SoC はじめてガイド
DS-5 によるベアメタル・アプリケーション・デバッグ
（Arria V SoC / Cyclone V SoC 編）

Ver.15

2018 年 9 月 Rev.2

SoC はじめてガイド
DS-5 によるベアメタル・アプリケーション・デバッグ
（Arria V SoC / Cyclone V SoC 編）

目次

1. はじめに

本資料では ARM® DS-5™ を利用したアルテラ SoC 向けベアメタル・アプリケーションの開発およびデバッグ手法について解説しています。また、本資料では Mpression Helio ボード（以下、Helio と呼ぶ）向けの ベアメタル・サンプル・アプリケーション **Helio-BlinkingLED-Baremetal-GNU** を例として説明しています。

本資料では以下の内容を説明しています。

- ハードウェア開発での重要な生成物（ハンドオフ・ファイル）
- アルテラ SoC のブート・フロー
- SoC EDS 付属のサンプル・アプリケーション
- DS-5 の起動
- サンプル・アプリケーションのインポート
- サンプル・アプリケーションのファイル構成
- Makefile の例
- デバッガ・スクリプト・ファイルでの実行内容
- Preloader の生成手順
- カスタム・ボードへの対応方法
- FPGA レジスタの確認方法
- ベアメタル・アプリケーションの SD カードからの実行例

本資料の説明で使用している主な開発環境を以下に示します。

【表 1.1】この資料の説明で使用している主な環境

項番	項目	内容
1	ホスト PC	Microsoft® Windows® 7 Professional SP1（64 bit）搭載の 64 bit マシン 本資料では、Windows® 7 Professional を使用して動作の確認を行っております。
2	アルテラ Quartus® II 開発ソフトウェア	アルテラ SoC FPGA のハードウェアを開発するためのツールです。 ソフトウェア開発に必要なハンドオフ・ファイルの生成も行います。 本資料では、Quartus II 開発ソフトウェア v15.0 を使用しています。 ■ Quartus II 開発ソフトウェア http://fpgasoftware.intel.com/15.0/?edition=subscription
3	アルテラ SoC EDS サブスクリプション・エディション（ARM DS-5 Altera Edition）	アルテラ SoC FPGA のソフトウェアを開発するためのツールです。 ハンドオフ・ファイルを使用して、ターゲット・ボード固有の Preloader（プリローダ）を作成します。また SoC EDS に含まれる ARM DS-5 Altera Edition を使用して、アプリケーション・ソフトウェアをコンパイルしデバッグすることができます。 本資料では、アルテラ SoC EDS v15.0 を使用しています。 【注記】 USB-Blaster™ II を使用したベアメタル・アプリケーションのデバッグには、アルテラ SoC EDS のサブスクリプション・エディション（有償版）が必要になります。 ■ アルテラ SoC エンベデッド・デザイン・スイート http://fpgasoftware.intel.com/soceds/15.0/?edition=subscription&download_manager=dlm3&platform=windows

4	Helio ボード	本資料の説明でターゲット・ボードとして使用する、アルテラ Cyclone® V SoC を搭載した Mpression Helio ボードです。 Helio には複数のリビジョンが存在しますが、この資料では、Rev.1.2 または Rev.1.3 を使用して動作確認を行っています。 ■ Helio ボード Rev.1.2 https://rocketboards.org/foswiki/Documentation/HelioResourcesForRev12 ■ Helio ボード Rev.1.3 https://rocketboards.org/foswiki/Documentation/HelioResourcesForRev13
5	ベアメタル・サンプル・アプリケーション	本資料の説明で使用する、Helio 上で動作する、LED 点滅ベアメタル・サンプル・アプリケーションです。 実際に動作確認を行う場合は、本資料と併せて以下のファイルを取得してください。 **Helio-BlinkingLED-Baremetal-GNU.tar.gz** ARM DS-5 Altera Edition を使用して、本アプリケーションをインポートし、コンパイルしてデバッグすることができます。

2. ARM プロセッサを含むハードウェアの設計を行う

本資料では アルテラ SoC 向けハードウェア設計に関する詳細な説明はしませんが、概要としては以下のような手順となります。

(1) Quartus II 開発ソフトウェアおよび Qsys システム統合ツールを使用し、ARM プロセッサを含むユーザのボードのハードウェアの設計を行います。

(2) Hard Processor System（以下 HPS と呼ぶ）コンポーネントを Qsys システムへ追加しますが、HPS の設定には以下のような多くの重要な設定が含まれていますので、ユーザのボードに合わせた正しい設定を行ってください。

- AXI ブリッジの有効化
- HPS に含まれるペリフェラルの選択と有効化
- HPS クロック設定
- SDRAM パラメータの設定

(3) Qsys システムが完成したら Generate して生成します。

(4) Quartus II 開発ソフトウェアで、ピン・アサインメントの設定とプロジェクトのコンパイルを行います。

3. ハードウェア開発での重要な生成物（ハンドオフ・ファイル）

ベアメタル・アプリケーションの開発およびデバッグでは、ハードウェアの開発において最終的に生成されたフォルダとファイルを使用します。

これらのフォルダとファイルを「ハンドオフ・ファイル」と呼びます。ベアメタル開発において、特に重要な「ハンドオフ・ファイル」は次の 3 つです。

(1) **<Quartus プロジェクト>¥output_files** フォルダ

正しく生成されていれば、output_files フォルダの中に **.sof** という拡張子のファイルが出力されているはずです。このファイルを SoC FPGA にプログラムして FPGA をコンフィギュレーションします。

(2) **<Quartus プロジェクト>¥hps_isw_handoff¥soc_system_hps_0** フォルダ

正しく生成されていれば、hps_isw_handoff¥soc_system_hps_0 フォルダの中にツールによって生成されたハードウェア・ソフトウェアのハンドオフ・ファイルがあります。これらのファイルは、「12. Preloader の生成手順」に利用します。Preloader 生成のために使用する bsp-editor (Preloader Generator) ツールで、この hps_isw_handoff¥soc_system_hps_0 フォルダのパスを指定するので覚えておいてください。

(3) **<Quartus プロジェクト>¥<Qsys プロジェクト>¥synthesis** フォルダ

正しく生成されていれば、synthesis フォルダの中に **.svd** という拡張子のファイルが出力されているはずです。この .svd ペリフェラル記述ファイルは、「14. FPGA レジスタの確認方法」に利用します。

DS-5 Altera Edition で、この <Qsys プロジェクト>¥synthesis フォルダのパスを指定するので覚えておいてください。

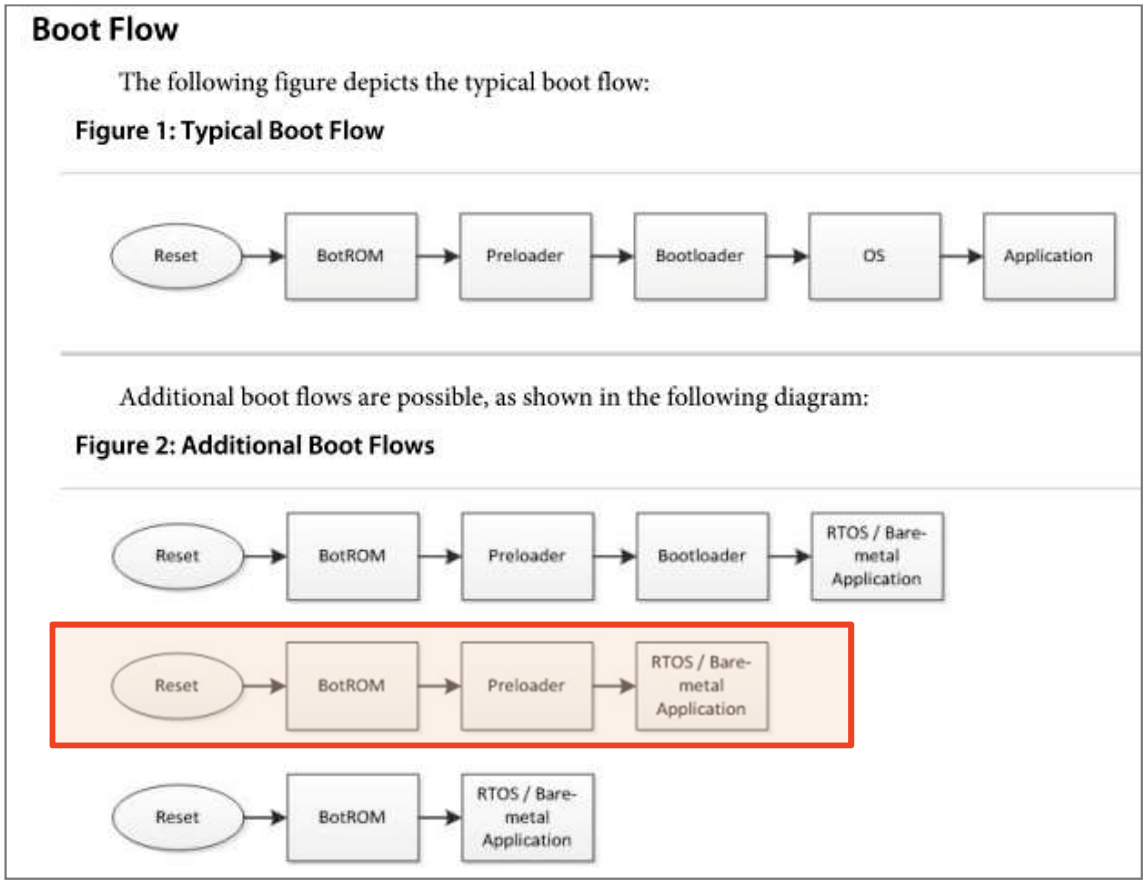
4. アルテラ SoC のブート・フロー

以下の通り、ARM のブート・フローには複数のステージが存在します。ブート・フローに関する詳細は、アルテラのアプリケーション・ノート 709（AN 709）をご確認ください。

https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/an/an709.pdf

ベアメタル・アプリケーションの場合の多くは、以下赤枠で示した Preloader から直接ベアメタル・アプリケーションを起動する方法が用いられます。

本資料でもこのブート・フローを実現するための仕組みについて解説しています。



【図 4.1】アルテラ SoC のブート・フロー

5. SoC EDS 付属のサンプル・アプリケーション

アルテラ SoC EDS をインストールすると、SoC EDS に付属しているサンプル・アプリケーションが下記のフォルダに格納されます。

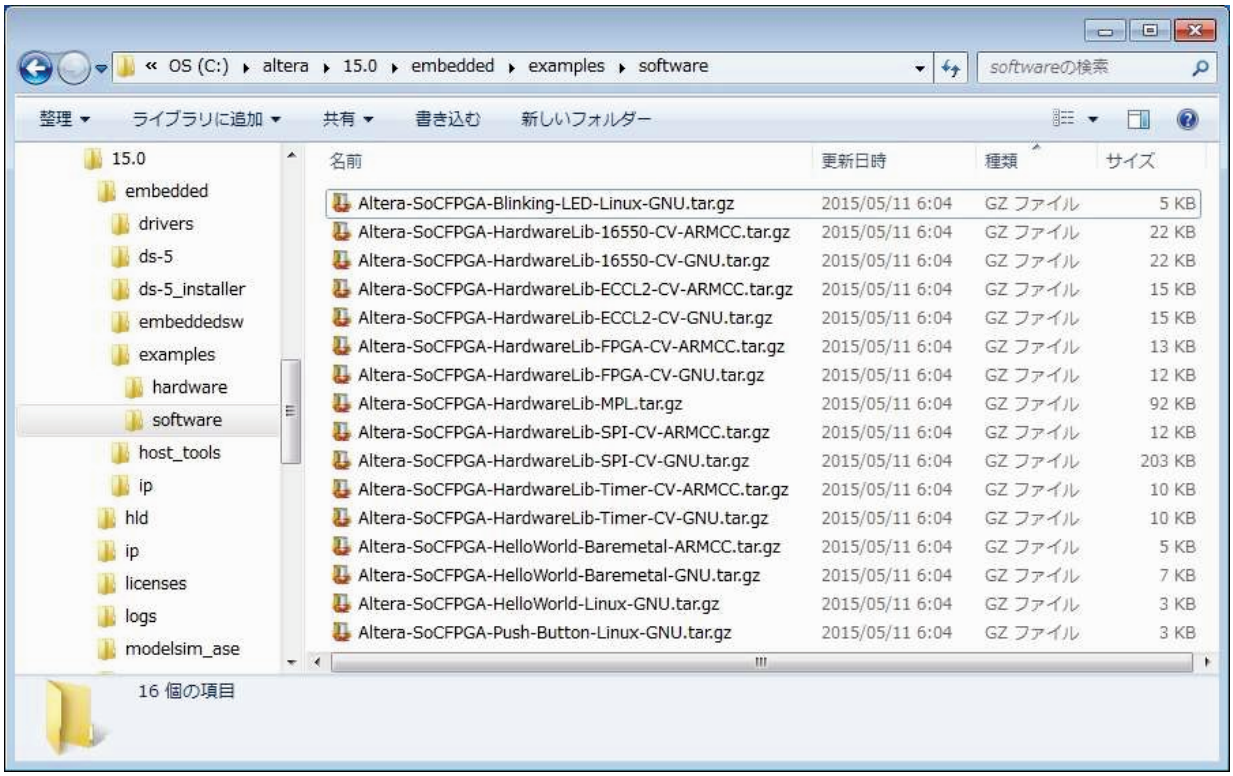
<Altera installation directory>¥embedded¥examples¥software

