

岡崎国立共同研究機構における ATM ネットワークの構築と運用

大野 人侍

岡崎国立共同研究機構 情報ネットワーク管理室

岡崎国立共同研究機構では、1996年に共有型ネットワーク（FDDI+Ethernet）に加え、ATMを利用した高速なスイッチ型ネットワークを導入した。ATM導入当初は、PVCとベンダー独自VLAN機能を用いてネットワークを構築していたが、障害が多発し計画通りの性能が出なかった。そこで、ATMネットワークの運用方法を再検討し、SVCとATM Forum LANE Ver.1.0を使ったVLANを構築し直す事となった。本論文では、再構築時に得られた経験や、運用管理上及び技術的な問題点について述べる。

Construction and Management of ATM Network In Okazaki National Research Institutes

Hitoshi OONO

Center of Information and Communication, Okazaki National Research Institutes

In March 1996, Okazaki National Research Institutes Organized Network (ORION) introduced high-speed switched network using ATM that was added to shared network using FDDI and Ethernet. At the start, we constructed VLAN with PVC and nonstandard VLAN protocol. But it did not obtain enough performance. Reluctantly, we reevaluated the operation of the ATM network and reconstructed the VLAN using SVC and ATM Forum LANE version 1.0. In this paper, we relate experiences that we obtained in its reconstruction and problems that we have on network operation, management and technique.

1. はじめに

岡崎国立共同研究機構（岡機構）のネットワーク ORION（Okazaki National Research Institutes Organized Network）は、1986年に分子科学研究所（分子研）電子計算機センターの端末接続用として光ファイバによるネット

ワークを構築した事から始まった。その後、1990年に分子研以外の基礎生物学研究所（基生研）、生理学研究所（生理研）及び管理局に光ファイバを延長する事で、岡機構全体をカバーする基幹ネットワークとして整備されていた。

そして、1993年に岡機構として初めて基幹

部、支線部及びネットワーク端末を含む ORION の総合的整備計画に補正予算が付き、1994 年（平成 5 年度）にネットワークの再構築を行った。

この時のネットワークは、ORION の基幹部を 600Mbps のスイッチング能力を持つ FDDI Loop Switch で構成し、ルータを介して各部局幹線用 FDDI Loop、さらにその下に Ethernet を用いた支線ネットワークを構築した。この Ethernet は、基生研を除く各部局は 10Base-5 を使った共有型で、基生研のみ実験的に幹線に FDDI を用いず、Ether Switch を使ったスイッチ型ネットワークとした。

このように各部局の支線部分を直接 ORION の基幹ネットワークに接続するのではなく各部局用幹線を挟む階層構造にする事によって、各支線内の Local Traffic と部局間及び Internet への Backbone Traffic を分離した設計とした。

当初、この構成で数年間は Traffic の増加に対応できるだろうと考えていた。しかし、岡機構内で電子メールが普及するにしたがって端末が増え、それに伴い端末間や端末・サーバ間でのプリンター及びファイル共有の増加や、WWW の爆発的な普及なども手伝って、Traffic はネットワーク構築時の予想を超える勢いで伸びていき、特に支線部の Ethernet は限界が見えはじめていた。

そこで、共有型ネットワークに比べて各端末が帯域を確保できるスイッチ型ネットワークの全面的な導入を目指し、1994 年から ATM 機器の評価をはじめた。この時は、ATM 交換機 4 台と各部局幹線部の既設ルータに ATM Interface を増設し、基幹ネットワーク部分で評価作業を行い、その結果を受けて 1996 年（平成 7 年度）に ATM 機器を本格的に導入し、新しい ORION ネットワークを構築する事になった。

2. ATM ネットワークの導入

1996 年 3 月に導入した ATM ネットワーク機器は、10Gbps ノンブロッキング ATM 交換機 Fore ASX-1000 4 台（分子研、基生研、生理研、管理局各 1 台）と、ATM edge device として 10Base-T、100Base-T 各 Switching module 及びに FDDI DAS module を搭載可能な Hitachi HS200 LAN スイッチ 78 台（5 スロットモデルの Type1 と 9 スロットモデルの Type2 の合計）である。

物理的な ATM ネットワークは、各 ATM 交換機間を 622Mbps (OC-12) でフルメッシュ接続し、ATM 交換機と LAN スイッチ間を 155Mbps (OC-3) でスター型接続する構成とした。配線には、ATM 交換機間にはシングルモードファイバを、ATM 交換機と LAN スイッチ間にはマルチモードファイバをそれぞれ使用した。各 ATM 機器の接続は、敷設した光ケーブルを直接接続するのではなく、光パッチパネルを介して接続して保守性を高める工夫をした。

