

D-STAR

# D-STAR

## アマチュア無線の新デジタル通信

D-STARはアマチュア無線のデータ系通信、音声系通信をデジタル化して通信するためのマルチメディア通信システムです。

D-STAR

## デジタル無線機 ID-1



ID-1はこのデジタル通信の端末機です。デジタルデータ系通信、デジタル音声系通信と従来のアナログと比較するため、アナログFM通信機能も含まれています。

無線機本体とコントロール部が分離されていて、パソコンを接続しないでもこのままでデジタル音声系通信ができます。

## D-STAR

### アマチュア無線のデジタルシステムの条件

- ・ 端末がシステムに厳しく拘束されないこと。
- ・ インターネットとの整合性があること。
- ・ 一般のアマチュア無線家でも製作可能なこと。
- ・ 単独の1システムでも動作し、インフラの整備で順次増設可能なこと。
- ・ アナログ系等の従来のシステムとも通信の可能性があること。

D-STARはアマチュア無線にマッチした次のようなコンセプトで作られています。

- ・ 端末がシステムに厳しく拘束されないこと。

これは携帯電話のように使用時に即そのシステムに登録しないと使用できないようなものはアマチュア無線にふさわしくなく、基本的な通信に必要な部分以外は周波数など自由に選択できる条件を残しています。

- ・ インターネットと整合性があること。

インターネットが国際的に多く使われている現在では、アマチュア無線も整合性があることが便利で、使用するアプリケーションのソースも多く、データ系通信のプロトコルはインターネットと同じTCP/IPを使用します。

- ・ 一般のアマチュア無線家でも制作可能なこと。

アマチュア無線のシステムのため、メーカーの特殊な技術者だけで製作可能なシステムではアマチュア無線としてふさわしくなく、ある程度の技術のあるアマチュア無線家が製作可能なことが必要です。

- ・ 単独の1システムでも動作し、インフラの整備で順次増設可能なこと。

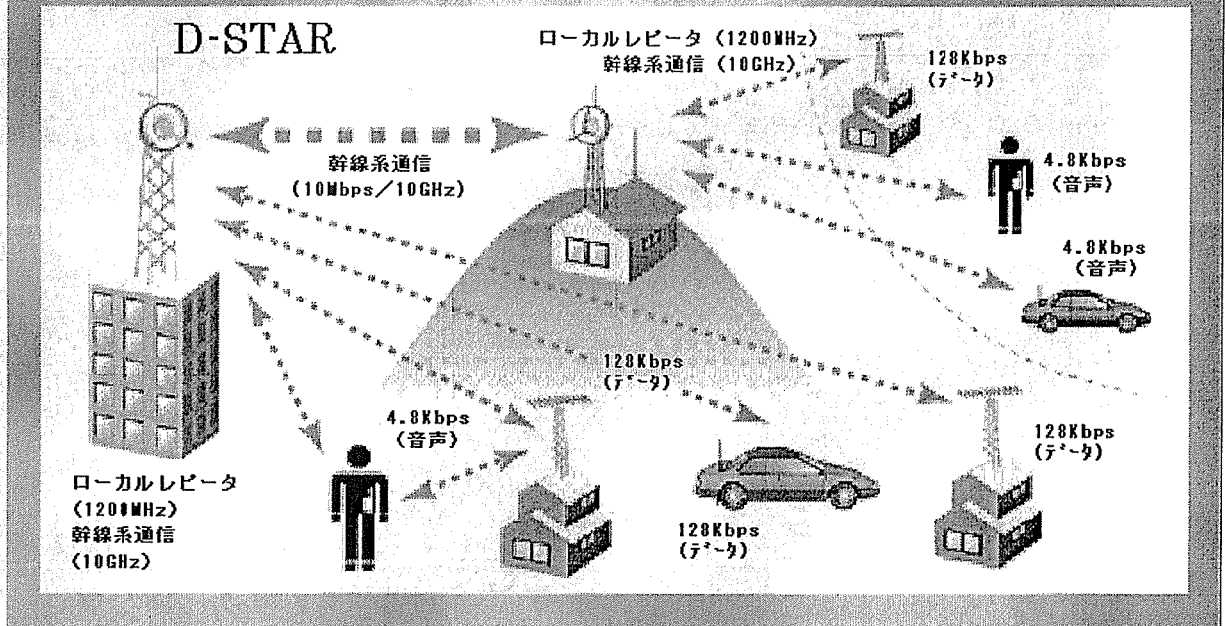
携帯電話のようにインフラの整備が完全に整わないと動作できないようなシステムはアマチュア無線になじまず、最初はデータ系通信のレピーター一つでも運用でき、その後増設できるようなシステムが必要です。

- ・ アナログ系等の従来のシステムとも通信の可能性があること。

新しいデジタル通信システムだけしか通信できないのではなく、従来のシステムとも適当なインターフェースをつけると通信できることが必要で、原理的にそのように動作することが確認されています。

## D-STAR

- デジタル無線通信
- 秘話通信ではない
- JARLで開発

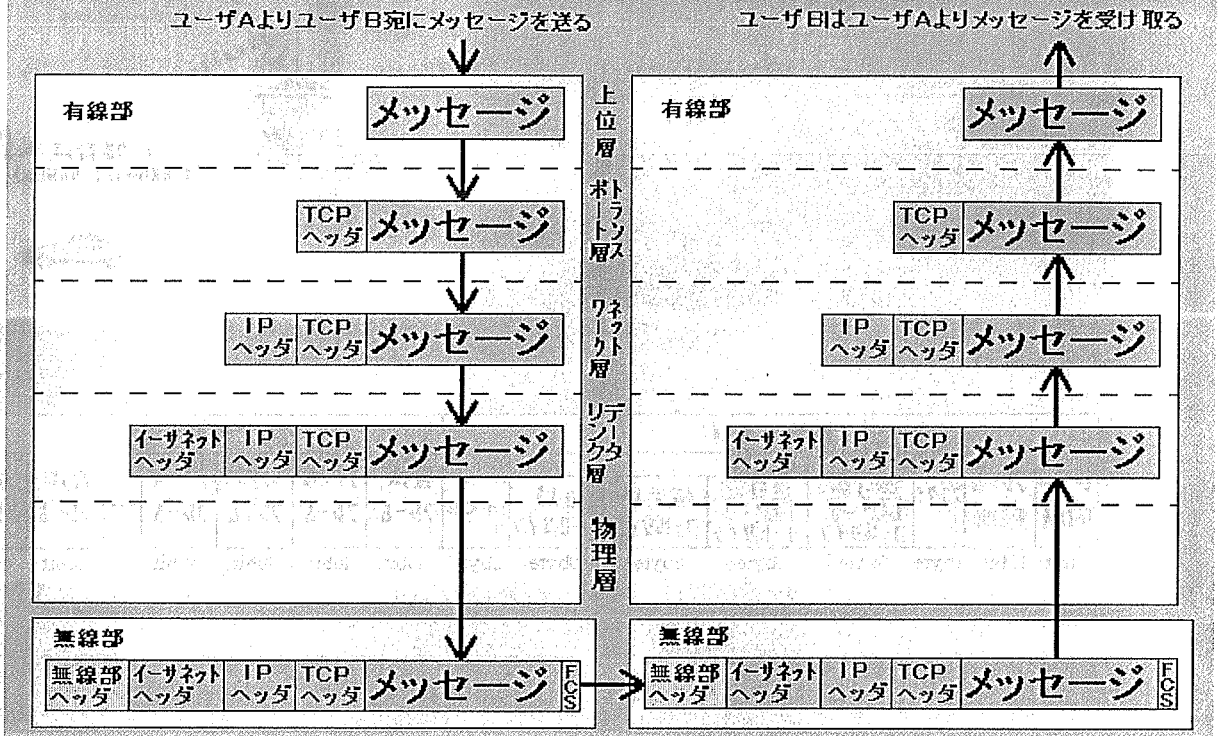


D-STARはJARLが開発したデータ系通信と音声系通信を組み合わせ、それぞれのレピータサイトを幹線系通信で接続できる統合的なデジタル通信システムです。

このシステムはオープンシステムで誰でも通信に参加することができます。また、アマチュア無線の特徴から秘話通信は使用できません。



# メッセージの転送



この図はデジタルデータ系通信でメッセージを送る課程を表しています。左側のユーザーAより右側のユーザーBにメッセージを送ります。作られたメッセージに有線部でそれぞれTCP、IP、Ethernetのヘッダがつきます。これは接続しているパソコンで自動的に処理されます。

