

# インターネットの発展と共に歩んだ山形大学計算センターの歴史と COVID-19 への対応 —繋がった喜びを大切に—

伊藤 智博 (山形大学 大学院理工学研究科, tomohiro@yz.yamagata-u.ac.jp)

## History of Networking and Computing Service Center at Yamagata University with the development of the Internet and correspondence COVID-19:

Cherish the connected joy

Tomohiro Ito (Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Japan)

### 要約

本論文では、山形大学の計算センターが、インターネットの発展とともに歩んできた歴史を述べる。それは、繋ぐことから始まった。繋げるようになると、ルータの故障対応、サーバの構築、ソフトウェアの日本語化を進めた。2000年頃になると、家庭にもインターネットが広まり、ファイアーウォールによるセキュリティ対策を実施した。2005年には、ユーザアカウントの肥大化を抑えるためにシングルサインオンが導入され、フィッシング詐欺を避けるために電子証明書を導入した。東日本大震災では、通信回線の脆弱性を浮き彫りになり、後に通信回線や電源を冗長化した。2019年には、世界的に感染が拡大続けているCOVID-19の感染拡大を防ぐため、無線LANの増強やウェブ会議ツール、仮想デスクトップやVPNの利用を支援した。40年が経過しても、何も変わっていない。いかに、利用者を計算センターのサービスに接続させ、円滑な教育環境を提供するかに尽きるようである。

### Abstract

The Networking and Computing Service Center at Yamagata University has a history of progressing with the development of the Internet. The history started with connecting, and next proceeded with router failure handling, server construction, and software support in Japanese. Around 2000, the Internet spread to homes, and firewalls were used to implement security measures. In 2005, single sign-on was introduced to curb user account bloat, and digital certification was introduced to avoid the phishing scams. The Great East Japan Earthquake made communication lines and power supplies redundant, highlighting the vulnerability of such communication lines. In 2019, we supported the enhancement of wireless LAN and the use of web conferencing tools, virtual desktops and VPNs to prevent the spread of COVID-19 infection. Nothing has changed after 40 years, and it seems that it is all about how to connect users to the services of the Networking and Computing Service Center and provide a smooth educational environment.

### キーワード

インターネット, デュプレックスシステム, 電力, マルチホーム接続, 公開鍵暗号

### 1. はじめに

筆頭著者の伊藤は、1994年に入学し、大学生時代に、インターネットの構築に携わった。なにも、構築がしたかったわけではない。米国NASAのジェット推進研究所の写真が見ただけであった。しかし、実際に入学して、情報処理センターの開放端末ではインターネットが使えない。ファイル転送プロトコルのクライアントソフトは使えるがドメインネームシステム(以下DNSと略す)に対応しておらず、名前解決ができなかったのだ。いくつかの問題を解決していく過程で、サーバやインターネットの構築の面白さや繋がったときの喜びを知る。

インターネットは、瞬く間に一般家庭に普及し、当たり前のように使えるようになった。しかし、そこにはインターネット黎明期において、多くの技術が積み重ねによって出来上がった。本学で培った問題解決方法を歴史として書き残すこ

とにした。

本論文では、狼煙から始まり、インターネットの誕生の歴史から通信の基礎についてまとめる。さらに、本学の計算機センターがインターネットの発展とともに歩んだ40年を振り返り、その時々での本学で起きた問題とその解決策を述べる。新型コロナウイルス(COVID-19)によるオンライン授業を踏まえて、デジタル化の副作用を述べる。

### 2. 狼煙の光通信からインターネット黎明期まで

#### 2.1 通信の歴史

表1に通信と計算センターの歴史を示す。通信とは、遠くに情報を伝えるために発達した。紀元前8世紀ごろに、狼煙による光通信が最初とされ、敵からの攻撃を仲間に伝え、集落の安全確保に使われた。狼煙は、煙の色などで伝えるために、馬などよりの早く情報を伝えることできる。狼煙は、敵から攻撃の有無の表現したデジタル化の1つでもあった。しかし、天候に左右されるなどの問題があった。

