



ANalog 2.0 ドキュメンテーション

Vol. 6

VCO の製作



バージョン: 2.0

作成日: 2009 年 11 月 19 日

目次

1. このドキュメントについて	3
2. VCO モジュールの製作.....	4
2.1. 製作の流れ	4
2.2. 製作するモジュールの概要	4
2.2.1. 機能	4
2.2.2. システム内での位置づけ	5
2.2.3. 仕様	6
2.2.4. 回路	7
2.3. 部品の入手	8
2.3.1. 部品入手時の注意点.....	11
2.4. 基板へ部品を取り付け	13
2.5. パネル部品の取り付け	14
2.6. 基板の配線確認	18
2.7. 動作確認と調整	19

1. このドキュメントについて

このドキュメントは、アナログシンセサイザーシステム Analog2.0 の VCO モジュールの製作方法を解説します。

このドキュメントは、利用者がすでに以下のドキュメントを参考に製作を進めていることを前提に書かれています。

- Analog2.0 スターターキット
- vol.4 ノイズジェネレータとミキサの製作
- vol.5 VCA の製作

2. VCO モジュールの製作

2.1. 製作の流れ

モジュール製作の流れは、毎度同じ以下の手順です。

- 部品の入手
- 基板へ部品を取り付ける
- パネル部品の取り付け
- 基板の配線確認
- 動作確認
- 調整

2.3 以降のセクションで、この製作の流れをステップごとに解説します。

2.2. 製作するモジュールの概要

2.2.1. 機能

この記事では、VCO モジュールを製作します。

VCO(Voltage Controlled Oscillator) は、電圧制御発振器と訳されます。図 2-1 のように、三系統の音信号の出力および二系統の制御電圧 (CV, Control Voltage) の入力を持ちます。各波形は常時出力されています。

波形の周波数 (ピッチ) は、ピッチ制御電圧によって制御されます。周波数と CV の関係は、比例関係ではなく、指数関数になるように設計されています。具体的には、CV が 1V あがるたびにピッチが 1 オクターブ(2 倍)ずつあがってゆきます。

矩形・パルス波の、パルス幅 (デューティサイクル) は、PWM (Pulse Width Modulation) 制御電圧により変化させることができます。

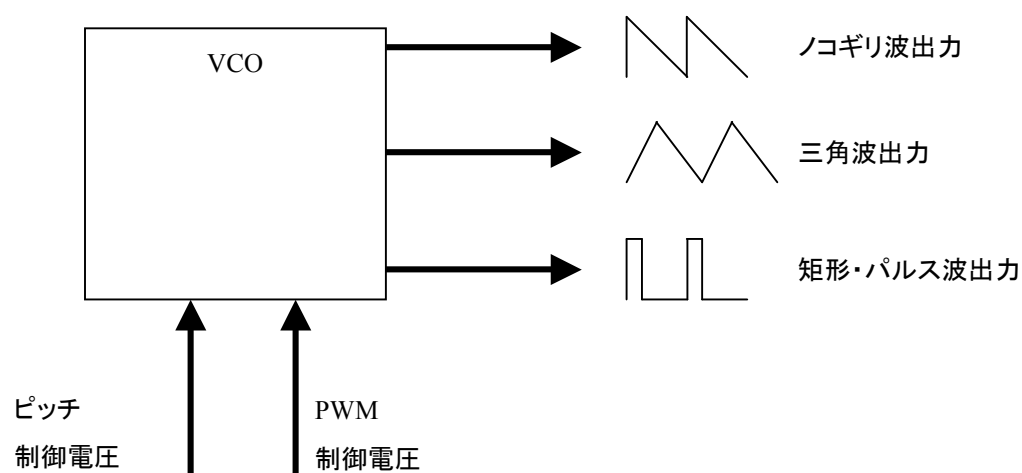


図 2-1 VCO の概念図

2.2.2. システム内での位置づけ

図 2-2 に、Analog2.0 製作システムの構成の中での VCO の位置づけを示します。VCO は、Analog2.0 の最初段に置かれる音源モジュールで、音信号のもととなる波形を出力する役割を担っています。入力端子は持たず、出力をミキサに入れます。制御電圧として、ピッチ CV および LFO からの出力を受け付けます。LFO からのモジュレーション信号は、ピッチの変調に加え、パルス幅変調にも使われます。

VCO と接続する LFO モジュールはまだ製作されていないため、この製作記事では未接続とします。また、音信号の供給先の VCF も製作されていないので、VCF を製作するまでは、動作確認の際にはミキサ出力を VCA に直接接続することになります。

