

労働集約型作業における
生産性の計画と実績の差の低減方法に関する研究

2018年3月

于 亞婷

首都大学東京

目次

第 1 章	緒論	1
1.1	研究背景	2
1.2	作業適性評価方法に関する研究	2
1.3	作業教育支援方法に関する研究	4
1.4	従業員の職務満足に関する研究	5
1.5	屋内測位方法に関する研究	7
1.6	本論文の構成	10
第 2 章	食品製造工程における選別作業適性評価方法	13
2.1	緒言	14
2.2	提案方法	14
2.2.1	対象とする選別作業	14
2.2.2	選別作業分析装置	15
2.2.3	選別作業の標準時間	16
2.2.4	選別作業の作業条件	17
2.2.5	作業分析方法	18
2.2.6	実機における選別作業時間に基づく選別作業適性の評価	19
2.2.7	VR 装置における選別作業時間に基づく選別作業適性の推定	20
2.3	適用例	22
2.3.1	選別作業適性推定モデルの作成 (実験 1)	22
2.3.2	実工程における選別作業適性の推定 (実験 2)	27
2.4	結言	29
第 3 章	機械設備保全作業教育支援システムの開発	31
3.1	緒言	32

3.2	提案方法	32
3.2.1	設備保全作業教育支援システムの概要	32
3.2.2	作業進捗状況の判定	33
3.3	作業未完了箇所の検出	35
3.3.1	特徴量に基づく画像補正	36
3.3.2	未完了箇所の検出	38
3.4	保全作業教育支援システムの構築	38
3.5	運用試験	39
3.5.1	作業の進捗判定	39
3.5.2	作業未完了箇所の検出	41
3.5.3	処理時間	43
3.6	結言	43
第 4 章	従業員の職務満足と継続就業意思の経年変化とその因果関係の解明	44
4.1	緒言	45
4.2	調査方法	45
4.2.1	調査対象者	45
4.2.2	職務満足向上施策	46
4.2.3	質問紙の作成	47
4.2.4	継続就業意思構造モデルの提示	49
4.3	調査結果	49
4.3.1	離職率の推移	49
4.3.2	対象者属性の違いによる継続就業意思（項目 Q1）への影響	50
4.3.3	継続就業意思の時間的変化	52
4.3.4	職位と継続就業意思の関係	54
4.3.5	継続就業意思に係わる項目 Q_1 , Q_2 , Q_3 の相関分析	57
4.3.6	職務満足因子	58
4.4	継続就業意思構造モデルの分析	61
4.4.1	年度別継続就業意思構造モデル	61
4.4.2	職位別継続就業意思構造モデル	63
4.5	考察	64
4.5.1	調査年度別継続就業意思構造モデル	64

4.5.2	職位別継続就業意思構造モデル	65
4.5.3	職務満足向上対策の効果	65
4.6	結言	68
第 5 章	RFID による屋内測位方法	69
5.1	緒言	70
5.2	RFID システム	70
5.2.1	読取率	71
5.2.2	読取性能	71
5.2.3	位置モーメントを利用した測位方法	71
5.3	提案方法	72
5.3.1	複数のタグの読取率に対する補正	72
5.3.2	ニューラルネットワークによるタグの位置推定モデル	73
5.3.3	移動対象物に対する位置補正方法	74
5.4	運用試験	76
5.4.1	試験方法	76
5.4.2	モーメント方法による測位精度	77
5.4.3	複数タグの読取率に対する補正	77
5.4.4	ニューラルネットワークによる位置推定モデル	78
5.4.5	静止対象物に対する位置推定結果	79
5.4.6	移動対象物における位置推定結果	80
5.5	結言	83
第 6 章	結論	84
6.1	結論	85
6.2	今後の課題	86
	参考文献	87

第 1 章

緒論

1.1 研究背景

労働集約型作業では評価指標の一つとして生産性が用いられ、自動化および Industrial Engineering (IE) に基づく作業改善により生産性向上が図られている。他方、企業経営の視点からは、生産性の計画と実績との差が小さいことも重要視される。生産性の目標と実績の差が大きくなるほど、顧客、投資家からの信頼が低下すること、および目標未達による補償費用が増加する現象が実社会で見られる。生産性の目標と実績の差が生じる原因は、機械的要因と人的要因に大別されると考えられる。機械的要因に対処するために、機械工学、信頼性工学などの分野において作業を自動化するための研究が多く行われている。他方、人的要因に対する対処方法に関する研究は多くないと考える。人的要因に関しては、主要な要因として作業者の適性、知識・経験の個人差が挙げられる [1~2]。生産管理の立場からは、生産を計画通りに実施には、作業者が実際に作業に就く前に作業適性を判定する方法が必要と指摘されている [3]。また、労働集約型作業では、作業者の技能 (知識・経験) が生産性や品質に大きく影響するため、作業者の効果的な技能教育が求められる [4]。

そこで、本論文では、作業者の適性の観点から作業適性の評価方法、および知識・経験の個人差の観点から知識・経験を強化するための教育支援装置を開発することにより、主要な要因による生産性の実績の不確実性を低減することを目指している。さらに、知識・経験を習得した熟練作業者が離職により不足することも生産性の実績の不確実性が高まることにつながると考えられている [5]。そのため、従業員が離職に至るメカニズムを解明し、離職を低減するため施策の選定に活かす必要がある。以上の経緯により、生産性の計画と実績に差が生じる原因として人的要因に着目し、作業者適性の評価法を本論文の第2章で述べ、作業教育支援装置について本論文の第3章で述べ、さらに熟練作業者を含む従業員の離職願望が生じるメカニズムを事例により考察することを第4章で行っている。さらに、実際の生産現場において、生産性の計画と実績の差を把握するためには、屋内における人と物の動線および滞留時間を測定できる技術が必要である [6]。そのための方法を本論文の第5章で述べている。

1.2 作業適性評価方法に関する研究

労働集約型作業では、作業を正確かつ迅速に行える能力が求められる。梅室は、能力とは職務を満足に遂行できる力と定義している [7]。また、能力は、職務に対する身

体的適性、精神的適性およびモチベーション等の適性以外の要因に影響され、さらに、作業改善や訓練により変化し得ることから、個人の職務遂行能力は多面的に調べる必要があると述べている。まず、身体的適性を調べる方法には、体格体力検査、生理学的検査、運動機能検査などがある。また、精神的適性を調べる方法としては、知能検査、性格検査、興味検査などがある [8~11]。さらに、これらの検査項目を組み合わせる能力を多面的に評価できる一つの方法として、一般職業適性検査 (GATB) がある [12]。GATB に関しては、以下のような活用例が報告されている。大崎等は、GATB は脳機能と関係があること、井上等は、GATB、体格および手足の動作速度から組立作業時間推定式が得られることを示している [13~14]。また、GATB では、求められる適性の類似性を考慮した上で複数の職業群が編成されており、全ての職業群に不偏的に適用できる検査内容が設定されている。他方、GATB 以外の方法として、作業に必要とされる運動機能を直接測定する方法が梶原等により提案されており、人の運動機能については加齢とともに個人差が広がることが報告されている [15]。さらに、職業適性診断をコンピュータを利用して行う試みが室山等により行われている [16]。室山等の方法における質問項目は、身体機能、判断力等を含む適性から、興味、価値観、行動特性まで広範に及ぶものであり、入力されたデータを基に多変量解析手法を用いて測定値と推奨される職業との適性が診断される。職業適性診断手順の自動化に関して、室山等の取り組みは有効な試みであると考えられる。

作業適性を動作の観点から見れば、多くの作業では人間の視覚と手の協応動作が求められる。協応動作が求められる具体例として、選別作業が挙げられる。選別作業のような協応動作が必要とされる作業では、視覚探索により色および形状の欠陥が検知され、コンベアを止めることなく、欠陥品が手で排除される。視覚探索に関して、Verghese は、探索目標と妨害刺激との類似性を分布関数を用いてモデル化した上で、視覚探索の難易度は妨害刺激の数および類似性に影響されると述べている [17]。さらに、佐藤等により、色および形状に関する視覚情報は、脳の後頭から側頭部への腹側経路において処理され、動きの視覚情報は、後頭から頭頂部への背側経路において処理されることも明らかにされている [18]。しかし、視覚探索の難易度は検査条件に依存することから、協応動作が求められる作業に対する作業適性を評価するためには、現実の作業工程を模倣し、対象の種類、大きさ、欠陥の種類などの作業条件を設定し、作業適性を測定する必要がある、様々な作業条件を容易に設定することを可能にするためには、人工現実感 (Virtual Reality, VR) [19] を利用する方法が考えられる。作業適性を測定するために VR を用いる方法については、本研究においても取り上げる。

1.3 作業教育支援方法に関する研究

労働集約型作業は加工・組立作業だけではなく、倉庫内作業および機械設備の保全作業などにおいて広く投入されている。労働集約型作業は主として人の労働力により遂行されるため、作業教育の重要性は高い。特に、機械設備保全作業では、生産性に加え、安全面の視点からも作業教育が重要視されている。そこで、機械設備の保全作業教育支援方法に関する研究の変遷について以下に述べる。

プラスチックやタイヤなどの多様な工業製品の原料となる基礎化学品は我が国の生産活動には必要不可欠であり、化学プラントにおいて生産されている。化学プラントは新規建設が少なく、設備の長期使用とそれに伴う設備の老朽化を余儀なくされている。このような状況下で運用される科学プラント設備は、長期使用によって腐食、劣化、割れ等の損傷が生じるため、設備の保全作業が重要となる。設備診断により損傷が発見されたときには、その損傷に対して適切な補修作業が行われなければならない [20]。大規模な化学プラントにおいて、ひとたび事故が発生すれば、重大な災害を引き起こされ、従業員やプラントに多大な被害が及ぶ可能性がある。さらに、爆発により飛散した科学プラントの建材破片が周辺の地域に落下したり、有害物質が漏洩したりするなど、周辺地域の住民や建物へ被害が拡大する可能性もある。このような事故を防ぐために、化学プラントの安全性向上と事故防止のための十分な作業教育が求められている [21]。

化学プラントにおける事故は、誤操作が原因となる場合と機械設備の故障が原因となる場合がある。誤操作による事故は、類似の装置を間違えて操作した、疲労や緊張により誤った操作を実施したなどの「誤操作」や、認知していたが思い出せず誤った判断をした、作業の意味を理解せず誤った判断をしたなどの「誤判断」、必要な確認を実施しなかったなどの「誤認識」等、多くが人為的なミスに起因して発生している [22]。そのため誤操作の防止および運転効率向上のために、プラントの自動化、機械化が急速に進んでいる。それにより、プラントは長期にわたって安定的に稼働している。一方で、生産コストを低減させるため作業員の数は減少傾向にあり、一人作業が増加している [23]。このような背景により、作業員の異常・緊急事態への対応力が不足し、マニュアルがあっても、適切に操作が行われないことがある。機械設備の故障による事故を防ぐために保全作業が行われる、設備保全作業のために作業員が国内外から採用され、日本の研修センター等で予め設備保全作業の研修を受ける。作業員は研修を受

けた後に国内外の化学プラントに派遣される。近年は、東南アジアからの作業員が国内で研修を受け、諸外国の化学プラントの設備保全作業に派遣される頻度が増加している。設備保全作業の研修内容には、作業手順、治工具の使い方、安全教育、品質に関する注意等の広範な内容が含まれる。研修の実効性を高めるために座学に加えて実習も行われる。座学と比較して実習は機材の準備に時間を要すること及び台数の制約による待ち時間が発生する。また、未経験者には使用目的すら分からない治工具も多数あるため、個々の工具に対して、専門的な知識や技能の教育が必要とされ、多くの実習時間を要する。しかし、海外から研修に参加する作業員は、研修期間が数週間に限られているために、研修期間内に全ての機械設備に関する保全作業の実習を行うことは難しい。全ての機械設備に対する作業手順や治工具の使い方を習得することが困難であることから、技能や知識が不完全なまま現場に派遣されている [24]。そこで、研修で学ぶことが出来なかった作業方法や知識を後日派遣先において座学および実習により学ぶことが対策として求められる。さらに、座学により学ぶことは、設備や工具の大きさ、重さ等、作業遂行のために必要となる感覚を知ることが出来ないという課題がある。実物に触れながら、作業方法を学ぶことが重要であると考えられる。また、プラントの機械設備は最大で7年に一度しか保全作業が行われないこともあり、熟練作業員であっても十分に作業方法等を記憶しておらず、紙に記された作業手順書を見ながら作業が行われることがある。作業手順書にて、機械設備の分解、点検、再組立の動作が詳しくは伝わらない。そのため、映像により過去に行なわれた作業方法を参照できる仕組みが望まれる。映像を見ながら作業現場で治工具および装置に直接触れて、重量、大きさ、質感等を体感することができれば、現実感を持ち、かつ円滑に設備保全作業方法を学習できると考えられる。ある設備保全会社ではウェアラブルデバイス及び保守・点検作業管理システムにより収集した情報や作業ノウハウを現場作業員に提示できる教育ツールが開発されている [25]。しかし、この教育ツールは、名称がわからない工具の使用方法に関する情報を表示することは困難である。従って、工具の名称を自動で判別し、使用方法を作業員に提示することを可能にする方法が必要と考えられる。

1.4 従業員の仕事満足に関する研究

従業員のモチベーションは、仕事満足と関係があると考えられる。生産計画を着実に遂行し、生産性の目標値を達成するためには、従業員の仕事遂行に対するモチベーションが求められる [26~27]。そこで、仕事満足向上に関する研究の変遷について以

下に述べる。国内の製造企業では、製造コストの低減、販路拡大などを主な動機として、生産拠点の海外展開が進められている。そして、多くの生産拠点が展開されている中華人民共和国（以降、中国）では、製造業における離職率が高いことが報告されている [28~29]。中国における従業員数約 2,100 名および 600 名の電池製造企業 2 社の平均離職率が 43.9% と高い値であったことが Zhang 等 [30] の調査により示されており、文献 [29] における調査結果と整合している。そのため、中国における生産拠点では、従業員の継続就業意思を高めることが求められている。継続就業意思に係わる従来研究は、対極の視点から転職意思が高まる構造を解明することが主たる目的とされている。その中でも、転職意思が職務満足からの影響を受けることは、多くの研究により示されている [31~32]。さらに、職務満足もまた、複数の要因（以降、職務満足要因と呼ぶ）から影響を受けると考えられている [33~35]。

Herzberg[36] によれば、職務満足要因は衛生要因と動機付け要因に分類される。衛生要因は不満足感（低感情）に影響し、会社の方針、給与、上司との人間関係等が含まれる。動機付け要因は、仕事への満足感（高感情）に影響する非金銭的要因であり、達成感、自己の成長、社会・家族からの承認等が含まれる。衛生要因は不満足感に、動機付け要因は満足感に影響を及ぼすことが示されている。Weiss 等 [37] により、Herzberg 等の研究を基に 20 項目からなる職務満足要因が取り上げられ、仕事の達成感、報酬、人間関係等に関する 14 項目を包含する内的職務満足要因および権限、貢献感、雇用の安定性等に関する 6 項目を包含する外的職務満足要因に大別されており、職務満足の測定指標 MSQ(Minnesota Satisfaction Questionnaire) 短縮版として広く用いられている。MSQ に含まれる職務満足要因は、主として仕事に係わる項目であり、自己の成長、社会・家族からの承認などは含まれていないことから、Herzberg が示した職務満足要因は、MSQ 短縮版よりも広い視点から職務満足が捉えられている [38]。

Herzberg により示された衛生要因と動機付け要因は互いに独立であるとする仮説と似た結果が、鈴木等 [39] による製造企業の従業員を対象とした調査データからも示されている。Dawal 等 [40] により、人間関係から職務満足へ正の影響があることが自動車製造業従業員に対する職務満足調査から示されており、Herzberg により示された職場の人間関係の影響と整合している。さらに、Mihalcea[41] により、Herzberg により示された人間関係に関する要因が 5 項目に細分化され、各項目から職務満足に影響が及ぶことが流通業従業員に対する職務満足調査から示されている。他方、Markovis 等 [42] により、新たな職務満足要因として経済危機が着目され、経済危機の発生により職務満足に負の影響が及ぶことがギリシャ主要都市住民に対する職務満足調査から示さ

れている。さらに、Lee 等 [43] により、心の知能指数（相手を理解し、自分の感情をコントロールできる知能）が着目され、心の知能指数から職務満足に正の影響が及ぼされることがホテル業従業員に対する職務満足調査から示されている。

また、Qu 等 [44]、Lapierre 等 [45] により、組織から家族への支援による仕事と家庭の葛藤への影響、さらに職務満足への影響が分析されている。両文献において、組織から家族への支援が高いほど仕事と家庭の葛藤が小さくなり、職務満足が高くなることが示されている。Qu 等は主体を従業員に置き、組織から家族への支援に対する従業員の感じ方による仕事と家庭の葛藤への影響が分析されている。Lapierre 等は、主体を組織に置き、組織の家族観による仕事と家庭の葛藤への影響が分析されている。これらの研究により、職務満足に影響を及ぼす多くの職務満足要因が見出されている。

他方、Hackman 等 [46] により、Herzberg 等が示した職務満足要因の中に交互作用を持つ要因（モデレーター）が見出され、仕事に対する自己の決定権（自律性）、成果に対する評価（フィードバック）等からなるモデレーターが組み込まれた職務特性モデルが提唱されている。職務特性モデルは、従業員の職務満足の構造を精緻に測定するための職務診断調査 (Job Diagnostic Survey; JDS) において広く用いられている [47]。

次に、従業員の職務満足から転職意思へ負の影響があることが、Nadinloyi 等 [48] により示されている。さらに、Katsika [49]、Jang [50]、Chen 等 [51] により、職務満足要因から転職意思への影響を表す構造モデルが示され、パス解析、共分散構造分析などを用いて構造モデルの適合性が検証されている。このように、転職意思に係る研究は、従来の職務満足要因を見出すことを目的とする研究に加えて、職務満足要因から転職意思に影響が及ぼされる過程のモデル化を目的とする研究が増えている [52]。

ところで、西川 [53] により、職務満足の如何は各人の価値観とそれに大きく影響する文化的背景によって左右されるものと考えられると指摘されている。この指摘は、職務満足要因から職務満足への影響は、生産拠点をとり巻く経営環境等により異なるものと解される。さらに、従来研究では、単年度の調査データに基づき職務満足要因から転職意思への影響が分析されており、複数年に渡る職務満足向上施策の効果を検証された報告は少ない。

1.5 屋内測位方法に関する研究

生産性の計画と実績の差を分析するためには、人および物の移動経路、作業時間、滞留時間などは重要な情報である。作業分析手法の 1 つである MOST の開発者であ

る H.Wolfe による、標準化された方法に従って仕事を実施する際の作業時間が測定できるときに、生産性を最大にすることができると述べている [54]。これまで F.Taylor (1856-1915) による科学的管理法、Gilbreth による要素動作 (サブブリック) による分析など、多数の作業分析の方法が研究され [55]、現在も広く用いられている。しかし、従来の作業分析方法では、ビデオカメラまたはストップウォッチを利用した計測が前提とされており、主に手作業で測定が行われる。そのため、同時に複数の対象を分析することは難しく、計測者の負担も大きい。実際に著者は、標準時間算出のために用いられる PTS 法の 1 つである MOST [54, 56] を用いて、タクトタイムが約 30 秒の工程が全 74 工程あるラインをビデオカメラで撮影し動画の分析を行った際に、分析に約 2 人月の工数を要した。このように従来の作業分析は、正確ではあるものの所要工数が大きいため分析に要する工数を低減するために作業分析の自動化が着目されている [57]。作業員が狭い範囲で移動を伴わずに作業を行う場合は、ビデオカメラを固定することにより動作を録画し、作業分析に用いることができる。しかし、作業員が広範囲を移動する場合には、作業員と同数のビデオカメラが作業分析に必要となるため、ビデオカメラを用いて作業分析は実現することが困難となる [58]。また、生産システム内では多数の物 (部品等) が搬送されることから、生産計画と実績との差の原因を調べるためには、物の動線および滞留時間を測定する必要がある。以上のことから、生産現場において広範囲を移動する人や物の動線を自動で測定できる技術を開発する必要があると考えられる。

人や物の位置および動線を測定する方法に関しては、様々な先行研究がなされている。広く知られている測定方法として、グローバル・ポジショニングシステム (GPS: Global Positioning System) がある。GPS は、地球周回軌道に約 30 機配置された人工衛星の位置と、衛星から送信される原子時計のデータを含む電波信号を利用する方法である。GPS 受信機により 3 個以上の衛星から電波を捉えれば、電波到達時間差により、受信機と衛星との距離が求まり、幾何学的方法により現在位置を算出することができる。しかし、屋内では GPS 衛星の信号を受信できない場合がある。受信できても、マルチパスの影響により受信信号の時間差に齟齬が生じ、測位精度が低くなることが知られている [59]。従って、屋内で行なわれる作業分析に GPS に活用することは難しい。

そこで、作業域に多数のセンサデバイスを設置するというアプローチが提案されている [60]。屋内向けの物流管理や環境測定等の技術として、ZigBee [61]、無線 LAN [62]、超音波 [63]、RFID [64] を屋内に配置し、端末が受信する電波強度や遅延時間を測定す

る方法など、様々な測位方法が提案されている。

これらの無線技術は、測定対象にバッテリーを内蔵した発信機を設置する方法が主流である。装置例として超音波や無線 LAN, ZigBee, アクティブ型 RFID などが挙げられる。この中でも特に高精度の位置認識性能を持つものとして、超音波技術が挙げられる。超音波発信源を対象に取り付け、作業域の天井等に設置された受信機までの伝搬時間を計測することで、発信源と受信機の距離を求め、三辺測量法を応用して対象物の位置が推定される。超音波装置の一つである Cricket[65] は、キャリブレーションを行うことで数ミリメートルの誤差で計測が可能である。超音波技術と同様に、電波を利用して測位を行う技術として、ZigBee を利用する方式や、アクティブ型 RFID[64, 66] を用いる方式等が報告されており、超音波には精度として劣るものの一定の研究成果を上げている。しかし、これらの方法を生産現場に適用することは難しい。その理由は、生産現場における測位に係わる必要条件があるためである。以下のような必要条件が挙げられる。

- a) 屋内において使用可能な測位方法であること。
- b) 分析対象に高価な機器を設置する必要がなく、多数の対象を同時に分析できること。
- c) 管理が容易で、作業者への負担が少ないこと。
- d) 倉庫、物流工程など、広い範囲を同時に分析できること。

以上の条件により、多様な位置推定方法の中でも生産現場での運用が可能である測位方法は限られる。従来の屋内測位方法は、限られた測定範囲で対象の位置を高精度で推定することを主眼としており、多数の対象を同時に推定することは考慮されていない。またバッテリー管理などの運用面、1 機あたりの導入コスト、運用領域など生産現場に適用するための課題が多い [67~68]。

こうした課題を解決する手段として UHF 帯パッシブ型 RFID 技術がある。RFID 技術は、東日本旅客鉄道株式会社の『Suica』や日立製作所の『 μ -Chip』などに見られ、普及が進んでいる。RFID では主に UHF 周波数帯が採用されているため、強い出力を用いれば 7m 以上の長い読取距離が可能となる。またタグは汚れや曲げにも強く、安定した運用が可能である。更に外部からエネルギーを供給し、それ自身がバッテリーを持たないパッシブ型の機材を用いることで管理コストを低減することができる。

UHF 帯 RFID を利用した技術は、2012 年の周波数帯の移行以来、使用出力帯が拡大され、活発に研究が進んでいる [69]。位置推定技術においてもいくつかの報告がなされている、鶴等はパッシブ型 RFID システムを用いて、7 段階の電磁界強度と 3 辺測量法を用いて、静止対象物を平均誤差 0.9m での推定を可能としているが、動的対象

に対する測定はアクティブ型 RFID のみでしか行えていない [66]. アンテナと受信機が分離しているタイプを用いているが, アンテナの枚数は最大で 2 枚しか用いておらず, 座標が既知であるタグをランドマークとすることで推定を行っている. これに対して田中等は, 移動対象物に対して推定を行うため, 壁や周囲の物体にタグを万遍なく設置し, 対象に発信機を付けるというパッシブ型に似た設置方式を用いており, 発信機の位置を機械学習により $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ のエリアに絞ることを可能としている [70]. 受信地点において障害物の影響や大地や壁などの反射波により, 電界強度が不安定になるという問題が存在していたが, これを機械学習を取り入れることにより解決している. 同様に天井にタグを設置する方法を白鳥等も行っており, クラスタ法を用いて位置推定を行っている. 白鳥等は移動対象に対して正しく位置推定を行うことができない問題点を, 移動方向を予測する補正方法を活用することで解決している [71].

1.6 本論文の構成

1.5 節で述べた従来研究を考慮して, 本論文では生産性に係わる計画と実績の差を低減することを目的とし, 具体的な作業を取り上げ, 作業適性の評価方法, 作業教育支援方法および従業員職務満足に影響を与える要因を明らかにするための方法を提案する. さらに, 生産性の計画と実績の差を把握するため, 屋内の測位方法を提案する. 本論文は, 上記の研究内容を 6 章にまとめている.

