

Simulink®モデル演算時間短縮のヒント <Optimize (最適化)>

SIMulation Workbench™ 上での SimHydraulics®モデル実行時間測定

E-Mail: info@ccur.co.jp

Web: <http://www.ccur.co.jp/>

Wiki: http://wiki.simwb.com/wiki/Main_Page

はじめに：

コンカレント日本株式会社では、米国 Concurrent Computer Corporation 社の提供するリアルタイム・ソリューションを販売して居ります。弊社では、ハードリアルタイム OS である RedHawk™ Real-Time Linux とリアルタイムシミュレーション・プラットフォームである SIMulation Workbench™を、ドライビングシミュレータや HIL システム・プラットフォームとしてご提供しております。このレポートは、40年余りに亘りリアルタイム OS およびリアルタイム・ソリューションをご提供してまいりましたコンカレントが、OS、プログラミングおよびコンピュータ・プラットフォームの専門家の立場から、MathWorks 社の Simulink®で製作されたプラントモデルの高速化の手法に関してご提案するものです。

Simulink®モデルを、対象となる OS (ここでは、RedHawk Linux) 上でリアルタイムシミュレーションを行う場合、様々なコンピュータ・プラットフォームがあります。弊社の RedHawk Real-Time Linux OS は、x86 および x86-64 アーキテクチャの CPU 上で動作する Linux です。主に Intel® 社の提供する CPU を対象としており、近年では Nehalem、Westmere、Sandy-bridge そして Ivy-bridge とその内部のマイクロアーキテクチャの目覚ましい進歩が続いています。CPU の性

能は一概にその動作クロックのみによって決まるものではなく、マイクロアーキテクチャの違いにより大きく演算速度に差が生じる場合もあります。また、最近の CPU ではマルチコア (Multi-Core) やメニーコア (Many-Core)、Nehalem アーキテクチャ以降マルチ CPU 構成がトレンドとなってきました。

MathWorks® 社の SimHydraulics® は Simscape™拡張ツールとして油圧および制御システムのモデリングやシミュレーション機能を Simulink®に追加することができます。そして、SimHydraulics®を使用したモデルも同社の Real-Time Workshop™ (Simulink®バージョン R2011b 以降では、Simulink® Coder™) でコード生成し、その実モデルを SIMulation Workbench™上でリアルタイムに実行することが可能です。一般的には SimHydraulics®モデルは演算処理に時間がかかるため、リアルタイム処理には不向きとされてきましたが、今回は SIMulation Workbench™ Version 4.1 上で 1msec のシミュレーションループに設定されたサイクル毎に SimHydraulics®のサンプルモデルの演算に掛かる時間を計測した結果を報告します。

測定環境：

コンピュータ	: Concurrent iHawk™ HQT55 シリーズ (DELL Precision T5500 相当)
CPU	: Intel® Xeon® CPU X5667 @ 3.07GHz (2 quad core)
RCIM	: Concurrent RCIM-III Real-Time Clock & Interrupt Module (PCIe)
Memory	: 6GB
OS (Kernel)	: RedHawk 5.2.5 (2.6.26.8-RedHawk-5.2.5-trace, 32bit)
SIMulation Workbench™	: Version 4.1-5 (32bit)
使用モデル	: sh_hydraulic_closed_loop_actuator_fixed_step.mdl

※今回使用した Simulink®モデルは、MATLAB®/Simulink®の開発パッケージにサンプルプログラムとして付属されているモデルを使用しました。

測定結果：

Simulink®モデルを SIMulation Workbench™ 4.1 環境でリアルタイム実行した結果を以下に示します。シミュレーションループサイクルは

1msec、シミュレーション全体の実行時間は 10sec です。

モデル名 : sh_hydraulic_closed_loop_actuator_fixed_step.mdl(sh_hydraulic_pk.mdl)		
最適化オプション	Avg. runtime(μ sec)	Max runtime(μ sec)
-O	555.09	14594.54
-O2	530.17	13766.33
-O3	430.51	12247.98

SIMulation Workbench™4.1 には、ループサイクルのフレーム毎のモデル実行時間を記録する機能があります。次に示すグラフは、図-1 が最適化オプション-O の時、図-2 が最適化オ

