

部品エージェントを用いたマニピュレータ間のモジュール交換 - モジュール交換環境の構築 -

Exchange of modules among robot manipulators with part agents - Implementation of module-exchange environment -

精密工学専攻 43号 深澤佑樹

Yuki Fukazawa

1. 序論

現在、環境問題を解決するために環境負荷の少ない循環型社会への移行が求められている。しかし循環型社会が推進する 3R の中でリユースはあまり普及していない⁽¹⁾。その原因としてはリユース品の性能がどのくらい劣化しているか、また残りの寿命はどのくらいかなどがユーザから見えにくい点にある。リユースを普及させるためには、製品を構成する部品の使用履歴を記録し管理する、部品の使用状況から劣化の進展や故障を予想する、必要に応じてユーザに部品交換を提案するなどの機能を持つシステムが望まれる。

これらの機能を実現するために、ネットワークエージェントと RFID を用いた部品エージェントシステム⁽²⁾を開発している。従来研究では、部品エージェントの動作に基づく部品のライフサイクルシミュレーション⁽³⁾が行われているが、シミュレーションだけでなく実際の製品を用いた部品交換が求められる。本研究では、実際の製品を用いてモジュール交換を行うための課題を述べ、簡単なマニピュレータを例にとり、その課題の解決方法を考案し、実際に実装して効果を確かめる。

2. モジュール交換の指針

自動車やノートパソコンなどといった機械製品のリユースを促進するためには、部品の一体化(モジュール化)や製品間の部品の共通化が求められる⁽⁴⁾。また、製品使用時に一部のモジュール部品を交換・追加することで、製品の性能や価値を再向上させ、製品の寿命を拡張させることができる⁽⁵⁾。

これらの研究は、製品をモジュール化することによる低コスト化や、モジュールのリユースによる製品の性能向上について述べている。本研究では、部品エージェントシステムを用いて、製品使用時にモジュールの交換を行い、モジュールにかかる負荷を均等化し、モジュールの寿命を長持ちさせることを目指している。このモジュール交換を実現するための課題として以下が挙げられる。

- (1) モジュールを交換する仕組み(交換環境の構築)
- (2) 製品をモジュール交換に対応できるようにする
- (3) モジュールの状態の監視方法
- (4) モジュールの履歴の管理方法

これらの課題を解決することで、モジュール交換を達成できる。本研究では、簡単なマニピュレータを例にとり、この課題の解決方法を考案し、実際に実装して効果を確かめる。

3. 部品エージェントシステム

部品エージェントシステムは、部品の生産から廃棄までのライフサイクルを管理し、部品の状態に応じて他の部品エージェントと連携を行いユーザに保全行動を促すシステムである。部品エージェントシステムの構想を Fig. 1 に示す。

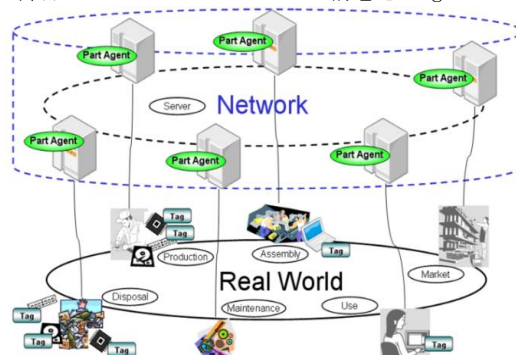


Fig. 1 The part agent system

部品エージェントは管理対象の部品個々に割り当てられているネットワークエージェントである。ネットワークエージェントはプログラム単体での自律的な処理の実行とネットワーク上の移動ができるため、ネットワークに接続されればどこでも製品や部品の状態を把握できる。RFID 技術に基づく電子タグもしくは通信機能を有するマイクロコントローラを部品作成時に部品に取り付け、部品が廃棄されるまで部品とネットワーク上の部品エージェントを繋げることで、部品のライフサイクル全体にわたって部品の情報を管理できる。それゆえ部品エージェントは製造工場、販売所、ユーザ、廃棄といった部品のライフサイクルステージで、ステージに対応した挙動を実現できる。

4. モジュール交換環境の構築

4.1 モジュール交換の基本構想

モジュール交換を実現するために、モジュール交換環境の構築が求められる。モジュール交換の基本構想⁽⁶⁾を Fig. 2 に示す。製品は複数のモジュール部品によって構成され、モジュールには RFID タグが取り付けられる。RFID によってモジュールは識別され、ネットワーク上の部品エージェントと対応付けられる。コンピュータは、製品の制御だけでなく、モジュールに取り付けられたセンサの値を収集してモジュールの状態を把握するために使用する。また、収集した情報はネットワーク上のモジュールに対応する部品エージェントに送信される。部品エージェントは送られてきた情報に基づいて対応するモジュールの劣化状態を予測する。劣化の進行

