都市難視の対策

NHK 総合技術研究所 遠 藤 敬 二

都市難視は年々増加の傾向をたどっている。本文は昭和 48 年 10 月に開催された電気四学会連合大会における“都市難視はどこまで救済できるか”というパネル討論会の話題を中心に、都市難視の現状とその対策を述べている。

1. ま え が き

昭和 38 年に建築基準法が改正されたのを契機とし、経済の高度成長とあいまって大都市には高層ビルが急速に増加している。

東京都内のビル建設状況は消防庁の資料によると、昭和 40 年以来、4 階建以上のビルが毎年 15% の割合で増加し、とくに 11 階建以上のビルは 55% の割合で増加している。最近、その増加率は鈍化しているとはいえ、昭和 55 年頃には 4 階建以上のビルが約 10 万棟にも達するものと考えられている。

都市の高層化にともなう日照権の問題もさることながら、ビルによるテレビ電波の遮蔽障害地域や、ビル壁面からのテレビ電波の反射に起因するゴースト障害地域が急激に増加し、これが今日の放送分野における受信対策上の最大の問題となっている。

このようなビルの高層化にともなうテレビの受信障害地域、いわゆる都市難視地域の増えつつある実態をふまえ、昨年 10 月に開催された電気四学会連合会では“都市難視はどこまで救済できるか”というテーマのもとにパネル討論が行われた。

本文はパネル討論会の話題を中心に難視対策の現状と、今後、必要とする技術開発について紹介し、参考に供したい。

2. 都市難視の現状

都市難視の主な原因はビルや構築物によるテレビ電波の反射、あるいは、遮蔽に起因するものである。

とくに、ビルや構築物による電波の反射に起因するゴースト障害が最も多く、ビルの壁面、マイクロ波中継回線用のアンテナ支持鉄塔、ビル屋上に設けられたネオン

などの広告塔、ガスタンク、ゴルフ練習場のネット支持鉄塔やワイヤー、高架道路、高架鉄道、あるいは送電線がその障害源である。

このうち、ビル壁面からの反射波による障害がほとんどで、アンテナ支持鉄塔、広告塔、ガスタンクなどによる障害は全体の 2% 程度である。

テレビ電波の遮蔽障害は、到来電波がビルなどによってさえぎられて減衰するため、その地域に潜在していた反射波が顕在化して受信障害になる。また、高架道路や高架鉄道に沿って遮蔽障害を発生している地域もあり、とくに高架鉄道では電車通過時にはフラッター障害をともなうことが多い。

図 1 は東京都内のビル建設増加の推定と NHK が東京管内で取扱った受信改善世帯数を示している。

同図の受信改善世帯数が都市難視被害世帯数的な意味をもっているとすれば、被害世帯数はビル建設状況とともに急速に増加していることがうかがわれる。

ビル建設の急激な増加の状況は東京都ばかりでなく、

図 1 東京都内ビル増加の推定と NHK が東京管内で取扱った受信改善処理世帯数

“Measures Against Poor Reception in Urban Area” by Keiji Endo (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo)

大阪市、名古屋市など全国の主要都市でも同じ傾向にある。

3. ビル壁面反射波による受信障害範囲の推定

ビル壁面は非常に窓の多いものや、ほとんど金属板でおおわれたもの、あるいは平面状のものから凸凹の大きいものなどがある。ビル壁面の反射率は壁面構造によって異なるが、従来の実験結果から平均的には約 50% 程度と見込まれている。

いま、幅 30m、高さ 50m の壁面が送信点に向って建っている場合、壁面反射に起因するゴーストの障害を受ける可能性のある範囲は、図 2 のように推定される。同図は周波数を 100 MHz、送信空中線高を 300 m とし、ビル壁面の反射率 50% の大きな反射板に近似させて計算したものである。

ここで、ゴースト障害範囲としては受信アンテナの高さを 4m、受信アンテナの前後比を 10 dB とし、希望波の電界強度 D と、反射波の電界強度 U の比 D/U が 20 dB 以上確保できない範囲を示したものである。