例) C:¥altera¥15.0¥embedded¥examples¥software

これらのサンプル・アプリケーションは、DS-5 Altera Edition からインポートしてビルドおよびデバッグすることが可能です。

これらのファイルの中で、名前が “Altera-SoCFPGA-HardwareLib-” や “Altera-SoCFPGA-HelloWorld-Baremetal-” となっているものが、ベアメタル対応アプリケーションです。

また、名前に “GNU” と付いているものは GNU コンパイラ(GCC)版、 “ARMCC” と付いているものは ARM コンパイラ(ARMCC)版となります。



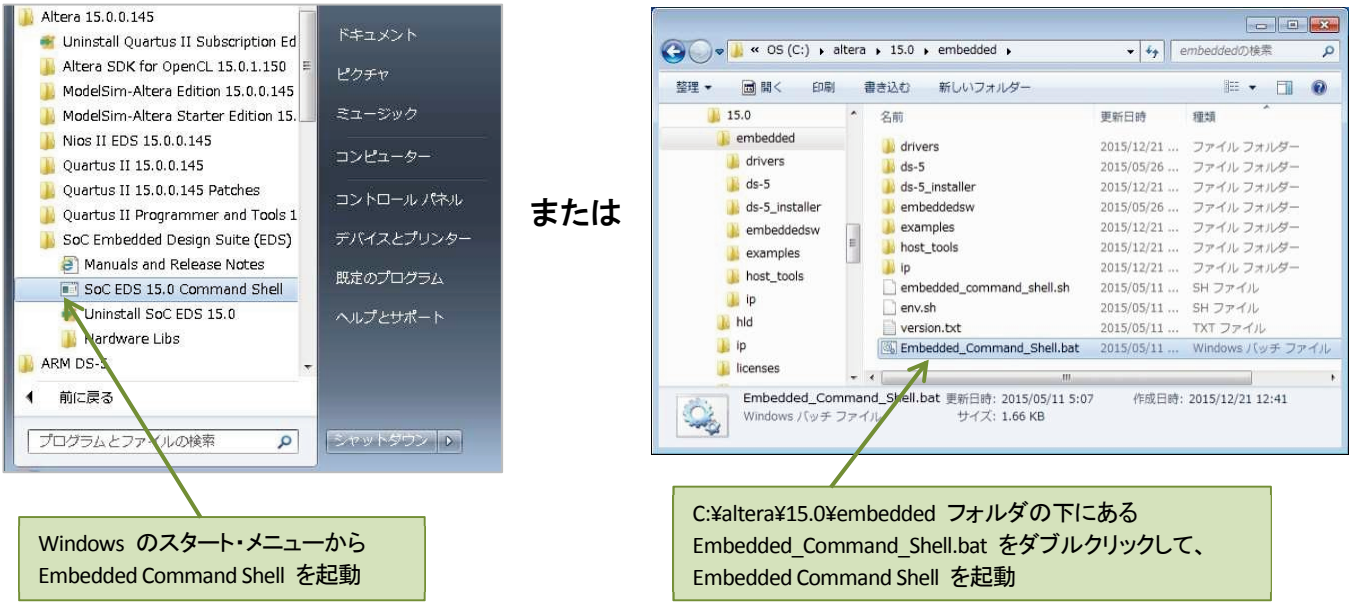
【図 5.1】SoC EDS 付属のサンプル・アプリケーション

6. DS-5 の起動

SoC EDS に対する各種環境設定を自動的に実施するために、DS-5 は Embedded Command Shell から起動してください。

6-1. Embedded Command Shell の起動

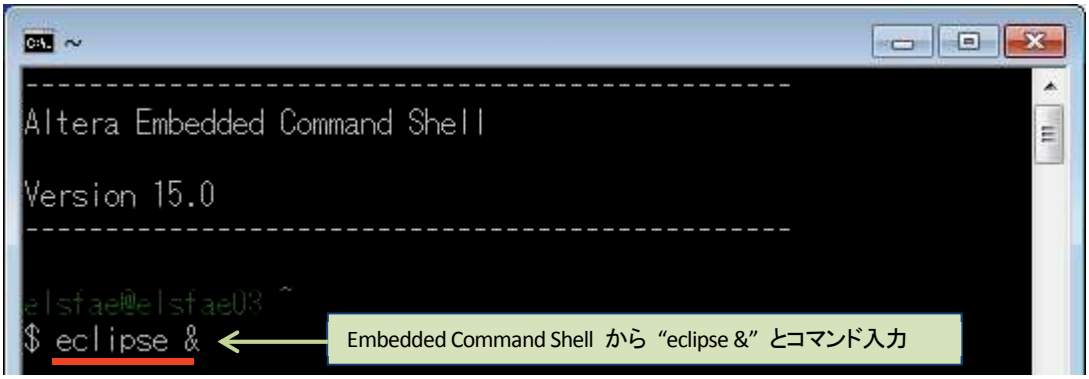
Windows のスタート・メニュー または SoC EDS のインストール・フォルダ（embedded フォルダ）下に格納されている起動用スクリプトを実行し、Embedded Command Shell を起動します。



【図 6-1.1】Embedded Command Shell の起動

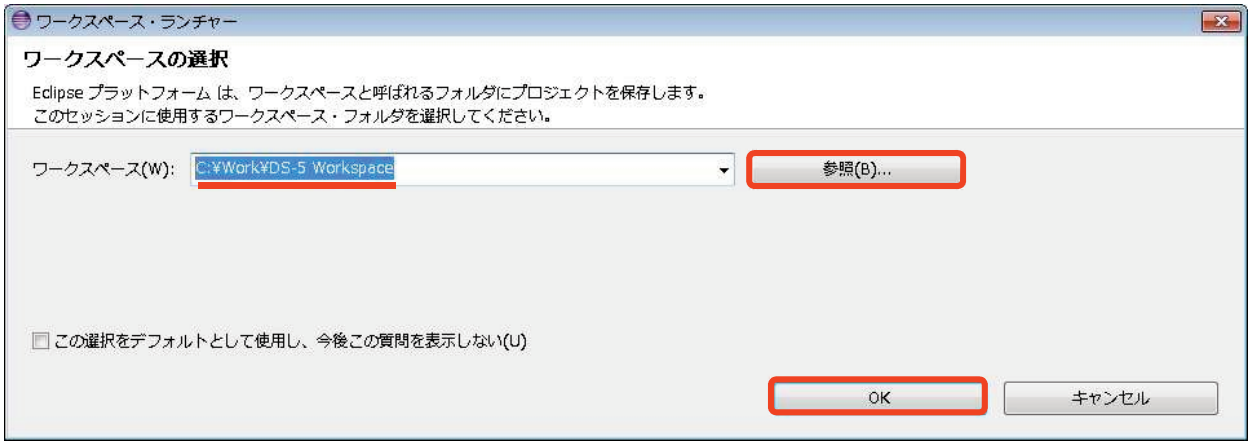
6-2. DS-5 の起動

(1) 図のように Embedded Command Shell のウインドウが開いたら **eclipse &** ↵ とコマンド入力して ARM DS-5 Altera Edition を起動します。



【図 6-2.1】DS-5 の起動

(2) Eclipse ツールを使用するワークスペース・フォルダの入力を求められます。ソフトウェア・プロジェクトのために固有のワークスペースを選択または作成します。パスを指定して [**OK**] をクリックします。(この例では、ワークスペースに C:¥DS-5 Workspace を指定しています。フォルダが存在しない場合は自動的に作成されます。)



【図 6-2.2】DS-5 のワークスペースの指定

(3) ARM DS-5 ウェルカム画面が表示されます。これは、ドキュメント、チュートリアルやビデオにアクセスするために使用することができます。 [**閉じる**] (×マーク)をクリックします。

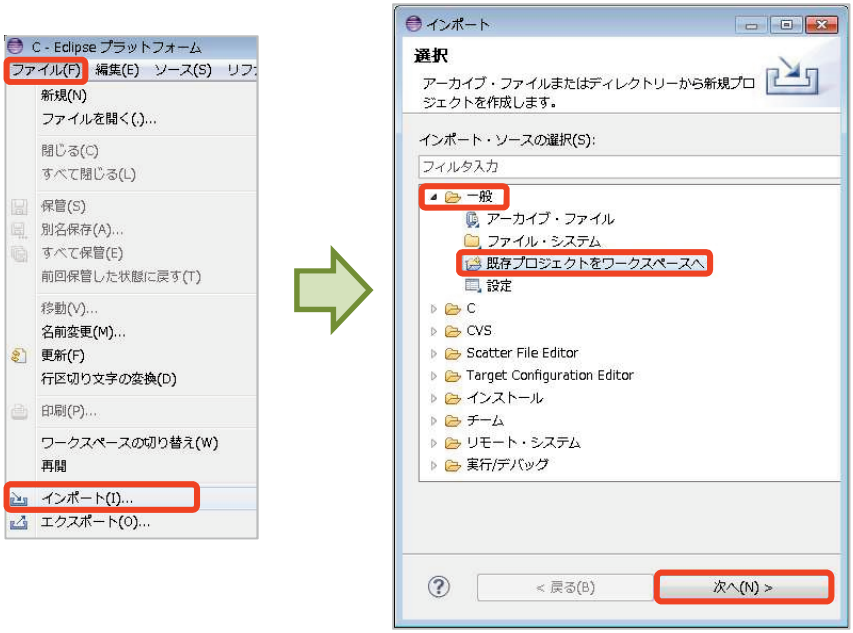
【図 6-2.3】DS-5 ウェルカム画面

7. サンプル・アプリケーションのインポート

この例では、事前に用意された Helio 向け LED 点滅ベアメタル・サンプル・アプリケーションを DS-5 にインポートします。この作業を実施すると、Eclipse 左側の プロジェクト・エクスプローラー パネルにプロジェクトに含まれる各種ファイルが表示されます。

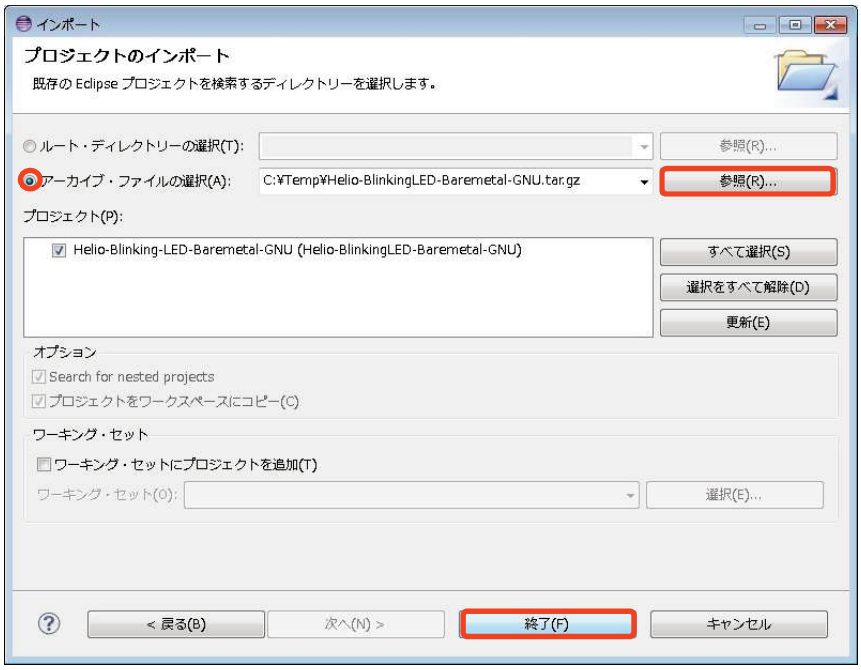
(1) **ファイル(F) メニュー ⇒ インポート(I)...** を選択します。

(2) **一般 ⇒ 既存プロジェクトをワークスペースへ** を選択し、[**次へ(N)**] をクリックします。



【図 7.1】既存プロジェクトのインポート

(3) **アーカイブ・ファイルの選択(A)**: オプションを選択します。 [**参照(R)**] ボタンより、以下のサンプル・プロジェクトを指定します。 **Helio-BlinkingLED-Baremetal-GNU.tar.gz** 選択後、[**終了(F)**] ボタンを押します。