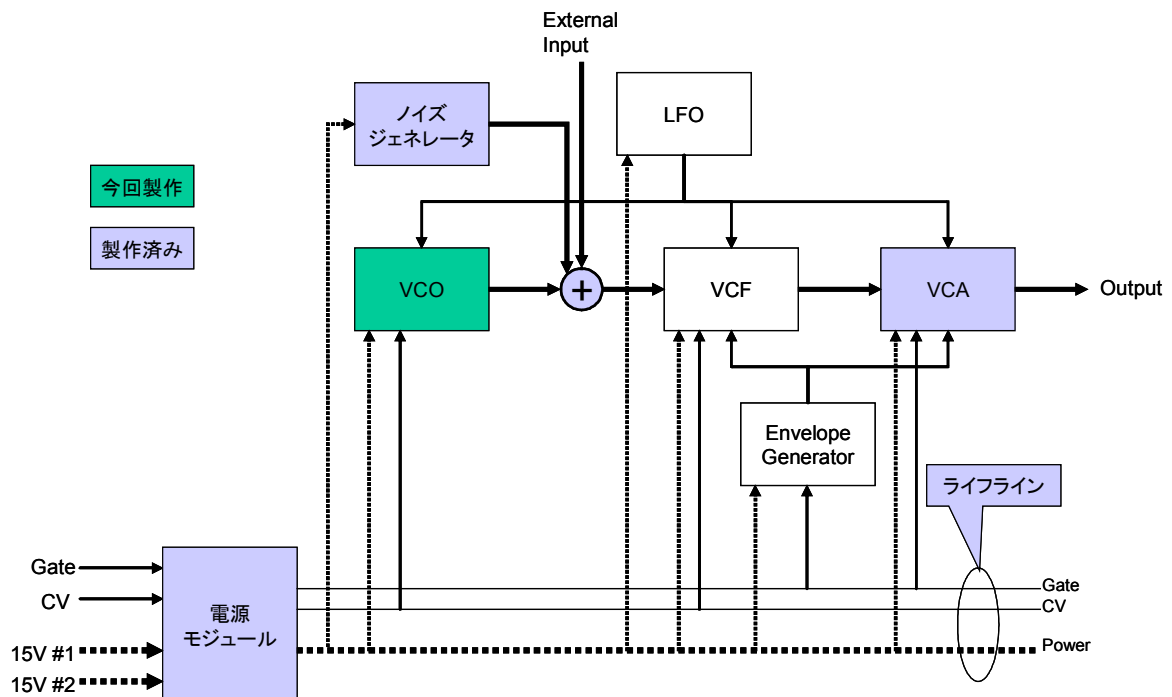


図 2-2 VCO の位置づけ

パネルの中では、VCO は図 2-3 のように位置づけられています。

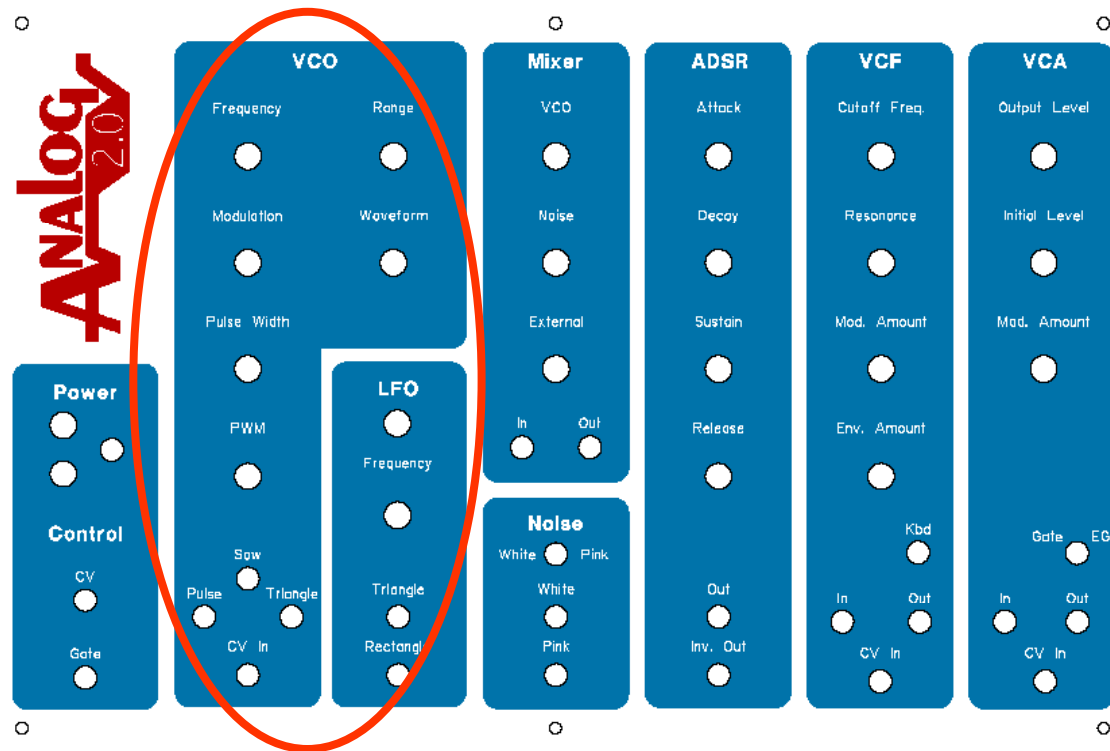


図 2-3 パネル中での位置づけ

2.2.3. 仕様

VCO の仕様は以下のとおりです。

- 出力信号レベル：±5V
- 出力波形：ノコギリ波、三角波、矩形・パルス波
- ピッチ CV レベル：0-10V 0V は C0 に対応する。
- ピッチ/CV：Oct/CV 指数関数
- ピッチ CV 入力系統：
 - LFO / 外部入力
 - イニシャル(固定)
- PWM CV レベル：0-5V
- PWM CV 入力系統：
 - LFO/外部入力
 - イニシャル(固定)

