1417 鉄道における xDSL 伝送特性と新型ケーブルの試作

xDSL transmission characteristics in the railway and the trial manufacture of the new-model cable

○川邊圭吾，今井誠治（東海旅客鉄道㈱），沓名孝博，小山輝男（三菱電線工業㈱）

Keigo KAWABE,Seiji IMAI,Central Japan Railway Company 1545-33 Ohyama,Komaki-City,Aichi- Prefecture,485-0801

Takahiro KUTSUNA,Teruo KOYAMA,MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES,LTD 4-3, Ikejiri, Itami-City, Hyogo-Prefecture, 664-0027

In this case, it was carried out xDSL field transmission test in layer type cable laid in along a railway line, etc. , and examination and trial manufacture of the new-model communication cable were carried out based on the result. In addition, the indoor characteristic test result, effect evaluation to the Centralized Traffic Control line are reported with the field test result.

Keyword:: railway, xDSL, crosstalk, centralized traffic control, communication cable, twist pitch, coexistence evaluation method

1．はじめに

当社では，自営の光通信網，メタル通信網を鉄道沿線に線状に構築し，様々な用途・種類の回線を収容している[1)]。それらは，主に指令，駅，保守区所，沿線設備間の情報通信を行い，日々の列車運行業務を支えている。

当社は，拠点駅にある光通信網に高速にアクセスするために，メタル通信網を有効に活用し，設備監視等のネットワークの一部に xDSL 技術を適用している。

ところが，xDSL 技術の適用は鉄道での実績があまりなく，その伝送特性に関する情報が不足している。そこで，我々は，これまでにその特性について，ユニット型ケーブルでのそれを中心に，現地試験によりデータ収集を進めてきた[1)2)]。

我々の最終目標は，xDSL 技術を鉄道に適用するための使用指針の策定である。つまり，xDSL 技術を導入したいときに，ためらいなく導入を検討可能な手引き（目安）を策定することである。

本件では，鉄道沿線に敷設された層型ケーブル等での xDSL 現地伝送試験を行い，その結果を踏まえて新型通信ケーブルの検討，試作を行った。その室内特性試験結果，CTC(Centralized Traffic Control；列車集中制御装置)回線への影響評価を現地試験結果と併せて報告する。

2．現地試験

2.1 試験区間，試験ケーブル

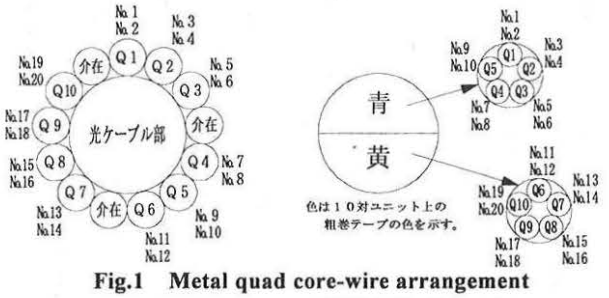

Fig.1 Metal quad core-wire arrangement (Left ; Layer type, Right ;Unit type)

現地試験は，直流電化区間において，xDSL の単体伝送特性，複数共存時の伝送特性を層型(複合光ファイバ)ケーブル(Fig.1)にて実施し，既存の現用 CTC 回線と xDSL 回線の共存伝送特性をユニット型ケーブル(Fig.1)にて実施した。いずれのケーブルも導体外径は 0.9mm，ポリエチレン絶縁である。

試験区間と距離を Fig.2 に示す。ここで，距離は駅間距離を示す。

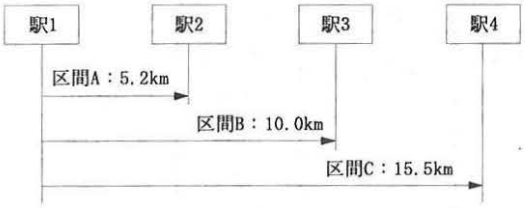

Fig.2 Test section and distance

2.2 回線雑音特性

回線雑音レベルは，-65.0dBm～-68.0dBm であり，他の JR 回線[3)]よりも小さな値であった。

スペクトラムについては実時間でデータ取得したところ，測定側近辺での列車走行と同期して雑音が増加する場合があった。

また，列車走行時以外で雑音が増加する場合も観測されたが原因は不明である。今後，データ収集の深度化を実施する予定である。

2.3 回線減衰特性

区間長，回線による差異はほとんど見られず，1kHz で約 0.6dB/km, 10kHz で約 1.9dB/km, 100kHz で 3.8dB/km, 1MHz で約 14.2dB/km となり，一般的な JR 回線市内ユニット型ケーブルと同程度であった[2)]。

