

ジャンク堂

第1回 ジャンク堂開店。オペアンプ入門(1)

JH3NRV 松尾信一



初めまして。縁があってFB ニュースに記事を書くこととなりました。ジャンク堂というタイトルですが、別にジャンク品を売ろうという内容ではありません。自作派ハムを目指す方や、電子回路工作をやってみようという方に向けて電子回路/電子部品の基本とちょっとしたコツなどの説明を中心とした内容にしたいと考えています。特に目的もないのにジャンク屋(あるいは部品屋)を覗くように拾い読みをして頂ければと思います。

スタートはアナログ電子回路の定番であるオペアンプを取り上げました。FB ニュースでも時々オペアンプを使った製作や回路説明の記事があります。これらの記事に出てくる回路を理解して、できれば自分で応用できるようになれば電子回路製作も一段と楽しくなるのではないのでしょうか? オペアンプを説明すると結構な量となるので何回かに分けて書いて行きたいと思います。一応、オームの法則や回路記号などを理解して頂いている方が対象ですので、よろしくお願いします。

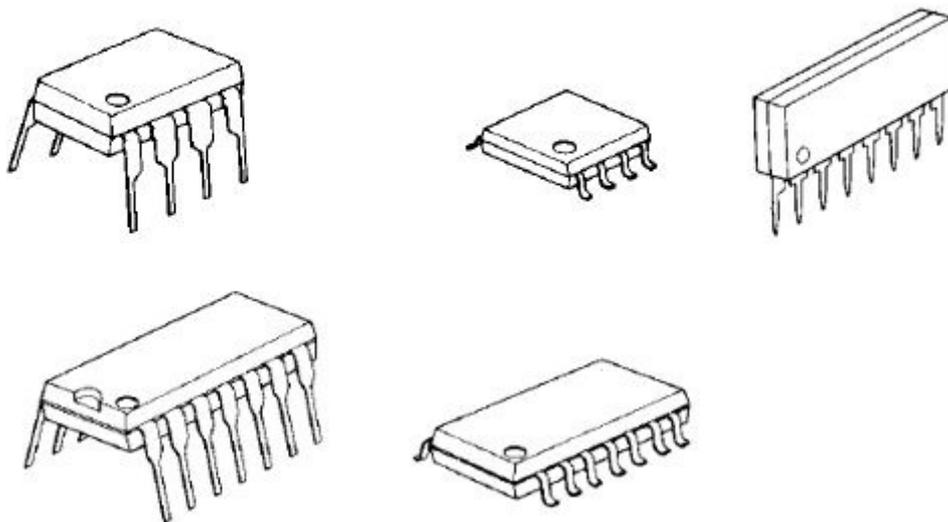
それではジャンク堂、開店です。

オペアンプ入門(1)

