

[2019]九州大学情報統括本部年報 : 2019年度

<https://hdl.handle.net/2324/4123611>

出版情報 : 九州大学情報統括本部年報. 2019, pp.1-, 2020-12-01. 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、機械学習
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
助教	大島 聡史 ※	高性能計算、GPU コンピューティング、並列数値計算、自動チューニング

※2019年6月30日まで在職

5.2 研究事例紹介

5.2.1 「ポスト「京」富岳の活用に向けた高速計算技術開発」

1. 研究の背景と目的

近未来型ものづくりの革新においては、最先端スパコンを駆使した超高速統合シミュレーション技術の開発・実用化が核心的な手段となる。そのため、本研究ではものづくりにおける上流設計プラットフォームが必要とする解への到達時間のさらなる短縮化を可能とするため、高速計算技術として新たな並列軸である時間方向を利用する時間並列計算法の研究開発と直接法を組み込んだ大規模疎行列向けの新しい反復法（SLOR-PCR 法）を開発し、「富岳」の計算能力を引き出す。

2. 結果概要

本研究では高速計算技術として2つの技術を研究した。1つ目は、Parareal 法に基づく時間並列計算法である。フェーズフィールド法を対象に非線形収束制御法による時間並列計算法のさらなる加速法を検討し、時間逐次計算を時間方向に 40 倍（Allen-Cahn 方程式の場合、100 並列）、14 倍（修正 Allen-Cahn 方程式の場合）加速できること確認した。双曲型偏微分方程式に対しては、ナビエストークス方程式、波動方程式を対象に開発した緩和型 Parareal 法の効果を評価し、有効性を確認した。2つ目は、L1 キャッシュの再利用性を高め、高いスレッド並列性と SIMD 演算ができる直接法を組み込んだ大規模疎行列反復法である。98%の L1 キャッシュヒット率を達成し、従来に比べて 5 倍の性能を達成できることがわかった。

3. 計算モデル

3-1. Parareal 法に基づく時間並列計算法の偏微分方程式への応用性の研究

初めに、フェーズフィールド法を対象に非線形収束制御法による時間並列計算法のさらなる加速法を検討した。フェーズフィールド方程式として、Allen Chan 方程式(式(1)+(2))と修正 Allen Chan 方程式(式(1)+(3))を対象とした[1]。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = f_*(\phi), \quad (1)$$

$$f_{AC}(\phi) = D\nabla^2\phi - K\phi(\phi - 1.0)(\phi - 0.5 + \beta), \quad (2)$$

$$f_{MAC}(\phi) = \partial_x \left[\left\{ D^o - k \frac{\phi(1-\phi)}{|\partial_x \phi|} \right\} \partial_x \phi \right] \quad (3)$$

ここで ϕ はスカラー物理量、 D と D^o は拡散の強さ、 K は非線形項の強さを表すパラメータである。非線形収束制御法は、時間並列計算反復中に非線形反復・線形ソルバーの収束閾値を適切に制御し、無駄な計算量を削減するとともに、できるだけ早めに更新値を線形ソルバーから非線形ループへ、非線形ループから Parareal 法の反復ループへ戻して収束性を改善する手法である。Fig. 2 中の値 a が非線形反復ループの打ち切り判定値 ε^{NL} である。値 b は、線形ソルバーの反復ループの打ち切り判定値を $\varepsilon^{LS} = (1/CSL)^{(K^{par})}$ と決めるための値 CSL である、ここで K^{par} は Parareal 法の反復数である。試行の結果、粗い計算結果で早めに更新値を非線形反復ループへ戻す方が良いということが分かった。非線形判定値との調整と組み合わせるとさらに Parareal 法を加速できることも分かった。

次に、双曲型偏微分方程式に対してナビエストークス方程式と波動方程式を対象に、我々が開発した緩和型 Parareal 法の効果を評価した。問題は Fig. 3 上段に示す、ナビエストークス方程式では2重せん断周期流（2次元差分法、移流計算は TVD 法、時間積分は Forward Euler 法）を、波動問題では、多重マスバネ振動（多自由度質点系を Newmark- β 法で時間積分）と構造解析による梁の振動（有限要素法による空間離散化方程式を Newmark- β 法で時間積分）を対象とした。

3-2. 直接法と反復法のハイブリッド疎行列ソルバー：SLOR-PCR

「富岳」の利用法の一つは、中規模の高精度計算を多数実行し、それらの計算結果が形成する解空間を探索し、目的のパラメータを見つける新しい設計方法につながるシミュレーションである。このような利用法は、従来の計算機の能力では難しく、「富岳」の能力を活かした利用方法である。その一方で、多数の計算を短時間で実行するために、高性能な計算技術が必要になる。提案する利用方法では、大規模な並列計算よりも適切な規模の計算を想定する。したがって、単一ノードの性能を引き出すことが重要になる。「富岳」のアーキテクチャは 512 bit 幅の SIMD、メニーコアなどに特徴があり、これらの性能をうまく引き出すことが重要になる。想定しているプログラムの一つは非圧縮性流体のシミュレータであり、疎行列反復計算がコアカーネルとなる。疎行列ベクトル積は要求 B/F が大きい、低 B/F のアーキテクチャでは性能が低い。また、OpenMP のスレッド並列性能についても、共有キャッシュのバンド幅制限により高いスケーラビリティを引き出すことが難しい。そこで、キャッシュの再利用性を高めるために、直接法を併用した反復法カーネルを開発した。

4. 並列計算の方法と効果

4-1. Parareal 法に基づく時間並列計算法の偏微分方程式への応用性の研究

本研究で用いる Parareal 法[2, 3]では時間領域 $[0, T]$ を N_{ts} 個の time slice と呼ばれる分割された時間領域 $[T_{n-1}, T_n]$ （これは番号 n の time slice を示す）に分割して、反復 K^{par} 回目の time slice n の始端値 $U^{K^{par}-1}_{n-1}$

に仮の初期値を与えて、上記の計算モデルで示した計算コード (Fine solver と呼ぶ) でその time slice 内で時間発展計算を並列で行い仮の time slice n の終端値 U_n^{Kpar} を得る。ここで、 $t=T_n$ に着目すると U_n^{Kpar} は time slice n の終端値で U_n^{Kpar-1} は time slice $n+1$ の始端値である。本来はこの2つの値は一致しなければならないが、反復計算中では不整合があり一致していない。また time slice 数は時間並列の数でもある。ここで U は上記問題の time slice の始端値、終端値を一般的に表す変数であり、それが Parareal 法反復計算での未知数となる。Fine solver では本来計算したい計算モデル、条件、細かい時間刻み幅 δt で詳細な計算を行う。Fine solver による計算の結果、time slice n の終端値 U_n^{Kpar} と time slice $n+1$ の始端値 U_n^{Kpar-1} に食い違いが出る。この食い違い量は誤差なので、それを減じるように Coarse solver という収束用の計算で time slice $n=1$ から Nts (Nts は並列数でもある) まで逐次的に修正計算を行う。Coarse solver は Fine solver と同じものを使って粗い時間刻み幅 $\delta T \gg \delta t$ を用いたり、計算モデルや離散化法を粗くしたりして計算負荷を減じた計算を行ない低コストで修正計算を行うものである。以上の計算プロセスは Newton-Raphson 法をベースに以下のように定式化される (式(4)) [3]。

$$U_n^{Kpar} = F(T_n, T_{n-1}, U_{n-1}^{Kpar-1}) + G(T_n, T_{n-1}, U_{n-1}^{Kpar}) - G(T_n, T_{n-1}, U_{n-1}^{Kpar-1}) \quad (4)$$

ここで F 、 G はそれぞれ Fine solver、Coarse solver による計算を表し、time slice n の K^{par-1} 反復目の始端値 U を使って time slice n : $[T_{n-1}, T_n]$ において時間発展計算を実行した結果を意味している。この Parareal 法の計算は次のように実行される。

