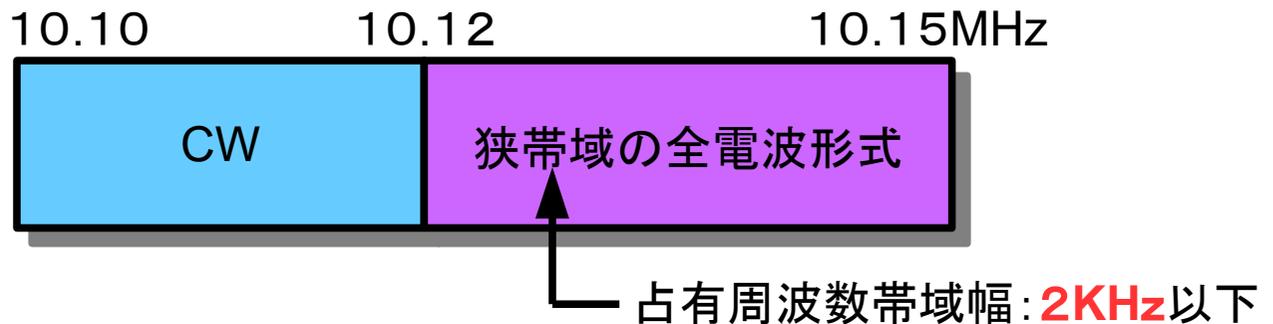


10MHzバンドでデジタル音声通信 (FreeDV) を始めよう！

1.)なぜ FreeDV か？
2.)FreeDVに必要な設備
3.)FreeDVの電波型式
4.)FreeDVのサブモード
5.)FreeDVの設定
6.)FreeDVの交信、運用する周波数について
7.)Codec 2 (オープンソースの音声圧縮コーデック) ← 心臓部

1.) なぜ FreeDV か?

アマチュア業務に使用する
電波の型式
及び周波数の使用区別
10MHz帯
狭帯域
データ



都市部の HF ノイズは SSB 通信にとってますます大きな問題となっています。世界中のアマチュア無線家は、SSB が使用できないチャンネルで都市部の HF ノイズを克服するために、FreeDV の高度な FEC およびモデム技術を使用しています。

FreeDV は、音声コーデックを含め、100% オープン ソース ソフトウェアを使用するという点で独特です。秘密も、独占権もありません!

FreeDV は、アマチュア無線家が単一のメーカーの閉鎖的な技術に縛られる未来ではなく、自由に実験や革新を行える 21 世紀のアマチュア無線への道を示しています。

例えば、FreeDV 2020 は最先端のニューラル ネット音声コーディング (LPCNet) に基づいて構築されており、アマチュア無線をデジタル無線イノベーションの最前線に押し上げます。1600 Hz の RF 帯域幅のみを使用しながら、8 kHz の広いオーディオ帯域幅を提供します。

歴史

2012年に、FreeDVはDavid Witten (GUI、アーキテクチャ)とDavid Rowe (Codec 2、モデム実装、統合)の両氏によって開発されFreeDV オープンソース デジタル音声ソフトウェアの一部です。

FreeDVは、オリジナルのFDMDVパラメータのシンプルなオープンソース実装から始まりました。主な違いは、LPC(線形予測符号化)コーデックの代わりにRowe独自のCodec 2音声コーデックを使用していることです。

その後、Roweはパラメータを変更し、信号が信号伝播の問題に対してより堅牢になるようにしました。FreeDVの設計とユーザーインターフェイスは、HB9TLKのFrancesco Lanzaによって開発されたFDMDV(周波数分割多重デジタル音声)に基づいています。

Francescoはモデム設計についてPeter Martinez G3PLXからアドバイスを受け、MartinezはDavidにFreeDV 1600を使用したFDMDVモデムについてもアドバイスしました。

K0PFXのMel Whittenは、FDMDVを含むいくつかのデジタル音声システムの設計、テスト、およびプロモーションに大きく貢献しました。この実践的な経験が、現在の設計につながりました。

当局は2010年に当初FDMDVの免許を得て、テストをしていましたが、後にFreeDVがリリースされると変更許可を受け、ついに、2013年11月28日JA3HPJ局とFreeDVモードによる日本初交信(?)に成功。

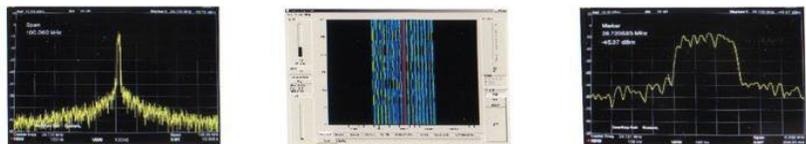
TAKARAZUKA HYOGO JAPAN GL:PM74QT JCC:2715

JA3HPJ

TO RADIO: JA4CXX This confirms our 2-way FreeDV QSO
BAND: 10 m SNR: 7dB TIME: 21:03 UTC DATE: Nov. 28, 2013
RIG: TS-990S OUTPUT: 50 W ANT: MDRF 10 mh
RMKS:

TNX FB QSO PSE QSL TNX

〒665-0867 兵庫県宝塚市
油井 武 TAKESHI YUI



QSLカード



2.) FreeDVモードに必要な設備

- SSBトランシーバー
出来れば、最近の機種が備えている、USBオーディオを内蔵して、CATコントロールも可能なリグが良い。この場合、USBケーブルが1本のみでリグとPCの接続が行える。
- サウンドカード及び(マイクとスピーカを内臓、または外付け)、USBポートを備えたパソコン
- FreeDVソフトウェア
ダウンロードリンクは <https://freedv.org> サイトのDownloadsリンクから
(<https://github.com/drowe67/freedv-gui/releases/>) ダウンロードしてください。
- パソコン補足 (FreeDV 2020 モードの使用):
FreeDV 2020 モードを使用するには、次の両方が必要です:
 1. Intel ベースの CPU を使用している場合は、AVX をサポートしている必要があります。
 2. コンピュータは2020 を最低でも実時間の 2 倍でデコードできる必要があります。

システムが (1) または (2) のいずれにも該当しない場合は、2020 オプションはグレー表示され選択することができません。

2. - 寄り道) Intel AVX【Intel Advanced Vector Extensions】

- Intel AVX(Intel Advanced Vector Extensions)とは、米インテル(Intel)社のCPU(マイクロプロセッサ/MPU)に実装された拡張命令セットの一つで、複数のデータに一度に同じ演算(行列計算を行うCPU拡張命令)を行うSIMD方式の処理を実行するためのもの。

SSEなどの従来のSIMD命令セットを発展させたもので、大量のデータに同種の演算を行う必要のある動画の圧縮・展開や3次元グラフィックス(3DCG)の描画、データの暗号化・復号などで利用される。

256ビット分の浮動小数点数を一度に計算することができ、単精度浮動小数点数なら8つ、倍精度浮動小数点数なら4つの数値を一つの命令で処理できる。被演算子(オペランド)を3つまたは4つ指定することができ、レジスタの内容を書き換えずに演算を実行できるようになった。

- AVXはIntelの第二世代Core iプロセッサ(Sandy Bridge)から導入されたもので、現在では後継の「AVX2」や「AVX-512」に対応したCPUが登場しています。AVX対応については、インテル® プロセッサ 識別 ユーティリティで確認することができます。
<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/download/12136/28539/intel-processor-identification-utility-windows-version.html>?
- SSE(Streaming SIMD Extensions:ストリーミングSIMD拡張命令)は、x86アーキテクチャに8本の128ビットレジスタを新設し、浮動小数点演算のSIMD処理を実現したものである。
- SIMD(Single Instruction Multiple Data)とは、CPUが1命令で複数の データを処理する機能です。

2. - 寄り道) インテル® プロセッサ 識別 ユーティリティ - Windows* バージョン

- Intel_Processor_Identification_Utility_v7.1.8.exe ← インストール

インテル® プロセッサ-識別ユーティリティ- 7.1.8

ファイル(E) プロセッサ-(P) ヘルプ(H)

