

タイトル	Sパラメータ法に使用するセミリジッドケーブル製ジグに関する研究
著者	笹森, 崇行; Sasamori, Takayuki
引用	工学研究：北海学園大学大学院工学研究科紀要(23): 27-31
発行日	2023-09-30

# Sパラメータ法に使用する セミリジッドケーブル製ジグに関する研究

笹森 崇行\*

A Study on Jig for S-Parameter Method using Semi-Rigid Cable

Takayuki Sasamori\*

## 要 旨

ダイポールアンテナやループアンテナ等の平衡給電を行うアンテナの入力インピーダンスを測定する方法として、ベクトルネットワークアナライザで平衡給電アンテナのSパラメータを測定し、計算によって入力インピーダンスを導き出すSパラメータ法が提案されている。本論文ではSパラメータ法においてアンテナと測定ケーブルを接続するために使用するセミリジッドケーブル製のジグを取り上げて、ジグ製作の注意点を調べる。アンテナの放射素子を取り付ける内導体の長さ、2本のセミリジッドケーブルの間隔とハンダ付けの範囲、および、2本のセミリジッドケーブルの外導体先端のずれによる反射係数への影響を明らかにした。

## 1. まえがき

スマートフォンやVHF帯無線通信システムにおいて、無線機きょう体を手で持つことによりアンテナの特性が大きく変化することが指摘されている<sup>1,2)</sup>。この原因となるきょう体上を流れる電流を減少させる方法の一つとして、ダイポールアンテナやループアンテナ等のように左右対称な構造をもつ平衡給電アンテナを使用する方法が提案されている<sup>3)</sup>。入出力ポートが不平衡端子であるベクトルネットワークアナライザ(VNA)を用いて平衡給電アンテナの入力インピーダンスを測定する場合、バラン(平衡-不平衡変換器)やハイブリッド回路を使用するのが一般的である。しかしながら、多くのバランやハイブリッド回路は特定の周波数範囲で使用するものであり、広い周波数範囲の測定には不向きである。

一方、図1に示すようにVNAの2つの入出力ポートを同時に用いて平衡給電アンテナの入力インピーダンスを測定する方法であるSパラメータ法が報告されている<sup>4-10)</sup>。この方法は、VNAを用いてSパラメータを測定し、計算によってその

入力インピーダンスの値を求める間接測定法の一つである。Sパラメータ法は、アンテナを測定するケーブルの影響を低減できることからRFID等の小形アンテナの測定や<sup>11-13)</sup>、バランやハイブリッド回路を使用しないことから平衡インピーダンスの広帯域測定に適している<sup>14,15)</sup>。

Sパラメータ法では平衡アンテナとVNAの入出力ポートにつないだ測定用同軸ケーブルの間を接続するために、セミリジッドケーブル(SRC)などの同軸線路や誘電体基板で製作したマイクロ

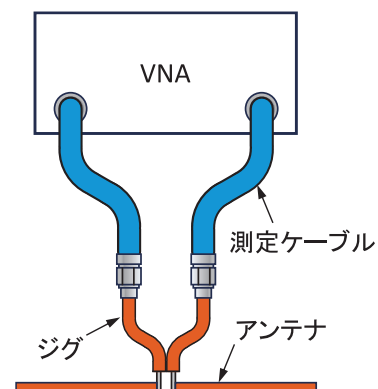


図1 測定方法

\* 北海学園大学大学院工学研究科電子情報生命工学専攻

Graduate School of Engineering (Electronics, Information and Life Science Eng.), Hokkai-Gakuen University

