

塗型製作のための塗装作業自動化技術の開発

Development of the painting automation technology to manufacture casting products

技術開発部 プロジェクト研究科 安藤久人 松本聖可
応募企業 株式会社社会津工場

生産年齢人口の減少を背景に、製造現場ではAI・IoT、ロボット等を導入し工場のスマート化が進められている。課題は、中小企業がそれら最新技術の投資に見合う効果が得られるかどうかを事前に検証することが難しい点である。本研究では、鑄造を担う県内企業からのニーズをもとに塗型製造工程の省力化に取り組んだ。一定の塗装条件で塗料を拭きならす工程をロボットに置き換え、手作業と同等の仕上げができるための条件を提示した。また、作業時の負荷力が±20[N]の範囲内であることなど数値化・可視化を行った。

Key words: 塗型、ロボット、省力化、数値化・可視化

1. 緒言

少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少により、工場等の製造現場では人員不足が課題となっている。この課題解決のため、AI(人工知能)やIoT(あらゆるものをインターネットで繋ぐこと)、ロボット等を導入した工場のスマート化が進められている。

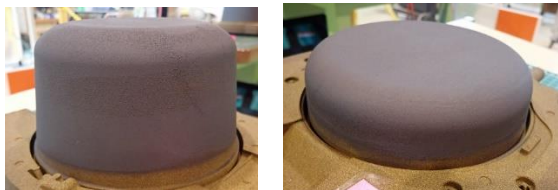
課題として導入後の効果を事前に検証することが難しいことが挙げられる。今回、鑄物製造を担う県内企業から作業工程の省力化について検証したいとの要望を受けた。具体的には、塗型(とがた)と呼ばれる鑄型に塗料を均一に塗布する作業の省力化である。この検証のためには、現状の作業工程の中でロボットや他の自動機で置き換えるために必要な条件の抽出、作業条件の数値化や可視化が課題であった。

本研究の目的は塗型の製造工程の省力化を図ることである。そのため、作業工程から製品品質に影響を与える「塗装条件」、「拭きならし条件」を抽出し、抽出した条件の数値化・可視化を行った。また、手作業と同等の仕上がりを目標としてアーム型の産業用ロボットで検証した。

2. 研究の概要

2. 1. 実験ワーク

実験には円筒形状の2種類のワークを用いた。外観を図1に、寸法を表1に示す。高さが高い方がST8型、高さが低い方がST9型である。



ST8 型

ST9 型

図1 実験ワーク

表1 実験ワーク寸法

型名	塗装部寸法 外径×高さ[mm]	塗装部面積 [cm ²]	重量 [kg]
ST8	Φ144×80	524.77	2.93
ST9	Φ150×30	318.09	2.66

2. 2. 塗型製造の作業工程

現状の塗型製造の作業工程を図2に示す。(1)ワークの設置、(2)塗料の噴き付け、(3)塗料の拭きならし(上面)、(4)塗料の拭きならし(側面)、(5)塗料の拭きならし(仕上げ)と完成まで5つの段階を経る。時間は作業者によるが、およそ1分~1分30秒である。

(1)ワークを回転台(ろくろ)に載せ、マスキング用の板を被せる。(2)手動でワークを回転させ、スプレーガンで塗料を塗布する。(3),(4),(5)スポンジで塗料を拭き取り、均一に伸ばしながら仕上げていく。目視にて塗膜にムラがなければ完成である。

品質に影響を与える作業工程は、工程(2)の「塗装条件」と工程(3),(4),(5)の「拭きならし条件」である。本研究では、塗装条件は事前に規定し、拭きならし動作の自動化を行って、省力化を検証した。



(1)ワークの設置

(2)塗料の噴き付け



(3),(4),(5)拭きならし

完成

図2 塗型製造の作業工程

3. 実験

3. 1. 実験方法

3. 1. 1. 塗料の比重と塗布方法

塗料は水にカーボンを拡散させたものであり、その比重はボーメ度計¹⁾により管理されている。本研究では比重をボーメ度計で55とした。

また、塗布方法は「どぶ漬け」を試したが一定量の塗料を塗布するのは困難であった。そのため、現状のスプレーガンによる方法とした。塗布圧力は、現状の作業工程と同等の0.6[MPa]とした。

