

サブ mm の極小センサが拓く「脱炭素」の未来

— 光プローブ電流センサ「OpECS」 —

【開発の背景・従来の課題】

2050 年のカーボンニュートラル実現に向け、電気自動車(EV)に代表される電動車や再生可能エネルギーによる発電方式が普及しています。一方で AI の著しい普及に伴いデータセンターでの電力消費が増大することが予測されています。このように今以上に電力を使う時代になり、そのためには電力制御を担うコンバータやインバータといった電力変換回路の高効率化が重要になります。

それら回路で使用する部品の中でも SiC(炭化ケイ素)や GaN(窒化ガリウム)を用いたワイドバンドギャップ半導体はキーデバイスです。これらは従来の Si(シリコン)半導体に比べて、高耐圧で、高速スイッチング動作が可能である特長があり、電力変換時のエネルギー損失を大幅に低減できる部品として実用化が進んでいます。

一方で、その性能を最大限に引き出すための「電流計測技術」には課題が残されていました。高速で変化する電流を精確に測るためには、直流から 100 MHz を超える交流の電流を測定可能なセンサが必要です。しかし、従来の電流プローブ(ロゴスキーコイルや CT)では高周波の電流計測は難しいだけでなく、サイズが大きいため高密度に実装された回路の細い配線を流れる電流の計測はさらに困難でした。また、電磁ノイズの影響を受け易いといった問題もありました。

そのため次世代高密度実装電源回路の半導体素子などに流れる電流を計測できる高周波対応・超小型・高性能な新しい電流センサの開発が求められていました。

【信州大学と企業の技術と挑戦】

2000 年代後半から信州大学工学部電気電子工学科山沢・三浦・佐藤・曾根原研(当時)では、20 年後のパワーエレクトロニクス(パワエレ)産業を予測して、光プローブ式磁界センサを新たな電流計測技術として利用することを想定し、同センサの研究・開発を進めてきました。本センサの肝は、磁気光学効果を有する磁性材料であり、初期は磁気 Kerr 効果を有する Fe-Si/Mn-Ir 交換結合積層膜と、それを用いた数 cm サイズセンサモジュールの反射型光プローブ式磁界センサを開発していました。ところが、センサ出力に大きく依存する Fe-Si 磁性膜の Kerr 回転角をより高くすることができず、磁界センサとして用いるには困難でした。

2013～2017 年度に支援を頂いた JST スーパークラスター(京都コアクラスターのサテライト、サテライト代表:佐藤敏郎)のご縁で、磁性材料や光学部品や超精密加工など卓越した技術をもつシチズンファインデバイス株式会社(以下、シチズンファインデバイス)と共同研究を始めることになり、同センサの開発は一気に加速しました。

最大の課題であった磁性膜に対しては、磁気光学効果である Faraday 効果を有する Co 系ナノグラニューラー磁性膜や Bi 置換 YIG 磁性膜などの Faraday 素子の開発に成功しました。これらは高い Faraday 回転角(上述の Kerr 回転角に相当)を有し、センサの実用化に向けて大きな役割を果たしました。また、Faraday 素子のセンサ部から信号処理回路までは光ファイバで結んでいますが、光ファイバが振動するとセンサ出力が変化する問題がありました。



シチズンファインデバイス製：OpECS (※2)

これに対してはリング干渉型の光学系にすることで解決することができました(※1)。他にも様々な技術要素を集結し、センサ部をサブ mm にまで小型化し、シチズンファインデバイスが製品化に成功しました。本製品は、局所・狭所の直流から 150 MHz までの交流の磁界を高精度に測定することができる磁界センサとして、2024 年 4 月より岩崎通信機株式会社をつうじ、OpECS(Optical probe Electric Current Sensor)の名称で販売されるに至りました。

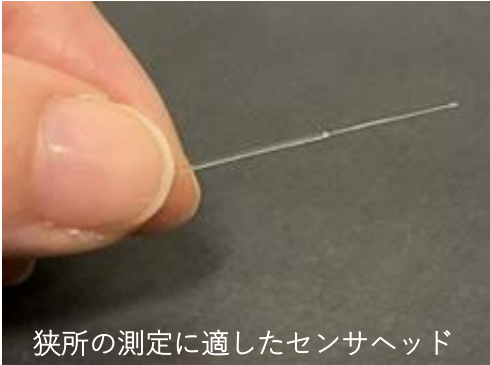
なお、2025 年 3 月までにシチズンファインデバイスから計 2 名社会人博士生として佐藤・曾根原研へ配属になり、お二方も博士(工学)を取得しています。

製品化後も信州大学とシチズンファインデバイスの共同研究は継続しています。OpECS の利用者から電流絶対値計測の要望が非常に多く、その解決に向けた例えば磁性微粒子複合材料を用いた小型集磁ヨークの研究・開発などを進めています。この複合材料も信州大学で主に高周波インダクタの磁心材料の開発で培われてきた技術を応用しています。小型集磁ヨークやそれを用いた新たなセンサヘッドの開発には、NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業共同研究フェーズ(2023～25 年度)や JSPS 科研費 基盤研究(B)(2025～28 年度)(何れも代表:曾根原誠)の支援を頂いています。

※1 特許第7222480号「干渉型光磁界センサ装置」他

※2 OpECS はシチズン時計株式会社の登録商標です。(登録商標第6562299号)

【実用化した技術内容と社会的インパクト】



狭所の測定に適したセンサヘッド

先述のように、信州大学とシチズンファインデバイスの約10年の共同研究を経て、シチズンファインデバイスにより製品化された光プローブ電流センサ「OpECS」は、センサヘッドが長さ約1 mm、最細部0.45 mmという小型サイズを実現した最大の特長があります。これにより、従来は測定不可能だったパワー半導体のリード部分や狭小な配線間の電流を、非接触で直接測定することが可能になりました。

また、光ファイバを用いて信号を伝送するため、高電圧でも安全に、高ノイズ環境下でも正確な計測を実現します。

本製品が市販され約2年が経とうとしていますが、多くの自動車メーカーや電気機器メーカーの研究開発現場において、SiCやGaNパワー半導体を用いたインバータやコンバータなどの電源回路の電流計測・評価や、電磁ノイズの解析ツールとして導入されています。2025年6月には第54回国際電子回路産業展(JPCA Show 2025)より、信州大学・シチズンファインデバイス・岩崎通信機の連名でJPCA賞を受賞しました。

信州大学の「磁気応用」「高周波磁性材料」と、シチズンファインデバイスの「光学・磁気・微細技術」「モノづくり力」の連携により生まれたこのセンサは、パワーエレクトロニクス機器の設計精度を向上させ、社会全体の省エネ化と脱炭素化に貢献する技術として活用が進んでいます。

【関連サイト】

<https://cfid.citizen.co.jp/opecs/>

【詳細情報のお問い合わせ先】

株式会社信州 TLO 長野県上田市常田 3-15-1 信州大学繊維学部内 R 棟

TEL: 0268-25-5181 FAX:0268-25-5188 E-mail:info@shinshu-tlo.co.jp