オペアンプの効能

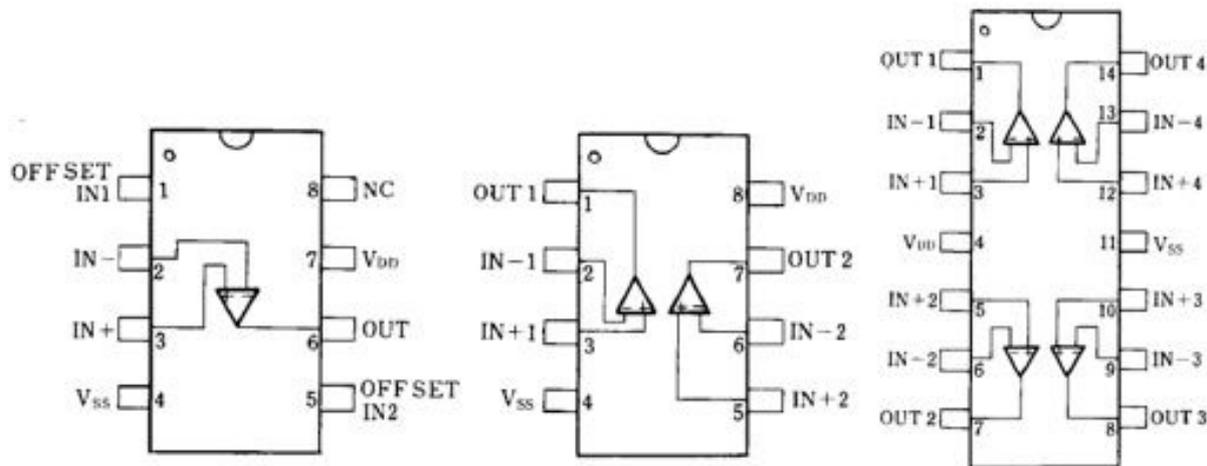
- オペアンプは増幅用 IC です。もっとも日本語では演算増幅器と呼ばれていますので、アナログ的に演算(加算や積分、比較など)を行うために開発されたモノです。オペアンプは 1960 年代に製品化されていますので、IC としては歴史のあるものです。
- オペアンプを使うと、直流からオーディオ周波数(数十 kHz 程度以上まで)の、ほぼ理想的な増幅回路を組む事ができます。従って、高い周波数(高周波)の増幅でない限り、増幅回路を組む場合はオペアンプで組む事が第 1 選択になると思います。
- オペアンプは一般的なモノであれば数十円程度からあります。計測器用の高性能なモノや音質を追求したと言われる高級オーディオ用などは 1 個が数千円もするものもありますが、一般的な使用目的ではせいぜい 2~300 円も出せば十分なものが入手できます。
- 同じパッケージ(形状)のものであれば、多くの場合は品番やメーカーが異なっても足の配列や基本的な特性に互換性があり、差し替えて使える事が多いです。また、品名の数字部分が同じものであれば、メーカーが異なってもコンパチで使えるものがあります。
- 電源回路以外の部品は、最低 3 個の抵抗で増幅器を作る事ができます。
- アンプの増幅度は 2 本の抵抗の比で決まるので、容易に増幅度の計算/設定ができます。
- 増幅器以外にも、フィルターや発振回路、比較器(コンパレータ)など、多くの回路を組む事もできます。

最初に、一般的なオペアンプの形状と端子配列を見てみましょう。下図上段の左は 8 ピン DIP、中央は 8 ピンの面実装で、右端はシングルインライン(SIP)の形状のものです。SIP 形状のものはあまり多くないようです。下段は 14 ピンです。



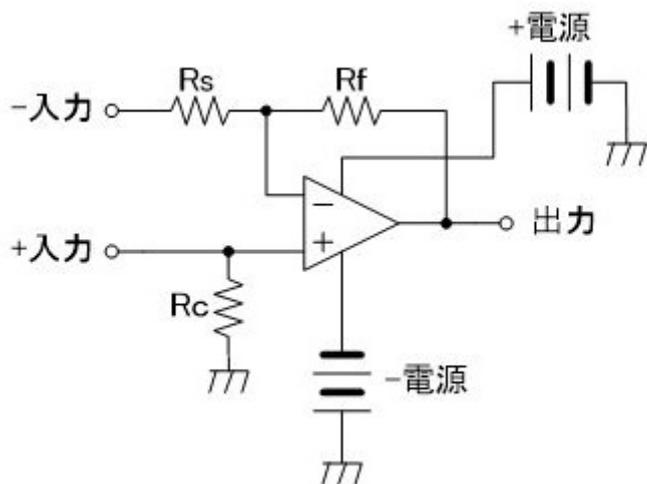
8 ピンパッケージは、一つのパッケージにオペアンプが 1 個、または 2 個入っており、14 ピンは 4 個入ったものが一般的です。中でも 8 ピン 2 個入りが最も一般的で種類も豊富です。

