

## 中性子を用いた排水中ホウ素濃度計測器の開発と実用化

### 背景

わが国では、2001年7月の水質汚濁防止法改正により、排水基準にホウ素及びその化合物が追加された。このため、事業者にとっては、的確な排水管理上、迅速にホウ素濃度を計測できるプロセスモニターが必要である。当所では、2001年、放射線取扱の許認可を必要としないレベルの中性子線源を利用したホウ素濃度の計測方法を特許出願している\*1（図1）。この方法は、従来の電極式計測法と異なり、センサー部を排水中に挿入するだけで計測できるため、設置場所の制約も少なく、設置後の維持費もかからず、簡易なりアルタイム測定法として優れている。

### 目的

中性子を用いたホウ素濃度計測法の性能を核物理理論と実験によって確認し、実際のプラント排水に適用してその有用性を実証する。

### 主な成果

#### 1. 計測原理の確認

中性子線源（<sup>252</sup>Cf、半減期2.64年）から放出された数MeVのエネルギーを有する速中性子は、排水中水素原子との散乱、衝突によってエネルギーレベルが0.025eVの熱中性子となる。ホウ素は、他の元素に比して、この熱中性子を捕獲する能力が著しく高い。そこで、中性子を速中性子と熱中性子の2群に分けた拡散方程式から理論解を求め、水中のホウ素濃度と熱中性子計数率との関係を求めたところ、両者に明瞭な対応関係を得た。このことは、ホウ素濃度を調整した水槽に、中性子線源と熱中性子検出器を装着したセンサーを挿入した実験によっても確認できた（図2）。

#### 2. 計測精度の相対誤差評価

現行の排水基準を考慮して、10～500mg/Lの範囲のホウ素濃度を対象に、本計測法と公定法（ICP発光分光分析法）の計測精度を比較した。本計測法は、ホウ素濃度が高いほど精度が向上し、50mg/L以上の濃度であれば分単位の計測時間で公定法と同程度の精度が確保できる。低濃度領域では、速中性子放出の統計的動揺による影響が相対的に大きくなるため精度は低下するが、10mg/L程度の濃度でも、計測時間を30分にすれば相対誤差は3%以下となる。このように、本計測法は、計測時間によって精度を向上できる点が、従来の方法にはない特徴である（図3）。

#### 3. 実証試験

実際のプラント排水を対象に1ヶ月間の性能試験を行った結果、懸濁物質濃度が2,000mg/L以上で、水温が40℃を越す条件下でも前処理をしなくても安定して計測でき、公定法による分析値と同程度の精度が確認できた（図4）。これらを基に、本法の特許を実施許諾して、2009年4月、「ホウ素濃度常時監視計」として商用化した。