10Base-Tより出てきたこのイーサネットパケットに前ページで説明した無線ヘッダをつけて無線で送り出します。

受信側では、この無線ヘッダを解読し、ヘッダを取り外して10Base-Tより接続しているパソコンへイーサネットパケットとして渡します。後はパソコンが自動的に処理してメッセージがユーザーBのパソコン画面に現れることとなります。

D-STAR

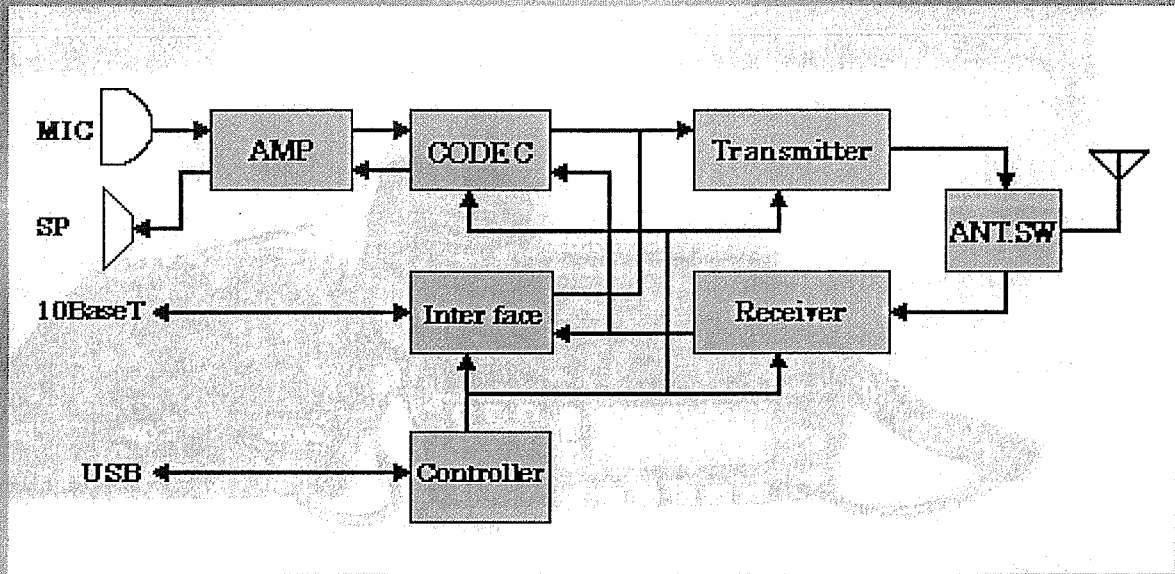
## 無線機の特徴

- 動作周波数 : 1.2GHz アマチュアバンド
- 動作モード (FDMA) : FM (アナログ音声通信)  
0.5GMSK (デジタル音声 / データ)
- 伝送レート : 4.8kbps(音声) / 128kbps(データ)
- CODEC : AMBE
- データインターフェース : IEEE802.3 (10Base-T)
- 高周波出力 : 10W / 1W
- 受信感度 (typical) : FM -16dBu  
4.8kbps GMSK 音声 -10dBu  
128kbps GMSK データ +2dBu
- 切替時間 : 10mS(デジタルモード)
- GMSK 変調 : Quadrature 変調 / FPGA(ベースバンド)

この表はID-1の特徴を表示しています。既に述べたように変調はGMSKとなっていますが、これは隣接チャンネルへの障害が少なく、従来のFMと同様にC級アンプを使用することができます。

伝送速度はデータ系通信が128Kbps、音声系通信が4.8Kbpsとなっています。

ID-1のブロックダイアグラム



この図はID-1の概略のブロック図です。デジタル音声系通信はMICから入力された音声信号を増幅後CODECによってデジタル信号に変換されます。そのデジタル信号をGMSK変調し、必要な電力まで増幅して出力します。

アンテナから入力された受信信号は受信部でGMSK復調されてCODECで元のアナログ信号に変換され、増幅後スピーカから出力されます。

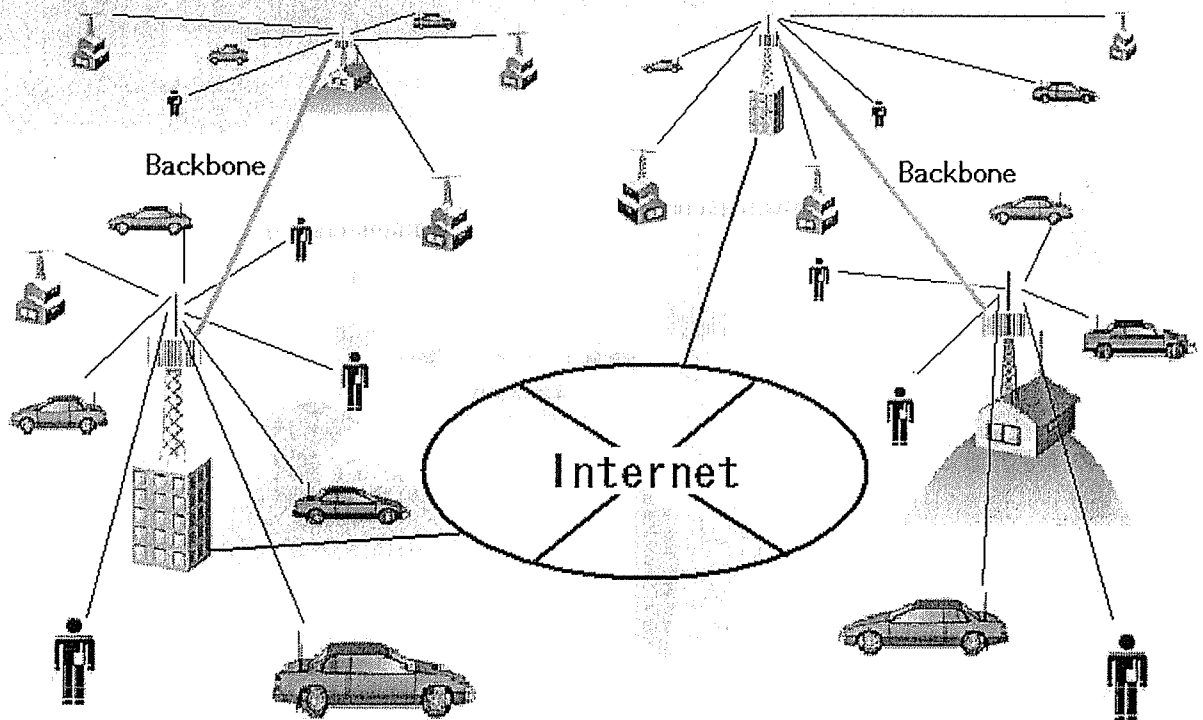
データ信号は接続されたパソコンより10Base-Tの端子に入力され、インターフェースを介して音声系通信同様にGMSK変調されて出力されます。データ信号の受信は音声信号と同様にGMSK復調され、インターフェースを通して10Base-Tでパソコンに入力されます。

コントローラに接続されたUSBはID-1のコントロールに使われ、通信には直接関係ありません。専用のコントローラRC-24だけでもコントロールできますが、このUSBにパソコンを接続して操作すると更に便利になり、その動作は後で説明します。

