

神戸松蔭キャンパスネットワーク

古家 伸一・稲澤 弘志

神戸松蔭女子学院大学情報教育センター

Author's E-mail Address: ceis@shoin.ac.jp

The Kobe Shoin Campus Network

FURUYA Shin-ichi, INAZAWA Hiroshi

Center for Education in Information Systems, Kobe Shoin Women's University

Abstract

2011年から2013年にかけて、本学のキャンパスネットワークをほぼ10年ぶりに全面改修し、再構築し直した。メールの受発信やウェブ公開等、従来からの基本的なネットワーク上のサービスに加え、本学においても教育・研究ならびに事務業務でのネットワーク利用が増えてきたことから、ネットワークの可用性を向上させ、安定した運用がよりいっそう求められている。本稿では、この新しいキャンパスネットワークを再構築にするにあたって検討した設計方針を示し、それらを具体化して実現する方法を述べるとともに、構築後2年間の運用実績を元に設計方針の評価・検討を行っている。

The Kobe Shoin Campus Network was renovated for the most part in 2012 after a 10-year operation. The actual replacement work began a year earlier. This extended over a 3-year period until its completion in 2013. The renovation was in response to an increased use of the system for education, research and office work, in addition to the conventional access to the mail and web servers. Users now require a more stable operation and a wider availability of the network. This paper describes the design policy of the new network and explains the ways in which it was brought to fruition. In addition, it offers an evaluation of the new network design policy on the basis of its operation results in the last 2 years.

キーワード：可用性、冗長化、ギガビット、IPv6

Key Words: availability, redundancy, gigabit, internet protocol version 6

1. はじめに

本学のネットワーク利用は、1993年6月にドメイン名 shoin.ac.jp を取得し、神戸大学との間を電話回線で結び、uucp (Unix-to-Unix Copy Protocol) 接続によりメールを利用したことに始まる⁽¹⁾。ただし、当時は3号館2階のコンピュータ教室やごく一部の教員の利用にとどまっており、キャンパスネットワークと言えるものではなかった。1995年に専用回線によりインターネットと常時接続となったことから、1997年に初めて全学にネットワークを展開した。このときのキャンパスネットワーク (以降、KS-NET1997と略す。) は、ATM (Asynchronous Transfer Mode) スイッチをベースにしたもので、基幹部の帯域幅は156Mbpsであった。社会におけるインターネットの普及や情報教育におけるネットワークの利用の増大で、キャンパスネットワークの需要が増すのに対応するため、基幹部の帯域幅増強やインターネットとの接続の安定性とセキュリティの向上を目的として、2002年に二代目のキャンパスネットワーク (以降、KS-NET2002と略す。) を構築した。KS-NET2002は、基幹部の帯域幅を1Gbps～4Gbpsとするべく、各建屋にギガビット・イーサネット・スイッチを配置し、それらを光ケーブルで結び、教室棟を除くほぼ全学で有線によりネットワークが利用できるようになった。それから10年、自宅でインターネット接続できる環境が一般化し、スマートフォンやタブレットといった携帯端末の普及により、本学における教育・研究ならびに事務業務におけるキャンパスネットワークの利用が多方面で進むにつれて、よりいっそう安定した運用が求められるようになった。さらに、携帯端末の学内における接続の利便性改善やIPv4 (Internet Protocol version 4) アドレスの枯渇に伴うIPv6への対応等、ネットワークの基幹装置の老朽化と合わせて抜本的に解決すべき問題を解消するべく、2011年度から2013年度にかけて三代目のキャンパスネットワーク (以降、KS-NET2012と略す。) を設計・構築し、運用を開始した。

なお、KS-NET2012の基幹部分を構成する機器や光ケーブルおよびサーバ室の冷房装置については、文部科学省の平成23年度私立学校施設整備費補助金 ICT 活用推進事業「神戸松蔭キャンパスネットワークの再構築」(11ICT53) による補助を受けて実施したものである。

