel の Horst Liskien と J. Pauwels とで調べたところ、窒素のステンレス・スチールでの含有率が数 ppm から数百 ppm にもわたることが解り [とても stainless とはいえないね] との結論になった。これも窒素がステンレス・スチールの製造過程での鼻薬りのようなものであることによるのかもしれないが、3 人とも金属専門家でないのでこの点はもっと調査が必要かもしれない。McGraw-Hill 社発刊の Material Handbook によると、US Steel Corp. 製品名 Tenelon は Manganese Stainless Steel の一種で（Fe のほか、17% Cr、14.5% Mn、1% Si、0.10% C に加えて）、0.40% — 実に 4,000 ppm の窒素を含んでいる。

5. 試料に関わるその他の問題

試料に関わる問題には、このほかに、いろいろとある。実験にあたって、試料の最適の厚さ（optimum thickness）とか、入射線（粒子）に対しての試料の Setting の問題もその 1 つであり、いわゆる入射線にたいしての good geometry、bad geometry についての考慮が必要となってくる。ただこの問題は比較的よく調べられている。

また試料にうすい Backing が必要な時に、この Backing 材料にたいしての特別な注意が必要である。たとえば、ニッケル箔の場合のピンホールの有無、アルミニウム箔の場合におこる a few ppm のウランが含まれることの認識、この後者の場合 0.17 ppm の ^{235}U の混入が $^{238}\text{U}(n, n, f)$ の測定に及ぼした影響についての報告がある²²⁾

"Mysterious" という言葉で C. Wagemans が紹介した次の様な事例がある。それは、 $^{235}\text{U}(n, f)$ reaction の測定で recoil collection method で作られた試料が chemical separation technique での試料にくらべて、殆ど 2 倍も大きい fission cross section が得られた。この両方の方法はともに原理的に正しい²³⁾。

あたりまえのサンプル作成の際にはらわれる注意であるが、試料の厚さの一様性のために必要な技術（evaporation、electrolysis、electrospraying、suspension spraying、spray painting、droplet など）を維持することは大変大事であることをここでも強調したい。

6. ターゲットの問題

ターゲットの問題といっても試料（サンプル）での問題とかなり重なり合うところがある。

6.1 Stripper Foil について

タンデム・バンデグラーフで用いられるストリッパーフォイルはその寿命が約 50 時間で、これを長寿命にすること、あるいはより薄いフォイル ($a\ few\ \mu\ g/cm^2$) の作成を狙いながらその強度増加の問題を一方で解決しようとするのが大事である。

これに関連してまだ極く小さい寸法のものしか出来ていないが、mono-atomic layer order のダイヤモンド・フォイルなど将来いろいろの開発がカーボン材料には期待されており、その進展が注目される。

6.2 Tritium-Titanium Target

IAEA の Advisory Meeting (5 ~ 9 September 1988) での口頭発表で紹介されたが、ドイツの PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig) で起こった事柄がある²⁴⁾。正規に購入された新しい T-Ti target にじつに 20 % もの Deuteron の混入があったとの報告がある。化学的性質の同じ重水素の混入は化学者にとってはなにもおかしいことではない。しかし、この様な購入ターゲットの分析は KFK の様ないわゆる Advanced laboratory だから、可能だったということを強調したい。いくら 14 MeV での Standard Reaction を使って校正してもこういう中性子源を用いて得られた実験データは garbage としかいえないであろう。IAEA の開発途上国支援の計画のなかには、Tritium-Titanium 封入の Shielded beam tube なる 14 MeV 中性子発生装置がある。この装置を使っての中性子断面積の測定も IAEA Nuclear Data Section としてはいろいろ激励してきただけに、PTB での話は、あまり起こることではないにしても、大変なショックであった。

6.3 トリチウムの問題

中性子源としてのトリチウムの handling の問題はきわめて重要で、メガキュリーのトリチウムの取扱いについて、その貯蔵法とともにまとめが必要であることが、1988 年の IAEA の Advisory Group Meeting (5 ~ 9 September 1988, Darmstadt) の結論と勧告のなかで特に述べられている²⁵⁾。

6.4 ^{252}Cf sources の問題

エネルギー・スペクトルの高エネルギー部分でのこぶの問題は解決されたとはいえ、さらに正確なスペクトラムの形のチェックや中性子源の較正 (calibration) などの解決すべき点は残っている

7. 特殊なサンプル、ターゲット

7.1 生物サンプル

いわゆる生きた試料で、放射線傷害、遺伝の研究には欠かせない一方、この方面の研究にはまだまだ解決しなくてはならない問題が多く残っている。

7.2 ファントムの問題 Tissue Equivalent Material (TE-Material)

放射線傷害の研究に必要であるが出来るだけ人体に近いものにするのに課題が残っている。特に断りのない場合には、人体軟組織を考え、 $(\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_{1.8}\text{N})_n$ で近似されるとされている。ICRU (International Commission on Radiological Units) の規定では TE 物質は密度 $1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、重量比で O=76.2 %、C=11.1 %、H=10.1 %、N=2.6 % とされている。大ざっぱな近似としてポリエチレン、水などで代表することもある。