もし、さきに例示したビル壁面が送信点から 8 km の位置に建てられている場合、それによるゴーストの障害が予想される範囲はビルから約 1.5 km にまで達し、横幅は約 170 m で、面積は約 0.25 km² になる。

この面積内の予想障害世帯数は東京 23 区を例にとると約 1300 世帯になる。これは、23 区の平均世帯数が 1 km² 当たり約 5200 世帯から推定したものである。

ビルの高さが 150 m の場合の反射障害範囲および距離は図 2 に示した値のそれぞれ 4 倍および 2 倍になる。また、ビル壁面の幅が広くなれば障害範囲はビル幅に比例して増加し、周波数が高くなると障害範囲はあまり変わらないが遠方まで障害をおよぼし、たとえば、周波数

図 2 反射障害範囲の推定値 (100 MHz)

200 MHz の場合は 100 MHz の場合の約 1.4 倍の距離になる。この推定は都市難視の実態とよく一致している。

一方、ビルの遮蔽によって障害を受ける可能性のある距離は図 3 のように推定される。同図は到来電波が 10 dB 以上の減衰を受けるビル背後からの障害距離を示したものである。

したがって、障害の予想される範囲は障害距離とビル幅の積で表われ、さきの例のように送信点から 8 km の位置にある幅 30 m、高さ 50 m のビルによる遮蔽障害世帯数は東京 23 区では約 40 世帯になる。

このように、ビルによる受信障害は遮蔽障害より、壁面反射波による障害はるかに大きいのである。

ビル遮蔽の障害範囲はビルと送信点間の距離に比例し、この距離が 0.5 km、10 km の場合には図 3 に示した値の約 0.75 倍、約 1.15 倍になる。もちろんビル遮蔽障害範囲はビルが建設される以前の潜在反射波強度によって相違し、受信点個々の事情によって異なる。

図 3 ビル遮蔽障害範囲の推定 (100 MHz)

4. 電波吸収材料の応用

ゴースト防止のために電波の反射面を電波吸収材でおおうことは最も基本的な方法である。難視救済に用いる電波吸収材料としては、電波吸収率が VHF 帯または UHF 帯あるいは両帯域で十分な特性をもち、電波の斜め入射特性についても吸収率が良く、また、軽量で薄く建築材料の特性を備え、経済的であることが必要である。

VHF 帯、UHF 帯の電波吸収材料としては、一般的には物質定数のうちの導電率、誘電率の虚数部、透磁率の虚数部が電波吸収の働きをする。現在、利用の対象となるものは導電率、あるいは透磁率を利用する電波吸収

材料である。

導電率を利用するものとしては、炭素や金属粉末を誘電体材料に空間的に分布させたものが開発されており、現在、電波無響室の壁面材料として利用されていることは周知のとおりである。しかし、実際のビル壁面に利用するには厚さの薄いものを得ることがかなりむずかし、現実的ではない。

このほか、炭素を紙や布の上に塗布した抵抗皮膜を図4(a)のように金属板から $1/4$ 波長の位置に設けることも考えられる。しかしこの方法は単一周波数では吸収効果があるが、VHF 帯の全域にわたり広帯域特性を得ることは不可能である。

同図(a)の方法は金属板によって電磁界に定在波分布を発生させ、電界の強い位置に抵抗体をおき電磁エネルギーを減衰させるものであるが、磁界の強い位置に磁性体をおき電磁エネルギーを減衰させることもできる。

すなわち、磁界の強い位置は金属板の直前に生ずるので、同図(b)のように、たとえば、フェライトを金属板に密着させて利用する。

しかし、VHF 帯における電波吸収材として電圧反射係数 10% 程度のものを得るには、透磁率が 500 程度のものが必要となる。フェライトを利用する場合には、その比重が 5 であるので、吸収材の厚さを 10 mm とすると、フェライトの重量のみで 1 m^2 当り 50 kg になり、また、その価格も非常に高いものになる。

単結晶のフェライトでは透磁率が 1000 程度のものが得られ、VHF 帯で必要とする吸収材の厚さも 1 mm 程度ですむが、単結晶フェライトを利用して実現することは実際問題として不可能に近い。

