

労働集約型生産システム(船舶建造システム)のデジタルツインの実現に向けて

-船舶建造モニタリングシステムを基盤としたスマートシップヤードの実現-

2018年 10月26日
 青山 和浩
 東京大学 大学院工学系研究科
 システム創成学専攻 教授

製造業の動向：Industrie4.0

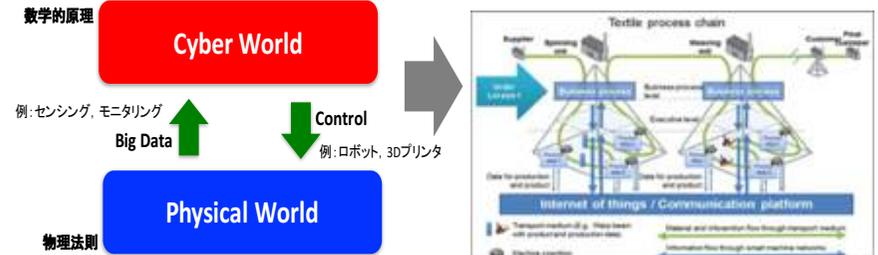
- Industrie4.0：製造に関わるあらゆるものを情報化することで製造を高度化。
- モノの情報のインターネット化 (IoT) により、設備と人が協調して動くサイバーフィジカルシステム (CPS) の構築により工程を最適化することが期待。
 - Smart Factory とは、Industrie4.0の概念によって構築される次世代の工場
 - Smart Shipbuilding/Smart Shipyard への期待
 - 海事産業の生産性革命 (i-Shipping)



垂直方向のネットワーク

- 工場内のネットワークで統合化された製造システム
- 多数の工程、機器、設備を結んだネットワーク

船舶建造工程におけるCPSの構築



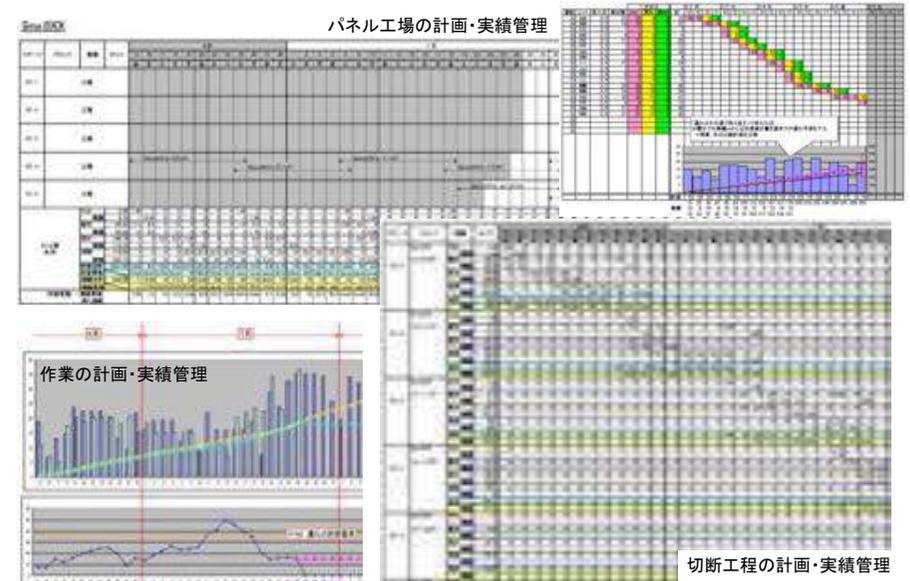
背景：見える化への期待

- 日本の造船所の現状
 - 日本は世界第一位の造船量を誇っていたが、近年アジア諸国が低コストで高品質な船を製造するようになり、日本は現在低迷状態にある。
 - コスト競争に負けないために造船所の生産性の向上が必要であり、より改善が見込まれる箇所を発見し対処することが求められる。
 - 作業者の作業の**実績の詳細 (いつどこで誰が何をしたか)**を適切に把握する必要がある。
 - 造船所 → **ジョブショップ型**であるため行動分析が難しい
- 現状の作業報告方法：
 - **ジョブショップ型**
 - 作業者が作業場所に行く形式
 - 作業環境が変化する (部品が移動する) ため作業者の場所だけでは作業内容を推定することが出来ない。
 - 作業者本人による自己報告
 - 各班長がその日の報告書を提出する形式
 - 作業の詳細は記載されていない