3. 1. 2. 自動回転台の設計・製作

現状、ワーク回転台は手動であるが、図3に示すようにロボットの動きと連動してワークを回転させることができる自動回転台を設計製作した。

搭載できるワーク最大重量は15[kg]、回転速度は0~60[rpm]まで可変。起動、運転、停止時に必要なトルクは安全率2.0と余裕を持って設計した。

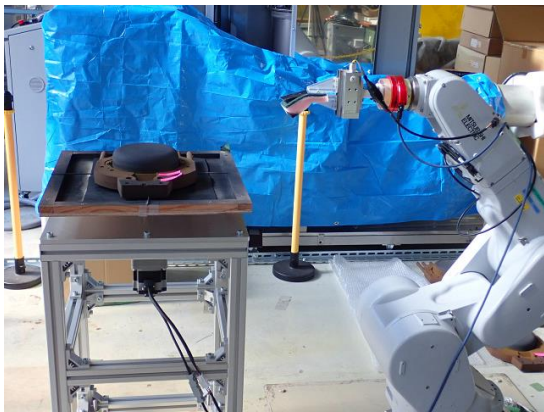


図3 自動回転台

3. 1. 3. 拭きならし動作

スポンジによる塗料の拭きならし動作は、6軸垂直多関節ロボット(RV-20F-D, 三菱電機株式会社)を用いて行った。ロボットの動作に合わせて回転台が起動、停止するようシーケンサ(FX3S, 三菱電機株式会社)を用いて制御した。

3. 2. 実験条件

3. 2. 1. 塗布条件

塗布条件を表2に示す。スプレーガンに塗料を入れ、圧縮空気により噴き付けた。圧力は0.6[MPa]とした。

表2 塗布条件

項目	内容
塗布方法	スプレーガン(圧縮空気)
塗布圧力	0.6[MPa]

3. 2. 2. 拭きならし条件

スポンジによる塗料の拭きならし条件を表3に示す。ワークの回転速度、及び拭きならしの動作軌跡を変えた場合の表面の仕上がり状況を比較した。

動作軌跡は、作業者の動作を真似て断続的な動作を行わせた場合を「動作A」とし、スポンジがワークに接触してから離れるまで一筆書きの連続した動作を行わせた場合を「動作B」とした。この時、スポンジの送り速度は5[mm/s]とした。

表3 拭きならし条件

項目	内容
ワーク回転数	6, 15, 30[rpm]
動作軌跡	断続的な動作「動作A」 一筆書きの動作「動作B」

3. 2. 3. 作業負荷の測定

ロボットに作用する負荷力の測定には、6軸力覚センサ(WEF-6A200-20-RCD-B, 株式会社ワコーテック)を用いた。図4に検出荷重 F_x 、 F_y 、 F_z の3成分とその向きを示す。矢印側が作用する力の正の方向である。

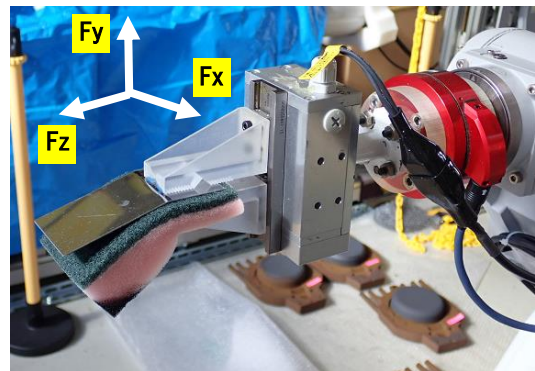


図4 検出荷重とその向き

4. 実験結果

4. 1. ワーク回転台の回転数

ワークに塗料を塗布し、回転速度を6, 15, 30[rpm]と変え、スポンジを上側から押し当ててワークの外周側から中心までスポンジを真っすぐ動かした。表面状態を図5に示す。

ワーク表面には渦巻状の軌跡が転写される。回転数の違いによる顕著な外観上の差はみられなかった。ただし、回転速度が30[rpm]の場合、ワーク外周側に塗装ムラが確認できた。これは外周部の周速が中心部よりも早いためであると考えられる。

また、30[rpm]よりも回転速度が速くなると、遠心力により回転中にワークが動いた。

以上から、ワーク回転台の回転速度は15[rpm]とした。

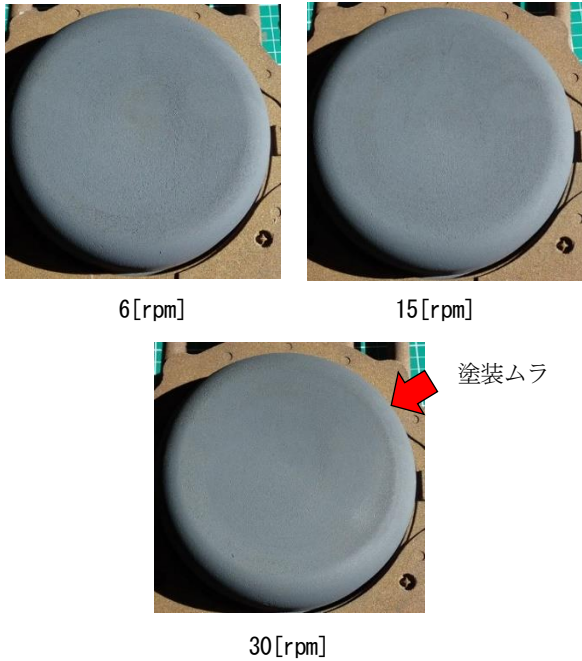


図5 ワーク回転数の違い

4. 2. 動作軌跡の違い

図6に動作軌跡の違いによる、ワーク表面の仕上がり状況を示す。動作A:断続的な動作の場合、上面、側面ともに塗装ムラが確認された。また、側面の塗装部の端部がぼやけた。動作B:一筆書きの動作の場合、上面、側面ともムラの無い塗装面が得られた。また、側面の塗装部端部の輪郭が明瞭であった。



