

[2016]九州大学情報統括本部年報 : 2016年度

<https://hdl.handle.net/2324/2198501>

出版情報 : 九州大学情報統括本部年報. 2016, pp.1-. Information Infrastructure Initiative, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :



第5章 学際計算科学研究部門

5.1 スタッフ一覧

| 職名 | 氏名 | 研究キーワード |
|-----|------|---|
| 教授 | 小野謙二 | 数値流体力学、可視化、大規模並列計算 |
| 准教授 | 天野浩文 | 並列処理,並列プログラミング言語,ジョブスケジューリング, 並列ファイルシステム,データベース,データベースプログラミング言語,グリッドコンピューティング |
| 准教授 | 嶋吉隆夫 | ソフトウェア工学,形式手法,計算生理学,フィジオーム,数値解析,細胞モデリング,心臓シミュレーション |

5.2 研究事例紹介

5.2.1 「時間並列計算技術の研究」

研究の背景

計算機のプロセッサ数が増加し、シミュレーションにおける領域分割型の並列計算の実行性能も向上してきた。計算機のプロセッサの性能は著しく向上する一方で、プロセッサメモリ間のデータ転送能力はそれほど高くなり、両者の性能は乖離している。通信性能が相対的に低いと、並列計算時に逐次計算となる通信時間が相対的に大きくなり、大規模並列時に空間方向の並列性能が飽和する問題が発生し、全てのプロセッサを有効に活用できなくなる。このような状況では、新たな加速方法が必要となるが、本研究課題ではそのアイデアを時間方向の並列化に求めた。

本研究の目的と主要な成果

本研究課題では、時間並列計算法の基礎技術を蓄積し、国際的にも大規模並列計算への先駆的な応用事例を研究発表し、活発な研究拠点の形成を行うことを目的として研究を進めた。また、当該研究領域の重要な国際ワークショップへの招待講演を依頼され、意見交換を実施した。具体的には、以下の成果をあげている。

- (a) 必要な要素技術の開発を実施するため、Parareal法に基づくアルゴリズムを開発した。
- (b) 放物型偏微分方程式について拡散問題を対象に、オリジナルの Parareal 法の応用による大規模時間並列計算を実施し、長期目標の 7 倍の加速を上回る 8.6 倍の加速を得、さらにパイプライン化した Parareal 法の応用により 16.6 倍の加速を得た。
- (c) 上記と同様な問題を対象に時空間 Hybrid 並列計算法を開発し、空間並列性能が飽和した後の加速手段としての時間並列法の有効性を示した。時間並列計算法は、空間並列とは独立に加速可能である。

- (d) 放物型偏微分方程式の1つである応用性の高いフェーズフィールド法へ時間並列計算法を適用するため、その時間並列計算コードを開発した。今後、評価・改良を実施する。
- (e) 双曲型偏微分方程式（移流、波動問題）については、収束性に課題がある。その原因が時間粗視化計算による位相精度の低下であることを数値実験により明らかにし、国際会議で報告、また論文も投稿中である。この成果を基に、今後課題解決の方法を開発していく。
- (f) 時間並列計算法で最も重要なパラメータである時間粗視化率には最適値があることを性能モデルの分析と数値実験により明らかにし、論文に投稿した。

Parareal 法を基にした時間並列計算法の2つのアルゴリズムを図1に示す。このアルゴリズムは反復計算法である。残差計算を行う Fine solver と修正計算を行う Coarse solver には既存の時間積分技術、計算技術、コードの流用が可能である。パイプライン化した Parareal 法は、Coarse solver の計算で発生する無駄な時間待ちを通信と計算をオーバーラップすることにより削減する。

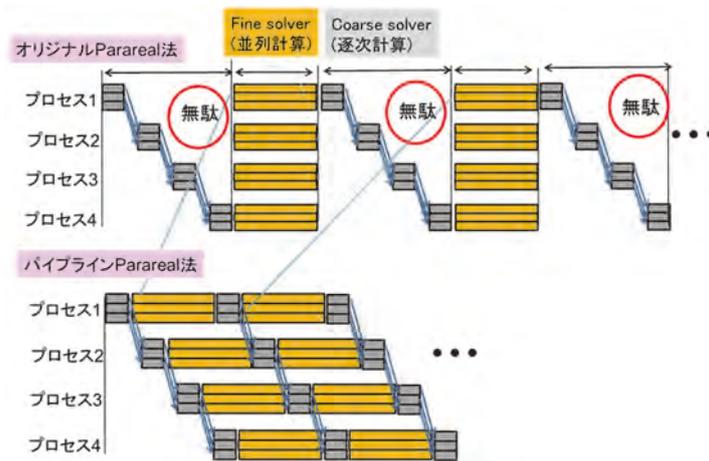


図1 時間並列計算法の2つのアルゴリズム。オリジナルの Parareal 法では、Coarse solver が逐次計算なので、並列計算である Fine solver が実行されるまでに無駄な待ち時間が発生する。その無駄はパイプライン法により削減される。

この2つの時間並列計算法を下記の大規模拡散問題に適用し、性能評価を行った。

$$\begin{aligned}
 u_t(\mathbf{x}, t) &= \frac{1}{3} \nabla^2 u(\mathbf{x}, t), \quad \mathbf{x} \in \Omega = [0, 1]^3, \quad t \in [0, T], \\
 u(\mathbf{x}, 0) &= \sin(\pi x) \sin(\pi y) \sin(\pi z), \\
 u(\mathbf{x}, t) &= 0, \quad \mathbf{x} \in \partial\Omega, \quad t \in [0, T].
 \end{aligned}$$

その結果、図2に示すようにオリジナルの Parareal 法の応用により長期目標の7倍の加速を上回る8.6倍の加速を得、さらにパイプライン化した Parareal 法の応用により16.6倍の加速を得た。

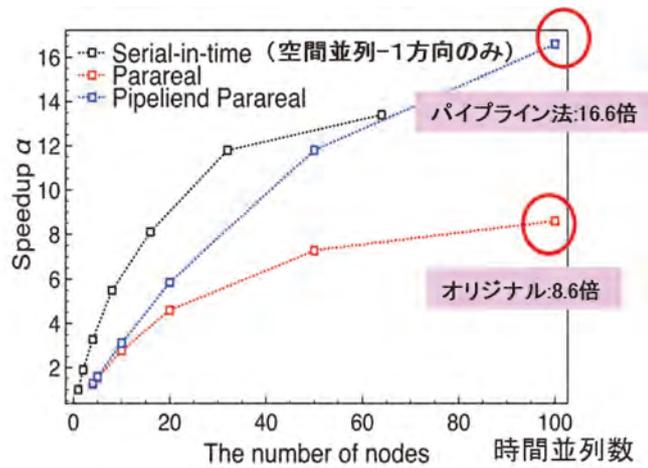


図2 パイプライン法は並列数が増加するほどオリジナルの無駄を削減する割合が増加するため、2つの方法の性能差は並列数の増加で広がる。すなわち、パイプライン化したParareal法は大並列に向く。

次に上記と同じ大規模拡散問題を対象に時空間 Hybrid 並列計算法を開発し (図3)、空間並列性能が飽和した後の加速性能を評価した。その結果、時間並列計算法は空間並列とは独立に加速可能であることを示した。またオリジナルの Parareal 法に比べパイプライン法により 1.98 倍の加速を得た。時空間 Hybrid 並列計算全体としては、6400 並列で、オリジナルの Parareal 法により 112 倍、パイプライン化した Parareal 法により 222 倍の加速を得た (図4)。今回の時空間 Hybrid 並列計算の規模は現在では最大級のものである。

