

ノイズ低減型中性子水分計による 非破壊検査



服部 行也

Hattori Yukiya

((株)日立パワーソリューションズ)

1 背景

国内の石油化学コンビナートでは、設備の経年化に伴い配管・塔等の外面腐食対策が課題となっている。外面腐食とは、図1に示すように、保温材付きの配管や塔に対して、外装板金の隙間等から浸入した雨水や結露が主な要因となって配管や塔の外表面が腐食することである。従来、点検を行うためには、保温材の撤去・復旧やこれらの作業を行うための広範囲な仮設足場の設置が必要となり“最少の付帯工事で検査することができないか”とのニーズがノイズ低減型中性子水分計技術開発のきっかけとなった。

CUI: Corrosion of Under Insulation (断熱下外面腐食)

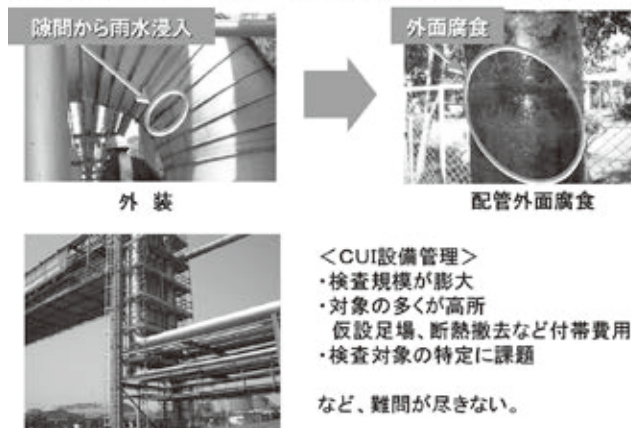


図1 断熱下外面腐食 (CUI)

<CUI設備管理>

- ・検査規模が膨大
- ・対象の多くが高所
- ・仮設足場、断熱撤去など付帯費用膨大
- ・検査対象の特定に課題

など、難問が尽きない。

2 ノイズ低減型中性子水分計の開発

本稿では、実用レベルに到達した中性子水分計計測技術について述べるが、基礎開発は、平成18年度経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業にて茨城県内の産・学・官でコンソーシアムを組んで推進したものである¹⁾。開発に対する要求は以下の通りである。

- (1) 配管や塔の保温材中の水分を、保温材を撤去せずに検出できること。
- (2) プラント稼動中での配管や塔に内容物

(水、重油等)がある状態でも保温材中の水分が検出できること。

- (3) 中性子源は、コンビナート等のフィールドで簡易的な手続きと管理で使用できること。

2.1 開発課題と対応方針

中性子水分計は中性子源から放出された高速中性子が、水分を構成する水素原子と弾性衝突を繰り返すことで減速された熱中性子数が水分量を示している原理を利用している。

コンビナート等の使用環境においてはノイズとして、配管や塔の内容物や隣接配管・コンク

リート構造物等で生成される熱中性子、さらに中性子源から直達する高速中性子等のノイズ源が数多く存在し水分計測のS/N (signal to noise ratio) を悪化させている点が最大の課題である。

課題対応方針として、中性子検出器に入射する熱中性子の発生領域を保温材含む配管外表面領域に制限するノイズ低減策を採用した。また簡易的な手続・管理を実現する目的で中性子水分計は中性子源として放射性同位元素を採用し表示付認証機器とする方針とした。

2.2 S/N改善策

S/N改善策を図2ノイズ低減型中性子水分計の計測概念に示す。

1) マルチスリットコリメータ

マルチスリットコリメータは中性子検出器の周りを中性子遮蔽材で覆い、保温材側に位置する一方向に開口部（スリット部）を設け、保温材含む配管外表面領域から入射してくる熱中性子のみを検出する構造物である。コリメータの突出し長さを短くするために開口幅が狭いスリットを複数並べるマルチスリット構造を採用している。

2) 中性子減速材

中性子源は、 ^{252}Cf を採用した。 ^{252}Cf から放出される高速中性子はエネルギーが高い（平均1.4 MeV）ため減速材を用いて高速中性子の平均エネルギーを下げて減速される熱中性子生成数の向上を図った。中性子減速材はポリエチレンとし、厚みはモンテカルロシミュレーション (MCNPX250) により評価して30 mmとした（図3参照）。

3) 差分計測

中性子検出器に入射する中性子は、マルチスリットコリメータによりノイズ成分の多くが排除されるが、中性子遮蔽構造に完全な遮蔽能力を持たせることは現実的には困難である。そのため、マルチスリットコリメータで排除しきれないノイズをキャンセル可能な差分計測法（図4参照）を採用した。マルチスリットの前面に熱中性子を