2. KS-NET2012 の設計方針

2.1. 基本方針

新しいキャンパスネットワーク KS-NET2012 の設計にあたっては、基幹部分で概ね10年は利用できるものとし、KS-NET2002からの運用切り替えに際し、利用者の設定変更が基本的に発生しない方針で臨んだ。そのため、利用者に付与するIPv4アドレスはKS-NET2002同様にすべてプライベートアドレスのままとし、インターネット側からアクセスが必要なサーバ等に対してのみ、グローバルアドレスにNAT (Network Address Translation) で変換することにした。また、キャンパスネットワークは、異なる接続環境で、様々な用途で利用されるため、全体をひとつのセキュリティポリシーでまとめることは運用上得策ではなく、教室、研究室、事務室といった利用環境および用途ごとにセキュリティポリシーを個別に設定できることが

望ましい。そこで、KS-NET2012では、利用環境・用途ごとにネットワーク上にワークグループを設け、それぞれに仮想ファイアウォールを作成し、個別にセキュリティポリシーを設定することにした。

2.2. ネットワーク基幹部構成の見直し

本学において最もネットワークが利用されているのは、コンピュータ教室や各サーバが集中する3号館である。一方、インターネットとの接続回線は1号館に入線し、各建屋と結ぶ光ケーブルの殆どは1号館に集まっていた。このため、KS-NET2002では3号館で大量のパケットを処理し、1号館で全体のルーティングを行うため、2箇所には高性能なギガビット・イーサネット・スイッチを配置すると共に、その間を4本の光ケーブルで結んで4Gbpsの帯域幅を確保したネットワーク構成をしていた。物理的な制約により当時は必然的にこのような構成になったが、設置したスイッチの能力やその間の帯域幅が十分にあったことから、運用上の問題は発生しなかった。しかしながら、高性能なギガビット・イーサネット・スイッチを複数配置することによる保守費用の問題や、このスイッチ間を往復する無駄なパケットの存在、そしてネットワーク機器を設置している1号館の部屋の手狭なスペースと部屋のセキュリティの問題を考慮して、KS-NET2012では3号館のサーバ室に基幹となるネットワーク機器を設置することとし、ここにすべての光ケーブルを集約させると共にインターネットとの接続回線の入線も3号館に切り替えて、3号館で全体のルーティングが行えるようネットワーク基幹部の構成を見直すことにした。

2.3. 冗長化と可用性の向上

教育・研究ならびに事務業務でのネットワーク利用が進むにつれてネットワークの停止はKS-NET2002構築当時に想定していたよりもはるかに大きな影響を学内外に及ぼすことになった。具体的には、年に一度実施される本学の電源設備に対する法定点検による停電で停止する以外は運用し続ける必要がある。そこで、KS-NET2012ではインターネット接続部からコアスイッチまでのネットワークを構成する機器をすべて2台構成とし、片方の機器に障害が発生しても運用に支障が出ないよう冗長化構成とすることにした。各建屋に設置する建屋スイッチについては、KS-NET2002の運用実績ではスイッチ本体が故障することは皆無で、光ケーブルとスイッチを接続する箇所にあるGBIC（Giga Bit Interface Converter）と呼ばれるモジュールで障害が発生することが殆どであった。そのため、導入ならびに運用コストを考慮して、建屋スイッチについては1台構成とする代わりにコアスイッチと建屋スイッチを結ぶ光ケーブルを複線化し、GBICに障害が発生しても残る正常なGBICによりコアスイッチと建屋スイッチ間の通信を確保することにした。

2.4. インターネットとの接続

1995年に本学が専用回線で学術ネットワーク（SINET: Science Information Network）を介してインターネットに接続したときの回線速度は64kbpsであった。1997年からは、インターネッ

トの接続先として民間プロバイダを追加してマルチホーミングを構成し、インターネット接続回線障害による切断の回避を行ってきた。さらに学内におけるネットワーク利用の需要が増大するのに対応しながら回線速度の高速化を順次行い、2003年には民間プロバイダの、さらに2008年にはSINETの回線速度をそれぞれ100Mbps（ベストエフォート）まで増速した。

