

製造モニタリングフローの構築

岩下 寛弥*

Iwashita Tomoya



梅本 大輔**

Umemoto Daisuke



酒井 徹*

Sakai Toru



西 洋一郎***

Nishi Youichirou



中尾 幸****

Nakao Sachi



一般的に、生産・製造活動から取得できる情報は 4M に分類される。4M とは、人材(Man)・機械(Machine)・材料(Material)・方法(Method)の事を意味しており、生産管理や品質管理ではこの 4M に着目して、改善・変更が行われるため、必要な情報を効率的に集めて活用することが求められる。特に造船事業では、労働集約型産業として多数の現場作業員(Man)が働いていることから、以前よりカメラ等を用いたモニタリング手法の研究開発が行われてきた。

しかしながら、収集した情報を効率的に解析・管理し、効果的に経営に活用する方法については、十分な検討が行われていたとは言い難く、検討の余地が多く残されている。そこで製造現場の改善活動に繋げる「製造モニタリングフロー」と、経営活動に必要な情報を ERP (Enterprise Resources Planning; 企業資源計画) へ繋げる「経営モニタリングフロー」の 2 つの概念を考え、これまで調査研究が行われてきた見える化に関する技術を統合する。これにより製造実行システム (MES; Manufacturing Execution System) として昇華し、作業管理・データ生成・工程予測/修正の自動化・リアルタイム工程管理技術への高度化を目指すため、まずは基本的な概念設計を行った。本稿ではその取り組みについて紹介する。

なお、本取組は一般財団法人日本船舶技術研究協会を代表とした共同提案体の一員として当社も参加した国土交通省海事局「船舶産業におけるサプライチェーンの連携強化に向けた調査研究業務」の活動として取り組んだ内容である。

1. 緒言

一般的に、生産・製造活動から取得できる情報は 4M に分類される。4M とは、人材(Man)・機械(Machine)・材料(Material)・方法(Method)の事を意味しており、それぞれ次のような情報に代表される。

- 人材：技能・適正、出勤、着手完了など
- 機械：メンテナンス・レイアウト・稼働状況など
- 材料：在庫・調達・品質・性質など
- 方法：設計図・指図書・予定表など

生産管理や品質管理ではこの 4M に着目して、改善・変更が行われるため、必要な情報を効率的に集めて活用することが求められる。特に造船事業では、労働集約型産業として多数の現場作業員(Man)が働いていることから、以前よりカメラ等を用いたモニタリング手法の研究開発が盛んに行

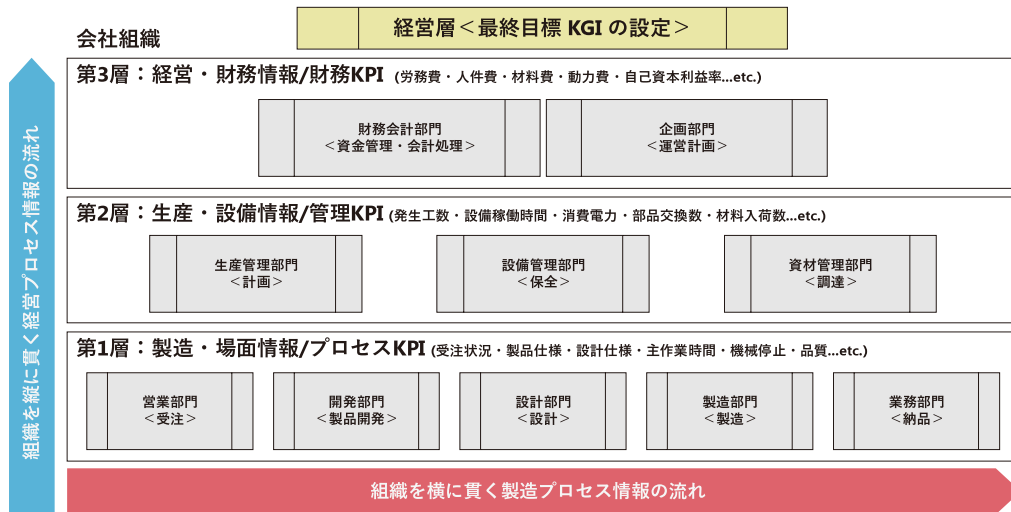
われてきた。例えば当社では、大学と協力し小組工程にカメラを設置して作業員の移動や溶接の光を分析する研究開発を行った。

しかしながら、収集した情報を効率的に解析・管理し、効果的に経営に活用する方法については、十分な検討が行われていたとは言い難く、検討の余地が多く残されている。そこで本調査研究では、製造現場の改善活動に繋げる「製造モニタリングフロー」と、経営活動に必要な情報を ERP へ繋げる「経営モニタリングフロー」の 2 つの概念を考え、これまで調査研究が行われてきた見える化に関する技術を統合する。これにより製造実行システムとして昇華し、作業管理・データ生成・工程予測/修正の自動化・リアルタイム工程管理技術への高度化を目指すため、まずは基本的な概念設計を行った。

原稿受理日：July 31, 2024

*株式会社名村造船所 船舶海洋事業部 生産革新課

**株式会社名村造船所 生産業務本部 工場管理部 設備管理 G



第1図 会社組織の情報の流れに関する概念図

本稿では、まず、モニタリングフロー構築の背景について説明する。次にモニタリングフローのコンセプトを作成し、システム構築の要件を整理、システム稼働前後の業務運営への影響を検討した。最後に、モニタリング手法としてカメラによる画像解析、音響センサー、現場工程表のWEBアプリ化をテストしたため、その成果を報告する。

