

動線分析機器開発と
動線データによる作業分析に関する研究

2013年度

大 畠 一 人

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 乙 第	号	氏 名	大 島 一 人
主 論 文 題 目 :				
動線分析機器開発と動線データによる作業分析に関する研究				
(内容の要旨)				
<p>日本の製造業は、製造現場を主体とした全員参画による改善活動で、品質面を主として世界一位になった。その改善活動は、ボトルネックになっている作業に着目して分析を行い、改善を繰り返し積み上げていく、ボトムアップのQCD向上活動であった。一方、諸外国の製造業ではトップダウンによる目標設定とその追求という経営スタイルのもと、網羅的にQCD向上を追求して、現在では日本との立場が逆転している。トップダウンの問題解決は、コンサルタントなど改善のプロフェッショナルが取り組んでいるが、ケーススタディ中心でアプローチや手法が共有されにくい。このトップダウンの手法を一般化できれば、誰でも網羅的に課題を抽出することが可能となる。</p> <p>本論文では、網羅的に課題を抽出する手法として動線分析に着目し、長時間・複数人で行われる作業を対象として、作業するエリア間を作業者が移動するデータを簡便に収集できる機器を開発した。収集したデータを用いて以下に示す移動パターンと作業パターンを分析・抽出して、それらのパターンから定期性と定常性の観点で作業の問題点を抽出した。</p> <p>移動パターン：作業者の連続した移動ルートの出現頻度から移動の規則性と移動頻度を評価 作業パターン：作業エリアへの移動回数と時間間隔のバラツキから移動間隔と移動頻度を評価</p> <p>これら2つのパターンによる問題点抽出の検証を通じて、収集された移動データから、移動パターンと作業パターンを短時間で効率的に分析して、定常的な主体作業および、非定常で突発的な付帯・付随作業の問題点を分析するアプローチを提案することが本論文の目的である。</p> <p>第1章では、日本と諸外国の問題解決のアプローチを比較し、本論文の目的を述べている。</p> <p>第2章では、従来の分析手法と関連研究を参照して、それらから得られる知見と本論文との関係について述べている。</p> <p>第3章では、長時間・複数対象作業の動線データ収集を可能にする機器開発と、その機器によって収集された動線データの分析を可能にするシステム開発に関して述べている。</p> <p>第4章では、作業者の移動ルートの出現頻度に着目して、規則的な移動ルートに含まれる作業エリアの比率と移動回数から4通りの移動パターンに分類する手順を提案している。</p> <p>第5章では、作業者の各作業エリアへの移動回数と時間間隔から移動累積グラフを作成し、グラフのフレ幅と移動回数から4通りの作業パターンに分類する手順を提案している。</p> <p>第6章では、移動パターンと作業パターンの分析結果から改善ポイントの抽出を行い、4章と5章のパターン分析手法の妥当性を検証している。</p> <p>第7章では、本論文の結論と今後の課題について述べている。</p>				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Science for Open and Environmental System	Student Identification Number	SURNAME, First name OHATA Kazuto
Title <p style="text-align: center;"> A Study on Development of A Traffic Line Analysis Device and A Work Analysis Method Using Traffic Line Data </p>		
Abstract <p> Japanese manufacturing companies got to No.1 in the world in terms of quality by improvement activities by mainly production floor peoples. The improvement activities was the bottom-up oriented QCD improvement activities, which is a repetitive approach to analyze the un-efficient or bottleneck work and to improve the work. Instead of that Japanese approach, foreign country manufacturing companies were tried to seek for the top-down oriented QCD improvement which are driven by the top-down management style to set the target and to realize it., and now the shoe is on the other foot. The improvement professionals like consultants are tried to use same top-down oriented QCD improvement in Japan, but commoditize of those approaches or methods are difficult because those are in a particular case-study. By universalizing those top-down QCD approach, anyone can extract exhaustively problem issues. </p> <p> In this thesis, the traffic line analysis is focused attention on as the exhaustive extract method of problems. The long-time and multiple-workers work is taken as the target of analysis, a traffic line analysis device is developed as the tool for colleting easily between work areas, below mentioned move patterns and work patterns are analyzed and extracted by using collected worker's traffic data for aiming to evaluate the trend of periodical and steady, and work problem points are extracted in terms of periodicity and stationality from those patterns. </p> <p> Move pattern: evaluate the regularity and the frequency of worker's movement from repetition of worker's consecutive move route data </p> <p> Work pattern: evaluate the interval and the frequency from move counts and time intervals in work areas </p> <p> Through the validation of problem points extraction by move and work patterns, the objective of this thesis is to propose the approach that is to analyze in short-time and effectively those time move and work patterns from collected traffic line data, and analyze problem points for both of regular main work and irregular and sudden complement work. </p> <p> In chapter 1, describe the objective of this thesis by comparing problem solving approaches of Japan and foreign countries. </p> <p> In chapter 2, describe the referenced perceptions and its relationships with this thesis by referring the conventional IE analysis methods and related researches </p> <p> In chapter 3, describe the development of device that enables gathering traffic line data of long-time and multi-object works, and the application development that enables data analysis of those gathered traffic line data. </p> <p> In chapter 4, propose the procedure to classify four move patterns from ratios and counts of work area of regular move routes based on the appearance frequency of worker's consecutive move route data. </p> <p> In chapter 5, propose the procedure to classify four work patterns from variations and counts in cumulative graphs, those are drawing from move counts and time intervals to work areas. </p> <p> In chapter 6, extract improvement points from analysis results of move patterns and work patterns, and validate the pattern analysis in chapter 4 and 5. </p> <p> In chapter 7, describe conclusions of this thesis and remaining assignments. </p>		

謝 辞

本論文の作成にあたり多くのご指導とご助言を頂き、論文審査の際も主査の任にあたって下さった慶應義塾大学理工学部管理工学科の金澤孝教授に深く感謝致します。金澤孝教授には本研究を始めた当初から研究の進め方や考え方について多くのご指導とご助言を頂き、本研究以外のことに関しても様々なご指導をして頂きました。

本論文の副査の任にあたって下さり、仕上げの段階で貴重なご助言を頂いた、慶應義塾大学理工学部の松川弘明教授、岡田有策教授、青山学院大学理工学部の松本俊之教授に深く感謝致します。特に松本俊之教授には、研究を進める過程でお忙しい中、何度も本論文の厳密な書き方や本研究の方針や意義など様々な面で貴重なご助言と励ましの言葉を頂きました。

日ごろから様々なことをご相談させて頂き、本論文に関しても細部や構成に関する適切なお助言を頂いた、長岡技術科学大学工学部の志田敬介准教授、神奈川大学経営学部の道用大介准教授、慶應義塾大学管理工学科の市来寄治氏、青山学院大学理工学部の山崎友彰氏に深く感謝致します。

本論文の構成に関して、幅広い視点で多くの貴重なご助言を頂いた、猪谷哲也様、小川康暢様に深く感謝致します。

共同研究として、生産革新の実務を担当しながら研究に取り組める環境を作って頂いた、D 社の井上覚取締役、中川力センター長、鈴木康仁所長、小澤英之部長をはじめとする職場の皆様に深く感謝いたします。特に井上覚取締役、鈴木康仁所長には本研究のきっかけを作って頂き、研究ができる数々の配慮を頂きました。

以上の方々に、ここで改めて心からの感謝の意を表したいと思います。

最後に、いつも私を支えてくれた妻・友美と長女・玲奈に深く感謝します。

2013 年 12 月

序

日本の製造業は、品質面を中心に世界一位となったが、現在では諸外国に対して遅れをとってしまった。この原因として、日本と諸外国との間での問題解決のアプローチの違いが考えられる。日本の製造業が得意としてきた改善は、製造現場を主体とした全員参加によるボトルネックの改善の積み上げの繰り返しであるが、諸外国では、経営課題に基づいたトップダウンによる目標設定が、組織構造にしたがって網羅的に展開されて改善が系統的に行われる。

QCDのコスト面に注目すると、現場改善に用いられてきたIE手法は、分析志向であり、現場を観察することによって改善点を探すというアプローチをとってきた。ボトルネックの改の積み上げでは改善が局所的になってしまったり、場合によっては行き過ぎた改善につながってしまう可能性もある。また、IE手法は手動的なものであり、分析には時間と手間がかかるという問題もある。

このような背景から、これからのIE手法は、経営課題を解決するための高い目標を目指すという設計志向で、現場を網羅的に観測・分析して、問題点を抽出するというアプローチに方向転換すべきと考える。そして、網羅的な改善を進める方法論や環境を作ることが求められる。分析手法面から考えれば、長時間、多人数、広範囲での作業を分析するための、分析の自動化・システム化の検討が必須である。

そこで、本論文では網羅的な作業分析を短時間でを行う手法を提案することを狙いとし、長時間・複数人で行われる作業を対象として、作業するエリア間を作業者が移動するデータを簡便に収集できる機器を開発することと、収集された移動データを処理した頻度と時間間隔データから、作業エリアでの移動パターンと作業パターンを短時間で効率的に分析して、定常的な主体作業および、非定常で突発的な付帯・付随作業の問題点を分析する手法を提案することを目的とする。

具体的には、網羅的な作業分析を行う手法として動線分析に着目し、長時間・複数人で行われる作業を対象として、作業するエリア間を作業者が移動するデータを簡便に収集できる機器を開発する。そして、収集したデータを用いて、作業者の連続した移動ルートの出現

頻度から作業の移動頻度と規則性を評価する移動パターンと、作業エリアへの移動回数と時間間隔のバラツキから作業の移動頻度と移動間隔を評価する作業パターンを分析・抽出して、それらパターンから作業の問題点を抽出する。

作業の定期性と定常性を評価するために、これら2つのパターン分類を合成して作業エリアを分類する。分類した作業エリアで行われている作業の問題点抽出の検証を通じて、収集された移動データから、移動パターンと作業パターンを短時間で効率的に分析して、定常的な主体作業および、非定常で突発的な付帯・付随作業の問題点を分析するアプローチを提案する。

目次

第1章 研究の背景と目的	1
1-1 背景	1
1-2 目的	7
第2章 既存の分析手法と関連研究	11
2-1 既存の分析手法	11
2-1-1 工程分析と作業分析	11
2-1-2 動作分析と動素分析	18
2-1-3 既存の IE 手法の分類と問題点	19
2-2 関連研究	22
2-2-1 作業者の動きの測定に関する研究	22
2-2-2 作業者の動きの分析に関する研究	24
第3章 分析機器の開発	27
3-1 動線分析機器の要件	27
3-2 開発した機器の特徴	28
3-3 動線・滞在時間・移動順序の分析	32
3-4 動線データ分析のアプローチ	35
第4章 移動パターンと作業エリアの分析	37
4-1 移動ルートの分析	37
4-1-1 移動ルートの定義	37
4-1-2 移動ルートの出現頻度による分類	39
4-2 移動パターンの分析	40
4-2-1 作業エリアの出現頻度	40
4-2-2 規則的エリアと不規則エリアの分類	40
4-2-3 移動パターンによる作業エリアの分類	41
4-3 移動パターンの分析の事例を用いた検証	42

4-3-1 分析対象作業	42
4-3-2 事例 1 における移動パターンの分析	43
4-3-3 事例 2 における移動パターンの分析	47
第 5 章 作業パターンと作業エリアの分析	50
5-1 移動累積の分析	50
5-1-1 移動累積グラフの定義	50
5-1-2 移動累積グラフのフレ幅と移動頻度	51
5-2 作業パターンと作業エリアの分析	52
5-2-1 移動累積グラフの分類	52
5-2-2 作業パターンによる作業エリアの分類	53
5-3 作業パターンの分析の事例を用いた検証	54
5-3-1 事例 1 における作業パターンの分析	54
5-3-2 事例 2 における作業パターンの分析	56
第 6 章 改善ポイントの抽出	64
6-1 移動パターンと作業パターンの合成	64
6-2 移動パターンと作業パターンの合成の事例を用いた検証	65
6-2-1 事例 1 における移動パターンと作業パターンの合成	65
6-2-2 事例 2 における移動パターンと作業パターンの合成	67
6-3 移動累積グラフの合成	68
6-3-1 作業者間の移動累積グラフの合成	68
6-3-2 作業エリア間の移動累積グラフの合成	69
6-4 分析手法の評価	71
6-4-1 パターン分類の評価	71
6-4-2 本研究の分析手法の評価	73
第 7 章 結論	75
参考文献	79

第1章 研究の背景と目的

1-1 背景

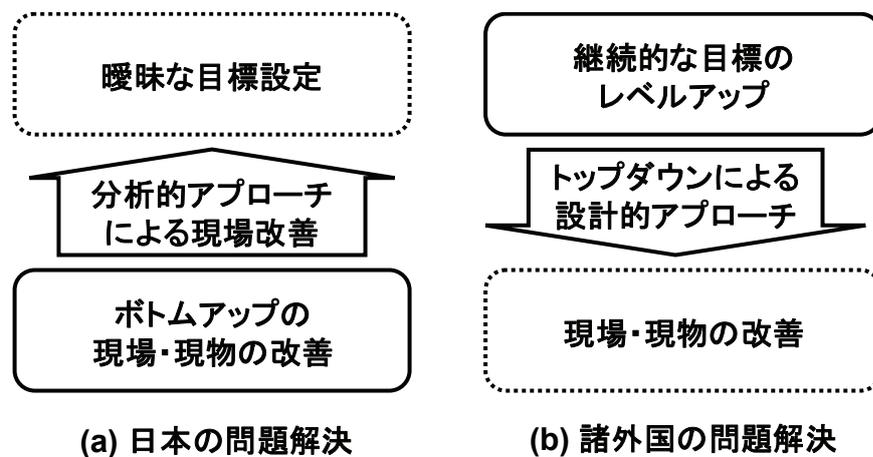
1979年にエズラ・ボーゲル著の『Japan As No.1』〔1〕が発表され、日本の製造業は品質面を主として世界一位になったかと思っただが、新興国などの追い上げや先進国の巻き返しによって、現在では“負け組”になってしまった。いったい何が起こったのであろうか？これは、相手の新興国や先進国が優れたから日本が負けたのか、それとも日本が劣ったから新興国や先進国が勝ったかのいずれであらうか？以下では新興国や先進国を諸外国と呼ぶことにする。

負けの原因としては様々な解釈があるが、結局のところは、“良いものを安く早く”という製造業の永遠の命題である“QCD (Quality, Cost, Delivery) の追求”に違いがあり、日本“うさぎ”が休んで寝ている間に、着実に歩み続けた諸外国“かめ”がゴールしたのではないかと考えている。その違いをQCD側面で考えてみれば、以下のような状況である。

- ・ “良いもの (Q)” : 日本では「工場目線(Product-out)で品質が良いもの」であるのに対して、諸外国では「顧客目線(Market-in)で顧客が欲しいものであり、きれい・便利などの機能が良いもの」であり、顧客志向の製品機能が“良い”とされている。
- ・ “安いもの (C)” : 日本では「過去の価格や同業他社の価格との相対的な安さであり、価格を安くした、高くないという意味での安さ」であるのに対して、諸外国では「低賃金と間接最少人数、安い原材料とユーティリティ、安い設備の100%稼働などによる安さであり、市場・顧客から見て最低の価格という安さ」であり、世界の最低価格が“安い”とされている。
- ・ “早く (D)” : 日本では「現状のリードタイム・納期をできるだけ短くする短納」であるのに対して、諸外国では「即日・即決のこれ以下はない最小時間の即納」であり、世界中何処でも24時間配送といった、最低時間が“早い”とされている。

上記の日本のQCD目標が示すように、日本の製造業が得意としてきた改善は、製造現場を主体とした全員参画活動で、非効率でボトルネックになっている作業に着目した分析・改善を行い、その改善を繰り返し積み上げていく、現場中心のボトムアップによるQCD向上活動であった。図1-1(a)に示す問題構造のように、日本の目標設

定は、例えば“アメリカに追いつけ”といった暗示的で曖昧なものであった。目標は曖昧ではあったが、生産性でアメリカに負けているという認識はあり、非効率でボトルネックである作業は多く見られたので、それらのボトルネック作業を改善する活動が現場で盛んに行われた。目標の曖昧さから、達成すべき目標やレベルは明示的に示されなかったが、現場の非効率な作業を改善する活動を通して、“より良く、より安く、より早く”を実現化するという分析的アプローチによる改善活動が行われてきた。



この分析的アプローチは、ボトルネックが明確で多くあった 2000 年以前には効果が得られていた。しかし、生産性で世界一となった時には、現場に残った非効率な作業は少なくなっており、どこを改善して効率化すべきかという目標・レベルを明示的に示す必要性が出てきた。日本の経営スタイルは、トップダウンによる目標設定とその追求という諸外国の経営スタイルではなかったために、市場・顧客のニーズ変化に対応するための目標設定とその追求や改善活動が適切に行われなかったため、上記した諸外国が目指していた市場・顧客志向の QCD 追及とはならなかった。

日本が行ってきた達成目標が明確でないボトルネックの改善は、局所的になり、場合によっては“行き過ぎ”となった面があったことは否めない。日本でも ISO (International Organization for Standardization) による品質システムの認証取得は進んでいるが、ISO の品質システムの要求事項は、“現時点の品質レベルを規定して、そのレベルを継続して向上させる活動を、経営システムの一環として運用する”ことで

あり、ISOは達成不可能と思われる“不良ゼロ”は要求していない。ところが、日本では、ゼロ・ディフェクト(Zero Defect)と言われ、ISOの認証取得のためには良品率を100%に近づける必要がある、といった勘違いによる良品率100%という目標が追求され、まさに目標のない品質改善活動になってしまった。その活動によって、検査装置・人工数などの品質コストがかかる“日本品質”を達成したが、ISOの規定する適切なコストによる適切な良品率という“世界品質”とかけ離れたものになり、“行き過ぎ”的な過剰品質となってしまったのではなかろうか。

日本のNC加工機は、その加工精度において世界トップレベルである。日本の製造業の機械加工現場には、それらのNC加工機が多く並んでいるが、その使い方にも“行き過ぎ”があると考えている。NC加工機では、加工のためのプログラムが必要であり、そのプログラミングには時間がかかる。多量の加工を行うのであれば、そのプログラミング時間は配分されるので1回の加工に対しては短時間になるが、1個の加工を行うのであればプログラム準備という段取時間は大きくコスト高になってしまう。また、部品置場と加工位置間の部品運搬はNC加工機の補助機構で行われるが、その機構の動作時間は長く、複数個の連続加工であればその利用価値はあるが、1個の加工であれば、作業者が手で取り置きした方が手っ取り早い。さらに、日本ではNC加工機の価格とともに人件費も高いので、NC加工機の多台持ちによる設備運転が行われているが、運転・段取時間の組み合わせが複雑で曲芸的であり、その組み合わせに不具合が生じて、しばしば停滞が発生しており、稼働待コストは増大している。これに対して、新興国では当たり前の1人一台である。このようにNC加工機は日本の誇る設備であるが、品質とコストのアンバランスという意味で、一種の“行き過ぎ”になっていないだろうか。

NC加工機の運転の多くは自動化されているが、段取・給材除材・トラブル対応などは人手に頼っている。設備の効率を示す指標として、設備総合効率[=稼働率(実際の稼働時間)×性能(設計上の製造速度に対する実際の製造速度の比)×品質(全生産数に対する良品率)]が使われている。この設備総合効率において、設備そのものの直接的な効率は設計上の製造速度と設備依存の良品率だけであり、稼働率・実際の製造速度・設備運転による良品率などは、人手による段取・給材除材・トラブル対応などの作業効率によって決まる。これまでの設備の効率化は、設備総合効率の各項を向上させて、“稼働率・設備効率・良品率を上げる”ことが志向されてきた。しかし、各

項の向上というプラス面での努力範囲は狭まりつつあることから、設備効率のマイナス面である非生産時間に着目して、“非稼働率や不良率を下げる”ことが重要になってきた。段取などの非生産時間の多くは作業者に関連するものであると同時に、非標準で突発的なものが多く、作業内容はその都度変化してさまざまであり、この改善は進んでおらず、設備コストという面では、自動化の高度化による非稼働ロスという“行き過ぎ”になっている。

上記した日本の QCD の追及に対して、諸外国で市場・顧客志向の QCD が実現化している理由については様々な解釈があるが、その基本は上記した日本の改善活動の弱点を克服していることであり、その理由を、図 1-1(b)に示す問題構造と経営の PDCA サイクルという視点で考えてみれば、以下のようなになる。

- ・ 目標設定

マネジメントの強いリーダーシップによって、経営サイクルのプロセスでレベルアップされた経営や改善の目標が継続的に示され、その目標を達成していくという設計的アプローチによる改善活動が経営サイクルに仕込まれている。

- ・ 網羅的・系統的な改善

マネジメントが示した目標が、経営のピラミッド構造に沿って、組織の上下・左右に網羅的に展開される PDCA サイクルが回されており、その展開プロセスの中で、組織体全員の役割分担に応じた明確な組織・個人目標が与えられるので、組織全体で、網羅的な改善が行われている。さらには組織全体への目標展開となるので、QCD の改善はバランスがとれている。

諸外国の工場や改善活動を見学してみると、日本と比べて特に新しいことがあるわけではなく、ただ“明確な目標”の達成を目指して、“網羅的”な改善が“QCD 各面でバランスよく”行われていることがわかる。

最初の“目標設定”は本論文の対象外で今後の研究課題とすることにして、本論文では後者の“網羅的・系統的な改善”を対象とする。ただし、上記した諸外国におけるトップダウンによる経営展開は、ボトムアップの日本の組織風土の中で実現化することは容易ではない。そこで、日本の強みであるのボトムアップ改善は活かすこととして、そこに諸外国の強みであるトップダウンによる経営課題展開の視点を加えることにより、QCD 各面でバランスがとれた改善課題の抽出を網羅的に行う工夫はできないかというのが、本論文の問題意識である。

品質面について考えてみると、TQC (Total Quality Control) の展開による品質向上は日本の製造業を世界一にした源泉である。TQC の評価では全員参加のボトムアップによる QC サークルが成功要因と説明されることが多い。具体的には、QC サークルという活動の中で、QC7 つ道具に代表される手法を用いて品質管理や検査プロセスの改善に取り組んだことによって品質が向上した [2] [3] [4]。しかし実際には、徳丸 [5] によれば、“トップの品質方針を上位から下位に方針展開して、品質改善の成果を下位から上位に報告していくというマネジメント構造による活動であった”ことが、TQC が成果をあげた要因の一つであったと考えることができる。

すなわち、マネジメントが経営視点で目標を設定し、その達成のために現場が運用を改善するという PDCA サイクルが TQC では回っていたことになる。しかし、TQC における PDCA サイクルは外部機関による審査時の形式的なものであったことは否めず、PDCA は企業風土として定着しなかった。そのために、PDCA サイクルはその後の TPM (Total Productive Maintenance) などで限定的に実践化されることはあっても、生産企業の目標である QCD において品質(Q)と並ぶコスト(C)や納期(D)への展開にはつながらなかった。

岩崎 [6] によるサンデンの TQC 活動の報告では、サンデン独自の TQC 活動を社長自ら定義し、活動開始を宣言していることに特徴があり、その社長方針に基づいて、経営幹部には改革、社員には改善を求め、業績向上に結びつく改革活動に展開することで、活動開始時点で 1%であった連結経常利益率が 3 年間の活動で目標の 5%を達成した。マネジメントが全社課題を認識して各部門の方針を決定することが重要であるとの考え方であり、マネジメントと各レベルの管理者・担当者の役割を明確にすることの必要性を論述している。

納期 (リードタイム) 面では、この問題を SCOR (Supply-Chain Operations Reference-Model) [7] の経営視点で考えてみれば、SCOR ではマネジメント・実務担当者の役割をそれぞれ“経営”と“運用”として、マネジメントでは“財務目標”を、実務担当者では“運用目標”をそれぞれ設定した上で、運用目標のリードタイム短縮などによって結果となる財務目標の達成を図るために、その手段として SCM を行うと定義している。SCOR モデルでは plan/buy/make/deliver と定義されるが、トンプキンス [8] によると、End to End のサプライチェーンとは Buy/Make/Deliver の先に Store があり、最後に Sell があり、最後の Sell を知ることで初めて Plan が立てられると指

摘している。

これを経営サイクルとして見れば、経営としての財務目標を運用目標に展開する(Plan)→モノのフローに着目してリードタイム短縮を図る(Do)→財務面の成果を財務目標と比較して評価する(Check)→目標と成果の差異によって次の財務目標値を設定する(Action)という PDCA サイクルになり、マネジメント・製造担当者の役割・行動は明確に定義されており、マネジメント目標の展開と改善成果の報告・評価は完結したサイクルになっている。

主に実務担当者が行うであろうリードタイム短縮のための具体的な取組みに関する研究としては、在庫をシミュレーションや実験計画法などにより最適化する取組み [9] [10] や、最適なロットサイズを数値計算によって導出する研究 [11] [12]、累積グラフを用いたリードタイム短縮のアプローチ [13] が報告されている。また、トヨタ生産方式 [14] に代表される、日本の自動車、電機メーカーで取り組まれている改善活動において、数多くのリードタイム短縮の事例が書籍等で公開されており [15]、これらを参考にすることで、多くの企業でリードタイム短縮の活動が取り組まれている [16] [17]。

コスト面で考えてみると、日本の製造業は、全員参加による現場改善の積み上げによるコストダウンを得意としてきた。現場改善に用いられてきた IE (Industrial Engineering) については、以下のような方向転換が必要であると考えられる。

- ・ IE は分析志向であり、現状を分析して問題点を改善するアプローチであった。しかし、日本が品質世界一になった以降では、それらの改善は限界に近づいており、設備で言えば 100%稼働といった、より高い目標を目指す設計的アプローチを志向する必要がある。現状を分析して問題点を改善するのではなく、高い目標を阻害している要因を明らかにして、それらの問題点を改善することである。
- ・ IE はボトルネックを見つけ、そのボトルネックを改善するという意味では Local 改善であったことは否めない。この Local 改善の積み上げでは QCD の徹底追及は難しく、これが日本の負けの一要因になっている。これを打開するためには、網羅的に分析・改善を行う Total 改善という視点を持つことと、その Total 改善を進める方法論や環境を作ることが必要である。
- ・ Total 改善を手法面から考えれば、IE 分析手法は手動的なものであり、手動的な分析では時間と手間の点で長時間の作業、多人数での作業、職場全体といった広範

困での作業を分析することは難しい。これらを網羅的に改善するためには、分析の自動化・システム化の検討が必須であり、強い日本の現場が開発された機器・システムを活用すれば、Total 改善的志向で改善活動を展開できる。

- ・ IE は“現場を観察することによって改善点を探す”という問題発見型のアプローチであり、観察と改善は観測・分析者の視点によって異なり、“主観的な思いつきの改善”という面があったことは否めない。これに対して、徹底した QCD という面からは、“網羅的に観測・分析して、問題点を抽出する”といった問題探索型のアプローチが必要になる。

