

超小型衛星簡易受信システムの構築

小池 星多 眞田 正弘

2027年2月打ち上げ予定のTCU-01からの電波を多くの人にも聞いてもらえるよう、アマチュア衛星で使用されている437MHz前後の周波数を使用する人工衛星（以下「人工衛星」という）を受信できる簡易な設備の検討及び実地検証を行った結果、実際に人工衛星の電波（モールス信号）を受信できたシステムを紹介する。

キーワード：超小型衛星, TCU-01, アマチュア無線, SDR, プリアンプ

1. 人工衛星の受信設備

1.1 一般的な人工衛星のための地上局の設備

(1) 無線機

衛星通信に対応した144MHz帯と430MHz帯の送受信ができるメーカー製トランシーバ。東京都市大学横浜キャンパスに設置している地上局（以下「都市大地上局」という）ではアイコム社のIC-9700を使用。衛星からの電波は弱いので、受信用プリアンプを追加している。一般のアマチュア局も同様。



図1.1 ハブ室

(2) アンテナ

衛星からの電波は弱いので、多素子の八木宇田アンテナを使用し、ローテータで方位仰角を制御するが多い。430MHz帯において、都市大地上局では12エレ

メント2パラレル2段を使用。一般のアマチュア局でも430MHz帯では15エレメントシングルなど、5エレメントシングルでも低軌道衛星においては、送受信の実績あり。



図1.2 都市大アンテナ

(3) パソコン

衛星の周波数に無線機を合わせたり、方位仰角にアンテナを合わせたりするために必須。都市大地上局では必要なソフトウェアをインストールしたRaspberry Pi4を使用。一般のアマチュア局では、必要なソフトウェアをインストールしたWindows系又はLinux系のパソコンを使用。

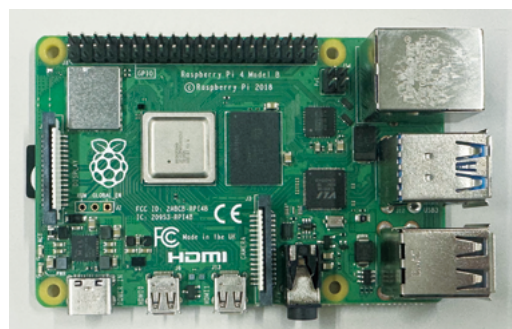


図1.3 Raspberry Pi4

KOIKE Seita

東京都市大学メディア情報学部社会メディア学科 教授

SANADA Masahiro

アマチュア無線家 (J1IIZR), 日本アマチュア衛星通信協会 (JAMSAT) 会員

1.2 一般的な設備の問題点

(1) 無線機

IC-9700等のアマチュア無線機は送信できる機能があるため、使用するにはアマチュア無線の従事者及び無線局の免許が必要である。人工衛星に対応した機種は限られており、比較的高価である。アマチュア無線以外には使用することはほとんどない。受信するだけであれば、オーバースペックである。

(2) アンテナ

アマチュア無線以外には使用することはほとんどない。大きなアンテナは方位仰角を制御する仕組みも含めて設置場所の問題がある。

(3) パソコン

パソコンはRaspberry Pi4程度の性能があれば十分であるが、無線機及びアンテナのシステム専用にしておく必要がある。

1.3 問題点の解決方法

(1) 無線機

パソコンに挿してワンセグが受信できるようになるワンセグ・テレビ・チューナーを使用し、ソフトウェアで制御して広い周波数範囲の電波が受信できるようになる「ソフトウェアラジオ」が、この数年の間に比較的容易に入手できるようになり、対応するソフトウェアも充実してきた。アマチュア無線家の中でも、受信にはソフトウェアラジオを利用している者も多くなっている。このソフトウェアラジオ（以下「SDR」という）を利用すれば、比較的安価に受信機を用意できる。

なお、SDRのみでもモールス信号は受信できるが、衛星からの弱い電波に対しての受信能力が不十分であるため、プリアンプを追加する。

(2) アンテナ

インターネットで比較的安価に入手できる3エレメント八木宇田アンテナを使用できる。八木宇田アンテナの場合は、手持ちしたアンテナをパソコンのソフトウェアに表示される衛星の方向に向ける必要がある。

あるいは、太さ2mmのアルミ棒を加工して角材に取り付けたアンテナ「モクソン・シングル・アンテナ」が安価に製作できるので、これを使用する方法もある。このアンテナの場合は指向性が八木宇田アンテナほど鋭くないので、衛星の仰角が最も高くなる方位仰角に向けるか、あるいは真上に向けるかして固定しておいても、モールス信号の受信は可能である。

