4章 ラジオマイクの周波数移行

4-1 ラジオマイクの歴史と変遷

松永英一[†], 村上佳裕^{††}

キーワード：A型ラジオマイク，ハンドヘルド型，ボディバック型，PLL シンセサイザ，コンパンダ方式，ダイバシティ受信

表1 A型，B型，C型ラジオマイクの主な技術的要件

	A型	B型	C型
用 途	高音質伝送用：放送事業者等	一般用：規定せず	一般用：規定せず
無線局の種別	陸上移動局（特定ラジオマイク）	特定小電力無線局（ラジオマイク）	特定小電力無線局（ラジオマイク）
使用周波数	797 MHz～806 MHz	806 MHz～810 MHz	322 MHz帯
空中線電力	10 mW以下	10 mW以下	1 mW以下
変調方式	周波数変調	周波数変調	周波数変調
変調周波数	15 kHz以内	15 kHz以内	7 kHz以内
占有周波数帯幅	110 kHz/コンパンダ，330 kHz/リニア	110 kHz/コンパンダ	30 kHz
免許手続き	必要	不要	不要
運用協定	必要	不要	不要
無線従事者	不要	不要	不要

1. まえがき

初めて，無線を使ったマイクシステムであるラジオマイク（通称 ワイヤレスマイク）が日本のテレビ局にお目見えしたのは，第2次大戦後にアメリカから輸入された真空管式のものであったと言われている．その後，トランジスタ化されたが，初期の段階では，その性能，使い勝手に問題があったために，限定的にしか使用されなかったが，電波法などの制度が変わるたびに，現場のニーズを踏まえた機器が開発されていった．機器の進歩に伴い，使い勝手も向上し，今日ではテレビ番組，ライブ公演などにおいて，なくてはならない重要なアイテムとなっている．ここでは，ラジオマイクの開発において常に国内をリードしてきたソニーの製品を中心とした機器の進歩とテレビ番組における運用の歴史を振り返ってみる．

2. 使用周波数帯の変遷

ラジオマイクに割当てられる周波数帯を含む諸元は，電波法・施行規則，無線設備規則などの改正により，たびたび変更されてきた．

(1) 昭和32年（1957年）の電波法・施行規則の改正
微弱無線局の用途等を規定しないものはすべて「100 mの距離で電界強度が15 μ V/m以下」とされた．また，40.68 MHzの免許を要しない無線局が規定された．

(2) 昭和47年（1972年）頃
UHF・400 MHz帯のラジオマイクが開発された．その安定性，使い勝手の良さから，放送局にも大量に導入された（この時点では，40 MHz帯，200 MHz帯，400 MHz帯が使用されていた）．

(3) 昭和61年（1986年）の電波法改正，平成元年（1989年）の電波法施行規則の改正
携帯電話やポケットベル，その他さまざまな業務用無線システムなど，電波を使用する機器の高度な発展と共存を念頭において，電波法が改正された．これに伴い，ラジオマイクの新たな規格として700 MHz帯の「A型」，800 MHz帯の「B型」，300 MHz帯の「C型」が誕生した（表1）．

この改正前に販売された40 MHz帯，200 MHz帯，400 MHz帯のラジオマイクは，10年の猶予期間後の平成8年（1996年）5月26日以降の使用が禁止となった（昭和61年（1986年）5月27日付官報郵政省令第24号電波法施行規則改正附則）．

平成2年（1990年）には，A型特定ラジオマイクの運用調整を行う「特定ラジオマイク利用者連盟」が旧郵政省の指導の下で設立．

(4) 平成6年（1994年）
従来のA型ラジオマイクの帯域（797 MHz-806 MHz）に加

[†] 株式会社フジテレビジョン

^{††} ソニー株式会社IP&Sセクター プロフェッショナル・ソリューション事業本部

"Frequency Migration of Radio Microphone: The History and the Change of the Radio Microphone" by Eiichi Matsunaga (Associate Executive Director Technical Department, Fuji Television, Tokyo) and Yoshihiro Murakami (Sony Corp., Tokyo)

え、779 MHz～788 MHzの周波数が追加された。

(5) 平成12年(2000年)

