WinDbg. From A to Z!

Everything you need to know about WinDbg.
And nothing you don't.

By Robert Kuster

www.windbg.info

Japanese Edition By Tsuyoshi Oguni, February 2009
日本語版 小國 健 (NTT DATA)

WinDbgを選ぶ理由

なぜなら、WinDbgは...

- マイクロソフトのWindowsプロダクトチームが、Windowsの開発に利用している
- よく使われているVisual Studioのデバッガよりも高機能
- 拡張DLLによる、機能の拡張が可能
- Windows OS自身がもつデバッグエンジンを利用

  Windows XP以降では、dbgeng.dllとdbghelp.dllが「C:¥Windows¥System32」にインストールされている。

「WinDbg. From A to Z」の目的

- WinDbgのドキュメントは、入門者には分かりづらい
- 優れたドキュメントや使用例がないと、WinDbgの習得は非常に困難

  インストールしたものの、すぐにあきらめてしまう人も多い。

- 「WinDbg. From A to Z!」は、WinDbgの簡単な導入マニュアルである。本資料を読めば、WinDbgとは何なのか、何ができるのかが分かる。

  「WinDbg. From A to Z!」は、ユーザーモードでの使用例をもとに説明しているが、カーネルモードでの開発にも役立つ。ユーザーモードのデバッグでも、カーネルモードのデバッグでも、裏で動いているデバッグエンジンは変わらない。基本的に、カーネルモードでは、使用する拡張コマンドが違うに過ぎない。

目次 – ロードマップ

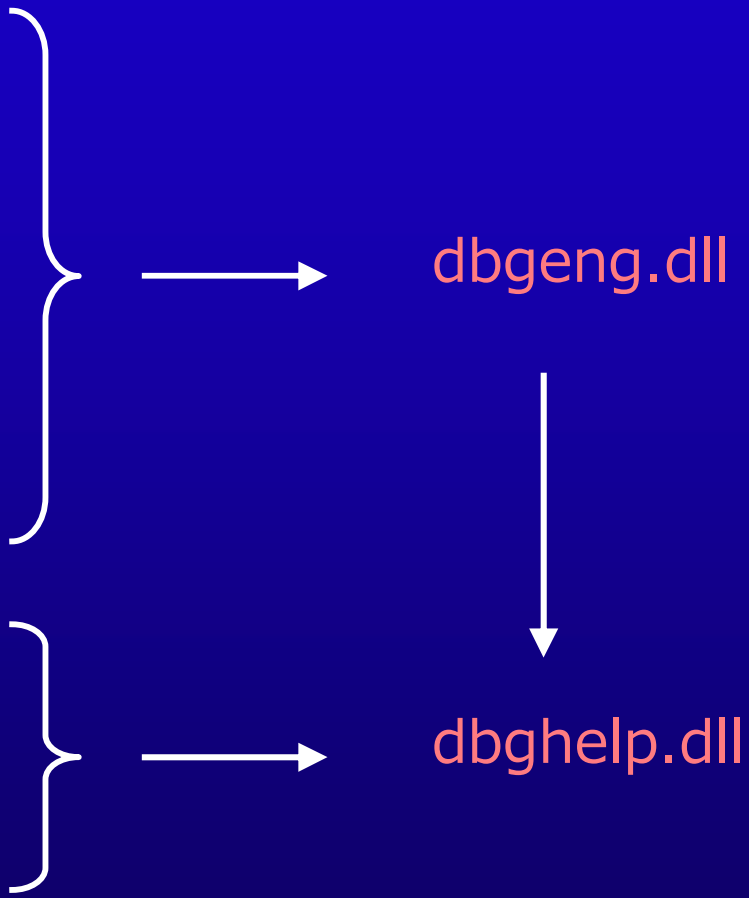
→ **WinDbgの裏側**

- WinDbgの使い方
- グローバルフラグ
- アプリケーション検証
- プロセスダンプ

Windows XP用のデバッグツール

- WinDbg.exe
- ntsd.exe
- cdb.exe
- kd.exe
- dbgsrv.exe
- userdump.exe
- drwtsn32.exe

- livekd.exe
- OlyDbg.exe
- ProcessExplorer.exe
- …



デバッグヘルプライブラリ: dbghelp.dll

- MSDNにドキュメントあり
- Windows 2000以降に同梱されている
- 以下のサポートルーチンを含む

  a) プロセスのダンプ取得(MiniDumpWriteDump, DbgHelpCreateUserDump, ...)

  b) スタックトレースの取得(StackWalk64, ...)

  c) シンボルの操作(SymFromAddr, Sym*, ...)

  d) 実行イメージからの情報取得(ImageNtHeader, FindDebugInfoFile, ...)

  c)やd)の関数の多くは、まったく同じ宣言のものが、imagehlp.dllでもエクスポートされている。imagehlpの関数は、単にdbghelpの関数にフォワードされているものが多いが、逆アセンブルしてみると、同じソースから作られているものもあることが分かる（次のスライドの逆アセンブルを参照）。マイクロソフトのツールには、DbgHelp.dllを優先的に使っているものもあれば、Visual StudioやDependency Walkerのようにimagehlp.dllを使っているものもある。両方を使っているものもある。

dbghelp!ImageNtHeaderとimagehlp!ImageNtHeaderの比較

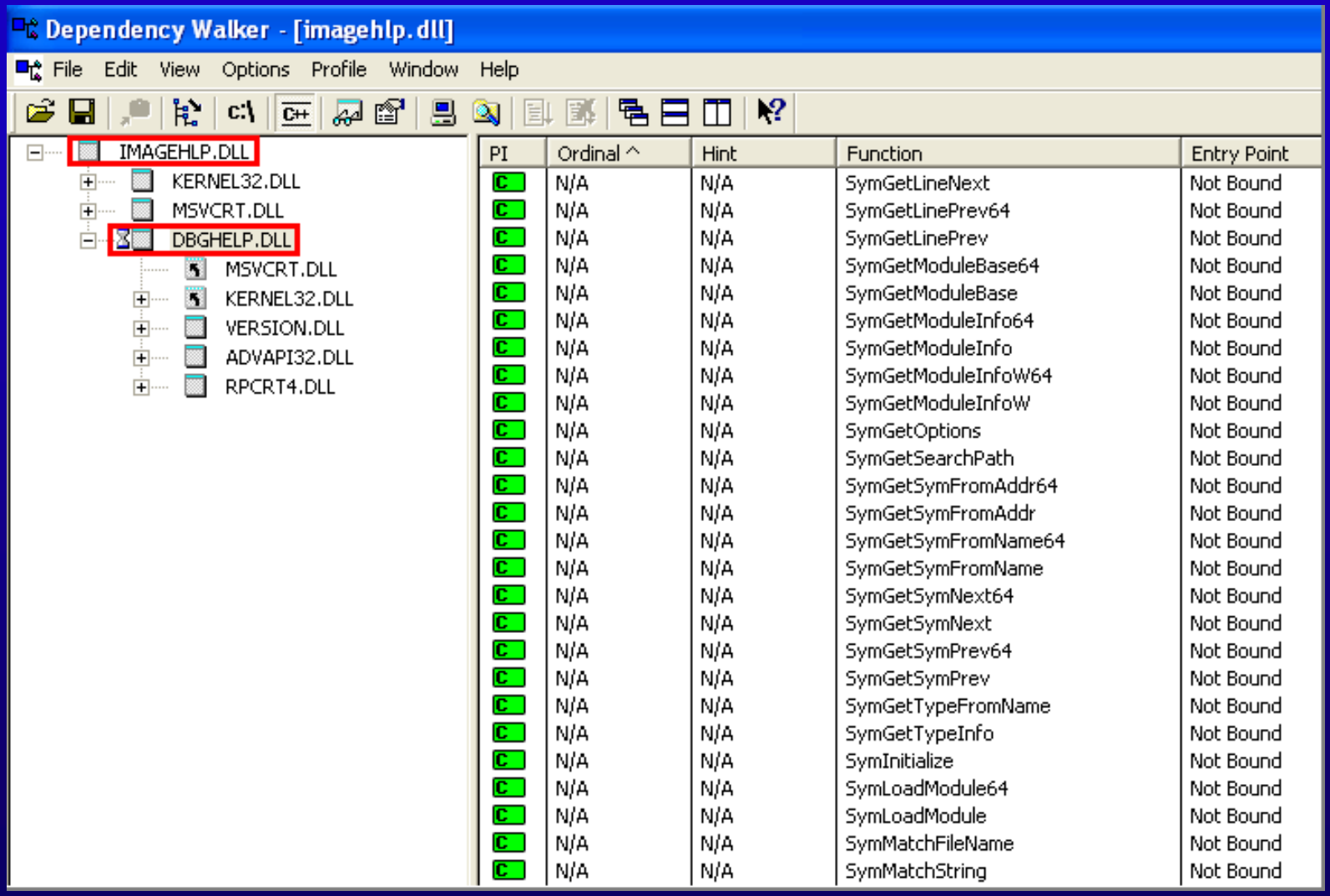
Command

```
0:000> uf dbgHelp!ImageNtHeader
dbghelp!RtlpImageNtHeader:
6d59a770 6a0c            push    0Ch
6d59a772 68e832586d      push    offset dbghelp!ArmFunctionEntryCache::`vftable'+0xc (6d5832e8)
6d59a777 e8d0e00100      call    dbghelp!_SEH_prolog (6d5b884c)
6d59a77c 33c0            xor     eax,eax
6d59a77e 8b4d08          mov     ecx,dword ptr [ebp+8]
6d59a781 85c9            test    ecx,ecx
6d59a783 743c            je      dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x51 (6d59a7c1)

dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x15:
6d59a785 83f9ff          cmp     ecx,0FFFFFFFFh
6d59a788 7437            je      dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x51 (6d59a7c1)

dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x1a:
6d59a78a 2145fc          and     dword ptr [ebp-4],eax
6d59a78d 6681394d5a      cmp     word ptr [ecx],5A4Dh
6d59a792 7529            jne     dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x4d (6d59a7bd)

dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x24:
6d59a794 8b513c          mov     edx,dword ptr [ecx+3Ch]
6d59a797 81fa00000010    cmp     edx,10000000h
6d59a79d 731e            jae     dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x4d (6d59a7bd)

dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x2f:
6d59a79f 8d040a          lea     eax,[edx+ecx]
6d59a7a2 8945e4          mov     dword ptr [ebp-1Ch],eax
6d59a7a5 813850450000    cmp     dword ptr [eax],4550h
6d59a7ab 7410            je      dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x4d (6d59a7bd)

dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x3d:
6d59a7ad 33c0            xor     eax,eax
6d59a7af 8945e4          mov     dword ptr [ebp-1Ch],eax
6d59a7b2 eb09            jmp     dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x4d (6d59a7bd)

dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x4d:
6d59a7bd 834dfcff        or      dword ptr [ebp-4],0FFFFFFFFh

dbghelp!RtlpImageNtHeader+0x51:
6d59a7c1 e8c1e00100      call    dbghelp!_SEH_epilog (6d5b8887)
6d59a7c6 c20400          ret     4

dbghelp!ImageNtHeader:
6d59a7ce 8bff            mov     edi,edi
6d59a7d0 55              push    ebp
6d59a7d1 8bec            mov     ebp,esp
6d59a7d3 5d              pop     ebp
6d59a7d4 e997ffffff      jmp     dbghelp!RtlpImageNtHeader (6d59a770)
```

Command

```
0:000> uf imagehlp!ImageNtHeader
imagehlp!RtlpImageNtHeader:
76c135d2 6a0c            push    0Ch
76c135d4 682036c176      push    offset imagehlp!`string'+0x2c (76c13620)
76c135d9 e80edcffff      call    imagehlp!_SEH_prolog (76c111ec)
76c135de 33c0            xor     eax,eax
76c135e0 8b4d08          mov     ecx,dword ptr [ebp+8]
76c135e3 85c9            test    ecx,ecx
76c135e5 7430            je      imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x51 (76c13617)

imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x15:
76c135e7 83f9ff          cmp     ecx,0FFFFFFFFh
76c135ea 742b            je      imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x51 (76c13617)

imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x1a:
76c135ec 2145fc          and     dword ptr [ebp-4],eax
76c135ef 6681394d5a      cmp     word ptr [ecx],5A4Dh
76c135f4 751d            jne     imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x4d (76c13613)

imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x24:
76c135f6 8b513c          mov     edx,dword ptr [ecx+3Ch]
76c135f9 81fa00000010    cmp     edx,10000000h
76c135ff 7312            jae     imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x4d (76c13613)

imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x2f:
76c13601 8d040a          lea     eax,[edx+ecx]
76c13604 8945e4          mov     dword ptr [ebp-1Ch],eax
76c13607 813850450000    cmp     dword ptr [eax],4550h
76c1360d 0f857c3d0000    jne     imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x3d (76c1738f)

imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x4d:
76c13613 834dfcff        or      dword ptr [ebp-4],0FFFFFFFFh

imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x51:
76c13617 e80bdcffff      call    imagehlp!_SEH_epilog (76c11227)
76c1361c c20400          ret     4

imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x3d:
76c1738f 33c0            xor     eax,eax
76c17391 8945e4          mov     dword ptr [ebp-1Ch],eax
76c17394 e97ac2ffff      jmp     imagehlp!RtlpImageNtHeader+0x4d (76c13613)

imagehlp!ImageNtHeader:
76c177ad 8bff            mov     edi,edi
76c177af 55              push    ebp
76c177b0 8bec            mov     ebp,esp
76c177b2 5d              pop     ebp
76c177b3 e91abeffff      jmp     imagehlp!RtlpImageNtHeader (76c135d2)
```

ImageHlpの依存関係



デバッガエンジンAPI: dbgeng.dll

- WinDbgのドキュメントに説明あり

  dbgeng.dllのヘッダファイルとlibファイルは、WinDbgのインストール時にカスタムインストールを選び「SDK」コンポーネントを選択すると入手できる。

- Windows XP 以降に同梱されている
- COMインタフェースを使ってアクセス

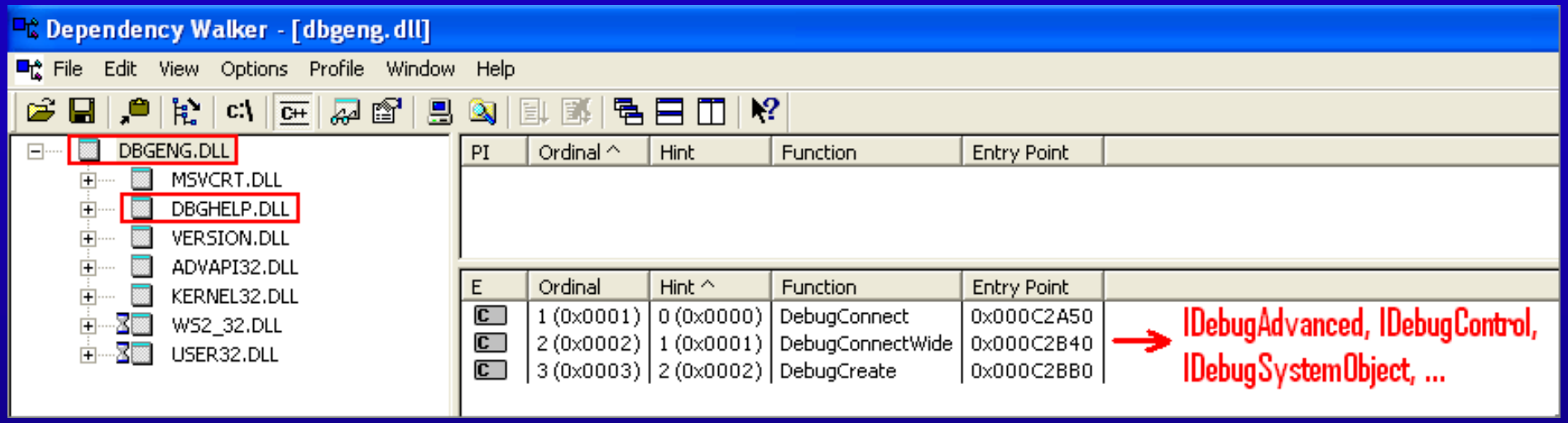
  → IDebugAdvanced, IDebugControl, IDebugSystemObjects, ...

