くりかえし放射化法における最適照射・計数時間と 冷却時間の検討[†]

牧 康行, 野尻利明

神奈川県工業試験所

236 横浜市金沢区昭和町3173

1977年6月25日受理

1. はじめに

くりかえし放射化法の特徴は、試料中の短寿命生成核種について注目し、最適な照射、冷却（あるいは輸送）、計数条件を決めて有効に計数値を蓄積する点にある。放射化により生成した短寿命核種は生成も速いが、減衰も速いため定量を行う場合、通常の放射化法では十分な計数値をうることはむずかしい場合が多い。しかし、生成核種の半減期に応じて最適の照射、輸送（試料を照射系から測定系へ輸送する。または、その逆）および計数の各時間を決定し、これをくりかえせば、定量可能な計数値を十分に蓄積できる。

本報告では、くりかえし放射化法に適する種々の短寿命生成核種を想定し、おのおのにつき、もっとも効果的に計数値を蓄積できる照射、輸送、計数の各時間およびくりかえし回数を検討するための計算を試みた。

2. 計算の基礎

くりかえし放射化法の基礎的考察はすでにいくつか報告されている^{1)~3)}。 n 回の照射、輸送および計数のくりかえしにより、蓄積された計数値 D_n は次式により示される。

$$D_n = \frac{N\sigma f\epsilon}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda t_2})(1 - e^{-\lambda t_3}) \cdot \left[\frac{n}{1 - e^{-\lambda T}} - \frac{e^{-\lambda T}(1 - e^{-nT})}{(1 - e^{-\lambda T})^2} \right]$$

ここで N および σ はターゲット物質のおのおの原

子数および核反応断面積、 f は粒子束密度、 λ は生成核種の壊変定数、 t_1, t_2, t_3, t_4 はおのおの照射、輸送（往）、計数、輸送（復）時間、 $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ は、くりかえしの周期を表し、 ϵ は検出器の計数効率を表す。式の右辺の〔 〕内は、くりかえし処理による増加分となる。くりかえしの周期が同じとき、ある輸送時間についての計数値を最大にする照射時間と計数時間の関係は、簡単な計算により $t_1 = t_3$ になる。したがって、以後照射と計数時間は等しいとして処理する。

上式より半減期がおのおの 1, 2, 8, 16 秒の生成核種の計数値と照射・計数時間および輸送時間の関係を求めて Fig. 1 に示した。縦軸に式の右辺の $N\sigma f\epsilon$ を除いた項の計算値、すなわち検出レスポンスを表し、この場合の nT は 20,000 秒とした。Fig. 1 から明らかなように輸送時間をゼロにして、少なくとも半減期の半分以下の照射・計数時間を設定できれば理想的である。輸送時間をゼロ近くにするには、加速器を用い照射・計数を電氣的に切り換えればよい。しかし、この切換え操作を機械的に行う場合は、輸送時間は有限になり、それに応じて最適の照射・計数時間が存在し、これからずれた検出レスポンスの低下率は輸送時間が長くなるほど小さくなる。

つぎに、輸送時間が有限の場合、半減期 0.05~20 秒の各生成核種について最適照射・計数時間における検出レスポンス (Fig. 1 の各曲線の最高値) を示すと、Fig. 2 のようになる。半減期が長い場合は、厳密な輸送時間の設定は必要ないが、半減期が短いほど輸送時間を短くせねばならない。Fig. 3 に半減期 0.01~40 秒の生成核種を計数する場合の最適条件、すなわち照射・計数および輸送時間の関係を示す。照射・輸送・計数のくりかえしを行う時間、すなわち全測定時間 (nT) が 100~20,000 秒では半減期 1 秒以下の場合は、照射と輸送時間の関係は全測定時間に影響されないが、半減

[†] Study on the Optimum Irradiation, Counting and Cooling Time for Cyclic Activation Method. Yasuyuki MAKI and Toshiaki NOJIRI: Industrial Research Institute of Kanagawa Prefecture, 3173 Showa-cho, Kanazawa-ku, Yokohama-shi 236.

Fig. 1 Relationship among normalized detector response, irradiation and counting times and transport time for produced nuclides with different half lives such as (A) 1 sec, (B) 2 sec, (C) 8 sec and (D) 16 sec.

Fig. 2 Optimum detector response versus transport time.

期が長くなるにしたがい、全測定時間により照射と輸送時間の最適な組み合わせが、変化することがわかる。

3. まとめ

以上の考察のように、放射化分析において、生成核種の半減期に応じて計数値を蓄積する最適な照射、冷却および計数の各時間を求めて、くりかえし放射化を行えば定量感度を高めるのに有効である。 $^{19}\text{F}(n, \alpha)^{16}\text{N}$ 反応を利用するフッ素のくりかえし放射化分析を例に

とり、もっとも効果的な照射—輸送—計数時間を考えてみる。中性子線源に加速器を用い、輸送時間を考える必要のない場合は、照射—計数のくりかえしのみで Fig. 1, Fig. 2 から照射、計数時間は短いほど計数値の蓄積効率は一上がり、したがって定量限界は高まる。しかし、原子炉や RI 中性子線源を用いる場合は、照射位置と測定位置が離れているため、試料を両位置間でくりかえし輸送せねばならない。いま、輸送に 2 秒要するとして、もっとも効果的に計数値を蓄積する照射・計数時間を Fig. 3 から求めると ^{16}N の半減期が 7.5 秒ゆえ、14 秒になる。さらに Fig. 1 から照射・計数時間が ± 7 秒ずれても、その最適効率は 7~9% 程度の減少にすぎないこともわかる。

文 献

- 1) J. Janczyszyn, L. Górski: *Radiochem. Radioanal. Lett.*, **8**, (5) 297 (1971)
- 2) W.W. Givens, W.R. Mills, Jr., R.L. Caldwell: *Nucl. Instr. Meth.*, **80**, 95 (1970)
- 3) S.J. Gage, G.D. Atkinson, Jr., G.D. Bouchev: *Nucl. Tech.*, **17**, (3) 247 (1973)

Fig. 3 Relationship among irradiation and counting, transport and total counting time (nT) to give optimum detector response.