2.2.4. 回路

製作する VCO の回路図は図 2-4 のとおりです。

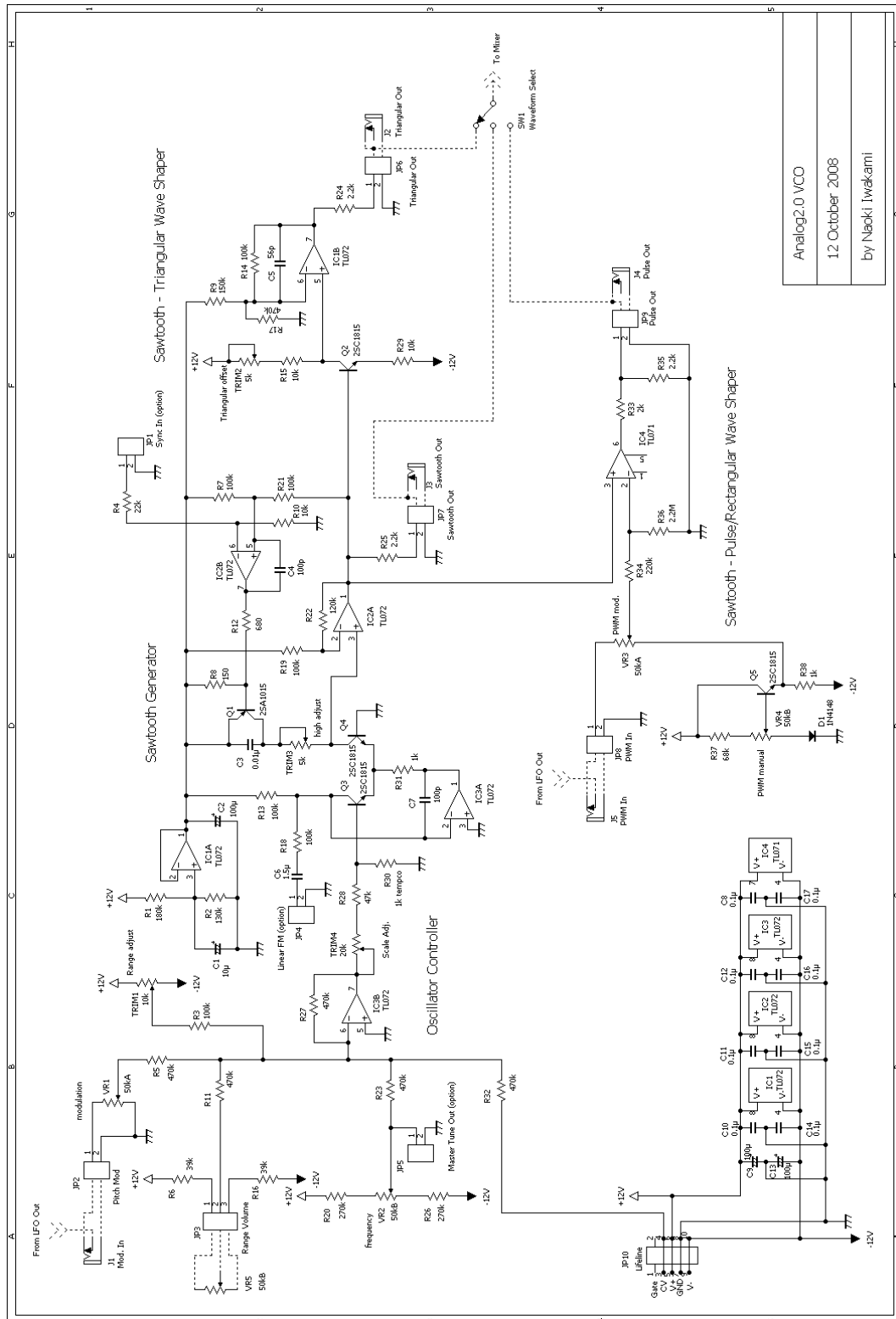


図 2-4 VCO モジュールの回路図

2.3. 部品の入手

それでは、いよいよ製作に入ります。製作に必要なパーツは以下のとおりです。製作にあたっては、まずこれらのパーツを入手してください。このパーツリストには、モジュール回路基板に載せるパーツだけでなく、パネルに取り付けるスイッチやジャックも含まれます。なお、パーツリストには、ツマミが含まれていません。ツマミは、好みに合わせて適宜入手してください。

表 2-1: VCO の製作に必要な部品(基板内)

部品 番号	デバイス名	値/型番	備考
C1	電解コンデンサ	10 μ F	耐圧 25V 以上
C2	電解コンデンサ	100 μ F	耐圧 25V 以上
C3	ポリプロピレンコンデンサ	0.01 μ F	
C4	セラミックコンデンサ	100pF	
C5	セラミックコンデンサ	56pF	
C6	積層セラミックコンデンサ	1.5 μ F	
C7	セラミックコンデンサ	100pF	
C8	積層セラミックコンデンサ	0.1 μ F	
C9	電解コンデンサ	100 μ F	耐圧 25V 以上
C10	積層セラミックコンデンサ	0.1 μ F	
C11	積層セラミックコンデンサ	0.1 μ F	
C12	積層セラミックコンデンサ	0.1 μ F	
C13	電解コンデンサ	100 μ F	耐圧 25V 以上
C14	積層セラミックコンデンサ	0.1 μ F	
C15	積層セラミックコンデンサ	0.1 μ F	
C16	積層セラミックコンデンサ	0.1 μ F	
C17	積層セラミックコンデンサ	0.1 μ F	
D1	ダイオード	1N4148	
IC1	オペアンプ	TL072	
IC2	オペアンプ	TL072	
IC3	オペアンプ	TL072	
IC4	オペアンプ	TL071	
JP1	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x2	Sync In
JP2	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x2	Pitch Mod,

JP3	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x3	Range Volume
JP4	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x2	Linear FM (option)
JP5	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x2	Master Tune Out (option)
JP6	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x2	Triangular Out
JP7	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x2	Sawtooth Out
JP8	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x2	PWM In
JP9	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	1x2	Pulse Out
JP10	ピンヘッダ 2.5mm ピッチ	2x5 L 字型	Lifeline
Q1	トランジスタ	2SA1015	
Q2	トランジスタ	2SC1815	
Q3	トランジスタ	2SC1815	
Q4	トランジスタ	2SC1815	
Q5	トランジスタ	2SC1815	
R1	カーボン抵抗	180k Ω	1/4W 5%
R2	カーボン抵抗	130k Ω	1/4W 5%
R3	カーボン抵抗	100k Ω	1/4W 5%
R4	カーボン抵抗	22k Ω	1/4W 5%
R5	カーボン抵抗	470k Ω	1/4W 5%
R6	カーボン抵抗	39k Ω	1/4W 5%
R7	カーボン抵抗	100k Ω	1/4W 5%
R8	カーボン抵抗	150 Ω	1/4W 5%
R9	カーボン抵抗	150k Ω	1/4W 5%
R10	カーボン抵抗	10k Ω	1/4W 5%
R11	カーボン抵抗	470k Ω	1/4W 5%
R12	カーボン抵抗	680 Ω	1/4W 5%
R13	カーボン抵抗	100k Ω	1/4W 5%
R14	カーボン抵抗	100k Ω	1/4W 5%
R15	カーボン抵抗	10k Ω	1/4W 5%
R16	カーボン抵抗	39k Ω	1/4W 5%
R17	カーボン抵抗	470k Ω	1/4W 5%
R18	カーボン抵抗	100k Ω	1/4W 5%
R19	カーボン抵抗	100k Ω	1/4W 5%
R20	カーボン抵抗	270k Ω	1/4W 5%
R21	カーボン抵抗	100k Ω	1/4W 5%
R22	カーボン抵抗	120k Ω	1/4W 5%

