

九州工業大学における全学教育系ウェブサービス向け基盤の更新

林 豊洋¹⁾

1) 九州工業大学情報統括本部 情報基盤センター

toyohiro@isc.kyutech.ac.jp

Renewal of Server Infrastructure for Campus-wide Educational Web Service

Toyohiro Hayashi¹⁾

1) Information Science and Technology Center, Kyushu Institute of Technology

概要

LMSをはじめとするウェブサービスの稼働には、複数のサーバ群を要し、システムの構成要素には仮想サーバ基盤、大容量ファイルサーバ（ストレージ）、負荷分散装置等が含まれる。九州工業大学においては、学内オンプレミス環境にこれらの機材を整備し、ウェブサービスが稼働している。旧システムでは HCI 型の有償の仮想サーバ基盤、アプライアンス型の大容量ストレージを用いていたが、ライセンス費用高騰への対策や、更なるストレージ容量が求められる状況となった。新たな基盤においては、OSS をベースとした仮想サーバ基盤（Proxmox）、SDS 型のペタバイト級ストレージ（Qumulo）の導入を行い、ライセンス費用を低減しつつシステムの規模の拡大を実現した。加えて、旧基盤からの仮想サーバ移行方法を確立した。

1 はじめに

近年の大学運営は多数の情報システムによって支えられている。利用者向けの情報システムにおいては、多くがウェブサービスをフロントエンドとした形態となっている。本論文においては、利用者向けの情報システムのうち、教育向けのウェブサービス（以下、全学教育系ウェブサービス）について取り上げる。

九州工業大学（以下、本学）においては、全学教育系ウェブサービスは LMS が最大規模であり、講義向けの教材の掲載、動画のストリーミング、オンラインプログラミング環境、オンライン形式での課題・テストの実施等が主要な利用形態となる。全学教育系ウェブサービスは常勤・非常勤教職員、学生を問わず、本学のほぼ全ての構成員が利用するため、利用形態と合わせ重要度が高い。したがって、サービスを稼働する全学教育系ウェブサービス向け基盤には大規模かつ高性能・高可用性が求められ、仮想サーバ基盤、ストレージに加え、負荷分散装置、高性能なネットワークスイッチ等が構成要素となる。

本学における一世代前の全学教育系ウェブサービス向け基盤（以下、旧システム）は 2019 年度に導入された。仮想サーバ基盤には構成管理の容易さとデータストアの高性能化を図るため、HCI 型のシステムであ

る Nutanix を採用した。ストレージには高速なデータアクセスが可能なアプライアンス型の機材（NetApp）と、バックアップ向けの機材（ONTAP Select）を導入した。加えて、ウェブサービスの SSL オフロードや稼働サーバの多重化を実現するため、アプライアンス型の負荷分散装置（A10 Thunder CFW）を導入した。旧システム上では、60 弱の LMS を構成する仮想サーバが稼働し、ストレージには 50TB 弱のファイルが保存されていた。

旧システムの稼働は 5 年を想定していたが、十分に要求される性能・信頼性を有していたため稼働期間を 6 年に延長し、2023 年度に新システムへの更新に関する検討に着手した。システムへの要求としては、更なる仮想サーバ基盤の性能向上と、ストレージの大容量化であった。対して、旧システムの導入検討時と情報システムを取り巻く状況は大きく変化しており、特にソフトウェアのライセンス価格と人件費が大きく高騰し、同様のシステム構成は取れない状況であった。

新システムにおいては、仮想サーバ基盤に Proxmox を採用した。Proxmox は KVM ベースのハイパーバイザを中心に、仮想サーバ基盤に要する機能が OSS の組み合わせで構成されており、ライセンス（サブスクリプション）価格が極めて安価な製品である。ストレージには将来的な全学的な教育系データの集約を想定

し、ペタバイト級の大容量ストレージの導入を検討した結果、Software Defined Storage 製品である Qumulo を採用した。Qumulo は複数の機材をノードとして構成することにより、クライアントからは論理的に単一の NFS/SMB/S3 サーバとして取り扱える製品である。負荷分散装置、ネットワークスイッチ等についても、旧システムと比較し基本性能を向上させた機材を導入し、新システムを構成した。

ここで、全学教育系ウェブサービスは新規構築ではなく、旧システムからの仮想サーバ移行、ファイル移行によって稼働を継続する方針とした。加えて、一部の全学教育系ウェブサービスは旧システム以外の独自仮想基盤 (VMware) 上にも存在しており、これらの移行も実施することとなった。仮想サーバにおいては、異なる製品である Nutanix, VMware から Proxmox へ移行する必要があり、正式な移行ツールが存在しないことから、その移行方法を検討した。同様にファイル移行においても、NetApp から Qumulo への移行ツールは存在せず、移行方法検討することとなった。検討の結果、仮想サーバにおいては旧システムから ova, ovf 形式でイメージを抽出し、Proxmox へインポートする方式での移行方法を確立した。ファイルにおいては、ファイル移行用の VM 上で新旧ストレージを NFS 形式でマウントし、rsync により転送する方式での移行を実施した。

