

# 超細径漏洩同軸ケーブルZLCX-2.5D

エネルギー・情報通信事業部 丹羽 敦彦<sup>1</sup>  
ケーブル・機器開発センター 鈴木 文生<sup>2</sup>

## Super-Thin Leaky Coaxial Cable ZLCX-2.5D

A. Niwa, and F. Suzuki

ワイヤレス通信の拡大に伴い、会議室や機器内などの狭い空間に絞って通信ができ、しかも、簡単に設置できる細径で軽量なアンテナである漏洩同軸ケーブル（Leaky coaxial cable, 以下LCXと略す）への要求が高まっている。当社では、外径 4 mm、質量 20 g/m、電気特性は 2.4 GHzにおいて結合損失 57 dB、伝送損失 1.3 dB/mのLCXを開発した。現存するLCXの中では最も細径、軽量であり、その優れた性能により狭域での 2.4 GHz帯無線LAN用アンテナに適用できる。

Recently, demand for leaky coaxial cables (abbreviated as LCX hereinafter) as a thin and lightweight antenna for a small area network such in meeting rooms or instruments is increasing. We have developed a ZLCX-2.5D that is the thinnest and the lightest at present, whose diameter is 4 mm and whose weight is 20 g/m. The measured coupling loss and transmission loss at 2.4 GHz are 57 dB and 1.3 dB/m, respectively. As this LCX has the superior performances, it is applicable to an antenna used for 2.4 GHz wireless LAN system in a small space.

### 1. ま え が き

無線通信の普及は様々な分野でめざましく、特に携帯端末向けの発展は著しい。その結果無線LANや携帯電話はすでにあらゆる場所で使用できつつある。さらに昨今では、スマートフォンの普及と相まって携帯端末での通信速度の高速化、高機能化が進んでおり、無線LANでは従来よりも通信速度の速い規格であるIEEE 801.11nが広く普及し、携帯電話ではいわゆるLTE規格のサービスが開始されている。

一方、最近では狭い限られたエリアで無線通信環境を構築したいという市場要求が増えている。この背景には2つあり、1つは通信エリアを限定することでセキュリティを向上させたいという要求であり、もう1つは移動通信のデータトラフィックが特に大都市部で逼迫しており、同じ周波数を多数の場所で使用できるようにして通信容量を拡大させる要求である。ピコセル、フェムトセル等のように通信エリアを狭くすることでSNR (Signal to Noise Ratio) や周波数利用効率を向上させる手法が導入されている。

また、これらの用途とは別に、ICT機器内のハーネスをワイヤレス化する研究が進められている。ICT機器内では電波を反射、遮へいする金属部品が多数使われていることから、チップアンテナ同士で通信するよりもLCX

を利用した方が伝搬損失や遅延プロファイルを改善する効果が得られる利点があり、開発が進められている<sup>1)</sup>。

上記のように狭い通信エリアに適用するLCXは長い必要はなく、取扱い性に優れた細径で軽量なLCXが望まれる。すでに当社で製品化された外径 7 mm、質量 65 g/mのLCXは多くの顧客から支持を得ている<sup>2)</sup>。ここでは、さらに細径で可とう性に優れた外径 4 mm、質量 20 g/mと超細径軽量のLCXであるZLCX-2.5Dを開発したので報告する。

### 2. 基本構造

ケーブル外径が 4 mmのような超細径LCXは、従来のジグザグ型スロット構造<sup>3) 4)</sup>では、スロットのサイズが小さくなるために十分な電波の放射が難しい。そこで、ZLCX-2.5Dのスロット構造は、ジグザグ型のスロットではなく、図 1 に示すように外部導体として金属テ

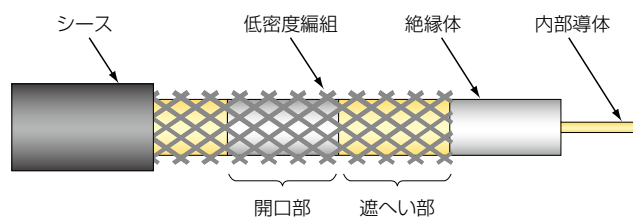


図1 ZLCX-2.5Dの構造  
Fig. 1. Structure of ZLCX-2.5D.