第 1 章では, 生産性の計画と実績の差の低減に係わる技術の現状と課題を述べ, 本論文の目的と当該研究分野における本研究の位置づけおよび本論文の構成を述べる.

第 2 章では, 生産性の計画と実績の差が生じる人的要因として作業者の作業適性の観点から作業が始まる以前の採用段階または職務設計段階において作業適性を評価する方法を提案する. 具体的な作業として, 食品製造工程における選別作業を想定する. 食品製造工程における選別作業は, 品質を左右する重要な役割をもつものの, 機械化や抜き取り検査の実施が容易でないケースもあり, 労働集約的な側面が強いことが知られている. そのため, 選別作業における個人の作業適性を評価することは, 生産性向上の重要な課題となっている. そこで, 人工現実感 (VR) 装置を用いて食品製造工程の欠陥品を正確かつ迅速に取り除くことのできる選別作業適性を推定することを考える. 実際に VR 装置を作成し, 多様な原材料, コンベア速度, 欠陥品の種類と位置等の作業条件を設定した実験を行う. 得られたデータから実コンベアでの選別作業適

性を推定するモデルを作成し、推定モデルにより作業員の選別作業適性を推定する枠組みを構築する。適用例において、提案方法により食品製造工程に配置されている作業員の選別作業適性の推定が可能となることを示す。

第3章では、作業準備を終えた後の生産段階において、知識・経験の個人差を低減するための作業教育支援方法を提案する。画像処理を用いて工具種別の判定、作業進捗の判定を行う方法を提案する。そして、作業現場において作業員自身が作業方法を学習できるようにするための作業教育支援システムとして実装する。さらに、安全と生産性両方を考慮し、設備保全作業を具体例として取り上げる。作業現場で実機に触れて、保全作業の教育を受けることを可能にする支援技術の有効性を調べる。具体的には機械設備の分解、点検中のシーンを撮影し、撮影された画像に対して画像処理を行うことで、作業の進捗を判定し、進捗状況に応じて作業内容および作業ミスの有無を作業員に提示する方法を提案する。次に、提案方法をタブレット PC に実装する。本装置では、クライアントサーバ方式を採用し、作業内容に関するデータを一元管理化する。それにより、国内外の事業所に派遣される作業員が遠隔地において目の前の機械設備に対する作業教育を受けることを可能にする。運用試験により、入力画像から作業の進捗を判定し、進捗に合わせて作業方法を提示できる機能が実現され、遠隔地における作業教育支援が可能となることを示す。

第4章では、従業員が熟練者となった段階を測定し、熟練作業員を含む従業員が離職を考えるメカニズムを明らかにする。仮定として、離職願望（または継続就業意思）は従業員満足により影響を受けること、さらに従業員満足は複数の従業員満足要因の影響を受ける因果モデルを考える。新興国における生産拠点において複数年にわたり実施されている職務満足向上活動を事例とし、職務満足要因から職務満足、さらに継続就業意思への影響を分析する。職務満足要因として29項目を設定する。職務満足要因から職務満足に影響が及ぶことを表すパス、さらに職務満足から継続就業意思に影響が及ぶことを表すパスから成る構造モデルを仮定する。年度別に職務満足要因から継続就業意思への影響を共分散構造分析により分析し、すべての年度で職務満足および継続就業意思への影響が有意な職務満足要因と、年度により影響の有無が変わる要因があることを示す。

第5章では、実際の生産現場において、生産性に計画と実績の差を把握するためには、屋内における人と物の動線および滞留時間を測定できる技術が必要と考える。本章では、RFIDを用いて屋内における人および物の動線および滞留時間の測定方法を提案する。生産性の計画と実績の差を正確に把握するためには、作業員及び物品の移

動経路，作業時間，滞留時間などのデータが必要となる．これらのデータは作業分析によって測定される．従来の作業分析方法では，同時に複数の対象を分析することが難しく，作業分析者の負担も大きいため，自動で人や物の位置を測定できる方法が必要とされている．そこで，RFIDを用いた屋内測位方法を提案する．複数のアンテナにより，複数地点において，タグの読取率を測定し，位置と読取率との関係を最も良く近似できる数理モデルを求める．本章では，数理モデルとしてニューラルネットワークを用いる．運用試験により，提案方法による位置推定精度が作業分析に利用できる水準に達していることを示す．

第6章では，本論文の総括を行い，本研究により得られる結果を用いることで，生産性の計画と実績との差を抑制することが期待されることを述べる．今後の課題についてまとめている．

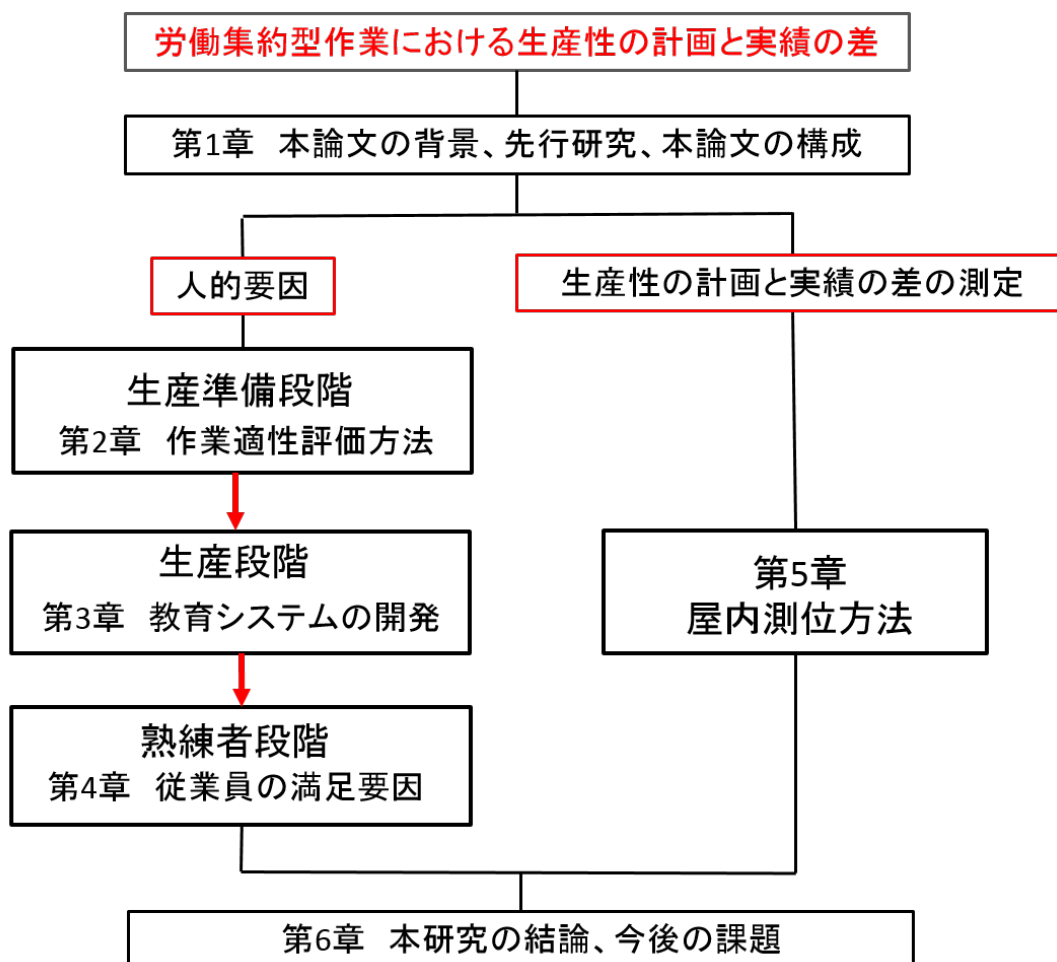


図 1.1 本論文の構成

第 2 章

食品製造工程における選別作業 適性評価方法

2.1 緒言

本章では、生産性の計画と実績の差が生じる人的要因として作業者の作業適性の観点から作業が始まる以前の採用段階または職務設計段階において作業適性を評価する方法を提案する。

人工現実感技術 VR を用いて測定される仮想作業域における作業特性から実工程における作業適性を推定することを可能にする。具体的な作業は選別作業を想定している、本方法では、まず、実コンベアおよび人工現実感技術 (VR) を用いて、選別作業実験を行う。次に、クラスター分析を用いて実コンベアで得られたデータ (選別作業時間) を基に、被験者を複数の選別作業適性グループに分ける。その後、交差検証法を用いて、VR 装置により得られたデータ (選別作業時間) から実コンベアでの選別作業適性を推定するためのモデルを作り、モデルに基づき作業員の選別作業適性を推定する。さらに、選別作業適性と人員配置との関係も考察する。

2.2 提案方法

選別作業では時期により原材料が変わることがある。一度に全ての種類の原材料を準備することは難しい。そこで、VR 装置を用いて多様な原材料に対する選別作業の模擬実験を行い、得られた測定値から選別作業適性を推定する。本方法の狙いは、現実の個別具体的な選別作業における身体的適性を推定することにある。従って、選別作業能力を多面的に評価することを考える場合には、他の検査手法と合わせて用いる必要がある。

2.2.1 対象とする選別作業

本章で想定する選別作業を図 2.1 に例示する。選別対象物はコンベアにより搬送される。図 2.1(a) では、容器に変形または傷がある欠陥品が選別されており、図 2.1(b) では、原材料の中から異物が選別されている。容器の外からは見えない金属片等の異物の混入に対しては蛍光 X 線分析装置等の自動検査機による検査が行われているが、本章では、手作業による選別作業のみを対象とし、自動検査装置を用いて行われる選別作業については対象に含めない。



(a) 容器外観検査



(b) 異物除去作業

図 2.1 対象とする選別作業

2.2.2 選別作業分析装置

選別作業の作業時間を測定するために、図 2.2 および図 2.3 に示す装置を製作する。まず、実コンベアを用いる実機と VR 装置を製作し、共に同じ作業条件を再現できるようにする。さらに、コンベア速度、対象物の形状、欠陥の種類（形状、傷）を任意に設定できるようにする。製作した装置は、欠陥品を発見するまでの時間、欠陥品に手が触れるまでの時間および手の軌跡を測定することができる。実機と VR 装置の両方を製作した理由は、VR 装置における選別作業時間から実機における選別作業適性を推定することのできる推定モデルを求めるためである。なお、比較のために、実際の製造工程の作業員には VR 装置を用いた作業実験を行う。VR 装置を用いることで、作業条件の設定および動作分析に要する測定時間を短縮する。

両装置における作業域の幅は、実際の作業域を参考にして 400mm と設定する。また、VR 装置のモニタには実物と同じサイズのコンベアおよび対象物が表示されるようにする。実機および VR 装置において、被験者の手の位置と姿勢を磁気センサーにより測定する。被験者の利き手の手首にレシーバを付けて、磁気センサーにより、利き手（右手）の三次元位置 (x, y, z 座標) と姿勢 (x, y, z 軸回りの回転角度) を計測する。なお、本装置の磁気センサーには、POLHEMUS 社製 FASTRAK を用いる。このセンサーの測定範囲は、半径 2,000mm の球体内とし、三次元位置の測定精度は $\pm 0.8\text{mm}$



図 2.2 実機による選別作業の様子

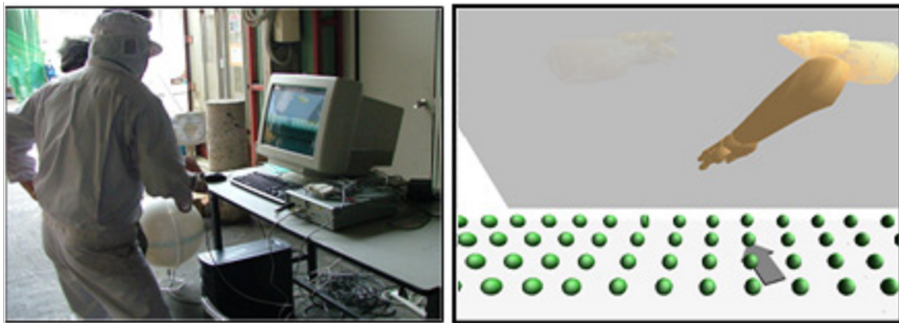


図 2.3 VR 装置による選別作業の様子

であり、毎秒 7 回測定する。また、利き手の初期位置は、実機および VR 装置ともに、コンベアの垂直上方 450mm、奥行き 200mm の位置とする。

2.2.3 選別作業の標準時間

MODAPTS 法は、欠陥品であるか否かを判断するための動作を明示していることから、本章において想定した選別作業の標準時間を MODAPTS 法によりあらかじめ求める [72]。本章の選別作業では、初期位置に手を伸ばした状態を初期姿勢とし、コンベアで搬送される対象物の中にまれに出現する欠陥品に対して欠陥品と判断する動作 (D3)、450mm 上方から手を伸ばす動作 (M5)、欠陥品をつかむ動作 (G1) が行われるものとする。この時、一回の選別作業時間は、9MOD (1MOD = 0.129sec) となり、標準時間は、1.16sec となる。

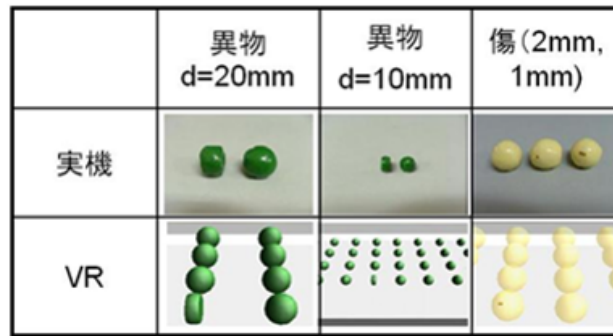


図 2.4 対象物

2.2.4 選別作業の作業条件

餡製品およびゼリー加工品を製造する工場において調査を行い、作業条件を決定した。この工場では、生産計画に合わせてコンベア速度が調整されており、コンベアを止めずに加工および検査が行われている。選別作業は、目視検査により原材料に混入した小石を除去し、変形または傷がある製品を除去するものである。この時サイズが最も小さい対象物は、小豆(長径約 10mm)であった。そこで、小さい対象物を直径 10mm の球形とし、直径 d が 2 倍の対象物を大きい対象物とする。また、欠陥は変形と傷の 2 種類に大別される。なお、実機の実験のために、上記サイズの対象物を紙粘土で作し、着色したものを用いる。

実機および VR 装置で用いる対象物の外観を図 2.4 に示す。形状に欠陥がある対象物には緑色(色相 $H=106$, 彩度 $S=83$, 明度 $V=49$)、傷がある対象物には黄色($H=54$, $S=29$, $V=97$)を用いる。また、形状に欠陥がある対象物は、球形の両端から直径の $1/4$ の部分を切除した樽形とし、欠陥が傷の場合、傷の直径は 2mm および 1mm の 2 通りとする。コンベア速度に関しては、調査結果を参考にして、標準時間内に対象物が作業域(幅 400mm)の $1/2$ まで進む速度を高速(170mm/sec)、 $1/3$ まで進む速度を中速(120mm/sec)、 $1/4$ まで進む速度を低速(90mm/sec)とする。

従って、作業条件としては、欠陥は 2 種類(形状と傷)、対象物のサイズは 2 通り、コンベア速度は 3 通りとなる。よって、作業条件の組合せは 12 通りとなる。これらの作業条件の組合せを表 2.1 に示す。本章では、被験者一人につき、12 通りの作業条件の下で選別作業時間を実機を用いて 2 回、VR 装置を用いて 2 回測定し、作業条件毎の平均値を選別作業適性の推定に用いる。ただし、各作業条件では一回につき欠陥品が一つしか出現しないこととする。

表 2.1 作業条件の組合せ

作業条件	欠陥種類	対象物直径 d (mm)	コンベア速度 (mm/sec)
1	形状	20	170
2			120
3			90
4		10	170
5			120
6			90
7	傷	20(傷 2mm)	170
8			120
9			90
10		20(傷 1mm)	170
11			120
12			90

表 2.1 に示した 12 通りの実験では、順序効果に対処するために乱数を用いて、実験順序の無作為化を行う。また、選別作業実験中に対象物の流れが途切れることにより、被験者が欠陥品を探索する範囲が狭くなり、見つけ易くなる可能性が考えられる。そこで、欠陥品が被験者の有効視野内に現れてから有効視野外に出るまでの間は、対象物が途切れないように一定間隔で対象物を配置する。実機では、対象物をコンベア上に 4 列、進行方向に 40mm 間隔で配置する。さらに、ベルトコンベアの長さの制約から対象物の列長は 1,000mm とする。そして、欠陥品の前後の対象物の流れが途切れないように先頭から 400mm~600mm の区間に乱数表を用いて欠陥品の配置位置を設定する。VR 装置においてもコンベア上から対象物が途切れないように設定する。

2.2.5 作業分析方法

選別作業を想定した実験では、良品に混ぜて欠陥品を流す。まず、実機を用いる場合には、乱数表を用いて欠陥品を置く位置を決定する。そして、実験実施者は被験者からは見えない場所で良品と欠陥品をコンベア上に並べる。他方、VR 装置を用いる場合には、乱数表に従い欠陥品の配置が自動設定されるようにプログラム化する。そして、両装置を用いた実験で、被験者は、欠陥品を検知し、速やかに欠陥品に手を触れる

動作を行う。この時、実機の場合には、作業域、VR 装置の場合には、モニタに欠陥品が現れてから被験者の手が動き始めるまでの時間、手の軌跡、欠陥品に手が触れるまでの時間を測定する。ここで、欠陥品を発見するまでの時間を「反応時間」、欠陥品が出現してから手が触れるまでの時間を「作業時間」と呼ぶこととする。反応時間は、欠陥品が作業域に現れてから、利き手が初期位置を中心とする半径 100mm の領域を出るまでの時間とする。

被験者が測定装置に慣れるまで十分に練習してから測定を行う。被験者が測定装置に慣れたと判断する基準は、測定条件を「欠陥の種類を傷」、「対象物のサイズを小」として、コンベア速度を高速、中速、低速にランダムに変更しても、被験者が見落としなく選別作業を確実にこなせるようになった時とする。この判断基準は、予備実験において被験者の見落としが最も多く発生した作業条件であったことから決定した。

実機を用いた実験では、欠陥品を探すための視覚探索と動く物体に追従して手を触れる動作を作業課題としている。VR 装置を用いた実験においても、動く物体に追従しながら欠陥品を探す動作、欠陥品を発見後に追従して手を触れる動作を作業課題としている。いずれの場合も、欠陥は形状または傷(黒点)のいずれかとしている。ただし、欠陥品のポップアウトのしやすさが視覚探索時間に影響を及ぼすことが Verghese により指摘されている [17]。本章では現実の選別作業工程を想定していることから、ポップアウトのしやすさの影響については今後の課題としたい。

手の追従動作に関しては、VR 装置において被験者が手の位置を把握し易くするために影を付けることとし、図 2.3 右側のように、コンベア上に灰色の矢印で手の影を示す。これにより、実験の際に被験者は手の影の位置を確認しながら、欠陥品に手が触れるまで動作を続けることができる。以上の作業課題を設定することにより、実機と VR 装置において同じ作業課題を被験者に求めている。

2.2.6 実機における選別作業時間に基づく選別作業適性の評価

フィッツの法則 [73] によれば、手が対象領域に到達するまでの時間 T は、対象領域までの距離 Dis と対象の大きさ W の比 (Dis/W) の関数で表わされる。距離 Dis が小さいほど、そして大きさ W が大きいほど到達時間 T は小さくなる。従って、選別作業において対象物の大きさを変えることは、フィッツの法則の対象物の大きさ W を変えることに相当する。また、コンベア速度を変えることは、到達点までの距離 Dis を変えることに相当する。従って、先に設定した標準時間が 12 通りの全ての作業条件に

対して成り立つと仮定することは難しい．そこで，実機を用いて 12 通りの作業条件の下で得られる作業時間を基に，クラスター分析を行い，被験者を選別作業適性が同質である複数の被験者群に分類する．そして，分類された群に群番号を付け，本章における選別作業適性を表わす指標とする．

2.2.7 VR 装置における選別作業時間に基づく選別作業適性の推定

VR 装置を用いて 12 通りの作業条件の下で作業時間を測定し，以下の手順によりその作業時間に基づいて，2.2.6 節で得られるような被験者の選別作業適性を表わす群番号を推定する．

まず，VR 装置における選別作業時間と実機における選別作業適性を表わす群番号との関係が線形である場合と，非線形である場合を想定する必要がある．両者の関係が線形である場合には，目的変数である群番号が質的であることから推定モデルとしては線形判別関数等が考えられる．両者の関係が非線形である場合には，決定木およびニューラルネットワーク等が考えられる．ただし，ニューラルネットワークについては，出力値の小数点以下を四捨五入により整数化する必要がある．

次に，複数の推定モデルの中から汎化誤差を最小にする推定モデルを選択するため，一個抜き交差検証法を用いる [71~72]．表 2.1 に示した作業条件下での一人の被験者の VR 装置における選別作業時間を N 次元の入力ベクトル $\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)^T \in \mathbf{R}^N$ ，実機での選別作業適性を表わす群番号を出力値 $y \in \mathbf{R}$ と表わし，入出力のペアを (\vec{x}, y) で表わし，入出力のペアの数（被験者数）を M とし， μ 番目のペアを (\vec{x}_μ, y_μ) で表わす．そして，この入出力に関して，次の推定モデルで表現できるように制御変数 $\vec{\omega}$ と推定モデル変数 θ を求める．

$$y = f(\vec{x}, \vec{\omega}, \theta) \quad (2.1)$$

この時，推定モデル変数 θ は，決定木などの統計モデルを表わす．データセットを $D = \{(\vec{x}_1, y_1), \dots, (\vec{x}_m, y_m)\}$ と表わし，学習セットを $L_1 = D/C_1 = \{(\vec{x}_2, y_2), \dots, (\vec{x}_m, y_m)\}$ ，検査セットを $C_1 = \{(\vec{x}_1, y_1)\}$ で表わす．また， μ 番目の検査セット C_μ を $\{(\vec{x}_\mu, y_\mu)\}$ と表せば，学習セット L_μ はデータセット D から検査セット $C_\mu = \{(\vec{x}_\mu, y_\mu)\}$ を取り除いたもの，つまり $L_\mu = D/C_\mu$ となる．ここで，データセットは，全ての被験者の入出力のペアを意味する．つまり，学習セットは，データセットから 1 名分のデータを検査セットとして取り除いたものに相当する．なお，学習セットは推定モデルのパラメータを設定するために用いる．他方，検査セットは，パ

ラメータを設定された推定モデルにより検査セットの入力ベクトル（仮想作業域での選別作業時間）から出力値（実機での選別作業時間に基づく選別作業適性を表わす群番号）の推定および推定誤差を求めるために用いる。さらに、一人目の被験者に対して学習セット L_1 を用いて、次式で表わされる誤差関数 E_1 が最小となる制御変数 $\bar{\omega}_1$ を求める。

$$E_1(\bar{\omega}|L_1) = \frac{1}{2} \sum_{(\bar{x}_\mu, y_\mu) \in L_1} (y_\mu - f(\bar{x}_\mu, \bar{\omega}_\mu, \theta))^2 \quad (2.2)$$

この時、制御変数 $\bar{\omega}_1$ は推定モデル θ による誤差関数 E_1 の最小化問題の解として、次式により表わされる。

$$\bar{\omega}_1^* = \arg \min_{\bar{\omega}} E_1(\bar{\omega}|L_1) \quad (2.3)$$

さらに、制御変数 $\bar{\omega}_1^*$ を用いて一人目の被験者の検査セット $C_1 = \{(\bar{x}_\mu, y_\mu)\}$ に対する推定誤差 ε_1 を次式により求める。

$$\varepsilon_1(\bar{\omega}_1^*|C_1, \theta) = (y_1 - f(\bar{x}_1, \bar{\omega}_1^*, \theta))^2 \quad (2.4)$$

これは学習セット L_1 とは直接関係しない検査セット $C_1 = \{(\bar{x}_\mu, y_\mu)\}$ の推定予測誤差を計算していることになる。さらに検査セット（全てのデータから一個抜く方法）の候補として M 通りの場合が考えられるため、他の $(M - 1)$ 人の被験者データに対して推定誤差 ε_μ を求める。

$$\varepsilon_\mu(\bar{\omega}_\mu^*|C_\mu, \theta) = (y_\mu - f(\bar{x}_\mu, \bar{\omega}_\mu^*, \theta))^2 \quad (2.5)$$

そして、 $f(\bar{x}_\mu, \bar{\omega}_\mu^*, \theta)$ に対する一個抜き交差検証法による汎化誤差 $E(\theta)$ を次式により表わす。

$$E(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{\mu=1}^M \varepsilon_\mu(\bar{\omega}_\mu^*|C_\mu, \theta) \quad (2.6)$$

$E(\theta)$ はデータセットを学習セットと検査セットに分けており、学習セット $L_\mu = D/C_\mu$ に最もフィッティングする制御変数 $\bar{\omega}_\mu^*$ で表わされる関数 $f(\bar{x}_\mu, \bar{\omega}_\mu^*, \theta)$ が学習セットと関連しない検査セットをよく推定することができれば、漸近的に予測モデルとしての性能を評価していることにつながる。そのため、一個抜き交差検証法による汎化誤差を最小にする $f(\bar{x}, \bar{\omega}^*, \theta)$ を選別作業適性を表わす群番号の推定に用いる。想定される複数の推定モデルに対して上記の手順を適用する。そして、汎化誤差 $E(\theta)$ が最小となる推定モデルを選択する。

