

評価報告書

測定日 2022/12/12 報告日 2022/12/14 原紙保管 株式会社ラジアン

	承認	報告者
	加藤 2022/12/14 隆志	加藤 2022/12/14 隆志

件名 YonaguniボードRF特性の評価(RX経路f特調査)

<目的>

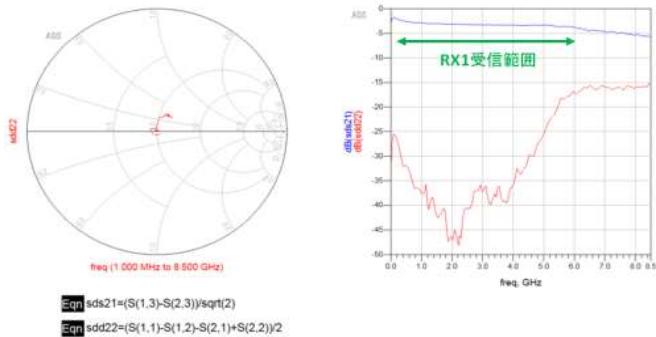
- ① RX経路のf特が3.5GHz以上で大きく落ち込む原因が差動伝送路ではないか否かを調査
- ② IM3の測定結果がデータシートと乖離しているため、原因を特定して再測定する。

<結論>

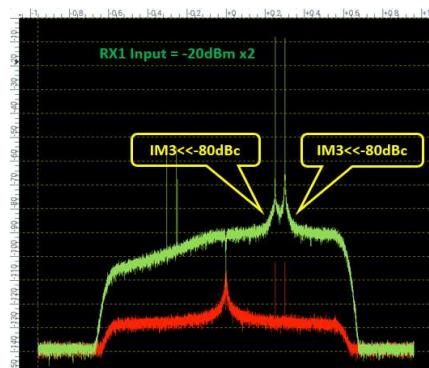
- ① 差動伝送路のf特はほぼフラットであったため、f特悪化の原因は伝送路以外にあると予想される。ADRV9002の設定や操作方法など他の可能性も含めて調査を続ける必要がある。
- ② コンバイナのアイソレーションが悪いためにSGどうしの干渉でIM3がSG内部で発生していた。アイソレーションの優れたコンバイナ(ハイブリッド)に交換し、更に20dB ATTを追加することでSG内部で発生する歪を大幅に抑えた。
測定環境最大値の-20dBm入力でもIM3が確認されなかったため、測定限界以下として問題ないとした。

<結果(概要)> 詳細は次項以降を参照してください。

- ① 差動伝送路だけを実測した結果、受信範囲でf特はフラットで問題なし。



- ② RXに-20dBm入力ではIM3が観測できない。弊社環境での測定限界以下である。



<使用測定器>

VNA : Agilent E54071B (3port) SG : Anritsu MG3700A SPA : Advantest U3771 PM : Keysight 8474E
Cable : Molex 89762-1542 (2.92mm 300mm) x3

<問題点・今後の課題>

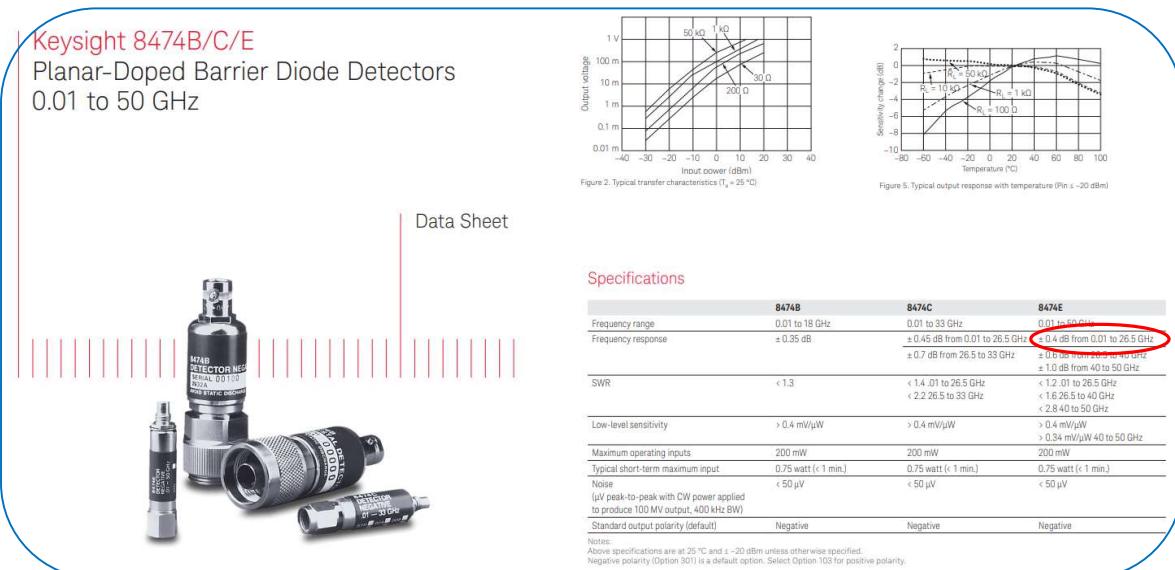
RX経路3.5GHz以上のf特悪化の原因究明が引き続き必要

1 Index

- 1 Index
- 2 使用する測定器のレベル偏差の確認
- 3 RX入力・周波数レスポンスの評価
- 4 TX出力・周波数レスポンスの評価
- 5 RX、TX端子・反射特性の評価
- 6 TX出力・レベル設定リニアリティの評価
- 7 RX入力・測定値のリニアリティの評価
- 8 RX入力-TX出力間クロストークの評価
- 9 RXフロアノイズレベルの評価
- 10 TX出力x2x3高調波の評価
- 11 TX出力・3次歪特性の評価
- 12 RX入力・3次歪特性の評価
- 12+ RX入力・3次歪特性の再評価 ←今回追加分
- 13 ExtLoの入力レベル閾値の評価
- 14 ExtLo通過f特調査
- 15 RX通過f特調査
- 16 RX通過f特調査（追加） ←今回追加分
- 17 RX通過f特調査（提案） ←今回追加分

2 使用する測定器のレベル偏差の確認

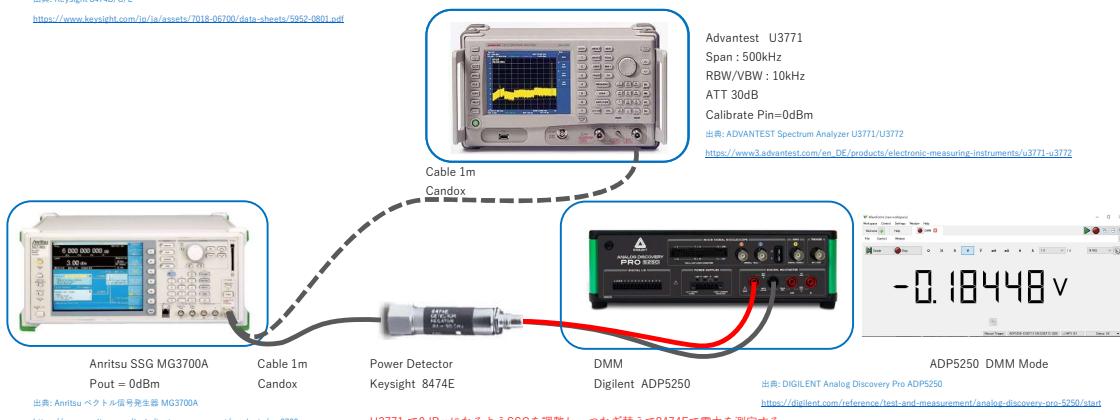
一般的にスペアナは周波数偏差が大きく ($\pm 2\text{dB}$) 出る事があるため、ダイオード・ディテクタを用いて偏差の確認を行った。
Keysight 8474E ダイオードディテクタは10MHz~26.5GHzの周波数レスポンスが $\pm 0.4\text{dB}$ なのでこれを基準とした。



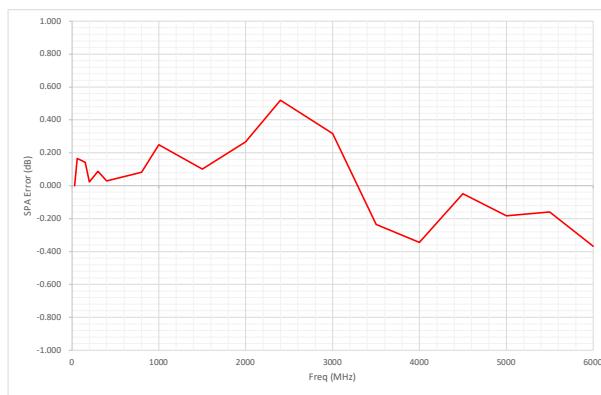
出典: Keysight 8474B/C/E

<https://www.keysight.com/jp/ja/assets/7018-06700/data-sheets/5952-0801.pdf>

周波数レスポンスは $\pm 0.4\text{dB}$ に収まっている



Freq	DCV	dB	dB
30	0.19797	-6.994	0.000
60	0.20751	-6.830	0.165
100	0.20702	-6.840	0.154
150	0.20644	-6.852	0.142
200	0.20085	-6.971	0.023
300	0.20383	-6.907	0.087
400	0.20115	-6.965	0.029
800	0.20356	-6.913	0.081
1000	0.21154	-6.746	0.248
1500	0.20445	-6.894	0.100
2000	0.21246	-6.727	0.267
2400	0.22513	-6.476	0.519
3000	0.21485	-6.679	0.316
3500	0.18923	-7.230	-0.236
4000	0.18456	-7.339	-0.344
4500	0.19757	-7.043	-0.049
5000	0.19155	-7.177	-0.183
5500	0.19253	-7.155	-0.161
6000	0.18354	-7.363	-0.368