12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12700

アドイン・グラフィックス

インテル® プロセッサ-ナンバーはパフォーマンスの指標ではありません。プロセッサ-ナンバーは同一プロセッサ-ファミリー内の製品の機能を区別します。異なるプロセッサ-ファミリー間の機能の区別には用いられません。
詳細について
https://www.intel.com/products/processor_number

プロセッサ-周波数

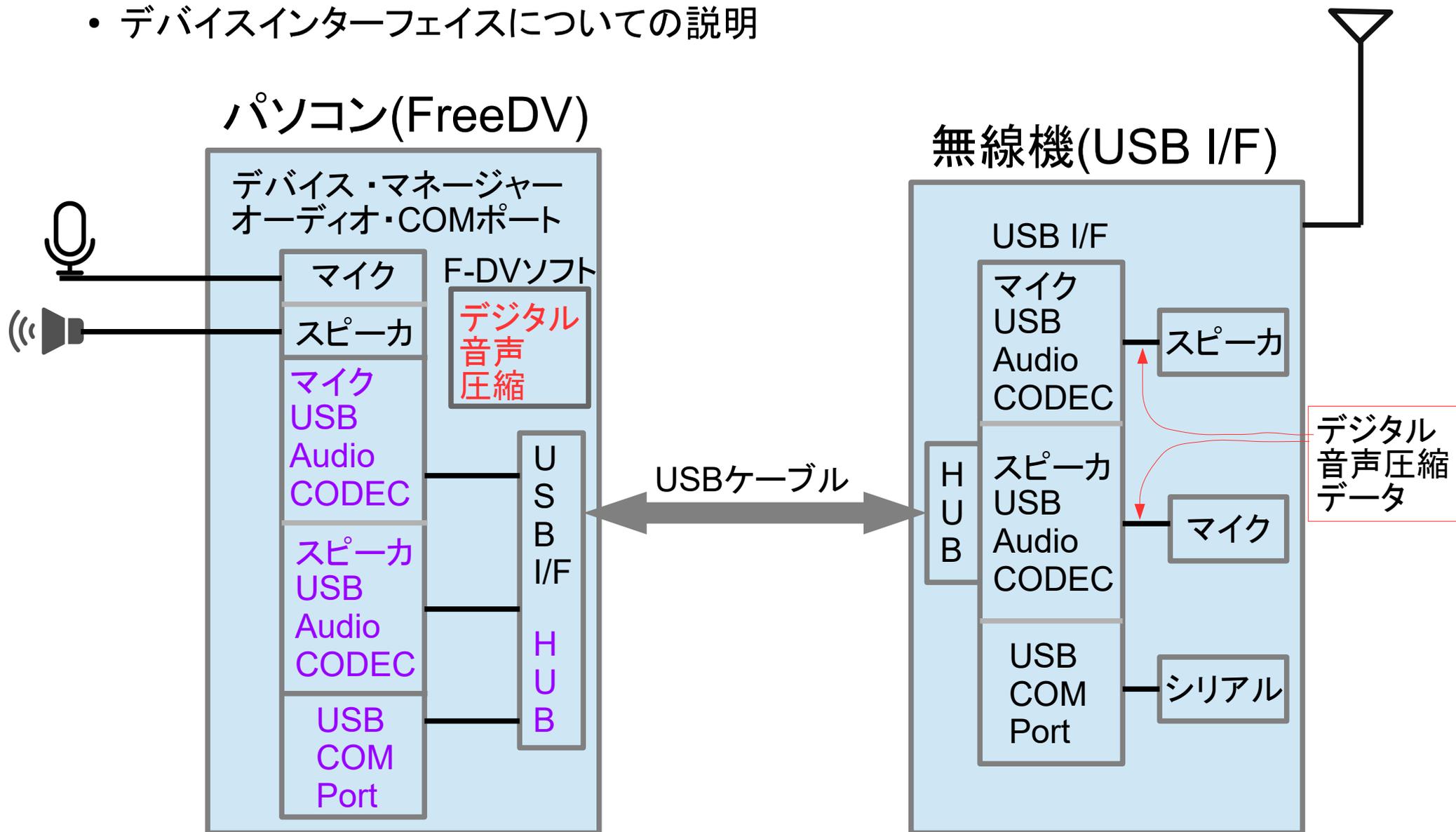
CPUテクノロジー

- インテル® バーチャライゼーション・テクノロジー
- インテル® ハイパースレッディング・テクノロジー
- インテル® 64 アーキテクチャー
- 拡張版 Intel SpeedStep® テクノロジー
- インテル® AES New Instructions
- インテル® アドバンスド・ベクトル・エクステンション
- Intel® AI Boost
- インテル® SSE
- インテル® SSE2
- インテル® SSE3
- インテル® SSE4
- エグゼキュート・ディスエーブル・ビット
- Enhanced Halt ステート

CPUID データ

2.) FreeDVモードに必要な設備

- デバイスインターフェイスについての説明



3.) FreeDVの電波型式

- パソコンなどの付属装置から、出力されたFreeDVのデジタル音声信号をSSB変調方式の無線機より、電波として送り出された場合:

1. G1E : デジタル化音声でPSKでの送信
2. G7W : デジタル信号の2つ以上のチャンネル で電話(音響) ,データ転送に使用
以上の2つの電波型式を必要とします。

- FreeDVに実装されているサブモードの音声品質と特徴

モード	最小SNR	フェージング強度	復調遅延	音声帯域	音声品質	占有帯域幅
SSB(参考)	0	8/10	短い	2600	5/10	3KHz
1600	4	3/10	短い	4000	4/10	1.3KHz
700C	2	6/10	短い	4000	3/10	1.5KHz
700D	-2	4/10	長い	4000	3/10	1.13KHz
700E	1	7/10	中程度	4000	3/10	1.5KHz
2020	4	5/10	長い	8000	7/10	1.6KHz
2020B _{開発中}	3	7/10		8000		2.1KHz

- 2023年9月25日省令改正
2023年9月25日に省令が改正され運用の際に変更申請等は不要となり、開局時においても無線局事項書及び工事設計書への記載が不要となりました。

FreeDVに実装されているサブモードの特徴

- FreeDV 700D

2018 年半ばに、新しい OFDM モデム、強力な前方誤り訂正 (FEC)、オプションのインターリーブを備えた FreeDV 700D がリリースされました。700C と同じ 700 ビット/秒の音声コーデックを使用します。-2dB という低い SNR で動作し、HF チャンネルのパフォーマンスが良好です。フェーディング チャンネルでは FreeDV 1600 よりも約 10dB 優れており、低 SNR では SSB と競合します。FEC は都市の HF ノイズからある程度保護します。

FreeDV 700D はチューニングに敏感です。同期を取得するには、送信周波数の +/- 60Hz 以内にする必要があります。

- FreeDV 700E

FreeDV 700E は、700C と 700D のオンエア運用から得た教訓を活かして、2020 年 12 月に開発されました。

700D の派生版で、より短いフレーム サイズ (80 ミリ秒) を使用して、遅延と同期時間を削減します。最大 4Hz のドップラー拡散と 6 ミリ秒の遅延拡散を持つ高速フェーディング チャンネルに最適化されています。FreeDV 700E は、FreeDV 700C および 700D と同じ 700 ビット/秒のコーデックを使用します。700D よりも約 3dB 多くの電力が必要ですが、高速フェーディング チャンネルでも確実に動作できます。

700E リリースには、700D および 700E 送信波形のオプションの圧縮 (クリッピング) も含まれており、ピーク対平均電力比を約 4dB に低減します。たとえば、100W PEP 送信機は約 40W RMS で駆動できます。これは、FreeDV 700D の以前のリリースに比べて 6dB の改善です。クリッパーを有効にする前に、送信機が損傷なく高い平均電力を持続的に処理できることを確認してください。