R23	カーボン抵抗	470k Ω	1/4W 5%
R24	カーボン抵抗	2.2k Ω	1/4W 5%
R25	カーボン抵抗	2.2k Ω	1/4W 5%
R26	カーボン抵抗	270k Ω	1/4W 5%
R27	カーボン抵抗	470k Ω	1/4W 5%
R28	カーボン抵抗	47k Ω	1/4W 5%
R29	カーボン抵抗	10k Ω	1/4W 5%
R30	温度補償抵抗	1k Ω	3300ppm/ $^{\circ}\text{C}$
R31	カーボン抵抗	1k Ω	1/4W 5%
R32	カーボン抵抗	470k Ω	1/4W 5%
R33	カーボン抵抗	2k Ω	1/4W 5%
R34	カーボン抵抗	220k Ω	1/4W 5%
R35	カーボン抵抗	2.2k Ω	1/4W 5%
R36	カーボン抵抗	2.2M Ω	1/4W 5%
R37	カーボン抵抗	68k Ω	1/4W 5%
R38	カーボン抵抗	1k Ω	1/4W 5%
TRIM1	半固定抵抗	10k Ω	
TRIM2	半固定抵抗	5k Ω	
TRIM3	半固定抵抗	5k Ω	
TRIM4	半固定抵抗	20k Ω	
VR1	可変抵抗	50k Ω A	
VR2	可変抵抗	50k Ω B	
VR3	可変抵抗	50k Ω A	
VR4	可変抵抗	50k Ω B	

表 2-2: VCO の製作に必要な部品(基板外)

部品 番号	デバイス名	値/型番	備考
VR5	可変抵抗	50k Ω B	
J1	3.5mm ミニジャック		Mod. In
J2	3.5mm ミニジャック		Triangular Out
J3	3.5mm ミニジャック		Sawtooth Out
J4	3.5mm ミニジャック		Pulse Out
J5	3.5mm ミニジャック		PWM In
SW1	トグルスイッチ		Waveform Select

2.3.1. 部品入手時の注意点

部品は極力、秋葉原千石電商で入手できるもので構成されています。部品形状に制約がある場合には千石電商の商品番号がパーツリストに記載されています。参考にしてください。以下の部品については、入手の際に注意が必要です。

温度補償抵抗

今回の製作で、最も特殊な部品は、温度補償抵抗です。通常の抵抗は、温度が上がっても抵抗値はほぼ一定ですが、温度補償抵抗は、温度が 1℃上がるたびに抵抗値が 0.3%増えてゆきます。温度補償抵抗は、アンチログ回路の温度補償に使われ、ピッチの温度に対する安定性に寄与します。この部品を入手するのは、若干困難です。比較的簡単に入手するには、Yahoo!オークションが利用できます(2008 年 6 月現在)。Yahoo!オークションで Synth-DIY のキーワードを検索してみてください。

ポリプロピレンコンデンサ C1 は、VCO の心臓部にあたるパーツで、高い安定性が要求されます。そこで、ここだけ、ポリプロピレンコンデンサを使います。ポリプロピレンコンデンサは、マイラコンデンサと同じプラスチックフィルムコンデンサの仲間ですが、マイラコンデンサよりも温度特性や精度が優れています。このコンデンサは、千石電商では扱っていません。ですが入手難の部品というわけでもありません。秋葉原でしたら、ラジオデパートやマルツパーツ館、鈴商といった店舗で入手できます。

ポテンショメータ

VCO では、調整に精度が必要なため、ポテンショメータという、多回転の半固定抵抗を使っています。通常の半固定抵抗では、抵抗の最小から最大まで一回転ありませんが、ポテンショメータでは、ツマミを複数回まわしてはじめて最小から最大まで到達します。そのため、通常の半固定抵抗よりも、高精度な調整が可能です。今回の製作では、図 2-5 のような、ツマミが横向きのタイプを使います。

ロータリースイッチ

VCO の出力波形は三系統ありますが、ミキサに入れるのはそのうち一つだけです。波形選択には、ロータリースイッチを使います。Alps の青いタイプがお勧めですが、三接点のノンショートタイプのものなら何でもかまいません。ノンショートとは、接点が切り替わるときに、隣の端子とショートするかどうかの区別です。ノンショートはもちろんショートしません。ショートタイプは使わないようにしてください。

3.5mm ミニジャック

3.5mm ミニジャックは、パネルに取り付けるため、「首」の部

分がある程度長くないといけません。千石電商で入手できる 3.5mm ミニジャックはどれも首が短く、Analog2.0 のパネル取り付けには向きません。Analog2.0 製作機では、マルツパーツ館の商品番号 J109 を使っています。秋葉原では、他に鈴商の店頭で扱っているミニジャックに首の長いものが何種類かあります。(2008.04 現在)

オペアンプ TL072

オペアンプは、TL072 が指定されています。他の記事では、NJM4558 等のオペアンプへの交換について触れていますが、ここでは、入力インピーダンスが高い必要のある IC1 については推奨しません。ただし、NJM2082 のような、FET 入力タイプのものでしたら交換可能です。

ピンヘッダ

外部部品との接続箇所にはピンヘッダを使っています。2P のものと 3P のものがあります。2P や 3P のピンヘッダは、入手しにくいし不経済なので、ピン数の多い (例えば 20P など) ピンヘッダを切り詰めて作ってください (図 2-7)。

2x5 ボックスピンヘッダ

できるだけ、リード線が L 字のタイプのものを使ってください。ストレートタイプを使う場合、取り付けの際切り欠きの向きに注意してください。

ツマミ

ツマミは好みの分かれる部品なので、あえてこのドキュメントでは型番を指定していません。好みに合わせて選定してください。製作に使われているボリュームの軸径は 6mm で、これに合うツマミなら使用することができます。参考までに、試作機では、MAV B-15 という品番のものを使っています。