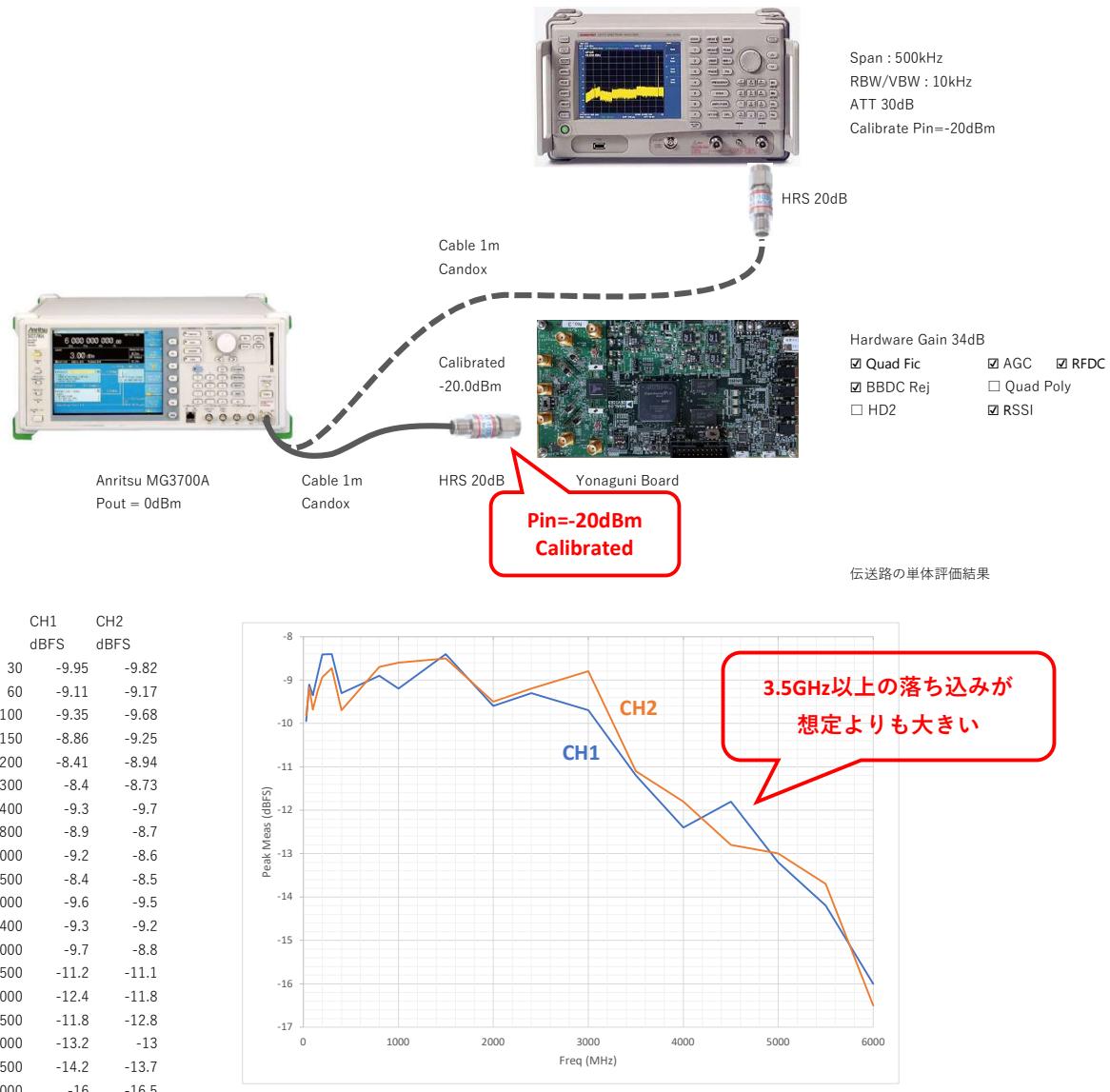


U3771とE8474Eの差異をプロット 周波数に対する相対レベルではスペアナの値をそのまま用いても問題ないと判断した。

3 RX入力・周波数レスポンスの評価

2022/9/19

RX入力端にて-20dBmにCALされた信号を入力し、その際にIIO Oscillo ピークディテクタに表示されるレベル (dBFS) をプロットする。

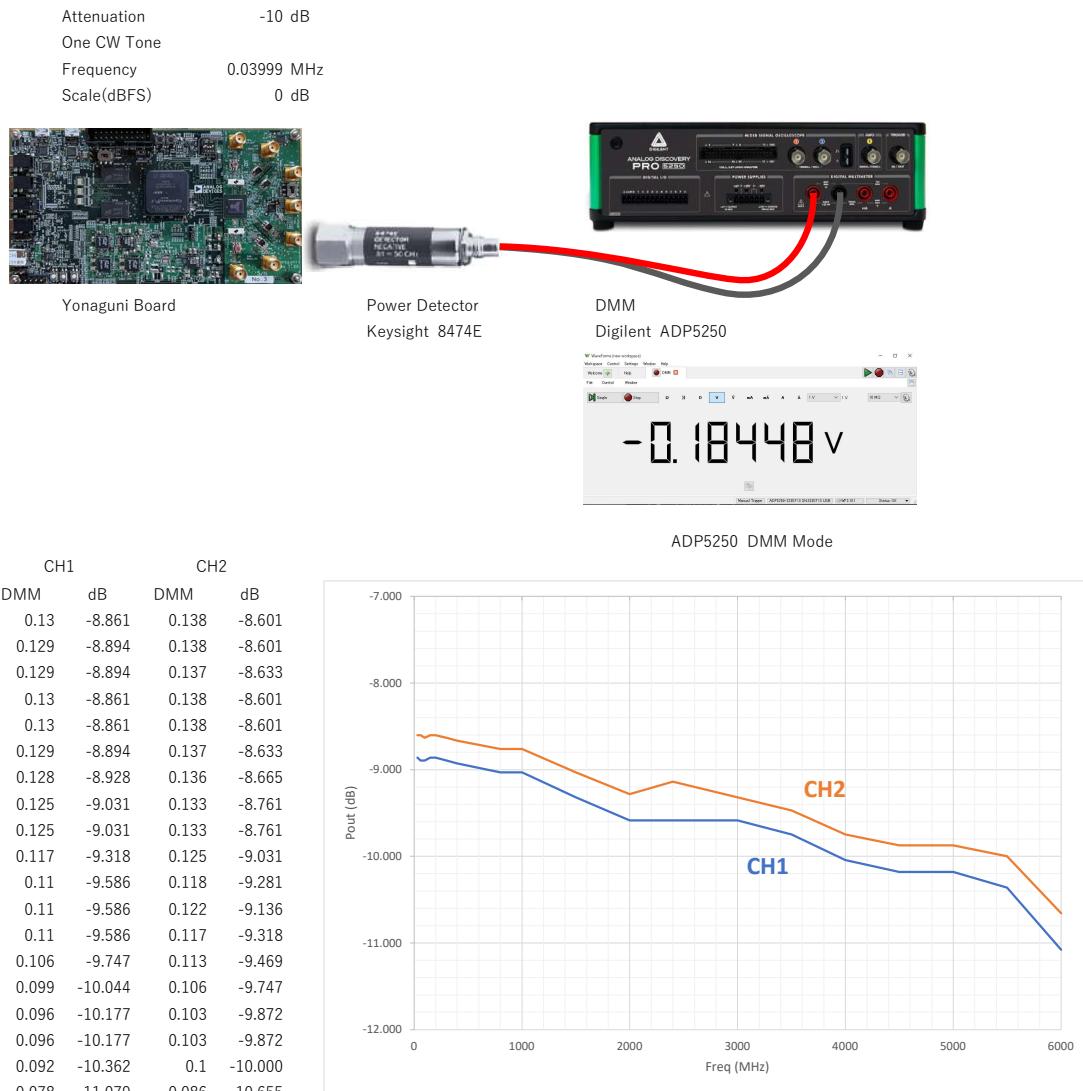


所感 3.5GHz以上のロスがS11（反射率）やBalunのf特で説明できる値を超えてい。Balun S21のバラツキ、ADRV9002の特など何か要因があると思われる。

4 TX出力・周波数レスポンスの評価

2022/9/3

TX出力端で-10dBmを出力する設定とし、IIO Oscilloの設定でローカル発信周波数のみ変更し、その時のダイオード・ディテクタでの測定値をプロットする。ダイオード・ディテクタの出力は電力に比例した電圧出力のため、 $10 \times \log_{10}(V)$ でdBに変換している。

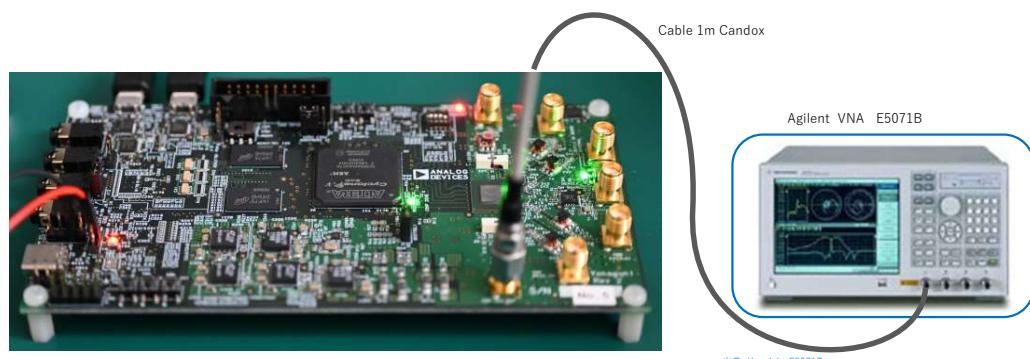


所感 伝送路単体評価と同じ傾向を示しており想定通り。

5 RX、TX端子・反射特性の評価

2022/9/5

RX、TX回路が動作状態での反射（S11）を測定した。
設計目標の-10dBmにラインを引いている。

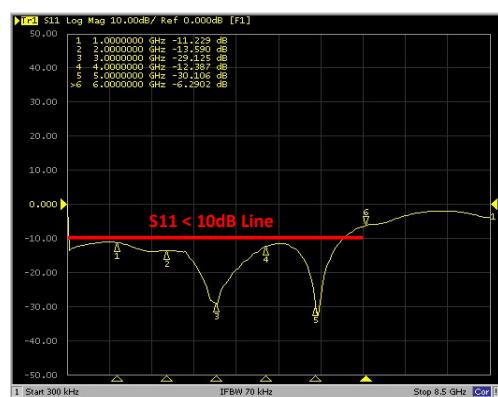


出典: Keysight E5071B

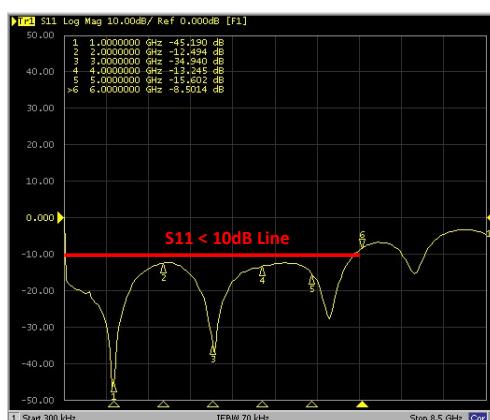
<https://www.keysight.com/jp/ja/product/E5071B/ena-rf-network-analyzer.html>



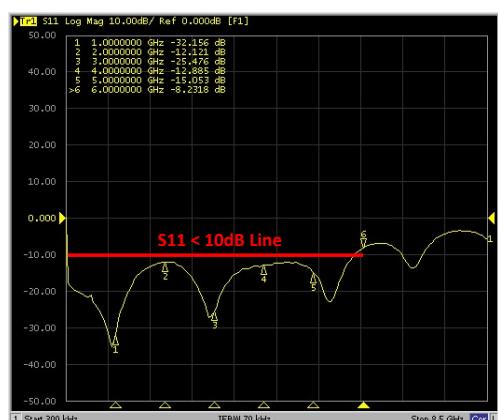
RX1



RX2



TX1



TX2

所感

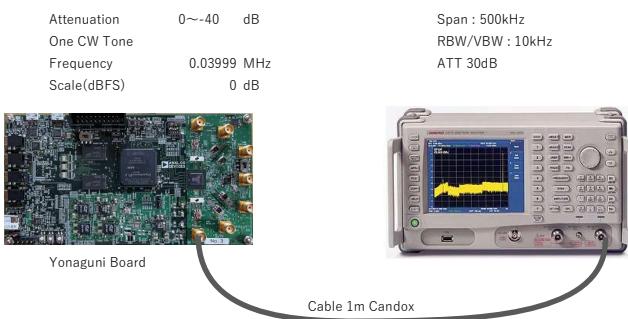
伝送路単体評価と同じ傾向を示しており想定通り。

6 TX出力・レベル設定リニアリティの評価

2022/9/6

IIO Oscillo のATT設定範囲0～-40dBでリニアリティ誤差を測定した。

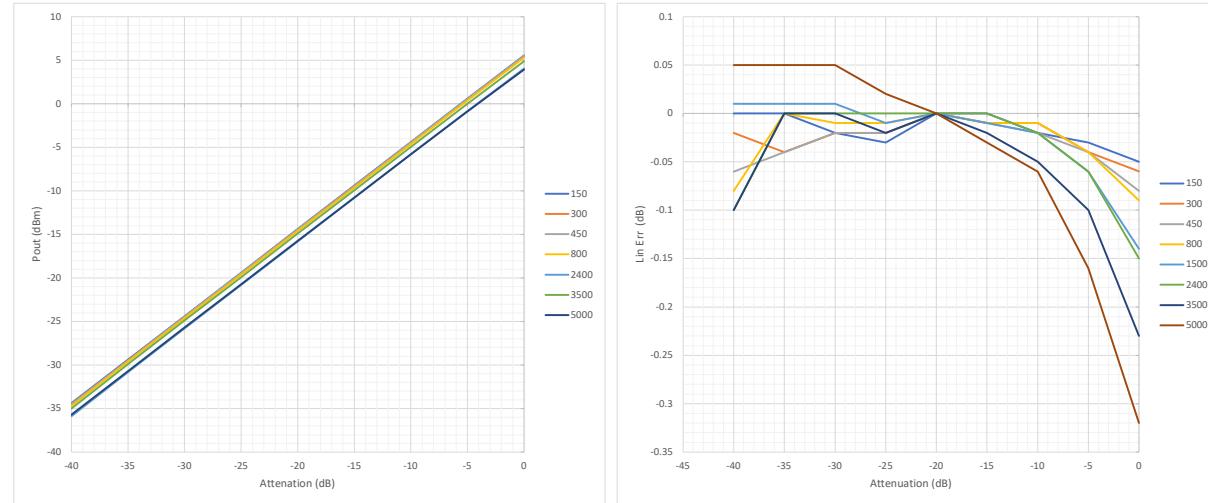
小さな誤差を拡大するためATT=-20dBを基準とした相対値をプロットしている。



CH1

ATT(dB)	150	300	450	800	1500	2400	3500	5000	MHz
0	5.56	5.47	5.49	5.3	4.45	4.05	4.87	3.93	dBm
-5	0.58	0.49	0.53	0.35	-0.47	-0.86	0	-0.91	dBm
-10	-4.41	-4.48	-4.45	-4.62	-5.43	-5.82	-4.95	-5.81	dBm
-15	-9.39	-9.48	-9.44	-9.62	-10.42	-10.8	-9.92	-10.78	dBm
-20	-14.39	-14.47	-14.43	-14.61	-15.41	-15.8	-14.9	-15.75	dBm
-25	-19.42	-19.49	-19.45	-19.62	-20.42	-20.8	-19.92	-20.73	dBm
-30	-24.41	-24.49	-24.45	-24.62	-25.4	-25.8	-24.9	-25.7	dBm
-35	-29.39	-29.51	-29.47	-29.61	-30.4	-30.8	-29.9	-30.7	dBm
-40	-34.39	-34.49	-34.49	-34.69	-35.4	-35.9	-35	-35.7	dBm

	150	300	450	800	1500	2400	3500	5000	MHz
0	-0.05	-0.06	-0.08	-0.09	-0.14	-0.15	-0.23	-0.32	dB
-5	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.06	-0.06	-0.1	-0.16	dB
-10	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.05	-0.06	dB
-15	0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0	-0.02	-0.03	dB
-20	0	0	0	0	0	0	0	0	dB
-25	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0	-0.02	0.02	dB
-30	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	0.01	0	0	0.05	dB
-35	0	-0.04	-0.04	0	0.01	0	0	0.05	dB
-40	0	-0.02	-0.06	-0.08	0.01	-0.1	-0.1	0.05	dB



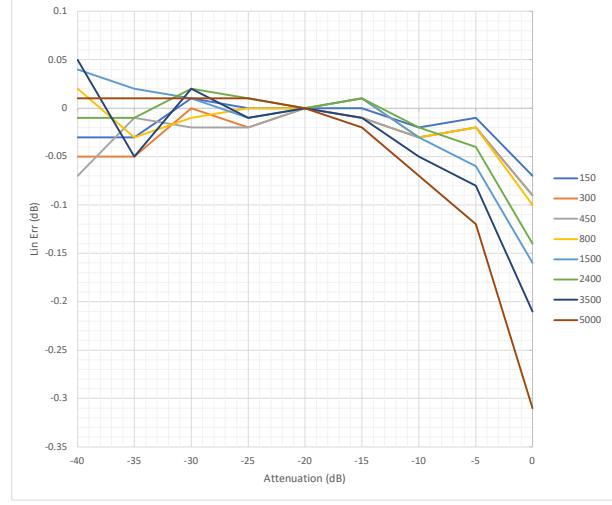
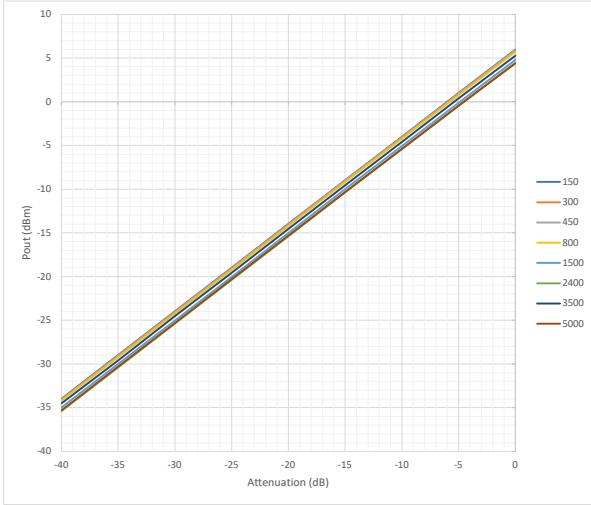
所感

周波数が高いほどリニアリティの悪化が見られるが最大0.3dB/20dBなので殆ど無視できるレベル。

CH2

ATT(dB)	150	300	450	800	1500	2400	3500	5000	MHz
0	5.96	5.86	5.88	5.68	4.8	4.47	5.24	4.38	dBm
-5	1.02	0.93	0.95	0.76	-0.1	-0.43	0.37	-0.43	dBm
-10	-3.99	-4.08	-4.06	-4.25	-5.07	-5.41	-4.6	-5.38	dBm
-15	-8.97	-9.06	-9.04	-9.21	-10.03	-10.38	-9.56	-10.33	dBm
-20	-13.97	-14.05	-14.03	-14.22	-15.04	-15.39	-14.55	-15.31	dBm
-25	-18.97	-19.07	-19.05	-19.22	-20.05	-20.38	-19.56	-20.3	dBm
-30	-23.96	-24.05	-24.05	-24.23	-25.03	-25.37	-24.53	-25.3	dBm
-35	-29	-29.1	-29.04	-29.25	-30.02	-30.4	-29.6	-30.3	dBm
-40	-34	-34.1	-34.1	-34.2	-35	-35.4	-34.5	-35.3	dBm