KS-NET2012計画時における本学のインターネット利用実績は、講義時間帯の平均で30Mbps程度であったことや、ギガビット回線を利用した際の通信コストを考慮して、インターネット接続回線のギガビット化は時期尚早と判断した。そのため、インターネット接続部は、回線速度100～200Mbpsの複数回線を300Mbps程度のスループットでマルチホーミングできるネットワーク機器と、アクセス制御するためのギガビット対応のファイアウォールを念頭にKS-NET2002同様の構成とすることにした。

2.5. 学内全域ギガビット化

KS-NET2002構築時はまだギガビット対応のスイッチは高価で学内全域をすべてギガビット化することはコスト的に難しかった。また、建屋内の配線の多くはKS-NET1997構築時に敷設されたものでutp (Unshielded Twisted Pair) ケーブルの性能(カテゴリ5)からもギガビット化に対応できなかった。そこで、KS-NET2012では建屋内に敷設するutpケーブルをすべてカテゴリ6クラスのケーブルに敷設し直し、学内全域でギガビットでの通信を確保することにした。なお、カテゴリ6クラスのutpケーブルでは次の段階の10Gbpsの通信まで利用可能である。

2.6. 無線LANの全学展開と有線DHCP接続の継続

英語学科でスマートフォンを使った教育⁽²⁾が行われ、学内でのスマートフォンやタブレットの利用者増加に伴い、これらを利用して学内の各サーバにアクセスする需要が増大してきたことから、KS-NET2012では学生が利用する教室、食堂、図書館等に無線LANのアクセスポイントを設置することにした。導入にあたっては、接続時に利用者認証等を実施することとし、KS-NET2012のセキュリティ低下を防ぐために対策を施すこととした。

一方、3号館のコンピュータ教室や一部の一般教室に従来から用意している情報コンセントを用いて、有線でノートパソコン等をキャンパスネットワークに接続するための有線DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) 接続サービスについては、KS-NET2012でも引き続き提供することとした。

2.7. IPv6対応

ネットワークに接続する際に必要となるIPアドレスのうち従来から利用されているIPv4アドレスは、2011年2月にIPアドレスを管理するIANA (Internet Assigned Numbers Authority) が五つの地域インターネットレジストリRIR (Regional Internet Registry) に最後のアドレス・ブロックの割り当てを行って、在庫がなくなった⁽³⁾。日本におけるIPアドレスの管理を行っているJPNIC (Japan Network Information Center) は、RIRのひとつであるAPNIC (Asia

Pacific Network Information Centre) から IP アドレスの割り当てを受けているが、2011 年 4 月に APNIC の在庫がなくなったと同時に JPNIC の在庫も無くなった⁽⁴⁾。これにより、日本における IPv4 アドレスが今後増えることは無くなった。一方、IPv4 アドレスの枯渇に対応するため 1998 年に策定された次世代の IPv6 アドレスは、その普及が遅々として進まなかったが、IPv4 アドレスの枯渇が現実のものとなったことから今後は IPv6 アドレスしか所有していない新しいドメインが登場してくる事態となった。これら IPv6 アドレスしか所有していない新しいドメインと本学との間のアクセスのため、本学でも IPv6 アドレスによる通信を考慮せざる得なくなってきた。そこで、KS-NET2012 では IPv6 アドレスの利用を前提とした機器構成を行うこととした。ただし、学内における IPv6 アドレスの利用については具体的な需要が見当たらないことから時期尚早と判断し、学外から届くメールの受信や学外へのメールの発信ならびに学外へのウェブ発信や学外ウェブへのアクセスに利用するサーバに対してのみ IPv6 アドレスを付与した運用とすることにした。

3. KS-NET2012 の構築と運用

3.1. インターネット接続部の構成

設計方針に基づき構築したインターネット接続部の構成図を図 1 に示す。

マルチホーミングと NAT を行う負荷分散装置とアクセス制御を行うファイアウォールについてはそれぞれ 2 台をアクティブ・スタンバイの冗長構成とし、KS-NET2012 のルーティン

