

「Cell スピードチャレンジ 2008」実施報告

津 邑 公 暁^{†1} 吉 見 真 聡^{†2} 中 田 尚^{†3}
片 桐 孝 洋^{†4} 吉 瀬 謙 二^{†5}

先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2008 併設企画として、マルチコアプログラミングコンテスト「Cell スピードチャレンジ 2008」を開催した。連立一次方程式の解ベクトルを求める規定課題部門、および各チームが自由に課題を設定できる自由課題部門の 2 部門で行ったところ、のべ 88 チームの参加を集め、盛況に終わることができた。本稿では、Cell スピードチャレンジ 2008 の実施報告を行う。

The Report on “Cell Speed Challenge 2008”

TOMOAKI TSUMURA,^{†1} MASATO YOSHIMI,^{†2} TAKASHI NAKADA,^{†3}
TAKAHIRO KATAGIRI^{†4} and KENJI KISE^{†5}

This is the report on multicore programming contest “Cell Speed Challenge 2008”. Cell Speed Challenge 2008 was held by three IPSJ special interest groups, Special Interest Group on Computer Architecture (SIGARC), Special Interest Group on Embedded Systems (SIGEMB), Special Interest Group on High Performance Computing (SIGHPC). We provide two categories for the contest. One is a free theme category and the other is specific theme (solution of linear equations) category. It became a prosperous programming contest in which 88 teams are participated.

1. はじめに

先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2008 併設企画として、情報処理学会の計算機アーキテクチャ研究会 (ARC)、組込みシステム研究会 (EMB)、ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 (HPC) の 3 研究会の主催によりマルチコアプログラミングコンテスト「Cell スピードチャレンジ 2008」(以下、Cell チャレ 2008) を開催した。

連立一次方程式の解ベクトルを求める規定課題部門と、参加者が自由に課題を設定することができる自由課題部門の 2 部門で実施した結果、のべ 88 チームという多数のエントリーを頂き、コンテストは盛況に終わった。また規定課題部門に 1 位入賞したプログラムは、SPE 7 基の場合における Cell/B.E. の理論

ピーク性能である 179.2 GFLOPS の 76.9% にあたる 137.8 GFLOPS を達成し、IBM の従来記録である 75.9% を上回るなど、優れた成果が得られた。

本稿では Cell チャレ 2008 の設計および実装について述べ、コンテストの実施報告とする。

2. 背景

本節では、コンテストを開催するに至った背景について述べる。

2.1 マルチコアプログラミング

近年、マルチコアプロセッサが広く市場に出回り、株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメントの PLAYSTATION[®]3[☆]にもヘテロジニアスなマルチコアプロセッサ Cell Broadband Engine^{™1} (以下、Cell/B.E.)^{☆☆}が搭載されるなど、マルチコア環境はめずらしいものではなくなってきた。

一方で、このようなマルチコア環境を効率的に利用するための並列化プログラミングには、スケラビリティや並行タスクの発見、生成、スレッド化をいかに

†1 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

†2 慶應義塾大学
Keio University

†3 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

†4 東京大学
The University of Tokyo

†5 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

☆ “PLAYSTATION” は株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメントの登録商標である。

☆☆ “Cell Broadband Engine” は株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメントの商標である。

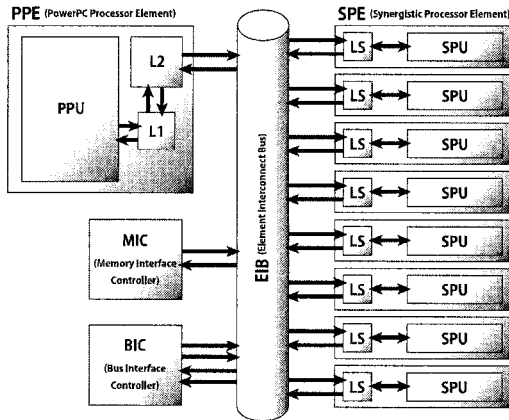


図1 Cell/B.E.のブロック図

行うかが課題となる。Intel が並列化処理用ライブラリ Threading Building Blocks²⁾ をオープンソース化するなどの動きからも、マルチコア/マルチスレッド環境におけるアプリケーション開発は今まで以上に重要視されると考えられる。

