

## OP アンプの電流性・電圧性ノイズの良し悪しと回路のカスケード接続

著者: 石井 聡

### はじめに

技術ノート TN-005JP 「ロー・ノイズ OP アンプの性能を SPICE で最適化してみる」では、NI Multisim 活用の応用編として、ロー・ノイズ OP アンプ AD797 を用いたノイズ解析を説明してきました。

実際問題として、設計する回路に対して適切な OP アンプを選定する必要があります。OP アンプごとに電流性・電圧性ノイズのレベルが異なりますので、どのような用途にどのような OP アンプが良いかを適切に選定する必要があります。そしてアンプをカスケード（直列）に接続する際にどのようなところに注意を払えばよいかも注意する必要があります。

この技術ノートでは、そのあたりの話題を掘り下げてみたいと思います。

### 電圧性／電流性ノイズの低い OP アンプ Best 100

電圧性ノイズの低い OP アンプと、電流性ノイズの低い OP アンプを、IST(Interactive Selection Table)というアナログ・デバイセズの web で用意しているツールを用いて、それぞれのベスト 100 を選択してみました。

別表 1、別表 2 は入力換算「電圧」ノイズの小さいほうから選んだランキング表です。別表 3、別表 4 は入力換算「電流」ノイズの小さいほうから選んだランキング表です。

これで判ることは、なかなか一つの OP アンプで両方チャンピオンにはなっていないということです。「適材適所」というところでしょうか（信号源抵抗により決定すべき、という意味です）。電圧、電流性ノイズ両方でがんばっているのは、AD743/745 あたりですね。

なお、それぞれの表に「rtHz」とありますが、これは

$$rtHz = \sqrt{\text{Hz}}$$

$\sqrt{\text{Hz}}$  という単位量あたりのノイズ量だという意味です。1Hz あたりの帯域で考えるということの意味です。別表 1～別表 4 にも、電圧性ノイズ、電流性ノイズとして「V,I Noise Density」…Density = 「密度」という用語が使われていますが、これが 1Hz あたりの帯域で考えるということです。

### 電流性ノイズは信号源抵抗に生じた電圧で考える

OP アンプの電圧性ノイズと電流性ノイズを実際の回路上でどのように取り扱うか、ですが、これは電流性ノイズを「電流性ノイズにより信号源抵抗に生じた電圧量に変換して」考えることで、電圧性ノイズと同じ土俵に載せて考えることができます。

たとえば信号源抵抗を  $R_S[\Omega]$ 、OP アンプの電流性ノイズを  $I_N[\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}]$ 、電圧性ノイズを  $V_N[\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}]$  とすれば、

$$R_S \times I_N \ll V_N$$

を大小を比較することで信号源抵抗  $R_S$  に対して、その OP アンプの電流性ノイズの影響度が高いのか、電圧性ノイズの影響度が高いのかを計算することができます。これにより、信号源抵抗に適した OP アンプを選定することができるわけです。

一般論としては、信号源抵抗が低い場合は、電流性ノイズの影響度が低くなるので、電圧性ノイズが良好な OP アンプを選定し、信号源抵抗が高い場合は、電流性ノイズの影響度が高くなるので、電流性ノイズが良好な OP アンプを選定するということになります。

### AD549 の電流性ノイズは $220\text{aA}/\sqrt{\text{Hz}}$ という超微量!

別表 3 では AD549 の電流性ノイズとして「 $\text{aA}/\sqrt{\text{Hz}}$ 」という単位が見えますが、これはナノでしょうか? TN-005JP で言及した AD797 は、電流性ノイズ（入力換算）は約  $2\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$  でした。この  $2\text{pA}$  というのは、

「 $1\text{E}-12$  ピコ (pico) p; 一漠 (ばく)」

になります。その  $1/1000$  ( $-60\text{dB}$ ) は、

「 $1\text{E}-15$  フェムト (femto) f; 一須臾 (しゅゆ)」

さらにその  $1/1000$  ( $-60\text{dB}$ ) は、

「 $1\text{E}-18$  アト (atto) a; 一刹那 (せつな)」

ということで、AD549 の  $220\text{aA}/\sqrt{\text{Hz}}$  というのは、 $220\mu[\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}] = 0.00022\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$  という値なわけです。驚きの低さですね! この電流性ノイズにより、 $1\text{k}\Omega$  に（電流が流れることで）発生する電圧性ノイズも、

$$0.00022\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}} \times 1\text{k}\Omega = 0.22\text{pV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

ですから、電圧性ノイズや抵抗の Johnson (熱) ノイズ ( $\text{nV}$ ;  $1\text{E}-9$  のオーダ) から比べれば「彼方」の小ささです。

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。

## Trivia (トリビア; くだらないこと) … 「1 涅槃寂靜 $A/\sqrt{\text{Hz}}$ 」

ところで、1E-24 は「涅槃寂靜 (ねはんじゃくじょう)」と言うそうで、それこそ「ノイズ・レス」というところでしょう (1pA から -240dB です…)。涅槃寂靜がどれだけ「ノイズ・レス」かを少し計算してみました (笑)。

