Nios II SBT によるソフトウェア開発
セクション 2

ver.14

2015 年 5 月 Rev.1

Nios II SBT によるソフトウェア開発セクション 2

目次

Nios II SBT によるソフトウェア開発セクション 2

1. はじめに

この資料は、Nios® II Software Build Tool（Nios II SBT）によるソフトウェア開発について紹介しています。セクション 2 で取り上げている内容は、以下のとおりです。

- ❑ Nios II ソフトウェア・プロジェクトが必要とするファイル
- ❑ ブート・シーケンス
- ❑ Nios II コード・サイズ
- ❑ 例外処理

2. Nios II ソフトウェア・プロジェクトが必要とする重要なファイル

以下のファイルは Nios II ソフトウェア・プロジェクトを構成する際に重要なファイルです。これらのファイルは、基本的に Nios II SBT にてプロジェクトのビルド時に自動生成されます。

※ ファイルの場所: BSP プロジェクト

◆ システム・ヘッダ （“system.h”）

Qsys で生成したシステム内の全ペリフェラルのメモリマップが定義されたファイルです。

◆ リンカ・スクリプト （“linker.x”）

プログラム・セグメントをメモリのどこに配置するかを指定したファイルです。ユーザは BSP Editor にてプログラム・セグメントの設定を行うことができます。

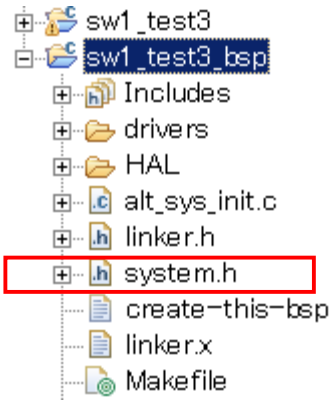
◆ 初期化ファイル （“alt_sys_init.c”）

システムが使用するデバイス・ドライバを初期化するためのソース・ファイルです。

2-1. HAL システム・ヘッダファイル

HAL システム・ライブラリを使用するにあたっての各ペリフェラルの基本情報が定義された “system.h” ファイルについて説明します。

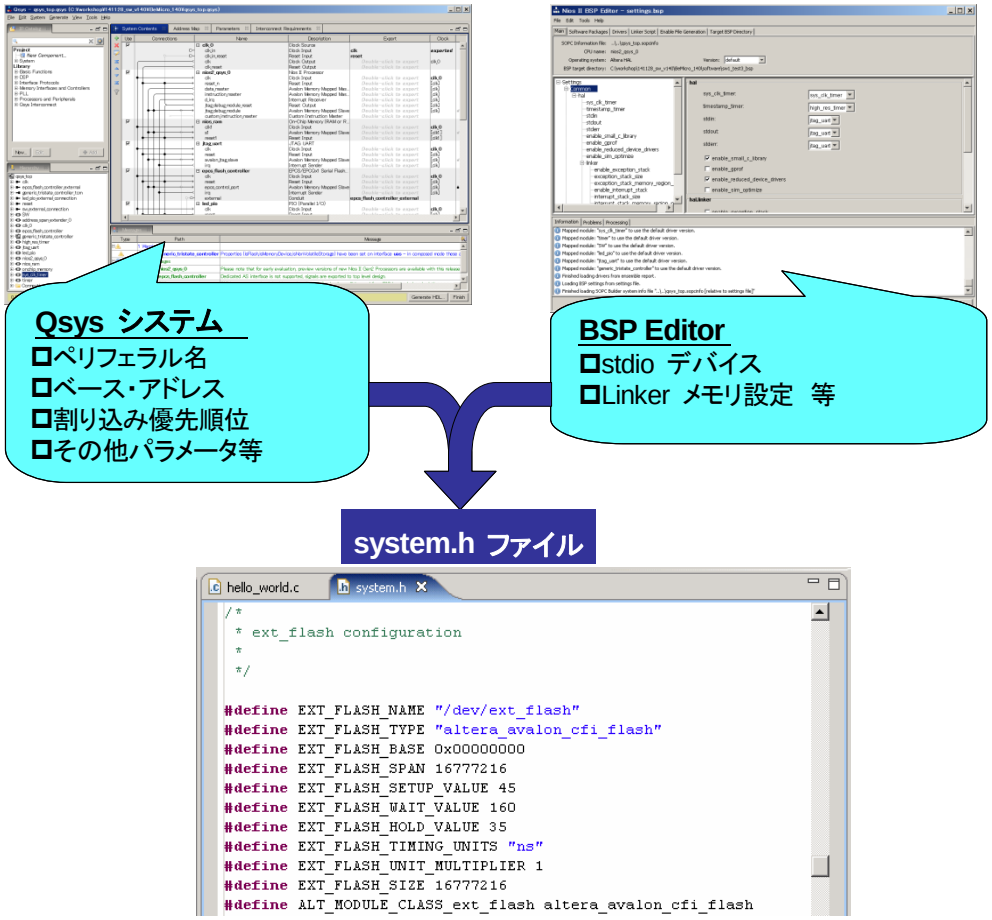
system.h ファイルには Qsys で生成した Nios II や各ペリフェラルのハードウェア情報のすべてが記述されたファイルです。system.h ファイルは HAL システム・ライブラリ用に Nios II SBT によって BSP プロジェクトの生成時に自動生成されます。



system.h にはシステム内の各ペリフェラルの設定、システム・パラメータのマクロ定義が含まれます。

- ペリフェラル・ハードウェア設定
- ベース・アドレス
- 割り込み番号
- ペリフェラルの名前

関数のプロトタイプ宣言、static 宣言、構造体定義は含みません。system.h ファイルをアプリケーション・コードで #include し、ファイルの中で定義されているベース・アドレスや割り込み番号をペリフェラル名で表したマクロを使用してアクセスするコードを書くことができます。Qsys でのアドレス・マップの変更を行った際などには system.h にも変更が反映されるため、アプリケーションの変更を行うことなく、容易に対応することができます。



“system.h”, “linker.x”, “alt_sys_init.c” それぞれのファイルは Qsys で Generate 時に生成される .sopcinfo ファイルのシステムのハードウェア情報と Nios II SBT でのソフトウェア・プロジェクトの BSP Editor で設定された情報が定義されたファイルです。Qsys の System Contents タブで各コンポーネントのスタート・アドレスやモジュール名等、ハードウェアに変更がある場合には下記の方法でソフトウェア・プロジェクトに反映させます。

◆ Qsys にて Generate ボタンにより .sopcinfo ファイルの再生成

◆ Nios II SBT で、BSP プロジェクトを右クリック ⇒ Nios II ⇒ Generate BSP により、新しい .sopcinfo ファイルに基づいた BSP プロジェクトを再生成