次に、端子の配列です。



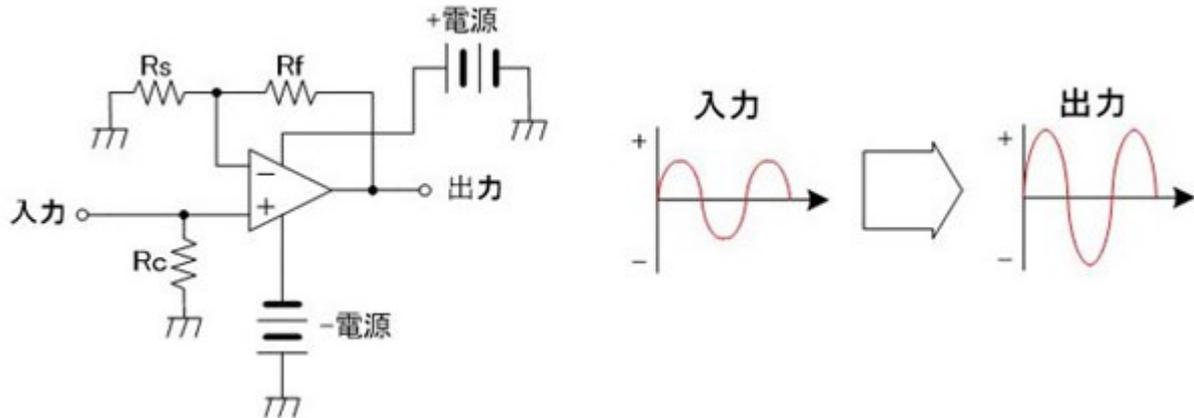
これらの図は、入手しやすい JRC (NJR) 製オペアンプのデータシートから引用していますが、他メーカーの場合も殆ど同じです。従って、DIP 形状のオペアンプを IC ソケットで取り付けるようにしておけば簡単に他のオペアンプと差し替える事ができます。実際はオペアンプの特性を確認する必要がありますが、確認のツボは追々と説明して行きたいと思います。

次にオペアンプの基本的な回路です。



オペアンプにはプラスとマイナスの 2 つの入力端子、1 つの出力端子の合計 3 つの入出力端子があります。それにプラスの電源端子、マイナスの電源端子の合計 5 つの端子があります。アンプ回路は上図のように最低 3 本の抵抗があれば作る事ができます。これだけの部品で直流から数十～数百 kHz 程度まで増幅できるアンプができます。オペアンプにはプラスとマイナスの 2 つの入力端子がありますが、この 2 つの端子の電圧差が入力信号となります。また、オペアンプは本質的にプラスとマイナスの両電源で使用する事が前提となっていますが、後ほど単電源(プラス電源だけ)で使う方法に触れます。まずは、オペアンプの最も一般的なアンプ回路を見て見ましょう。

■ 1. 非反転増幅回路



この回路は非反転増幅器と呼ばれる回路です。マイナスの入力端子をアースに接続し、プラスの入力端子から信号を入力します。非反転の意味は入力がプラスになれば、出力もプラスの電圧が、マイナス電圧が入って来ればマイナスの電圧を出力するためです。つまり、信号の極性が反転しないことから非反転と呼ばれます。

この回路の増幅度 G は R_s と R_f の比で決まり、以下の式で表されます。

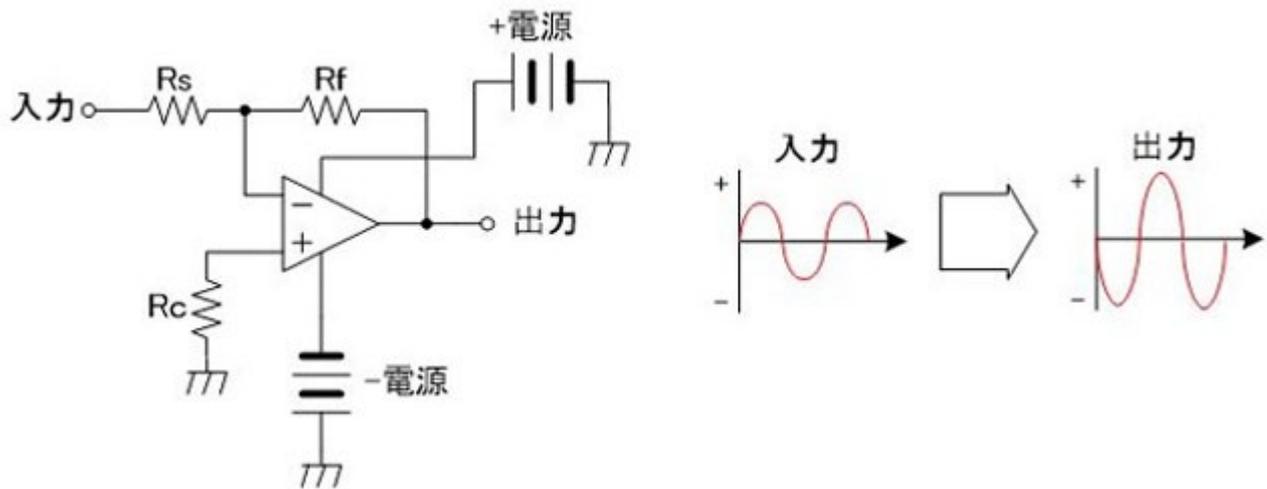
$$G(\text{倍}) = 1 + \frac{R_f}{R_s}$$

R_s と R_f の比に 1 を足せば、増幅度 G が求まります。例えば、 $R_s=2.2\text{k}\Omega$ 、 $R_f=22\text{k}\Omega$ とすると、増幅度は 11 倍(20.8dB)になります。

