Nios II SBT によるソフトウェア開発
セクション 3

ver.14

2020 年 6 月 Rev.2

Nios II SBT によるソフトウェア開発 セクション 3

目次

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 3 で取り上げている内容は、以下のとおりです。

- ❑ JTAG デバッグ・コア
- ❑ Nios II デバッグ機能
- ❑ コードのパフォーマンス検証

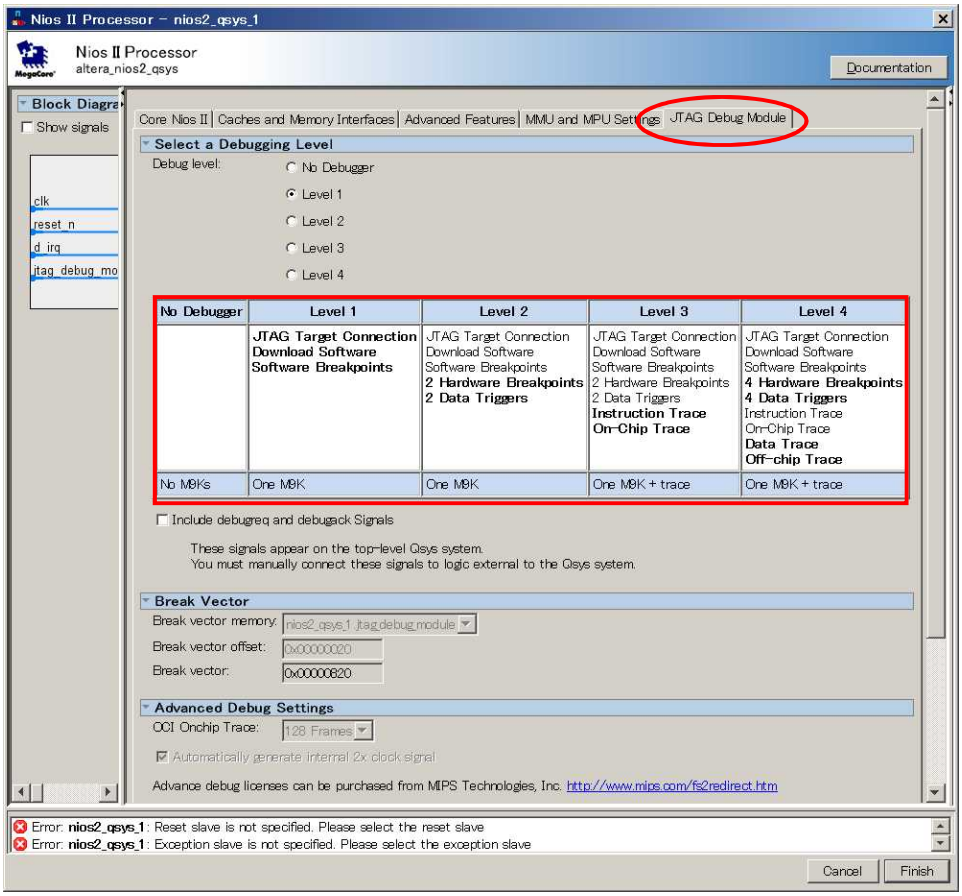
2. JTAG デバッグ・コア

この章では、Nios II をデバッグするために使用する JTAG デバッグ・コアについて説明します。

2-1. Nios II CPU の設定

JTAG デバッグ・コアはシステムの中に実装され、ホスト PC から Nios II とターゲットとなる Qsys システムをコントロールすることを可能にします。JTAG デバッグ・コアを使用する際には、Qsys の Nios II CPU のウィザードの JTAG Debug Module タブでデバッグ・レベルを選択します。

デバッグ・レベルは、Level 1 から 4 まで選択することができ、デバッグ・レベルを上げると使用できるサポート機能が増えます。No debugger は JTAG デバッグ・コアをシステムの中に組み込まない時に設定します。



2-2. JTAG デバッグ・コア

ホスト PC は、JTAG デバッグ・コアを介して Nios II プロセッサと Qsys システム（ターゲット）に接続し、Nios II SBT デバッガにてデバッグを行います。