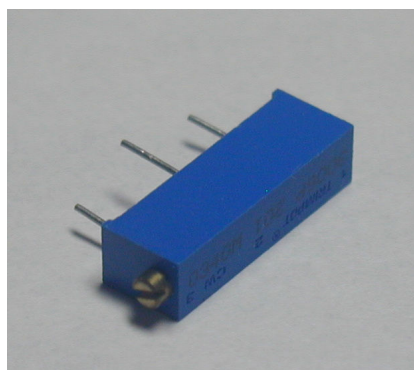


図 2-5 ポテンシオメータ

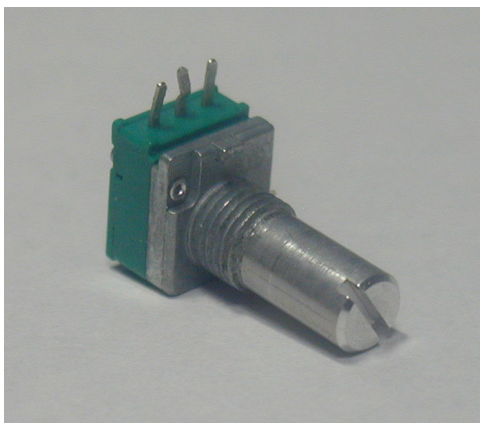


図 2-6 製作に使うボリューム



図 2-7: 2P / 3P ピンヘッダ

2.4. 基板へ部品を取り付け

図 2-8 は、今回製作するプリント基板の配線図です。

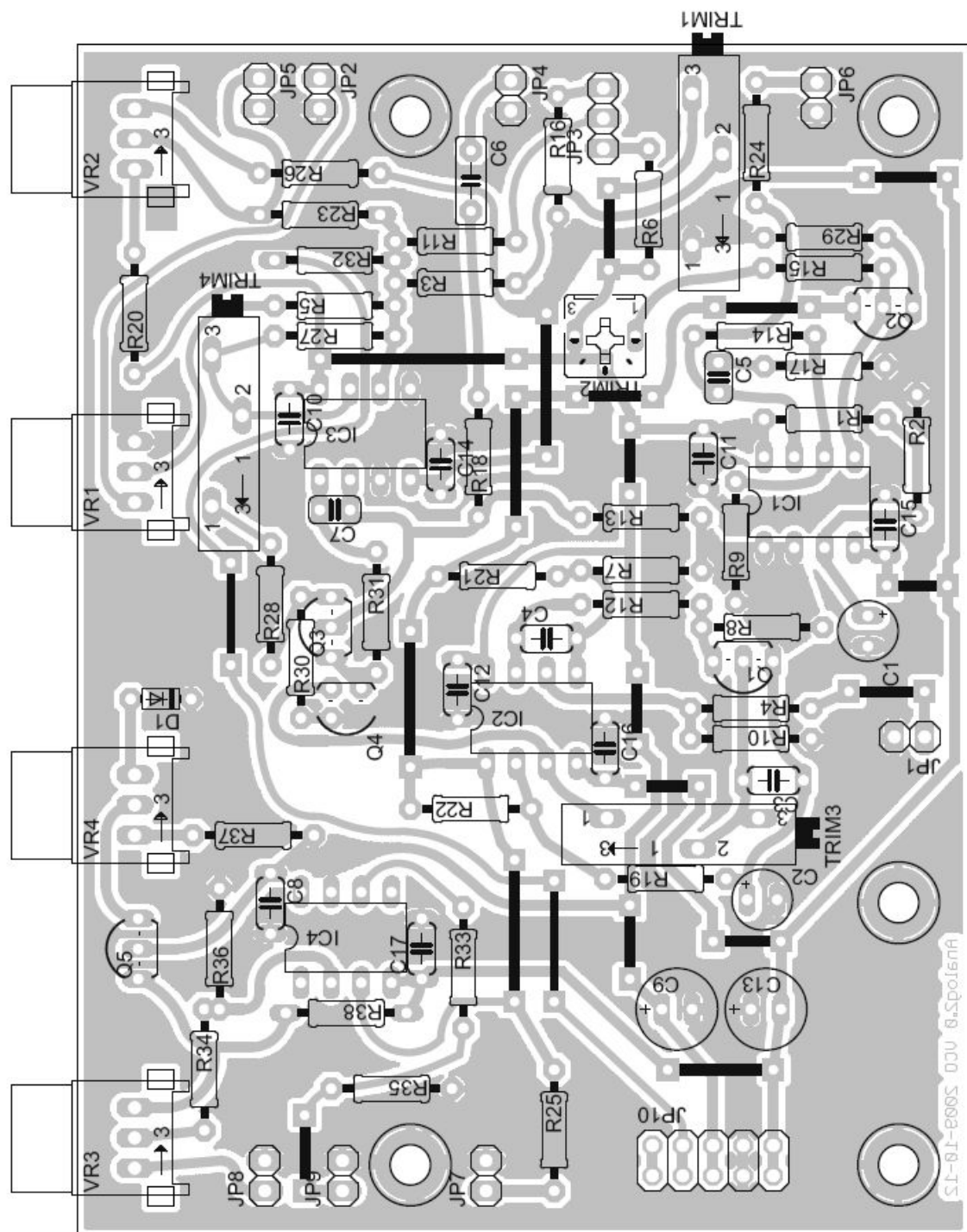


図 2-8 VCO 基板の配線図

2.5. パネル部品の取り付け

基板部品を取り付けたら、パネルに取り付ける部品（基板外の部品）を配線します。

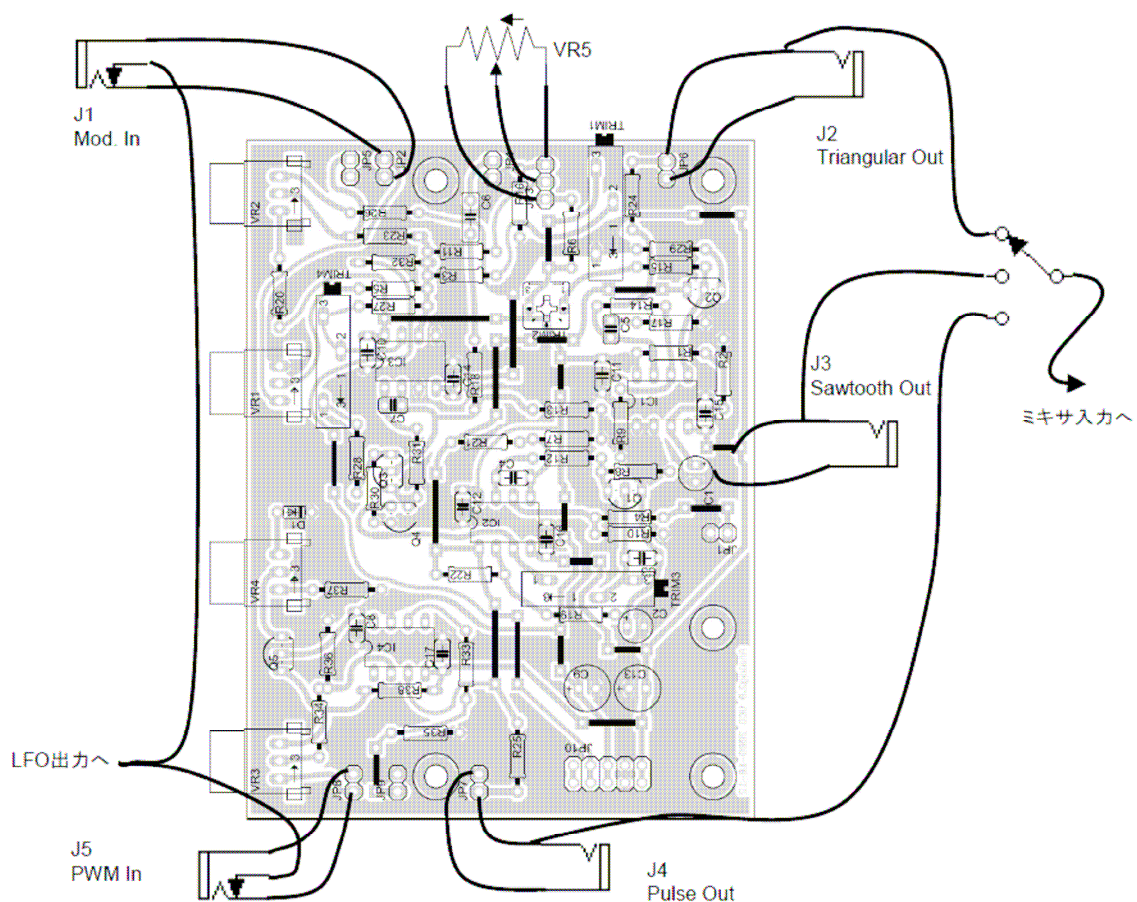