1 国内インフラ技術部

2 メタルケーブル・機器開発部

ープで絶縁体を覆う遮へい部と金属テープのない開口部を設ける部分遮へい型スロットとし、さらにその外側を低密度編組とした。

周期的な開口部から電波を漏洩させることで、従来のようなジグザグ型スロット構造のLCXと同様に指向性を持つ一種のアレイアンテナとして動作させることができる。さらに遮へい部と開口部の長さを同じにすることで、ジグザグ型スロット構造のLCXに特有のスロットのピッチによって発生する電氣的共振を抑制することができる。ZLCX-2.5Dの外観と内部を図2に示す。

### 3. 共振を抑制する手法

一般にLCXではスロットピッチとケーブルを伝搬する信号の波長が一致するとケーブル内で共振が生じ反射電力が増大して電圧定在波比（Voltage Standing Wave Ratio：以下VSWRと略す）が悪化する。従って、使用する周波数帯からこの共振周波数をはずす必要がある。これは図3に示すようにLCXのスロット部では、スロットの無い部分に比べインピーダンスがわずかに大きい。そのため各スロットから反射が生じ、その結果、ケーブル内の信号の波長がスロットピッチと一致する場合、反射波の位相が揃って強め合うためである。

次に、図4を使用して部分遮へい型構造の外部導体を持つLCXでスロットピッチとケーブル内の信号の波長が一致した場合を考える。開口部は等価遮へい径が大きい。このときの開口部のインピーダンスを $Z_1$ 、遮へい部のインピーダンスを $Z_2$ とすると、 $Z_1 > Z_2$ の関係が得られる。入力電圧を $V_0$ 、伝搬定数を $\beta$ 、ケーブル



図2 ZLCX-2.5Dの外観と内部

Fig. 2. Appearance and inside view of ZLCX-2.5D.

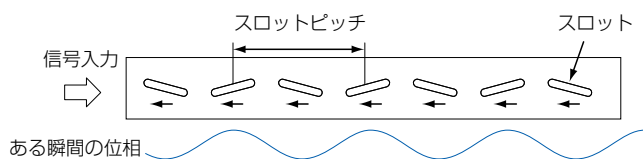


図3 スロット型LCXでの共振状態の概略

Fig. 3. Schematic illustration of resonance in slot-type LCX.

長手方向の位置を $x$ 、そして、虚数単位を $j$ とすると、 $Z_1$ 側から $Z_2$ 側への境界面での電圧反射係数は $\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$ 、逆に $Z_2$ 側から $Z_1$ 側への境界面での電圧反射係数は $\frac{Z_1 - Z_2}{Z_2 + Z_1}$ と表される。スロットピッチとケーブル内の信号の波長が一致した場合の反射電圧 $V_R(x)$ は下記のように表すことができ、すなわち反射波の位相は逆転して打ち消し合うことになる。

$$V_R(x) = V_0 \left[ \left( \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right) \exp(j\beta x) + \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_2 + Z_1} \right) \exp\{j(\beta x + 2\pi)\} + \dots \right]$$

$$= \sum_{i=0}^{n-1} V_0 \left[ \left( \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right) \exp\{j(\beta x + 4i\pi)\} + \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_2 + Z_1} \right) \exp\{j(\beta x + (4i + 2)\pi)\} \right] \dots \quad (1)$$

$$= \sum_{i=0}^{n-1} V_0 \left( \frac{Z_2 - Z_1 + Z_1 - Z_2}{Z_2 + Z_1} \right) \exp(j\beta x)$$

$$= 0$$

厳密にはケーブルの伝送損失を考慮すべきだが、隣接する境界面間の距離は無線LANの周波数である2.4 GHz帯では約10 cm、5 GHz帯では約5 cmであり無視した。

LCXにおいて放射角度は一般に図5のように定義さ

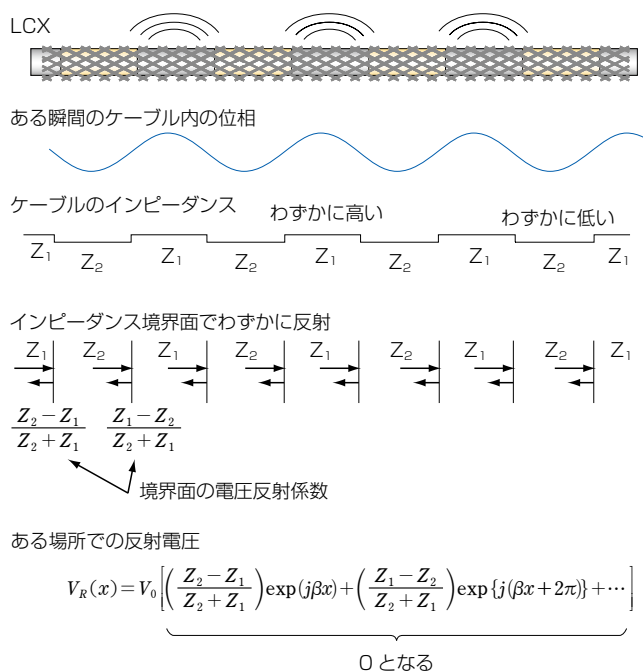


図4 部分遮へい型LCXでの共振状態模式図  
Fig. 4. Schematic illustration of resonance in partial-shield-type LCX.

