

電波で映像伝送する際の技術資料

(有) ギガ・テクノビジョン



電波で映像伝送する際の技術情報

1. アンテナの情報：

初めに送受信機に使用するアンテナについて一般的に重要である事が軽視される傾向にあります。アンテナは、無線システムの構築において電波の安定度を左右する大きなファクターです。仮に、送受信機的设计が理想通りに行われたとしても電波センサーであるアンテナが軽視されますと電波が空間上に放射しにくくまた、受信もしにくくなり、結果として送受信間の伝送飛距離が短くなります。

悪い事にアンテナについて理解が乏しいと闇雲に、送信出力をアップする傾向があります。即ち、電波が飛ばない原因を探らず、送信出力と受信感度の改善にエネルギーを注ぐことに陥ります。ひどいときは、誤り訂正回路を付加し、少しでも飛距離の改善に対応する羽目になります。まさに泥沼に足を取られて身動きが出来ない状況下に入ります。これでは、時代の流れである節電・省エネ・低コスト対策とは、ほど遠い結果となります。また、送信出力をアップすると電波法のсприас対策は規定値よりアップし、抑えることが困難になります。

例えば、音声ステレオ伝送で考えますと途中の増幅器が理想的な物であってもマイクとスピーカが性能の悪い物を使用した場合、f特性・歪率・ダイナミックレンジ・チャンネルセパレーション等に影響し、期待したほど綺麗な音質とは成り得ないと思います。

同様に、映像伝送に於いても高性能送受信機を使用してカメラとモニターが性能の悪い物を使用した場合、高精細映像の再生は難しくなります。

2. 4GHz帯パッチアンテナ

モデル：PA2413S



重量=600g 利得=13dBi
サイズ=177×169×28mm

モデル：ZA2409S



重量=200g 利得=9dBi
サイズ=120×80×15mm

では、アンテナ特性を左右する 3 要素について説明します。

指向性(方向性)・利得(gain)・特性インピーダンス Zです。

指向性とは電波の放射特性で一般的に 2.4 GHz 帯で 10 cm 程度の棒タイプアンテナは、8 字特性を示しており通常、無指向性と言われどこからでも電波を放射したり受信したりします。移動体無線機には、良く使用されております。仮に、送受信機が共に移動しながら使用する場合、狭指向性アンテナを用いると、電波がある方向で切れやすくなり映像が途切れます。即ち、移動する無線機は、無指向性アンテナが向いております。

一方、指向性アンテナは、送受信間の固定通信に向いております。指向性アンテナの長所は、方向性をもっておりますのである方向に対して電波を強く放射、受信したりします。

方向性から外れた領域の空間上では、外乱ノイズの低減に役立ちます。例えば、無指向性アンテナを受信機に使用した場合、希望信号及び外乱ノイズが共に同一周波数であれば対等にキャッチします。

その結果、電波の安定度に悪影響を及ぼします。UHF 帯の電波は、伝送距離が長距離になるに従いレーザーとは違い、電波が広がる傾向にあります。それゆえ、歩行レベルの移動であれば指向性アンテナを用いても電波が切れにくくなります。尚、指向性アンテナを用いて移動しても切れにくい改善方法として受信側に複数の指向性アンテナを用いた空間ダイバーシチ方式が効果を発揮し、受信感度も向上します。指向性アンテナとしてよくパッチアンテナ (micro-strip antenna) が使用されます。

次に**利得** (gain) について説明します。利得と指向性は緊密な関係にあり、互いにトレードオフの関係です。即ち、利得を大きくすると指向特性が狭くなり、指向特性を広くすると利得は小さくなります。因みに、利得とはアンプの増幅度のようなものです。

尚、アンプは、消費電力を発生しますが、**アンテナは消費電力ゼロで省エネです!**

棒タイプのスリーブアンテナは、一般的に無指向性ゆえ利得は小さく、2 dBi 程度です。指向性のパッチアンテナでは、7~15 dBi ほどです。固定通信で長距離伝送の場合、高利得アンテナが向いております。おわん形のパラボラアンテナが代表例です。