遮蔽する開閉式遮蔽蓋を設け、遮蔽蓋の開閉状態各々での計測値の差分を求めることで、ノイズをキャンセルすることが可能となる。

4) 装置仕様・構成

ノイズ低減型中性子水分計の仕様を表1に、装置外観を図5、計測イメージを図6に示す。

装置は本体部と操作端末に大別され、本体部は検出ヘッド部、操作ロッド部で構成される。検出ヘッド部には基礎開発時の構成に加え、基板化した測定回路、及びマルチスリットコリメータ前面の遮蔽蓋駆動機構を軽量ボディーに収納した構成となっている。検出ヘッド部はA4

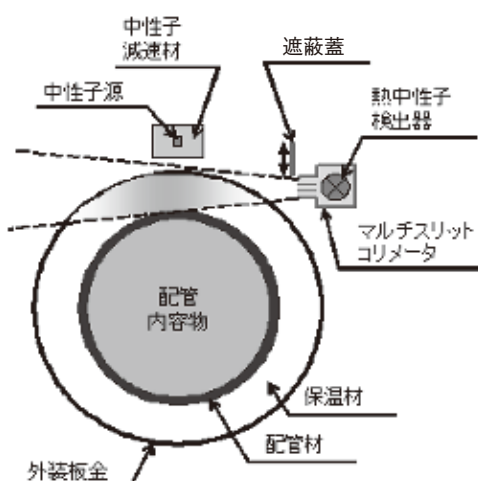


図2 ノイズ低減型中性子水分計の計測概念

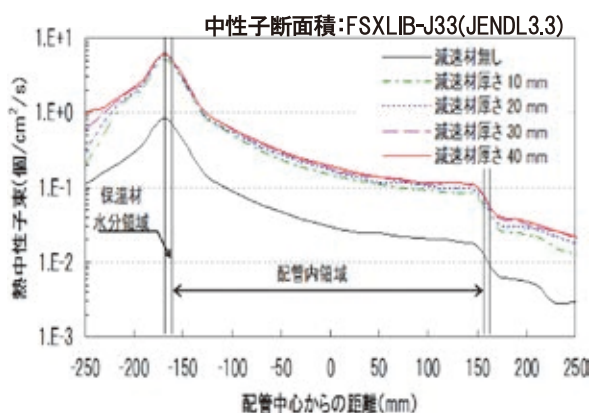
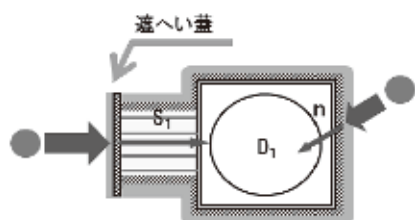
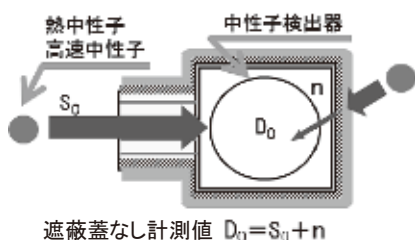


図3 減速材の採用



$$D_0 - D_1 = (S_0 + n) - (S_1 + n)$$

$$= S_0 - S_1$$

$$D_0 - D_1 = \text{熱中性子} \rightarrow \text{シグナル}$$

図4 差分計測

表1 ノイズ低減型中性子水分計仕様

●構成	本体部：検出ヘッド部 操作ロッド部 端末処理部：ノート型PC 付属品：保管・輸送容器及び装置収納容器
●水分検出可能量	15 ml (300 A 配管での目標値)
●計測時間	10 秒/計測点
●寸法、質量（本体部）	検出ヘッド部：幅 301×奥行 191×高さ 96 mm, 約 2.4 kg 操作ロッド部：長さ 2,622 (最大)×径 41 mm, 約 1.8 kg
●電源	携帯型バッテリー
●中性子源核種、強度	^{252}Cf , 2 MBq 程度 (表示付認証機器)

サイズのファイルと同程度の大きさで質量は約 2.4 kg である。操作ロッド部は伸縮式とし、先端に検出ヘッド部を取付けることで 3 m 程度の高所でも人力による計測が可能である。また、操作ロッドの手元には簡単な操作と無線機能を備えた表示器とバッテリーを取付け、検出ヘッド部内の基板には本バッテリーより給電する構造とした。端末処理部はノート型パソコン（質量約 1.3 kg）のみとし、開発初期の計測処理部に比べ大幅に軽量化した。検出ヘッド部及び端末処理部ともに電源をバッテリー化し、更に両者間を無線化した。以上より、計測の作業性を大幅に向上させることができた。

