

論文

## 学習支援システムに適切な設備投資について

### Appropriate Investment for Constructing Learning Support Systems

吉永 敦征

山口県立大学国際文化学部

Nobuyuki Yoshinaga

Department of Intercultural Studies,

Yamaguchi Prefectural University

#### 概要

本論文の目的は、LMS用の仮想サーバを稼働させるために求められる必要十分な要件を明らかにすることである。SPARC連携事業が始まり、LMSを皮切りにウェブサーバや認証システムも新たに導入することとなったが、どの程度の費用をかけ、どの程度の性能が新規サーバに必要となるのかが明確ではなかった。そのため、第一に、新規サーバを導入するにあたって検討した項目を述べ、第二に、山口県立大学が以前に導入した仮想化基盤を基準として、新たに導入する機器の性能や費用を比較を行ない、最後に、検討した項目が妥当であることを述べる。

#### Abstract

The purpose of this paper is to clarify the necessary and sufficient requirements for running the LMS virtual server.

Along with the start of SPARC program, setting up the LMS, web servers and authentication system need to be constructed. However, how much financial investment and system performance is required were not clear. Therefore, this paper describes the requirements for installing a new server, and second it compares the LMS server with the performance and cost of virtual servers which were installed earlier at Yamaguchi Prefectural University as a criterion. Finally, it concludes that the new server was appropriately selected based on the criterion.

## はじめに

山口県立大学では2018年度にサーバールームを北キャンパスへ移転するのに合わせ、サーバーの管理運用方針を変更した。情報サービスの基幹を担っていた多数の物理サーバーを統合するために、物理サーバーを仮想化し、集約し管理する運用方針に切り替えたのである。そのために導入したサーバ等機器一式を仮想化基盤と名付けた。仮想化基盤の構築後に新たに導入したサーバーは主として仮想化基盤上に仮想サーバとして構築している。

仮想化基盤の導入により、さまざまな場所に散らばっていた物理サーバーを統合することが可能となり、物理的なメンテナンスから解放されただけでなく、仮想化基盤のリソースに余裕がある限りは必要に応じてサーバーを構築し提供することが可能となった。

このことによりウェブサービスを立ち上げる、グループウェアを導入する、無線用の認証サーバを導入するなど、さまざまな場面において、これまでは購入するしかなかった物理サーバーを購入せずに済むこととなった。同時に、物理的なメンテナンス費を支出せず済むこと、サーバーの保管や複製などの管理が容易になること、導入に伴う仕様書の簡素化に寄与できることなどのメリットを享受できるようにもなった。

その一方で、仮想化基盤の導入には大掛かりな装置一式が必要であり、仮想化基盤自体の構築・保守・運用・更新などに専門知識や技能が要求されることもまた事実である。

SPARC事業で新たなLMS環境を構築するにあたり、仮想化基盤のメンテナンス性を向上させつつ、仮想化のメリットを享受し、電子計算機の性能向上も踏まえ、安価な構成のサーバを導入することを目指した。

本論文では、新たな構成のサーバが、性能的にも価格的にも妥当なものであったことおよびその限界点を示し、仮想化基盤を更新する際に検討すべき論点を提出する。

## 第一章 仮想化基盤について

仮想化基盤で導入した機器は、3台の物理サーバ、2台のネットワークスイッチ、1台のSANである。3台の物理サーバーはそれぞれが2台ネットワークスイッチにたすき掛けの状態に接続し、2台のネットワークスイッチもたすき掛けの状態にSANに接続している。図1に各機器の接続状況を図示している。

3台のうち2台の物理サーバー上ではそれぞれが仮想サーバを15台程度稼働させており、残りの1台は仮想サーバをいつでもマイグレーションできるように設定している。3台目のサーバは、2台のサーバのメンテナンスを行なう際や、故障時にバックアップとして機能できるように設定している。

### 1.1 サーバの仕様

3台のサーバは共通の仕様としている。基準品は「DELL PowerEdge R640」であり、入札後に導入されたのも同機種である。基本的なスペックは下記の通りである。

CPU	48コア (Intel (R) Xeon (R) Silver 4116 CPU @ 2.10GHz x 2)
Memory	192GB
内蔵ストレージ	300GB
外部ストレージ	24TB
外部ストレージ帯域	20Gb/s

表1 仮想化基盤サーバの仕様

各物理サーバーは内蔵ストレージで稼働しているが、物理サーバ上で稼働させる仮想サーバはSAN上に確保した領域をディスクとして使用している。つまり仮想サーバはCPUとして物理サーバを、ディスクとしてSANを使用するというように、各機器上で処理を分散させていることになる。

