

モバイル機器スピーカー用銅被覆アルミ線 DCCA

Copper-Clad Aluminum Wire DCCA for Speakers on Mobile Devices

小岩 雄偉*
Yui Koiwa

菅原 光晴
Mitsuharu Sugawara

福原 雅昭
Masaaki Fukuhara

モバイル機器の普及に伴い小型スピーカー類に対する音質向上のニーズが高まっている。小型スピーカーのボイスコイルに用いられる自己融着エナメル線には、振動で破断しないための長寿命性と、高音側再生周波数帯域での応答性を高めるための適度な軽量性が求められる。当社が開発した銅被覆アルミニウム線では、アルミニウムの合金化により耐振動疲労断線性を付与した上で、銅とアルミニウム合金の構成比の違いにより導体密度と導電性に対する選択肢の提供を実現した。小型スピーカーの音質に貢献するべく、ニーズを両立しコイル設計の自由度を高めることができた本製品の開発についてまとめる。

With the spread of mobile devices, market needs are increasing for the improved sound quality of small speakers. Self-bonding magnet wires used in the voice coils of small speakers are required to be durable against vibration and lightweight for enhanced responsiveness in a high-frequency range. Our copper-clad aluminum wire is resistant to fatigue fracture caused by vibration. The wire comes with various densities and conductivities by changing the composition ratio of the copper coat and aluminum core. This paper reports on the development of the wire that features increased coil design flexibility and durability for the improved sound quality of small speakers.

キーワード：CCA、スピーカー、ボイスコイル

1. 緒 言

モバイル機器の普及に伴い、通話に留まらず音楽や映像視聴の点に於いても音がより身近なものとなった昨今、音声品質（音質）向上への期待が高まっている。

当社、大黒電線(株)は20年以上に渡り、音響部品に用いられるボイスコイル^{*1}の用途へ各種自己融着エナメル線（以下、自己融着線）を供給してきた。特にマイクロスピーカーと呼ばれる小型のスピーカー^{*2}では、融着被膜によって自己成形された空芯巻のボイスコイルが主流となる。当該用途では、ボイスコイル本体に用いる自己融着線がリード線として端子まで配線される場合が多く、振動負荷が伴うことから耐疲労断線性が求められる。一方で、音質向上の効果を重視し耐疲労断線性を犠牲にして銅被覆アルミニウム（Copper Clad Aluminum、以下CCA）線も永らく使用されてきた。

このような市場のニーズを踏まえ、耐疲労断線性と高音質を両立する導体の開発に取り組み、商品化に至ったDCCA線についてまとめる。

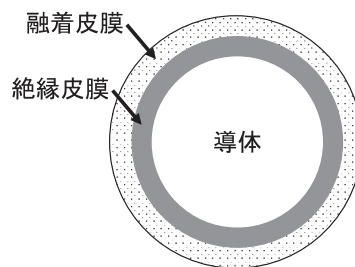


図1 自己融着線の断面

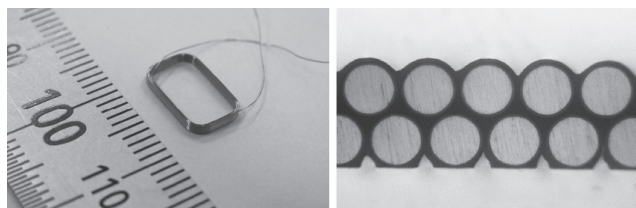


写真1 空芯巻ボイスコイルとその断面

2. 音響部品と自己融着線

2-1 モバイル機器の音響部品

スマートフォンに代表されるモバイル機器では、主にスピーカー、レシーバー及び付属イヤホンの3部位に自己融着線（図1）を用いた空芯巻ボイスコイル（写真1）が使用されている。

(1) スピーカー

携帯電話の着信メロディーの普及により高音質化の要求が生まれ、ダイナミックスピーカー^{*3}が搭載されるようになった。音楽に加えて映像視聴の習慣が広がった今日のモバイル機器では、ポータブルオーディオとしての音声出力

も担っており、高出力化と高音質化への期待が広がっている。

(2) レシーバー

通話時に相手側の音声を聞くための受話装置はレシーバーと称されている。耳元で使用されるため、スピーカー程の高出力は必要とされないが、ステレオ再生機能を有する機器の登場により、スピーカー機能と兼用化される動きもある。