利得の単位として相対利得 [dBi または dB] と絶対利得 [dBi] があります。一般的には、絶対利得の表示が多く見受けられます。**絶対利得は、完全無指向性『等方向性』アンテナ (0dBi) の利得を基準にし、相対利得は半波長ダイポールアンテナ (0dB) を基準にしております。**例えば、半波長ダイポールアンテナの絶対利得は、2.15dBi、相対利得で表しますと 0dB となります。**一般的に利得が大きくなりますとアンテナサイズも大きくなる傾向にあります。**

一方、進化したアンテナとしてアンテナ素子を複数使用し、高利得で指向性を自由に変更出来、追尾するアンテナもあり衛星通信・軍用通信に使用されております。一例としてフェーズドアレーアンテナやアダプティブアレーアンテナ・マルチビームアンテナ等があります。

特性インピーダンスZについて説明します。一般的な無線機のアンテナインピーダンスZは、 50Ω にて設計されています。理由は、無線機のアンテナ端子のインピーダンスが 50Ω に設計されているからです。アンテナインピーダンスと無線機のアンテナ端子インピーダンスが共に 50Ω で整合されていますと電磁波エネルギーはすべて負荷に供給されます（有能電力）。不整合の場合、損失分が熱に変換されアンテナ周辺部が熱くなります。尚、アンテナのインピーダンスが 50Ω に限りなく近い値を示す表示としてVSWR（SWR）とリターンロス（RL）があります。リターンロスは読んで字の如く、反射係数をlog換算で表示したもので単位はdBです。一例として次のような関係にあります。

●RL = 20 dB時→VSWR = 1.2でZ = 61Ω または 40Ω 有能電力効率 = 99%

●RL = 10 dB時→VSWR = 1.9でZ = 96Ω または 25Ω 有能電力効率 = 90%

通常、インピーダンスの目安としてリターンロス（RL）は10 dB以上を推奨します。

上述の数値は、専門の計算式があり、各条件数値を代入し計算結果から得られた数値です。余談ですが、無線機関係の特性インピーダンスZは、ほとんどが 50Ω 、映像信号関係のインピーダンスZは、 75Ω です。一方、アンテナの特性として偏波面があります。

偏波とは、電磁波の電界と磁界が交互に直交しながら空間上に振動し伝搬します。このうち電界の方向が特定の方向に振動する事を偏波と言います。偏波面が時間的に変化しないものを「直線偏波」と言います。また、偏波が大地に対して垂直な電波を「垂直偏波」と言い、大地に対して水平な電波を「水平偏波」と言います。それ以外に特定の方向に回転しながら振動する偏波を円偏波（右旋回転・左旋回転）と言います。衛星通信に使用されております。**電波は、同じ送信出力の無線機でも周波数（マイクロ波・ミリ波）が高くなりますと飛びにくく、回折効果（回り込み）も失われていきます。限りなく光の特性に近くなり、一般的にシステムのコストアップにつながります。**飛距離の改善は、高利得アンテナの使用または、送信出力のアップ（電波法と省エネ上？）加えて、受信感度の向上のみです。

