

多様な伝搬モードで通信装置に侵入する伝導性妨害波 の評価技術に関する研究

2014.11.18

B4 松田光志

概要— 妨害波の伝達箇所を特定することなどを目的として、**電源外付け型**のスイッチングハブを測定対象とし、ACアダプタ部分のみと、スイッチングハブ部分のみのそれぞれについて電源から印加された伝導性妨害波の伝達特性を測定した。**ACアダプタ部分**は-40dBから-20dBであったのに対し、**スイッチングハブ部分**は-15から-5dBであった。スイッチングハブ部分の伝達特性が、ACアダプタ部分に比べて非常に高いという考察が得られた。

1 **ACアダプタ型**のスイッチングハブに対する**伝導性妨害波**の評価について

1.1 目的

先行研究および以前の報告では、電源内蔵型のスイッチングハブに対して、図1.1のような実験系により電源から印加された伝導性妨害波の伝達特性を測定した[1]。

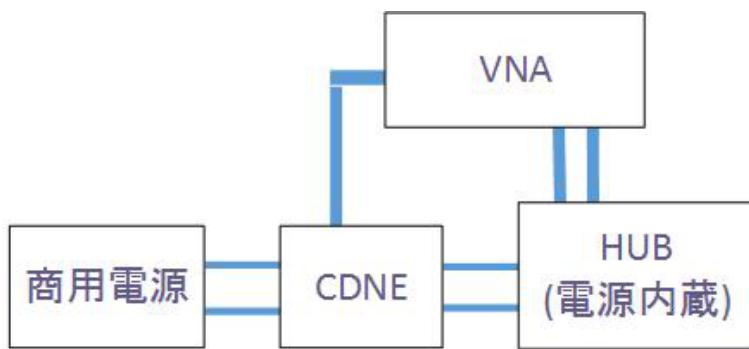


図1.1: 内蔵型スイッチングハブの測定系(ブロック図)

今回は、妨害波の伝達箇所を特定するために、電源外付け型のスイッチングハブ外付け電源であるACアダプタ部分(以下、ACアダプタ部分と呼ぶ)とそれ以外の部分(以下、スイッチングハブ部分と呼ぶ)に分離し、1.ACアダプタ部分のみ、2.スイッチングハブ部分のみ、3.外付け電源型スイッチングハブ全体に対する、妨害波伝達特性の測定系をそれぞれ提案し、1,2について実際の測定結果を提示する。今後、図1.2の様な実験系を用いて3について測定し、得られた1,2の特性を合成したものと比較することで検証する。

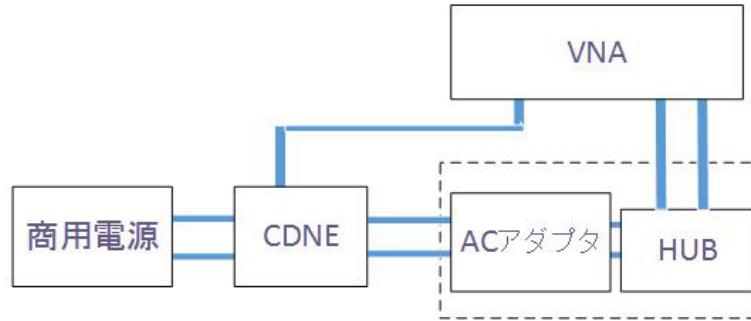


図 1.2: AC アダプタ型スイッチングハブの測定系(ブロック図)

