

## 論文の内容の要旨

論文題目：作業に伴う筋骨格系疾患の発症リスクを配慮した作業管理システムに関する研究

氏名 張 允誠

### 第1章 序論

現在、製造業における生産現場では、作業班長による作業者の管理が困難なために生産性の低下を招いているという現実がある。これは、作業班長が自身の経験や知識に基づいた主観的な判断により作業者を管理しているため、作業者の管理が一定しないためである。したがって従来の作業管理のスタイルから脱却し、現場で作業者を管理する作業班長の役割の重要性を鑑みて、作業管理の効率化を図るために、作業班長のための作業管理システム（Worker Management System：以下 WMS）を構築することを本研究の目的とする。

本研究で提案する WMS から得られる情報を用いることで、作業班長は、作業管理をする上での効率的な判断、意志決定が可能となり、結果的に生産現場全体の生産性向上を期待することができる。

まず本研究では、システム構築のために、作業班長の主要な役割、および、作業者を管理する上での作業班長が抱える問題点を定義する。WMS での実現が望まれる点と、WMS を構築する際に課題となる点を以下のように整理した。

#### 1) 作業前 (Before Work)

- WMSD リスクを考慮した作業者の配置を実現するために、まず必要なことは、作業場分析である。作業場における作業中に発生すると予測される WMSD リスクを分析し、既に作業者に蓄積されている WMSD リスクとを合わせて考慮した作業者の配置が望まれる。したがって、作業場を徹底的に分析することが、WMS を構築するための方法の核心の一つとなる。作業場をどのように分析し、WMS にどのように適用するかが最重要課題である。

#### 2) 作業中 (Working)

- 作業中にどのようなデータをモニタリングし、どのような方法で WMS に伝達するか、リアルタイムでの生産データの獲得が実現されなければならない。獲得した生産データを管理するために情報化し、作業班長に提供することで、作業班長は作業管理と必要に応じた作業者の安全管理が可能になる。

### 3)作業後(After Work)

- 作業実績レポートの際に、作業班長が手軽に作業実績を報告できることが望まれる。また、作業実績データがわい曲されることなく、スケジューリング・システムである ERP や SCM など、他の関連システムに伝送されることも必要である。さらに、作業者の WMSD リスクを管理するために、作業実績レポート作成と同時に作業者一人一人の作業実績を分析し、各作業者の作業遂行によって発生した WMSD リスクを評価しなければならない。そして、この作業実績の分析結果および WMSD リスク評価は、マスターデータ化され、作業者の次の配置のために活かされることが重要である。

この作業を通じて、WMS に必要な機能を定義し、特に近年の生産現場における最も大きな関心事である筋肉格系疾患（以下、WMSD：Work-related Musculoskeletal Disorders）の予防を考慮したシステムを考案する。提案するシステムでは、作業前に WMSD を考慮した作業者の配置を検討し、作業終了後にはその日の作業中に発生した WMSD リスクを評価する。そして、次に作業者を配置する時には、この WMSD リスクのデータを利用し、作業者を配置する管理構造になっている。

本研究では WMS を適用したケーススタディとして、作業者による設備操作で作業が進行する作業場所（Machine oriented Job-Shop）と、作業者によって全面的に作業が進行する作業場所（Worker oriented Job-Shop）の二種類の作業場所に注目する。それらの作業場所は、TFT-LCD FAB の Auto Probe Shop と造船所の Panel Block Assembly Shop である。これらの作業場所に対して、作業形態に応じた WMS の構築を試み、第 3 章と第 4 章において、ケーススタディを実施報告する。また、第 2 章では、WMS を構築するための方法論について具体的に詳述する。

## 第 2 章 WMS(Worker Management System)構築のための方法論

第 2 章では、WMS 構築のための方法論について議論する。本研究では、作業者管理システムのモデルとして、MES の ISA-95 を利用した Work Activity Model[Kong 2009] (Fig.1) を応用した作業班長のため WMS モデル (Fig.2 参照) を提案し、これを基盤として WMS を構築する。