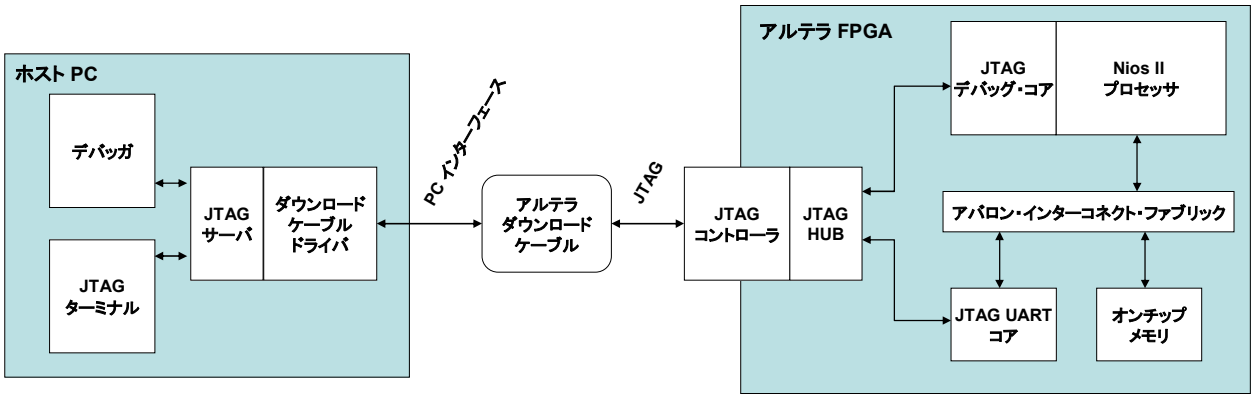
JTAG デバッグ・コアには、2 つのインタフェースがあります。

- ◆ JTAG インタフェースでホストに接続（JTAG HUB ロジック）
  - ― JTAG プログラミング・ケーブルを使用
- ◆ デバッグの対象プロセッサのアバロン・スレーブ・インタフェース
  - ― プロセッサから JTAG デバッグ・コアのメモリとコントロール・レジスタへアクセス

JTAG デバッグ・コアのメモリはオンチップ・メモリを使用し、1024 バイト（256 ワード（32 ビット））です。JTAG 経由でリード・ライトを行うことができ、アバロンのインタフェースからは上位 256 バイトのみ書き込みできます。

JTAG HUB モジュールで JTAG ノードと JTAG ピンの切り替えを行います。JTAG HUB モジュールは、Quartus® II 開発ソフトウェアの合成時に自動で挿入されます。JTAG HUB モジュールによって JTAG デバッグ・コア、Signal Tap® II、JTAG UART 等のノードを共有します。

JTAG UART コアを使用するシステム例



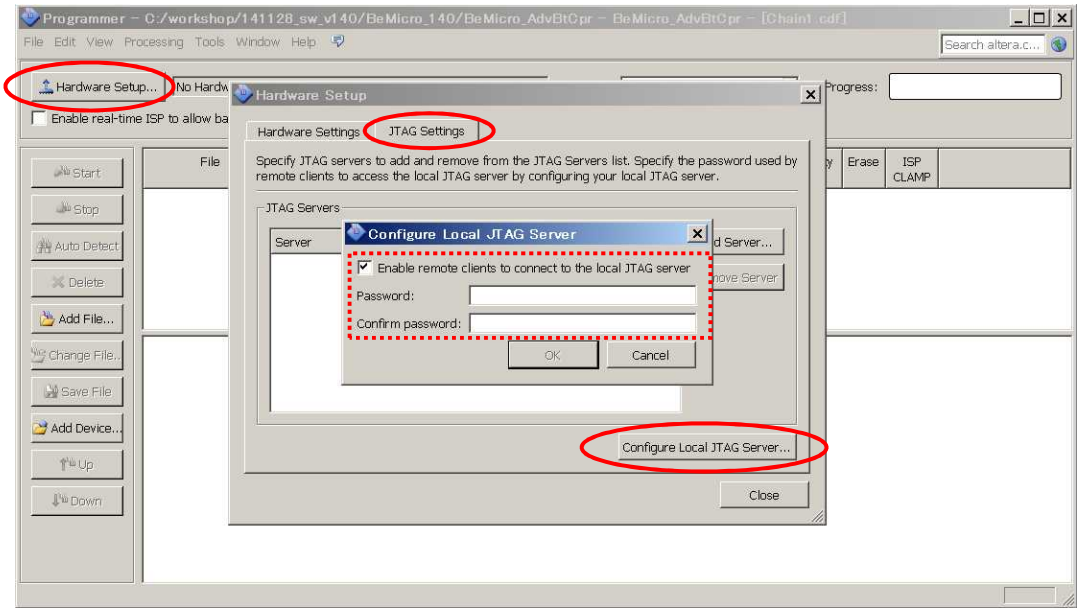
上図のシステム例には Nios II プロセッサと JTAG UART コアが含まれています。ホスト PC 上のデバッガ、JTAG ターミナルとの接続は 1 つのダウンロード・ケーブルを使用します。JTAG サーバ・ソフトウェアによって各ホスト・アプリケーションは独立してターゲットに接続することができます。ここで言う、JTAG ターミナルとは、System Console や Nios II Console（Eclipse 上のターミナル）、SignalTap II などのホスト PC 上で動作する各種ソフトウェアを指します。

2-3. リモート・デバッグ

JTAG サーバはリモート・デバッグをサポートしており、遠隔地のホストを JTAG デバッグ・サーバとして設定し、Quartus II 開発ソフトウェアのプログラマと Nios II SBT により遠隔からターゲットをコントロールすることができます。

