

過酷環境での多様な精密計測を実現する キャパシタンスセンサーの開発

SATテクノロジー・ショーケース2026

■ はじめに

大強度ビームを取り扱う加速器実験では、ビームと物質の衝突によって生ずる高温と高放射線が大きな課題となっている。特に高放射線は有機材料をただちに劣化させるため、樹脂を絶縁材などに用いる測定器は使用できず、高放射線環境下での計測は熱電対のような金属とセラミックなどの無機材料のみで製作可能な極めてシンプルなものに限られる。それゆえ、過酷環境下での”目”が極めて不足しており、この課題は、加速器分野のみならず、原子力分野でも問題視されている。そこで、無機材料のみで製作でき、応用幅が広い測定器としてキャパシタンスセンサーを開発している。これはpFオーダーの微小な静電容量の変化を捉えるだけのシンプルなセンサーだが、使いみち次第で、濃度計、圧力計、水位計、回転計・・・などの様々な測定を過酷環境下で実現できる。本発表では、センサーの動作原理と応用例に加えて、この加速器分野で生まれた耐高放射線キャパシタンスセンサーを原子力分野に応用しようとしている取り組みについても紹介する。

■ 活動内容

1. 過酷環境用キャパシタンスセンサーの開発

キャパシタンスセンサーの構造は非常にシンプルである。過酷環境下に2枚の金属板(図1の場合は、主電極と測定金属)を設置し、その板同士でコンデンサを形成させるだけでよい。この静電容量を変えるような変化、たとえば測定金属が振動すれば変位量の変化として捉えることが出来る。このように無機材での製作が容易で、適用幅が広いセンサーとして注目し、下記の開発項目に取り組んでいる。

● 読出回路の開発

高温と放射線は物質の絶縁抵抗を劣化させることが知られており、過酷環境下での測定課題の1つである。本研究では読出回路にボルテージフォロワを設けることで、絶縁抵抗が劣化したとしても、同軸ケーブル芯線とシールド線が等電位となり、あたかも高絶縁抵抗のように振舞わせることができる。加えて、主電極と測定金属以外の不要な電場カップリングを防ぐことができるため、ボルテージフォロワの同相同電位性能がセンサーの性能に大きく直結する。

● 無機材センサー電極とケーブルの開発

高温下でも熱膨張によるキャパシタンス変化が小さく、熱膨張差によって破損しないセンサー電極とケーブルは必須である。加えて、本研究では、長ケーブルによる寄生容量対策やシールド効果の検証が重要となる。

2. 原子力分野への応用

原子力分野でも計測用の耐放射線アンプなどが開発されつつある。しかし、福島第一原発事故後に要求された軽水炉格納容器内機器の仕様である動作温度300℃、累積線量5MGy/6か月を満たす計測器類はほとんど存在しない。しかし、原子炉内においては図2に示すような多様な測定が求められている。これらを個々に開発することは、コスト的にも技術的にも困難を伴うが、本研究で開発している過酷環境用キャパシタンスセンサーを応用するで、これらの多様な機器が一度に実現できると見込んでいる。

■ 関連情報等

本研究は、国家課題対応型研究開発推進事業（原子力システム研究開発事業）およびJSPS科研費JP22H00143の助成を受けたものです。

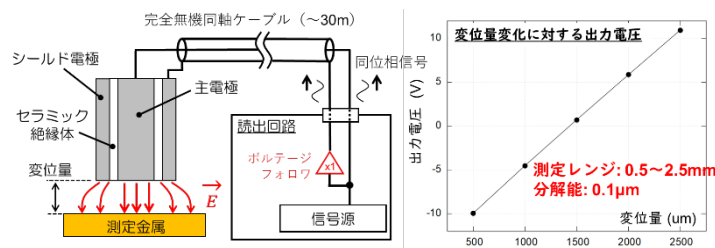


図 1: キャパシタンスセンサー概略図(左)

キャパシタンスセンサーを用いた変位量測定(右)

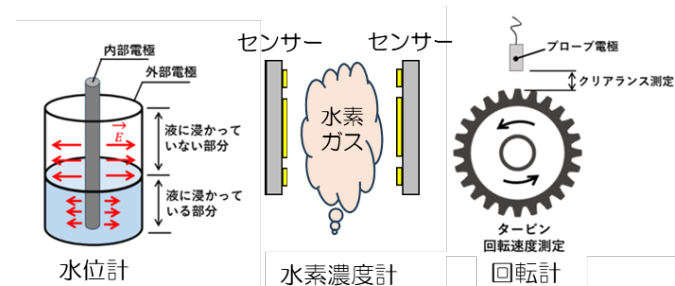


図 2: 原子力分野で期待されるキャパシタンスセンサーの応用例

水位計: 液相と気相の誘電率の差を利用して水位を推定
水素濃度計: センサー間のガス誘電率の変化を捉える
回転計: 回転体の凹凸による周期的な間隙変化を捉える

代表発表者 武藤 史真(むとう ふみまさ)
所 属 高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所 ハドロングループ
問合せ先 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方 203-1
TEL: 029-284-4330
fmuto@post.kek.jp

■ キーワード: (1) 耐高放射線
(2) キャパシタンス測定
(3) 遠隔監視技術