- デバッガが実現している動作はすべて、COMインタフェースで公開されている

事実1: WinDbgは、デバッグエンジン上のシェルに過ぎない。

事実2: このエンジンを利用して、独自に新ツールを開発することも可能。

DbgEngの依存関係



デバッグシンボル

- 実行可能ファイルは、単なるバイトの羅列
- デバッガにシンボルを与えると…
  - 実行可能ファイルのアドレスと、ソースコードの行が関連付けられる
  - アプリケーションの内部の配置やデータを分析
- プログラムデータベース → PDBファイル
  - 最新のマイクロソフトデバッグ情報フォーマット

    COFFとCodeViewは非推奨
  - PDBの情報は、実行可能ファイルとは別のファイルに格納される
  - PDBのフォーマットは非公開
  - PDBを扱う特別なAPIあり: DbgHelp.dllやMsDiaXY.dll

デバッグ情報の種類

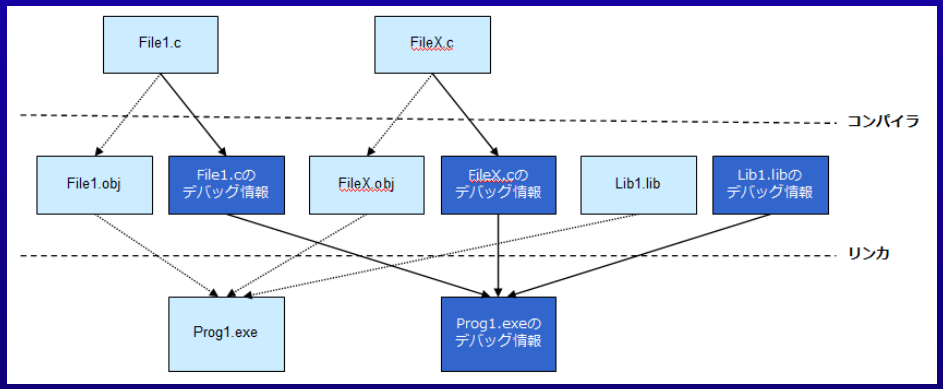
情報の種類	説明
パブリックな関数と変数	さまざまなコンパイル単位から参照される関数や変数
FPO情報	FPO最適化（フレームポインタ省略）を指定してコンパイルされた場合にスタックフレームを取り出すための追加情報
プライベートな関数と変数	ローカル変数や、関数のパラメータなどを含む、すべての関数や変数
ソースファイルと行情報	ソースファイルと行の情報
型情報	関数と変数の追加情報 変数: 型(int, string, ...) 関数: パラメータの個数と型, 呼び出し規約, 戻り値

リンカ:
/pdbstripped

マイクロソフトのモジュール(kernel32.dll, user32.dll, ...)では、常にパブリックなシンボルが取り除かれている。

デバッグ情報の生成

- ビルドの処理は、次の2段階から成る
  1) コンパイラ: マシン語の命令を生成し、.OBJファイルに格納
  2) リンカ: 関連する.OBJファイルや.LIBファイルを、最終的な実行可能ファイルにまとめる
- デバッグ情報の生成も、次の2段階から成る
  1) コンパイラ: ソースファイルごとに、デバッグ情報を生成
  2) リンカ: 関連するデバッグ情報を、実行可能ファイルに対する最終的なデバッグ情報としてまとめる

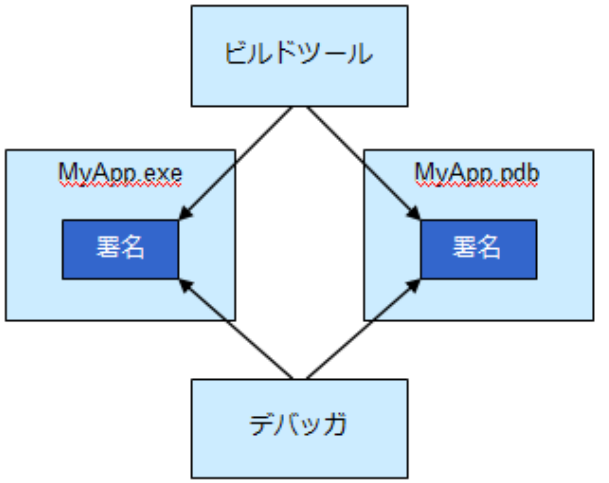


- コンパイラオプション: /Z7, /Zi, /ZI
- リンカオプション: /debug, /pdb, /pdbstripped

スタティックライブラリに関する注意: /Z7 オプションを使用すると、生成される.LIBファイルにデバッグ情報を格納できる。

デバッグ情報のマッチング

- ビルド時に、署名が、実行可能ファイルとPDBファイルに埋め込まれる
  - PDB 2.0 ファイル: タイムスタンプ
  - PDB 7.0 ファイル: ビルド時に生成されたGUID



- デバッガの突き合わせ処理では、この署名が同一のものである必要がある

- PDBファイルの検索アルゴリズム
  1. モジュール（EXEやDLL）のフォルダを検索
  2. PEファイル（NB10またはRSDSデバッグヘッダ）内で指定された名前とパスを検索
  3. 環境変数**_NT_SYMBOL_PATH**や_NT_ALT_SYMBOL_PATH内を検索

コールスタック

- 有効なシンボルなし

```
002df350 ntdll!DbgBreakPoint
002df43c TestApplication+0x127eb
002df544 TestApplication+0x12862
002df550 MFC80UD!AfxDlgProc+0x3e
002df57c USER32!InternalCallWinProc+0x28
002df5f8 USER32!UserCallDlgProcCheckWow+0x102
002df648 USER32!DefDlgProcWorker+0xb2
002df668 USER32!DefDlgProcW+0x29
002df694 USER32!InternalCallWinProc+0x28
002df70c USER32!UserCallWinProcCheckWow+0x16a
002df744 USER32!CallWindowProcAorW+0xab
002df764 USER32!CallWindowProcW+0x1b
002df788 MFC80UD!CWnd::DefWindowProcW+0x32
002df7a4 MFC80UD!CWnd::Default+0x3b
002df7c8 MFC80UD!CDialog::HandleInitDialog+0xd3
002df900 MFC80UD!CWnd::OnWndMsg+0x817
002df920 MFC80UD!CWnd::WindowProc+0x30
002df99c MFC80UD!AfxCallWndProc+0xee
002df9bc MFC80UD!AfxWndProc+0xa4
002df9f8 MFC80UD!AfxWndProcBase+0x59
```

- 有効なシンボルあり

```
002df350 ntdll!DbgBreakPoint
002df43c TestApplication!CMyDlg::PreInit+0x3b [MyDlg.cpp @ 75]
002df544 TestApplication!CMyDlg::OnInitDialog+0x52 [MyDlg.cpp @ 91]
002df550 MFC80UD!AfxDlgProc+0x3e
002df57c USER32!InternalCallWinProc+0x28
002df5f8 USER32!UserCallDlgProcCheckWow+0x102
002df648 USER32!DefDlgProcWorker+0xb2
002df668 USER32!DefDlgProcW+0x29
002df694 USER32!InternalCallWinProc+0x28
002df70c USER32!UserCallWinProcCheckWow+0x16a
002df744 USER32!CallWindowProcAorW+0xab
002df764 USER32!CallWindowProcW+0x1b
002df788 MFC80UD!CWnd::DefWindowProcW+0x32
002df7a4 MFC80UD!CWnd::Default+0x3b
002df7c8 MFC80UD!CDialog::HandleInitDialog+0xd3
002df900 MFC80UD!CWnd::OnWndMsg+0x817
002df920 MFC80UD!CWnd::WindowProc+0x30
002df99c MFC80UD!AfxCallWndProc+0xee
002df9bc MFC80UD!AfxWndProc+0xa4
002df9f8 MFC80UD!AfxWndProcBase+0x59
```

侵入的アタッチと非侵入的アタッチ

- 侵入的アタッチ
  - DebugActiveProcessが呼び出される
  - break-inスレッドが生成される
  - Windows XP以前では、デバッガ終了時やデタッチ時に、デバッグ対象アプリケーションが強制終了される
  - 侵入的デバッガとしてアタッチできるのは、プロセス当たり一度にひとつだけ
- 非侵入的アタッチ
  - OpenProcessが呼び出される
  - break-inスレッドは生成されない
  - プロセスに対し、デバッガとして真のアタッチをするわけではない
  - デバッグ対象アプリケーションのスレッドはすべて凍結状態
  - メモリの内容の変更や確認は可能
  - ブレークポイントはセットできない
  - アプリケーションのステップ実行はできない
  - デバッグ対象アプリケーションを終了することなく、デバッガの終了やデタッチが可能
  - ひとつのプロセスに、複数の非侵入的デバッガ（＋ひとつの侵入的デバッガ）をアタッチできる
  - こんな場合に便利...
    - Visual Studioなどの侵入的デバッガでアプリケーションをデバッグ中でも、WinDbgを非侵入的デバッガとしてアタッチし、追加の情報を取得できる。
    - デバッグ対象アプリケーションは完全に凍結しており、真のアタッチに必要なbreak-inスレッドが生成されることはない。

例外

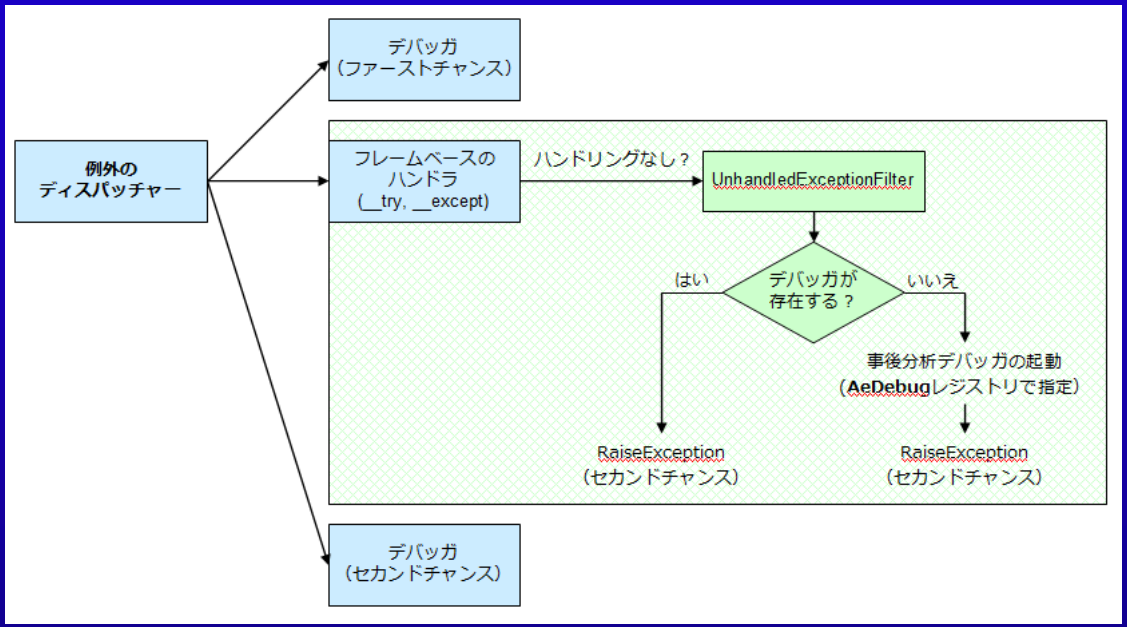
- 言語に依存しない、システムが提供する機能
- 例外は、言語の拡張機能を使って処理

  例: C++の__try & __except構造

- 処理時間が重視される箇所で、try-catch-exceptを条件チェックに使わないこと

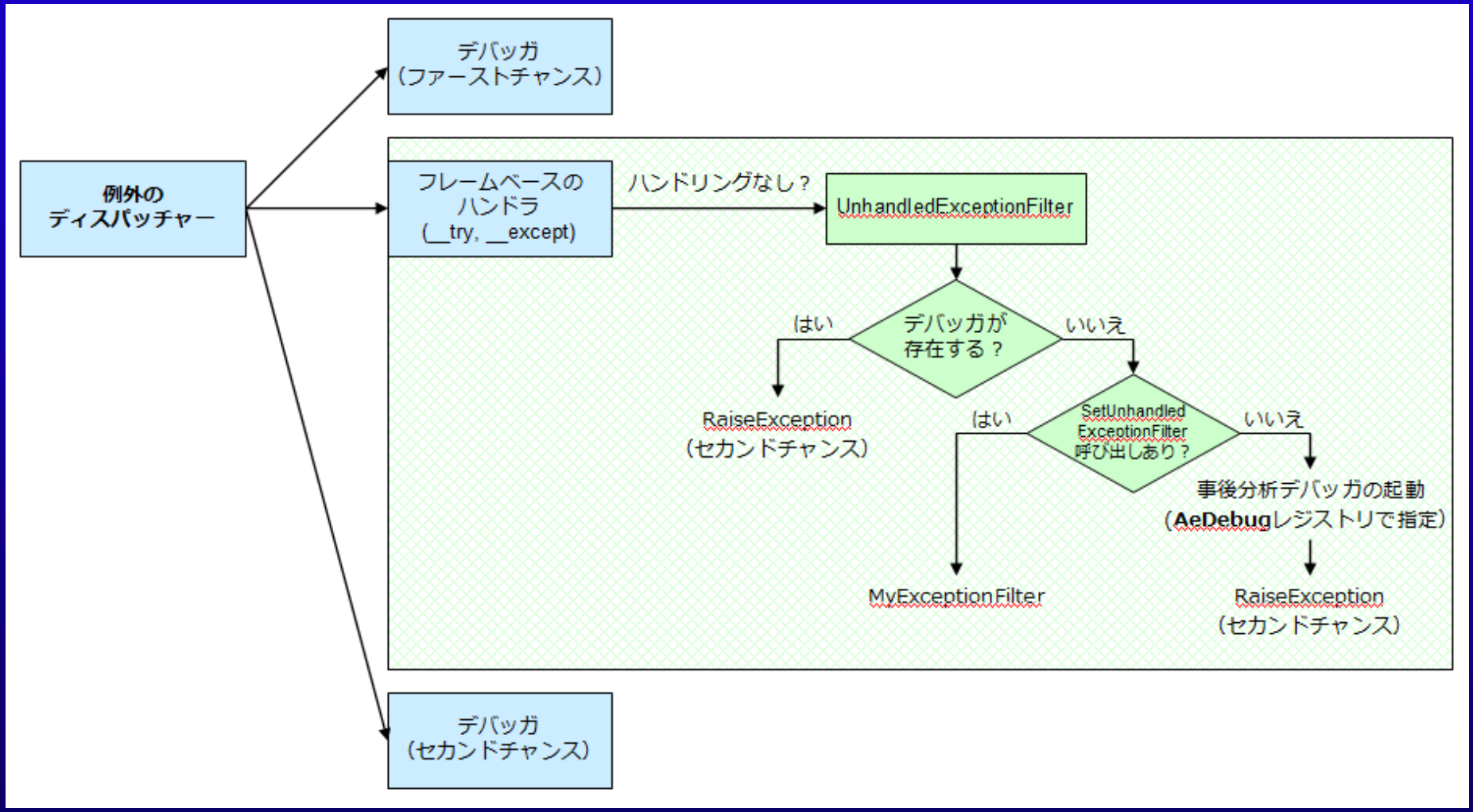
  例外発生のたびに、システムは例外レコードを生成し、全スタックフレームを通してフレームベースの例外ハンドラ(catch-except)を逆向きに検索し、それからようやくプログラムの実行を継続する。この処理には何百もの命令を要するため、性能が低下する。

例外のディスパッチ



1) システムはまず、プロセスのデバッガがあれば、そこに例外を通知しようとする。
2) プロセスがデバッグ中でない場合や、関連付けられているデバッガが例外をハンドリングしない（WinDbg → gN == 例外をハンドリングしないで実行する）場合は、システムはフレームベースの例外ハンドラを探す。
3) フレームベースのハンドラが見つからない場合や、その例外をハンドリングする例外ハンドラがない場合は、UnhandledExceptionFilterがプロセスのデバッガに再度例外を通知しようとする。この例外は、セカンドチャンスまたはラストチャンスの通知として知られている。
4) プロセスがデバッグ中でない場合や、関連付けられているデバッガが例外をハンドリングしない場合は、AeDebugで指定された事後分析デバッガが起動される。

例外のディスパッチとSetUnhandledExceptionFilter



AeDebug? 事後分析デバッグ！

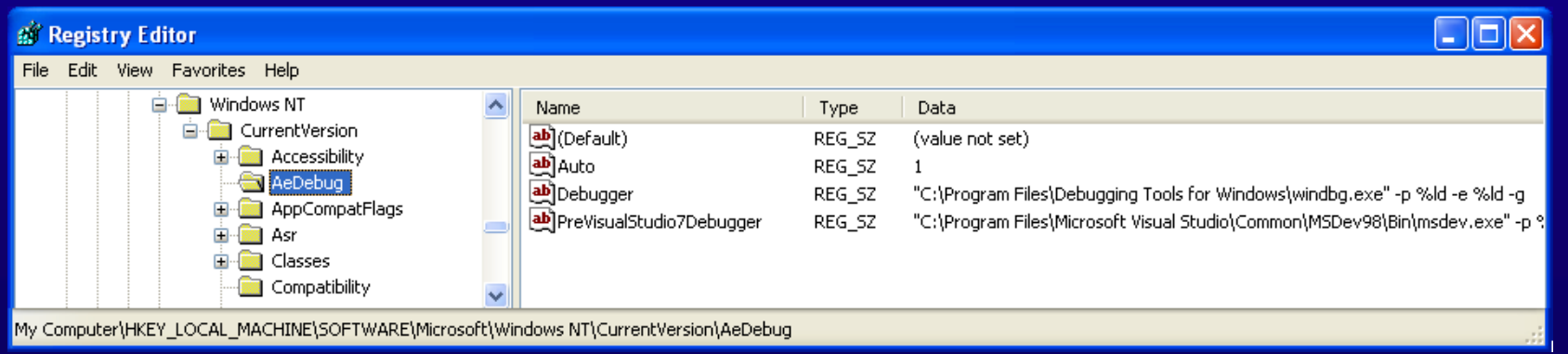
- 事後分析デバッガの指定と変更
  - WinDbg -I
  - drwtsn32 -i

- 事後分析デバッガの設定

HKLM¥SOFTWARE¥Microsoft¥Windows NT¥CurrentVersion¥AeDebug

AeDebugに指定したプログラムは、何でも実行される。

そのプログラムが本当にデバッガなのかどうかは、検証されない。



目次 – ロードマップ

- ✓ WinDbgの裏側
- → **WinDbgの使い方**
- グローバルフラグ
- アプリケーション検証
- プロセスダンプ

WinDbgのコマンド

- 標準コマンド
  - プロセスのデバッグに使われる
  - 例: k, lm, g
- メタコマンド（ドットコマンド）
  - 通常、デバッガの制御に使われる
  - 例: .sympath, .cls, .lastevent, .detach, .if
- 拡張コマンド
  - 拡張DLL内に、エクスポート関数として実装されている
  - WinDbgが強力なデバッガである大きな理由
  - 拡張DLL一式がインストール済み: exts.dll, ntsdexts.dll, uext.dll, wow64exts.dll, kdexts.dll, ...
  - 独自に拡張DLLを開発することも可能
  - 例: !analyze, !address, !handle, !peb