(3) イヤホン

耳に装着するイヤホンは、モバイル機器から有線、無線で受信した信号を音で出力する。人間側のセンサーである耳に近い場所で音を発することから出力は小さいものの、古くから高音質化の要求が存在している。

2-2 音響部品の動作原理

これらの音響部品は何れも、電気エネルギーを運動エネルギーを介して音に変換する装置である。磁界中の導体（ボイスコイル）に通電し、電磁作用によって駆動力を得て、貼り付けられた膜（振動板）が空気を微振動させることで音声出力を得ている（図2）。

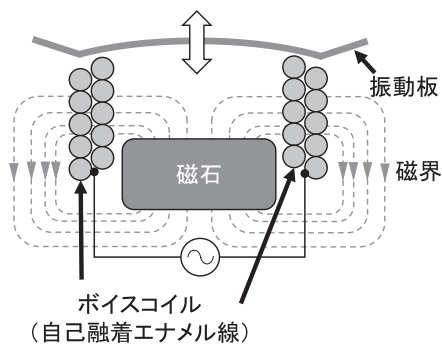


図2 内磁型ダイナミックスピーカーの模式図

2-3 マイクロスピーカー用ボイスコイルの導体ニーズ

一般的なスピーカーでは、ボビン巻きされた自己融着線のボイスコイルが、錦糸線等のフレキシブルワイヤーを介して端子接続されるのに対して、マイクロスピーカーでは、空芯巻ボイスコイルの自己融着線がそのままリード線として端子まで配線される場合が多く、ボイスコイルの振動に伴う疲労断線を生じないことが求められる。

また、これらのモバイル機器用音響部品には、再生帯域毎に設計された複数のスピーカーを有するオーディオ機器とは異なり、幅広い音域を一つの部品で再生するフルレンジスピーカー（全帯域再生性能）が求められるため、幅広い周波数帯域にて適度な音圧dBを出力するボイスコイルの設計（インピーダンス、重さ）が重要となっている（図3）。そのため自己融着線の導体について種々試され、

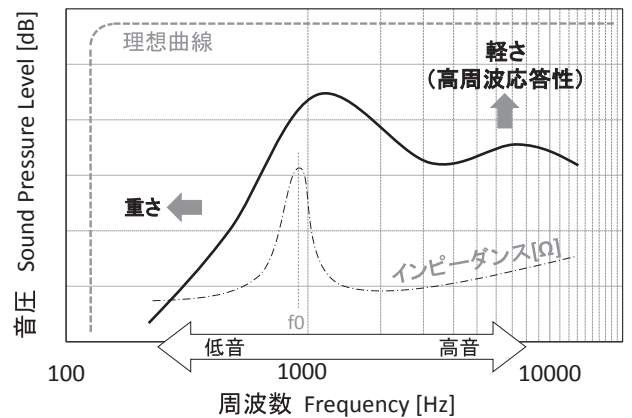


図3 周波数と音圧の概念

音質に拘る用途では、高音周波数帯域まで音圧特性が引き出せる、後述のCCA線が好まれてきた。

3. DCCA線の開発

3-1 CCA線について

CCA線は、アルミニウムの芯材に銅を被覆した複合構造を有する（図4）。銅条や銅管の嵌合（クラッド）、或いは銅メッキによって製造され、一般的には被覆銅の体積比率 vol% を伴って表示、識別されている。

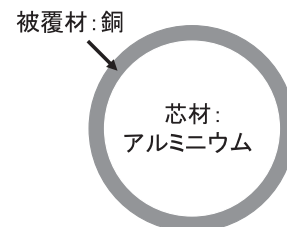


図4 CCA線の断面

1970年代にはASTM規格^{※4}でCCA線の規格が制定されており、イヤホン等の一部のボイスコイル用途には当該規格に規定される10及び15vol%CuのCCA線を導体に用いた自己融着線を納入してきた。

アルミニウム芯材で軽量性を付与しつつ、最外層の銅被覆によって末端接合性といった銅の特徴を活用するといった設計思想に基づく導体であったため、軽量性を高めるためにも、銅の被覆厚さは小さいことが望ましかったと推測できる。

3-2 アルミニウムの選定

上述の通りに体積の多くをアルミニウムが占めており、特性改善期待度の高いアルミニウムの変更による耐疲労断線性の改善を試みた。代替特性と見なした引張り強さを中心に、導電性、素材入手性を加味して選定を進めた。