1 [涅槃寂靜  $A/\sqrt{\text{Hz}}$ ] が 1T (1E+12)  $\Omega$  の抵抗に流れて発生するノイズ電圧は、

$$V_N = 1\text{E-12V}/\sqrt{\text{Hz}} = 1\text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

です。これが抵抗の Johnson (熱) ノイズで同等だとうなるかですが、

「0.001  $\Omega$  の抵抗が絶対温度 18K のときに生じるノイズ量」

です。うーむ、さすが「涅槃寂靜」のノイズ量…。

## OP アンプ内部ノイズの現実の大きさと抵抗から生じる Johnson (熱) ノイズ

さて、話を戻しましょう。ロー・ノイズ OP アンプ AD797 は、電圧性ノイズ (入力換算) は約  $0.9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 、電流性ノイズ (入力換算) は約  $2\text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$  です。この大きさが抵抗から生じる Johnson (熱) ノイズと比較してどの程度なものを示してみましょう。

この計算によりデータシートのスペックと実際のノイズ特性とが理解 (比較) できるものと思います。

抵抗から生じる 1Hz あたりの Johnson (熱) ノイズ電圧は、

$$V_N = \sqrt{4kTR}$$

になります。ここで  $k$  はボルツマン定数 [ $1.3806488 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ]、 $T$  は周囲の絶対温度 [K]、 $R$  は抵抗の大きさ [ $\Omega$ ] です。

たとえば終端インピーダンスとして良く用いられる  $50 \Omega$  を、先の式に入れてみると (周囲温度は  $27^\circ = 300\text{K}$  としてみます)、

$$V_N = \sqrt{4kTR} = 0.91\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

になります…。面白いものです。この  $0.9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  というのは AD797 の入力換算電圧性ノイズの大きさですね! 現在の OP アンプでは電圧性ノイズは、この  $0.9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  のオーダが一般的に最高レベルのものと言えるでしょう。

$50 \Omega$  に対して、AD797 の電流性ノイズ (約  $2\text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ ) の影響度を考えてみます。先の式のように、電流性ノイズは抵抗  $R_S$  に生じる電圧降下として計算できますので、

$$R_S \times I_N = 50 \Omega \times 2\text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} = 0.1\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

と計算することができます。信号源抵抗が  $50 \Omega$  であれば、AD797 の電流性ノイズの影響は、電圧性ノイズと比べてもかなり低くなる、と言うことが分かります。

さらに  $1\text{ k}\Omega$  の抵抗で考えてみましょう。先の式に  $1\text{ k}\Omega$  を代入してみると、

$$V_N = \sqrt{4kTR} = 4.07\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

が求まります。 $4\text{ nV}$  ということで、AD797 の入力換算電圧性ノイズの大きさよりもかなり大きくなっていることがわかります。

同じく  $1\text{ k}\Omega$  に対しても、AD797 の電流性ノイズ (約  $2\text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ ) の影響度を考えてみます。先の式から、

$$R_S \times I_N = 1\text{ k}\Omega \times 2\text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} = 2\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

と計算することができます。AD797 の電流性ノイズの影響が信号源抵抗が大きくなることで支配的になってくること、すでに AD797 の電圧性ノイズの  $0.9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  という大きさも越していることが分かります。

これまでの計算で、抵抗による Johnson (熱) ノイズと、OP アンプの内部ノイズの相対的な比も、イメージできるようになったかと思います。

それと若干話が異なりますが、炭素皮膜抵抗は Johnson ノイズより大きいレベルの「過剰ノイズ」という雑音が出てきて、実際は計算した Johnson ノイズよりも大きくなります。そのためこのようなロー・ノイズの設計ではきちんと金属皮膜抵抗を用いてください (某社のオーディオ用の抵抗が最高とか聞いたことがあります)。

## OP アンプの「等価ノイズ抵抗」 $R_N$

ここまででご理解いただけたように、信号源抵抗  $R_S$  の大きさによって、OP アンプの電圧性ノイズ  $V_N$  の影響度と、電流性ノイズ  $I_N$  の影響度のうち、どちらが大きくなるかが異なってきます。ここでその指標として、OP アンプの「等価ノイズ抵抗」 $R_N$  というものを、

$$R_N = V_N / I_N$$

として定義することができます。もし信号源抵抗  $R_S = R_N$  であれば、

$$V_N = R_S \times I_N$$

となります。つまりここが、電圧性ノイズと電流性ノイズの影響度のうちどちらが大きくなるかの境界になることがわかります。

## ロー・ノイズ設計での定石「前段と後段の設計」

ロー・ノイズ設計での定石のお話があります。「初段をロー・ノイズにすることがとても大事」というセオリーです。たとえばフォト・ダイオード・アンプを考えてみます。

フォト・ダイオードは等価内部インピーダンスが非常に高いものです。そのため (以降でもあらためて定性的に示しますが)、初段の電流・電圧変換回路部分は電流性ノイズの低い OP アンプを選択すべきこととなります。