上記のシステム検討、構築、移行作業を実施し、2025年3月より新たな全学教育系サービス向け基盤が稼働している。本稿において詳細を述べる。

2 一世代前の全学教育系ウェブサービス基盤 (2019 年度稼働)

本節では、2019年3月から2025年3月まで用いられた一世代前の全学教育系ウェブサービス基盤 (旧システム) について、導入時に重視した課題や導入機器について詳細を述べる。

旧システム導入に関する仕様検討については、2016年度より着手を行った。当時はウェブサービスを提供する部局が個別に仮想サーバ基盤やストレージを調達し、運用を行っていた。したがって、稼働する基盤は小規模であり、性能・可用性に関する考え方、運用方針・品質には差異があった。この問題への対処として、旧システムにおいては、様々な部局で管理される全学ウェブサービスの稼働、データ集約を重点課題として、導入機材の選定においては「高性能・高可用性を有する」「ストレージは総計 100TB クラスの実効容量を有する」「ネットワーク帯域は 10Gbps 以上を有する」「構成管理が柔軟・容易な機構を有する」ことを重点事項とした。

上記を考慮し、旧システムは以下の機材で構成した [1]。また、図 1 に旧システムの機器構成図を示す。

■**仮想サーバ基盤** ウェブサービス向けの VM が稼働する仮想サーバ基盤には、高可用性・高速なデータストア・構成管理の容易さ等多くの要素が求められる。旧システムにおいては、これらの要件を満たすため HCI 型のシステムを採用することとした。具体的には、Nutanix 社の NX-3060 シリーズを 8 ノードで構成した。Nutanix においては、分散仮想スイッチ (Open vSwitch ベース) を用いた全ノードで均一な仮想ネットワークの提供、全ノードに内蔵されたストレージを Software Defined Storage (SDS) の概念により論理的な NFS サーバとして提供する機能、ノードあたり 10Gbps x 4 の広帯域なネットワークインタフェース等を有しており、高密度に仮想サーバが収容でき、耐ノード障害に優れた機構を持つ。全ノード総計で CPU320 コア、640GHz、メモリ 4TB、データストア容量 40TB の仮想基盤となった。全学ウェブサービス向けに 56 台の仮想サーバが稼働し、最大リソースの仮想サーバは VCPU 32 コア、メモリ 256GB、仮想ディスクサイズ 2-3TB 程度の規模であった。

■**ストレージサーバ** ストレージサーバは、LMS 上にアップロードされた教材、レポート等のデータ等の記憶域として利用する。旧システムにおいては機材の調達コストの観点より、実運用中のウェブサービス向け

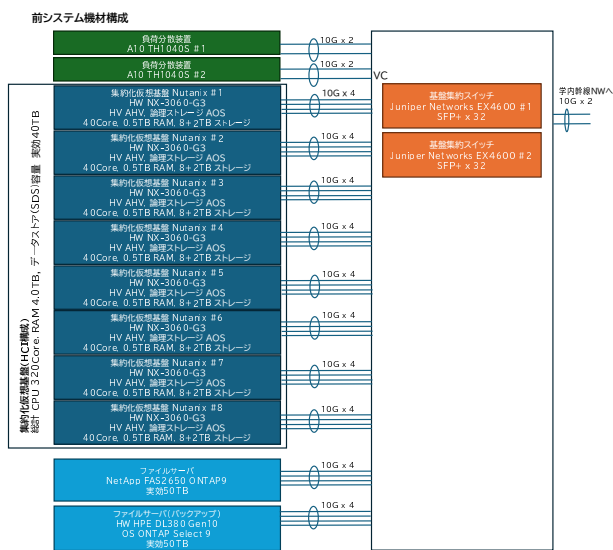


図 1 全学教育系ウェブサービス基盤構成図 (2019 年度稼働旧システム)

のメインストレージサーバ（高速ストレージ）とデータアーカイブ用のストレージサーバ（低速ストレージ）の2種を導入した。両ストレージサーバ共に、OSにはNetApp社のONTAP9ベースを採用し、SVMと呼ばれる仮想化機能を用いることにより、複数の論理的なストレージサーバが稼働できる構成とした。

高速ストレージには、アプライアンス型の機材であるNetApp社のFAS2650シリーズを用いた。同機材は単一機材に複数のコントローラが搭載されるため、単一機材構成においても高可用性を有している。記憶域については、SAS HDDによる実効容量50TBを有する。低速ストレージには、SATA HDD (RAID5) 構成のPCサーバ上でONTAP9と同様の振る舞いを示すOSであるONTAP Selectを稼働させ構成する。こちらも実効容量は50TBを有する。両ストレージともSVMを用いることにより複数のNFS/SMBサーバが提供可能である。全学ウェブサービス向けにはinode数4900万、ファイルサイズ総計48.8TBのデータが蓄積されていた。

