

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 1. 背景・目的

双方向型アプリケーションの普及・浸透に伴い、ネットワークの信頼性・安定性に対する要求が増大しているが、ケーブル網がテレコムと同水準の信頼性を備えるには、障害発生後の保守=Reactive maintenance ではなく、障害発生前の予防保全= Proactive maintenance が有効である。

米国 Cable Labs は 2010 年 4 月、”Best Practices and Guidelines”というカテゴリの最初の文献である”Proactive Network Maintenance Using Pre-equalization”(以降、PNMP)を公開した。同文献は、Cable Labs による 2007～2008 年の技術調査と、PNM フォーカスチームによる 2009～2010 年の技術検討およびサンプルソフトウェアの試作開発に基づくものであり、DOCSIS1.1 以降の CM の特長である Pre-equalization(以降、Pre-EQ)機能を、ケーブル網の予防保全に活用する手法についてまとめている。

続く 2010 年 7 月、米国 Cable Labs では PNMP の内容に基づき、CM から収集した Pre-EQ 情報を HTML 画面上にグラフ表示するデモソフトウェアのリファレンス実装(以降、RI)を公開し、RI の無償供与を恩恵に、RI の製品組み込みと更なる改善開発に貢献する企業・団体を募った。

OSSBN では創業当初より、ケーブルネットワークの信頼性・安定性の向上を目的に、OPEN STM を開発・製品化・販売しているが、業界全体によるノウハウ共有を目指す米国 Cable Labs の RI 公開に賛同し、2010 年 8 月以降、~~貢献企業として上記プロジェクトに参加する方針となった。~~独自に RI を評価・研究し、自社製品への組み込みを継続的に検討している。

本 Tips では、OPEN STM への RI 組み込みによる監視業務への応用を目的に、PNMP と RI の内容を前提として説明する。

### 2. 対象読者

OPEN STM シリーズの製品ユーザー、USP パートナー

### 3. 参考文献・関連文書

Proactive Network Maintenance Using Pre-equalization (CM-GL-PNMP-V01-100415)

Pre-Equalization Analyzer Reference Implementation and Demo Package (Revision: 1.0)

OPEN ADMIN TIMS Net エンジニアリングガイド

### 4. その他

本 Tips 中の図表番号につき、参考文献からの抜粋には原文の番号をそのまま流用し、独自に作成した図表には”Tips-\*\*\*”の形式で番号を付与した。

### 5. 最終更新日

2010 年 8 月 18 日

文書番号: OSSBN-TIPS-10-08-001/02

All Rights Reserved, Copyright © OSS BroadNet 2010

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 6. 詳細

#### 6.1 Reactive 監視と Proactive 監視

PNMP では、サービス品質に直接的に影響を及ぼす監視項目、例えば、FEC エラー、レベル変動、CPD、隣接波干渉、レーザークリッピング、飛び込み雑音など、閾値超過時にそのまま障害対応を要する監視項目を **Reactive** と定義し、これに対して DOCSIS の Pre-EQ 機能により完全に補正された歪成分など、サービス品質に直接的な影響を与えない監視項目を **Proactive** と定義している。

**Proactive** 監視は、**Reactive** 監視ほどの緊急性と即効性はないが、経年劣化や周期性障害など、潜在的な障害の兆候を事前に検知し、起きる前の要因除去が可能のため、ネットワークの信頼性向上と保守コスト低減に効果的である。

**Proactive** 監視と **Reactive** 監視の組み合わせにより、ケーブルネットワークの信頼性を更に向上できる。

#### 6.2 ケーブル上り伝送の品質低下要因

ケーブル上り伝送の品質低下要因は、雑音と歪の 2 種類に大別される。

雑音は更に、白色雑音のような定常性雑音と、流合雑音や飛び込みのようなインパルス性雑音に分類される。ケーブル業界では、両雑音成分への対策が、双方向サービス商用化への最大の課題であったが、マイクロノードの普及と省カスケード設計の浸透により、現在では改修が不可能な一部の古い集合住宅を除き、事例別の雑音対策がほぼ確立されている。歪は、線形歪と非線形歪に分類される。以前の支配因子であった雑音への対策が確立された今、次なる課題は歪対策である。

ここで「線形歪」とは、原信号のレベルや位相の変化が、歪成分の強度に直線的に比例する類の歪成分を表す。PNMP では、群遅延やマイクロリフレクションを線形歪、CSO や CTB、CPD 等を非線形歪として分類しているが、CPD などの非線形歪も、マイクロリフレクションと直接的な相関関係にあるインピーダンス不整合が原因となる場合が多い事を示し、線形歪監視の有用性を強調している。

本 Tips では PNMP の論点に従い、非線形歪に関する考察を割愛し、PI が対象とする線形歪成分に限定し、Pre-EQ の観点から概念を説明する。

なお歪の概念と発生原理については、PNMP の Appendix I に詳細な説明があるので、興味のある方は参照されたい。

#### 6.3 線形歪

PNMP では線形歪のうち、特に群遅延とマイクロリフレクションの **Proactive** な監視手法について説明している。本 Tips も PNMP の方針に従い、群遅延とマイクロリフレクションに絞って説明する。

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 6.3.1 群遅延

ケーブルは放送型技術としての歴史的な経緯から、周波数帯域が上り/下りで非対称であり、特に上りの周波数帯域が絶対的に不足している。この対策として、ガードバンドの極小化による上り周波数帯域の拡張が業界全体で積極的に進められた結果、ダイプレックスフィルターのロールオフ周波数近傍の群遅延特性が犠牲となった。このため上り周波数帯域が拡張されたシステムでは、特に帯域の上限近傍に搬送波を配置すると、群遅延が指数関数状に増大し、通信品質が大きく悪化する。この傾向は、特に多段構成時に顕著に現れる。カスケード増加による群遅延の悪化傾向を Figure 14 に示す。縦軸は群遅延(ナノ秒)、横軸は周波数(MHz)、右端は北米上り周波数配列の上限周波数である 42MHz 近傍に設定されている。Figure 14 では、ノードのみ、ノード+アンプ 1 段、ノード+アンプ 2 段、ノード+アンプ 3 段の 4 パターンを示す。周波数に対し、群遅延が指数関数的に増大し、多段カスケードがこの劣化傾向を更に強める事が分かる。

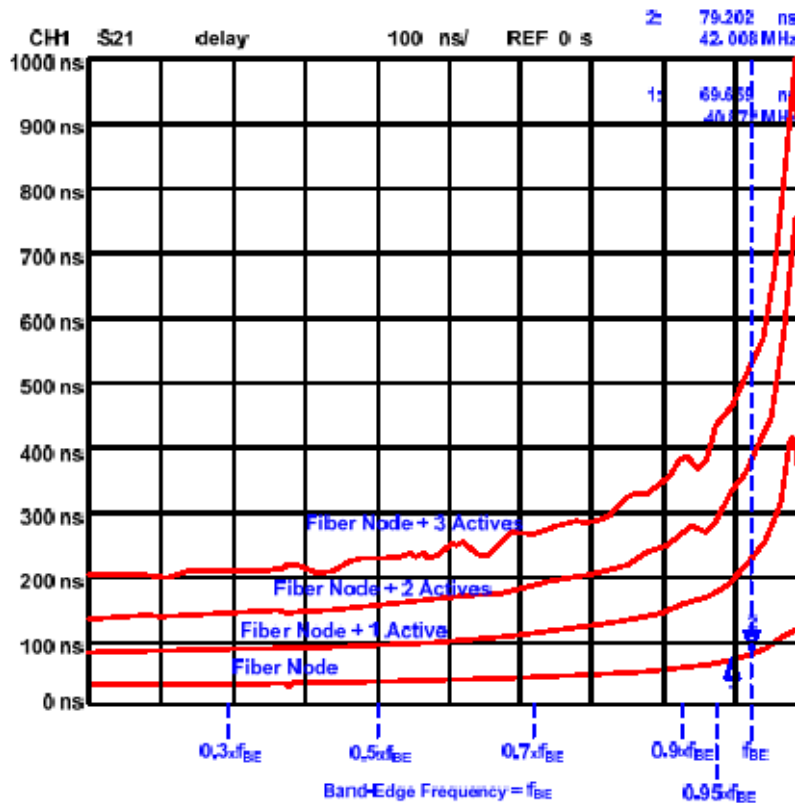


Figure 14 - Group Delay increase with increasing cascade depth

DOCSIS3.0PHY仕様では上り帯域の群遅延特性を、「1MHz内で特性差が200nsec以内」と規定している。Figure 14の場合、ノード+アンプ1段以上の構成で、上限近傍の群遅延特性が既に規定値を超過、すなわち、デジタル補正マージンが群遅延により費消され、通信障害を生じやすい状態となっている。

日本では、上り帯域上限の55MHzを65MHzに拡張したシステムが一部に見られるが、上限近傍を使う場合、群遅延特性の悪化に特に注意が必要である。

このような場合、群遅延の定常的な監視による予防保全=Proactive監視が有効である。

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 6.3.2 マイクロリフレクション

リフレクションとは、インピーダンス不整合によりリターンロスが低下した箇所に生じる、電磁波信号の反射現象である。このうち、遅延時間がデジタル変調方式の1～数シンボルレートの範囲の短時間の成分を、ケーブル高速データ伝送の業界用語で「マイクロリフレクション」と呼ぶ。マイクロリフレクションは、以下の式により表現される。

$$R(\text{dB}) = 10\log(\text{信号波電力}/\text{反射波電力}) = 20\log((\text{VSWR}+1)/(\text{VSWR}-1))$$

