

日付: 2004 年 1 月 29 日

提出元: 住友電気工業株式会社

題名: ADSL に対する漏話の影響

概要

2003年3月31日に開催された情通審 DSL 作業班第8回会合において、住友電工は実ケーブルを使用した ADSL 回線に対する漏話雑音の影響を報告した。参考資料として、本 SWG に提出する。

10 ページの図 3-26 及び図 3-28、11 ページの図 3-30 及び図 3-32 は、実ケーブル(0.4mm 径 CCP)を使用して、ADSL と同じカッド内のペア線に干渉源となる信号を伝送させ、漏話雑音による性能低下の影響を調べたものである。使用した CCP ケーブルの近端漏話特性は、図 5-1 に示す通りであり、ほぼ平均的な特性を持ったケーブルであると考えられる。

干渉源としては、実際の伝送装置を使用せず、ITU 標準に規定された各伝送方式の送信 PSD を正確に表現した信号発生器を使用した。これは、干渉源となる信号 PSD が、使用する伝送装置の機種や固体によって差があること、更に線路条件によって変動する可能性があるため、試験結果の再現性を高めるためには、適切に PSD を調整した信号発生器の信号の方が適切であるという理由による。

なお、性能評価に使用した ADSL 機器は 8Mbps サービス用のものである。他社製の機器を含んでいるため、それぞれの機種名は明らかにしていない。

図 3-26、28、30、32 に示した実ケーブルによる漏話干渉実験結果から、以下の傾向が読み取れる。

- ・ ADSL 下りに関しては、FDM-ADSL からの漏話による影響に比べ、TCM-ISDN からの漏話による影響が大きい
- ・ ADSL 上りに関しては、FDM-ADSL からの漏話による影響に比べ、EC-ADSL、TCM-SIDN からの漏話による影響が大きい

これらは、干渉源となるシステムに FDM-ADSL と同じスペクトルを使用しない限り、近端漏話雑音の影響が現れ、FDM-ADSL 同士の干渉に比べて大きな漏話雑音による影響が現れることを示しており、妥当な結果であると考えられる。

以上

情報通信審議会 情報通信技術分科会 事業用電気通信設備等委員会
DSL 作業班第8回会合資料2003年3月31日
住友電気工業株式会社

漏話雑音印加時の ADSL 伝送性能

1. はじめに

本資料では、TCM-ISDN 及び ADSL 漏話雑音印加時の ADSL 伝送性能に関して、計算結果と実験結果を示している。JJ-100.01 の計算方法を基本に、(1)漏話減衰量の違い、(2)ケーブル材質の違い、(3)TDD 型漏話雑音の時間平均化 による効果を検証した。また、DSL 作業班資料 DSL7-2 では計算で使用するキャリア搭載最大ビット数を 8 にしていたが、本資料では 12、14、15 として計算した結果を追加している。

2. 計算モデルとラボ実験構成

2.1 評価線路

計算及び実験に使用する評価線路としては、表 1-1 の 4 条件を仮定。

表 1-1 評価線路

条件	ケーブルの種類	計算モデル	実験モデル	漏話減衰量
1	0.4mm 紙	与干渉回線：同一カッド含む 24 回線、99%累積値	与干渉回線：同一カッド含む 24 回線、99%累積値 <u>擬似線路、擬似雑音使用</u>	計算、実験共に以下の値を使用 NPSL=47.0dB(@160kHz, 線路長 1km) FPSL=45.0dB(@160kHz, 線路長 1km) 出展：JJ-100.01、G.996.1
2	0.4mm 紙	与干渉回線：同一カッド内 1 回線、平均値	与干渉回線：同一カッド内 1 回線、平均値 <u>擬似線路、擬似雑音使用</u>	計算、実験共に以下の値を使用 NPSL=61.5dB(@160kHz, 線路長 1km) FPSL=64.9dB(@160kHz, 線路長 1km) 出展：JJ-100.01、G.996.1
3	0.4mmCCP	与干渉回線：同一カッド含む 24 回線、99%累積値	与干渉回線：同一カッド含む 24 回線、99%累積値 <u>擬似線路、擬似雑音使用</u>	計算、実験共に以下の値を使用 NPSL=49.5dB(@160kHz, 線路長 1km) FPSL=51.0dB(@160kHz, 線路長 1km) 出展：G.996.1
4	0.4mmCCP	与干渉回線：同一カッド内 1 回線、平均値	与干渉回線：同一カッド内 1 回線 <u>実ケーブルの同一カッド内回線にモデム信号を伝送</u>	計算には以下の値を使用 NPSL=62.1dB(@160kHz, 線路長 1km) FPSL=66.9dB(@160kHz, 線路長 1km) 出展：文献(小島他、通研実報、20、No.7、1971)の平均値使用(但し 160kHz の測定値無く、100kHz と 300kHz の値から近似) 実験では実ケーブルの同一カッド内で実際に漏話を発生

実験構成を、図 1-1、図 1-2 に示す。

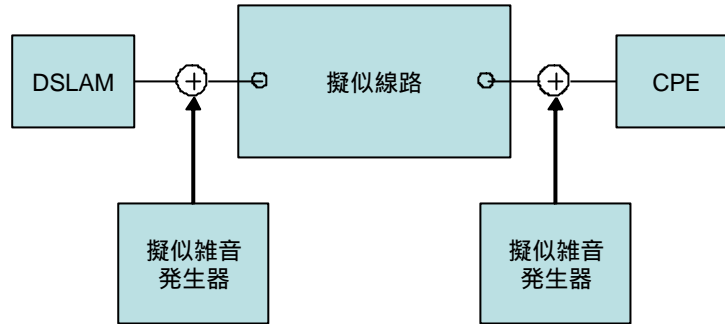


図 1-1 擬似線路を使用した実験構成

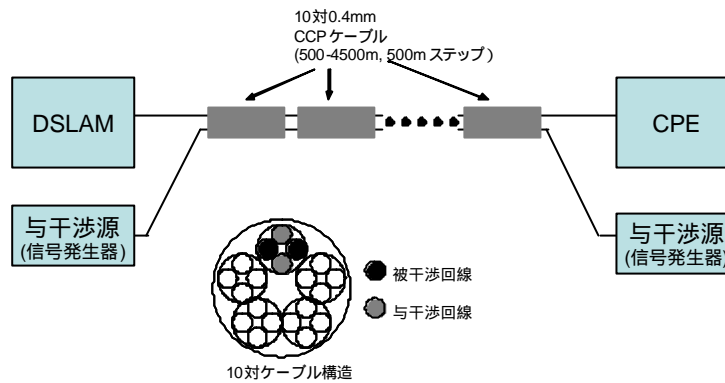


図 1-2 実ケーブルを使用した実験構成

2.2 ADSL 性能計算パラメータと実機の違い

被干渉回線である ADSL モデムは、FDM 方式の G.992.1 Annex A, Annex C を使用。計算に使用したパラメータは、JJ-100.01 に準拠している。一方、実際の機器では、多くのパラメータは標準に許容される範囲で選択可能であることに加え、性能に影響を及ぼす要因が幾つかある。表 2-1 に、ADSL 性能計算モデル(JJ-100.01 準拠)と実際の機器を比較する。

表 2-1 ADSL 性能計算モデルと実際の機器の比較

項目	JJ-100.01 計算モデル		実際の機器		単位
	上り	下り	上り	下り	
送信 PSD	-38	-40	-38 ± 3.5	-40 ± 3.5	dBm/Hz
コーディングゲイン	3		実装依存		dB
ノイズマージン	4	6	4 以上	6 以上	dB
使用サブキャリア上限	31	255	31 以下	255 以下	
使用サブキャリア下限	6	33	6 以上	33 以上	
キャリア搭載最小ビット数	2	2	2	2	
キャリア搭載最大ビット数	8	8	8 ~ 15	8 ~ 15	
伝送速度	ラインデータレート		ネットデータレート (オーバーヘッド、誤り訂正による損失あり)		
入出力ダイナミックレンジ	無限大		有限		
フィルタによる信号歪	なし		あり		
イコライザ性能	理想的		実装依存		

2.3 与干渉源

雑音条件として、次の4条件を使用。

- ・ 干渉なし
- ・ 干渉源：FDM-ADSL
- ・ 干渉源：EC-ADSL(フルオーバーラップ)
- ・ 干渉源：TCM-ISDN

また、TCM - ISDN に関しては、Annex A モデムに与える影響を計算で過大に見積もっている可能性があるため、Annex A モデムのみ、以下のように条件を変えて伝送速度を評価した。

<計算>

NEXT 時の高レベル雑音が全時間継続 (従来 of 計算条件)

NEXT と FEXT を時間平均 (NEXT より 3.3dB 低い雑音が全時間連続)

<実験>

NEXT と FEXT が交互に発生 (実際の漏話雑音)

NEXT と FEXT を時間平均 (NEXT より 3.3dB 低い雑音が全時間連続)

2.4 実験に使用した装置

<被干渉側装置>

DSLAM: G.992.1 Annex A, non-overlap, 8Mbps max

DSLAM: G.992.1 Annex C, non-overlap, 8Mbps max

CPE: G.992.1 Annex A, non-overlap, 8Mbps max

CPE: G.992.1 Annex C, non-overlap, 8Mbps max

干渉源のない状態で、Annex A 回線と Annex C 回線の下り伝送速度がほぼ同等となる製品を選んだ。結果的に、複数の装置メーカー、複数のチップメーカーの製品を含んでいる。

<与干渉源>

表 1-1 の条件 4 では、実ケーブルを使用して、カッド内のペアに干渉源となる伝送方式を収容している。本実験では、干渉源として実際の ISDN 装置や ADSL 装置を使用せず、それぞれの伝送方式の出力を模擬した信号を注入。これによって、干渉源の信号レベルや送出タイミングを適性に調整可能となった。

