地上ディジタルTV放送波の既存TV波への干渉評価 Estimation of interferences to the existing TV-broadcasting signals caused by the terrestrial digital TV-broadcasting signals

武藤 圭佑* Keisuke MUTO 小川 明**

Akira OGAWA

Abstract— The terrestrial digital TV broadcastings have been in service for three metropolitan areas in Japan since December 2003. The simulcasts of digital and analog versions will continue to be on air by about 2011 when the analog TV broadcastings are scheduled to close their services. In this paper, the degree of the influence of the terrestrial digital TV signals to the terrestrial analog TV signals caused by the nonlinear amplification is evaluated through the computer simulation. The effectiveness due to a simple filtering to suppress the digital TV signals is also verified.

Keywords— Terrestrial digital TV broadcasting, Simulation, Nonlinear amplification, OFDM

1 はじめに

ディジタル放送は, CS ディジタル放送が 1996 年に, CATV が 1998 年に, BS ディジタル放送が 2000 年に放 送を開始した.また諸外国では地上ディジタル TV 放 送のサービスが既に開始されている.

日本の地上ディジタル TV 放送は,2003 年 12 月 1 日から関東・近畿・中京の 3 大広域圏で本放送を開始 し,その他の地域では2006 年末から放送が開始され る予定である.現在のスケジュールでは2011 年 7 月 24 日までに地上アナログ TV 放送を終了する予定であ り,それまではディジタル TV とアナログ TV におい て同一の番組内容を同時に放送するサイマル放送が 行われる.ディジタル TV 放送はUHF 帯域で放送を行 うため,この期間はUHF 帯域信号の波数が増加し, アナログ TV 受信用のUHF 増幅器(ブースタ)が非直線 領域で動作する可能性がある.これによりアナログ TV の品質が低下する恐れがでてきた.

そこで、サイマル放送時のブースタ非直線増幅によるアナログ TV への影響を、コンピュータシミュレーションによって評価する.評価項目は非直線増幅後の アナログ TV 波における入力 - 出力電力と CNR である.また、アナログ TV 波に対するディジタル TV 波 の影響を軽減するために、ディジタル TV 波をフィル タリングする方法が考えられる.そこで、フィルタを 挿入した場合のシミュレーションも行い、最も CNR が改善できるカットオフ周波数を検討する.

** E-mail: aogawa@ccmailg.meijo-u.ac.jp

2 非直線ひずみ

複数の信号を増幅器によって増幅する場合,内部で 非直線ひずみが発生する.以下に非直線ひずみが発生 している場合の入力信号電圧と出力信号電力の関係 を示す.

$$y_{(e)} = \sum_{n=1}^{m} K_n e^n \tag{1}$$

ここで, *Y*(e): 増幅器の出力信号電圧

e : 増幅器の入力信号電圧

K_n: 増幅器の直線性を表す係数

非直線ひずみは式(1)のように、かなり高次のものま で発生するが、実用上は3次の成分(n=3の項)を考え ればよい.

広帯域増幅器に , f_a , f_b , f_c , o 3 つの周波数成 分をもつ信号を加えたときのひずみ成分を表1に示す. $2f_a \pm f_b$ のような和差周波数成分を相互変調 (Intermodulation)と呼んでいる. なお, 広い意味では3 次ビートを相互変調の中に含めて考える場合がある. 増幅器に入力する信号数がこれよりも多いときはひ ずみ成分の数もさらに多くなるが, その種類は表1に 示したものと同様である.

テレビ受信システムのように多数のチャンネルの 信号を同時に増幅する場合には、これらのひずみ成分 が相手チャンネル内に落ち込んで、テレビ画面にビー ト妨害(画面上にしま模様となって現れる妨害)を起こ す原因になる.このような妨害は特定の周波数関係で 起こる.すなわち、増幅器に入力する信号が多くなる ほど非直線増幅によるひずみ成分も多く生成され、入 力信号に対して悪影響を与える確率が高くなる.

表1 非直線増幅によるひずみ成分

第3高調波成分	$3f_a, 3f_b, 3f_c$					
相互変調成分	$2f_a \pm f_b, \ 2f_b \pm f_a, \ 2f_a \pm f_c, \ 2f_c \pm f_a$					
	$2f_b \pm f_c, \ 2f_c \pm f_b$					
3波の和差成分	$f_a \pm f_b \pm f_c$					
(3 次ビート)						

名城大学大学院 理工学研究科 情報科学専攻

^{〒468-8502} 名古屋市天白区塩釜口 1-501

Department of Information Sciences Graduate School of Science and Technology, Meijo University,

¹⁻⁵⁰¹ Shiogamaguchi Tenpaku-ku Nagoya, 468-8502 Japan.