本研究で提案する WMS モデルの特徴は、次のように整理される。

- 1) WMSでは、WMSDを考慮した作業者配置を導入する。
- 2) Worker oriented Job-Shopでは、管理が難しい作業者の安全確保に関して、作業班長に必要な情報を提供し、作業班長が作業者を効果的に管理できる機能を付加する。

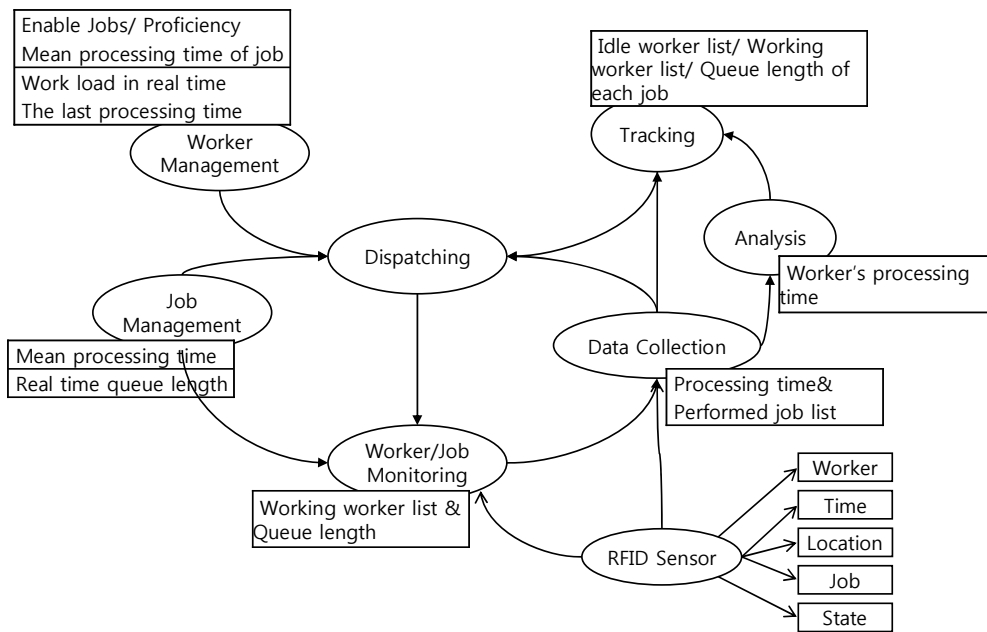


Fig. 1 Work Activity Model [Kong 2009]

