

DXのためのキャンパスネットワーク改善の必要性

吉永 敦征

山口県立大学国際文化学部

A robust campus network infrastructure serves as a fundamental prerequisite for the implementation of Digital Transformation

Nobuyuki Yoshinaga

Yamaguchi Prefectural University

要旨

本論文の目的は、LMS用に導入したサーバーの性能の計測を通じて、次の二点を明らかにすることである。一つは、今後導入するサーバーの性能の指標を明確にすること、もう一つは本学のネットワーク環境の問題点を把握し、改善点を指摘することである。

今後導入するサーバーの指標については、2022年度に導入したサーバーの検証を通じて暫定的に作成している。その指標は、現在も稼働し続けている2018年度に導入したサーバーと性能の比較を通じて作成したものである。2024年度のサーバーは、2022年度に導入したサーバーに存在したストレージのボトルネックを解決するかたちで導入した。2024年度に導入したサーバーを検証した結果、指標を新しくする必要性と、キャンパスネットワークの構成に問題があることが明らかになった。

Abstract

The purpose of this paper is to clarify two issues revealed through the performance comparison of servers introduced in FY2022 and FY2024. First, it aims to define performance metrics for servers to be introduced in the future; second, it identifies issues within the university's network and concludes that improvement are needed. Regarding metrics for measuring server performance, a provisional set was developed through the verification of servers introduced in FY2022. These metrics were established by comparing them with the servers introduced in FY2018, which remain in operation. Subsequently, the servers introduced in FY2024 were configured to resolve storage issues discovered during that comparison. Verification of the servers introduced in FY2024 shows a need for updating the metrics and areas for improving the campus network design were identified.

1 導入

山口県立大学では学内クラウドを構築し、基幹サービスを担うサーバーをクラウド上に仮想化して導入している。このクラウドシステムは2018年度に導入し、仮想化基盤と呼称して運用を続けている。システムは3台の物理サーバーと2台のSAN、2台のネットワークスイッチから構成されており、ストレージは冗長化したうえで3台の物理サーバーからiSCSI接続を行なっている。仮想化基盤上では、仮想サーバーをKVMで作成し、3台のサーバーのリソースを有効活用するかたちで配置している。

構築の複雑さはあるものの、この構成をとることでハードウェアのメンテナンス作業の煩雑さからは解放されることとなった。しかしながらシステム全体の導入コストが高く継続的な更新を行なうには数年おきに多額の費用がかかるという難点が存在している。

2022年度には、仮想化基盤のリソース不足からLMSを提供するための物理サーバーを導入した。このサーバーはコンピューターの性能向上を踏まえ、2018年度に導入した仮想化基盤と性能的に比較できる程度のもので低価格で導入することを目指した。その結果コストは約1/6程度であるにも拘わらず、その性能は2018年度のシステムの一部匹敵するものを導入することができた。その結果を受けて、今後導入するシステムは仮想化基盤のようなサーバー・SAN・ネットワークスイッチからなるシステムを導入するのではなく、大容量のストレージを有したサーバーとすることが合理的であると判断した[8]。

認証機能を刷新するため、2024年度には新たに物理サーバーを導入することになった。サーバーの選定量

準は2022年度導入のサーバーの検証結果をもとに策定したものである。その際、2024年度に導入したサーバーは、2022年度に導入したサーバーの性能不足であったストレージ性能とネットワーク性能の向上を目指すことを考慮した。

本論文では、2024年度に導入したサーバーの選定基準が妥当であるかどうかを検証するために2022年度のサーバーとの性能比較を行なう。この比較を通じて、第一にサーバーの違いによるボトルネックを明らかにし、今後導入するサーバー選定基準を洗練させ、第二にサーバーの性能を発揮させるためにネットワーク機器のアップデートが必要なこと、ならびにネットワーク構成を変化させることの必要性を明らかにする。

2 サーバーの構成

LMSを稼働させるために2022年度に導入した物理サーバーがLMSサーバー(以下“LMS SV”とする)であり、Shibboleth認証を実装するために2025年度に導入した物理サーバーが認証機能を担うサーバー(以下“Authentication SV”とする)である。それぞれの物理サーバーはサービスの提供に用いるのではなく、複数の仮想サーバーを構築して運用するための基盤として構築している。

2.1 物理サーバーの構成

LMS SVとAuthentication SVの基本性能を下表に示す。両者の大きな違いはストレージの構成とネットワーク性能である。

これはLMS SVを導入した際のボトルネックを解消するために行った選択であり、ストレージの容量をSASの10TBのRAIDからSSDの28TBのRAIDへと拡張しストレージ性能の向上を目指した。また、ネットワーク性能については、LMS SVが1GBaseTのネットワークを4つボンディング¹することで帯域を4倍にしていたのに対し、Authentication SVでは10GBaseTをボンディング²することで帯域を大幅に向上させている。

