ハードウェアによる仮想化支援機能を利用したハイパーバイザーIPS

Fourteenforty Research Institute, Inc.
株式会社 フォティーンフォティ技術研究所
http://www.fourteenforty.jp

シニアリサーチエンジニア
村上 純一

はじめに(1/2)

- 近年、ルートキット技術の利用によりマルウェアのステルス化が進んでいる
- 従来のAVプロダクトによる検出が困難
- 3rd Partyによる「検出ツール」
  - GMER
  - Rootkit Revealer(Microsoft)
  - Rootkit Buster(TrendMicro)
  - McAfee Rootkit Detective

はじめに(1/2)

- 近年、ルートキット技術の利用によりマルウェアのステルス化が進んでいる
- 従来のAVプロダクトによる検出が困難
- 3rd Partyによる「検出ツール」
  - GMER
  - Rootkit Revealer(Microsoft)
  - Rootkit Buster(TrendMicro)
  - McAfee Rootkit Detective
  - Windbg ☺

はじめに(2/2)

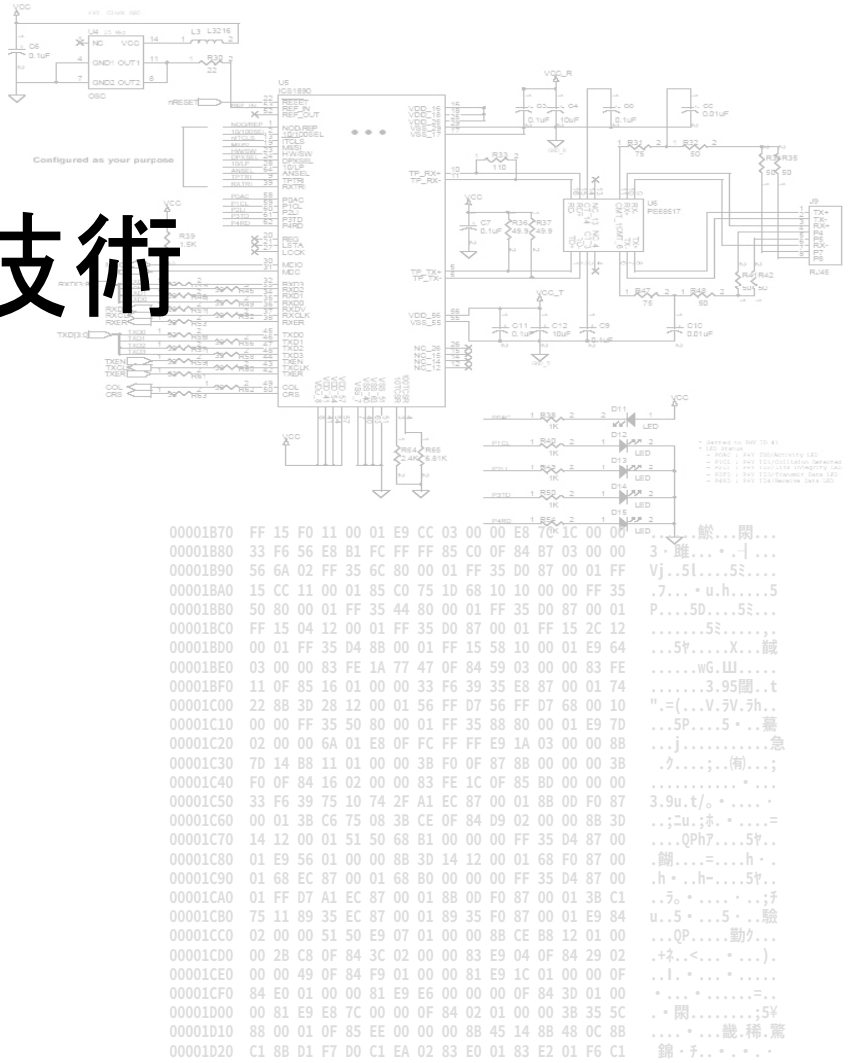
- 仮想化技術を利用したIPSを開発
  - OSより低い「リング-1」相当の権限で動作
- ルートキットの「検知」と「防止」を実現
  - 不正なメモリパッチングを検知・防止
  - (ゲスト)OSの活動をモニタリング

アウトライン

- 既存のルートキット技術
- 仮想化技術の概要
- Viton, ハイパーバイザーIPS

Chapter 1

既存のルートキット技術



ルートキット技術の分類

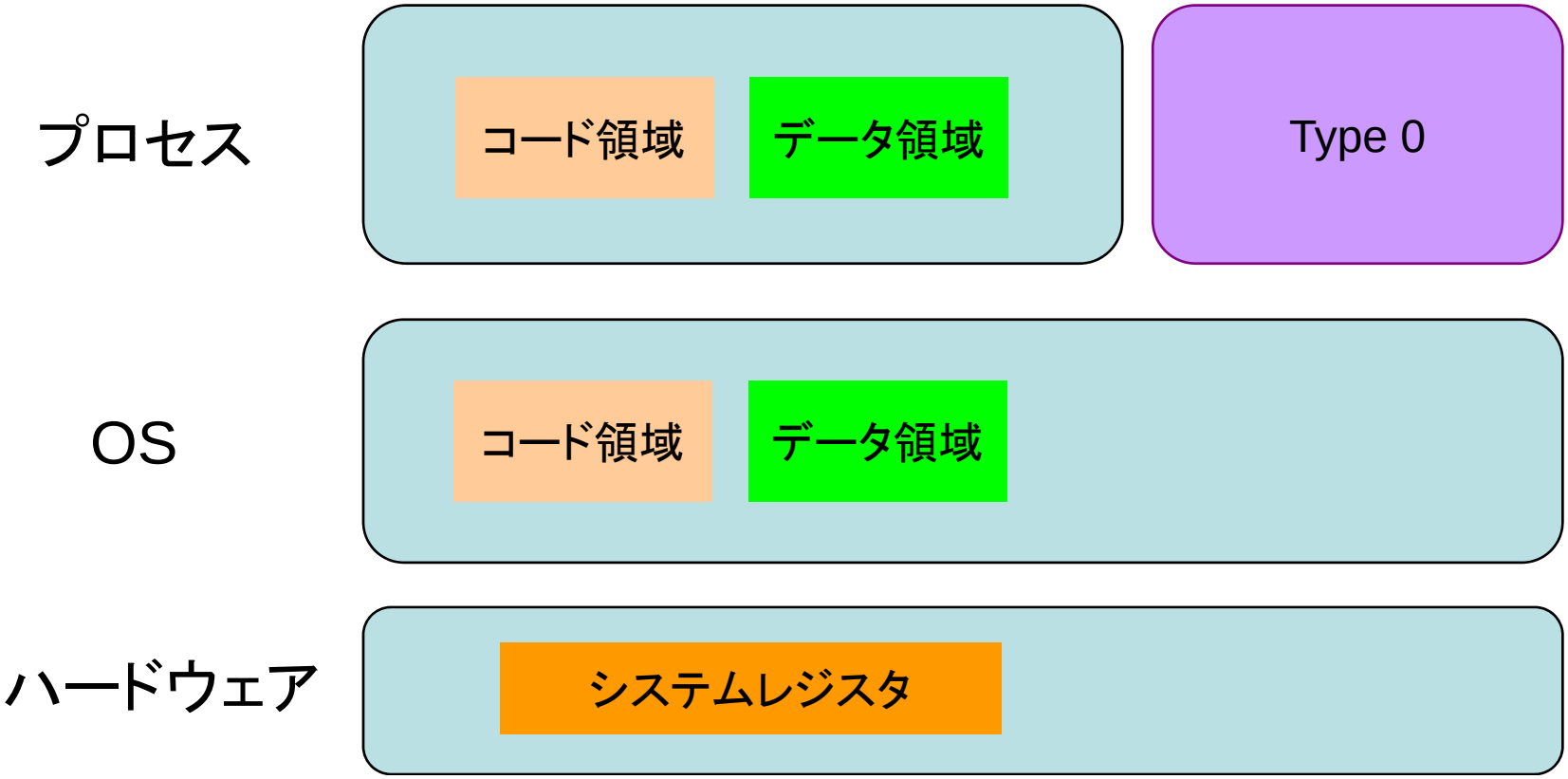
ステルスマルウェア

ユーザーの同意なしに、システム・OSの挙動を変更し、情報の隠ぺいを行うソフトウェア（マルウェア）

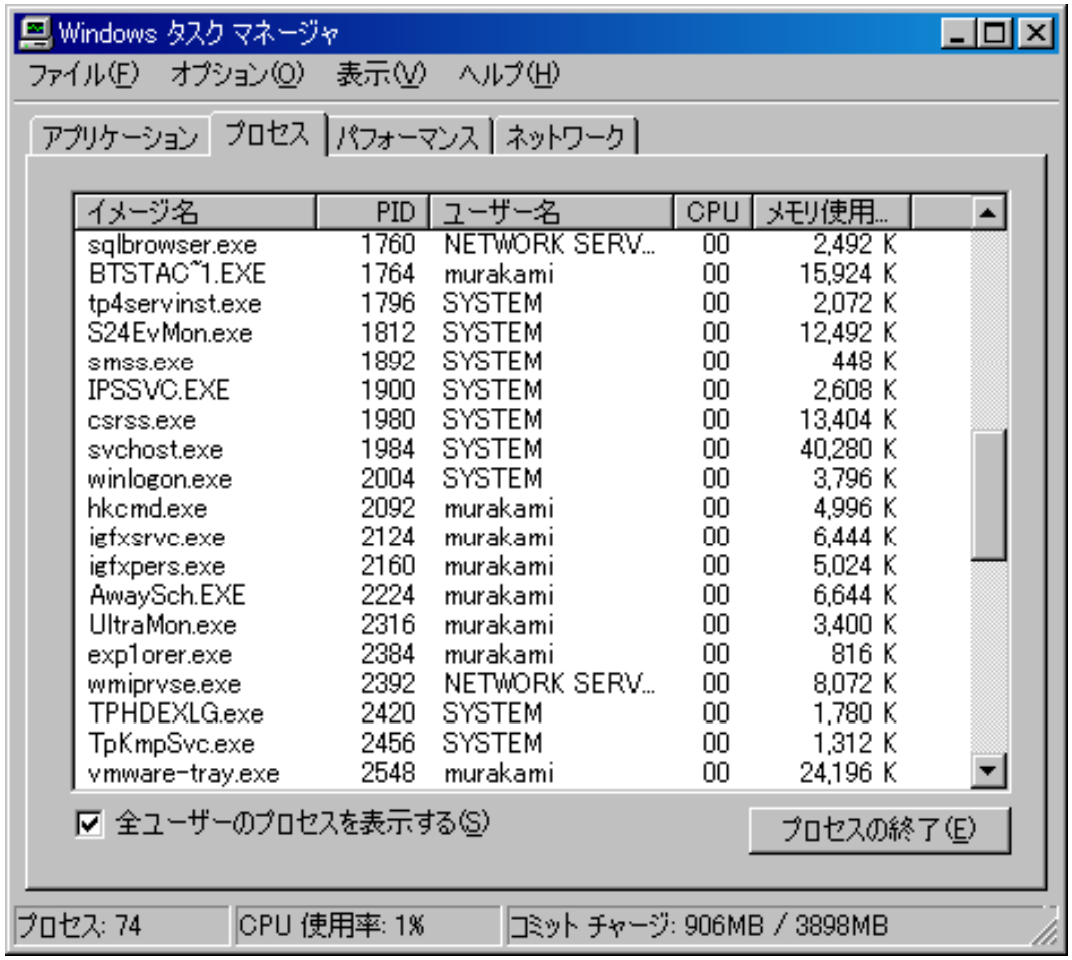
※Joanna Rukowska、"Introducing Stealth Malware Taxnomy"
http://invisiblethings.org/papers/malware-taxonomy.pdf

ステルスマルウェアがパッチングを行うリソースの性質に基づいて
Type 0からType IIIの4種類に分類

Type 0（≠ステルスマルウェア）

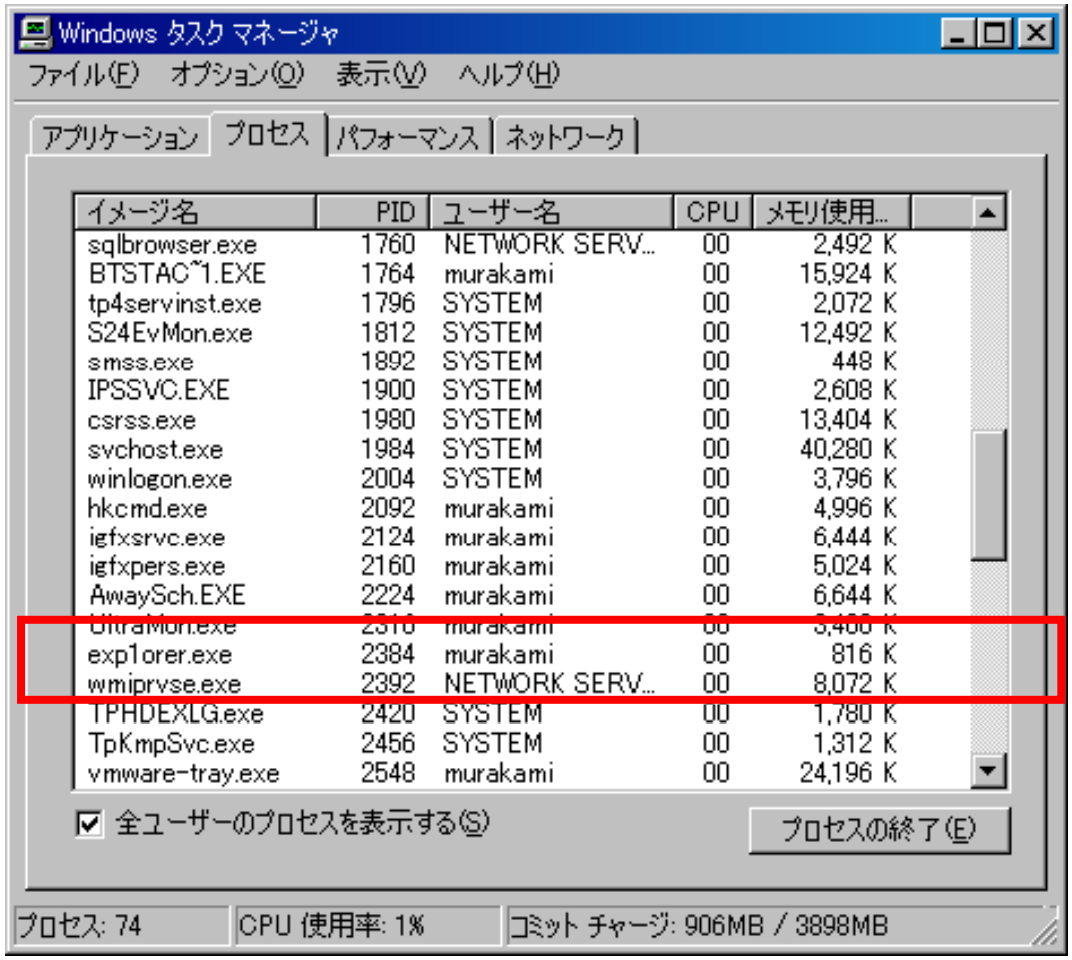


Type 0 (≠ステルスマルウェア)

