

## 論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	若村 浩明
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学専任講師	博士（理学）	古池 達彦
副査	慶應義塾大学教授	博士（理学）、医学博士	藤谷 洋平
	慶應義塾大学教授	博士（情報理工学）	山本 直樹
	慶應義塾大学専任講師	博士（理学）	長谷川 太郎
<p>(論文審査の要旨)</p> <p>学士（理学）、修士（理学）若村浩明君の学位請求論文は、「量子系における最適制御：最適状態保護と最速制御」と題し、全8章よりなる。</p> <p>量子情報処理が現実のものになりつつあるのに従い基礎理論の重要性は急激に高まっている。特に近未来に実用化されると言われるエラー訂正機能を持たない量子計算機においては、ノイズによる量子状態の劣化を防ぎ、コヒーレンスを消失する前に素早く計算を行うことが必須である。一方、情報処理の効率性の原理的限界を見出すことを通じて量子力学そのものの理解を深めることができる。本論文の主題はノイズ下の量子状態の保護および時間最適な量子操作である。</p> <p>第1章において研究背景が概観され、第2章で量子操作の一般論、第3章で量子ビット系の数理が既存研究に基づき解説される。</p> <p>第4章と第5章で、量子状態保護に関する研究成果が述べられる。入力状態がノイズを受けた後、量子操作によってできるだけ元の状態を回復する問題が議論される。第4章で、事後操作だけでは、任意の入力状態を保護することは本質的に不可能であることが示される。既存研究から、入力が二つの既知状態のいずれかである場合は事後状態を弱く測定してから操作する「真に量子的な」最適状態保護操作が存在することが知られているので、状態保護のためにはノイズを受ける前の状態のある程度知ることが本質的に必要であると示唆される。第5章において事前事後制御の問題が論じられる。古典的方法とは、何も操作を行わない方法、および、事前に射影測定を行い事後に射影測定後の状態を再準備する方法の二つであるが、偏りのないノイズの下での一量子ビット、およびある種のノイズの下での多量子ビットの場合について、古典的な方法を超える真に量子的な方法はないことが示される。従来研究とあわせて考えると、有効な量子的な状態保護方法が存在するためには、ノイズに偏りがあることが必要であると推論される。</p> <p>第6章と第7章で、ハミルトニアンを所与の制限下で操ることにより所望のユニタリ変換を最速で実現する「時間最適量子制御」の問題が論じられる。「量子量速曲線法 (QB)」と呼ばれる変分原理に基づく一般的枠組が存在するが、第6章では、ポントリャーギンの最大値原理 (MP) を用いることにより QB が大幅に拡張される。特に大きな進歩は従来扱えなかった不等式拘束が扱えることで、これにより理論は実用上および理論上遭遇するほぼすべての系に適用可能になった。一方、MP は一次変分に相当する最適性の必要条件であるため、条件を自明に満たし最適解の候補から除外できないような、特異的な制御が存在してしまう。この特異的な制御が最適になる可能性を排除または吟味するため、二次変分に相当する MP を超えた解析が行われ、特異制御の最適性条件が見出された。さらに、理論を適用することで、拘束条件の特徴に応じて最適制御にどのような制限がつくかが一般的に論じられた。</p> <p>第8章で以上の結果が総括されている。</p> <p>本論文において、量子状態保護の最も基本的な状況での原理的限界が厳密に導かれ、時間最適問題に対しては非常に適用範囲が広い一般論が展開された。これらは量子情報処理および量子基礎の分野への大きな貢献であり、今後の応用および発展も期待される。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。</p>		