そこで、チップマルチプロセッサのための並列プログラミングに対するノウハウを蓄積すること、並列プログラミングにおける課題を浮き彫りにすること、またこれらノウハウや課題を広く共有することが必要と考え、このようなコンテストを構想した。

2.2 Cell/B.E.

コンテストのプラットフォームとしては、Cell/B.E.を採用した。Cell/B.E.は非常に挑戦的なアーキテクチャと高いピーク性能を持つが、倍精度浮動小数点演算の能力が低いことなどから当初は一部でその性能を引き出すのが困難という見方もあったため、コンテストに用いるには最適であると判断した。Cell/B.E.の構成を図1に示す。

Cell/B.E.は、PPE (PowerPC Processor Element) と呼ばれる 64bit POWER アーキテクチャの汎用コア1個、および SPE (Synergistic Processor Element) と呼ばれる SIMD 系アーキテクチャのコア8個から成るヘテロジニアスマルチコアプロセッサである。SPEはキャッシュを持たず、代わりにローカルストア(図中LS)と呼ばれるSRAMを持っている。また主記憶とLSの間ではDMA転送を行う必要がある。このDMA転送を効率的に行うことや、SIMD化、並列化を行うことが性能向上の鍵となる。

3. 設 計

昨年度実施された「Cell スピードチャレンジ 2007」³⁾(以下、Cell チャレ 2007)を基本的に踏襲する形でコンテスト設計を行った。各詳細について以下に述べる。

3.1 体 制

Cell チャレ 2007 に倣い、コンテストの運営組織として実行委員会を組織した。Cell チャレ 2007 で実行委員をお引きうけくださった方を中心に声をかけ、ご承諾いただいた方 20 名で構成した。委員には各協賛団体からもご参加いただいた。また、実行委員会に適切なアドバイスを与えるための上部組織として、4 名からなるアドバイザリ委員会を組織した。

実行委員会では 2007 年 10 月 26 日にキックオフミーティングを行い、次項で述べる規定課題の概要をはじめとするコンテストの概要を決定した。その後の議論は基本的に電子メールで行われたが、コンテストの進行等に関するさまざまな方向づけは Cell チャレ 2007 を踏襲できるものが多かった。重要な決定次項の多くは、電子メールで委員会に諮り決定することとした。また、実行委員は自動的に自由課題の評価委員となることとした。

3.2 規 定 課 題

実行委員会でも議論した結果、Cell チャレ 2008 の規定課題は連立一次方程式の解法に決定した。これは、Cell チャレ 2007 ではソート問題が規定課題であったことを受け、数値系および非数値系の課題のバランスをとるべきだとの意見が多かったためである。

ただし連立一次方程式を規定課題とした場合、HPC 分野以外の参加者が上位に食い込むのが難しくなることも予想された。このため、参考文献や定番アルゴリズムを出題側から提示することで、できる限り専門・専門外の参加者のギャップを埋め、スタートラインを揃える必要がある。また問題の性質から、汎用ライブラリの使用や公開されているサンプルコードからのコード流用を回避するように問題およびツールキットを工夫すべきである。これらのことに留意して設計を進めた。

3.3 コンテスト日程

Cell チャレ 2007 を踏襲する形で設計を行った。規定課題部門においては問題作成のための期間が必要となるため、これを考慮する必要がある。また、前項で述べたように規定課題を予選、本選に分けるため、予選ラウンドの集計期間も確保する必要がある。これらの制約と、参加者のためのプログラミング時間を十分確保することを考慮し、日程は以下のように決定した。

- 2007/11/20 規定課題概要公開、参加受付開始
- 2007/12/07 ツールキット(試用版)公開
- 2008/01/11 規定課題詳細、ツールキット公開
- 2008/02/01 参加受付閉切、予選ラウンド開始
- 2008/03/10 規定課題 予選ラウンド終了、自由課題終了
- 2008/03/17 規定課題 決勝ラウンド開始
- 2008/03/31 規定課題 決勝ラウンド終了
- 2008/06/11 SACSIS2008 にて表彰



