

光給電 RoF レシーバを用いたノイズ環境下における EMI 測定

菅間 秀晃、土屋 明久（電子技術部 電磁環境グループ）

柳澤 幸樹、諏訪部 豊（株式会社多摩川電子）

橋本 修、須賀 良介（青山学院大学）

1. はじめに

自動車産業では、自動車の電動化（EV、HEV など）、コネクティッドカーや自動運転技術、ワイヤレス充電など、電気・電子化が急速に進んでおり、安全性を確保する上で高精度な EMC 計測が今後重要になる。しかし、モーターやインバータから高電圧（数千 V）・大電流（数千 A）のスイッチングノイズが発生している劣悪な電磁環境下で、高精度に EMC 計測を行うためには、従来の金属製同軸ケーブルでは外来ノイズの混入を防ぐことが困難である。光給電 RoF（Radio on Fiber；光ファイバ無線）レシーバは、光ファイバの高絶縁性を活かした高精度な EMC 計測を実現する有効な技術である¹⁾²⁾³⁾。

本研究は、モーターやインバータなどから高出力の電磁放射がある環境下において高精度に EMI 測定を行うために、開発した光給電 RoF レシーバの有効性について検討を行った。

2. 光給電 RoF レシーバと同軸ケーブル

光給電 RoF システムは、図 1 に示すように電気信号を光信号に変換して光ファイバで伝送するだけでなく、センサヘッド内の電子回路への給電も光ファイバで行うため、長時間の測定も可能である。開発した光給電 RoF レシーバ（センサヘッド＋制御コントローラ）を図 2 に示す。

光給電 RoF レシーバの伝送特性は、周波数 10kHz～6GHz において伝送ケーブルとしては約 8dB（一定）の減衰量となっている¹⁾。このため、30MHz 以下の低周波領域において、同軸ケーブルに比べ減衰量が大きいの、不利な面もあるが、光ファイバの軽量かつ優れた屈曲性及び高い絶縁性といった利点を活かせる分野での活用が期待できる。

一般的な電子計測において図 3 に示すように EUT、測定治具、及び測定器は電気的安全性やノイズ対策などの理由により、その金属筐体をアースに接続して使用される。これらを金属製の同軸ケーブルで接続すると、同軸ケーブルの外部導体、アース線（または浮遊容量）、グラウンド・プレーンにより大きなグラウンドループを形成してしまう。または、アース線を接続していない場合でも、浮遊容量などによりグラウンド・プレーンと交流的に結合して、グラウンドループを形成していることもあり、予期せぬノイズ問題に至る場合がある。同軸ケーブルの外部導体は、周波数 10MHz 以上では、概ね高い磁界シールド効果を有しているが、周波数 1MHz 以下においては、同軸ケーブルの磁界

シールド効果が著しく低下する。外部に大きなノイズ源がある場合は、誘導されたグラウンドループ電流が同軸ケーブル外部導体の内側に侵入してくるため、測定したい EUT からのノイズ以外に外来ノイズも観測されてしまう。

スイッチング回路を内蔵した電子機器、EV や HEV などに搭載させる車載用電子機器の EMI 測定において、グラウンドループに起因する問題点を検証し、光伝送システムが有効と考えられる試験方法について検討を行った。

3. 実験方法

3. 1 雑音端子電圧測定（9kHz～30MHz）

スイッチング電源回路を内蔵した電子機器等は、伝導 EMI 測定として図 4 に示す雑音端子電圧測定を実施している。疑似電源回路網（LISN）と受信用のスペクトラムアナライザ（SA）が同軸ケーブルで接続されるため、同軸ケーブルの両端が LISN と SA のアース線を通してグラ