3. 漏話雑音印加時の ADSL 伝送速度

(1) 条件 1: 0.4mm 紙絶縁、同一カッド含む 24 回線、99% 累積値

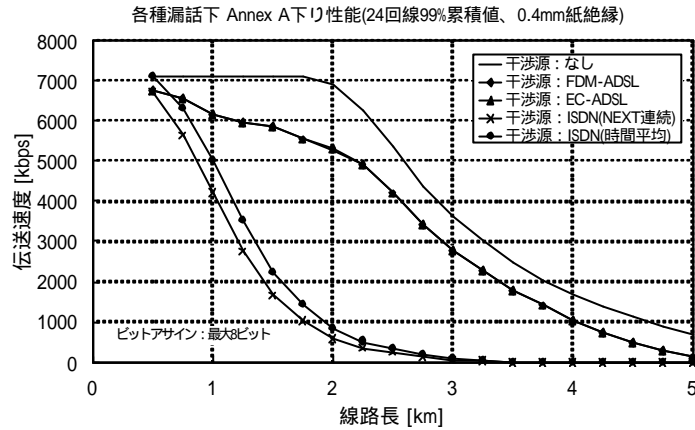


図 3-1 Annex A 下り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

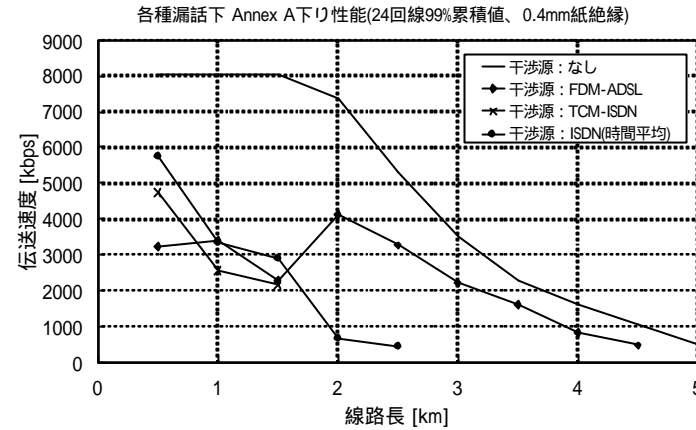


図 3-2 Annex A 下り実験結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

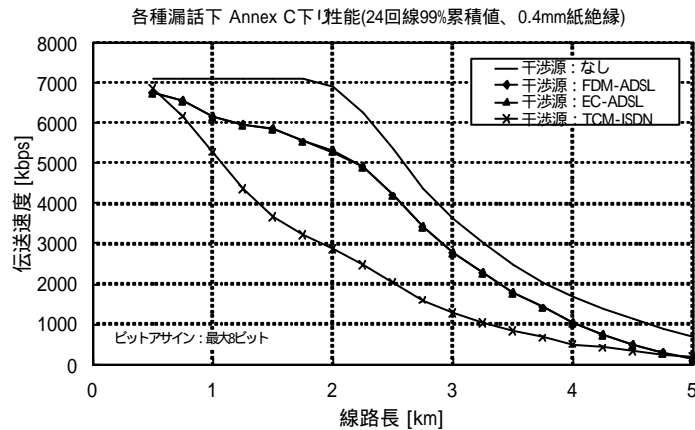


図 3-3 Annex C 下り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

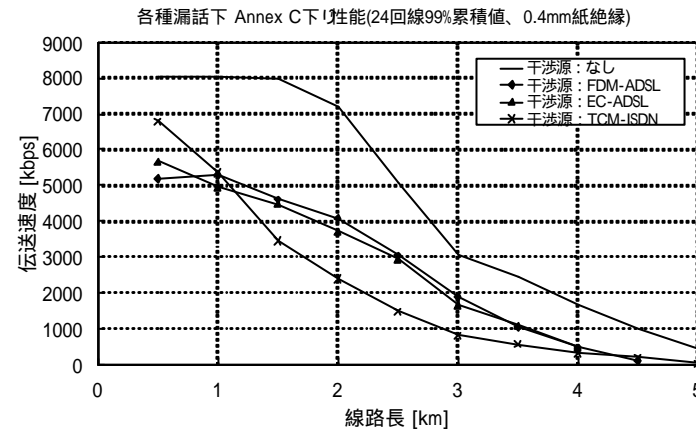


図 3-4 Annex C 下り実験結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

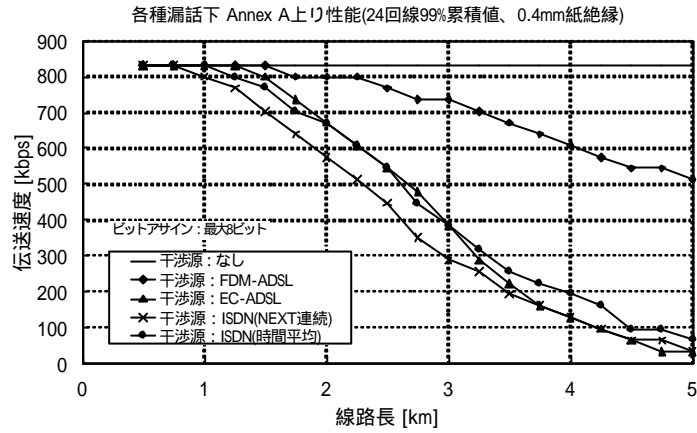


図 3-5 Annex A 上り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

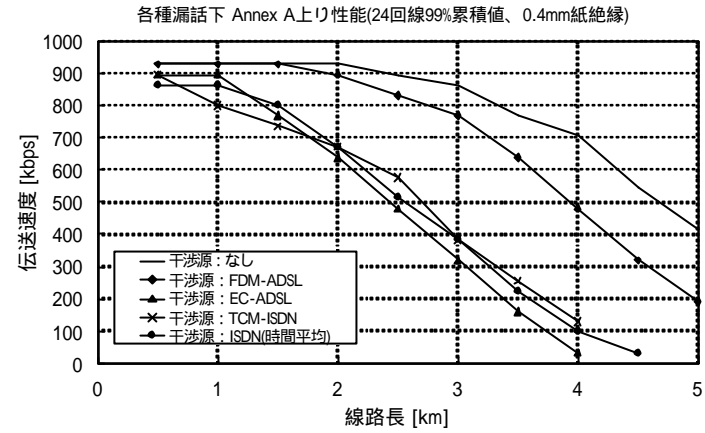


図 3-6 Annex A 上り実験結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

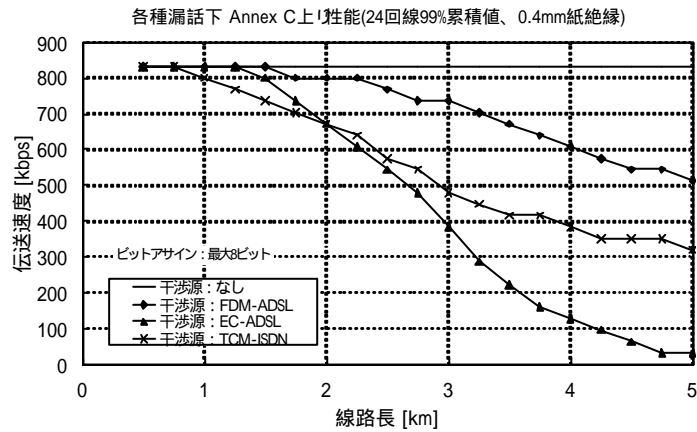


図 3-7 Annex C 上り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

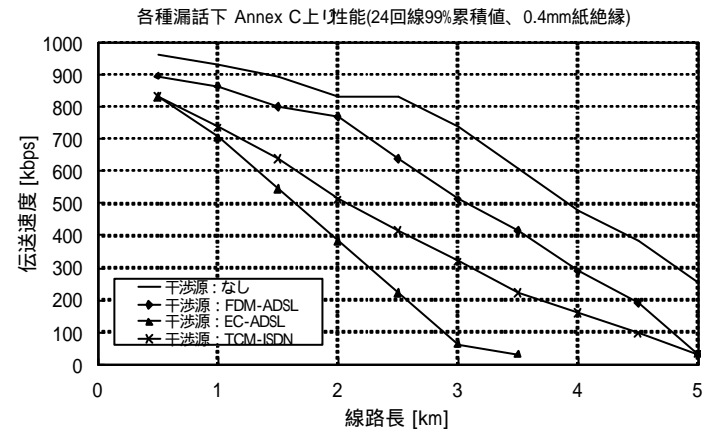


図 3-8 Annex C 上り実験結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

(2) 条件 2: 0.4mm 紙絶縁、同一カッド1回線、平均値

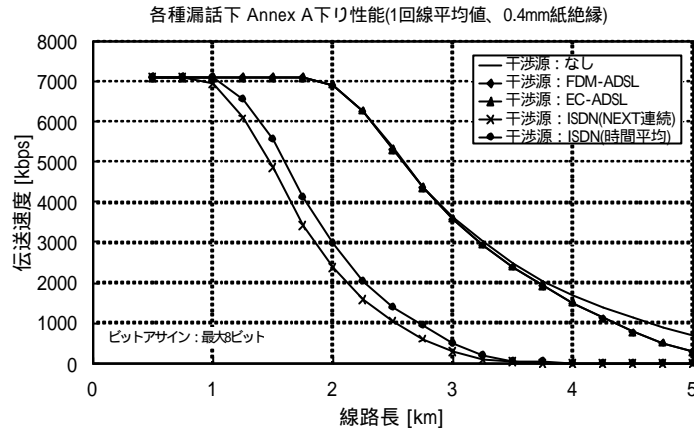


図 3-9 Annex A 下り計算結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

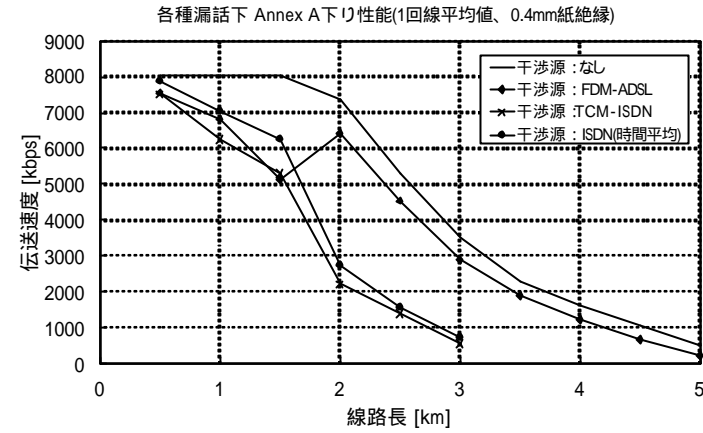


図 3-10 Annex A 下り実験結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

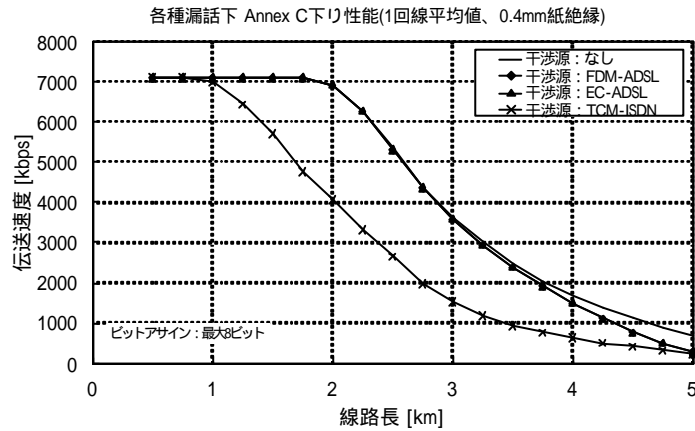


図 3-11 Annex C 下り計算結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

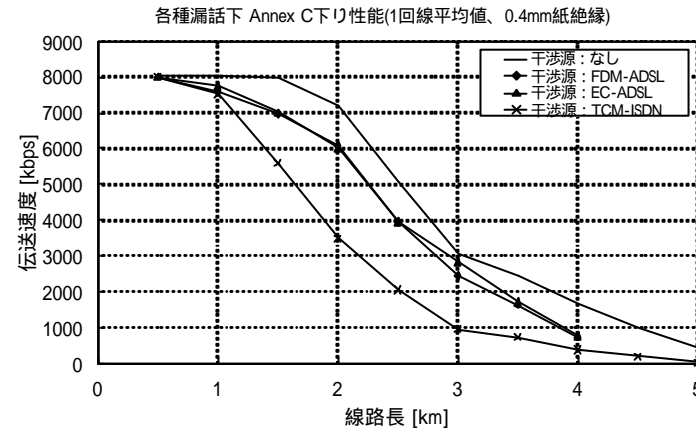


図 3-12 Annex C 下り実験結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

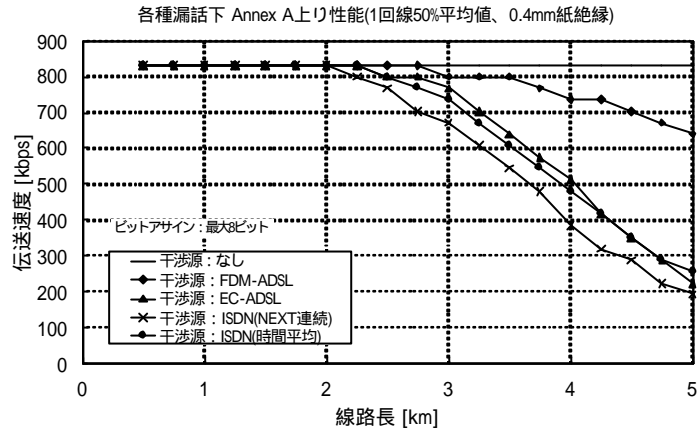