普通の焼結型フェライトは施工の点や曲率のあるものに張りつけることがむずかしいので、柔軟性をもたせるためゴムなどにフェライトを混入することが考えられる。しかし透磁率 200 程度のものを得る場合でも、相当量のフェライトを混入することが必要で、混入量を多くすると柔軟性もかなり失われる。

また、フェライトを直接コンクリートの中に混入してもかなり良好な電波吸収特性が得られるが、やはり混入量が多くなるので実用的ではない。

以上のとおり、現状ではビル壁面に電波吸収材料を張

図4 電波吸収体

りつけ、電波の反射を防ぐことは非常にむずかしい。今後、建築用壁材料として、厚さが薄く、経済的な電波吸収材の開発が望まれる。

5. 受信アンテナの指向性によるゴーストの除去

さきに都市難視の主要因はビル壁面からの反射に起因するゴーストであることを述べたが、受信画像がゴーストを受けていないといえるためには、表1から受信機入力で D/U が 25 dB 以上必要である

表1 5段階評価におけるゴースト評点と D/U 中央値の関係

評 点	D/U 中央値 (dB)
4	28
3+	25
3	21
3-	16
2	6

D/U 25 dB 以上を受信アンテナの指向性の改善によって確保するには、鋭い指向性を持ち、前後比がすぐれ、サイドローブの少ない受信アンテナの開発が望まれる。

ここで受信アンテナの前後比は日本工業標準規格 JIS C 6103 “VHF テレビジョン受信アンテナの試験法”によると“ある指定平面における受信アンテナの指定方向（角度 0° とする）の出力電圧と $180^\circ \pm 60^\circ$ の範囲の方向にある最大出力電圧の比”で定義している。

表2は、実際の屋外試験における受信アンテナの前後比とゴースト評価の関係例を示したものである。同表は反射波が真後から到来する地点において測定したもので、測定場所、反射波の到来方向、受信アンテナの特性によって異なることはもちろんである。

同表のとおり、前後比のすぐれたアンテナはゴースト評価も良く、ゴーストが気にならない程度まで改善するためには前後比は 30 dB 以上必要である。

しかし、ゴーストを発生させる反射波の到来方向が、アンテナの真後とは限らないので、前後比を良くするとともに指向性をできるだけ鋭くし、斜め前方から到来する反射波をも除く必要がある。

現在、ゴースト防止用アンテナの特性としては、前後比 30 dB 以上、半値幅 40° 以下、電力利得はできるだけ高いものを目標に開発が進められている。

表2 屋外試験におけるゴースト評価の一例

チャンネル	市販八木アンテナ $F/B=19\sim20\text{ dB}$	試作八木アンテナ $F/B>23\text{ dB}$	試作能動回路付加 八木アンテナ $F/B>30\text{ dB}$
1	2+	3	3
3	3-	3-	4-

(F/B : 前後比, 電力利得: 4 dB 以上)

従来、八木アンテナの設計はほとんど実測資料を基礎に行ってきたが、最近では電子計算機の利用により、いまでも不可能に近いと考えられていたような厳密な理論解析による最適設計も短時間で可能である。

電子計算機を駆使し、前後比を最適にする設計方法によっても導波器 8 本、反射器 3 本からなる八木アンテナでは単一周波数で、前後比が約 35 dB、半値幅約 45°、電力利得は約 10 dB 程度である。また、同じ素子数のアンテナを 90~108 MHz の全帯域で前後比が最適になるよう設計しても、その値は 23~25 dB 程度にすぎない。

すなわち、八木アンテナのような passive な構造のみのアンテナで、一般家庭用受信アンテナとして実用可能な大きさに限定すれば、90~108 MHz あるいは 170~222 MHz 帯の全域で 25 dB 以上の前後比を得ることは非常にむずかしい。

したがって、前後比 30 dB 以上を確保するため、八木アンテナ列に新たな機能をもつ回路を付加したアンテナが種々開発されている。そのひとつに八木アンテナと能動回路を組合せた図 5 の 2 給電八木アンテナがある。このアンテナは図中の位相量 ϕ と増幅度 A を適当に調整すると、任意の方向に指向性のヌルを得ることができる。