以上の手順により、実機による選別作業時間に基づく選別作業適性（群番号）を VR

装置による選別作業時間から推定する。なお、実際の作業現場には VR 装置を持ち込み、仮想作業域における選別作業時間を測定する。そして、仮想作業域における選別作業時間を新たな入力データとして、先に求めた推定モデルにより、実作業員の選別作業適性を推定する。

2.3 適用例

提案方法を用いて、以下に示す実験 1 および実験 2 を行った。実験 1 では、VR 装置における作業時間から実機における選別作業適性を表わす群番号を推定するための推定モデルを求めた。実験 2 では、VR 装置を食品製造工場に持ち込み、実験 1 により得られた推定モデルを用いて作業員の選別作業適性の推定を試みた。

2.3.1 選別作業適性推定モデルの作成（実験 1）

実機および VR 装置を用いて 33 名の被験者に対して選別作業適性を調べた。倫理的配慮の観点から、実験内容と目的等の詳細に加えて、いつでも実験を中断したり辞退したりすることができることを被験者には事前に説明した上で、被験者本人の意思で実験に参加できるようにした。被験者の属性は、若年者 13 名（年齢幅 21 歳から 25 歳，男性），中高年齢者 20 名（年齢幅 61 歳から 70 歳，男性 12 名，女性 8 名）であった。被験者全体では、平均年齢 48.3 歳，標準偏差 21.1 歳，男性 25 名，女性 8 名であった。なお、被験者全員に選別作業の実務経験はない。

(1) 選別作業時間の測定

被験者一人につき 12 通りの作業条件の下で選別作業時間を測定した。実機における作業時間と VR 装置における作業時間とを比較するために、被験者毎に全ての作業条件での作業時間の平均値を求めた。その結果を図 2.5 に示す。両装置の選別作業時間の相関係数は 0.48 であった。さらに、相関係数について無相関の検定をしたところ、検定統計量 t_0 は 3.07，危険率 α を 1% とした時の棄却限界 t は 2.45 となった。よって、 $t_0 > t$ より、実機による選別作業時間と VR 装置による選別作業時間とは無相関とは言えないことが確認されたことから、引き続き提案手法により、被験者の選別作業適性の評価を進めた。

(2) 実機による選別作業時間に基づく選別作業適性の評価

実機による選別作業時間を基にクラスター分析を行い、被験者を選別作業に対する適性が同質な被験者群に分類した。クラスター分析結果を図 2.6 に示す。この時、クラ

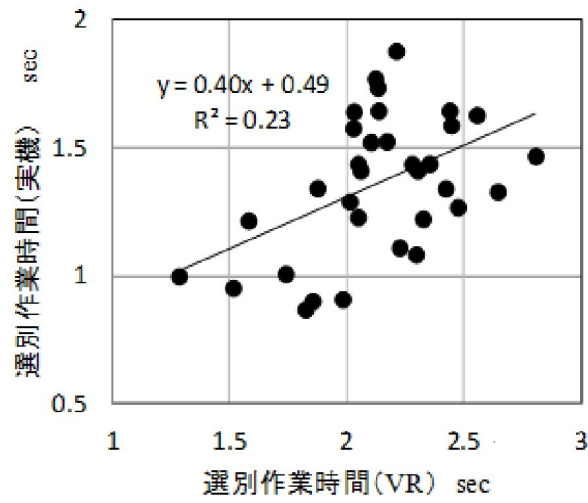


図 2.5 実機と VR 装置による全別作業時間の比較

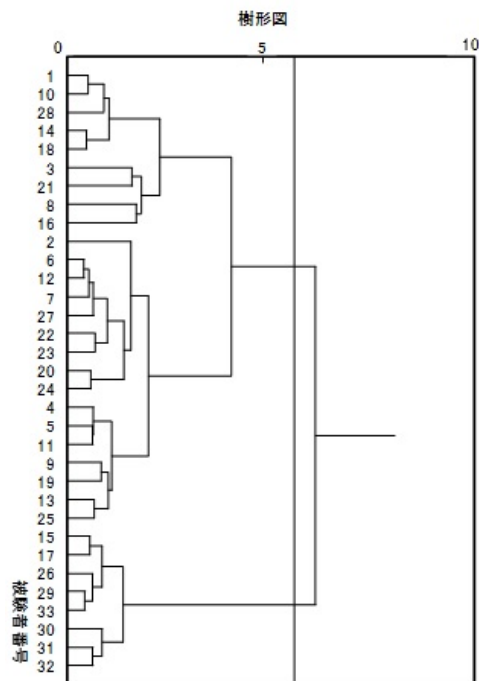


図 2.6 選別作業時間に基づく被験者の分類

スター生成にはワード法を用いた。樹形図の併合後の距離の増加量に照らして、被験者を 2 群に大別する。図 2.6 において、被験者 1 から 25 までの 25 名を群 1、被験者 15 から 32 までの 8 名を群 2 とした。

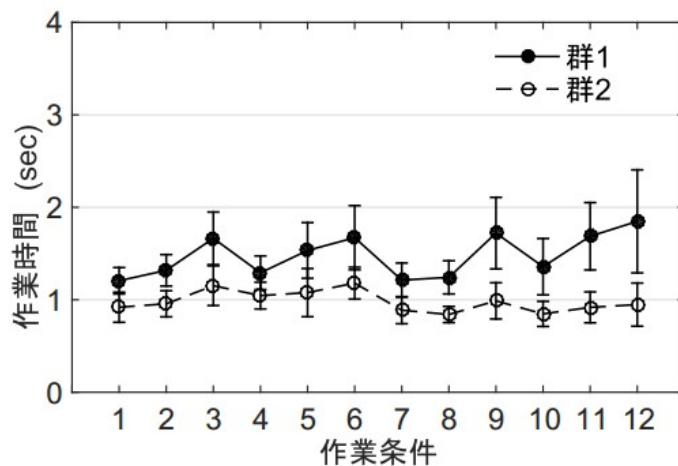


図 2.7 実機による選別作業時間

(3) 選別作業時間の比較

作業条件毎に群 1 と群 2 に属する被験者の平均作業時間および範囲（標準偏差の 2 倍）を求めた。結果を図 2.7 に示す MODAPTS 法による標準時間は 1.16sec であったことから、群 1 の被験者は、12 通りのすべての作業条件において標準時間以上の作業時間を要しており、すべての作業条件での作業時間の総平均は 1.48sec であった。他方、群 2 の被験者については、すべての作業条件において作業時間が標準時間以下となり、すべての作業条件での作業時間の総平均は 0.98sec となった。また、図 2.7 において、両群には顕著な作業時間差が見られることから、群 2 の被験者の選別作業適性は群 1 の被験者の選別作業適性よりも高いと判定される。

さらに、図 2.7 において、群 1 ではコンベア速度が低速の時に選別作業時間が長いことが明らかになっている。本実験の選別作業時間とは、実機および VR 装置においてともに、区間長 400mm の選別作業域に欠陥品が現われた時から被験者の手が欠陥品に触れるまでの時間を意味している。被験者には、欠陥品を検知した後はコンベア速度に関わらず速やかに欠陥品に手を触れるように指示をするとともに、事前練習を行っている。以上の対応により、作業域（有効視野内）に欠陥品が登場するまでの時間が選別作業時間には含まれることが無いように配慮した。しかし、実験結果から、被験者群 1 ではコンベア速度が低速の場合、選別作業時間が長くなる傾向が見られた。この結果は、欠陥品を検知した時点から選別作業域外に出るまでの時間の影響を受けていると推察される。

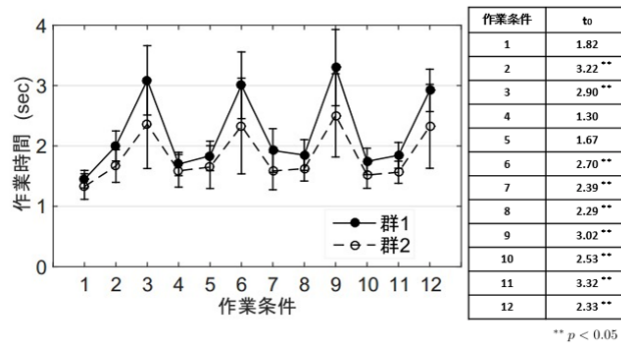


図 2.8 VR 装置による選別作業時間

次に、VR 装置による選別作業時間を測定した。作業条件毎に、先に求めた群 1 および群 2 に属する被験者の平均作業時間および範囲を求めた。結果を図 2.8 に示す。図 2.7 と比較して、作業条件毎の平均値の差は減少しており、全ての作業条件において群 1 の平均値が群 2 の平均値よりも大きい傾向は維持されている。そして、群 1 における 12 条件全ての総平均は 2.22sec、群 2 における総平均は 1.83sec であった。そこで、群 1 と群 2 に対して、作業条件毎に選別作業時間の等分散の検定をしたところ、有意水準を 5% とするときの棄却限界 $F(0.05, 7, 24) = 2.42$ となり、作業条件 12 以外は分散に差がないことが示された。続いて、2 群の母平均の差の検定を行った。この時、作業条件 1 から 11 までは、母分散が等しいとして t 検定を行った。作業条件 12 の母平均の検定に Welch の方法を用いた。その結果、有意水準を 5% とするときの作業条件 1 から 11 までの棄却限界 $t(31, 0.05) = 2.04$ となり、作業条件 12 では、棄却限界 $t(8, 0.05) = 2.31$ となり、検定の結果、作業条件 2,3,6,7,8,9,10,11,12 において平均値に差があることが示された。つまり、欠陥の種類が傷である作業条件 7~12 では、コンベア速度および対象物の大きさに関わらず 2 群の作業時間に差があることが示された。全体では 12 通りの作業条件のうち 9 つの作業条件において 2 群の作業時間に差があることが示された。

(4) 選別作業適性と器用さとの関係

選別作業では、移動中の対象物の中から欠陥品を迅速に取り除く器用さが求められる。器用さの検査法として GATB による器具検査がある。器具検査では、静止対象物に対する手腕の器用さ (M 値) および指先の器用さ (F 値) が測定される。本章では、移動対象物を扱う選別作業に対する身体的適性を F 値および M 値がどの程度捉えることができるのかを確認するために、GATB の測定値と選別作業適性との関係を調べた。なお、F 値は、検査器具を用いて所定時間内に差し込みと差し替えを行うことがで

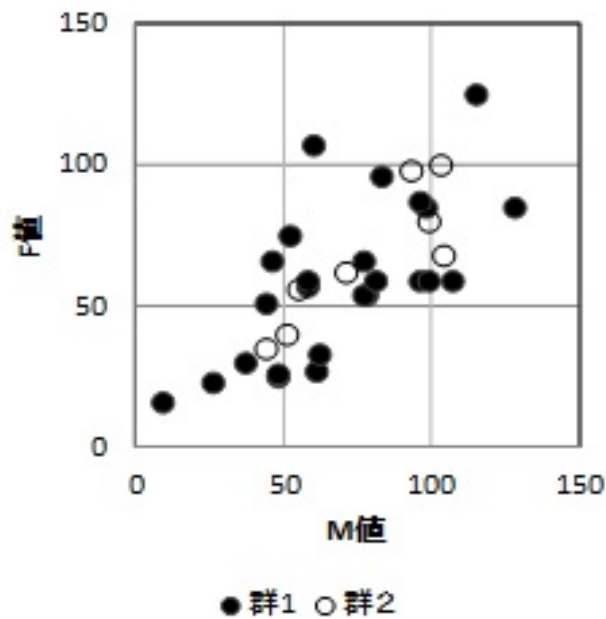


図 2.9 群番号と F 値および M 値との関係

きたペグの本数（粗点）から換算表により求められる。M 値も、検査器具を用いて所定の時間内に組合せと分解を行うことができた丸びょうの本数（粗点）から換算表により求められる。そこで、予め測定した被験者の GATB の F 値および M 値と図 2.6 において分類された群番号との関係を図 2.9 に示す。図 2.9 において群 1 と群 2 の被験者が混在していることから、F 値および M 値を被験者の選別作業適性を表わす群番号を推定するために用いることは難しいことが明らかとなった。

(5) 選別作業適性推定モデルの選定

前節において実機による選別作業時間から各被験者の選別作業適性を表わす群番号を得た。次いで、VR 装置による選別作業時間から各被験者の群番号を推定するための推定モデルを求めた。推定モデルとして決定木、線形判別関数およびニューラルネットワークを比較した。決定木におけるノード分岐のための多様性指数には、ジニ係数を用いた。ニューラルネットワークは、入力層、中間層、出力層からなる 3 階層型構造とした。この時、入力層のノード数を 12、中間層のノード数を 20 とし、中間層の伝達関数にはシグモイド関数、出力層の伝達関数には線形関数を用いた。各推定モデルの一個抜き交差検証法による汎化誤差を表 2.2 に示す。

3 つの推定モデルを比較したところ、決定木による汎化誤差が最小となった。決定木では、分類のために選ばれた制御変数が 3 個（3 つの if-then ルールにより表わされる分類木）となり、線形判別関数およびニューラルネットワークよりも制御変数の数が

表 2.2 群番号推定モデルの汎化誤差

推定モデル	汎化誤差
決定木	3.5
線形判別関数	5.5
ニューラルネットワーク	11.0

表 2.3 実機実験による分類と VR 装置実験による推定結果の比較

		VR 実験による推定		
		群 1	群 2	合計
実機実験による分類	群 1	25	0	25
	群 2	1	7	8
	合計	26	7	33

顕著に少ない構造となった。次に、決定木による推定精度を調べるために 33 名の被験者の群番号を推定した結果と実機での選別作業適性を表わす群番号（出力値）との一致の程度を表 2.3 に示す。その結果、被験者 33 名中、32 名は推定値と出力値とが一致した。また、実機における選別作業時間から、25 名が群 1、8 名が群 2 に分類された。そして、VR 装置における選別作業時間を基に決定木により 26 名が群 1、7 名が群 2 に分類されると推定された。この時、両者の一致度を評価する指標として κ 係数を用いた。表 2.3 の数値から κ 係数は 0.91 となり、一致の程度が十分高いと判断される条件 $\kappa > 0.8$ [76] を満たしている。

以上の結果より、対象とした工場の作業員に対しては、決定木を用いて選別作業適性を推定することとした。

2.3.2 実工程における選別作業適性の推定 (実験 2)

対象とした工場の作業員に対して、VR 装置を用いた選別作業実験および選別作業適性の推定を行った。今回の被験者である作業員の属性を表 2.4 に示す。被験者 13 名は、男性 2 名、女性 11 名、年齢幅は 41 歳から 61 歳、平均年齢 49 歳、標準偏差は 6.5 歳であった。被験者 13 名は製餡工程に従事しており、全員に選別作業の実務経験がある。なお、実験 1 の被験者との重複はない。

表 2.4 実工程作業員に対する群番号の推定結果

被験者	年齢	担当	群番号
M1	51	リフト作業	1
M6	61	軽作業	1
M7	50	包装検査	1
M11	57	軽作業	1
M12	46	包装検査	1
M13	43	包装検査	1
M2	49	包装検査	2
M3	49	軽作業	2
M4	53	包装検査	2
M5	41	軽作業	2
M8	36	包装検査	2
M9	50	生あん製造	2
M10	51	豆選別	2

(1) 選別作業適性の推定

VR 装置による選別作業実験を行い、選別作業時間を測定した。次に、2.3.1(5) 節において得られた決定木モデルを用いて、作業員の選別作業適性を表わす群番号を推定した。各作業員に対して推定された群番号を表 2.4 の第 4 列に示す。表 2.4 より、選別作業適性が高い群 2 に分類された作業員は半数の 7 名となった。なお、この会社では中高年齢者が積極的に採用されている背景があり、選別作業適性に関しては個人差が大きいことが明らかとなった。

(2) 選別作業適性と選別作業時間との関係

群 1 および群 2 に属すると推定された被験者の VR 装置での選別作業時間の平均値および範囲を図 2.10 に示す。群 1 と群 2 に対して、作業条件毎に選別作業時間の等分散の検定をしたところ、有意水準を 5% とするときの棄却限界は $F(0.05, 5, 6) = 4.38$ となった。検定の結果、作業条件 12 以外は分散に差がないことが示された。次に、2 群の母平均の差の検定を行うこととし、作業条件 1 から 11 までは、母分散が等しいとして t 検定を行い、作業条件 12 の母平均の検定に Welch の方法を用いたところ、有意水準を 5% とするときの作業条件 1 から 11 までの棄却限界 $t(11, 0.05) = 2.20$ となった、作業条件 12 では、棄却限界 $t(7, 0.05) = 2.36$ となった。よって、検定の結

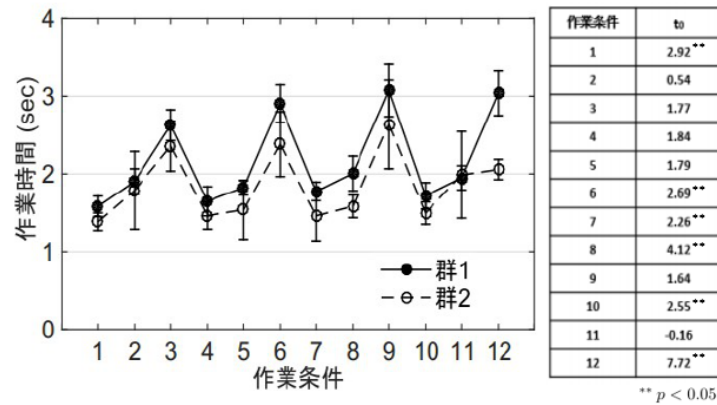


図 2.10 実工程作業員の VR 装置による選別作業時間

果，作業条件 1,6,7,8,10,12 において平均値に差があることが示された。なお，作業条件 1,7,10 では，コンベア速度は 170mm/sec の高速であり，作業条件 6,12 ではコンベア速度は 90mm/sec の低速であった。作業条件 8 ではコンベア速度は 120mm/sec の中速であった。

この工場の餡製造ラインには，原料の小豆の中から異物である小石を選別する作業が行われる豆選別工程が設けられている。豆選別工程は品質管理上極めて重要な工程である。提案手法は選別作業能力を多面的に捉えるまでには至っていないことに留意する必要があるが，豆選別工程に作業能力（作業適正）が高い作業員 M10 が存在することを見い出せている。しかし，他の作業に関しては，群 1 の作業員と群 2 の作業員の間には顕著な差は見られない。また，軽作業および包装検査工程への配置については，選別作業に対する身体的適性以外の適性も含めた多面的な考慮がなされているものと推察される。

2.4 結言

本章では，労働集約型作業における生産性の計画と実績の差を低減することを目的とし，人的要因に含まれる作業適性の個人差に着目した。作業準備段階において人工現実感技術を用いて測定される仮想作業域における作業特性から実工程における作業特性を推定できる可能性が示された。本章においては以下のことが確認された。

1. 実コンベアおよび VR 技術を用いて 2 種類の選別作業分析装置を製作した。特に，VR 装置は，選別作業において欠陥品を全て検知できたことを判定できること，実工程とは切り離して選別作業を分析できること，コンベア速度や欠陥品

の種類と位置などの作業条件を短時間で設定できることという特徴を持つ。

2. VR 装置を用いて行われる選別作業の分析データから実コンベア上での選別作業適性を推定する方法を提案した。
3. 本方法を用いて食品製造工程の作業員の選別作業適性を推定することにより、選別作業適性と現実の人員配置との関係を考察できることが示された。

第3章

機械設備保全作業教育支援 システムの開発

3.1 緒言

本章では、作業準備を終えた後の生産段階において、知識・経験の個人差を低減するための作業教育支援方法を提案する。画像処理を用いて工具種別の判定、作業進捗の判定を行う方法を提案する。そして、作業現場において作業員自身が作業方法を学習できるようにするための作業教育支援システムとして実装する。さらに、設備保全作業を具体例として取り上げる。作業現場で実機に触れ、安全と生産性の両方を考慮して、保全作業の教育を受けることを可能にする支援技術の有効性を調べる。

具体的には、タブレット PC の背面カメラにより工具を撮影する。得られた画像に対して画像処理を行うことにより、工具の種類を判別する。次に、画像処理の結果に応じた工具の使用方法を動画や図、文章を表示する。これにより作業者に工具の使用方法を教示できるようにする。次に点検中の機械設備の映像から作業進捗を判定できる機能を開発する。この機能により作業進捗に合わせて、逐次的に作業者に作業方法の指示を出すことを可能にする。

3.2 提案方法

3.2.1 設備保全作業教育支援システムの概要

本方法は、作業者が多様な機械設備、特殊工具の使用方法、および保守点検作業内容に関する知識を実際の作業を行いながら修得することができることを目的としている。これまでに画像処理技術を用いて工具などの対象物をテンプレートマッチングにより自動認識し、工具の使用方法を説明するための作業手順書がタブレット PC の画面上に表示されるシステムを開発している [77]。図 3.1 に該当システムが使用されている様子を示す。また、図 3.2 に PC の画面に表示される作業手順書を例示している。タブレット PC を用いて工具、撮影される、得られた画像に対し、テンプレートマッチングを用いて工具を識別し、工具の使用方法が文章、図および動画により説明される。従来方法ではテンプレートマッチング処理が SSD(Sum of Squared Difference) 法により行われている。SSD 法は計算アルゴリズムが単純であるため、ソフトウェア開発および実装が容易である。しかし、SSD 法は計算量が多く処理時間が長いという実用上の問題がある。そこで、提案方法では処理時間を短縮するために SURF(Speed Up Robust Feature) 法 [78] を用いる。作業の進捗状況を判別する機能を以下の方法によ



図 3.1 教育支援システムの起動画面



図 3.2 作業手順書例

り実現する。

3.2.2 作業進捗状況の判定

設備保全作業手順を複数の工程に分ける。また、工程毎に予めテンプレート画像を用意する。そして、作業の進捗に応じて撮影される画像とテンプレート画像のキーポイントの検出および照合を SURF 法により行う。SURF 法によりキーポイントが検出

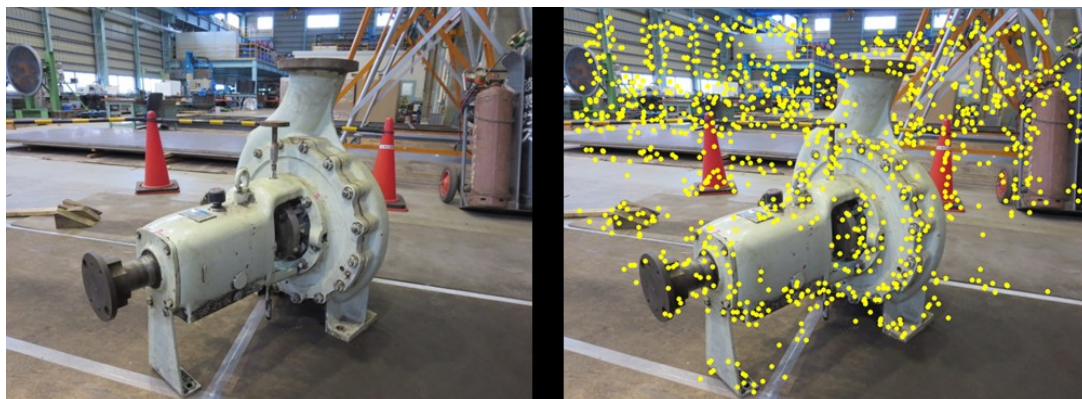


図 3.3 検出キーポイント例

される。キーポイントの特徴量がテンプレート画像と入力画像とで類似している点が一致キーポイントとして選出される。設備(対象)の領域外(背景に写った人や工具など)で検出された一致キーポイントを外れ値として除外することで作業の進捗判定制度を高める。図 3.3 に SURF 法により検出キーポイントの例を示している。各キーポイントは 64 次元ベクトルの特徴量により表される。これらの特徴量は、画像のスケールや外部環境の影響を受けないことが知られている。入力画像とテンプレート画像の両方のキーポイントは、64 次元ベクトルの特徴量に基づいて比較される。両方の画像における同じ特徴量のキーポイントが対応付けられ、一致するキーポイントが求められる。一致するキーポイントの数が最大となるテンプレートが選ばれ、選ばれたテンプレートの番号から作業の進捗(工程番号)が判定される。

SURF 法は SSD 法に比べて、入力画像中とテンプレート画像中の対象物のサイズのズレおよびカメラ光軸回りの回転の角度のズレに対してより頑健であることが知られている。しかし、設備保全作業現場には、テンプレートマッチングの認識精度に影響を及ぼす他の要因がある。具体的には機械設備の保全作業は複数の作業員により行われる。そのため、機械設備を撮影する際に背景に工具や人影などテンプレート画像撮影時には映っていない物体が入ることがある。従来の SURF 法では撮影された画像内のキーポイントの全てを用いてテンプレートマッチングが行われる。工具や人影などの対象物以外の領域にあるキーポイントがテンプレートマッチングに用いられることで、対象物(作業進捗)の判定精度が低下する。そこで、対象物以外の領域で検出されるキーポイントを外れ値とし、テンプレートマッチングの候補点から除外する方法を提案する。また、テンプレートマッチング後に作業ミスを作業者に提示する方法も提案する。はじめに一致キーポイントの外れ値を除外する方法を述べる。

(1) 外れ値の除外方法

SURF により入力画像とテンプレート画像の両方において類似した特徴量を持つキーポイントを検出する。入力画像およびテンプレート画像において検出された一致キーポイントの座標を次のように表す。

入力画像のキーポイント： $p_k^1 = (i_k, j_k), (k = 1, 2, \dots, n)$

テンプレート画像のキーポイント： $p_k^2 = (u_k, v_k)$

入力画像とテンプレート画像とで一致したキーポイントの座標間距離 L_k を求める。

$$L_k = \sqrt{(i_k - u_k)^2 + (j_k - v_k)^2} \quad (3.1)$$

全ての座標間距離 L_k に対して平均値 L_{ave} を求める。

$$L_{ave} = \frac{\sum_{k=1}^n L_k}{n} \quad (3.2)$$

さらに、 L_k の標準偏差 σ を求める。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (L_k - L_{ave})^2} \quad (3.3)$$

次に、工程管理の考え方を参考にして一致キーポイントの外れ値を除外する基準を次式により設定する。

$$R = \alpha \cdot \sigma \quad (3.4)$$

座標間距離 $(L_k - L_{ave})$ が閾値 R 以上となるキーポイントを除去する。係数 α の値が 1 より大きいほど除外されるべきキーポイントがテンプレートマッチングに用いられる危険性が増加する。係数 α が 1 より小さいほど本来はテンプレートマッチングに使用されるべきキーポイントが誤って除外される危険性が高まる。そのため、係数 α は実際に装置を作業現場で使用し、実状に合わせて調整されるものとする。これにより、座標間距離の離れた一致キーポイントをテンプレートマッチングの対象から除外する。

3.3 作業未完了箇所を検出

作業の未完了箇所を画像処理を用いて判定する場合、入力画像とテンプレート画像とでカメラから対象までの距離やカメラ角度、日照条件が異なることが想定されるため、ノイズが発生し、適切な検出が行われない問題がある。そこで、テンプレートマッ

チングにより得られるキーポイントの情報を基に入力画像に対して拡大縮小・回転処理 (アフィン変換) を行うこと, および二値化のための閾値を自動決定する方法を導入する.

