

大阪大学における教育研究を支える情報基盤システム

柏崎 礼生^{1,a)} 宮永 勢次^{1,b)} 江原 康生^{1,c)} 市川 昊平^{2,d)} 森原 一郎^{1,e)}

概要：大阪大学は学部学生約1万5千人，大学院生約8千人，教職員数約6千人（非常勤職員等を含めると約9千3百人）からなる国立大学である。全学的な情報資源の集約と利活用のため，情報仮想化基盤であるキャンパスクラウドと全学認証基盤を構築し，運用している。本稿ではその歴史的経緯，構築運用の実情，および今後の展望について記述する。

HIROKI KASHIWAZAKI^{1,a)} SEIJI MIYANAGA^{1,b)} YASUO EBARA^{1,c)} KOUHEI ICHIKAWA^{2,d)}
MORIHARA ICHIROU^{1,e)}

1. はじめに

2006年に開催された Search Engine Strategies Conference で Google の CEO(当時) だった Eric Emerson Schmidt 氏が Danny Sullivan 氏との対談で「クラウドコンピューティング」という言葉を紹介した^{*1}。これがクラウドコンピューティングという言葉の初出とされている。クラウドコンピュータの定義は Gartner, UC Berkeley, そして NIST による定義が引用されることが多いが [1-3]，本稿では「仮想化技術等を用いて実現されるスケールアウト可能な基盤の上に構築された，規模を収縮可能なサービス」の意味で用いることとする。国内での研究機関でのクラウドコンピューティング環境の構築事例としては，静岡大学がクラウドコンピューティングを全面採用した情報基盤システムを構築しており [4]，また北陸先端科学技術大学院大学では仮想デスクトップサービスを提供するためにプライベートクラウドを構築している [5,6]。佐賀大学は専用線で接続された外注先にプライベートクラウドを構築しメールサービスの提供を行っている [7] など，研究機関の情報センターや研究科でのプライベートクラウドの構築が行われている。一方，東京工業大学の TSUBAME2 に

代表されるクラウド型(スケールアウト型)HPCI や北海道大学アカデミッククラウド [8] など計算能力の大きさに重点をおいたサービスも提供されている。これらのクラウド(型)コンピュータは教育・研究用途を前提としていたり，全学を構成する教員，職員，そして学生の全てが利用し得る大規模なサービスを対象としており，大規模な利用のポテンシャルに対応可能な規模のシステムとして構築が行われている。そしてこれらのシステムの利用は規模が大きくなるほど，組織の構成員のアカウントと密接に関係する。学生数と教職員数の総数が数千人規模の大学ではスタートによる仮想化基盤の構築が有効であるという研究もあるが [9]，数万人規模のアカウント情報の整理統合とクラウドコンピュータの構築は並行して行われなければ規模の拡大に対応することが困難となるため，独自の戦略が必要となる。

たとえば大学の代表ウェブサーバにおいて合格発表の時期に偏ったアクセスの集中が発生するのは多くの大学に共通する現象であると思われる。特定時期に偏ったアクセスの集中は，他にも教務情報システムにおける履修登録のメーカ切時期にも観測される。大学内情報システムにおいてピーク時に十分に高速なレスポンスを提供しようとするとき，各システムごとに個別の物理サーバを用意する方法では閑散期における計算機リソースの余剰が問題となる。計算機リソースの活用という観点で大学内情報システムのサーバ仮想化は有効である。サーバの仮想化をする事により，パブリッククラウドの IaaS に情報システムを稼働させる際の移行がスムーズになるという利点もある。また仮想化技術によるライブマイグレーションは障害や災害が発生した