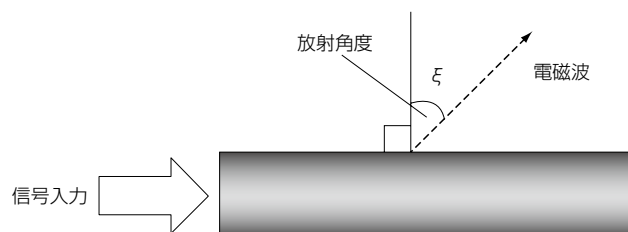


図5 LCXから電磁波の放射角度

Fig. 5. Radiation angle of electromagnetic wave from LCX.

れる。スロットピッチとケーブル内の信号の波長が一致すると放射角度は 0°となり、ケーブルから垂直方向への放射となる。放射角度が大きいと図 6 のようにケーブル末端部分に電波不感地帯が生じやすいため放射角度は小さい方が好ましい。特に短く使う場合が多いと考えられる超細径 LCX では、長く使用される太径の LCX に比べ末端部分の不感地帯の比率が大きくなりやすいので、放射角度は 0°に近い方が好ましい。開発した ZLCX-2.5D は、共振を抑制して放射角を 0°とすることが可能である。ただし、スロットピッチがケーブル内の信号の波長の整数倍のときは共振を抑制することが可能だが、0.5 倍、1.5 倍、…と n を 0 を含む正の整数として n + 0.5 倍のときは共振の抑制はできない。

4. 構造と電気特性

2.4 GHz 帯無線 LAN 用に開発した ZLCX-2.5D の構造と電気特性を、表 1 と表 2 にそれぞれ示す。なお、2.4 GHz での放射角度を 5°として設計した。

4.1 結合損失

LCX を含む空間に対して、図 7 に示すように LCX の半径方向を r、長さ方向を z、円周方向を θ とする円筒座標系を適用した時、ジグザグ型スロットの LCX では θ 方向の電界成分である E<sub>θ</sub> を主に使用するのに対し、部分遮へい型スロットを有する超細径 LCX では z 方向の電界成分 E<sub>z</sub> を使用する。

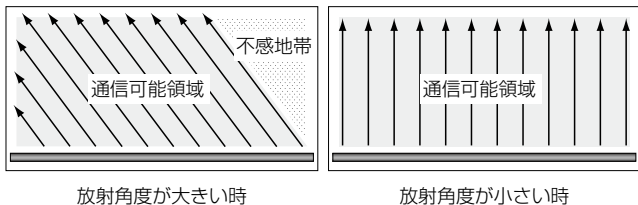


図6 LCX 末端部に生じる不感地帯の模式図  
Fig. 6. Blind zone at end of LCX.

表1 構造  
Table 1. Structure and dimensions.

内部導体	軟銅線
絶縁体	発泡ポリエチレン
外部導体	銅テープ、すずめっき軟銅線編組
シース	ノンハロゲン難燃ポリエチレン、外径 4 mm
概算質量	20 g/m

表2 電気特性  
Table 2. Electric characteristics.

特性	数値
結合損失	57 dB at 2.4 GHz
減衰量	1.3 dB/m at 2.4 GHz
VSWR	1.2 以下 2.4 ~ 2.5 GHz
インピーダンス	53 Ω

結合損失 L<sub>c</sub> はケーブル内を伝搬する電力 P<sub>i</sub> と外部空間に置かれた半波長標準ダイポールアンテナの受信電力 P<sub>r</sub> との比により、以下の式で定義される。

$$L_c = -\log_{10} \frac{P_r}{P_i} \text{ (dB)} \dots\dots\dots (2)$$

本文で示す結合損失は、特に断りがない限り LCX から 1.5 m 離れた場所での値である。

約 4 m の ZLCX-2.5D について、2.4 GHz における E<sub>z</sub>、及び、E<sub>θ</sub> 偏波の結合損失の測定結果を図 8 に示す。主放射は E<sub>z</sub> 偏波であり、E<sub>θ</sub> 偏波と比較して 10 dB 以上小さな結合損失となっている。また変動幅も 3 dB 程度と小さく安定している。なお結合損失値は編組密度により調整が可能である。