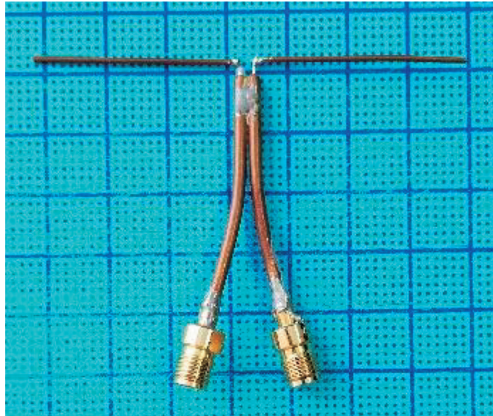


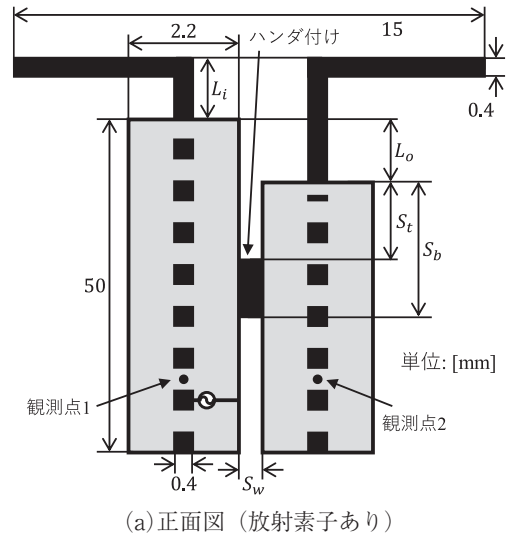
図2 セミリジッドケーブル製のジグとダイポールアンテナ

ストリップ線路からなる測定用のジグを使用する。

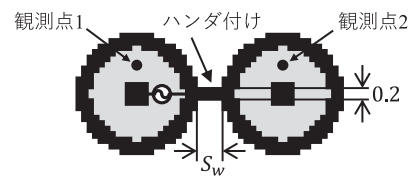
図2にはSRCで製作したジグとSRCの内導体に取り付けたダイポールアンテナの例を示す。現在までのところ、このように各測定者が見よう見まねでジグを製作しているのが実情であり、より正確に測定するためのジグ製作のポイントは報告されていない。本研究ではFDTD法を用いた数値計算により、SRC製ジグを製作する際の注意点を明らかにする。

## 2. 計算モデル

図3にSRC製ジグの計算モデルを示す。平行に配置した2本のSRCの外導体をハンダ付けで電氣的に接続して、外導体から露出させた内導体にダイポールアンテナの放射素子を取り付ける。2本のSRCの間隔を $S_w$ 、外導体先端のずれを $L_o$ 、SRC間をハンダ付けする部分の位置を $S_t$ と $S_b$ で表す。SRCの間隔が $S_w=0$ mmのときは外導体同士が接触するので、ハンダ部分の設定は不要となる。放射素子を取り付けるために露出させた内導体の長さは、一方を $L_i$ 、他方を $L_i+L_o$ とする。アンテナとは反対側のSRCの端部はFDTD法の吸収境界壁(PML)に接触させる。SRCはRG405をモデル化しており、そのパラメータを表1に示す。放射素子は一辺0.4mmの正方形断面とし、2本の放射素子の長さは同一である。ダイポールアンテナの全長は15mmとし、SRCの間隔 $S_w$ を変える際には両方の放射素子の長さを調整する。2本のSRCの外導体の先端位置が揃っている場合( $L_o=0$ mm)は、計算モデルが左右対称なので



(a) 正面図 (放射素子あり)



(b) 上面図 (放射素子なし)

図3 測定用ジグの計算モデル

表1 セミリジッドケーブルのパラメータ

外導体直径	2.2 mm
誘電体直径	1.8 mm
内導体直径	0.4 mm
比誘電率	2.1

対称回路( $S_{11}=S_{22}$ )かつ相反回路( $S_{12}=S_{21}$ )となる。左右非対称モデルのときは、電源と導線をもう一方のSRCへ移動させて $S_{22}$ と $S_{12}$ も計算する。本論文では、測定用ジグによる影響を補正するために開放端補正を行い、校正面の位置を外導体先端にする<sup>14)</sup>。

## 3. 計算結果

ダイポールアンテナの反射係数を求めることにより、(1)内導体の長さ $L_i$ 、(2)SRCの間隔 $S_w$ 、(3)ハンダ付けの範囲 $S_t$ と $S_b$ 、(4)外導体先端のずれ $L_o$ による影響を調べる。数値計算にはOpenFDTDを用いる<sup>16)</sup>。さらに、比較のために直径0.4mm、全長15mmのダイポールアンテナをモーメント法(MoM)で計算した結果を示す。

