

# 2.4GHz 無線LAN用細径漏洩同軸ケーブルLCX-5D

ケーブル・機器開発センター 鈴木 文 生<sup>1</sup>

## Thin Leaky Coaxial Cable LCX-5D for 2.4GHz Wireless LAN

F. Suzuki

従来の漏洩同軸ケーブル（Leaky coaxial cable, 以下LCXと記す）は、トンネル内や鉄道沿線などへの布設用に長距離で使用することを前提に設計されています。従って、低い伝送損失を得るために外径は15～60 mmと太く、その結果重いことから布設工事には特殊な技術が要求されていました。しかし、最近、事務所や会議室などの狭い範囲に絞って通信ができ、簡単に設置できる無線LAN用アンテナとしてのLCXの需要が高まっています。

フジクラでは、LCXの近傍に安定した通信エリアを確保でき、かつ、設置が容易な外径7 mmで質量65 g/mと細径で軽量のLCX-5Dを開発しました。本製品の電磁波放射特性を含む電気特性、および、耐環境性や機械特性の評価を行い良好であることを確認しました。

A conventional Leaky coaxial cable (LCX) is 15 mm to 60 mm diameter large and accordingly heavy because it is designed for longer distance installation in tunnels or railways, and requires a special technique for the installation. Recently, the demand of LCX as wireless LAN antenna for narrow area networks such in offices or meeting rooms is increasing.

Fujikura has developed LCX-5D which is only 7 mm diameter large and 65 g/m weight, provides stable wireless LAN connectivity along the length of the cable. The cable is installed more easily than conventional leaky coaxial cables. We have verified that the cable shows good performance in the electric characteristics including electromagnetic radiation, environmental resistance and mechanical strength.

### 1. ま え が き

LCXは、地上と列車間の通信用に鉄道沿線、あるいは、防災無線用に地下街やトンネル内に布設されています。そして、長期の屋外使用に耐える高い堅牢性や保守の簡便さ等の優れた特長によって半世紀におよぶ実績ある同軸ケーブル型アンテナです<sup>1), 2)</sup>。これまでのLCXの通信カバーエリアは、長さ方向に数100 m、幅方向に数10 mと長く広いものでした。また、LCXを布設する為には専門の工事が必要でした。

最近、無線LANを使用した事務所や会議室のような狭い通信エリアが数多く設置されるようになってきました。このような狭い通信エリアでは、エリア内での確実な通信確保と秘密情報の外部への漏洩を抑える必要があります。しかし、一般のアンテナでは確実な通信を確保しようとして送信電力を増加させると電磁波の漏洩の恐れがありました。そこで、ケーブルの近傍に沿って安定した通信エリアを形成できるLCXが期待されています。狭域エリアで使用するLCXの長さは、長くても10 m程度のため、伝送損失を低く抑えたLCX-10D、-20D、-43D等

の太いLCXは必要なく、しかも、取り扱い性の優れた細くて軽いLCXが要求されました。そこで当社は、現存するLCXの中では最も細径、軽量で従来のLCXの放射特性と同等の特性を有するLCX-5Dを開発したので報告します。

### 2. 構 造

LCX-5Dの外観を図1に示します。構造は、図2に示す様に、直径2 mmの中心導体を直径5 mmの発泡絶縁体で囲み、その上に外部導体を縦添えし、更にノンハロゲン難燃ポリエチレンで被覆し外径は7 mmです。外部導体には、周期的に配置したスロットと呼ぶ長穴を穿



図1 LCX-5Dの外観

Fig. 1. Appearance of LCX-5D.

1 通信グループ長

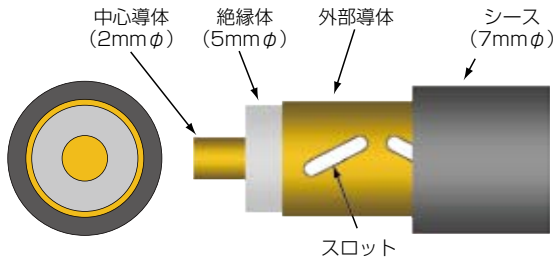


図2 構造と寸法  
Fig. 2. Structure and dimensions.