すなわち、マイクロリフレクションは VSWR の定在波に相当する物理現象であり、リターンロスと同一の計算式により導出される。

現場での発生頻度が比較的多い経年劣化として、同軸ケーブルの破損、コネクタ部の酸化侵食、タップオフへの浸水等が挙げられる。これらの症状は、当初はレベルや飛込み雑音などの Reactive な監視指標に現れない場合が多く、遠隔監視による事前検知が困難であり、検知できる場合にも精度が低い。

しかしながら、ケーブルのような有線導体による高周波伝送では、経年劣化時に比較的高い確率で、障害箇所にインピーダンス不整合が発生する。インピーダンス不整合はリターンロスを低下させ、CMTS と CM 間の DOCSIS 通信経路上にマイクロリフレクションを誘発する。従って、CMTS ないしは CM から Proactive な指標であるマイクロリフレクションを定期的に収集・監視すれば、経年劣化の進行を高精度で検知できる可能性がある。

PNMP では、DOCSIS1.1 以降の CM の特長の一つである上り Pre-EQ 機能を応用し、高価な専用の計測器を使わずに、既存の DOCSIS CMTS と CM により、上りチャンネルのマイクロリフレクション特性と群遅延特性を、定量的・定性的に分析する手法および、電磁波伝播速度と時間特性を線路情報と照合し、経年劣化の発生箇所を推定する手法について説明している。

これらの手法により、タップオフ浸水のような経年劣化を、CMTS 上りポート単位ではなく、CM 単位に検知・切り分け、かつ線路上の障害箇所を推定できる。

PNMP では、HFC におけるマイクロリフレクションの発生メカニズムとして、3つの典型例を挙げているので、参考までに本 Tips でも概念図を紹介する。但し本 Tips では、各図の詳細な説明は割愛する。興味のある方は、PNMP の 5.2.1 を参照されたい。

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### (1) マイクロリフレクション発生例・1

複数の伝送機器（本例では Tap 23 と Tap17）におけるリターンロスの低下がマイクロリフレクションを生じる事例を Figure 1 に示す。

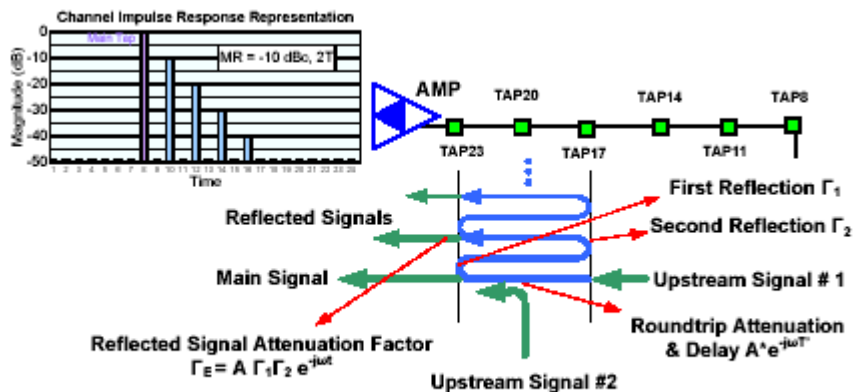


Figure 1 - Micro-reflection with multiple-transit echoes

### (2) マイクロリフレクション発生例・2

単一の伝送機器（本例では Tap 23）における端子間分離度の特性悪化とインピーダンス不整合がマイクロリフレクションを生じる事例を Figure 2 に示す。

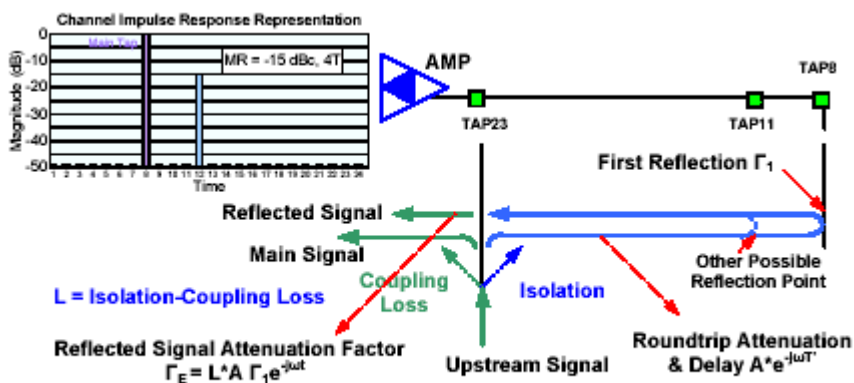


Figure 2 - Micro-reflection with single impedance mismatch interface

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

(3) マイクロリフレクション発生例・3

(1)(2)の複合事例を Figure 3 に示す。

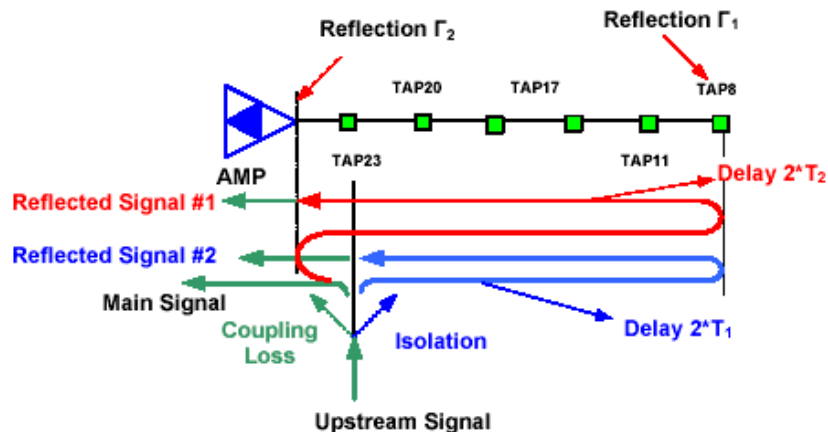


Figure 3 - Composite Micro-reflection resulting from Type 1 and Type 2 Micro-reflections

### 6.4 線形歪による上り伝送信号への影響

線形歪に影響を受けた上り 64QAM 伝送信号の例を Figure I-22 に示す。

本来は水平であるべき信号成分の矩形波上辺が、歪成分の為に左側が隆起し、右方向に傾斜しており、典型的な周波数特性劣化の傾向を示している。

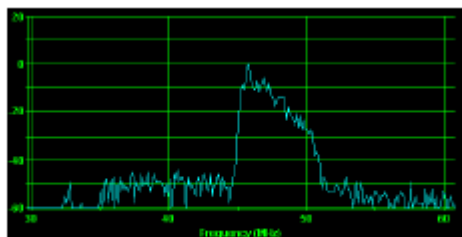


Figure I-22 - Example of upstream 64-QAM signal with substantial in-channel tilt

品質が低下した上り 64QAM 伝送信号のコンスタレーション表示例を Figure I-31 に示す。

線形歪の影響により、各座標点が拡散し、MER(DOCSIS の場合は SNR に等価)も悪化している。



Figure I-31 - Unequalized 64-QAM constellation

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 6.5 Pre-EQ の動作原理

Pre-EQ は、周波数特性劣化を相殺する信号反転処理を送信前に予め行い、受信後の周波数特性を改善する技術方式である。

DOCSIS CM の上り送信部における Pre-EQ 回路の構造を Figure 4 に示す。

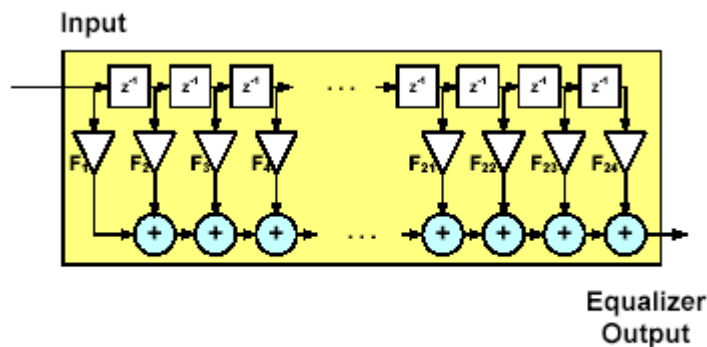


Figure 4 - Upstream Equalizer Structure

CM の Pre-EQ 回路では、入力信号を 24 組の異なる遅延時間に分解・分岐（タップ）し、個別に強度を調整後、再結合して出力する。 $Z^{-1}$  は入力信号に対する遅延時間、 $F^n$  は各遅延信号の強度を表す。フーリエ変換で時間領域を周波数領域に変換すれば、本 Pre-EQ 回路の意味をより明確に理解できる。すなわち Pre-EQ 回路は、タップ係数群の調整により、Figure 1-22 に示した周波数特性変化の反転出力を人為的に作り出せる。