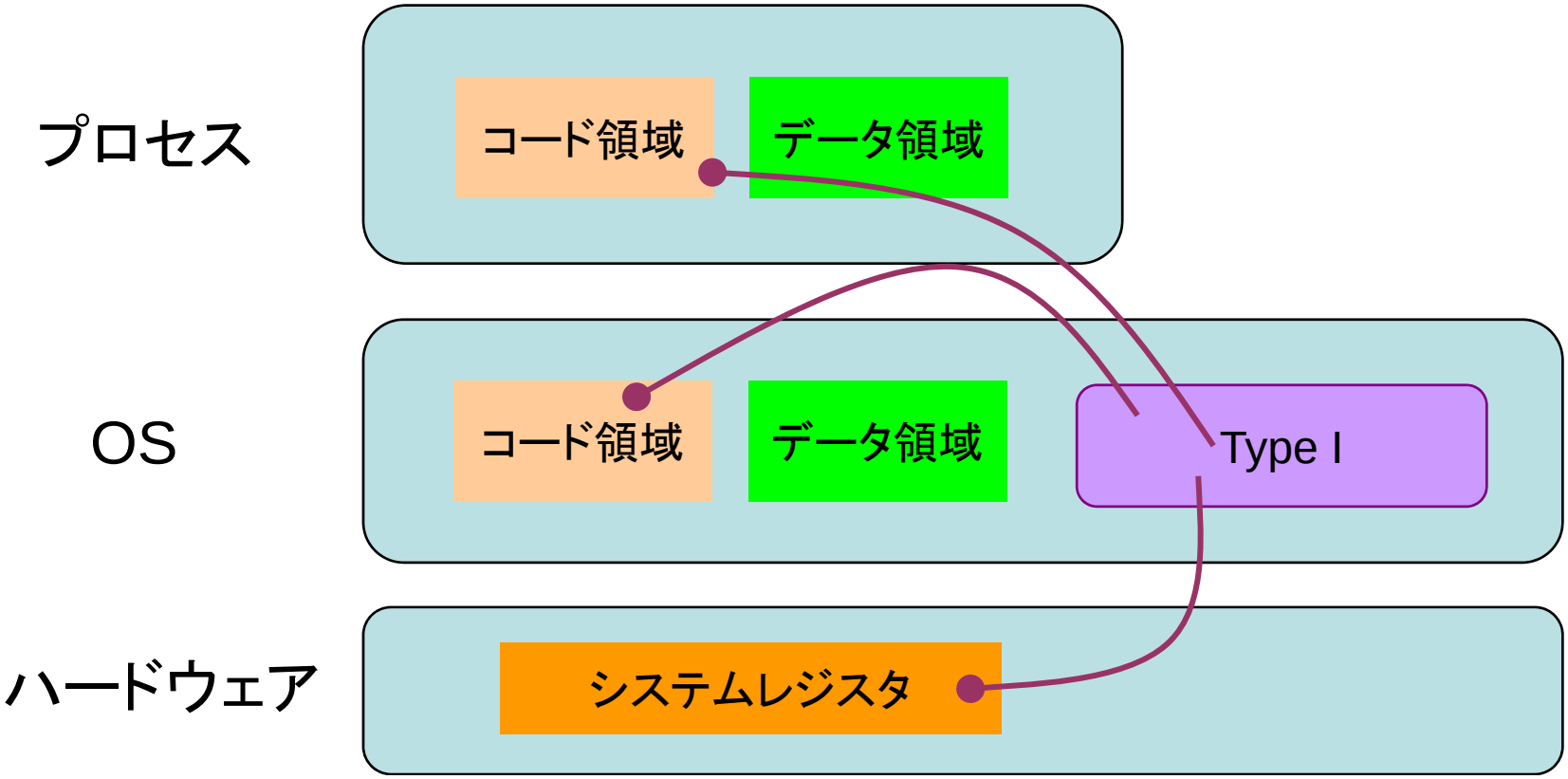


Type 0（≠ステルスマルウェア）

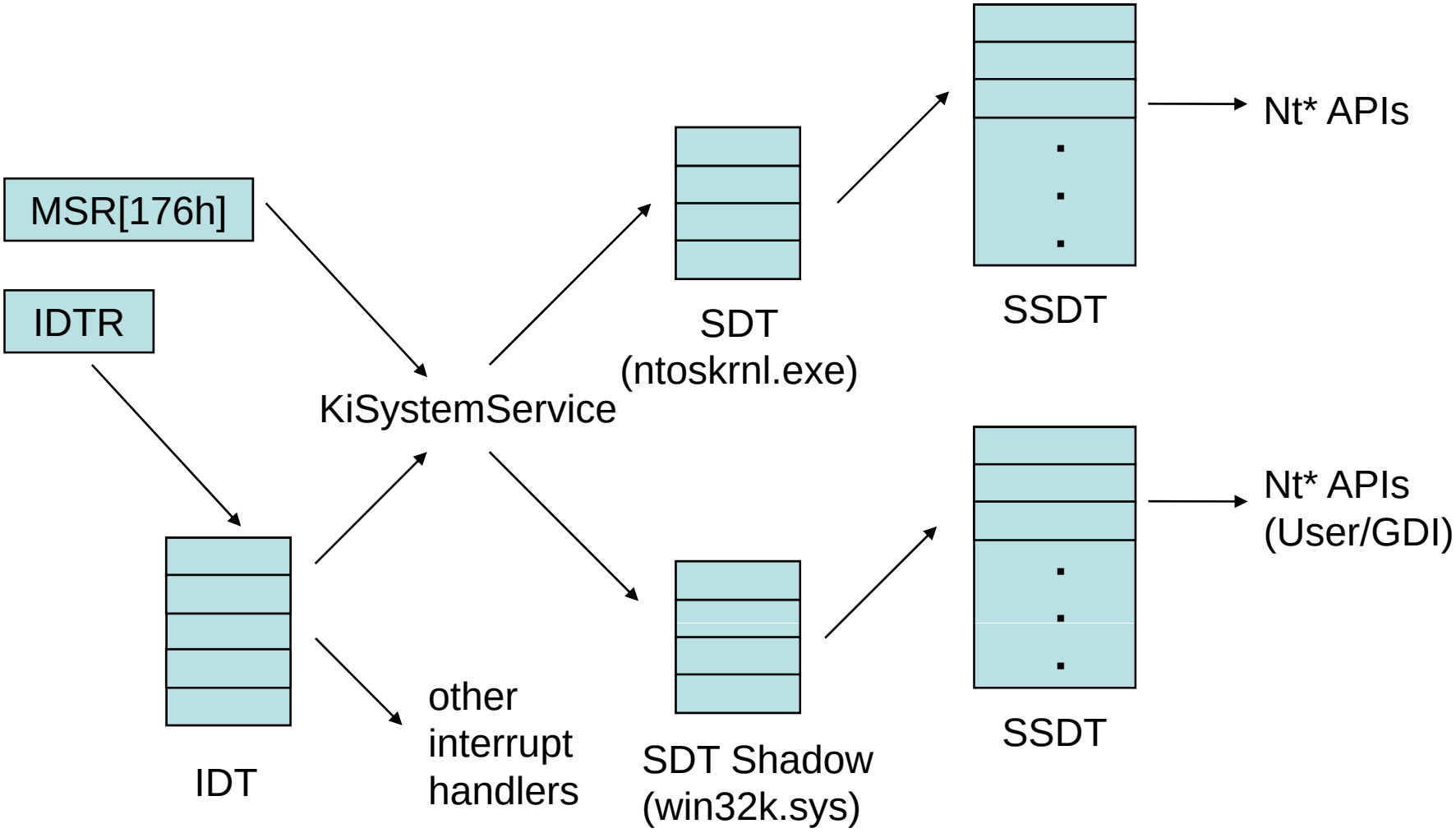
exp1orer.exe



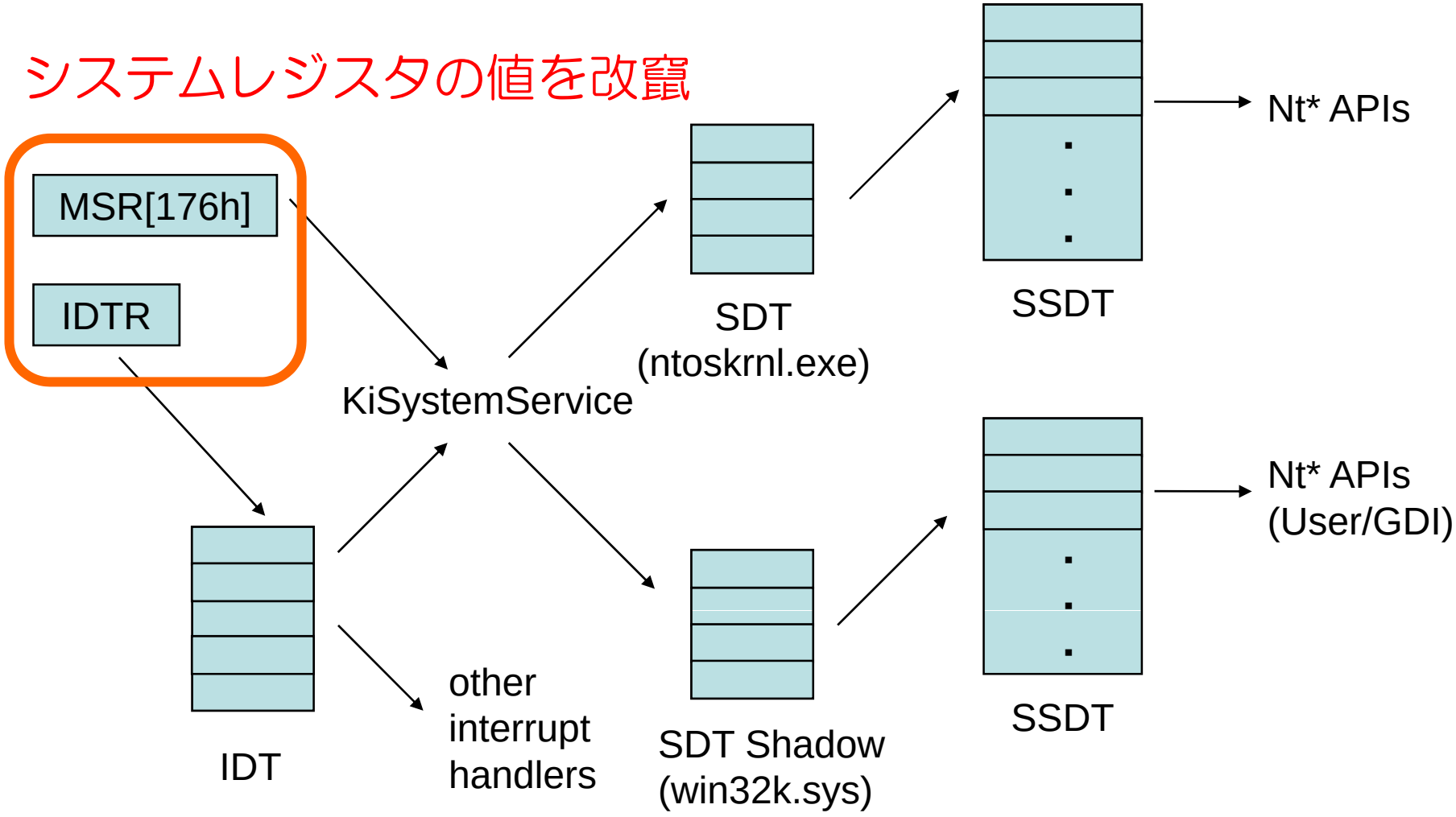
Type I



Type I – Windowsにおけるフッキングポイント(1/3)

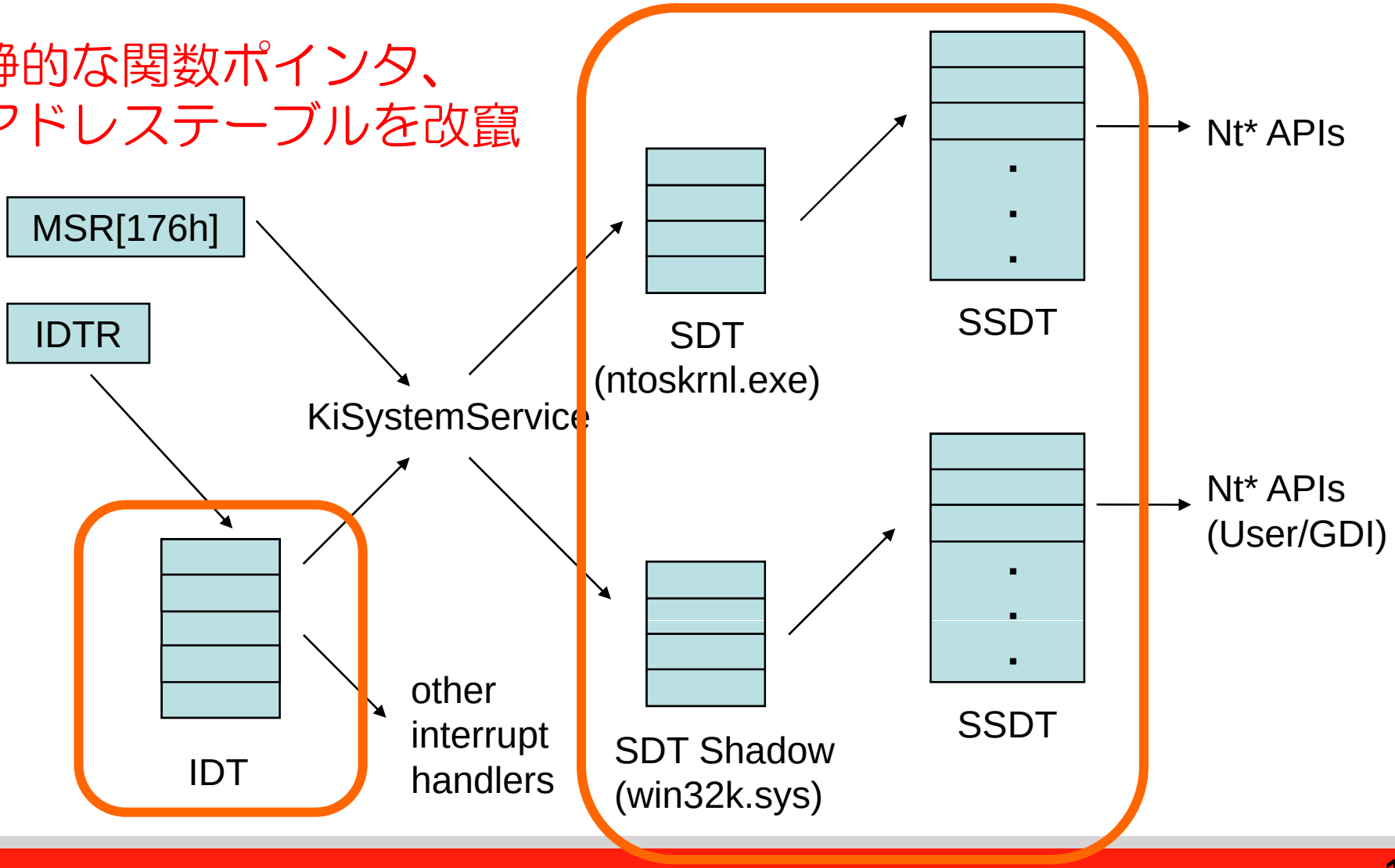


Type I – Windowsにおけるフッキングポイント(2/3)

