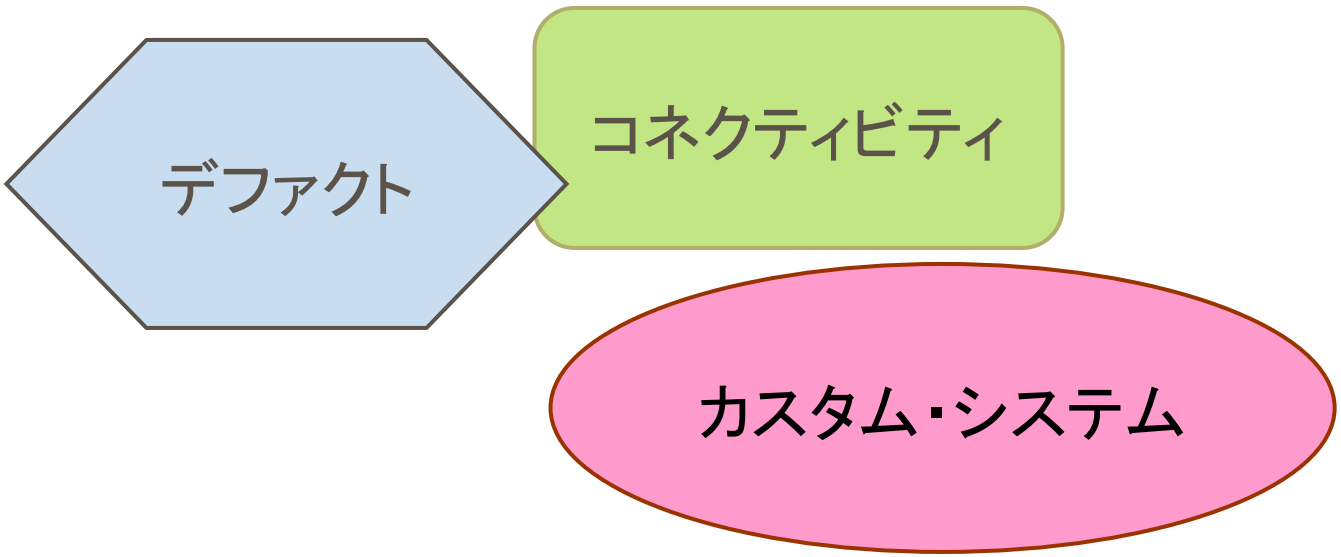
Linuxにおけるデバイスドライバの開発とデバッグの実際

株式会社デバイスドライバーズ
hidaka@devdrv.com

DEVICE DRIVERS

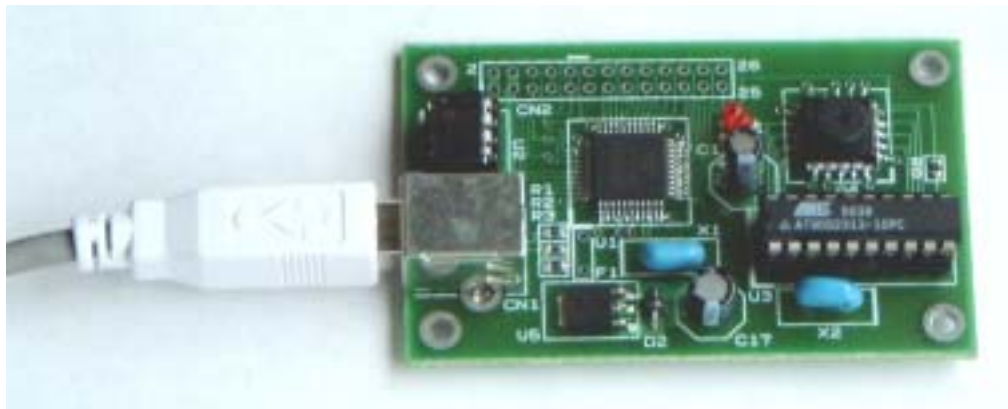
はじめに

- デバイスドライバとは？
- なぜLinuxなのか？



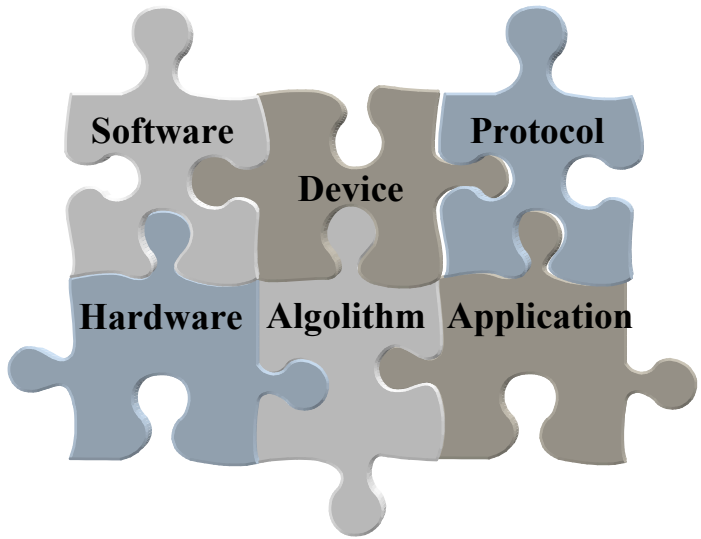
Linuxデバイスドライバ開発

- 準備と心構え
- カーネルとデバイスドライバ
- デバイスドライバ開発
- デバッグツール
- 実機デモ

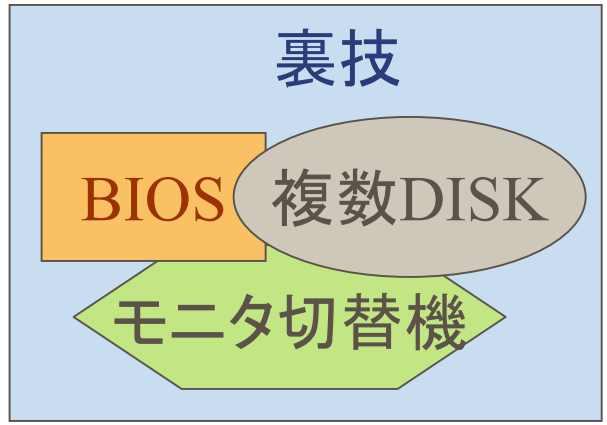


確認：スキルと環境

- 開発に必要なスキル
  - ハードウェアの知識
  - ソフトウェアの知識
  - ＋アルファ（度胸、経験、根性、発想、人脈、英語力）
- 開発で用意するもの
  - 開発環境
  - ターゲット環境
  - テスト用アプリケーション