¹ 大阪大学

Osaka University

² 奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

a) reo@cmc.osaka-u.ac.jp

b) miyanaga-s@office.osaka-u.ac.jp

c) eba@cmc.osaka-u.ac.jp

d) ichikawa@is.naist.jp

e) morihara@cmc.osaka-u.ac.jp

*1 <http://www.google.com/press/podium/ses2006.html>

場合における対策として有効である。

大阪大学では、中長期的な目標として大学の ICT リソースを集約し、大学全体としての ICT 投資を効率化することを掲げている。それに合わせて大阪大学全体としては業務フロー全体の最適化を行い、業務の効率化も目指している。大阪大学程度の規模の総合大学では、部局ごとに独自に ICT 投資が行われ、事務業務フローも部局独自で構築される場合がある。大学全体を俯瞰すると ICT 投資が分散し、業務改革も局所的な最適化に留まり、非効率な状態にあることが少なくない。業務の全体最適化と ICT 投資の集約を実現する手段として、大阪大学情報推進機構は仮想化技術を中心に据えたクラウド技術の活用に取り組んでいる。本機構は、将来的には ICT リソースを外部にアウトソースする可能性も選択肢の 1 つとして考えながら、現在はプライベートクラウド方式のプラットフォームシステムの構築を目指している [10,11]。

本学では上述の背景のもと、事務業務の効率化・改革の第一歩として事務系基幹システムを平成 22 年に刷新した。本事務系基幹システムの刷新の際には、今後の大学の様々なサービスを集約し実行可能なシステムの構築を目指し、仮想化技術を採用した共通基盤プラットフォームシステム「大阪大学キャンパスクラウド」(以下、キャンパスクラウド)を設計、構築した。本システム上で、事務系基幹システム、Web システム、そしてキャンパスメールサービスが動作している。本稿では本学のキャンパスクラウドへの取り組みの現状と、各種情報システムにおいて必須となる認証システムについて述べる。

2. システム構成

キャンパスクラウドの構成図を図 1 に示す。本システムでは、仮想マシン (VM) を動作させるハードウェアとしてブレードサーバシステム複数台導入し、さらにファイアウォールやコアスイッチ、ロードバランサなど全てのネットワーク機器を冗長構成にすることでシステムの高可用性を実現している。ブレードサーバシステムは VM が利用する CPU およびメモリ資源を省スペースな領域に高密度に配備できることから、キャンパスクラウドのように様々なサーバを集約するようなシステムにとっては非常に効率が良い。また、システム全体の要求リソースに応じてブレードを追加導入するといった拡張が可能であり、効率のよい ICT 投資を計画することが可能である。しかし一方で、ブレードエンクロージャのファームウェアアップデート時にはそのエンクロージャに含まれる全てのブレードサーバが電源断状態になるため、高可用性を実現するためには 2 つ以上のエンクロージャが必須となる。エンクロージャは 6U に 8 台、あるいは 10U に 16 台のサーバを搭載することができるモデルが一般的であるため、6U エンクロージャであれば 1 エンクロージャあたり 7 台以上、10U エンク

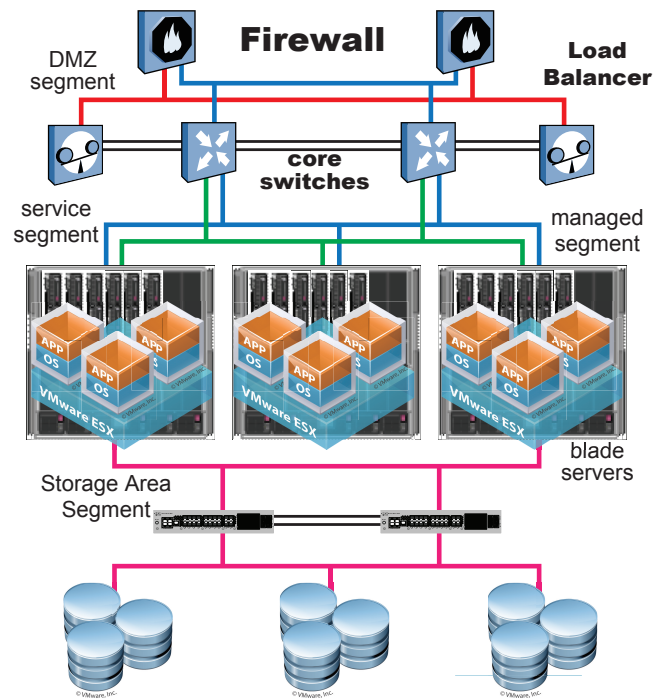


図 1 大阪大学共通基盤プラットフォームシステム「大阪大学キャンパスクラウド」概念図

Fig. 1 A Diagram of Osaka University Common Infrastructure System for Information Systems a.k.a “Osaka University Campus Cloud”

