

総論：安定したネットワークの構築，運用をめざして

林 英輔 _____ 流通経済大学
中山雅哉 _____ 東京大学
箱崎勝也 _____ 電気通信大学

分散システム運用技術（DSM）研究会が、その前身の分散システム運用技術研究グループの活動を発展的に継承して、1996年度から活動を開始して2年半になる。この間のインターネットの急激な展開と、それに裏打ちされた分散システムの進展は衆目の認めるところである。

本稿では、これまでの分散システム運用技術研究会の活動を踏まえて、その中から主として、大規模、高速ネットワークシステムの構築と運用、管理に関する技術動向と課題を展望する。分散システム運用技術研究グループと分散システム運用技術研究会の活動全般については、研究報告¹⁾、シンポジウム論文集^{2), 3)}を参照されたい。

ネットワーク構築・運用の課題

LAN

LANの管理の内容を大別すると、障害管理、構成管理、性能管理ということになるが、数千台のホストを接続するような規模の大きなLANでは、通常、LANが階層的なシステムになるように構築される。全体が相互に接続する自律的サブネットの集合になるようにすれば、ネットワークの日常的な運用や上述の管理を各サブネットごとに行うように分散することができる。たとえば、サブネットマスク24ビット、すなわち254台未満のサブネットは上述の3種類の管理すべてを比較的容易に行い得るくらいの規模であるといえる。

しかし、LAN全体としての管理も必要である。多くの場合、個々のサブネット内にはユーザがいるだけで、自網内の障害対応や新規ホストの接続のような構成変更を自力で行うことはあっても、上述のすべての管理が自力で行われる場合はまれである。LAN全体の管理では、サブネットの内部で対応できない場合のために、サブネットの障害監視や通信トラフィック監視などがサブネットの外部から行われる。

この他、LANの基幹網や対外接続部、それにサブネット単位の構成変更への対応も全体の管理対象に入る。サブネットの障害管理として比較的多く実施されている手法は、サブネット内の監視プローブから、一定時間ごとに、各ホストへ向けてpingコマンド⁴⁾で問合せを行い、この応答を識別して、そのホストの通信機能が停止しているか否かを判断する一連の処理を自動化した仕組みである¹⁾。各サブネットについてのこの結果をLANの集中管理マネージャに通知すれば、管理マネージャでは、LAN全体についてホストの接続状態の集中管理が可能になるが、各サブネット内の監視プローブからの通知の転送回数を減らすには、ホストの接続状態に変化があった場合にのみ転送する方式が有効である⁴⁾。この種のシステムは、構成管理機能を兼ねることができる。サブネット内に接続するホストのネットワーク上の位置が、あらかじめ集中管理マネージャ側に通知されてさえいれば、集中管理マネージャでは、どの位置にあるホストが接続状態にあるか否かを把握することが可能である。

最近、インターネットを通じて、外部からLANに対するさまざまな攻撃が問題になっているが、この対処は、主として対外接続部の機能と管理によって防衛する方法が採られている。ファイアウォールの設置によって、外部からLAN内のホストへの不正アクセスを排除し、不正なメール中継やICMP⁵⁾による不正ブロードキャストの中継を排除するための措置が行われている。また小・中・高等学校のLANでは、有害情報のフィルタリングを対外接続部のルータやwebサーバにおいて行う方法が実験的にも検討されている⁵⁾。

中・広域ネットワーク

我が国におけるインターネットの展開は、1992年、学術系のネットワークから開始された。広域網としてはSINET（学術情報ネットワーク：本特集「2. 大規模ネットワーク構築上の課題」参照）が、また、地域内の大学などのLANを東ねて広域網に接続する学術・研究系の地域ネットワークとして、TRAIN（関東）、

KARRN (九州), ORIONS (関西) などが活動を開始した⁶⁾。以来, 6年が経過した。これらの地域ネットワークは, 開始後の2, 3年の間に加入する大学などのLANの数, 利用者の数, そして通信トラフィック量が急速に増大したが, 今や役割を終えてネットワークの運用を停止しようとしている。