(3) パソコン

普段使用しているパソコンに必要なソフトウェアを3つインストールし、必要な時にSDR等を接続してソフトウェアを起動すれば、人工衛星受信システムとなる。

2. SDR 及びプリアンプ

2.1 RTL-SDR

ネットショップで入手可能であるが、安価なものは模倣品で性能が良くないものもあるので、入手には留意する必要がある。受信範囲は100kHzから1.7GHzまでとなっている。図2.1はV.3であるが、現在はV.4, V.5が出ている。



図2.1 RTL-SDR

2.2 プリアンプ

30年以上前に発表されていたGaAs素子を使用してスプリット・ラインでコイルを構成したプリアンプ^[1]を参考にし、現在秋葉原の部品店で入手できる部品に置き換えて基板を設計し直し、単三電池2本で動作する中心周波数437MHzのプリアンプを製作した。

製作にあたり、KiCADでプリントパターンを作成し、基板を外注した。

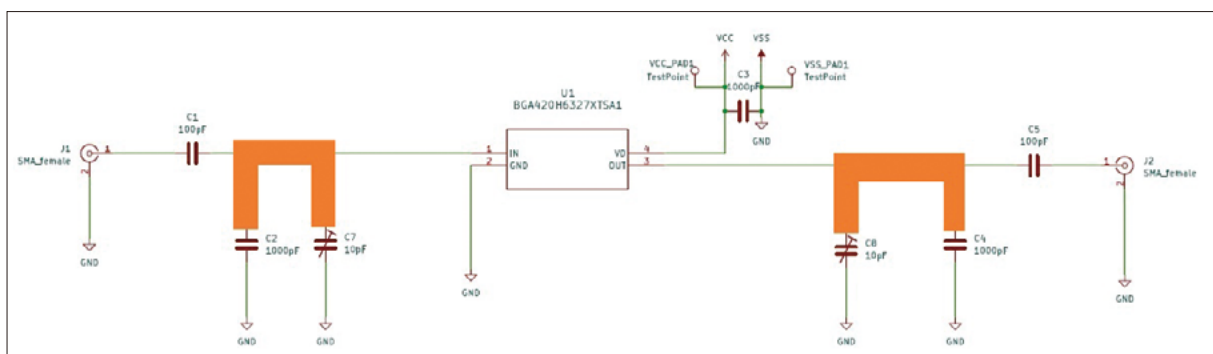


図2.2 プリアンプ回路図

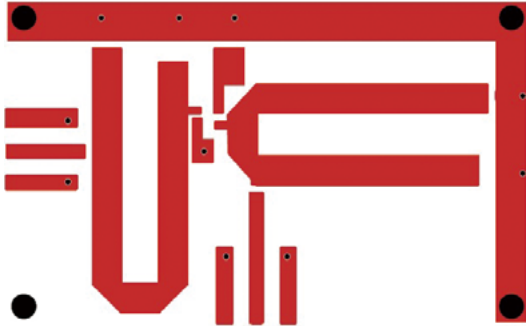


図2.3 プリアンプパターン