1-2 目的

本論文の最終的な狙いは、1-1 で述べた“網羅的でバランスのとれた改善”を目指すことであるが、その最終的な狙いの第一歩として、“網羅的な作業分析を行う手法”を提案することが本論文の狙いである。“網羅性”を作業の繰り返しという視点で見れば、IE は繰り返しのある作業を対象 [18] として、作業を分析して改善案を設計するというアプローチをとる。ここでの繰り返し作業とは、一般的には数分から十数分程度の作業を 1 日に何度も繰り返すものであり、チョコ停・トラブル対応といった付帯・付随作業は、不定期で頻度が少ない突発的な作業であるために IE では分析対象にはならない。

また、“網羅性”を複数人の作業という視点で考えれば、複数人で協業して作業する場合、決められた各自の作業は繰り返し作業として分析できるが、良かれと他作業者の作業をフォローしたために、その作業者が行うべき作業が後回しにされたり、他作業者がやってくれるだろうという思い込みにより、行うべき作業に誰も着手しなかったりすることが起こり、それらは不定期で繰り返しのない作業になるので、これら複数人作業における非定常な作業も分析対象に含まれない。

IE 手法は繰り返しのある作業を対象に開発されたもので、上記のような非標準で突発的な作業には適用できないと考えがちである。しかし、コンサルタントなどの IE 改善のプロフェッショナルは、網羅的な視点により非標準で突発的な作業を見つけ、改善することを個別の活動として行い、成果に繋げている。この網羅的な視点による課題抽出を、改善のプロフェッショナルでない人も広く行えるようになることが必要であり、そのための分析手法が求められている。確かに非定常作業は短期的・局所的にはラン

ダムに発生するように見えるが、長期的・全体的に見る分析手法があれば、それらの作業の中から、ある種の規則性・定常性があるセミ繰返し作業を見出して改善することが可能になる。すなわち、IE手法の適用を実現化するためには、長期的・全体的に作業を観察・分析することが必要であり、“数日間・複数対象の作業の観察・分析を通して、その中から繰返し作業を抽出できる”分析方法の開発が求められている。

最近では、上記した付帯・付随作業の分析・改善の必要性が、国内の製造業・工場全体で高まっているばかりか、Global化に伴って、海外工場でも求められており、分析の機会は増大している。これらの多くの分析に対応するためには、会社全体的な視点で、かつ網羅的に作業を短時間で分析・改善することが必要である。

本論文の目的は、長時間・複数人で行われる作業を対象として、作業するエリア間を作業者が移動するデータを簡便に収集できる機器を開発することと、収集された移動データを処理した頻度と時間間隔データから、作業エリアでの移動パターンと作業パターンを短時間で効率的に分析して、定常的な主体作業および、非定常で突発的な付帯・付随作業の問題点を誰でも簡易に分析する手法を提案することである。

本論文の構成は、図 1-2 に示す論文のフレームワークに沿っている。

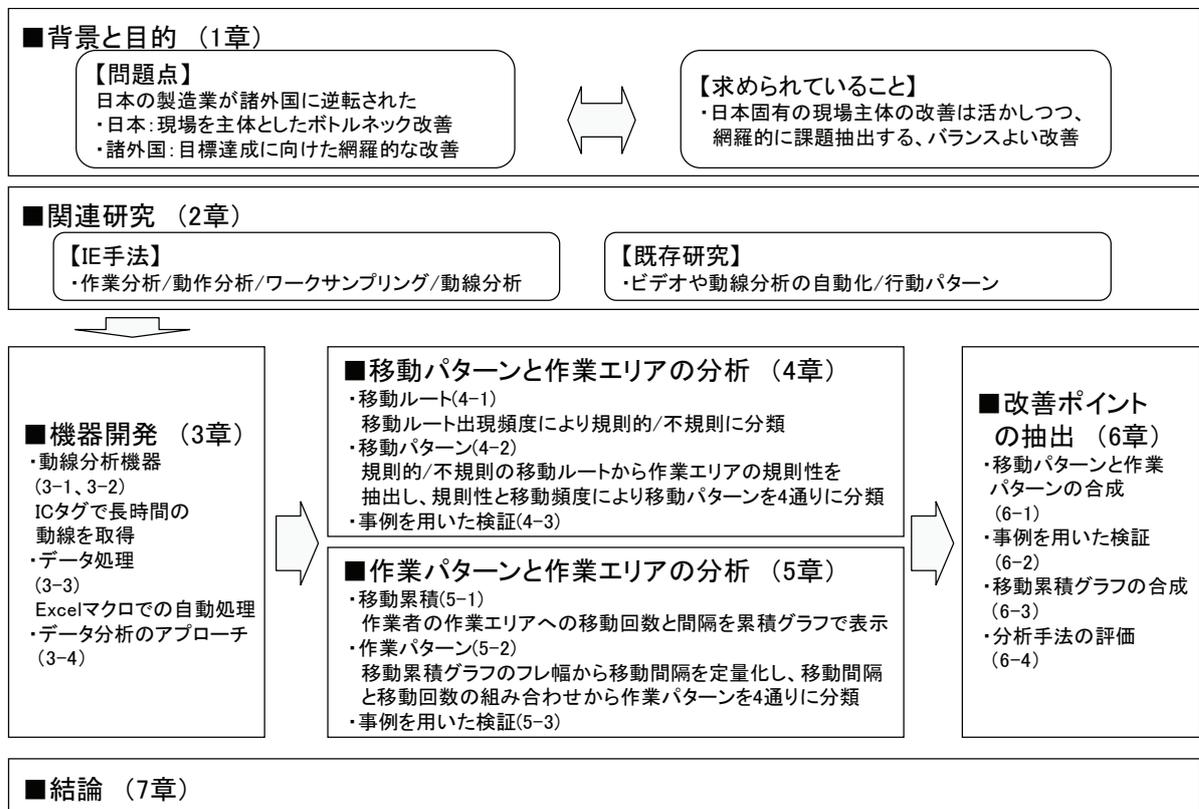


図 1-2 論文のフレームワーク

1 章では、研究の背景である日本の製造業における問題点と、本論文の研究の目的を述べる。2 章では関連研究を参照して、それらから得られる知見と本論文との関係に関して述べる。

3 章では、従来の手動による分析では不可能だった、長時間・複数対象作業のデータ収集を可能にする機器開発と、その機器によって収集されたデータの網羅的な分析を可能にするシステム開発に関して述べる。

具体的には、IE 改善における最初の概略的な動きの分析であるストリング・ダイアグラムのシステム化・自動化を可能にする、ハードウェアとソフトウェアを開発する。ストリング・ダイアグラムのシステム化を狙いとした背景には以下のものがある。

- ・ 製品ライフサイクルや SCM といった広い範囲で製造プロセスをとらえる必要性から、製造現場を全体的な視点でとらえる必要がある。
- ・ 細かな作業サイクルに加えて、数日の作業の中に少頻度で現れる繰返の作業サイクルをとらえる必要がある。
- ・ 設備が大型化・複雑化してきており、それに伴って操作盤や操作の位置が多面化してきている。

これらに対応したデータ収集が必要になってきているが、これらは手動によるデータ収集・分析の範囲を大幅に超えており、このデータ収集・分析のシステム化・効率化を検討する。

4 章と 5 章では、長時間の網羅的な分析データである動線データを使って、より細かいレベルの移動パターンと作業パターンを抽出および分析する手法を提案する。これは、分析レベルの粗い工程分析から、徐々に分析レベルを細かくしていくという工学的手順に対応した分析方法となる。

4 章では、作業者が各作業エリアを移動する時の移動ルートの出現頻度に着目して、規則的/不規則の移動ルートを分類する。この分類された移動ルートから、移動に規則性のある規則的エリアと、不規則な移動を伴う不規則エリアを抽出する。そして、作業エリアへの移動頻度と移動の規則性により 4 通りの移動パターンを分類する手順を提案し、事例を用いて検証する。

5 章では、作業者の各作業エリアへの移動頻度と移動間隔を評価するために移動累積グラフを作成する。移動間隔は移動累積グラフのフレ幅を用いて定量化する。そして、移動間隔と移動頻度から 4 通りの作業パターンに分類する手順を提案し、事例を

用いて検証する。

6章では、移動パターンと作業パターンの分類を合成し、定期性と定常性の観点で作業エリアを分類する。そこから改善ポイントの抽出を行い、分析手法の妥当性を検証する。

7章では本論文の結論を述べる。

第2章 既存の分析手法と関連研究

2-1 既存の分析手法

ここで本論文のテーマである網羅的な観測・分析に着目して、既存の IE 手法の特徴と問題点を整理する。IE 手法は、分析の対象のレベルによって、「工程分析」、「作業分析」、「動作分析」、「動素分析」の順に、より細かいレベルの分析となる。それぞれのレベルにおいて用いられる分析手法が異なり、工程や作業の大きいレベルから分析を行い、動作、動素の細かいレベルに進めていくことが IE 手法の一般的手順となる [19]。

2-1-1 工程分析と作業分析

工程分析と作業分析では作業者がどのような動きをしたか、モノがどのように動いたかを記号やチャートを用いて定量化する。工程分析には、「ストリング・ダイアグラム」、「フロー・ダイアグラム」、「フロー・プロセス・チャート」、「オペレーション・プロセス・チャート」の手法があり、作業分析には「マン・マシン分析」、「ワークサンプリング」などの手法がある。

①ストリング・ダイアグラム

作業人やモノの動きを線で表したストリング・ダイアグラムによる動線分析は、レイアウト上に図示される作業人やモノの動きから、作業場所と作業の関係性を視覚的にかつ概観的に捉えることができる。また、動線削除や距離短縮などによって作業における移動や運搬のムダを削減するために利用される。

ストリング・ダイアグラムのシステム化は進んでおらず、動線は手書きで容易に描けるとは言っても、観測時間や対象が増えると、分析の手間は無視できないものになる。また描かれた動線はアナログ情報で、視覚的な分析はできるが、移動距離や作業場所間の移動回数などの定量的な解析は難しく、ある時間範囲だけの動線を抽出することや、複数の作業人の動線を重ねるなどのデータ加工もできない。

ストリング・ダイアグラムのデータは始点と終点を結ぶ直線という簡単なデータであるので、パソコンでレイアウト図と直線をデジタル化してデータ分析を可能にすることは比較的容易である。図 2-1 は設備運転中の作業人の動線をパソコンで描画した

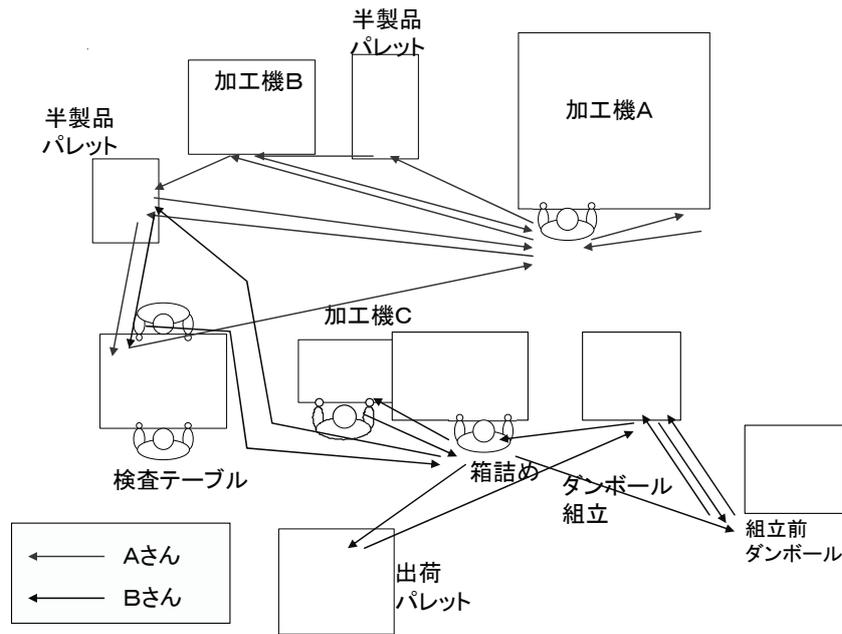


図 2-1 パソコンによる動線描画の例

例であり、パソコンの動線処理によって複数作業者の動線の合成や部分的な動線の抽出も可能である。

パソコンによる動線描画は直線シェイプの組み合わせで、位置データとしてマッピングされていないので、移動距離や移動時間の定量化はできない。そこで、CAD ソフトを使って、設備レイアウト上に作業者の動線を位置データとして描画すれば、動線の長さや方向などは抽出・計算できるようになるが、パソコン・CAD は静止画で時間軸がないので、移動時間は定量化できない。

このようにパソコン・CAD で動線のデータ処理はできるが、手書きの場合と比較すると、レイアウトや動線のデータ化と入力時間が加わり、分析時間はさらにかかることになる。

動線分析では、各作業場所における作業頻度とその作業場所への移動回数や距離などの分析はできるが、作業場所での作業内容は特定できないので、時系列での作業の評価は難しい。しかし、長時間のデータ収集が可能であり、かつ動線データには定常作業以外の突発的な付帯・付随作業も含まれているので、主体作業や付帯・付随作業をパターン化して抽出・評価できる可能性がある。ただし、動線描画と解析には工数がかかるという課題があり、その対応策を考える必要がある。

②フロー・ダイアグラム

ストリング・ダイアグラムは作業者の移動動線を概略的に把握することが目的であり、作業内容は分析できないので、作業内容を分析することが補完的に必要になる。フロー・ダイアグラムは、レイアウト図上の作業者の動線に、「作業」「検査」「移動（運搬）」「停滞」の4種類のプロセスチャート・シンボル（対象がモノの場合は「保管」を加えた5種類となる）を加えて作業内容も示すものであり、図2-2はある製品の加工工程におけるモノの流れと作業内容を分析したフロー・ダイアグラムである。

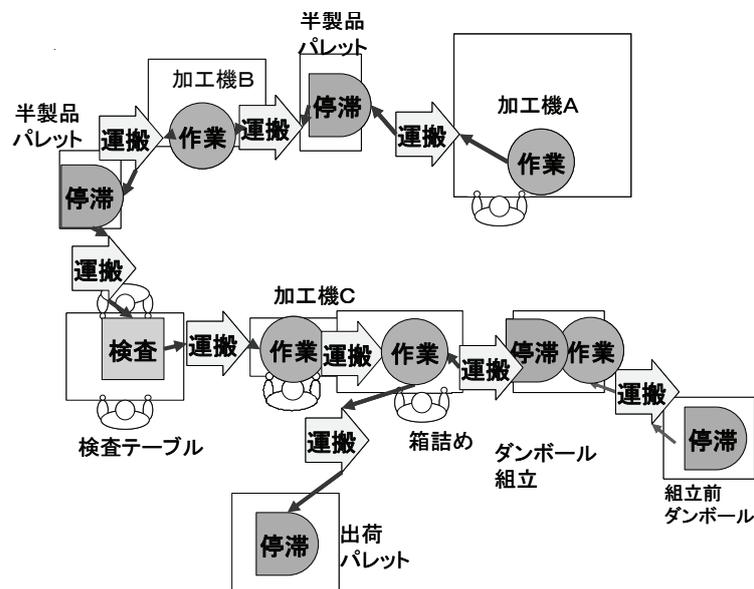


図2-2を見ると、作業と検査が加工機A→加工機B→検査→加工機C→箱詰め→完成の順番で行われていることや、半製品運搬・製品停滞・一時置きなどの停滞と運搬が発生していることなどが分かる。フロー・ダイアグラムによって、ストリング・ダイアグラムでは評価できなかった、人やモノのムダな動きや停滞を作業の流れにそって視覚的に捉えることができる。

フロー・ダイアグラムによって、より詳細な作業把握が可能になるが、動線というアナログ情報と作業内容というカテゴリ情報が混在することになる。これは図面における形状データと部品データの混在の状況と同じであることから、これらの2種類の情報を処理するCADに対応するようなシステムが必要になるが、その開発は容易

ではない。

③フロー・プロセス・チャート

フロー・ダイアグラムではレイアウト図上に4種類のプロセスチャート・シンボルを表示させたが、これをチャート上に並べ、各シンボルに対応した内容を表記したものがフロー・プロセス・チャートである。対象が人の場合を「人タイプ」、モノの場合を「モノタイプ」と呼び、モノタイプのフロー・プロセス・チャートを図2-3に示す。

時間(秒)	距離(Cm)	記号	説明
			加工機Bで加工される
10	100		半製品パレットへ運ばれる
180	0		検査機へ運搬待ち
10	100		検査機へ運ばれる
17	0		検査される
7	50		加工機Cへ運ばれる
12	0		加工機Cで加工される
5	50		作業台へ運ばれる
11	0		ダンボールに詰められる
2	50		出荷パレットに運ばれる
50	0		出荷を待つ

図2-3 フロー・プロセス・チャート（モノタイプ）の例

フロー・プロセス・チャートにより、各工程で作業者が何を行っているか、あるいはモノがどのように加工されているかを工程の順で把握することができる。このチャートのポイントは「移動（運搬）」「停滞」といった付加価値を生んでいない工程を抽出し、生産の流れをスムーズにすることにある。フロー・プロセス・チャート単独では作業者の動線を把握することや、「移動（運搬）」「停滞」に要している時間を集計することはできず、他の分析手法を併用することが必要となる。

④オペレーション・プロセス・チャート

フロー・ダイアグラムやフロー・プロセス・チャートで用いた4種類のプロセスチ

チャート・シンボルの中から「作業」と「検査」を抜き出して、それらの順序や材料が投入されるタイミングを線で結んで表現したチャートであり、図 2-4 に例を示す。

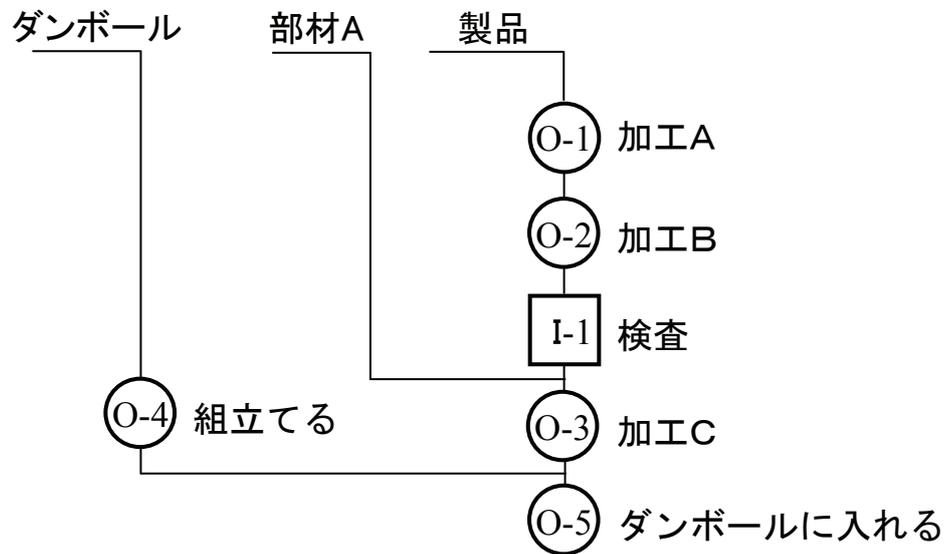


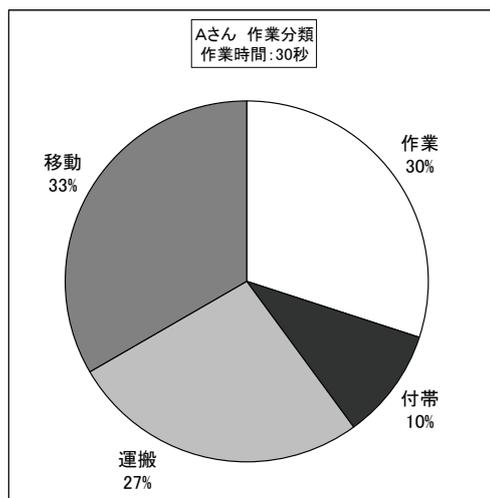
図 2-4 オペレーション・プロセス・チャートの例

オペレーション・プロセス・チャートでは投入する材料ごとにチャートの開始位置を分け、それぞれの材料のチャートが本体となる製品のチャートに合流する位置は、生産に支障をきたさない範囲で最も遅いタイミングとなる。図 2-4 に示すように、製品のチャートの加工機 C による作業が完了するまでに、梱包用のダンボールを組み立ててあればよく、このチャートを用いることで、作業のタイミングや役割分担を検討することができる。

⑤マン・マシン分析

フロー・ダイアグラムの分析内容は 4 つのシンボルという大まかなものであり、さらに詳細な作業分析をするためには、作業内容を時系列に表現した図 2-5(a)の作業チャートを用いることになる。作業者が設備を操作して生産している場合に、作業者の動きと設備の稼働状況を同じ時系列に表したものをマン・マシン・チャート、複数の作業者の動きを同時に表したものをマン・マン・チャートと呼ぶが、ここではそれらを含めて作業チャートとする。作業チャートはレイアウト上の視覚的な見方ではなく、作業内容を時間とともに時系列に記述したもので、時間軸をもとにした定量的な見方になる。

時刻	作業内容	時間	分類
14:12:21	加工機Aに半製品を投入する	2	作業
14:12:22			
14:12:23	加工機Aの半製品をパレットに運ぶ	2	運搬
14:12:24			
14:12:25	加工機Bに移動する	1	移動
14:12:26			
14:12:27	加工機Bの半製品をパレットに運ぶ	2	運搬
14:12:28			
14:12:29	加工機Aに移動する	2	移動
14:12:30			
14:12:31	加工機Aに半製品を投入する	3	作業
14:12:32			
14:12:33	加工機Bに移動する	2	移動
14:12:34			
14:12:35			
14:12:36	加工機Bに半製品を投入する	4	作業
14:12:37			
14:12:38			
14:12:39	加工機Aに移動する	2	移動
14:12:40			
14:12:41			
14:12:42	加工機Aの作業台で帳票記入	3	付帯
14:12:43			
14:12:44			
14:12:45	加工機Bの半製品パレットに移動	3	移動
14:12:46			
14:12:47			
14:12:48	半製品を検査テーブルに運ぶ	4	運搬
14:12:49			
14:12:50			



(a) (b)
図 2-5 作業チャートおよび集計グラフの例

作業チャートの作成方法は、作業者の動作をビデオカメラで撮影して、その映像を分析する方法が一般的である。ビデオ映像を用いることで、作業の様子を連続で分析できるため、詳細な作業分析が可能となる。このチャートの作業内容に作業の所要時間や状態分類を追加して、それらを集計したグラフが図 2-5 (b) の状態毎の作業時間比率である。

作業チャートの分析によって、作業者間の役割分担や作業負荷の均一化の検討や、設備の稼働率面における人・機械の関連性の分析が可能である。詳細な作業内容の記録とともに、前述のフロー・ダイアグラムと同様の作業分類をして、図 2-5(b)のように集計・グラフ化して、動線分析だけではできなかった時間の定量的な分析を行うことができる。

作業内容は電子化できるが、その文章データから作業内容を解析することは容易ではなく、時間や比率などのデータ処理は Microsoft 社の Excel などを用いた別の解析になる。このように分析レベルを詳細にしていくことでより細かい分析が可能となるが、解析のシステム化は難しくなる。

繰り返し作業であれば頻度が高くビデオ撮影も容易であり、この作業チャートを分析して、作業時間の平均やバラツキを定量化できる。突発的に発生するイレギュラーな付随作業の状態分類をイレギュラーとすればロス時間を明確にできる上に、イレギ

ユラーな作業の発生理由や、その時の状況や原因についてビデオ分析をすれば、対策案を立案することができる。しかし、問題は頻度が低く突発的なイレギュラーな作業をタイミングよく撮影できるかである。

ビデオ分析の問題点には、撮影時間の制約と分析の工数がある。現在一般的に入手可能なビデオカメラは内蔵フラッシュメモリに映像を録画するものが多く、最大録画可能時間は 10 時間程度であるが、観測者がカメラを持って撮影できる時間と、バッテリーが長時間持たないことから、長くても数時間の撮影が限度である。分析対象の作業が短く数時間の分析であれば作業の定常・非定常作業の分析はできるが、分析対象の作業が長時間の場合や、突発的なイレギュラーの発生頻度が少ない場合には、ビデオ分析の時間的負荷となる分析工数が膨大になり、分析することは難しくなる。

ビデオ分析は、ビデオ映像を基に作成した作業チャートを用いた連続稼働分析であり、時系列に沿った作業順序の評価や作業時間の分析が可能であり、前後の作業の関係性の分析によって作業の定常性を評価することも可能である。一方、ビデオ分析は前述のとおり短時間の分析が主となるため、付帯作業や突発作業は撮影映像内で発生した現象だけの分析・評価になり、その全貌はつかめない。

⑥ワークサンプリング

ワークサンプリングは、作業者の作業状況や機械の稼働状態の瞬間的な観測の積み重ねによって、観測項目の時間構成を統計的に推測する手法である。ビデオ分析と比較すると、観測と分析の負荷が軽く、動線分析と同様に長時間の分析が可能であり、観測した瞬間に限るが作業者がどこで何をしていたかを判別できるという特徴がある。ビデオ映像のように連続した観測ではないため、実際の作業の発生比率とは誤差が生じるが、分析したい観測項目と観測誤差から、ある信頼度で比率を求めるのに必要な観測数が算出される。

観測項目は、分析の目的に合わせて設定するが、稀にしか発生しない項目や突発的に発生する項目も加えて、付帯・付随作業の分析を可能である。しかし、それらの項目の比率をある信頼度で求めるための観測数は相当大きくなり、さらに観測が不連続であるため、観測データから主体作業のパターン化や、稀に発生する付帯・付随作業の抽出は難しく、またそれらの作業がなぜ発生したかという分析も難しい。

2-1-2 動作分析と動素分析

動作分析と動素分析では作業者の動きを右手と左手に分けて、それぞれの手がどのような動きをしたか、チャートや記号を用いて表現する。動作分析の手法には、「両手作業分析」があり、動素分析では「サブブリグ分析」が用いられる。

⑦両手作業分析

作業者の両手の動きを分析する手法で、両手の動きを「作業」、「検査」、「移動・運搬」、「遅れ・保持」の4種類に分類し、図2-6に示すように両手の動きを並べてチャート化する。動作の中から、手が何も付加価値を生んでいない状態である「移動・運搬」、「遅れ・保持」を抽出し、改善することを目的とした分析手法であり、状態分類が4種類と少なく分析が容易であることから、両手の作業動作の順序や、タイミングなどを評価する際に用いられることが多い。

シール貼り作業			
左手の動き		右手の動き	
説明	記号	記号	説明
製品を持ってくる	⇒	D	手待ち
保持	D	○	シールをはがす
保持	D	○	シールを貼る
製品を放す	○	D	手待ち