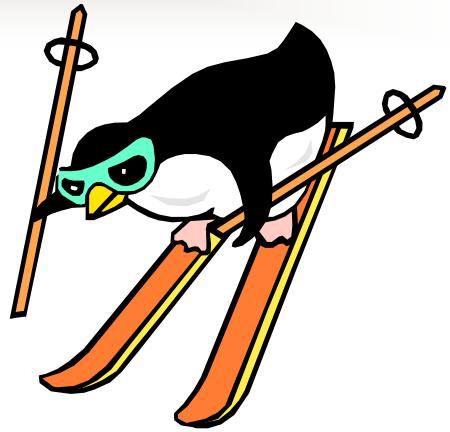


準備:マシン環境



- 新しくて速いマシンを用意
  - 速いCPU・速いディスク
  - 128MB以上のメモリ
- 標準でサポートのビデオカードとNIC
  - nVIDIA GeForce2
  - Matrox G400 / ATI Radeon
  - オンボード・ビデオには注意！
- 標準的なキーボード・マウス

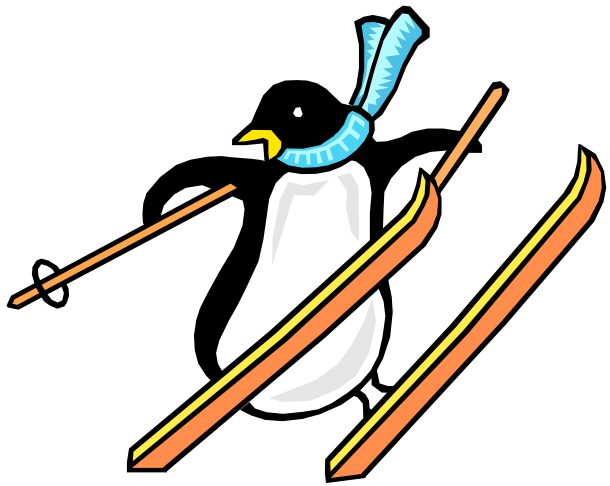
準備:OS環境



- カーネル2.4系
  - Redhat 7.1以降
  - Turbo Linux, Vine, Debian, Slackware,…
- kernel.org の純粋カーネル
  - 2.4.10以降がおすすめ
- 必要なオプションのインストール
  - カーネル開発環境
  - ネットワーク環境の動作

準備:ツール類の使いこなし

- OSのインストール、カーネル・コンパイル
- Shell, コマンド, ツール
  - bash, ln, tar, gzip, patch, diff, rpm, linuxconf, ftp
- エディタ, X-Window
  - vi, …
- スクリプト言語
  - sh, perl, …
- C言語プログラミング
  - Makefileとmake
  - gccのオプション、ライブラリ



インターネットの活用

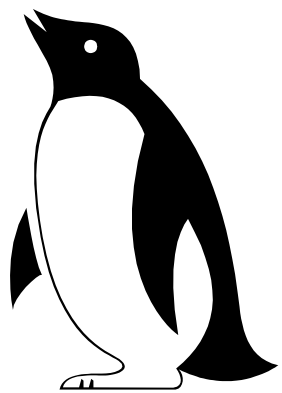
- 情報の検索術
  - 検索エンジン
  - オープンソースの活用
- コミュニティの活用術
  - メール、BBS、人脈
- 情報の発信術
  - ホームページの作成

情報サイト(英語)

- http://kernel.org/
- The Linux Document Project
  - http://www.tldp.org/
- Linux usb
  - http://www.linux-usb.org/
- http://examples.oreilly.com/linuxdrive2/
- The Open Source Development Network
  - http://www.osdn.com/
  - http://sourceforge.net/
  - http://freshmeat.net/

情報サイト(日本語)

- 日本のLinux情報
  - http://www.linux.or.jp/
- OSDN Japan
  - http://osdn.jp/
- Linux at IBM
  - http://www-6.ibm.com/jp/linux/
- Change Log
  - http://www.changelog.net/
- ASCII Linux
  - http://linux.ascii24.com/



さらに上を目指すためのヒント

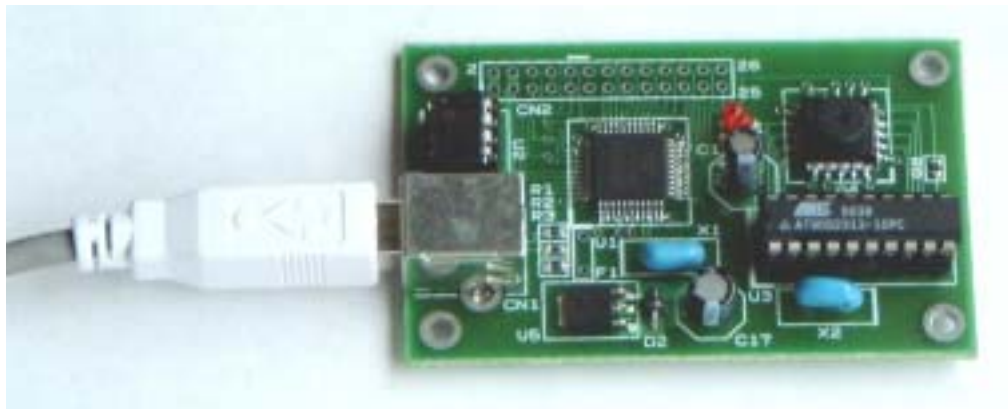
- アプリケーション開発経験
- ハードウェアとデバイスの知識
- 各種計測器の使いこなし
- ネットワークとセキュリティ
- GPL、Open Source、FreeSoftの理解と区別