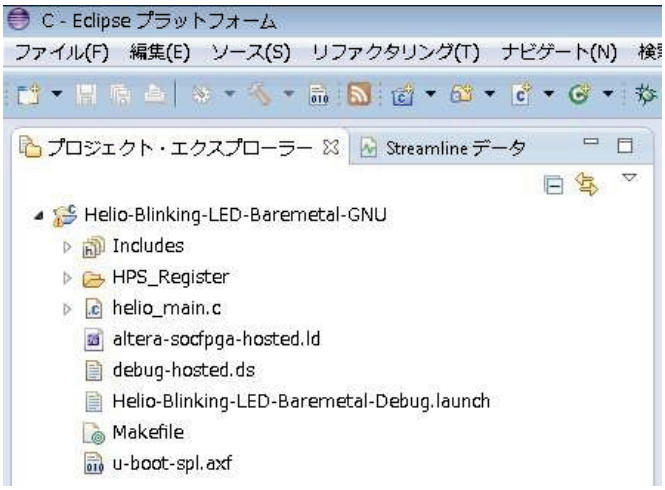


【図 7.2】サンプル・アプリケーションの選択

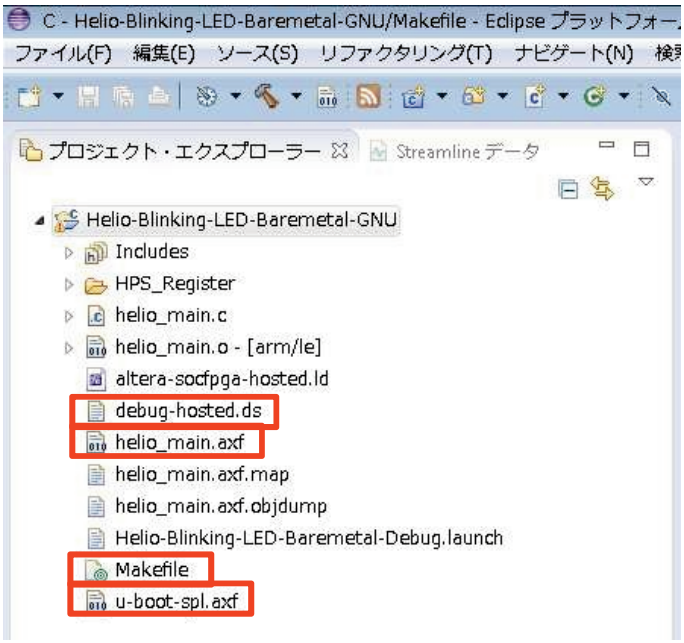
8. サンプル・アプリケーションのファイル構成

サンプル・アプリケーションのファイル構成例を下図に示します。

ビルド前



ビルド後



【図 8.1】サンプル・アプリケーションのファイル構成例

この中で特に重要なファイルとしては以下のようなものがあります。

- **Makefile** ： プロジェクトをビルドする際の指示書です。
- **debug-hosted.ds** ： デバッグ時に実行するスクリプト・ファイルです。
- **<アプリケーション名>.axf** ： サンプル・アプリケーションの実行可能バイナリです。
- **u-boot-spl.axf** ： Preloader の実行可能バイナリです。

9. Makefile の例

サンプル・アプリケーションの Makefile の例を下図に示します。

※ ご利用のサンプル・アプリケーションにより、Makefile の記述内容が異なる場合があります。

【図 9.1】Makefile の例

Makefile の中では主に次のようなものが定義されています。

- SoC デバイス・ファミリの指定
- SoC EDS のパス設定
- ビルド対象のソース・ファイルの指定
- リンカ・ファイルの指定
- クロス・コンパイラの指定
- HWLib ソース・ファイルのコピー
- Preloader 実行可能バイナリ（u-boot-spl.axf）のコピー

※ 注記:

クロス・コンパイラの指定は、ご使用のアルテラ SoC EDS のバージョンにより以下のように異なりますのでご注意ください。

v13.1 までは、 CROSS_COMPILE := **arm-none-eabi-**

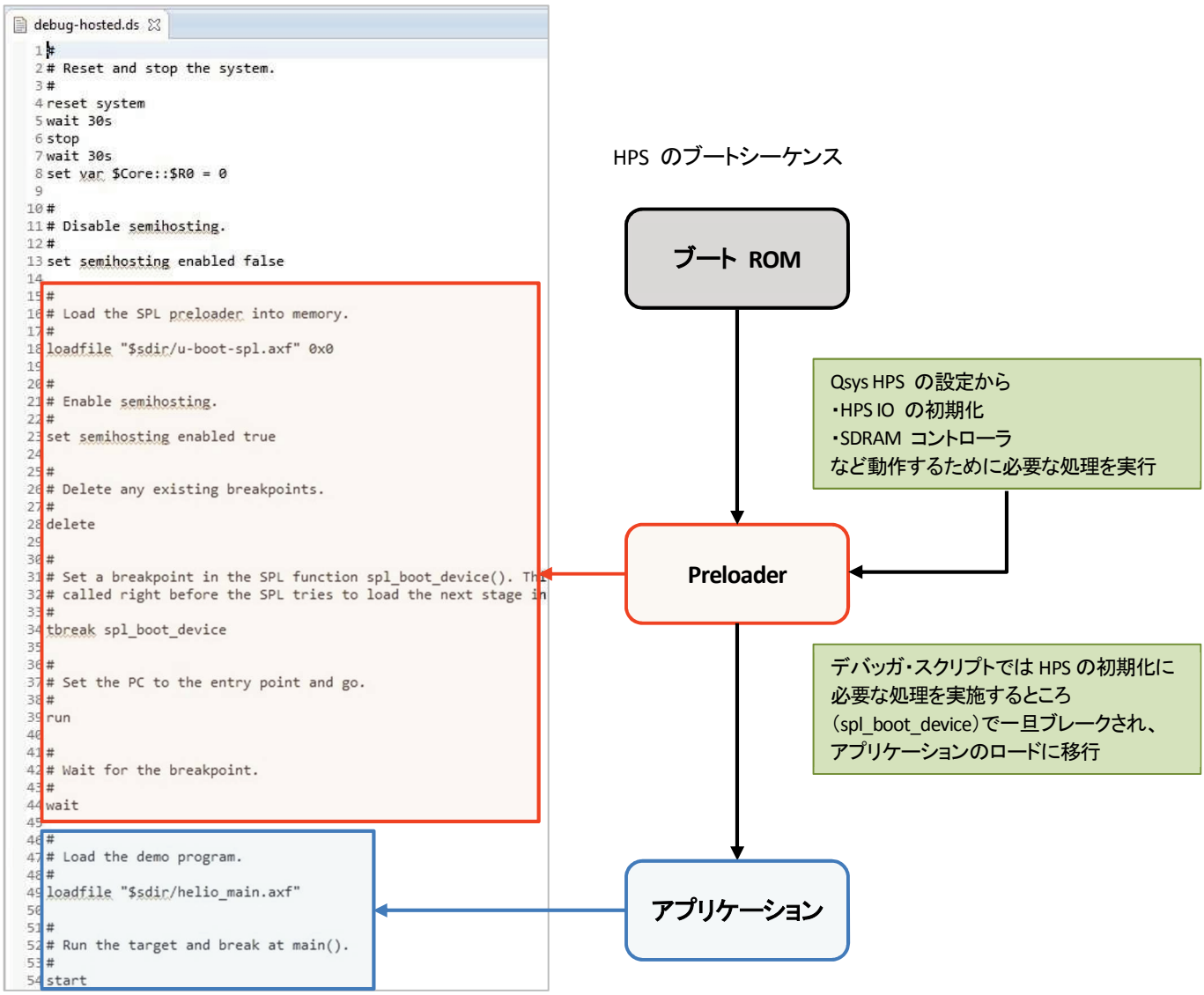
v14.0 からは、 CROSS_COMPILE := **arm-altera-eabi-**

10. デバッガ・スクリプト・ファイルでの実行内容

ARM DS-5 では、デバッガ・コマンドを含むデバッガ・スクリプト・ファイルを使用することにより、デバッグ操作を自動化することができます。

サンプル・アプリケーションにおけるデバッガ・スクリプト・ファイルでの実行内容の例を下図に示します。

※ ご利用のサンプル・アプリケーションにより、デバッガ・スクリプト・ファイルの記述内容が異なる場合があります。



【図 10.1】デバッガ・スクリプト・ファイルでの実行内容の例

11. Preloader（プリローダ）とは？

(1) Preloader は U-boot second program loader（以後、u-boot spl）をベースに、アルテラ SoC 向けにカスタマイズが加えられたブートローダです。

(2) Preloader の役割は次の通りです。

- HPS ピン・マルチプレクスの設定
- HPS IOCSR の設定
- HPS PLL とクロックの設定
- HPS ペリフェラルのリセット解除
- SDRAM の初期化（キャリブレーションなど）
- SDRAM へ次ステージのプログラムの展開・ジャンプ

(3) Preloader は Quartus II / Qsys の設計時に自動生成されるハンドオフ・ファイルを用いることで自動生成されます。このため、ユーザ側で初期化用ソフトウェアの構築をすることなく Quartus II / Qsys で設定した内容を HPS ブロックに反映することができます。

(4) ユーザのアルテラ SoC を搭載したカスタム・ボードを動かすためには、まずこの Preloader を必ず生成してください。

12. Preloader の生成手順

以降に Preloader の生成手順を説明します。Preloader の生成方法についての更に詳しい説明は、本資料を入手したサイト内から以下の資料をご覧ください。

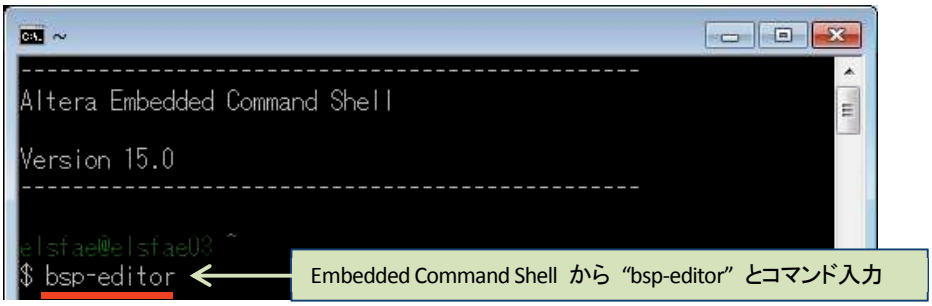
『Preloader Generator の使用方法』
https://service.macnica.co.jp/library/117865

12-1.Embedded Command Shell の起動

「6-1. Embedded Command Shell の起動」の項と同じ手順で起動します。Windows のスタート・メニューまたは、SoC EDS のインストール・フォルダ（embedded フォルダ）に格納されている起動用スクリプトを実行し、Embedded Command Shell を起動します。

12-2.bsp-editor (Preloader Generator) の起動

図のように Embedded Command Shell のウインドウが開いたら **bsp-editor** ↵ とコマンド入力して、bsp-editor (Preloader Generator) の GUI を起動します。

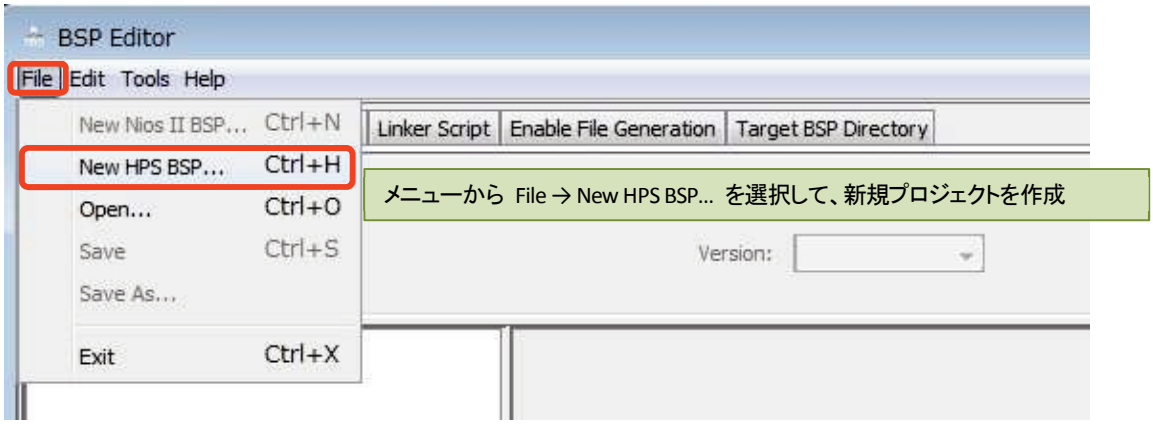


【図 12-2.1】bsp-editor (Preloader Generator) の起動

12-2-1. 新規プロジェクトの作成

図のように bsp-editor (Preloader Generator) の GUI が起動したら、メニューから **File メニュー ⇒ New HPS BSP...** を選択して、新規プロジェクトを作成します。