上記のサーバの性能があれば、2コアのCPUと8GBのメモリを持つサーバを23台構築することが可能であ

るが、実際には15台程度のサーバを稼働させているのみであり、余裕を持たせた運用を行なっている。そのため必要に応じてサーバを購入せずとも自由にサーバを提供できる環境を構築していることになる。

## 1.2 ストレージ装置の仕様

基準品は「DELL EqualLogic PS4210E」であり、入札後に導入されたのも同機種である。2018年度では、大容量かつ高速なストレージとしてはSANを導入するのが唯一の選択肢であった。

ストレージは3.5インチの12台のSASのディスクを内蔵できる仕様となっており、全体で24TBの容量を持たせている。24TBの領域は自由に分割し切り出すことが可能となっており、たとえば100GBのディスク容量を持ちたいサーバを構築する場合には、GUIを用いて容易に100GBを容易に切り出すことができる。切り出した個々の領域は物理サーバからiSCSI接続を行ない、物理サーバからは外付けの個別のディスクとして認識される。仮想サーバはその細分化され認識された領域をディスクとして用いることができる。

ストレージには10Gbpsのネットワークインターフェースが2つ用意されており、それぞれのインターフェースに接続したケーブルは2台のネットワークスイッチにそれぞれ接続している。そのため、通信速度として20Gbpsが確保できている。さらに2台のネットワークスイッチは3台のサーバにそれぞれが接続しているため、サーバからはストレージに対して20Gbpsの帯域を確保していることになる。

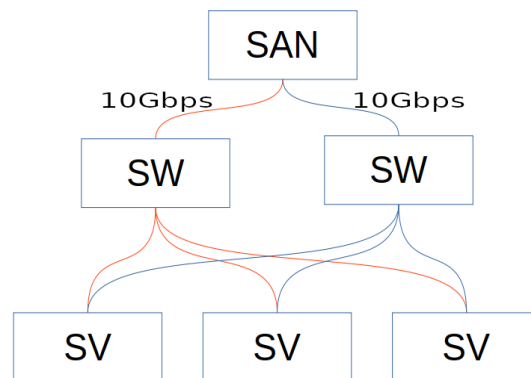


図1: SANとネットワークスイッチとサーバの接続

## 1.3 仮想化基盤の価格の利点

仮想化基盤上ではこれまで延べ33台のサーバが稼働していた。2023年12月時点での稼働数は27台である。主として利用されているものとしては、「認証サーバ」「ウェブサーバ複数台」「ディレクトリサーバ」「LMSサーバ」「サイネージサーバ」「DHCPサーバ」などが仮想化基盤上で稼働している。これらは、本学のDXの背骨を構成するサービス群を提供している。

仮想化基盤の導入費用はおおよそ1400万円であり、結果的にサーバ1台あたりの費用は42万円となる。もし仮に仮想化基盤を導入していなかったとするなら、27台のサーバが本学の各所に物理的な空間を専有しつつ設置されていることになる。それぞれのサーバに種々のケーブルを接続し、電源を確保し、埃などに気をつけながら運用することを考えれば管理コストはその分だけ下がっていることになる。

次に仮想化基盤を導入したことによる費用面の利点について、すなわち、具体的に仮想サーバの価格の妥当性を検討する。価格の比較対象は物理サーバを購入した場合ではなく、クラウド上にサーバを構築した場合の比較である。

クラウド上にサーバを構築した場合、CPUの数やメモリだけではなく、サーバへのリクエスト数や送受信したデータ量に依存して利用料金が上下する。そのため、第一に、比較対象として本学が稼働しているウェブサーバのデータを抽出し、第二に、同データを元にクラウドの料金を測定する。

### 1.3.1 本学のウェブサーバのデータ

仮想サーバとして稼働している本学のウェブサーバの2023年12月のアクセス数やデータ送受信数は以下の通りである。

総リクエスト数	440,000
データ受信量	240GB
データ送信量	500GB

(表2: Apacheのログから抽出したリクエスト数の概算、およびifconfigから計算したデータ量の概算)

### 1.3.2 クラウド利用の場合の費用

代表的なクラウドサービスであるAWS (Amazon Web Service) を用いて本学のウェブサーバを構築した場合、同条件では月額が「119.06USD」となる<sup>1</sup>。仮想化基盤上でウェブサーバを稼働した2018年4月での為替相場は1USD=107.45円であり<sup>2</sup>、当時のレートで計算すると月額あたりの利用料金は「12,793円」となる。