プション-O2 の場合の結果で、それぞれ 10sec の実行時間中の、モデルの計算時間を表しています。

黄色 : Position1(モデル入力値に相当)
赤色 : Force(出力制御値相当)
緑色 : runtime(モデル計算時間)

本モデルのシミュレーションでは、Position1 の入力値の変化に応じて、Force の結果も変動し、同時に runtime のモデル計算時間も大きく変動する様子が表れています。

最適化オプション-O の場合、シミュレーション開始直後に 14.6msec の演算時間がかかり、その後 Position1 の入力値が変化するたびに 1ms を超える演算時間がかかっています。

最適化オプション-O2 を付加した場合は、モデル演算時間は開始直後の 13.8msec の演算時間以外は、すべて 1msec 以内の演算時間に収まっている様子が観測されます。シミュレーション開始直後に大きく演算時間がかかっているのは、ソルバーモデルの初期化に時間を要している為です。

【備考】

Simulink®モデルをコンパイルする際は、コンカレントの提供する『Simulink® Tools』をお持ちの Simulink®環境へインストールし、Simulink®のメニューバーへ追加された『SIMulation Workbench™ Target』メニューから呼ばれる『SIMulation Workbench™ Target Configuration Tool』画面上の『Generate, Export, and MAKE』ボタンをクリックします。

最適化は、『Additional Compiler Option』入力欄へ Optimize オプション(-o、-o2、-o3)を記述するだけで、複雑な手順は必要ありません。

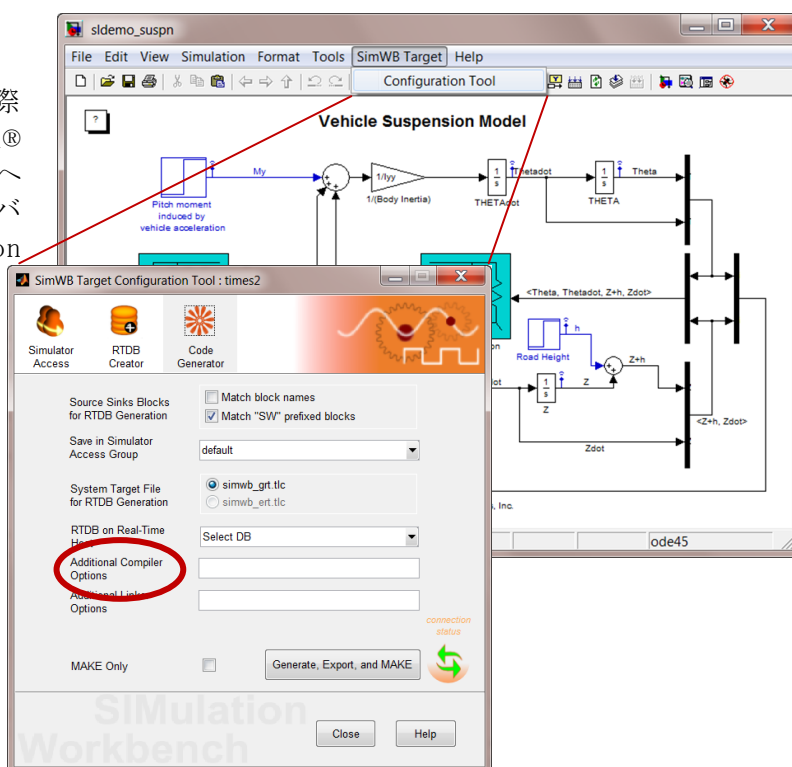
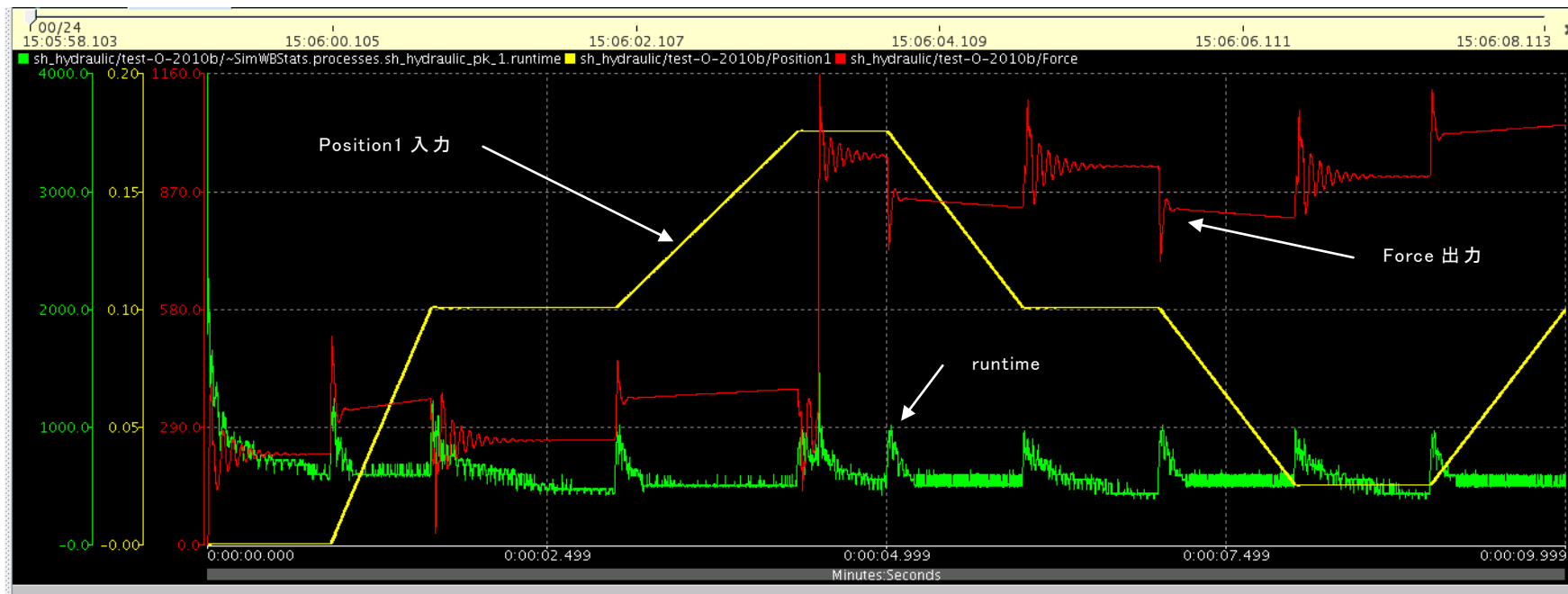


