

SSD上の消去ファイルの復元可能性の実験と評価

山前碧^{†1} 小林裕太^{†2} 上原哲太郎^{†3} 佐々木良一^{†4}

ここ数年で、PCの不揮発性記憶媒体としてSSD (Solid State Drive) の普及が高まると予想される。IT調査会社のIDC Japanによると、SSD市場の2017年までの平均成長率は39.2%と予測している。そのため、SSDの消去ファイルの復元率の把握が、PCの破棄の時点での事前処理や、デジタルフォレンジックのための証拠の確保可能性を知る上で重要となってきた。また、SSDにはTrim機能という特徴的な機能があり、この機能による復元の影響を検証する必要が出てきた。そのため、本研究では、SSDのTrimの有無、削除後の利用状況の差異、OSの差異に伴うデータ復元の確率について検証した。結果、Trim無効時は、データの多くは削除してから一日しか残っていないことが明らかになった。また、Trim有効時は削除直後でもデータは残っていないことが明らかになった。さらに、ファイルサイズや拡張子、OSによる大きな違いは見られなかった。本稿では上記の検証とデジタルフォレンジックの目的での復元、PC廃棄の目線からの考察を報告する。

Experiment and evaluation of recoverability of removed files in SSD

MIDORI YAMAMAE^{†1} YUTA KOBAYASHI^{†2}
TETSUTARO UEHARA^{†3} RYOICHI SASAKI^{†4}

In recent years, the spread of SSD (Solid State Drive) is expected to increase as the non-volatile storage medium of the PC. According to IDC Japan of IT research firm, the average growth rate of up to 2017 of the SSD market is expected to 39.2%. Therefore, understanding the recovery ratio of the erased file SSD, have become important in understanding and preprocessing at the time of destruction of PC, to ensure the possibility of evidence for digital forensic. In addition, the SSD has a characteristic function such as Trim function, necessary to verify the effect of the restoration by this feature came out. Therefore, in this study, we verified the probability of data recovery due to the difference of the OS, the presence or absence of Trim function in the SSD. As a result, in the case of Trim disable, it was found that almost all data does not remain while taking a day after deleting. In the case of Trim enable, it became clear that there are no remaining data even immediately after deletion. In addition, the results do not change depending on file size, type of files and type of OS. In this paper, we report the results and the consideration on the effect of the results from the viewpoints of digital forensics and PC disposal.

1. はじめに

ここ数年で、PCの不揮発性記憶媒体としてSolid State Drive (以下、SSDとする) の普及が高まると予想される。IT調査会社のIDC Japanによると、SSD市場の2017年までの平均成長率は39.2%と予測している[1]。

SSDにはTrim機能という特徴的な機能がある。Trim機能とは、OS上で削除してよいと通知を受けた際、SSD上

でも順次削除を行うもので(図1に示す)、SSDの利点である高速化を図るための機能である。現在、デスクトップPCやノートPCで多く扱われているHDDの場合、ごみ箱から削除を行っていても、実はまだデータは残っており、上書きされて初めてデータが消えるようになっている。実際に、HDDの復元に関して調査した東京電機大学の林が、HDDにてデータを削除し復元したところ、復元ができたと報告している[2]。しかし、Trim機能が行われると、前述とは異なり削除してもよいと認識されたデータは削除されてしまう。さらに、この機能がデータ削除後いつ行われているのかはわかっていない。このため、警察などがデジタルフォレンジックの目的でデータを復元しようとしても復元が困難になってしまう可能性がある。そこで、Trim機能がいつ行われ実際に復元が困難になるのか、Trim機能の影響

†1 東京電機大学
Tokyo Denki University
†2 東京電機大学
Tokyo Denki University
†3 立命館大学
Ritsumeikan University
†4 東京電機大学
Tokyo Denki University

を検証する必要が出てきた。

一方、近年廃棄した記憶媒体からの情報漏えいが発生している。中古の PC を購入後、市販の復元ソフトで復元してみたところ、消去しきれなかったデータが残っていた、という事例がある[2]。また、ネットオークションに出品されている中古 PC を購入しデータ復元したところ、映像がきちんと再生されたという報告もある[3]。さらに、消去しきれなかったデータから企業の機密情報を入手しようと、中古 PC を購入するという手口も行われている[4]。そのため、廃棄時にデータが完全に消去されていないと、個人情報流出し、悪用される可能性がある。このため、HDD 付きの PC を破棄する際には専用ソフトを用いて完全消去をするようになっていたが、これが不必要になる可能性がある。一方で、カルフォルニア大学の Michael Wei 氏らの研究論文では、HDD でデータを完全に削除するための方法が SSD に働くと仮定することは危険である、と論じている[4]。これは、HDD がデータを消去するために上書きをするのに対し、SSD はフラッシュメモリの特徴で上書きをすることができない。このため、Trim 機能が働いていない場合、削除されずに残っている可能性がある。すなわち、Trim 機能が働いていない場合においても、検討が必要である。