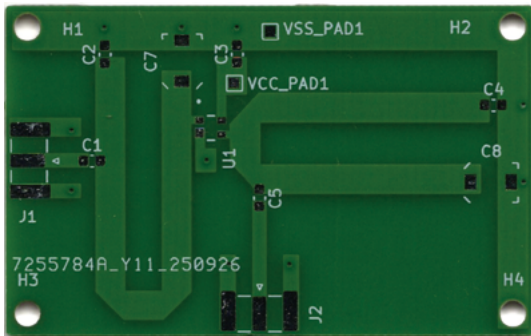


図2.4 プリント基板

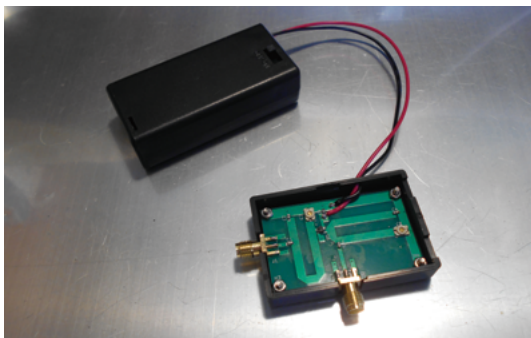


図2.5 プリアンプ写真

プリンプ作成後には LiteVNA で測定しながら、437MHz において入力側は SWR 最小，出力側の増幅率が最大となるようトリマーコンデンサを調整した。

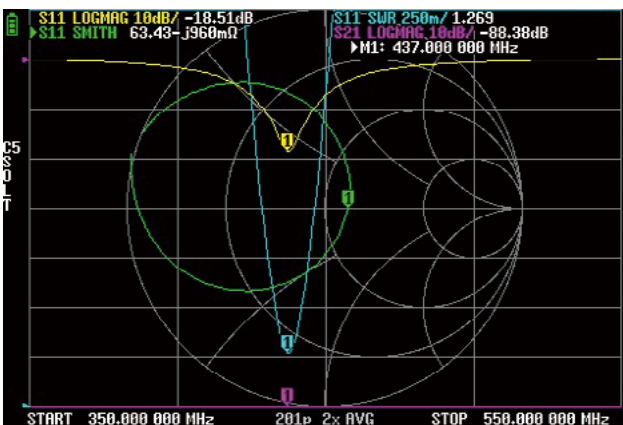


図2.6 入力側測定

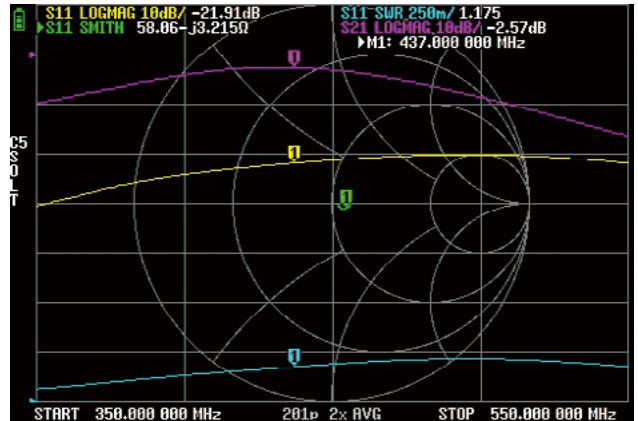


図2.7 出力側測定

3. アンテナ

衛星受信に利用できるよう，なるべく利得があり，かつ，指向性が広範囲であるアンテナをインターネットで探したところ，「モクソン・アンテナ」という2エレメント八木宇田アンテナを変形させたような形のアンテナとその設計ができるウェブサイトを見つけた [2]。

エレメントをホームセンターで入手可能な太さ2mmのアルミ棒で構成することとし，上記ウェブサイトで計算した値を基に製作した。エレメントを固定するブームには，20mmの角材を使用した。LiteVNAで測定したところ，SWR1.57と実用となる性能であった。