3-3 開発CCA線の特性

選定したアルミニウム合金を用いて15vol%CuのCCA線を製作し、導体径0.050mmの自己融着線での特性を確認した。結果、導電率は低下するものの、従来CCA比で引張り強さは25%以上改善し、且つ焼鈍条件によっては銅線以上の引張り強さを獲得できることを確認した (表1)。

表1 開発CCAの0.050mm自己融着線での特性

導体種		銅	CCA	開発CCA	
		銅被覆率 (100%)	15%	15%	
		芯材種	—	純アルミ	選定アルミ合金
導体径	[mm]	0.050	0.050	0.050	0.050
仕上外径	[mm]	0.065	0.065	0.065	0.065
引張り強さ	[MPa]	285	199	252	341
伸び	[%]	20.0	9.0	7.0	3.7
導電率	[%(IACS)]	100	66	62	63

3-4 耐疲労断線性の評価

耐疲労断線性の改善効果を確認することを目的として、屈曲疲労試験を行った (図5)。

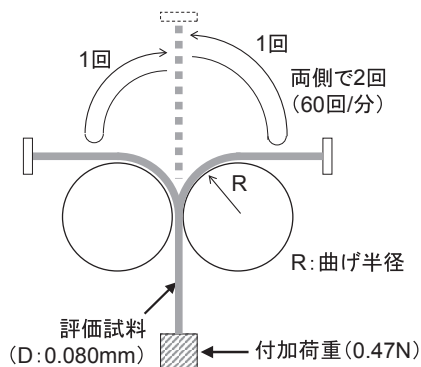


図5 屈曲試験の概略図

銅線と同じ引張り強さを有する開発CCA線 0.080mm (裸線) の評価では、断線に至るまでの屈曲回数が、従来CCA比で大幅に増加し、銅線と同程度の屈曲寿命が期待されることを確認した (図6)。

3-5 開発CCAの上市

顧客評価を経て、開発CCA線を導体に用いた自己融着線

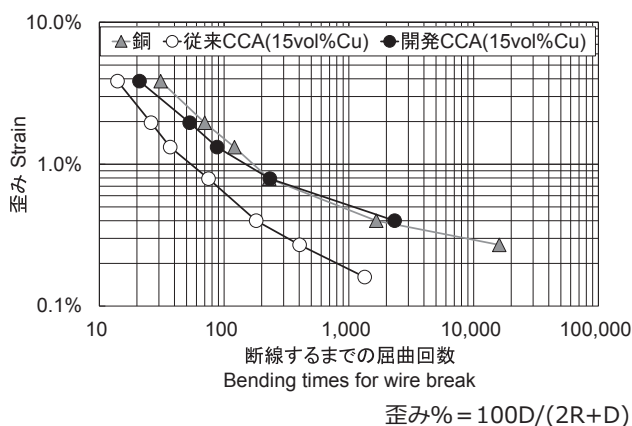


図6 開発CCAの屈曲疲労評価

の販売を2010年より開始した。開発導体には当社のCCA線であることを示すべく、社名の頭文字を冠したDCCA線と命名した。

4. 銅被覆率種の拡充

4-1 銅被覆率種拡充の必要性

スピーカーの能率 η は、下記式⁽¹⁾で示される。

$$\eta [\%] = 100 \times W_a / W_e = (50 \pi \rho a^4 B^2 m_v) / c (m_v + m_d + 2m_a)^2 \times (\kappa \rho)^{-1} \dots (1)$$

W_e : 電気入力 [W]
 W_a : 音響出力 [W]
 B : 空隙磁束密度 [ガウス]
 a : 有効振動半径 [cm]
 m_v : ボイスコイル重量 [g]
 m_d : 振動板重量 [g]
 m_a : 振動板の空気の付加質量 [g]
 M_0 : 振動系の総重量 [g] ($M_0 = m_v + m_d + 2m_a$)
 κ : ボイスコイルの導体の比抵抗 [$\Omega \cdot m$]
 ρ : ボイスコイルの導体の密度 [g/cm^3]

(1)式はスピーカーの出力、言い換えれば音質に対して、ボイスコイルの重量や電気抵抗が大きく影響している。ポビン重量で M_0 を微調整可能なポビン巻とは異なり、空芯巻コイルでは、導体の選択肢に制約があることで、ボイスコイルでの音質調整には限界があり、振動板や磁石を中心としたスピーカー全体の設計で音質の最適化が図られていると推定された。