本研究では、SSD の普及率の上昇を勘案し、SSD の Trim 機能の有無、SSD の利用状況、OS の差異等によってデータ復元確率がどう変わるかを実験した。また、実験結果から SSD のデジタルフォレンジックの目的の復元と PC 廃棄時の事前処理に及ぼす影響について考察した。

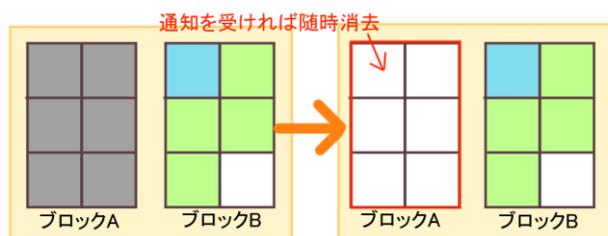


図 1 Trim 機能の図

2. SSD におけるファイルへの書き込みと消去

2.1 SSD について

SSD は記憶媒体としてフラッシュメモリを用いるドライブ装置である。HDD と同じ接続インターフェースを備え、HDD の代替として利用できる。図 2 に SSD の構造を示す。

フラッシュメモリは絶縁膜・浮遊ゲート・トンネル酸化膜の 3 層からできており、この浮遊ゲートの電子を読むことでデータを読み込んでいる。絶縁膜は電子を漏らさないためのものであり、浮遊ゲートは電子を格納するエリアで、浮遊ゲートにある電子量が保存データに関わっている。通常はトンネル酸化膜で覆われているため、絶縁状態にある。また、トンネル酸化膜はデータ書き込みや消去のときのみ電子が通過する役割をする。このトンネル酸化膜に電圧を加えると電流が流れ、浮遊ゲートに電荷が蓄えられる。こ

れがデータの書き込み動作となる。逆に消去する場合は、書き込みと逆方向に電圧をかけると、トンネル酸化膜を通過し浮遊ゲートから放出される。[5][6][7]

SSD の特徴の一つに書き換え制限がある。この理由は、トンネル酸化膜が劣化し、絶縁膜としての機能を果たさずに電子がもれてしまい、データが欠落するためである。この書き換え制限の目安は、SSD の種類によって異なるが、一番普及されているマルチレベルセルでは、5 千～1 万ほどといわれている。

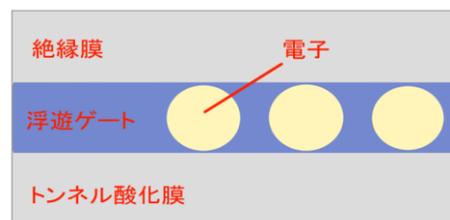


図 2 SSD の構造

2.2 SSD の書き込みの挙動について

SSD 書き込み/読み出しを「ページ」と呼ばれる単位で行ない、消去は複数のページをまとめた「ブロック」という単位で行なう。1 ブロックは 512KB である。

まず、あらかじめ消去済みのブロックを用意する。次に、必要な項目を消去済みのブロックにコピーし、その後新しいデータを消去済みのブロックに書き込む。そして使用中ブロックとコピーしたブロックを丸ごと入れ替える。その後、使用済みになったコピー元のブロックを消去し、次の書き込みに備える。図 3 にこの挙動を記す。

しかし、消去済みのブロックがなかった場合、以下の手順を踏むことになる。書き換えたいデータを含むブロック全体をすべてバッファと呼ばれる、データを一時的に蓄えておく領域に読み出す。次に、コピーした空きブロックに新しいデータを保存し、元々存在したブロックのデータをすべて消去する。そして、バッファの内容をブロック全体に書き戻す。図 4 にこの挙動を記す。

この方法は通称ブロックコピーと呼ばれ、ブロック全体の読み出し・消去・書き込み作業が必要となり、バッファも用意しなければならないため、非常に長い時間を要する。そのため、SSD はできるだけ最初に述べた方法を利用しようとする。

