地上デジタル放送周波数再編 (リパック) におけるワンセグノイズ付加方式の開発

Development of "One-Seg" Noise Addition Method for the Repacking of Terrestrial Digital Television Spectrum

正会員 小畑 泰寛^{†1}, 正会員 水谷 照一^{†2}, 高橋 暢彦^{†3}
Yasuhiro Obata^{†1}, Terukazu Mizutani^{†2} and Nobuhiko Takahashi^{†3}

あらまし 地上デジタル放送への完全移行後は、アナログ、デジタル並行放送期間中に暫定的に使用されていた710～770 MHzまでの周波数帯域から470～710 MHzまでの周波数帯域への周波数の移行 (強制リパック) や、受信品質を確保できない一部のデジタル放送送信親局、および中継局の周波数の移行 (改善リパック) があり、効率的な周波数移行と受信対策を行う必要があった。受信機が雑音の少ない信号を選択する性質を利用し、ISDB-T方式のワンセグ部分に送信側からノイズを付加すると確実に固定受信機が新しい波に移行することを確認し、「ワンセグノイズ付加法」と名付け実験、検証を行った。この方式では、固定受信の品質を損なうことなくリパックが可能で、全国の対象局所で多用され、対策期間、規模の縮小と受信者の不利益を最小限に押さえることに貢献したと言える。なお、この手法は、今後のデジタル置局計画や混信回避等による周波数変更にも引き続き有効な手法である。

キーワード: リパック, チャンネルリパック, ワンセグ, サイマル, 地上デジタル放送

1. ま え が き

地上波テレビ放送は、総務省を中心とした国の施策としてそのデジタル化が推進されてきた。2003年12月の地上デジタルテレビ放送の開始後、アナログ放送と並行して放送されてきたが、アナログ放送を2011年7月24日に終了することで完全にデジタルテレビ放送に移行した。

その後、周波数割当が再編され、旧来地上波テレビ放送に使用されていた周波数帯域のうちVHF (90 MHz～108 MHz, 170～222 MHz) およびUHF帯 (710～770 MHz) は別用途に割当てられる。

アナログ、デジタル並行放送期間中に暫定的に使用されていた710～770 MHzの周波数の移行 (強制リパック) といったように、アナログ終了後短期間に効率的な周波数移行と受信対策を行う必要があった。

近畿広域地上デジタル放送推進協議会 (近畿協議会) では以前から各種受信機メーカーの受信感度、各種混信保護比、SFN (Single Frequency Network) 環境における受信機性能試験等の室内実験、検証を長年行っている。著者らは、近畿協議会と連携し、この周波数移行と受信対策に関する各種検

討を行ってきた。その中で、受信対策では、各家庭の受信機が周波数移行に伴い、チャンネルを変更することが大きな課題であった。この問題を解決するため、我々は新たにワンセグノイズ付加方式を開発した。本方式においては、デジタル受信機が雑音の少ないチャンネル (ch: Channel) を選択する性質を利用し、日本のデジタル方式 (ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting for Terrestrial) である13セグメント配列中央の携帯端末用の1セグメント部分にだけノイズを付加する。これにより、受信機はノイズが付加されていない品質の良い他のチャンネルに確実に移行し、固定受信の品質も損なうことなくリパックが可能である。

開発したワンセグノイズ付加方式は、全国の対象局所で用いられ、その有効性が実証された。本論文では、その開発と受信機特性、実地検証を含めて報告する。

2. ワンセグノイズ付加方式の開発

2.1 測定系構成

以下、本論文では、一定期間、旧チャンネル (現行運用周波数) と新チャンネル (以降予定周波数) を同時に送信するサイマル切替¹⁾を仮定する。図1にサイマル切替時の旧チャンネルと新チャンネルが同時に送信される状況における各種メーカー受信機の動作を検証するための測定系を示す。ここで、旧チャンネルは中心周波数485.142857 MHz (UHF 15ch: 以下U15と表記)、新チャンネルは中心周波数533.142857 MHz (UHF 23ch, 以下U23と表記) とした。測定系では、アンリツ製ベクトル信号発生器MG3700Aによ