図2 Cell Open Cafe の利用イメージ

4. 実 装

本章ではコンテストの実施方法について述べる。

4.1 実施環境

コンテストの実施環境として、財団法人北九州産業学術推進機構半導体技術センターの **Cell Open Cafe**^{*} を提供いただいた。Cell Open Cafe では、Cell/B.E. 搭載ボードが収められたハードウェアにファームウェアや基本ソフトウェアを予め組み込んだシステムである Cell リファレンスセット⁴⁾ を、ネットワーク経由で使用することができる(図2)。なお、Cell/B.E. が集積する SPE は 8 個であるが、Cell リファレンスセットにおいて利用できる SPE は 7 個となっている。

コンテスト参加は、1 名以上で構成されるチーム単位とし、1 チームあたり Cell Open Cafe のアカウントを 1 つ発行した。Cell Open Cafe では 5 台の Cell リファレンスセットが用意されている。Cell Open Cafe にログイン後は、ユーザは `cellexec` というコマンドで Cell/B.E. で実行させたいプログラムを指定する。`cellexec` は指定されたプログラムを自動的に 1 台の Cell リファレンスセットに割り当て実行する。なお、各ユーザは同時に複数の `cellexec` を実行できないようになっており、単一ユーザによる Cell リファレンスセットの占有を防いでいる。

4.2 部 門

前述のとおり、規定課題部門および自由課題部門の 2 部門でコンテストを実施した。

規定課題

規定課題部門では Cell/B.E. を用いて共通の課題を解く速さを競う。参加資格として、チームの全メンバが高校、高専、大学、大学院あるいはそれに準ずる学校の学生であることを条件とした。前章で述べたように、規定課題としては連立一次方程式の解法を採用した。

$$3x + y + 4z = 17 \quad (1)$$

$$x + 5y + 9z = 38 \quad (2)$$

$$2x + 6y + 5z = 29 \quad (3)$$

表 1 規定課題における 1 問あたりの配点

	予選ラウンド	決勝ラウンド
1 位	6 点	10 点
2 位	4 点	7 点
3 位	3 点	5 点
4 位	2 点	4 点
5 位	1 点	3 点
6 位	—	2 点
7 位	—	1 点
誤答減点	なし	-10 点

例えば上のような連立一次方程式は、左辺の係数を行列表記し、右辺の値と解の変数を以下のようにベクトル表記することで、

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 4 \\ 1 & 5 & 9 \\ 2 & 6 & 5 \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 17 \\ 38 \\ 29 \end{pmatrix}$$

以下の式における解ベクトル x を求める問題と考えることができる。

$$Ax = b$$

ここで解ベクトル x は 1 本である保証はないとした。すなわち m 本の解ベクトルをまとめた行列を $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ 、 m 本の右辺ベクトルをまとめた行列を $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ とすると、

$$AX = B$$

の解ベクトル行列 X を解く問題となる。

参加者が作成するプログラムのベースとなるツールキットを、問題作成ワーキンググループで作成し配布した。この際、参加者には SPE 用プログラムのみの改変を許可した。ツールキットは Cell チャレ 2008 ウェブページ^{**}で公開しているので、興味のある方は参照されたい。

規定課題は予選と決勝で構成した。まず異なる特徴を持つ 5 問(練習問題)をツールキットに同梱し、これについて正しい出力^{***}を得ることを条件とした。その上で、練習問題とは異なる予選ラウンド用問題(予選ラウンド問題)を用いて提出されたプログラムを評価した。予選ラウンド問題は、予選締切前には参加者に公開していない。正しい出力を得るプログラムのうち、各問題において速度の高い上位 5 チームに対し順位に応じた得点を与えた(表 1)。なお設計時には、予選ラウンド問題に対して 1 問でも正しい出力が得られなかった場合は予選失格と規定していたが、予想以上に失格チームが出てしまうこととなったため、練習問題に対して正しい出力が得られればよいと変更した。