■負荷分散装置 全学向けのウェブサービスは高負荷時の安定性確保が重要となるため、フロントエンド用の複数のウェブサーバを稼働させ、負荷分散を行う事が望ましい。また、httpsアクセス時のSSL処理に対して、高いスループットを確保する必要がある。このような観点より、旧システムからはロードバランサ・SSLオフロード機能を備える負荷分散装置を導入した。旧システムにおいては、A10 Networks社のThunder 1040Sを導入し、全学向けのLMSの接続点として活用された。

3 全学教育系ウェブサービス基盤の更新

本節では、全学教育系ウェブサービス基盤の更新に際し、本学にて検討した事項・導入されたシステムについて詳細を述べる。

3.1 旧システムからの更新における課題

2019年3月に稼働した旧システムは稼働予定のサービス規模に対して余力のあるシステム選定を行ったため、長期にわたり安定した性能を示した。特に、コロナ禍によるLMSサービスのリソース急増が生じた際にもウェブサービス提供に対する品質への影響が生じることはなかった。その後も十分な性能・信頼性を有していたため、稼働期間を想定の5年から延長し、6年間の稼働を行うこととした。

新システム更新に関する検討は、2023年度に着手した。旧システム稼働時においては、全ての教育系ウェブ

サービスの集約には至っておらず、一部は部局が独自に調達した仮想基盤上で稼働していた。これらの集約を念頭に置き、新システムにおいては更なるウェブサービスの集約を重点課題とした。

一方、コロナ禍を経て、サーバ・ネットワーク機器やソフトウェアの価値が高まり、それらの価格高騰が進んでいる。特に、仮想サーバ基盤を構成するハイパーバイザ製品においては、大学向けのアカデミックライセンス体系の廃止、ライセンスのサブスクリプション化、機能全体をパッケージとする製品ラインナップへの集約化が進む事例も見受けられ調達が困難な状況となっていた。新システムにおいては、性能やメンテナンス性に関わる機能を選定し、ライセンス費用・保守費用の抑制を図ることを課題とした。

加えて、新システムにおいては前述の通りウェブサービスの集約を更に進めるため、障害対応・ファームウェア更新に伴う基盤の全停止は受容できない状況となる。したがって、機器は複数ノードで構成し、単一ノードを停止させた場合においても、ウェブサービスを構成する仮想サーバの停止が生じない、ストレージサーバやネットワークの接続性は維持される構成が求められる。新システムにおいては、障害やメンテナンス時のダウンタイムの低減を課題とした。

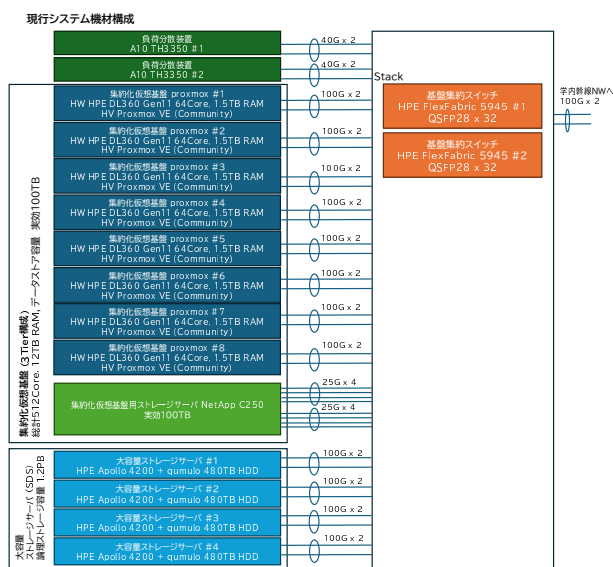


図2 全学教育系ウェブサービス基盤構成図（新システム）

3.2 新システムの導入方針

前述の旧システムからの更新における重点課題へ対応するため、新システムにおいては以下の事項、

- 仮想サーバ基盤については、ハードウェア性能が向上した機材を導入しつつ、ハイパーバイザにつ

いては価格抑制のため、OSS をベースとした製品へ転換する。データストアは SDS を利用せず、共有ストレージサーバを用いる構成 (3Tier 型) とする。

- ストレージサーバについては、価格・性能・ダウンタイムの低減を実現するため、SDS 製品を導入する。また、ペタバイト級の実効容量を持つ記憶域を提供する。
- 負荷分散装置については、ロードバランサの挙動や HTTP ヘッダ加工等の互換性維持のため、旧システムの性能向上モデルを導入する
- 全ての機材は 80Gbps (QSFP+ x 2), 100Gbps (SFP28 x 4), 200Gbps (QSFP28 x 2) のネットワーク接続に対応させる