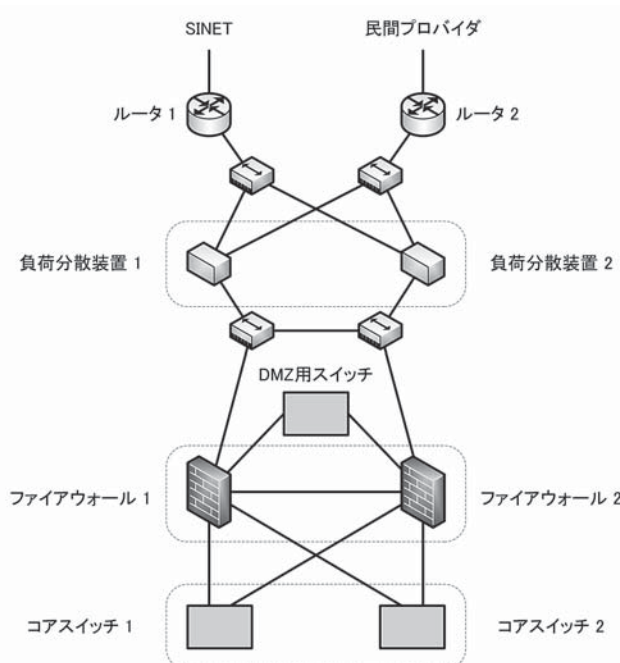


図1 インターネット接続部の構成図（構築当初）

グを行うコアスイッチについては2台をアクティブ・アクティブの冗長構成とした。冗長化に際しては、小型のギガビット対応スイッチングハブを用いてルータや負荷分散装置のポート不足を補った。この構成で冗長化の動作確認試験を行い、機器障害によりスタンバイ側に自動的に切り替わることや、片側のみの稼働で運用できることを確認した。これにより、単独構成であったKS-NET2002に比べて格段に可用性が向上した。2012年2月にKS-NET2002からKS-NET2012に切り替えて以降2年が経過するが、負荷分散装置のファームウェアに存在していたバグにより、2台の機器間でアクティブ・スタンバイの状態が頻繁に切り替わる障害が発生して運用に支障が出たことがあったが、これ以外はこれまでのところ安定した運用ができているものと評価している。

KS-NET2012運用開始後に、利用中の接続形態（地域IP網）でのSINET接続サービスが2014年3月末で終了することになったことから、SINETへの接続を継続するためには別の接続形態（広域LAN接続サービス経由による接続またはSINETのデータセンターへの直接接続のいずれか）へ早急に切り替えざる得なくなり、再度インターネットとの接続に関して検討をやり直すこととなった。KS-NET2012運用切り替え後もインターネットの需要に大きな変化は見られなかったが、今後は無線LAN導入による利用者の増加で需要の増加が見込まれることや、動画コンテンツへのアクセス増による需要の増加が予想される。さらにKS-NET2012計画当時よりもギガビット回線の通信コストが下がってきた。これらを元に再度検討を行った結果、SINETへの新しい接続形態は、ギガビット専用回線でSINETのデータセンターに直接接続する方式とした。

