

●アプリケーション

地上デジタル放送の受信特性測定ソフト

“ 汎用スペクトラム・アナライザを使用した建造物受信障害予測ソフトウェア ”

Software for Measurement of Terrestrial Digital Broadcast Reception Characteristics

“ Software uses ordinary spectrum analyzer to predict reception faults ”

水野 洋幸

Hiroyuki Mizuno

あらまし

建造物によるテレビジョン放送の受信障害を円滑に解消する為には、建築前の適切な受信障害予測が必要である。また、2006年末に全国の県庁所在地で開始される地上デジタル放送では、これまでのアナログ放送の受信障害予測で用いてきた概念をそのまま予測手法に適用する事ができないので、新たな手法が必要である。アドバンテスは、スペクトラム・アナライザが取得したデータをもとに、日本放送協会が開発した解析アルゴリズムを用いて、短時間で建造物障害予測に必要な所要SL、所要DU比の解析を実現した。

所要SL : 遮蔽障害が発生し始める限界の遮蔽損失

所要DU比 : 反射障害が発生し始める限界の希望波と反射波との比

To smoothly resolve TV broadcast reception barriers that can occur in a building, reception interference must be predicted before the building is constructed. However, since the approach used to predict reception interference for analog broadcasts cannot be directly used for the terrestrial digital broadcasts that are slated to begin throughout Japan by the end of 2006, new methods must be developed. Advantest Corporation has developed a method for analyzing the required SL and required DU ratio needed to quickly predict interface caused by buildings, by using an analytical algorithm developed by Japan's National Broadcasting Company (NHK), and based on data obtained using a spectrum analyzer.

Required SL: Shielding loss due to barriers created by shielding obstacles

Required DU Ratio: Ratio of desired waves to reflected waves at barriers where reflective loss occurs

1. まえがき

現行のアナログ・テレビジョン放送では、受信状況が劣化することによって受信画質も徐々に劣化する性質があり、建造物障害予測では、建造物建設前の受信状況を受信画質で評価し、所要SLと所要DU比を求めている。一方、デジタル放送では、受信状態がある程度悪くても、誤り訂正機能により正しい復号ができ画質は劣化しない。しかし、受信状態が劣化し誤り訂正能力の限界を超えると急激に画質が劣化し、受信不能となるので、受信品質評価には、BER(Bit Error Rate)を目安に用いられる。しかし、良好な受信状態

でのBER測定は、非常に長い時間を要する。特に建造物障害予測では、建築前の良好な受信状態での測定なので、BERが非常に小さい領域も扱う必要がある。この場合、BER測定器によるBER測定では、測定器の測定範囲を超える為、エラー・フリーとなり、受信障害で必要な事前の受信状況を把握する事ができない。

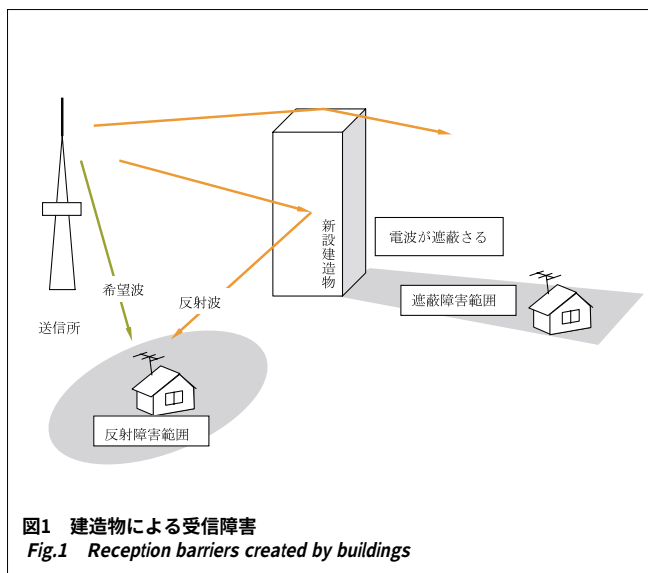
そこで、この問題を解決する為に、スペクトラム・アナライザで取得した地上デジタル放送の端子電圧とマルチパスによるOFDM波の振幅周波数特性のリップルより、短時間でBER及び所要SL(SL_p)、所要DU比(DU_p)を演算で求めるソフトウェア「地上デジタル受信障害予測ソフト」を開発した。

2. 建造物による受信障害予測の概要

建造物による受信障害は、図1に示すように、建造物(ビル、高架鉄道・道路、橋、鉄塔等)が建設されると、希望波が遮蔽されて低下して発生する「遮蔽障害」と建造物の壁面で反射した電波(反射波)が到来する事により発生する「反射障害」からなる。反射障害の規模は、建造物壁面の材質、壁面構造、壁面に入射する電波の強さ及び周波数などに依存する。