ロージャであれば 11 台以上のサーバを搭載し、かつ 2 エンクロージャ以上用意することでその省スペース性と高可用性を実現できる。そのためあらかじめ十分な CPU およびメモリ資源が必要であることが見込めているか、あるいは 1 エンクロージャで稼働させ、ダウンタイムを運用体制で吸収することが可能であることを見込む必要がある。本キャンパスクラウドでは導入当初はブレードエンクロージャ 2 台の構成から運用を開始したが、現在は学内からのサービスに対する要求の増加に対応して、1 台を追加導入し、3 台構成で運用している。

2.1 仮想プラットフォーム環境

本システムでは VM のプラットフォームとして VMware vSphere ESX を導入した。VMware vSphere は VM の実行環境 (ハイパーバイザ) である VMware ESX をインストールしたブレードサーバ (ESX サーバ) 群をクラスタ構成し、クラスタ内で実行される VM の集中管理を可能としている。VM の起動・終了・移動やインストール・設定などが全て集約管理可能なため、運用の統一による効率化が容易である。またクラスタ内の ESX サーバに障害が発生した際に、VM 単位でフェイルオーバーを行う HA (High Availability) 構成を設定することが可能であり、上述のスイッチ群の冗長構成と組み合わせることによって、システムの高可用性をより高めている。このような構成は、サー

ビスごとに機器を導入する従来手法では低コストでの実現が困難であったが、現在のシステムではサービスを共用のプラットフォーム上に集約することで互いの障害リスクをカバーし合う運用を可能としている。

2.2 仮想ネットワーク環境

本システムでは仮想プラットフォームにおけるネットワーク環境を、Cisco社の分散仮想スイッチソフトウェアであるNexus 1000Vを用いて一元管理・設定を行なっている。本システムのように複数のESXサーバ機をクラスタ構成し、仮想プラットフォームを構築する際は、ネットワークの管理・設定作業が非常に煩雑になる。VMware ESXは、個々のESXサーバ内に仮想スイッチを作成し、VMをその仮想スイッチに接続することを標準でサポートしている。したがって、仮想ネットワークに関する設定は各ESXサーバに分散し、一元管理を行うことが困難である。また、VMwareが提供する仮想スイッチの設定は設定・運用方法は従来の一般的なネットワークスイッチと異なり、仮想プラットフォームの管理者とネットワークの管理者の作業の切り分けを困難にしている。

Nexus 1000Vは上記の問題を解決する手段であり、複数のESXサーバにまたがる、単一の巨大なネットワークスイッチを仮想的に実現することが可能である。これによって、仮想プラットフォームにおけるネットワーク設定が一元的に管理可能となる。また、ネットワークスイッチ設定のインターフェースとしてネットワーク管理者が従来から使用してきたCisco IOSのCLIが利用可能であり、仮想プラットフォームの管理者の作業と、ネットワーク管理者の作業を容易に切り分けることを可能としている。本システムでは、このNexus 1000Vを用いて、VMに対しては基本的には以下の3つのネットワークセグメントを提供している。

- (1) サービスセグメント
- (2) 管理セグメント (含むバックアップセグメント)
- (3) ストレージセグメント

サービスセグメントは実際にエンドユーザからファイアウォールを経由してアクセスされるセグメントである。管理セグメントはVM自体の管理に必要な通信や、バックアップデータが通信される。ストレージセグメントメールサービスのスプール領域や文書管理サービスのファイルストレージなど、ストレージ上にデータを確保する必要があるサービスに関して提供されている。これらのサービスセグメントは予めNexus 1000Vで設定されているため、VMを作成する際にはVMのネットワークカードをサービスセグメントに接続するかを選択すればよい。この操作は、物理的なサーバのネットワークカードからケーブルをネットワークスイッチのポートに接続するかを選択することに似ており、直感的な理解を助ける。