2.4 回線漏話特性

区間 A での測定結果を Fig.3 に示す。

Fig.3 より，カッド間距離が離れるにつれて近端漏話特性は良くなっている。但し，同色カッド（5 つ飛び）の

場合は，カッド間距離が離れていても同一カッドの場合と同じ程度特性が悪かった。これは，同色カッド組み合わせのカッド撚りピッチは同一カッド内と同じピッチを使用しており，高い周波数領域においてはカッド間離隔距離よりも同一のカッド撚りピッチを使用することによる影響の方が大きいことによるものと推測される。

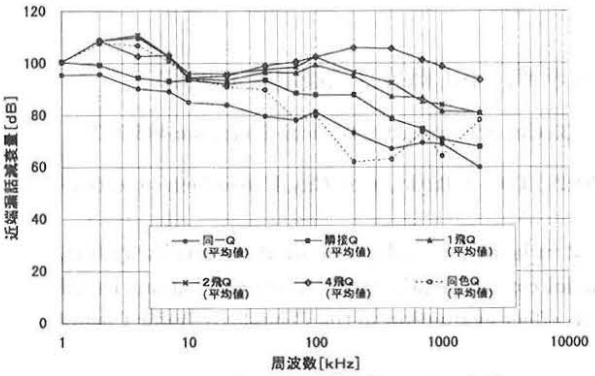

Fig.3 Near-end crosstalk characteristics (Average of interval A)

また，駅間距離がある程度長い場合，近端漏話減衰量は周波数の 1.5 乗に反比例することが一般的に言われており，周波数が高くなると若干のばらつきはあるものの，同一カッドの特性は概ねこの傾向を示した。

遠端漏話については，近端漏話に比べ支配的ではなかったので，ここでは測定結果を割愛する。

2.5 xDSL 伝送特性

xDSL 伝送特性測定に使用した伝送装置の概要を Table1 に示す。

Table 1 Outline of the transmission system

伝送装置の種類	変調方式	伝送速度 [kbps]	伝送周波数帯域[kHz]	使用対数
SDSL	CAP	2,048	4～399.6	1 対
		1,024	4～304.2	
		384	4～157.0	
ADSL	DMT	上り 384	30～124	1 対
		下り 4,096	140～1,100	
高速	擬似 CAP	1,544	24～410	2 対
		384	14～110	
HDSL	2B1Q	1,536	0～392	2 対
音声	4 相位相変調	2.4	0.3～3.4	2 対

Table1 の伝送装置において，伝送速度，距離を変化させた場合の符号誤り率等を取得した結果を Table2 に示す。

Table2 から各伝送装置の限界伝送可能距離は不明ではあるが，最低限伝送可能な距離を捉えることができた。

次に同一ケーブルに 2 つの xDSL 回線を収容した場合の特性を BER 測定等を実施することにより調査した。

Table3 に区間 A での，Table4 に区間 B，C での共存伝送試験結果をまとめた。ここで，伝送速度は，各区間で単体伝送可能な速度（Table2）とした。

区間 A では，高速モデムとの組み合わせの共存以外は伝送可能であった。但し，伝送距離が長くなった場合は，伝送品質の劣化の可能性があるので，注意を要す。

この距離の層型（複合光ファイバ）ケーブルを使用した場合の共存については，送信出力の差の大きい伝送装置を可能な限りカッド間離隔距離を離す，または，同時収容しないなどの対策が望ましいと考える。

区間 A では，回線離隔距離が長くなるほど伝送品質は向上する傾向にあった。区間 B，C も同様であった。

但し，5 つ飛びカッド（同色カッド）収容では回線離隔距離が長いにもかかわらず，伝送品質が極端に劣化したり，同期をとれない場合があった(Table5)。これは，同色カッドの組合せは同一撚りピッチであり，漏話を軽減しにくいためと考えられる。

今回，同色カッド収容しなかった伝送装置の組み合わせもあり，その影響度は現在のところ不明であるので，今後同色カッド収容のデータ収集を引き続き行う予定である。

Table 2 Simple substance transmission test result

伝送装置	伝送速度 (kbps)	区間 A 5.2km	区間 B 10.0km	区間 C 15.5km
SDSL	2,048	○	×	－
	1,024	－	○	－
	384	－	－	○
ADSL	上り 384*1 下り 4,096*1	△*2	－	－
	上り 384*3 下り 544*3	－	○	－
	自動速度設定	－	－	×
高速	1,544	○	－	－
	768	－	×	－
	384	－	○	×
HDSL	1,536	○	－	－
音声	2.4	○	－	－

