

日付：2006年07月21日

提出元：NTT

題名：DPBO 上限周波数について

1. はじめに

FTTRシステムが、局設置VDSL2システムへ及ぼす干渉（下り）を、局設置VDSL2システム相互間の（下り）等レベル結合遠端漏話（収容制限無の条件）程度に抑えることが検討されている。このためには、FTTRシステムにDPBOを適用し、FTTRシステムの下り信号伝播レベルを、混在収容されるメタリック線路区間（き線点下部の架空配線線路）において、局設置VDSL2システムの下り信号伝播レベルと同一（等レベル結合遠端漏話）とすることが、適切である。この時、局設置VDSL2システムにおいてビットアサインできない高周波数においては、FTTRシステムにおけるDPBOを停止し、フルレベル送信とすることが、FTTRシステムの高速化に有利である。

本寄書では、このDPBO 上限周波数を検討した。

2. DPBO 概念説明図

図1から、FTTRシステムにDPBOを適用することにより、局設置VDSL2システム相互間の（下り）等レベル結合遠端漏話と同一の干渉状況を、FTTRシステムと局設置VDSL2システム間に実現できることが分かる。

ここで、的確なDPBO減衰量を、FTTRシステムのVTU-0に設定するためには、距離 r [m]を与えることが重要となる。

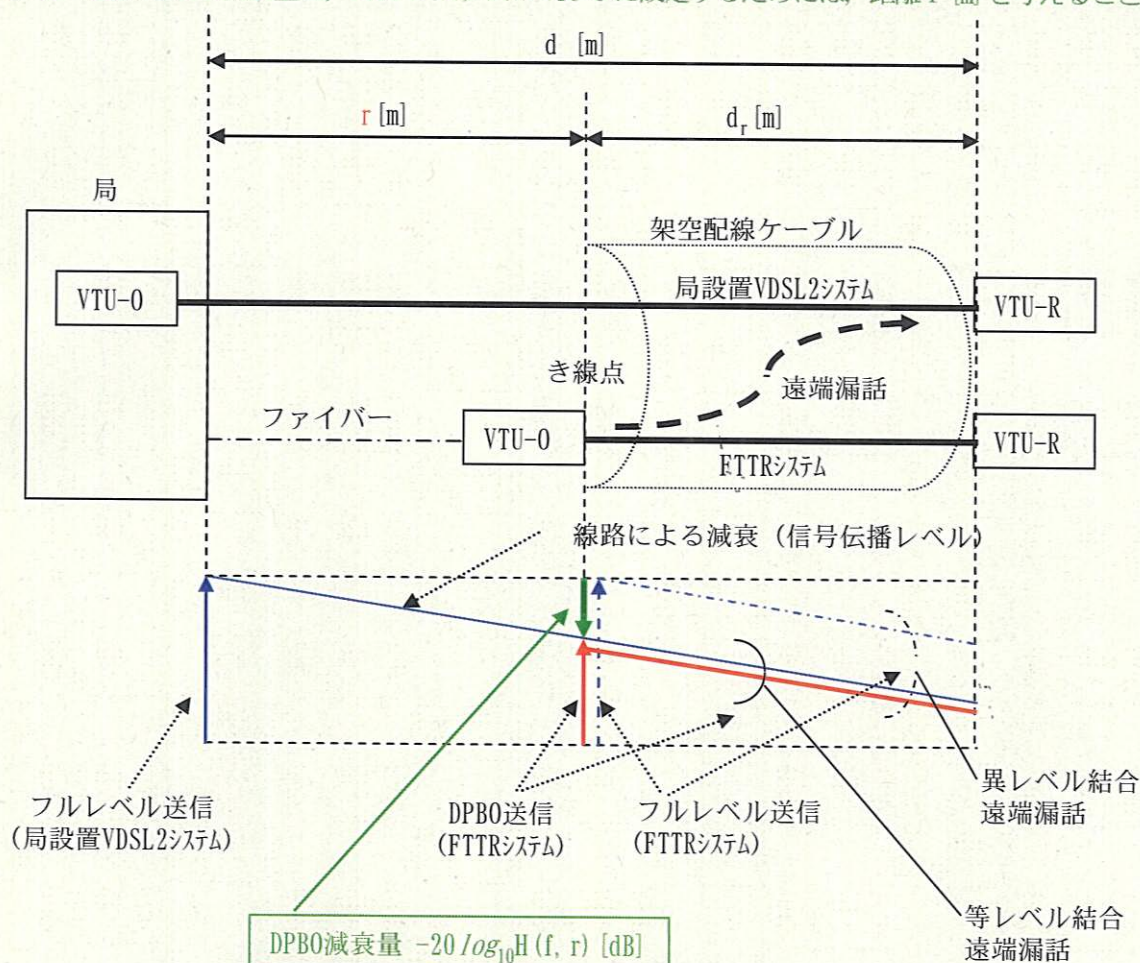


図1 DPBOによる等レベル結合遠端漏話の実現

3. DPBO 上限周波数の決定

図2に DPBO 上限周波数の概念を説明しておく。本章では、PSD マスクとして、所謂G章+PSD を前提とした。

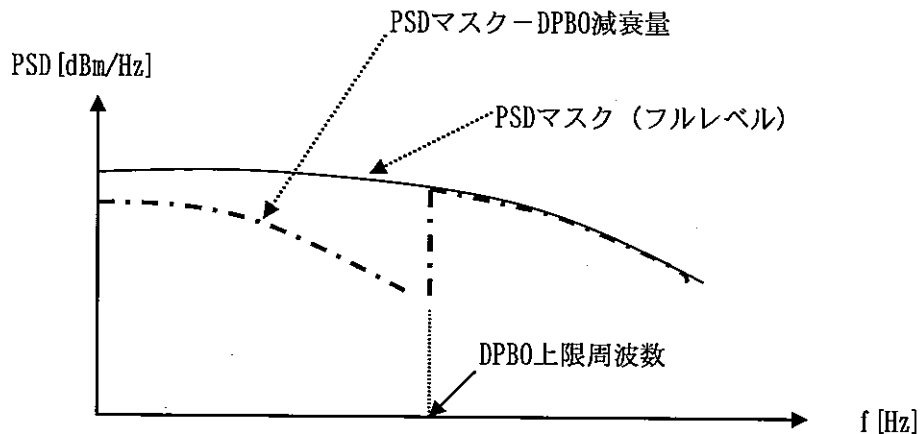


図2 DPBO 上限周波数の概念

3.1 対案

(A) 遠端漏話 SNR による方法 ~付録A参照~

局設置 VDSL2 システムを対象に、雑音が、等レベル結合遠端漏話のみと仮定し、この時、2ビット以上のビットアロケーションが可能となる周波数の上限を、線路距離 d [m] をパラメータに求める。

結果を、付録Aに示す。

(B) (AWGN+遠端漏話) SNR による方法 ~付録B参照~

局設置 VDSL2 システムを対象に、雑音が、等レベル結合遠端漏話+AWGN (-140 [dBm/Hz]) と仮定し、この時、2ビット以上のビットアロケーションが可能となる周波数の上限を、線路距離 d [m] をパラメータに求める。