### 1.3.3 仮想化基盤とクラウドの比較

サーバ1台あたりの支出をクラウドと仮想化基盤で比較すると、約33ヶ月まではクラウドの方が安価となるが、それを越えた場合には仮想化基盤の方が安価となる。

本学での情報機器の保守契約は5年としているため、外部のサービスでクラウド化するよりも全体の費用は約35万円ほど低く抑えられていることが分かる<sup>3</sup>。

当然ながらこの分析に人件費は一切考慮していない。サーバの導入や構築ができるような環境であれば、クラウドは選択する必要が無いが、そうでない場合にはAWSのようなクラウドサービスも選択肢に挙がってくると言える。

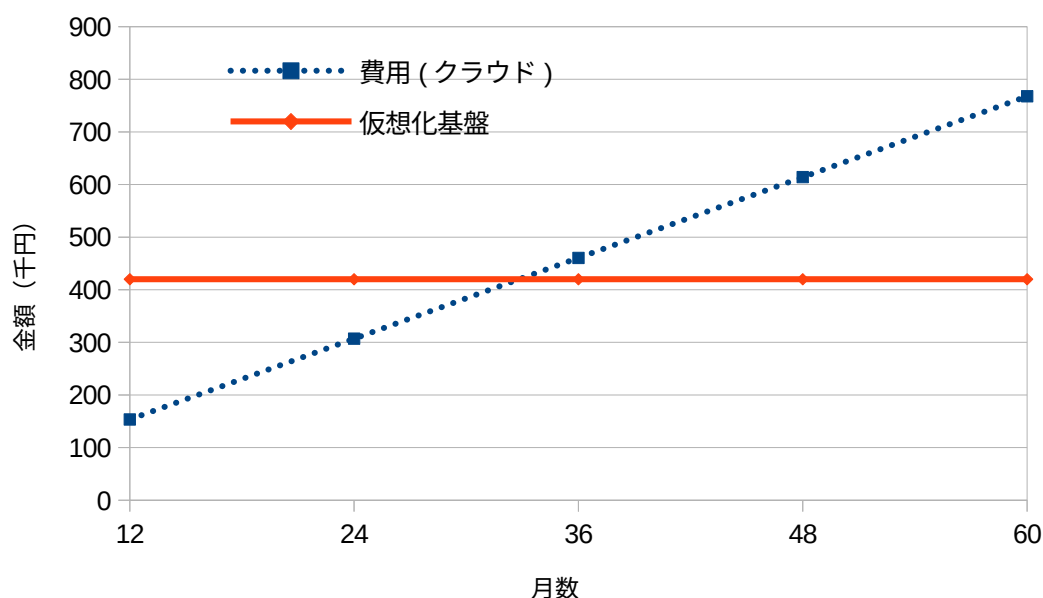


図 2: 仮想化基盤とクラウドの料金の推移

1 試算はAmazonが提供する"pricing calculator"を用いた。

2 三井住友銀行 (2018) 「為替相場推移」

3 Amazonのサービスはデータ転送量によって価格が大きく上下するため、データ転送量が多くない認証サーバをクラウド化した場合には、ほぼ最低限の価格で運用ができる。クラウド化することにより費用面にどの程度の利点があるのかは、本学でどのようなサービスが提供されているかを厳密に把握する必要がある。すなわち、月ごとの各種サービスのデータ量、その処理能力などのリサーチが必要となる。そのためには少なくとも1年程度のデータの蓄積が必要である。

## 第二章 SPARC LMSサーバ

山口県立大学は令和4年に文部科学省の「地域活性化人材育成事業（SPARC）」に採択され、山口大学と山口学芸大学とともに教育プログラムを連携し実践することとなった。各大学ではそれぞれがLMSを運用しているが、連携を強化するために相互運用可能なLMSを導入する必要性が生じた。

3大学の協議の結果、moodleをLMSとして採用することとなった。本学ではすでにmoodleを稼働させていたが、SPARCプログラムを連携するために、従来のmoodleとは別にmodleを立ち上げることにした<sup>4</sup>。

これまでは仮想化基盤上でmoodleを稼働させていたが、利用者数の増大やコース数の増加<sup>5</sup>が見込まれるため新たなサーバが必要となり、連携に必要なサーバの選定を行なった。第一にサーバの構成要件を定義し、第二に仕様を検討し、第三に仮想化基盤との費用的比較を行ない導入する機器を選定した。実際に導入した機器の性能比較は第三章で行なう。