アナログ放送では、受信状況の劣化に伴い、受信画質は徐々に劣化する。また、受信画質の評価は、評価者の視覚により主観的な方法で行い、評点3(妨害が気になるが邪魔にならないレベル)を基準値として、受信障害予測がされている。

一方、地上デジタル放送では、内符号訂正(ビタビ復号)後のBERが 2×10^{-4} より大きくなると、誤り訂正能力の限界を超えてしまい、急激に画質劣化が生じ、受信不能(フリーズ)に至る。また、それ以下であれば外符号訂正後(受信画質)のBERが 10^{-11} 以下となり、画質劣化が検知できないレベルとなる。その為、この値(以下所要BER)を受信障害の閾値として、所要BERを満足しない範囲を障害予測範囲とする。すなわち、建造物建築前の受信状況の良い状態で測定し、建設される建造物による遮蔽損失が所要BERを基準として求めた SL_p を上回る地域と、希望波と反射波のDU比が所要BERを基準として求めた DU_p より下回る地域を障害予測範囲とする。



3. 地上デジタル受信障害予測ソフトの概要

3.1 地上デジタル受信障害予測ソフトの構成及び設定パラメータ

地上デジタル受信障害予測ソフトは、地上デジタルの変調方式64QAM、モード3、畳込み符号化率3/4における12または13セグメントの放送方式に対応している。

地上デジタル受信障害予測ソフトの構成は、図2に示すブロック・ダイアグラムの通り、スペクトラム・アナライザU3751又は、U3641NとPC&測定/演算アプリソフト・地上デジタル受信障害予測ソフトから成る。アンテナで受信されたデジタル・テレビジョン信号は、ケーブルを通してスペクトラム・アナライザに入力され、予め設定した測定チャンネル(1ch~62ch)及び各種設定パラメータに従い自動測定し、そのデータを元にモデル化された近似式(「建造物障害予測の手引き 地上デジタル放送2005.3」日本CATV技術協会より)で演算し、結果を表示する。

測定及び演算に必要な設定パラメータは、表1に示す通りで、演算結果の精度を上げる為に、適切な値の入力が必要である。

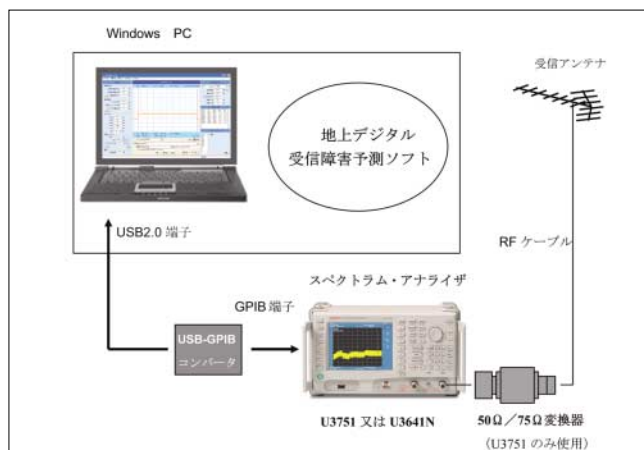


表1 設定パラメータ

Table 1 Parameters for Settings

設定	項目	備考
回線 CN 比	送信機 残留 CN 比(CN)	
	受信機 残留 CN 比(CN)	
	ブースター雑音指数(NF)	ブースター使用の場合
各種設定	アンプの利得	ブースター使用の場合
	分配ロス/ケーブル損	分配ロスは分配器使用の場合
	スペアナの補正値	
スペアナ	RBW, VBW, SWP, SPAN, ATT, DIV, REF	デフォルト設定で可
	プリアンプ	入力レベルが低い時使用
	スペアナのノイズレベル	

3.2 地上デジタル受信障害予測ソフトの測定・演算項目

地上デジタル受信障害予測ソフトの測定・演算は、表2に示す項目を実現している。

表2 測定・演算項目
Table 2 Measurements and Calculations

項目	内容
端子電圧	地上デジタル波の端子電圧[dBμV]
振幅周波数特性	地上デジタル波の振幅周波数特性波形の取得
等価 CN 比	ビット誤り率と等価なマルチパスがないときのガウス雑音 CN 比
ビット誤り率(BER)	内符号訂正後(リードソロモン訂正前)のビット誤り率
所要 DU 比(DUp)	反射障害を発生し始める限界の希望波と反射波との比
所要 SL(SLp)	遮蔽障害を発生し始める限界のしゃへい損失