図2は、SINETへの新しい接続形態に対応するための変更を加えたインターネット接続部の構成である。

KS-NET2012で導入した負荷分散装置は、回線速度100～200Mbpsの複数の回線をマルチホーミングし、NATでアドレス変換することが当初の設計方針であったことから、スループットは350Mbpsしかなく、回線速度1Gbpsの新しいSINET回線を以前と同様にそのまま置き換えて接続しても回線の能力を十分に利用することができない。そこで、学外のウェブサイトアクセスするためのプロキシサーバや、学外からアクセスされるウェブサーバ、ウェブメールサーバ等1Gbpsの回線をフルに利用させたいサーバについては負荷分散装置を経由せずにSINET回線に直接接続できるネットワークセグメントDMZ-Gを新たに設ける構成とした。さらに、インターネットとDMZ-G間のアクセス制御を可能にするために途中に既存のファイアウォールを入れ、仮想ファイアウォールを追加してセキュリティポリシーが適用できるようにした。この構成変更により、ネットワークセグメントDMZ-Gを用いて学外とアクセスするサーバはSINET回線でのアクセスに限定されることになり、これまでのように民間プロバイダの回線とのマルチホーミングによる冗長化ができない新たな問題が生じるようになった。ただし、これまでの運用実績からSINET回線が長期にわたり停止することは殆どなかったことやすべてのサーバに対してマルチホーミングするだけのIPv4アドレスを民間プロバイダ回線側に保有していないことから、今回はマルチホーミングによる冗長よりも回線速度を優先することにした。

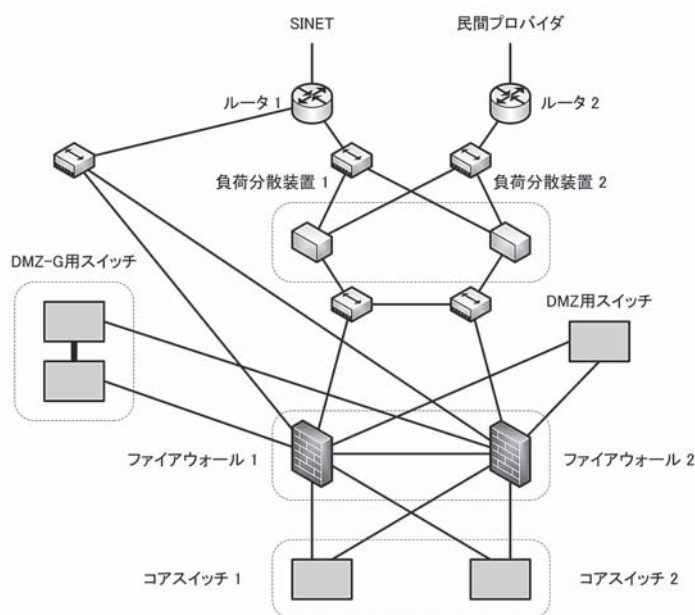


図2 インターネット接続部の構成図（現在）

2013年9月にSINET回線の接続形態をSINETのデータセンターにギガビットの専用回線で直接接続する方式に変更し、図2のネットワーク構成に変更、運用を開始した。切り替え当初は回線の帯域幅（1Gbps）が十分あるにもかかわらずインターネットの利用が増えると学外ウェブへのアクセスが遅くなる現象が確認されたが、ルータの最大セッション数を見直したことで現在は解消している。ルータの設定が初期設定のままで、本学の状況にあっていなかったのが原因であった。また、2013年から2014年にかけての年末・年始に、SINETへの接続形態変更により新たに入線した回線の端末（回線業者提供のメディアコンバータ）の故障でデータが25%しか正常に伝達できない障害が発生し、本学とインターネット間が非常につながりにくいトラブルに見舞われた。このトラブルは、これまでの運用実績から障害が発生する可能性は非常に低く、万一障害が発生しても短時間で復旧できると考えていた箇所であったが、回線の完全途絶ではなくデータの一部は正常に伝達される状況であったことから、かえって障害箇所の特定がすぐにできなかった。さらに、回線の死活監視により動作するマルチホーミングも正常に伝達されるデータが存在することから今回は機能しなかった。障害発生時期が年末年始であったことも復旧に時間を要した一因となったが、一部正常に機能するという障害原因としては最悪のケースであった。マルチホーミング優先から回線速度優先に切り替えて間もなくしてのトラブルであったが、障害原因からマルチホーミングも機能していなかったので切り替え前の構成であっても障害の影響は変わらなかったと考えている。その一方で、切り替え前の構成（図1）であれば、マルチホーミングの機能により障害が推測される回線を一時的に使わないように設定を変更し、障害の出ているサー