### 2.1 サーバの構成要件

本学ではこれまでMoodleをLMSとして稼働させてきた。moodleはウェブのインターフェースを担うウェブサーバと、各種データを格納するためのデータベースサーバ、ファイルを保存するファイルサーバという3つのサービスを組み合わせて動作している。

本学では、利用者の規模を踏まえ、1台のサーバで、ウェブサーバとデータベース、ファイルサーバを運用せず、ウェブサーバ1台とデータベースサーバ兼ファイルサーバの2台で負荷を分散させて運用している。

また、moodleはバージョンアップに伴いアップグレードが保証されているが、その手順を踏むよりも、ウェブサーバを新規に立ち上げる方が容易であるため、基本的にウェブサーバは年度毎に更新している。このことにより過年度のコースへのアクセスも保証できるというメリットも生じている。

データベースサーバはmoodleの更新時の要求を満たす必要に応じて更新を行なうことになるが、データベースはソフトウェアのサポートが5年となるため、基本的には複数年度の運用としている。令和5年度から令和9年度の間に必要なサーバは下記の通り最低8台となる予定である<sup>6</sup>。

	ウェブサーバ	データベースサーバ
令和5年度	Moodle 4.1 (1台目)	MariaDB 10.4 (1台目)
令和6年度	Moodle 4.3 (2台目)	MariaDB 10.6 (2台目)
令和7年度	Moodle 4.3 (3台目)	MariaDB 10.6 (2台目)
令和8年度	Moodle 4.5 (4台目)	MariaDB 10.6以上 (3台目)
令和9年度	Moodle 4.5 (5台目)	MariaDB 10.6以上 (3台目)

(表3: SPARC LMSで必要となるサーバの数)

SPARC LMSサーバでは仮想化基盤で運用しているような各種サーバを構築する必要は無いが、仮想化基盤よりも性能を向上させる必要がある。そのため次の3つの条件を目標としてサーバを構成した。「1. 費用を削減」し「2. メンテナンス性を向上」させ「3.処理速度を向上」させるの3点である。

1については、サーバとストレージを分散しない設計とした。これにより、ストレージ装置を導入せずに済むだけでなく、ネットワークスイッチを導入する必要も無くなった。この時点で2018年度に比べ費用を節約できることになる。

2については、ストレージやネットワークスイッチといった複数の機器を設定・管理する必要も無くなったため結果的にメンテナンス性の向上が図れている。

3については、仮想化基盤を導入してから5年が経過したためCPUとメモリも安価になっていること、ま

4 仮想化基盤上で稼働しているLMSにはペーパーレス会議用の資料や学内向けのコースなどもあり、本学の学生・教職員以外のアクセスを許可できるようにはなっていないためである。

5 これまでのLMSは全学的に運用していたわけではなく、実験的な位置づけであったため利用者は30%に満たない程度であった。

6 MoodleのバージョンについてはMoodleのリリース計画が書かれている「Releases」を参照した。

た2.5インチのディスクの普及によって高速なストレージをサーバ本体の中に数多く内蔵可能になっていることなどから同程度の費用によって得られる処理速度が向上していた。このことから新規に導入するサーバでは性能向上が図れると予測できた。

CPU	64コア (Intel(R) Xeon(R) Gold 6326 CPU @ 2.90GHz x 2)
Memory	256GB
内蔵ストレージ	512GB x 2
内蔵外部ストレージ	12TB (1.2TB x 10)
内蔵外部ストレージ帯域	12Gb/s

(表4: SPARC LMSサーバの仕様)

上記の構成とすることで、仮想化基盤の導入に必要であったネットワークスイッチおよびSANをサーバの内部に入れることができた。

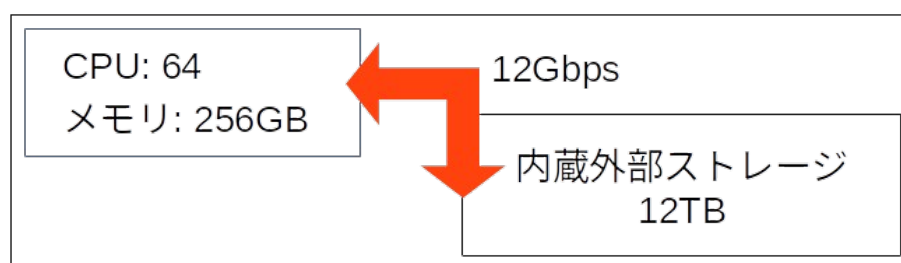


図 3: サーバ内部のストレージの接続図

仮想化基盤ではストレージとの接続が20Gbpsであり、SPARC LMSでは12Gbpsと速度が落ちている一方、仮想化基盤よりも1160万円費用を圧縮することができている。構築できるサーバ数が仮想化基盤よりも多く31台となっている。これはサーバ1台あたりに使用できるCPU数およびメモリを増やして高負荷に耐えるサーバを用意できることを意味する。つまり、全学的に運用し、また連携に使用するサーバとして活用できる可能性があることを意味する。