	150	300	450	800	1500	2400	3500	5000	MHz
0	-0.07	-0.09	-0.09	-0.1	-0.16	-0.14	-0.21	-0.31	dB
-5	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.06	-0.04	-0.08	-0.12	dB
-10	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.05	-0.07	dB
-15	0	-0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.02	dB
-20	0	0	0	0	0	0	0	0	dB
-25	0	-0.02	-0.02	0	-0.01	0.01	-0.01	0.01	dB
-30	0.01	0	-0.02	-0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	dB
-35	-0.03	-0.05	-0.01	-0.03	0.02	-0.01	-0.05	0.01	dB
-40	-0.03	-0.05	-0.07	0.02	0.04	-0.01	0.05	0.01	dB

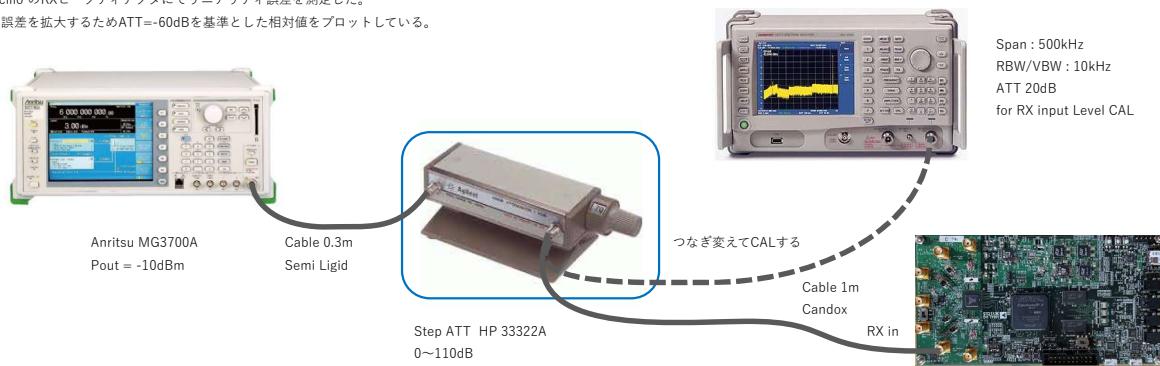


所感

周波数が高いほどニアリティの悪化が見られるが最大0.3dB/20dBなので殆ど無視できるレベル。

IIO Oscillo のRXピークディテクタにてリニアリティ誤差を測定した。

小さな誤差を拡大するためATT=-60dBを基準とした相対値をプロットしている。



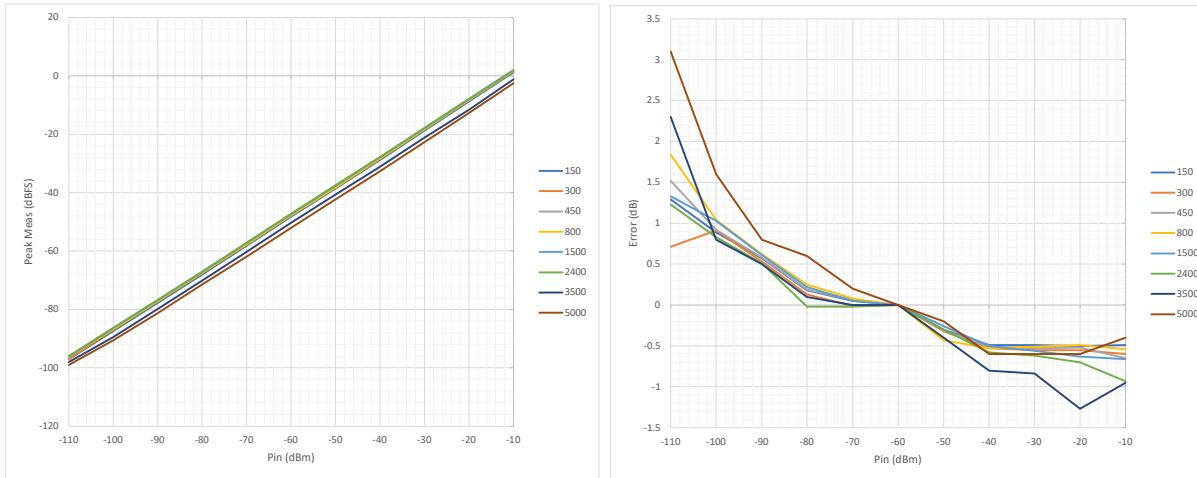
出典: ALLTEST Keysight 33322A

[33322A \(Agilent/Keysight\) | DC-4GHz, 110dB, Max RF Power 1W CW | Altest Instruments.](#)

CH1

Pin(dBm)	150	300	450	800	1500	2400	3500	5000	MHz
-10	1.22	1.69	1.83	1.62	2.01	1.84	-1.25	-2.5	dBFS
-20	-8.79	-8.26	-8.04	-8.33	-7.96	-7.93	-11.57	-12.7	dBFS
-30	-18.78	-18.26	-18.05	-18.35	-17.89	-17.85	-21.14	-22.7	dBFS
-40	-28.78	-28.24	-28.03	-28.37	-27.83	-27.81	-31.1	-32.7	dBFS
-50	-38.59	-38.03	-37.83	-38.27	-37.59	-37.53	-40.7	-42.3	dBFS
-60	-48.29	-47.71	-47.52	-47.84	-47.33	-47.23	-50.3	-52.1	dBFS
-70	-58.24	-57.72	-57.46	-57.76	-57.28	-57.25	-60.3	-61.9	dBFS
-80	-68.11	-67.58	-67.33	-67.59	-67.11	-67.25	-70.2	-71.5	dBFS
-90	-77.72	-77.18	-76.94	-77.22	-76.72	-76.72	-79.8	-81.3	dBFS
-100	-87.4	-86.8	-86.6	-86.8	-86.3	-86.4	-89.5	-90.5	dBFS
-110	-97	-97	-96	-96	-96	-96	-98	-99	dBFS

Pin(dBm)	150	300	450	800	1500	2400	3500	5000	MHz
-10	-0.49	-0.6	-0.65	-0.54	-0.66	-0.93	-0.95	-0.4	dB
-20	-0.5	-0.55	-0.52	-0.49	-0.63	-0.7	-1.27	-0.6	dB
-30	-0.49	-0.55	-0.53	-0.51	-0.56	-0.62	-0.84	-0.6	dB
-40	-0.49	-0.53	-0.51	-0.53	-0.5	-0.58	-0.8	-0.6	dB
-50	-0.3	-0.32	-0.31	-0.43	-0.26	-0.3	-0.4	-0.2	dB
-60	0	0	0	0	0	0	0	0	dB
-70	0.05	-0.01	0.06	0.08	0.05	-0.02	0	0.2	dB
-80	0.18	0.13	0.19	0.25	0.22	-0.02	0.1	0.6	dB
-90	0.57	0.53	0.58	0.62	0.61	0.51	0.5	0.8	dB
-100	0.89	0.91	0.92	1.04	1.03	0.83	0.8	1.6	dB
-110	1.29	0.71	1.52	1.84	1.33	1.23	2.3	3.1	dB



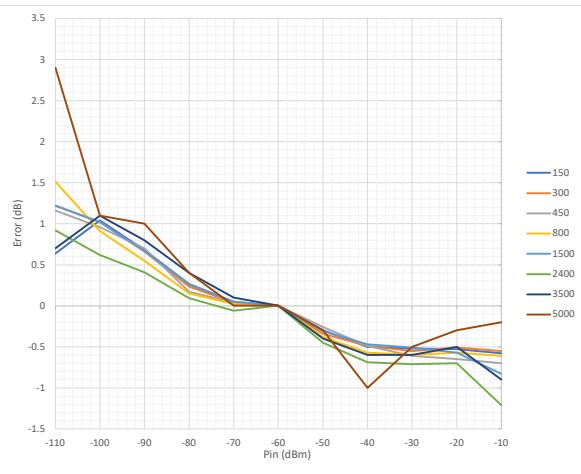
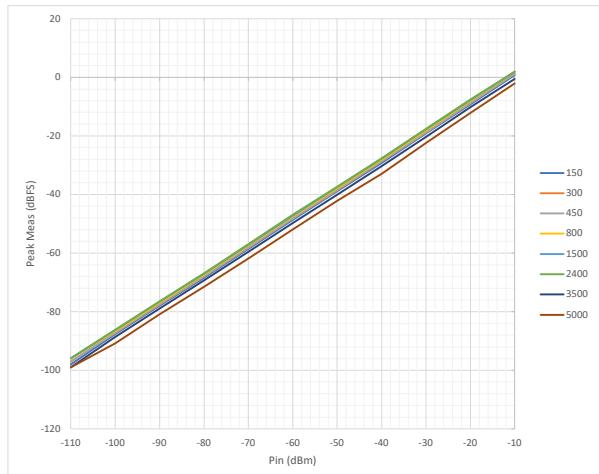
所感

周波数が高いほどリニアリティの悪化が見られるが最大0.3dB/20dBなので殆ど無視できるレベル。

CH2

	150	300	450	800	1500	2400	3500	5000	MHz
-10	0.78	1.23	1.14	1.88	1.95	1.87	-0.6	-2.1	dBFS
-20	-9.17	-8.73	-8.81	-8.08	-7.79	-7.62	-10.2	-12.2	dBFS
-30	-19.16	-18.77	-18.77	-18.11	-17.73	-17.63	-20.3	-22.4	dBFS
-40	-29.14	-28.71	-28.65	-28.08	-27.69	-27.61	-30.3	-32.9	dBFS
-50	-38.94	-38.56	-38.42	-37.89	-37.53	-37.37	-40.1	-42.2	dBFS
-60	-48.64	-48.22	-48.16	-47.51	-47.22	-46.92	-49.7	-51.9	dBFS
-70	-58.59	-58.18	-58.12	-57.49	-57.17	-56.98	-59.6	-61.9	dBFS
-80	-68.38	-67.99	-67.99	-67.36	-66.95	-66.83	-69.3	-71.5	dBFS
-90	-77.96	-77.56	-77.46	-76.96	-76.55	-76.51	-78.9	-80.9	dBFS
-100	-87.6	-87.2	-87.2	-86.6	-86.2	-86.3	-88.6	-90.8	dBFS
-110	-98	-97	-97	-96	-96	-96	-99	-99	dBFS

	150	300	450	800	1500	2400	3500	5000	MHz
-10	-0.58	-0.55	-0.7	-0.61	-0.83	-1.21	-0.9	-0.2	dB
-20	-0.53	-0.51	-0.65	-0.57	-0.57	-0.7	-0.5	-0.3	dB
-30	-0.52	-0.55	-0.61	-0.6	-0.51	-0.71	-0.6	-0.5	dB
-40	-0.5	-0.49	-0.49	-0.57	-0.47	-0.69	-0.6	-1	dB
-50	-0.3	-0.34	-0.26	-0.38	-0.31	-0.45	-0.4	-0.3	dB
-60	0	0	0	0	0	0	0	0	dB
-70	0.05	0.04	0.04	0.02	0.05	-0.06	0.1	0	dB
-80	0.26	0.23	0.17	0.15	0.27	0.09	0.4	0.4	dB
-90	0.68	0.66	0.7	0.55	0.67	0.41	0.8	1	dB
-100	1.04	1.02	0.96	0.91	1.02	0.62	1.1	1.1	dB
-110	0.64	1.22	1.16	1.51	1.22	0.92	0.7	2.9	dB