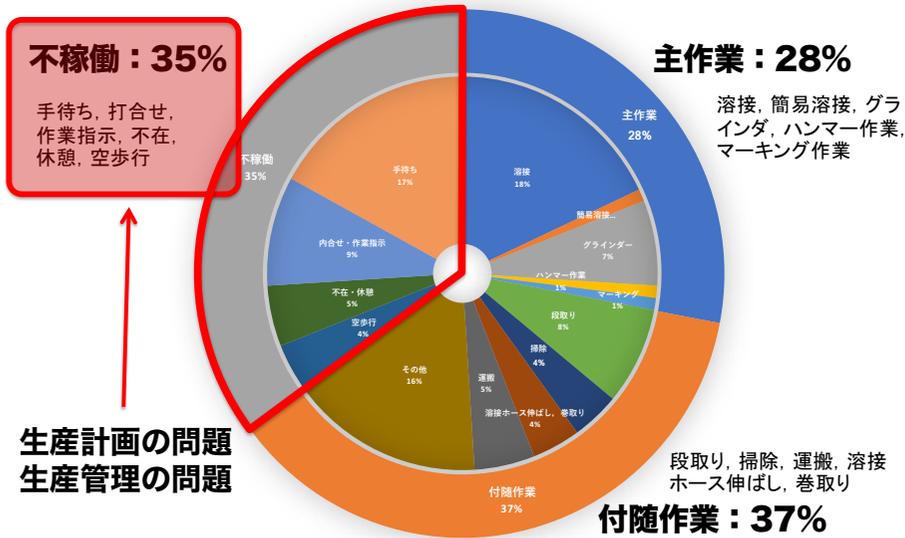
モニタリングシステムの構築
 造船工場の見える化



造船の日程計画・実績管理

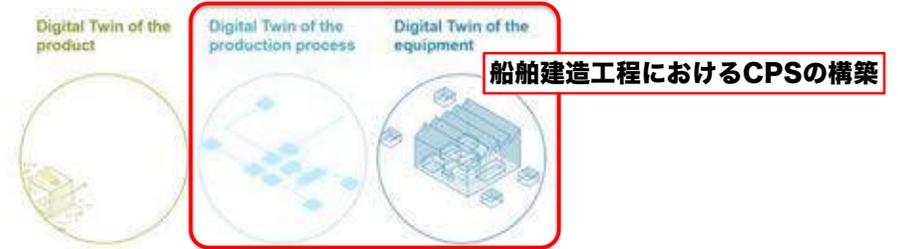


IEによる造船工場の作業分析

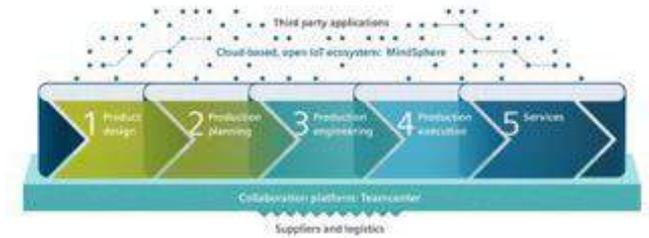


参照: 海上技術安全研究所 谷川氏の資料

Integrating and Digitalizing



The Digital Twin in detail Integrating technical domains into ONE data model

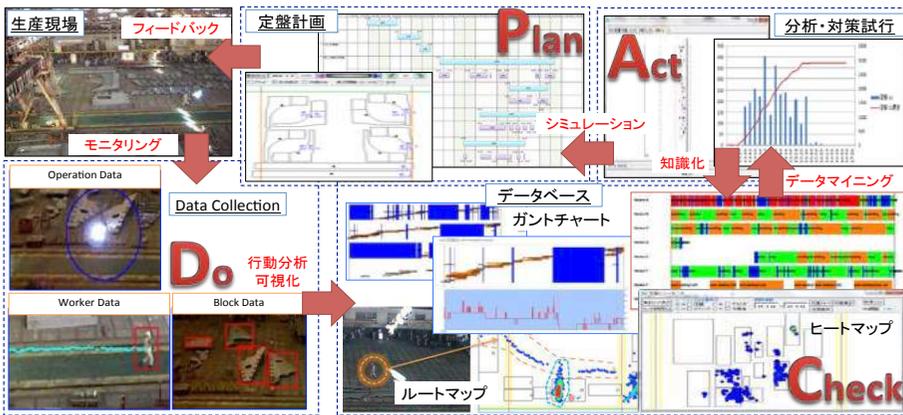


Integrating and digitalizing the entire value chain

from: Digitalization in Food & Beverage VSS F&B, Siemens AG 2017

デジタル化による建造マネジメント

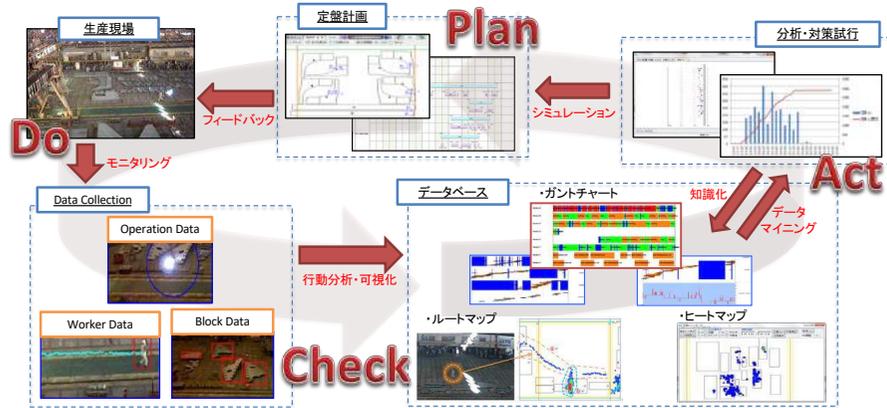
- 船舶建造プロセスにおいてQCD(Quality/Cost/Delivery)の向上を図るためには、トータルな建造マネジメント手法の確立と高度化が求められる。
- モニタリング技術(デジタル化技術)によってリアルタイムモデリング(CPSSの構築)を行うことで現場の問題を発見し、その問題に対して適切な対応策を講じることで工場全体の最適化を図る。