図-1 最適化オプション -O の場合のフレームサイクル毎のモデル演算時間

Avg.runtime: 555.09 μ sec

Max.runtime: 14594.54 μ sec



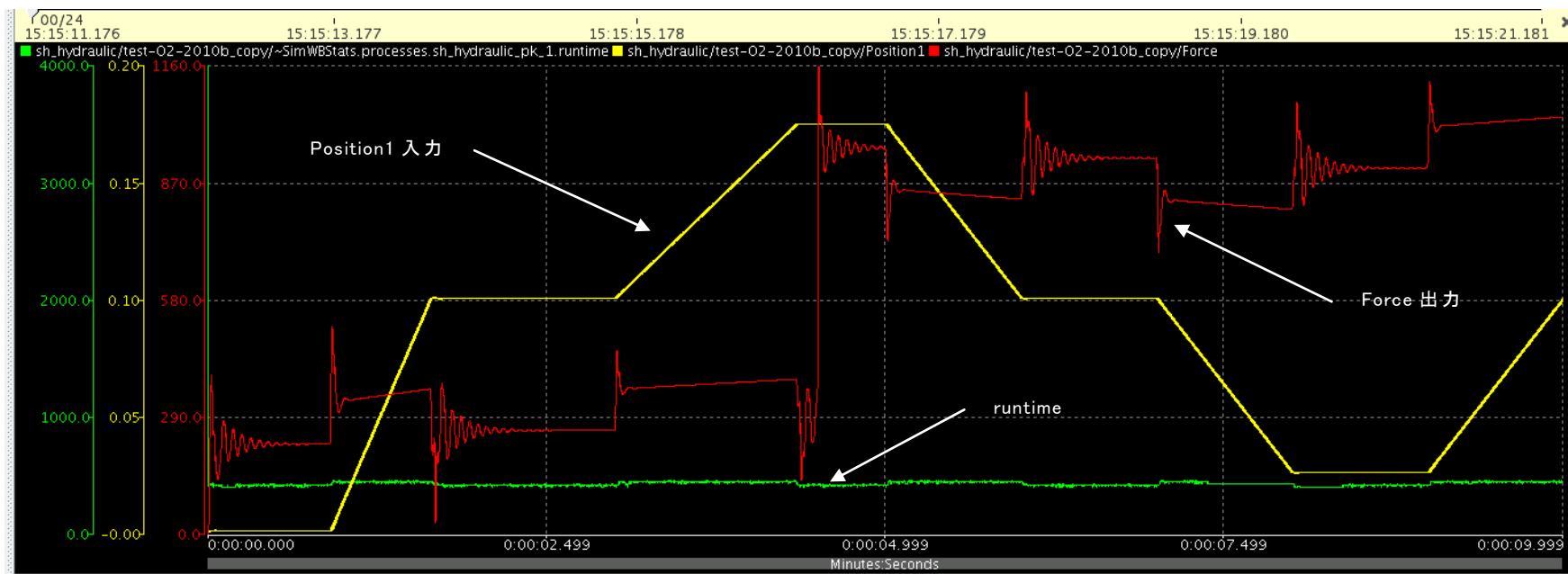
※ 図-1、2は、SIMulation Workbench Version 4.0 から導入された『Data Logger (DL) Viewer』を使用して描画したグラフからの抜粋です。SIMulation Workbench™では、RTDB 上へ変数登録された Simulink®モデルの Input および Output(または Source/Sink)を、シミュレーション周期毎にハードディスクへロギングすることが出来ます。DL Viewer は格納したログデータを、図の様に同一時間上で重ねて表示することが出来ます。