3. 運用サービス

現在、キャンパスクラウドでは以下の3つのカテゴリのサービスを運用している。

- (1) 事務系基幹システム
- (2) キャンパスメールシステム
- (3) 他部局の情報システムのホスティング

事務系基幹システムはキャンパスクラウドを構築する理由になったサービスである。キャンパスメールシステムは各部局に構築・運用が分散していたメールサーバを集約することを目的としたサービスである。他部局システムの情報システムのホスティングは、他部局からの要望により計算機リソースを貸し出しているサービスである。以下でその概要を説明する。

3.1 事務系基幹システム

キャンパスクラウドでは事務系基幹システムとして、現在、主に以下のサービスを運用している。

- グループウェア
- 出張旅費システム
- 勤務管理システム
- 財務会計システム

この中で財務会計システムのみ、従来システムで動いていたサービスを仮想プラットフォームに移行したもののだが、その他のサービスに関しては、大学全体の事務業務そのものの在り方から見直し、全学的に最適な処理ワークフローを設計し、それをサービスとして実装したものである。

グループウェアは、大阪大学における初めての全学的なグループウェアである。それまでは事務系職員のみが利用可能なグループウェアの導入はあったが、本グループウェアは教育系職員も含めたグループウェアあり、全学の情報共有のハブとなることを期待されたシステムである。全学的な共有文書の管理、スケジュール管理、事務系職員に対するメールサービスを提供している。また、ワークフローフレームワークをAPIで提供しており、出張旅費管理システムや勤務管理システムにおけるワークフロー機能を提供している。

出張旅費システムは大阪大学における出張旅費処理を一元化することによる事務業務の改革・効率化の一環として構築されたシステムである。事務改革の中で、本学は出張旅費費用の計算、支払いなどを一元的に処理する一元化センターという組織を作り、各部局の会計係で個別に処理していた出張処理を集約することで業務の効率化を目指した。本システムは出張旅費の申請と、その一元処理を支援するシステムである。

勤務管理システムは、紙の文書ベースで管理・記録を取っていた勤務予定・勤務実績を電子媒体で記録・保持する仕組みを構築するものである。従来各部局において手計

算で行っていた超過勤務時間の計算、有給などの休暇申請、残日数の計算も自動化され、労働基準法を遵守する運用になっているかを検証する手間が改善されている。

これらのシステム全てがキャンパスクラウド上でVMとして実装されている。これらのシステムは利用形態が異なり、サービス利用のピーク時間帯が各々異なる。そのため仮想プラットフォーム上に集約することで効率よくICT資産を利用することを実現できている。例えば勤務管理は始業と終業時の勤務実績登録の際にアクセスのピークが存在するが、グループウェアシステムは日中時間帯に負荷が集中するという偏りがある。

3.2 キャンパスメールシステム

キャンパスメールシステムは全学的な統合メールシステム基盤を構築することを目指し、平成23年4月より運用開始したシステムである。大阪大学では従来から各部局において独自にメールサーバを構築し管理・運用を行ってきた。特に理系部局においては専攻や研究室(講座)単位でサーバが構築されており、学内に数百に及ぶメールサーバが存在している状況である。そのため、全体的な管理・把握は実質的に不可能な状態であり、それぞれのサービスの管理ポリシー、セキュリティポリシーが異なる状態でもある。また、各部局内でサーバ機器管理に係る業務負担も、全学的に合算すると相当な人的リソースの損失につながっていると考えられる。