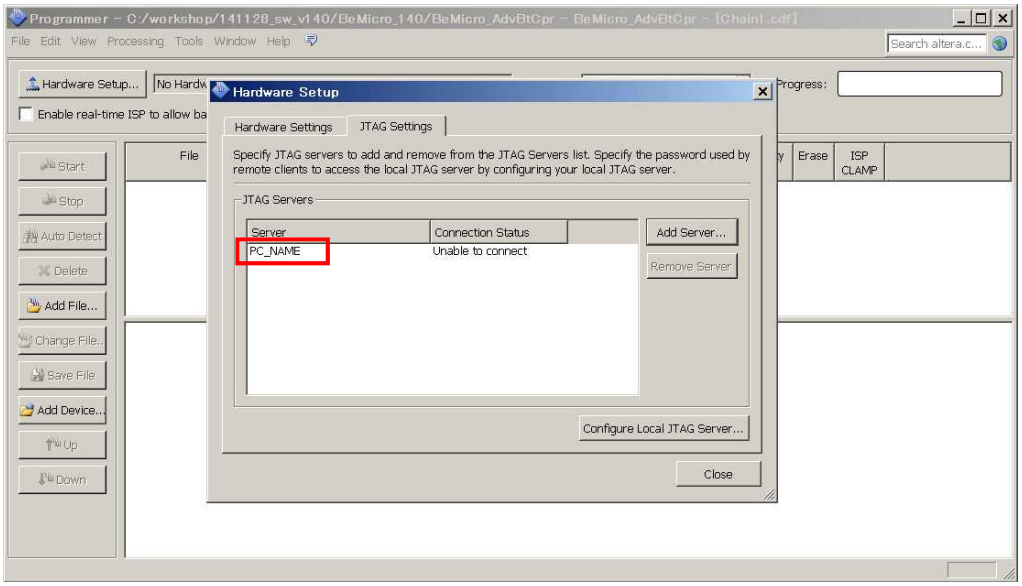
ボードが接続された PC を遠隔クライアントから操作できるようにするために、リモート JTAG サーバの設定を行います。

Quartus II 開発ソフトウェアのプログラマ・ウィンドウにて、リモート・クライアントを有効にし、接続するためのパスワードを設定します。



遠隔の PC と手元の PC を接続するために、手元の PC にて Quartus II 開発ソフトウェアのプログラマでリモート・サーバの名前を入力し、サーバ側で設定したパスワードを入力します。

サーバが登録されますと、手元の PC の Quartus II 開発ソフトウェアのプログラマからリモートのサーバに接続されている使用可能な USB-Blaster™ が認識されるので、使用するプログラミング・ハードウェアに設定して書き込みを行います。



3. Nios II デバッグ機能

この章では、Nios II SBT のデバッグ機能のより高度なデバッグにて使用できるオプションを説明します。

3-1. Nios II デバッグ・オプション

3-1-1. Nios II SBT 起動オプション

Run メニュー ⇒ Debug Configurations… の Target Connection タブと Debugger タブにて、デバッガ起動オプションの設定を行います。下記のオプションの設定を行うことができます。