因みに、送受信アンテナは、同一偏波方式の物を使用した方がトラブルは、ありません。

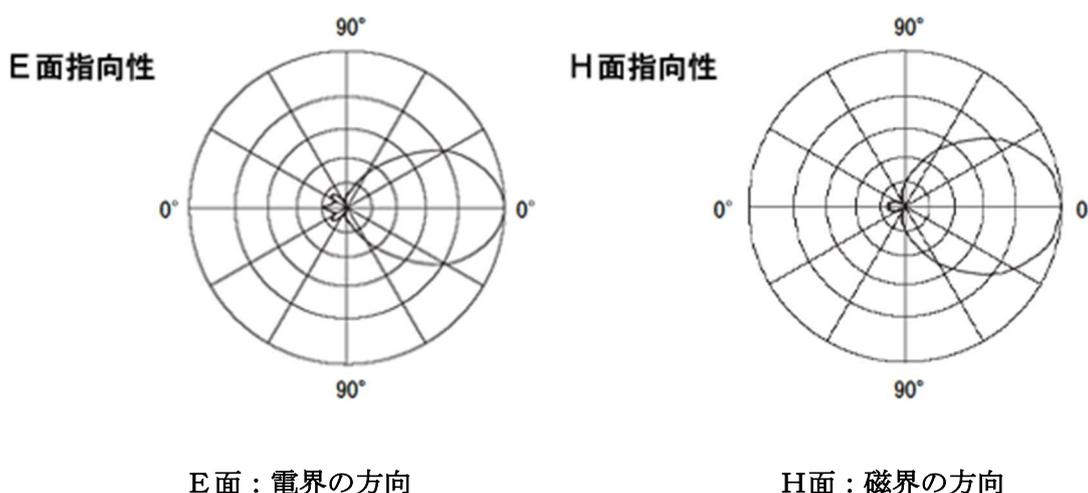
実際に現場では、各種のアンテナを用いてテストを行ない、現場に適した最良の送受信アンテナを選択すべきかと思えます。**注意事項としてアンテナは、地面より可能な限り高く設置し、アンテナの周りには金属その他の遮蔽物は置かないで下さい。意外と当該事項が軽視されて**

おり、電波が飛ばないと苦情があります。また、アンテナの給電線（同軸ケーブル）の必要
条件は、太いケーブルで短く配線することが望ましく、長くする場合は、低ロスタイプ（0.3～
0.5dB/1m）の太い同軸ケーブルを選んで下さい。

上述の内容について更なる詳細を知りたい方は、ニュートンの万有引力（古典力学）・マックス
スウェルの電磁方程式・右ねじの法則・波の回折におけるホイヘンスの原理等が掲載されている
アンテナ工学・電磁気学の専門書を推薦します。

[パッチアンテナの指向特性]

$f = 2.4\text{GHz} \sim 2.5\text{GHz}$, 利得 = 9 dBi, 半値幅 = E面 : 約 63度 H面 : 約 77度



2. 送信機・受信機の情報 :

送受信機の通信形態には、単向・単信・半復信・復信等の通信路方式があります。単向方式
は、一方向通信方式でラジオやTVなどの垂れ流し方式です。その他の方式については、双方向
通信方式です。単向通信方式は、送信機が電波法の規定対象となり、受信機は対象外となりま
す。それ以外の双方向通信方式は、送信機・受信機共に電波法の対象となります。因みに、弊社
の無線ユニット・モジュール品及び無線機は、単向方式です。それ故、受信側のアンテナにつ
いて規制はなく高利得アンテナを使用出来、長距離伝送が可能です。

一方、電波法（総務省の管轄）では、小規模（特定小電力レベル）な無線設備は、技術適合証
明（技適）の検査を無線機製造業者（通信機メーカー）が、必ず受ける義務があります。合格品
には、必ずTマークの合格シールが発行されます。Tマークシールの無いものは、違法品として
処罰されます。小規模レベルとは、一般的に送信出力が 10m～250mW レベルのものが対象で
す。飛距離では、屋外見通し距離 100m～3km程度、伝送出来る無線機です。

日本の電波法は、送信機のスペックに力点を於いて法規制が厳格に管理されております。特に、送信機のRF出力・使用周波数の誤差・不要輻射（スプリアス）・変調方式・占有帯域幅等は、どの周波数帯でも必ず技適上、確認し測定される仕組みになっております。余談ですが、外国製の無線機がネットや秋葉原で販売されておりますが、大半は、日本の電波法を無視した違法品で性能も悪く、安かろう悪かろう製品です。特に、中国製・台湾製等が多く見受けられます。当然、〒マークシールは貼られておりません。法人に対する電波法は、厳しいので無線機を購入する際は、必ず〒マークのシールが無線機に貼られているかどうか確認すべきです。日本製の無線機は、殆ど〒シールが貼られておりますが、中には、違法品もありますので注意して下さい。

