

導体表面に発生する電磁界測定法に関する研究（第3報）

- 表面電流検出器の改善 -

自動車安全部 松村英樹 伊藤紳一郎
電通大 岩崎俊
トーキン EMC エンジニアリング 堀田幸雄

1. はじめに

近年の電子機器の発達に伴い、様々なシステムの重要な箇所に電子機器が用いられるようになり、各システムの電磁環境が重要な問題となっている。自動車内部にある電磁波の発生源としては、エンジンプラグなどの点火回路やマイコン制御による高度な電子機器等が考えられる。これら内部機器からの電磁波により車体表面に電流が誘起され、車体がアンテナとして作用して、電磁波が車体表面から放射されると考えられる。つまり、車体表面に発生する電流を測定すれば、自動車から放射される電磁波の推定が可能になると考えられる。

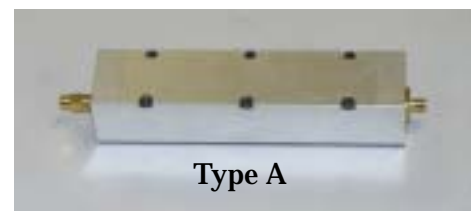
第1報¹⁾では、ストリップライン型伝送路を応用した表面電流検出器(以下、「検出器」という)を製作して測定を行い、その特性について検討を行った。また、第2報では表面電流発生装置(以下、「発生装置」という)を製作し、その特性について検討を行った。

本報では、検出器の感度の改善を目的に、電流を検出する部分の長さが異なる2種の検出器を製作し、被測定物として発生装置を対象に測定を行い、その結果について比較検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 表面電流検出器

Fig.1 に今回製作した検出器の外観及び概略図を示す。本検出器は、第1報におけるシールド伝送路型検出器である。その構造は、電流を検出する部分、検出器下部の絶縁体部分、下部を除く全体を覆った検出器のアルミ製筐体の部分、入出力コネクタ(以下、それぞれ「センサ部」、「絶縁部」、「シールド部」、

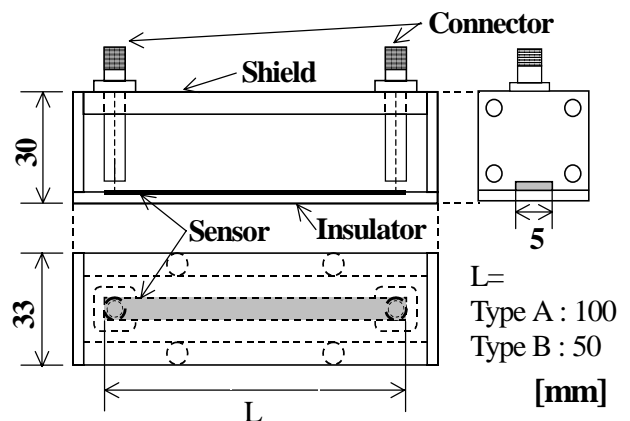


Type A



Type B

(a) Overview



(b) Schematic

Fig.1 Surface Current Detector

「コネクタ」という)から成る。センサ部は、厚さ0.2mmの銅箔を用い、幅5mmの長方形でその長さが100mmの検出器をタイプA、50mmのものをタイプBとした。このセンサ部を絶縁部上に配置すると、被測定物とセンサ部間の相互誘導によってセンサ部に電流が流れるため、被測定物に流れる電流が測定できる。タイプAはタイプBよりセンサ部が長

いため、感度の向上が期待できる。コネクタには、SMA コネクタを使用し、センサ部及びシールド部に接続される。検出器の特性インピーダンスの公称値は 50 である。

2.2 測定系

Fig.2 に測定系の概要を示す。測定は外来電磁波の影響を極力避けるため電波暗室内で行った。Fig.2 の測定系では、標準信号発生装置を電波暗室の外に設置し、その出力端を同軸ケーブルで電波暗室内にある発生装置の入力端に接続する。また、発生装置を高さ約 500mm の非金属台上に設置し、出力端に 50 の整合抵抗を取り付けた。発生装置は上下 2 導体から構成されており、測定は上部の導体表面（以下、「発生装置表面」という）を対象に行う。標準信号発生装置の出力は 13 dBm 一定とした。