そのアンプを前段に、後段には電圧性ノイズの小さいものを選んでみる、というも定石の話に繋がってきます。この「後段を電圧性ノイズの小さいのを」というのは、初段の OP アンプ出力が低インピーダンスですから、後段の OP アンプから見れば、電圧性ノイズが支配的になる、というお話なわけですね。

ここではその話をイメージで理解してみましょう。図 1 をご覧ください。

1) 昔々レコードに録音されたものを信号源としてカートリッジでピックアップして、それ以降を超高性能なアンプで聴いた場合と

2) 最新鋭の録音装置で CD に録音してそれをデジタル情報として再生し、それ以降を (同じ) 超高性能なアンプで聴いた場合と

では、後段が同じ高性能であっても、1) の場合は初段の方がノイズが多いので意味がない

ということがわかります。アンプをカスケードにつなげて設計する場合は、このように「初段が大事なのです」

※ところで、昔のアナログ録音では、映画フィルム並みのテープを、超高速で回して、SN 比やダイナミックレンジを稼いでいたりしたそうです。



図 1. 前段と後段の設計をイメージで理解する

**NF はシステムとしてのノイズ性能を示す指標**

NF は、増幅器を挿入することによりシステムとしてどれだけノイズ性能が低下するかを示す数値です。

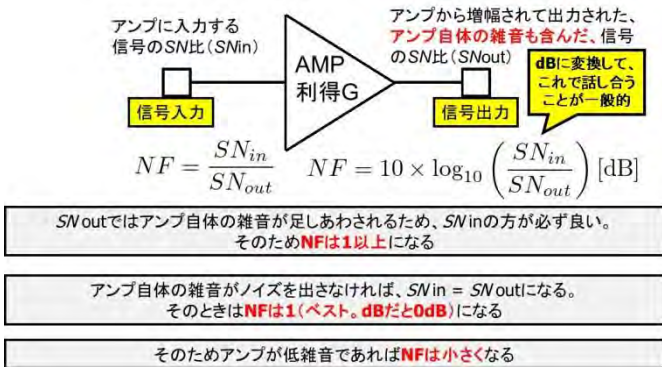


図 2. システムのノイズ性能を表す指数「NF」

**カスケード接続のアンプのNFは初段が重要**

図 3 はカスケードに接続したアンプの NF を式で考えたものです。有名な「Friisの式」というものです。

ここで S/N 比や増幅率は「電力」で考えます。というより、V<sup>2</sup>でノイズ・レベルの足し算、RSS (Root Sum Square) の関係で考えます (詳しい式は示しませんが、この式の成り立ちから、V<sup>2</sup>で考える必要があります)。

この式で判ることは、2 段目以降は前段までのゲインで割られていますから、結局初段 (フロントエンド) が支配的だということです。まあ、この式の詳細がどうの、というよりそのことさえ知っていれば十分でしょう。

ともあれフロントエンドをいかにロー・ノイズに設計するかが、とても大切ということですね。

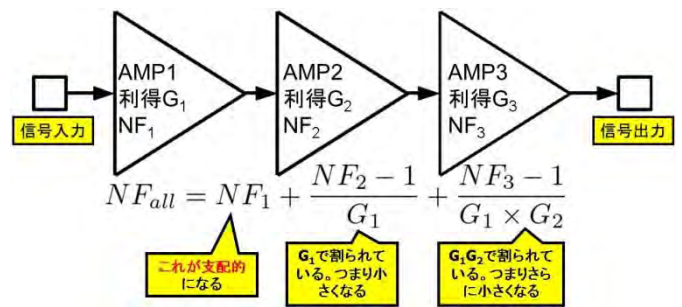


図 3. カスケード接続のNFを考える「Friisの式」

**信号源抵抗の大きさとNF**

これまでの信号源抵抗の話と NF の話を絡めて、少し示しておきたいと思います。

NF は、増幅器を挿入することによりシステムとしてどれだけノイズ性能が低下するかを示す数値です。

ところがここまでのことを考えると、同じ信号源電圧であっても、信号源抵抗 RS が大きければ、Johnson ノイズがその大きさに比例して発生して、信号源の SN 比自体が悪くなってしまうこととなります。

つまり電圧性ノイズが「完全に支配的」な OP アンプ (電流性ノイズが非常に低く、高抵抗でも電圧性ノイズが支配的なもの) だと、高い信号源抵抗 RS によって生じる Johnson ノイズが大きくなっていくため、回路出力の SN 比の低下に、OP アンプが与える影響度が低くなっていくということなんです。

よく (FET などで) 横軸を信号源抵抗、縦軸を NF にしているグラフがあり、数 kΩ 以上とかで NF が良好になったりしていますが、これは結局信号源抵抗によるノイズが (抵抗値が大きくなると) 支配的になってくる、ということの裏返しなわけですね。

**NFにはふたつの言い方があるので注意**

Noise Figure と Noise Factor というふたつの言い方があり、どちらも略して"NF"です。NF は大体 log10()で計算し、dB で表します。こちらのことを Noise Figure, 元々の真値の方を Noise Factor というようです。

カスケード・アンプの計算は真値を使いますので、ご注意ください!

