

# PC のデータアクセス高速化の現状と 情報教育活用についての研究

大 道 卓

## 要旨

現時点で入手可能な PC 用補助記憶装置を用いてどの程度高速なデータ転送速度を実現できるのかを検証した。用いた装置として特に注目したのは、PCIe × 16 接続 RAID カードおよび第 4 世代 PCIe での RAID0 の 2 種類の接続機構である。その他の代表的な補助記憶装置をも計測の対象とし結果を比較した。データ転送速度の計測には 3 種類の転送速度計測ソフトを用いた。計測した結果から PCIe × 16 接続 RAID カードでは一般的に利用されている PC と比較し約 30 倍の転送速度を実現していることが確認できた。また、OS の実行速度に影響を与える小容量データの書き込み速度では、第 4 世代 PCIe での RAID0 環境が最速になることも確認できた。また、これらの転送速度計測は PC パーツを組み立てて行うが、この作業を授業の一環として採用し、情報教育に活用できることも検証した。本稿はこれらの一連の作業の実践報告である。

キーワード：データ転送速度、PCIe 接続、RAID、NVMe、SSD、情報教育

## 第 1 章 はじめに

### 1. PC ハードウェア教育の動向

本学の情報科学専攻演習の一つのテーマとして PC 作成を行ってきたが、この目的は学生の PC 構成要素およびその性能や機能の理解を深め、また PC 動作原理解を高めることにある。この方法と同一の方法を用い、授業内で PC 組み立てを行わせ教育を行っている大学としては山梨大学工学部コンピュータ・メディア工学科、四日市大学環境情報学部さらに江戸川大学情報文化学科等の実践が報告されている。また、教育効果については江上邦博 (2010) や檀裕也 (2015) が研究し教育上の効果が検証されている。

これらの教育は一般的な PC 部品に基づく内容が大半であった。一方、PC パーツに採用される技術は新規開発のものが次々に実用化されているが、最新のものを授業内で用いるには至っていない。その理由の一つには授業内で PC 作成を行うためには、あらかじめ組み立て方法およびその性能を検証しておかないといけないことがあげられる。新規機能

を実現するには最新機器を用い、性能および組み立て方法を十分検証しておく必要がある。本研究は、市販されているPCパーツを組み合わせ、どの程度高い性能のPCを作成することができるかを検証し、その結果を教育で活用することである。最新機器を教材に用いることは、体系だった知識の育成だけではなく、最新技術の動向を理解させることも可能となる。

## 2. データアクセス技法の動向

PCの高性能化は様々な利用形態が進む中で、多くの技術が継続的に開発され実用化されてきた。主な開発項目としては、CPUの高性能化（高クロック化、マルチコア等）、記憶装置のデータ転送速度の高速化、さらにグラフィックの高速高精度表示等である。CPUの高性能化に関して、最近ではマルチコアが注目され、並列処理能力を向上させることが注目されている。さらにCPUに画像表示モジュールを追加し、演算および描画を同一CPUで行う方式も実用化されている。

一方記憶装置のデータ転送速度高速化に関する取り組みとしては、ハードディスクに代わるフラッシュメモリーを用いたSSDの実用化、SSDやハードディスク接続方式の高速化およびその規格化、RAID技術の実装等である。SSDに関してはその構成モジュールの研究開発が進み、SLCに始まりMLC、TLC、最近ではQLCまで実現され、高速化および大容量化が進められている。SSDの接続規格としてはSATA2.0からSATA3.0が実現され600MB/sまでの転送速度高速化が図られてきた。一方PCI Express接続でSSDを接続する技術も実現され、PCI Express×4のM.2接続でのNVMe方式では4GB/sのアクセス速度を実現している。2019年にはこのPCI Expressに新しい規格（第4世代：PCIe 4.0）が登場し、それまでのデータ転送速度を倍にする技術が実現された。NVMe SSDで一般的に用いられる4レーンの場合は $2\text{GB/s} \times 4 = 8\text{GB/s}$ になる。

以上の高速化状況にある中で、本研究では、特に記憶装置の高速化に着目し、現状でどの程度高速アクセスが可能であるのかを検証する。具体的にはM.2接続SSD（NVMe接続）4枚をRAIDカードにRAID0にて実装し、さらにこのRAIDカードをPCI Express接続によりマザーボードに装填する方法をはじめに検証する。この方式をサポートしているCPUおよびマザーボード上のコントローラはAMD Ryzen ThreadripperとX399である。メーカーの報告によるとアクセス速度はSATA3.0ハードディスク単体の60倍に達している。この速度を実測することが一つの研究目的である。さらに最近のPC環境では第4世代PCI Expressを持つマザーボードおよび対応するCPUやNVMe M.2 SSDが出荷されるようになった。これらの中で特にM.2 SSD 2枚によるRAID0をマザーボード上で実現することも可能になった。この環境も上記RAIDカードとともに、高速データアクセス環境のテーマとして取り扱うことは意義がある。

