Hi-Speed Wide-band Storage Networking for IP networkers

Tajima Hirotaka

InternetWeek2019
ver.Nov.13,2019

Agenda

1. Storage Networking 基礎知識
2. 知っておきたい○○ over IP/Ethernet

Agenda

1. Storage Networking 基礎知識
2. 知っておきたい○○ over IP/Ethernet

Storage technology transitions

MEDIA Transitions	**HDD** 7K, 10K, 15K	**NAND FLASH** SLC, MLC, TLC	**SCM**	
DRIVE INTERFACE Transitions	**PARALLEL** SCSI & ATA	**FIBRE CHANNEL**	**SAS & SATA**	**NVMe**
HOST INTERFACE Transitions	**SCSI**	**FIBRE CHANNEL**	**NVMeoF**	

Storage technology transitions

MEDIA
Transitions

HDD

PARALLEL
SCSI & ATA

NAND FLASH

FIBRE CHANNEL

SCM

SAS & SATA

NVMe

DRIVE INTERFACE
Transitio

HOST INTERFACE
Transitions

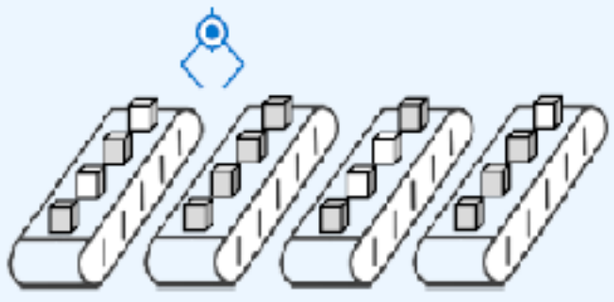
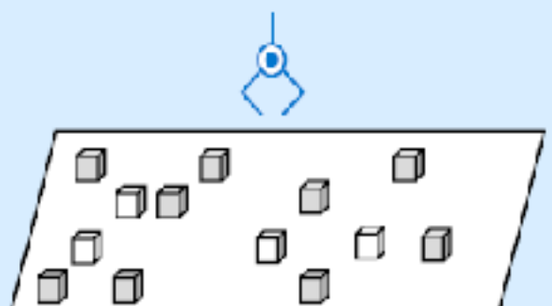
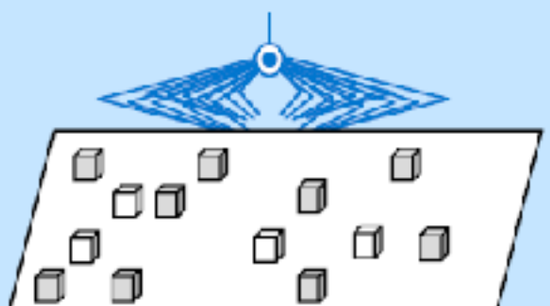
SCSI

NVMeoF

NVMe oF
(over Fabrics)

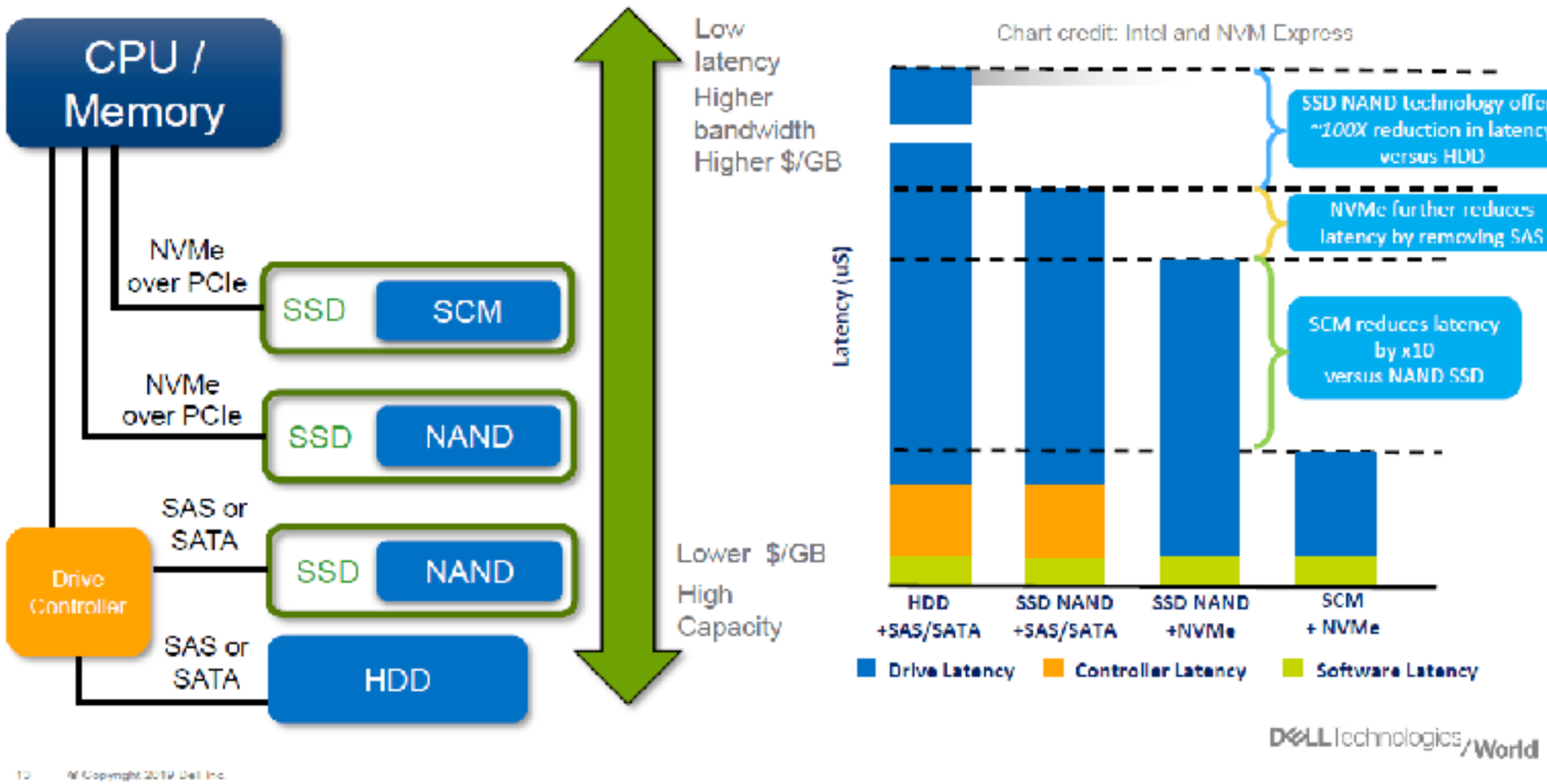
NVMe oF
(over Fabrics)

Conceptualizing NVMe

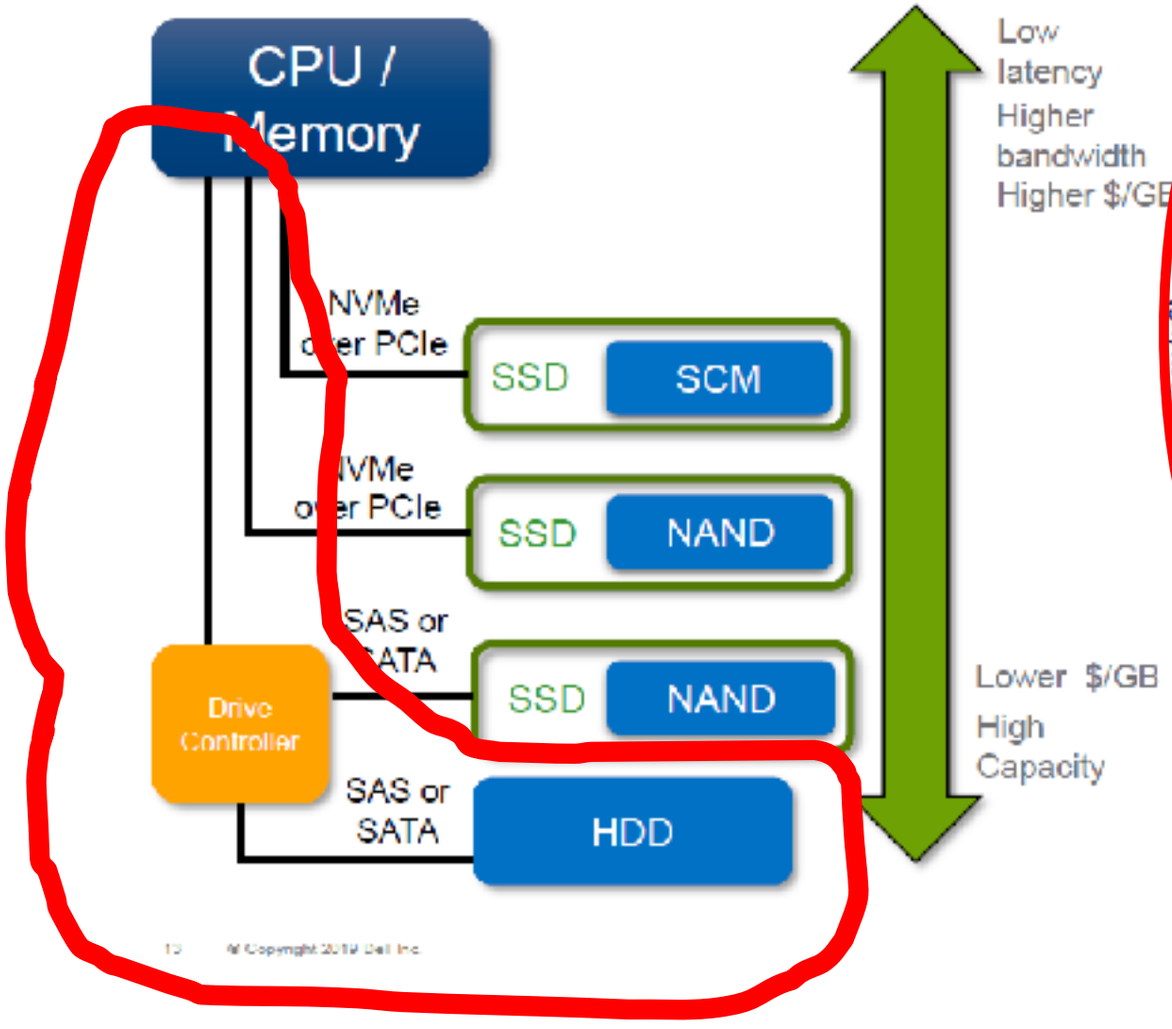
	HDD + SCSI/SAS	Flash + SCSI/SAS	Flash + NVMe
			
Media	**HDD:** varying speed conveyer belts carrying data blocks (faster belts = lower seek time & latency)	**Flash:** all data blocks available at the same seek time & latency	**Flash:** all data blocks available at the same seek time & latency
Protocol	**SCSI / SAS:** pick & place robot w/tracked, single arm executing 1 command at a time, 1 queue	**SCSI /SAS:** pick & place robot w/single arm executing 1 command at a time, 1 queue	**NVMe / PCIe:** pick & place robot with 1000s of arms, all processing & executing commands simultaneously, over 64K queues

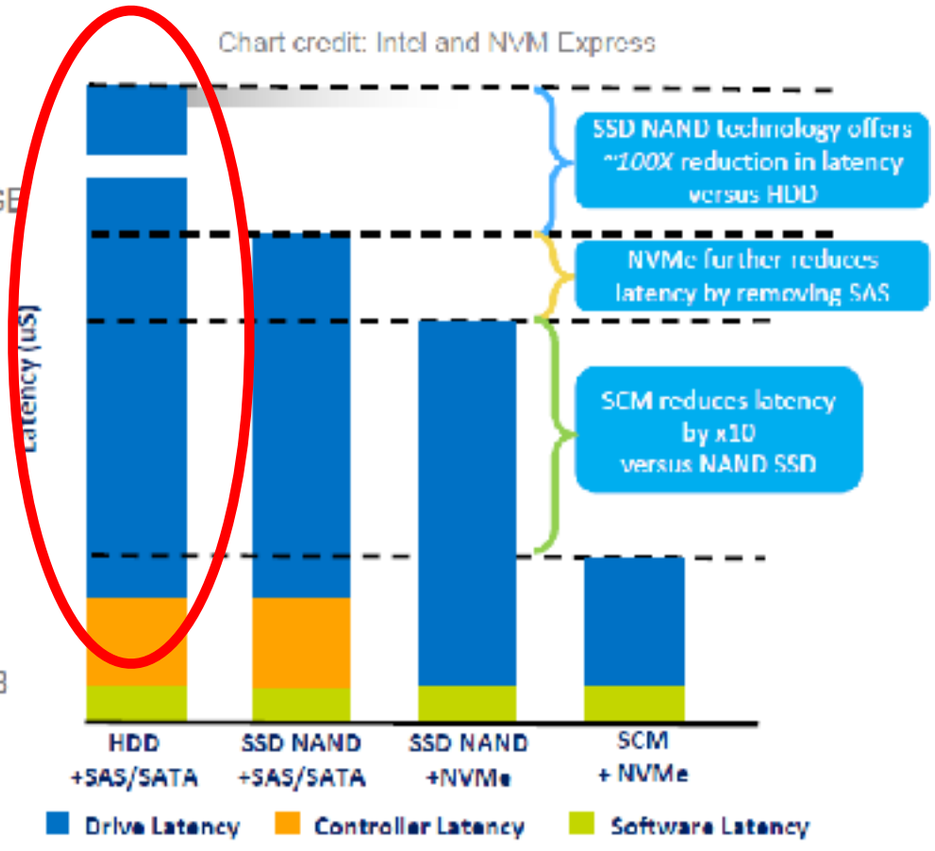
Concept attribution:
J Metz, "The Data Robot Parable"

どこがチンタラ遅いんだ?