※ 注記:
SoC EDS v15.0 より前 のバージョンでは、“**File → New BSP...**” を選択します。

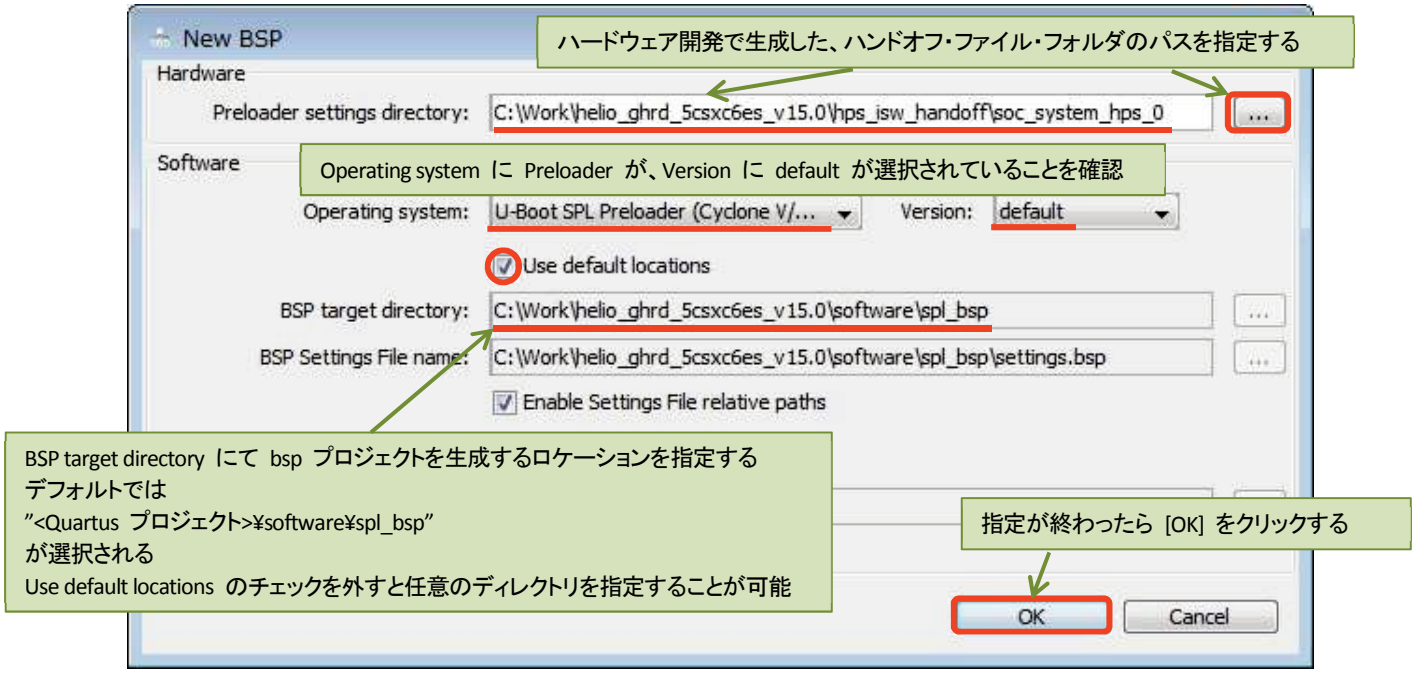


【図 12-2-1.1】新規プロジェクトの作成

12-2-2. ハンドオフ・ファイルの指定

(1) ハードウェア開発で生成した、ハンドオフ・ファイル・フォルダのパス
<Quartus プロジェクト>¥hps_isw_handoff¥soc_system_hps_0 を指定します。

(2) 図のように Preloader settings directory: の並びにある [...] を押してフォルダを指定します。



【図 12-2-2.1】ハンドオフ・ファイルの指定

12-2-3. Preloader のユーザ・オプション（Common）の設定

Common では Preloader に関する基本的な設定を行います。

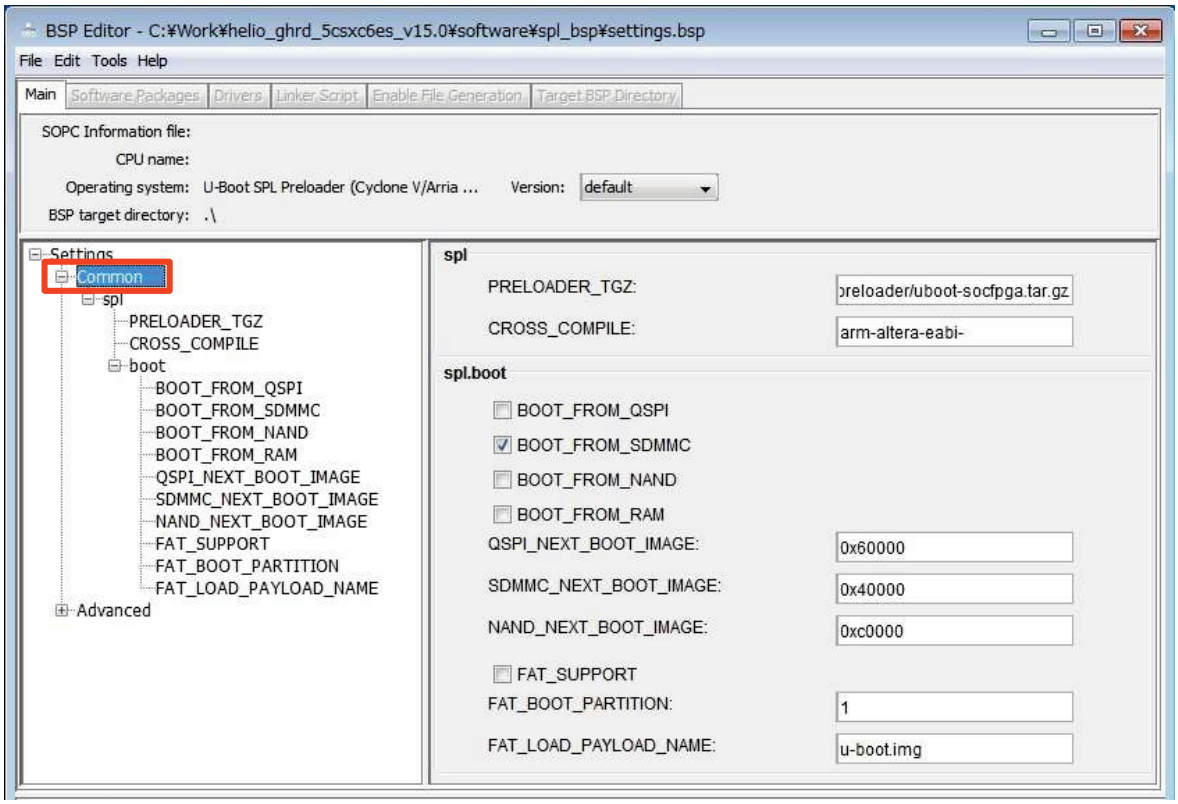
(1) **spl** :

- **PRELOADER_TGZ** :
  Preloader ソース・ファイルのアーカイブ・ファイルを指定します。基本的に変更する必要はありません。
- **CROSS_COMPILE** :
  使用するクロス・コンパイラを指定します。基本的に変更する必要はありません。

(2) **boot** :

- **BOOT_FROM_QSPI** :
  Preloader に続くブートイメージを QSPI からロードする場合にチェックを入れます。
- **BOOT_FROM_SDMMC** :
  Preloader に続くブートイメージを SDMMC からロードする場合にチェックを入れます。
- **BOOT_FROM_RAM** :
  Preloader に続くブートイメージを RAM からロードする場合にチェックを入れます。FPGA 側に実装したメモリからのブートにはこの設定を利用します。
- **QSPI_NEXT_BOOT_IMAGE** :
  BOOT_FROM_QSPI チェック時に、Preloader がロードするブートイメージの格納アドレスを指定します。
- **SDMMC_NEXT_BOOT_IMAGE** :
  BOOT_FROM_SDMMC チェック時、Preloader がロードするブートイメージの格納アドレスを指定します。

※ 注記:
BOOT メモリ選択は、いずれか 1 つにのみチェックを入れてください（複数にチェックを入れない）。

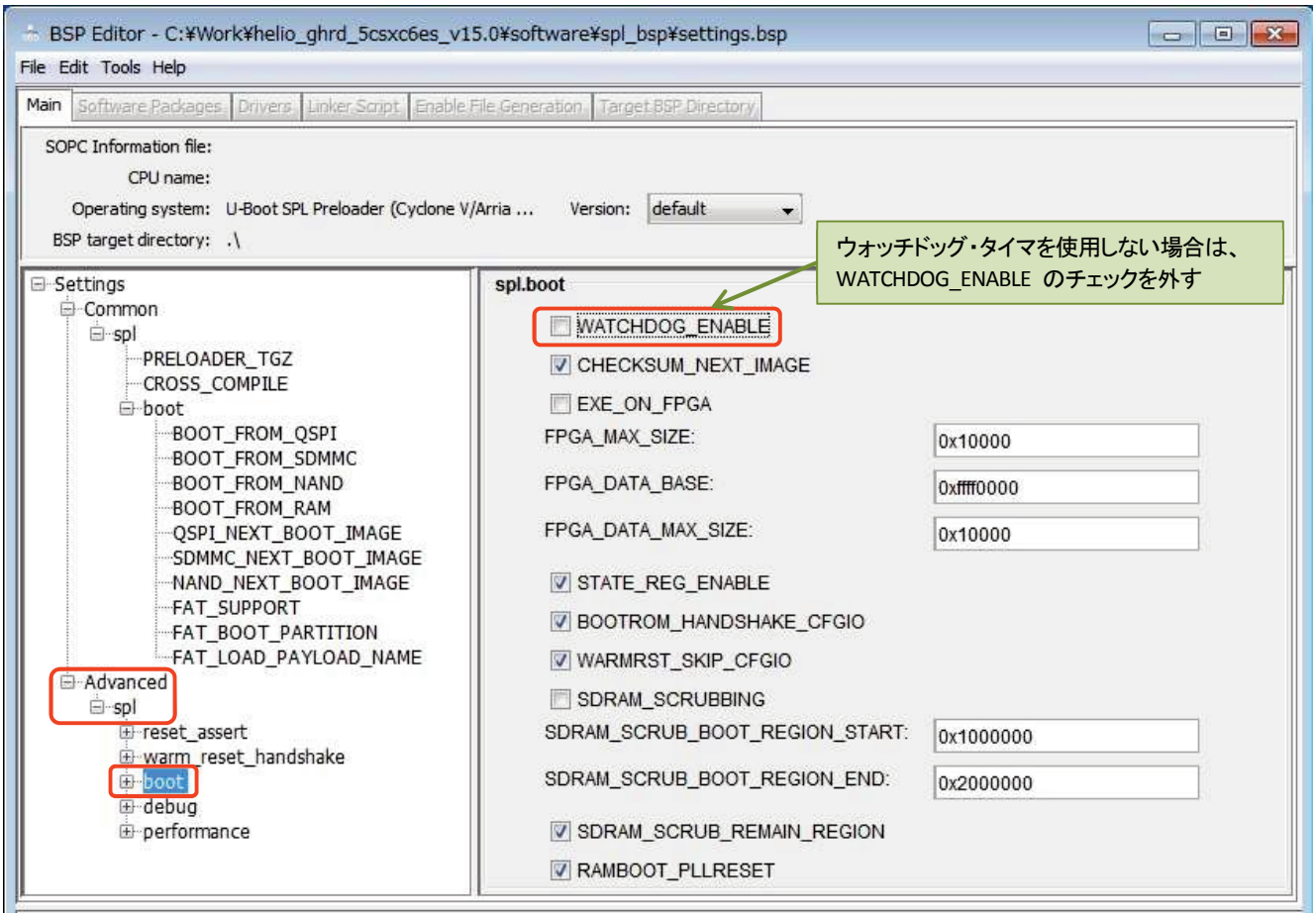


【図 12-2-3.1】Preloader のユーザ・オプション（Common）の設定

12-2-4. Preloader のユーザ・オプション（Advanced → spl → boot）の設定

Advanced → spl → boot ではウォッチドッグ・タイマの Disable などブート時の挙動に関して設定を行います。ベアメタル・アプリケーションを使用する場合は、**WATCHDOG_ENABLE** のチェックを外します。

> **※ 注記:**
> ベアメタル・アプリケーションでウォッチドッグ・タイマを使用する場合は、ウォッチドッグ・タイマが正常に動作するようにプログラム・コードを追加してください。

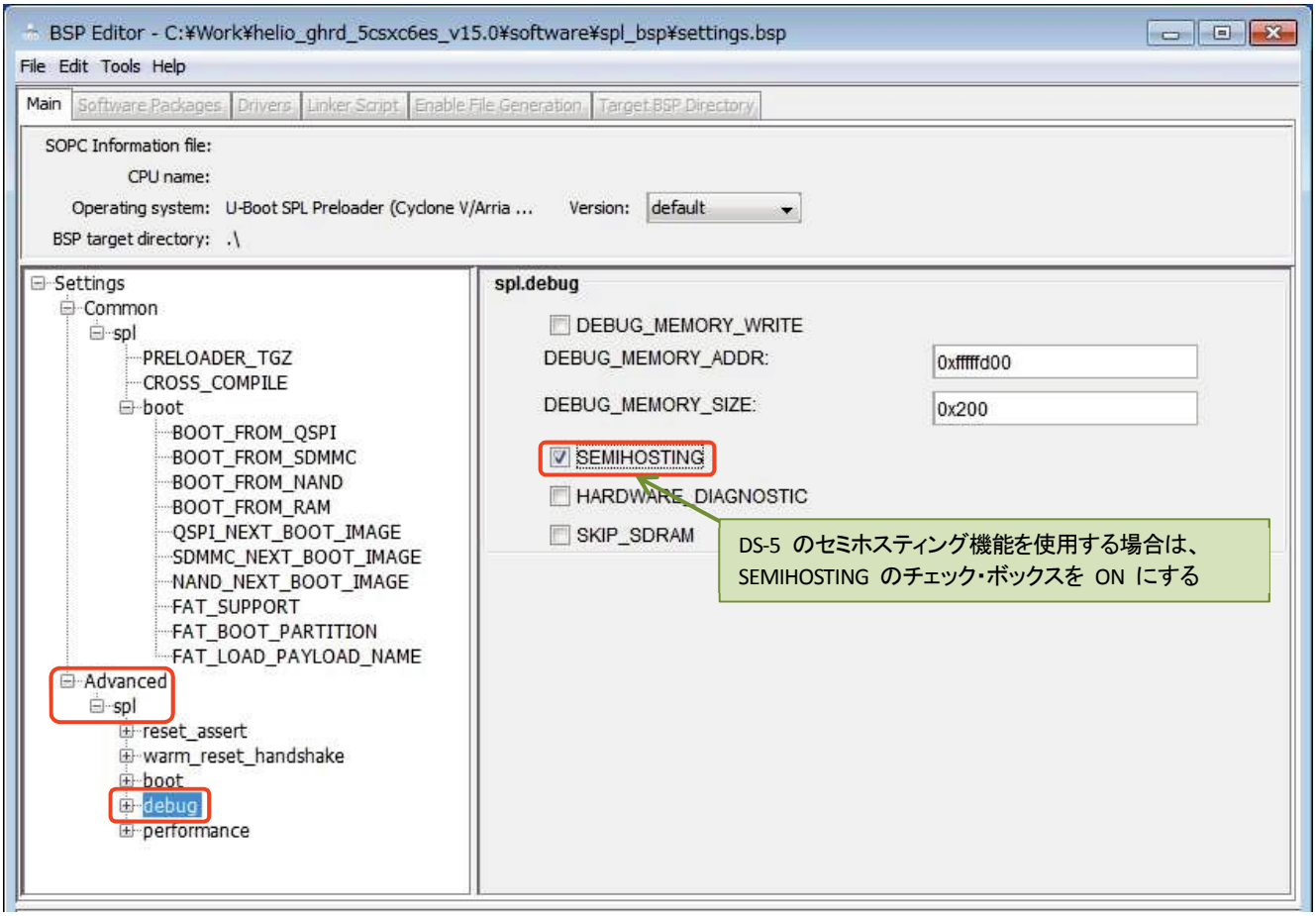


【図 12-2-4.1】Preloader のユーザ・オプション（Advanced → spl → boot）の設定

12-2-5. Preloader のユーザ・オプション（Advanced → spl → debug）の設定

Advanced → spl → debug では DS-5 の Semihosting 機能のサポート有無等、デバッグ関連の設定を行います。DS-5 Altera Edition のセミホスティング機能を使用する場合は、**SEMIHOSTING** のチェック・ボックスを ON にします。

