

卒 業 論 文

日立・高萩アンテナの IF 系の整備

2018 年度
(平成 30 年度)

茨城大学理学部理学科物理学コース
学籍番号 15S2016R 上地 康仁

概要

茨城大学では、日立市と高萩市にある、口径 32m の宇宙電波望遠鏡を 2 台（日立アンテナ、高萩アンテナ）運用している。これらのアンテナでは 2 つの受信機を使い、6 - 8GHz 帯、22GHz 帯の電波を観測している。また、複数の望遠鏡を用いる VLBI (Very Long Baseline Interferometer) 観測も行っている。

日立・高萩アンテナには、信号のパワーや周波数特性を調整する IF 系と呼ばれる部分がある。IF 系は、増幅器（アンプ）、減衰器（アッテネータ）、イコライザ、バンドパスフィルタ、分配器、カプラーなどの素子から構成されている。これまで使用してきた IF 系では、いくつかの問題点があった。1 つ目は、IF 系で使用しているアンプの、リニアリティが確保されている入力信号強度範囲を正確には確認していないこと。2 つ目は、6GHz 帯の左旋円偏波（LHCP）と 6GHz 帯の右旋円偏波（RHCP）の同時記録など、同時記録ができない組み合わせがあること。3 つ目は、8GHz 帯の LHCP の VLBI 観測ができないことである。これらの問題点を解消する IF 系を整備することが、本研究の目的である。

そこで今回は、12 個のアンプのリニアリティ測定を行い、リニアリティが保たれている入力信号強度範囲を調査した。その結果、リニアリティが保たれる十分な範囲を確認できたので、今後はこれらのアンプを用いて IF 系を整備する。

目次

1	研究背景・目的	4
1.1	研究背景	4
1.2	目的	6
2	アンプのリニアリティ測定	8
2.1	測定装置	8
2.2	測定方法	10
3	結果	10
4	考察	28
5	まとめ・今後	28
付録 A	購入したアンプのカタログ	30

1 研究背景・目的

1.1 研究背景

アンテナで受信した信号は、0.5GHz - 1GHz の信号に周波数変換され、IF 系に入り、サンプラーへ伝送される。IF 系は、アンプ、イコライザ、バンドパスフィルタ、分配器、カプラーなどの素子から構成されている。

図 1 は改修前の IF 系のブロック図である。上から、6GHz-LHCP、6GHz-RHCP、8GHz-LHCP、8GHz-RHCP の IF 系となっている。6GHz の 4 分配されているところは単一鏡観測用のサンプラーである。右端の channel は VLBI 観測用のサンプラーである。8GHz 帯では単一鏡観測を行っていないため、VLBI 観測用のサンプラーのみとなっている。図 1 を見ると、6GHz VLBI 用サンプラーは RHCP、LHCP で同じものをスイッチで切り替えて使用していることがわかる。また、8GHz-LHCP の VLBI 観測ができないことがわかる。

また、改修前の IF 系では、アンプのリニアリティが確保されている入力強度範囲を正確に確認していない。ここでのリニアリティというのは、アンプの入力信号強度と出力信号強度の線形性のことである。改修前は、典型的な入力信号として黒体を挿入し、10dB のアッテネータを入れた状態（この状態の信号強度は仰角 23° の天体がない方向を向けたときの強度とほぼ等しい）において、入力信号強度を半分にしたときに出力信号強度が半分程度になることは確認していた。具体的には、入力信号強度を 3dB 減少させたときに、出力信号強度が 3.0 ± 0.1 dB 減少していることを確認しているということであり、この 3dB の間ではリニアリティが保たれているとみなせるということである。言い換えると、この間ではゲインが一定であるとみなしたということである。ゲインというのは、アンプによる信号増幅率のことで、以下のように表される。

$$\text{ゲイン } G(\text{dB}) = \text{出力信号強度 (dBm)} - \text{入力信号強度 (dBm)} \quad (1)$$

単位の dB（デシベル）は、比の値を対数表示したものである。dB の定義は以下のようにになっている。 P_1 、 P_2 は 2 点の電力（信号強度）である。

$$\text{電力比 (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad (2)$$

信号強度が半分になることが 3dB 減少することを表しているというのは、式 (2) において、 $P_2/P_1 = 1/2$ であるとき

$$10 \log_{10} \frac{1}{2} = -10 \log_{10} 2 = -10 \times 0.3010 \dots \approx -3.0 \text{ dB} \quad (3)$$

となる。しかしこれは、10dB のアッテネータを入れた状態と、13dB のアッテネータを入れた状態の 2 点でのリニアリティを確認したに過ぎない。天気などの影響で受信する信号のパワーが大きくなった際にも、リニアリティが確保されているかは確認していないため、リニアリティが保たれているとは確実には言えない状態である。

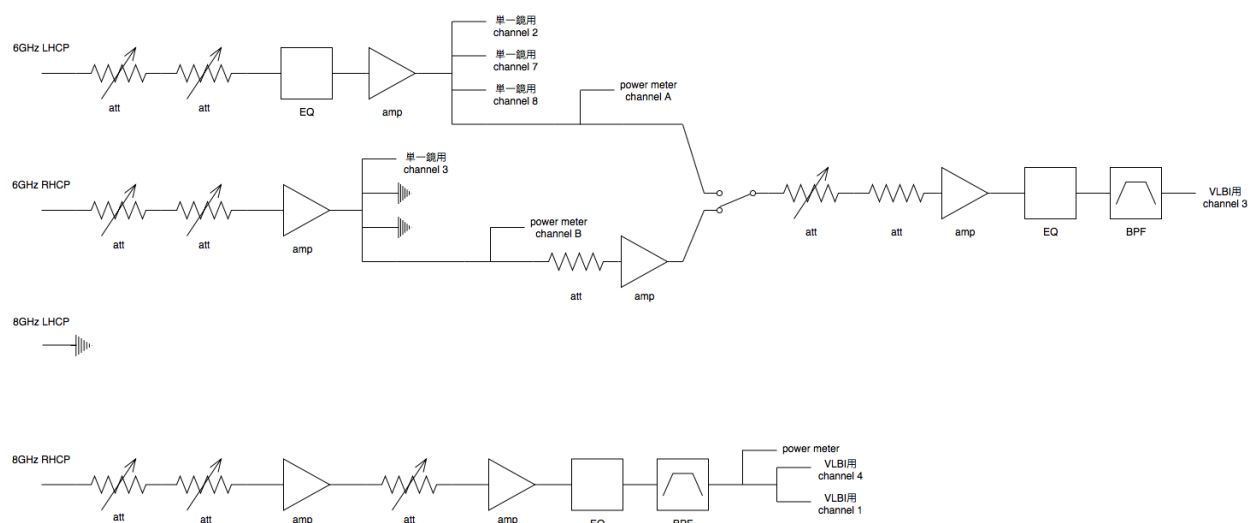


図 1 改修前の IF 系のブロック図

1.1.1 各素子の説明

アンプは信号の強度を増幅する素子である。アンプの増幅率をゲイン（利得）と言い、式 (1) のように表される。アッテネータは信号のパワーを減衰する素子である。アッテネータには、減衰量が固定のものと可変のものがある。固定のものは 3dB、6dB、10dB、20dB などの減衰率のものがある。今回、アッテネータは IF 系で使っているが、測定装置の信号発生源にも使っている。イコライザは周波数特性を調整する素子である。一般的な素子は、高周波の信号よりも低周波の信号をよく通す傾向がある。そのため、高周波信号の強度が弱くなってしまう。こういった周波数特性を調整するために、低周波信号の強度を下げ、高周波信号の強度を上げるイコライザを用いる。バンドパスフィルタは特定の周波数の信号のみを通す素子である。日立・高萩アンテナで受信した信号は 0.5GHz - 1GHz に周波数変換される。そのため、この周波数の信号の情報が重要であり、その他の信号は不要である。バンドパスフィルタによって必要な信号のみを取り出すことができる。分配器（ディバイダ）は信号を等分配する素子であり、カプラーは信号を一方に大部分、他方にごく一部を流すように分配する素子である。

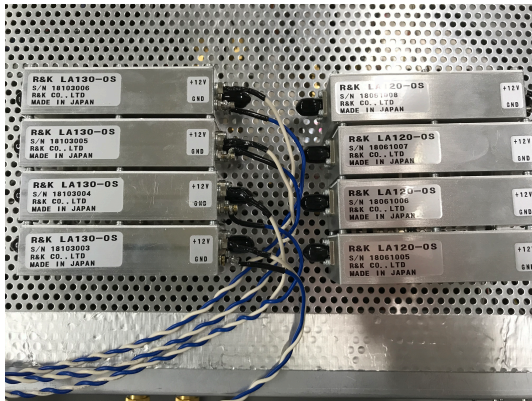


図2 測定したアンプの一部（購入品）



図3 減衰率 10dB のアッテネータ



図4 減衰率可変のアッテネータ

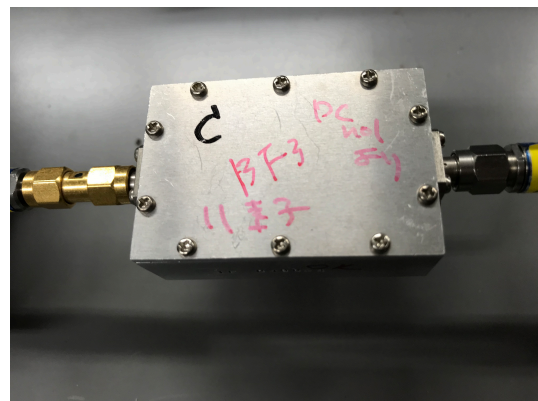


図5 信号発生源に使用したバンドパスフィルタ

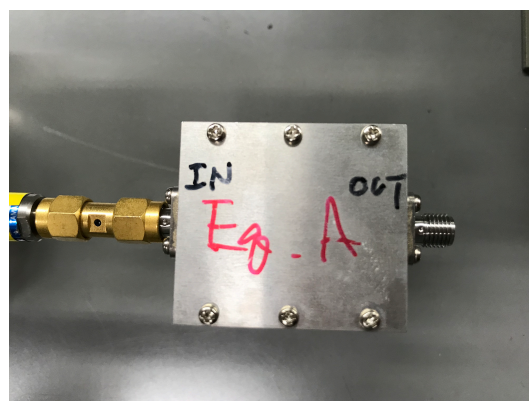


図6 信号発生源に使用したイコライザ

1.2 目的

これまで使用していた IF 系にはいくつかの問題点があった。1 つ目は、IF 系に使用しているアンプのリアリティが確保されている入力信号強度範囲を正確には確認していないこと。2 つ目は、図 1 からわかるよう