なお、従来のアナログFMも含まれていますが、ここではブロック的に特に表示していません。

D-STAR

## インターネットを経由した統合システム



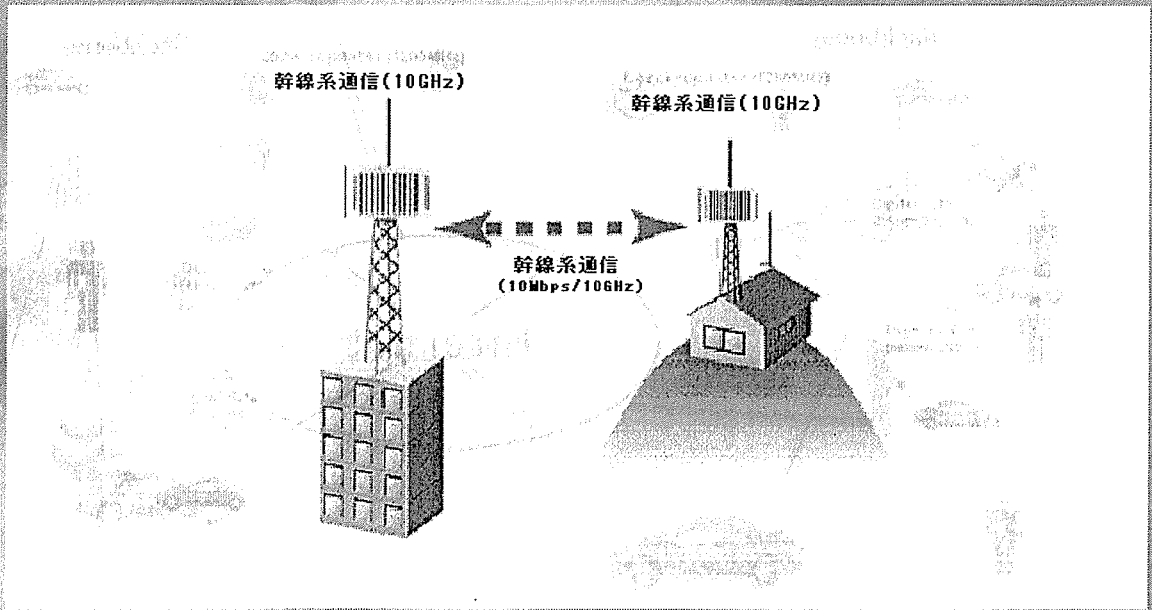
レピータサイト間を繋ぐ幹線系通信はアシスト局によって4ヶ所まで接続が許可されます。この最大4レピータがアシスト局で繋がっている部分をゾーンと呼ぶことにします。各ゾーン間はインターネットによって接続することができます。

従って北海道から九州まで接続可能で、将来的には例えば、北海道の人が九州のレピータからCQを出すことができるようになります。



# D-STAR

## レピータサイトを結ぶ幹線系通信



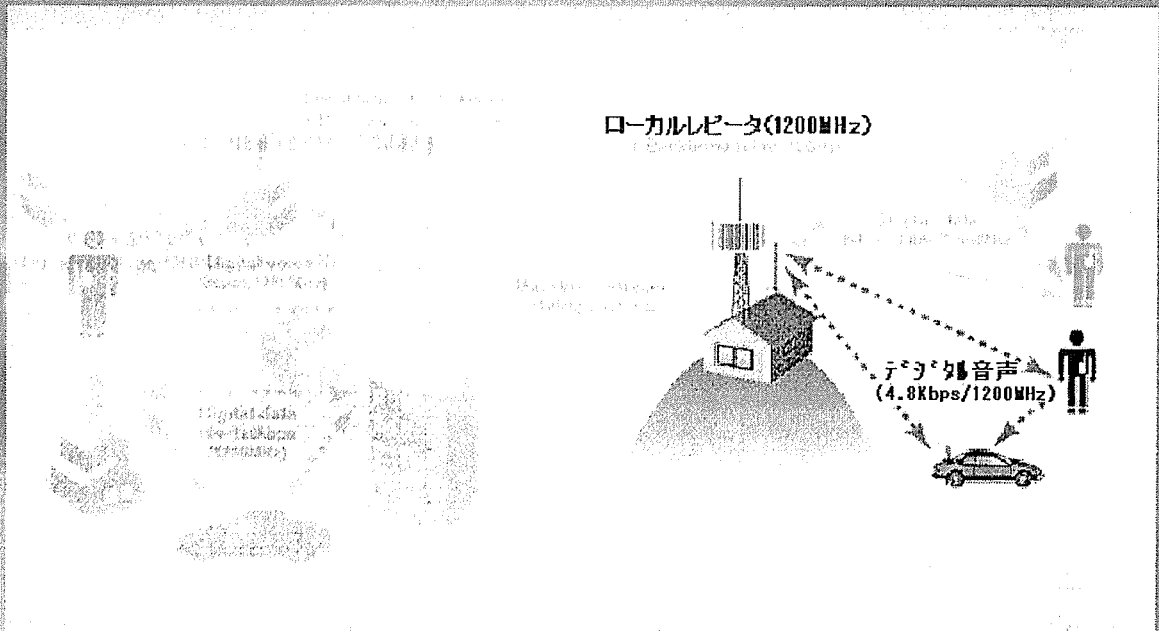
データ系通信や音声系通信のレピータの集まっている所をレピータサイトと呼んでいます。このレピータサイト間を接続するのが幹線系通信でアシスト局と言います。

D-STARではこの幹線系通信に10GHz帯の周波数で伝送速度10Mbpsの通信を行っています。10Mbpsの伝送速度はデータ系通信および音声系通信の使用頻度の概算と、市販のイーサネット10Base-Tの機器や部品が入手容易なことなどによって決定されました。

使用周波数は、伝送速度10Mbpsの信号を送信可能な帯域を持つ周波数帯になります。現状では10GHz帯と5.6GHz帯でその条件を満たすことができます。10GHzを超える周波数帯ではこれより広帯域のバンドが多いのですが、このような高い周波数帯になると通信距離が短くなり幹線系通信としての中継が困難になります。

D-STAR

## ・ローカルレピータ経由のデジタル音声通信



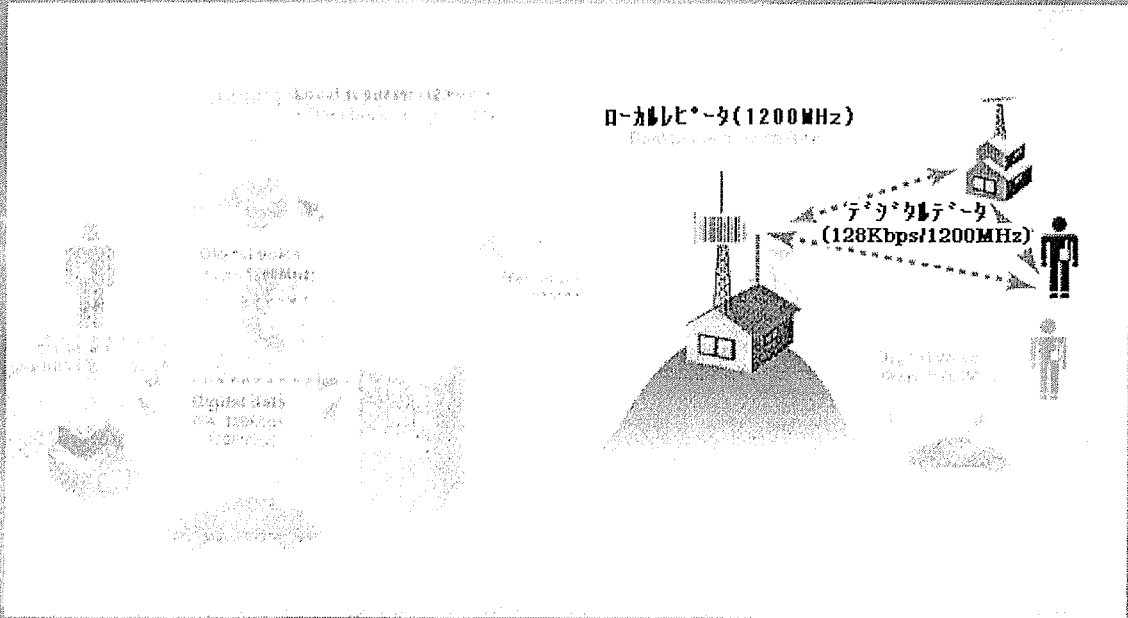
デジタル音声系通信はデータ系通信と同様に一つのデジタル音声レピータを通して相手方と通信することができます。