検出器は、発生装置表面に密着させて設置した。検出器の出力端には整合抵抗 50 を取り付けた。また、入力端には検出器の上部約 700mm から垂直に降ろした同軸ケーブルを接続し、ケーブルの他端にはスペクトラムアナライザを接続した。測定において、スペクトラムアナライザ及び測定者による影響を極力少なくするため、スペクトラムアナライザは測定地点から約 4.5m 離れた位置に設置した。

2.3 測定方法

Fig.3 に発生装置の外形及び発生装置表面の座標系を示す。Fig.3 で右側が入力、左側が出力であるので、電流の向きは右側から左側に流れる方向を正とする。発生装置表面の座標系は、Fig.3 のように中心を座標の原点とし X-Y 座標を設定した。また、発生装置表面での測定は、各 10mm 間隔の格子点上で電流の進行方向と平行に行った。ここで、測定対象となりうる座標範囲は、両端の傾斜部分を除く -100 X 100mm, -75 Y 75mm の部分である。

一方、実際の測定範囲は、発生装置及び検出器の外形寸法を考慮して、検出器が発生装置表面から外れない範囲とした。従って、検出器の測定位置をその中心が置かれた座標で表すこととすると、タイプ A の測定範囲は、-30 X 30mm, -60 Y 60mm となり、タイプ B では -70 X 70mm, -60 Y 60mm となる。但し、Y 方向については、Y = ±70 mm の位置において検出器内部のセンサ部が発生装置表面から外れないため、Y = ±70mm の値を参考値として同時に測定した。