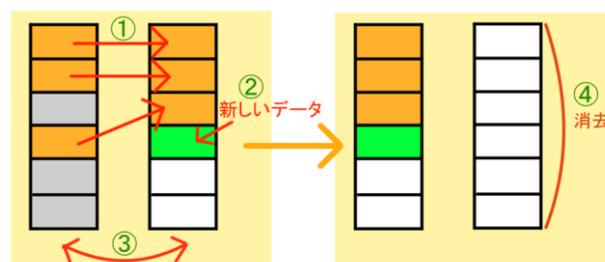


図 3 SSD の書き込みの挙動

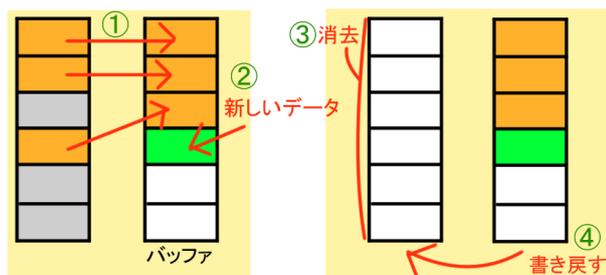


図4 SSDの書き込みの挙動

2.3 Trim 機能

2.2 で記述した 2 つのケースにおいて、あらかじめ消去済みのブロックがあることが高速書き換えの条件である。そのため、必要分のデータがない場合、新たに消去済みのブロックを作成しなければならず、アクセス速度が大幅に低下する。また、先述したブロックコピーも速度低下につながり、本来の利点である SSD の速度が落ち、結果的に性能低下につながってしまう。この速度低下を防ぐ機能が Trim 機能である。

Trim が無効の場合、OS 上で消去しても SSD 上では消去されていないと認識はされない。そのため、このブロックに上書きされることが決まった時点で消去処理が行われる。このとき、ブロックコピー処理が発生するため、未使用領域への書き込みよりも大幅に遅くなる。

Trim が有効の状態ではファイルを消去すると、OS 上でも SSD 上でも消去されていると認識される。言い換えると、Trim 機能によりあらかじめ物理消去してもよい論理アドレスを SSD に通知し、SSD はその通知によりこのブロックを事前に消去し、すぐに書き込みができるようにする。つまり、書き込み命令を受ける前に、効率よく物理消去を行なえ、結果として消去を伴う書き込みが減少する。

この機能により、SSD は高速化を図っている。

2.4 復元ソフト

復元を行うにあたり、復元ツールを使用し、削除したデータの復元を行った。今回は AccessData 社の「Forensic Toolkit」(以下 FTK とする)を使用した。

FTK は、復元したものを拡張子別やファイル構造別にみることが出来るため、視覚的に分かりやすいソフトとなっている。

3. 第一次実験

最初は第一次実験として下記のように実験を実施した。

3.1 実験 1 ドライブ容量の差異による復元実験

デスクトップパソコンの内蔵HDDのCドライブの領域について、128GB、256GB、500GBの三種類の容量を用意す

る。このCドライブ直下に作成したDownloadフォルダ内に5MBのMP3音楽ファイルをダウンロードし、ファイルの削除直後にどの程度の時間経過で復元ができなくなるのか調査するデータ復元実験を行った。復元ソフトはFTKを用いた。

3.1.1 実験環境

実験1の実験環境は以下の通りである。

表1 実験の OS 環境

| | OS | メモリ | CPU | Cドライブ容量 |
|---|----------|------|---------------|---------|
| A | Windows7 | 16GB | Intel Core i7 | 128G |
| B | Windows7 | 16GB | Intel Core i7 | 256G |
| C | Windows7 | 16GB | Intel Core i7 | 500G |

3.1.2 実験手順

実験の手順は以下の通りである。

1. 指定の場所からファイルをダウンロードする
2. ファイルをCドライブ直下のDownloadフォルダ内に保存する
3. ダウンロードしたファイルを確認後、保存したファイルを削除する
4. ごみ箱を空にし、消えたことを確認する
5. パソコンを普段通りに使用し、そのときの使用方法を記録する
6. FTKを使用する
7. 該当するファイルが存在するか確認する
8. 5~7を繰り返し行う