## 第2章 計測環境

### 1. データ転送速度計測環境

今回の研究では以下の7種類の環境においてデータ転送速度を計測した。

#### (1) ULTRA QUAD M.2 CARD を用いた接続 (以下 ULTRA QUAD と記す)

Asrock 社製の ULTRA QUAD M.2 CARD は、Intel Core X や AMD Ryzen Threadripper などのハイエンドデスクトップ向けプロセッサ利用環境で、PCI Express × 16 レーンを有効に活用し最大4枚の NVMe M.2 SSD をカード内で RAID0 接続にて高速データアクセス環境を実現することを目的とした拡張カードである。上記接続を実現するチップセットは Intel X299 もしくは AMD X399 である。今回測定を行った PC で利用した主な構成は以下の通りである。

- CPU：AMD 社製 Ryzen Threadripper 1920X (12 コア、定格クロック 3.5GHz、最大クロック 4GHz)
- マザーボード：ASRock X399 Taichi
- RAID カード：ASRock ULTRA QUAD M.2 CARD (PCIe 3.0 × 16 レーン対応)
- SSD：SAMSUNG 970EVO PLUS NVMe M.2 (TLC (3bit MLC)、Phoenix Controller、読み込み速度最大 3500MB/s、4 枚、合計 1TB)
- メモリー：DDR4-2666 (PC4-21300) 16GB

#### (2) 第4世代 PCI Express で RAID0 を構成した接続 (以下 Gen4 RAID0 と記す)

第4世代 PCI Express (PCIe 4.0) は2019年夏に出荷開始された新しい接続規格である。PCIe 4.0 は、これまで利用されてきた PCIe 3.0 の帯域を倍に引き上げたものである。PCIe × 1 レーンでは旧規格では 1GB/s だったが PCIe 4.0 では 2GB/s になった。NVMe SSD で一般的に用いられる 4 レーンで見た場合の論理値は 8GB/s になる。この接続規格を利用するためには AMD X570 チップセットが必要であり、必然的に CPU は第3世代以降の Ryzen シリーズになる。また、当然ではあるが NVMe SSD は PCIe 4.0 に対応したものが必要となる。

今回の計測では、単に1枚の NVMe SSD を接続するだけでなく、マザーボード上の RAID コントローラを用い、RAID 構築を行うことを試みた。用いた PC パーツの主なものは以下の通りである。

- CPU：AMD Ryzen7 3700X (8 コア、定格クロック 3.6GHz、最大クロック 4.4GHz)
- マザーボード：AsRock X570 TAICHI (チップセット AMD X570)
- SSD：CFD PG3VNF CSSD-M2B5GPG3VNF (3D TLC、コントローラ Phison PS5016-E16、2 枚、合計 1TB、M.2、Type2280、読み込み速度最大 5000MB/s)
- メモリー：F4-3600C19D-16GSXWB [DDR4 PC4-28800 8GB 2 枚組]

**(3) 第3世代 PCI Express の NVMe M.2 接続 SSD (以下 NVMe M.2 と記す)**

第3世代 PCI Express を利用し、NVMe M.2 接続 SSD を単体で接続して計測した。用いた PC のスペックは以下の通りである。

- CPU : Intel Core i7-6700K (4 コア、定格クロック 4GHz、最大クロック 4.2GHz)
- マザーボード : Gigabyte Z170X-UD5-CF (チップセット Intel Z170、LGA1151 対応)
- SSD : Samsung SSD 960 Pro (3D NAND MLC、コントローラ Samsung Polaris、M.2、Type2280、容量 1TB、読み込み速度最大 3500MB/s)
- メモリー : CORSAIR DDR4-2666MHz VENGEANCE LPX Series 8GB × 2 枚キット

**(4) 市販 PC (SSD 内蔵) の SATA3.0 接続 (以下基準 PC (SSD) と記す)**

データ転送速度の比較基準として一般に販売されている PC を採用した。対象とした PC は HP Compac Elite 8300 であり、CPU は Core i5 3570、SSD は容量 120GB の Micron 製 SSD の C400 MTFDDAK128MAM-1J1 である。接続は SATA3.0 (SATA600) であり OS が導入されている。SATA3.0 接続は 2009 年に制定された Serial ATA 規格であり、論理的データ伝送速度は 6Gbps となっている。PC 内部の SSD や HDD、光学ドライブ等の接続に用いられている。なお、誤り訂正ビット等をも含むために実効転送速度は 600MB/s である。

**(5) HDD の SATA3.0 接続 (以下 SATA3.0 HDD と記す)**

計測に利用した HDD は TOSHIBA DT01ACA100 で SATA3.0 接続であり、OS はこのドライブには導入されていない。速度計測のために事前にデフラグを実行しフラグメンテーションの影響を少なくした。用いた PC のその他のスペックは以下の通りである。

- CPU : Intel Core i7-6700 (4 コア、定格クロック 4GHz、最大クロック 4.2GHz)
- マザーボード : Gigabyte Z170X-UD5-CF (チップセット Intel Z170、LGA1151 対応)
- メモリー : CORSAIR DDR4-2666MHz VENGEANCE LPX Series 8GB × 2 枚キット