### 2.3 サーバの価格

2022年度に導入したSPARC LMSサーバはおおよそ240万円である。この中に最低8台のサーバが稼働することになるため、サーバ1台あたりの価格は30万円となる。仮に31台の仮想サーバを稼働させるとするなら、サーバ1台あたりの価格は8万円程度となる。

性能が十分に確保されているのであれば仮想化基盤を導入する価格的な利点は少なく、さらには、クラウドサービスを利用する利点はほとんど無いといえる。

## 第三章 パフォーマンス比較

仮想化基盤上で稼働しているサーバとSPARC LMSで稼働しているサーバの価格差が意味ある数値であることを明らかにするために、両仮想サーバのパフォーマンスの比較を行なう。比較は以下の点を分析することで行う。第一に「ディスク性能」を計測し、第二に「ネットワーク性能」を計測する。

前述の通り、ディスク性能は帯域や容量において仮想化基盤の方が優れており、SPARC LMSがどの程度その性能に追いつけるかどうかを計測することが目的となる。またLMSはアクセスをどの程度さばくことができるのかが重要であり、その点の比較も必要となる。

両者の比較のために、次の2つのベンチマークを実施する。

1. 仮想サーバ上のディスク性能比較
2. 外部の端末から仮想サーバに対するアクセス速度と情報量の比較

### 3.1 ディスク性能

ディスク性能のベンチマークをSPARC LMSと仮想化基盤のそれぞれで稼働している仮想サーバ上で計測する。仮想化基盤上の仮想サーバでディスク性能を計測することは、SANのディスク性能を計測することであり、SPARC LMS上の仮想サーバでディスク性能を計測することは内蔵しているRAIDの性能を計測することになる<sup>7</sup>。

ベンチマークは「fio<sup>8</sup>」を用いて、1. 並列書き込み、2. ランダム書き込み、3. 並列読み込み、4. ランダム読み込みを計測する。またベンチマーク方法については「Linux VM で永続ディスクのパフォーマンスをベンチマークする<sup>9</sup>」を参考とした。

#### 3.1.1 並列書き込み

表5は1MBのデータをファイルサイズが10GBになるまで並列に16個書き込むベンチマークの結果である。

	SPARC LMS	仮想化基盤
IOPS	94	646
BW (MB/s)	114	695
実行時間 (ms)	69486	61396

(表5: 並列書き込みの計測結果)

#### 3.1.2 ランダム書き込み

表6は4KBのデータをランダムに10GBになるまで書き込むベンチマークの結果である。

	SPARC LMS	仮想化基盤
IOPS	22.9k	22.2k
BW (MB/s)	93.8	90.8
実行時間 (ms)	60011	60011

(表6: 並列書き込みの計測結果)

#### 3.1.3 並列読み込み

表7は1MBのデータをファイルサイズが10GBになるまで並列に16個読み込むベンチマークの結果である。

	SPARC LMS	仮想化基盤
IOPS	94	363
BW (MB/s)	114	398
実行時間 (ms)	69509	62834

(表7: 並列書き込みの計測結果)

7 厳密には、仮想化基盤ではSANまでのネットワークスイッチ、SPARC LMSではSSD RAID用のインターフェースもディスク性能へ影響を与えている。しかしながらこれらの要因を切り分けることはできないため、fioでのベンチマーク結果を計測結果としている。

8 マルチプラットフォームでディスク性能を計測することができるソフトウェアである。

9 Google Cloud 「Linux VM で永続ディスクのパフォーマンスをベンチマークする」

### 3.1.4 ランダム読み込み

表8は4KBのデータをランダムに10GBになるまで読み込むベンチマークの結果である。

	SPARC LMS	仮想化基盤
IOPS	24.8k	1278
BW (MB/s)	102	5
実行時間 (ms)	60010	60207

(表8: ランダム読み込み計測結果)

### 3.2 ネットワーク性能

Moodle上でクラスのページを表示するためには「1. トップページにアクセス」し「2. ログイン」を行い「3. 自分が選択できるコースが一覧表示」され「4. コースを選択」というように最低4回のクリックが必要である。1ユーザーが目的のコースにたどり着くためにはウェブサーバに対して明示的に4回のリクエストを行なっている<sup>10</sup>。つまりユーザー数の4倍のリクエストが発生すると考えられる。