- System ID checks（Target Connection タブにて設定）

  ホスト PC にある実行コード（.elf）の System ID と接続先の FPGA にある System ID のチェックに関する設定です。

  - Ignore mismatched system ID

    チェックを入れると、Qsys で設定した System ID のチェックを行いません。

  - Ignore mismatched system timestamp

    チェックを入れると、System ID のタイムスタンプのチェックを行いません。

- Download（Target Connection タブにて設定）

  デバッグ時のエントリ・ポイントを設定します。

  - Download ELF to selected target system

    ホスト PC から実行コード（.elf）を実行領域に設定されている RAM にダウンロードします。チェックが無い場合、実行中のプログラムにアタッチします。

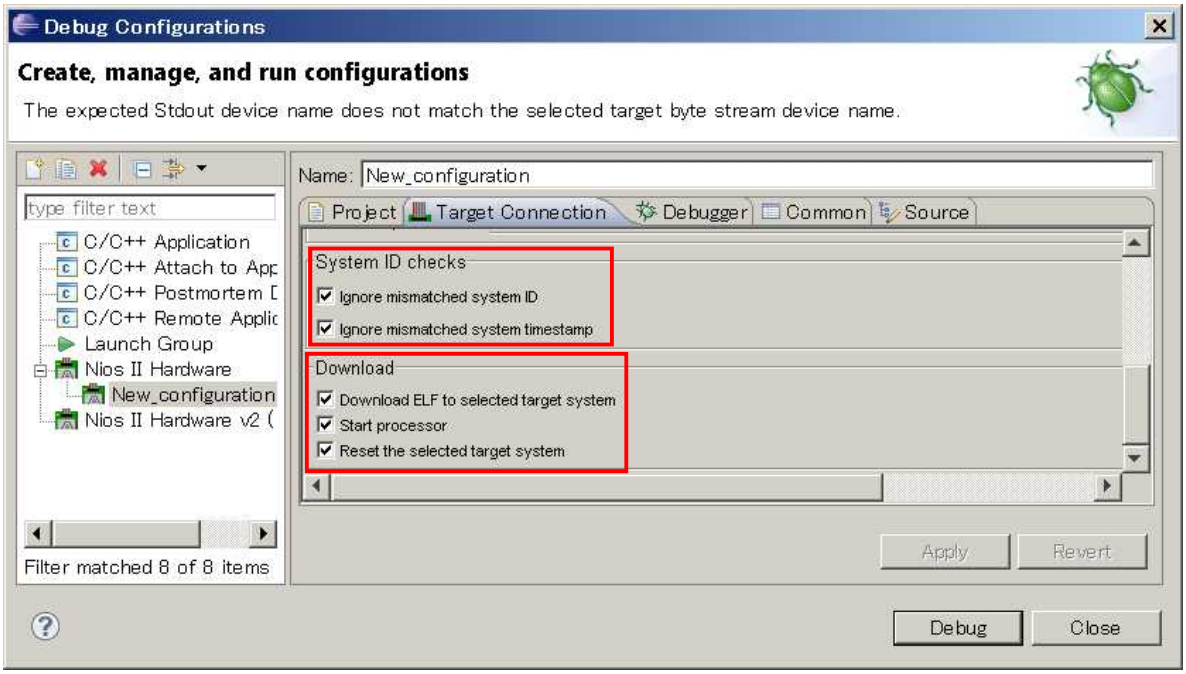
  - Reset the selected target system

    実行コード（.elf）をダウンロードした後に、Nios II をリセットします。

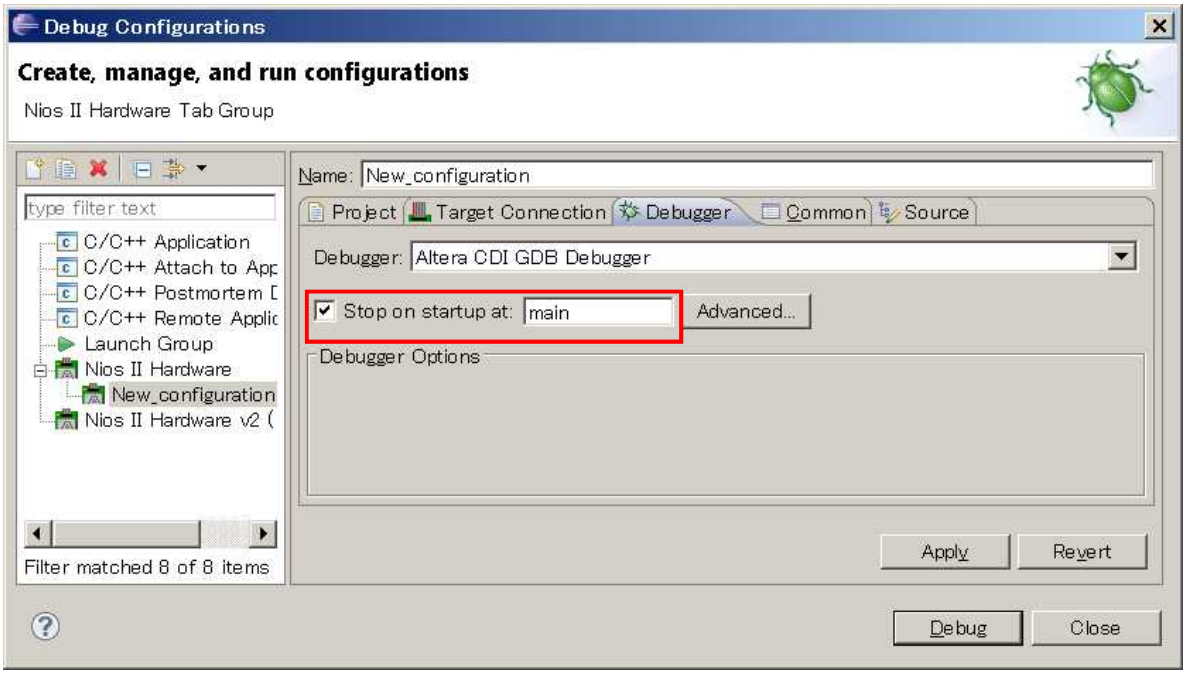
- Stop on startup at（Debugger タブにて設定）

  デバッグ時にエントリ・ポイントを設定するかの設定になります。チェックを入れた場合、デバッグ時に指定した関数（default: main）の先頭で停止します。

デバッガ設定画面（Target Connection タブ）



デバッガ設定画面（Debugger タブ）

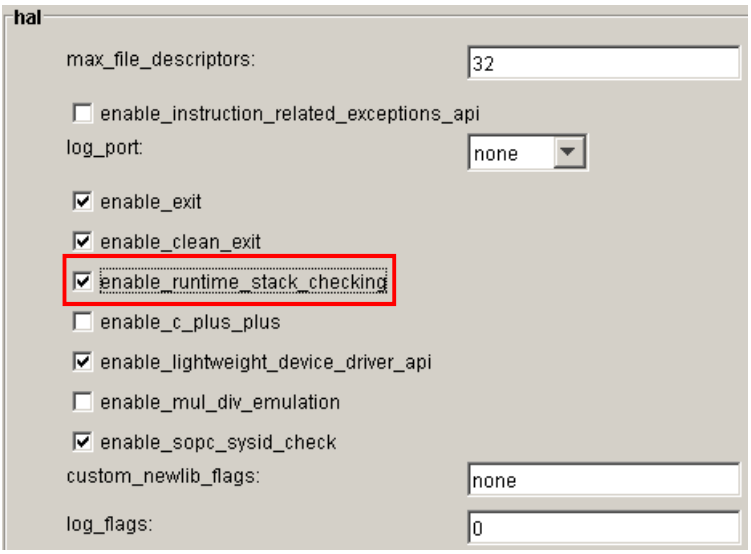


3-1-2. スタック・オーバーフロー・チェックのオプション

デバッグ実行時にメモリのスタック・オーバーフロー・チェックを行うことができます。

BSP Editor の Main タブの Advanced にある enable_runtime_stack_checking のオプションをオンにすることによって、関数のエントリ前にメモリのスタック・ポインタがスタック・リミットを超えていないかを比較し、超えた場合にはプログラムを停止するための break の命令が挿入されます。