これらを重点として機材導入を行った。

3.3 導入システムの詳細

新システム導入に関わる重点課題、導入方針に基づき、システムは以下の機材を導入した。図 2 に機器構成図を示す。

■仮想サーバ基盤 旧システムにおいては HCI 型のシステムを採用したが、本学の利用形態においては複雑な仮想ネットワークやストレージ等の構成管理を行うことなくウェブサービスの稼働が可能であること、高速なデータストアが提供可能であれば、SDS による論理ストレージは不要と判断した。機器構成は、仮想サーバ基盤 (ハードウェア) とデータストア用の共有ストレージを併用する 3Tier 型となる。

仮想サーバ基盤向けのサーバハードウェアには、ノード当たり 64 コアの CPU, 1.5TB のメモリ, QSFP28 x 2 のネットワークインタフェースを搭載した PC サーバ (HPE 社 DL360 Gen11) を用いた。サーバハードウェアは 8 ノード用意し、全ノード総計で CPU 512 コア, メモリ 12TB を有する。データストア用のストレージには、NetApps 社の AFF C250 を採用した。この機器は NVMe SSD のみで構成された高速・低遅延な NFS サーバとして稼働させ、後述のハイパーバイザ上から共有ストレージ型のデータストアとして参照する。新システムでは、実効容量 100TB の機材を導入した。ネットワークインタフェースは、SFP28 x 8 (2 コントローラ構成) を備える。

ハイパーバイザには、OSS をベースとした製品である Proxmox Virtual Environment (Proxmox) を採用した。Proxmox はハイパーバイザ (KVM), HA 環境 (Quorum), GUI/REST API によるシステム管理等を

備え、本学の利用形態においては十分な機能を有している [2]。加えて、仮想スイッチ (Open vSwitch) や論理ストレージ (Ceph) 機能を有しており、HCI 構成とすることも可能である。

新システムでは、有償サブスクリプションである Community Edition を採用した。有償サブスクリプションであるが、本学のシステム構成 (16 プロセッサ) においては年額 1,840 ユーロ程度で契約可能であり、ライセンス価格の大幅低減を実現している。なお、有償サブスクリプションは無償版と異なるソフトウェア環境 (エンタプライズリポジトリ) が利用でき、安定運用には必須と認識している [3]。

メンテナンス性については、Proxmox においてはノードをメンテナンスモードへ切り替えることにより、自動的に仮想サーバが他のノードへ移動し、仮想サーバの停止を伴わずファームウェア更新や機材のメンテナンスを実施する事が可能である。他のハイパーバイザ製品とほぼ同様のメンテナンス性を有するといえる。

■ストレージサーバ 新システムにおいてはペタバイト級の実効容量を持つ記憶域の提供を方針とするため、価格・性能・可用性の観点から、SDS 製品の導入が最適であると判断した。

ストレージサーバ OS には、Qumulo を採用した。Qumulo は、複数ノードから論理的なストレージサーバを構成する SDS 製品である [4]。クライアントからは単一のネームスペース (マウントポイント) を持つ NFS/SMB/S3 サーバとして利用可能であり、特殊なエージェント等は不要である。クライアントから実体として見えるファイルは、Qumulo のノード内で複数に分散され記憶されるため、一定のノード障害やノード内のディスクに障害が起きた際も、データ消失やクライアント上からのマウントポイント消失が起きることはない。性能・可用性のバランスが取れたストレージサーバが提供できることから、新システムにおいて採用することとした。

サーバハードウェアには、Qumulo 推奨ハードウェアであり、多数の HDD, NVMe SSD が搭載可能な PC サーバ (HPE 社 Apollo 4200) を 4 台採用した [5]。ノード当たり 24 基の 20TB SATA HDD (Qumulo データ用) ならびに 8 基の 1.8TB NVMe (Qumulo キャッシュ用), QSFP28 x 2 のネットワークインタフェースを搭載する。全ノード総計で 1.2PB の論理ストレージ領域を有し、VLAN 毎にマウントポイント等の設定を切り分け論理分割されたストレージを提供可能で