地上デジタル放送は、多数の搬送波(キャリア)で構成された OFDM 波を用いている。OFDM 波にマルチパスによる遅延波が加わると図3の周波数振幅特性測定結果のようにリップルが発生する。このリップルの周期と振幅は、遅延波の遅延時間と DU 比により変化する。



図3 振幅周波数特性測定結果
Fig.3 Results of Modulated Frequency Response Measurements

周波数振幅特性にリップルが生じると搬送波毎に CN 比が異なることから、単純に BER を求めることはできない。そこで、各搬送波の BER の平均値と等価なリップルのない波形の CN 比を導き、ビタビ復号後の BER を求める。この CN 比を建造物障害予測に用いる等価 CN 比 CN_0 と呼ぶ。

演算表示できる範囲は、ビタビ後の BER で 0.5 から 10^{-300} (等価 CN 比で 10dB ~ 49dB) であり、ビット誤り率測定器で 30 秒前後かかる BER の 10^{-2} ~ 10^{-8} に比べ、極めてダイナミック・レンジの広い測定演算が可能である。

また、地上デジタル受信障害予測ソフトの測定時間は、測定・データ転送・演算における処理を最適化する事により 1ch 当たり、約 16 秒 (10 回測定で $U3751$ 使用時) と高速測定を実現している。

4. 地上デジタル受信障害予測ソフトによる測定及び演算

4.1 端子電圧及び周波数振幅特性測定

端子電圧 [dBμV] は、受信電波をスペクトラム・アナライザのチャンネル・パワー測定モードで、各測定チャンネルの OFDM 帯域幅、 5.57MHz における各搬送波の実効電圧の総和を測定する。

振幅周波数特性は、スペクトラム・アナライザの検波モードをサンプルとし、予め設定した測定回数分掃引し、振幅周波数データを取得する。測定結果を図3に示す。

4.2 ビタビ復号後の BER と等価 CN 比の演算

図4にビタビ復号後の BER と等価 CN 比の求め方を示す。

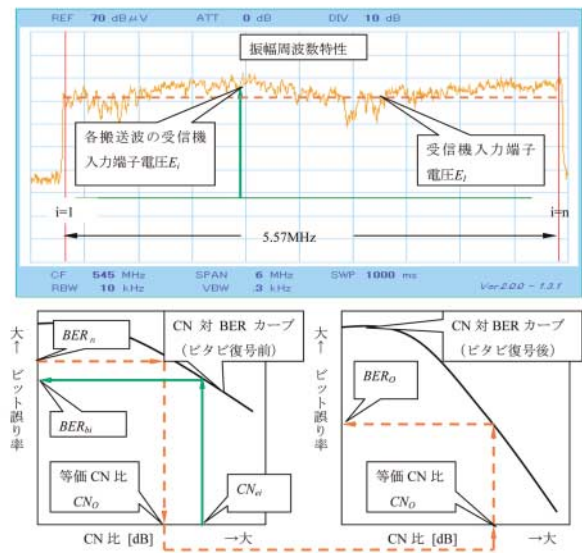


図4 BER及び等価CN比の求め方
Fig.4 Determining BER and Equivalent CN Ratio

スペクトラム・アナライザで取得した周波数振幅特性と受信機入力電圧実効値 E_i [dBμV] との関係は、振幅周波数データの各搬送波の受信機入力端子電圧 E_i [dBμV] ($i=1, 2, 3 \dots n$) とした時

$$E_i = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n 10^{\frac{E_i}{10}} \right) \quad (1)$$

この受信機入力端子電圧 E_i に対する受信 CN 比 CN_i [dB] と各搬送波の CN 比 CN_i [dB] は、

$$CN_I = E_I - K_A \quad (2)$$

$$CN_i = E_i - K_A \quad (3)$$

$$K_A = 10 \log_{10} (KTBR) + 120 + NF \quad (4)$$

K : ボルツマン定数
 T : 絶対温度
 B : 受信帯域幅(5.57MHz)
 R : 回路インピーダンス(75Ω)
 NF : 受信機のNF[dB]

各搬送波の復調器出力CN比 CN_{ei} [dB]は、

$$CN_{ei} = -10 \log_{10} \left(10^{\frac{CN_i}{10}} + 10^{\frac{CN_i - K_c}{10}} \right) \quad (5)$$

$$K_c = CN_I + 10 \log_{10} \left(10^{\frac{CN_i}{10}} + 10^{\frac{CN_i}{10}} \right) \quad (6)$$

CN_i : 送信系の残留CN比[dB]

CN_i : 受信機の残留CN比[dB]