図 2-6 両手作業分析の例

⑧サブブリグ分析

人間の動作をサブブリグと呼ばれる17の基本要素に分割し、図2-7に示すように基本要素を発生する順に並べて両手の動きを分析する手法であり、微動作分析とも呼ばれる。基本要素は「つかむ」や「運ぶ」、「組み合わせる」といった細かさで分割されており、実際に分析を行う場合には、作業をビデオカメラで撮影し、スロー再生を行うなどの工夫が必要となる。例えば、同じ作業を繰り返していて毎回の作業時間がばらつく場合や、複数の作業者が同じ作業をしていて作業者によって作業時間がばらつく場合などでは、作業方法の違いによってばらつきが発生していることが多い。こ

のような場合にサブグリ格分析を行うことで、細かい両手の動きの差を分析することができ、ばらつきを抑えることが可能となる。分析が細かいため、長時間の作業の分析には適しておらず、実際に分析を行う際には、長くても数分レベルの作業の分析が限度である。

シール貼り作業			
左手の動き		右手の動き	
説明	記号	記号	説明
製品に手を伸ばす	TE	UD	手待ち
製品をつかむ	G	UD	手待ち
製品を運ぶ	TL	TE	シールに手を伸ばす
製品を保持する	H	G	シールをつかむ
製品を保持する	H	DA	シールをはがす
製品を保持する	H	TL	シールを手元に運ぶ
製品を保持する	H	A	シールを貼る
製品を保持する	H	TE	製品を持ち替える
製品を放す	RL	UD	手待ち

図 2-7 サブグリ格分析の例

2-1-3 既存の IE 手法の分類と問題点

これまで述べてきた既存の IE 分析手法を、その手法が適用可能な観測時間と、手法が対象とする分析範囲でマッピングしたものを図 2-8 に示す。

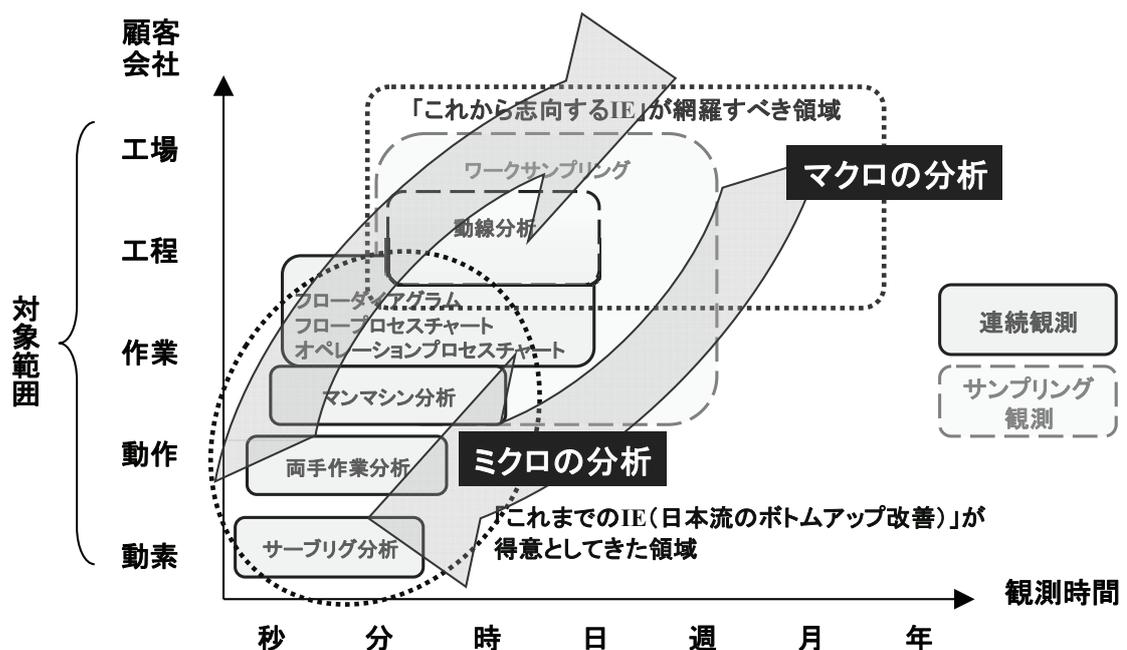


図 2-8 既存の IE 手法のマッピング

日本流の現場中心のボトムアップによる改善では、作業や動作を観測・分析して問題点を発見し改善するというアプローチが多く用いられ、これらの観測・分析には図 2-8 の左下の領域の手法が使われてきた。これらの手法を用いた改善を対象範囲から見てみると、工場や工程といった広範囲を全体で捉えた改善ではなく、作業員自身の担当する作業や動作を対象とした部分最適の改善を積み上げて全体を良くしていくというアプローチである。観測時間から見てみると、これらの分析は長くても数時間といった観測時間であるため、日々の生産の中のある一部分を切り出して分析していることになる。観測の連続性という観点では、これらの分析手法は観測時間が短いということから連続での分析が容易であり、観測時間内に発生した事象を詳細に分析が可能である。このような、分析対象が狭く、観測時間が短い分析は分析の精度が細かくなるが問題が個別的でありマイクロな分析であるといえる。

一方、諸外国で行われてきたトップダウンによる改善では、マネジメントの管理する指標を改善するために、工場や工程といった広範囲を全体で捉え、網羅的に観測・分析して、客観的に問題点を抽出する。これらの観測・分析に該当する領域は図 2-8 の右上となり、既存の IE 手法ではワークサンプリングや動線分析などがその領域に含まれる。この領域の分析は、分析対象が広く、観測時間が長い分析であり、分析の精度は粗くなってしまいが問題が網羅的となるマクロな分析であるといえる。ワークサンプリングは広範囲を長時間にわたり分析することが可能であるが、観測するタイミングにおける瞬間観測となり、観測が不連続であるため、網羅的な観測・分析が難しい。また、動線分析は作業員の移動の from-to の場所を線で結んだ図であり、描かれた動線図からでは作業の順序を分析することは難しい。動線を描く順番をデータとして収集できれば、時間軸を伴った移動の解析が可能となるが、分析の負荷がそれだけ高くなるというデメリットが生じる。

本研究では、日本流のボトムアップによる改善を活かしつつ、改善の対象範囲と観測時間を広げ、網羅的でマクロな観測・分析を行うことを志向する。マクロな分析により得られた問題を、これまでの日本が得意としてきたマイクロな分析により改善するという図 2-8 に示した改善のサイクルを回すことによって、トップダウンの改善とボトムアップの改善とをバランスよく行うことが可能となる。このマクロな分析を一般化するために、動線分析に着目し、データの取得および分析を自動化し、対象範囲と観測時間を広げた分析を目指す。

データの収集と分析について考えてみると、既存の IE 分析手法には、以下の 3 つの問題がある。

①データ化とシステム化が遅れている

全員参画の QC サークルによる品質向上といった改善活動では、限られた自分の責任範囲の作業だけが対象であり、分析のデータ化とシステム化は不要であった。しかし、製造ライン全体や多くの作業員・設備が関連する作業を対象にした改善では、データ収集と分析を効率的に行う必要がある。

図 2-5(b)に示したような作業の全体構成を把握する分析はできるが、改善案を検討するためには、電子化されたデータを分析することが必要である。しかし、それを可能にするデータ化とシステム化は進んでおらず、その工夫が望まれており、このシステム化が本論文の狙いである。

②人手による分析に時間がかかる

いずれの分析手法も実際の作業やビデオを見ながら分析する必要があり、分析に長い時間がかかる。上記した広い範囲や関与する作業員・設備が多い作業改善では、作業全体を 1 勤務あるいは数日間程度で観察・分析し、改善効果が見込まれる繰返しの作業を抽出して、詳細な分析を進めるという手順が望まれる。しかし、分析時間の長さが制約となって、初めからある作業に絞った分析・改善となってしまうことが多い。

さらには、製造現場では設備の突発故障や生産予定変更などのイレギュラーな要素によって生産性が悪化することもある。それらのイレギュラーや突発の要素を含めた改善を行うためには、長期間の分析が簡便にできることが望まれ、この簡便なツールの開発が本論文の狙いである。

③それぞれの分析は付加的分析が必要になる

例えば、動線分析は人の動きを視覚的に捉えることができ、移動や運搬のムダを抽出することに適している。しかし、その分析はあくまでも概略的な動きの分析であり、作業員が何をしたか、どの作業手順にそって移動したかといった作業手順・内容や作業時間は動線からだけでは読み取れない。そのために、作業員の動線に、移動時間や移動目的、それぞれの作業場所にどれ位留まって、どんな作業をしたかといった情報を付加する必要がある。フロー・ダイアグラムや作業チャートなどの分析手法の併用が必要になる。

分析は工程レベルから作業レベル、動作レベルへと、順次進めていくものであり、

動線分析は最初の工程レベルでの概略的な分析・把握が狙いであることから、より細かい分析が付随的に必要になる。本論文は、この工程レベルのデータ収集と分析のシステム化を主たる目的としているが、同時にその工程レベルの分析データから、作業レベルの概略的な分析を試みることも狙いの一つとする。

2-2 関連研究

近年では画像処理技術の向上やパソコン・計測器の小型化・性能向上が進み、動線データの抽出や、作業分析を自動化する研究が多く報告されている。研究は大きく作業者の動きの測定に関する研究と、作業者の動きの分析に関する研究に分類される。

2-2-1 作業者の動きの測定に関する研究

動線を自動で計測する方法は、作業者が測定機器を所持する方法と、作業者を撮影した映像を画像処理する方法の2種類に大別される。

1つ目の作業者が測定機器を所持して計測する方法としては、測定する作業区域の壁面に赤外線発信センサを設置し、作業者の赤外線検知センサで位置情報を把握し、GPS 技術で建物平面図へマッピングする研究 [20]、作業者に装着した気圧・磁気・加速度・ジャイロのセンサモジュールのデータをオフラインで処理して作業者の移動軌跡を推定する研究 [21]、携帯型無線通信モジュールの電波強度から作業者の位置を特定する研究 [22] などがある。水野らは動線の分析例として、ある作業場所への移動の回数と平均時間を計算して、置場の近接化によって移動時間を短縮できると報告している。石川らは移動軌跡の描画には言及しているが、移動の回数や滞留時間などの分析手法については述べていない。

測定したい作業エリア内に RFID (Radio Frequency Identification) タグを設置し、作業者に RFID リーダを装着することで動線を取得する技術として、RFID タグを床に設置する手法 [23] や、天井に設置する手法 [24] がある。岡らは RFID リーダを靴の爪先と踵に埋め込むことで、作業者の位置だけでなく向きも取得できると報告している。

屋内の作業者の位置と姿勢を推定するシステムとして、壁紙と同じ色で印刷された再帰性反射材からなる不可視マーカ壁紙と作業者が装着する赤外線カメラを用いて作業者の位置や姿勢を測定する方法 [25] [26] があり、不可視マーカのほかにコ

ードを模様化することで景観を損ねない [27] [28] 等の報告もある。

2 つ目の画像処理技術を用いた動線描画の研究として、定点撮影した動画像からフレーム間の差分画像を生成し、変化があった画素を移動体と判別する方法 [29]、ステレオカメラにより撮影された画像をクラスタリングして動線を解析する手法 [30] などが報告されている。窪田らは複数の全方位カメラの画像処理により人物を特定する手法を開発しており、3 台および 3 方向からの映像ですべてのエリアのパターン認識ができると報告している [31]。原田らは複数台のカメラ映像情報から移動体以外の背景パターンを逐次学習し、人物のような移動体だけを抽出する技術をベースに、作業者が測定機器を装着しなくても動線を作成する手法を開発した [32]。画像処理による動線描画の共通課題として、複数の人が一点に集中すると動線抽出が困難であることが挙げられている。原田らはカメラ映像データに加えて RFID タグを用いて人の動線を把握することで作業時間や移動距離が分析可能としており、生産現場での動線分析には画像処理技術だけでなく他の分析システムを併用した IT 化が必須と指摘している。

プライバシー保護の観点で、作業者の測定機器所持が必要なく、映像情報も残さない動線描画方法として、人が発する赤外線天井に複数設置した焦電センサで検出する研究も進められている [33] [34] [35]。

動線だけでなく人の動きを自動で計測する仕組みとして、モーションキャプチャーシステムがある。一般的なモーションキャプチャーとして、マーカをビデオカメラ等で撮影して計測する光学式、磁気センサにより計測を行う磁気式、計測部にメータなどを直接取り付ける機械式が使用されている [36]。モーションキャプチャーを用いた動作の自動計測では様々な研究が進められており、近年では高解像度の映像を手軽に撮影できるようになってきたことから、手や顔の動きといった細かな動作を計測することが可能となっている [37] [38] [39]。

これらの研究の知見は考え方としては有用であるが、研究の多くは研究開発段階や可能性検討段階であり、装置・器具が大がかりで、固有の処理ソフトウェアが必要になるため、製造現場の様々な状況での多数回の動線データ取得という本論文の目的には直接的に活用できない知見・装置である。そこで、安価で簡便な動線把握ツールを開発することを本論文の狙いの一つとする。

2-2-2 作業者の動きの分析に関する研究

ビデオカメラによる作業分析を自動化する研究として、カメラ映像から作業者の肌色領域を画像処理で抽出し、製品や作業位置を推定することにより作業内容を推定する研究がある〔40〕。これにより長時間のビデオ分析を自動化できる可能性があるが、誤検出が生じることや、作業者が作業エリア外に移動する場合に対応できないなどの課題がある。また、ビデオカメラによる作業分析の自動化までは至らないが、分析を効率的に行うソフトウェアも開発されており、分析時間の短縮や分析の正確性の向上などの効果が報告されている〔41〕〔42〕。

装置 1 台で画像および距離データをリアルタイムに取得することが可能な Microsoft 社の Kinect センサを用いた研究〔43〕では、動作単位ごとに部品箱の上段と下段の区別が可能であることを示し、3次元空間において作業評価を行うための動作特徴量を抽出することが可能であるとしている。

人間の行動パターンに関する研究としては、一人暮らしの学生の部屋の中の動線を調査し、部屋内の主要製品間の関係性を分析することで、居室内のホームポジションと動線パターンの実態を考察した研究〔44〕がある。学生による移動パターンの記載データを分析しているが、それらの移動が目的をもった移動であるか、突発的な移動であるかについては言及されていない。行動パターンの定義に関する研究としては、細かな動作の順序規則性に基づいて人間の行動を定義する研究〔45〕がある。複数の行動が混在した場合、個々の行動を切り分けてパターン化することは難しいが、細かな動作順序の規則性によりパターン化が可能であるとしている。この手法は事前に動作順序の規則性を規定する必要があるが、標準作業手順が定まっていないことや、材料・製品仕様の変更や作業改善による作業手順の変化を踏まえると、製造現場における行動パターンの定義は難しいと考える。

人間が不確定な動きをするケースとして、RFID タグを用いて展示会における人間の行動を可視化し、動線や滞留時間・人数などからレイアウト評価やイベントの効果測定を行った研究〔46〕がある。個々のブースの集客状況や通路の混雑状況などは評価できるが、来場者の移動パターンについては来場者を層別して動線を表示することで評価しているが、それらを基にしたレイアウトの最適パターンは言及されていない。

サービス分野における動線分析として、スーパーマーケットにおける買物客の動線を店舗滞在時間と入り口によりグループ分けし、各グループについてクラスター分析

を行うことで動線をパターン化した研究〔47〕では、買物客の動線パターンを12種類に分類し、買物客の属性と組み合わせることで、店舗内での購買行動を分析している。買物客は入口から入ってレジに向かうという行動パターンが前提であるため、パターンの分類が容易であったと考えられる。駅の構内にある商業施設において、買物客の動線から集客率の改善策を検討する研究〔48〕では、施設内の通路の通行人数から各店舗への通行客の流れを均一にするような店舗配置案を提案している。通行人数カウントのほかに、買物客へのアンケート調査を行うことで行動パターンを分析している。

建築分野における動線分析として、美術館の来館者を追跡調査し、展示室における行動を調査する研究〔49〕では、美術鑑賞への興味・関心の度合いが滞在時間や全体の鑑賞行為数影響しており、より快適な展示空間の計画につながるとしている。図書館や学童保育においても、利用者の動線調査や行動調査により行動をパターン化することにより施設内の部屋の関係性を評価し、今後の施設計画に求められる課題を提案している〔50〕〔51〕。

医療分野における動線分析として、病院内の医師の行動を追跡調査とアンケート調査により分析し、歩数と移動距離から病院建築の評価を実施する研究〔52〕や、看護師の行動を追跡調査し、日勤と準夜勤の勤務状況を病院内の滞在場所、滞在時間、移動回数によって分析することで、日勤と準夜勤それぞれにおける関係性の強い場所を抽出し、今後の病棟計画につなげる研究〔53〕が報告されている。

サービス分野、建築分野、医療分野の研究は、いずれも広範囲を全体で捉え、網羅的に観測・分析して、レイアウトの問題点を抽出するというアプローチであるが、追跡調査やアンケート調査などの手動的な観測方法が多く、観測の負荷が高いことが課題として挙げられる。

また、広範囲を全体で捉え、網羅的に観測・分析するという視点で、町全体の人の行動を把握し、それらをもとに観光案内や歩行ガイドなどのサービスをいつでも誰でもリアルタイムに受けられるユビキタス社会の構築に向けた基礎研究や実証実験も進んでいる〔54〕〔55〕。

生産現場におけるチーム作業の分析を、RFID タグによる位置情報と工場からのデータから取得する業務情報により自動で行う研究〔56〕では、取得データと標準ワークフローを比較することで、トラブル発生等の特徴的な工程を抽出している。本来実施さ

れるべき作業を誰も実施していないケースを抽出するなど、チーム作業の評価が可能となるが、事前に標準ワークフローが定義できていることや、設備の状況を示す業務情報をいかに取得するかが課題である。

製造現場における作業者の行動データからムダな動作を抽出する方法として、作業者の行動を「停止、場所：倉庫、時間：10分以上」といったラベルで定義し、ラベルの組合せから作業を推測する研究〔57〕や、作業者に装着したマーカをビデオで撮影し、画面上のマーカ座標の時系列データの繰返しパターンから作業のムダを抽出する研究〔58〕が報告されている。また、映像内の観測対象の動きをベクトルの大きさで表し、その動作特徴量を時系列パターンで比較して作業の異常を検出する研究〔59〕では、その応用として標準作業との比較によるポカヨケシステムが提案されている〔60〕。これらの研究では事前に作業が定義できていることや、映像の範囲が限定されることに加え、ムダな作業の検出率を高めていくことが課題として挙げられている。

これらの関連研究の知見は有用であるが、ビデオ分析の自動化はエリアが限定され誤検出も生じる、行動パターン分類は限定範囲や行動内容が定義済の事例が多い、動線分析の自動化は装置・器具がおおがかりで容易に分析できないといった課題があり、分析範囲が広くかつ行動内容が未定な製造現場における分析への応用は簡単ではない。

作業者の動きの測定に関する研究、動きの分析に関する研究のいずれも、測定、分析の自動化を目指す研究は、対象を限定したマイクロ分析の自動化であり、関連研究は多い。一方、動きのパターン化などの問題が大きく網羅的なマクロ分析は、ケーススタディが多く一般化が難しい。本論文では、詳細なマイクロ分析に比べて、データは粗くなるが、作業者の動きを網羅的に分析して課題を抽出するマクロ分析を自動化し、誰でもマクロ分析により問題を抽出でき、マイクロな分析に繋がれることを狙いとす

3 分析機器の開発

3-1 動線分析機器の要件

本研究では、日本がこれまで得意としてきたボトムアップによる改善を活かしつつ、より網羅的な観測・分析を行うために改善の対象範囲と観測時間を広げることを考える。2-1 で述べたように、既存の IE 分析手法の中で動線分析に着目し、データの取得および分析を自動化し、対象範囲と観測時間を広げた分析を目指す。IE 分析手法を活用した動線分析の現状や、動線分析の関連研究の課題を踏まえると、製造現場で動線を測定する機器に要求される要件として以下の 2 点がある。

①作業者の動きをレイアウト図上に鳥瞰図として表現できること

分析の対象範囲を広げる際に、作業者がどこにいるかという位置の精度を高めると分析の負荷が増大すると考えられる。本研究では、網羅的に作業者の動きを捉え、そこから改善点を見出していくというアプローチであることから、リアルタイムに作業者がどう動いたかという精度は求めない。作業者がどこからどこへ移動したかということが分かれば、その間の移動経路を直線で表現することで、レイアウト図上に動線を表現できる。そこで、作業者がどう動いたかではなく、どこの場所にいるかということの時系列で捉えることが求められる。

②長時間の測定が可能であること

分析の観測時間を広げることによって、非定常で突発的な作業時の動きの分析や、作業者の違い（勤務や日による違い）によって生じる動きの差の分析が可能となる。生産現場での作業は繰返し行われる定常作業と突発的に生じる非定常作業に分けられるが、突発的な作業はどんな頻度でいつ発生するか分からないため、長時間の動線データ測定が必要となる。また交替勤務で連続稼働している作業現場では、勤務の組による作業手順や役割の違いを分析する必要があることから、連続で数日間測定できることが求められる。

上記の①と②の要件を満たすために、本研究では RFID タグを用いることとした。近年の RFID タグは小型で電力の消費も少ないことと、観測対象である作業者が、測定したい場所に近づいた時に無線でセンシングが可能であることから、2 つの要件を満たしていると考えられる。

さらに、本研究で用いる動線分析機器は様々な製造現場にて使用することを想定し

ている。そのため、動線を効率的に測定することも重要であると考え、以下の2つを機能的に満たすように開発した。

①機器の設置や場所変更が容易であること

生産現場では生産設備や材料・半製品のレイアウト改善が頻繁に行われるため、それに合わせて測定機器の設置場所を変更する必要がある。そのため、機器設置が固定的になるような機器仕様では支障をきたすので、設置場所の変更が容易にできることが求められる。

②機器が小型で作業に支障をきたさないこと

製造現場には様々な生産設備があり、材料・半製品が点在しており、それらの間を作業員やフォークリフトなどの搬送機器が通る。そのため、動線測定の機器を設置できる場所は限られており、機器の小型化が求められる。作業員にも測定機器を携帯してもらう必要があるが、作業性を阻害しないように小型で軽量であることが望ましい。また、作業現場では電源が確保できる場所が限られるため、機器設置の自由度から電源内蔵型が望ましい。

3-2 開発した機器の特徴

3-1 の要件を満たし、作業員が移動した位置を特定するために、製造現場に設置する発信機と、セミアクティブ型の RFID タグを用いた受信機を組み合わせることで作業員の位置情報を取得して、動線や滞在時間を計測する動線分析機器を開発した。分析機器の概要を図 3-1 に示す。

発信機から定期的に高周波の磁界を発生させることによって、作業員が所持する受信機がその磁界内に入った時に高周波磁界に反応して、発信機の ID 情報を取得することで、作業員がいつ、どこの場所に立ち寄ったかを測定できる。発信機の設置位置を中心にして、発信機が発生する磁界の届く範囲を「エリア」とする。

センサや RFID タグを用いた移動体の認識方法としては、移動体が発信機を持って移動し、各作業エリアに設置した受信機が移動体の持つ発信機と反応することで移動体の接近を感知するという方式も考えられる。この場合、移動体の移動履歴を把握するためには、各受信機にて受信した発信機の ID データを時系列で並べる必要がある。そのために、各受信機をネットワークで接続し、データは PC サーバにて一元管理するなどの環境を構築することが多く、設備が大掛かりになってしまう。3-1 で述べた

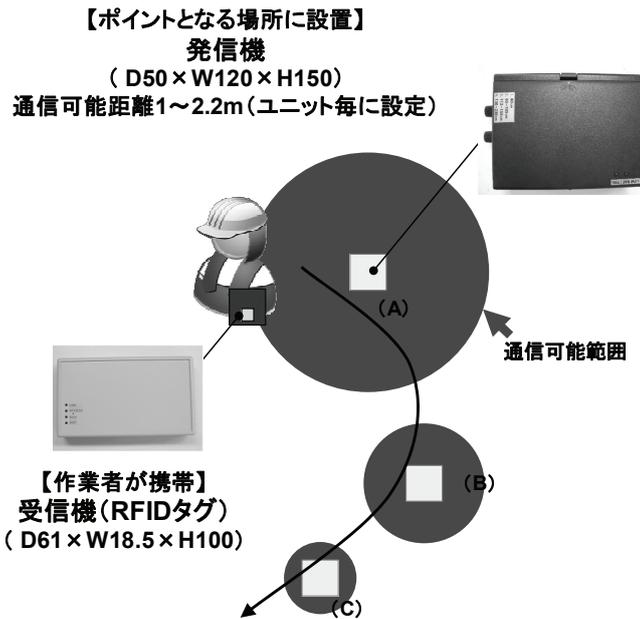


図 3-1 開発した動線分析機器の概要

動線分析機器に必要な機能である、機器の設置や場所変更が容易であることを考慮し、本研究では移動体である作業者が受信機を所持することとした。

発信機を図 3-2 に示す。発信機は幅 120mm、高さ 150mm、厚さ 50mm で内部に 1350mAh の充電電池を内蔵する仕様とした。発信機毎に 0 から 255 までの ID 情報を設定でき、磁界の発生間隔は、感知すべき作業スピードによって、ビットスイッチにより 0.8/5.5/8.0/15.5/30 秒の 5 段階に設定できる。磁界の到達半径は、細かな手作業などで測定箇所が近接する場合や、測定箇所が広い範囲に点在する場合などの条件に合わせて、ボリュームスイッチによって約 0.8m から 2.4m まで調整でき、発信機の磁界の届く範囲をその発信機のエリアと呼ぶ。



図 3-2 発信機

充電電池は磁界発生を 1 秒に 1 回とした場合で約 16 日間の連続計測が可能である。

発信機が発生する磁界の中に入った時、受信機はセミアクティブ型の RFID タグによって発信機の ID 情報を所得して、時間情報とともにデータ保存用のフラッシュメモリに書き込む。作業者が受信機を所持するという構成にしたため、複数の作業者の動線を同時に計測する場合には、時間を揃える必要が生じる。そのため、受信機内にはタイムカウントユニットが内蔵されており、受信機をリセットした時から 1 秒ごと

にカウントを刻む。受信機を同時に複数個使用する場合には、同時にリセットを行う必要があり、その場合にはリセット用の発信機を用いる。この発信機からはリセット用の信号が発信されており、このリセット用発信機の近くに受信機を置き、発信機の電源を入れることで、受信機のフラッシュメモリの初期化とタイムカウントユニットのリセットを同時に行い、受信機が計測可能な状態となる。

受信機を図 3-3 に示す。受信機の大きさは幅 61mm、高さ 100mm、厚さ 18.5mm であり、作業者のポケットに収納できる大きさで作業性を損なうことはない。単 4 電池 2 本で約 7 日間の連続計測が可能で、計測後に PC と USB ケーブルで接続して、受信機内のメモリに保存されたデータを PC に取り込む。