主担当者 環境科学研究所 環境ソリューションセンター 上席研究員 下垣 久

関連報告書 「中性子を用いたホウ素濃度計測器の開発と適用性の評価」電力中央研究所報告：V08060（2009年4月）

\*1：ホウ素濃度の計測方法およびこれを利用する計測装置、特許出願番号2001-161867、2001

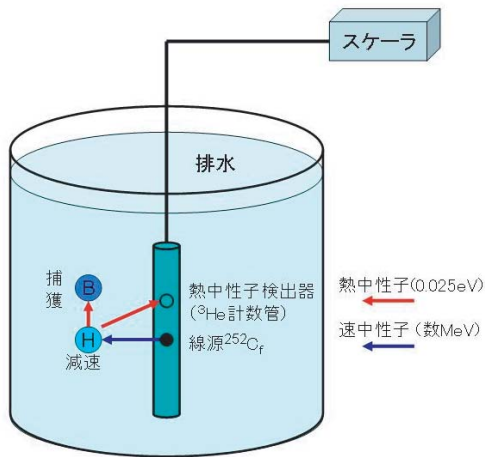


図1 排水中ホウ素濃度の計測原理

ホウ素の熱中性子捕獲能が、他の原子よりも2~3桁大きいことに注目した計測法である。

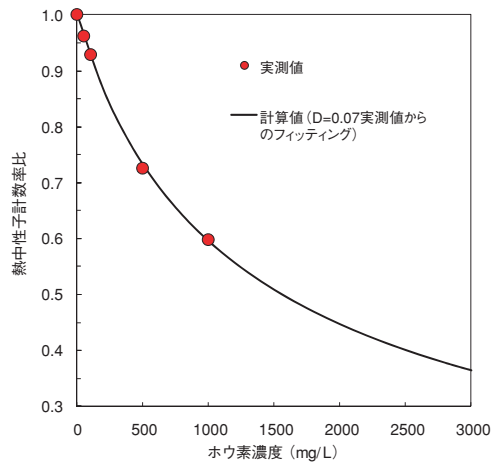


図2 ホウ素濃度と熱中性子計数率比に関する計算値と実測値との比較

中性子の2群（速中性子と熱中性子）拡散方程式から求めた関係は、水槽実験の結果とよく一致した。

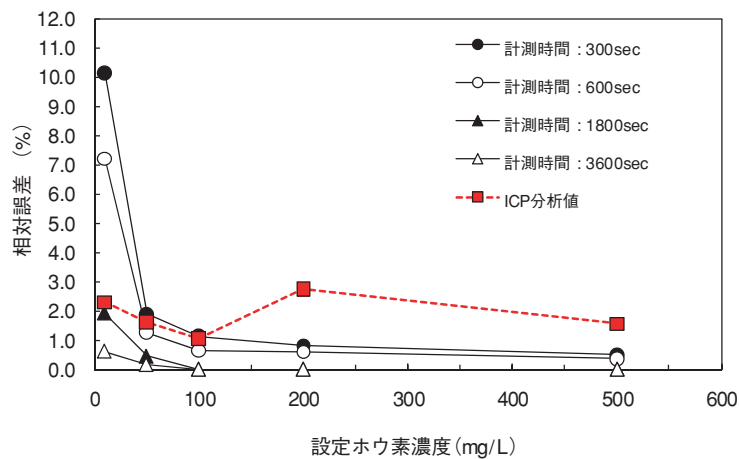


図3 本測定法によるホウ素濃度の計測精度（相対誤差で評価）  
ホウ素濃度が高いほど、計測時間を長くするほど精度はよくなる。

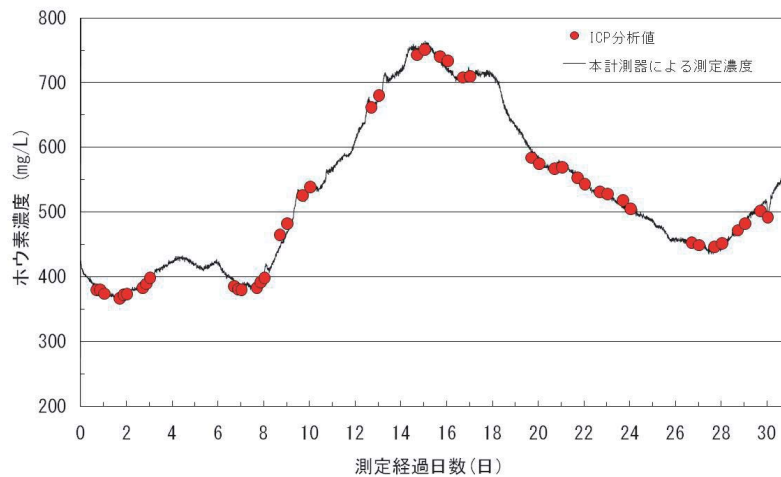


図4 実プラントの排水中ホウ素濃度の計測結果（10分間計測）と公定法分析値との比較  
リアルタイム計測の連続プロセスモニターとして実用に供することが実証された。