この問題を解決したのが、電気の発見であった。19世紀に入り、ボルタがガルバニ電池を発明すると、ニコルソンとカー

表1：通信と計算センターの歴史

年号	出来事
紀元前 8世紀	狼煙(のろし)による情報通信
1800	ボルタがガルバニ電池を発明
1809	ゼンメリングが電気分解による通信
1820	エルステッドが電流から起きる磁場を発見
1837	クックとホイットストンが電信機を発明
1878	ベルがオズボーン電話を発明
1908	銚子無線電信局開局、無線電報取り扱い開始
1925	AM電波によるラジオ放送開始
1939	山形大学工学部に通信工学科設置
1964	西澤潤一らが光ファイバーを発明
1966	米沢地区に山形大学計算センター設置
1983	山形大学工学部に情報科学科設置
1987	山形大学情報処理センター米沢分室に改組
1987	ACOS630/10による計算サービスと同時に初の学内ネットワークを整備
1990	山形大学がIPv4アドレスを取得
1993	IIJが商用インターネットサービスを開始
1993	ウェブサーバソフト NCSA httpdの初版の提供開始
1994	FDDIバックボーンと10Base-Tによる本格的なキャンパスネットワークサービス開始
1995	阪神・淡路大震災
1995	汎用サーバS-4/1000EとPCによる分散処理型の教育用コンピュータの提供
1996	武蔵野三鷹ケーブルテレビ(株)がCATVによる常時インターネットサービス開始
1996	ATMバックボーンによる100Mbpsの学内ネットワークサービス開始
1996	カバルダーらがL3スイッチを発明
1999	JANISがADSLによる常時インターネットサービスを開始
2001	ファイアーウォールとギガビットイーサーによる高速セキュリティネットワーク
2011	山形大学がIPv6アドレスとAS番号を取得
2011	IPv6のマルチホーム接続実験開始
2017	対外回線をキャンパス毎にSINET5のDCへ直接接続(10 Gbps、BGPによる冗長化)
2019	工学部学術情報基盤センターにディーゼル発電機による停電対応電源を整備

ライルが電気分解を発見、1809年に、ゼンメリングが電気分解を使った電信機を発明する(佐藤, 2010)。1820年に、エルステッドが電流から磁場が生じることが発見されると、電流計が発明され、液が漏れない電信機へと発展する。モール信号の発明は、電線が2本で、情報を伝えるシリアル通信を実現した。声を伝えたいと要望に応えたのが、ベルによるオズボーン電話の発明である。

20世紀は、電磁気学や量子力学が発達する。1901年に大西洋横断無線電信に成功する。日本では、1908年に船舶の安全のために、銚子無線電信局が開局し、無線電報の取り扱いが開始される。1925年には、AMラジオによる放送が開始さ

れ、情報は、電波を介して大衆に送信される。1962年に、日本の電話網もクロスバー交換機に開発により、全国展開される(鈴木他, 2016)。1964年には、西澤らが光ファイバーを発明する。1970年に常温で動作する半導体レーザーが開発されると光ファイバー通信技術の開発が加速される。1980年には、高純度シリカによる光ファイバーが主流になり、その光損失は0.2 dB/kmに達成する。1981年には、日本電信電話公社が光ファイバー伝送方式の基幹通信網を整備し始める。

モデムの発明は、電話回線を使って、遠隔からコンピュータを利用できるようになった。ダイヤルアップ接続によって、特許検索やパソコン通信が利用できるようになる。このモデムを使って、アメリカでは1960年後半に、ミサイル攻撃を受けても、通信が途切えないARPANETが誕生した。ARPANETの技術を平和利用したものがインターネットであり、日本では、1984年に学術組織が中心となったJUNETが誕生する(砂原, 2005)。1993年には、IIJが初の商用インターネットプロバイダサービスを開始し、大衆向けのインターネットが誕生した。