度に応じて他の部品エージェントと連携して交換相手を選択する。交換相手が見つかったらモジュールが所属している製品のコンピュータを通してユーザに交換を提案する。なお、劣化予測方法や交換相手の選定にライフサイクルシミュレーション⁽³⁾で得た結果を用いることで、部品エージェントシステムの機能評価が可能となる。

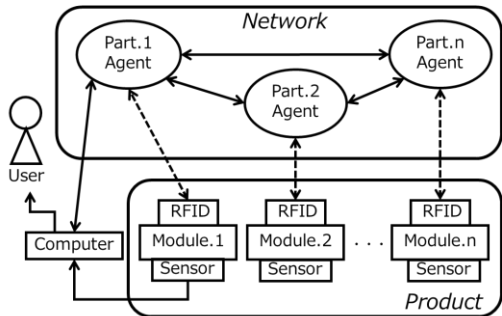


Fig. 2 Basic concept of module exchange

4.2 モジュール交換環境

モジュール交換の基本構想に基づいてモジュール交換環境を構築した。モジュール交換環境では、製品エージェントと部品エージェントの二種類のエージェントを定義した。

まず、製品エージェントについて説明する。製品エージェントはネットワークエージェントであり、製品に所属するモジュールを管理し、部品エージェントに動作指示や交換時のモジュールの対応付けを行う。

次に、部品エージェントについて説明する。部品エージェントが行う処理を Fig. 3 に示す。

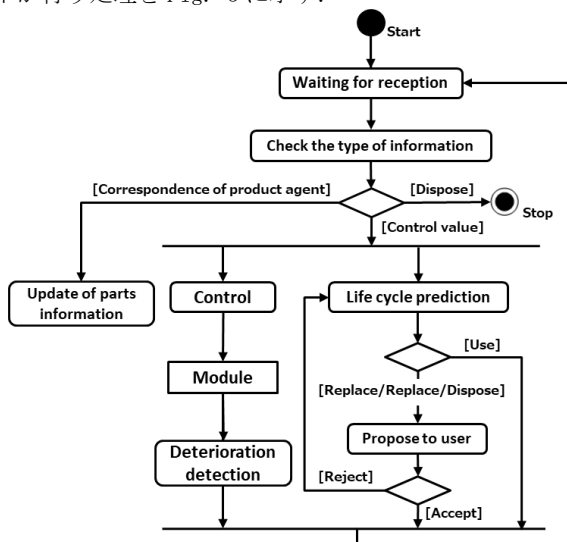


Fig. 3 Behavior of the part agent

部品エージェントは製品エージェントからの制御情報を受信するまで待機し、製品エージェントから制御情報を受信した時、モジュールを制御しながら劣化検知を行い、モジュールの状態から将来予測を行う。製品エージェントから製品情報を受信した時、部品エージェントは部品の情報を更新する。また、対応するモジュールの情報を保持しており、ユーザは使用履歴を閲覧できる。

4.3 モジュール交換の流れ

製品エージェントは、コンピュータから制御情報を取得し、部品エージェントに送信する。部品エージェントは、製品エ

ージェントからの制御情報を受信し、モジュールを動作させる。動作中は常にモジュールの劣化状態を把握し、劣化状態と劣化モデルから将来予測を行う。将来予測の結果が交換、修理、廃棄の状態を選択した時、部品エージェントはユーザに予測内容を提案する。ユーザは、部品エージェントからの提案を承認するか選択する。ユーザが提案に承認したら、製品エージェントは部品エージェントを通して全てのモジュールを停止する。ユーザはモジュールを取り外し、将来予測で提案された交換場所にモジュールを移動する。モジュールは交換場所に移動後、ユーザにより RFID が認識される。認識された RFID の情報から、部品エージェントは製品エージェントと対応付けられる。製品エージェントはコンピュータから制御情報を取得し、部品エージェントに情報を送信する。

5. モジュール交換対応のマニピュレータ

5.1 開発したマニピュレータ

モジュール交換に対応した3自由度マニピュレータを開発した⁽⁷⁾。製品を構成するすべての部品にセンサなど部品の状態を把握する仕組みを設ける事は現実的ではないため、マニピュレータを機能ごとに分割した。開発したマニピュレータを Fig. 4 に示す。

