

# L2 スイッチ向け多ポートイーサネット測定モジュールの開発

Ethernet Test Modules with Multiple Ports for L2 Switches

古瀬賢一 Kenichi Furuse, 雨谷光雄 Mitsuo Amagai, 川手弘行 Hiroyuki Kawate, 城所久生 Hisao Kidokoro,  
貝原和幸 Kazuyuki Kaibara, 菊池和幸 Kazuyuki Kikuchi

**[要 旨]** MD1230B データクオリティアナライザのプラグインモジュールとして、MU120131A 10/100/1000M イーサネットモジュールと MU120132A ギガビットイーサネットモジュールを開発した。ハイエンドモデルであるパワープロトコルモジュールの基本機能を踏襲しつつ、コンパクト PCI の 1 スロットサイズで電気 12 ポート、光 8 ポートに多ポート化し、ポート当たりの価格低減を実現した。高密度化の進む 48 ポート/1U の L2 スイッチを 1 台の MD1230B で評価できる。また、255 フロー/ポートのマルチフローカウンタ、プリアンプルキャプチャなどの L1, L2 機能を付加し、広帯域サービスを担う、優先制御システム、光アクセス装置の検証ができる。

**[Summary]** Anritsu has developed the MU120131A 10/100/1000M Ethernet Module and MU120132A Gigabit Ethernet Module for the MD1230B Data Quality Analyzer. These modules have the basic power protocol module functions of high-end models. They support 12 electrical ports or 8 optical ports in one slot of the same size as a Compact PCI module, as well as offering decreased price per port. Using these plug-in modules, one MD1230B supports evaluation of L2 switches with a high port density of 48 ports/1U. Moreover, these modules support L1 and L2 functions, such as a multi-flow counter for 255 flows/port and preamble capture, enabling verification of the priority control system and optical access devices, forming the basis of broadband services.

## 1 まえがき

アンリツは、これまで MD1230B データクオリティアナライザで利用できるさまざまなモジュールを開発し、IP ベースのネットワーク構築に貢献してきた。イーサネット向けモジュールとしては、主に、テストフレームの発生、エラー計数、データキャプチャ、IETF RFC2544 自動測定などの基本機能を備え、10/100M に対応した MU120111A(電気 8 ポート)と 1GbE に対応した MU120112A(光 2 ポート)のベーシックモジュール、さらにサービスごとのパフォーマンスが測定できるマルチフローカウンタ、ルーティングプロトコル測定などの応用機能を備え、10/100/1000M に対応した MU120121A(電気 4 ポート)と MU120122A(電気 2 ポート、光 2 ポート)のパワープロトコルモジュールなどを商品化した。

日本国内における FTTH, DSL, CATV, FWA(Fixed Wireless Access)を合計したブロードバンドネットワークの契約数は、2007 年 3 月末時点で 2,640 万件を突破した。特に FTTH は、1 年間で 334 万件増加して 880 万件となり、増加を続けている。ネットワークのブロードバンド化が進み、通信(音声)・映像(放送)・インターネット(データ)のいわゆるトリプルプレイが急速に普及し始め、通信バブル以降ふたたび高速・大容量化の要求が増大している。ネットワークのブロードバンド化、IP によるサービスの統合は、北米、欧州でも着実に進行しており、通信事業者は、さまざまなサービス

を統合する IP をベースにした次世代ネットワーク NGN(Next Generation Network)の構築を開始している。

こうした背景のもと、ネットワーク機器のインタフェースは今までの 10/100M から 10/100/1000M へ高速化が進み、1U サイズで 48 ポートを備えた、高密度なスイッチが登場してきた。一方、ポート単価は低価格化が進み、測定器においても多ポート・低価格なソリューションの要求が高まっていた。こうした要求にこたえるため、ハイエンドモデルであるパワープロトコルモジュールを多ポート化したエクスプレスフローモジュール(MU120131A/132A モジュール)を開発した。MU120131A 10/100/1000M イーサネットモジュールは電気ポート(RJ-45)を 12 ポート、MU120132A ギガビットイーサネットモジュールは光ポート(SFP)を 8 ポート備え、電気 48 ポート、光 2 ポートを備えた L2 スイッチを MD1230B 1 台で試験することを可能にした。さらに、豊富なフィルタ設定により 255 種類のサービス(フロー)の QoS(Quality of Service)を同時に評価できるマルチフローカウンタ機能、FTTH の GE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)信号をキャプチャ可能なプリアンプルキャプチャ機能、電源をイーサネットポートから供給する PoE(Power over Ethernet)評価機能などを備えつつ、電気 48 ポート時のポート単価を従来の 1/3 まで低減した。