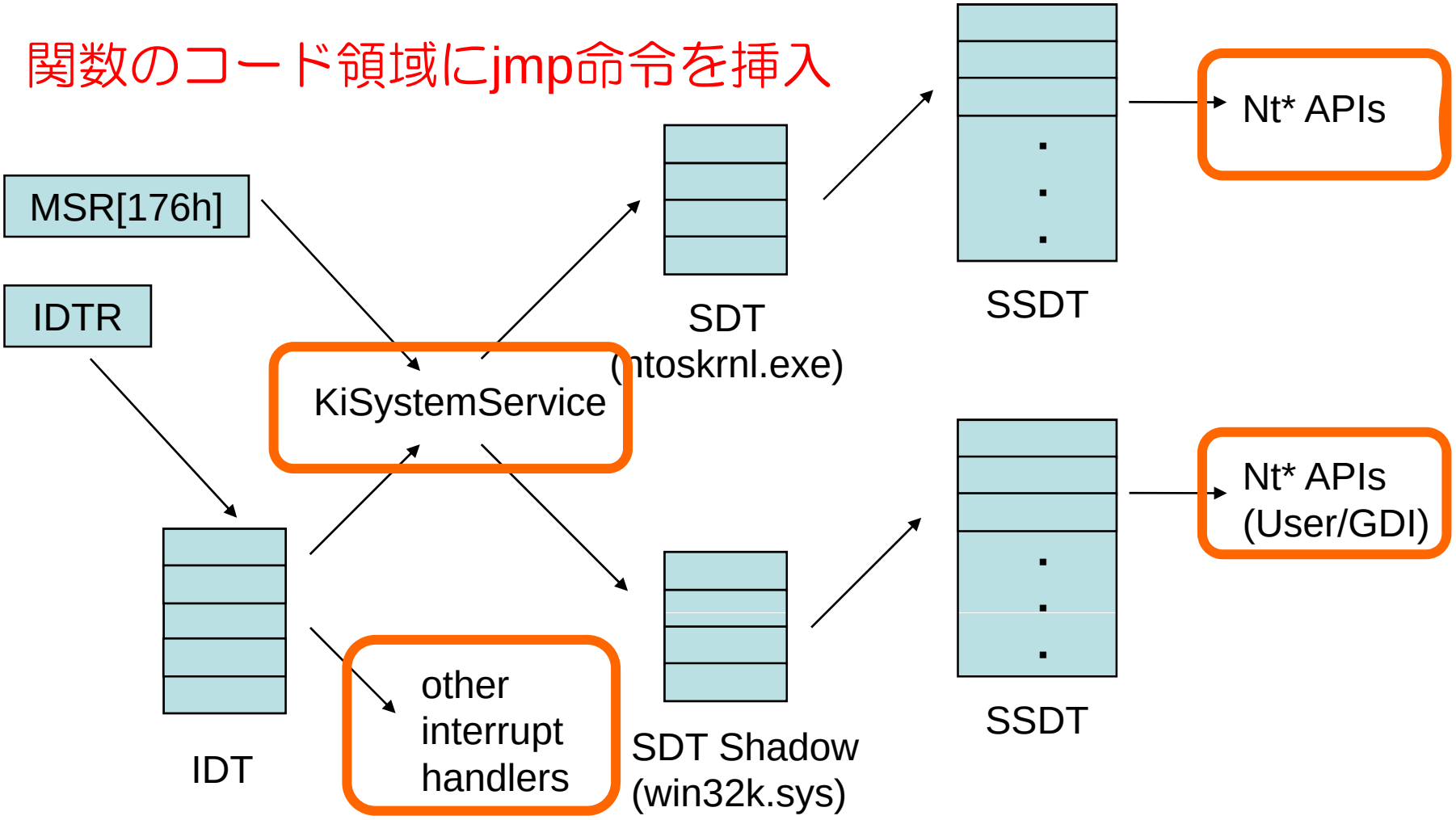


Type I – Windowsにおけるフッキングポイント(3/3)

静的な関数ポインタ、
アドレステーブルを改竄



Type I

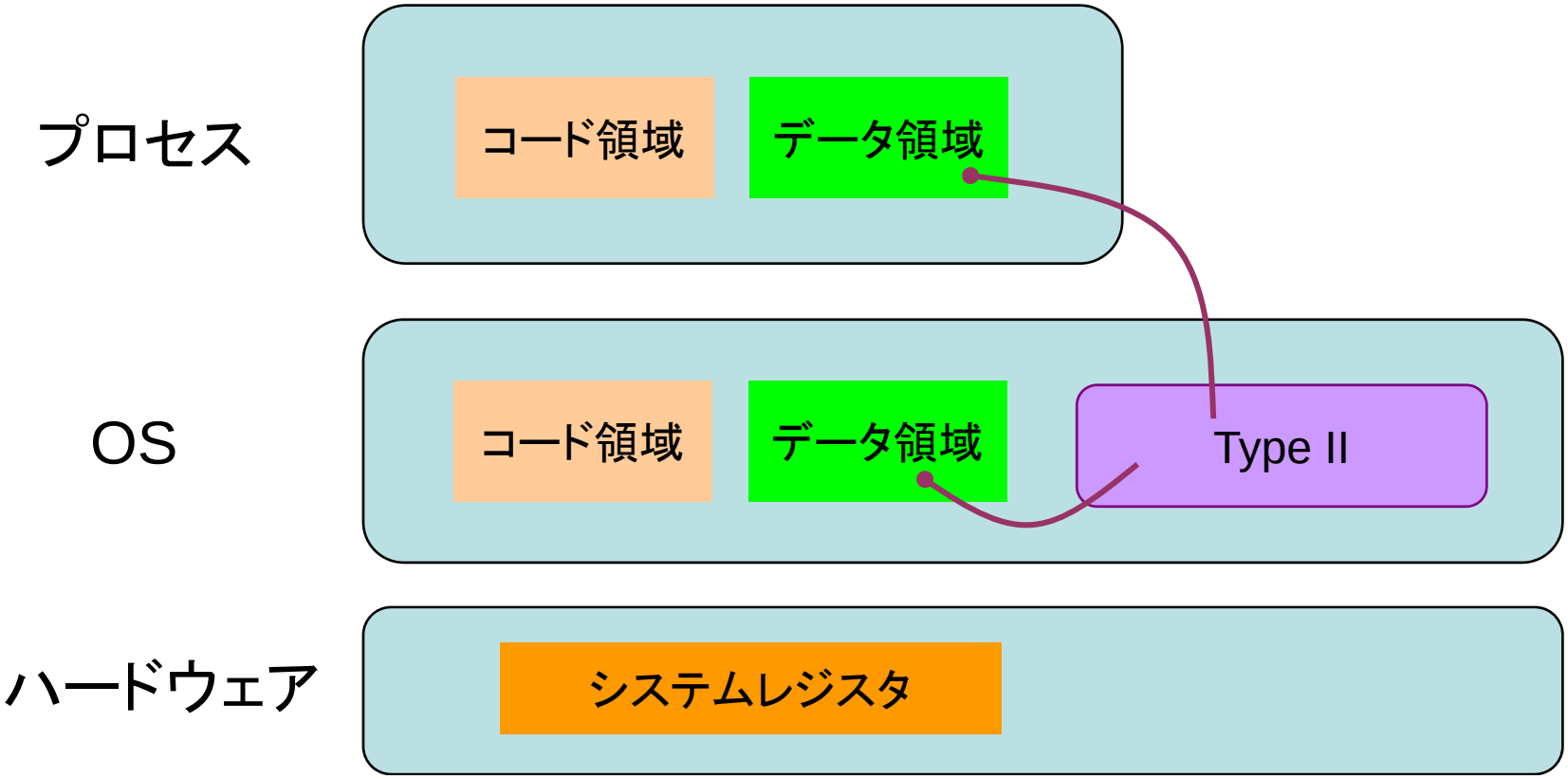

関数のコード領域にjmp命令を挿入
MSR[176h]
IDTR
KiSystemService
SDT
(ntoskrnl.exe)
SSDT
Nt* APIs
IDT
other
interrupt
handlers
SDT Shadow
(win32k.sys)
SSDT
Nt* APIs
(User/GDI)

Type Iとその対策

- 検出は容易

- 多くの検出ツール、対策が存在する
  - 3rd partyの検出ツール
  - PatchGuard (Vista x64 Edition)

Type II



Type II

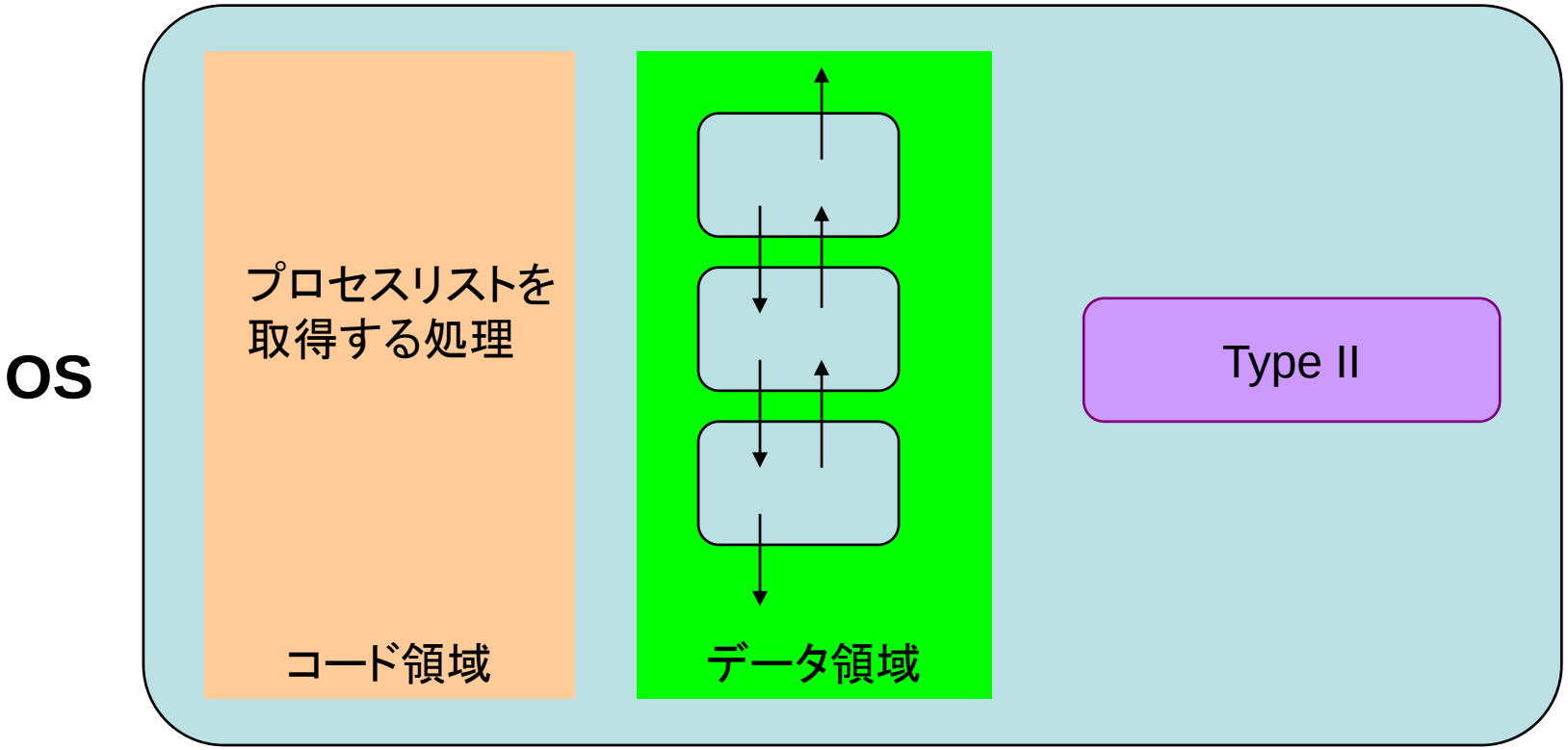
- データ領域に含まれるデータを改ざん

- DKOM（Direct Kernel Object Manipulation）
  Jamie Butler, http://www.blackhat.com/presentations/win-usa-04/bh-win-04-butler.pdf

- KOH（Kernel Object Hooking）
  Greg Hoglund, http://www.rootkit.com/newsread.php?newsid=501