このアンテナの特性例を同図(c)に示しているが、単一の反射波の場合には確実にその障害を除去できる。

2 給電八木アンテナの能動回路の代りにハイブリッド

図 5 2 給電八木アンテナ

図 6 ハイブリッド給電型アンテナ

回路を利用した図 6 のアンテナがある。このアンテナはハイブリッド回路の特性を利用し、反射波により誘起する電流を反射波吸収抵抗で消費させ、直接波により誘起した電流のみを受像機へ導くものである。

このアンテナの前後比はハイブリッド回路の特性できまり、25~30 dB 程度である。電力利得は反射器、導波器を付加することによって 5~6 dB 程度のものが得られている。

このハイブリッド回路の代りにフェライト非可逆回路を利用したアンテナでは、図 7(a) のように非可逆回路に直流磁界を加えると、反射波または直接波に対し、正または負の回転磁界を生ずる。このとき直流磁界が磁気共鳴付近では反射波に対しては高インピーダンスとなり開放状態に、直接波に対しては低インピーダンスとなり導通状態になるので、アンテナの前後比を大きくできる。現在開発されているアンテナは前後比約 30 dB 程度で、利得は約 -2 dB 程度である。

このほか、抵抗負荷小型ループアンテナは、負荷抵抗値がアンテナのイメージインピーダンスに等しいときは広帯域にわたりカーゴイド型指向性になり、入力インピーダンスもほぼ一定の値になることはすでに知られている。

この抵抗負荷小型ループアンテナを 4 個配列したものが図 8 のアンテナである。前後比は約 25~30 dB、電力

図 7 非可逆回路を用いた受信アンテナ

図 8 抵抗負荷小型ループアンテナ

利得はループ自体に抵抗を負荷しているので約 0～-2 dB である。しかし、素子間隔を広くすれば半値幅を狭くできる利点がある。

このような抵抗負荷ループアンテナと能動回路を組合せたアンテナも開発されている。

これらのアンテナは従来、広く利用されている広帯域型 7 素子八木アンテナにくらべ、ゴースト評価で 0.5～1 ランク程度の改善が認められる。

なお、UHF 帯の八木アンテナの反射器の一部にフェライトを付加し、前後比の改善をはかった例もあるが、現状では前後比は 20 dB 程度である。

以上のほかにも、種々のアンテナが開発されているが、ゴースト防止用アンテナとしての所要特性を備えたものはほとんどない。

最近の IEC (国際電気標準会議) における受信アンテナの審議においては、前後比という用語の代りに“directivity protection”という用語を用いている。これは受信アンテナの主方向の出力電圧とサブローブの最大出力電圧の比で規定しようとするもので、従来の指向特性より非常に厳しい特性が要求されるようになる。さらに、従来の受信アンテナ系では直交偏波成分に対する特性を考えていなかったが、IEC の審議では、新たに“cross-polarization protection”という用語が加えられ、直交偏波成分に対する特性をも規定するよう検討している。

6. 電子回路によるゴースト信号の消去

受信回路内において電子回路的にゴースト信号を消去する方法は古くから種々提案されている。しかし実際にはテレビ中継放送所における親局電波の受信装置の一部

図 9 ゴースト消去の原理

(a) RF帯反射型

(b) IF帯反射型

図 10 反射型消去回路

に利用されているにすぎない。

ゴースト信号の消去方法としては、原理的には図 9 のように主信号の一部を抜きとり、これをゴースト遅延時間に相当する時間だけ遅延させ、その信号に適当なひずみを与えてゴースト信号波形と同様な波形にし、それを原信号に逆相に加え合わせて消去するのである。

基本回路としては、フィードフォワード型、フィードバック型および反射型回路があるが、現在テレビ中継放送所で実用している方式は図 10 の反射型回路である。

これらの消去回路で消去可能なゴーストは、主信号と相似のものの少数個にかぎられるが、実際にはゴーストは主信号波形のひずんだ波形と類似のものが比較的近接して多数個並んでいることが多い。

その対策としては、遅延回路にこれらのひずんだ波形に合わせるための等化回路が必要になり、個々のゴーストへの適応性は増すものの回路が非常に複雑になる。今後、一般家庭用受像機に付加できるような高信頼度で低価格のゴースト消去回路の開発が望まれる。