造船のデジタル化: Digital Twin を実現するためのシステム検討

船舶建造モニタリングシステム

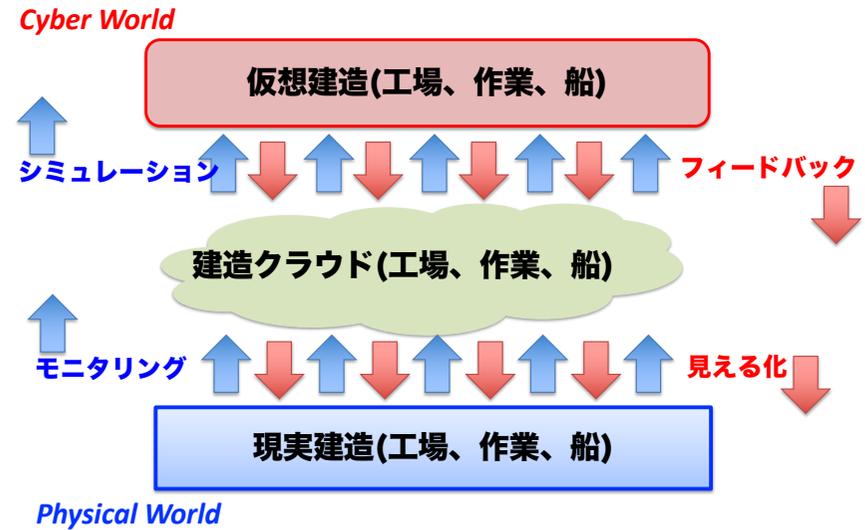
モニタリングによるマネジメントの流れ



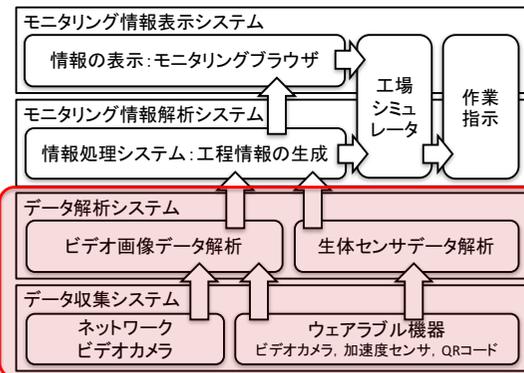
モニタリングの処理の流れ



CPSS: Cyber Physical Shipbuilding Systems



船舶建造マネジメントシステム



造船のデジタル化

画像処理技術を利用したモニタリングシステムのシステム構成例

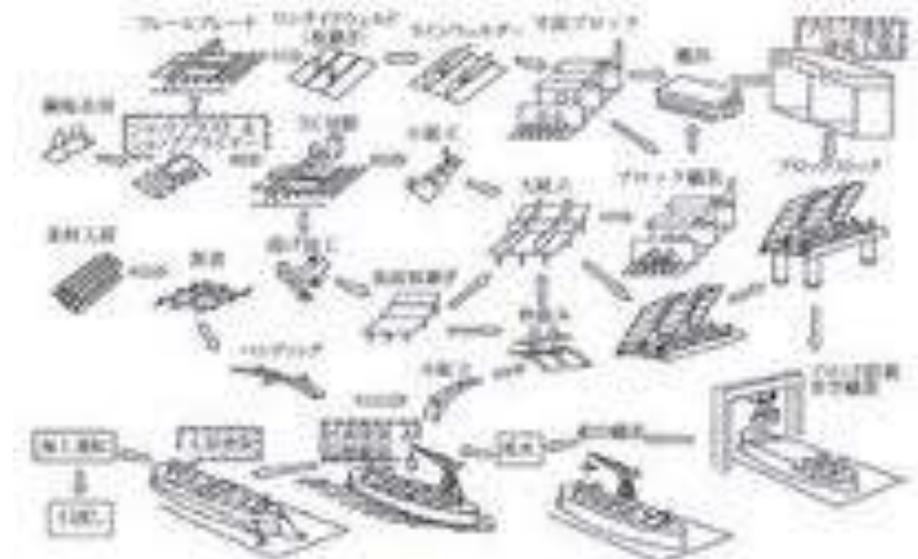
- ・ モニタリングデバイス
- ・ 画像処理システム
- ・ データ処理システム

市販の工場モニタリングシステムを船舶建造工程への適用する際の課題

- ・ 不規則な作業者の動き
- ・ 巨大なブロックの搬入/搬出
- ・ 溶接等による強い光、電磁波等の影響

造船工場に適した、モニタリングデバイス、画像処理システムを構築する必要がある。

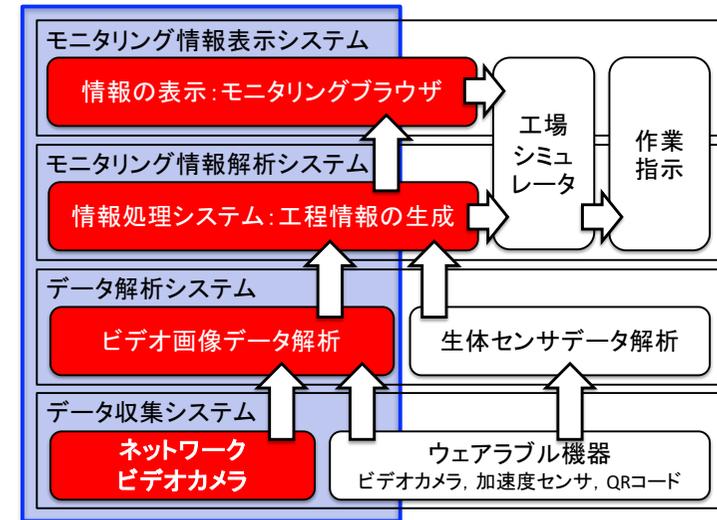
鋼船建造過程



適用対象：小組立（内業工場）

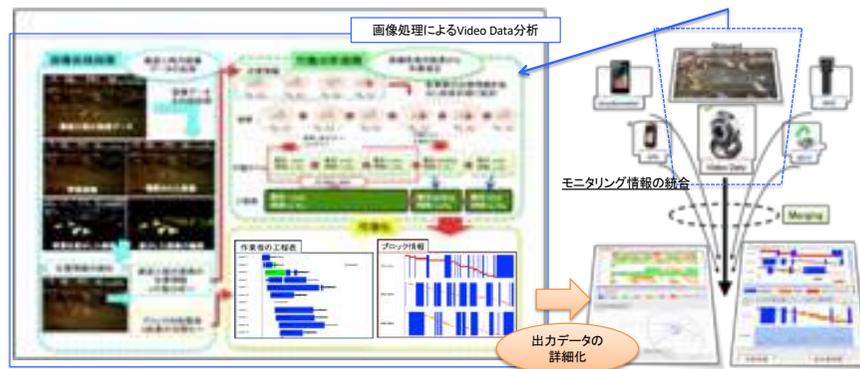


船舶建造マネジメントシステムの構成



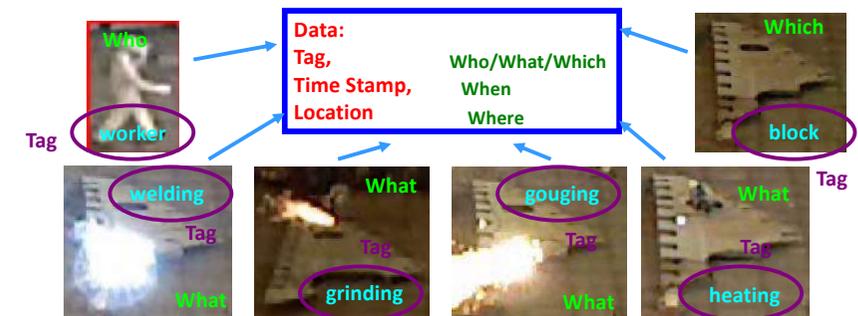
造船工場のモニタリングによる工程情報のデジタル化

- 造船工場は全体として非常に複雑な挙動を示しており、作業状況を管理することは非常に難解である。
- 船舶の建造現場をWebカメラによって撮影した画像データ、また他の様々な機器によるモニタリングデータを統合することで作業員や作業の情報を抽出し、より詳細な工程管理情報を獲得する。



画像処理によって獲得するデータ

- フレームの時間前後の差分、背景画像との差分、光の色や形状などを利用することでデータを抽出
 - 溶接作業の特徴：白色の強い閃光、円形状、閃光に応じて形の大小が変化。
- 作業員、ブロック、作業（溶接、研削など）の場所/時刻を獲得
 - 溶接作業の生産性指標：アークタイム※の算出などへの活用



