

IDAS：放射線加工処理における高線量の標準化

線量計測の国際協力が品質保証の向上に役立っている

J. W. ナム*

電離放射線は、化学反応の加速、天然および人工材料の改質、食品の保存、さらには医療品の殺菌のための効果的な手段である。放射線加工処理の工業利用や進んだ研究は技術的な利点をもたらしており、その安全性や経済性についてもすでに知られつつある。放射線加工処理における品質保証はまず第一に信頼できる線量測定を基礎にしているので、高線量利用の増加傾向を考えると、世界的に線量測定を標準化することが必要である。

こうした時期に合せて国際原子力機関 (IAEA) が高線量標準化プログラムを開始したことは、高線量の応用研究や放射線加工処理における信頼性の高かつ正確な線量測定に対する切迫した需要に応えることを可能とした。このプログラムの主な目的は線量の標準化および保証サービスを国際的規模で組織し、放射線加工処理における一つの品質管理の尺度としての線量測定を普及させることである。

1977年にこのプログラムを開始して以来、線量測定システムの改良と新しい技術の開発に一つの力点が置かれてきた。線量測定システムの応答は高線量でいくつかの環境要因に影響を受けることがある。このため、この問題は注意深く研究されている。線量相互比較の研究は10グレイ (Gy) から100キログレイ (K Gy) の線量範囲にわたって行なわれてきており、14カ国、19研究機関および一つの国際機関が参加した。プログラムの特質すべき成果は放射線によってアラニン中に誘起されるフリーラジカルを電子スピン共鳴法 (ESR) を用いて測る手段——アラニン/ESR線量測定——を成功させたことである。この方法は高線量域用として西ドイツの放射線環境研究所 (GSF, ミュンヘン) で開発されたものである。

* J. W. Nam 国際原子力機関 (IAEA) ライフサイエンス部線量課

大線源用の線量測定標準化および線量保証の実現への国際的な努力を結実させるため、IAEAの高線量標準化プログラムの枠組みのなかでの重要なサービスとして国際線量保証サービス (IDAS) が1985年から始まった。IDASの結果は放射線技術の品質管理だけでなく、線量測定の確認のために利用できるということも注目されている。さらに、線量測定の標準化は照射製品の規制に関する認可の立証や自由貿易の国際的な手続きとしても役立つ。IDASは高線量の応用研究および放射線加工処理における品質保証をさらに改善するための一里塚ともなりえる。

研究および関連活動

IAEAは、高線量測定プログラムの開始以来、全部で39の高線量測定に関する研究活動を援助してきた。これらの活動には15の独立した研究と24の研究活動を有する2つの協力研究プログラムが含まれている。協力研究プログラムの主な成果には次のことが含まれる。

- アラニン/ESR測定システムを基準トランプファー線量計として選択したこと
- 相互比較研究のなかで用いられた線量測定システムについて信頼性の改良や技術開発を行ったこと
- 線量評価において避け難い環境要因(たとえば、温度、湿度、気候、光など)の影響の程度を明らかにするとともに、その補正法を決めたこと
- 線量校正や相互比較の手順を改良したこと
- 標準化された校正機器を設計し、その手順を整備したこと

信頼性の高い線量測定に対する需要が高まるにともなう、急速に発展していくこの分野での最新の研究開発についての発表や討議のための場を提供するため、

IAEA は 1984 年にウィーンで高線量測定に関する第 1 回国際シンポジウムを組織した。第 2 回シンポジウムは 1990 年にウィーンで開かれることが計画されている。これによって、国際的な情報や意見の交換が促進され、線量測定で共通に関心をもたれている問題について新しいかあるいは従来より改善された解決策が引き出されてくることが期待される。

アラニン/ESR の選択

いくつかの候補にあがった線量計を用いた一連の線量相互比較をとおして、アラニン/ESR システムがもっとも適当なものであることがわかった。このシステムは放射線加工処理に用いられる 10 Gy から 100 kGy までのガンマ線の線量範囲全体にわたって、堅実で安定した性能をもっている。このことはシステムの線量応答がいろいろな保存条件のもとでわずかな変化しか与えなかったことによって示された。線量の読み取りには化学的操作や線量計素子との物理的接触をまったく必要としない。ESR 分析法が非破壊的手段であることもこの線量計の利点となっている。読み取りの精密度はさらに安定な ESR スペクトロメーターや均一な磁場分布をもつ ESR キャビティを用いることによって可能な限り改善できる。これまで到達した精密度は 1% 以内である。アラニン/ESR システムは能力としてはさらに低い線量、すなわち数 Gy 程度まで測ることができるだけでなく、さらに単純化した読み取り装置の開発によってその長所を伸ばすことが可能である。線量計素子の製造については、バッチ間で均一であるだけでなく、素子間のばらつきがきわめて小さいことが長い間にわたって強調されてきた。GSF で指定され、製造された線量計素子は普通でない環境条件のもとで優れた性能を示す。

このプログラムの目標を達成するためには、それによって実用線量計が規則正しくチェックされ、正確で相互比較可能な線量測定を提供するような、国際的に受け入れられる標準的なトランスファー線量計の選択が基本的に必要である。世界的規模での線量基準のサービスを成功に導くには、まず線量測定システムの性能が数多くの要求条件を満たさなくてはならない。数カ月の期間にわたって照射前および照射後の高レベルの安定性をもつと同時に、環境条件に影響されないか、あるいは影響があるとしても、その補正が可能でなくてはならない。こうした判定基準をもとにした選定によって、研究施設の条

