

# R 1 を用いたスケール量計測における補正係数の導出

田中 秀樹

## Derivation of Correction Factors for Measurement of Scale Using RI

Hideki TANAKA

Non-destructive measuring method using RI for the scale inside a sealed container was presented. I have constructed the measurement system of the amount of scale inside a container and have verified the system for the accumulated flat layer of scale. But, in the general measurements, it is necessary to consider several factors, thickness of the scale, curvature of the sealed container and thickness of the sealed container itself. In this study correction factors are guided for finding the general equation in order to estimate the amount of scale from data.

**Keywords :** Non-Destructive Measurement, Neutron, Sealed Container, Scale, Correction Factor

密閉容器内に発生するスケールの量を非破壊計測する手法として、中性子 RI を用いた方法を提案した。これまではスケール計測システムを構築して、平面に堆積したスケールについて検証実験を行ってきた。しかし、一般の計測対象物を考えた場合には、スケールの厚み、容器の板厚、容器の曲率を考慮する必要がある。本報告では、実験データからスケール量を推定する一般式を求めるために必要な補正係数を導出する。

キーワード：非破壊計測、中性子、密封容器、スケール、補正係数

## 1 まえがき

タンクや配管などに代表される密閉容器において、内部にスケールが発生することがある。スケールとは容器の内容物が内部に付着したものであり、設備運用において障害となるため定期的な検査が必要である。検査に用いられる手法には目視による方法があるが、容器の破壊を要するため検査後の修復が必要である、また設備を停止しなければならないという。費用的、時間的な課題がある。一方、非破壊検査を行う場合には、大型の計測対象物を計測できる装置でなければならず、装置の移動と設置に課題が残されている。

これまで、大型の計測装置を必要としない非破壊計測法として、線を用いた透過法によるスケール量の計測法が提案されている(1),(2)。この手法は、透過方式を採用しているため、大型の計測対象物を計測する場合には強力な線源が必要であり、線源を取

り扱うには作業者の資格と線源を保有するための届け出が必要である。

そこで、筆者らは資格を必要としない微量な中性子線源を用いたスケール計測法を提案し、計測システムを構築した後にシステムの特性を明らかにした(3),(4)。さらに、スケール量のインプロセス計測を目的としたデータ解析システムと人の客観的評価機能を有する診断プログラムを開発し、水位計測実験によってこれを評価した(5)。またこれまで、平面に堆積したスケールを想定した計測実験を行ってきたが、実際の計測対象物を計測するためにはスケール厚み、容器板厚、容器曲率の考慮が必要であることは明らかである。

そこで本報では、スケール厚み、板厚、容器曲率を考慮し、計測システムをより一般的な使用条件に対応させることを目的に、それぞれの補正係数を求め、スケール量を推定するための一般式を導出する。

## 2 システムの概要

### 2.1 原理

放射線源(以下、線源)と放射線検出器(以下、検出器)とを密閉容器の外側に配置する。検出器ではスケールに衝突することで減速する中性子の検出器への入射個数を計数する。スケール量は中性子の入射数とスケール量との間に成り立つ相関関係を明らかにすることで計測できる。

提案する手法に用いる線源は放射能が微量であるため、誰でも使用することができ、さらに線源側に戻ってくる中性子(以下、後方散乱)を利用するため計測対象物が大型であってもスケール量を計測できるという特徴を持つ。

### 2.2 システム構成

本システムは図1に示すとおり、放射線を放出する線源、放射線を検出する比例計数管、シンチレーション検出器の出力を分析するマルチ・チャンネル・アナライザ(以下、MCA)で構成する。

線源には主に中性子を放出する、放射能 $3.7\text{MBq}$ の放射性同位元素 $^{252}\text{Cf}$ を利用する。線源は外形寸法の $6\times 28\text{mm}$ のコリメータで覆われており、これにより放射線の放射方向を制限する。検出器には後方散乱した中性子を計数でき、取扱いが容易で、さらに機械的強度が大きいという理由から比例計数管とシンチレーション検出器を用いる。検出器では入射した中性子のエネルギーに比例する電圧パルス信号を発生するが、この信号を得るための高圧電圧は高圧電源ユニットから供給される。プリアンプはミリボルト程度である検出器の出力電圧を計数可能な大きさ(10<sup>3</sup>倍)まで増幅するために用いる。次段のアンプでは増幅した信号をさらに十数ボルトまで増幅

する。MCAはアンプの後段に配置して、入力する電圧パルス波高に対応づけられたチャンネルと呼ばれる記憶ユニットに出現回数を記録する。コンピュータとMCAはRS-232Cを介して通信を行い、コンピュータからMCA動作の制御を行う。そして、チャンネルに記録された出現回数をコンピュータで解析してスケール量を推定する。

ここで、本研究において線源と検出器のセットを計測ヘッドと呼ぶことにする。

## 3 補正係数の算出

一般的な密閉容器に対するスケール量の計測システムを完成させるためには、線源の経年変化、スケール量と計数率との相関、容器の板厚、容器の曲率を踏まえた一般式を導出する必要がある。一般式を導出するにはそれぞれの計数率を求めて補正計数を算出する。