図 3-3 受信機

図 3-4 に発信機の設置の様子と、作業者が受信機を携帯している様子を示す。図 3-4(a)では生産設備の作業場所に発信機が設置されている。前述のとおり、発信機は充電池を内蔵しているため、作業の邪魔にならない位置に容易に設置できることが特徴である。図 3-4(b)では作業者が受信機を腰のベルトに装着している。作業者が作業する際に手の動きを阻害することがないようにするため、腰の位置に携帯している。また、発信機の設置場所は床、棚や作業台の上など作業場所周辺的环境に合わせてさまざまな高さに設置されるため、確実に発信機からの信号を受信できる高さという点を考慮すると、腰の位置が最適である。

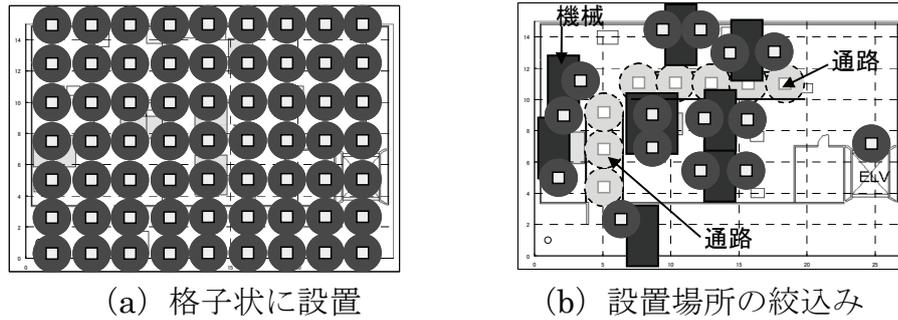


(a) 発信機の設置



(b) 受信機の携帯

図 3-4 発信機と受信機の使用例



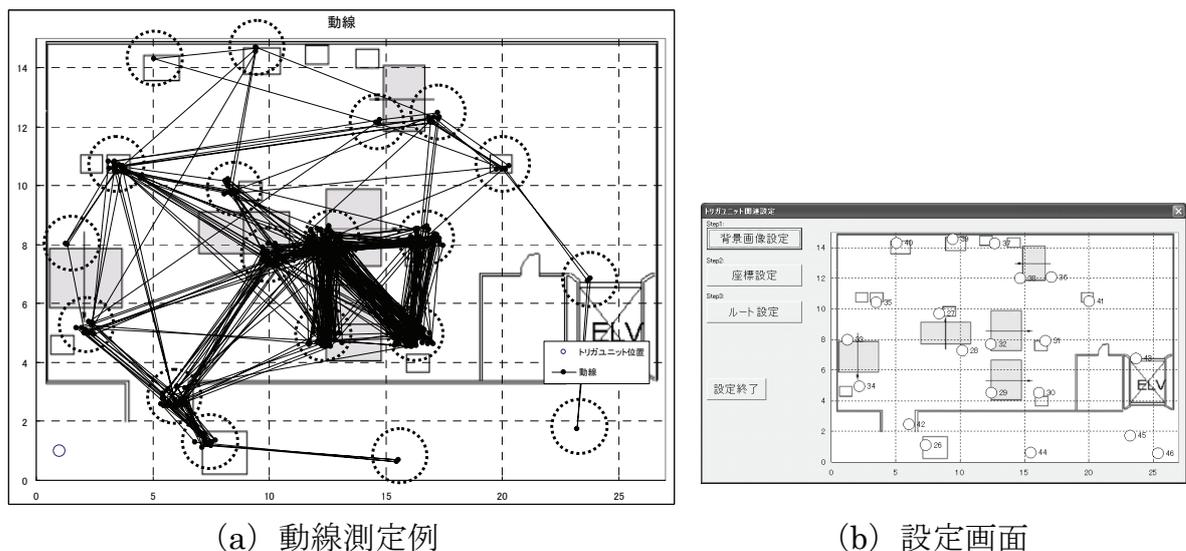
(a) 格子状に設置

(b) 設置場所の絞込み

図 3-5 発信機の設置場所

本論文では、動線分析機器を用いた網羅的な動線データの取得を狙いとしている。発信機を分析対象の職場内に図 3-5(a)に示すように格子状に発信機を設置することで、あらゆる場所での作業をデータとして取得できる。この場合、発信機の台数が多く必要となり、設置の負荷も高いと予測されることから、設置場所の絞込みを行った。機械の操作部や材料投入部など作業が行われる場所やチョコ停やトラブル時に作業者が作業する場所を事前に確認し、発信機を設置する場所とした。一方、通路など作業が行われない場所には発信機を設置しない。動線データとしては、どの通路を通過したかが重要と考えられるが、本論文ではどこからどこへ移動したかという from-to の情報から動線を取得し、途中の経路は考慮しないこととした。

開発した機器のコストは、発信機 20 台・受信機 5 台のセットで開発費を含めて約 300 万円であり、量産すれば半額程度になると見積もっている。



(a) 動線測定例

(b) 設定画面

図 3-6 動線測定例と設定画面

3-3 動線・滞在時間・移動順序の分析

ある製造現場の動線測定例を図 3-6(a)に示す。この製造現場は 1 個流し生産や多種少量生産を行っている職場ではなく、複数の設備を用いて連続した生産を行っている。作業者の主な作業は設備操作と製品の投入、排出であるが、それ以外の不規則な作業も残っており改善課題となっている。

図中の点線の円は発信機信号の到達するエリアを示している。取得された動線データを用いて、Excel の VBA プログラムによって、以下の操作手順でほぼ自動的に作図できるように工夫した。

操作 1 現場レイアウト図を Excel に取り込み、レイアウト図の縦・横の寸法を Excel に入力する。

操作 2 発信機の設置位置と ID 情報をレイアウト図上に設定する。動線描画はエリア間を直線で結ぶが、設備や壁での回り込み、通路に沿っての歩行などは直線的な移動にならないので、それら移動の描画を作業者の動きに合わせるために“経由点”を設けて、該当する 2 台の発信機と経由点の組み合わせを設定する。

操作 1 と 2 は図 3-6(b)に示すメニュー画面により、レイアウト図を確認しながら設定できるようにした。発信機の設置場所をレイアウト図上でクリックすることで、その点の x、y 座標を算出し、各発信機の座標データを生成できる。

操作 3 測定した動線データを Excel に取り込み、分析の開始時間・終了時間を設定すると、取り込んだ動線データから移動の始点と終点データを生成して、現場レイアウト上に赤色の直線（図 3-6 では黒色）として描く。通過回数の多いエリアについては、動線を見やすく表示させるため、発信機の座標を x、y 方向に移動させて直線の始点の位置をずらす工夫をした。

動線が重なっている部分が移動回数の多いところであり、作業する上でその 2 つのエリアの関連性が高いことが分かる。一方、動線が重ならず移動回数の少ないエリア間は作業上の関連性が低いことに加えて、非定常の作業はこれら移動回数の少ない動線の中に含まれることが多いと考えられる。

あらゆる場所での作業を動線分析機器でデータとして取得するためには、分析対象となる製造現場内に網羅的に発信機を設置することが必要となるが、設置のコストと手間と比べて、得られるデータの利用性は高くないと考える。本論文では、通路のように作業が行われないと予想される場所は設置場所から除外して、設備の操作部や、

材料投入や製品排出など作業が必ず行われる場所に発信機を設置した。さらに、チョコ停が発生する場所や、トラブル発生時に作業者が作業する場所については、事前にヒアリングを行い、それらの場所に発信機を設置することで、突発的な作業の動線データを取得できるようにした。この発信機の配置場所の選定については、今後の研究課題の一つと考えている。

それぞれのエリアにおける滞在時間の長さをバルーン表示させたものを図3-7に示す。以下の手順による Excel の VBA プログラムの操作で、動線データを用いてほぼ自動的に作図できるように工夫した。

操作1 Excel に取り込んだ動線データを用いて、発信機ごとの滞在時間を合計する。

操作2 Excel のグラフ描画機能を用いて、各発信機の滞在時間をバルーン表示する。各バルーン内の数字はそのエリア内の総滞在時間を示している。

滞在時間の長さは作業の定常性に関連していることから、バルーンの大きさから以下のように作業の定常性・標準化の状況が推定できる。

- ①特定のエリアに大きなバルーンが現れる場合は、繰返しのある定常作業が多いことになり、それらの作業は標準化されていて、作業者の役割が明確になっている。
- ②小さなバルーンが点在するエリアでは、作業者の定常的・標準的な作業は規定できていない。

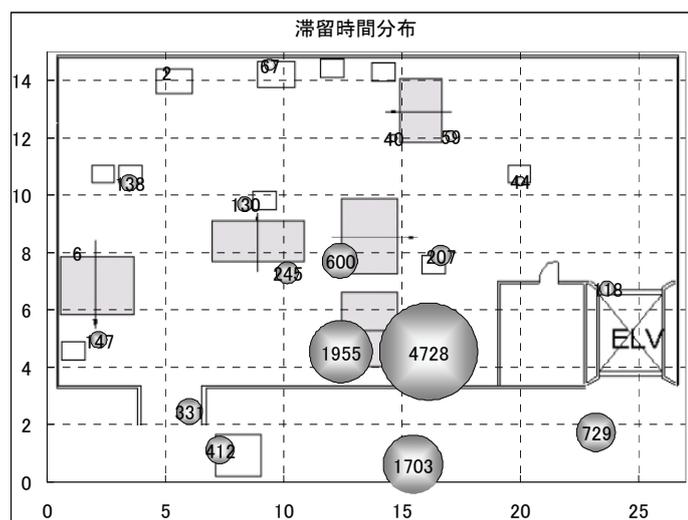


図 3-7 滞在時間のバルーン表示例

滞在時間の長い順にエリアを並べたものを図3-8に示す。バルーン表示はレイアウト上のどの作業エリアに長時間滞在したかを視覚的に捉えられるが、図3-8では個々

の作業エリアの滞在時間と、滞在時間の累積比率を表示させることで、滞在時間による作業エリアの ABC 分析などが可能となる。測定した事例では、作業者が担当している機械 2 のエリアの滞在時間が 60% 近くであるが、エレベータや通路といった運搬に関わるエリアでの滞在時間も上位に現れている。このことから、この作業者が本来の作業ではない物流にも多くの時間を割いていることが分かり、工場内の物流にも課題があることが推測できる。

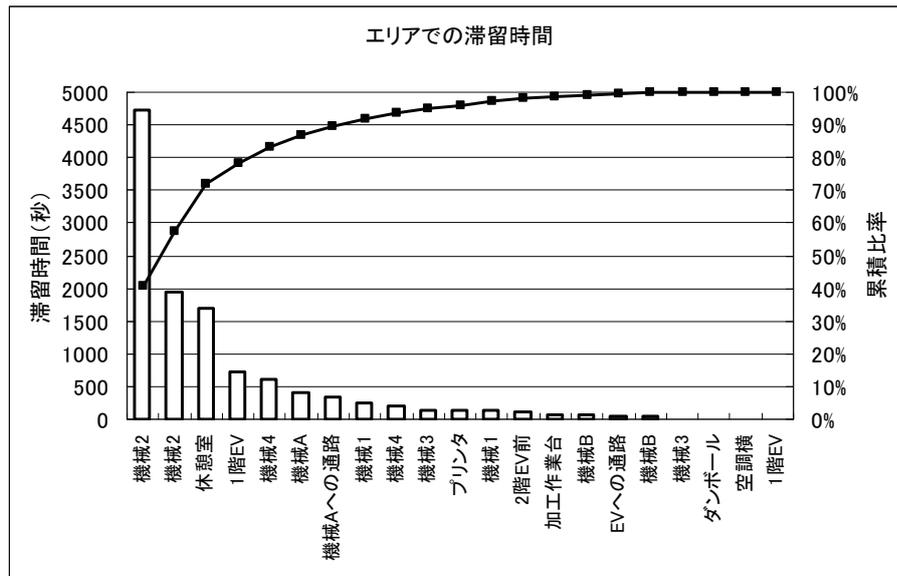


図 3-8 エリアでの滞在時間

これらの動線や滞在時間の分析から、作業場所の関連性は推測できるが、作業点間の移動順序は不明である。作業者がどの時間にどの場所に移動したかを示すために、横軸を時間、縦軸をエリアとして作業者のエリア移動履歴を表現したのが図 3-9 である。以下の操作手順による Excel の VBA プログラムで動線データを用いてほぼ自動的に作図できるように工夫した。

操作 1 Excel に取り込んだ動線データを用いて、各発信機のレイアウト図上の座標と、レイアウト図の寸法から、エリア間の距離を算出する。

操作 2 Excel のグラフ描画機能を用い、時系列でのエリア間の移動とエリア内での滞留時間を描画し、さらに操作 1 のエリア間距離から移動距離の累積を表示する。

図 3-9 で、エリア 4 と 7 間の繰返しの移動が 1 日中見られることから、それらエリアでの作業は作業者の定常的な作業であると推測される。その一方で、1 日に 1・2 回しか移動していないエリアがあり、それらエリアでの作業は非定常的な作業であると推測される。

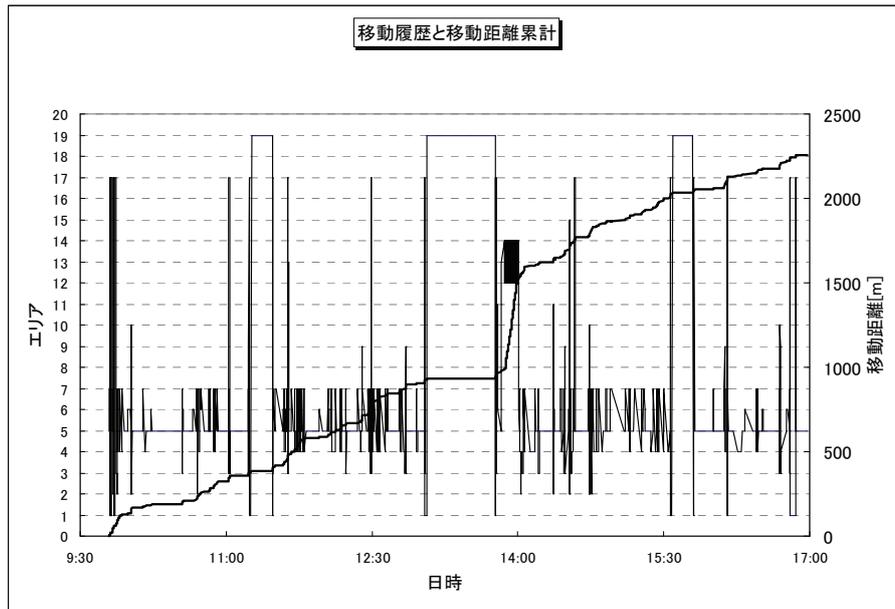


図 3-9 作業者のエリア移動履歴

図 3-9 は縦軸が作業エリアの ID 番号順となっており、繰返しの移動が多い作業エリアがどこかということグラフの形状から判断する必要がある。繰返しの移動が多い作業エリアを移動データから事前に抽出し、それらの作業エリアをグルーピングして縦軸に並べることで移動のパターンをグラフから読み取ることが容易になると考えられる。

3-4 動線データ分析のアプローチ

3-3 では作業者の動線、各作業エリアにおける滞在時間、作業者の移動順序をそれぞれグラフ化し、それぞれのグラフにおける分析のポイントを述べた。本論文では、得られた動線データから作業者の行動を分析し、改善の狙いを抽出することを試みる。そこで、動線データを分析する着眼点として、以下の 2 通りのアプローチを考える。

① 作業者の移動頻度に着目した移動パターンの分析

作業者がある作業エリアから別の作業エリアに移動するという、2つの作業エリア間の移動を基本とする。この基本の移動のルートは作業全体の一部であるが、それらの部分的な移動ルートを組み合わせ、そこから作業者の移動・作業全体を分析する。標準的な定常作業は規則的に繰返し行われると想定されるため、その時の移動ルートも規則的に出現すると考えられる。そこで、移動ルートの出現頻度を求め、作業エリ

アごとに移動頻度の多いルートに含まれる比率を算出し、その比率と移動の回数から移動パターンを分類し、作業の規則性と移動頻度を評価することとする。

②作業エリアの訪問頻度に着目した作業パターンの分析

ある作業エリアで行われる作業はその作業エリア特有のものであり、作業エリアごとに訪問頻度を全体的に見れば、そこで行われている作業のパターンが抽出できると考えられる。その作業のパターンを見出すために、作業者の各作業エリアへの移動間隔と移動頻度を見ることとした。各作業エリアに対して全体的な作業のパターンを捉え、そこから細かく部分的に分析する方法である。

③移動パターンと作業パターンによる改善ポイントの抽出

移動パターンでは規則性と移動頻度により、作業パターンでは移動間隔と移動頻度により作業エリアを4つに分類する。ここで得られた2通りの作業エリアの分類を合成することで、作業エリアを網羅的な観点で分類し、改善のポイントを抽出する。改善ポイントとして以下の4つの観点で作業エリアを抽出できることを目指す。

- ・ 作業者が主に行う繰返しの作業を定期・定常の作業として抽出できること
- ・ 従来の動線分析では定期・定常と判断してしまう作業エリアが、不定期・非定常な作業を行うエリアであった場合に、そのエリアを抽出できること
- ・ 突発的なイレギュラー作業を不定期・非定常の作業として抽出できること
- ・ 従来の動線分析では不定期・非定常と判断してしまう作業エリアが、定期・定常な作業を行うエリアであった場合に、そのエリアを抽出できること

4章では上記①の移動パターンの分析について、5章では上記②の作業パターンの分析について、6章では上記③の改善ポイントの抽出について、それぞれ分析手順と事例による検証結果について述べる。

4 移動パターンと作業エリアの分析

本章では、移動データから規則性のある移動パターンや作業エリアをある基準で抽出することによって、定常的な作業と非定常的で突発的な作業を分類・抽出するアプローチを考える〔61〕。ここで、本来の定常の意味は一定であり変化がないこととあるが、本論文では、定常とは規定の作業標準どおりに繰り返されていることと定義する。本論文の分析は、移動パターンや作業エリアを分析したデータを使ったもので詳細な作業内容は把握できない。そこで、本論文の定常の定義に基づいて、移動ルートや作業エリアの出現頻度から作業の定常・非定常性を捉えることとした。

ここでは、以下の2つの仮説を立てて、移動データから、定常・非定常作業に関係すると考える規則的/不規則の移動ルートとエリアの抽出を試みる。

①定常作業を含む移動ルートの抽出方法における仮説

定常作業は繰り返し行われる作業であることが普通であるので、定常作業での作業エリアの移動ルートは規則的に現れると考える。そこで、作業者の移動の組合せによる移動ルートを定義し、出現頻度により分類する。

②定常作業を行う作業エリアの抽出方法における仮説

出現頻度の多い移動ルートに含まれる移動先エリアは、定常作業時に作業が行われるエリアと考えられる。そこで、出現頻度により分類した移動ルートに含まれる作業エリアを抽出し、作業エリアごとに移動頻度の多いルートに含まれる比率を求め、作業エリアを分類する。

上記の仮説による移動ルートと作業エリアを用いた移動パターンの分類について、実際の事例を用いて考察する。ここでの分析の狙いは動線データを分析・解析するためのアプローチを検討・提案することである。この分析は二つの事例を用いた手がかりになるものと考えており、提案するアプローチの具体的な検討はさらに事例を追加した上での今後の課題と考えている。

4-1 移動ルートの分析

4-1-1 移動ルートの定義

作業者の移動はいくつかのパターンに分けられると考え、実際の動線データを用いて移動のパターン分類を検討した。ある作業者の動線データの一部をレイアウト上に

図示したものを図 4-1 に示す。図中の番号が作業者の移動した順番を示しており、この例では①から⑩まで 10 本の動線が描かれている。

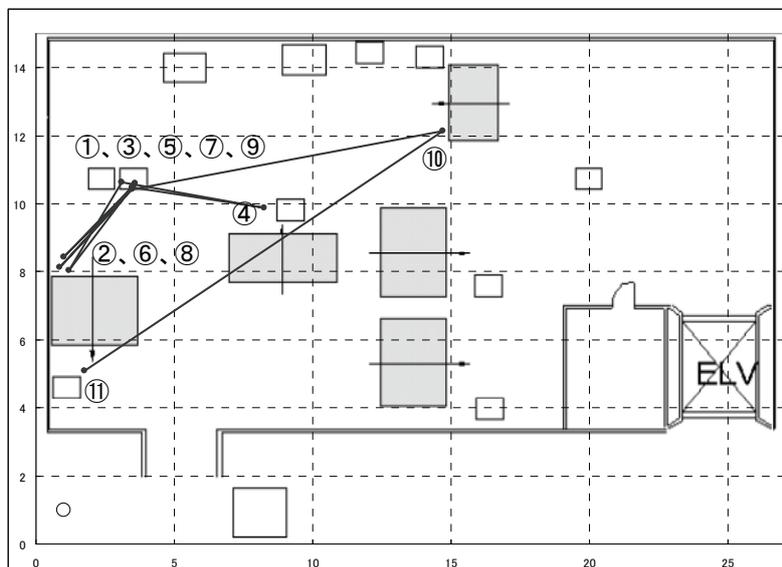
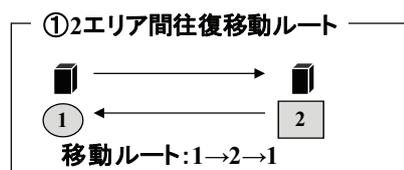


図 4-1 動線データの一例

図 4-1 では、①→②→③や③→④→⑤などのように、2 か所の作業エリアを往復する移動と、⑨→⑩→⑪のように 3 か所の作業エリアを順に移動する場合の 2 通りの移動が見られる。このことより、作業者のエリア間移動の組み合わせは、図 4-2 に示す 3 つの移動ルートが基本になると考えられる。

①2 エリア間往復移動ルート

あるエリアに移動して作業を行い、作業後に元のエリアに戻るといふ 2 エリア間の往復移動ルートである。エリア 1 からエリア 2 に移動し、作業終了後にエリア 1 に戻る移動ルートを「1→2→1」と表記する。



②3 エリア間移動ルート

あるエリアから次のエリアに移動して作業後に、3 つ目のエリアに移動するという 3 エリア間での移動ルートである。エリア 1 からエリア 2 へ移動し、その後にエリア 3 へ移

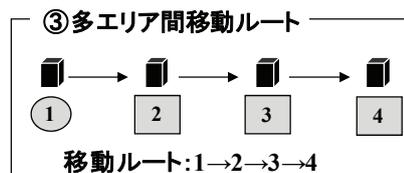
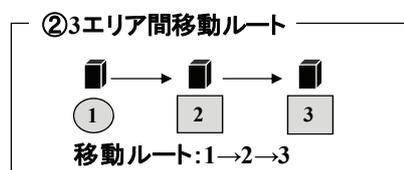


図 4-2 3 つの移動ルート

動する移動ルートを「1→2→3」と表記する。

③多エリア間移動ルート

2 エリア間往復移動や3 エリア間移動ルートが続けて出現した場合には、それらを組み合わせて、一つの移動ルートとして捉えることとした。「1→2→3」の後に「2→3→4」というように3 エリア間移動ルートが続く場合は、「1→2→3→4」と表記する4 エリア間移動ルートとした。5 エリア以上の移動ルートも一つの移動ルートとして捉え、これらを多エリア間移動ルートとした。

4-1-2 移動ルートの出現頻度による分類

移動ルートの出現頻度の例を図4-3に示す。このグラフでは各移動ルートの出現頻度を降順に並べ、さらにABC分析の累積比率によって移動ルートを層別した。図4-3の累積比率を見ると、C分類とした75~100%は出現頻度1回である。75%以下のA/B分類については、グラフの形状と出現頻度から、出現頻度8回以上の0~40%をA分類、AとCの間の出現頻度7~2回の40~75%をB分類とした。A分類の移動ルートを規則的ルート、B分類とC分類の移動ルートを不規則ルートと呼ぶことにする。

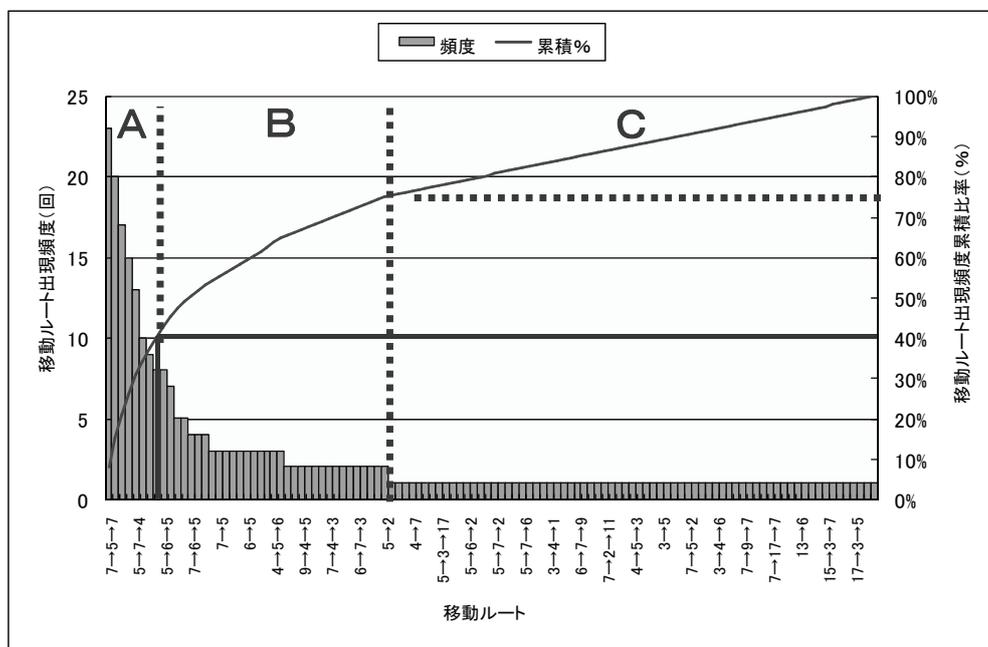


図4-3 移動ルートの出現頻度

A/B/C 分類の累積比率の閾値は、安定して機械が稼動する職場と不安定で機械停止

の多い職場など、分析対象の職場によって異なると考えられ、閾値を自動的に設定することは、分析事例を増やした上での今後の課題と考えている。

以下の手順による規則的/不規則の移動ルートの分類については、動線データを用いた Excel の VBA プログラムで、ほぼ自動的に行えるように工夫した。

操作 1 時系列の動線データから、2 エリア間往復と 3 エリア間の移動ルートおよび多エリア間移動ルートを抽出して、抽出された移動ルートごとの出現頻度を降順に並べて、累積比率を算出する。