DOCSIS では、CMTS が各 CM からの受信信号のチャンネル内周波数特性を解析し、CMTS-CM 間の伝送路特性を表すタップ係数群情報（以降、Pre-EQ 情報）を個別に生成後、各 CM に通知する。

各 CM は、CMTS から通知された Pre-EQ 情報に基づき、上り信号の送出前に予め Pre-EQ を行い、伝送路の歪成分を相殺する反転特性を付与し、上り信号を CMTS に送信する。Pre-EQ された信号は、CMTS-CM 間伝播により周波数特性の変化が進行し、最終的には元の平滑な周波数特性に戻り、CMTS に到達する。

CMTS-CM 間の伝送路特性の測定には、CM レンジング時の RNG-REQ バーストプリアンブルが使われる。CM は、出荷デフォルトの初期 Pre-EQ 情報に基づき Pre-EQ を行い、CMTS に RNG-REQ を送る。CMTS は、受信した RNG-REQ プリアンブルの周波数特性から CMTS-CM 間の伝送路特性を解析し、より適切な Pre-EQ 情報を生成後、RNG-RSP を使って CM に通知する。CM は、CMTS から通知された Pre-EQ 情報と初期 Pre-EQ 情報を統合し、新たな Pre-EQ 情報を生成後、自身のメモリ内に保持し、以降の通信に使用する。

Pre-EQ 情報の更新は、CMTS が変化を検知した時に行われる。

Figure 5 に、CM レンジングによる Pre-EQ 情報のやり取りを示す。

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

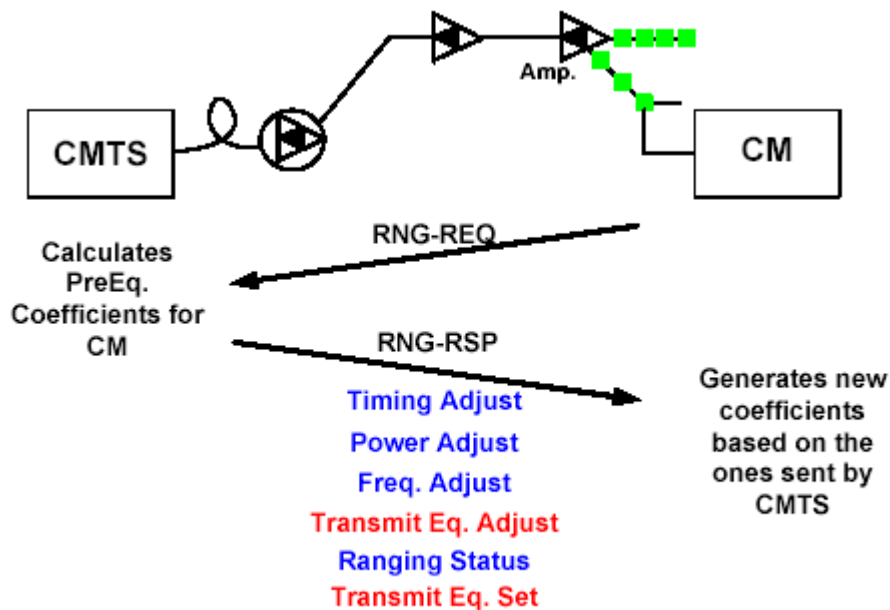


Figure 5 - CM-CMTS Ranging Interaction Enabling Pre-equalization Process

### 6.6 Pre-EQによる周波数特性の改善例

DOCSIS Pre-EQによる周波数特性の改善例を Figure I-23 に示す。

Figure I-22 の劣化信号に見られたチャンネル上辺の傾斜が補正されている。

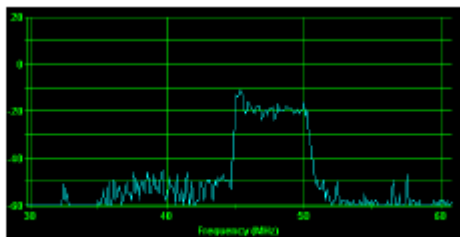


Figure I-23 - Example of 64-QAM signal after adaptive pre-equalization eliminated most of the in-channel tilt

改善後の上り 64QAM 伝送信号のコンスタレーション表示例を Figure I-31 に示す。

各座標点が収束し、MERが改善されている。

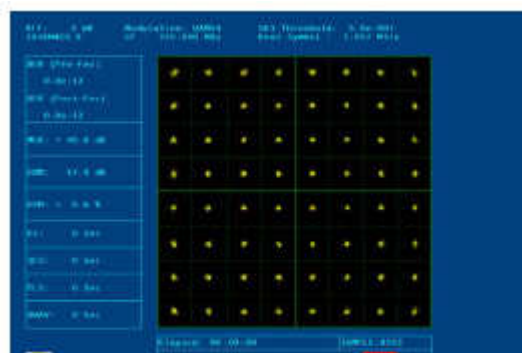


Figure I-32 - Equalized 64-QAM constellation



# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 6.7 CM と CMTS の Pre-EQ 情報

CM の Pre-EQ 情報例を Figure 8 に示す。

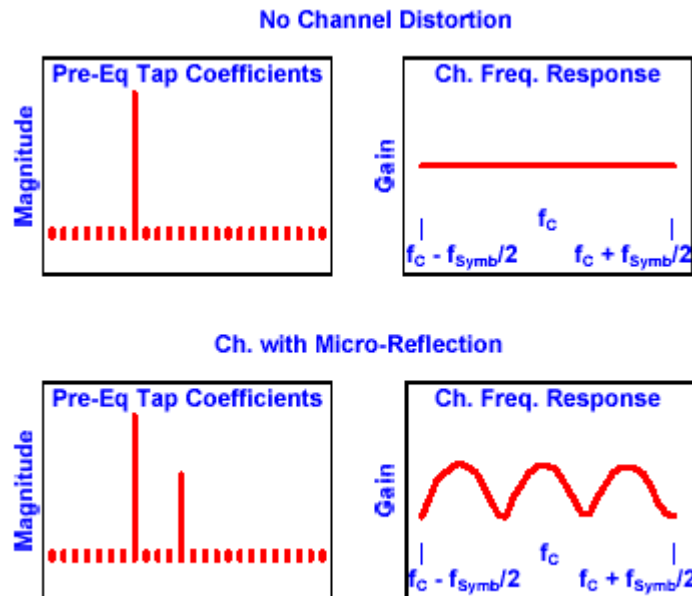


Figure 8 - CM Pre-eq Coefficients Values and Frequency Response Scenarios

左側は Pre-EQ 情報の時間軸表現、右側はフーリエ変換後の周波数軸表現である。上段 2 つは歪がない場合、下段 2 つはマイクロリフレクションがある場合を示す。左側グラフで左から 8 タップ目が主信号、左下の 12 タップ目がマイクロリフレクションの反転成分である。

次に、CMTS の Pre-EQ 情報例を Figure 9 に示す。

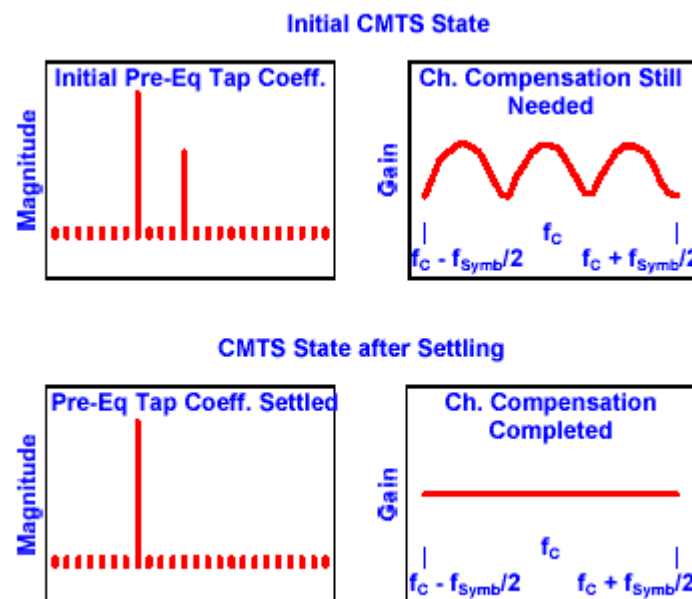


Figure 9 - CMTS CM Pre-equalization Coefficients Values and Frequency Response Scenarios

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

右上は CM の初期 Pre-EQ 情報による補正後の CMTS の受信特性であり、更なる補正が必要である。右下はレンジング後で、Pre-EQ により特性が改善されている。左側はいずれも、これらの特性の Pre-EQ 係数表現である。

CM の Pre-EQ 情報は概ね伝送路特性の反転値であり、補正対象チャンネルの線形歪成分を表現するため、主タップ以外の係数の分析により、マイクロリフレクションや群遅延の程度・発生源を絞り込める。