性能を計測するために「Apache Bench<sup>11</sup>」を使用し、同時アクセス数を100から1000まで100刻みで計測した。本来ならば1ユーザあたり異なった4つのページのデータを取得しなければならないが、ユーザ認証やページ遷移のデータを取得することができないためトップページを取得することにした。

使用したコマンドは

```
ab -c 同時アクセス数 -n 同時アクセスx4 アクセス先URL
```

である。また、キャッシュを無効にするために3分程度のインターバルを設けて計測を行なった。その際に用いたシェルスクリプトは以下のものである。

```
#!/bin/bash
NUMBER=0
MAXNUM=1100
URL="https://webculture.ypu.jp/2023/"

while : ; do
    NUMBER=`expr $NUMBER + 100`
    ACCESS=$((NUMBER*4))
    if [ "$NUMBER" -eq "$MAXNUM" ]; then
        exit 1
    fi
    COMMAND="ab -c ${NUMBER} -n ${ACCESS} $URL"
    $COMMAND
    sleep 180s
done
```

結果を表9にまとめた。

10 非明示的にはスタイルシートやスクリプトを読み込むリクエストが行われているが、moodleのバージョンや適用しているデザインなどによって回数が増えることから、ここではユーザがクリックした回数に限定して計測している。

11 ab - Apache HTTP Server benchmarking tool



同時接続数	SPARC LMS		仮想化基盤	
	転送速度 (Kbytes/sec)	接続時間 (ms)	転送速度 (Kbytes/sec)	接続時間 (ms)
100	13798.32	711	8517.68	775
200	14906.27	1310	9105.66	1160
300	15722.44	1915	9691.11	1532
400	15837.68	2541	10831.89	1284
500	16021.06	2996	10994.17	1408
600	15355.86	2973	11371.71	1987
700	14051.72	2547	12219.19	2195
800	15958.52	2715	12133.18	2190
900	15834.25	2487	11955.52	2220
1000	15629.60	2272	11660.82	2856

(表9 SPARC LMSサーバと仮想化基盤のネットワーク性能)

SPARC LMS上のmoodleと仮想化基盤上のmoodleではバージョンが違うことやトップページの情報量が異なることもあり、1アクセス毎の転送速度で標準化を行なったものが下記の図4、図5である。