図 1 に MD1230B の外観と、図 2 に MU120131A/132A モジュールの外観を示す。

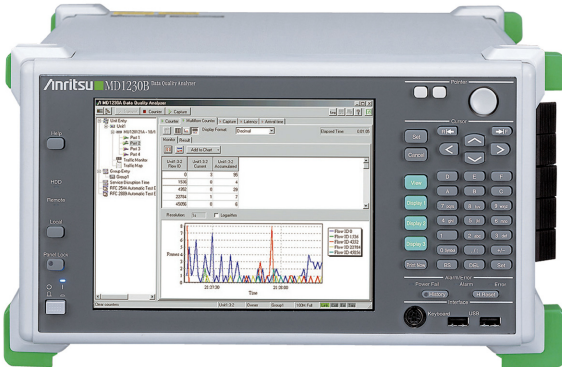


図 1 MD1230B データクオリティアナライザの外観  
External view of MD1230B Data Quality Analyzer



図 2 MU120131A/132A モジュールの外観  
External view of MU120131A/132A Module

## 2 開発方針

MU120131A/132A モジュールの開発方針は以下の 3 点である。

### (1) 共通化

MD1230B のソフトウェア資産、ハードウェア資産を最大限に利用し、開発コストを最小にする。また、モジュール間でのハードウェアの共有化を行い、開発効率の向上を図る。

### (2) 低価格・高密度化

既存モジュールを参考に選定した採用予定部品から、コストダウンと面積削減の実行性を検討する。

### (3) 低レイヤ機能強化

MD1230B の特徴である低レイヤ測定を強化するため、次の機能を追加する。

- ・ PoE 機能
- ・ マルチフローカウンタ機能強化

- ・ プリアンプルキャプチャ機能
- ・ Cross PRBS 測定機能
- ・ クロック可変、測定機能

## 3 設計の要点

### 3.1 低価格化・高密度化

#### 3.1.1 キャプチャ回路

従来のモジュールでは、ポートごとにキャプチャ用の SDRAM を使用していた。しかし、従来の方法で多ポート化した場合、コストの上昇やプリント板面積が不足するといった問題があった。そこでキャプチャメモリを複数ポートで共有し、しかも、各ポートのデータを失うことなくキャプチャするメモリ帯域を確保できる DDR SDRAM を採用することで、プリント板の実装面積を 1/4、ポート単価 1/3 を実現した。表 1 に従来方法との比較を示す。

表 1 キャプチャ用メモリの比較  
Comparison of capture memory

比較事項	従来の方法	今回採用した方法
メモリ種別	SDRAM ポートごとに 2 個	DDR SDRAM 2 ポートで 1 個
12 ポート時の プリント板面積	22.22 mm × 11.76 mm × 24 個 = 6271.37 mm <sup>2</sup>	22.22 mm × 11.76 mm × 6 個 = 1567.84 mm <sup>2</sup>
メモリ帯域	32 bit × 62.5 MHz = 2000 Mbit/s	16 bit × 150 MHz × 2 = 4800 Mbit/s

DDR SDRAM を使用したキャプチャ回路を実現するにあたり、以下の点に着目した。

- (1) 2 ポート分のデータを 1 つの DDR SDRAM で処理するため、ポートごとに使用するバンクを分け、時分割で処理を行う。これにより、ポート A でキャプチャ(DDR SDRAM へ書き込み)し、ポート B でキャプチャデータを読み出す(DDR SDRAM から読み出す)動作を同時に行える。
- (2) 2 つのポート(ポート A とポート B)の動作クロックと、DDR SDRAM 動作部のクロックは非同期となるため、FIFO でそのクロック差を吸収できるようにする。FIFO はフィルタによるフレーム取り込みや廃棄処理を決定するまでのバッファとしても使用し、FPGA リソースを有効利用する。
- (3) ソフトウェアとのインタフェースは既存モジュールを踏襲し、DDR SDRAM の制御は市販の IP コアを使用することで、それぞれ設計期間の短縮を図る。