本実験では、FTKを使用する時間についてそれぞれ1時間後、2時間後、6時間後、12時間後、24時間後の5回としている。

3.1.3 実験結果

実験結果は以下の通りである。

表2 実験1結果

| 経過時間(時間) | 1 | 2 | 6 | 12 | 24 |
|----------|-------|------|------|------|------|
| A | 10/10 | 9/10 | 5/10 | 2/10 | 0/10 |
| B | 10/10 | 8/10 | 6/10 | 2/10 | 0/10 |
| C | 10/10 | 9/10 | 4/10 | 1/10 | 0/10 |

(復元できた回数/実験した回数)

3.2 実験 2 記憶媒体の差異による復元実験

デスクトップパソコンの内蔵HDDとデスクトップパソコンの内蔵SSDを用いて記憶媒体ごとによる時間経過に伴う復元の差異を調べる復元実験を行った。SSDのTrim命令

は無効としている。また、HDDの実験環境をD、SSDの実験環境をEとした。

実験に用いるファイルは、Word、PowerPoint、Jpg、MP3の4種類とし、ファイルのサイズはそれぞれ1MBと10MBとした。復元ソフトはFTKを用いた。

3.2.1 実験環境

実験2の環境は以下の通りである。

表3 実験のOS環境

| | OS | メモリ | CPU | Cドライブ容量 |
|--------|----------|------|---------------|---------|
| D(HDD) | Windows7 | 16GB | Intel Core i7 | 128G |
| E(SSD) | Windows7 | 16GB | Intel Core i7 | 120G |

実験手順は実験1と同様とする。

本実験では、FTKを使用する時間についてそれぞれ1時間後、2時間後、6時間後、12時間後、24時間後の5回としている。また、実験中はLANケーブルを抜いてOSやアプリケーションソフトのアップデートが行われ、削除したデータに極力上書きがされないようにした。

また、実験環境D、Eそれぞれ10回の復元実験を行い、そのときの復元率を表記した。

3.2.2 実験結果

実験2の結果は以下の通りである。

表4 実験環境Dの実験結果

| 経過時間(時間) | | 1 | 2 | 6 | 12 | 24 |
|----------|------|-------|------|------|------|------|
| doc | 1MB | 8/10 | 7/10 | 6/10 | 2/10 | 0/10 |
| | 10MB | 8/10 | 5/10 | 5/10 | 1/10 | 0/10 |
| ppt | 1MB | 9/10 | 6/10 | 5/10 | 1/10 | 0/10 |
| | 10MB | 8/10 | 6/10 | 4/10 | 0/10 | 0/10 |
| jpg | 1MB | 9/10 | 7/10 | 5/10 | 3/10 | 0/10 |
| | 10MB | 9/10 | 6/10 | 5/10 | 1/10 | 0/10 |
| mp3 | 1MB | 10/10 | 9/10 | 5/10 | 2/10 | 0/10 |
| | 10MB | 9/10 | 8/10 | 6/10 | 1/10 | 0/10 |

(復元できた回数/実験した回数)

表5 実験環境Eの実験結果

| 経過時間(時間) | | 1 | 2 | 6 | 12 | 24 |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| doc | 1MB | 4/10 | 2/10 | 2/10 | 0/10 | 0/10 |
| | 10MB | 5/10 | 3/10 | 2/10 | 0/10 | 0/10 |
| ppt | 1MB | 6/10 | 4/10 | 2/10 | 0/10 | 0/10 |
| | 10MB | 7/10 | 4/10 | 2/10 | 1/10 | 1/10 |
| jpg | 1MB | 7/10 | 2/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 |
| | 10MB | 3/10 | 1/10 | 1/10 | 0/10 | 0/10 |
| mp3 | 1MB | 4/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 |
| | 10MB | 0/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 |

(復元できた回数/実験した回数)

3.3 実験3 Trim命令の差異による復元実験

デスクトップパソコンの内蔵SSDのTrim命令の差異による時間経過に伴う復元の差異を調べる復元実験を行った。

実験に用いるファイルは、MP3、Word、PowerPoint、Jpgの4種類とし、ファイルのサイズはそれぞれ1MBと10MBとした。復元ソフトはFTKを用いた。

3.3.1 実験環境

実験環境は以下の通りである。

表6 実験のOS環境

| | OS | メモリ | CPU | Cドライブ |
|-----------|-----------|------|---------------|-------|
| E(Trim無効) | Windows 7 | 16GB | Intel Core i7 | 120G |
| F(Trim有効) | Windows 7 | 16GB | Intel Core i7 | 120G |