しかし、ホワイト・ノイズ (Johnson ノイズ) を後段で推定 (信号と区別) して、引き算除去する回路なんぞが出来たら、ホントに凄いですね! (ため息)

## アナログ電子回路技術ノート

TNJ-007

別表 1 入力換算電圧性ノイズ密度の低いOPアンプ Best 100 (上位 50)

Part#	Input Voltage Noise [ V/rtHz ]	Current Noise Density [ A/rtHz ]	Small Signal BW [ Hz ]	Slew Rate [ V/us ]	Input Offset Voltage	Amp Per Package	Vcc-Vee [ V ]	Input Bias Current	Iq/Amp [ A ]	Package
<a href="#">AD8432</a>	800p	2p	200M	170	1mV	2	4.5-5.5	—	12m	CSP
<a href="#">AD797</a>	900p	2p	8M	20	25uV	1	10-36	250nA	10.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8099</a>	950p	2.6p	500M	1.35K	200uV	1	5-12	3uA	16m	CSP; SOIC
<a href="#">AD8004</a>	1.5n	38p	250M	3K	1mV	4	4-12	35uA	4.25m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8000</a>	1.6n	26p	1.58G	4.1K	1mV	1	4.5-12	5uA	14.3m	CSP; SOIC
<a href="#">AD829</a>	1.7n	1.5p	120M	230	200uV	1	9-36	3.3uA	5.3m	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD8003</a>	1.8n	3p	1.65G	3.8K	700uV	3	4.5-10	7uA	10.2m	CSP
<a href="#">AD815</a>	1.85n	1.8p	120M	900	10mV	2	10-36	2uA	40m	DDPAK; SIP; SOIC
<a href="#">AD8009</a>	1.9n	46p	1G	5.5K	2mV	1	5-12	50uA	16m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8017</a>	1.9n	23p	160M	1.6K	1.8mV	2	4.4-12	160uA	7.7m	SOIC
<a href="#">AD811</a>	1.9n	20p	140M	2.5K	500uV	1	9-36	2uA	16m	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD8001</a>	2n	2p	880M	1K	2mV	1	6-12	3uA	5m	DIP; SOIC; SOT
<a href="#">AD8002</a>	2n	2p	600M	1.2K	2mV	2	6-12	3uA	11.5m	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD8010</a>	2n	3p	230M	800	5mV	1	9-12	6uA	17m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8011</a>	2n	5p	400M	3.5K	2mV	1	3-12	5uA	1.3m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8023</a>	2n	14p	125M	1.2K	2mV	3	4.2-15	5uA	10m	SOIC
<a href="#">AD8079</a>	2n	2p	260M	800	5mV	2	6-12	3uA	5.75m	SOIC
<a href="#">AD844</a>	2n	12p	60M	2K	50uV	1	9-36	150nA	6.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8021</a>	2.1n	2.1p	490M	150	400uV	1	4.5-24	7.5uA	7.7m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8012</a>	2.5n	15p	350M	2.25K	1mV	2	3-12	3uA	900u	SOIC; SOP
<a href="#">AD8022</a>	2.5n	1.2p	130M	50	1.5mV	2	4.5-26	2.5uA	4m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8016</a>	2.6n	18p	380M	1K	1mV	2	6-26	45uA	13.2m	SOIC
<a href="#">AD8008</a>	2.7n	22.5p	650M	1K	500uV	2	5-12	4uA	10.2m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8007</a>	2.7n	22.5p	650M	1K	500uV	1	5-12	4uA	10.2m	SC70; SOIC