図 3-13 Annex A 上り計算結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

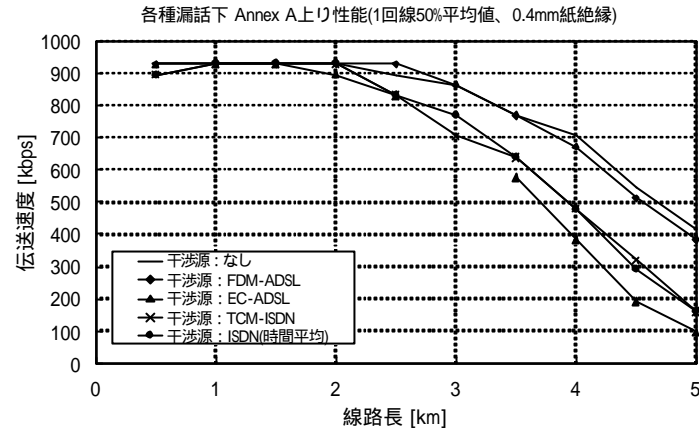


図 3-14 Annex A 上り実験結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

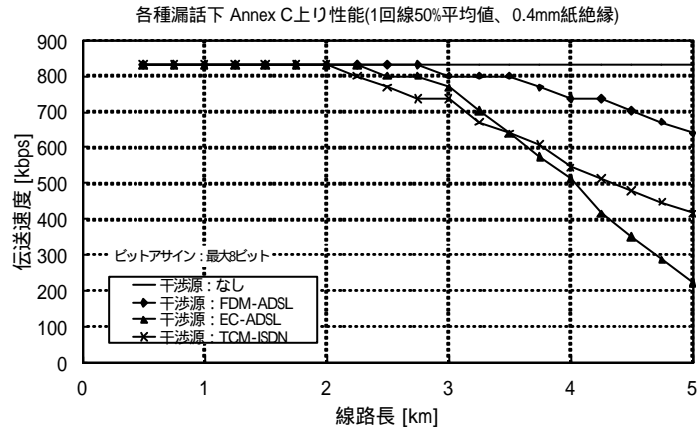


図 3-15 Annex C 上り計算結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

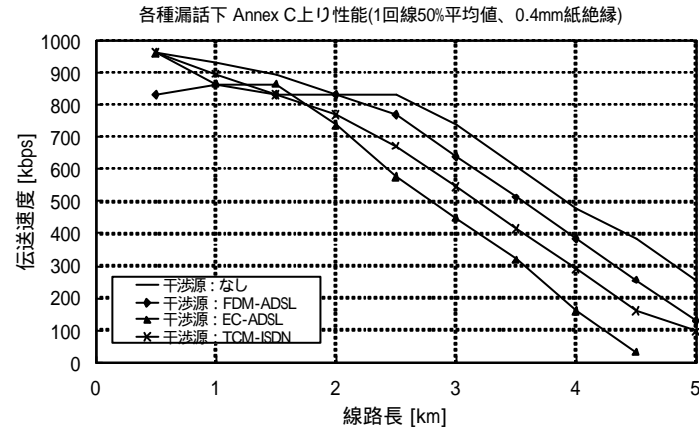


図 3-16 Annex C 上り実験結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

(3) 条件 3: 0.4mm CCP、同一カード含む 24 回線、99% 累積値

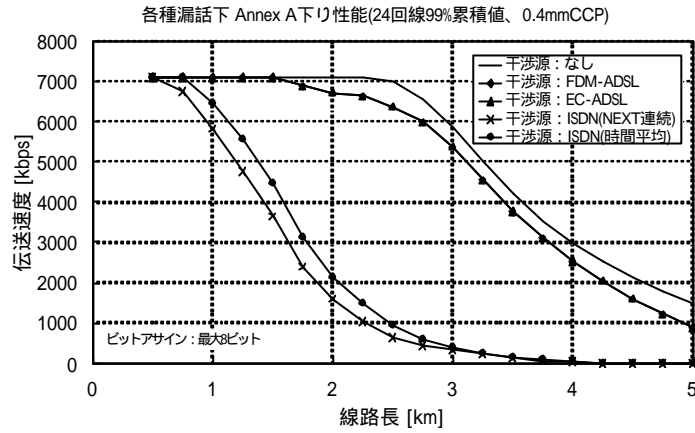


図 3-17 Annex A 下り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

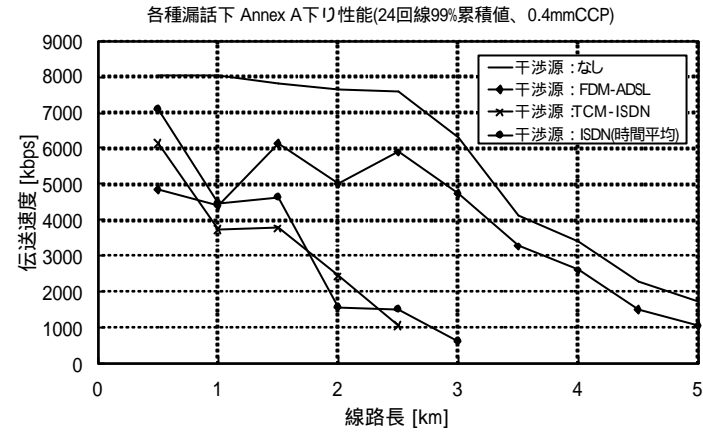


図 3-18 Annex A 下り実験結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

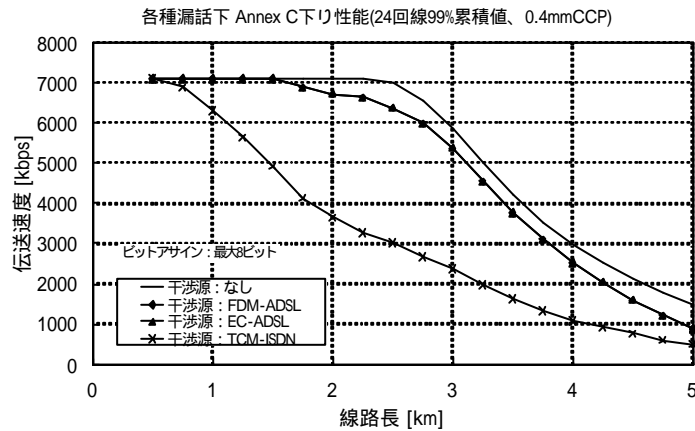


図 3-19 Annex C 下り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

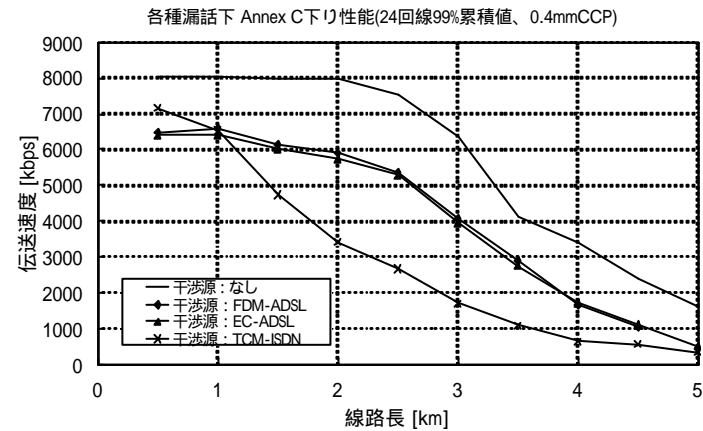


図 3-20 Annex C 下り実験結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

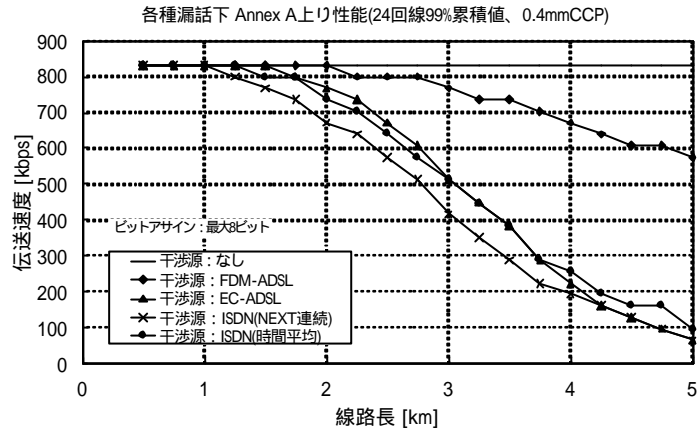


図 3-21 Annex A 上り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

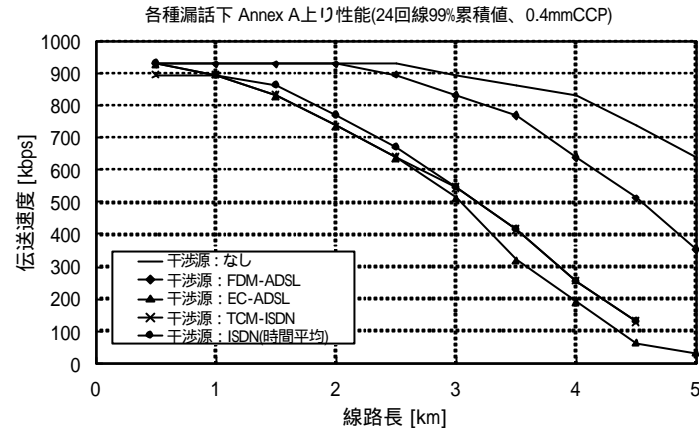


図 3-22 Annex A 上り実験結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

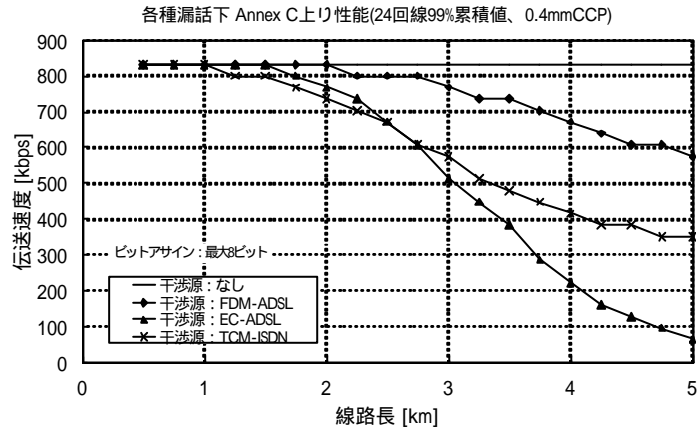


図 3-23 Annex C 上り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

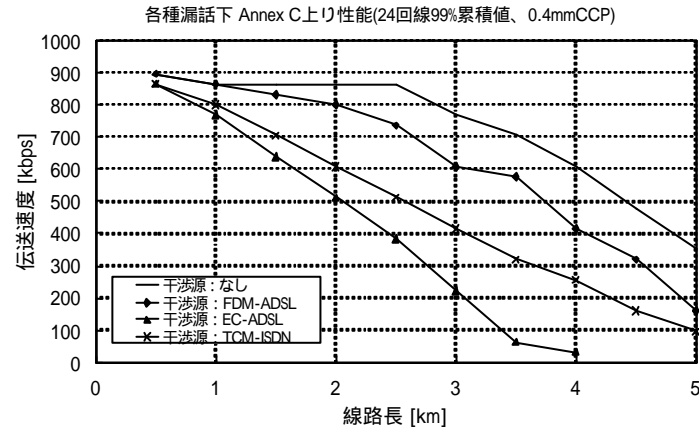


図 3-24 Annex C 上り実験結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

(4) 条件 4: 0.4mm CCP、同一カッド 1 回線、平均値 (実験は実ケーブル)

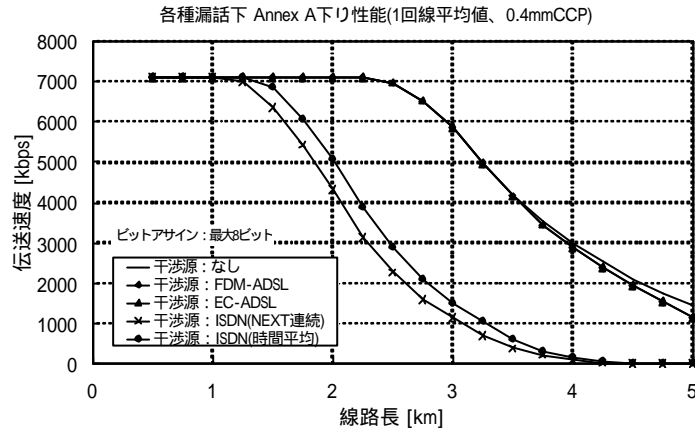


図 3-25 Annex A 下り計算結果 (1 回線平均値、0.4mmCCP)