各搬送波のビタビ復号前のCN比 CN_{ei} [dB]に対するBER BER_{bi} は、図4左下のCN比対BER(ビタビ復号前)のモデル化されたカーブ(近似式)より求める。

BER_{bi} から、チャンネル全体のBERとして、全搬送波のビタビ前の平均 BER_n を次式より求める。

$$BER_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n BER_{bi} \quad (7)$$

再度、CN比対BER(ビタビ復号前)のカーブ(近似式)により、 BER_n となるCN比 CN_o [dB](等価CN比)を求める。

その後、図4右下に示すビタビ復号後のCN比対BERのモデル化されたカーブ(近似式)より、等価CN比 CN_o [dB]に対するビタビ後のBER BER_o を求める。

4.3 所要SL SL_p と所要DU比 DU_p の演算

デジタル放送の遅延波の数によるCN比とBERの関係は、遅延波が1波の時最もBERが悪くなることから、建造物障害予測演算で設定する DU_p と SL_p は、BERが等しくなる単一遅延波に置き換えることで、送信アンテナの揺れなどによる波形変動に対するBERの最悪値を包含できる値としている。

SL_p は、図5に示す等価CN比対 SL_p カーブ(近似式)より、等価CN比 CN_o に対する SL_p で求める。

デジタル放送では、マルチパスのガードインターバル内であれば、その影響は遅延時間に関係なく一定となるので、 DU_p は、図6に示す等価CN比対所要 DU_p カーブ(近似式)により、 CN_o に対する DU_p で求める。

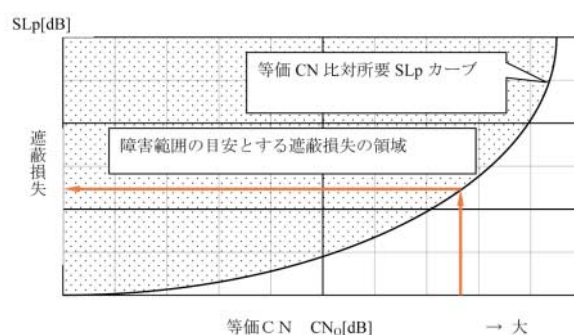


図5 等価CN比対所要SL
Fig.5 Equivalent CN Ratio vs. Required SL

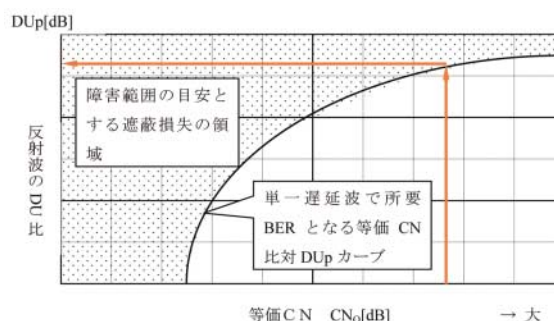


図6 等価CN比対所要DU比
Fig.6 Equivalent CN Ratio vs. Required DU Ratio

4.4 測定・演算結果

図7は、地上デジタル受信障害予測ソフトの操作・測定結果画面表示である。右側上部に測定・演算結果を表示する。予め設定した測定回数毎に端子電圧、等価CN比、ビタビ復号後のBER、所要DU比、所要SLの結果を表示し、総合値として、測定回数全ての周波数振幅特性データより求めた演算結果を表示する。測定回数は、最大10回で波形の時間的変動を考慮した測定ができる。また、BER測定器によるBERの実測と地上デジタル受信障害予測ソフトによる演算結果の差異は、ほぼ一桁以内の範囲である。



図7 操作・測定結果画面
Fig.7 Operation/Measurement Results Display Window

5. むすび

デジタル放送における建造物障害予測に必要な SL_p と DU_p をスペクトラム・アナライザで取得したデータから日本放送協会殿の開発アルゴリズムを用いて算出するソフトウェアを開発した。

これにより、建造物建築前の良好な受信状況においても、BER測定器のように一律エラー・フリーになることなく、定量的数値が高速取得でき、建造物障害予測が可能となった。

また、開発に当たり日本放送協会 営業局 視聴者技術センタの皆様にご多大なご指導、ご協力を頂き心より感謝いたします。

6. 参考文献

- [1]日本CATV技術協会発行
「建造物障害予測の手引き 地上デジタル放送2005.3」
- [2]NHK受信技術センタ編
「建造物障害予測技術（地上デジタル放送）」
- [3]受信環境クリーン中央協議会 建造物障害調査分科会
平成16年3月
「建造物受信障害予測法の調査検討報告書」

筆者紹介



RF測定器事業部
技術課

水野 洋幸 Hiroyuki Mizuno