1. Parareal 法反復計算の初期値 U_n^0 を coarse solver を用いて時間領域全体 $[0, T]$ について時間発展計算 (逐次計算) により求める。
2. はじめに fine solver $F(T_n, T_{n-1}, U_{n-1}^{Kpar-1})$ を time slice n : $[T_n, T_{n-1}]$ で実行 (並列計算) する。
3. つぎに Coarse solver $G(T_n, T_{n-1}, U_{n-1}^{Kpar})$ を time slice 1 から time slice n までを順次計算する逐次計算で実行する。Time slice n での Coarse solver $G(T_n, T_{n-1}, U_{n-1}^{Kpar})$ による時間発展計算の後、 U_n^{Kpar} を式(4)を用いて更新する。この U_n^{Kpar} の更新は、前の time slice の値 U_{n-1}^{Kpar} が計算されていなければ計算できないので逐次計算となる。式(4)の右辺2項で用いられる値 $G(T_n, T_{n-1}, U_{n-1}^{Kpar})$ は Parareal 法の反復 K^{par} 回目の値 U_{n-1}^{Kpar} を用いた値である。
4. Steps 2 と 3 を U_n^{Kpar} が収束するまで反復する。

また、Parareal 法の改善として緩和法を導入した緩和型 Parareal 法を開発した[4]。Parareal 法は、time slice の端点の値を未知数とした非線形方程式の解法を Newton-Raphson 法で定式化し、修正値を求める。その線形方程式の左辺の正確な計算が不可能なことからその計算に大胆な近似を使っている。そのため準 Newton-Raphson 法に基づく計算法と言ってもよい。緩和型 Parareal 法は、そこで、Coarse solver で計算される修正項に加速・減速処理を行ない、収束性を改善したものである。それは式(4)で Coarse solver からくる修正量に減速係数 γ を使いた Newton-Raphson 法の修正量に減速係数 β を使うことにより、式(5)と変更したものである[4]。

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_n^{K^{par}} &= (1 - \beta)\mathbf{U}_n^{K^{par}-1} + \beta F(T_n, T_{n-1}, \mathbf{U}_{n-1}^{K^{par}-1}) \\ &+ \gamma(G(T_n, T_{n-1}, \mathbf{U}_{n-1}^{K^{par}}) - G(T_n, T_{n-1}, \mathbf{U}_{n-1}^{K^{par}-1})) \end{aligned} \quad (5)$$

提案手法の効果について説明する。Parareal 法は、高い性能が期待できるパイプライン化されたもの[5]を使った。それは各プロセスで Coarse solver の実行が終了した後、修正処理ステップの完了を待つことなく直ちに Fine solver を実行するものである。Parareal 法の加速率 α は式 (6) のモデル式で評価される[6]。それぞれの加速率 α の pipe はパイプライン化した Parareal 法の意味である。

$$\alpha_{pipe} = \frac{1}{K^{par}/N_{ts} + 1/R_{fc}} = \frac{N_{ts}}{K^{par} + N_{ts}/R_{fc}} \quad (6)$$

分母の第1項は並列処理部分を、第2項は逐次計算処理部分を表す。この時、Coarse solver では、積分時間ステップ幅 $\delta T \gg \delta t$ を用いて時間を粗視化するかその時間積分法を粗視化する等により、逐次計算負荷となるその計算時間 T_G を削減する。Fine solver の細かい時間刻み幅 δt による計算時間 T_F を使って時間粗視化率 $R_b = T_F/T_G$ を定義する。これは Parareal 法の逐次計算部分の負荷を表すパラメータとなっている。ここで、Fine solver と Coarse solver の time slice 当たりの計算時間比 $R_b = T_F/T_G = 1/Q$ R_{fc} を時間粗視化率、 $R_{fc} = \delta T/\delta t$ を時間刻み幅粗視化率、 Q は Fine solver と Coarse solver の1ステップ当たりの計算時間の比である。

4-2. 直接法と反復法のハイブリッド疎行列ソルバー：SLOR-PCR

三次元の圧力のポアソン方程式 $\nabla^2 \phi = \Psi$ を差分法により離散化すると次式となる。

$$\begin{aligned} \phi_{k,i-1,j} + \phi_{k,i+1,j} + \phi_{k,i,j-1} \\ + \phi_{k,i,j+1} + \phi_{k-1,i,j} + \phi_{k+1,i,j} - 6\phi_{k,i,j} = h^2 \Psi_{k,i,j} \end{aligned} \quad (7)$$

Line SOR 法に倣い、座標軸の一軸方向（ここでは k 方向）で三重対角行列を形成し、残りを右辺項に移すと、第 m 回目の反復式は次式となる。

$$\begin{aligned} -\frac{1}{6}\hat{\phi}_{k-1,i,j}^m + \hat{\phi}_{k,i,j}^m - \frac{1}{6}\hat{\phi}_{k+1,i,j}^m \\ = \frac{1}{6} \left(\phi_{k,i-1,j}^{m-1} + \phi_{k,i+1,j}^{m-1} + \phi_{k,i,j-1}^{m-1} + \phi_{k,i,j+1}^{m-1} - h^2 \Psi_{k,i,j} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)の左辺は、効率的な LU 分解により反転できる。ここで得られた仮の解について、残りの二軸方向に反復的に緩和計算を行うと収束解が得られる。

$$\begin{aligned} \Delta \phi_{k,i,j}^m &= \hat{\phi}_{k,i,j}^m - \phi_{k,i,j}^{m-1} \\ \phi_{k,i,j}^m &= \phi_{k,i,j}^{m-1} + \omega \Delta \phi_{k,i,j}^m \end{aligned} \quad (9)$$

反復処理の前段階で、一度直接法により仮の解を計算することにより、後段の反復回数を減らすことができる。ここで問題は、直接法に用いる LU 分解がそのままでは並列化できない点である。この問題を解決するため、Parallel Cyclic Reduction (PCR)法を導入する。PCR は、Fig. 4 に示すように解くべき連立方程式を、依存関係のない複数の連立方程式の組へと縮約する操作により変形していく。1 回の縮約操作で 1 組の N 元連立一次方程式が 2 組の $N/2$ 元連立一次方程式へと変わる。異なる組の連立一次方程式は独立に解ける。この縮約を繰り返していき、 N 個の組になったときに解が得られる。

この解法は、最内側ループの処理が完全に独立であることと、演算量が十分にあることから SIMD 化が促進されるとともにスレッド並列時の粒度も十分に大きい。Fig. 5 はキャッシュ性能を示すが、SLOR-PCR 法は RB-SOR 法に比べて L1 キャッシュの再利用率が 98%を超え、高効率な計算ができる効果があることがわかる。

5. 研究成果

5-1. Parareal 法に基づく時間並列計算法の偏微分方程式への応用性の研究

「京」の大規模並列性を利用し、時間並列計算により多大な時間ステップ数を計算し以下の成果を得た。Allen Chan 方程式に対しての問題設定を Fig. 1 に示す。この図を見る時、 ϕ は 1.0 で固相を、0.0 で液相を示すこと、また β が正である場所は固相に、負である場所は液相になりやすいことを念頭におく。問題は 2 種類、Fig.1 の(a)1つの階段状、(b)複数の階段状の初期値問題である。物理条件で、時空間領域は両問題において同じ $x=[0, 1]; t=[0, 0.5]$ とし、物性値は $D=1, K=16 \times 10^2 \sim 16 \times 10^2, (\lambda=K/D$: 相関の境界の厚みパラメータ)、問題(a)で $\beta=-0.1, -0.01, -0.001$ 、問題(b)で β は Fig.1 の(b)のようにした。数値解析条件は、両問題同じで、メッシュ数 $N_x=1000$ 、時間刻み幅 $\delta t=10^{-7}$ である。時間並列計算条件は、time slice 数 $N_{ts}=100$ 、時間刻み幅粗視化率 $R_{\ell}^t=100, 250, 500$ 、Parareal 法の収束条件 $\epsilon=10^{-8}$ 、時間積分法 Fine solver/ FE(Forward Euler)、Coarse solver/BD4(Backward Euler 4 次) である。その結果を Fig. 2 に示す。これから比較的相間の厚みがあれば、非線形収束制御を用いた時間並列計算により約 40 倍程度の加速が期待できることが分かった。修正 Allen Chan 方程式に対しての場合も同様の調査を行い、14 倍程度の加速を得ることを確認した[1]。