まとめ：準備と心構え

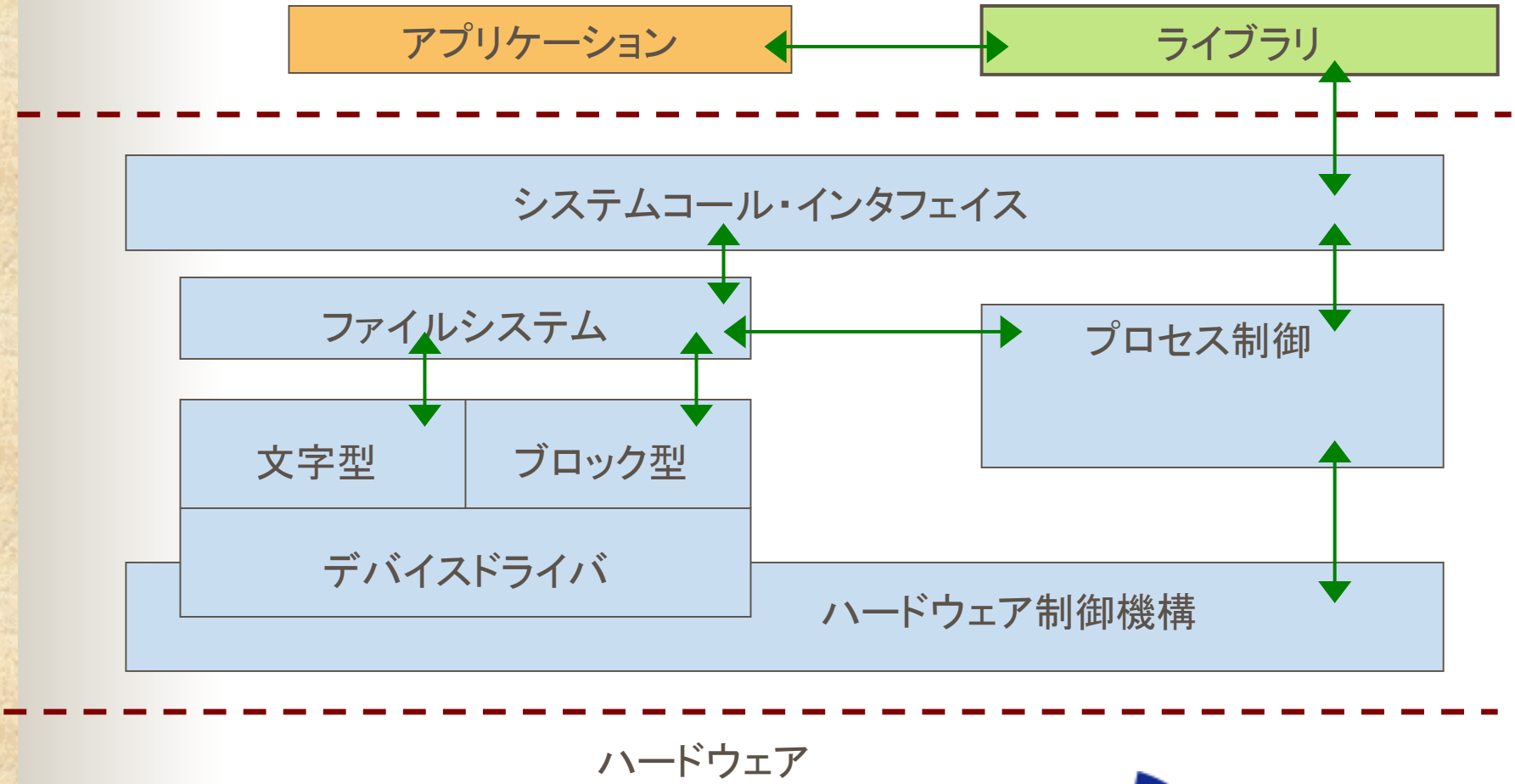
- 開発効率を向上させるために
  - 最新のハードウェアとソフトウェア
  - 標準品のデバイス
- スキルを向上させるために
  - OSインストールやカーネルコンパイル
  - 日頃からUnix / Linuxに親しむ
    - Unix系のコマンドと操作
  - プログラミング以外の開発作業に慣れる
- 情報を収集、活用するために
  - インターネットの活用