	前システム (2019.3 - 2025.3)	現行システム (2025.3 - 運用中)	前システム→現行システムからの 性能・機能向上
重点課題	・学習支援サービス(Moodle等)をはじめとする全学ウェブサービスの稼働, データ集約	・更なる学内ウェブサービスの集約化 ・ライセンス, 保守価格抑制 ・基盤のメンテナンスに伴うダウンタイムの低減	
機材導入に関する 重点事項	・高性能, 高可用性を持つ仮想基盤導入 ・負荷分散装置(SLB)導入 ・100TBクラスのストレージ導入 ・10Gbps x N接続対応	・OSSベースのハイパーバイザ導入 ・PBクラスのストレージ導入 ・HA機能, Software Defined技術の積極的導入 ・100Gbps x N接続対応	
基盤集約 ネットワークスイッチ	Juniper Networks EX4600 x 2 一台あたり SFP+ x 32, QSFP+ x 4	HPE FlexFabric 5945 x 2 一台あたり QSFP28 x 32	スイッチング容量 6.7倍
仮想基盤 (ハードウェア)	Nutanix NX-3060-G3 x 8 一台あたり ・CPU: Intel Xeon G6138 (2.0GHz, 20C) x 2 ・RAM: 512GB ・ストレージ: データストア用 SATA HDD 2TB x 4, SATA SSD 960GB x 2 ・ネットワーク: 10Gbps x 4	HPE DL360 Gen11 x 8 一台あたり ・CPU: Intel Xeon G6430 (2.1GHz, 32C) x 2 ・RAM: 1.5TB ・ストレージ: ハイパーバイザ用 SATA HDD 480GB x 2 ・ネットワーク: 100Gbps x 2	
仮想基盤 (ハイパーバイザ)	Nutanix AHV Pro Edition ・KVMベースのハイパーバイザ	Proxmox Virtual Environment Community Edition ・KVMベースのハイパーバイザ	ライセンス価格を大幅低減 (16CPU: 年額 1,840EUR)
仮想基盤 (データストア)	Nutanix AOS Pro ・Nutanixノード全体で論理ストレージを構成 (SDS) ・実効容量 40TB	NetApp AFF C250 ・NFS / iSCSIアプライアンス ・All Flash (NVMe SSD) ・実効容量 100TB ・ネットワーク: 25Gbps x 8	
仮想基盤 リソース総計	HCI構成 ・CPU: 320C, 640GHz ・RAM: 4TB ・データストア: 実効容量40TB ・ネットワーク: 10Gbps x 32	3Tier構成 ・CPU: 512C, 1075.2GHz ・RAM: 12TB ・データストア: 実効容量100TB ・ネットワーク: 100Gbps x 16	・総コア 1.6倍 ・クロック 1.68倍 ・RAM 3倍 ・データストア 2.5倍 ・ネットワーク帯域 5倍
ストレージサーバ	メイン(高速ストレージ) NetApp FAS2650 ・OS: ONTAP 9 ・実効容量: 50TB ・ネットワーク: 10Gbps x 4 バックアップ(低速ストレージ) ・ハードウェア: HPE DL380 Gen10 ・ストレージ: SATA HDD 4TB x 16 ・OS: ONTAP Select 9 ・実効容量: 50TB ・ネットワーク: 10Gbps x 4	ハードウェア HPE Apollo 4200 x 4 一台あたり ・ストレージ: SATA HDD 20TB x 24, キャッシュ用 NVMe SSD 1.6TB x 8 ・ネットワーク: 100Gbps x 2 OS Qumulo ・論理ストレージによるNFS / S3サーバ	
ストレージサーバ リソース総計	アプライアンス構成 ・実効容量 メイン50TB + バックアップ50TB	論理ストレージ(SDS)構成 ・実効容量 1.2PB	・実効容量 12倍 ・ストレージ統合 ・ネットワーク帯域 10倍
負荷分散装置	A10 Networks Thunder 1040S x 2(active / standby) ・L4/L7スループット 10Gbps ・SSLスループット: 7Gbps ・ネットワーク: 10Gbps x 2	A10 Networks Thunder 3350 x 2(active/ standby) ・L4/L7スループット 40Gbps ・SSLスループット: 18Gbps ・ネットワーク: 40Gbps x 2	・L4/L7スループット 4倍 ・SSLスループット 2.57倍

図3 新旧システムの構成・性能比較

ある。

メンテナンス性については、ファームウェア更新はローリングアップデートにより自動的に実施可能であることや、ノードのシャットダウン時にもストレージサーバとしての機能は維持されるため、運用に際して十分であると言える。

■負荷分散装置等 負荷分散装置については旧システムの性能向上モデルである A10 Networks 社の Thunder 3350 を導入した。旧システムと比較し、SSL スループットが 2.5 倍以上に向上した製品である*1。ネットワークインタフェースは QSFP+ x 4 を備える。

また、これらの機材のネットワークを収容する L2 スイッチには、32 個の QSFP28 ポートを有する HPE 社の FlexFabric 5945 の 2 台スタック構成を採用し

*1 仕様策定時は本学の利用形態に適したスケールの製品が存在せず、Thunder 3350 を導入した。現在はより適したスケールである Thunder 1060S-25G (SFP28 x 2, SSL スループット 15Gbps) がラインナップされている

た。学内の幹線ネットワークへの接続については、100GBase-SR4 x 2 である。

これらの機材、ソフトウェア等で構成した新システムについて、旧システムとの構成比較・性能比較を図3に示す。仮想基盤においては総クロック数 1.6 倍、メモリ容量 3 倍となっており、全学教育系ウェブサービスの集約に対応できるスケールである。また、ストレージサーバの実効容量は 12 倍となる 1.2PB であり、教育系ウェブサービスに限らず、研究データ等他分野のデータ集約も可能なスケールである。このような性能向上は、ライセンス価格の低減が可能なソフトウェアの導入や、性能とコストの観点で適した方式の転換(仮想基盤は 3Tier 型へ転換、ストレージサーバは SDS へ転換)を行ったことで実現可能となった。