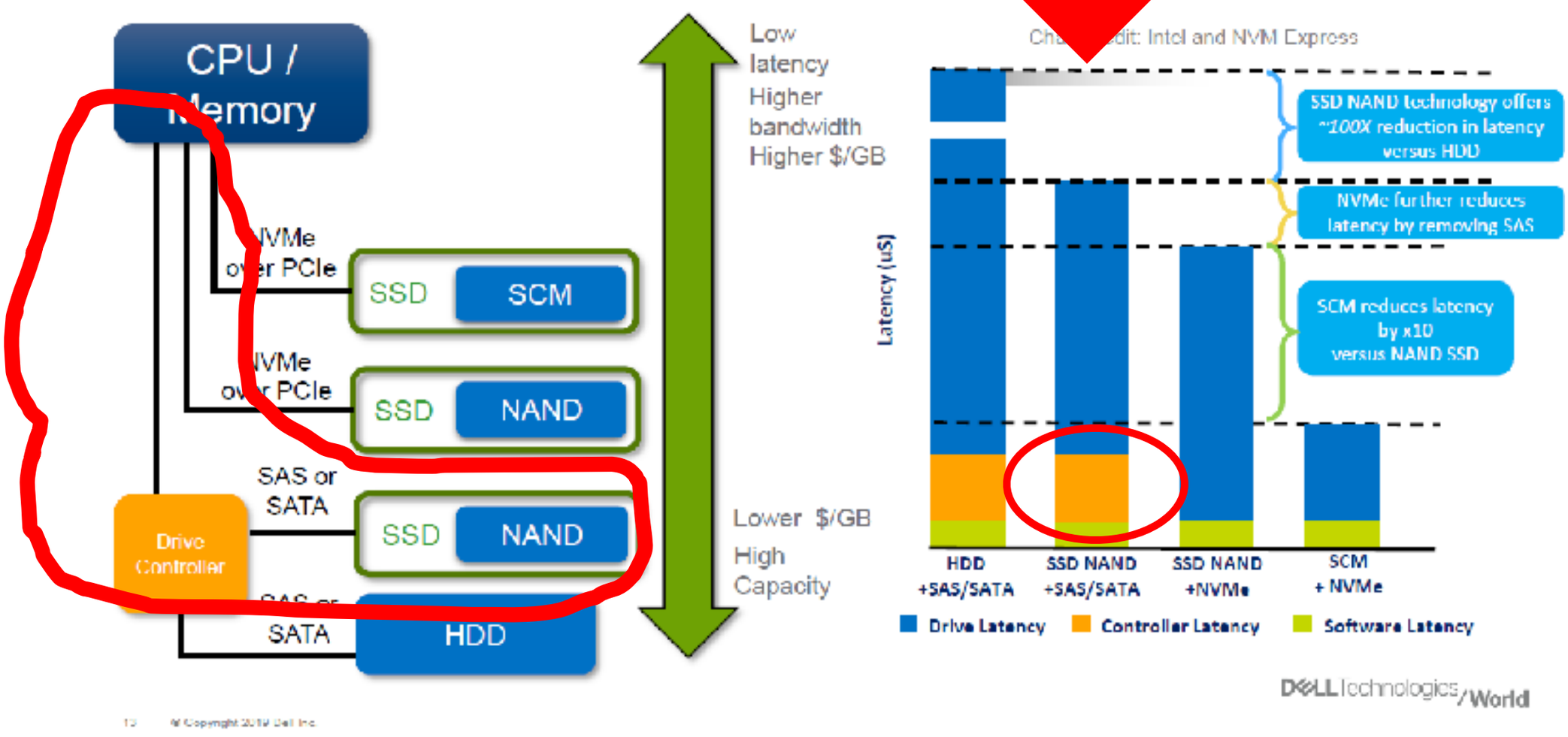


NVMe Technical Basics: Driving down latency

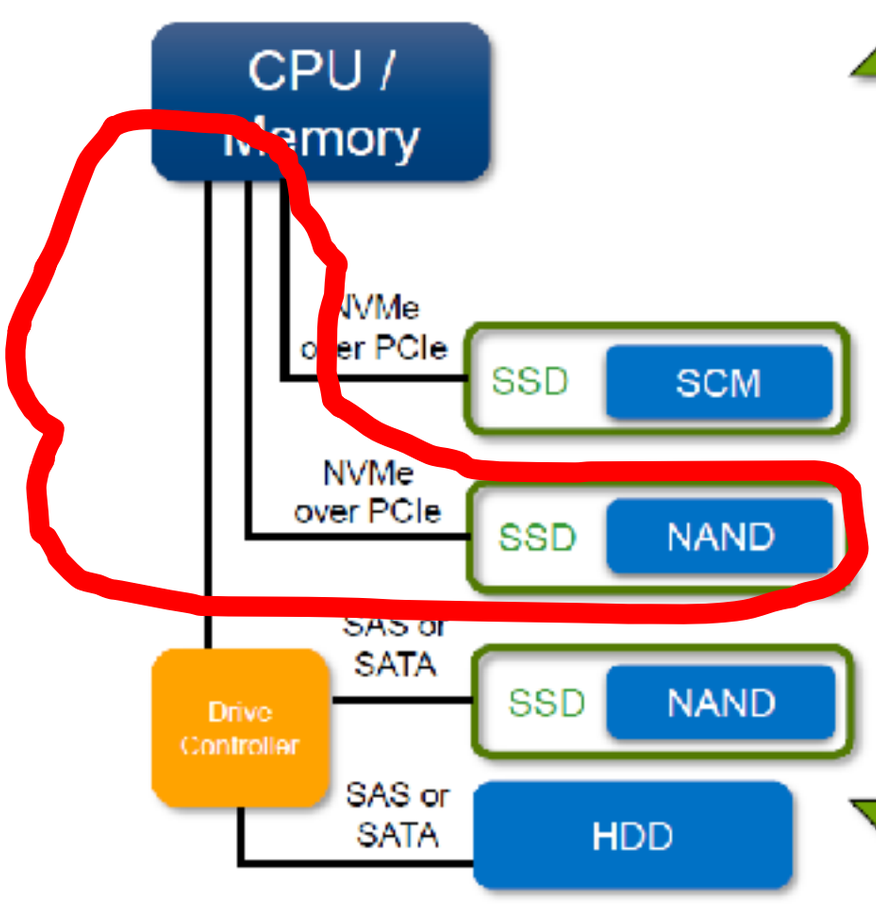


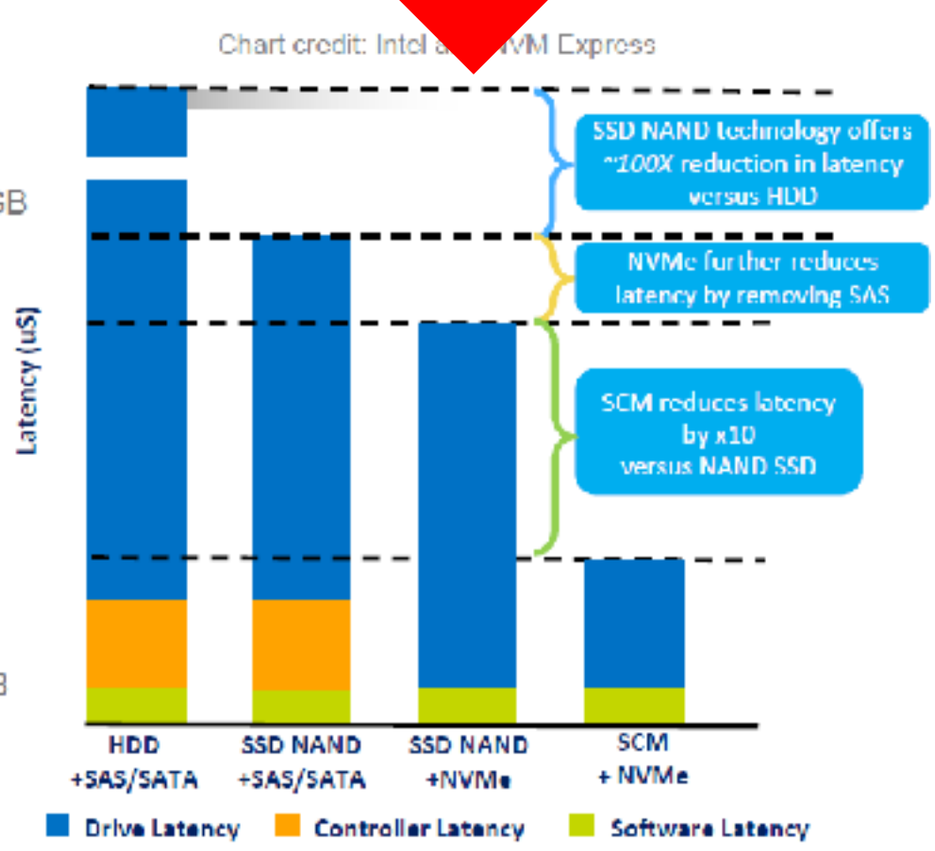


NVMe Technical Basics: Driving down Latency

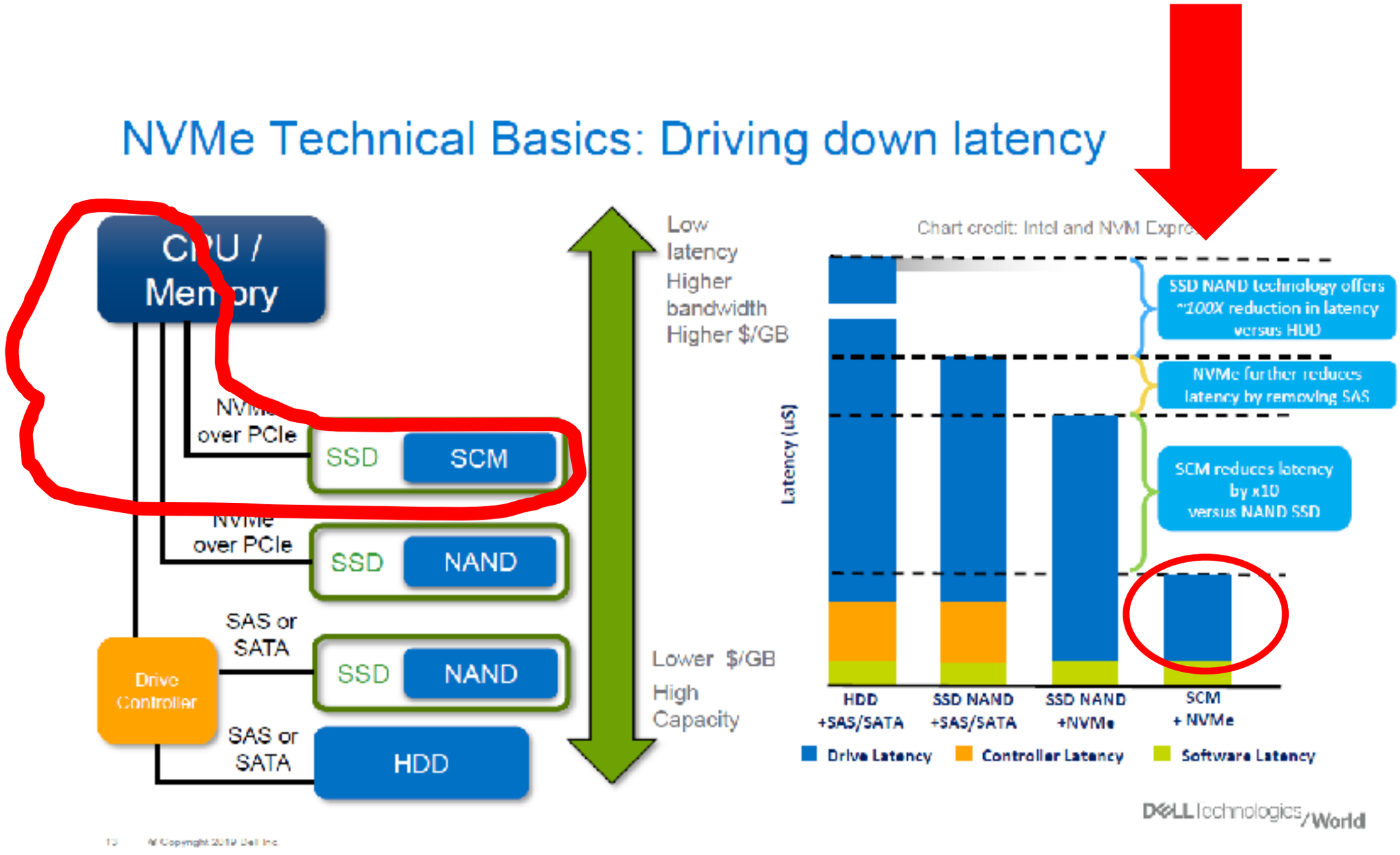


NVMe Technical Basics: Driving down laten

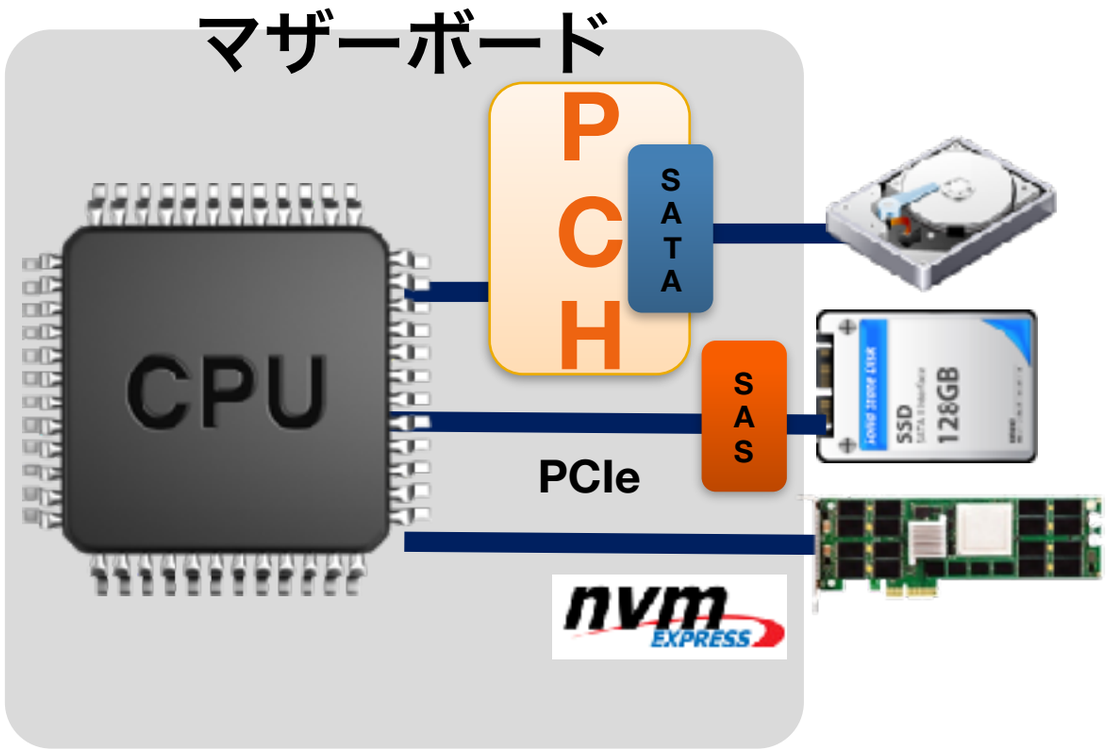




NVMe Technical Basics: Driving down latency



NVMeってなんだ?