に、8GHz-LHCP の VLBI 観測ができないこと。3 つ目は、6GHz VLBI 観測用のサンプラーが 1 つしかないため、同時記録に制限があるということである。図 1 の状態では 6GHz の RHCP・LHCP のどちらかと、8GHz の RHCP の同時記録しかできない。これらの問題点を改善するために、図 7 のような IF 系を整備する。アンプのリニアリティ測定を行い、リニアリティ が確保される範囲でアンプを使用することで 1 つ目の問題点を改善できる。また、4 つの独立した IF 系を整備することで、4 つの VLBI 観測のうち任意の 2 つの同時記録を可能にすることができ、8GHz-LHCP の VLBI 観測も可能になる。なお、単一鏡用の記録装置を接続していないのは、8GHz 帯では単一鏡分光観測を行わないためである。

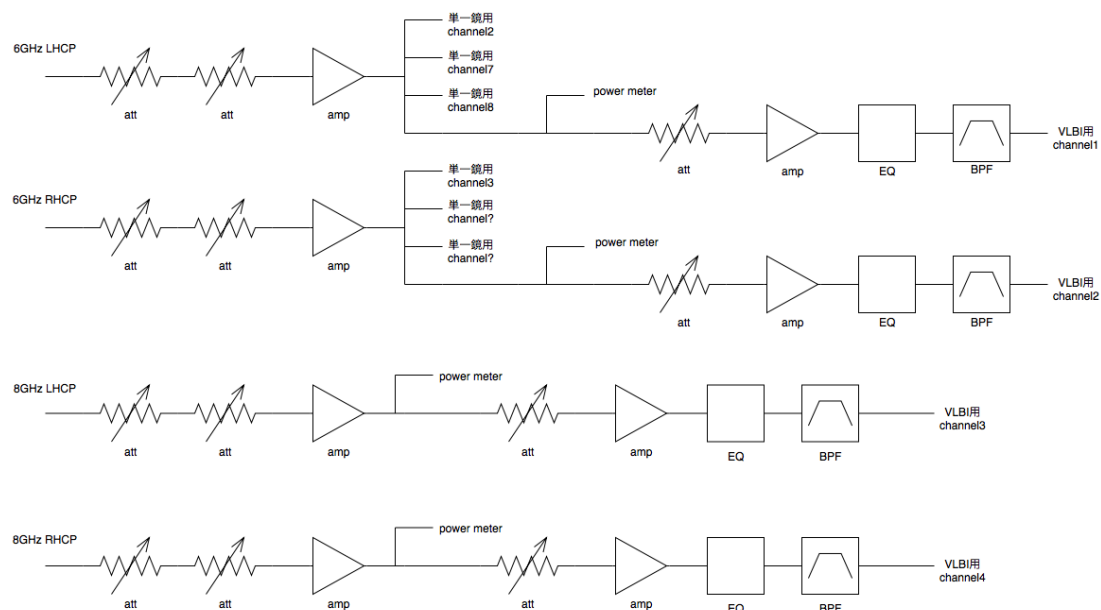


図 7 IF 系改修案

2 アンプのリニアリティ測定

2.1 測定装置

今回、大阪府立大学が製作した3個のアンプと、購入した9個のアンプで、合計12個のアンプのリニアリティ測定を行った。大阪府立大学が製作したアンプを no.1 から no.3、購入品のアンプを no.4 から no.12 とした。大阪府立大学が製作したアンプは2種類あり、no.1、no.2 が同じ型である。購入品のアンプは、R&K 社製の LA120-0S と、同じく R&K 社製の LA130-0S である。LA120-0S のアンプを no.4 から no.8、LA130-0S のアンプを no.9 から no.12 とした。LA120-0S のゲイン仕様値は 28dB、LA130-0S のゲイン仕様値は 38dB である。

測定には下図のような装置を用いた。図8の終端からイコライザ (EQ) までは信号発生装置になっている。信号発生装置は、アンプ (Amp)、アッテネータ (Att)、バンドパスフィルタ (BPF)、イコライザ (EQ) からなっている。これは、終端で発生した常温の黒体放射 (ホワイトノイズ) をアンプで増幅し、フィルタとイコライザで周波数特性を調整した (図11)。その結果、IF 系で使われる信号と同じ、およそ 0.5GHz から 1GHz の信号を発生させている。途中のアッテネータは、反射波によって定在波が起きないようにするために挿入されている。この信号発生装置、可変アッテネータ、二分配器を順に接続する。分配された一方は power meter channel A に、他方はアンプを繋げ、power meter channel B へと繋げる。信号は可変アッテネータを通った後、二分配されているため、power meter channel A へと伝送される信号強度と、アンプに入力される信号強度は同じである。したがって、power meter channel A の数値からアンプへの入力信号強度、power meter channel B の数値からアンプの出力信号強度を読み取ることができる。図10 上部の装置を操作することで、可変アッテネータの減衰量を変化させることができる。

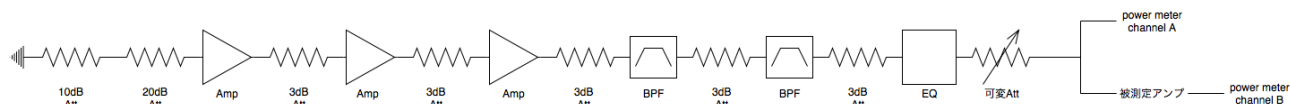


図8 測定装置のブロック図

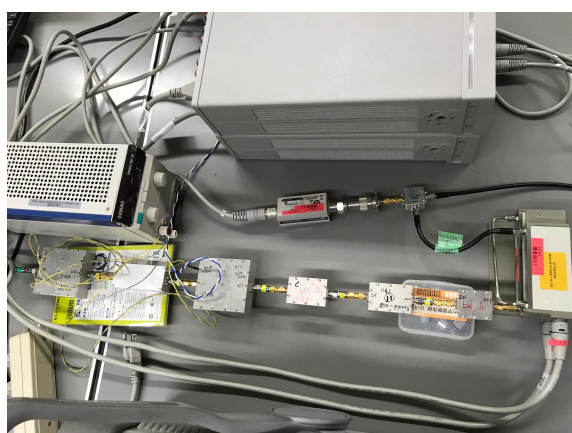


図9 測定装置の全体図



図10 power meter(下)と可変アッテネータ(上)