<a href="#">AD743</a>	2.9n	6.9f	4.5M	2.8	250uV	1	9.6-36	150pA	10m	DIP; SOIC
<a href="#">AD745</a>	2.9n	6.9f	20M	12.5	250uV	1	9.6-36	150pA	10m	DIP; SOIC
<a href="#">AD810</a>	2.9n	1.5p	80M	1K	1.5mV	1	5-36	2uA	8m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8024</a>	3n	8p	200M	390	2mV	4	5-24	1uA	17m	SOIC
<a href="#">AD8045</a>	3n	3p	1G	1.35K	200uV	1	3.3-12	2uA	19m	CSP; SOIC
<a href="#">AD8072</a>	3n	6p	100M	500	2mV	2	5-12	4uA	5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8073</a>	3n	6p	100M	500	2mV	3	5-12	4uA	5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8013</a>	3.5n	12p	480M	1K	2mV	3	4.2-13	3uA	4m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8014</a>	3.5n	5p	400M	4K	2mV	1	4.5-12	5uA	1.3m	SOIC; SOT
<a href="#">AD812</a>	3.5n	1.5p	145M	425	2mV	2	2.4-36	300nA	5.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD813</a>	3.5n	1.5p	100M	250	2mV	3	2.4-36	500nA	5.5m	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD8048</a>	3.8n	1p	260M	1K	1mV	1	6-12	1uA	6.6m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8005</a>	4n	1.1p	270M	1.5K	5mV	1	4-12	500nA	425u	DIP; SOIC; SOT
<a href="#">AD8027</a>	4.3n	1.6p	190M	100	200uV	1	2.7-12	3.8uA	6m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8028</a>	4.3n	1.6p	190M	100	200uV	2	2.7-12	4uA	6m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8018</a>	4.5n	10p	130M	300	1mV	2	3.3-8	1uA	10m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8037</a>	4.5n	2.1p	270M	1.5K	2mV	1	6-12	3uA	19.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8397</a>	4.5n	1.5p	69M	53	1mV	2	3-24	200nA	11m	SOIC
<a href="#">AD8047</a>	5.2n	1p	250M	750	1mV	1	6-12	1uA	6.6m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8055</a>	6n	1p	300M	1.4K	3mV	1	8-12	400nA	6.5m	DIP; SOIC; SOT
<a href="#">AD8056</a>	6n	1p	300M	1.4K	3mV	2	8-12	400nA	6m	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD8067</a>	6.6n	1f	54M	640	200uV	1	5-24	600fA	7m	SOT
<a href="#">AD8036</a>	6.7n	2.2p	240M	1.2K	2mV	1	6-12	4uA	21.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8065</a>	7n	600a	145M	180	400uV	1	5-24	2pA	7.4m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8066</a>	7n	600a	145M	180	400uV	2	5-24	2pA	7.4m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8057</a>	7n	700f	325M	1.15K	1mV	1	3-12	500nA	6m	SOIC; SOT