2 重せん断周期流れ問題は、物理条件で $Re:10,000$ 、空間領域は $[0, 1]^2$ 、時間領域 $T=[0, 1]$ (場形成の初期)、数値解析条件で格子数 $N_x, N_y=50$ 、時間刻み幅 $\delta t=2 \times 10^{-4}$ (CFL=0.03)、時間刻み数 5000 である。時間並列計算条件は time slice 数 $N_{ts}=10$ 、時間刻み幅粗視化率 $R_{\ell}^t=10$ 、時間積分法 Fine/Coarse solver/ FE である。多重マスバネ振動問題は、物理条件で質量 100 個、両端固定、100 サイクル、中央の質量に初期変位、数値解析条件で 100steps/周期、10,000steps である。時間並列計算条件は time slice 数 $N_{ts}=100$ 、時間刻み幅粗視化率 $R_{\ell}^t=10$ 、時間積分法 Fine/Coarse solver/ Newmark- β 法、である。梁の振動問題は、物理条件は、片持ち梁の振動周期 $T=17.66$ 、先端に初期初期変位、数値解析条件は細かい時間刻み幅 $\delta t=0.25$ 、刻み数 2000 である。時間並列計算条件は time slice 数 $N_{ts}=20$ 、時間刻み幅粗視化率 $R_{\ell}^t=10$ である。

それらの結果を、Fig. 3 下段に示す。これらから、緩和の無い Parareal 法の場合 (Parareal 法の更新の緩和係数 $\gamma=1$) は残差が急速に桁違いで増加するが、緩和型 Parareal 法では残差の上昇を抑制できていることが分かる。しかし、急速な残差の減少を実現するまでにはなっておらず課題は残る。課題はあるものの、他の結果情報も併せて評価すると、低並列 (5~10)、緩い収束判定 (10⁻²~-3) で加速率 2~3 は可能で

あり (PinT2017/津波、PinT2019/汎用流体解析コード EXN/Aero (米国) の例から推定)、すでに Parareal 法は汎用コードにも組み込まれている。したがって、今後、急速に実用化が進むと推定する。

5-2. 直接法と反復法のハイブリッド疎行列ソルバー : SLOR-PCR

提案する解法はマルチコア・メニーコア機を用いて性能評価を行った。Skylake-SP は 2 ソケット 18 コア (計 36 コア) のマルチコア、SGI UV300 は「富岳」と同様のメニーコア (4 ソケット×22 コア=88 コアが 4 シャーシ、計 352 コア) である。SGI UV300 のアーキテクチャは 4 つの CPU が内部リングバスにより接続される CC-NUMA であり、「富岳」と類似した構成となっている。実行性能は提案する SLOR-PCR 法を、Jacobi 反復法、Red-Black SOR 法の結果と比較する。Fig. 6 には Skylake-SP の結果を示す。Jacobi 法、RB-SOR 法の実行性能に比べて、3.5 倍程度の高速化を達成しており、リニアな並列性能を示している。Fig. 7 には UV300 の測定結果を示す。352 コアという非常に多数のコアではあるが、優れたスケーラビリティを示していることがわかる。特に 1 シャーシ内の性能は 88 コアに対して、80 倍という際だったスケーラビリティを示している [6]。

以上のように、提案する SLOR-PCR 法はメニーコアを始めとする最近の低 B/F アーキテクチャの性能を引き出せる解法であることがわかり、UV300 のケースでは 8 倍以上の高速化を達成した。今後、「富岳」の実機での性能評価を進め、ライブラリとして提供する予定である。

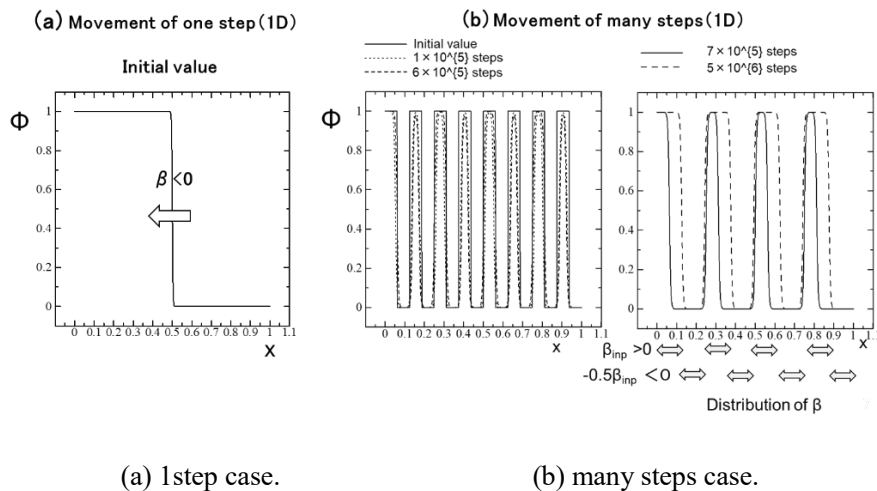


Fig. 1 Problem setting: Initial value and β distribution.

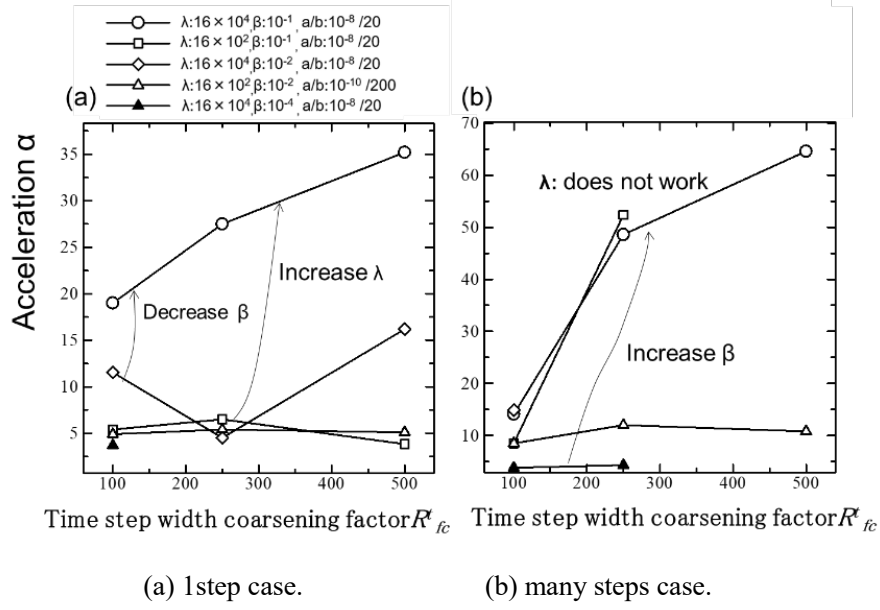


Fig. 2 Acceleration for Allen-Chan equation.

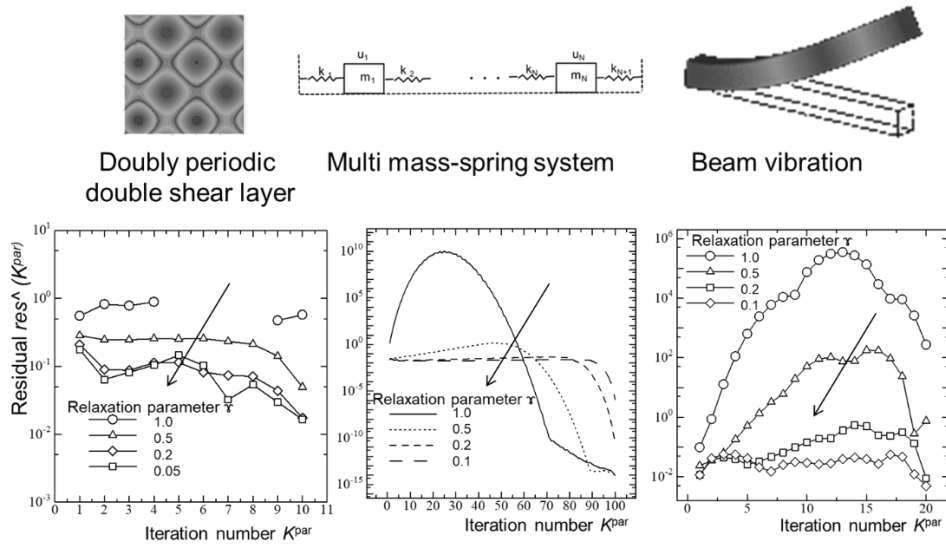


Fig. 3 Acceleration for hyperbolic partial differential equation.

