

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

フリガナ 氏名 (姓、名)	ニシカワ ヒロキ 西川 広記	授与番号 甲 1585 号
学位の種類	博士 (工学)	授与年月日 2022 年 3 月 31 日
学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項該当者 [学位規則第 4 条第 1 項]	
博士論文の題名	Multicore Task Scheduling and High-Level Synthesis for Embedded Systems (組込みシステム設計におけるマルチコアタスクスケジューリングと高位合成)	
審査委員	(主査) 富山 宏之 (立命館大学理工学部教授)	泉 知論 (立命館大学理工学部教授)
	孟 林 (立命館大学理工学部准教授)	
論文内容の要旨	<p>本論文は、組込みシステムを対象としたタスクスケジューリングと高位合成に関する学位申請者の研究成果をまとめたものであり、7つの章からなる。第1章は序論であり、本研究の背景と意義を説明している。第2章では、典型的な組込みシステム的设计フローを示し、その設計フローにおけるタスクスケジューリングと高位合成の位置づけを述べている。第3章から第5章で、マルチコア組込みシステムを対象とした種々のタスクスケジューリング手法を提案している。第3章では、タスクスケジューリング問題に対する制約プログラミングによる解法を提案している。第4章では、タスク間およびタスク内のデータ通信を考慮したタスクスケジューリング手法を提案している。第5章では、非均質なマルチコアを対象として、消費エネルギーを最小化するタスクスケジューリング手法を提案している。第6章では、組込みシステムのハードウェア回路の面積を削減することを目的として、高位合成におけるモジュール共有手法を提案している。第7章は結論であり、本論文のまとめと今後の展望を述べている。</p> <p>タスクスケジューリングは組込みシステム的设计工程のひとつであり、タスクの実行順序、ならびに、タスクのコアへの割り当てを決定する。本研究では、各タスクが複数のコア上で並列に実行されることを許し、各タスクに割り当てるコア数をタスクスケジューリングと同時に決定する。学位申請者は、このタスクスケジューリング問題に対し、良い解を高速に求める制約プログラミング手法を提案している。その後、提案手法を二つの方向に拡張している。一つ目の拡張はタスク間およびタスク内のデータ通信の考慮であり、二つ目の拡張は非均質なマルチコアに対する消費エネルギーの最小化である。さらに、組込みシステムのハードウェア回路の高位合成手法を提案している。提案手法は、高位合成の入力となるCプログラムにおいて、関数レベルでハードウェアモジュールを共有することにより、回路面積を削減する。</p>	

論文審査の結果の要旨

本論文の審査に先立ち、公聴会を開催した。公聴会では学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員による口頭試問を行った。

本論文は、組込みシステム設計におけるタスクスケジューリングと高位合成の二つの設計工程に対して、新たな手法を提案している。古典的なタスクスケジューリングは、複数のタスクを異なるコアに割り当てることによりスケジュール長の短縮を目指す、各々のタスクは1個のコア上で実行されることを想定している。一方、本研究では、各タスクが複数のコア上で並列に実行されることを許し、各タスクに割り当てるコア数をタスクスケジューリングと同時に決定する。このタスクスケジューリング問題は、その複雑さゆえ、従来、良い解を高速に求めることが困難であった。学位申請者は、制約プログラミングと呼ばれる技術を応用することにより、良い解を高速に求める手法を開発した。実験により、提案手法は従来手法よりも最大で81.9%良い解を見つけることを示している。この提案手法は拡張性にも優れており、本論文では二つの方向に拡張している。一つ目の拡張はタスク間およびタスク内のデータ通信の考慮であり、これにより、大量のデータを扱う組込みシステムに対しても提案手法を適用することを可能とした。二つ目の拡張は消費エネルギーの考慮であり、これにより、必要な処理性能を保ちつつ、運用時の電気料金の削減やバッテリー駆動時間の延長を可能とした。高位合成に関しては、関数レベルでモジュールを共有する手法を開発し、これにより、組込みシステムのハードウェアの製造コストを削減することを可能とした。

学位申請者によるこれらの研究成果は、高度情報化社会を支える組込みシステムやエッジコンピュータの高性能化、低コスト化、低消費エネルギー化の実現に寄与するものであり、学術的および工業的に高い価値を有している。

以上の通り、公聴会での口頭試問結果および論文審査を踏まえ、審査委員会は本論文が本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しい水準に達しているという判断で一致した。

試験または学力確認の結果の要旨

本論文の公聴会は、2022年1月26日(水)10時00分～11時00分、びわこ・くさつキャンパスのローム記念館5階会議室において行われた。なお、学位申請者および主査、副査のみ対面、その他の聴講者はビデオ会議システム(Zoom)によるオンライン参加とした。各審査委員および公聴会参加者より、タスクスケジューリングに要する時間の妥当性、提案した高位合成手法の適用可能な範囲、合成結果の解釈などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。また、学位申請者は工学的な面においても学術的な面においても国際的に評価される研究を行っており、筆頭著者として査読付きの英文論文誌に4編の論文が採録され、また、2019年10月の国際会議において受賞している。これらの量的ならびに質的に優れた研究業績により後期課程2年在学での修了が適当と判断した。

審査委員会は、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。

以上の諸点を総合し、審査委員会は、学位申請者に対し、本学学位規程第18条第1項に基づいて、「博士(工学 立命館大学)」の学位を授与することが適当であると判断する。