おもな拡張DLL

- !exts.help → 一般的な拡張コマンド
- !Uext.help → ユーザーモードの拡張コマンド（OS非依存）
- !Ntsdexts.help → ユーザーモードの拡張コマンド（OS依存）
- !Kdexts.help → カーネルモードの拡張コマンド
- !logexts.help → ログ取得拡張コマンド
- !clr10¥sos.help → マネージコードのデバッグ
- !wow64exts.help → Wow64デバッガ拡張
- …

WinDbgにおけるシンボルの設定

- **_NT_SYMBOL_PATH**環境変数の設定は必須

  マイクロソフト用シンボルの設定例:
  _NT_SYMBOL_PATH=srv*c:¥Symbols¥MsSymbols*http://msdl.microsoft.com/download/symbols;
  この設定を行うと、WinDbgは、マイクロソフトのコンポーネント（kernel32など）用のシンボルを、マイクロソフトのサーバーから必要に応じて自動的にダウンロードする。

- WinDbgのGUIからも、シンボルの設定が可能
  - （メニュー）File → Symbol File Path...（Ctrl+S）

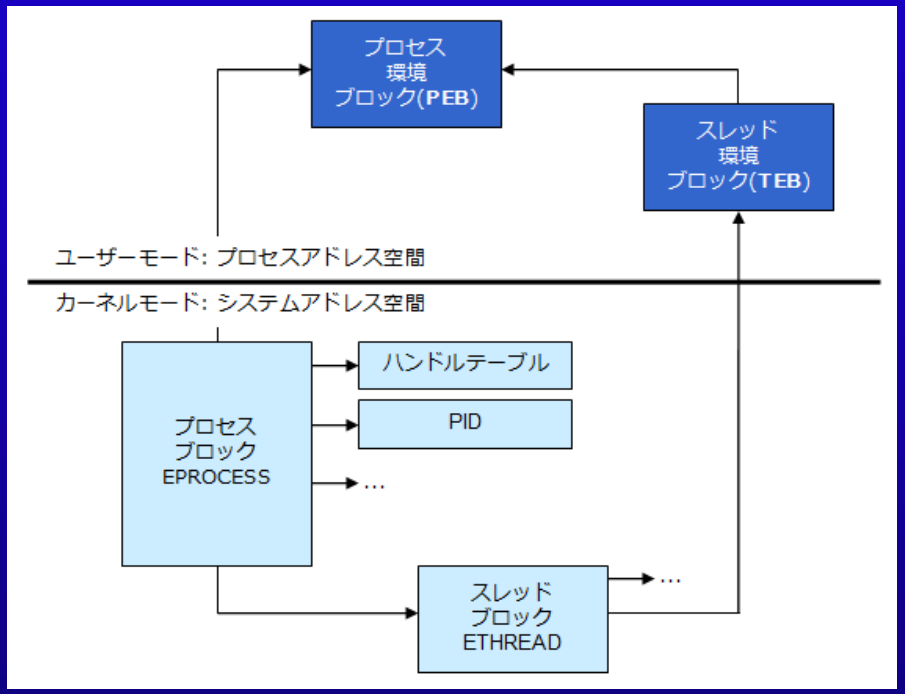
- 便利なコマンド
  - .sympath → シンボルの検索パスの取得と設定
  - .sympath+ XY → シンボルの検索パスに、XYディレクトリを追加
  - !sym noisy → シンボルの検索情報を表示するようデバッガに指示
  - ld kernel32 → kernel32.dllのシンボルを読み込む
  - ld * → すべてのモジュールのシンボルを読み込む
  - .reload → シンボル情報を読み直す
  - x kernel32!* → kernel32の全シンボルを調べて一覧表示
  - x kernel32!*LoadLibrary* → LoadLibraryという文字列を含むkernel32の全シンボルを一覧表示
  - dt ntdll!* → ntdll内の全変数を表示

WinDbgにおけるソースの設定

- **_NT_SOURCE_PATH**環境変数の設定は必須
  例: **_NT_SOURCE_PATH**=C:¥Sources
- WinDbgのGUIからも、ソースの設定が可能
  - （メニュー）File → Source File Path...（Ctrl+P）
- 便利なコマンド
  - .srcpath → ソースファイルの検索パスの取得と設定
  - .srcpath+ XY → ソースの検索パスに、XYディレクトリを追加

重要: WinDbgに、シンボルとソースを正しく設定すること。これが、WinDbgの入門者がミスしやすい、最初の重要なステップである。マイクロソフトのコンポーネント(kernel32.dll, ntdll.dll,...)のシンボルがなければ、以下のセクションで示すコマンドの大半が動作しないので注意。

Windows NTのプロセスとスレッド



- すべてのWindowsプロセスは、カーネルモードのエグゼクティブプロセスブロック(EPROCESS)で表される。
- EPROCESSは、プロセスに関連のあるデータ構造を、数多く指し示している。たとえば、各プロセスは、エグゼクティブスレッドブロック(ETHREAD)で表されるスレッドをひとつ以上持っている。
- EPROCESSは、プロセスのアドレス空間にあるプロセス環境ブロック(PEB)を指す。
- ETHREADは、プロセスのアドレス空間にあるスレッド環境ブロック(TEB)を指す。

PEBとTEB

- PEB=プロセス環境ブロック
  - イメージの基本情報（ベースアドレス, バージョン番号, モジュール一覧）
  - プロセスヒープの情報
  - 環境変数
  - コマンドライン引数
  - DLL検索パス
  - PEBの表示方法: !peb, dt nt!_PEB
- TEB=スレッド環境ブロック
  - スタック情報（スタック下限, スタック上限）
  - TLS（スレッドローカルストレージ）配列
  - TEBの表示方法: !teb, dt nt!_TEB

事実: 多くのWinDbgのコマンド(lm, !dlls, !imgreloc, !tls, !gle)は、PEBやTEBから取得したデータを利用している。

例 - PEBの「ダンプ」

```
0:001> dt nt!_PEB -r @$peb    // @$peb = プロセスのPEBのアドレス（疑似レジスタの文法を参照）
+0x000 InheritedAddressSpace : 0 ''
+0x001 ReadImageFileExecOptions : 0 ''
+0x002 BeingDebugged : 0x1 ''
...
+0x008 ImageBaseAddress : 0x00400000
+0x00c Ldr : 0x7d6a01e0 _PEB_LDR_DATA
+0x000 Length : 0x28
+0x004 Initialized : 0x1 ''
+0x008 SsHandle : (null)
+0x00c InLoadOrderModuleList : _LIST_ENTRY [ 0x2d1eb0 - 0x2da998 ]
+0x000 Flink : 0x002d1eb0 _LIST_ENTRY [ 0x2d1f08 - 0x7d6a01ec ]
+0x004 Blink : 0x002da998 _LIST_ENTRY [ 0x7d6a01ec - 0x2d9f38 ]
+0x014 InMemoryOrderModuleList : _LIST_ENTRY [ 0x2d1eb8 - 0x2da9a0 ]
...
+0x01c InInitializationOrderModuleList : _LIST_ENTRY [ 0x2d1f18 - 0x2da9a8 ]
...
+0x024 EntryInProgress : (null)
+0x010 ProcessParameters : 0x001c0000 _RTL_USER_PROCESS_PARAMETERS
+0x000 MaximumLength : 0x102c
+0x004 Length : 0x102c
+0x008 Flags : 0x4001
+0x00c DebugFlags : 0
...
+0x024 CurrentDirectory : _CURDIR
+0x000 DosPath : _UNICODE_STRING "D:¥Development¥Utils¥"
+0x008 Handle : 0x00000024
+0x030 DllPath : _UNICODE_STRING "C:¥WINDOWS¥system32;C:¥WINDOWS¥system;C:¥WINDOWS;...”
...
```

プロセスやモジュールの情報を取得するためのWinDbgコマンド

コマンド	説明
!peb	プロセス環境ブロック(PEB)の情報を整形して表示
dt nt!_PEB Addr	PEBの全ダンプ
lm	ロードモジュールやアンロードモジュールの一覧
lmD	上に同じ。デバッガマークアップ言語で出力。
lm vm kernel32	kernel32の詳細を出力（イメージやシンボルの情報を含む）
!lmi kernel32	上に同じ。DLL拡張による実装。
!dlls	ロードモジュールの一覧。ローダーに関する情報（エントリポイント, ロードカウント）を含む。
!dlls -c kernel32	上に同じ。ただしkernel32のみ。
!imgreloc	再配置情報の表示
!dh kernel32	kernel32のヘッダを表示

例 - モジュール情報

```
0:001>!dlls -c msvcrt
Dump dll containing 0x77ba0000:
0x002d40c0: C:¥WINDOWS¥system32¥msvcrt.dll
    Base  0x77ba0000    EntryPoint  0x77baf78b    Size        0x0005a000
    Flags 0x80084006    LoadCount   0x00000007    TlsIndex    0x00000000
          LDRP_STATIC_LINK
          LDRP_IMAGE_DLL
          LDRP_ENTRY_PROCESSED
          LDRP_PROCESS_ATTACH_CALLED

0:001> lm vm msvcrt
start     end       module name
77ba0000  77bfa000  msvcrt (deferred)
    Image path:     C:¥WINDOWS¥system32¥msvcrt.dll
    Image name:     msvcrt.dll
    Timestamp:      Fri Mar 25 03:33:02 2005 (4243785E)
    CheckSum:       0006288A
    ImageSize:      0005A000
    File version:   7.0.3790.1830
    Product version: 6.1.8638.1830
    ...
    CompanyName:    Microsoft Corporation
    ProductName:    Microsoft® Windows® Operating System
    InternalName:   msvcrt.dll
    OriginalFilename: msvcrt.dll
    ProductVersion: 7.0.3790.1830
    FileVersion:    7.0.3790.1830 (srv03_sp1_rtm.050324-1447)
    FileDescription: Windows NT CRT DLL
    LegalCopyright: © Microsoft Corporation. All rights reserved.
```

スレッドの情報を取得するためのWinDbgコマンド

コマンド	説明
~	全スレッドのスレッド状態
~0	スレッド0のスレッド状態
~.	現在アクティブなスレッドのスレッド状態
~*	全スレッドのスレッド状態。追加情報あり（プライオリティ, 開始アドレス）。
~*k	全スレッドのコールスタック（~ と !uniqstack）
~<thread>s	カレントスレッドの設定
!gle	ラストエラーの取得
!runaway	→ 各スレッドの消費時間を表示 → どのスレッドが制御不能になっているのか、CPUタイムを大量に消費しているのかを調べる簡便な方法
!teb	スレッド環境ブロック(TEB)の情報を整形して表示
dt nt!_TEB Addr	TEBの全ダンプ

例 - スレッド

```
0:001> !runaway 7
User Mode Time
        Thread       Time
        0:d28        0 days 0:00:00.015
        1:2b0        0 days 0:00:00.000
Kernel Mode Time
        Thread       Time
        0:d28        0 days 0:00:00.093
        1:2b0        0 days 0:00:00.000
Elapsed Time
        Thread       Time
        0:d28        0 days 0:04:04.156
        1:2b0        0 days 0:03:53.328


0:000> ~*
. 0    Id: dac.d28 Suspend: 1 Teb: 7efdd000 Unfrozen
       Start: TestApp!ILT+1415(_wWinMainCRTStartup) (0041158c)
       Priority: 0    Priority class: 32    Affinity: 3
  1    Id: dac.2b0 Suspend: 1 Teb: 7efda000 Unfrozen
       Start: 00000001
       Priority: 0    Priority class: 32    Affinity: 3


0:000> !gle
LastErrorValue: (Win32) 0 (0) - The operation completed successfully.
LastStatusValue: (NTSTATUS) 0 - STATUS_WAIT_0
```

WinDbgのウィンドウとメニュー

WinDbgのウィンドウは、ドッキングやフローティングが可能。

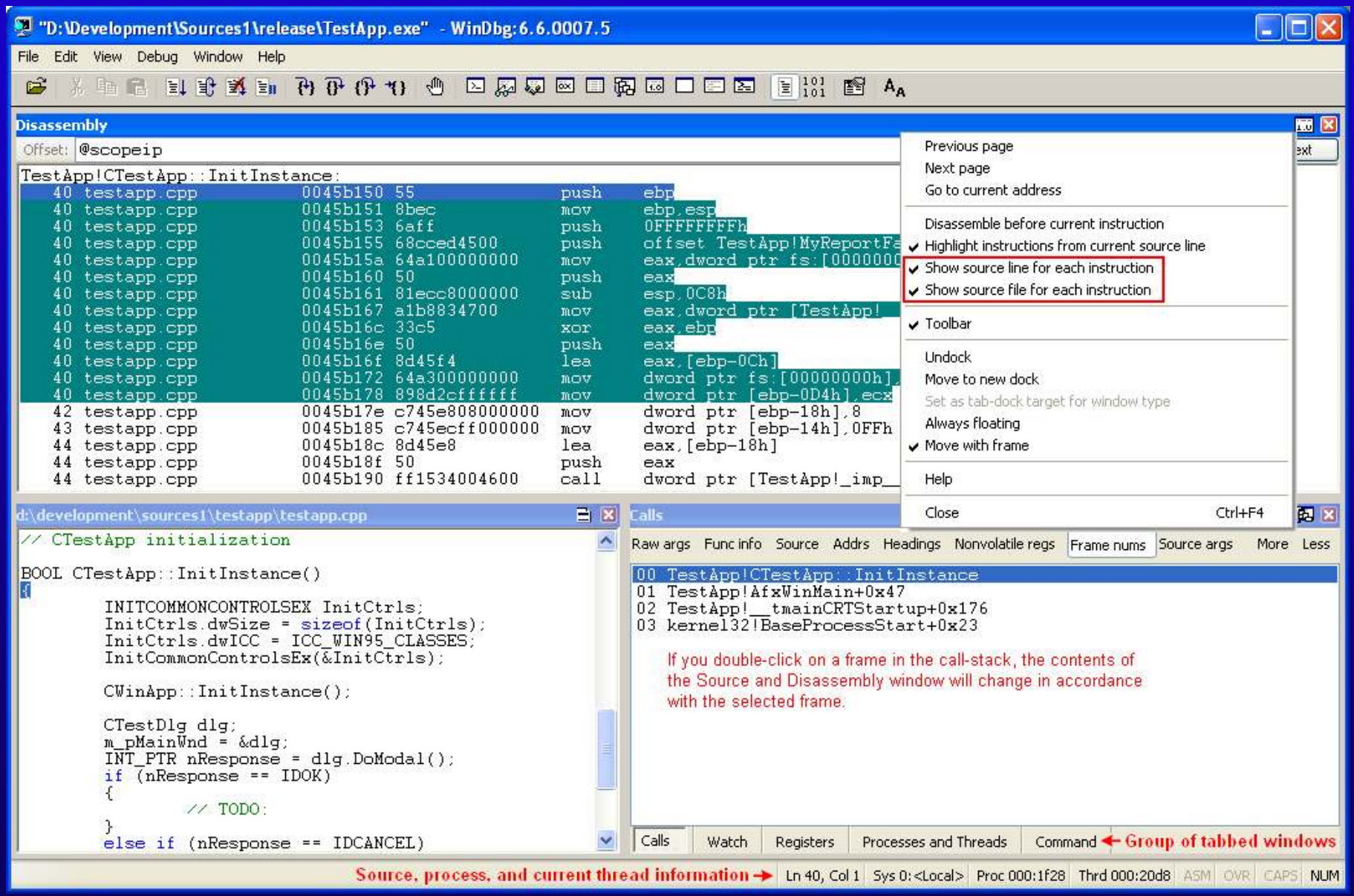
1) ドッキングウィンドウ = 複数のウィンドウ使用時におすすめ
   - WinDbgの枠に合わせて伸び縮みする。
   - 枠を変えると、それに合わせて位置やサイズが相対的に変わる。
   - タブ化できる。タブ付きのウィンドウは前後に重なり合う。
   - WinDbgは複数のドックを提供。マルチモニタ環境に重宝。
   - Ctrl-Tabで、全ドック内の全ウィンドウが順次切り替わる。
2) フローティングウィンドウ（ドッキングなし）
   - 常にWinDbgのウィンドウの前面に表示される。

