

	マツカ ダイスケ
氏 名	松家 大介
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博第1022号
学位授与の日付	平成28年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	ガルバノスキャナ位置決め装置における高速・高精度位置決め制御と軌道追従制御 (Fast and Precise Point-to-point and Trajectory Control for Positioning Systems of Galvanometer Scanner)
論文審査委員	主査 教授 岩崎 誠 教授 森田 良文 准教授 小坂 卓

論文内容の要旨

近年、我が国が抱える様々な課題(超高齢化社会、社会インフラの老朽化、地域経済の活性化など)に対して、情報通信技術(ICT; Information and Communication Technology)を活用して解決を試みる事例が増えている。今後も、ウェアラブル端末やモノのインターネット(IoT; Internet of Things)で使用されるセンサ・制御機器などの需要が急増すると見込まれ、その際に使用される電子機器には、高機能化、小型化、低価格化、省エネルギー化が求められる。これらの電子機器の高機能化には、半導体技術の進展が不可欠なのに加え、マイクロプロセッサなどの電子部品を搭載して電子回路として機能するプリント配線板の高密度化が非常に重要である。プリント配線板は、配線の微細化とビルドアップ配線板に代表される配線の多層化により市場の要求を満たしてきた。その一方で、電子機器の高機能化に伴い電子部品の搭載数は増加する傾向にあり、一つの電子機器における総ビアホール数も増え続けている。

本研究では、製造・検査装置に搭載され、使用される位置決め機構制御装置の有する問題を解決し、高性能な位置決め制御系の実現を目的とする。本研究で制御対象とする後ガルバノスキャナは、電子回路基板向け製造装置の一種であるプリント配線板向けレーザ穴明け装置(以下、レーザ穴明機と称す)に搭載し、偏向ミラーの角度を位置決めすることで

レーザ照射位置を決定する位置決め機構である。市場がレーザ穴明機に望む高い加工生産性と高い加工精度を満たすために、装置性能を決定づけるガルバノスキャナ位置決め制御装置は、高速かつ高精度に位置決めできる必要がある。そして、ガルバノスキャナの位置決め精度の劣化は加工誤差に直結するため、加工するプリント配線板で目標とする加工精度を満足するためには、全てのビアホール加工における位置決め動作で、所望の制御仕様(位置決め速度・位置決め精度)を達成する必要がある。

ガルバノスキャナ位置決め制御装置で、高速・高精度な位置決めを阻害する要因として、「高速化に伴い増大する発熱による機構共振・トルク特性の変動」、「動作モードの切り替え時に発生する過渡応答」、「駆動系に内在する非線形性や外乱」、がある。

本論文では、これらの要因により位置決め性能が劣化する問題の解決に取り組む前に、位置決め精度の劣化の程度を定量的に評価する方法を提案した。ここでは、時系列データである追従誤差信号を振動モード毎に分離し、周波数応答特性と導出されたモード特性値を比較することで発生要因の分析と位置決め性能劣化の程度を定量化した。

次に、「高速化に伴い増大する発熱による機構共振・トルク特性の変動」に対して、熱減磁補償法(TDC; Thermal Demagnetization Compensation)を提案し、解決を試みた。ここでは、ガルバノスキャナの抜熱性能と、実抵抗計測により得られる発熱比率から、永久磁石の温度を高精度に推定可能な発熱モデルを構築した。そして、発熱モデルに基づく操作量の補償を行うことで、位置決め精度の改善を図った。

そして「動作モードの切り替え時に発生する過渡応答」に対して、ノンストップトレパニング法(NST; Non Stop Trepanning)を提案し、解決を試みた。ここでは、PTP 動作と CP 動作を切り替えながら加工するトレパニング加工を対象とし、二つの動作モードを同一の FF、FB 補償器で実行するガルバノスキャナ位置決め制御装置において、様々な動作パターンを含む数万点を超えるビアホール加工でも滑らかな目標軌道が設計でき、動作モード切り替え時の過渡応答を抑制する方法を提案した。