注：ICRU Report 44²⁵⁾ によると現在は各臓器に対してそれぞれ基準の組成をしめている。しかし特定の放射線、たとえばガンマ線にたいしては近似の良い TE 物質であっても、中性子線にたいしてはそうでない場合もあることに注意しなくてはならない。

7.3 原子・分子データのための検出器を兼ねたサンプル

検出器の器材と電離気体がともに TE 物質でできている空洞イオン箱を使用すると、測定される電離密度から、生体組織のエネルギー吸収密度すなわち吸収線量が換算できる。これはイオン箱に充填するガスが生物体の代わりになる場合で、従来も既にいくつかの混合気体が用いられている。しかしまだ電離検出器の function ともからめていろいろな問題が残っている。

8. 結論と提案

8.1 目的

核データが原子力開発・発展に大いに寄与したことは、疑うことのない事実である。そして現在シグマ委員会の活動としてそのユニークな日本国内でのネットワークは大変貴重な財産である。ただ原子力開発がすすむにつれて、その一端を担うシグマ委員会の

活動もまた、それに応じて変革していくのが当然ではないだろうか。

この提案もその線に沿った1つである。”サンプルとターゲット”の題のもとで、従来のシグマ委員会のメンバーに加えて新しい顔を積極的に歓迎し、委員会の活動をより一層盛んにすることを狙いたい。新しく物理、化学、分析、材料の科学者をはじめ生物物理の分野にまでその構成メンバーを広げるほかに、それらをサポートする技術者までも呼びかけたい。

このワーキング・グループの狙いは、核データをキーワードにして物理、化学、材料工学、生物科学の間の境界問題に入り込むことで、シグマ委員会に幾分変わった味の活動を取り入れてみてはとの考えに基づいている。と同時に国際的にも、やはり活路をもとめている IAEA Nuclear Data Section を助ける一方、International Nuclear Target Society、Targetry Society などとの連絡もつけていきたい。

8.2 ワーキング・グループの構成と当面の作業

物理、化学、核医学の実験者、材料工学の研究者、実験試料作成の技術者などが新しいグループのメンバーとして考えられる。当面の作業として考えられるのは次の項目である。

- (1) 核データ、原子・分子データを得るために用いられるサンプル・ターゲットの寄与をまとめる。
- (2) 生物サンプルや適当な Tissue equivalent material についての問題点をまとめる。
- (3) 既に情報は集まっているが、Damage を Key word して材料の分析についての情報収集
- (4) Unexpected induced activities の問題の徹底的な調査
核融合炉、原子炉材料などの Minor impurities の放射化についてのデータ収集。
サンプル/ターゲットの誘起放射能の Long-life, Short-life の測定についての問題。
- (5) アクチナイド試料の作成及び取扱いに伴う種々のデータの収集。
- (6) 中性子源としての T-Ti ターゲットの調査及び他の中性子源調査。強力中性子源に対する熱は以前よりも冷えているが、必要な情報はきちんとまとめておくことが大事である。
- (7) トリチウム Handling の問題点。
- (8) 実験者からのサンプル・ターゲットに対する要望をまとめるが、その際にそのプライオリティもつける。
- (9) 実験試料作成者の興味を刺激する様ないわゆる試料利用者からの要望のまとめ。
いわゆるショッピング・リストの作成。

(10) さいごに

研究者が今までに出会ったサンプル／ターゲットについての経験 —— できれば失敗の場合 —— の事例の収集。そしてその経験から特定の実験でサンプル／ターゲットが実験結果に及ぼす影響と留意すべき点のコメントをまとめる。

あとがき

私自身の不勉強でこの小論の記述には大変むらがある。またとんだ思い違いもあるかも知れない。ただ科学の世界で、ある分野では自明すぎるのが、他の分野の人にはまったく目新しいことがかなりあることは、認めなくてはならない。そうして、これからの科学の進歩にはいろいろな分野の境界領域の問題解決も大事なことと考えるとこのサンプルとターゲットにはその境界領域の問題が沢山あるように思える。

サンプルとターゲットについては、私自身にかかわる思い出がある。幸い、そのときに幾人かの方々の配慮で実際上は、記録には残っていない。とはいえ、実験科学者としての私には、将来にわたっても絶対に忘れられない苦い経験である。ただこのいまだに苦い失敗をとうして、核化学、分析化学の方々を初め、材料研究者、生物科学者などの知己を得られたことは、すばらしい宝ものを手にした様な気持ちと喜びである。

また International Nuclear Target Development Society (INTDS) の発展に、IAEA 在籍中にいささか協力をしたのも、自分自身の苦い経験があればこそ何とかこのサンプル／ターゲットの国際活動に自分自身が役に立ちたいと願っていたからである。今回、第17回のINTDSのWorld Conferenceに旧友 Bill Lozowski からトピックスの1つに；