Pin=-60dBm を基準としたリニアリティ誤差

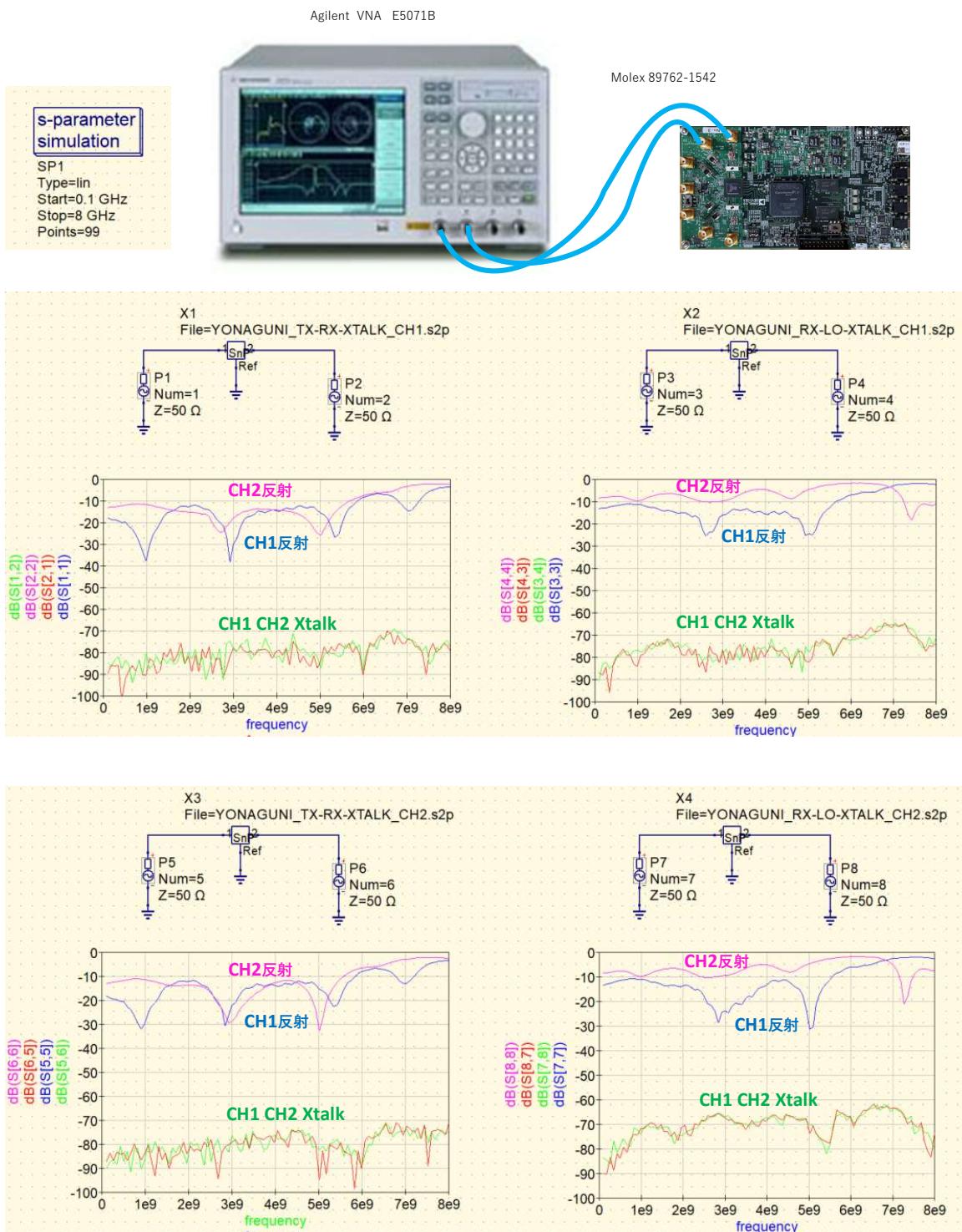
所感

周波数が高いほどリニアリティの悪化が見られるが最大0.3dB/20dBなので殆ど無視できるレベル。

8 RX入力-TX出力間クロストークの評価

2022/9/10

最も近接する伝送路同士のTX-RX間のクロストークを測定する。
VNAを使ったSパラメータで評価する。

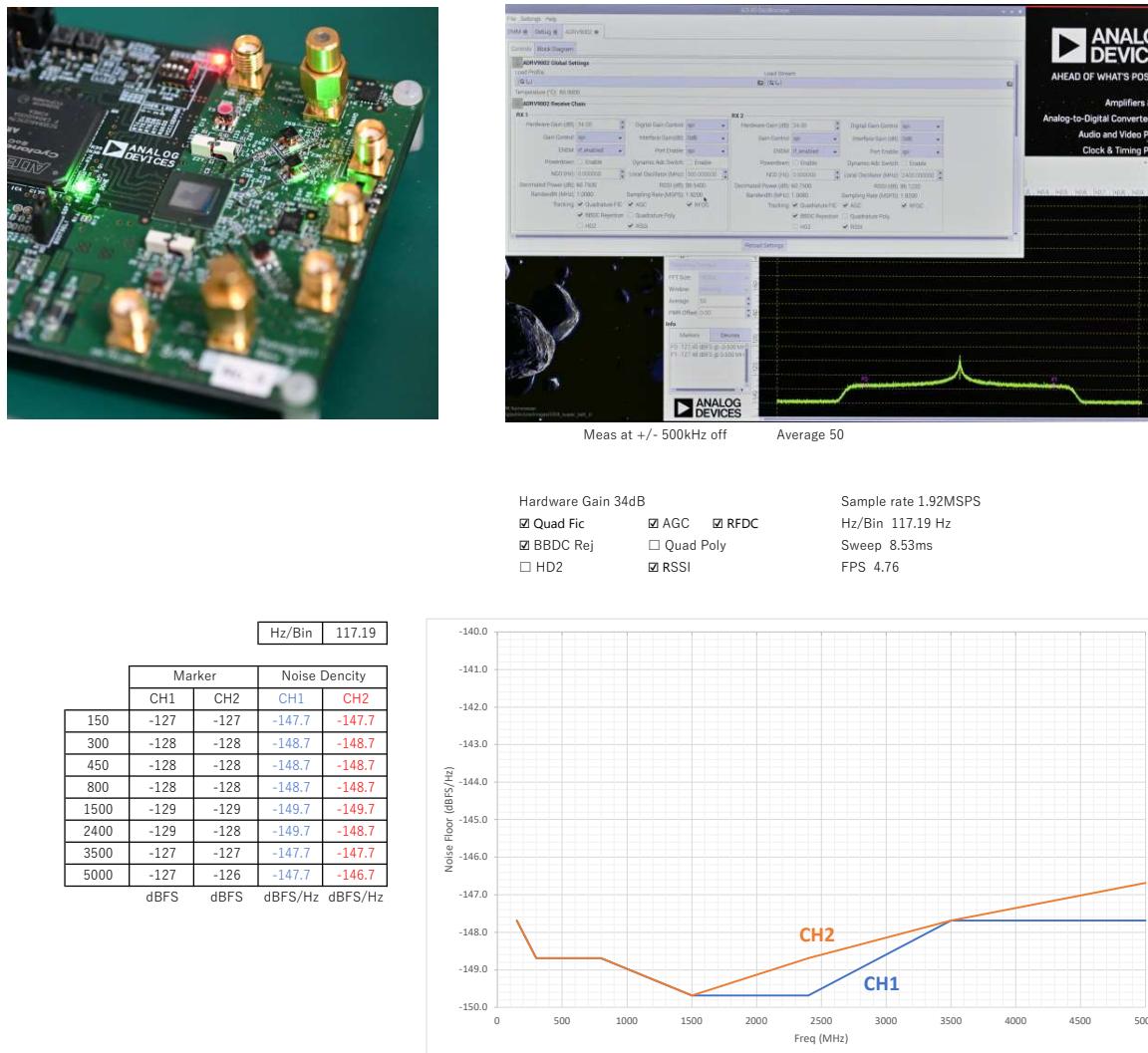


所感 全帯域で-60dBc以下なのでマイクロストリップラインとしては良く抑えられている。

9 RXフロアノイズレベルの評価

2022/9/11

各周波数帯域別にフロアノイズレベルを測定し、帯域に応じた感度を計算できるようノイズ密度 (dBFS/Hz) を求める。



所感

高感度を得るためにLNAを追加するため、この測定値はその際に感度計算が可能になるというものである。

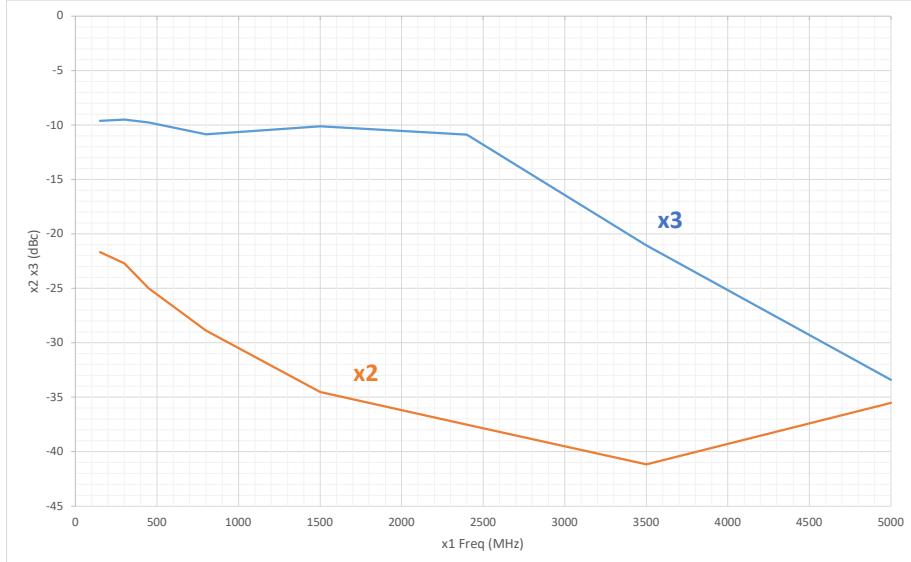
10 TX出力x2x3高調波の評価

2022/9/12

TX不要輻射の中から最も大きなレベルになるx2、x3高潮波に着目し、そのレベルを測定した。

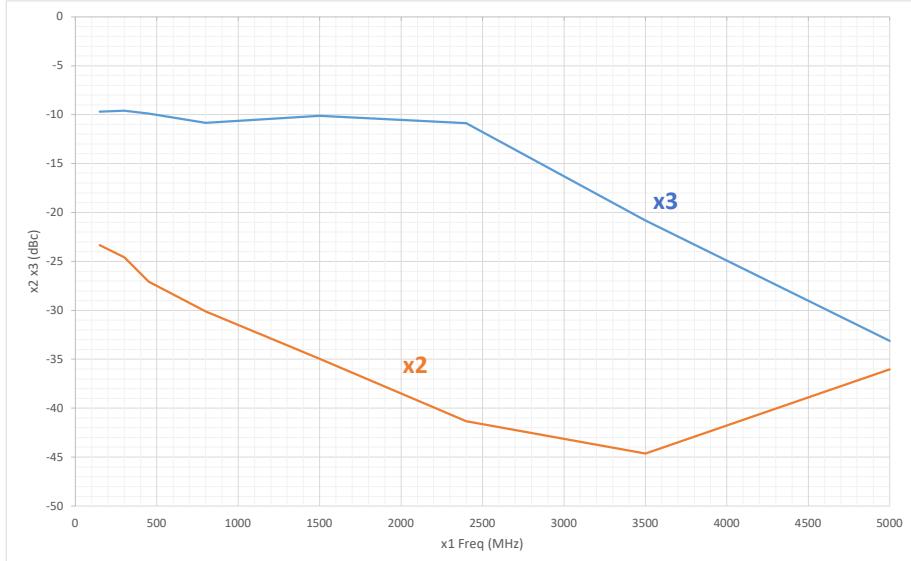
	Meas CH1			Result CH1	
	x1	x2	x3	x2	x3
150	3.79	-17.88	-5.83	-21.67	-9.62
300	3.99	-18.7	-5.52	-22.69	-9.51
450	4.03	-20.96	-5.75	-24.99	-9.78
800	4.23	-24.65	-6.63	-28.88	-10.86
1500	3.6	-30.9	-6.51	-34.5	-10.11
2400	3.07	-34.45	-7.82	-37.52	-10.89
3500	3.86	-37.3	-17.2	-41.16	-21.06
5000	0.2	-35.3	-33.2	-35.5	-33.4

dBFS dBFS dBFS dBc dBc



	Meas CH2			Result CH2	
	x1	x2	x3	x2	x3
150	4.73	-18.62	-4.96	-23.35	-9.69
300	4.81	-19.79	-4.79	-24.6	-9.6
450	4.83	-22.23	-5.06	-27.06	-9.89
800	4.81	-25.31	-6.04	-30.12	-10.85
1500	4.05	-30.91	-6.08	-34.96	-10.13
2400	3.62	-37.7	-7.27	-41.32	-10.89
3500	4.33	-40.3	-16.5	-44.63	-20.83
5000	2.43	-33.6	-30.7	-36.03	-33.13

dBFS dBFS dBFS dBc dBc



所感

x3高調波が-10dBcとやや大きいためLPFを入れるなどの注意が必要になる。

11 TX出力・3次歪特性の評価

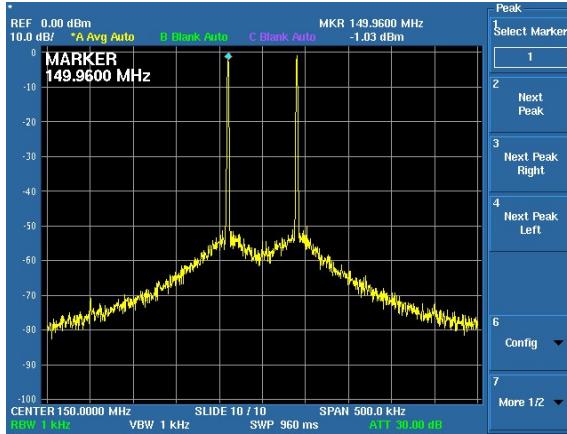
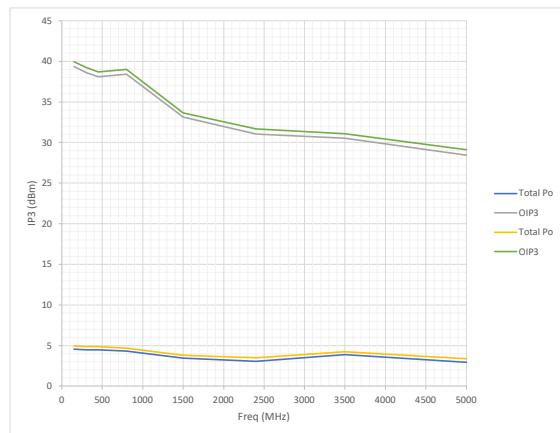
2022/9/17

IIO Oscillo のCW 2 Tone 出力機能を利用して簡易的にOIP3を求めた。
TX最大出力でもIM3が測定限界付近のためOIP3の算出は最大出力時のみとなっている。

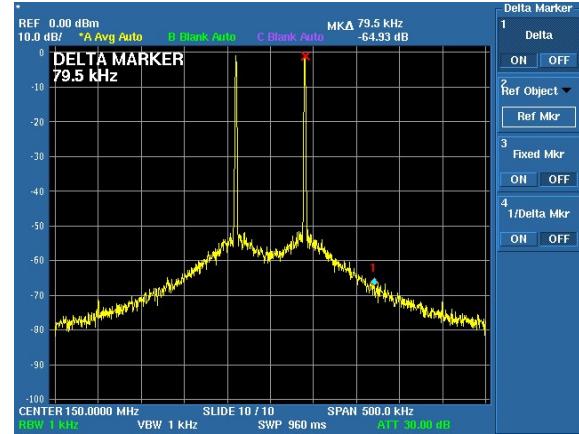


CH1	Total Po	IM3	OIP3
150	4.56	-65	39.3
300	4.47	-63.84	38.6
450	4.49	-62.73	38.1
800	4.3	-63.95	38.4
1500	3.45	-55.87	33.1
2400	3.05	-52.95	31.1
3500	3.87	-49.4	30.5
5000	2.93	-48.09	28.4

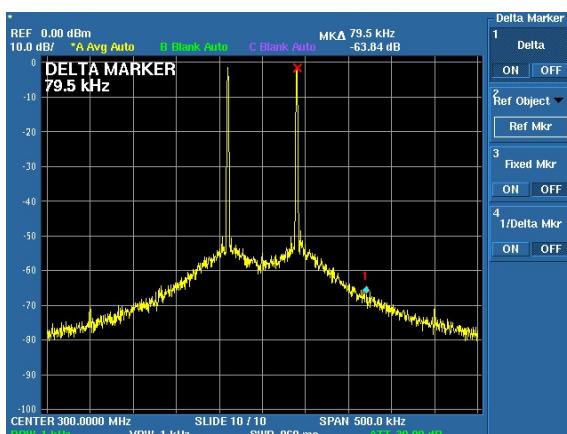
CH2	Total Po	IM3	OIP3
150	4.96	-65	39.9
300	4.86	-63.84	39.2
450	4.88	-62.73	38.7
800	4.68	-63.95	39.0
1500	3.8	-55.87	33.6
2400	3.47	-52.95	31.7
3500	4.24	-49.4	31.1
5000	3.38	-48.09	29.1