ステレオ伝送方式、同報通信方式の特定ラジオマイク(イヤモニ)が制度化された。

(6) 平成21年(2009年)

デジタル方式の特定ラジオマイクが制度化された。使用周波数は770 MHz～806 MHz。

(7) 平成24年(2012年)

周波数移行により、A型ラジオマイクの使用周波数(770MHz～806 MHz)がTVホワイトスペース帯(470～710 MHz)、710～714 MHzの特定ラジオマイク専用帯域、1.2 G帯(1240～1252 MHzおよび1253～1260 MHz)となった。デジタル方式を含めたA型特定ラジオマイクの使用期限は2019年3月末日までとなった。

(8) 平成25年(2013年)

デジタル特定ラジオマイクにOFDM方式を使用する低遅延型が追加された。

(9) 平成26年(2014年)

移行先新周波数帯の運用調整を行う「TVホワイトスペース等利用システム運用調整協議会」が発足。

3. 送信機の変遷

業務用のラジオマイクの送信機は以下の二つに大別される。一つは手に持て使用するハンドヘルド型、もう一つは体に装着して使用するボディパック型(ツーピース型)で、最初に世に出てきたものはハンドヘルド型であった。業務用ラジオマイクに求められるものは有線マイクの代替えであるので、伝送系の安定性や広いダイナミックレンジ、高音質、同時多チャンネル運用が必須という観点から、FM変調方式が採用された。

3.1 ハンドヘルド型

ソニーの初期の送信機は28 MHz帯の真空管式(同調はマジックアイ)であったが、1974年には40 MHz(40.68, 42.89, 44.87, 47.27 MHz)のハンドヘルド型送信機WRT-42を世に出した。

WRT-42は深い周波数変調が得られ、自励発振よりも遥かに安定しているリチウムタンタレート(LiTaO₃)という発振素子が採用されたが、温度安定度は悪く、放送現場では常に受信機WRR-45の前にスタッフが座り、周波数センターメータを追いながらドリフトする送信機の周波数に合わせていた。使用周波数が40 MHz帯ということで、送信アンテナ長は85 cm程度と長く(図1)、立って手持ちで使用している状況でも膝まで達する長さで、その取り廻しは大変だった。バラエティ番組では、司会者が椅子に座った途端にアンテナが床面に接触し、大きなノイズが発生することがしばしば起ったと記憶している。また、外来ノイズにも弱く、外の公開収録の本番中に、警察無線(消防無線)が飛び込んだと聞いたことがある。

これらの欠点はあったものの、放送現場では、その機動

図1 ソニー製700 MHzハンドマイクと40 MHzタムラ製作所製ハンドマイクWTX-175Cとのアンテナ長の比較

性、利便性が評価され 司会者や歌手の手持ちマイク以外にも、バラエティ番組ではマイクを首からぶら下げたり、胸元に仕込んで運用され、テレビ番組の演出の幅を拡げることとなった。

3.2 40 MHz帯から400 MHz帯へ

40 MHz帯は都市雑音の多い帯域で、外来ノイズに悩まされながら運用していたが、1977年に都市雑音の少ないUHF 400 MHz帯の免許不要「微弱無線局」として400 MHz帯ラジオマイクが開発された。コンパクトなシステムとして提案され、非常に安定度が高かったことから、各放送局に大量に導入された。同一場所で運用可能なチャンネル数は、40 MHz帯では4波であったが、400 MHz帯では最大12波に増大した。

3.3 ボディパック型

ボディパック型を実現するには、今では当たり前になっているラベリアマイク(通称ピンマイク)が必要であった。1969年にソニーが世界に先駆けて商品化したラベリアマイクECM-50と組合せたUHF 400 MHz帯ボディパック型送信機WRT-27が1977年に商品化された。このWRT-27では、周波数安定性に優れた水晶振動子制御発振方式(400 MHz帯の搬送波と最大周波数偏移 ± 150 kHzを実現：リニア方式)を採用し、かつATカットによる水晶振動子を採用することで $-10\sim 60^{\circ}\text{C}$ において周波数偏差が ± 20 ppm以内となり、安定した伝送が可能となった。