ネットワークの階層構造の視点からみると, SINETなどの広域ネットワークと大学などのLANとの間の階層にあって, 地域内の大学などのLANを束ねて広域網に接続する役割を果たす中間層の地域ネットワークがなくなり, 各大学などのLANは直接広域網に接続することになり, より単純な構造に変化することになる。この要因は, 広域網が強化され, 地域ネットワークが果たしていた地域の大学などのLANを束ねる機能を, ある程度, 備える程度になったため, また, 各大学からみたとき, 広域網の回線の帯域幅が, これもある程度であるが, 他の大学, 企業や海外との通信が大きく遅延しないくらいに整備されたためである。

さらに広域網としては, 民間のISP (Internet Service Provider) も利用できるようになった。一方, 地域ネットワーク側では, TRAINの例でいえば, 組織規模と通信トラフィックの増大はネットワーク運用の負荷を加重にし, 予算運用の困難さを増すことにつながってきた。また, 設立当初の目的であった, 研究利用環境としてのネットワーク整備のための相互協力や運用技術の把握と普及のための実験も, ほぼ終えている。このままでは, 単なるISPとしての役割を果たすだけの組織になっていて, むしろ個々の大学などの組織は, これまで養った技術と経験をいかして, 自らの力でネットワーク利用環境の整備の道を拓くべき時期が到来したと考えるに至った。

1994年頃から, 非学術系の地域ネットワークも各地で活動を開始し, 現在もそれが継続している。地方自治体の地域情報化構想の推進役になっているところもある。最近, このような地域ネットワークでは, 地域内のネットワークの相互接続が検討されたり, 実施される例 (山梨⁷⁾, ⁸⁾, 岡山⁹⁾, 東海, 東北¹⁰⁾, ¹¹⁾, 富山, 宇部など) が増えている。これに用いる技術としては, AS[®]同士の相互接続 (IXと呼ばれている) の経路制御プロトコル (EGP[®]) やAS内部のネットワーク同士の相互接続で使用される経路制御プロトコル (IGP[®]) が利用されている他, 複数網間の多様な接続を可能にするため, 新しい経路制御プロトコルの提案⁶⁾ もある。ここでは, 送信先IPアドレスだけでなくソースアドレスも参照する内容になっている。

EGP (具体的にはBGP^{4®}) を利用する方式は, 基本的には広域網のIXの場合と同様であるが, 地域でもIXを実施することによって惹起される経路数の増加を回避するため, プライベートなAS番号を使用し, このIXの影響を地域外の経路制御に与えない配慮がされてい

る場合もある。地域内のネットワークの相互接続が追及される主な目的は, 経路の短縮による転送の迅速性と経路を地域内に閉じることによる安全性の追及である。

ネットワークの監視, 管理

通信トラフィックの監視

最近, すでに多くのLANがインターネットに接続され, 通信トラフィックが急速に増加している状況になっている。LAN運用時の性能や特徴を調べるために, 伝送量 (オクテット数) やパケット数の時系列データの収集と解析が行われる例も少なくない。実際に各サブネットの内部, LAN内基幹網, 対外接続部のトラフィック情報が長期間にわたって調べられた例⁴⁾ や, 広域網であるIMnet (省際研究情報ネットワーク) についてさらに詳細な解析が行われている例¹²⁾ もある。

数年前から普及している通信トラフィック監視データ収集の方法には, 大別すると, ①IPルータ上で運用するSNMPエージェントによる方法と②ネットワークプローブを使用する方法がある。ルータ上のSNMPエージェントはこのルータを通過するトラフィックデータをMIB (Management Information Base) に記憶し, SNMPマネージャは複数のMIB上のデータをNMS (Network Management System) によって収集する (本特集「4. 高速ネットワークの運用管理」の「SNMP」参照)。

監視対象のネットワークに接続されたプローブでは, トラフィックデータを収集し, 統計処理を行い, 統計情報として蓄積する。この情報はNMSに収集される。この方法は, 監視対象のネットワークがNMSから隔っている場合に有効である。この方法をSNMPと結合した方式はRMON (Remote Monitoring) と呼ばれ, 標準化されている¹³⁾。

ネットワークの動作をさらに詳しく監視する場合には, ネットワークプローブにおいて, 通過するすべての信号を収集し, 比較的短い時間内の監視では, 専用のモニタ機器で解析して表示したり, また, 長時間にわたる監視では, その間のすべての信号をファイルに格納し, 後でこのデータ解析が行われる。