Linuxデバイスドライバ開発

- 準備と心構え
- カーネルとデバイスドライバ
- デバイスドライバ開発
- デバッグツール
- 実機デモ

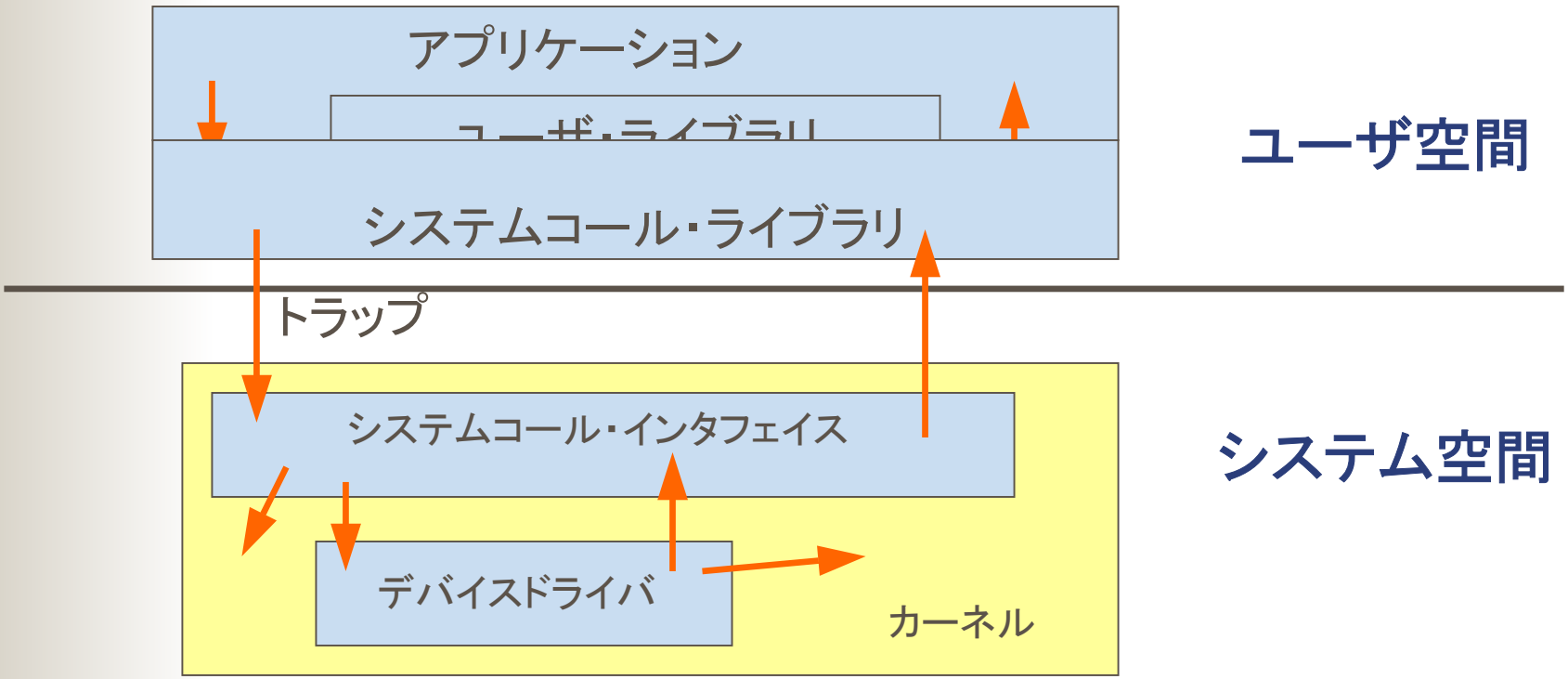


Linuxカーネルの構造



システムコール

- デバイス入出力システムコール処理の流れ

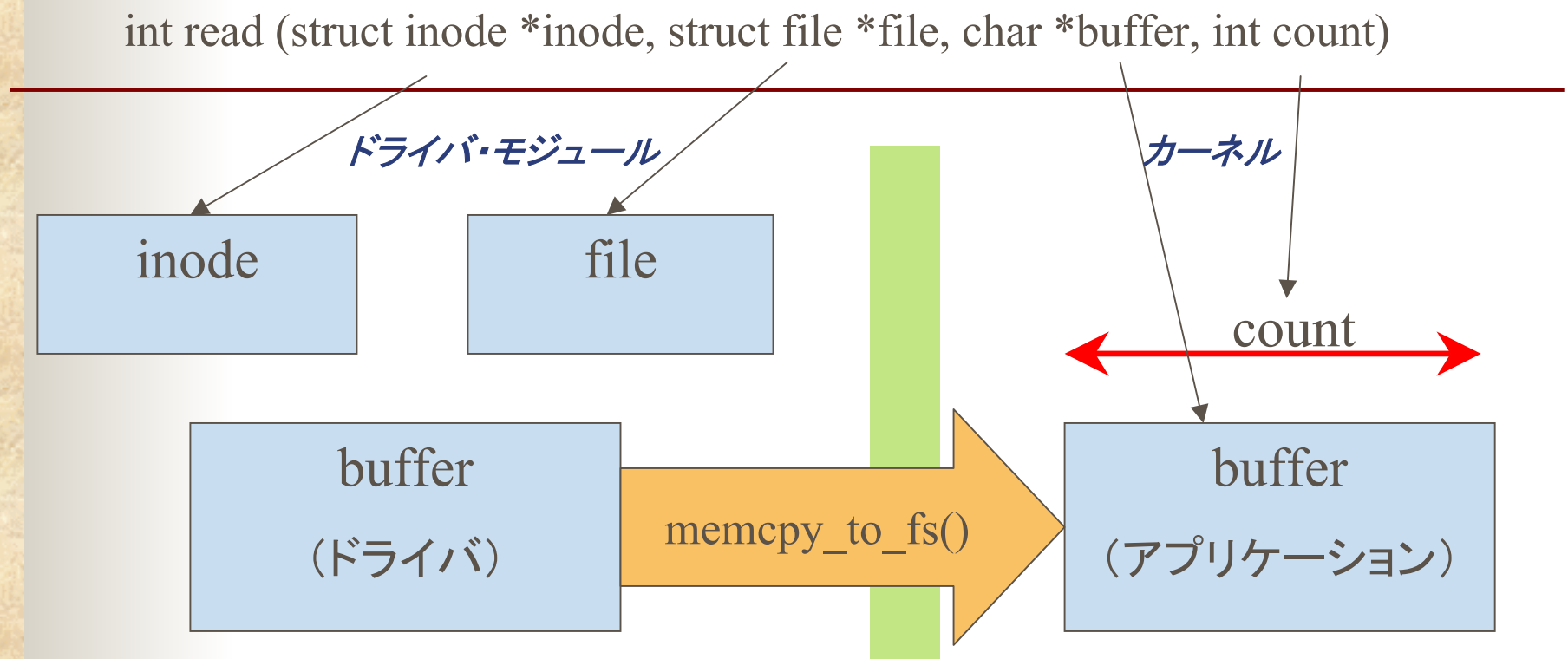


入出力とシステムコール

- 入出力＝ファイル、デバイス用
- Linuxのシステムコール
  - メソッド(method)とよぶ
  - open, read, write, release, ioctl, lseek, …
- デバイスドライバ
  - メソッドの実体を提供するのがドライバ

