

Graduate School of Creative Science and Engineering
Waseda University

博士論文審査報告書
Doctoral Dissertation Review Report

論文題目
Dissertation Title

Design of robot systems with self-healing function utilizing melting-solidification
phenomenon

溶融凝固現象を用いた自己修復機能を持つロボットシステムの設計に関する研究

申請者
(Applicant Name)
Shota MIYAKE
三宅 章太

Department of Modern Mechanical Engineering Research on Intelligent Machines

February, 2023

(1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す．

- ・ 2023年11月24日 予備審査会
- ・ 2023年12月8日 教室受理決定
- ・ 2023年12月22日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- ・ 2021年1月17日 リーディング大学院実体情報学QE3と公聴会実施
実体情報学博士プログラム修了要件は，専攻審査の合格と
プログラムQE3の合格である．
- ・ 2022年2月8日 審査分科会
- ・ 2022年2月25日 研究科運営委員会

(2) 論文背景・内容・評価

ロボットの世界での稼働台数は，年々着実に増加しており，今後もこの傾向は続くと予測されているが，機能維持のためのメンテナンスや破損部の修理を行う体制，方法が課題として浮上しつつある．自動車のように整備工場の設置というサービス体制も必要であるが，人の形態・機能に近く，自律性を有するロボットであるならば，人と同様の恒常性や自然治癒能力すなわち自己修復機能をロボット自身が有することが理想形として期待できる．

ロボットシステムにおける自己修復には様々なレベルがあるが，ハードウェアレベルで捉えるならば，本質的な自己修復とは機械構造内の破壊した原子分子間の結合を修復し，かつロボットの機能も回復することである．そのためには自己修復材料が持つ自己修復機構を必要とするが，従来の自己修復材料は強度，剛性等の機械的特性や加工性の不足，自己修復後の強度回復率の低さ，機械システムへの適応難易度の高さ等が原因で，本質的な自己修復が可能かつ高出力を維持できるロボットの実現は難しく，チャレンジングなテーマと位置付けられる．

そこで本論文では，熔融凝固現象を用いた自己修復材料が，修復後の強度回復率が高くかつ高強度であることに着目して，熔融凝固現象を利用して自己修復するロボットシステムを実現することを目指している．この研究を通して，熔融凝固現象をロボットシステムへ適用した自己修復機能の設計論および制御方法の構築を研究目的としている．

熔融凝固現象をロボットシステムに適応する際の問題は，自己修復する材料が熔融して液体となるため，機械構造を維持できないことにある．そこで，機械構造を維持するための構造材料と，自己修復を行うための修復材料の2種類の材料を利用することで，熔融凝固現象をロボットシステムに適用する方法論を提案している．また，熔融した修復材料が機構外部に流出してしま

うため、修復材料を機械的に機構内部に密閉する構造を提案し、自己修復による強度回復率の向上を実現している。

具体的なロボットシステムの開発と評価としては、直動型と回転型の自己修復する伝達要素をそれぞれ開発し、自己修復性能の評価実験を行っている。その結果、複数回の自己修復を経ても伝達要素の強度の低下は発生しないことを確認している。また、開発した伝達要素を1自由度のロボット関節に実装して行ったロボットシステムの自己修復性能評価実験では、過負荷により破壊して動作不能となったロボット関節が、伝達要素の自己修復によって再動作可能となることを確認し、ロボットが自己修復性能を獲得することを実験的に示している。

以上要するに、本論文は自己修復可能なロボットシステムを実現することを目的に、修復後の強度の回復率が高く高強度を実現できる自己修復として、熔融凝固現象を利用した設計・制御手法を提案し、実際にロボットシステムに組み込み、評価実験によってその有効性を示したものである。このように、自己修復手法を具体的に提案し、実システムで実証した研究はこれまでに無く、ロボティクス分野における学術的・技術的貢献は非常に大きい。さらに、この方法はロボットに限らず広く機械システムに応用可能であり、機械工学における設計・制御技術の発展にも大きく寄与するものである。よって、本論文は博士（工学）早稲田大学の学位論文として価値あるものと認める。

審査員

主査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 菅野 重樹

年 月 日 _____

副査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 高西 淳夫

年 月 日 _____

副査 早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 宮下 朋之

年 月 日 _____

副査 早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 尾形 哲也

年 月 日 _____

副査 早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 岩田 浩康

年 月 日 _____