ごく最近, トラフィック監視の方法として盛んに使われるようになった方法に, MRTGがある。これはトラフィックの監視と収集に関しては上記の①の範疇に入る方法であり, 次節で詳述するが, トラフィック統計情報をグラフで表示する点とシステムの移植が容易である点で, その利用が急速に広がっている。

最近, 上述の各方法は, ネットワークのトラフィック監視上, 不十分である点が現れている。トラフィック量の増加と伝送の高速化は, ルータ上のSNMPエー

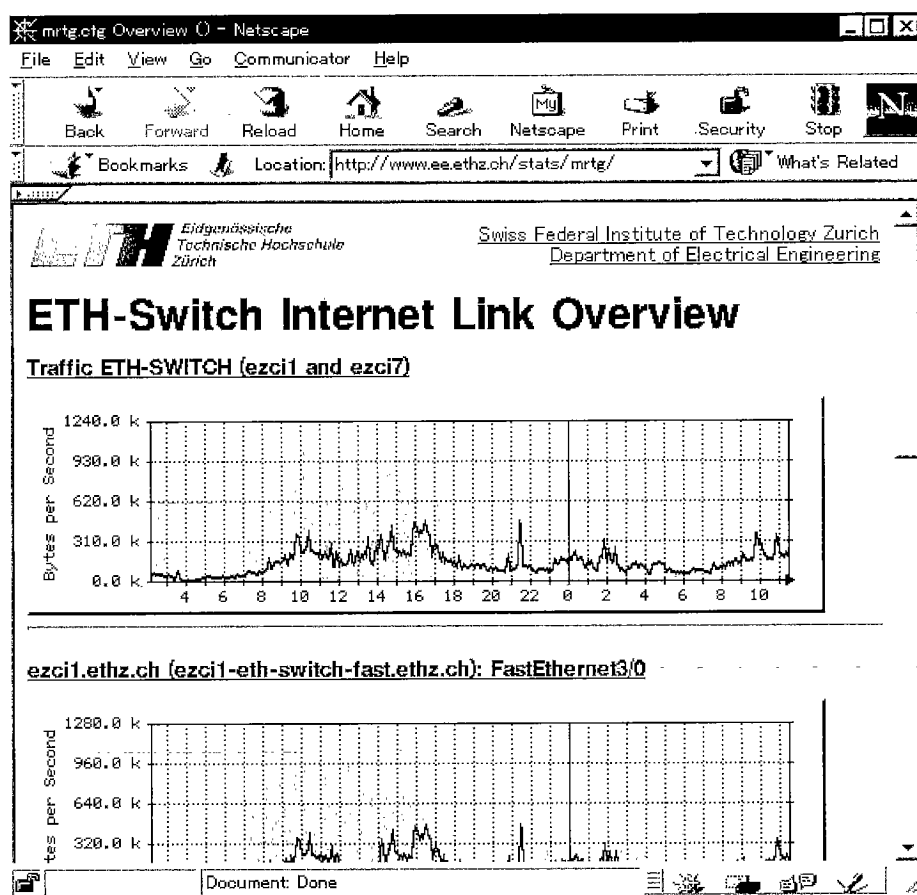


図-1 MRTGの出力例

ジェント処理の高速化とSNMPマネージャによるMIBのデータ収集頻度の増加をもたらす。その結果、回線の帯域幅の利用効率の低下をもたらす。また、サブネットのすべてのホストがすべてイーサネットケーブルのセグメントに接続した場合は1台のネットワークプロンプによってこのセグメントのすべてのトラフィック監視が可能であったが、ハブやスイッチングハブの使用はこの事態を変えてしまった。SNMPの基本機能のもとでは、構成上、ハブに接続する複数のホストを識別することはできない¹⁴⁾。

スイッチングハブに接続する複数のネットワーク間のトラフィック量をネットワーク対ごとに識別することが困難である。IGPによる網間相互接続がスイッチングハブを介して行われる場合、ネットワーク間のトラフィック量の把握は運用上重要であり、新たな観測手法の検討が行われている例¹⁵⁾もある。

MRTGを用いたネットワーク監視

ネットワークのトラフィックなどを監視する方法のうち、監視対象機器のMIB¹⁶⁾をSNMP¹⁷⁾で定期的にポーリングする監視形態のツールとして、MRTG¹⁸⁾がある。このツールは、監視対象機器をポーリングして各インタフェースのトラフィックMIB情報を取得し、直