※ 注記:
DS-5 を使用せずに、スタンドアローン・ブートさせる場合は、**SEMIHOSTING** のチェック・ボックスを必ず **OFF** にしてください。



【図 12-2-5.1】Preloader のユーザ・オプション（Advanced → spl → debug）の設定

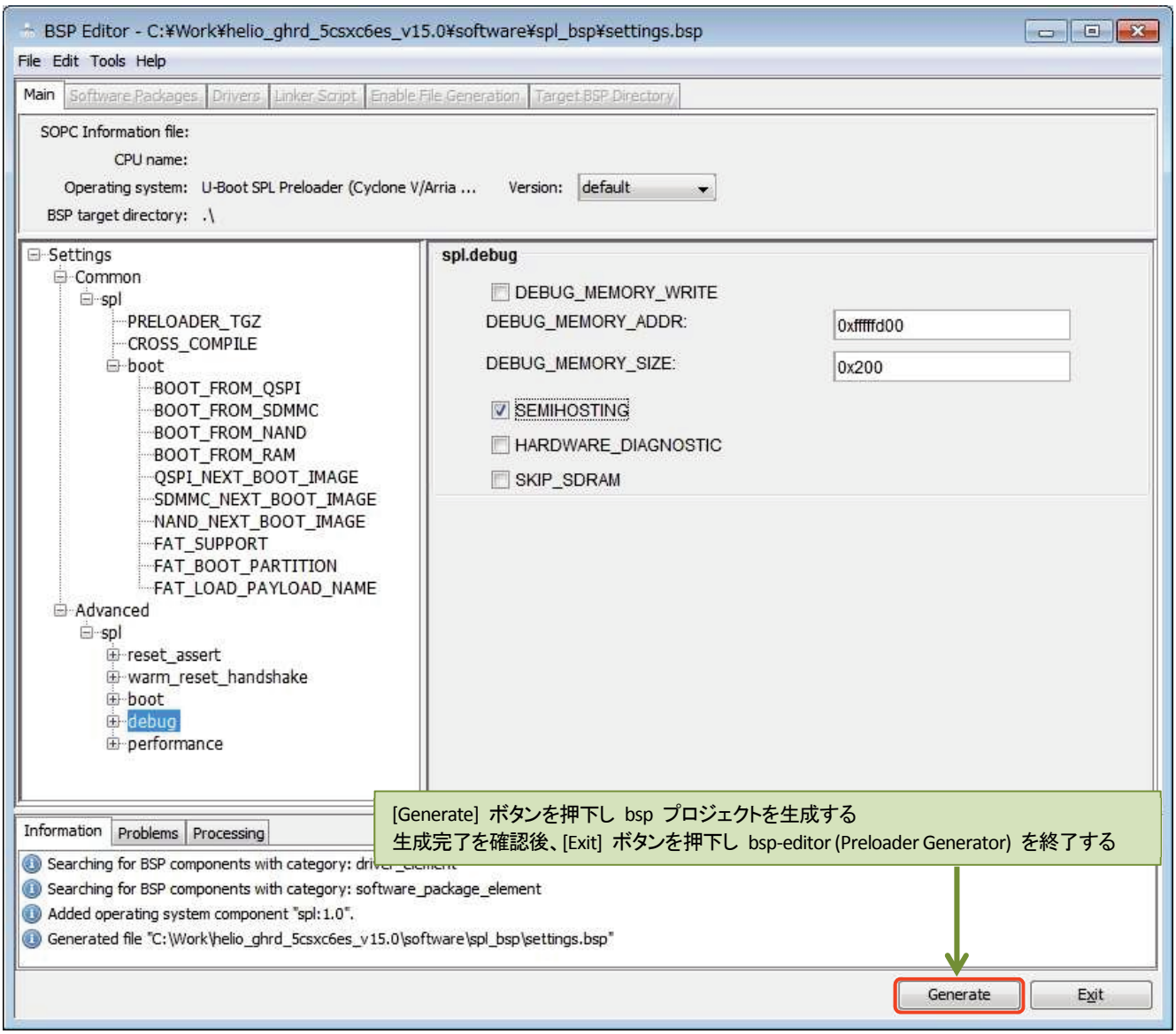
12-2-6. bsp プロジェクトの生成（Generate）

右下の [**Generate**] ボタンを押下し bsp プロジェクトを生成します。

生成する bsp プロジェクトには *.c 、 *.h 、Makefile を含む Preloader を生成（ビルド）するために必要なファイルが保存されます。

これらのファイルは、「12-2-2. ハンドオフ・ファイルの指定」で BSP target directory に指定したロケーションに生成されます。（例では、**<Quartus プロジェクト>¥software¥spl_bsp**）

生成完了を確認後、[**Exit**] ボタンを押下し bsp-editor (Preloader Generator) を終了します。



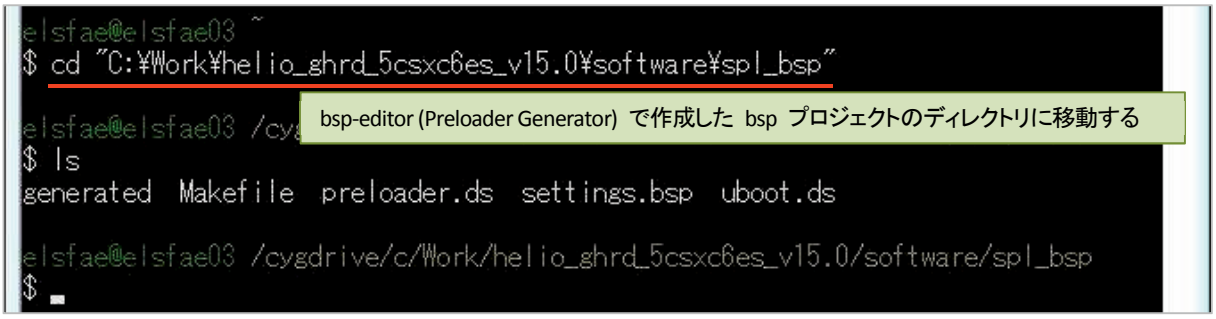
【図 12-2-6.1】bsp プロジェクトの生成

12-3.Preloader のビルド

(1) Embedded Command Shell のカレント・ディレクトリを、bsp-editor (Preloader Generator) で作成した bsp プロジェクトのディレクトリに移動します。

Embedded Command Shell から 以下のようにコマンド入力します。

```
$ cd "<quartus プロジェクト>¥software¥spl_bsp"
```



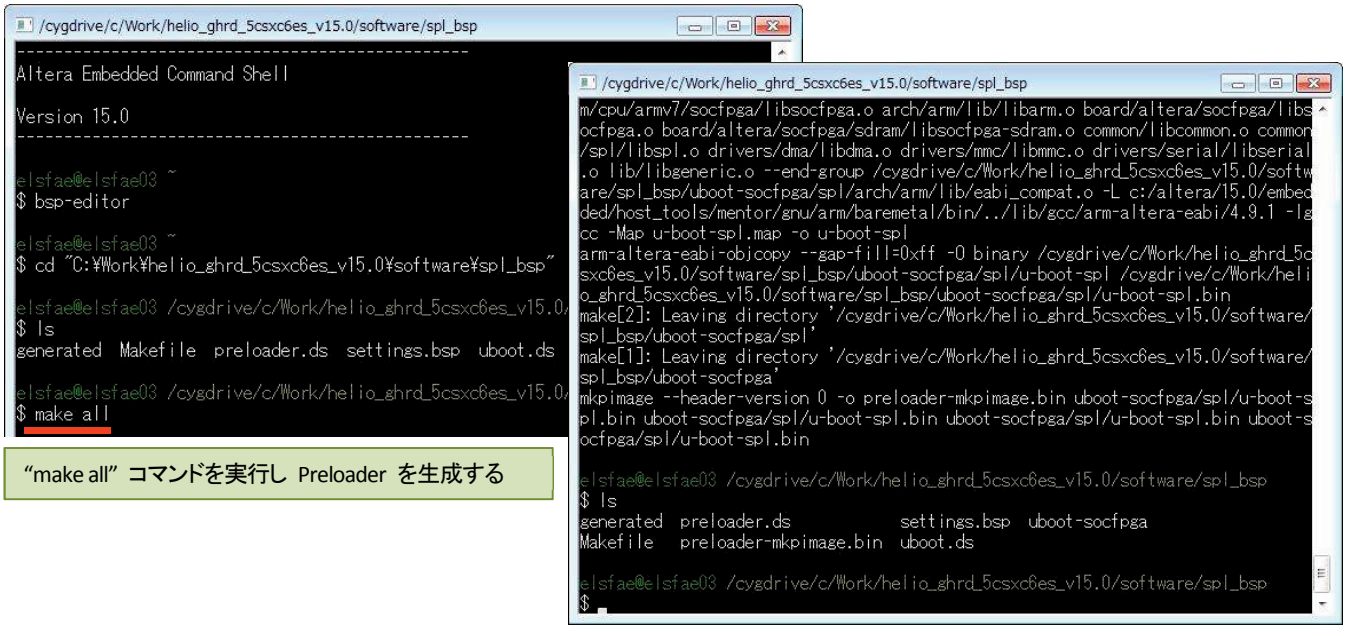
【図 12-3.1】bsp プロジェクトのディレクトリに移動

(2) `make all` コマンドを実行し Preloader を生成します。

コマンド実行後、エラーがなく終了したことを確認します。

確認後 `ls` コマンドにて **preloader-mkpimage.bin** が生成されていることを確認します。

このファイルは BootROM にて参照される Preloader 用のヘッダ情報を付加したバイナリ・ファイルで、SD カードや QSPI フラッシュ・メモリへ書き込むファイルとなります。



【図 12-3.2】"make all" コマンドを実行

※ 注記:
ホスト PC の OS が Windows® 10 の場合、Preloader の生成でエラーが発生する場合が確認されております。もしご使用の OS が Windows® 10 でエラーが発生する場合は、以下の MACNICA フォーラムで説明されている対策として、bsp プロジェクト内 Makefile の編集が必要となりますのでご注意ください。
https://forum.macnica.co.jp/t/topic/1191/11

13. カスタム・ボードへの対応方法

ユーザのカスタム・ボードでベアメタル・アプリケーションを動かすために必要な手順としては、主に以下の 2 つがあります。

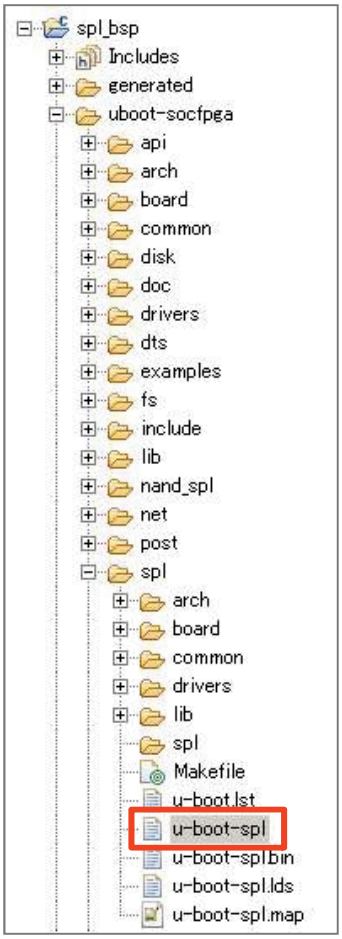
(1) カスタム・ボード向け Preloader を生成し、生成したバイナリでサンプル・プロジェクトの Preloader ファイルを差し替えます。
差し替え対象のファイル ： **u-boot-spl.axf**

(2) Makefile の編集
デフォルトの Preloader に関係する処理を Makefile から削除します。

13-1.カスタム・ボード向けに生成した Preloader を DS-5 デバッグで使用する方法

■ ARM DS-5 でプログラムを実行／デバッグするには、ARM Executable and Linkable Format (ELF) ファイルをロードします。
この形式は、ARM ELF 仕様書に記載されており、.axf というファイル拡張子を使用します。