WinDbgの各ウィンドウは、それぞれ独自のメニューをもつ。

メニューの表示方法
- メニューボタン（［閉じる］ボタンの隣）を左クリック
- ウィンドウのタイトルバーを右クリック
- タブ付きウィンドウのタブを右クリック

各メニューを試してみるとよい。興味深い隠し機能があることが多い。

WinDbgでのインスタンス実行例

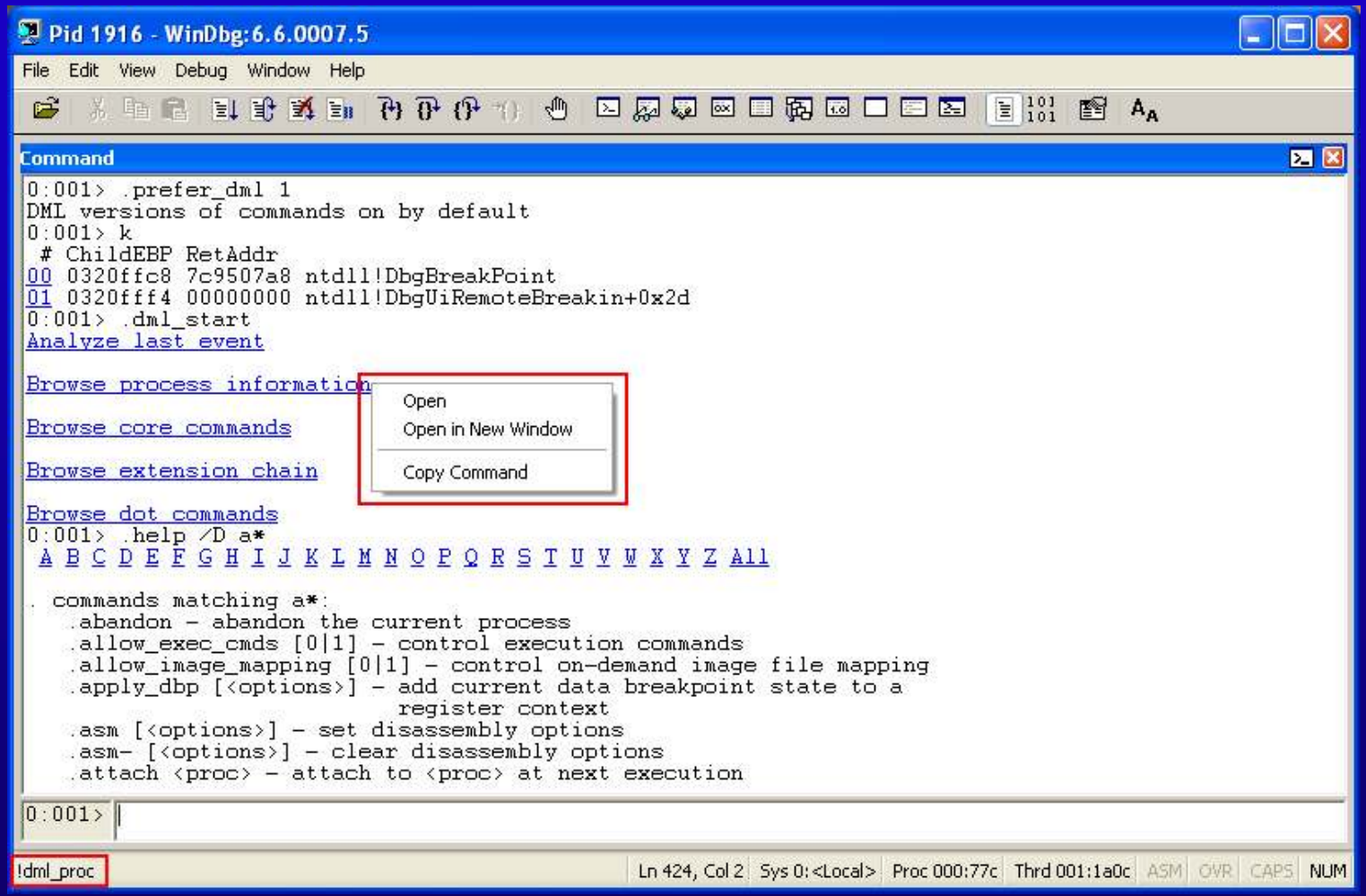


デバッガマークアップ言語(DML)

- DMLを使うと、タグ形式の中に指示や追加の非表示情報を埋め込み、デバッガに出力できる。
- デバッガのユーザーインタフェースが追加の情報を抜き出し、それに応じて動作する。
- DMLのおもな目的を次に示す。
  - 関連情報へのリンク
  - デバッガや拡張DLLがもつ機能の情報提示
  - デバッガや拡張DLLの出力の強化
- DMLはデバッギングツールのバージョン6.6.0.7で導入された。

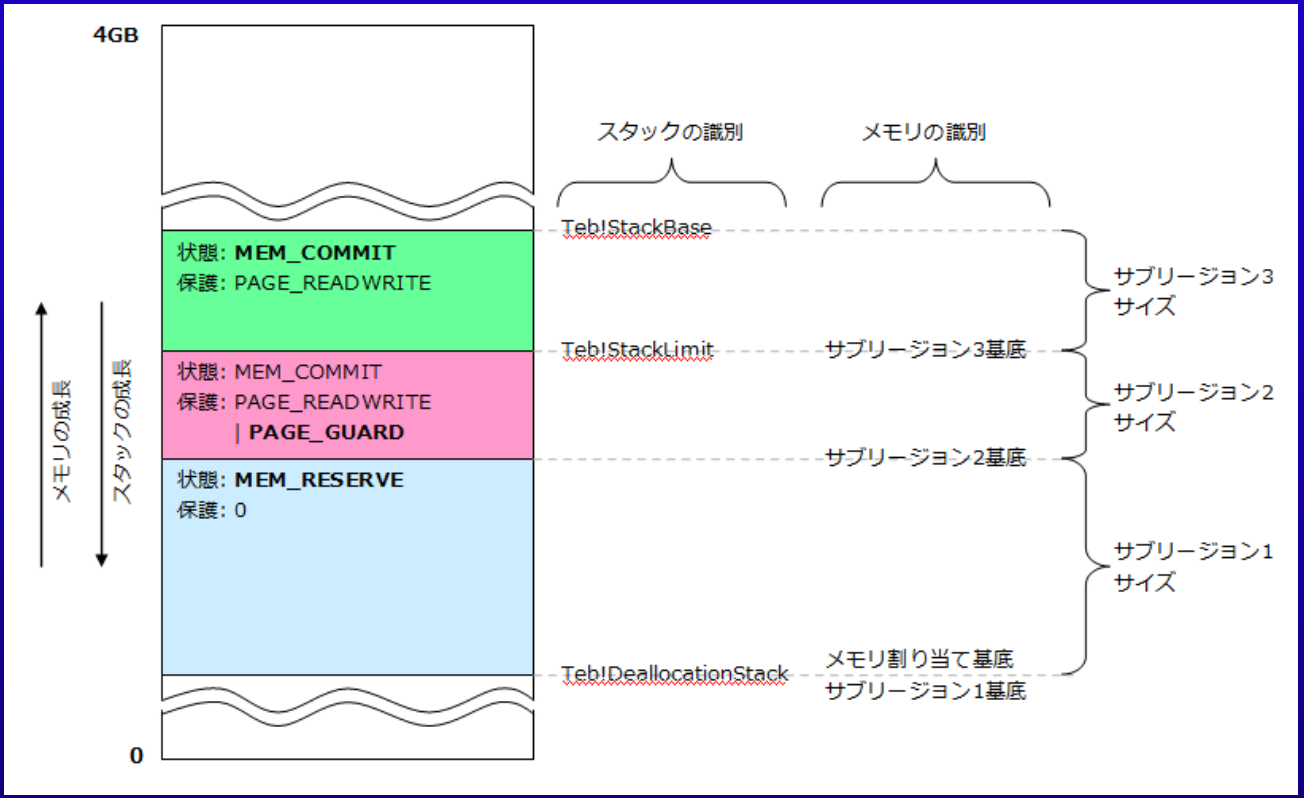
DMLコマンド	**説明**
.dml_start	各種DMLコマンドの開始。
.prefer_dml 1	グローバルな設定: すべてのDML強化コマンドがDMLを出力。
.help /D a*	.helpをDMLモードで実行。先頭にリンクを表示。
.chain /D	.chainをDMLモードで実行。拡張DLLを.extmatchコマンドにリンク。
その他の各種コマンドについては「..¥Debugging Tools for Windows¥dml.doc」を参照。	

WinDbgのDML



- リンクをクリックできる。
- リンクを右クリックすると、新しいウィンドウでコマンドを実行できる。

メモリ: スタックの詳細



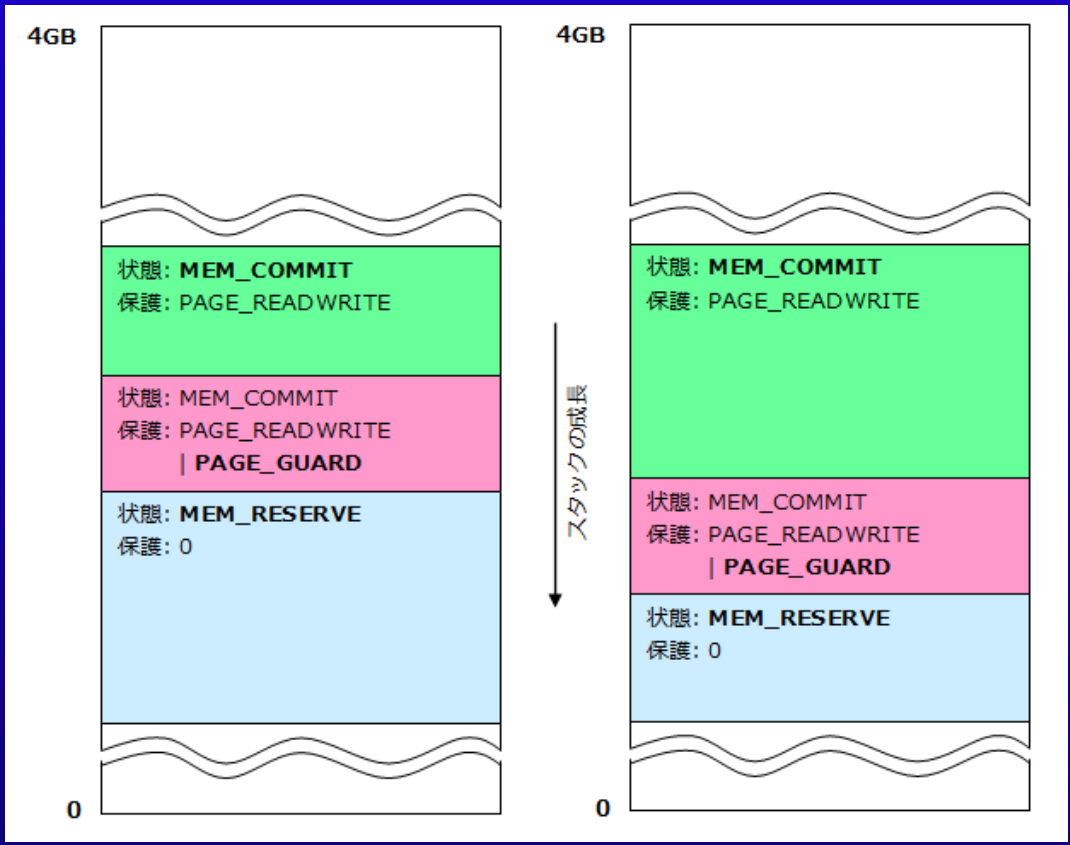
- MSDNより
  - 新しいスレッドには、コミットメモリと予約メモリから構成される独自のスタック空間が与えられる。
  - デフォルトでは、各スレッドは1MBの予約メモリと1ページのコミットメモリを使用。
  - システムは、必要に応じて、予約スタックメモリから1ページずつコミットしていく。（MSDNのCreateThread > dwStacksize > 「Thread Stack Size」を参照）

例 - スレッドのスタックサイズ

```
0:000> !teb
TEB at 7ffdf000
        ExceptionList:      0012f784
        StackBase:          00130000
        StackLimit:         0012c000
…

0:000> dt ntdll!_TEB DeallocationStack 7ffdf000
        +0xe0c DeallocationStack : 0x00030000

0:000> !address esp
        AllocBase : SubRegionBase - SubRegionSize
        00030000 : 0012c000 - 00004000
                    Type        00020000 MEM_PRIVATE
                    Protect     00000004 PAGE_READWRITE
                    State       00001000 MEM_COMMIT
                    Usage       RegionUsageStack
                    Pid.Tid     e34.e78

0:000> ? 00130000 - 0012c000
Evaluate expression: 16384 = 00004000

0:000> ? 00130000 - 00030000
Evaluate expression: 1048576 = 00100000
```

0x004000 → 本スレッドは4ページ（16KB）のコミットメモリをもつ。
0x100000 → 本スレッドは256ページ（1MB）の予約メモリをもつ。

メモリ：スタックの成長



- ESPレジスタは、スレッドの現在のスタックの位置を指す。
- プログラムがガードページ内のアドレスにアクセスしようとすると、システムはSTATUS_GUARD_PAGE_VIOLATION(0x80000001)例外を発生させる。ガードページは、ページのアクセスに対して、一度だけアラームを上げる。
- スタックが予約メモリの最後に達すると、STATUS_STACK_OVERFLOWが発生する。

例 - スタックの成長

```
0:000> !teb
TEB at 7ffdf000
        ExceptionList:      0012f784
        StackBase:          00130000
        StackLimit:         0012c000
        …

0:000> dt ntdll!_TEB DeallocationStack 7ffdf000
        +0xe0c DeallocationStack : 0x00030000

0:000> ? 00130000 - 0012c000
Evaluate expression: 16384 = 00004000
```

0x004000 →本スレッドは4ページ（16KB）のコミットメモリをもつ。
0x100000 →本スレッドは256ページ（1MB）の予約メモリをもつ。

```
0:000> !teb
TEB at 7ffdf000
        ExceptionList:      0012f784
        StackBase:          00130000
        StackLimit:         00033000
        …

0:000> ? 00130000 - 00033000
Evaluate expression: 1036288 = 000fd000
```

0x0fd000 → 本スレッドのコミットメモリが253ページになった。
さらにページを要求すると、システムはスタックオーバーフロー例外を投げる。

コールスタック情報を取得するためのWinDbgコマンド

コマンド	説明
!uniqstack	カレントプロセスの全スレッドのコールスタックを表示
!findstack MySymbol 2	MySymbolを含む全コールスタックを探す
K	カレントスレッドのコールスタックを表示
kP	P == 各関数呼び出しの全パラメータ
Kf	f == 隣り合うフレームの距離を表示 （各フレームのスタック消費量のチェックに便利）
Kv	v == FOP情報と呼び出し規約を表示
Kb	b == 各関数に渡された最初の3つのパラメータを表示
kM	DML形式で出力。 フレーム番号に.frame/dvコマンドがリンクされているため、 そのフレームのローカル変数を表示できる。

例 - UniqStack

```
0:000> !uniqstack
Processing 2 threads, please wait
. 0    Id: dac.154c Suspend: 1 Teb: 7efdd000 Unfrozen
       Start: TestApp!ILT+1415(_wWinMainCRTStartup) (0041158c)
       Priority: 0 Priority class: 32 Affinity: 3

ChildEBP RetAddr
002df44c 00411eeb ntdll!DbgBreakPoint
002df52c 783c2100 TestApp!CMyDialog::OnBnClicked_ExecuteBreakPoint+0x2b [d:¥TestApp¥MyDialog.cpp @ 72]
002df570 783c2842 MFC80UD!_AfxDispatchCmdMsg+0xb0
002df5d4 7839d671 MFC80UD!CCmdTarget::OnCmdMsg+0x2e2
002df610 7836142d MFC80UD!CDialog::OnCmdMsg+0x21
…
002dffb8 0041371d TestApp!__tmainCRTStartup+0x289 [f:¥sp¥vctools¥crt_bld¥self_x86¥crt¥src¥crtexe.c @ 589]
002dffc0 7d4e992a TestApp!wWinMainCRTStartup+0xd [f:¥sp¥vctools¥crt_bld¥self_x86¥crt¥src¥crtexe.c @ 414]
002dfff0 00000000 kernel32!BaseProcessStart+0x28

. 1    Id: dac.127c Suspend: 1 Teb: 7efda000 Unfrozen
       Start: 00000001
       Priority: 0 Priority class: 32 Affinity: 3

ChildEBP RetAddr
0242f550 7d626c3f ntdll!NtQueryAttributesFile+0x12
…
0242ff08 7d62b958 ntdll!LdrpCallInitRoutine+0x14
0242ffbc 7d674613 ntdll!LdrShutdownThread+0xd2
0242ffc4 7d665017 ntdll!RtlExitUserThread+0xa
0242fff4 00000000 ntdll!DbgUiRemoteBreakin+0x41

Total threads: 2
```

メモリ操作のためのWinDbgコマンド

コマンド	説明
d, dd, da, du, ...	メモリの表示 dd == ダブルワード値 da == ASCII文字を表示 du == UNICODE文字を表示
f	メモリを指定の値で埋める
!vprot MyAddr	アドレスMyAddrの仮想メモリ保護情報を表示
!address MyAddr	アドレスMyAddrが示すメモリの情報（タイプ、保護、使用状況, ...）を表示
!address –RegionUsageStack	プロセスの全スレッドのスタック領域を表示
dds	メモリの内容と、対応するシンボルを表示
ddp	メモリの内容と、参照先のメモリの内容を表示。 既知のシンボルと一致した場合は、そのシンボルも表示。