2. システム構築の背景と方針策定

2. 1 モニタリングフロー構築の背景

第1図に造船事業組織を抽象化し、階層に分けたモデルを示す。第1層は船の受注から引き渡しまでの製造プロセスを担う階層で、部門ごとに発生する4M情報を伝え連携することでひとつの製品を作りあげている。第2層は生産情報や設備情報など物量に関するデータを扱うことで、製造プロセスをサポートする役割を担っている。第3層は経営や財務を管理する層として、製品製造の経過や結果として現れる貨幣に関する情報を扱うことになる。

そのため第1層から第3層へ情報が登るにつれ、現地現物の情報を物量や貨幣のデータとして抽出・変換する流れを読み取ることができる。ただし、抽出・変換の過程で、製造場面を構成する情報が取捨されることに注意する。

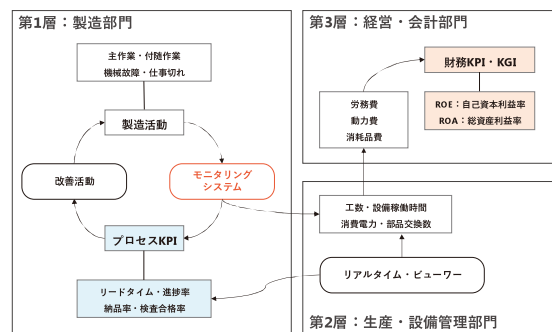
本調査研究では、この会社組織を横に貫く製造プロセスに関する情報の流れと、組織を縦に貫く経営プロセスに関する情報の流れに注目し、それぞれ「製造モニタリングフロー」および「経営モニタリングフロー」と定義した。

「製造モニタリングフロー」は、各部門の活動状況を表す4M情報を「製造・場面情報」として収集する。次に、この情報を「製造指標」へ変換し、この指標に基づき工程/作業分析の実施、あるいは部署間の連携を行う。このような

「製造プロセスをコントロールする行為」に必要な第1層の中での情報収集と部門間連携の一連の流れを表している。

「経営モニタリングフロー」は、製造・場面情報を生産情報、さらには財務情報へ変換し、最終的にERPによる経営分析へと活かす流れを表している。

これらモニタリングフローの運用イメージを第2図に示す。第1層の製造部門を例に挙げると、まず、配材・取付・溶接・検査・搬出といった製造活動に対して、なにかしらのモニタリング手法を用いて、各作業の開始/完了日や主作業時間、付随時間、仕事切れなどの4M情報を抽出する。



第2図 モニタリングフローの運用イメージ

次に、4M情報をリードタイムや進捗率、検査合格率といった指標へ変換する。この指標の時間的変化を見ながら改善活動を実施し、次の製造活動へ繋げることで、製造モニタリングフローとしての一連の流れとなる。

並行して、モニタリングシステムによって集めた製造情報を生産情報である工数や設備稼働時間・消費電力などに変換する。続いて労務費や動力費といった財務情報へ変換する。これにより製造指標の変化による財務情報への影響をリアルタイムに察知できる。これが経営モニタリングフ

ローの一連の流れとなる.

このような指標を用いた製造プロセス内外での連携に関する取り組みは、既に自動車業界で行われていることが参考文献1)に述べられており、製品のサイズ・数量は異なるものの、参考にできる管理手法は多々あると考えられる。

2. 2 KPI 指標の策定方針

KPI 指標の策定について、他業種を含め文献調査を行った中で、参考文献 2) では次の策定方針を提案している。

- ①共通する価値尺度である経済的価値で連鎖すること。
- ②管理可能な構成要素からなる指標であること。
- ③関連する部門共通の価値尺度であること。
- ④部門ごとではなく全体最適に方向付けること。

特に①について、第1層から第3層まで情報を繋ぐために、経済的価値の連鎖を意識することは重要と考え、今回の概念設計における策定方針のひとつとした。

またデータや指標による管理や評価を行う際の懸念点として、行きすぎた数値管理による作業者のモチベーション低下がある。そのためプロセス KPI の定義の際は、生産管理に必要な QCD（品質・コスト・納期）の 3 因子に加えて、参考文献 3）を踏まえ、内的動機向上に繋がる因子として、達成・競争・協力・学習の 4 因子を組み合わせることを KPI 策定の方針に加えた。

経済的価値の連鎖および因子の組み合わせについて例を示す。生産工程管理の分野には、タクトタイムという言葉がある。これは第1層の製造プロセスでは、「工程間の足

並みを揃える」という指標である。第2層の生産・設備管理においては「タクトタイム一定」という指標になり、第3層の経営・財務では「仕掛品回転率」という指標になる。このように層によって言葉が違っても目的は同じである連鎖関係を持たせることが重要である。また、「工程間の足並みを揃える」ということは、決められた時間を守ることから「達成」と「納期」に当てはまるプロセス KPI として定義することになる。