- NVMe は、レジスターインターフェイス〜HW、OS、ソフトウェア間の通信の仕組みを標準化したもの。プロトコルと呼んでも良い
  - 従来のレジスターインターフェイスで対応する用語は、AHCI (Advanced Host Controller Interface)
  - NVM Expressも当初は NVMHCI という名前で検討が始まった

- SATA 3
  - 6Gbps （実効 600MB/s）

- SAS 3.0
  - 12Gb/s（実効1200MB/s）
  - 最近のUnityやXtremIO X2などは、SAS 3.0を利用

- PCIe Gen3 で 1レーン 1GB/s
  - PCIe Gen3 x4 だと、4GB/s
  - PCIe Gen3 x8 だと、8GB/s

- SATA はもともとHDD用に作られた。速度的にも進化してきたSSDには力不足

用語的には。。。

- **Non-Volatile Memory (NVM):**

  不揮発メモリ

- **NVMe = NVM Express:**

  不揮発メモリの速達(超訳)

- **NVMe-oF = NVMe over Fabrics**:

  NVMeをネットワークで運ぶ

NVMe を理解する

PCI Express SSDの業界標準インターフェイス

不揮発メモリ用に設計・構築された

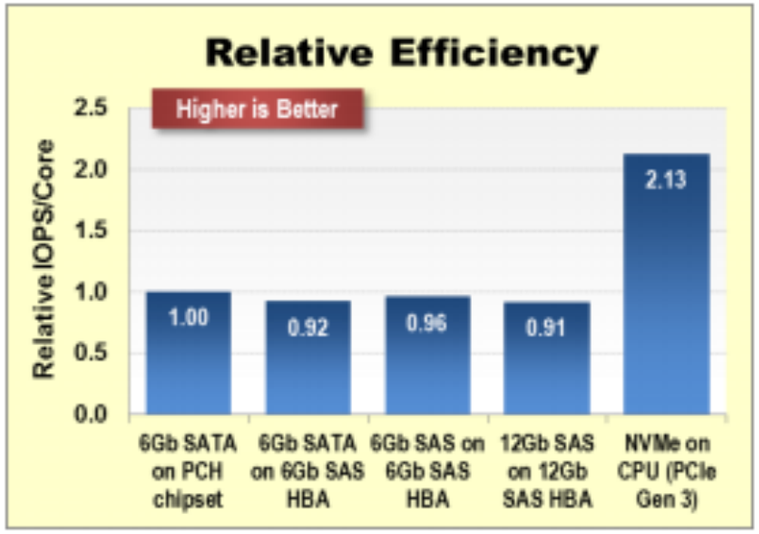
（SASやSATAがその生い立ちとして保持している）HDDに関する「遺産」を排除

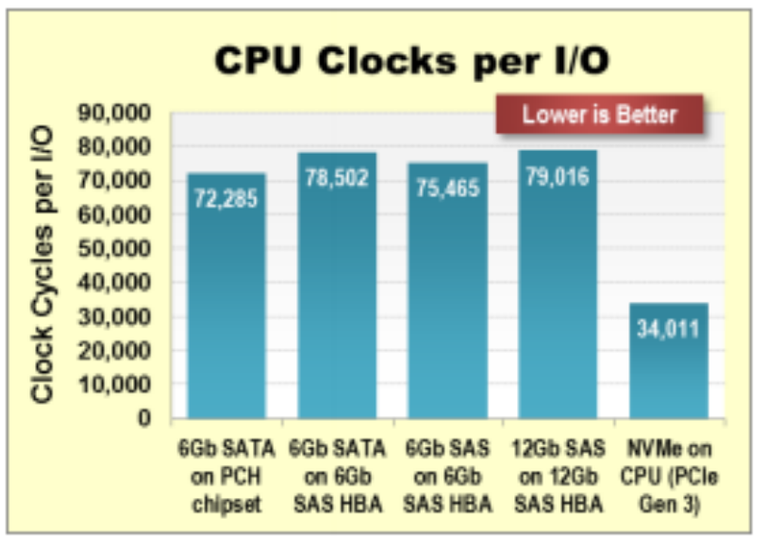
不揮発メモリに最適化

低レイテンシで、オーバーヘッドの小さい、新たなストレージスタック

効率的でスケーラブル

合理化されたプロトコルとコマンドセット、I/Oごとに必要となるクロックサイクルを削減





Source: http://www.nvmexpress.org/wp-content/uploads/NVMe_Overview.pdf

NVMe を理解する

PCI Express SSDの業界標準インターフェイス

不揮発メモ

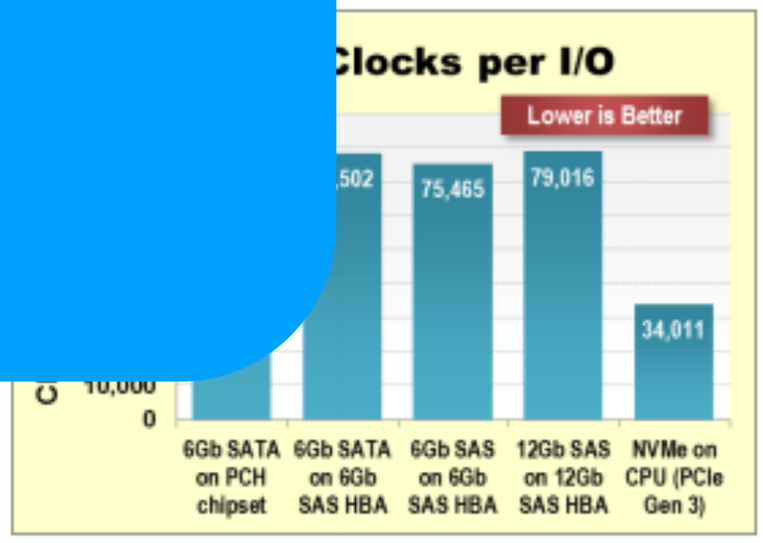
（SASやSATAが
する「遺産」を排
不揮発メモ

低レイテンシで、
ジスタック
効率的でス

合理化されたプロ
なるクロックサイクルを削減

Flashを使い倒すには

NVMeが必要



Source: http://www.nvmexpress.org/wp-content/uploads/NVMe_Overview.pdf

NVMeをワンスライドでいうと

- **PCIe経由のSSDアクセスに特化した**
- **ナウいコマンドセットの**
- **すごい並列化と深いキューで処理するやつ**

NVMe is for *local* PCIe storage access!

ここまではローカル接続のストレージのはなし。

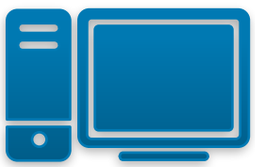
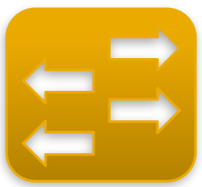
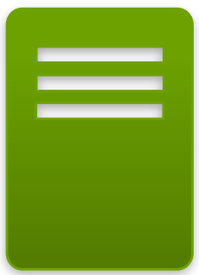
(なんでNVMeが必要なのかの説明)

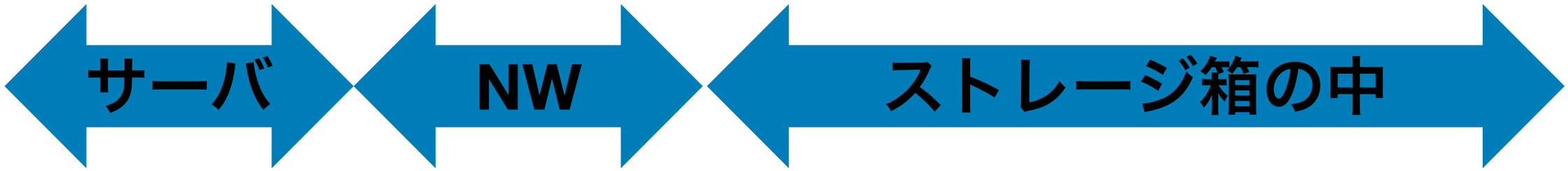
一方、リモートストレージ接続の観点でみると、、、

Agenda

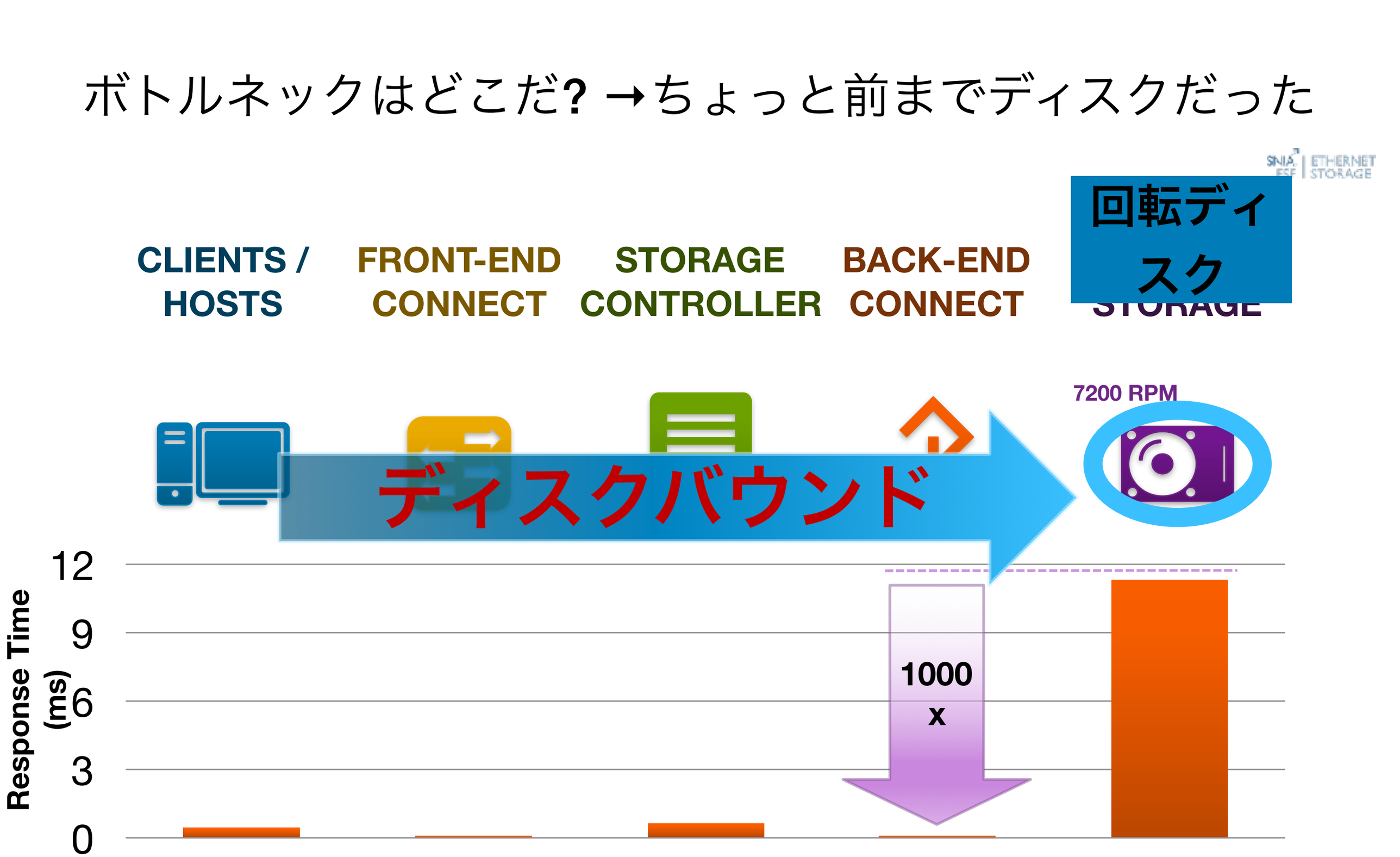
1. Storage Networking 基礎知識
2. 知っておきたい○○ over IP/Ethernet

ボトルネックはどこだ?

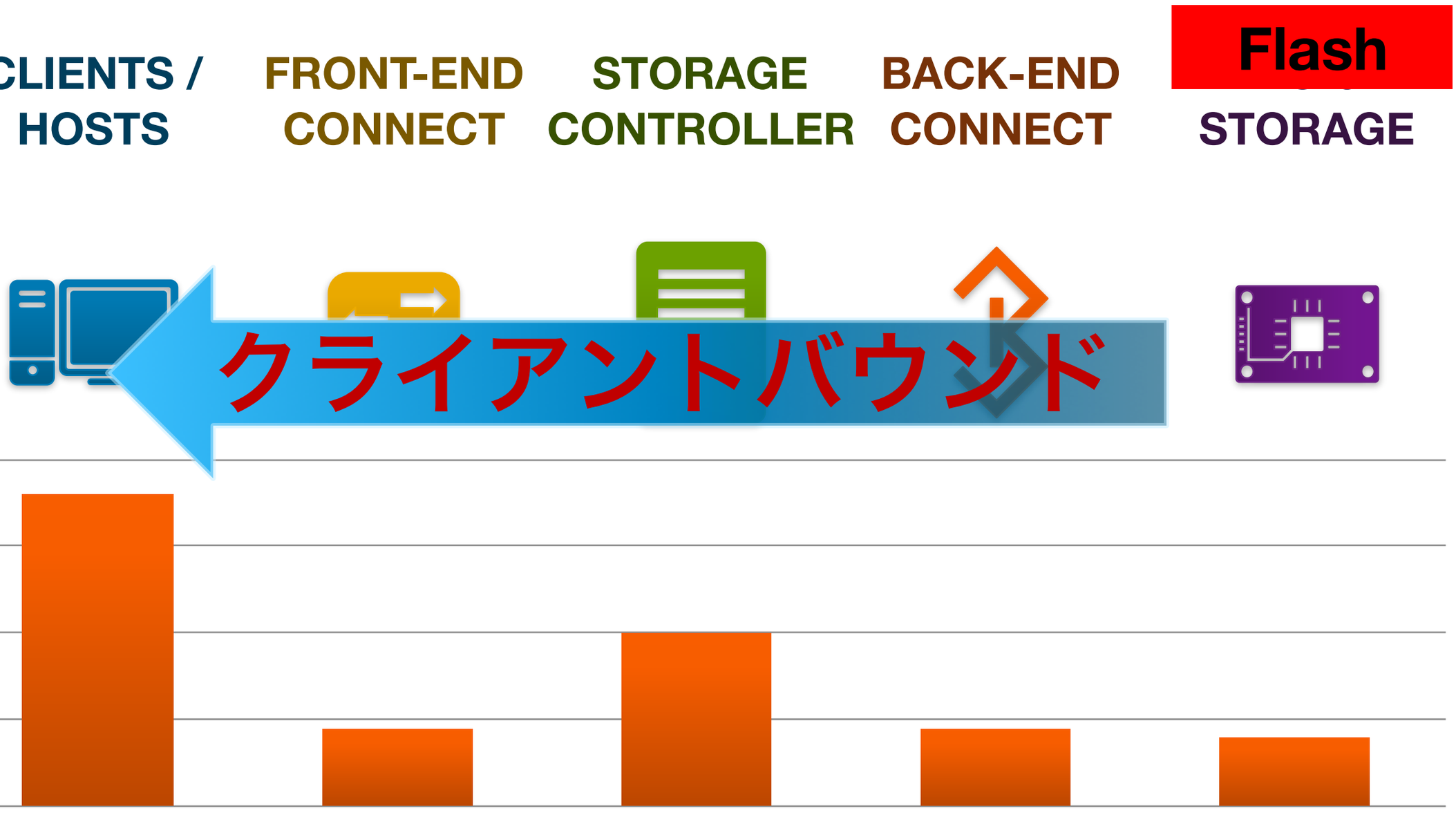
CLIENTS / HOSTS	FRONT-END CONNECT	STORAGE CONTROLLER	BACK-END CONNECT	PHYSICAL STORAGE
				7200 RPM 