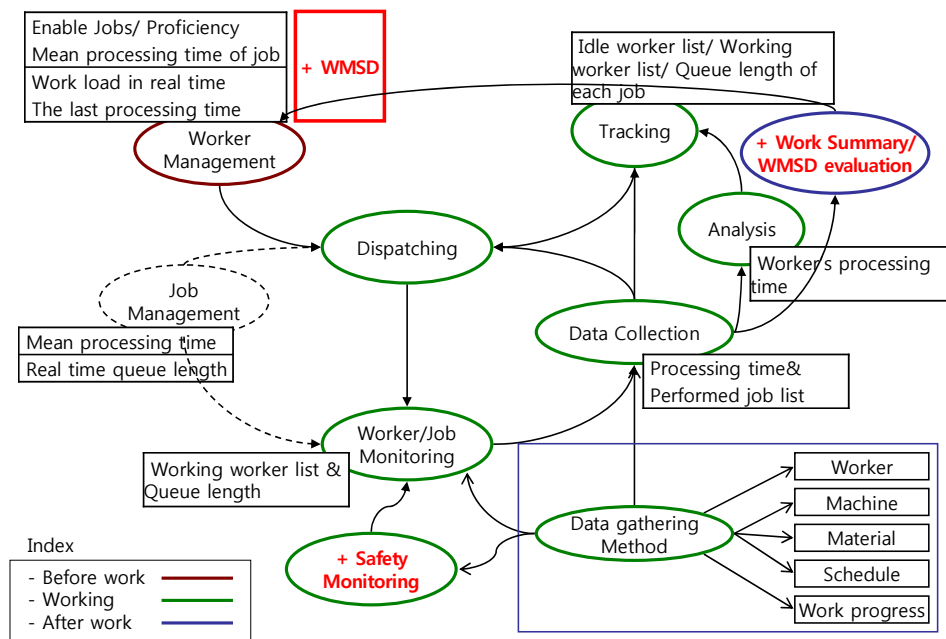


Fig. 2 WMS model for Foreman

さらに、WMS モデルに基づいた、効率的な作業管理のために、本研究では作業場所全体を作業プロセスごとに最小単位の Workbox に分割する方法を提案する。

WMS のような作業現場を管理するシステムを構築する場合には、システム使用者の正確な要求を把握することと、作業場全体の体系的な分析が最も重要である。そこで本研究では、Workbox の概念を導入することによりシステム使用者のシステム全体の機能に対する理解を助け、システムを構築する際には、作業班長が作業者を管理できる最

小作業単位である Workbox に分けて作業場を分析することで、作業場全体の体系的な分析が可能となるよう工夫する。

具体的には、第1章で定義した、作業班長が作業者を管理する上での問題点を解決するために、作業場所の特徴を踏まえ、WMS を構築する対象となる作業場所を Worker oriented と Machine oriented とに区分し、WMS を構築するプロセスを下記のように提案する。

Step 1: 作業者の作業形態に基づいた Workbox の定義

Step 2: Workbox への作業配置 (Worker allocation)

Step 3: 作業者の作業遂行状況のモニタリング

(Worker oriented shop の場合、作業者の安全管理)

Step 4: 作業終了時の作業実績レポートおよび作業者の WMSD リスクの評価、さらに次の作業配置への適用

さらに、4段階に整理した WMS の構築段階を以下に詳細に示す。

#### Step 1) Workbox の定義

Workbox は、Fig.3 にあるように、まず最初に作業を定義し、次に作業に必要な設備を定義し、最後に作業のために設備を利用する作業者を定義するという順序で定義することとした。これを PBA shop を例に取り、以下に簡単に説明する。

##### ① IDEF0 を利用した作業の定義 (Step 1: Definition of Task)

- PBA shop では IDEF0 を利用し、作業プロセスを定義する。この時、作業にかかる時間が hour 単位で定義が可能な、Work stage 単位で作業を定義する

##### ② 作業に必要な設備の定義 (Step 2: Definition of Machine)

- 作業の中で例えば Tack welding(T/W)に必要な設備である、Welding machine、Hammer、Tape measureなどを IDEF0 から定義する

##### ③ 最終的な作業-設備-作業者による Workbox の定義 (Step 3: Definition of Worker)

- Step1 および Step 2 で定義した作業および作業に必要な設備に基づき、作業者を定義する

この Workbox を用いて、作業配置、作業遂行状況の管理、作業者の安全管理を行い、さらに一日の作業実績レポートと作業者の WMSD リスク管理をも行う。WMSD リスク評価に関しては、本研究では RULA 分析を使用し、Workbox 内で作業者が作業をする時に発生する WMSD リスクを評価する。