E-mail: m0332011@ccmailg.meijo-u.ac.jp

3 シミュレーション条件

3.1 シミュレーションモデル

今回行ったシミュレーションの処理過程を図1に示 す.まず,周波数領域においてディジタル TV 波とア ナログ TV 波を設定する. そして, この段階で指定し たフィルタによってディジタル TV 波をカットする. IFFT はフィルタを通過したディジタル TV 波とアナロ グ TV 波の全スペクトルに対して行う. ここで, アナ ログ TV のキャリアは同レベルで無変調とする. 一方, ディジタルTV波は約5600本のサブキャリアを有する OFDM 信号であるため, 余弦要素(x_i)と正弦要素(x_o)は, 平均値が 0 で分散が σ^2 のガウス分布と想定しても良 い. IFFT の出力データは並直列変換器によってパラレ ルデータからシリアルデータへ変換する. その後, xi と x。に対してそれぞれ独立に白色ガウス雑音を付加 し、振幅を計算する.非直線増幅器の飽和レベルrは 図 2 に示すように x-ax³の関数によって定義し、この 飽和レベルにより振幅データを非直線増幅する. 最後 に出力スペクトルを得るために, 増幅したデータはシ リアル - パラレル変換器を通過し, FFT サーキットへ 加える.

本稿では, TV 波のチャンネル配列は図 3 で示され るようにディジタル TV 波 7 波とアナログ TV 波 2 波 を有する名古屋地区とし,この状況をシミュレーショ ンする.

3.2 フィルタ

図3より,名古屋地区のディジタル TV 波はアナロ グTV 波よりも低い周波数であるため,ディジタル TV 波をカットするためにはハイパスフィルタを用いる. そのハイパスフィルタは,既存の地上波テレビ受信シ ステムに対して簡単に取りつけることができるよう に、小型かつ単純な構造を持ったものを想定している.

そこで、いくつかあるフィルタの中でも簡単な構造 をもち、性能的にも目立った欠点のないバターワース 型ハイパスフィルタを用いることにする.バターワー ス型フィルタは遮断特性が遮断域が穏やかな曲線を 描くためにカットオフ(遮断)周波数付近の信号遮断 能力は高くないが、帯域内の通過特性が平坦で扱いや すいと言った利点がある.また、今回のシミュレーシ ョンでは位相特性は理想的なフラットな状態として 扱っている.

3.3 熱雑音

シミュレーション上では熱雑音を AWGN として扱うため,余弦要素(n_i)と正弦要素(n_o)が平均値0で分散が σ_n^2 のガウス分布とする.

熱雑音の有能電力は、任意の回路中にある抵抗値に 無関係で、絶対温度に比例する.よって回路の周波数 帯域幅を *B* [Hz]とすれば、任意の回路の出力における 有能雑音電力は

$$N = kBT \quad [W] \tag{2}$$

である. ここで*k*は Boltzman 常数 (1.3805×10⁻²³J/K), *T*は導体の絶対温度[K]である.



図1 シミュレーションモデル



4 シミュレーション

以下の表 2 に示す市販されている増幅器の特性^[1]を 参考にしてシミュレーション上の非直線増幅器を設 定した.

表 2	市販されてい	いる増幅器の特性
	. /	

項目	特性
帯域	13~62 ch
	(470~770MHz)
実用最大入力レベル	76dB μ V
雑音指数	1.5~3.0dB

増幅器の実用最大入力レベルは 76dB μ V となって いるが,これは2波分の値であるためアナログTV 波 1波あたりの最大レベルは70dB μ V となる.また,UHF ブースタへ入力する標準的なディジタルTV 波の入力 レベルは 60dB μ V であるため,シミュレーションで は前後に 30dB μ V の幅を持たせた 30~90dB μ V の範 囲でデータを取得する. 雑音指数は最も劣悪な場合を 想定して 3dB と設定した.

4.1 フィルタ非挿入時

シミュレーションの評価には、アナログ TV 波の基 準化電力利得特性と CNIR (搬送波電力対雑音+相互変 調電力比)を用いる.シミュレーション結果として、 アナログ TV 波 25ch の入力-出力電力比と CNIR を図 4,図5に、アナログ TV 波 35ch について同様に図6, 図7に示す.