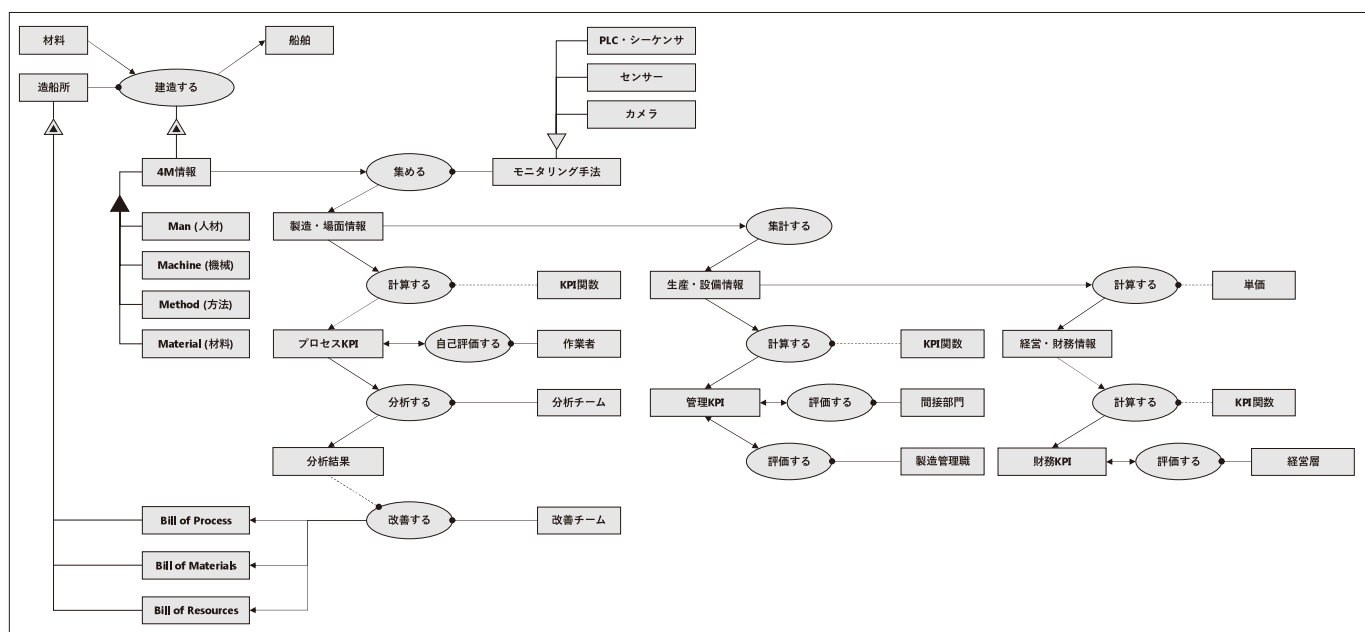
ただしモニタリングフロー運用の際は、KPI の数値の上下に対して管理者層が細かい行動をマネジメントするような方法ではなく、製造プロセスに所属する者が自主的に行動できるように環境を整える必要があることに留意する。

3. 製造モニタリングフローの概念設計

3. 1 モニタリングフローのコンセプトモデル

第2章に述べたモニタリングフローの検討背景及びKPI策定の方針を基に、まずは第3図に示すようにコンセプトモデルをまとめた。このコンセプトモデルは Object-Process Methodology (OPM) 記法を参考に記述した。

造船所は材料を用いて船舶を建造する。造船所は特徴として、BOM (Bill of Materials) やBOP (Bill of Process), BOR (Bill of Resource) を持ち、「建造する」というプロセスは4M情報を性質として持つ。モニタリング手法を用いてこれら情報を集め製造情報とする。モニタリング手法はPLC (Programmable Logic Controller) ・センサー・カメラを挙げているが、ほかにも電子帳票などデジタルイゼー



第3図 製造モニタリングフローの運用イメージ

ションによる収集も含まれている。製造情報は何らかの KPI 関数によって、プロセス KPI へと計算される。これを確認することで、作業者が自身の活動を自己評価することができる。また、プロセス KPI を分析した結果をもとに、改善チームが活動し、BOM や BOP, BOR を改善する働きからも生産性向上の成果を得ることができる。この一連の流れが「製造モニタリングフロー」となる。

製造・場面情報は、集計されて生産・設備情報になる。こちらも KPI 関数により管理 KPI へと計算され、この指標を間接部門や製造プロセスの管理職が評価する。さらに生産・設備情報に対し、何らかの単価を用いて計算することで、経営・財務情報になる。これも KPI 関数により財務 KPI へと計算され、経営層が指標を評価する。この第 1 層から第 3 層へと情報がエスカレーションする流れが「経営モニタリングフロー」となる。

このコンセプトをさらに展開し、切断工程と組立工程を例にして OPM 記法で表現したものを、それぞれ第 4 図及び第 5 図に示す。それぞれ左半分に工程の流れを記載しており、材料に関する列が BOM、プロセスに関する列が BOP、プロセスを実行するオブジェクトの列が BOR の簡易的な表現と見なせる。右半分には工程の流れの一部を代表して 4M 情報を取り出している。切断工程では機械(Machine)と材料(Material)を、組立工程では人材(Man)と方法(Method)を例にして製造情報を取り出し、KPI を計算し、改善に繋げる流れをまとめた。

以上のとおり、モニタリングフローの基本コンセプトを整理し、切断工程および組立工程に展開したことで、システムを構成するオブジェクトとプロセスを明示することができた。

3. 2 組織運営の変化

3.1 節に示した製造モニタリングフロー及び経営モニタリングフローを導入することで、組織運営がどのように変化するか製造部門を例に検討を行った。導入前後の比較を第 6 図に示す。

図の左側は、現行の運営フローを示している。一般的に、経営層によって何らかの企業戦略が作成される。例えば、そのうちのひとつである製造原価削減に対し、各部門長は自部門の目標を設定する。製造部門であれば、製造工数の削減となるが、役職者のラインを下るごとに、数値目標や対象となる工程・作業内容と目標が具体的にになり、最終的に作業者が自分のなすべき改善手法を提案する。提案内容