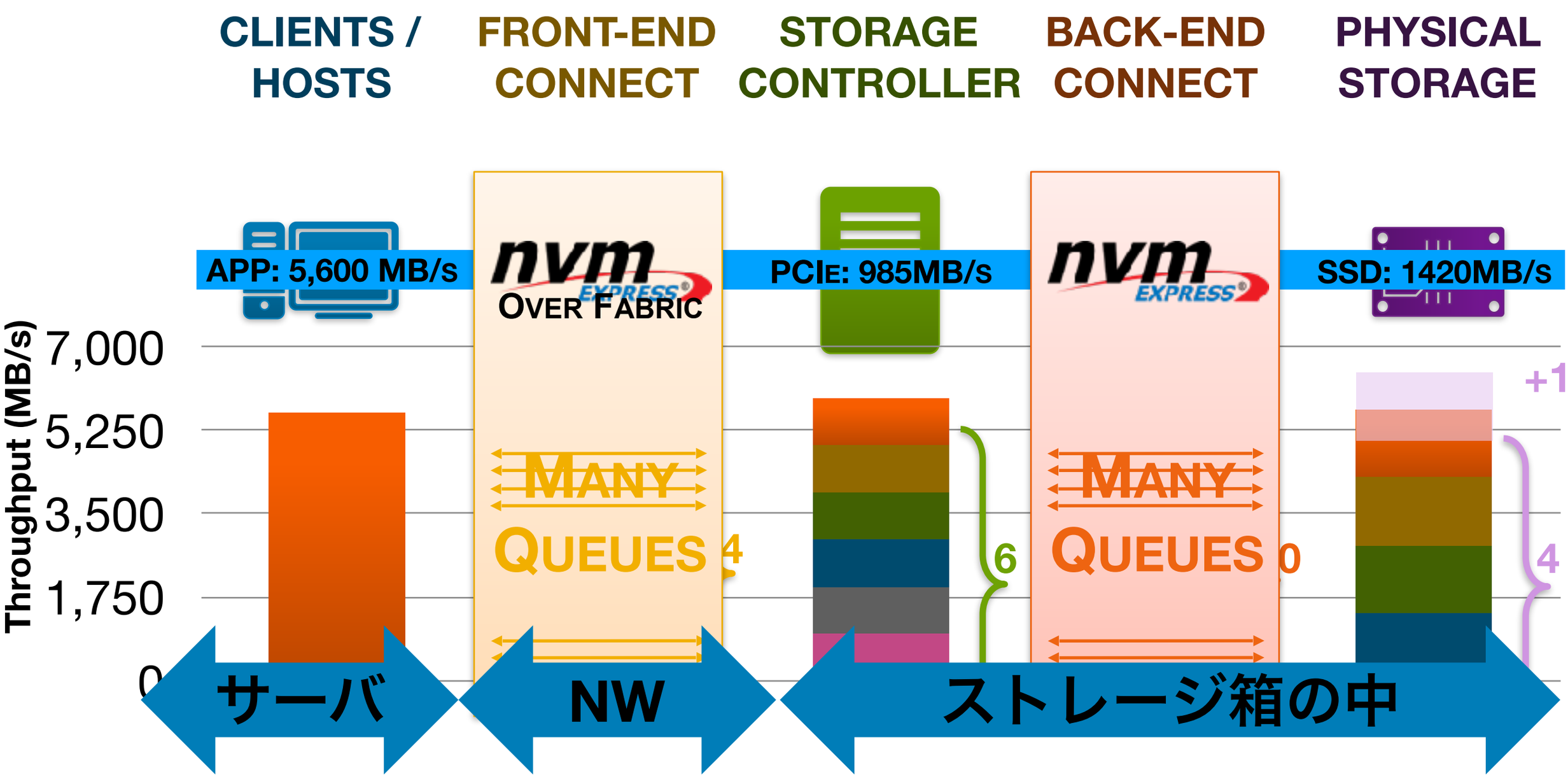
ボトルネックはどこだ? →ちょっと前までディスクだった



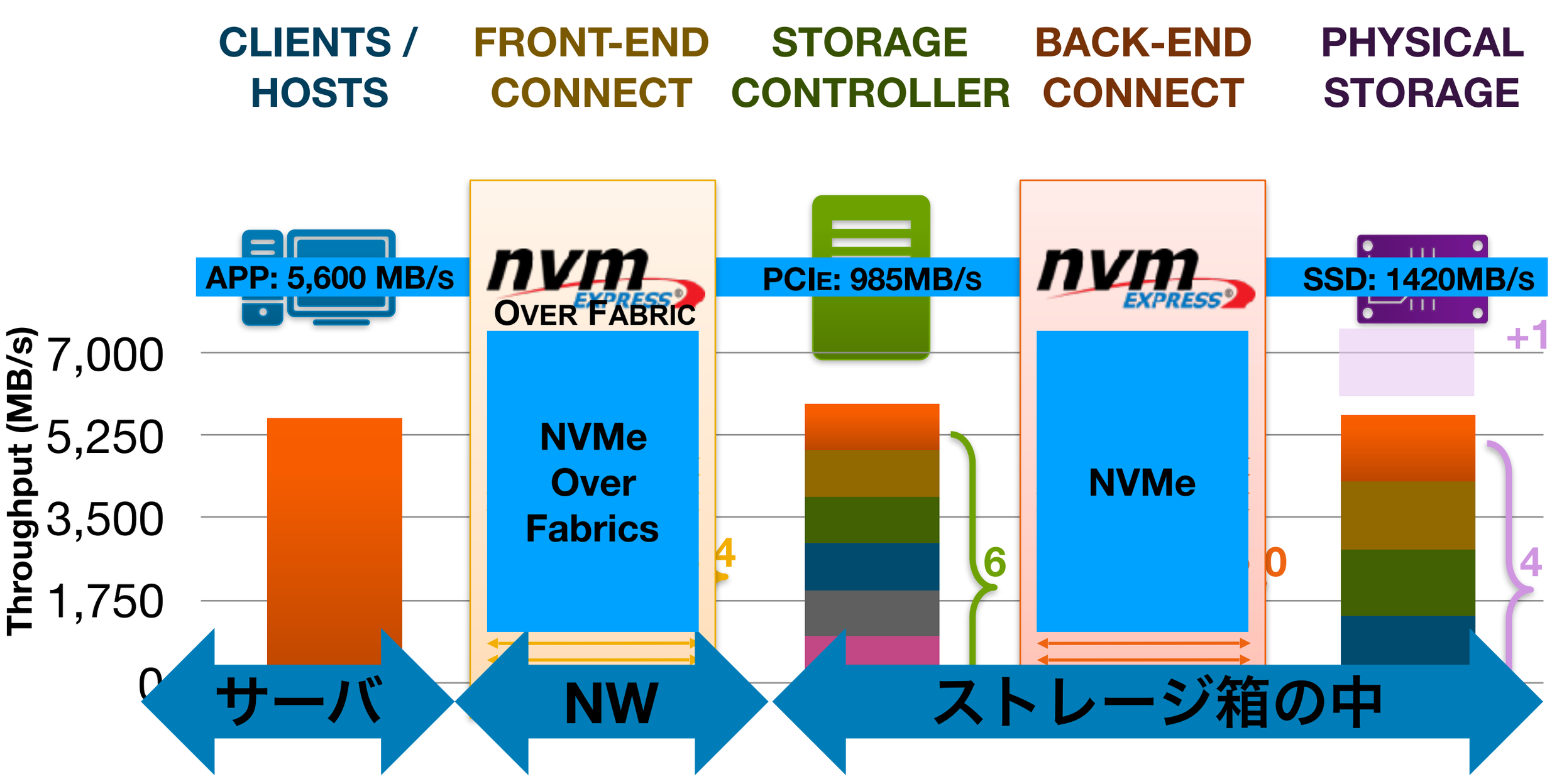
ボトルネックはどこだ? →クライアント側になった



より広帯域が求められる時代に



より広帯域が求められる時代に



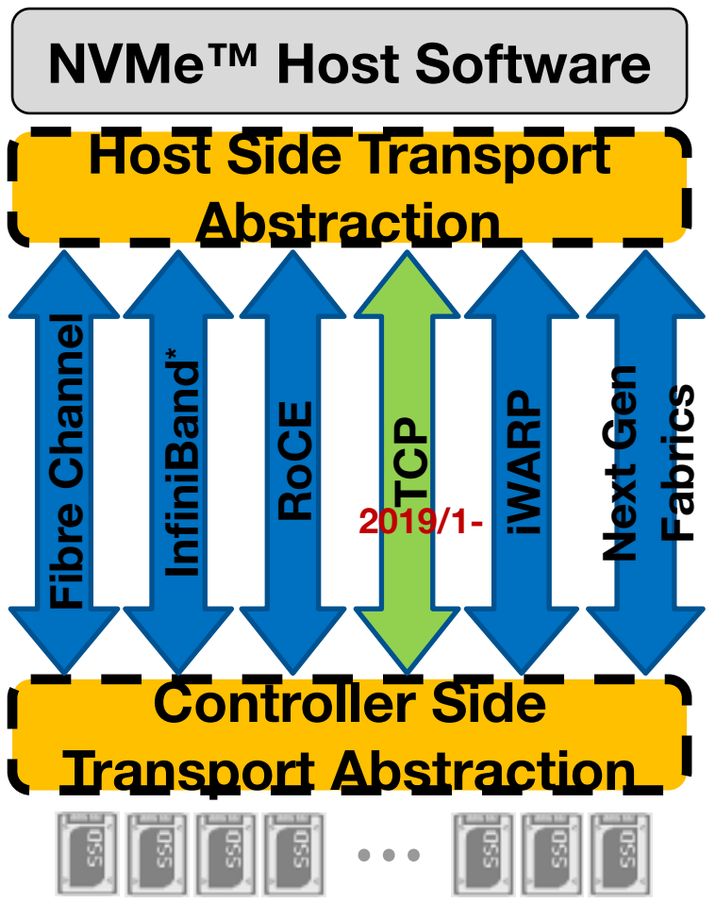
Spindle時代: Media+Drive I/F速度>> NW(~1G)

Flash時代 : Media+SATA/SAS ~= NW(10G)

SCM+NVMe時代: Media+NVMe << NW? (100G)

Networkの選択肢がより多彩な時代に

NVMe over Fabrics



- NVMe over Fabrics
  - NVMeブロックストレージ・プロトコルを、ストレージネットワーク・ファブリックに拡張する
  - 2016年6月に仕様 1.0 が公開
  - NVMeデバイスを大量に扱う、（データセンター内で）離れた場所のNVMeデバイスにアクセスする、、、等

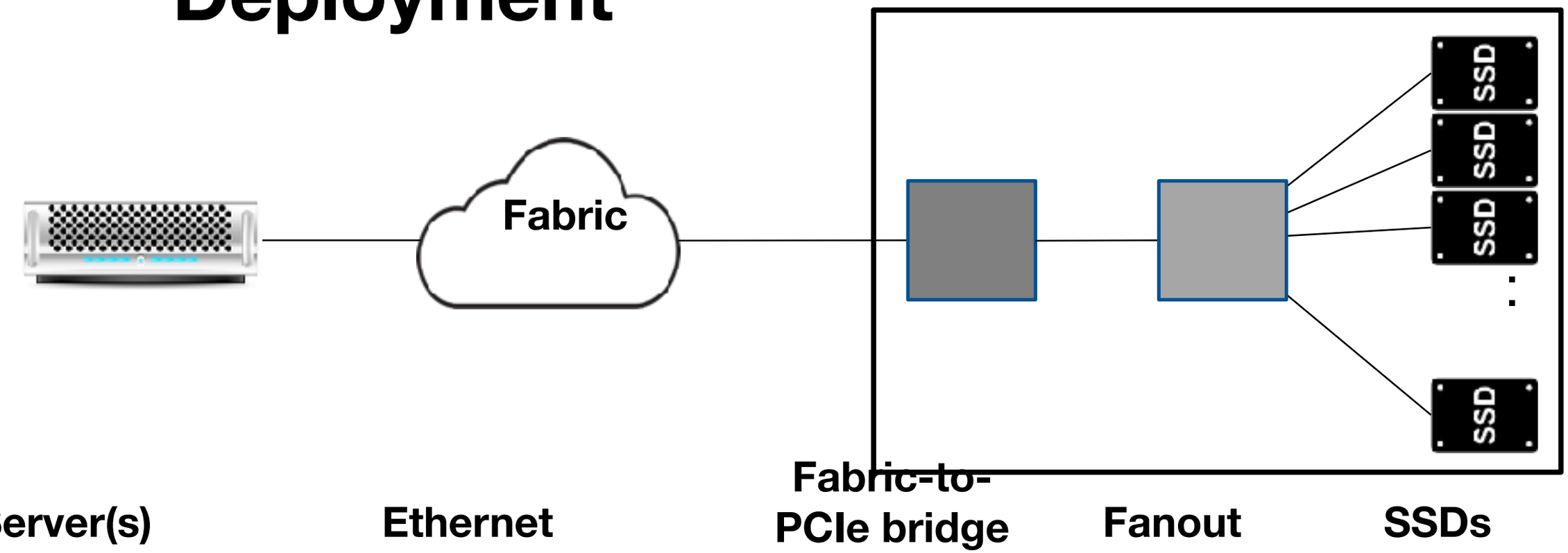
- 2019年1月に、あらたにNVMe over TCP(NVMe/TCP) が批准された
  - TP 8000 として
  - NVMe-oF 1.1 の仕様ドキュメントに統合予定
    - Later 2019 ?

http://www.nvmexpress.org/wp-content/uploads/NVMe_Over_Fabrics.pdf

https://nvmexpress.org/answering-your-questions-nvme-tcp-what-you-need-to-know-about-the-specification-webcast-qa/

Typical NVMe-oF™ Deployment

JBOF / EBOF / FBOF



Server(s) Ethernet Fabric-to-PCIe bridge Fanout SSDs

NVMe™ over Fabrics | NVMe (over PCIe ®)

「ファブリック(Fabrics)」ってなに?

- Fibre Channel
  - 昔も今も広く使われてる。
- InfiniBand (RDMA)
  - 広帯域、低遅延をいかして、組み込み用途、特にHPC
  - ストレージ内部だけでなくサーバとの接続にも
- IP/Ethernet RDMA: RoCEv2 , iWARP
  - RoCEv2: 発音ロッキー、UDP/IPベース、ロスレスConverged Ethernet推奨
    - V1はL2、v2と互換性なし
  - iWARP: TCP/IPベース、実質的にHW実装が必要、普及してない
  - NICインプリが推奨
- IP/Ethernet non-RDMA: TCP/IP
  - ソフトウェアベース、NICのTCPオフロードで高速化

「ファブリック(Fabrics)」ってなに?

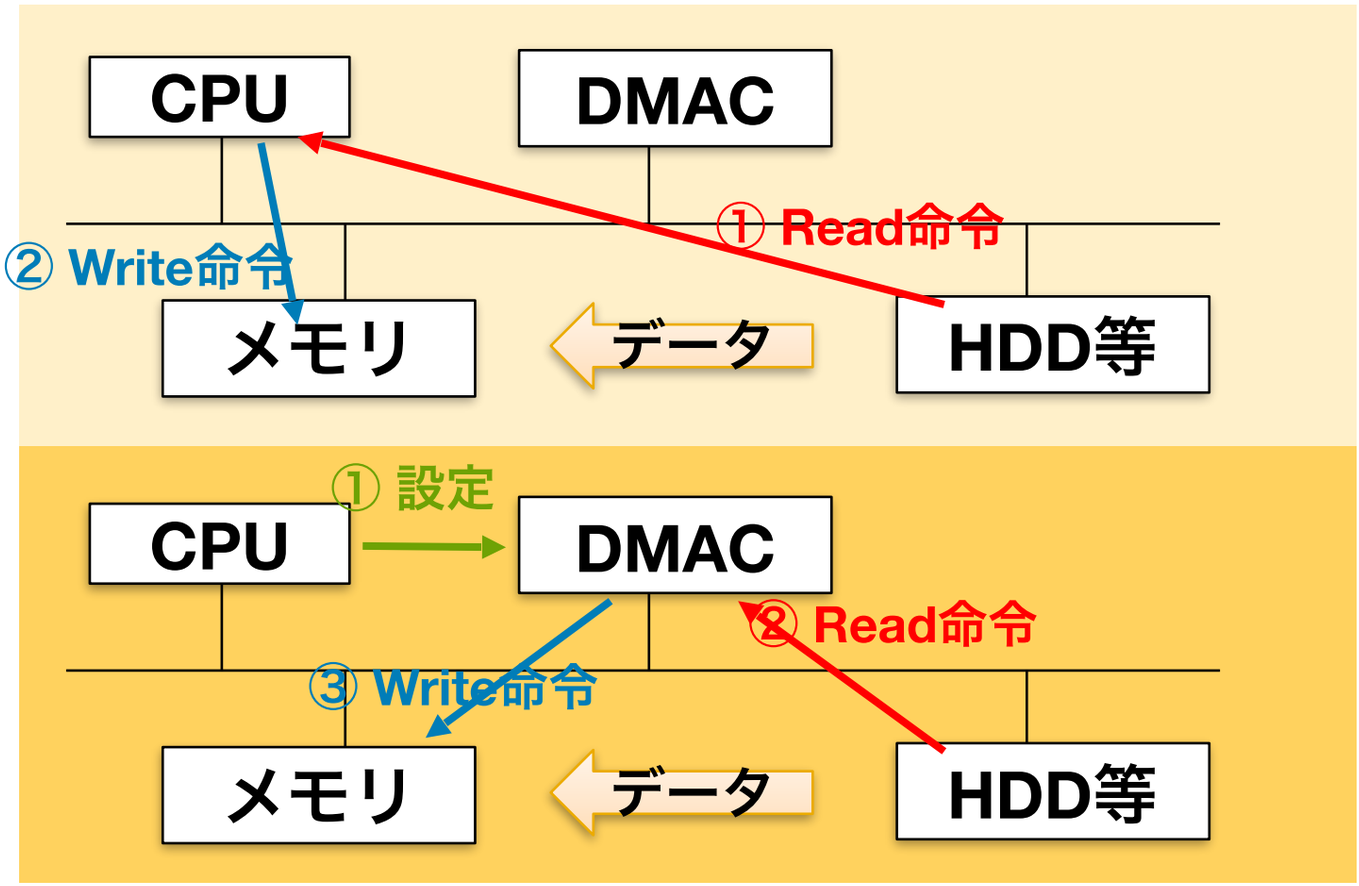
- Fibre Channel
  - 昔も今も広く使われてる。
- InfiniBand (RDMA)
  - 広帯域、低遅延をいかして、組み込み用途、特にHPC
  - ストレージ内部だけでなくサーバとの接続にも
- IP/Ethernet RDMA: RoCEv2 , iWARP
  - RoCEv2: 発音ロッキー、UDP/IPベース、ロスレスConverged Ethernet推奨
    - V1はL2、v2と互換性なし
  - iWARP: TCP/IPベース、実質的にHW実装が必要、普及してない
  - NICインプリが推奨
- IP/Ethernet non-RDMA: TCP/IP
  - ソフトウェアベース、NICのTCPオフロードで高速化

New!