弊社製品全ての無線機は、電波法の技術適合証明（技適）取得済みで合格品です。



技適合格品マーク

日本製の無線機を外国で販売もしくは使用する機会があると思いますが、当然使用する国の電波法に準拠し、日本の総務省に対応した電波管理局の行政機関に申請する必要があります。米国ではFCC（米国連邦通信委員会）、EUでは、欧州無線・EMC規格であるEC/R&TTE指令（Radio and Telecommunications Terminal Equipment Directive 1995/5/EC）の中で法規格の詳細がわかります。また、申請代行を有償にて行う企業もあります。

ところで**国内電波法では、ビデオ信号を送れるキャリア周波数帯は一般的にGHz帯のバンドのみです。**

次に**変復調**について説明します。日本の電波法では、特定小電力レベルでの変調は、デジタル変調方式の採用を法規格で定められております。但し、**微弱電波（送信出力=0.5mV/m以下）**領域については規定化されておきませんのでアナデジどちらの変調方式の仕様も問題ありません。また、微弱電波の送信出力は周波数帯によって異なり、法規制上、周波数が高くなるにつれて小さくなります。322MHz～10GHz帯までの送信出力は35μV/mで、ほとんど飛びません。通常、微弱電波領域（0.5mV/m）の飛距離は5～10mレベルです。**微弱電波は法規制上、技適の申請も不要です。これを悪用して販売している2.4GHz帯の無線機もあります。明らかに送信出力が異なりますから違法品となります。**

デジタル変調方式について説明します。デジタル情報を載せる高周波信号（carrier）は、アナログ信号ですので伝送上、ビットエラーが発生します。一般的には、ベースバンドの情報を高周波信号に乗せる事を変調、逆の操作を復調（検波）と言います。高周波信号にベースバンド情報（デジタル情報信号）を載せる方法として、高周波信号の**周波数（FSK,MSK）・振幅（ASK）・位相（PSK）**等を変化させて変調信号として空間上に伝送します。一方、アナログ変調方式で

上述の順に考えますと、FM・AM・PMに相当します。更に、発展したデジタル変調方式では、振幅と位相にデジタル情報を載せる方式（QAM）や異なる振幅値に情報を載せる多値ASK・異なる周波数に乗せる多値FSK・異なる位相に載せる多相PSK等があります。

一般的に多値変調は、電波法で定められた狭帯域内でデジタル情報を多く載せますのでビットエラーが発生しやすくなります。

例えば、平均ビットエラー率（BER）＝ 10^{-6} レベル時において、理論上受信側の所要C/Nは、BPSK時11dB、多値化の64QAM時27dBとなりその結果、多値化すればするほど受信感度は悪くなります。即ち、無線伝送上飛距離が短くなります。これを少しでも改善する手法として訂正符号（インターリーブ・リードソロモン符号・ターボ符号・トレリス符号）を追加しハード・ソフト面で（ARQ, FEC）誤り訂正回路が付加されます。しかし、符号化利得で改善されるC/N数値は、BCH符号を用いた時3dB前後、畳み込み符号、ビタビ復号で5.5dB程度改善されるのみで費用対効果を考えるに省エネ時代ではいかなるものかと思えます。むしろ無線部分を最初に改善し、次の段階で対策した方がよろしいかと思うのは筆者のみでしょうか？

2. 4GHz帯高精細映像音声ステレオ非圧縮無線機



モデル:GTV-T1/R1



NTSC用送信機とHD受信機とのコラボ使用

上述の内容では、ベースバンドのデジタル情報以外に訂正符号の冗長ビットが付加されますのでデータ量は更に多くなります。場合によっては、冗長ビットのデータ量がベースバンドのデジタル情報と同じくらい付加される時もあります。限られた無線帯域幅に多くのデジタルデータを載せた状況でまさに、満員電車の中は、ギュウギュウ詰めのような状態を示しており、危険な状況で安心安全とは言えない環境です。

