

特定標準器の指定及び校正の実施について

放射線：速中性子フルエンス

1. 背景

中性子は原子力分野を始め、航空宇宙、医療、半導体、非破壊検査、各種分析など、様々な産業活動において登場し、多くの種類の中性子測定器や中性子線量当量測定器、中性子線源が広く使用されている。産業技術総合研究所ではこうした検出器の感度や線源の強度を校正するために、熱中性子フルエンス率、速中性子フルエンス、中性子放出率の三量目について国家標準を整備し依頼試験ベースの校正を通して産業界へと広く供給してきた。

一方、中性子は放射線の一種であり、安全、安心の観点から、或いは、規制強化などにより、放射線管理に用いられる中性子測定器、中性子線量当量測定器の国家標準へのトレーサビリティが強く求められるようになってきている。また中性子が関連する産業活動がグローバル化している。例えば国産の中性子検出器や原子力関連機器が海外に輸出される例も少なくない。国際的に通用する校正・試験結果へのニーズが高まりつつある。

中性子標準に対するニーズについて代表的なものを以下に示す。

- (A) 原子力発電所や放射線利用施設において中性子を取り扱う人たちが被ばく量を管理するために着用する中性子個人線量当量計は放射線障害防止法で定められた被ばく限度を毎月（または3ヵ月毎）モニターするために利用され、その値は国家標準にトレーサブルであることが求められている。（中性子を取り扱う人たちの人数は2万～3万人）
- (B) また、核燃料取扱施設の周辺で中性子の漏洩がないかどうかという安全管理に用いられる中性子サーベイメータも国家標準へのトレーサビリティが求められている。（校正事業者に持ち込まれる中性子サーベイメータは約500台/年。さらに、校正された中性子サーベイメータはユーザーの事業所における自主校正に用いられ、普及されている。）
- (C) 中性子個人線量当量計や中性子サーベイメータの開発する上で中性子の広いエネルギー範囲（熱中性子～15 MeV）におけるエネルギー特性試験が必要である。また開発した製品を海外へ輸出するために試験成績書は国際的に通用するものでなければならない。
- (D) 中性子線源について、放射線障害防止法では線源強度によって使用の制限が決められている。そのため、新規に線源を購入する中性子線源について、中性子放出率について国家標準へのトレーサビリティが必要とされている（新しく購入される中性子線源の数は約300個/年）。なお平成17年度に改正された放射線障害防止法により平成19年3月以降購入の線源については規制が強化された。これに伴い中性子放出率について国家標準へのトレーサビリティを必要とする中性子線源の個数が飛躍的に増大している。

こうした状況を受け、産業技術総合研究所では、産業界との連携により中性子標準のトランスファー技術の開発を進めている。さらにこれまでの国際比較における優れた実績などが評価され、2006年10月に中性子標準は国際相互承認され、その校正・測定能力はCMC登録されBIPMのホームページより公開された。

以上のように中性子標準についてj c s s供給開始に向けての準備が着々と進んでいる。このたび加速器を用いて発生する4エネルギー点(144 keV、565 keV、5.0 MeV、14.8 MeV)の単色中性子による速中性子フルエンスについてj c s s供給実現の見通しを得たため、今回申請に至った次第である。本エネルギー領域に対して原子力施設など放射線関連施設にて数多く使用されている各種中性子検出器(原子力発電所における中性子フルエンスモニタや様々な放射線環境で用いられる中性子スペクトロメータなど)と全ての個人線量当量測定器、周辺線量当量測定器などの各種中性子測定器の定期校正においてトレーサビリティが確保される(上で示したニーズの具体例のうち(A)、(B)、(C)の一部に対応)。

なお個人線量当量測定器、周辺線量当量測定器に対してはRI線源中性子と熱中性子による校正も必要となるが、これらについても2010年度までに段階的にj c s s供給体制を整備する予定である。

2. 指定予定の特定標準器

速中性子フルエンス絶対測定装置群

3. 特定標準器の概要

(1) 特定標準器の構造(図1、図2、図3参照)

特定標準器・速中性子フルエンス絶対測定装置群は、反跳陽子比例計数管、Thick Radiator 検出器、随伴粒子計測装置で構成されており、エネルギー領域によって区別されている。