スタック・オーバーフローが発生した場合には、プログラムは break 命令が実行され停止します。この break はデバッガの逆アセンブラビューで表示され、確認することができます。



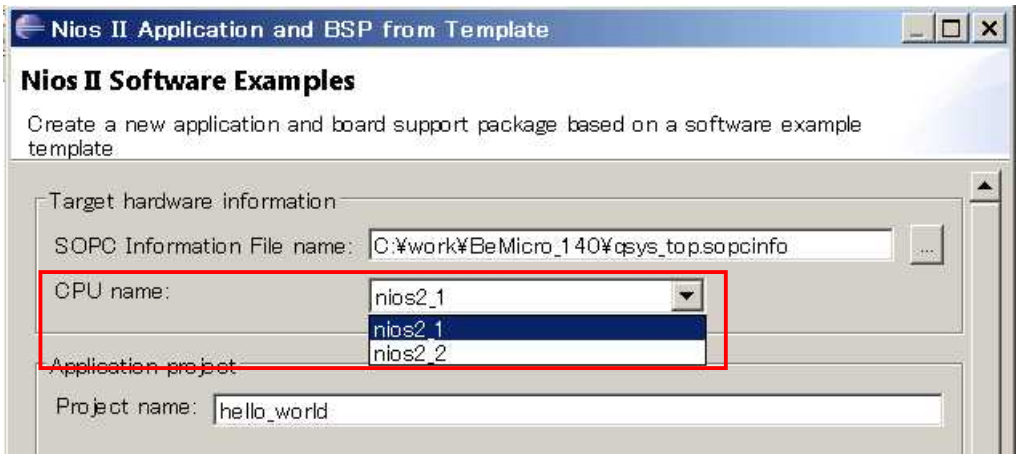
3-2. マルチ・プロセッサ・システムのデバッグ

Qsys システムでは複数の Nios II を組み込んだシステムを構築することができます。

Nios II SBT はマルチ・プロセッサ・デバッグに対応しており、プロセッサ毎にデバッグを行うことができます。ターゲットとなるプロセッサを操作している時に、その他のプロセッサも同時にデバッグすることができます。

3-2-1. マルチ・プロセッサ用ソフトウェア・プロジェクトの作成

マルチ・プロセッサ用のソフトウェア・プロジェクトを作成する場合には、プロセッサ毎にプロジェクトを作成します。新規プロジェクト・ウィザードにて選択する Qsys システムの .sopcinfo ファイルは共通ですが、システム内のどのターゲットとなるプロセッサかを CPU: の項目にて設定し、ソフトウェア・プロジェクトを作成します。



※ 複数のプロセッサのプログラム・メモリを共有のメモリに割り当てる際には、それぞれのプロセッサ用にパーティションを分ける必要があります。プロセッサ毎のメモリのパーティションは、それぞれのプロセッサの設定のエクセプション・アドレスを先頭アドレスとして分けることができます。

