

地上デジタルTV放送波による非直線増幅の アナログTV波への影響について

武藤 圭佑[†] 小川 明[‡]

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

E-mail: [†] m0332011@ccmailg.meijo-u.ac.jp, [‡] aogawa@ccmailg.meijo-u.ac.jp

あらまし 地上デジタルTV放送は、3大広域圏において2003年12月から放送を開始した。地上アナログTV放送を終了する予定である2011年までは、デジタルTVとアナログTVによるサイマル放送が行われる。そこで本稿では、非直線増幅によって地上デジタルTV波が地上アナログTV波に与える影響の程度をコンピュータシミュレーションにより評価する。またデジタルTV波の影響を軽減するために、簡単なフィルタを入れた場合の有効性についても検討を行う。

キーワード 地上デジタルTV放送, 非直線増幅, シミュレーション, OFDM

The Effect of Nonlinear Amplification on the Analog TV Signals caused by the Terrestrial Digital TV broadcast Signals

Keisuke MUTO[†] Akira OGAWA[‡]

[†] 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, [‡] aogawa@ccmailg.meijo-u.ac.jp

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.

Keyword Terrestrial digital TV broadcasting, Nonlinear amplification, Simulation, OFDM

1. はじめに

デジタル放送は、CSデジタル放送が1996年に、CATVが1998年に、BSデジタル放送が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、

その他の地域は2006年から放送が開始される予定である。スケジュールでは2011年頃までに地上アナログTV放送を終了する予定であり、それまではデジタルTVとアナログTVで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。デジタルTV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 品質が低下するおそれがある。

そこで、サイマル放送時のブースタ非直線増幅のよるアナログ TV への影響を、コンピュータシミュレーションにより評価する。評価項目は非直線増幅後のアナログ TV 波における出力電力低下と CNR である。また、アナログ TV 波に対するデジタル TV 波の影響を軽減するために、デジタル TV 波をフィルタリングする方法が考えられる。そこで、フィルタを用いた場合のシミュレーションも行い、同様の評価を行う。

2. 非直線ひずみ

増幅器で非直線ひずみが発生している場合、その入力信号電圧と出力信号電力の関係は次式で与えられる。

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

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 : は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 2 次の成分(n=2 の項)および 3 次の成分(n=3 の項)を考えればよい。

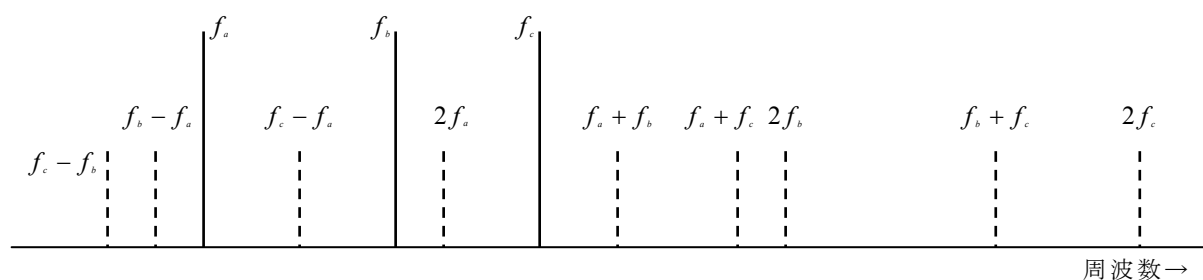
増幅器に f_a, f_b, f_c の 3 つの周波数成分をもつ信

表 1 非直線増幅によるひずみ成分

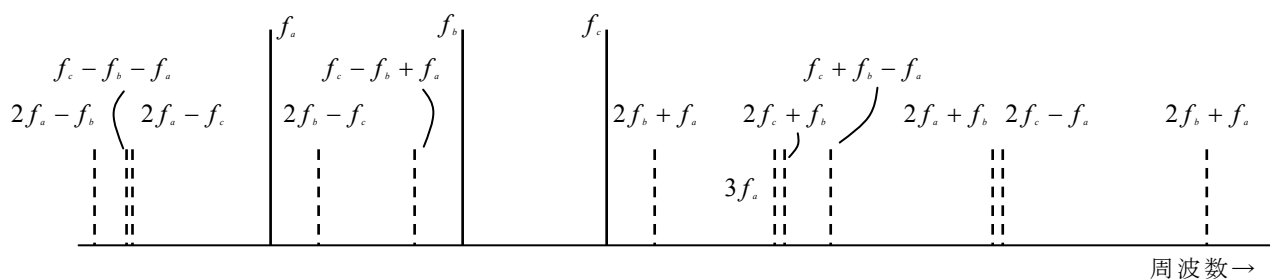
第 2 高調波成分	$2f_a, 2f_b, 2f_c$
2 次ビート成分	$f_a \pm f_b, f_b \pm f_c, f_c \pm f_a$
第 3 高調波成分	$3f_a, 3f_b, 3f_c$
相互変調成分	$2f_a \pm f_b, 2f_b \pm f_a, 2f_a \pm f_c, 2f_c \pm f_a, 2f_b \pm f_c, 2f_c \pm f_b$
3 波の和差成分 (3 次ビート)	$f_a \pm f_b \pm f_c$

号を加えたときのひずみ成分を表 1 に、この関係を図 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 2 次、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、入力信号に悪影響を与える確率が高くなる。



(a) 2 次ひずみ成分



(b) 3 次ひずみ成分

図 1 3 波同時増幅時の増幅器で発生するひずみ成分

3. シミュレーション条件

3.1. シミュレーションモデル

フィルタを挿入した場合のシミュレーションモデルを図2に示す. IFFTはフィルタを通過したデジタルTV波とアナログTV波の全スペクトルに対して行われる. アナログTVのキャリアは, 同レベルで非変調とする. 一方デジタル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0で分散が σ^2 のガウス分布とする. IFFTの出力データは並直列変換器によってパラレルからシリアルへ変換し, 時間波形の振幅が得られる. AWGNはデータが図3で示す非直線増幅器へ入力される信号に対して加えられる. 非直線増幅器の飽和レベル r は $x-ax^3$ の関数によって定義される. 出力スペクトルを得るために, 増幅されたデータはシリアル-パラレル変換器を通過し, FFTサーキットへ加えられる. 本稿では, TV波のチャンネル配列は図4で示されるようにデジタル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.