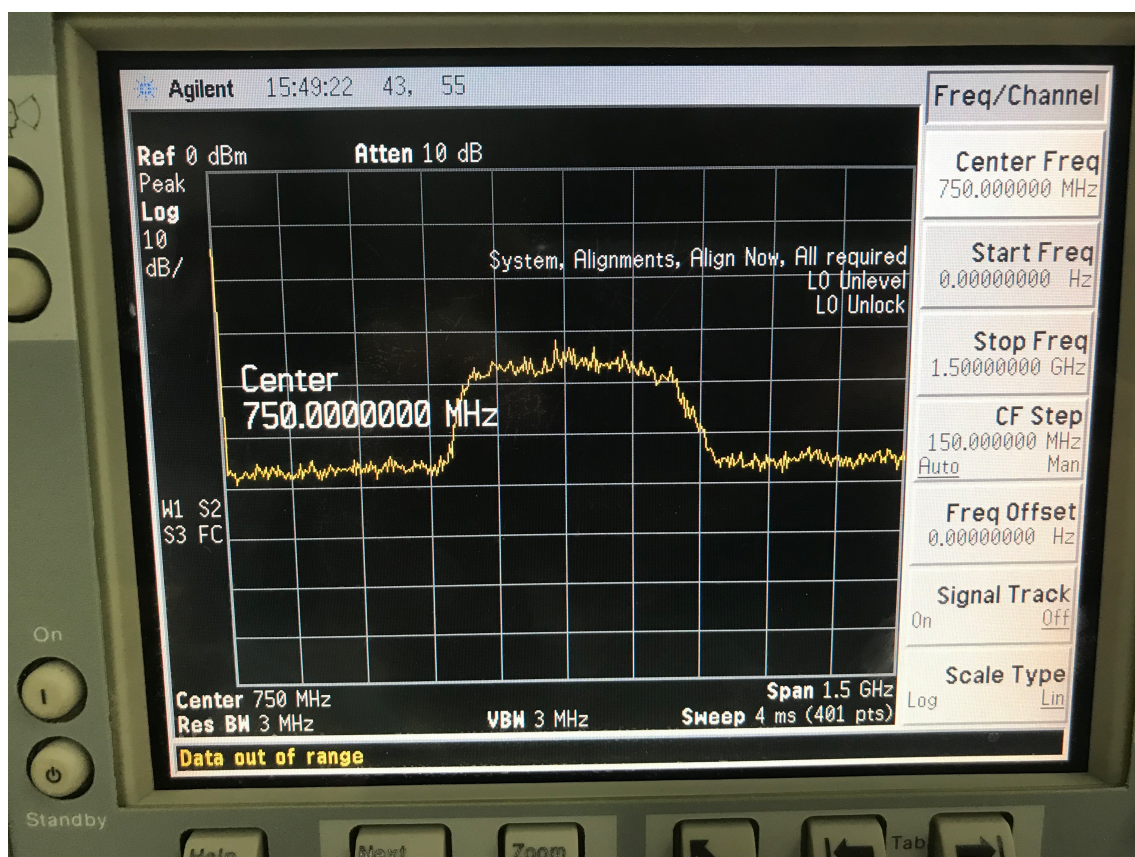


図 11 信号発生源の周波数特性



図 12 アンプ LA120-0S と LA130-0S

2.2 測定方法

アッテネータで入力信号強度を 1dB ずつ変化させて、power meter で入力信号強度、出力信号強度を読み取り、記録する。読み取りは目視で行った。power meter に繋がれている power sensor は -70dBm から +20dBm の範囲で使用できるため、この範囲で信号強度を変化させる。数値を読み取った後、Excel でグラフを作成する。グラフは、横軸：入力信号強度、縦軸：出力信号強度のグラフと、横軸：入力信号強度、縦軸：ゲインのグラフの 2 つを作成する。そして、横軸：入力信号強度、縦軸：ゲインのグラフからリニアリティが確保される入力信号強度の範囲を決める。一般に、アンプの入力信号強度と出力信号強度が線形である範囲を定めるときには、1dB 圧縮点というものを用いる。1dB 圧縮点というのは、ゲインが 1dB 悪くなる点のことで、1dB 以上悪くなる範囲では線形でないとみなす基準点である。しかし今回は、より高い精度で線型性を確保するために、横軸：入力信号強度、縦軸：ゲインのグラフで、ゲインがゲインの極大値から 0.2dB 変化するところまでの入力信号強度範囲をアンプの使用推奨範囲とした。また、ゲインが 0.4dB 変化するところまでを使用可能範囲とした。横軸：入力信号強度、縦軸：ゲインのグラフで下に凸になっている付近で推奨・可能範囲を決める時は、ゲインの極大値からの変化を見て、上に凸になっている付近ではゲインの極小値からの変化を見た。



図 13 power sensor

3 結果

今回、12 個のアンプで測定をし、それぞれで使用推奨範囲・可能範囲を調査した。以下にグラフと推奨範囲・可能範囲をまとめた表を示す。横軸：入力信号強度、縦軸：ゲインのグラフにおいて、ゲインの極大値を「peak ゲイン 1」、極小値を「peak ゲイン 2」としている。入力信号強度-ゲインの拡大グラフでは、ゲインが peak ゲインから 0.4dB 変化するところまでを表示している。