また、この ATM ネットワークは、今までの FDDI 基幹ネットワークから全く独立して構築されており、FDDI ネットワーク系（旧 ORION）と ATM ネットワーク系（新 ORION）間は、1994 年に導入済みの ATM Interface を持つルータを使って各部局毎に相互接続されている。

このほかに、1996 年の ATM ネットワーク導入時には、ネットワーク監視装置や ATM Interface を持つファイルサーバ、（主に）WWW コンテンツ製作用のマルチメディア WS などをおわせて導入した。

更に、パッチパネルを介して LAN スイッチと接続するカテゴリ 5UTP ケーブルで配線した RJ-45 コネクタを最低 2 ポート持つ情報コンセントを原則的に全ての部屋にととして設置した。

3. PVCを使ったネットワークの構築

当初、岡機構では、ATM 導入決定から実際のネットワーク構築までの時間的な余裕がなかった事と、ネットワーク立ち上げ時の障害を出来るだけ少なくするために、ATM 接続方法として PVC を採用する事とした。また、岡機構では、研究室と実験室が複数の建物に分散している事が多く、各研究系、研究施設系毎に同一ネットワークを割り当てて欲しいというユーザからの要求が強くあり、これに応える為に VLAN を導入する事とした。この VLAN を構成しやすいという事も ATM を導入しようという大きな動機の1つでもあった。

3.1 PVC コネクションの構成

ATM は、物理的構成と論理的構成を分けて構築する事が出来る。この利点を生かして、LAN スイッチ間にフルメッシュの PVC を張りたいたいところだが、岡機構が導入した LAN スイッチでは最大 32 本の PVC しか張れない為に、ATM ネットワークの基幹部分(部局間のルーティングを行う)と支線部分に分け、LAN スイッチの持つスパニングツリー機能を使って、それぞれの部分でループを構成し、耐障害性面でフルメッシュ構成を取れない点をカバーした。

しかしながら、この事によって PVC の設定によって、同一 VLAN 内の端末同士であっても接続している LAN スイッチが異なれば、LAN スイッチ-ATM 交換機-LAN スイッチという最短経路ではなく、直接通信に関係無い LAN スイッチを複数経由する事になってしまった。また、VLAN をまたぐ通信の場合、これに加えて、ルータ機能を提供している LAN スイッチを経由しなければならず、ネットワーク全体のパフォーマンスに影響を与える結果となってしまった。

基本的に ATM ネットワーク内のルーティングは、IP/IPX は LAN スイッチが行うようにし、AppleTalk については、各部局内で閉じるようにしてブリッジさせた。

3.2 VLAN の構成

導入した LAN スイッチには、ポートベース VLAN とポリシーベース VLAN をサポートする独自機構が用意されており、生理研はポートベース VLAN を、それ以外の部局はポリシーベース VLAN を使って論理ネットワークを構築した。

ポリシーベース VLAN の場合、各部局と基幹部分にそれぞれ 1 つの Group を定義し、その中に 1 つの IP/IPX ネットワークに相当する VLAN を複数定義し、ユーザが部局内を移動して、移動先の情報コンセントに端末を接続しても常に同一 VLAN に参加できる環境を構築した。これは、LAN スイッチが持つ AutoTracker と呼ばれる各端末の MAC アドレスと VLAN 定義及び接続先のポート管理を行う機能で実現されている。

3.3 運用開始後の問題点

ATM ネットワークの設計や導入機器の詳細な機能評価を事前に十分に行う余裕がなく、実際のネットワーク構築作業と平行するような形になってしまった為、1996 年 4 月の運用開始後からパケットの大幅な遅延や破棄が頻発し、正常な通信が行えないような状況になってしまった。そこで、運用開始直後からメーカ等と協力しながら原因調査を始めた。2 ヶ月近くの調査の結果、特に大きな障害の原因として、

- 1) スパニングツリー使用
- 2) AutoTracker の CPU 負荷
- 3) IPX ルーティング機能使用

4) VLANからのブロードキャスト漏れの4つを突き止めた。

原因の1)は、3.1節でも説明したように、フルメッシュ構成の代わりにATMネットワーク全体で多くのループを作って耐障害性を高めるようにしたので、当然ループを切るためにスパニングツリープロトコルを使用したのだが、これがまったく収束せず通信が不安定になってしまったというものであった。これは仕方がないのでループを全て切り、障害発生時に手動でPVCを張り直す事で回避した。