## 2.2 山形大学計算センターの歴史

計算センターは、大学において計算機の共通設備を教育・研究に利用するために設置された。1956年に日本初の電子計算機が開発され、電子計算機に関する技術者の育成が必要となる。山形大学計算センターは、1965年に米沢地区に設置され、本学の教育・研究のために共通設備として利用されはじめる。1987年には、全キャンパスで、校内通信モデムによる計算サービスが利用可能になる。同じ頃、イーサーネットの商品が市場に出回ると、計算センターの職員の鈴木勝人氏らが10BASE5の同軸ケーブルを校内に敷設し、工学部内にイーサーネットの通信網を整備した。

1990年から1998年頃までは、インターネット黎明期の時代であった。山形県内の学術機関が山形大学を經由してインターネットに接続していた。これまでの計算サービスに加え、インターネットの実験や学内のIPアドレスに管理も計算センターが担うようになった。

本学は、インターネットプロトコルバージョン4 (IPv4) のIPアドレスを取得する。当時、取得に携わった本学名誉教授の平中は、「アメリカに申請しても、IPアドレスが取得できず、関係者をつかまえないと動かないことがある。」と語っている(伊藤他, 2017)。東北大学にシリアル回線IP (SLIP) で9600ビット毎秒 (bps) による実験接続から始まり、1993年には64 kbps、1995年には3 Mbpsに増速される。この間、山形県工業技術センター、山形女子短期大学、米沢女子短期大学などが本学を介してインターネットに接続した。

1999年からは、CATVやADSLをはじめとする常時接続型のインターネットが家庭にも普及するようになる。学内のインターネット利用者も増加し、3 Mbpsの回線では帯域不足になる。ソフトウェアの脆弱性によるサーバが乗っ取られるなどのセキュリティ面の問題が発生し始めた。

## 3. ブロードバンド化したインターネットと安定運用

### 3.1 つながることが仕事から安定運用へ

表2には、山形大学のキャンパスネットワーク歴史を示す。

1994年、平中らは、本学の全ての部屋に10 Mbpsのイーサネットを整備した(平中, 2011)。インターネットの通信に不可欠なIPルーティング機能は、建物のルータに持たせた分散ルーティング方式であった。100 MbpsのFDDIネットワークがキャンパス内のバックボーン方式に採用され、図1 (a)に示すDEC社製のGIGASwitchがキャンパス内の通信を処理した。1996年、伊藤彰則らは、動画配信に対応するために、より高速なバックボーンを展開できるATM方式と100 Mbpsのイーサネットがキャンパス内に整備された(平中, 2011)。インターネットの利用者が増加するに従って、これらの通信機器にトラブルが続出し、頻りにルータを再起動した。

表2：山形大学のキャンパスネットワークの歴史

年代	通信方式	安定性	ルータ機能		特徴
			基幹	建物	
1994	FDDI	△	×	○	10 MbpsのLAN
1996	ATM	△	×	○	100 MbpsのLANを希望者に提供
2001	GbE <sup>*1</sup>	○	○	△	100 MbpsのLAN、Firewall、VLAN導入
2009	GbE <sup>*1</sup>	◎	◎ <sup>*2</sup>	×	1 GbpsのLAN、VRFの導入
2018	GbE <sup>*1</sup>	◎	◎ <sup>*2</sup>	×	10 Gbpsの上流回線に対応