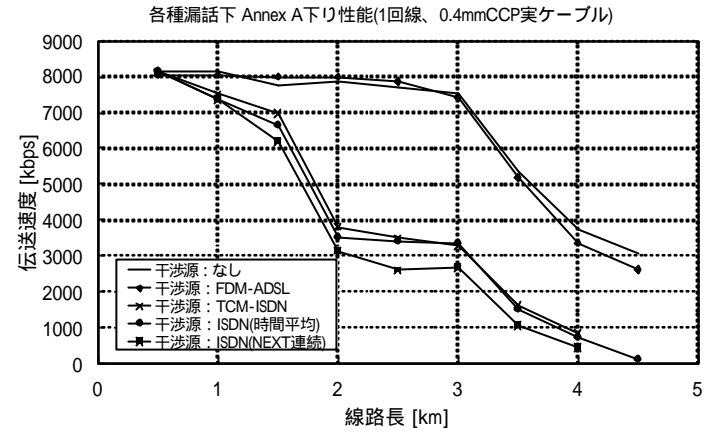


図 3-26 Annex A 下り実験結果 (1 回線、0.4mmCCP 実ケーブル)

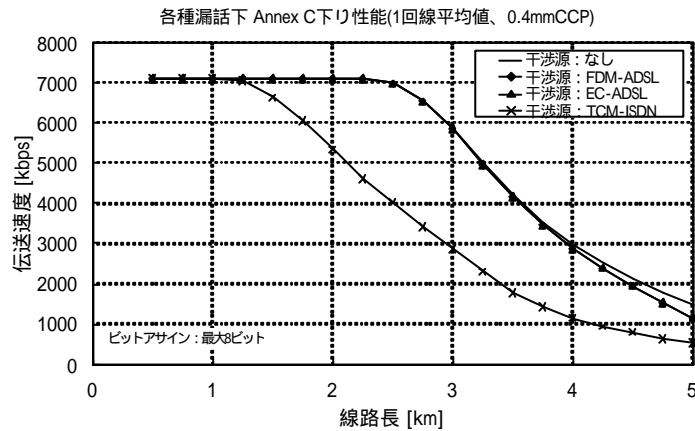


図 3-27 Annex C 下り計算結果 (1 回線平均値、0.4mmCCP)

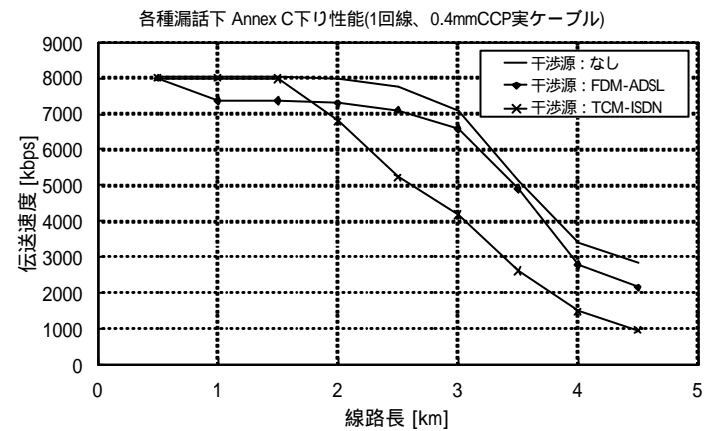


図 3-28 Annex C 下り実験結果 (1 回線、0.4mmCCP) 実ケーブル

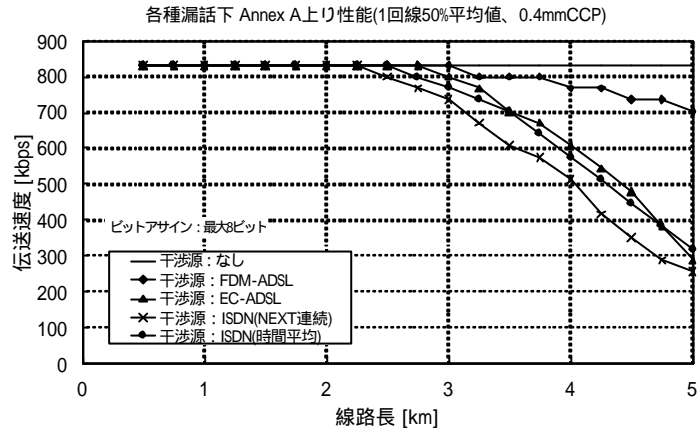


図 3-29 Annex A 上り計算結果 (1 回線平均値、0.4mmCCP)

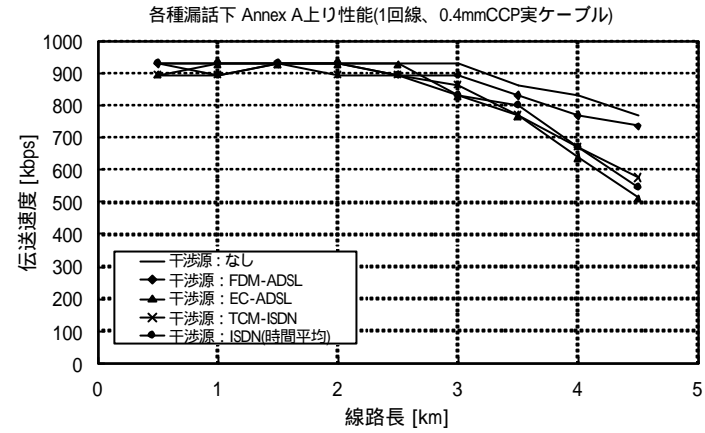


図 3-30 Annex A 上り実験結果 (1 回線、0.4mmCCP 実ケーブル)

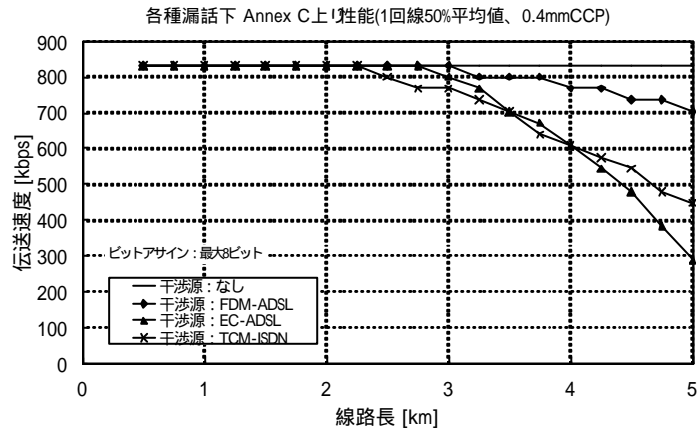


図 3-31 Annex C 上り計算結果 (1 回線平均値、0.4mmCCP)

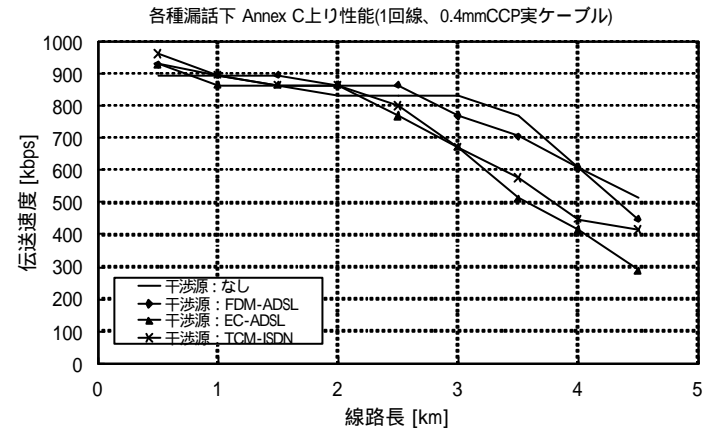


図 3-32 Annex C 上り実験結果 (1 回線、0.4mmCCP 実ケーブル)

