5章 モバイルオーディオ

～スマートソニックレシーバ技術～

佐多家 貫司[†]

キーワード：スマートソニックレシーバ、圧電素子、バイモルフ型、気導音、耳介

1. まえがき

携帯電話において、オーディオ機能とは基本的な通話音声の入出力機能や着信音の外部スピーカの出力機能に加えて、近年、音楽再生専用機器と同等の能力を持つ音楽再生機能を指す。しかし、音楽再生はCPUに依存した機能であり、他モデルとの差別化としての特徴は現れない。これに対し、携帯電話の限られた容積で音量・音質の性能向上が要求される通話機能・外部出力スピーカ機能には特徴が現れる。今回はKDDI協力のもとで京セラが開発を進め、CEATEC JAPAN 2011で初めて世に出て(CEATEC 2011 米国メディアパネル・イノベーションアワードのモバイル分野で受賞)、周囲雑音の影響を排除し、雑踏での受話性能を向上させて話題となったスマートソニックレシーバ(Smart Sonic Receiver: SSR)の機能に絞って説明を行う。

2. SSRとは

SSRとは、圧電素子の屈曲を利用した携帯電話の新しい受話装置である。従来のダイナミックレシーバを用いた受話装置とは異なり、携帯電話の画面パネルを圧電素子で屈曲振動させパネルから発生する音と、パネルの振動が人体に伝わることで発生する付帯効果により、受話音声を送る方式である。

圧電素子のレシーバへの利用検討に際して、圧電素子によるパネルからの音漏れを懸念し、振動のみで音を伝える仕様を想定していた。検討半ばで携帯電話の受話装置としてパネルの発する気導音が必要であると判断に至った。

強力な屈曲力を持つ圧電素子でパネルを屈曲振動させることで得られる効果は、パネルスピーカを含む既存の受話システムでは得ることができなかった特性を生み出す結果となった。

ダイナミックレシーバが外耳道の入口へ放射した気導音しか聞くことができないのに対し、SSRはパネル自身が振

図1 音の伝搬ルート

動することで発生する気導音以外に、耳介にSSRから伝わった振動が外耳道の皮膚を震わせ、その皮膚から音を発した音も聞くことができる(図1)。耳の穴から聴こえる音にこの外耳道内で発生する音を加算されることとなる。

SSRのパネルを耳に強く押し当てるとパネル自身から発生する音は減衰するが、耳への接触面積が増えることで振動により外耳道で発生する音は大きくなる。周囲雑音が大きな環境に置かれれば、自然と耳にパネルを強く押し当てる行動を取るようになるが、この行動は周囲雑音をパネルで遮音すると同時に、外耳道から発する音が増すことにつながる。SSRが騒音環境下で良く聞こえると言われる所以であると考えている。

3. SSR技術の説明

ダイナミックレシーバは軽く薄い振動板を動かすことで音を発生するのに対し、SSRは表示デバイスの保護をするカバーパネルを振動板として利用している。ダイナミックレシーバは振動板からの空気振動が伝わるのが条件となるが、パネルの音孔を通過した空気の振動を聴くため、音孔の位置が耳孔の位置からずれるほど、音量の低下を招くことになる。一方SSRはパネル全面で音が聴こえるため、耳孔の位置調整の必要がない。

3.1 パネルの駆動

屈曲振動させるカバーパネルの仕様は、フィーチャーフォンとスマートフォンでは表示デバイスの違いから異なるものとなる。フィーチャーフォンの多くはアクリルを使用し、スマートフォンでは強化ガラスを用いている。この

[†] 京セラ株式会社 通信機器関連事業本部"Mobile Audio Technology: Smart Sonic Receiver" by Kanji Satake
(Communication Equipment Engineering Group, Corporate
Communication Equipment Group, Kyocera Corporation, Yokohama)