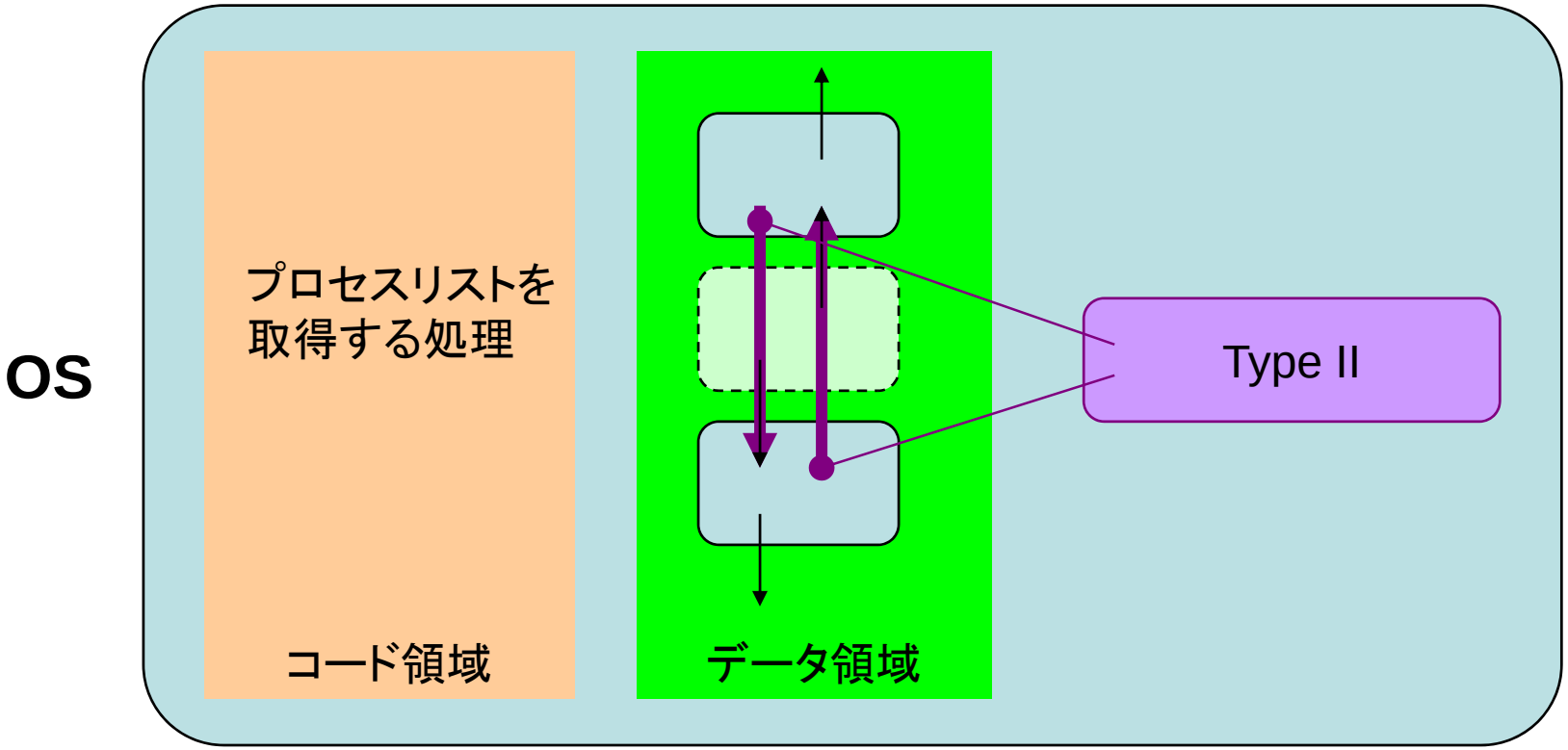
DKOM（Direct Kernel Object Manipulation）

- データ領域に含まれるプロセスリスト、プロセストークン等のデータを改竄



DKOM（Direct Kernel Object Manipulation）

- データ領域に含まれるプロセスリスト、プロセストークン等のデータを改竄



DKOM（Direct Kernel Object Manipulation）

- 限定的な機能しか実装することができない
  - 実現可能な機能は、対象のデータを取り扱う処理の実装に依存する

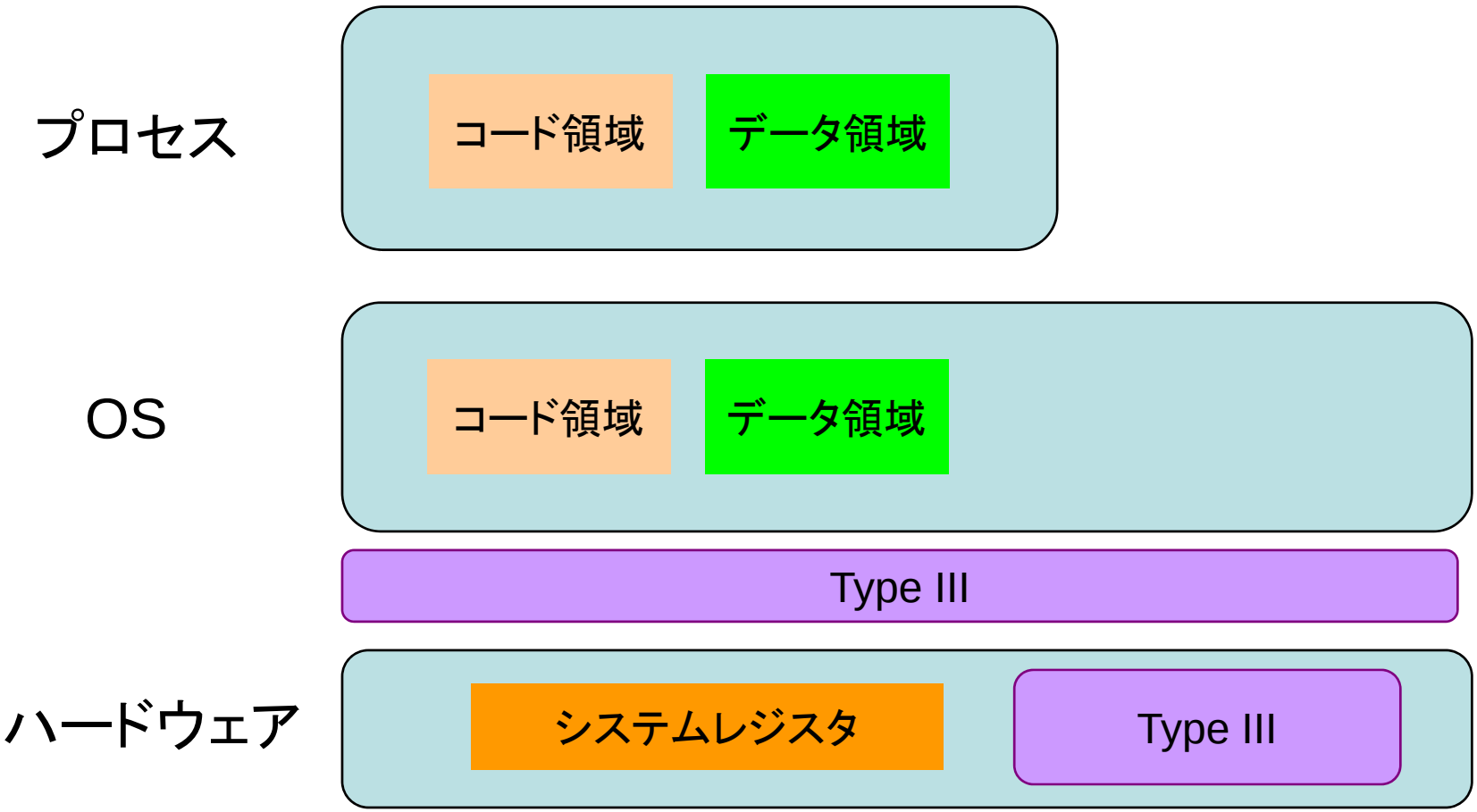
- プロセスエントリをプロセスリストから除外すると、
  - スケジューリングされない（実行されない）？
  - スレッドベースのスケジューリング
  - スケジューラの実装に依存

KOH(Kernel Object Hooking)

- データ領域に含まれる関数ポインタを改竄
- カーネル内には、IDT、SDT、SSDT以外にも無数の関数ポインタが存在する
- KOHによるフッキングを検出するためには、カーネル空間に存在する全ての関数ポインタを把握する必要がある

→ ルートキット開発側と検出側のイタチごっこ

Type III


プロセス
コード領域
データ領域
OS
コード領域
データ領域
Type III
ハードウェア
システムレジスタ
Type III

Type III(1/2)

- システム(OS)の外部で動作する
  - 仮想化技術の悪用
  - ファームウェアルートキットやSMMルートキット

- BluePill
  - ハードウェアの仮想化支援機能を悪用し、悪意のハイパーバイザーをインストール
  - (ゲスト)OSのリソースは改ざんしない
  - 最新のBPは、Intel VTおよびAMD-vの両方をサポート

Joanna Rutkowska, Alexander Tereshkin, http://bluepillproject.org

Type III(2/2)

- Vitriol
  - Intel VTを悪用するType IIIルートキット
    Dino Dai Zovi, Black Hat USA 2006

- VMM Rootkit Framework
  - Vitriol同様、Intel VTを悪用するType IIIルートキット
  - コンセプトコードのため非常にプリミティブな実装
    →VMMの動作、実装を学ぶために最適
    Shawn Embleton,
    http://www.rootkit.com/newsread.php?newsid=758

ケーススタディ: Storm Worm

- 2007年に出回り始めたP2Pボット
- スパムメールに自身の実行ファイルを添付して送信
- スパムメールのサブジェクトに実際に発生した事件を利用
  - "230 dead as storm batters Europe"
  - "Happy New Year 2008"
  - etc.
- 一部の亜種は、AV製品から逃れるためにルートキット機能を備えている

Storm Worm – "Happy New Year 2008"

実行ファイル実行すると、

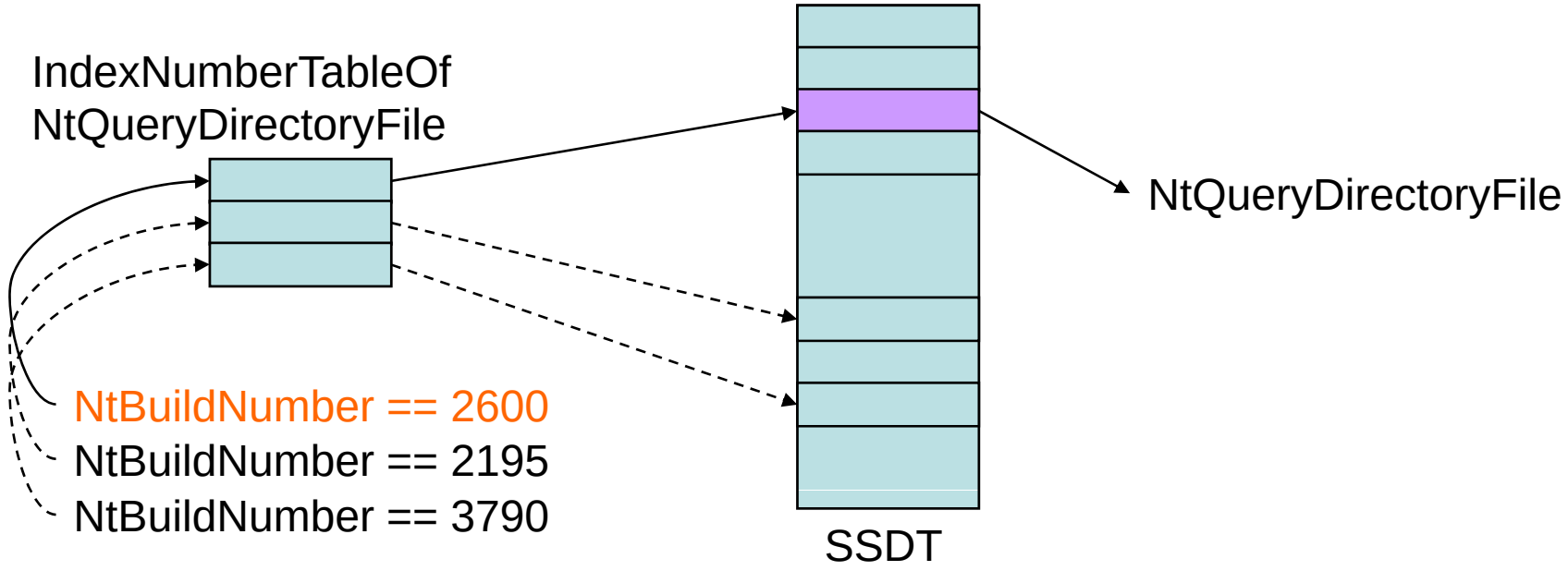
1. システムファイルを生成、カーネルにロード

2. ドライバによる悪意の動作
   - ルートキット機能
     SSDT、IRPフッキングを利用したファイル、レジストリ、接続情報の隠ぺい
   - コードインジェクション機能
     悪意のコード(本体部分)をユーザーモードプロセスに注入

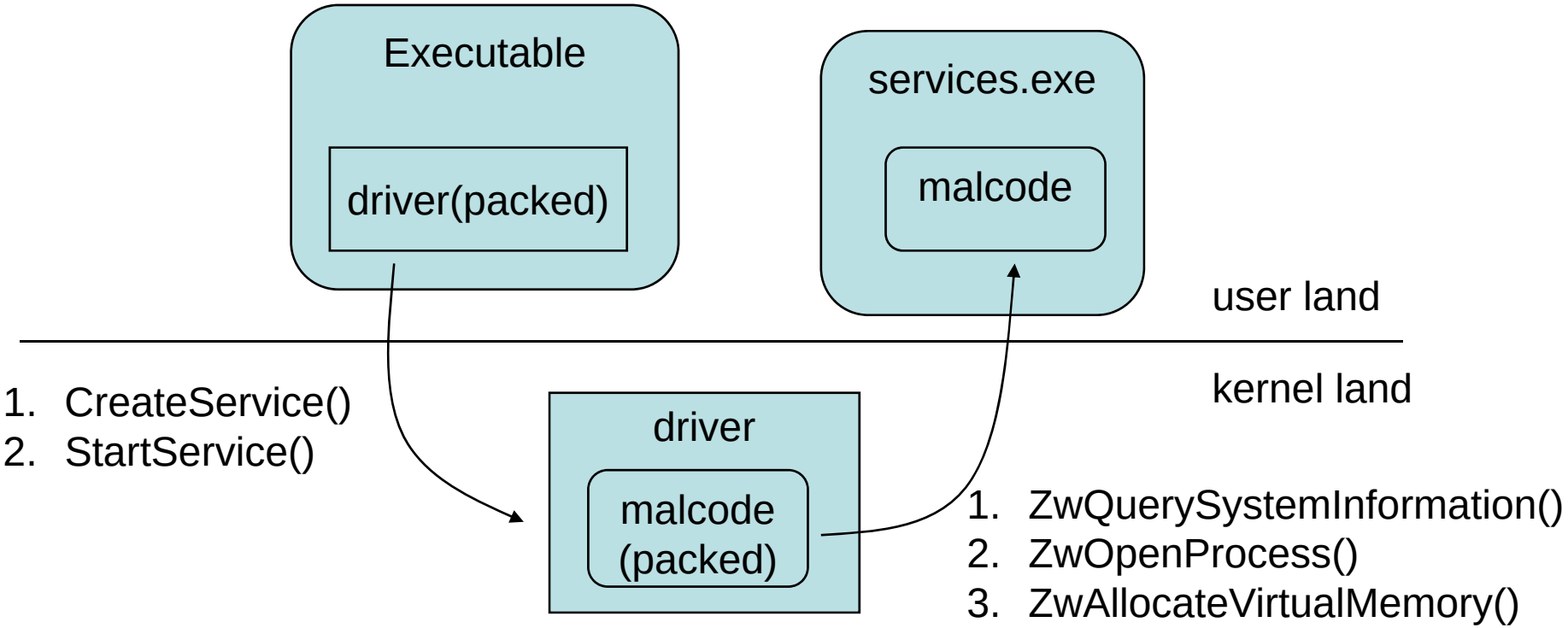
3. P2P通信を開始

ルートキット機能

- 以下の3つのNative APIをフック（SSDTフッキング）
  - NtQueryDirectoryFile, NtEnumerateKey, NtEnumerateValueKey
- APIのSSDTにおけるインデックス番号は、NtBuildNumberによって異なる
- 2195(2k), 2600(XP) and 3790(2k3)の3つをサポート



コードインジェクション機能



Chapter 2

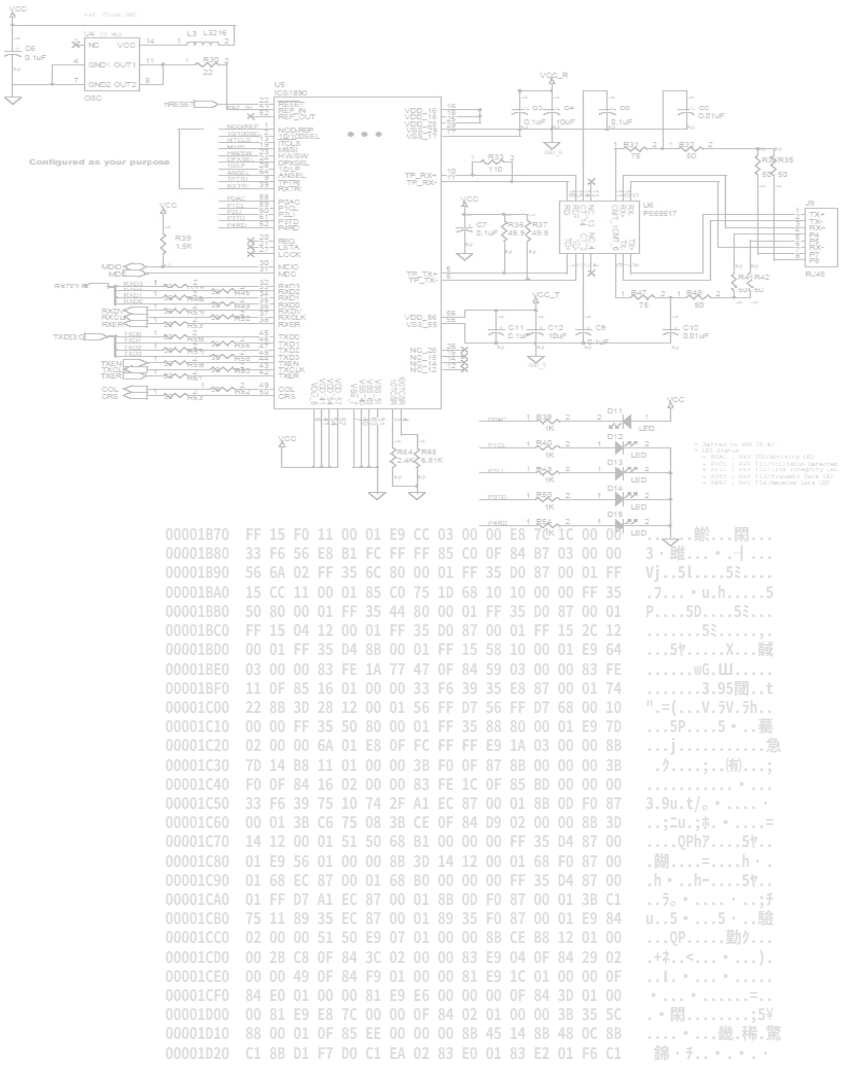
仮想化技術の概要

```
int packet_analysis(GDDCONFIG *gddc,unsigned char *packet,unsigned long length)
{
    struct ip       *ip_header;     /* IP header  */
    struct tcphdr   *tcp_header;    /* TCP header */
                    *tcp_data;      /*TCP data */
    struct in
    char
    unsigned short  sourcePort;     /* Source Port */
    unsigned short  destPort;       /* Destination Port */
    unsigned long   len_data;       /* Length of data part */
    unsigned long   iph_len;        /* Length of IP header */
    unsigned long   tcph_len;       /* Length of TCP header */
    u
    CONN_LIST       t;              /* Temporary Connection list */
    static char     datestr[512];   /* Buffer to store datetime */
    time_t          timeval;
    struct tm       *timep=NULL;
    char            *timesp=NULL;
    char            *c;

    /* Get pointer of IP header and check length of IP */
    if (length-SIZE_OF_ETHHDR < MINSIZE_IP+MINSIZE_TCP) return(0);
    ip_header   = (struct ip *)(packet+SIZE_OF_ETHHDR);
    if (ip_header->ip_p!=IPPROTO_TCP
     || ip_header->ip_v!=4) return(0);
    iph_len     = ((unsigned long)(ip_header->ip_hl))*4;
    if (iph_len<MINSIZE_IP) return(0);
    if ((unsigned long)ntohs(ip_header->ip_len) < MINSIZE_IP+MINSIZE_TCP)
        return(0);
    if ((unsigned long)ntohs(ip_header->ip_len) > length-SIZE_OF_ETHHDR){
        return(0);
    }

    /* Get pointer of TCP header and check length of TCP */
    tcp_header  = (struct tcphdr *)((char *)ip_header+iph_len);
    tcph_len    = ((unsigned long)(tcp_header->th_off))*4;
    tcp_data    = (char *)tcp_header+tcph_len;
    if (tcph_len<MINSIZE_TCP) return(0);

    /* Get other parameter in TCP/IP header */
    if ((long)ntohs(ip_header->ip_len)-(long)iph_len-(long)tcph_len<0)
        return(0);
    len_data    = (unsigned long)ntohs(ip_header->ip_len)
                    -iph_len-tcph_len;
    sourcePort  = ntohs(tcp_header->th_sport);
    destPort    = ntohs(tcp_header->th_dport);
    memcpy(&addr,&(ip_header->ip_src),sizeof(struct in_addr));
    strcpy(sourceIP,(char *)inet_ntoa(addr));
    memcpy(&addr,&(ip_header->ip_dst),sizeof(struct in_addr));
    strcpy(destIP,(char *)inet_ntoa(addr));
    if (!strcmp(sourceIP,destIP)) return(0);
```