を役職者が承認することで製造作業に改善を適用し、ある期間実施した後、工数の比較や工費の比較を行うことで改善の成果を比較する。

一般的には毎月の原価管理業務において成果が経営層に伝わるため、経営層の指示から成果の取得までの期間を考えると、前月の製造原価資料を基に方針を固めて指示を出し、当月に活動を実施し、翌月の経営会議で成果を確認するため、最短でも 2 か月のタイムラグが発生する。また、間に複数の人員がいるため、指示の伝言ゲームとなり、情報の欠落が発生しやすい構造となっている。

図の右側は、モニタリングフローを導入した際の運営フローを示している。経営層により何らかの企業戦略が作成されるが、その後、部門長は財務 KPI のプールからターゲットとする指標を複数選択する。経済的連鎖を辿ることで、関係する管理 KPI 及びプロセス KPI に容易に辿り着ける。このターゲットとなるプロセス KPI をもとに、製造プロセスは自己評価を繰り返しながら製造を実施する。

モニタリング手法によりリアルタイムに製造場面情報が取得され、プロセス KPI が更新されているので、作業者は自分の活動がどう影響するのか実感しながら作業が行える。また、改善チームとして各部門の人員が協力して改善案を考えることで、BOM, BOP, BOR を更新しながら取り組むことも可能になる。収集された製造場面情報は、自動的に生産・設備情報や会計・財務情報に集計、計算されるため、日々の取り組みの成果を経営層に伝えることができる。