前の値との差分から平均入出力バイト数と最大入出力バイト数を計算してlog形式でファイルに格納する処理を行うと共に、logファイルから図-1に示すような可視化したグラフを含むHTMLファイルを作成するperl script¹⁹⁾が中心のプログラムである。

このツールの1つの特徴は、logファイルの格納方法にある。トラフィック監視などで問題になるのは、拡大し続けるlogファイルの処理方法であるが、MRTGでは、logファイルを4つの領域に分けて、最初の600行は最近の50時間分を5分平均で計算した結果を格納し、続く領域には30分平均で300時間分(600行)、120分平均の1200時間分(600行)、24時間平均の732日分(732行)を格納する方法をとってこの問題を解決している。過去のデータほど粗く平均をとる方法を用いることで、それぞれ1日、1週間、1月、1年のトラフィックの動向を一目で把握することができ、トラフィック増減の推定や異常の発見などの補助手段として活用することもできる。例として図-2には、TRAINの対外接続インタフェースにおける昨年1年のトラフィックの変動の様子を示す。

MRTGは、このように比較的簡単にトラフィックの動向などを知ることができるツールであるが、高速・大規模ネットワークで利用する場合には、SNMPを用

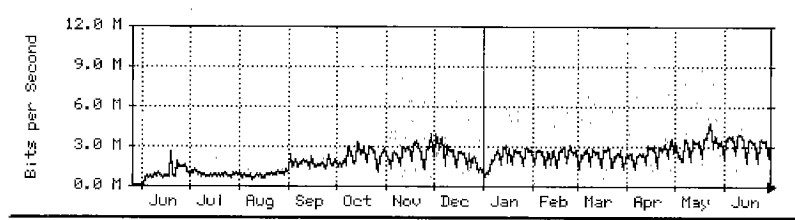


図-2 TRAINの対外接続トラフィックの年間動向

いたポーリングベースのツールには以下に注意を要する点が挙げられている。

• ネットワークインタフェースの高速化に伴う問題

MIBで定義されているifInOctetsやifOutOctets（インタフェースに対する入力ならびに出力オクテット数）などは、32bit正数として表現されている。このため、ネットワークの高速化に伴い、ポーリング時間を短縮するなどの方法をとらないと正確な統計がとれなくなる。たとえば、5分ごとに各数値を集計する場合、約110Mbpsを超えるトラフィックが生成される状況では、監視対象装置のMIBカウンタが一周を越えてしまうことになる。

• 大規模なネットワークに対する監視に伴う問題

監視対象のネットワーク規模が大きくなると対象となる機器やネットワークインタフェースが増大し、NMSがポーリングして統計処理を行う時間も増加することになる。監視対象機器を適正な数に抑えないと、一部にネットワーク障害が発生した場合など、統計処理が1ポーリング周期以上に及ぶことがあり、正常に処理されない場合がある。このように、規模が拡大するに従い、監視対象を分割して複数機器で並行して処理するなどの対策が必要となる。

• ネットワーク機器の故障や変更に伴う監視の問題

ネットワークの規模に依らず、監視対象のネットワーク機器が故障や増設などに伴い役割が変更されることがある。MRTGなどのSNMPベースのツールでは、監視対象機器の各インタフェースに対するMIB値を取得して統計処理するため、ハードウェア構成が変化してインタフェース番号などが変更になると、統計情報の時間推移が正確な情報にならないことがある。これを解決するためには、機器の変更などに伴って、監視ツールの設定変更を常に行う必要がある。

これらの問題は、ネットワークの高速化・大規模化とそれらに伴う頻繁な構成変更の必要性から生じたものであり、新たな技術開発に伴い解決されることが期待されている。

分散システムの運用管理

大規模、高速なインターネット接続網の整備に伴い、

それを利用した高度な分散情報システムが構築されてきている。大学の教育・研究用システムや企業のイントラネットを利用したクライアント/サーバシステムなどさまざまなシステム事例が報告されている。分散システムの運用管理の視点からは、管理を分散するよりも集中管理できることが望ましい。しかし、システムが分散しているために、必然的に分散する管理機能が存在し、それら分散された管理機能もネットワークを介して通信する。ネットワーク管理を含む分散システムの運用管理がネットワークを用いて管理せざるを得ないところに、多くの課題がある。分散システム運用管理の課題は次のように整理することができる。

