

Simulink®モデル演算時間短縮のヒント 〈コンピュータ・プラットフォーム-CPU〉

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：

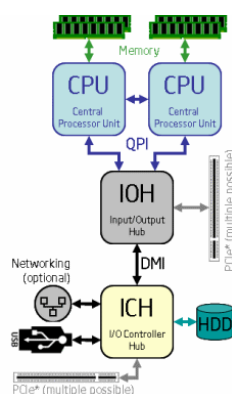
コンカレント日本株式会社では、米国 Concurrent Computer Corporation 社の提供するリアルタイム・ソリューションを販売して居ります。弊社では、ハードリアルタイム OS である RedHawk™ Real-Time Linux とリアルタイムシミュレーション・プラットフォームである SIMulation Workbench™を、ドライビングシミュレータや HIL システム・プラットフォームとしてご提供しております。このレポートは、40年余りに亘りリアルタイム OS およびリアルタイム・ソリューションをご提供してまいりましたコンカレントが、OS、プログラミング及びコンピュータ・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。

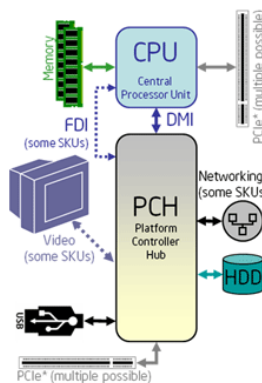
MathWorks® 社の SimHydraulics® は Simscape™拡張ツールとして油圧および制御システムのモデリングやシミュレーション機能を Simulink®に追加することができます。そして、SimHydraulics®を使用したモデルも同社の Real-Time Workshop™ (Simulink®バージョン R2011b 以降では、Simulink® Coder™) でコード生成し、その実モデルを SIMulation Workbench™上でリアルタイムに実行することが可能です。一般的には SimHydraulics®モデルは演算処理に時間がかかるため、リアルタイム処理には不向きとされてきましたが、今回は SIMulation Workbench™ Version4.1 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。

【Intel® マイクロアーキテクチャの例】



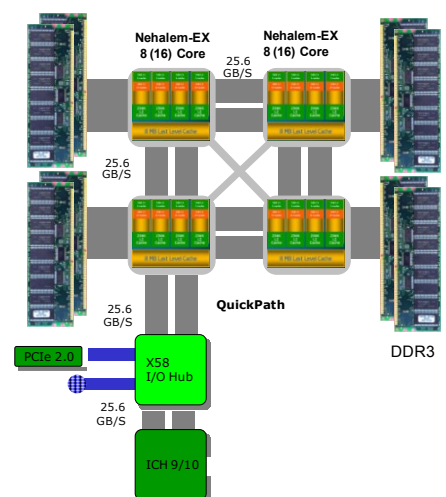
5520 Tylersburg chipset

- Northbridge and Southbridge controllers
- Used on current 2-way Nehalem iHawks



3420 Ibex Peak chipset

- Single PCH controller reduces bottlenecks
- Used on current 1-way Core i5 iHawk
- Available on 2-way Industrial iHawks using Jasper Forest CPUs



Intel QuickPath EX
4-way Xeon Beckton 4/6/8 Core

- Point-to-point high-speed links
- iHawk for next-generation Intel® 45nm microprocessor architecture (Nehalem)
- Up to 6.4 Gigatransfers/second links

Title	Simulink®モデル演算時間短縮のヒント 〈コンピュータ・プラットフォーム-CPU〉	No	Revision
			Page 2

HILS コントローラで使用される CPU :

これまで使用されていた HILS コントローラでは、メーカーが専用機あるいは専用コントローラカードを提供してきたため、ユーザは CPU に関しては非常に少ない選択肢の中から選ばざるを得ませんでした。HILS メーカーの提供する専用機あるいは専用コントローラカードを使用することは、全てのハードウェアとソフトウェアを同一メーカーがメンテナンスを実施するという点ではメリットはありましたが、CPU や周辺のハードウェア技術の進歩に追従すると言った即応性は犠牲と