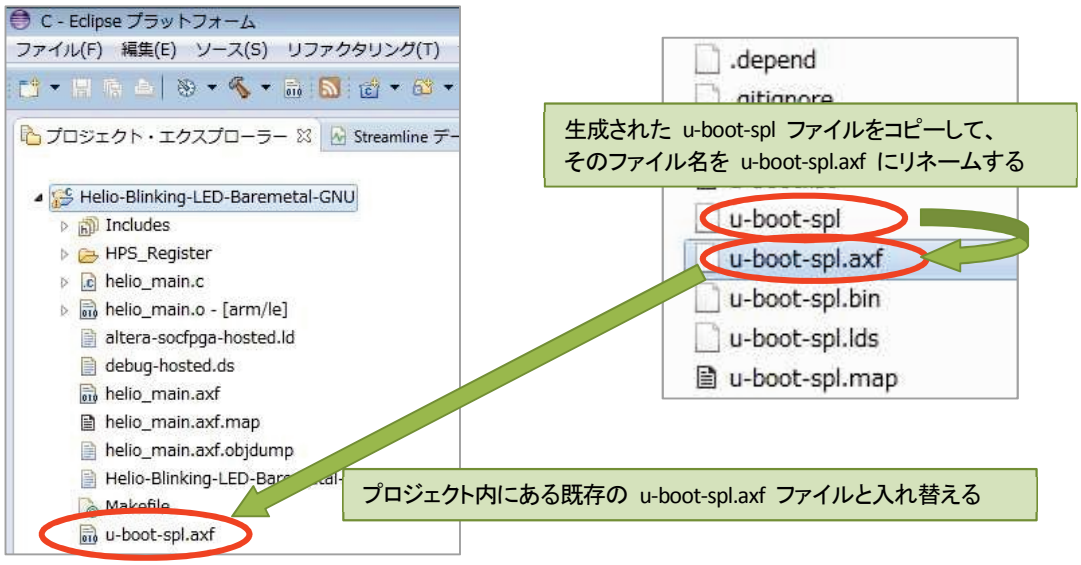
■ 「12. Preloader の生成手順」で Preloader を生成しましたが、このとき、
<Quartus プロジェクト>¥software¥spl_bsp¥uboot-socfpga¥spl フォルダの下に **u-boot-spl** ファイルが生成されます。
このファイルが Preloader の ELF ファイルとなります。



【図 13-1.1】生成された u-boot-spl ファイル

■ カスタム・ボード向けに生成した Preloader の実行可能バイナリ・ファイル **u-boot-spl** をコピーしてそのファイル名を axf 拡張子をつけて **u-boot-spl.axf** とリネームして、

例えば **Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU** ベアメタル・サンプル・プロジェクト内にある既存の u-boot-spl.axf ファイルと入れ替えれば、ユーザのカスタム・ボード向けの Preloader を使用して DS-5 で実行／デバッグを行うことが可能です。



【図 13-1.2】u-boot-spl ファイルをコピーして u-boot-spl.axf とリネームし差し換える

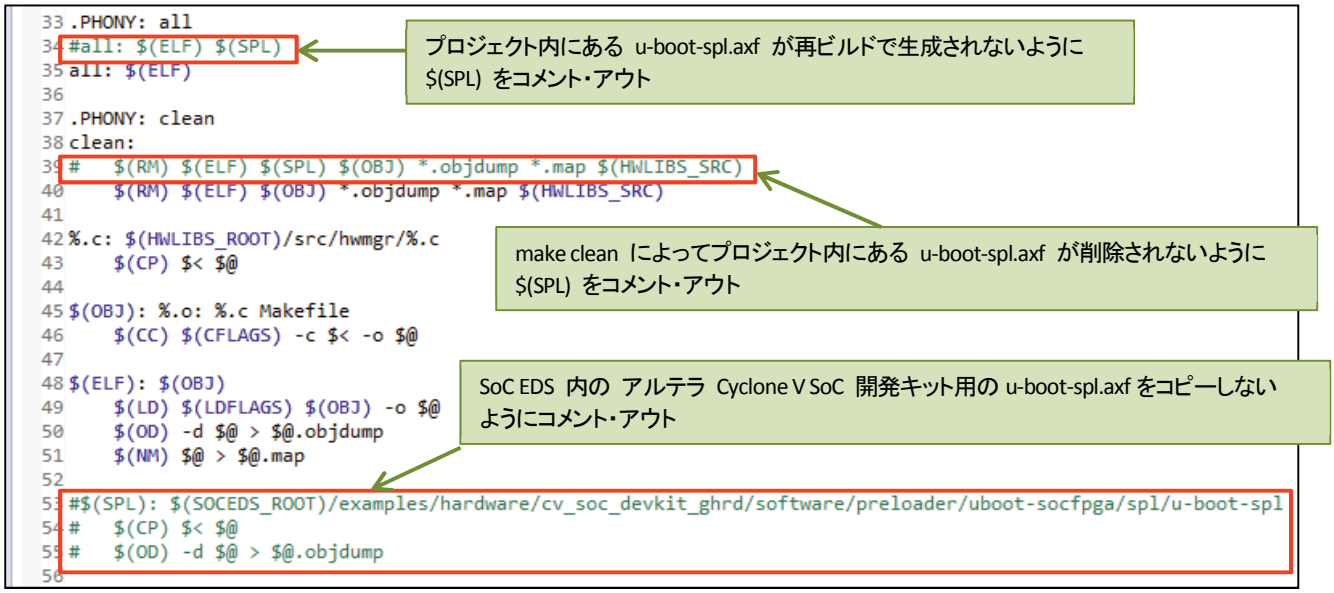
13-2.Makefile の編集

必要に応じて **Makefile** を編集して Preloader に関係する部分をコメント・アウトおよび編集します。

※ ご利用のサンプル・アプリケーションにより、Makefile の記述内容が異なる場合があります。

(1) SoC EDS に格納される アルテラ Cyclone V SoC 開発キットの Preloader のコピーをさせないように変更します。

(2) make clean にてコピーしたカスタム・ボード向け Preloader 実行可能バイナリが削除されないように変更します。



【図 13-2.1】Makefile の編集例

13-3.生成した Preloader を SD カードに書き込むには

- SD カードの場合、Preloader は Windows のファイル・システムではアクセス不可能な領域に格納されています。
- まずは **RocketBoards.org** に公開されている SD カード・イメージ、または SoC EDS 付属の SD カード・イメージを microSD カードに書き込んでください。これにより、microSD カード内に Preloader を書き込むためのパーティションが作成されます。
  SD カード・イメージの書き込み方法については、下記リンクのビデオを参照ください。
  https://www.youtube.com/watch?v=SnJrEv17u0M

- Preloader バイナリ・ファイルの書き込みは、 SoC EDS ツールのバージョンにより異なります。
  - **SoC EDS v13.1 以前のバージョン**:
    基本的に Linux® の **dd** ユーティリティを使用します。(Linux OS がインストールされた PC が必要です。)
  - **SoC EDS v14.0 以降のバージョン**:
    アルテラが提供する **alt-boot-disk-util** というツールを使用して書き込むことができます。

13-3-1. SoC EDS v13.1 以前のバージョン で Preloader を SD カードに書き込むには

- SoC EDS v13.1 以前では SoC EDS 自体に Preloader バイナリを書き込むためのツールが無いため、基本的に Linux の dd ユーティリティ・コマンドを使用します。
  そのため Linux OS がインストールされた PC が必要です。

- Preloader を部分的にアップデートするには、Linux PC に SD カードをマウントし dd コマンドを実行します。
  書き込む Preloader のバイナリ・ファイルは「12-3. Preloader のビルド」の手順で生成したヘッダ情報が付加された **preloader-mkpimage.bin** です。

(1) Linux PC に SD カードを接続すると、この例では sdb が見えるようになります。(PC の SD カード・スロットで見えない場合は、USB カード・リーダ経由で試してください。)

```
$ sudo  cat  /proc/partitions
```

【 Ubuntu での表示例 】

11	0	1048575	sr0
8	0	100663296	sda
8	1	96468992	sda1
8	2	1	sda2
8	5	4191232	sda5
8	16	7822336	sdb
8	17	512000	sdb1
8	18	1536000	sdb2
8	19	10240	sdb3

【 CentOS での表示例 】

8	0	33554432	sda
8	1	512000	sda1
8	2	33041408	sda2
253	0	30973952	dm-0
253	1	2064384	dm-1
8	16	7822336	sdb
8	17	512000	sdb1
8	18	1536000	sdb2
8	19	10240	sdb3

(2) **dd** コマンドを実行して Preloader バイナリを書き込みます。

```
$ sudo  dd  if=preloader-mkpimage.bin  of=/dev/sdb3  bs=64k  seek=0
```

13-3-2. SoC EDS v14.0 以降のバージョン で Preloader を SD カードに書き込むには

- SoC EDS v14.0 からは アルテラ が提供する **alt-boot-disk-util** というツールを使用して書き込むことができます。
- このツールは Windows 上から Embedded Command Shell のウインドウからコマンド入力することで実行可能です。
- Preloader を部分的にアップデートするには、Embedded Command Shell から 下記のコマンドを実行します。
  書き込む Preloader のバイナリ・ファイルは「12-3. Preloader のビルド」の手順で生成したヘッダ情報が付加された **preloader-mkpimage.bin** です。

※ 注記:
下記コマンドにおいて、**-d F** は Windows PC に挿した SD カードのドライブが **F ドライブ**である場合の指定例です。SD カードのドライブは実際のご使用環境に合わせて指定してください。

```
$ alt-boot-disk-util  -p  preloader-mkpimage.bin  -a  write  -d  F
```

14. FPGA レジスタの確認方法

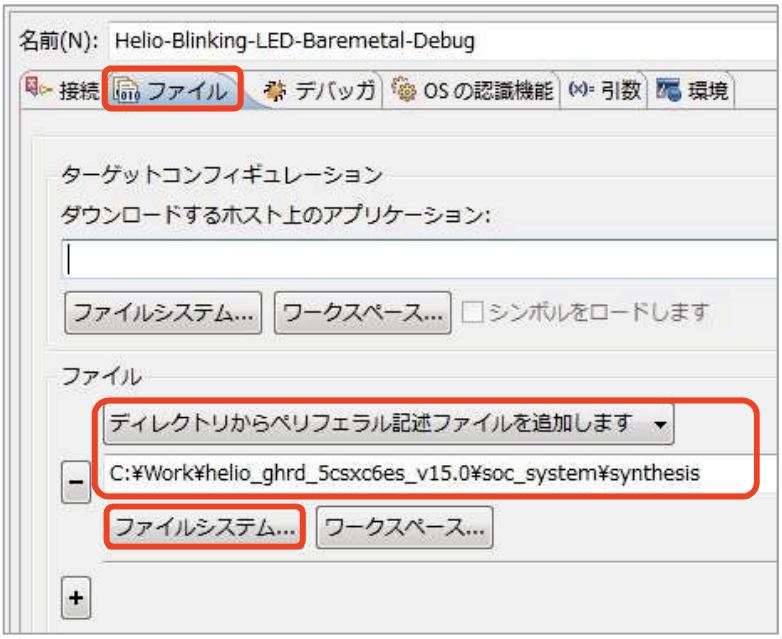
■ ペリフェラル記述ファイル(.svd)を追加して DS-5 のレジスタ・ビューから FPGA / Soft IP レジスタを見るには、DS-5 の「**デバッグの構成**」から、