4. キャリア搭載最大ビット数を変更した場合の計算結果

(1) 条件 1: 0.4mm 紙絶縁、同一カッド含む 24 回線、99% 累積値

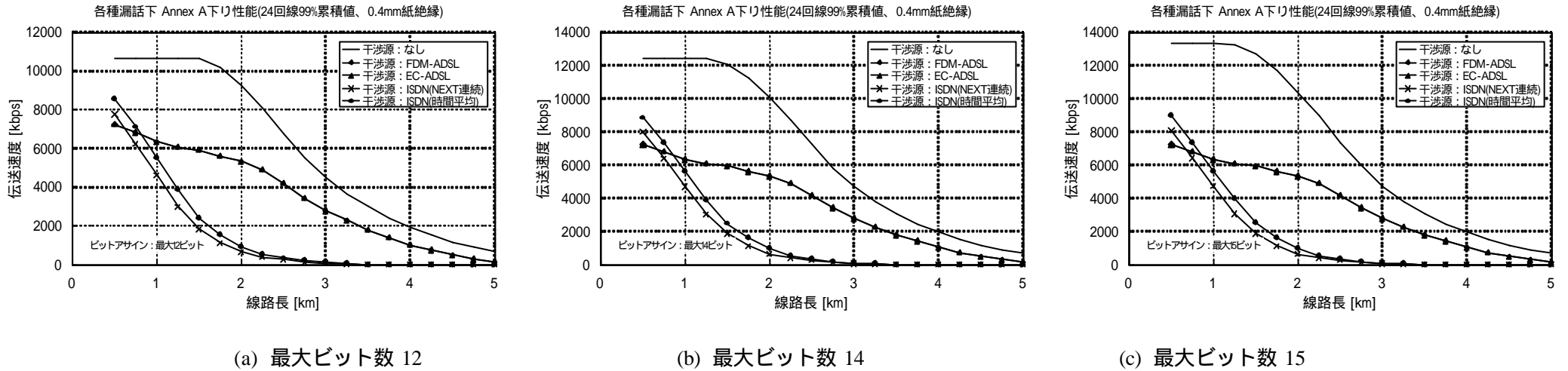


図 4-1 Annex A 下り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

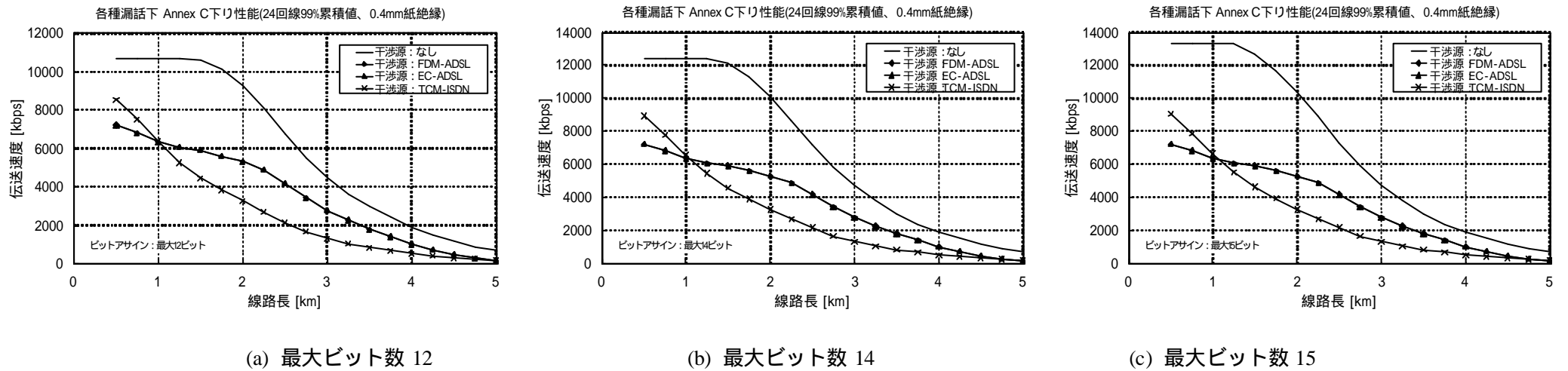
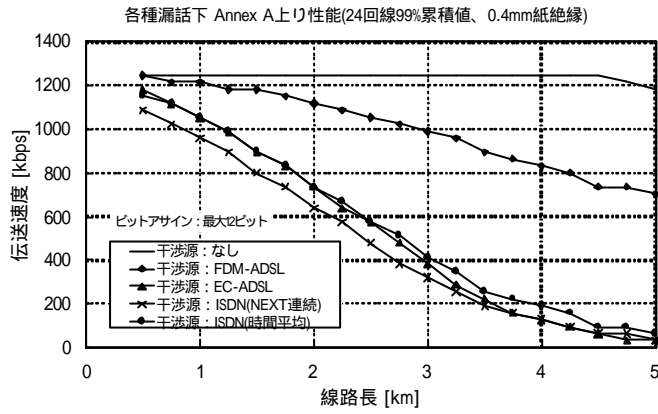
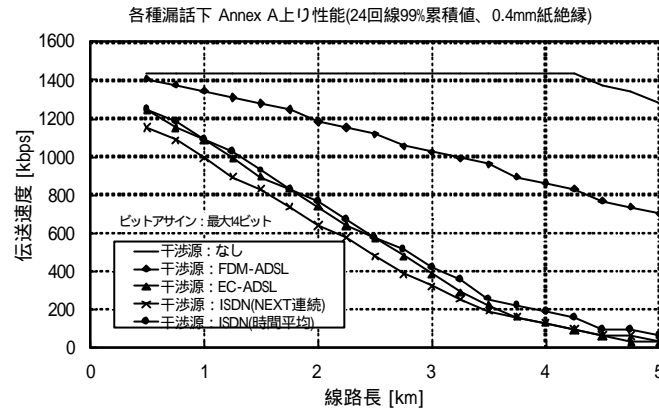


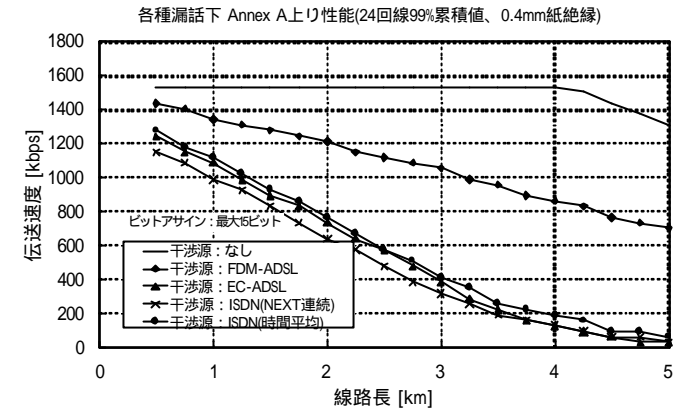
図 4-2 Annex C 下り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)



(a) 最大ビット数 12

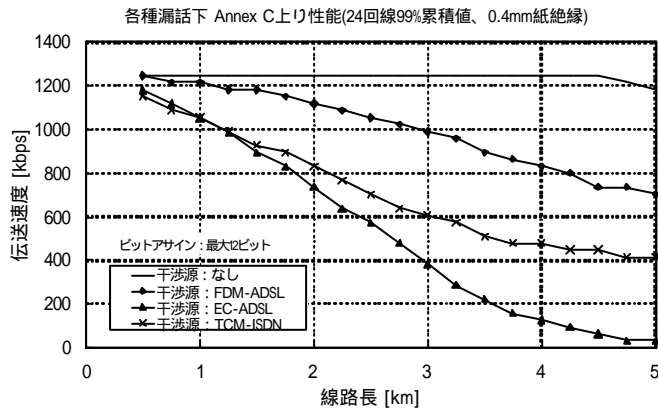


(b) 最大ビット数 14

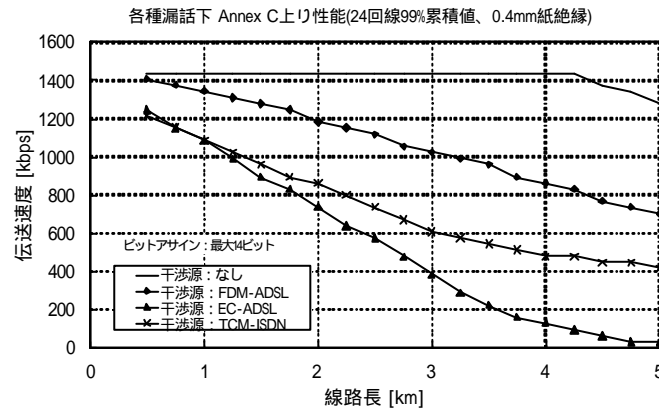


(c) 最大ビット数 15

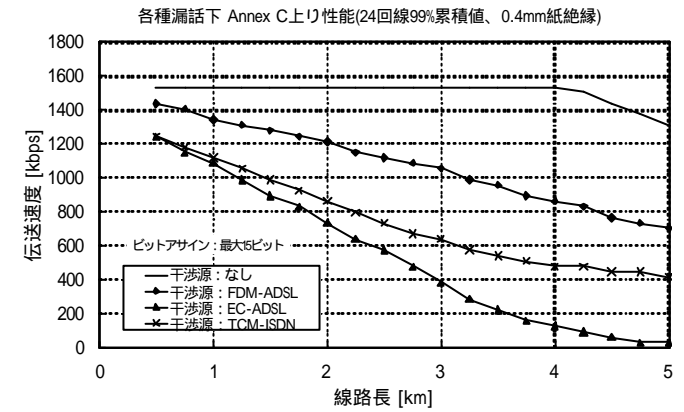
図 4-3 Annex A 上り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)



(a) 最大ビット数 12



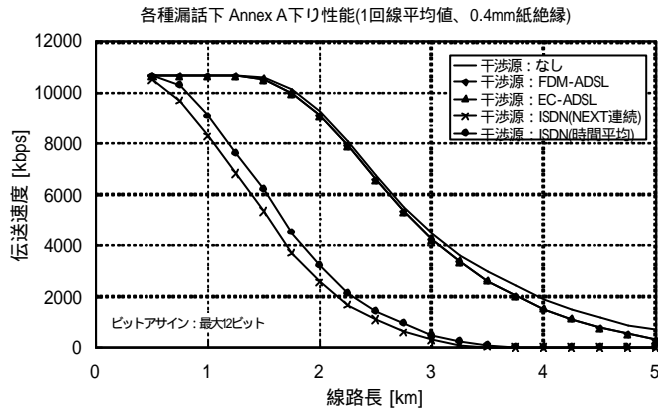
(b) 最大ビット数 14



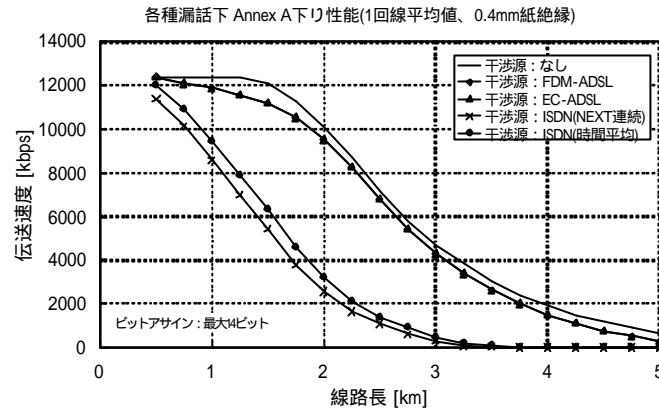
(c) 最大ビット数 15

図 4-4 Annex C 上り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mm 紙絶縁)

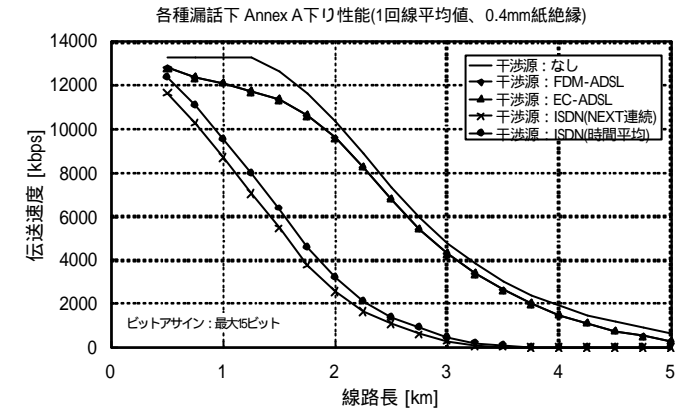
(2) 条件 2: 0.4mm 紙絶縁、同一カッド1回線、平均値



(a) 最大ビット数 12

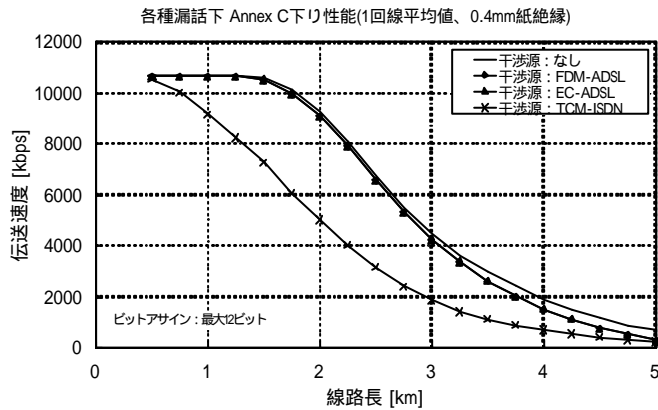


(b) 最大ビット数 14

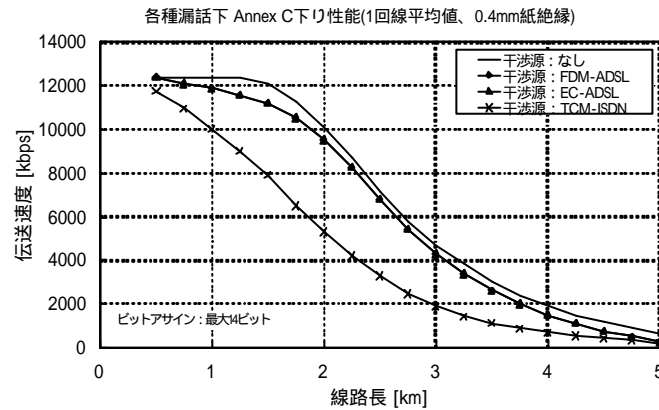


(c) 最大ビット数 15

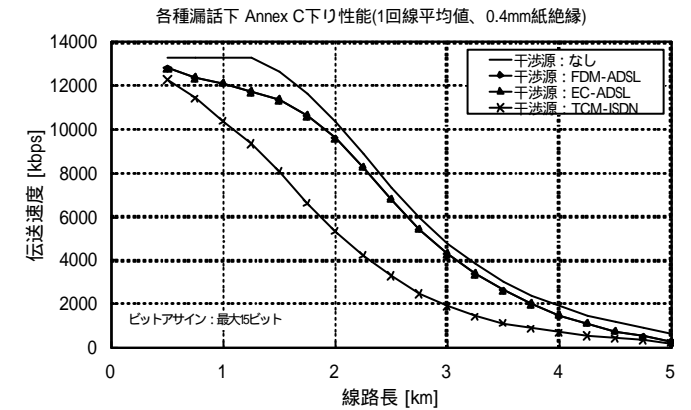
図 4-5 Annex A 下り計算結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)