原因の3)は、IPXルーティングを行っているSAP(Service Advertising Protocol)情報が定期的にブロードキャストされ、その処理にCPUがかかりきりとなってしまう、パケットの遅延(数千ミリ・連続数パケット)や破棄(連続数パケット)がその都度起きるといったものであった。この問題は、岡機構ではIPXは、あまり使われておらず、さらにFDDIの旧ORION系ネットワークがあるので、ATMネットワークではIPXを全面的に利用禁止とする事で回避した。

AutoTrackerは、ポリシーベースVLANの機能を提供する大切な物であるが、これを使うと定期的な学習テーブルの更新時にCPUの負荷が高くなり、パケットの遅延を引き起こした。

また4)は、あるVLAN内のブロードキャストが、そのVLANに参加している端末が接続されているポートにのみフォワードされるべきところを、そのVLANが定義されているGroup全体にフォワードするというLANスイッチの仕様の為に、まったく関係のないポートにもフォワードされてしまうと言う物であった。これでは、接続される端末が多くなればなるほどネットワーク全体にブロードキャストが増え、ネットワークや端末に余計な負荷をか

ける事になってしまう。これを避けるためには、GroupをVLAN毎に分けなければならないが、AutoTrackerが同一Group内でしか機能せず、しかも、GroupをLANスイッチの物理ポートに多重定義する事ができないので、それを行う事ができなかった。

上記の2)と4)の問題を引き起こしている機能及び設定は、ATMネットワーク構築時の大きな目標であったVLANを構成する上で欠く事のできないものである。しかしながら、このままではATMネットワークの通信が安定せず、ユーザから見捨てられてしまいかねなかった。

そこで、独自方式のVLANを捨てて、ATM Forumが決めたLANE(LAN Emulation)を採用して一からATMネットワークを構築し直す事を決めた。

4. ATM Forum LANE Ver.1.0への移行

導入当初の構成では、岡機構の要求を満たす事ができない事ははっきりした6月にAutoTrackerを使ったVLANを捨て、VC(Virtual Circuit)の管理が楽なSVCに替え、合わせてVLAN方式としてATM Forum LANE Ver.1.0を採用する事を決めた。そして、導入時の失敗を繰り返さないために、月2回のペースで納入業者との打ち合わせを行い、岡機構の要求と機器の持つ制限を突き合わせ、機能上の限界を押さえ可能な限り理想に近いネットワークを再構築すると共に、安定稼働する構成を目指した。この打ち合わせは再構築が完了した1997年3月まで続け、LANE移行後も月に1回程度のペースで打ち合わせを続けている。

4.1 LANE構築方針

LANEに必要なサーバ(LECS、LES、BUS)

は全てATM交換機のCPUで起動させる。ATMネットワークで使用するプロトコルは、IPとAppleTalkの2つとし、IPはLANスイッチで基本的にルーティングし、AppleTalkは1 ELANないでブリッジさせる。もしも、AppleTalkのルーティングが必要な場合は、旧ORION側にいるシードルータを使う。LANEをVLANを実現するために使う。この様な基本方針を決め、これに対するATM機器側の制限を調べた。その結果、ATM交換機には、

- ◆ LES、BUSは1 CPU当たり最大16個まで定義できる
- ◆ 1 LECS当たりLESの数を16個以内に抑える
- ◆ 1 CPU起動したLECS、LES、BUSへのVCを1000以下にする

という制限がある事が分かった。

また、LECとなるLANスイッチには、

- ◆ 最大12LECまで定義可能
- ◆ 最大6ELAN間のルーティングが可能
- ◆ 最大16ネットワーク間のルーティングが可能
- ◆ ルーティングはIP/IPXのみ可能
- ◆ MTUサイズによってSVCの本数が変化する

という制限があった。この中で、MTUサイズによってSVCの本数が変化するという条件がネットワークを設計する上で一番きつい制限となった。SVCの本数Dは、

$$D \leq A - (B + C \times L)$$

という不等式を満たさなければならない。ここで、AはATMポートのバッファサイズによって変わる値で8KBの場合51、32KBの場合は32となる。BはLANスイッチとATM交換機間で張られるシグナリング用のVC数でその値は2であり、CはLES、BUSに張られるVCの数で

4である。Lは定義するLECの数である。ATMポートのバッファサイズは、10/100BaseEtherのみを搭載するLANスイッチでは8KB、FDDIポートを搭載するものでは、MTUをEthernetに合せない限り、32KBとなる。例えば、FDDIポートを持つLANスイッチに3つのELANを定義した場合、Dの値は18となる。これは、言い換えれば1 ELAN当たり平均6LECとし、VCを張れない事を示しており、ネットワークの構成を著しく制限する物である。