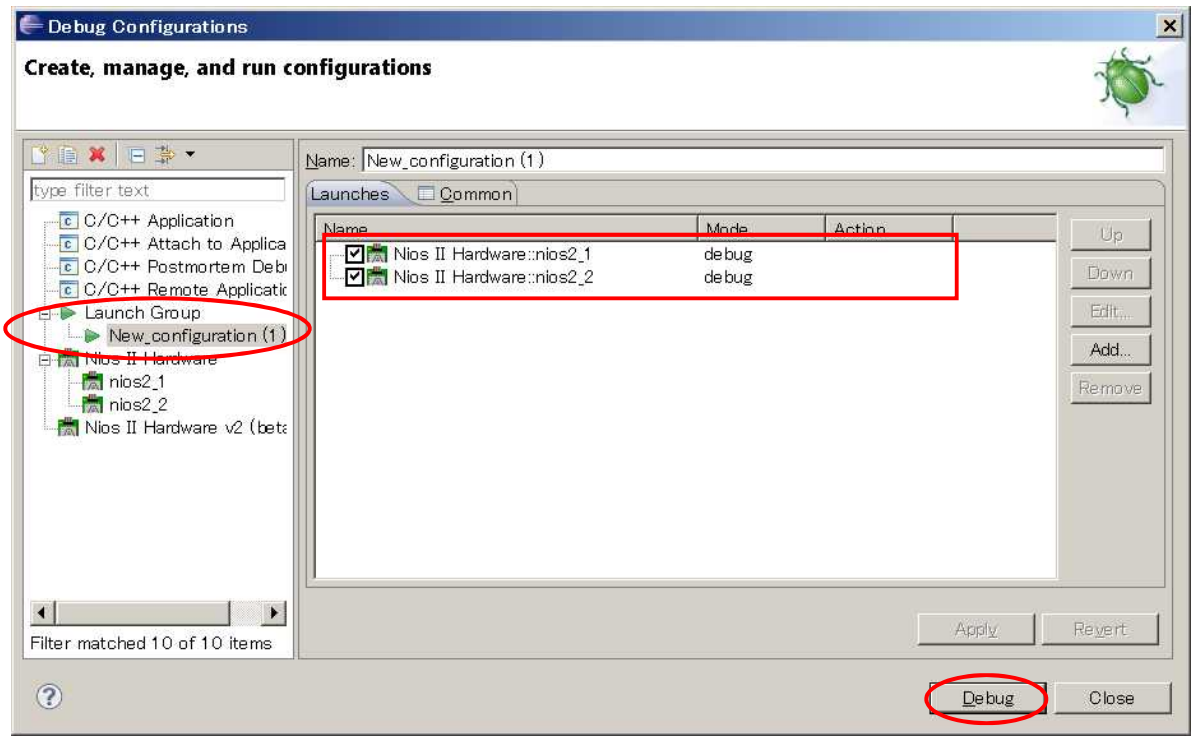
3-2-2. マルチ・プロセッサの起動

各プロセッサをひとつのグループとして登録し一括で実行、デバッグを Nios II SBT 上から行うことができます。

複数のプロジェクトを一括起動するために、複数のプロジェクトをグループにまとめます。

Run メニュー ⇒ Debug Configurations… Nios II Hardware より、プロセッサ毎にデバッグ時のオプションを設定します。Target Connection タブの Connections の Processors にて、ターゲットとなるプロセッサのインスタンス ID を選択します。マルチ・プロセッサ・システムの場合には必ずインスタンス ID を選択する必要があります。

次に Launch Group で一括起動するプロジェクトを選択しグループを作成し、Debug で実行します。



4. コードのパフォーマンス検証

この章では、プログラムのパフォーマンスを測定する方法を紹介します。パフォーマンス・カウンタを使用する方法とデバッガのプロファイリング機能を使用する方法の 2 つを主に紹介します。

4-1. パフォーマンス・カウンタ

4-1-1. パフォーマンス・カウンタの概要

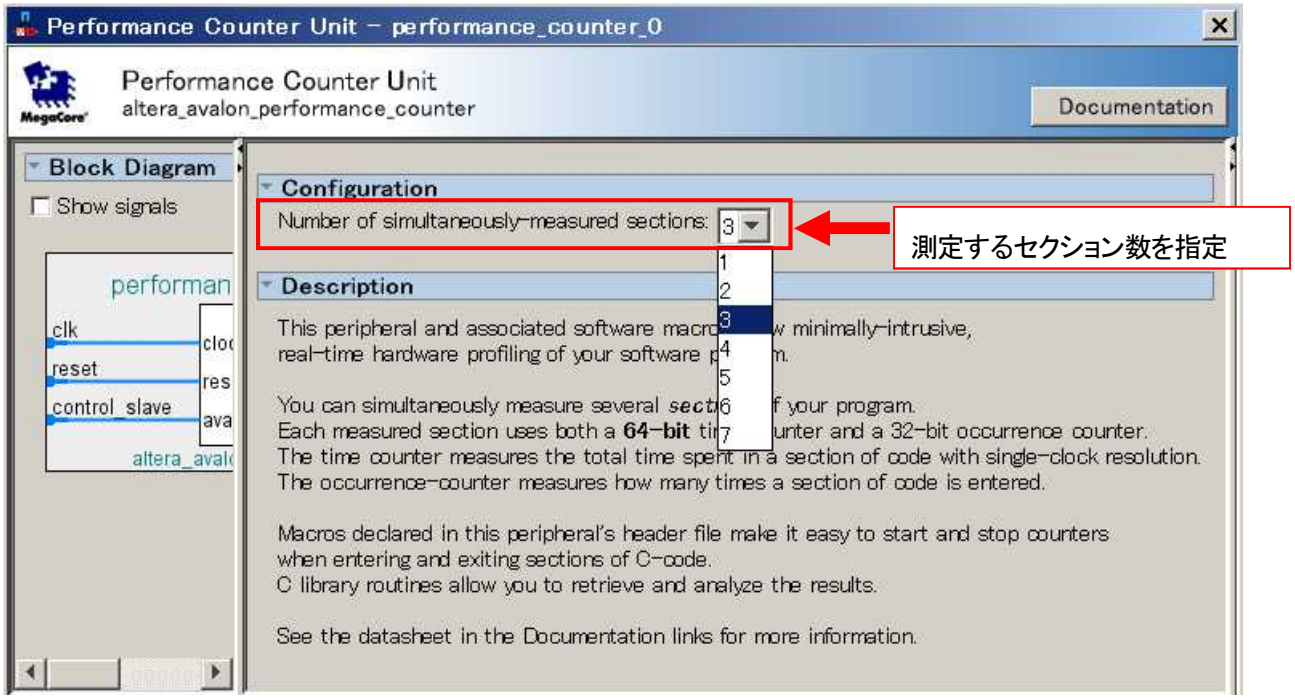
Qsys の Performance Counter Unit を使用してコード内の指定したセクションで費やされた時間をシステム・クロックの精度で測定することができます。