操作 2 累積比率を ABC 分析して分類比率を決め Excel に入力することによって、その比率より移動ルートを規則的/不規則の移動ルートに分類する。

4-2 移動パターンの分析

4-2-1 作業エリアの出現頻度

4-1 で作業者の移動ルートの出現頻度から規則的/不規則の移動ルートを分類した。次に、作業者がどのような移動ルートによって各作業エリアを訪問しているかを分析するために、移動ルートに含まれる作業エリアを集計する。例えば、移動ルートが「1→2→3」であれば、作業者は移動先の作業エリア 2 と 3 で作業をするために移動していることから、移動ルートの 2 番目以降の作業エリアは、その移動ルートにおいて目的となる移動先となっていると考える。

そこで、作業エリア毎に規則カウントと不規則カウントという値を定義し、4-1-2 で定義した規則的/不規則ルートによって作業エリアをカウントする。例えば、A 分類の規則的移動ルート「1→2→3」の場合は、作業エリア 2 と 3 の規則カウントにそれぞれ 1 を加え、C 分類の不規則移動ルート「4→5→6」の場合は、作業エリア 5 と 6 の不規則カウントにそれぞれ 1 を加える。これにより、各作業エリアにおいて規則カウント X 回と不規則カウント Y 回というように、規則カウントと不規則カウントが求まる。

4-2-2 規則的エリアと不規則エリアの分類

作業エリア毎に、上記で求めた各エリアの規則カウントと不規則カウントの合計に占める規則カウントの比率を算出し、その比率を規則性比率とする。規則性比率が大きい作業エリアは、その場所で作業を行う場合の移動ルートが規則的に繰り返し出現し

ているということを意味している。すなわち、その作業エリアでの作業は定期的に行われる標準作業であると推測される。一方、規則性比率が小さい作業エリアは、その場所を訪れる移動ルートが様々であることを示しており、その作業エリアにて行う作業は不定期的な作業であると考えられる。本論文では、規則性比率が大きいエリアと小さいエリアを抽出するために、規則性比率が上位 1/3(66.6%)の作業エリアを規則的エリア、規則性比率が下位 1/3 (33.3%)の作業エリアを不規則エリアとした。なお、頻度が中間の作業エリアは中間エリアとしたが、本論文ではエリアとしての評価はしていない。

上記の手順を Excel の VBA プログラムでほぼ自動化し、規則的エリアと不規則エリアを抽出できるように工夫した。

4-2-3 移動パターンによる作業エリアの分類

作業エリアを規則性と移動頻度によって分類した結果を表 4-1 に示す。作業エリアを「高頻度・規則性有」「低頻度・規則性有」「高頻度・規則性無」「低頻度・規則性無」の 4 通りの移動パターンに分類した。移動頻度については作業エリアの移動頻度の平均値を求め、平均値と比較して移動頻度の多い作業エリアを高頻度と分類し、平均よりも移動頻度の少ない作業エリアを低頻度と分類した。

高頻度・規則性有の作業は従来の IE 手法を用いた分析が得意としてきた範囲であり、それ以外の範囲の作業を抽出することは、これまで困難であった。そこで、実作業の動線データを用いて作業エリアの分類が可能であるか検証した。

表 4-1 移動パターンによる作業エリアの分類

	移動頻度:多	移動頻度:少
規則性比率:大	<p>移動パターン1</p> <p>移動頻度が多く 移動に規則性がある</p>	<p>移動パターン2</p> <p>移動頻度が少なく 移動に規則性がある</p>
規則性比率:小	<p>移動パターン3</p> <p>移動頻度が多く 移動に規則性がない</p>	<p>移動パターン4</p> <p>移動頻度が少なく 移動に規則性がない</p>

4-3 移動パターンの分析の事例を用いた検証

ここでは、4-1 と 4-2 で述べた移動ルートと作業エリアを検証するために、実作業の動線データを用いて移動ルートと作業エリアを分析する。分析事例として、小型の機械が複数配置されており、作業者が機械操作と付随する手作業を実施している作業と、大型の設備を複数作業員で運転する作業の2つを取り上げる。

4-3-1 分析対象作業

分析事例の対象とした製造メーカーで製造している製品は、顧客の注文に合わせてロット生産を行い、受注後に、4工程で加工され出荷される。第1工程から最終工程の前までは、大型の設備を用いてロール状の材料を加工するという製造プロセスであり、設備の段取りにおいて時間と材料ロスが生じてしまうという特性上、受注ロットでのまとめ生産となっている。一方、小型の設備を用いる最終加工工程では出荷指示のロットサイズに合わせた生産となる。

事例1は小型設備が複数配置されている最終加工工程の職場で、その設備レイアウトは図4-4に示すとおりである。

事例1の作業員は1名であり、主な作業として機械1と2への材料投入と機械1の製品取出・梱包を行う。さらに、同じフロア内の他の作業員のフォローとして、他の機械の作業を手伝うことや、材料や製品の運搬も行うことがある。

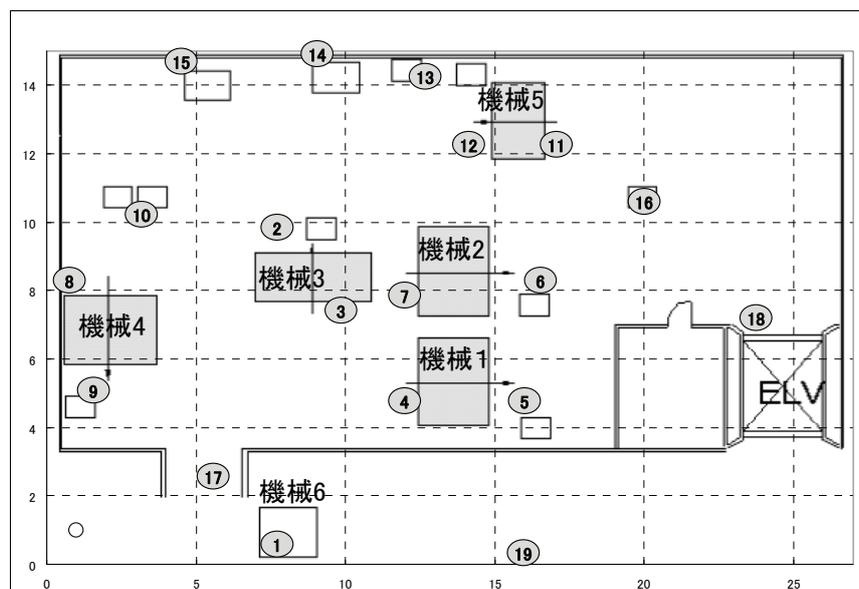


図 4-4 事例1のレイアウト

事例2は、事例1の前工程にあたり、大型の設備を複数作業員で運転している。この設備では、ロール状の材料を投入し、2種類の加工をして、排出部でロールに巻き上げ・排出する。投入部と排出部にはそれぞれロール2本を装着可能な軸があり、片方の軸のロールを使用中に、もう一方の軸では、次に投入する材料ロールの装着と完成した製品ロールの排出ができるので、連続した運転が可能である。設備レイアウトを図4-5に示す。

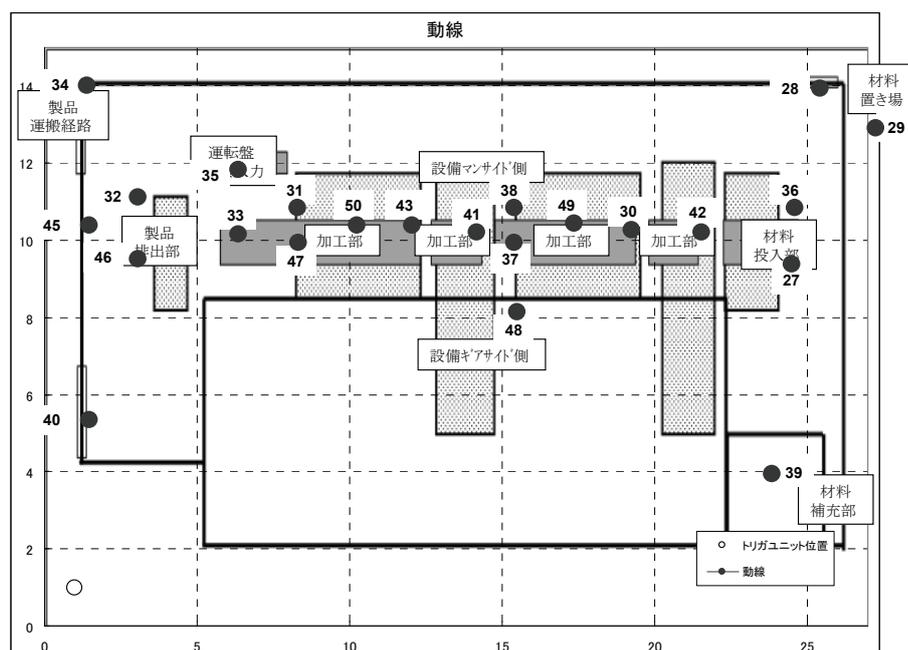


図4-5 事例2のレイアウト

この設備は3名の作業員によって運転される。各作業員の主な役割は、作業員aは設備の操作、作業記録、品質の確認、作業員bは製品ロールの取外、作業記録、作業員cは材料ロールの準備と取付である。3名は互いの作業を確認しながら作業を行っており、材料ロールの投入や製品ロールの取外などは、状況に応じて作業員aが作業員bとcを手伝うこともある。

4-3-2 事例1における移動パターンの分析

事例1の作業において計測した動線データを、4-1で示した移動ルートの分析手順に従い分析した結果の移動ルート・出現件数・比率および移動ルートのABC分類を表4-2に示し、動線図と作業エリア（発信機ID）を図4-6に示す。表4-2では、移動

ルートを出現頻度の多い順に並べて ABC 分類を行い、出現頻度の累積比率上位 40% を A 分類の規則的ルート、40%~75%を B 分類、75%以下を C 分類とし、B、C 分類の移動ルートを不規則ルートとしている。

表 4-2 事例 1 における移動ルートの分類

移動ルート	出現頻度	累積頻度	累積比率	A/B/C分類	移動ルート分類
7→5→7	23	23	8.0%	A	規則的ルート
7→4→7	20	43	15.0%	A	規則的ルート
7→4→5	17	60	21.0%	A	規則的ルート
14→12→14	15	75	26.2%	A	規則的ルート
5→7→4	13	88	30.8%	A	規則的ルート
4→5→7	10	98	34.3%	A	規則的ルート
5→7→5	9	107	37.4%	A	規則的ルート
5→7	8	115	40.2%	B	不規則ルート
5→6→5	8	123	43.0%	B	不規則ルート
5→6→7	7	130	45.5%	B	不規則ルート
6→7	5	135	47.2%	B	不規則ルート
4→5	5	140	49.0%	B	不規則ルート
7→6→5 他3ルート	4	152	53.1%	B	不規則ルート
1→17→3 他11ルート	3	185	64.7%	B	不規則ルート
17→1→17 他15ルート	2	215	75.2%	C	不規則ルート
17→7→5 他71ルート	1	286	100%	C	不規則ルート

この動線分析例では、作業エリア 1~19 の 19 台の発信機を設置したが、作業者が立ち寄った作業エリアは 16 箇所であった。4-1 にて示した移動パターン of A 分類にあたる規則的ルートとして、表 4-1 に示す 7 通りの移動ルートが抽出された。最も出現頻度の多い移動ルートは「7→5→7」で、2 番目は「7→4→7」であった。

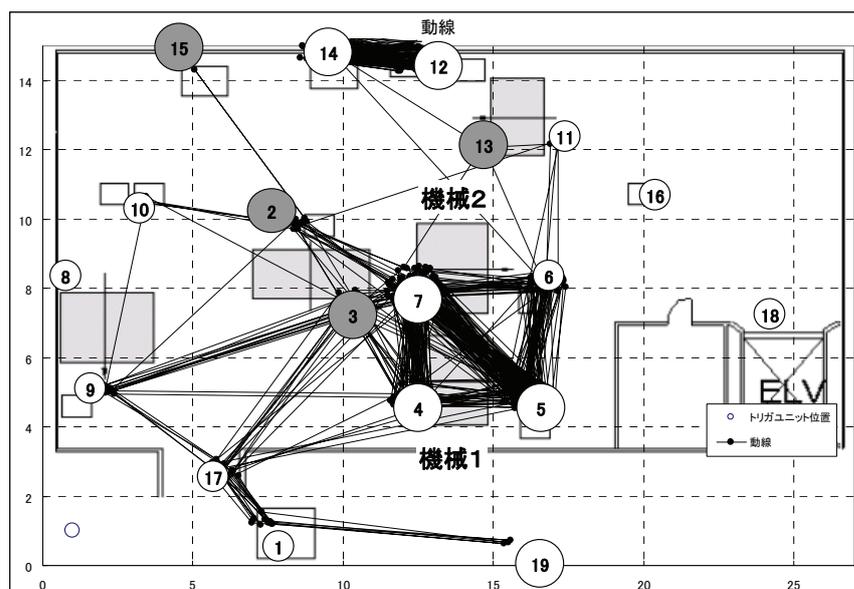


図 4-6 事例 1 の動線図と作業エリア (発信機 ID)

A 分類 7 通りのうち、6 つは 4/5/7 間の 3 エリア間移動ルートであり、エリア 4 と 7 は機械 1 と 2 への材料投入エリア、エリア 5 は機械 1 からの製品の取出エリアである。この作業者の主な役割は機械 1 と 2 への材料投入と機械 1 の製品取出・梱包であることから、上記の手順に従った移動ルートの分類によって、材料投入と製品取出というこの作業者の主な作業を、規則的ルートとして抽出できたといえる。

もう 1 台の機械 2 の製品の取出エリアであるエリア 6 はこの作業者の主な作業ではない。しかし、動線図を見るとエリア 5 と 7 との動線の本数が多く、動線図のみで考察すると、主な作業であると分析される可能性が高い。表 4-2 の不規則ルートの中では、出現頻度が 5 回から 8 回である移動ルートをみると、エリア 6 を含む移動ルートが 3 通り抽出されていることから、エリア 6 を含む移動ルートは規則的と不規則のちょうど境界にあたり、動線図による判断が難しいことが分かる。4-1 に示した手順では、この作業者の主な作業ではないエリア 6 への移動ルートは不規則ルートと分類されることから、上記の手順に従った出現頻度による移動ルートの分類は有効であるといえる。

次に、4-2 に示した作業エリアの分析手順に従い、規則的/不規則の移動ルートに含まれる作業エリアの数をそれぞれ規則カウントと不規則カウントとして集計した。事例 1 の作業における作業エリアの規則/不規則カウント・比率および規則的/不規則エリアの分類を表 4-3 に示す。4-2 で述べたとおり、規則性比率が上位 1/3(66.6%)の作業エリアを規則的エリア、規則性比率が下位 1/3 (33.3%)の作業エリアを不規則エリアとしている。

表 4-3 事例 1 における規則的・不規則エリアの分類

エリア	規則カウント	不規則カウント	規則性比率	エリア分類
12	15	0	100%	規則的エリア
19	3	0	100%	規則的エリア
14	15	1	94%	規則的エリア
4	44	8	85%	規則的エリア
5	67	25	73%	規則的エリア
7	76	30	72%	規則的エリア
10	2	1	67%	中間エリア
9	3	2	60%	中間エリア
1	5	5	50%	中間エリア
11	1	1	50%	中間エリア
6	14	19	42%	中間エリア
17	6	9	40%	中間エリア
3	7	17	29%	不規則エリア
2	2	8	20%	不規則エリア
13	0	2	0%	不規則エリア
15	0	1	0%	不規則エリア

4つのエリア 2/3/13/15（図 4-6 でグレー色の大きな○）が不規則エリアとして抽出された。エリア 2 のカウントは規則と不規則の合計カウントが 10 と少なく、エリア 3 のカウントは 24 と少なくはないが規則性比率が 30%を下回っていることから、これらのエリアでの作業は繰り返し行われる作業ではないと考えられる。また、エリア 13/15 は不規則カウントが 1/2 と極端に少ないことから、これらエリアでの作業は突発的な作業であると考えられる。

6つのエリア 4/5/7/12/14/19（図 4-6 で白色の大きな○）が規則的エリアとして抽出された。4/5/7 の3 エリアは合計カウントが 52/92/106 と多く、規則性比率が 70%を超えていることから、これらエリアでの作業は繰り返し行われる作業でと考えられる。エリア 12/14 は合計カウントが 15/16 と前の3 エリアよりは少ないが規則性比率はほぼ 100%であり、エリア 19 は規則カウントが 3 と少ないがすべて規則カウントであることから、これらのエリアでの作業は主となる作業の繰り返しの中で定期的に発生する、例えば段取作業などの付随的な作業であると考えられる。

作業エリアの抽出結果を規則性と移動頻度で分類した結果を表 4-4 に示す。上記のとおり、高頻度・規則性有の作業エリア 4/5/7 に加えて、低頻度・規則性有の作業エリアとしてエリア 12/14/19 を、高頻度・規則性無の作業エリアとしてエリア 3 を、低頻度・規則性無の作業エリアとしてエリア 2/13/15 を抽出して、作業エリアを 4 つの移動パターンに分類することができた。

表 4-4 事例 1 における作業エリアの分類

	移動頻度:多	移動頻度:少
規則性比率:大	移動パターン1 高頻度・規則性有の作業エリア エリア4 エリア5 エリア7	移動パターン2 低頻度・規則性有の作業エリア エリア12 エリア14 エリア19
規則性比率:小	移動パターン3 高頻度・規則性無の作業エリア エリア3	移動パターン4 低頻度・規則性無の作業エリア エリア2 エリア13 エリア15

4-3-3 事例 2 における移動パターンの分析

事例 2 の作業における作業員 a の移動ルート・出現件数・比率および移動ルートの ABC 分類を表 4-5 に示し、動線図と作業エリア（発信機 ID）を図 4-7 に示す。

表 4-5 事例 2 における移動ルートの分類

移動ルート	出現頻度	累積頻度	累積比率	A/B/C分類	移動ルート分類
32→46→32	175	175	9.9%	A	規則的ルート
35→32	90	265	14.9%	A	規則的ルート
32→35→32	59	324	18.3%	A	規則的ルート
32→45→32	46	370	20.8%	A	規則的ルート
35→32→35	45	415	23.4%	A	規則的ルート
46→32→46	33	448	25.2%	A	規則的ルート
32→35	32	480	27.0%	A	規則的ルート
49→30→49	25	505	28.5%	A	規則的ルート
50→35→32	21	526	29.6%	A	規則的ルート
35→31→35	19	545	30.7%	A	規則的ルート
43→50→35 他1ルート	16	577	32.5%	A	規則的ルート
35→50→35 他1ルート	15	607	34.2%	A	規則的ルート
35→49→35 他1ルート	14	635	35.8%	A	規則的ルート
43→49→30 他3ルート	13	687	38.7%	A	規則的ルート
49→43→50 他3ルート	12	735	41.4%	B	不規則ルート
49→35→32 他5ルート	11	801	45.1%	B	不規則ルート
49→50→35 他5ルート	10	841	47.4%	B	不規則ルート
50→35 他7ルート	9	913	51.4%	B	不規則ルート
50→43→49 他5ルート	8	961	54.1%	B	不規則ルート
50→43→35 他6ルート	7	1010	56.9%	B	不規則ルート
49→43→35 他8ルート	6	1064	59.9%	B	不規則ルート
49→38→35 他11ルート	5	1124	63.3%	B	不規則ルート
49→36→30 他27ルート	4	1236	69.6%	B	不規則ルート
50→43→41 他40ルート	3	1359	76.6%	B	不規則ルート
50→49→35 他78ルート	2	1517	85.5%	C	不規則ルート
27→36→35 他257ルート	1	1775	100.0%	C	不規則ルート

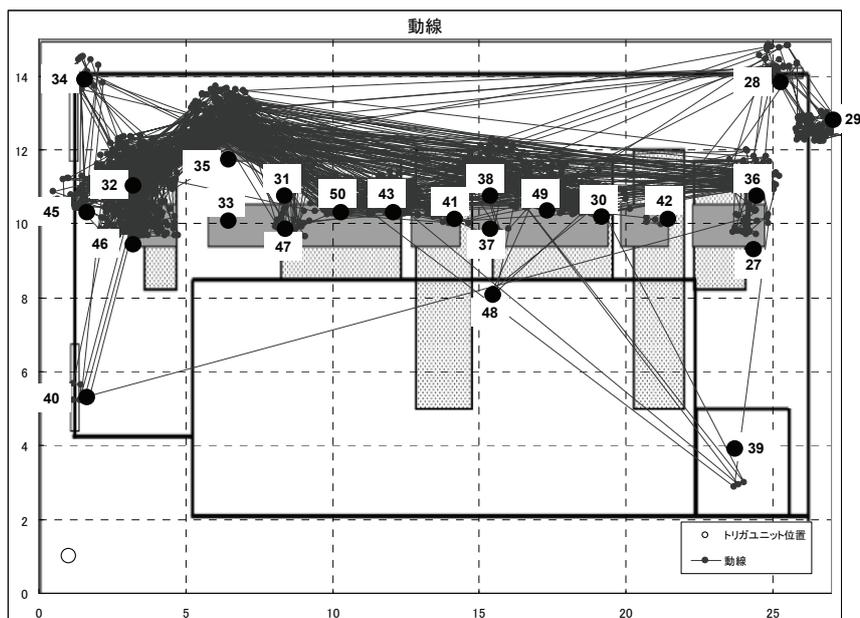


図 4-7 事例 2 の作業員 a の動線図と作業エリア（発信機 ID）

事例 2 では、移動ルートの A 分類にあたる規則的ルートとして、表 4-5 に示す 14 通りの移動ルートが抽出された。最も出現頻度の多い移動ルートは「32→46→32」で、2 番目は「35→32」であった。14 通りのうち上位の 7 ルートは 4 つのエリア 32/35/42/45 の組み合わせとなっている。エリア 32 と 46 はいずれも完成品の排出部で、エリア 45 は完成品の品質検査・確認を行う場所である。エリア 35 は運転盤であり、作業員 a の主作業である設備操作や作業記録はこの場所で行われる。これらの結果から、移動ルートの分類によって、作業員 a の主な作業である、設備の操作、作業記録、品質の確認に係る場所の移動を規則的ルートとして抽出できたといえる。

その他の規則的ルートを見てみると、エリア 30/31/43/49/50 の 5 つのエリアが含まれる移動ルートが多いことがわかる。これらのエリアは設備の操作側にあたる場所であり、作業員 a は設備全体の監視も役割としていることから、これらのエリアを含む移動ルートが規則的ルートとして抽出されたと考えられる。

分析事例における作業エリアの規則/不規則カウント・比率および規則的/不規則エリアの分類を表 4-6 に示す。

表 4-6 事例 2 における規則的・不規則エリアの分類

エリア	規則カウト	不規則カウト	規則性比率	エリア分類
32	371	74	83%	規則的エリア
46	215	46	82%	規則的エリア
29	4	1	80%	規則的エリア
40	4	1	80%	規則的エリア
37	11	6	65%	中間エリア
31	26	19	58%	中間エリア
45	56	49	53%	中間エリア
35	306	275	53%	中間エリア
27	9	9	50%	中間エリア
48	1	1	50%	中間エリア
34	14	15	48%	中間エリア
28	11	15	42%	中間エリア
47	12	17	41%	中間エリア
50	46	78	37%	中間エリア
49	70	133	34%	中間エリア
30	47	91	34%	中間エリア
38	23	53	30%	不規則エリア
36	23	62	27%	不規則エリア
42	4	13	24%	不規則エリア
43	24	91	21%	不規則エリア
41	3	27	10%	不規則エリア
39	0	4	0%	不規則エリア
33	0	0	0%	不規則エリア
44	0	0	0%	不規則エリア

4 つのエリア 29/32/40/46 が規則的エリアとして分類された。32/46 の 2 エリアは合計カウントが 445/261 と多く、規則性比率が 70%を超えていることから、これらのエ

リアでの作業は繰り返し行われる作業でと考えられる。前述のとおり、エリア 32 と 46 はいずれも完成品の排出部であり、作業員 a が完成品の品質確認を繰り返し行っていることがわかる。一方、エリア 29/40 の 2 エリアは合計カウントがいずれも 5 回と少ない。エリア 29 は材料置き場で、エリア 40 は完成品の運搬経路であり、これらのエリアへの移動は生産中にロール上の材料を補充する場合と、機械から排出されたロール上の完成品を置き場に運搬する時に発生する。機械が安定して稼働している場合、材料補充や完成品の運搬の発生時間間隔は長いが作業は定期的に発生する。このような短い時間間隔での繰り返し作業の中に発生する、長い時間間隔の繰り返し作業を規則的エリアとして抽出することができたといえる。

8 つのエリア 33/36/38/39/41/42/43/44 が不規則エリアとして分類された。これらの作業エリアでは材料投入の準備や機械の監視が行われており、作業員 a は不定期にこれらの作業を行っていることがわかる。材料投入の準備は作業員 c が主に行う作業であり、このような他の作業員の応援作業を不規則エリアとして抽出することができた。

作業エリアの抽出結果を規則性と移動頻度で分類した結果を表 4-7 に示す。高頻度・規則性有の作業エリア 32/46 に加えて、低頻度・規則性有の作業エリアとしてエリア 29/40 を、高頻度・規則性無の作業エリアとしてエリア 36/38/43 を、低頻度・規則性無の作業エリアとしてエリア 39/41/42 を抽出して、作業エリアを 4 つの移動パターンに分類することができた。

表 4-7 事例 2 における作業エリアの分類

	移動頻度:多	移動頻度:少
規則性比率:大	移動パターン1 高頻度・規則性有の作業エリア エリア32 エリア46	移動パターン2 低頻度・規則性有の作業エリア エリア29 エリア40
規則性比率:小	移動パターン3 高頻度・規則性無の作業エリア エリア36 エリア38 エリア43	移動パターン4 低頻度・規則性無の作業エリア エリア39 エリア41 エリア42

5 作業パターンと作業エリアの分析

5-1 移動累積の分析

5-1-1 移動累積グラフの定義

4-1 で述べた移動パターンは、2 エリア間往復移動ルート、3 エリア間移動ルート、多エリア間移動ルートといった作業者の部分的な移動ルートに着目して、それらの部分的な移動ルートを組み合わせて、作業者の移動・作業全体を分析しようとするもので、“部分→全体”という見方であった。これに対して、各作業エリアで作業が行われる間隔や頻度を全体的に見て作業のパターンを抽出し、そこから作業のパターンをさらに細かく部分的に分析する、“全体→部分”の見方を考える [62]。

作業のパターンを見出すために、作業者の各作業エリアへの移動の頻度と間隔を見ることにして、各作業エリアへの移動を累積グラフで表現することを考える。図 5-1 は X 軸が時間、Y 軸がその作業エリアへの移動頻度の累積値を示しており、これを以下では“移動累積グラフ”と呼ぶ。移動累積グラフでは、移動の頻度と間隔の二つを見ることができ、図 5-1 には、移動頻度の大小と、移動間隔を表す累積線の傾きの膨らみの大小を組合せた、4 本の線を表示している。