3.4 システム更新後の運用変更点・制限事項

前節で述べた新システムの構成は、システム更新に際する重点課題・機材導入に関する重点事項を満たした構成を実現している。一方、旧システムからの運用

変更点ならびに制限事項が存在する。本学の運用形態においてはどれも問題とならない事項であるが、ここでは仮想サーバ基盤における事項について、参考として以下に言及する。

■**仮想ネットワークの構成（仮想サーバ基盤）** 旧システム（Nutanix）においてはハイパーバイザ上のネットワークは仮想化されており、ネットワーク構成を変更すると、全てのノードに変更が反映される利便性を有している（図4上）。

対して、新システムの Proxmox の構成においては、物理インタフェースを束ねた bond インタフェース上に Linux VLAN を作成し、仮想マシン用に VLAN Bridge を作成する形態としている（図4下）。この形態においては、全てのノードで同一の命名規則を持つ Linux VLAN インタフェース、VLAN Bridge を作成する必要がある*2。本学においては利用する VLAN 数が少ないため、運用に支障はないと判断した。

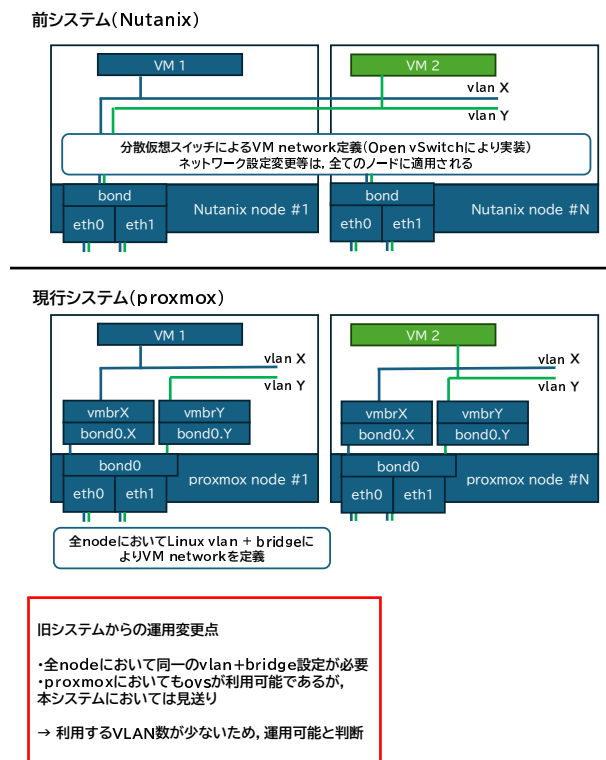


図4 仮想ネットワークの構成（仮想サーバ基盤）

■**データストアの構成（仮想サーバ基盤）** 旧システム（Nutanix）においてはデータストアは SDS によって論理的な NFS サーバとして構成されており（図5上）、仮想マシンが稼働するノード上の物理ディスク

へ優先的に IO アクセスがなされる、性能向上に関する機能を有している。

対して、新システムの Proxmox 向けデータストアは、3Tier 型の共有ストレージへ単純化している。全てのノードで同一名称のマウントポイントを作成し、仮想サーバのイメージの記憶域として用いられる（図5下）。共有ストレージには高速・低遅延な IO 性能が求められるが、新システムにおいては NVMe のみで構成されたストレージサーバを導入することで運用可能と判断している。

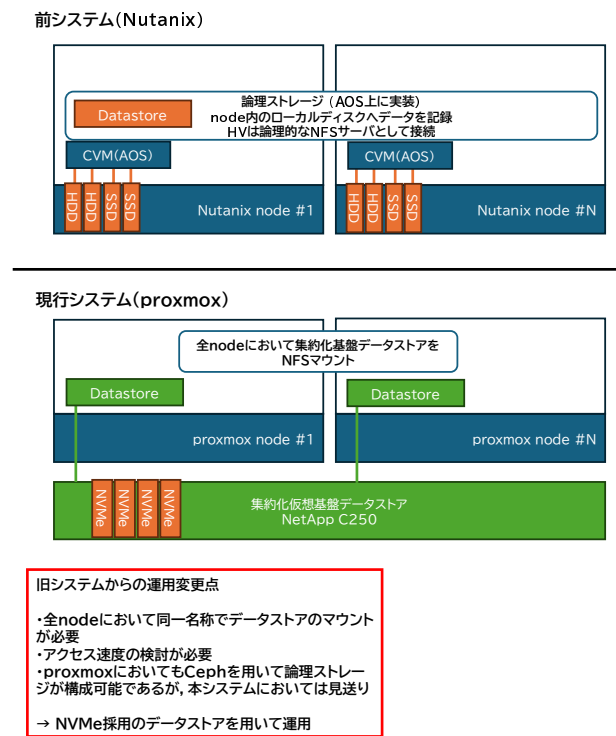


図5 データストアの構成（仮想サーバ基盤）

4 旧システムからの仮想サーバの移行

本学においては、旧システム上で稼働する全学教育系ウェブサービスについては、旧システムからの仮想サーバ移行、ファイル移行によって稼働を継続する方針とした。また、一部の仮想サーバについては旧システム以外の仮想基盤（VMware）上に存在しており、同様に新システム上へ移行することとした。