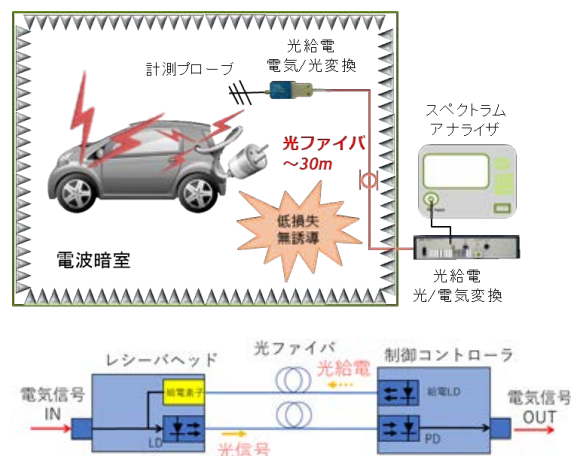


図 1 光給電 RoF レシーバの原理



図 2 開発した光給電 RoF レシーバ

ンド・プレーンに接続されることでグラドループを形成する。VCCI 規格など一般的な雑音端子電圧測定の周波数範囲は 150kHz から 30MHz であるが、LED 照明器具などを対象とした CISPR15 など一部の規格は 9kHz~150kHz の範囲も規制されている。一般的な計測用同軸ケーブルのシールド性能は周波数 1MHz 以下において著しく低下するため、外来ノイズある環境下では、グラドループを通して外来ノイズが混入して測定結果に影響してしまうことがある。そのため、図 5 に示すように同軸ケーブルの一部を高絶縁性の光ファイバに置き換えることで、グラドループを切断して外来ノイズの影響を除去できる。

そこで図 4、図 5 に示すように、同軸ケーブルの一部にパルス・ジェネレータからパルス信号（電圧 10V、繰り返し周波数 5kHz、デューティ比 50%）を印可することで、従来の同軸ケーブルの測定系に対する光給電 RoF レシーバの有効性を確認した。

3. 2 金属筐体内の二次元磁界強度分布測定

外来ノイズを印加された環境下での測定事例として、金

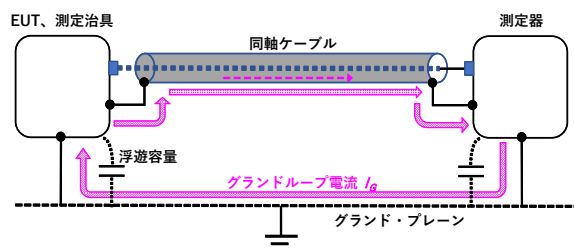
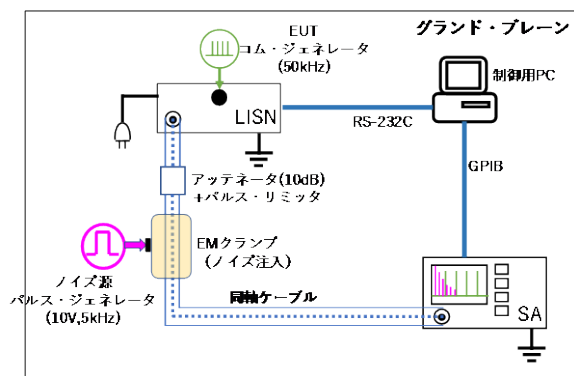
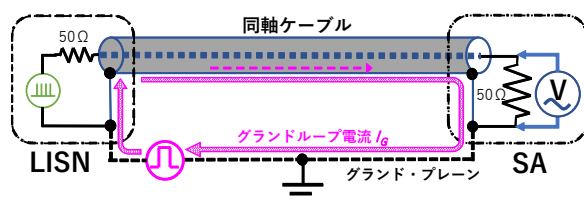