ビスの一部を早い段階で仮復旧させることは可能であったが、切り替え後の構成（図2）ではそのような対応ができなかった。ただし、接続回線自体の障害に原因を絞り、回線提供者により現地調査が行われてから復旧するまでの時間は半時間であったのも事実で、短時間で復旧する想定も誤りではなかったと言える。今回の障害箇所を冗長化し可用性を向上させるためには、SINET 接続回線を複線化して SINET が提供するマルチホーミングを利用するかスループットがギガビット級の高価な負荷分散装置を導入する必要がある。いずれも経費等の面で現時点では現実的ではなく、現状での導入は難しいが今後の検討課題としたい。

なお、今回の障害箇所を特定するために当該回線の運用を一時停止し、回線提供者によるループバック試験が行われたが、その回線停止中にマルチホーミングにより別の回線に回避すべきサービスの一部が正常に提供できなかったことも判明した。この原因は、学内向け DNS (Domain Name System) サーバのすべてがマルチホーミング可能な KS-NET2012 内のネットワーク上に配置されていなかったためであったが、他のサービスを提供するサーバでもあるので単純に配置を変更するだけでは対応できず、今後の接続回線障害に備えてサーバについても検討課題が残った。

3.2. 学内ネットワークの構成とポリシー

設計方針に基づき KS-NET2012 では学内ネットワークを利用環境・用途ごとにワークグループに分けて構成することにし、ファイアウォールとコアシッチによりこれらワークグループ間のルーティングを実現した。図3に構築した KS-NET2012 の論理構成図を示す。

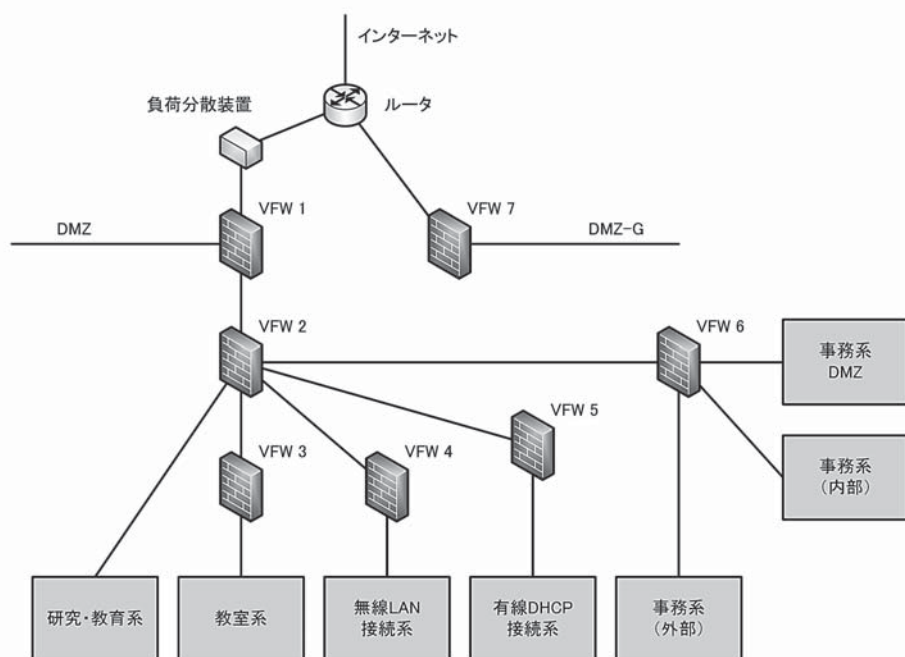


図3 KS-NET2012 の論理構成図

学内のネットワークは、研究・教育系（教員研究室、3号館 Windows 教室）、教室系、事務系、無線 LAN 接続系、有線 DHCP 接続系に分けた。これらのワークグループは仮想ファイアウォール VFW2 でインターネット側とのアクセス制御が行われるとともに、仮想ファイアウォール VFW3 ～ VFW6 により個々のワークグループごとに他のワークグループとの間のアクセス制御を設定できるようにした。さらに、事務系は、仮想ファイアウォール VFW6 により、事務系（外部）、事務系 DMZ と事務系（内部）の三つに分割し、個人情報等を扱うことの多い事務系（内部）のセキュリティポリシーを強化した。