すなわち CM の Pre-EQ 情報は、CMTS-CM 間の伝送路特性の診断に有効である。

一方で CMTS の Pre-EQ 情報は、Pre-EQ の補正効果と限界の把握に有効である。

DOCSIS2.0 と 3.0 の Pre-EQ 情報関連 MIB を Table 2 に示す。

3.0 上りボンディング構成時、CM は上りチャンネル単位に Pre-EQ 情報を持つため、MIB も全て 3.0 系の別定義となる。

Table 2 - DOCSIS 2.0 and 3.0 Transmit Pre-equalization MIBs

	DOCSIS 2.0 DOCS-IF-MIB [RFC4546]		DOCSIS 3.0 DOCS-IF3-MIB [DOCSISv3.0]	
	MIB Table	MIB Object	MIB Table	MIB Object
CM	docsIfCmStatusTable Single upstream channel	docsIfCmStatusEqualizationData	docsIf3CmStatusUsTable Per configured upstream channel	docsIf3CmStatusUsEqData
CMTS	docsIfCmtsCmStatusTable Single instance per CM	docsIfCmtsCmStatusEqualizationData	docsIf3CmtsCmUsStatusTable Per CM, per configured upstream channel	docsIf3CmtsCmUsStatusEqData

### 6.8 DOCSIS バージョン別・Pre-EQ 対応の違い

1.0 以前の CMTS/CM は、Pre-EQ を実装していない。また、1.1 と 2.0 以降ではタップ形式が異なっているため、単純に両者を取値のまま比較できない。

DOCSIS バージョン別・Pre-EQ 対応の違いを Tips-001 に示す。

DOCS ver.	Pre-EQ	タップ形式	TLV
1.0	無	-	-
1.1	有	8 タップ(T, T/2, T/4)	04
2.0/3.0	有	24 タップ(T)	09

Tips-001 DOCSIS バージョン別・Pre-EQ 対応の違い

6.5 および Figure 4 では、Pre-EQ 回路の構造例として 24 タップ構成を前提に説明したが、DOCSIS1.1 の場合、8 タップの通倍形式なので、タップ数を固定的に取り扱えない。このため、SNMP で Pre-EQ 情報を収集する場合には、最初にタップ数を確認し、これに基づき各指標の計算式や比較判断基準を切り替える必要がある。

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 6.9 Pre-EQ による補正の限界

Pre-EQ 回路が生成できる最大の遅延時間は、Pre-EQ の主信号を表すメインタップと最終タップ間の時間差であり、この時間差が Pre-EQ の補正限界を規定する。

DOCSIS2.0/3.0 では、タップ間隔は対象変調方式のシンボルレートに等しい。DOCSIS2.0/3.0 では、主信号には一般的に 24 タップ中の 8 タップ目が使われるので、Pre-EQ 回路が生成できる最大遅延時間は 16T(T はシンボルレート)となる。

一方 DOCSIS1.1 の場合、タップ間隔はシンボルレート T の約数であり、T, T/2, T/4 のいずれかとなる。主信号に 8 タップ中の 4 タップ目が使われる場合、最大タップ間隔  $T \times 残 4 \text{ タップ} = 4T$  が、DOCSIS1.1.における最大遅延時間となる。

Table 1 に、DOCSIS1.1(4\*T 列)と 2.0 以降(16T 列)において、Pre-EQ フィルター回路が対応できる最大遅延時間を示す。

Table 1 - Maximum Delays Generated by Pre-equalization Filter Structures in DOCSIS 1.1 and 2.0

Symbol Rate MHz	Symbol Period (T) $\mu\text{sec}$	4* T $\mu\text{sec}$	16 T $\mu\text{sec}$
5.12	0.195		3.125
2.56	0.391	1.563	6.250
1.28	0.781	3.125	12.500

マイクロリフレクションの場合、反射回数により補正を要する遅延時間が延びるため、実用上はマイクロリフレクションの 2~3 倍程度の遅延時間を生成できる事が望ましい。

6.3.1(3)の例で発生するマイクロリフレクションに対する Pre-EQ の補正能力を Figure 10 に示す。左側の赤色縦線は 2.56MHz シンボルレートの DOCSIS1.1CM、右側の赤色縦線は 5.12MHz シンボルレートの DOCSIS2.0CM であり、短間隔\*3、長間隔\*2 のマイクロリフレクションが図示されている。赤色縦線の左側が補正可能域、右側が不可能域である。

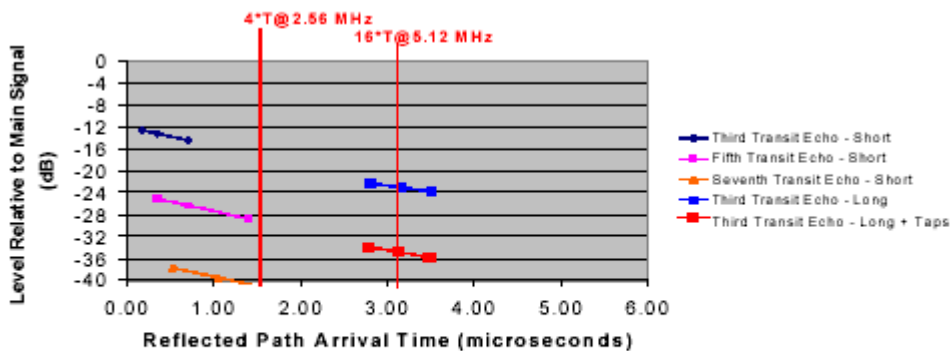


Figure 10 - Pre-equalization Compensation Capabilities under Short and Long Delay Micro-reflection Scenarios

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 6.10 データ形式と収集・デコード方法

以下は、SNMP で DOCSIS2.0 以降の CM および CMTS から収集した Pre-EQ 情報例である。いずれもバイナリ時 100 バイト固定長である。文字列形式でデータベースに保存する場合、2 文字/バイトに文字区切りの空白バイトを含めると、 $100 \times 2 + (100 - 1) = 299$  バイトとなる。

**docsIfCmStatusEqualizationData** (299 bytes character storage, 100 bytes binary storage)

```
08 01 18 00 00 04 ff fd ff fb ff fa ff fd ff fd 00 07 00 04 ff f8 00 00 00 17 ff ff ff d6 ff e8 07 f7 ff f9 ff 8a ff 94 ff 17
00 28 00 11 ff ec ff f7 00 19 00 06 ff f5 ff fe ff ff 00 0d ff fb 00 01 00 01 00 04 00 04 ff f6 00 07 00 07 ff fb 00 00
00 08 ff ff ff fe 00 00 00 04 ff fe ff ff 00 08 00 00
```

**docsIfCmtsCmStatusEqualizationData** (299 bytes character storage, 100 bytes binary storage)

```
08 01 18 00 ff c8 ff f0 ff f8 ff e8 ff c0 00 20 ff f8 00 38 ff c8 ff d8 00 18 00 18 00 38 ff f0 3f 20 00
00 00 08 00 40 ff d8 ff e8 00 38 ff d0 ff d8 ff b8 00 08 ff d8 00 40 00 40 40 ff e8 00 00 00 00 ff c0 00 48
00 20 00 20 00 58 00 10 ff f0 00 00 ff e8 ff f0 ff d8 00 50 00 00 ff d8 ff f0 00 18 ff e8
```

取得値は全て 16 進数表記であり、2 文字ずつ読み出した後に 10 進変換を行い数値化する。先頭 8 文字がヘッダー、9 文字目以降から最終文字までがデータを表す。

Figure 13 に、DOCSIS2.0 以降における Pre-EQ 情報の構造を示す。

MainT	T/Symb	#Taps	Rsvd	F1r	F1i	F2r	F2i	F3r	F3i	F4r	F4i
08	01	18	00	FF FF	00 02	FF FF	00 01	00 03	FF FF	FF FC	00 00
				-1	2	-1	1	3	-1	-4	0

F5r	F5i	F6r	F6i	F7r	F7i	F8r	F8i	F9r	F9i
00 0B	FF FF	FF EE	00 04	00 21	FF FB	07 FE	00 31	FF F3	FF E8
11	-1	-18	4	33	-5	2046	49	-13	-24

F10r	F10i	F11r	F11i	F12r	F12i	F13r	F13i	F14r	F14i
00 18	FF FD	FF F4	00 05	00 09	FF FB	FF FA	00 01	00 06	FF FD
24	-16	-12	5	9	-5	-6	1	6	-3

F15r	F15i	F16r	F16i	F17r	F17i	F18r	F18i	F19r	F19i
FF FD	00 00	00 05	FF FD	FF FD	00 01	00 01	00 01	FF FE	00 00
-3	0	5	-3	-3	1	1	1	-2	0

F20r	F20i	F21r	F21i	F22r	F22i	F23r	F23i	F24r	F24i
FF FF	00 00	FF FF	FF FF	00 00	FF FF	00 00	FF FF	FF FE	FF FD
-1	0	-1	-1	0	-1	0	-1	-2	-3

Figure 13 - Equalizer Structure HEXDECIMAL-to-DECIMAL Conversion

第 1 バイトの 08 は主タップの位置を 16 進数で表す。本例では 8 番目の F8r(=2048)と F8i(=49)が主タップの Pre-EQ 係数である。

第 2 バイトの 01 は T/シンボルレートを表し、第 3 バイトの 18 は、16 進 10 進変換すると 24 であり、総タップ数を表す。第 4 バイトは予備領域である。