音声系通信はデータ系通信と異なり、リアルタイム性が必要です。データ系通信では多少応答に時間遅れが生じて通信に大きな影響はありませんが、音声系通信では、こちらからの呼びかけに対して長い時間遅れがあったり、またはその遅れが不規則であったりすると快適な音声系通信ができません。このため、D-STARではデータ系通信と音声系通信を別の系統に分けて通信するようにしています。

インターネットを経由した音声系通信は、伝送速度が4.8Kbpsと狭帯域のため通信可能になっています。また、データ系通信によるVoIPの音声系通信は、使うこと自体は許容されますが、アマチュア無線では回線容量の関係でVoIP音声系通信はあまり快適ではないかも知れません。

音声系通信もレピータを通さず直接相手方と通信することができます。

・ローカルレピータ経由のデータ通信



デジタルデータ系通信は一つのデジタルデータレピータを通して相手方とデータ通信することができます。既に述べたように、データ系通信はインターネットと同じTCP/IPのプロトコルを使って通信します。

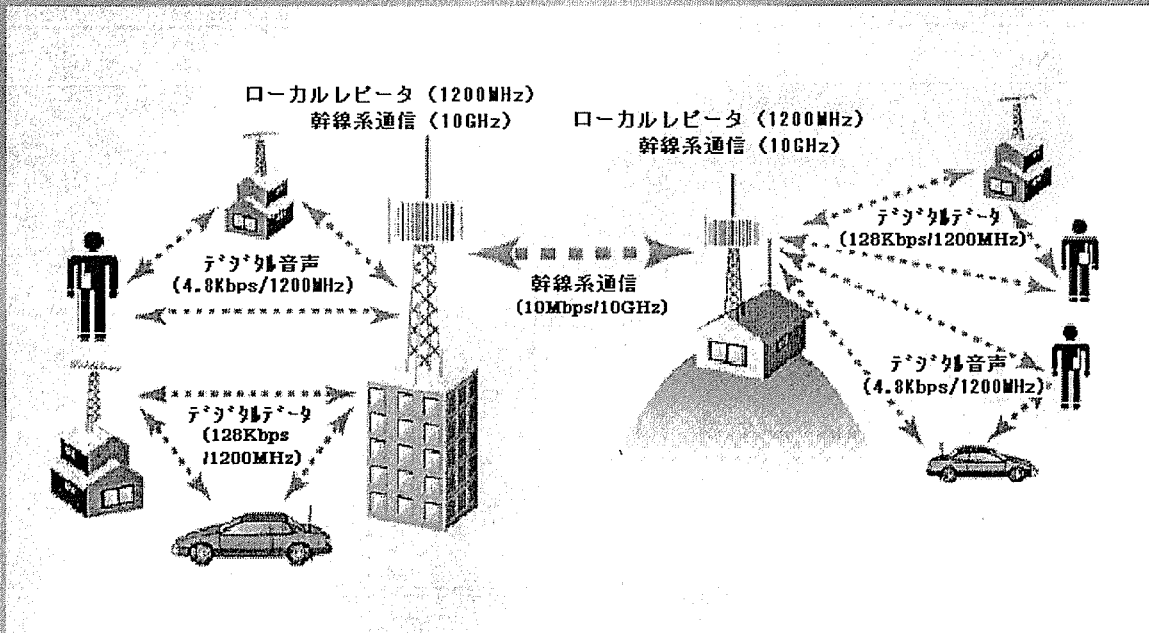
実際には無線通信機ID-1の10 Base-Tの端子にパソコンを接続し、パソコンが持っているTCP/IPのプロトコルで通信します。従ってインターネットで扱うことのできる画像やテキスト、音声等すべてが通信可能です。

もちろんレピータを通さずに直接相手方と通信することもできます。

D-STAR

- ・レピータを使用
- ・10GHzの幹線通信
- ・データ通信はシンプレックス

- ・デジタル音声通信
- ・高速データ通信



D-STARシステムは128Kbpsのハイスピードデータ通信と4.8Kbpsのデジタル音声通信が利用でき、データ系通信、音声系通信それぞれのレピータを経由した通信と相手方と直接の通信もできます。

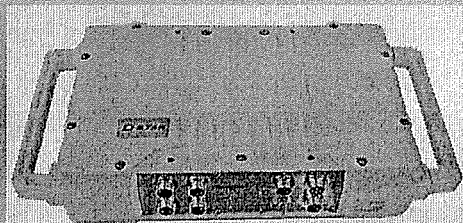
データ系通信は送信と受信を交互に行うシンプレックスで、音声系通信は従来のアナログFMと同様なセミデュプレックスで中継します。

データ系や音声系のレピータを設置している場所をレピータサイトと呼ぶことにします。D-STARでは、それぞれのレピータサイトを接続する広帯域の幹線系通信があり、データ系通信と音声系通信の信号を多重化して送ることができます。このため、従来より異なった広域の相手方とデジタル通信をすることができます。

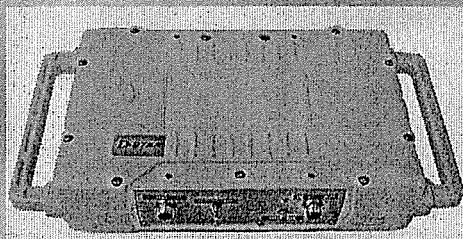


D-STAR

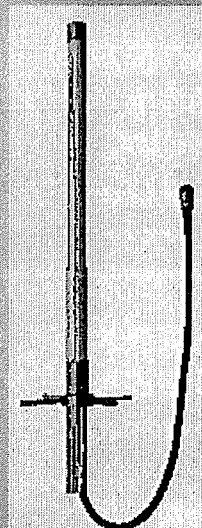
## ローカルレピータとアンテナ



1.2GHz データレピータ



1.2GHz 音声レピータ



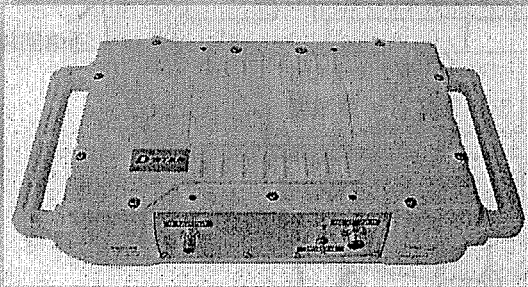
1.2GHz アンテナ

データ系通信と音声系通信のローカルレピータは1.2GHz帯を使用しています。データ系通信の伝送速度は128Kbpsで占有周波数帯幅は約130KHz程度になりますので144MHz等低い周波数帯では周波数区分上使用できません。音声系通信は伝送速度が4.8Kbpsで占有周波数帯幅が5.5KHzと従来のアナログFMより狭帯域のため、占有帯域的には従来のアナログFMの使える周波数帯で使用可能です。

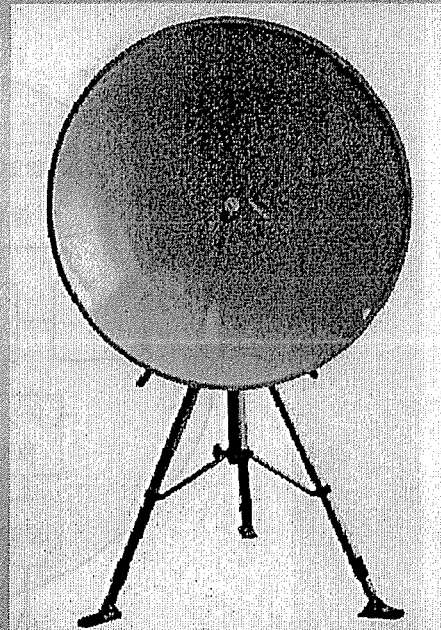
データ系通信と音声系通信を同時に使うことが多く、アンテナはそれぞれ相互の影響を少なくするよう一体型のアンテナになっています。