学外からのアクセスが多いサーバ等を配置する DMZ を設け、仮想ファイアウォール VFW1 でアクセス制御できるようにした。また、SINET 回線のギガビット化に伴い、SINET 回線に直接アクセスする DMZ-G に対してアクセス制御を行うために、仮想ファイアウォール VFW7 を追加した。

3.3. コアスイッチ・建屋スイッチ間

インターネット接続部と光ケーブルの集約箇所を共に 3 号館に移したことから、図 4 に示す通り、3 号館のコアスイッチから各建屋に設置した建屋スイッチまでを光ケーブルでスター状に結ぶ構成にした。

アクティブ・アクティブの冗長構成になっている 2 台のコアスイッチの各々と各建屋に 1 台設置した建屋スイッチを 2 本の光ケーブルで結ぶことで、コアスイッチ・建屋スイッチ間の冗長化と通信帯域幅の倍増を実現した。

KS-NET2002 の運用実績から建屋スイッチ本体が故障することは殆ど無かったが、万一故障した場合は予備のスイッチと交換し、設定をし直すことにより短時間で復旧できるものと考えている。

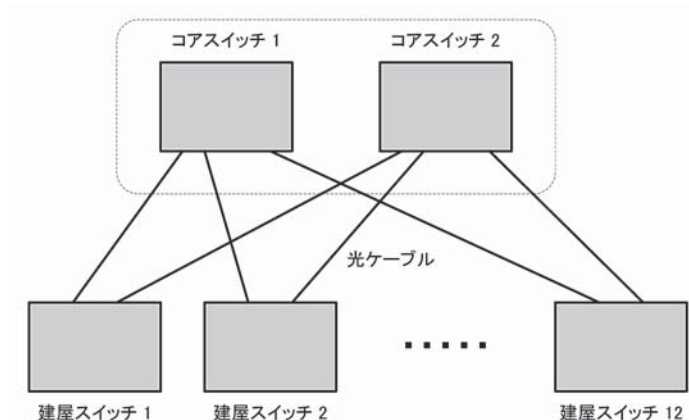


図 4 建屋間の接続図

3.4. 無線 LAN 接続と有線 DHCP 接続

KS-NET2012では、教室棟、図書館、食堂等の48箇所にアクセスポイントを設置し、これらを1台のコントローラで管理・運用する無線LANシステムを構築した。サービスを提供する無線の伝送規格は、2009年に規格策定が完了した最新規格のIEEE802.11nとし、従来からのIEEE802.11gを併用することにした。無線LAN接続によるKS-NET2012のセキュリティ低下を防ぐために、WPA2 (Wi-Fi Protected Access) で暗号化することを基本とし、WPAも併用することにした。さらにSSID (Service Set Identifier) はステルス設定として公開せず、IEEE802.1Xによる利用者認証を経ないと接続できないようにした。3号館に設置した既存の無線LAN (アクセスポイント11箇所、伝送規格はIEEE802.11g) でも同様の運用ができるよう、設定を変更し、新旧無線LANで共通してKS-NET2012に接続できるようにした。

無線LAN接続により接続される学内ネットワークのワークグループは無線LAN接続系で、接続端末が個人の所有物であることを考慮して、学外ウェブサイトへのアクセスはプロキシサーバを経由せずに直接行えるようにする一方、学内のその他のワークグループへのアクセスについては利用者にサービスを提供しているサーバに対するアクセスのみ許可するなど制限を加えたアクセスポリシーを仮想ファイアウォールVFW4に設定した。