デバイスドライバの仕事

- readのコードの例

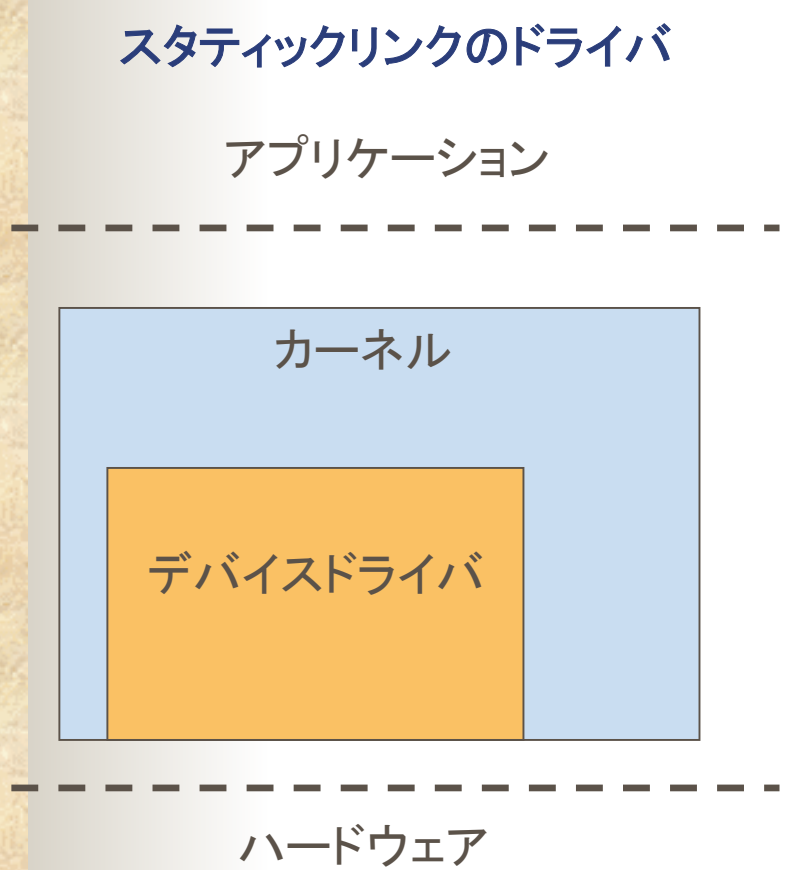


メジャー番号とマイナー番号

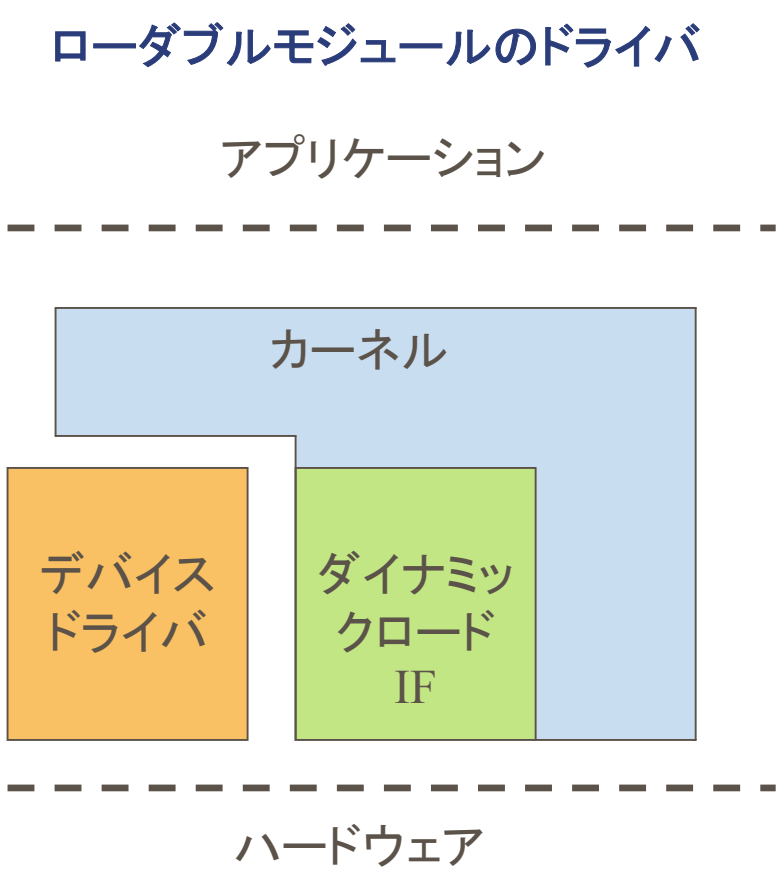
- /dev/ディレクトリの下の特殊ファイル（ノード）
  - デバイスノード（＝mknodという特別なコマンドで作成）
- メジャー番号がドライバとデバイスを結びつける
  - デバイスドライバの種類＝メジャー番号で決定
- マイナー番号が個々の同一型デバイスを区別
  - デバイスドライバにはマイナー番号がそのまま渡される
- メジャー番号＆マイナー番号＝デバイスとドライバの接続点
- 動的な割り当てと静的な割り当て（固定割り当て）がある