2013年7月8日受付, 2013年8月15日再受付, 2013年9月18日採録

^{†1} 株式会社サンテレビジョン 技術局

(〒650-8536 神戸市中央区港島中町6-9-1, TEL 078-303-3143)

^{†2} NHK 名古屋放送局 技術部

(〒461-8725 名古屋市中区東区1-13-3, TEL 052-952-7253)

^{†3} DX アンテナ株式会社 営業企画部

(〒652-0807 神戸市兵庫区浜崎通2-15, TEL 078-682-0003)

図1 測定系統図

り、U23およびU15の新旧チャンネル地上デジタル放送波信号を生成する。また、アンリツ製デジタル信号発生器MG8940AでU15の「ワンセグ」帯域に狭帯域雑音が付加される。

雑音が付加された信号は被測定受信機に入力されるとともに、アンリツ製デジタル放送フィールドアナライザMS8911Bによる波形確認およびパナソニック製ポータブルISDB-T テスタVS-N1004 Aによる信号レベルおよび C/N の測定が行われる。なお、多摩川電子工業製広帯域白色雑音発生器TSG-112は、U23フルセグノイズ付加用で C/N を設定する。また、MG8940 AはU15の13セグメント帯域に均等にノイズ(フルセグノイズ)付加により C/N を設定するのもに用いる。

本測定系を用いて、被測定受信機の受信チャンネルの変更が行われる C/N の条件について測定を行う。測定では、旧チャンネルが送信される周波数帯域にホワイトノイズを付加して C/N を劣化させることにより、周波数移行が行われる C/N の閾値を測定した。

2.2 フルセグノイズ付加での周波数移行

まず、フルセグノイズ付加による周波数移行について実験を行う。実験²⁾では、旧チャンネルから新チャンネルに強制的に移行させるため、旧チャンネルにフルセグノイズを付加し擬似的に C/N を劣化させる。19機種種のテレビ受像機、チューナ、録画機について検証した。

結果は、19機種種の測定では周波数移行が成功する C/N の差の閾値は1 dB～6 dBの範囲にあることがわかった。検証結果のうち C/N の差の閾値が最も大きかった機種を表1に示す。表1では、各 C/N において旧チャンネルから新チャンネルに移行した場合を○、旧チャンネルのまま移行しなかった場合を×としている。なお、 C/N 差がない0 dBで移行したのがあるが、受信機の C/N 表示は整数表示であり、1 dB以下での新旧チャンネルの C/N の差は送り側で調整できないところにある。したがって、サービスエリア内の各受信機の周波数移行を成功させるためには、受信機における C/N の差を少なくとも6 dB以上にする必要がある。

フルセグノイズ付加による周波数移行を行う場合の、付加雑音について、次に検討する。フルセグノイズ付加を行った時の送信機出力端における C/N を γ_{TX} とする。次に、フルセグノイズ付加を行わない場合においても、外来雑音や受信機RFフロントエンドにおける熱雑音により C/N が

表1 C/N の差6 dB以上で動作する受信機

新・旧 チャンネル CN 比の差 (dB)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
TV1	旧チャンネルCN比(dB)

図2 γ_{RX} と新旧チャンネルの γ_{TOTAL} の C/N の差

低下する。そこで、フルセグノイズ付加を行わない条件で、放送波を受信したとき、復調器入力端における C/N を γ_{RX} と定義する。フルセグノイズ付加を行った時の、復調器入力端における総合 C/N γ_{TOTAL} は次式で表すことができる。

$$\gamma_{TOTAL} = \frac{1}{\frac{1}{\gamma_{TX}} + \frac{1}{\gamma_{RX}}} \quad (1)$$

式(1)を用いて数値計算を行った。旧チャンネルの γ_{TX} を20 dB, 22 dB, 25 dBと変化させた時の γ_{RX} に対する新旧チャンネル間の総合 C/N の差を図2に示す。日本における現状の地上デジタルテレビ放送の固定受信機向けHDTV (High Definition Television) 伝送の運用条件である変調方式64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 符号化率3/4では、所要 C/N は約20 dB⁴⁾であり、復調可能な送信号とするためには、 $10 \log \gamma_{RX} \geq 20$ dBとする必要がある。送信局から離れているサービスエリア辺縁領域に受信機があり、 γ_{RX} が25 dBを下回るエリアでは、 γ_{TX} が20 dBの条件において、この手法では6 dB差が取れない場所が存在する。したがって、サービスエリア辺縁では、周波数移行に失敗する受信機が発生することとなる。