RDMAについて補足

RDMAのまえにDMA

PIO転送



DMA転送

Programmed I/O ←→ DMA

- DMA(Direct Memory Access)方式とは、CPUを介さずに「直接」メモリにアクセスすることをいう
- CPUの代わりをしてくれるのが「DMAコントローラ」というデバイスで、略してDMAC（でぃーまっく）とも呼ばれたりする
- DMACは、チップセット（サウスブリッジに含まれています）

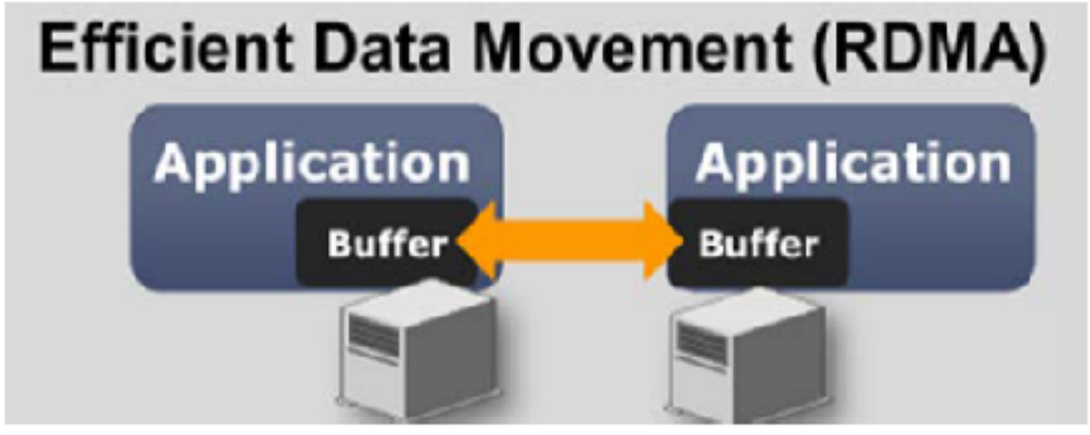
- **利用例**
  - **HDD,USBメモリ、グラフィックス他多数**

RDMA

- コンピューティングにおいて、**Remote Direct Memory Access(RDMA**, リモート**DMA**)とは、あるコンピュータの主記憶から、異なる（リモートの）コンピュータの主記憶への DMA 転送を行うことである。RDMAでは両コンピュータのオペレーティングシステムに入ることなく転送が行われる。 これにより高スループット、低レイテンシの通信を行うことができるため、特に大規模並列のコンピュータ・クラスターにおいて有用である。

- 対象のアプリケーションメモリとオペレーティングシステム中のデータバッファの間でのデータの転送をなくし、CPUやキャッシュを用いることなく、あるいはコンテキストスイッチを行うこともなく、他の処理と並列にデータを転送できる。RDMAリードまたはライト要求を行うアプリケーションでは、アプリケーションメモリのデータは直接ネットワークに配送されるため、レイテンシが削減され高速なデータ転送が可能となる。

異なるコンピュータのメモリ空間同士で（リモートで）、DMA転送を行うということ



「ファブリック(Fabrics)」ってなに?

- Fibre Channel
- InfiniBan
- RoCE
  - RDMA over Converged
  - RoCEv1 Link Layer Protocol
  - RoCEv2 internet Layer Protocol
  - v1とv2では、プロトコルヘッダも異
  - 従来のEthernetも利用可能ではある
    とする
- iWARP
  - Internet Wide Area RDMA Protocol
  - TOEのようなHWでの実装でないと
  - RDMAコンソーシアムによって策定
- TCP

8G/16Gが主流

32Gも徐々に

DC内

実はメタル線も可

「ファブリック(Fabrics)」ってなに?

- Fibre Channel
- InfiniBand
- RoCE
  - RDMA over Converge
  - RoCEv1 Link Layer Protoc
  - RoCEv2 internet Layer Protoc
  - v1とv2では、プロトコルヘッダも
  - 従来のEthernetも利用可能ではあ
    とする
- iWARP
  - Internet Wide Area RDMA Protoc
  - TOEのようなHWでの実装でない
  - RDMAコンソーシアムによって策
- TCP

HPC以外にストレージ接続も

10~40Gbpsが主流

低遅延(10GbEの1/10)

DC内

「ファブリック(Fabrics)」ってなに?

- Fibre Channel
- InfiniBand
- RoCE
  - RDMA over Converged Ethernet, or RoCE (発音："rocky")
  - RoCEv1 Link Layer Protocol
  - RoCEv2 internet Layer Protocols(ルーティングできる）
  - v1とv2では、プロトコルヘッダも異なり互換性がない(RNICは下位互換あり？）　（RNIC :== RDMA network interface card)
  - 従来のEthernetも利用可能ではあるが、ロスレスの **Converged Ethernet** を必須**(shall)**とする
- iWARP
  - Internet Wide Area RDMA Protocol (iWARP）とは、RDMA over TCPを実現する通信プロトコル群の総称である
  - TOEのようなHWでの実装でないと、速度的に問題あり
  - RDMAコンソーシアムによって策定された標準が Internet Engineering Task Force (IETF) によって改版された
- TCP

「ファブリック(Fabrics)」ってなに?

- Fibre Channel
- InfiniBand
- RoCE
  - RDMA over Converged Ethernet, or RoCE (発音："rocky")
  - RoCEv1 Link Layer Protocol
  - RoCEv2 internet Layer Protocols(ルーティングできる）
  - v1とv2では、プロトコルヘッダも異なり互換性がない(RNICは下位互換あり？）　（RNIC :== RDMA network interface card)
  - 従来のEthernetも利用可能ではあるが、ロスレスの Converged Ethernet が必須(Shall)とする
- iWARP
  - Internet Wide Area RDMA Protocol (iWARP）とは、RDMA over TCPを実現する通信プロトコル群の総称である
  - TOEのようなHWでの実装でないと、速度的に問題あり
  - RDMAコンソーシアムによって策定された標準が Internet Engineering Task Force (IETF) によって改版された
- TCP

余談:shall

7.1 Transport Requirements

- The NVMe Transport **shall** provide reliable delivery of capsules between a host and NVM subsystem (and allocated controller) over each connection. The NVMe Transport may deliver command capsules in any order on each queue except for I/O commands that are part of fused operations (refer to section 4.10 of the NVMe Base specification).

信頼性のあるトランスポートが必須

RFC2111
1.「しなければならない（ MUST ）」

この語句、もしくは「要求されている（ REQUIRED ）」および「することになる（ SHALL ）」は、その規定が当該仕様の絶対的な 要請事項であることを意味します。

もっと余談:「Shall we dance?」　「I shall return」

http://nvmexpress.org/wp-content/uploads/NVMe_over_Fabrics_1_0_Gold_20160605.pdf

NVMe over Ethernet – longer term options

RoCE (RDMA over Converged Ethernet) – ベストなオペレーションには、ロスレスネットワーク（特別なハードウェア）の用意が必要。（Mellanox and Emulexがサポート）

iWARP (Internet Wide-Area RDMA Protocol) – 複雑なハード/ソフトのスタックでよりCPUリソースの消費と、現時点では10Gbのみ。（ Chelsio and Intelがサポート)

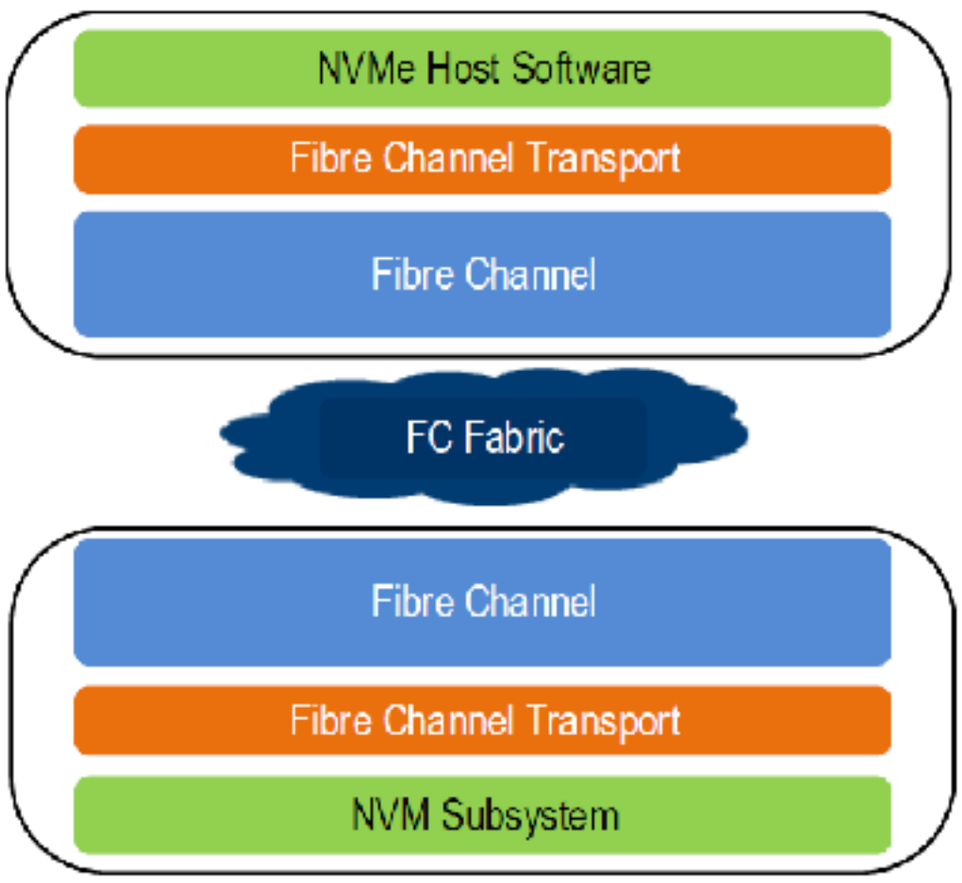
NVMe over TCP – 標準のスイッチとシンプルなTCPスタックを利用。プロポーザルが内部で批准されたばかり。NVMe oFの V1.1 に盛り込まれる予定

2種類の NVMe over Fabrics

Over Fibre Channel

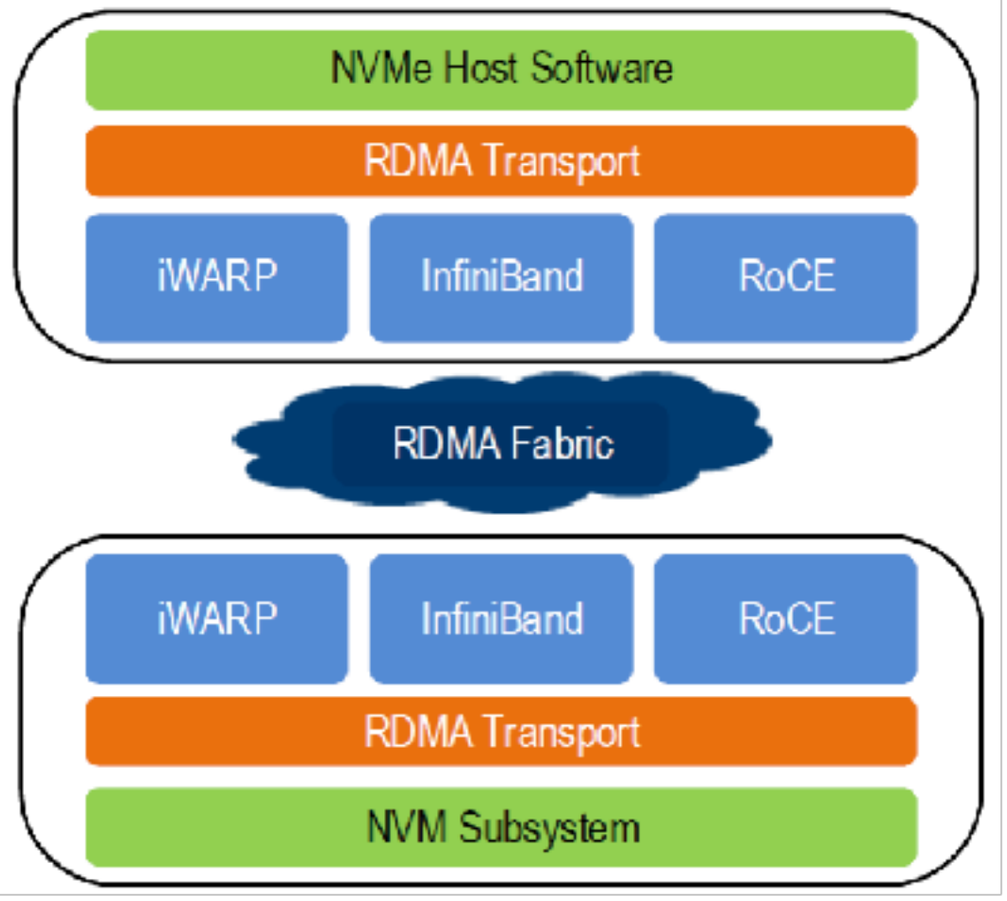
NVMe over TCPもこちらと同様

Figure 36: FIbre Channel Transport Protocol Layers



Over RDMA

Figure 38: RDMA Transport Protocol Layers



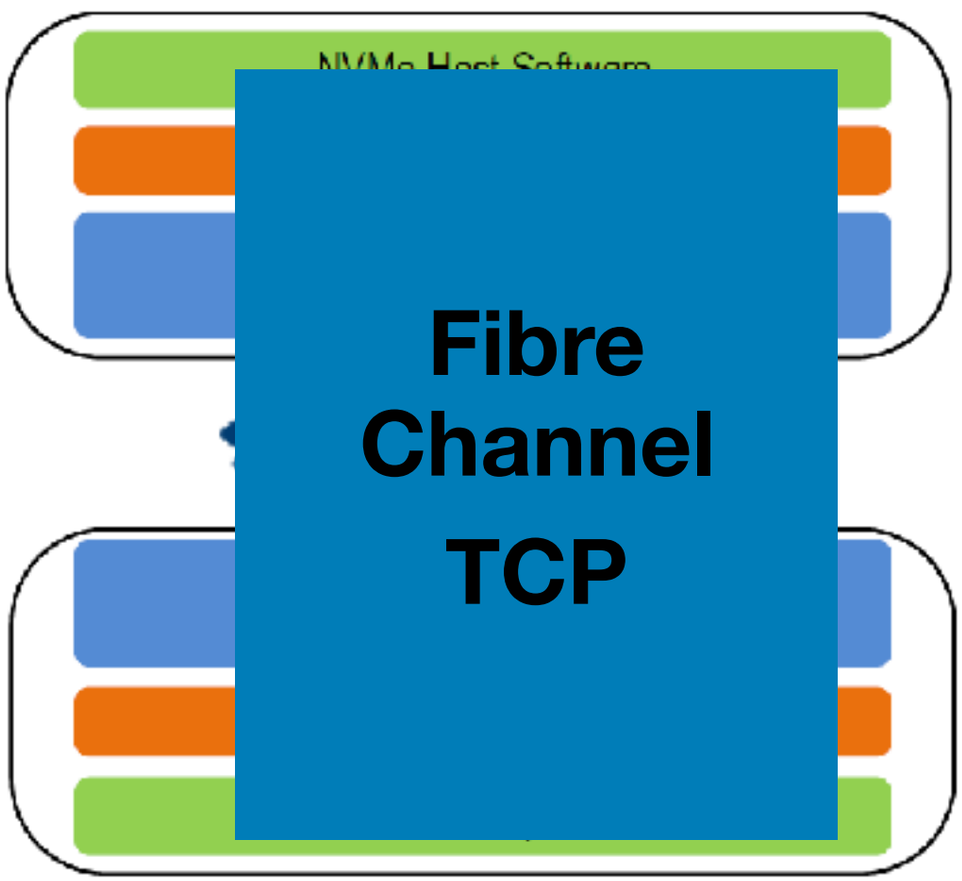
nexpress.org/wp-content/uploads/NVMe_over_Fabrics_1_0_Gold_20160605.pdf