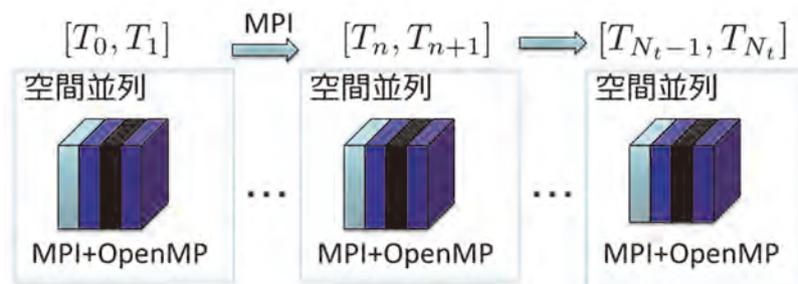


図3 時空間 Hybrid 並列計算法。空間並列は差分法の領域分割法を適用し、時間並列計算法に2つのアルゴリズムを適用した。

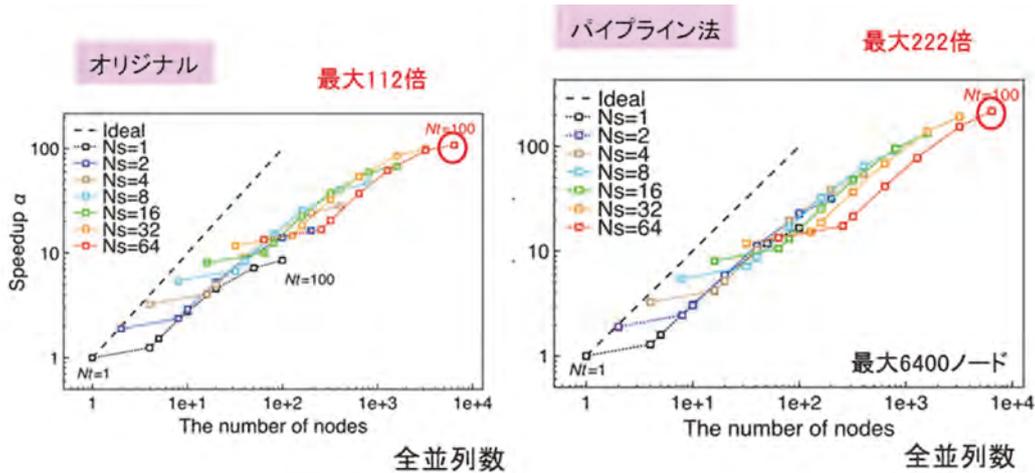


図4 時空間 Hybrid 並列計算の性能。空間並列数 $N_s=1\sim 64$ 、時間並列数 $N_t=2\sim 100$ 、空間グリッド 128^3 で、空間並列数 N_s を変えて時間並列計算を実行した。

フェーズフィールド法はこれまで解析が困難であった相変化・結晶化、トポロジー最適化等の問題への幅広い応用が期待され、現在最も活発に研究開発が行われている手法の1つである。時間並列計算法を適用するため、Allen-Cahn 方程式（フェーズフィールド変数の方程式）を対象に簡単な1次元の例題を作成し、Parareal 化を実施した（図5）。今後、評価・改良を実施する。

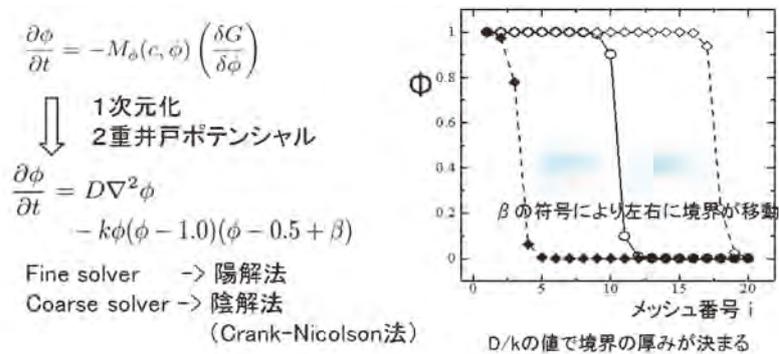


図5 フェーズフィールド法への時間並列計算法の応用。フェーズフィールド方程式は拡散項が支配的ではあるが、複雑な相変化等を記述する非線形項がある。その非線形項を考慮した Parareal 法の改良が課題である。

双曲型偏微分方程式（移流、波動問題）については、Parareal 法の収束性に課題がある。これまでに数学的な分析はあるものの具体的な原因はあいまいであった、そのため対応の方向も定めかねていた。今回その原因が時間粗視化計算による位相精度の低下であることを数値実験により明らかにし（図6）、国際会議（SIAM-PP2016, Fifth Parallel-in-Time Workshop 2016）で報告した論文も投稿中である。今後は、この成果を基に、低計算負荷な位相高精度計算法の方で、課題解決の方法を検討していく。

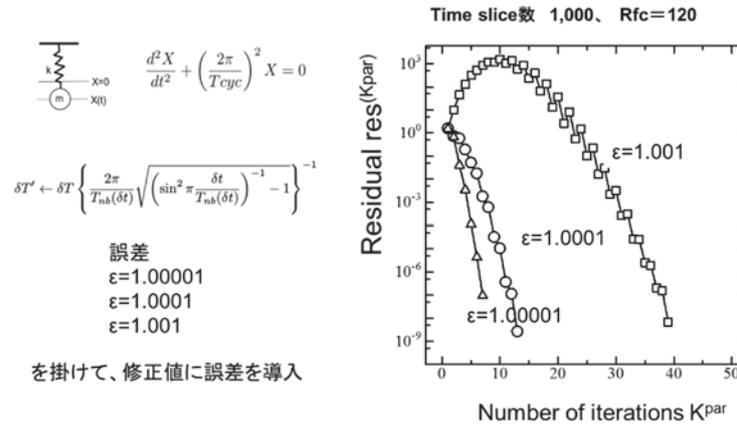


図6 Parareal法収束性の課題の原因の解明。双曲型偏微分方程式の最も単純な形である単振動問題を対象に、この場合に限り完全に位相精度を制御できる方法を適用し、位相誤差がParareal法の収束にどのような影響を与えるかを数値実験により定量的に調べた。その結果、わずかな誤差も急速に収束性を悪化させるということが分かった。

時間並列計算法は現在数学的な検討を中心に発展段階である。そのため、時間粗視化率、時間領域分割数（並列数）等の応用で重要な時間並列パラメータの設定方法の検討が遅れている。今回は、最も重要なパラメータである時間粗視化率には最適値があることを性能モデルの分析と数値実験により明らかにした（図7）。