2 AC アダプタ部分の伝導性妨害波特性について

2.1 測定系

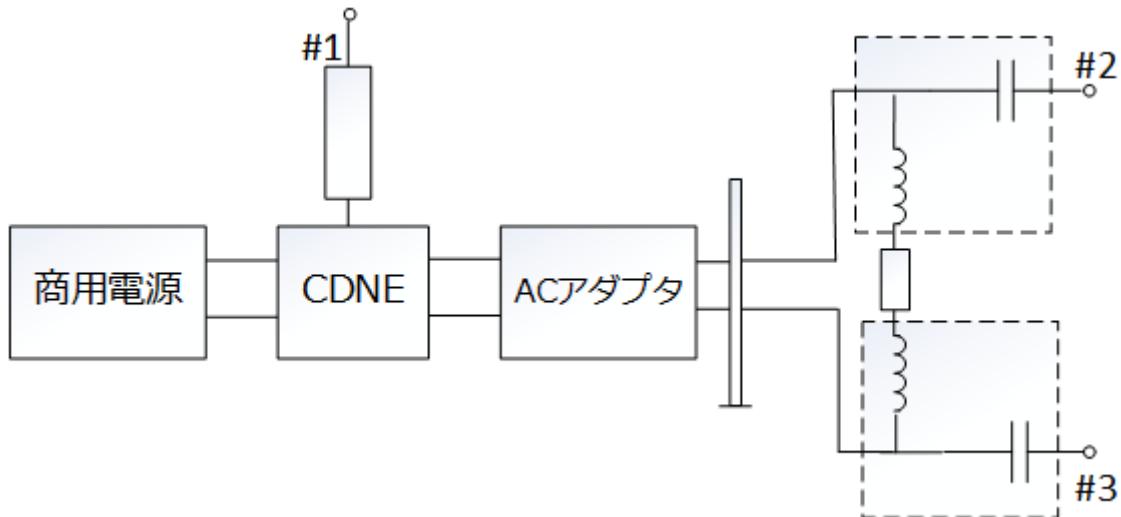


図 2.1: AC アダプタ部分の測定系

2.1.1 AC アダプタの入力側

AC アダプタ (1.0A, 5.3V) の入力側は CDNE(Teseq M210) に接続し、CDNE の測定ポートは同軸ケーブルを介してベクトルネットワークアナライザ(Agilent E5017C) のポート 1 を接続する。入力側のコモンモード電流を低減させるために、同軸ケーブル上に、システムグラウンドに垂直にフェライトクランプ(鹿島 FC22)を配置する。フェライトクランプはシステムグラウンドに垂直に配置する。CDNE の AE ポートは、商用電源に接続する。

2.1.2 AC アダプタの出力側

AC アダプタの出力側は銅板を介して 1 線ずつ、2 つの BIASTEE(Picosecond MODEL5545) に接続する。BIASTEE の DC 端子間には抵抗 R_0 を挿入する。また、Rf 側はベクトルネットワークアナライザのポート 2,3 をそれぞれ同軸ケーブルにより接続する。BIASTEE を用いる理由は 2 つある。一方はベクトルネットワークアナライザのポートに DC を入力させないため、もう他方は出力側のディファレンシャルモード電流を調整するためである。

2.2 測定

以下のように配線し、測定した。

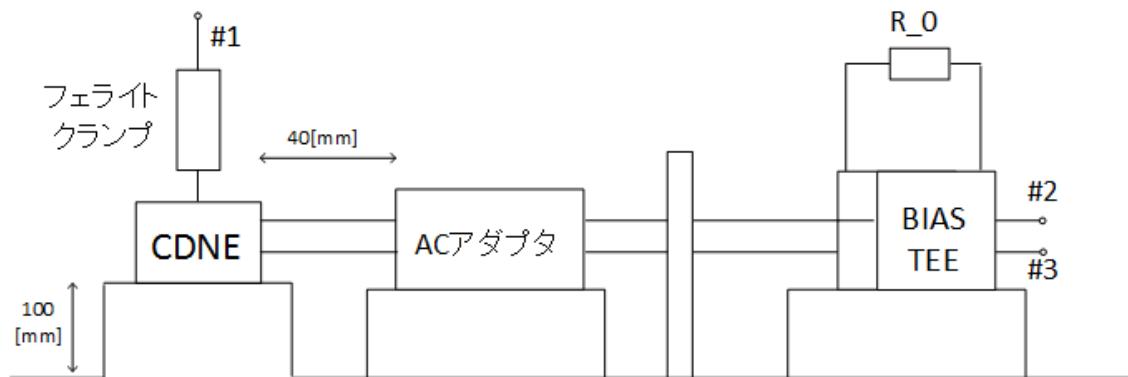


図 2.2: AC アダプタの測定系(側面からの配置図)

表 2.1: ネットワークアナライザの設定

レベル	0dBm
sweep type	log scale
sweep point	1601
測定周波数帯	1MHz-500MHz
IF Band Width	100Hz

