

氏名	中川 岳		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第8074号		
学位授与年月日	平成29年3月24日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	プロセスのふるまいに基づく計算機資源管理		
主査	筑波大学 教授	博士（工学）	追川修一
副査	筑波大学 教授	博士（理学）	加藤和彦
副査	筑波大学 教授	博士（理学）	建部修見
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	新城靖
副査	筑波大学 准教授	工学博士	片岸一起

## 論文の要旨

コンピュータシステムは、その構成および利用方法について、ともに複雑さを増している。構成要素としては、近年、次世代不揮発性メモリの開発がすすんでおり、コンピュータシステムに導入されると、これまでの揮発性のメモリと不揮発性のストレージに加わる新たなメモリ階層となるが、その性能を発揮するためには書き込みの抑制が課題である。利用形態としては、クラウドコンピューティング環境の普及により単一システムが複数のサーバアプリケーションをホストする形態が一般的となってきたが、一定以上の性能を保証するためには、異常なメモリ消費の早期検出が重要な課題となる。これらのシステムに共通するのは、従来の直近の利用状況に基づくメモリ管理手法では、問題となるイベントが発生してからでの対処となるため、性能劣化が避けられないという問題があった。

この問題に対し、本学位論文では、プロセスのふるまいから、資源管理に必要となるイベントの兆候を検出することで性能劣化を回避する資源管理を可能にする手法を提案している。ここでのプロセスのふるまいとは、計算資源利用の時間的および空間的な経過情報のことであり、直近の計算資源利用状況という1次元の情報から、複数次元に情報の範囲を広げることで、問題となるイベントの兆候の検出が可能であることを明らかにしている。

次世代不揮発性メモリへ書き込み抑制は、読み出しと比較して長い遅延、大きなエネルギー消費、書き込み可能回数の制限といった素子の特性としての短所を回避するために必要とされる。これまで、計算機アーキテクチャやオペレーティングシステムのレイヤで、主にページフレーム単位での書き込み回数を計測し、書き込みの多いページを検出、DRAMへ移動する手法が提案されてきたが、この方では、実際に書き込みが発生するまで、DRAMまたは不揮発性メモリのどちらかにデータを配置すべき

かわからないという問題点があった。本論文では、アプリケーションレベルで得られるデータが表現する内容という空間的な経過情報を用い、書き込みが発生しやすいデータかどうかを判断することで、書き込み前に適切なデータの配置を可能にしている。これにより、不揮発性メモリへ書き込みをDRAMの1%以下に抑制し、効率的なデータ配置が可能であることを明らかにした。

異常なメモリ消費の早期検出は、クラウドコンピューティング環境における Platform as a Service (PaaS) のように、アプリケーション実行環境を貸し出すサービスにおいて、一定以上の性能を保証するために特に重要となる。これまでは、プロセスごとに固定の制限値を設けていたが、この方法では制限値を低くすればメモリ消費の影響はプロセス間で発生し難くなるがメモリ使用率が低くなり、制限値を高くすればメモリ使用率は高くなるが影響を受けやすくなるという問題点があった。本論文では、メモリ消費の時間的な経過情報を用いることで、メモリ消費の異常の早期検出を可能にしている。さらに、単に検出されたプロセスを停止するのではなく、プロセスのふるまいに制限を加えた隔離状態を導入することで、早期検出による偽陽性検出の回避を可能にしている。実験結果から、提案手法により異常なメモリ消費の早期検出が可能になり、異常なメモリ消費が発生している場合でも、十分な性能を提供可能であることを明らかにした。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

計算機の利用形態が多層化し、計算機そのものも多層的な構成となるなか、これまでの一元的な資源管理手法では不十分な場面が多くなってきている。このような状況において、本論文はプロセスのふるまいに着目し、資源管理を行う上で必要となる利用状況の情報の範囲を広げることができることを明らかにしている。プロセスのふるまいに基づく資源管理は、不揮発性メモリへ書き込み抑制、異常なメモリ消費の早期検出の2つの事例に適用され、不揮発性メモリへ書き込み抑制についてはJava仮想マシンに、またメモリ消費の早期検出はオペレーティングシステムカーネルに、それぞれの資源管理機構を実装し、実験を行うことで、有効性を確認している。計算資源利用の経過情報は、これまでも部分的には資源管理に用いられてきたが、適用範囲は非常に限られていた。本論文は、プロセスおよびプロセス内部に踏み込み、より詳細な経過情報を用いることが、多層的な構成の計算機における資源管理に有効であるということを明らかにした点で、ソフトウェアシステム分野の発展に大きく寄与しており、高く評価できる。

### 【最終試験の結果】

平成29年2月7日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。