**(6) USB3.0 接続 USB メモリー (以下 USB3.0 接続と記す)**

USB3.0 対応の USB メモリーを USB3.0 ポートに接続し計測した。使用した USB メモリーは SanDisk Extreme Pro (USB3.0 対応) である。用いた PC のその他のスペックは (5) と同じである。USB3.0 接続規格は高速 USB 接続を目的に定められたものであり、5Gbps の論理的転送速度であり、実効速度としては最大 600MB/s のデータ転送速度である。

**(7) USB2.0 接続 USB メモリー (以下 USB2.0 接続と記す)**

USB3.0 対応の USB メモリーを USB2.0 ポートに接続し計測した。使用した USB メモリーは (6) と同じ SanDisk Extreme Pro (USB3.0 対応) であり、用いた PC のその他のスペックは (5) と同じである。USB2.0 接続規格は 2000 年に策定されたものであり、480Mbps の論理的転送速度の規格であり、実効速度としては最大 60MB/s となる。

## 2. アクセス速度測定ベンチマークソフト

上記7項目でのデータ転送速度測定を行うために以下の3種類のベンチマーク環境を用意した。なお(1) Crystal Disk Mark V7.0は7項目すべてを対象とした測定を行い、(2) ATTO Disk Benchmarkと(3) バッチプログラムによる測定は基準PCより高速アクセスを実現している環境に対してのみ測定した。なお、M.2 SSDは高温になるとアクセス速度が低下する場合もあるので、連続利用を避け、常温環境で電源を入れた直後に行った。

### (1) Crystal Disk Mark V7.0

データ転送速度計測で一般的に利用されているベンチマークソフトとしてCrystal Disk Mark V7.0 (64ビット、以降CDM7と記す)がある。このベンチマークソフトはひよひよ氏作成のフリーソフトであり、以下の測定項目を有している。

- ① SEQ1M Q8T1: マルチキュー (8Queues) を1スレッド (1Thread)、ブロックサイズ1024KiBを連続して読み込む (Read) もしくは書き込む (Write) 際のデータ転送速度を、1秒間あたり何MBであるのかを計測する。
- ② SEQ1M Q1T1: シングルキューおよび1スレッド、ブロックサイズ1024KiBを連続して読み込むもしくは書き込む際のデータ転送速度を、1秒間あたり何MBであるのかを計測する。
- ③ RND4K Q32T16: 32個のマルチキュー (32Queues) を16スレッド (16Thread)、ブロックサイズ4KiBでランダムに読み込むもしくは書き込む際のデータ転送速度を、1秒間あたり何MBであるのかを計測する。
- ④ RND4K Q1T1: シングルキューおよびシングルスレッドでブロックサイズ4KiBの命令をランダムに読み込むもしくは書き込む際のデータ転送速度を、1秒間あたり何MBであるのかを計測する。

なお、計測回数、計測に用いるデータサイズ、対象とするドライブ等も指定することができる。

### (2) ATTO Disk Benchmark

ATTO Disk Benchmark (以下ATTOベンチマークと記す)はATTO Technology, Inc.が作成・公開しているディスクアクセス速度計測のフリーソフトである。異なるサイズの複数のデータを用い、各データをディスクに1秒間でRead/Writeするデータ転送速度がグラフ表示され、計測結果もMB/sもしくはGB/s単位の値が示される。データサイズでの書き込み/読み込み速度を議論することができる。

### (3) バッチプログラムによる測定

容量の異なるデータファイルを作成し、複数回コピーするのに要する時間を測定するバッチプログラムを作成した。データの大きさとコピー回数は以下の通りとした。①



3MB × 30 回、② 3GB × 3 回、③ 10GB × 3 回。

### 第3章 計測結果

#### 1. CDM7 測定結果

CDM7 の測定結果の代表例として図 3-1 に ULTRA QUAD の結果を示した。今回の測定は7種類の項目についてすべて同一の測定方法で行った。書き込みデータ容量は正確性を確保するため大容量の 32GiB とし、計測を9回繰り返すモードにした。CDM7 の測定はこの繰り返しの中でのピーク値が計測結果になる。このベンチマークを3回実施することにより、27回計測の最大値を各項目の測定値とした。表 3-2 が得られた CDM7 測定結果である。