結果を、付録Bに示す。

付録Aと付録Bの結果を比較すると、以下となる。

- ・ $d \leq 750$ [m] の時、DPBO 上限周波数は、付録B \square 付録A
- ・ $d \geq 1000$ [m] の時、DPBO 上限周波数は、付録B $<$ 付録A $<$ -FTTR システムの高速化に有利。

(C) 最小 PSD (マスク) レベルを与える方法 ~付録C参照

DPBO 適用後の PSD レベル (図2における [PSD マスク-DPBO 減衰量]) が、ある固定値 (ex. -100 [dBm/Hz]) を下回った周波数を DPBO 上限周波数とする方法である。

付録Cに、固定値 (=最小 PSD (マスク) レベル) = -105 [dBm/Hz] とした場合の DPBO 上限周波数を示す。

付録Bと付録Cの結果を比較すると、以下となる。

- ・ $d \leq 1000$ [m] の時、DPBO 上限周波数は、付録B $<$ 付録C $<$ -FTTR システムの高速化に有利
- ・ $d \geq 1250$ [m] の時、DPBO 上限周波数は、付録B $>$ 付録C

3.2 提案

適合性計算においては、AWGN の相加が常に考慮されていること、また、FTTR システムの高速化の側面にも有利という点から、付録Bを提案したい。

付録Cも、FTTR システムの高速化の点で考慮に値するが、付録Bとの $d \geq 1250$ [m] における DPBO 上限周波数の差異が小さいこと、また、シミュレーションによる FTTR 導入判定基準地 (対局) への適合確認計算が必須となることから、付録Bを推薦したい。

4. まとめ

- 1) 的確な DPBO 減衰量を, FTTR システムの VTU-0 に設定するためには, 距離 r [m] を与えることが重要である.
- 2) DPBO 上限周波数は, 付録Bの手法により算出し, d を r と読み替えるのが妥当である. 尚, $r \leq d$ であるため, d を r と読み替える手法は, DPBO 上限周波数をやや高めに設定している (局設置 VDSL2 システム保護強化の方向).
- 3) 課題: r が判明すると仮定し, r の実態値 (ex. 521 [m]) を, 如何にデジタイズ (ex. 500 [m], 750 [m]) するかが課題である.