3.3.1 特徴量に基づく画像補正

テンプレート画像と入力画像のキーポイントを一致させるために, アフィン変換を行う. アフィン行列を得るために, 最小二乗法を用いる. 本章では, 入力画像のキーポイント $p_k^1 = (i_k, j_k), (k = 1, 2, \dots, n)$ の座標を (i_k, j_k) , テンプレートのキーポイント p_k^2 の座標を (u_k, v_k) と表している.

入力画像の一致キーポイントの座標に対して 2 次元のアフィン変換行列 A を仮定する.

$$A = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

入力画像とテンプレート画像の一致キーポイントの関係は, 次のように表される.

$$\begin{pmatrix} u_k \\ v_k \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_k \\ j_k \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \delta_{uk} \\ \delta_{vk} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

δ_{uk} はアフィン変換後の入力画像の一致キーポイントとテンプレート画像の一致キーポイントの X 座標の差を表す.

$$\delta_{uk} = ai_k + bj_k + c - u_k \quad (3.7)$$

式 (3.7) より, 誤差関数 ϕ_u を次式で表す.

$$\phi_u = \sum_{k=1}^n \delta_{uk}^2 = \sum_{k=1}^n (ai_k + bj_k + c - u_k)^2 \quad (3.8)$$

次に ϕ_u が最小となるアフィン行列 A の要素 (a, b, c) を求める. ϕ_u の偏微分を用いることにより, 上記の条件を以下の式で表すことができる.

$$\frac{\partial \phi_u}{\partial a} = \sum_{k=1}^n 2i_k (ai_k + bj_k + c - u_k) = 0 \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial \phi_u}{\partial b} = \sum_{k=1}^n 2j_k (ai_k + bj_k + c - u_k) = 0 \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial \phi_u}{\partial c} = \sum_{k=1}^n 2(ai_k + bj_k + c - u_k) = 0 \quad (3.11)$$

式 (3.9), (3.10), (3.11) により, 次のように表される.

$$\begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n i_k^2 & \sum_{k=1}^n i_k j_k & \sum_{k=1}^n i_k \\ \sum_{k=1}^n i_k j_k & \sum_{k=1}^n j_k^2 & \sum_{k=1}^n j_k \\ \sum_{k=1}^n i_k & \sum_{k=1}^n j_k & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n u_k i_k \\ \sum_{k=1}^n u_k j_k \\ \sum_{k=1}^n u_k \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

$$R_u = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n i_k^2 & \sum_{k=1}^n i_k j_k & \sum_{k=1}^n i_k \\ \sum_{k=1}^n i_k j_k & \sum_{k=1}^n j_k^2 & \sum_{k=1}^n j_k \\ \sum_{k=1}^n i_k & \sum_{k=1}^n j_k & n \end{pmatrix} S_u = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n u_k i_k \\ \sum_{k=1}^n u_k j_k \\ \sum_{k=1}^n u_k \end{pmatrix}$$

以上の式によりアフィン変換行列 A の要素 a, b, c は次式で表される.

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = R_u^{-1} S_u \quad (3.13)$$

アフィン変換行列 A の要素 (d, e, f) の値は, 式 (3.12) の u_k を v_k に入れ換えることにより求める.

入力画像にアフィン変換を行うと, 変換後の座標値に小数が含まれる場合がある. しかし, 各画素の座標は整数であるため, 変換後の座標値は四捨五入され整数化される. そのため, 全ての返還後の画像の全ての画素が埋まらない場合がある. そこで, 変換後の画像の座標からそれに対応する入力画像の座標にある画素の輝度値を取得する方法を用いる, アフィン変換行列 A の逆数 A^{-1} を求める.

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{pmatrix} e & -b & bf - ce \\ -d & a & cd - af \\ 0 & 0 & ae - bd \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

求められた A^{-1} を変換行列の右辺にかけることで入力画像がテンプレート画像と一致するように拡大縮小・回転の補正を行う.

$$\begin{pmatrix} i_k \\ j_k \\ 1 \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} u_k \\ v_k \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

3.3.2 未完了箇所を検出

入力画像とテンプレート画像との間で差分処理を行うことより、テンプレート画像には存在しない領域を作業未完了箇所として抽出する。差分処理後の画像は背景と対象物とが未分類状態の濃淡画像となる。そこで、影などを含む背景と対象物を分離するために二値化を行う。一般的に考えれば、保全対象の設備の色は一色に限定することはできない。また、対象物に応じて二値化の度に閾値を設定することも現実的ではない。そこで、閾値を自動決定する方法を導入する。閾値の決定に判別分析法(大津の二値化)[79]を用いる。大津の二値化法により求められた閾値により差分画像に対して二値化を行う。さらに、得られた二値化画像に対してノイズの除去のために縮小・膨張処理を行う。次に、二値化画像とテンプレート画像とを重ね合わせ、テンプレート画像には無い領域、すなわち、未完了箇所を表示する。

3.4 保全作業教育支援システムの構築

処理時間および開発コストを削減する目的で、クライアントサーバ方式を用いる。本装置を実際に使用する場合、1人作業者が一台のタブレットPCを使用する。本装置は海外を始めとする遠隔地の複数のプラントでの運用を前提としている。すべての端末に多様な機械設備の保全作業に関する大量の情報を格納し、情報の追加や変更を更新することは容易ではない。そこで、本システムはクライアントサーバ方式とする。これにより設備保全作業の内容に関するデータの一元管理化を可能にする。

本装置は管理者が使用するサーバー側PCと作業者が使用するクライアント側PCで構成される。システム構成を図3.4に示す。サーバー側には、画像処理に必要なテンプレート画像、作業手順書が保存され、処理速度が速い演算装置が備えられている。クライアント側PCは、カメラ及び作業手順書の表示機能を持つ。クライアント側PCで機械設備を撮影し撮映された画像に対してサーバー側PCで画像処理を行い、作業の進捗を判定し、クライアント(現地PC)に作業手順書データが送信される。

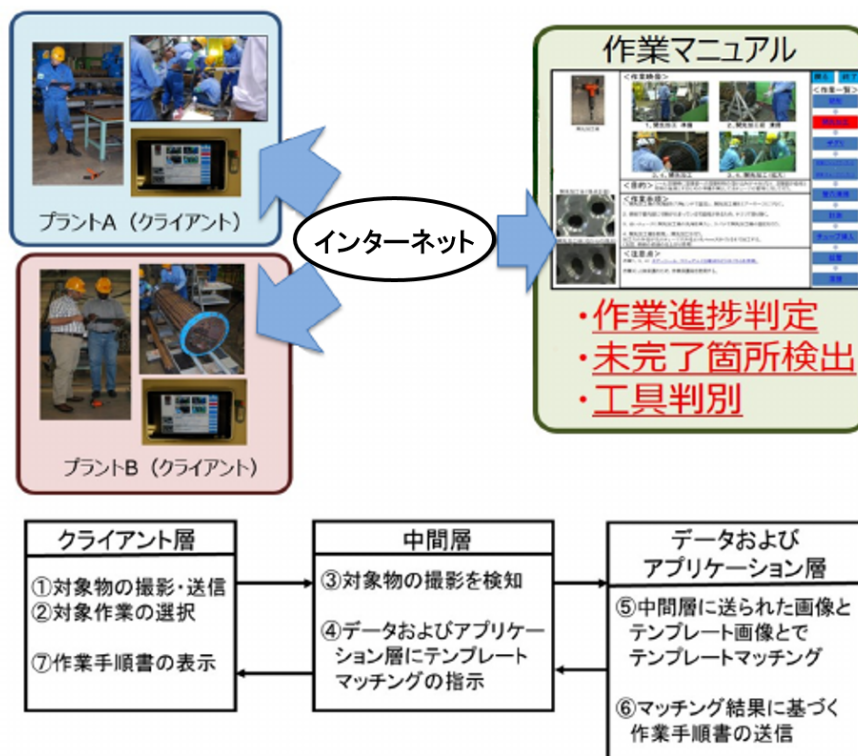


図 3.4 本システムの概念

3.5 運用試験

提案方法が、化学プラントで多く使用されている遠心ポンプの分解作業の進捗判定に適用した。遠心ポンプの分解作業を 8 工程に区分した分解作業は (1) ケーシング、(2) 羽根車、(3) 地面カバー、(4) ボールベアリング、(5) メカニカルシール、(6) ベアリングカバー、(7) ボールベアリング、(8) 主軸の取り外し工程から成す。これらの作業に対し、SURF および提案方法を用いて作業進捗の判定精度を比較した。さらに、作業の未完了箇所検出機能を確認した。

3.5.1 作業の進捗判定

分解点検作業の進捗状況判定の一例として、第 4 工程の例を以下に述べる。遠心ポンプの入力画像を図 3.5 に示す。入力画像には、作業者の足、道具および床のテープ線などが写っている。SURF より検出されたキーポイント第 1 工程から第 8 工程までのテンプレート画像のキーポイントの数を表 3.1 に示している。表 3.1 の上の段のキー

ポイント数は、外れ値を除外する処理が行われていない。表 3.1 下段は外れ値となるキーポイントを除外した後のキーポイント数を示している。キーポイントの数、一致キーポイント数が同一の場合には、テンプレート画像番号が低い方が選ばれるようにしている。本例の場合、外れ値除去処理前の結果からは、作業進捗の段階としては第 3 工程のテンプレート画像が選ばれる。提案方法により外れ値に相当するキーポイントを除去した結果、作業進捗は第 4 工程であると正しく判定された。

表 3.1 図 8 の入力画像に対するキーポイントの数

	第 1 工程	第 2 工程	第 3 工程	第 4 工程	第 5 工程	第 6 工程	第 7 工程	第 8 工程
処理前	6	2	11	11	8	2	5	1
処理後	3	1	7	10	5	2	3	1

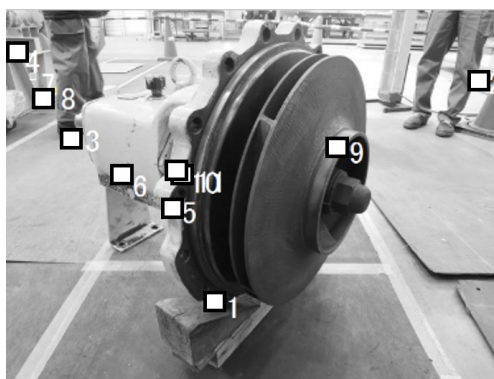


図 3.5 入力画像および SURF により検出された一致キーポイント

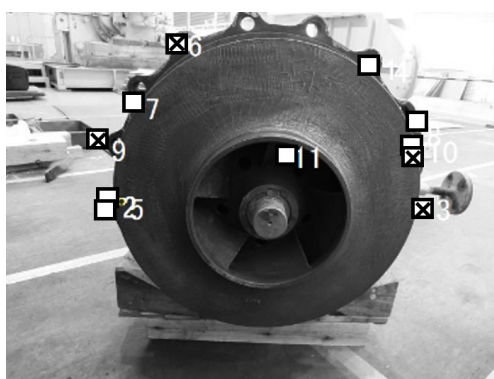


図 3.6 第 3 工程のテンプレート画像および一致キーポイント

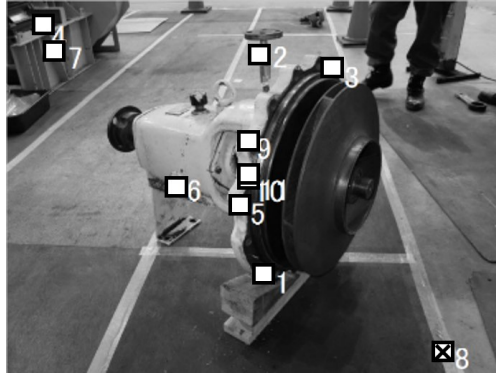


図 3.7 第 4 工程のテンプレート画像および一致キーポイント

3.5.2 作業未完了箇所を検出

次に，第 5 工程を一例として分解作業の未完了箇所の有無を判定した結果について述べる，遠心ポンプの入力画像を図 3.8 に示す．背景差分処理により入力画像とテンプレート画像の差分を求める，作業未完了箇所を検出した結果を以下に示す．入力画像とテンプレート画像の検出キーポイント数はそれぞれ 350 個と 307 個となった．そのうち画像補正に使用されたキーポイント数は各 23 個となった，アフィン変換行列 A は式 (3.16) に示す．

$$A = \begin{pmatrix} 0.9926 & -0.0214 & 20.4055 \\ 0.0214 & 0.9926 & -19.4475 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

変換行列 A を用いて，逆行列 A^{-1} を求めた．

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} 1.0070 & 0.0217 & -20.1264 \\ -0.0217 & 1.0070 & 20.0264 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

図 3.8 の入力画像を逆行列 A^{-1} を用いて変換した．その後入力画像とテンプレート画像との間で差分処理を行った結果を画像を図 3.10 に示す．次に大津の方法により，分離度が最大となる閾値 T_h の値を求めた結果，閾値は $T_h=71.0$ となった．図 3.11 に二値化処理後の結果，第 5 工程には未完了箇所（メカニカルシール取外し）があることを正しく検出することができた．



図 3.8 入力画像



図 3.9 第 5 工程作業のテンプレート画像

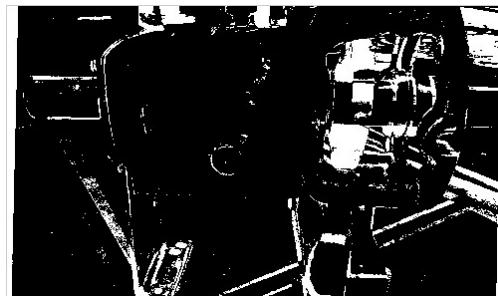


図 3.10 アフィン変換後の差分画像



図 3.11 二値化後の画像 (メカニカルシールの検出)

3.5.3 処理時間

入力画像は、インターネットを介してサーバーに送信され、テンプレートマッチングにより進捗判定および作業未完了箇所の判定が行われた。テンプレートの数を 29 個に増やし、テンプレートマッチングに要した処理時間を SSD 法および提案方法について比較した。SSD 法による処理時間は、テンプレート画像の数の増加に伴って急激に増加した。29 枚のテンプレート画像に対してのテンプレートマッチングに要した処理時間は 130 秒であった。提案方法では、29 枚のテンプレート画像に対するのテンプレートマッチングに 18 秒を要した。処理時間は 85% 短縮された。

3.6 結言

本章では人的要因に含まれる知識・経験の個人差を低減することを目的とした。画像処理を用いて工具種別の判定、作業進捗の判定を行うことにより、作業現場において作業員自身が作業方法を自習できる作業教育支援装置の実現可能性が示された。適用例により以下のことが確認された。

1. 治工具の使用方法を文章、写真、動画で提示できる教育システムを開発した。
2. SSD 法によるテンプレートマッチングを提案手法に変更することにより、対象物の認識精度の向上および処理速度（85% 短縮）を向上することが出来た。
3. 背景差分処理を採用することにより、作業の未完了箇所の検出を可能にした。

第4章

従業員の仕事満足と継続就業意思 の経年変化とその因果関係の解明

4.1 緒言

本章では、従業員が熟練者となった段階を測定し、熟練作業者を含む従業員が離職を考えるメカニズムを明らかにする。仮定として、離職願望（または継続就業意思）は従業員満足により影響を受けること、さらに従業員満足は複数の従業員満足要因の影響を受ける因果関係を考える。

日本国内の製造企業では、海外展開生産拠点が一番多くの中国生産拠点 (53.7%)[80]において離職率が高いことが報告されている [26~27]。本章では中国生産拠点において4年間にわたり実施された職務満足向上施策を事例として用い、従業員の職務満足要因から継続就業意思への影響を分析する。継続就業意思に関しては会社への継続就業意思、今の仕事への継続就業意思および今の仕事に対する意欲からなる3項目を設定し、職務満足要因として29項目を設定する。質問紙調査による回答に対して、多数の職務満足要因が持つ情報を抽出するために、主成分分析により低次元空間に情報を縮約する。また、主成分分析により得られる少数の主成分から職務満足に影響が及ぶことを表すパス、さらに職務満足から継続就業意思に影響が及ぶことを表すパスから成る構造モデルを仮定する。調査データのクロス集計から、年度により継続就業意思に有意差があることが確認され、年度別に職務満足要因から継続就業意思への影響を共分散構造分析により、すべての年度で継続就業意思への影響が有意な職務満足要因と、年度により影響の有無が変わる要因があることが確認される。

4.2 調査方法

継続就業意思の調査は、従業員数約6,000名の中国生産拠点において、2012年12月、2014年7月、2015年12月に1.5年間隔で3回行われた。この生産拠点では、複写機、プリンターなどのドキュメント機器の製造が行われている。

4.2.1 調査対象者

当該生産拠点における職位は技術職コースと管理職コースに大別されるが、本章では、技術職コースの従業員を調査対象とした。調査年度毎に組立部門を中心として6部門から各100名、部門内では3つの職位(工員3級、工員2級およびマイスター)からほぼ均等に30名~40名、合計600名が無作為に選ばれた。調査対象者の属性を表

表 4.1 調査対象者の属性

性別	男性：51.6%，女性：48.4%
部門	モジュール組立：4部門，最終組立：1部門，工場内物流：1部門
勤続年数	1年未満 40.5%，1年～3年未満：36.3%，3年以上：23.2%
職位	工員3級：28.2%，工員2級：39.0%，マイスター：32.8%
年齢層	20歳未満：42.8%，20歳～25歳未満：44.2%，25歳以上：13%
配偶者	有り：29.0%，なし：71.0%
転職経験	有り：53.1%，なし：46.9%

4.1 に示す。職位は、工員3級、工員2級、マイスターの昇順で段階的に高くなる。工員3級の職位は試用期間修了者に与えられる。工員2級およびマイスターへの昇格は、所属長の人事評価、職務遂行能力などを基に社内規準により決定される。工員3級、2級およびマイスターは、担当できる作業の範囲が異なる。例えば組立部門の工員3級は、組立ラインの単一工程を担当でき、工員2級は複数の工程を担当でき、マイスターはすべての工程を担当できる。一般的には工員3級、2級、マイスターの順に平均勤続年数が長い。工員2級から昇格する際に、技術職コースのマイスターまたは管理職コースを選択できる。調査対象者の年齢層は25歳未満の割合が87%であり、転職経験者の割合は53%であった。

4.2.2 職務満足向上施策

従業員の職務満足の向上を目的として行われた主な対策を以下に述べる。

1. 妊婦および産後の1年間は時間帯を指定せずに毎日1時間の休憩を与えることで、フレックスタイム制度に近い運用を可能にした。
2. 企業の印象が入社前と入社後で大きく変わることを抑制するために、入社面接時に職場の様子をビデオで紹介した。
3. 国内の複数の高等学校にインターンシップ講座を開講し、研修生の受け入れが開始された。仕事内容の実態を理解した上で就職を希望する者は積極的に採用した。
4. 文化、スポーツ関連のレクリエーション充実を計るために、活動時間および支援額が増やされた。
5. 昇進機会等の公平感を高めるために現地管理者化が進められた。

対策 (a) は、2012 年度以前から、他の対策は 2012 年度から行われている。

4.2.3 質問紙の作成

継続就業意思に関して 3 項目を設定した。職務満足要因は、MSQ 短縮版に記されている 20 項目 [37] および Herzberg が示した 16 項目 [36] を基にし、両方に共通する項目はまとめ、表 4.2 に示す 29 項目を設定した。紙面の制約により、表 4.2 では各項目は短縮して示している。ちなみに、項目 Q_6 , $Q_9 \sim Q_{14}$, Q_{16} , Q_{18} , Q_{23} , Q_{27} , Q_{28} , Q_{31} からなる 13 項目は MSQ 短縮版由来、項目 Q_5 , Q_7 , Q_8 , Q_{17} , $Q_{19} \sim Q_{21}$, Q_{25} , Q_{32} からなる 9 項目は Herzberg 由来の項目であり、他の 7 項目は MSQ 短縮版および Herzberg が示した項目の両方に共通している。各項目に対する回答には、4 件法による順序尺度が用いられており、満足感が大きいほど 4 に近い選択肢、不満足感が大きいほど 1 に近い選択肢が選ばれるように設問を記述した。例えば、質問項目 Q_{15} (人事評価の公平感) の回答欄には、1 (不公平), 2 (どちらかといえば不公平), 3 (どちらかといえば公平), 4 (公平) という表現が用いられている。また、継続就業意思に係る項目 Q_1 および項目 Q_2 では、特定の選択肢に回答者が集中することを避けるために、2012 年度までの離職者の勤続期間を鑑み、1 (3 か月以内), 2 (3 か月から半年), 3 (半年から 1 年), 4 (1 年から 3 年以内), 5 (3 年以上) の選択肢からなる 5 件法を用いた。

この調査は無記名とし、調査データは本論文以外には用いないことも明示した。

表 4.2 設問概要

大分類	項目
継続就業意思	<p>Q₁:今の会社に勤めたいと考えている期間</p> <p>Q₂:今の仕事を続けたいと考えている期間</p> <p>Q₃:仕事への意欲</p>
職務満足要因	<p>Q₄:仕事の単調感</p> <p>Q₅:仕事を遂行するための事前研修の満足感</p> <p>Q₆:技能・技術研修制度の満足感</p> <p>Q₇:業務分担の明確さ</p> <p>Q₈:職務拡大願望</p> <p>Q₉:自身の能力活用の満足感</p> <p>Q₁₀:貢献感</p> <p>Q₁₁:達成感</p> <p>Q₁₂:職場環境の快適感</p> <p>Q₁₃:報酬に対する満足感</p> <p>Q₁₄:昇進機会の公平感</p> <p>Q₁₅:人事評価の公平感</p> <p>Q₁₆:文化・体育・レクリエーション活動支援への満足感</p> <p>Q₁₇:休憩時間に関する満足感</p> <p>Q₁₈:休日数の満足感</p> <p>Q₁₉:残業時間に関する満足感</p> <p>Q₂₀ 食堂に関する満足感</p> <p>Q₂₁:社会的地位に関する満足感</p> <p>Q₂₂:仕事内容の道義性に対する満足感</p> <p>Q₂₃:創造性発揮機会に関する満足感</p> <p>Q₂₄:上司との信頼関係に関する満足感</p> <p>Q₂₅:同僚との人信頼関係に関する満足感</p> <p>Q₂₆:同僚との協力関係に関する満足感</p> <p>Q₂₇:身体的疲労感</p> <p>Q₂₈:精神的疲労感</p> <p>Q₂₉:仕事の難易度</p> <p>Q₃₀:仕事で生じる問題の解決難易度</p> <p>Q₃₁:職務遂行に求められる知識水準</p> <p>Q₃₂:担当業務の重要性</p>

