

1799-29

早稲田大学大学院理工学研究 2976  
早稲田大学審査学位論文(博士)の要旨

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

満足感計測システムの開発と  
その応用

(Development of Satisfaction Measurement  
System and its Application)

申 請 者

松 永 久

Hisashi Matsunaga

機械工学 精密工学

1999 年 12 月

従来の設計においては、安全性、実用性、経済性などの物質的側面が重視されてきたが、技術が飽和し、飽食の時代といわれる現在、人間の精神的豊かさを満たすための設計方法が求められている。その1つとして近年、人間の心理的側面の重要性が認識されつつあり、特に感性という言葉に代表されて多方面で研究が行われている。人間の心理状態を評価する手法は、アンケートに代表される人間の言語的報告による主観的な評価と、生理情報による評価の2種類に分類されるが、主観評価は個人の言葉に対する捉え方や点数の付け方により生じるバイアスが常に指摘されているが、生理情報による評価法はその客観性、リアルタイム性、非言語表現への可能性から、設計の分析・評価の段階で威力を発揮することが期待できる。しかし、生理情報による評価法は主に医学的な診断の道具として利用されてきた経緯があり、健常者の心理状態の判定に利用しようとする試みは比較的新しく、現在行われている研究成果の統合化、実用化が求められている。

一方、我々人間は環境から取り入れられた刺激に基づき、遺伝的・生物学的基準や、過去の経験や記憶に基づく価値判断により行動する。この価値判断の結果は言語的、非言語的に表現されるが、主観報告により職務満足感を評価しようという研究や生理情報による個々の心理状態を評価しようという研究は存在するが、総合的な価値判断の結果としての満足感を生理情報により評価しようという研究は行われていない。そこで本研究では、知覚・認知過程を経たのちの価値判断の結果としての人間の満足感に着目し、態度を中心に研究されてきた職務満足感ではなく、感情状態としての満足感を生理情報により評価する満足感計測システムを開発し、それをを用いた設計方法の構築を目的として研究を行った。

本論文は、全8章で構成されている。以下に、各章ごとの概略を示す。

第1章は序論である。本研究に関連する研究を職務満足感、生理情報による心理評価、感性に関する研究に分類し、従来の研究の概要、問題点を示すことにより、対象とする満足感とシステムの機能的要求を求め、さらに研究方法、研究の意義について述べることにより、本研究の位置付けを明確にした。

第2章では、脳波により人間の満足感を計測するための指標を得るために基礎的実験を行った。人間の主観評価は心理状態を一度言語に置き換えるため、生理情報による評価に比較して客観的な評価が難しいことが指摘されているが、生理情報のみを計測しても人間の心理状態を評価するのは容易ではない。そこで、まず心理レベルにおいて満足感を評価するための指標を得るために、既存の感情評価に用いられている多面的感情状態尺度と満足感との関係を主成分分析により調べた。その結果、満足感を快-不快、覚醒の2軸上で説明することができ、また、多面的感情状態尺度の8つの感情項目との関係から、直感的に回答することができる80個の感情語により主観的な満足感を評価する指標を得ることができた。次に合計約100名の被験者に4種類の作業を行ってもらい、主観的な満足感と前頭

部双極誘導により計測される脳波との関係を調べた。その結果、パワースペクトル解析をして求められる $\alpha$ 帯域の出現率が主観的な満足感と正の関係があり、 $\beta$ 帯域の出現率とは負の関係があることが統計的に確認された。この結果は脳科学の知見からも妥当であることが示された。

第3章では、第2章で得られた指標に基づいて、人間の満足感をリアルタイムに評価する満足感計測システムを開発した。第2章では満足感を計測するための生理指標を得ることができたが、心理状態と生理指標との関係には確立されたモデルは存在せず、経験的な知識獲得を行わなければならない。そこで本章では、非線形的な学習能力を有し、汎化能力を持つニューラルネットワークを用いて、パワースペクトルを入力信号とした満足感計測システムを開発した。本研究で用いたニューラルネットワークはフィードフォワード型3層構造モデルであり、誤差逆伝播法により学習を行った。満足感計測システムは10人の被験者からの情報をもとに、心理状態と生理情報との対応をニューラルネットワークにより経験的な知識として学習したが、開発した評価法の有効性を示すためには、その一般性を様々な状況に適用可能であることを示して、帰納的に確立することが可能である。そこで、学習にデータを用いていない人を対象に明らかに満足したり不満足になる状況における計測や、パーソナルコンピュータの処理スピードの違いによる満足感評価、作業パラメータを疲労や温度だけとした場合の計測を行った結果、満足感計測システムは知覚・認知過程を経たのちの価値判断の結果としての満足感を適切に評価できることを示すことができた。また、計測結果からは満足感のレベルには個人差があることが見い出されたが、個人内では満足感を適切に評価でき、本システムが個人差にも対応できることを示した。