- Nios II SBT が “system.h”, “linker.x”, “alt_sys_init.c” を再生成

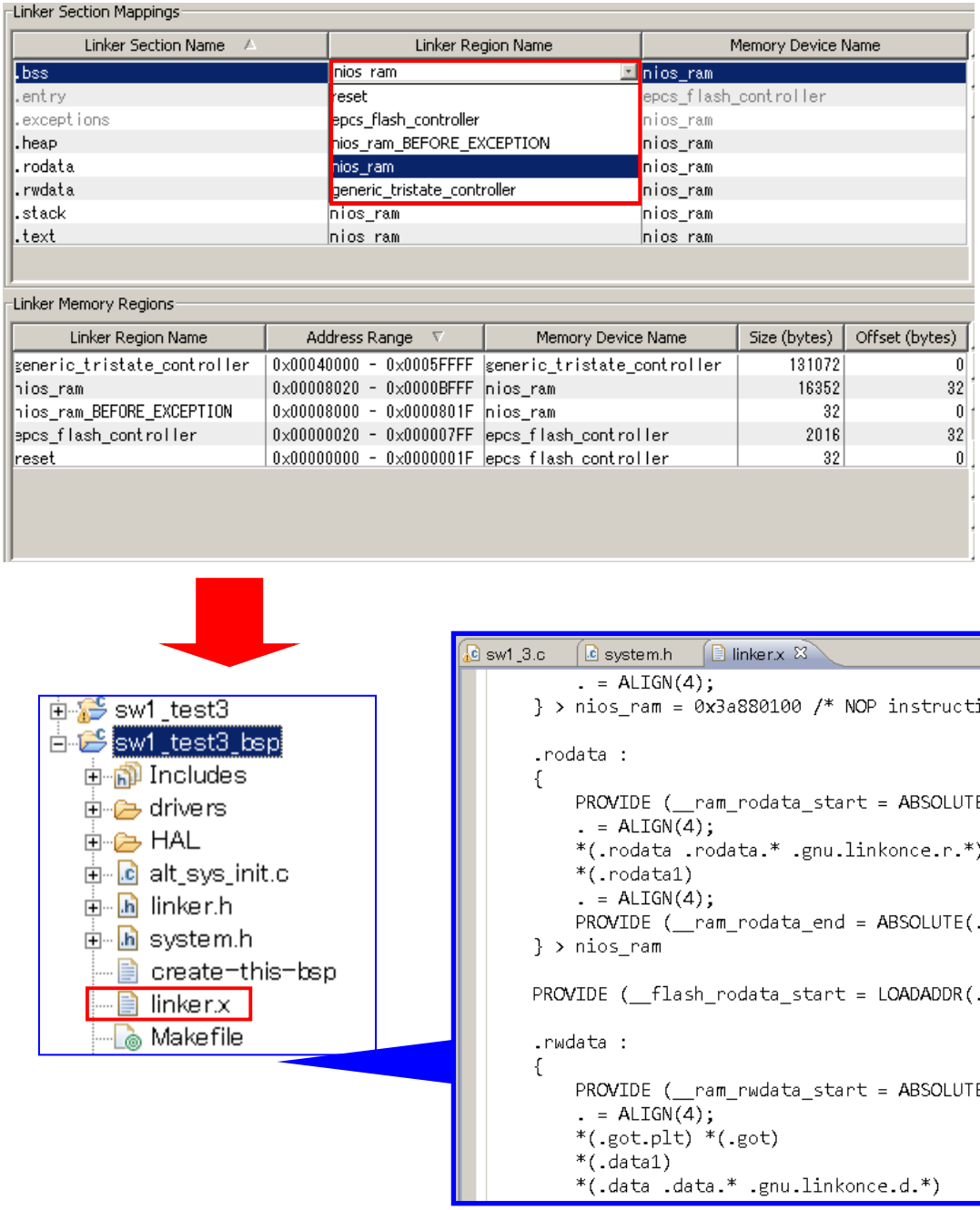
2-2. リンカ・スクリプト

2-2-1. リンカ・スクリプト

Nios II のリンカ・スクリプト “linker.x” は Nios II SBT にてソフトウェア・プロジェクトを作成した際に自動生成されます。BSP プロジェクトのフォルダ内に生成されます。

このリンカ・スクリプトは、Qsys の Nios II パラメータ（Core Nios II タブ）で設定した Reset Vector / Exception Vector をベースに自動生成され、利用可能なメモリ・セクション内でコードおよびデータのマッピングを制御します。

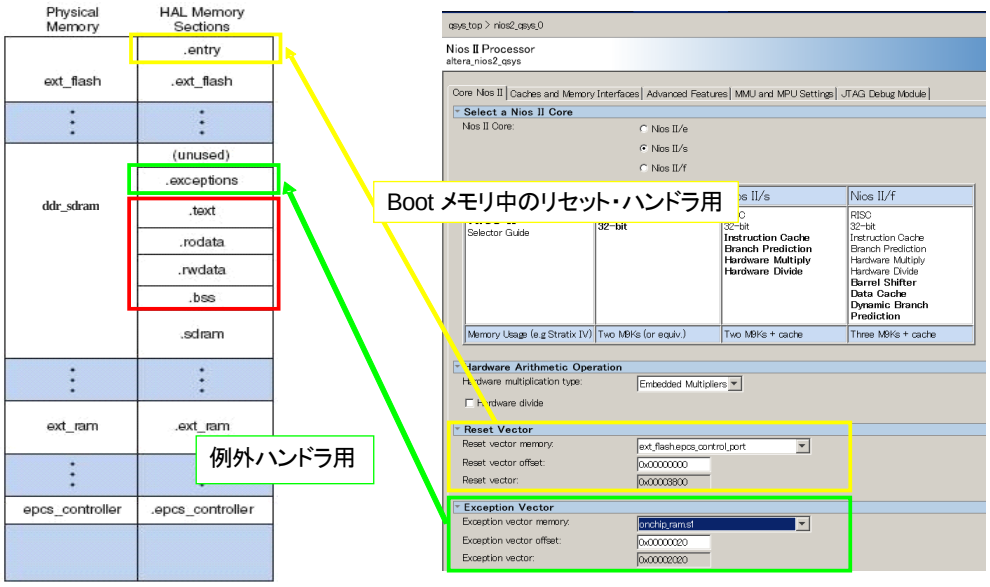
まず、Qsys の Nios II の設定により、物理メモリを分けたリージョンが Linker Memory Regions に作成されます。このリージョンで、各セクション(.text、.rodata、.rwdata、.bss) を Linker Section Mappings で定義します。コードとデータを、このリージョンを使用して物理メモリ・デバイスに配置します。下図は、BSP editor の Linker Script タブの設定例と、その設定内容が反映された linker.x ファイルの一部を表示したものです。



リージョンを作成する際、リセット・ハンドラの予約領域、例外ハンドラ用の予約領域がリージョンとして作成されます。リセット・ハンドラと例外ハンドラは Nios II の設定の Reset Vector、Exception Vector にて設定されます。

リセット・ベクタは通常フラッシュ・メモリ等の不揮発性のメモリに配置します。

例） リンク・マップ



2-2-2. linker.x ファイル

自動生成されるリンカ・スクリプトの一部を抜粋したものです。.text、.rodata、.rwdata、.bss が下記のように定義されており、それぞれのセクションが Qsys で定義されている各メモリ・デバイスに割り当てられています。“SECTIONS”がメモリ・セクションを示しています。

```
SECTIONS
{
    ・・・<省略>

  .text :
  {
      ・・・<省略>
  } >  ddr_sdram_0 =0x3a880100

  .rodata :
  {
      ・・・<省略>
  } > ddr_sdram_0

  PROVIDE (__flash_rodata_start = LOADADDR(.rodata));

  .rwdata  :
  {
      ・・・<省略>
  } > ddr_sdram_0

  .bss :
  {
      ・・・<省略>
  } > ddr_sdram_0
```