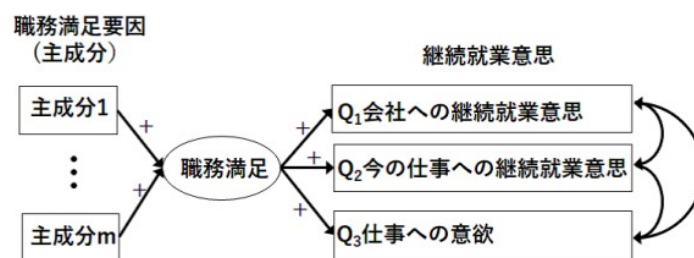


図 4.1 継続就業意思構造モデル

4.2.4 継続就業意思構造モデルの提示

参考文献 [36] から、職務満足は多面的な職務満足要因からの影響を受けると仮定されている。その上で、主成分分析により低次元空間に情報を縮約し、複数の職務満足要因 ($Q_4 \sim Q_{32}$) が持つ情報を抽出する。次に、主成分分析により得られる少数の主成分から職務満足に影響が及ぶことを表すパス、さらに職務満足から継続就業意思に影響が及ぶことを表すパスを仮定する。継続就業意思は、表 4.2 における項目 Q_1 , Q_2 , Q_3 により確認する。項目 Q_1 では、全体的な継続就業意思を問い、項目 Q_2 は個別の仕事に対する継続就業意思、および項目 Q_3 は継続就業意思を間接的に尋ねた。そのため、項目 Q_1 , Q_2 , Q_3 の間には相関関係が生じる可能性があり、相関関係を表すパスを設定する。また、各主成分から職務満足へは、正の影響を仮定する。各主成分は直交するため、主成分の間に相関関係を表すパスは設けない。以上の仮定を基に、構造モデルを図 4.1 のように示す。本章では、Chen[51] 等の共分散構造分析の研究を参考にし、図 4.1 における各パスの影響を推定する。分析のためのソフトウェアには、Amos ver.22 を用いた。

4.3 調査結果

4.3.1 離職率の推移

月内の離職者数を（月末在職者数+月内離職者数）で除した値を月毎に求め、4月から翌年3月までの平均値を年度ごとの離職率とした。2011年度（4月から翌年3月まで）2016年度までの離職率を2012年度を1.0として、相対値を求め、図4.2に示す。2011年度の離職率は、文献[30]における調査事例と同程度の値であった。2012年度は、継続就業意思向上施策が追加された年度であり、2011年度と比較して17%離職率

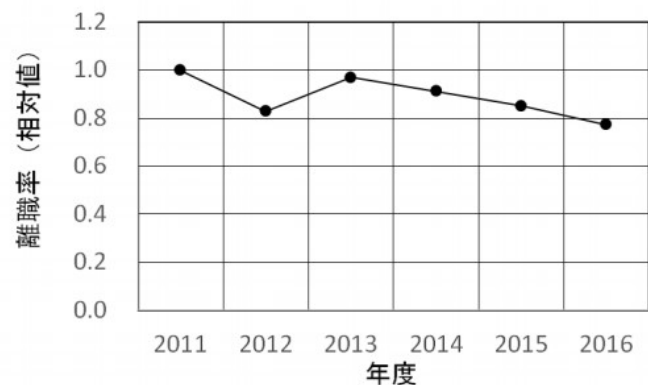


図 4.2 年度別離職率の推移 (2011 年度に対する相対値)

が低下している。2013 年度は、再び離職率が増加した。この年度は、四川大地震が発生し、被災地に帰省する従業員が少なくなかったが、離職率が増加した明確な理由は把握できていない。2013 年度から 2016 年度にかけて離職率が単調に減少している。この期間において、帰無仮説を「回帰係数が零である」とするとき、 p 値 = $0.002 < 0.05$ となり、帰無仮説は棄却され、年度進行に伴い離職率が減少しているといえることが示された。離職率の相対比較では、2011 年度から 2016 年度にかけて 20% 減少していることから、上記 5 つの施策の効果が一定量見られており、より詳細に分析し、この期間の職務満足要因から継続就業意思への影響を調査データから抽出する。

4.3.2 対象者属性の違いによる継続就業意思 (項目 Q1) への影響

調査した対象者の男女比率は、2012 年度 0.53:0.47, 2014 年度 0.46:0.54, 2015 年度 0.54:0.46 であり、男女比率に極端な差はない。3 回の調査データを一括し、職位、配偶者の有無、転職経験および性別の違いにより項目 Q_1 に有意差があるといえるかを分散分析により調べた。属性毎の分散分析表を表 4.3 から表 4.6 に示す。

職位を因子とする分散分析において、マイスターの平均値 4.39, 工員 2 級の平均値 3.96, 工員 3 級の平均値 3.51, 検定統計量 $F_0 = 120.4$, 有意水準を 5% とするときの棄却限界 $F(0.05, 2, 1605) = 3.00 < 120.4$ であることから、職位の違いにより項目 Q_1 に有意差のあることが示された。

配偶者の有無を因子とする分散分析において、配偶者なしの平均値 3.90, 配偶者ありの平均値 4.14, 検定統計量 $F_0 = 20.9$, 棄却限界 $F(0.05, 1, 1606) = 3.84 < 20.9$ であることから、配偶者の有無により項目 Q_1 に有意差のあることが示された。

転職経験の有無を因子とする分散分析において、転職経験なしの平均値 3.93, 転職経

験ありの平均値 4.02, 検定統計量 $F_0 = 3.52$, 棄却限界 $F(0.05, 1, 1606) = 3.84 > 3.52$ であることから, 転職経験の有無により項目 Q_1 に有意差があるとはいえないことが示された。

性別を因子とする分散分析において, 男性の平均値 3.95, 女性の平均値 4.00, 検定統計量 $F_0 = 1.05$, 棄却限界 $F(0.05, 1, 1606) = 3.84 > 1.05$ であることから, 性別により項目 Q_1 に有意差があるとはいえないことが示された。

以上の結果より, 継続就業意思 Q_1 の変化を経年変化および職位により層別して考察する。配偶者の有無により項目 Q_1 に差が生じることが示されたが, 配偶者の有無を因子とする分散分析における分散比 20.9 は, 職位を因子とする分散分析における分散比 120.4 よりも小さいため, 継続就業意思 Q_1 の変化を配偶者の有無により層別することは考慮しないことにする。

表 4.3 職位分散分析表

因子	平方和	自由度	平均平方	F_0 値	P 値
職位	186.7	2	93.3	120.42***	$P < 0.001$
誤差	1243.9	1605	0.78		
全体	1430.6	1607			

表 4.4 配偶者分散分析表

因子	平方和	自由度	平均平方	F_0 値	P 値
配偶者	18.4	1	18.4	20.91***	$P < 0.001$
誤差	1412.2	1606	0.88		
全体	1430.6	1607			

表 4.5 転職経験分散分析表

因子	平方和	自由度	平均平方	F_0 値	P 値
転職経験	3.1	1	3.1	3.52	0.061
誤差	1427.4	1606	0.89		
全体	1430.6	1607			

表 4.6 性別分散分析表

因子	平方和	自由度	平均平方	F_0 値	P 値
性別	0.9	2	0.94	1.05	0.305
誤差	1429.6	1606	0.89		
全体	1430.6	1607			

4.3.3 継続就業意思の時間的变化

(1) 今の会社に勤めたいと考えている期間（項目 Q_1 ）

有効回答数は 1,725 であった。年度毎の人数割合を、図 4.3 に示す。半年以内の転職（選択肢 1 または 2）を考えている人数割合は、2012 年度と比較して、2014 年度は 1.8% 減少し、2015 年度は 2.0% 減少しているが、減少割合は小さい。一方、3 年間以上勤めることを望む人数割合には顕著な増加が見られ、2012 年度と比較して、2014 年度は 5.3% 増加し、2015 年度は 12.0% 増加している。選ばれた選択肢を点数と捉え、平均値の差の検定を行った。調査年度毎の平均値、不変分散、有効回答数を表 4.7 に示す。2012 年度と 2014 年度の平均値に差がないことを帰無仮説として平均値の差の検定を行い、検定統計量は $t_0 = 1.82$ 、有意水準を 5% とするときの棄却限界は $t(1138, 0.05) = 1.96 > 1.82$ となり、2012 年度と 2014 年度の平均値には差がないといえることが示された。次に、2012 年度と 2015 年度の平均値に差がないことを帰無仮説として平均値の差の検定を行い、検定統計量は $t_0 = 3.14$ 、有意水準を 5% とするときの棄却限界は $t(1134, 0.05) = 1.96 < 3.14$ となり、平均値に差があるといえることが示された。さらに、年度により選択肢 1 から選択肢 5 の人数割合に差がないことを帰無仮説として検定を行った。検定統計量は 28.8、有意水準を 5% とする場合の棄却限界は $\chi^2(8, 0.25) = 17.53 < 28.8$ となり、年度により選択肢 1 から 5 の人数割合に差があるといえることが示された。従って、会社に対する継続就業意思は年度進行に伴い高まっていることが読み取れる。この結果は、図 4.2 において離職率が年度進行に伴い減少していることを裏付けていることが分かった。

表 4.7 今の会社に勤めたいと考えている期間（項目 Q₁）に対する回答集計

調査年度	平均値	不変分散	有効回答数
2012	3.9	0.92	551
2014	4.0	0.84	589
2015	4.1	0.85	585

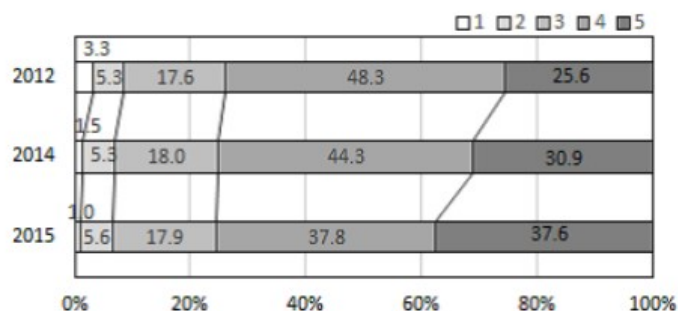


図 4.3 今の会社に勤めたいと考えている期間（項目 Q₁）に対する回答割合（調査年度別全対象者）

(2) 今の仕事を続けたいと考えている期間（項目 Q₂）

項目 Q₂ に対する選択肢には、項目 Q₁ と同じ選択肢が用いられた。回答における各選択肢の人数割合を図 4.4 に示す。半年以内に仕事内容の変更を望む選択肢 1 または 2 の人数割合は、2012 年度と比較して、2014 年度は 0.8% 減少し、2015 年度は 0.6% 減少しているが、減少割合は小さい。一方、3 年間以上今の仕事を継続することを望む選択肢 5 の人数割合は、2012 年度と比較して、2014 年度は 3.4% 増加し、2015 年度は 6.7% 増加している。そこで、各選択肢の人数割合に年度による差はないことを帰無仮説として検定を行った。検定統計量は 9.2、有意水準を 5% とするときの棄却限界は $\chi^2(8, 0.025) = 17.53 > 9.2$ となり、年度が変わっても今の仕事に対する継続就業意思に差がないといえることが示された。従って、図 4.1 において仮定した個別の仕事に対する継続就業意思 Q₂ により離職率の経年変化を直接説明することは難しいことが示された。

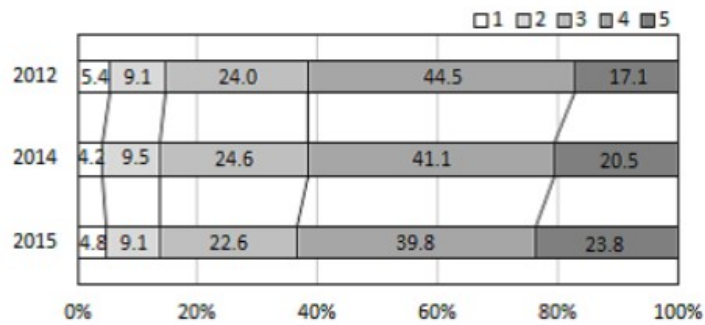


図 4.4 今の仕事を続けたいと考えている期間（項目 Q2）に対する回答割合（調査年度別全対象者）

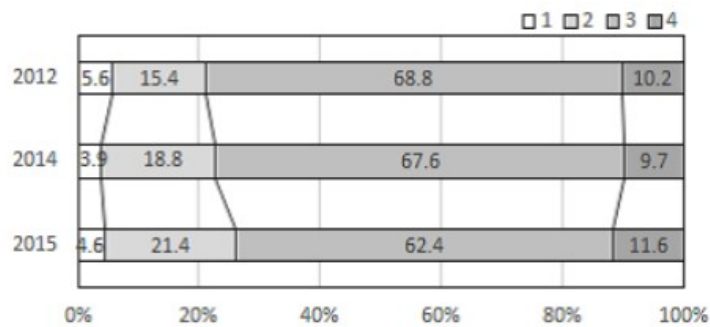


図 4.5 仕事への意欲（項目 Q3）に対する回答割合（調査年度別全対象者）

(3) 仕事への意欲（項目 Q3）

回答は、1（意欲を感じない）、2（どちらかといえば意欲を感じない）、3（どちらかといえば意欲を感じる）、4（意欲を感じる）からなる 4 つの選択肢から選ばれており、各選択肢の人数割合を図 4.5 に示す。選択肢 1、4 の人数割合には顕著な変化は見られない。しかし、2012 年度から 2015 年度にかけて選択肢 2 の人数割合は、6.0% 増加し、選択 3 の人数割合は 4.4% 減少している。そこで、各選択肢の人数割合に年度による差はないことを帰無仮説として検定を行った。検定統計量は 10.4、有意水準を 5% とするとき、棄却限界は $\chi^2(6, 0.025) = 14.45 > 10.4$ となり、年度が変わっても仕事への意欲に差がないといえることが示された。従って、離職率の経年変化を仕事への意欲の変化により直接説明することは難しいことが示された。

4.3.4 職位と継続就業意思の関係

(1) 今の会社に勤めたいと考えている期間（項目 Q1）

項目 Q1 に対する回答と職位とのクロス集計を図 4.6 に示す。選択肢 5 の人数割合

が、職位により 12.3% から 56.7% の範囲で変動している。そこで、各選択肢の人数割合に職位による差はないことを帰無仮説として検定を行った。検定統計量は 328.5、有意水準を 5% とする場合の棄却限界は $\chi^2(8, 0.025) = 17.53 < 328.5$ となり、職位により人数割合に有意差があるとはいえることが示された。特に、職位が高いほど選択肢 5（3 年以上）の人数割合が高まる傾向が見られる。図 4.6 において、継続就業意思 Q_1 に対する回答の中では、選択肢 5 の人数割合が 2012 年度 25.6% から 2015 年度 37.6% に増加している。さらに、図 4.6 において、選択肢 5 の人数割合は 3 つの職位の中でマイスターが 56.7% と最も大きい。そこで、マイスターについて、項目 Q_1 に対する回答を年度別に図 4.7 に示す。選択肢 5 の人数割合は 2012 年度 44.2% から 2015 年度 63.9% に増加している。以上のことから、図 4.6 において調査年度別全対象者の選択肢 5 の人数割合が 2012 年度以降に増加していることに関しては、マイスターの継続就業意思が高まっていることが寄与していると考えられる。つまり、マイスターの継続就業意思が改善されており、2012 年度から実施されている施策の効果がみられる。

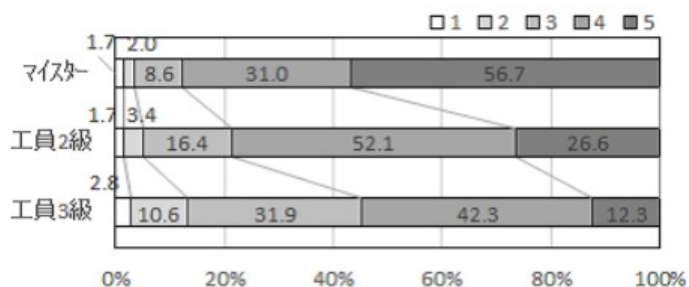


図 4.6 今の会社に勤めたいと考えている期間（項目 Q_1 ）に対する回答割合（職位別全対象者）

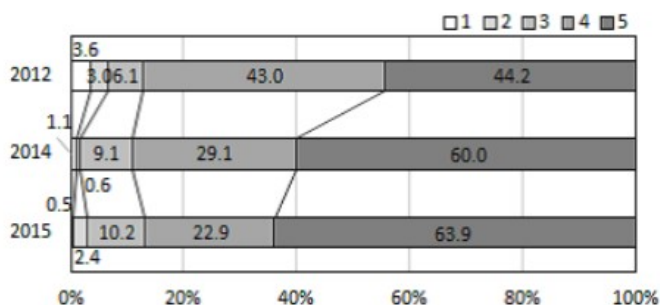


図 4.7 今の会社に勤めたいと考えている期間（項目 Q_1 ）に対する回答割合（マイスター調査年度別）

(2) 今の仕事を続けたいと考えている期間（項目 Q₂）

図 4.4 において全調査対象者から見れば，調査年度が変わっても項目 Q₂ に対する回答割合に有意差がないことが示されている．そこで，調査対象者を職位により層別し，項目 Q₂ に対する回答と職位とのクロス集計を図 4.8 に示す．選択肢 5 の人数割合が，職位により 5.7% から 35.6% の範囲で大きく変動している．マイスターは，選択肢 4 および 5 の人数割合の合計が 75.6% と高く，工員 3 級は選択肢 4 および 5 の人数割合の合計が 19.1% と低い．そこで，各選択肢の人数割合に職位による差はないことを帰無仮説として検定を行った．検定統計量は 159.7，有意水準を 5% とする場合の棄却限界は $\chi^2(8, 0.025) = 17.53 < 159.7$ となり，職位により継続就業意思に差があるといえることが示された．以上の結果より，当該生産拠点で実施されている施策から項目 Q₂ への影響は，職位により差があることが示された．



図 4.8 今の仕事を続けたいと考えている期間（項目 Q₂）に対する回答割合（職位別全調査年度）

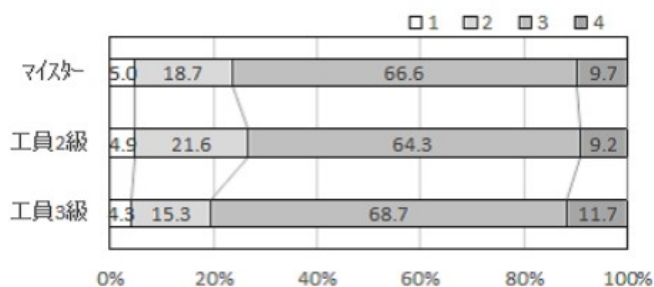


図 4.9 仕事への意欲（項目 Q₃）に対する回答割合（職位別全調査年度）

(3) 仕事への意欲（項目 Q_3 ）

図 4.5 において全対象者から見れば、調査年度が変わっても項目 Q_3 に対する回答割合に有意差がないことが示されている。そこで、項目 Q_3 に対する回答と職位のクロス集計を図 4.9 に示す。選択肢 1 および 4 を選択した人数割合には、顕著な差は見られない。しかし、選択肢 2 を選択した人数割合には、職位により 15.3% から 21.6% の範囲で差が見られる。そこで、各選択肢の人数割合に職位による差はないことを帰無仮説として検定を行った。検定統計量は 8.6，有意水準を 5% とする場合の棄却限界は $\chi^2(6, 0.025) = 14.45 > 8.6$ となり、職位が変わっても仕事への意欲に差がないといえることが示された。この結果から、当該生産拠点において実施されている施策から仕事への意欲 Q_3 への影響に関して、調査年度および職位による層別の両視点から顕著な影響は見られない。さらに、すべての職位において選択肢 3 および 4 の合計は 73% 以上あり、仕事への高い意欲が維持されてる。

4.3.5 継続就業意思に係わる項目 Q_1 ， Q_2 ， Q_3 の相関分析

図 4.1 において項目 Q_1 ， Q_2 および Q_3 の間に相関を仮定している。3 項目間の相関係数を表 4.8 に示す。項目 Q_1 と項目 Q_2 との相関係数は零であることを帰無仮説として無相関の検定を行った。検定統計量は $t_0 = 35.5$ となり、危険率を 5% とするときの棄却限界は $t(1723, 0.05) = 1.96 < 35.6$ となり、相関がないとはいえないことが示された。同様に、項目 Q_1 と項目 Q_3 との無相関の検定では、検定統計量は $t(1723, 0.05) = 1.96 < 6.9 (= t_0)$ となり、項目 Q_1 と項目 Q_3 には弱い正の相関があることが示された。さらに、項目 Q_2 と項目 Q_3 との無相関の検定では、検定統計量は $t(1723, 0.05) = 1.96 < 12.6 (= t_0)$ となり、項目 Q_2 と項目 Q_3 の間にも弱い正の相関があることが示された。

図 4.8 において、項目 Q_2 に対する回答には、職位により選択肢の人数割合に差があることが確認されたことから、項目 Q_1 を介して離職率に間接的に影響が及ぼされることが示された。さらに、項目 Q_3 は項目 Q_1 および項目 Q_2 との相関係数が正であることから、仕事への意欲が高い者ほど継続就業意思が高まる傾向が示された。また、調査データから項目 Q_3 と職務満足要因 $Q_4 \sim Q_{32}$ との相関係数は -0.06 ~ 0.18 の範囲となり、相関係数が顕著に大きい職務満足要因が無かったことから、項目 Q_3 は複数の職務満足要因からの影響を受けていることが確認された。

表 4.8 項目 Q_1 , Q_2 , Q_3 の相関係数

	Q_1	Q_2	Q_3
Q_1	1		
Q_2	0.65**	1	
Q_3	0.16**	0.29**	1

** $p < 0.05$

4.3.6 職務満足因子

項目 Q_4 から項目 Q_{32} までの 29 項目に関する調査データに対して、基準化を行った。次に、調査期間全体を通して意味内容が同じ職務満足因子を抽出するために、3 回行われた調査データを一括し、主成分分析により調査データが持つ情報を低次元空間に縮約した。その結果、固有値が 1 以上となる 7 つの主成分が得られた。各主成分の重み係数を表 4.9 に示す。また、各主成分の主成分名を表 4.10 にまとめた。第 1 主成分 (f_1) は、表 4.10 より、金銭的項目が多く含まれていることから、Herzberg[36] により示されている「衛生要因」に対する満足感に相当すると解釈される。第 2 主成分 (f_2) は、非金銭的項目であることから、「仕事の重要性」を示すと解釈される。第 3 主成分 (f_3) は、「人間関係」を示すと解釈される。第 4 主成分 (f_4) は、「組織との一体感」を示すと解釈される。第 5 主成分 (f_5) は、「ストレス感」を示すと解釈される。第 6 主成分 (f_6) は、「技能多様性」を示すと解釈される。第 7 主成分 (f_7) は、「仕事の難易度」を示すと解釈される。

表 4.9 職務満足質問項目の主成分分析結果

項目	主 成 分						
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
Q_{18} :休日数	0.69	0.01	0.11	0.07	-0.03	0.12	0.06
Q_{16} :文化活動等	0.67	0.06	0.14	0.06	-0.06	0.08	0.06
Q_{17} :休憩時間	0.64	0.12	0.02	0.09	0.00	0.07	-0.01
Q_{19} :残業時間	0.64	0.14	0.07	0.10	-0.00	-0.11	-0.02
Q_{13} :報酬	0.63	0.29	0.06	0.15	0.14	0.06	0.01
Q_{20} :食堂	0.60	0.06	-0.07	0.16	0.04	0.06	-0.01
Q_{15} :人事評価	0.53	0.40	0.27	-0.04	0.14	-0.02	-0.08
Q_{14} :昇進機会	0.53	0.39	0.24	-0.03	0.14	-0.03	-0.06
Q_{12} :職場環境	0.50	0.33	-0.02	0.19	0.12	0.15	-0.01
Q_{10} :貢献感	0.03	0.70	-0.02	0.19	-0.09	-0.05	0.00
Q_{11} :達成感	0.30	0.62	-0.08	0.19	-0.03	-0.08	-0.05
Q_6 :研修制度	0.13	0.61	0.26	-0.02	0.03	0.11	-0.02
Q_9 :能力活用	0.33	0.58	-0.03	0.21	-0.05	-0.09	0.05
Q_7 :業務分担	0.21	0.44	0.26	-0.07	0.07	0.31	-0.06
Q_5 :事前研修	0.27	0.43	0.14	0.02	-0.04	0.32	0.03
Q_{25} :同僚信頼関係	0.07	0.04	0.85	0.10	-0.03	0.02	0.01
Q_{26} :同僚協力関係	0.17	0.00	0.75	0.14	-0.06	0.08	0.07
Q_{24} :上司信頼関係	0.04	0.23	0.73	0.27	0.05	-0.04	-0.03
Q_{22} :道義性	0.18	0.12	0.12	0.81	-0.01	-0.03	-0.04
Q_{21} :社会的地位	0.22	0.08	0.20	0.78	-0.05	-0.03	0.01
Q_{23} :創造性発揮	0.17	0.21	0.17	0.56	0.09	0.02	-0.06
Q_{27} :身体の疲労感	0.05	0.07	0.03	0.36	0.58	0.10	-0.15
Q_{28} :精神的疲労感	0.10	-0.06	0.03	0.31	0.55	0.17	0.05
Q_{30} :問題解決難易度	0.04	-0.11	-0.05	-0.19	0.54	-0.05	0.07
Q_{32} :担当業務重要性	-0.02	0.06	-0.01	-0.09	0.54	-0.13	0.16
Q_4 :仕事単調感	0.09	-0.11	-0.05	-0.02	0.12	0.69	-0.01
Q_8 :職務拡大願望	0.03	0.14	-0.08	0.01	-0.14	0.64	0.06
Q_{29} :仕事難易度	0.04	-0.10	0.01	0.01	0.04	0.26	0.75
Q_{31} :知識水準	-0.01	0.05	0.03	-0.08	0.16	-0.16	0.75
寄与率 (%)	13.2	9.3	7.8	7.6	4.8	4.6	4.2
累積寄与率 (%)	13.2	22.4	30.2	37.8	42.6	47.2	51.4