実験手順は実験1と同様とする。

本実験では、FTKを使用する時間についてそれぞれ1時間後、2時間後、6時間後、12時間後、24時間後の5回としている。実験中はLANケーブルを抜いてOSやアプリケーションソフトのアップデートが行われ、削除したデータに極力上書きがされないようにしている。

3.3.2 実験結果

以下に実験3の結果を表と図で示す。

実験環境Eは10回、実験環境Fは5回の復元実験を行い、そのときの復元率を表記した。実験環境Eの結果は前述の表5で、表7は実験環境Fの結果である。

また、復元の成功は、元データの完全復元を以って成功としている。

表 7 実験環境 F の実験結果

| 経過時間(時間) | | 1 | 2 | 6 | 12 | 24 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| doc | 1MB | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| | 10MB | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| ppt | 1MB | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| | 10MB | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| jpg | 1MB | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| | 10MB | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| mp3 | 1MB | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| | 10MB | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |

(復元できた回数/実験した回数)

3.4 第一次実験の問題点

第一次実験においてはHDDの容量の差異、HDDとSSDについて比較していた。この結果により、HDDの方がSSDに比べて復元率が高いことがわかった。しかし、

- ・OSで復元の差異は見られるか
- ・PCの利用状況の差は見られるか
- ・Trim有効時の際、Trimは削除されてからいつ起動しているのか

など、他に検証すべき点は多く挙げられると考えられる。

そこで、今回第二次実験を行うこととした。

4. 第二次実験

4.1 実験4 Trim機能の有無と削除後の環境の差異による復元実験

デスクトップパソコンの内蔵SSDのCドライブの領域について、240GBの容量を用意する。このCドライブのデスクトップ内に、USBからファイルを移動・保存する。その後、SSDのTrimの有無とPCの利用環境の変化で、ファイルの削除後に、どの程度の時間経過で復元が出来なくなるのか調査するデータ復元実験を行った。

4.1.1 実験環境

以下のOS環境で実験を行った。

表 8 実験4のOS環境

| OS | Memory | CPU | Cドライブ容量 |
|----------|--------|---------------|---------|
| Windows7 | 16GB | Intel Core i7 | 240GB |

実験に用いるファイルとして、doc、ppt、jpgを用意した。各ファイルのサイズはそれぞれ1MBと10MBの2種類とした。

また、復元ソフトとしてFTKを用いた。

4.1.2 実験方法

実験の手順を以下に示す。

1. Trimの有無を確認する
2. USBからファイルをコピーする
3. ファイルはCドライブ直下のデスクトップ内に保存する
4. ファイルの中身を確認後、保存したファイルを削除する
5. ごみ箱を空にし、消えたことを確認する
6. パソコンを放置またはサイトのクローリングをし、そのときの使用方法を記録する
7. FTKを使用する
8. 該当するファイルが存在するか確認する

4.1.3 実験4結果

以下に実験4の結果を表にしたものを示す。今回の実験では、それぞれの条件下において、Trim無効時は5回、Trim有効時は10回の実験を行ない、その時の復元率を表記した。

なお、以下の表にて、ネット無効時とは削除後放置した状態、ネット有効時とは削除後サイトのクローリングをした状態を指す。

表 9 実験4_Trim無効時_docの結果

| 経過時間(時間) | | 1 | 2 | 6 | 12 | 24 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ネット無効時 | 1MB | 2/5 | 3/5 | 2/5 | 1/5 | 1/5 |
| | 10MB | 2/5 | 4/5 | 2/5 | 1/5 | 1/5 |
| ネット有効時 | 1MB | 1/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| | 10MB | 1/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |

(復元できた回数/実験した回数)

表 10 実験4_Trim無効時_pptの結果

| 経過時間(時間) | | 1 | 2 | 6 | 12 | 24 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ネット無効時 | 1MB | 2/5 | 4/5 | 2/5 | 1/5 | 1/5 |
| | 10MB | 2/5 | 3/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| ネット有効時 | 1MB | 1/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| | 10MB | 1/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |

(復元できた回数/実験した回数)

表 11 実験4_Trim無効時_jpgの結果

| 経過時間(時間) | | 1 | 2 | 6 | 12 | 24 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ネット無効時 | 1MB | 2/5 | 4/5 | 2/5 | 0/5 | 1/5 |
| | 10MB | 2/5 | 4/5 | 2/5 | 0/5 | 1/5 |
| ネット有効時 | 1MB | 1/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |
| | 10MB | 1/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 | 0/5 |