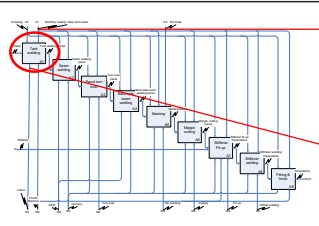
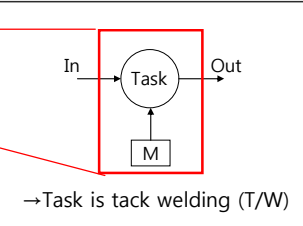
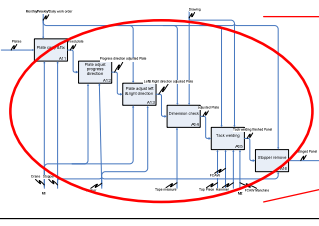
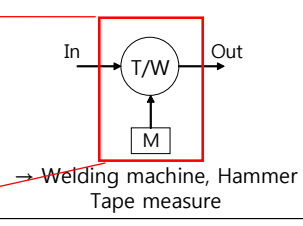
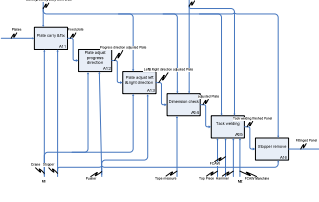
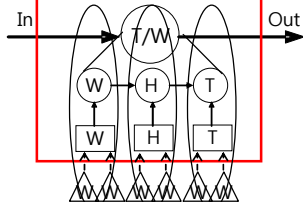
	Description	IDEF0	Workbox
Step 1	- Definition of Task		 →Task is tack welding (T/W)
Step 2	- Definition of Machine		 → Welding machine, Hammer Tape measure
Step 3	- Definition of Worker		

Fig. 3 Workbox definition

### Step 2) 作業配置

Step 1)で定義した Workbox に対して、Worker allocation model を利用し、作業者を配置する。この時、Workbox 内の作業の難易度、および作業者の作業能力（技術熟練度）を考慮し、作業難易度が高い Workbox には作業能力が高い作業者を配置するようにし、全体工程における作業バランスを高め、ボトルネック工程の発生を可能な限り回避する。

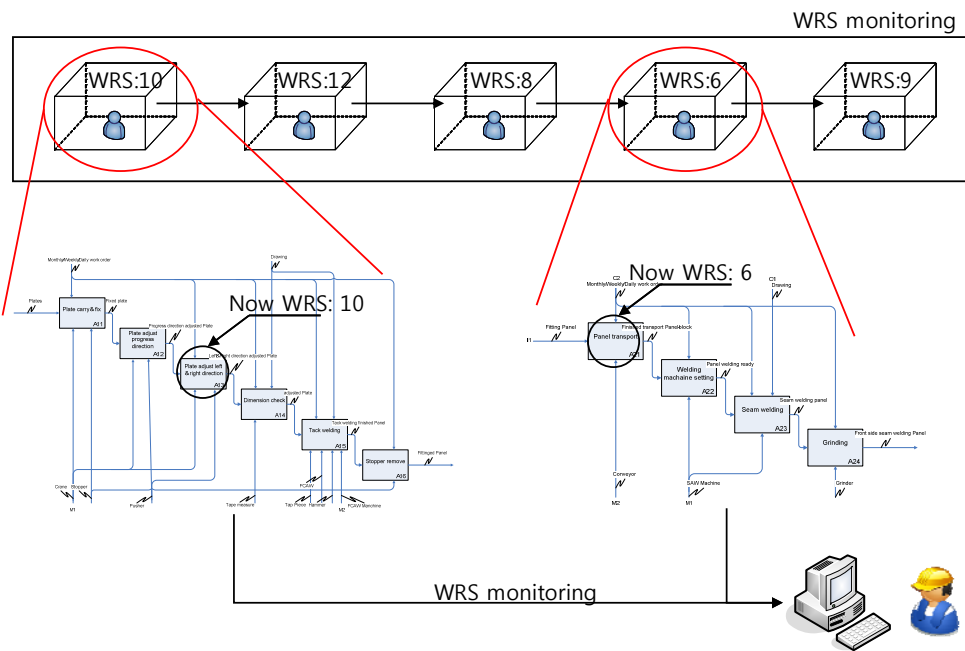
また、作業者の WMSD リスク、および Workbox 内の作業を行った際に発生する WMSD リスクを考慮し、作業配置を行う。

このように様々な要素の最適な組み合わせを可能にする作業配置が、本研究で構築するシステムの核心となるアルゴリズムである。作業現場の生産性を向上させ、なおかつ WMSD リスクを減らすことが、作業配置の最終目標である。