決勝ラウンドでは新たに 10 問(決勝ラウンド問題)を用意し、各問題に対して速度の高い上位 7 チーム

^{*} <http://www.cell-hibikino.net/>

^{**} <http://www.hpcc.jp/sacsis/2008/cell/>

^{***} ベクトルのノルムを定義し、ツールキットプログラムのノルム値の 3 倍までを正しい解とすると規定した。

に順位に応じた得点を与え、予選ラウンドの得点とあわせて合計得点の高いチームから並べたものを最終順位とした。決勝ラウンド問題についても、正しい出力を得られなくともやはり失格とはせず、そのような問題1問あたり一定の点数を減点することとした。このルール変更は、予選終了時に参加者にアナウンスした。

自由課題

自由課題部門では、参加チームが自由に設定した課題を Cell/B.E. を利用して実装してもらい、アイデアや有用性などを基準に委員で優秀作品を選定する。こちらは規定課題と異なり参加資格は学生に限定せず、教員や企業の開発者も参加可能とした。

各チームには実装したプログラムのドキュメントを提出してもらい、このドキュメントをもとに実行委員の投票で入賞チームを決定した。実行委員は各2票を持ち、優秀と考える2チームに投票できることとし、得票数の多いチームから並べて順位とした。

4.3 賞品

Cell チャレ 2007 同様、協賛各団体から豪華な賞品をご提供いただき、参加者の増加に少なからぬ影響を与えたと考えられる。お礼申し上げます。

規定課題上位3チーム、自由課題上位3チームの計6チームを上位入賞者とした。株式会社東芝セミコンダクター社より、各課題1位の2チームには TOSHIBA ハードディスク内蔵ハイビジョン液晶テレビ REGZA 42RH500 が、2位の2チームには TOSHIBA AV ノート PC Qosmio が、3位の2チームには TOSHIBA ハードディスク&DVD レコーダ RD-S502 が贈られた。

また、規定課題、自由課題のそれぞれから、上位3チームには漏れたものの優秀であったチームが各1チーム選ばれ、財団法人北九州産業学術推進機構から旅行券が「ひびきの賞」として贈られた。

これに加えて、株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメントより PLAYSTATION[®]3 が、上位入賞6チームおよびひびきの賞受賞チームの全8チームに1台ずつ贈られた。

去る6月11日、SAC SIS2008において Cell チャレ 2008 表彰式が行われ、これら副賞とともに賞状が授与された。

5. 評価と考察

本章ではコンテストにおけるさまざまなデータ、およびコンテストの成果について述べる。

5.1 上位入賞チーム

規定課題部門

4.2 節で述べたように、規定課題部門は予選・決勝ラウンドの合計得点で順位を決定した。10 位までの各チームの得点状況を図 3、図 4 に示す。

規定課題部門第1位は、予選ラウンド、決勝ラウンドともに最高得点を獲得した、チーム「東京工業大学

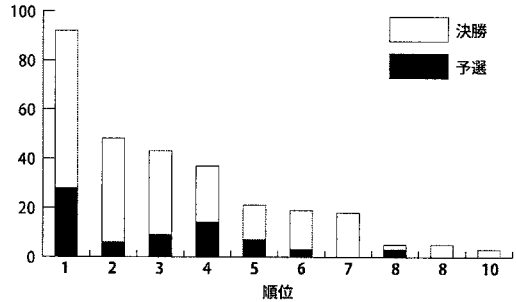


図 3 規定課題における総獲得得点

問題 No.	予選					決勝										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1位	4	6	6	6	6	10	10	10	3	10	7	7	10	7	-10	
2位	1	2	0	1	2	5	5	7	4	5	4	-10	7	5	10	
3位	2	3	1	0	3	7	10	5	10	7	5	3	-10	-10	7	
4位	0	4	2	4	4	2	1	3	1	3	1	1	4	3	4	
5位	0	0	0	0	0	3	3	4	2	-10	3	2	5	4	5	
6位	0	0	0	2	1	0	5	1	7	-10	10	0	2	0	1	
7位	6	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10	0	0	0	
8位	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	
8位	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
10位	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