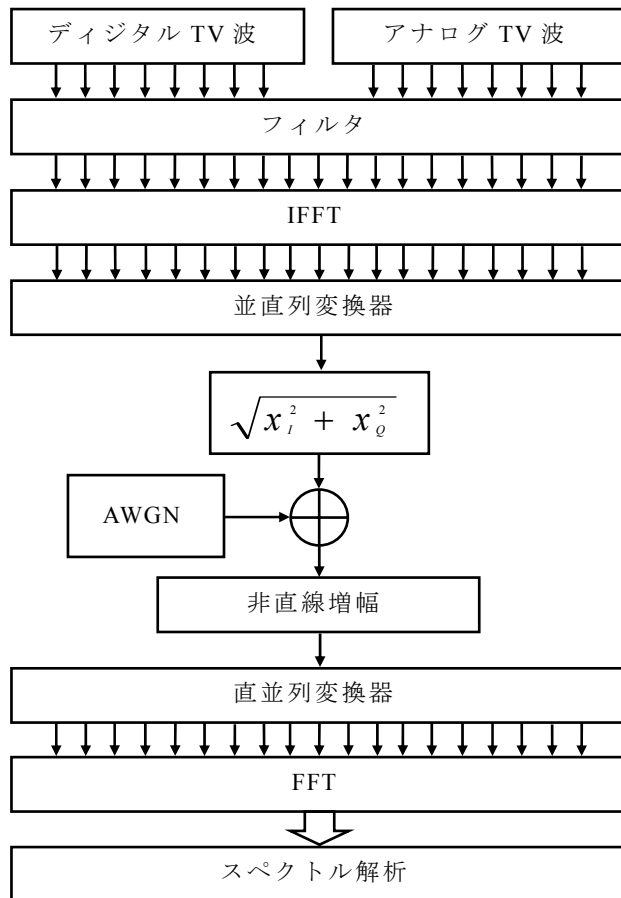


図2 シミュレーションモデル

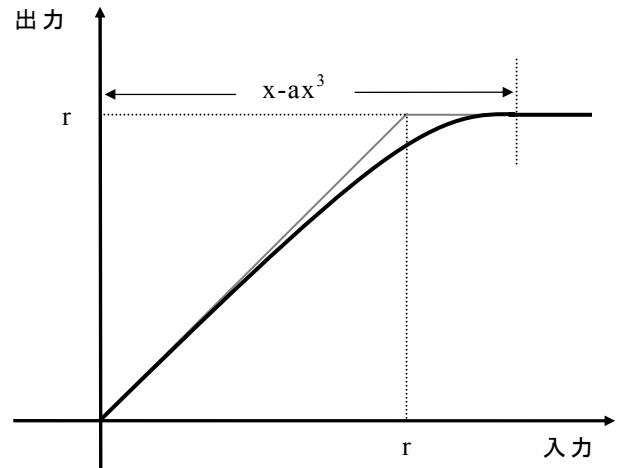


図3 増幅器の非直線特性

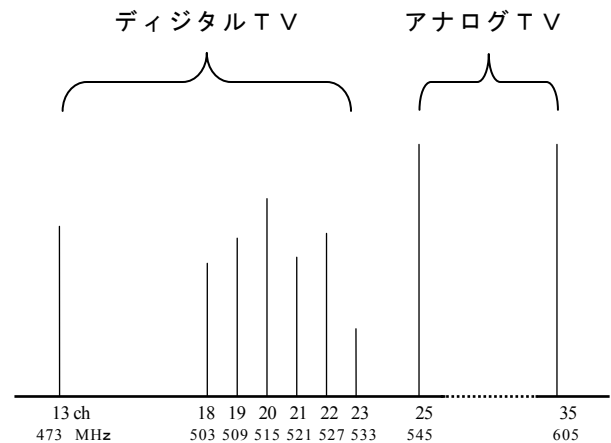


図4 シミュレーションでの周波数配列の例

3.2. フィルタ

図4より名古屋地区のデジタル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, 既存のシステムに対して簡単に取付けることができるように, 小型で単純な構造を持ったものが好ましい. そこでいくつかあるフィルタの中で, 簡単な構造をもったバターワース型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通過域特性が平坦で, 減衰特性が穏やかな曲線を描く.

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

$$N = kBT \text{ [W]} \quad (2)$$

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

4. シミュレーション

4.1. シミュレーションパラメータ

今回用いたシミュレーションパラメータを表 2 に、フィルタの大きさ特性を図 5 に示す．シミュレーションは 5000 回繰り返し、その平均を結果とする．ブースタの周波数帯域幅は、地上波 TV 放送の 1 チャンネルあたりの帯域幅が 6MHz であるため、この数値に設定した．また導体の絶対温度は常温である 300K (27℃) とした．フィルタの設定は、カットオフ周波数が 29ch で最も低次である 2 次のバターワース型フィルタとした．

表 2 シミュレーションパラメータ

パラメータ	設定値
FFT-IFFT ポイント	1024
シミュレーション回数	5000
熱雑音	AWGN
ブースタの周波数帯域幅	6MHz
導体の絶対温度	300K
フィルタ	ハイパス・バターワース
次数	2
カット・オフ周波数	29ch

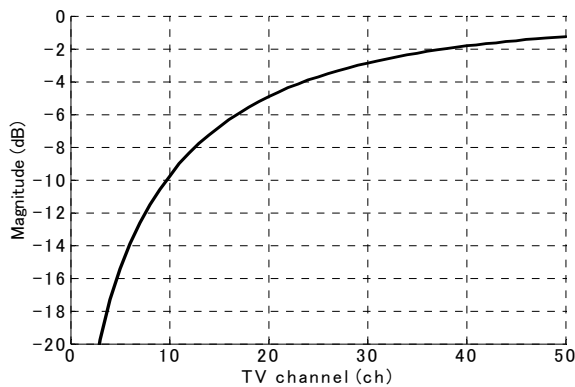


図 5 シミュレーションで用いたフィルタの大きさ特性

4.2. フィルタリングがない場合の結果

シミュレーション結果は、アナログ TV 波の出力電力低下と CNIR(搬送波電力対雑音+相互変調比)で得られる．シミュレーション結果として、25ch と 35ch の出力電力低下をそれぞれ図 6、図 7 に、CNIR をそれぞれ図 8、図 9 に示す．