• 分散されたシステム管理機能間の相互運用性

分散システムにおいては、システムの構成要素が多様である。従来の大型メインフレームを中心としたシステムにおいては、システムを構成するコンピュータの機種、使用するオペレーティングシステム、アプリケーションソフトウェア、ネットワークのプロトコル、クライアントとして使用する端末にいたるまで、特定の仕様で規定し、統一的なシステムの構成が可能であった。分散システムにおいては、それらのシステムの構成要素を統一することは不可能に近く、多様な要素で構成されることにならざるを得ない。多様な構成要素上に展開されたシステム管理機能が相互に交信し、体系的に管理できる相互運用性がきわめて重要である。ネットワーク管理におけるSNMPに対応するシステム管理の標準的な機構が必要とされる。

• 開放性によるセキュリティ管理の困難さ

分散システムの利用者にとって、インターネットを介して世界に開かれたシステムであることのメリットを最大限に享受したいと思うのは当然である。しかしながら、システムの管理者にとって、開かれたシステムの管理は途方もなく厄介な仕事である。ファイアウォールによって外部との不要な接触を制限したイントラネットを構築し、ファイアウォールの内部を安全に保護する方法が採用されているが、攻撃や災厄は必ずしも外部からくるとは限らない。むしろ、システム内部に起因する問題のほうがはるかに対応が難しいとされている。不当にシステム利用者の快適性を阻害しながら、本質的な問題への対応がなおざりになっているケースがかなりある。安全性やセキュリティへの過度な

傾斜は利用者の快適性、利便性を損なうことになりかねない。

・システムの性能管理

分散システムでは、集中システムに比較して、性能を決定する要因がきわめて多い。たとえば、ある予算内で、WWWのアクセス時間を向上したいとき、ネットワークの性能を上げたほうがよいのか、使用するブラウザの性能を上げたほうがより効果があるのか、それとも、WWWのキャッシュの容量が問題なのか、キャッシュサーバの処理速度を上げるべきか、などさまざまな選択肢がある。このような性能管理が一筋縄ではいかないところが分散システム管理の難しいところである。

分散システム管理の相互運用性については、CORBAやDCOMなどの分散オブジェクト管理機構を利用した分散システム管理の例¹⁹⁾や、プラットフォーム依存性の少ない言語であるJAVAを利用する試み²⁰⁾、多くのコンピュータで共通に使用されるWWWのブラウザをシステム管理に使用する提案²¹⁾などがなされている(本特集「5. 大規模・高速ネットワークの運用管理に関する標準化動向」参照)。ネットワーク管理の標準化においても、その共通基盤としてポータビリティの高い言語や管理機構を積極的に活用する動きがある。また、システム管理だけではなく、分散アプリケーションシステムをWWWブラウザを基盤として構築することも行われている。多少性能を犠牲にしても、相互運用性をより重視する立場であると考えられる。

企業内システムをファイアウォールで遮蔽したイントラネットとして構築することは一般的であるが、イントラネットの運用は、技術的な問題の解決だけでなく、ポリシーの明確化や実際の運用にかかわる人的要因も大きい比重を占める。DSMシンポジウム98³⁾やその後のDSM研究会においても、イントラネットに関連するさまざまな問題が継続的に議論されている。

分散システムの性能解析については、前節で述べたネットワークトラフィックの解析の他に、WWWキャッシュの性能解析²²⁾などがなされている。コンピュータシステムにキャッシュが導入されてから30年以上の年月が経過したが、いまでもキャッシュ関連の技術は枯れた技術とはいきれない。WWWのキャッシュもまだ多くの設計問題を含んでいるようである。分散システムの性能を総合的に評価し、システム性能を改善する技術はまだ多くの課題がある。分散システムが成長を続ける限り、運用技術の改革が必要であろう。

ギガビット級ネットワークを目指して

安定したネットワークの運用管理の実現へ向けての技術動向と課題を、主としてDSM研究会の活動を中心

に展望した。ギガビット級のネットワークを視野に入れた大規模、高速ネットワークの構築が展開されている。その実現には、高度な技術の開発と勇気ある決断が必要である。しかしながら、そのようなネットワークシステムを安心して利用するためには、ネットワーク構築技術だけではなく、障害管理、構成管理、性能管理などの地道な運用管理技術の開拓と実践が不可欠である。