2.2.1 高さ(システムグラウンドからの距離)について

伝送特性を安定させるため、電源ケーブルおよび AC アダプタ、BIASTEE はシステムグラウンドから高さ 100[mm] の箇所に配置した。電源ケーブルは 2 本が非対称にならないよう、それぞれのシステムグラウンドからの高さが 100[mm] にした。CDNE は銅板により治具を作成し、システムグラウンドと低インピーダンスで接続しながらも他の機器と同じ 100[mm] の高さに配置した。

2.2.2 各線長さについて

実際に測定した範囲は 1-500[MHz] であるが、今回用いた CDNE の測定範囲周波数帯は 30 から 300[MHz] である。300[MHz] の妨害波の波長は 1[m] であり、電源ケーブルを伝送線路とみなさないためにはケーブル長をその 1/20 程度に取える必要があるとされる。すなわち、今回は 50[mm] 以下にすることが求められる。今回の実験では、図 2.2.2 のように、AC アダプタの電線は 40[mm] とした。また、2.2.2 図に示すとおり銅板と BIASTEE は直接接続し、BIASTEE と抵抗 R_0 は 10[mm] の導線により接続した。

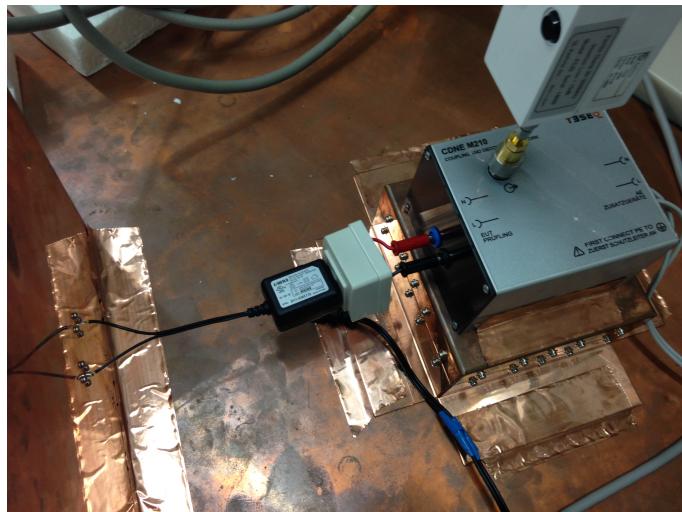


図 2.3: 実際の配線図 (AC アダプタ周辺)



図 2.4: 実際の配線図 (BIASTEE 周辺)

2.3 終端条件について

入力側については、CDNE によって終端条件が定められる。

- ディファレンシャルモード：CDNE によって、 100Ω 終端となる。
- コモンモード：CDNE によって、 150Ω 終端となる。

2.4 測定結果

2.4.1 納電・無給電の比較

CDNE の AE ポートは商用電源に接続せず、まずは無給電の状態について測定し、その後接続して給電した状態を測定した。これらを比較することでモード変換が生じている箇所が、**静的**なのか否かを検討した。

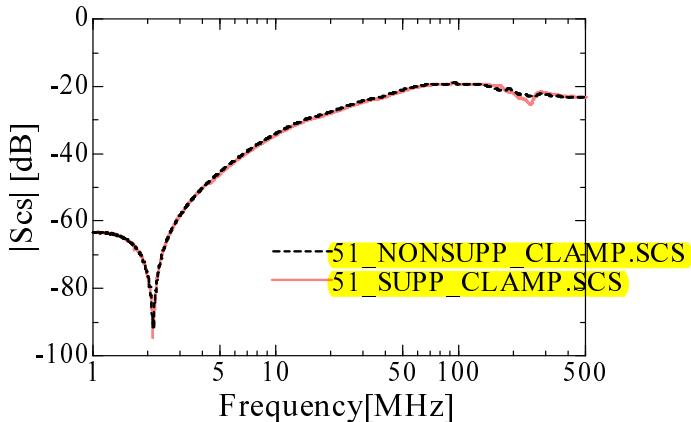


図 2.5: 給電・無給電時の $|Scs|$ ($R_0=51\Omega$)