※アークタイム：アーク溶接作業においてアークを出している時間（JIS Z 3001）

画像処理による生成データ

Collected Data: time stamp, location

Frame	Second	Location (x, y)	Width	Height	Location (x, y)
802	800	57	20	244	169
803	801	57	20	244	169
804	802	57	20	244	169
805	803	57	20	244	169
806	804	57	20	244	169
807	805	57	20	244	169
808	806	57	20	244	169
809	807	57	0	0	0
810	808	57	0	0	0
811	809	57	20	244	169
812	810	57	20	244	169
813	811	58	0	0	0
814	812	58	0	0	0
815	813	58	20	244	169
816	814	58	20	244	169
817	815	58	20	244	169
818	816	58	0	0	0
819	817	58	0	0	0
820	818	58	20	244	169
821	819	58	20	244	169
822	820	58	0	0	0
823	821	58	0	0	0
824	822	58	0	0	0
825	823	58	20	244	169
826	824	58	20	244	169

Frame	Second	Location (x, y)	Location (x, y)
1482	1460	104	1
1483	1461	104	1
1484	1462	104	1
1485	1463	104	1
1486	1464	104	1
1487	1465	104	1
1488	1466	104	1
1489	1467	104	1
1490	1468	104	1
1491	1469	104	1
1492	1470	104	1
1493	1471	104	1
1494	1472	104	1
1495	1473	104	1
1496	1474	104	1
1497	1475	104	1
1498	1476	104	1
1499	1477	104	1
1500	1478	104	1

Frame	Second	Location (x, y)	Location (x, y)
802	800	57	20
803	801	57	20
804	802	57	20
805	803	57	20
806	804	57	20
807	805	57	20
808	806	57	20
809	807	57	0
810	808	57	0
811	809	57	20
812	810	57	20
813	811	58	0
814	812	58	0
815	813	58	20
816	814	58	20
817	815	58	20
818	816	58	0
819	817	58	0
820	818	58	20
821	819	58	20
822	820	58	0
823	821	58	0
824	822	58	0
825	823	58	20
826	824	58	20

Frame	Second	Location (x, y)	Location (x, y)
802	800	57	20
803	801	57	20
804	802	57	20
805	803	57	20
806	804	57	20
807	805	57	20
808	806	57	20
809	807	57	0
810	808	57	0
811	809	57	20
812	810	57	20
813	811	58	0
814	812	58	0
815	813	58	20
816	814	58	20
817	815	58	20
818	816	58	0
819	817	58	0
820	818	58	20
821	819	58	20
822	820	58	0
823	821	58	0
824	822	58	0
825	823	58	20
826	824	58	20

作業のデータ

作業者のデータ

Shipbuilding Innovation by CPSS: Cyber Physical Shipbuilding System

造船所における建造工程をモニタリングし可視化することで現状の問題点の発見を支援するシステムの構築。作業者・ブロック・作業を可視化。

画像処理

建造工程の画像データの処理

画像データを内部処理

位置情報

各要素の位置情報を抽出し時系列順に配列

座標

座標に変化なし = noneラベル

作業名 = 作業名のラベル

行動分析/推定

動作: none 時間: t₁→t₂

動作: none 時間: t₂→t₃

動作: none 時間: t₃→t₄

動作: welding 時間: t₄→t₅

動作: none 時間: t₅→t₆

同じ動作→融合

工程表

動作: none 時間: t₁→t₂

動作: welding 時間: t₄→t₅

動作: none 時間: t₅→t₆

可視化

見取り図

作業者の工程表

ブロック情報

位置情報の検知

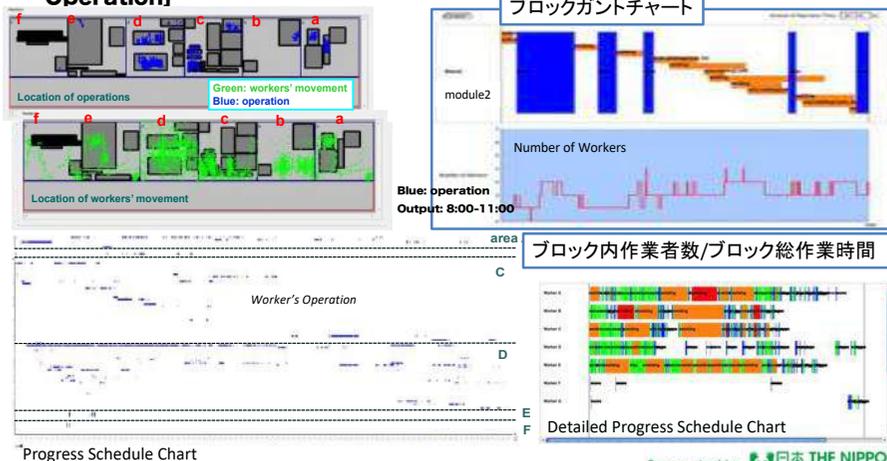
建造工程の要素の位置情報 → 行動分析へ

ブロックの配置図 → 配置の可視化へ

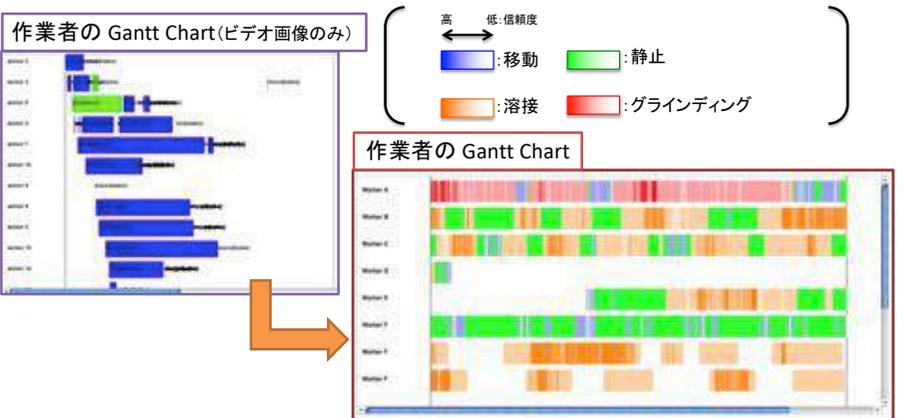
Shipbuilding Innovation by CPSS: Cyber Physical Shipbuilding System

得られる作業情報 (画像処理のみ)

- Operation Data
- Generated by Integration of Monitored Data
- Operation for Construction Module, Worker's Operation, Operations {Welding Operation, Heating Operation, Gouging Operation, Grinding Operation}



実行結果：個別作業者情報の生成 (1/2)