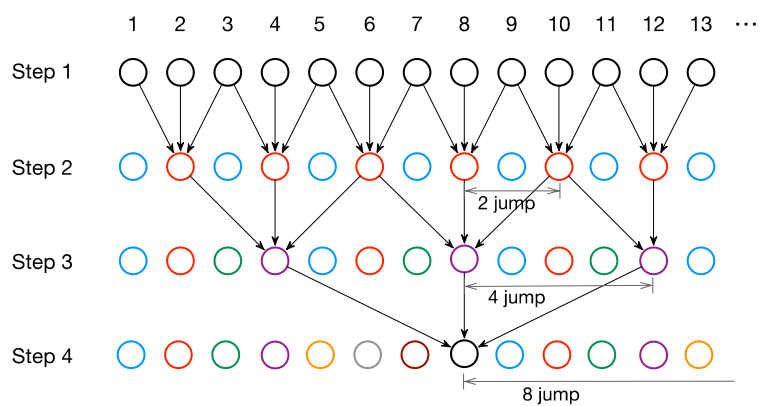


Fig. 4 Reduction steps in PCR algorithm. Colors indicate different sets of equations in each step.

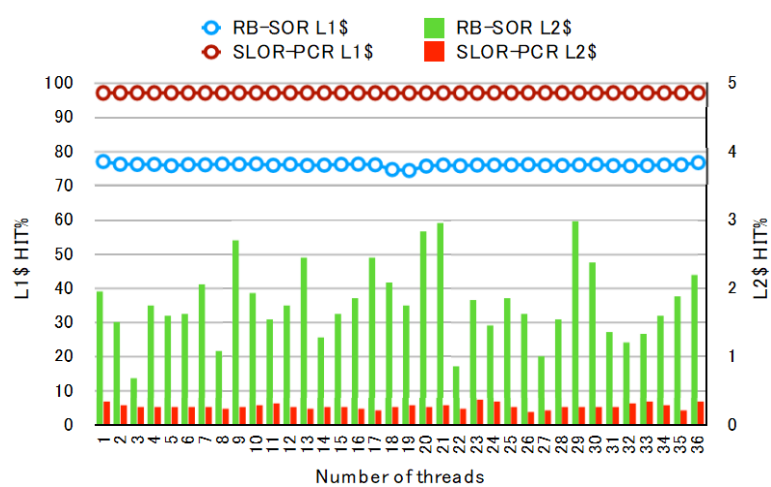


Fig. 5 Cache hit rate for 36 cores on Skylake-SP.

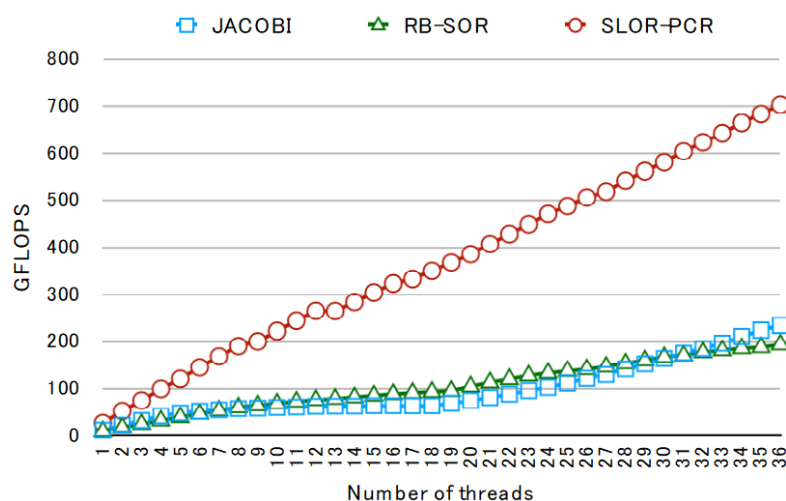


Fig. 6 Solver performance in single precision on Skylake-SP.

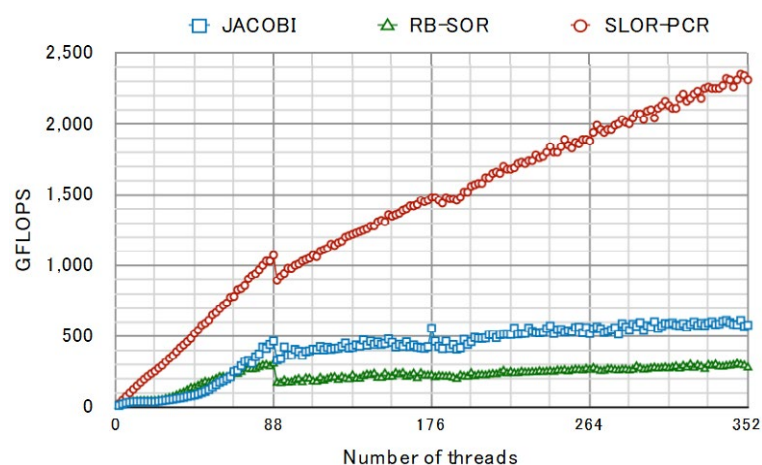


Fig. 7 Performance of iterative solvers on UV300. The problem size is 192 x 192 x 512.

6. まとめと今後の課題

本研究では、高速化技術について二つの技術研究を進めた。1つ目は Parareal 法に基づく時間並列計算法の実問題への応用性を調べ、Phase field 法を対象に非線形収束制御法の効果を明らかにした。また、双曲型偏微分方程式の Navier-Stokes 方程式と波動方程式を対象に緩和型 Parareal 法の効果を評価し、それらの有効性を確認した。2つ目は、L1 キャッシュの再利用性を高め、高いスレッド並列性と SIMD 演算ができる直接法を組み込んだ大規模疎行列反復法の開発である。富岳と同様のアーキテクチャであるメニーコア機を用いた性能評価により、メニーコアのポテンシャルを引き出せる解法であることがわかった。今後、これらの計算技術を様々なアプリケーションへと適用できるように普及に努める。

参考文献

- [1] 飯塚 幹夫、小野 謙二、時間並列計算法のフェーズフィールド法への応用、第 32 回計算力学講演会(CMD2019)、(2019).
- [2] J.-L. LIONS, Y. MADAY, AND G. TURINICI, A parareal in time discretization of PDEs, C.R.Acad. Sci. Paris, Serie I, 332, pp.661-668 (2001).
- [3] M. J. Gander and S. Vandewalle, Analysis of the parareal time parallel time integration method, SIAM Journal on Scientific Computing, vol.29, no.2, pp. 556-578 (2007).
- [4] Mikio Iizuka, Kenji Ono, Investigation of the effectiveness of methods to improve the convergence of parareal method for 1D advection equation, 8th Workshop on Parallel-in-Time Integration, (2019).
- [5] M. L. Minion, A hybrid parareal spectral deferred corrections method, Communications in Applied Mathematics and Computational Science, 5, pp.265-301 (2010).
- [6] K. Ono, T. Kato, S. Ohshima and T. Nanri, “Scalable Direct-Iterative Hybrid Solver for Sparse Matrices on Multi-Core and Vector Architectures,” International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region, pp.11-21, doi=10.1145/3368474.3368484, 2020.

5.2.2 「次世代 NVRAM を活用可能なシングルレベルストレージシステムの研究」

研究の背景と目的

現在の計算機の主記憶装置に採用されている DRAM 上のデータは電源を切ると失われてしまうため、長期間用いなければならないデータは、磁気ディスクドライブ(HDD)や半導体ドライブ(SSD)のような永続的な記憶媒体に保存される。ところが、アクセス速度で HDD よりも優れている SSD には容量あたりの価格が高いという欠点がある。半導体技術の進歩や大量生産の効果によって SSD の価格も急激に下がりがつつあるが、HDD の製造技術も進歩を続けているため、SSD と HDD の容量あたりの価格の差は依然として残っており、まだ SSD が HDD を完全に駆逐するまでには至っていない。

SSD の技術開発とは別に、これまでの主記憶装置に用いられてきた DRAM とともに SSD に用いられてきたフラッシュメモリともまったく異なる原理に基づく次世代の不揮発性メモリ（次世代 NVRAM）も登場した。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、かつ、DRAM なみの応答速度を持っている。これにより、レジスタ・キャッシュ・メインメモリ・SSD・HDD からなる記憶階層のうち、大きな性能差が残されていたメインメモリと SSD の間が今ようやく埋められようとしている（図 1）。