D-STAR

## 幹線系レピータとアンテナ



10GHz 幹線系レピータ



10GHz 90cm のパラボラアンテナ

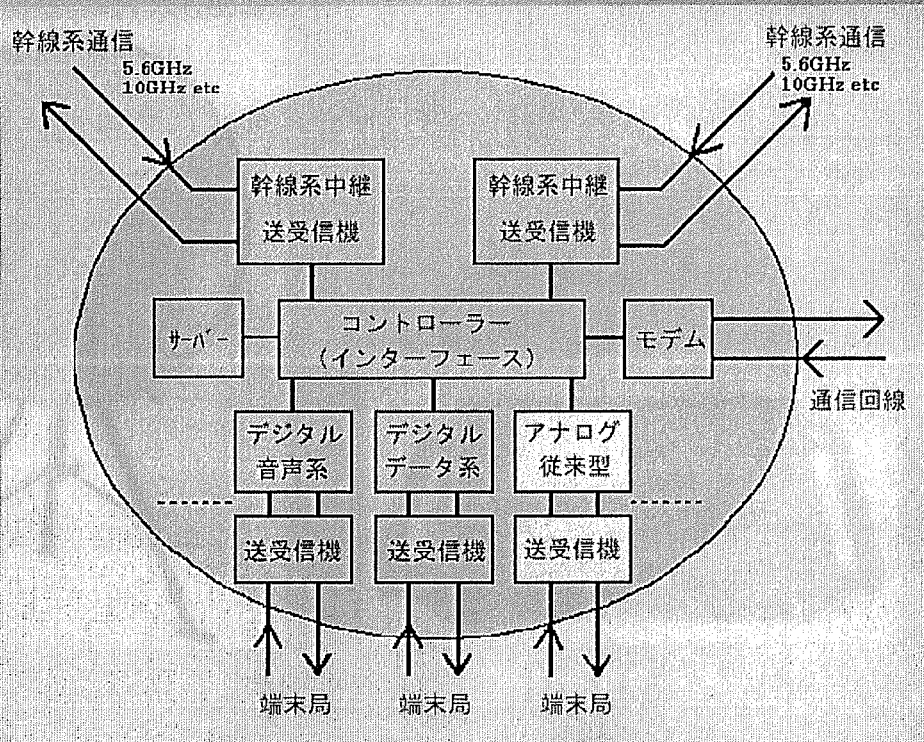
データ系通信と音声系通信を多重化して送る幹線系通信レピータは10GHz帯で一つの筐体にまとめられていて、送信出力は1W/2Wとなっています。

今までの幹線系通信の実験では、10GHz帯で90cmのパラボラアンテナ、ゲイン36dB、出力1Wで気象条件を含めて約20Kmが限度ではないかと思われます。周波数が高いため、遠距離では大雨や霧の影響を受けて通信が止まる可能性があります。

多重化の方法など詳細は後で説明します。

10GHz帯のアナログFMの音声系通信等では、このアンテナを使うと100Km以上通信できると思いますが、幹線系通信では伝送速度が10Mbpsで占有周波数帯幅が10.5MHz程度になり音声のような狭帯域通信に比べて通信距離は極端に短くなってしまいます。

# レピータサイトの構成

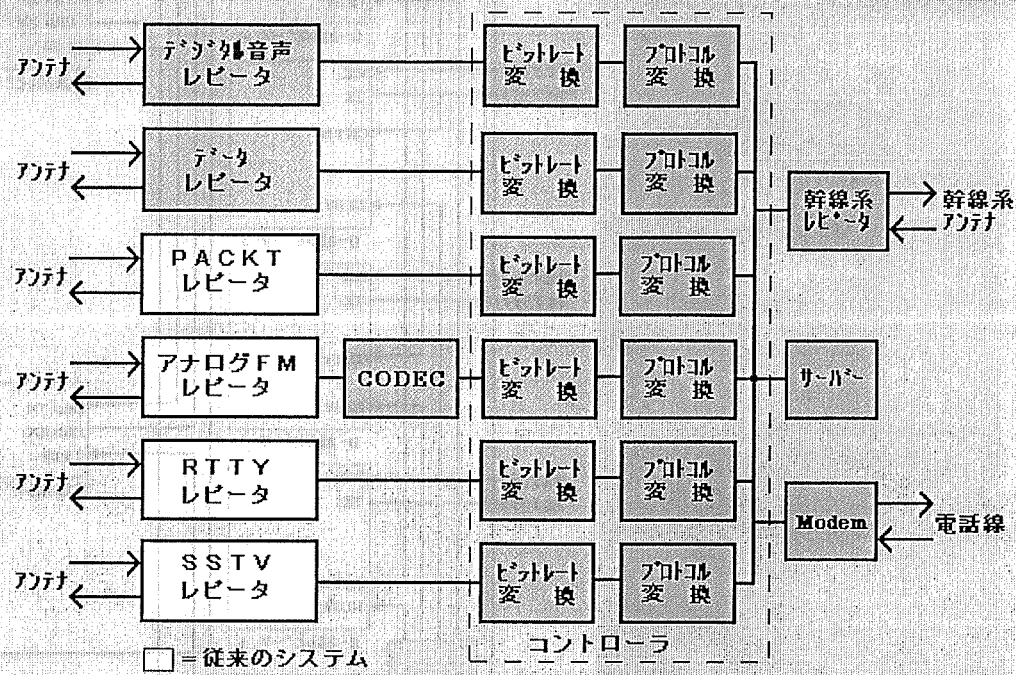


実際のレピータサイトの構成はこの図ようになります。デジタルデータ系通信と音声系通信はそれぞれ別のレピータで動作し、アナログFMレピータのようなコンベンショナルのレピータも図のように接続可能です。

図のようにレピータサイトにモデムをおき、有線回線に接続するとインターネットへアクセスできます。またサーバーを接続するとそれぞれの端末よりこのサーバーへアクセスできるようになります。

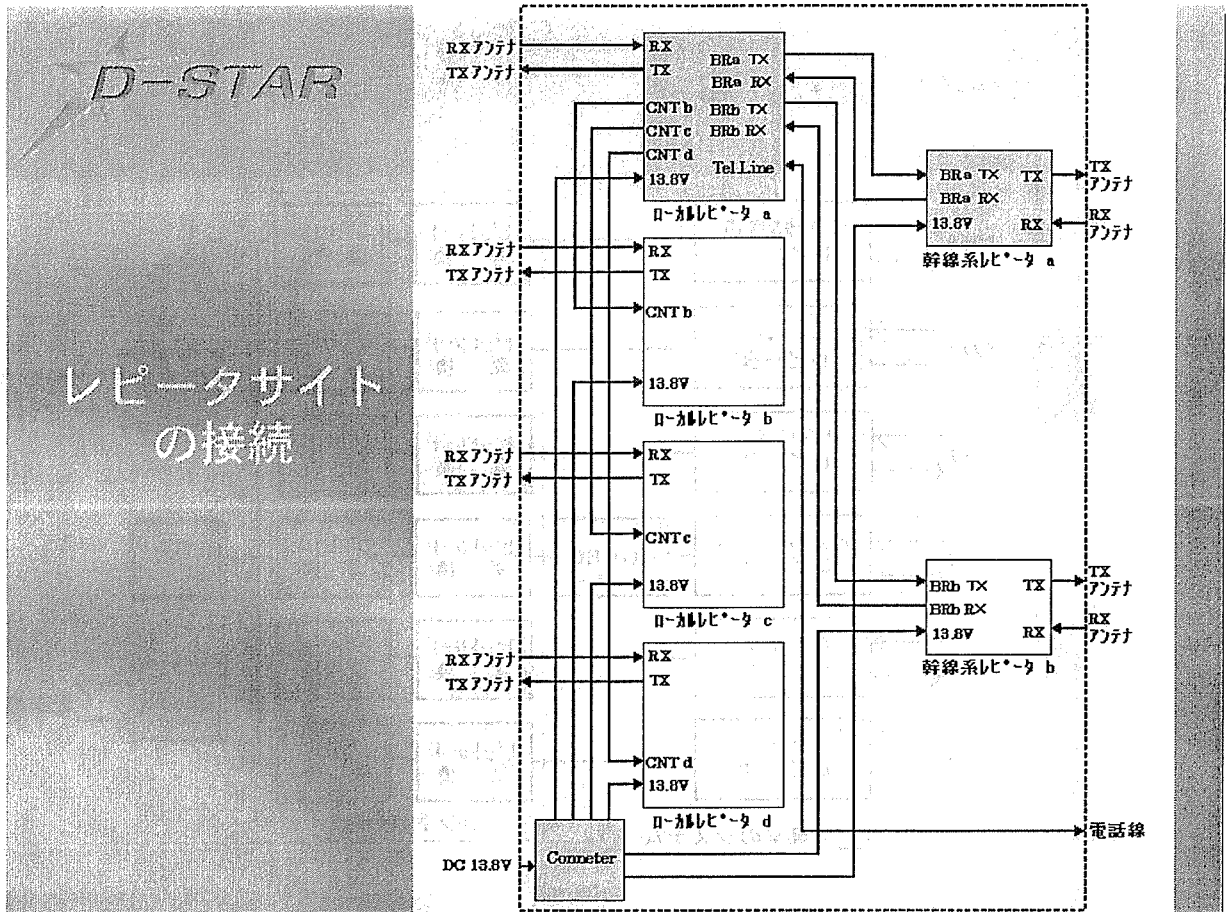


レピータサイトの詳細



この図はレピータサイトのより具体的な詳細を図に示します。黄色のボックスは従来のアナログシステムで、このシステムとのデジタルシステムへの接続が可能な様子を表しています。従来のアナログシステムとのビットレート変換やプロトコル変換の機器は現在開発中です。