(1) 「**ファイル**」タブをクリックして、

(2) **ディレクトリからペリフェラル記述ファイルを追加** を選択し、

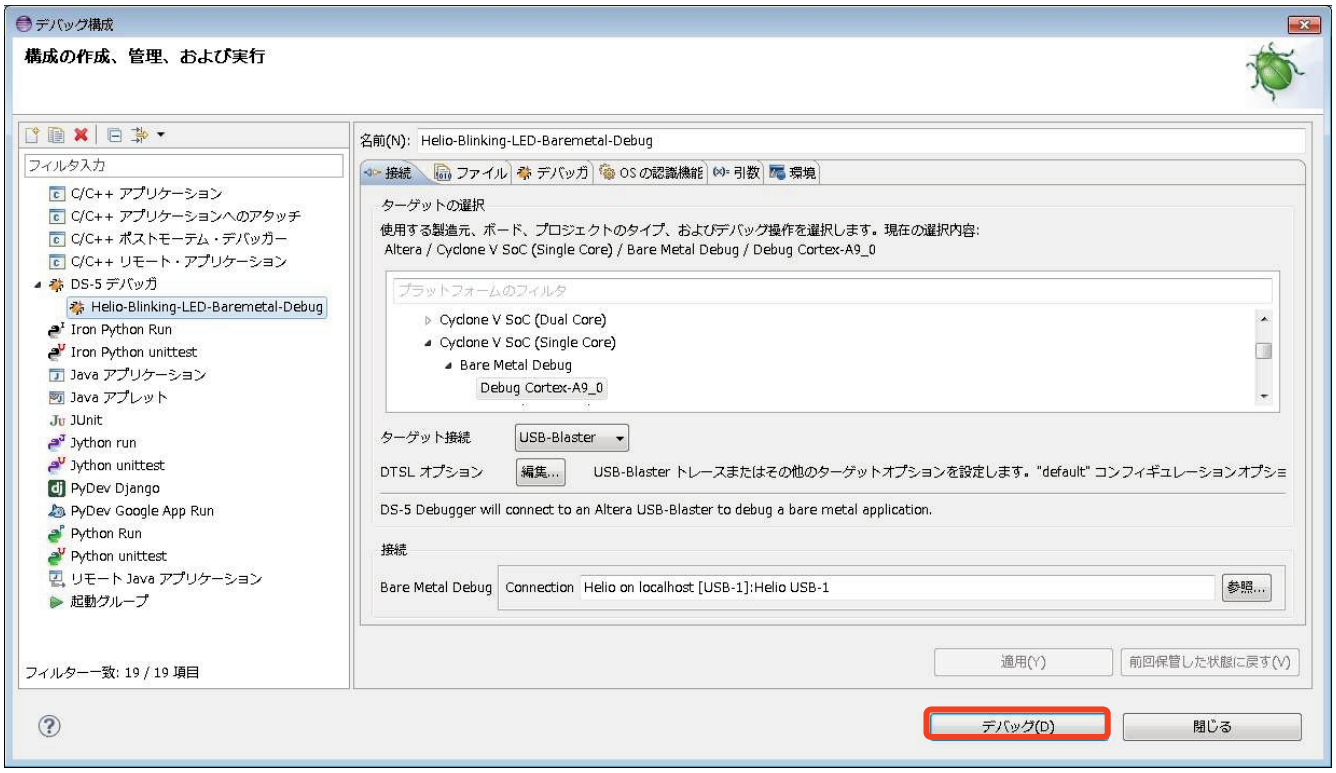
(3) 「**ファイルシステム**」ボタンをクリックして、

(4) **<Quartus プロジェクト>¥<Qsys プロジェクト>¥synthesis** パスを指定します。



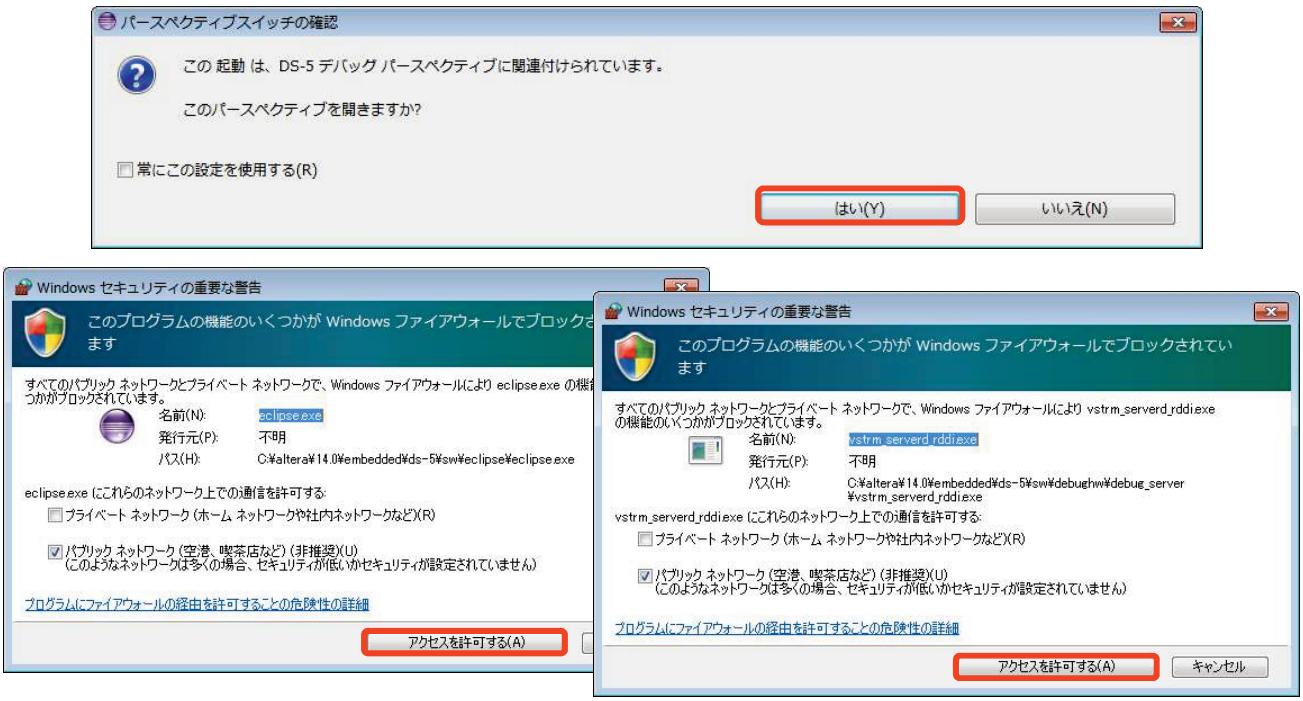
【図 14.1】DS-5 の「デバッグの構成」でペリフェラル記述ファイルを追加

(5) 「**デバッグ**」ボタンをクリックしてデバッガ・スクリプトの実行を開始します。



【図 14.2】「デバッグ」ボタンをクリック

(6) デバッグ パースペクティブへの切り替えのプロンプトが表示されたら「**はい**」を選択します。また Windows ファイアウォールの警告が出た場合は、「**アクセスを許可する**」をクリックします。

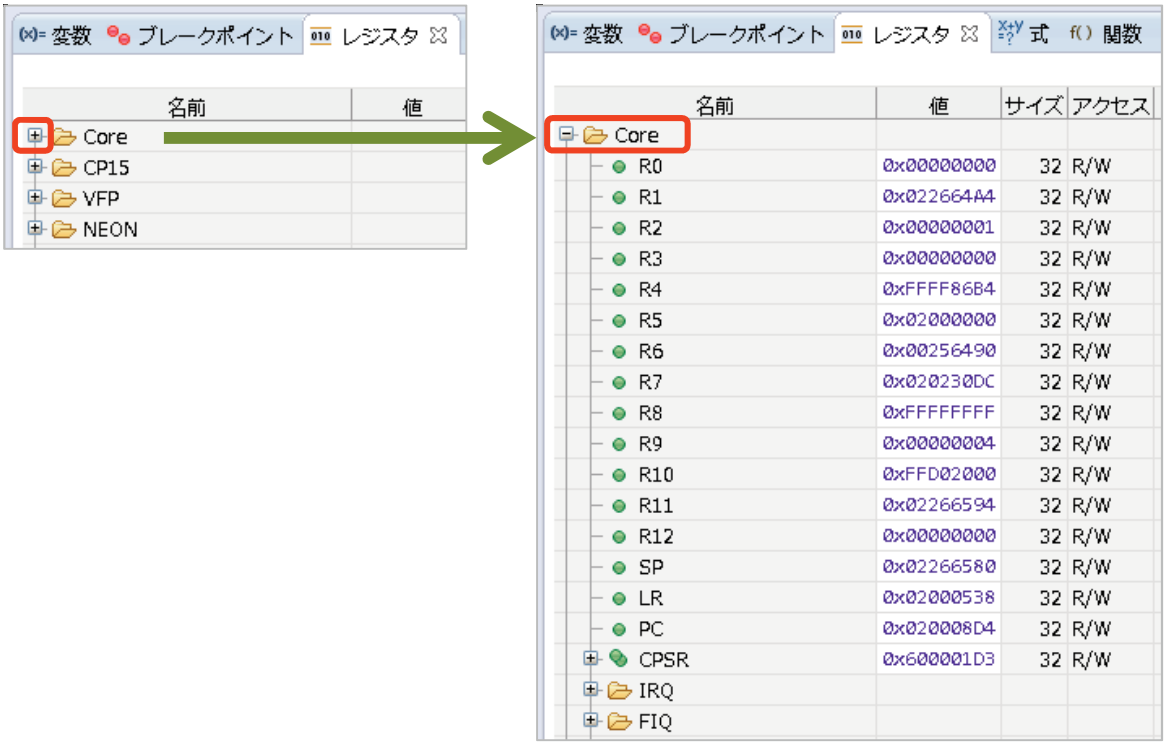


【図 14.3】デバッグ パースペクティブへの切り替えとファイアウォールのアクセス許可

(7) レジスタ・ビューを選択して FPGA と HPS のペリフェラル・レジスタを表示します。

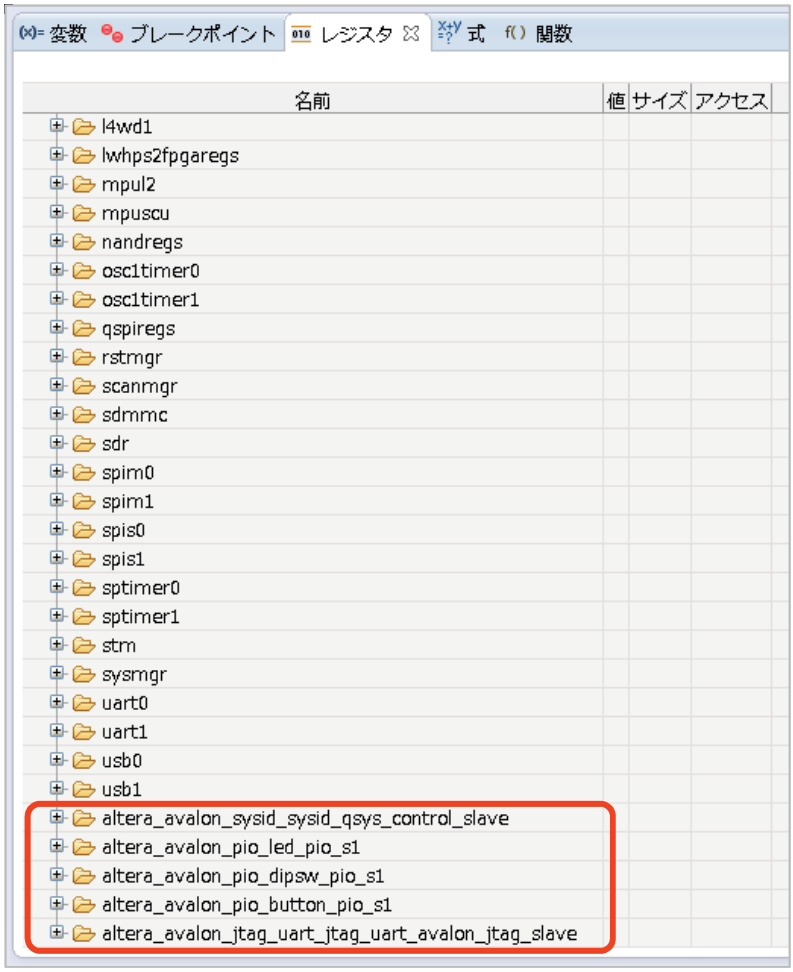
【図 14.4】レジスタ・ビューを選択

(8) 「+」記号をクリックして Core レジスタを展開します。コア・レジスタがすべて表示されて編集できるようになります。



【図 14.5】Core レジスタを展開

(9) Peripherals レジスタ・グループを展開してリストの最後までスクロールします。
altera_avalon_ という接頭辞が付いたものが FPGA 内のソフト IP レジスタです。
「+」記号をクリックしてレジスタを展開することで詳細を確認することができます。



【図 14.6】FPGA 内のソフト IP レジスタ

※ 注記:
ブリッジを初期化していない状態で、FPGA 内のソフト IP レジスタを開かないでください。開くと Eclipse の接続が不安定になることがあります。

15. ベアメタル・アプリケーションの SD カードからのスタンドアローン実行例

15-1.SD カードの準備

(1) **RocketBoards.org** に公開されている SD カード・イメージ、または SoC EDS 付属の SD カード・イメージを microSD カードに書き込んでください。

これにより、microSD カード内に Preloader を書き込むためのパーティションが作成されます。

SD カード・イメージの書き込み方法については、下記リンクのビデオを参照ください。

https://www.youtube.com/watch?v=SnJrEv17u0M

(2) 「13-3. 生成した Preloader を SD カードに書き込むには」の手順に従って、SD カード内の Preloader を生成したものに入れ替えてください。

※ 注記 1:

ベアメタル・アプリケーションをスタンドアローン・ブートさせる場合は、bsp-editor (Preloader Generator) にて “**SEMIHOSTING**” のチェック・ボックスを必ず **OFF** にして生成した Preloader を使用してください。

※ 注記 2:

ベアメタル・アプリケーションを使用する場合は、bsp-editor (Preloader Generator) にて “**WATCHDOG_ENABLE**” のチェック・ボックスを **OFF** にして生成した Preloader を使用してください。また、ベアメタル・アプリケーションでウォッチドッグ・タイマを使用する場合は、ウォッチドッグ・タイマが正常に動作するようにプログラム・コードを追加してください。

15-2.DS-5 プロジェクトへの追加ファイル

ベアメタル・アプリケーションをスタンドアローン実行できるようにするために、次に説明する 2 つのファイル（**startup.s**, **altera-socfpga-unhosted.ld**）を用意して DS-5 プロジェクト（この例では、Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU ベアメタル・サンプル・プロジェクト）へ追加します。

(1) **startup.s**

スタートアップ・ルーチンにおいて割り込み禁止にすることで、ユーザ・アプリケーション実行時に一旦割り込みを無効化してハングアップを防ぎます。(u-boot で有効化した割り込みが、ユーザ・アプリケーション実行後に入らないようにするための対処です。)

startup.s のソース・コードの例を以下に示します。テキスト・エディタで記述して startup.s という名前で保存し、DS-5 プロジェクトに追加してください。

```
.global __reset

.text

__reset:
     mrs  r0, cpsr       /* Interrupt disable */
     orr  r0, r0, #0xC0  /* Interrupt disable */
     msr  cpsr_cxsf,r0   /* Interrupt disable */

     mrc  p15,0,r0,c1,c0,2    /* read CPACR */
     orr  r0,r0,#0x00f00000   /* Enable NEON/VFP user access */
     mcr  p15,0,r0,c1,c0,2    /* Write to CPACR */
     isb
     mov  r0,#0x40000000      /* Enable VFP/NEON Hardware */
     mcr  p10, 7, r0, cr8, cr0, 0 /* Write to fpexc */

     b _start
```