Impact of target parameters on experimental results

を加えてあるから、参加してはという誘いに乗って、10月17日からの会議に費用を工面して出席することにした。この会議の報告は適当な機会にぜひ紹介したいと願っている。

実はこの問題を提起した後、何度となく放り出したい気持ちになった。その度ごとに激励していただいたのは、百田光雄先生と中嶋龍三氏であった。特にここで感謝を申し上げたい。また何人かの方々からもコメントや丁寧な助言を得たことについても感謝します。

1994年9月22日

文献

- 1) P.K.Kuroda; Proc.IAEA Symposium "The Okulo Phenomenon", p.479 ~ 487, Libreville, 23-27 June, 1975 (IAEA Pub. Vienna)
- 2) P.Diouly-Osso, R.J.Chauvet: IAEA Advisory Group Meeting, 109/7 (1979) 123, "Les Gieseiments D'uranium de la Region de Franceville (Gabon)"
- 3) オクロ現象についてのまとまった解説として以下の2編がある ;
藤井 勲 ; 日本原子力学会誌、27(1985)304, "オクロ天然原子炉とその現状" 。
山川 稔 ; 日本原子力学会誌、35(1993)978, "オクロ天然原子炉"
- 4) G.H.Swihart, P.B.Moore and E.L.Collis; Geochim. Cosmochim. Acta. 50 (1986) 1297
- 5) 野村雅夫 ; 学位論文、上智大学 (1990)," ホウ素鉱物中のホウ素同位体比"
- 6) P.de Bièvre, Z. Anal. Chem., 264 (1973) 365. "Atomic Weights and Isotopic Abundances of the Elements, A Future Concern for the Analytical Chemist".
- 7) P.de Bièvre. Private Communication , 84/11/13.
- 8) N.E.Holden, R.L.Martin and I.L.Barnes, Pure and Appl. Chem. 56, No.6 (1984) 675 "Isotopic Composition of the Elements 1983" 表中の Evaluated Limits of Published Values に注意。
- 9) P.de Bièvre, M.Gallet, N.E.Holden and I.L.Barnes, J.Phys. Chem. Ref. Data, 13, No.3 (1984)809. "Isotopic Abundances and Atomic Weights of the Elements"
- 10) P.de Bièvre and I.L.Barnes, Int. J. Mass Spect. & Ion Proc. 65 (1985) 211. "Table of the Isotopic Composition of the Elements as Determined by Mass Spectrometry"
- 11) C. Wagemans, Nucl.Instr. and Meth., A236(1985)429, "Some Users' Comments on the Fabrication, Assaying and Use of Samples for Nuclear Measurements"
- 12) M.Asghar et al, ZP/A, 282(4)(1977)375,"Thermal Neutron Produced Charged Particle Reactions on Ni-58,-59 and Ni-61"
- 13) J.McDonald et al, Atomkernergie 27 (2) (1976)112. "Measurements of Thermal Neutron Cross Sections for Helium Production in Ni-59".
- 14) C.Wagemans, IAEA Specialists' Meeting on the Influence of Target & Sample Properties on Nuclear Data Measurement, INDC(NDS)-200/G, 1988 p.13, "On the Influence of Sample Characteristics on Nuclear Measurement".
- 15) K.Geerts et al; Nucl. Instr. & Meth. A236 (1985) 527, "The thin S-33 layers for S-33(n, α) cross section measurements"
- 16) C.Wagemans et al, Verhandl. DPG (VI) 18(1983)1111.
- 17) H.-H.Knitter and C.Budtz-Jorgensen, Atomkernenergie-Kerntechnik, 33 (1979)205,

"Measurement of the neutron-induced fission cross section of Am-241 from 100 eV to 5.3 MeV".

- 18) J.Jaklovsky, "Preparation of nuclear targets; a comprehensive bibliography", New York, N.Y.,IFI/Plenum Data, 1981
- 19) J.Pauwels,(Central Bureau for Nuclear Measurements)、 private communication, European Working Group on Reactor Dosimetry (EWGRD) の Monitor Material Subgroup (MMSG) との連絡。
- 20) L.Gladyszewski and A.Nagnajewicz, Isotopenpraxis, 15(4) (1979) 104, "Fractionation Effect in Thermionic Emission of Lithium Isotopes"
- 21) N.Shinohara and K.Okamoto. to be published. (1994), "Note on variation of isotopics abundance ratios of metallic lithium during vacuum evaporation process"
- 22) P.D'hondt, C.Wagemans, A.Emsalleem and R.Brissat, Ann. Nucl. Energy 11 (1984).
- 23) C.Wagemans, Private Communication (1988), To be published on Phys.Rev. C by A.D'Eer, C.Wagemans, M.Néve de Mevergnies, F.Goennewein, P.Geltenbort and M.Moore.
- 24) R.Boettger, Private Communication, INDC(NDS)-213/G, 1988, P.33.
- 25) International Commission on Radiation Units and Measurements; ICRU Report 44 issued 15 January 1989, "Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement".
- 26) Recommendation, IAEA Advisory Group Meeting, October 1988, INDC(NDS)-213/G+, M3.