そこで、銅とアルミニウムの構成比率の違いによる物性の変化に着目し、複数の銅被覆率の提供によって、ボイスコイルの重さ (m_v) と導電性 (κ) の選択肢を拡げること

を考案した。

4-2 DCCAの被覆率の拡充

試供により顧客の反応を伺いながら銅被覆率の拡充を進めた結果、現在では最大80vol%Cu迄のDCCAの品揃えを実現するに至った(図7、写真2)。マイクロスピーカー用途では、最低共振周波数^{*5}を下げ、より広い再生領域を獲得する目的(図3)から、かつては標準的に用いられた15vol%Cuよりも導電性と密度が共に高いボイスコイルの方が好まれる傾向であり、30及び50vol%CuのDCCA線を中心とした検討や採用の動きが広がっている。

本一連の開発活動は、目的としたスピーカーコイル設計の自在性向上に少なからず寄与したものと判断できる。

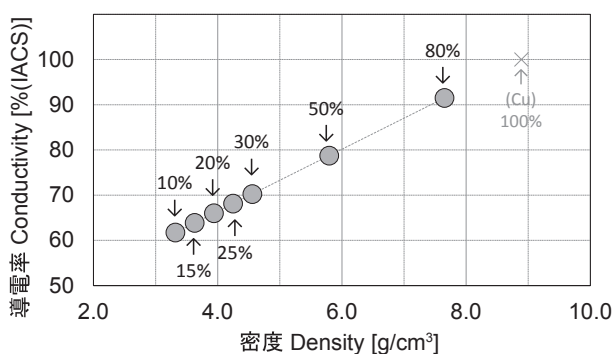


図7 DCCA線の密度と導電率

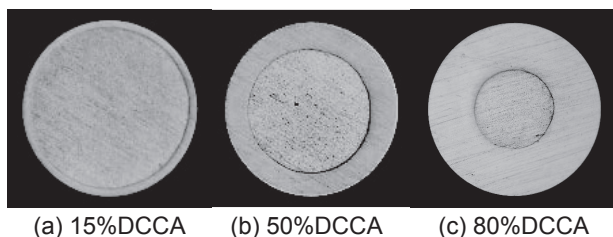


写真2 銅被覆率違いのDCCA線の断面

5. 結 言

かつては一部のイヤホンで限定的に使用されていたCCAが、DCCAの誕生によってスピーカーを始めとするモバイル機器の音響部品へ搭載されるようになり、近年ではその比率が増加している。世界に於けるスマートホンの出荷台数は2016年をピークにほぼ飽和した状態となっているが、モバイル機器の音響技術は車載やAIスピーカー等の、身近な場所で音を伝える用途へ広がっていくと予想される。

更なる特性改善要望が数多く寄せられている。当社が永年培ってきた経験と住友電工グループの総合力を活かし、音質に対して貢献できるよう努力を続けていく所存である。

用語集

※1 ボイスコイル

電磁作用で駆動力を得るためのコイル。ボビン巻と空芯巻(ボビンレス)がある。

※2 スピーカー

空気振動によって電気信号を音声信号に変換する装置の総称。

※3 ダイナミックスピーカー

動電型スピーカー。電磁作用によるコイルの駆動で振動板を振動させ、音声出力を得る方式のスピーカー。

※4 ASTM規格

ASTMインターナショナルが規定する国際規格。ASTM-B566⁽²⁾(1972年初版)で10及び15vol%のCCA線(それぞれA/H)が規定されている。

※5 最低共振周波数

インピーダンスがピークとなる低周波数域帯での周波数(f0) Hzを示し、低音側再生限界の指標とされる。

参 考 文 献

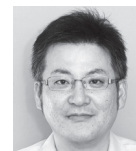
- (1) 佐伯多門「スピーカー&エンクロージャー大全」、pp.84-85、(株)誠文堂新光社(2018年)
- (2) ASTM規格ASTM B566-04a, Standard Specification for Copper-Clad Aluminum wire、ASTMインターナショナル(2016年)

執 筆 者

小岩 雄偉* : 大黒電線(株) 主席



菅原 光晴 : 大黒電線(株) グループ長



福原 雅昭 : 大黒電線(株) 取締役



*主執筆