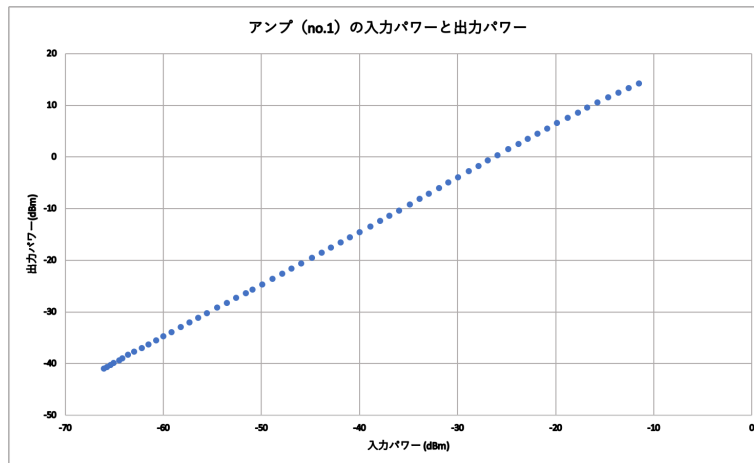


図 14 no.1 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

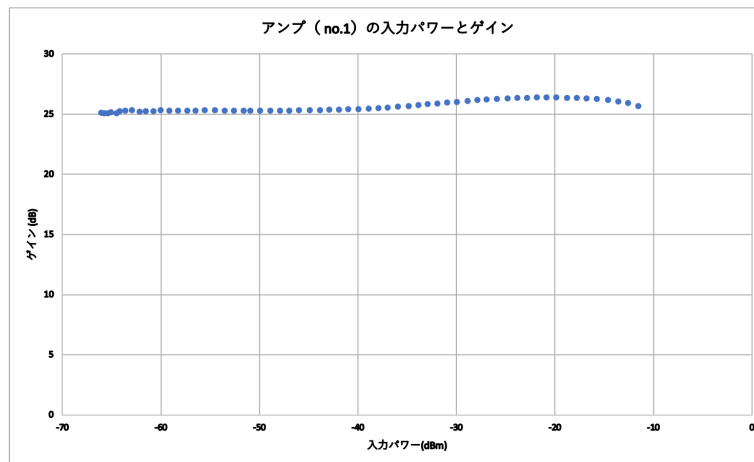


図 15 no.1 入力信号強度-ゲインのグラフ

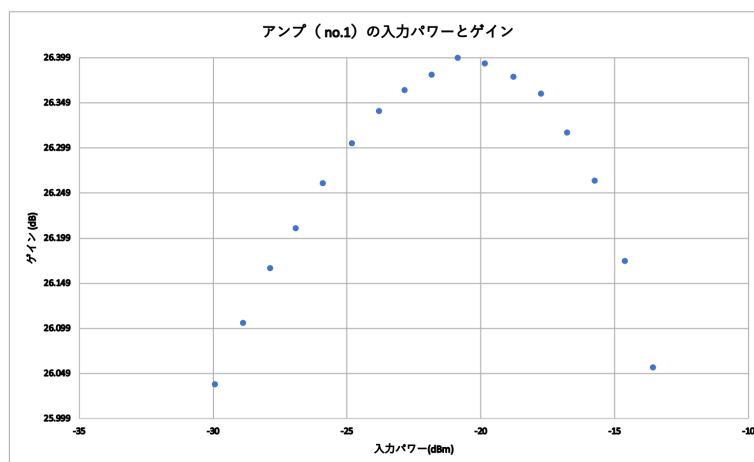


図 16 no.1 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

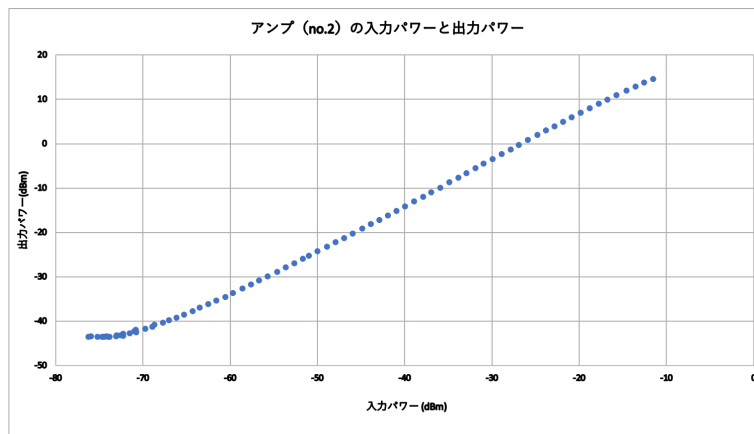


図 17 no.2 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

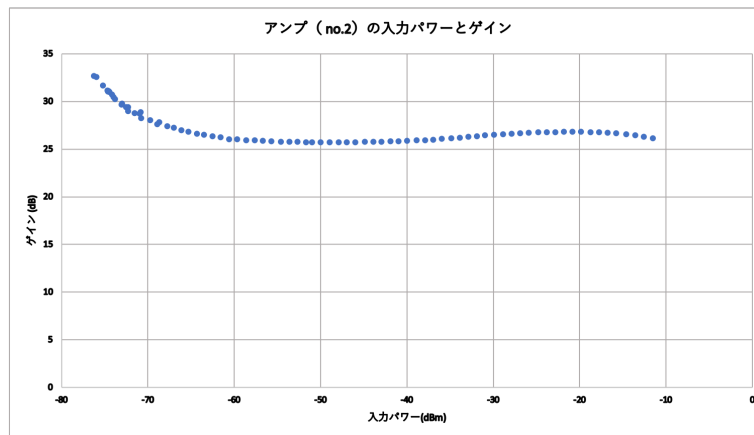


図 18 no.2 入力信号強度-ゲインのグラフ

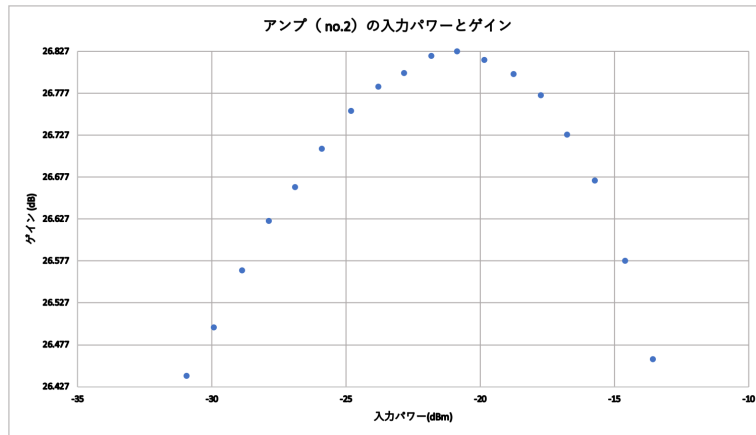


図 19 no.2 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

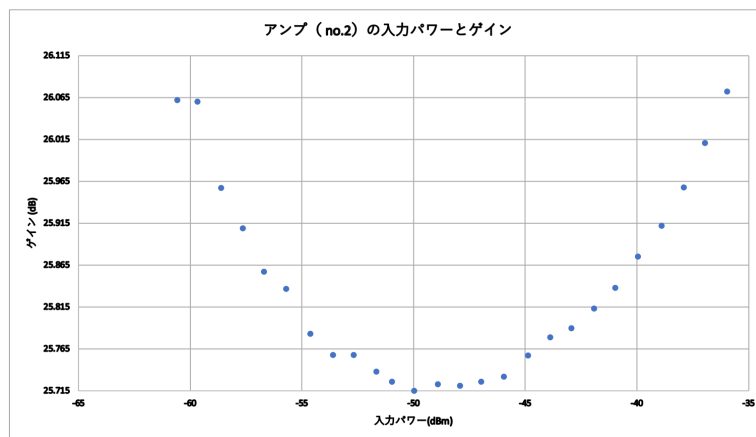


図 20 no.2 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

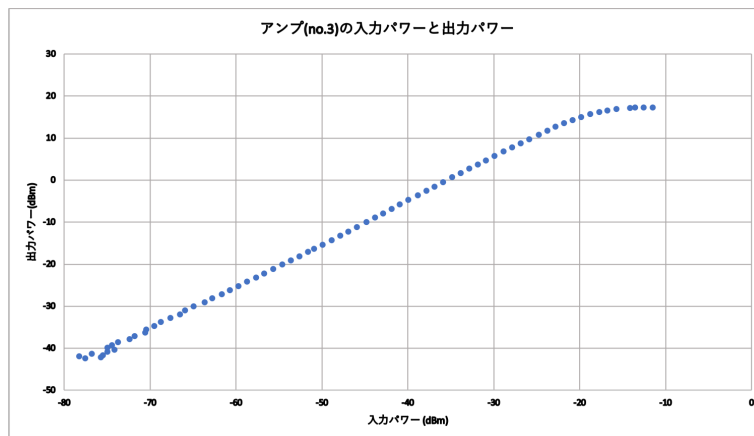


図 21 no.3 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

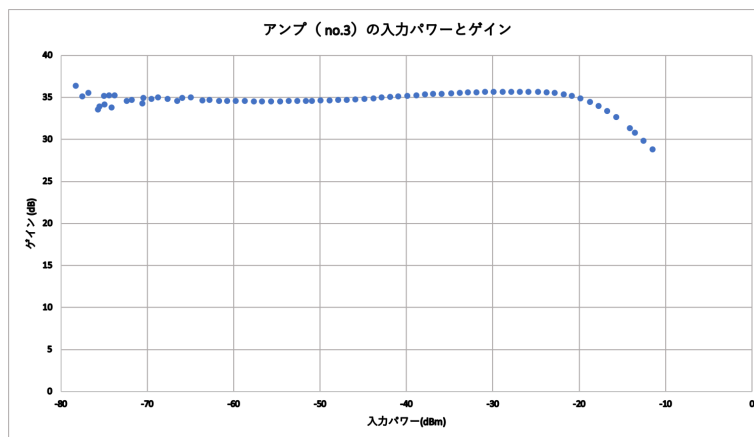


図 22 no.3 入力信号強度-ゲインのグラフ

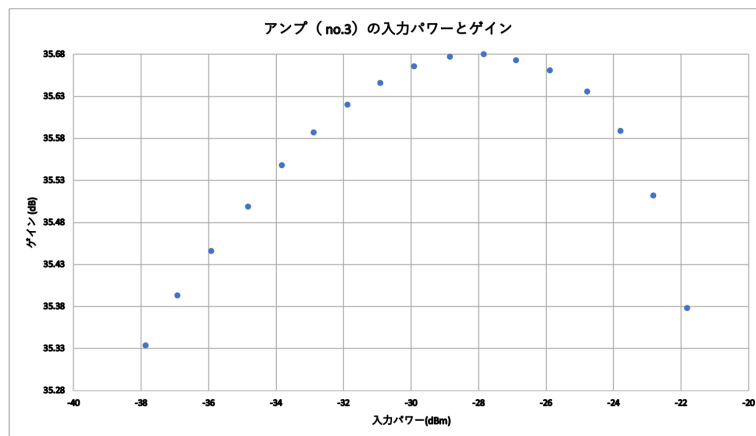


図 23 no.3 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

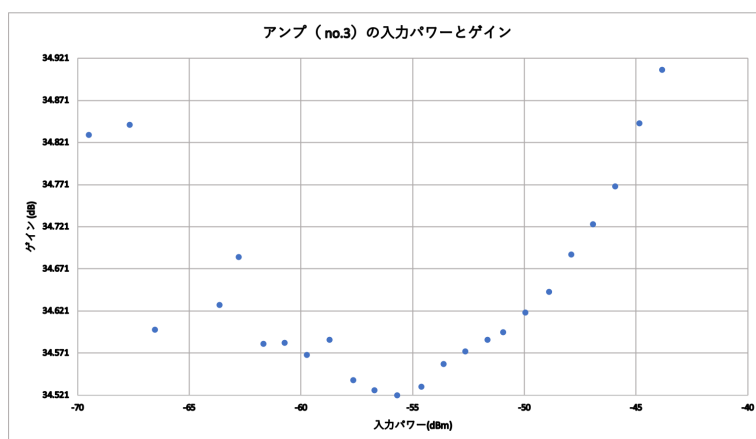


図 24 no.3 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

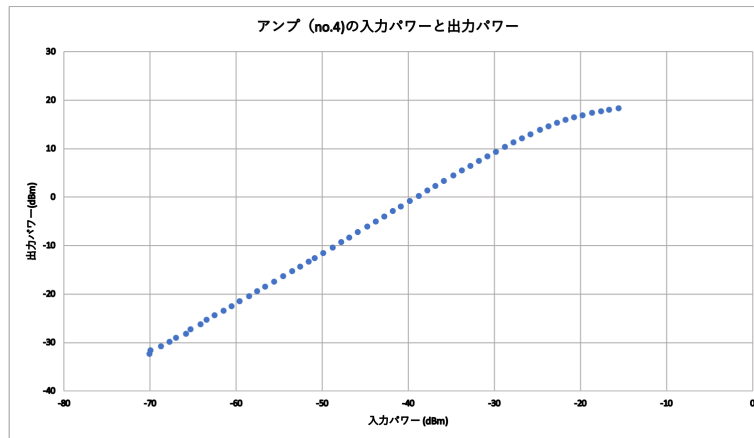


図 25 no.4 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

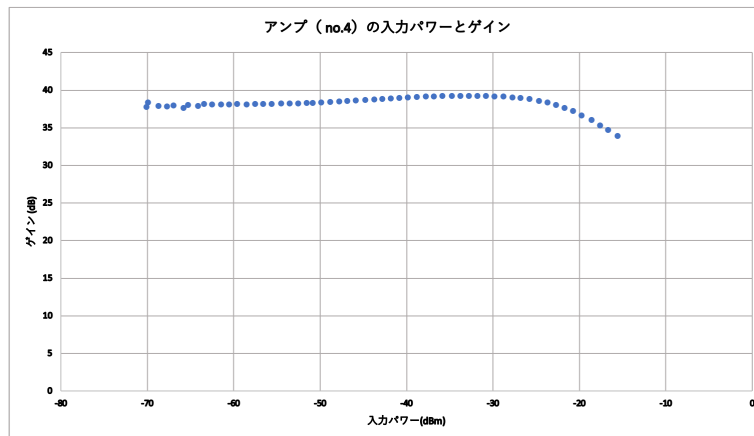


図 26 no.4 入力信号強度-ゲインのグラフ

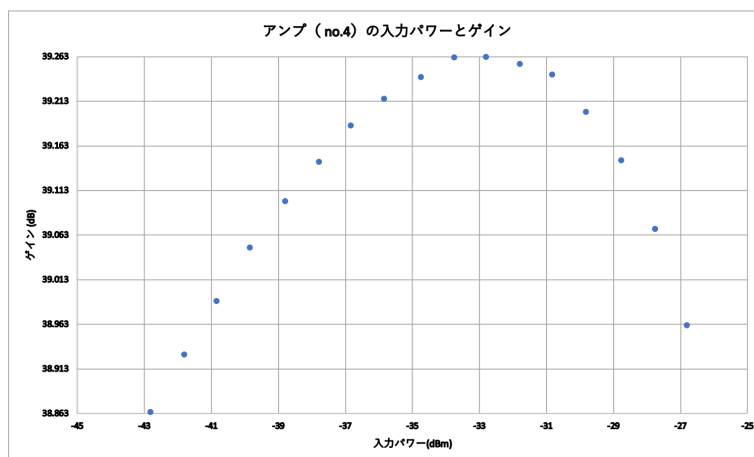


図 27 no.4 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

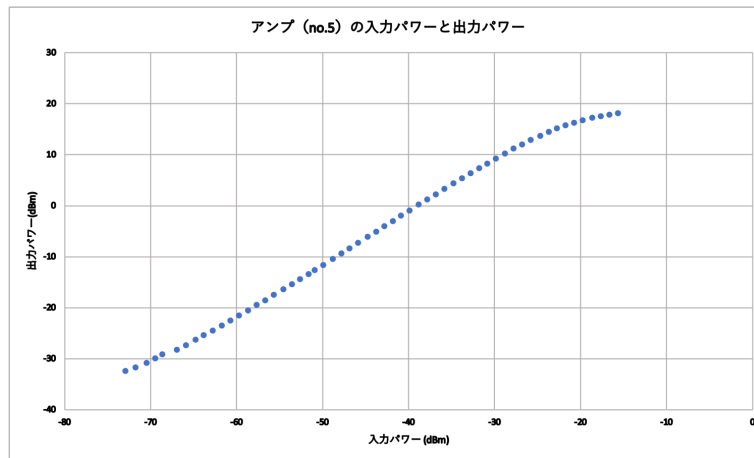


図 28 no.5 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

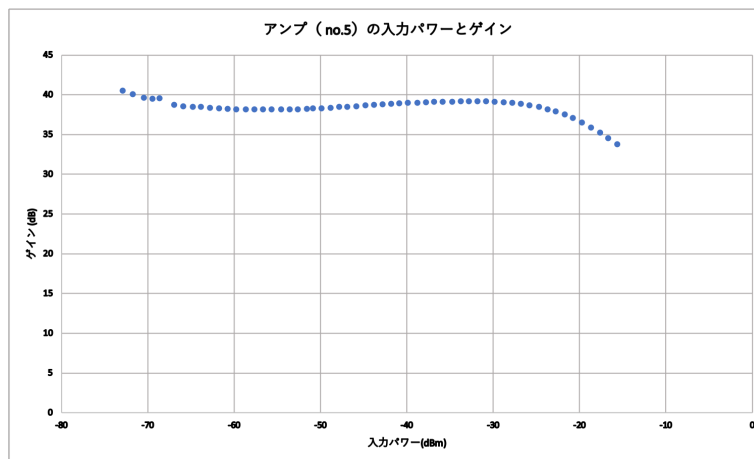


図 29 no.5 入力信号強度-ゲインのグラフ

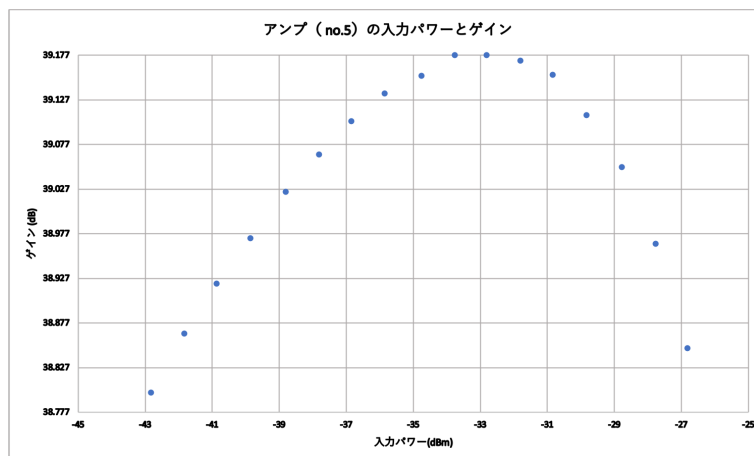


図 30 no.5 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

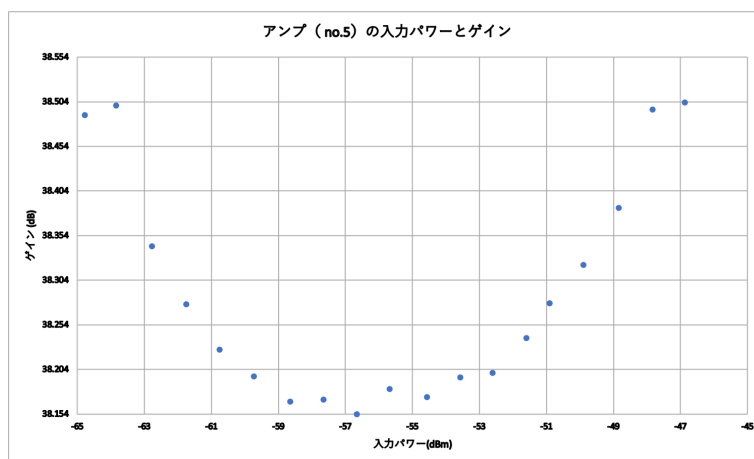


図 31 no.5 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

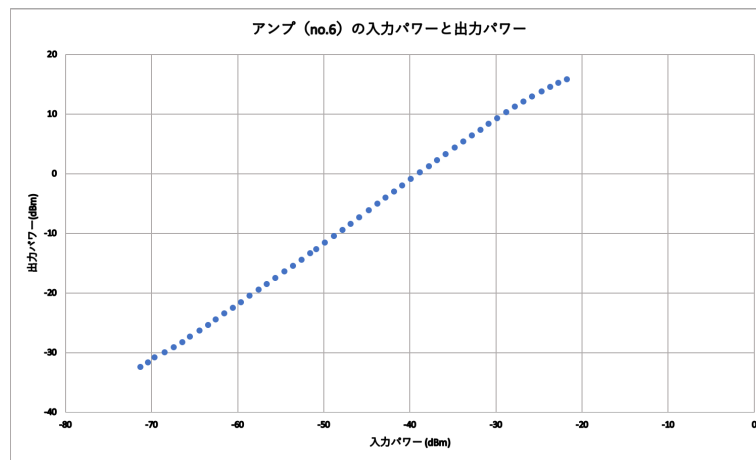


図 32 no.6 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

