

# Migration Models for Energy-efficient Computation of Processes in Server Clusters

DILAWAER, Duolikun / ディラワリ, ドリクン

---

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

84

(発行年 / Year)

2018-03-24

(学位授与番号 / Degree Number)

32675甲第428号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2018-03-24

(学位名 / Degree Name)

博士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014766>

博士学位論文  
論文内容の要旨および審査結果の要旨

氏名	迪拉瓦尔 多里坤
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	第 428 号
学位授与の日付	2018 年 3 月 24 日
学位授与の要件	法政大学学位規則第 5 条第 1 項第 1 号該当者（甲）
論文審査委員	主 査 教授 滝沢 誠 副 査 教授 玉井 哲雄 副 査 教授 三浦 孝夫 副 査 教授 BAROLLI, Leonard（福岡工業大学）

Migration Models for Energy-efficient Computation of Processes in Server Clusters

**1. 論文内容の要旨**

情報システムの消費電力を低減するために、これまでに企業を中心に低消費電力 CPU 等のハードウェアが開発されてきている。また、大規模クラウドでは、不要なサーバを停止させることが行われてきている。これらの方法論に対して、本論文では、ソフトウェアの観点から、各種の応用プロセスを実行させたときにコンピュータ全体で消費される電力の低減を目指した**マクロレベル方法論**を新たに提案している。まず、各種サーバで各種応用プロセスを実行したときに消費される電力を与える電力消費モデルと、各応用プロセスの実行時間を与える計算モデルを新たに提案している。これらのモデルを用いて、クライアントから発行された応用プロセスを実行するサーバを決定することに加えて、実行中のプロセスを他のサーバに移行(migrate)する方式を考案している。特に、クラウドシステムでは、サーバのアーキテクチャ、OS に非依存にサービスを提供する仮想機械(virtual machine)が提供され、プロセスを実行しながら他のサーバに移行できる機能がある。これを用いて、より消費電力を低減できるサーバにプロセスを移行させるためのアルゴリズムを提案し評価を行っている。

本論文「Migration Models for Energy-efficient Computation of Processes in Server Clusters」は以下の章から構成されている。

第 1 章では、本論文の目的、方法論、概要について述べている。

第 2 章では、本論文に関連した研究を論じ、本論文の特色を述べている。

第 3 章では、本論文で考えるシステムのモデルを論じている。クラスタ、サーバ、仮想機械のモデルについて述べている。

第 4 章では、マクロレベル方法論に加えて、電力消費モデルと計算モデルを提案している。複数 CPU を備えたサーバで、応用プロセスを実行したときの電力を与える MLPCM(Multi-Level Power Consumption with Multiple CPUs)と、各プロセスの実行時間を与える MLCM(Multi-Level Computation with Multiple CPUs)を新たに提案している。本モデルは、低消費電力な情報システムを考えると基本となるものである。

第 5、6、7 章では、クライアントの応用が発行したプロセスを実行するサーバを決定することに加えて、実行中のプロセスをより消費電力を低減できるサーバに移行させるアルゴリズムについて論じている。第 5 章では、各プロセスを単独で移行させる MP (Migration of Processes) アルゴリズムを提案している。

第 6 章と 7 章では、仮想機械をサーバ間で移行させるモデルについて論じている。第 6 章では、クラスタ全体の仮想機械集合を固定したときに、移行対象の仮想機械と、移行先のサーバを決定する静的移行アルゴリズムとして EAMV (Energy-aware Migration of Virtual machines) を提案している。

第 7 章では、クラスタ内の仮想機械が、実行されるプロセス数に応じて増減する動的移行方式 DVMV (Dynamic Virtual Machine Migration) を提案している。

第 8 章では、MP, EAVM, DVMV アルゴリズムを、既存のラウンドロビン、ランダムアルゴリズムと比較し、クラスタ全体の消費電力、サーバの実働時間、各プロセスの平均実行時間について評価を行っている。消費電力を評価するために、新たにシミュレータを開発している。プロセスを移行させることにより、サーバの消費電力、実働時間と、プロセスの実行時間とを短縮できることを示している。特に、動的な仮想機械を生成させる DVMM アルゴリズムが、他のアルゴリズムに対して、消費電力、実働時間、実行時間を短縮できることを示している。

第 9 章では、本論文のまとめを行っている。さらに、今後の課題について論じている。

## 2. 審査結果の要旨

二酸化炭素の排出量を減少し地球温暖化を防止することが、地球規模で喫緊の課題となっている。情報システムでも、応答時間、スループット等の性能目標、信頼性目標を達成しながら、コンピュータ等の情報機器で消費される電力を低減することが求められている。本論文では、コンピュータの消費電力を低減することを目標として、新たにマクロレベル方法論を提案している。これまでの低電力 CPU のようなハードウェア指向方法論、不要サーバを停止するシャットダウン方法論に対して、ハードウェアのみならずプロセスを実際に実行したときのコンピュータ全体の消費電力を考えるもので新規性があり有用である。さらに、これらのモデルを用いて、クライアントから発行されたプロセスを、消費電力を低減できるようサーバを求め、かつプロセスの実行中でも、より消費電力を低減できるサーバに移行するアルゴリズムを提案している。ソフトウェアの観点から、情報システムで消費される電力を低減しようとする新規なアルゴリズムである。NS2 等の性能を評価するシミュレータはこれまで開発されてきているが、性能に加えて消費電力を評価するためのシミュレータをモデルに基づいて開発し、提案しているアルゴリズムの評価を行っている。評価により、提案アルゴリズムにより、サーバクラスタ全体の消費電力を低減し、かつ各プロセスの実行時間を短縮できることを示している。

これまでに、本論文に書かれている研究成果を、国際学術論文誌に 13 件(筆頭著者 7 件)、

国際会議で 53 件(筆頭著者 22 件)を発表している。さらに国際会議 CISIS-2014 と NBS-2016 で 2 件の Best paper 賞を受賞する等、国際的にも高い評価を得てきている。また、本年 4 月から日本学術振興会(JSPS)の特別研究員(DC)採用が決定している。

本論文では、エコな情報システムを実現するための理論的な基礎となる電力消費モデルと計算モデルをマクロレベル方法論により確立している。さらに、これらのモデルを用いて、サーバクラスターで、消費電力を低減できるように応用プロセスを実行するためのアルゴリズムを考案し、評価を行い、消費電力を低減するとともに、各プロセスの実行時間も減少できることを示している。これらは、理工学的に新規で有用なもので高く評価できるものである。よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士(工学)の学位に値するという結論に達した。

(報告様式Ⅲ)