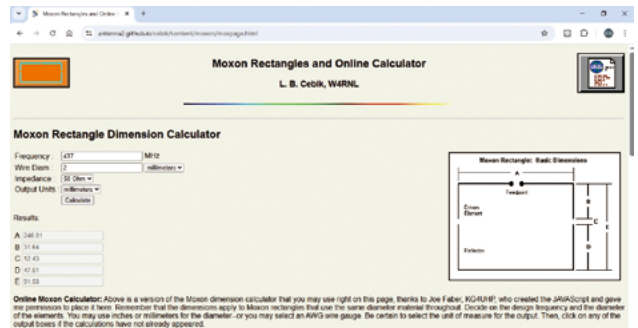


図3.1 モクソン・アンテナ計算



図3.2 モクソン・シングル・アンテナ

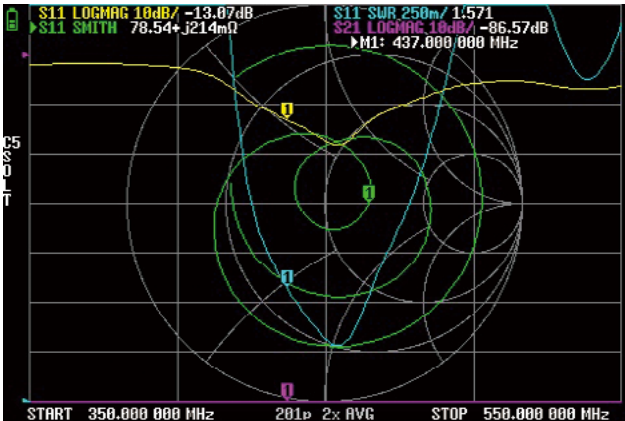


図 3.3 モクソン・シングル・アンテナ測定

固定設置も出来るようブームを25mmの水道管に代えて改良版として製作したところ、LiteVNAで測定したSWRがほぼ1.0となり、性能が向上した。



図 3.4 モクソン・シングル・アンテナ改良版

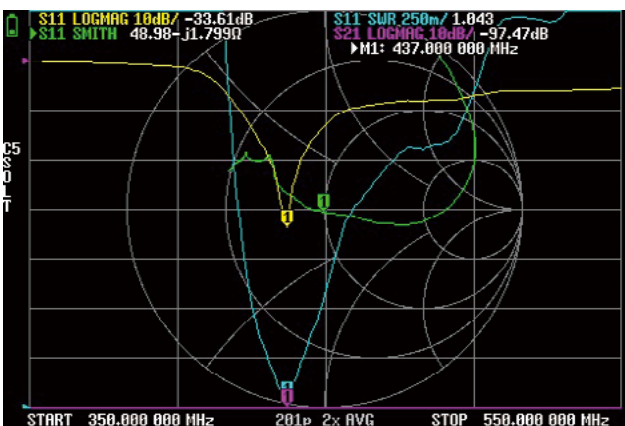


図 3.5 モクソン・シングル・アンテナ改良版測定

2025年9月横浜祭の2日間において、SDRとプリアンプにモクソン・シングル・アンテナの組み合わせで、現在運用されているCubeSatのいくつかを実際に受信できた。

上記アンテナの製作には技術がある程度必要となるため、市販の3エレ八木宇田アンテナの利用も検討した。

ネット通販で購入したままでは図3.6のようにショートスタブが外側に移動した状態であり、図3.7のようにSWRが極小となる周波数が478MHzとなるため、アマチュア衛星が使用する437MHzでの特性が良くなかった。



図 3.6 八木宇田アンテナ調整前

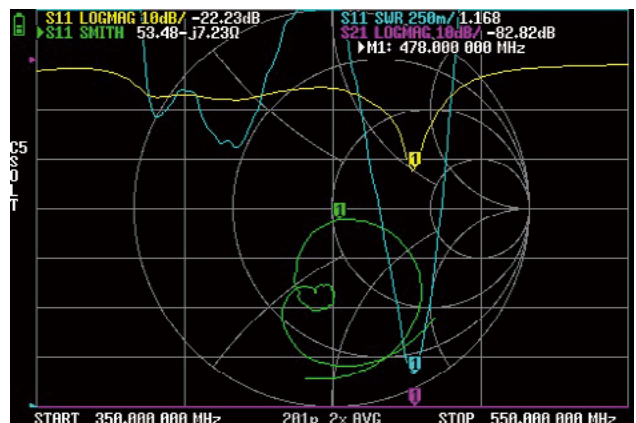


図 3.7 八木宇田アンテナ調整前測定

そこで、ショートスタブの位置を図3.8のように内側へ移動し、図3.9のように437MHzにおけるSWRが下がるよう調整した。



図 3.8 八木宇田アンテナ調整後

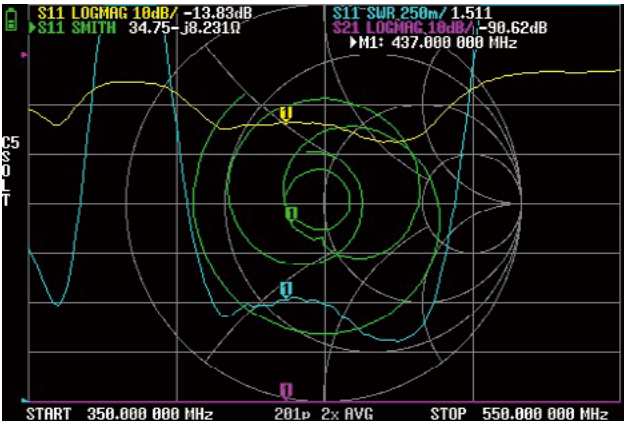


図3.9 八木宇田アンテナ調整後測定

2025年12月に実施した衛星受信ワークショップでは、SDRとプリアンプに3エレ八木宇田アンテナの組み合わせで、現在運用されているCubeSatのいくつかを実際に受信できた。