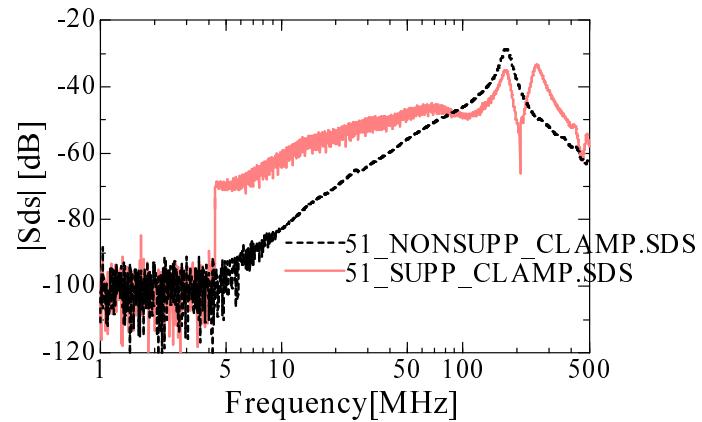


図 2.6: 給電・無給電時の $|Sds|$ ($R_0=150\Omega$)

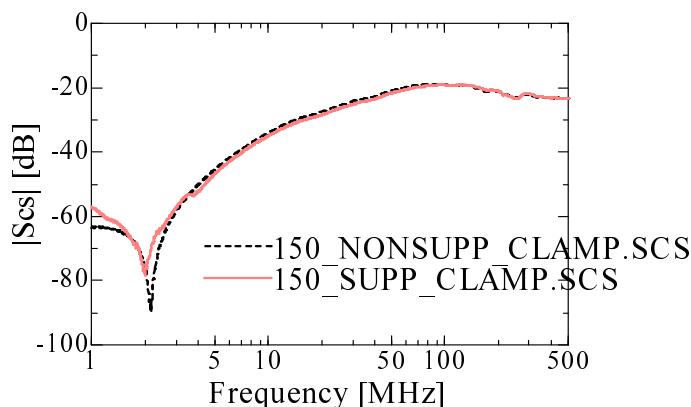


図 2.7: 給電・無給電時の $|Scs|$ ($R_0=51\Omega$)

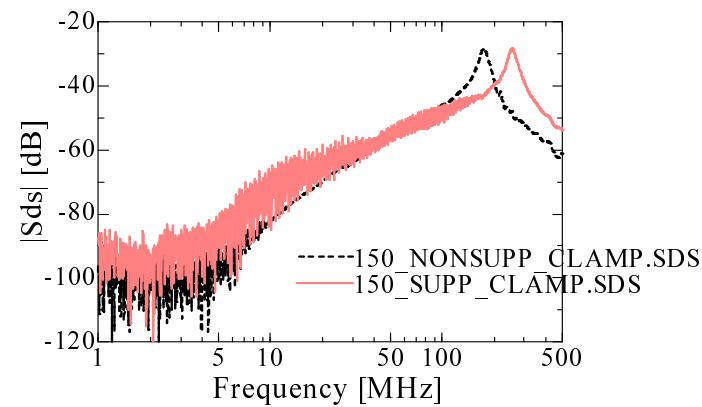


図 2.8: 給電・無給電時の $|Sds|$ ($R_0=150\Omega$)

結果：黒い点線が無給電時、ピンクの実線が給電時を表している。 Scs では両者に違いは見られなかった。 Sds について、 $R_0 = 51\Omega$ のときは 5MHz 以上の周波数帯で給電時が大きい。また、 $R_0 = 150\Omega$ は概ね同じ特性であったが、ピークとなる周波数が 100MHz 異なった。

2.4.2 R_0 の値の比較

R_0 の値を 51Ω と 150Ω と二種類計測し、それぞれの伝達特性を比較することで、AC アダプタの妨害波伝達特性が通過電流依存性を持つか否かについて調査した。