注：\*1GbEはイーサネットである。\*2◎は、ルータモジュールの二重化と仮想ルータ機能の追加を意味する。

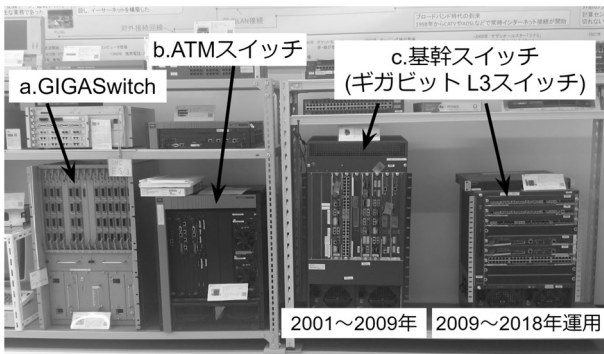


図1：歴代のコアスイッチの写真

2001年に、計算センターが中心となって、通信機器のトラブルを解決するため、キャンパス内バックボーンをギガビットのイーサネット方式にした。筆者は、1996年にカバルダーらが発明したL3スイッチにより、発熱を抑えつつ、高速処理ができる機器になったからトラブルが減ったと予想している(カバルダー・フィン, 1996)。その他にも、通信方式をIPv4に限定し、ネットワーク構成を単純化した。一部の職員からはAppleTalkのルータも使わせてほしいとの要望もあったが、安定運用を優先するために認めなかった。ルータ機能は、計算センターに設置された基幹スイッチ(図1(c))と建物に設置された支線スイッチの両方に持たせて、冗長構成で設計された。導入後に、支線スイッチでルータ機能を有効化すると、L2スイッチングの機能が動作しなくなるバグが発見され

た。急遽、ルータ機能は基幹スイッチのみに変更した。予算の都合で、基幹スイッチのスーパーバイザーエンジンを二重化していなかった。案の定、スーパーバイザーエンジンが故障し、キャンパス全ての通信が停止する問題が発生した。

2009年には、基幹スイッチのスーパーバイザーエンジンを二重化し、安定した学内ネットワークへとたどり着いた。それと同時に、全ての部屋に1 Gbpsのイーサネットを提供し、YouTubeなどの動画配信に対応した。また、基幹スイッチには、一台の機器に複数のルータを機能させる仮想ルータ機能(VRF)が導入され、基幹スイッチが複数のルータ機能を担うことで通信機器を減らし、発熱と消費電力を削減した。

2016年には、キャンパスからの上流回線が10 Gbpsに増速される。2009年に導入した基幹スイッチでは、10 Gbpsに対応しない。10 Gbpsのスイッチを別に接続していたため、構成が複雑化、管理に負担があった。2018年には、基幹スイッチを10 Gbpsのインターフェースに対応させ、上流回線を収容し、管理コストと消費電力を減らした。

### 3.2 インターネットのセキュリティ強化と証明書

2001年に、Nimdaと呼ばれるWindows系のOSを感染するワームが広まった。このワームは、Windowsのファイル共有サービスやインターネットのブラウジングなど複数の感染方法を持っていた。本学では、数台の端末が感染し、最初の感染経路は、ブラウジングによるものが多かった。計算センターが中心となって、ファイアーウォールが導入されており、学外からの攻撃による感染はできなかったのである。ファイアーウォールの導入は、全国でも進みインターネットから、ワームやコンピュータウイルスを送り込む攻撃は激減する。

一方で、メールを介したウイルスの増加が問題となる。本学のメールサーバにウイルスを駆除するシステムを導入し、メールのウイルスを駆除した。他にも、全ての利用者端末にウイルスチェックソフトを導入する意見やメールサーバを外部サービスに移行する意見もあったが、予算的に断念した。2012年に、予算的に見合うようになったので、工学部の職員メールはクラウドに移行した。

2004年、筆者を含む工学部の有志らは、公開鍵暗号方式の電子証明書によるフィッシング対策の実験を始めた。インターネットやメールによるウイルス感染が困難になると、偽サイトからのプログラムダウンロードや情報搾取が予想されたからであった。

2005年、筆者らが中心になって、学内においてシングルサインオン(SSO)の実験が開始した。学内では、実習パソコン、メールサーバ、計算サーバ、ファイルサーバ、ウェブ教材、会計システム、履修・出席管理などが、インターネットを介して使われるようになってきた。それぞれのシステムに、ユーザIDとパスワードを発行したら、利用者はパスワードを紙に書かざる得なくセキュリティが低下する。他の職員からは、認証情報が漏洩したら、成績や会計情報が漏えいするので危険との意見もあった。そこで、アクティブディレクトリーとRadiusを活用して、教育に関わるシステムに限定して、SSOを利用できるようにした。