仮想化の必要があるリソース

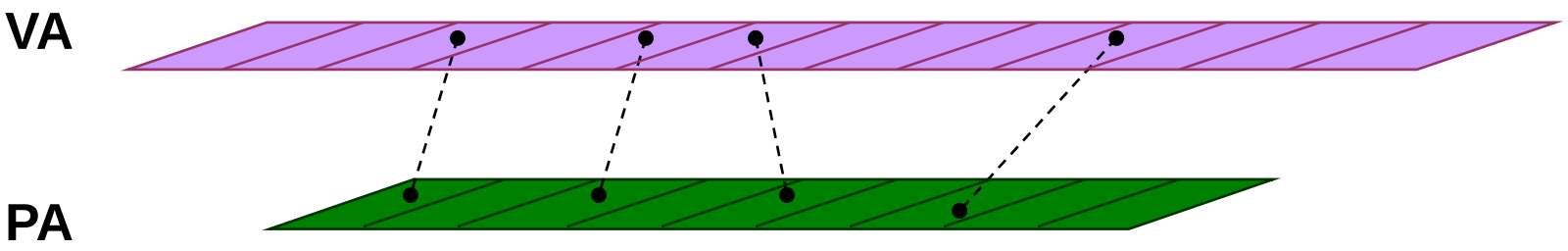
- 仮想化技術を利用した場合、1つのVMM（仮想マシンモニタ）、1つ以上のVM（仮想マシン）が動作する

  → 従来OSが占有していたリソースを抽象化する必要がある

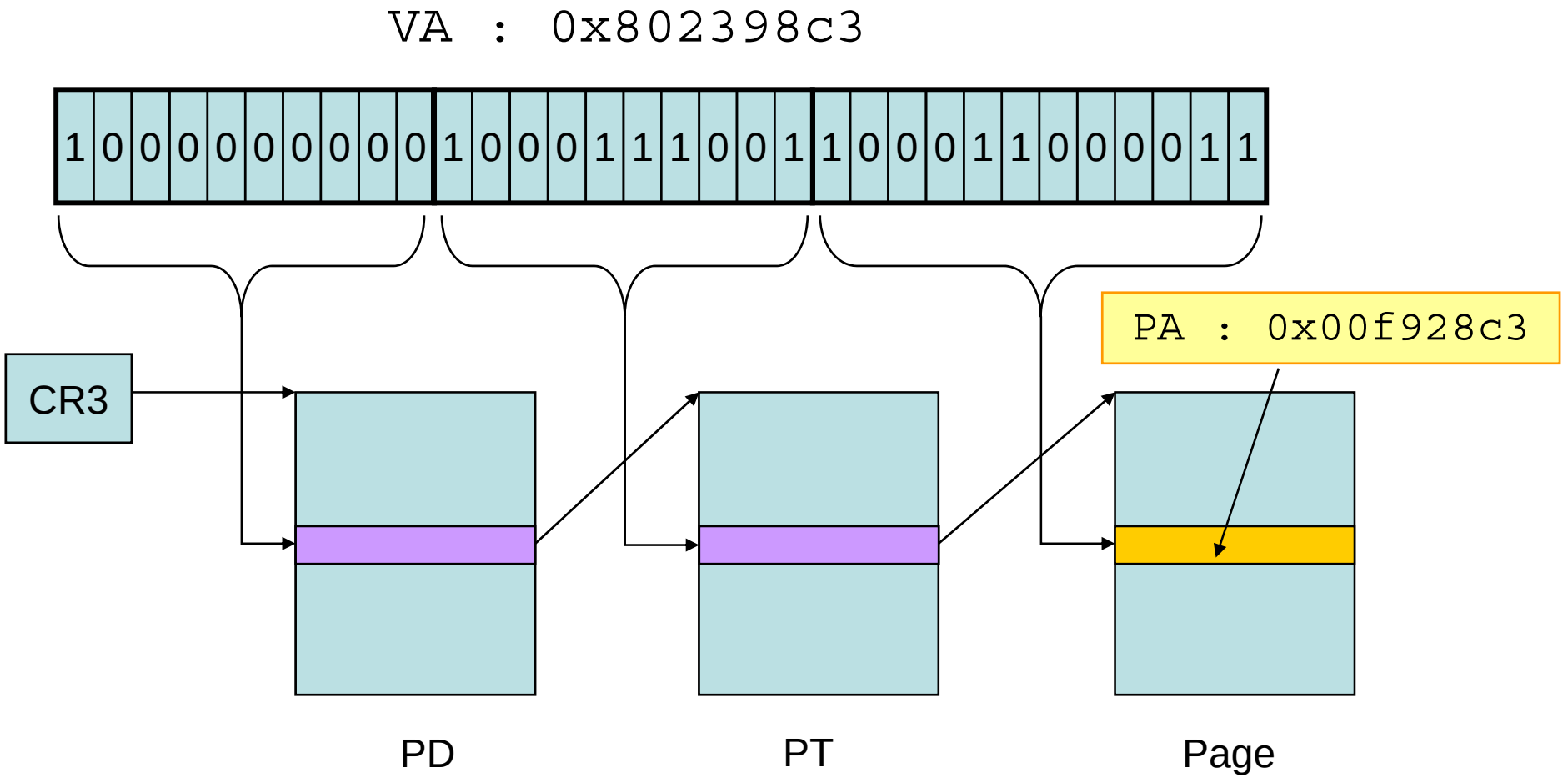
  - CPU
    - システムレジスタ、制御レジスタ
    - 例外
  - メモリ
    - VMM、各VMごとの独立したメモリ空間
  - ハードウェア
    - 割り込み、I/Oアドレス空間、DMAアクセス、etc.

従来の仮想メモリの仕組み

- 32bit環境では、
  - 実際に搭載している物理メモリの容量に限らずOSからは4GBの仮想メモリが見える
  - OS・アプリケーションは、物理アドレス（PA）を意識せず4GBの仮想アドレス(VA)にアクセスする
  - プロセッサが、物理アドレスと仮想アドレスのマッピングを自動的に行う

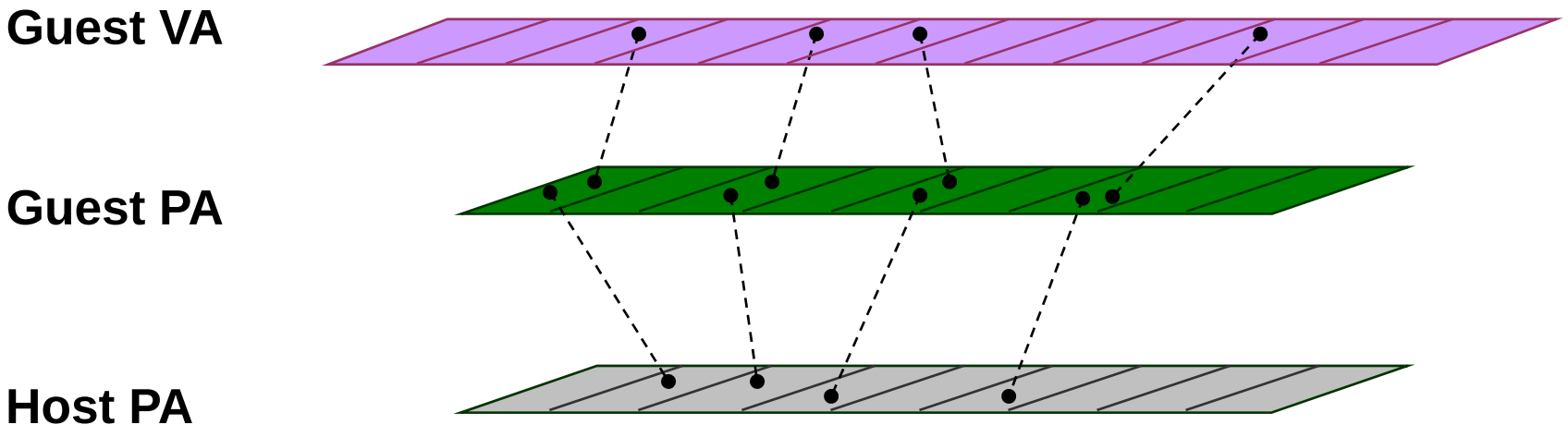


仮想アドレスから物理アドレスへの変換

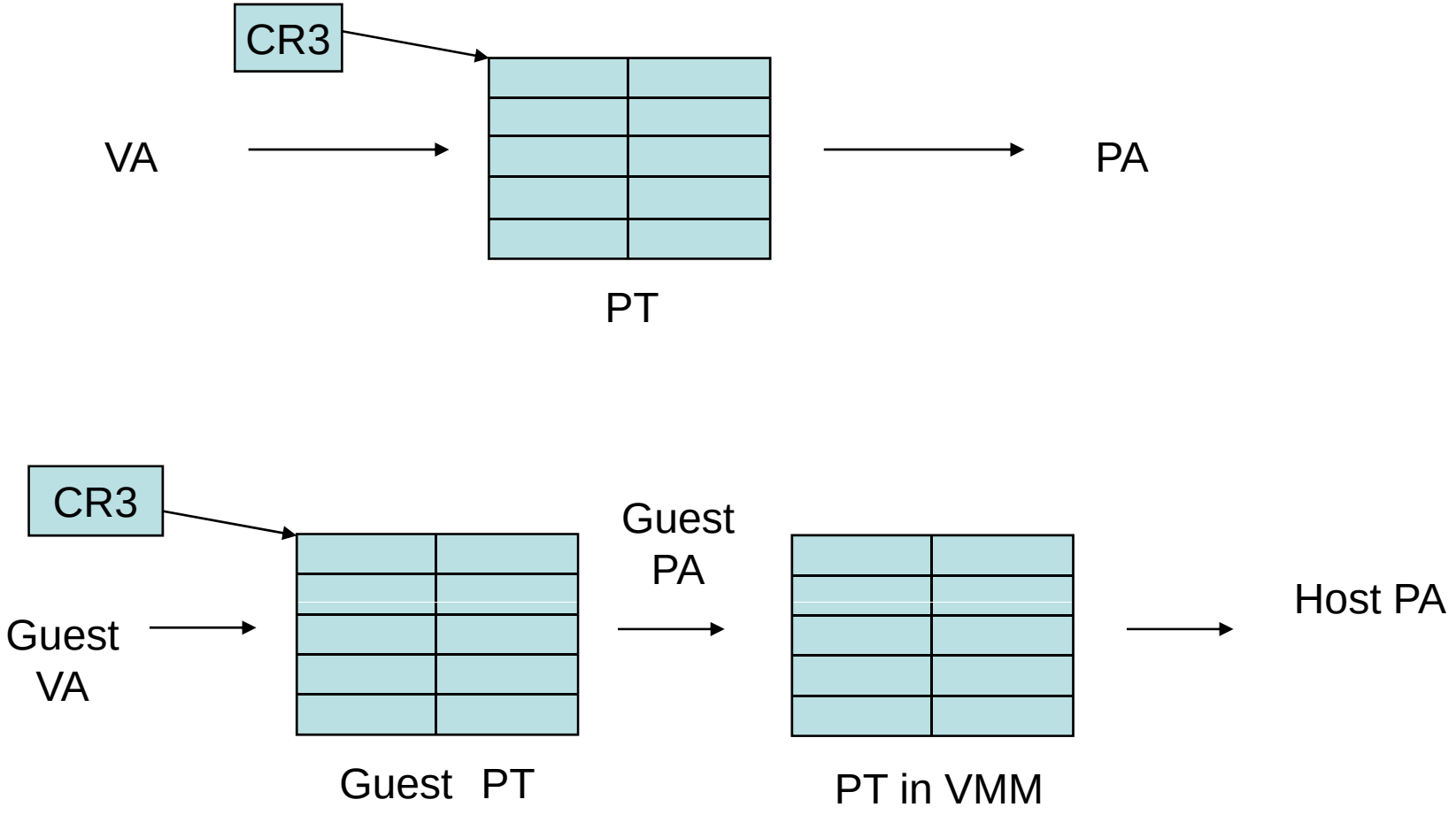


仮想化技術を利用した場合のメモリ仮想化(1/2)

- 各VMが独立したアドレス空間を持つ
- 各VMから見える物理アドレスを更に抽象化する必要がある
  - ゲスト仮想アドレス(Guest VA)、ゲスト物理アドレス(Guest PA)、ホスト物理アドレス(Host PA)



仮想化技術を利用した場合のメモリ仮想化(2/2)