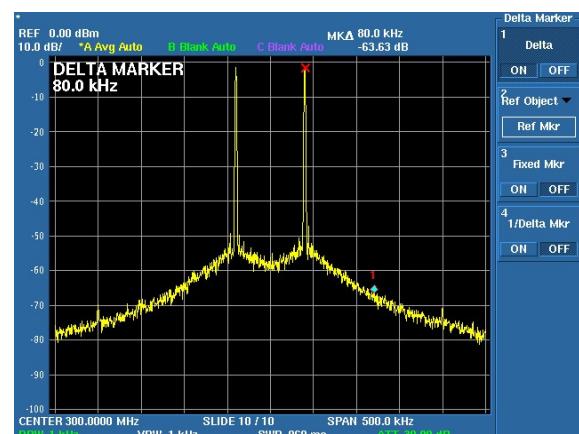
150kHz CH1



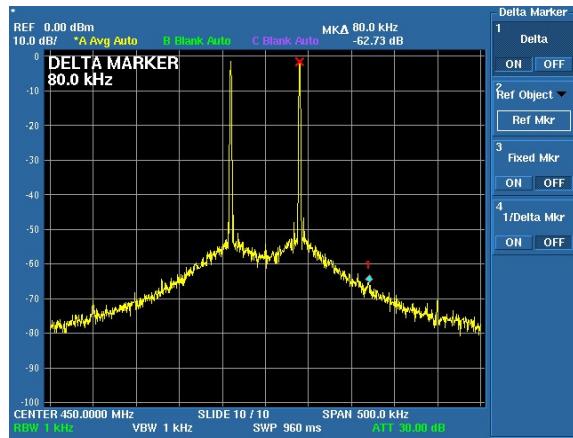
150kHz CH2



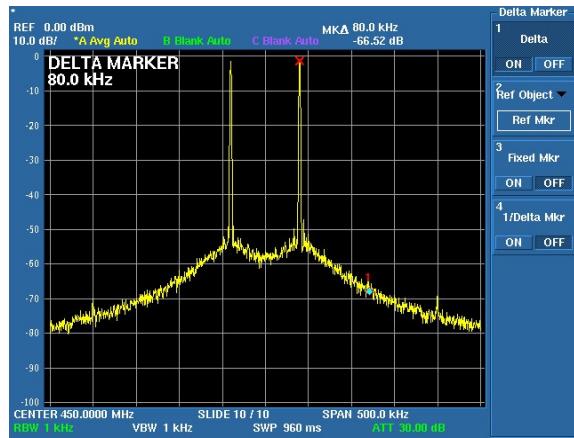
300kHz CH1



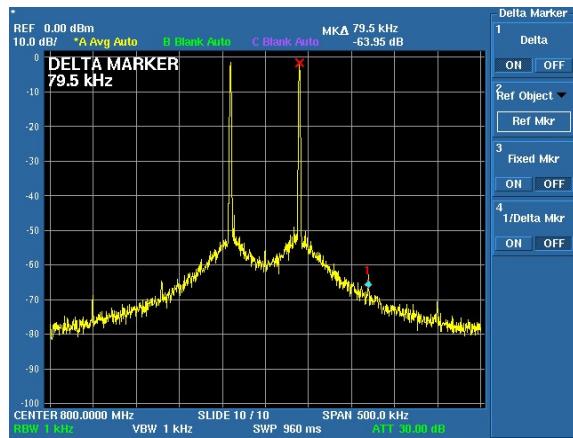
300kHz CH2



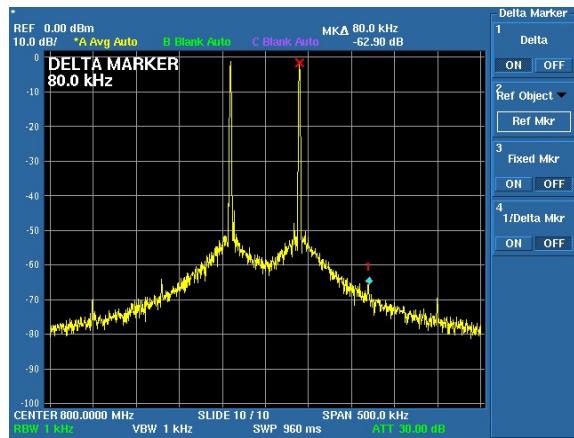
450kHz CH1



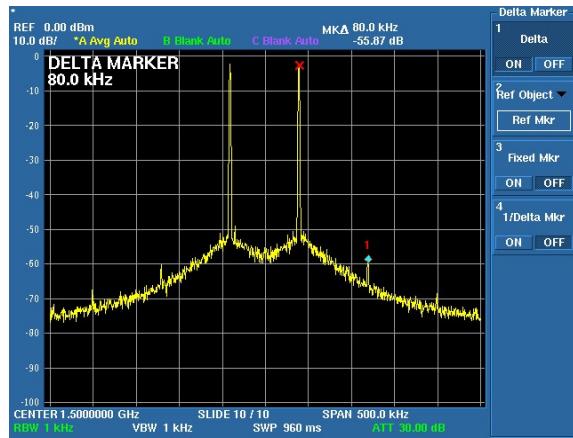
450kHz CH2



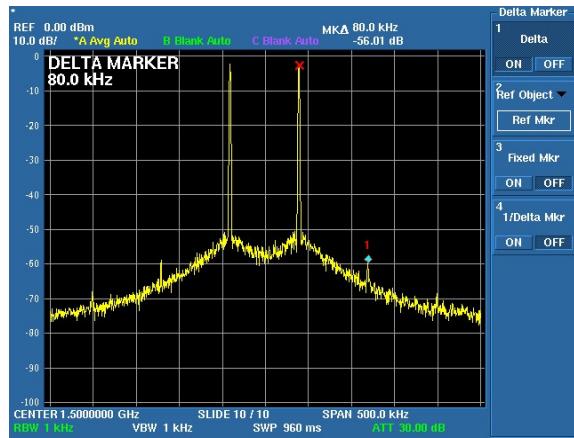
800kHz CH1



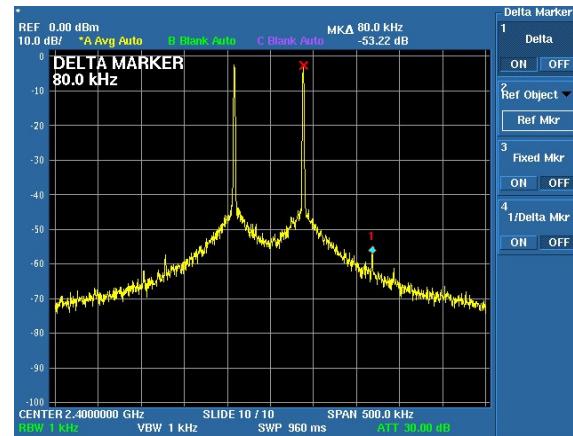
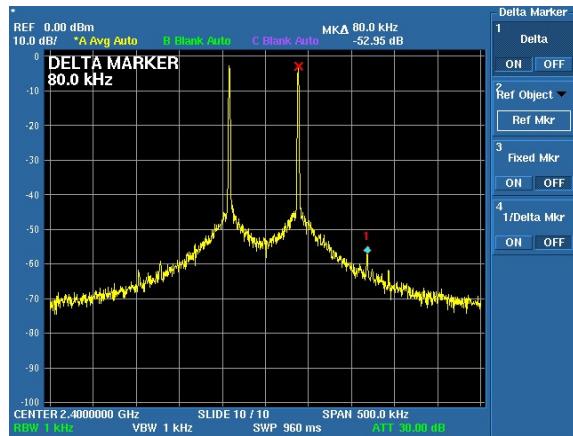
800kHz CH2



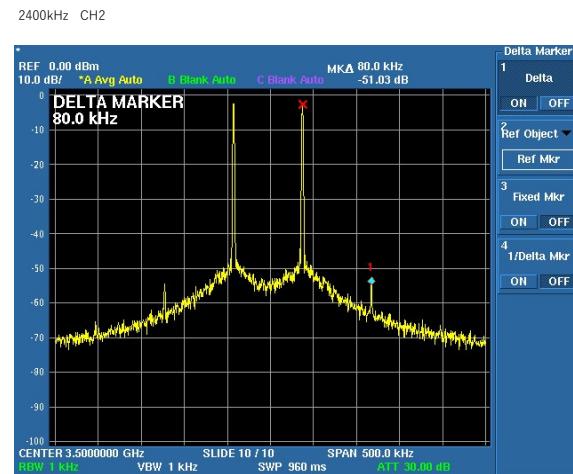
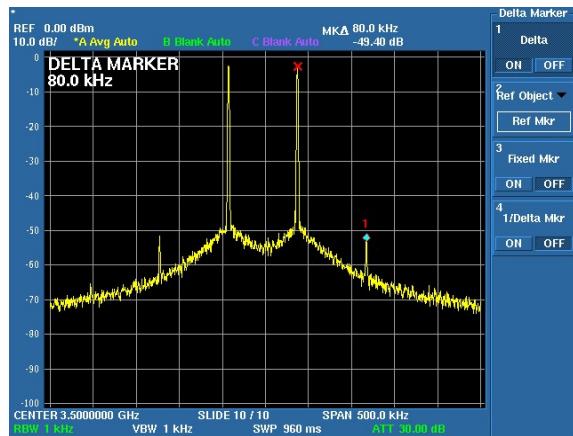
1500kHz CH1



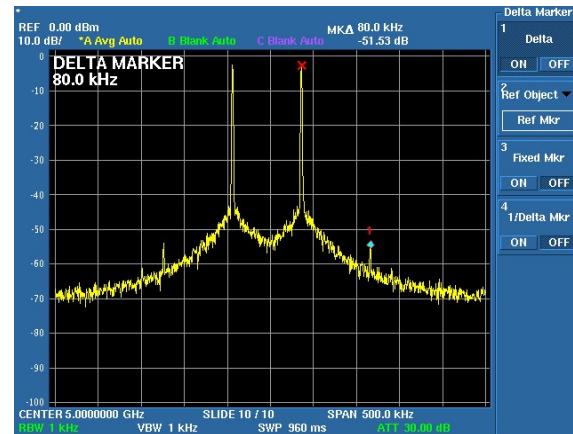
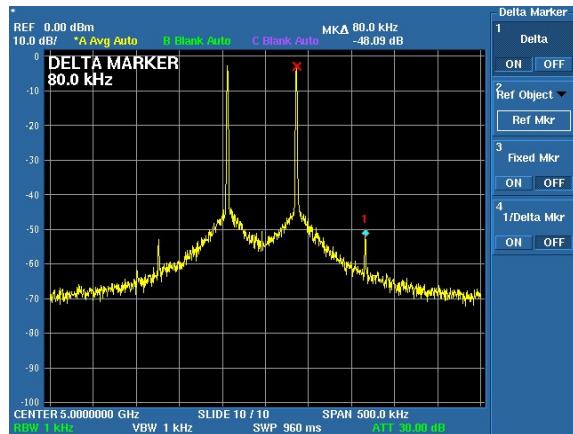
1500kHz CH2



2400kHz CH1



3500kHz CH1



5000kHz CH1

3500kHz CH2

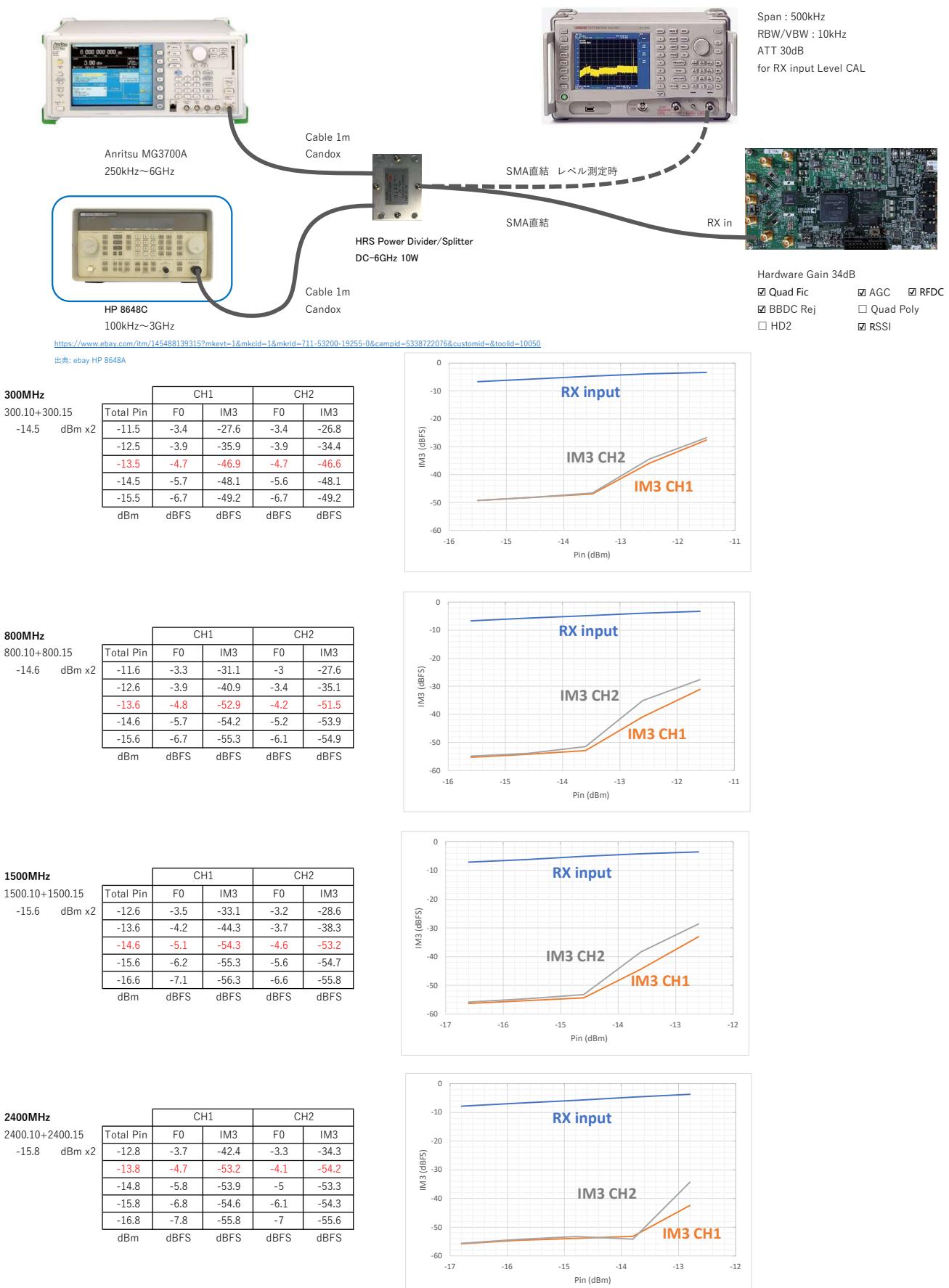
所感

TX最大出力でようやくIM3が測定できる程度なので問題なし。

12 RX入力・3次歪特性の評価

2022/9/18

外部SG2台を用いて3GHz以下だけだが2トーン特性を測定した。



所感

3次歪は入力レベル変化1dBに対して3dBづつ増加するが、今回はそれ以上に急激に増加する特性を示したため、その増加率の変化点に着目。
RF入力-14dBm以下で使用すれば3次歪の影響は抑えられる。