【リスト 15-2.1】startup.s のソース・コードの例

(2) **altera-socfpga-unhosted.ld**

例として、Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU ベアメタル・サンプル・プロジェクト内にある既存の altera-socfpga-hosted.ld リンカ・スクリプト・ファイルをコピーして、altera-socfpga-unhosted.ld にファイル名を変更し、以下の 2 箇所を変更します。

これにより、上記 (1) で追加したスタートアップ・ルーチン startup.s の __reset を参照するようになります。

```
/*GROUP(-lgcc -lc -lcs3 -lcs3hosted -lcs3arm)*/        /* オリジナルをコメント・アウト */
GROUP(-lgcc -lc -lcs3 -lcs3unhosted -lcs3arm)         /* lcs3unhosted に変更 */

/*    PROVIDE(__cs3_reset = __cs3_reset_generic); */  /* オリジナルをコメント・アウト */
    PROVIDE(__cs3_reset = __reset);                   /* 追加した startup.s の __reset を参照するように変更 */
```

【リスト 15-2.2】altera-socfpga-unhosted.ld リンカ・スクリプト・ファイル(変更箇所)

15-3.DS-5 プロジェクトの Makefile の修正

ベアメタル・アプリケーションをスタンドアローン実行できるようにするために、DS-5 プロジェクト(この例では、Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU サンプル・プロジェクト)の **Makefile** を追記・修正します。

これにより、startup.s アセンブラ・ソース・コードを追加して、リンカ・スクリプト・ファイルとして altera-socfpga-unhosted.ld を使用するようになります。

既存の Makefile に対して以下の箇所を追記・修正します。

> **※ 注記:**
> オリジナルの Makefile は、Malefile_org のようにリネームして保存しておくことをお奨めします。

```
ASM_SRC := startup.s                                # 追記

ASFLAGS :=  -march=armv7-a -mcpu=cortex-a9          # 追記

#LINKER_SCRIPT := altera-socfpga-hosted.ld          # オリジナルをコメント・アウト
LINKER_SCRIPT := altera-socfpga-unhosted.ld         # 追記

AS := $(CROSS_COMPILE)as                            # 追記

#OBJ := $(patsubst %.c,%.o,$(C_SRC))                # オリジナルをコメント・アウト
C_OBJ := $(patsubst %.c,%.o,$(C_SRC))               # 追記
ASM_OBJ := $(patsubst %.s,%.o,$(ASM_SRC))           # 追記
OBJ := $(C_OBJ) $(ASM_OBJ)                          # 追記

#$(OBJ): %.o: %.c Makefile                          # オリジナルをコメント・アウト
$(C_OBJ): %.o: %.c Makefile                         # 追記
     $(CC) $(CFLAGS) -c $< -o $@

$(ASM_OBJ): %.o: %.s Makefile                       # 追記
     $(AS) $(ASFLAGS) -c $< -o $@                   # 追記
```

【リスト 15-3.1】Makefile の追記・修正箇所

15-4.ソース・ファイルの変更

■ ベアメタル・アプリケーションをスタンドアローン実行する際、必要に応じて アプリケーションのソース・コードを修正します。

■ ここでは例として、Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU サンプル・プロジェクト内にある既存の **helio_main.c** ソース・ファイルを一部追記・修正します。

※ printf() 文を使用してコンソールに文字出力するには、UART 出力関数の作成・追加が必要となりますが、この例では作成・追加を行いませんので、printf() 文によるコンソール文字出力は実行されません。

※ printf() 文が機能しない状態では、LED の点滅が速く目視で確認しづらくなるため、この例では for (j=0; j < 0x10000; j++); によるディレイを追加しています。

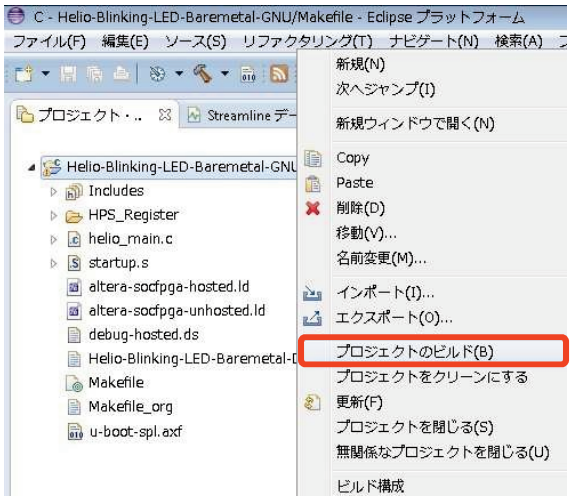
```
int main(int argc, char** argv)
{
    int i;
    int j;    /* 追加 */

    printf("Hello from Helio ¥n");

    while(1)
    {
        for(i=0; i < 8; i++){
            alt_write_word(LED_BASE_ADDR,i);
            printf("LED [%x] ¥n",i);
            for (j=0; j < 0x10000; j++);        /* ディレイを追加 */
        }
    }

    return 0;
}
```

【リスト 15-4.1】helio_main.c ソース・ファイルの変更

15-5.ベアメタル・アプリケーションのビルド

■ ここまでの手順が全て終わったら、DS-5 プロジェクト（この例では、Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU サンプル・プロジェクト）を右クリックして［**プロジェクトのビルド(B)** ］を実行します。

■ ビルドが完了すると、ベアメタル・アプリケーションの **.axf ファイル**（この例では、helio_main.axf）が生成されます。



【図 15-5.1】プロジェクトのビルド

15-6.ベアメタル・アプリケーションの実行バイナリの作成と起動

ベアメタル・アプリケーションをスタンドアローン実行させるには、次の 2 つの方法があります。

- SD カードの FAT 領域 にアプリケーションの実行バイナリ・ファイルを配置して u-boot から起動 する方法(15-6-1 節で説明)
- SD カードの u-boot 領域 にアプリケーションの実行バイナリ・ファイルを格納して Preloader から起動する方法(15-6-2 節で説明)

15-6-1. SD カードの FAT 領域 にアプリケーションを配置して u-boot から起動 する方法

u-boot からユーザ・アプリケーションを起動する場合は、アプリケーションの実行バイナリ・ファイルを生成し、それを Windows から認識可能な FAT パーティションに対してコピーすることになります。

以下に手順を説明します。

(1) Embedded Command Shell から 以下のコマンドを実行して、DS-5 プロジェクト(この例では、Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU サンプル・プロジェクト) ディレクトリに移動して、ベアメタル・アプリケーションの実行バイナリ・ファイル(この例では、helio_main.bin)を作成します。

```
$ cd "C:¥DS-5 Workspace¥Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU"
$ arm-altera-eabi-objcopy -v -O binary helio_main.axf helio_main.bin
```

(2) 生成されたベアメタル・アプリケーション実行バイナリ・ファイル(この例では、helio_main.bin)を SD カードの FAT 領域にコピーします。

(3) アプリケーションが FPGA 側にアクセスする場合は、FPGA をコンフィギュレーションしておきます。

(4) SD カードをボードに取り付けて、ボードを WARM リセットします。u-boot のコンソール にオート・ブートのカウント・ダウンが表示されるので、Enter キーを入力してカウント・ダウンを停止させます。

(5) u-boot のプロンプトから 以下のコマンドを実行するとアプリケーションが起動します。

> **※ 注記:**
> 下記コマンド例は、アプリケーションのスタート・アドレスが 0x02000000 から作成されている場合の例です。アプリケーションのスタート・アドレスは、リンカ・スクリプト・ファイル(.ld)内の **ORIGIN** で定義されています。

```
# fatload mmc 0 0x02000000 helio_main.bin
# go 0x02000000
```

(6) 上記のコマンドを**自動化**する場合には、u-boot のスクリプト機能が使用可能です。上記コマンドをテキスト・ファイルとして保存し、mkimage ツールを使ってヘッダ情報を付加したものを FAT パーティションに格納しておきます。

u-boot がロード対象とするスクリプト名は **u-boot.scr** となっています。

① 例えば、下記のような内容でテキスト・ファイル script.txt を作成します。

```
run bridge_enable_handoff;
fatload mmc 0 0x02000000 helio_main.bin;
go 0x02000000;
```

【リスト 15-6-1.1】script.txt の記述例

② mkimage ツールを実行して script.txt から u-boot.scr を生成します。

u-boot で実行するファイルは、mkimage コマンドで u-boot 用のフォーマットに変換する必要があります。

Embedded Command Shell から 以下のコマンドを実行します。

```
$ mkimage -A arm -O linux -T script -C none -a 0 -e 0 -n "My script" -d script.txt u-boot.scr
```

※ 注記:

SoC EDS v13.1 以前のバージョン では、

デフォルトで mkimage ツールのパスが通っていないため、 DS-5 プロジェクト（この例では、Helio-Blinking-LED-Baremetal-GNU ベアメタル・サンプル・プロジェクト）内に mkimage.exe ファイルをコピーしておく必要があります。

mkimage.exe は、bsp-editor で生成した以下のフォルダにあります。
spl_bsp/uboot-socfpga/tools/mkimage （spl_bsp は bsp-editor で指定したフォルダです）

また、プロジェクト内にコピーした mkimage.exe を実行する際は、コマンド・ラインにおいて **mkimage** と入力してください。

③ SD カードを PC の SD カード・スロットに取り付けて、生成された u-boot.scr を SD カードの FAT 領域にコピーします。

④ SD カードをボードに取り付けて、ボードを WARM リセットすると、u-boot 実行後にベアメタル・アプリケーションが自動的に起動します。

15-6-2. SD カードの u-boot 領域 にアプリケーションを格納して Preloader から起動 する方法

Preloader からユーザ・アプリケーションを起動する場合は、アプリケーションの実行バイナリ・ファイルを生成し、それを SD カードの u-boot 領域に対してコピーすることになります。

以下に手順を説明します。

(1) Embedded Command Shell から 前述 15-6-1. (1) のコマンドを実行してベアメタル・アプリケーションの実行バイナリ・ファイル（この例では、helio_main.bin）を作成します。

(2) 以下のコマンドを実行して u-boot 領域に格納するベアメタル・アプリケーション実行バイナリ・ファイル（この例では、helio_main.img.bin）を作成します。

> **※ 注記:**
> 下記コマンド例は、アプリケーションのスタート・アドレスが 0x02000000 から作成されている場合の例です。アプリケーションのスタート・アドレスは、リンカ・スクリプト・ファイル（.ld）内の **ORIGIN** で定義されています。

```
$ mkimage -A arm -O u-boot -T standalone -C none -a 0x02000000 -e 0 -n "baremetal image"
-d helio_main.bin  helio_main.img.bin
```

(3) SD カードの u-boot 領域にベアメタル・アプリケーション実行バイナリ・ファイル（この例では、helio_main.img.bin）を書き込みます。

ご使用の SoC EDS のバージョンに応じて、下記 ① または ② の方法で SD カードの u-boot 領域に実行バイナリ・ファイルを書き込みます。

① SoC EDS v13.1 以前のバージョンでは、SoC EDS 自体に バイナリ・ファイルを書き込むためのツールが無いため、基本的に Linux の dd ユーティリティ・コマンドを使用します。

そのため Linux OS がインストールされた PC が必要です。

u-boot 領域を部分的にアップデートするには、Linux PC に SD カードをマウントし dd コマンドを実行します。

a) Linux PC に SD カードを接続して以下のコマンドを実行すると、この例では sdb が見えるようになります。（PC の SD カード・スロットで見えない場合は、USB カード・リーダ経由で試してください。）

```
$ sudo  cat  /proc/partitions
```

```
   8        16    7822336 sdb
   8        17     512000 sdb1
   8        18    1536000 sdb2
   8        19      10240 sdb3
```

b) 以下の dd コマンドを実行して SD カードの u-boot 領域にベアメタル・アプリケーションの実行バイナリ・ファイルを書き込みます。

```
$ sudo  dd  if=helio_main.img.bin  of=/dev/sdb3  bs=64k  seek=4
```

② SoC EDS v14.0 以降のバージョンでは、Embedded Command Shell から 以下の alt-boot-disk-util コマンドを実行して、SD カードの u-boot 領域に実行バイナリ・ファイル（この例では、helio_main.img.bin）を書き込みます。

※ 注記:

下記コマンドにおいて、**-d F** は Windows PC に挿した SD カードのドライブが **F ドライブ**である場合の指定例です。SD カードのドライブは実際のご使用環境に合わせて指定してください。

```
$ alt-boot-disk-util -b helio_main.img.bin -a write -d F
```

(4) アプリケーションが FPGA 側にアクセスする場合は、FPGA をコンフィギュレーションしておきます。

(5) SD カードをボードに取り付けて、ボードを WARM リセットすると、Preloader 実行後に ベアメタル・アプリケーションが自動的に起動します。

改版履歴

Revision	年月	概要
1	2016 年 5 月	初版
2	2018 年 9 月	① 書式変更 ② Windows® 10 使用の際の Preloader 生成における注記を追加 ③ リンク URL 修正