

SUCCESS-III : 四国大学キャンパス情報ネットワークの構築とその評価

戸川 聡^{*1}・大久保正信^{*2}・安藤三郎

Building the 3rd Generation Campus Information Network of Shikoku University

Satoshi TOGAWA, Masanobu OKUBO and Saburo ANDOH

ABSTRACT

In this research, we built a campus information network for Shikoku University that is called 'SUCCESS-III'. SUCCESS-III is the third generation campus network of Shikoku University. It is a high speed network that adopted Gigabit Ethernet technology, and it has double core networks. SUCCESS-III was constructed as a network that had adjusted for the broadband network generation, and it has high availability.

In this paper, first of all, we explain a problem of previous campus information network that was called 'SUCCESS-II'. Next, we explain the design policy of SUCCESS-III, and we show the configuration of SUCCESS-III. After that, we explain the experimental usage and the result. Finally, we conclude it.

KEYWORDS: Broadband Network, Gigabit Ethernet, OSPF, Virtual LAN, Redundant System, High Availability

1 はじめに

インターネットのブロードバンド化が急速な勢いで拡大している[1]。2001年1月6日施行の高度情報通信ネットワーク社会形成基本法(IT基本法)[2]やこれに基づくe-Japan戦略[3]など、政府による施策もあり、インターネット接続環境は急速に改善されてきた。

一般家庭において、2000年当時には先進的と言えた「ISDNによるダイヤルアップ接続、通信速度64Kbps」という接続環境は、2003年現在、「ADSLによる常時接続、通信速度26Mbps」という環境へ劇的に変化した。都市部においてはいわゆる「光ファイバ接続」により、上り速度、下り速度とも100Mbpsによる常時接続環境が月額5,000円以下という、以前の常識では考えられない低価格で利用可能となっている。

2000年初頭、中堅企業における常時接続環境は、費用対効果の観点から1.5Mbps程度の高速デジ

タル専用線を用いる形態が一般的であった[4]。しかし、一般家庭においてもインターネット常時接続環境が実現され、その通信速度が20Mbpsを優に超える現状は、既に本格的なブロードバンド時代に突入していることを示している。

これらの変化はインターネット上を流通するトラフィックに、量的、質的变化をもたらした。広帯域を前提としたコンテンツ作成が主流となり、ストリーミング技術やFLASH技術を多用した表現力豊かなコンテンツが流通するようになった。この変化は快適なインターネット利用に必要な帯域幅を増加させ、その結果、さらに高速なインターネット接続環境が開発、提供される循環現象を発生させている。

さらに常時接続環境が一般的となった現在、e-Commerceやインターネットバンキングなどの言葉に代表されるさまざまな電子商取引環境が、インターネット上に構築、運用されている。また、存在の是非は別にして、行政においても住民基本

受理日：平成15年10月10日

受理者：安藤三郎

※1 四国大学経営情報学部併任講師・四国大学情報処理教育センター情報システム課課員

※2 四国大学情報処理教育センター情報システム課課長

台帳ネットワークを核とした情報通信ネットワークの整備が行われている。教育業界においても e-Learning や Web Based Learning などの言葉に代表されるように、インターネット上における教育環境や、Web 技術を基盤とした教育フレームワークの構築、運用が積極的に試みられている [5]。

今やさまざまな知識やビジネスロジックがインターネット上に集約されつつある。この動きは業種を問わず試行され、“インターネットを利用する”システムから“インターネットの存在が前提”のシステムへと、その構築論も大きく変化した。現在、インターネットも含めた情報通信ネットワークの重要性はますます増加している、と言える。

これは四国大学においても例外ではない。今や文系、理工系を問わず、研究者間の情報交換や研究資料収集に電子メールと Web の存在は不可欠である。授業や公開講座などの教育活動においても、インターネットを含めた情報通信ネットワークの存在を前提として講義内容を構成するケースが多い。事務管理部門においても、その業務遂行や各種調査にインターネットや組織内ネットワークの果たす役割は大きい。本学においても、研究者、学生、事務職員を問わず、情報通信ネットワークは「あれば便利」な存在から「あるべきもの」へとその存在価値を変化させたと言える。

四国大学キャンパス情報ネットワーク (SUCCESS: Shikoku University Campus Communication network supporting superior Education, Study and scholastic Steering) は、常に四国大学における情報通信の基幹的役割を果たしてきた。1994年10月に運用を開始した第一世代ネットワーク「SUCCESS-I」以来、インターネットの発展に呼応するように本学内での存在意義を高めてきたと言える。同時に情報通信インフラとして、SUCCESS に求められる機能、性能も次第に高度なものが要求されるようになった。

これらの背景から、情報処理教育センターでは2002年10月に第三世代ネットワーク「SUCCESS-III」を構築し、運用を開始した。情報通信ネットワークの重要度が日増しに増加している現在、

ネットワークの停止はあらゆる活動や業務の停滞に直結する。このため我々は、可能な限りネットワークの冗長度を高めると同時にルーティング方式も変更し「止まらない」ネットワークを実現した。冗長度を高めることで平均故障間隔 (MTBF: Mean Time Between Failure) を長くでき、安定したネットワークシステムの運用が可能となった。