3.4 リニア方式からコンパンダ方式へ

最大周波数偏移 ± 150 kHzのリニア伝送方式においてはワイドダイナミックレンジ：96 dB以上を実現し、60 dBのSN比が確保された。しかしながら、このリニア方式は音質の面では優れているものの、電波の有効利用の観点、電波伝搬で生じる都市雑音によるSN比の劣化、そしてサービスエリアの制限がデメリットで、これらの問題を解消したコンパンダ方式が1990年代に登場する。

コンパンダ方式のワイヤレスシステムは、送信機側のオーディオ信号レベルを対数比で2：1に圧縮して変調・

図2 受信機の入出力特性からみた高品質領域

伝送を行い、受信機側で復調したオーディオ信号レベルを1:2で伸張し、元のオーディオ信号を復元する方式である。ダイナミックレンジも2:1に圧縮されるので、周波数変調では周波数偏移が小さくなることを意味するため、周波数偏移はリニア方式では ± 150 kHzだったが、コンパンダ方式では ± 40 kHzとなり、占有周波数帯幅もリニア方式では330 kHzであったものが、コンパンダ方式では110 kHzとなった。占有周波数帯幅が狭くなるコンパンダ方式は、電波の有効利用につながり、9 MHz帯域内での同時使用可能チャンネル数はリニア方式の7波に対し、コンパンダ方式では10波となった。

また、コンパンダ方式では送信機側でノイズレベルとなるSN比60 dBを1/2対数圧縮で30 dBとしてノイズレベルを持ち上げて伝送を行うため、伝送系のノイズの影響を受け難くなる。したがってリニア方式の場合、60 dB μ Vを切る辺りからSN比が劣化するが、コンパンダ方式では30 dB改善されることから30 dB μ Vを切ったあたりからノイズレベルが上ってくることになる。弱電界レベルまでSN比を保つことができるコンパンダ方式は、サービスエリアが拡大するという点にもつながった(図2)。

コンパンダ方式にもデメリットはある。音声信号レベルをVCA (Voltage Controlled Amplifier) で圧縮・伸張を行うために、アタックタイム・リリースタイムの時定数を持つてしまうことや、信号レベルの大きさに応じて検知を行うため、異なる周波数特性や大小の信号が混合された信号などの再現性はリニア方式に比べて劣る。また、コンパンダの利得に応じてノイズレベルが変動することから、微小な音声入力を行った場合に、コンパンダ特有のブリージング (息継ぎ) ノイズを発生しやすい。また回路上、高域周波数のヘッドルームが取り難いので、トライアングルや鈴など高域成分を持った音源は、潰れた音になりやすい傾向がある。

ある音楽番組のリハーサルで、コンパンダ方式の試作機

図3 ソニー製ボディバック型送信機WRT-27とWRT-28のサイズ比較

を大物演歌歌手H氏に使っていただいた。口とマイクとの距離を頻繁に変更することで、音量をコントロールする演歌歌手H氏は、それまで有線マイカリニア方式のラジオマイクを使っていたこともあり、コンパンダ方式の試作機には相当な違和感があったようで、音合わせで撤収する羽目にあった。その後コンパンダ方式も進化し、今ではH氏は何事もなかったかのようにコンパンダ方式のラジオマイクで歌っている。

3.5 ボディバック型送受信機の小型化

番組制作現場からの要望が強かったこともあり、ボディバック型送信機は徐々に小型化された。400 MHz帯の送信機において、その小型化に寄与したのが、チップ部品の進化、基盤の多層化、パターン幅やピッチの狭小化に伴い、実装技術が飛躍的に進歩を遂げたことが挙げられる(図3)。

その後、最も画期的な小型化を促進したのは、1989年の特定小電力無線局の制度化で、使用周波数が400 MHz帯から700 MHz帯に移行することになり、バンドパスフィルタをはじめとする高周波部品が小型化された。また、この時期、携帯電話が急速に普及し、部品の小型化が加速し始めたことも影響したと考えられる。

3.6 PLL シンセサイザ方式への移行

PLL (Phase Locked Loop) シンセサイザとVCO (Voltage Controlled Oscillator) により、今まで、水晶振動子の数で決まっていた単一、あるいは数チャンネルの周波数切替えしかできなかった送受信機が、1台で数多くの周波数を選択することが可能となったが、この一つにコンパンダ方式の特性を活かし、VCOが持っているCN比の課題をクリアしたことにある。