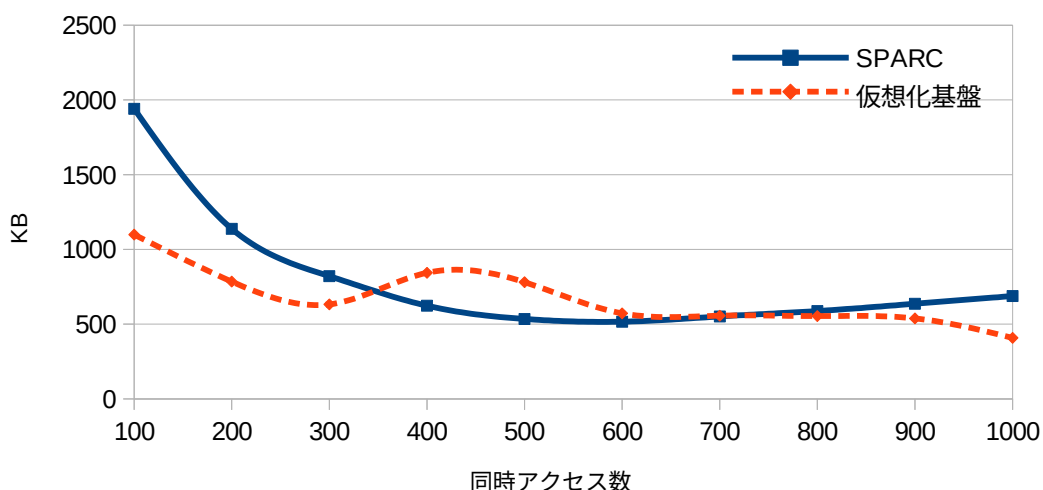


図 4: 1 アクセス毎のデータ転送量

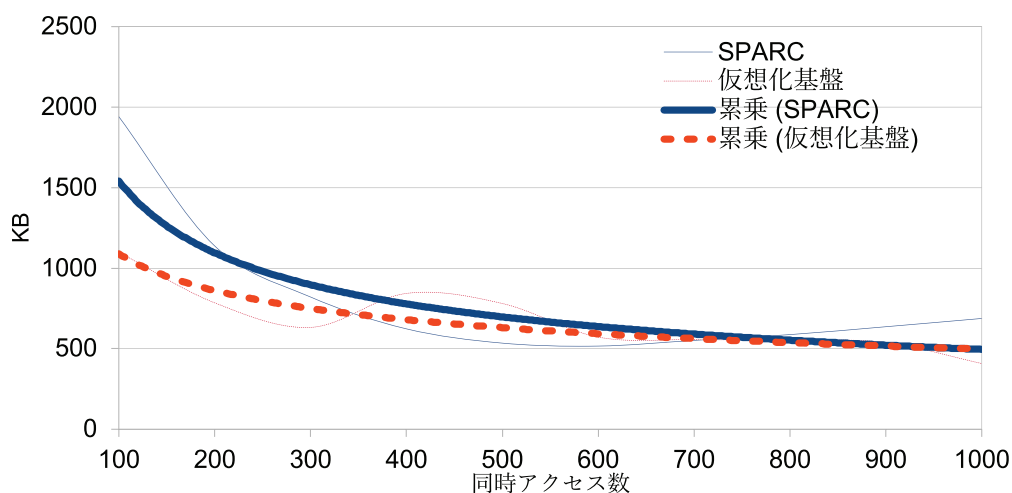


図 5: 1 アクセス毎のデータ転送量 (近似曲線)

## 第四章 考察

2018年度に導入した仮想化基盤と2023年度に導入したSPARC LMSとの比較から分かることは下記の通りである。

### 4.1 ディスク性能について

並列処理については読み書きともにSANの方が3-6倍程度優れている。ランダム処理については、書き込みが同程度、読み込みについてはSPARC LMSの方が20倍程度優れていることが分かった。このことから、ランダムアクセスが多いデータベースの用途については内蔵RAIDの方が優れているが、大きいデータを並列で読み書きする処理についてはSANの方が優れていることが明らかになった。

LMSとして運用することを前提とするなら、サイズの大きいファイルは動画ということになる。オンデマンドで授業を展開する場合、すなわちサイズの大きい動画を読み書きが多い状況ではSANを使う方が正しく、PDFなどの比較的小さいサイズのファイルの読み書きが多い場合には内蔵RAIDで十分であると言える。

### 4.2 ネットワーク性能について

図4から分かるようにSPARC LMSの方が全体的に優れている。400回から500回の同時アクセスについては仮想化基盤の方が反応が良いが、図5から予測できるように800回から900回程度の同時アクセスまでならばSPARC LMSの方が優れている。それ以上の同時アクセスについては仮想化基盤の方が優れている。

図5から分かるように、近似値で見た場合には両者とも1000回の同時アクセスでは1ユーザあたりのデータ転送量が500KB程度に収束することが分かる。

仮に1000回程度の同時アクセスが発生する環境であれば、両者ともウェブサーバを2台用意して分散処理する方法で欠点を補う必要が生じてくる。その際には、より詳細なデータの分析を通じて、アクセス数のコントロールが必要となるが、現段階では優劣はつかないと言える。

### 4.3 SPARC LMSの利点

以前は大容量で高速なストレージを導入するためには、高速なネットワークスイッチを介して接続するSANが必要であったが、ストレージ装置の小型化や高速化が進んだことにより、サーバに内蔵できるストレージだけで十分な性能を得られるようになってきている。

RAID構成のストレージとすることで、物理的な耐障害性も上がることとなりストレージの健康管理を行なうという管理コストも減らすことができるようになった。RAIDをSSDで構成した場合にはさらなる高速化が期待できる。

さらには、ネットワークスイッチを導入しなくて済む点、ストレージ装置を導入しなくて済む点、配線や設計・運用に関する管理コストが必要なくなる点など全体としての費用を下げることも可能となっている。小規模なシステム管理には、SPARC LMSの構成に分があると言える。

### 4.4 SPARC LMSの欠点

SPARC LMSでの欠点は2点ある。

1. 大容量のファイル管理
2. 耐障害性の低下

#### 4.4.1 大容量のファイル管理

ベンチマークで測定したように、大容量のファイルの連続的な読み書き性能はSANの方が有利であった。仮想化基盤が有していた大容量のファイル管理についてはSANを中心としたシステムの方がメリットがあ