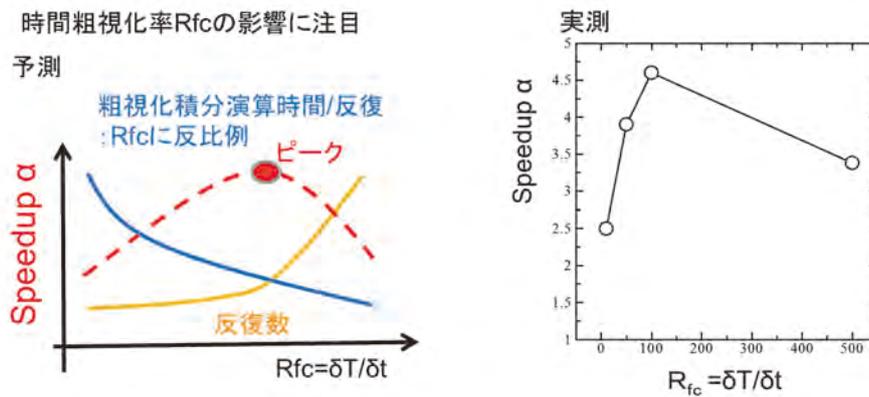


図7 時間並列計算パラメータ設定法。時間粗視化率を変化させると、逐次計算負荷と反復数が相反する挙動を行い加速率にピークができることを数値実験にて明らかにした。

5.2.2 「汎用的な計算環境のための拡張公平性スレッドスケジューリングの研究」

研究の背景

オペレーティングシステム (OS) のスケジューラは、実行中のプロセスが、アイドル状態となったとき、または、CPU 上でタイムスライスと呼ばれる単位時間を消費したときに、次のタイムスライスを待機中のどのプロセスに割り当てるかを決定する。単一のスレッドで動作する従来のアプリケーションプログラム (AP) に加えて、近年は複数のスレッドを利用する新しい AP が増加しつつあり、新しい AP のプロセスにより多くのタイムスライスが割り当てられるために従来の AP のプロセスの実行が阻害される恐れが出てきている。また、単一 CPU 内のコア数の増大や単一計算機上で複数の OS を同時に動作させる仮想計算機 (VM) 環境の普及により、スケジューラは、単一コア内・同一 CPU 内コア間・VM 間の各レベルでプロセス間の公平性を保証しなければならない。

このうち、単一 CPU 内のスレッドに対する局所的公平性については、Mostafa と日下部によって、各プロセスに付与された重みに比例する CPU 時間の割り当てを行うスレッド重み再調整スケジューラ (TWRS) が提案され、その効果が確認されている¹。しかし、現在普及しつつあるマルチコア CPU や仮想計算機環境において公平なスレッドスケジューリングを実現する上で、この成果は不十分であった。

同一 CPU 内コア間での公平なスレッドスケジューリング

現在の Linux で採用されている CFS (Completely Fair Scheduler) と呼ばれるスケジューラは各スレッドの重みに基づいて各スレッドをどの CPU コアに配置するかを決定するが、各コアで動作するスレッドの重みの組み合わせによっては、スレッドの再配置がトリガされないためコア間の負荷が不均衡となり、結果的に特定のスレッドが他のスレッドよりも優遇されてしまうことがある (図 1)。

¹ Samih M. Mostafa, Shigeru Kusakabe: "Effect of Thread Weight Readjustment Scheduler on Scheduling Criteria," Journal of Information Engineering Express (IEE), Vol. 1, No. 2, pp. 1-10, 2015.

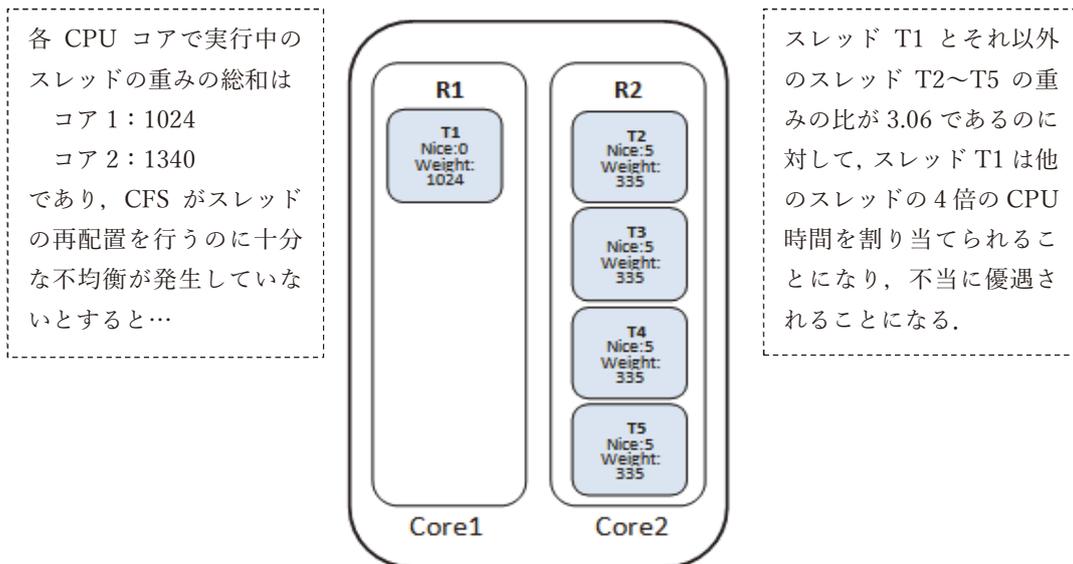


図 1 CFS が負荷均衡化に失敗し特定のスレッドが優遇されてしまう例

そこで、単一 CPU 内の複数コアにおける大域的公平性を定義し、各プロセスに付与された重みに比例する CPU 時間の割り当てが可能となるスケジューリング手法を検討した。この手法では、負荷の重い CPU コア上で動作するスレッドの一部を負荷の軽い CPU に積極的に移動させることによって、各 CPU コアの負荷を均衡化させるとともに、各スレッドに割り当てられる CPU 時間が各スレッドの重みの比に近づくように制御する (図 2)。

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------------|----|----|------|------------------|------|------|----|------------------|----|------|------|------------------|------|----|----|------------------|----|--|--|
| Core 1 (light) | Tasks | T1 | | | T1 | | | T2 | T1 | | | T1 | | | T2 | T1 | | | | | |
| | CPU Time (ms) | 40 | | | 30.1 | | | 9.9 | 40 | | | 30.1 | | | 9.9 | 40 | | | | | |
| Core 2 (heavy) | Tasks | T2 | T3 | T4 | T5 | T3 | T4 | T5 | T2 | T3 | T4 | T5 | T3 | T4 | T5 | T2 | T3 | T4 | T5 | | |
| | CPU Time (ms) | 10 | 10 | 10 | 10 | 13.3 | 13.3 | 13.3 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13.3 | 13.3 | 13.3 | 10 | 10 | 10 | 10 | | |
| | period | Period_0 (40 ms) | | | | Period_1 (40 ms) | | | | Period_2 (40 ms) | | | | Period_3 (40 ms) | | | | Period_4 (40 ms) | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

スレッド T2 が Core 2 から Core 1 へ、また Core 1 から Core 2 へ移動することによって、Core 1 と Core 2 の負荷が均衡化され、スレッド T1 とスレッド T2 から T5 の間の不公平な CPU 時間割り当ても改善されている。

図 2 負荷の重い CPU コアのスレッドを再配置することによって負荷の均衡化を行う例

このようなスレッドの再配置によって、各スレッドに割り当てられる CPU 時間は、理想化されたスケジューリング手法 (Generalized Processor Sharing, GPS) に近づく (図 3)。