図 6 より、デジタル TV 波 1 波のレベルが 55dB 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．ところがデジタル 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 がデジタル TV 郡に隣接しているためであり、相互変調積の影響を非常に大きく受けているためと考えられる．

また図 7 より、アナログ TV 波 25ch ではデジタル 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

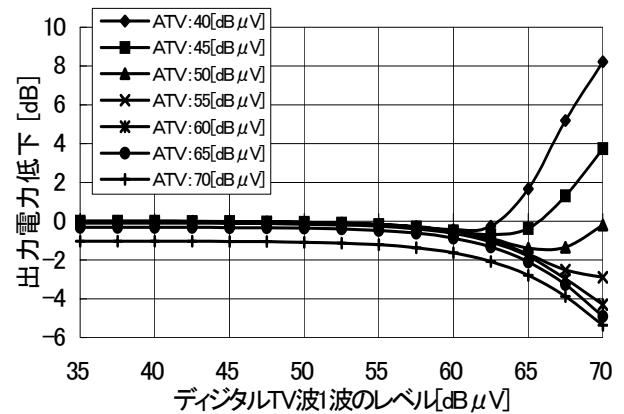


図 6 出力電力低下 (25ch)

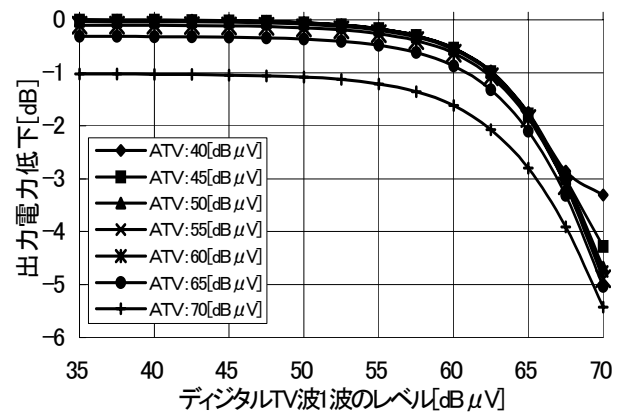


図 7 出力電力低下 (35ch)

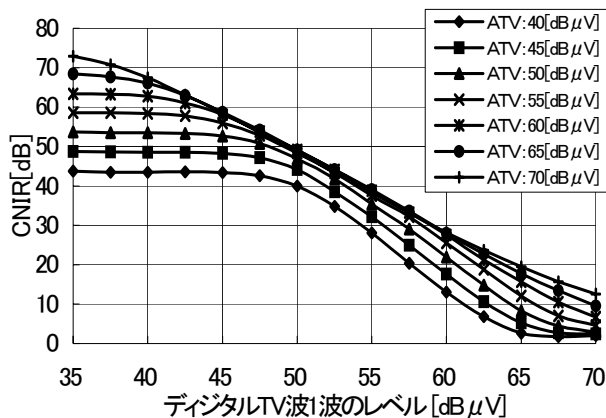


図 8 CNIR (25ch)

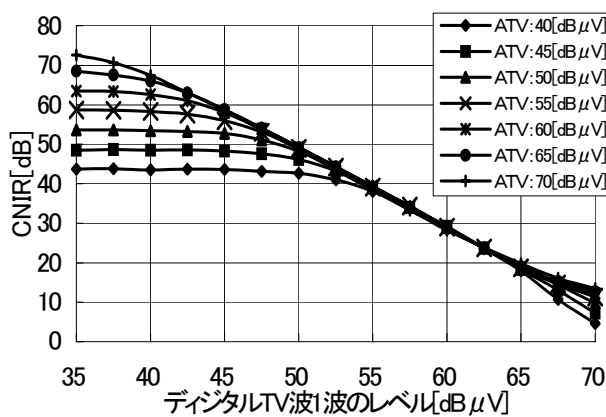


図 9 CNIR (35ch)

一般的に CNR で 30dB と言われている. この結果では, デジタル TV 波 1 波のレベルが 60dB μ V 時にアナログ TV の全レベルにおいて CNIR : 30dB を満たしていない.

またアナログ TV 波 35ch は, デジタル TV 郡から離れているため, アナログ TV 波 25ch に比べてデジタル TV 波 1 波のレベルが低レベル時における電力低下と CNIR の低下量が少ない.

4.3. フィルタリングがある場合の結果

デジタル TV 波のレベルを低減するための試みとして, 増幅器の入力段にフィルタを挿入したした場合のシミュレーション結果を図 10 から図 13 に示す.

図 10 と図 11 より, アナログ TV 波 25ch では定常的に約 5dB の電力低下を, 同じくアナログ TV 波 35ch では約 2dB の電力低下を生じている. これはハイパスバターワース型フィルタの影響により, デジタル TV 波とともにアナログ TV 波もカットされ

てしまっているためである.

一方, CNIR はフィルタリングしなかった時に比べ, 全体で約 7~8dB の向上があった. アナログ TV 波 25ch ではデジタル TV 波 1 波のレベルが 60dB μ V 時に, アナログ TV の全レベルにおいて CNIR : 30dB 以上を達成している.

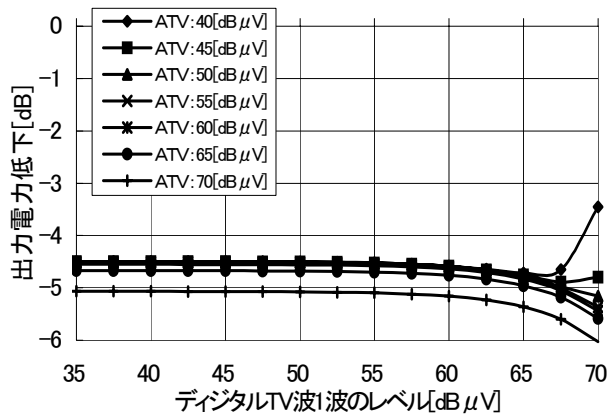


図 10 フィルタ挿入時の出力電力低下 (25ch)

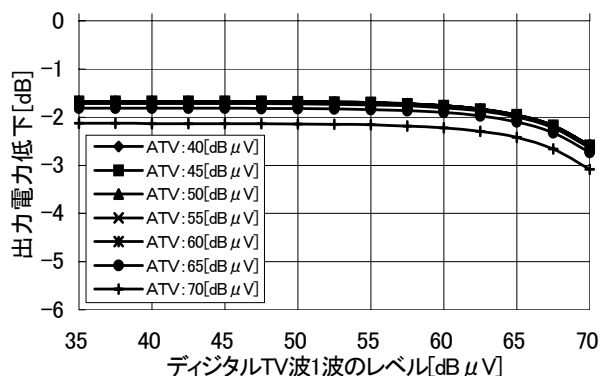


図 11 フィルタ挿入時の出力電力低下 (35ch)