付録A

(A) DPBO上限周波数 ~ 遠端漏話SNRによる手法 ~

(1) 所需SNR

$$b = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \frac{1}{10^{P/10}} \right) \geq 2 \quad \text{但し } \frac{S}{N} \text{ は電力比}$$

$$\text{但し } P = 9.75 - C + M = 9.75 - 3 + 6 = 12.75 \text{ (dB)}$$

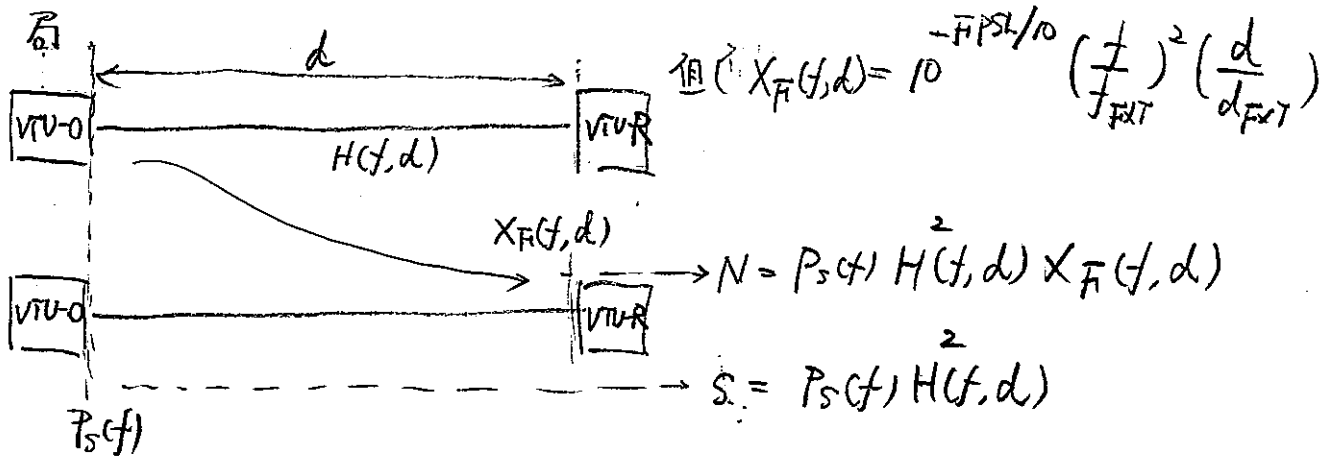
雑音の振幅分布をガウス分布とした場合に
ビットエラー率 $\leq 10^{-7}$ とするたぐい必要の値

$$1 + \frac{S}{N} \frac{1}{10^{P/10}} = 2^b \geq 2^2 = 4$$

$$\frac{S}{N} \geq 3 \cdot 10^{P/10} = 56.5 \quad (17.52 \text{ dB})$$

等化回路

(2) 遠端漏話率(下り) ~ 局設置VDSL2之法相互間



$$\text{但し } X_F(f, d) = 10^{-FPSL/10} \left(\frac{f}{f_{EXT}} \right)^2 \left(\frac{d}{d_{EXT}} \right)$$

$$\frac{S}{N} \triangleq SNR(f) = \frac{P_S(f) H^2(f, d)}{P_S(f) H^2(f, d) X_F^2(f, d)} = X_F^{-1}(f, d)$$

$$= 10^{FPSL/10} \left(\frac{f_{EXT}}{f} \right)^2 \left(\frac{d}{d_{EXT}} \right)$$

$$\text{但し } FPSL = 51.5 \text{ (dB) at } f = f_{EXT} (160 \text{ kHz})$$

$$d = d_{EXT} (2 \text{ km})$$

$$\therefore \text{SNR}(f) = 10^{51.5/10} (160 \times 10^3)^2 (1000) f^{-2} d^{-1}$$

$$= 3.616 \times 10^{18} f^{-2} d^{-1} \geq 56.51$$

$$\therefore f^2 d \leq \frac{3.616 \times 10^{18}}{56.51} \approx 6.399 \times 10^{16}$$

$$\therefore f \leq \sqrt{6.399 \times 10^{16} / d} = \frac{2.530 \times 10^8}{\sqrt{d}}$$