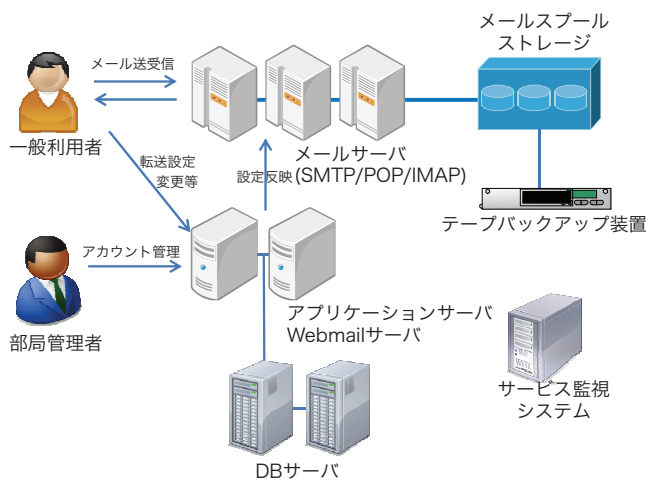


図2 大阪大学キャンパスメールシステム概念図

Fig. 2 A Diagram of Osaka University Campus Mail System

本キャンパスメールシステムは、各部局で独自に運用してきたメールサービスをキャンパスクラウド上に集約することで、一定レベルのセキュリティを確保し、かつサーバ機器運用に係るコストを削減することを目的に設計・構築したものである。ただし集約にあたって、従来各部局が行ってきた部局におけるメールアカウント管理は、引き続

き個々の部内管理者が独自に管理することを可能とした。将来的には大学全体としてメールアカウントの管理業務を一元化することも視野に入れているが、現時点ではそのような運用の最適化をも同時に実施することは困難と判断し、メールサーバの集約を行うまでに留まっている。また、本システムは全学で一斉に導入するものではなく、希望する部局から順次移行を進めていく状況にある。移行の受け入れはメールアドレスのドメイン単位で可能である。この移行期間においては、学内においてキャンパスメールに移行完了した部局と、独自にサーバを運用し続ける部局が存在することになり、キャンパスメールシステムにより利益を得ている部局と、そうでない部局が存在することになる。そのため、キャンパスメールに移行した部局に関しては受益者負担として、キャンパスクラウドの運用保守費の一部費用を負担して頂くこととしている。

図2にキャンパスメールシステムの構成概要を示す。キャンパスメールシステムはメールサーバと、それに接続されたメールスプール、バックアップ装置、アプリケーションサーバとDBサーバ、さらにサービス監視システムからなる。メールサーバは負荷分散と冗長構成を目的に3重化している。アプリケーションサーバとDBサーバはそれぞれ2重化している。これらを構成するサーバは全てキャンパスクラウド上でVMとして動作している。アプリケーションサーバは、アカウント作成・管理用のWebユーザインタフェースを利用者に提供するものであり、キャンパスメールシステム用に今回独自に開発したものである。ここで設定された内容に従い、メールサーバの設定が生成される仕組みになっている。

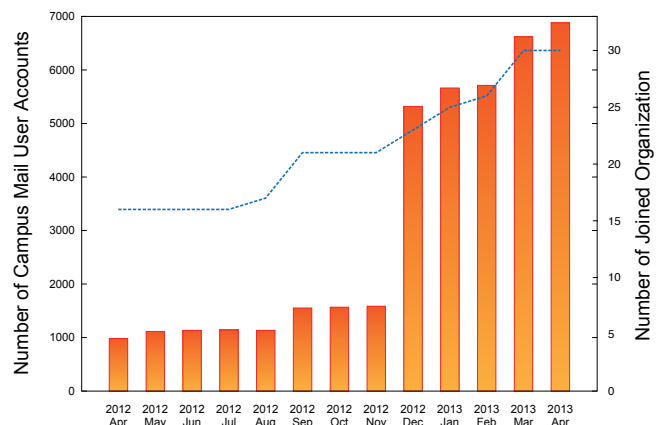


図3 大阪大学キャンパスメールシステムのアカウント数と参加組織数の変化

Fig. 3 Changes of Number of User Accounts and Joined Organizations on Osaka University Campus Mail System

