

デジタル連絡無線における音質改善技術の開発

藤枝 大 矢頭 隆

現在、有限希少な電波資源の有効利用を促進するために、無線システムの伝送効率の改善やチャネルの狭帯域化（デジタル・ナロー化）が進められている。VHF帯放送事業用連絡無線は、2016年6月よりデジタル・ナロー方式へと移行したが、現場からは「通話音質が不明瞭で聞き取りにくい」という声が上がっている¹⁾。

そこで我々は、日本テレビ放送網株式会社（以下、日本テレビ）、株式会社JVCケンウッド（以下、JVCケンウッド）と共同で、音声コーデックには一切手を入れることなく、明瞭性を大幅に改善する放送事業用デジタル連絡無線の音質改善技術を開発した。

本技術はソフトウェアで実現されたため、既に販売された無線機にもソフトウェアのアップデートの形で導入できることから、全国の放送事業用デジタル連絡無線の発展に大きく寄与する。また、同様の音声コーデックは自治体無線や消防無線にも採用される予定であり、本技術の広範な活用も期待される。

本稿は以下のように構成される。はじめに放送事業用連絡無線におけるデジタル・ナロー化の概要と音質問題について説明する。次に、開発した技術について説明する。そして、実際の取材現場で運用した際の現場の声を紹介し、最後にまとめを述べる。

背景：連絡無線のデジタル・ナロー化と音質問題

(1) 放送事業用連絡無線

VHF (160MHz) 帯放送事業用連絡無線は、放送事業者が現場と本社やスタッフ間の連絡に用いる通信手段である。特に、携帯電話のような輻輳が発生しないため、災害時や緊急時には生命に関わる最重要な設備となる。

放送事業用連絡無線に対しては、総務省発表の「周波数再編アクションプラン（平成24年10月改定版）」において2016年5月31日までにデジタル・ナロー化が完了するよう移行を促進することが明記された。具体的な変調方式や音声コーデックは、標準規格「ARIB STD-B54『放送事業用4FSK連絡無線方式』」に規定されている。

(2) デジタル変調方式と音声コーデックの音質

変調方式には、小型化・狭帯域化でき消費電力も低い4FSK（四値周波数偏移変調）方式が採用された。チャネル間隔は6.25kHzで、伝送速度は4.8kbpsとなっている。音声コーデックには、Digital Voice Systems, Inc.製のAMBE+2™^{*1)} Enhanced Half-Rateが選定された。AMBE+2™は音声符号と誤り訂正符号を合わせて3.6kbpsまで圧縮でき、受信電界値に依らず高い音質が保たれる点や、送話側の背景雑音に強い点が、実運用面で有用であるとされていた²⁾。

しかし、圧縮効率には優れているが、出力音の自然性や明瞭性に課題があることが指摘されている²⁾。実際に運用してみると、現場からは「機械的でもったような音質になる」「鼻声のようだ」という声が上がった。そのため、受話側の環境が屋外のようにザワザワしていると通話内容が聞き取れず、取材現場では相手に何度か聞き返す等の問題が発生していた。平常時には、音声が多量不明瞭であっても、話の内容は前後の言葉からある程度類推できる。しかし、非常時の緊張状態にはそのような類推は難しく、避難指示を聞き漏らして命を落とす危険もある。

以上のような問題に鑑みた日本テレビの発案で、OKI、日本テレビ、JVCケンウッドの3社で共同開発チームを結成し、2013年4月より約2年間、音質改善技術の開発に取り組んだ。音声コーデック部分はチップ化されているため、改善処理はエンコード前（送信側）とデコード後（受信側）の2か所で実施することになった。なお、OKIは受信側後段処理を担当し、JVCケンウッドが送信側前段処理と実機への組込み、そして日本テレビはフィールドテストや現場へのヒアリングを担当した。

送信側前段処理

(1) 音声コーデックによる音質劣化

音声コーデックには、大きく3つの種類がある：

- 波形符号化
- 分析合成符号化
- 2つを組み合わせたハイブリッド符号化

*1) AMBE+2 は、Digital Voice Systems, Inc. の商標です。

AMBE+2™は2つ目の分析合成符号化に該当する。エンコーダーは20ミリ秒ごとに音声データの周波数を分析し、49ビットの符号化データを生成する。符号化データの中には、基本周波数の他に、周波数帯域ごとの有声/無声判定情報とパワー情報が含まれている。デコーダーは符号化データに基づいて、正弦波(有声音)と人工的に生成した雑音(無声音)の足し合わせで音声データを復元する(図1)。