## アナログ電子回路技術ノート

TNJ-007

別表 2 入力換算電圧性ノイズ密度の低い OP アンプ Best 100 (下位 50)

Part#	Input Voltage Noise [ V/rtHz ]	Current Noise Density [ A/rtHz ]	Small Signal BW [ Hz ]	Slew Rate [ V/us ]	Input Offset Voltage	Amp Per Package	Vcc-Vee [ V ]	Input Bias Current	Iq/Amp [ A ]	Package
<a href="#">AD8058</a>	7n	700f	325M	1.15K	1mV	2	3-12	500nA	7.5m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8038</a>	8n	600f	350M	425	500uV	1	3-12	400nA	1m	SC70; SOIC
<a href="#">AD8039</a>	8n	600f	350M	425	500uV	2	3-12	400nA	1m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8061</a>	8.5n	1.2p	320M	650	1mV	1	2.7-8	350nA	6.8m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8062</a>	8.5n	1.2p	320M	650	1mV	2	2.7-8	350nA	6.8m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8063</a>	8.5n	1.2p	320M	650	1mV	1	2.7-8	350nA	6.8m	SOIC; SOT
<a href="#">AD795</a>	9n	600a	1.6M	1	100uV	1	8-36	1pA	1.5m	SOIC
<a href="#">AD708</a>	9.6n	120f	900K	300m	30uV	2	6-36	1nA	2.75m	DIP
<a href="#">AD818</a>	10n	1.5p	130M	500	500uV	1	5-36	3.3uA	7.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD828</a>	10n	1.5p	130M	450	500uV	2	5-36	3.3uA	7.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8034</a>	11n	700a	80M	70	1mV	2	5-24	1.5pA	3.5m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8033</a>	11n	700a	80M	80	1mV	1	5-24	1.5pA	3.5m	SC70; SOIC
<a href="#">AD825</a>	12n	10f	46M	140	1mV	1	10-36	10pA	7.2m	SOIC
<a href="#">AD822</a>	13n	800a	1.9M	3	100uV	2	5-30	2pA	900u	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD820</a>	13n	800a	1.9M	3	100uV	1	5-36	2pA	900u	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD8032</a>	15n	2.4p	80M	35	1mV	2	2.7-12	450nA	900u	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD817</a>	15n	1.5p	50M	350	500uV	1	5-36	3.3uA	7.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD847</a>	15n	1.5p	50M	300	500uV	1	9-36	3.3uA	4.8m	DIP; SOIC
<a href="#">AD704</a>	15n	50f	800K	150m	30uV	4	4-36	100pA	600u	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD706</a>	15n	50f	800K	150m	30uV	2	4-36	50pA	600u	DIP; SOIC
<a href="#">AD8031</a>	15n	2.4p	80M	35	1mV	1	2.7-12	450nA	900u	DIP; SOIC; SOT
<a href="#">AD8042</a>	15n	700f	170M	225	3mV	2	3-12	1.2uA	7m	DIP; SOIC
<a href="#">AD826</a>	15n	1.5p	50M	350	500uV	2	5-36	3.3uA	7.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD827</a>	15n	1.5p	50M	300	500uV	2	9-36	3.3uA	5.25m	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD711</a>	16n	10f	4M	20	300uV	1	9-36	15pA	2.8m	DIP; SOIC
<a href="#">AD712</a>	16n	10f	4M	20	300uV	2	9-36	25pA	2.8m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8091</a>	16n	600f	110M	170	1.6mV	1	3-12	1.3uA	5.5m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8092</a>	16n	600f	110M	170	1.6mV	2	3-12	1.3uA	5.5m	SOIC; SOP
<a href="#">AD823</a>	16n	1f	16M	25	700uV	2	3-36	5pA	7m	DIP; SOIC
<a href="#">AD824</a>	16n	800a	2M	2	500uV	4	3-36	4pA	625u	SOIC
<a href="#">AD713</a>	16n	10f	4M	20	300uV	4	9-36	40pA	3m	DIP; SOIC
<a href="#">AD746</a>	16n	10f	13M	75	300uV	2	9.6-36	110pA	7m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8041</a>	16n	600f	170M	170	2mV	1	3-12	1.2uA	6.5m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8044</a>	16n	900f	160M	190	1.4mV	4	3-12	2uA	3.4m	DIP; SOIC
<a href="#">AD8051</a>	16n	850f	110M	170	1.7mV	1	3-12	1.4uA	5.5m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8052</a>	16n	850f	110M	170	1.7mV	2	3-12	1.4uA	5.5m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8054</a>	16n	850f	150M	190	1.7mV	4	3-12	2uA	3.4m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8029</a>	16.5n	1.1p	125M	62	1.6mV	1	2.7-12	700nA	1.5m	SC70; SOIC
<a href="#">AD8030</a>	16.5n	1.1p	125M	62	1.6mV	2	2.7-14	700nA	1.5m	SOIC; SOT
<a href="#">AD8040</a>	16.5n	1.1p	125M	62	1.6mV	4	2.7-12	700nA	1.5m	SOIC; SOP
<a href="#">AD8074</a>	19.5n		600M	1.6K	2.5mV	3	9-11	5uA	10m	SOP
<a href="#">AD8075</a>	22n		550M	1.35K	2.5mV	3	9-11	5uA	10m	SOP
<a href="#">AD549</a>	35n	220a	1M	3	500uV	1	10-36	150fA	700u	TO-X
<a href="#">AD8505</a>	45n	15f	95	13m	500uV	1	1.8-5	1pA	25.5u	SOT-23
<a href="#">AD8506</a>	45n	80f	150K	13m	2.5mV	2	1.8-5.5	1pA	20u	CSP; SOP
<a href="#">AD8508</a>	45n	15f	95K	13m	500uV	4	1.8-5	1pA	15u	CSP; SOP
<a href="#">AD8500</a>	190n	100f	7K	4m	235uV	1	1.8-5.5	1pA	750n	SC70
<a href="#">AD8502</a>	190n	100f	7K	4m	500uV	2	1.8-5.5	1pA	1u	SOT-23
<a href="#">AD8504</a>	190n	100f	7K	4m	500uV	4	1.8-5.5	1pA	1u	SOP
<a href="#">AD8509</a>				7	20mV	9	3.3-6.5	50nA	944u	CSP