(a) 最大ビット数 12

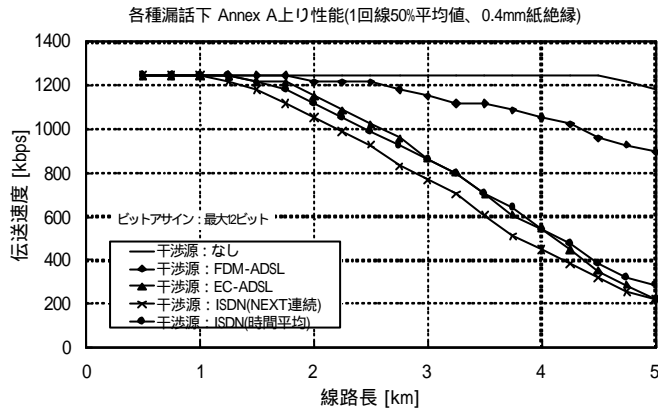


(b) 最大ビット数 14

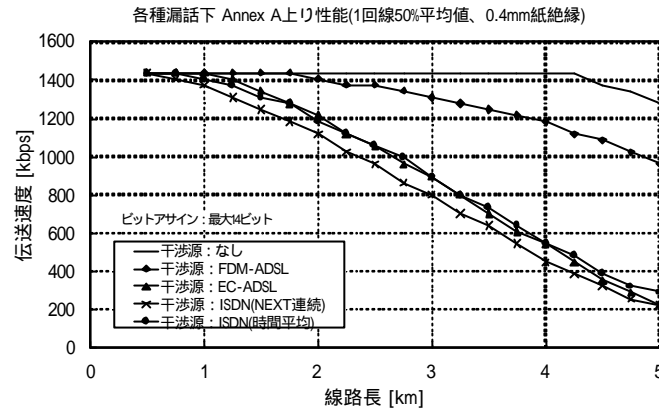


(c) 最大ビット数 15

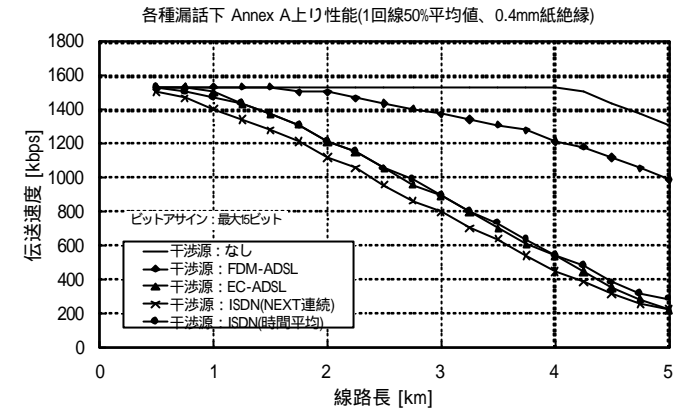
図 4-6 Annex C 下り計算結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)



(a) 最大ビット数 12

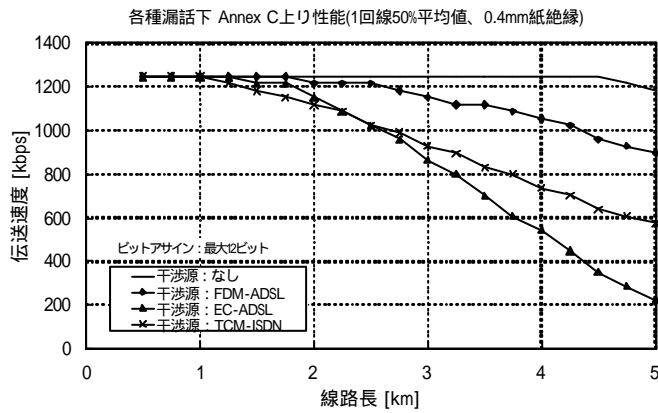


(b) 最大ビット数 14

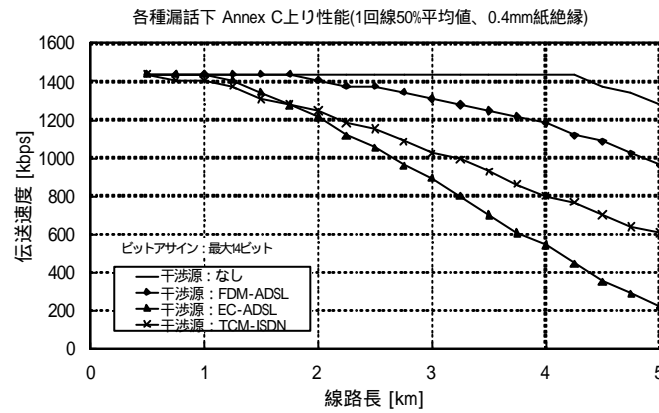


(c) 最大ビット数 15

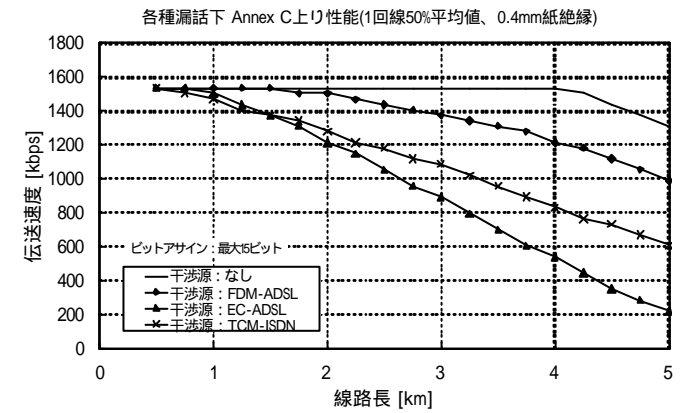
図 4-7 Annex A 上り計算結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)



(a) 最大ビット数 12



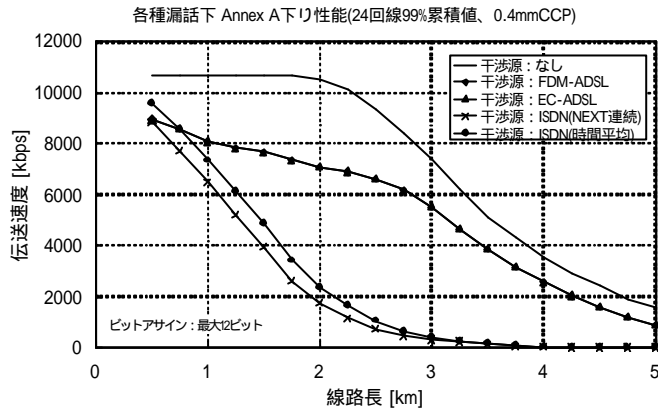
(b) 最大ビット数 14



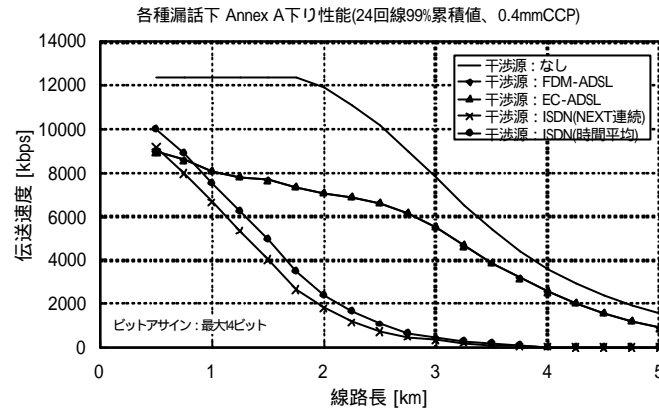
(c) 最大ビット数 15

図 4-8 Annex C 上り計算結果 (1 回線平均値、0.4mm 紙絶縁)

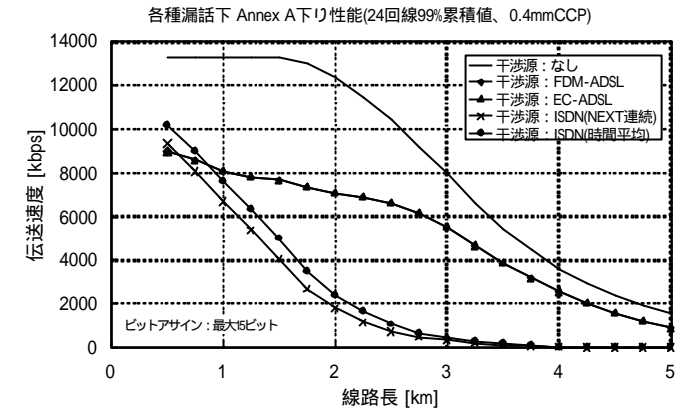
(3) 条件 3: 0.4mm CCP、同一カッド含む 24 回線、99% 累積値



(a) 最大ビット数 12

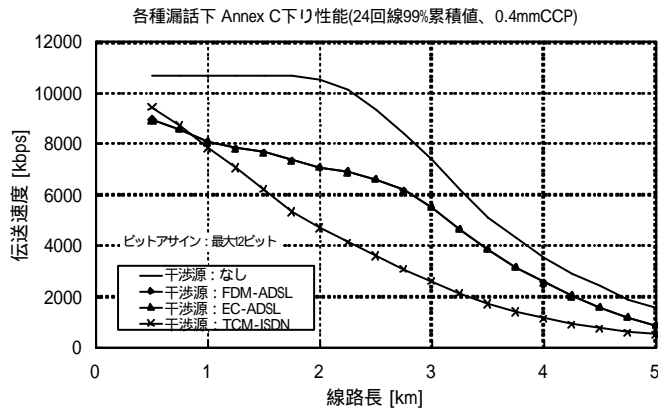


(b) 最大ビット数 14

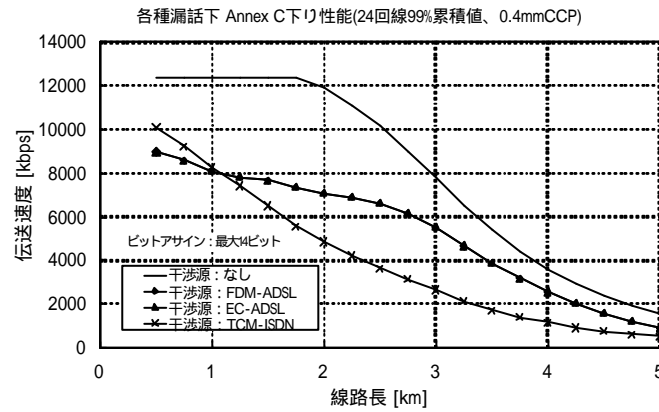


(c) 最大ビット数 15

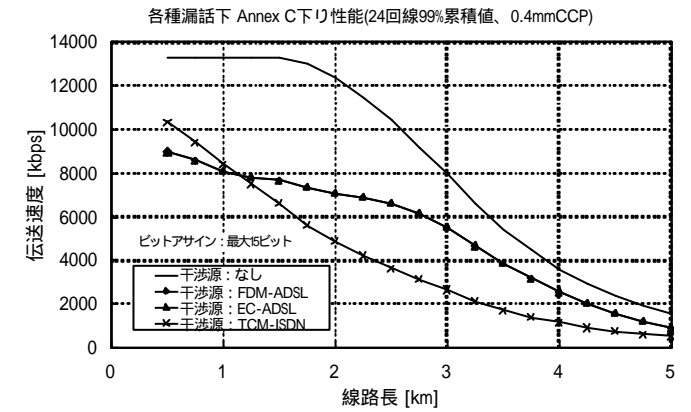
図 4-9 Annex A 下り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)