Title Simulink®モデル演算時間短縮のヒント <Optimize (最適化) >	No	Revision
		Page 5

図-2 最適化オプション -O2 の場合のフレームサイクル毎のモデル演算時間

Avg.runtime: 530.17 μ sec

Max.runtime: 13766.33 μ sec

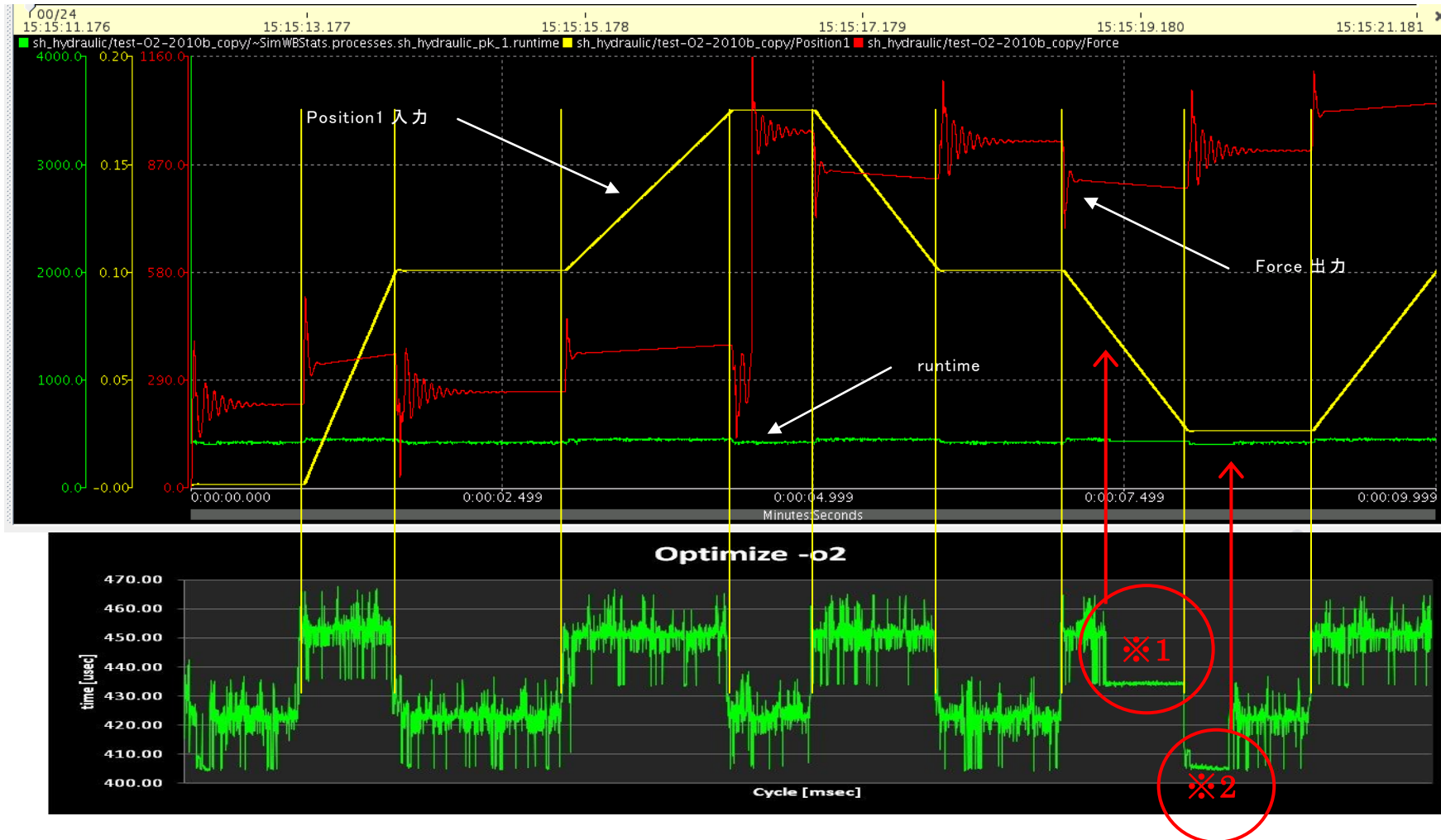


※ DL Viewer は、縦軸/横軸のスケール値を自由に設定することが可能です。図-2は比較の為、図-1と同じスケールで『runtime』(演算時間)を描画しています。

Title	Simulink®モデル演算時間短縮のヒント <Optimize (最適化)>	No	Revision
			Page 6

最適化オプション-O2 を付加した場合のモデル演算時間データに関して、ソルバーモデルの初期化の影響を排する為に開始後3サイクル以降

のデータを Excel にてグラフ化し演算時間軸を拡大したもの、時間軸をそろえて表したものが下の図です。



Title Simulink®モデル演算時間短縮のヒント <Optimize (最適化) >	No	Revision Page 7
--	----	--------------------

ソルバーモデルの初期化の影響を排したモデル演算時間データでは、図の様に Position1 の入力値が変化しない場合は $420 \mu \text{ sec}$ 、Position1 の入力値が変化する場合はその変化量に関わらず $450 \mu \text{ sec}$ 近辺の安定した演算時間を示しています。

しかし、開始から約 7.37 sec である図の※1印の部分では $430 \mu \text{ sec}$ 程度となっており、単調減少中の Position1 の入力値には変化は見られません。また、図の※1印の後に続く図の※

2 印の部分では $405 \mu \text{ sec}$ 程度とこの部分も他では見ることの出来ない演算時間が観測されます。この※1 印および※2 印の両区間内では、他で観測される $\pm 15 \mu \text{ sec}$ 程度の演算時間のバラつきが観測されていないことが判ります。

なお、ソルバーモデルの初期化の影響を排したモデル演算時間データの平均値および最大・最小値は以下の通りです。

Avg.runtime : **$435.42 \mu \text{ sec}$** (標準偏差 **$11.24 \mu \text{ sec}$**)
Max.runtime : **$467.81 \mu \text{ sec}$**
Min.runtime : **$404.22 \mu \text{ sec}$**

【結果考察】

以上の結果から最適化オプションの有無による出力値の差が見られない本モデルの場合、最適化はモデル演算時間を短縮する為の強力な手段になり得るものと考えられます。さらに、入力条件によるモデル演算時間の分散が改善されることから、最適化は単にモデル演算時間の短縮だけにとどまらず上記の図の※1 印および※2 印の観測に見られるように、モデルの挙動に関し解析を実施する為のツールとして SIMulation Workbench™を使用する可能性に