本節では、特に検討を要した異なるハイパーバイザである Nutanix、VMware から Proxmox への仮想サーバ移行に用いた手法について述べる。

*2 インタフェースに別名称を付けた場合、仮想マシンの移動が不可となる

4.1 Nutanix, VMware から Proxmox への仮想サーバの移行

Proxmox においては, Nutanix, VMware からの公式な移行手順・移行ツールは公開されていない。一方, 何れの旧仮想基盤においても, 仮想サーバの稼働に必要なイメージファイルや構成情報について, ova や ovf 形式によりエクスポートすることが可能である [6][7]。加えて, Proxmox においては, Proxmox の制御コマンド (qm) に ovf 形式の仮想マシン情報をインポートする機能が備わっている [8]。従って, 本学では以下の手順によって移行を実施することとした (図 6)。

■**仮想マシン移行事前準備** 以下の作業用の仮想マシン, ストレージ領域等を作成する。

1. ova 形式のファイルを一時保存する NFS ボリュームを Qumulo 上に作成し, Proxmox 上の各ノードで Import 可能なオプションを付け, データストア領域としてマウントする
2. エクスポート作業用の仮想マシン (Ubuntu Desktop) を Proxmox 上に作成し, ネットワークは旧仮想基盤の管理 VLAN, 他部局管理の VMware (vCenter) の管理 VLAN, Proxmox の管理 VLAN, 作業用の NFS ボリューム用の VLAN に所属させる。

■Nutanix, VMware からの仮想マシン移行

1. 移行対象の仮想マシンをシャットダウンする
2. **Nutanix の場合** 構成管理ツールである Prism Central 上で, 移行対象の VM を ova 形式でエクスポートする
VMware の場合 ovftool を用いて vCenter へ接続し, 移行対象の VM を ovf 形式でエクスポートする
ova, ovf いずれも保存先は一時保存用の NFS ボリュームを指定する
3. 仮想マシンをインポートする Proxmox ノードへ SSH 接続し, エクスポートされた ovf+ 構成情報の存在を確認する (Nutanix からエクスポートした ova ファイルは tar アーカイブであるため, tar コマンドにより ovf+ 構成情報へ展開する)
4. Proxmox ノード上で, qm importovf コマンドを用いてインポートを実行する
5. インポートされた仮想マシンのネットワーク構成を所属 VLAN と適合させる
6. Proxmox 上にインポートされた仮想マシンを起動

させ, 動作を確認する

上記手順によって移行した仮想マシン数は, Nutanix 上の仮想マシン (ova 形式でエクスポート) 56, VMware 上の仮想マシン (ovf 形式でエクスポート) 36 であった。仮想マシン上のエクスポート・インポートに要する時間は仮想ディスクのサイズに依存する。1TB の仮想ディスクを有する仮想マシンのエクスポート・インポートにはおよそ 24 時間を要した。

なお, EFI ブート形式の仮想マシン (ovmf 形式) については, Proxmox 上で EFI ディスクの指定が必要となる [9]。インポート手順が複雑であるが, 今回の移行対象は全て BIOS ブート形式であり, 対象には含まれなかった。

5 まとめと今後の展望

本論文では, 本学において 2025 年 3 月に稼働を開始した全学教育系ウェブサービス向け基盤について詳細を述べた。システム更新にあたっては, 重点課題・導入に関する重点事項等を定義した。仮想サーバ基盤として導入した Proxmox は, 本学の運用形態においては従来の仮想サーバ基盤と同様の運用が可能であり, ライセンス価格の大幅な低減を実現した。大容量ストレージとして導入した Qumulo は, SDS による分散ストレージにより, 性能・耐障害性に優れたペタバイト級の NFS/SMB/S3 サーバの提供が可能となった。Proxmox については, Open vSwitch を用いたネットワークの仮想化, Ceph を用いたデータストアへの論理ストレージの導入等が可能であり, 更に高度なシステム運用が可能となる。これらの機能の活用は今後の課題となる。

加えて, 異なる製品である Nutanix, VMware から Proxmox への仮想サーバ移行についても ova, ovf 形式でのエクスポート・インポート方法を確立した。本事例を Proxmox への移行検討時の参考として頂ければ幸いである。

現在は, 旧システム上で稼働していた全学教育系ウェブサービスの集約が完了した状況である。今後は, 新たなシステムの集約・稼働や, 大容量ストレージを活用した研究データ集約等に活用範囲を拡大する計画である。