このように、モニタリングフローの導入によって、指示の流れを良くし、改善と成果のサイクルを素早くする効果が得られることを示した。

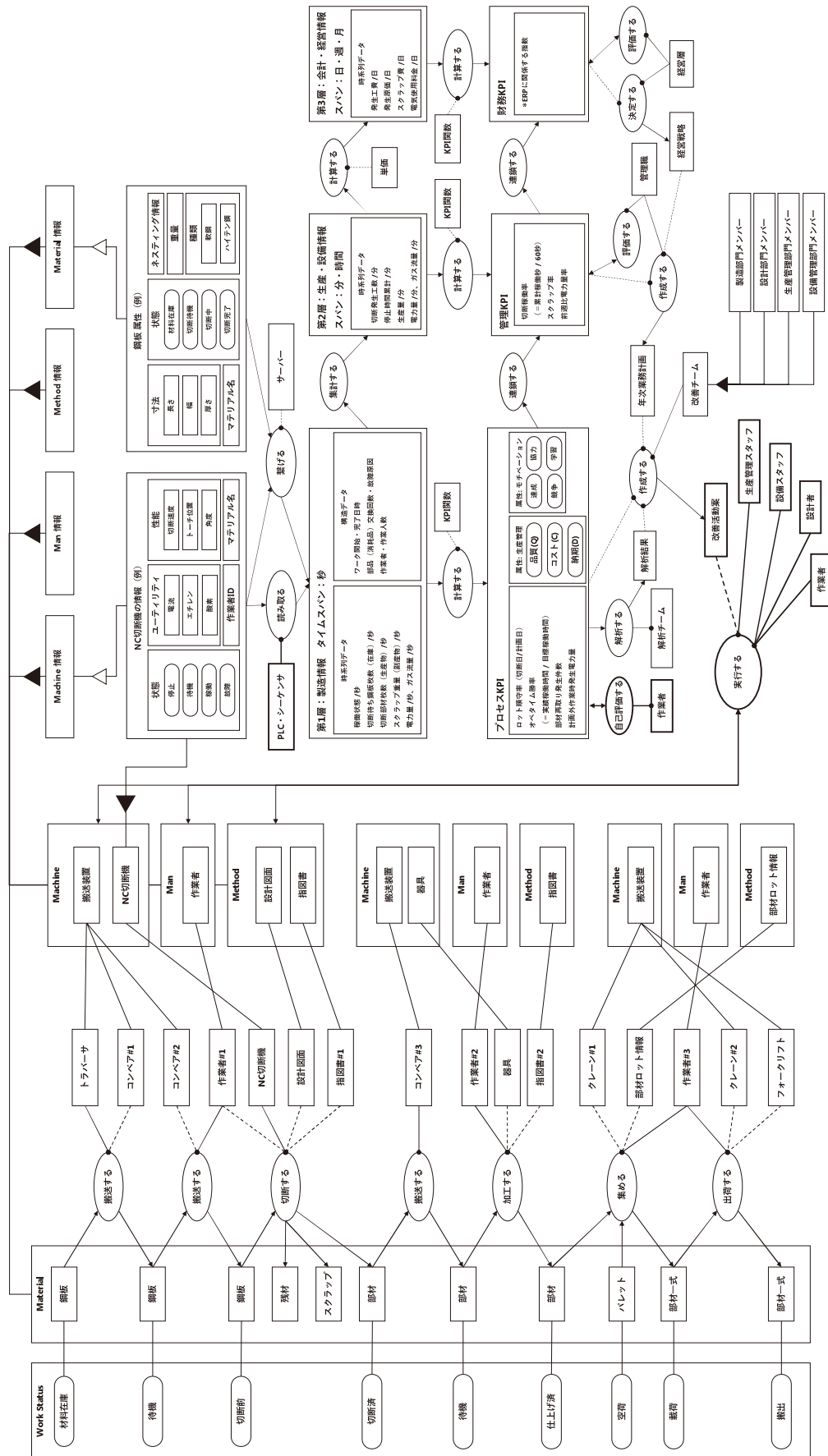
4. モニタリングシステムの構成図作成

4. 1 モニタリング手法の検証

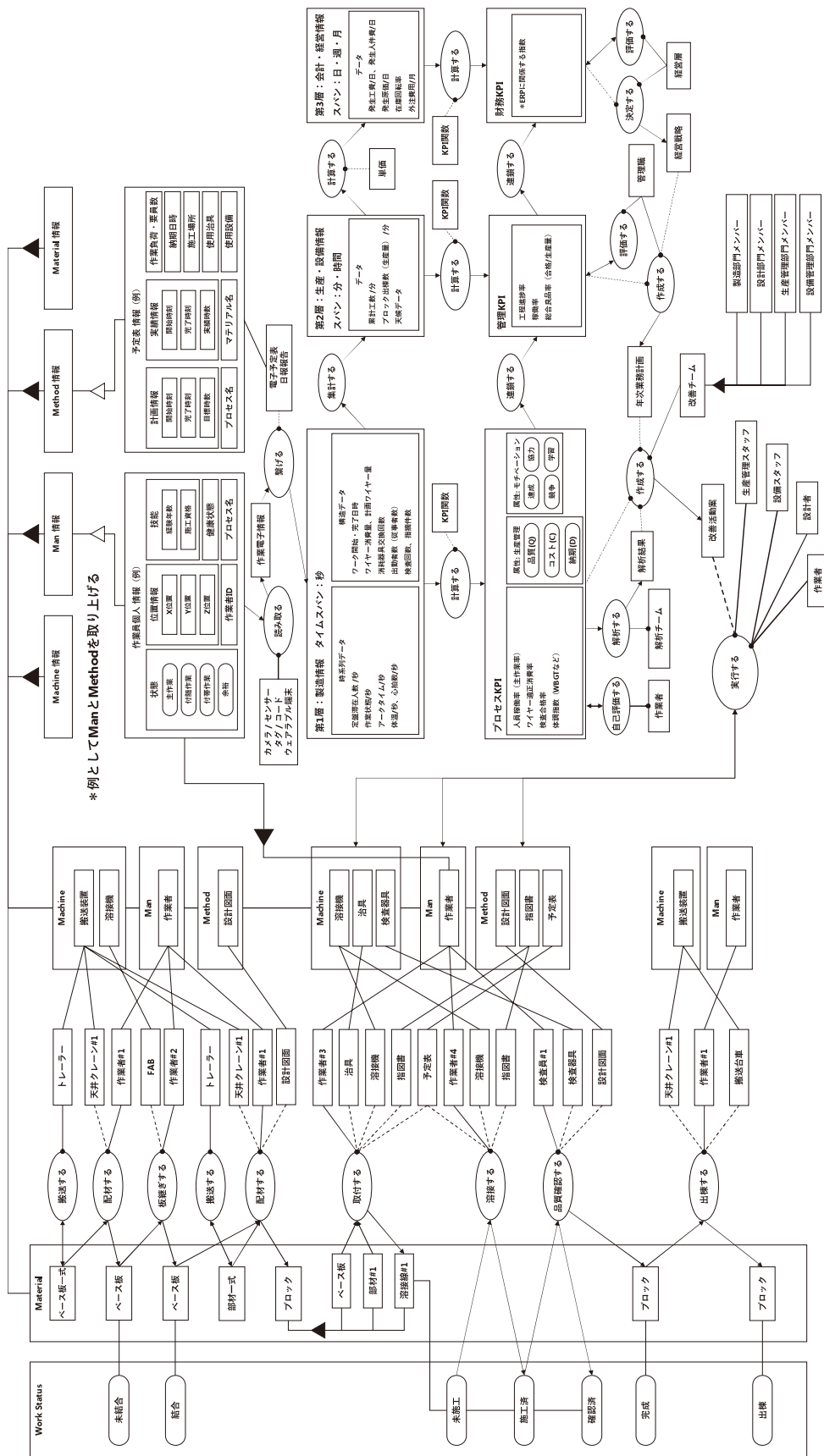
モニタリングフローの中で、製造場面情報を収集するために必要なモニタリング手法について、人材(Man)、材料(Material)及び方法(Method)を対象に調査を行った。本調査ではブロック組立工程に対し、

- ① カメラおよびセンサーを用いた、Man および Material に関する情報を集める手法
- ② これまで紙で配布されていた予定表を WEB アプリ化する Method に関する情報を集める手法