ところでデジタル変調方式には直交（quadrature）の言葉がよく使われます。QPSK・QAM・QORC（直交オーバーラップ自乗余弦波変調）等の変調方式、頭文字によく使用されています。直交を使用する一例として例えば、変調の際に使用する高周波信号を2波、用意します。

1波はSin波、他の波はCos波です。Sin・Cosは、数学の三角関数の中に $e^{i\theta} = \cos\theta + i \sin\theta$ の公式、オイラーの定理を思い出して下さい。

Sin90度は、極座標上、振幅最少（ゼロ）Cos90度の時は、振幅最大（1）レベルとなります。即ち、2波は、互いに独立し、干渉することはない条件を利用して2波に独立のデジタル情報信号を載せる事が出来ます。これが直交条件であり、名案だと思います。しかし、直交条件の2波をつくることは、回路上難しく、位相エラー（ジッター）が発生します。最近、優れたIC・LSIが登場し、さほど問題にならなくなりました。現実には、高周波信号1波と90度位相器を用意すれば簡単にSin波・Cos波が出来ます。一方、デジタル符号の中でも直交符号（アダマール符号・ウォルシュ符号・直交m系列符号）などが訂正符号やPN符号によく使用されます。符号の直交化は、簡単で0，1レベルを反転させるだけです。

SS通信では、PN符号の直交条件は必須であり、直交符号は理論上、自己相関値が最大で相互相関値がゼロとなり、ビットエラー率に大きく影響します。また、SS送受信機も各種ありますが、処理利得（process gain）がほとんど無視された妨害余裕度の無いSS無線機もよく見受けられます。

むしろアナログFM通信方式の方が信頼度の面でよい場合もあります。SS通信方式は全てノイズ及び耐妨害に強いという勘違いしている方々もおりますが、上述の処理利得が満足される数値が得られることで成立します。因みに、妨害余裕度を考えますと処理利得は40dB程度、確保したいものです。処理利得は、一般的に無線帯域幅と情報速度の比即ち、拡散比率を10logで換算した電力数値です。

一方、SS受信機に使用する逆拡散用のキーデバイスがあります。それはSAWコンボルバモジュールです。μS（マイクロ）オーダーで符号の高速同期相関処理を行います。

LSIでも処理出来ますが、オーバーサンプリングの結果、消費電力大でロングレンジの符号同期相関には向いていないと思います。即ち、LSIでは、狭帯域の拡散帯域幅かつショートレンジの符号に対応したSS通信に向いております。

当モジュールは拡散帯域幅が広く、ロングレンジの符号を用いて高速同期相関処理が要求されるSS通信に使用出来ます。当モジュールの応用事例は、軍用通信・画像処理によるパターン認識・測距・レーダー用パルス圧縮・CDMA・符号の一致不一致判別器等に用いられております。因みに、国内では弊社のみが開発から生産・販売まで行っております。

まさにオンリーワン高周波アナログSAWデバイスです！モジュール品の消費電流は、28mA／5V省エネ品です。アイデアによる用途事例によっては、面白いデバイスです。

ここで日本欧州の映像伝送に用いられているOFDM（直交周波数分割多重）方式は、SS通信の分類上、周波数ホッピング方式と親戚であり、マクロ的に言えばSS通信方式でもあります。

当方式は、国内の電波法上GHz帯のバンドで認可されており、拡散比率も法規制上、定められております。

放送以外で映像伝送を行うには、費用対効果をベースに考えますと無線技術・変復調・コーデック・信号処理・アナデジ回路等の特長をうまく活用すれば、オンリーワンの無線機が設計出来ます。最近の傾向として電子回路系は、何でもデジタル化を行い消費電力の増加傾向にあります。