## アナログ電子回路技術ノート

TNJ-007

別表3 入力換算電流性ノイズ密度の低いOPアンプ Best 100 (上位 50)

Part#	Input Voltage Noise [ V/rtHz ]	Current Noise Density [ A/rtHz ]	Small Signal BW [ Hz ]	Slew Rate [ V/us ]	Input Offset Voltage	Amp Per Package	Vcc-Vee [ V ]	Input Bias Current	Iq/Amp	Package
<a href="#">AD549</a>	35n	220a	1M	3	500uV	1	10-36	150fA	700uA	TO-X
<a href="#">AD8065</a>	7n	600a	145M	180	400uV	1	5-24	2pA	7.4mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8066</a>	7n	600a	145M	180	400uV	2	5-24	2pA	7.4mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD795</a>	9n	600a	1.6M	1	100uV	1	8-36	1pA	1.5mA	SOIC
<a href="#">AD8034</a>	11n	700a	80M	70	1mV	2	5-24	1.5pA	3.5mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8033</a>	11n	700a	80M	80	1mV	1	5-24	1.5pA	3.5mA	SC70; SOIC
<a href="#">AD822</a>	13n	800a	1.9M	3	100uV	2	5-30	2pA	900uA	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD824</a>	16n	800a	2M	2	500uV	4	3-36	4pA	625uA	SOIC
<a href="#">AD820</a>	13n	800a	1.9M	3	100uV	1	5-36	2pA	900uA	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD823</a>	16n	1f	16M	25	700uV	2	3-36	5pA	7mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8067</a>	6.6n	1f	54M	640	200uV	1	5-24	600fA	7mA	SOT
<a href="#">AD743</a>	2.9n	6.9f	4.5M	2.8	250uV	1	9.6-36	150pA	10mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD745</a>	2.9n	6.9f	20M	12.5	250uV	1	9.6-36	150pA	10mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD711</a>	16n	10f	4M	20	300uV	1	9-36	15pA	2.8mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD712</a>	16n	10f	4M	20	300uV	2	9-36	25pA	2.8mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD713</a>	16n	10f	4M	20	300uV	4	9-36	40pA	3mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD746</a>	16n	10f	13M	75	300uV	2	9.6-36	110pA	7mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD825</a>	12n	10f	46M	140	1mV	1	10-36	10pA	7.2mA	SOIC
<a href="#">AD8505</a>	45n	15f	95	13m	500uV	1	1.8-5	1pA	25.5uA	SOT-23
<a href="#">AD8508</a>	45n	15f	95K	13m	500uV	4	1.8-5	1pA	15uA	CSP; SOP
<a href="#">AD704</a>	15n	50f	800K	150m	30uV	4	4-36	100pA	600uA	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD706</a>	15n	50f	800K	150m	30uV	2	4-36	50pA	600uA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8506</a>	45n	80f	150K	13m	2.5mV	2	1.8-5.5	1pA	20uA	CSP; SOP
<a href="#">AD8500</a>	190n	100f	7K	4m	235uV	1	1.8-5.5	1pA	750nA	SC70
<a href="#">AD8502</a>	190n	100f	7K	4m	500uV	2	1.8-5.5	1pA	1uA	SOT-23
<a href="#">AD8504</a>	190n	100f	7K	4m	500uV	4	1.8-5.5	1pA	1uA	SOP
<a href="#">AD708</a>	9.6n	120f	900K	300m	30uV	2	6-36	1nA	2.75mA	DIP
<a href="#">AD8091</a>	16n	600f	110M	170	1.6mV	1	3-12	1.3uA	5.5mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8092</a>	16n	600f	110M	170	1.6mV	2	3-12	1.3uA	5.5mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8038</a>	8n	600f	350M	425	500uV	1	3-12	400nA	1mA	SC70; SOIC
<a href="#">AD8039</a>	8n	600f	350M	425	500uV	2	3-12	400nA	1mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8041</a>	16n	600f	170M	170	2mV	1	3-12	1.2uA	6.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8042</a>	15n	700f	170M	225	3mV	2	3-12	1.2uA	7mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8057</a>	7n	700f	325M	1.15K	1mV	1	3-12	500nA	6mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8058</a>	7n	700f	325M	1.15K	1mV	2	3-12	500nA	7.5mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8051</a>	16n	850f	110M	170	1.7mV	1	3-12	1.4uA	5.5mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8052</a>	16n	850f	110M	170	1.7mV	2	3-12	1.4uA	5.5mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8054</a>	16n	850f	150M	190	1.7mV	4	3-12	2uA	3.4mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8044</a>	16n	900f	160M	190	1.4mV	4	3-12	2uA	3.4mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8055</a>	6n	1p	300M	1.4K	3mV	1	8-12	400nA	6.5mA	DIP; SOIC; SOT
<a href="#">AD8047</a>	5.2n	1p	250M	750	1mV	1	6-12	1uA	6.6mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8048</a>	3.8n	1p	260M	1K	1mV	1	6-12	1uA	6.6mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8056</a>	6n	1p	300M	1.4K	3mV	2	8-12	400nA	6mA	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD8005</a>	4n	1.1p	270M	1.5K	5mV	1	4-12	500nA	425uA	DIP; SOIC; SOT
<a href="#">AD8029</a>	16.5n	1.1p	125M	62	1.6mV	1	2.7-12	700nA	1.5mA	SC70; SOIC
<a href="#">AD8030</a>	16.5n	1.1p	125M	62	1.6mV	2	2.7-14	700nA	1.5mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8040</a>	16.5n	1.1p	125M	62	1.6mV	4	2.7-12	700nA	1.5mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8061</a>	8.5n	1.2p	320M	650	1mV	1	2.7-8	350nA	6.8mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8022</a>	2.5n	1.2p	130M	50	1.5mV	2	4.5-26	2.5uA	4mA	SOIC; SOP

## アナログ電子回路技術ノート

TNJ-007

別表 4 入力換算電流性ノイズ密度の低い OP アンプ Best 100 (下位 50)