外部SG2台を用いて3GHz以下だけだが2トーン特性を測定した。

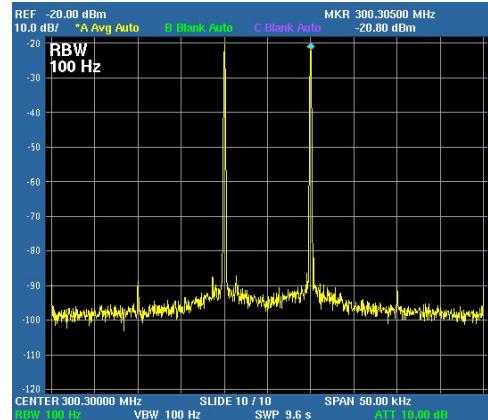


前回はSGどうしのリークによるIM3発生が起きていたため、アイソレーション対策としてトランス式ハイブリッドと各SG出力に20dB ATTを追加した。



抵抗式パワーコンバータはアイソレーションが悪く (-6dB) SGを歪ませる原因となるため今回トランス式のハイブリッドに交換した。

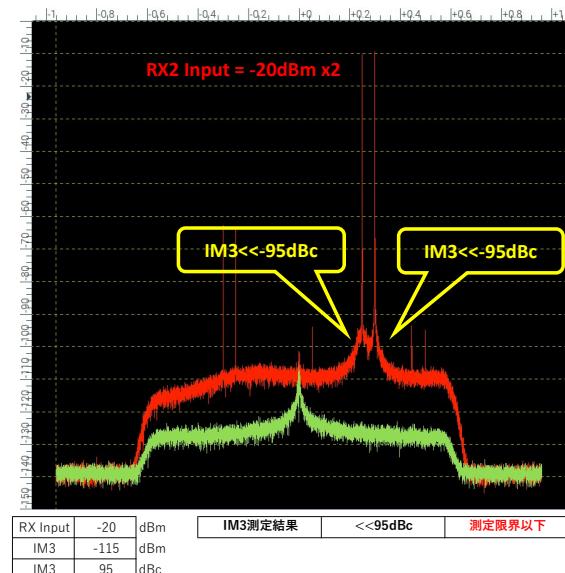
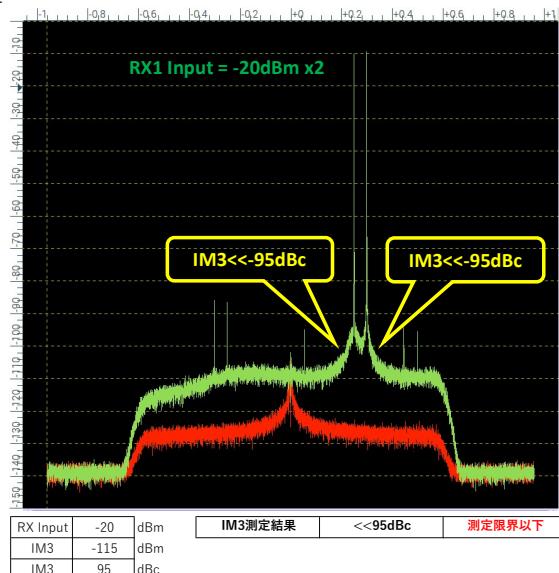
トランス式のアイソレーションは-20dBを確保できる。



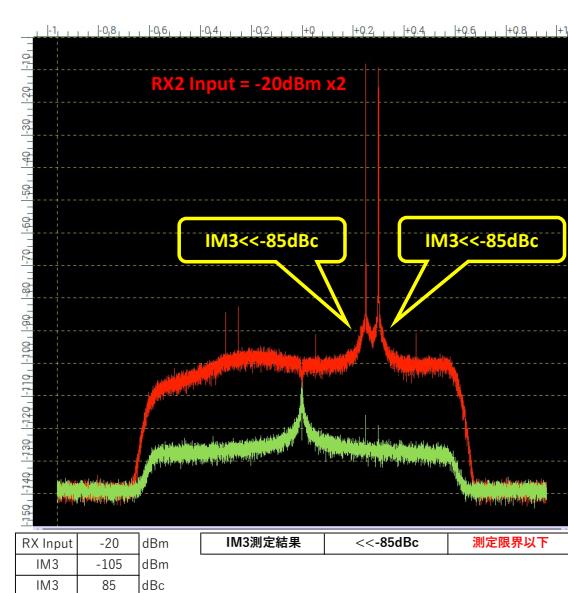
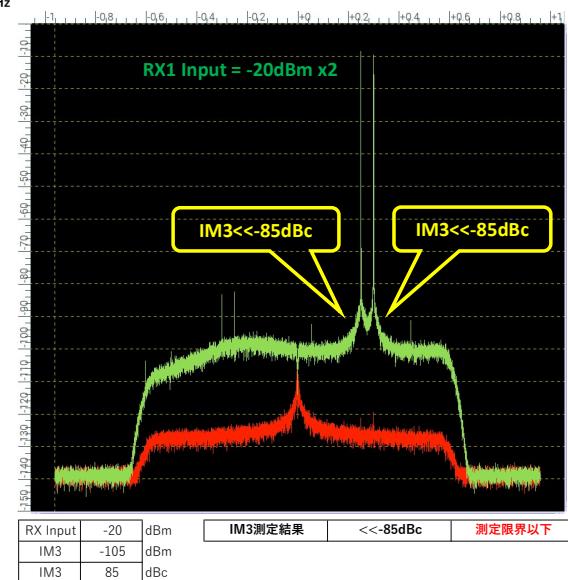
300MHzはトランス式ハイブリッドの帯域外となるため、実測にてレベルの最適化を行った。

IM3 = -70dBcが見られるが、これはスペアナの内部で発生している。

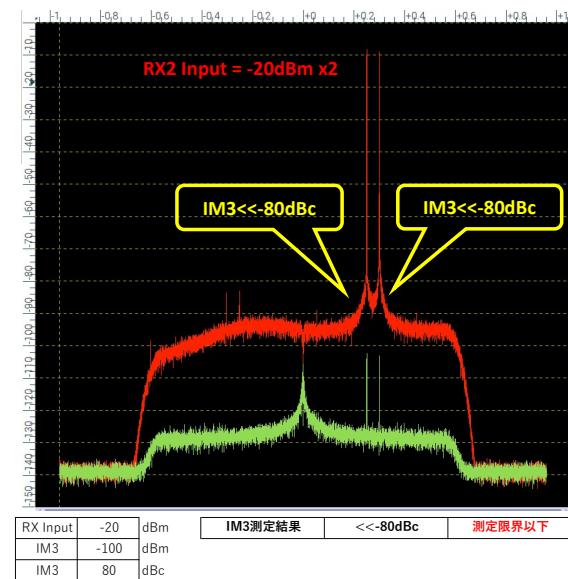
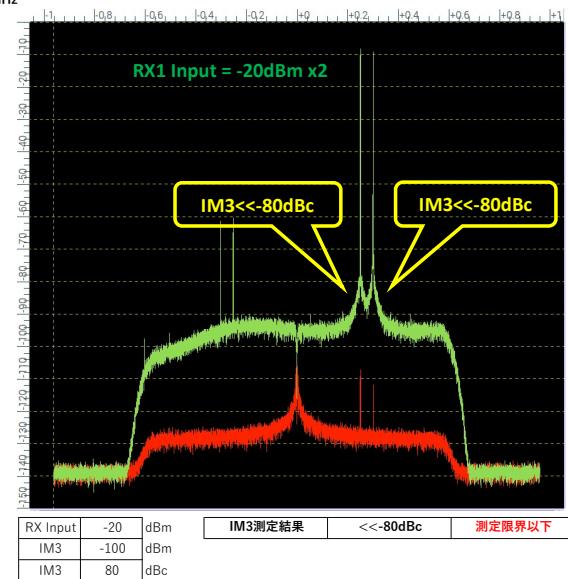
300MHz



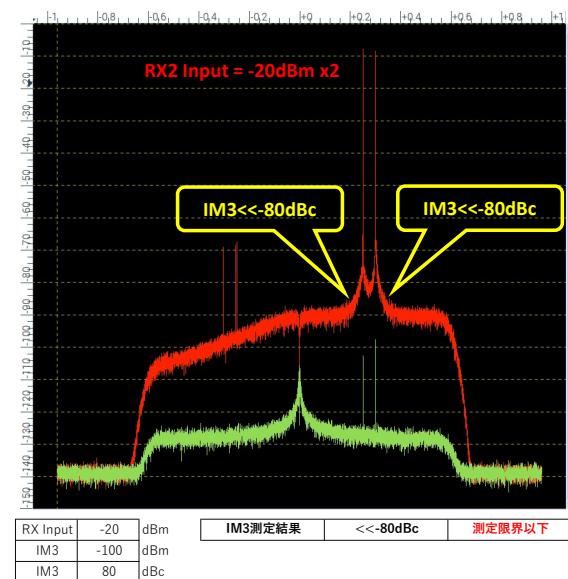
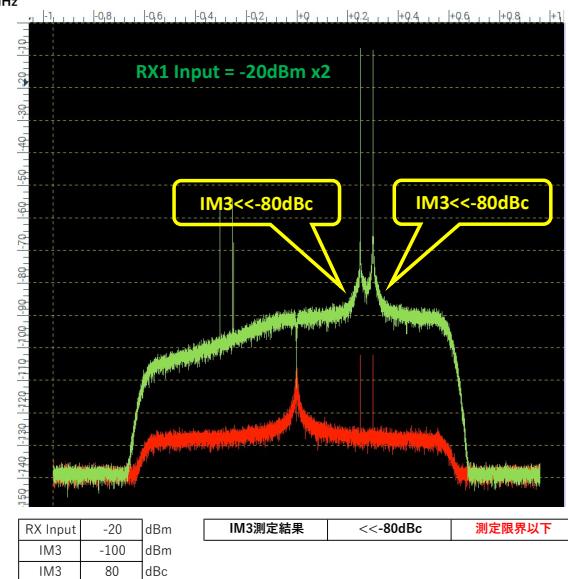
800MHz



1500MHz



2400MHz



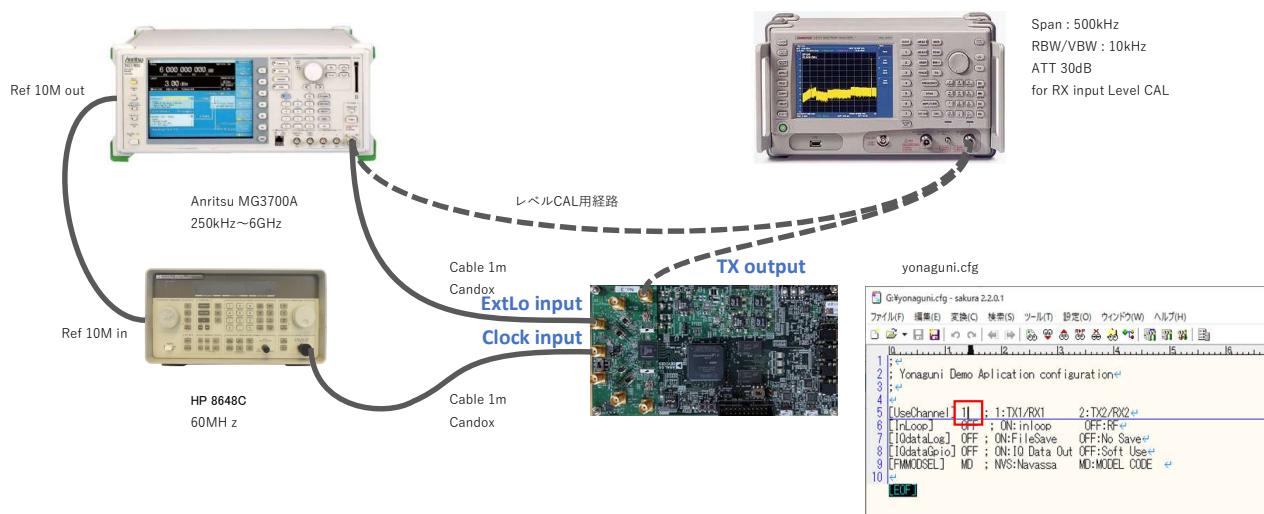
所感 : 測定環境の限界で-20dBm以上の信号を入力できないため、全てのIM3は測定限界以下だった。

データシートのIM3値は-79dBc (HD3: 2400MHz, Narrow-Band) 以下であることから、その値を裏付ける結果になっている。

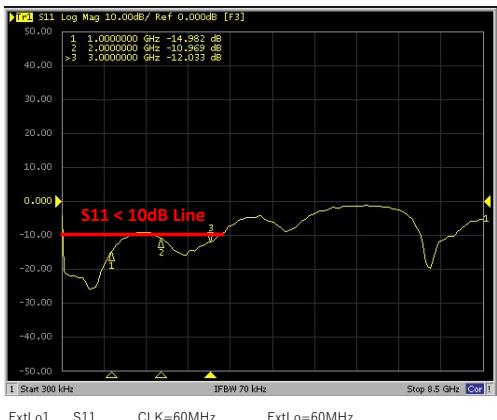
13 ExtLoの入力レベル閾値の評価

2022/9/18

外部SG2台を用いて3GHz以下だけだが2トーン特性を測定した。



ExtLo in	TX out	Th Level	TX Level
ExtLo1	60	30	-30.3 -15.2
ExtLo1	120	60	-24.3 -15.7
ExtLo1	300	150	NG 信号出ず
ExtLo1	600	300	NG 信号出ず
ExtLo1	900	450	未確認
ExtLo1	1200	600	未確認
ExtLo1	1500	750	未確認
ExtLo2	60	30	NG 信号は出るがExtLoはOFFにしても切れない、S11は動作状態を示す