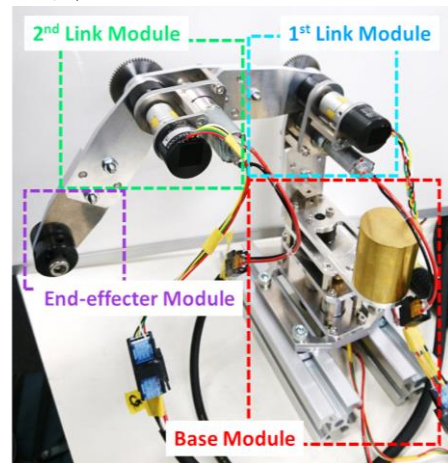


Fig. 4 Modularized manipulator

マニピュレータはベースモジュール、二つのリンクモジュール、エンドエフェクタモジュールの四つのモジュールで構成される。エンドエフェクタモジュールは電磁石が取り付けられており磁性のある金属を運搬できる。

次にモジュール間の結合について説明する。モジュール間の結合を Fig. 5 に示す。

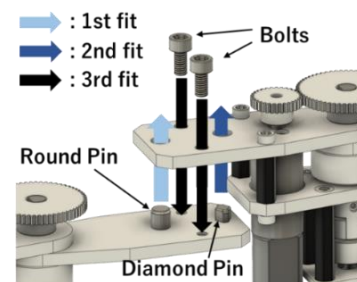


Fig. 5 Combination between modules

マニピュレータはモジュール交換を行う前後で同じ作業を要求される。そのため、モジュール間での結合には高い組

み立て精度と簡単に着脱ができることが求められる。リンクモジュールは、モジュール中央に関節を持つため、リンク部分で結合することができ、簡単なモジュール交換が可能である。そこで、長さや形状の異なる位置決めピンとボルトによる結合方式を採用した。結合は以下の3ステップで行う。

- Step.1 丸ピンをはめ、位置拘束を行う。
- Step.2 ひし形ピンをはめ、回転拘束を行う。
- Step.3 ボルトを締結し、完全に拘束する。

5.2 部品エージェントの機能

モジュール交換環境に基づいたマニピュレータのための部品エージェントの機能について説明する。本研究では、エージェント間の情報伝達機能、モジュールの制御機能、劣化検知機能、将来予測機能を開発した。本節では、モジュールの制御機能と劣化検知機能について説明する。

部品エージェントによるモジュールの制御と劣化検知手法を Fig. 6 に示す。製品エージェントは、製品全体の姿勢制御に必要な各モジュールの目標角度情報を保持している。部品エージェントは、製品エージェントから目標角度を受信し、この目標角度とモジュールの角度センサから取得した角度情報を元に制御を行う。モジュールは動作を繰り返すと出力電圧に変化が見られる⁽⁶⁾。この出力電圧の変化をモジュールの劣化とし、劣化量は電圧制御値と初期状態の制御値を比較して検出することでモジュールの状態を監視できる。

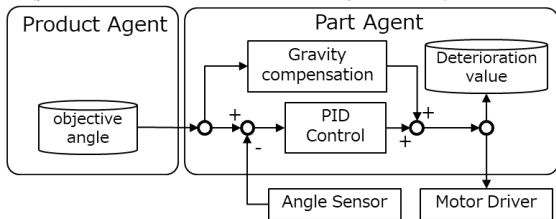


Fig. 6 Module control and deterioration detection

6. 手先位置の誤差評価実験

6.1 誤差評価実験目的

モジュール交換環境がモジュール交換に適しているか評価するためのモジュール交換実験を行う前に、開発したマニピュレータを評価する必要がある。開発したマニピュレータは、5.1節で述べた結合方式でモジュール間を結合しているが、実際にモジュールを交換した際に同等の作業が成立しなければならない。また、部品エージェントによるモジュールの制御が、集中制御と比較して同程度の作業ができることが求められる。本実験では、部品エージェントによるモジュール制御と集中制御の二つの制御を行い、同じ目標軌道を与えた際のモジュール交換の前後の移動距離を計測し、手先位置の誤差からマニピュレータを評価する。

6.2 誤差評価実験方法

実験動作を説明する。まず最初に二つのリンクが水平になるように開始姿勢を取る。次に根本側の第一リンクモジュールが時計回りに40[deg]、手先側の第二リンクモジュールが反時計回りに20[deg]となるような姿勢を目標姿勢とし、各関節を駆動する。目標姿勢到達後1秒待機してから開始姿勢に戻る。この動作中の手先位置の移動距離をモジュールの交