プログラム・メモリ

リード・オンリー・データメモリ

リード・ライト・データメモリ

.bss 領域

2-2-3. 変数のメモリ配置

新たなメモリ・セクションの生成や各セクションの配置はリンカ・スクリプトで指定することができます。ユーザのソース・コード内で __attribute__section 記述により、特定の変数や関数を任意のメモリ領域に配置することができます。こちらは GCC コンパイラの機能になります。デフォルトの設定では、変数は .rwdata セクション、関数は .text セクションに配置されます。

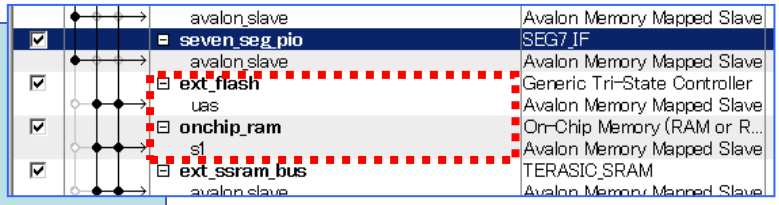
以下のコードは、.on_chip_memory という名前のメモリに変数 foo_ver を .ext_ram という名前のメモリに関数 bar_func を配置する方法を示します。

例） 変数および関数を物理メモリ・セクション配置する

```
/* Data using the "section" attribute should be initialized */
int  foo_var __attribute__ ((section (".on_chip_memory"))) = 0;
void bar_func(void* ptr) __attribute__((section (".ext_ram")));
```

ユーザのソース・コード内で下記のようにポインタによって、変数アドレスを直接指定することもできます。それぞれの物理アドレスは system.h 内でマクロ定義されていますので、使用することができます。

```
#include "system.h"

  ・・<省略>

  int *length_mem_ptr;
  char *type_mem_ptr;

  length_mem_ptr = (int)EXT_FLASH_BASE;
  type_mem_ptr = (char)ONCHIP_RAM_BASE;

  ...
```

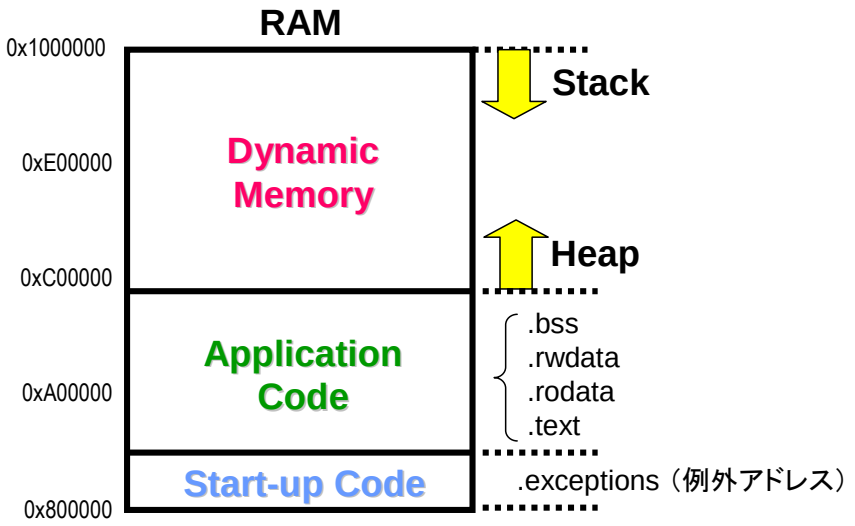


system.h ファイル

```
/*
 * ext_flash configuration
 *
 */

#define EXT_FLASH_NAME "/dev/ext_flash"
#define EXT_FLASH_TYPE "altera_avalon_cfi_flash"
#define EXT_FLASH_BASE 0x00000000
#define EXT_FLASH_SPAN 16777216
#define EXT_FLASH_SETUP_VALUE 45
```

2-2-4. スタックとヒープの配置

スタックとヒープは、デフォルトの設定ですと .rwdata セクションと同じメモリ・パーティションに配置されます。スタックのベース・アドレスは、メモリの最終アドレスに設定され、下位方向（アドレスの若い方向）に進みます。ヒープ領域はメモリの未使用領域の先頭から上位に向かって伸びていきます。



スタックとヒープのベース・アドレスは、リンカのコマンド・ライン・スイッチで下記コマンドを使用してオーバーライドが可能です。コマンド・ライン・スイッチは、アプリケーション・プロジェクトのプロパティにて、 Nios II Application Properties -> Linker flags より指定できます。

◆ スタックのオーバーライド・コマンド

__alt_stack_pointer

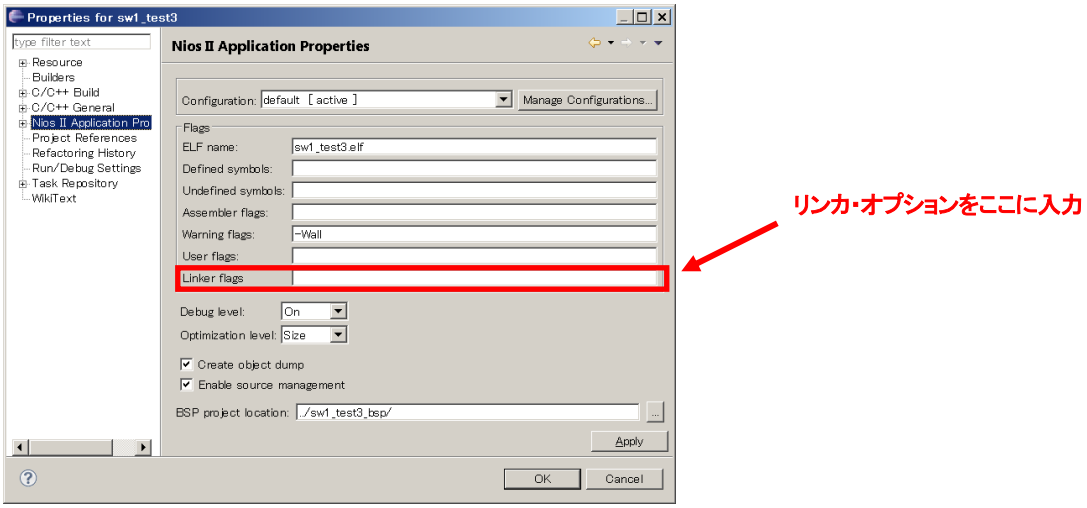
例） -Wl,-defsym –Wl,__alt_stack_pointer=alt_irq_entry+0xfffe0

◆ ヒープのオーバーライド・コマンド

__alt_heap_start

これらのコマンドを使用してオーバーライドした情報は .objdump ファイルで確認できます。

（.objdump ファイルについては 4-1. 章 コード・サイズの確認 を参照）



アプリケーション・プロジェクトのプロパティに、リンカ・オプションを入力します。

スタックとヒープの配置をオーバーライドする場合には、プログラムの動作中にヒープ領域とスタック領域が使用可能なメモリ容量を超えないよう注意しなければなりません。Nios II SBT のデバッガには上記の自動チェック機能がオプションとして用意されています（セクション 3 高度なデバッグ機能 参照）。