孔してあり，そこからLCX内部と周辺の電磁波信号を送受信します<sup>3)</sup>。

スロットの形状は，従来からよく使用されているジグザグ配列型としてその設計手法を使用しました<sup>4)</sup>。LCXでは多くの放射モードが存在します。図3にLCXからの放射波のイメージを示します。各スロットを微小な波源として，位相のそろった方向に放射波は進行します。放射波の進行方向であるLCXの法線方向からの傾き $\theta$ を放射角と呼びます。開発したLCX-5Dは，周波数2.4GHzで最低次のモードだけを放射させてLCXからの電磁波強度の安定化を考慮しました。このモードは，LCXを軸として周方向 $\phi$ の電界成分を有する $E_{\phi}$ 偏波の放射波です。

$E_{\phi}$ 偏波が放射波となる条件は式(1)となり，これより最低次 $m = -1$ モードである $E_{\phi, -1}$ モードの放射角 $\theta_{\phi, -1}$ は式(2)で計算できます。

$$\left(-\beta_g \cdot \frac{P}{2} - \pi\right) + k_0 \cdot \frac{P}{2} \sin \theta_{\phi, m} = 2n\pi \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし， $m = 2n + 1$  ( $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )

$$\theta_{\phi, -1} = \sin^{-1}\left(\sqrt{\epsilon_r} - \frac{\lambda_0}{P}\right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし， $P$ はスロットのピッチ， $\lambda_0$ は空間波長， $\lambda_g$ はケーブル内波長， $\beta_g$ と $k_0$ はそれぞれケーブル内と空間での位相定数で $\beta_g = 2\pi / \lambda_g = 2\pi \sqrt{\epsilon_r} / \lambda_0$ ， $k_0 = 2\pi / \lambda_0$ ，そして， $\epsilon_r$ は絶縁体の比誘電率です。開発したLCX-5Dは， $\theta$ を $-25^\circ$ で放射方向が入射電力側を向くバックファイヤ型で設計しました。

また，LCXの送受信特性は，一般に，結合損失 $L_c$ で示されます。結合損失は，LCXへの入射電力 $P_{in}$ とLCXからある距離離れた位置にある半波長標準ダイポールアンテナからの出力 $P_{out}$ から式(3)によって計算します。

$$L_c = -10 \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

LCXの長さ，伝送損失，結合損失，および，LCXと移動体までの距離から，LCXの入射端から移動体側のアンテナまでの合計損失を知ることができるのでLCXを使用した無線システムの設計ができます。開発したLCX-5Dのスロットの形状は，結合損失が60dBとなるようにピッチ

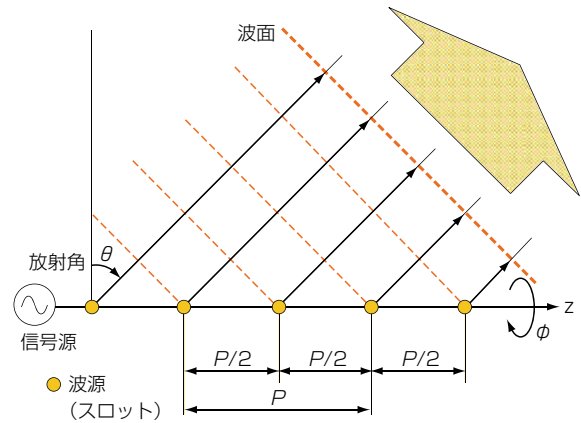


図3 LCXからの放射イメージ  
Fig. 3. Radiation image from LCX.

チ，角度，長さ，幅を決定しました。

### 3. コネクター

LCX-5Dの構造は新しいので従来のコネクタは使用できないことから，専用のコネクタを開発しました。コネクタの構造はマイクロ波周波数帯でよく使われているSMA型とし，特性インピーダンスは50Ωとしました。開口部はプラグとジャックとの2種類を用意しました。コネクタの外観を図4に示します。

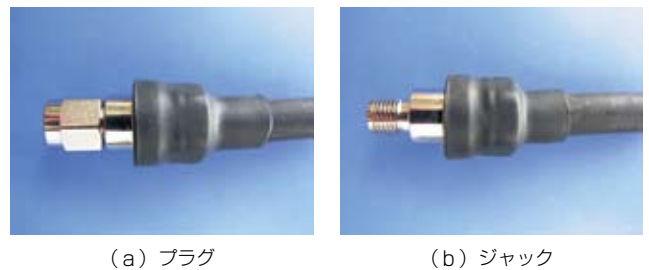


図4 LCX-5D用SMAコネクタ  
Fig. 4. SMA-type connectors for LCX-5D.