回路によっては、トランジスタで十分設計出来る箇所がたくさんあります。あまり便利なオペアンプやICに頼るのはそろそろ脱皮すべきかと思えます。

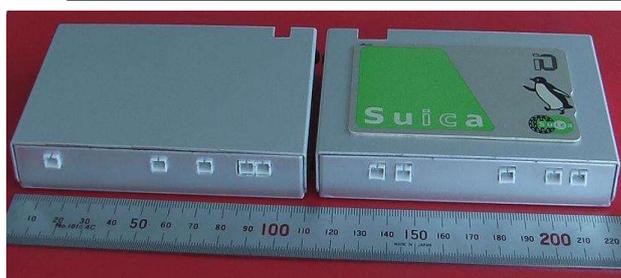
低コスト・節電・省エネ対策のためにも！

尚、トランジスタによるアナログ回路は、省エネ対策の基本です！ディスコンになっても代替品のトランジスタはたくさんあり、心配なしです。但し、若干部品の実装スペースが広くなりますが、ケースバイケースで考えた方が良いかと思えます。

一方、デジタル受信機の復調の場合、同期検波と遅延検波が良く使用されますが、ビットエラー率をベースにして考えますと、遅延検波より同期検波の方2～3dB受信感度が良くなります。しかし、回路規模は、同期検波の方が複雑になり、費用対効果で判断すると難しいところです。

また、**受信機の性能評価を表す数値としてNF（noise figure）があります。**つまり雑音指数で単位はdBです。数値が小さいほど受信機の性能（受信感度）がよくなります。一般的には、5dB以下で設計され、受信機のフロントエンド回路内における増幅器の性能でほぼ決まります。受信機全体の利得は、100dB前後に達しており、オートゲインコントロールで（AGC）でアンテナ端子から入る入力信号の大小により、全体の利得を可変し信号処理上、最適なレベルにキープしております。

組込み用 2. 4GHz帯高精細映像音声ステレオ非圧縮伝送モジュール



モデル：GTV-24TM/RM



超小型映像送信モジュール
(GTV-24TMS)

アナデジ受信機
(GTV-R1-HDCVBS)

送信モジュールとHD受信機とのコラボ使用

ところで、受信機入力アンテナ端子のインピーダンス(リターンロス特性)とNFとの関係は、微妙にトレードオフの関係にあることが経験的に感じております。更に、設計上受信機の性能アップの一つに各種のフィルタ特性が大きく影響します。受信機自体、各種フィルタの集合体と言っても過言ではありません。

加えて、電波を安定的に受信する方法としてダイバーシチ方式があり分類上、**空間・周波数・偏波等の各種ダイバーシチ方式**があります。専門的には、フェージング対策の一つで2つ以上の受信システムを設け、それらの受信出力を合成または自動的に切り替えて使用する方法です。因みに、弊社の無線機類は空間ダイバーシチ方式を採用しております。

アナデジ無線機 (GTV-T1/R1-HDCVBS) の受信側に採用している空間ダイバーシチ方式



【アナログ映像+デジタル映像の両方に対応したコラボ使用のアナデジ無線機】

余談ですが、送受信機の設計でコスト面を考えると、送受信機の使用周波数が高周波化すればするほど設計に必要なデバイス及びフィルタが高額化しかつ、設計に必要な電子計測器(スペクトルアナライザ・標準信号発生器・ネットワークアナライザ・モジュレーションアナライザ)も高額となり、無線システム全体が高額化の方向に向きます。企業・研究者・設計者にとっては、頭の痛い課題です。

更に輪をかけてデジタル化が進むにつれて、回路上では信号系を周波数軸と時間軸の両方を(フーリエ変換・逆フーリエ変換)確認しながら設計を進めていく必要があります。そのために電子計測器は、アナログ時代に比べて更に増加し、高額化を加速させます。困ったものです！

世間は、無線機に関する知識は乏しく、職人さんのエンジニアも団塊の世代前後で終焉の状況下です。まさに放射線と同じで目に見えないので現場の高周波回路設計に携わる若いエンジニアの方々は、日々苦慮していると思います。ご苦労様です！