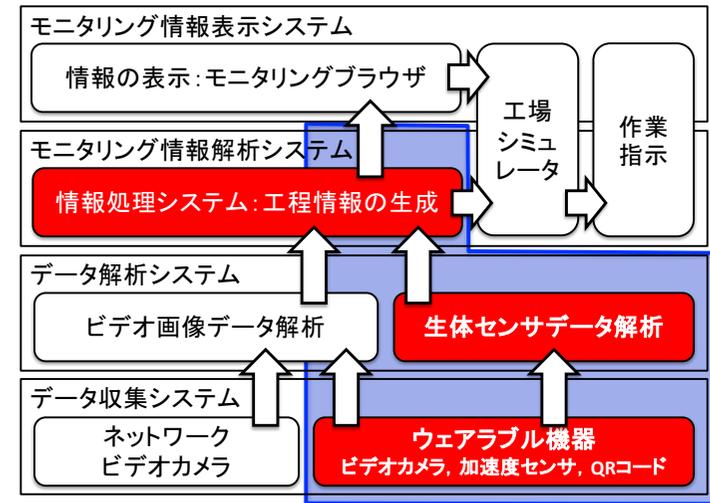
- 実際的人数分のガントチャートが得られた(色の濃淡は情報の信頼性)
- 各作業者の行動の流れ(移動→静止→作業→移動→...)は画像処理データのみによる結果よりもっとわかる
- 作業者F は2台の簡易自動溶接機を使用している。
 - ⇒ 3つのガントチャートが得られる(作業者F は溶接機1, 2の間を移動)

建造モニタリングブラウザの構築

- 作業状況の可視化：計画と実際のズレの把握，作業状況，配置状況の比較，対策フィードバック等への利用
- ガントチャートとビデオの紐付け：トラブルの原因究明等への利用
- 作業履歴データの管理：アークタイム，生産性などの算出



船舶建造マネジメントシステムの構成



ウェアラブルデバイスを利用した作業者の状態獲得

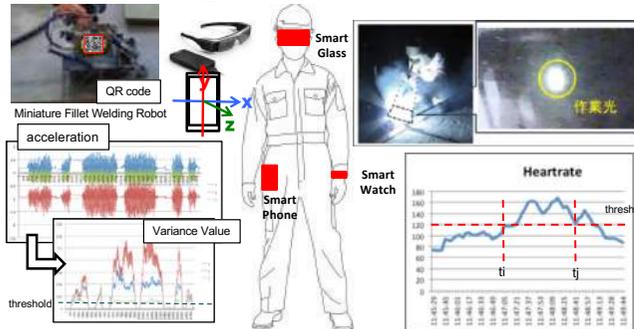
「機材を扱っている状態」「作業対象を認知している状態」
→スマートグラスでQRコード認識を用いる。

「作業を観測している」

- 視野に作業光を捉えているか否かの判定
- スマートグラスで画像処理を利用

「移動している状態」

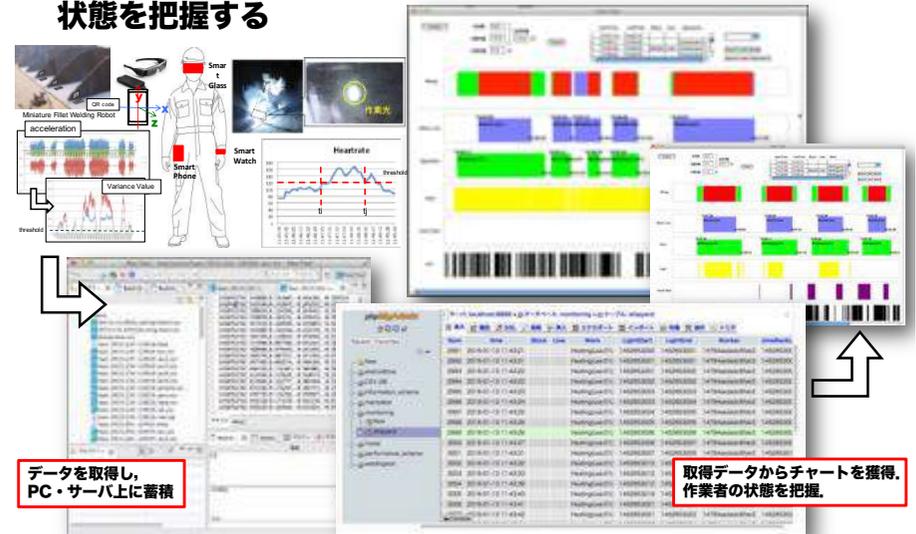
→加速度センサを用いて，移動情報を取得する。



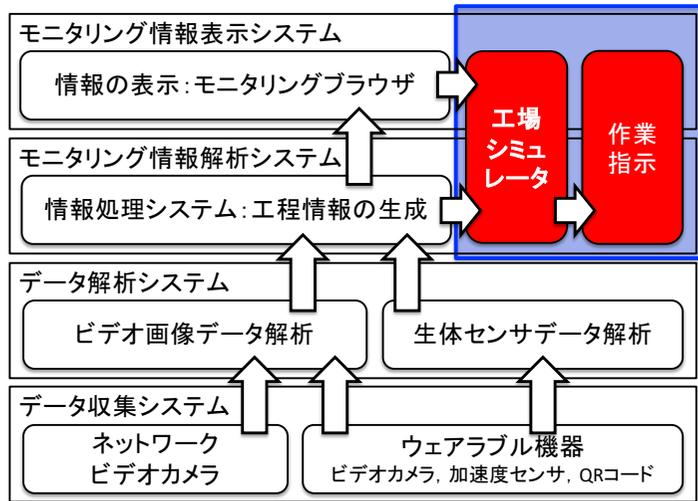
作業者の内部状態「負担がかかっている状態」
→負荷の指標として，心拍センサで心拍数を取得する。「心拍数が高い」