しかし、次世代 NVRAM による二次記憶ドライブが今後普及したとしても、容量あたりの価格に開きがある限り、次世代 NVRAM が SSD や HDD の座を完全に奪うことは考えにくい。このため、近い将来の計算機内には、SSD、HDD、主記憶と同等の応答速度を持つドライブ、の 3 種類の外部記憶装置が混在することになる。

しかし、DRAM と同等の応答速度を持つ高速な次世代 NVRAM は、CPU から見て、低速の二次記憶ドライブを接続するためのインタフェース（例：Serial ATA や USB）にそれらと並んで接続するよりも、現在の DRAM と同じマザーボード上のメモリスロットに装着したほうがその真価を発揮しやすい（図 2）。次世代 NVRAM がメモリスロットに装着され、外部記憶装置ではなくメモリ空間の一部としてアクセスされる場合、プログラムから利用可能な永続記憶領域が、メモリ空間の一部と、外部接続インタフェースの先に接続された二次記憶装置とに分散することとなる。メモリ空間と外部記憶装置ではプログラムから見たアクセス手法が大きく異なっており、

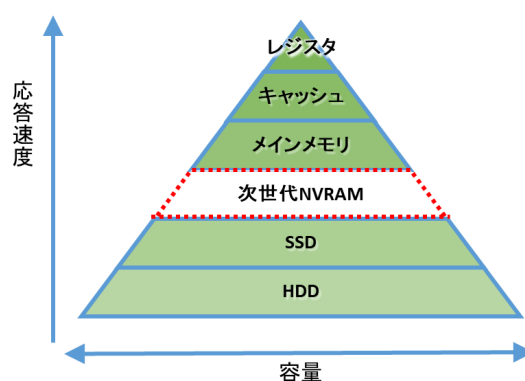


図 1：記憶階層

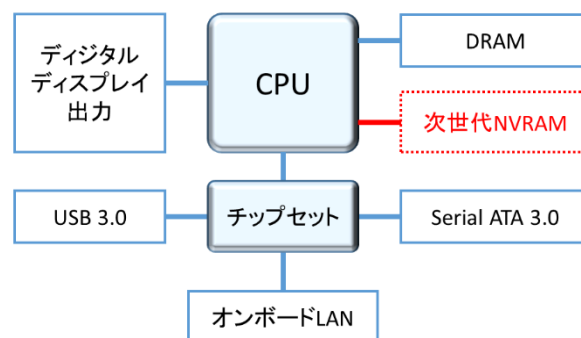


図 2：次世代 NVRAM の搭載位置

同じ手段でアクセスすることはできない(図3)。

この状況では、アプリケーションプログラムがこれらの記憶媒体をそこに格納されるデータのアクセス頻度等に応じて適切に使い分けることは、非常に困難となる。このため、3種類の二次記憶ドライブ、および、メモリ空間のうち永続化される部分を統一的に扱い、ひとつの論理ボリュームとして提供することのできるシングルレベルストレージシステムの開発が急務である。しかし、現在広く利用されているオペレーティングシステム(OS)は、いずれも、次世代NVRAMを主記憶の一部として扱う機能を備えていない。本研究では、次世代NVRAMに対応したシングルレベルストレージ機能の実装方式を確立することを目指す。

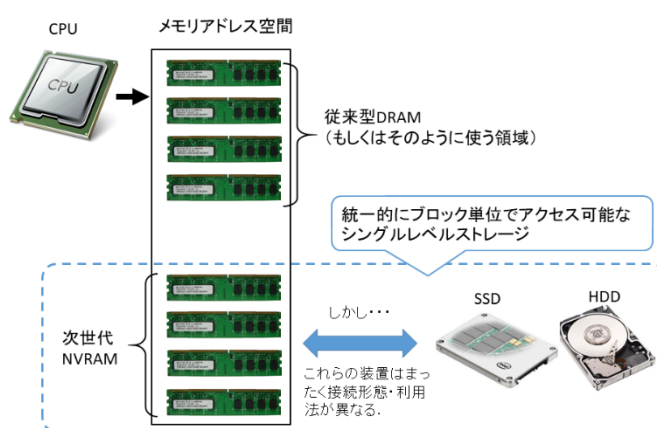


図3：3種類の永続記憶領域

研究の方法

本研究が目標とするシングルレベルストレージシステムは、アクセス頻度の変化等に応じて、アクセスされていない間にも異なる記憶媒体の間で自動再配置を行う自律的・能動的な動作を必要とする。ところが、これまでのOSに搭載されてきた各種デバイスドライバは、呼び出されたときにだけ受動的に動作するルーチンとして構成されているため、ここに常時稼働する能動的な動作を組み込むことは容易ではない。また、迅速なプロトタイプ構築を行う上でも、OSの伝統的なデバイスドライバを改造することは効率的ではない。すなわち、現在のOSを支える要素技術は、次世代NVRAMを活用可能なシングルレベルストレージを実現するのに必要な機能を備えていない。

本研究では、この問題を解決するため、ストレージ仮想化技術の一つであるiSCSI(internet SCSI)におけるターゲットのオープンソース実装であるtgtデーモンを改造することによってシングルレベルストレージを実現する。tgtは、デーモンとして常時動作するため、能動的な動作を組み込むことが容易である。また、アクセス要求に対する論理ブロックアドレスを変換して疑似ボリューム／論理ボリュームにアクセスするスレッドと、実ブロックの再配置を行うスレッドとが同一プロセス内に実装されていれば、マッピングテーブルをメモリ空間内で共有することができ、このためのプロセス間通信を必要としない。

ただし、このプロトタイプは計算機内のローカルデバイスではなくIPを経由して各ボリュームにアクセスするため、このままの形態でシングルレベルストレージがローカルデバイスとして搭載される場合の性能を評価することはできない。そこで、ローカルデバイスにアクセスする際の応答性能とiSCSIボリュームにアクセスする際の応答性能の差を求めてIPを経由した場合のオーバーヘッドを見積もり、これを差し引くことによって、ローカルデバイスとしての性能を予測する手法を検討する。このアプローチも、従来の関連研究には見られない独自のものである。

これまでの研究の経過

本研究は、アクセス頻度の変化等に応じて、4 種類の記憶媒体の間で自律的・能動的にデータの自動再配置を行うシングルレベルストレージシステムの実装方式を確立し、その効果を確認することを目指す。

しかし、マザーボード上のメモリスロットに装着可能な次世代 NVRAM 製品はまだ高価であり、搭載可能なマザーボードも限られるため、現在の DRAM による主記憶の一部（ヒープ領域）を用いて次世代 NVRAM のエミュレーションを行っている（図 4）。これによる疑似ボリュームと SSD・HDD を統一的に扱うブロックアドレスマッピング機構を実装している。また、シングルレベルストレージに特有の自律的・能動的な動作を迅速に実装するため、既存の iSCSI ターゲットを改造してプロトタイピングを行っている。

主記憶上のヒープ領域に確保した疑似ボリューム、SSD と HDD のそれぞれに作成された実ボリュームの 3 種類のボリューム内の実ブロックと、シングルレベルストレージシステムが提供する統合論理ボリューム上の論理ブロックの論理ブロックアドレスを変換するためのブロックマッピングテーブルを設け、アクセス頻度に応じた再配置を行う機能を試作した（図 5）。