換の前後で比較する。製品エージェントから部品エージェントには50[ms]おきに目標角度の情報が送信される。

6.3 誤差評価実験結果

部品エージェントによるモジュール制御での移動距離を Fig. 7 に示す。目標姿勢時に目標値から約0.7[mm]程度上回っている。これは解析時の撮影フレームレートから生じる測定位置のズレの影響と推測されるが、モジュール交換前後で比較すると似た挙動をしているため、モジュール間の結合は制御に影響していないと判断した。

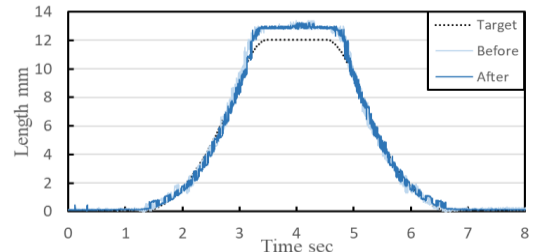


Fig. 7 Migration length using module control

次に、集中制御による手先の移動距離を Fig. 8 に示す。

Fig. 7 の部品エージェントによるモジュール制御と比較して同様の結果が得られていることから、制御の違いによる作業への影響はないと判断した。

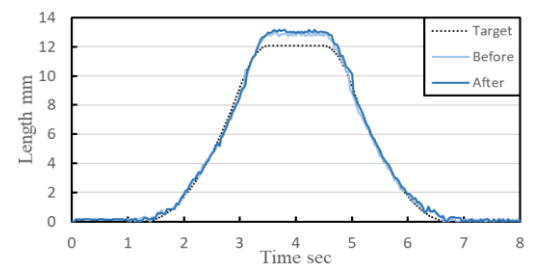


Fig. 8 Migration length using integrated control

これらの結果から、開発したマニピュレータはモジュール交換に対応していることが分かった。

7. モジュール交換実験

7.1 モジュール交換実験目的

2章で述べた実際にモジュール交換を行うための課題に対して、簡単なマニピュレータを例にとり課題の解決方法を考案し実装した。また手先位置の誤差評価実験からマニピュレータがモジュール交換に対応していることを確認した。

本実験は、実際に開発したマニピュレータを用いてモジュール交換を行い、実装した機能とモジュール交換環境の評価を行う。まず将来予測機能評価のための劣化モデルの作成を行う。次にモジュール交換実験を行い、劣化検知機能が問題なく動作すること、劣化モデルが将来予測機能で使用可能であることを確認する。最後に、構築したモジュール交換環境がモジュール交換に適しているか評価する。なお、5.2節で述べたように、劣化量は動作ごとの出力電圧から初回動作の出力電圧を引いたものとし、劣化モデルはこの劣化量を動作ごとに加算していき線形近似したものとする。また、将来予測機能は処理に大きな負荷をかける恐れがあるため、劣化量の閾値を設定し、その閾値を上回った時にユーザに交換を促すこととした。

7.2 モジュール交換実験方法

劣化モデル作成の方法を説明する。5 台のリンクモジュールを用意し、各モジュールに 50[g]から 250[g]まで 50[g]おきに重りを取り付ける。アームが水平となる位置を開始姿勢とし、時計回りに 45[deg]となる姿勢を目標姿勢とする。目標姿勢到達後 1 秒待機してから開始姿勢に戻る。この動作を 1 サイクルとし、各モジュールで 1000 サイクル行う。この時の劣化量を計測し、劣化モデルを作成する。

次にモジュール交換実験の方法を説明する。交換実験では 1 台のマニピュレータ、すなわち 2 台のリンクモジュールを用いて実験を行う。マニピュレータの先端には 50[g]の重りを取り付け、Fig. 9 に示す動作を繰り返し行う。

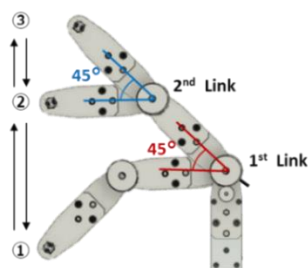


Fig. 9 Trajectory of the experimental motion

動作は、①の姿勢を開始姿勢とし、②の姿勢となるように第一関節を駆動する。姿勢到達後 1 秒待機してから③の姿勢となるように第二関節を駆動する。姿勢到達後、②の姿勢を経由して開始姿勢に戻る。この動作を 1 サイクルとする。