図 3 にキャプチャ回路のブロックを示す。

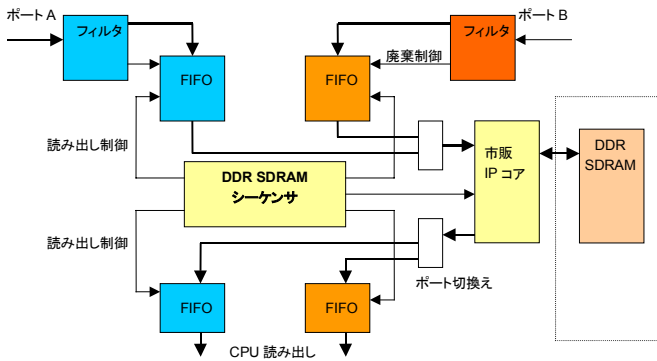


図 3 キャプチャ回路ブロック図  
Block diagram of capture circuit

### 3.1.2 PoE 回路

MU120131A モジュールの測定対象の一つである L2 スイッチには PoE 機能の実装が進んでおり、通信ケーブルにデータだけでなく電力も通すことで、IP 電話や Web カメラなどがケーブル 1 本で動作する。これらの L2 スイッチの製造現場では、イーサネットの評価だけではなく電力の給電評価も必要となっている。

給電評価回路にはアナログ部品が含まれるため、PoE 回路をモジュールのプリント板に実装するには、プリント板面積が不足する問題があった。そこで、PoE の電力供給と信号線が交流的に絶縁される点に着目し、PoE 回路を分離して実装できるようにした。その結果、モジュールのプリント板の実装密度を損なうことなく、PoE 機能を実現できた。図 4 に PoE プリント板の構成を示す。

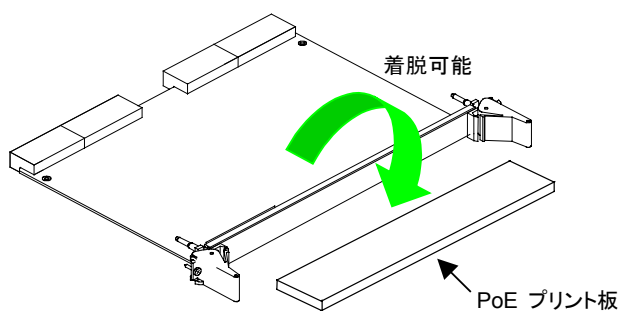


図 4 PoE プリント板構成図  
PoE Print board structure

## 3.2 マルチフローカウンタ

マルチフローカウンタは、フレームを解析してトラフィックの「フロー」を複数抽出し、測定を行う機能である。MU120131A/132A モジュールでは、MU120121A/122A モジュールで実装したマルチフローカウンタ機能を進化させ、フロー抽出条件と測定項目の追

加、リアルタイムでモニタできるフロー数を拡大し、柔軟で豊富な解析を可能にした。また、フレームの解析と測定を FPGA で処理することにより、フルワイヤレートでのリアルタイム測定を実現した。

### 3.2.1 設定の拡張性と簡便性を両立したフィルタ機能

フィルタの設定は、目的のフローを確実に抽出するため、次の特徴を持つ。

#### (1) 汎用性

各プロトコルレイヤの先頭位置から、オフセットとフィールド長を指定する汎用性の高い設定方法とした。これにより、さまざまなプロトコルフィールドを指定できるため、たとえば、実験的なプロトコルフィールドを振り分け条件として指定することも可能となる。

#### (2) 簡便性

LLID, MAC/IPv4/IPv6 Address, Ether Type, IP Protocol VLAN ID/Priority, TOS Precedence, TCP/UDP Port など、代表的なプロトコルフィールドのオフセットとフィールド長をテンプレートにした。これにより、テンプレートを選択するだけで、所望のプロトコルフィールドを設定できる。また、テンプレートは、CSV形式のファイルになっており、新たなプロトコルフィールドも容易に追加できる。図 5 にマルチフローカウンタのフィルタ設定画面例を示す。