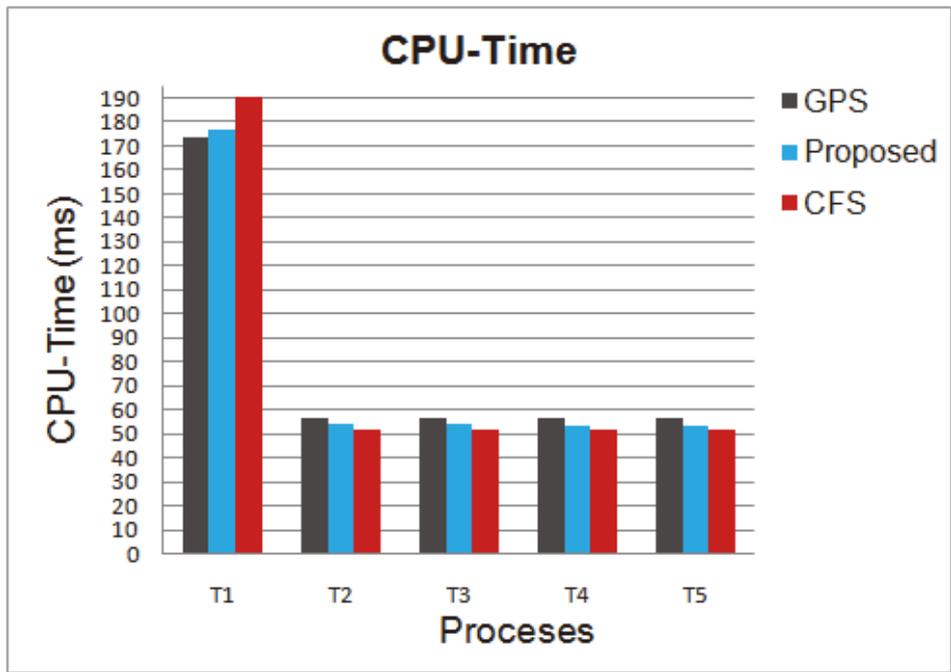


図3 シミュレーション結果

一方、スレッドがCPUコア間を移動することにより、キャッシュミスが増加し全体の処理性能が低下することが懸念される。しかし、6種類のベンチマークプログラムを用いた別の実験では、CFSと比較した場合に本手法による性能低下は見られなかった。

これらの結果から、同一CPU内のコア間での負荷の不均衡を解決するために実行中のスレッドをコア間で移動させることによって、処理性能を低下させることなく負荷の不均衡を改善できることが実証できた。これにより、現在主流となったマルチコアCPU上で、より公平なスレッドスケジューリングを行えるようになる。

仮想計算機環境での柔軟なスレッドスケジューリング

仮想計算機モニタ (VMM) の上で複数のVMが動作する環境では、各VMに静的に付与されたシェアに基づいてVMMが各VMに割り当てるCPU時間を制御する。しかし、あるVMの負荷が一時的に上昇してCPU時間の需要が増大したとしても、そのシェアの値を動的に変更することはできない。

そこで、単一の物理計算機上で複数の仮想計算機が動作する環境でのVM公平性を定義し、各VMに事前に付与されたCPU時間のシェアを動的に変更できるようなシステムコールを開発した。VMのシェアを利用者がシステムコールで変更することによって、VMに割り当てられるCPU時間の配分を動的に変更する機構を提案した。

この手法により、システムコールを実行して追加費用を支払う意思を表明した利用者のVMには、事前に設定されたシェアを超えて追加のCPU時間を配分することもできるようになった。現在急速に普及しつつあるクラウドサービスにおいては、CPU時間のシェアに関する価格設定も、メモリ容量や仮想

CPU コア数などと同様に VM ごとの静的なものにとどまっている。この成果は、クラウドサービスにおけるこの制約を解消し、資源のより効率的な利用を可能にするものである。

発表論文

1. Samih M. Mostafa, Hirofumi Amano, Shigeru Kusakabe: “Fairness and High Performance for Tasks in General Purpose Multicore Systems,” *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, Volume 29, Issue 3, pp. 74-86, December 2016.
2. Samih Mohammed Mostafa, Shigeru Kusakabe, Hirofumi Amano: “Fairness Scheduler for Multithreaded Programs in Virtual Machine Environment,” *The Fourth International Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers*, 2016.05.

5.2.3 「心臓組織における酸素輸送のシミュレーション」

研究の背景

心臓は血液を全身に循環させるためポンプとして働く、生命維持に欠かせない重要な臓器である。心臓は大まかには心筋という筋肉でできた組織で構成される袋状の臓器であり、その心筋が常に収縮と弛緩を繰り返すことで心臓が拍動して血液を拍出している。心臓は全身の組織に血液を送る臓器であるが、心臓自身も酸素需要の大きな臓器であり、冠循環と呼ばれる血管網により血液が供給される。

細動脈の末梢から毛細血管に分かれ、再び集まって細静脈の末梢に至るまでを微小循環系と呼ぶ。この微小循環において、主に血液中の赤血球により運搬される酸素が毛細血管を透過して血管外の組織へと供給され、また、二酸化炭素が組織から回収される。血管外の組織において細胞を浸す液体を間質液と呼ぶ。間質液には、動脈側から静脈側への流れが存在することが知られている。

狭心症や心筋梗塞といった虚血性心疾患の病態を理解するためにも、心筋組織における微小循環の詳細な動態を把握することは重要であるが、生体の循環動態を微細に観測することは非常に困難であるため、十分には理解されていない。そこで、微小循環の機構を理論的に解析するためのシミュレーションモデルがこれまでにいくつか提案されている。2006年に Dash らが詳細な心筋組織微小循環モデル¹（以降、Dash06 モデル）を提案しており、2009年に Amano らが提案したモデル²（以降、Amano09 モデル）では、Dash2006 モデルに心筋細胞の詳細な数理モデル³を統合することで、冠循環による心筋組織への酸素供給と酸素消費の空間分布が詳細に解析できる。しかしながら、これらのモデルでは間質液の流れを考慮していなかった。

そこで本研究では、Amano09 モデルに対して間質液の流れを導入したモデルを開発した。そのモデルを用いて、心筋微小循環における間質液流れの影響を理論的に解析した。

心筋組織微小循環モデル

Dash モデルは、心筋組織の微小循環における物質輸送と物質交換を、毛細血管に沿った1次元空間モデルとして理論的に表現したものである。このモデルでは、赤血球(rbc)、血漿(pl)、間質液(isf)、実質細胞(pc)の4領域における、酸素、二酸化炭素、水素イオン、重炭酸イオンの移流、拡散、膜透過現象を、計16次元の連立偏微分方程式で表現する。領域rにおける物質sの濃度 sC_r は以下の支配方程式により記述される。

$$\frac{\partial {}^sC_r}{\partial t} = -u_r \frac{\partial {}^sC_r}{\partial x} + D_r \frac{\partial^2 {}^sC_r}{\partial x^2} + {}^s p_r + {}^s v_r$$

ここで、 u_r 、 D_r は流速と拡散係数、 ${}^s p_r$ は隣接領域間での総透過流速、 ${}^s v_r$ は反応速度である。 ${}^s p_r$ は領域を隔てる膜の透過係数 PS_r を用いて求められる。模式図を図1に示す。ただし、Dashモデルでは間質液領域と実質細胞領域に流速はない。

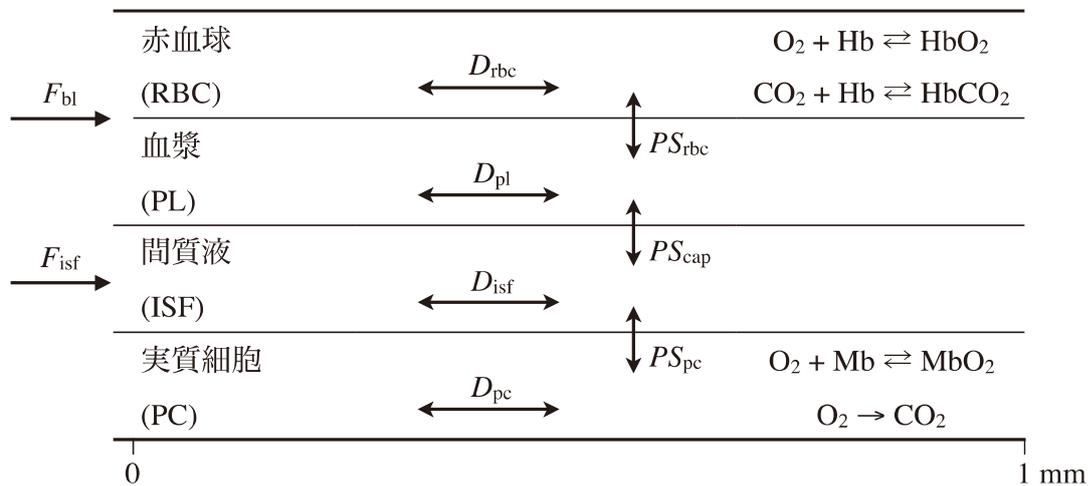


図1 微小循環モデル模式図

実質細胞の酸素消費量は Dash06 モデルでは酸素濃度のみ依存する簡素な式により定式化されていたが、Amano09 モデルでは詳細な50次元常微分方程式として定式化される心筋細胞モデルを用いて計算する。この心筋細胞モデルは空間を考慮しない集中定数型であり、微小循環モデルにおける空間中の各位置について独立に計算される。

