

表面透過型 RI 密度水分計における Ce:LiCaAlF₆ シンチレータの ³He 代替検討

ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 ○塚本 雄士
ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 池永 太一

1. はじめに

標準的な中性子検出器媒体である ³He ガスが昨今世界的な供給量不足に見舞われており、多くの分野において問題となっている。土木分野では盛土品質管理試験などで用いられる RI 密度水分計 (以下、RI 計器) がその問題に直面していると言える。なぜなら RI 計器は密度計用にガンマ線検出器、水分計用に中性子線検出器を搭載しており、中性子線検出器は標準的なものとして ³He ガスが充填された比例計数管 (以下、³He 管) が専ら使われてきたためである。

³He ガス依存の状況を打破しようと ³He 代替中性子検出器の開発が盛んに行われており、注目されているものに中性子用シンチレータがある。中性子用シンチレータは ³He 管と異なりガンマ線に対しても感度を有する問題があるが、その中で Ce:LiCaAlF₆ シンチレータ (以下、LiCAF) は他のものと比べ密度が低く、中性子線とガンマ線の弁別能に優れている。

そこで本稿は表面透過型 RI 計器における水分計用の ³He 管代替検出器として LiCAF の適応可否を検討した。また中性子線とガンマ線を弁別できることから LiCAF をガンマ線検出器としても用い、計器内蔵の検出器を 1 つに集約できる可能性についても検討した。

2. 計器構造、測定原理

表面透過型 RI 計器は先に述べたようにガンマ線検出器と中性子線検出器を搭載しており、土中に挿入された線源 (⁶⁰Co, ²⁵²Cf) から放出されるガンマ線および中性子線を検出し、単位時間あたりのガンマ線および中性子線検出数 (以下、計数率) から密度および水分量を算出できる計器である (図 1)。

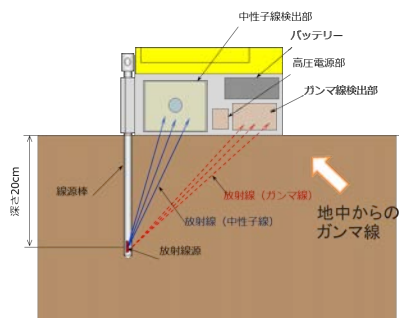


図 1 表面透過型 RI 計器の構造図

3. 実験方法

表面透過型 RI 計器はガンマ線検出器としてガイガーミュラー計数管 (以下、GM 管) を、中性子線検出器として ³He 管を搭載したもの (以下、現行器) と代わりに LiCAF を搭載したものの 2 台を用意した。線源には現行器で使用されている ⁶⁰Co と ²⁵²Cf の密封線源を用いた。RI 計器の校正に用いられているアクリル板とガラス板を重ね合わせたものを測定対象である供試体として使用した。この供試体は 25 枚重ねられたガラス板の上にアクリル板を積み重ねていくことで、密度および水分相当量を調整することができる。アクリル板を 2 枚から 18 枚まで偶数枚ずつ足しながら両計器を使って測定時間は 1 回につき 3 分間行った。

4. 実験結果および考察

LiCAF で測定されたスペクトル結果を図 2 に示す。縦軸はガンマ線および中性子線のチャンネルあたりの計数率、横軸はエネルギー分別チャンネル番号である。先の研究からチャンネル番号が 50ch から 600ch 辺りまでで見られる下りの傾斜部がガンマ線を、1100ch 辺りがピークとなっている緩やかな凸部が中性子線を検出した特徴と判断できる¹⁾。アクリル板の枚数が増えるにつれて

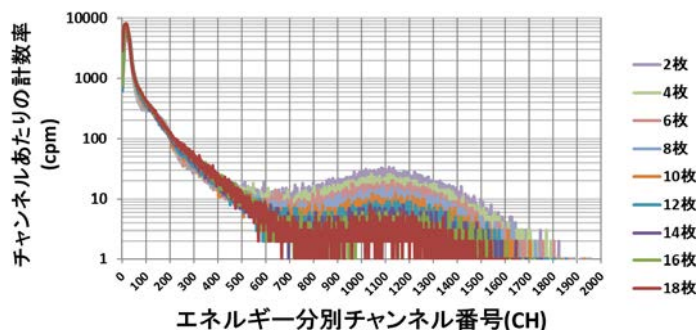


図 2 アクリル板の枚数増加を測定した LiCAF のスペクトル

中性子線の計数率が顕著に減少している一方でガンマ線の計数率に大きな変化は見られない。今回は 750ch でガンマ線と中性子線を弁別し、水分計、密度計それぞれで検出器の違いによる結果を比較した。

Key Words: 中性子検出器, Ce:LiCAF, 表面透過型 RI 密度水分計

〒 561-0834 大阪府豊中市庄内栄町 2-21-1 ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 機械部 TEL06-6331-6031

線源の減衰影響を考慮した指標として計数率比を用いる. 図3が測定した中性子線の計数率から計数率比を算出し検出器別の結果に対して近似曲線を引いたもの, 図4が同様に測定したガンマ線の計数率から計数率比を算出し検出器別の結果に対して近似曲線を引いたものである. 次に検出器の違いによる測定値誤差を比較するために壊変揺動誤差 (RI 計器特有の統計誤差) を算出した. 代表値としてアクリル板 10 枚の時の結果を表 1 および表 2 に示す.

