

学位論文内容の要旨

申請者氏名 當摩 栄路

材料加工時の熱エネルギー変換に着目した「機能性評価法」と 「パターン認識MTS法」による生産工程設計・開発に関する研究

21世紀に入って、市場のグローバル化が急速に進みものづくり企業においては、グローバル市場における競争力を確保するため、従来よりも高いレベルの品質管理と生産性が求められる時代に突入した。ものづくりの基盤となる技術マネジメントの重要な柱である生産技術力には、「高品質(Q)」と「低コスト化(C)」および「高生産性(D)」の3つの要素が必要不可欠である。しかし、多くの品質特性を一つずつ潰していく「もぐらたたき」的な開発方法が行われているため、開発期間の短縮が図りにくく、市場クレームが後を絶たないといった問題が生じている。これらの問題・課題に対して、技術的な方法論である品質工学手法（タグチメソッド）に基づいた新たな品質評価法の提案と実践事例での検証により、生産工程に馴染む品質工学手法の展開と高度化に取り組んできたことが本研究の背景にある。品質工学における「機能性評価法」は、「パラメータ設計法」をベースに生産技術分野で活用されている評価手法であるが、材料加工分野の開発・設計現場では、加工システムの本来あるべき理想機能状態を設定する標準的適用方法が明確化されていないのが現状である。その結果、材料加工分野の最適化ニーズを満たす効果的な活用法に関する研究成果の確立が課題とされている。

そこで本論文では、材料加工技術分野の様々な課題に対して、従来の品質工学手法に以下の2つの方法を提案し、実践事例に適用して検証した。

1. 生産加工技術分野において、材料加工時の強度安定と生産加工プロセス開発の最適化時に、熱エネルギー変換に着目した「新たな機能性評価法」を適用した方法
2. 品質検査分野において、高信頼性を確保し、高度な判定・判別を実行するパターン認識MTS法に「融合評価特性と閾値設定法」を適用した方法

第1章では、品質工学手法の概要と適用プロセスを解説後、材料加工技術分野における熱エネルギー変換に着目した「理想機能関数の新たな線形的定義」による機能性評価法の提案及び実践事例での検証概要（第2章から第4章）と、品質検査分野におけるパターン認識MTS法への新たに“融合評価特性”と“閾値設定法”の適用（第5章）を提案し、それぞれの方法の有効性について述べている。

第2章では、溶接接合時に付加される溶込み熱エネルギーに着目した機能性評価による溶接加工プロセスの最適化に対する提案の検証事例として、自動車用AT（オートマチックトランスミッション）部品製造工程を事例に取り上げた。本事例では、自動車部品の電子ビーム溶接加工プロセスの最適化に関して、溶接接合時に付加される溶込み熱エネルギーの影響による接合部の溶接深さを特性値とした理想機能を新たに設定し、それを間接的に評価することで、溶接強度の最適化に関する品質工学における機能性評価法（静スカラー特性）適用の有効性について検証した。検証成果として、溶接強度と寸法精度の最適化により溶接接合部の歪量が大幅に削減され、「高品質（Q）ドラム変形量54%削減」、「低コスト化（C）製造原価20%削減」、「高生産性（D）可動率20%向上」を同時に達成することができた。

第3章では、樹脂流動に関わる熔融エネルギーに着目した機能性評価による樹脂成形加工プロセスの最適化を提案し、プラスチック部品射出成形加工プロセスを検証事例に取り上げた。本事例では、樹脂強度の最適化について、金型内の樹脂充填密度の管理機能（樹脂流動に関わる熔融エネルギーの入出力関係）に着目し、材料力学的な考察による“評価特性値である樹脂充填密度の安定化を理想機能とした機能性評価法（静スカラー特性）”を提案し、その有効性について検証した。検証成果として、樹脂射出成形品の強度の安定化には、管理機能である金型内の樹脂充填密度の均一化が重要であることを明らかにした。

第4章では、誘導加熱エネルギーの入出力の直線性に着目した機能性評価によるモータ部品生産プロセスの最適化に対する提案の検証事例として、汎用モータ部品（ロータ・シャフト）加工プロセスを事例に取り上げた。本事例では、従来工法に代わる汎用モータ用ロータ・シャフトの高周波誘導加熱による新たな焼嵌め工法を考案し、高周波誘導加熱エネルギーの入出力の直線性に着目し、“ロータ・シャフト挿入時のシャフト径と芯振れの入出力関係（線形的比例関係）を理想機能とした機能性評価法（動ベクトル特性）”の適用を提案した。入力信号を変えて出力の直線性を解析し、これを動特性のエネルギー比型SN比で評価することで、よりロバストネス（頑健性のある）な新たな工法の最適化に関する有効性について検証した。検証成果として、誘導加熱エネルギーの直線性を理想機能とした「機能性評価（動ベクトル特性）」の適用により、「芯振れ量56%低減（高品質）」と高周波誘導加熱技術の採用による「生産可動率10%向上（高生産性）」、さらには、省人化とエネルギー損失の低減化による「製造原価30%削減（低コスト化）」を同時に達成することができた。

第5章では、品質検査分野において、高信頼性を確保し、高度な判定・判別を実行するパターン認識MTS法に“融合評価特性と閾値設定法”を新たに適用した方法による品質検査プロセスの最適化に対する提案の検証事例として、モーターファン部品の検査工程を事例に取り上げた。製造現場におけるモーターファンの品質検査は、検査員による官能検査法が主流であるが、この検査法では、ファンの微妙な放射音（音圧）や振動の違いを正確に診断するために、多くの経験を必要とし、検査員の体調や環境の変化によっては、正常/異常の判定にばらつきが発生する。これら「品質・生産性・コスト」に関わる技術課題の解決には、モーターファンの音圧・振動レベルを定量的かつ正確に判別診断できる解析法の開発が求

められている。本事例では、品質工学手法の中で検査事象の正常/異常判定を行う「パターン認識MTS（マハラノビス・タグチ・システム）法」を採用し、最適な情報を合理化するために、SN比（ばらつきの尺度）をMD（マハラノビス距離）に融合した新たな“融合評価特性”と正常/異常判定の基準値である“閾値設定法”適用の有効性について検証した。検証成果として、波形パターン形状情報からの特徴量を解析する「パターン認識MTS法」が、一般的な特徴化解析法（周波数分析法など）に比べて判別分析精度の高いことが確認できた。さらには、検査工程を官能検査法から「パターン認識MTS法」を適用した自動化へ可能性の検証により、「判別分析法の精度向上（高品質）不良率30%削減」と「検査工程の自動化（高生産性）可動率20%向上」および「検査員の省人化（低コスト化）製造原価30%削減」同時達成の目途がたった。

第6章では、本論文で提案した“品質評価・解析手法”を振り返り、総括と品質工学の今後の展望について論じている。本論文で提案する“品質評価・解析手法”は、実用上要求される「高品質（Q）」と「低コスト化（C）」と「高生産性（D）」の三大要素を同時に克服することが可能な手法であり、工業製品の品質評価を始め、様々な科学的分野に広く応用できると考える。