なっていました。その結果、既存の専用機で所望の実行時間を得ることのできない複雑なビヘイビアモデルや多岐にわたる要素を持ったプラントモデルは、そのアルゴリズムを見直すかまたは計算精度を犠牲にして高速化を図る必要がありました。

コンカレントの HILS 環境では、今までにない広範な市販 PC 及び CPU から選択することが出来ます。この後述べます通りこのことは、計り知れないメリットをご提供することとなります。

コンピュータの性能比較 :

今回の高速化の考え方は、非常にシンプルにコンピュータ・プラットフォーム、特に CPU の性能差がプラントモデルの実行時間に及ぼす影響を確認するものです。Simulink®モデルといえども、コンピュータ上で動作するプログラムであることに違いは有りません。CPU の動作周波数が早いほど、マイクロアーキテクチャが最新であるものほど、モデルの実行時間が短くなることは想像に難くはありません。

コンピュータ・プラットフォームの性能を比較する場合、アルゴリズムはおろかプログラム・コードまで同じ計算を実施するベンチマーク用の

プログラムを比較対象のプラットフォーム上で動作させ計算時間を比較する方法が一般的に行われます。様々なベンチマーク用プログラムが様々な団体・メーカーから供給されています。今回の比較では、米国の SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation) の供給するベンチマーク・プログラムを使用して測定されたベンチマーク結果と実際に Simulink®モデルの計算時間を実測して得られたデータを比較して、コンピュータ・プラットフォーム特に CPU の影響に関して考察します。

【SPEC に関して】

SPEC は米国カリフォルニア州に登録されている非営利団体で、この団体はコンピュータメーカーに依存しない客観的かつ共通な評価基準として使用することのできるベンチマーク用プログラム及びツールを供給することを目的としており、今日広く使用されている様々なベンチマーク用プログラムおよびツールを世に出しています。そのひとつである SPEC CPU2006 は、コンピュータ間のパフォーマンスを比較評価するためのベンチマーク用プログラムであり、2 組のベンチマークグループで構成されています。**CINT2006** は整数演算時のパフォーマンス測定用であり、**CFP2006** は浮動小数点演算時のパフォーマンス測定用です。

SPEC はベンチマーク用プログラムおよびツールを供給するだけではなくベンチマーク結果の公表も行っています。この結果はインターネットでも入手することが出来ます。



(<http://www.spec.org> 2012/05/09 現在)

Title	Simulink®モデル演算時間短縮のヒント ＜コンピュータ・プラットフォーム-CPU＞	No	Revision
			Page 3

【HILS コントローラに使用する CPU の性能比】

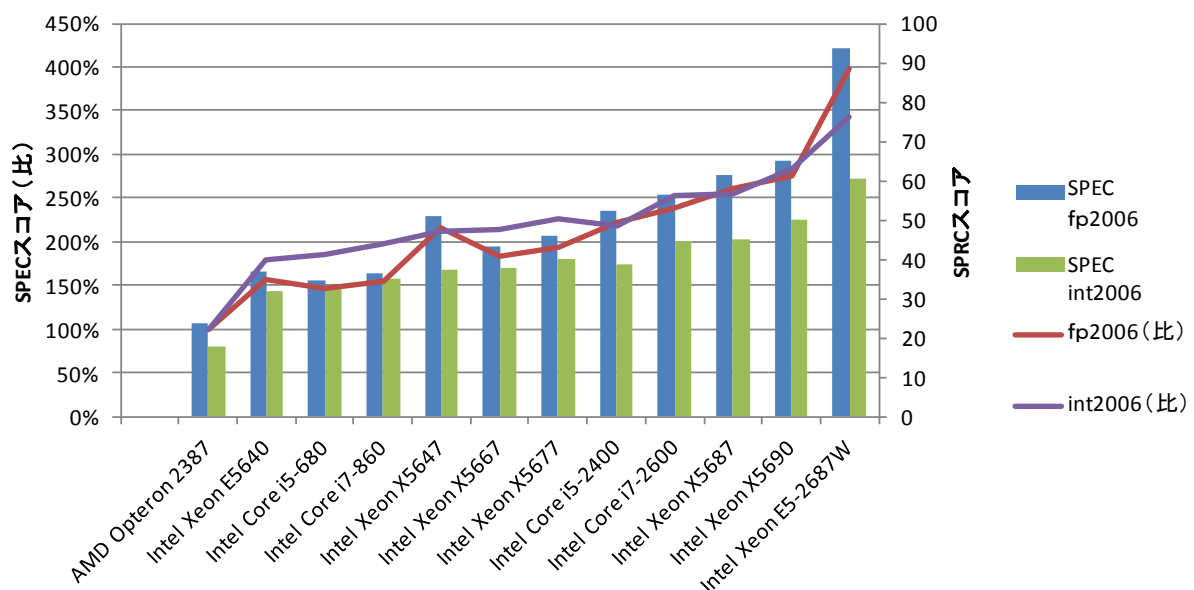
以下に、他社で採用されている CPU と弊社で販売実績のある CPU、及び弊社でご用意出来ます CPU で現時点の最高ベンチマークスペックを持つものの比較をします。