付録A 計算結果

DPBO範囲

d= 50 (m)	fx= 35.7796 (MHz)	} DS3までのDPBO
d= 100 (m)	fx= 25.3 (MHz)	
d= 150 (m)	fx= 20.6574 (MHz)	
d= 200 (m)	fx= 17.8898 (MHz)	} DS2までのDPBO
d= 250 (m)	fx= 16.0011 (MHz)	
d= 300 (m)	fx= 14.607 (MHz)	
d= 350 (m)	fx= 13.5234 (MHz)	
d= 400 (m)	fx= 12.65 (MHz)	
d= 450 (m)	fx= 11.9265 (MHz)	
d= 500 (m)	fx= 11.3145 (MHz)	
d= 750 (m)	fx= 9.23825 (MHz)	} DS2中間までのDPBO
d= 1000 (m)	fx= 8.00056 (MHz)	
d= 1250 (m)	fx= 7.15592 (MHz)	
d= 1500 (m)	fx= 6.53243 (MHz)	
d= 1750 (m)	fx= 6.04786 (MHz)	
d= 2000 (m)	fx= 5.65725 (MHz)	
d= 2250 (m)	fx= 5.33371 (MHz)	
d= 2500 (m)	fx= 5.06 (MHz)	} DS1のみのDPBO
d= 2750 (m)	fx= 4.82452 (MHz)	
d= 3000 (m)	fx= 4.61913 (MHz)	
d= 3250 (m)	fx= 4.43791 (MHz)	
d= 3500 (m)	fx= 4.27648 (MHz)	
d= 3750 (m)	fx= 4.13147 (MHz)	
d= 4000 (m)	fx= 4.00028 (MHz)	
d= 4250 (m)	fx= 3.88084 (MHz)	
d= 4500 (m)	fx= 3.7715 (MHz)	
d= 4750 (m)	fx= 3.67091 (MHz)	
d= 5000 (m)	fx= 3.57796 (MHz)	

これを r に読む。

(局設置VDSL2シフトは)

∴ この d 以上では、 f_x 以上で、ヒートマップで示して貰えないため。

従って、この d を r と読むのは、FTR手法に合わせたことになっている (∵ $r \leq d$)

付録B

B. DPBO 上限周波数 \sim (AWGN + 遠端漏話) SNR による方法

AWGN:

$$-140 \text{ (dBm/Hz)} \rightarrow 10^{-140/10-3} = 10^{-17} \text{ (watt/Hz)}$$

付録 A から

$$\frac{S}{N} \triangleq \text{SNR}(f) = \frac{P_s(f) H^2(f, d)}{P_s(f) H^2(f, d) X_F(f, d) + 10^{-17}}$$

$$= \frac{1}{X_F(f, d) + \frac{10^{-17}}{P_s(f) H^2(f, d)}}$$

$$\therefore \text{SNR}(f) = \frac{1}{X_F(f, d) + \frac{10^{-17}}{P_s(f) H^2(f, d)}} \geq 56.51$$

$$\therefore X_F(f, d) + \frac{10^{-17}}{P_s(f) H^2(f, d)} \leq \frac{1}{56.51} = 1.770 \times 10^{-2}$$

計算は $P_s(f)$ を PSD の値で行う。

$$\text{FPSL} = 51.5 \text{ (dB)} \text{ at } f = f_{\text{FXT}} (160 \text{ kHz}); d_{\text{FXT}} (1 \text{ km})$$