4.1.1 アナログ TV 波 25ch

図4より、ディジタル TV 波1 波のレベルが50dB μ V 付近から電力低下が起こっていることがわかる. これは信号レベルが非直線増幅器の飽和レベルrに 達したためである.しかし、ディジタル TV 波1 波の レベルが60dB μ V 以上では、アナログ TV 波1 波のレ ベルが低レベルであるほど電力が増加している.これ はアナログ TV 波 25ch がディジタル TV 群に隣接して おり、相互変調積の影響を非常に大きく受けているこ とが起因していると考えられる.

また図 5 より, アナログ TV 波 25ch ではディジタル TV 波 1 波のレベルが 45dB μ V 付近から CNIR が大き く低下している.アナログ TV の視聴限界は一般的に CNR で約 30dB と言われている.この結果では,ディ ジタル TV 波 1 波のレベルが 50dB μ V 以上になると低 レベルなアナログ TV において CNIR 値で 30dB を満 たしていない.

4.1.2 アナログ TV 波 35ch

アナログ TV 波 35ch は、25ch と比較してディジタ ル TV 波郡から離れているため、相互変調積の影響と 考えられる電力増加の影響は少なく、ディジタル TV 波 1 波のレベルが 70dB μ V 以降で電力増加が起こっ ている.また、図 7 よりディジタル TV 波 1 波が標準 的な入力レベルである 60dB μ V 時にアナログ TV 全レ ベルにおいて CNIR で約 30dB を達成できている.





70

90

80

10

0

30

40

50

60

Level of one digital TV carrier [dBµV]

4.2 フィルタ挿入時

フィルタには非常に簡単な構造を有する2次バター ワース型ハイパスフィルタ(HPF)を用いた.また, シミュレーションで用いた TV 波のレベルを以下に示 す.シミュレーションはアナログ TV 波が低レベル時, ディジタル TV 波が標準的な入力レベルである 60 dB μV の場合について行った.

表 3 TV 波のレベル

	10 ·
TV 波の種類	レベル[$dB \mu V$]
アナログ	30 or 40
ディジタル	60(所要電圧)

4.2.1 アナログ TV 波が 30dB µ V 時

アナログ TV 波が 30dB µ V時の各カットオフ周波数 における CNIR を図 8 に示す.アナログ TV 波 25ch に おける CNIR は TV の視聴限界である 30dB 以下であ った. CNIR が最も良かったカットオフ周波数が 35ch の点でも約 23dB という結果となり,2 次バターワー ス型 HPF ではアナログ TV 波 25ch の CNIR を視聴限 界である 30dB まで改善することができていない.バ ターワース型 HPF で 30dB を達成しようとした場合, 図 8 に示したように 14 次のものが必要となる.一方, アナログ TV 波 35ch もカットオフ周波数が 35ch の点 では 30dB を達成できていない.

4.2.2 アナログ TV 波が 40dBμV 時

アナログ TV 波が 40dB μ V 時の各カットオフ周波数 における CNIR を図 9 に示す. アナログ TV 波 25ch で はカットオフ周波数が 29ch 以降において CNIR 値で 30dB 以上を達成できている. その中でも CNIR が最も 良かったカットオフ周波数は 35ch であり, CNIR が約 33dB であった. また, アナログ TV 波 25ch ではシミ ュレーションを行った全てのカットオフ周波数で CNIR が 30dB 以上を達成できている.

アナログ TV 波のレベルが 30,40dB µ V の両場合に おいて 25ch の CNIR が最適になるカットオフ周波数は 605MHz (35ch) であった.

5 まとめ

本稿では、UHF 増幅器にディジタル TV 波が入力することで増幅器が非直線領域で動作したときのアナ ログ TV 波に対する影響について議論した.

非直線増幅の影響により、ディジタル TV 波 1 波の レベルが 60dB µ V以上の場合ではアナログ TV 波 25ch の視聴品質が劣悪になることがわかった.そこで、デ ィジタル TV 波をカットするための 2 次バターワース 型 HPF を設け、UHF ブースタに入力するディジタル TV 波を抑圧するようにした.その結果、アナログ TV 波 1 波のレベルが約 40dB µ V 以上、ディジタル TV 波 1 波が標準的な入力レベルである 60dB µ Vにおいてア ナログ TV 波の CNIR を視聴限界である 30dB 以上ま で改善できることがわかった.UHF 増幅器を用いて







 図 9 各カットオフ周波数における CNIR (アナログ TV 波が 40dB µ V 時)

アナログ TV を視聴している視聴者にとって, ディジ タル TV 波のフィルタリングが効果的であることを示 した.