6 dB以上の差をつけるために、現行放送中の旧チャンネルにさらに強いフルセグノイズの付加は室内実験で所要 C/N

図3 ISDB-Tのセグメント配置(イメージ)

の小さいパラメータを設定すれば成立するが、実放送エリアでは、現行放送中の旧チャンネルの全帯域にノイズ付加するので、旧チャンネルの総合 C/N が所要 C/N を下回り、画像が破綻する。このようにフルセグノイズ付加方式は、実用的には、使えない手法と言える。

2.3 ワンセグノイズ付加での周波数移行

フルセグノイズ付加方式は、視聴者にとっては映像が劣化するため、そのまま適用することが難しいことがわかった。この経験に基づき、視聴者に影響を与えない手法について検討を重ね、規格³⁾を考慮しながら、ワンセグ放送用に用いられている中央の1セグメントのみにノイズを付加することを提案した。ISDB-T方式のセグメント配置を図3に示す。ISDB-Tでは、6 MHzの周波数帯域が13の周波数セグメントに分割されている。所要伝送帯域および品質に応じてA, B, Cの最大三つの階層に分割し、それぞれ、異なるセグメントを用いて伝送することが可能となっている。現在の地上デジタルテレビジョン放送の運用条件では、図3において13セグメントのうち12セグメントがB階層に割当てられており、固定受信機向けのHDTV放送に用いられている。一方、中央の1セグメントがA階層に割当てられ、いわゆる「ワンセグ」放送と呼ばれる携帯移動端末向けの低解像度テレビ放送として利用されている。

本手法を適用し、測定した結果を表2に示す。ここでは、フルセグノイズ付加方式での検討と同様、新チャネルをU23、旧チャネルをU15として、U15にワンセグノイズを付加し、被測定受信機に入力し、周波数移行が行われるかどうか測定を行った。実験では、被測定受信機で表示される新旧チャネルのC/Nの差を6dB以上の10dBでワンセグノイズ付加時は雑音電力を調整した。表2において、○印は、U15からU23に周波数移行が行われたことを示している。

ワンセグノイズ付加では、B階層に割当てられている12セグメントの周波数帯域には雑音を付加していないため、その品質には影響を受けない。その中で、受信機はより高いC/Nとなっているチャネルへ自動的に切替わる特徴を持つ。その結果、表2のように、すべての被測定受信機において周波数移行が行われることがわかった*。同時にMS8911Bを用いてMER (Modulation Error Ratio) の測定を行った。測定結果を図4に示す。MERは、ISDB-T規格で定義されている変調信号の信号点位置と、受信信号を復

表2 受信機動作 (TV: テレビ, TU: チューナ)

テレビ	○ U23 CN比22	○ U23 CN比25	○ U23 CN比30
TV1	○	○	○
TV2	○	○	○
TV3	○	○	○
TV4	○	○	○
TV5	○	○	○
TV6	○	○	○
TV7	○	○	○
TV8	○	○	○
テレビ 表示CN比 の差10dB	● U15 CN比22	● U15 CN比25	● U15 CN比30

チューナ	○ U23 CN比22	○ U23 CN比25	○ U23 CN比30
TU1	○	○	○
TU2	○	○	○
TU3	○	○	○
TU4	○	○	○
TU5	○	○	○
TU6	○	○	○
TU7	認識なし	認識なし	認識なし
TU8	○	○	○
TU9	○	○	○
TU10	○	○	○
TU11	○	○	○
テレビ 表示CN比 の差10dB	● U15 CN比22	● U15 CN比25	● U15 CN比30