抵抗の比で決まるという事ですが、抵抗値は何でも良いのか? と思われそうですが、実際に極端な抵抗値(数 Ω や数 $\text{M}\Omega$)などで無ければ、わりと自由に値を選べます。通常は数 $\text{k}\Omega$ ~数百 $\text{k}\Omega$ の範囲であれば問題ないでしょう。1 $\text{k}\Omega$ 以下や 1 $\text{M}\Omega$ に近くなると、少し配慮が必要になります。もし、製作記事で指定している抵抗値が手持ちに無ければ R_s と R_f の比が同じになるような抵抗であれば多くの場合は OK です。

R_c の値は、このアンプの入力インピーダンスになります。この回路のように直流から増幅する回路の場合は抵抗値の設定に少し配慮が必要ですが、この事は少し先で触れたいと思います。

■2. 反転増幅回路



反転増幅器では、プラス入力端子をアースに接続してマイナス入力端子から信号を入力します。回路ではプラス端子は抵抗 R_c を経由してアースに接続していますが抵抗を省略して直接アースに接続する事もあります。反転増幅器の場合、入力がプラスが入ると出力はマイナスに、入力がマイナスになると、出力はプラスが出力され、信号の極性(位相)が反対になります。

この場合の増幅度 G (倍)は以下の通りです。

$$G(\text{倍}) = \frac{R_f}{R_s}$$

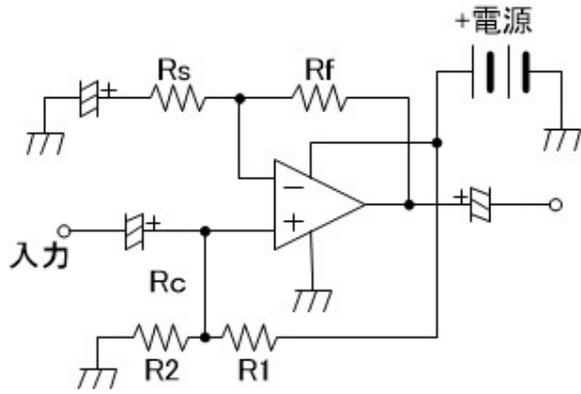
非反転増幅器では、 R_s と R_f の比そのものになります。 $R_s=2.2\text{k}\Omega$ 、 $R_f=22\text{k}\Omega$ とすると、増幅度は 10 倍(20dB)となります。反転アンプの場合、入力インピーダンスは R_s の値になります。反転増幅器と非反転増幅器でゲインが“1”違うという事が少しややこしいようですが、その理由は別途の説明と致します。

またオペアンプの回路の基本である差動増幅器もあるのですが今回は割愛します。いずれ機会があれば触れたいと思います。

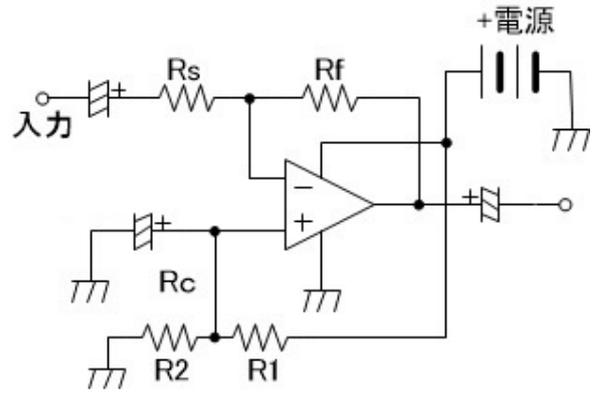
オペアンプを単電源で使う

オペアンプが使い難いとすれば、その最も大きな要因に電源がプラスとマイナスの 2 種類が必要という事です。HiFi オーディオ機器や計測器用のアンプは直流まで増幅する DC アンプで設計する事が多く、そのような場合はプラスとマイナスの電源を使う事は当たり前となります。しかし、直流付近まで増幅する必要がないような一般的なオーディオ用アンプの場合は単電源(プラス電源だけ)の方が圧倒的に扱いやすくなります。この場合、入出力をコンデンサーで直流をカットすることでオペアンプを単電源で使用する事が可能です。