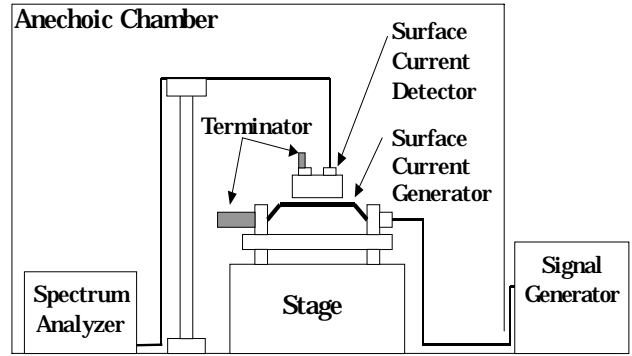


Fig.2 Measurement System

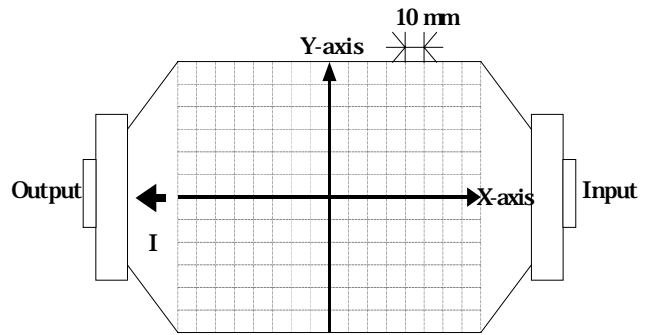


Fig.3 Surface Current Generator

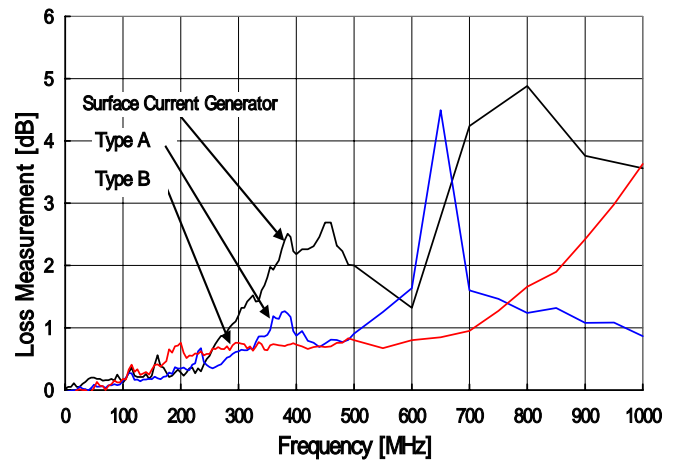


Fig.4 Loss Measurement

3. 実験結果及び考察

3.1 表面電流検出器の損失量及び電圧定在波比

検出器及び発生装置を伝送路と考えたときの損失量を Fig.4 に示す。発生装置の測定は単独で行ったが、各検出器の測定は発生装置上に設置して行った。Fig.4 から高周波領域は、低周波領域に比べ損失量が多いことがわかる。検出器のコネクタから見た検出器の特性インピーダンス Z_1 、整合抵抗の特性インピーダンス Z_2 (50) とすると損失量 は以下の式となる。

$$\alpha = -20 \cdot \log \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad [\text{dB}]$$

従って、損失量の増加は、 Z_1 の増加に起因する。 Z_1 の増加の理由としては、センサ部を流れる電流の表皮効果、センサ部とコネクタを繋ぐ配線及びコネクタの周波数に依存した損失、センサ部と配線とコネクタの各接続部における損失などが考えられる。また、Fig.4で検出器の損失が1dBを越えるのは、タイプAでは約350MHz、タイプBでは約700MHzであり、タイプBが高周波まで低損失の傾向を示すことがわかる。

Fig.5に各検出器の電圧定在波比(以下、「VSWR値」という)を示す。Fig.5からVSWR値は、50~700MHzの範囲において、高周波になるほど増加の傾向にある。これは、 Z_1 の増加により Z_2 との不整合が起り、反射波が発生したためと考えられる。また、VSWR値が1.2を越えるのは、タイプAで約300MHz、タイプBで約550MHzであり、タイプBは高周波まで定在波が発生しにくいことがわかる。

以上のことから、タイプBではタイプAに比べ高い周波数帯域まで適用可能であると考えられる。

3.2 検出器の出力の周波数特性

Fig.6に原点における検出器の出力の周波数特性を示す。今回の報告では、2つの検出器の相对比较を行うため、タイプAにおける100MHzでの値を基準として正規化を行った。以後、検出器の出力はすべてこの値を基準として正規化を行うこととする。Fig.6において約10MHz~250MHzの範囲では、タイプAとタイプBの周波数特性はほぼ一致している。従って、この周波数範囲では、センサ部を長くすることによる感度の改善は見られない。また、約250~500MHzの周波数範囲で両曲線の差が大きくなる傾向が見られる。これはFig.5において約250~500MHzで両タイプのVSWR値の差異が増大しているためであると考えられる。従って、約250~500MHzで両曲線の差は、両タイプの特性インピーダンスの差に起因すると考えられる。

3.3 定在波

発生装置表面に発生する定在波について調べるため、定在波が顕著に発生する周波数でX軸上における検出器の出力を測定し、その一例をFig.7に示す。タイプAでは周波数933MHzに定在波の山の部分、