図2 バイモルフ構造

表示面のパネルが屈曲振動することで音を発するSSRシステムでは、屈曲振動を生み出すのはセラミックを積層したバイモルフタイプと呼ばれる圧電素子を用いている（図2）。

この素子は積層方向の両側に屈曲して力を伝達する仕様である。印加される電圧の正負により、屈曲方向が切替わることでパネルの屈曲振動を作り出すことができる。

表示パネルには圧電素子が貼り付けられ、入力される信号に合わせて素子は屈曲し、この素子の屈曲が表示面のパネルの部分的な屈曲を発生させ、さらにこの屈曲がパネル全面に伝搬し、波を作り出す。

一般的に、ダイナミックレシーバで使われている薄い振動板に対し、SSRではアクリルや強化ガラスのように剛性の高い素材に屈曲振動を起こしているため、人体の接触があっても振動減衰による振幅の減少を起こし難い。このため、聴こえへの影響を起こし難くしている。より剛性が高いパネルを駆動することが、人体接触の影響を軽減し、SSRの効果を引き出すことにつながるが、硬いパネルを駆動するにはより強力な屈曲力を発生させる必要がある。アクリルを使用するフィーチャーフォンに対し、強化ガラスを使用するスマートフォンはより強力な圧電素子が必要となる。世界初のSSR搭載端末であるスマートフォンURBANO Progressoは、大きな駆動力を確保するために同時期に発売したフィーチャーフォンの簡単ケータイ(K012)に対し、1.5倍の積層数の素子を使用している（図3）。

3.2 圧電素子配置とパネルの固定

圧電素子は、パネルの中心部に貼り付けることが理想であるが、その位置には液晶などの表示デバイスが配置されている。圧電素子の貼り付け位置は、従来の携帯電話と同様の受話用レシーバ（ダイナミックレシーバ）が配置されているパネルの上端部となっている。この配置ではパネルの固定部の上端が圧電素子に近いので、屈曲振動を抑制することになる。パネルの屈曲の抑制を極力排除するため、パネルの固定はできる限り支持点に近い形を取らなければならない。現在開発されるモデルではパネル上端部の固定には両面テープを使用している（図4）。これに対し、圧電素子から距離が取れるその他3辺はリジットであるほど、振

図3 出力特性

図4 パネル振動波形

動波形の歪みを減少させるため、スマートフォンではボンドによる硬い固定を行っている。特にスマートフォンではパネルの大型化もあり、端末の自由落下を受けてもパネル重量に耐え脱落を防止するため、ボンド固定は必要不可欠なものとなっている。

3.3 圧電素子使用上の注意点

携帯電話としてSSRを搭載して、その取り扱いで圧電素子の機能・性能を失わないようにするために、下記の項目に対し設計段階で注意しなければならない。

(1) 許容変位（図5）

積層セラミックの圧電素子は、外力による曲げに非常に弱いデバイスである。携帯電話に要求される信頼性の範囲内の外力を受けて、パネルが変形した結果、圧電素子が許容できる変形量を超えた場合、素子は破断し動作しなくなる。設計の段階でパネルに加わる局所的な応力による変形を予想し、許容変位を超えない対策を施す必要がある。例えば、圧電素子に補強板を貼り付けて局所的な変位の発生を抑制する構造や、許容変位を超える前に素子がケースに底付きすることで、外力をケースに逃がす構造を設けることが行われている。

圧電素子は、積層数を増やせば発生する力を増やすことができるが、積層数を増やすことは圧電素子自体の厚みを増すことになるため、許容できる変位を減らす結果につながる。発生力と許容変位の関係から適正な設定を見つけ出す必要がある。

(2) 圧電素子の耐圧

圧電素子の厚みを増さずに積層数を増やすことができ

図5 許容変位

ば、耐変位の性能を維持したままで駆動力を増やすことができる。しかし、圧電素子の耐圧は積層されるセラミックの厚さに依存するため、積層されるセラミックの厚さを薄くすることは印加電圧の許容値を減らすことにつながる。