本学では、部局、専攻、講座の3階層の組織構造を持ち、部局によっては専攻ごとや講座ごとに管理者をおいて、それぞれ独自のドメインでアカウントの管理をしている場合

もある。一方、部局全体で一人の管理者で運用している場合もある。キャンパスメールシステムにおいては、このような実際の管理運用の実態に柔軟に対応するように、大学内部の組織構造をドメインおよびそのドメインの管理者とを関連させ、階層的に管理する仕組みを実装している。上位階層の組織に関連付けられた管理者は、下位の組織とドメイン、アカウントの管理を可能としている。本設計にあたっては、学内で既に大規模な統合サーバを構築していた工学部の統合メールサーバの設計を参考にした。本システムは、運用開始した平成 23 年 4 月から半年間で 7 組織、約 700 アカウントの移行を完了し、その後平成 25 年 4 月までに 30 組織、6,880 アカウントの移行を完了した。非常勤職員等を含めると大阪大学の教職員数は約 9,300 人であり、おおまかな計算では 74% 程度のアカウントがキャンパスメールシステムに収容されていると考えられる (図 3)。

3.3 他部局システムのホスティング

他部局システムのホスティングはキャンパスクラウド上の仮想マシンに他部局のシステムのホスティングを行っているサービス、いわゆる IaaS (Infrastructure as a Service) である。将来的には本学内の各部局に分散して設置されているシステムを集約し、ICT 投資の効率化、一定のセキュリティレベルの確保を目指しているが、現時点では小規模なシステムを順次集約している段階にある。例えば、本学内での短期プロジェクトで必要とされる Web システムや、比較的小規模な部局の Web システムなどである。こういったシステムは数多く存在し、小規模な部局ではそれらのシステムのためにサーバ室を用意できず、執務室の片隅に設置して夏場は冷房を 24 時間切らずに運用するなど、電力使用量的にもハードウェアの耐久性的にも無理のある運用が行われていた。現在はこういったシステムを順次集約している段階にある。

本サービスはホスティングサービスであるため、安定した計算機リソースの提供までの責任をキャンパスクラウド側が担保し、貸し出したリソースの上で構築するサービスの管理・運用に関しては個別部局が責任を持つものとして運用の切り分けを行なっている。具体的には、キャンパスクラウドは貸し出す VM の安定した運用、その VM の電源のオン・オフまでしか実施しない。その他のサービスの運用に関わる作業は、原則として利用している部局の責任で行っている。本サービスもサービスを受ける部局は、キャンパスクラウドの保守運用費の一部を負担することとなっている。料金は、利用する計算機リソース (CPU、メモリ、ディスク容量) に応じて算出している。現在は年間一定の料金の負担を求めているが、今後は月ごとに使用するリソースの増減を可能とするための料金体系の具体的な検討を始めている。これは、システムによってはある繁忙期にのみ使用リソースを追加したいという要望があるため

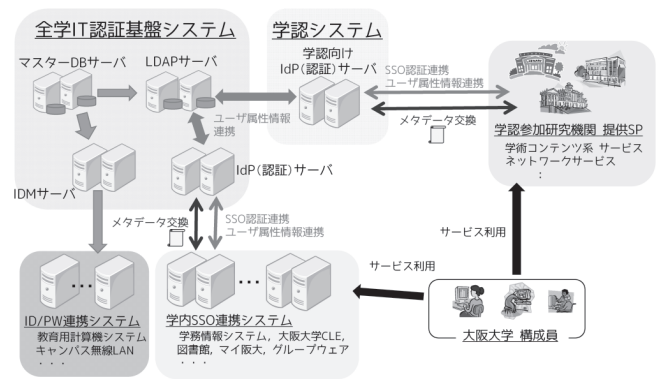


図 4 全学 IT 認証基盤システムと学内システム間連携の概要
Fig. 4 A Diagram of University IT Authentication Infrastructure and its Combination to IT Systems