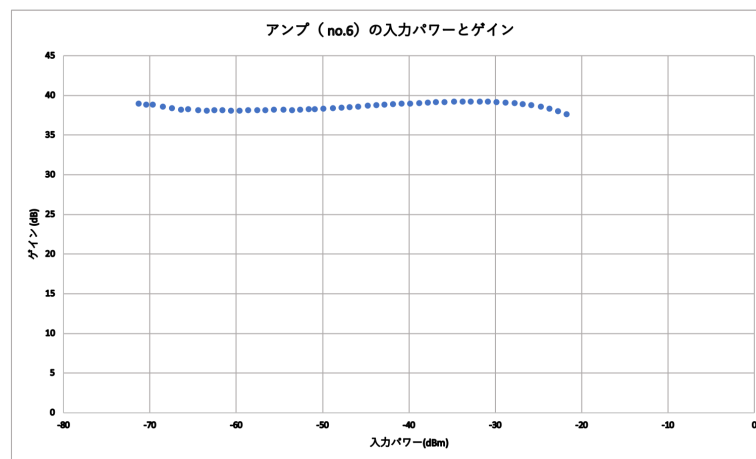


図 33 no.6 入力信号強度-ゲインのグラフ

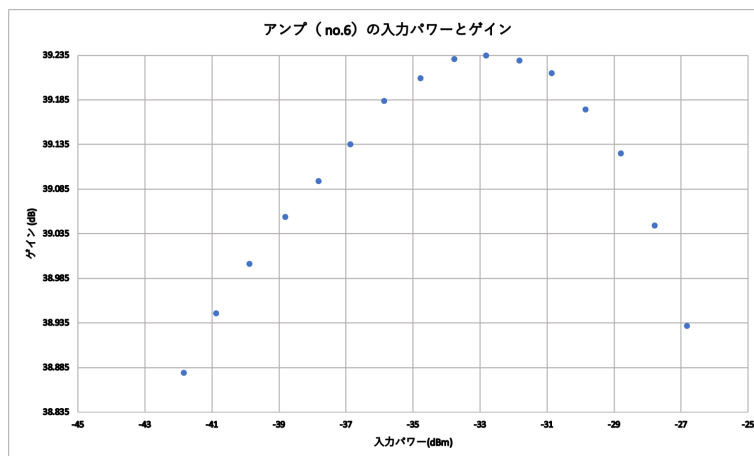


図 34 no.6 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

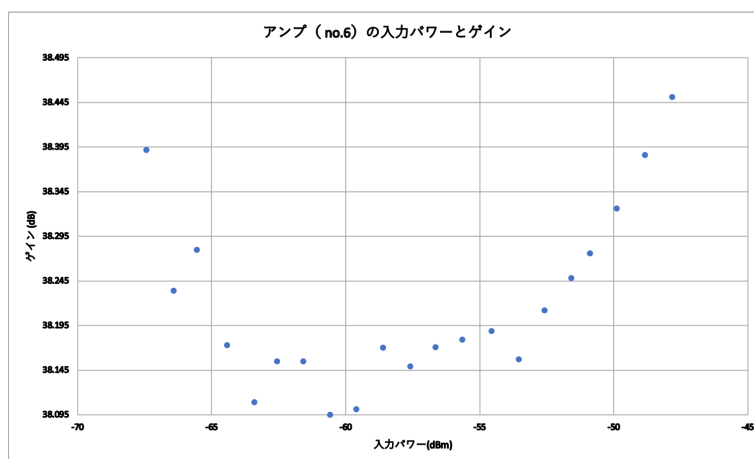


図 35 no.6 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

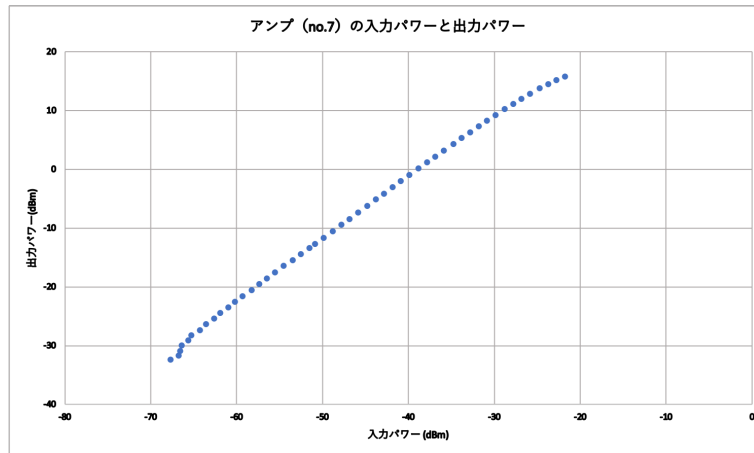


図 36 no.7 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

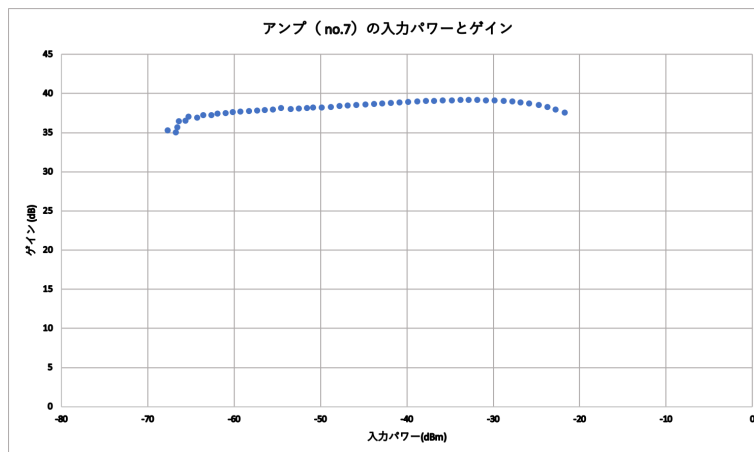


図 37 no.7 入力信号強度-ゲインのグラフ

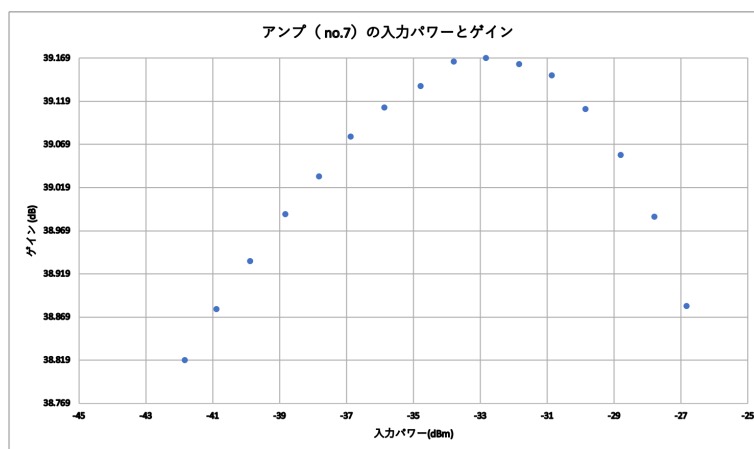


図 38 no.7 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

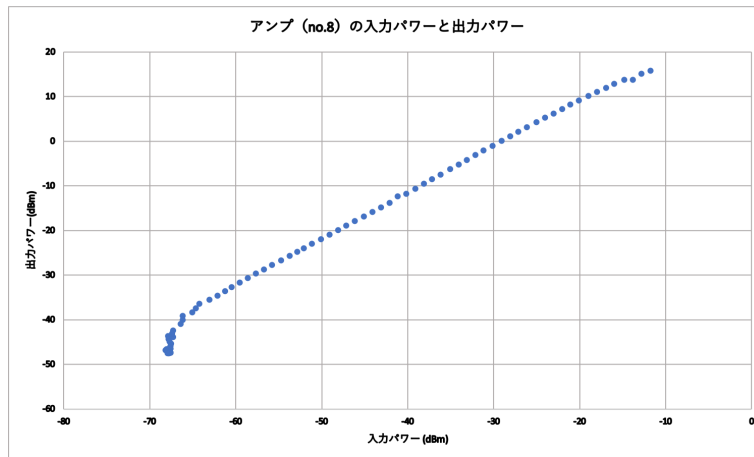


図 39 no.8 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

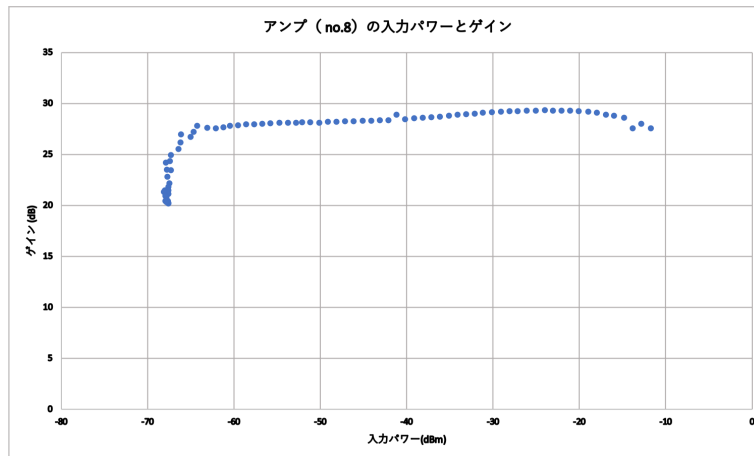


図 40 no.8 入力信号強度-ゲインのグラフ

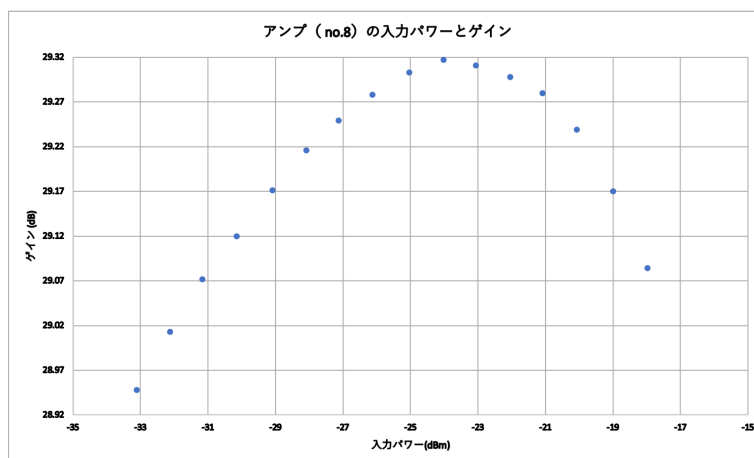


図 41 no.8 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

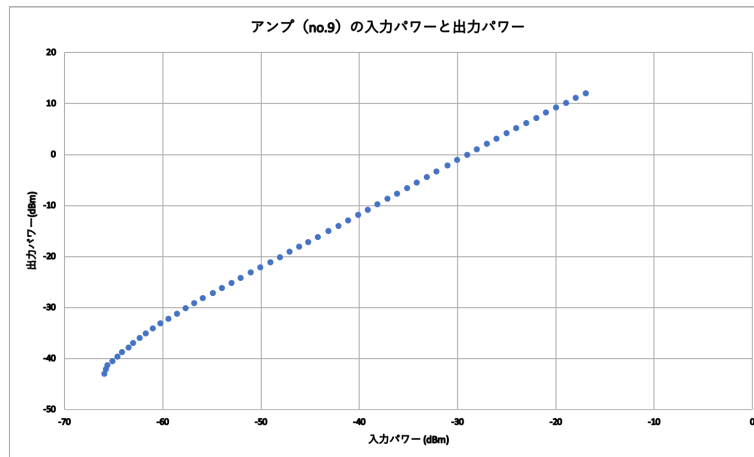


図 42 no.9 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

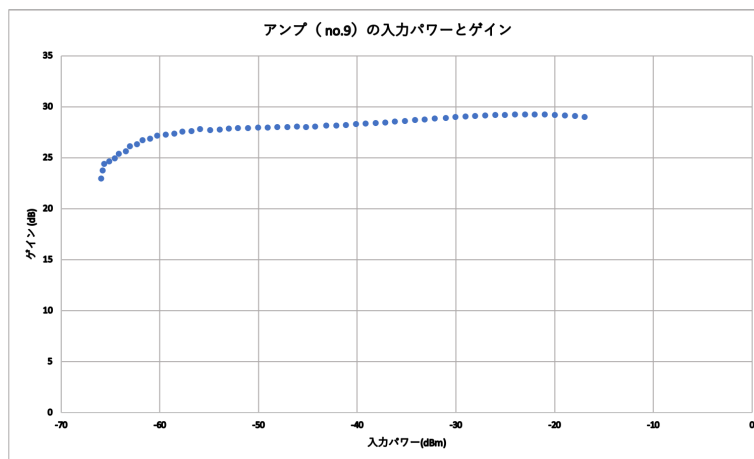


図 43 no.9 入力信号強度-ゲインのグラフ

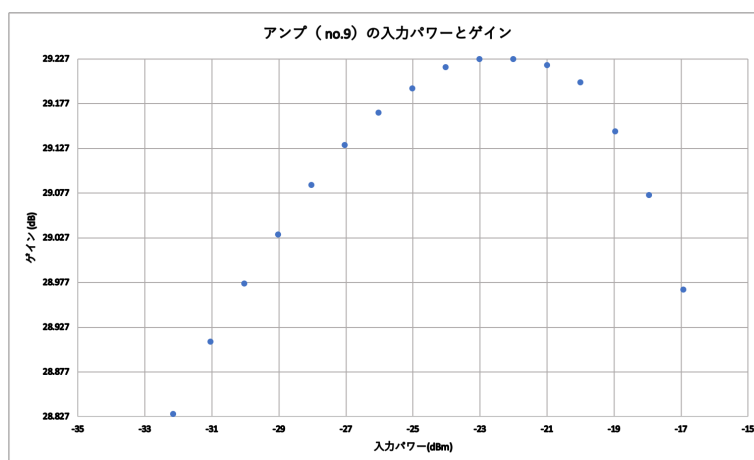


図 44 no.9 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

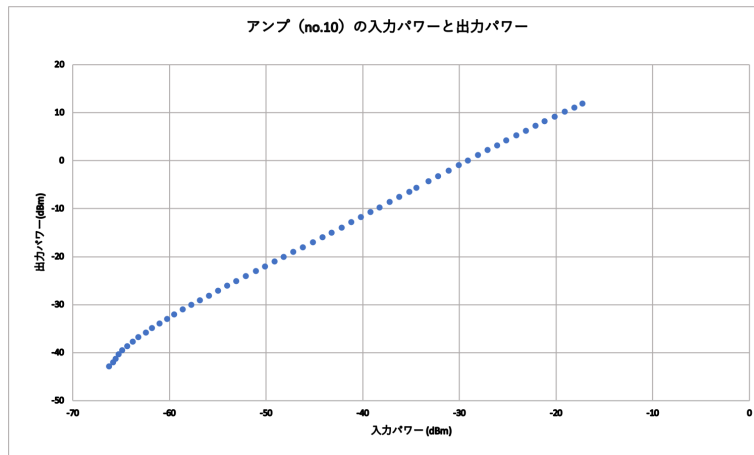


図 45 no.10 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

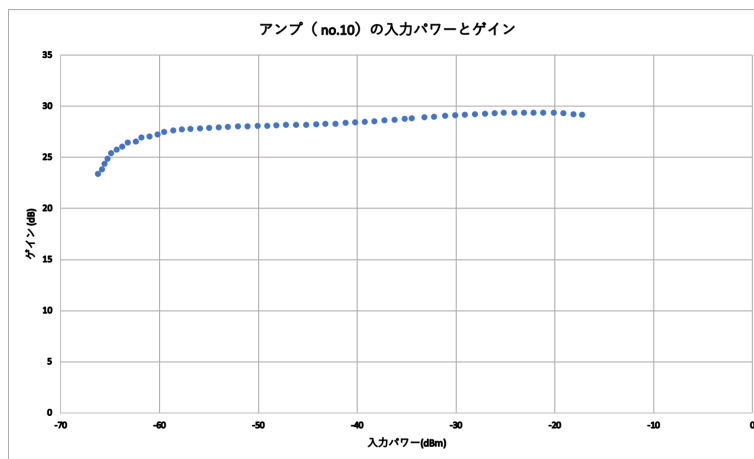


図 46 no.10 入力信号強度-ゲインのグラフ

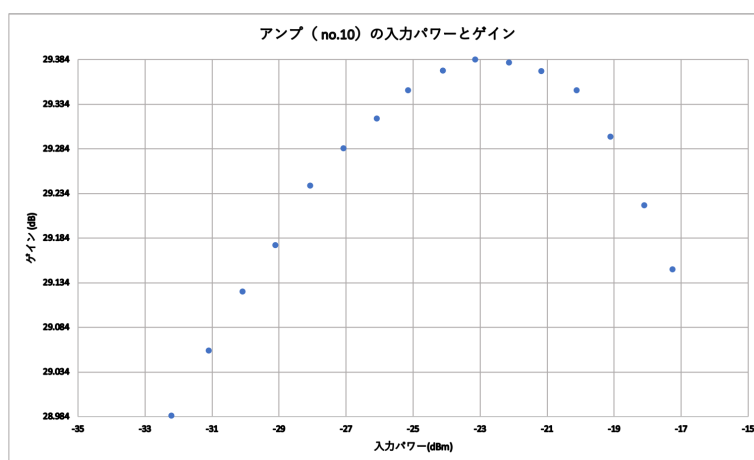


図 47 no.10 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

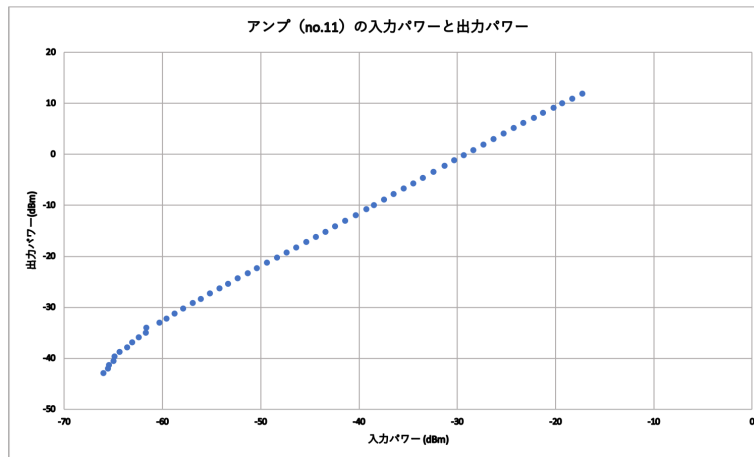


図 48 no.11 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

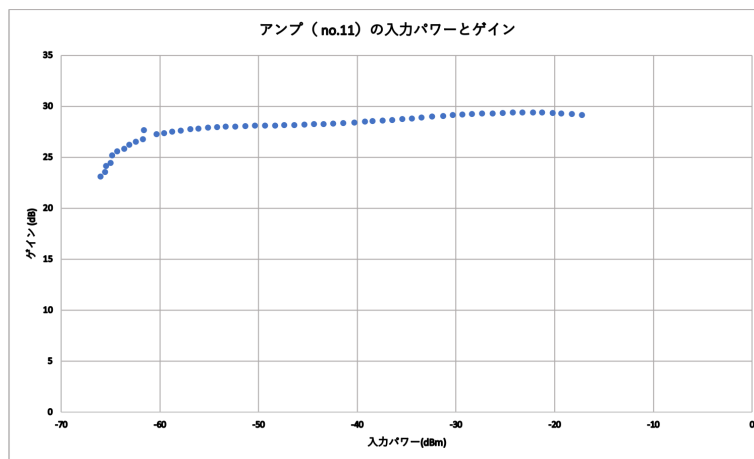


図 49 no.11 入力信号強度-ゲインのグラフ

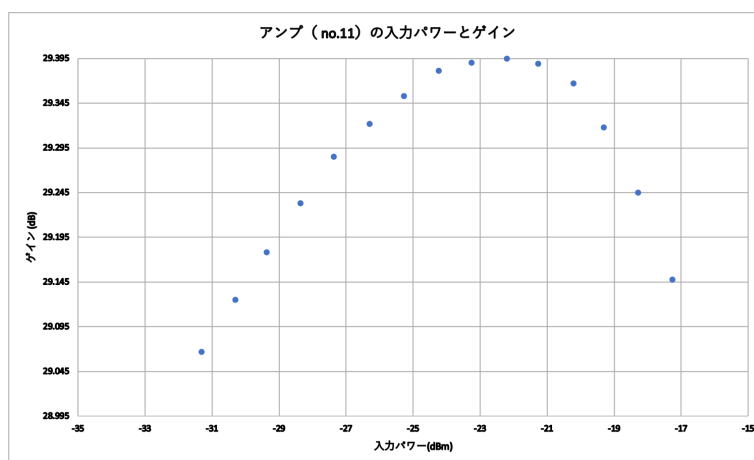


図 50 no.11 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

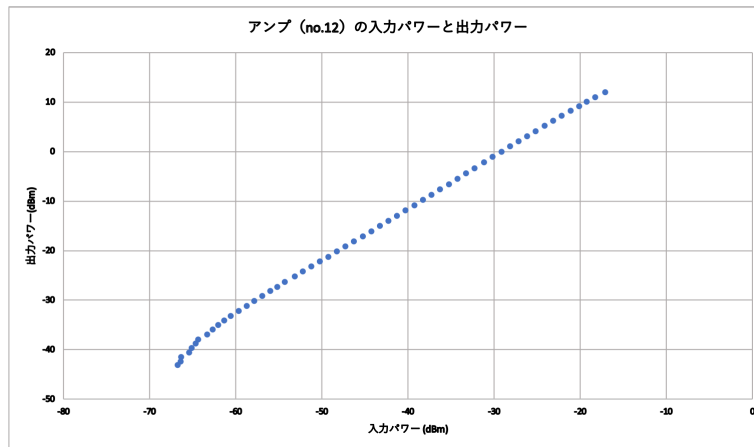


図 51 no.12 入力信号強度-出力信号強度のグラフ

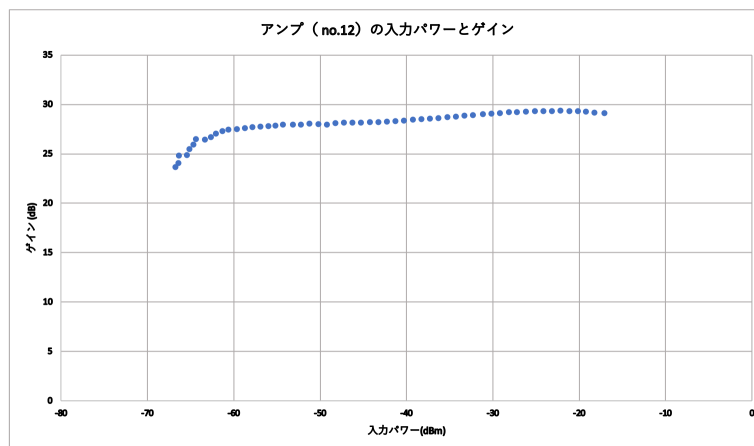


図 52 no.12 入力信号強度-ゲインのグラフ