この図はD-STARのデジタルデータ系通信、デジタル音声系通信および幹線系通信の部分の構成と接続を示しています。それぞれのレピータサイトにはコントローラが必要ですが、デジタルデータレピータにこのコントローラが含まれています。このレピータよりデータ信号と音声信号を多重化して幹線系通信レピータに送ります。逆に幹線系通信のレピータから来た信号はこのコントローラで分けられて、データレピータと音声レピータへ送られます。

緑色のボックスは最小限のシステムを表していますが、黄色のボックスで示すようにデータレピータ/音声レピータは合計4台まで増設でき、また幹線系通信レピータはもう1台増設可能です。

後から増設するデータ/音声レピータにはコントローラが不要なため含まれていません。

## ソフトウェアとプロトコル

- D-STAR プロトコル
  - データ通信プロトコル
  - 音声通信プロトコル
  - 幹線通信プロトコル
- ID-1のUSBのコントロールソフト
- アプリケーションソフト

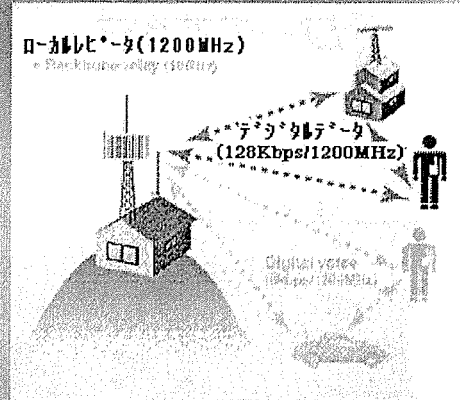
ID-1にはここに示すソフトウェアとプロトコルが関係しています。

プロトコルはD-STARの通信システムに必要なものであり、ID-1のUSB端子を使用するものはプロトコルと呼ばず、コントロールコマンドと表現します。このようにID-1のUSBでのやり取りは本来通信のプロトコルではありませんので注意が必要です。

また、ID-1に接続したパソコンでの通信は、このままでは単にローカルレピータや幹線系通信接続しただけのものであり、実際には色々なアプリケーションが必要です。有線回線に接続してインターネットにアクセスしたり、付加したサーバーへのアクセスはこのアプリケーションの一部になりますが、どのように使うと面白い興味あるアプリケーションの提案をユーザーよりお待ちしております。

D-STAR

データ通信  
プロトコル



データパケットの構成

無線ヘッダ部								データ				FCS	
ビット 同期	フレーム 同期	フラグ	ID				PFCS	ELen	MAC Header			データ フレーム	CRC
			送り先 レピータ コールサイン	送り元 レピータ コールサイン	相手局 コールサイン	自局 コールサイン			SA	DA	Type		
64bit	15bit	1byte	8byte	8byte	8byte	8byte	2byte	2byte	6byte	6byte	2byte	46-1500byte	4byte

D-STARのプロトコルでデータ系通信に使うパケットの構成は図のようになっています。

無線ヘッダ部は無線通信で相手方と接続するために使用する部分です。この無線ヘッダ部以降は後で説明しますイーサネットパケットで構成されています。

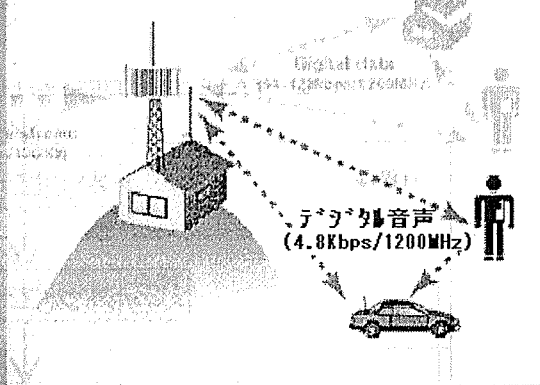
無線ヘッダ部は次のようになっています。

- ・ビット同期  
入力信号に同期をとるためのビット同期信号。
- ・フレーム同期  
これより信号であることを表すフレーム同期信号。
- ・フラグ  
このヘッダの意味づけをしています。レピータ経由通信／直接通信、レピータ制御信号等。
- ・送り先レピータコールサイン  
幹線系通信で中継したとき、最終目的地のレピータコールサイン。
- ・送る元レピータコールサイン  
その端末が属しているレピータのコールサイン。
- ・相手局  
相手方のコールサイン
- ・自局コールサイン  
自局のコールサイン
- ・P-FCS  
この無線ヘッダ部が有効かどうかのフレームチェックシーケンス。

D-STAR

音声通信の  
プロトコル

ローカルピータ(1200MHz)  
4.8Kbps/1200MHz



音声通信の構成

無線ヘッダ								データ						
ビット 同期	フレーム 同期	フラグ	ID				PFCS	音声 フレーム	データ フレーム	音声 フレーム	データ フレーム	...	音声 フレーム	ラスト フレーム
			送り先 ビット フィールド	送り元 ビット フィールド	相手局 コールサイン	自局 コールサイン								
64bit	15bit	1byte	8byte	8byte	8byte	8byte	2byte	48bit	48bit	48bit	48bit		48bit	48bit

次に音声系通信のプロトコルを説明します。音声系通信のパケットは図のようになっていますが、無線ヘッダ部はデータ系通信と全く同じです。

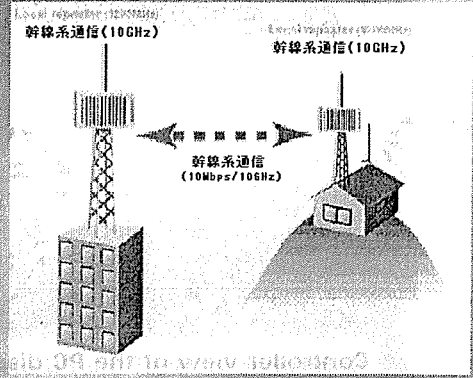
無線ヘッダの後のData部は、CODECで30mS毎にデジタル化された48bitの音声信号がVoice Frameです。その後の48bitのData Frameは小さな静止画やメモ等音声信号と同時に送ることができます。ID-1にはこの機能は反映されておらず、全体のCPUの容量等から後で変更することが困難であり、次世代の機器より対応する予定になっています。

送信の最後にLast Frameを付加して送信の終わりが分かるようになっています。また、このData Frameは20回に1回同期信号を入れることになっています。これはフェージング等によって通信の途中で信号が途切れると受信側で同期が取れなくなって再生不可能になることを防ぐものです。