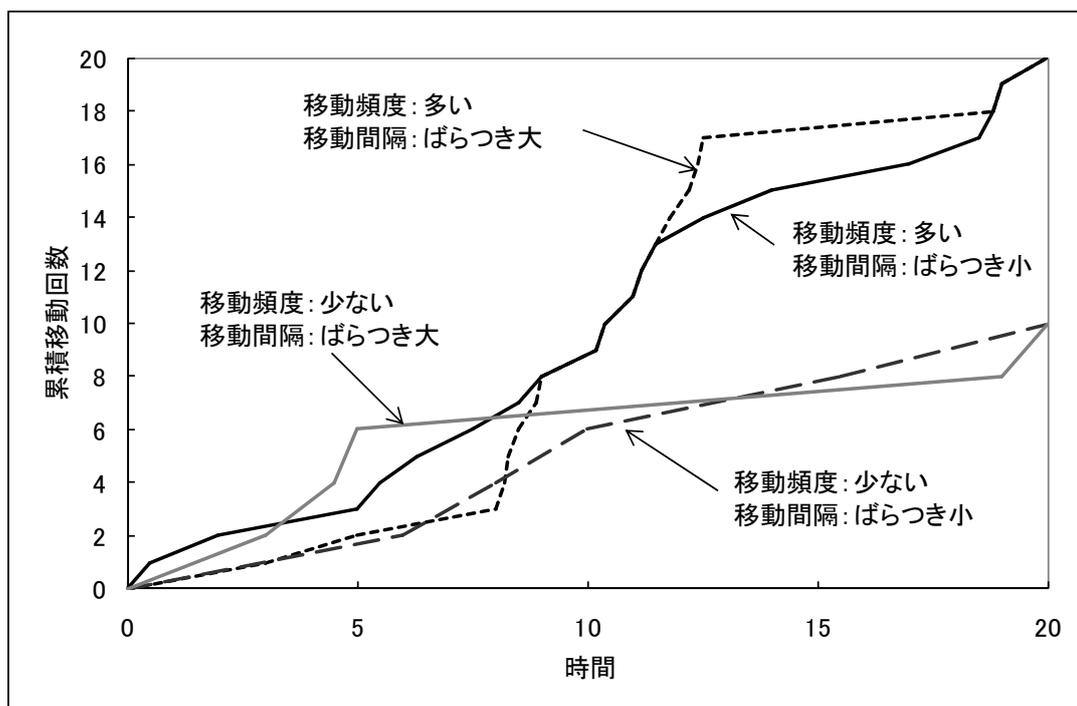


図 5-1 移動累積グラフ

5-1-2 移動累積グラフのフレ幅と移動頻度

作業者の移動時間の間隔から読み取れる作業の定期性に関しては、移動累積グラフの傾きのバラツキを指標とし、そのバラツキの大小で作業の定期性を評価することを考えた。傾きのバラツキを定量化するために、図 5-2 に示すように、以下の手順で平均線のフレ幅を算出した。

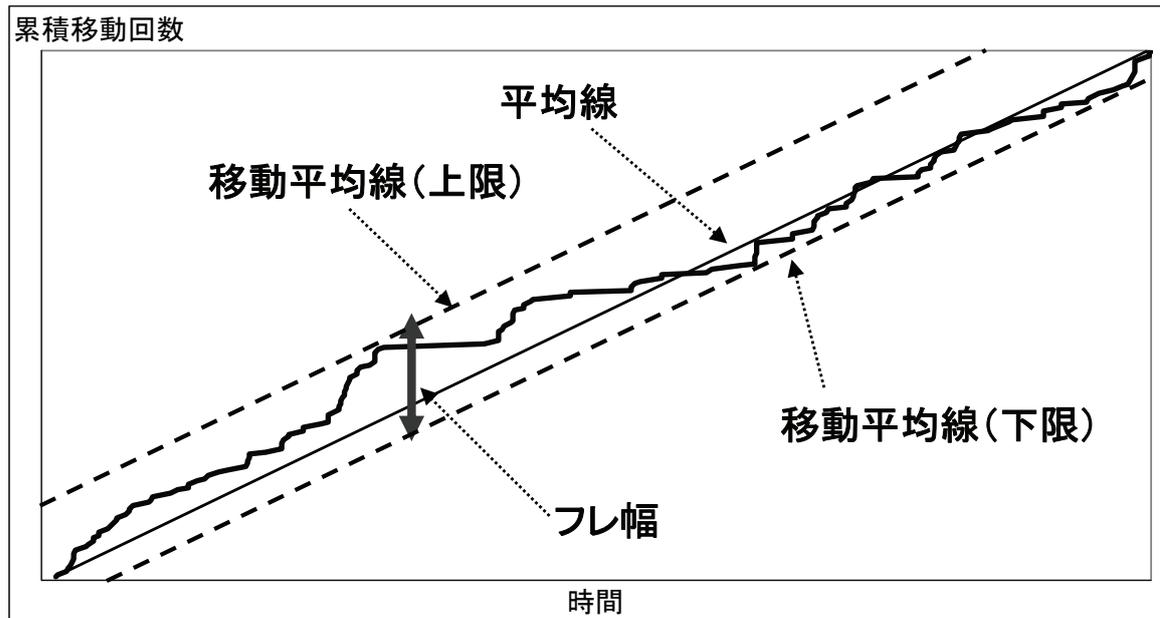


図 5-2 移動累積グラフのフレ幅

- ①移動累積グラフの始点と終点を結んだ傾きの平均線を引く
- ②平均線を Y 軸方向に平行移動させ、累積線と接する直線の中で Y 切片が最大となる直線を上限、Y 切片が最小となる直線を下限とする
- ③上限と下限の Y 軸方向の差をフレ幅とする

フレ幅が小さいエリアは移動間隔が一定であることから、そのエリアでの作業には定期性があり、フレ幅が大きいエリアは移動間隔が一定でないことから、そのエリアでの作業には定期性がないと考えることができる。フレ幅の小さいエリアでは標準的で繰り返される作業、フレ幅の大きいエリアではイレギュラー作業、トラブルなどの対応作業、作業標準の決まっていない作業などが行われていると考えられる。

作業者の移動の頻度は累積線の終点の Y 方向の高さで示され、移動頻度が多いエリアは主体作業などが高頻度に行われるエリアであり、少ないエリアは付帯・付随作業

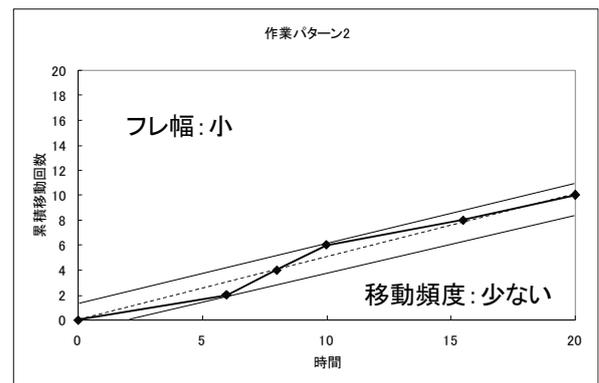
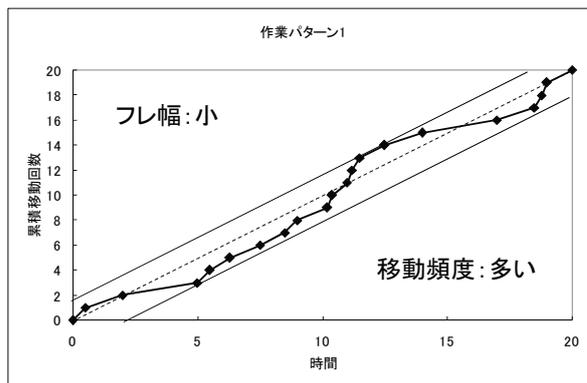
なども突発的な作業が低頻度で行われるエリアであると考えられる。しかし、例えば付随作業であるチョコ停が頻繁に起こっている場合には、そのエリアへの移動頻度は多くなることもあり、移動頻度が多いエリアすべてが主体作業というわけではない。

5-2 作業パターンの分析

5-2-1 移動累積グラフの分類

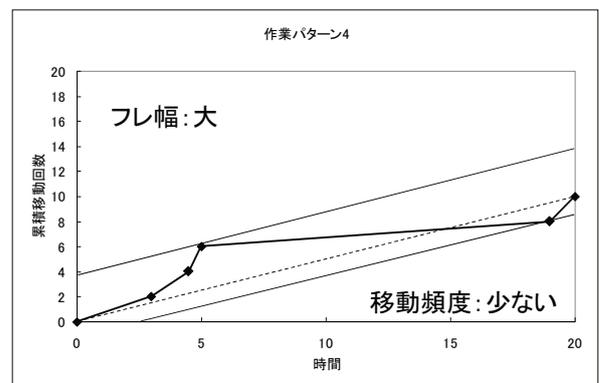
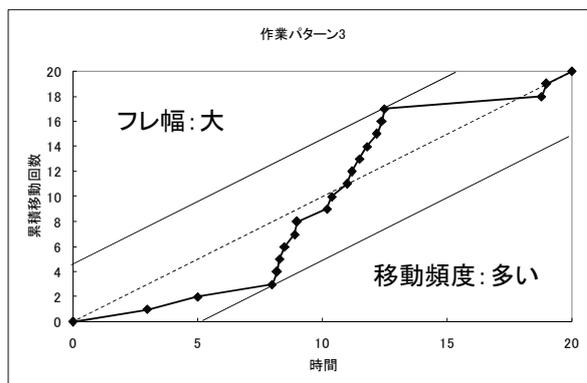
移動累積グラフのフレ幅はその作業エリアでの移動間隔のバラツキを示して、移動頻度はその作業エリアでの作業の頻度を示しているため、移動間隔と移動頻度を組み合わせて、図 5-3 に示す 4 つの作業パターンに分類した。

各作業エリアの移動累積グラフよりフレ幅を算出し、その中央値をフレ幅の大小の閾値とした。移動頻度についても同様に、各作業エリアの移動頻度を求め、その中央値を移動頻度の閾値とした。この閾値の設定方法は今後の研究課題と考えている。



(a) 作業パターン 1 (移動間隔固定で高頻度)

(b) 作業パターン 2 (移動間隔固定で低頻度)



(c) 作業パターン 3 (移動間隔変動で高頻度)

(d) 作業パターン 4 (移動間隔変動で低頻度)

図 5-3 4 つの作業パターンの移動累積グラフ

5-2-2 作業パターンによる作業エリアの分類

5-2-1 で示した 4 通りの作業パターンは、前述の作業の移動間隔を表すフレ幅の大小と移動頻度の組合せで、表 5-1 に示すように「高頻度・間隔固定」「低頻度・間隔固定」「高頻度・間隔変動」「低頻度・間隔変動」の 4 パターンに分類できる。

表 5-1 作業パターンによる作業エリアの分類

	移動頻度:多	移動頻度:少
移動間隔:固定	<p>作業パターン1</p> <p>移動頻度が多く 移動間隔は固定(フレ幅が小さい)</p>	<p>作業パターン2</p> <p>移動頻度が少なく 移動間隔は固定(フレ幅が小さい)</p>
移動間隔:変動	<p>作業パターン3</p> <p>移動頻度が多く 移動間隔は変動(フレ幅が大きい)</p>	<p>作業パターン4</p> <p>移動頻度が少なく 移動間隔は変動(フレ幅が大きい)</p>

作業パターン1 (高頻度で間隔固定の作業エリア)

作業パターン1は、フレ幅が小さく移動間隔が固定的であることと、移動頻度が多く作業回数が多いことから、この作業パターンの作業は作業者の主体作業など定常的な作業であると思われるが、定期的に頻発するチョコ停などのトラブル対応作業といった付随作業である可能性も考えられる。

作業パターン1は、後者のトラブル対応作業などの改善検討は必要であるが、これまでに繰り返しの主体作業として分析・改善が進められている作業パターンと考えられる。

作業パターン2 (低頻度で間隔固定の作業エリア)

作業パターン2は、フレ幅が小さく移動間隔が固定的であることと、移動頻度が少なく作業回数が少ないことから、例えば1回当りの使用量の少ない部材を1日の中で数回補充するといった、作業間隔の長い定期的な作業などと考えられる。

作業パターン3 (高頻度で間隔変動の作業エリア)

作業パターン3は、フレ幅が大きく移動間隔は変動的であることと、移動頻度が多く作業回数が多いことから、例えば突発的に多発するチョコ停などのトラブル対応作

業といった、作業間隔が不定期だが頻度の高い付随作業などと考えられる。

作業パターン2と3は、分析時間の短いビデオ分析では検出できない作業パターンであり、その抽出はこの作業パターンの分析により可能となるもので、本論文で抽出・分析したい作業パターンである。これらの作業パターンを抽出した上で、ビデオなどで追加的に分析して、改善策を検討することになる。

作業パターン4（低頻度で間隔変動の作業エリア）

作業パターン4は、フレ幅が大きく移動間隔は変動的であることと、移動頻度が少なく作業回数が少ないことから、突発的で例外的な作業であると考えられる。

作業パターン2と3と同様に、その抽出は作業パターンの分析により可能となるものであり、本論文で抽出・分析したい作業パターンであり、何故これら作業が発生したかを追加的に分析して、その作業の改善を検討することになる。

5-3 作業パターンの分析の事例を用いた検証

ここでは、5-2の作業パターンを検証するために、実作業の動線データを用いて作業パターンを分析する。分析事例としては、4-3で取り上げた2つの事例を用いる。

5-3-1 事例1における作業パターンの分析

事例1の動線データは4-3-2の図4-5に示す。動線データをもとに、各エリアの移動累積グラフを作成して、フレ幅を求めた。発信機のエリアごとのフレ幅とそのエリアへの移動回数を表5-2に示す。

表5-2のフレ幅と移動回数の大小の閾値を、作業者のフレ幅と移動回数の中央値として、作業者の作業エリアを4つの作業パターンに分類した結果を表5-3に示す。閾値については、本論文では中央値としているが、その設定方法は今後の研究課題と考えている。

表5-2 事例1における各エリアのフレ幅と移動回数

エリア	フレ幅	移動回数
エリア1	28.96	11
エリア2	58.09	12
エリア3	27.20	25
エリア4	15.38	58
エリア5	12.89	93
エリア6	15.12	43
エリア7	18.56	112
エリア9	16.91	10
エリア10	13.77	3
エリア11	28.49	3
エリア12	6.83	81
エリア13	0.00	2
エリア14	7.19	82
エリア15	0.00	1
エリア17	10.51	19
エリア19	5.46	3
閾値	14.45	16

表 5-3 事例 1 における作業パターンの分類

	移動頻度:多	移動頻度:少
移動間隔:固定	作業パターン1 高頻度・間隔固定の作業エリア エリア5 エリア12 エリア14 エリア17	作業パターン2 低頻度・間隔固定の作業エリア エリア10 エリア13 エリア15 エリア19
移動間隔:変動	作業パターン3 高頻度・間隔変動の作業エリア エリア3 エリア4 エリア6 エリア7	作業パターン4 低頻度・間隔変動の作業エリア エリア1 エリア2 エリア9 エリア11

作業パターン 1 (高頻度で間隔固定の作業エリア)

事例 1 では、作業パターン 1 としてエリア 5/12/14/17 の 4 エリアが抽出された。エリア 5 はこの作業者の主作業である機械 1 の製品取出・梱包を行う場所であり、機械からは定期的に製品が排出されている。そのために、作業が高頻度で間隔固定の作業エリアとしてこのエリアが抽出されたと考えられる。エリア 12 と 14 では、生産の途中に作業者が梱包の準備をまとめて実施していた。作業自体は 1 日の中のある時間帯でのみ行われるが、その時の作業がエリア 12 と 14 の間で交互に行われたため、作業パターン 1 として分類されたと考えられる。エリア 17 は隣のフロアの機械につながる通路であり、移動頻度は他の 3 つのエリアと比べて 19 回と少ない。作業者が隣のフロアの機械操作を手伝っていて、そのタイミングが定期的に発生していると考えられる。今回の測定では、他の作業者の動線を取得していなかったため、隣のフロアの作業者がどのような行動をとったかは不明であり、他の作業者との関係については追加の分析が必要であると考えられる。このことから、作業パターンを分類したことによって、分析前には想定できなかった作業者の行動を抽出することができたといえる。

作業パターン 2 (低頻度で間隔固定の作業エリア)

作業パターン 2 としてエリア 10/13/15/19 の 4 エリアが抽出された。このうちエリア 13 と 15 は移動頻度が 2 回および 1 回と極端に少なく、移動累積グラフからフレ幅を算出できなかったため、実際には突発的なイレギュラー作業であったと考えられる。エリア 10 は帳票を出力するプリンタが設置されている場所で、帳票は製品のロットの切り替え時に発行するため出力頻度は低い。今回の測定時に生産していた品目のロットサイズに大きな差がなかったことから帳票出力の頻度が定期的になったと考えられる。このように、生産の条件によって作業間隔が変化するような場合は、より長

期間のデータから作業パターンを分類することが必要と考えられる。

作業パターン 3（高頻度で間隔変動の作業エリア）

作業パターン 3 としてエリア 3/4/6/7 が抽出された。エリア 4 と 7 はこの作業者が担当する機械の投入部であり、ここでの作業は間隔固定であると予想されたが、作業パターン分類の結果では間隔変動として抽出された。この投入部では現在投入中の材料がなくなるまでに次の材料を準備すればよく、材料準備のタイミングに幅があり、さらに前工程から送られてきた製品に付属する品質情報をもとに、製品を確認するという作業が発生しており、この確認作業が不定期に発生することからこのような分類になったと考えられる。また、エリア 3 と 6 はこの作業者の主作業ではない他の機械の材料投入と製品の取出・梱包にあたる場所で、このエリアでの作業が高頻度であるということは、他の作業者との役割分担が不明瞭であることを示しており、改善の狙い目であると考えられる。

作業パターン 4（低頻度で間隔変動の作業エリア）

作業パターン 4 にはエリア 1/2/9/11 が抽出された。これらのエリアはいずれもこの作業者が主担当でない、他の機械の材料投入と製品の取出・梱包にあたる場所である。作業パターン 3 に分類されたエリア 3 と 6 は主作業を行う場所から非常に近い距離にあったが、作業パターン 4 の 4 つのエリアは主作業を行う場所からは遠いということが共通している。そのため、これらのエリアでの作業頻度が低くなったと考えられるが、作業パターン 3 で述べたように、作業フロア内での作業者間の役割分担に問題があり、1 名の作業者が様々な機械の作業を不定期にフォローしていることが作業パターンの分類結果から読み取れる。

5-3-2 事例 2 における作業パターンの分析

事例 2 では、動線データによる作業パターンの分析において、分類結果や作業パターンの解釈をするための補完的なデータとして、実作業の一部について、ビデオ分析と稼働分析の結果を使用した。本論文での分析・解釈を通して、今後はそれら補完的なデータがなくても作業パターンの分析が可能になると考える。

分析対象となる設備周辺で、作業者が作業を行う場所や部屋の出入口など、22 か所に発信機を設置して、各作業者の動線データを取得した。取得・表示した各作業者の動線（a から c）と発信機の設置場所（d）を図 5-4 に示す。

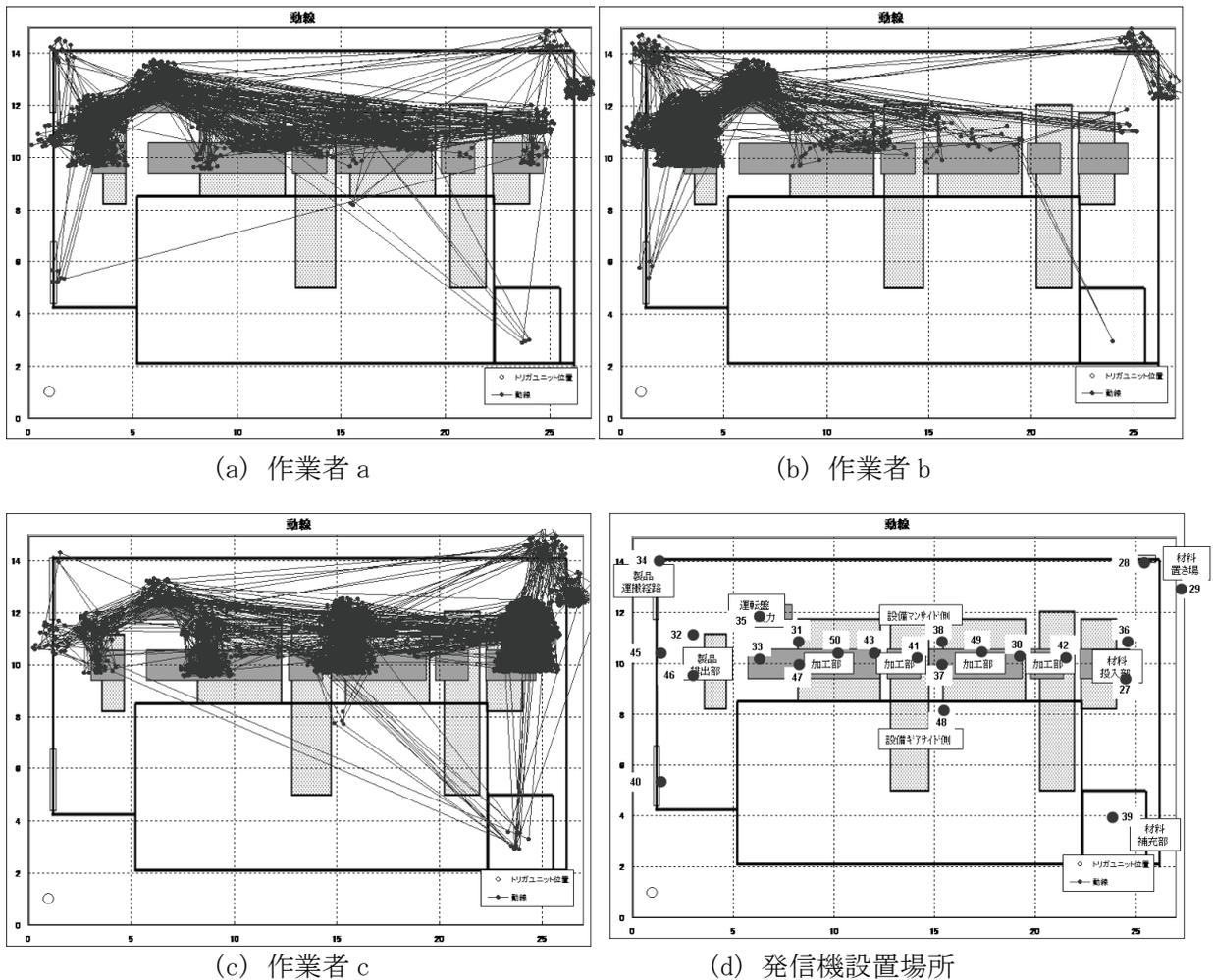


図 5-4 事例 2 における動線データと発信機設置場所

この動線データが分析の基本データであり、これに加え、動線データによる作業パターンの分析・解釈時の補完的データとして、以下のビデオ分析と稼働実績のデータも収集・分析した。

設備運転中の約 2.5 時間について、撮影者が作業者を追いかけて作業者のビデオ撮影を行って、そのビデオで作業分析を行った。図 5-5 はビデオ映像をもとに作成した作業チャートであり、作業を以下の 5 つに分類した。

- ・作業：材料投入と製品排出および設備操作。この設備で生産を行うための必須作業
- ・記録：生産実績の入力や帳票への記入。生産には直接関わらないが必要な管理作業
- ・不定期確認：品質確認や帳票確認。生産中に不定期に行う確認作業
- ・不定期作業：加工部位の洗浄や材料・部材の準備。不定期に発生する付帯作業
- ・その他：他の作業者との会話や手待ち。不必要な作業

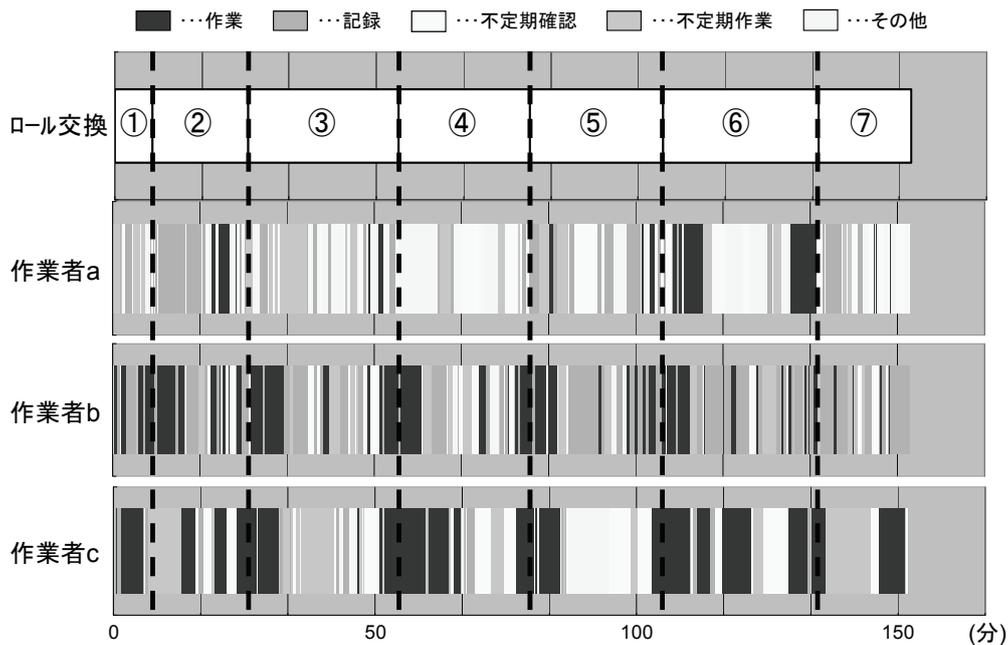


図 5-5 巻取り交換タイミングとビデオ分析結果

対象とした職場では、投入材料のロール交換タイミングの時刻が稼働データとして計測・記録されていたので、ビデオ分析を補完するデータとして稼働データを使用して、作業チャートと合わせて分析を行った。ロール交換タイミングを同じ時間軸で図 5-5 の上部に示す。番号はロール 1 本を意味しており、番号の区切りがロール交換のタイミングを示している。

分類した 5 つの作業内容毎の作業時間(単位：秒)と、作業時間全体に占める割合を表 5-4 に示す。

表 5-4 事例 2 における作業内容集計表

		作業者a		作業者b		作業者c	
作業	製品排出	433	5%	2706	30%	3	0%
	材料投入	310	3%	0	0%	3673	40%
	機械操作	331	4%	234	3%	306	3%
記録	入力作業	1288	14%	2131	23%	154	2%
	帳票記入	691	8%	1446	16%	471	5%
不定期確認	品質確認	1311	14%	555	6%	1107	12%
	帳票確認	607	7%	492	5%	520	6%
不定期作業	洗浄	791	9%	0	0%	17	0%
	材料準備	408	4%	670	7%	1338	15%
	製品運搬	16	0%	436	5%	64	1%
	その他	333	4%	171	2%	771	8%
その他	会話	1592	17%	285	3%	224	2%
	その他	1029	11%	0	0%	478	5%