件あるいはより制限された線量範囲のもとでは受け入れられるいくつかの線量測定システムが除外される結果となった。

基準トランスファー線量計として必要とされる諸条件を検討した結果、IAEA はアラニン/ESR システムを国際的な線量サービスのプロジェクトに用いることを決定した。これをもとに異なる地理的位置から選ばれた 15 の施設によるパイロットサービスプロジェクトの結果、国際的サービスの必要性が立証された。実施の結果、組織上の問題もなく、また実際の場合でもアラニン/ESR システムになんら問題は生じなかった。

IDAS プログラム

IDAS は参加国の照射施設に対する IAEA による線量保証サービスの規定に関する協定をもとにして提供される。サービスは 1985 年 6 月 12 日から実施されている。アラニン/ESR の基準線量測定施設の業務は IAEA と GSF との間の契約のもとで遂行されている。10 Gy から 100 kGy にわたるガンマ線および電子線の線量を扱う高線量利用研究機関はもちろんのこと、商業的および非商業的照射施設もこのサービスに参加することができる。IAEA 加盟国はサービスに参加する照射施設の指名と協定の承諾が求められる。

各参加機関に対して、IAEA は参加の通知とともにサービスの規定に関連する技術情報やデータを提供することを依頼する。ただし、サービスの能力には限界があるので、指名される施設は審査により選ばれることもある。参加の通知を受け取ったあと、各参加機関に対して適切なサービスの詳細が決定され、必要とされる数の線量計素子が合意されたスケジュールにしたがってその施設に郵送される。線量計素子の照射に関するあらゆる必要な情報は線量を評価する施設に送り返される。線量チェックサービス 1 回について、一つの線量計パッケージの中に温度指示センサー付きのアラニンカプセルが 3 個入っている。

評価結果は基準施設が照射された線量計素子を受け取った後、20 日以内にそれぞれの施設へ証明書付きで知らされる。参加者は所定の線量の照射を彼らが使用している線量計とその標準カプセルについて任意の条件のもとで同時に行う。サービスの規定にしたがって IAEA に知らされるあらゆるデータは機密に保存される。とくに、サービスの結果は機密に保たれ公表されることはないの

で、権限外の者に知らされることはない。

関心をもっている施設がその有用性を十分に試すことができるように、18カ月の無料サービスの期間をおいた後、IAEAは1987年以降の線量チェックサービスについては料金をとることを発表した。この料金は1回の線量チェックあたり100米ドルであり、注文された線量チェックの全回数分をまとめて年末に各参加者に対して請求される(支払いは送り状を受け取り次第米ドルで行うか、あるいはユネスコクーポンなどが用いられる)。このようにして、参加施設はサービスの規定にしたがってIAEAが受ける直接的支出を分担することが求められる。

IDASの役割

IDASの実施後3年間に250回以上の線量チェックが18カ国、27施設に対して行われてきた。線量の最大偏差の広がりは一29%～+24%から一15%～+19%まで著しく向上した。高線量チェック回数のうち、±5%以内の偏差は51%、±10%以内の偏差は86%にも達した。

IDASは安全で経済的かつ容易な品質管理を促進することを意図している。法的および品質的な保証に必要とされるものは信頼性のある線量測定によって容易に満たされるので、照射された製品の国際的な商取引はこのIDASによって可能となる。ただし、商取引の認可を目的としたり、あるいはその取り締まりの権限を授けるための独占的な基準を与えることを意図したものではない。IDASは照射施設で用いられている線量計の正確さを保証するものであり、ある特定の製品がある特定の線量を吸収したということを保証するものではない。

IDASは多数の参加国からの積極的な支持に迎えられてスタートした。サービスは参加者によってよく受け入れられており、組織上においても技術的な面においても問題は生じていない。IDASはIAEAが照射産業および科学の分野における線量測定の質の向上に貢献する最重要な手段の一つに成長してきた。3年間のサービスの経験のなかで、線量計の校正に限らず放射線加工処理の品質管理にIDASは潜在的に貢献をしていることがよく理解されるようになってきた。

放射線加工処理線量測定を促すさらに間接的な刺激が、照射施設から標準測定施設への線量測定の校正管理に関する要請が増えている事実によってわかるようになることは注目してよい。世界中に散在する数多くの機関においてアラニン/ESRシステムを用いた線量測定を

行うのに必要な線量装置と技術を確立する努力がなされている。本システムはルーチンおよび基準線量測定のために現在適用されている方法のなかで最良なものともみなされており、新しい技術が利用できるようになるまで、信頼できる線量測定法として一つの重要な手段となり得る。

高線量の世界的規模で標準化のため、今後はこのプログラムを一層発展させて、高線量利用研究や放射線加工産業における品質保証に対する差し迫った要請に応じていくことになる。

IDASの科学的成果

IDASプログラムの開始以来、研究の結果得られた科学的に重要な成果は次のとおりである

新しい線量測定システムの開発

- アラニン/ESR線量測定
- ライオルミネッセンス線量測定
- ラジオクロミックフィルム

線量測定システムの改良

- ガンマ線および電子線場での校正の方法
- アラニン/ESR線量計の素子製造、データ解析、精密度
- グルタミン・ライオルミネッセンス線量計素子
- セリウム線量計の電気化学的な電位差測定
- エタノールクロロベンゼン線量計におけるオシログラフ測定
- ラジオクロミックフィルムの包装および取り扱い

環境の諸影響

- 照射中の温度
- 測定中の温度
- 照射後の温度
- 湿度
- 光

線量相互比較研究

- 高線量域および中線量域(1-10 kGy, 5-100 kGy)
- 低線量域(0.01-3 kGy-10 kGy)