

## 不揮発性メモリと外部記憶装置を利用したファイルシステム A File System using Non-Volatile Memory and External Storage Device

谷口秀夫†

TANIGUCHI, Hideo

### 1. はじめに

不揮発性メモリ (Non-Volatile Memory : 以降、NV メモリと略す) については、その利用に関する議論<sup>[1]</sup>と共に、消費電力の観点からの利用法<sup>[2]</sup>、あるいはファイルシステムとしての議論<sup>[3]-[5]</sup>がある。文献[3]は実メモリと外部記憶装置の利用に合わせて、NV メモリの利用形態を変更させる方法を提案しており、文献[4]は NV メモリの耐久性に着目したファイルシステム AMFS を提案している。また、文献[5]は、NV メモリと外部記憶装置を組み合わせ、NV メモリの容量を仮想拡張する手法 VEMS を提案している。

本稿では、磁気ディスク装置や SSD といった外部記憶装置上のファイルシステム (以降、通常ファイルシステム : nFS と略す) との共存を前提とした NV メモリ上のファイルシステム (以降、NVM-FS と略す) の構成、および両者の連携について述べる。

### 2. システム構成

#### 2. 1 背景

従来、計算機の実メモリは揮発性メモリであり、電源 OFF と共に保持データは消失する。これに対し、電源 OFF 後においてもデータを継続保持できる NV メモリが登場している。NV メモリは、アクセス速度の向上、大容量化、消費電力低減、耐久性の向上、および価格低下といった性能向上が著しい。このため、NV メモリの不揮発性という特徴を生かし、例えば、NV メモリにファイルシステムを構築して PDA で利用されている。

揮発性メモリは、アクセス速度が高速であり、これまでの技術革新により大容量かつ低価格である。これに対し、ハードウェア構造やエネルギー効率の性質上、相対的に見ると、NV メモリは、アクセス速度が低速であり、少容量かつ高価格である。したがって、実メモリがすべて NV メモリ搭載になる構成ではなく、揮発性メモリと NV メモリが共存する実メモリ構成のプロセッサ環境が、今後の主流になる。

一方、不揮発性という共通の特徴を持つ外部記憶装置と比較すると、アクセス単位の面で大きな違いがある。外部記憶装置はブロック単位であるのに対し、NV メモリはバイト単位である。また、磁気ディスク装置や SSD といった外部記憶装置は、大容量、低価格および高耐久性である。そこで、NV メモリ上にファイルシステム (NVM-FS) を構築し、外部記憶装置上の通常ファイルシステム (nFS) と連携することが有効である。

#### 2. 2 想定するシステム構成

想定するシステム構成のイメージを図 1 に示す。NV メモリは、揮発性メモリと同様に実メモリを構成する。なお、揮発性メモリと NV メモリがアドレス連続に配置されている必要はない。外部記憶装置は、バス接続され、入出力装置の位置づけである。

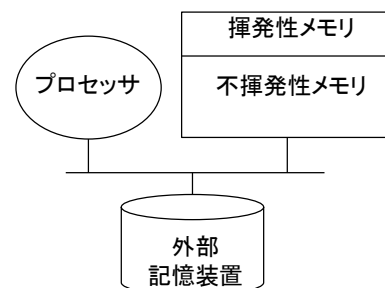


図1 システム構成(イメージ)

### 3. NV メモリ上のファイルシステム (NVM-FS)

#### 3. 1 要件

今後の技術革新により、NV メモリは、揮発性メモリ並みの読み出し速度は見込まれるものの、書き込み速度が肩を並べることは難しい。このため、この性質を考慮したファイルシステムの構築が必要である。これを踏まえ、NVM-FS への要件として、以下のものがある。

(1) ディレクトリと通常ファイルのみが存在

木構造とするためにディレクトリが必要である。一方、アクセス数が少ない特殊ファイルは不要とし、領域の有効利用を図る。

(2) nFS 上のものとの区別

NV メモリのアクセス単位はバイト単位であることを生かすため、ディレクトリと通常ファイルについては、NVM-FS 上であることを識別できるようにする。

(3) ファイル管理部 (Linux の i ノード相当) の構造

ファイル管理部の基本的構造は nFS のものと同様であるが、ブロックへのポインタはメモリアドレスとする。

(4) ブロックの大きさ

OS が管理するメモリ単位の多くはページであり、多くの OS で 4KB (4KB 境界) である。このため、OS のメモリ操作との親和性を考慮し、ブロックの大きさは 4KB (4KB 境界) とする。