2-3. 初期化ファイル

alt_sys_init.c（自動生成）

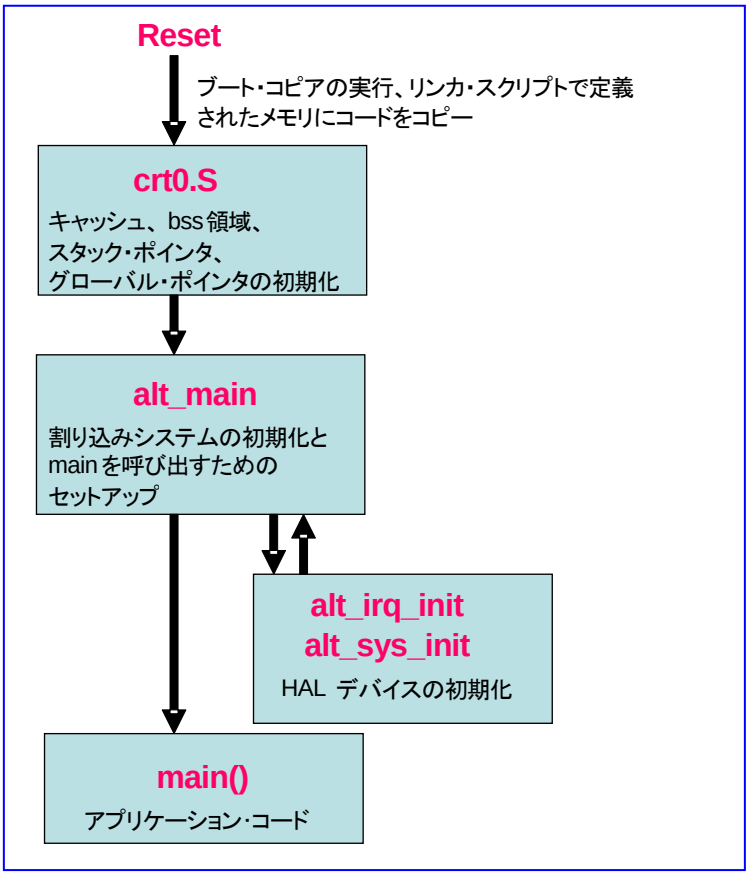
alt_sys_init.c ファイルはシステム内のサポート対象デバイスのデバイス・ドライバを初期化するためのコードが含まれています。 BSP プロジェクトに生成されます。このファイルの中では alt_irq_init () 関数と alt_sys_init () 関数が定義されています。この関数は main () の前に呼び出されデバイスを初期化し、プログラムからデバイスを使用できる状態にします。interrupt controller devices は、alt_irq_init() 関数にて初期化されます。non-interrupt controller devices は、alt_sys_init() 関数にて初期化されます。

例） alt_sys_init.c 抜粋

```
#include "system.h"
#include "sys/alt_irq.h"
#include "sys/alt_sys_init.h"
#include <stddef.h>

/*
 * Device headers      デバイス・ドライバ ヘッダ・ファイル
 */

#include "altera_vic_irq.h"
#include "altera_avalon_cfi_flash.h"
#include "altera_avalon_jtag_uart.h"
#include "altera_avalon_timer.h"

/*
 * Allocate the device storage   デバイス・ドライバが定義する
 */                              変数の宣言

ALTERA_VIC_IRQ_INSTANCE ( VIC_0, vic_0);
ALTERA_AVALON_CFI_FLASH_INSTANCE ( EXT_FLASH, ext_flash);
ALTERA_AVALON_JTAG_UART_INSTANCE ( JTAG_UART_0, jtag_uart_0);
ALTERA_AVALON_TIMER_INSTANCE ( TIMER_0, timer_0);

/*
 * Initialize the interrupt controller devices
 */
                                                 デバイスの初期化
void alt_irq_init ( const void* base )
{
    ALTERA_VIC_IRQ_INIT ( VIC_0, vic_0);
    alt_irq_cpu_enable_interrupts();
}

/*
 * Initialize the non-interrupt controller devices.
 */
                                                 デバイスの初期化
void alt_sys_init( void )
{
    ALTERA_AVALON_TIMER_INIT ( TIMER_0, timer_0);
    ALTERA_AVALON_CFI_FLASH_INIT ( EXT_FLASH, ext_flash);
    ALTERA_AVALON_JTAG_UART_INIT ( JTAG_UART_0, jtag_uart_0);
}
```

3. ブート・シーケンス

HAL は、以下のブート・シーケンスを実行するシステム初期化コードを提供します。



ユーザのアプリケーションで alt_main エントリ・ポイントが必要な場合には、必要に応じて alt_main.c や alt_sys_init.c のブート・コードのカスタマイズができます。ブート・コードを変更することによって、以下のような制御を行うことができます。

- alt_main.c　ブート・シーケンスの制御とシステム・リソースの選択
- alt_sys_init.c　不要なデバイスの初期化コードを削除しコード・サイズを小さくする
- 自動生成されるファイルの代わりに、ローカル・ファイルを使用する

例として、以下のような方法でブート・コードのカスタマイズを行います。

- <nios2eds>¥components¥altera_hal¥HAL¥src にある alt_main.c ファイルを BSP プロジェクトにコピーしてカスタマイズを行う
- BSP プロジェクト中の alt_sys_init.c をアプリケーション・フォルダにコピーしてカスタマイズを行う

上記のような方法は free-standing development になります。

3-1. Hosted vs Free-Standing アプリケーション

Hosted と Free-Standing の実行環境には、以下のような違いがあります。

'Hosted' アプリケーション

- 開発するコードは main () から開始
- すべてのシステム・サービスとデバイスの初期化が行われ使用可能な状態
- どのようなシステム変更でもツールが自動的に対応

'Free-Standing' アプリケーション

- カスタマイズされたブート・シーケンスを使用
- ブート・シーケンスの綿密な制御が可能
- 開発するコードは alt_main () から開始 (Altera 標準)
- 使用するデバイス、サービスの初期化はユーザが行う
  - ✦ alt_main () で使用するキャラクタ・モード・デバイス・ドライバを初期化し、stdio をそのデバイスにリダイレクトしなければ動作しない

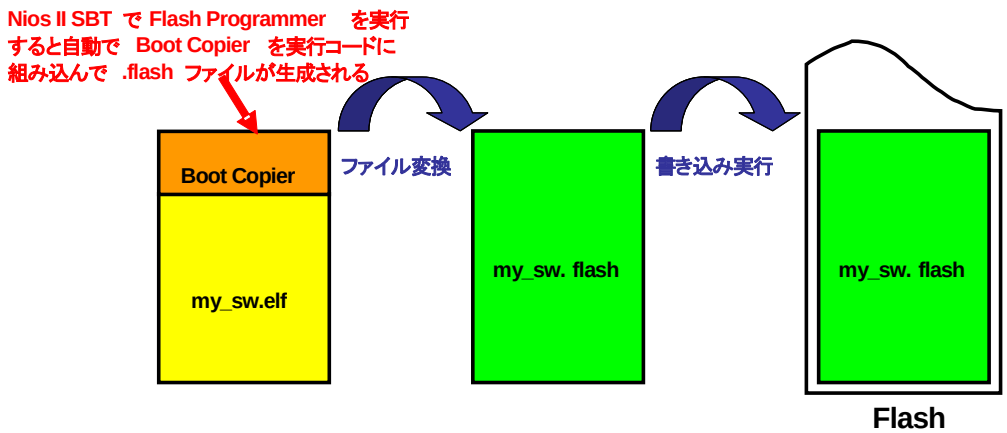
3-2. ブート・コピア

リセット・ベクタを持つメモリ・デバイスが Nios II プロセッサのブート・デバイスになり、プログラムが保存されます。外部フラッシュ・メモリ、または EPCS/EPCQ シリアル・コンフィギュレーション・デバイス、オンチップ RAM をブート・デバイスに指定できます。