各モジュールには劣化量の閾値を設定し、劣化量が閾値を上回ったらモジュールに対応するエージェントが交換を希望する。エージェントが交換を希望後、もう片方のモジュールと交換を行い、同様の動作を繰り返す。どちらのエージェントも劣化量の閾値を超えたら実験を終了する。なお、劣化量の閾値は 1.5 とした。また、第一関節には最大 3.1[kgf・cm]の負荷が、第二関節には 0.5[kgf・cm]の負荷がかかる。

7.3 モジュール交換実験結果

劣化モデル作成時のモジュールの劣化を Fig. 10 に示す。

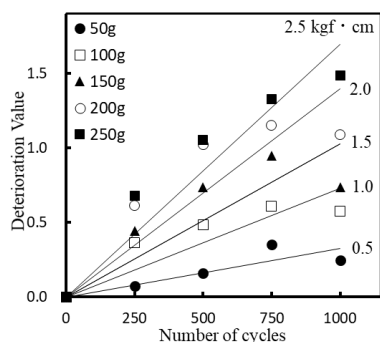


Fig. 10 Deterioration value of each modules

重りが重くなるほど劣化量が大きくなる事が分かる。また、各モジュールの劣化量を線形近似することで劣化の傾向を確認した。この劣化の傾向から、劣化量を D_v とした時の劣化モデルは式(1)となった。

$$D_v = 6.8 \times 10^{-4} \times Load[kgf \cdot cm] \times Number\ of\ cycles \quad (1)$$

次に、モジュール交換実験の実験結果と劣化モデルとの比較を Fig. 11 に示す。679 回目に第一リンクモジュールの劣

化量が閾値を上回ったため、第一リンクモジュールと第二リンクモジュールの交換を行った。交換後 691 目に第二リンクモジュールが閾値を上回ったため実験を終了した。

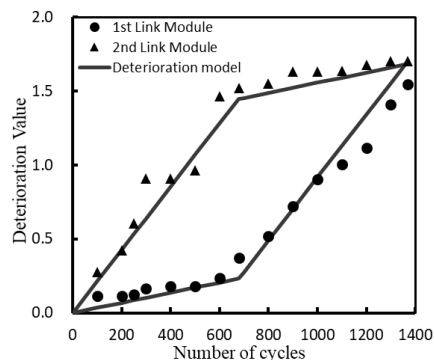


Fig. 11 Results and Comparison

この結果から、劣化検知機能が問題なく動作し、劣化モデル通りに劣化していることが分かる。そのため、劣化モデルは将来予測機能に使用できる。次にモジュール交換環境について、モジュール交換の流れの通りにモジュール交換が実現可能であることから、モジュール交換環境はモジュール交換に適している。今後はモジュールに RFID を取り付け、製品エージェントによる対応付け機能の開発を行い、より現実的なモジュール交換が求められる。

8. 結論

モジュールに基づくリユースの推進のために、実際にモジュール交換を行う際の課題を述べ、マニピュレータを例にその解決方法を考案し、実装して効果を確かめた。

参考文献

- (1) 環境省_使用済製品等のリユースの促進について、<http://www.env.go.jp/recycle/circul/reuse/index.html> (accessed 2021-01-16)
- (2) 本多裕一, 深澤佑樹, 栗山大祐, 平岡弘之, 機械部品リユースのための部品エージェントシステムの基本機能, 2020 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2020) pp.25-26.
- (3) 谷川連陸, 菅原卓巳, 平岡弘之, 人の意思決定を考慮した部品エージェントシステムのシミュレーション, 2020 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2020) pp.329-330.
- (4) 朝賀泰男, 杉浦豪軌, 西垣英一, 青井一郎, 槇野浩司, 昆俊雄, 高野泰英, 標準化部材をモジュール構成とした車体構造設計の研究, 日本機械学会論文集, Vol.83, No. 853 (2017), pp.17-00088.
- (5) 柴田知世, 山田周歩, 山田哲男, 井上全人, 製品のアップグレード設計への適合性評価, 日本機械学会論文集, Vol.83, No. 851 (2017), pp.17-00082.
- (6) 福増悠貴, 平岡弘之, 部品エージェントを用いたマニピュレータ間のモジュール交換, 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2018) pp.803-804.
- (7) Y. Fukazawa, Y. Honda, H. Hiraoka, Part agents for exchanging modules of manipulators, EcoDesign 2019 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, (2019) pp281-295.