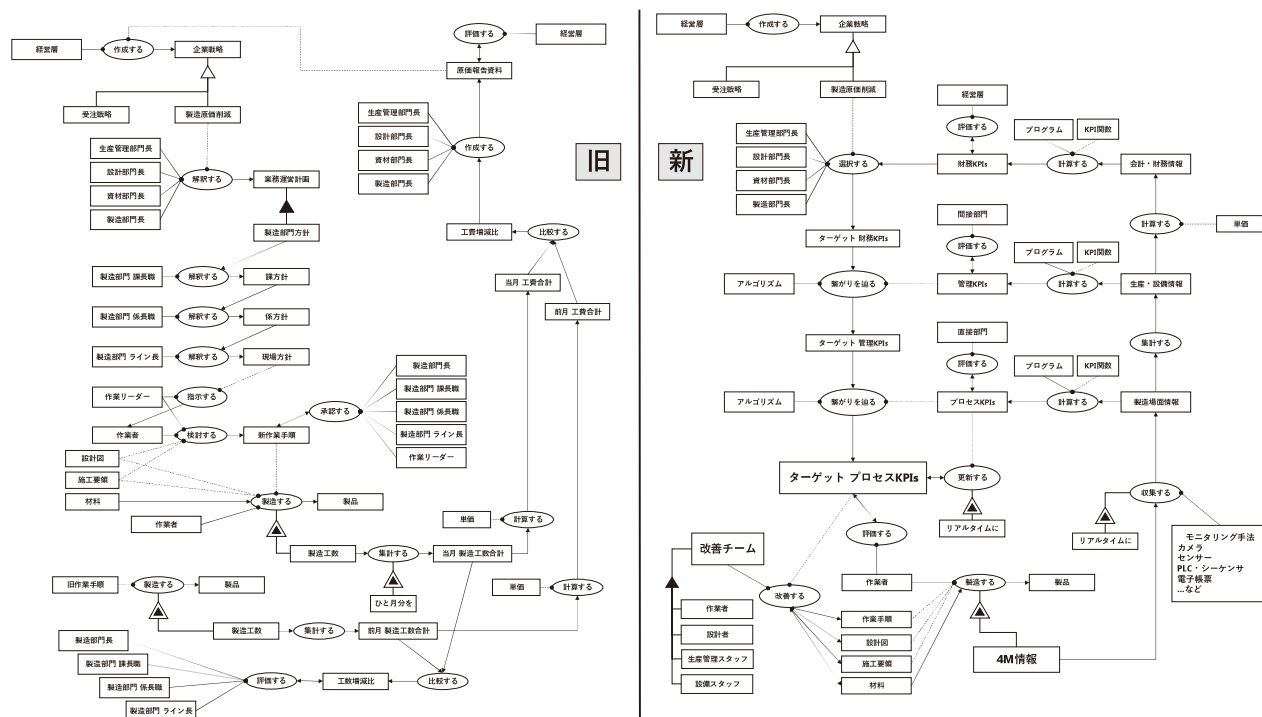
の 2 点を確認した。



第4図 NC切断工程を対象にしたモニタリングフローのモデル図



第5図 組立工程を対象にしたモニタリングフローのモデル図



第6図 システム導入による組織運営の変化

4. 2 ManおよびMaterial 情報収集の検証

カメラを用いた画像解析に関しては、作業者の検出とブロックの配材・出棟の検知に活用できた。カメラによる検知の様子を写真1及び写真2に示す。

写真1に示す通り、工場建屋の上部に設置したカメラを用いて組立定盤で作業中の様子を撮影した画像データをもとに、機械学習ライブラリ YOLO に造船所作業者を学習させることで、赤枠で囲まれたように作業者を検出することに成功した。しかし、今回対象とした工程が大組立工程であったことから、作業者がカメラの死角に入ることが多く、

また当社の作業服が鋼板や定盤と同系統の色合いのため判別がつきにくいことが影響し、具体的な作業情報に落とし込むことはできなかった。

しかし写真2に示すように、カメラによるブロックの配材・出棟の検知に成功し、かつ画像から位置情報へ変換することができたため、生産計画部門が作成しているブロック配置図と付き合わせることで、「ブロック配材・出棟のみ見える化アプリ」を作成した。これにより、予定表上の開始完了日に対して、現場が実際に配材・出棟したタイミングを比較することができ、プロセス KPI として配材出棟の遵



写真1 カメラによる作業員検知

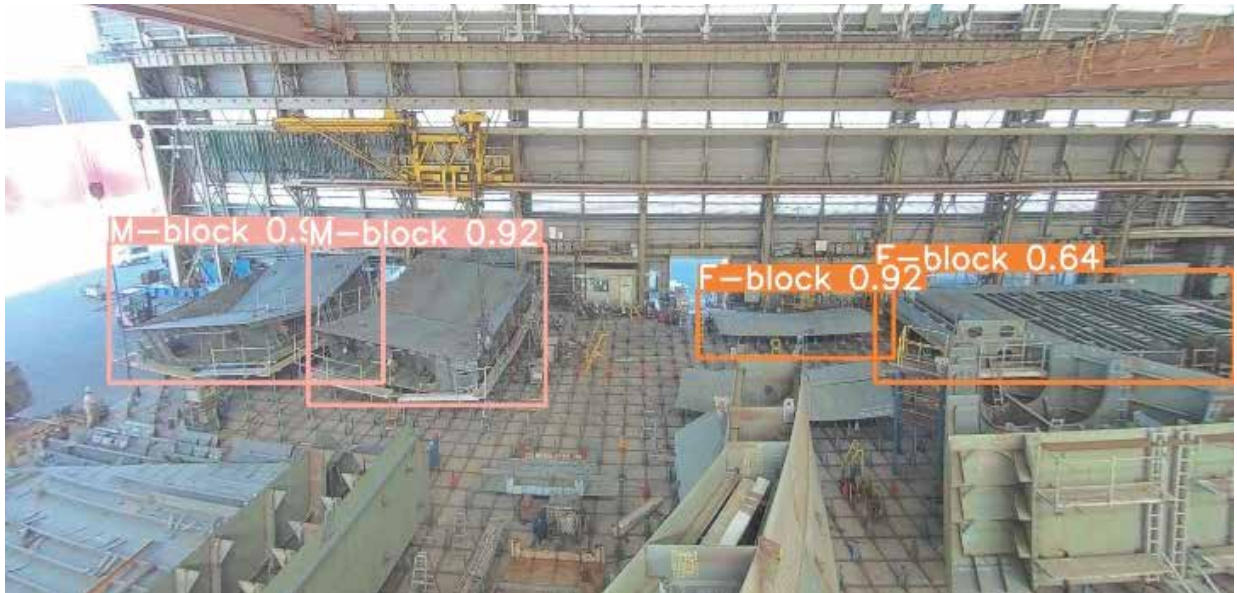
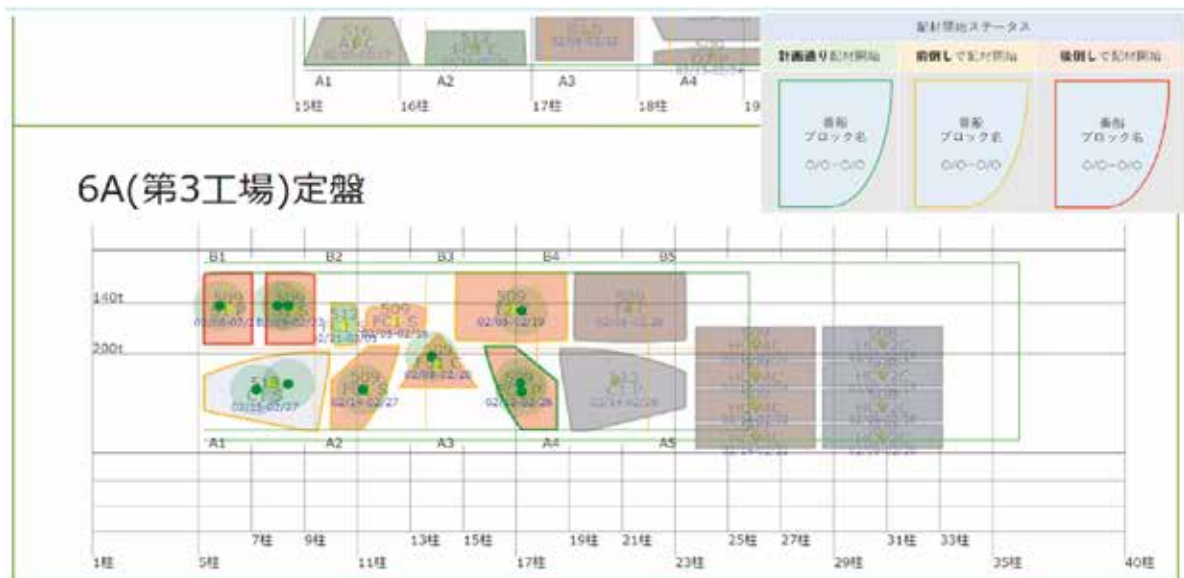