ExtLo1 S11 CLK=60MHz ExtLo=60MHz



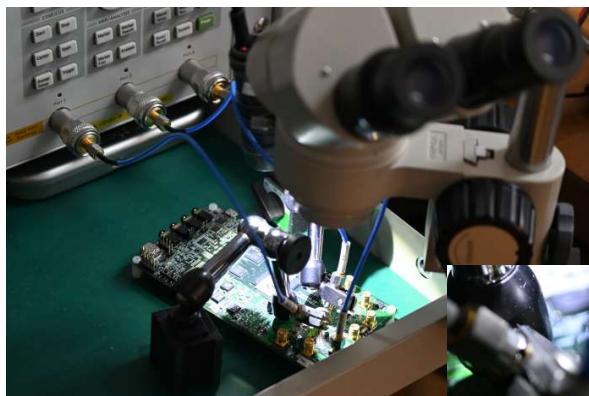
ExtLo2 S11 CLK=60MHz ExtLo=60MHz

所感

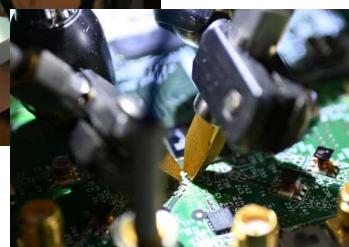
ExtLoが300MHz以上で正常に動作しなかったため評価を断念した。
ExtLoが動作した状態でのS11を測定し、そこは問題ないと判断した。

ExtLoのADRV9002を通したテストが不可だったため、代わりに伝送路の通過特性を測定した。

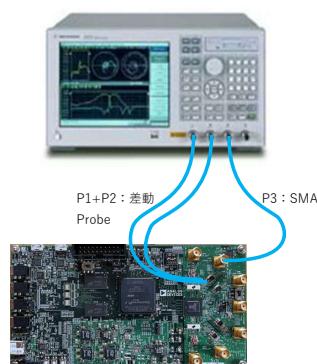
Agilent VNA E5071B



測定環境全景
Probe先端は微細なめ顕微鏡でプローピングする
CALはProbe先端にて実施

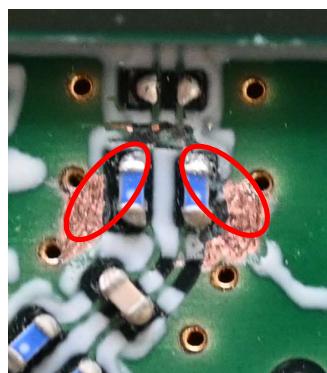


Probe部分の拡大



Yonaguni Board (通電無し)

Probe : MPFU-04S-01 (2.92mm) x2
Cable : Molex 89762-1542 (2.92mm 300mm) x3

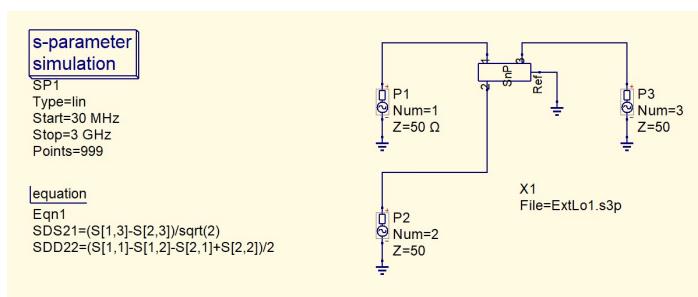


プローピングポイントの拡大 470pFを外してプローピング

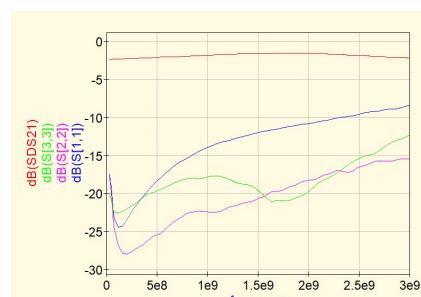


測定範囲

ExtLo1の実測結果



VNAで測定した3ポイントSパラメータをQcusで確認した

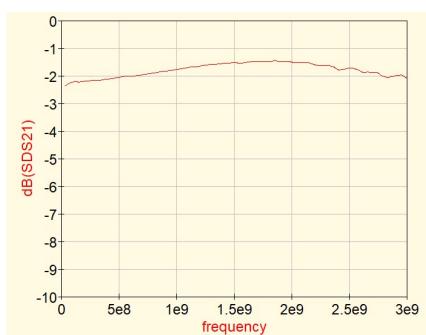
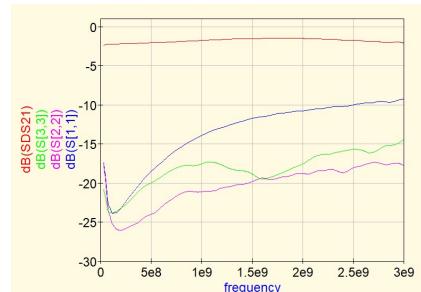
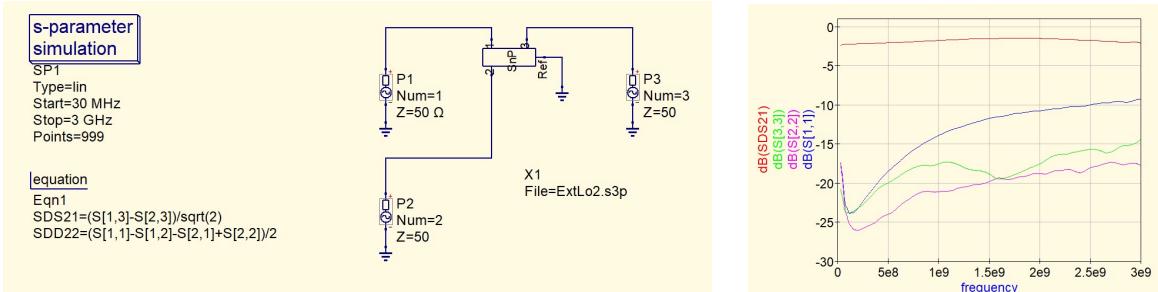


注目すべきは赤のSDS21、これが通過特性である



SDS21を拡大、通過特性に問題は無い

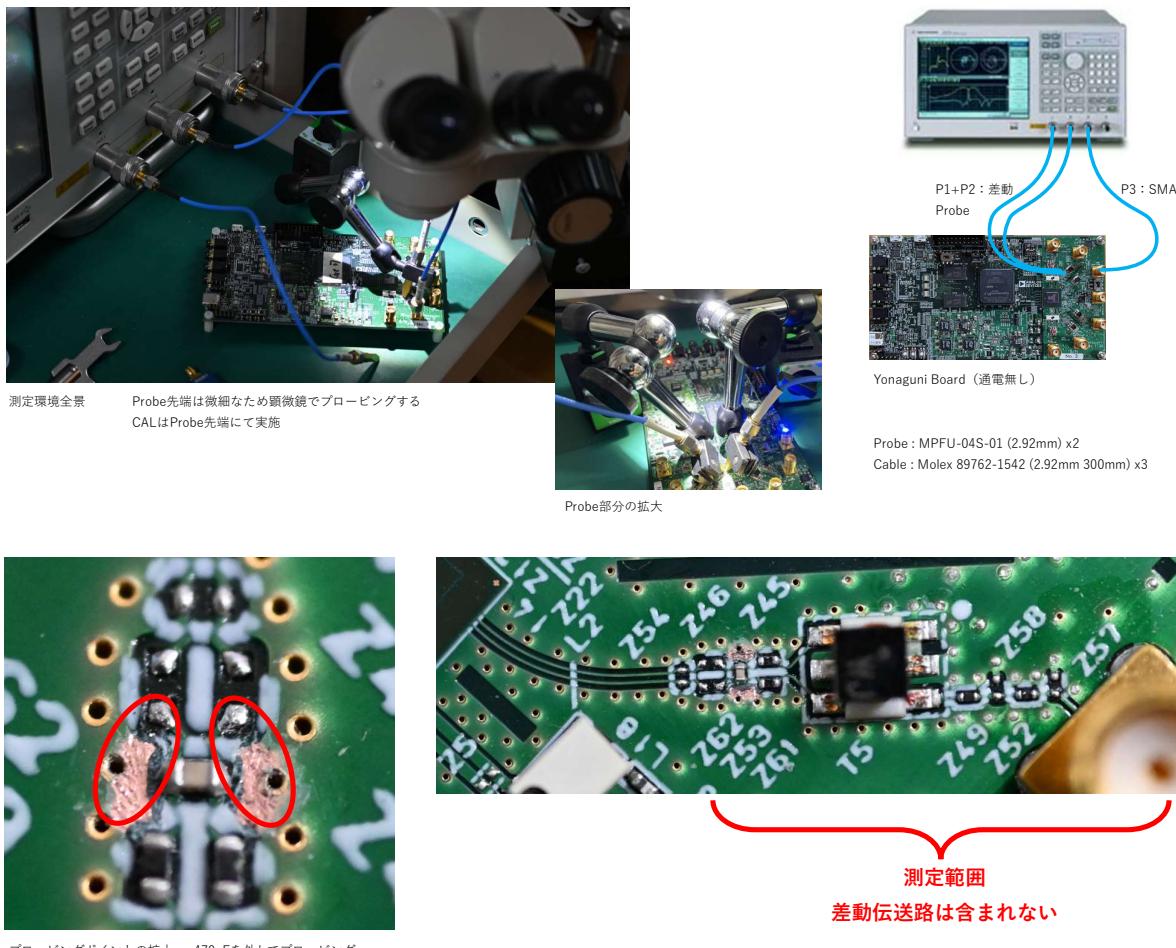
ExtLo2の実測結果



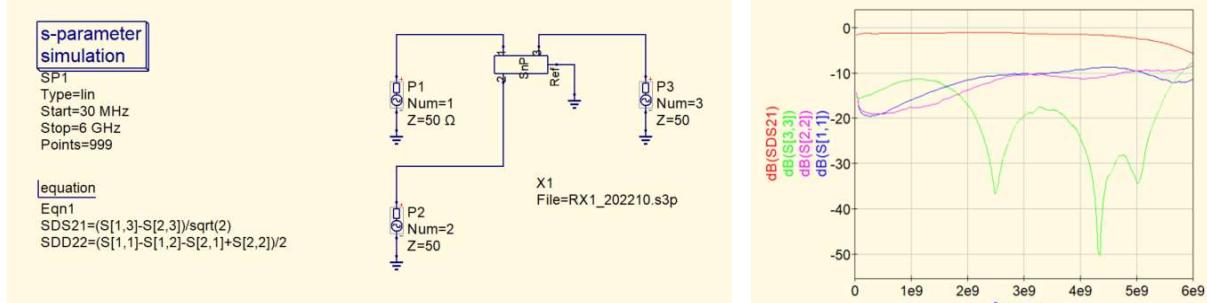
所感 SMA→ADRV9002入力までの通過 f 特は設計値が出ており問題ないと判断した。

③「RX入力・周波数レスポンスの評価」にて特が想定よりも悪かったため、伝送経路のみ通過特性を調べた。

Agilent VNA E5071B

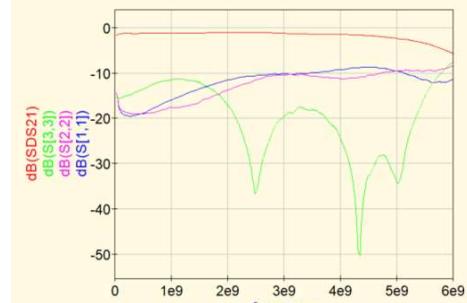


プローピングポイントの拡大 470pFを外してプローピング

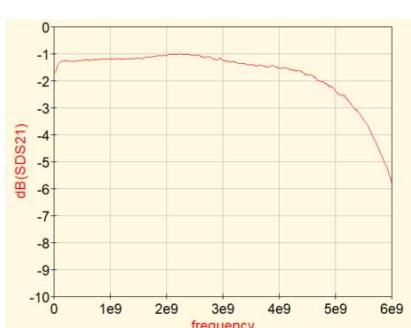


VNAで測定した3ポイントSパラメータをQucsで確認した

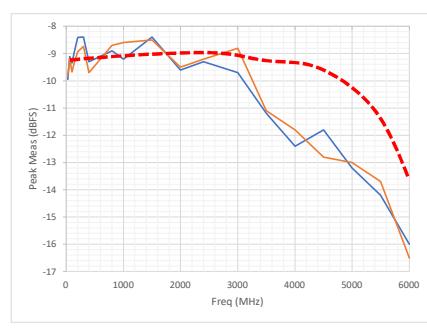
差動インピーダンスはミックスモード解析



注目すべきは赤のSDS21、これが通過特性である

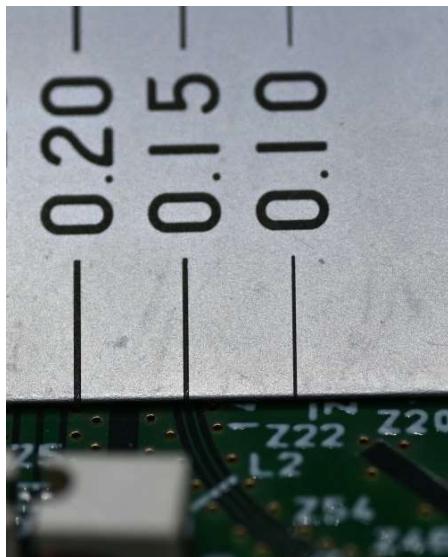


SDS21を拡大、設計時の特性と大きな差異はない



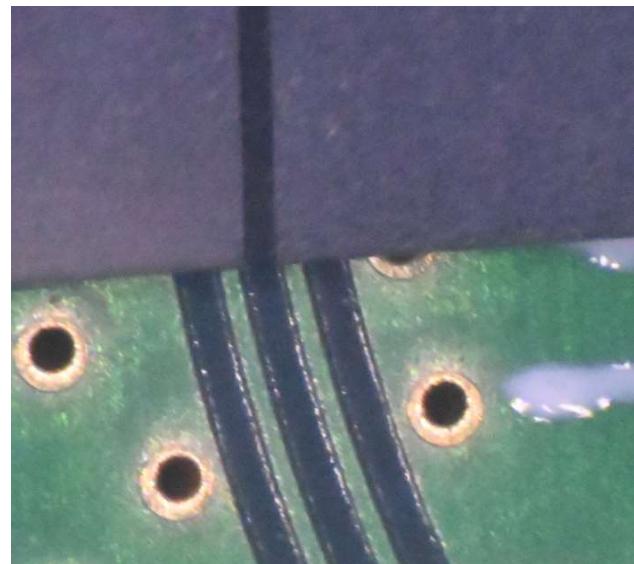
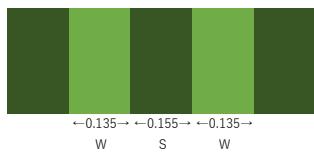
③「RX入力・周波数レスポンスの評価」と比較した (赤の破線がSDS21)
明らかに3.5GHz以上で大きな減衰が見られる。