Table 1: 物理サーバの基本構成

	LMS SV	Authentication SV
CPU	Xeon Gold 6326 @ 2.9GHz * 64	Xeon Gold 5318 @ 2.10GHz * 96
メモリ	256GB	256GB
ストレージ	10TB	28TB
ネットワーク	1GBaseT * 6	10GBaseT * 6

2.2 仮想サーバーの構成

LMS SVには、Moodleを構築するためにアプリケーションサーバーとDBサーバーを2台を仮想サーバーとして稼働している³。サーバーの比較のために、仮想マシンへのメモリやCPUの割り当てを同じにして、Authentication SVにもLMS SVのアプリケーションサーバーとDBサーバーを複製して稼働させた⁴。

Table 2: 仮想サーバの構成

サーバ	LMSAP	LMSDB	ASAP	ASDB
CPU	12	12	12	12
メモリ	64GB	64GB	96GB	96GB
ストレージ	300GB	300GB	2TB	2TB
IP アドレス	136.33	136.32	137.171	137.170

ストレージについてはIO性能の向上のため[7]に、ホストサーバーのディスクを複数のパーティションに分割し、それぞれのブロックデバイスを割り当てている。

1 balance-rrでボンディングをしている

2 導入したProxmoxの制約のためactive-backupでボンディングしている

3 以下、LMS SV内のアプリケーションサーバーを“LMSAP”、DBサーバーを“LMSDB”とする

4 以下、Authentication SV内のアプリケーションサーバーを“ASAP”、DBサーバーを“ASDB”とする

3 仮想サーバーの性能の計測

3.1 ストレージ性能の比較

2023年度に実施した、仮想化基盤とLMSサーバーの性能を比較するため試験と同様のテスト[3]を行なった。テストは「Pattern1」から「Pattern6」の計6回のディスク性能の計測である。

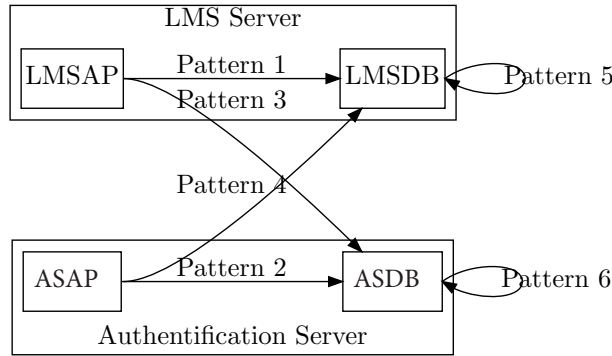


Figure 1: 計測のパターン

3.1.1 ディスク性能の計測結果

並列書き込み、ランダム書き込み、並列読み込み、ランダム読み込みの結果を下記の表にまとめた。

Table 3: ディスク性能の計測結果

並列書き込みの計測結果 (PW)							
Pattern	1	2	3	4	5	6	仮想化基盤
IOPS	94	874	97	97	1578	4386	646
BW (MB/s)	114	934	117	117	1673	4617	695
実行時間 (ms)	69486	61594	69084	69133	60690	60393	61396

ランダム書き込みの計測結果 (RW)							
Pattern	1	2	3	4	5	6	仮想化基盤
IOPS	22.9k	37.0k	24.8k	26.9k	25.3k	48.7k	22.2k
BW (MB/s)	93.8	152	102	110	104	199	90.8
実行時間 (ms)	60011	60007	60010	60011	60623	60002	60011

並列読み込みの計測結果 (PR)							
Pattern	1	2	3	4	5	6	仮想化基盤
IOPS	94	907	96	93	1440	7905	363
BW (MB/s)	114	969	117	113	1527	8308	398
実行時間 (ms)	69509	61024	69133	69034	60998	60151	62834

ランダム読み込みの計測結果 (RR)							
Pattern	1	2	3	4	5	6	仮想化基盤
IOPS	24.8k	32.5k	25.4k	27.8k	15.8k	182k	1278
BW (MB/s)	102	133	104	114	64.6	747	5
実行時間 (ms)	60010	60008	60012	60010	60250	60001	60207

これらの試験から以下の4点が明らかになった。

1. Authentication SV は仮想マシン同士のすべての読み書きについて仮想化基盤を上回っている (Pattern2 と仮想化基盤の比較)
2. Authentication SV は仮想マシン同士のすべての読み書きについて LMS SV を上回っている (Pattern1 と Pattern2 の比較)