各 Pre-EQ 係数の r は real すなわち、ガウス平面座標における実数軸要素、i は imaginary すなわち、同虚数軸要素を表す。

各係数は 2 バイトの符号付整数として表現されるが、CMTS/CM ベンダーにより、最大値の考え方に違いがある。具体的には 2047, 1023, 511 の 3 つの異なるスケールが存在するが、Pre-EQ 係数は主タップを基準とした相対表現なので、適切な重み付けを行えば、これらの

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

差異を補正できる。

各係数のデコードでは、CMTS/CM ベンダーにより有効ビット数の取り扱いが異なる点にも注意が必要である。詳細な説明は割愛するが、例えば FFFE すなわち 1111 1111 1111 1110 の場合であれば、一つ目の F を無視し、FFE すなわち 1111 1111 1110 = -2 としてデコードすれば、ベンダー間の差異を解消できる。

### 6.11 監視指標の計算例

最大値の取り扱いを 2048 に換算後の Pre-EQ 係数から導出される各監視指標を Tips-002 に示す。なおここでは DOCSIS2.0 以降すなわち、総タップ数を 24、主タップを 8 番目と仮定している。

監視指標	単位	数式	説明・使用方法
MTE (Main Tap Energy)	-	$F8_R^2 + F8_I^2$	主タップ電力
PreMTE	-	$F1_R^2 + F1_I^2 + F2_R^2 + F2_I^2 + \dots + F7_R^2 + F7_I^2$	主タップ以前のタップ電力の総和
PostMTE	-	$F9_R^2 + F9_I^2 + F10_R^2 + F10_I^2 + \dots + F24_R^2 + F24_I^2$	主タップ以後のタップ電力の総和
TTE (Total Tap Energy)	-	PreMTE + MTE + PostMTE	タップ電力の総和
MTC (Main Tap Compression)	dB	$10\log(TTE / MTE)$	CM: Pre-EQ の調整余力。2dB を超える場合、調整限界の超過を表す。 CMTS: 0 dB より大きい場合、障害。
NMTER (Non-Main Tap to Total Energy Ratio)	dB	$10\log((PreMTE + PostMTE) / TTE)$	CM: 歪成分の有無・程度。 CMTS: CNR と相対的に等価と見なした監視運用が可能。例: 64QAM 時、-27dB 超がメジャー、-30dB 超がマイナー、等
PreMTTER (Pre-Main Tap to Total Energy Ratio)	dB	$10\log(PreMTE / TTE)$	群遅延の程度
PostMTTER (Post-Main Tap to Total Energy Ratio)	dB	$10\log(PostMTE / TTE)$	マイクロリフレクションの程度
PPESR (Pre-Post Energy Symmetry Ratio)	dB	$10\log(PreMTE / PostMTE)$	群遅延対マイクロリフレクション比。群遅延の存在検知に有用。

Tips-002 Pre-EQ 係数から導出される各監視指標

6.12 以降では、Tips-002 の各監視指標を前提に説明を進める。

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

6.12上り周波数帯域の上限近傍における群遅延（マイクロリフレクション無）

Table 4に、各カスケード点における 2.0CM の各タップ電力を示す。周波数幅は 3.2MHz、中心周波数は 40.4MHz である。

Table-4 - Band-Edge Operation Impact on Tap Energy (no Micro-reflections)

Tap (Coil)#	Pre/Main Tap Coefficients							Post/Main Tap Coefficients																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N+5	-81	43	-41.6	-35.4	-31.7	-25.9	-17.1	-11	-35.1	-43	-45.1	-53.2	-53.2	-53.2	-52	-57.2	-57.2	-48.1	-53.2	-53.2	-50.7	-54.2	-53.2	-53.2
N+4	-51.2	-44.1	-40.7	-38.2	-32.6	-27.1	-18.2	-0.8	-31	-47.2	-40.9	-48.1	-47.9	-50.2	-54.2	-53.2	-57.2	-100	-53.2	-48.1	-57.2	-53.2	-50.2	-57.2
N+3	-50.2	-47.2	-44.9	-37.7	-34.2	-26.5	-19.8	-0.6	-31	-34.9	-44.2	-50.2	-46.2	-57.2	-52	-54.2	-53.2	-50.2	-50.2	-53.2	-53.2	-47.2	-50.2	-100
N+2	-57.2	-47.9	-44.9	-38.6	-35.4	-30.7	-22.3	-0.3	-34.2	-40.3	-46.2	-54.2	-50.7	-50.2	-50.2	-50.2	-50.2	-45.8	-53.2	-51.2	-47.2	-46.1	-57.2	-57.2
N+1	-50.2	-54.2	-50.2	-44.6	-40.7	-34.2	-3	-0.01	-41.9	-48.1	-54.2	-50.2	-50.7	-51.2	-57.2	-50.2	-48.1	-50.7	-48.1	-57.2	-57.2	-51.2	-100	-48.1
N+0	-50.2	-57.2	-50.2	-45.2	-44.6	-38.6	-30.2	-0.01	-47.2	-46.2	-46.2	-57.2	-54.2	-50.2	-53.2	-48.1	-57.2	-50.2	-50.2	-50.2	-57.2	-53.2	-53.2	-100

Table Note: No micro-reflections, 40.4 MHz center frequency, 3.2 MHz channel width

Figure 15に、Table 4の各カスケード点における、1~12タップの棒グラフ表現を示す。主タップ以前の各タップの電力はカスケードに比例しており、群遅延とカスケードの相対的な関係が見て取れる。多段カスケード点における群遅延の影響が甚だしい場合、対象CMの収容周波数を下側に変更する等の対策が有効である。

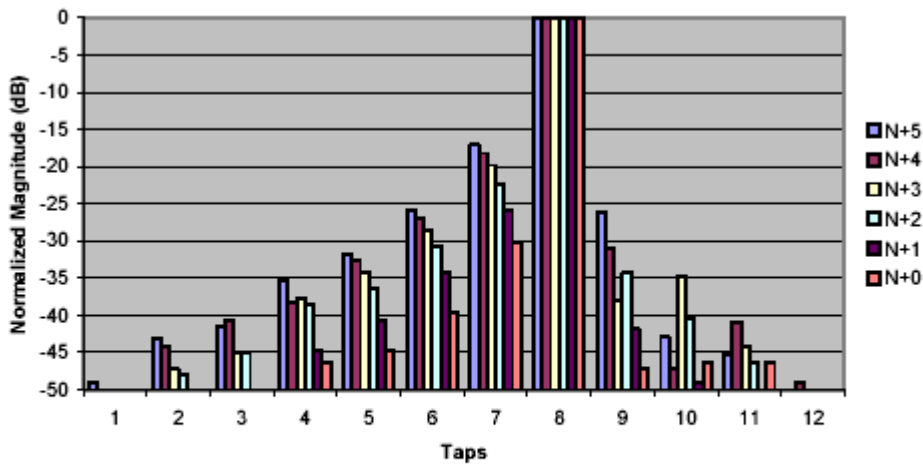


Figure 15 - Pre Main Tap Energy Increase with Cascade Depth (Fc=40.4 MHz, Ch. W=3.2 MHz, No Micro-reflections, first 12 taps shown)

Table 5に各監視指標を示す。PreMTTERの絶対値がカスケードに比例して増大し、値も比較的大きいのにに対し、マイクロリフレクションがないためにPostMTTERの絶対値が小さい。また、群遅延が支配的なので、PPESRが正の値となっている。MTCの小ささは、Pre-EQ補正が十分なマージン内にあり有効な事を示す。

Table 5 - Pre-equalization Metrics at Band-Edge (No Micro-reflections)

Cascade	MTC	NMTER	PreMTTER	PostMTTER	PPESR
N+5	0.11 dB	-15.9 dB	-16.3 dB	-25.9 dB	9.53 dB
N+4	0.08 dB	-17.3 dB	-17.5 dB	-30.1 dB	12.7 dB
N+3	0.06 dB	-18.9 dB	-19.1 dB	-32.2 dB	13.1 dB
N+2	0.03 dB	-21.1 dB	-21.4 dB	-32.2 dB	10.8 dB
N+1	0.01 dB	-24.9 dB	-25.1 dB	-38 dB	12.9 dB
N+0	0.01 dB	-29 dB	-29.4 dB	-39.4 dB	9.93 dB

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

6.13 上り周波数帯域の上限近傍における群遅延 (0.5  $\mu$  sec マイクロリフレクション)

Table 6 に、Table 4 に 0.5  $\mu$  sec のマイクロリフレクションが加わった場合を示す。その他の条件は、全て Table 4 と同一である。

Table 6 - Band-Edge Operation Impact on Tap Energy (with 0.5  $\mu$ s Micro-reflection)