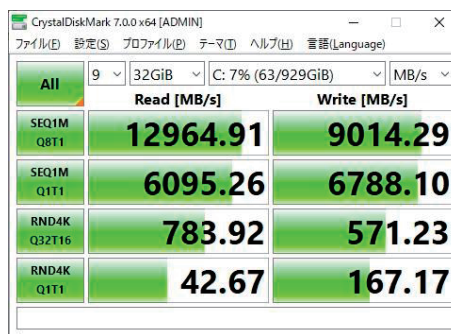


図 3-1 ULTRA QUAD の計測結果

対象	Read(MB/s)				Write(MB/s)			
	SEQ1M Q8T1	SEQ1M Q1T1	RND4K Q32T16	RND4K Q1T1	SEQ1M Q8T1	SEQ1M Q1T1	RND4K Q32T16	RND4K Q1T1
ULTRA QUAD	12984.28	6310.86	851.55	42.67	9413.45	6853.22	576.21	181.26
Gen4 RAID0	8360.90	5529.33	1480.60	56.51	4962.23	5060.75	1077.46	312.10
NVMe M.2	3342.83	1626.99	1830.64	32.71	2080.46	1456.05	1415.85	106.24
基準PC(SSD)	462.92	439.37	288.62	26.47	194.84	193.57	110.40	67.62
SATA3.0 HDD	197.11	195.65	0.76	0.47	195.22	194.19	0.83	0.82
USB3.0接続	264.06	245.17	10.89	7.19	234.02	229.03	13.16	11.46
USB2.0接続	43.20	42.37	8.76	6.76	33.55	44.03	12.95	11.41

表 3-2 CDM7 測定結果

#### (1) ULTRA QUAD の測定結果

ULTRA QUAD M.2 CARD に SAMSUNG 970EVO PLUS SSD4 枚を接続して RAID0 を構築した。このドライブを C ドライブとして Windows 10 Home を導入した。このドライブを用い CDM7 を計測した結果を表 3-2 に示す。NVMe SSD4 枚の RAID0 接続の論理的上限 (14GB/s) に近い値を SEQ1M Q8T1 Read で得ていることがわかる。

#### (2) Gen4 RAID0 の測定結果

CFD PG3VNF CSSD-M2B5GPG3VNF 2 枚を AsRock X570 TAICHI の M.2 コネクタに接続して RAID0 を構築した。このドライブを C ドライブとして Windows 10 Home を導入した。このドライブを用い CDM7 を計測した結果を表 3-2 に示した。PCIe 4.0 NVMe SSD2

枚の RAID0 接続における論理的上限 (10GB/s) に近い値を SEQ1M Q8T1 Read で得ていることが確認できる。

### (3) NVMe M.2 の測定結果

NVMe 接続の Samsung SSD 960 Pro を PCIe Gen3 接続機能を有する GIGABYTE Z170X-UD5-CF の M.2 コネクターに接続し、このドライブを C ドライブとして Windows 10 Home を導入した。このドライブでの CDM7 の計測結果は表 3-2 の通りである。PCIe 3.0 NVMe SSD の論理的上限 (3500MB/s) に近い値を SEQ1M Q8T1 Read で得ている。

### (4) 基準 PC (SSD) の測定結果

表 3-2 に基準 PC (SSD) での CDM7 結果を示した。この値は一般的な PC のデータアクセス速度と考えてよいであろう。SATA3.0 の規格で接続された Micron 製の SSD を用いている PC であるが、SEQ1M Q8T1 Read の値は 460MB/s となり、SATA3.0 の転送速度上限 (600MB/s) に近い値を得られていることがわかる。

### (5) SATA3.0 HDD の測定結果

表 3-2 に SATA3.0 接続の HDD (TOSHIBA DT01ACA100) での CDM7 結果を示したが、この値は一般的な HDD のデータアクセス速度と考えてよいであろう。SEQ1M Q8T1 Read の値は 200MB/s となり、SATA3.0 の実効転送速度上限 (600MB/s) に比べた場合、接続規格の問題ではなく HDD そのもののデータアクセス速度の限界が出ていると考えられる。注意すべき点は SEQ1M Q8T1 Write の値は Read 値とほぼ同じと言うことであり、これは SSD と比べた場合の HDD の特徴の一つでもある。またシーケンシャルアクセスではそれほど遅い値にはなっていないが、ランダムアクセスになると極端に転送速度が遅くなっていることが確認できる。これは物理的なアクセスを行う必要がある HDD の性能限界が出ていると言える。

### (6) USB3.0 接続の測定結果

USB3.0 接続の USB メモリー (SanDisk Extreme Pro) での CDM7 結果を表 3-2 に示した。この値は一般的な USB メモリーに比べて高速であると考えてよいであろう。SEQ1M Q8T1 Read の値は 255MB/s となり、SATA3.0 接続の SSD の値と比較できる速度を提示し HDD よりも高速アクセスを実現している。USB3.0 の実効転送速度上限 (600MB/s) を考えても、USB メモリーとしては高速アクセスを行っている結果になっている。

### (7) USB2.0 接続の測定結果

表 3-2 に USB2.0 接続の USB メモリー (SanDisk Extreme Pro) での CDM7 結果を示した。この値は USB3.0 の高速 USB メモリーを用いても接続方式が USB2.0 の場合は接続方