### 3.3 震災と冗長化ネットワーク

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、本学のネットワークの脆弱性が浮き彫りになった。当時、本学のネットワークは、図2に示すように小白川キャンパスを中心としたスターネットワーク、かつ、外部回線は、小白川キャンパスから仙台に接続されていた（伊藤他, 2011）。東日本大震災では、米沢キャンパス以外は、停電により、通信機器も停止した。唯一の通信回線は、米沢キャンパスにDNSやバーチャルプライベートネットワーク（VPN）のために準備された商用インターネットサービスプロバイダー（ISP）の通信回線のみであった。余震の続く夜、自宅からVPNによるリモート接続で、中核となるデータベースやストレージへの障害がないことを確認した。その後、情報担当理事から学生の安否不明者がいるので、安否確認システムを作れないかとの相談を受け、筆者は「本学の情報基盤は正常に動作しているので、6時間の時間をください」と回答した。

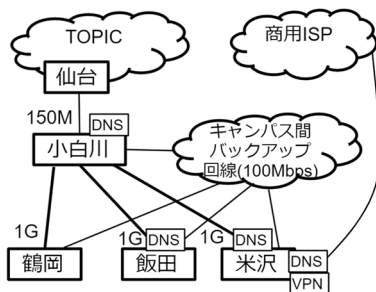


図2：震災時の本学の情報通信網

計算センターの職員らは、震災から1カ月が経過すると、冗長化に向けたネットワークの再設計を始めた。本学のネットワークの冗長化は、震災の前から行われ、学内ネットワークは、キャンパス間も含めて、二重化されていた。唯一の弱点は、対外回線の冗長化ができていなかった。震災とは関係なく、国立情報学研究所が全ての都道府県に接続ノードを設置するSINET4の構想が進んでいた。震災後、計算センターの職員らは、本学の主回線の上位ISPは、SINET4に切り替えた。SINET4は、ボーダーゲートウェイプロトコル（BGP）によるフルルートの経路交換ができ、マルチホーム接続ができたのである。筆者が中心となって、利用者の少なかったインターネットプロトコルバージョン6（IPv6）の通信を利用して、米沢キャンパスでBGPの実験運用を行った。反対意見などは無かったが、同時に進めていた広域負荷分散（GSLB）によるサーバへの回線冗長化は、運用コストが高く2018年に廃止した。

2016年、計算センターの職員らは、SINET5に接続を切り替え時に、全学のIPv4とIPv6通信の全ての経路制御をBGPによるマルチホーム接続に変更した。2017年には、図3に示すように、小白川キャンパスから1つだけであった上流ISPへの回線を、キャンパス毎に、SINET5に接続した。この時点で、外部回線は、小白川、飯田、米沢キャンパスが10Gbpsの通信速度になり、全学の学外への通信速度は30Gbpsとなった。通信速度の増加によって、COVID-19の感染拡大時のウェブ会議システムを円滑に提供できた。