結合損失測定をケーブル長さ方向だけでなく半径方向についても測定し、その分布を調査した結果を図 9 に示す。長さ 3 m のケーブルからの電磁波がほぼ垂直方向 (0° 方向) に放射されていることが分かる。

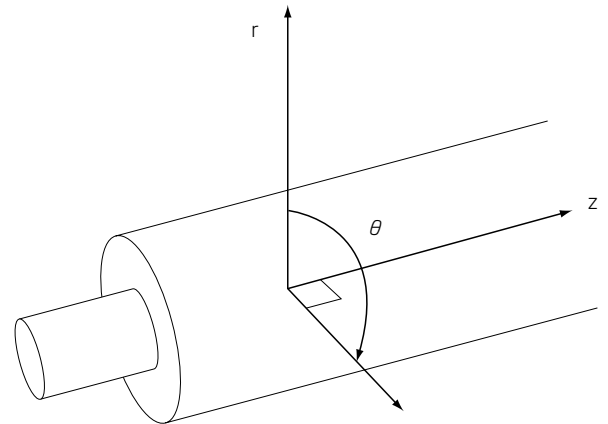


図7 LCX の円筒座標表示  
Fig. 7. Cylindrical coordinate for LCX.

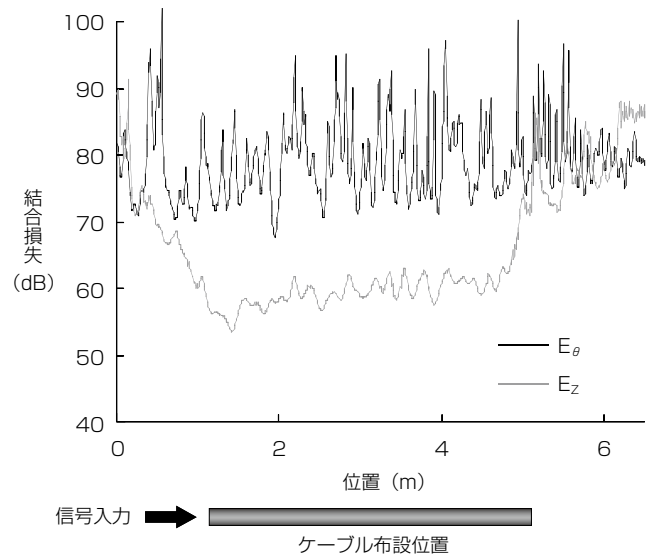


図8 2.4 GHz での結合損失測定結果  
Fig. 8. Coupling loss at 2.4 GHz.