写真2 カメラによるブロック検知



第7図 ブロック配材・出棟のみえる化アプリのWEB表示画面

守率を提示することができる。この「ブロック配材・出棟のみえる化アプリ」の画面を第7図に示す。

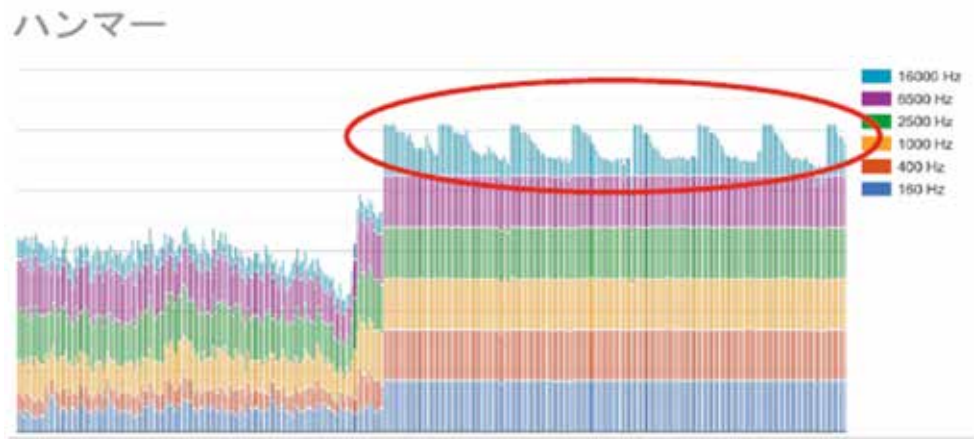
第7図の着色された四角形や三角形がブロックを表したものである。ブロックを上から見た形状に合うように設計図面情報をもとに作成されており、生産計画上の配置に合わせて表示されている。この中央付近にある黄色の丸が設計上のブロックの重心位置になる。緑の丸は、ブロックが検出されたときに対象を囲むフレームの中央位置の座標を計算したもので、緑の枠から半径 5m の円を描いたときに黄色の丸が含まれていれば、そのブロックの名前と検知結果を結びつけている。

配材・出棟が計画に沿っているかどうかは、同図右上のステータスに示すように、ブロックの枠を着色することで

判断できるようになっている。これにより、ブロック配材・出棟の予実を「見える化」することができた。

センシング技術の確認の一環として、音響センサーによる作業分析の可能性を調査した。調査結果の一部として、ハンマー打撃音の周波数帯グラフを第8図に示す。

ハンマーの打撃音は 16,000Hz 帯に特徴的な波形が表れることから、作業現場でも問題なく判別可能なことが分かった。他にも、グラインダー・溶接（自動/手動）・ガウジングなど調査したが、有意な特徴があるものや、追加の調査が必要なものに分かれた。そのため、センシング機器の開発や取付方法（ヘルメットや手首など）について検証することが今後の課題となる。



第8図 ハンマー打撃音の周波数帯グラフ

4. 3 Method 情報収集の検証

Method の情報収集として、予定表 WEB アプリのプロトタイプを第 9 図に示す.