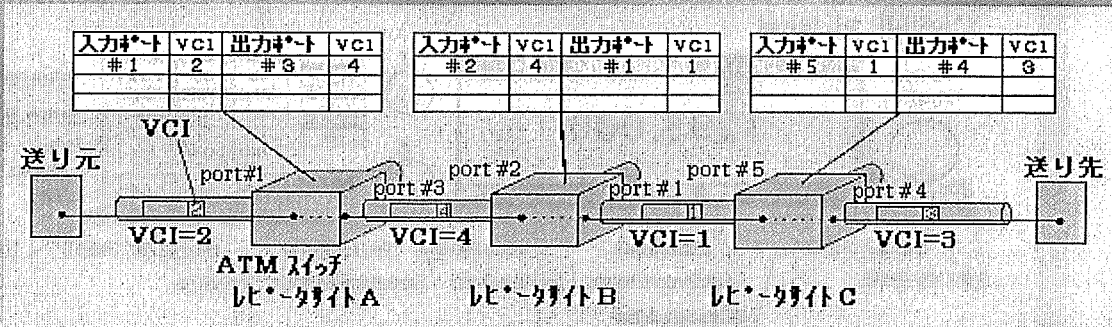
# D-STAR

## 幹線通信の プロトコル



### ATM (Asynchronous Transfer Mode)

ATM Cell (53byte) →					
Header	Payload	Header	Payload	Header	Payload
5byte	48byte				

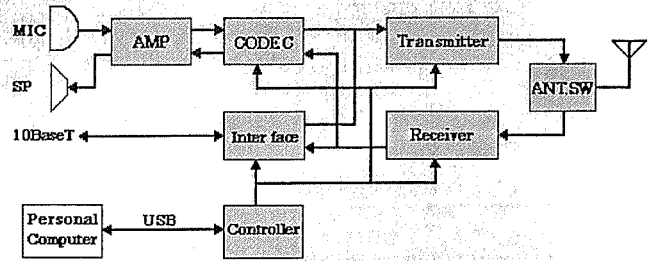


レピータサイト間を接続する幹線系通信のプロトコルはATM方式によってデータ信号と音声信号を多重化して送っています。ATMパケットは図のようにヘッダ部が5バイト、信号部が48バイトの53バイトの短いパケットで構成されています。

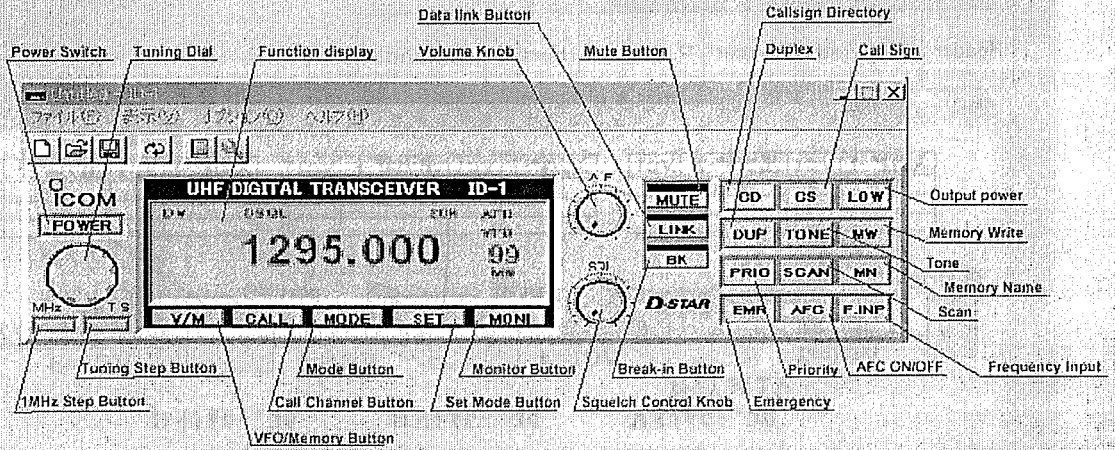
このヘッダ部で優先度の指定ができるため、リアルタイム性を必要とする音声信号に優先度をつけて送り、到着時にはリアルタイム性を確保できるようになっています。ATM方式はレピータサイト毎に置かれたATMスイッチにより予め設定したリストに従ってATMパケットの送り先へ送るようになっています。詳しくはATMの専門書をご覧ください。

# D-STAR

パーソナルコンピュータ  
によるコントロール



## Controller view of the PC display



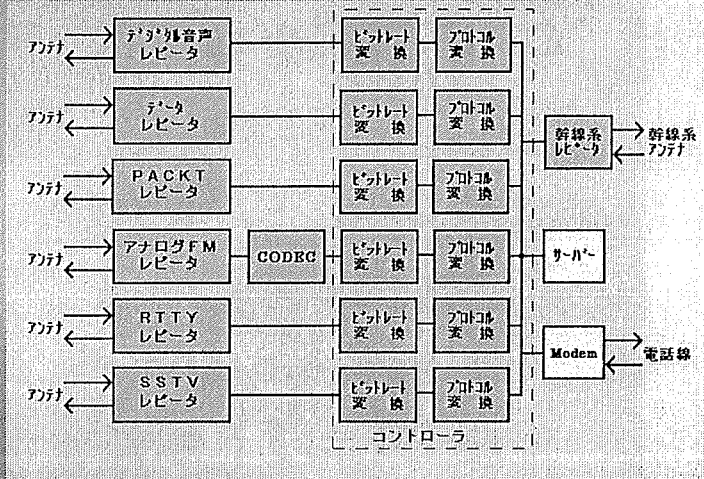
ID-1のUSBにパソコンを接続し、付属のソフトを動かしますと図のようなコントロール画面が表示されます。取扱説明書に従ってそれぞれのボタンをパソコンで操作するとそれぞれの機能で動作します。付属のコントローラRC-24でも操作できますが、パソコンでの操作の方が使いやすく便利です。

このUSBを使った信号は既に述べたように通信のプロトコルと直接関係なく、単にID-1の操作をパソコンで行うコントロールコマンドです。このコントロールコマンドを使っての色々なアプリケーションが考えられます。

# D-STAR

## アプリケーション

インターネット  
とサーバーへ  
のアクセス

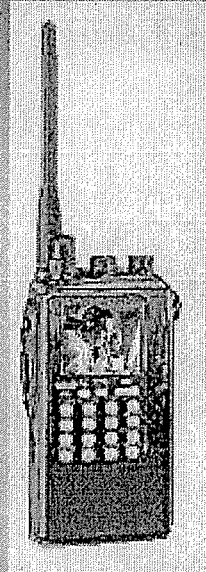


この図はアプリケーションとして、ID-1を使ってレピータサイトへ接続しモデムで有線回線に接続してJARLのホームページへアクセスした想定図です。このようにインターネットへ接続するアプリケーションや例えばサーバーに設置したメール機能やアマチュア無線のデータベースのアーカイブへのアクセス等考えられます。

# D-STAR

## アプリケーション

音声パケットのデータ  
フレームを使った短い  
データ通信。



無線ヘッダ								データ					
ビット 同期	フレーム 同期	フラグ	ID				PFCS	音声 フレーム	データ フレーム	音声 フレーム	データ フレーム	...	
			送り先 ビット フィールド	送り元 ビット フィールド	相手局 コールサイン	自局 コールサイン						音声 フレーム	データ フレーム
64bit	15bit	1byte	8byte	8byte	8byte	8byte	2byte	48bit	48bit	48bit	48bit	48bit	48bit

音声系通信のデータフレームへの対応はID-1ではまだできていないことを述べましたが、今後の機器では図のような小さな静止画を音声系通信と同時に送ることが考えられます。携帯電話に使われている小型のカメラは96 x 96画素程度のもので、つまり10,000ビット以下程度のため、この静止画は4～5秒位で送ることができます。

また、GPSの位置情報を音声と同時に送るアプリケーションも面白いかも知れません。今後応用は色々考えられると思います。



## D-STAR

### CODEC

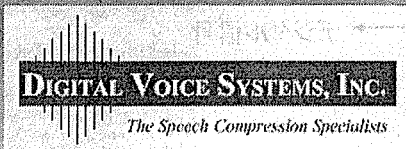
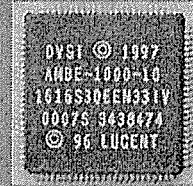


- ACELP (Algebraic Code Excited Linear Prediction) (ITU G723.1)
- AMBE (Advanced Multi-Band Excitation)
- VSELP (Vector Sum Excited Linear Prediction)
- CELP (Code Excited Linear Prediction)
- RELP (Residual Excited Linear Prediction)