3. Authentication SV はストレージ性能において LMS SV を上回っている (Pattern5 と Pattern6 の比較)
4. LMS SV と Authentication SV をたすき掛けにした場合には LMS SV の性能で頭打ちになる (Pattern3 と Pattern4 の比較)

3.2 通信速度の比較

次に仮想マシン間でのネットワーク速度の計測を行った[2]。ネットワーク速度についてはiperf[5]を用い、Appendixに記載したスクリプトでスループットを10回計測した。性能比較は10回の計測の平均値で行なった。下図で示すように8パターンでの通信速度の計測を行なった。

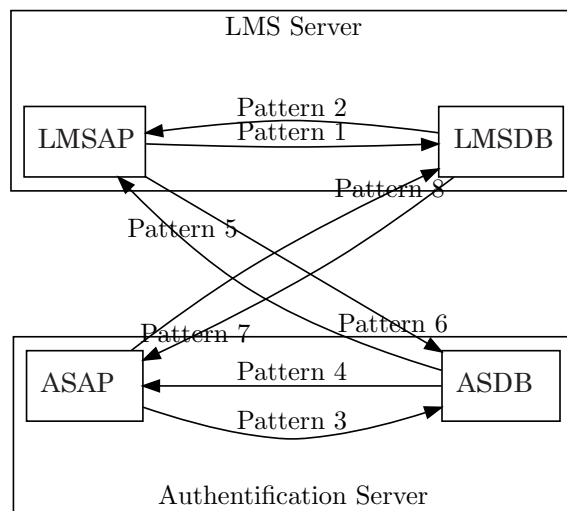


Figure 2: 通信速度の計測のパターン

3.3 通信速度の計測結果

Pattern1 から Pattern8 のデータの計測結果を下記の表にまとめた。

Table 4: 通信速度の比較 (Mbits/sec)

Pattern	1	2	3	4	5	6	7	8
From	LMSAP	LMSDB	ASAP	ASDB	LMSAP	ASDB	ASAP	LMSDB
To	LMSDB	LMSAP	ASDB	ASAP	ASDB	LMSAP	LMSDB	ASAP
1	916	918	8810	8900	936	937	864	938
2	915	917	9110	9360	936	938	861	920
3	914	919	9270	9150	936	937	862	920
4	916	918	9190	9050	917	937	862	938
5	913	917	9140	9360	936	938	863	919
6	916	918	9180	8980	936	938	866	937
7	916	917	9070	9090	936	938	865	918
8	917	918	9250	8850	936	938	862	937
9	916	918	9260	8190	937	938	865	937
平均 (Mbits/sec)	915.44	917.78	9140	8990	934	937.67	863.33	929.33

計測結果から3つのことが明らかになった。

1. LSM Server のスループットは 1000Mbps を超えていないこと (Pattern1,Pattern2)
2. Authentication SV のスループットは 10000Mbps を超えていないこと (Pattern3,Pattern4)

3. LMS SV と Authentication SV 内の仮想マシンをたすき掛けにした場合には 1000Mbps を超えていないこと

(Pattern4,Pattern5,Pattern6,Pattern7,Pattern8)

4 ネットワークセグメント変更後の性能比較表

仮想サーバー同士は異なったネットワークセグメントに配置していたため、これまでの計測ではデータが常に L3 を経由している。そのため、L2 スイッチへの経路および L2 スイッチの性能、さらに L3 への経路と L3 の性能が計測結果に影響する可能性が予測される。そこで、仮想サーバーの IP アドレスを変更し同じネットワークセグメントに配置することにした。LMS SV 内の DB サーバーを 137.171 から 136.146 に変更し moodle のサーバーと同一セグメントに変更した。仮想サーバーを同一セグメント上に設置した場合には仮想化環境内での通信に限定されるため、物理的なスイッチ群の性能を無視して理想的な状態での通信速度を計測することができるからである。

4.1 LMS SV のストレージ性能について

同一ネットワークセグメント内でのディスク性能の計測を上記の計測方法と同様に実施した。比較のために異なったネットワークセグメントで計測した値を左 4 列に記載している。

4.1.1 計測結果

Table 5: ディスク性能比較 (Mbits/sec)

IP Address(From) IP Address(To)	LMSAP							
	136. 146				137. 171			
	PW	RW	PR	RR	PW	RW	PR	RR
IOPS	952	10.1k	541	1504	94	22.9	94	24.8k
BW (MB/s)	1016	41.5	586	6	114	93.8	114	102
実行時間 (ms)	61703	60030	61163	60185	69486	60010	69509	60010