このCN比はそのまま残留FM雑音の主成分となることから、システム全体のノイズレベルに影響し、VCOを含んだPLLの合成CN比は、水晶振動子による発振回路に比べて悪く、発振周波数センターから10 kHz離れでのCN比においては約40 dB前後悪くなる。しかしながら、コンパンダ方式ではオーディオ以降のシステム系をノイズリダク

ションする働きがあるため、静特性的では充分なSN比が得られることから、VCOの小型化に伴う共振素子のQ値（共振周波数特性ピーク先鋭度）の低下を受け難くできるようになった。加えてコンパンダ方式により、最大周波数偏移がリニアの ± 150 kHzに比べ ± 40 kHzと小さくなったことから、VCOへの直接変調も掛けやすくなり、その分周波数安定度も増すことになった。

3.7 ラベリアマイクの音質改善と小型化

上述のラベリアマイクも、超小型で音質がすぐれたものが各社で開発された（図4）。

ヘッドセットタイプのマイクも出現し、両手を動かし踊りながら唄う歌手やミュージカルなどで重宝されている。

フジテレビで1980年代から制作していた『北の国から』というドラマでは、長いシーンを1カットで望遠撮影することがあったので、ラジオマイクを使う場面も多かった。当時は、Micron社のiPhone6 Plusほどの大きさの送信機と大き目のラベリアマイクを子役に仕込んでいた。大型の006P電池で動作する大きくて重い送信機は子役には負担であったと思うし、大きなラベリアマイクを目立たなく仕込むのに苦労した記憶がある。現在の小型軽量化された送信機、超小型ラベリアマイクとは隔世の感がある。

図4 ソニー製ラベリアマイクECM-50とECM-77のヘッドサイズの比較

4. 受信方式の改善

伝送系の安定性の改善としては先述のコンパンダ方式の採用があるが、高周波的にはダイバシティ受信方式の採用がある。ダイバシティ受信方式は2本のアンテナを適正な間隔設置し、それぞれ独立した高周波ブロックで受信し、高周波入力信号レベルを常に監視しながら良好なブロックを選択するという方式である。無線システムにおいては、建物などの電波遮蔽物や反射などの影響により、デッドポイント（受信不良点）が付きものであったが、この技術のおかげで、安定した受信が可能となった（図5）。

シングル受信をしていた時には、使用現場でのロケーションチェックは必ず行っていたが、コンパンダ方式、ダイバシティ受信方式が採用された現在では、マルチパスが多く発生する場所、遮蔽物がある場合、遠距離伝送を行う場合や多チャンネルの運用を行う場合を除き、ロケーションチェックは行っていない。何よりも、現場エンジニアの無線システムであるラジオマイクに対する不安感が払拭されたことは大きい。

5. 使用周波数帯の拡大

1994年に、従来のA帯に加え、779 MHz～788 MHzの周波数が追加され、A型ラジオマイクで使用できる周波数は合計で18 MHzとなった。これにより、同時使用可能なチャンネル数も増え、弊社では最大で、A型×24波、B型×6波の運用を行っている。

6. ワイヤレスインイヤーマニタ（通称：イヤモニ）の登場

海外では、1985年にスティービー・ワンダーの公演で初めて使ったと言われている。日本でも徐々にイヤモニへの要望が高まり、2000年に「イヤーマニタ用ラジオマイク」として制度化された。主な諸元は、以下の通りである。

- ・使用周波数：779.250～787.750 MHz/797.250～805.750 MHz
- ・空中線電力：10 mW以下
- ・通信方式：同報通信方式

図5 ダイバシティ受信方式

- ・伝送方式：ステレオ伝送方式
- ・変調周波数：53 kHz 以内
- ・占有周波数幅：250 kHz 以内
- ・空中線：複数アンテナを分散配置可能

残念ながら国内メーカの積極的な参入はなかったが、海外メーカの製品が数多く導入され、コンサート、歌番組における演出の幅を拡げたことは、言うまでもない。

7. デジタルラジオマイクの出現

ソニーでは、2008年にデジタルラジオマイクを市場導入した。従来のアナログ方式と比較して、音質の向上（広帯域化、高ダイナミックレンジ）、同時使用チャンネル数の増加を実現しつつ、低遅延のシステムを構築しなければならなかったため、新たなCODECの開発が必要であった。結果、音質的には24bit/48kHzの量子化で106 dB以上のダイナミックレンジと20 Hz～22 kHzの周波数特性を確保し、遅延は3.4 ms、占有周波数帯幅192 kHzの狭帯域を実現した（A型ラジオマイクの移行先の新周波数帯対応システムでは、遅延1.5 msを実現した）。