また温度にも依存し、耐圧は高温になればなるほど不利なため、最近のスマートフォンの高機能化による内部温度の上昇も鑑み、素子の耐圧を設定しなければならない。圧電素子の耐圧は今後の進化にとって重要な要素となっている。

4. 今後の展開

4.1 更なる音量と音質の改善

圧電素子は、高音域での音圧を出し易い半面、低音域の音圧は非常に出し難いデバイスである。音質の向上には低音域の音圧を増やすことが必要となる。低音域の音圧を増やすためには、より大きな音圧を発生できる圧電素子を用いて、高音域のゲインを抑制することで、低域のみ音圧を持ち上げる方法を使用することになる。

問題は先述したように、圧電素子の発生パワーをアップするには積層数を増やすか印加電圧をアップすることが必要となる。圧電素子の抗折強度は、積層アップにより圧電素子の総厚がアップすることで発生する応力がアップすることとなり、外力による破損の危険が増すことにつながる。外力による変位が同じであれば、発生応力は素子総厚に反比例するため、例えば、1.5倍の層数の素子を使うと1/1.5の許容変位が設計の条件となる(図6)。この外力による素子破損に対しては、許容変位内に収める構造面の対策を行うことで積層数のアップを図ることが考えられるが、限界には直ぐ到達することになる。現在までのSSRの進化は上記の方法が取られ、スマートフォン2号機では1号機の積層数をさらに15%アップし、許容変位は87%までに減少し、低音域の音圧アップによる音質改善を実施している。

しかし、許容変位が大幅に減少することは信頼性上のリスクが大きいため、これ以上の積層アップは他の要素によるリスク回避策が必要となる。積層される各セラミックの厚みを薄く仕上げ、積層数増による素子総厚の増加を抑え

図6 素子総厚と許容変位の関係

ることが対策として必要となる。これは圧電素子材料の開発が必要な案件であり、積層膜厚が薄くなっても耐圧を確保できるセラミック材料の開発が必要になる。新素材のセラミック材料は、評価を含めて長期間の開発期間を必要とするため、直近の音質向上の開発は熱制御による圧電素子の耐圧マージンの削減が主になるものと予想している。

4.2 伝音性難聴者への聴こえの音圧アップによる改善

伝音性の難聴とは鼓膜や耳小骨のように音を振動としてとらえ、増幅して、聴覚神経に振動を伝える機能が衰えたり、失われたりすることが原因で発生する症状である。加齢による難聴の場合、聴覚神経自体の損傷に加えて、この音を伝える機能の衰えが原因の一つとなっていることが多い。

外耳道の皮膚を振動させるSSR搭載の携帯電話は、鼓膜や耳小骨の動きを助けることで、軽度の伝音性難聴者に対して使い易い端末を提供することができていると考えている。しかし、さらに症状の進んだ中等度以上の伝音性の難聴者に対しては、音圧がまだ不十分であると認識している。この改善のためには音質の改善と同様、圧電素子のパワーアップが必要になる。

SSRで発生する音は、健常者にとっては気導音が聴こえの大きな割合を占めているが、伝音性難聴者はそうではない。SSRの振動が聴こえの改善にどの程度貢献するかを把握して、聴こえの改善を行うにはSSRの気導・振動の聴こえへの寄与を正しく評価のできる方法が必要である。

4.3 SSRの音圧評価装置の開発

先にも述べてきたが、SSRには直接気導音、パネル振動により外耳道で気導音となった音、人体に伝わった振動が蝸牛を振動させることで、音として認識される音の経路が存在していることを説明してきたが、これが聴こえ方として実際にどのようなものかを客観的に表す方法が確立していない。

気導音だけを測定するのであれば、B&KのHATS(Head and Torso Simulator)を用い(図7)、骨伝導補聴器の振動力を測定するのであれば、B&Kの人工マストイド