計測結果から 3 つのことが明らかになった。

1. 並列書き込みはおおよそ 10 倍の速度になっている (PW の比較)
2. ランダム書き込みと並列読み込みはおおよそ 5 倍の速度になっている (RW,PR の比較)
3. ランダム読み込みの速度が極端に低下している (RR の比較)

4.2 Authentication SV のストレージ性能について

4.1 の計測方法と同様に同一ネットワークセグメント内でのディスク性能を計測した。比較のために異なったネットワークセグメントで計測した値を左 4 列に記載している。

4.2.1 計測結果

Table 6: ディスク性能比較 (Mbits/sec)

IP Address(From) IP Address(To)	ASAP							
	136. 145				137. 170			
	PW	RW	PR	RR	PW	RW	PR	RR
IOPS	2154	42.5k	2329	37.4k	874	37.0k	907	32.5k
BW (MB/s)	2277	174	2461	153	932	152	969	133
実行時間 (ms)	60396	60007	60447	60007	61594	60007	61024	60008

計測結果から 2 つのことが明らかになった。

1. 並列書き込みと並列読み込みはおおよそ 2.5 倍の速度になっている (PW,PR の比較)
2. ランダム書き込みとランダム読み込みについては大きな変化は無い (RW,RR の比較)

4.3 ネットワーク性能について

次に通信速度の比較を行なった。同一ネットワークセグメント間での通信と異なったネットワークセグメント間での通信を比較した。上記の計測方法と同様にスループットを10回計測し平均値を算出した。

4.3.1 計測結果

Table 7: 通信速度の比較 (Mbits/sec)

IP Address(From)	LMSAP(136.33)		ASAP(136.32)		
	IP Address(To)	136.146(新 LMSDB)	137.171(旧 LMSDB)	136.160(新 ASDB)	137.170(旧 ASDB)
1		32200	916	35500	8810
2		31100	915	30200	9110
3		31200	914	29200	9270
4		54000	916	29500	9190
5		38700	913	30400	9140
6		37600	916	29500	9180
7		38700	916	31600	9070
8		31600	917	30100	9250
9		31900	916	29500	9260
平均 (Mbits/sec)		36333.33	915.44	30611	9140

計測結果から次の2点が明らかになった。

1. 異なったセグメントではイーサネットの通信速度の上限で速度が頭打ちになる
2. 同一セグメントでは物理サーバーの性能に依存するかたちで通信速度が上昇する

5 考察

5.1 ネットワークについて

LMS SV 内に構築した仮想サーバー間での通信速度は916Mbpsであり、Authentication SV 内に構築した仮想サーバー間での通信速度は9065Mbpsになっている。これはおおよそ10倍の速度の違いとなっている。またLMS SV と Authentication SV 内の仮想サーバーをたすき掛けにした場合には通信速度が「935Mbps」と「896Mbps」となっている。

このことから、LMS SV と Authentication SV の間の通信がボトルネックとなっていることが判明した。その際の通信速度の上限はLMS SV のイーサネットの上限の1Gbps以下に抑えられてしまっている。

物理サーバーの構成において記述したが、LMS SV は1Gbpsのイーサネット4本をボンディングをし、見かけ上は最大で4Gbpsでのデータ送信が可能となっている。それに対しAuthentication SV は10Gbpsのイーサネットをactive-backupで使用している。また、仮想サーバーの構成において記述したが、Application Server と Database Server は異なったセグメントに所属している。このため通信は必ずL3スイッチを経由することになる。

つまりネットワーク部分のハードウェアの性能がボトルネックとなっている可能性が指摘できる。

5.2 ストレージについて

LMS SV のストレージ性能の遅さがネットワークに起因していると推測できることから、Application Server と Database Server の2つを同一セグメントに設置し、ストレージ性能の再計測を行った。その結果、LMS SV においてもストレージの性能が仮想化基盤を上回る場面が多くなることが判明した。

このことから仮想サーバーのネットワーク構成にボトルネックがある可能性が指摘できる。

5.3 ボトルネックのありか

Linux 上の仮想サーバーは同じ物理サーバー上の同一のネットワークセグメント上に存在している場合、物理サーバー上の仮想ブリッジを通じて通信が行われる。物理インターフェースや外部のL2に依存することはない。このことは、LMS SV 上の仮想サーバーを同一のL2セグメントに設置し直した場合には、通信速度は39.3Gbpsを記録したことから明らかである。また、通信速度の最大値が上がることでディスク性能も向上