関しても示唆しています。

今回使用した CPU は、現在市場で入手できる Intel® Xeon CPU ではミドルクラスであり、さらに高速な構成のコンピュータも手ごろな価格で入手することが可能です。比較的高速なアーキテクチャの CPU を搭載したコンピュータを使用することにより、Simulink®モデルや RTW の創出した C コードに対してユーザが改良を加えること無く、更に数十パーセントかそれ以上速度を向上させることも可能で有ると考えられます。

参考:

モデルのコンパイル時に最適化オプションを付加する以外にも、最適化(高速化)の方法は

幾つかあります。その方法を以下に紹介しましょう。

① Solver ブロックパラメータ変更:

今回のモデルには Solver ブロックが含まれており、このブロックパラメータを変更することで最適化をはかることができます。

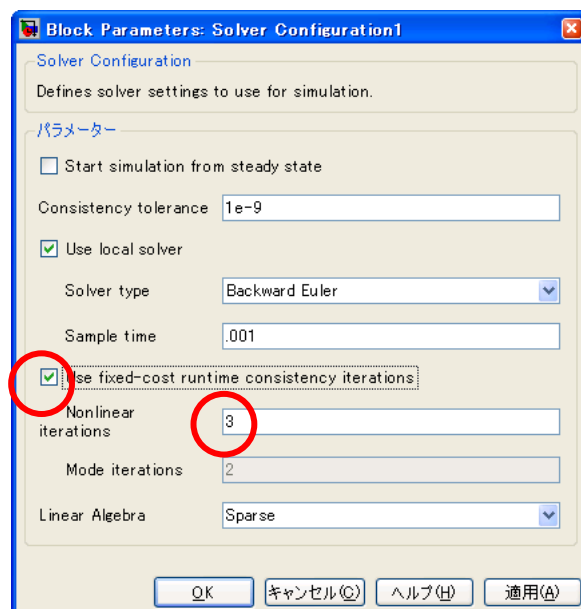
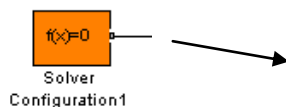
以下は①の方法による最適化の例と結果を示しています(表中には下側 3 行がその結果で、

上側 3 行は比較のために先の結果をそのまま掲載しています)。

モデル中の Solver ブロックパラメータの次の項目を変更します。

Use fixed-cost runtime consistency iterations: チェック

Nonlinear iterations:3



モデル名 : sh_hydraulic_closed_loop_actuator_fixed_step.mdl(sh_hydraulic_pk.mdl)		
最適化オプション	Avg. runtime(μ sec)	Max runtime(μ sec)
-O	555.09	14594.54
-O2	530.17	13766.33
-O3	430.51	12247.98
-O + Nonlineaitarations=3	440.52	13664.54
-O2 + Nonlineaitarations=3	416.13	12875.36
-O3 + Nonlineaitarations=3	338.72	11398.13

② モデルの分散化(並列化):

今回のモデルは上側と下側で分割して別のモデルとして計算することも可能です。2つのモデルに分割した上で、それぞれのモデルタスクを SIMulation Workbench™/RedHawk が動作

するコンピュータ上の任意の CPU に割当てて実行すれば演算時間(負荷)は分散され、より短い時間での計算が可能となります。

③ OS/SIMulation Workbench™の 64bit 化:

コンカレントの提供する RedHawk Linux と SIMulation Workbench™はともに 32bit/64bit 何れの環境でも動作します。弊社のこれまでの経験上、32bit 環境で動作した Simulink®モデ

ルを 64bit 環境で再コンパイルして実行するだけで 20%~50%程度の演算時間の短縮が確認されています。

④ CPU の高速化:

SIMulation Workbench™と RedHawk Linux は Intel®/AMD®系アーキテクチャの CPU 上で動作します。より高速な計算を必要とする場合

は、より最新のアーキテクチャを使用した最速の CPU を選択することで、ソルバのモデルを高速に計算する事が可能となります。

⑤ Linux コンパイラ:

Linux 標準搭載コンパイラ gcc と Intel®コンパイラ(icc)が使用可能であり、一般的に icc を使用してコンパイルを実行した場合が高速となるプログラムが多いことが報告されています。プロ

グラム中で使用する命令セット等の条件に依存する為に一概には規定できませんが、インターネット上の情報等によると 20~40%の高速化が実現できるものもあります。