(復元できた回数/実験した回数)

表 12 実験 4_Trim 有効時での結果

| ファイル拡張子 | 削除直後 |
|---------|------|
| doc | 0/10 |
| ppt | 0/10 |
| jpg | 0/10 |

(復元できた回数/実験した回数)

また、Trim無効時での結果を棒グラフにすると以下の通りである。

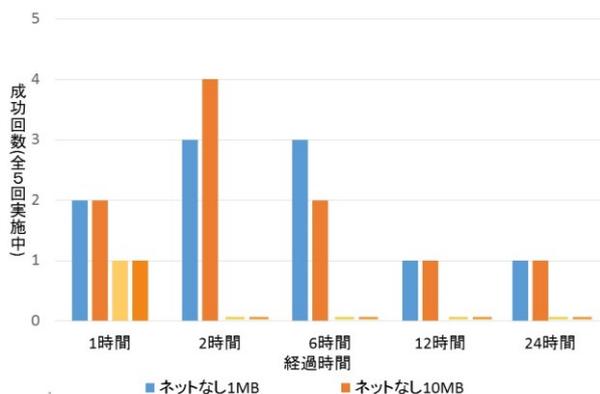


図 5 実験 4_Trim 無効時_doc の結果

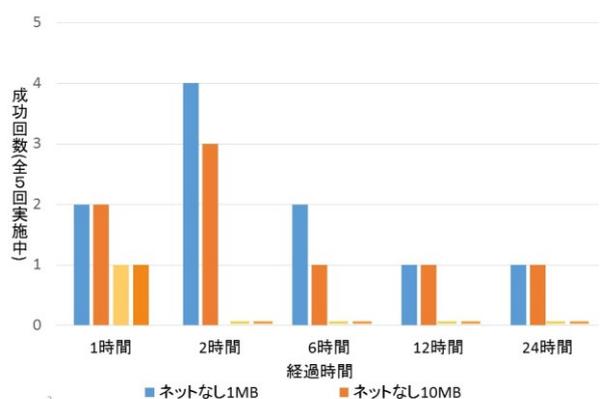


図 6 実験 4_Trim 無効時_ppt の結果

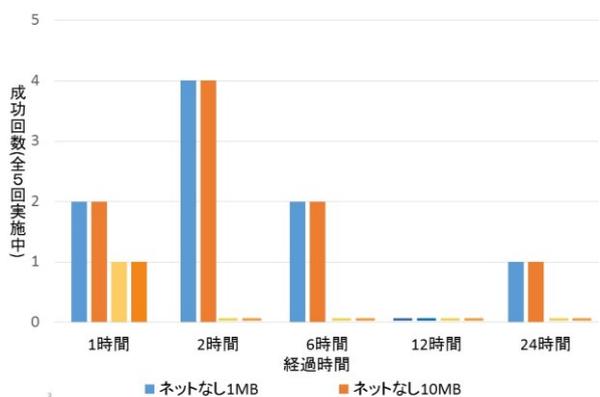


図 7 実験 4_Trim 無効時_jpg の結果

4.2 実験 5 OS の違いによる復元実験

ノートパソコンの内蔵SSDを用いて、OSの違いによる時間経過に伴う復元の差異を調べる復元実験を行った。

4.2.1 実験環境

以下のOS環境で実験を行った。

表 13 実験 5 の OS 環境

| OS | Memory | CPU | 容量 |
|--------------|--------|-------------------------|---------|
| OS X 10.10.1 | 2GB | 1.6GHz Intel Core i5 | 59.44GB |

実験5に用いるファイルおよびソフトは、実験4で使用したものと同一とした。

4.2.2 実験方法

実験の手順を以下に示す。

1. USBからファイルをコピーする
2. ファイルはCドライブ直下のデスクトップ内に保存する
3. ファイルの中身を確認後、保存したファイルを削除する
4. ごみ箱を空にし、消えたことを確認する
5. FTKを使用する
6. 該当するファイルが存在するか確認する

4.2.3 実験 5 結果

以下に実験5の結果を表にしたものを示す。今回の実験では10回の復元実験を行い、その時の復元率を表記した。

表 14 実験 5 結果

| ファイル拡張子 | 削除直後 |
|---------|------|
| doc | 0/10 |
| ppt | 0/10 |
| jpg | 0/10 |