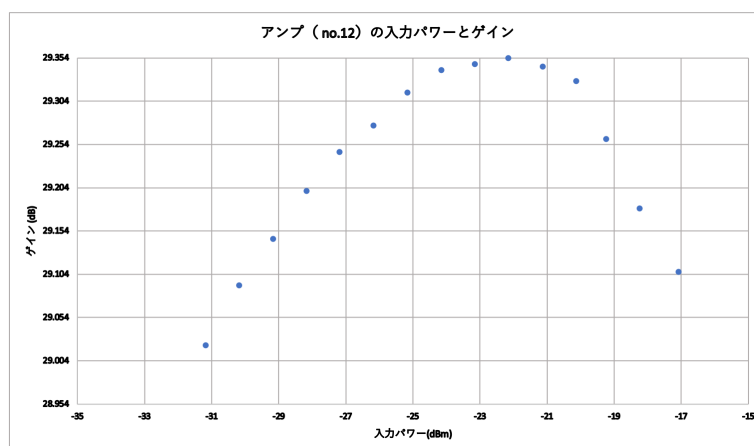


図 53 no.12 入力信号強度-ゲインの拡大グラフ

アンプ名	推奨範囲1(dBm)	推奨範囲2(dBm)	可能範囲1(dBm)	可能範囲2(dBm)	peakゲイン1(dB)	peakゲイン2(dB)
no.1	-26.918 ~ -15.751	なし	-29.942 ~ -13.576	なし	26.399	なし
no.2	-26.912 ~ -15.741	-57.639 ~ -38.904	-30.945 ~ -13.563	-60.577 ~ -35.915	26.827	25.715
no.3	-34.828 ~ -22.830	-66.547 ~ -47.893	-37.871 ~ -21.819	-69.495 ~ -43.842	35.68	34.521
no.4	-38.795 ~ -27.764	なし	-42.818 ~ -26.805	なし	39.263	なし
no.5	-38.807 ~ -28.778	-62.782 ~ -49.896	-42.831 ~ -26.814	-64.778 ~ -46.878	39.177	38.154
no.6	-38.818 ~ -27.789	-65.549 ~ -50.886	-41.835 ~ -26.827	-67.433 ~ -47.828	39.235	38.095
no.7	-38.828 ~ -27.801	なし	-41.844 ~ -26.841	なし	39.169	なし
no.8	-29.090 ~ -18.990	なし	-32.117 ~ -17.970	なし	29.317	なし
no.9	-29.033 ~ -17.958	なし	-32.154 ~ -16.940	なし	29.227	なし
no.10	-28.078 ~ -18.105	なし	-32.210 ~ -17.263	なし	29.384	なし
no.11	-28.363 ~ -18.286	なし	-31.312 ~ -17.261	なし	29.395	なし
no.12	-28.168 ~ -18.246	なし	-31.175 ~ -17.083	なし	29.354	なし

図 54 リニアリティ 測定結果まとめ

4 考察

図 54 の推奨範囲 1 を見ると、およそ 10dBm の範囲でリニアリティが確保されることがわかる。この推奨範囲でアンプを使用するように IF 系を設計することで、入力信号強度が天気などの影響で数 dBm 変化した場合にも IF 系のリニアリティが保証される。しかし、推奨範囲 2、可能範囲 2 のように信号強度が弱いところでは、power meter の数値が安定しなかったため綺麗なグラフになっていない (図 20、24、31、35)。したがって、数値の信頼性が低いため、推奨範囲 2、可能範囲 2 では使用しないことが望ましい。

5 まとめ・今後

これまで使用してきた IF 系の問題点を改善するために、IF 系に使用するアンプ 12 個のリニアリティ測定を行った。天気などの影響で入力信号強度が変化した場合にも、リニアリティを保つことができる入力信号強度範囲を確保することができた。

今後は、IF 系に使用するその他の素子の減衰量測定を行い、素子の組み合わせを考え、IF 系を整備する。

謝辞

本研究を進めるにあたって、特に指導教諭である茨城大学理学部附属宇宙科学教育研究センターの米倉覚則教授にはお世話になりました。ゼミや口頭発表、ポスター発表では百瀬宗武教授にもご指導いただき、大変お世話になりました。感謝申し上げます。研究室では、研究員の方々、先輩方、同期にお世話になりました。特に、夜遅くまで共に勉強・研究に励んだ同期の平原君、佐藤君、前田君、川上君、松田君には心より感謝申し上げます。そして最後に、大学4年間を支えてくれた両親のおかげで充実した大学生活、研究生活を送ることができました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 高橋朋仁『スペクトラム・アナライザ入門』 CQ 出版社
- [2] 金澤翔 2017 年度修士論文 (山口大学大学院 創生科学研究科)

付録 A 購入したアンプのカタログ

<http://www.rk-microwave.com/jp/products/pdf/LA120-0S.01.pdf>