4. パソコンソフトウェア

4.1 インストールするソフトウェア

簡易衛星受信システムには、ウィンドウズパソコンに次の3つのソフトウェアをインストールして使用する。

- (1) RTL-SDR用デバイスドライバ
- (2) Gqrx
- (3) Gpredict

4.2 RTL-SDR用デバイスドライバ

ウェブサイト (<https://zadig.akeo.ie/>) からダウンロードしたZadigというアプリケーションを使用して、インストールする。

- (1) USBに接続されている機器がある場合は、すべて取り外す。
- (2) ダウンロードした実行ファイルをダブルクリックして起動すると図4.1のようなウィンドウが表示される。USB機器が接続されていなければ、一番上のボックスには何も表示されないはずである。

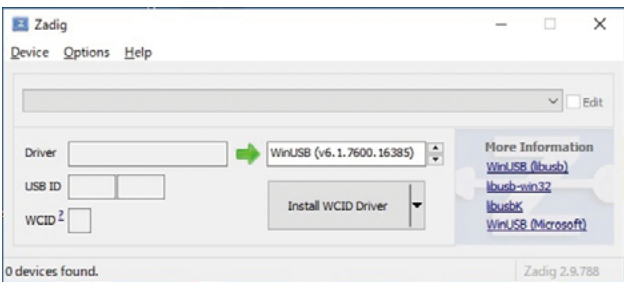


図4.1 Zadig起動

- (3) RTL-SDRを接続すると、図4.2のように一番上のボックスにデバイスが表示される。

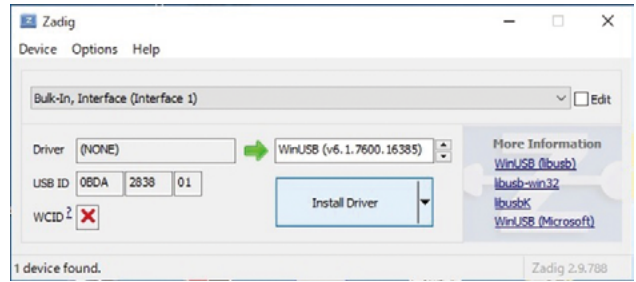


図4.2 Zadigによるインストール

- (4) 「Install Driver」をクリックしてデバイスドライバをインストールする。

4.3 Gqrxのインストール

- (1) <https://github.com/gqrx-sdr/gqrx/releases> にアクセスして、Gqrx-2.17.7-Windows.zip (2025.10.31現在の最新版、さらに新しいものがあれば、それらを選択する。) をダウンロードする。

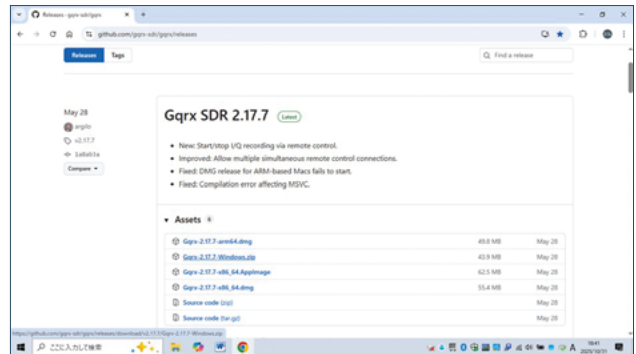


図4.3 Gqrxダウンロードサイト

- (2) ダウンロードしたファイル (zipファイル) を展開し、展開されたフォルダごとと適宜のフォルダに移動し、フォルダ内の「gqrx.exe」についてデスクトップにショートカットを作成する。

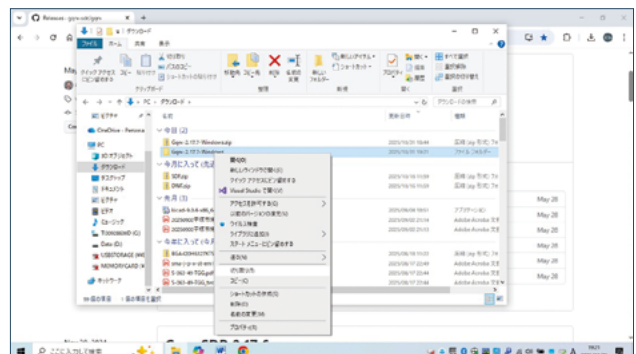


図4.4 Gqrxショートカット作成

4.4 Gpredictのインストール

- (1) <https://sourceforge.net/projects/gpredict/files/Gpredict/2.3.37/> にアクセスして、gpredict-