FreeDVに実装されているサブモードの特徴

- FreeDV 2020

FreeDV 2020 は 2019 年に開発されました。Jean-Marc Valin が開発した LPCNet ニューラル ネット (ディープラーニング) 合成エンジンに基づく実験的なコーデックを使用しています。わずか 1600 Hz の RF 帯域幅で 8 kHz のオーディオ帯域幅を提供します。FreeDV 2020 は 700D と同じ OFDM モデムと FEC を採用しています。

FreeDV 2020 の目的は、HF 無線でニューラル ネット音声コーディングをテストすることです。これは非常に実験的なものであり、実際の無線システムでニューラル ネット ボコーダーが初めて使用される可能性があります。

FreeDV 2020 は、SNR が 10dB 以上の低速フェーディング HF チャンネル用に設計されています。700D のような高速フェーディングや非常に低い SNR 用に設計されていません。これは、SSB がすでに「アームチェア」コピーになっているチャンネルで、SSB の高品質な代替となるように設計されています。AWGN (非フェーディング チャンネル) では、2dB SNR まで妥当な音声品質を実現します。

FreeDVに実装されているサブモードの特徴

- FreeDV 2020B

2022年2月に開発された実験モード。このモードの目的は、HFチャンネルでのFreeDV 2020のパフォーマンスを向上させることです。

主な3つの革新と理論的な改善点は次のとおりです。

1. 2020x モデム波形の圧縮 (クリッピング) が追加されました。これは約 4dB の価値があります。これにより、元の FreeDV 2020 モードも改善されるはずですが、クリッピング チェックボックスは、[ツール] - [オプション] - [モデム] にあります。このマニュアルの他の警告に従って、送信機がより高い RMS 電力を処理できることを確認してください。

2. 2020B は 700E から 700D に似ています。高速フェーディングで動作しますが、さらに数 dB の SNR が必要です。これにより、十分な SNR があれば、ヨーロッパの冬 (または南極のアルゼンチンからオーストラリアまで) タイプのチャンネルで使用できるようになります。このモードの課題は、必要なすべての情報 (高速フェーディング用の十分なパイロット シンボル、LPCNet、FEC ビット) を 2100 Hz チャンネルに詰め込むことです。これにより、多くの SSB フィルターのエッジが再び押し上げられます。また、不均等 FEC も使用され、最も重要な 11 ビットのみが保護されます。

このモードは開発中であり、いつでも変更される可能性があります。別のオペレーターとの互換性の問題が発生した場合は、[ヘルプ] メニューの [Git ハッシュ] 値をチェックして、同じバージョンの LPCNet と codec2 を実行していることを確認してください。

2020B を使用する場合は、マルチ RX を無効にすることをお勧めします。このモードはマルチ RX ではサポートされていないため、他のステーションと手動でモードを調整する必要があります。

5.) FreeDVの設定

- 簡単設定 (Tools→Easy Setup)

The screenshot shows the 'Easy Setup' dialog box with three steps:

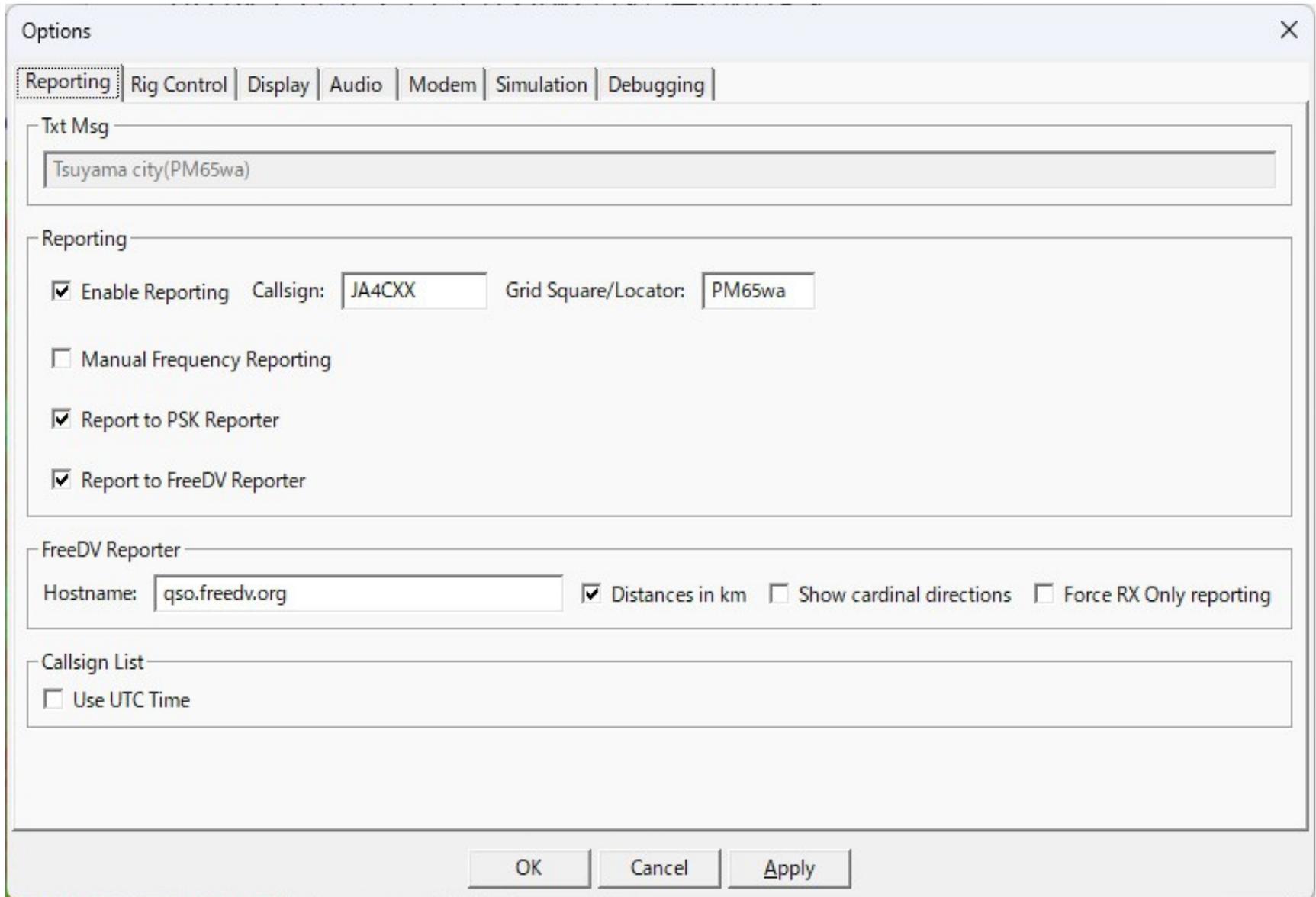
- Step 1: Select Sound Device**
 - Radio Device: IC-705 (USB Audio CODEC)
 - Decoded audio plays back through: DELL S2316H (NVIDIA High Definition Audio)
 - Transmitted audio records through: ジャックマイク (Realtek(R) Audio)
 - Advanced button
- Step 2: Setup Radio Control**
 - Radio Control: No PTT/CAT Control Hamlib CAT Control Serial PTT
 - Hamlib CAT Control
 - Rig Model: Icom IC-705
 - Serial Device (or hostname:port): COM6
 - Radio Address: 00
 - Serial Rate: 9600
 - PTT uses: CAT
 - Advanced button and Test button
- Step 3: Setup Reporting**
 - Enable Reporting
 - Callsign: JA4CXX
 - Grid Square/Locator: PM65wa

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Apply

設定例: IC-705 (Radio Addressはユニバーサルアドレス(\$00)を指定)

5.)FreeDVの設定

- オプション設定 (Tools→Options)