さらに SUCCESS-III は、ブロードバンド時代に適応した広帯域ネットワークとして構築されている。基幹ネットワークと支線ネットワークはすべて 2 Gbps で接続され、本学などの中規模大学としては必要十分のバックボーン帯域が確保されている。このため、音声や動画ストリーミングを多用したリッチコンテンツの配信や、DVTS (Digital Video Transport System) による高画質かつ実時間でインタラクティブコミュニケーションなど、広帯域かつ即時性を要求される通信形態にも十分対応可能となっている。

以下、本稿では2章で第二世代ネットワーク SUCCESS-II の概要と問題について述べ、3章では、2章で明らかにした問題解決のため設計、構築した第三世代ネットワーク SUCCESS-III について述べる。4章で SUCCESS-III の性能評価のために行った負荷実験と評価について述べ、最後に5章でまとめる。

2 SUCCESS-II の概要と問題

本章では SUCCESS-III 構築まで運用していた第二世代ネットワーク「SUCCESS-II」について述べる。まず SUCCESS-II の概要を述べる。次に SUCCESS-II の構成について述べ、運用上の諸問題を明らかにする。

2.1 SUCCESS-II の概要

SUCCESS-II は四国大学における第二世代キャンパス情報ネットワークである。ATM 方式を用いて構築された SUCCESS-II は、1997年10月の運用開始から2002年9月の運用終了まで5年間にわたり維持、運用された。第一世代である SUCCESS-

Iは、経営情報館、30周年記念館、一号館、二号館、栄養館にそれぞれ独自構築されていたLANを接続し構築された。SUCCESS-IIはこれら5館を含む15館を収容する全学ネットワークとして設置された。2001年4月には書道文化館、BC養保館の新設にともなう拡張を行い、最終的には17館を収容するネットワークに成長した。

本稿では、運用開始時から建物新設にともなう拡張前までを第1期、2001年4月の拡張後を第2期として定義する。

2.2 第1期 SUCCESS-II

2.2.1 第1期の設計方針

以下に第1期 SUCCESS-IIの設計方針を示す。

1. 全学を網羅するキャンパス情報ネットワークの実現
2. 光ファイバによる安定した伝送路の構築
3. ATM技術の導入による高速通信の実現

先に述べたように SUCCESS-Iでは、学科や研究グループで先行構築されていたLANを相互接続し構築された。既設LAN間の相互通信確立という面では目標を達成したが、それぞれのLANにおいて構築方針が異なるため、均質なネットワークサービスの提供という観点から課題を残した。この経験から、SUCCESS-IIでは設計段階から統一方針による全学ネットワークの実現を目標とした。

SUCCESS-Iの運用経験から、我々は建物間通信には同軸ケーブルなどのメタルケーブルではなく光ファイバケーブルを使用すべき、との知見を得ていた。メタルケーブルは安価かつ敷設が容易という特徴を持つ。しかし、建物の露出部や建物間通信に用いた場合、ノイズ対策を施しても落雷時には容易にノイズの影響を受ける。さらにケーブル劣化にともなう伝送品質低下も大きな問題となった。安定した伝送品質を確保するためには、高品質な伝送路を保持する必要がある。光ファイバケーブルは高価、かつ高度な敷設技術が必要となるが、高品質な伝送路の確保という観点では最適な選択と言える。

基幹ネットワークの通信方式には非同期転送モード方式(ATM: Asynchronous Transfer Mode)を採用した。設計当時のEthernet標準はFast Ethernet規格(100Mbps)が上限であり、これ以上の高速通信規格制定の動きも活発ではなかった。これに対しATM方式は、設計時点で既にOC-12/STM-4規格(622Mbps)に対応した製品群が出荷され、さらに高速なOC-48/STM-16規格(2.4Gbps)が策定されつつあった。我々は帯域拡張の将来性を見込み、ATM方式によるネットワーク構築を選択した。

IPルーティング方式としてRIP version1(RIPv1)を選択した。当時我々にはRIP以外のルーティングプロトコルに関する知見がなかったこと、経路制御を担うエッジスイッチが結果的にRIPv1しかサポートできない状況からこのような選択となった。

2.2.2 第1期のネットワーク構成

第1期 SUCCESS-IIの構成を図1に示す。

第1期 SUCCESS-IIは基幹ネットワークにATMスイッチを用いたスター型トポロジとなっている。基幹スイッチとなるATMスイッチは30周年記念館6階機器室に設置された。基幹ネットワークを構成するATM網のエッジ部分には、ATMインタフェイスを実装したレイヤ3スイッチを配置した。このエッジスイッチは、基幹と支

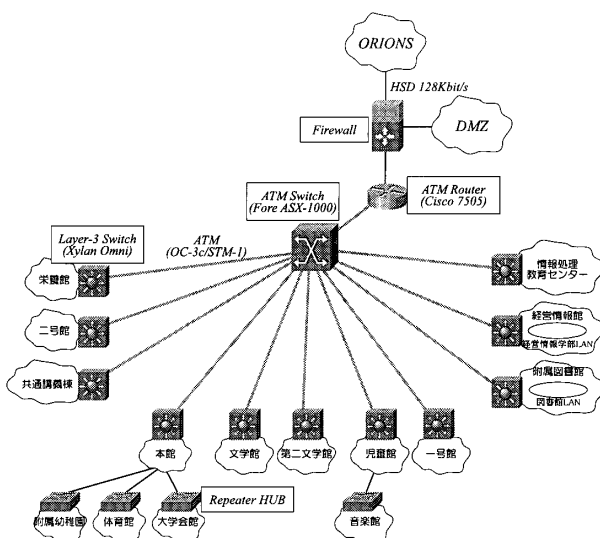


図1：SUCCESS-II構成(第1期)