7. 共同受信、その他

現在、テレビ難視障害の救済方法としては、障害発生地区ごとに共同受信方式を採用している場合が多く、その施設経費は原則として原因者が負担し、施設の保守、運用はその地区の加入者が組合などを結成して担当していることが多い。共同受信方式の一例を図 11 に示しているが、これはテレビ電波の受信に障害のないビル屋上などに受信点を設置し、ケーブルで各家庭へテレビ信号を分配する方式である。

この方式は、その施設の技術基準と保守運用が良ければ技術的にみて問題の少ない受信システムといえる。しかし、強電界中で共同受信方式を採用すると受像機への電波の直接飛び込みがあり、これと共同受信施設からの信号の伝達時間差によりゴーストになることが多い。したがって、その対策としては受像機の外来電波に対する遮蔽が必要で、今後の対策が望まれる。

実際問題として、都市における共同受信施設の建設は、受信点の選定と、その場所の確保、ケーブルの電柱

図 11 共同受信方式の一例

共架に関する認可，道路横断の困難さ，安定電源の確保とその給電に関する諸問題など多くの問題がからみ，実施が非常にむずかしい段階にきている。

米国では，ケーブルの道路横断や河川横断の困難さをさけるため，ケーブルの代りに SHF 波やレーザーによる伝送も検討されている。これらの解決策としては，技術的な規準ばかりでなく，法的，行政的な面を含めての総合的な検討が必要である。

また，都市内のケーブル施設は都市の美観とビルの高層化などにもとない地下配線へと移行していくものと考えられるので，長期的な観点から共同受信方式を検討する必要がある。

このほか，同一地域で現行放送と同じ番組を別の周波数帯を利用し，しかも現行放送と異なる送信点から放送すれば，受信者はいずれか妨害の少ない送信点から受信することによって難視地域もある程度減少するものと考えられている。しかし，この方法は周波数の有効利用をはかる観点から，将来の放送形態を勘案しつつ検討する必要がある。

なお，放送衛星を利用した都市難視対策も考えられるが，衛星放送は特定地区の難視対策というより，むしろ離島や，山間避地の難視地域を含めたマクロ的な難視

対策と考えるべきで，今後の検討にまつべき点が多い。

8. む す び

都市難視は，ビルの建設増加にともなって急速に増加しており，現在はビル壁面反射に起因するゴーストが最大の原因になっているが，数年後にはビルの遮蔽障害の増加も懸念される。

ビル壁面反射を電波吸収材料の利用で防止することは，さきに述べたとおり現状では実現性が乏しい。しかし現在，米国では無反射壁面材料に対する研究を盛んに進めている。

また，放送電波の偏波面を円偏波にし，壁面反射による反射波と直接波の偏波面の旋回方向の異なることを利用して反射波の影響を軽減することも考えられ，現在，米国では野外実験を行うべく準備が進められている。

以上のとおり，現在までの検討結果では，難視対策としての万能な特効薬的な手段は見当らず，受信障害状況に応じて局地的あるいは局所的に，それらに適合した受信アンテナの利用，共同受信の利用，などの手段を併用することが必要であろう。

真の難視対策は，電子工学的な検討はもちろんのこと，建築工学，都市工学，あるいは法的，行政的な検討など，広い視野に立って総合システムとしての検討が必要である。

(昭和 48 年 12 月 20 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 昭和 48 年電気四学会連大予，5
- 2) 伊藤士郎：テレビ電波の都市内伝播，テレビ学会無線技術研資，RE 73-32
- 3) 末武国弘ほか：電波暗室とその構成，信学誌，48, 4(1965) 679-684
- 4) 三国良彦ほか：高 F/B 用 2 給電八木アンテナ，昭 48 年信学全大，577
- 5) 遠藤敬二ほか：ゴースト防止用受信アンテナ，テレビ学会無線技術研資，RE 72-25
- 6) 小西良弘ほか：フェライトを用いた指向性空中線，テレビ学会無線技術研資，RE 72-15
- 7) 藤田陸男ほか：ゴースト防止用アンテナ，テレビ全大，8-7 (1973)