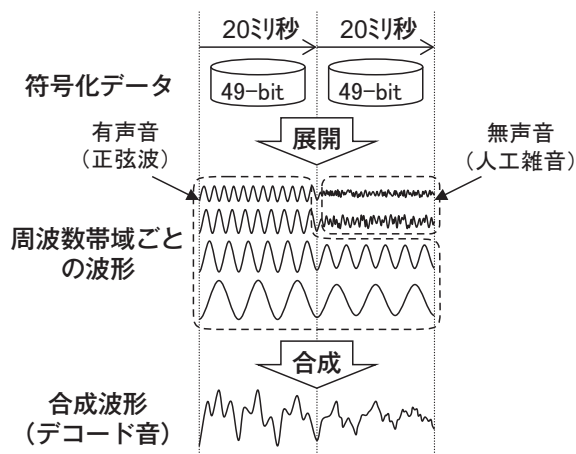


図1 AMBE+2™のデコードの流れ

AMBE+2™は圧縮率が高いため、パラメーターの量子化が粗いと考えられる。そのため、合成正弦波で作られるデコード音は人工合成音のようになりやすい。また、符号化データは20ミリ秒ごとに平均化されているため、原音の細かい時間変化の情報が失われ、文頭の音が聞き取りにくい、などといったメリハリのない音質となる。

(2) エンコード前の音質改善

そこで、符号化データに原音の特徴がはっきりと残るように、エンコード前に音声データを強調する方法を模索した。

まずは、「原音の音声帯域を狭めると鼻声のようになる」という実験結果⁹⁾から、イコライザーによる周波数成分の増強を試みた。しかし、明瞭性の改善はできなかった。この結果は、鼻声が増強に起因することを意味し、量子化と平均化が音声のバラエティー(基本周波数や音色の微妙な違い)を損なわせるためであると考えられる。

そこで、量子化により失われる周波数成分と、平均化により失われる時間変化成分とを共に増強するために、エンコード前に音声データ波形(以下、波形)の立ち上がり

を強調することを考えた。図2に、送信側前段処理の模式図を示す。波形の立ち上がりが急峻になることで、周波数成分と時間変化成分の増強が期待できる。さらに、この処理は入力される波形に依存して動作することから、バラエティーの増加にも貢献する。図3¹⁰⁾に示した処理結果を見ると、改善後の出力音の波形(c)の概形が、改善前の出力音波形(b)よりも入力音の波形(a)に近い形でデコードされたことが確認できる。

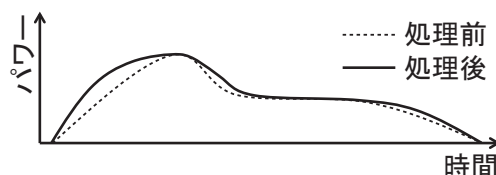


図2 波形立ち上がり改善処理

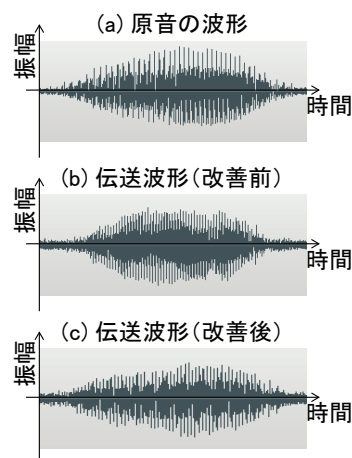


図3 伝送波形の比較

受信側後段処理

(1) 電話帯域制限と明瞭性

AMBE+2™のデコード音の明瞭性を下げているもう一つの要因に、音声帯域が電話帯域(300~3,400Hz)に制限されていることが挙げられる。帯域制限によって音声成分の優位な帯域(図4の5kHz以上)が失われ、明瞭性が低下する。従来のアナログFM方式も、周波数帯域は音声帯域に制限されていたが、音質が良好なので雑音下でも通話内容をなんとか類推できる程度の明瞭性はあった。しかし、AMBE+2™では、前述の通りデコード音の明瞭性が大きく損なわれているため、雑音下での通話にはかなりの集中力を必要とする。