式がボトルネックとなり高速アクセスが妨げられている結果になっている。

## 2. ATTO Disk Benchmark での計測結果

ATTO ベンチマークで得られた結果は以下の通りである。

### (1) ULTRA QUAD

図3-3はULTRA QUADのATTOベンチマーク結果である。データ容量が小さい場合はデータ転送速度に優位性を認めることはできないが、データ容量が大きくなるにつれて転送速度が向上していることを確認することができる。特に1MB以上の場合の読み込み速度は高速化されており Gen3 PCIe × 16 の限界速度 15.7GB/s に近い値を示している。また、NVMe SSD4 枚での RAID0 接続の論理的上限 (14GB/s) にも近い値となっていることは特筆できる。

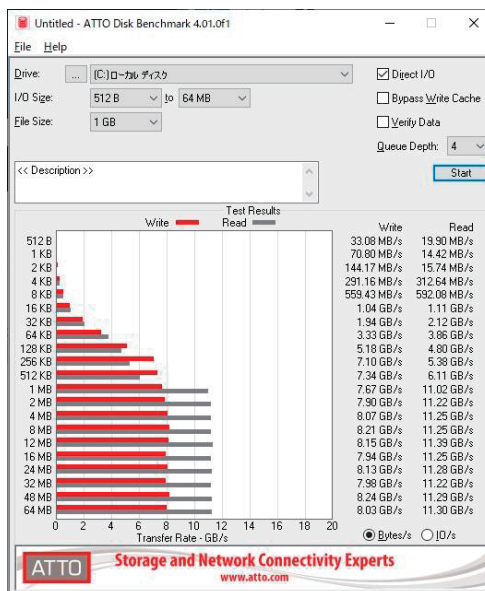


図3-3 ULTRA QUADのATTOベンチマーク結果

### (2) Gen4 RAID0

図3-4はGen4 RAID0のATTOベンチマーク結果である。データ容量が小さい場合はデータ転送速度に優位性を認めることはできないが、データ容量が大きくなるにつれて転送速度が向上していることを確認することができる。特に64KB以上の場合の読み込み速度が高速化されていることが特徴である。この場合、転送速度はGen4 PCIe × 4 の限界速度 7.877GB/s に近い値を示している。また、利用した NVMe SSD2 枚での RAID0 接続の論理的上限 (10GB/s) と比較できる値を確認することができる。

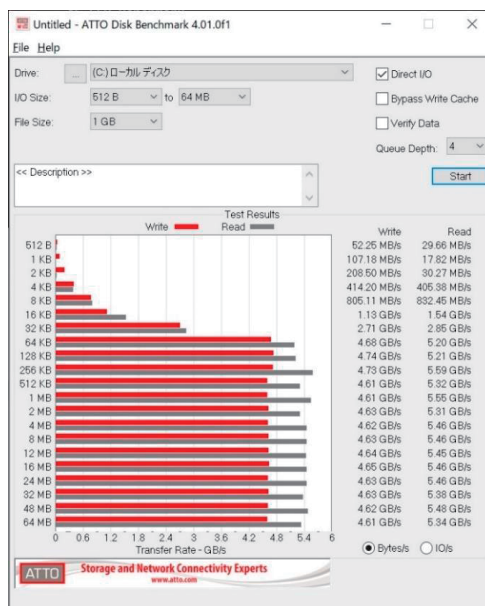


図3-4 Gen4 RAID0のATTOベンチマーク結果



### (3) NVMe M.2

図3-5がNVMe M.2のATTOベンチマークの結果である。データ容量が32KB以上で高速転送速度になるが、読み込みの上限は3GB/s程度である。Gen3 PCIeの4レーンの上限値3.938GB/sおよび利用しているSamsug M.2 SSDの上限値3.5GB/sと比較した場合、高い転送速度が得られていることを確認できる。

### (4) 基準 PC (SSD)

図3-6が基準PCでのATTOベンチマークの結果である。データ容量が16KBから高速になっていることを認めることができるが、上限は440MB/s程度である。このPCはSATA3.0を用いており、実効転送速度上限は600MB/sであり、この環境では性能を発揮していると認めることができるが、やはりPCIe接続を用いた他の環境と比較すると低い値に留まっている。

## 3. バッチプログラムによる計測結果

前節と同じ環境にて、実際のPC作業環境に近い形で速度を計測するためにバッチプログラムを作成した。作成したプログラムは、① 3MB × 30、② 3GB × 3、③ 10GB × 3でありそれぞれのコピーに要する時間を計測した。3MB × 30は、デジカメ撮影ファイルの平均的な容量である3MBを30枚コピーする時間を想定したものである。3GB × 3は、1080pHD/30fpsの動画30分程度のファイルを3回コピーする時間を考えている。10GB × 3は、4K/30fpsのビデオ30分程度の動画ファイル3回コピーする時間を想定している。表3-7は要した時間を1/100秒単位で表したものである。ULTRA QUAD、Gen4 RAID0、NVMe M.2もすべて基準PCより短時間で作業を終えていることがわかる。特にGen4 RAID0の書き込み時間は短時間である。