ローダブル・モジュール

スタティックリンクのドライバ



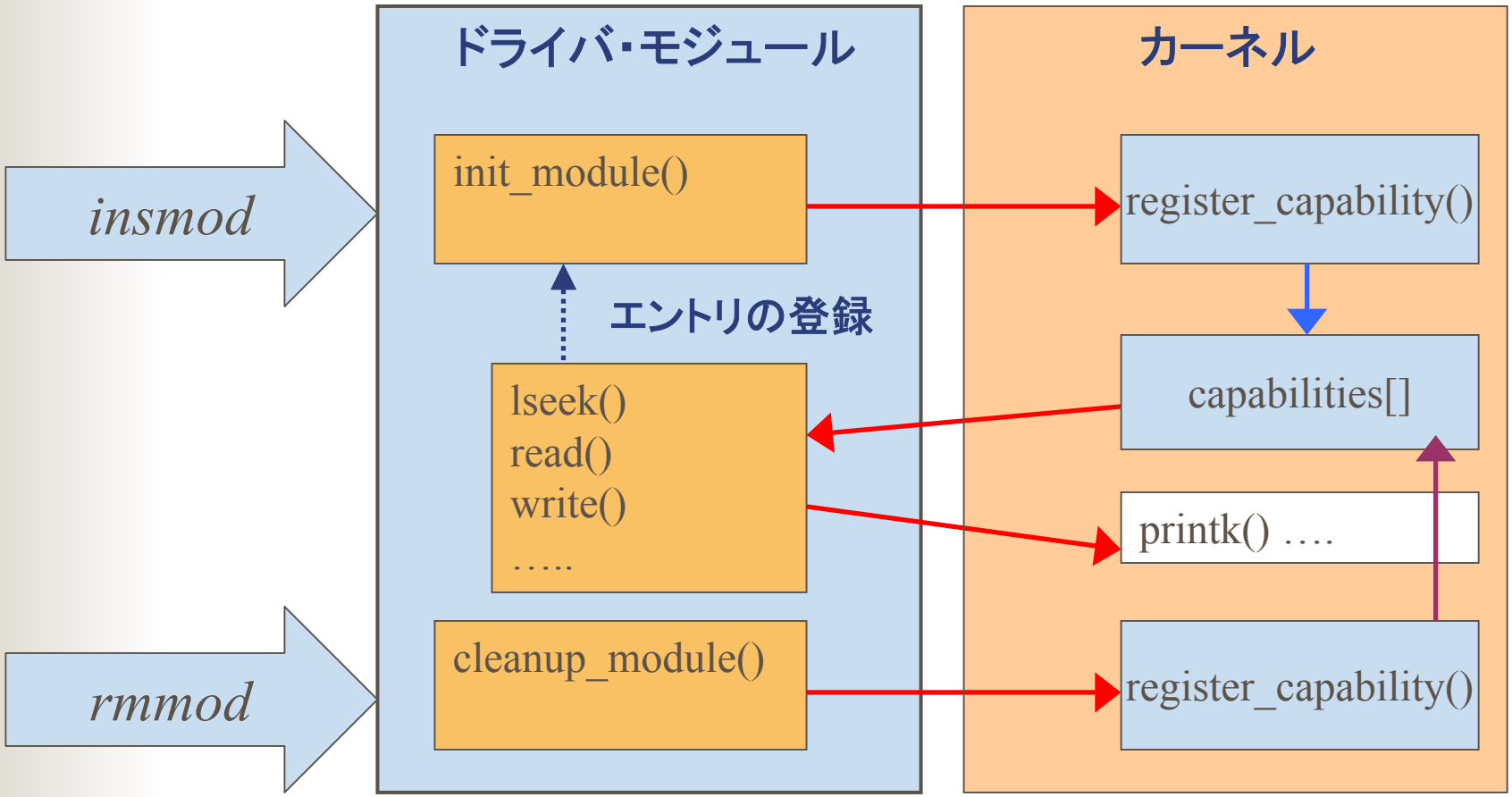
ローダブルモジュールのドライバ



ローダブル・モジュールの操作

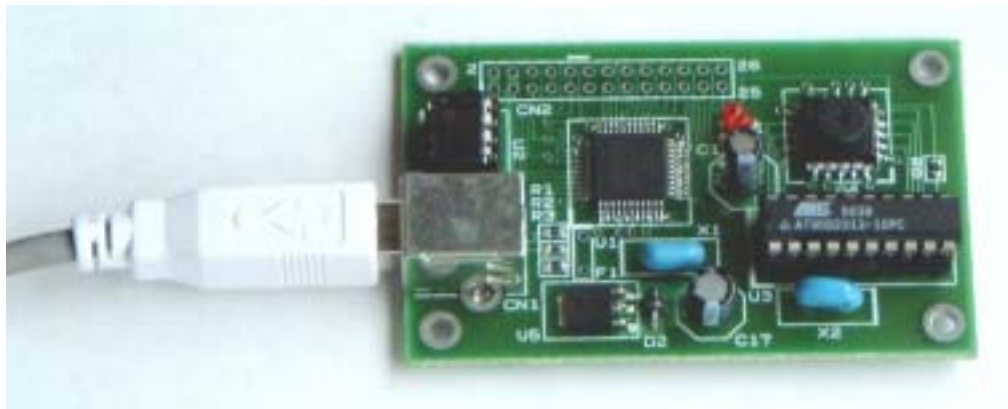
- 自動的なロード
  - /lib/modules/2.4.??-*/kernel/ 以下
  - /etc/modules.conf の記述
- 手作業でのロード
  - insmod aaa.o
  - rmmod aaa
  - modprobe aaa
  - lsmod
  - depmod -a

ダイナミック・ローディング



Linuxデバイスドライバ開発

- 準備と心構え
- カーネルとデバイスドライバ
- デバイスドライバ開発
- デバッグツール
- 実機デモ



バージョン名

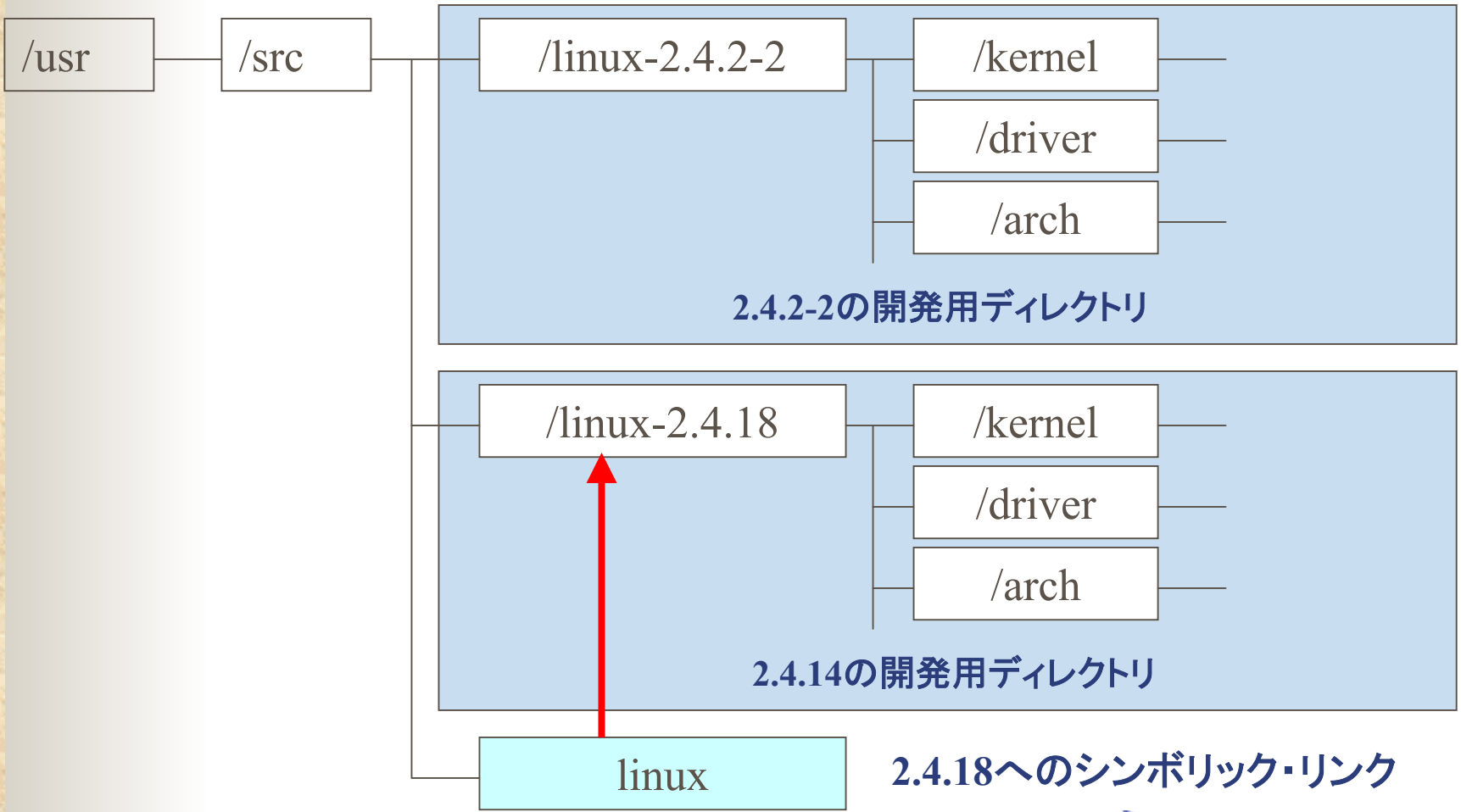
- Makefileの記述例

```
VERSION=2
PATCH-LEVEL=4
SUB_LEVEL=18
EXTRAVERSION=-kdb
```

- バージョン名管理

ディレクトリ名	ファイル名	Makefile/modules	LILOのラベル
linux-2.4.2-2	vmlinuz-2.4.2-2	2.4.2-2	linux
linux-2.4.18	vmlinuz-2.4.18	2.4.18	linux18
linux-2.4.18-kdb	vmlinuz-2.4.18-kdb	2.4.18-kdb	kdblinux