○BER，Ping パケットエラー10^{-6}未満，△BER，Ping パケットエラー10^{-6}以上，×同期とれず，*1 固定速度設定，*2 3,000 回 Ping 送信（パケット長=8,192 バイト）して，エラーパケット数 3，想定 BER は，1.5×10^{-8}～1.0×10^{-3}，*3 自動速度設定

Table 3 Coexistence transmission test result(Interval A)

↓基準	SDSL	高速	ADSL	HDSL	収容位置
SDSL	○	○	○	○	同一カッド
高速	△	－	△	○	隣接カッド
ADSL	○	○	－	○	同一カッド
HDSL	○	○	○	－	隣接カッド
音声	○	－	－	○	隣接カッド

Table 4 Coexistence transmission test result(Interval B,C)

↓基準	区間 B	区間 C	収容位置
	SDSL	SDSL	
SDSL	○	△	同一カッド
高速	○	－	隣接カッド

Table 5　Coexistence transmission test result (Isochromatic quad accommodation)

基準 ↓	区間 A			区間 B	区間 C	収容位置 (ｶｯﾄﾞ)
	SDSL	ADSL	HDSL	SDSL	SDSL	
SDSL	−	−	−	△	×	同色
高速	×	×	×	△	−	同色
音声	−	−	△	−	−	同色

2.6 xDSL 回線と既存重要回線の相互影響

音声周波数を含めて高周波まで使用する HDSL，4kHz～高周波までを使用する SDSL と主に音声周波数を使用する CTC6 形の相互影響をそれぞれ BER，誤字カウンタにより評価した。試験区間で CTC6 形信号の表示情報の受信レベルが最も減衰した駅 2 側（区間 A）で近端漏話雑音が混入する最も厳しい試験構成とした(Fig.4)。

また，試験は列車が走行しない時間帯（夜間）に実施し，CTC6 形と SDSL の相互影響については，No.8 回線に収容（隣接カッド）して試験した。

各々20 分間，共存伝送を行ったが，CTC6 形の誤字はカウントされなかった。また，HDSL，SDSL についても符号誤りは発生しなかった。

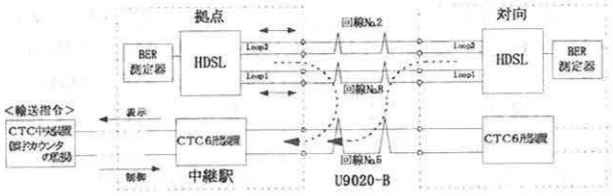

Fig. 4　Interaction of HDSL and CTC6 type

3．ケーブルの試作

3.1 仕様検討

既存ケーブルによる xDSL 現地伝送試験結果を踏まえ，xDSL 共存伝送に適応した高周波領域の回線特性を向上させたケーブルの仕様検討を実施した。

検討対象ケーブルは，複合光ファイバケーブル（層型），メタル通信ケーブル（ユニット型）とした。

xDSL 共存伝送特性をケーブル側で改善する方策として，受信レベルを大きくする方法と雑音レベルを小さくする方法があるが，ここでは，検討の結果，後者を選択した。

漏話を発生しにくくするための手法にカッド崩れを極力廃す方法がある。これを実現するためには，撚りピッチを短くすることを考えることができる。

既存ケーブルと同等コストで漏話特性を向上させることを判断条件として，撚りピッチを可能な限り短くし，かつ各カッドの撚りピッチを全て異ならせることとした。

但し，撚り込み率をあまり大きくすると，減衰特性と製造コストに影響するため，実用上影響を及ぼさない程度の撚り込み率を適用した。

3.2 試作

新型ケーブルの試作は，新型複合光ファイバケーブル（30 対;30P-1）及び新型メタル通信ケーブル（60 対;60P-1）の 2 種類とし，またこれらの特性改善比較用ケーブルとして，従来のカッド撚りピッチ（5 種類）を使用した通信ケーブル（60 対;60P-2）を含めた計 3 種類とした（Fig.5）。