(復元できた回数/実験した回数)

5. 考察と SSD の安全性評価

実験5の結果から、Trim無効時でサイトをクローリングしていない場合、多少のばらつきはあるものの、6時間後には約半分の確率でしか復元できず、24時間後にはほぼ復元が不可能であった。また、サイトをクローリングした場合、2時間を越えたものは復元ができなかった。この結果から、消去後にネットワークを利用すると、復元率が下がることが分かった。これは、SSDに、インターネットの一時ファイルの置き場が作成され、更新ごとに書き込みが行われたためと考えられる。さらに、Trim有効時の場合は全く復元できなかった。これは、Trim機能が削除直後に機能していたためと考えられる。

実験5の結果から、OSが変化してもTrim有効時直後の復元率は変わらず、直後に復元できなくなることが明らかに

なった。

実験結果より、警察などが行うデジタルフォレンジックの目的でデータを復元するという観点から考えると、SSDの復元はかなり難しいものとなるだろう。そのため、対策方法の検討が不可欠になる。

また、PC廃棄時の事前処理の観点から考えると、Trim有効時は、直後に破棄しても復元が不可能であり、特別の破棄のための作業が必要ないことが分かる。また、Trim無効時は、使用状況、OSに関係なく、削除してから一日経てば廃棄してもほぼ問題ないと思われる。しかし、Trim無効時については、断定できるにはさらに検証を重ね、廃棄しても問題ない具体的な時間を調査すべきである。

6. おわりに

本稿では、SSDのTrimの有無や利用状況、OSの差異に伴うデータ復元の復元実験を行い、SSDのデジタルフォレンジックの目的でのデータ復元、廃棄の安全性の二点について評価した。

実験の結果から、Trim無効時は、データの多くは削除してから一日しか残っていないことが明らかになった。また、Trim有効時は削除直後でもデータは残っていないことが明らかになった。さらに、ファイルサイズや拡張子、OSによる大きな違いは見られなかった。

実験5の結果から、OSが変化してもTrim有効時直後の復元率は変わらず、直後に復元できなくなることが明らかになった。

実験結果より、警察などが行うデジタルフォレンジックの目的でデータを復元するという観点から考えると、SSDの復元はかなり難しいものとなるだろう。そのため、対策方法の検討が不可欠になる。

また、PC廃棄時の事前処理の観点から考えると、Trim有効時は、直後に破棄しても復元が不可能であり、特別の破棄のための作業が必要ないことが分かる。また、Trim無効時は、使用状況、OSに関係なく、削除してから一日経てば廃棄してもほぼ問題ないと思われる。しかし、Trim無効時については、断定できるにはさらに検証を重ね、廃棄しても問題ない具体的な時間を調査すべきである。

参考文献

- [1] ITmedia SSD市場の2017年までの平均成長率は39.2% IDC予測
<http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1402/21/news092.html>
- [2] 林健, 佐々木良一: 時間経過に着目したHDDのデータ復元に関する実験と解析, 情報処理学会研究報告, 2013-DPS-154, pp.1-6, 2013
- [3] 佐藤さつき, 芦野祐樹, 上原哲太郎, 佐々木良一: ネットオークションに出品したPCのデータ消去状況の調査・分析, 情報処理学会研究報告, 2006-CSEC-34, pp.67-73, 2006
- [4] 総務省 国民のための情報セキュリティサイト 事例11: 中古パソコンによるデータの漏洩
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/security/enduser/case/11.html
- [5] 総務省 国民のための情報セキュリティサイト 廃棄するパソコンやメディアからの情報漏洩
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/security/business/staff/09.html

[6] Michael Wei, Laura M. Grupp, Frederick E. Spada, Steven Swanson: Reliably Erasing Data From Flash-Based Solid State Drives, 9th USENIX Conference on File and Storage Technologies, P106~P107, 2011

[7] フラッシュメモリ (NAND型メモリ) が、読み書きする仕組み
<http://www.pasonisan.com/pc-storage/ssd-read-write.html>

[8] TDK フラッシュメモリはどんな原理でデータを保存するのか
http://product.tdk.com/ja/techjournal/archives/vol01_ssd/contents03.htm

[9] TDK フラッシュメモリの書き込み・消去・読み出しの原理
<http://www.tdk.co.jp/techmag/inductive/201203/index2.htm>

謝辞 本研究を進めるにあたり、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた情報セキュリティ研究室の皆様へ感謝致します。