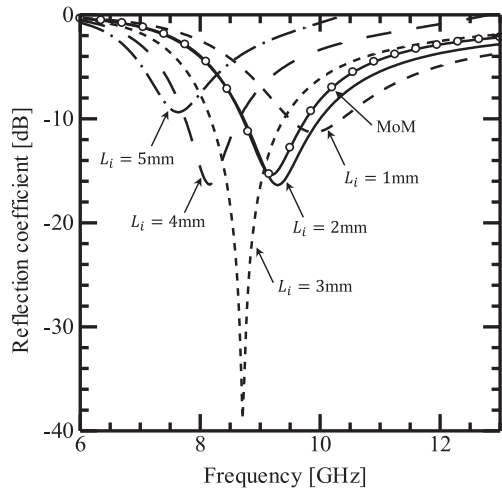


図4 内導体の長さ  $L_i$  を変えたときの反射係数 ( $S_w=0$  mm,  $L_o=0$  mm).

### 3.1 内導体の長さ $L_i$ の影響

内導体の長さ  $L_i$  を変えたときの反射係数を図4に示す. ここではSRCの間隔を  $S_w=0$  mm, 外導体先端のずれを  $L_o=0$  mm とする. 図4より, 内導体の長さ  $L_i$  を長くすると, 共振周波数が下がる様子が分かる. これはSパラメータ法の校正面が外導体の先端であるため, 反射係数には校正面から先にある内導体の影響も含まれることが原因である. 図4の結果では, モーメント法の結果と比較することで内導体の長さ  $L_i$  は2 mm程度が適切であることが分かる. ただし, この長さは外導体の直径等で変わると考えられる.

### 3.2 SRCの間隔 $S_w$ の影響

図2に示すように, 2本のSRCの外導体をハンダ付けするとき, SRC間にハンダが入り込むためにわずかな間隔  $S_w$  が生じる. SRCの間隔  $S_w$  を変えたときの反射係数を図5に示す. ここでは内導体の長さを  $L_i=2$  mm, ハンダ付けの範囲を  $S_t=0$  mm,  $S_b=50$  mm, 外導体の先端のずれを  $L_o=0$  mm とする. また, 表2にはSRCの間隔  $S_w$  を変化させたときの, 反射係数が  $-10$  dB以下になる周波数帯域の下限周波数  $f_L$ , 上限周波数  $f_H$ , 帯域幅  $BW$  をまとめる. 表2より, SRCの間隔  $S_w$  を広げると, 帯域幅  $BW$  が狭くなることが分かる. 例えば,  $S_w=0.4$  mmの場合を  $S_w=0$  mmと比較すると, 帯域幅の変化は  $-1.57\%$  である. したがって, 2本のSRCの間隔  $S_w$  をできる限り小さくすると良いことが分かる.

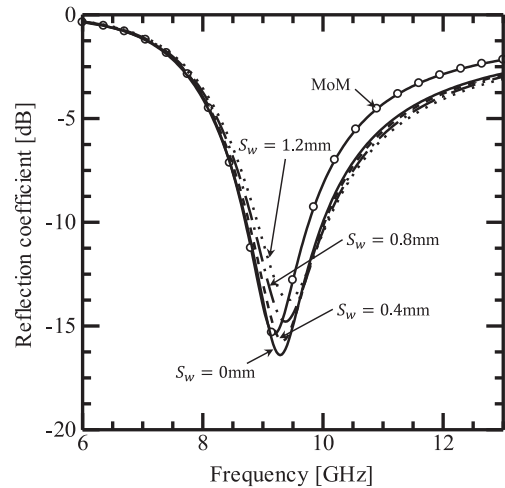


図5 SRCの間隔  $S_w$  を変えたときの反射係数 ( $L_i=2$  mm,  $L_o=0$  mm,  $S_t=0$  mm,  $S_b=50$  mm).