この表の SPEC 項の左側には SPEC 社より公表されている各ベンチマーク項目のスペック値を、右側には最上段の AMD 社 Opteron 2387

を基準とした場合の比[%]を表しています。また、黄色地は他社で採用されている CPU を、白地及び緑色地はコンカレントで HILS コントローラとして実績のある CPU を、再下段の赤色地にはコンカレントが現時点でご提供する最高のベンチマークスペックである Intel 社 Xeon E5-2687W の値を各々あげました。

CPU	Freq [GHz]	Cores	SPEC fp2006	SPEC int2006	Memo
AMD Opteron 2387	2.8	4	23.6	17.7	国内A社・海外D社採用のCPU
Intel Xeon E5640	2.67	4	36.8	31.9	弊社で実績のある、CPU
Intel Core i5-680	3.6	2	34.8	32.7	海外S社最新機種採用のCPU
Intel Core i7-860	2.8	4	36.3	35.1	国外D社最新機種採用のCPU
Intel Xeon X5647	2.93	4	50.9	37.5	弊社で実績のある、CPU
Intel Xeon X5667	3.07	4	43.4	37.8	弊社で実績のある、CPU
Intel Xeon X5677	3.46	4	45.8	40.2	弊社で実績のある、CPU
Intel Core i5-2400	3.1	2	52.4	38.5	弊社で実績のある、比較的新しいCPU 他社製品よりも高速
Intel Core i7-2600	3.5	4	56.5	44.6	
Intel Xeon X5687	3.6	4	61.6	45.1	
Intel Xeon X5690	3.6	4	65.1	50.1	現時点で弊社システムで使用可能な 最高スペックCPU
Intel Xeon E5-2687W	3.1	8	93.8	60.6	

各CPUのSPEC fp/int2006スコアの比較



上記の結果の通り演算速度の観点からみた CPU 性能は、動作周波数だけで決まるものではなくマイクロアーキテクチャに大きく依存しています。即ち新しい CPU ほど同じ動作周波数でも高速に動作します。AMD 社 Opteron 2387 もしくは同等の性能を持つ CPU を搭載した HILS コントローラをお使いの方は、その2～4

倍近い性能を持つ CPU を搭載したコントローラをお使い頂くことが可能となります。

次の項目では、実際の Simulink®のモデルを使用して、様々な CPU で実際の演算速度を測定し SPEC 社のベンチマークのスコアとの相関をご覧ください。

【ベンチマークに使用した Simulink®モデルに関して】

コンカレント社の SIMulation Workbench™では、複数の Simulink®モデルが別々のプログラム(スレッド)として、またアナログ/デジタル信号の入出力および CAN/FlexRay/EtherCAT 等の通信バスへの入出力も各々別のプログラム(スレッド)として独立して動作します。SIMulation Workbench™は、独自の RTDB (Real-Time Data Base)変数テーブルを共有メモリ上に構築し、各信号やバスの入出力及び複数のプラント/制御モデル間で自由にこの変数テーブルを使用することでデータの受け渡しを行っています