組み込み用 2.4 GHz 帯高精細映像非圧縮伝送モジュール



モデル：GTV-24TMS/RM

因みに、高周波回路設計はスプリアス・ラジエーション対策にシールドケースまたは、シールド板を使用しますが、職人レベルに達するとだんだんシールドケース・シールド板の各使用個数が減ってきます。それが技術のレベルアップした証しです。その陰には、アートワーク設計及び高周波部品の知識が理解した実績の現れです。(低コスト化) 学問に王道無し！です。

3. 映像信号の情報：

NTSCアナログ映像信号の信号帯域幅は、4.2MHzでデジタル化を行うためには、輝度・色信号を10ビットの分解能、サンプリング周波数13.5MHzでA/D変換しますと、270Mbit/sに相当し、**MPEG・H265技術で4~15Mbit/s**レベルまで圧縮出来ます。

ハイビジョンも同様の考え方でサンプリング周波数(74.25MHz+37.125×2)×8ビット量子化の場合、1.188Gbit/sのデータ量になります。**MPEG技術で20Mbit/s**レベルまで圧縮出来ます。圧縮比率を大きくしますとデータ量は小さくなりますが、圧縮歪み(ブロック歪み・モスキートノイズ)が目立ってきます。

また、圧縮解凍による時間遅延が発生します。更に受信側では、液晶モニターの応答速度の遅延が加算されます。映像は、圧縮方法によっては一旦圧縮されますと元の映像に戻らなくなり、(MPEG)圧縮技術の選択(H265・JPEG2000)は、一長一短がありますので要吟味です。

一方、市場には圧縮技術を使用し、リアルタイムの無線機で遅延無しをアピールしている製品もありますが、これは偽造品であり、非圧縮以外はリアルタイムとは言えませんので要注意です。

圧縮技術において圧縮方法・圧縮比率・時間遅延・画質の高精細化の4つのパラメータは、映像システムの特長を引き出すうえで重要です。各社の映像装置の違いがこのパラメータ設定の違いで特長が変化してきます。特に防災無線・放送・セキュリティ・電子広告・ラジコンによる重機操作・空撮・ロボット・FA等の動きのある被写体映像の使用には、時間遅延が重要で、限りなくゼロの要求仕様となります。尚、弊社の無線機類は、送受信機間における伝送遅延時間が1 μ S(マイクロ)以下です。他社品は1mS以上が大半です。

4. アンテナ・無線機の設置情報：

- 送信／受信各指向性アンテナを使用する場合、互いに向き合うように目線で確認し、設置して下さい。
- 送受信の各アンテナ周囲には金属類や遮蔽するものが無い空間上に設置して下さい。
- 空間ダイバーシチ方式の場合、受信アンテナは計2本使用しております。アンテナ間距離は最低50cm以上離して下さい。アンテナ間距離を離せば離すほど、ダイバーシチ効果があらわれます。固定通信で電波環境の良い所はアンテナ1本でも安定して受信します。他のアンテナ端子は50 Ω で終端して下さい。終端しないと受信感度が不安定になります。
- 送信／受信各アンテナの設置する高さは、人間の身長(2m)より高い位置に設置して下さい。一般的には、高い所に設置すればするほど電波が安定し、飛距離が伸びます。
- アンテナケーブルを長く出来ない場合は、アンテナの近くに送信機もしくは受信機を設置して下さい。そして送受信機の入出力AVケーブルを(10m)を長くして使用して下さい。また送受信機専用の防水BOX(タカチ電機工業様)が安価で市販されております。
- 最近、ワイヤレス通信とインターネット通信の融合が盛んですが、例えば現場でビデオカメラによる映像を数100m離れた所にパソコンがあれば、その映像はインターネットを介してあらゆる場所に伝送出来ます。一昔前の無線による長距離伝送は、不要です！

最後に、現場で無線関係に従事するいろいろな方々を考え極力、数式を使用しないで説明したつもりです。少しでも皆様の知識の一助として役立っていただければ幸いです。

ご清聴ありがとうございました。