線ネットワーク間の経路制御を行うと同時に、基幹ネットワークで用いられる ATM セルと支線ネットワークで用いられる Ethernet フレームを相互変換するゲートウェイとしても機能した。ATM スイッチとエッジスイッチ間はマルチモード光ファイバで接続され、OC-3c/STM-1 対応インタフェースにより 155Mbps の伝送帯域を確保した。

2.2.3 第1期における諸問題

第1期 SUCCESS-II は全学ネットワークの整備という観点ではその目的を達成した。しかし運用の進行にともない、さまざまな問題が表出した。以下にその問題を述べる。

単一障害点の存在：基幹ネットワークは1台の ATM スイッチのみで構成された。このため、ATM スイッチに何らかの障害が発生した場合、基幹ネットワークを経由するすべての通信が遮断される。これは ATM スイッチが単一障害点となることを示す。

RIPv1 の限界：経路制御プロトコルとして採用した RIPv1 の機能制限により VLSM (Variable Length Subnet Mask) が使用できなかった。支線ネットワークに収容されるホスト数に関わらず、ネットワーク全体で同一長のサブネットマスクを使用する必要があった。これは IP アドレス空間の効率的な使用を妨げる要因となる。さらに RIP の仕様から、ネットワーク構成変動時の経路収束に数分の時間を要するため、障害復旧時の迅速な原状回復を妨げる要因となった。

ATM 仮想コネクション設定方式の限界：ATM 網内の仮想コネクション設定方式に相手先固定接続方式 (PVC: Permanent Virtual Channel) を採用した。このためネットワークに新たな ATM 対応装置を追加する場合、既存のすべてのエッジスイッチ及び ATM スイッチ上の仮想コネクション設定を更新する必要があった。

これらの問題はネットワーク運用の自由度を下げ、また単一障害点の存在はネットワーク安定運用を妨げる要因となる。幸いにも運用期間中において障害による ATM スイッチ停止は1度のみで

あったが、危機管理という観点では多数の脆弱性を抱えた運用であったと言える。

2.3 第2期 SUCCESS-II

2.3.1 第2期の設計方針

第2期 SUCCESS-II は、2001年3月竣工の書道文化館、BC 養保館を収容するため、第1期 SUCCESS-II を拡張し構築された。以下に第2期 SUCCESS-II の設計方針を示す。

1. GigabitEthernet 技術の一部導入
2. OSPF の一部導入
3. 基幹ネットワーク冗長化に向けた先行投資設計を行った2000年末時点において、ATM 方式は LAN 構築分野における主導権を失っていた。代わって Gigabit Ethernet 方式が基幹ネットワークを構成する主な技術として実績を挙げつつあった。さらにこの時点で、我々が基幹スイッチとして導入していた ASX-1000 を製造する FORE Systems 社は Marconi Communications 社に、エッジスイッチとして導入していた Omni-9, Omni-5 を製造する Xylan 社は Alcatel 社にそれぞれ買収されており、十分な製品サポートが期待できない状態であった。

このため我々は ATM 方式と既存設備の将来性に見切りをつけ、同方式への投資を中断した。本学における第三世代ネットワークへの助走として GigabitEthernet 技術を実装したコアスイッチを導入し、書道文化館と BC 養保館を収容した。

既存の基幹ネットワークである ATM 網と新たに構築した GigabitEthernet 網の接続のため、既存の ATM インタフェースを実装したルータを流用した。これは第1期に ATM ルータとして運用していたものである。

IP ルーティング方式として OSPF (Open Shortest Path First) を一部導入した。OSPF 仕様の持つ経路収束特性を取り入れることで、障害を含む構成変更時の迅速な経路収束を実現するとともに、OSPF 運用経験を蓄積することも目標とした。OSPF による経路制御は、Gigabit Ethernet による基幹ネットワーク、ファイアウォール部および

対外接続部にて運用された。ATM 網を核とする第 1 期 SUCCESS-II 部においては、エッジスイッチでの機能制限のため引き続き RIPv1 による経路制御を適用した。

2.3.2 第 2 期のネットワーク構成

第 2 期 SUCCESS-II の構成を図 2 に示す。第 1 期で構築した ATM 方式による基幹ネットワークとファイアウォールの間に、Gigabit Ethernet で構成する新たな基幹ネットワークを挿入する形となっている。

書道文化館、BC 養保館に新たに設置したエッジスイッチは、アップリンク用として 2 ポートの Gigabit Ethernet インタフェイスを実装するレイヤ 3 スイッチである。支線ネットワーク側には Fast Ethernet インタフェイスを 48 ポート実装し、建物内に敷設されるすべての回線を直接収容した。

Gigabit Ethernet バックボーンとして導入したコアスイッチは、レイヤ 2 機能のみ実装した。IP ルーティングはエッジスイッチとして導入したレイヤ 3 スイッチにて行うため、基幹部分はレイヤ 2 機能しか必要としなかった。しかし、将来の拡張を見据えシャシ型スイッチを選択した。シャシ型スイッチの特徴として、スイッチングエンジンをレイヤ 3 対応のものに換装すれば、その時点からレイヤ 3 スイッチとして運用可能となることが挙げられる。