表 4.10 主成分の解釈

主成分	重み係数が大きい項目
主成分 f_1 (衛生要因満足感)	Q_{18} :休日数 Q_{16} :文化活動等 Q_{17} :休憩時間 Q_{19} 残業時間 Q_{13} :報酬 Q_{20} :食堂 Q_{15} :人事評価 Q_{14} :昇進機会 Q_{12} :職場環境
主成分 f_2 (仕事の重要性)	Q_{10} :貢献感 Q_{11} :達成感 Q_6 :研修制度 Q_9 :能力活用 Q_7 :業務分担 Q_5 :事前研修
主成分 f_3 (人間関係)	Q_{25} :同僚信頼関係 Q_{26} :同僚協力関係 Q_{24} :上司信頼関係
主成分 f_4 (組織との一体感)	Q_{22} :道義性 Q_{21} :社会的地位 Q_{23} :創造性発揮
主成分 f_5 (ストレス感)	Q_{27} :身体的疲労感 Q_{28} :精神的疲労感 Q_{30} :問題解決難易度 Q_{32} :担当業務重要性
主成分 f_6 (技能多様性)	Q_4 :仕事単調感 Q_8 :職務拡大願望
主成分 f_7 (仕事の難易度)	Q_{29} :仕事難易度 Q_{31} :知識水準

4.4 継続就業意思構造モデルの分析

次に、上記の主成分から継続就業意思への影響を分析する。

4.4.1 年度別継続就業意思構造モデル

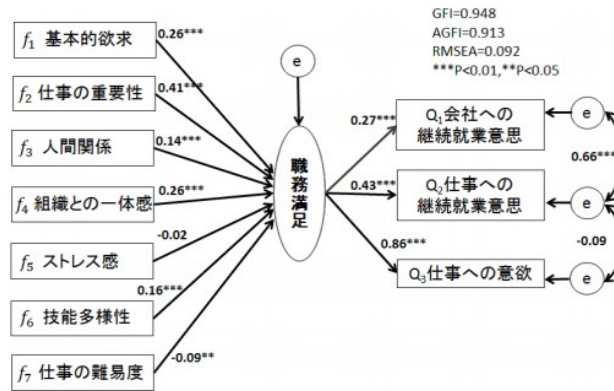
図 4.1 に示した継続就業意思構造モデルの仮説を検証するために、7つの主成分得点および継続就業意思 (Q_1, Q_2, Q_3) を観測変数として用いて共分散構造分析を行った。当該生産拠点における継続就業意思向上を目的とする施策の時間的効果を調べるために、調査年度毎に分析を行った。構造モデルの適合度指標として、GFI 値 (Goodness of fit index), AGFI (Adjusted goodness of fit index), および RMSEA 値 (Root mean square error of approximation) を用いた。構造モデルにおけるパス係数の有意性の検定には Wald 検定を用いた。

2012 年度調査データの分析結果を図 4.10(1) に示す。GFI 値, AGFI 値が 0.9 以上, RMSEA 値が 0.1 以下であることから、本章で仮定した構造モデルの適合度は良好であると判断される [81]。職務満足への影響は主成分 f_2 (仕事の重要性) が最も大きいことが示された。さらに、主成分 f_1, f_3, f_4, f_6, f_7 から職務満足への影響も有意であることが示された。職務満足から継続就業意思 (Q_1, Q_2, Q_3) への影響は p 値 < 0.01 となり、有意であると判定された。さらに、項目 Q_1 と項目 Q_2 には相関のあることが示された。

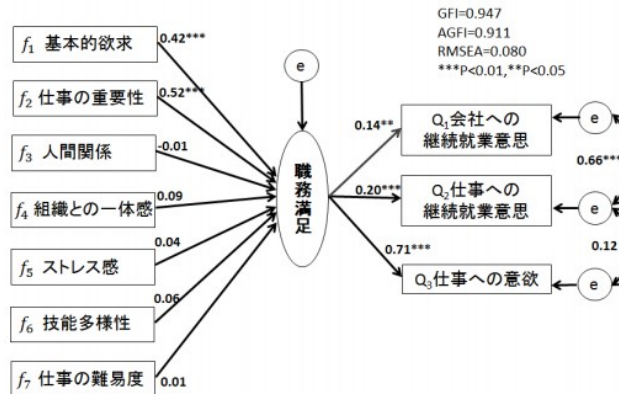
2014 年度調査データの分析結果を図 4.10(2) に示す。GFI 値, AGFI 値が 0.9 以上, RMSEA 値が 0.1 以下であることから、仮定した構造モデルの適合度は良好であると判断される。職務満足への影響は主成分 f_2 (仕事の重要性) が最も大きいことが示された。主成分 f_1 および f_2 からのみ p 値 < 0.01 となり、職務満足に有意な影響が及ぼされていることが示された。職務満足から継続就業意思 (Q_1, Q_2, Q_3) へのパス係数は、2012 年度と比較して顕著な差は見られない。また、項目 Q_1 と項目 Q_2 の間の相関係数にも顕著な変化は見られない。

2015 年度調査データの分析結果を図 4.10(3) に示す。GFI 値, AGFI 値が 0.9 以上, RMSEA 値が 0.1 以下であることから、仮定した構造モデルの適合度は良好であると判断される。職務満足への影響は主成分 f_2 が最も大きいことが示された。さらに、主成分 f_1, f_3, f_4 から職務満足への影響も有意であることが示された。職務満足から継続就業意思 (Q_1, Q_2, Q_3) への影響は p 値 < 0.05 となり、有意であることが示された。

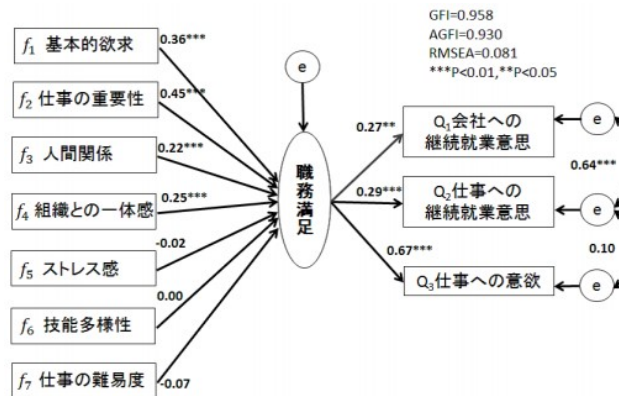
さらに、項目 Q_1 と項目 Q_2 とに相関のあることが示された。



(1) 2012 年度



(2) 2014 年度



(3) 2015 年度

図 4.10 調査年度別継続就業意思構造モデル

4.4.2 職位別継続就業意思構造モデル

職位別に継続就業意思構造モデルの適合性を分析した結果を図 4.11 に示す。すべての職位において、継続就業意思構造モデルの適合度指標は GFI が 0.95 以上、RMSEA が 0.05 以下であることから、適合度は良好であると判断される。

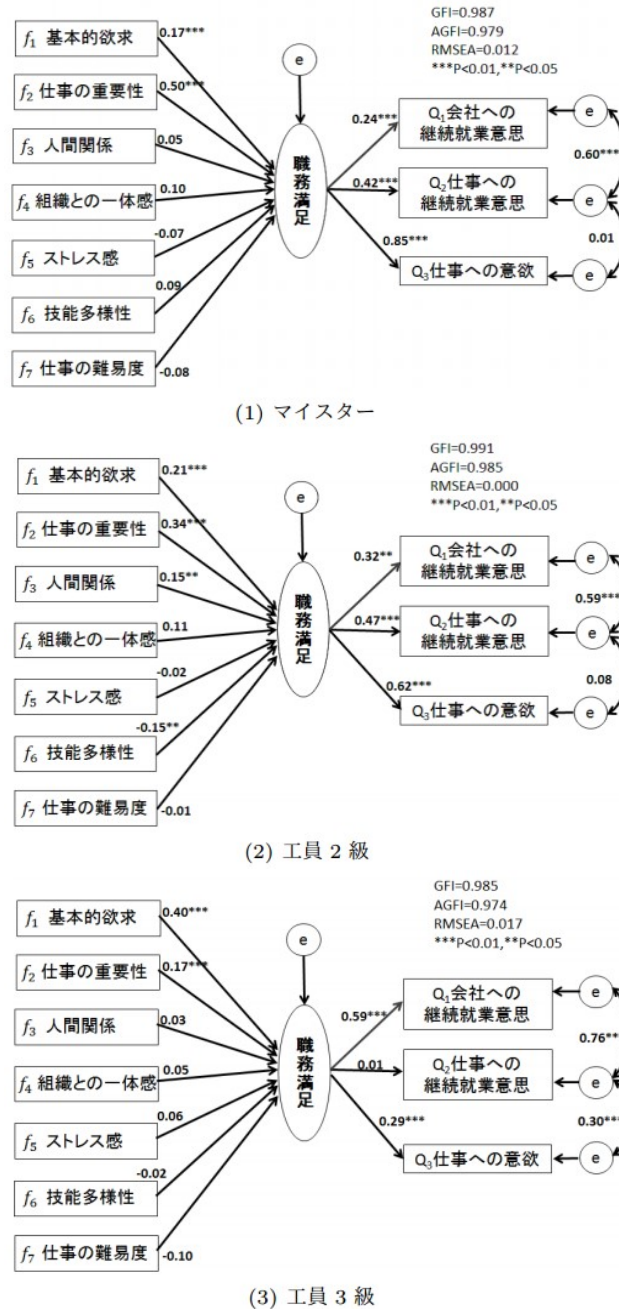


図 4.11 職位別継続就業意思構造モデル

4.5 考察

4.5.1 調査年度別継続就業意思構造モデル

図 4.10 より，主成分 f_1 「衛生要因満足感」および f_2 「仕事の重要性」から職務満足への影響は，すべての調査年度で有意であることが示された。

2012 年度の調査前は，職務満足に対して報酬 Q_{13} ，食堂 Q_{20} 等の金銭に係る満足感の影響が大きいことを想定していた。そのため，近隣の企業の報酬水準の調査結果を報酬に反映させること，食堂の定食無料化等，主成分 f_1 に係わる施策が行われていた。しかし，主成分 f_1 および f_2 の重み係数から見れば，いずれの調査年度においても，「仕事の重要性」は，「衛生要因満足感」よりも職務満足への影響が大きいといえる。 f_2 「仕事の重要性」において大きい重み係数を持つ職務満足要因は，仕事に対する貢献感 Q_{10} ，達成感 Q_{11} ，能力向上のための研修制度 Q_6 等を含む非金銭的要因と解釈されることが明らかとなった。

また，Markovits[42] 等の調査により，経済危機下にあることが前提となるが，雇用の安定性の満足感から職務満足への影響は大きいことが示されている。本章における調査では，雇用の安定性に関わる職務満足要因として項目 Q_{14} 「昇進機会の公平性」，項目 Q_{15} 「人事評価の公平性」が設定されている。2012 年から 2016 年の間に国家規模の経済危機は発生していないが，主成分 f_1 における昇進機会の公平性 Q_{14} および人事評価の公平性 Q_{15} の重み係数が大きいことから，Markovits による調査と同様の結果が得られた。主成分 f_1 における項目 Q_{14} および項目 Q_{15} の重み係数が大きいことから，Markovits 等の調査結果と整合していると考えられる。

主成分 f_3 「人間関係」， f_4 「組織との一体感」から職務満足および継続就業意思への影響は，2012 年度と 2015 年度の調査では有意であり，2014 年度の調査では有意とはいえないことが示されたことから，これらの主成分の影響は時間的変化のあることが示唆された。主成分 f_5 「ストレス感」から職務満足への影響は，すべての調査年度で有意ではなかった。さらに，図 4.10 において，職務満足から継続就業意思 Q_1 へのパス係数は，いずれの年度も正である。また，図 4.3 より，項目 Q_1 に対する回答は 2012 年度から 2015 年度にかけて選択肢 5 の割合が単調に増加していることから，従業員の職務満足は年度進行に伴い，継続的に向上していると推察される。従って，職務満足の向上により会社への継続就業意思が高まり，その結果，離職率が減少したと考えられる。

以上の結果から，当該生産拠点においては，図 4.1 において仮定した継続就業意思

構造モデルにより、離職率の経年変化を説明できることが示された。さらに、離職率が2011年度から減少していることに関しては、2012年度から行われている継続就業意思向上施策の効果が含まれていることが推察される。

4.5.2 職位別継続就業意思構造モデル

主成分 f_1 , f_2 から職務満足へのパス係数は、図 4.11 におけるすべての職位において有意であることが示された。工員 2 級は、主成分 f_3 (人間関係) から職務満足へのパス係数も有意であった。また、すべての職位において、職務満足から継続就業意思 Q_1 へのパス係数が有意と判定された。職務満足から継続就業意思 Q_1 へのパス係数は、マイスター、工員 2 級、工員 3 級の順に増加しており、職位が低いほど、職務満足から項目 Q_1 への影響 (重み係数) が大きい傾向が示された。さらに、職務満足から項目 Q_3 (仕事への意欲) へのパス係数は、工員 3 級、工員 2 級、マイスターの順に増加しており、職位が高いほど職務満足から項目 Q_3 への影響 (重み係数) が大きい傾向が示された。

以上のことから、職務満足要因から継続就業意思への影響には時間的変化があること、および職位により影響の強さに違いが生じることが示された。この結果は、古川等 [53] による指摘に整合しているといえる。

4.5.3 職務満足向上対策の効果

当該生産拠点において行われている対策の効果を個別に考察する。

(1) 家庭生活支援

家庭における生活の満足感が多岐にわたり、文献 [36] において地域社会における立場、家族の要望および給与面での願望が挙げられ、文献 [42~43] においてフレックスタイム制度、時短勤務制度、託児支援制度、家庭の事情による仕事への支障、仕事の都合による家庭生活への支障が挙げられている。一方、職務満足向上に取り組むには、要因を絞る必要がある。そこで、本章では文献 [36] を参考に、社会的立場に関する満足感 Q_{21} が設定されている。調査データの主成分分析により、社会的立場に関する満足感 Q_{21} は主成分 f_4 (組織との一体感) に対する重み係数が 0.78 と大きい。しかし、職位別継続就業意思構造モデル (図 4.11) において、マイスター、工員 2 級、工員 3 級ともに、主成分 f_4 から項目 Q_1 への影響が有意とはいえないことから、家庭生活の満足感から継続就業意思への有意な因果関係は示されていない。また、妊婦および産後の一年間は時間帯を指定せずに毎日 1 時間の休憩が与えられており、フレックスタイ

ム制度に近い運用が行われている。さらに、従業員の子の養育のための託児所が 2015 年から開園されている。これらの対策は、分散分析の結果から既婚者の継続就業意思を高めることに寄与していることが推察される。

(2) 採用・雇用方法

従業員数は 2012 年から 2016 年までの間に約 10% 減少し、省内出身者の人数割合も減少傾向にある。この背景には、2012 年度以降、生産拠点所在地域の求人倍率が上昇し、生産拠点近郊では採用活動が難しくなり、学生のインターンシップ、外省人の採用を行わなければならないことが挙げられる。採用面接時にビデオ映像を用いて職場の様子が説明されている。この対策は企業の印象が入社前と入社後で大きく変わることを抑制する狙いがあるが、仕事をするための事前研修 Q_5 にも関連すると考えられる。調査データの主成分分析を行った結果、要因 Q_5 は主成分 f_2 に対する重み係数が 0.43 と大きい。さらに、図 4.10 より、すべての年度およびすべての職位において、主成分 f_2 から職務満足への影響は有意であることが示された。従って、採用面接時に職場の状況を具体的に説明することは、継続就業意思の向上に寄与していることが推察される。

従業員の契約期間は 2 回目までは 2 年契約であるが、3 回目の契約からは無期限となる制度は、2012 年度以前から今日まで継続されている。任期なしの正社員が増えれば、生産量が減少したときに固定費が大きくなる問題が生じる可能性がある。しかし、現状の離職率では、人材の入れ替わりにより、高齢となるまで残る社員は少なく、固定費が過度に大きくなる問題は生じていない。

(3) コミュニケーション

コミュニケーションを増やす対策として始業時ミーティング時間の増加に加え、部門ごとに忘年会および社員旅行が行われている。コミュニケーション時間を増やす対策は、上司との信頼関係に関する満足感 Q_{24} 、同僚との信頼関係に関する満足感 Q_{25} に関連する。調査データの主成分分析を行った結果、要因 Q_{24} および要因 Q_{25} は主成分 f_4 に対する重み係数が 0.75 以上と大きい。さらに、図 4.10 より、主成分 f_4 から職務満足への影響が有意である年と有意とはいえない年がある。さらに、すべての職位において主成分 f_4 から職務満足への影響は有意とはいえない。従って、コミュニケーションを増やすための対策に関しては、継続就業意思の向上に対する明確な効果を確認できない。

(4) レクリエーション

全従業員が参加する運動会などのスポーツイベント、部門単位での年 1 回の社員旅

行、課ごとに年2回の団体活動が行われている。これらの活動は、文化・体育・レクリエーション Q_{16} に関連すると考えられる。調査データの主成分分析を行った結果、要因 Q_{16} は主成分 f_1 に対する重み係数が 0.67 と大きく、図 4.10 において、すべての年度およびすべての職位において、主成分 f_1 から職務満足への影響は有意であることが示された。従って、レクリエーションに関する取組みは、継続就業意思の向上に寄与していることが推察される。

(5) 作業方法

開所当初はプリンターおよび複合機用の機種別ラインが設置されたが、補用品の需要増加および製品機種の多様化に対応するために、モジュール生産方式への移行が進められ、一部の機種にはセル生産方式が導入されている。そのため、機種別ラインにおいて少数の部品組立に対応する工員とセル工程において多種類の部品組立に対応する工員が混在している。また、KPI (Key Performance Indicator) として「一人1日当たりの生産台数」が用いられており、前日の KPI、当日の生産予定、時間経過に伴う実績仕上がり台数、ライン停止時間などが掲示板、アンドン等に表示されることにより全員が KPI を含む生産情報を共有している。工員 3 級、工員 2 級、マイスターの順に、対応できる作業内容が拡大する。また、セル生産方式が導入された際には、多品種少量生産への対応に加えて、作業の単調感、職務拡大願望 Q_8 、仕事の難易度 Q_{29} の満足感が向上することが期待された。調査データの主成分分析により、要因 Q_8 は主成分 f_6 に対する重み係数が大きく、要因 Q_{29} は主成分 f_7 に対する重み係数が大きいことが示された。しかし、継続就業意思構造モデルにおいて、主成分 f_6 および主成分 f_7 から職務満足への影響は有意とはいえないことが示されたことから、要因 Q_8 および要因 Q_{29} に関する満足感は個人差が大きいことが推察される。

(6) 現地管理者化

当該生産拠点における日本人社員数は 2012 年度から 2016 年度までの間において顕著な変化はない。ただし、従業員数が減少する中で生産性向上を実現するために、現地管理者化が進められている。現地管理者化により、日本人管理職の人数は減少している。一方、生産技術関連の出向者が増えており、結果として日本人社員数に変化は見られない。さらに、現地管理者化により、昇進機会の公平感 Q_{14} 、人事評価の公平感 Q_{15} に関する満足感が改善することも期待された。調査データの主成分分析により、要因 Q_{14} および要因 Q_{15} は主成分 f_1 (基本的欲求) に対する重み係数が大きく、継続就業意思構造モデルにおいて主成分 f_1 から職務満足への影響が有意であることから、現地管理者化により継続就業意思 Q_1 向上への効果が得られている。

生産拠点の運営方針は日本本社の長期方針に基づいていることおよび2012年から製造本部長を同一人が務めていることなどにより、現地管理者化および人材育成の考え方には一貫性が保たれている。また、社内の雰囲気に関して、洗面所の改修、寮などの福利厚生施設の改修、コミュニケーション、レクリエーションの活動に現地管理者、総経理などの管理者が積極的に参加することで改善が図られており、当該生産拠点では開所以来、労働争議が発生していないことなどに成果が現れている。

以上のことから、年度により継続就業意思に有意差が見られたこと、およびすべての年度で継続就業意思への影響が統計的に有意な職務満足要因と年度により影響の有無が変わる要因のあることが示された。この結果は、西川 [53] による指摘に整合しているといえる。さらに、幾つかの職務満足要因に関しては、職務満足向上施策との因果関係のあることが示された。西川により指摘されているとおり、職務満足の如何は各人の価値観、文化的背景などの影響を受けると考えられることから、職務満足調査に基づく施策の見直しは今後も継続して検討されなければならないことを示唆していると思われる。

4.6 結言

第4章では、従業員が熟練者となった段階において、熟練者の離職を低減する方策を実施するために離職願望が生じるメカニズムを考察した。

国内外の製造企業では、賃金上昇、物価上昇などにより採用活動は、年々難しくなっている。こうした背景を鑑み、継続就業意思を向上するための適切な対策を講じることが、人手不足への対応、労働争議の予防などの視点から見て、実務的な意義があると考え、本研究を着想した。本章では、1.5年間隔で3回行われた継続就業意思調査から、すべての調査年度で継続就業意思への影響が有意な職務満足要因と、調査年度により影響の有無が変わる要因があることを示した。職務満足要因から職務満足への影響は時間的变化に加え、職位によっても影響に差異が生じることが示された。特に、人間関係、組織との一体感のように、単年度の調査では継続就業意思への影響がないと評価されても、年度が変われば継続就業意思への影響が有意となりうる要因があることは、単年度の調査だけで継続就業意思の向上対策を絞り込むことの危険性を意味する。幾つかの対策については継続就業意思への影響に関して、十分な理由づけを見出すことができなかった。しかし、継続就業意思と職務満足要因との関係を表す構造モデルの妥当性が示されたことに関しては、実務的な知見が得られたものと考えられる。

第 5 章

RFID による屋内測位方法

5.1 緒言

前章において、人的要因に着目して、生産性の計画と実績の差の低減に資する方法を提案した。これらの方法を実際に用いるためには、実際の生産現場において、生産性の計画と実績の差を正確に把握する必要がある。そこで、屋内における人と物の動線および滞留時間を測定できる技術が必要と考える。

従来は人および物の移動経路、作業時間などは作業分析により測定されている。しかし、従来の作業分析ではビデオカメラまたはストップウォッチを利用した計測が前提とされており、主に手作業により分析が進められることから、同時に複数の対象を分析することは難しく、計測者の負担も大きい。そこで自動で人や物の位置を分析できる技術を開発できる可能にする。近年着目されている無線センサ技術の一つである UHF 帯 RFID を用いてこれを実現する。まず、RFID の特性を調査する予備調査を行う、その特性をふまえた上でニューラルネットワークを用いた位置推定方法を提案する。次に適用例により、提案方法の測位精度を検証する。

5.2 RFID システム

RFID システムは、アンテナ、受信機および主制御装置 (Master Controller, MCON) から構成されており、構成例を図 5.1 に示す。アンテナは屋内上方に鉛直下向きに設置される。MCON からの指令によりアンテナから電波が送信され、タグに電力が供給される。起電されたタグからは、電波を受けたアンテナの番号、タグの ID などが受信機に送信され、MCON により後述する読取率が計算される。

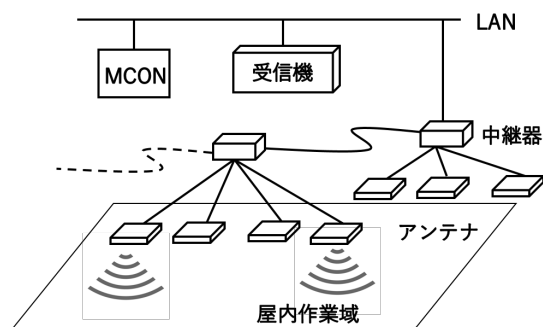


図 5.1 RFID システム構成例

5.2.1 読取率

測位のために、式 (5.1) で算出される読取率を用いる。

$$\text{読取率 } (R) = \frac{\text{タグの読取が成功した回数}}{\text{アンテナによる読取試行回数}} \quad (5.1)$$

読取率は、タグの読取成功回数をアンテナからの読取試行回数で除すことで求められ、1.0 に近づくほど強い反応であることを示す。アンテナ直下は読取率が高く、アンテナ直下から離れる程度読取率は低下する傾向がある。このような傾向が見られる主な理由は、アンテナから送信される直接まへの電界強度がアンテナからタグまでの行路長の二乗に反比例して弱まるためと考えられる。そして、交信領域外では読取率は 0 となる。アンテナからの読取試行回数は時間経過と共に増加するため、読取率は単位時間に区切ったデータを用いる。単位時間の長さは、推定対象の性質 (移動対象物, 静止対象物) や、アンテナの設置枚数により決定する。

5.2.2 読取性能

RFID によるタグの読取性能について述べる。一例として、床面からの高さ 2.9 m の位置にアンテナを設置し、高さ 1m の位置で読取率を 30 秒間測定した例を示す。アンテナは半径 3.0m~4.0m の範囲にあるタグを検出することができる。タグがアンテナの中心から離れる程度、読取率が低下している。しかし、図 5.2 中の点線で示した領域のように、アンテナからの電波が届く領域内であっても読取率が 0 になる領域 (ヌル点) が生じる、ヌル点が発生する理由の一つとして、アンテナからタグまでの最短と床面などに反射した後にタグに届く電波との行路長差により電波が干渉し、弱められることが考えられる [82]。そのため、ヌル点が発生することを前提とした測位方法が必要とされる。

5.2.3 位置モーメントを利用した測位方法

従来の測定方法では、各アンテナの位置と読取率をかけた位置モーメント方法 [83] を用いる。タグの位置を推定する方法が考えられる。推定される位置の座標を式 (5.2) により求める。アンテナ数を m 、 i 番目のアンテナの位置を (x_i, y_i) 、タグ

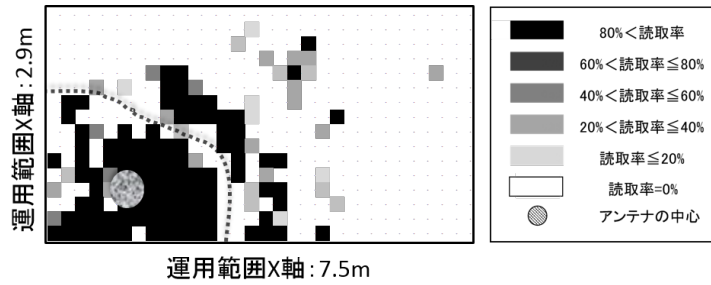


図 5.2 アンテナにおける読取率

の読取率を u_i とする. この時, タグの位置 (X_j, Y_j) を次式により推定する [84].

$$X_j = \sum_{i=1}^m \frac{u_i x_i}{m}, \quad Y_j = \sum_{i=1}^m \frac{u_i y_i}{m} \quad (j = 1, \dots, J) \quad (5.2)$$

上式は, 計算量は少ないが, ノル点が考慮されていないことから, 測位精度は低くなると考えられる.