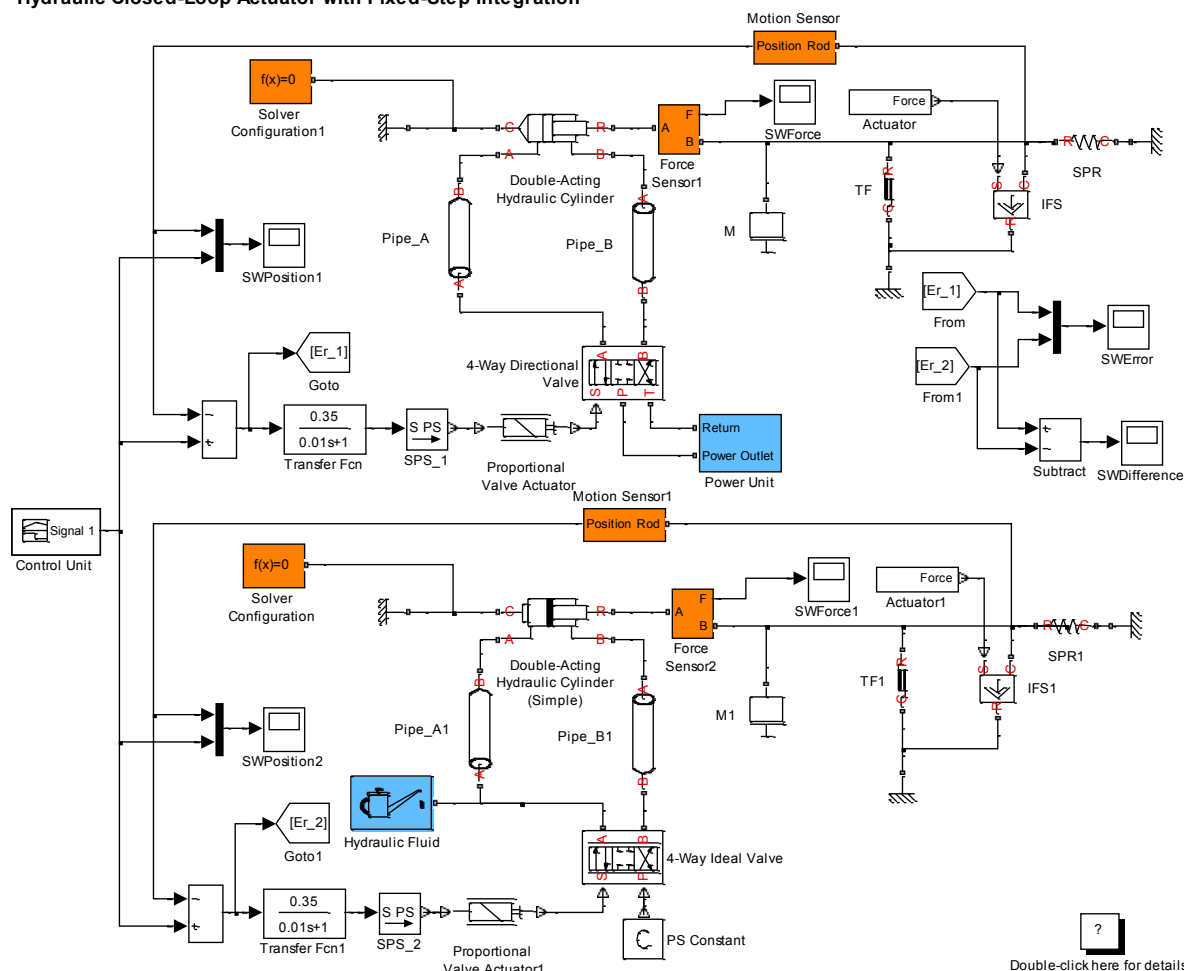
Simulink®モデル上の Input および Output (または Source/Sink)を SIMulation Workbench™の管理する RTDB 変数テーブル上の変数として登録する必要があります。Simulink®モデル上の I/O 名を RTDB へ登録は、モデルで使われる全ての Input および Output (または

Source/Sink)を自動的に登録する方法と、今回の測定で使用した、モデル上の Scope 名称に SIMulation Workbench™の RTDB 変数として認識させるための”SW”プリフィックスを追加する方法の二通りあります。SW プリフィックスを追加した Scope は以下の通りです。