本研究では、間質液の流れを考慮するため、Amano09モデルにおける間質液領域に移流項を導入した。間質液の流れの源泉は血流であることから、間質液流量 (F_{ifs}) は血流量 (F_{bl}) を元に以下の式で定義する。

$$F_{ifs} = \theta F_{bl}$$

実験条件

間質液の流れの影響を調べるため、 θ を0.2刻みで0から0.6まで変化させた。また、正常血流状態 (F_{bi} : 2.0 ml/g/min) および低血流状態 (F_{bi} : 0.5 ml/g/min) を模したシミュレーションを行った。

計算方法

微小循環モデルは GPGPU カードの NVIDIA Tesla 上で、BTCS (backward-time central-space) スキームを用いて計算した。赤血球および血漿領域の動脈側端点にディリクレ条件、それ以外の境界にノイマン条件を用いた。1 mm の領域を 1024 分割し、時刻ステップに 0.01 ms を用いた。

各 θ について、正常血流状態で安定状態に達するまでシミュレーションを行い、その後、低血流状態に設定して1分間分のシミュレーションを行った。

結果と考察

シミュレーション結果を図 2 に示す。正常血流条件では、 θ によらず酸素消費量は領域全体ではほぼ一定であり、また θ に対してほとんど変化が認められない。一方、低血流条件では、静脈側で酸素消費量が低下しており、 θ の減少に伴い、酸素消費量が低下する位置が動脈側へと移動している。酸素消費量が低下する位置では実質細胞領域の酸素濃度が約 1 mM を下回っている。

シミュレーション結果では、正常血流状態では間質液流の有無に係わらず静脈側まで十分な酸素が供給されているが、低血流条件では間質液流の存在により静脈側に供給される酸素が増加している。この結果は、虚血性心疾患などにおいて間質液の流れが酸素供給に一定の寄与があることを示唆している。

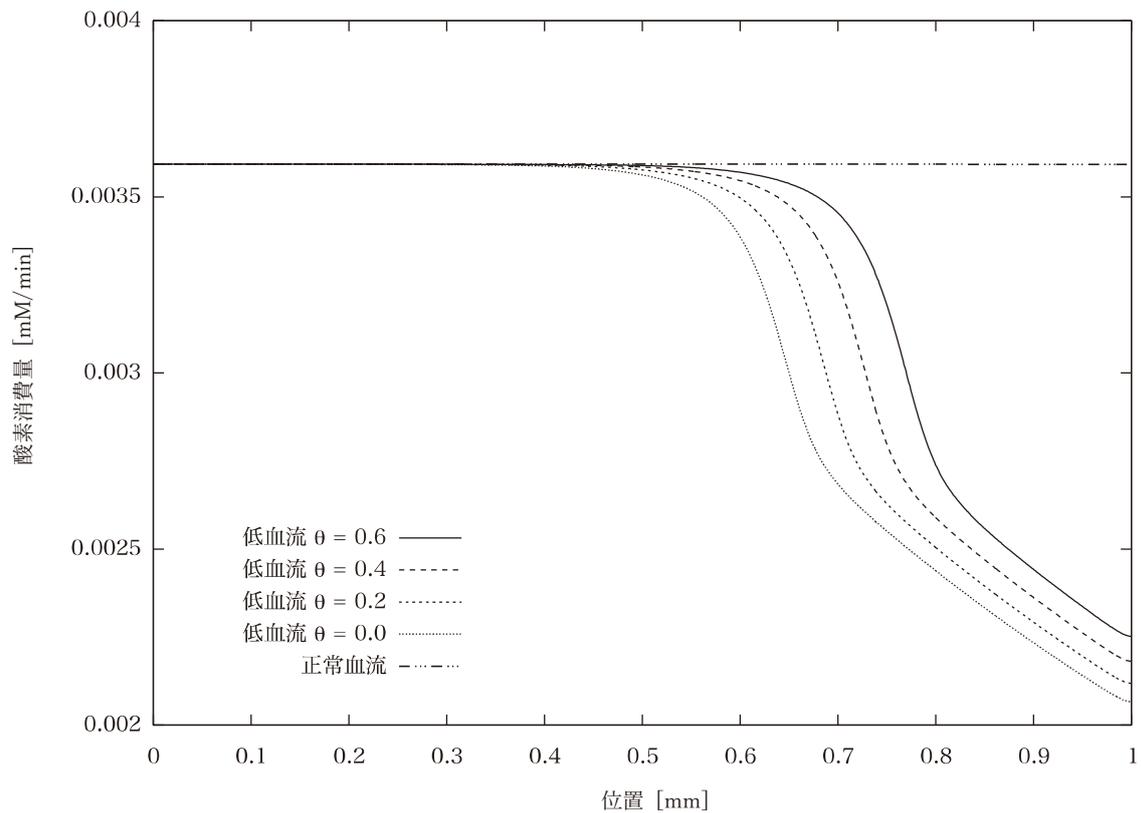


図 2 シミュレーション結果

参考文献

1. R. K. Dash and J. B. Bassingthwaight, "Simultaneous blood-tissue exchange of oxygen, carbon dioxide, bicarbonate, and hydrogen ion," *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 34, no. 7, pp. 1129–1148, Jul. 2006.
2. A. Amano, Y. Kubota, T. Shimayoshi, and T. Matsuda, "Evaluation of cardiac oxygen consumption under hypoxia with tissue model integrating microcirculation model and cell model," in *Proceedings of 31th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. Engineering in Medicine and Biology Society, Nov. 2009, pp. 3885–3888.
3. A. Takeuchi, S. Tatsumi, N. Sarai, K. Terashima, S. Matsuoka, and A. Noma, "Ionic mechanisms of cardiac cell swelling induced by blocking Na⁺/K⁺ pump as revealed by experiments and simulation," *Journal of General Physiology*, vol. 128, no. 5, pp. 495–507, Nov. 2006.
4. R. C. Marshall, "Correlation of contractile dysfunction with oxidative energy production and tissue high energy phosphate stores during partial coronary flow disruption in rabbit heart," *The American society for Clinical Investigation*, vol. 82, no. 1, pp. 86–95, Jul. 1988.
5. A. Deussen and J. B. Bassingthwaight, "Modeling [15o]oxygen tracer data for estimating oxygen consumption." *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, vol. 270, pp. H1115–H1130, 1996.