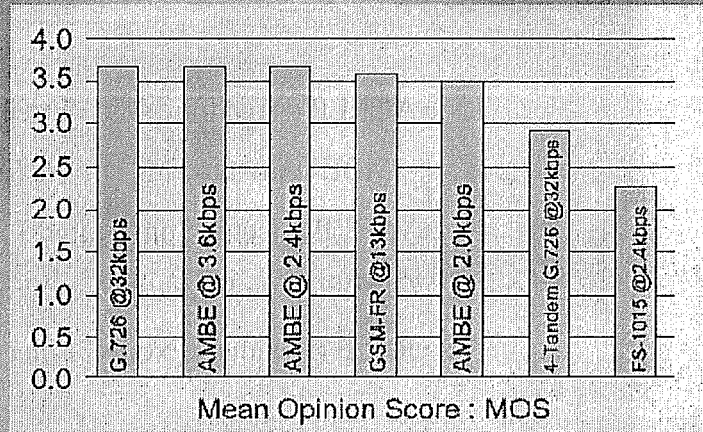
D-STARシステムの音声をデジタル化するCODECについて説明します。CODECは図のような色々な方式がありますが、ID-1のCODECはアメリカのDVI社で開発されたAMBE規格のものを採用しています。当初はITU勧告 G723.1の規格のものを検討していましたが、超ナローのAMBE方式を採用することになりました。

D-STAR

## AMBE CODEC IC



- ・それぞれの音声のセグメントを明確な周波数帯に分ける。
- ・それぞれの周波数帯に対する音声／非音声の決定をする。
- ・特定の音声セグメントに対するエキサイテーション信号を音声およびノイズのミックスにする。

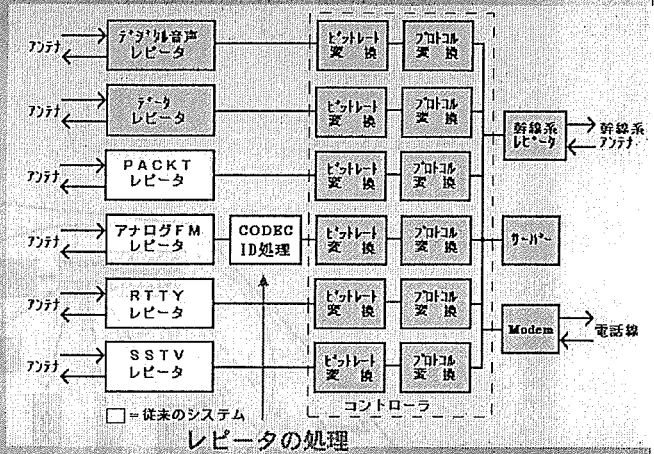


DVSI社で開発されたAMBE方式のCODECは2.4Kbpsと言う非常に低い変換速度で、ビットレートが低くても音質は良好です。D-STARでは音声の2.4Kbpsと同時に送れる短いデータ2.4Kbpsを合わせて4.8Kbpsで送ることになっています。

このCODECを使うと変換速度2.4Kbpsのビットレートの時には、GMSK変調でも占有周波数帯幅が約2.6KHzとSSB並の狭帯域にすることができ、HF帯でもデジタル音声系通信が可能です。

# D-STAR

## 従来のアナログFMとの通信方法



- ・アナログFM無線機にIDを送受するアダプターをつける。
- ・アダプターはマイク端子等のアナログI/Oへ接続する。
- ・音声送信を始める前にこのIDパケットを送出する。
- ・アナログレピータはIDを検出してD-STARのフレームに構成する。
- ・アナログレピータからアナログ無線機に送信する時は先にIDパケットを送る。
- ・アナログ無線機はIDパケットで自局を認識する。

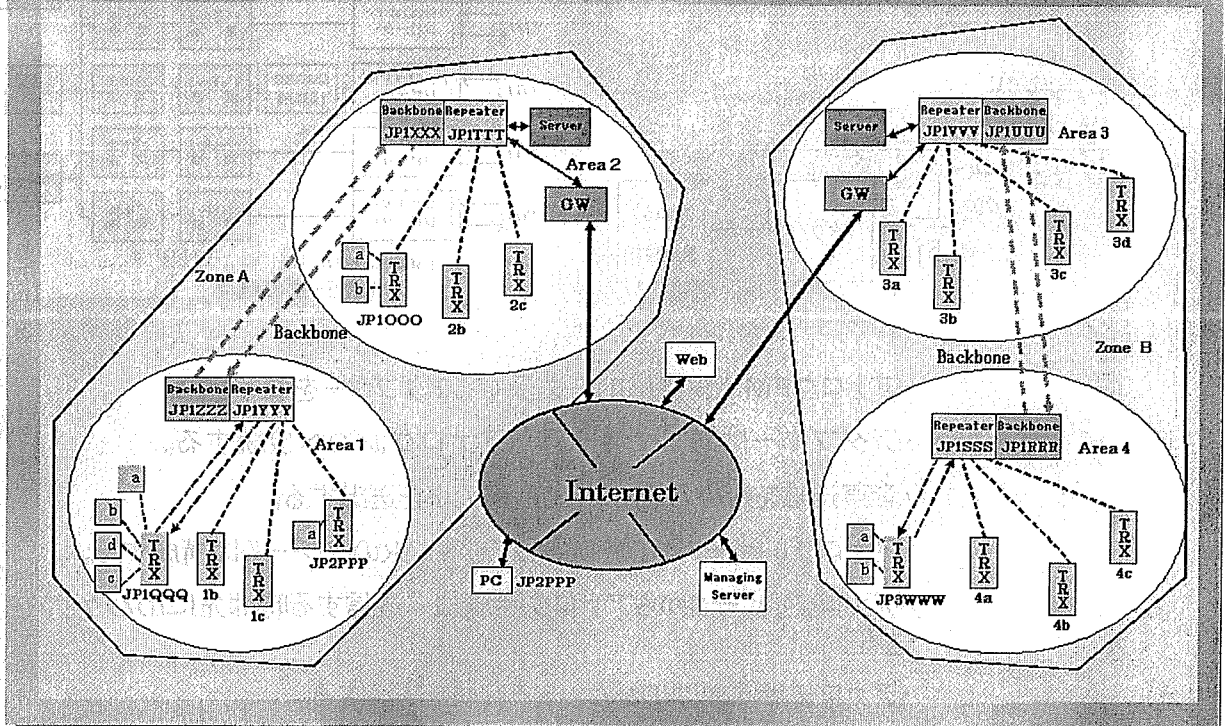
従来のアナログFM無線機をD-STARのシステムに接続する場合は専用のアダプタを取り付けて通信を行います。このアダプタは一般的に無線機のマイク端子に接続され、マイクはこのアダプタに接続します。またマイク端子に受信出力のあるものは、スピーカはそのままにし、受信出力のないものはスピーカ端子からアダプタに接続してスピーカはこのアダプタに接続します。これは従来から行われているパケット通信のターミナルと接続する方法とほとんど同様です。

アナログ無線機の送信は予め設定した自局、相手局、レピータ等のコールサインをデジタル化してマイク端子よりモデムの信号として送信します。アナログ音声信号はIDパケットを送った後から送ります。また、受信時には、受信出力より入ってきたID信号を解釈して自局の認識と表示等を行います。

レピータサイトではアナログFMレピータにCODECとID処理機能が追加され、アナログFM無線機から送られてきたIDの処理とアナログ音声をCODECでデジタル化して、その後ビットレート変換、プロトコル変換等を行ってD-STARシステムに取り込みます。

これらの動作により、従来のアナログFM無線機をD-STARの音声系として動作させることができます。





D-STARシステムは、無線部とインターネットを組み合わせた統合的なシステムとして動作します。インターネットを経由する信号はIPアドレスが必要で、全体として10. xx. xx. xxで始まるローカルのIPアドレスをJARLより固定アドレスとして割り振ります。従ってシステム全体がイントラネット的に動作することになりますが、インターネット網を通る時には所謂トンネリングによるVPNとして動作します。

システムのインフラストラクチャーができあがれば、将来的に面白いアプリケーションが増えていきアマチュア無線に有効なシステムとして発展して行くことを希望しています。