Position1、Position2、Force、Force1、Error、Difference

なお、Simulink®モデルを Real-Time Workshop™および Simulink® Coder™を使用してコード生成する際に、生成されるファイル名が長すぎると SIMulation Workbench™の環境上でエラーが発生します。このエラーを回避する為、本来のサンプルモデルのファイル名で有る”sh_hydraulic_closed_loop_actuator_fixed_step.mdl”を、”sh_hydraulic_pk.mdl”に変更してあります。

Hydraulic Closed-Loop Actuator with Fixed-Step Integration

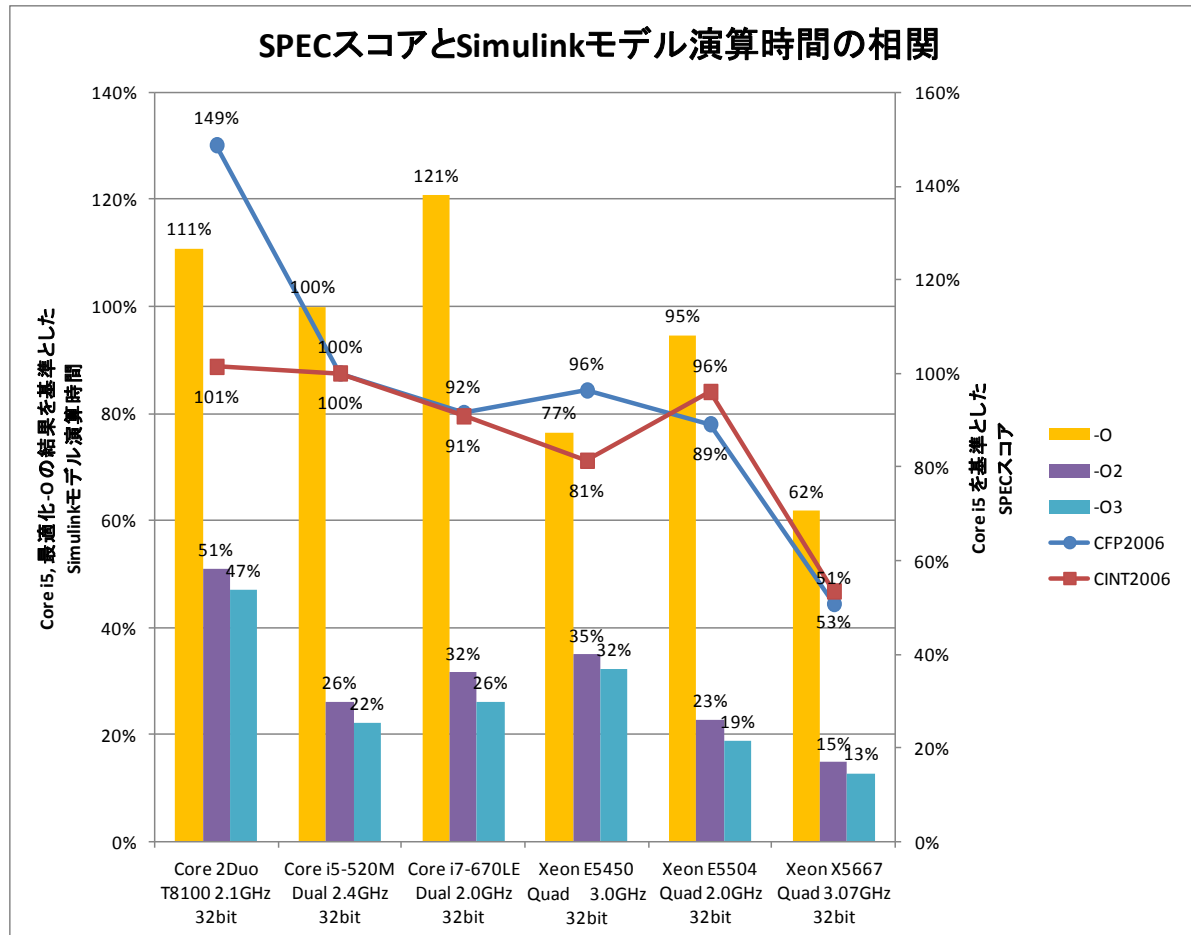


【Simulink®モデルのベンチマーク結果：CPU による差】

使用した OS 及び SIMulation Workbench のバージョン

OS (Kernel) : RedHawk5.2.5 (2.6.26.8-RedHawk-5.2.5-trace, 32bit)