5.3 研究内容紹介

5.3.1 小野 謙二

研究内容

- ・ 研究 – 数値流体力学、可視化、並列計算
- ・ 教育 – 数値解析および演習、並列アルゴリズム、高性能並列計算法特論
- ・ 業務 – スーパーコンピュータの運用、サポート
- ・ ほかに – 文部科学省科学技術試験研究委託事業、CREST、科研費、JHPCN

所属学会名

情報処理学会, 日本計算工学会, 可視化情報学会, 日本機械学会, 自動車技術会, 日本流体力学会, IEEE,

主な研究テーマ

- ・ AR, VR 技術を用いた実世界と仮想世界とのインタラクション
キーワード：HMD, UI, 2016.04～2020.05.
- ・ 機械学習による乱流解析手法の再構築
キーワード：深層学習、LES 乱流モデル、数値流体力学, 2016.10～2023.10.
- ・ 時間並列計算法の研究
キーワード：時間方向マルチグリッド、Parareal 法, 2015.10～2022.10.
- ・ 上流設計システム技術の研究開発
キーワード：アイデア創出、気づき, 2016.10～2016.10.
- ・ 大規模並列格子生成法の研究
キーワード：CAD データ、幾何、CFD, 2010.10～2020.10.
- ・ シミュレーション実行支援環境の構築
キーワード：ワークフロー、データ管理、マルチプラットフォーム、エコシステム, 2012.10～2020.10.
- ・ 大規模並列可視化システムの技術開発
キーワード：ソートラスト型画像重畳、レイトレーシング、マルチプラットフォーム、データモデル, 2003.04～2026.12.

- 複雑形状周りの熱流体流れシミュレータの開発
キーワード：直交格子、格子生成, 1996.04～2026.12.

研究プロジェクト

- 文部科学省 科学技術試験研究委託事業 「近未来型ものづくりを先導する革新的設計・製造プロセスの開発」
2014.12～2020.03, 代表者：加藤千幸, 文部科学省
- 内閣府 SIP/革新的設計生産技術 「全体俯瞰設計と製品設計の着想を支援するワークスペースの研究開発」
2014.09～2017.03, 代表者：小野謙二, 内閣府, NEDO（日本）

研究業績

- 原著論文
 1. 今村 成吾, 小野 謙二, 飯塚幹夫, 横川 三津夫, Parareal 法と領域分割法による拡散問題での時空間並列性能評価, 第 157 回ハイパフォーマンスコンピューティング, 19, 1-7, 2016-HPC-157, 2017.01.
 2. Kenji Ono, Daisuke Sakurai, Hamish Carr, Jorji Nonaka, Tomohiro Kawanabe, Flexible Fiber Surface: A Reeb-Free Approach, Topology-Based Methods in Visualization 2017 (TopoInVis 2017), 2017.02.
 3. 小野 謙二, 竹之下 遼, 原田 利宣, ラフ集合を用いた Web 上の酒類に対する感性情報の視覚化, 日本感性工学会論文誌, 2016.10.
 4. 小野 謙二, 木村 祐介, 木村 真也, Toshihiro Sera, 田中 学, 嗅動作時における鼻腔内流れのボクセルシミュレーション, 生体医工学, 2016.10.
 5. Kenji Ono, Takashi Shimizu, Naohisa Sakamoto, Jorji Nonaka, Koji Koyamada, Web-based Visualization System for Large-Scale Volume Datasets, The 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, 2016.10.
 6. Kenji Ono, Seigo Imamura, Mitsuo Yokokawa, Iterative-method performance evaluation for multiple vectors associated with a large-scale sparse matrix, International Journal of Computational Fluid Dynamics, 30, 6, 395-401, 2016.09.
 7. 小野 謙二, 竹之下 遼, 原田 利宣, ラフ集合理論を用いた酒類に対する Web 上の感性情報の視覚化, 日本感性工学会論文誌, 16, 1, 19-28, 2016.09.

- 学会発表

1. 小野謙二, 沖田浩平, 高木周, Numerical Simulation for Development of Advanced HIFU Therapy, 神戸医療産業都市クラスター交流会, 2017.02.23.
2. 小野謙二, データサイエンスを支えるデータ処理基盤と可視化サービス, 第1回データサイエンス支援サービスシンポジウム, 2016.12.07.
3. 大山 聖, 小野謙二, 設計を革新する多目的設計探査・高速計算技術の研究開発, 第2回ポスト「京」重点課題8「近未来型ものづくりを先導する革新的設計・製造プロセスの開発」シンポジウム, 2017.03.17.
4. 鶴沢憲, 加藤千幸, 小野謙二, 準第一原理計算に基づく壁モデル構築への試み, 第32回TSFDシンポジウム, 2017.03.
5. Daisuke Sakurai, Kenji Ono, Hamish Carr, Jorji Nonaka, Tomohiro Kawanabe, Flexible Fiber Surface: A Reeb-Free Approach, Topology-Based Methods in Visualization 2017 (TopoInVis 2017), 2017.02.27.
6. 野中丈士, 小野謙二, 藤田将洋, VRヘッドマウントディスプレイを用いた鼻腔内ウォークスルー, 先進的描画技術を用いた可視化表現法の研究会, 2017.01.2.
7. 今村成吾, 小野謙二, 飯塚幹夫, 横川三津夫, Parareal法と領域分割法による拡散問題での時空間並列性能評価, 情報処理学会HPC研究会 ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2016.12.22.
8. 小野謙二, 川鍋友宏, 野中丈士, ChOWDER: 創造的な議論と意思決定を支援する協調作業環境, AXIES 大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会, 2016.12.16.
9. 今村成吾, 飯塚幹夫, 小野謙二, 横川三津夫, Parareal法と領域分割法による拡散問題での時空間並列性能評価, 第30回数値流体力学シンポジウム, 2016.12.14.
10. 小野謙二, 野中丈士, 川鍋友宏, 大規模並列可視化システム HIVE の流体計算への適用, 第30回数値流体力学シンポジウム, 2016.12.14.
11. Mikio Iizuka, Kenji Ono, Investigation of Convergence Characteristics of the Parareal method for Hyperbolic PDEs using the Reduced Basis Methods, Fifth Parallel-in-time Integration Workshop, 2016.11.29.
12. Takashi Shimizu, Naohisa Sakamoto, Jorji Nonaka, Kenji Ono, Koji Koyamada, Integrated Volume Visualization Environment on the Web, ISAV 2016: In Situ Infrastructures for Enabling Extreme-scale Analysis and Visualization Held in conjunction with SC16: The International Conference on High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis, 2016.11.15.
13. 小野謙二, ポスト京級マシンを用いた設計のオープンイノベーション, 日本機械学会関西支部, 2016.11.08.
14. Takashi Shimizu, Naohisa Sakamoto, Jorji Nonaka, Kenji Ono, Koji Koyamada, Web-based Visualization System for Large-Scale Volume Datasets, The 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, 2016.10.28.
15. 小野謙二, 近未来の設計支援技術, VINAS Users Conference 2016, 2016.10.13.
16. Kenji Ono, Akimasa NARITA, Keisuke MACHIDA, Saki EGAWA, Mizue MUNEKATA, Takashi WATANABE, Hiroyuki YOSHIKAWA, Characteristics of Air Flow in a Hemispheric Head Cyclone Separator, The 27th

International Symposium on Transport Phenomena, 2016.09.20.