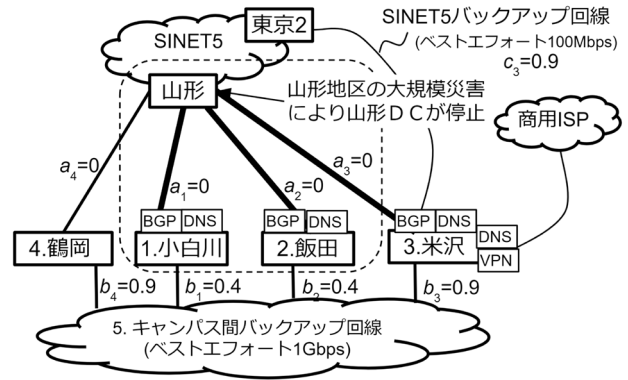


図3：2018年の本学の情報通信網

注：SINET5山形DCとの回線の稼働率をa、キャンパス間バックアップ回線の稼働率をb、SINET5東京2DCとのバックアップ回線の稼働率をcとする。

SINET5の東京2データセンター（DC）へのバックアップ回線も米沢キャンパスから、追加された。山形地区で大規模災害が発生し、SINET5の山形DCが機能停止した場合を想定したものである。米沢キャンパスに設置した理由は、東北電力の米沢変電所に対して、4系統の高圧送電線が引き込まれている。それゆえに、本学のキャンパスの中で、停電の確率が低いと判断したからであった。また、大規模災害時のインターネット通信の継続率は、全学で57%、病院で29%と計算した。

### 3.4 電力消費の削減

1998年、通信機器の発熱によって、熱暴走による異常や故障が増加し、問題となった。図4には、米沢キャンパスの通信設備の消費電力の推移を示す。図4の黒丸に示すように、年代が進むにしたがって、キャンパス全域の消費電力は減少した。その一方で、センターに設置された基幹スイッチの消費電力が増加している。管理コスト軽減するために、機能をセンターに集約し、建物の通信設備の部屋に設置したエアコンを撤去したいという願望から進めている。

1995年頃、米沢キャンパス内の通信機器の消費電力は、10kWであった。一方で、計算センターに設置された基幹スイッチの消費電力は、1.5kWであった。建物ごとに、ルータを設置したため、建物の通信設備の消費電力が多く、発熱は700Wに達していた。2001年には、基幹スイッチにルータ機能を集約し、キャンパス全体の消費電力と4.5kWにした。

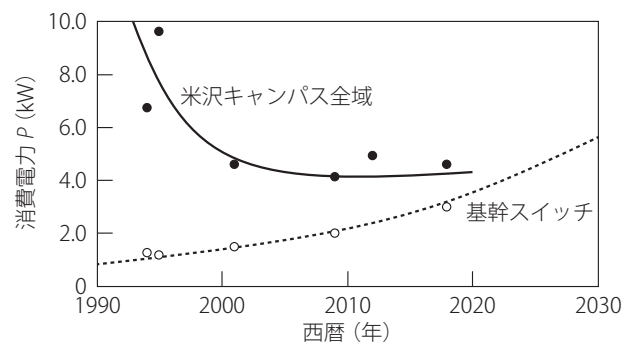


図4：米沢キャンパスの通信設備の消費電力の推移

2011年には、震災を踏まえたマルチホーム化に伴う機器の増強で、消費電力は5 kWに増加した。2018年には、建物の通信設備の省電力化によって、キャンパス全体の消費電力を4.8 kWに抑えつつ、10 Gbpsの通信速度に対応した。建物の通信機器は、ルータ機能の廃止と台数の削減によって、消費電力を250 Wに抑えた。

2018年には、米沢キャンパスの計算センターに、外気冷房装置を導入し、年間2万kWhの電力量を削減した。東北電力の二酸化炭素排出係数を用いて換算すると、10トンの二酸化炭素の削減している。政府によって、2050年までに二酸化炭素排出実質ゼロとする方針が宣言された。計算センターとして、情報機器や通信設備の消費電力を如何に下げるか、模索し始めた。

### 3.5 無停電化とエネルギーミックス

インターネットが日常生活で当たり前となると、ネットワークやサーバの停止は、業務への影響が大きくなってきた。ひとたび、落雷などによって停電が生じれば、停電の後の復帰作業に数時間を要し、教育研究業務が停止する問題に直面した。再生エネルギーの増加に伴う電力の不安定化や大規模災害への備えとして、山形大学工学部は、情報基盤の安定運用を目指した停電対策を行った。米沢キャンパスの計算センターの職員からは、計算センターの商用電源を別ルートで引き込み、二重化する案も出たが、担当部署から契約上できないとの報告を受け断念した。