図7 B&K HATS

(Artificial Mastoid)を用いることで目的を達することができ。しかし、上記の外耳道内で発生する音はHATSでは測定できず、人工マストイドでは気導音と同時の測定を行うことができない。また、耳の後ろの乳突部を模擬したものであるため、耳介に発生した振動を測定できる訳ではないので、SSRで発生する複数経路の音圧を的確に測定することができない。

この測定を確立しなければ、SSRの音圧評価は搭載するモデルが変わる度に、MOS (Mean Opinion Score) 評価による相対比較を行わなければならない、開発期間や費用に影響を及ぼすことになる。

そこで、SSRの音響特性を的確に測定可能な測定器(以下SSR測定器)を開発した(図8)。

現在、パネルから直接発している気導音とパネルの振動により擬似外耳道から発する音に対し、同時に音圧を測定することができ、さらに耳の周囲の骨伝導を擬似的に再現し、振動を測定する機能を追加し、振動加速度を計測できるSSR測定器の評価を行っている。すでに気導音の音圧測定に関しては、パネルの直接音と外耳道で発する音を同時に測定した結果とラウドネスマッチングによる人体とSSR測定器の差分を補完する、補正係数の作成まで完了している。したがって、SSR測定器は健常者が使う場合のみを想定すると、SSRの気導音の音圧測定について再現性の高い測定が可能な状態となっているため、携帯電話の開発に有効な状態を確保したと言える。

今後は、骨伝導の音圧測定に関する人体とSSR測定器の差分を補完し、SSRで発生する気導音+骨伝導の測定を可能にすることが目標となる。SSRのような音に対し複数の伝達経路を持つ機能を搭載する端末を開発する際に、難聴者の使用を想定し、各々の伝達経路に対し、どの程度の性能を持つことが必要であるかを把握し、その達成状態を把握するためにSSR測定器を使用することを考えている。

図8 SSR測定器

4.4 携帯電話への圧電素子の更なる応用

圧電素子の搭載で期待される新たな機能として、CEATEC JAPAN 2013で紹介された圧電素子技術であるスマートソニックサウンド(圧電素子フィルムスピーカ)はその有力な候補である。フィルムに圧電素子を貼り付けたモジュールで、大音量スピーカを薄型の液晶テレビに搭載するために開発されたデバイスである。テレビへの搭載においては、このフィルムスピーカは高音域に対してその性能を発揮し、低音域の不足を補うために別系統のウーハーを搭載している。

スマートフォンサイズで、液晶テレビへのモジュールの搭載条件を再現できるかが課題と言える。搭載可能なフィルムスピーカのサイズは、テレビ用のモジュールとは比較にならない程小さいものであり、さらに低音域の音量不足が懸念される。当然、ウーハースピーカに置き換わるデバイスが必要である。さらに高音域の振動を支える筐体剛性も不足することが予想される。

これらの課題を克服し、スマートフォンでユーザーを満足させる音を確保するため、今後の技術開発を進めていきたいと考えている。

圧電素子は小型で大きな力を発生することのできるデバイスであり、サイズの限られた携帯機器に対してさまざまな可能性を秘めている。その機能・性能に相反する技術的課題は必ず存在するが、その解決手段を見出すことで携帯機器のサイズリスクへの答えになると考えている。

5. むすび

本稿では、圧電素子を用いた受話装置(SSR)の特徴を示し、その実用例として騒音下で圧倒的な優位性があることを示した。従来の方式では進化が難しかった携帯電話のレシーバ機能に対して、圧電素子は性能改善を可能にするものであり、利用者への利便性向上に今後も期待したい。

(2014年2月5日受付)

佐多 家貴司 1982年、青山学院大学理工学部機械工学科卒業。同年、京セラ(株)入社。音響機器、ハードディスク、業務用ディスクチェンジャーの開発に従事し、現在、同社通信機器統括技術部。