動線データをもとに、各エリアの移動累積グラフを作成して、フレ幅を求めた。発信機のエリアごとのフレ幅とそのエリアへの移動頻度を表 5-5 に示す。

表 5-5 事例 2 における各エリアのフレ幅と移動頻度

	作業員a		作業員b		作業員c	
	フレ幅	移動頻度	フレ幅	移動頻度	フレ幅	移動頻度
エリア27	36.58	42	87.32	83	28.01	1009
エリア28	34.11	52	54.47	54	18.51	177
エリア29	77.40	90	56.46	76	38.36	396
エリア30	21.32	194	42.11	39	12.69	61
エリア31	36.37	122	24.44	80	31.33	167
エリア32	9.16	966	11.98	1800	23.39	195
エリア34	39.37	57	8.78	167	59.88	53
エリア35	12.87	791	5.57	948	19.07	146
エリア36	26.99	144	71.03	127	24.67	1299
エリア37	44.98	33	76.22	32	21.00	891
エリア38	15.21	240	37.41	81	13.51	832
エリア39	17.34	4	30.99	3	37.26	44
エリア40	61.68	10	25.70	8	60.11	18
エリア41	27.78	37	21.02	4	14.86	55
エリア42	49.13	31	20.38	3	44.73	76
エリア43	17.79	177	61.03	179	33.29	9
エリア45	23.38	175	15.62	358	52.04	174
エリア46	21.97	624	12.77	1915	24.17	87
エリア47	31.70	58	58.24	80	30.95	309
エリア48	49.47	4	0.00	1	39.70	24
エリア49	25.46	307	23.53	34	38.71	104
エリア50	18.35	132	40.66	78	58.84	31
閾値	27.39	106	28.34	79	31.14	125

表 5-5 のフレ幅と移動頻度の大小の閾値を、作業員ごとのフレ幅と移動頻度の中央値として、各作業員の作業エリアを 4 つの作業パターンに分類した結果を表 5-6 に示す。

作業パターン 1 (高頻度で間隔固定の作業エリア)

作業員 a では、10 エリアが作業パターン 1 として抽出された。これらのエリアで行われている作業はフレ幅が小さく周期性があり、特にエリア 32 と 35 のフレ幅が小さく周期性が強いと考えられる。その理由を調べたところ、以下のことがわかった。エリア 32 は製品排出部の設備の操作側であり、作業員 a は生産中に製品完成の確認のために高い頻度で訪れるエリアである。エリア 35 は運転盤であり、作業員 a の主な作業である設備操作や作業記録はこの場所で行われる。作業内容を集計した表 5-4 から、作業員 a の主な作業である品質確認、パソコンの入力作業、帳票記入の作業比率が高いことが読み取れる。

表 5-6 事例 2 における作業パターンの分類

(a) 作業者 a

	移動頻度:多	移動頻度:少
移動間隔:固定	作業パターン1 高頻度・間隔固定の作業エリア エリア30 エリア32 エリア35 エリア36 エリア38 エリア43 エリア45 エリア46 エリア49 エリア50	作業パターン2 低頻度・間隔固定の作業エリア エリア39
移動間隔:変動	作業パターン3 高頻度・間隔変動の作業エリア エリア31	作業パターン4 低頻度・間隔変動の作業エリア エリア27 エリア28 エリア29 エリア34 エリア37 エリア40 エリア41 エリア42 エリア47 エリア48

(b) 作業者 b

	移動頻度:多	移動頻度:少
移動間隔:固定	作業パターン1 高頻度・間隔固定の作業エリア エリア31 エリア32 エリア34 エリア35 エリア45 エリア46	作業パターン2 低頻度・間隔固定の作業エリア エリア40 エリア41 エリア42 エリア48 エリア49
移動間隔:変動	作業パターン3 高頻度・間隔変動の作業エリア エリア27 エリア36 エリア38 エリア43 エリア47	作業パターン4 低頻度・間隔変動の作業エリア エリア28 エリア29 エリア30 エリア37 エリア39 エリア50

(c) 作業者 c

	移動頻度:多	移動頻度:少
移動間隔:固定	作業パターン1 高頻度・間隔固定の作業エリア エリア27 エリア28 エリア32 エリア35 エリア36 エリア37 エリア38 エリア47	作業パターン2 低頻度・間隔固定の作業エリア エリア30 エリア41 エリア46
移動間隔:変動	作業パターン3 高頻度・間隔変動の作業エリア エリア29 エリア31 エリア45	作業パターン4 低頻度・間隔変動の作業エリア エリア34 エリア39 エリア40 エリア42 エリア43 エリア48 エリア49 エリア50

ビデオ分析から、作業者 a は材料投入と準備（エリア 36/38）や製品排出（エリア 45/46）を全体的に監視して、必要に応じてサポートしていることが分かった。材料投入や製品排出はロール単位の運転サイクルによって一定間隔で行うため、フレ幅が小さくなるために、作業パターン 1 として抽出されている。

作業者 b の主な作業は製品排出と入力作業・帳票記入であり、それらの作業をサポートしている作業者 a と同様に、エリア 32/35/45/46 が作業パターン 1 として抽出された。さらに、製品を運搬する経路にあたるエリア 34 も抽出されており、作業者 b の作業パターン 1 が抽出できている。

作業者 c の主な作業は材料準備と設備への材料投入であり、材料投入部であるエリア 27/36/37/38 が作業パターン 1 として抽出された。また、材料を運搬する経路にあたるエリア 28 も作業パターン 1 として抽出されており、作業者 b と同様に、作業者 c の作業パターンが抽出できている。

作業パターン 2 (低頻度で間隔固定の作業エリア)

移動回数が 4 回と極端に少ない作業者 a のエリア 39 とエリア 48 の 2 つについては、エリア 39 はフレ幅が小さく作業パターン 2 として抽出され、エリア 48 はフレ幅が大きく作業パターン 4 として抽出された。エリア 39 はこの設備で自動供給される印刷材料をタンクに補充するエリアであり、作業頻度は少ないが材料の消費に合わせて定期的な補充を行うので、移動回数が少なくフレ幅が小さい作業パターン 2 になったと考えられる。エリア 48 は設備の機構側にあたり、通常この部分に立ち入ることは稀であり、チョコ停時に確認に行く場所であることから、チョコ停の発生間隔が異なり、フレ幅が大きい作業パターン 4 になったと考えられる。

作業者 b では、エリア 41/42/49 の加工部が、作業者 c では、エリア 30/41 の加工部が作業パターン 2 として抽出された。2.5 時間のビデオ分析では確認できなかったが、この 2 名は継続的に品質確認を行っていることから、それら品質確認の作業が、フレ幅が小さく移動回数が少ない作業パターン 2 として抽出されたと考えられる。

作業者 c では、製品排出部にあたるエリア 46 が作業パターン 2 として抽出された。ビデオ分析では作業者 c は製品の排出作業をほとんど行っていないことから、製品の排出作業を担当する作業者 b が何らかの理由で作業を行えず、作業者 c が代行したものと推測される。フレ幅が小さくことから、その作業代行はほぼ定期的に行われていると考えられるため、詳細を調査して、代行の原因解明や作業分担の検討を行えば、改善できると考える。

作業パターン 3 (高頻度で間隔変動の作業エリア)

作業者 a では、エリア 31 が作業パターン 3 として抽出された。しかし、このエリア 31 は設備の加工部の操作側であり、そこでの作業者 a の作業はないものと思われ

る。移動回数が多かった原因を調べたところ、近くに運転盤（エリア 35）があり、運転盤への移動の際にエリア 31 を通過したため、それが移動としてカウントされたためとわかった。発信機の設置場所は、他のエリアへの移動時にカウントされない場所にすべきであるが、本事例のように、設備のレイアウト上でやむをえない場合もある。発信機の設置場所・方法については、さらなる検討が必要であり、今後の検討課題の一つと考えている。

作業員 a は設備全般を監視している。この設備は、材料が連続で投入され、製品も連続で排出される機構を有しており、加工部でチョコ停を発生させる要因が少ない設備である。そのために、作業員 a が設備全体で監視すべきチョコ停が少なかったため、頻発するチョコ停に対応する作業パターン 3 が抽出されなかったと考えられる。

作業員 b では、材料投入部であるエリア 36 が作業パターン 3 として抽出された。ビデオ分析から、このエリアでの材料投入作業のほとんどは作業員 c が行っており、時々作業員 a がサポートすることがわかったが、作業員 c のサポートはなかった。長時間の動線データと作業パターンの分析によって、作業員 b がこのエリアで稀に行うサポート作業が抽出できたことになり、他の作業員が作業を行えなかった要因を分析すれば、改善できると考える。加工部にあたるエリア 43 が作業パターン 3 として抽出されており、これは作業員 b がこのエリアで行っている運転中の品質確認にあたる。作業パターン 3 はフレ幅が大きく不定期であることから、品質確認のタイミングはルール化されていないことが分かる。

この他に、作業員 b で作業パターン 3 に分類されたエリア 27/38/47 について、ビデオ分析と併せて考察したが、作業パターンを十分に説明できなかった。これらエリアの移動回数は閾値と近い値となっており、作業パターン 3 と 4 の分類の間になるために解釈が難しかったと考えられる。前述したように、閾値の検討は今後の課題と考えている。

作業員 c では、設備の区画外にあたるエリア 29 が作業パターン 3 として抽出された。作業員 c は材料を置き場から運搬し、設備に取り付けることが主な作業である。設備への取り付けは作業パターン 1 に分類されたことから定期的に作業を行っているが、材料を置き場から運搬するタイミングは空いた時間等などを利用して不定期に行っていることになる。材料の運搬から投入までを一連の流れとして作業する方が効率的と考えられることから、なぜ作業員 c が準備と投入を異なるタイミングで行ってい

るかについて、分析と改善が必要である。

作業パターン4（低頻度で間隔変動の作業エリア）

作業パターン4については、3名の作業者ともに多くの作業エリアが抽出された。作業パターン4は不定期で低頻度の作業エリアで、突発的で稀に発生した作業を示すと考えられる。例えば、作業者aでは、エリア29やエリア40が作業パターン4に分類されており、エリア29はこの設備の区画外にあたり、作業者が材料や部材を置き場から機械脇に運搬している。エリア40も区画外への扉にあたり、作業者が何らかの理由で設備から離れたことを示している。各作業者で作業パターン4に分類された作業エリアにおいて、どのような作業を行っているかを調査・分析して、それらを改善することが必要である。

6 改善ポイントの抽出

6-1 移動パターンと作業パターンの合成

第4章の移動パターンの分析では、移動ルートの出現頻度から規則的/不規則の移動ルートを分類し、規則的な移動ルートに含まれる作業エリアの回数から規則性比率を算出した。そして、規則性比率と作業エリアへの移動頻度により、作業エリアを表4-1に示す「高頻度・規則性有」「低頻度・規則性有」「高頻度・規則性無」「低頻度・規則性無」の4通りの移動パターンに分類した。

第5章の作業パターンの分析では、作業者の各作業エリアへの移動の頻度と間隔を移動累積グラフで表し、グラフの傾きのバラツキから、移動間隔を示すフレ幅を算出した。そして、作業エリアへの移動頻度と移動間隔により、作業エリアを表5-1に示す「高頻度・間隔固定」「低頻度・間隔固定」「高頻度・間隔変動」「低頻度・間隔変動」の4通りの作業パターンに分類した。

このように、移動パターンと作業パターンは、それぞれ分類方法が異なるが、移動に規則性が有る、移動間隔が固定的であるということは作業手順が一定であるということを示しており、これらの作業には定期性があるといえる。また、移動頻度が多いということは、作業が繰り返し行われていることを示しており、これらの作業には定常性があるといえる。そこで、2つのパターンを合成し、作業の定期性と定常性を評価した。合成後のパターン分類を表6-1に示す。

表 6-1 移動パターンと作業パターンの合成

	定常	非定常
定期	<p>パターン1 定期・定常の作業エリア</p>	<p>パターン2 定期・非定常の作業エリア</p>
不定期	<p>パターン3 不定期・定常の作業エリア</p>	<p>パターン4 不定期・非定常の作業エリア</p>

移動パターンによる作業エリアの分類結果と作業パターンによる作業エリアの分類結果が全く同一であれば、表6-1に示すような2×2の分類となるが、実際には表6-1に示した6本の矢印のように、2つのパターン分類で定期性と定常性の分類が異なる作業エリアが発生する。そこで、定期性と定常性の分類にそれぞれ中間部分を設

表 6-2 移動パターンと作業パターンの合成（中間部分を考慮）

	定常	中間	非定常
定期	パターン1 定期・定常の作業エリア	定期・セミ定常	パターン2 定期・非定常の作業エリア
中間	セミ定期・定常	セミ定期・セミ定常	セミ不定期・非定常
不定期	パターン3 不定期・定常の作業エリア	不定期・セミ非定常	パターン4 不定期・非定常の作業エリア

け、その領域をセミ定期およびセミ定常と定義した。表 6-2 に中間部分を設けた合成後のパターン分類を示す。

表 6-2 のパターン分類から、以下に示す観点で作業エリアを抽出できれば、本論文の目的である、網羅的な分析により改善点を抽出することができていると考えられる。

- ・ 動線図では動線の本数が多く、定期・定常の作業を行っているエリアを、定期・定常の作業エリアとして抽出できる
- ・ 不定期または非定常の作業エリアに対して、動線図では動線の本数が多く、定期・定常の作業を行っているエリアと判断を誤ってしまう可能性がある場合に、そのエリアを定期・定常ではない作業エリアとして抽出できる
- ・ 動線図では動線の本数が少なく、不定期・非定常の作業を行っているエリアを、不定期・非定常の作業エリアとして抽出できる
- ・ 定期あるいは定常の作業エリアに対して、動線図では動線の本数が少なく、不定期・非定常の作業を行っているエリアと判断を誤ってしまう可能性がある場合に、そのエリアを不定期・非定常ではない作業エリアとして抽出できる

これらの観点で作業エリアを抽出できているかどうかを、第 4 章と第 5 章で用いた分析事例を用いて検証した。

6-2 移動パターンと作業パターンの合成の事例を用いた検証

6-2-1 事例 1 における移動パターンと作業パターンの合成

事例 1 の移動パターンを示した表 4-4 と、作業パターンを示した表 5-3 を合成したパターン分類を表 6-3 に示す。事例 1 では定期・定常の作業エリアとしてエリア 5 が抽出された。4-3-1 で述べたように、分析対象の作業者はエリア 5 において機械 1 か

表 6-3 事例 1 における移動パターンと作業パターンの合成

	定常	中間	非定常
定期	パターン1 定期・定常の作業エリア エリア5	定期・セミ定常 エリア10 エリア12 エリア14 エリア17	パターン2 定期・非定常の作業エリア エリア19
中間	セミ定期・定常 エリア4 エリア7	セミ定期・セミ定常	セミ不定期・非定常 エリア13 エリア15
不定期	パターン3 不定期・定常の作業エリア エリア3	不定期・セミ非定常 エリア1 エリア6 エリア9 エリア11	パターン4 不定期・非定常の作業エリア エリア2

らの製品の取出を行っており、この作業は作業者の担当する主作業にあたる。製品の取出は機械 1 の運転サイクルによって作業間隔がほぼ一定となり定期性がある。以上より、定期・定常の製品取出作業を行うエリア 5 を、パターン抽出においても定期・定常の作業エリアとして抽出することができたといえる。

一方、作業者の主な作業である機械 1、2 への材料投入を行う作業エリア 4/7 はセミ定期・定常エリアとして抽出された。材料投入は繰返し行う作業であり定常性は高い。しかし、作業間隔については、前の材料がなくなるまでの間に次の材料投入作業を終えていれば良く、作業を行うタイミングは運転サイクルによってばらついていることがわかった。そのため、パターン分類ではセミ定期の作業として抽出されており、作業手順が標準化されていないという問題点が抽出できた。

また、定期・セミ定常エリアとしてエリア 10 が抽出された。事例 1 の動線図である図 4-6 を見ると、エリア 10 の動線は少なく、動線図だけを見ると不定期あるいは非定常の作業エリアと判断する可能性が高い。エリア 10 には作業ロット完了時に帳票を出力するプリンタが設置されており、ロット完了時には定期的に帳票の出力を行っていた。そのため、このエリア 10 の作業は、作業頻度は少ないが定期性のあるパターン 2 に近い作業であり、パターン分類によって定期・セミ定常として抽出することができた。このことから、このパターン分類では、動線図からだけでは判断が難しいエリアの分類が可能となったといえる。

事例 1 の不定期・非定常の作業エリアとしてエリア 2 が抽出された。エリア 2 は機械 3 の製品取出作業を行う場所であり、この作業は他の作業者が行っている。そのた

め、分析対象の作業者がエリア 2 で作業を行うことは稀であり、そのような作業エリアを不定期・非定常のエリアとして抽出することができた。

また、エリア 13 とエリア 15 がセミ不定期・非定常のエリアとして抽出された。図 4-6 の動線図においてもこの 2 つの作業エリアへの移動回数は少なく、このエリアでの作業は作業者の主な作業ではないことから、非定常で突発的な作業のために移動したものと考えられる。動線図上で動線の少ない作業エリアを、前述のエリア 10 のように周期性・定常性のあるエリアと分類する場合と、エリア 13/15 のように周期性・定常性のないエリアに分類する場合が確認でき、パターン分類の有効性を示すことができたと考える。

さらに、不定期・セミ非定常のエリアとしてエリア 6 が抽出された。このエリア 6 は動線図上では動線が多く、動線図だけを見ると周期性・定常性のある作業エリアと判断する可能性が高い。エリア 6 での作業は作業者の主な作業ではなく、ここでの作業は突発的に発生する。このケースにおいても、パターン分類によって動線図からだけでは判断が難しいエリアの分類が可能となったといえる。

6-2-2 事例 2 における移動パターンと作業パターンの合成

事例 2 の作業者 a について、移動パターンを示した表 4-7 と、作業パターンを示した表 5-6 (a) を合成したパターン分類を表 6-4 に示す。事例 2 では定期・定常の作業エリアとしてエリア 32 と 46 が抽出された。4-3-1 で述べたように、作業者 a はエリ

表 6-4 事例 2 における移動パターンと作業パターンの合成

	定常	中間	非定常
定期	パターン1 定期・定常の作業エリア <u>エリア32</u> <u>エリア46</u>	定期・セミ定常 エリア30 エリア35 エリア45 エリア49 エリア50	パターン2 定期・非定常の作業エリア
中間	セミ定期・定常 エリア36 エリア38 エリア43	セミ定期・セミ定常	セミ不定期・非定常 エリア29 エリア39 エリア40
不定期	パターン3 不定期・定常の作業エリア	不定期・セミ非定常 エリア27 エリア28 エリア31 エリア34 エリア37 エリア47 エリア48	パターン4 不定期・非定常の作業エリア <u>エリア41</u> <u>エリア42</u>

ア 32/46 において完成品の品質検査を行っており、これは作業者 a の担当する主な作業にあたる。この設備は運転スピードがほぼ一定であり、完成品の排出間隔も一定となる。完成品の排出直後に品質の確認を行うため、定期・定常の作業エリアとして抽出されたと考えられる。作業者 a の主作業である設備操作や作業記録はエリア 35 で行われており、エリア 35 は定期・セミ定常の作業エリアとして抽出された。エリア 35 は図 4-7 の動線図を見ると動線本数が多く、定期性・定常性が高い作業エリアと分類する可能性が高い。しかし、設備操作と作業記録は定常的な作業として行われる場合と、突発的なイレギュラーが発生した時に非定常な作業として行われる場合があるため、セミ定常として分類されたと考えられる。このため、改善によりイレギュラーの発生頻度が減少すると、エリア 35 は定期・定常のエリアに変わると予測することができる。

この他に、エリア 36/38/43 がセミ定期・定常エリアとして、エリア 30/49/50 が定期・セミ定常エリアとして抽出された。これらのエリアは設備の操作側にあたり、作業者 a は設備全般の監視を行っていることから、定期性・定常性の高い作業エリアとして抽出できたと考えられる。

一方、不定期・非定常の作業エリアとしてエリア 41/42 が抽出された。この 2 つの作業エリアは設備の加工部にあたり、ここでは主に作業者 b が品質の確認作業を行っている。作業者 a がこの場所で品質確認をすることは稀であり、そのような作業エリアを不定期・非定常の作業として抽出することができた。

また、エリア 39 は、図 4-7 の動線図では動線本数が非常に少なく、不定期・非定常の作業エリアと分類する可能性が高いと考えられるが、パターン分類の結果ではセミ不定期と分類された。5-3-2 で述べたように、エリア 39 はこの設備で自動供給される印刷材料をタンクに補充するエリアであり、作業頻度は少ないが材料の消費に合わせて補充を行う。材料のなくなる時間間隔はあまりばらつかないため、セミ不定期と分類されたと考えられ、動線図からでは判断が難しい分類が可能となっているといえる。

6-3 移動累積グラフの合成

6-3-1 作業者間の移動累積グラフの合成

図 5-5 を見ると、材料投入や製品排出はロール交換タイミングの前後で発生してい

るが、すべてのロールを1名の作業者が処理しているわけではない。材料投入は作業
者cが、製品排出は作業者bが主として行っているが、ロール②や⑥の作業は作業
者aが行っていることが図5-5から読み取れる。役割分担が明確に決まっておらず、互
いに補助し合っている状況を移動累積グラフで定量化するために、各エリアにおける
3名の移動累積グラフを合成したものを作成して、3名それぞれのフレ幅と、合成し
た移動累積グラフのフレ幅とを比較した。材料投入部（エリア27/36）と、製品排出
部（エリア32/46）の比較結果を表6-5に示す。

表 6-5 移動累積グラフのフレ幅の比較

		フレ幅			
		作業者a	作業者b	作業者c	3人合成
材料投入	エリア27	36.58	87.32	28.01	28.95
	エリア36	26.99	71.03	24.67	24.17
製品排出	エリア32	9.16	11.98	23.39	8.38
	エリア46	21.97	12.77	24.17	8.49

表6-5の製品排出部のエリア32/46において、3名それぞれのフレ幅に対して、合
成した移動累積グラフのフレ幅が小さくなっていることが分かり、これは3名の作業
者が互いに仕事を補助し合っていることを意味している。ビデオでも作業者aが製品
排出作業を行っている場面があり、移動累積グラフの分析から、互いに補助し合っ
ている役割分担が抽出できたと考える。一方、材料投入部のエリア27/36では、作業
者cの単独のフレ幅と3名合成のフレ幅がほぼ等しいことから、このエリアでの作業は
作業者cが行っており、役割分担が明確になっていると考えられる。

このように、移動累積グラフを合成し、合成後のフレ幅と、合成前の各作業者のフ
レ幅を比較することによって、作業の役割分担の度合いを定量化できる可能性を見出
した。もちろん、実際の役割分担の不明確さについては、ビデオ映像による詳細分析
や作業者へのヒアリングなどの調査によって裏づけをとる必要がある。

6-3-2 作業エリア間の移動累積グラフの合成

6-3-1で述べた移動累積グラフの合成を用いて、作業エリアの近接性についても評
価することが可能であると考え、事例2のデータを用いて検証した。設備の効率化の
一つの要素であるレイアウトの設計や改善にはS.L.P.法（Systematic Layout Planning）

が用いられることが多い。この手法では、レイアウトの設計や改善において重要な条件と考えられる設備の近接性について、分析者の主観に基づいた6段階の評価を用いるが〔63〕、定量的な評価とは言い難い。

生産に設備を用いる製造現場では、作業者は複数の作業エリアで作業を行うことが一般的である。その際の作業者の移動を以下の2通りのパターンに分類した。

ケース①： 作業者が標準となる作業手順に従って、複数の作業エリアを移動して作業を行っている状態。この場合は、作業を行う複数の作業エリアへの移動間隔には定期性が伴うと考えられる。

ケース②： 複数の作業エリアでの作業に関係性がない状態。この場合は、それらの作業エリアへの移動間隔は一定でないと考えられる。

そこで、異なる2か所の作業エリアの移動累積グラフを合成し、合成後のグラフのフレ幅を合成前の2か所のグラフのフレ幅と比較することで、2か所の作業エリアの関係性を以下の手順で評価することとした。

手順①： 2か所の作業エリアAとBについて、移動データよりそれぞれの移動累積グラフを作成し、フレ幅Aとフレ幅Bを算出する。その際に、合計の移動回数の差を考慮し、Y軸の移動回数の累積値の最大が100となるよう移動回数を変換する。

手順②： 作業エリアAとBの移動データを移動時間順に合成して移動累積グラフを作成し、フレ幅ABを算出する。ここでも上記と同様に変換する。

手順③： 測定した作業エリアのすべての2か所の組合せについて上記手順を繰り返す。

それぞれの作業エリアのフレ幅Aとフレ幅Bよりも、合成後のフレ幅ABの値が小さい場合には、2つのエリアの作業を合わせたことで移動間隔のバラツキが小さくなったことを示しており、この2か所の作業エリアは関係性が強いケース①の組合せと考えられる。この組合せの作業エリアを近接化させることができれば、移動時間の削減効果が大きく、作業能率の向上が見込まれる。一方、フレ幅Aとフレ幅Bよりも、合成後のフレ幅ABの値が大きい場合には、移動間隔のバラツキが大きくなったことを示しており、この2か所の作業エリアには関係性がないというケース②に該当する。

事例2で得られた22か所の作業エリアの移動データから、2か所の作業エリアの全組合せについて合成前と合成後のフレ幅を比較した結果を表6-6に示す。全部で462か所ある作業エリアの組合せのうち、282の組合せで、合成後のフレ幅が合成前の個々

表 6-6 事例 2 における全エリアの合成前後のフレ幅の比較

エリア	組合せの効果が 見られない	振れ幅が 小さくなる 組合せ	総組合せ数	エリアの 移動回数
エリア27	8	13	21	42
エリア28	3	18	21	52
エリア29	18	3	21	90
エリア30	6	15	21	194
エリア31	7	14	21	122
エリア32	13	8	21	966
エリア34	6	15	21	57
エリア35	5	16	21	791
エリア36	8	13	21	144
エリア37	9	12	21	33
エリア38	6	15	21	240
エリア39	18	3	21	4
エリア40	9	12	21	10
エリア41	5	16	21	37
エリア42	6	15	21	31
エリア43	8	13	21	177
エリア45	5	16	21	175
エリア46	9	12	21	624
エリア47	5	16	21	58
エリア48	10	11	21	4
エリア49	6	15	21	307
エリア50	10	11	21	132
総計	180	282	462	4290