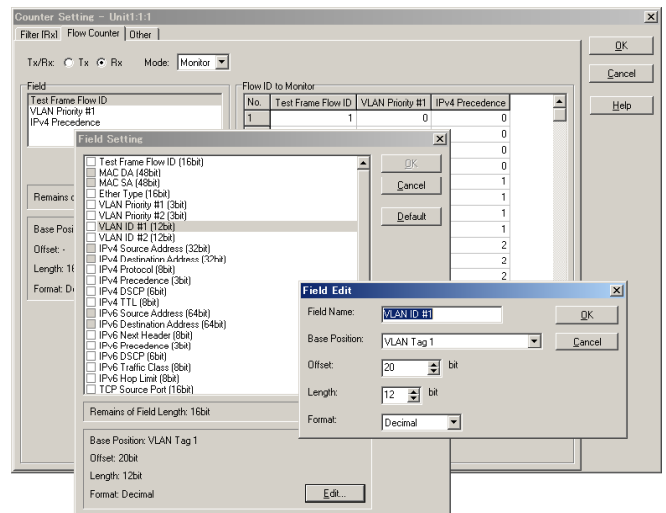


図 5 マルチフローカウンタのフィルタ設定画面  
Filter screen of multi-flow counter

さらに、プロトコルフィールドの指定(振り分け条件)を 4 つまで同時に設定できるため、上位レイヤに対してもフローの絞り込みが可能となる。たとえば、VLAN ID, Priority, IP TOS, TCP Port でフローの絞り込みを行うことで、スイッチやルータのトラフィックエン

ジニアリング機能の性能評価が可能となる。

図 6 にマルチフローカウンタにおけるフローの抽出イメージを示す。

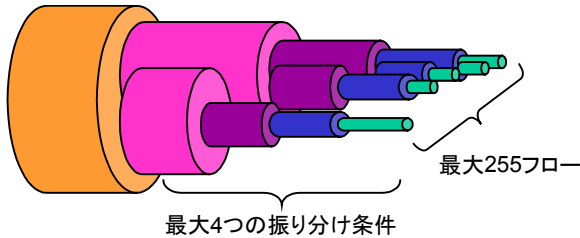


図 6 マルチフローカウンタにおけるフロー抽出のイメージ  
Filtering as multi-flow counter

### 3.2.2 複数のフロー・測定項目の同時モニタ

MU120131A/132A モジュールでは、指定された振り分け条件に対して、すべてのポートで、1ポート当たり 255 フローのトラフィックの送受信フレーム数、シーケンスエラー数、遅延量を同時に測定可能にした。その結果、たとえば、あるサービスの帯域増加が、別のサービスに与える影響(帯域の減少、パケットロス、遅延の増加)を同時に評価でき、ネットワークの評価効率を大幅に向上できる。

図 7 にマルチフローカウンタの測定画面例を示す。

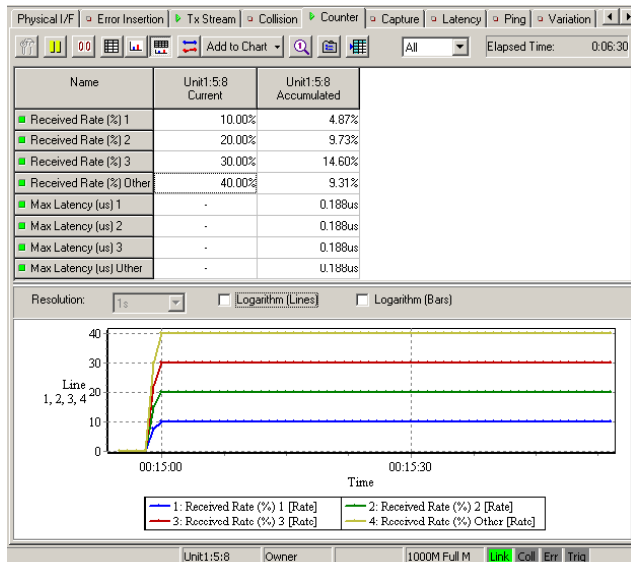


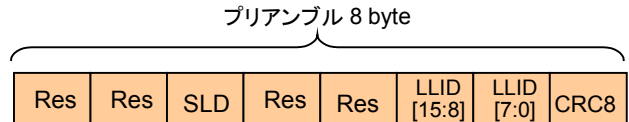
図 7 マルチフローカウンタ測定画面  
Multi-flow counter screen