2.3.3 第 2 期における諸問題

第 2 期 SUCCESS-II 構築により、新棟収容と一部 Gigabit Ethernet 対応という目的を達成した。しかし第 1 期に引き続き、さまざまな問題が表出した。以下にその問題を述べる。

単一障害点の増加：第 1 期では ATM スイッチのみであった単一障害点だが、ATM ルータ、Gigabit Ethernet 対応コアスイッチ、ファイアウォールを含む 4 ヶ所に増加した。新棟収容のためやむを得ない面もあったが、ネットワークの安定運用面からは MTBF の大幅短縮につながるため、推奨されるものではない。

エッジスイッチの経年劣化：運用 4 年目を経過した頃から、第 1 期導入のエッジスイッチである

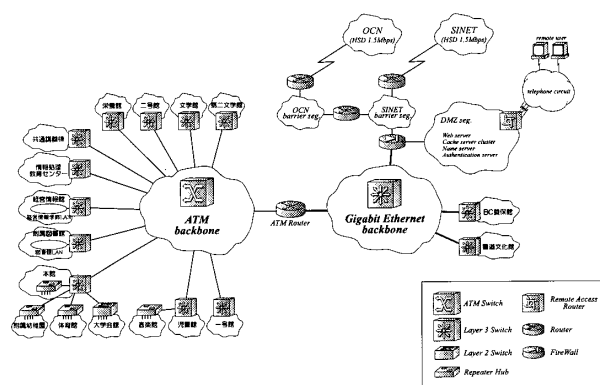


図 2：SUCCESS-II 構成（第 2 期）

Omni-5 の信頼性低下が顕著となった。実装されるインタフェイスが突然停止する、内蔵フラッシュメモリの劣化によるシステム起動障害など、経年劣化による障害が多発した。

単一障害点の増加という問題も存在したが、経年劣化によるエッジスイッチの信頼性低下は切実な問題となった。劣化状況はスイッチ個体により差が存在したが、全体傾向としてさまざまな障害が多発した。このため保守担当者の負担が増大するとともに、安定運用の継続が困難な状況となった。

3 第三世代ネットワーク：SUCCESS-Ⅲ

2 章では SUCCESS-II の構成上と運用上の諸問題を明らかにした。本章ではこれらの問題を解決し、かつブロードバンド時代に適応した環境を提供するため構築した基幹ネットワーク SUCCESS-Ⅲについて述べる。

まず SUCCESS-Ⅲ の設計方針を述べ、実現すべき目標を明らかにする。次に構築した SUCCESS-Ⅲ の構成と実装について述べる。

3.1 SUCCESS-Ⅲ の設計

SUCCESS-II 運用で発生した諸問題を解決し、ブロードバンド時代に適応できる高速かつ安定したネットワークサービスを実現するため、我々は下記機能の実現を目標とした。

1. 本格的ブロードバンド時代に対応した広帯域ネットワークの実現
2. 基幹ネットワーク二重化による耐障害性向上

3. OSPF の全面導入による障害回復性の向上
4. OSPF によるトラフィック分散機構の実現
5. 透過型キャッシュ適用による対外トラフィック分散の実現

以降、各目標の詳細と実現手法を詳述する。

3.1.1 広帯域ネットワークの実現

先に述べたように、ネットワーク上を流通するトラフィックの質的、量的変化に適応するため、広帯域ネットワークを実現する。設計を行った2002年初頭において、Gigabit Ethernetは適用可能なLAN技術中で最も広帯域な伝送路を実現可能であった。さらにGigabit Ethernetは標準技術としての地位を確立しており、異機種間における相互運用性に関して問題のないレベルに到達していた。またEthernetおよびFast Ethernetの正常進化形であるため、現在まで蓄積したEthernet運用経験をそのまま適用できる。これらの背景から、基幹ネットワークの伝送方式としてGigabit Ethernet技術を採用し、広帯域ネットワークを実現する。

3.1.2 基幹網二重化による耐障害性向上

図3に第2期SUCCESS-IIトポロジのグラフ表現を示す。これよりSUCCESS-IIでは各支線ネットワークから対外接続ルータの間に、4つの単一障害点が存在することがわかる。4つのうちいずれか1つが停止すれば、支線ネットワークからの対外接続性が失われる。さらにATMスイッチが停止すれば、対外接続性と支線間の相互接続性が同時に失われる。

図4にSUCCESS-IIIトポロジのグラフ表現を示す。SUCCESS-IIIでは支線ネットワークから対外接続ルータまでのすべての経路を二重化し、ネットワークの冗長性を高めた。このため支線ネットワークから対外接続ルータ間の単一障害点を排除でき、対外接続性および支線間の相互接続性の喪失を防止できる。この結果、一部の機器障害によるネットワーク全体の機能停止を抑制し、網全体の耐障害性を向上させている。