(a) 最大ビット数 12

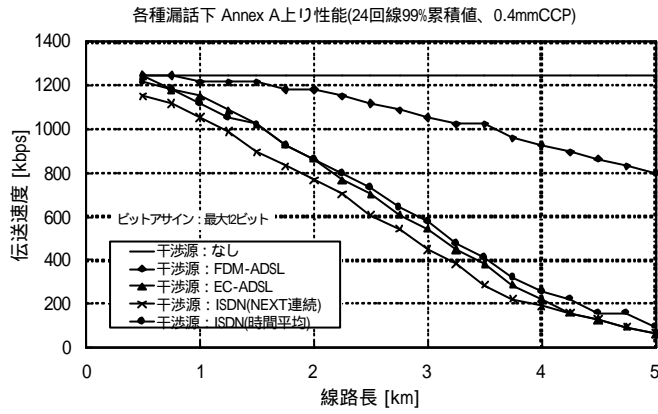


(b) 最大ビット数 14

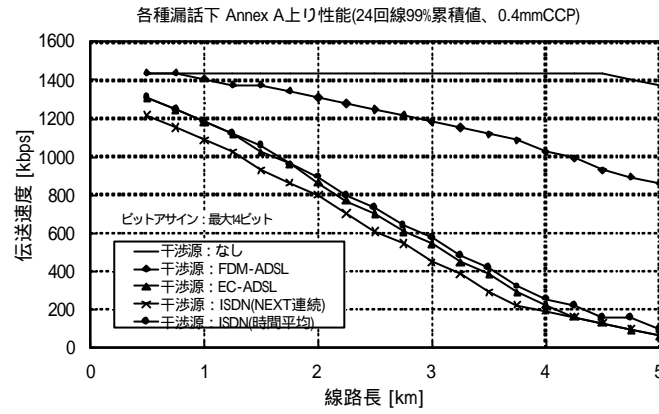


(c) 最大ビット数 15

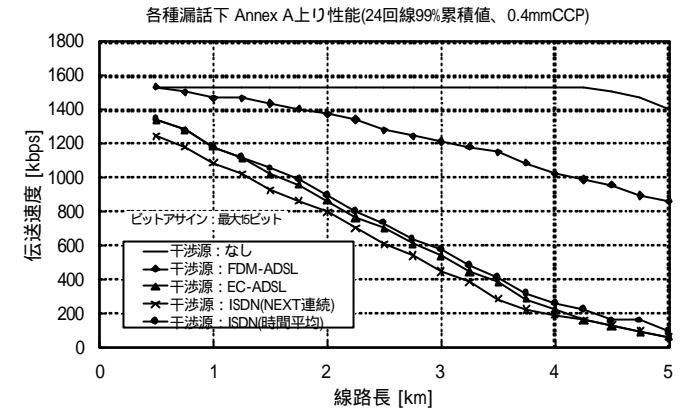
図 4-10 Annex C 下り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)



(a) 最大ビット数 12

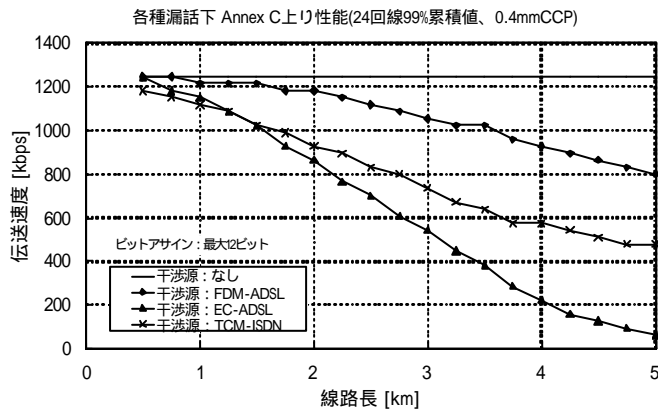


(b) 最大ビット数 14

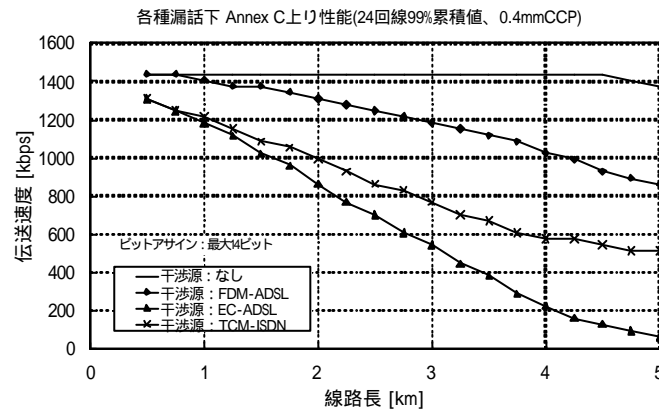


(c) 最大ビット数 15

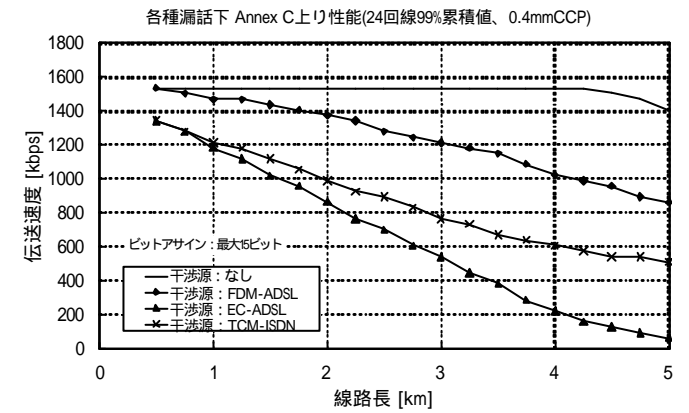
図 4-11 Annex A 上り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)



(a) 最大ビット数 12



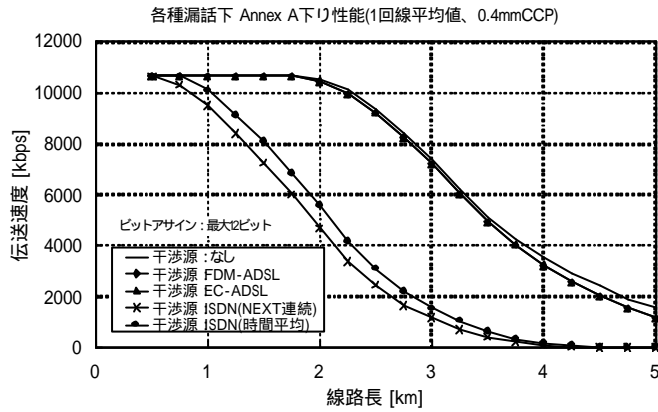
(b) 最大ビット数 14



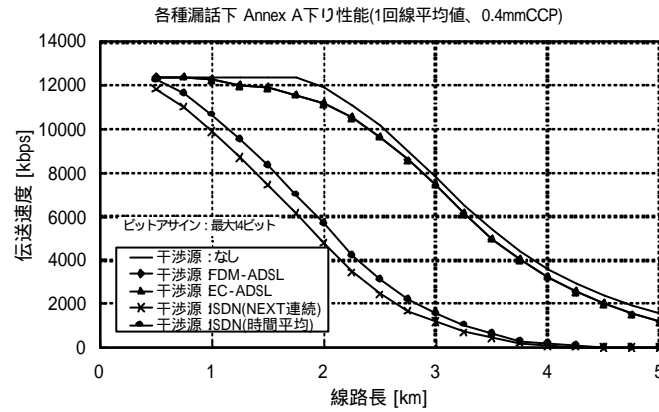
(c) 最大ビット数 15

図 4-12 Annex C 上り計算結果 (24 回線 99% 累積値、0.4mmCCP)

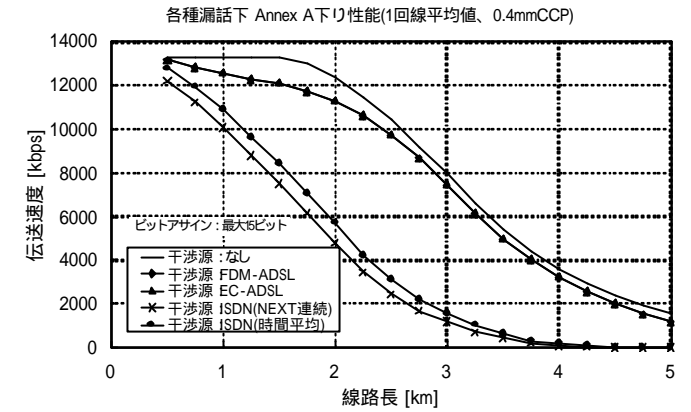
(4) 条件 4: 0.4mm CCP、同一カッド 1 回線、平均値 (実験は実ケーブル)



(a) 最大ビット数 12

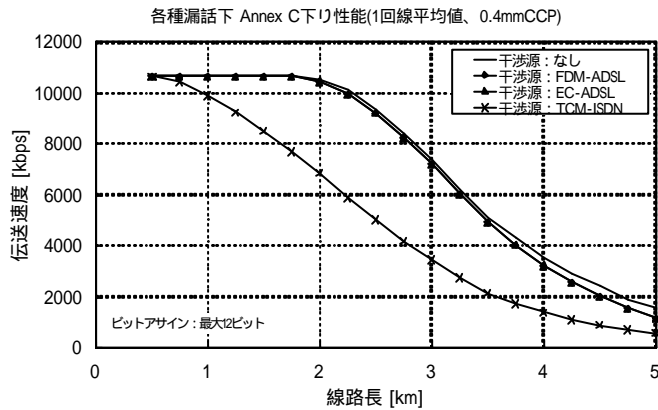


(b) 最大ビット数 14

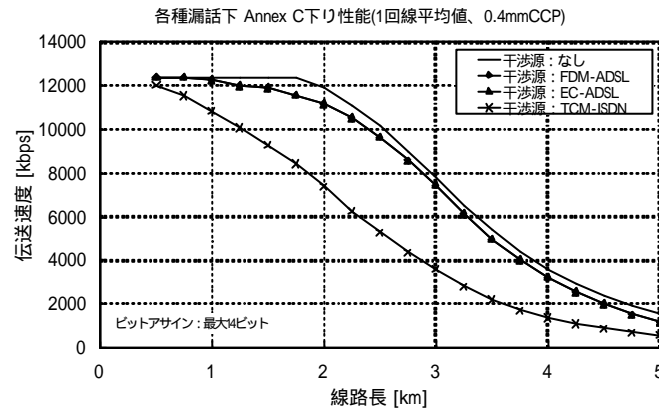


(c) 最大ビット数 15

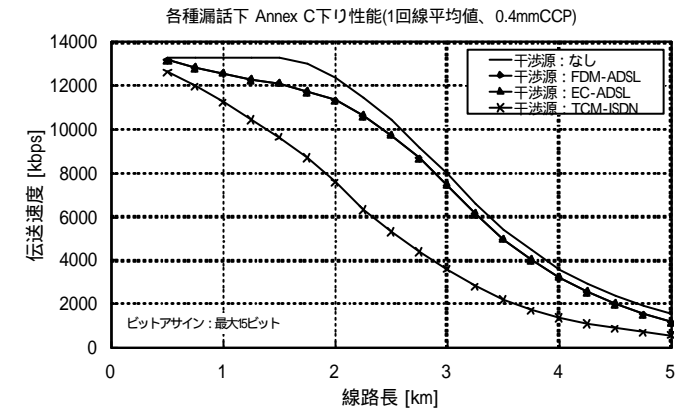
図 4-13 Annex A 下り計算結果 (1 回線平均値、0.4mmCCP)