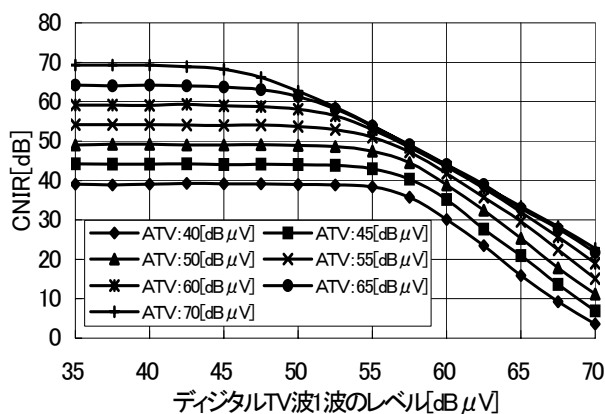


図 12 フィルタ挿入時の CNIR (25ch)

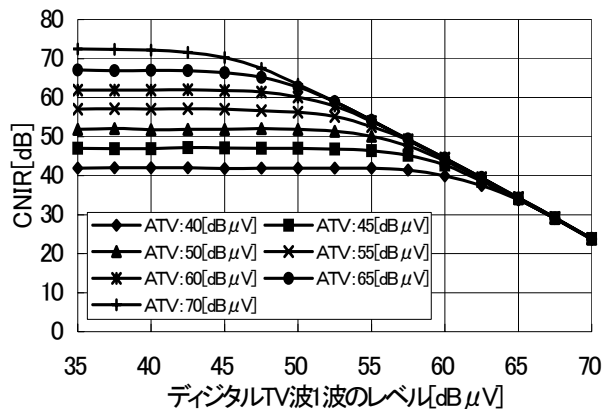


図 13 フィルタ挿入時の CNIR (35ch)

5. まとめ

本稿では、UHF 増幅器にデジタル 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、デジタル TV 波 1 波のレベルが $60\text{dB}\mu\text{V}$ 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、デジタル TV 波をカットするためのハイパスフィルタを設け、UHF ブースタに入力するデジタル TV 波をフィルタリングした。その結果、デジタル TV 波 1 波のレベルが $60\text{dB}\mu\text{V}$ においてアナログ TV の視聴限界である CNIR : 30dB 以上を達成できた。UHF 増幅器を用いてアナログ TV を視聴している視聴者にとって、デジタル TV 波のフィルタリングが効果的であることがわかった。

文 献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.

地上デジタルTV放送波による 非直線増幅のアナログTV波への 影響について

名城大学大学院

理工学研究科 情報科学専攻

武藤 圭佑 小川 明

背景①

- 地上波デジタルTV放送

- 関東・近畿・中京の3大広域圏で、
2003年12月1日から放送を開始した。

- アナログTV放送からデジタル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。

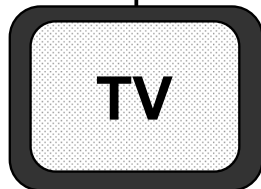
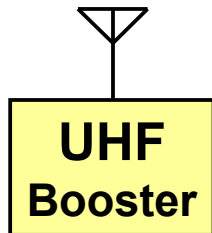
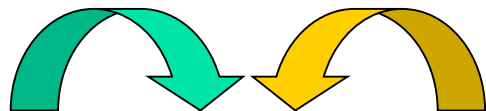
- **アナログ・デジタルTV同時放送**