例 - プロセスのメモリ情報

```
0:000> !address
     00000000 : 00000000 - 00010000
                Type       00000000
                Protect    00000001 PAGE_NOACCESS
                State      00010000 MEM_FREE
                Usage      RegionUsageFree
     00010000 : 00010000 - 00001000
                Type       00020000 MEM_PRIVATE
                Protect    00000004 PAGE_READWRITE
                State      00001000 MEM_COMMIT
                Usage      RegionUsageEnvironmentBlock
…
-------------------- Usage SUMMARY --------------------------
   TotSize (      KB)   Pct(Tots) Pct(Busy)  Usage
   1950000 (   25920) : 01.24%    36.03%   : RegionUsageIsVAD
  7b9b1000 ( 2025156) : 96.57%    00.00%   : RegionUsageFree
   12e2000 (   19336) : 00.92%    26.88%   : RegionUsageImage
    110000 (    1088) : 00.05%    01.51%   : RegionUsageStack
      2000 (       8) : 00.00%    00.01%   : RegionUsageTeb
    2a0000 (    2688) : 00.13%    03.74%   : RegionUsageHeap
   1658000 (   22880) : 01.09%    31.81%   : RegionUsagePageHeap
      1000 (       4) : 00.00%    00.01%   : RegionUsagePeb
      1000 (       4) : 00.00%    00.01%   : RegionUsageProcessParametrs
      1000 (       4) : 00.00%    00.01%   : RegionUsageEnvironmentBlock
Tot: 7fff0000 (2097088 KB) Busy: 0463f000 (71932 KB)
…
-------------------- State SUMMARY --------------------------
   TotSize (      KB)   Pct(Tots)  Usage
   2efa000 (   48104) : 02.29%   : MEM_COMMIT
  7b9b1000 ( 2025156) : 96.57%   : MEM_FREE
   1745000 (   23828) : 01.14%   : MEM_RESERVE
```

ヒープ情報取得のためのWinDbgコマンド

コマンド	説明
!heap -?	簡単なヘルプ
!heap -h	ヒープのインデックスや範囲（=開始アドレス, 終了アドレス）を一覧表示
!heap -s 0	全ヒープの要約 = 予約メモリ, コミットメモリ, ...
!heap -flt s Size	指定のサイズ(Size)に一致する割り当てを表示
!heap -stat	ヒープハンドルを一覧表示 ヒープハンドル = HeapCreateやGetProcessHeapの戻り値
!heap -stat -h 0	メモリ割り当てサイズごとに使用状況の統計を表示 = 各割り当てサイズごとの、サイズ、ブロック数、合計メモリ
!heap -p	GFlgasの設定, ヒープハンドルの一覧
!heap -p -all	プロセスの全ヒープの全割り当ての詳細 = すべてのHeapAlloc呼び出しの一覧
!heap -p -a UserAddr	UserAddr（HeapAllocが返却したアドレス）を含むヒープ割り当ての詳細。取得できれば、バックトレースも表示。

ヒープの構造

アプリケーションのページヒープが無効な場合の構造は次の通り。
デフォルトでは、ページヒープは無効。

- _HEAP構造
  - ntdll.dllで定義: dt ntdll!_HEAP
  - HeapCreateごとに、一意の_HEAPが存在
  - "!heap -p -all"により、プロセス内の全_HEAP構造のアドレスが取得できる
- _HEAP_ENTRY構造
  - ntdll.dllで定義: dt ntdll!_HEAP_ENTRY
  - HeapAllocごとに、一意の_HEAP_ENTRYが存在
  - "!heap -p -all"により、プロセス内の全ヒープエントリのアドレスが取得できる

ページヒープの構造

アプリケーションのページヒープが有効な場合の構造は次の通り。
ページヒープは、グローバルフラグ(gflags.exe)で有効にできる。

- _DPH_HEAP_ROOT構造
  - ntdll.dllで定義: dt ntdll!_DPH_HEAP_ROOT
  - HeapCreateごとに、一意の_DPH_HEAP_ROOTが存在
  - "!heap -p -all"により、プロセス内の全ヒープのルートのアドレスが取得できる
    - _DPH_HEAP_ROOTのアドレスは、通常、ヒープハンドルの値 + 0x1000

- _DPH_HEAP_BLOCK構造
  - ntdll.dll で定義: dt ntdll!_DPH_HEAP_BLOCK
  - HeapAllocごとに、一意の_DPH_HEAP_BLOCKが存在
  - "!heap -p -all"により、プロセス内の全ヒープブロックのアドレスが取得できる

HeapAllocの呼び出し元は？

- アプリケーションのスタックトレースとページヒープを有効化する
  - GFlagsを起動し、目的のイメージに対して「Create user mode stack trace database」と「Enable page heap」を選択
  - または、コマンドラインから次のように入力: gflags.exe /i <IMAGE.EXE> +ust +hpa
- アプリケーションを再起動し、WinDbgをアタッチ

WinDbgのコマンドラインにて

- **!heap -p -a <UserAddr>**
  - <UserAddr> = 割り当てアドレス（HeapAlloc, newなどの戻り値）
  - コールスタックを一覧表示。ソース情報なし。
- **dt ntdll!_DPH_HEAP_BLOCK StackTrace <MyHeapBlockAddr>**
  - <MyHeapBlockAddr> = 事前に取得しておいたDPH_HEAP_BLOCKのアドレス
  - StackTrace = HeapAllocのコールスタックが格納されている、DPH_HEAP_BLOCKのメンバー
- **dds <StackTrace>**
  - <StackTrace> = 事前に取得しておいた値
  - コールスタックを一覧表示。ソース情報付き。

例 - HeapAllocの呼び出し元は？

```
// HeapAlloc( 0x00150000, 8, dwBytes =0x00A00000 ) -->> 0x025F1000;

0:000> !heap -p -a 0x025F1000
    address 025f1000 found in
    _DPH_HEAP_ROOT @ 151000
    in busy allocation ( DPH_HEAP_BLOCK:     UserAddr    UserSize -   VirtAddr    VirtSize)
                                  15449c:    25f1000     a00000 -     25f0000     a02000
    7c91b298 ntdll!RtlAllocateHeap+0x00000e64
    0045b8b1 TestApp!CMyDlg::OnBnClicked_HeapAlloc+0x00000051
    004016e0 TestApp!_AfxDispatchCmdMsg+0x00000043
    004018ed TestApp!CCmdTarget::OnCmdMsg+0x00000118
    00408f7f TestApp!CDialog::OnCmdMsg+0x0000001b
    …

0:000> dt ntdll!_DPH_HEAP_BLOCK StackTrace 15449c
    +0x024 StackTrace : 0x0238e328 _RTL_TRACE_BLOCK

0:000> dds 0x0238e328
0238e328 abcdaaaa
…
0238e334 00000001
0238e338 00a00000
0238e33c 00151000
0238e340 01b17b1c
0238e344 0238e348
0238e348 7c91b298 ntdll!RtlAllocateHeap+0xe64
0238e34c 0045b8b1 TestApp!CMyDlg::OnBnClicked_HeapAlloc+0x51 [d:¥development¥sources¥TestApp¥MyDlg.cpp @ 366]
0238e350 004016e0 TestApp!_AfxDispatchCmdMsg+0x43 [f:¥sp¥vctools¥vc7libs¥ship¥atlmfc¥src¥mfc¥cmdtarg.cpp @ 82]
0238e354 004018ed TestApp!CCmdTarget::OnCmdMsg+0x118 [f:¥sp¥vctools¥vc7libs¥ship¥atlmfc¥src¥mfc¥cmdtarg.cpp @ 381]
0238e358 00408f7f TestApp!CDialog::OnCmdMsg+0x1b [f:¥sp¥vctools¥vc7libs¥ship¥atlmfc¥src¥mfc¥dlgcore.cpp @ 85]
…
```

HeapCreateの呼び出し元は？

- アプリケーションのスタックトレースとページヒープを有効化する
  - GFlagsを起動し、目的のイメージに対して、「Create user mode stack trace database」と「Enable page heap」を選択
  - または、コマンドラインから次のように入力: gflags.exe /i <IMAGE.EXE> +ust +hpa
- アプリケーションを再起動し、WinDbgをアタッチ

WinDbgのコマンドラインにて

- **!heap -p -h <HeapHandle>**
  - <HeapHandle> = HeapCreateの戻り値
  - "!heap -stat"または"!heap -p"で、プロセスのヒープとそのハンドルが一覧表示できる
- **dt ntdll!_DPH_HEAP_ROOT CreateStackTrace <MyHeapRootAddr>**
  - <MyHeapRootAddr> = 事前に取得しておいたDPH_HEAP_ROOTのアドレス
  - CreateStackTrace = HeapCreateのコールスタックが格納されている、DPH_HEAP_ROOTのメンバー
- **dds <CreateStackTrace>**
  - <CreateStackTrace> = 事前に取得しておいた値
  - コールスタックを一覧表示。ソース情報付き。

例 - HeapCreateの呼び出し元は？

```
// HeapCreate( 0x0000000A, 0, 0 ) -->> 0x03000000;

0:000> !heap -p -h 0x03000000
       _DPH_HEAP_ROOT @ 3001000
       Freed and decommitted blocks
         DPH_HEAP_BLOCK : VirtAddr VirtSize
       Busy allocations
         DPH_HEAP_BLOCK : UserAddr UserSize - VirtAddr VirtSize
       …

0:000> dt ntdll!_DPH_HEAP_ROOT CreateStackTrace 3001000
       +0x08c CreateStackTrace : 0x0238e328 _RTL_TRACE_BLOCK

0:000> dds 0x0238e328
0238e328 abcdaaaa
0238e32c 00000001
0238e330 00000010
0238e334 00000000
0238e338 00000000
0238e33c 00000000
0238e340 00000000
0238e344 0238e348
0238e348 7c93a874 ntdll!RtlCreateHeap+0x41
0238e34c 7c812bff kernel32!HeapCreate+0x55
0238e350 0045b841 TestApp!CMyDlg::OnBnClicked_HeapCreate+0x31 [d:¥development¥sources¥TestApp¥MyDlg.cpp @ 345]
0238e354 0040b122 TestApp!_AfxDispatchCmdMsg+0x43 [f:¥sp¥vctools¥vc7libs¥ship¥atlmfc¥src¥mfc¥cmdtarg.cpp @ 82]
0238e358 0040b32f TestApp!CCmdTarget::OnCmdMsg+0x118 [f:¥sp¥vctools¥vc7libs¥ship¥atlmfc¥src¥mfc¥cmdtarg.cpp @ 381]
0238e35c 00408838 TestApp!CDialog::OnCmdMsg+0x1b [f:¥sp¥vctools¥vc7libs¥ship¥atlmfc¥src¥mfc¥dlgcore.cpp @ 85]
…
```

ヒープ上のメモリリークの検出

- **!address -summary**
  - プロセスのメモリ使用状況を要約。**RegionUsageHeap**や**RegionUsagePageHeap**が常に増加している場合は、ヒープのメモリリークがあるかもしれない。以下のステップへ。
- アプリケーションのスタックトレースとページヒープを有効にする。
- アプリケーションを再起動し、WinDbgをアタッチ。

WinDbgのコマンドラインにて

- **!heap -stat -h 0**
  - メモリ割り当てサイズごとに使用状況の統計を表示。各割り当てサイズごとに、サイズ、ブロック数、合計メモリが表示される。
- **!heap -flt -s <size>**
  - <size> = HeapAllocで割り当てられたサイズ。事前に取得しておいた値。
- **!heap -p -a <UserAddr>**
  - <UserAddr> = 割り当てアドレス（HeapAlloc, newなどの戻り値）
  - コールスタックを一覧表示。ソース情報なし。ソース情報付きのコールスタックを表示するには、「HeapAllocの呼び出し元は？」のスライドを参照のこと。

例 - ヒープ上のメモリリークの検出

```
0:001> !heap -stat -h 0
Allocations statistics for
  heap @ 00150000
group-by: TOTSIZE max-display: 20
      size     #blocks     total     ( %) (percent of total busy bytes)
      100000   101      - 10100000(99.99)     → 0x101 * 1MB 割り当てられている。メモリリークの発生が推測される。
      928      2        - 1250    (0.00)
      64       24       - e10  (0.00)
      …

0:001> !heap -flt s 100000                    → サイズが100000の割り当てについて表示
      _DPH_HEAP_ROOT @ 151000
      Freed and decommitted blocks
        DPH_HEAP_BLOCK : VirtAddr VirtSize
      Busy allocations
        DPH_HEAP_BLOCK :    UserAddr   UserSize    - VirtAddr VirtSize
          024f0698 :        13831000   00100000    - 13830000 00102000
          024f0620 :        13721000   00100000    - 13720000 00102000
          … → ここに、サイズが100000のエントリが0x101個表示される。
                最初のエントリUserAddr=0x13831000について調査。

0:001> !heap -p -a 13831000
      address 13831000 found in
      _DPH_HEAP_ROOT @ 151000
      in busy allocation ( DPH_HEAP_BLOCK:      UserAddr   UserSize -  VirtAddr     VirtSize)
                                    24f0698:    13831000   100000 -    13830000    102000
      7c91b298 ntdll!RtlAllocateHeap+0x00000e64
      0045b74e TestApp!CMyDlg ::OnBnClicked_DoMemoryLeak+0x0000003e
      0040b122 TestApp!_AfxDispatchCmdMsg+0x00000043
      0040b32f TestApp!CCmdTarget ::OnCmdMsg+0x00000118
      00408838 TestApp!CDialog ::OnCmdMsg+0x0000001b
      …
```

クリティカルセクション関連のコマンド

コマンド	説明
!locks	プロセス内のロックされているクリティカルセクションを一覧表示
!locks -v	プロセス内の全クリティカルセクションを表示
!cs [オプション] [クリティカルセクションのアドレス]	ひとつ以上のクリティカルセクション、あるいは全クリティカルセクションのツリーを表示 オプション: -l == ロックされたクリティカルセクションのみを表示 -s == 各クリティカルセクションの初期化スタックを表示 -o == 所有者のスタックを表示 -t == クリティカルセクションのツリーを表示 → EnterCntr, WaitCnt, ...
!avrf -cs	削除されたクリティカルセクションを表示 (DeleteCriticalSection API)

例 - クリティカルセクション

```
0:000> !cs -s -o 0x0012fe08
-----------------------------------------
Critical section     = 0x0012fe08 (+0x12FE08)
DebugInfo            = 0x031c4fe0
LOCKED
LockCount            = 0x0
OwningThread         = 0x00000c8c
…
OwningThread Stack =
     ChildEBP RetAddr  Args to Child
     0012f488 004badd9 0012f810 02854f10 00000000 ntdll!DbgBreakPoint
     0012f568 0054fd2c 00000000 004bb621 00681d70 TestApp!CMyDialog::OnBnClicked_EnterCs+0x39
     0012f594 00550365 0012fd78 0000001c 00000000 TestApp!_AfxDispatchCmdMsg+0x9c
     0012f5f0 005517f1 0000001c 00000000 00000000 TestApp!CCmdTarget::OnCmdMsg+0x285
     …
Stack trace for DebugInfo (Initialization Stack)= 0x031c4fe0:
0x7c911a93: ntdll!RtlInitializeCriticalSectionAndSpinCount+0xC9
0x7c809eff: kernel32!InitializeCriticalSection+0xE
0x004c101d: TestApp!CCriticalSection::Init+0x3D
0x004c10a0: TestApp!CCriticalSection::CCriticalSection+0x40
…

0:000> !cs -t
Verifier package version >= 3.00
Tree root 02fd8fd0
Level      Node       CS     Debug   InitThr EnterThr WaitThr TryEnThr LeaveThr EnterCnt WaitCnt
-------------------------------------------------------------------------------------------
     0 02fd8fd0 0012fe08 031c4fe0     c8c      c8c       0        0        0        1        0
     1 02fa8fd0 006807f4 03148fe0     c8c        0       0        0        0        0        0
     2 02fa2fd0 00680f70 02850fe0     c8c      c8c       0        0      c8c     4848        0
…
```

その他の便利なWinDbgコマンド

コマンド	説明
dt	ローカル変数、関数のパラメータ、グローバル変数、データ型の情報を表示
dt ntdll!*peb*	pebという文字を含むntdll.dllの全変数を一覧表示
dt ntdll!_PEB	PEBの型を表示
dt ntdll!_PEB 7efde000	アドレス7efde000のPEBを表示
dv	ローカル変数を表示
dv /t /i /V	ローカル変数を表示 /i == カテゴリで分類（パラメータかローカル変数か） /V == アドレスと、フレームのベースレジスタからのオフセットを表示（通常はEBP） /t == 型情報を表示

例 - dt と dv

```
0:000> dt TestApp!CMyDialog
      +0x000 __VFN_table          : Ptr32
      =00400000 classCObject      : CRuntimeClass
      =00400000 classCCmdTarget   : CRuntimeClass
      =00400000 _commandEntries   : [0] AFX_OLECMDMAP_ENTRY
      =00400000 commandMap        : AFX_OLECMDMAP
      =00400000 _dispatchEntries  : [0] AFX_DISPMAP_ENTRY
      ...
      +0x004 m_dwRef              : Int4B
      +0x008 m_pOuterUnknown      : Ptr32 IUnknown
      +0x00c m_xInnerUnknown      : Uint4B
      +0x010 m_xDispatch          : CCmdTarget::XDispatch
      +0x014 m_bResultExpected    : Int4B
      +0x018 m_xConnPtContainer   : CCmdTarget::XConnPtContainer
      +0x01c m_pModuleState       : Ptr32 AFX_MODULE_STATE
      =00400000 classCWnd         : CRuntimeClass
      +0x020 m_hWnd               : Ptr32 HWND__
      ...
      +0x064 m_lpDialogInit       : Ptr32 Void
      +0x068 m_pParentWnd         : Ptr32 CWnd
      +0x06c m_hWndTop            : Ptr32 HWND__
      +0x070 m_pOccDialogInfo     : Ptr32 _AFX_OCC_DIALOG_INFO
      +0x074 m_hIcon              : Ptr32 HICON__
      +0x078 m_nn                 : Int4B

0:000> dv /t /i /V
prv local 002df440 @ebp-0x08 class CMyDialog * this = 0x002dfe24
prv param 002df450 @ebp+0x08 int nn = 1
```

WinDbgの疑似レジスタ

- デバッガが仮想的なレジスタを提供
- ドル記号($)で始まる

1) 自動疑似レジスタ
   - デバッガが、便利な値を設定
   - 例: $ra, $peb, $teb, ...