のフレ幅よりも小さくなった。特に、作業エリア 28/35/41/45/47 の 5 か所は、合成後にフレ幅が小さくなる作業エリアが 16 か所以上あり、他の多くの作業エリアと関係性が強いことから、作業エリアの場所が、設備の運転時の作業効率に大きな影響を与えるといえる。このように、移動累積グラフを合成し、合成後のフレ幅と、合成前の各作業エリアのフレ幅を比較することによって、レイアウト改善における設備の近接性を表す指標を定量化できる可能性を見出した。

6-4 分析手法の評価

6-4-1 パターン分類の評価

表 6-2 に示すように、移動パターンと作業パターンを合成することによって、作業エリアを 9 つに分類することができた。この中でパターン 1 として分類される定期・定常の作業エリアで行われる作業は、2-1-3 で述べたこれまでの IE が得意としてきた改善範囲に含まれる作業である。一方、それ以外の 8 つのパターンに分類される作業エリアには、生産に必要な作業と改善すべき作業の両方が含まれていると考えられる。これらは不定期あるいは非定常の作業を行っている可能性のある改善候補となる作

業エリアであり、従来の IE 分析では見つけだすことが難しかった範囲である。8つのパターンのうち、定期性と定常性がどちらも中間エリアとなるセミ定期・セミ定常のパターンは2つの事例から抽出されなかったため、表6-7に示した7つのパターンが、本論文により抽出された改善候補となる作業エリアといえる。はじめにパターン分類を行いこれらの作業エリアを抽出して、その作業エリアで行われている作業を従来の IE 分析により詳細に分析し、改善点を見つけ出すことによって、不定期または非定常の作業を改善することができる。

このように、動線分析機器を用いた網羅的なマクロ分析により不定期または非定常な作業を行っている作業エリアを短時間で抽出し、詳細なマイクロ分析により改善するという進め方を誰でも実施することが可能になったことが本論文の成果であるといえる。本論文のアプローチと従来の IE 分析を比較するために、事例1を例にして、パターン分類によって抽出された各パターンの改善ポイントと、その改善ポイントを従来の IE 分析のみで抽出しようとした場合の観測時間、分析時間、分析内容を表6-8に示す。

表 6-7 改善候補となる作業エリアの抽出

	定常	中間	非定常
定期	パターン1 定期・定常の作業エリア	② 定期・セミ定常	④ パターン2 定期・非定常の作業エリア
中間	① セミ定期・定常	セミ定期・セミ定常	⑥ セミ不定期・非定常
不定期	③ パターン3 不定期・定常の作業エリア	⑤ 不定期・セミ非定常	⑦ パターン4 不定期・非定常の作業エリア

表 6-8 事例1における抽出された改善ポイントと従来の IE 分析との比較

	抽出された改善ポイント	従来のIE分析で抽出する方法		
		観測時間	分析時間	分析内容
①	機械1、2の材料投入部(エリア4、7)を作業者の主作業であるがセミ定期作業と分類	数時間	1~2日	作業時間間隔のバラツキ
②	プリンタ(エリア10)を移動回数は少ないがセミ定常作業と分類	1日	3~4日	付随作業の回数と作業時間間隔のバラツキ
③	機械3の材料投入部(エリア3)は他の作業者の主作業であるがエリア4、7から近いため作業フォロー回数が多く定常と分類	数時間	1~2日	作業時間間隔のバラツキ
④	作業職場外への扉(エリア19)は主に休憩時に通過するため回数は少ないが定期的に発生	1日	3~4日	付随作業の回数と作業時間間隔のバラツキ
⑤	機械2の製品取出し部(エリア6)を移動回数は多いが不定期・セミ非定常作業と分類	1日	3~4日	非定常作業の回数と作業時間間隔のバラツキ
⑥	作業台(エリア15)や機械5の製品取出し部(エリア13)などの移動回数が少ない作業エリアを非定常と分類	1日	3~4日	非定常作業の回数と作業時間間隔のバラツキ
⑦	機械3の製品取出し部(エリア2)などの他の作業者の主作業を不定期・非定常と分類	1日	3~4日	非定常作業の回数と作業時間間隔のバラツキ

表 6-8 より、パターン分類により抽出された改善ポイントを、従来の IE 分析によって抽出しようとする、観測時間については数時間から 1 日が必要であり、分析時間については数日が必要であることがわかる。従来の IE 分析ではこれらの観測、分析は手動で行う必要があり、その負荷は非常に高い。本論文の動線分析機器と移動パターン、作業パターンの分析手法を用いることによって、観測、分析の負荷なく不定期または非定常の作業を含む作業エリアを抽出することが可能となった。

6-4-2 本研究の分析手法の評価

2-2 で述べたように、動線を用いた人の動きの測定や分析に関する研究は、製造現場だけでなく、医療分野、建築分野、サービス分野においても行われている。表 6-9 に、本研究と主な関連研究の比較を示す。

表 6-9 本研究と主な関連研究の比較

	自動化レベル	分析コスト	アウトプット
本研究	ICタグ(自動) (複数人・長時間測定可能) ○	分析機器 :安価(約300万円) 測定人員 :少ない ○	移動パターン、作業パターン(自動)による、製造現場の作業の定期性と定常性の評価 →作業の評価
医療・介護	主に追跡調査や歩数計(手動) アンケート調査(手動) ×	分析機器 :安価 測定人員 :多い(追跡対象人数分)△	動線図、滞在時間、訪問頻度(追跡調査から手動算出)と行動分析(追跡調査)によるスタッフの行動パターンの評価 →レイアウトの評価
建築	主に追跡調査(手動) ×	分析機器 :安価 測定人員 :多い(追跡対象人数分)△	動線図、滞在時間、訪問頻度(追跡調査から手動算出)と行動分析(追跡調査)による利用者の行動パターンの評価 →レイアウトの評価
サービス	ICタグ(自動) 追跡調査(手動) POSデータ(自動) △	分析機器 :高価(固定設置型) 測定人員 :少ない △	動線図、滞在時間、訪問頻度(自動)と行動分析(追跡調査、POSデータ連携)による店舗顧客の行動パターンの評価 →レイアウトの評価

観測の自動化レベルについては、本研究では動線分析機器を用いて自動でデータ取得が可能であるが、その他の分野では追跡調査やアンケート調査などの手動的な観測が多い。分析にかかるコストについては、本研究の動線分析機器は安価で測定人数も少なく済むが、追跡調査の場合は機器のコストはかからないが分析対象の人数分測

定の人員も必要となるという課題がある。また、サービス業では建物に固定的に設置した測定機器や、POS データ等の購買データを用いて行動分析を行う例が報告されているが、機器やシステムにコストがかかるという課題がある。分析のアウトプットについては、その他分野では分析対象者の行動パターンからレイアウトの評価を行うという研究が多い。一方、本研究では作業の定期性と定常性を評価することで、レイアウトではなく作業内容を評価している。

以上の点が医療分野、建築分野、サービス分野の関連研究と比較した本研究の特徴であると考えられる。

7 結論

日本の製造業では、マネジメントの示す目標の達成を目指して、“網羅的”な改善を実施することが求められている。日本の製造業は、全員参加による現場のミクロな改善の積み上げによるコストダウンを得意としてきた。トップダウンの問題解決は、網羅的でマクロな改善であり、コンサルタントなどの改善のプロフェッショナルが取り組んでいた。このマクロな改善の手法を一般化し、誰でも問題点を抽出できることが求められており、その最終的な狙いの第一歩として、“網羅的な作業分析を行う手法”を提案することが本論文の狙いである。

本論文の目的の一つである、長時間・複数名で行われる作業を対象として、作業するエリア間を作業者が移動するデータを簡便に収集できる機器を開発することに関しては、既存の作業分析手法の欠点を補うべく、改善の対象範囲と観測時間を広げ、網羅的な観測・分析を行うことを志向した。具体的には、動線分析に着目して、データの取得および分析を自動化することによって、対象範囲と観測時間を広げた分析を試みた。

長時間の作業を短時間で分析して、作業の問題点を見出すことを目指して、簡易的な道具である動線分析機器を開発した。動線分析機器開発では以下の結果を得ることができた。

- ・ 開発の要件としてあげた、「機器が小型で作業に支障をきたさないこと」、「設置が容易であること」、「長時間の測定・分析が可能であること」を満たし、かつ安価な機器を開発できた
- ・ 製造現場における作業者の移動データを取得して、それらを動線データとして、ほぼ自動的に分析することが可能となった

本論文の目的のもう一つである、収集された移動データを処理した頻度と時間間隔データから、作業エリアでの移動パターンと作業パターンを短時間で効率的に分析して、定常的な主体作業および非定常で突発的な付帯・付随作業の問題点を分析する手法を提案することに関しては、得られた動線データの分析方法として、作業者の移動頻度と規則性に着目した移動パターンの分析と作業エリアの移動頻度と移動間隔に着目した作業パターンの分析の2通りの分析手法を提案し、それらについて事例を用いて検証した。

①作業者の移動頻度に着目した移動パターン

移動パターン分析では、作業者がある作業エリアから別の作業エリアに移動するという、2つの作業エリア間の移動ルートに着目して、移動ルートの組み合わせから作業者の移動・作業全体を分析した。繰返し出現する移動ルートを規則的ルートとして、作業の規則性を分類し、移動頻度と規則性評価することを目指す分析・検証を行って、以下の結果が得られた。

- ・ 作業者の移動データをもとに3つの基本移動ルートを定義し、その移動ルートの出現頻度から規則的/不規則の移動ルートを抽出した
- ・ 規則的/不規則の移動ルートに含まれる作業エリアをカウントし、作業エリアを規則エリアと不規則エリアに分類した
- ・ 作業エリアを規則的/不規則と移動頻度の多い/少ないという観点で4つの移動パターンに分類した
- ・ 実作業での作業者の移動データを基本データとして検証したところ、得られたデータより、移動ルートを抽出し、出現頻度により移動パターンを分類することで、作業エリアを「高頻度・規則性有」「低頻度・規則性有」「高頻度・規則性無」「低頻度・規則性無」の4通りに分類することができた
- ・ 移動パターンの分析を活用することで、低頻度、不規則の作業が発生するエリアを特定することが可能となり、低頻度、不規則の作業を削減する改善活動に活用できることが確認できた

②作業エリアの訪問頻度に着目した作業パターン

作業パターン分析では、長時間・複数名で行われる作業に着目して、作業するエリアに作業者が移動する頻度と時間間隔データから、作業エリアでの作業パターンを分析した。高頻度・移動間隔固定的な主体作業に加えて、低頻度・移動間隔変動的な付帯・付随作業とその問題点を短時間で効率的に抽出する手法を提案することを目指す分析・検証を行って、以下の結果が得られた。

- ・ 作業者の移動データによって各作業エリアへの移動を移動累積グラフに描いて、累積線の移動回数とフレ幅を組み合わせた評価に基づいて、作業エリアを4つの作業パターンに分類した
- ・ 実作業での作業者の移動データを基本データとして、ビデオ分析と実績データを補完的に用いることで、4つの作業パターンの分類を検証したところ、4つの作業

パターンの抽出結果が妥当であることと、短時間のビデオ分析では難しかった、非定常で突発的な作業エリアの抽出・評価を行えることが確認できた

- ・ 作業パターンを短時間で効率的に分析・抽出することに関しては、本事例では 30 分程度で行うことが可能であった。今後の作業パターンの分析と問題点の発見では、補完データと分析は必要なく、30 分程度の分析であれば、国内外の多くの分析に対応できる
- ・ 移動累積グラフを合成し、合成前後のグラフのフレ幅を比較することによって、作業の役割分担の度合いや設備の近接性を定量化できる可能性を見出した

③移動パターンと作業パターンの合成による作業エリアの分類

移動パターンと作業パターンは、それぞれの分類方法は異なるが、移動に規則性が有る、移動間隔が固定的であるということは定期性があることを示し、移動頻度が多いということは定常性があることを示している。このことより、2つのパターンを合成し、作業エリアを「定期・定常」「定期・非定常」「不定期・定常」「不定期・非定常」の4通りに分類することができ、作業の定期性と定常性を評価して、以下の結果が得られた。

- ・ 動線図では動線の本数が多く、定期・定常の作業を行っているエリアを、定期・定常の作業エリアとして抽出できた
- ・ 不定期あるいは非定常の作業エリアに対して、動線図では動線の本数が多く、定期・定常の作業を行っているエリアと判断を誤ってしまう可能性がある場合に、そのエリアを定期・定常ではない作業エリアとして抽出できた
- ・ 動線図では動線の本数が少なく、不定期・非定常の作業を行っているエリアを、不定期・非定常の作業エリアとして抽出できた
- ・ 定期あるいは定常の作業エリアに対して、動線図では動線の本数が少なく、不定期・非定常の作業を行っているエリアと判断を誤ってしまう可能性がある場合に、そのエリアを不定期・非定常ではない作業エリアとして抽出できた

本論文で提案した“移動パターン”と“作業パターン”という分析手法を活用することで、コンサルタントなど改善のプロフェッショナルが行っているトップダウンの問題解決であるマクロ分析による問題解決手法の一つを「動線分析機器を用いたパターン分類」として一般化し、改善のプロフェッショナルでない人でも改善の可能性のある作業エリアを抽出できるようにした。パターン分類によって、定常的な主体作業に加

えて、非定常で突発的な付帯・付随作業が行われている作業エリアを網羅的に、かつ容易に抽出することが可能となり、それらの作業エリアをマイクロな視点である従来のIE分析によって改善するという活動に繋げていけると考える。

本論文の狙いは動線分析機器を開発した上で、動線データを分析・解析するための一つのアプローチを検討・提案することであり、分析で用いた事例は2件であった。“得られた動線データの評価方法”などの課題が残されたので、事例を追加して、提案するアプローチの具体的な分析・検討を今後進めていきたいと考えている。

さらに、最近はやや安価で簡便なさまざまなセンサが開発されており、IT機器と組み合わせることで高度なデータ処理が可能となっている。動線データの評価方法に関連させて、開発した動線分析機器を他のツールやシステムと連携させて分析精度を向上させることは今後の課題の一つと考えており、課題検討を通して、さらに研究を進めていきたいと考えている。

また本文中で触れた作業パターン分類における閾値、発信機設置場所なども今後の検討課題として研究することを考えている。

参考文献

- [1] Ezra F. Vogel, Japan As Number One. Harvard University Press, 1979.
- [2] 関根憲一, “新しいジャスト・イン・タイム生産方式(その 13)本物の QC を実践しよう,” 工場管理, Vol. 50, No. 4, pp. 74-80, 2004.
- [3] 梅木信治, “現場で役立つ品質管理 第 4 回 継続的改善に役立つ SQC 手法 (その 1),” 工場管理, Vol. 48, No. 3, pp. 115-121, 2002.
- [4] 甲斐山里, 島雄, “生産 20 品質はプロセスでつくり込め,” 工場管理, Vol. 53, No. 3, pp. 80-83, 2007.
- [5] 徳丸壯也, 日本的経営の興亡(TQC はわれわれに何をもららしたか). ダイヤモンド社, 1999.
- [6] 岩崎正俊, “トップ主導のマネジメント教育による幹部人材の育成,” 日本品質管理学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 300-307, 1999.
- [7] Supply-Chain Council, Supply-Chain Operations Reference-model 7.0 Overview Booklet. 2005.
- [8] Tompkins, J. A. , “Supply chains from end to end,” Industrial Engineer, Vol. 44, No. 1, pp. 26, 2012.
- [9] Correll, J. , “Inventory reduction: five steps that guarantee reduction,” International Conference Proceedings. American Production and Inventory Control Society, Vol. 2000, pp. 88-92, 2000.
- [10] Ben-daya, M. and Hariga, M. , “Lead-time reduction in a stochastic inventory system with learning consideration,” International Journal of Production Research, Vol. 41, No. 3, pp. 571-579, 2003.
- [11] 伊呂原隆, 菱倉将史, 山下英明, “ロット分割における材料移動とリードタイムのトレードオフを考慮したマテリアルハンドリングルール,” 日本経営工学会論文誌, Vol. 62, No. 6, pp. 256-266, 2012.
- [12] Koo, P. H., Koh, S. G. and Bulfin, R. , “Determination of batch size at a bottleneck machine in manufacturing systems,” International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 5, pp. 1215-1231, 2007.
- [13] Kazuto Ohata, Toshiyuki Matsumoto, Takashi Kanazawa, “A Basic Research on LT

Seven Tools for Total Lead-time Reduction,” The Journal of the Japanese Operations Management and Strategy, Vol.4, No.1, pp.55-75, 2013.

- [14] 大野耐一, トヨタ生産方式—脱規模の経営をめざして. ダイヤモンド社, 1978.
- [15] 門田安弘, トヨタ プロダクションシステム—その理論と体系. ダイヤモンド社, 2006.
- [16] 野口恒, ““リードタイムが長すぎる,2分の1に短縮せよ!”TPSの導入により,クライアントの厳しい要求に応える,” 工場管理, Vol. 59, No. 7, pp. 1-5, 2013.
- [17] 太田伸一郎, 野口恒, “実況 現場実践で学ぶ改善の極意,” 工場管理, Vol. 58, No. 1, pp. 15-38, 2012.
- [18] 川瀬武志, IE 問題の基礎. 日刊工業新聞社, pp. 103-114, 2007.
- [19] 藤田彰久, IE の基礎. 建帛社, 1997.
- [20] 水野有希, 伊藤敏彦, 吉川徹, 森尾康二, 蓬田悟史, 酒井一博, “職場改善における現場の見える化を実践するための作業動線分析システムの開発,” 労働科学, Vol. 86, No. 5, pp. 252-267, 2010.
- [21] 石川智也, 興梠正克, 蔵田武志, “サービス現場の実験室化のための従業員行動計測技術とその精度評価,” 日本人間工学会誌, Vol. 46, pp. 38-39, 2010.
- [22] 幸島明男, 久我幸史, 池田剛, 車谷浩一, 久我幸史, 栗原正紀, “携帯型生体センサを用いた動作・動線計測システムの構築,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2011, No. 4, pp. ROMBUNNO.UBI-32, No.2, 2011.
- [23] 岡京亮, 菱田隆彰, 中村栄治, 坂本将暢, 沢田克敏, “RFID タグによる教師の動線取得方法,” 電子情報通信学会大会講演論文集, Vol. 2012 情報・システム 1, pp. 202, 2012.
- [24] 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(CS2011 1-9), pp. 45-50, 2011.
- [25] 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和, “不可視マーカを用いた位置・姿勢推定のための環境構築とユーザ位置・姿勢推定システム,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp. 257-266, 2008.
- [26] 神原誠之, 永松明, 横矢直和, “広域屋内環境における不可視マーカを用いたユーザ位置・姿勢推定技術とその応用例,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.

- 109, No. 215, pp. 113-118, 2009.
- [27] 齊藤滋, 廣瀬通孝, 谷川智洋, “コード化した模様を内装に施した室内における位置同定システム,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 106, No. 91, pp. 1-6, 2006.
- [28] 吉田友祐, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行, 天目隆平, “美観と頑健性を両立させた複合現実感用半人為的幾何位置合わせマーカの研究 (第1報),” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 106, No. 470, pp. 7-12, 2007.
- [29] 西門秀人, 高山茂, 岩田高広, “歩行者場における動画像からの動線抽出法と動線流動評価,” 立命館大学理工学研究所紀要, No. 67, pp. 129-138, 2009.
- [30] 大西正輝, 依田育士, “動線の軌跡と滞留に着目した動作解析,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2009, No. 29(CVIM-166), pp. 293-298, 2009.
- [31] 窪田進, 丸山昌之, 伊久美智則, 高島政実, “複数の全方位カメラによる人物動線計測システム,” 東芝レビュー, Vol. 63, No. 10, 2008.
- [32] 原田典明, 青木勝, 三上明子, 峯下聡志, 斎藤志傑, “人の行動を「見える化」する動線解析技術と活用例,” NEC 技報, Vol. 64, No. 3, 2011.
- [33] 川島信, 内田晴彦, “焦電センサを用いた人の動線トラッキングシステム構成法の研究,” 情報科学リサーチジャーナル, Vol. 19, pp. 97-98, 2012.
- [34] 川瀬繁則, 陣内佐紀, 川島信, 前田尚志, “焦電センサを用いた人間の動線トラッキングシステム構成法の検討,” 電気学会情報システム研究会資料, Vol. IS-09, No. 55-62, pp. 9-14, 2009.
- [35] 前田尚志, 川瀬繁則, 陣内佐紀, 小林智史, 川島信, 佐治弘章, “焦電センサを用いた人の動きトラッキングシステム構成法に関する研究,” 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, Vol. 2008, pp. ROMBUNNO.O-450, 2008.
- [36] 岡本浩幸, 鈴木尊人, 黒毛利学, 市原秀貢, “モーションキャプチャーシステム,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2001, No. 66, pp. 97-102, 2001.
- [37] 田代裕子, 齊藤剛, “モーションキャプチャーデータを用いた動きの可視化モデルの提案,” 電子情報通信学会大会講演論文集, Vol. 2007, pp. 247, 2007.
- [38] 柳沢博昭, 前島謙宣, 森島繁生, 祖川慎治, 四倉達夫, “モーションキャプチャーによる顔表情の定量表現,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 104, No. 744, pp. 7-12, 2005.

- [39] 渡部直人, 山本正信, “フルハイビジョンカメラによる身体・手・顔のモーションキャプチャ,” 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 32, No. 58, pp. 61-64, 2008.
- [40] 山口純平, 井野口隼, 志田敬介, “動画像解析による作業場所の移動を伴う作業の推定に関する研究,” 電気学会情報システム研究会資料, IS-10, No. 50-72, pp. 55-59, 2010.
- [41] 大沢裕司, “手作業による作業分析を自動化,改善活動の前進を後押し,” 工場管理, Vol. 59, No. 9, pp. 37-40, 2013.
- [42] 石川裕之, 早坂弘達, 松本俊之, 横田和行, “MM チャート分析支援システムの開発,” 日本設備管理学会誌, Vol. 23, No. 4, pp. 200-206, 2012.
- [43] 曾賀野健一, 渡辺博己, 棚橋英樹, “IE による作業工程分析及び可視化手法の研究,” 岐阜県情報技術研究所研究報告, Vol. 13, pp. 47-50, 2012.
- [44] 林友彦, 釜池光夫, “学生の居室における動線の実態調査 製品と生活動線のパターン分析と考察,” 日本デザイン学会研究発表大会概要集, Vol. 49, pp. 164-165, 2002.
- [45] 藤原聡子, 島川博光, “RFID アクセス履歴を用いた行動パターンのモデル化,” 情報科学技術フォーラム, Vol. FIT 2005 一般講演論文集 第2分冊, pp. 35-36, 2005.
- [46] 中野浩介, “加速するアクティブタグ・センサタグ“人の行動”を分析する 位置情報ソリューション,” 月刊自動認識, Vol. 23, No. 7, pp. 19-23, 2010.
- [47] 佐藤栄作, “店舗内購買行動の理解と動線パターンの分析-スーパーマーケットにおける動線パターン分析を例として,” 流通情報, No. 486, pp. 52-70, 2010.
- [48] 大野尊浩, 十亀昭人, “品川駅の駅中商業施設における動線計画の問題点と改善策に関する研究,” 日本建築学会学術講演梗概集 E-1 建築計画 1, Vol. 2010, pp. 675-676, 2010.
- [49] 中村津美紀, 飯田匡, 横田隆司, 伊丹康二, “美術館の企画展示における利用者の鑑賞行動に関する研究 その1 追跡調査から得た観察結果をもとに,” 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM), Vol. 2013, pp. ROMBUNNO.5124, 2013.
- [50] 吉村彰, 唐澤尚生, “複合している図書館の位置と動線及び管理運営体制からみ

- た分析—学校施設の複合化の効果に関する研究 その 1—,” 日本建築学会学術講演梗概集 E-1 建築計画 1 Vol. 2008, pp. 137-138, 2008.
- [51] 山崎陽菜, 定行まり子, “学童保育における子どもの生活行動と動線からみた施設環境,” 日本建築学会学術講演梗概集 E-1 建築計画 1 Vol. 2008, pp. 229-230, 2008.
- [52] 遠藤安泰, 浦部智義, 中山誠健, 上野佳奈子, 太田亮平, “病院内の医師の移動とその意識に関する研究—病院建築の計画要件に関する研究(その 5)—,” 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM), Vol. 2012, pp. ROMBUNNO.5166, 2012.
- [53] 鳥山亜紀, 河原崎澄子, 高瀬大樹, “勤務時間帯に着目した看護師行動の分析—A 病院における看護師行動調査の分析 その 1—,” 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集(CD-ROM), Vol. 2013, pp. ROMBUNNO.5082, 2013.
- [54] 別所正博, 小林真輔, 越塚登, 坂村健, “ユビキタス時代の屋内位置検知技術 2. 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. 92, No. 4, pp. 249-255, 2009.
- [55] 湧田雄基, 浅野智之, 別所正博, 石井健太郎, 小林真輔, 越塚登, 坂村健, “歩行経路および空間情報を活用した歩行者位置認識手法,” 電子情報通信学会大会講演論文集, Vol. 2011, pp. 271, 2011.
- [56] 満行泰河, 大和裕幸, 稗方和夫, 小林敬和, 黒川哲明, “作業者の位置情報を用いたチーム作業工程分析手法に関する研究,” 日本機械学会論文集 C 編(Web), Vol. 79, No. 799, pp. 837-844, 2013.
- [57] 服部可奈子, 豊嶋伊知郎, 板倉豊和, 吉田琢史, 折原良平, “時系列の位置データを用いた人間行動分析—顧客行動分析,工場ムダ作業,不審者発見に対する適用例,” 人工知能学会全国大会論文集(CD-ROM), Vol. 21st, pp. 2C5-6, 2007.
- [58] 板倉豊和, 服部可奈子, 折原良平, “工場作業者の作業軌跡データからのムダ作業発見,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 106, No. 301, pp. 71-76, 2006.
- [59] 清水早苗, 平湯秀和, 浅井博次, 丹羽義典, “人物動作に着目したシーン分割による作業動作の異常検出,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 107, No. 207, pp. 195-200, 2007.

- [60] 清水早苗, 平湯秀和, 浅井博次, “カメラを用いたものづくり現場における締め付け作業のポカヨケシステムの開発,” 電気学会論文誌 C, Vol. 129, No. 5, pp. 916-922, 2009.
- [61] 大嶋一人, 金沢孝, “製造ラインにおける動線分析機器の開発と応用に関する研究,” 日本設備管理学会誌, Vol.25, No.1, pp.15-25, 2013.
- [62] 大嶋一人, 金沢孝, “動線分析機器を用いた設備運転における作業パターンの分析手法に関する研究,” ヒューマンファクターズ, Vol.18, No.1, pp.27-41, 2013.
- [63] 十時昌, 工場レイアウトの技術. 日本能率協会, 1964.

い