付録 B 計算結果

d= 0 (m)	$f_x > 30$ (MHz)		
d= 50 (m)	$f_x > 30$ (MHz)		
d= 100 (m)	$f_x > 30$ (MHz)		
d= 150 (m)	$f_x > 30$ (MHz)		
d= 200 (m)	$f_x = 17.886$ (MHz)	SNR=	56.5068 (1)
d= 250 (m)	$f_x = 15.995$ (MHz)	SNR=	56.5078 (1)
d= 300 (m)	$f_x = 14.596$ (MHz)	SNR=	56.5047 (1)
d= 350 (m)	$f_x = 13.501$ (MHz)	SNR=	56.5019 (1)
d= 400 (m)	$f_x = 12.602$ (MHz)	SNR=	56.5052 (1)
d= 450 (m)	$f_x = 12.$ (MHz)	SNR=	54.8356 (1)
d= 500 (m)	$f_x = 12.$ (MHz)	SNR=	47.8199 (1)
d= 750 (m)	$f_x = 8.248$ (MHz)	SNR=	56.4985 (1)
d= 1000 (m)	$f_x = 5.537$ (MHz)	SNR=	56.483 (1)
d= 1250 (m)	$f_x = 5.2$ (MHz)	SNR=	4.71823 (1)
d= 1500 (m)	$f_x = 2.959$ (MHz)	SNR=	56.4235 (1)
d= 1750 (m)	$f_x = 2.3$ (MHz)	SNR=	56.4364 (1)
d= 2000 (m)	$f_x = 2.$ (MHz)	SNR=	26.3303 (1)
d= 2250 (m)	$f_x = 1.547$ (MHz)	SNR=	56.0882 (1)
d= 2500 (m)	$f_x = 1.372$ (MHz)	SNR=	56.1903 (1)
d= 2750 (m)	$f_x = 1.229$ (MHz)	SNR=	56.1161 (1)
d= 3000 (m)	$f_x = 1.11$ (MHz)	SNR=	56.1435 (1)
d= 3250 (m)	$f_x = 0.959$ (MHz)	SNR=	56.095 (1)
d= 3500 (m)	$f_x = 0.835$ (MHz)	SNR=	56.3092 (1)
d= 3750 (m)	$f_x = 0.734$ (MHz)	SNR=	56.4649 (1)
d= 4000 (m)	$f_x = 0.651$ (MHz)	SNR=	55.9043 (1)
d= 4250 (m)	$f_x = 0.58$ (MHz)	SNR=	56.2168 (1)
d= 4500 (m)	$f_x = 0.52$ (MHz)	SNR=	55.7421 (1)
d= 4750 (m)	$f_x = 0.467$ (MHz)	SNR=	56.3768 (1)
d= 5000 (m)	$f_x = 0.421$ (MHz)	SNR=	56.4996 (1)

DS3 77 DPBO

DS3 77 DPBO

DS2 77 DPBO

DS2 77 DPBO

DS1 77 DPBO

DS1 77 DPBO

γ と読む

遠端漏話よりも AWGN の影響が又

C. DPBO上限周波数 ~ 最小PSDレベルの手引き ~

PSD-minimum[Mask]= -105 (dBm/Hz)

PSD-minimum[Nominal]= -108.5 (dBm/Hz)

d= 0 (m) $f_x > 30$ (MHz)

d= 50 (m) $f_x > 30$ (MHz)

d= 100 (m) $f_x > 30$ (MHz)

d= 150 (m) $f_x > 30$ (MHz)

d= 200 (m) $f_x > 30$ (MHz)

d= 250 (m) $f_x > 30$ (MHz)

d= 300 (m) $f_x > 30$ (MHz)

d= 350 (m) $f_x > 30$ (MHz)

d= 400 (m) $f_x = 16.672$ (MHz) psd[Mask]= -105.001 (dBm/Hz)

d= 450 (m) $f_x = 13.649$ (MHz) psd[Mask]= -105. (dBm/Hz)

d= 500 (m) $f_x = 12.$ (MHz) psd[Mask]= -106.503 (dBm/Hz)

d= 750 (m) $f_x = 6.613$ (MHz) psd[Mask]= -105.001 (dBm/Hz)

d= 1000 (m) $f_x = 5.2$ (MHz) psd[Mask]= -113.953 (dBm/Hz)

d= 1250 (m) $f_x = 2.835$ (MHz) psd[Mask]= -105.01 (dBm/Hz)

d= 1500 (m) $f_x = 2.098$ (MHz) psd[Mask]= -105.004 (dBm/Hz)

d= 1750 (m) $f_x = 1.623$ (MHz) psd[Mask]= -105.019 (dBm/Hz)

d= 2000 (m) $f_x = 1.411$ (MHz) psd[Mask]= -105.007 (dBm/Hz)

d= 2250 (m) $f_x = 1.244$ (MHz) psd[Mask]= -105.011 (dBm/Hz)

d= 2500 (m) $f_x = 1.109$ (MHz) psd[Mask]= -105.009 (dBm/Hz)

d= 2750 (m) $f_x = 0.93$ (MHz) psd[Mask]= -105.012 (dBm/Hz)

d= 3000 (m) $f_x = 0.79$ (MHz) psd[Mask]= -105.009 (dBm/Hz)

d= 3250 (m) $f_x = 0.68$ (MHz) psd[Mask]= -105.022 (dBm/Hz)

d= 3500 (m) $f_x = 0.591$ (MHz) psd[Mask]= -105.032 (dBm/Hz)

d= 3750 (m) $f_x = 0.517$ (MHz) psd[Mask]= -105.01 (dBm/Hz)

d= 4000 (m) $f_x = 0.455$ (MHz) psd[Mask]= -105.008 (dBm/Hz)

d= 4250 (m) $f_x = 0.402$ (MHz) psd[Mask]= -105.007 (dBm/Hz)

d= 4500 (m) $f_x = 0.356$ (MHz) psd[Mask]= -105.002 (dBm/Hz)

d= 4750 (m) $f_x = 0.316$ (MHz) psd[Mask]= -105.036 (dBm/Hz)