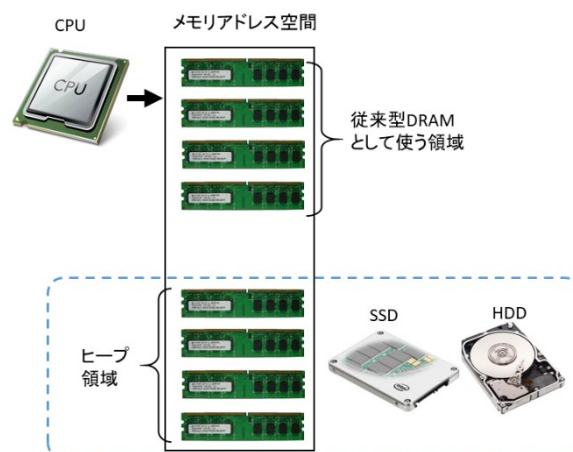


図 4：次世代 NVRAM のエミュレーション

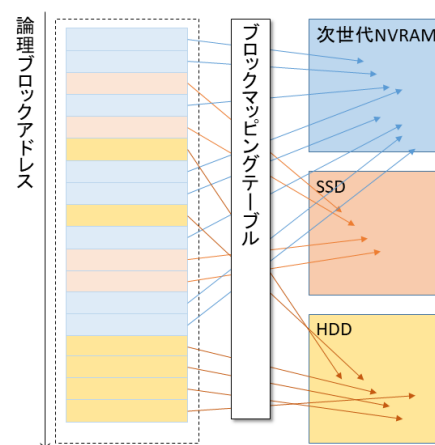


図 5：ブロックマッピングテーブル

令和元(2019)年度の成果

令和元年度に開発したプロトタイプでは、アクセスのたびにブロック毎のアクセス回数のカウンタを更新している。新規データの書き込みの際にはまず次世代 NVRAM に対して優先的に書き込みを行うが、3 種類の記憶媒体の使用率が均等になるようにしている。次世代 NVRAM の使用率が SSD のそれよりも高くなるとアクセス頻度の低いデータを SSD へ、SSD の使用率が HDD のそれよりも高くなるとさらにアクセス頻度の低いデータを HDD へと移動させ、使用率の均等化を図る。また、各媒体には一定のアクセス回数以下のデータブロックが集まるように、read アクセスの際にも使用率を均等化しつつブロックの再配置を行う。予備的な実験として、以下の 2 種類のシステムの性能を計測した。

● シングルレベルストレージシステム A（再配置あり）

1. 偏りのない乱数によって生成したブロック番地に書き込む。
2. 上記のステップを、シングルレベルストレージ全体の容量の半分が充填されるまで繰り返す。
3. データの再配置を行うため、正規分布に従うブロック番地に対する read アクセスを全ブロック数の 2 倍にあたる回数繰り返しながら、ブロックの再配置を行う。
4. 同じ正規分布に従って生成されたブロック番地に対する read アクセスを 10000 回実行し、その

実行時間を計測した。

- シングルレベルストレージシステム B（再配置なし）
 1. 偏りのない乱数によって生成したブロック番地書き込む。
 2. 上記のステップを、シングルレベルストレージ全体の容量の半分の容量が充填されるまで繰り返す。
 3. システム A に対して使用したのと同じ正規分布に従うブロック番地に対する read アクセスを 10000 回実行し、その実行時間を計測した。

この予備的な実験の結果、システム A は、システム B と比較しておよそ 36%の向上が見られた。これにより、本研究の手法の有効性は確認することができた。

今後の課題

令和元年度は、基本機能の試作と予備的な評価を行うにとどまり、研究成果をより実用的なレベルでまとめて公表するまでには至らなかった。令和 2 年度以降にはさらに現実的な条件での性能評価やプロトタイプの改良を行い、その成果を公開したい。

また、今回試作した再配置機能は非常に単純なものであり、シングルレベルストレージシステムの負荷に関わらず毎回発動されてしまうオンデマンド再配置の機能であった。一方、次世代 NVRAM の使用率が 100%を下回っている状況であれば、アクセス負荷が非常に高い場合には再配置を行わなくてもひとまず write 要求を受け入れ、アクセス負荷が下がったときにまとめて再配置を行うバックグラウンド再配置の機能も有用である。今後は、このバックグラウンド再配置機能の実装にも取り組みたい。

5.2.3「滞在時間ヒストグラムデータに対するイオンチャネルゲーティングモデルのパラメータ適合のための統計的最適化評価関数」

背景

細胞機能の数学的モデリングは、細胞メカニズムを理解するための科学的かつ実用的な手法である。細胞全体モデルは一般に、分子レベルの生理学的実験に基づいて定式化された細胞内機能のモデルから構成される。このような細胞全体モデルは、細胞表現型のシミュレーションだけでなく、細胞内メカニズムの詳細の分析にも利用できる。細胞全体モデルを構成する際、一部の細胞内モデルを開発することになるが、モデルパラメータを決定するには実験データを文献から取得する必要がある。

イオンチャネルのゲーティングの一般的なモデリングスキームに、集約マルコフモデルがある。このスキームでは、チャネルの開状態と閉状態が複数の状態で表現される。イオンチャネルの電流記録データからパラメータを統計的に推定する方法は知られている[1]が、一般に電流記録データは入手できない。一方で、チャネルの開閉状態の滞留時間ヒストグラムは一部研究で公開されている。モデルパラメータを実験データに適合させるために一般的に用いられる手法は、モデル計算結果をデータ点に最小二乗法で当てはめる方法である。しかし、この従来の推定方法では、滞留時間ヒストグラムの統計的特性は考慮されない。そこで、本研究では、滞留時間ヒストグラムにイオンチャネルゲーティングの集約マルコフモデルのパラメーター集合を適合させるための統計的推定量を導入した。

手法

滞留時間ヒストグラムは、滞留時間の確率分布のサンプリングだと見なせる。データ点数 N に対するビン数 K の滞在時間ヒストグラムを考え、第 k ビンのデータ数を n_k とする。ここで、シミュレーションモデルにパラメータ集合 $\mathbf{p}$ を用いたときの第 k ビンの確率を以下と定義する。

$$P_{t_d|\mathbf{p}}(k)$$

一般的に用いられる従来手法として、最小二乗法によりヒストグラムに対してパラメータ集合を適合させる場合の評価関数である二乗残差和は以下で表される。

$$S(\mathbf{p}) = \sum_{k \in K} \left(\frac{n_k}{N} - P_{t_d|\mathbf{p}}(k) \right)^2$$

提案手法では、尤度を最大化するパラメータ集合 $\mathbf{p}$ を最尤法により求める。パラメータ集合 $\mathbf{p}$ の統計的な尤度は次式で表される。

$$\mathcal{L}(\mathbf{p}) = \prod_{k \in K} P_{t_d|\mathbf{p}}(k)^{n_k}$$

そこで、最適化問題に用いる評価関数として、次式に表される、完全適合に対する対数尤度比を用いる。

$$l(\mathbf{p}) = \sum_{k \in K} n_k \left(\ln \frac{n_k}{N} - \ln P_{t_d|\mathbf{p}}(k) \right)$$

結果

公開論文に掲載された実験データに対する評価試験を行った。対象は、RyR2 チャネルのカルシウムイオン濃度依存性ゲーティングの開閉に対する滞在時間ヒストグラム[2]である。実験結果として掲載されている 8 個のヒストグラム全てに対して同時に適合するパラメータ集合を求めた。下図は、それらの

うち 2 個のヒストグラムについて、実験データ上に、従来法と提案手法による最適化結果を重ね合わせたものである。

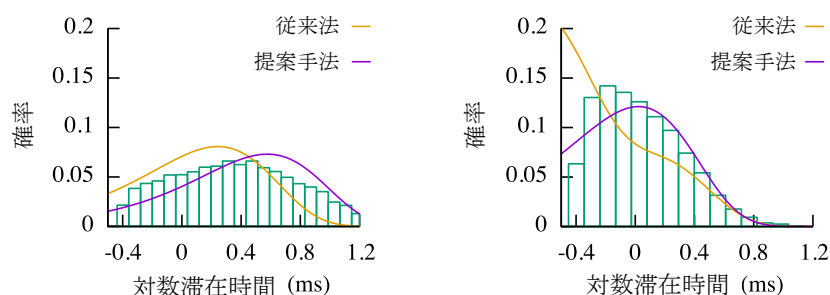


図 評価試験結果

考察

図左側ヒストグラムについては、従来法と提案手法とにおいて適合結果に相違は見られるものの、適合度に大きな差は見られない。一方、図右側ヒストグラムでは、対数滞在時間が 0 未満の範囲において、従来法は明らかに適合できておらず、特に、実験データでは対数滞在時間が小さくなるにつれて確率が小さくなる部分では、適合結果は逆の傾向を示している。この原因は、従来法は単純にデータ点に曲線を適合させているに過ぎず、統計的性質を考慮していないからだと考えられる。これらの結果から、提案手法は従来法と比べて適合結果が改善していると言える。

参考文献

1. F. Qin and L. Li, "Model-based fitting of single-channel dwell-time distributions," *Biophysical journal*, vol. 87, no. 3, pp. 1657–1671, 2004.
2. A. Uehara, T. Murayama, M. Yasukochi, M. Fill, M. Horie, T. Okamoto, Y. Matsuura, K. Uehara, T. Fujimoto, T. Sakurai, and N. Kurebayashi, "Extensive Ca^{2+} leak through K4750Q cardiac ryanodine receptors caused by cytosolic and luminal Ca^{2+} hypersensitivity," *The Journal of General Physiology*, vol. 149, no. 2, pp. 199–218, 2017.