である。特に、学生を対象にしたサービスでは学生の年間スケジュールの中でサービスの利用がある一定期間にのみ集中する傾向にある。

4. 全学 IT 認証基盤システム

大阪大学では、学内で運用されている様々な情報システムを統合的かつ安全に機能させることを目指して 2006 年より PKI 認証技術を用いた全学 IT 認証基盤システムの運用・管理を開始した [12]。当システムは学内で運用されている様々な情報システムに対して、SSO (シングルサインオン) による統合的な認証連携及びデータ連携、ログイン認証サービスの推進を図ってきた。しかしながら、学内情勢の変化に伴う認証基盤システムに対する様々な機能要求が増えていき、当システムではそれらの要求を満たす運用が困難な状況となってきた。

これを受けて、学内システムに対する SSO 認証連携及びデータ連携を推進していく上で必要とされる要求に対応した新全学 IT 認証基盤システムの構築及び移行を行い、2010 年より運用を開始した [13]。新システムでは、ユーザの利便性を考慮した個人 ID 管理体系の再設計を行い、これに対応した SSO 認証ログイン方式、加えて既存システムの認証処理で発生していたリソース不足を改善した SSO 認証連携方式を実装した。さらに、学内システムが最新かつ適確なユーザ属性情報を活用し、統制のとれた学内システム間連携を行うためにマスターデータベースシステムを構築し、ユーザに対する主要な属性情報の一元管理を開始した。これらのユーザ属性情報を学内の SSO 認証連携システム側で活用することにより、各サービスに対してユーザの属性に応じた認証・認可機能を提供することも可能となり、既に学内のいくつかのシステムではこれらの機能を実現している。

全学 IT 認証基盤システムは 2013 年 4 月現在、学内の 33 システムと SSO 認証連携を行っている。図 4 に概要を示す。主な教育系の連携システムとして、学務情報システ

ム、大阪大学 CLE(授業支援システム)、図書館サービス、包括契約ソフトウェア配布サービスなどが挙げられる。さらに学内事務局が独自コンテンツで運用している e-Learning システムとも SSO 連携を実現しており、今後は更なる連携システムの拡大が見込まれている。また教育用計算機システム(情報教育、語学教育)、キャンパスネットワーク無線 LAN サービスに対しても個人 ID、パスワードによる認証連携を行っており、学内における効率的な認証サービスの推進が進んでいる状況である。今後の検討課題として、学内連携システムの様々な要望に柔軟な対応が可能なマスターデータベースの高度化や個人 ID の引き継ぎ、名寄せを考慮した発行方式の検討などが重要と考える。

近年は数多くの研究機関が連携してユーザ認証を分散化し、学内の個人 ID を用いてユーザ認証を行うことで、学外研究機関が提供している各種サービスを相互利用できる認証フェデレーションという枠組みが提案されている。国内でも国立情報学研究所によって、学術認証フェデレーション^{*2}(通称:学認)が構築され、2010 年度より正式サービスが開始された。大阪大学では 2011 年に学認への参加を決定し、図 4 に示すように IdP サーバのシステム拡張を行った。学認参加機関が提供しているサービスプロバイダ(SP)と認証連携を行うことで、学内で利用している個人 ID、パスワードによるユーザ認証で様々なサービス利用が可能となった。今後は利用可能なサービスの拡大に向けて調整を進めている。

5. まとめ

本稿では、大阪大学が取り組んでいるキャンパスクラウドおよび全学 IT 認証基盤システムに関して述べた。キャンパスクラウドは事務系基幹システムの刷新の際に今後の学内システムの集約と効率化を目指して構築されたもので、現在順次規模を拡大している。今後は将来的な学外のパブリッククラウドサービスの利用も考慮に入れつつ、学内で個別運用されているシステムに関して、このキャンパスクラウドの集約を進めていく予定である。キャンパスクラウドの運用により各種リソースの利用率が把握することが可能となったため、今後の増強はリソース情報を根拠とした設計を行うことができる。今後の課題として、集約するシステムの増加に伴って、保守・運用手法の整理が問題となっている。現状の学内システムでは様々な運用がなされており、それぞれのシステムを開発・導入したベンダも異なる状況にある。そのような状況の中で、キャンパスクラウドとして一貫性のとれた保守・運用手法を定義するのは困難な状況にある。現在、本学でもこの問題を整理しきれてはならず、解決方法を模索している段階にある。