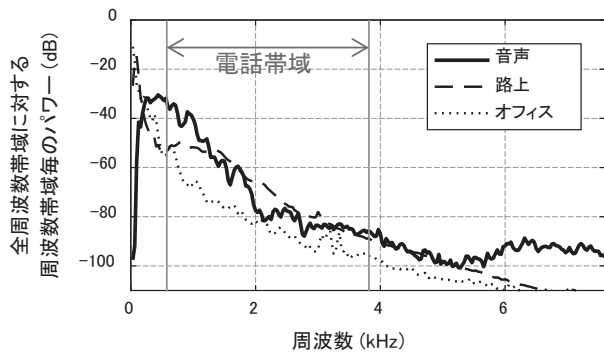


図4 音声と背景雑音の周波数特性の例

(2) デコード後の音質改善

我々は、電話帯域より高い周波数帯域に成分を拡張する音声帯域拡張技術を用いることで、この問題に対して改善を試みた。音声帯域拡張処理は、一般には分析合成型と加工整形型の二つに大別される³⁾。分析合成型は帯域制限前の真の特性の再現性が高いが、必要なリソースや演算量が多い欠点があり、無線機への搭載は難しい。一方、加工整形型は、少ないリソースと演算量で実現できる上に、聴感的な音質は良好である。そこで、OKIが開発している³⁾加工整形型をベースとしている無声音の再現性を高めた音声帯域拡張方式 (OKI-VBE: Voice Band Enhancer) を適用することとした。OKI-VBEの処理の流れと模式図を 図5に示す。

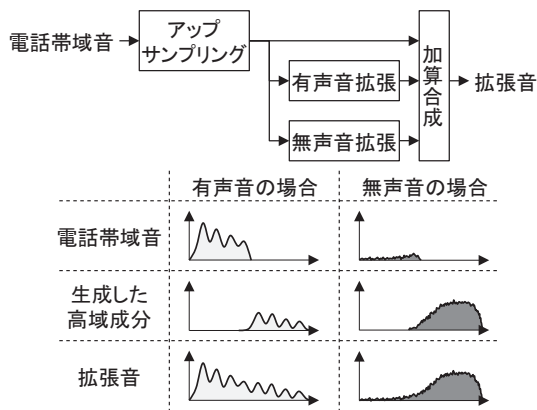


図5 音声帯域拡張の流れと模式図

図4に立ち返ると、5kHzより上の周波数帯域で音声のパワーが強くなっていることがわかる。これは、主に無声音のパワーである。つまり、無声音をより正確に拡張することで、背景雑音下でも聞き取りやすい音声を得ることができる。OKI-VBEは、無声音に対して、電話帯域に残っているわずかな成分を手がかりとして、高域成分のパワー

とスペクトル概形を精度よく推定できる。さらに、有声/無声を明示的には区別せず、有声音と無声音両方の高域成分を同時に生成し、両者のパワーバランスを適応的に調整しながらミキシングするため、より自然な拡張音を出力することができる。

例として、有声音(母音「い」と無声音(子音「し」の無声音部分)を音声帯域拡張処理した結果を 図6に示す。3.4kHzまでしかなかったデコード音の成分が、有声音は6kHzまで、無声音は8kHzまで拡張されていることがわかる。

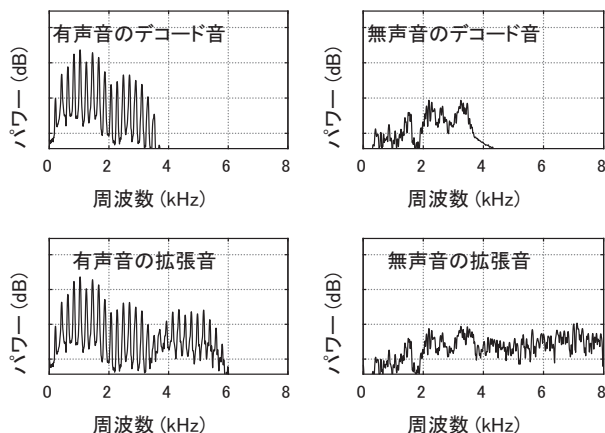


図6 音声帯域拡張処理の結果

フィールドテスト、試験運用と外部の評価

フィールドテストは、室内、屋外、ヘリコプターとの通話など、様々な環境で実施された。テストの度に修正を加えながら、環境の変化に頑強な方式へと仕上げていった。屋外でのテスト風景を 写真1¹⁾に示す。当初は、音声帯域拡張処理によって生じる人工雑音やひずみが気になり、明瞭性とトレードオフといった状況もあったが、テストと修正を重ねて克服した。明瞭性については常に高評価で、日本テレビ社内の無線使用者にも試用していただき、早期導入を望む声を多数いただいた¹⁾。