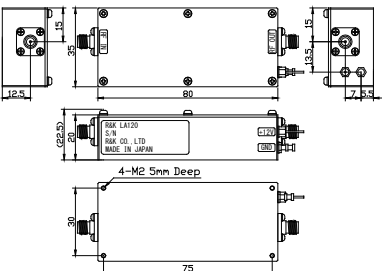
LOW NOISE AMPLIFIER



R&K-LA120-0S



OUTLINE DRAWING ※IN MILLIMETERS



- Noise Figure : 1.7dB (typ.)
-20°C to +60°C : 2.2dB (max.)
- Frequency Range : 100MHz~3200MHz
- Output Power : +15dBm @1000MHz
- RoHS Compliance

SPECIFICATIONS @ +25°C

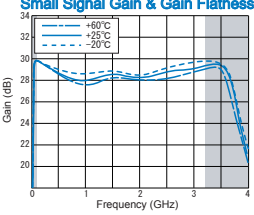
Noise Figure @ +25°C	: 1.7dB (typ.)
-20°C to +60°C	: 2.2dB (max.)
Frequency Range	: 100MHz~3200MHz
Small Signal Gain	: +28dB (typ.) @1000MHz
	: +26dB (min.)
Gain Flatness	: ±1.5dB (max.)
Output Power @1dB Comp.	: +15dBm (min.) @1000MHz
Output I.C.P.	: +27dBm (typ.) @1000MHz
Impedance	: 50Ω
Input VSWR	: 2.5:1 (typ.)
Output VSWR	: 2.5:1 (typ.)
DC Supply Input	: +12V ±1V
	: 180mA (max.)
Maximum RF Input Power	: -6dBm
Operating Temperature	: -20°C to +60°C
Storage Temperature	: -20°C to +80°C
Connectors (Standard)	: SMA-FEMALE
Connectors (Option)	: BNC-FEMALE N-FEMALE
Weight (Standard)	: 120g (typ.)

HOW TO ORDER

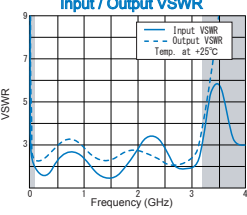
Model Name S = SMA - FEMALE
R&K-LA120-0S B = BNC - FEMALE
 N = N - FEMALE

TYPICAL PERFORMANCE ※ BNC Operational to 1GHz

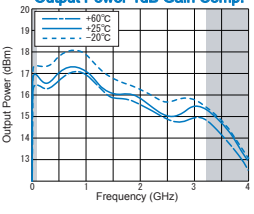
Small Signal Gain & Gain Flatness



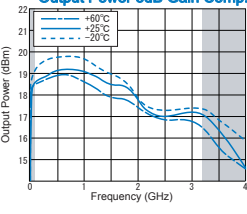
Input / Output VSWR



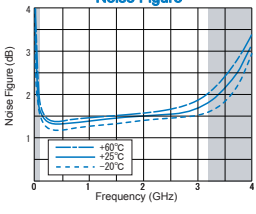
Output Power 1dB Gain Comp.



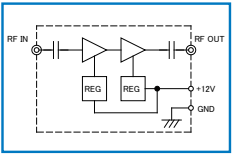
Output Power 3dB Gain Comp.



Noise Figure



SCHEMATIC



R&K reserves the right to make changes in the specifications of or discontinue products at any time without notice. R&K products shall not be used for or in connection with equipment that requires an extremely high level of reliability and safety such as aerospace uses or medical life support equipment. Further, R&K cannot export products to any country for use in military or defense applications.