作業者の状態から取得される作業情報

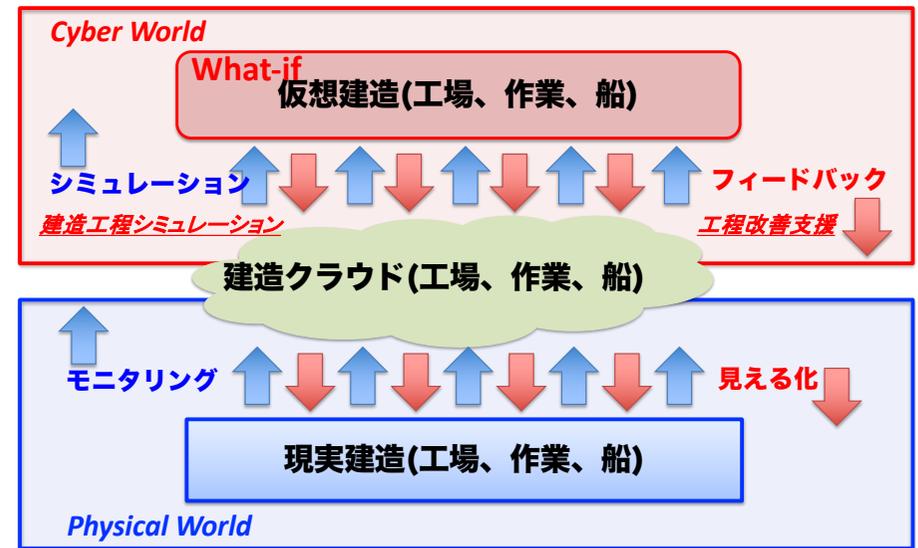
- 作業者毎に複数の情報を取得し，組合せることで，その時の状態を把握する



船舶建造マネジメントシステムの構成

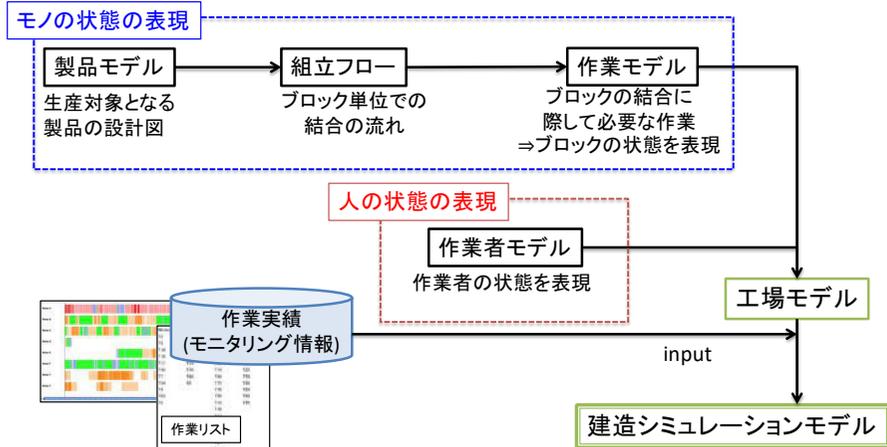


CPSS: Cyber Physical Shipbuilding System



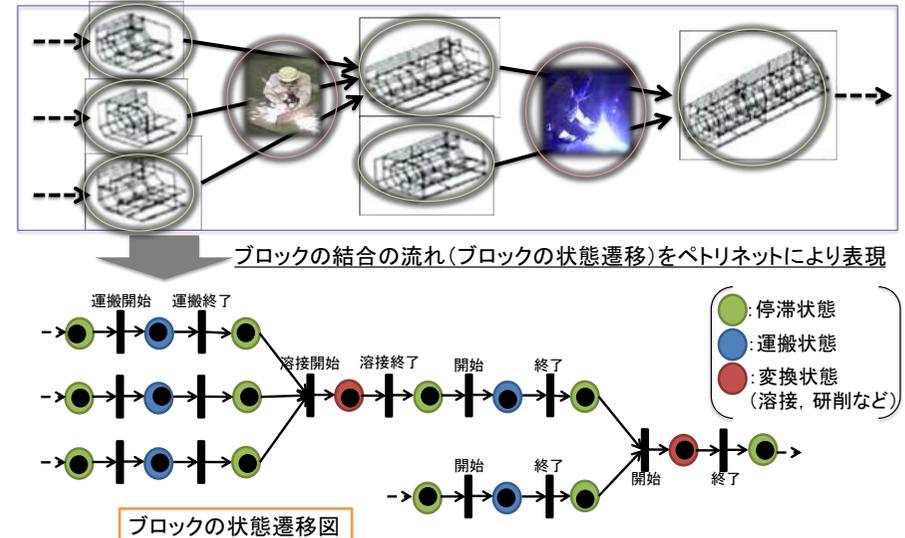
建造シミュレーションモデルの生成フロー

- 工場内には大別して人とモノの2つが存在
 - それぞれの状態をモデル化し統合 ⇒ 工場モデル
 - 工場モデルに対しモニタリング情報を入力 ⇒ シミュレーションモデル