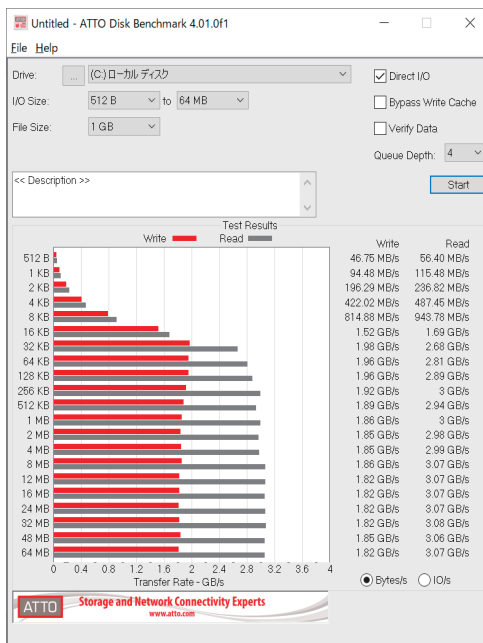


図3-5 NVMe M.2のATTOベンチマーク結果

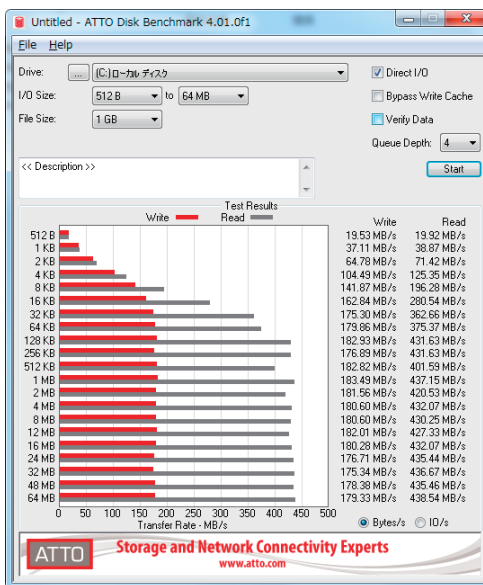


図3-6 基準PCのATTOベンチマーク結果

	ULTRA QUAD	Gen4RAID0	NVMe M.2	基準PC(SSD)
3 MB×30	0.09	0.08	0.11	0.27
3 GB×3	7.96	5.40	12.09	67.98
10GB×3	27.30	17.45	21.58	189.20

表 3-7 バッチプログラム計測結果 (秒)

## 第 4 章 計測速度の比較

ここでは 3 章での計測結果を比較検討する。

### 1. CDM7 測定結果の比較

7 種類の環境での CDM7 測定結果を用いデータ転送速度を比較することができる。用いる指標は SEQ1M Q8T1 Read の値および RND4K Q1T1 Write の値とした。図 3-8 は SEQ1M Q8T1 Read の計測結果を基準 PC (SSD) の結果を 1 としたときの比較結果である。ULTRA QUAD では NVMe M.2 SSD 4 枚が RAID 構築されたものであるが、基準 PC (SSD) に比較すると約 30 倍高速のデータ転送環境を実現していることがわかる。また、第 4 世代 PCI Express 接続の NVMe SSD2 枚で構成した RAID も約 17 倍の高速化を実現している。

図 3-9 は RND4K Q1T1 Write の速度比較を基準 PC (SSD) の結果を 1 としたときの比較結果である。ここでの書き込み速度に関する比較では、ULTRA Quad より Gen4 RAID0 の方が高速であり基準 PC と比較すると 4.55 倍高速化されるという結果

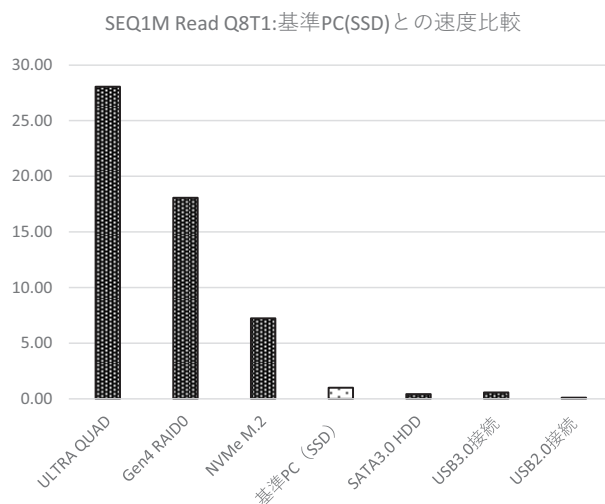


図 3-8 SEQ1M Q8T1 速度比較

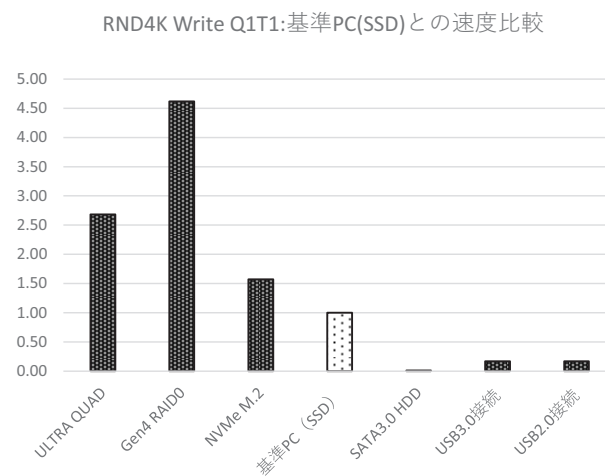


図 3-9 RND4K Q1T1 Write 速度比較

になった。このRND4K Q1T1は4K単位の書き込みの速度を表しているのでOSのページング等速度の指標になると考えられる。この結果から、PCIe Gen4でRAID0構築は効果を発揮していると言うことが可能である。