参考文献

- [1] マスプロ電工株式会社,WEBカタログURL http://www.maspro.co.jp/web_catalog/search.php
- [2] 東海地上デジタル放送研究開発支援センター「利用報 告書」,東海地上デジタル放送実験協議会
- [3] NHK カラーテレビ受信技術,日本放送協会(編),pp.9-10, pp.105-106,日本放送出版協会,東京,1979.
- [4] 西沢正雄, 解説カラーテレビ, pp.270, (社)産報,東 京,1972. 池上文夫, 電気・電子工学基礎講座 通信工学 (訂正版), pp.114-126, 理工学社,東京, 1995.
- [5] 日本放送協会(編),高橋良(監修),放送受信技術, pp.201-206,日本放送出版協会,東京,1983.
- [6] 日本放送協会(編),藤島克己(監修),テレビ共同受信技 術,pp.32-36,日本放送出版協会,東京,1974.

地上ディジタルTV放送波の 既存TV波への干渉評価

名城大学

理工学研究科 情報科学専攻 武藤 圭佑 小川 明



地上波ディジタルTV放送

→ 関東・近畿・中京の3大広域圏で、 2003年12月1日から放送を開始

アナログTV放送からディジタルTV放送へ
 円滑に移行するために、サイマル放送の
 期間が準備されている
 アナログ・ディジタルTV同時放送

● サイマル放送の期間(予定) ● 2011年7月24日まで





2004/12/16



2波以上の信号が非直線特性を有する増幅器 へ同時に入力することで発生





●相互変調積

奇数次の相互変調積がスペクトルに落ち込む





●アナログTV波とディジタルTV波による 非直線増幅のアナログTV波における影響

ディジタルTV波をカットするフィルタを 用いた場合の効果



コンピュータ・シミュレーションによる 評価·検討



●名古屋のUHF帯域における周波数配列を想定



シミュレーション モデル





 アナログTV波 : **無変調** ■ 2波同レベル

● ディジタルTV波: ● サブキャリアが約5600本もあるOFDM信号 □相成分,直交成分 **ガウス分布** (平均値ゼロ,分散σ²)

バターワース・フィルタ ●実際には増幅器の入力部に設置する → 簡単なものが好ましい 0 バターワース型 ハイパス フィルタ Magnitude [dB] -2 -10 UHF **Booster** -15<u></u>____20 TV 25 30 35 40 45 50 55 60 Frequency [ch] 10 SITA 2004 2004/12/16



非直線増幅器の設定





シミュレーションの評価方法

● アナログTV品質の評価項目 → CNIR 低下

(搬送波 対 雑音+相互変調電力比)

●評価方法

- → アナログTV波 25ch を評価
- ① フィルタ未挿入時のCNIR特性
- ② バターワース型HPF挿入時の 各カットオフ周波数におけるCNIR特性
 (<u>ATV波</u>:30dBµV, <u>DTV波</u>:60~90dBµV)
- ③ フィルタがチェビシェフ型HPFの場合



各ディジタルTV波レベルにおけるCNIR特性





地上ディジタルTV放送波の 既存アナログTV放送波に対する影響について シミュレーションによる評価を行った

<u>ATV波:30dBµV</u>, <u>DTV波:60dBµV</u> → CNIR:約10dB(視聴限界以下)

<u>ATV波:30dBµV</u>, <u>DTV波:80dBµV</u> 7次チェビシェフ型HPFを使用 → CNIR:30dBまで改善

指標となるTVのレベルについて

● アナログTV波 <u>30dBµV</u> → CNRにおける視聴限界

● ディジタルTV波 <u>60dBµV</u> → 標準的なアンテナ入力レベル <u>80dBµV</u> → 実験で測定された最大レベル

名古屋地区におけるチェビシェフ・フィルタの 最適な次数とカットオフ周波数を検討する

- ・ 関東・近畿地区、ディジタルTV放送が今後 開始される地域の周波数配列を想定した シミュレーションの施行
- ●シュミレーションより検討したフィルタを試作し、 実際にアナログTVの画質が改善するか実験 を行う

◎ <u>各ディジタルTV波レベルにおける必要次数</u>

フィルタの種類	ディジタルTV波1波のレベル[dBµV]			
	60	70	80	90
バターワース型 HPF	2nd	6th	13th	_
チェビシェフ型 HPF	2nd	4 th	7th	10th