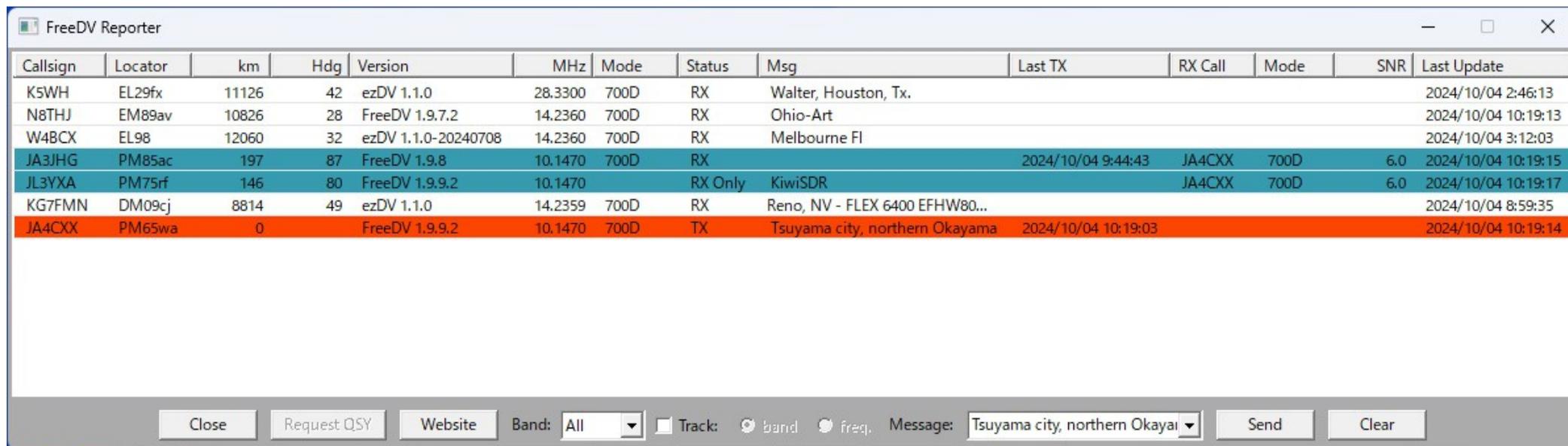
The image shows the 'Options' dialog box for FreeDV, with the 'Reporting' tab selected. The dialog has a title bar with 'Options' and a close button. Below the title bar are several tabs: 'Reporting', 'Rig Control', 'Display', 'Audio', 'Modem', 'Simulation', and 'Debugging'. The 'Reporting' tab is active and contains the following settings:

- Txt Msg:** A text field containing 'Tsuyama city(PM65wa)'.
- Reporting:**
 - Enable Reporting Callsign: Grid Square/Locator:
 - Manual Frequency Reporting
 - Report to PSK Reporter
 - Report to FreeDV Reporter
- FreeDV Reporter:**
 - Hostname:
 - Distances in km Show cardinal directions Force RX Only reporting
- Callsign List:**
 - Use UTC Time

At the bottom of the dialog are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Apply'.

5.)FreeDVの設定

- FreeDVレポーター設定 (Tools→FreeDV Reporter)

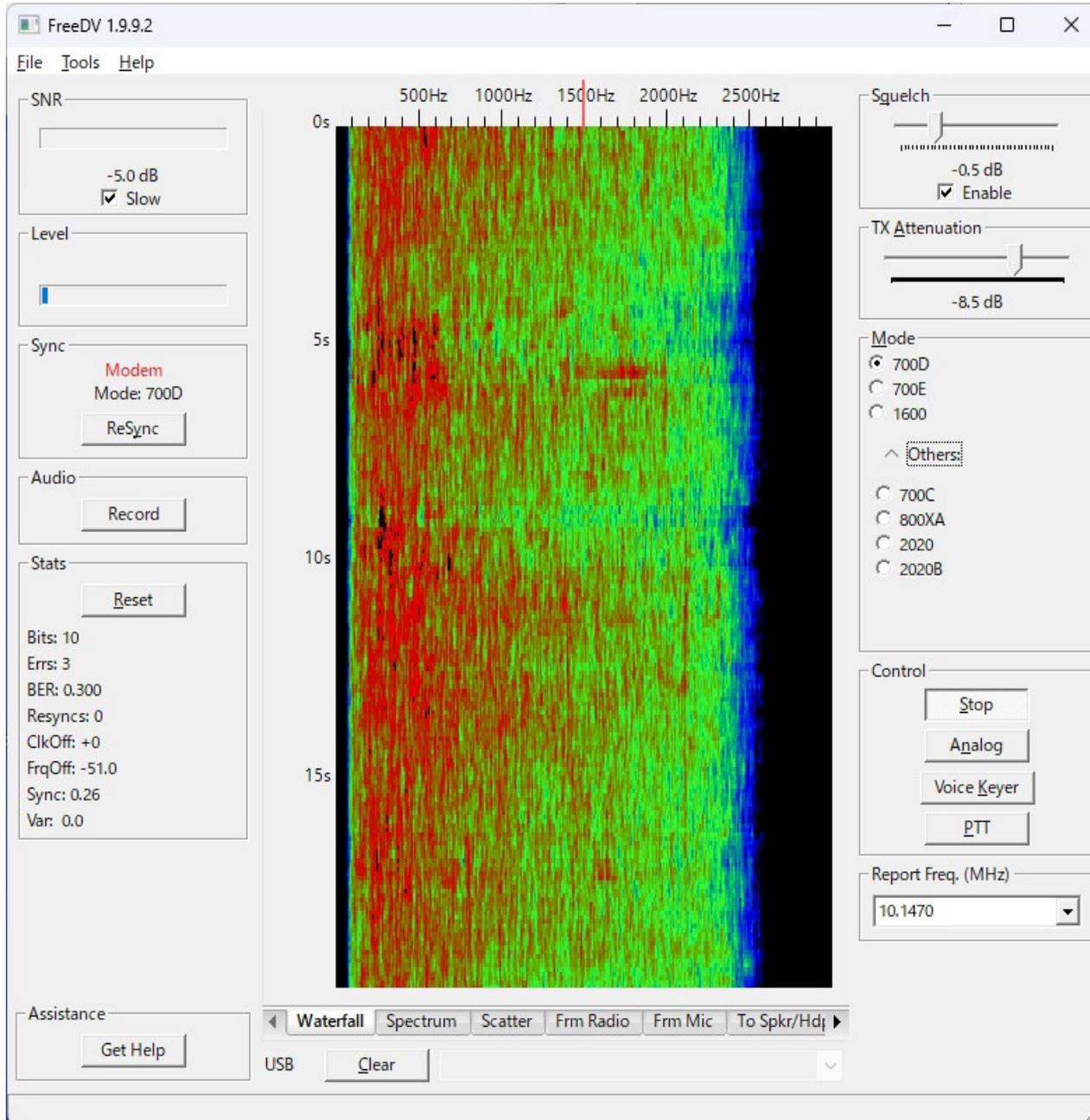


The screenshot shows the FreeDV Reporter application window. The window title is "FreeDV Reporter". It contains a table with the following columns: Callsign, Locator, km, Hdg, Version, MHz, Mode, Status, Msg, Last TX, RX Call, Mode, SNR, and Last Update. The table lists several callsigns, with the last one, JA4CXX, highlighted in orange. Below the table, there are several buttons: Close, Request QSY, Website, Band: All, Track: band, Message: Tsuyama city, northern Okayama, Send, and Clear.