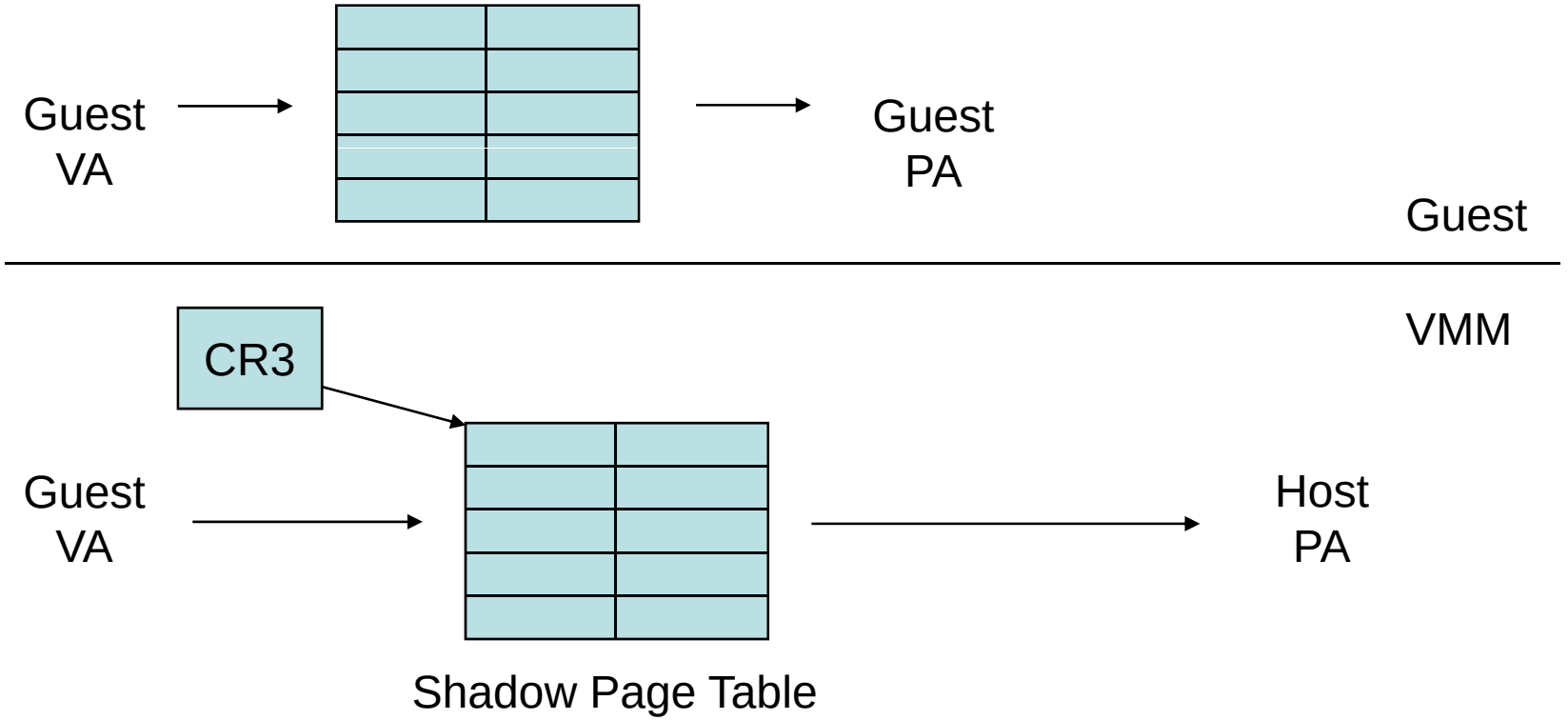


VMMによるアドレス変換

- 現在のプロセッサは、1段階のアドレス変換しかサポートしていない
- VMMは、Guest VA -> Guest PA -> Host PAの2段階のアドレス変換をソフトウェア的に行う必要がある
  → Shadow Pagaing
- プロセッサによる2段階アドレス変換のサポート
  - Intel: EPT(Extended Page Table)
  - AMD: NPT(Nested Page Table)

Shadow Paging

- ゲストOSのページフォルト例外をインターセプトし、VMMが適時Shadow Page Table(SPT)を更新

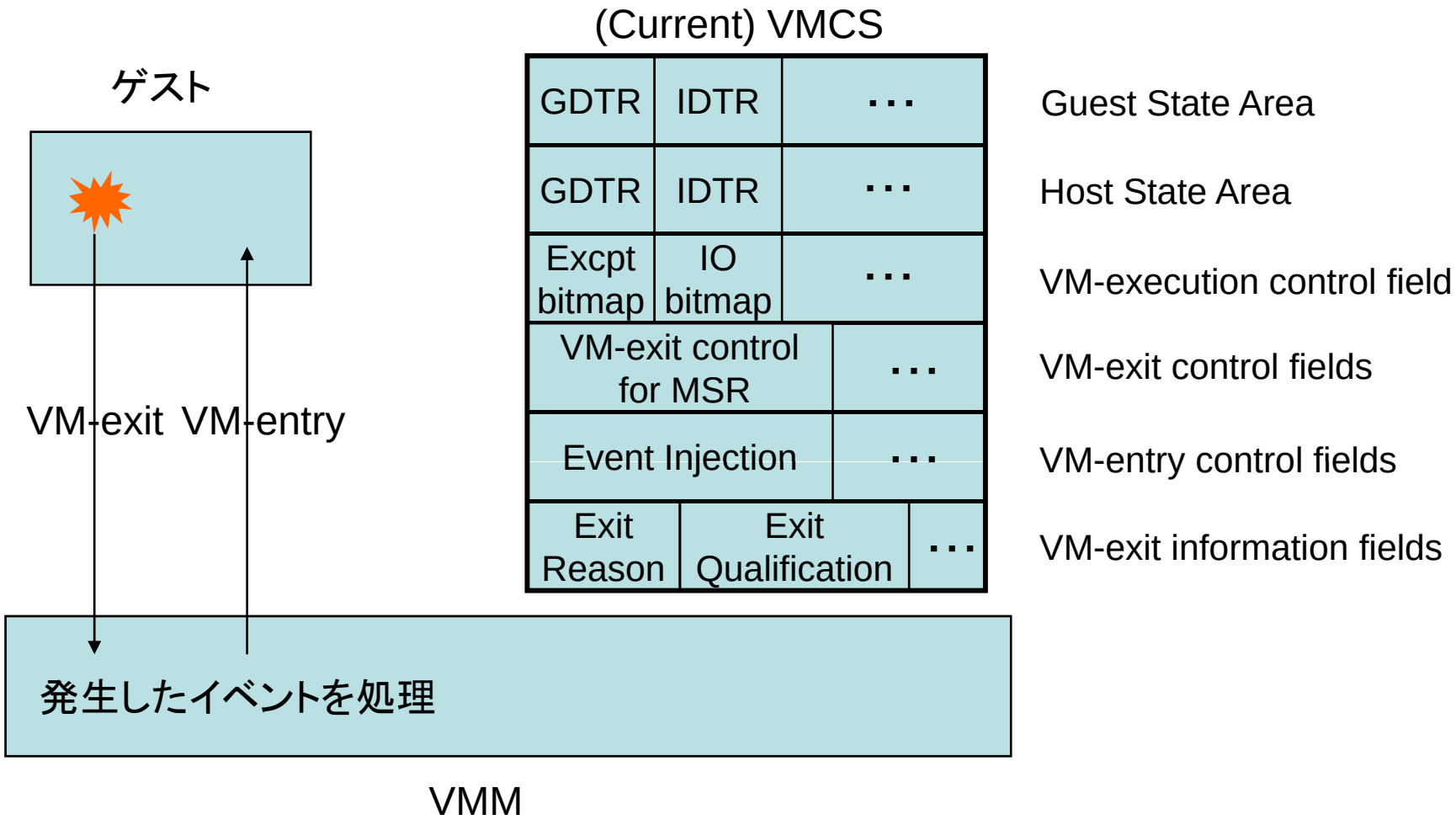


Intel VT

- Intel VTはIntelによる仮想化技術の総称
  - VT-x　　x86/64向けの仮想化サポート
  - VT-d　　チップセットによるデバイスの仮想化サポート
  - VT-i　　Itaniumプロセッサ向けの仮想化サポート

- 主な機能
  - VMXモードのサポート
    - VMX root-operations(ring0-3)
    - VMX non-root-operations(ring0-3)
  - VMCS(Virtual Machine Control Structure)
  - VMX命令セットのサポート
    VMXON、VMXOFF、VMXLAUNCH、VMRESUME、VMCALL、etc.

Intel VTの動作メカニズム

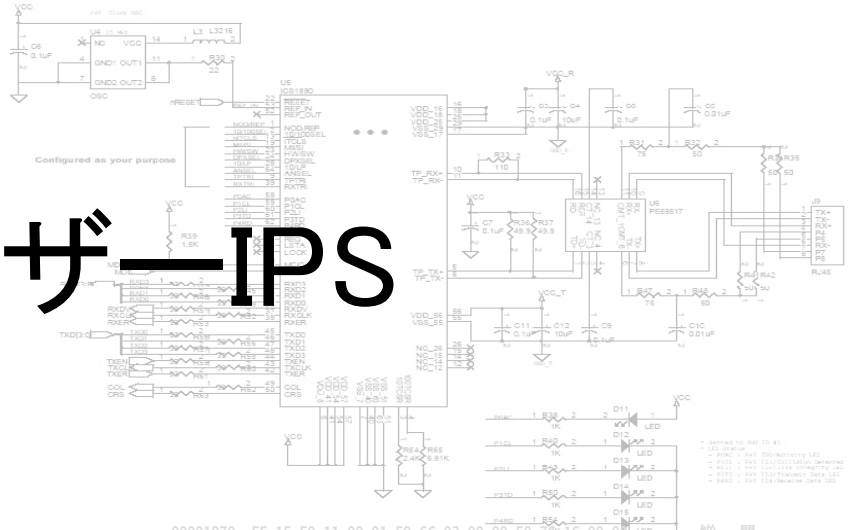


主なVM_EXITの発生理由

- 特定の命令の実行
  - CPUID, INVD, INVLPG, RDTSC, RDPMC, HLT, etc.
  - 全てのVMX命令
- I/O命令
  - IN, OUT, etc.
- 例外（#DB、#BP、#PF、etc.）
- 特定のレジスタへのアクセス
  - コントロールレジスタ
  - デバッグレジスタ
  - MSR（モデル固有レジスタ）
- etc

Chapter 3

Viton, ハイパーバイザーIPS



```
int packet_analysis(GDDCONFIG *gddc,unsigned char *packet,unsigned long length)
{
    struct ip       *ip_header;     /* IP header  */
    struct tcphdr   *tcp_header;    /* TCP header */
    char            *tcp_data;      /* TCP data */
    struct in_addr  addr;           /* Source address */
    char            sourceIP[16];   /* Source IP addr */
    unsigned short  sourcePort;     /* Source Port */
    unsigned short  destPort;       /* Destination Port */
    unsigned long   len_data;       /* Length of data part */
    unsigned long   iph_len;        /* Length of IP header */
    unsigned long   tcph_len;       /* Length of TCP header */
    unsigned long   sequence;       /* Expected sequence */
    int             portindex;      /* Indexnumber of target port list */
    unsigned char   flag;           /* Packet direction */
    unsigned char   logtype;        /* Log type */
    CONN_LIST       *ctable;        /* Connection table list */
    CONN_LIST       *ct;            /* Temporary connection list */
    static char     datestr[512];   /* Buffer to store datetime */
    time_t          timeval;
    struct tm       *timep=NULL;
    char            *timesp=NULL;
    char            *c;

    /* Get pointer of IP header and check length of IP */
    if (length-SIZE_OF_ETHHDR < MINSIZE_IP+MINSIZE_TCP) return(0);
    ip_header   = (struct ip *)(packet+SIZE_OF_ETHHDR);
    if (ip_header->ip_p!=IPPROTO_TCP
     || ip_header->ip_v!=4) return(0);
    iph_len     = ((unsigned long)(ip_header->ip_hl))*4;
    if (iph_len<MINSIZE_IP) return(0);
    if ((unsigned long)ntohs(ip_header->ip_len) < MINSIZE_IP+MINSIZE_TCP)
        return(0);
    if ((unsigned long)ntohs(ip_header->ip_len) > length-SIZE_OF_ETHHDR){
        return(0);
    }

    /* Get pointer of TCP header and check length of TCP */
    tcp_header  = (struct tcphdr *)((char *)ip_header+iph_len);
    tcph_len    = ((unsigned long)(tcp_header->th_off))*4;
    tcp_data    = (char *)tcp_header+tcph_len;
    if (tcph_len<MINSIZE_TCP) return(0);

    /* Get other parameter in TCP/IP header */
    if ((long)ntohs(ip_header->ip_len)-(long)iph_len-(long)tcph_len<0)
        return(0);
    len_data    = (unsigned long)ntohs(ip_header->ip_len)
                    -iph_len-tcph_len;
    sourcePort  = ntohs(tcp_header->th_sport);
    destPort    = ntohs(tcp_header->th_dport);
    memcpy(&addr,&(ip_header->ip_src),sizeof(struct in_addr));
    strcpy(sourceIP,(char *)inet_ntoa(addr));
    memcpy(&addr,&(ip_header->ip_dst),sizeof(struct in_addr));
    strcpy(destIP,(char *)inet_ntoa(addr));
    if (!strcmp(sourceIP,destIP)) return(0);
```

```
00001B70  FF 15 F0 11 00 01 E9 CC 03 00 00 E8 70 1C 00 00   ........鯵...閥...
00001B80  33 F6 56 E8 B1 FC FF FF 85 C0 0F 84 B7 03 00 00   3・睡...・.┤....
00001B90  56 6A 02 FF 35 6C 80 00 01 FF 35 D0 87 00 01 FF   Vj..5l....5ﾐ....
00001BA0  15 CC 11 00 01 85 C0 75 1D 68 10 10 00 00 FF 35   .ｱ...・u.h.....5
00001BB0  50 80 00 01 FF 35 44 80 00 01 FF 35 D0 87 00 01   P....5D....5ﾐ...
00001BC0  FF 15 04 12 00 01 FF 35 D0 87 00 01 FF 15 2C 12   .......5ﾐ.....,.
00001BD0  00 01 FF 35 D4 8B 00 01 FF 15 58 10 00 01 E9 64   ...5ｲ.....X...鍼
00001BE0  03 00 00 83 FE 1A 77 47 0F 84 59 03 00 00 83 FE   ......wG.Ш.....
00001BF0  11 0F 85 16 01 00 00 33 F6 39 35 E8 87 00 01 74   .......3.95閥..t
00001C00  22 8B 3D 28 12 00 01 56 FF D7 56 FF D7 68 00 10   ".=(...V.ﾗV.ﾗh..
00001C10  00 00 FF 35 50 80 00 01 FF 35 88 80 00 01 E9 7D   ...5P....5・..驪
00001C20  02 00 00 6A 01 E8 0F FC FF FF E9 1A 03 00 00 8B   ...j...........急
00001C30  7D 14 B8 11 01 00 00 3B F0 0F 87 8B 00 00 00 3B   .ｸ....;..(衛...;
00001C40  F0 0F 84 16 02 00 00 83 FE 1C 0F 85 BD 00 00 00   ...........・...
00001C50  33 F6 39 75 10 74 2F A1 EC 87 00 01 8B 0D F0 87   3.9u.t/｡・....・
00001C60  00 01 3B C6 75 08 3B CE 0F 84 D9 02 00 00 8B 3D   ..;ﾆu.;ﾎ.・....=
00001C70  14 12 00 01 51 50 68 B1 00 00 00 FF 35 D4 87 00   ....QPh?....5ｲ..
00001C80  01 E9 56 01 00 00 8B 3D 14 12 00 01 68 F0 87 00   .鯛....=....h・.
00001C90  01 68 EC 87 00 01 68 B0 00 00 00 FF 35 D4 87 00   .h・..h~....5ｲ..
00001CA0  01 FF D7 A1 EC 87 00 01 8B 0D F0 87 00 01 3B C1   ..ﾗ｡・....・..;ﾁ
00001CB0  75 11 89 35 EC 87 00 01 89 35 F0 87 00 01 E9 84   u..5・....5・..驗
00001CC0  02 00 00 51 50 E9 07 01 00 00 8B CE B8 12 01 00   ...QP.....勤ｶ...
00001CD0  00 2B C8 0F 84 3C 02 00 00 83 E9 04 0F 84 29 02   .+ﾈ..<...・...).
00001CE0  00 00 49 0F 84 F9 01 00 00 81 E9 1C 01 00 00 0F   ..I.・...・......
00001CF0  84 E0 01 00 00 81 E9 E6 00 00 00 0F 84 3D 01 00   ・...・.......=..
00001D00  00 81 E9 E8 7C 00 00 0F 84 02 01 00 00 3B 35 5C   .・閥........;5¥
00001D10  88 00 01 0F 85 EE 00 00 00 8B 45 14 8B 48 0C 8B   ....・...畿.稀.驚
00001D20  C1 8B D1 F7 D0 C1 EA 02 83 E0 01 83 E2 01 F6 C1    錦・ｷ..・.・.・
```