### 4. 電気特性

今回開発したLCX-5Dの代表的な電気特性である結合損失，伝送損失，電圧定在波比 (VSWR)，および，特性インピーダンスの測定値を表1に示します。結合損失，伝送損失，電圧定在波比の測定周波数は2.4GHzです。結合損失の測定系を図5に示します。結合損失は，LCXから1.5m離れた位置での値です。伝送損失は2.4GHzで0.46dB/mであり，その周波数特性を図6に示します。

### 5. 結合損失

LCX-5Dの放射指向性を把握する目的でLCX-5D周辺のE<sub>φ</sub>偏波に対する結合損失分布を測定した結果を図7に示します。電波暗室の内部で長さ3mのLCXを電波吸収体の上に置き、図5の結合損失測定系で測定しました。図5に示すようにLCXへ電力を入射し、LCXの出射側は50Ωで終端しました。測定範囲は、LCXの軸方向(z)に0~5m、半径方向(r)に0.25~2.25mです。LCXは図7に示す様にx=1~4mの位置におきました。

図7より、放射方向は設計通りにLCXからの法線に対して給電側に約-25°傾斜しており、バックファイヤ型です。また、結合損失もr=1.5mで約60dBと設計通りでした。バックファイヤ型LCXでは、終端部にて結合損失がLCXから遠ざかるに従って急激に増加して不感地が発生することに留意する必要があります。なお、E<sub>z</sub>偏波の結合損失は、E<sub>φ</sub>偏波よりも10dB程度大きく放射は弱くなっています。しかし、終端付近では、LCXの不連続によってE<sub>z</sub>偏波の放射が存在するので注意が必要です。

表1 LCX-5Dの電気特性  
Table 1. Electric characteristics of LCX-5D.

結合損失 (dB)	60
伝送損失 (dB/m)	0.46
電圧定在波比	1.2以下
特性インピーダンス (Ω)	51

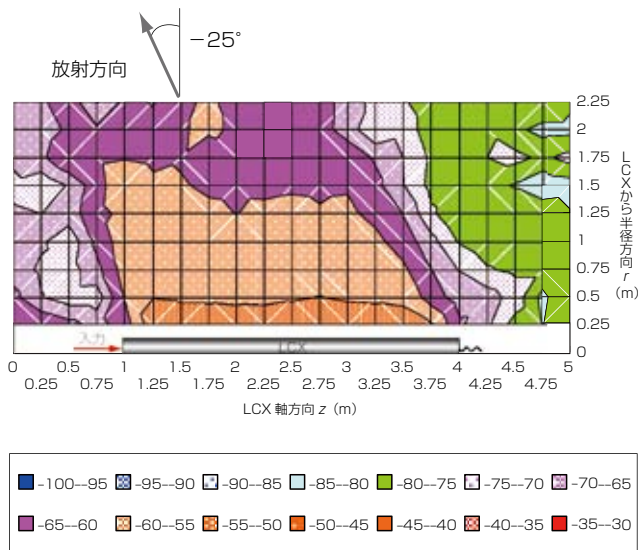


図7 LCX周辺の結合損失の分布  
Fig. 7. Coupling loss on the vicinity of LCX-5D.

LCXからr = 0.5 m, 1.0 m, 1.5 mの位置におけるz方向に沿った結合損失の変化を図8に示します。放射方向における結合損失の変動は5dB以内に抑制されており、この値は従来のLCX-10DやLCX-20Dと同じ程度です。

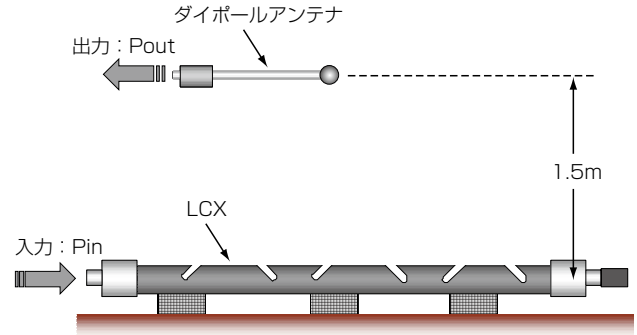


図5 結合損失の測定系  
Fig. 5. Measurement system of coupling loss.