win32-2.3.37-Windows.zip (2025.10.31 現在の最新版。さらに新しいものがあれば、そちらを選択する。) をダウンロードする。

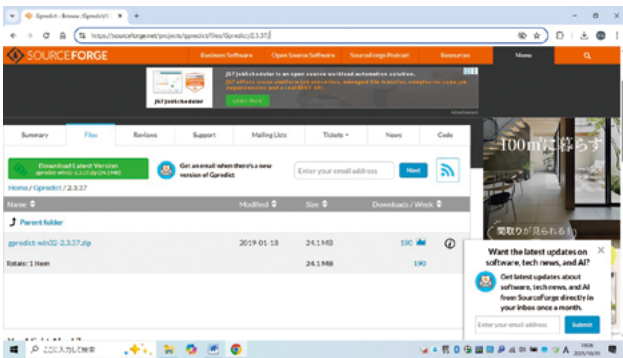


図4.5 Gpredictダウンロードサイト

(2) Gqrx同様にダウンロードしたファイル (zip ファイル) を展開し、展開されたフォルダごと適宜のフォルダに移動し、フォルダ内の「gpredict.exe」についてデスクトップにショートカットを作成する。

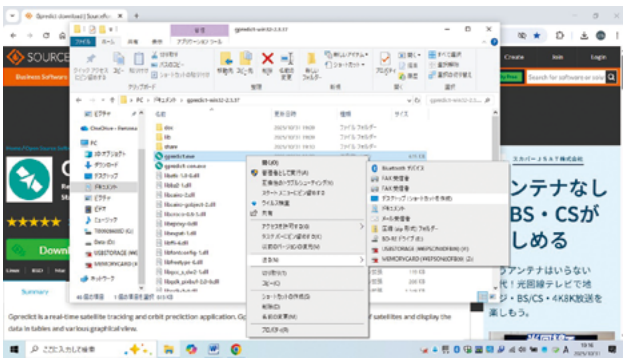


図4.6 Gpredictショートカット作成

4.5 Gqrx の設定

- (1) RTL-SDRをUSBに接続する。
- (2) 上記4.3 (2) で作成したショートカットをダブルクリックしてGqrxを起動する。
- (3) 初回起動時にデバイス選択画面が表示されるので、リストから「RTL2838」が含まれるもの (RTL-SDR.COM V3の場合) を選択して「OK」をクリックする。

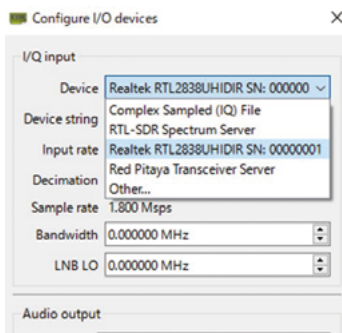


図4.7 デバイス選択画面

(4) オフセット周波数 (画面右側のMHzの前の数字) をゼロに設定後、受信周波数 (画面の左上の大きな数字) の上下をクリックして受信周波数を設定し、周波数表示の左上にある右向き三角印をクリックすると、受信を開始する。オフセット周波数の下の「Filter Width」以下の設定は受信する対象により選択することとなるが、ここではモルス信号の受信のため「Wide」「Soft」「CW-L」を選択する。受信に慣れてきたらフィルターを他の状態に設定すると雑音を少なくすることができるが、周波数が少しずれると受信できなくなるので、留意する。画面右下の「Rec」ボタンをクリックすると、受信音をwavファイルとして録音できる。録音ファイルの保存先は、ユーザー名のフォルダ内である。

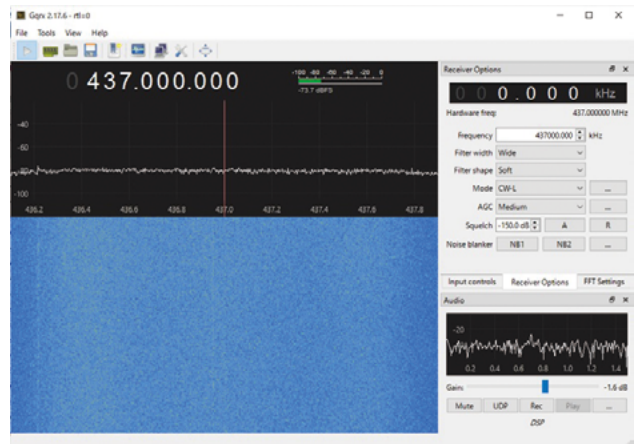


図4.8 Gqrx画面

(5) 画面左上の右から2番目のボタン「Configure remote control settings」をクリックし、Gpredictとの連携のための設定が図4.9のようになっていることを確認する。右から3番目の「Remote control via TCP」をクリックすると、後に説明するGpredictからの周波数制御が可能となる。このときにウイルス対策ソフトによりインターネット接続のアラートが表示される場合は「許可」する。