図 4 規定課題における問題毎の得点状況

小長谷研究室」(代表 里城晴紀氏)が受賞した。Left-looking 法を採用することでローカルストアを有効に活用しメモリアクセス回数を大幅に減らすことに成功している。図 3 から分かるように、2 位以下を大きく引き離しての 1 位となった。図 4 で個別に見ても、決勝ラウンドで 1 問不正解となっているものの、予選、決勝通じてほとんどの問題で 1 位となっていることが分かる。

規定課題部門第2位は、チーム「TenForks」(代表 東北大学 須藤郁弥氏)が受賞した。ブロック化などによりデータ転送回数を削減している。また、問題が帯行列の場合に不要な計算を省く手法を実装し、決勝問題の問題8、問題10で効果をあげている(図4)。

規定課題部門第3位は、チーム「redb」(代表 会津大 松本和也氏)が受賞した。求める解ベクトルの本数が多い問題に対しては解ベクトルを複数本まとめて求める手法が実装されており、高い効果をあげている。

規定課題部門からのひびきの賞は、第4位のチーム「Qubit」(代表 東工大 田原慎也氏)が受賞した。縦ブロック分割 LU 分解により前進消去と後退代入で解く方法を採用しているが、上位入賞3チームが成し得なかった全問正解を実現しており、コンテスト設計時の評価基準では第1位となる優秀なプログラムであった。

なお規定課題部門入賞のほとんどのチームは、SIMD、ループアンローリング、DMA ダブルバッファリングを用いており、Cell/B.E. プログラムの高速化にはこれらの手法を適用することが不可欠であることが伺える。

自由課題部門

自由課題部門1位は、チーム「Mitochondria」(代表 総研大/国立天文台 富田賢吾氏)による「Cell Broadband Engine に対する重力多体問題計算の最適化」が受賞した。多粒子系の運動を計算する問題である重力多体問題を Cell/B.E. に実装したもので、精度の議論が詳しい点や、GRAPE、GPU などの他アーキテクチャと比較を行っている点が委員から高く評価され、圧倒的な支持により選出された。

自由課題部門2位は、規定課題部門でも1位を獲得したチーム「東京工業大学小長谷研究室」による「Cell BE プログラムの最適化手法の提案」が受賞した。Cell/B.E. シミュレータでの実行結果と実機との性能差を調べ、目標、計画を設定した上でプログラムを改訂するという最適化手法を提案した。粒子シミュレーション等を用いて有効性を示しているが、結果的に規定課題部門でも1位入賞したことが提案手法の有効性の証左となっている。

自由課題部門3位は、チーム「itotlabo」(代表 千葉大 荒井大輔氏)による「Cell を用いたクラスタシステムによる計算機合成プログラムの高速化」が受賞した。Cell チャレ 2007 でも同研究室所属のチームが計算機合成プログラムをテーマに自由課題部門1位を受賞しているが、今回も引きつづき受賞となった。5台のPLAYSTATION[®]3からなるクラスタシステムでPCの130倍という高い性能を達成している。

自由課題部門からのひびきの賞は、Cell チャレ 2007 でも自由課題部門2位を獲得したチーム「ひびきの神経細胞」(代表 九工大 五十嵐潤氏)の「Cell B.E. による SIMD-oriented Fast Mersenne Twister を用いた Particle Swarm Optimization」が受賞した。制約最適化手法の PSO に対し、その計算コストの多くを占める疑似乱数生成計算を Cell/B.E. で高速に実現する手法を提案しており、Core2 に対して3~7倍の速度向上を実現している。

5.2 成果公開

上位入賞の全チームには、4ページ程度の開発記録をまとめたドキュメントを提出いただいた。また、SAC-SIS2008 Cell チャレセッションでの発表をお願いした。セッションには朝早くから多数お集まりいただき、活発な議論が交わされた。これらドキュメントおよび発表資料は近日中のダウンロード公開に向けて準備中である。規定課題部門の参加チームには、作成したコードを GPLv2 に基づいて公開資料としてご提供いただいた。これらは現在、Cell チャレ 2008 ウェブページからダウンロード可能である。