### Step 3) 作業管理および作業者の安全管理

作業管理および作業者の安全管理は、Workbox で分析した Work activity を利用し、進行する作業を確認しながら行う (Fig.4)。特に Work oriented-Shop の場合、Work activity の安全度を Workbox Risk Score (以下 WRS) で表現する。こうすることによって、作業の進行とともに、Workbox の中で WRS が高い Workbox を作業班長が監督し、直接的に安全管理することで、作業管理と作業者の安全管理を同時に実施できるようにする。

$$\text{Workbox Risk Score (WRS)} = (\text{Frequency}) \times (\text{Severity})$$



→ Work activity elements Workbox Risk Scoring & Workbox Comparing

※ Workbox Risk Score (WRS) = Frequency X Severity

Fig. 4 Safety Management methodology

Step 4) 作業実績レポートおよび WMSD リスク評価

最終的に一日のすべての作業が終了した段階で、各作業の実績についてレポートし、関連のある作業場所に情報を提供する。また、作業者の WMSD リスクを評価し、作業班長が作業者一人一人の WMSD リスク評価を見て、WMSD リスクに関するアドバイスをを行う。さらに、次の作業者を配置する時には、各作業者の WMSD リスク評価を適用した上で配置する。

つまり、Fig. 5 に示すように、作業後に行う WMSD リスク評価を次の作業者配置のデータとして利用する作業者 WMSD リスク管理のサイクル構造を提案する。

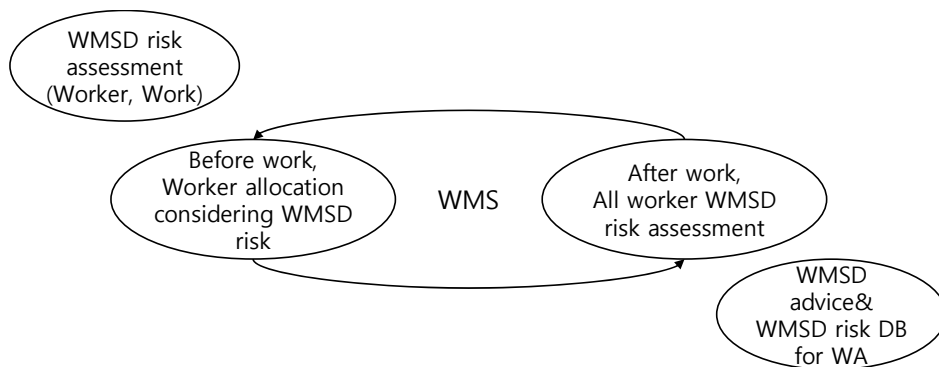


Fig. 5 WMSD risk Management cycle

以上、Step 1) ~ Step 4)の過程を通じて、作業班長のための WMS 構築に関する方法論を提案した。第 3 章、第 4 章では、Machine oriented shop および Worker oriented shop に例をとり、WMS システムの構築を試みる。

### 第3章 Auto probe shop における WMS システム構築事例

Machine oriented shop の例として取り上げる TFT-LCD Fab の Auto probe(A/P) shop は、TFT と Color Filter(C/F)の2つのガラス板を合着し、合着した間に液晶を注入したものを最終確認する作業場所である。他の作業場所とは違い、設備ではなく検査者による眼目検査で作業が進行する。

機械ではなく人間が検査を行うため、検査者の体調や TFT LCD Panel モデルおよび設備に対する選り好みなどにより、Task time が常に変化してしまうので、検査者の管理が難しい。そこで、標準モデルを利用して WMS モデルを作り、A/P shop には基本的に MES が構築されていることから、WMSD リスクを考慮した検査者配置をすることと、作業終了後に検査者の WMSD リスク評価をすることを中心にシステムを構築した。