SIMulation Workbench : Version 4.1-5(32bit)



CPU	SPEC		gcc最適化オプション		
	CFP2006	CINT2006	-O	-O2	-O3
Core 2Duo T8100 2.1GHz 32bit	149%	101%	111%	51%	47%
Core i5-520M Dual 2.4GHz 32bit	100%	100%	100%	26%	22%
Core i7-670LE Dual 2.0GHz 32bit	92%	91%	121%	32%	26%
Xeon E5450 Quad 3.0GHz 32bit	96%	81%	77%	35%	32%
Xeon E5504 Quad 2.0GHz 32bit	89%	96%	95%	23%	19%
Xeon X5667 Quad 3.07GHz 32bit	51%	53%	62%	15%	13%

上記は各 CPU 搭載コンピュータ上でのモデル実行時間の比をパーセントで表示しております。弊社では AMD 社 Opteron 2387 搭載のコンピュータを所持して居りませんので、SPEC スコアの近い Intel Core i5-520M 搭載のコンピュータを基準として比較しました。また、Simulink®

モデルをコンパイルする際に最適化の有無での実行時間違いも併せて測定しました。

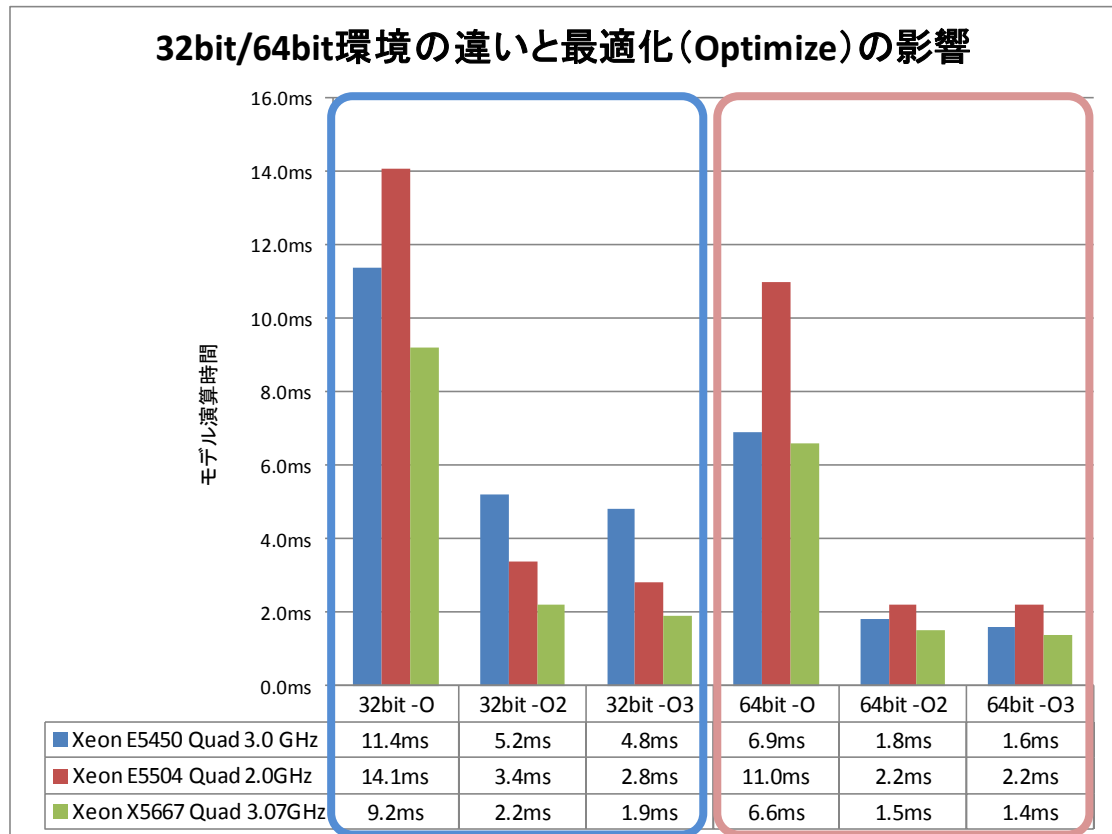
この結果から、一般的なベンチマークツールのスコアと Simulink®モデルの実行時間には相関があることが確認できました。