- Scs は-20dB 程度の値を示した。R の値を変えても全く変わらなかった。

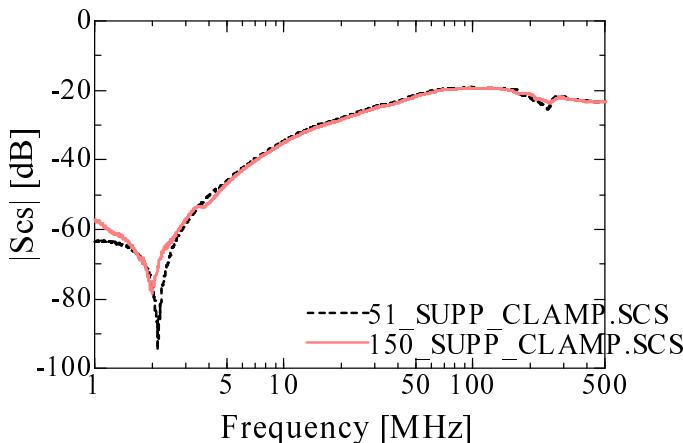


図 2.9: R 比較時の Scs

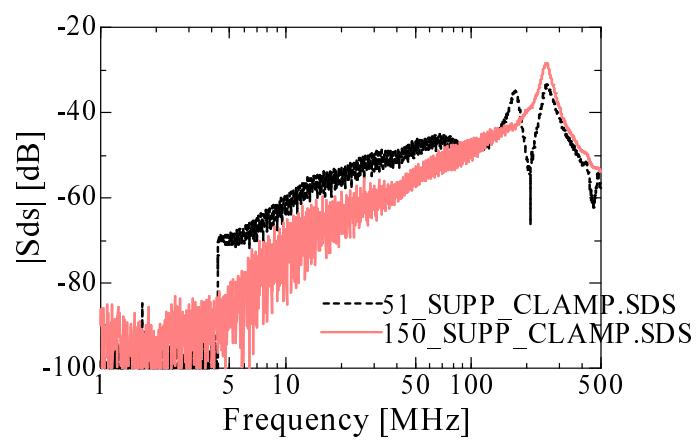


図 2.10: R 比較時の SDS

- S_{DS} は -40dB 程度。(CDNE の動作周波数帯である)30-300MHz においては、最高で 10dB 程度異なった。また、ピークの数が異なっている。

3 スイッチングハブ部分の伝導性妨害波特性について

3.1 測定系

スイッチングハブ部分に関して、電源側から入ったノイズが通信側にどの程度伝搬するか、という妨害波特性を測定する。DUT の通信線の STP ケーブルのうち、2 線を取り出して、RJ45-SMA コネクタと銅板を介して VNA の 1,2 ポートに接続する。残りの 6 線は 50Ω 終端としている。また、電源側は 2 線それぞれに BIASTEE を接続し、二つの OUT/IN 端子を VNA の 3,4 ポートに、また二つの DC 端子を DC 電源に接続する。BIASTEE は、ベクトルネットワークアナライザに直流成分を印加しないために用いる。

表 3.1: HUB の分類表

	メーカー	筐体	GND Connection	通信ポート数	電源	備考
HUB5	IO	プラスチック	×	5	AC アダプタ	なし
HUB6	BA	プラスチック	○	5	AC アダプタ	なし
HUB9	BA	プラスチック	○	8	AC アダプタ	ループ検出機能あり