3.1.3 OSPF 導入による障害復旧性の向上

SUCCESS-IIIではルーティングプロトコルとしてOSPFを全面採用した。OSPFの持つ特性と

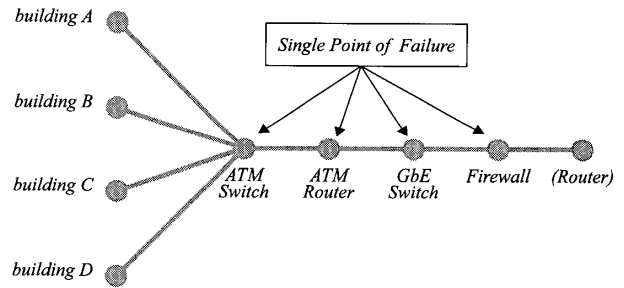


図3：グラフ表現によるSUCCESS-IIトポロジ

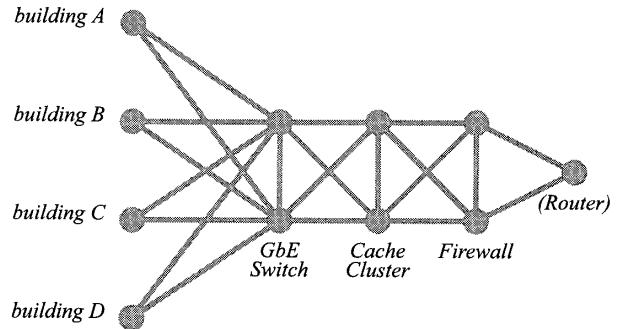


図4：グラフ表現によるSUCCESS-IIIトポロジ

して、ネットワーク構成変動時の経路収束が非常に高速であることが挙げられる。このため障害発生やシステム保守により機器を停止した場合でも、ネットワーク全体の経路が数秒で収束する。迅速な経路収束はネットワーク状態を可能な限り安定に保つことを可能にする。

3.1.4 OSPF によるトラフィック分散機構の実現

SUCCESS-IIIは二重化された基幹ネットワークを持つ。このためエッジスイッチから2つの基幹ネットワークに対しそれぞれアップリンク回線が接続される。OSPFは宛先ネットワークへの総コストが等価であれば、その経路群にトラフィックを等価分散する特徴を持つ。SUCCESS-IIIではこれを利用するためエッジスイッチが持つ基幹ネットワークへのOSPF経路を調整し、トラフィック等価分散を実現した。

OSPFによるトラフィック等価分散例を図5に示す。ネットワークAに接続されるエッジスイッチがルートA、ルートBの2経路を持つとする。スイッチA、Bを経由した宛先ネットワークへの総コストが等価であれば、エッジスイッチは宛先ネットワーク向けのトラフィックをルートA,Bに

等価分散する。障害などによりルート A が遮断された場合、エッジスイッチはすべてのトラフィックをルート B に振り向ける。

なお、複数経路へのトラフィック分散手法として HSRP (Hot Standby Routing Protocol) を検討できる。しかし HSRP はホットスタンバイ機構実現のための手法であり、通常時は複数経路への負荷分散は行わない。OSPF による手法を用いることで、平時は等価的なトラフィック分散を行い、障害発生時は残りの経路にて接続性を維持することができる。

3.1.5 透過型キャッシュによるトラフィック分散

現在、SUCCESS の対外接続は学術情報ネットワーク (SINET) と商用ネットワーク (STCN) のマルチホーム接続にて構成されている。

一方、学内から送受信される対外トラフィックの 95% は HTTP が占める。HTTP トラフィックを積極的に制御することで、対外接続環境の効率的な運用が可能となる。SUCCESS では学科 LAN や教育ネットワークに設置されるキャッシュサーバ群と連携し、キャッシュサーバ経由の HTTP トラフィックに関してのみ 2 つの対外経路に分散させてきた。しかし学内で利用されるすべての Web ブラウザに対し、プロキシ設定を徹底させることは困難である。

SUCCESS-Ⅲではレイヤ 4 スイッチの持つリダイレクト機能を用いて、学内から発信されるすべての HTTP トラフィックをキャッシュサーバ群にリダイレクトする。これにより Web ブラウザ側で明示的なプロキシ設定を行わなくても、強制的にキャッシュサーバを経由させることができる。キャッシュサーバ群の経路設定を 2 つの対外経路に適宜設定すれば、HTTP トラフィックを効果的に分散できる。

3.2 SUCCESS-Ⅲの構成

図 6 に SUCCESS-Ⅲの全体構成を示す。SUCCESS-Ⅲは 2 つの基幹ネットワークにより構成される。各基幹ネットワークは Gigabit Ethernet インタフェイスを実装するレイヤ 3 スイッチ (コアスイッチ)

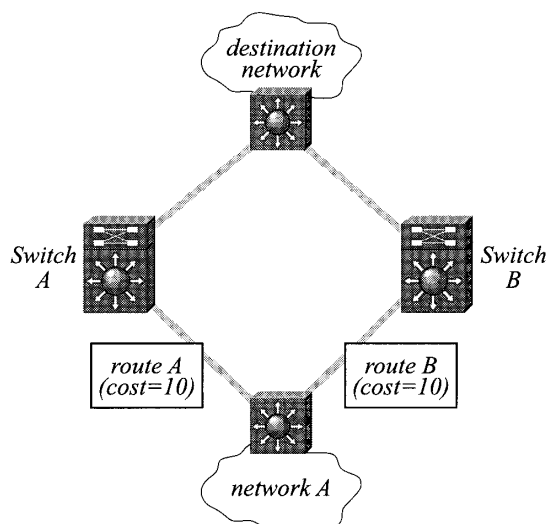


図 5：OSPF によるトラフィック分散

で構成されている。支線ネットワークを集約するエッジスイッチは 1000BASE-SX インタフェイスを 2 ポート実装し、それぞれ基幹ネットワークを構成するコアスイッチへと接続されている。このため各エッジスイッチは基幹ネットワークへの 2 経路を保持し、その総帯域は 2 Gbps となる。