表2 反射係数が  $-10$  dB以下となる周波数帯域の下限周波数  $f_L$ , 上限周波数  $f_H$ , 帯域幅  $BW$

$S_w$ [mm]	0	0.4	0.8	1.2
$f_L$ [GHz]	8.72	8.77	8.83	8.91
$f_H$ [GHz]	10.00	10.01	10.06	10.08
$BW$ [GHz]	1.27	1.25	1.23	1.17

### 3.3 ハンダ付けの範囲 $S_t$ , $S_b$ の影響

図6にはハンダ付けをする範囲を変えたときの反射係数を示す. ここでは内導体の長さを  $L_i=2$  mm, SRCの間隔を  $S_w=0.4$  mm, 外導体先端のずれを  $L_o=0$  mm とする. まず, 外導体全体をハンダ付けする場合 ( $S_t=0$  mm,  $S_b=50$  mm) と,

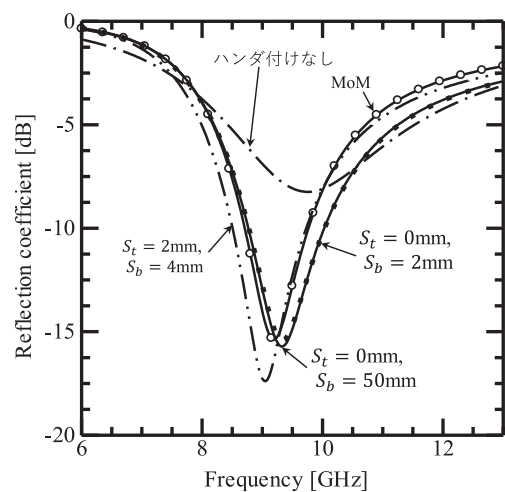


図6 ハンダ付けの範囲  $S_t$  と  $S_b$  を変えたときの反射係数 ( $L_i=2$  mm,  $L_o=0$  mm,  $S_t=0$  mm,  $S_b=50$  mm).

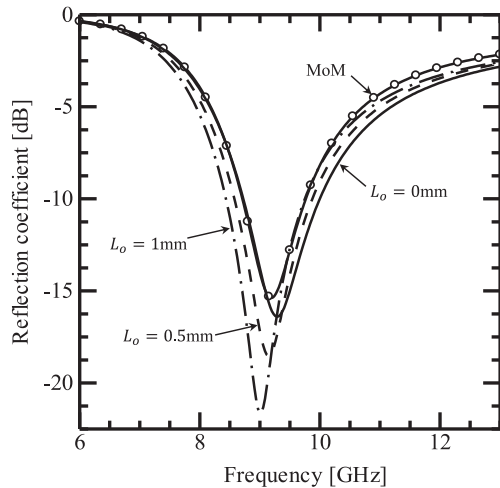


図7 ジグ先端のずれ  $L_o$  を変えたときの反射係数 ( $L_i=2\text{ mm}$ ,  $S_w=0\text{ mm}$ ) .

外導体の先端から 2 mm までの範囲をハンダ付けする場合 ( $S_i=0\text{ mm}$ ,  $S_b=2\text{ mm}$ ) は、反射係数がほぼ一致している。一方、外導体の先端部分を離して、 $S_i=2\text{ mm}$  から  $S_b=4\text{ mm}$  の範囲でハンダ付けをすると、反射係数が変化する。したがって、外導体の先端からハンダ付けをすることが大切であり、その範囲は 2 mm 程度で良いことが分かる。さらに、ハンダ付けをしない場合については、反射係数が正しく求められていないことが分かる。

### 3.4 外導体先端のずれ $L_o$ の影響

図7には2本の外導体先端のずれ  $L_o$  を変えたときの反射係数を示す。ここでは内導体の長さを  $L_i=2\text{ mm}$ 、SRCの間隔を  $S_w=0\text{ mm}$  とする。図7より、外導体の先端位置をずらすことにより反射係数が変わることが分かる。したがって、外導体先端の位置を揃える ( $L_o=0\text{ mm}$  にする) ことが重要である。