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、遺伝的プログラミング
- ・ 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、オートモーティブ人間科学概論
- ・ 業務 — スーパーコンピュータの運用、サポート
- ・ ほか — 文部科学省科学技術試験研究委託事業、CREST、科研費、JHPCN、HPCI コンソーシアム理事

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，日本流体力学会，IEEE，ACM

主な研究テーマ

- ・ In-situ / In-transit 可視化/データ処理基盤の研究開発
キーワード：可視化システム，並列処理，ユーザ利便性，リモート処理，2018.04～2023.03.
- ・ 深層学習を用いたデータからの自然法則の発見
キーワード：深層学習，遺伝的プログラミング，Lasso，2017.04～2020.10.
- ・ 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，2018.10～2020.10.
- ・ 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，2015.10～2022.3.
- ・ 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，2003.04～2020.03.
- ・ 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

- ・ HPC と高速通信技術の融合による大規模データの拠点間転送技術開発と実データを用いたシステム実証試験
2017.04～2020.03, 代表者：村田 健史, 国立研究開発法人情報通信研究機構, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（日本）
- ・ 高レイノルズ数乱流現象解明のための計算・実験科学研究ネットワーク形成
2017.04～2020.03, 代表者：山本 義暢, 山梨大学, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（日本）
- ・ エアリード楽器および音響機器における大規模音響流体解析
2017.04～2020.03, 代表者：高橋 公也, 九州工業大学, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（日本）
- ・ 逐次問題の並列計算の数理とフレームワーク研究開発・実証
2017.04～2020.03, 代表者：小野 謙二, JST
- ・ 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, 東京大学生産技術研究所, 文部科学省

研究業績

● 著書

1. Kenji Ono, データサイエンス時代の科学技術 データをどのように可視化するか?, 近代科学社, 175-186, 2020.01.

● 原著論文

1. Issei Koga, Kenji Ono, Effective Pre-processing of Genetic Programming for Solving Symbolic Regression in Equation Extraction, Communications in Computer and Information Science, 1040, 89-103, 2019.08.
2. Tomohiro Kawanabe, Jorji Nonaka, Daisuke Sakurai, Kazuma Hatta, Shuhei Okayama, Kenji Ono, Showing Ultra-High-Resolution Images in VDA-Based Scalable Displays, 16th International Conference on Cooperative Design, Visualization, and Engineering, CDVE 2019
Cooperative Design, Visualization, and Engineering - 16th International Conference, CDVE 2019, Proceedings, 10.1007/978-3-030-30949-7_13, 116-122, 2019.10.

● 総説, 論評, 解説, 書評, 報告書等

1. Kenji Ono, モデリングに役立てる数式発見, 計算工学, 2019.11.

● 学会発表

1. Kenji Ono, Mikio Iizuka, Investigation of effective methods to improve the convergence of parareal time integration for advection equation, 8th Workshop on Parallel-in-Time Integration, 2019.05.
2. Kenji Ono, Mikio Iizuka, 移流問題に対する Parareal 法による時間並列計算の収束性向上手法の評価, 第 24 回計算工学講演会, 2019.05.
3. Kenji Ono, Issei Koga, データを記述する方程式の推定, 第 24 回計算工学講演会, 2019.05.
4. Kenji Ono, Mizue Munekata, Takashi Watanabe, Collecting Performance in a Cyclone Separator with a Hemispherical Head, 14th International Symposium on Experimental Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, 2019.07.
5. Kenji Ono, Issei Koga, シミュレーションデータを用いた基礎方程式の推定, 日本応用数理学会 2019 年度年会, 2019.09.
6. Kenji Ono, Mizue Munekata, Takashi Watanabe, サイクロンセパレータ内における 100 億規模の並列粒子追跡, 日本機械学会 第 32 回計算力学講演会(CMD2019), 2019.09.
7. Kenji Ono, Issei Koga, GP によるデータを記述する偏微分方程式の推定, 第 16 回進化計算研究会, 2019.09.
8. Mitsuhiro Miyagi, Hajime Yamamoto, Toshiya Takami, Mikio Iizuka, Kenji Ono, Kengo Nakajima, 地下水流動シミュレーションへの時間並列計算手法の適用, 第 47 回岩盤力学に関するシンポジウム, 2019.12.
9. Tomohiro Kawanabe, Jorji Nonaka, Kenji Ono, ChOWDER: A VDA-Based Scalable Display System for Displaying High-Resolution Visualization Results, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region, 2019.12.
10. Kenji Ono, Issei Koga, Effective approach for identifying governing equations from data, The 7th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics, 2019.12.
11. Kenji Ono, Mikio Iizuka, Investigation of Effective Methods for Improving the Convergence of Parareal Method for 1D Advection Equation, The 7th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics, 2019.12.
12. Kenji Ono, Ryuji Furukawa, Atsushi Tsurumaru, Keisuke Terada, Mizue Munekata, Hiroyuki Yoshikawa, Takashi Watanabe, Numerical Study of Air Flow Characteristics in a Compact Cyclone Separator for Fuel Cell Vehicles, International Symposium on Novel and Sustainable Technology, 2019.12.
13. Kenji Ono, Atsushi Tsurumaru, Keisuke Terada, Ryuji Furukawa, Mizue Munekata, Hiroyuki Yoshikawa, Numerical Study on Multiphase Flow in a Cyclone Separator for Fuel Cell Vehicles, The 7th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics, 2019.12.
14. Kenji Ono, Toshihiro Kato, Satoshi Ohshima, Takeshi Nanri, Scalable Direct-Iterative Hybrid Solver for Sparse Matrices on Multi-Core and Vector Architectures, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region, 2019.12.

● 受賞

1. 第 24 回計算工学講演会 ベストペーパーアワード, 日本計算工学会, 2019.09.
2. Excellent award, Poster presentation student paper award, ISNST 2019 steering committee, 2019.12.

研究資金

● 科学研究費補助金

1. 2017 年度～2019 年度, 基盤研究(B), 代表, 逐次問題の並列計算の数理とフレームワーク研究開発・実証
2. 2018 年度～2020 年度, 静岡県産業振興財団 次世代自動車技術革新対応促進助成事業, 分担, 燃料電池車用サイクロンセパレータの粉粒体分離効率の向上を目指した内部流れ解析及び最適化
3. 2016 年度～2020 年度, 厚生労働科学研究費補助金 (厚生労働省), 分担, 動的過程を扱う連成計算機構の研究開発と流体音数值解析への応用
4. 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

● 競争的資金

1. 2015 年度～2019 年度, 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

● 学内資金・基金等

2. 2019 年度～2020 年度, 2019 年度大学改革活性化制度, 代表, 汎オミクス計測・計算科学アプローチに基づく異分野融合研究推進

教育活動

● 担当授業科目

1. 2019 年度・前期, オートモーティブ人間科学概論
2. 2019 年度・前期, 【博士】高性能並列計算法特論
3. 2019 年度・前期, 情報学論議 I
4. 2019 年度・前期, 情報学論述 I
5. 2019 年度・前期, 情報学読解
6. 2019 年度・前期, 【修士】高性能並列計算法特論
7. 2019 年度・後期, 並列アルゴリズム
8. 2019 年度・前期, 数値解析演習

9. 2019 年度・前期, 数値解析

大学運営

● 学内運営に関わる各種委員・役職等

1. 2019.04～2021.03, 情報基盤研究開発センター附属汎オミクス計測・計算科学センター長
2. 2018.04～2020.03, 情報基盤研究開発センター長

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 など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バックアップ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した HPCI (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) 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～.
- ・ 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～.
- ・ 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, An Adjustable Round Robin Scheduling Algorithm in Interactive Systems, Information Engineering Express, Vol. 5, No. 1, 11-18, 2019.05.
2. Samih M. Mostafa, Hirofumi Amano, Effect of Clustering Data in Improving Machine Learning Model Accuracy, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 97, No. 21, 2973-2981, 2019.11.

研究資金

● 科学研究費補助金

2018 年度～2020 年度，基盤研究(C)，代表，次世代 NVRAM を活用可能なシングルレベルストレージシステムの開発.