- **サイマル放送**は、2011年頃まで実施される予定である。

背景②

デジタル
TV波

アナログ
TV波



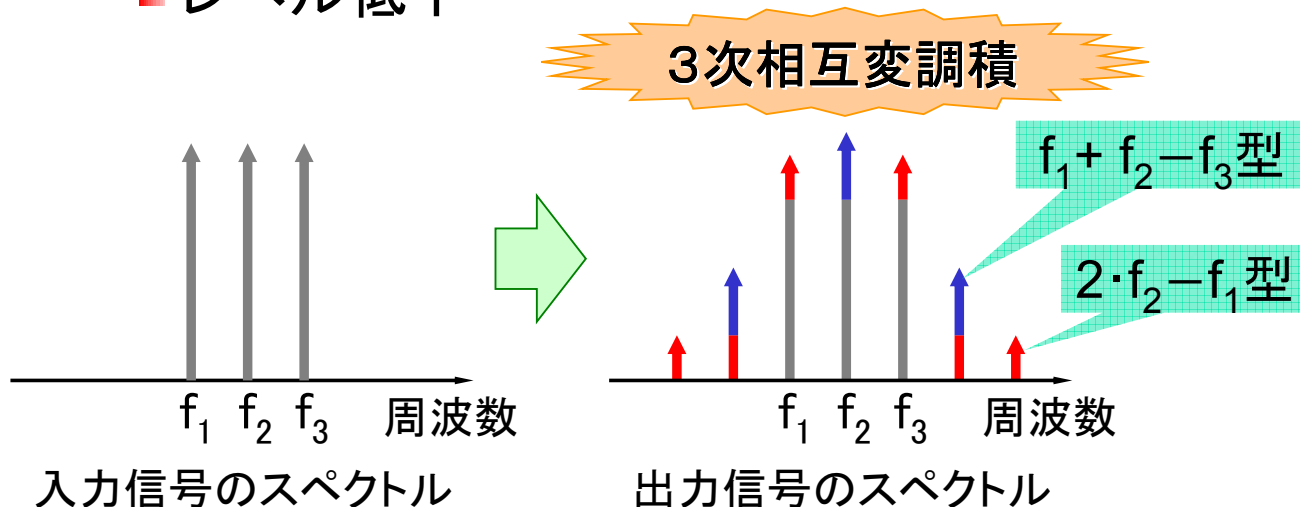
サイマル放送の期間は、
UHF帯域の波数が非常に
増加する。

ブースタ(家庭用アンプ)が
非直線領域で動作する
可能性がある。

アナログTV信号の
品質悪化が予想される。

相互変調積

- 非直線増幅器に複数の信号が加わると発生
 - 3次の相互変調積が問題
 - レベル低下



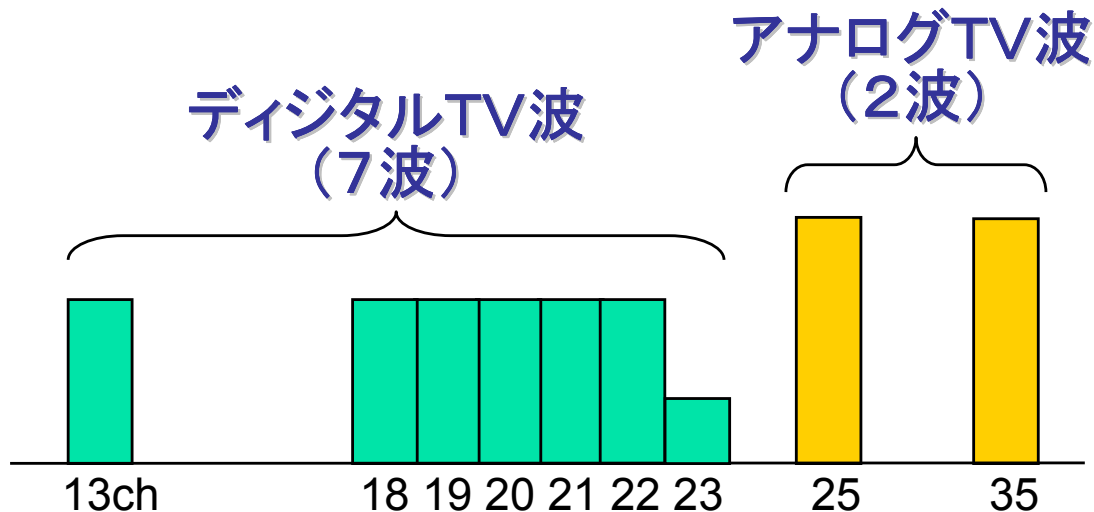
目的

- アナログTV波とデジタルTV波による非直線増幅のアナログTV波における影響をコンピュータシミュレーションによって評価する.
 - アナログTV波の品質悪化を防ぐためには、デジタルTV波をカットするフィルタを用いる.
- フィルタを用いた場合の効果を評価する.

シミュレーション対象

(名古屋のUHF帯域における周波数配列を想定)

- アナログTV : 25ch, 35ch
- デジタルTV : 13ch, 18ch~22ch → 同レベル
- デジタルTV : 23ch → 1/3



シミュレーションの評価項目

● アナログTV品質の評価項目

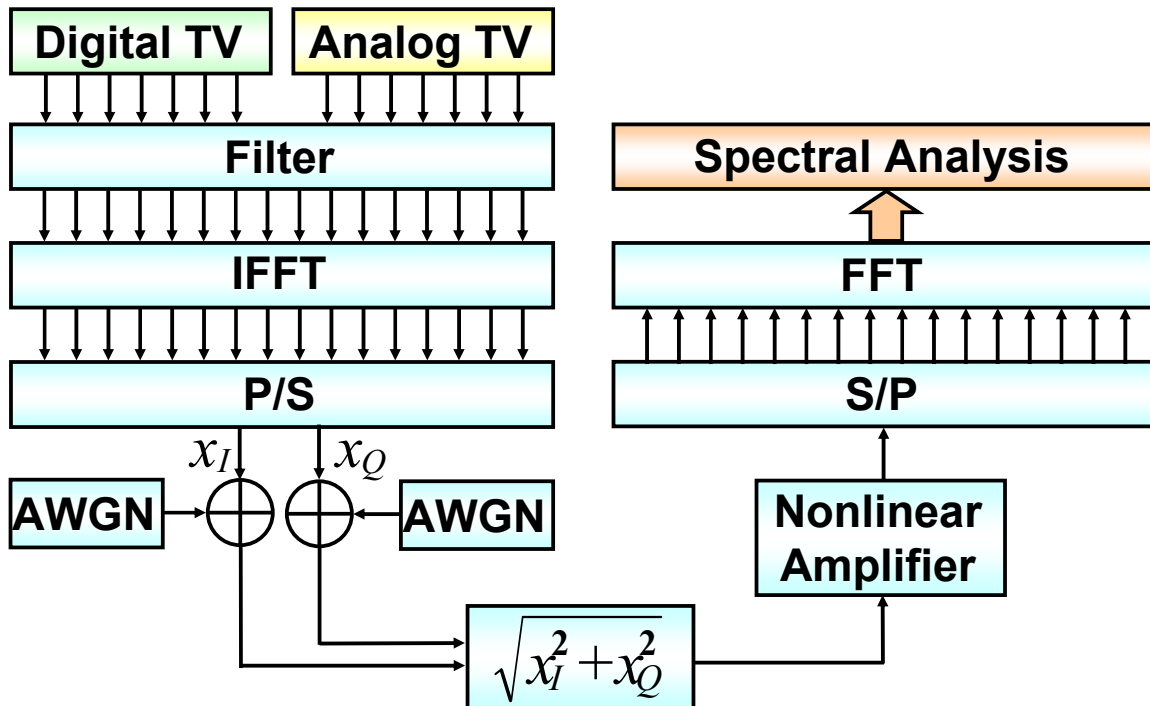
■ 出力電力低下

（非直線増幅における出力電力 対 入力電力比）

■ CNIR低下

（搬送波 対 雑音+相互変調電力比）

シミュレーション モデル



TV波の状態

● アナログTV波 : $\left\{ \begin{array}{l} \text{無変調} \\ \text{2波同レベル} \end{array} \right.$

● デジタルTV波:

サブキャリアが約5600本もあるOFDM信号

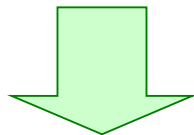
$$\left\{ \begin{array}{l} x_I : \text{同相成分} \\ x_Q : \text{直交成分} \end{array} \right.$$


ガウス分布
(平均値ゼロ, 分散 σ^2)

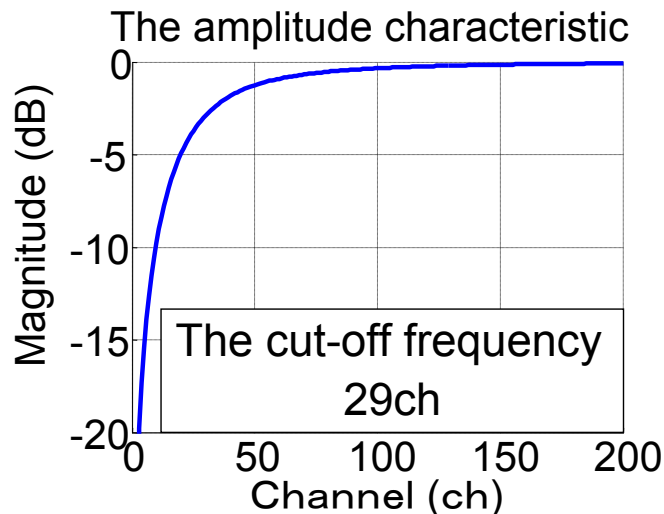
フィルタの設定

- デジタルTV波の影響を軽減するために、フィルタは増幅器の入力に設置する.