図 2-9 のように、ピンヘッダと、スイッチ・ミニジャックをリード線でつなぎます。ミキサ入力と書かれているところには、ミキサの VCO 入力端子をつなぎます。

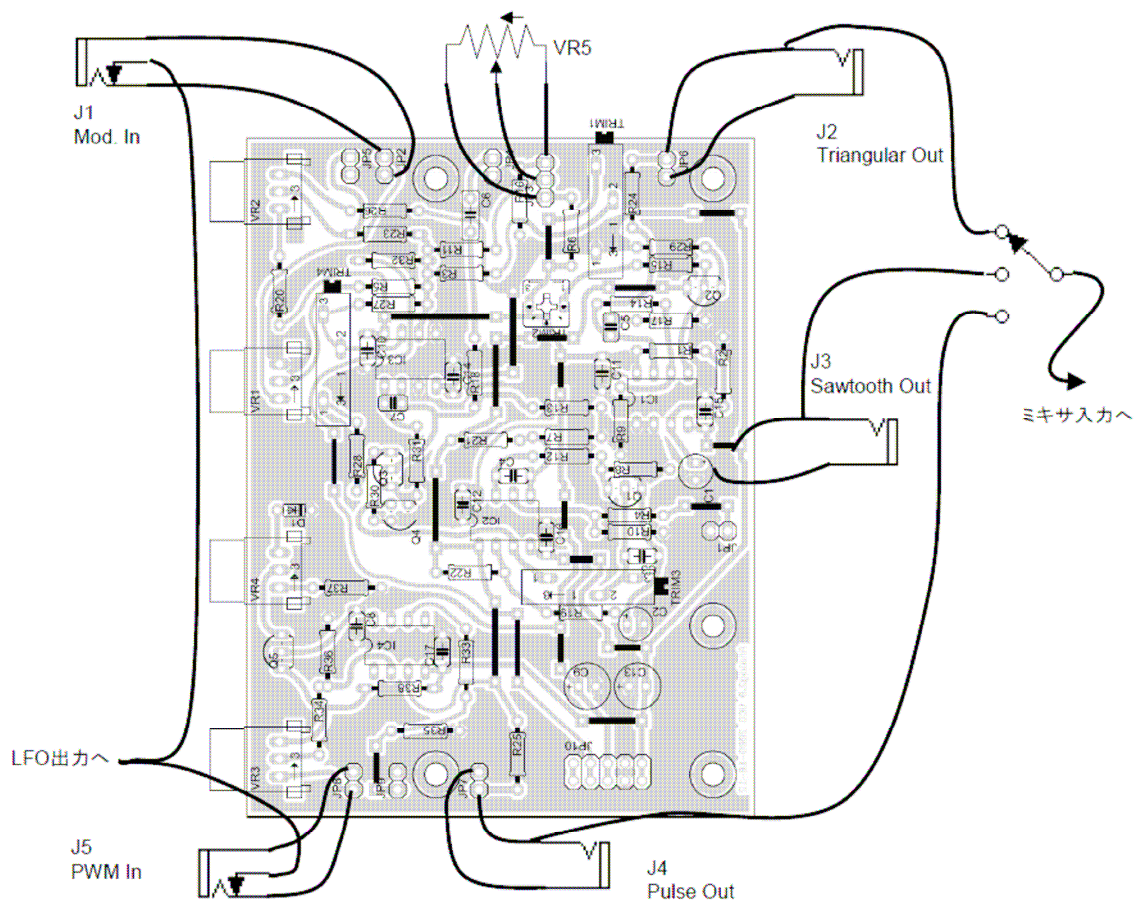


図 2-9 の実体配線図では、接続を見やすくするためにあえて大きくリード線を取り回していますが、実際の配線ではできるだけリード線がコンパクトになるように心がけてください。 図 2-10 の写真は、基板をパネルに実装したところの例です。図 2-11 は、パネルへの実装を表側から見たところです。写真からもわかるように、基板はボリューム軸をナットで締めることによって固定します。