17. 成田 明正, 町田佳祐, 江川早稀, 宗像瑞恵, 吉川浩行, 小野謙二, 渡辺孝司, ドーム型サイクロンセパレータ内における気流の流動特性, 日本機械学会 2016 年度年次大会, 2016.09.12.
18. 飯塚幹夫, 小野謙二, 時間並列計算法 の課題とその解決に関する研究, 日本応用数理学会 2016 年度年会, 2016.09.12.
19. 竹之下遼, 原田利宣, 小野謙二, ラフ集合理論を用いた酒類に対する Web 上の感性情報の視覚化, 日本感性工学会全国大会, 2016.09.09.
20. 小野 謙二, サイエンスを加速する大規模データの可視化分析技術, プラズマシミュレータシンポジウム, 2016.09.08.
21. 小野 謙二, 竹之下遼, 原田利宣, ラフ集合理論を用いた酒類に対する Web 上の感性情報の視覚化, 日本感性工学会全国大会, 2016.09.
22. Ken Uzawa, Kenji Ono, Turbulence Analysis For High Reynolds Number Flow By Open-source CFD Software FrontFlow/Violet-Cartesian, The 12th World Congress on Computational Mechanics, 2016.07.26.
23. 今村成吾, 飯塚幹夫, 小野謙二, 横川三津夫, 大規模時空間並列計算での Parareal 法の性能評価, 第 21 回計算工学講演会, 2016.05.31.
24. Jorji Nonaka, Masahiro Fujita, Kenji Ono, Kentarou Oku, Tomohiro Kawanabe, HIVE: A VISUAL ANALYTICS FRAMEWORK FOR LARGE-SCALE CFD ON THE K COMPUTER, 28th International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics Parallel CFD2016, 2016.05.10.
25. S. Shimizu, T. Sakamoto, Shinya Kimura, Gaku Tanaka, Sera Toshihiro, Hideo Yokota, Kenji Ono, Direct Numerical Simulation of Nasal Airflow, 28th International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics Parallel CFD2016, 2016.05.10.
26. Seigo Imamura, Mikio Iizuka, Kenji Ono, Mitsuo Yokokawa, Building the Performance Model of Parareal Method, 28th International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics Parallel CFD2016, 2016.05.10.
27. Mizue MUNEKATA, Akimasa NARITA, Go KITAMURA, Hiroyuki YOSHIKAWA, Kenji Ono, Takashi WATANABE, Flow Characteristics and Separation Performance in a Hemispheric Head Cyclone Separator, Proceedings of the 13th International Symposium on Experimental Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, 2016.05.09.
28. 小野 謙二, 野中 丈士, 藤田 将洋, 畢 重科, 櫻井 大督, 川鍋 友宏, 奥 健太郎, HIVE: A Visualization and Analysis Framework for Large-Scale Simulations on the K Computer, 9th IEEE Pacific Visualization Symposium, 2016.04.21.
29. Mikio Iizuka, Kenji Ono, Convergence Rate of Parareal Method with Modified Newmark-Beta Algorithm for 2nd-Order ODE, 17th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, 2016.04.15.

- 受賞

Best paper award, China vis, 2016.08.

研究資金

- 科学研究費補助金
 1. 2014 年度～2019 年度, 文部科学省 科学技術試験研究委託事業, 分担, 近未来型ものづくりを先導する革新的設計・製造プロセスの開発
 2. 2014 年度～2016 年度, 内閣府 SIP/革新的設計生産技術, 代表, 全体俯瞰設計と製品設計の着想を支援するワークスペースの研究開発

教育活動

- 担当授業科目
 1. 2016 年度・前期, 高性能並列計算法特論.
 2. 2016 年度・後期, 並列アルゴリズム
 3. 2016 年度・前期, 数値解析演習
 4. 2016 年度・前期, 数値解析

社会貢献・国際連携等

- 国内, 国際政策形成, 及び学術振興等への寄与活動

2015.07～2018.10, 理事に就任し、HPCI システムの整備と運用、計算科学技術の振興、将来のスーパーコンピューティングについて計算科学技術コミュニティの幅広い意見を集約し、その推進を図るとともに、その実現を図ることを目的として国及び関係諸機関へ提言を行う、一般社団法人 HPCI コンソーシアム.

大学運営

- 学内運営に関わる各種委員・役職等
 1. 2016.04～2018.03, 情報基盤研究開発センター教員業績評価委員会
 2. 2016.04～2018.03, 情報基盤研究開発センター自己点検・評価委員会委員
 3. 2016.04～2017.03, 情報基盤研究開発センター HPC 事業室 副室長.
 4. 2016.10～2017.10, 情報統括本部 外部評価 WG.
 5. 2016.06～2018.06, 留学生センター委員会.

5.3.2 天野 浩文

研究内容

- ・ 次世代 NVRAM に対応したシングルレベルストレージサブシステムの研究

これまでの主記憶装置に用いられてきた DRAM とはまったく異なる原理に基づく不揮発性メモリ (NVRAM) が実用化されつつある。このような次世代 NVRAM は、電源を切っても内容が失われることがなく、DRAM なみの応答速度を持つと期待されている。しかし、次世代 NVRAM がただちに SSD や HDD の座を完全に奪うことは考えにくい。このため、将来の計算機内には、HDD、SSD、主記憶と同等の応答速度を持つ装置、の三種類の記憶装置が混在する可能性がある。これらの記憶媒体をアクセス頻度等に応じて適切に使い分けることは、現在の SSD と HDD を使い分けるよりもさらに複雑になるであろう。そこで、ストレージ仮想化技術を用いて三種類の記憶媒体を統合し、その内部で自動的にデータの配置・移動を制御することの可能なシングルレベルストレージシステムの研究を行っている。

- ・ ストレージ仮想化技術を応用した安全な遠隔バックアップ方式の研究

社会における電子情報の重要性が増すにつれ、災害やシステム障害等でそれが失われた場合の影響も深刻になる。組織の持つほとんどすべての機能が同時に大きな損害を受けるような大規模災害の際には、災害やシステム障害に備えて組織内で採取・保持されているバックアップ情報自体も同時に危険にさらされるおそれがある。しかし、大きな費用や労力がかかること、あるいは、電子情報の外部預託に心理的抵抗があることにより、自力では地理的に離れた地点に複数のバックアップを保持することが困難な組織も多い。そこで、これらの組織が共同で費用を負担することによって個々の組織あたりの金銭的負担を軽減するとともに、一定のネットワークセキュリティレベルを有する組織どうしが複製情報を相互に保持し合うことによって心理的な抵抗も軽減できるようなバックアップ手法の研究を行っている。

- ・ 電子認証基盤と計算機センター業務フローの融合に関する研究

わが国の全国共同利用情報基盤センター群は、対面による確認が困難な全国の大学・短大等の研究者にもサービスを提供するため、大学等の経理担当者による間接的な保証や郵便物の到達性にもとづき、個々に利用者アカウントを発行してきた。ここに電子認証技術を利用したシングルサインオン環境を導入しようとする、そこで交付される電子証明書は本人性確認のレベルの問題から海外のグリッド環境では信用されず利用できないという問題があった。そこで、従来型の利用を希望する利用者への対応は変更なく継続しつつ、国際的に通用する電子証明書の交付も可能となるような新たな業務フローを確立するため、海外のグリッド環境でも承認されるような電子認証局プロファイルで求められる要件と、従来からのセンター業務を融合させるための検討を行い、わが国で最初のスパコングリッドの試行運用に貢献した。これらの成果は、2012 年度からサービスを開始する予定の HPCI の認証基盤構築の基礎となった。

所属学会名

情報処理学会, 電子情報通信学会, IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)

主な研究テーマ

- 汎用的な計算環境のための拡張公平性スレッドスケジューリングの研究
キーワード：スレッド，スケジューリング，マルチコア CPU，仮想計算機, 2016.04～2017.03.
- オーバーレイクラウド上で複数の並列プログラムを結合するための並列ストリーム型データ分配機構の研究
キーワード：オーバーレイクラウド，インタークラウド, 2015.10～.
- 次世代 NVRAM に対応したシングルレベルストレージサブシステムの研究
キーワード：シングルレベルストレージ, 2015.09～.
- 電子認証基盤と計算機センター業務フローの融合に関する研究
キーワード：電子認証技術，計算機センター利用者支援業務, 2011.04～.
- ストレージ仮想化技術を応用した安全な遠隔バックアップ方式の研究
キーワード：ストレージ仮想化，遠隔バックアップ, 2010.04～.