Part#	Input Voltage Noise [ V/rtHz ]	Current Noise Density [ A/rtHz ]	Small Signal BW [ Hz ]	Slew Rate [ V/us ]	Input Offset Voltage	Amp Per Package	Vcc-Vee [ V ]	Input Bias Current	Iq/Amp	Package
<a href="#">AD8062</a>	8.5n	1.2p	320M	650	1mV	2	2.7-8	350nA	6.8mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8063</a>	8.5n	1.2p	320M	650	1mV	1	2.7-8	350nA	6.8mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD817</a>	15n	1.5p	50M	350	500uV	1	5-36	3.3uA	7.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD847</a>	15n	1.5p	50M	300	500uV	1	9-36	3.3uA	4.8mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD810</a>	2.9n	1.5p	80M	1K	1.5mV	1	5-36	2uA	8mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD812</a>	3.5n	1.5p	145M	425	2mV	2	2.4-36	300nA	5.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD813</a>	3.5n	1.5p	100M	250	2mV	3	2.4-36	500nA	5.5mA	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD818</a>	10n	1.5p	130M	500	500uV	1	5-36	3.3uA	7.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD826</a>	15n	1.5p	50M	350	500uV	2	5-36	3.3uA	7.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD827</a>	15n	1.5p	50M	300	500uV	2	9-36	3.3uA	5.25mA	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD828</a>	10n	1.5p	130M	450	500uV	2	5-36	3.3uA	7.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD829</a>	1.7n	1.5p	120M	230	200uV	1	9-36	3.3uA	5.3mA	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD8397</a>	4.5n	1.5p	69M	53	1mV	2	3-24	200nA	11mA	SOIC
<a href="#">AD8027</a>	4.3n	1.6p	190M	100	200uV	1	2.7-12	3.8uA	6mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8028</a>	4.3n	1.6p	190M	100	200uV	2	2.7-12	4uA	6mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD815</a>	1.85n	1.8p	120M	900	10mV	2	10-36	2uA	40mA	DDPAK; SIP; SOIC
<a href="#">AD797</a>	900p	2p	8M	20	25uV	1	10-36	250nA	10.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8001</a>	2n	2p	880M	1K	2mV	1	6-12	3uA	5mA	DIP; SOIC; SOT
<a href="#">AD8002</a>	2n	2p	600M	1.2K	2mV	2	6-12	3uA	11.5mA	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD8079</a>	2n	2p	260M	800	5mV	2	6-12	3uA	5.75mA	SOIC
<a href="#">AD8432</a>	800p	2p	200M	170	1mV	2	4.5-5.5		12mA	CSP
<a href="#">AD8021</a>	2.1n	2.1p	490M	150	400uV	1	4.5-24	7.5uA	7.7mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8037</a>	4.5n	2.1p	270M	1.5K	2mV	1	6-12	3uA	19.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8036</a>	6.7n	2.2p	240M	1.2K	2mV	1	6-12	4uA	21.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8032</a>	15n	2.4p	80M	35	1mV	2	2.7-12	450nA	900uA	DIP; SOIC; SOP
<a href="#">AD8031</a>	15n	2.4p	80M	35	1mV	1	2.7-12	450nA	900uA	DIP; SOIC; SOT
<a href="#">AD8099</a>	950p	2.6p	500M	1.35K	200uV	1	5-12	3uA	16mA	CSP; SOIC
<a href="#">AD8045</a>	3n	3p	1G	1.35K	200uV	1	3.3-12	2uA	19mA	CSP; SOIC
<a href="#">AD8003</a>	1.8n	3p	1.65G	3.8K	700uV	3	4.5-10	7uA	10.2mA	CSP
<a href="#">AD8010</a>	2n	3p	230M	800	5mV	1	9-12	6uA	17mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8011</a>	2n	5p	400M	3.5K	2mV	1	3-12	5uA	1.3mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8014</a>	3.5n	5p	400M	4K	2mV	1	4.5-12	5uA	1.3mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8072</a>	3n	6p	100M	500	2mV	2	5-12	4uA	5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8073</a>	3n	6p	100M	500	2mV	3	5-12	4uA	5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8024</a>	3n	8p	200M	390	2mV	4	5-24	1uA	17mA	SOIC
<a href="#">AD8018</a>	4.5n	10p	130M	300	1mV	2	3.3-8	1uA	10mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8013</a>	3.5n	12p	480M	1K	2mV	3	4.2-13	3uA	4mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD844</a>	2n	12p	60M	2K	50uV	1	9-36	150nA	6.5mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8023</a>	2n	14p	125M	1.2K	2mV	3	4.2-15	5uA	10mA	SOIC
<a href="#">AD8012</a>	2.5n	15p	350M	2.25K	1mV	2	3-12	3uA	900uA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8016</a>	2.6n	18p	380M	1K	1mV	2	6-26	45uA	13.2mA	SOIC
<a href="#">AD811</a>	1.9n	20p	140M	2.5K	500uV	1	9-36	2uA	16mA	DIP; LCC; SOIC
<a href="#">AD8008</a>	2.7n	22.5p	650M	1K	500uV	2	5-12	4uA	10.2mA	SOIC; SOP
<a href="#">AD8007</a>	2.7n	22.5p	650M	1K	500uV	1	5-12	4uA	10.2mA	SC70; SOIC
<a href="#">AD8017</a>	1.9n	23p	160M	1.6K	1.8mV	2	4.4-12	160uA	7.7mA	SOIC
<a href="#">AD8000</a>	1.6n	26p	1.58G	4.1K	1mV	1	4.5-12	5uA	14.3mA	CSP; SOIC
<a href="#">AD8004</a>	1.5n	38p	250M	3K	1mV	4	4-12	35uA	4.25mA	DIP; SOIC
<a href="#">AD8009</a>	1.9n	46p	1G	5.5K	2mV	1	5-12	50uA	16mA	SOIC; SOT
<a href="#">AD8074</a>	19.5n		600M	1.6K	2.5mV	3	9-11	5uA	10mA	SOP
<a href="#">AD8075</a>	22n		550M	1.35K	2.5mV	3	9-11	5uA	10mA	SOP
<a href="#">AD8509</a>				7	20mV	9	3.3-6.5	50nA	944uA	CSP