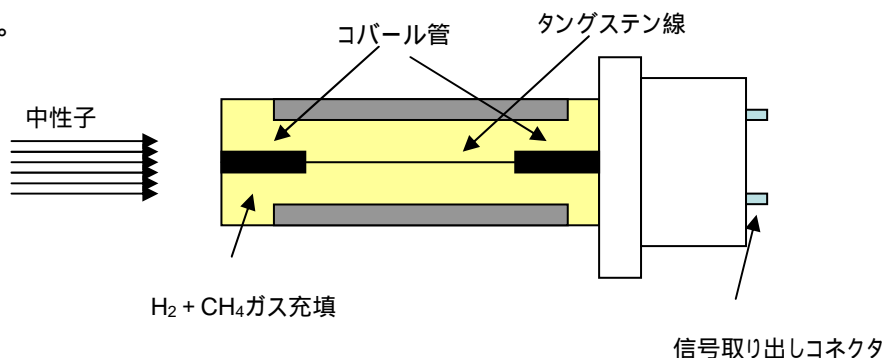


図1：反跳陽子比例計数管

反跳陽子比例計数管（図1）は、144 keV、565 keV に対して用いられる。中性子と水素原子核との弾性散乱によって発生する反跳陽子を測定することによって絶対測定される反跳陽子法に基づくものである。反跳陽子比例計数管のチェンバー内に充填された $H_2(955.5 \text{ hPa})+CH_4(34.7 \text{ hPa})$ ガス中の水素原子核が反跳陽子生成のために利用されると同時に、計数ガスとして利用され、発生反跳陽子の波高スペクトルが測定される。モンテカルロシミュレーションによって導出される各エネルギーに対する検出器の応答と測定結果より、中性子フルエンスが決定される。

Thick Radiator 検出器（図2）は、5.0 MeV に対して用いられる。1.0 mm 厚ポリエチレンと Si 半導体検出器（有感面積 150 mm^2 、空乏層厚 $300 \mu\text{m}$ ）で構成されている。ポリエチレン内で発生した反跳陽子を Si 半導体検出器で測定を行う反跳陽子法による。検出器の応答はモンテカルロシミュレーションで計算され、最終的に中性子フルエンスが決定される。

随伴粒子計測装置（図3）は、14.8 MeV に対して用いられる。14.8 MeV については $T(d,n)^4\text{He}$ 反応によって中性子が発生されるが、中性子と同時に発生する随伴粒子 ^4He イオンを測定することによって中性子の発生数を求めている。随伴粒子計測装置は、ビームラインに対して 90.7 度方向に設置されており、散乱重陽子遮蔽のための薄膜と Si 半導体検出器（有感面積 70 mm^2 、空乏層厚 $100 \mu\text{m}$ ）によって構成されている。

