

Digital Synth VRA8-U for Arduino Uno

ISGK Instruments <https://risgk.github.io/>

Arduino Uno の限界に挑戦する、Digital Synth VRA8 シリーズ第 8 弾。8 ビット CPU ひとつで音を合成するシンセサイザー（MIDI 音源）です。シリーズの集大成として、単音モードと 4 和音モードの切り替えに対応、コーラスエフェクターを搭載。ソースコードはフリーで、Arduino Uno、抵抗、コンデンサ、オーディオジャックがあれば作れます。自作楽器などに組み込むことも可能です。

主な仕様（v1.0）

- 単音（モノフォニック）シンセ「VRA8-N」（2018 年）と
4 和音（パラフォニック）シンセ「VRA8-Q」（2020 年）を合体させたような仕様
- 制御方法：USB シリアル MIDI（38.4kbps）または MIDI（31.25kbps）
- オーディオ出力：単極 PWM（62.5 kHz、L：ピン D5、R：ピン D11） +
ポスト LPF（2 次 RC 回路、カットオフ周波数：33.9 kHz）
- サンプリング周波数/ビット深度：31.25 kHz/8 bit ●位相分解能：16 bit
- 音域：C0 ~ C8（C4：中央ハ） ●Arduino AVR Boards core 1.8.5 使用を強く推奨

単音（モノフォニック）モード時のシンセサイザー部品構成

- オシレーター x 2 + サブオシレーター + ミキサー
- フィルター ●アンプ + アンプ専用 EG ●LFO ●汎用 EG ●コーラス FX

4 和音（パラフォニック）モード時のシンセサイザー部品構成

- オシレーター x 4 + ゲート x 4 + ミキサー
- フィルター ●アンプ + アンプ専用 EG ●LFO ●汎用 EG ●コーラス FX

展示システム構成

[MIDI Keyboard]	---->	[PC (VRA8-U CTRL)]	---->	[VRA8-U]	---->	[Active Speaker]
		USB MIDI		USB Serial MIDI		Audio

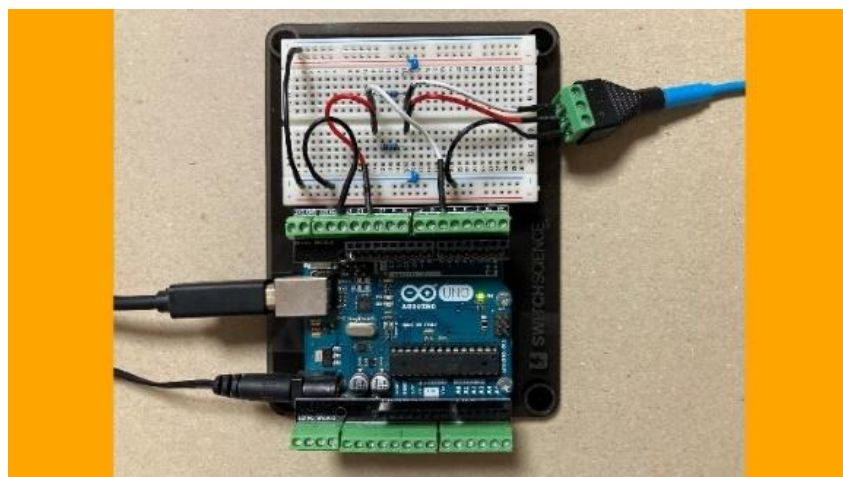
主なパラメーター（MIDI コントロール・チェンジ）（v1.0）

Osc 1 Wave [Saw - Tri Pls Sqr]	Osc 1 Shape \$ [- +]	-	Mixer Sub Osc \$\$
Osc 2 Wave \$ [Saw - Tri Nos Sqr]	Osc 2 Coarse \$ [- +]	Osc 2 Fine \$ [- +]	Mixer Osc Mix \$ [1 2]
Filter Cutoff	Filter Resonance	Filter EG Amt [- +]	Filter Key Track \$ [0.0 0.5 1.0]
EG Attack	EG Decay	EG Sustain	EG Release
EG Osc Amt [- +]	EG Osc Dst [P P2 S1]	Voice Mode [Par Moo Lgt]	Portamento
LFO Wave [T1 T2 Saw SH Sqr]	LFO Rate	LFO Depth	LFO Fade Time
LFO Osc Amt [- +]	LFO Osc Dst [P P2 S1]	LFO Filter Amt [- +]	Amp Level
Amp Attack	Amp Decay	Amp Sustain	Amp Release
Chorus Mode [Off M PS S S2]	Chorus Rate	Chorus Depth	Chorus Delay Time
Pitch Bend Range	-	-	-