上段に生産計画部門が出図した週間予定表が表示されている。生産管理部門では、配材・取付・溶接の仕事量の山積みが平準化されるように半日単位で予定表を作成する。この予定表に対し、製造部門が社内と協力工にブロックの割り振りを行った後、社内分の仕事をこのアプリで作業者ごとにブロックを割り振りする。上段の対象となる工程をドラッグし、下段の割り当てたい作業者の行に持つてくることで簡単に計画することができ、作業時間や残業時間が自動的に累計されるため、月間の労働時間管理を行いつつ、週間予定表を作成することができるようになった。

今回、この WEB アプリを開発したことで、これまで紙で作成していた際、現場の担当者は1週間分の予定表を作成することで精一杯であったが、現在はひと月先まで予定表を作成できるようになり、事前の工程検討や作業者の割り当てを行うことができるようになった。また、日間予定表や実績収集まで拡大を進めている。この取り組みが進めば、予定の開始/完了日に対して、作業者の実際の活動状況をデジタルデータで収集できるため、プロセス KPI の計算に繋げることができる。また、プロトタイプを作成により、予定表 WEB アプリの要件を固めることができれば、今後は横展開として、他の工程や職場に広げることを目指していく。

[illegible]

第9図 週間予定表WEBアプリ

4. 4 システムの構成仕様

今回取り組んだ、カメラによる検知及び予定表電子化のプロトタイプに関するシステム構成概略を第10図に示す。

工場にはカメラが設置され、現場作業や製作中のブロックを撮影しており、有線やWi-Fiを通じて画像を送信する。また、作業者はタブレット端末を活用し、予定表の確認や実績の入力、設計図面の確認を行えるようになる。集められた情報のうち、画像は画像解析用サーバーに集められDB化され、画像解析処理により例えば位置情報へ変換される。画像解析後の情報や入力された実績情報などは、アプリケーションサーバーに集められる。タブレット端末から閲覧する予定表や設計図面情報も業務系DBからアプリケーションサーバーを通じてアクセスすることになる。

加えて、アプリケーションサーバーに各種情報が集まっているため、事務所や他の工場からネットワークを通じて確認することができる。

5. 結言

本調査研究では、製造現場の改善活動に繋げる「製造モニタリングフロー」と経営活動に必要な情報をERPへ繋げる「経営モニタリングフロー」の2つの流れについて、概念設計の検討を行った。

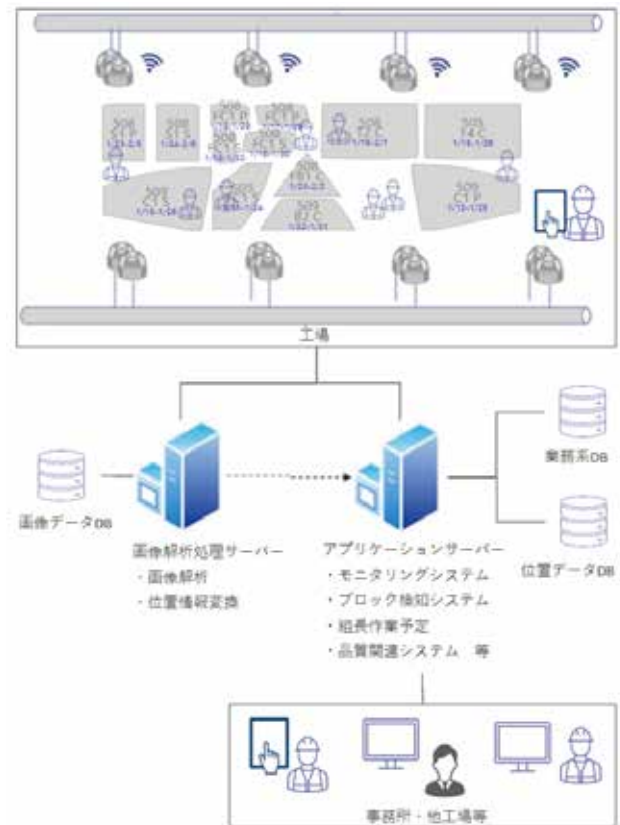
今回の検討で、製造プロセスで集めた情報を指標へ変換する際の方針をまとめた。またOPMを用いて製造と経営のモニタリングフローを表現することで、どういった処理が必要になるか整理した。さらに導入することによる組織運営の変化についてまとめた。

また4M情報の収集例としてカメラ・センサーおよびWEBアプリケーションの用いたMan, Material, Method情報収集を検証し、一定の成果を得られた。

今後は、モニタリングフローのコンセプトを深め、システムのアーキテクチャをより詳細に記述する。また情報収集の手法を増やすため、画像解析やセンサーの調査を継続して行う。加えて、製造情報を評価指標に変換するため、他業種の動向を調査し、造船所に適した生産性向上につながる指標について検討を行う。

謝辞

国土交通省海事局並びに一般財団法人日本船舶技術研究協会の皆様には「船舶産業におけるサプライチェーンの連携強化に向けた調査研究業務」の共同提案体の一員として活動を進めるにあたり、ご協力並びにご指導頂きましたこ



第10図 モニタリングシステムの構成概略図

と厚くお礼申し上げます。

また、本取り組みにおいて活動に賛同いただき、多大なご指導、ご支援、ご協力をいただいた社内関係各位、名村情報システム株式会社および国際航業株式会社の皆様に改めて感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 今井範行：「プロセス KPI マネジメントシステム—創発と進化の組織体を目指して—」，名城大学 経済・経営学会 名城論叢（2004 年）。
- 2) 上岡恵子：「リードタイムに着目した戦略プログラムをマネジメントするための KPI 群の開発と有効性に関するケース研究」，Journal of International Association of P2M, Vol. 14 No. 2, pp. 292-312.
- 3) 池田浩，森永雄太：「我が国における多側面ワークモチベーション尺度の開発」，産業・組織心理学研究，第 30 巻 第 2 号，pp. 171-186.