BSP Editor の設定にてプログラムの実行領域(.text セクション)がブート・デバイスではなく、外部の RAM 等に配置されている場合、Nios II Flash Programmer はすべてのコードおよびデータ・セクションをロードするブート・ローダを自動的にリセット・ベクタに配置します。ただし、.text 領域がブート・デバイス内に指定されている場合には、個別のローダは存在しません。

また、フラッシュ・メモリを .text 領域、.rodata 領域に指定することは可能ですが、フラッシュ・メモリからの実行はアクセス・スピードが遅いために、動作は低速となってしまいます。

例) リセット・ベクタをフラッシュ・メモリ、 .text を RAM に配置した場合



※ ブート・コピアのソース・コードは、Nios II SBT のインストール・ディレクトリに含まれます。

例) <nios2eds>¥components¥altera_nios2¥boot_loader_sources

3-3. ブート・コピアの修正

ブート時に下記のような拡張機能が必要な場合には、ブート・コピアをユーザが修正することもできます。

- 複数のブート・イメージを切り替えて使用する
- ブート中のメッセージの表示
- ブートデータのエラーチェック
- Word-align されていないイメージデータを展開する

カスタマイズを行う場合には、下記のアプリケーションノートをご参照ください。

- AN458: Alternative Nios II Boot Methods（サンプル・ソース付き）

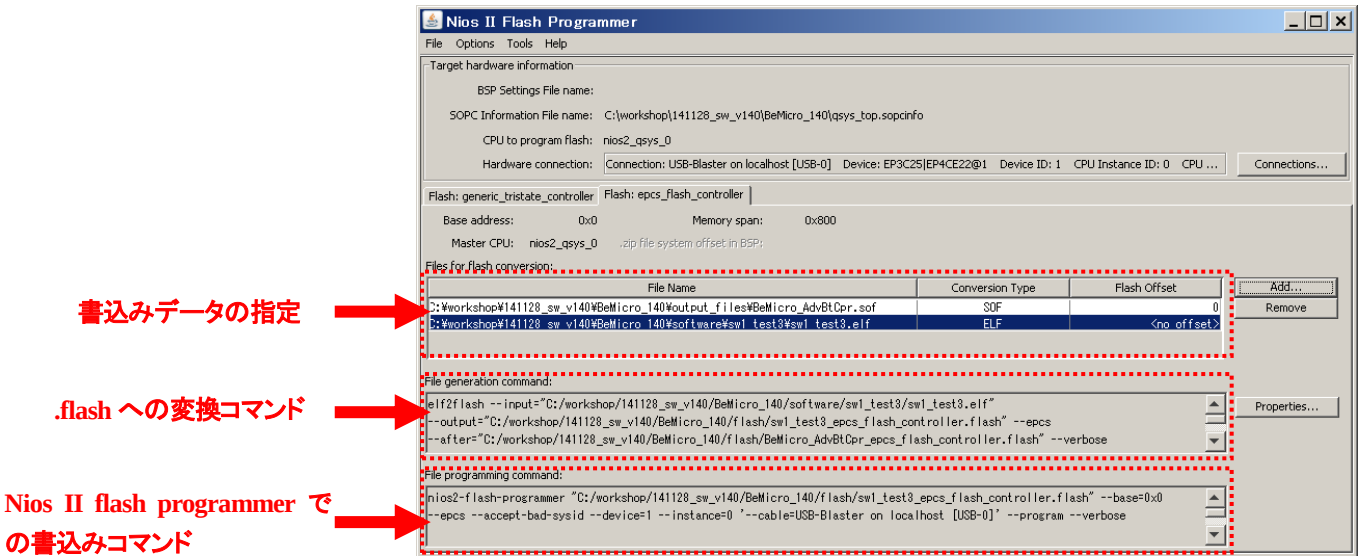
  https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/an/an458.pdf

  https://www.altera.com/content/dam/altera-www/global/en_US/others/literature/an/an458_design_example_files.zip

3-4. フラッシュ・メモリのプログラミング

CFI フラッシュと EPCS/EPCQ シリアル・コンフィギュレーション・デバイスは、Nios II SBT もしくはコマンド・シェルから Nios II Flash Programmer を使用してプログラミング可能です。 Nios II Flash Programmer は、以下のコードやデータを .flash 形式に変換して、簡単にフラッシュ・メモリに書き込むことができます。

- FPGA ハードウェア・イメージ（.sof）
- ソフトウェア・プログラム・データ（.elf）
- その他、任意のファイル（.bin）
- ブート・コピアの自動組み込み



詳細は、下記資料をご参照ください。

- Nios II SBT Flash Programmer ユーザ・ガイド

4. Nios II コード・サイズ

コード・サイズを最小サイズに縮小する必要がある場合に使用できる、各オプションについて説明します。

4-1. コード・サイズの確認

4-1-1. コード・サイズを知る方法(.objdump ファイルの生成)

以下の方法で、Nios II コマンド・シェル、もしくは Nios II SBT にてプログラムのコード・サイズを確認することができます。

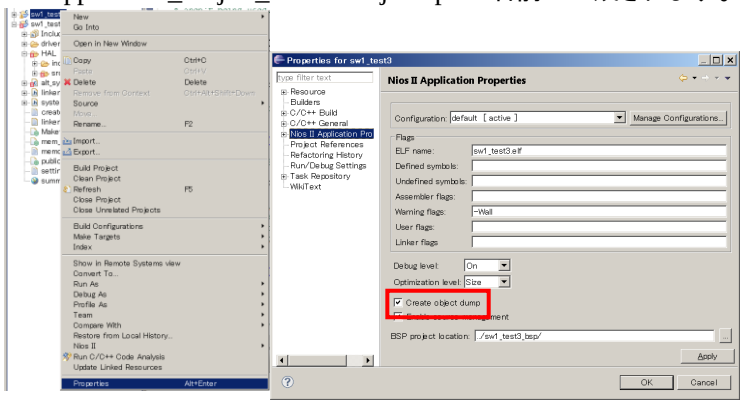
- コマンド・シェルにて、ビルド終了後に以下のコマンドを実行

  nios2-elf-size <*myproject.elf*>

  nios2-elf-readelf <*myproject.elf*>

- ビルド時に .objdump ファイルを生成

  SBT の アプリケーション・プロジェクトを右クリック ⇒ Properties ⇒ Nios II Application Properties の設定で objdump ファイルの生成オプション(Create object file)を On にすると、アプリケーション・プロジェクトのフォルダに <Application_Project_Name>.objdump の名前で生成されます。