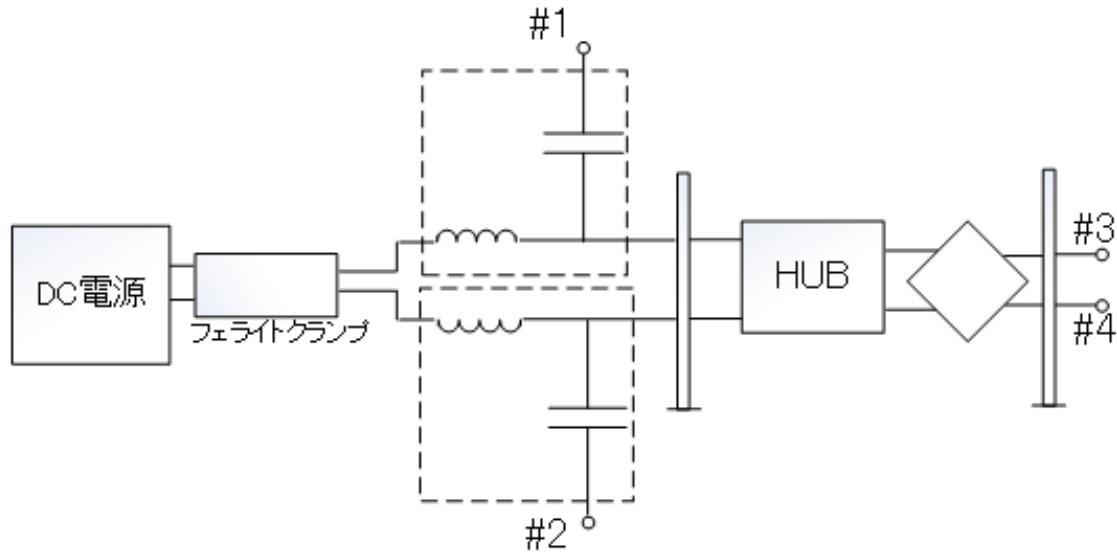


図 3.1: スイッチングハブの測定系

3.2 測定系の実際の配置について

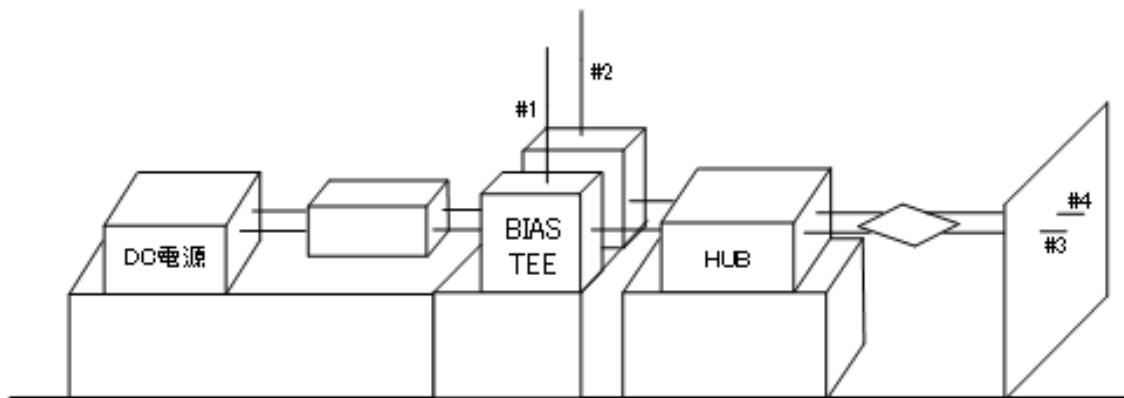


図 3.2: スイッチングハブの測定系(側面からの配置図)

- DC 電源と BIASTEE の DC 端子間の電線をツイストして、フェライトクランプをつける。
- AC アダプタの線の長さを出来るだけ短くする。(50[mm])
- **BIASTEE の GND**からの高さを $h_1[\text{mm}]$ 、スイッチングハブの GND からの高さを $h_2[\text{mm}]$ 、DC 電源の GND からの高さを $h_3[\text{mm}]$ とする。 $h_1, h_2[\text{mm}]$ は 100[mm] が最適だと考えられるが、変更してどの程度特性に影響があるか確かめる。

