学 位 論 文 題 名

Study of Mahalanobis-Taguchi Strategy
for Defect Inspection of Industrial Products

(工業製品の欠陥検査を行うマハラノビス・タグチ法に関する研究)

学位論文内容の要旨

近年、各種計測センサー・検査手法の多様化は、工業製品の検査データの大規模化をもたらしてきた。大規模データを処理する自動品質管理システムの開発は、工業製品の生産ライン上において強く望まれている。しかしながら、工業製品の検査データの解析には解決困難な多くの問題が伴う。その一つに、工業製品の検査位置のずれや検査用カメラのぶれ等に起因する誤差があり、システムに正常品を欠陥品と判別する誤り（第一種の過誤）や欠陥品を正常品と判別する誤り（第二種の過誤）を起こさせる。従来の自動品質管理システムでは、発生し得る誤差を事前に網羅しておくことで、正常品／欠陥品の誤判別を抑制していた。これには、多種多様な誤差の発生を予測することのできる熟練検査員の育成が必要不可欠であり、大きな問題となっている。

本学位論文では、工業製品の欠陥検査を行う大規模データ解析手法として Mahalanobis-Taguchi Strategy (以下、MT 法と略す) に着目する。MT 法では、許容すべき誤差を含む正常品のデータを用いており、多種多様な誤差の発生を予測する必要が無い。検査対象の製品のデータは MT 法における正常品のデータと対比され、マハラノビス距離により評価される。マハラノビス距離は、検査品のデータが正常品のデータと類似しているときほど低い値を、そうでないときほど高い値を示すことで、MT 法による正常品の検出を容易にする。また、MT 法は可能な限り少数かつ有意な検査項目を選定して使用することで、正常品の検出精度を向上させることができる。ただし、マハラノビス距離に基づく正常品／欠陥品の判別及び有意な検査項目の決定は、検査員の判断により行われる。従って、判別精度の向上を図る場合、検査員により一層の負担を強いることとなる。MT 法における検査員の判断への依存は、大規模データ解析上の重要な改善点となる。

本学位論文では、検査員の負担を増大させることなく第一種及び第二種の過誤の双方を抑制する基準空間生成法 (有意な検査項目を決定) 及びしきい値設定法 (マハラノビス距離上の正常品／欠陥品を判別) を導入した MT 法の提案を行っている。

各章の内容を以下に要約する。

第 1 章では、従来の MT 法のアルゴリズムについて述べている。特に、二水準型直交表を適用した検査項目の要／不要判定について詳細に述べている。有意な検査項目の決定、正常品／欠陥品を判別するマハラノビス距離上のしきい値の設定における検査員の判断の

影響の大きさについて述べている。

第 2 章では、多数の検査項目に二水準（要／不要）の一方を設定する多因子水準設定法の提案を行っている。各項目の効果に加え、従来の MT 法において無視されてきた項目間の組合せ効果を推定することで、正常品／欠陥品の判別精度をより向上させる検査項目の選定を実現している。

第 3 章では、多因子水準設定法より得られる理論的成果に基づき、基準空間生成法を提案している。第二種の過誤を抑制する検査項目の組合せを決定している。

第 4 章では、マハラノビス距離上における正常品の分布がガンマ分布となることを導いている。これは、MT 法において正常品のデータのばらつきに多変量正規分布が仮定されていることに基づく。ガンマ分布のパラメータはモーメント法により調整し、ガンマ分布と正常品の実分布との差異を最小化している。その適合度は、コルモゴロフ・スミルノフ検定により評価される。

第 5 章では、マハラノビス距離上において正常品／欠陥品を判別するしきい値設定法の提案を行っている。従来の MT 法では、検査員が第一種及び第二種の過誤のバランスを取りつつ、しきい値を設定していた。提案手法では、しきい値以下のマハラノビス距離を示す正常品の累積確率を第 4 章のガンマ分布により推定することで、第一種の過誤を抑制している。

第 6 章では、正常品・欠陥品のサンプルデータを用い、基準空間生成法及びしきい値設定法を導入した MT 法の有効性を検証している。提案手法を導入した MT 法が第一種及び第二種の過誤の双方を抑制し得ることを示している。

第 7 章では、本学位論文の結論について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 大 森 隆 司
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

Study of Mahalanobis-Taguchi Strategy for Defect Inspection of Industrial Products

(工業製品の欠陥検査を行うマハラノビス・タグチ法に関する研究)

工業製品の欠陥検査用データには、製品の検査位置のずれや検査用カメラのぶれ等に起因する多くの誤差が含まれる。このことは、従来の自動品質管理システムに正常品を欠陥品と判別する誤り（第一種の過誤）や欠陥品を正常品と判別する誤り（第二種の過誤）を生じさせてきた。データ内の誤差を許容し、正常品／欠陥品の誤判別を抑制するデータ解析手法の開発は、高精度の自動品質管理システムを実現する上で必要不可欠となっている。

Mahalanobis-Taguchi Strategy（以下、MT法と略す）は、工業製品の欠陥検査に用いられるデータ解析手法である。MT法は、有意な検査項目を用いることでマハラノビス距離を算出し、正常品・欠陥品の評価を行っている。しかしながら、有意な検査項目の決定及びマハラノビス距離に基づく正常品／欠陥品の判別は検査員の判断に依存して行われている。従って、判別精度の向上を図る際には、検査員により一層の負担を強いることになる。

本論文では、検査員の負担を増大させることなく第一種及び第二種の過誤を抑制する基準空間生成法（有意な検査項目を決定）及びしきい値設定法（マハラノビス距離上の正常品／欠陥品を判別）をMT法に導入し、その有効性を検証している。

基準空間生成法は、多数の検査項目に対し有意／非有意の判定を的確に行う手法として提案されている。有意／非有意の判定の際には、各項目の効果に加え、従来のMT法においては無視されてきた二項目間の組合せ効果を推定している。これにより、特に第二種の過誤を抑制する検査項目の組合せを実現している。

しきい値設定法は、マハラノビス距離上において正常品／欠陥品を的確に判別するしきい値を設定する手法として提案されている。しきい値設定の際には、しきい値以下のマハラノビス距離を示す正常品の累積確率がガンマ分布により推定されている。これにより、特に第一種の過誤を抑制するしきい値の設定を実現している。マハラノビス距離上における正常品の分布がガンマ分布となることは、MT法において正常品のデータのばらつきに多

変量正規分布が仮定されることに基づき導かれている。ガンマ分布のパラメータは、正常品の実分布との差異を最小化するため、モーメント法により調整されている。その適合度は、コルモゴロフ・スミルノフ検定により評価されている。

基準空間生成法及びしきい値設定法を導入した MT 法の有効性は、サンプルデータを用いての正常品／欠陥品の判別により検証されている。本検証実験では、基準空間生成法が第二種の過誤を、しきい値設定法が第一種の過誤を抑制することが示されている。また、提案手法を導入した MT 法が第一種及び第二種の過誤の双方を抑制できることが示されている。

これを要するに、著者は「多数の要因が相互に影響を及ぼし合う組合せ的複雑性」と「多様な誤差を含む検査用データの不確実性に基づく複雑性」が混在する工業製品の品質管理において新たな欠陥検査法を構築し、その有効性を明らかにしたものであり、複雑系工学及び品質工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。