## 2. ATTO ベンチマークでの比較

ULTRA QUAD、Gen4 RAID0、NVMe M.2 さらに基準 PC の ATTO ベンチマーク結果を比較した。図3-10にRead速度の比較、図3-11にWrite速度の比較が示されている。PCIe接続の場合、データ容量が少ない場合は大きな差を見ることはできない。64KB以上になった場合RAIDの効果が見られるようになる。さらに、1MB以上のファイルの場合ULTRA QUADの高速データ転送の性能が発揮されており、基準PCと比較した場合26倍のデータ転送速度となっている。図3-11のWrite速度比較もReadと同様に64KBからRAID効果を確認することができる。ULTRA QUADの4枚RAID効果は発揮されるのはデータ容量

256KBからであり、基準PCと比較した場合、40倍以上の速度となっていることがわかる。一方、Gen4 RAID0との速度差はそれほど大きくなく1.7倍に留まっている。

## 3. バッチプログラムでの比較

表3-7の結果から、小容量ファイルの書き込み時間(3MB×30)の比較を行ったものが図3-12、3GBファイルの書き込み時間(3GB×3)の比較を行った結果を図3-13に、さらに大容量ファイルの書き込み時間

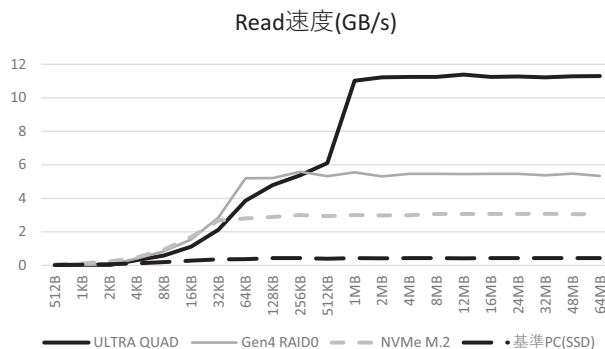


図3-10 ATTO ベンチマーク Read 速度比較

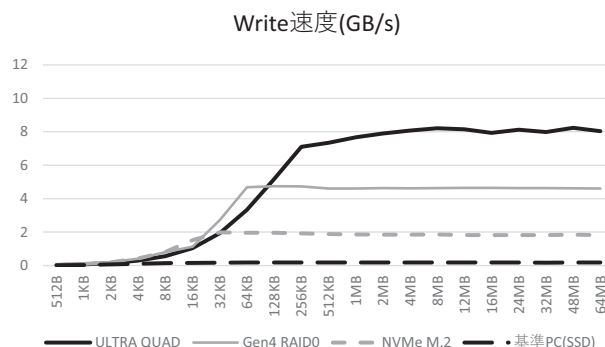


図3-11 ATTO ベンチマーク Write 速度比較

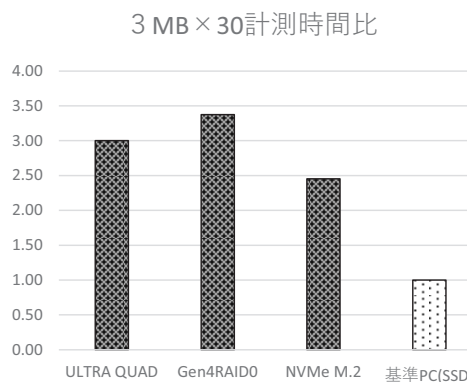


図3-12 3MB x 30 速度比較

(10GB×3)の比較を図3-14に示した。いずれも基準PCの値を1として比較した結果である。PCIe接続の環境はSATA3.0の接続環境よりも高速に書き込みを行っていることを確認することができる。特に、3MB×30の場合でGen4 RAID0は基準PCと比較して約3.5倍高速であり、大容量の3GBでは12倍強の書き込み速度を確認することができる。特筆すべき結果として、CDM7測定結果では最も高速であったULTRA QUADにおいて3GB×3や10GB×3の大容量ファイル書き込みでの高速性が再現されないことである。この原因は定かではないが、ULTRA QUADのRAIDコントローラの特性もしくは用いているSAMSUNG 970EVO PLUSのIntelligent TurboWriteに起因するのではないかと考えられる。今回計測に用いている250GBの970EVO PLUSでは、フラッシュメモリーの一部を擬似的にSLCとして扱って書き込み時のキャッシュとして利用し、書き込み速度を向上するIntelligent TurboWrite機能を有している。この際のIntelligent TurboWrite向けに確保される容量は標準で4GBであり、この容量以内ではシーケンシャルライト速度は1500MB/sであるがこれを超えると300MB/sになる。