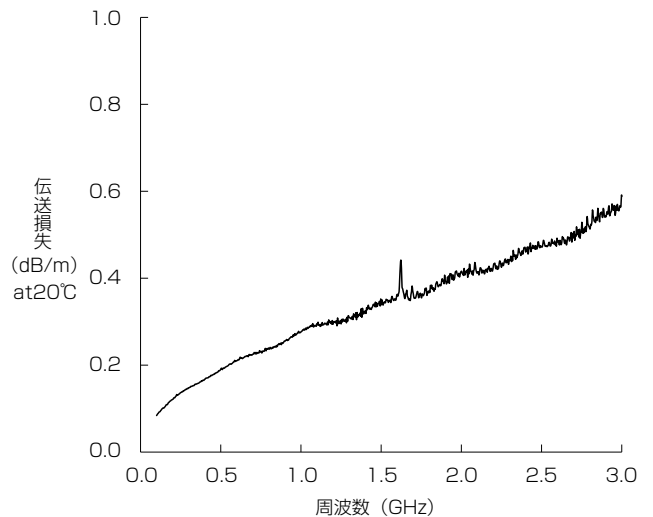


図6 伝送損失の周波数特性  
Fig. 6. Frequency dependence of transmission loss.

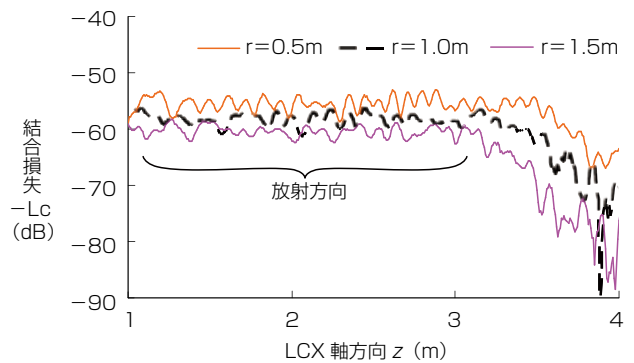


図8 結合損失の変動  
Fig. 8. Fluctuation of coupling loss along LCX-5D.

## 6. 耐環境性，機械強度

高温保持試験（80℃）、高温高湿保持試験 80℃、85% RH、低温保持試験（-40℃）、および、熱衝撃試験（-40℃/80℃）を行いました。試験前後の電気特性を測定した結果、結合損失の変化はほとんどなく、他の特性も一般の同軸ケーブルと同様で良好な結果を得ました。

機械強度試験については、LCX-5Dのケーブル部分の屈曲試験および破断試験、ケーブル部分とコネクタ接続部分の屈曲試験および破断試験、更に、シース上から金属片を押し当てた側圧試験を行いました。これらの試験結果から、LCX-5Dの破断強度は500N以上、LCX-5Dとコネクタ部との破断強度は150N以上でした。また、側圧試験では400N/15mmを与えても減衰量と結合損失に問題はありませんでした。なお、屈曲試験からLCX-5Dの許容曲げ半径として、取扱い中は250mm以上、固定時は100mm以上を得ました。

## 7. む す び

外径が7mmで質量65g/mの世界的に最も細径で軽量のLCX-5Dを開発しました。LCX周辺に安定した通信領域を実現でき、LCX近傍に通信領域を制限するセキュア

な通信への応用の可能性を示しました。耐環境性能は同タイプの同軸ケーブルと同様であることを確認しました。また、機械強度を調査することにより実用上問題ないことを確認しました。

同軸ケーブル型アンテナであるLCXは、ケーブルに沿った周囲に安定した通信領域を確保できます。また、電磁波を反射する金属体が存在して電波不感地が発生する複雑な空間では、一般のアンテナでは多くの台数を必要としますがLCXを使用することによって台数を削減でき省エネ効果もあります。今後も、LCXの優れた特徴を生かし、一般アンテナとのすみわけを行いながら、より高性能で使い安いLCXを開発します。

## 参 考 文 献

- 1) 岸本，佐々木：LCX通信システム，電子情報通信学会，コロナ社，pp.1-32，1982
- 2) 高野ほか：「ギガヘルツ対応広帯域漏洩同軸ケーブル（WBLCX<sup>TM</sup>）」，フジクラ技報，第110号，pp.9-15，2006
- 3) 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
- 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