### 3.3 プリアンブルキャプチャ

従来のキャプチャ回路では、イーサネットフレームの MAC アドレスから FCS (Frame Check Sequence) までをフレームとして扱い、キャプチャしていた。

MU120131A/132A モジュールでは、GE-PON の解析機能に

対応するため、イーサネットフレームのプリアンブルから FCS までをフレームとしてキャプチャしている。GE-PON では、プリアンブル部分に図 8 に示すような情報が規定されており、プリアンブルを含めてキャプチャすることで、パターンをデコードを行い、GE-PON の解析が可能となる。



Res: 通常のプリアンブルと同じ 10101010(b)  
SLD: Start of LLID Delimiter SFD と同じパターン 10101011(b)  
LLID [15:0]: Logical Link Identifiers GE-PON の識別用  
CRC8: 生成多項式  $x^8 + x^2 + x + 1$  SLD から LLID フィールドまでの 5 byte の CRC

図 8 GE-PON プリアンブルフォーマット  
GE-PON Preamble format

なお、プリアンブルの解析を必要としない場合には、この機能を無効にすることで、キャプチャメモリ容量を拡張できるようにした。表 2 に 64 バイト長のデータをキャプチャしたときのフレーム数の違いを示す。

表 2 キャプチャフレーム数の違い

Difference in number of captured frames

モード	通常モード	GE-PON モード
キャプチャ可能フレーム数	262,144	226,719

そのほかの GE-PON 解析機能として、GE-PON プリアンブル中の CRC8 について専用の計算回路を設け、CRC8 エラーの有無をリアルタイムにカウントする機能も備えている。

### 3.4 Cross PRBS

従来の Packet BER (パケットビットエラー率) 測定は、ペイロードの先頭で PRBS パターンが初期化される Single PRBS9 のみ対応しており、フレーム長が同じであれば、常に同じパケットが送信されていた。また、エラー付加は、1 フレームあたり 1 ビットのみ挿入されるため、エラー付加率は送信するフレームレートに依存していた。

MU120131A/132A モジュールでは、ペイロードの先頭で PRBS パターンを初期化することなく、より実回線に近いランダムなペイロードを持つパケットの送信と、フレーム単位での Packet BER 測定を実現した。この機能と Sequence Error 測定を組み合わせることにより、ネットワークやスイッチなどの被測定物を經由して

生じるパケット欠落やペイロードのエラー発生率を、実回線に近い状態で測定できるようになる。同時に、エラー付加についても、Single, Rate, Programmed Rate ( $10^{-3}$ から $10^{-9}$ )から選択でき、送信するフレームレートに依存することなく、ネットワークのエラー耐力を測定できるようにした。

### 3.5 クロック可変／測定回路

インタフェースの高速化が進むにつれ、クロック試験はより重要な項目になっている。MU120131A/132A モジュールでは、クロック可変と周波数測定機能により、被測定物に内蔵されているクロック再生回路の評価が可能となる。

たとえば、1000BASE-T では、装置間のクロック偏差によるエラー発生を防ぐため、装置の一方がタイミングマスター、他方がスレーブとなり、マスターからの信号をクロック再生して動作している。MU120131A モジュールでは、マスター／スレーブの切り替えを可能にすることで、スレーブ時は、被測定物がマスタークロックで動作していることを確認でき、マスター時は、被測定物が再生クロックで動作していることや、クロック可変機能で $\pm 100$  ppm の偏差を加えても正常動作することを確認できる。