カーネル開発用ディレクトリ



カーネル・コンパイル

- 手順とコマンド
  - トップディレクトリの必要ファイル確認
  - make mrproper → パラメータや設定ファイルの初期化
  - make *config → コンフィグファイルの作成＆修正
  - make dep → 依存情報とシンボル情報の生成
  - make clean → 古いオブジェクトの削除
  - make bzImage → カーネルのコンパイル
  - make modules→ モジュールのコンパイル
  - make modules_install → モジュールのインストール
  - カーネルのコピーとブート設定

デバイスドライバのコンパイル

- モジュール化
  - make *configで‘m’を選択
- make modules 以降の作業
  - ソース修正後make modulesを実行する
- KERNELオプションとMODULEオプション

```
gcc -D_KERNEL_ -I/usr/src/linux-2.4.18/include -Wall -Wstrict-prototypes ¥
 -Wno-trigraphs -O2 -fomit-frame-pointer -fno-strict-aliasing -fno-common ¥
 -pipe -mpreferred-stack-boundary=2 -march=i686 -DMODULE -DMODVERSIONS ¥
 -include /usr/src/linux/include/linux/modversions.h  ¥
 -DKBUILD_BASENAME=serial  -DEXPORT_SYMTAB -c serial.c
```

デバイスドライバのロードとテスト

- デバイスノードの作成
  - mknod
- コマンド
  - insmod → モジュールのロード
  - rmmod → モジュールのアンロード
  - lsmod → モジュール・ディレクトリの表示
  - depmod → モジュール依存関係を作成
  - modprobe → モジュールの依存関係を配慮したロード

デバッグ環境

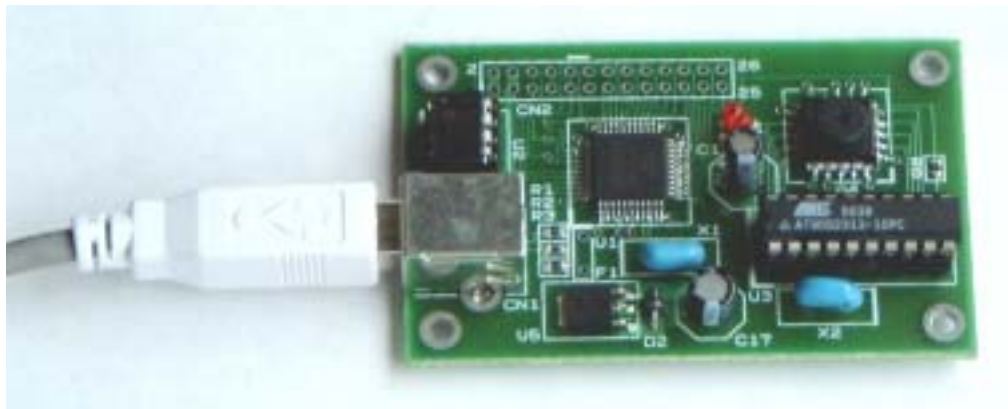
- ターゲットの準備
  - 実機デバイス、類似デバイス
  - シミュレータ、エミュレータ
- アプリケーション
  - エンドユーザ向けアプリケーション
  - デバッグ用アプリケーション
  - テスト用アプリケーション

補足情報

- カーネルとサービス・コール（ドライバ・インタフェイス）は頻繁に変わる
  - 動作環境の各バージョン確認が必須（上位互換性が無い）
  - 正確な情報の収集と解析が必要
- ドライバの書き方はUnixと互換性は無い
  - 特にネットワーク、Socketインタフェイス

Linuxデバイスドライバ開発

- 準備と心構え
- カーネルとデバイスドライバ
- デバイスドライバ開発
- デバッグツール
- 実機デモ



デバッグツール

- gdb – 汎用デバッガ、リモートデバッグ
- printk() – メッセージ
- SysRq – マジック・キー
- /proc ファイルシステム
- kdb –静的デバッグ
- kdbg – リモートデバッグ
- IKD – 静的オンタイムデータ収集

printk()

- 標準でも利用されるメッセージ出力
  - float, doubleなどの浮動小数点は表示できない
- 使い方
  - printk(KERN_ERR “Help = %d¥n”, help);
  - メッセージ・レベル

```
#define KERN_EMERG      "<0>"   /* system is unusable                   */
#define KERN_ALERT      "<1>"   /* action must be taken immediately     */
#define KERN_CRIT       "<2>"   /* critical conditions                  */
#define KERN_ERR        "<3>"   /* error conditions                     */
#define KERN_WARNING    "<4>"   /* warning conditions                   */
#define KERN_NOTICE     "<5>"   /* normal but significant condition     */
#define KERN_INFO       "<6>"   /* informational                        */
#define KERN_DEBUG      "<7>"   /* debug-level messages                 */
```

SysRq

- ‘神秘の’ ‘魔法の’ SysRqキー
- 緊急時やシステム制御のコマンド実行
- カーネルに標準で組み込み済
  - Kernel 2.1.x 以降で利用可能
    - ただしEnableしておけば…
- kdb等でキーがハングしたときに有効

SysRqのキーアサイン例

<Alt>
+
<SysRq>
+

r	keyboardをリセットしてrawモードに設定
k	仮想端末上で動いている全てのプログラムをkill
b	syncもunmountもしないでreboot
o	システムをshutdown
s	mountしているファイルシステムをsync
u	mountしているファイルシステムをumount
p	現在のレジスタとフラグを表示
m	現在のメモリ情報を表示します
0-9	ログレベルを設定

/proc ファイルシステム

- /proc/下の特別なテキスト・ファイル
  - /proc/devices（デバイス割り当てメジャー番号の表示）
  - /proc/ioports（物理IOポートの割り当て表示）
  - /proc/interrupts（物理IRQの割り当て表示）
- ドライバとユーザのインタフェイス
- サンプル・ソース（デモ）