る以上、今後、高解像度の講義映像をオンデマンドで配信する環境が要請されるのであれば、サーバ単体での運用とするのではなく、SANを選択する必要がある。

ベンチマークで測定した10GBのファイルの連続読み込み・書き込みについて、Youtube動画ではどの程度の時間の動画になるのかを計算することで、SANが必要な環境がどのようなものであるかが想定しやすくなる。

Youtubeに動画をアップロードする際に推奨されているビットレートは1080pで8Mbpsである。このビットレートでは90分の講義映像を記録した場合6GB程度のファイルサイズとなる。解像度を下げる、ビットレートを下げるなどの対応をせずにオンデマンド講義を実施するならばSANは必須である。

#### 4.4.2 耐障害性の低下

より大きな問題点としては耐障害性が下がることが指摘できる。

仮想化基盤では1台のサーバが故障したとしても別のサーバが仮想サーバを引き継ぐことで、仮想サーバの継続的な運用が可能となっている。これはストレージを共有できているからこそである。ストレージにあるディスクを、他のサーバから瞬時に利用できることでサーバの故障時にもサービスを止めない運用が可能となっている。

SPARC LMSでは物理サーバに障害が発生した時点で、仮想サーバもすべてが停止することになるだけでなく、仮想サーバのデータもすべてが失われる可能性が生じる。

このような事態を避けるためには、

1. 日常的に仮想サーバのバックアップを取得すること、
  2. 仮想サーバを稼働させるための物理サーバを別に用意すること
- の2点が必要となる。

つまり理想的にはSPARC LMSと同程度の同じ構成のサーバがもう1台必要となり、2台で冗長化して運用しなければ、同程度の耐障害性を有する環境とはならない。この場合には費用のメリットが失われることになる<sup>12</sup>。

## 結論

本論文では、必要性に則った仮想サーバを稼働させるために求められる条件や要件を明らかにした。山口県立大学が以前に導入した仮想化基盤で取得したデータを元に、SPARC連携事業で導入したサーバについて、その性能や価格が妥当であることを示した。

また、サーバ導入を行う際に考慮すべき点について、欠点と利点をまとめ、仮想化基盤の更新時の参考となる視点を提供した。

12 仮に、リソースに余裕があるサーバがすでに存在するのであれば費用のメリットは損なわれずに済む。本学は旧式のサーバを冗長構成のために再利用しており費用のメリットは損なわれていないが、旧式のサーバがあるかどうかは偶然に依存するため常に安全な運用ということにはならない。

## 参考資料

The Apache Software Foundation, “ab - Apache HTTP server benchmarking tool”, <https://httpd.apache.org/docs/2.4/programs/ab.html>, 31 Dec, 2023.

AWS Pricing Calculator, [https://calculator.aws/#/?refid=ap\\_card](https://calculator.aws/#/?refid=ap_card), 31 Dec, 2023.

DELL Technologies, “Dell Storage PS4210 Series”, [https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content\\_data-Sheets\\_Documents/ja/jp/FY15Q3\\_87\\_SS\\_DellStorage\\_PS4210\\_122915\\_JA\\_HR.pdf](https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content_data-Sheets_Documents/ja/jp/FY15Q3_87_SS_DellStorage_PS4210_122915_JA_HR.pdf), 31 Dec, 2023.

DELL Technologies, “PowerEdge R630 Rack Server”, [https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content\\_data-Sheets\\_Documents/ja/jp/Dell-PowerEdge-R630-Spec-Sheet-JA-HR.pdf](https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content_data-Sheets_Documents/ja/jp/Dell-PowerEdge-R630-Spec-Sheet-JA-HR.pdf), 31 Dec, 2023.

DELL Technologies, “PowerEdge R650 Rack Server”, <https://www.dell.com/ja-jp/shop/ipovw/poweredge-r640>, 31 Dec, 2023.

Google Cloud 「Linux VM で永続ディスクのパフォーマンスをベンチマークする」, <https://cloud.google.com/compute/docs/disks/benchmarking-pd-performance?hl=ja>, 31 Dec, 2023.

Jens Axboe, “Flexible I/O tester”, <https://git.kernel.dk/cgit/fio/tree/README.rst>, 31 Dec, 2023.

Michael Hawkins, “Releases”, <https://moodledev.io/general/releases>, 31 Dec, 2023.

三井住友銀行 (2018) 「為替相場推移」, <https://www.smbc.co.jp/market/backnumber/fixing/pdf/201810.pdf>, 31 Dec, 2023.

Youtube ヘルプ 「YouTube にアップロードする動画におすすめのエンコード設定」, <https://support.google.com/youtube/answer/1722171>, 31 Dec, 2023.