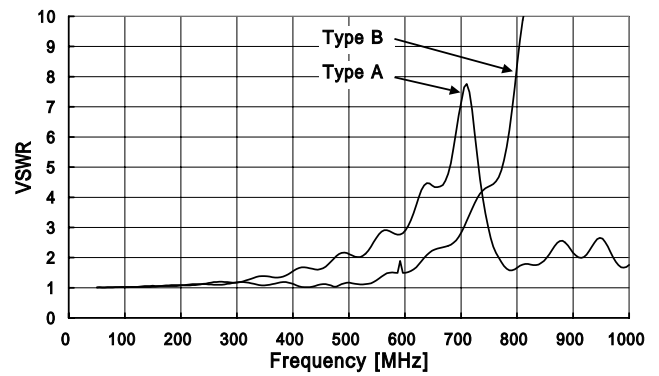


Fig.5 VSWR Measurement

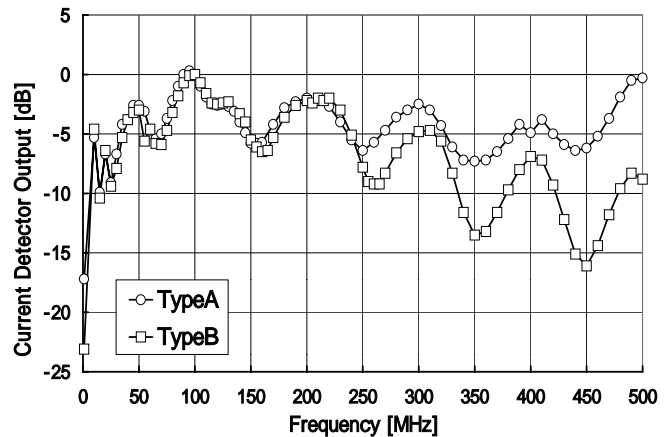


Fig.6 Frequency Characteristics

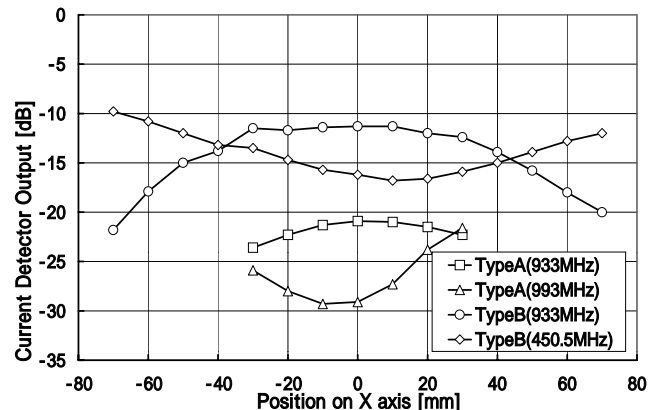


Fig.7 Standing Wave Measurement

993MHzに谷の部分が見られた。また、タイプBでは933MHzに山の部分、450.5MHzに谷の部分が見られた。上記の測定において、タイプAの検出器ではタイプBに比べセンサ部が長くなるため、部分的な測定ができず、測定値は平均化されてしまう傾向が見られた。

3.4 2種の検出器による電流分布の比較

Fig.8 Fig.9に周波数100MHzにおけるタイプA、タイプBによる発生装置表面の電流分布の測定結果を示す。また、その内X軸上及びY軸上の測定結果をFig.10、Fig.11に示す。Fig.8~Fig.11より発生

装置表面の電流分布は、 $Y = \pm 70\text{mm}$ の縁付近に電流が集中していることが分かる。これは金属平板縁で電界の集中が起こるためと考えられ、第2報での電界センサによる測定結果と一致すると共に文献²⁾にも述べられている。また、発生装置の縁を除く部分では、電流分布がほぼ均一となっており、電界センサによる測定結果と同様の傾向を示す。この理由は、Fig.6 から周波数 100MHz において、原点が定在波の山の部分に位置すると共に、測定範囲が波長に比して短いため、発生装置表面がほぼ均一な電流分布になったと考えられる。

以上のことから、本検出器の測定結果は、発生装置の電流分布の特徴を示していると考えられる。

4. まとめ

本報では、センサ部の長さが異なる2つの表面電流検出器を製作し、その特性の比較検討を行って以下の点について結論を得た。

- ・タイプ B はタイプ A に比べ高周波領域まで損失が小さく定在波も発生しにくいいため、高い周波数範囲まで有効であると考えられる。
- ・表面電流検出器の出力の周波数特性において約 10MHz ~ 250MHz の範囲では、両タイプにおける差異がなく同様の特性となることから、センサ部を長くすることによる感度の改善が見られない。
- ・タイプ A の表面電流検出器では、センサ部が長いいため部分的な測定ができず、測定値は平均化されてしまう傾向が見られた。
- ・本表面電流検出器は、表面電流発生装置の電流分布の特徴を示している。