また、規定課題部門1位となったチーム「東京工業大学小長谷研究室」のプログラムは、SPE7 基の Cell/B.E. において理論ピーク性能である 179.2 GFLOPS の 76.9% にあたる 137.8 GFLOPS を達成し、IBM の従来記録である 75.9% を上回するという素晴

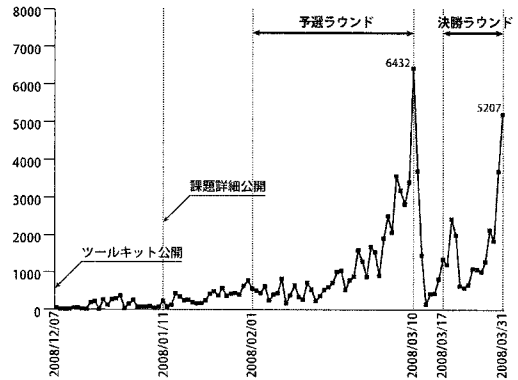


図5 実行回数の推移

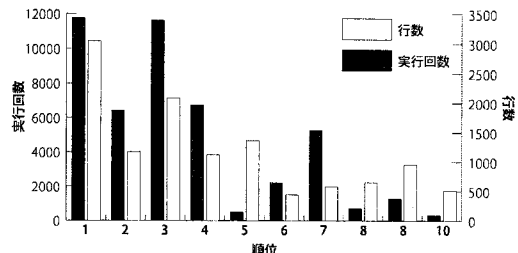


図6 実行回数およびソースコード行数 (上位10チーム)

しいものであった。⁵⁾ この成果については「PLAYSTATION3 で動作する世界最高速の密行列 LU 分解プログラムを公開」というタイトルでプレスリリースを行った。

5.3 実行回数とソースコード行数

4.1 節で述べたように Cell Open Cafe 上ではコマンド cellexec を使ってプログラムを実行するため、cellexec の実行回数を調べることでプログラムの実行回数に分かる。図5に、コンテスト期間中の、1日あたりの cellexec 実行回数の推移を示す。コンテスト開始前は1日あたり数回であった実行回数が、規定課題公開後から徐々に増加しはじめ、予選ラウンド締切日でピークを迎えている。非常に高い稼働率を実現していることが分かる。また、予選ラウンド期間、決勝ラウンド期間における平均実行回数は、それぞれ1224回、1673回となった。決勝期間では、予選結果の芳しくなかった多くのチームが開発を諦めているにもかかわらず1日あたりの平均実行回数は予選期間より増加しており、予選上位チームによる活発な改良が行われたことが伺える。

次に、規定課題部門で得点を獲得した10チームの、コンテスト期間中のプログラム実行回数および提出プログラムのソースコード行数 (SPE用プログラムのみ) を図6に示す。各チームがプログラミングに費やした時間は測定できないが、プログラムを実行した回数はプログラム改良に伴う試行回数であり、プログラミングに対して割いた労力がある程度反映していると

考えられるだろう。賞を受けた4チームはプログラム実行回数においても上位4チームとなり、やはり手をかけたぶんだけプログラムが良くなる傾向があると分かる。プログラム行数にも同様に一定の正の相関が見てとれた。

5.4 実施側の負荷

3章で述べたとおり Cell チャレ 2007 を踏襲できる部分が多く、実行委員会に流れた電子メールは 66 通という少量であった。一方、問題作成ワーキンググループでやりとりされた電子メールは 270 通となり、前回よりも多くの議論が費やされた。また、コンテスト実施環境の不具合対応を含むその他のメールは約 650 通となり、前回は大きく上回った。

しかし、コンテスト実施の負荷はそう高くなかったと感じる。最も負荷の高い作業は提出物の検証実行および速度測定であると予想されたが、Makefile 等を含め提出形式を比較的厳密に規定しておいたこと、バッチ実行用スクリプト(参加者へのメール送信等も含む)を締切前に予め用意しておいたこと、高機能な集計用スプレッドシートを作成したこと、などによりかなり負荷は軽減された。また、検証・測定作業を複数のワーキンググループメンバーと Skype で会話しながら行うことで、精神的な負荷がかなり緩和されることが分かった。

