

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	オーバーサブスクライビングスケジューリング：HPCシステムにおける多様化するワークロードの効率性と応答性の両立
Title(English)	Oversubscribing Scheduling: Balancing Efficiency and Responsiveness in HPC Systems with Diverse Workloads
著者(和文)	南将平
Author(English)	Shohei Minami
出典(和文)	学位:Doctor (Science), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第233号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:遠藤 敏夫,増原 英彦,坂本 龍一,安永 憲司,脇田 建
Citation(English)	Degree:博士(理学), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第233号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	南 将平		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	遠藤 敏夫	教授	審査員	脇田 建	准教授
	審査員	増原 英彦	教授			
		坂本 龍一	准教授			
		安永 憲司	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Oversubscribing Scheduling: Balancing Efficiency and Responsiveness in HPC Systems with Diverse Workloads (オーバーサブスクリビングスケジューリング: HPC システムにおける多様化するワークロードの効率性と応答性の両立)」と題し、high performance computing (HPC) システムにおける多様化するワークロードへの対応として、oversubscribing (以下 OSub) 方式に基づいたスケジューリング手法を提案し、その実用性を実データに基づいたシミュレーションと実クラスタシステム上の実装を通じて包括的に実証している。本論文は以下のような英文 8 章で構成されている。

第 1 章「Introduction」では、本研究の主対象である HPC システムのスケジューリングの現状と課題について述べている。特に、AI/機械学習分野の利用増加に伴うワークロードの多様化と、それに起因する課題として、従来のバッチジョブ中心の運用がインタラクティブジョブの即時実行要求に対応できていない点を指摘している。その上で、これらの課題に対し HPC システムに OSub を採用することでどのような利益が期待でき、どのような障壁があるかについて論じ、本研究の目的と貢献を示している。

第 2 章「Background: High-Performance Computing Systems and Resource Management」では、本論文を理解する上で必要な知識として、HPC システムの基本構成、ジョブスケジューラの役割等について詳説している。特に、代表的なスケジューリング手法と、バッチジョブとインタラクティブジョブの特性の違いについて述べ、本研究で扱う課題の技術的背景を明確にしている。

第 3 章「Oversubscribing in HPC Systems: Fundamentals and Research Strategy」では、双方のジョブに対応するための方策として、専用ノードを確保する等の現在の大規模 HPC システムで用いられる方式の限界を分析している。その上で、OSub に基づいたシステム実装として、単一パラメータ (多重度 M) によるシンプルな制御方式を提案し、現在の HPC システムと対比した利点を議論している。

第 4 章「Performance of Applications under Oversubscribing Scheduling」では、OSub がアプリケーション性能に与える影響を定量的に評価している。この評価実験では NAS Parallel Benchmark を用いて性能劣化を系統的に評価し、並列アプリケーションの性質との関係を論じている。またハードウェアカウンタ解析を通じて、OSub がアプリケーション性能に与える影響を詳細に分析している。以上を受けて構築された性能モデルは、OSub 採用時のアプリケーション性能を 92-98% の精度で予測しており、本論文の重要な貢献の一つとして挙げられる。

第 5 章「System-wide Effect of Oversubscribing Scheduling」では、実運用環境からの長期ワークロードトレースを用いたシミュレーション評価により、システム全体での OSub の効果を検証している。OSub がインタラクティブジョブの待ち時間をほぼゼロに削減しながら、システム全体の性能劣化を許容範囲内に抑制できることを示している。これにより、提案するスケジューリング手法が利用者の利便性に直接大きな貢献を果たすことを示している。

第6章「Effect of Oversubscribing Scheduling for Interactive Jobs」では、TSUBAME3.0スーパーコンピュータ上での実測に基づき、インタラクティブジョブの挙動を詳細に分析している。その分析に基づき、システム全体および各ジョブへの性能の影響をシミュレーションにより評価している。この章の成果は第5章の実験を基礎としつつ、インタラクティブジョブの特徴であるプロセッサ利用率の大幅な変動がある環境において、即時実行性・各ジョブの性能維持・システムの高利用効率を達成することを示した、世界に例を見ないものである。さらには将来のHPCシステムを想定した、インタラクティブジョブの比率が大幅に増加する環境においても、良好な性能を維持できることを実証しており、提案方式の優れた将来性を示している。

第7章「Physical Demonstration of Oversubscribing Scheduling」では、実クラスタシステム上でのOSubの実装と評価を行っている。第5章と第6章においてシミュレーションにより評価したOSubシステムを、実システム上でSlurmジョブスケジューラの拡張として実装を行い、その上でインタラクティブやバッチジョブに相当する多数のワークロードを動作させた。このような実験により、シミュレーションで確認されていた提案システムの便益は実システムにおいても得られることを実証しており、提案手法が実用性にすぐれることを示している。

第8章「Conclusion」では、本研究の成果を総括し、また大規模システムでの検証や、メモリ容量の最適化、コストパフォーマンスモデルの構築など、将来の研究方向性を示している。

以上のように、本研究はHPCシステムにおける多様なワークロードの効率的な管理のために、OSubスケジューリングの実用性を包括的な評価を通じて実証している。特に、実運用環境のデータに基づく詳細な分析と、インタラクティブジョブが支配的な環境での有効性の実証は、今後のHPCシステムの運用方式に重要な示唆を与えるものとして高く評価できる。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。