ここで、本計測では任意の時間内に計数した中性子の数およびそのエネルギーを加算した値を使いスケール量を求める。加算した中性子数(c)と測定時間(s)との比(c/s)を計数率として、補正係数を算出する。

実験で用いる検出器は比例計数管とする。比例計数管を用いた計測ではこれまでの実験により、チャンネル100から300までに特徴のあるデータが得られることがわかっている。本実験においても100から300までのチャンネル間のデータを積分した結果を計数値として用いることにする。中性子を測定する時間は測定誤差を小さくするため180秒と比較的に長めに設定する。

### 3.1 経年変化

線源 $^{252}\text{Cf}$ の半減期は2.65年であり、検量線を算出した基準日と測定日との間の検量線に差が生じる。この差を補正するため、基準日の計数率 $n_s$ と計測日の計数率 $n_n$ から補正係数 $st$ を次式より求める。

$$st = \frac{n_s}{n_n} \quad (1)$$

当然ながら、同一の測定基準物に対する計数率を測定して補正計数 $st$ を求める。本実験では安価でいつでも用意できるように、ステンレスピカ(300mm)に入れた100mmの水を測定基準として利用する。

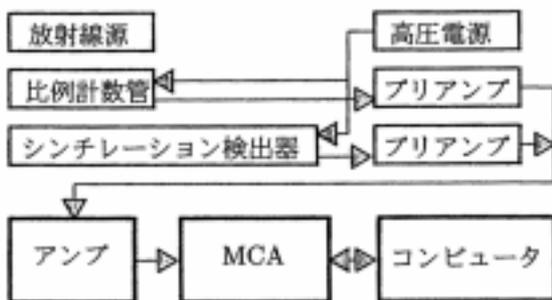


図1 システムブロック図

### 3.2 スケール量の影響

スケール量と計数率との間の相関関係を調べる。実験においてスケールとして用いる物質は、室温では固体、80度程度の温度では液体となるパラフィンとする。パラフィンはステンレスピーカに入れ、計測ヘッドをステンレスピーカの底面に配置する。ステンレスピーカに入れるパラフィンの厚みを10mmから130mmまで変化させたときの計数率を調べる。

図2にステンレスピーカと計測ヘッドの位置関係を側面から見た図を示す。図3に容器の板厚を3mmから19mmまで変化させたときの結果を示す。板厚ごとに微妙な波形形状の違いはあるが、ほぼ相似形をしていることがわかる。しかし、厚みの80mmと130mmの付近には、波形形状に乱れがある。これは、線源から放射される中性子のばらつきと測定誤差が原因と考えられる。

鋼板厚み3mmの測定結果を基に回帰分析を行った結果、次の多項式を得た。

$$t_p = 2.0 \times 10^{-12}n^5 - 4.0 \times 10^{-9}n^4 + 2.0 \times 10^{-6}n^3 - 8.0 \times 10^4n^2 + 0.2n + 1.6 \quad (2)$$

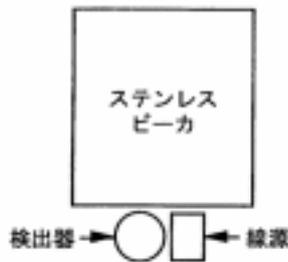


図2 測定ヘッドの配置図

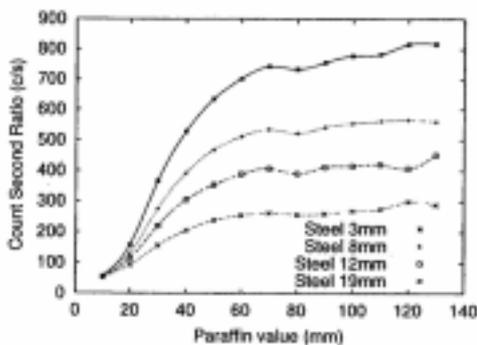


図3 計数率におよぼすスケール量の影響

$t_p$ はパラフィン厚み、 $n$ は計数率を表わす。

### 3.3 容器の板厚の影響

測定する容器にはさまざまな板厚があるため、ここでは容器の板厚がおよぼす計数率の影響を調べ、板厚の変化に対応する補正係数を算出する。一定量のパラフィンを入れたステンレスピーカの底面に計測ヘッドを配置する。計測ヘッドとステンレスピーカの間には鋼板を置き、鋼板の厚みを3mmから19mmまで変化させたときの計数率を調べ、結果を図4に示す。なお、パラフィンの厚みを10mmから130mmまで変えたときの結果もあわせて図示する。

実験結果には若干測定誤差は見受けられるが、板厚の増加と計数率が反比例していることがわかる。パラフィンの厚みが大きくなるほど、厚み変化にともなう計数率の変化の割合が小さくなることもわかる。