各試作ケーブルの製造条長は，漏話特性の比較が可能な程度の 250m とした。

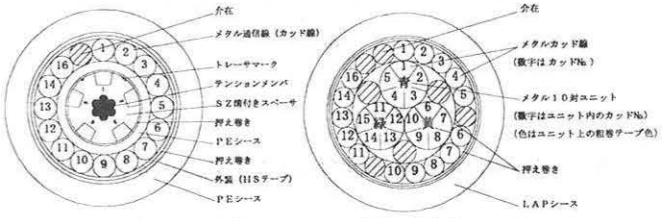

Fig.5　The cross section of the cable (Left ; 30P-1，Right ;60P-1(60P-2))

3.3 回線漏話特性

漏話減衰量を測定したが，xDSL 共存伝送で S/N 比の劣化しやすい高周波では近端漏話が支配的であったため，ここでは遠端漏話減衰量の測定結果は割愛する。

近端漏話減衰量を測定し，最も効果のあった同一層内の結果（平均値）を Fig.6(60P-1,60P-2)に示す。

近端漏話減衰量は周波数の 1.5 乗に反比例することが一般的に言われているが，Fig.6 では，概ねこの傾向を示している。

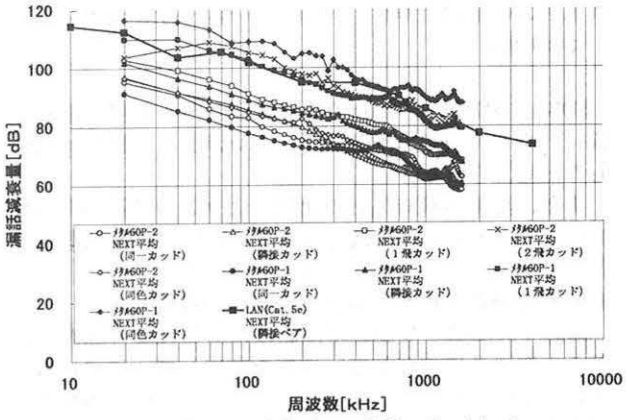

Fig.6　Characteristics of identical in layer

Fig.6 より，新型ケーブルは，従来製法ケーブルと比較して漏話特性が改善されていることが確認された。

特に，同一層内の同色カッドの漏話特性が著しく改善されていることが確認された。但し，同一カッド内の漏話特性はあまり改善されていない。これは，同一撚りピッチであることにより漏話を打ち消しにくいためと考えられる。

同一層内の同色カッドの漏話特性が最も改善されている要因としては，そのケーブル構造により，回線離隔距離が比較的長く，かつ一定に保たれていることが考えられる。

以上から，撚りピッチを短くすることで，カッド崩れを極力廃し，漏話特性の向上を実現できたと考える。

4．室内試験

4.1 CTC 回線への xDSL 信号の直接印加試験

共存評価手法 [3]を用いて，現地試験結果との比較・検証により xDSL 回線と CTC 回線との共存可否について評価するとともに，その手法の xDSL への適用の有効性について検証することとした。

Fig.7 にその試験構成を，Table 6 に測定した許容雑音レベルを示す。

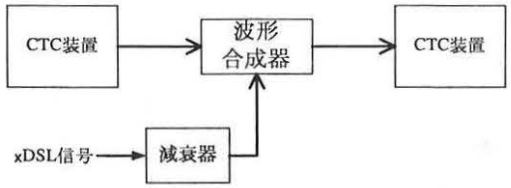

Fig. 7　Direct impression of the xDSL signal to CTC line

Table 6　The permission noise level by the direct impression to ctc line

伝送装置	伝送速度 [kbps]	CTC種別	室内許容雑音レベル [dBm]	現地漏話雑音レベル [dBm]	現地試験結果
SDSL	2,048	4形	-11.6	—	—
		6形	-15.5	—	影響なし
	1,024	4形	-11.9	-48.4*1	—
		6形	-14.5		—
HDSL	1,536	4形	-25.9	-41.2*2	—
		6形	-32.0		影響なし

*1 現地に敷設された層型ケーブルの同色カッドでの実測値

*2 現用 CTC 回線を収容しているユニット型ケーブルの隣接カッドでの実測値

SDSL，HDSL，いずれの許容雑音レベルも現地漏話雑音レベルと比較して十分なマージンがあり，影響はないものと考えられる。

また，現地試験結果との比較によりこの手法の有効性を示したとともに他の既存システムにも擬似線路等を組合わせることにより適用できると考える。

4.2 模擬線路の提案と新型ケーブルの評価

漏話で支配的となる近端漏話は，ある程度の線路長になると線路長に依存しない性質を利用して，現地に敷設されたケーブルと同じ層型のケーブル（60P-1，60P-2 の層型部）を室内でドラムのまま使用し，漏話現象を再現することを前提に Fig.8 の構成にて試験を検討した。