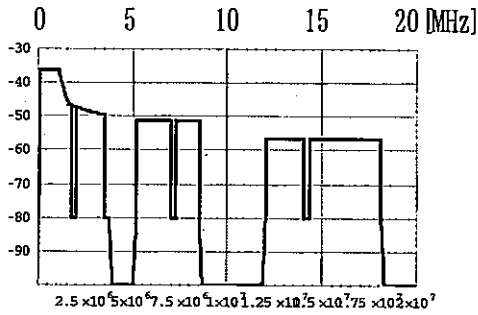
d= 5000 (m) $f_x = 0.28$ (MHz) psd[Mask]= -105.03 (dBm/Hz)

参考 付録Bの場合のDPBO減衰の様様

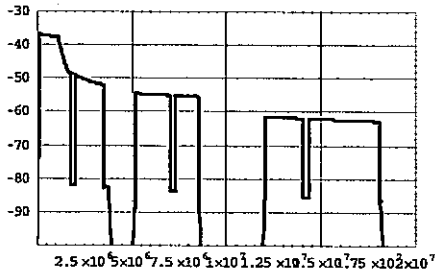
以下の線路距離 = r (VTU-0~VTU-R間距離) と読む。

DPBO適用時においても、PSDマスク下限値は-100 [dBm/Hz] (≤ 30 [MHz]) である。下限表現のお絵かきソフトが、まだ完璧でないため、下限は-100dBm/Hzで制限して図示した。

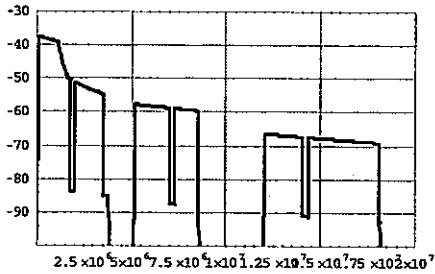
線路距離 = 0 (m) = PSD [Mask]



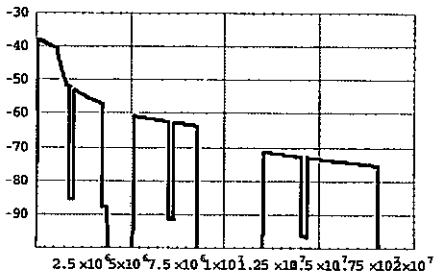
線路距離 = 50 (m)



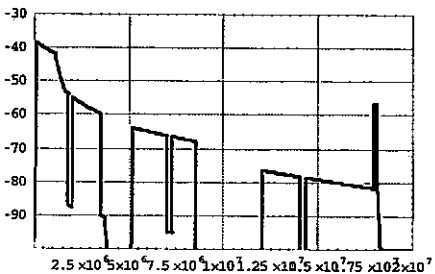
線路距離 = 100 (m)



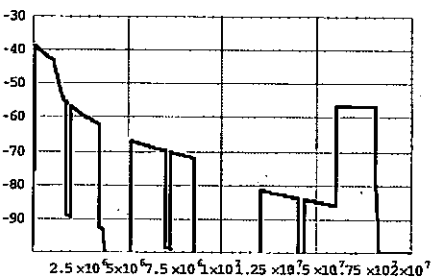
線路距離 = 150 (m)



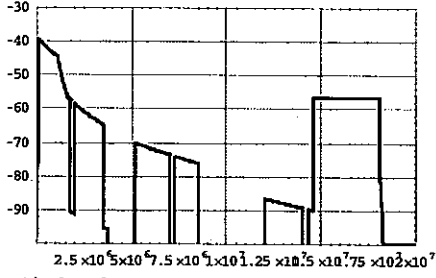
線路距離 = 200 (m)



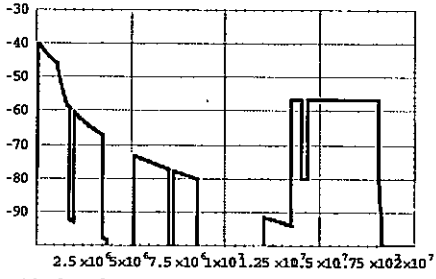
線路距離 = 250 (m)