Tap (Coeff)#	Pre-Main Tap Coefficients								Post-Main Tap Coefficients															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N+5	-60.2	-47.9	-43.9	-37.5	-31.2	-24.8	-16.5	-0.48	-14.4	-14.5	-31.7	-34.7	-32.5	-32.9	-35.5	-37	-41.4	-43.9	-50.2	-57.2	-57.2	-60.2	-60.2	-49.1
N+4	-53.2	-57.2	-43.8	-38.5	-31.5	-25.8	-17.1	-0.46	-14.4	-14.3	-33.3	-25.1	-32.6	-33.2	-37.2	-38.7	-43.8	-46.4	-49	-46.9	-51.2	-53.2	-54.2	-60.2
N+3	-60.2	-50.7	-43.3	-37.9	-31.9	-26.7	-17.6	-0.46	-15.1	-13.6	-34.8	-24.6	-32.6	-32.2	-38.2	-37.1	-53.2	-47.2	-47.6	-50.2	-53.2	-47.2	-54.2	-64.2
N+2	-100	-90.9	-44.6	-41.3	-33.7	-28.2	-19.6	-0.39	-14.6	-14.9	-36.4	-25.7	-37.5	-34.7	-38.4	-42.5	-48.1	-52.1	-50.9	-59.2	-58.2	-50.1	-49.2	-66.2
N+1	-54.2	-50.2	-44.6	-39.3	-33.2	-27.5	-19.1	-0.43	-14.5	-14	-34.6	-34.7	-33.4	-32.7	-37.2	-37.2	-44.1	-47.9	-43	-53.2	-59.7	-44.2	-44.9	-63.2
N+0	-58.2	-52.2	-47.1	-40.8	-35.1	-29.7	-21.7	-0.4	-14	-14.5	-35.3	-25.5	-37.9	-34.9	-40.5	-40.6	-47.2	-52.1	-48.6	-63.2	-56.7	-46.2	-57.2	-47.1

Table Note: 0.5 microsecond delay micro-reflection, 40.4 MHz center frequency, 3.2 MHz channel width

Figure 16 に、Table 6 の各カスケード点における、1~12 タップの棒グラフ表現を示す。マイクロリフレクションにより群遅延成分も若干増加しているが、支配的な変化は主タップ以後に顕著に現れている。

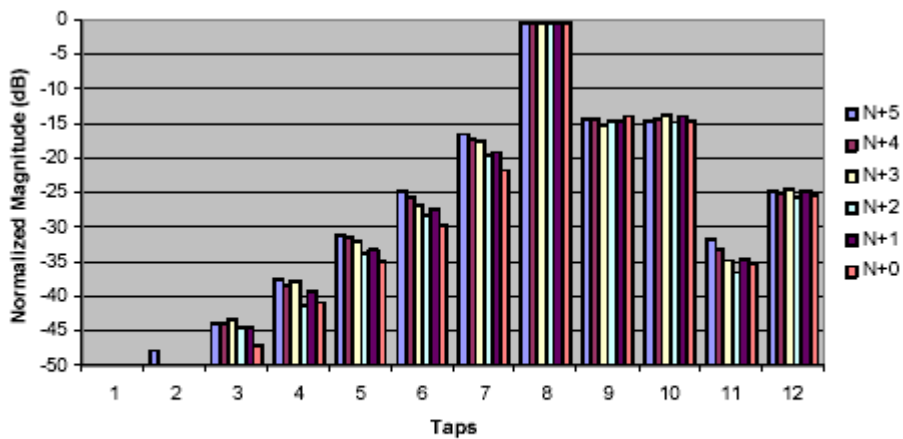


Figure 16 - Pre Main Tap Energy Increase with Cascade Depth (Fc=40.4 MHz, Ch. W=3.2 MHz, with 0.5  $\mu$ s Micro-reflection, first 12 taps shown)

Table 7 に各監視指標を示す。マイクロリフレクションにより、PostMTTER が顕著に悪化している。また、マイクロリフレクションが支配的なので、PPESR が負の値となっている。MTC が若干増大しているが、Pre-EQ 補正のマージン内にあり、今の所は Pre-EQ による補正は有効である。

Table 7 - Pre-equalization Metrics at Band-Edge (with 0.5  $\mu$ s Micro-reflection)

Cascade	MTC	NMTTER	PreMTTER	PostMTTER	PPESR
N+5	0.48 dB	-9.84 dB	-15.8 dB	-11.1 dB	-4.65 dB
N+4	0.46 dB	-9.94 dB	-16.4 dB	-11.1 dB	-5.36 dB
N+3	0.46 dB	-10 dB	-16.9 dB	-11 dB	-5.95 dB
N+2	0.38 dB	-10.8 dB	-18.9 dB	-11.5 dB	-7.4 dB
N+1	0.43 dB	-10.2 dB	-18.3 dB	-10.9 dB	-7.35 dB
N+0	0.4 dB	-10.6 dB	-20.8 dB	-11 dB	-9.83 dB

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

6.14上り周波数帯域の中間近傍における群遅延 (0.5  $\mu$  sec マイクロリフレクション)  
Table 8 に、Table 6 の上り中心周波数を 14MHz に移動させた場合を示す。

Table 8 - Micro-reflection Impairment on Pre and Post Main Tap Energy

Tap (Coeff)#	Pre-Main Tap Coefficients								Post-Main Tap Coefficients															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N+5	-60.2	-54.2	-46.2	-40.2	-33	-27.2	-18.1	-0.8	-11.9	-11.6	-22	-21.8	-27.7	-30.5	-31.8	-36.2	-39.4	-40.9	-41.1	-60.2	-44.6	-53.2	-54.2	-61.2
N+4	-59.2	-60.2	-46.2	-41.1	-34.8	-29.2	-20.7	-0.8	-11.2	-11.8	-21.2	-21.9	-28.2	-31.8	-33.4	-39.4	-40.5	-45.5	-45.1	-56.2	-50.9	-51.2	-53.9	-47.2
N+3	-59.2	-53.2	-47.6	-41.6	-35.1	-30.3	-22.3	-0.81	-10.9	-11.8	-21.1	-22.5	-29	-33.1	-35.3	-41.4	-42.1	-50.9	-48.4	-50.2	-63.2	-53.9	-57.2	-59.2
N+2	-59.2	-55.1	-46.2	-41.7	-34.2	-28.5	-20.4	-0.8	-11.3	-11.8	-21	-22.1	-28.2	-32.2	-33.7	-39.2	-39.8	-44.6	-49	-46.7	-50.9	-48.6	-47.1	-47.6
N+1	-100	-56.2	-45.4	-42	-34	-29.1	-20.6	-0.83	-11	-11.7	-21.6	-21.8	-28.6	-31.5	-33.4	-39.1	-40.2	-42.8	-57.2	-53.2	-56.2	-49	-63.2	-46.4
N+0	-57.2	-60.2	-47.2	-41.6	-32.9	-27.8	-18.7	-0.79	-11.8	-11.6	-22.2	-21.7	-28.7	-31.2	-33.1	-38.6	-37.6	-47.9	-42.6	-50.2	-48.1	-60.2	-57.2	-57.2

Table Note: 0.5 microsecond delay micro-reflection, 14 MHz center frequency, 3.2 MHz channel width

Figure 17 に、Table 8 の各カスケード点における、1~12 タップの棒グラフ表現を示す。  
ここでは主タップ以前の各タップの電力が、カスケードに比例していない点に留意されたい。  
6.13 との比較により、主タップ以後すなわちマイクロリフレクション補正には、主タップ以前の係数がほとんど使われない事が分かる。

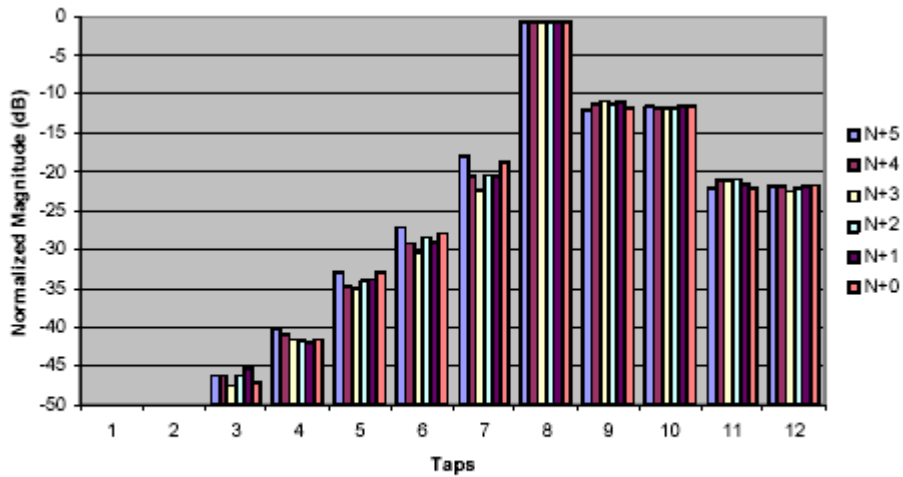


Figure 17 - Tap Energy for Different Cascade Depth Scenarios  
(Fc=14 MHz, Ch. W=3.2 MHz, with 0.5  $\mu$ s Micro-reflection, first 12 taps shown)

Table 9 に各監視指標を示す。PreMTTER から群遅延が無視できる程度である事が分かる一方で、PostMTTER から強いマイクロリフレクションの存在が分かる。PPESR も負の値となっている。6.12, 6.13 に比較すると MTC が増しており、Pre-EQ の補正限界を超える瞬間が出始めている事が懸念される。

Table 9 - Pre-equalization Metrics at Middle of Upstream Band (with 0.5  $\mu$ s Micro-reflection)