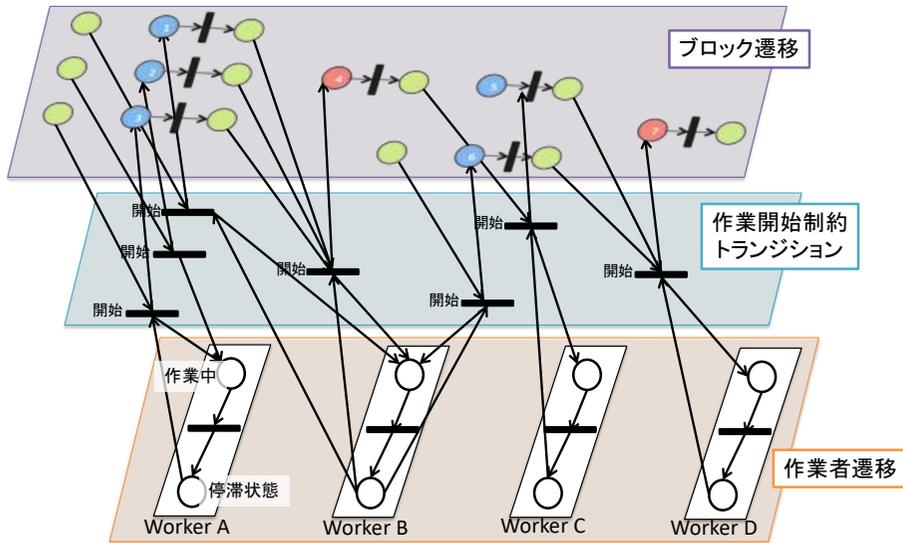
ブロックの状態遷移モデル

・設計情報として、ブロックの組立フローと、それに伴う作業情報が存在



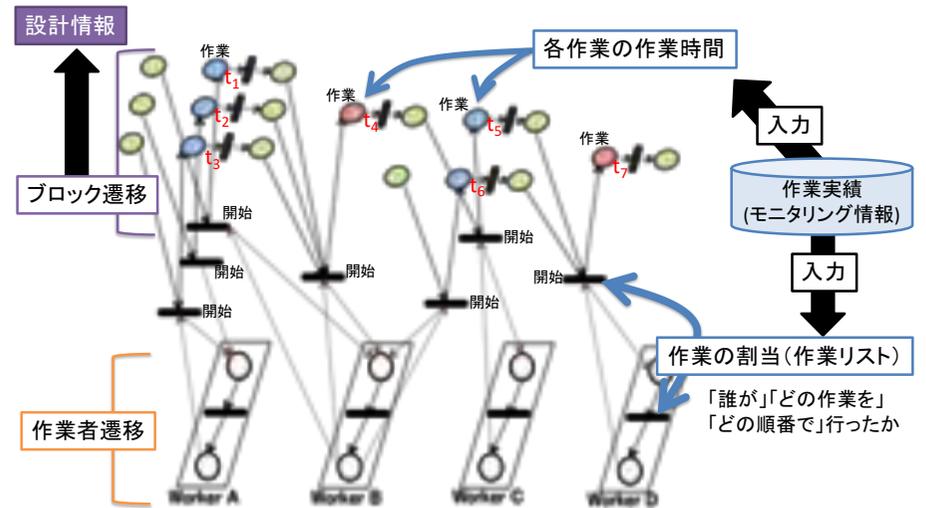
生産システムモデル：工場モデル

・作業者と担当作業の作業開始トランジションを共有することでモデルを融合



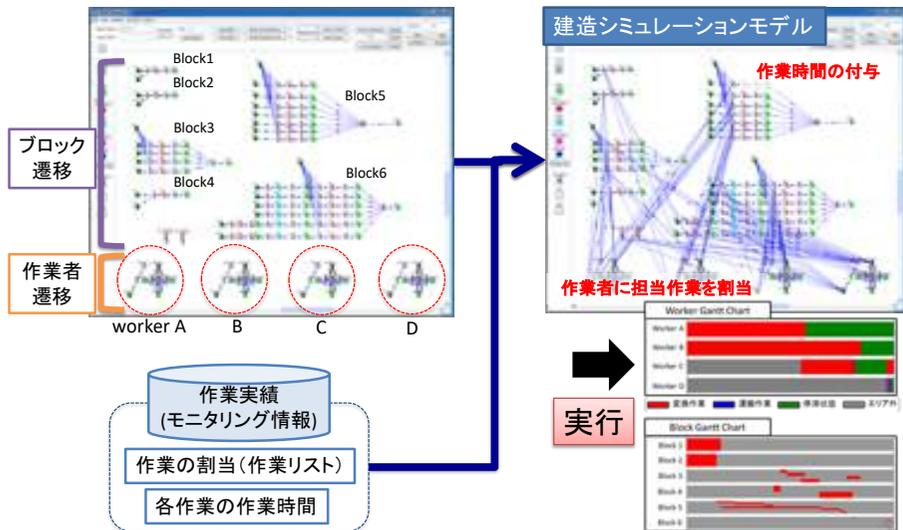
モニタリング情報の入力

・建造シミュレーションの実行には「作業時間」と「作業割当」が必要

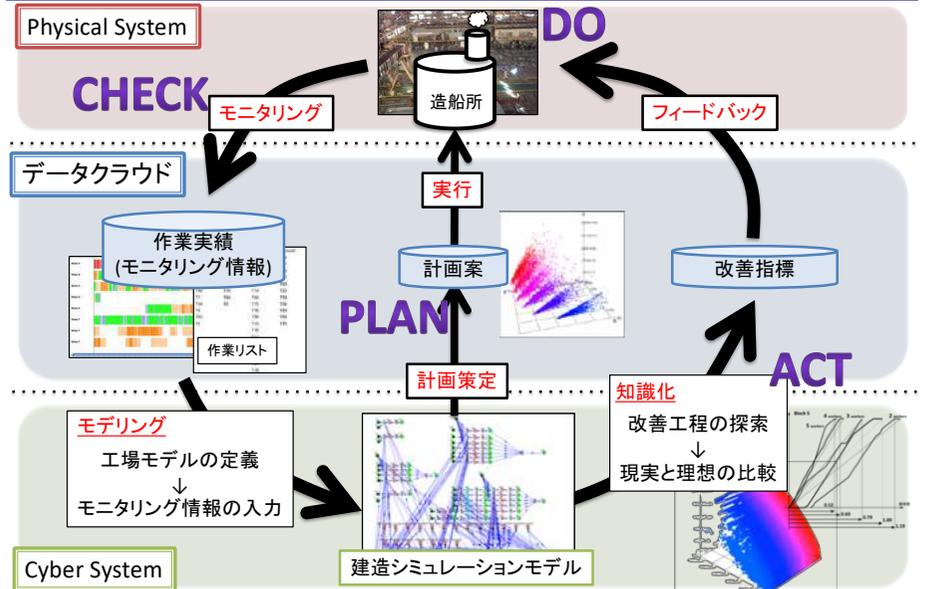


シミュレーションの実行例（実際の工程の再現）

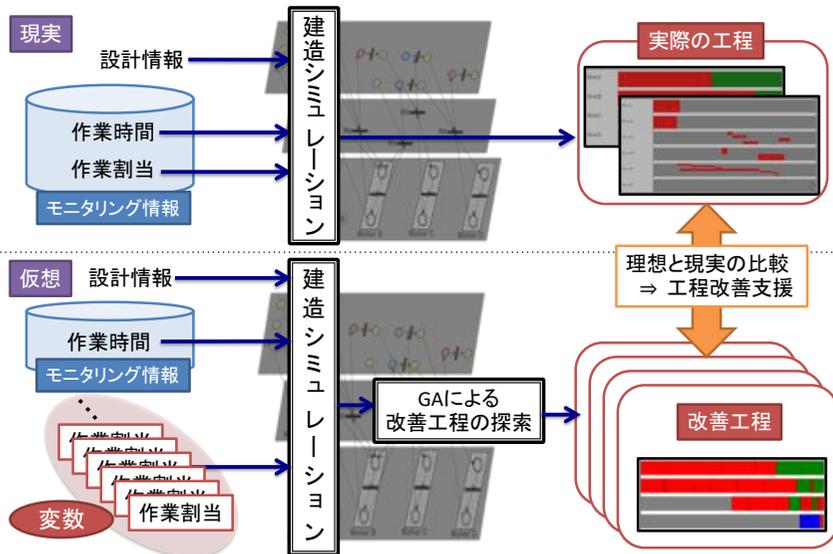
実際の3時間の造船工程のモニタリングデータ(仮想)に適合(総作業数28, 作業数者4人)