コアスイッチ 1 台のバックプレーン容量は 32 Gbps である。SUCCESS-Ⅲは 2 つのコアスイッチで構成されるため、基幹ネットワーク全体のトラフィック処理能力は理論上 64 Gbps となる。現在収容されているエッジスイッチが 13 台であり、それぞれ基幹ネットワークへ 2 経路保持することから、支線ネットワークから送受信される最大トラフィックは理論上 26 Gbps となる。これは基幹ネットワーク全体のトラフィック処理能力を十分下回る値であり、将来の拡張にも十分対応可能であることを示している。

エッジスイッチはレイヤ 3 機能を実装し、支線ネットワークと基幹ネットワークとの経路制御を行う。コアスイッチにもレイヤ 3 機能を実装しているが、平常時はレイヤ 2 スイッチとして機能している。エッジスイッチに障害が発生したときコアスイッチのレイヤ 3 機能を有効にすれば、支線側にて一時的にレイヤ 2 スイッチを用いた機能復旧が可能となる。エッジ部とコア部双方にルーティング機能を実装することで、レイヤ 3 レベルでの冗長性も確保している。

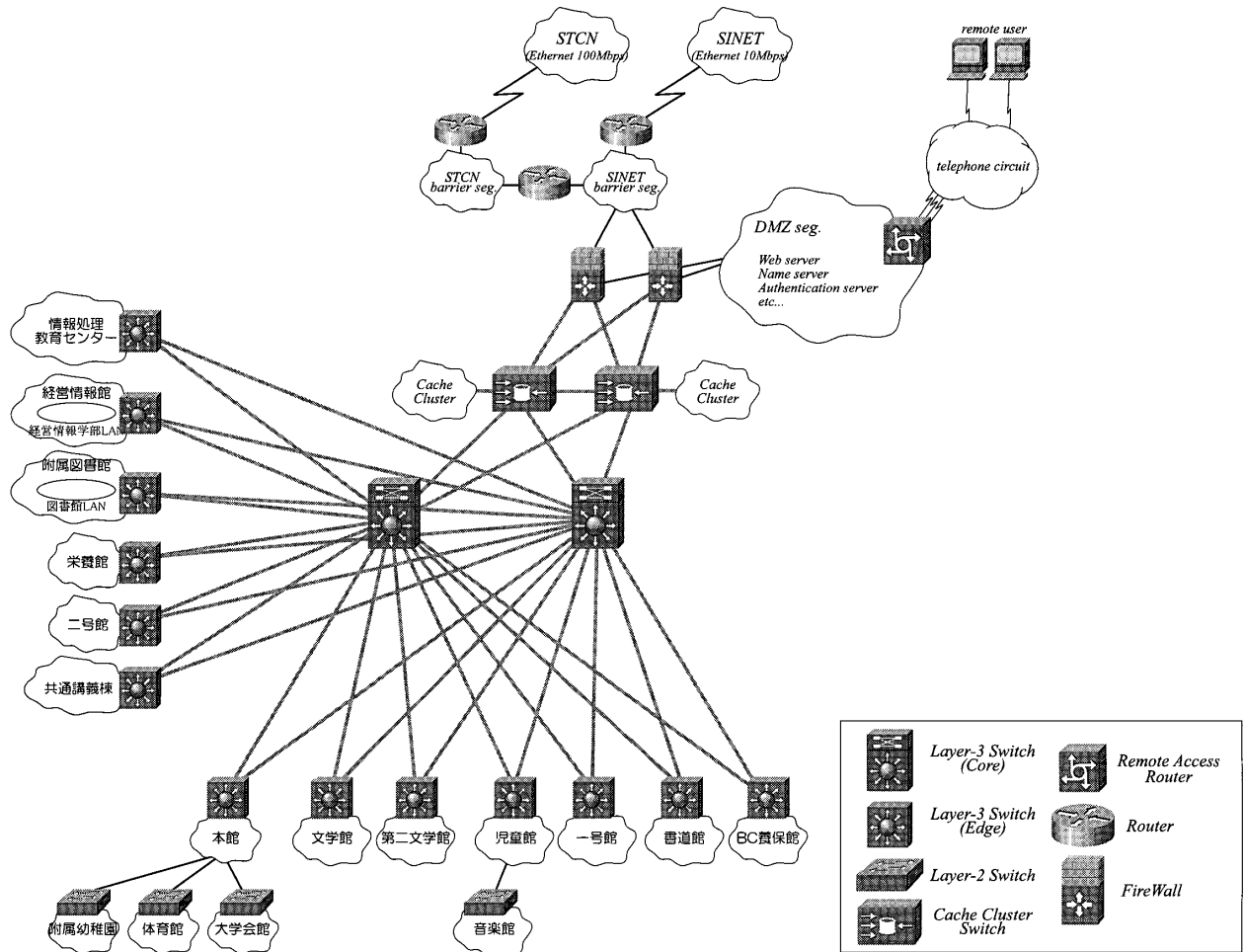


図6：SUCCESS-III構成

キャッシュクラスタを収容するスイッチにはレイヤ4スイッチを用いている。TCPポートを判別できるレイヤ4スイッチを使用することでHTTPトラフィックを選別し、特定ネットワークへのリダイレクトが可能となっている。このレイヤ4スイッチには1000BASE-Tインタフェースが6ポート、1000BASE-SXインタフェースが2ポート実装され、それぞれコアスイッチとファイアウォールに接続されている。