デジタルラジオマイクは、従来のアナログ伝送システムに比べて三つのメリットがある。

(1) 優れた妨害特性

アナログ伝送システムでは、DU比（希望波と妨害波の受信入力レベルの比）が、復調される音声品質となって現れる。妨害波が強くなれば、復調される信号に含まれるノイズも増加する性質があるので、許容できる品質の音声信号を再現するには40 dB以上のDU比を必要とする（図6）。

一方、デジタル伝送システムでは、20 dB以上のDU比が確保できればエラーは発生せず、音質劣化もないことから、アナログ伝送システムに比べ、20 dB以上も妨害波に対して強くなり、より安定した運用が可能となる。

(2) 同時多チャンネル数の増加

このDU比の改善は同時運用チャンネル数の増加にもつながる。従来のアナログ伝送システムでは送信機間で生じる3次相互変調のスペクトラムを避けるように周波数配置を行っていたが、デジタル伝送システムでは、等間隔配置（500 kHz 間隔）で周波数配置を行うことが可能になった。加えて、同一空間での同一周波数による繰り返し運用も、アナログ伝送では100 m以上離す必要があったが、デジタル伝送では30 m程度で運用可能となり、電波の有効利用にも寄与することになった。

(3) メタデータの伝送

デジタル伝送システムでは、伝送パケット上に送信機のバッテリー残量情報の他、ATTレベル、LCF（Low Cut Filter）の設定、名前などのメタデータを受信機に送ることができるので、受信機側で常に送信機の状態を監視することができる。また暗号化することにより秘話性を高め、盗聴を避けることも可能となった。

図6 アナログ/デジタルシステムの耐妨害特性

8. むすび

有線マイクの代替として開発が続けられてきたラジオマイクであるが、現在までかなり高度に進化してきた。アナログ伝送システムにおいても、受信安定度が向上したことにより、無線システムであるラジオマイクへの不安要素は少なくなり、高音質化が進んできたために有線マイクへのこだわりも少なくなってきた。デジタル伝送システムでは、更なる受信安定性、高音質化を実現しているが、今後の課題は省電力化、更なる低遅延化、ボディパック型送信機とポータブル受信機の更なる小型・軽量化、マイクヘッドの音質改善である。これらの課題には、引き続き、メーカーとユーザが連携して取り組んでいきたいと考えている。

（2015年1月30日受付）

松永 英一 まつなが えいいち 1979年、上智大学理工学部卒業。同年、(株)フジテレビジョンに入社。放送部に配属。1981年、同社制作技術部・音声に異動。以降、一貫して音声業務に従事し、『ミュージックフェア』、『僕らの音楽』などの音楽番組、芸術祭優秀賞受賞ドラマ『少年H』などを担当。2002年、パレエ『ドラゴンクエスト』で、日本プロ音楽録音賞放送部門優秀賞受賞。

ARIB・スタジオ音声作業班委員、民放連・テレビ音声レベルWG主査として、ラウドネス運用規定の国内導入に中心的に参画した。昨今は、FPU、特定ラジオマイクの周波数移行に尽力している。現在、同社総合技術局局長。

村上 佳裕 むらかみ よしひろ 上智大学理工学部電気電子工学科卒業。1983年、ソニー(株)入社。情報機器事業本部音響機器事業部配属。以来30年以上に渡り、業務用有線マイクロホン・ワイヤレスマイクロホン等の音響機器商品化設計に従事。(株)ソニーサウンドコミュニケーション、ソニーイーエムシーエス(株)湖西テックを経て、現在、ソニー(株)IP&Sセクタープロフェッショナル・ソリューション事業本部コンテンツクリエーション・ソリューション事業部4部統括部長。