【Simulink®モデルのベンチマーク結果：OS 環境による差】

使用した OS 及び SIMulation Workbench のバージョン

OS (Kernel) : RedHawk5.2.5 (2.6.26.8-RedHawk-5.2.5-trace, 32/64bit)

SIMulation Workbench : Version 4.1-5(32/64bit)



上記は3種類の CPU 上で OS 及び HILS 環境である SIMulation Workbench が 32bit あるいは 64bit 対応の違いだけで、同一の Simulink® モデルを実行した場合の演算時間を前回同様コンパイラの最適化の有無を考慮して測定した結果です。

この結果からは、Simulink® モデルは 64bit OS の方がより高速に動作する可能性が高いことがうかがえます。但し、その高速化の割

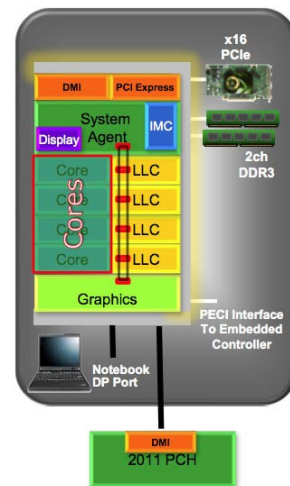
合は一律と言うわけではなく、CPU に応じて異なっています。また、今回の3種類の CPU の比較からは、より新しいマイクロアーキテクチャの CPU ほど 64bit 化による高速化の割合が高いこともうかがえます。なお、64bit 化することで高速化が実現できる理由に関する考察は、本文書の意図とは異なりますので、ここでは割愛させていただきます。

RedHawk Real-time Linux の対応する高性能 CPU: 【高速 CPU】

RedHawk Real-time Linux の対応する CPU の中で、現在最も SPEC スコアの高いものは Intel®社の Xeon E5-2600 シリーズです。その中でも E5-2687W は、SPECfp2006 スコアで前出の AMD 社 Opteron 2387 の実に4倍近い速度で動作します。

Xeon E5-2600 は、Sandy-Bridge と呼ばれるマイクロアーキテクチャの CPU で、その特徴は、数々ありますがリアルタイムシミュレーションのコントローラに有利なものとして以下の項目が挙げられます。