コアスイッチからファイアウォールまで、すべての装置を二重化し冗長度を高めている。これにより単一障害点を排除し耐障害性を向上させている。またOSPFによるトラフィック分散により、平時における基幹ネットワークの負荷分散を実現している。

4 実験と評価

SUCCESS-III構築に使用した機材にて実験ネットワークを構築し評価実験を行った。DVTSなど動画伝送による使用状況を想定し、ネットワークの両端からバースト的トラフィックを送送させ、そのスループットを計測した。あわせてSUCCESS-II構成機器を使用して実験ネットワークを構築し、同様の評価実験を行い比較対象とした。

本章では、まず実験装置の概要を明らかにし、実験装置が生成可能な最大トラフィックを計測するため行った予備実験について述べる。次にSUCCESS-IIを想定したテストネットワークによる実験について述べた後、SUCCESS-IIIを想定した実験ネットワークによる負荷実験について述べる。その後結果と考察を述べる。

表1：netperf 導入環境

CPU	Intel Celeron 1.7GHz
Memory	640Mbytes
HD	40Gbytes
Ethernet I/F	1000BASE-T
OS	FreeBSD 4.6-RELEASE

4.1 実験装置および予備実験

負荷生成環境として netperf[6] を実装したコンピュータを使用した。netperf を表1に示す仕様のパーソナルコンピュータに導入し、負荷発生装置とした。予備実験として負荷発生装置（A-A'）をスイッチ経由で対向させ、本環境下で発生可能な最大トラフィックを計測した。動画ストリーミングや DVTS などのバースト的トラフィックは UDP を使用する場合が多い。ストリーミング型トラフィックをシミュレートするため、netperf による試験種別は UDP_STREAMTEST を選択した。1回の実験における負荷継続時間は300秒である。この時間中メッセージ長9,216bytesのデータをUDPセグメントを用いて連続伝送した。試験種別およびパラメータはすべての評価実験に共通して使用されている。

図7に予備実験環境を示す。この条件下で計測された最大スループットは512Mbpsであった。これより、1対向の負荷発生装置で最大512Mbpsのトラフィックを生成できると仮定できる。

4.2 SUCCESS-II 環境下における負荷実験

図8に SUCCESS-II 機器を使用した実験ネットワークを示す。コアスイッチとして ATM スイッチを設置し、その両端にエッジスイッチを接続して実験ネットワークとした。実験ネットワークの両端に A-A' から D-D' まで4対向の負荷発生装置を接続し実験環境としている。1対向の負荷発生装置で生成可能なトラフィックが512Mbpsであることから、この実験環境で生成可能な総トラフィックは約2Gbpsとなる。実験は、稼働させる負荷発生装置を1対向から4対向まで順次増加させ、それぞれの負荷状態におけるスル-

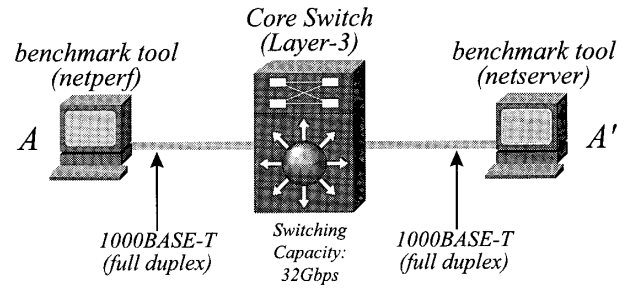


図7：予備実験環境

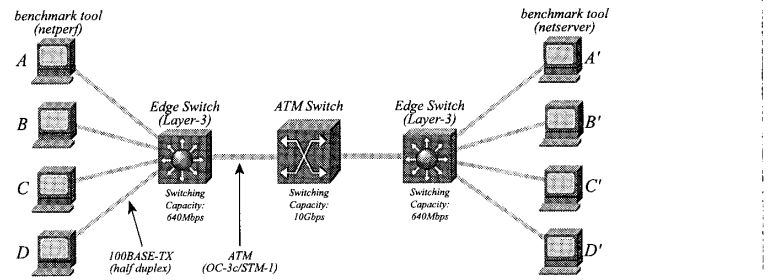


図8：実験環境（SUCCESS-II）

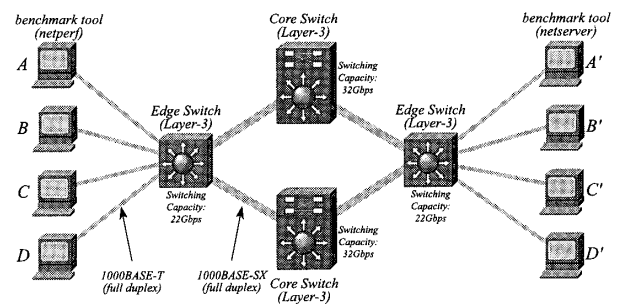


図9：実験環境（SUCCESS-III）

プットを計測することで行った。

なお、負荷実験装置とエッジスイッチ間は100BASE-TX (half duplex) で接続されている。実験に使用した Omni-5 に実装される Fast Ethernet インタフェイスは full duplex をサポートしておらず、必然的に half duplex での接続となった。また SUCCESS-II の実態性能を明らかにする意味からも、今回は負荷発生装置を100BASE-TX (half duplex) にて接続し実験を行った。