(a) 動作A:断続的な動作(ST8型)



(b) 動作B:一筆書きの動作(ST8型)

図6 動作軌跡の違い

4. 3. 作業負荷の可視化

図7に動作B:一筆書き動作時のロボットに作用する負荷力の時間変化を示す。測定開始後およそ13[s]から42[s]までがワーク上面、およそ42[s]から97[s]までがワーク側面の拭きならし動作である。およそ100[s]から132[s]まで、仕上げのためワーク上面を3

回×2セット拭きならした。力の向きは図4に示したとおりである。上面の拭きならし動作時、 F_z 6.87[N]、 F_y 4.17[N]の力が、側面の拭きならし動作時、 F_y 18.26[N]、 F_x -18.98[N]の力が作用していることが分かった。これは、スポンジをワークに押し当てている方向と一致する。上面の拭きならし時の負荷よりも側面の拭きならし時の負荷が大きい理由は、ワーク側面に傾斜があることから、スポンジとワークが平行に当たっていないためであると考えられる。また、動作の切り替わりの際にピークが出る理由は、ロボットの動作の切り替わりで速度が大きく変わるため、加速度の急激な変化により慣性の影響を受けるためであると考えられる。

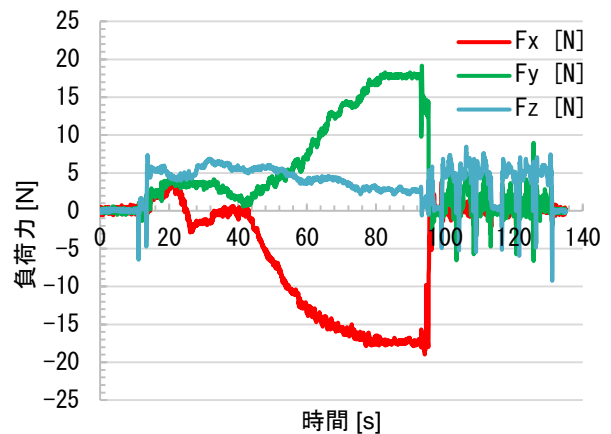


図7 ロボットに作用する作業負荷

5. 考察

5. 1. 成果

一定の「塗装条件」の元でワークの回転数、動作軌跡の違いによる仕上がり状態を比較した。また、拭きならし作業時の作業負荷を直接検出した。

以上から、省力化した作業工程の条件を表4に整理して示す。

表4 塗型製造工程の省力化条件

塗装条件		拭きならし条件	
方法	スプレーガン	使用ツール	スポンジ
比重	55	ワーク回転数	15[rpm]
		スポンジ送り速度	5[mm/s]
塗布圧力	0.6[MPa]	動作軌跡	一筆書き
		負荷力	±20[N] 以下

5. 2. 今後の展望

5. 2. 1. 品質の安定化

省力化には「塗装条件」と「拭きならし条件」が重

要であることが分かった。更なる品質の安定化のためには、「塗装条件」について、ワークの表面積に応じた塗布量の調整が有効であると考ええる。

また、「拭きならし条件」について、作業中の負荷を計測したが、その負荷を一定とするような制御が有効であると考ええる。

5. 2. 2. AI 技術活用の可能性

塗料を塗布する際に、ワーク表面に不織布を被せて塗料を塗布したところ、図8に示すような塗布マークの濃淡が確認できた。この濃淡をAIによる画像処理で認識し、塗装条件とする方法も品質安定化につながると思われる。

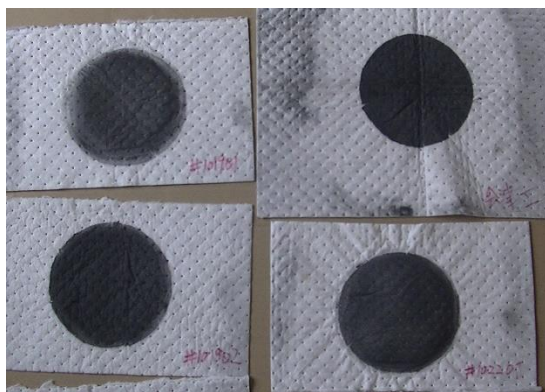


図8 塗布マーク

6. 結言

- ・作業工程の分析から、省力化には「塗装条件」、「拭きならし条件」が重要である。
- ・これら条件の数値化・可視化を行った。
- ・ワーク表面の塗料の拭きならし作業をロボットにより自動化した。
- ・作業時の負荷を計測し、数値化・可視化を行った。

参考文献

- 1) “比重計解説”. 横田計器製作所. <https://yokotakeiki.co.jp/contents/resource/hydrometers.html>, (参照 2022-2-2).