2種類の NVMe over Fabrics

Over Fibre Channel

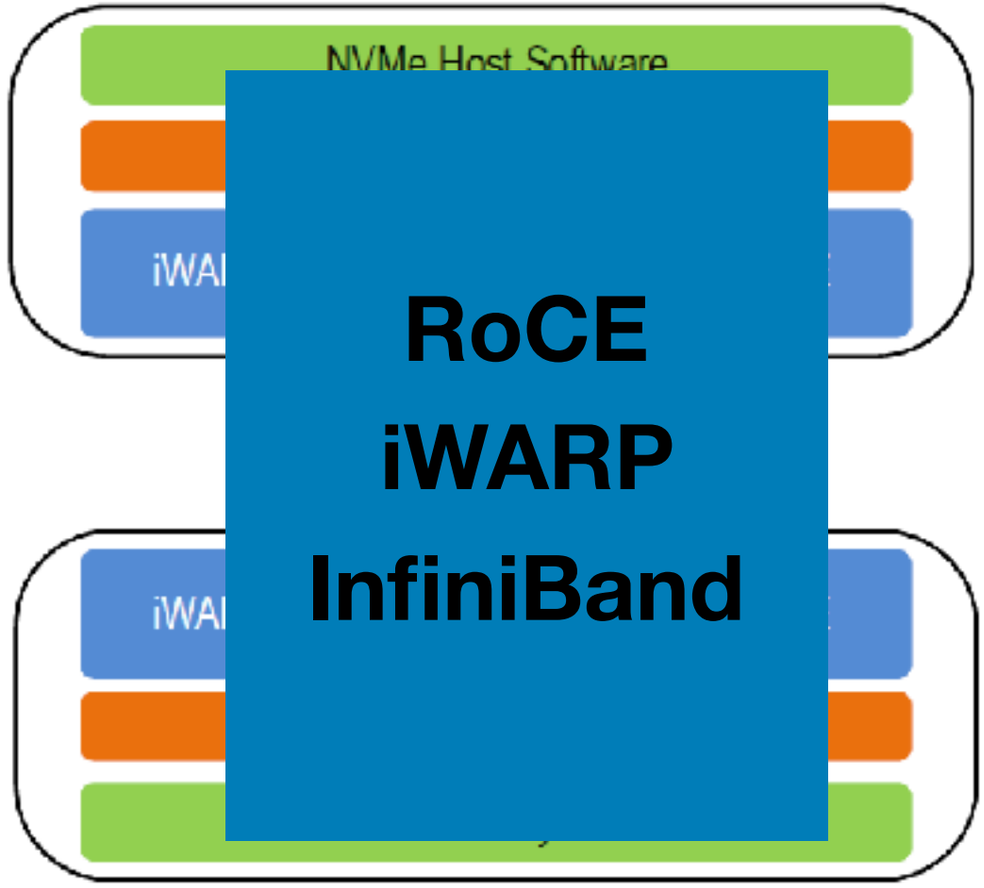
NVMe over TCPもこちらと同様

Figure 36: Fibre Channel Transport Protocol Layers



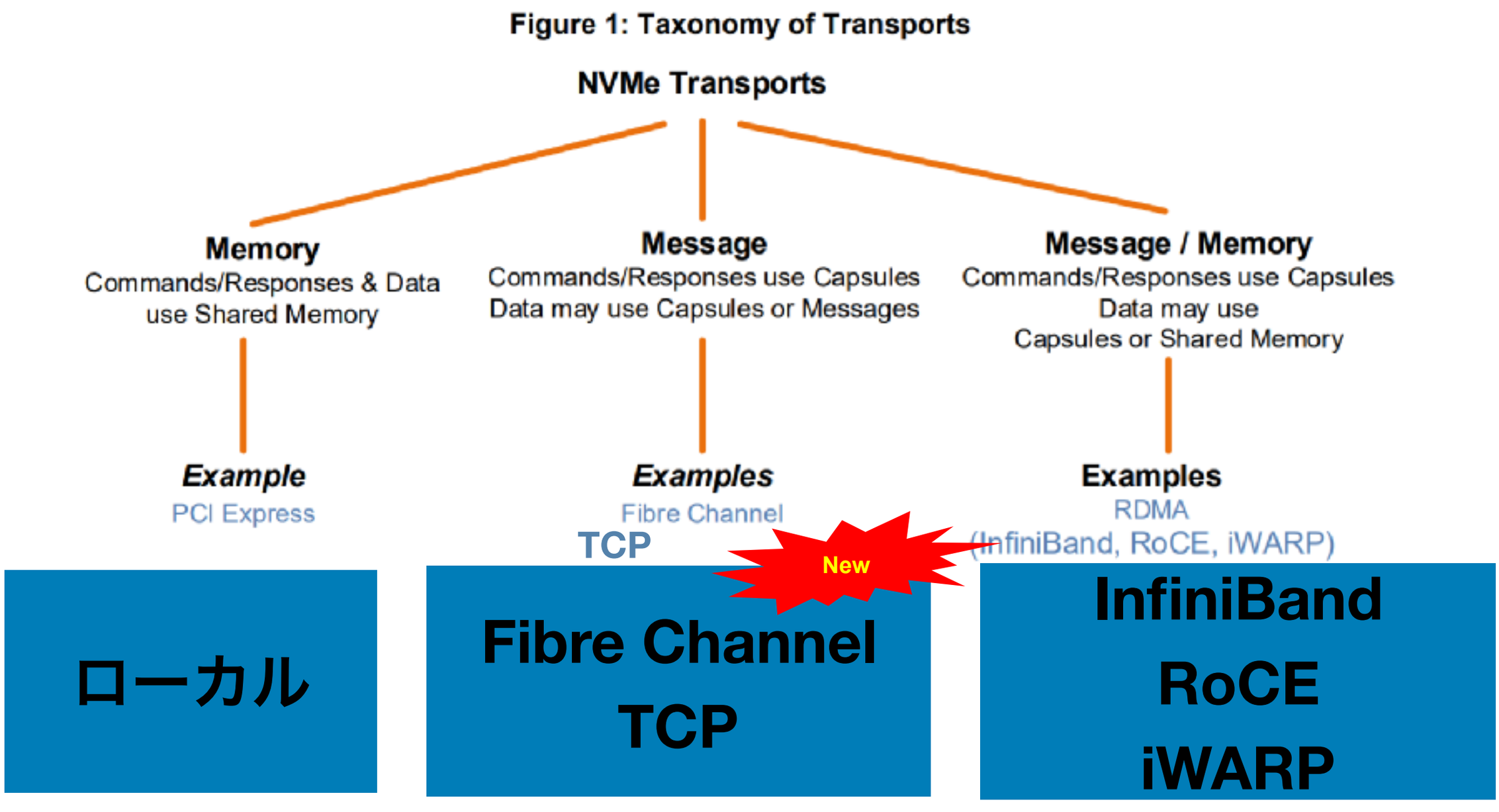
Over RDMA

Figure 38: RDMA Transport Protocol Layers

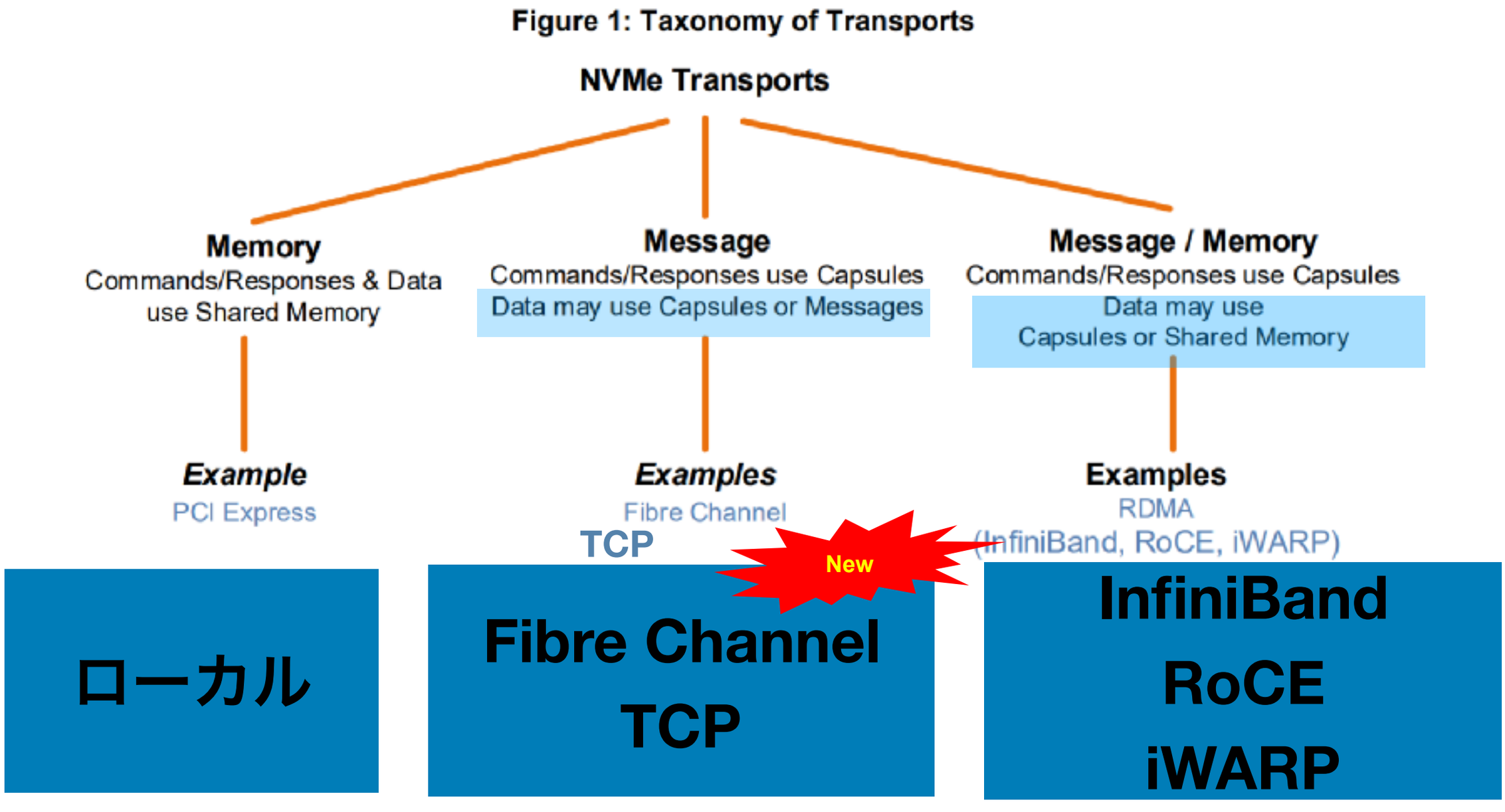


nexpress.org/wp-content/uploads/NVMe_over_Fabrics_1_0_Gold_20160605.pdf

2種類のNVMe over Fabrics +（ローカルの）NVMe



2種類のNVMe over Fabrics +（ローカルの）NVMe



Fabricsに求められるのは「ロスレス」ネットワーク

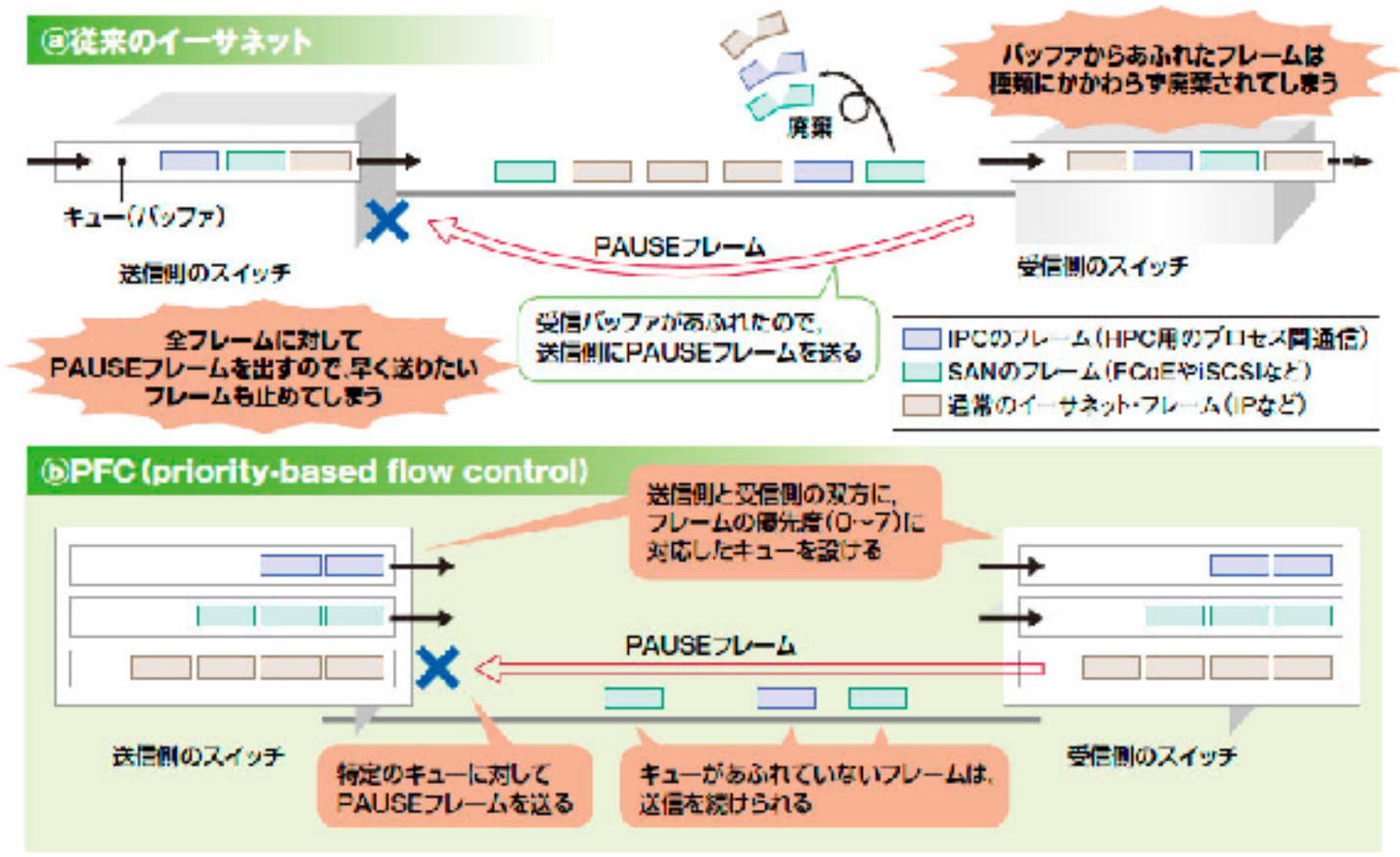
Fabricsに求められる「ロスレス」ネットワーク

- NVMe over Fabricsには「ロスレス」なネットワークが必要
  - データの順序の乱れやデータの欠損は許されない

- ロスレスを実現するネットワーク技術
  - FC / Infiniband ＝PCI Expressと同等
  - CEE: Converged Enhanced Ethernet（Ethernetの拡張）
  - TCP/IP （再送ベース）