4-1-2. .objdump ファイルからコード・サイズを読む

以下は .objdump ファイルの抜粋です。各メモリ・セクションのサイズやアドレスがレポートされています。Size の項目がそのセクションのコード・サイズになります。この例では、.text 領域に配置されたプログラム・コードは 0x228B0 byte です。

例) .objdump ファイルの抜粋

```
Idx Name          Size      VMA       LMA       File off  Algn
  0 .entry        00000020  00000000  00000000  00000094  2**5
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, CODE
  1 .exceptions   000002f8  01000020  01000020  000000b4  2**5
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, CODE
  2 .text         000228b0  01000318  01000318  000003ac  2**2
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, CODE
  3 .rodata       00003370  01022bc8  01022bc8  00022c5c  2**2
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, DATA
  4 .rwdata       00001e30  01025f38  01025f38  00025fcc  2**2
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, DATA, SMALL_DATA
  5 .bss          0004033c  01027d68  01027d68  00027dfc  2**2
                  ALLOC, SMALL_DATA
  6 .ext_flash    00000000  00000020  00000020  00027dfc  2**0
                  CONTENTS
  7 .ext_ram      00000000  02000000  02000000  00027dfc  2**0
```

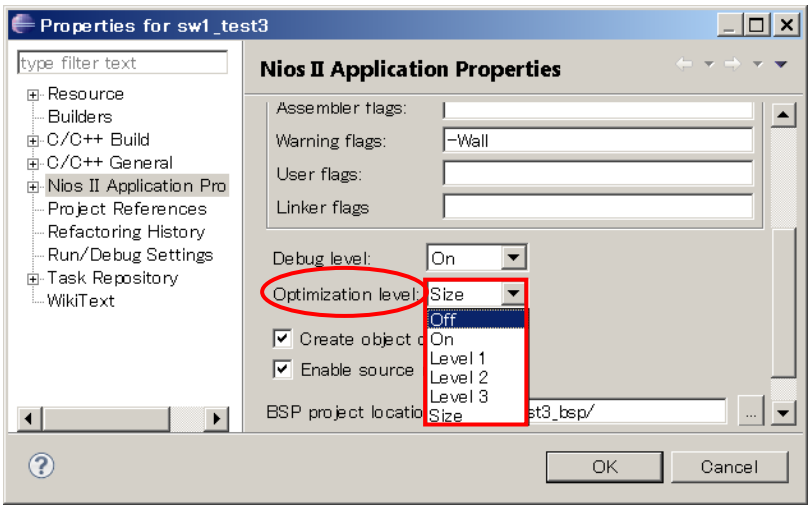
4-2. コード・サイズの縮小

4-2-1. コードのフット・プリントを小さくするオプション

下記の各オプションを使用して、コード・サイズを縮小することができます。

- コンパイラでの最適化

  Application / BSP 両方のプロジェクト Properties の Optimization Level を Level1 や Size に設定することによって、コンパイル時にコードはサイズと速度が最適化され、フット・プリントを縮小することができます。



- Reduce device drivers の選択

  いくつかのデバイスでは、フル機能の「高速」型と軽量の「スモール」型のドライバが用意されています。HAL システム・ライブラリは、常に高速型のドライバを使用します。Nios II SBT の BSP Editor の enable_reduced_device_drivers の設定をオンにすることによって「スモール」型のドライバを使用します。このスモール・フットプリント・ドライバに対応しているペリフェラルは、UART、JTAG UART、共通フラッシュ・インタフェース・コア、LCD モジュール・コントローラ・コアです。Nios II BSP Properties の Reduced device drivers からも同様の操作ができます。

- max_file_descriptors の値を減らす

  キャラクタ・モード・デバイスおよびファイルにアクセスするファイル・ディスクリプタは、使用可能なファイル・ディスクリプタのプールから割り当てられます。デフォルトは 32 です。10 のみ必要であれば、Nios II SBT の BSP Editor で max_file_descriptors の値を小さくすることによってメモリ・フットプリントを縮小することができます。

- Small ANSI C library の選択

  Small C library を選択することによって、縮小版の newlib ANSI C 標準ライブラリを使用する設定に変更できます。縮小版のライブラリには各関数に制限事項がありますので、使用する関数に影響があるかどうかを確認する必要があります。Nios II SBT の BSP Editor の enable_small_c_library 、または Nios II BSP Properties の Small C library で設定します。

- clean exit の非選択

  終了時に伴うオーバーヘッドを回避するために、ユーザ・プログラムでは exit () 関数の代わりに _exit () を使用することができます。enable_clean_exit の設定をオフにすることによって、_exit () も使用しない設定にすることができます。Nios II SBT の BSP Editor で設定します。

- enable exits の非選択

  HAL はシステム・シャットダウン時に exit () 関数を呼び出して、プログラムからの終了を実現します。exit () 関数は main () から戻るときに使用されますが、通常の組み込みシステムは終了することがないため、このコードは冗長となります。enable_exit のオプションをオフにすることによって exit () 関数を省いてコード・サイズを縮小します。Nios II SBT の BSP Editor で設定します。

- Support C++ の非選択

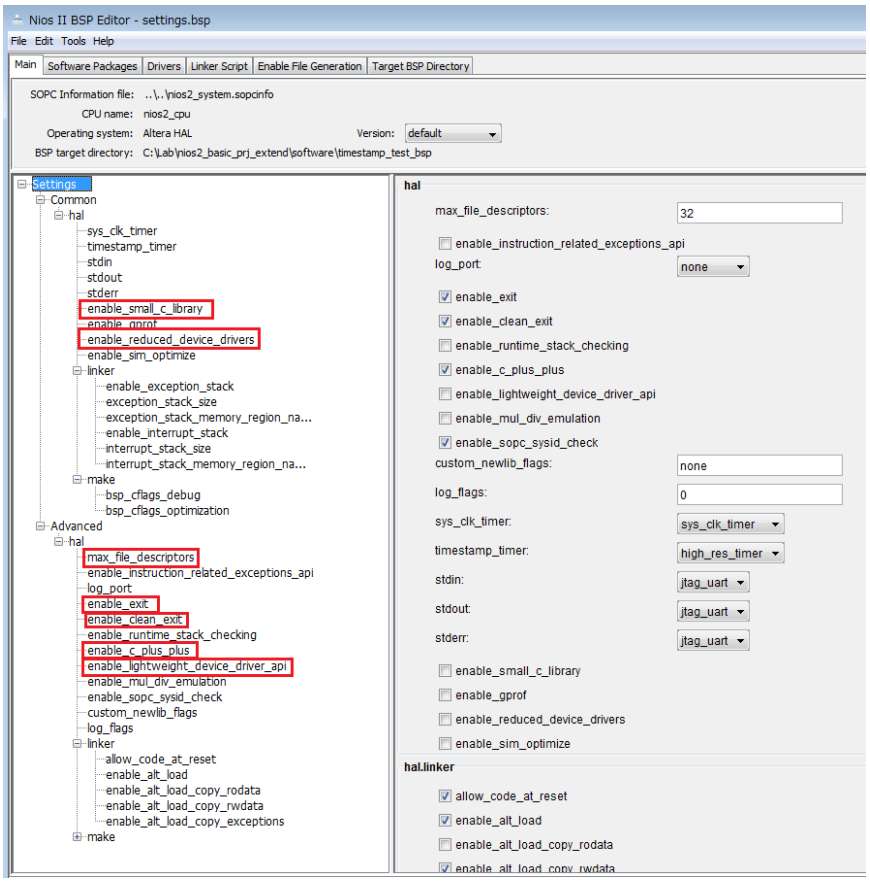
  デフォルトだと C++ プログラムをサポートしていますが、この設定をオフにすることができます。Nios II SBT の BSP Editor の enable_c_plus_plus 、または Nios II BSP Properties の Support C++ で設定します。