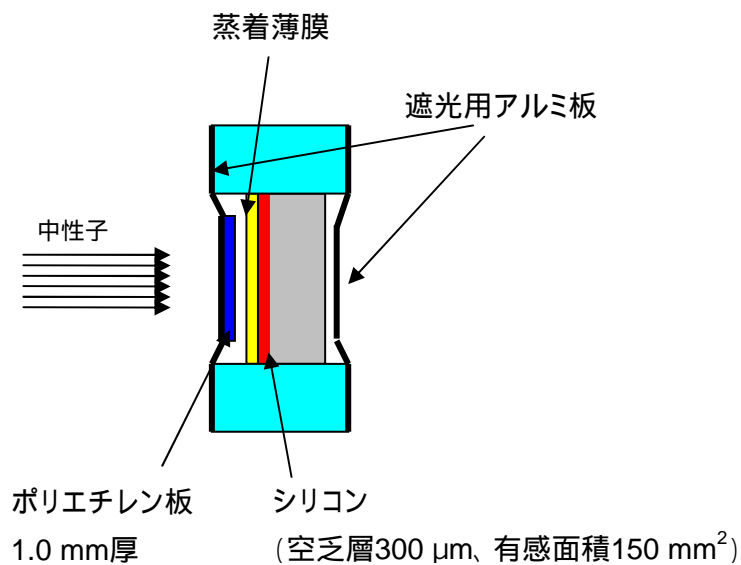


図2：Thick Radiator 検出器

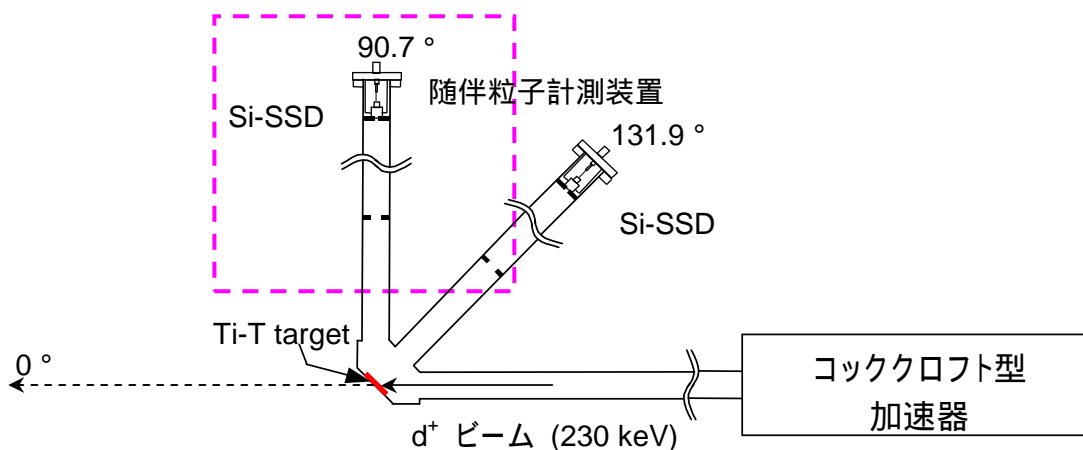


図3：随伴粒子計測装置

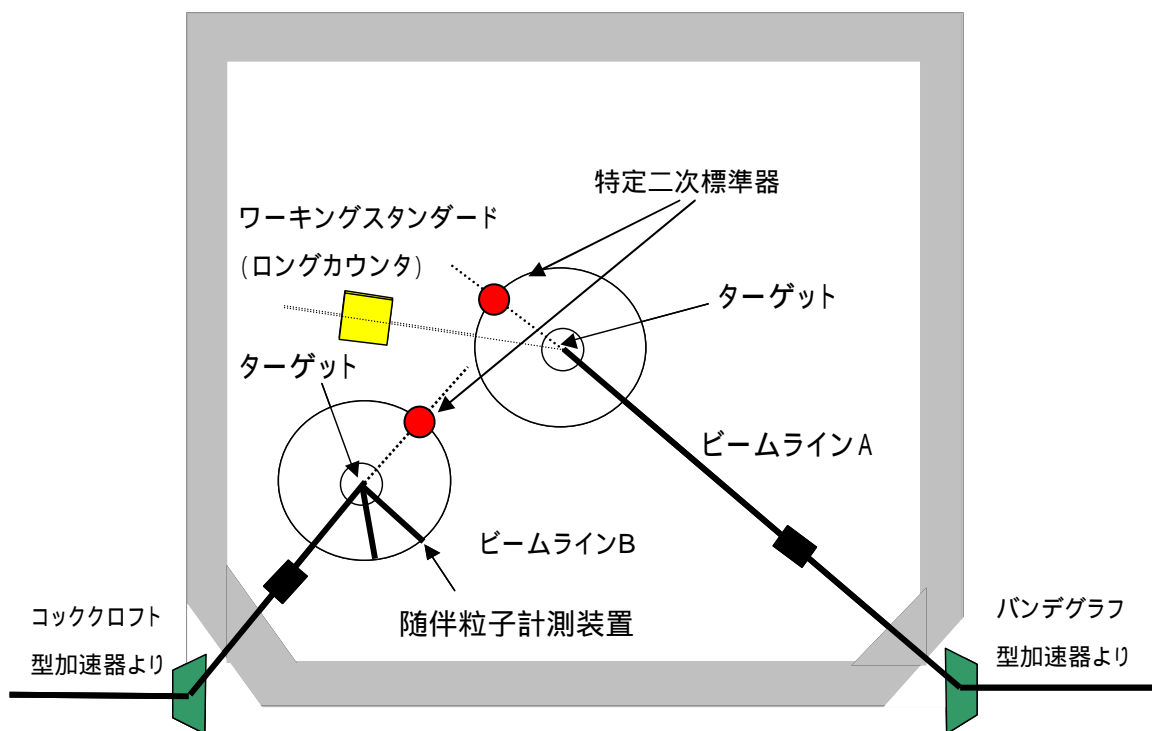


図4 中性子フルエンス校正装置の平面概略図

(2) 特定標準器による特定二次標準器の校正の方法 (図4 参照)