パラフィン厚みを50mmの測定結果を基に  $t_s$  の変化について回帰分析を行った結果、次式を得た。

$$S(t_s) = 750.8 \exp(-0.06t_s) \quad (3)$$

$n_t$ は鋼板厚み変化により計測される計数率、 $t_s$ は

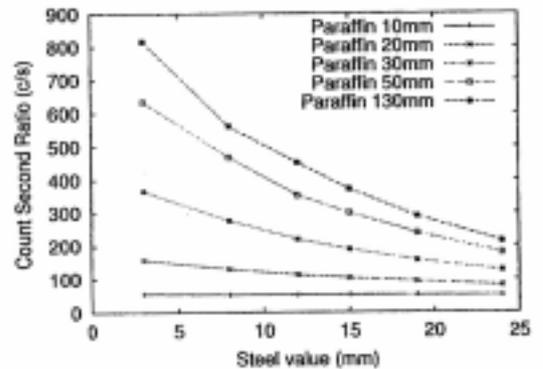


図4 計数率におよぼす鋼板厚みの影響

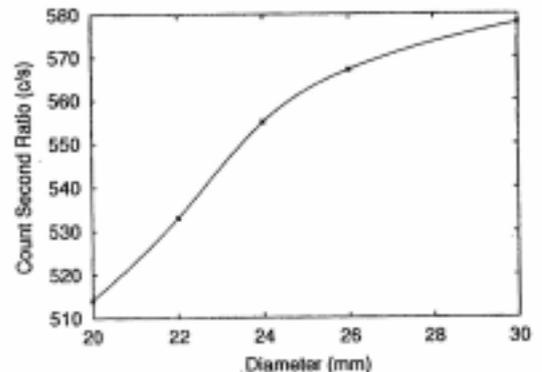


図5 計数率におよぼす容器曲率の影響

鋼板厚みを表わす。

### 3.4 容器曲率の影響

一般的な密閉容器の測定点は平面のものばかりでなく、曲面となっている容器も多く存在する。ここでは、容器の曲率がおよぼす計数率の影響を調べ、容器の曲率の変化に対応する補正係数を算出する。パラフィンで満たしたステンレスピーカの側面に計測ヘッドを配置して、計数率を求める。同様の実験を直径の異なるピーカに対して行った結果を図5に示す。

測定結果を基に回帰分析を行った結果、次の多項式を得た。

$$C(D) = -0.04D^3 + 2.4D^2 - 37.3D + 622.7 \quad (4)$$

$n_c$ は容器曲率の変化から計測される計数率、 $D$ は容器の直径を表わす。

### 3.5 計測のための一般式

パラフィンスケールの厚み  $t_p$  を求めるための一般式を導出する。式(2)は鋼板厚み  $t_s = 3$  に對て、測定点を平面とした場合のスケール導出式。したがって、計数率の実測値  $n_{real}$  を  $n_{re}$  補正する必要がある。式(1)、式(3)および式(4)より、 $n_{real}$  は次式で与えられる。

$$n'_{real} = st \frac{S(3)}{S(t_s)} \frac{n_{max}}{C(D)} n_{real} \quad (5)$$

$n_{real}$  は鋼板厚み3mmのときの測定点を平面として補正した計数値、 $n_{real}$  は実測値、 $n_{max}$  は測定値を平面としたときの飽和計数値を表わす。式(5)により補正した計数値を、式(2)の  $n$  へ代入し、求めるスケール厚み  $t_p$  を得る。

## 4 むすび

密閉容器内に発生するスケール量を中性子  $RI$  を用いた計測方法を提案し、これまで測定点が平面である容器に対する水位計測などの実験を行ってきた。一般の計測対象物を考えた場合、容器の板厚には多くの種類があり、形状も平面ではなく曲面で構成された容器も数多く存在する。

そこで、実際の計測対象物に対応した計測システムを構築するため、スケール厚み、容器板厚、容器

曲率を考慮する必要がある、本報ではスケール厚み、板厚、容器曲率、それぞれの補正係数を求めた上で、スケール量を推定するための一般式を導出した。今後は計測システムに導出した一般式を用い、数個のパラメータの入力のみでスケールを計測できるシステムを作成する予定である。

### 参考文献

- (1) 児玉潔, 小林修, 脇部康彦, 林憲秋, “線透過法による地熱発電所熱水配管のシリカスケール測定,” 非破壊検査, vol.38, no.9A, pp.797-798, 1989.
- (2) 清水健一, 粟森義彦, “石油精製装置等の内部診断技術の開発,” 石油学会誌, vol.41, no.2, pp.138-144, 1998.
- (3) 田中秀樹, “中性子の後方散乱を利用した非破壊計測(第1報),” 広島市工業技術センター年報, vol.13, pp.67-73, 1999.
- (4) 田中秀樹, “中性子の後方散乱を利用した非破壊計測(第2報),” 広島市工業技術センター年報, vol.14, pp.57-63, 2000.
- (5) 田中秀樹, “中性子の後方散乱を利用した非破壊計測(第3報),” 広島市工業技術センター年報, vol.15, pp.60-65, 2001.

$$n'_{real} = st \frac{S(3)}{S(t_s)} \frac{n_{max}}{C(D)} n_{real}$$