- lightweight device driver API の選択

  デフォルトの設定はオフです。 Nios II SBT の BSP Editor の enable_lightweight_device_driver_api の設定をオンにすることによって、いくつかの機能を省いてドライバのサイズを小さくします。この設定は、JTAG UART、UART、Optrex 16207 LCD のキャラクタ・デバイスに対して有効です。

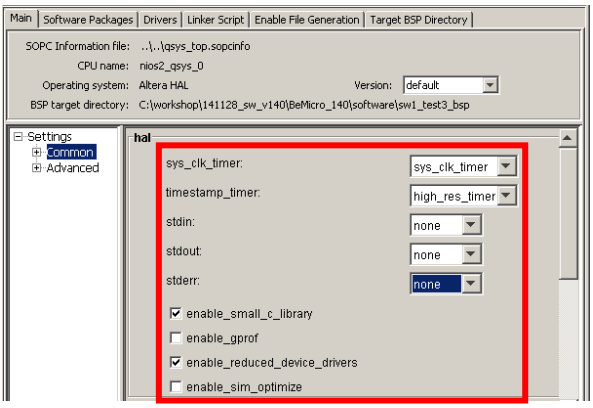
※ lightweight device driver API を使用する場合には、下記のような制限があります。

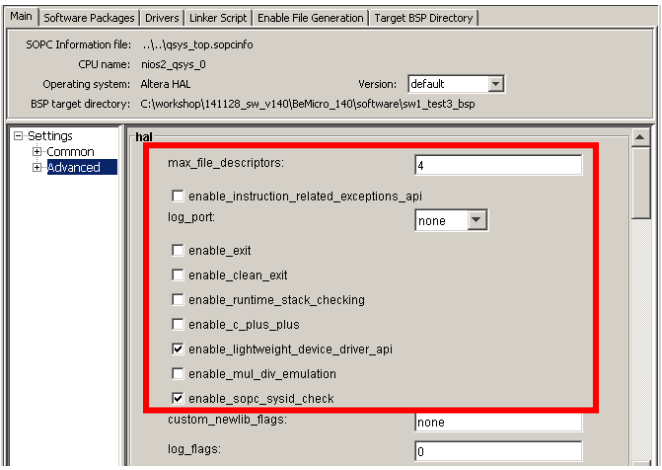
- stdin、stdout、stderr ファイル・ディスクリプタのみをサポート
- hostfs、zipfs は使用不可
- システムに含まれるすべてのキャラクタ・モードのデバイス・ドライバが lightweight driver API をサポートしていること

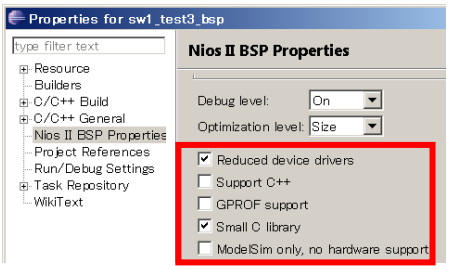


- 不要な場合 stdout/stdin/stderr を none にする

  stdin、stdout、stderr ファイル・ディスクリプタはドライバがインストールされると、HAL で設定されたチャネルにリダイレクトされます。stdin、stdout、stderr の設定を none にすることによってリダイレクトのコードが削減されてフット・プリントを小さくすることができます。







4-2-2. alt_* 標準入出力ルーチンの使用

キャラクタ・モードの縮小版 API を使用することによって、通常の printf () 関数 や getchar () 関数を使用する場合に比べてコード・サイズを縮小することができます。この API には alt_printf ()、alt_putchar ()、alt_getchar ()、alt_putstr () の関数が含まれます。この API を使用するためには sys/alt_stdio.h をインクルードします。

alt_printf () 関数は通常の printf () 関数と似ていますが、%c、 %s、 %x のフォーマット指定子のみをサポートします。コード・サイズは、alt_printf () は約 350 Byte、 small newlib の printf () は約 2240 Byte です。

4-2-3. コード・サイズ例

下記は Hello World テンプレートを使用した場合に、上記のコード削減のオプションを使用してどの程度コード・サイズを縮小できるかを示しています。

Quartus II 開発ソフトウェア v14.1 にて Cyclone V デバイスのサンプル・デザインを作成し、Nios II のコアは Fast を使用しています。 Nios II SBT v14.1 にて、ソフトウェアをビルドした結果が以下となります。

Hello World デフォルト	**各オプションを使用**	**削減率**
33 Kbytes	1888Bytes	42.8%

5. Nios II 例外処理

Nios II プロセッサで例外を処理する場合のプログラムの記述方法について説明します。

5-1. Nios II 例外処理

Nios II の例外処理はすべての例外が “exception location” に置かれた例外処理ハンドラによって処理されます。この例外処理コードは HAL システム・ライブラリが提供し、アドレスは Qsys の Nios II Processor の Core Nios II タブの Exception Vector で設定したアドレスに配置されます。

例外ハンドラでは例外のタイプを判定し、どのように処理するかを決定します。例外ハンドラには alt_irq_entry ()、alt_irq_handler ()、 software_exception () のルーチンがあります。

- alt_irq_entry ()

  ハードウェア割り込みが存在する場合に、発生した割り込みのタイプを判定し適切なルーチンを呼び出します。

- alt_irq_handler ()

  ハードウェア割り込みの割り込み番号を判定し、登録されたルーチンを呼び出します。

- software_exception ()

  ソフトウェア例外の原因を特定します。

5-2. ハードウェア割り込み

5-2-1. 割り込み処理のための HAL API

下記の HAL API を使用して、プログラムの特定のセクションに対しての割り込みをディセーブルしたり、再度イネーブルしたりすることができます。

- alt_irq_register () ： ユーザ割り込み処理（ISR）関数の登録。
- alt_irq_disable_all () ： すべての割り込みを禁止します。
- alt_irq_enable_all () ： すべての割り込みを許可します。
- alt_irq_interruptible () ： ISR 関数内で使用します。

  ISR 処理中に発生した、より優先度の高い割り込みリクエストを許可します。

  デフォルトでは ISR 実行中は他の割り込みは許可されません。

- alt_irq_non_interruptible () ： ISR 処理中に発生した割り込みを許可しません。（デフォルト）

下記の HAL API を使用して、ハードウェア割り込みにマスクをかけることができます。引数は、各ハードウェア割り込みに設定した割り込み番号です。

- alt_irq_enable (alt_u32 id)
- alt_irq_disable (alt_u32 id)

5-2-2. 例外処理ルーチンの書き方

まず、呼び出される ISR をプログラム中に記述します。ISR では、引数として ISR で使用するためのデータのポインタ(*context)、Qsys で割り当てられた割り込み番号(id)が渡されます。