Callsign	Locator	km	Hdg	Version	MHz	Mode	Status	Msg	Last TX	RX Call	Mode	SNR	Last Update
K5WH	EL29fx	11126	42	ezDV 1.1.0	28.3300	700D	RX	Walter, Houston, Tx.					2024/10/04 2:46:13
N8THJ	EM89av	10826	28	FreeDV 1.9.7.2	14.2360	700D	RX	Ohio-Art					2024/10/04 10:19:13
W4BCX	EL98	12060	32	ezDV 1.1.0-20240708	14.2360	700D	RX	Melbourne Fl					2024/10/04 3:12:03
JA3JHG	PM85ac	197	87	FreeDV 1.9.8	10.1470	700D	RX		2024/10/04 9:44:43	JA4CXX	700D	6.0	2024/10/04 10:19:15
JL3YXA	PM75rf	146	80	FreeDV 1.9.9.2	10.1470	700D	RX Only	KiwiSDR		JA4CXX	700D	6.0	2024/10/04 10:19:17
KG7FMN	DM09cj	8814	49	ezDV 1.1.0	14.2359	700D	RX	Reno, NV - FLEX 6400 EFHW80...					2024/10/04 8:59:35
JA4CXX	PM65wa	0		FreeDV 1.9.9.2	10.1470	700D	TX	Tsuyama city, northern Okayama	2024/10/04 10:19:03				2024/10/04 10:19:14

6.)FreeDVの交信、運用する周波数について

- FreeDV受信側 設定の確認



無線機のスイッチを入れてFreeDVを立上げ、モードを例えば、700Dに設定します。

スタートボタンを押してFreeDVの受信を始めると、ウォーターフォールの画像が流れます。

この状態で、アナログボタン(Analog)を押して、パソコンのスピーカーから無線機の受信音が、流れてくることを確認します。

確認が取れたらアナログボタン(Analog)を押して、元に戻します。

6.)FreeDVの交信、運用する周波数について

- FreeDV送信側 設定の確認

無線機にアンテナを接続し、空いている周波数に設定します。
パソコンにマイクを接続してPTTボタンを押して送信されることを確認してください。
この時FreeDVはFrom Micが選択され、入力に応じて音声波形が表示されることを確認します。

サウンドカードのレベルは、コンピューターのコントロールパネルまたは設定で調整されますが、無線機インターフェイスハードウェアのコントロールまたは無線機のメニューで調整されます。
アプリ内での調整は、メイン画面の下部にある[TXレベル]スライダーを使用することもできます。

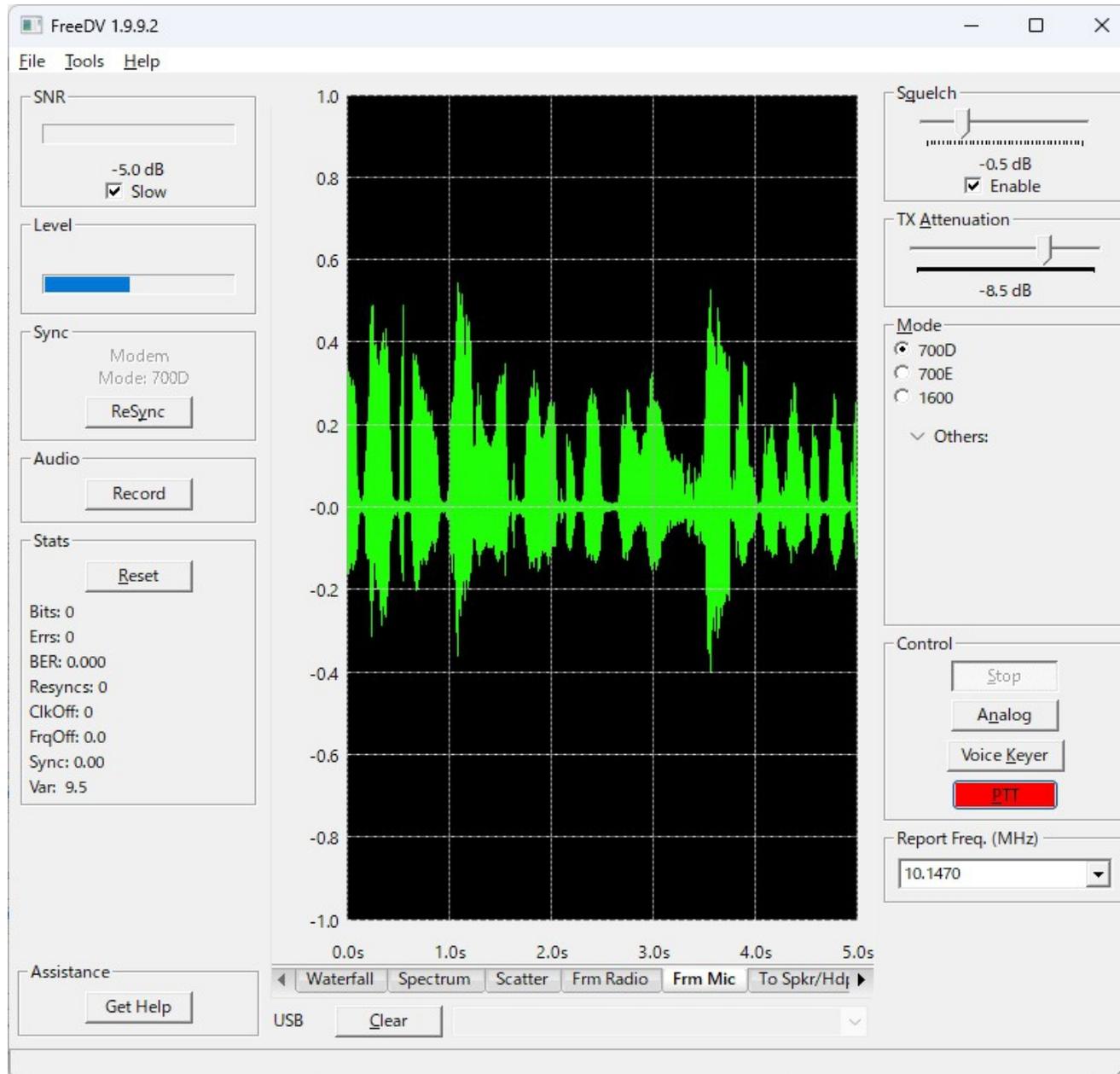
コンピューターから無線機への送信レベルは重要です。
送信時には、ALCがわずかに振れる程度にレベルを調整してください。
FreeDVの送信信号では、レベルが高ければ高いほど良いというわけではありません。
送信機を過剰に駆動すると、送信信号が歪んで受信機のSNRが低下します。
これは非常によくある問題です。

FreeDV 700D 及び 700E は、送信機をピーク電力定格の 40% の平均電力で駆動できます。
たとえば、100W PEP 無線の場合は 40W RMS です。
送信機がこれらのレベルの連続電力出力に対応できることを確認して、電力を減らしてください。
ピークがクリッピングしないように、また平均が最大値の約半分にマイクのオーディオを調整します。

FreeDV は、無線機を介したクリーンなパスを好みます。
送信と受信のすべてのオーディオ処理をオフにします。

- ・ 受信時には、DSP ノイズ低減をオフにします。
- ・ 送信時には、音声圧縮をオフにします。
- ・ 受信オーディオパスを可能な限り「フラット」に保ち、特別なフィルターは使用しないでください。
- ・ 受信信号をバンドパスフィルターしても、FreeDV の動作は改善されません。

6.)FreeDVの交信、運用する周波数について



PTTオンにより「From Mic」が選択され、音声入力波形を表示

6.)FreeDVの交信、運用する周波数について

- USB or LSB ?