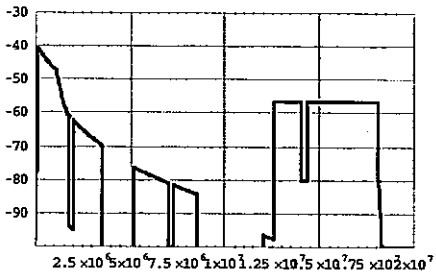
線路距離= 300 (m)



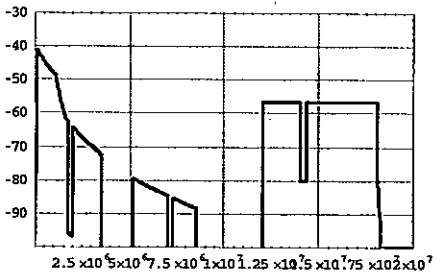
線路距離= 350 (m)



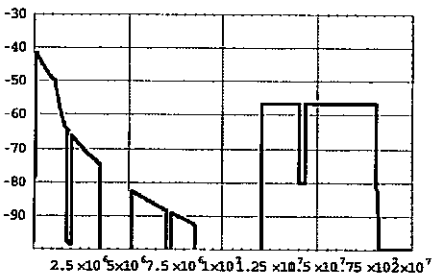
線路距離= 400 (m)



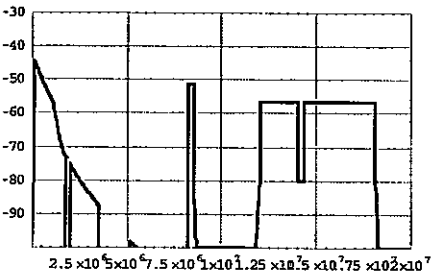
線路距離= 450 (m)



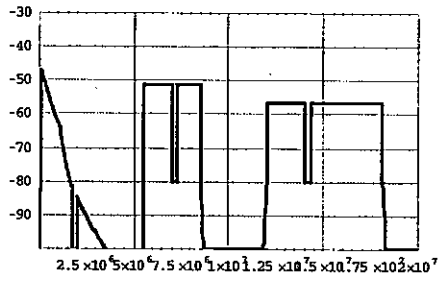
線路距離= 500 (m)



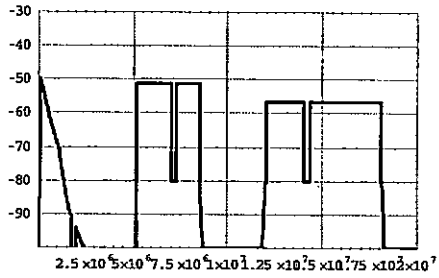
線路距離= 750 (m)



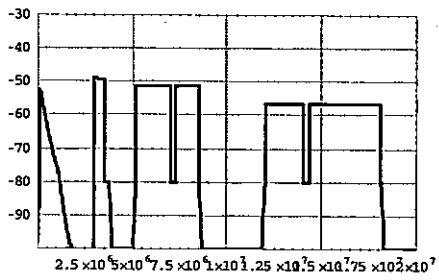
線路距離= 1000 (m)



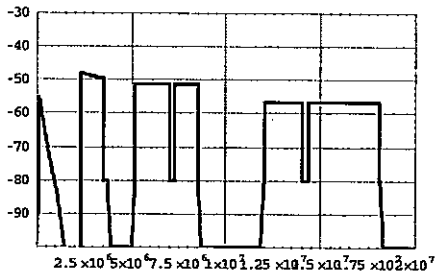
線路距離= 1250 (m)



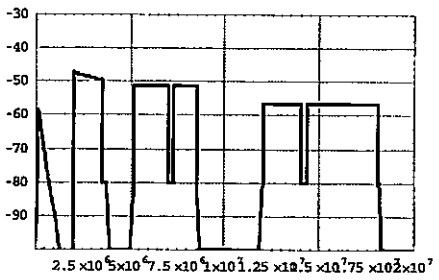
線路距離= 1500 (m)



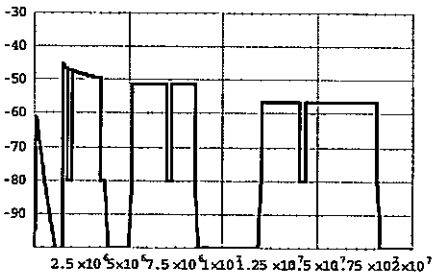
線路距離= 1750 (m)