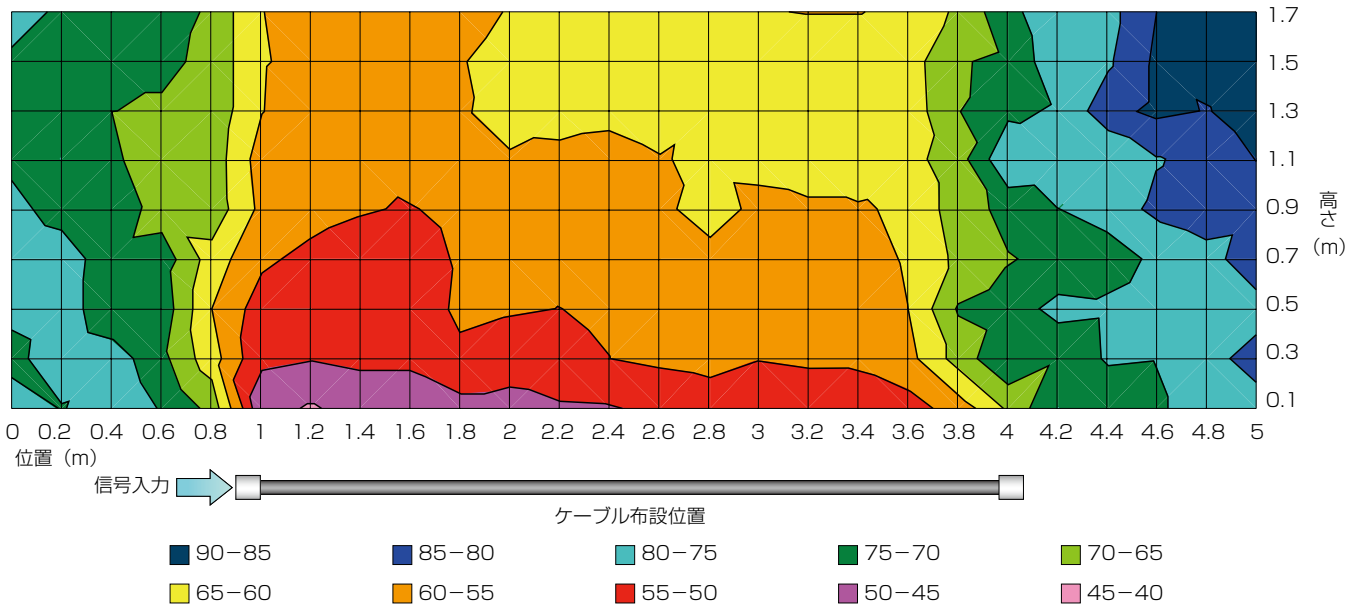


図9 LCX周辺の結合損失の分布  
Fig. 9. Coupling loss on the vicinity of LCX.

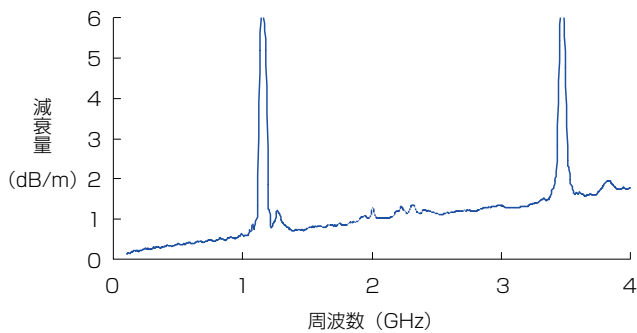


図10 伝送損失の周波数特性  
Fig. 10. Frequency dependence of transmission loss.

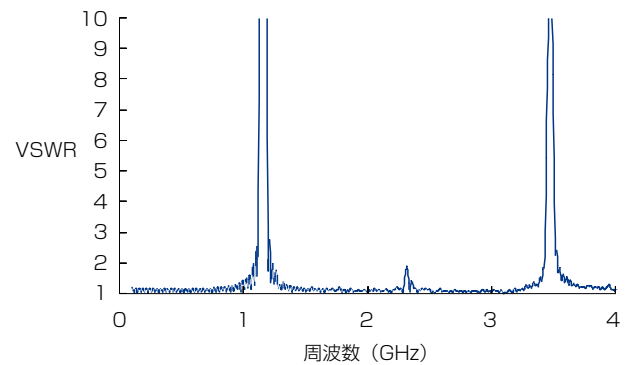


図11 電圧定在波比 (VSWR) の周波数特性  
Fig. 11. Frequency dependence of VSWR.

#### 4. 2 伝送損失

ZLCX-2.5Dの伝送損失の周波数特性を図10に示す。2.4 GHzにおける伝送損失は1.3 dB/mである。

#### 4. 3 電圧定在波比 (VSWR)

ZLCX-2.5DのVSWRの周波数特性を図11に示す。図11より使用周波数帯である2.4 GHz付近のVSWRが2以下に抑制できていることが分かる。なお、このVSWRは設計の改善によってさらに抑制可能である。従って、従来のスロット型LCXでは使用できなかった共振点付近でも可能となり、放射角 $0^\circ$ およびその近傍での運用ができる。

### 5. む す び

外径4 mm、質量20 g/mと世界で最も細径で軽量のLCXを開発した。2.4 GHzにおいて結合損失57 dB、伝送損失1.3 dB/mと2.4 GHz帯無線LAN用として適用可能な特性を得た。また、ジグザグスロット型LCX

では困難だった共振現象を抑制し、LCXから放射角 $0^\circ$ の垂直放射を実現した。今後は、他の周波数帯域へも設計を拡張する。超細径という特徴を生かし、会議室などの狭域エリア、ICT機器内などの狭小空間、そして、セキュリティを確保した通信用途において幅広く適用されることが期待できる。

### 参 考 文 献

- 1) 岡ほか：「狭小かつ複雑な空間におけるLCXの利用の一検討」, 電子情報通信学会総合大会, B-5-155, 2012年
- 2) 鈴木ほか：「細径漏洩同軸ケーブルLCX-5D」, 電子情報通信学会総合大会, B-1-156, 2012年
- 3) 高野ほか：「ギガヘルツ対応広帯域漏洩同軸ケーブル」, フジクラ技報, 第110号, pp. 9~15, 2006年
- 4) 稲田ほか：「漏洩同軸ケーブル」, 藤倉電線技報, 第46号, pp 19~28, 1972年