→ フィルタはできるだけ簡単なものが好ましい



2次の
ハイパス
バターワース
フィルタ



AWGNの設定

- ガウス分布 : $\begin{cases} \text{平均値ゼロ} \\ \text{分散 } \sigma_n^2 \end{cases}$

- AWGNの有能電力

$$N = kBT \text{ [W]}$$

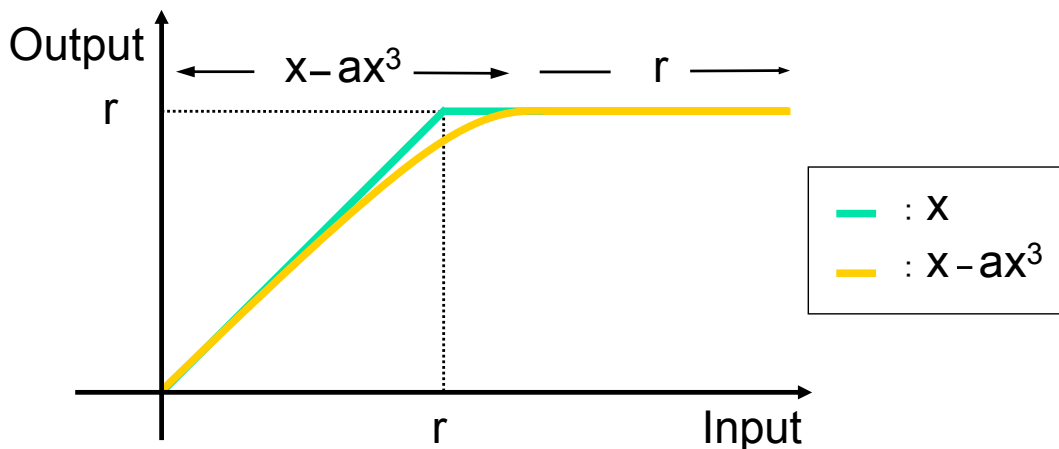
k : ボルツマン定数 (1.3805×10^{-23} [J/K])

B : 1チャンネルあたりの帯域幅 [Hz]

T : 絶対温度 [K]

非直線増幅器の設定

- 出力の上限 r までを $x-ax^3$ の関数で与え、それ以降は全て出力を r 一定とする。
- r の値は、家庭で使用されているブースタを参考に、2波のアナログTV波に相当する $76\text{dB}\mu\text{V}$ とする。

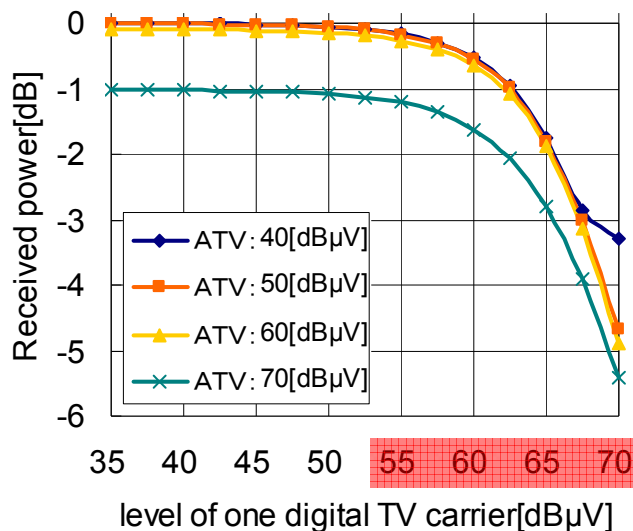


シミュレーション パラメータ

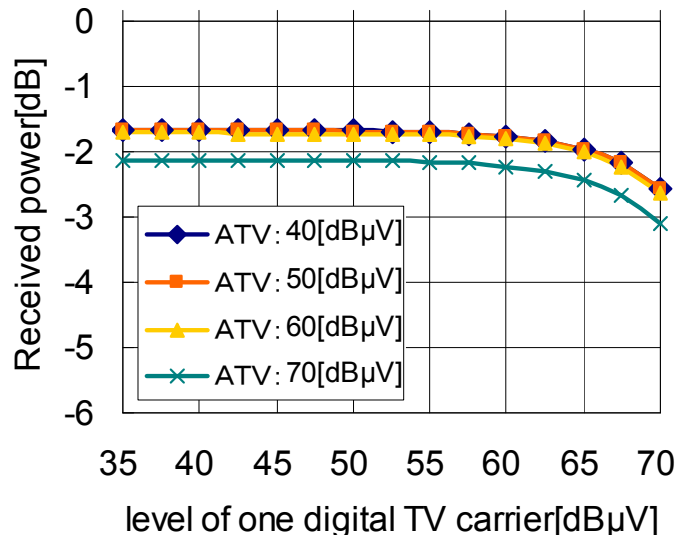
パラメータ	設定値
FFT-IFFTポイント	1024
AWGN	2.48×10^{-14} W
ブースタの周波数帯域幅	6MHz
絶対温度	300K
ハイパス フィルタ	バターワース
次数	2
カットオフ周波数	29ch

