

全光ファイバCT

電気ノイズの影響を受けない 高精度電流センサ

光ファイバは、データ通信に利用するだけでなく、光ファイバを伝播（でんぱ）する光の性質を利用して、電流測定用のセンサとして用いることができます。

東芝は、ファラデー効果^(注1)を利用し、光によって電流を測定することで、周辺機器からの電気ノイズの影響を受けない、全光ファイバCT(Current Transformer)を開発しました。全光ファイバCTは、光の伝送路をすべて光ファイバで構成することにより光学的な安定性を保ち、センサ近傍で落雷があっても高精度の電流測定を実現します。集積化された送受配電設備など、電気ノイズが過酷な環境下で適用可能な電流センサです。

光で電流を測定するメカニズム

図1のように、全光ファイバCTのセンサは、光が進む方向と電流が作る磁界の方向が同じになるように、シングルモード光ファイバを導体の周りに巻きつけて構成します。

光源からの光は、位相のそろった光1と光2に分けられ、ファイバ素材を加工した1/4波長板で円偏光^(注2)に変換された後、センサ用のシングルモード光ファイバに導かれます。導体に電流

(注1) 磁界に沿って配置された石英などの媒質中を光が伝播するとき、光の位相が磁界強度に比例してシフトする現象で、英国の物理学者マイケル・ファラデーにより発見されました。

(注2) 光の電界成分が、光の進行方向に垂直な面上で、円運動している光のことを言います。

が流れている場合、ファラデー効果によって、光1と光2の間には、電流の作る磁界により電流の大きさ I に比例した位相差 θ ($=2nVI$)が生じます(図2)。ここで、 n は導体に巻きつけられた光ファイバの巻数、 V は光ファイバの材質によって決まる磁気感度定数(ベルデ定数)です。シングルモード光ファイバを通過した光1と光2は、再び重ね合さり干渉光となります。電流の作る磁界によって生じた位相差 θ は、その干渉光の光量変化として検出器で検出され、電流の大きさがわかります。

高精度電流測定を実現する 光ファイバ技術

図3は、開発した全光ファイバCTのセンサ部の外観で、ドーナツ状ケースに

センサ用光ファイバを収納しています。

使用する光ファイバは、どのようなものでもよいわけではありません。

一般通信用の光ファイバは、少なくとも内部にひずみがあり、屈折率が一様ではありません。また、温度変化による被覆材の伸縮力も光ファイバの屈折率を変化させるため、伝播する光の速度が変化し、測定誤差の原因となります。

東芝は、内部ひずみが小さな光ファイバを開発し、アクリル被覆材と光ファイバの間にシリコンゴムを挿入することで、温度や振動による外力が直接光ファイバに加わらない構造にしています。

この技術により、 $-40\sim 60^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で、精度0.2%の高精度電流測定を実現しています。

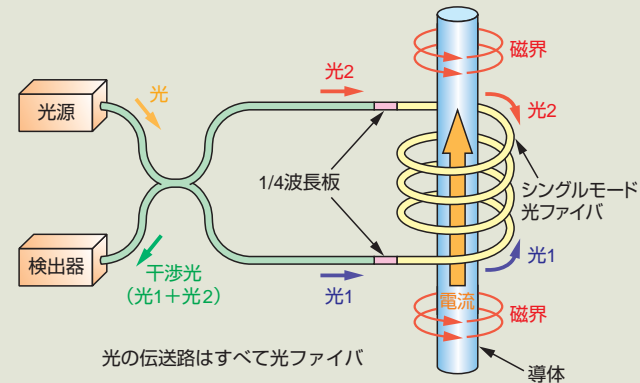


図1. 全光ファイバCTの基本構成 — 電流導体の周りにシングルモード光ファイバを巻きつけてセンサを構成し、位相のそろった光1と光2を円偏光に変換して入射します。

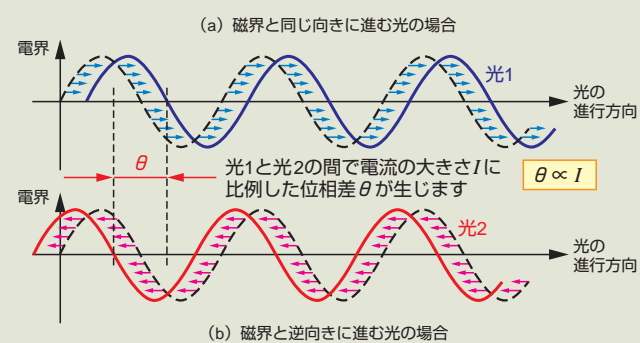


図2. ファラデー効果の原理 — 光ファイバ内を伝播する円偏光(光1, 光2)は、電流磁界の向きによって正負の位相シフトを生じ、生じた位相差 θ は電流 I の大きさに比例します。