第4章では、満足感計測システムにより評価される満足感と、中枢神経系の感性表現の代表として感性スペクトル法による喜怒哀楽の評価、自律神経系の生理指標として生理情報による心理評価の代表的な指標として用いられている精神的作業負荷との関係を調べ、その結果から価値判断の結果としての満足感の感性情報表現についての検討を行った。まず、言葉や数字で表現することが難しい非言語的な対象として、ビデオ鑑賞時の満足感についての感性評価を満足感計測システムにより行った。その結果、アンケートによる主観評価との関係だけではなく、生理情報による客観評価である感性スペクトル法による喜怒哀楽との相関からも、満足感計測システムは満足感についての非言語的な感性情報を適切に評価・表現できることを示した。次に、脳で扱う情報量を制御因子とした加算計算実験において、満足感計測システムにより求められる満足感と心電図のR-R間隔変動により求められる精神的作業負荷との関係を求めた。その結果、制御因子を情報処理ダイヤモンドとする注意のモデルにおいては、満足感と精神的作業負荷は負の相関があることがわかった。以上の結果により、満足感計測システムによる満足感評価は総合的な感性指標であることを示し、満足感計測システムのさらなる有効性

と実際の設計への応用が可能であることを示した。

第5章では、満足感計測システムにより評価される総合的な感性表現としての満足感を評価項目として、実験計画法により機能要素を配置した実験を行い、最も満足感が高くなる設計解を導き出す設計方法を提案した。実際にパーソナルコンピュータのディスプレイ（CRT、液晶）とキーボード（小型、普通）の組み合わせ問題に提案した設計方法を適用し、最も満足感が高くなる設計解を導出した。また、機能の独立性の原理やモジュール化設計の設計論との融合から満足感が最適となるパーソナルコンピュータの構造についても検討した。

第6章では、満足感計測システムにより評価される人間の満足感に適応するヒューマンマシンインターフェースを提案し、制御方法についての検討を行った。加算作業における回答速度を制御因子とした実験を行った結果、その時々作業者の満足感に応じて適応でき、個人差と変化する文脈に対応してシステムの状態を変化させることができる適応インターフェースは他の制御方法に比べて、作業者の満足感を高め、それを維持する可能性が高いことを示すことができた。また、適応インターフェースの1つの形として、作業者の自主的な行動を促す人間指向フィードバックを提案し、微細振動やコンソール画面上での満足感情報のフィードバックの効果が作業者に与える影響を調べた。その結果、満足感情報のフィードバックによる休憩により、満足感の上昇が確認でき、また自主的に作業を工夫する行動も確認された。これにより人間の満足感を理解して行動してくれる適応インターフェースの可能性を示すことができた。

第7章では、人間の満足感を理解して適応した行動をとる自律ロボット ACOM（Adaptive Behavioral Companion Robot Based on Human Satisfaction）の提案・実体化を行った。ACOMは人間が不満になった時と人間からの作用があった場合に、しっぽ（振る－振らない）と接近行動（接近する－接近しない）の2種類の適応行動を生成し、適応行動の結果生じる満足感の変化に基づいてロボットの感情を表示する情動表出機能を有するロボットである。ACOMを用いて、必ずしっぽを振って接近するモデルベースと、適応行動の結果生じる人間の満足感の変化を報酬として適応行動を強化する学習ベースに基づく行動生成が人間に与える心理効果を調べた結果、両行動ともに人間の満足感を高め、また、学習ベースはモデルベースより人間に対して積極的な心理的影響を与えることが満足感の観点からも主観的なアンケート結果からも確認できた。これにより、人間との心理的インタラクションを考慮したロボットの1つの形を提案することができた。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果と満足感計測システムの特徴をまとめ、今後の研究の展望について述べた。