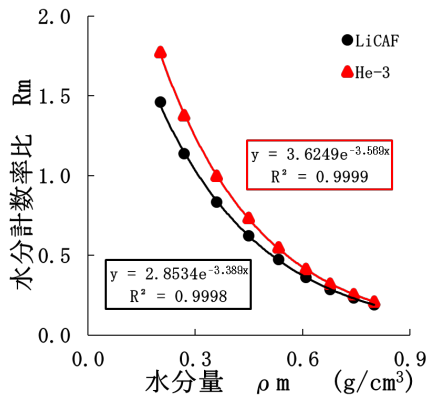


図 3 水分計

表 1 水分計の壊変揺動誤差

検出器	$\sigma_{\rho m}$ (g/cm ³)
³ He 管	0.0039
LiCAF	0.0044

水分計については図 3 より LiCAF でも決定係数 R^2 が 0.9998 と ³He 管と遜色ない相関関係が得られた. また表 1 より壊変揺動誤差の両者の差分が 0.0005g/cm³ とかなり小さく水分計用の中性子線検出器として LiCAF は十分な性能を有していると判断できる. 加えて図 4 と表 2 の結果から LiCAF を ³He 管と置き換えて GM 管と組み合わせた場合でも密度の測定値にほぼ影響がないことが分かる. 以上のことから LiCAF は表面透過型 RI 計器の ³He 管代替中性子線検出器として使用できることが分かった.

次に密度計については図 4 より LiCAF 単体の場合, 他 2 つの組み合わせと比べ傾きが緩やかで決定係数 R^2 が 0.8355 と相関が明確に見られるものの相対的に低いことがわかる. また表 2 より LiCAF 単体では他 2 つの組み合わせと比べ測定密度の壊変揺動誤差が 0.0406g/cm³ と大きく元々の密度計の精度が確保できていない. 以上より表面透過型 RI 計器の密度計用検出器として LiCAF の単体利用は難しいと判断される. 一方で厳密な測定精度を問われない他のガンマ線計測用途であれば代替の可能性はある.

5. 結論

密度計用にガンマ線検出器 GM 管を, 水分計用に中性子線検出器 ³He 管を搭載した表面透過型 RI 計器に対して LiCAF が代替中性子線検出器として搭載可能か, またガンマ線に対しても感度を有することから検出器を 1 つに集約できる可能性について検討した. 今回わかったことは以下である.

- LiCAF は現行の表面透過型 RI 計器搭載の ³He 管代替中性子検出器として用いても密度水分計としての測定精度を確保することができる.
- 搭載検出器を LiCAF のみにした場合, 密度に関して現行の表面透過型 RI 計器の測定精度を確保することができず, 検出器を 1 つに集約することは難しい. ただし厳密な測定精度を問われない他のガンマ線計測用途であれば代替できる可能性がある.

参考文献

1) Atsushi Yamazaki, Kenichi Watanabe, Akira Uritani, Tetsuo Iguchi, Noriaki Kawaguchi, Takayuki Yanagida, Yutaka Fujimoto, Yuui Yokota, Kei Kamada, Kentaro Fukuda, Toshihisa Suyama, Akira Yoshikawa. Neutron–gamma discrimination based on pulse shape discrimination in a Ce : LiCaAlF₆ scintillator, in:Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 652, (2011), 435-438.

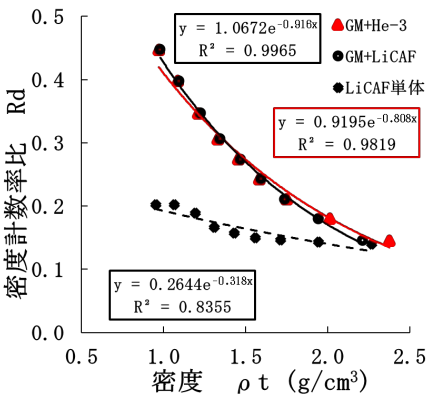


図 4 密度計

表 2 密度計の壊変揺動誤差

検出器	$\sigma_{\rho t}$ (g/cm ³)
GM 管 + ³ He 管	0.0148
GM 管 + LiCAF	0.0130
LiCAF 単体	0.0406