図4 測定器によるMER表示例

調した後の変調信号の信号点位置の間の誤差の二乗平均値と受信信号電力の比である。受信機入力での全帯域に対する信号対雑音電力の比である C/N に対して復調後の各階層の信号対雑音比と考えることができる。図4のように、ワンセグ帯域にノイズを付加し、A階層のMERをノイズ付加しない場合の35 dBからを27 dB以上劣化させMERを7.5 dBとした。この場合でもB階層のMERは35 dBのままであり、品質の劣化がほとんどない。なお、A階層受信については、現在の運用条件である変調方式QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)、符号化率2/3の条件における所要 C/N は6.6 dB⁴⁾ であり、ワンセグノイズ付加が受信品質に与える影響は軽微と考えられる。

2.4 ワンセグノイズ付加方式の全国提案

この検証結果は、近畿協議会幹事に報告された。しかし、他の地域においては、当初フルセグノイズの付加しか検討されておらず、フルセグノイズ付加による周波数移行は対策計画がすでに立案されていた地区もあった。そこで、本ワンセグノイズ付加手法が有効なりパック手法として理解されるために、近畿総合通信局、NHK大阪放送局、近畿協議会受信専門委員会関係者が約6ヵ月間にわたり調整を行い、2011年1月末の全国地上デジタル放送推進協議会

* TU7は全国協議会でチャネル移行することが確認されている。

(全国協議会)に説明する機会を得た。その後、全国協議会でも検証が行われ、リパック手法としてワンセグノイズ付加の有効性が認められた。また、フルセグノイズ付加や減力切替¹⁾との組合せ手法として、全国へ周知、提言されたところである。

3. リパックエリアでの検証結果

近畿地区のリパック対象局を中心としたエリアでの各種受信機、チューナの実地検証を行った。近畿地区で最初の対象局所である津名中継局(県域単独)は、ワンセグノイズ付加のみ、また、栃原中継局(NHK, 県域, 在阪民放4局)はワンセグノイズ付加、フルセグノイズ付加ならびに減力切替の組合せで実施された。津名中継局、栃原中継局の実際の対策手法、結果を表3に示す。津名中継局エリアでは受信機側のES(エンジニアリングサービス)による動作試験を単独受信エリア、SFN受信混在エリアの2カ所で行った。ワンセグノイズ付加量はA階層MERで8.5 dBと設定した。図5に津名局における実験の様子を示す。被測定受信機、および録画機は全部で14機種である。ES、自動スキャン、および、手動スキャンにより周波数移行が行われるかどうか確認を行った。その結果、周波数移行率は87%~93%であった⁵⁾。

栃原中継エリアでは、送信側においてC/Nを10 dBとな

表3 津名中継局、栃原中継局リパック

局名	津名局	栃原局
出力(W)	1	10
エリア世帯数	5,973	43,000
対象メディア	1	7
サイマル	2011/9/16-2011/10/17	2011/10/31-2012/2/1
対策期間	1ヶ月	3ヶ月
リパック方式	サイマル	サイマル
ノイズ付加	ワンセグのみ	ワンセグ・13Seg
減力	なし	あり(NHK、県域除く)
対応世帯数	8	3,263

図5 津名局実験風景

るように設定して、ワンセグノイズを付加した。本検討では、このような状況下でのフルセグノイズを付加した場合の等価C/Nを明らかにするため、さまざまなC/Nにおいて、フルセグノイズ付加時の理論値とC/N10 dBに設定したワンセグノイズ付加時の実測値を比較した。図6に、 γ_{RX} に対する被測定受信機で測定した実測C/Nを示す。また、比較のため、図6でフルセグノイズ付加時、式(1)により求めた γ_{TOTAL} を重ねて示した。この図より、ワンセグノイズ付加時の受信機での実測C/Nは、フルセグノイズ付加18.5 dBとほぼ等価であることがわかる。

今回全国で使用されたワンセグノイズ付加装置の設定値をC/N 10 dBにした場合、A階層MERは7.5 dBであることからこれをC/Nとほぼ同じとしてワンセグノイズをフルセグメントに平均化したC/Nを計算すると、

$$-10 \times \log \left\{ 10^{\left(\frac{7.5}{10} \right)} \times \frac{1}{13} \right\} = 18.6_{(dB)} \quad (2)$$