以上より、表面電流検出器としては、タイプ A とタイプ B を比較するとタイプ B のほうが適切であると考えられる。

今後は、表面電流検出器及び表面電流発生装置の特性インピーダンスの周波数特性に関する検討並びに表面電流検出器の出力の校正に関する検討を実施する必要がある。

<参考文献>

- 1) 天野武一 他,平成 10 年度 交通安全公害研究所研究発表会「導体表面に発生する電磁界測定法に関する研究(第1報)」
- 2) 岡田文明,「マイクロ波工学」P153

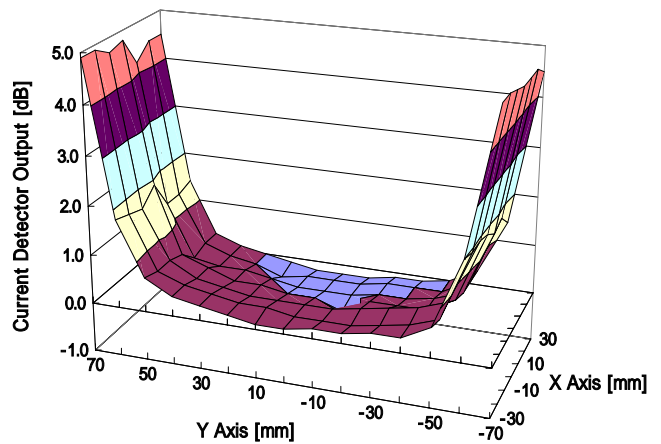


Fig.8 Current Distribution (Type A)

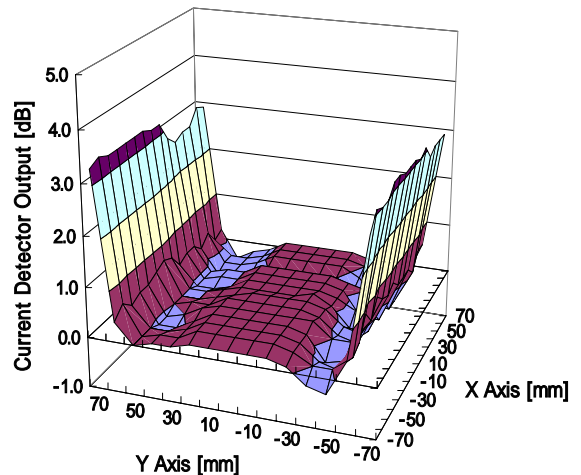


Fig.9 Current Distribution (Type B)

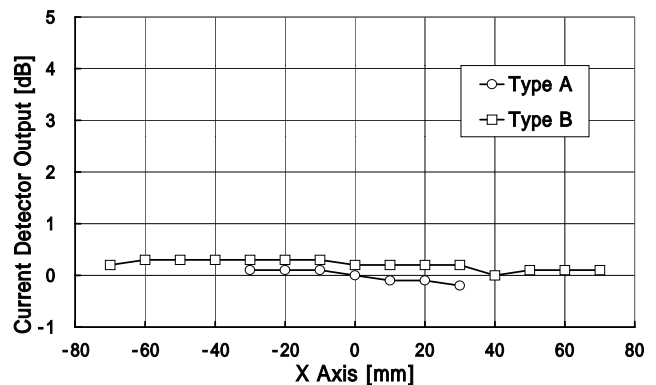


Fig.10 Current Detector Output on X-Axis

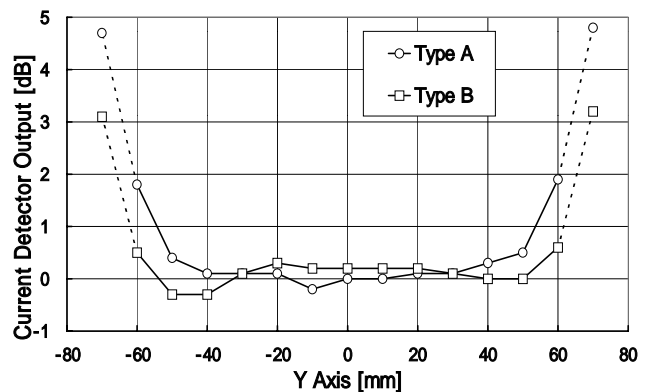


Fig.11 Current Detector Output on Y-Axis