パフォーマンス・カウンタは内部に 2 つのカウンタを持ちます。

- ◆ Time Counter ： 64 ビットカウンタ、指定したコード・セクションの実行時間をシステム・クロックの精度で測定
- ◆ Event Counter ： 32 ビットカウンタ、指定したコード・セクションの実行回数を測定

パフォーマンス・カウンタは、測定開始から終了までのすべての実行時間、および実行回数を測定するカウンタ（グローバル・カウンタ）のほかに、各セクションを測定するカウンタ（セクション・カウンタ）を複数持ち、異なるコード・セクションの実行時間、回数を同時に測定することが可能です。

測定するセクション数を指定することによって、それぞれのセクション毎に Time Counter と Event Counter が生成され測定に使用されます。



4-1-2. パフォーマンス・カウンタの使用例

パフォーマンス・カウンタを制御するためのマクロが altera_avalon_performance_counter.h ファイル内で定義されており、使用することができます。パフォーマンス測定には、下記のマクロをコード中の測定したいセクションの前後に挿入します。

使用方法の概要は以下のとおりです。

- 全てのカウンタを停止し、0 にリセットします（PERF_RESET()）
- グローバル・カウンタを開始し、セクション・カウンタをイネーブルにします（PERF_START_MEASURING()）
- コード・セクションの測定を開始します（PERF_BEGIN()、PERF_END()）
- グローバル・カウンタを停止し、セクション・カウンタをディセーブルにします（PERF_STOP_MEASURING()）

パフォーマンス・カウンタ使用例

```
#include "system.h"
#include "altera_avalon_performance_counter.h"

int main()
{
  ...
  // パフォーマンスカウンタのリセット
  PERF_RESET (PERFORMANCE_COUNTER_BASE);
  ...
  // 測定スタート
  PERF_START_MEASURING (PERFORMANCE_COUNTER_BASE);

  // 測定セクション 1 スタート
  PERF_BEGIN (PERFORMANCE_COUNTER_BASE, 1);
  ...
  //処理 Section 1
  ...
  // 測定セクション 1 エンド
  PERF_END (PERFORMANCE_COUNTER_BASE, 1);

    // 測定セクション 2 スタート
  PERF_BEGIN (PERFORMANCE_COUNTER_BASE, 2);
  ...
  //処理 Section 2
  ...
  // 測定セクション 2 エンド
  PERF_END (PERFORMANCE_COUNTER_BASE, 2);

  //測定ストップ
  PERF_STOP_MEASURING (PERFORMANCE_COUNTER_BASE);
```

パフォーマンス・カウンタ・ユニットのベース・アドレス（system.h ファル内で定義）

カウンタ・セクション番号

#1 のセクション・カウンタの測定対象コード

#2 のセクション・カウンタの測定対象コード

パフォーマンス・カウンタ マクロ

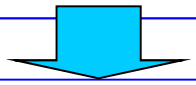
マクロ	概要
PERF_RESET(hw_base_address **)**	すべてのカウンタを停止し無効にします。リセット時には 0 に設定されます
PERF_START_MEASURING(hw_base_address **)**	グローバル・カウンタをスタートさせ、セクション・カウンタを有効にします
PERF_STOP_MEASURING(hw_base_address **)**	グローバル・カウンタを停止し、セクション・カウンタを無効にします
PERF_BEGIN(hw_base_address, which_section **)**	コード・セクションの開始位置
PERF_END(hw_base_address, which_section **)**	コード・セクションの終了位置

※ hw_base_address : パフォーマンス・カウンタ・ユニットのベース・アドレス

which_section : カウンタ・セクション番号

さらに、パフォーマンス・カウンタを使用した測定結果をコンソールに出力するための関数やカウンタの値を帰す関数が用意されていますので、下記のように使用することができます。perf_print_formatted_report 関数はコンソールにカウンタの測定結果を表示します。

```
perf_print_formatted_report(
    (void *)PERFORMANCE_COUNTER_BASE,     // ペリフェラル名 (system.h 内で定義)
    ALT_CPU_FREQ,                         // CPU 周波数 (system.h 内で定義)
    2,                                    // 使用したセクション数
    "test section 1", "test section 2");  // 表示する際のセクション名)
```



```
--Performance Counter Report--
Total Time: 11.0817 seconds  (941946244 clock-cycles)
+---------------+-----+-----------+---------------+-----------+
| Section       |  %  | Time (sec)|  Time (clocks)|Occurrences|
+---------------+-----+-----------+---------------+-----------+
|test section 1 | 85.5|    9.47664|      805514087|          1|
+---------------+-----+-----------+---------------+-----------+
|test section 2 | 14.5|    1.60508|      136432127|          1|
+---------------+-----+-----------+---------------+-----------+
```

HAL	概要
perf_print_formatted_report()	フォーマット化されたプロファイル結果を stdout に出力します
perf_get_total_time()	グローバル・カウンタの合計値をクロック・サイクル数で返します
perf_get_section_time()	指定したセクション・カウンタの合計値をクロック・サイクル数で返します
perf_get_num_starts()	指定したセクションの実行回数を返します
alt_get_cpu_freq()	CPU の動作周波数を Hz で返します