R&K Company Limited
721-1 Maeda, Fuji-City, Shizuoka-Pref. 416-8577 Japan
Tel.: +81-545-31-2600 E-mail: info@rkco.jp
Fax: +81-545-31-1600 URL: <http://rk-microwave.com>

30

LOW NOISE AMPLIFIER

R&K-LA130-0S

OUTLINE DRAWING ※IN MILLIMETERS

■ Noise Figure : 1.7dB (typ.) : 2.2dB (max.) ■ Frequency Range : 100MHz~3200MHz ■ Output Power : +15dBm @1000MHz ■ RoHS Compliance	SPECIFICATIONS @+25°C Noise Figure @+25°C : 1.7dB (typ.) : 2.2dB (max.) Frequency Range : 100MHz~ 3200MHz Small Signal Gain : +38dB (typ.) @1000MHz : +36dB (min.) : ±2.0dB (max.) Gain Flatness : ±2.0dB (typ.) Output Power @1dB Comp. : +15dBm (min.) @1000MHz Output I.C.P. : +27dBm (typ.) @1000MHz Impedance : 50Ω Input VSWR : 2.0:1 (typ.) Output VSWR : 2.0:1 (typ.) DC Supply Input : +12V ±1V : 230mA (max.) Maximum RF Input Power : -16dBm Operating Temperature : -20°C to +60°C Storage Temperature : -20°C to +80°C Connectors (Standard) : SMA-FEMALE : BNC-FEMALE : N-FEMALE Connectors (Option) : N-FEMALE Weight (Standard) : 120g (typ.)
---	--

HOW TO ORDER

Model Name R&K-LA130-0S	S = SMA - FEMALE B = BNC - FEMALE N = N - FEMALE
---	---

TYPICAL PERFORMANCE ※ BNC Operational to 1GHz

Small Signal Gain & Gain Flatness

Input / Output VSWR

Output Power 1dB Gain Comp.

Output Power 3dB Gain Comp.

Noise Figure

SCHEMATIC

R&K reserves the right to make changes in the specifications of or discontinue products at any time without notice. R&K products shall not be used for or in connection with equipment that requires an extremely high level of reliability and safety such as aerospace uses or medical life support equipment. Further, R&K cannot export products to any country for use in military or defense applications.

R&K Company Limited
721-1 Maeda, Fuji-City, Shizuoka-Pref. 416-8577 Japan
Tel: +81-545-31-2600 E-mail: info@rkco.jp
Fax: +81-545-31-1600 URL: <http://rk-microwave.com>

31