図 3 測定系におけるグラドループ



(a) 同軸ケーブルによる測定系

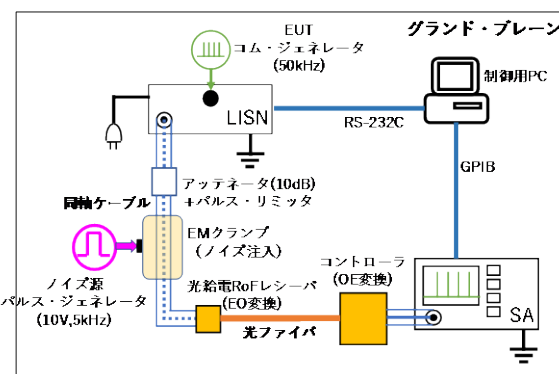


(b) 等価回路モデル

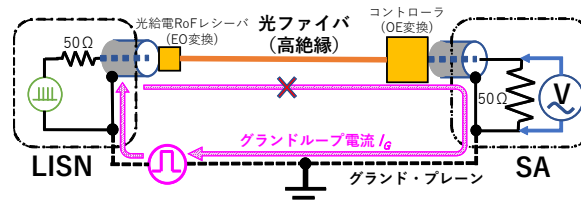
図 4 従来の雑音端子電圧測定

属筐体内に配置されたスイッチング電源回路基板（AC-DC コンバータ；入力 AC100V、出力 DC12V）を EUT とし、外部から電源ラインノイズを与えた状況での二次元走査による磁界分布測定を行った。その測定系を図 2 に示す。EUT は、グラウンド・プレーンに接地された金属筐体の中心に配置し、回路基板のグラウンドは金属筐体へ接続した。外来ノイズを模擬するため、EUT の電源ケーブルにインパルスノイズ試験装置（ノイズ研究所 INS-AX2-450H）より広帯域ノイズ「電圧 250V、パルス幅 1μs、繰り返し周期 60Hz」を誘導性（磁界）結合クランプ（CA-806）より印加した。EUT の二次元磁界分布は、EUT 直上を XY ステージに固定された微小磁界プローブによって測定した。この磁界プローブに接続される信号線を同軸ケーブルと光給電 RoF レシーバの場合とで比較した。測定周波数範囲は、EUT からのスイッチングノイズを想定し、100kHz から 4MHz とした。

4. 結果及び考察



(a) 光給電 RoF レシーバによる測定系



(b) 等価回路モデル

図 5 光給電 RoF レシーバによる雑音端子電圧測定

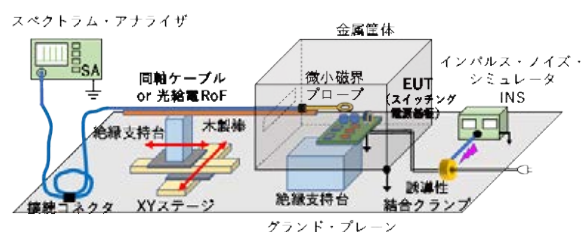


図 6 二次元磁界強度分布測定

4. 1 雑音端子電圧測定 (9kHz~30MHz)

図7に周波数9kHz~1MHzにおいて、同軸ケーブル及び光給電 RoF レシーバを用いて測定した結果を示す。周波数9kHz~150kHzの範囲はスペクトラム・アナライザの分解能帯域幅 RBW は200Hzと規定されているため、ノイズレベルが150kHz以上の測定 (RBW 120kHz) に比べて約10dB低下している。同軸ケーブルによる測定では、EUT (コムジェネレータ)の高調波成分が50kHz間隔で観測される他に、パルス・ジェネレータの高調波成分が10kHz間隔で観測されている。これに対して光給電 RoF レシーバによる測定では、EUTの高調波成分のみが観測できている。このことから、光ファイバの高絶縁性により、グランドループを形成しない光給電 RoF レシーバの有効性が確認できた²⁾。EUTのスイッチ電圧が高い場合は、150kHz以上でもグランドループが問題となり、電源線にノイズフィルタを挿入しても十分な効果が得られない場合も考えられるので、光給電 RoF レシーバは雑音端子電圧測定の測定精度向上に寄与する。

