

# Rarely Asked Questions

アナログ・デバイスに寄せられた珍問／難問集より

## 高精度オペアンプの選択？ ゴルディロックスを信じましょう。

**Q.** 高精度信号パス用のオペアンプを選ぼうとしています。  
高速であるほど良い、とは限らないのでしょうか？

**A.** 高精度オペアンプのアプリケーションに適切な帯域幅を選ぶ作業は、「3匹の熊」という童話に出てくる女の子ゴルディロックスが経験したことに良く似ています。彼女は3匹の熊が用意したスープを飲もうとしますが、1つのスープは熱過ぎ、もう1つはぬる過ぎ、最後のスープだけがちょうどよい熱さでした。アンプも遅すぎず速すぎず、対象とする信号に安定性と精度を維持するために必要なゲインと速度を提供するものを選ぶ必要があります。

このアプリケーションの電圧帰還アンプの主要なオペアンプ仕様は、ゲイン帯域幅積 (GBP) と位相マージン (PM) です。広く使われている高精度オペアンプ ADA4610 のオープンループ・ゲインと位相の周波数特性を図 1 に示します。この図から、オペアンプ・ゲインは低い周波数では 30,000 (90 dB) 以上あり、ディケードあたり 20 dB でロールオフし、約 10 MHz で 1 (0 dB) に達していることが分かります。この周波数はユニティ・ゲイン・クロスオーバー周波数として知られています。オペアンプのオープンループ・ゲインのグラフを使えば、その GBP を決定して、図 2 に示すように、GBP = ゲイン × BW となるようなクロズドループ・ゲインと帯域幅を持つアンプ回路を設計することができます。例えば、クロズドループ・ゲイン ( $A_V$ ) を 100 (つまり 40 dB) から 10 (つまり 20 dB) へ 1 ディケード下げると、帯域幅が 163 kHz から 1.63 MHz へと 1 ディケード増加する点に注意してください。

同様に、図 1 に示すオペアンプの位相のグラフは、信号がオペアンプを通過する際の本質的な位相シフトに関係しています。位相マージンは、アンプ回路の帯域幅のときの位相シフトを読み取るることによって近似できます。ADA4610 の場合は約 67° で、これは安定性を確保する上で十分な位相マージンです。システム設計によってアンプ回路の位相マージンが減少して小さくなり過ぎると、出力に著しいリンギングや発振の症状すら現れることがあります。

安定性に加えて、精度も周波数に影響されます。オープンループ・オペアンプ・ゲイン ( $A_{OL}$ ) は低周波数で最も高くなり、DC ゲインと呼ばれることもあります。周波数が増るとともにゲインが減少し、ゲイン誤差が大きくなります。したがって、周波数の変化がそれほど大きくなっても、高精度センサー信号にとっては大き過ぎるゲイン誤差が現われ始めます。

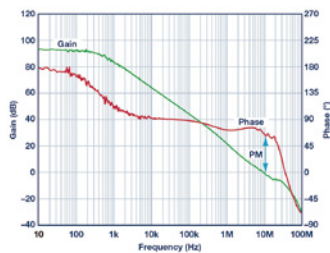


図 1. オープンループ・ゲインと位相の周波数特性

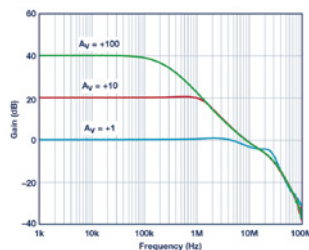


図 2. クロズドループ・ゲインの周波数特性



クロズドループ・ゲインの値は次の式を使って計算できます。ここで、 $\beta$  は帰還率、 $1/\beta$  は理想クロズドループ・ゲイン (例えば図 2 の緑色のラインでは 100 V/V)、そして積  $A\beta$  はループ・ゲインと呼ばれます。