4.3 SUCCESS-III 環境下における負荷実験

図9に SUCCESS-III 機器を使用した実験ネットワークを示す。コア部分には2台の Gigabit Ethernet スイッチを並列配置し、その両端にエッジスイッチを接続し実験ネットワークとした。コアスイッチとエッジスイッチ間は1000BASE-SX

表2：SUCCESS-II環境下におけるスループット

装置対向数	生成負荷 (Mbps)	総スループット (Mbps)	平均スループット (Mbps)
1	512	95.73	95.73
2	1024	95.74	47.87
3	1536	計測不能	計測不能
4	2048	計測不能	計測不能

表3：SUCCESS-III環境下におけるスループット

装置対向数	生成負荷 (Mbps)	総スループット (Mbps)	平均スループット (Mbps)
1	512	488.40	488.40
2	1024	1001.37	500.69
3	1536	1515.30	505.10
4	2048	2027.42	506.86

(full duplex) で接続され、エッジスイッチと負荷発生装置は1000BASE-T (full duplex) で接続されている。4.2節と同様に、実験ネットワークをばさんでA-A'からD-D'まで4対向の負荷発生装置を接続し実験環境とした。本実験環境で生成可能な総トラヒックは約2 Gbpsである。実験は、稼働させる負荷発生装置を順次増加させ、それぞれの負荷状態におけるスループットを計測することで行った。

4.4 実験結果と考察

表2にSUCCESS-II環境下における負荷実験で得られた総スループットとその平均、表3にSUCCESS-III環境下における総スループットとその平均を示す。

まず、SUCCESS-II環境における実験結果について精査する。512Mbpsの負荷を与えた場合のスループットは95.73Mbpsであった。これは負荷発生装置とエッジスイッチ間を100BASE-TXで接続していたためであり、エッジスイッチ及びATMスイッチの能力限界が原因ではない。しかし2対の負荷発生装置を用いて1024Mbpsの負荷を与えた場合の総スループットも95.74Mbpsであり、SUCCESS-IIにおける支線間総スループットは95Mbps程度である、と言える。この場合の平均スループットは47.87Mbpsとなる。

なおエッジスイッチ自体のCPU負荷が、負荷発生装置1対向の場合で約90%、2対向の場合で100%近くまで上昇した。エッジスイッチに対し2対向分のトラヒックを与えた状態で、エッジスイッチ性能がほぼ飽和していると言える。これを裏付ける現象として、3対向以上の実験において計測が可能だったのは3対向中1対向のみであり、残りの負荷発生装置間はコネクションそのものが確立しなかった。この時点でエッジスイッチ自体のCPU負荷は100%に到達していた。だが、ATM網内においてセル輻輳は発生していないため、ATMスイッチ性能には余裕があると考えられる。SUCCESS-II環境における弱点は、エッジスイッチの性能限界が低いことにある、と言える。

次に、SUCCESS-III環境における実験結果について精査する。SUCCESS-III環境において、実験ネットワークに与えた負荷に対し、おおむね96～98%のスループットを得ることができた。これからSUCCESS-III環境における伝送損失は2～4%であると言える。メッセージ伝送過程におけるUDP、IP、Ethernetの各カプセリング過程を考慮すると、伝送損失2～4%という値はおおむね許容範囲内であると言える。また、この実験において、SUCCESS-III環境では最低約2 Gbpsの支線間スループットを確保できることを実証した。

さらに、SUCCESS-II環境における総スルー

プットが最大95.74Mbps, SUCCESS-Ⅲ環境における総スループットが2027.42Mbpsであることから, SUCCESS-Ⅲは約21倍の性能向上を実現したと言える。

5 おわりに

本稿では, 四国大学における第三世代キャンパス情報ネットワークである SUCCESS-Ⅲの構築について述べた。第二世代ネットワークである SUCCESS-Ⅱの諸問題を明らかにし, それに対する解決として設計, 構築した SUCCESS-Ⅲの設計方針について述べた。策定した方針に基づき実装した SUCCESS-Ⅲの構成を示し, さらに SUCCESS-Ⅲの性能計測のため行った評価実験とその結果を提示した。これにより, SUCCESS-Ⅲは大幅な性能向上を実現したことを示した。

今後は, セキュリティゲートウェイと連動した無線ネットワークの導入など, 一定のセキュリティを確保した上で利用者アクセシビリティの向上を図りたいと考えている。

参考文献

- [1] 総務省：情報通信白書平成15年版, <http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h15/index.html>
 - [2] 首相官邸：高度情報通信ネットワーク社会形成基本法, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/hourei/index.html>
 - [3] 首相官邸：e-Japan 戦略, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/010122gaiyou.html>
 - [4] 旧郵政省：通信白書平成12年版, <http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h12/index.htm>
 - [5] 教育システム情報学会：教育システム情報ハンドブック, 実教出版 (2001).
 - [6] The Public Netperf Homepage, <http://www.netperf.org/>
 - [7] 金西計英, 戸川聡, 大久保正信, 佐藤一郎：マルチホーム接続下におけるキャンパスネットワークの運用について, 日本教育工学会研究報告 (1999).
 - [8] Breyer&Riley：高速 Ethernet の理論と実装, アスキー (2001).
 - [9] CharlesE.Spurgeon：詳説 Ethernet, オライリージャパン (2000).
- (戸川 聡：四国大学 経営情報学部情報学科
四国大学 情報処理教育センター)
(大久保正信：四国大学 情報処理教育センター)
(安藤 三郎：四国大学 経営情報学研究室)