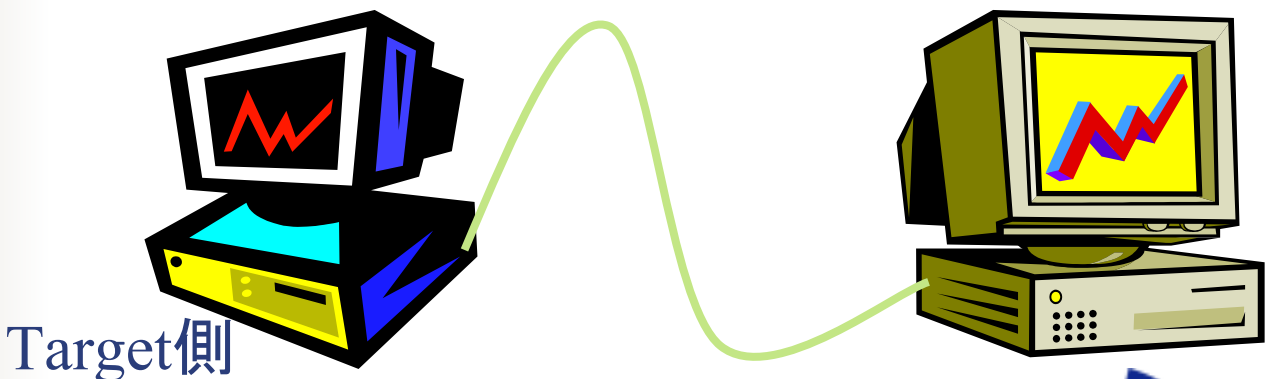
kdb (Built-In kernel debugger)

- http://oss.sgi.com/projects/kdb/
- パッチ組込みカーネルデバッガ
- アセンブラレベルのデバッグ
- マニュアルやドキュメントが整備されていて紹介サイトが多い

- 実機デバッグのデモ

kgdb (linux kernel source level debugger)

- http://kgdb.sourceforge.net/
- gdbベースで2台のPCをシリアルケーブルで接続
- Cソースコードレベル・デバッガ
  - カーネル全体をframe pointer optionで再コンパイルする必要がある



IKD (Integrated Kernel Debugging Facilities)

- http://www.kernel.org/pub/linux/kernel/people/andrea/ikd/

- パッチ組込みカーネルデバッガ
  - 2.2.12-ikd5 以降のIKD にはkdbが入っている
  - データテーブルにgdbでアクセス可能
  - TraceやMemleak機能等もある

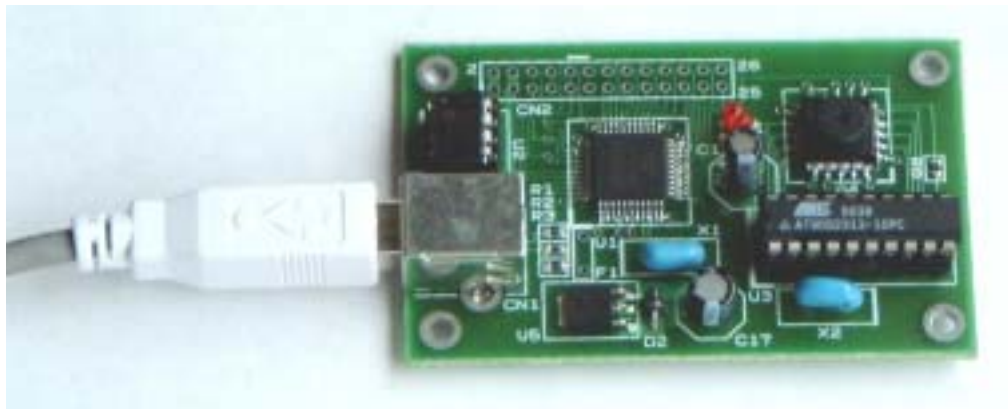
- カーネル本体のデバッグ用

その他のデバッグ・ツール

- lhcd (Linux Kernel Crash Dumps)
  - http://lkcd.sourceforge.net/
- lockmeter (Kernel spinlock metering for Linux)
  - http://oss.sgi.com/projects/lockmeter/
- KMSGDUMP (Linux Kernel Messages Dump Tool)
  - http://www-miaif.lip6.fr/willy/pub/linux-patches/

Linuxデバイスドライバ開発

- 準備と心構え
- カーネルとデバイスドライバ
- デバイスドライバ開発
- デバッグツール
- 実機デモ



実機でのデバッグ例

- デモ用ターゲット
  - USBキャプチャ・カメラ EE-260 / EE-261O
    - http://e-kit.jp/ で販売
  - OmniVision OV511 + OmniVision OV7620
  - http://www.ovt.com/pdfs/ds_511P.pdf
  - http://alpha.dyndns.org/ov511/
- アプリケーション
  - W3CAM
    - http://mpx.freeshell.org/
  - デバッグ用アプリケーション

デバッグ用アプリケーション例(1)

- Webカメラcgi
  - vidcat
  - w3cam.cgi
    - netscape等のブラウザで確認
- テスト用shell

```
#!/bin/sh -f
while [ 1 ]; do (./vidcat > /dev/null ; echo capt); done
```

デバッグ用アプリケーション例(2)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <fcntl.h>
#include <linux/types.h>
static char *device = "/dev/video";
main()
{
  char b[256];
  int i, fd = 0;
  while(1) {
    b[0] = 0;
    printf("Open, Close, Quit ?> ");
    scanf("%s", &b[0]);
    switch(b[0]) {
    case 'o': case 'O':
      if ((i = open(device, O_RDWR)) < 0) {
          printf("open error = %d¥n", i);
          break;
      }
      fd = i;
      printf("Opened = %d¥n", fd);
      break;
    case 'c': case 'C':
      if (fd == 3) {
          printf("not opened = %d¥n", fd);
          break;
      }
      else if ((i = close(fd)) < 0) {
          printf("close error = %d¥n", i);
          break;
      }
      printf("Closed = %d¥n", fd);
      fd =0;
      break;
    case 'q': case 'Q':
      printf("will quit...¥n");
      exit(0);
      break;
    default:
      printf("Invalid command = %s¥n", b);
      break;
    }
  }
}
```

補足:kdbの代表的なコマンド

Command	Usage	Description
md	<vaddr>	Display Memory Contents
mdr	<vaddr> <bytes>	Display Raw Memory
mds	<vaddr>	Display Memory Symbolically
mm	<vaddr> <contents>	Modify Memory Contents
id	<vaddr>	Display Instructions
go	[<vaddr>]	Continue Execution
rd		Display Registers
rm	<reg> <contents>	Modify Registers
ef	<vaddr>	Display exception frame
bt	[<vaddr>]	Stack traceback
btp	<pid>	Display stack for process <pid>
bta		Display stack all processes
ps		Display active task list
sections		List kernel and module sections
lsmod		List loaded kernel modules
rmmod	<modname>	Remove a kernel module
bp	[<vaddr>]	Set/Display breakpoints
bl	[<vaddr>]	Display breakpoints
bpa	[<vaddr>]	Set/Display global breakpoints
bc	<bpnum>	Clear Breakpoint
ss	[<#steps>]	Single Step
ssb		Single step to branch/call