$$A_V = \left( \frac{1}{\beta} \right) \left( \frac{1}{1 + 1/A\beta} \right)$$

周波数の増加とともにループ・ゲインが減少すると、ゲイン誤差が増大します。誤差率 (パーセント) は、次式で計算できます。

$$\text{Error} = 1 - \left( \frac{1}{1 + 1/A\beta} \right) \times 100$$

グラフから、ループ・ゲイン  $A\beta$  は、図 1 (データシートの仕様にも示されています) のオープンループ DC ゲインと、図 2 のクロズドループ・ゲインの差と見なすことができます。例えば、オペアンプの区切りの良い 100 dB のオープンループ・ゲインと、40 dB の理想クロズドループ・ゲインを使うと、ループ・ゲインの値は 60 dB (つまり 1000 V/V) となります。表 1 は、ループ・ゲインを大きくすると誤差が小さくなる (精度が上がる) ことを示しています。

表 1: ループ・ゲインを大きくすると誤差が減少

オープンループ DC ゲイン (dB)	クロズドループ・ゲイン (dB)	ループ・ゲイン (dB)	ループ・ゲイン (V/V)	誤差 (理想値との差%)
100	40	60	1,000	0.1
100	20	80	10,000	0.01

では、帯域幅とループ・ゲインが大きいほど良いのであれば、なぜ GBP が使用信号のゲインや帯域幅より遥かに高いオペアンプを使わないのでしょうか？ 大き過ぎる GBP を避けるべき理由がいくつもあります。オペアンプの広帯域ノイズは、アンプの帯域幅全体で積分されます。必要以上に広いオペアンプ帯域幅を選択するとノイズの量が多くなり、さらにアンプ回路によって増幅されるので、システムの S/N 比が低下します。高速のオペアンプほどシステムの寄生容量の影響を受けやすく、帰還信号に遅れが生じて位相マージンを減少させるので、安定性を損なう恐れがあります。最後に、高速オペアンプはより多くの電力を消費します。これは、高周波数で負荷容量を駆動するために、オペアンプの出力段のアイドル電流を高くしなければならないためです。

最高速のオペアンプを選ぶと、電力や信号品質の面で大変なことになる恐れがあります。低速すぎるオペアンプを選ぶと、精度、安定性などの性能がおざりにされる恐れがあります。アプリケーションに対して、速度、ゲイン、精度、および位相マージンのバランスが適切なオペアンプを見つけることが最良の方法です。

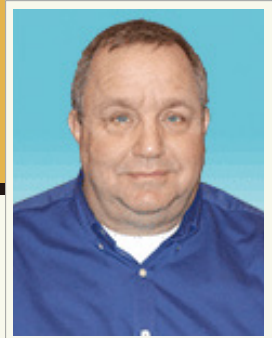
### 参考資料

Castro, Gustavo 「より速く、より高く、より強く」アナログ・ダイアログ RAQ No. 128 アナログ・デバイス

Jung, Walter G *Op Amp Applications Handbook* (オペアンプ・アプリケーション・ハンドブック) アナログ・デバイス 2002 年

チュートリアル MT-033 「電圧帰還型オペアンプのゲインと帯域幅」アナログ・デバイス 2009 年

チュートリアル MT-44 「Op Amp Open-Loop Gain and Open-Loop Gain Nonlinearity」(オペアンプのオープンループ・ゲインとオープンループ・ゲインの非線形性) アナログ・デバイス 2009 年



筆者紹介:

Daniel Burton [daniel.burton@analog.com]: Daniel Burton は、ADI のアプリケーション・エンジニアです。サンノゼ州立大学で学士号を取得した後、センサーや高精度リニア信号パスの分野の業務に携わって来ました。2010年に ADI に入社してからは、高精度アンプやリファレンス電源に注力しています。

その他の RAQ については、

[www.analog.com/jp/raqs](http://www.analog.com/jp/raqs)

をご覧ください。



[www.analog.com/jp](http://www.analog.com/jp)