

博士論文審査報告書

論 文 題 目

人工循環器系による機械システムの
自己修復・自己維持機能に関する研究
Self-repairing and self-maintenance
functions based on artificial circulatory
system

申 請 者

| | |
|----------|----------|
| 長濱 | 峻介 |
| Shunsuke | NAGAHAMA |

総合機械工学専攻 知能機械学研究

2017年2月

(1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す。

- ・ 2016年11月15日 副査説明会
- ・ 2016年12月1日 予備審査会
- ・ 2016年12月8日 教室受理決定
- ・ 2016年12月22日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- ・ 2017年1月10日 博士論文読み合わせ会
- ・ 2017年1月26日 公聴会
- ・ 2017年2月8日 審査分科会
- ・ 2017年2月25日 研究科運営委員会

(2) 論文背景・内容・評価

機械やインフラの複雑化が急速に進む中，これらシステムの維持管理，メンテナンスが大きな課題となりつつある．コンピュータシステムの場合には，自己診断やその診断結果に基づくプログラムやデータの自動修復といった技術が既に実用化され，大小問わず，ほとんどのシステムに組み込まれるようになった．一方，機械システムの場合には，ハードウェアの故障や動作不良を検出することはできたとしても，自動的に防ぐ，自動的に修復するといったことはほとんど実現されていない．今後，機械の複雑さはIoTの発展とともにさらに複雑化することは必至であり，人間，動物と同様に，機械システムでも自己保存の機能を組み入れることを考えるべき状況に至っていると言えよう．

自己保存の機能とは「自己修復機能」「自己維持機能」「自己充足機能」の3つの機能を指している．自己修復機能は，導線，センサ，構造部材などに故障が生じた際に，それらを自動的に修復し機能を復帰させることである．動物でいえば，創傷治癒にあたる．自己維持機能は，ベアリングなどの摺動部の潤滑や，モーターの温度の調節等適切に行う機能のことである．動物でいえば，ホメオスタシスの機能にあたる．自己充足機能は，エネルギーや材料の自己補充の機能である．動物でいえば，有機物の摂取によるエネルギー生産および身体を構成する物質を生産することであり，代謝の機能にあたる．これまで，自己修復材料やセルフメンテナンス，エネルギーなどに関する研究・技術開発などが行われているが，これらの研究や技術は，個々の要素として自己保存の機能を実現しているだけであり，統一的な仕組みでシステム全体の自己保存の機能を目指している訳ではない．このような背景のもと，本論文は，動物の自己保存の機能が血液循環系を中心として実現されていることに着目し，機械システムに循環系を組み込み統一的に自己保存の機能を実現することを提案している．

具体的には、自己保存の機能の内の「自己修復機能」と「自己維持機能」に着目して、機械系および電気系部品の修復およびシステムの維持を人工循環器システム（循環系）により実現している。機械系部品の修復では、材料の摩耗や損傷箇所への循環系から金属イオンや液体樹脂などの供給を行い、電解析出や触媒反応を利用して固定化することで、摩耗や損傷箇所を金属粉の補填により回復させる手法を提案し、ロボットの関節部分への適用、駆動機構であるワイヤの修復を実現している。電気系部品の修復においては、循環系から供給された材料を設計図に基づき再配列することで、破壊前の形態・機能の回復を実現する手法を提案している。設計図として“場”（磁場）を用い、材料には強磁性の粉体、材料供給には循環系を用いている。場に材料を供給することで、材料は場の形状に合わせて凝集し、形（実体）を作る。本論文では、この仕組みを利用して修復する導線および変位計測センサを開発し、導電率の回復、センサ部が無くなる破壊状態からの回復を実証している。また、循環系を備えたシステムの安定的な運用・維持のために、損傷部や潤滑などの必要な箇所に物質を安定的に輸送する機構、溶液状態の恒常性を維持し老廃物を除去する機構、循環系中の物質を分離する排泄の機構を、カプセル化技術およびフィルタを利用して実現する方法を提案し、評価実験によりその有効性を確認している。

以上要するに、本論文は、自己保存の機能を統一的に実現するという目標を掲げ、人間、動物の機序を模倣した人工循環器システムを構築し、そこからの物質供給を利用した自己修復機能および自己維持機能を提案したものである。実際に、導線、センサ、構造部材、摺動部品、アクチュエータの修復を実現し、システムの維持に必要な物質の運搬技術および老廃物除去機構を開発している。機械システムにおける自己修復・自己維持機能の実現は、これからの機械システムの設計・制御手法に新たなアプローチを提示するものであり、この分野の発展に大きく寄与するだけでなく、循環系の工学的実現は動物の創傷治癒・ホメオスタシスへの構成論的アプローチとも捉えることができ、工学のみならず生物・医学分野への貢献も大である。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2017年2月

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 医学博士 (東京女子医科大学)、
工学博士 (早稲田大学) 梅津 光生

年 月 日 _____

副査 早稲田大学教授 工学博士 (東京大学) 大谷 淳

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 _____