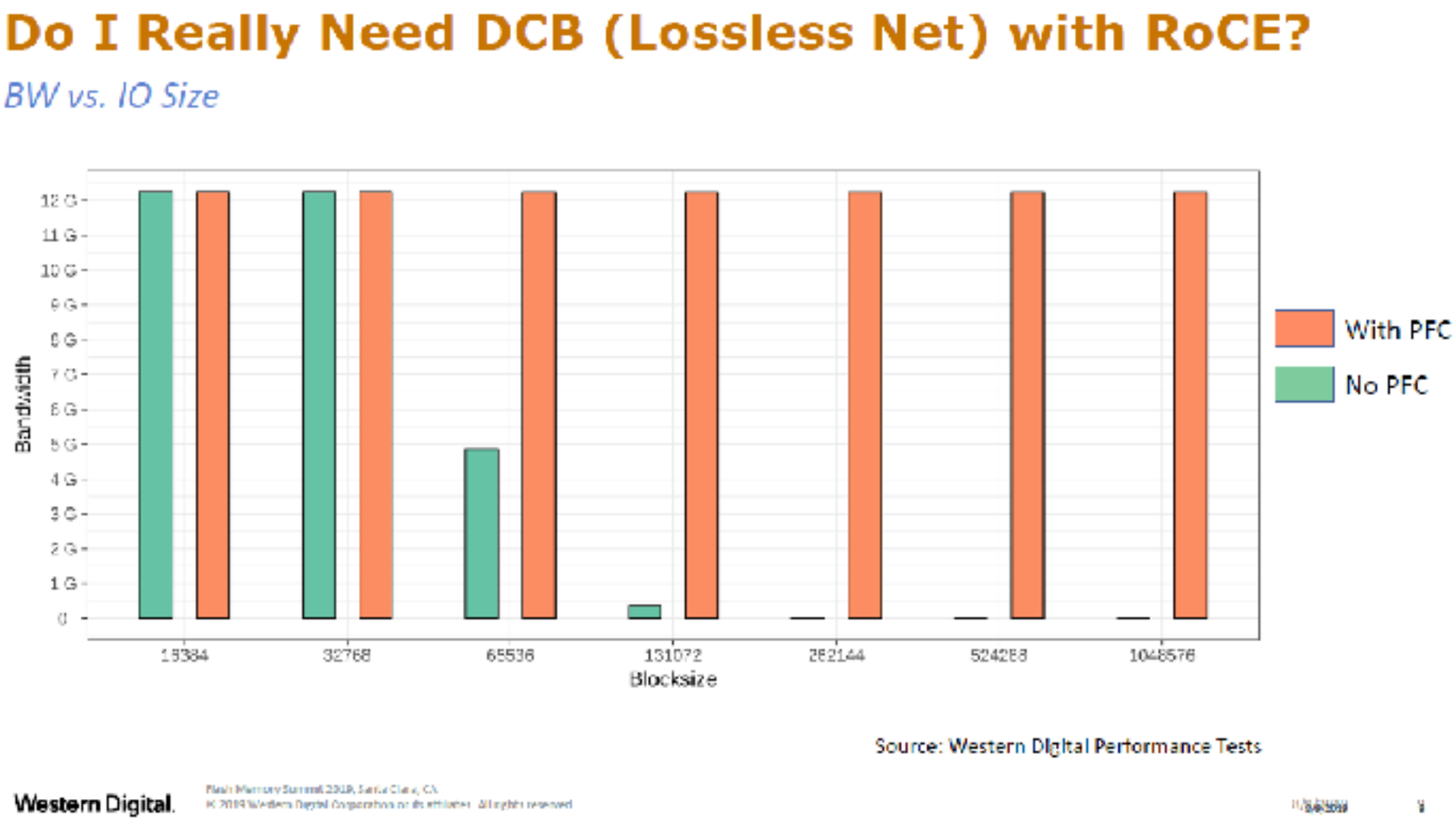
RoCEで口スレスを実現するPFC

- CEEのPFC:Priority-based Flow Control



https://tech.nikkeibp.co.jp/it/article/COLUMN/20091201/341378/?P=3

PFC無しだと再送多発



https://www.flashmemorysummit.com/Proceedings2019/08-08-Thursday/

それでも**Ethernet**はむずい。。。

- Parking lot problem
- Victim Flow problem

https://www.flashmemorysummit.com/Proceedings2019/08-08-Thursday/

Parking lot problem

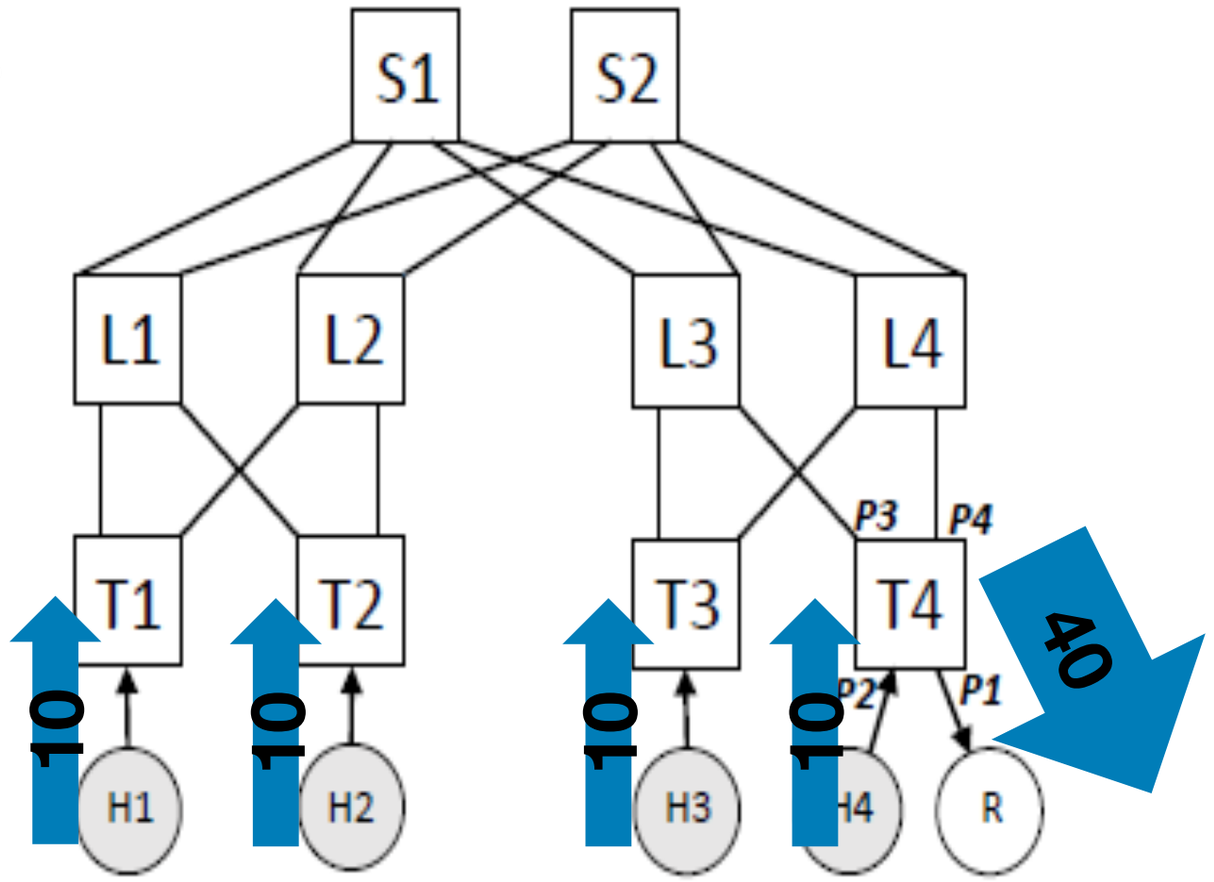
＊すべて40Gbpsリンク

＊BGP ECMP

{H1, H2, H3, H4} →(各10Gbps)→ R

↓↓↓

T4→R は40Gが出る、はずだが。。。



http://chelsio.com/wp-content/uploads/resources/DCQCN-p523.pdf

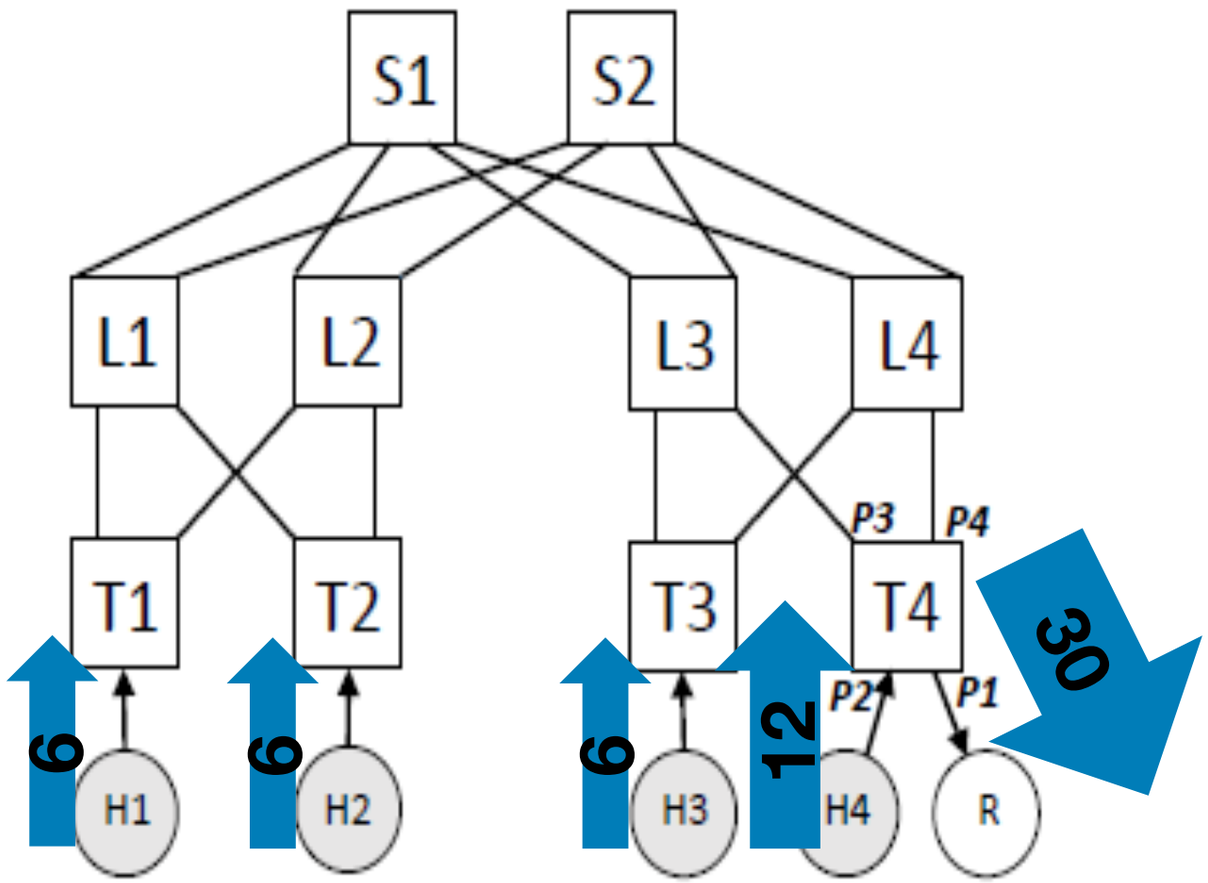
Parking lot problem(cont.)

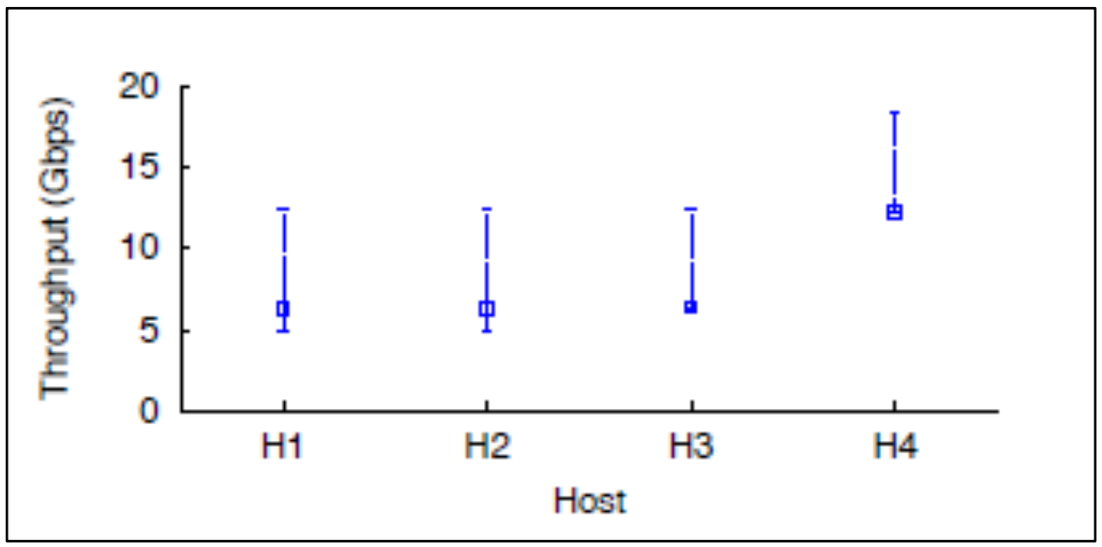
＊すべて40Gbpsリンク

＊BGP ECMP

そうならない。

Rに近い H4 → T4 が優先される。





http://chelsio.com/wp-content/uploads/resources/DCQCN-p523.pdf

Parking lot problem(cont.)