## 4. あとがき

本研究では、Sパラメータ法で使用されるSRC製ジグを取り上げて、より正確に測定するためのジグを製作するときのポイントを調べた。その結果として、(1)放射素子を取り付けるための内導体の長さは 2 mm 程度とする、(2)2本のSRCの間隔はできるだけ小さくする、(3)外導体の先端から 2 mm 程度の範囲をハンダ付けする、(4)2本の外導体の先端をずらさないことが大切であることを明らかにした。

## 参考文献

- 1) 佐藤和夫, 西川訓利, 鈴木徳祥, 小川明, “人体近傍に置かれた携帯無線機用アンテナの特性解析,” 信学論 (B-II), vol.J79-B-II, no.11, pp.892-900, Nov. 1996.
- 2) 笹森崇行, 加藤貴之, 澤谷邦男, “人体の影響が小さい VHF 帯無線端末用ヘリカルアンテナ,” 信学論 (B), vol. J84-B, no.5, pp.951-953, May 2001.
- 3) 梶谷篤史, 金ヨンホ, 森下久, 小柳芳雄, “給電部を考慮した携帯端末用 U 字型折返しダイポールアンテナの特性,” 信学論 (B), vol.J92-B, no.3, pp.567-575, March 2009.
- 4) R. Meys, and F. Janssens, “Measuring the impedance of balanced antennas by an S-parameter method,” IEEE Antennas Propagat. Mag., vol.40, no.6, pp.62-65, Dec. 1998.
- 5) K.D. Palmer, and M.W. van Rooyen, “Simple broadband measurements of balanced loads using a network analyzer,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.55, no.1, pp. 266-272 Feb. 2006.
- 6) 藤本勝大, 浅沼健一, 若林孝行, 前田忠彦, “スケールモデルを用いたインピーダンスと放射効率の測定実験,” 信学技報, A・P2008-83, pp.49-54, April 2010.
- 7) 笹森崇行, 吉沢隆之, 戸花照雄, 磯田陽次, “Sパラメータ法による平衡アンテナの入力インピーダンス測定,” 信学技報, A・P2010-4, pp.15-18, Sept. 2008.
- 8) S. Konya, T. Sasamori, T. Tobana, and Y. Isota, “Wideband impedance measurement of balanced antenna using the S-parameter method,” Proc. Asia-Pacific Microwave Conf. 2011, 7-WE2P-30, pp. 717-720, Melbourne, Australia, Dec. 2011.
- 9) 石井望, アンテナ基本測定法, pp.132-135, コロナ社, 東京, 2011.
- 10) 笹森崇行, 中道勇太, 戸花照雄, 磯田陽次, “マイクロストリップ線路による Sパラメータ法用ジグの検討,” 信学技報, A・P2012-4, pp.27-32, April 2012.
- 11) T. Fukasawa, T. Yanagi, H. Miyashita, and Y. Konishi, “Extended S-parameter method including radiation pattern measurements of an antenna,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.60, no.12, pp.5645-5653, Dec. 2012.
- 12) Z. Duan, Y.-X. Guo, R.-F. Xue, M. Je, D.-L. Kwong, “Differentially Fed Dual-Band Implantable Antenna for Biomedical Applications,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.60, no.12, pp.5587-5595, Dec. 2012.
- 13) Y. Shafiq, J.S. Gibson, H. Kim, C.P. Ambulo, T.H. Ware, S.V. Georgakopoulos, “A Reusable Battery-Free RFID Temperature Sensor,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.67, no.10, pp.6612-6626, Oct. 2019.
- 14) 笹森崇行, 戸花照雄, 磯田陽次, “Sパラメータ法を用

いた入力インピーダンスの広帯域測定,”信学論(B), vol. J96-B, no.9, pp.1067-1075, Sept. 2013.

15) 須藤邦明, 松井章典, “Sパラメータ法とSOL法を組み合わせた平面バランのSパラメータ測定,”信学論

(B), vol.J100-B, no.2, pp.59-66, Feb. 2017.

16) “OpenFDTD - オープンソース FDTD 法シミュレーター,”<http://emoss.starfree.jp/OpenFDTD/index.html>, 参照 2023 年 7 月.