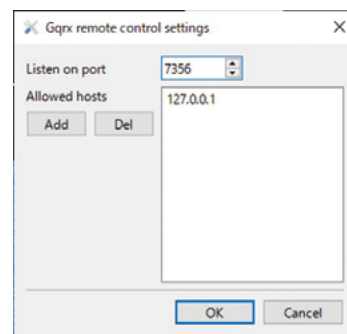


図4.9 連携設定

4.6 Gpredict の設定

- (1) 上記4.4 (2) で作成したショートカットをダブルクリックしてGpredictを起動する。
- (2) 初期設定のため「Edit」「Preference」を選択し、日本時間表示とするために「Number Formats」タブの「Show local time instead of UTC」にチェックマークを入れてから、「Ground Stations」タブを選択して「Add new」をクリックし、表示されるウィンドウに、受信位置の情報を図4.10（東京都市大学横浜キャンパスの場合）のように入力する。入力完了後追加した受信位置の「Default」にチェックマークを入れる。

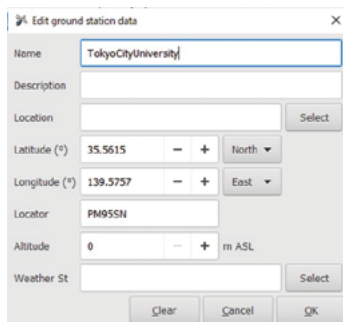


図4.10 受信位置の設定

- (3) TLE（衛星軌道要素）のインターネット上の取得先を設定するため、「TLE Update」タブを選択し、「<https://www.celestrak.com/NORAD/elements/satnogs.txt>」と「<https://www.celestrak.org/NORAD/elements/gp.php?GROUP=last-30-days&FORMAT=tle>」を追加する。

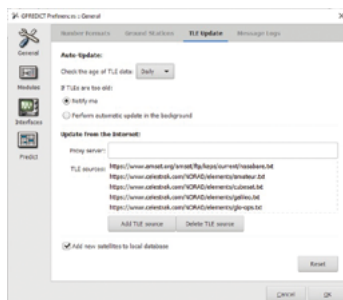


図4.11 TLE情報

- (4) Gqrxとの接続設定のため、左側の「Interfaces」をクリックし「Add new」をクリックして、Gqrxとの接続設定を図4.12のように設定する。

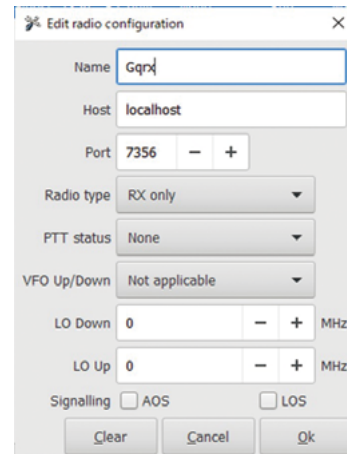


図4.12 接続設定

- (5) 「Edit」「Update TLE data from network」をクリックして、TLEを最新版にする。これは毎回使用前に行う。衛星の周波数情報を最新のものとするため、「Edit」「Update transponder data」をクリックする。これについて今後は追跡する衛星を追加した場合に実行する。いずれのときもウィルス対策ソフトによりインターネット接続のアラートが表示される場合は「許可」する。

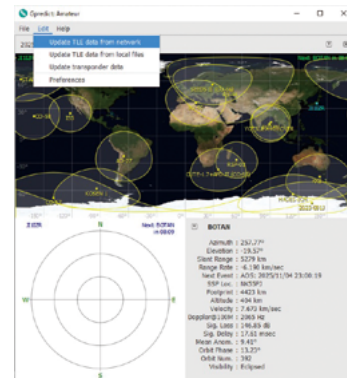


図4.13 衛星情報更新

- (6) 追跡衛星設定のため、ウィンドウ右側の下向き三角印が四角に囲まれているマークをクリックして「Configure」を選択し、開いたウィンドウの左側の欄の衛星を選択して「->」ボタンをクリックし、追跡対象とする右側に移動させる。例えば「BOTAN」を追加したい場合は、リスト上部のボックスに「BOTAN」と入力するとリストに表示されるので、それをクリックして選択する。追跡が不要な衛星が右側の欄にある場合はそれを選択して「<-」ボタンをクリックすると、追跡衛星から除外される。さらに上部の「Ground Station」のリストボックスから (2) で追加した受信位置を選択する。「OK」をクリックして地図上に選択した受信位置が表示されることを確認する。