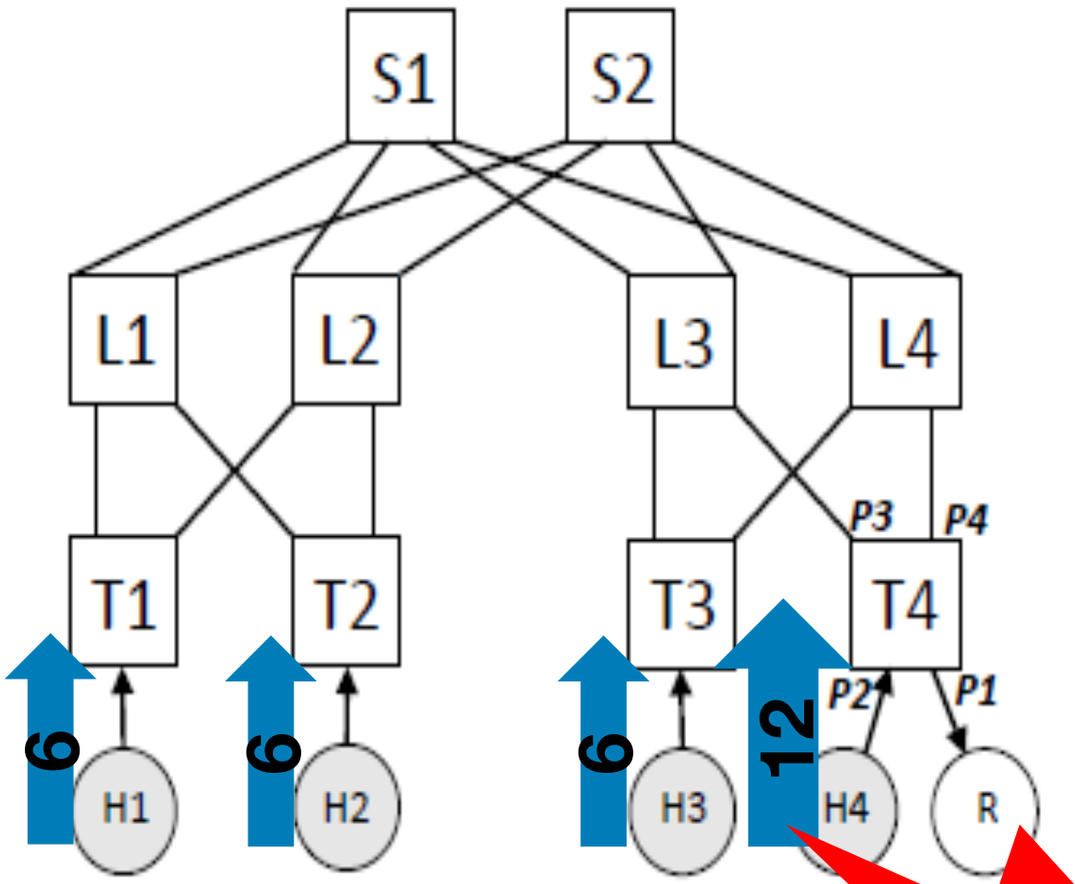
＊すべて40Gbpsリンク

＊BGP ECMP

P2リンクは1フロー

{P3,P4}リンクは複数フロー(ECMP)

→P2リンクはPauseの影響が少ない



Pause

http://chelsio.com/wp-content/uploads/resources/DCQCN-p523.pdf

Victim Flow problem

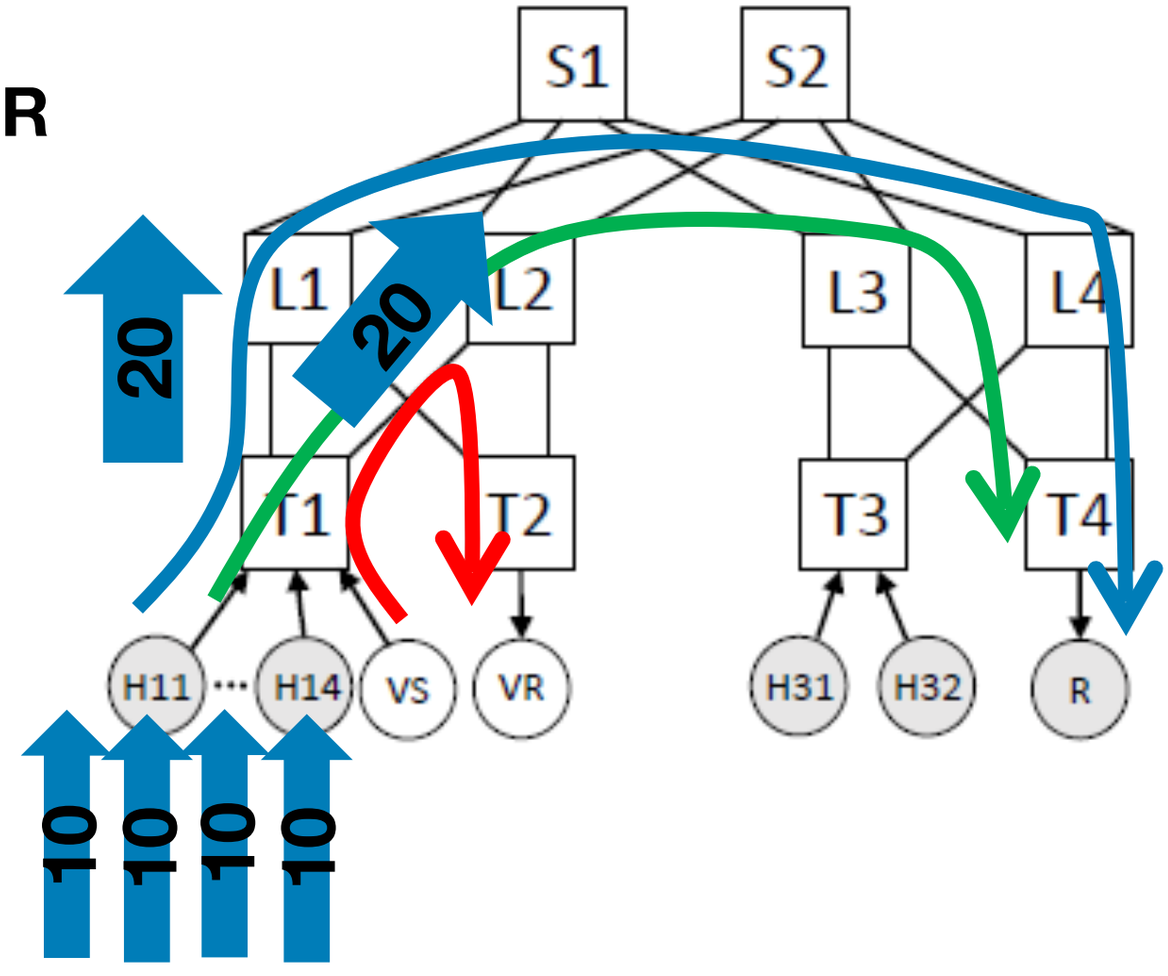
＊すべて40Gbpsリンク

＊BGP ECMP

{H11, H12, H13, H14} →(各10Gbps)→ R

↓↓↓

VS→VRは20Gが出る、はずだが。。。



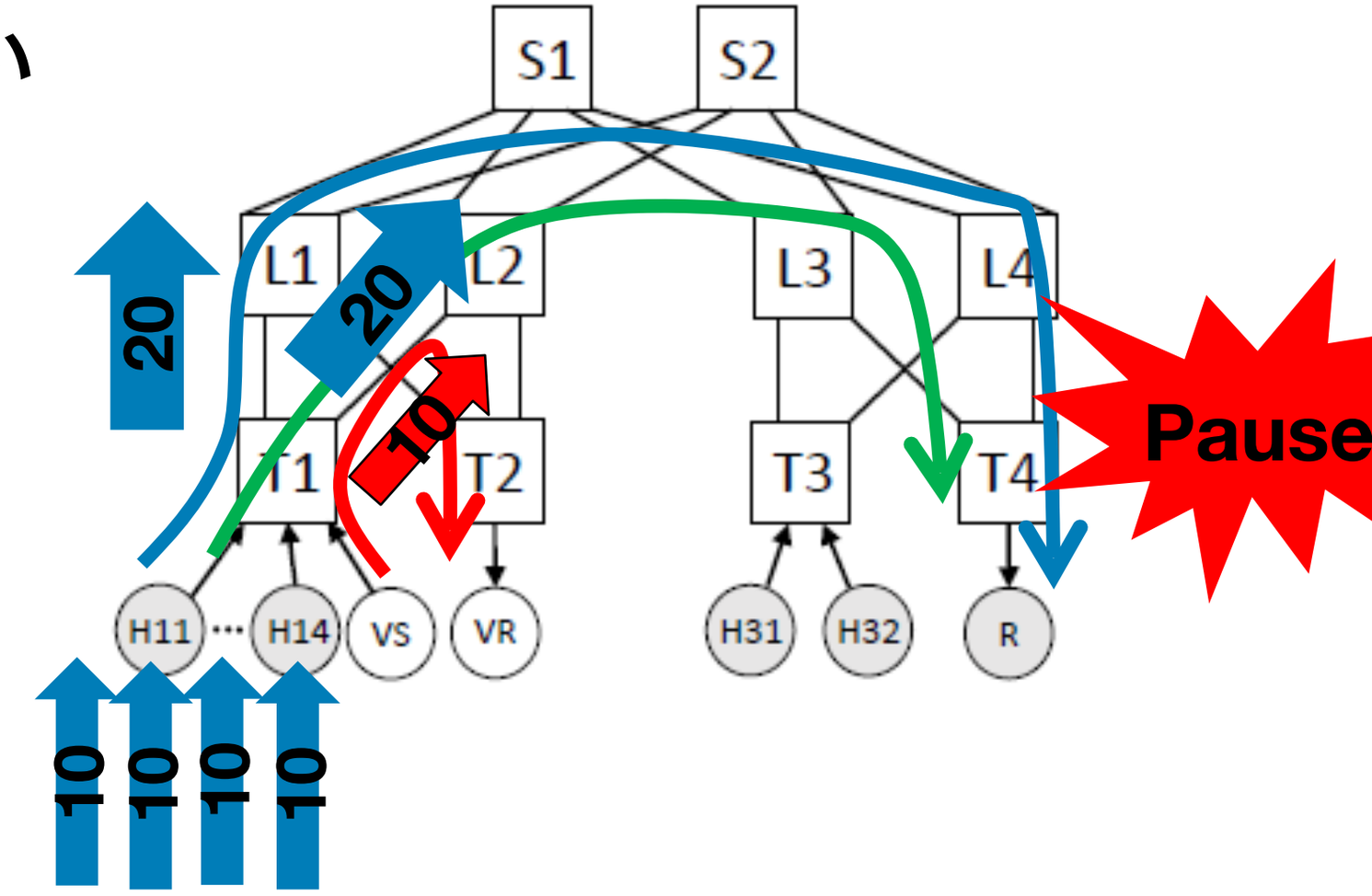
http://chelsio.com/wp-content/uploads/resources/DCQCN-p523.pdf

Victim Flow problem

＊すべて40Gbpsリンク

＊BGP ECMP

VS→VR は10Gしかでない



http://chelsio.com/wp-content/uploads/resources/DCQCN-p523.pdf

Victim Flow problem

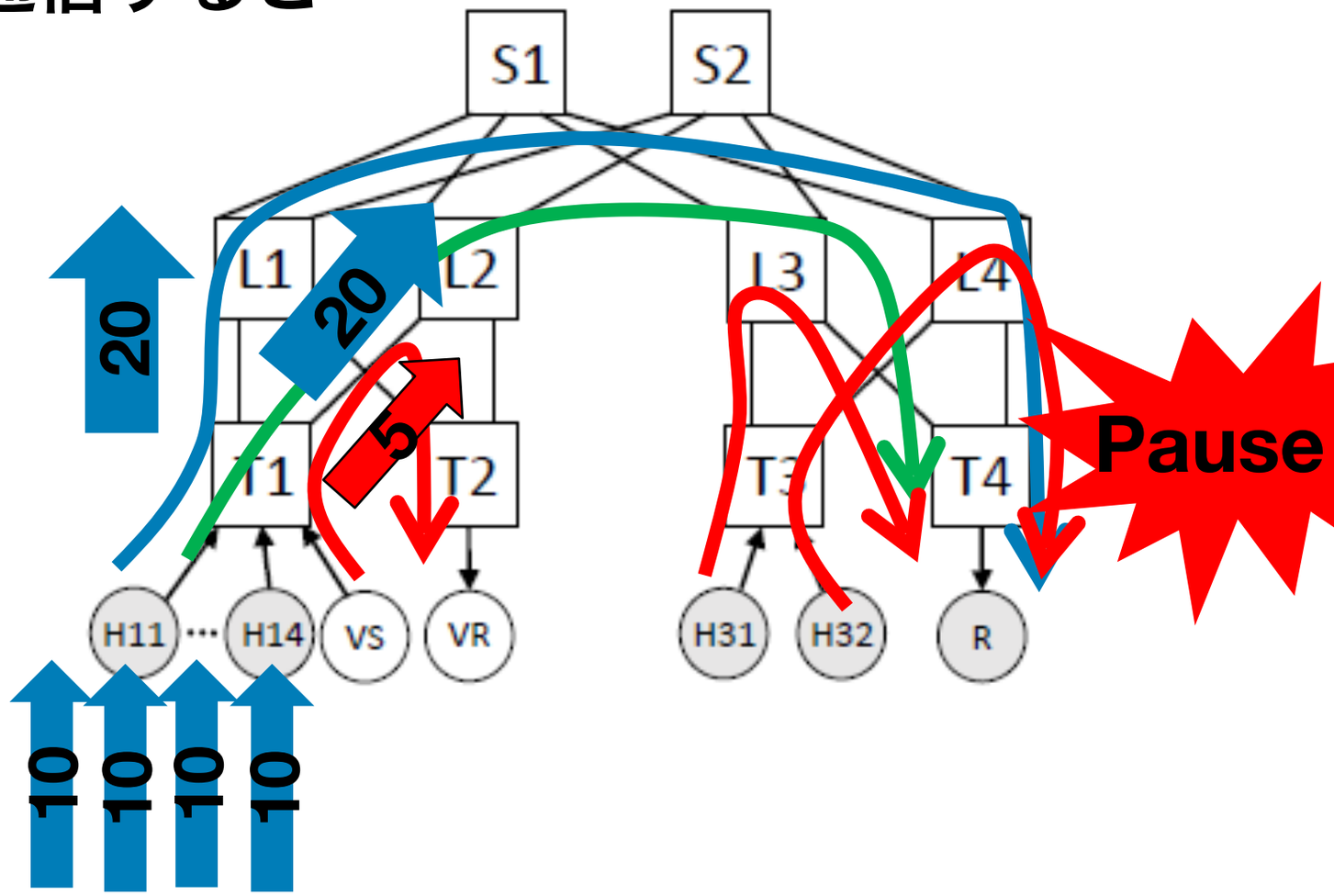
＊すべて40Gbpsリンク

＊BGP ECMP

さらに、H31→R, H32→R が通信すると

VS→VR はより減少する

T3配下の送信ノード数



http://chelsio.com/wp-content/uploads/resources/DCQCN-p523.pdf

まとめ

- 今どきのストレージメディア(Flash, SCM)の性能を引き出すにはNVMeが必須
- 高速ストレージメディアを高速ネットワークで運ぶ複数の選択肢あり
- ローカルNVMeをネットワークで運ぶのがNVMe over Fabrics (NVMeoF)
- FabricsにはFC以外にInfiniband, Ethernet など選択肢がある
- 超高速Ethernetはとても魅力的だが、用途を踏まえた十分な検討とPoCを
- (ぼそっ)FCは安パイ、RoCEはハードのケアが、TCPは今後注目