また、ネットワークシステムが社会の中核となる基幹インフラストラクチャとして、さらなる成長を遂げるためには人間関係を含めた管理組織や法的问题、社会制度までを含めた基盤整備が必要となる。本稿では、ネットワークシステム運用管理の技術的側面を中心に述べたが、システムの社会科学的側面も技術的課題と同等以上に重要な問題を含んでいることに注意を喚起しておきたい。

参考文献

- 1) 情報処理学会研究報告, 分散システム運用技術, 96-DSM-1~98-DSM-10.
- 2) 分散システム運用技術シンポジウム '97論文集 (Feb. 1997).
- 3) 分散システム運用技術シンポジウム '98論文集 (Feb. 1998).
- 4) 林 英輔, 他: キャンパスネットワークの構築設計と管理運用システム (DSM-9505037), 情報処理学会分散システム運用技術研究グループ研究報告, No.2, pp.328-334 (1996).
- 5) 大塚秀治, 他: 有害情報制御の一考察, 平成10年度情報処理教育研究会講演論文集 (掲載予定) (1998).
- 6) 林 英輔: 日本の地域ネットワークの誕生, 情報処理, Vol.35, No.8, pp.699-707 (Aug. 1993).
- 7) 八代一浩, 他: 地域内IX技術の運用と地域情報化への適用, 分散システム運用技術シンポジウム '98論文集, pp.11-18 (1998).
- 8) 八代一浩, 他: 地域IXを基礎とするネットワーク中継, 情報処理学会研究報告, 98-DSM-10, pp.49-54 (1998).
- 9) 鍛冶武志, 他: ソースIPアドレスを考慮した経路制御システムの提案~地域IXにおける経路制御問題の解決~, 情報処理学会研究報告, 97-DSM-8, pp.7-12 (1997).
- 10) 菅野浩徳, 他: コミュニティインターネットの相互接続実験, 情報処理学会研究報告, 97-DSM-6, pp.19-24 (1997).
- 11) 今野幸典, 樋地正浩: プライベートなインターネットエクステンジを実現する経路制御手法の提案, 情報処理学会研究報告, 97-DSM-7, pp.7-12 (1997).
- 12) 小松原重之, 他: IMnetにおけるトラフィックオペレーションについて, 情報処理学会研究報告, 97-DSM-4, pp.1-6 (1996).
- 13) Held, G.著, 浅見 徹, 他訳: 実践LAN管理, pp.149-170, 日経BP社 (1998).
- 14) 小西紳介: 分散システム環境におけるLAN管理 (DSM-940504), 情報処理学会分散システム運用技術研究グループ研究報告, No.1, pp.21-32 (1995).
- 15) 武井洋介, 他: Local IXのトラフィック解析に基づく接続組織の利用特性, 情報処理学会研究報告, 98-DSM-10, pp.55-60 (1998).
- 16) Rose, M.: Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based Internets: MIB-II, RFC1158 (1990), <ftp://ftp.isi.edu/in-notes/rfc1158.txt>
- 17) Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M. and Davin, J.: A Simple Network Management Protocol (SNMP), RFC1157 (1990), <ftp://ftp.isi.edu/in-notes/rfc1157.txt>
- 18) Oetiker, T.: MRTG (Multi Router Traffic Grapher), <http://ee-staff.ethz.ch/~oetiker/webtools/mrtg/mrtg.html>
- 19) 藤崎, 浜田: 電子メールによる分散オブジェクトメッセージ交換機構, 情報処理学会研究報告, 96-DSM-4, pp.49-54 (1996).
- 20) 川上他: 自律移動型プログラムを用いた計算機管理支援の枠組みについて, 情報処理学会研究報告, 97-DSM-8, pp.67-72 (1997).
- 21) 古里他: アプレットを使ったネットワークサービス障害チェックツール, 情報処理学会研究報告, 97-DSM-8, pp.79-83 (1997).
- 22) 西川他: WWWトラフィック分析と分散キャッシュ, 情報処理学会研究報告, 97-DSM-5, pp.7-12 (1997).

(平成10年9月1日受付)