Viton

- OSの外部で動作するIPS
- Proof of Concept、Windows XP SP2、SP3で動作確認

- 主な機能
  - ✓ 指定したメモリ領域に対するメモリパッチングを禁止
  - ✓ システムレジスタの変更を禁止
  - ✓ ゲストOSの活動をモニタリング

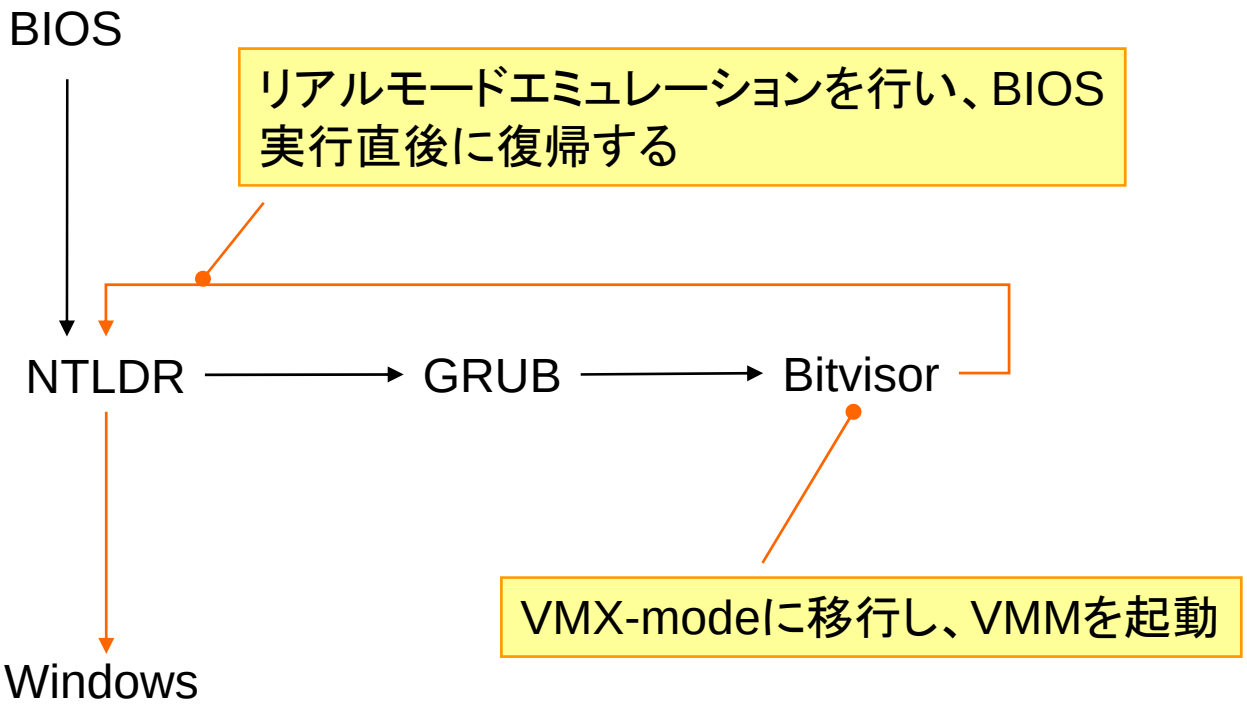
実装には、*BitVisor* を利用

BitVisor

- セキュアVMプロジェクトによって開発されている国産VMMソフトウェア

- 特徴
  - Intel VTを利用した軽量な実装
  - Type I型のVMM（ハイパーバイザー型）
  - VMMにおける32bit・64bitモード対応
  - VMM、ゲストOSにおけるマルチコア・マルチプロセッサ対応
  - WindowsXP/Vista、Linuxを修正無しに実行可能
  - ゲストOSにおけるPAEのサポート
  - リアルモードエミュレーションのサポート
  - etc.

Bitvisorの動作メカニズム

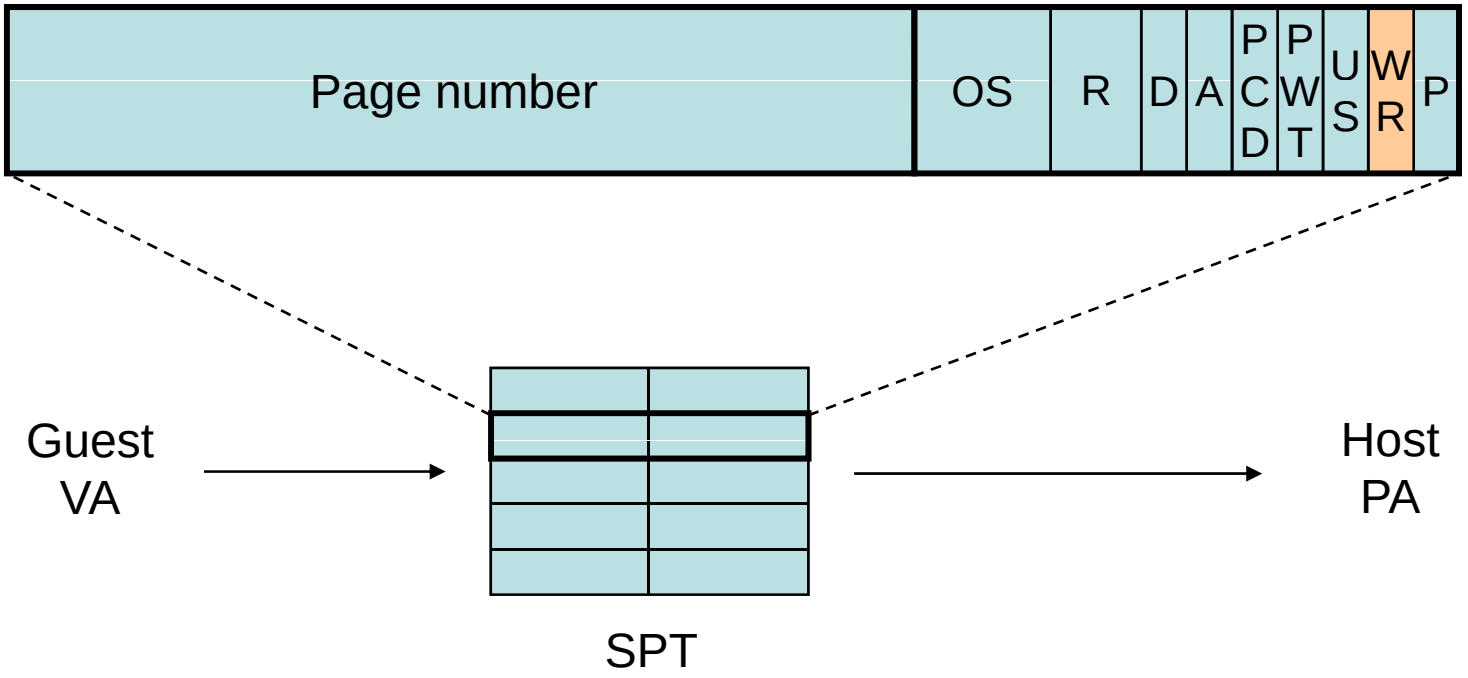


Vitonが保護するリソース

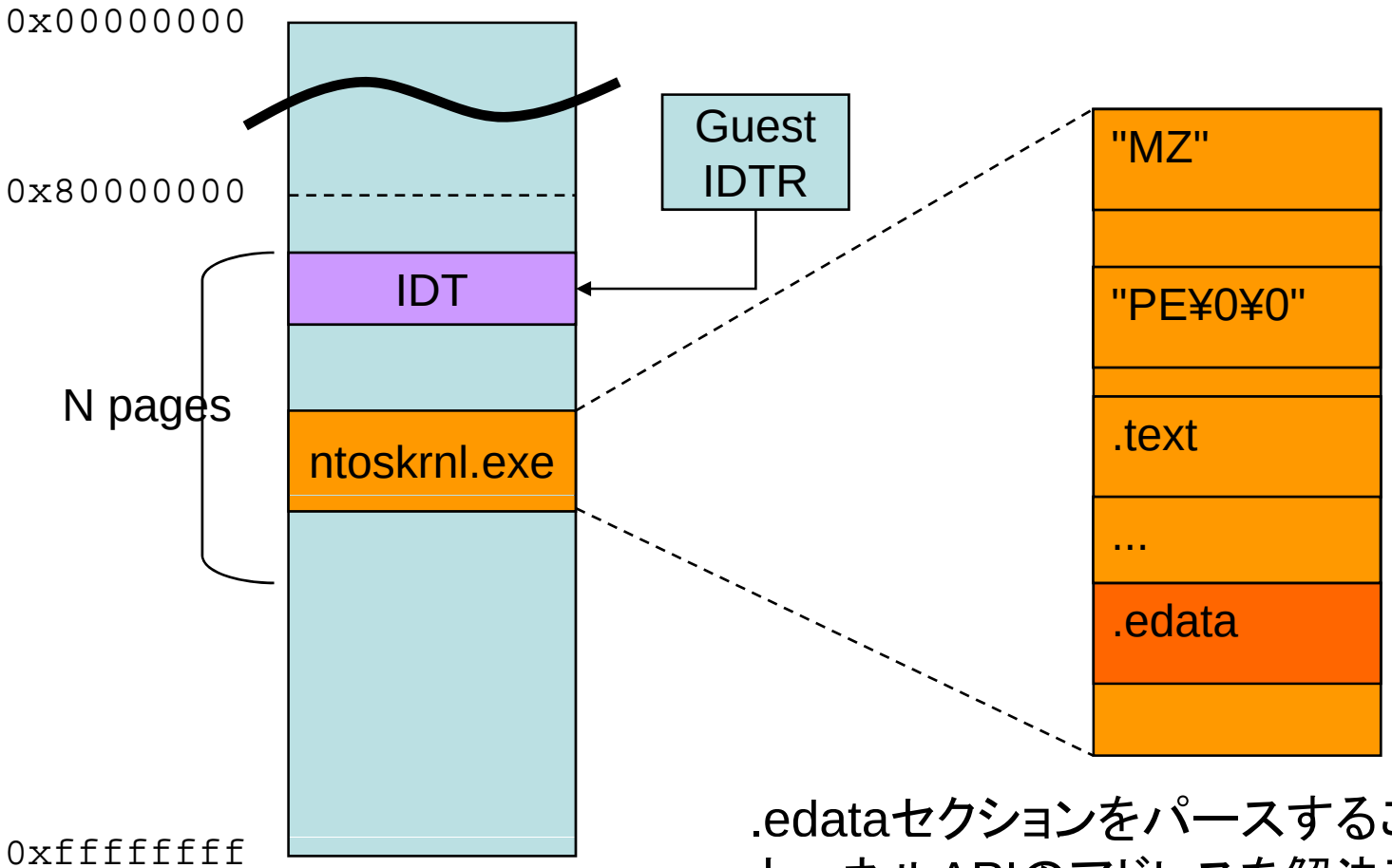
- 命令
  - ゲストOS上での全てのVMX命令を検出・防止
- レジスタ
  - IDTRレジスタの監視
  - 主要なMSRの監視、変更防止
  - CR0.WPビットの監視、変更防止
- メモリ
  - カーネルの全てコード領域
  - IDT
  - SDT
  - SSDT