差動伝送路の仕上がり寸法を測定



プローブが当たらない差動線路の仕上がりを念のため確認する
クラックゲージにて0.15mmを差動線路に当てている

こここの伝送路について設計値は以下の通り



顕微鏡の拡大写真、0.15mmのゲージを当てている様子
スリット幅は明らかに0.15mmよりも広く、クラックゲージによる実測値はW=0.1mm、S=0.2mmだった
この差動線路を実測するためには生基板が必要になる。

f特悪化の原因を特定するため以下を調べる必要があると考える。

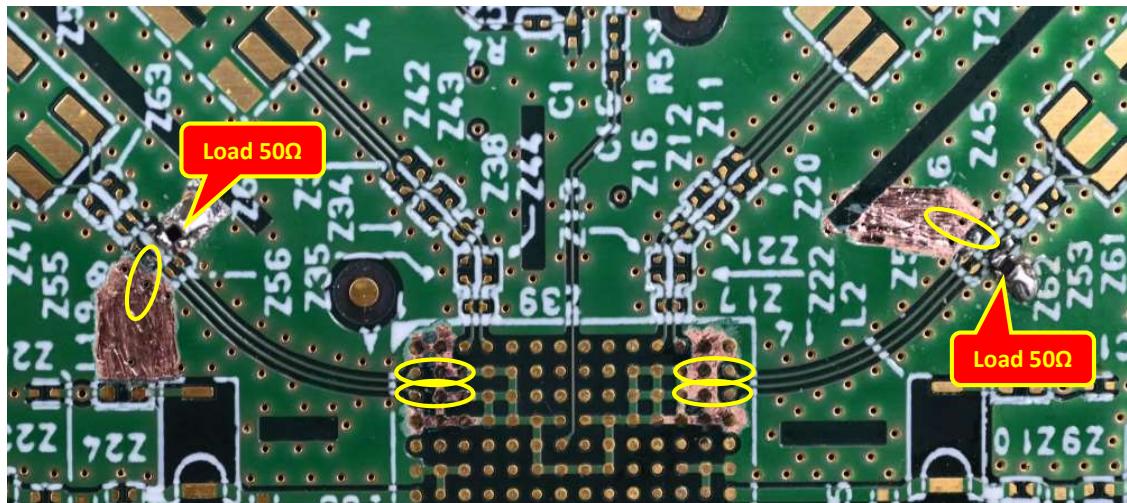
- ① 差動伝送路の特性インピーダンス評価
- ② ADRV9002のRX入力f特の実測
- ③ 差動伝送路→BGAのf特解析

所感

SMA→Balun出力までの通過f特は設計値が出ており問題ないと判断した。
差動伝送路はプローピング出来ないため評価できず、またADRV9002のRX入力の単体f特もプローピングできないため評価していない。
今回評価できなかった差動線路とADRV9002のRX入力に関しての調査が引き続き必要と思われる。



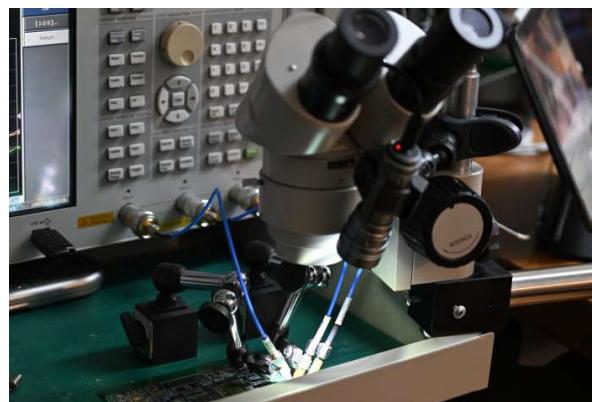
差動伝送路解析を実施するために通常なら4ポート必要なところ1ポートだけ抵抗終端して3ポートとして測定した。これは使用するVNAが3ポートのためである。
Mixed mode解析で3ポート用の公式を使用すれば解析に問題ない。Sds21（通過ロス）が-3dBになることに注意すればよい。



未実装基板を使ってプローピングする

黄色い丸はプローピングポイント

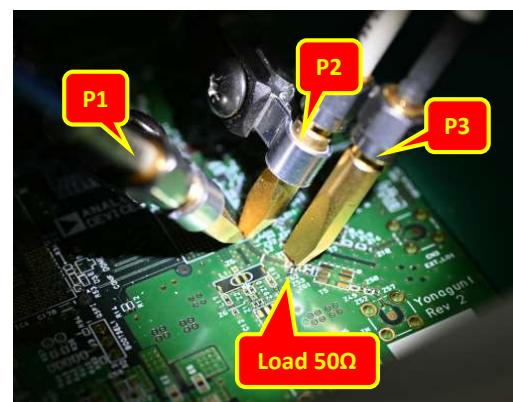
差動線路の片側は50Ω終端している。



Agilent VNA E5071B (3port)

Probe : MPFU-04S-01 (2.92mm) x3

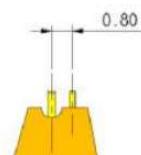
Cable : Molex 89762-1542 (2.92mm 300mm) x3



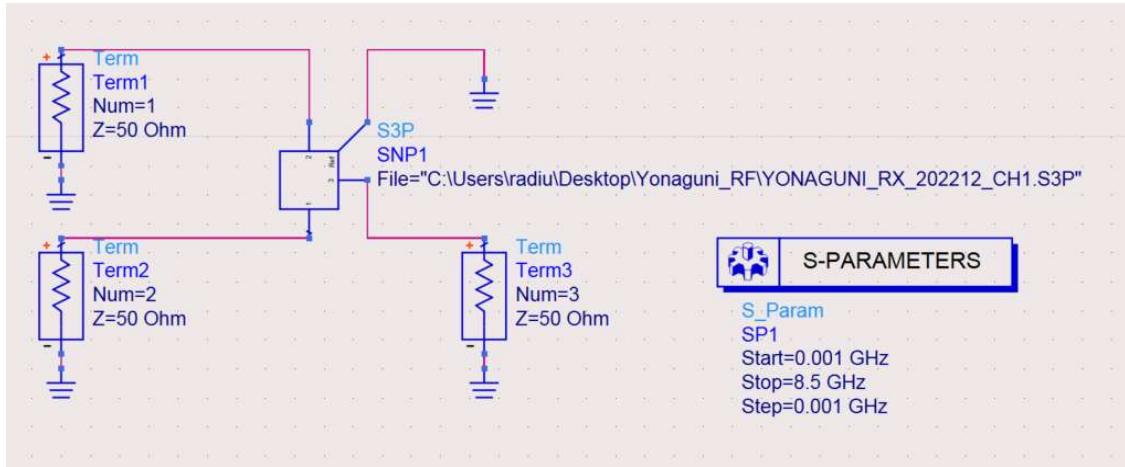
プローピングポイントの拡大



↑ プローブ先端拡大

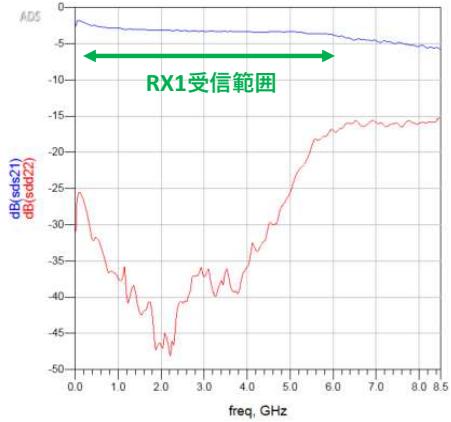
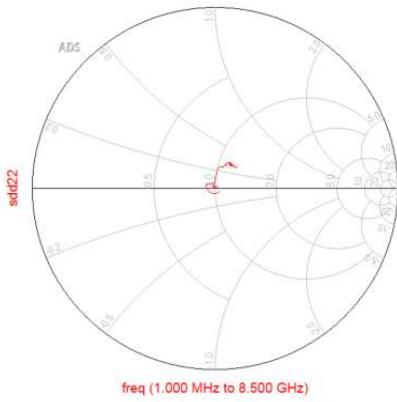


ADSにてMixed mode Sパラ解析で評価



ADSにて3ポートSパラ解析を実行する。MixModeの計算はグラフ表示用のウィンドウで設定する。

RX1

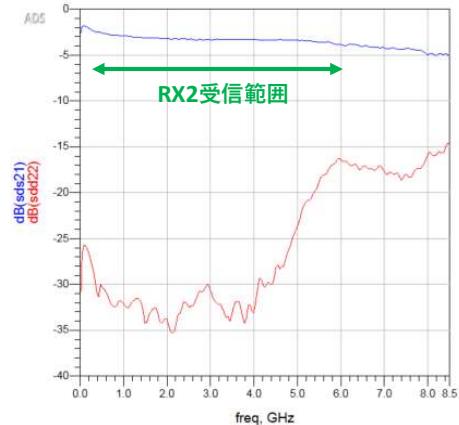
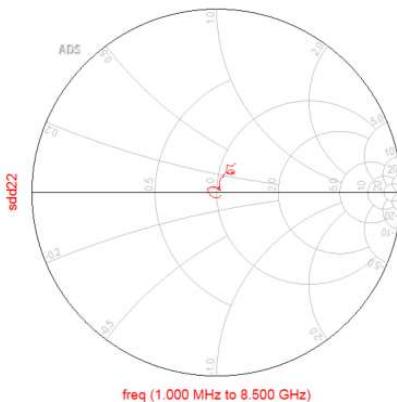


$$\text{Eqn } \text{sds21}=(\text{S}(1,3)-\text{S}(2,3))/\sqrt{2}$$

$$\text{Eqn } \text{sdd22}=(\text{S}(1,1)-\text{S}(1,2)-\text{S}(2,1)+\text{S}(2,2))/2$$

受信範囲にf特の劣化は見られない。

RX2

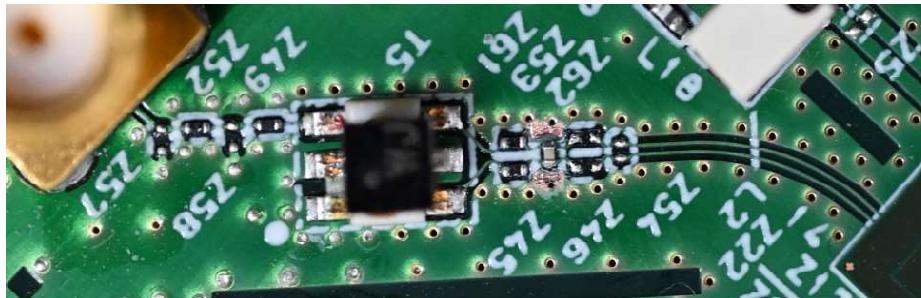


$$\text{Eqn } \text{sds21}=(\text{S}(1,3)-\text{S}(2,3))/\sqrt{2}$$

$$\text{Eqn } \text{sdd22}=(\text{S}(1,1)-\text{S}(1,2)-\text{S}(2,1)+\text{S}(2,2))/2$$

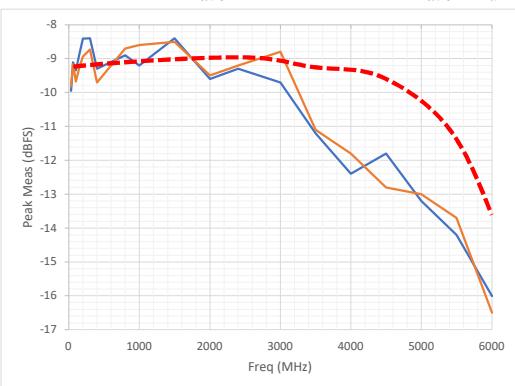
受信範囲にf特の劣化は見られない。

今回の測定結果とADRV9002を通したRX f特実測との比較



15. RX通過f特調査 との比較 (前回の測定結果)

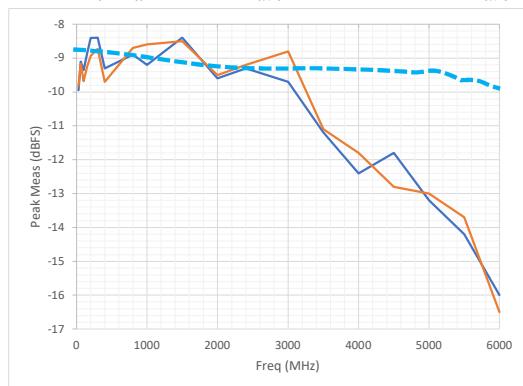
SMA→Balun→Probe の測定結果をSMA→ADRV9002の測定結果と比較



③「RX入力・周波数レスポンスの評価」と比較した (赤の破線がSDS21)
ADRV9002を通すと明らかに3.5GHz以上で大きな減衰が見られる。

16. RX通過f特調査 との比較 (今回の測定結果)

Probe→差動伝送路→Probe の測定結果をSMA→ADRV9002の測定結果と比較



③「RX入力・周波数レスポンスの評価」と比較した (青の破線がSDS21)
ADRV9002を通すと明らかに3.5GHz以上で大きな減衰が見られる。

所感 : 上記15と16の結果を合計しても ③「RX入力・周波数レスポンスの評価」のf特を説明できない。

両結果ともに反射特性も良いため継続接続によるマッチング悪化も考えにくい。

伝送路以外に原因があるか調査する必要がある。 (次項、提案を参照)

基板を破壊しないでRX通過f特の追加調査できる方法の提案です。



プローピング用GND銅板を貼り、片側を50Ω終端、片側からRX信号をプロープを介して入力します。

この方法のメリット

- ① 基板を破壊せずに元通りに復元できます。
- ② ADRV9002単体動作に近いf特の確認が可能です。

この方法のデメリット

- ① 想定外の工数がかかります。 (4ポートの測定に4回のチップ抵抗付け外し作業)
- ② 差動伝送路→ADRV9002BGA 接続部の不具合の切り分けができない。
- ③ 差動信号を入力したい場合、シングル差動変換治具の製作が必要になる。
(片側終端のシングル駆動でも調査を実施する意味はあります)