10 MHz未満の帯域では、LSBがFreeDVに使用されます。

10MHz以上では、USBが使用されます。

多くの議論の後、FreeDVコミュニティは、FreeDVが音声モードであるという理由に基づいて、SSBと同じ規則を採用しました。

SSB運用モードは次の各バンドの慣例に従います。

3.5Mhz 7MhzはLSB、 14Mhz 18Mhz 21Mhz等は、USB側 での運用になります。

- 運用周波数について

1) 1.8MHz帯 (LSB)

1.848MHz: FT-8の運用周波数にもっとも近い1.848MHz付近で運用されている。

2) 3.5MHz帯 (LSB)

3.705MHz: 電波の発射可能な周波数(電波法)でIARU-R3のCoA(3.690MHz)に最も近い。

3) 7MHz帯 (LSB)

7.200MHz: 700Dのみの運用。

7.070MHz付近: IARU共通のCoAである。

4) 10MHz帯 (USB)

10.140MHz以上の10KHz帯域: 省令改正で新に割り当てられたバンド。

5) 14MHz帯 (USB)

14.236MHz: FreeDVのCoAでの運用が多い。

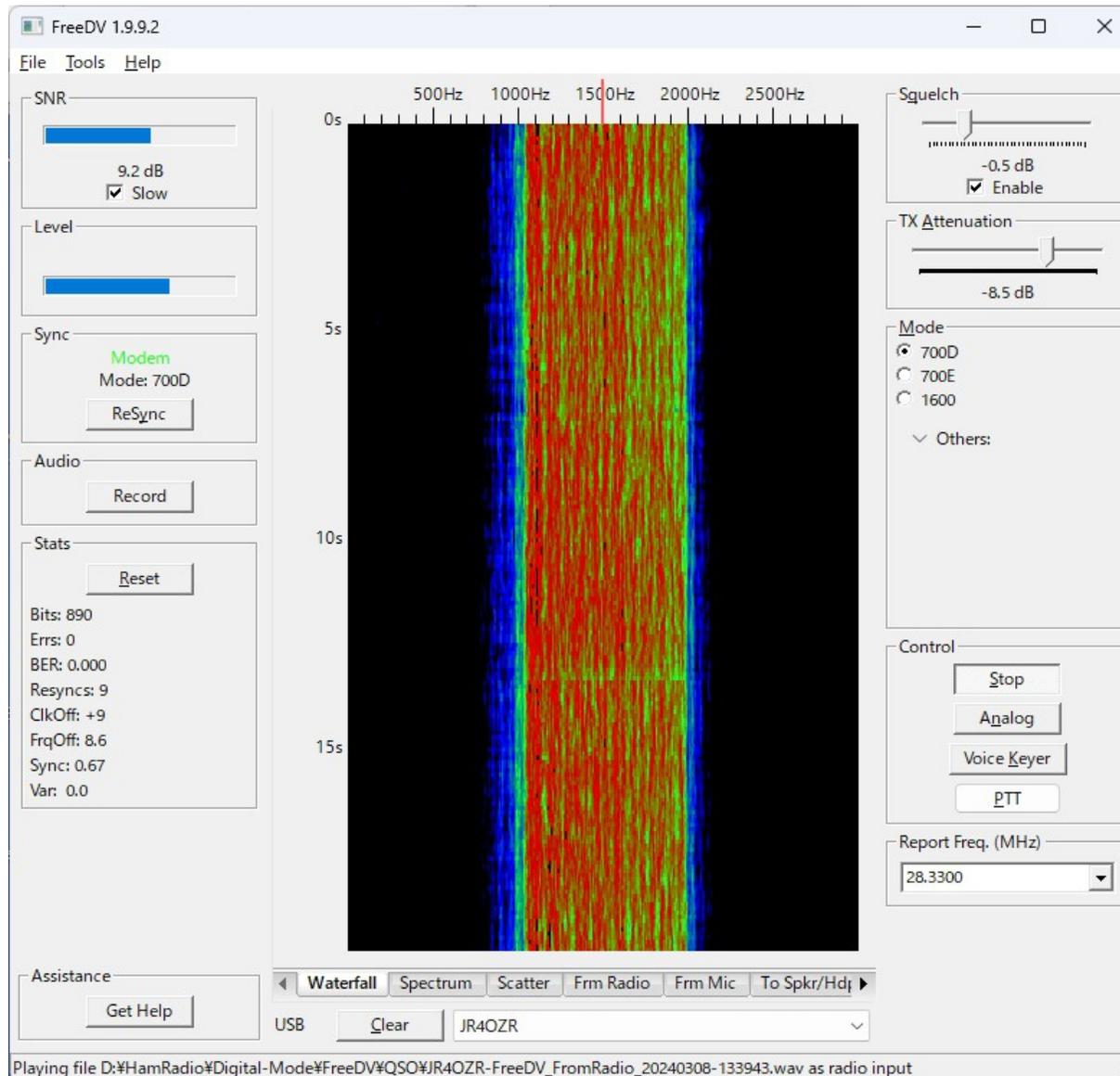
6) その他のHF帯

参考までにIARU R3 のCoA(Centre of Activity)を以下に記載します。

14.130MHz, 18.160MHz, 21.180MHz, 24.960MHz, 28.330MHz

6.)FreeDVの交信、運用する周波数について

- 実際の交信



JR4OZR局と28.330MHzでの交信時の受信画面

7.) Codec 2 (オープンソースの音声コーデック)

Codec 2は、特許フリーでオープンソースの低ビットレート音声オーディオコーデックです。Codec 2は、人間の音声に特化した方法である正弦波コーディングを使用して音声を圧縮します。3200 ~ 450 bit/secのビットレートが実現されています。Codec 2は、アマチュア無線やその他の高圧縮音声アプリで使用するために設計されました。Codec 2は、3200、2400、1600、1400、1300、1200、700、450 bit/secのコーデックモードで構成されています。他のほとんどの低ビットレート音声コーデックよりも性能が優れています。

- アマチュア無線家向けCodec 2

- 2.1 モデル(正弦波モデリング) ベースの音声コーディング

音声コーデックは、A/D コンバータから音声サンプル (たとえば、8 kHz で 16 ビット サンプル、または 128 kbits/s) を取得し、それを低ビットレートに圧縮して、狭帯域幅チャンネル (たとえば、HF の場合は 700 ビット/s) でより簡単に送信できるようにします。

音声コーディングは、「何を捨てられるか」という技術です。

理解できる音声を維持しながら、音声のビットレートを下げ、できるだけ自然に聞こえるようにする必要があります。このような低ビットレートでは、音声生成モデルを使用します。

入力音声分析され、モデルパラメータが抽出されて、チャンネル経由で送信されます。

ビットレートの高いコーデック (5000 ビット/秒以上) では、音声波形の保存に重点が置かれるか、波形とモデルベースの技術を組み合わせたアプローチが使用される傾向があります。