KS-NET2002での有線によるDHCP接続は、DHCP接続後にゲートウェイサーバにウェブアクセスし、利用者認証を経て接続する方法をとっていたが、KS-NET2012ではDHCP接続可能な情報コンセントにつながるスイッチが有する接続認証 (IEEE802.1X) 機能を用いて接続する方法でシステムを構築した。有線DHCP接続により接続される学内ネットワークのグループは有線DHCP接続系で、仮想ファイアウォールVFW5によりアクセスポリシーを設定できるようにした。現在は、無線LAN接続系と同様のポリシーで運用している。

3.5. IPv6の利用

IPv6については、SINET回線の接続方式切り替え時にアドレスの割り当てを受け、新しく構築したネットワークセグメントDMZ-Gに接続するサーバでの利用に向けて準備を進めている。既に、サーバ側の運用準備は完了しており、インターネットからDMZ-Gに至る間に配置しているルータとファイアウォールに対し、IPv6に関する設定を追加するだけで運用できる段階になっているが、本稿を執筆している時点ではまだ運用開始には至っていない。IPv6の利用については、SINET加入機関 (2012年度で779機関) のうち、IPv6アドレスの割り当てを受けた大学・研究所等はまだ70機関 (内女子大学は2校) を超えた程度でまだまだ導入が進んでいないのが現状である。そのため、ネットワーク業者も導入には慎重で、現在社内での動作検証が実施されている状況であるが、ロードマップ通りに進めば今年度中に運用開始となる予定である。

4. まとめ

再構築したKS-NET2012は、KS-NET2002に比べ冗長化による可用性の向上やギガビット化による高速化が実現できた。さらに、これまで通りマルチホーミングにより学外との間の

接続の可用性を確保した運用に加え、可用性よりも 1Gbps の帯域幅を有効利用することを優先させるネットワークを新たに追加した。

本学の三代目のキャンパスネットワークも 2012 年 2 月に運用を開始してから 2 年を経過しようとしている。当初の設計方針通りうまく構築できた部分があれば、運用開始後の状況の変化により当初設計から変更を余儀なくされ構築後に変更を加えた部分もある。今回構築に使用したネットワーク機器はほぼ末端までインテリジェントスイッチで構成されていることから、今後もある程度の構成変更に対しては機器の設定変更で対応し得る自由度は備えており、ネットワークをめぐる状況の変化に合わせて柔軟に対応しながら可能な限り進化させていきたいと考えている。

最後に、当キャンパスネットワークの構築にあたっては、東中綱利氏、松下真也氏（以上、NTT 西日本）、太田垣俊一氏、岸本康宏氏（以上、NTT PC コミュニケーションズ）に依るところが大きく、ここに謝意を表します。また、学内外の関係部署との調整を行い、構築作業を円滑に進めていただいたシステム管理室の大島康司氏と上野智子氏にお礼申し上げます。さらに、ネットワークの動作確認等を献身的に実施していただいた情報教育センターの岡裕子氏にお礼申し上げます。

文 献

- (1) 古家伸一・稲澤弘志：「神戸松蔭メールシステム」、神戸松蔭女子学院大学「研究紀要」第 52 号（2011）、pp.31-44
- (2) 西垣内泰介：「多機能携帯端末を活用した学生生活・学習支援システム～神戸松蔭女子学院大学英語学科の取り組み～」、私立大学情報教育協会「大学教育と情報」2012-No.2（2012）、pp.8-10
- (3) 日本ネットワークインフォメーションセンター：「IANA における IPv4 アドレス在庫枯渇、および JPNIC の今後のアドレス分配について」、JPNIC ウェブサイト、2011 年 2 月 4 日、<https://www.nic.ad.jp/ja/topics/2011/20110204-01.html>
- (4) 日本ネットワークインフォメーションセンター：「APNIC における IPv4 アドレス在庫枯渇のお知らせおよび枯渇後の JPNIC におけるアドレス管理ポリシーのご案内」、JPNIC ウェブサイト、2011 年 4 月 15 日、<https://www.nic.ad.jp/ja/topics/2011/20110415-01.html>

（受付日：2014. 1. 10）