

外部記憶装置を有しない不揮発性メモリ搭載計算機とオペレーティングシステム Operating System for Computers Equipped with Only Non-Volatile Memory

谷口秀夫†

TANIGUCHI, Hideo

1. はじめに

近い将来、不揮発性メモリ (Non-Volatile Memory: 以降、NV メモリと略す) を実メモリとして利用できることが可能になる。例えば、Intel が 2019 年 4 月に発表した Optane DC Persistent Memory は、アクセスインタフェースとして DDR4 のデータ信号で利用できる。文献[1]では、揮発/不揮発性メモリ混載環境を支援する仮想記憶機構向け実行ファイル形式を提案した。

本稿では、実メモリが NV メモリである計算機を想定し、外部記憶装置が不要になること、およびこの計算機におけるオペレーティングシステム (以降、OS と略す) に求められる機能を述べる。

2. 背景

NV メモリは、数十年前から存在し、揮発性メモリと同様にバイトアクセス可能であり、さらに不揮発性 (電源 OFF でもデータを保持) である。しかし、アクセス速度が揮発性メモリに比べ非常に遅い。しかし、最近のハードウェア技術の向上により、アクセス速度は向上しており、大容量化とともに低価格化も進んでいる。例えば、Intel が 2019 年 4 月に発表した Optane DC Persistent Memory は、アクセスインタフェースとして DDR4 のデータ信号で利用でき、従来の NV メモリに比べアクセス速度が速い。

一方、プロセッサの動作速度は非常に速くなっているため、実メモリが DRAM のような揮発性メモリであっても十分なアクセス性能ではない。そこで、メモリキャッシュの役割が重要になっている。メモリキャッシュは、高速化や大容量化とともに高機能化により、高いキャッシュヒット率を生み出している。現在の計算機では、メモリキャッシュのヒット率が計算機の性能を左右しているといっても過言ではない。逆に言えば、実メモリのアクセス速度の重要度は低下している。つまり、アクセス速度について、NV メモリは DRAM と同等であることが必須とは限らない。

また、プロセッサが扱えるメモリ空間は広がり、64 ビットプロセッサが登場している。これに伴い、仮想メモリ空間の 64 ビット化だけでなく、実メモリ空間の 64 ビット化も可能である。また、仮想記憶機構では、実メモリは連続アドレスである必要はない。

以上のことから、ヒット率が高いメモリキャッシュを有した 64 ビットプロセッサを搭載し、NV メモリを実メモリとする計算機を実現できる。

3. 不揮発性メモリ品

3. 1 外部記憶装置の必要性と代替え

現在の計算機において、不揮発性の記憶媒体である外部記憶装置が必要である要因は、大きく以下の 3 つである。ここで、情報とは、プログラムとプログラムが扱うデータである。

(1) 電源 OFF 時の情報保存: 実メモリは揮発性メモリであるため、電源 OFF とともに実行しているプログラムやデータが消失する。データの参照と更新しながら継続的に処理を進めるには、電源 OFF 時でもデータの保存が必要である。もちろん、プログラムの保存も重要になる。

(2) 多くの情報保存: 様々なプログラムが多くのデータを扱う処理を同時に実行しようとする、実メモリの大きさを超えるプログラムやデータの量を扱える必要がある。つまり、多くの情報保存が必要である。

(3) 情報の可搬: 一つの計算機で全ての処理を行うのではなく、プログラムやデータを可搬し、いろいろな計算機で利用できることが望まれる。このため、プログラムやデータを可搬する必要がある。

なお、ネットワーク利用が常時可能な計算機の場合、ネットワークを介して遠隔にデータを保管することで上記に対応可能である。しかし、非常に高速なネットワーク環境が全ての計算機に必要なになってしまう。

上記の外部記憶装置が必要である要因は、以下の対処により、NV メモリで代替えできる。

(1) 電源 OFF 時の情報保存: NV メモリは不揮発性であるので、電源 OFF 時の情報保存ができる。

(2) 多くの情報の保存: NV メモリは、大容量化とともに低価格化も進んでおり、多くの情報保存ができる。さらに、後述する不揮発性メモリ品で可能である。

(3) 情報の可搬: NV メモリに保存した情報を可搬するには、後述する不揮発性メモリ品で可能である。したがって、上記の対処により、外部記憶装置が必要でなくなる。言い換えれば、不揮発性メモリ品を外部記憶として扱う。

3. 2 不揮発性メモリ品の考え方

NV メモリのアクセスインタフェースは進化の途中にある。例えば、Intel が 2019 年 4 月に発表した Optane DC Persistent Memory は、アクセスインタフェースとして DDR4 のデータ信号で利用できる。今後、USB インタフェースのように活性挿抜ができることも考えられる。そこで、NV メモリを実メモリとして搭載し、その一部を活性挿抜できれば、次のような機構が考えられる。