具体的な実施内容に、作業班長に対するインタビューを行い、それを分析した結果、作業者 (A/P shop の場合、検査者) 配置時に、<検査者-LCD Panel モデル-設備>の組み合わせを最適にすれば、Task time を短縮させることができ、それが生産性向上につながるのではないかとという仮定を得た。さらに、最適な組み合わせが実現できれば、検査者が最適な姿勢で検査を実施することができ、WMSD リスクも減るのではないかと考えた。

以上の仮定を検証するために6ヶ月分の MES データを分析し、その結果、検査者を Defect 発見率の高い LCD Panel モデルおよび使い慣れた設備に配置する時、Task time が短くなり、WMSD リスクも減らせることがわかった。そこで、WMS システム構築において、検査者と LCD Panel を検査するときの検査高さ (Inspection height) の関連性をシミュレーションを利用して証明し、検査者と LCD Panel を検査するときの検査高さ (Inspection height) の最適な関係を提案した。

#### Step 1) Workbox の定義

A/P shop は、検査設備で形成されている工程なので、それぞれの検査設備 (A/P station) ごとに Workbox を定義することができる。

#### Step 2) 作業配置

6ヶ月分のデータ分析を基に、最適な<検査者-LCD Panel モデル-設備>の組み合わせのために Genetic Algorithm(GA)を利用し、各組み合わせの Task time を計算、評価し、作業配置をする。

#### Step 3) 作業管理および作業者の安全管理

作業管理は MES で管理し、作業者の安全管理については安全事故が発生しないため、WMS では省略する。

#### Step 4) 作業実績レポートおよび WMSD リスク評価

作業実績レポートについては、MES 上で作業管理している。したがって、自動的にリアルタイムでレポートが送られてくるため、WMS では除外するが、WMSD リスクについては、MES 上のデータを利用し、評価する。

## 第4章 Panel Block Assembly Shop における WMS システム構築事例

Worker oriented shop の例として取り上げる造船所の Panel block assembly shop は、内業工場で建造ブロックを組み立てる工程である。本研究で扱う造船所の Panel block assembly shop は、ボトルネック工程になっている。

### Step 1) Workbox の定義

造船所の Panel block assembly shop では、Workbox を定義するにあたって、まず、IDEFO を利用して作業を定義し、次に作業に必要な設備を IDEFO を利用して定義した後、必要な作業者を定義するという手順で行う。

この時、Step2 および Step3 で検討する Workbox 別作業難易度を考慮した作業配置と、WRS に基づいた作業者の安全管理のために、Workbox の作業難易度と Workbox の activity 分析が必要になる。そこで本研究では、まず、Workbox 別作業難易度を評価し、基準となるスコアを設定するために、作業班長と現場作業員らにアンケート調査を実施し、AHP の CI(Consistency Index)を利用して回答者の回答の一貫性を確認し、アンケートの信頼性を保証する方法を採用した。また、韓国産業安全公団が製作した「船舶ブロック製造業の危険性評価モデル」を基準として WRS を評価する。

### Step 2) 作業員配置

Step 1) で定義した Workbox の作業難易度と作業員の技術熟練度を評価し、バランスのとれた作業配置をした後、さらに、WMSD リスク発生率の低い Workbox と作業員の組み合わせによる作業員配置を Genetic Algorithm(GA)を利用して行う。

### Step 3) 作業管理および作業員の安全管理

作業管理および作業員の安全管理は、Workbox を利用して行う。第3章の TFT-LCD Fab の A/P shop とは違い、MES が構築されていないので、各 Workbox で発生する情報をシステムに伝達するために本研究では PDA を利用する。

### Step 4) 作業実績レポートおよび WMSD リスク評価

作業実績レポートおよび WMSD リスク評価は、第3章と同じように管理する。

## 第5章 結論

本研究では、作業班長による作業員管理の効率化のために、作業員管理システム (Worker Management System) を構築する方法を提案した。この WMS システムにより、作業班長は WMSD リスク管理を含めた作業員管理をより効率的に行うことができ、最終的に Shop の生産性向上を期待できる。