また、NVM-FS には、読み出しが多く、書き込みが少ないデータを格納することが好ましい。

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

### 3. 2 構成

4つの要件を踏まえた NVN-FS のファイルシステム構成を図2に示す。nFS との連携を容易にするために、基本的な構造は nFS と同様である。

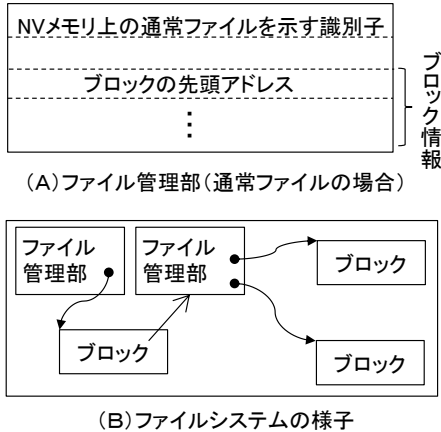


図2 NVN-FS

### 3. 3 利用

NVN-FS の利用は、NV メモリの特徴であるバイト単位アクセスを生かす必要がある。例えば、XIP (eXecution In Place) では、バイト単位アクセスであることを生かし、ROM プログラムをそのまま実行している。Linux でも、同様な技術がある。

ファイルをメモリ上で利用する方法として、メモリマップドファイル (MMF) 機能がある。この機能は、プロセスの仮想メモリ空間にファイルデータを格納した実ページ (以降、4KB とする) をマッピングする。マッピング処理時に事前読み込みする場合とオンデマンドページング機能を利用する場合がある。前者の場合の処理流れを以下に示す。

- (1) 指定ファイルがメモリ上に存在するように見せるため、仮想メモリ空間の指定された領域のマッピング表を作成
- (2) 空き実メモリ (4KB) を確保
- (3) ファイルデータのブロック (4KB) を実メモリ (4KB) に読み込む
- (4) 当該ページをマッピング表に登録
- (5) 上記の処理(2)から(4)をファイルの大きさ分だけ繰り返し実行

後者の場合は、ページ例外処理において、ページ例外発生アドレスから必要なページ位置を特定し、その部分について上記の処理 (2) から (4) を実行する。

NV メモリはバイト単位アクセスが可能であるから、NVN-FS を利用した MMF 機能では、上記の処理 (2) と (3) を割愛できる。この様子を図3に示す。NVN-FS を利用した MMF 機能では、処理(4)において、ファイルデータのブロックをマッピング表に登録する。

### 4. ファイルシステムの連携

nFS は read/write によるブロックアクセスであり、NVN-FS はメモリアクセスである。この違いはあるものの、1つのファイルシステムに見せるための連携として、以下の対処が必要である。

#### (1) ルートファイルシステムの決定

NVN-FS をルートファイルシステムにする方法がある。しかし、既存システムとの互換性を重視して、nFS をルートファイルシステムにすることが好ましい。

#### (2) マウント処理のための NV メモリ用特殊ファイル

マウント処理は、特殊ファイル名とマウント先ディレクトリ名を必要とする。したがって、NV メモリを特殊ファイルとして扱えば、マウントできる。つまり、NV メモリドライバを用意することにより、マウントできる。

上記の対処により、NVN-FS は nFS にマウントでき、ブロック単位でアクセスできる。さらに、NVN-FS は、MMF 機能を利用することで、バイト単位アクセスである特徴を生かせる。

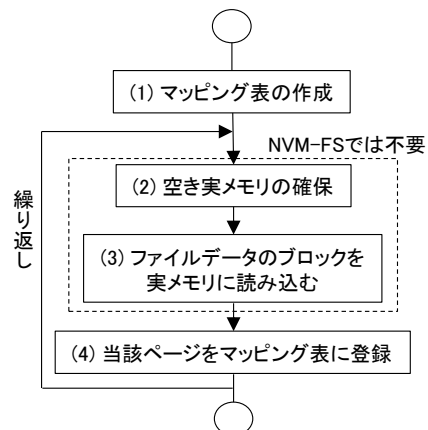


図3 NVN-FSを利用したMMF機能の処理流れ

### 5. おわりに

外部記憶装置上のファイルシステムとの共存を前提とした NV メモリ上のファイルシステムの構成、および両者の連携について述べた。NV メモリ上のファイルシステムでは、MMF 機能を有効利用することが重要である。

#### <参考文献>

- [1] 三浦史光：不揮発性記憶装置の効率的利用の研究，情報処理学会研究報告ユビキタスコンピューティングシステム，2006-UBI-010，pp. 323-328 (2006)．
- [2] 広瀬崇宏，高野了成：次世代不揮発性メモリを利用するハイパーバイザの試作，研究報告システムソフトウェアとオペレーティングシステム，OS-135(5)，pp. 1-9 (2015)．
- [3] 追川修一：Non-Volatile メインメモリとファイルシステムの融合，情報処理学会論文誌，54(3)，pp. 1153-1164 (2013)．
- [4] 島津真人，田浦健次朗：AMFS:アトミックなデータ永続化を備えた次世代不揮発性メモリ向けファイルシステム，研究報告システムソフトウェアとオペレーティングシステム，OS-134(17)，pp. 1-8 (2015)．
- [5] 追川修一：ブロックストレージとの組み合わせによるメモリストレージ容量拡張手法，情報処理学会論文誌コンピューティングシステム，8(2)，pp. 15-24 (2015)．