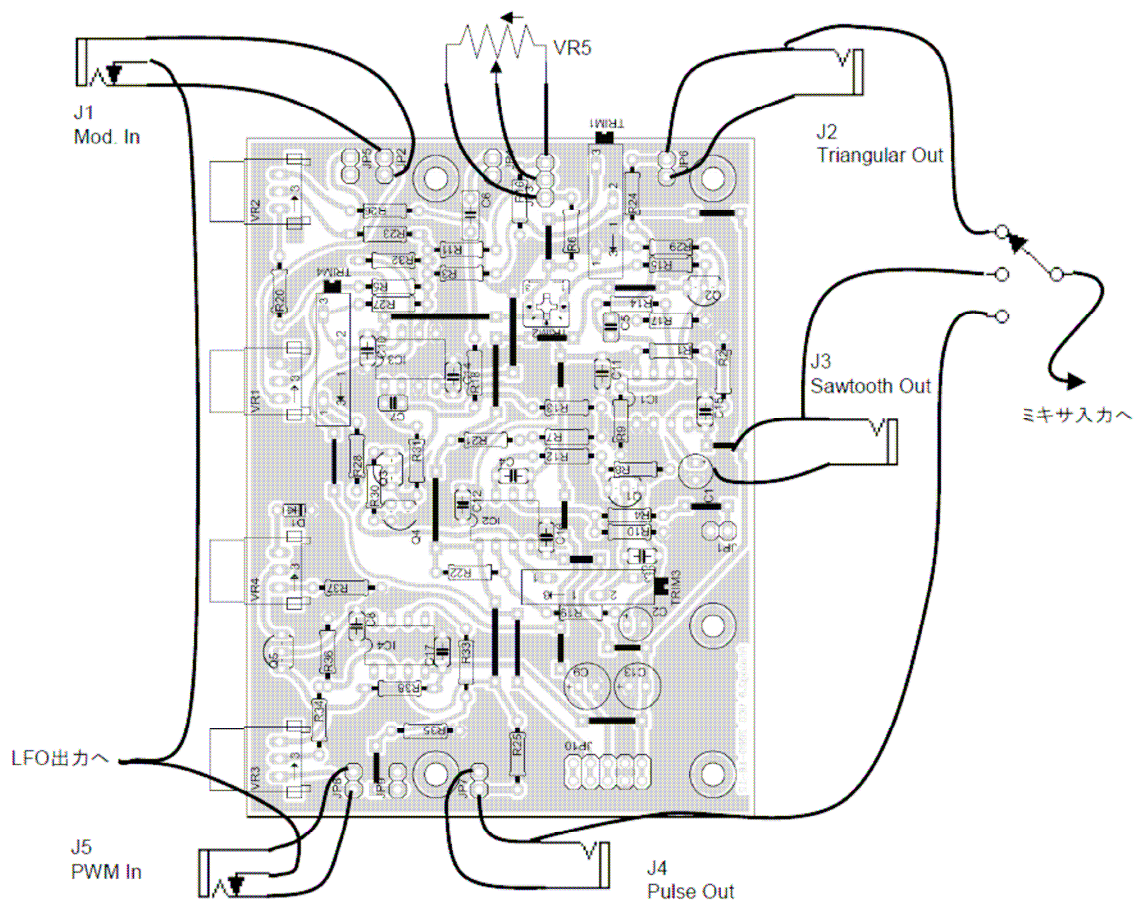


図 2-9 パネル部品の配線

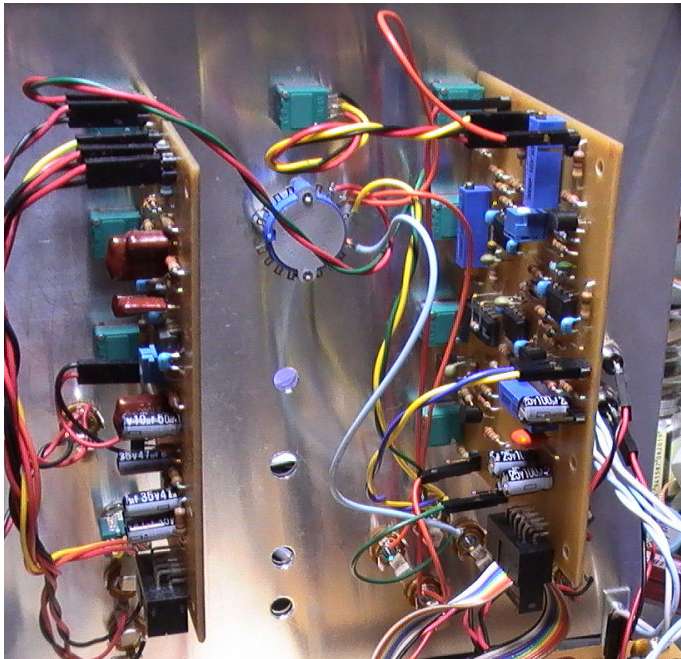


図 2-10 パネルへの実装例（裏側）



図 2-11 パネルへの実装例（表側）

2.6. 基板の配線確認

ここまでで、VCO モジュールの組み立ては完了です。すぐ動かしてみたいところですが、まだ電源投入しないでください。電源投入をする前に必ず配線確認を行います。万一配線間違いがあると、正常に動作しないだけでなく、場合によっては部品を破損してしまいます。以下のチェックリストを見ながら正しく配線されているかどうか確認してください。

- ☐ 抵抗器は正しい場所に正しい値が取り付けられているか？
- ☐ コンデンサは正しい場所に正しい種類が正しい値で取り付けられているか？
- ☐ 電解コンデンサは正しい向きに取り付けられているか？
- ☐ ダイオードは正しい場所に正しい向きで取り付けられているか？
- ☐ トランジスタは正しい場所に正しい向きで取り付けられているか？
- ☐ IC は正しい場所に正しい向きで取り付けられているか？
- ☐ ジャック・ピンヘッダは正しい場所に取り付けられているか？
- ☐ 基板を裏返して、ハンダ付け箇所をチェックする。隣り合った銅箔パタンが、ハン