† 岡山大学 大学院自然科学研究科、Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

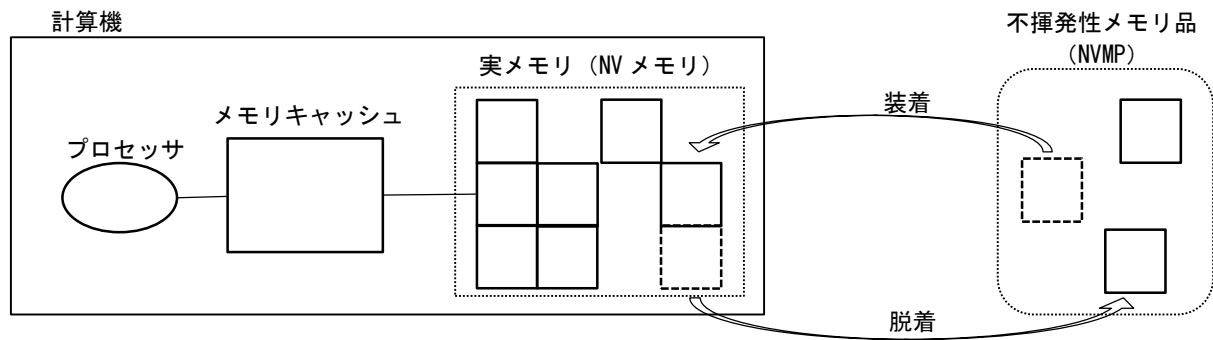


図1 不揮発性メモリ品型計算機

(1) 実メモリ空間を適当な大きさに分割する。これを NV メモリ単位 (NVM ユニット) と名付ける。例えば、NV ユニットは 1 テラバイト (40 ビット空間) とする。

(2) NVM ユニットでの活性挿抜 (装着と脱着) を可能にする。

つまり、64 ビットプロセッサにおいて、実メモリ空間 (64 ビット空間) を 1 テラバイト空間 16 メガ個 (24 ビット分) で構成する。また、この活性挿抜できる NVM ユニットを不揮発性メモリ品 (NVMP: Non-Volatile Memory Product) と名付ける。この NVMP の装着/脱着により、実メモリ空間に存在する実メモリ量を自由に増減できる。

NVMP の様子を図 1 に示す。NVMP は、装着により実メモリの一部となり、脱着により実メモリから切り離される。

3. 3 期待される効果

古くから、計算機システムにおける OS の本質的なオーバーヘッドは「データの複写」といわれている。この「データの複写」には、実メモリ間のデータ複写、および実メモリと外部記憶装置間のデータ入出力がある。

NVMP の導入により、

(1) 実メモリと外部記憶装置間のデータ入出力はない。という長所がある。したがって、OS オーバヘッドは大きく減少する。

4. オペレーティングシステムの課題

外部記憶装置を有しない不揮発性メモリ搭載計算機、つまり NVMP 型計算機では、OS が以下の課題に対処する必要がある。

(1) NVMP のデータ格納形式: ボリューム構造やファイルシステム構造といった形式である。現計算機との親和性を重視すると、現在の形式を流用することが考えられる。一方、NV メモリの特徴を生かした新たな形式の考案も必要である。

(2) NVMP の装着と脱着の機能: 現在の USB メモリの装着や脱着のような機能である。この機能の実現は、ハードウェアが実現する活性挿抜機構に大きく影響を受ける。

(3) NVMP 上のプログラム実行法: NVMP 上にあるプログ

ラムの実行方法とともに、プログラムが参照や更新する NVMP 上のデータ (ファイル相当) へアクセスする方法である。仮想記憶機構を基本とし、オンデマンドページング機能やコピーオンライト機能を駆使する必要がある。

また、NVMP 型計算機におけるデータ操作のプログラムイメージを図 2 に示す。当然のことながら read() と write() は不要である。

```

mount(); /*ファイルシステムへの組み込み*/
open(); /*アクセス権検査*/
read(); /*外部記憶装置からの読み込み*/
write(); /*外部記憶装置への書き出し*/
close(); /*アクセスの終了*/
umount(); /*ファイルシステムからの切り離し*/
(A) 現計算機

mount(sraddr, mount_point); /*組み込み*/
svaddrfile=open(filename, op);
/*アクセス権検査し、仮想空間への貼り付け*/
close(svaddrfile); /*仮想空間から剥がし*/
umount(svaddr); /*切り離し*/
(B) NVMP 型計算機

```

図2 データ操作のプログラムイメージ

5. おわりに

外部記憶装置を有しない不揮発性メモリ搭載計算機、つまり不揮発性メモリ品 (NVMP) 型計算機を提案し、オペレーティングシステムに求められる機能を述べた。残された課題として、OS の各課題の検討がある。

[謝辞] 本研究の一部は、JSPS KAKENHI 18K11244 による。

<参考文献>

[1] 谷口秀夫, “揮発/不揮発性メモリ混載環境を支援する仮想記憶機構向け実行ファイル形式: OFF2F の提案,” コンピュータシステムシンポジウム論文集, vol. 2017, pp. 35-40, (2017).