5) 水分計測性能について

模擬配管を用いて性能試験を行った。性能試験体系及び試験結果を図 7, 8 に示す

図 8 で軸方向位置 0 mm（模擬水分の位置）



図5 装置外観



図6 計測イメージ

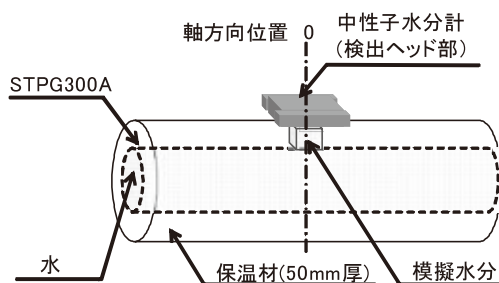


図7 性能試験体系

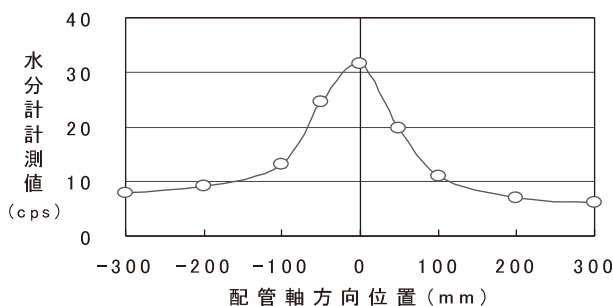


図8 性能確認結果 (1) 模擬水分 200 mL

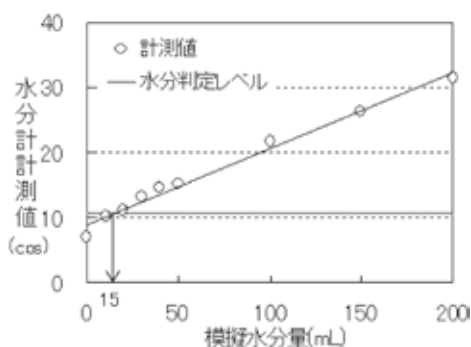


図9 性能確認結果 (2)

において、計測値はピークを示しており、配管内に内容物が存在しても、保温材中の水分を検出できることが確認できた。また、検量線を求めるために模擬水分量を変化させて計測した結果、模擬水分量と水分計計測値の直線性を確認できた(図9)。水分量0 mLのときのバックグラウンドノイズに統計誤差(2 σ 分)を加算した値を水分検出下限量として求めた結果、15 mLとなった。

3 実プラントでの非破壊検査実績

断熱材劣化評価基準の一例を表2に示す。性能試験から得られた水分の検出下限は5 Vol%に相当し断熱下外面腐食発生可能性が極めて低いレベルから計測可能であり、当初の目的であった保温材を撤去して点検する範囲や将来の高エネルギーX線適用範囲のスクリーニング技術として十分な性能であると言える。

表3に実プラント実配管での診断検証例を示す。ノイズ低減型中性子水分計が対象としている水平直管部での検証例である。本件に関しては、既に「検査技術」誌²⁾等でも紹介されているが、本稿ではCUI水分量の定量計測に焦点を当てて紹介する。検出下限の含水率5 Vol%以上を含水ありと評価し、断熱取り外し後の配管腐食有無を検証した。その結果、ノイズ低減型中性子水分計の含水なしの評価では腐食ありの箇所がないことが示され、スクリーニング技術として十分な性能を有していることが、改め

表2 断熱材劣化評価基準の一例

断熱メーカー評価指標より		水の検出下限 5Vol%
評価	含水率 Vol%	
A	<5	腐食なし
B	≤10	Gray -Zone
C	≤15	
D	≤25	
E	>25	腐食有り

表3 実配管(水平直管)検証例

含水有り 約40%		含水なし 約60%	
腐食有り 約10%			
①含水あり 腐食あり	②含水あり 腐食なし	③含水なし 腐食なし	④含水なし 腐食あり
8%	28%	64%	0%

検証総数:159件(直管部) 含水率5%vol以上を含水あり。

て検証された。

本技術は、配管総長の大部分を占める直管に特化した技術であり腐食しやすいと言われていたエルボやティーズなどへの適用は考慮されていない点を注意しておきたい。エルボやティーズなどの診断は従来技術で行うべきと考えている。

4 今後の外面腐食診断技術開発計画

X線技術やセンサ搬送装置の開発を含めた配管の断熱下外面腐食診断システム開発の状況を



図 10 配管の断熱下外面腐食診断システム

図 10 に示す。平成 25 年度産業競争力懇談会においても議論された内容³⁾であり、平成 26 年度からは X 線技術も含めた自走メカシステム開発がスタートし平成 30 年にはハイブリッド運用を目指している。

参考文献

- 1) 服部行也, 中性子水分計と茨城プロジェクトに

による成果，日本工業出版配管保温下腐食（CUI）対策の最新動向（機器編）予稿集（2014）

- 2) 三浦到, 服部行也, 浅見研一, ノイズ低減型中性子水分計の開発と活用”, 検査技術, **20**(2), 61-69 (2015)
- 3) 産業競争力懇談会 COCN, 産業競争力懇談会 2013 年度プロジェクト最終報告インフラ長寿命化技術 (参考資料 7), 産業競争力懇談会 COCN (2014)