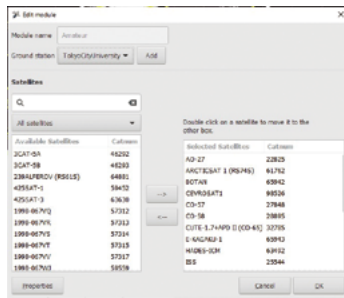


図 4.14 追跡衛星設定

- (7) 追跡したい衛星の情報を右下欄に表示させるため、その部分の左上にある下向き三角印が四角に囲まれているマークをクリックし、表示されるウィンドウから追跡したい衛星を選択する。

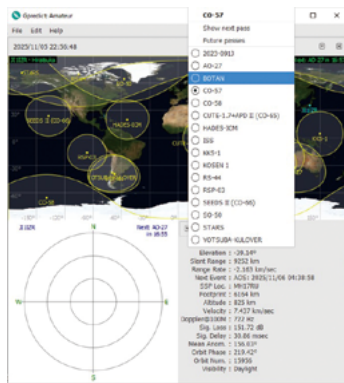


図 4.15 追跡衛星選択

- (8) Gqrxと連携してドップラーシフトを制御する場合は、画面右上の三角印が四角に囲まれたマークをクリックし、「Radio control」を選択して表示される周波数制御のウィンドウの左側「Target」の下にあるリストボックスから衛星を選択する。さらにその下のリストボックスから衛星のモード(CW, FMなど)を選択する。そして、Gqrxを受信周波数に合わせ、前記4.5のとおりSDRの動作をオンにしてからGpredictの周波数制御ウィンドウのボタンを「Track」「T」「Engage」の順にク

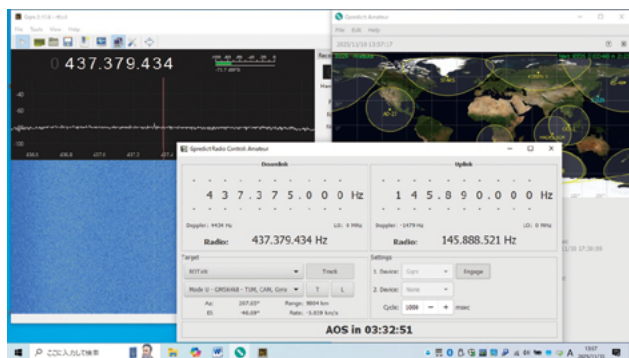


図 4.16 GpredictとGqrxの連携

リックするとGpredictの周波数制御ウィンドウの「Radio:」に表示される周波数がその上に表示されている衛星の周波数をドップラーシフトしたものに変わり、同時にGqrxの周波数がドップラーシフトした周波数に変わる。時間の経過とともにGpredictに合わせてGqrxの周波数も同時に変わっていく。

4.7 受信手順

- (1) アンテナ、プリアンプ、SDR、パソコンを、同軸ケーブルやUSB延長ケーブルで接続する。
- (2) プリアンプの電源をオンにした後、Gqrx、Gpredictの順に起動する。
- (3) TLEを更新し、Gpredictを再起動する。
- (4) GpredictとGqrxの連携を行い、Gqrxの録音を開始する。
- (5) アンテナをGpredictの画面表示に従って衛星の方位仰角に向ける。
- (6) 受信音声やGqrxの画面表示を参考に、Gpredictの受信周波数を適宜調整する。
- (7) 衛星が見えなくなったら（Gpredictの仰角が0度以下となったら）Gqrxの録音を終了し、Gpredict、Gqrxを終了し、プリアンプをオフにする。

5. 実際の受信の様子



図 5.1 ワークショップ

参考文献

- [1] 「The FANCY CRAZY ZIPPY 202A MAY 1992」 P.4-5 JH1FCZ/ 大久保 忠 (http://momo.gmob.jp/fcz_ac2/)
- [2] 「Moxon Rectangles and Online Calculator」 <https://antenna2.github.io/cebik/content/moxon/moxpage.html>