三つ目の「駆動系に内在する非線形性や外乱」のうち、本論文では特に転がり軸受の性能が低下した際の位置決め性能の劣化について取り組んだ。ここでは、長期間運用されたガルバノスキャナに対し、回転子の可動範囲において一定間隔で機構特性を取得し、その傾向と変動量から転がり軸受性能低下の定量化を試みた。さらに、速度 FF 補償器により位置決め精度の改善を検討した。

本論文で提案された位置決め性能劣化の定量化法により、性能を劣化させる要因分析が容易になり、その程度も客観的に評価できるようになった。また、プラントの特性変動を推測・計測して補償し、また適切な目標軌道を設計することで、位置決め性能が劣化する問題を解決することができ、高速・高精度位置決め制御を実現した。

論文審査結果の要旨

本研究では、製造・検査装置に搭載され、使用される位置決め機構制御装置の有する問題を解決し、高性能な位置決め制御系の実現を目的とする。本研究で制御対象とする後ガルバノスキャナは、電子回路基板向け製造装置の一種であるプリント配線板向けレーザ穴明け装置(以下、レーザ穴明機と称す)に搭載し、偏向ミラーの角度を位置決めすることでレーザ照射位置を決定する位置決め機構である。市場がレーザ穴明機に望む高い加工生産性と高い加工精度を満たすために、装置性能を決定づけるガルバノスキャナ位置決め制御装置は、高速かつ高精度に位置決めできる必要がある。そして、ガルバノスキャナの位置決め精度の劣化は加工誤差に直結するため、加工するプリント配線板で目標とする加工精度を満足するためには、全てのピアホール加工における位置決め動作で、所望の制御仕様(位置決め速度・位置決め精度)を達成する必要がある。

ガルバノスキャナ位置決め制御装置で、高速・高精度な位置決めを阻害する要因として、「高速化に伴い増大する発熱による機構共振・トルク特性の変動」、「動作モードの切り替え時に発生する過渡応答」、「駆動系に内在する非線形性や外乱」、がある。

本論文では、これらの要因により位置決め性能が劣化する問題の解決に取り組む前に、位置決め精度の劣化の程度を定量的に評価する方法を提案した。そこでは、時系列データである追従誤差信号を振動モード毎に分離し、周波数応答特性と導出されたモード特性値を比較することで発生要因の分析と位置決め性能劣化の程度を定量化した。

次に、「高速化に伴い増大する発熱による機構共振・トルク特性の変動」に対して、熱減磁補償法(TDC; Thermal Demagnetization Compensation)を提案し、解決を試みた。そこでは、ガルバノスキャナの抜熱性能と、実抵抗計測により得られる発熱比率から、永久磁石の温度を高精度に推定可能な発熱モデルを構築した。そして、発熱モデルに基づく操作量の補償を行うことで、位置決め精度の改善を図った。

そして「動作モードの切り替え時に発生する過渡応答」に対して、ノンストップトレパニング法(NST; Non Stop Trepanning)を提案し、解決を試みた。そこでは、PTP動作とCP動作を切り替えながら加工するトレパニング加工を対象とし、二つの動作モードを同一のFF、FB補償器で実行するガルバノスキャナ位置決め制御装置において、様々な動作パターンを含む数万点を超えるピアホール加工でも滑らかな目標軌道が設計でき、動作モード切り替え時の過渡応答を抑制する方法を提案した。

三つ目の「駆動系に内在する非線形性や外乱」のうち、本論文では特に転がり軸受の性能が低下した際の位置決め性能の劣化について取り組んだ。そこでは、長期間運用されたガルバノスキャナに対し、回転子の可動範囲において一定間隔で機構特性を取得し、その傾向と変動量から転がり軸受性能低下の定量化を試みた。さらに、速度FF補償器により位置決め精度の改善を検討した。

本論文で提案された位置決め性能劣化の定量化法により、性能を劣化させる要因分析が容易になり、その程度も客観的に評価できるようになった。また、プラントの特性変動を推測・計測して補償し、また適切な目標軌道を設計することで、位置決め性能が劣化する問題を解決することができ、高速・高精度位置決め制御を実現した。

以上から、本論文は博士論文として十分値するものと認める。