## 第5章 教育での利用

PCパーツに採用される技術は新規開発のものが次々に実用化されているが、最新のものを授業内で用いるには至っていない。その理由の一つには授業内で実現するためには、あらかじめ組み立ておよびその性能を検証しておかないといけないことがあげられるであろう。新規機能を実現するには最新機器を用い、性能および組み立て方法を十分検証しておく必要がある。

ULTRA QUAD M.2 CARDを用いた接続のテーマは卒業研究のテーマとした。PCパーツを購入し、PCを組み立てた後、ULTRA QUAD M.2 CARDを用いたRAID環境の構築を行い、その内容を卒業研究にまとめさせた。また、第4世代PCI ExpressでRAID0を構成した接続のテーマは、専攻演習のテーマとした。履修学生を指導しながらPC組み立てを行

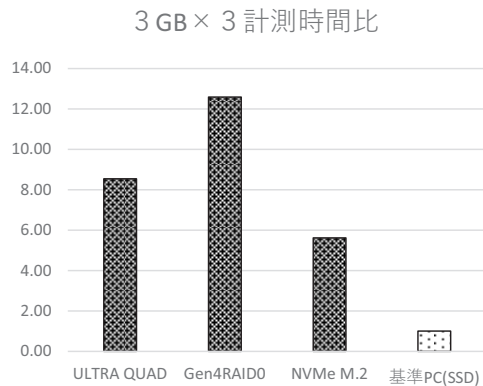


図3-13 3GB×3速度比較

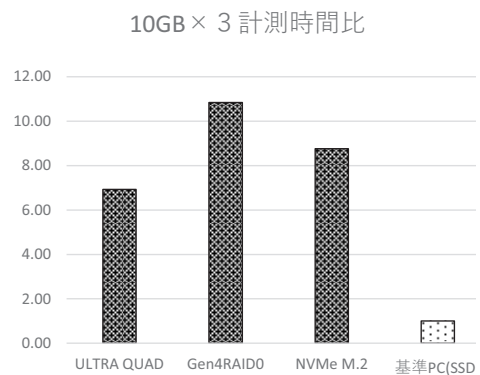


図3-14 10GB×3速度比較

い、RAID 構築やデータアクセス速度計測等をゼミ論にまとめさせた。

これらの実践的な教育内容は、作業内容が可視化され、結果もベンチマークソフト等によって数値的に評価することができるようになる。様々な問題やトラブルに遭遇することにより、問題解決能力の育成にもつながったと考えている。特に最新版 BIOS の導入、OS の Update、RAID BIOS 環境の構築等は問題点の把握、解決策の検討およびその実践等で時間も必要であったが、明確な成果を出すことができた。

## 第6章 まとめ

本研究では、PCIe × 16 接続 RAID カードおよび第4世代 PCIe での RAID0 の2種類の接続機構に特に注目して、PC のデータ転送速度を計測した。その結果を他の代表的な補助記憶装置の転送速度と比較した。その結果以下の項目を明らかにすることができた。① PCIe × 16 接続 RAID カードを用いた環境は基準 PC と比較し約 30 倍の速度となっている。② 第4世代 PCIe での RAID0 接続環境は小容量のデータ転送時には PCIe × 16 接続 RAID カードと比較しても高速書き込みを実現している。以上の高速データ転送環境を実現することは、プログラムや OS の起動時間の短縮化、動画等の大容量データの高速転送、OS のページングの高速化等を実現することとなり、PC 利用環境を向上させることが可能となる。これらの技術をサーバー構築に用いた場合、同時期に多数のユーザーアクセスを可能とするシステムを実現する事も可能になる。

第4世代 PCIe 接続技術に関しては、新しい機器が開発され利用可能となっている。2020年10月には、転送速度が7GB/s の NVMe M.2 SSD (Samsung 980 PRO 1TB PCIe Gen 4.0 × 4) も発表され、ますます高速化が進められている。これからも CPU の高速化、SSD の高速化、GPU の高速化等が進むことが期待されているので研究対象とする計画である。

本稿は 2019 年度学内学術研究振興費の補助を用いて研究を行った報告である。

## 参考文献

江上邦博、「教材としての PC 組み立て実習の教育的効果に関する一考察」、千葉経済大学短期大学部研究紀要第6号 27～38 (2010)

檀裕也、「パソコン製作によるハードウェア理解の実践的な情報教育」、松山大学論集、第27巻第1号、2015年4月

Crystal Disk Mark V7.0

<https://crystalmark.info/en/2019/10/31/crystaldiskmark-7-0-0/> (2020/10/15 現在)

ATTO Disk Benchmark

<https://www.atto.com/disk-benchmark/> (2020/10/15 現在)