3.3 測定結果

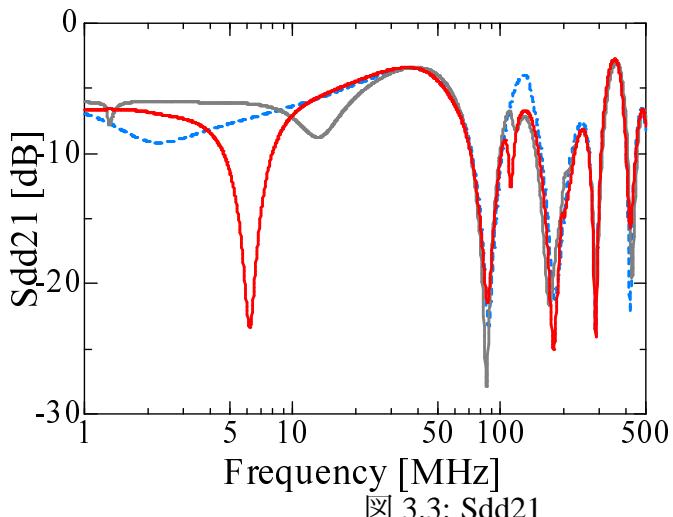


図 3.3: S_{dd21}

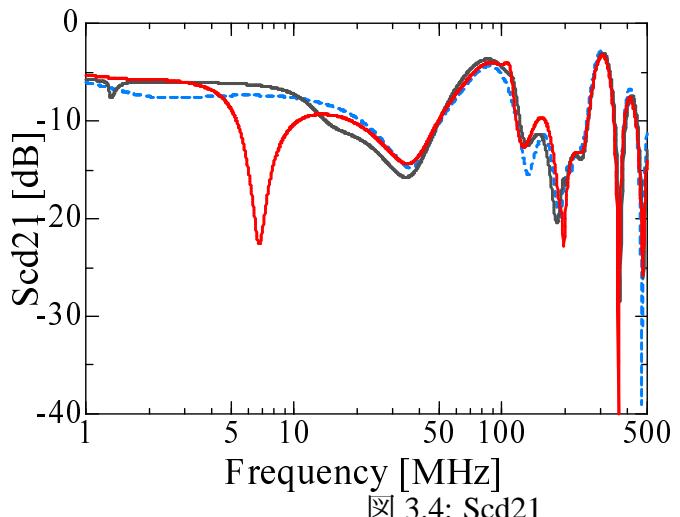


図 3.4: S_{cd21}

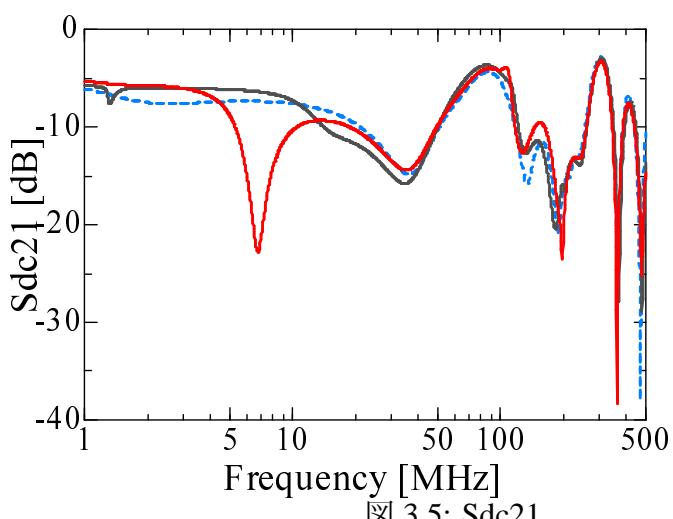


図 3.5: S_{dc21}

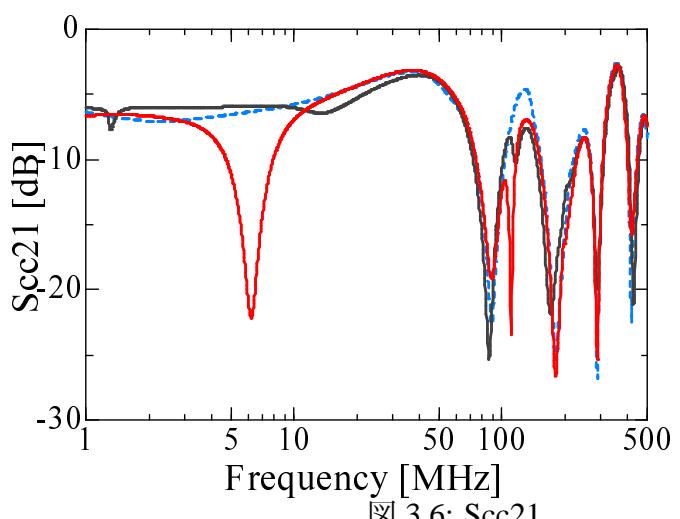
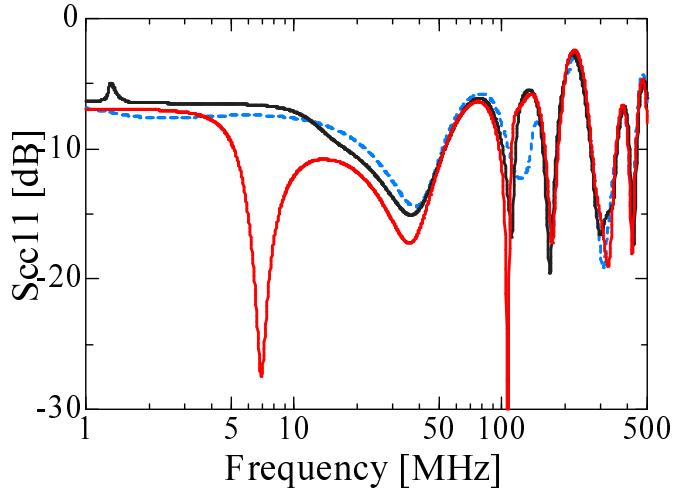
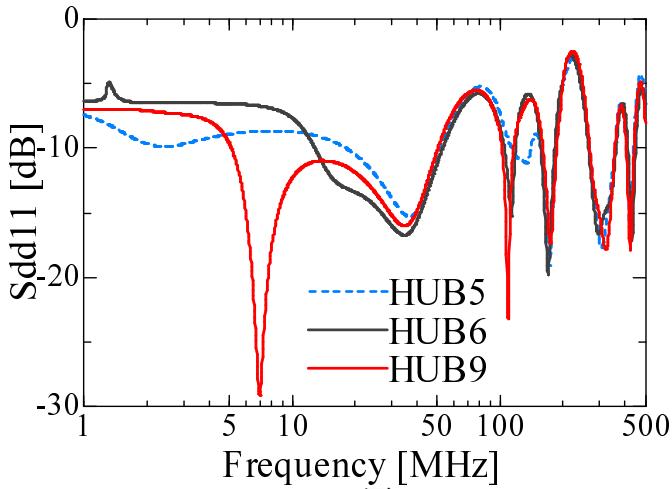