産総研では、中性子をバンデグラフ型加速器 (144 keV、565 keV、5.0 MeV) とコッククロフト型加速器 (14.8 MeV) を用いて ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ 反応 (144 keV、565 keV)、 $\text{D}(d,n){}^3\text{He}$ 反応 (5.0 MeV)、 $\text{T}(d,n){}^4\text{He}$ 反応 (14.8 MeV) により発生させる。速中性子フルエンス校正装置の平面概略を図4に示す。

144 keV、565 keV、5.0 MeV については、ビームラインに対して 45° 方向に設置されたワークイングスタンダード (ロングカウンタ) に対して特定標準器で値付けされている。一方、特定二次標準器はビームラインに対して 0° 方向で、かつターゲットから 1 m の位置に設

置される。この状態で、ワーキングスタンダードと特定二次標準器とを同時測定することにより、特定二次標準器の校正を実施する。

14.8 MeV については、特定標準器である随伴粒子計測装置とビームラインに対して 0° 方向に設置した特定二次標準器を同時測定することによって、直接校正される。

中性子の校正の際には、ターゲットから発生されて直接特定二次標準器に到達する中性子が使われる。しかし、発生中性子の一部は校正室内の壁・構造材等で散乱されて特定二次標準器に到達する。これら室内散乱中性子線に対する補正を、最も良く利用される方法であるシャドーコーン法によって行う。

4 . 計量法第 135 条第 1 項に基づく校正実施機関

独立行政法人産業技術総合研究所

5 . 特定二次標準器

(1)減速材付中性子検出器

(2) 特定二次標準器の具備条件

(a) 減速材付中性子検出器は、球状ポリエチレン減速材と、 ^3He 比例計数管又は BF_3 比例計数管で構成されたものとする。

(b) 検出器からの波高出力を直接読み出せること。

(c) 中性子発生スペクトルの違いによる補正を行うための応答関数計算プログラムが用意されていること

(d) 減速材付中性子検出器の性能は、次に適合すること。

レスポンスの再現性 (%) : < 0.5

感度 (cm^2) : $0.01 \sim 2.5$

(e) 複数のエネルギー点で同一の検出器を兼用する場合には、それぞれのエネルギー点において(d)の条件を満足すること。

(f) 校正範囲

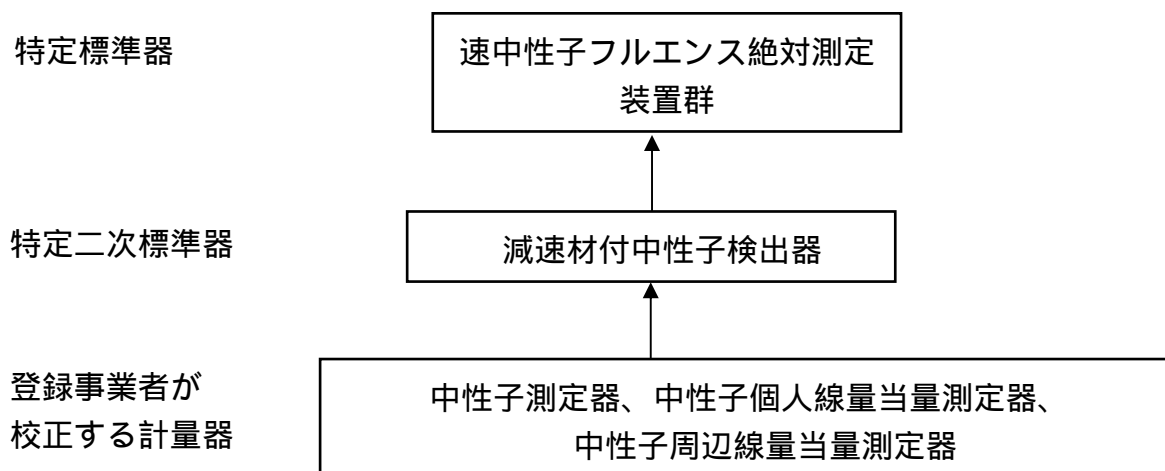
フルエンス : 10^3 cm^{-2} 10^7 cm^{-2}

(3) 特定標準器による校正等の期間 (校正等の周期)

校正周期は 2 年である。

6. トレーサビリティの体系図及び測定の不確かさ

(1) トレーサビリティの体系図



(2) 測定の不確かさ

特定標準器による校正等における測定の相対拡張不確かさ ($k=2$) は、3.6 % ~ 6.2 % を予定している。

登録事業者が行う校正における測定の相対拡張不確かさ ($k=2$) は、4.5 % ~ 9 % 程度を想定している。