(a) 最大ビット数 12

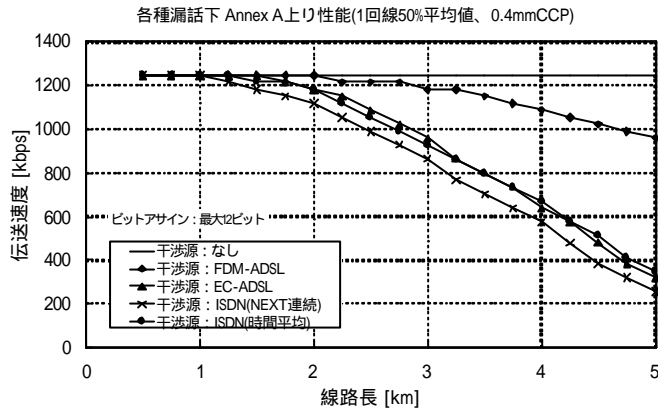


(b) 最大ビット数 14

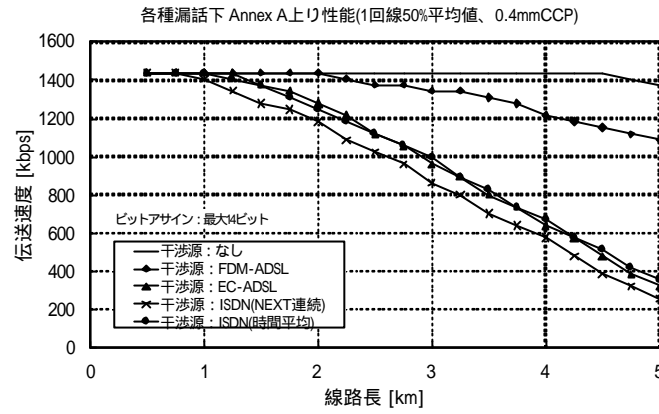


(c) 最大ビット数 15

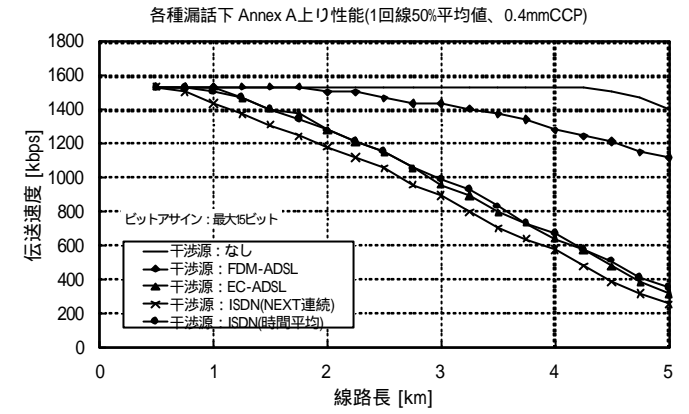
図 4-14 Annex C 下り計算結果 (1 回線平均値、0.4mmCCP)



(a) 最大ビット数 12

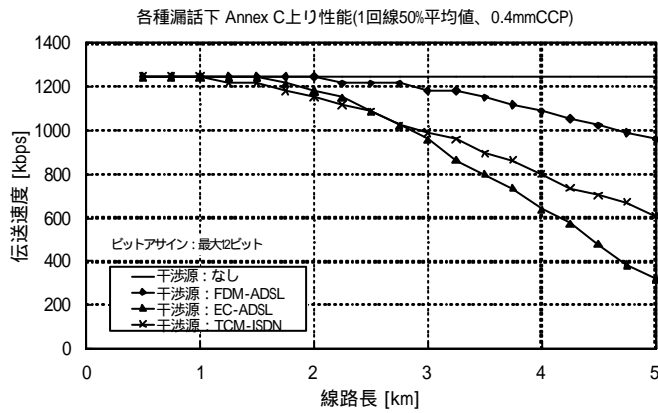


(b) 最大ビット数 14

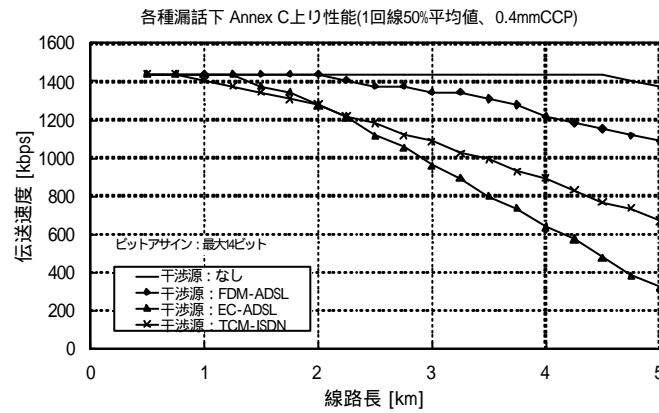


(c) 最大ビット数 15

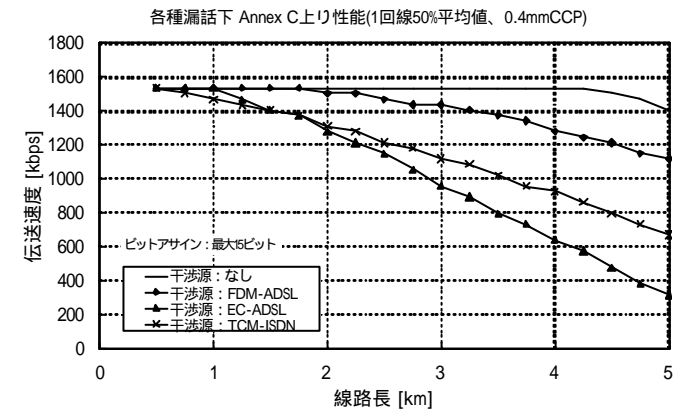
図 4-15 Annex A 上り計算結果 (1 回線平均値、0.4mmCCP)



(a) 最大ビット数 12



(b) 最大ビット数 14



(c) 最大ビット数 15

図 4-16 Annex C 上り計算結果 (1 回線平均値、0.4mmCCP)

5. まとめ

5.1 計算手法に関して

JJ-100.01 の計算方法を基本に、(1)漏話減衰量の違い、(2)ケーブル材質の違い、(3)TDD 型漏話雑音の時間平均化 による効果を、計算と実験により検証した。また、計算で使用するキャリア搭載最大ビット数を、12、14、15 とした場合の計算も実施した。

伝送速度に関しては、実装に依存する部分や、実機における性能劣化要因によって、絶対値としては計算と実測が必ずしも一致するものではない。更に、今回の実験では、Annex A 装置の下り側において、2km 以下で予想以上の速度低下が見られており、今回使用した機器固有の特性が強く出ている部分もある。これらを考慮してデータをながめると、干渉源の種類と伝送速度の相対的な関係において、以下の傾向があることがわかる。

計算において各キャリアに搭載する最大ビット数を 8 ビットにした場合、干渉なしの場合の下り伝送速度は、今回の実験に使用した装置の実測値に比較的近い(ページ 4, 6, 8, 10 で干渉源なしの曲線を計算と実測で比較)。

計算における最大ビット数を 14、15 にした場合を、今回の実験に使用した装置の実測値と比較すると、絶対値は計算の方が高めにしているが、干渉源が FDM-ADSL、EC-ADSL、TCM-ISDN の場合の伝送速度は、条件 1-3 において計算と実測値がほぼ相似形になっている(図 3-2 と図 4-1(b)&(c)、図 3-4 と図 4-2(b)&(c)、.....、図 3-24 と図 4-12(b)&(c))。

条件 4 の実ケーブルを使用した実測値は、最大ビット数を 14、15 にした場合の計算値の相似形になっているとは言い難い。実験に使用したケーブルの近端漏話減衰量は、図 5-1 のように 500m 毎のセグメントで異なる特性を持っており、これが実際の伝送速度にも影響している可能性がある。

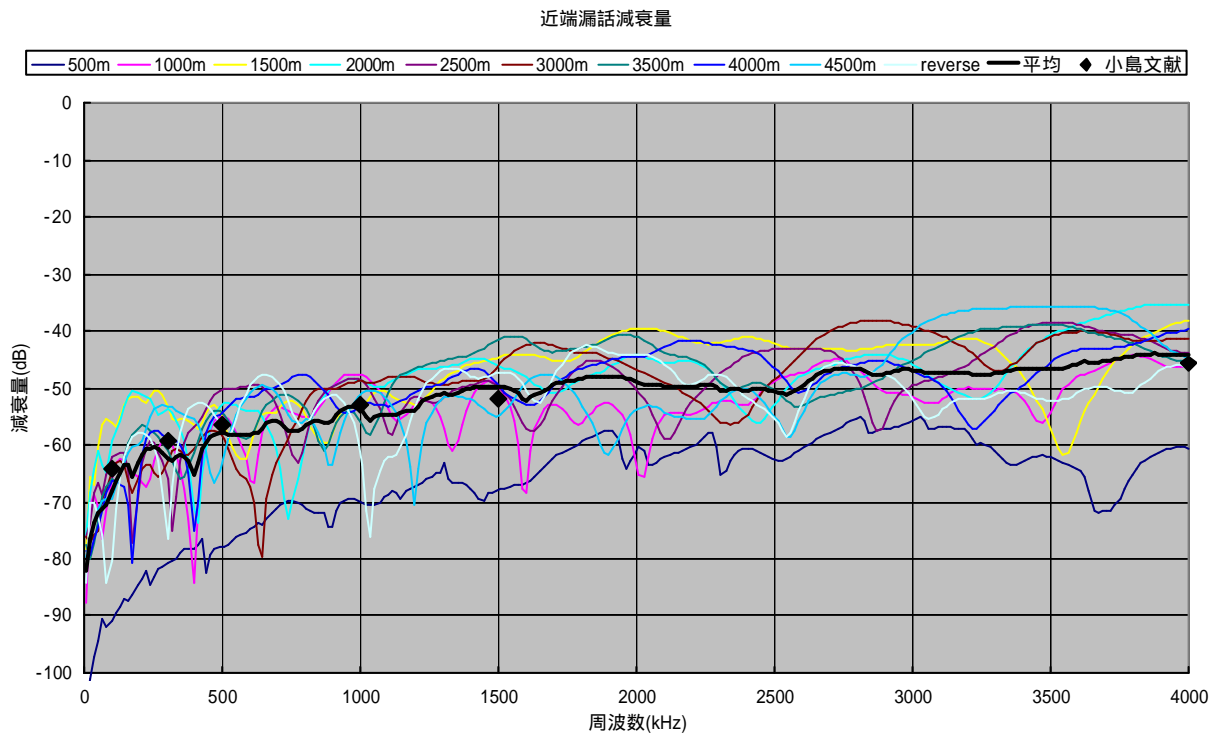


図 5-1 実験に使用したケーブルの近端漏話減衰量

5.2 干渉による影響

(1) TCM-ISDN が G.992.1 Annex A、Annex C に与える影響

TCM-ISDN が干渉源である場合に、今回の実験に使用した G.992.1 Annex A 装置が受ける影響は、バースト的に時間変化をする漏話雑音を時間平均化した雑音による影響とほぼ等しかった。スペクトル適合性の計算において、TCM-ISDN による漏話雑音は、Annex A のような非同期型の伝送方式に対して、雑音を時間平均化したモデルで計算する方が実測値に良く合うと考えられる。

TCM-ISDN からの干渉が存在する場合の下り伝送速度の低下は、計算と実測で傾向が良く合っている。条件 1 や条件 3 のような最悪ケースでない、条件 2 や条件 4 のような平均的な漏話特性を持つケーブルに TCM-ISDN が 1 回線のみ干渉源として存在する場合でも、Annex C の方が Annex A よりも TCM-ISDN からの干渉に強いことを示している。

(2) 干渉源の種類と ADSL 伝送速度の関係

(ア) ADSL 下り回線への影響

干渉源が EC-ADSL と FDM-ADSL の場合で ADSL 下り回線に与える影響に違いはない。 下りに関しては、ADSL 回線間の干渉は、近距離を除いて TCM-ISDN が ADSL に与える干渉より小さい。

(イ) ADSL 上り回線への影響

干渉源が EC-ADSL と FDM-ADSL の場合で ADSL 上り回線に与える影響を比較すると、EC-ADSL からの影響の方が明らかに大きい。

Annex A 上り回線に対する EC-ADSL からの影響は、実験結果からは、TCM-ISDN と比較して同等か、長い線路ではやや大きい(図 3-6,3-14,3-22,3-30)。 計算(TCM-ISDN の干渉は時間平均を使用)においても、最大ビット数が 12, 14, 15 の場合は実験と同じ傾向を示している(図 4-3,4-7,4-11,4-15)。

Annex C 上り回線に対する EC-ADSL からの影響は、総じて TCM-ISDN からの影響より大きい(図 3-7,3-8,3-15,3-16,3-23,3-24,3-31,3-32,4-4,4-8,4-12,4-16)。 条件 2 や条件 4 のような平均的な漏話特性を持つケーブルに干渉源が 1 回線のみ存在する場合でも、実験結果では 2km を超える線路長で両者の差は存在する。線路長が長くなるほど、またケーブルの漏話特性が悪くなるほど、両者の差は顕著である。この傾向は、実験と計算でよく一致している。

以上