この問題を回避するためには、FDDIで使用するMTU長をEthernetに合わせるか、定義するELAN数を少なくする方法が考えられる。MTU長を変更した場合、FDDIのパフォーマンスが低下する弊害があるので、出来るだけMTU長は変更せず、定義するELAN数を少なくする方法を選択した。元々、1つの物理ポートには1つのELANしか定義できないので、AutoTrackerを使ったVLANと同様な事をしようと思ったら、1 ELANに複数のネットワークを定義しなければならないので、その意味でもELAN数を減らすほうがより現実的であった。極端な例では、分子研ではある1 ELANを研究所内の全てのLANスイッチに定義し、その中に10のIPネットワークを作り分子研ATMネットワークの端末ならば分子研内のどの情報コンセントに繋いでも設定を変える事無く同じネットワークに参加できる様にしている。また、SVCを使っているために絶えず最短距離の経路が使われ、ルータやLANEサーバさえ止まらなければ一部のLANスイッチが障害を起こしたとしても他のLANスイッチには影響が無く、障害に強いネットワークを作る事が可能となった。更に、SVCを導入した事によってVCの追加や削除等の管理作業を省く事が出来、管理者の負担も軽くなった。

5. 残された問題

LANEに移行する事によって、以前とは比べ物にならないほどネットワークが安定し、VLANもきちんと機能するようになり、構築から移行にかけての1年間の作業が無駄ではなかったと安心している。しかしながら、これ程慎重に作業を進めたにもかかわらずいくつかの問題が出てきてしまった。

1つ目は、ATMネットワーク側と旧ORION側にいるFDDIを持った端末同士が通信する場合、ある特定の経路を通ると、通信が出来なくなるという物であった。これは、FDDI端末が繋がっているLANスイッチがフラグメントもフラグメント要求もせず、そのままATMにパケットを渡してしまうため、特定のATMルータでMTU長を1.5KBと固定している物があると不正なパケットとして破棄してしまい、このような障害が起こる事がわかった。対策としては、FDDIで繋がる可能性があるネットワークでは、フラグメント要求を出すATMルータを必ず通るようにネットワークを変更するか、WSのFDDIインターフェースのMTU長を個別に調整するという作業を行った。また、LANスイッチのメーカーに対してフラグメントを行うようにするよう要求を出した。

また、BUSに関しても問題が出た。岡機構で使用しているATM交換機のCPUは古いモデルで処理能力があまり高くない。また、コントロールウエアの問題で、BUSに多くのリクエストが一時にくるとその負荷に耐えられず、それ以降新規のVCが張れなくなり、ATM交換機の基本性能に影響が出てしまった。この問題は、コントロールウエアのバージョンアップで解決できるのであるが、これを行うと、1つのELANに5個以上のLANスイッチがLECとして参加できなくなると言う問題が出てしまい、バージョ

ンアップを行わないで、複数あるATM交換機の比較的暇なCPUにBUSを移し、新規VCを張れなくなると言う事態を出来るだけ避けられるように、仮対策をした。本体策としては、外付けのLANEサーバの導入を検討している。

また、LANスイッチをLECとして、その下に端末が繋がる構成を採っているので、LESには端末のMACアドレスとATMアドレスの対応表が無く、また、LECのLE_ARPキャッシュにも無い場合、LECはアドレス解決が終わる前にBUSを通した通信をはじめめる。この時、機構が導入したLANスイッチには、デフォルトで1pps、最大でも10ppsと言うBUSへのフォワード制限があり、この制限の為に、1秒間に複数のクライアントが通信を始めた場合、条件によって通信確立までに時間がかかる場合があった。

6. 管理上の問題

LANEへの移行は、若干の問題を含んでいるが、概ね満足のいく結果が得られた。また、移行作業を通じて、ネットワーク管理者のATMへの理解が一層深まると共に、VCの管理やLECの追加などPVCに比べると管理者への負担が軽くなった。しかしながら、SVCを使った事による管理上の問題も新たに発生した。

まず、LANEで使用しているVCの状況分り難くなり、通信障害が起こった場合、どこが原因か特定が困難になった事である。これは、VCの状況とIPレベルでのネットワークの状況を視覚的に、統一した形で提供してくれるツールが無いためである。また、物理的な機器管理と論理的なネットワークの管理の対応が、今までのネットワークの様にいかない為、故障などが起こった場合の対応や費用負担について新たなルール作りが必要となっている。