参考文献

- [1] 林, 大西, 山口, 中山, 福田, 大橋, 甲斐, 久代, ノートパソコン必携化の支援を主眼とした教育研究用

移行対象VM数
Nutanix上Linux 56VM
VMware上Linux 36VM

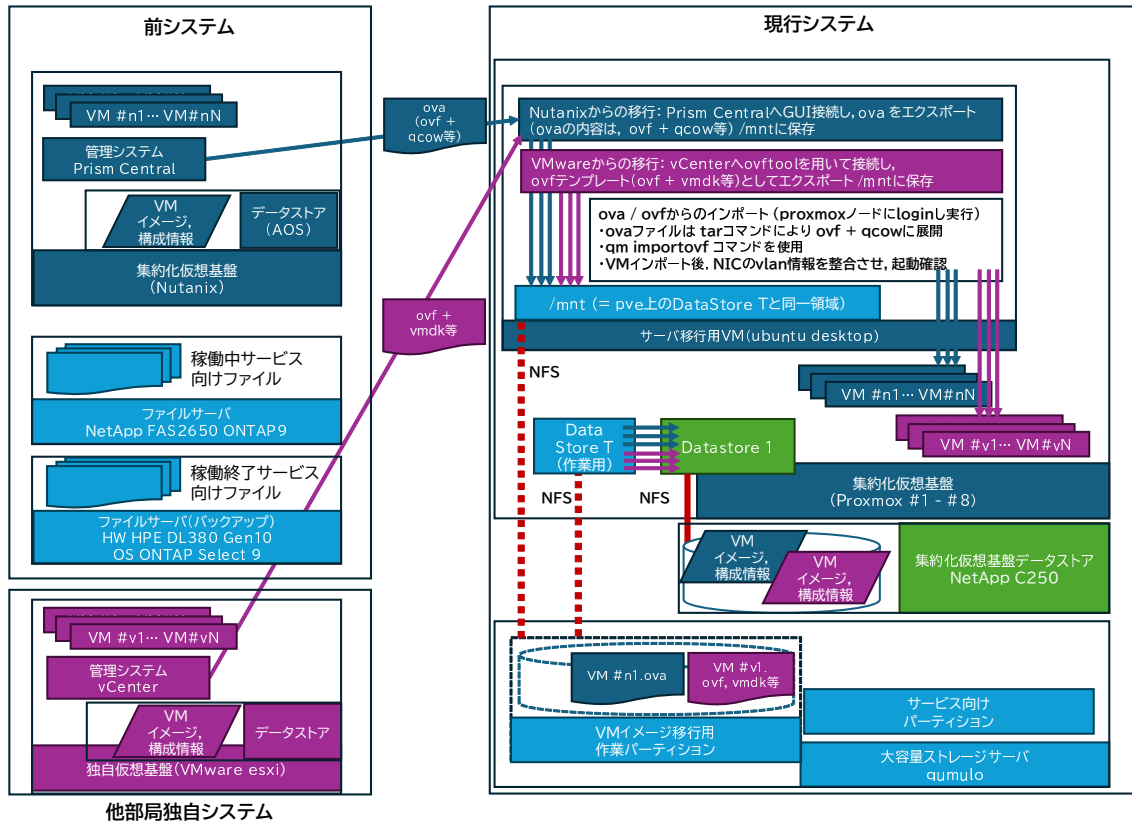


図6 Nutanix, VMware からの仮想サーバの移行

コンピュータシステムの更新, 情報処理学会研究報告, IOT-46 巻13号 PP.1-7, 2019.

- [2] Proxmox Virtual Environment - Features, <https://www.proxmox.com/en/products/proxmox-virtual-environment/features>, (2025年9月10日閲覧).
- [3] Proxmox Virtual Environment - Subscriptions, <https://www.proxmox.com/en/products/proxmox-virtual-environment/pricing>, (2025年9月10日閲覧).
- [4] Qumulo - Technical Overview, <https://qumulo.com/technical-overview/>, <https://qumulo.com/technical-overview/>, (2025年9月10日閲覧).
- [5] Qumulo-Certified Platinum-Tier Hardware Servicing Guide, <https://docs.qumulo.com/hardware-guide/>, (2025年9月10日閲覧).
- [6] Nutanix - Exporting a VM as an OVA, https://portal.nutanix.com/page/documents/details?targetId=Prism-Central-Guide-vpc_7_3:mul-vm-export-

as-ova-pc-t.html, (2025年9月10日閲覧).

- [7] Broadcom - OVA/OVF パッケージをエクスポートおよびデプロイするための OVF Tool コマンドの構文, <https://knowledge.broadcom.com/external/article/319781/ovaovf-ovf-tool.html>, (2025年9月10日閲覧).
- [8] qm - QEMU/KVM Virtual Machine Manager, <https://pve.proxmox.com/pve-docs/qm.1.html>, (2025年9月10日閲覧).
- [9] Proxmox Virtual Machine Settings - BIOS and UEFI, https://pve.proxmox.com/pve-docs/chapter-qm.html#qm_bios_and_uefi, (2025年9月10日閲覧).