5.3 提案方法

5.3.1 複数のタグの読取率に対する補正

アンテナの読取範囲内に複数枚のタグがある場合には, リーダライタの機能上の制約から, 読取率が低下する現象が起こることが知られている. 位置推定精度を高めるために, 事前調査により, タグの枚数を 1 枚から観測され得る全ての枚数まで変化させて読取率を測定し, タグの枚数と読取率の低下の関係を実験式により求める. そして, アンテナからの電波が届く範囲内に複数のタグがある場合には, タグが交信領域内に 1 枚のみ存在すると仮定した場合の読取率に換算することで対応する. タグが 1 枚のみ存在すると仮定した場合の読取率を r , タグが j 枚存在する場合の測定された読取率を r_j として, 換算式を式 (5.3) のように示す. ここで a, b は補正定数であり, 実験データから最小二乗法により求める.

$$r = \frac{r_j}{ae^{bj}} \quad (5.3)$$

次節以降では, 領域内に存在するタグが 1 枚のみの場合を仮定して, タグの位置を推定する方法について述べる.

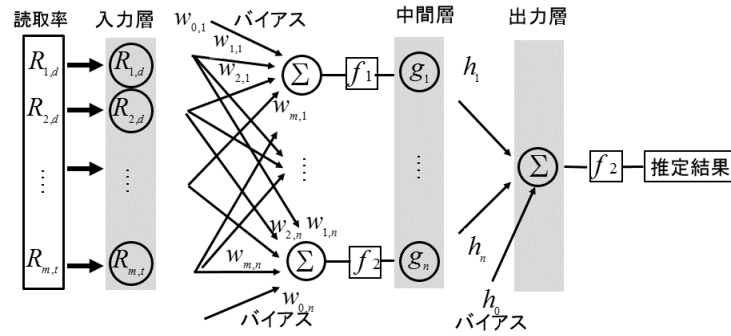


図 5.3 ニューラルネットワークによる推定モデル

5.3.2 ニューラルネットワークによるタグの位置推定モデル

ニューラルネットワークは、入力層、中間層および出力層が相互接続されたニューロンのシステムとして表され、本章では、中間層が1層であり、全体として3層構造を持つ、階層型ネットワークモデルを仮定する。各アンテナのタグの読取率を入力信号、実際のタグの座標を教師信号として、位置推定誤差が最小化されるように重み係数の調整(学習)を行う。ニューラルネットワークモデルは以下のように構築される。 i 番目のアンテナから得られる時刻 t の読取率を $R_{i,t}$ を($t = 1, \dots, D$)、その時のタグの x 座標を x_t 、 y 座標を y_t とする。但し x 座標、 y 座標はそれぞれ、データの中の最大値で除すことにより0から1の数値に基準化を行う。

入力層に相当するアンテナの数を m 、中間層のニューロン数を n とした場合、入力層から中間層までのモデルは図5.3のように表される。

中間層のニューロンの数だけ、入力信号に対して重み係数 $w_{i,k}$ を設定する。ここで k は中間層のノード番号である。またそれぞれのニューロン1つにつき、バイアス(0から1の補正值 $w_{0,k}$)を与える。これらを集計した値に対してシグモイド関数を適用したものが中間層の k 番目のノードの値 g_k となり式(5.4)のように示される。

$$g_{kt} = f\left(\sum_{i=1}^m w_{i,k} \cdot R_{i,t} + w_{0,k}\right) \quad (5.4)$$

シグモイド関数は、式(5.5)で与えられる。

$$f_1(g) = \frac{1}{1 + e^{-g}} \quad (5.5)$$

出力層 f_2 では式 (5.6) で表される線形関数を用いる。

$$f_2(v) = v \quad (5.6)$$

中間層から出力層に対する重み係数も同様に h_k と定義する。これらを集約した推定座標 m_t は以下の式 (5.7) のように表される。

$$m_t = \sum_{k=1}^m f(g_{kt} \cdot h_k + h_0) \quad (5.7)$$

以上をまとめると最終的な推定座標は式 (5.8) となる。

$$m_t = \sum_{k=1}^n \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^m (w_{i,k} \cdot R_{i,t}) + w_{0,k})} \cdot h_k + h_0 \quad (5.8)$$

この推定式を利用して、全てのデータに対して推定を行った場合の二乗誤差 E は式 (5.9) のように表す。

$$E = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^D (m_t - x_t)^2 \quad (5.9)$$

ここで、二乗誤差が最小化されるように重み係数を求める。この修正には誤差逆伝播法 [85] を用い、最急降下法によって重み値を繰り返し修正することで最適化を行う。二乗誤差 E が予め設定する目標値に達するか、1回の学習で変化する二乗誤差 E が一定の範囲以下になるか、指定する学習回数の上限に達すれば学習を終了する。

5.3.3 移動対象物に対する位置補正方法

移動対象物に対しては、物体が移動しているために複数の出力を用いての計測は困難であり、位置推定のためのパラメータの数が減少する。さらに、移動対象物はタグの向きが不安定であり、また障害物の影響も不規則に発生することから読取率の安定的な算出が難しい。そのためニューラルネットワークモデルのみを採用した方法では誤差が大きくなる傾向があり、先行研究においても何らかの補正方法が必要であることが指摘されている [71]。そこで、人や物の動きは連続的であることから、過去のデータを利用して補正する方法の提案を行う。具体的には、過去の速度情報及びに移動平均を利用した位置補正を取り入れる。まず過去の速度情報を利用して、急激な変化を補正する方法について検討を行う。時系列に沿って推定した動線上の c 番目の推定位置を (x_c, y_c) とし、観測された時刻を T_c (秒) とする。次に X 軸方向に対する補正基準

値を P_c 、Y 方向に対する補正基準値を Q_c と表し以下の式 (5.10) のように定義する。
この値は過去 n 期分の平均速度を意味する。

$$P_c = \frac{|x_{c-1} - x_{c-n}|}{T_c - T_{c-n+1}}, \quad Q_c = \frac{|y_{c-1} - y_{c-n}|}{T_c - T_{c-n+1}} \quad (5.10)$$

この値を利用して、求めた過去 n 期分の平均速度に対して対象物が異常な速度で動いていないかの判定を行う。

次に、求めた平均速度に対して、次の期までの移動距離が過去 n 期分の 2 倍を超えていないかを式 (5.11) のように判定する。

$$\frac{|x_{c+1} - x_c|}{T_{c+1} - T_c} \geq 2P_c, \quad \frac{|y_{c+1} - y_c|}{T_{c+1} - T_c} \geq 2Q_c \quad (5.11)$$

超えている場合は x_c 、 y_c の値を次の式 (5.12)、式 (5.13) のように補正する。

$$x_{c+1} = \begin{pmatrix} x_c + \frac{P_c}{T_{c+1} - T_c} (x_{c+1} \geq x_c) \\ x_c - \frac{P_c}{T_{c+1} - T_c} (x_{c+1} < x_c) \end{pmatrix} \quad (5.12)$$

$$y_{c+1} = \begin{pmatrix} y_c + \frac{P_c}{T_{c+1} - T_c} (y_{c+1} \geq y_c) \\ y_c - \frac{P_c}{T_{c+1} - T_c} (y_{c+1} < y_c) \end{pmatrix} \quad (5.13)$$

これらの手順を踏まえて異常な速度による推定位置を補正し、さらに、移動経路を平滑化するために過去 L 期分のデータを利用した移動平均を式 (5.14) のように適用する。

$$x_c = \frac{\sum_{a=c-L}^n x_a}{L}, \quad y_c = \frac{\sum_{b=c-L}^n y_b}{L} \quad (5.14)$$

以上の測位方法について、実験室で運用試験を行い、静止対象物、移動対象物それぞれについて位置推定精度を検証した。測位結果について以降に述べる。

5.4 運用試験

5.4.1 試験方法

運用試験は、アンテナからタグまで電波が届く範囲（交信領域）を考慮して、床面全体に電波が届くようにアンテナを配置した。アンテナ配置例を図 5.4 に示す。図中の灰色で示した部分が運用領域である。また、正確な座標を確認できるように床面にマーカを一定間隔 0.25m 間隔で 600 点のデータを測定した。使用したアンテナは 11 個、アンテナの高さが 2.9 m 鉛直下向きに設置し、タグの高さが 1.0 m と設置した。

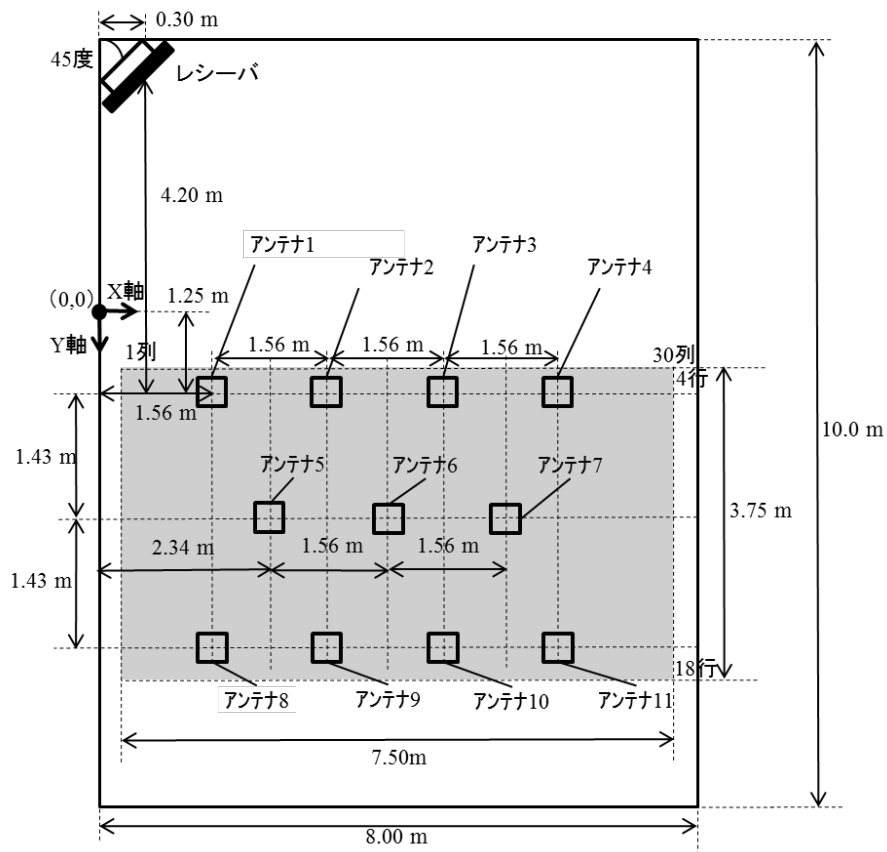


図 5.4 システムのレイアウト

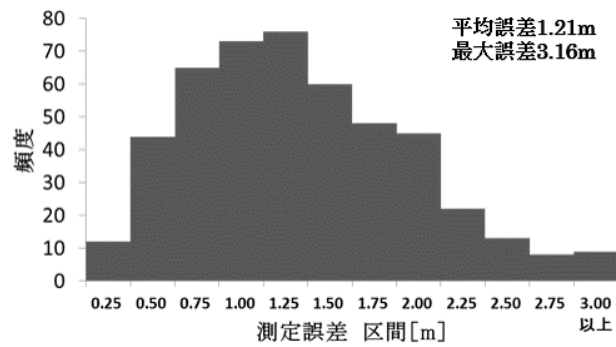


図 5.5 位置モーメントを利用して推定した場合の誤差分布

5.4.2 モーメント方法による測位精度

タグの枚数を 1 枚とした。各アンテナの位置を既知とし、複数の位置にタグを移動させて読取率を測定した。そして、式 (5.2) の方法のよりタグの位置を推定した。測位結果は図 5.5、平均誤差が 1.21m、最大誤差が 3.16m となり、目標とする 0.8m の誤差を大きく超えることが判明した。3.0メートルの誤差が生じることから位置をモーメントを用い方法では、移動経路、滞留時間を特定することが困難であることが確認された。

5.4.3 複数タグの読取率に対する補正

測定方法には、アンテナを 1 枚で、その直下に存在するタグを基準とし、その周囲に存在するタグの枚数を増加させながら、読取率の変化を測定した。タグの枚数は 1 枚から最大 64 枚まで増加させ、それぞれの枚数につき 30 秒間測定を行った。また、タグを増加させる順番は、図 5.6 に示す測定方法のように、基準とするタグを中心として 1 枚ずつ枚数を増やしている。測定結果は図 5.7 に示す。結果から (図 5.7) 最小二乗法により補正係数を $a = 1.047$, $b = -0.045$ と決定した。

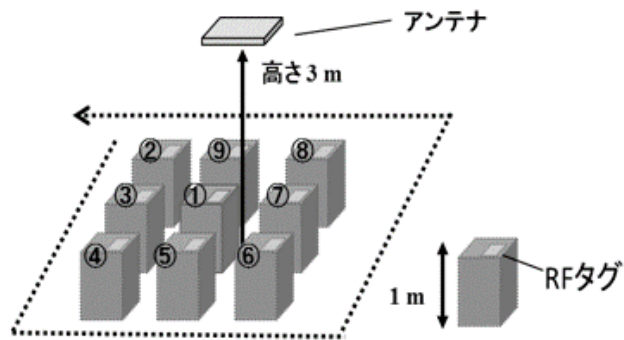


図 5.6 測定方法

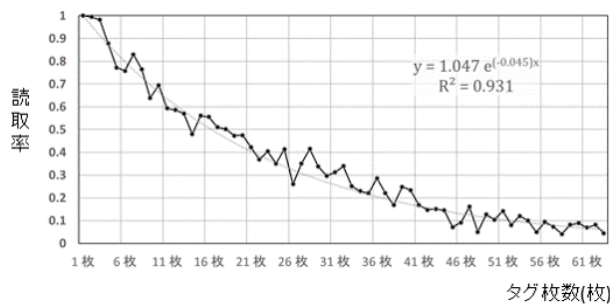


図 5.7 タグの起電枚数と読取率の関係

5.4.4 ニューラルネットワークによる位置推定モデル

運用試験において、11 アンテナから 600 点の読取率を測定する。5.3.2 節に紹介したニューラルネットワークによるタグの位置推定モデルに基で、式 (5.9) により中間層のニューロン数を変更し、全水準調査を行い、最小となった二乗誤差 E から最適な中間層のニューロン数を決定する。幾つの試行では、最適な中間層のニューロン数は 6 個となった。本章では、中間層のニューロン数 6 個としてモデルを決定する。表 5.1 にはニューラルネットワークのパラメータの一例を示す。そして、式 (5.8) を用いてタグの位置を推定する。

表 5.1 ニューラルネットワークのパラメータの一例

	$w_{i,1}$	$w_{i,2}$	$w_{i,3}$	$w_{i,4}$	$w_{i,5}$	$w_{i,6}$
$w_{0,k}$	5.8301	-4.5662	2.7942	2.6156	4.2448	-0.5758
$w_{1,k}$	0.7972	0.829	1.9382	2.085	3.3683	-1.9409
$w_{2,k}$	-0.6754	-1.3282	0.1712	-1.3548	0.5314	0.0096
$w_{3,k}$	2.0373	-1.5868	1.7323	0.7728	3.1645	-3.1002
$w_{4,k}$	1.523	-3.3468	0.0326	-0.4991	1.1835	-1.8814
$w_{5,k}$	1.9661	0.27	-1.8887	0.4313	1.0166	-3.8635
$w_{6,k}$	0.935	-0.3369	-4.3274	2.7686	2.647	-3.7302
$w_{7,k}$	-1.1683	-1.7049	-2.632	3.0945	0.1684	-2.0751
$w_{8,k}$	8.7192	-1.9222	-0.5642	-1.9288	-1.4255	3.0177
$w_{9,k}$	-2.3107	-1.5224	-2.0162	-1.866	1.0537	-0.0998
$w_{10,k}$	-0.4535	2.5217	1.2341	0.1891	-0.8444	-0.9835
$w_{11,k}$	-2.6109	1.6891	1.2223	2.5068	-1.0553	-0.1379

5.4.5 静止対象物に対する位置推定結果

ニューラルネットワークモデルを用いて位置推定した結果を図 5.8 に示す。実際のタグの位置は、0.5m 間隔で測定され、円で示され、推定された点は三角によって指定される。●は実際の観測地点の 600 点、▲推定地点でそれらの時の推定位置を示す、それらを点線で結んでいる。点線は推定誤差の大きさを示している。この推定誤差の分布について図 5.9 により示す。結果最大推定誤差が 1.95m、平均推定誤差が 0.40m となった。推定地点の 88.5% は、誤差 1.0m となった。図 5.8 において、推定地点の 10% では大きな測位誤差が生じる。

図 5.10 は大きな誤差が生じた例としてを示している。円は実際の位置、三角は推定位置、四角いはアンテナを表す。アンテナからの距離をほぼ正確に約 0.7m と推定することができた。しかし、それはアンテナの異なる側であったので、約 1.5m の誤差があった。この原因は、各アンテナは多くの場所で同じ強度の読取率を観測するため、一つのアンテナのみを使用して場所を区別することは非常に困難である。したがって、システムは正しく推定できていないことと示している。

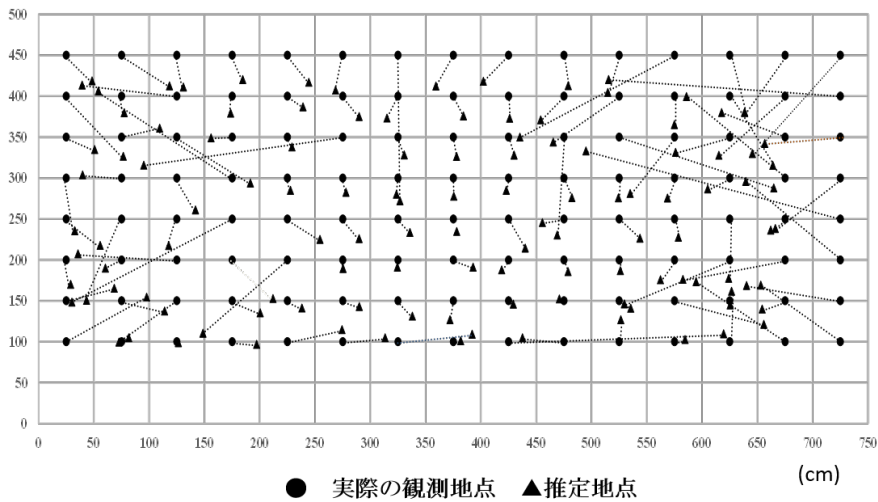


図 5.8 静止対象物における位置推定結果

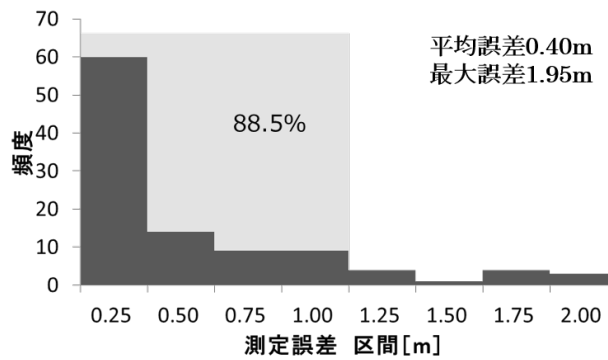


図 5.9 静止対象物における誤差分布

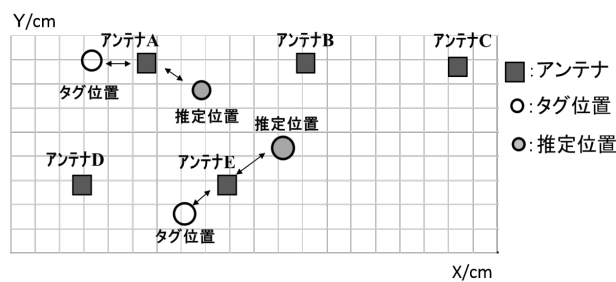


図 5.10 大きな誤差の例

5.4.6 移動対象物における位置推定結果

次に移動対象について推定を行った結果を示す。運用領域内において、タグを設置した台車を平均時速 2km、最大時速 4km で移動させ、推定を行った。同時に、動きの

ビデオを撮り、推定と実座標を比較して精度を調べる。

ニューラルネットワークのみを利用して位置推定を行った結果を図 5.11 に示す。この図を見ると、測定誤差は非常に大きくなっている。実際の位置は推定位置からかなり離れており、移動対象物における位置を正しく測定することができないことを示す。

図 5.12 では、図 5.11 の推定 X 座標を示している。点線は実際のタグの X 座標を示す。図 5.12 に示すように、連続的に移動している物体を観測しているにもかかわらず、測定値は急激な変動を繰り返している。

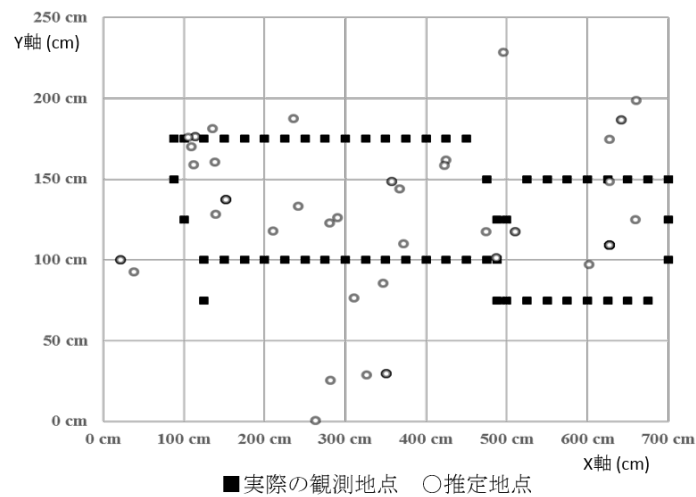


図 5.11 移動対象物における位置推定結果

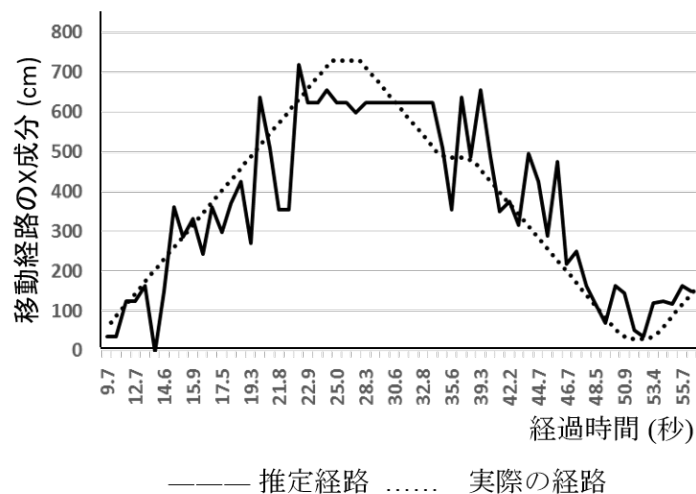


図 5.12 補正前の実際の X 座標と X 座標の推定値の比較

そこで、式 (5.10) から式 (5.14) により、図 5.13 のように補正する。Y 座標を X 座標と同じように補正し、図 5.14 に最終な推定結果を示す。結果としては、平均誤差は 0.43m、最大誤差は 1.06m であった。図 5.15 に測定誤差の分布を示している。図 5.9 を比較すると、実際の位置と推定位置は近づいている。98% 以上の点において、誤差 1.0m 以内の推定が可能となった。