また現在、本稿で紹介したキャンパスクラウドとは別に、

サービスレベルを落とした低価格のクラウドシステムの構築を検討している。本稿で紹介したキャンパスクラウドはシステムの全ての機器が冗長構成を取っているため、比較的高価なシステム構成となっている。現状の学内で運用されているシステムでは、そのような高可用性が求められていないシステムも多数あり、それらシステムの集約も検討するにあたって、サービスレベルを選択できる柔軟なシステムの構築を目指している。

参考文献

- [1] Daryl C. Plummer, Thomas J. Bittman, Tom Austin, David W. Cearley and David Mitchell Smith: Cloud Computing: Defining and Describing an Emerging Phenomenon, Gartner Research, G00156220 (2008).
- [2] Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, Anthony D. Joseph, Randy H. Katz, Andrew Konwinski, Gunho Lee, David A. Patterson, Ariel Rabkin, Ion Stoica and Matei Zaharia: Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing, UCB/EECS-2009-28 (2009).
- [3] Lee Badger, Tim Grance, Robert Patt-Corner, Jeff Voas: DRAFT Cloud Computing Synopsis and Recommendation, NIST Special Publication 800-146 (2012).
- [4] 坂田智之, 長谷川孝博, 水野信也, 永田正樹, 井上春樹: 情報セキュリティの観点からみた静岡大学の全面クラウド化, 情報処理学会研究報告, 2011-IOT-14, Vol.7, pp.1 (2011).
- [5] 松原義継, 大谷誠, 江藤博文, 渡辺健次, 只木進一: プライベートクラウドによる電子メール管理コストの低減とサービスレベルの改善 —佐賀大学の事例—, 情報処理学会研究報告, 2011-IOT-14, Vol.8, pp.1-6 (2011).
- [6] Shikida Mikifumi, Miyashita Kanae, Ueno Mototsugu, Uda Satoshi: An evaluation of private cloud system for desktop environments, Proceedings of the ACM SIGUCCS 40th annual conference on Special interest group on university and college computing services (SIGUCCS '12), pp.131-134 (2012).
- [7] 宮下夏苗, 上埜元嗣, 宇多仁, 敷田幹文: 大学におけるプライベートクラウド環境の構築と利用, 第 3 回インターネットと運用技術シンポジウム, pp.17-24 (2010).
- [8] 棟朝雅晴, 高井昌彰: 北海道大学アカデミッククラウドにおけるコンテンツマネジメントシステムの展開, 第 10 回情報科学技術フォーラム 情報科学技術レターズ pp.15-18 (2011).
- [9] 柏崎礼生: スモールスタートで始める大学の仮想化基盤の構築と運用の実情, インターネットと運用技術シンポジウム 2012 論文集, pp.94-101 (2012).
- [10] 市川昊平, 江原康生, 長岡亨, 森原一郎: 大阪大学のキャンパスクラウドへの取り組み, 大学 ICT 推進協議会 2011 年度年次大会論文集, pp. 312-325, 2011.
- [11] 宮永勢次, 市川昊平, 小林兼: 大阪大学のキャンパスクラウドシステムについて, 全国共同利用情報基盤センター研究開発論文集, No. 34, pp. 77-82, 2012.
- [12] 秋山豊和, 寺西裕一, 岡村真吾, 坂根栄作, 長谷川剛, 馬場健一, 中野博隆, 下條真司, 長岡亨: 大阪大学における全学 IT 認証基盤の構築, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.3, pp.1249-1264, 2008.
- [13] 江原康生: 大阪大学における新全学 IT 認証基盤システムの構築と運用, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J95-D, No.5, pp.1172-1182, 2012.

^{*2} <http://www.gakunin.jp/docs/fed>