図 3.6: S_{cc21}

読み取れること

- 周波数依存性を持ち、-10 から-20dB で揺れている
-



zentaino s params ha

$$S = \begin{bmatrix} S_{II} & S_{III} \\ S_{III} & S_{III} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} b_i^A \\ b_o^H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{II} & S_{III} \\ S_{III} & S_{III} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_i^A \\ a_o^H \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$b_i^A = S_{ii}^A a_i^A + S_{io}^A a_o^A \quad (3.3)$$

$$b_o^A = S_{oi}^A a_i^A + S_{oo}^A a_o^A \quad (3.4)$$

$$b_i^H = S_{ii}^H a_i^H + a_{io}^H a_o^H \quad (3.5)$$

$$b_o^H = S_{oi}^H a_i^H + S_{oo}^H a_o^H \quad (3.6)$$

zu yori

$$a_o^A = b_i^H, b_o^A = a_i^H \quad (3.7)$$

seirisite,

$$S_{II} = S_{ii}^A + S_{io}^A (E - S_{ii}^H)^{-1} S_{ii}^H S_{oi}^A \quad (3.8)$$

$$S_{III} = S_{io}^A (E - S_{ii}^H S_{oo}^A)^{-1} S_{io}^H \quad (3.9)$$

$$S_{III} = S_{oi}^H (S_{oi}^A + (E - S_{ii}^H S_{oo}^A)^{-1} S_{ii}^H S_{oi}^A) \quad (3.10)$$

$$S_{\text{III}} = S_{\text{oi}}^{\text{H}} (E - S_{\text{ii}}^{\text{H}})^{-1} S_{\text{io}}^{\text{H}} + S_{\text{oo}}^{\text{H}} \quad (3.11)$$

全体との比較

- 全体を測った際の S_{CS} は-60 から-40[dB] 程度、 S_{DS} は-80 から-60[dB] だった
-

4 今後の見通し

4.1 モード変換が起きている箇所の特定

候補は 2 つ、1 つは AC 電源の出力側近辺。もう 1 つはスイッチングハブのパルストラns。これを特定するべく AC 電源、スイッチングハブ個別、その全体、の 3 通りについて妨害波伝達特性を測定、比較する。

4.2 CDNE の 3 線への対応、コモンモードとディファレンシャルモードの分離

コモンモードのみ、またはディファレンシャルモードのみというように分離して測定できるようする。そのような CDNE を作ることが目的。シミュレーションを完成させて、ふさわしい回路を特定する。その際、先行研究を参照する。各パラメータを決めて、思う通りの特性が得られたら、それを実際に作ってみる。

参考文献

- [1] 和田修己, 松嶋徹, “多様な伝搬モードで通信装置に侵入する伝導性妨害波の評価技術と対策技術に関する研究,” NTT 共同研究 2013 年度研究報告書, Mar. 2014.