したことから、LMS SV のボトルネックはストレージにあるわけではなく、ネットワークにあることが分かる。つまり、物理的なネットワークの速度の遅さにサーバーの性能が打ち消されていたのである。

6 結論：ネットワークの再設計の必要性

サーバーのボトルネックを解消するためにたとえ仮想サーバーを同一セグメント上に配置したとしても、クライアントからのアクセスは依然としてボトルネックとなっているネットワークを経由せざるをえない。これは、サーバーのチューニングで対応できる範囲外に問題が存在することを意味し、改善を図るためにはボトルネックとなっているネットワークの見直しが必要である。そのため、LMS を始めとしてさまざまな基幹サービスを提供するサーバー群は高速なネットワーク上に配置する必要がある。そうしなければ、サーバーの性能を発揮できないからである。

以上のことから、サーバーラーム内に設置している L2 スイッチを 10Gbps 以上のポートを持つ機器へと更新しなければ、サーバーの性能を無駄にすることとなる。

しかしながら、ネットワークは常に速度が向上するものである。2016 年に導入した当初はボトルネックではなかった機器が 10 年後にはすでにボトルネックになっている。現状でのボトルネック解消の手段が 10 年後のボトルネックとなることが予想できるのであれば、対処療法的に問題を解消するのではなく、10 年後の標準を目指すべきである。それが 10 年後の安定したネットワーキングを提供することにつながる。

現在の学術情報ネットワークでは最大 400GE から 1GE での広域での相互接続を提供している。北キャンパスネットワークの設計を行なった 2016 年は SINET5 の運用の時期と重なり大規模校へ 100GE が普及し始める時期であった。その時点で本学が選択した 10GE での対外的な接続は小規模校としては先進的であった。

しかしながら、現在の学術情報ネットワークは SINET6 へと移行し大規模校の 400GE への移行が始まっている。2025 年度のアクセス回線数は 10GE が最も多く 992 となっている [1]。この時点で 10GE の通信速度に留まることは、これから先の変化に対応できない可能性を含んでしまう。これらの背景を踏まえると、10 年後には 400GE が対外接続として標準となることが予想され、それに合わせて学内ネットワークも同等のスケールアップを図る必要がある。特に DX を真剣に受け止めるのであれば、大量のデータの共有と処理 [6] は真先に整備しなければならないインフラ [4] だからである。

References

- [1] 明石 修「SINET6 の現状報告」, 学術情報基盤オープンフォーラム ,2025,https://www.nii.ac.jp/openforum/2025/day2_5.html
- [2] 池本健人, 藤井拓, 藤井哲郎「キャンパス・ネットワークの通信品質評価」『東京都市大学横浜キャンパス情報メディアジャーナル』, 2015, Vol.4, No.16
- [3] 「Linux VM で Persistent Disk 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,31Dec,2025>.
- [4] Jialing Chen, Jiancheng Wang, "The impact of broadband speed on innovation: City-level evidence from China," Heliyon, Vol.9, Issues 1, 2023
- [5] Jon Dugan, Seth Elliott, Bruce A. Mah, Jeff Poskanzer, Kaustubh Prabhu. Additional code contributions have come from (also in alphabetical order): Mark Ashley, Aaron Brown, Aeneas JaiBle, Susant Sahani, Bruce Simpson, Brian Tierney." iPerf - The ultimate speed test tool for TCP, UDP and SCTP" , <https://iperf.fr/>
- [6] Minghao Xu, Yufei Zhang, Haoran Sun, Yuanxiu Tang, Junjun Li." How digital transformation enhances corporate innovation performance: The mediating roles of big data capabilities and organizational agility Author links open overlay panel," Heliyon, Vol.10, Issue 14, 2024
- [7] 水野和彦, 今田貴之「仮想環境における I/O 性能評価及び最適化手法提案」『コンピュータシステム・シンポジウム論文集』, 2016, pp.86-93
- [8] 吉永敦征「学習支援システムに適切な設備投資について」『山口県立大学学術情報』, Vol.17, 2024, pp.69-80

DXのためのキャンパスネットワーク改善の必要性

A ネットワーク速度計測のシェルスクリプト

```
#!/bin/bash
NUMBER=0
MAXNUM=10
IP=
while :; do
    NUMBER=`expr $NUMBER + 1`
    if [ "$NUMBER" -eq "$MAXNUM" ]; then
        exit 1
    fi
    echo $NUMBER
    COMMAND="iperf -c $IP"
    $COMMAND
    sleep 30s
done
```