- 1) コア数の増加:4, 8, 10コア
- 2) 低消費電力
- 3) CPU に直結されたインテグレイティッド I/O:PCIe x16



Sandy Bridge
offers significant improvements
over Nehalem 5500/5600

model	対応 ソケット数	Speed (GHz)	GPU Speed (MHz)	L3 Cache (MB)	コア/ス レッド数	対応メモリ (MHz)	TDP (Watts)	Package	SPEC fp2006		SPEC int2006	
E5-2687W	2	3.1	N/A	20	8/16	1600x4	150	LGA2011	93.8	397%	60.6	342%
E5-2690	2	2.9	N/A	20	8/16	1600x4	135	LGA2011	88.4	375%	58.4	330%
E5-2689	2	2.6	N/A	20	8/16	1600x4	115	LGA2011				
E5-2680	2	2.7	N/A	20	8/16	1600x4	130	LGA2011	85.2	361%	54.6	308%
E5-2670	2	2.6	N/A	20	8/16	1600x4	115	LGA2011	84.3	357%	52.5	297%
E5-2667	2	2.9	N/A	15	6/12	1600x4	130	LGA2011	85.2	361%	52.5	297%
E5-2665	2	2.4	N/A	20	8/16	1600x4	115	LGA2011	79.8	338%	49.6	280%
E5-2660	2	2.2	N/A	20	8/16	1600x4	95	LGA2011	78.3	332%	47.6	269%
E5-2658	2	2.1	N/A	20	8/16	1600x4	95	LGA2011				
E5-2650L	2	1.8	N/A	20	8/16	1600x4	70	LGA2011	62.2	264%	37.8	214%
E5-2650	2	2	N/A	20	8/16	1600x4	95	LGA2011	72.9	309%	45.0	254%
E5-2648L	2	1.8	N/A	20	8/16	1600x4	70	LGA2011				
E5-2643	2	3.3	N/A	10	4/8	1600x4	130	LGA2011	82.4	349%	50.5	285%
E5-2640	2	2.5	N/A	15	6/12	1333x4	95	LGA2011	74.1	314%	45.4	256%
E5-2637	2	3	N/A	5	2/4	1600x4	130	LGA2011	68.1	289%	45.9	259%
E5-2630L	2	2	N/A	15	6/12	1333x4	60	LGA2011	65.3	277%	38.7	219%
E5-2630	2	2.3	N/A	15	6/12	1333x4	95	LGA2011	70.5	299%	42.6	241%
E5-2620	2	2	N/A	15	6/12	1333x4	95	LGA2011	64.5	273%	38.9	220%
E5-2609	2	2.4	N/A	10	4/4	1066x4	80	LGA2011	59.2	251%	35.8	202%
E5-2603	2	1.8	N/A	10	4/4	1066x4	80	LGA2011	47.2	200%	27.5	155%

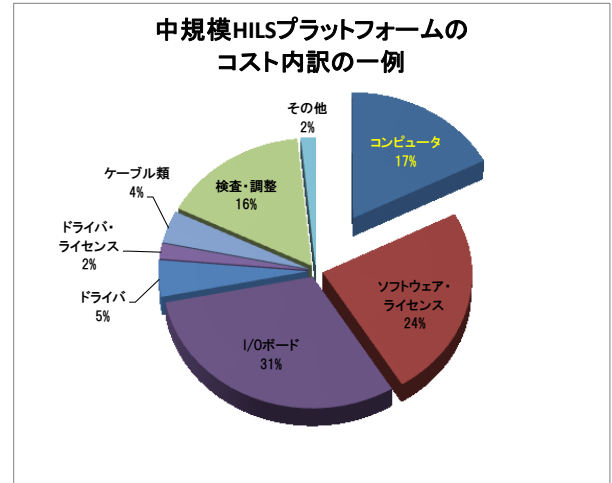
※ 上表の薄字表記の CPU は、コンカレント社の提供する iHawk では取り扱っておりません。

【結果考察】

これまでの測定およびベンチマークの結果から、現在 HILS コントローラとして入手可能なプラットフォームで使用するのことができる CPU 間の性能は、最大で実に4倍近い開きがあることがご理解いただけたものと思います。もちろん性能の高い CPU ほど高価ではありますが、コンカレント社の提供する HILS プラットフォームの場合、中規模システムのコスト全体に占めるコンピュータ (CPU は1~2個) の割合は 15~20% 程度となります。更にこれらのコンピュータのコスト全体に対して、CPU の占める割合は通常 10% 前後です。

CPU のマクロアーキテクチャーが変わると、チップセットやメモリ等も変更する必要があるため、単純に CPU のコストだけで比較することは出来ません。しかし、ここで一例とした中規模 HILS プラットフォームにおいて仮に2倍の演算性能を実現する為にコンピュータを2倍のコストで交

換し他の構成は一切変更しないと仮定した場合、全体に占めるコンピュータの割合は 29% と高くなりますが、高々システム全体の17% の投資で2倍の性能を入手できることになります。



コンカレントの HILS 環境では、広範な市販 PC 及び CPU からお客様のご要求に沿った選択をすることが出来ます。単に高性能なプラットフォームをご提供することが出来るだけでなく、現在のご要求に合わせつつ将来のご要求の高

度化を見越したシステム構成をご提案することで出来ます。このことは、お客様の投資効果を高める為にも計り知れないメリットをご提供することとなります。

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。

② コンパイル時の最適化:

本文でも触れましたが、モデルをコンパイルする際にコンパイラで設定する最適化のオプシ

ョンを有効にすることにより大幅な演算時間が短縮される場合があります。

③ 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。

④ 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。

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。