メモリ保護のメカニズム

- 保護対象の仮想アドレスに対応するPTEのWRビットをクリア
  - CR0.WPが1の場合、ring0の処理でもメモリの書き換えが不可能



ゲストOSのメモリレイアウトの把握



.edataセクションをパースすることで、
カーネルAPIのアドレスを解決可能

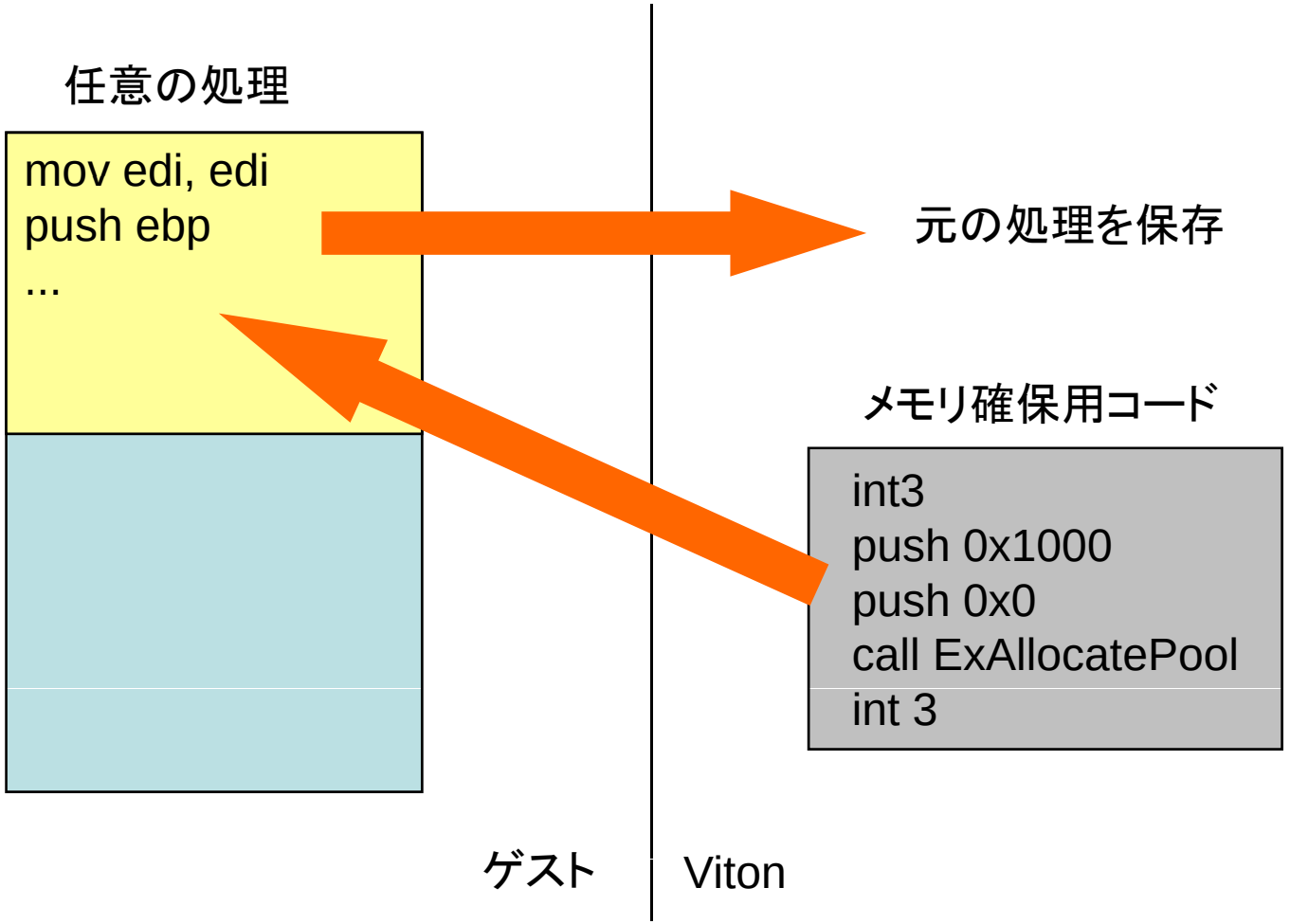
ゲストOSの活動のモニタリング

- Vitonを利用した場合、Viton以外からのメモリパッチングを防止することができる

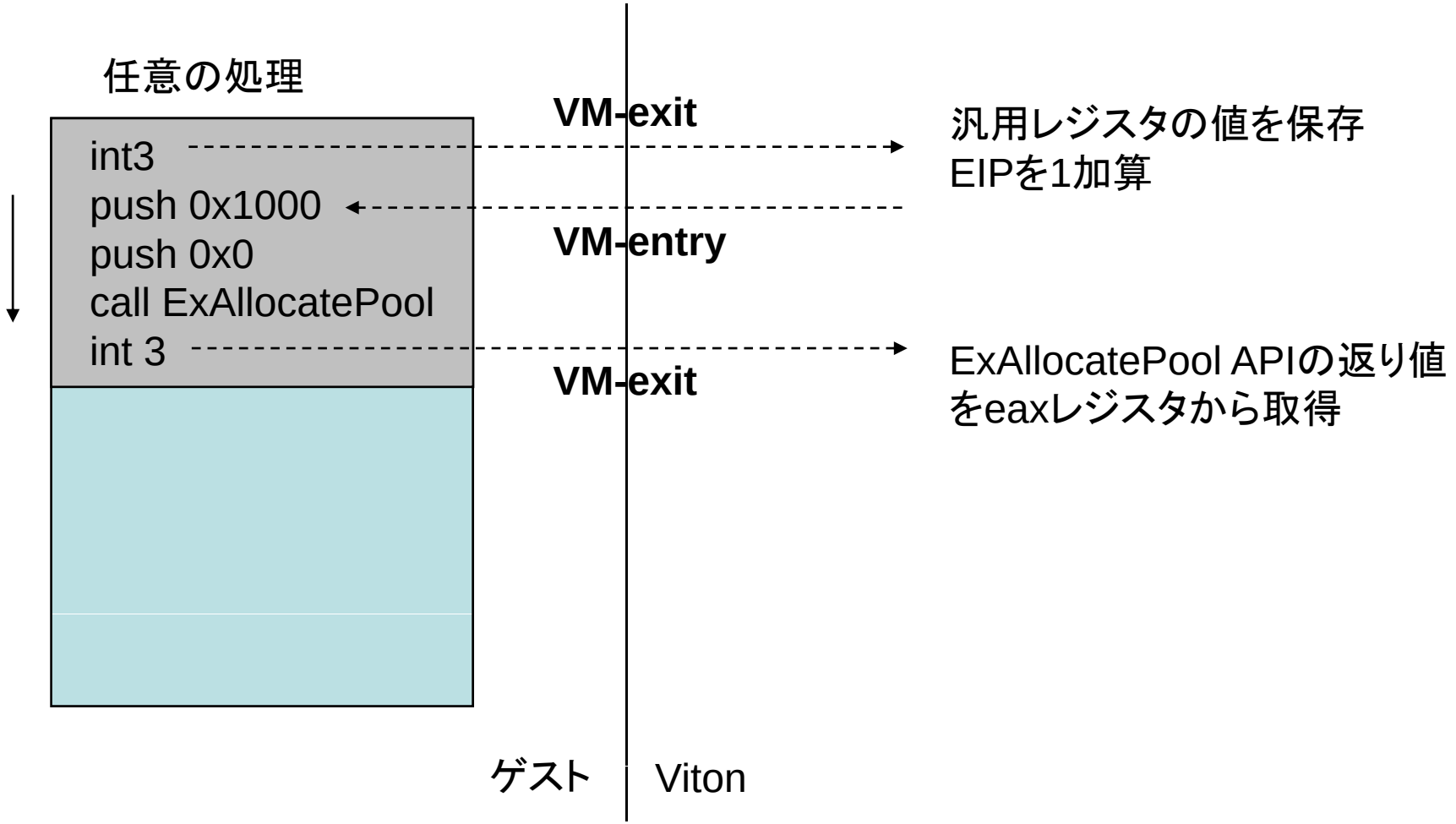
- VitonからゲストOSへのパッチングは可能
  - ゲストOSの任意の処理をフックし、活動を監視

1. フックコード用メモリ領域の確保
2. フックコードのセットアップ
3. 対象処理のフック

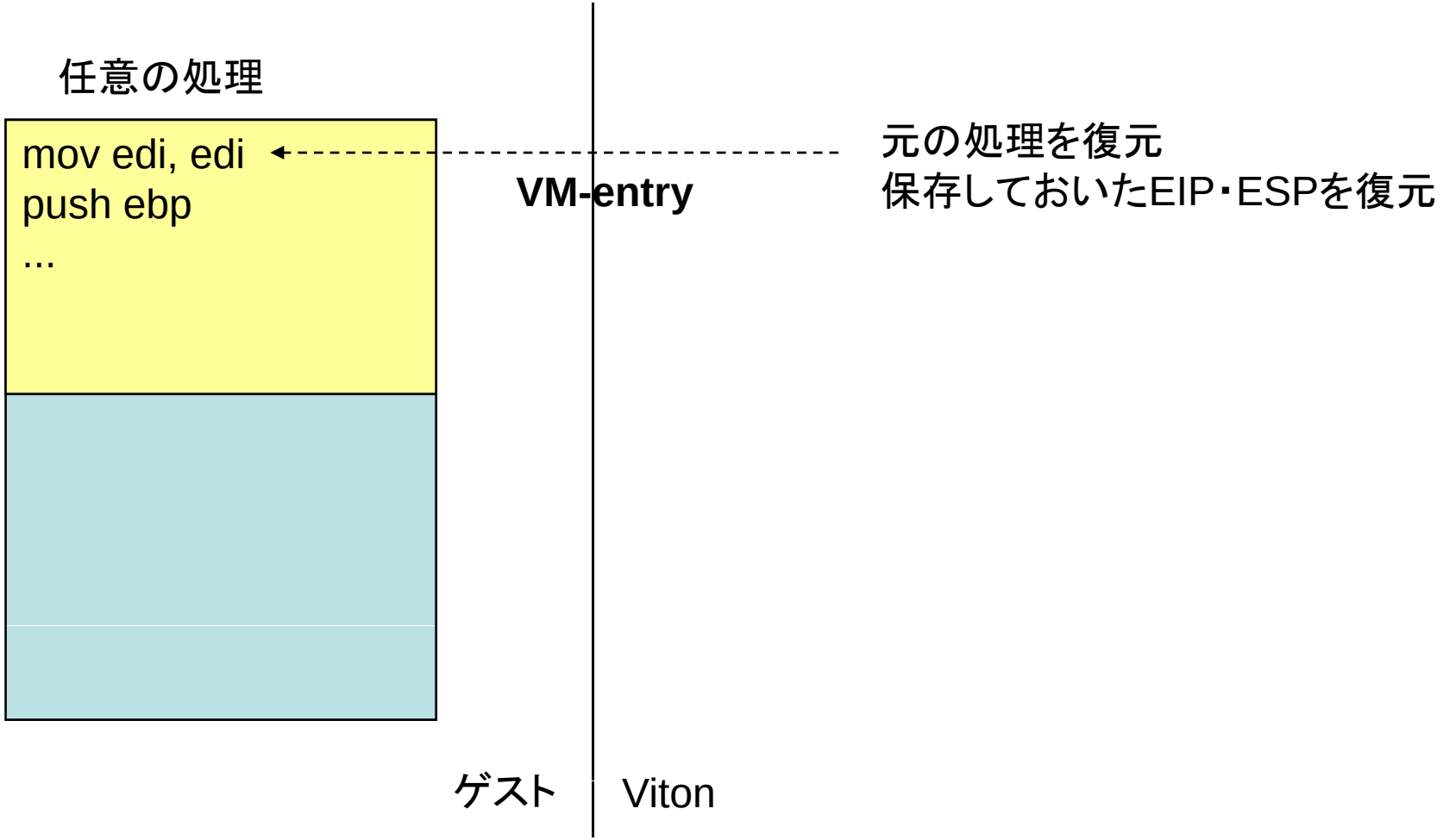
フックコード用メモリ領域の確保(1/3)



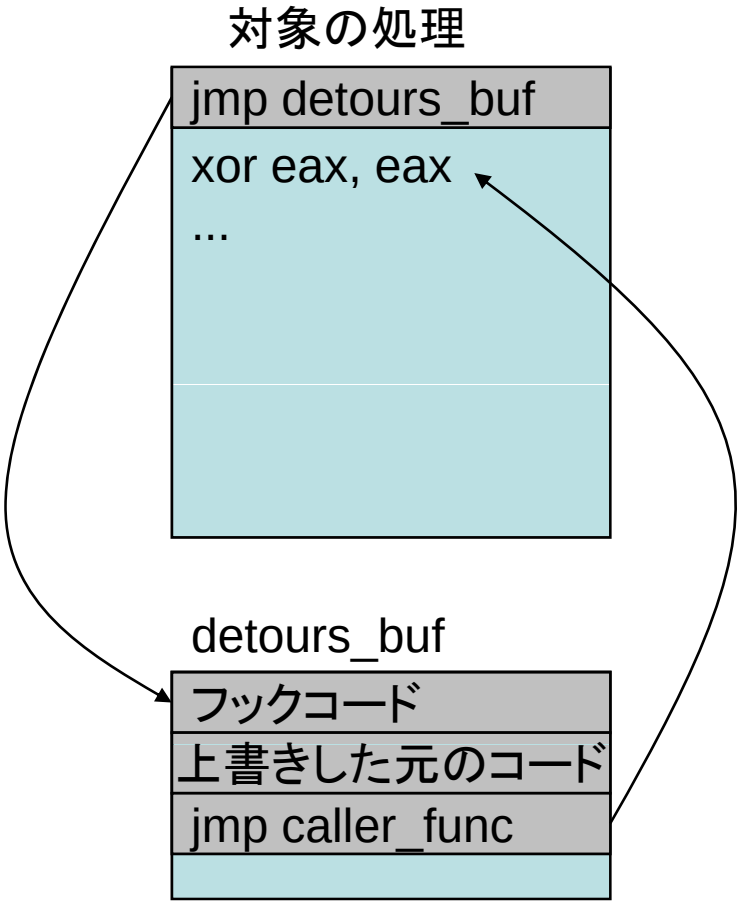
フックコード用メモリ領域の確保(2/3)



フックコード用メモリ領域の確保(3/3)



フックコードのセットアップ & 対象処理のフック



対象の関数が実行されると、

1. detours_bufにジャンプ
2. フックコードが実行される
3. "jmp detours_buf"で上書きした箇所の元の処理が実行される
4. 呼び出し元の上書きした次の処理へジャンプ

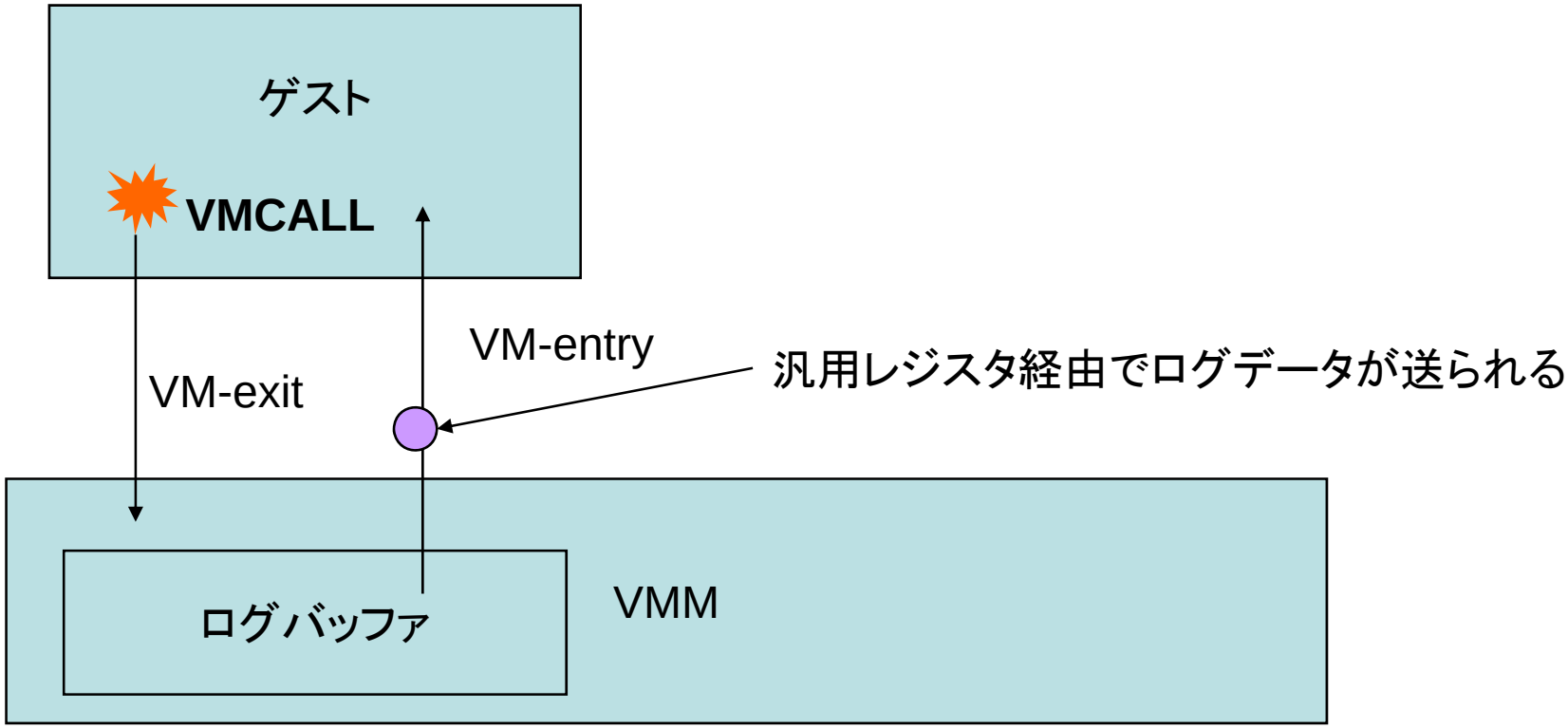
フックコードによる活動の監視

- 下記のAPIをフックすることでゲストOSのリソースを把握可能
  - ZwCreateProcess/ZwTerminateProcess
  - ZwLoadDriver/ZwUnloadDriver

- OS内の情報が改竄されたとしても、Vitonが正しい情報を把握している

デモ

dbgsh (Bitvisor's debuging function)



Viton vs.

- Type I
  - ✓「検知」および「防止」が可能
- Type II
  - ✓ DKOM：活動のモニタリングにより「検知」可能
  - ✓ KOH：汎用的な対策を行うにはブレークスルーが必要
- Type III
  - ✓「検知」および「防止」が可能

まとめ

- 仮想化技術を利用することで効果的なセキュリティ対策を実現することが可能

- 完全ではない
  - 既存ソリューションを保護するための基盤
  - 既存のソリューションとの併用

Thank you!

Fourteenforty Research Institute, Inc.
http://www.fourteenforty.jp

シニアリサーチエンジニア
村上 純一
<murakami@fourteenforty.jp>