研究業績

- 原著論文
 1. Samih M. Mostafa, Hirofumi Amano, Shigeru Kusakabe, Fairness and High Performance for Tasks in General Purpose Multicore Systems, International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, Volume 29, Issue 3, 74-86, 2016.12.
 2. Samih Mohammed Mostafa, Shigeru Kusakabe, Hirofumi Amano, Fairness Scheduler for Multithreaded Programs in Virtual Machine Environment, The Fourth International Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers, 2016.05.
- 学会発表
 1. 成林 晃, 南里 豪志, 天野 浩文, Progress thread を用いた非ブロッキング集団通信の性能調査, 2016年並列／分散／協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ (SWoPP2016), 2016.08.10.

研究資金

- 科学研究費補助金

1. 2014年度～2017年度, 基盤研究 (C), 代表, 安全かつ迅速なデータ復旧を可能にする遠隔バックアップ相互保持システムの開発.

- 競争的資金

1. 2015年度～2016年度, 戦略的創造研究推進事業 (文部科学省), 分担, インタークラウドを活用したアプリケーション中心型オーバーレイクラウド技術に関する研究
(研究領域「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」)

教育活動

- 担当授業科目

1. 2016年度・前期, 高度プログラミング
2. 2016年度・後期, コンピュータシステム通論
3. 2016年度・後期, コンピュータシステムⅡ
4. 2016年度・前期, プログラム設計論特論
5. 2016年度・前期, 電気情報工学入門Ⅰ

社会貢献・国際連携等

- 社会貢献・国際連携活動概要

「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI)」の円滑な運営のため、連携体制の構築に必要な技術的な事項の検討をする「HPCI連携サービス運営・作業部会」のメンバーとして活動している。また、文部科学省研究振興局科学官が議長を務める『大学の情報環境のあり方検討会』の下に設けられた「クラウド調達に関する財務ガイドライン検討WG」の主査を務めている。

大学運営

- 学内運営に関わる各種委員・役職等
 1. 2015.04～,九州大学情報統括本部全学情報環境利用委員会委員
 2. 2013.04～2017.03,男女共同参画推進室 室員
 3. 2011.04～,九州大学情報基盤研究開発センター民間利用審査委員会委員
 4. 2011.01～,事務用業務システム運用部会メンバー
 5. 2008.04～,九州大学情報基盤研究開発センター公募型プロジェクト審査委員会委員
 6. 2007.03～,箱崎地区共通施設利用検討チーム委員
 7. 2007.04～,九州大学情報基盤研究開発センター全国共同利用運営委員会委員
 8. 2007.04～,九州大学情報基盤研究開発センター計算委員会委員

5.3.3 嶋吉 隆夫

研究内容

- ・ 計算機シミュレーション用ソフトウェアシステム

近年では、自然科学・工学・経済学だけでなく、生命科学や医学分野などでも計算機シミュレーションを用いた研究が盛んに行われている。この中で、新たな計算モデルを構築するような研究においては一般的に、何らかのシミュレーション用プログラムを研究者自らが実装しなければならないことが多い。しかし、そのためには、研究分野の知識だけでなく、数値計算とその実装方法、さらには、実行環境となる計算機に対する知識が要求される。これは、数値計算を用いた研究の普及に対する大きな障壁である。また従来は、シミュレーションプログラムは計算性能が最重要視され、ソフトウェアの保守性や拡張性、再利用性などはあまり重視されていなかった。そこで、オントロジーや形式手法といったソフトウェア工学の方法論を計算モデリングや計算機シミュレーションの分野に適用する研究を行っている。

- ・ 生理機能の理論解析

近年の生命科学研究は、新たな方法論の開発や計測技術の向上により著しく進展しており、それに伴って生命現象を対象とした計算機シミュレーション研究も普及しつつある。生命の仕組みを解き明かすことを目的とする生理学の分野では以前から数理モデルによる現象の説明が行われてきたが、近年の観測データの急速な蓄積や高性能計算環境の一般化などによって、生理学現象をより詳細かつ精密に再現する複雑大規模な計算モデルの構築が進んでいるが、未だ生理機能には未解明の点が多い。そこで、大規模計算や数値解析を用いて生理機能を理論的に解析する研究を進めている。

所属学会名

Institute of Electrical and Electronics Engineers, 情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本生体医工学会

主な研究テーマ

- ・ 数値計算アルゴリズムを対象とした形式手法
キーワード：ソフトウェア工学, 記述言語, 数値計算, 2010.04～.
- ・ 細胞生理機能モデルの数理解析手法
キーワード：計算生理学, フィジオーム, 2009.04～.
- ・ 心循環器系の多階層シミュレーション
キーワード：心臓, 心室, 血管系, 細胞生理学, 電気生理学, 構造力学, 2003.04～.

研究業績

- 原著論文

1. 嶋吉 隆夫, 小川 貴史, 松田 哲也, 左心室拍動シミュレーションにおけるメッシュ分割の影響, 電子情報通信学会, J99-D, 5, 571-578, 2016.05.
2. Hasegawa Y, Takao Shimayoshi, Amano A, Matsuda T, Application of the Kalman Filter for Faster Strong Coupling of Cardiovascular Simulations, IEEE journal of biomedical and health informatics, 20, 4, 1100-1106, 2016.07.

- 学会発表

1. 嶋吉 隆夫, 心筋細胞の数理モデルによる活動機序の解析, 生理学研究所研究会「心臓・血管系の包括的な機能統合研究」, 2016.10.24.
2. 西村 優汰, 嶋吉 隆夫, 竹内 綾子, 松田 哲也, 松岡 達, 細胞内カルシウム濃度がミトコンドリアエネルギー代謝に与える影響のシミュレーション解析, 生体医工学シンポジウム 2016, 2016.09.18.
3. 山本 裕太, 嶋吉 隆夫, 松田 哲也, 心筋組織微小循環モデルへの間質液流れの導入, 生体医工学シンポジウム 2016, 2016.09.18.
4. Takao Shimayoshi, A Comparison of Recent Human Ventricular Myocyte Models using Mathematical Decomposition of Dynamics, Cardiac Physiome Workshop 2016, 2016.08.24.
5. Yuta Yamamoto, Takao Shimayoshi, Tetsuya Matsuda, Simulation of Myocardial Microcirculation Considering Interstitial Fluid Flow, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2016.08.19.
6. Yuta Nishimura, Takao Shimayoshi, Ayako Takeuchi, Tetsuya Matsuda, Satoshi Matsuoka, Simulation of Cellular Responses to Myocardial Anoxia and Acidosis, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2016.08.19.

研究資金

- 科学研究費補助金

1. 2014 年度～2016 年度, 挑戦的萌芽研究, 代表, 反復型数値解法の宣言的記述による形式手法.

教育活動

- 担当授業科目

1. 2016 年度・後期, 計算機シミュレーション特論
2. 2016 年度・通年, 情報学演習

社会貢献・国際連携等

- 社会貢献・国際連携活動概要
 1. 2016年 ニュージーランド・オークランド大学 修士論文 学外審査者

大学運営

- 学内運営に関わる各種委員・役職等
 1. 2016.10～, 九大 CSIRT
 2. 2016.04～, 情報統括本部 Office365 導入タスクフォース
 3. 2015.11～, 情報統括本部ネットワーク事業室