35chの出力電力低下

● ATV波の入力電圧をパラメータ, DTV波の入力電圧変化



フィルタリングなし

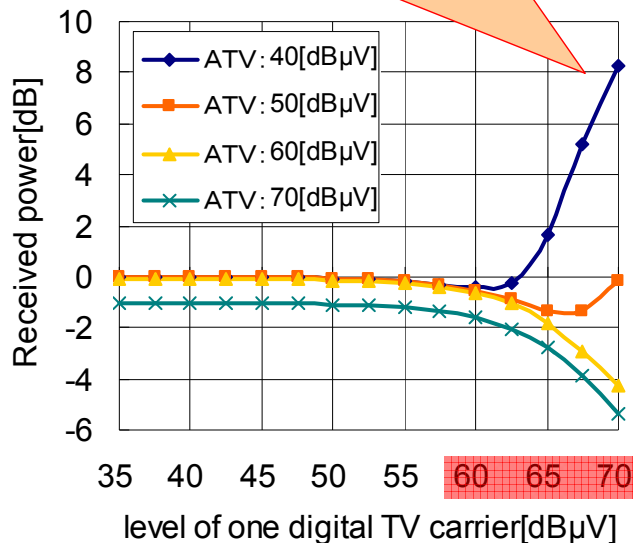


フィルタリングあり

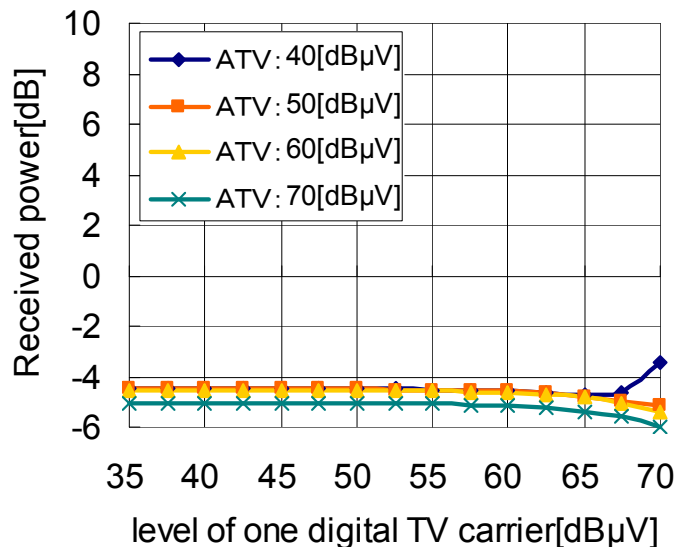
25chの出力電力低下

相互変調積

メータ, DTV波の入力電圧変化



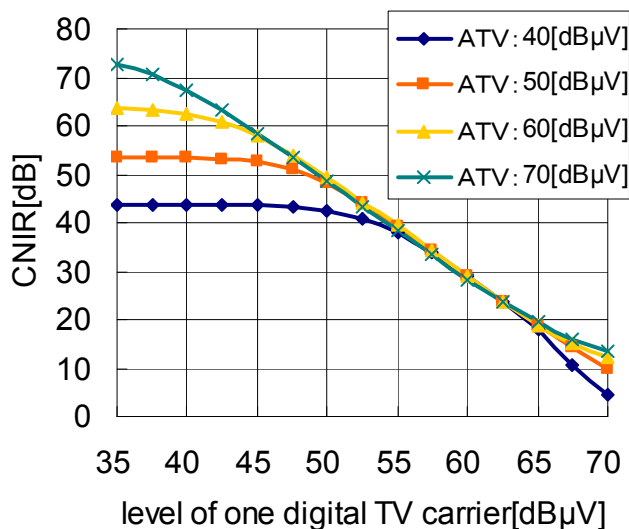
フィルタリングなし



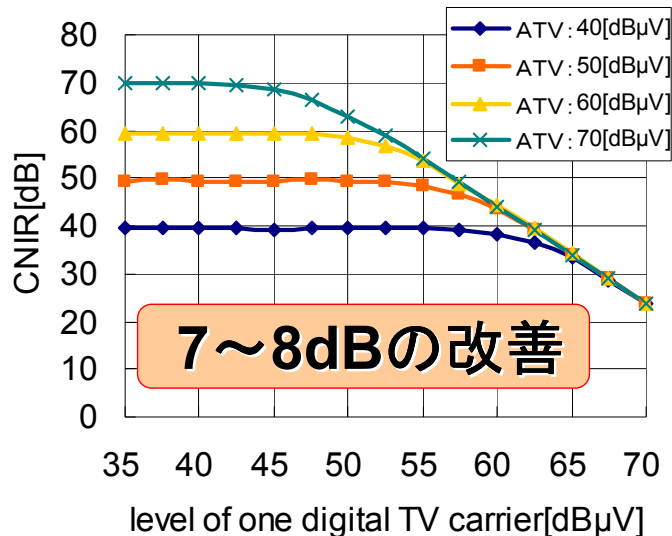
フィルタリングあり

35chのCNIR

● ATV波の入力電圧をパラメータ, DTV波の入力電圧変化



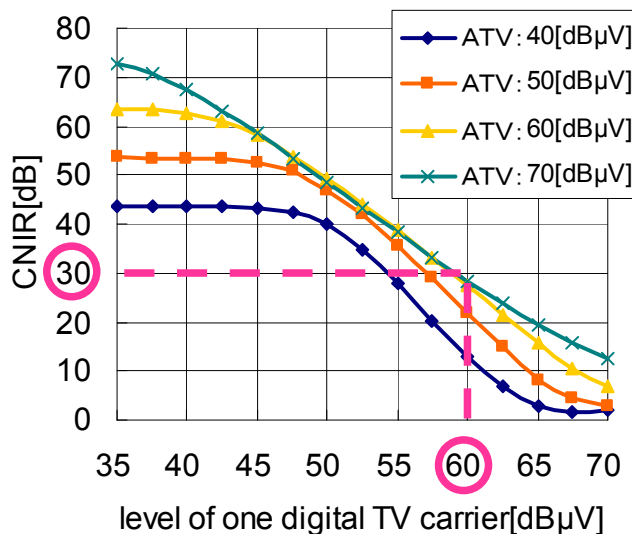
フィルタリングなし



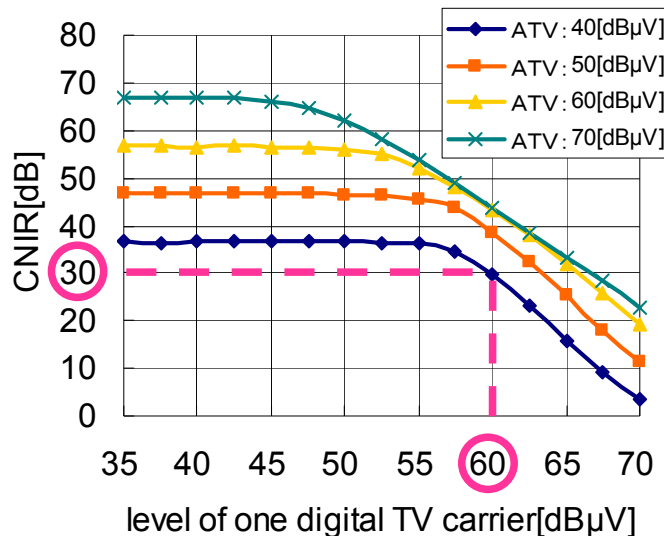
フィルタリングあり

25chのCNIR

● ATV波の入力電圧をパラメータ, DTV波の入力電圧変化



フィルタリングなし



フィルタリングあり

まとめ

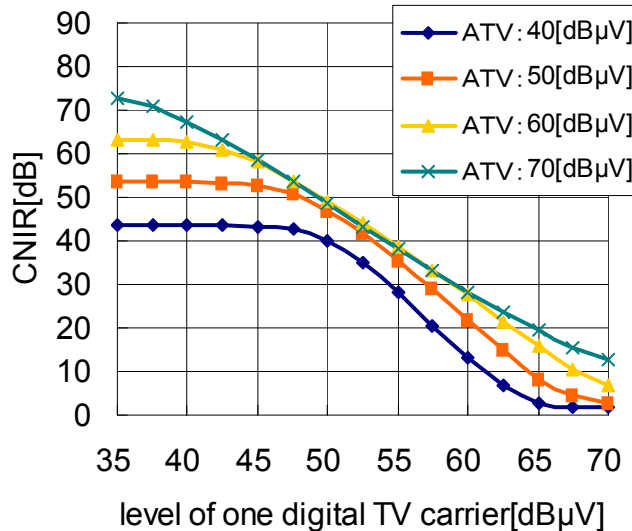
- デジタルTV波による非線形増幅時のアナログTV波に対する影響について、シミュレーションによる評価を行った。
- シミュレーション結果では、デジタルTV波のレベルが60dB μ V 以上において、信号品質の悪化が無視できないことを示した。