2) ユーザー定義の疑似レジスタ
   - 20個のユーザー定義レジスタ: $t0, $t1, ..., $t19
   - 中間データの格納には整数型の変数が使われる
   - 型情報も保持できる
   - r?は、型付きの結果を左辺値(lvalue)に割り当てる
     - r? $t0=@$peb->ProcessParameters
       - 型付きの値を$t0に割り当て
       - $t0の型が記憶されており、後の式で利用可能
     - ?? @$t0->CommandLine

自動疑似レジスタ

コマンド	説明
$ra	スタック上にあるリターンアドレス 実行コマンドで便利, 例: "g $ra"
$ip	命令ポインタ x86 = EIP, Itanium = IIP, x64 = RIP
$exentry	カレントプロセスで最初に実行されるエントリポイント
$retreg	戻り値のレジスタ x86 = EAX, Itanium = ret0, x64 = rax
$csp	コールスタックのポインタ x86 = ESP, Itanium = BSP, x64 = RSP
$peb	プロセス環境ブロック(PEB)のアドレス
$teb	カレントスレッドのスレッド環境ブロック(TEB)のアドレス
$tpid	プロセスID(PID)
$tid	スレッドID(TID)
$ptrsize	ポインタのサイズ
$pagesize	1ページ分のメモリのバイト数
…	WinDbgのヘルプの「Pseudo-Registry Syntax」を参照

WinDbgの式

1) MASM式
   - ? コマンドで評価
   - 各シンボルはアドレスとして扱われる（シンボルの値は、そのシンボルのメモリアドレス → 値を取り出すにはpoiオペレータで逆参照する）
   - `ソース：行番号`の式が利用可能(`myfile.c:43`)
   - レジスタには、アットマークを付けても付けなくてもよい（eaxでも@eaxでも可）
   - WinDbgのヘルプでは、ほとんどすべてにMASM式が使われている
   - WinDbg 4.0より前のバージョンでは、これが唯一の式

2) C++式
   - ?? コマンドで評価
   - シンボルは適切なデータ型で解釈される
   - `ソース:行番号`の式は利用不可
   - レジスタにはアットマークが必要（eaxは不可）

MASMの演算は、常にバイト単位で行われる。C++の演算は、C++型のルールに従う（ポインタ演算時のスケーリングを含む）。いずれも、内部では数値はULONG64値で処理される。

さらに式について

- MASM
  - シンボルの値は、そのシンボルのメモリアドレス
  - 任意の数に対して、任意の演算子が使用可能
  - 数字: 現在の基数にしたがって解釈される：n [8 | 10 | 16]
    接頭辞で基数を変更可能: 0x(16進), 0n(10進), 0t(8進), 0y(2進)

- C++
  - 変数の値は、その変数がもつ実際の値そのもの
  - 演算子は、対応するデータ型でのみ使用可能
  - 対応するC++データ型をもたないシンボルは、文法エラーになる
  - データ構造は、実際の構造体として適切に使用すること。数値はもたない。
  - 関数名やその他のエントリポイントはメモリアドレスであり、関数のポインタとして扱われる
  - 数字: デフォルトは、常に10進数
    接頭辞で変更可能: 0x(16進), 0(8進)

例 - 変数の値

```
// ------------------------------------------------------------
void MyFunction() {
        int nLocalVar = 7;
... }
// ------------------------------------------------------------

0:000> dd nLocal1 L1
0012f830 00000007

// MASM syntax
// -------------
0:000> ? nLocalVar                    // nLocalVarのアドレス（メモリ上の位置）を取得
Evaluate expression: 1243184 = 0012f830

0:000> ? dwo(nLocalVar)               // nLocalVarの値を取得 - 逆参照
Evaluate expression: 7 = 00000007     // (dwo = ダブルワード, poi = ポインタサイズのデータ)

0:000> ? poi(nLocalVar)
Evaluate expression: 7 = 00000007

// C++ syntax
// -------------
0:000> ?? nLocalVar                   // nLocalVarの値を取得
int 7

0:000> ?? & nLocalVar                 // nLocalVarのアドレス（メモリ上の位置）を取得
int * 0x0012f830
```

例 - MASM式 対 C++式

```
// ------------------------------------------------------------
// 以下の例では、次の値を返す:
//      eax == ebx ? 0
//      eax > ebx ? 1
//      eax < ebx ? -1
//
// C++文法の次の点に注意:
//      -> レジスタの値を表すには@が必要
//      -> BOOLをintに変換するには明示的なキャストが必要
//      -> 等価演算子は、二重のイコール記号
// ------------------------------------------------------------

0:000> r eax = 4, ebx = 3

0:000> ? 0*(eax = ebx) + 1*(eax > ebx) + -1*(eax < ebx)
Evaluate expression: 1 = 00000001

0:000> ?? 0*(int)(@eax == @ebx) + 1*(int)(@eax > @ebx) + -1*(int)(@eax < @ebx)
int 1

0:000> r eax = 3, ebx = 4

0:000> ? 0*(eax = ebx) + 1*(eax > ebx) + -1*(eax < ebx)
Evaluate expression: -1 = ffffffff

0:000> ?? 0*(int)(@eax == @ebx) + 1*(int)(@eax > @ebx) + -1*(int)(@eax < @ebx)
int -1
```

MASMの一般的な数値演算子

単項演算子

演算子	説明
dwo, qwo, poi	dwo = 指定のアドレスからDWORD分を取得 qwo = 指定のアドレスからQWORD分を取得 poi = 指定のアドレスからポインタサイズ分を取得
wo, by	wo = 指定のアドレスから下位WORD分を取得 by = 指定のアドレスから下位BYTE分を取得

二項演算子

演算子	説明
= (または ==), !=	等しい, 等しくない
<, >, <=, >=	より小さい, より大きい, 以下, 以上
and (または &), xor (または ^), or (または |)	ビットごとの論理積, ビットごとの排他的論理和, ビットごとの論理和
+, -, *, /	加算, 減算, 乗算, 除算
<<, >>, >>>	左シフト, 右シフト, 算術右シフト

MASMの非数値演算子

演算子	説明
$iment(Address)	イメージのエントリポイント。Address=イメージのベースアドレス
$scmp("String1", "String2")	-1, 0, 1のいずれかを返却。strcmpを参照。
$sicmp("String1", "String2")	-1, 0, 1のいずれかを返却。stricmpを参照。
$spat("String", "Pattern")	TRUE → StringがPatternにマッチする FALSE → StringがPatternにマッチしない Pattern = エイリアスまたは文字列の定数。メモリポインタは指定不可（すなわち、$spatの引数に直接"poi(address)"を指定することはできない。最初にその結果をエイリアスに格納のこと）。Patternに、各種ワイルドカードを使用可能。
$vvalid(Address, Length)	1 → 指定範囲のメモリは有効 0 → メモリは無効

最適化

シンボルの検索に無駄な時間をかけないために

- MASM
  - レジスタに@を付けることを推奨。そうしないと、シンボルとして解釈されるかもしれない。
- C++
  - ローカルなシンボルのための接頭辞: $!MySymbol
  - グローバルなシンボルのための接頭辞: <モジュール名>!MySymbol

例 - C++文法の構造体

```
// ------------------------------------------------------------------
// 処理の高速化に有効: $!symName                    … ローカルシンボルの場合
//                     <ModuleName>!symName    … グローバルシンボルの場合
// ------------------------------------------------------------------
0:000> ?? dlg.m_nn
int 0
0:000> ?? $!dlg.m_nn
int 0
0:000> ?? sizeof($!dlg.m_nn)
unsigned int 0xac

0:000> ?? ((MyModule!CMyDlg*) 0x12f878)->m_nn
int 0

0:000> ?? ((ntdll!_TEB*) 0x7ffdf000)->ClientId
struct _CLIENT_ID
       +0x000 UniqueProcess : 0x000017d8        // → PID
       +0x004 UniqueThread : 0x00000ea8         // → TID

0:000> ?? @$teb->ClientId                       // C++の式評価器は、
struct _CLIENT_ID                               // 疑似レジスタを適切な型にキャストする
       +0x000 UniqueProcess : 0x000017d8
       +0x004 UniqueThread : 0x00000ea8

0:001> r? $t0 = @$peb->ProcessParameters   // ユーザー定義の議事レジスタには
0:001> ?? @$t0->CommandLine                // 型情報が保持される点に注意
struct _UNICODE_STRING
""D:¥Development¥Sources¥CrashMe¥release¥CrashMe.exe" "
       +0x000 Length : 0x6a
       +0x002 MaximumLength : 0x6c
       +0x004 Buffer : 0x00020724 ""D:¥Development¥Sources¥CrashMe¥release¥CrashMe.exe" "
```

例 - ポインタ演算

```
// ------------------------------------------------------------
// int myInt[2] = { 1,2 };
// MASMの演算は常にバイト単位で行われる点に注意。
// 一方、ポインタの計算はC++の方式で行われている。
// ------------------------------------------------------------

// MASM 文法
// -------------
0:000> ? myInt
Evaluate expression: 1243256 = 0012f878
0:000> ? dwo(myInt)
Evaluate expression: 1 = 00000001

0:000> ? myInt+4
Evaluate expression: 1243260 = 0012f87c
0:000> ? dwo(myInt+4)
Evaluate expression: 2 = 00000002

// C++ 文法
// -------------
0:000> ?? (&myInt)
int * 0x0012f878
0:000> ?? myInt
int [2] 0x0012f878
1

0:000> ?? (&myInt+1)
int * 0x0012f87c
0:000> ?? *(&myInt+1)
int 2
```

デフォルトの式評価器

- 次の場合は常にC++の評価器が使われる
  - ?? コマンド（C++式を評価）
  - watchウィンドウ
  - localsウィンドウ
- 上記以外のすべてのコマンドやデバッグ情報ウィンドウでは、デフォルトの式評価器が使われる
- .exprコマンドでデフォルトの評価器を変更可能
  - .expr → 現在の評価器を表示
  - .expr /q → 使用可能な評価器を表示
  - **.expr /s c++** → デフォルトの式評価器としてC++を設定
  - **.expr /s masm** → デフォルトの式評価器としてMASMを設定

両評価器の混在

- ひとつのコマンド内で両方の式評価器を使用可能
- 両モードを混在させるには: @@(...)
  - 式の一部が、@@とそれに続く丸カッコに囲まれていた場合、その中は現在の式評価器とは逆の式評価器で評価される。
  - これにより、ひとつのコマンド内の異なるパラメータで、2つの異なる式評価器が使用可能。
  - この記号を入れ子で使うことも可能。記号が現れるたびに、式評価器が切り替わる。
- 式評価器の明示的な指定
  - → **@@c++(...)**
  - → **@@masm(...)**

例 - 式評価器の混在

```
// ------------------------------------------------------------------
// 以下のコマンドは、デフォルトの式評価器をMASMに設定する。
// そのため、Expression1とExpression3をMASM式として評価される。
// 一方、Expression2はC++式として評価される。
// ------------------------------------------------------------------
0:000> .expr /s masm
0:000> ? Expression1 + @@( Expression2) + Expression3

0:000> ? `myFile.cpp:118`                    // myFile.cppの118行目のアドレスを取得
Evaluate expression: 4570359 = 0045bcf7

// ------------------------------------------------------------------
// ソース:行番号の式は、C++式では使えないので、
// C++式の中でMASM式を入れ子にするとよい。
// → myFile.cppの118行目のアドレスを、nLocalVerに格納。
// ------------------------------------------------------------------

0:000> ?? nLocalVar = @@(`myFile.cpp:118`)
int 4570359
```

WinDbgのエイリアス

- 文字列を、自動的にほかの文字列に置き換える
- エイリアス名 + 対応する値から構成される

1) ユーザー命名エイリアス
   - ユーザーが名前と値を設定（いずれも大文字小文字が区別される）
   - as または aS(エイリアスの設定)、ad（エイリアスの削除）、al（エイリアスの一覧表示）で操作

2) 固定名エイリアス
   - ユーザーが値を設定。名前は$u0, $u1, ...,$u9
   - r（登録）コマンド + "u"の前の.（ドット）で設定

     例: **r $.u0** = "dd esp+8;g"

3) 自動エイリアス
   - デバッガが名前と値を設定
   - 自動疑似レジスタに類似。ただし、${...}といったエイリアス関連のトークンが使える点が異なる（疑似レジスタでは使えない）。
   - 例: $ntsym, $CurrentDumpFile, $CurrentDumpPath, ...

ユーザー命名エイリアスと固定名エイリアス

1) ユーザー命名エイリアス

- デフォルトでは、ユーザー命名エイリアスは、ほかの文字と離さなければならない。エイリアス名の最初と最後の文字は、次のいずれかの条件を満たすこと。
  - 行頭または行末
  - 前後が、空白かセミコロンかクエスチョンマーク
- ユーザー命名エイリアスがほかのテキストと隣接する場合は、${ }（エイリアスインタープリタ）で囲まなければならない
- 固定名エイリアスの定義内で使用可能
  - ユーザー命名エイリアスを、ほかのユーザー命名エイリアスの定義内で使う場合は、**as**コマンドまたは**aS**コマンドの前にセミコロンを付ける（そうしないと、行内でのエイリアスの置き換えは行われない）。解説: **as**, **aS**, **ad**, **al**で始まる行内のテキストは、エイリアスの置き換えが行われない。置き換えが必要な場合は、先頭にセミコロンを付けること。
- 固定名エイリアスより使いやすい
  - エイリアス定義の文法が単純
  - al(List Aliases)コマンドで一覧表示が可能

2) 固定名エイリアス

- ほかのテキストと隣接していても、自動的に置き換えられる
- 任意のエイリアス定義内で使用可能

ユーザー命名エイリアスのコマンド

演算子	説明
as Name Equivalent as /ma Name Address as /mu Name Address …	エイリアスの設定 Addressにあるnullで終わるASCII文字列にエイリアスを設定 Addressにあるnullで終わるUnicode文字列にエイリアスを設定
ad Name ad *	名前(Name)を指定してエイリアスを削除 すべてのエイリアスの削除
al	ユーザー命名エイリアスを一覧表示
${Alias} ${/f:Alias} ${/n:Alias} ${/d:Alias}	ほかのテキストに隣接している場合も、${Alias}をエイリアスの値に置き換える。エイリアスが未定義の場合は、${Alias}の置き換えは行われない。 上と同様だが、エイリアスが未定義の場合は、${/f:Alias}が空の文字列に置き換えられる。 エイリアス名自体を返す。 評価: 1=エイリアス定義済み, 0=エイリアス未定義

例 - エイリアス

```
0:001> as Short kernel32!CreateRemoteThread          // → ユーザー命名エイリアス
0:001> uf Short

0:001> r $.u0 = kernel32!CreateRemoteThread          // → 固定名エイリアス
0:001> uf $u0

0:001> as DoInc r eax=eax+1; r ebx=ebx+1             // → エイリアスをコマンドのマクロとして使用
0:001> DoInc
0:001> DoInc

// ------------------------------------------------------------------
// エイリアスを使用するとその場で置き換えらる
// ------------------------------------------------------------------
0:001> r $.u2 = 2
0:001> r $.u1 = 1+$u2
0:001> r $.u2 = 6
0:001> ? $u1
Evaluate expression: 3 = 00000003

0:001> as two 2
0:001> r $.u1 = 1+ two               // → twoの前に空白があるので注意
0:001> as two 6
0:001> ? $u1
Evaluate expression: 3 = 00000003

// ------------------------------------------------------------------
// エイリアスをほかのエイリアスの中で使う
// ------------------------------------------------------------------
0:001> as two 2
0:001> as xy1 two + 1                // → xy1 = two + 1
0:001> ;as xy2 two + 1               // → xy2 = 2 + 1 (エイリアスを置き換えるにはasの前にセミコロンが必要)
```

デバッガコマンドプログラム

- 構成
  - デバッガコマンド
  - フロー制御トークン(.if, .for, .while, ...)
- 変数
  - ユーザー命名エイリアスまたは固定名エイリアスを、「ローカル変数」として使用
  - 疑似レジスタ($t0, ...)を、数値や型付きの変数として使用
- コメントは $${任意のテキスト} のように記述
- 中カッコ { } で、ステートメントのブロックを囲む
  - 各ブロックに入る際に、ブロック内の全エイリアスが評価される
  - 開きカッコの前に、フロー制御トークンが必要
  - エイリアスの評価のために単なるブロックを作るには、.block {...} を使用
  - ほかのテキストと隣接するユーザー命名エイリアスには、${Alias}（エイリアスインタープリタ）を使用

フロー制御トークン

- 繰り返しや条件分岐の作成に使用
- 各条件は式でなければならない（コマンドは許可されていない）

コマンド	説明
.block	何の動作も行わない。単にブロックの導入にのみ使われる。{ }だけではブロックを作成できないので注意。
.if, .else, .elseif	C言語のキーワードの**if**, **else**, **else if**とほぼ同じ
.for, .while, .break, .continue	C言語のキーワードの**for**, **while**, **break**, **continue**とほぼ同じ
.foreach	デバッガコマンド（文字列またはテキストファイル）の出力を解析し、解析で得た各項目を後続のデバッガコマンドの入力に使用する。