図 5.16 では、測定誤差の比較結果を示している、測定誤差は著しく減少している。

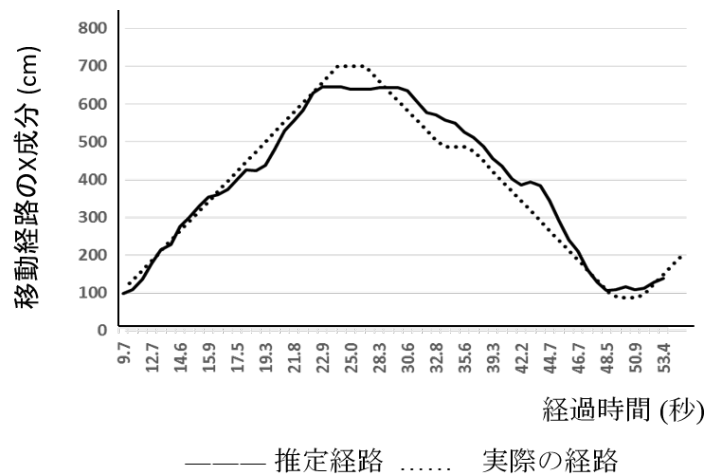


図 5.13 補正後の実際の X 座標と X 座標の推定値の比較

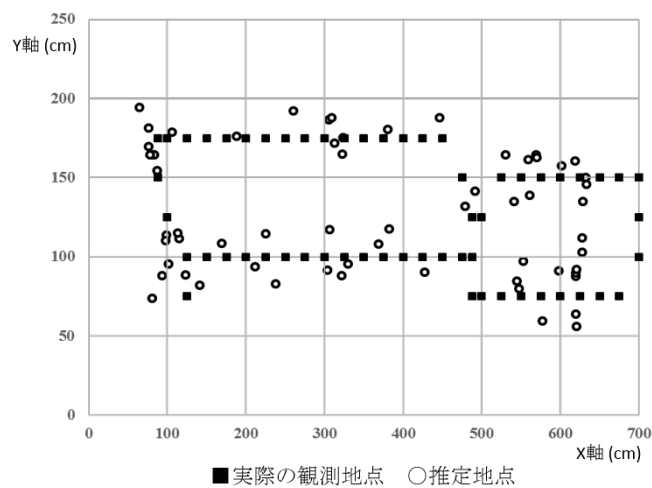


図 5.14 移動対象物における補正後の位置推定結果

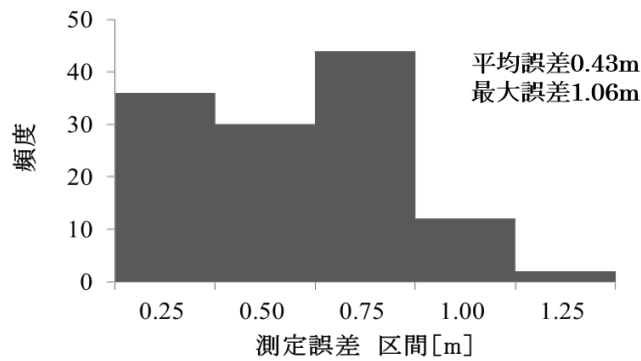


図 5.15 移動対象物における誤差分布

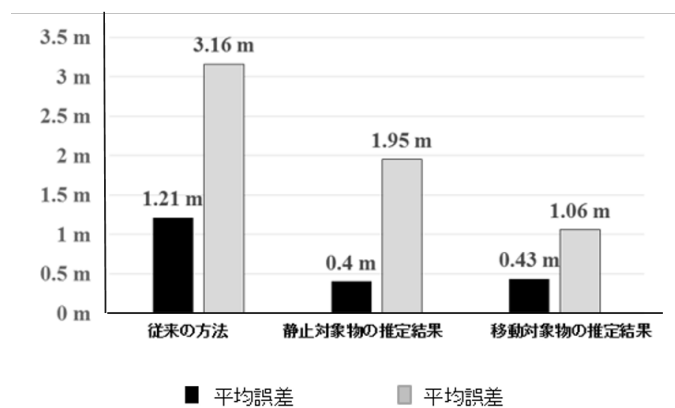


図 5.16 測定誤差の比較

5.5 結言

本章では、実際の生産現場において、生産性の計画と実績の差を正確に把握するため、屋内における人と物の動線および滞留時間を測定できる技術を提案した。

RFID システムを用いて、天井に多数アンテナを設置することでその読取率の差から位置推定を行う方法を提案した。MojixStar3000 を用いて方法を実現し、その読取性能について検証を行った。その上で機械学習を利用して推定精度を向上させる方法について検討を行い、移動対象物における推定については独自の補正方法を適用することによって推定を可能とした。その結果、移動対象物に関する移動経路について、概ね誤差 1.00m の以下の範囲で分析することに成功し、生産現場での作業分析に利用できる可能性が示された。

第 6 章

結論

6.1 結論

本論文では、労働集約型作業における生産性の計画と実績の差を低減することを目的としており、提案方法により人的要因による影響を軽減できる可能性が示された。

第2章では、生産準備段階において、人的要因に含まれる作業適性を評価する方法を提案した。食品製造工程における選別作業を対象とした適用例により、人工現実感技術を用いて測定される仮想作業域における作業特性から実工程における作業特性を推定できる可能性が示された。

第3章では、生産開始後の段階において、人的要因に含まれる知識・経験の個人差を低減する方法を提案した。機械設備の保全作業を対象とし、画像処理を用いて工具種類の判定、作業進捗の判定を行う方法を提案した。適用例により、作業現場において作業員自身が作業方法を学習できるようにするための作業教育支援装置の開発が可能であることが示された。

第4章では、従業員が熟練者となった段階において、熟練者の離職を低減する方策を実施するために離職願望が生じるメカニズムを考察した。新興国における生産拠点において複数年にわたり実施されている職務満足向上活動を事例とし、離職願望（または継続就業意思）は従業員満足により影響を受けること、従業員満足は複数の従業員満足要因の影響を受けることが明らかになった。また、従業員満足要因には年度により影響の有無が変わる要因と変わらない要因があることも示された。さらに、従業員満足向上施策がどの従業員満足要因に影響を及ぼしているのかを統計的に明らかにすることも示された。

第5章では、RFIDを用いることにより、屋内の複数の人および物の動線を1m以内の誤差で推定できることが示された。

6.2 今後の課題

本論文では労働集約型作業における生産性の計画と実績に差が生じる原因として人的要因に着目した。提案した方法はそれぞれ事例を対象にしているとともに、未だ実務に使用されるまでには至っていない。そのため、本論文において提案した方法には以下のような課題があると考ええる。

第2章で述べた作業適性評価方法に関しては、他の業種の選別作業、検査作業などへの水平展開の可能性を調べること、および開発した装置を実務に用いることが課題と考える。

第3章で述べた作業教育支援装置に関しては、他の業種の保守点検作業およびプラントの現場操作支援などへの水平展開の可能性を調べること、および開発した装置を実務に用いて有効性を確認することが課題と考える。

第4章で述べた離職願望要因を明らかにしたことに関しては、各要因の影響の国、地域、業種等による比較も必要と思われる。さらに、離職願望を低減するための施策を個人差、地域差等を考慮して継続して調査分析をすることが今後の課題になると考える。

参考文献

- [1] 古川勇二：“CIM 総論 (1) 製造業の課題と対応”，計測と制御，Vol 30, No.12, pp.1050-1053 (1991)
- [2] 赤木文男, 大崎紘一, 菊池進：“技能と作業能力との関係: 第1報, 手による小さな部品の組立の場合”，日本機械学会論文集，Vol.43, No.370, pp.2389-2396 (1977)
- [3] 蛭田礼弥, 白木 信：“RT 法を用いたクレペリン型検査の判定”，品質工学，Vol16, No.6, pp.50-59 (2008)
- [4] 原口春海, 貝原俊也, 藤井信忠：“セル生産における技能向上を目的とした作業者の配置に関する研究”，日本機械学会論文集 Vol.81, No.825, pp. 1-14 (2015)
- [5] Park, K., Takao, O., Kwan, S.：“Work stress of workers in Korean medium industry”，The Japanese Journal of Ergonomics 36, pp.350-351(2000)
- [6] 蔵田武志, 天目隆平：“従業員行動計測によるサービスプロセスリエンジニアリング”，人工知能学会誌，Vol.28, No.2 pp.238-244(2013)
- [7] 伊藤謙治, 桑野園子, 小松原明哲（編）：「人間工学ハンドブック」朝倉書店，pp. 564-572 (2004)
- [8] Mikami, K., Izumi, S., Kumashiro, M. and Saito, K.：“The work loads and work efficiencies in female workers”，The Japanese Journal of Ergonomics, Vol.27, No.2, pp. 103-114 (1991)
- [9] Kimura, M., Hirakawa, K., Okuno, T., Oda, Y., Morimoto, T., Kitani, T. and Hisanori, N.：“An analysis of physical fitness in the aged people with fitness battery test”，Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, Vol.38, No.5, pp. 175-185 (1989)
- [10] Sawada, Y.：“Physique work capacity and motor performance of the Japanese”，Journal of the Anthropological Society of Nippon, Vol.85, No.3, pp. 181-207 (1977)

- [11] 村上宣寛, 村上千恵子: “主要 5 因子性格検査の尺度構成”, 性格心理学研究, Vol.6, No.1, pp. 29-39 (1997)
- [12] 厚生労働省職業安定局: 「厚生労働省偏一般職業適性検査 (事業所用) 手引」, 雇用問題研究会 (2003)
- [13] 大崎紘一, 赤木文男, 菊池 進, 小川和夫: “大脳機能に基づいて分類した適性能から見た職種の特性について”, 日本経営工学会誌, Vol.34, No.6, pp. 377-383 (1984)
- [14] 井上孝二, 赤木文男, 大崎紘一, 菊池 進: “種々の組立作業における作業員の特性と作業適性との関係”, 日本機械学会論文集 (第 3 部), Vol.44, No.385, pp. 3296-3303 (1978)
- [15] 梶原康博, 大崎紘一, 宗澤良臣, 田口豊郁, 江草安彦, 緒方正名: “高齢者の作業適性評価に関する研究”, 日本経営工学会論文誌, Vol.51, No.3, pp. 159-167 (2000)
- [16] 室山晴美: “コンピュータによる職業診断システムの利用と評価”, 教育心理学研究, Vol.50, No.3, pp. 311-322 (2002)
- [17] Verghese, P.: “Visual Search and Attention: A signal Detection Theory Approach”, Neuron, Vol.31, pp. 523-535 (2001)
- [18] 佐藤剛実, 沖田善光, 高橋 勲, 平田 寿, 木村元彦, 杉浦敏文: “色と形の識別における事象関連電位早期成分の比較”, 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス, Vol.105, No.456, pp. 53-56 (2005)
- [19] 竹田仰: “人工現実感による上肢訓練および筋力計測システムの開発”, バイオメカニズム 12, pp. 265-279 (1994)
- [20] 内田昌克: “化学プラントの設備補修技術の現状と問題点”, 溶接学会誌, Vol.56, No.6, pp. 358-367 (1987)
- [21] 小川輝繁: “最近の化学工場の保安対策の課題”, SCAS NEWS
http://www.scas.co.jp/scas_news/news/pdf/17/teigen-17.pdf (2003- I)
- [22] 経済産業省: “産業事故の発生防止に向けた対応の方向性”,
“*http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/pdf/002-02-00.pdf*” (2013 年 2 月)
- [23] 独立行政法人 労働政策研究・研修機構: “ものづくり現場の中核を担う技能者の育成の現状と課題に関する調査”,
“*http://www.jil.go.jp/press/documents/20120328.pdf*” (2012 年 3 月)

- [24] 鈴木 剛, 野村 光俊, 森 正美: “プラント安全運転と技能伝承・教育へ向けた保守・点検作業支援システムの開発”, 計装, Vol. 48, No. 6, pp. 27-31 (2005)
- [25] 金井 務, 利島康司: “平成20年度石油化学コンビナートのメンテナンス作業へのRT適用に関するニーズ調査研究報告書”, 社団法人日本機械工業連合会・社団法人日本ロボット工業会, 調査・研究報告書の要約, pp. 130-140 (2009)
- [26] 中村悦子, 瀬賀裕子: “目標管理の効果的運用—管理機能としてのモチベーション”, 新潟青陵大学紀要第7号, pp. 131-143 (2007)
- [27] 土田道夫: “従業員のモチベーションをめぐる法的課題”, 日本労働研究雑誌, No.648, pp. 37-48(2017)
- [28] 高瑞紅: “中国における日系中小企業の人材マネジメント”, 国際ビジネス研究, 37-48 Vol.4, No.1, pp. 145-159 (2012)
- [29] Foreign Enterprises service Corp.: “2011年企業工員離職調査研究報告”, China New Time, Vol.168, pp. 74-75 (2012)
- [30] Zhang, Q., Liu, Y., Ge, Q., Zhang, H., Wang, J., Zhu, B.: “2つの企業における離職率および離職傾向への影響要因”, (表題和訳) Chinese J. Industrial Hygiene and Occupational Diseases, Vol.30, No.12, pp. 916-918 (2012)
- [31] Tnay, E., Othman, A., Siong, H. C., Lim, S.: “The Influence of Job Satisfaction and Organizational Commitment on Turnover Intention”, Procedia-Social and Behavioral Sciences 97, pp. 201-208 (2013)
- [32] 田中規子: “女性ホワイトカラーのモチベーション研究: 日本の総合職と一般事務職に着目して”, 人間文化創成化学論叢, 第13巻, pp. 247-257 (2011).
- [33] Izvercian, M., Potra, S. and Ivascu, L.: “Job Satisfaction Variables: A ground Theory Approach”, Procedia-Social and Behavioral Sciences 221, pp. 86-94 (2016)
- [34] 西田豊昭: “職務満足, 組織コミットメント, 組織公正性, OCBが職場の有効性に及ぼす影響”, 経営行動科学, Vol.13, No.3, pp. 137-158 (2000)
- [35] 田中規子: “職務満足の規定要因: フレデリック・ハーズバーグの「動機づけ衛生理論」を手がかりとして” 人間文化創成科学論叢, Vol.12, pp. 257-266 (2010)
- [36] Herzberg, F., Mausner, B. and Snyderman, B. B.: The Motivation to Work Management Approach, Wiley International Edition (1959)
- [37] Weiss, D. J. and Dawis: R. V. Manual for the Minnesota Satisfaction Questionnaire, Industrial Relations Center University of Minnesota (1967)

- [38] 諸上詩帆：“従業員のパーソナリティ傾向を中心とした個人特性が、内発的、外発的職務満足に与える影響の検討”，横浜商大論集，pp. 83-109 (2012)
- [39] 鈴木尊志，塚本浩二，阿部和彦，長江寿江子：“職務・職場問題の分析-Maslow, Herzberg の説と比較して-”，産業医科大学雑誌，Vol.8, No.3, pp. 323-330 (1986)
- [40] Dawal, Z., Taha, Z. and Ismail, Z.：“Effect of Job Organization on Job Satisfaction among Shop Floor Employees in Automotive Industries in Malaysia”，Int. J. Industrial Ergonomics, Vol.39, pp. 1-6 (2009)
- [41] Mihalcea, A.：“The impact of leader’s personality on Employees’ Job Satisfaction”，Procedia-Social and Behavioral Sciences 78, pp. 90-94 (2012)
- [42] Markovits, Y., Boer, D. and Dick, R.：“Economic crisis and the Employee: The Effects of Economic crisis on Employee job Satisfaction, commitment, and Self-regulation”，European management J., Vol.32, pp. 413-422 (2014)
- [43] Lee, J., Ok, C.：“Reducing Burnout and Enhancing Job Satisfaction: critical role of Hotel Employees’ Emotional Intelligence and Emotional labor”，Int. J. Hospitality Management, Vol.31, pp. 1101-1112 (2012)
- [44] Qu, H., Zhao, X.：“Employees’ Work-family Conflict moderating Life and Job Satisfaction”，J. Business research, Vol.65, pp. 22-28 (2012)
- [45] Lapiere, L., Spector, P. Allen, T., Poelmans, S., Cooper, C., O’Driscoll, M., Sanchez, J. Brough, P. and Kinnunen, U.：“Family-supportive Organization Perceptions, multiple Dimensions of Work-family Conflict, and Employee Satisfaction: A Test of Model across Five Samples”，J. Vocational Behavior, Vol.73, pp. 92-106 (2008)
- [46] Hackman, J. R. and Oldham, J. R.：“motivation through the Design of Work: Test of Theory”，Organizational Behavior and Performance, Vol.16, pp. 250-279 (1976)
- [47] 戸梶亜紀彦：“職務動機づけを高めた出来事に関する検討 (2) 仕事への責任・組織での役割を自覚した体験について”，東洋大学社会学部紀要，Vol.51, No.1, pp. 27-43 (2014)
- [48] Nadinloyi, K. B., Sadeghi, H. and Hajloo, N.：“Relationship Between Job Satisfaction and Employees Mental Health”，Procedia-Social and Behavioral Sciences 84, pp. 293-297 (2013)
- [49] Katsikea, E., Theodosiou, M. and Morgan, R. E.：“Why People Quit: Ex-

- plaining Employee Turnover Intentions among Export Sales Managers”, *Int. Business Review*, Vol.24, pp. 367-379 (2015)
- [50] Jang, J, George, R. : “Understanding the Influence of polychronicity on Job Satisfaction and Turnover Intention: A Study of Non-supervisory Hotel Employees”, *Int. J. Hospitality management*, Vol.31, pp. 588-595 (2012)
- [51] Chan. S., Mai. X. : “The relation of Career Adaptability to Satisfaction and Turnover Intentions”, *J. Vocational Behavior*, Vol.89, pp. 130-139 (2015)
- [52] 櫻木晃裕 : “職務満足概念の構造と機能”, *豊橋創造大学紀要*, No.10. pp. 37-47 (2006)
- [53] 西川一廉 : “職務満足に関する研究”, *心理学研究*, Vol.41, No.6, pp. 285 - 294 (1970)
- [54] シェル B. サンディン著, 坂本重泰訳, 日本能率協会コンサルティング監訳 : 「MOST 画期的な標準時間の設定法」日本能率協会マネジメントセンター (1993)
- [55] Kjell B. Z. : 「MOST Work Measurement Systems ThirdEdition, Revised and Expanded」, p. 527 (2003)
- [56] 吉本一穂, 大成尚, 渡辺健 : 「メソッドエンジニアリング」朝倉書店, p. 231 (2006)
- [57] 五艘隆志, 越 智淳, 草柳俊二 : “建設現場における先端情報技術を活用した生産性管理データ収集・分析システムの構築に関する研究”, *土木学会論文集 F4(建設マネジメント) 特集号*, Vol.66 No.1, pp. 317-328 (2010)
- [58] SHIRAYAMA S., OSAWA R. : “A Study of a People Tracking Method Using Invisible Visual Markers in Indoor Environments”, *Transactions of the Visualization Society of Japan*, Vol.37, No.2, pp. 1-10 (2017)
- [59] 大槻知明 : “位置推定技術”, *電子情報通信学会技術研究報告*, 信学技報, pp. 1-4(2009)
- [60] 別所正博, 小林真輔, 越塚登, 坂村健 : “ユビキタスコンピューティングと屋内環境の位置認識”, *電子情報通信学会誌*, Vol.2, No.4, pp. 249-255 (2009)
- [61] Ming L., Taketoshi M., Hiroshi N., Masamichi S. and Tomomasa S. : “Object location estimation with Zig Bee module in actual living environment”, In *1st International Workshop on Human Behavior Sensing*, pp. 8-15 (2010)
- [62] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇 : “実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤”, *インタ-ネットコンファレンス 2006*, pp. 95-104 (2006)
- [63] 小林和則, 古家賢一, 羽田陽一, 片岡章俊 : “位置が未知である複数マイクロホ

- ンアレーと距離測定スピーカを用いた音源位置推定”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J91-A, No.11, pp.1006-1016 (2008)
- [64] 鶴浩二，兼田健佑，湯浅翔太：“電磁界強度を用いた RF タグ位置推定技術の開発”，大分工業高等専門学校紀要第 47 号，pp. 19-24 (2010)
- [65] Nissanka B. P., Anit C., Hari B., : “The Cricket location – support system”, Proceedings of MobiCom2000, pp. 32-43 (2000)
- [66] 小室信喜，六田智之，待井一樹：“UHF 帯 RFID を用いる屋内位置推定における人体の影響を考慮したシミュレーション”，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.108, No.455, pp. 95-100 (2009)
- [67] 中田豊久，伊藤日出男，金井秀明：“既知タグとの共変化を利用した Active RFID タグの測位方法”，第五回知識創造支援システムシンポジウム報告書，pp.8-15(2008)
- [68] 山本正明，阿部貴善，古川直広，山添孝徳：“UHF 帯パッシブタグ及びアクティブタグ通信端末を用いた簡易屋内測位システム開発と評価”，電子情報通信学会論文誌 B, Vol.95, No.11, pp. 1427-1434 (2012)
- [69] 財団法人，流通システム開発センター発行：“RFID 技術動向・運用環境調査 報告書”，pp. 2-6 (2010)
- [70] 田中完爾，木室義彦，山野健太郎，平山満，近藤英二，松本三千人：“RFID システムによる自己位置推定とタグ配置作業”，電子情報通信学会論文誌 D-II, J88-D-II.9, pp. 1759-1770 (2005)
- [71] 白鳥雄大，上田裕巳，坪井利憲：“RFID 位置検出技術を用いた屋内移動動線算出アルゴリズム”，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.111, No.10, pp. 45-50 (2011)
- [72] 横溝克己：「MODAPTS – JAPANESE EDITION –」，日本キリスト教奉仕団，p. 106 (1973)
- [73] 伊藤謙治，桑野園子，小松原明哲（編）：「人間工学ハンドブック」，朝倉書店，p. 247 (2004)
- [74] 石井健一郎，上田修功，前田英作，村瀬 洋：「わかりやすいパターン認識」，オーム社 (1998)
- [75] 杉山 将：「イラストで学ぶ機械学習」，講談社 (2013)
- [76] 昆はるか，佐藤直子，櫻井直樹，金城篤史，山田一穂，小林 博，金田 恒，野村修一：“複数評価者による全部床義歯後縁外形評価の一致性”，日本補綴歯科学会誌，Vol.7, No.2, pp. 154-160 (2015)

- [77] Izumi K. and Kajihara Y. : “A Support System for Tube Replacement Operation of a Heat Exchanger”, Journal of the Society of Plant Engineers Japan, Vol.25, No.2, pp. 46-51 (2013)
- [78] Herbert B., Tinne T. and Luc V.G. : “SURF: Speed Up Robust Features”, 9th Euro. Conf. on Computer Vision, pp.404-417 (2006)
- [79] Otsu N. : “A threshold selection method from gray-level histogram”, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol.SMC-9, pp. 62-69 (1979)
- [80] 日本貿易振興機構 : “2015 年度日本企業の海外事業展開に関するアンケート調査”, “[https : //www.jetro.go.jp/news/releases2016/749840002ccf19fe.html](https://www.jetro.go.jp/news/releases2016/749840002ccf19fe.html)” (2016 年 3 月)
- [81] 豊田秀樹 : 「共分散構造分析 [入門編]」, 朝倉書店, pp. 173-177 (2005)
- [82] 5 富士通フロンテック株式会社 : “UHF 帯 RFID 導入ガイド第 5 回 アンテナの設置方法”, “[http : //www.fujitsu.com/jp/group/frontech/solutions/business-technology/intelligent-society/rfid/guides/5th-02.html](http://www.fujitsu.com/jp/group/frontech/solutions/business-technology/intelligent-society/rfid/guides/5th-02.html)” (2015 年 5 月)
- [83] 伊沢亮一, 毛利公美, 森井昌克 : “無線 LAN を用いたモバイル端末の位置検出法について”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.104, No.68, pp. 13-18 (2004)
- [84] Shiraishi.T., Komuro.N., Ueda. H., Kasai.H. : “Indoor Location Estimation Technique using UHF band RFID, Information Networking”, ICOIN 2008, International Conference (2008)
- [85] 渡辺嘉二郎, 芹沢一 雅, 侯 麗雅 : “学習係数の適応調整によるニューラルネットワーク学習の高速化”, 計測自動制御学会論文集, Vol.30, No.9 (1994)