音質は向上しますが、より高いビットレートが必要です。

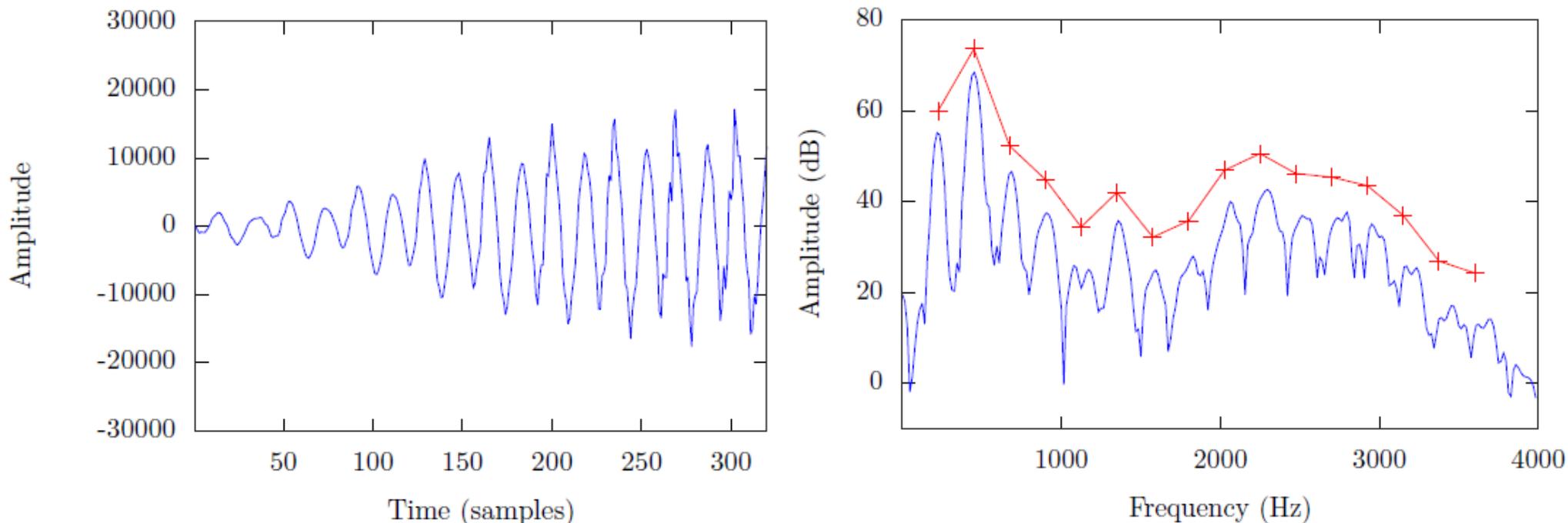
最近、機械学習が音声コーディングに適用されています。

この技術は、低ビットレートで高品質な音声品質を約束しますが、Codec 2などの従来の音声コーディング技術よりも大幅に多くのメモリと CPU リソースが必要です。

CPU とメモリのコストが減少するにつれて、多くの低ビットレート音声アプリケーションですぐに実行可能な技術になるでしょう。

7.) Codec 2 (オープンソースの音声コーデック)

- 2.2 時間領域と周波数領域における音声—Codec 2 の仕組みを説明するために、音声を見てみる



8kHz でサンプリングされた、女性話者の単語「these」の 40 ミリ秒のセグメント。
上は時間に対するプロット、下 (青) は同じ音声を周波数に対してプロットしたものです。
波形は 4.3 ミリ秒ごとに繰り返されます ($F_0 = 230$ Hz)。これはこのセグメントの「ピッチ周期」です。
赤い十字はテキストで説明されている正弦波の振幅です。
約 230 Hz 離れたこれらのスパイクは、基本周波数 F_0 の高調波です。
各高調波には独自の振幅があり、周波数によって異なることに注意してください。
赤い線は、各高調波の振幅をプロットしています。
この例では、500 Hz 付近にピークがあり、2300 Hz 付近にもう 1 つの広いピークがあります。
耳は、これらのピークと谷の位置によって音声を認識します。

7.) Codec 2 (オープンソースの音声コーデック)

• 2.3 正弦波音声符号化

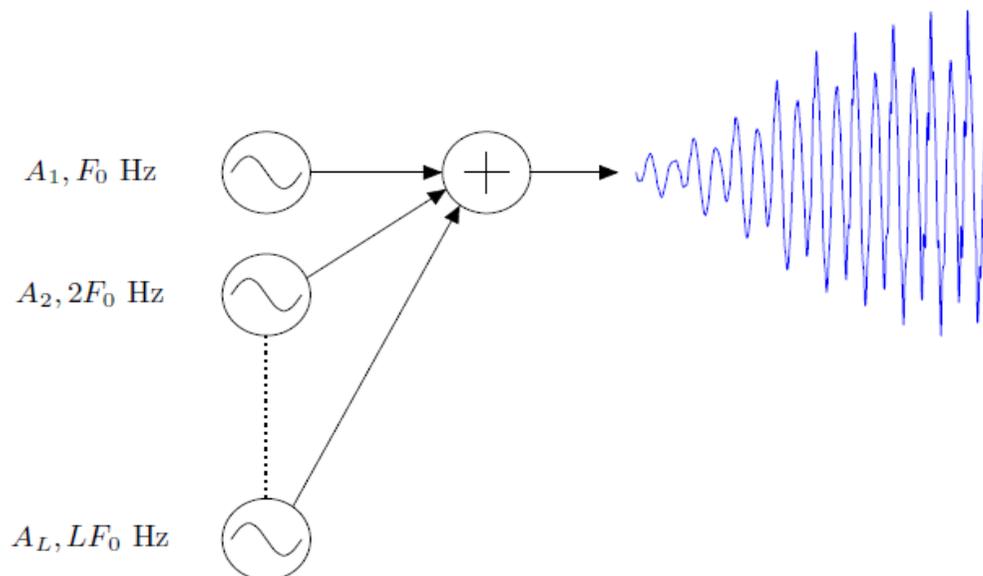


図 2: 正弦波音声モデル。

一連の正弦波を合計すると、音声信号を生成できます。各正弦波には、独自の振幅 ($A_1; A_2; \dots; A_L$)、周波数、位相があります。周波数は基本周波数 F_0 の倍数であると想定します。 L は、4 kHz で生成できる正弦波の総数です。

各スパイクを小さな正弦波ジェネレーターとして見るすることができます。各正弦波ジェネレーターには、基本ピッチ周波数の倍数である独自の周波数 (例: 230、460、690、 \dots Hz) があります。また、独自の振幅と位相もあります。すべての正弦波を加算すると (図 2)、適切な品質の合成音声を作成できます。これは正弦波音声コーディングと呼ばれ、コーデック 2 の核となる音声生成モデルです。モデル パラメータは時間の経過とともに変化しますが、通常は短い時間枠 (数十ミリ秒) では一定であると見なすことができます。たとえば、ピッチは時間の経過とともに変化し、単語が発音されるにつれて上下に移動します。モデル パラメータは時間の経過とともに変化するため、更新し続ける必要があります。これはコーデックのフレーム レートと呼ばれ、周波数 (Hz) または時間 (ms) で表すことができます。モデル パラメータのサンプリングでは、コーデック 2 は 10 ミリ秒のフレーム レートを使用します。通信路を介した送信では、ビット レートを下げるためにこれを 20 ~ 40 ミリ秒に下げます。フレーム レートを低くすると、音声品質が低下します。

7.) Codec 2 (オープンソースの音声コーデック)

• 正弦波モデルのパラメータは次のとおりです:

1. 各正弦波の周波数。

これらはすべて F_0 の高調波であるため、 F_0 をデコーダーに送信するだけで、デコーダーは各高調波の周波数を F_0 、 $2F_0$ 、 $3F_0$ 、 \dots 、 LF_0 として再構築できます。コーデック 2 では、 F_0 を表すために 5 ~ 7 ビット/フレームを使用しました。

2. 各正弦波の振幅、 A_1 、 A_2 、 \dots 、 A_L 。これらの「スペクトル振幅」は、耳が音声を理解するために必要な情報を伝達するため、非常に重要です。

ほとんどのビットはスペクトル振幅情報に使用されます。コーデック 2 は、スペクトル振幅情報に 18 ~ 50 ビット/フレームを使用します。

3. 発声情報。音声は、有声音声 (母音) と無声音声 (子音など)、またはこの 2 つの混合に近似できます。

上の例は有声音声です。したがって、デコーダーに発声を記述する何らかの方法が必要です。これには、フレームあたり数ビットしか必要ありません。

4. 各正弦波の位相。コーデック 2 は、エンコーダーで各高調波の位相を破棄し、アルゴリズムを使用してデコーダーで位相を再構築するため、位相用のビットは必要ありません。

これにより、音声品質が若干低下します。

7.) Codec 2 (オープンソースの音声コーデック)