呼び出し側では、記述した ISR を alt_irq_register () 関数を使用して登録します。alt_irq_register () には、3 つの引数、割り込み番号(id)、ISR に引き渡すデータのポインタ(*context)、呼び出し先の関数のポインタ(*isr)を渡します。

ISR を記述する際には、以下の事項を考慮してください。

- ISR 内で記述する処理は、できるだけシンプルなものにします。基本的に時間のかかる処理は、ISR 内では行わずアプリケーション内で行います。
- ISR 内での標準入出力関数や RTOS 関数の呼び出しは、正常動作しません。例えば printf () 関数はルーチン内で UART や JTAG_UART を使用するため、割り込みを使用します。割り込み処理中は、基本的には他の割り込みはディセーブルとなりますので、正常動作しません。
- ISR 内で他の割り込みを可能にするためには alt_irq_interruptible () や alt_irq_non_interruptible () を使用して制御します。

ISR を記述

```
sample_isr ( void* context, alt_u32 id)
{
   ...
}
```

id :割り込み番号(0 to 31)

context :ISR で使用する、もしくは ISR 内で作成される データへの void ポインタ

ISR の登録

プロトタイプ:

```
int alt_irq_register( alt_u32 id,
                      void* context,
                     void (*isr) (void*, alt_u32));
```

使用例:

alt_irq_register (periph_irq, &some_data, sample_isr);

5-2-3. 例 1： 割り込み処理ルーチン

■ISR の記述

```
my_isr( void* context, alt_u32 id)
{
    volatile int* my_var_ptr = (volatile int*) context;

    /*IRQ を発生させたハードウェア内(例:BUTTON_PIO)のレジスタを読む*/
    *my_var_ptr = IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(BUTTON_PIO_BASE);

    /*BUTTON_PIO のレジスタリセット*/
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_EDGE_CAP(BUTTON_PIO_BASE, 0);
}
```

※ **“context”** をローカルポインタに代入。この ISR 内、もしくは外に情報を渡すために使用可能。

“volatile” は、コンパイラによる不要な最適化を防ぐために使用。

※ ISR は、可能な限り短時間の処理のみを実行する必要があります。

必要なデータを取り込み、必要最低限のデバイス・コントロールを行い、ISR 内で割り込みをクリアし、終了します。

■IRQ の登録とデバイスの初期化

```
int main(void)
{
    /*ISR 内で参照される変数の宣言*/
    volatile int my_isr;

    /*使用するデバイス(例:BUTTON_PIO)の初期化と ISR の登録*/
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_IRQ_MASK(BUTTON_PIO_BASE, 0xf);
    alt_irq_register(BUTTON_PIO_IRQ, (void*) &my_var, my_isr);

    /*
     *  BUTTON_PIO の IRQ が発生するたびに
     * ISR により my_var の値が更新される
     */

      .
      .
      .
```

詳細は、下記資料も合わせてご参照ください。

- Nios II – 割り込みの実現

5-2-4. 例 2: ネストした割り込み処理

下記は、ISR 実行中に、現在実行中の ISR よりも高い優先順位の高い割り込みが入ったときに、そちらの ISR を実行するサンプルです。テスト記述として illuminate_led2 () の中で alt_irq_interruptible() を記述し、while 文を使用してより優先順位の高い割り込みが入るのを待ちます。

ボタン割り込みでエッジ・キャプチャ・レジスタを使用してエッジで割り込みを検出した場合には、必ず ISR の中でエッジ・キャプチャ・レジスタをリセットする必要があります。

呼び出し側では、button PIO の初期化と ISR(illuminate_led2)の登録を行います。

ISR

```
/*低優先度の ISR*/
static void illuminate_led2 (void* context, alt_u32 id)
{
    /*LED 2 を ON*/
    led = 0x 04;
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(LED_PIO_BASE, led);

    /*BUTTON のエッジ・キャプチャ・レジスタのリセット*/
    IOWR_ALTERA_AVALON_EDGE_CAP(BUTTON_P2_BASE, 0);

    /*優先度の高い IRQ 待ち*/
    alt_irq_interruptible();

    while (1){   /*この無限ループはテスト用です*/
    }            /*実際は ISR 内で無限ループは使用しません*/
}
```

呼び出し側

```
/*BUTTON_PIO の初期化と ISR の登録*/
alt_irq_register(BUTTON_PIO_IRQ, (void*)NULL, illuminate_led2);

/*4つのボタンの割り込みを許可*/
IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_IRQ_MASK(BUTTON_PIO_BASE, 0xf);

/*エッジ・キャプチャ・レジスタのリセット*/
IOWR_ALTERA_AVALON_EDGE_CAP(BUTTON_PIO_BASE, 0);
```

5-3. 割り込みレスポンスの高速化

5-3-1. 割り込みレスポンス関連用語とその値

◆ 割り込みレイテンシ（Latency）

割り込みが発生してから、例外処理コードの最初のインストラクションを実行するまでの時間（CPU サイクル）

◆ 割り込み応答時間（Response Time）

割り込みが発生してから、ユーザが書いた割り込みルーチンの最初のインストラクションを実行するまでの時間（CPU サイクル）

◆ 割り込み復帰時間（Recovery Time）

割り込み処理ルーチンの最後のインストラクションから通常の処理に戻るまでの時間（RTOS の場合は、割り込まれたタスクに復帰するまでの時間）

割り込み処理パフォーマンス（クロックサイクル数）			
Core	**Latency**	**Response Time**	**Recovery Time**
Nios II / f	10	105	62
Nios II /e	12	485	222

5-3-2. 割り込みレスポンスの高速化

割り込みレスポンスを高速化するために、下記の操作が有効です。

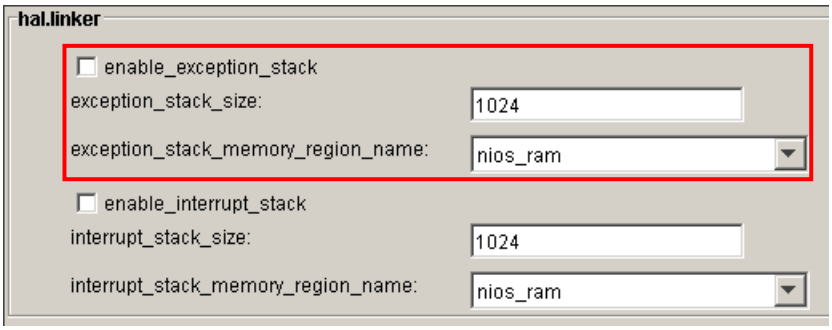
◆ ISR コードを高速でレイテンシの小さい tightly coupled メモリ、または on-chip メモリに配置する

下記のように __attribute__ 記述を使用して、作成した ISR を高速メモリに配置することも可能です。

void my_isr __attribute__ ((section (".tightly_coupled_instruction_memory ")));

◆ スタック（もしくは割り込み専用スタック）を高速メモリに配置する

BSP プロジェクトの BSP Editor で enable_exception_stack にチェックを入れて使用するメモリを指定します。



◆ Vectored Interrupt Controller を使用する

割り込み処理のディスパッチをハードウェアで実行します。詳細は、下記資料をご参照ください。

- Nios II – Vectored Interrupt Controller の実装

改版履歴

Revision	年月	概要
1	2015 年 5 月	初版