- フィルタリングは、アナログTV波の品質を維持するために効果的であることがわかった。

問題点と今後の課題

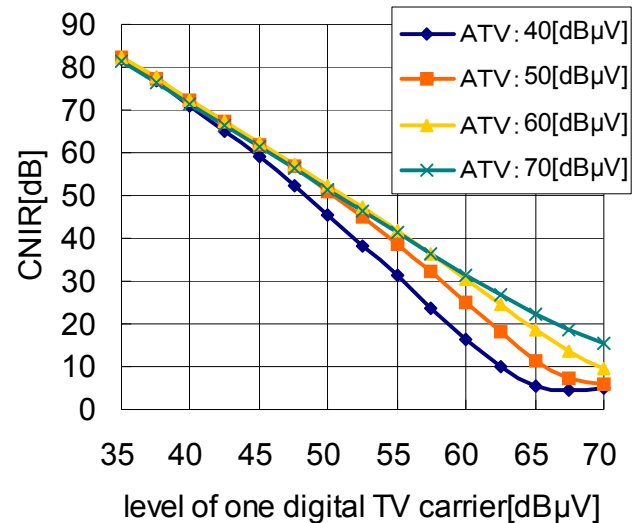
- カットオフ周波数が29chのフィルタを用いたため、アナログTV波25chにおいて常時約5dBの電力低下が生じた。
- 出力電力低下とCNIRの点で最も効果的で、かつ実用的なフィルタの次数、カットオフ周波数について検討する。

AWGNがない場合のCNIR (25ch)

● ATV波の入力電圧をパラメータ, DTV波の入力電圧変化

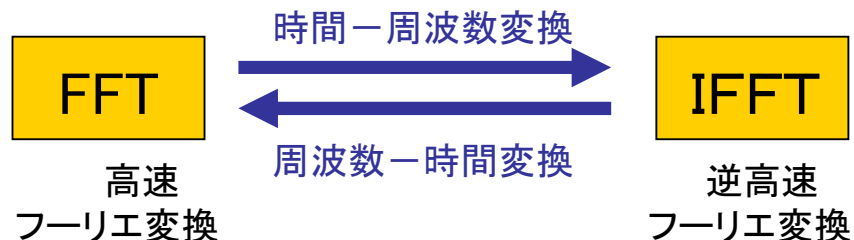


AWGNあり



AWGNなし

FFT・IFFT(1)

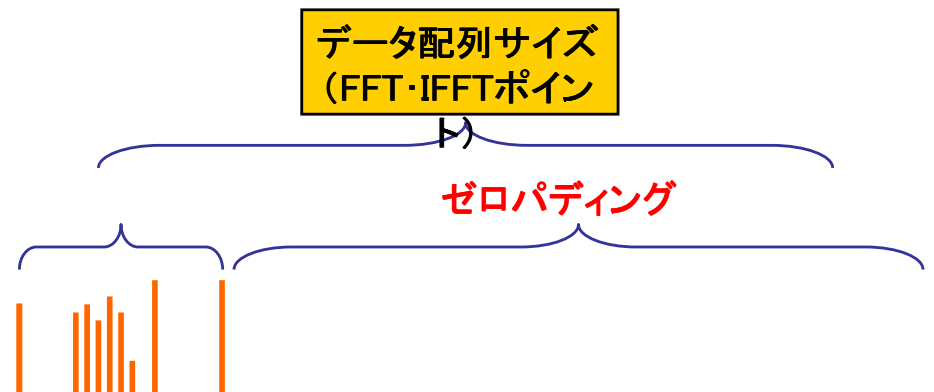


● FFT・IFFTのデータ配列サイズ

- 演算速度の点から**2のべき乗**が好ましい
- 今回は**1024ポイント**によるFFT・IFFT

FFT・IFFT(2)

- アナログ・デジタルTV波による周波数配列の後にゼロパディングを施すことによりデータ配列サイズを2のべき乗にしている



OFDM

- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
(直交周波数分割多重)
- マルチキャリアの多重伝送方式
 - FDM: 周波数分割多重の特殊な場合
 - シンボル長が長くゴーストに強い
- FFT演算による一括変復調
- 平均値に比べ、**最大値が非常に大きい**