4. 2 金属筐体内の二次元磁界強度分布測定

図8、図9にEUT (スイッチング電源回路基板)に電源ラインノイズを印可した場合の周波数130kHzにおける二次元走査による測定した磁界強度分布を示す。この分布は分布内の最大値を基準として規格化している。EUTに電源ラインノイズを印加しない場合、同軸ケーブルと光給電 RoF システムともに概ね電磁界分布が一致し、スイッチング電源回路基板から放射されるノイズ分布を測定可能である。一方、EUTの電源部分にノイズを印加した場合、同軸ケーブルは接続コネクタの外部導体をグラウンド・プレーンに接触させることでグランドループを形成すると、このループを介して電源ラインノイズが重畳され、EUTからの放射以外に外来ノイズによる影響がみられ、二次元電磁界分布に乱れが生じている。また、外導体がグラウンドに接触しない場合においても、1MHz以上に外導体とグラウンド間に容量結合によってノイズが重畳されることがわかった。一方、光給電 RoF レシーバは電源ラインノイズが印加された場合においてもケーブルは光ファイバのため、接触によるグランドループは形成されることはなく、電源ラインノイズを印加しない場合と同様の結果となった³⁾。

5. まとめ

ノイズ環境下において光給電 RoF レシーバと同軸ケーブルの比較検討を行った。開発した光給電 RoF レシーバは光ファイバの高絶縁性により外来ノイズの影響を除去して高精度なEMC計測を実現できることを確認した。

今後、5Gによる自動運転技術、ワイヤレス充電などの研究開発において、高レベルのノイズ環境下でのEMC計測等へ活用が期待できる。

【参考文献】

- 菅間, 土屋, 柳澤, 諏訪部, 橋本, 須賀; “次世代 EMC 試験に適用可能な光伝送システムの開発”, KISTEC 研究報告 2019, 29(2019).
- 土屋, 菅間, 柳澤, 橋本, 須賀; “光給電 RoF による低周波ノイズ測定”, 信学技報, MW2018-113, pp.115-120 (2018).
- 土屋, 菅間, 柳澤, 橋本, 須賀; “光応用計測技術のノイズ計測への活用”, 電子情報通信学会総合大会 通信講演論文集 2, BI-7-4, p.SS-81 (2020).

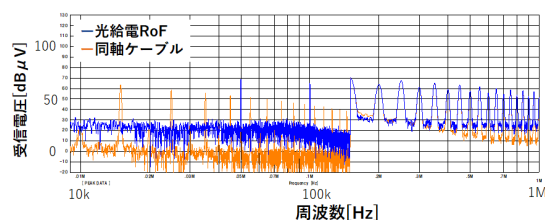


図7 グランドループの影響

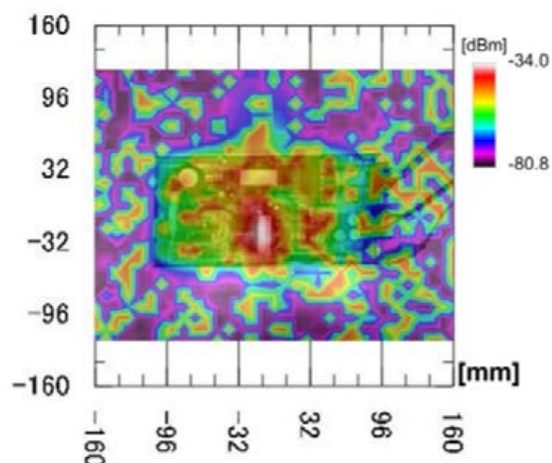


図8 同軸ケーブルによる磁界強度分布測定

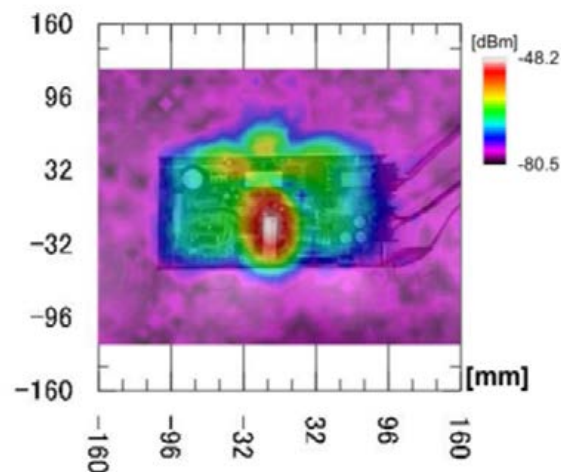


図9 光給電 RoF レシーバによる磁界強度分布測定