Cascade	MTC	NMTER	PreMTTER	PostMTTER	PPESR
	N+5	0.8 dB	-7.73 dB	-17.4 dB	-8.23 dB
N+4	0.8 dB	-7.72 dB	-19.9 dB	-7.99 dB	-11.9 dB
N+3	0.81 dB	-7.68 dB	-21.4 dB	-7.87 dB	-13.5 dB
N+2	0.8 dB	-7.72 dB	-19.6 dB	-8.01 dB	-11.6 dB
N+1	0.83 dB	-7.6 dB	-19.8 dB	-7.87 dB	-11.9 dB
N+0	0.79 dB	-7.78 dB	-18.1 dB	-8.21 dB	-9.84 dB



# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

### 6.15 ケーススタディ~各監視指標を応用した経年劣化障害の検知と発生源の特定~

Figure 22 に、本ケーススタディの対象施設の概要を示す。対象ノード配下に複数の CM があり、一部がマイクロリフレクションの影響を受けている。

なお本ケーススタディでは、各グラフ表現の説明を主な目的とし、切り分け手順、距離特定計算式の詳細は説明を割愛している。これらの詳細については、PNMP を参照されたい。

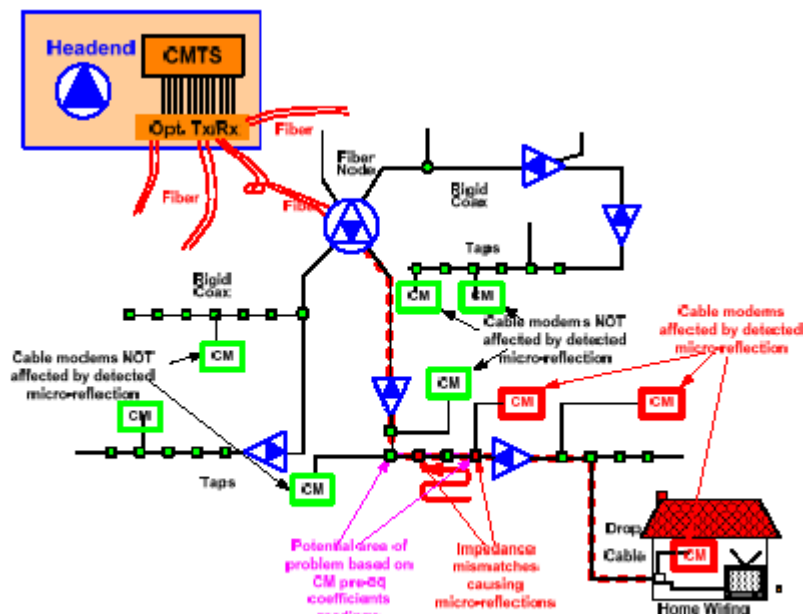


Figure 22 - Correlation of Topology with Distortion to Provide Fault Localization

Figure 23 に、対象ノード配下の各 CM から収集した Pre-EQ 情報のグラフ描画例を示す。

各係数は FFT(高速フーリエ変換)され、横軸が周波数、縦軸が強度を表している。

グラフ中央が上りチャンネルの中心周波数、両端がチャンネル両端である。

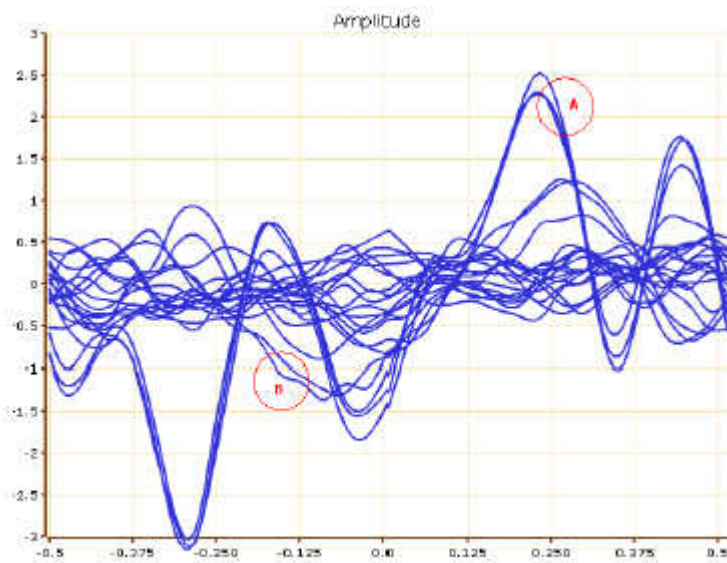


Figure 23 - Observation of multiple CMs frequency response

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

大多数の曲線は変化が X 軸方向の 0dB 基準線近傍に集中し、周波数に対して小幅な変化を示している。これらの曲線群は、マイクロリフレクションのない CM を表す。

上述の曲線群に対し、A, B のマーキングで示した曲線群には±1dB 以上の値変化が見られ、かつ上述の曲線群に対する差異が顕著である。

Figure 24 に、±1dB 以上の値変化が見られる CM に絞った描画例を示す。

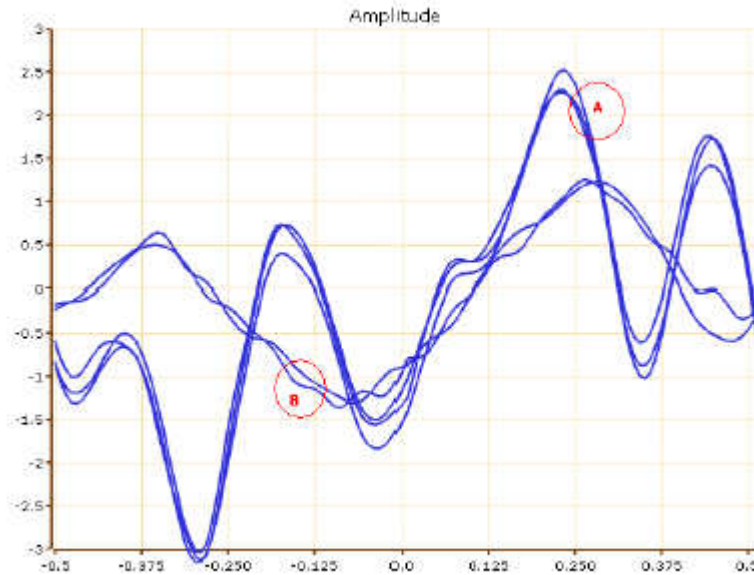


Figure 24 - Identified Micro-reflection Patterns

Figure 25 は、マイクロリフレクションの遅延時間を縦軸、強度を横軸とした場合の CM 分布を示す。赤色部分が異常域すなわち、閾値を超過した CM 群を表す。Figure 25 より、障害 CM 群が 2 つの異なる特性グループに分けられ、それぞれ-1usec, -2.5usec 近辺の値を示す事がわかる。最後に、電磁波伝播速度と線路情報に照合すれば、反射の発生源をある程度推定できる。

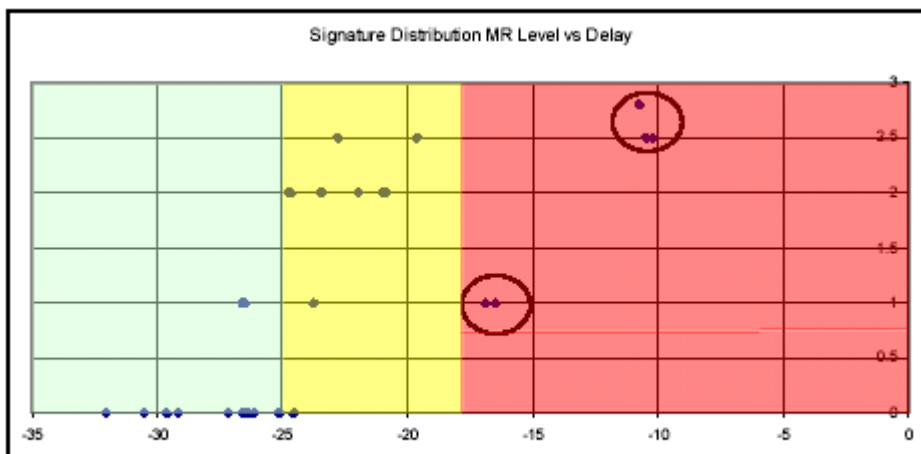


Figure 25 - Clustering of Common Micro-reflection Signatures

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

Figure 29、Figure 30 は、4 時間毎の履歴データに基づくマイクロリフレクションの傾向分析例である。

Figure 29 の CM#2 には、日次での滑らかな変動が見られるものの、複数日を跨った傾向は平滑である。一方 CM#1 には、日次での滑らかな変動に加え、経年劣化の兆候が見られる。