電源の運用や設計は、米沢キャンパスの計算センターの職員と施設部とが連携して進めた。図5に示すように、計算センターの電源は、商用電源、停電対応電源、太陽光発電の3つから構成されている。太陽光発電は、別の建物に設置された太陽光パネルによって発電され、パワーコンディショナーシステムを介して、商用電源と系統連携される。計算センター

へは、自立出力から送電されており、停電時には、3秒後に自立運転が開始され、再送電される。

停電対応電源は、米沢キャンパスの計算センターの職員の若手職員の佐藤早徒氏と相談の上、設置後20年間は教材として動体展示できるように設計した。停電時は、5秒後にディーゼル発電機が自動始動し、1分後に、自動切替盤によって、ディーゼル発電機からの電源が供給される。手動切替盤は、停電対応電源や太陽光発電の漏電試験の際に、容易に商用電源に切替えられるように取り付けた。

表3に、計算センターのエネルギーミックスを示す。平常時は、商用電源と太陽光発電によって、動作している。3日間以上の停電が続き、ディーゼル発電機の燃料が無くなったら、太陽光発電のみで、主要な通信機器を作動させる。すなわち、全学ネットワークのバックアップ回線を止めないように設計されている。

表3：計算センターのエネルギーミックス

状態	商用電源	ディーゼル発電	太陽光発電
平常時	18	0	2
日中の停電	0	18	2
夜間の停電	0	20	0
ディーゼル燃料切れ	0	0	5

### 3.6 COVID-19 とオンライン授業、デジタル化の副作用

2019年から世界的に流行したCOVID-19により、授業の一部がオンライン授業へと切り替わった。ウェブ会議システムの利用者管理や学習管理システム(LMS)のサポート業務が増えた。また、大学内の無線LAN設備の強化や無人のパスワード発行システムの設置などの通信インフラの再整備を行い、