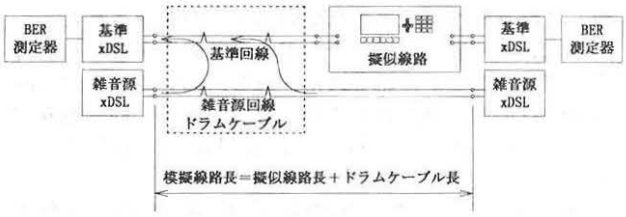

Fig. 8　Proposal of the trial line

この手法は，通信線路の模擬を室内にて行えるため，直接印加試験による手法での効果に加え，①ケーブル収容位置を簡単に変更できるため，収容設計をしやすい，②模擬線路によって 3 種類以上の伝送システムの共存評価を可能とする，③3 種類以上の共存模擬を行う場合でもシステム構成は簡単である，などの効果がある。

Fig.8 で，模擬線路を現地試験時（区間 A：5.2km）と同じ長さ，つまり，模擬線路長を

模擬線路長=擬似線路長（4,950m）+ﾄﾗﾑｹｰﾌﾞﾙ長(250m)

とし，試験を実施した。

ここで，伝送装置の組合せは，現地での共存伝送試験で顕著に影響が確認された組合せ例を選択し，実施した。

各収容位置における符号誤り率を Table7 に示す。

Table 7　Bit error rate of field ,indoor(60P-1,60P-2)

基準モデム	雑音源モデム	収容位置	伝送距離	符号誤り率	符号誤り率	符号誤り率	延伸効果 60P-1と60P-2
種類	種類	カッド	[km]	60P-1	60P-2	現地	[km]
高速1,544kbps	SDSL 2,048kbps	隣接	5.2	0	8.90E-03	3.24E-02	1.1
		1つ飛び	5.2	0	0	0	-
		2つ飛び	5.2	0	0	9.56E-08	-
		3つ飛び	5.2	0	0	-	-
		4つ飛び	5.2	-	-	0	-
		同色	5.2	0	3.37E-06	同期とれず	-
高速1,544kbps	HDSL 1,536kbps	隣接	5.2	0	6.48E-08	0	0.4
		1つ飛び	5.2	0	0	7.05E-08	-
		2つ飛び	5.2	0	0	-	-
		3つ飛び	5.2	0	0	-	-
		4つ飛び	5.2	-	-	-	-
		同色	5.2	0	3.78E-07	同期とれず	-

Table7 より，現地試験結果と室内試験結果 (60P-2) は，ほぼ同じ傾向を示している。

また，従来製法ケーブル(60P-2)及び現地敷設ケーブルでは符合誤りが発生しているのに対し，新型ケーブル(60P-1)では，符号誤りは発生しなかった（伝送品質の向上）。さらに，新型ケーブルと従来製法ケーブル (60P-2) での試験結果を比較すると伝送可能距離の延伸効果も確認することができた。

以上から，複数 xDSL の共存伝送試験において，新型ケーブルの漏話特性の向上により，その効果を確認することができた。

近端漏話は周波数特性を有すため，模擬線路は直接印加方式に比べ，xDSL のように伝送帯域が広い場合に，より有効と考えるが，今後は引き続きデータ収集の深度化を行うとともに，ドラムケーブル長による伝送特性の差異，我々が提案している敷設方法 [4]を検証する予定である。

5．おわりに

今後は，引き続き現地測定データの収集を続けるとともに，模擬線路の検証の深度化，新型ケーブルの再検討，敷設方法の検証等を進め，xDSL 使用指針の策定を行う予定である。

参考文献

1) 川邊:「鉄道通信回線を使用したメタリック高速ディジタル伝送方式の伝送試験結果について」，電学通信研資，CMN-02-3，pp.13-18，Jan.2002

2) 中村，進藤，関，五十嵐，川邊，清：「現地回線における xDSL 伝送試験」，第 39 回鉄道サイバネ・シンポジウム，801，Nov.2002

3) 川邊，原：「鉄道沿線設備用メタル伝送部の現地試験結果について」，平成 14 年電気学会 電子・情報・システム部門大会，GS7-5，Sept.2002

4) 川邊：「鉄道通信における xDSL の共存特性について」，電学通信研資，CMN-03-14，pp.33-38，June.2003

5) 今井，川邊，小山，沓名：「新型ケーブルの試作と xDSL 共存伝送への適用」，信学技報 OIS2003-34,Vol.103,No.323,pp23.-28,Sept.2003