\$：パラフォニックモードでは無効

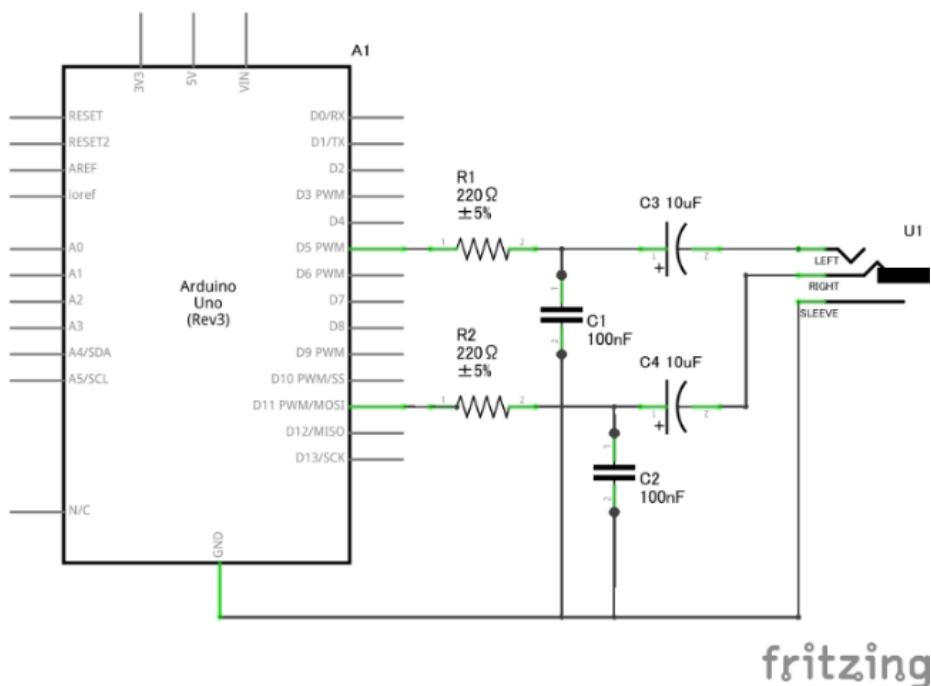
\$\$：パラフォニックモード、またはオシレーター1 波形がパルス波なら無効

工作例



※電解コンデンサを省略

推奨回路図



VRA8 シリーズと「U」への道

作者は、Maker Faire Tokyo 2013 を見学後、2014 年に当時の勤務先で「ものづくり」の部活動に参加したことを契機に Arduino に触れるようになった。過去の DTM 経験や「音楽のまち」浜松市に住んでいることなどからシンセサイザーを作ることに関心し、完成したのが最初の作品「Digital Synth VRA8」である。その後、Web Audio API や Raspberry Pi Pico などの作品を挟みつつも Arduino を用いたシンセサイザー制作を続け、Maker Faire Tokyo などに出展してきた。

今年の 4 月に開催された電子工作者&シンセビルダー同人展示即売会「ピコケット」に、前作の 4 和音シンセ「VRA8-Q」を久しぶりにリアル展示したところなかなか好調で、自分でも「良い音」だと感じた。また、残念ながら、この展示会に来場できない知人の方もいらした。これらを受け、「VRA8-Q」をベースに（「VRA8-N」のように）単音演奏の機能を大幅強化したシンセサイザー「VRA8-U」を開発することに決めた。「U」の由来は、「Monophonic/Paraphonic United Synthesizer」である。（「Uno」にも繋がるし、第 8 弾の「8」も縁起が良い気がする）

「VRA8」シリーズの各作品は別々のコンセプトを持っているが、今作は近年の作品の集大成になっている。しかし、多くの機能を実現するために CPU パワーの課題があり、また、フラッシュメモリも多く使用するので波形テーブルに使用できる容量は「Q」よりも小さくなってしまっている（音質低下の懸念）。

設計ノート

●**ポスト LPF** Raspberry Pi 4 の PWM オーディオ出力回路を参考に、推奨回路を変更。音質（PWM 出力のリップルやノイズの低減）とシンプルさのバランスが取れていると思う。

●**__attribute__((always_inline))** これで、ほぼ全ての関数を強制的にインライン展開して処理を高速化。

●**noInterrupts()** 標準関数用の Timer0 割り込みを含め、全ての割り込みを禁止することで負荷を軽減。

●**テスト、デバッグ機能** DEBUG 版のみ、約 8ms 毎に CPU 使用率を MIDI で送信。CPU 使用率の把握が改善につながる。また、過負荷時に LED を点灯。なお、発音時やパラメータ調整時に一瞬過負荷になる場合があるが、この時の波形の乱れは聴感上問題がないと判断。

●**PC で動くシミュレータ** 音声ファイル（WAV）を出力。細かい確認に便利。

●**avr-objdump -S** 信号処理は全て Arduino 言語（C++）で実装しているが、適宜、逆アセンブルを行ってコンパイル結果を確認。

●**位相分解能 16 bit** CPU パワーの制約により、前々作「VRA8-N」の 24 bit から退化。対応音域でのピッチ誤差はプラス・マイナス十数セントに収まっているのでヨシとしたい。低域ほど誤差が大きい傾向があるが、その「デチューン」感がサウンドの個性に繋がっているかも知れない。

●**オシレーター1 波形がパルス波なら、サブオシレーターは無効** この仕様は、CPU パワーの制約に引っかかったため。PWM に対応するパルス波は、2 個分のオシレーターを使用する。和音モードでは 4 和音演を実現できており、パルス波で 2 個、オシレーター2 で 1 個、サブ・オシレーターで 1 個なのだからパワーは足りる気がするが、そんなに単純ではなかった。条件分岐を使って機能を追加すると、各ケースの合計以上に CPU パワーを使用する。

●**4 和音モード** 一応、4 音「ポリフォニック」シンセサイザーとも言えるが、音色を変化させるデジタル・フィルター（LPF）は 1 個だけなので、「パラフォニック」シンセサイザーと呼ぶほうが正確。

●**コーラスエフェクト搭載** ビブラートをかけた音と元の音を一緒に鳴らすことで、音に厚みや広がりを持たせる効果。RAM をあまり消費しないショートディレイで実現できる。コーラス有効時に「ステレオ」モード固定だった「VRA8-Q」v1（Maker Faire Tokyo 2020 で発表）と異なり、「モノラル」「疑似ステレオ」「ステレオ」「ステレオ 2 相」という 4 つのモードを選択できる。

2022 年 9 月 3 日 ・ 4 日 Maker Faire Tokyo 2022

Digital Synth VRA8-**U** for Arduino Uno

ISGK Instruments <https://risgk.github.io/>