オペアンプを単電源で使用する場合の回路



非反転増幅

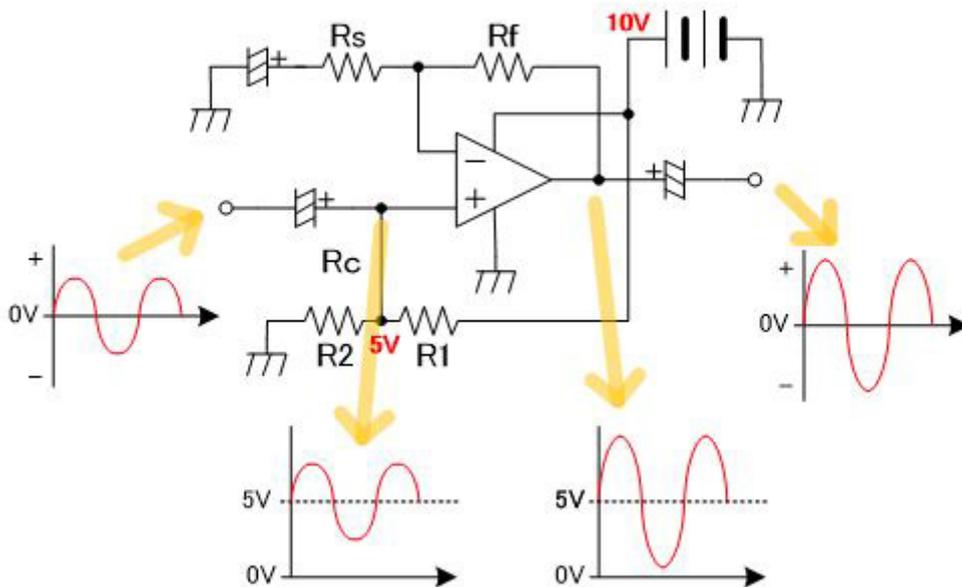


反転増幅

部品が増えてややこしくなった様ですが、プラス/マイナスの両入力端子と出力にコンデンサーが追加されて、プラス端子の抵抗 R_c が 2 本の抵抗 R_1 、 R_2 になっています。

オペアンプを単電源で使うためには電源電圧のおおよそ半分の電圧を仮想のグラウンド(中点)と考えます。仮想のグラウンドとなる電圧はプラス電源から R_1 と R_2 で分圧してプラス入力端子に印可します。例えば、電源電圧が 10V の場合、 R_1 と R_2 を同じ値にすると R_1 と R_2 の接続点は 5V になります。この電圧を仮想のグラウンドとしてプラス端子に加えます。プラス入力端子に 5V を加えると信号入力がない状態ではマイナス端子、出力端子も 5V になります。入力信号があると、この 5V を中心に出力が出ます。

この時の様子を図に示します。0V を中心にプラス/マイナスに変化する交流電圧がオペアンプの端子では 5V を中心に電圧が変化し、最後にコンデンサーを通して 0V を中心に電圧が変化します。



注) 入力と出力のコンデンサーの片側に何も繋がっていませんが、実際は端子とアース間に抵抗が必要です。

これでオペアンプを単電源で動作させる事ができました。

以上で、オペアンプをオーディオアンプ等で使う場合の基本的な回路ができました。ゲイン(増幅度)の設定も抵抗で思いのままです。さて、実際にアンプを設計/製作する場合に、どのようなオペアンプを採用すれば良いのかという事になります。

オペアンプは IC の中でも品種が非常に多くありますが、データシートを見ることで幾つかのキーワードや特徴から分類できます。製作記事などでは使用するオペアンプが指定されていますが、同じものが入手できなかったり、手持ちのものを使いたいといった場合にも最初はキーワードから比較して判断します。以下はオペアンプのデータシートの冒頭に書かれている概要や特徴の例です。