コマンドプログラムの実行

プログラムの実行方法

- 全ステートメントを、デバッガウィンドウに、ひとつの文字列として入力（コマンドはセミコロンで区切る）
- 全ステートメントをスクリプトファイルに保存し、**$$><**を使ってファイルを実行

  $$><（スクリプトファイルの実行）：

  → 指定のファイルを開く

  → すべての改行をセミコロンに置き換える

  → その結果を、ひとつのコマンドブロックとして実行

例 - デバッガコマンドプログラム

```
$$ ---------------------------------------------------------------------
$$ WinDbgのヘルプ「Debugger Command Program Examples」から引用
$$ 説明はヘルプ内にあり。
$$ ---------------------------------------------------------------------

$$ モジュールリストLIST_ENTRY を$t0に取得
r? $t0 = &@$peb->Ldr->InLoadOrderModuleList

$$ リスト内の全モジュールを列挙
.for (r? $t1 = *(ntdll!_LDR_DATA_TABLE_ENTRY**)@$t0;
      (@$t1 != 0) & (@$t1 != @$t0);
      r? $t1 = (ntdll!_LDR_DATA_TABLE_ENTRY*)@$t1->InLoadOrderLinks.Flink)
{
      $$ ベースアドレスを$Baseに取得
      as /x ${/v:$Base} @@c++(@$t1->DllBase)

      $$ フルネームを$Modに取得
      as /msu ${/v:$Mod} @@c++(&@$t1->FullDllName)

      .block
      {
            .echo ${$Mod} at ${$Base}
      }

      ad ${/v:$Base}
      ad ${/v:$Mod}
}
```

便利なブレークポイントコマンド

コマンド	説明
bl	ブレークポイントの一覧表示
bp	ブレークポイントの設定
bu	未解決のブレークポイントの設定。 ブレークポイントの実際の設定を、モジュールロード時まで保留する。
ba	メモリアクセス時に中断
bc	ブレークポイントの消去
be, bd	ブレークポイントの有効化, 無効化

例 - 単純なブレークポイントの設定

```
0:000> bu kernel32!LoadLibraryExW
0:000> bu kernel32!CreateProcessW
0:000> bu kernel32!CreateThread
0:000> ba r4 0012fe34                  → アクセス時に中断(read or write); 4バイト監視
0:000> ba w2 0012fe38                  → アクセス時に中断(write); 2バイト監視

0:000> bl
     0 e 7c801af1       0001 (0001) 0:**** kernel32!LoadLibraryExW
     1 e 7c802332       0001 (0001) 0:**** kernel32!CreateProcessW
     2 e 7c810637       0001 (0001) 0:**** kernel32!CreateThread
     3 e 0012fe34 r 4   0001 (0001) 0:****
     4 e 0012fe38 2 2   0001 (0001) 0:****

0:000> bd 0,2                          → 0番と2番のブレークポイントを無効化
0:000> bc 4                            → 4番のブレークポイントを消去

0:000> bl
     0 d 7c801af1       0001 (0001) 0:**** kernel32!LoadLibraryExW
     1 e 7c802332       0001 (0001) 0:**** kernel32!CreateProcessW
     2 d 7c810637       0001 (0001) 0:**** kernel32!CreateThread
     3 e 0012fe38 r 4   0001 (0001) 0:****
```

例 - より複雑なブレークポイント

- 指定したソースの指定した行で中断

```
0:000> bp `mod!source.c:12`
```

- 5回通過後からヒットするブレークポイント

```
0:000> bu kernel32!LoadLibraryExW 5
0:001> bl                                   // → 3回通過後 (0002=残りカウント)
       0 e 7c801af1       0002 (0005) 0:**** kernel32!LoadLibraryExW
```

- スレッド1から呼び出された場合にのみ中断

```
0:000> ~1 bu kernel32!LoadLibraryExW
0:001> bl
       0 e 7c801af1       0001 (0001) 0:~001 kernel32!LoadLibraryExW
```

- パターンmyFunc*にマッチする全シンボルで中断

```
0:000> bm /a mod!myFunc*
```

  - xコマンドのシンボルパターンと同様

- メンバーのメソッドで中断

```
0:000> bp @@c++( MyClass::MyMethod )
```

  - 同じメソッドがオーバーロードされているため複数のアドレスが存在する場合に便利

例 - コマンド付きブレークポイント

- WinMainの実行をスキップ

```
0:000> bu MyApp!WinMain "r eip = poi(@esp); r esp = @esp + 0x14; .echo WinSpy!WinMain entered; gc"
```

  - 関数のエントリポイントに入った瞬間、スタックの先頭にリターンアドレスがセットされている。
    - r eip=poi(@esp) → EIP（命令ポインタ）にスタックのオフセット0の内容をセット
  - WinMainのパラメータ4個×各4バイト（=0x10バイト）+リターンアドレス4バイト=0x14
    - r esp=@esp + 0x14 → ESPに0x14を加算し、スタックポインタを適切に巻き戻す

- スレッド1から呼び出された場合のみ中断

```
0:000> bu kernel32!LoadLibraryExW ";as /mu ${/v:MyAlias} poi(@esp+4); .if ( $spat(¥"${MyAlias}¥",
        ¥"*MYDLL*¥" ) != 0 ) { kn; } .else { gc }"
```

  - LoadLibraryの最初のパラメータ（アドレスESP+4）は、当該DLL名へのポインタ。
  - このポインタと、所定のワイルドカード付き文字列（この例では *MYDLL*）を、MASMの$spat演算子で比較。
  - $spatはエイリアスや定数は受け取れるものの、メモリのポインタは受け取れない。そこで、当該ポインタをあらかじめエイリアス(MyAlias)に格納しておく。
  - このkernel32!LoadLibraryExWブレークポイントは、$spatのパターンマッチングに成功した場合にのみヒットする。それ以外の場合は、アプリケーションは実行を継続する。

例外分析コマンド

コマンド	説明
.lastevent	ファーストチャンスかセカンドチャンスか
!analyze -v	現在の例外に関する詳細情報を表示
.exr -1	直近の例外を表示
.exr Addr	アドレスAddrの例外レコードを表示
!cppexr	C++の例外レコードを表示
g, gH	例外をハンドリングして実行
gN	例外をハンドリングせずに実行

例 – 例外

```
0:000> .lastevent
Last event: dac.154c: Stack overflow - code c00000fd (first chance)
        debugger time: Wed Aug 29 16:04:15.367 2007 (GMT+2)


0:000> .exr -1
ExceptionAddress: 00413fb7 (TestApp!_chkstk+0x00000027)
ExceptionCode: c00000fd (Stack overflow)
ExceptionFlags: 00000000
NumberParameters: 2
Parameter[0]: 00000000
Parameter[1]: 001e2000


0:000> !analyze –v
FAULTING_IP:
TestApp!_chkstk+27 [F:¥SP¥vctools¥crt_bld¥SELF_X86¥crt¥src¥intel¥chkstk.asm @ 99]
00413fb7 8500      test dword ptr [eax],eax
...
```

WinDbgによるリモートデバッグ

- ターゲットコンピュータ（サーバー）
  - dbgsrv.exe, dbgeng.dll, dbghelp.dllをリモートコンピュータにコピーする
  - 「dbgsrv.exe」に対するファイアウォールを無効化する
  - 実行 → dbgsrv.exe -t tcp:port=1025

    Windows Vista: 全プロセスが参照できるようdbgsrv.exeを管理者権限で開始
- ホストコンピュータ（クライアント）
  - 実行 → WinDbg.exe -premote tcp:server=ターゲットのIPアドレスまたは名前,port=1025
  - File（メニュー） → Attach to Process → ターゲットコンピュータのデバッグ対象プロセスを選択

リモートデバッグのためのWinDbgコマンド

コマンド	説明
Cdb.exe -QR サーバー（IP アドレスまたは名前）	指定のネットワークサーバー上のすべてのデバッグサーバーを一覧表示
.detach	プロセスからデタッチ
.endpsrv	リモートコンピュータ上のdbgsrv.exeを終了。デバッグ中のプロセスは、事前にデタッチしていない場合、強制終了される。
.tlist	（リモート）システム上で実行中の全プロセスを一覧表示

イベントの監視

- デバッガエンジンが、対象アプリケーション内のイベントの監視機能と応答機能を提供

- イベントは大きく二種類に分けられる
  - 例外イベント
    ブレークポイント、アクセス違反、スタックオーバーフロー、0除算など。
    すべての一覧は、ヘルプの「Specific Exceptions」を参照。
  - 非例外イベント
    プロセスの生成、スレッドの生成、モジュールのロード、モジュールのアンロード。
    すべての一覧は、ヘルプの「DEBUG_FILTER_XXX」を参照。

- 次のコマンドで最後に発生したイベントを取得。デバッグ時には必ず何らかの値がセットされている。
  - コマンド: .lastevent

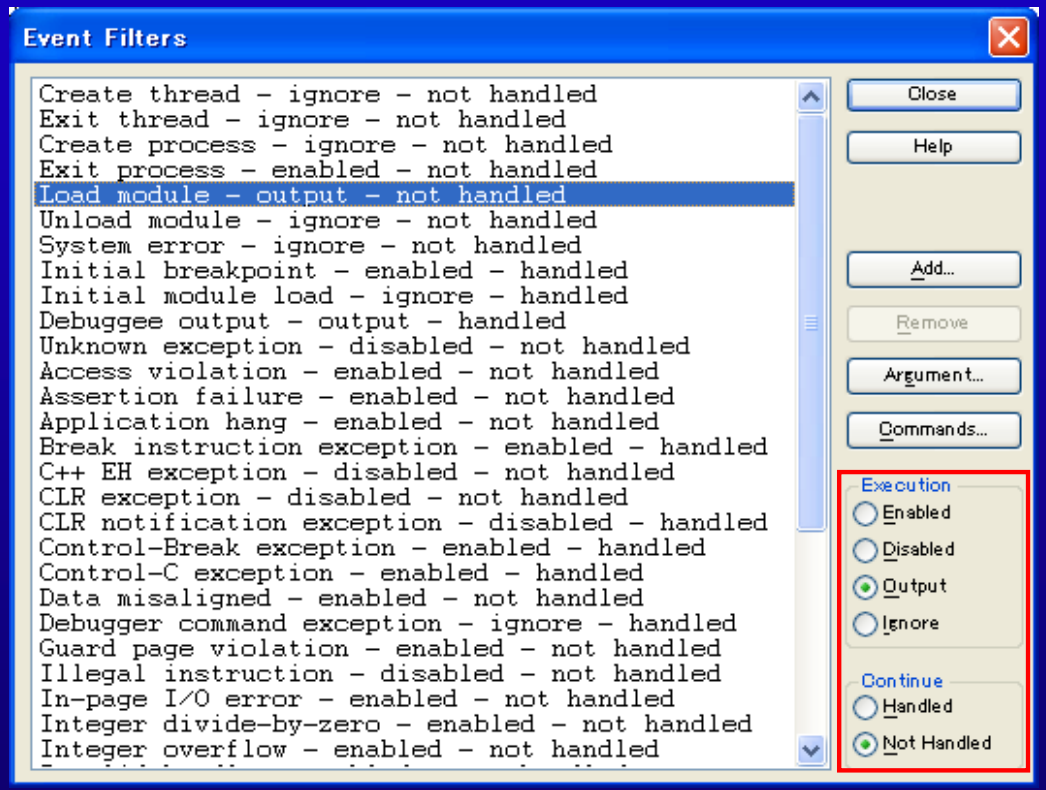
WinDbgのイベントフィルタ

- 簡単なイベントフィルタを提供
- ターゲットにてイベント発生後の、デバッガエンジンの動作に影響
- 全イベントの一覧表示: sx

- 中断または実行状態
  - イベント発生時にデバッガがターゲットを中断するかどうかに影響
    - ファーストチャンスで中断(sxe)
    - セカンドチャンスで中断(sxd)
    - イベントに関するデバッガのメッセージを出力(sxn)
    - イベントを無視(sxi)

- ハンドリングまたは継続状態
  - ターゲット内の例外イベントをハンドリングするか(gH)しないか(gN)を決定

イベントフィルタダイアログ



実行:

→ Enabled - ファーストチャンスで中断(sxe)

→ Disabled - セカンドチャンスで中断(sxd)

→ Output - イベント発生でメッセージ出力(sxn)

→ Ignore - イベントを無視(sxi)

継続:

→ Handled - 実行再開時、イベントをハンドリングする

→ Not-Handled - 実行再開時、イベントをハンドリングしない

イベントの引数

- いくつかのフィルタは、マッチするイベントを制限するための引数をもつ
- 引数なし → 制限なし

イベント	**マッチの基準**
CreateProcess	生成プロセスの名前が、引数にマッチすること。
ExitProcess	終了プロセスの名前が、引数にマッチすること。
ロードモジュール	ロードモジュールの名前が、引数にマッチすること。
ターゲットの出力	ターゲットからのデバッグ出力が、引数にマッチすること。
アンロードモジュール	アンロードモジュールのベースアドレスが、引数と一致すること。

ワイルドカード文字列の文法

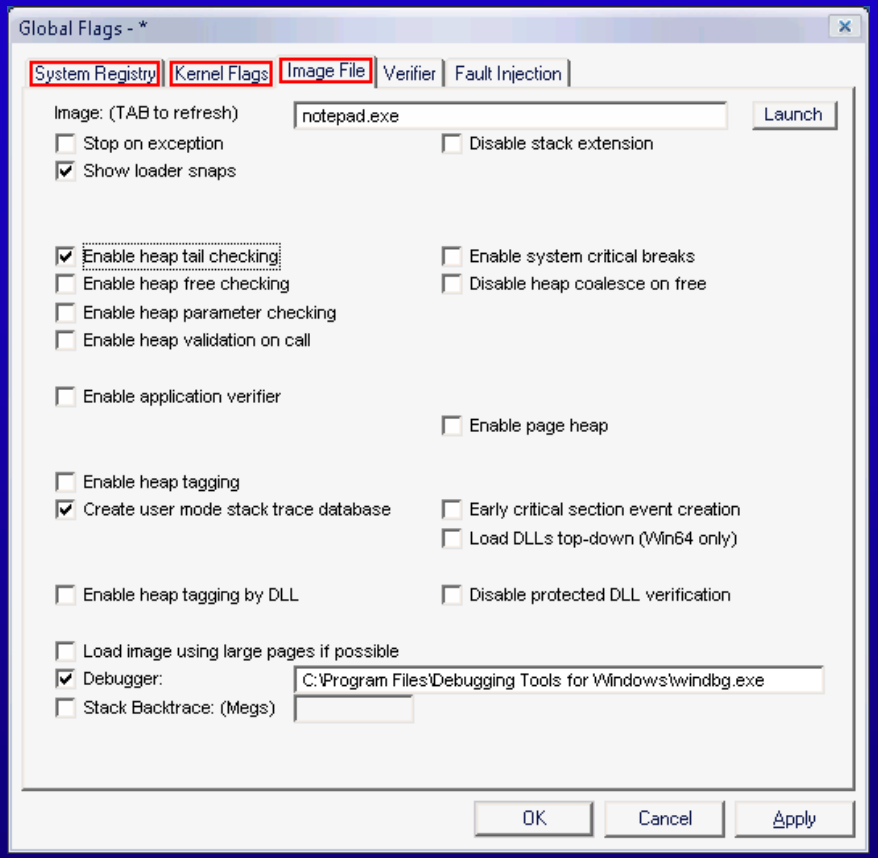
目次 – ロードマップ

- ✓ WinDbgの裏側
- ✓ WinDbgの使い方
- → **グローバルフラグ**
- アプリケーション検証
- プロセスダンプ

フラグ？ Gフラグ？ グローバルフラグ！

- GFlagsは、Windowsのレジストリの編集により、機能を有効化・無効化する
- GFlagsは、システム全体に対する設定も、イメージに特化した設定も可能
- イメージに特化した設定は、次の場所に格納される
  - HKLM¥SOFTWARE¥Microsoft¥Windows NT¥CurrentVersion¥**Image File Execution Options¥*ImageFileName*¥GlobalFlag**
- OSはこれらの設定を読み、その内容に応じて動作する
- GFlagsは、コマンドラインからも、ダイアログボックスからも設定できる
- WinDbg内でも !gflags により、グローバルフラグの設定や表示が可能
- GFlagsで次の機能を有効にできる
  - ヒープのチェック
  - ヒープのタグ付け
  - ローダーのスナップ表示
  - イメージに対するデバッガ指定（イメージ開始のたびに自動的にアタッチされる）
  - アプリケーション検証
  - その他

GFlagsダイアログ



- System Registry: システム全体の設定。Windowsで実行中の全プロセスに影響する。設定内容は、設定を変更するまでずっと効果を発揮。設定内容を実際に有効にするには、Windowsの再起動が必要。
- Kernel Flags: 実行時の設定。システム全体に影響する。再起動しなくても、すぐに効果を発揮。システムのシャットダウンや再起動により、設定内容は失われる。
- Image File:コマンド完了後に起動した指定プログラムのインスタンスに影響。設定内容はレジストリに格納され、設定変更するまでずっと効果を発揮。

GFlags:「Show loader snaps」有効化

WinDbg の出力:

LDR: **LdrLoadDll, loading samlib.dll** from
C:¥WINDOWS¥system32;C:¥WINDOWS¥system;C:¥WINDOWS;.;C:¥WINDOWS¥System32¥Wbem;C:¥WINDOWS¥system32¥kktools
LDR: Loading (DYNAMIC, NON_REDIRECTED) C:¥WINDOWS¥system32¥samlib.dll
ModLoad: 71bf0000 71c03000 C:¥WINDOWS¥system32¥samlib.dll
LDR: samlib.dll bound to ntdll.dll
LDR: samlib.dll has correct binding to ntdll.dll
LDR: samlib.dll bound to ADVAPI32.dll
LDR: samlib.dll has correct binding to ADVAPI32.dll
LDR: samlib.dll bound to RPCRT4.dll
LDR: samlib.dll has correct binding to RPCRT4.dll
LDR: samlib.dll bound to KERNEL32.dll
LDR: samlib.dll has stale binding to KERNEL32.dll
LDR: samlib.dll bound to ntdll.dll via forwarder(s) from kernel32.dll
LDR: samlib.dll has correct binding to ntdll.dll
LDR: Stale Bind KERNEL32.dll from samlib.dll
LDR: LdrGetProcedureAddress by NAME - RtlAllocateHeap
LDR: LdrGetProcedureAddress by NAME - RtlFreeHeap
LDR: LdrGetProcedureAddress by NAME - RtlGetLastWin32Error
LDR: LdrGetProcedureAddress by NAME - RtlReAllocateHeap
LDR: samlib.dll bound to USER32.dll
LDR: samlib.dll has stale binding to USER32.dll
LDR: Stale Bind USER32.dll from samlib.dll
[d58,690] LDR: Real INIT LIST for process C:¥Development¥Sources¥TestApp¥Release¥TestApp.exe pid 3416 0xd58
[d58,690] C:¥WINDOWS¥system32¥samlib.dll init routine 003A0F30
[d58,690] LDR: samlib.dll loaded - **Calling init routine** at 003A0F30

目次 – ロードマップ

- ✓ WinDbgの裏側
- ✓ WinDbgの使い方
- ✓ グローバルフラグ
- → **アプリケーション検証**
- ● プロセスダンプ

アプリケーション検証の有効化

- アプリケーション検証
  - Windowsアプリケーションの実行時検証ツール
  - アプリケーションとOSのインタラクションを監視
  - プロファイルと追跡
    - マイクロソフトWin32 API（ヒープ、ハンドル、ロック、スレッド、DLLロード/アンロード、ほか多数）
    - 例外
    - カーネルオブジェクト
    - レジストリ
    - ファイルシステム
  - !avrfにより、この追跡情報を入手

注意: アプリケーション検証は、裏側で、対象アプリケーションに多くのDLL(verifier.dll, vrfcore.dll, vfbasics.dll, vfcompat.dll, ほか多数)を注入する。より正確に言うと、選択したテスト項目にしたがって、該当イメージのレジストリキーを設定し、Windowsローダーがこのレジストリキーを読み込み、アプリケーションの開始時にそのアドレス空間に所定のDLLをロードする。

アプリケーション検証の種類

GFlagsアプリケーション検証

- 対象プロセスに、verifier.dllのみを注入
- verifier.dllはWindows XPにインストール済み
- アプリケーション検証オプションの機能制限版
- GFlagsのこのオプションは旧式なため、将来削除されるかもしれない

アプリケーション検証

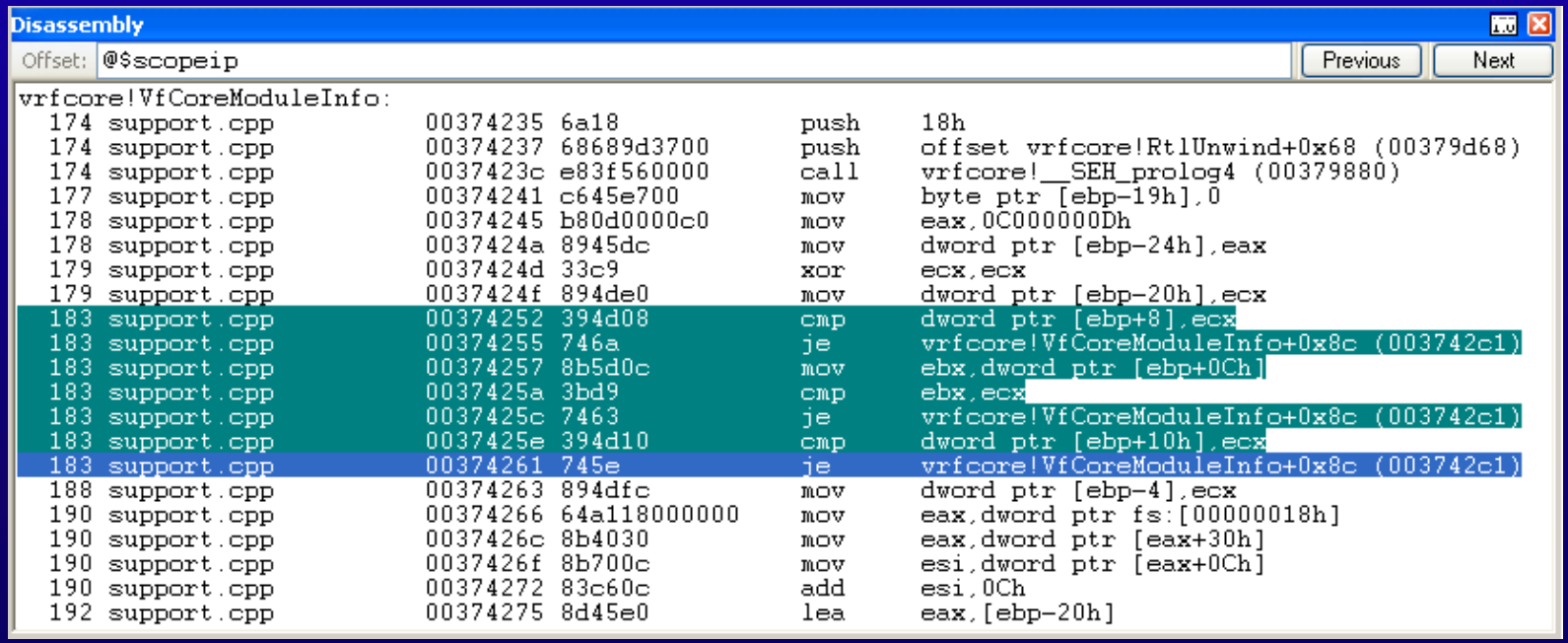
- マイクロソフトのウェブサイトから無料でダウンロードし、インストールできる
- vrfcore.dll, vfbasics.dll, vfcompat.dllなども、Windows¥System32に追加インストールされる
- GFlagsより多くのテストオプションが利用でき、!avrf拡張の全機能が使える

アプリケーション検証のシンボル

アプリケーション検証は、全シンボル情報を含むPDBとともにインストールされる

- 逆アセンブリに含まれるソース情報に注目
- 私の知る限り、全シンボル情報付きで配布されたマイクロソフトのモジュールはこれだけ
- WinDbgは、サーバーに公開されているシンボルではなく、これらのシンボルを使う必要がある。そうしないと、!avrf拡張は機能しない。

.reload /f @"C:¥Windows¥System32¥verifier.pdb"



一般的な !avrf パラメータ

コマンド	説明
!avrf	現在のアプリケーション検証オプションを表示。アプリケーション検証停止が発生した場合は、停止の状況が表示される。
!avrf -cs	クリティカルセクションの削除(*)ログを表示 * DeleteCriticalSection API.~CCriticalSectionはこれを暗黙的に呼び出す。
!avrf -hp 5	ヒープの操作ログ（直近の5つのエントリ）を表示 * HeapAlloc, HeapFree, delete
!avrf -dlls	DLLのロード／アンロードのログを表示
!avrf -ex	例外のログを表示
!avrf -cnt	グローバルカウンタを一覧表示(WaitForSingleObject呼び出し, CreateEvent呼び出し, ヒープ割り当て呼び出し, ...)
!avrf -threads	対象プロセスのスレッドの情報を表示。子スレッドについては、スタックサイズや親が指定したCreateThreadフラグも表示。
!avrf -trm	すべての終了(*)スレッドや中断されたスレッドのログを表示 * TerminateThread API

例 - !avrf

```
// アプリケーションが以下の命令を実行した直後:
// HeapAlloc( 0x00140000, 8, dwBytes =0x00A00000 ) -->> 0x033D1000;

0:000> !avrf -hp 1
Verifier package version >= 3.00
Dumping last 1 entries from tracker @ 01690fd8 with 1291 valid entries ...
------------------------------------------------------------
HeapAlloc: 33D1000 A00000 0 0
        004019cf: TestApp!CMyDialog::OnBnClicked_HeapAlloc+0x4F
        0041a0c1: TestApp!_AfxDispatchCmdMsg+0x3D
        0041a2a6: TestApp!CCmdTarget::OnCmdMsg+0x10A
        0041a76c: TestApp!CDialog::OnCmdMsg+0x1B
        0041d05c: TestApp!CWnd::OnCommand+0x51
        0041d92b: TestApp!CWnd::OnWndMsg+0x2F
        0041b2eb: TestApp!CWnd::WindowProc+0x22
        ...

0:000> !avrf -threads
================================================
Thread ID = 0xDE4
Parent thread ID = 0xE3C
Start address = 0x004a7d82: TestApp!ILT+11645(?ThreadProcYGKPAXZ)
Parameter = 0x0061833c
================================================
Thread ID = 0xE3C
Initial thread
================================================
Number of threads displayed: 0x2
```

目次 – ロードマップ

- ✓ WinDbgの裏側
- ✓ WinDbgの使い方
- ✓ グローバルフラグ
- ✓ アプリケーション検証
- → **プロセスダンプ**

プロセスダンプ

- プロセスのダンプ
  - 非侵入的アタッチに類似
  - プロセスのある瞬間のスナップショット
  - 含んでいるコンテンツや情報によって、サイズが異なる
- ダンプを使って
  - メモリやプロセスの内部構造の観察が可能
  - ブレークポイントの設定や、プログラムのステップ実行はできない
- ダンプをダンプ
  - 情報を多く含むダンプを、情報の少ないダンプに縮小できる
  - 動作中のプロセスをダンプするように、.dumpコマンドを使ってダンプをダンプできる

ダンプの種類

1) カーネルモードダンプ

種類: 完全メモリダンプ、カーネルメモリダンプ、最小メモリダンプ

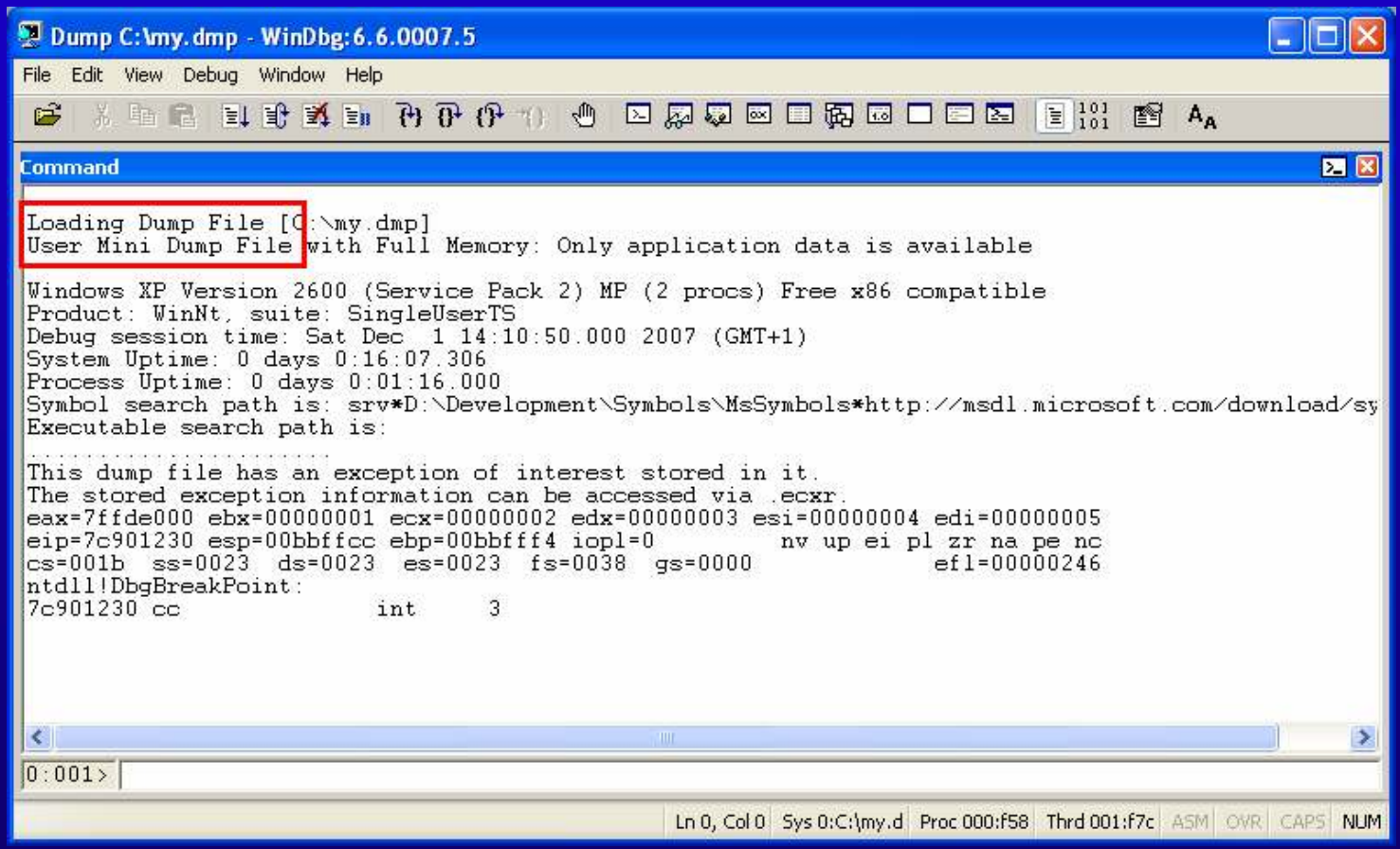
2) フルユーザーモードダンプ

- WinDbgの".dump /f"コマンドや、Windows 2000のDr.Watsonで生成される
- プロセスのメモリ空間全体、プログラム自身の実行イメージ、ハンドルテーブルを含む
- 従来は広く使われたが、マイクロソフトはサポートを止めつつある

3) ミニダンプ

- .dump /m??
- 最新のダンプフォーマット
- ダンプに含まれる情報を、細かい単位で制御できる（MSDNのMINIDUMP_TYPEを参照）
- その名前に反して、最大のミニダンプファイルには、フルユーザーモードダンプよりも多くの情報が含まれる。たとえば、.dump /mfや.dump /maは、".dump /f"よりも大きく、より完全なダンプファイルを生成する。

ダンプの種類の判定



目的のダンプをWinDbgでロード。ミニダンプであれば「User Mini Dump File」と表示され、古いスタイルのクラッシュダンプであれば「User Dump File」と表示される。

例 - ".dump"コマンド

0:000> **.dump /ma d:¥large.dmp**
Creating d:¥large.dmp - mini user dump
Dump successfully written

→ すべての情報: 全メモリ、コードセクション、PEBとTEB、
ハンドルデータ、スレッド時間の情報、アンロードモジュールの一覧など

0:000> **.dump /m d:¥small.dmp**
Creating d:¥small.dmp - mini user dump
Dump successfully written

→ 基本情報のみ: モジュール情報（署名）,
スレッドとスタックの情報

最適なツールの選択

シナリオ／選択肢	ADPlus	Dr. Watson	CDBとWinDbg	UserDump
アプリケーションのクラッシュ（事後分析デバッグ）	○	○	○	○
アプリケーションのハング（無応答だが、クラッシュしているわけではない）	○	×	○	○
アプリケーションで例外発生	○	○	○	○
アプリケーションが正常に実行中	×	×	○	○
アプリケーションが起動時に失敗（依存しているDLLがない）	×	×	○	○
既存のダンプファイルの縮小	×	×	○	×
同じイメージ名のすべての実行中アプリケーションに対して、ダンプを一度に取得	×	×	×	○
ダンプファイルに含める情報を制御	×	×[1]	○	×[2]

1: 常に基本情報のみの小さなミニダンプ(MiniDumpNormal)を生成。サイズは通常20KB未満。

2: 常に、全メモリ情報の入ったミニダンプを生成する。サイズは通常20～200MB。

宿題

- WinDbgのドキュメントを読むこと
  - メモリリーク、ハンドル、デッドロック、条件付きブレークポイントなどについて、すべて説明してある。
- アセンブリ言語を学ぶこと
  - デバッグの技術が大幅に向上する。
  - デバッグが必要な状況においては、WinDbgのアセンブリが最良の友となるだろう。

ご質問、ご提案は？

？ ？？

- WinDbgに関するご質問はありませんか。
- WinDbgラボやセミナーに興味をお持ちいただけましたか。
- 「WinDbg. From Ato Z!」に改善すべき点はありましたか。
- それとも「スゴイ！ このプレゼンは実に役に立つ」と言ってもらえるでしょうか。

- お気軽にメールをお寄せください: **mailrkuster@windbg.info**
  実際のメールアドレスは先頭の"mail" を除く（スパム防止用）
- 日本語のメールはこちらまで: **mailogunity@nttdata.co.jp**
  実際のメールアドレスは先頭の"mail" を除く（スパム防止用）

参考文献

- WinDbgのドキュメント, MSDN
- Common WinDbg Commands (Thematically Grouped)
  http://software.rkuster.com/windbg/printcmd.htm
- Matching Debug Information
  http://www.debuginfo.com/articles/debuginfomatch.html
- Generating Debug Information with Visual C++
  http://www.debuginfo.com/articles/gendebuginfo.html
- Microsoft Windows Internals, Fourth Edition
  M.E. Russinovich, D.A. Solomon, ISBN 0-7356-1917-4
- Advanced Kernel Debugging
  Andre Vachon, PowerPoint, WinHec 2004
- アプリケーション検証のドキュメント