6. おわりに

情報処理学会の計算機アーキテクチャ研究会、組込みシステム研究会、ハイパフォーマンスコンピューティング研究会の3研究会主催でマルチコアプログラミングコンテスト「Cell スピードチャレンジ 2008」を開催し、本稿ではその実施報告を行った。

コンテストは多数の参加チームを集めることができ、成功に終わったと言える。また、規定課題の1位プログラムが Cell/B.E. における性能達成の従来記録を打ち破るなど、優れた成果も得ることができた。

今後の課題としては、まず高校や高専の学生の参加をいかにして多く集めるかがある。参加者を増やすよう国立高専機構にアプローチするなど努力したが、Cell チャレ 2007 で規定課題で3位に入賞した大阪府立工業高専のチームに今回も参加いただいたものの他の高専チームの参加はなかった。また、高校も東工大付属高校の2チームの参加のみにとどまった。規定課題に取り組んでもらいやすくするために、限定部門等も視野に入れた工夫や、より効果的にアナウンスできる方法を考える必要があるであろう。

また 5.1 節で述べたように、今回の規定課題の優秀チームは SIMD、ループアンローリング、DMA ダブルバッファリングなどの共通した手法を用いており、2回のコンテストを通じて Cell/B.E. プログラミングが必要となる「定石」が基本部分では固まりつつある

と感じる。これはコンテストの成果として評価すべき点ではあるが、逆に今後参加者のプログラムに差が出ていくことはコンテスト存続という面から考えると問題でもある。プラットフォームの再考も含めて、今後のコンテストの方向性を考えていく必要があるであろう。

現在、上記のような問題を解決するような、新たなコンテストモデルの設計の検討を始めている。次回もマルチコアプログラミングコンテストを無事開催できる運びとなった場合には、ぜひご参加をお願いしたい。

謝辞 Cell スピードチャレンジ 2008 にご協賛いただきました株式会社東芝セミコンダクター社、株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント、財団法人北九州産業学術推進機構、日本アイ・ビー・エム株式会社に深く感謝いたします。

随所でアドバイスを頂き、コンテストを強力にバックアップして頂きましたアドバイザー委員の中村宏、高田広章、中島浩、朴泰佑各先生に感謝いたします。

コンテストの実現のご尽力いただきました合田憲人、有松修一、井上弘士、追川修一、大津金光、木村啓二、光来健一、近藤伸宏、近藤正章、阪本正治、菅原豊、高橋大介、瀧塚博志、富山宏之、中田秀基、福田悦生、山崎剛の実行委員各氏に感謝いたします。特に井上弘士氏には要所で適切なお助言、サポートを頂きました。

Cell Open Cafe をコンテスト実施環境としてご提供くださいました財団法人北九州産業学術推進機構に深く感謝いたします。特に、有松修一氏にはコンテスト実施環境のメンテナンスや不具合対応にご尽力いただきました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Sony Computer Entertainment: *Cell Broadband Engine Architecture*, 1.01 edition (2006).
- 2) Intel Corporation: *Intel(R) Threading Building Blocks Reference Manual*, 1.9 edition (2008).
- 3) 吉瀬謙二, 吉見真聡, 片桐孝洋, 中村 宏: マルチコアプログラミングコンテスト「Cell スピードチャレンジ 2007」実施報告, 情報研報 2007-ARC-174 (SWoPP 2007), 情報処理学会, pp.193-198 (2007).
- 4) 上村 剛, 大溝 孝, 粟津浩一: Cell リファレンスセット概要, 東芝レビュー, Vol.61, No.6, pp. 25-29 (2006).
- 5) 里城晴紀, 小長谷明彦: オンチップ並列処理を利用した密行列 LU 分解の高速化, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2008 論文集 (ポスター), 情報処理学会, pp.11-12 (2008).