教育活動

● 担当授業科目

1. 2019年度・前期，プログラム設計論特論
2. 2019年度・前期，電気情報工学入門Ⅰ
3. 2019年度・秋学期，コンピュータシステムⅡA
4. 2019年度・冬学期，コンピュータシステムⅡB

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ズ・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。

● その他の優れた社会貢献活動

2019年度，革新的ハイパフォーマンズ・コンピューティング・インフラ(HPCI)システム構成機関から提供される共用計算資源の利用者選定業務を統括している利用研究課題申請委員会の委嘱を受けたレビュアーとして，計算機利用申請の審査を行っている。

大学運営

● 学内運営に関わる各種委員・役職等

1. 2011.01～，事務用業務システム運用部会メンバー
2. 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
3. 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

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, Association for Computing Machinery, 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. Takao Shimayoshi, Parameter Uncertainty Analysis of a Mathematical Ion Channel Model, 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2019, Berlin, Germany, July 23-27, 2019, 1952-1955, 2019.07.
2. Yoshiaki Kasahara, Takao Shimayoshi, Tadayuki Miyaguchi, Naomi Fujimura, Migrate legacy email services in Kyushu university to exchange online, 47th ACM SIGUCCS Annual User Services Conference, SIGUCCS 2019
SIGUCCS 2019 – Proceedings of the 2019 ACM SIGUCCS Annual Conference,
10.1145/3347709.3347817, 127-131, 2019.10.
3. Takao Shimayoshi, Yoshiaki Kasahara, Naomi Fujimura, Renovation of the Office 365 environment in Kyushu University
Integration of account management and authentication, 47th ACM SIGUCCS Annual User Services Conference, SIGUCCS 2019
SIGUCCS 2019 – Proceedings of the 2019 ACM SIGUCCS Annual Conference,
10.1145/3347709.3347819, 135-139, 2019.10.

● 学会発表

1. Takao Shimayoshi, Parameter Uncertainty Analysis of a Mathematical Ion Channel Model, 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2019, 2019.07.
2. Yoshiaki Kasahara, Takao Shimayoshi, Tadayuki Miyaguchi, Naomi Fujimura, Migrate legacy email services in Kyushu university to exchange online, 47th ACM SIGUCCS Annual User Services Conference, SIGUCCS 2019, 2019.10.
3. Takao Shimayoshi, Yoshiaki Kasahara, Naomi Fujimura, Renovation of the Office 365 environment in Kyushu University
Integration of account management and authentication, 47th ACM SIGUCCS Annual User Services Conference, SIGUCCS 2019, 2019.10.

● 受賞

山下記念研究賞, 情報処理学会, 2019.08.

教育活動

● 担当授業科目

1. 2019 年度・夏学期, 情報処理概論
2. 2019 年度・後期, 【修士】仮想実験特論
3. 2019 年度・後期, 【修士】計算機シミュレーション特論
4. 2019 年度・後期, 【博士】仮想実験特論
5. 2019 年度・後期, 【博士】計算機シミュレーション特論

大学運営

● 学内運営に関わる各種委員・役職等

1. 2018.11～, メールサーバ集約タスクフォース長
2. 2018.04～, 情報共有基盤事業室
3. 2016.10～, 九大 CSIRT
4. 2015.11～, 情報統括本部ネットワーク事業室

5.3.4 大島 聡史

研究内容

計算機の性能向上が進んでいる一方で、アーキテクチャの複雑化や多様化も進んでおり、ハードウェアの持つ性能を発揮する難しさも増加している。本研究では、多用される計算手法や最新の計算手法を最新の計算機環境で高速に実行する方法の検討・実装を行ったり、既存のアプリケーションの性能を最新の計算機環境で測定・分析することにより、最新の計算機環境を十分に活用できるようにすることを目指している。主な対象計算ハードウェアとしては、マルチコア CPU、メニーコアプロセッサ、GPU を用いている。主な対象計算は疎行列ソルバー（CG 法およびその主要な計算である疎行列ベクトル積、通信削減 CG 法）であるが、分子動力学アプリケーションの性能評価に携わったり、プログラムに可搬性を持たせる自動チューニング技術と自動チューニング用プログラミング環境（指示文を用いたプログラム記述）に関する研究も行っている。

所属学会名

オープン CAE 学会, Association for Computing Machinery (ACM), Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 日本応用数理学会, 自動チューニング研究会, 情報処理学会

主な研究テーマ

- ・ GPU を用いた高性能計算に関する研究
キーワード：GPU, GPGPU, GPU コンピューティング, 2004.05～2020.03.
- ・ 並列数値計算の自動チューニングに関する研究
キーワード：自動チューニング, 2009.10～2020.03.
- ・ GPU を用いた低ランク近似行列計算法に関する研究
キーワード：低ランク近似計算, GPU, 2016.04～2020.03.
- ・ マルチコア・メニーコアプロセッサにおける分子動力学計算に関する研究
キーワード：分子動力学計算, マルチコア CPU, メニーコアプロセッサ, 自動チューニング
2015.04～2020.03.
- ・ 最新並列計算機環境における通信削減 CG 法に関する研究
キーワード：通信削減 CG 法, 2017.04～2020.03.
- ・ 時間並列計算法に関する研究
キーワード：Parareal 法, 2017.04～2020.03.

研究プロジェクト

- ・ ディープラーニングを利用した革新的自動チューニング基盤の創製
 科研挑戦的研究（萌芽），2019.04～2020.03，代表者：片桐孝洋（名古屋大学 情報基盤センター）
- ・ 機械学習向けハードウェアとの親和性が高い連立一次方程式の解法の開発とその高性能超並列実装
 科研基盤研究(B), 2018.04～2021.03, 代表者：横田理央（東京工業大学 学術国際情報センター）
- ・ H 行列法ライブラリの機能拡張と次世代スパコン向け最適化
 科研基盤研究(B), 2017.04～2020.03, 代表者：伊田明弘（東京大学 情報基盤センター）
- ・ 逐次問題の並列計算の数理とフレームワーク研究開発・実証
 科研基盤研究(B), 2017.04～2020.03, 代表者：小野謙二（九州大学 情報基盤研究開発センター）

研究業績

● 原著論文

1. Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota: Optimization of Numerous Small Dense-Matrix-Vector Multiplications in H-matrix Arithmetic on GPU, 2019 IEEE 13th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc), pp.9-16, 2019, doi: 10.1109/MCSoc.2019.00009
2. Satoshi Ohshima, Soichiro Suzuki, Tatsuya Sakashita, Masao Ogino, Takahiro Katagiri, Yoshimichi Andoh: Performance evaluation of the MODYLAS application on modern multi-core and many-core environments, In Proceedings of IPDPSW2019, pp. 787-796, doi: 10.1109/IPDPSW.2019.00129

● 学会発表

1. Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota: Optimization of Numerous Small Dense-Matrix-Vector Multiplications in H-matrix Arithmetic on GPU, Proceeding of IEEE MCSoc19, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG-19), 2019.10.01, Nanyang Executive Center, Nanyang Technological University, Singapore, 2019.
2. Satoshi Ohshima, Soichiro Suzuki, Tatsuya Sakashita, Masao Ogino, Takahiro Katagiri, Yoshimichi Andoh: Performance evaluation of the MODYLAS application on modern multi-core and many-core environments, The Fourteenth International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2019, IPDPS2019 Workshop), 2019.05.24, Hilton Copacabana, Rio de Janeiro, Brazil, 2019.

研究資金

● 科学研究費補助金

1. 2017年度～2019年度，基盤研究(B)，分担，逐次問題の並列計算の数理とフレームワーク研究開発・実証（代表者：小野謙二，九州大学 情報基盤研究開発センター）
2. 2017年度～2019年度，基盤研究(B)，分担，H行列法ライブラリの機能拡張と次世代スパコン向け最適化（代表者：伊田明弘，東京大学 情報基盤センター）
3. 2018年度～2020年度，基盤研究(B)，分担，機械学習向けハードウェアとの親和性が高い連立一次方程式の解法（代表者：横田理央，東京工業大学 学術国際情報センター）
4. 2019年度～2020年度，挑戦的研究（萌芽），分担，ディープラーニングを利用した革新的自動チューニング基盤の創製（代表者：片桐孝洋，名古屋大学 情報基盤センター）

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

2018.01～2020.01，文部科学省研究振興局 HPCI 計画推進委員会将来の HPCI の在り方に関する検討ワーキンググループ委員，文部科学省