## 4 機能諸元

表 3 に MU120131A/132A モジュールの主な機能を示す。

## 5 むすび

MD1230B データクオリティアナライザは 5 スロットを備えており、MU120131A 10/100/1000M イーサネットモジュールを 4 台、MU120132A ギガビットイーサネットモジュールを 1 台実装することで、10/100/1000M 電気ポート(RJ-45)を 48 ポート、1 GbE 光ポートを 2 ポート備えた L2 スイッチや、32 台の光回線終端装置 ONU (Optical Network Unit)と 1 台の光加入者終端装置 OLT (Optical Line Terminal)を接続したシステムの評価が、1 台の MD1230B で可能となった。本機が、あらゆるネットワーク機器の評価を行う場面で効率よい測定環境を提供し、ネットワークの信頼性の向上や次世代ネットワーク NGN の発展に貢献することを期待する。

## 参考文献

- 1) 総務省 報道資料 平成 19 年 6 月 7 日:  
“ブロードバンドサービス等の契約数(平成19年3月末)”,  
[http://www.soumu.go.jp/s-news/2007/070607\\_2.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2007/070607_2.html)
- 2) 総務省 報道資料 平成 18 年 6 月 6 日:  
“ブロードバンドサービス等の契約数(平成18年3月末)”,  
[http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/060606\\_2.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/060606_2.html)

## 執筆者



古瀬 賢一  
計測事業統轄本部  
IP ネットワーク計測事業部  
第1開発部



雨谷 光雄  
計測事業統轄本部  
IP ネットワーク計測事業部  
第1開発部



川手 弘行  
計測事業統轄本部  
IP ネットワーク計測事業部  
第1開発部



城所 久生  
計測事業統轄本部  
IP ネットワーク計測事業部  
第1開発部



貝原 和幸  
計測事業統轄本部  
IP ネットワーク計測事業部  
第1開発部



菊池 和幸  
計測事業統轄本部  
IP ネットワーク計測事業部  
第1開発部

表3 MU120131A/132A モジュールの主な機能  
Main features of MU120131A/132A

形名	MU120131A	MU120132A
品名	10/100/1000M イーサネットモジュール	ギガビットイーサネットモジュール
対応規格	10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T	1000BASE-SX/LS/LE/LR (SFP モジュールによる)
コネクタ形状	RJ-45	SFP (LC)
ポート数	12 ポート	8 ポート
ビットレート	10, 100, 1000 Mbit/s	1000 Mbit/s
デュプレックスモード	全二重/半二重	全二重
オートネゴシエーション	オン/オフ	—
	Timing : Auto/Master/Slave (1000M)	
フローコントロール	オン/オフ	
LED	Link	
モード	ノーマル, モニタ, アドレススワップ, スルー (ポート 1 と 2, ポート 3 と 4, ポート 5 と 6, ポート 7 と 8, ポート 9 と 10, ポート 11 と 12)	
ストリーム数	255 ストリーム/ポート	
フレーム設定	データフィールドにテストフレームが設定可能 テストフレーム時 : Flow ID, Single PRBS9, Cross PRBS23, または, Cross PRBS31 を選択可能	
フレーム長	48~10,000 byte, 自動, 固定値, インクリメント, ランダムから選択	
キャプチャメモリ	16 MB/ポート	
ブリアンブルキャプチャ	オン/オフ イーサネットフレームのブリアンブルから FCS までをキャプチャ可能	
マルチフローカウンタ	フレームの特定ビット(1~16 ビット幅) 4 箇所に対して, 特定ビットの値を組み合わせごとに Frame/Bit/Byte/Rate/Latency/Sequence Error カウントが可能 (255 フロー/ポート) 255 フロー/ユニットのリアルタイム表示可能	
クロック可変 (Module-Opt01)	オン/オフ, -100 ppm~+100 ppm, 1 ppm ごとに設定可能 クロック確度は本体に依存 (MD1230B : ±4 ppm, MP1590B/MP1591A : ±0.1 ppm)	
周波数測定 (Module-Opt01)	10BASE-T は除く 誤差は本体に依存 (MD1230B : ±4 ppm, MP1590B/MP1591A : ±0.1 ppm)	
PoE (Module-Opt02)	Class 分けエミュレーション : PoE なし, Class0~4 を模擬 給電状態を判断 Off (0~30 V) Under (30~42 V) Normal (42 V~)	—
Link Up/Down	On/Off/Flap(間隔 : On : 10~3600 秒, Off : 1~3600 秒, 回数 : 1~65535, Infinite) No/Go 判定 : On/Off	