JRC 社の NJM4565 の場合 ■ 概要

NJM4565 は、位相補償回路を内蔵した、2 回路入り汎用オペアンプです。

高性能なオーディオアンプ、アクティブフィルタ、サーボコントロール、ヘッドホンアンプ等の回路構成が実現可能です。

■ 特徴

- 動作電源電圧 (±4~±18V)
- 広利得帯域幅 (10MHz typ.)
- スルーレート (4V/μs typ.)
- バイポーラ構造
- 外形 DIP8, DMP8, EMP8, SSOP8, SIP8

次に、同じく JRC 社の NJU7043 です。

■概要

NJU7043 は、2 回路入りの C-MOS オペアンプで、電源電圧に対してフルスイングの入出力が可能です。

当社従来の C-MOS オペアンプに比べ、高出力電流を特徴とし、C-MOS ならではの低消費電流、低電圧動作、高入力インピーダンスと多くの特徴をもっています。

■特徴

- 動作電源電圧 $V_{DD}=1.8$ to $5.5V$
- 入出力フルスイング
- 高出力電流 $40mA$ typ. (at $V_o=0V$)
- 入力オフセット電圧 $V_{IO}=10mV$ max.
- 広同相入力電圧範囲 V_{SS} to V_{DD}
- 消費電流 $I_{DD}=300\mu A$ typ. (per Amplifier)
- 高入力インピーダンス $1T\Omega$ typ.
- 低バイアス電流 $I_{IB}=1pA$ typ.
- GND センシング可能
- 外形 DIP8, DMP8, EMP8, SSOP8, TVSP8, PCSP20-CC

3 つめは違うメーカーで TI 社の LM358 です。

1 特長

- 広い電源電圧範囲：3V～36V (B バージョン)
- 静止電流：アンプ 1 つあたり 300 μ A (B バージョン、標準値)
- ユニティ・ゲイン帯域幅：1.2MHz (B バージョン)
- 同相入力電圧範囲にグランドが含まれるため、グランド近くの直接検出が可能
- 低い入力オフセット電圧：25 $^{\circ}$ C で 3mV (A および B バージョン、最大値)
- RF および EMI フィルタ内蔵 (B バージョン)
- MIL-PRF-38535 準拠の製品については、特に記述のない限り、すべてのパラメータはテスト済みです。その他のすべての製品については、量産プロセスにすべてのパラメータのテストが含まれているとは限りません。

オペアンプに限りませんが電子部品を採用する時には必ずデータシートを見るようにしましょう。データシートの中には意味が分からない用語や特性もあるかも知れませんが、分かる部分だけでも確認をする事は大切です。今はインターネットで検索すれば殆どの部品のデータシートを見つける事ができます。また自作の場合は DIP タイプを選択してソケットを使って作ると電源を入れる前の配線チェックもやりやすく、IC の差し替えもできるので良いと思います。

それでは、データシートの幾つかのキーワードについて見てみましょう。

①(動作)電源電圧

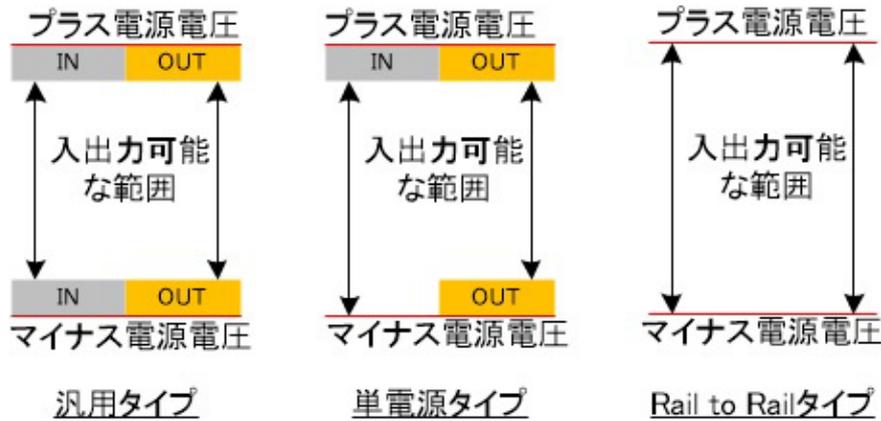
電源電圧範囲のところを見ると、 $\pm xxV \sim \pm xxV$ と書かれている場合と、単に $xxV \sim xxV$ と書かれている場合があります。この次に説明しますが、オペアンプにはプラス電源とマイナス電源が必要な普通のタイプと、単電源タイプがあります。電源電圧範囲のところには \pm で電圧が書かれている場合は通常のオペアンプ(ここでは両電源タイプと呼びます)で、単に xxV と書かれている場合は単電源タイプとなります。NJM4565 の場合、電源電圧範囲のところを見ると $\pm 4 \sim 22V$ と書かれているので両電源タイプです。NJU7043 と LM358 は電源電圧の範囲がプラス側だけなので単電源タイプという事が分かります。両電源と単電源については次に説明します。