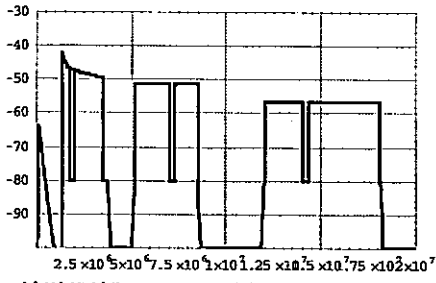
線路距離= 2000 (m)



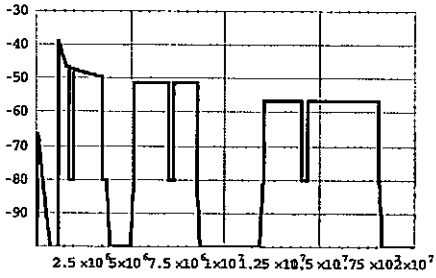
線路距離= 2250 (m)



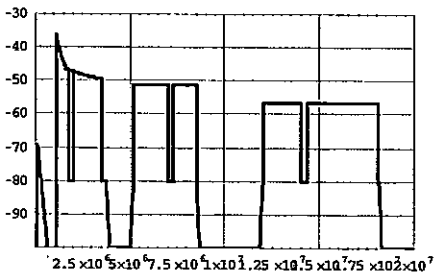
線路距離= 2500 (m)



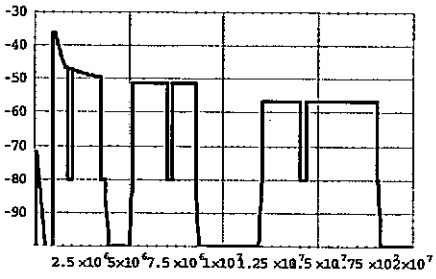
線路距離= 2750 (m)



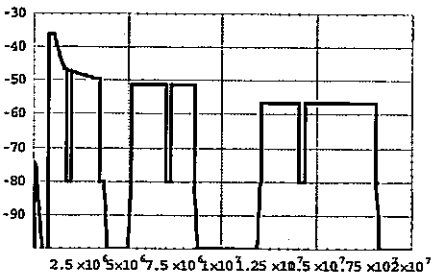
線路距離= 3000 (m)



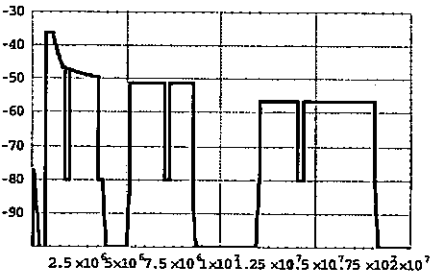
線路距離= 3250 (m)



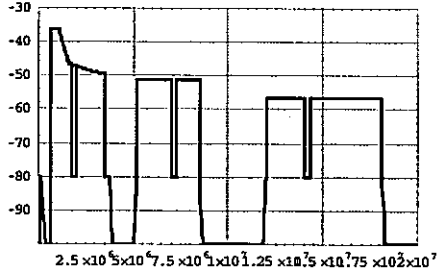
線路距離= 3500 (m)



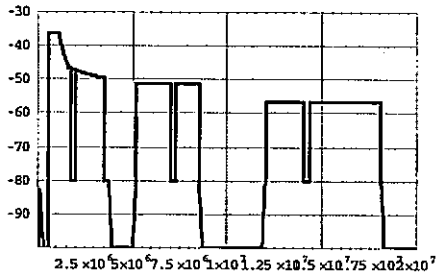
線路距離= 3750 (m)



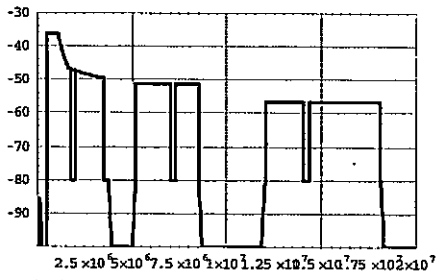
線路距離= 4000 (m)



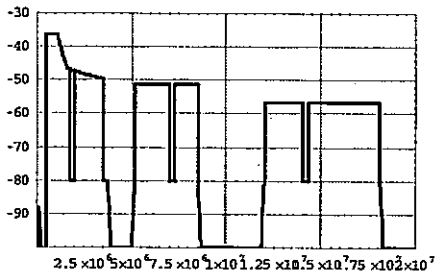
線路距離= 4250 (m)



線路距離= 4500 (m)



線路距離= 4750 (m)



線路距離= 5000 (m)