となり、受信機での実測C/N 18~19 dBとほぼ合致する。このことから、受信機の実測C/Nは、受信チャンネル全帯域の平均C/Nを検出していると推定できる。また、 γ_{RX} が25 dB以下でも旧チャンネルの実測C/Nを低下させることが可能で、新チャンネルと旧チャンネルのC/N差も6 dB以上とすることが可能である。以上の結果から、提案するワンセグノイズ付加方式を用いることで、市場にあるほとんどの受信機のチャンネル周波数移行が可能と言える。

4. む す び

本論文では、周波数移行において旧チャンネルのワンセグ帯域のみにノイズを付加することで、旧チャンネルの受信品質を落とすことなく新チャンネルへの周波数移行を可能にするワンセグノイズ付加方式を提案した。ノイズを付加しても固定受信では画像破綻が起こらないことが本方式の特徴である。比較的規模の大きいサービスエリアの場合、新旧

図6 フルセグメントノイズ付加理論値とC/N 10 dBワンセグノイズ付加時の比較

チャンネルで同時並行放送を行い、この期間中に周波数移行させるサイマル切替（サイマルリパック）が行われる。このサイマルリパックにおいて、本方式は全国の対象局96局のうち74局で初期の対策として採用された（H25年1月現在、NHK算出）。受信者の不利益を最小限としつつ、本室内検証や津名中継局の結果からも明らかなように、少なくとも80%近くの受信機において正常に周波数移行が行われたと推測される。このように、周波数リパックに伴う受信者対策の規模ならびに経費の縮小、期間短縮に大いに貢献することができたと自負している。

受信機は結果的に全帯域の平均 C/N で動作しており、ワンセグノイズ付加により周波数移行が正常に行われることが、理論的検討だけではなく、実験によっても明らかにすることができた。今後、受信機復調部の動作アルゴリズムを考慮に入れた周波数移行の動作解析および方式の改善について検討が必要である。

本論文で提案したワンセグノイズ付加方式が、引き続き、置局配置の変更やフェージング等による伝搬環境の劣化に対する対策として行われる改善リパックにおいて、必要となる受信機の周波数移行をスムーズに行う有効な手法として利用されることを願ってやまない。最後に、長年実験検証を共にやってきた成果として、近畿協議会メンバー同（事務局：近畿総合通信局）に謝辞を表します。

〔文 献〕

- 1) 山形幸紀：“知っておきたいキーワード“チャンネルリパック”，映像学誌，65，3，pp.309～311（2011）
- 2) 近畿広域地上デジタル放送推進協議会 デジタル受信専門委員会WG：“リパック時の受信機動作に関する室内実験報告書”，2010/7/26報告（協議会限り）
- 3) 電波産業会：“地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式”，標準規格 ARIB STD-B31，1.9版，p45（2010）
- 4) 電子情報通信学会：“知識の森：5群（通信・放送）：8編（放送・CATV）”，pp.18-28（2012），http://www.ieice-hbkb.org/files/05/05gun_08hen_02.pdf#page=17
- 5) 近畿広域地上デジタル推進協議会 デジタル受信専門委員会WG：“津名中継局改善リパックに於ける受信機の動作状況の検証について”，2011/8/5報告資料（協議会限り）

お ぼ た やすひろ
小畑 泰寛 1974年，千代田学園放送技術研究科卒業。同年，（株）サンテレビジョン入社。アナログ，デジタル送信設備の置局，管理，受信調査，許認可業務に従事。正会員。

みずたに てろかず
水谷 照一 1983年，名古屋工業大学工学部電子工学科卒業。同年，NHK入局。大阪局，名古屋局他で電波障害調査，地デジ・BS受信機の普及，測定器・受信アンテナの開発に従事。現在，名古屋局技術部に所属。正会員。

たかはし のぶひこ
高橋 暢彦 1976年，大阪工業大学工学部電子工学科卒業。同年，DXアンテナ（株）入社。テレビ受信関連機器の設計開発に従事。現在，営業技術で受信調査，技術支援に従事。