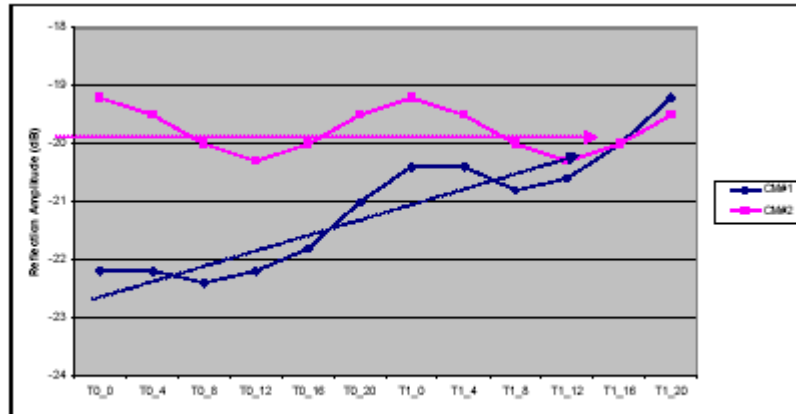


Figure 29 - Micro-reflection amplitude data of same two CMs to highlight trending over time

Figure 30 では、CM#1 に間歇的な障害の発生傾向が見られる。

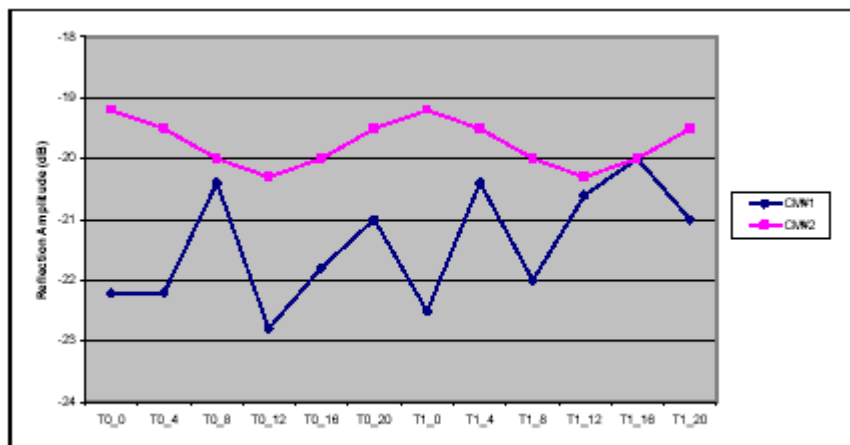


Figure 30 - CM micro-reflection amplitude over time highlighting intermittent issues

Figure 31 は、単一の Pre-EQ 収集データに基づいた状態グラフであり、左がチャンネル内周波数特性、右が時間軸に対するタップ係数の分布を示す。

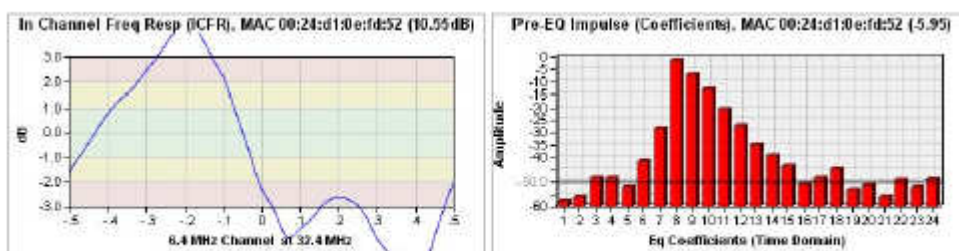


Figure 31 - Amplitude vs. Frequency peak/valley of 10.55 dB with echo present in impulse response

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

Figure 32 は、Figure 31 の左側グラフに 127 台の CM の Pre-EQ 収集データをプロットしたものであり、左側が CM からの収集情報、右側が CMTS からの収集情報を示す。

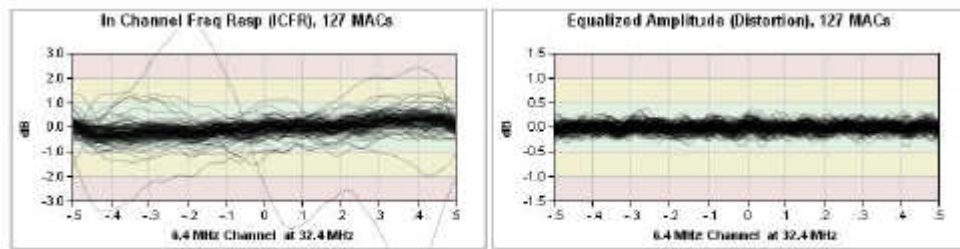


Figure 32 - Entire upstream scan shows no similar signatures shared by other modems

Figure 33 は、以上のグラフ表現を GIS/Mapping と連携した場合の画面例を示す。本例では、選択した CM の最新状態を示すグラフが、右側画面領域に表示されている。



Figure 33 - Distance calculation applied with customer address and mapping

Figure 34 は、Figure 32 の表現形式で、流合雑音が発生中の伝送路上にある CM 複数台の収集情報を示す。流合雑音により、右側グラフの CMTS から収集した Pre-EQ 後の補正值が影響を受け、インパルス性の高い品質低下障害が発生している事が分かる。

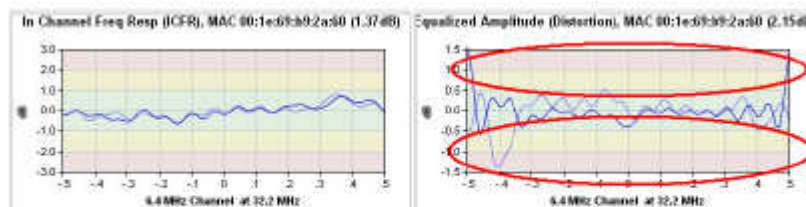


Figure 34 - Single customer modem demonstrates the effects of ingress

# OPEN STM Tips

## Pre-Equalization Analyzer

Figure 35 は、Figure 34 の対象 CM 数を、対象ノード配下全 213 台に拡張した例である。周波数依存性の高い流合雑音の混入状況を、より明確な形で確認できる。

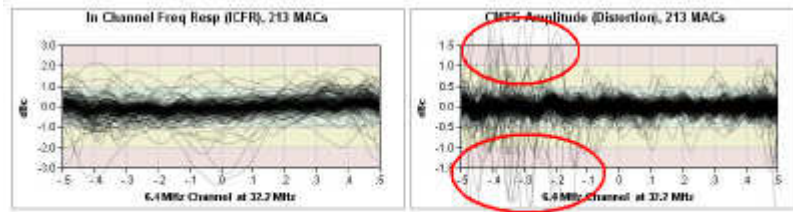


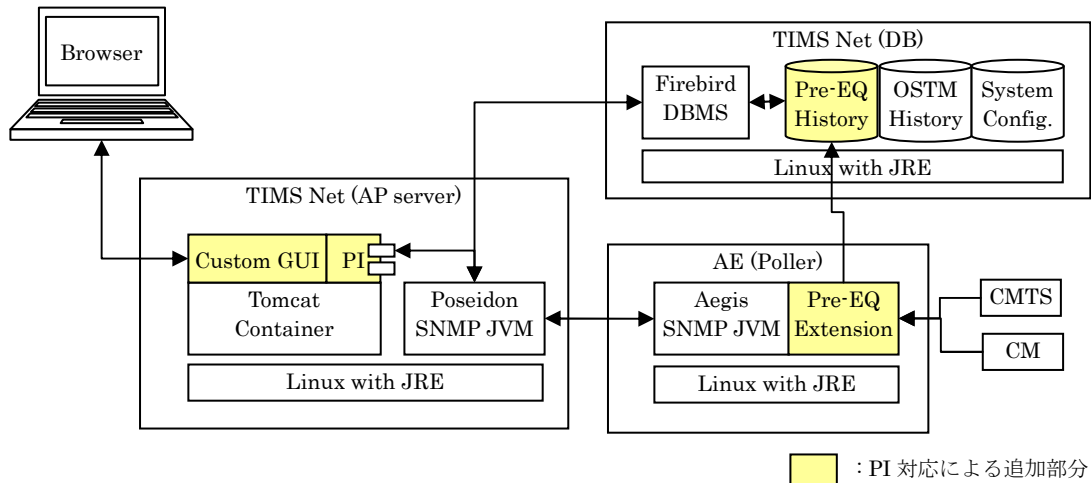
Figure 35 - Multiple modems on the same upstream demonstrate the effects of ingress

### 6.16 OPEN STM への PNMP の組み込み

OPEN STM は、PNMP の動作基盤として必要な以下の全ての基本機能を備えている。

- SNMP による DOCSIS CMTS/CM の定常的な監視
- 大量 CM からの高速・低負荷な情報収集(並列ポーリング)
- 複数 CM 間状態情報の同時性保証
- CM DOCSIS 動作バージョンの自動検知(対象 MIB の自動切換)
- 長期の Pre-EQ 履歴情報を効率的に蓄積・保持(データベース)
- 分散サーバ構成によるスケーラビリティ(数百万～数千万端末に対応)
- SMS/Billing、CAD/Mapping とのデータ&画面連携

Tips-003 に、OPEN STM に PNMP を組み込む場合のシステム構成例を示す。



Tips-003 OPEN STM に PNMP を組み込む場合のシステム構成例

PNMP 対応の具体的な方針、時期、動作条件、提供形態および価格については、OSSBN の担当営業ないしは USP パートナーに確認されたい。

以上