4-2. プロファイラ

4-2-1. プロファイリング・データの生成方法

Nios II SBT では GNU プロファイラを使用することができます。以下の設定をすることで、GNU プロファイラは、実行時にホスト PC の gmon.out ファイルにプロファイル結果を出力します。

使用方法の概要は以下のとおりです。

- アプリケーション / BSP プロジェクトの Properties ⇒ Nios II Application / BSP Properties の設定
  - デバッグ・レベルを “On” に設定
- BSP Editor の Main タブ ⇒ Common で、 sys_clk_timer を設定
- BSP Editor の Main タブ ⇒ Common で、 enable_gprof にチェック
- BSP Editor の Main タブ ⇒ Common で、 enable_reduced_device_drivers にチェックが入っていないこと
- プロジェクトを Clean 後、再度プロジェクトをビルドし、プログラムを実行
- 出力された gmon.out ファイルでプロファイル結果を確認
  - Nios II SBT

    gmon.out はアプリケーション・プロジェクトに生成

    生成された gmon.out をダブルクリックで開き内容を確認
  - コマンド・シェル

    gmon.out をコマンド・ラインから生成

    例） nios2-download -g --write-gmon gmon.out xxxxxxxx.elf

    nios2-elf-gprof コマンドを使用して測定結果を確認します

    例） gmon.out ファイルをテキスト・ファイルに変換して確認する

    nios2-elf-gprof profiler_gnu.elf gmon.out > report.txt

    例） すべてのソースにプロファイラからの追加情報が挿入されたファイルを出力

    nios2-elf-gprof profiler_gnu.elf gmon.out > report.txt

4-2-2. プロファイリング・データの解析

gmon.out ファイルを開きプロファイル結果を確認します。gmon.out ファイルにはフラット・プロファイル、コール・グラフの項目があり、下記の内容が記述されています。

- フラット・プロファイル

  各関数の実行時間、合計のコールされた回数
- コール・グラフ

  関数毎に、コールされた親関数とコールされた回数、コールしている子関数とコールした回数

また、Nios II SBT の Call Hierarchy ビューや Task ビューを利用して各関数の実行時間等のプロファイル結果を確認することができます。

フラット・プロファイル 出力例

```
Flat profile:

Each sample counts as 0.01 seconds.
  %   cumulative   self              self     total
 time   seconds   seconds    calls   s/call   s/call  name
 97.93     11.08    11.08        1    11.08    11.10  main
  1.09     11.20     0.12                             alt_dcache_flush
  0.85     11.30     0.10        9     0.01     0.01  alt_busy_sleep
  0.09     11.31     0.01        3     0.00     0.00  _malloc_r
  0.00     11.31     0.00     1148     0.00     0.00  alt_irq_handler
  0.00     11.31     0.00     1135     0.00     0.00  alt_avalon_timer_sc_irq
  0.00     11.31     0.00     1135     0.00     0.00  alt_tick
  0.00     11.31     0.00      325     0.00     0.00  __unpack_d
  0.00     11.31     0.00      258     0.00     0.00  udivmodsi4
  0.00     11.31     0.00      171     0.00     0.00  __pack_d
  0.00     11.31     0.00      160     0.00     0.00  __muldi3
```

コール・グラフ 出力例

```
               Call graph (explanation follows)


granularity: each sample hit covers 32 byte(s) for 0.09% of 11.31 seconds

index % time    self  children    called     name
                0.00   11.18       1/1           _start [2]
[1]     98.9    0.00   11.18       1          alt_main [1]
               11.08    0.02       1/1           main [3]
                0.00    0.09       1/1           alt_sys_init [6]
                0.00    0.00       1/1           alt_io_redirect [54]
                0.00    0.00       1/1           alt_irq_init [55]
                0.00    0.00       1/1           close [66]
                0.00    0.00       1/1           _do_ctors [190]
                0.00    0.00       1/1           atexit [65]
                0.00    0.00       1/1           exit [68]
                0.00    0.00       1/4           alt_release_fd [39]
-----------------------------------------------
                                                  <spontaneous>
[2]     98.9    0.00   11.18                  _start [2]
                0.00   11.18       1/1           alt_main [1]
-----------------------------------------------
               11.08    0.02       1/1           alt_main [1]
[3]     98.1   11.08    0.02       1          main [3]
                0.01    0.00       1/9           alt_busy_sleep [5]
```

4-3. パフォーマンス・カウンタ vs プロファイラ

パフォーマンス・カウンタは、指定した特定コードの測定区間の実行クロック・サイクル数を正確に測定します。

プロファイラではプログラム・カウンタをサンプリングし、それぞれの関数にどれだけ実行時間がかかっているか一定期間内のヒット数を表示します。プロファイラを使用しますと、プロファイラの分のプログラムがオーバー・ヘッドとなり、システム全体の実行時間が遅くなりますので注意が必要です。

改版履歴

Revision	年月	概要
1	2015 年 5 月	初版
2	2020 年 6 月	・"最終ページ":「免責およびご利用上の注意」内のリンクを修正