写真1 屋外でのフィールドテスト風景

2014年の年末から2015年の正月にかけてのロードレースにて試験運用を実施した。湘南平の鉄塔の上にある無線設備（写真2¹⁾）では、強風の中での通話となったが、本技術を搭載した無線機では良好に通話できた¹⁾。



写真2 ロードレースでの試験運用の風景

報道現場でも試験運用を実施している。報道現場では様々な環境下で使用されるため、背景雑音の種類に依存しない処理が求められるが、本社からの指示も現場からの報告も、内容を確実に伝えられるようになった¹⁾。

以上の試験運用は、送信側と受信側とを対にして運用していたが、本技術は送受独立しているため、どちらか一方のみでも動作する。つまり、送信側前段処理のみでも電話帯域内の成分が明瞭化され、受信側後段処理のみでも電話帯域外に成分が拡張されることで明瞭化される。さらに、両方動作させると、受信側後段処理にはバラエティーが増強されたデコード音が入力されるため、より明瞭性が向上するという相乗効果を生む。実際、2015年7月に実施された自営無線通信調査研究会 第2回会合において本技術を披露した際には、参加者の皆様に送受両側適用、送信側のみ適用、受信側のみ適用の3種を聞いていただき、好評をいただいた。これにより、改善処理を片側だけしか適用しない場合にも明瞭性向上の効果があることが示された。つまり、本技術は全台一括で導入する必要がなく、導入障壁が低いことを確認した。

放送事業者は当然日本テレビに限ったものではなく、全国に多数存在する。放送事業用デジタル連絡無線は全て4FSK方式とAMBE+2TMが用いられることから、全放送事業者が連絡無線の音質問題に直面していることになる。我々はこの状況から、本技術を周知すべく、映像系・放送系・無線系の表彰にチャレンジし、以下の4つの賞を受賞した：①映像情報メディア学会 第42回技術振興賞 進歩開発賞（研究開発部門）、②第41回放送文化基金賞「個人・グループ部門」放送技術、③日本民間放送連盟賞 技術部門 優秀賞、④一般社団法人電波産業会 電波功績賞 一般社団法人電波産業会会長表彰。

まとめ

本稿では、OKI、日本テレビ、JVCケンウッドの3社で共同開発した、VHF帯放送事業用連絡無線の音質改善技術を紹介した。当該無線の狭帯域化に伴い選定された音声コーデックAMBE+2TMは、アナログFM方式と比べて音声の明瞭性が大きく損なわれ、雑音下や緊急時における情報伝達に支障をきたしていた。そこで我々は、エンコード処理前に波形の立ち上がりの改善処理を実施し、さらにデコード処理後に音声帯域拡張を実施することで、音声コーデックに一切変更を加えることなく、顕著な音質改善を実現した。

本技術はソフトウェアで実現されているため、すでに納入済みの機器に対しても容易に導入することができる。しかも、送信側と受信側の改善処理が独立しているため、部分的にも導入できる。

本技術はAMBE+2TM特有の音質問題を改善するために開発されたものだが、適用先への原理的な制約はないため、全世界のデジタル連絡無線に適用することができる。しかし実際には、本技術はまだ一部の放送事業者にしか導入されていない。デジタル無線システムを使用する様々な場面で快適な通話できるように、今後も提案活動を続けていく予定である。

謝辞

本技術の開発にあたり、技術開発、ディスカッション、実機実装、各テストや試験運用にご協力いただいた、日本テレビ放送網株式会社関係者の皆様、株式会社JVCケンウッド関係者の皆様に、深く感謝申し上げます。 ◆◆

参考文献

- 1) 牧野鉄雄、他：デジタル連絡無線音声改善技術の開発、映像情報メディア学会誌、Vol.70、No.1、pp.J29-J36、2016年
- 2) 大西弘幸、他：放送事業用連絡無線（4FSK方式）の音声品質評価—ARIB実証実験報告より—、映像情報メディア学会技術報告、Vol.35 No.46、pp.63-67、2011年11月
- 3) 藤枝大、矢頭隆：広帯域感を高めた音声帯域拡張技術、OKIテクニカルレビュー、第221号、Vol.80 No.1、pp.44-47、2013年5月

筆者紹介

藤枝大：Masaru Fujieda. 情報・技術本部 研究開発センター コミュニケーション技術研究開発部

矢頭隆：Takashi Yazu. 情報・技術本部 研究開発センター コミュニケーション技術研究開発部