- 2.4 ブロック図によるCodec 2のエンコーダーとデコーダー

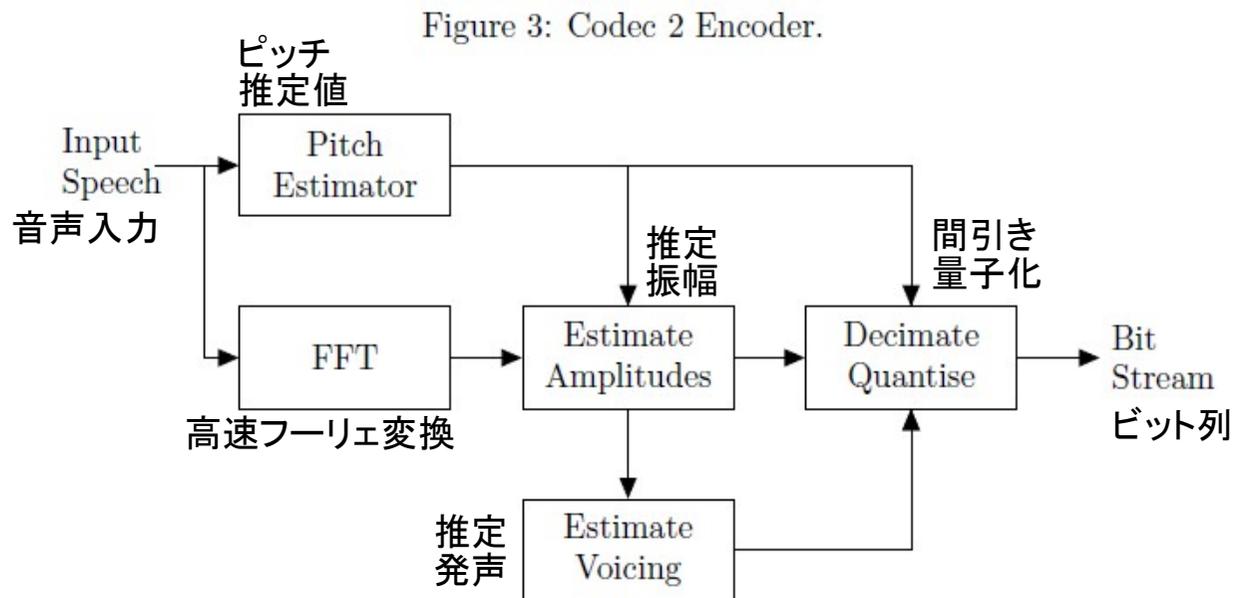
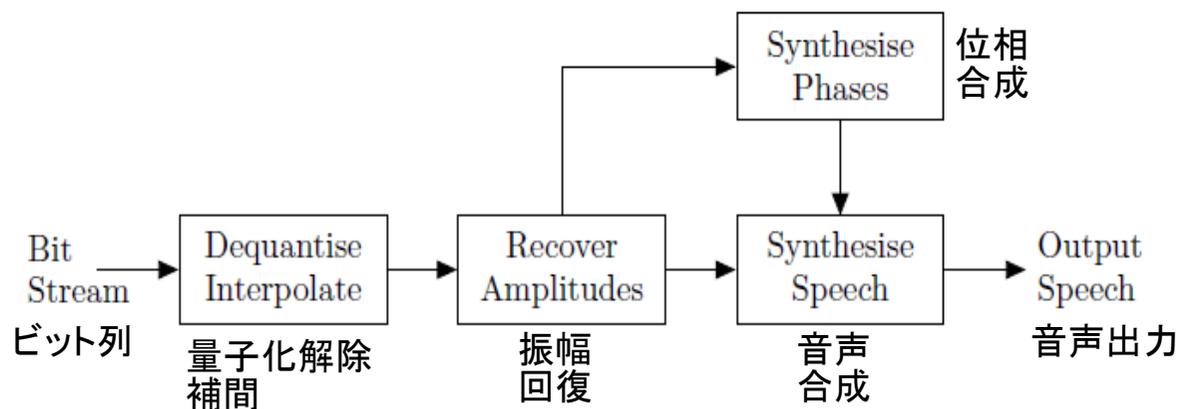
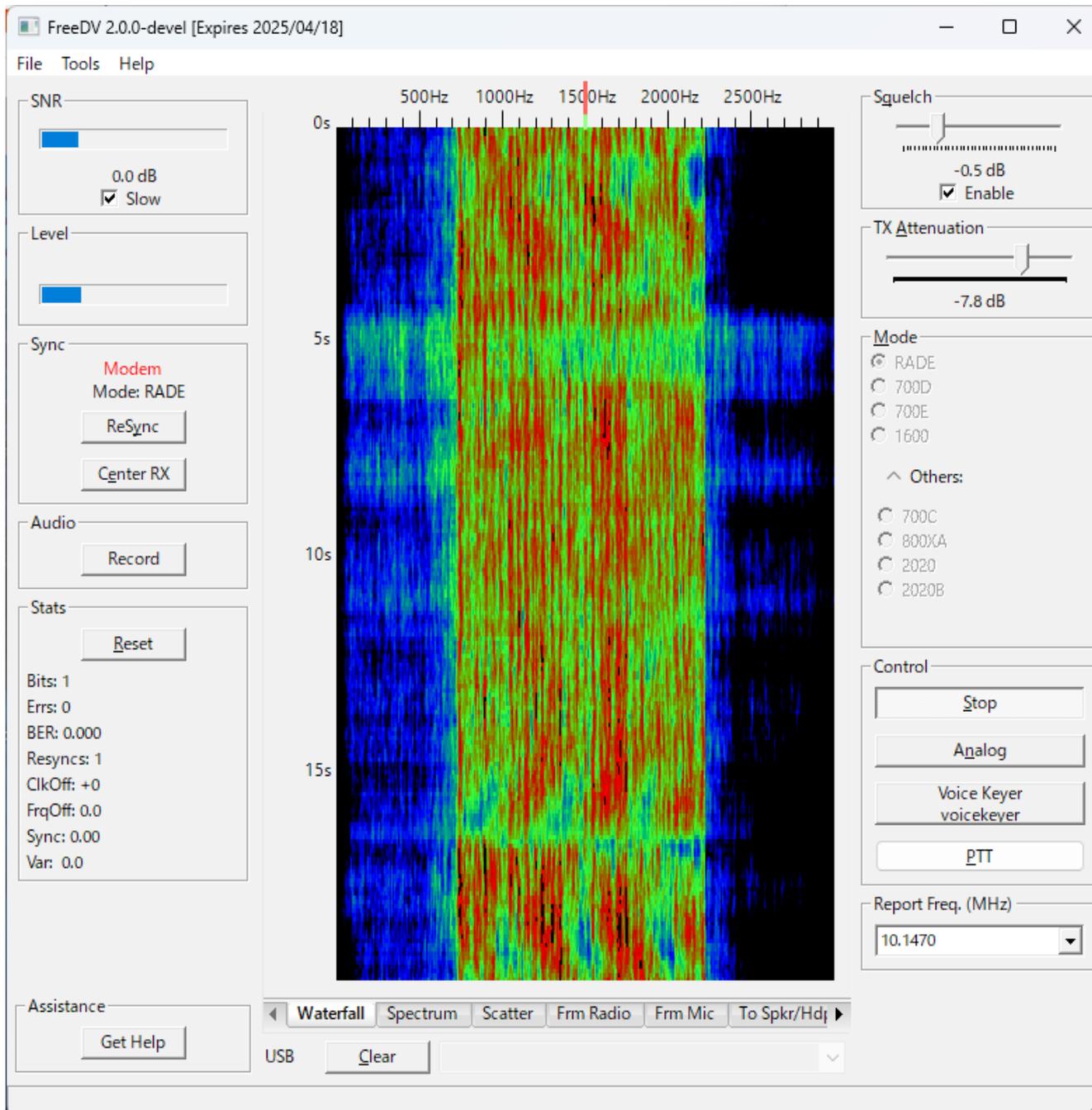


Figure 4: Codec 2 Decoder



FreeDV 2.0.0-20241018 <https://github.com/drowe67/freedv-gui/releases/tag/v2.0.0-20241018>



Radio Autoencoder(RADAE)は、機械学習を利用して音質を大幅に向上させる新しいFreeDV モードです。