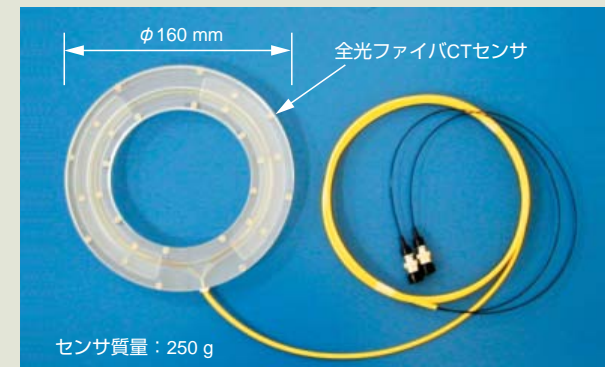


図3. 全光ファイバCTのセンサ部外観 — センサ用光ファイバはドーナツ状のケースに収納されています。センサは絶縁物で構成され、小型・軽量です。

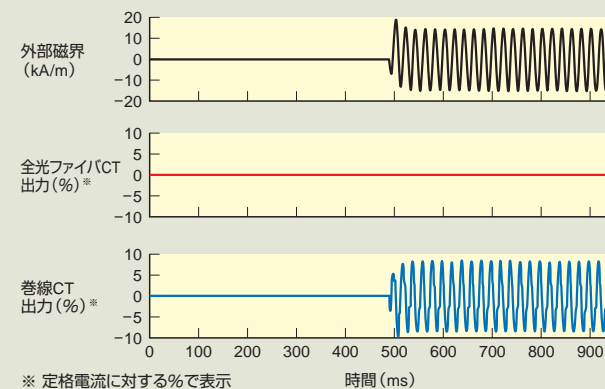


図4. 外部磁界の影響 — 全光ファイバCTは光で電流を測定するため、従来の巻線CTと異なり、外部磁界の影響を受けません。

外部磁界の影響がなく 105 dBのダイナミックレンジ

集積機器内部や、モータ、インバータの近傍へ電流センサを設置する場合、外部磁界の影響が重要となります。

図4は、開発した全光ファイバCTと、従来型の一般計測用巻線CTについて、外部磁界の影響を比較したものです。各センサの近傍3 cmの距離に3,000 Aの電流磁界(16 kA/m)を加えています。これは、センサから1 mのところに雷が落ちた場合の磁界に相当します。電磁誘導を利用する巻線CTは、外部磁界により、定格電流の10%に相当する出力ノイズを発生していますが、ファラデー効果を利用した全光ファイバCTでは、影響がありません。

このように、従来型CTは外部磁界の影響を受けるため、最大測定電流を最小測定電流で割ったダイナミックレンジは50~65 dB程度に制限されますが、全光ファイバCTは、光による測定のため影響がなく、従来型CTの100倍となる105 dBを実現し、より小電流から大電流までの測定を可能にします(図5)。

今後の展望

全光ファイバCTは、図6に示すように、従来型CTの抱えていた様々な課題を解決することができ、高精度でダイナミックレンジが広く、電気ノイズの影響がない電流センサを提供することができます。センサは絶縁物で構成されるため、100 kVを超える高圧部に

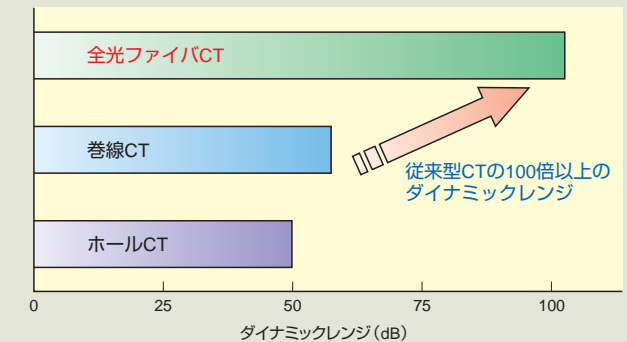


図5. 従来型CTとのダイナミックレンジの比較 — 全光ファイバCTのダイナミックレンジは105 dBで、従来型CTの100倍以上です。

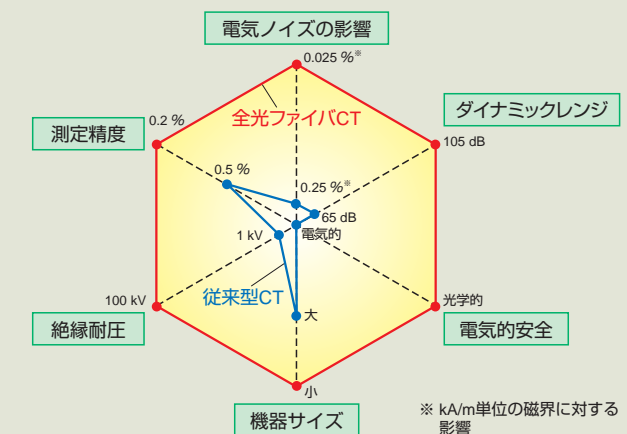


図6. 全光ファイバCTの利点 — 従来型CTと比較し、電気的に劣悪な環境下においても、安全で高精度な電流測定を実現します。

も設置が可能です。また、光ファイバを用いるため小型・軽量のセンサにすることができ、機器の更なる集積化にも貢献します。光による非接触測定のため、電気的にも安全です。

これらのアドバンテージを利用して、受配電に必要なmAの微弱電流の測定から、大規模プラントのモニタリングに必要な300 kAを超える大電流まで幅広く対応し、全光ファイバCTの適用拡大を行っていきます。

佐々木 欣一

電力・社会システム社
電力・社会システム技術開発センター
電機応用システム開発部主務