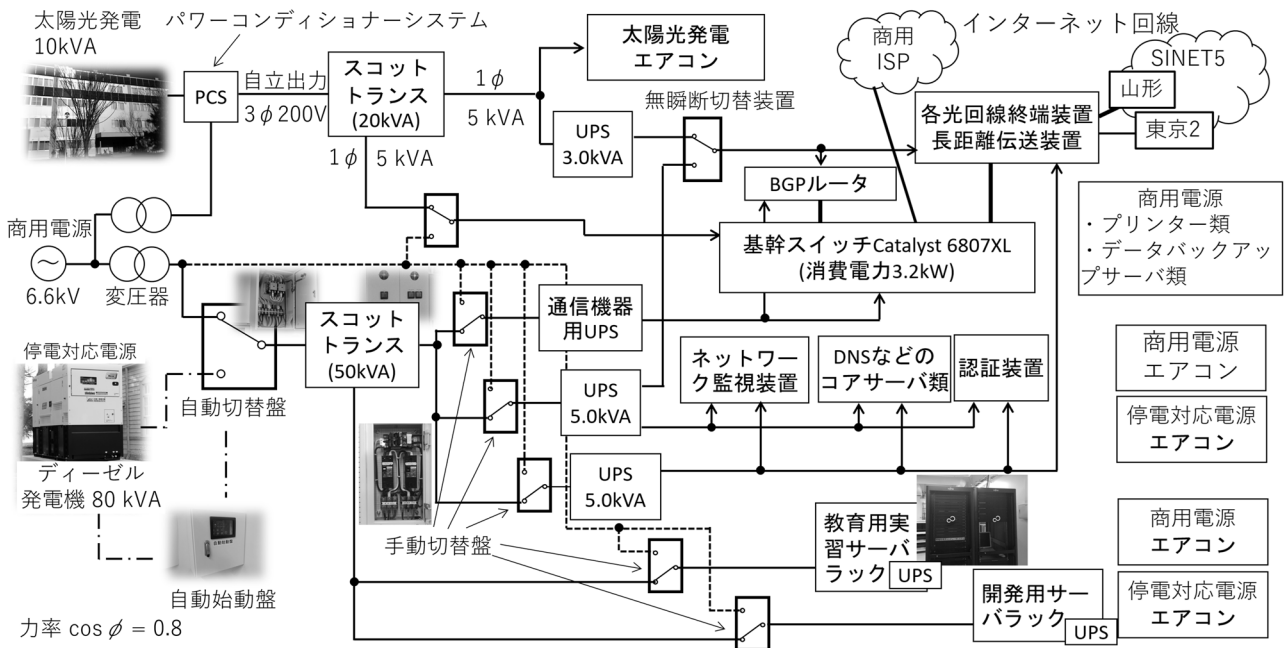


図5：計算センターの電源構成図

COVID-19の感染拡大防止に努めた。

(受稿：2021年6月10日 受理：2021年6月25日)

オンライン授業であるがゆえに、学生と教員間でのトラブルも増加した。オンラインの弊害を解消すべく、執行部が学生から要望や困ったことを聞くようにしたのである。ときには、執行部が学生から意見とLMSの教材や課題だけをみて、担当教員には相談もなく、授業改善をお願いすることもあった。デジタル化の副作用も徐々に解消されるであろう。

生前に祖父が、「戦争はやるものじゃない。戦地では食料なく、蛇を食べ、ドラム缶でお湯を沸かして、風呂に入るような生活だ。」と話していた。デジタル化は、数字に起こせる「文字」や「画像」、「音声」といった表現には限界がある。些細な食い違いで戦争まで発展した歴史もある。デジタル化で補えない部分こそ、対面で行う授業の価値ではなからうか。

#### 4. まとめ

40年という歳月を経て、本学のインターネット環境は安定運用が実現した。そこには、最初頃と全く変わらずに、いかにして、計算センターが提供するサービスに繋ぐかということに尽きるようである。紀元前に中国で、身を守るために、のろしが発明されたように、人は、遠くに情報を伝えたいのかもしれない。今後の課題は、培った技術を次の世代に継承するかであろう。

#### 謝辞

20年以上という長くに渡り、ご指導・ご鞭撻を賜りました計算センターの元職員 鈴木勝人氏、青木和恵氏に感謝申し上げます。また、通信技術について、ご指導いただいた平中幸雄先生、学生時代にプログラムと一緒に書いていただいたシステム協力員の皆様に深く感謝申し上げます。

#### 引用文献

- 平中幸雄 (2011). 学内ネットワークの整備. 山形大学工学部 100年史, 187-188.
- 伊藤智博・神保雄次 (2017). 山形大学のIPアドレスの取得. 情報処理概論, [https://edu.yz.yamagata-u.ac.jp/Pub-lic/52210/52210\\_02\\_01.asp](https://edu.yz.yamagata-u.ac.jp/Pub-lic/52210/52210_02_01.asp). (2021-04-09参照)
- 伊藤智博・高野勝美・田島靖久・吉田浩司 (2011). 災害時に備えた分散キャンパスによる情報基盤の整備. 学術情報処理研究, Vol. 15, No. 1, 5-11.
- カバルダー, P.・フィン, N.W. (1996). Layer 3 switch unicast protocol. US Patent US6049834A.
- 佐藤 朋之 (2010). ザムエル・トーマス・フォン・ゼンメルングのテレグラフと「魂の器官」について. 上智大学ドイツ文学論集, Vol. 47, 55-98.
- 砂原秀樹 (2005). インターネット 歴史的一幕—JUNETの誕生—. <https://www.nic.ad.jp/ja/newsletter/No29/060.html>. (2021-06-09参照)
- 鈴木利雄・川治健一・関口理希・石川智士・伊藤 智博・立花和宏 (2016). 日本の家庭を隅々までつないだ黒電話 601A型のダイヤルの開発に携わって. 科学・技術研究, Vol. 5, No. 1, 123-128.