ダでショートしているハンダブリッジが発生していないか？

- [] ハンダ付けがイモハンダになっている箇所はないか？部品の本体をグラグラ揺らしてハンダ付け箇所のリードが動く場合、ほぼ確実にイモハンダです。イモハンダは時間が経過すると、剥離してしまうので、見つけたらハンダ付けをやり直します。

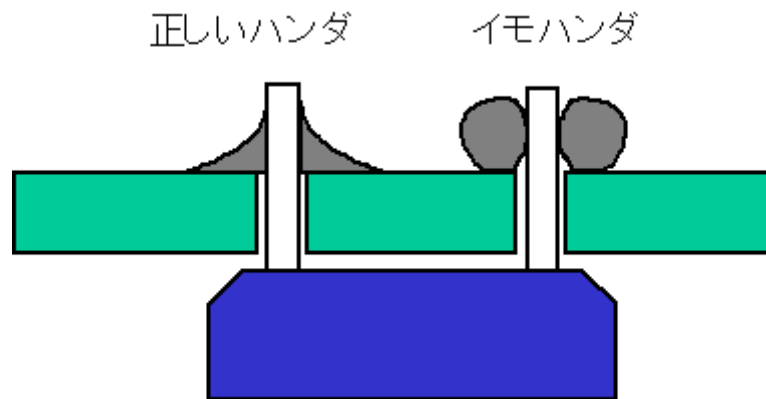


図 2-12 正しいハンダとイモハンダ

2.7. 動作確認と調整

では、いよいよ動作確認です。ついでに調整もしてしましましょう。Analog2.0 の製作の山は、VCO の調整でしょう。VCO では、複数箇所をバランスとりながら調整する必要があり、作業には時間と忍耐力が必要です。しかし、ここを乗り越えてしまえば、製作は楽になります。根気よくやってゆきましょう。

電源を投入する前に、以下の準備をしてください。

1. 今回の調整に必要な以下の道具をそろえてください。
 - **CV 発生器** - このドキュメントでは、MinI-Board を使います。
 - **440Hz 基準音発生器** - CV 発生器に付属の 440Hz 発生機能を使います。また、電子式メトロノームやチューナーについている機能を利用してもかまいません。持続音を出したいので音叉は向きません。
 - **モニタ用スピーカ・アンプ** - ピッチの調整は、実際に音を耳で聞きながら行うので、モニタ用の道具が必要です。
 - **周波数計** - なくても調整できますが、あると心理的に安心かもしれません。デジタルテスタなどに機能が付属しているものがあります。

- オシロスコープ - 専用機、ソフト、どちらでも大丈夫です。

2. 基板がパネルに固定されていることを確認してください。
3. 電源スイッチが切れていることを確認し、電源モジュールからのびているライフラインケーブルの端子を VCO モジュールに接続します。
4. 2 個の AC アダプタを電源の DC ジャックにつなげ、いよいよ電源投入です。

動作確認は、次の手順で行ってください。

1. **Frequency, Range** ボリュームをどちらも中点にセットします。**Modulation, PWM, Pulse Width** は一番左に絞ります。波形選択は、真ん中（ノコギリ波）にセットします。
2. **TRIM1, TRIM2, TRIM4** を真ん中の位置にセットする。多回転のトリマは現在位置がわかりづらいのですが、今回使ったものでは、左に 15 回転した後右に 7 回転すれば大体中点にきます。**TRIM3** は、右に 15 回転回しきっておきます。
3. VCO 出力に直接モニタスピーカをつなぎ、VCO からの発信音が出ていることを確認する。出力は、ノコギリ波、三角波、パルス波の 3 種類があるので、三つとも確認します。
4. **Output** ボリュームを最大、**Initial** ボリュームを最大、ミキサの VCO ボリュームを最大、**Noise** ボリュームを最小にする。
5. VCA 出力にモニタスピーカをつなぎ、VCO からの発振音が出ていることを確認する。

この確認が問題なければ、ひとまずモジュールは動いています。

次に以下の手順で調整を行います。

[ピッチ調整 - スケール・レンジ調整および高域補正]

1. **TRIM1, TRIM2** が真ん中の位置にセットされていることを確認する。左に 15 回転回した後、右に 7 回転回せば真ん中にセットされる。**TRIM3** は、右に回しきっておく。
2. **Output** ボリュームを最大、**Initial** ボリュームを最大、ミキサの全ての VCO ボリュームを最大、それ以外を最小にする。
3. VCO の波形は、矩形波を選ぶ。**PWM・PWM manual** ツマミを最小にする。
4. VCO の **Frequency, Range** ツマミを中点にセットする。
5. CV 発生器をライフラインに接続する。CV 発生器から A3 に相当する電圧を発生する。オクターブボタンを押して 3 に合わせてから A のボタンを押せばよい。

6. 基準発振器の 440Hz を基準にして、または周波数計を使って、TRIM1 を調整し、VCO の発振周波数を 220Hz にする。基準発振器を使う場合には、基準音と VCO の音を両方再生し、うなりを聞きながら、ちょうど 1 オクターブ低い点を探せばよい。
7. CV 発生器を切り替え、A2 に相当する電圧を発生させる。オクターブボタンを押して 2 に合わせ、A のボタンを押せばよい。
8. TRIM4 を調整し、VCO の出力が 110Hz になるように調整する。
9. CV 発生器を切り替え、A5 に相当する電圧を発生させる。
10. TRIM3 を調整し、VCO の出力が 880Hz になるように調整する。
11. A2 → 110Hz, A3 → 220Hz, A5 → 880Hz となるまで、6-9 のステップを繰り返す。
12. CV 発生器から、A6 相当の電圧を発生させる。
13. オシレータの出力が 1760Hz になるように、TRIM3 を調整する。
14. A6 の周波数が 1760Hz になるまで 6-12 を繰り返す。

[三角波オフセット調整]

1. VCO の三角波出力をオシロスコープに接続する。
2. CV 発生器から、A4 相当の電圧を出力させる。
3. 波形を観測しながら、波形が三角波になるように TRIM2 を調整する。

以上で、VCO モジュールの調整は完了です。