②両電源タイプと単電源タイプ

本来、オペアンプは両電源タイプであった事からデータシートに両電源タイプと書かれている事はありません。単電源タイプの場合はデータシートなどの特徴に単電源とか片電源と書かれている事が多いです。しかし先にオペアンプを単電源で使用方法を説明しましたが、そこではオペアンプが単電源タイプか両電源タイプであるのかは触れていません。実は両電源タイプでも単電源で使用する事は可能ですし、単電源タイプでも両電源で使用する事が可能です。しかもどちらのタイプのオペアンプを使用しても回路は同じです。単電源タイプのオペアンプを使うと、回路が簡単になるという事もあります。では、両者で何が違うのか? という点、単電源タイプの場合、オペアンプの入力の電圧がマイナス電源電圧付近(単電源で使った時は 0V 付近)まで使用できるという、特性上の違いになります。ここにオペアンプを使用する場合の重要な注意点があります。

一般的なオペアンプは入力端子も出力端子も電源電圧よりプラス側/マイナス側共におよそ 1V 程度の使用できない範囲が存在します。(下の図)

オペアンプによって使用出来ない範囲がある。



例えば電源電圧が $\pm 10V$ の場合、入力の電圧は $\pm 9V$ 程度までに抑える必要があります。また、出力も $\pm 9V$ 程度までしか出ません。両電源タイプを単電源で使用する場合、電源電圧を $10V$ とすると入力電圧は $1\sim 9V$ 程度まで、出力も $1\sim 9V$ 程度までとなります。単電源タイプは入力の電圧範囲がマイナス側だけ少し広がって、マイナス電源電圧まで使用できるようにしたものです。つまり単電源で使用した場合にグラウンドに近い電圧($0V$)を扱う事ができます。LM358 は特徴に書かれている電源電圧範囲の項目がプラス側だけである事と“同相入力電圧範囲にグラウンドが含まれる…”と書かれている部分から単電源タイプである事が分かります。

なお、出力端子の電圧範囲が両電源電圧近くまで出力可能なものは“低飽和”タイプといったような表現がデータシートで使用されています。

また、入力だけでなく出力の電圧範囲も広げたものは“レールトゥレール(Rail to Rail)”や“フルスイング”タイプと言い、入出力の電圧がほぼ電源電圧まで使用できます。Rail to Rail はプラス電源ラインとマイナス電源ラインを 2 本のレールに見立てた表現です。CMOS 型オペアンプでは多くのものがこの特性、あるいは近い特性のようです。NJU7043 は概要のところに、電源電圧に対してフルスイングの入出力が可能と書かれている事から、Rail to Rail(フルスイング)タイプである事が分かります。(JRC 社のオペアンプの名称はバイポーラが NJMxxx、CMOS は NJUxxx となっています。)

NJM4565 は両電源タイプであるために単電源でも使用可能ですが、その場合は $0V$ 付近の入力電圧に対しては正しく動作しません。入力電圧が $1V$ 程度以上が必要です。また、電源電圧が $\pm 4V$ からとなっていますので、単電源で使用する場合は $8V$ 以上の電源電圧が必要となります。電源タイプだけであれば Rail to Rail \geq 単電源 \geq 両電源 の関係で使用することができます。

さて初回はここまでです。次回に続きます。電源一つをとっても面倒だなと思われた方もいるかも知れませんが慣れてくるとそれほどではありません。それ以外はシンプルだからです。近年は扱いやすい単電源や Rail to Rail のオペアンプも安価に入手できるようになりました。自分の定番のオペアンプを特徴に応じて 3 種類程を持っていれば大抵の回路が組めると思います。