CPSの構築とPDCAサイクルの自動化

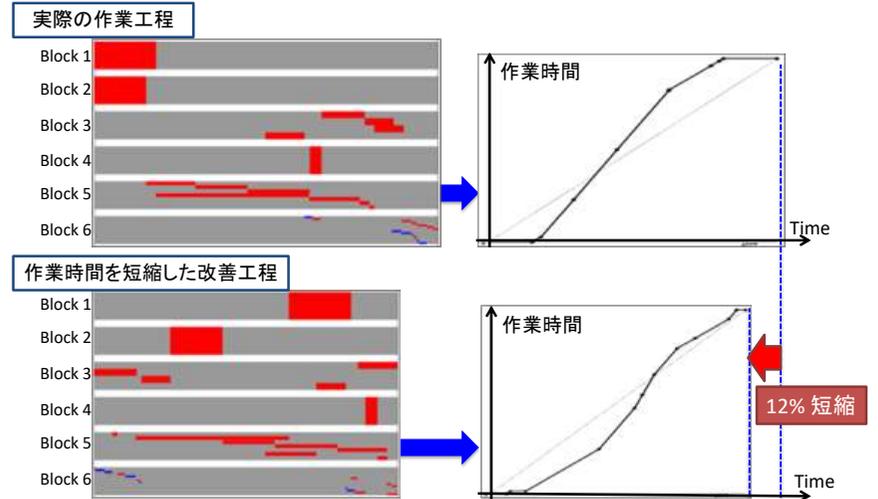


シミュレーションによる改善工程群の探索

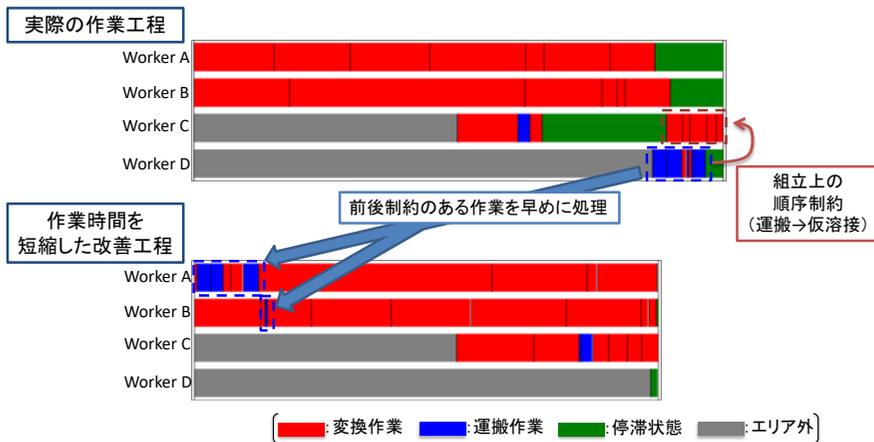


考察1 (同作業人数結果との比較)

- 同じ作業人数において、元の工程よりも早く作業が終了する工程が探索された ⇒ 今後の類似工程への利用が可能



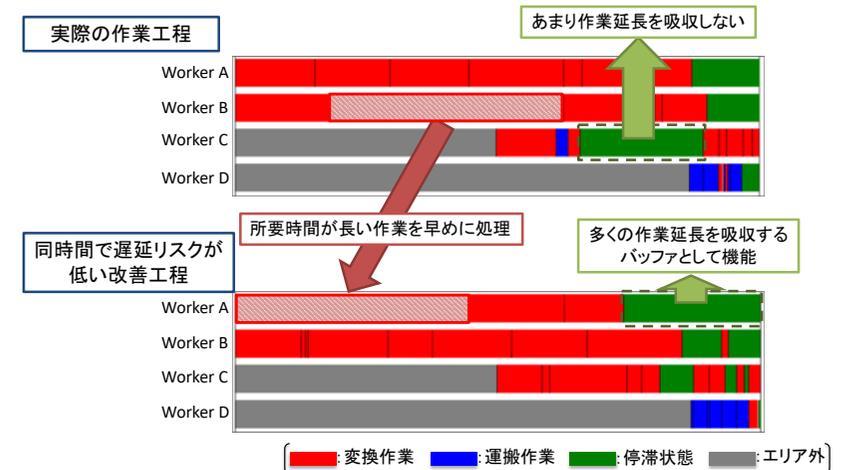
考察1 (同作業人数結果との比較)



前後制約がある作業を早めに処理することで、後半の作業選択の自由度が高まる

「前後制約のある作業を優先して行う」 ⇒ 作業時間短縮

考察1 (同作業人数結果との比較)

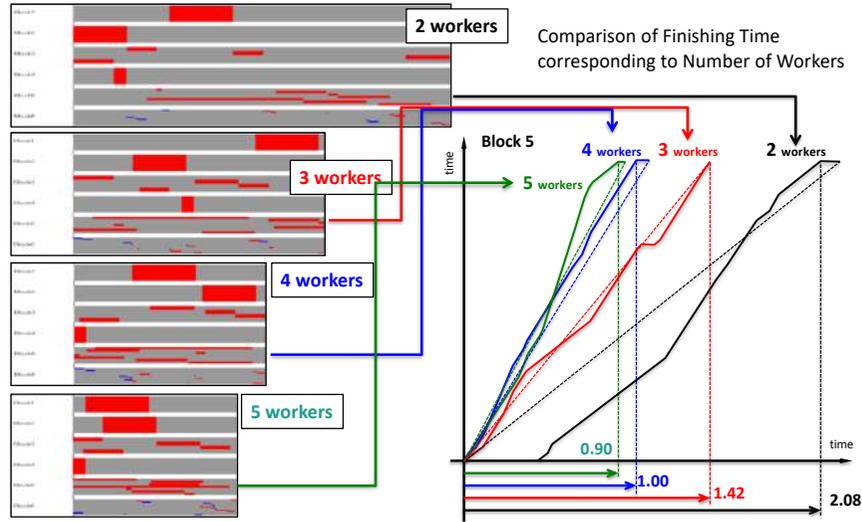


前半部にある作業時間が長い作業の延長を後半部に存在する停滞状態が吸収

「作業時間が長い作業を優先して処理」 ⇒ 遅延リスク低下

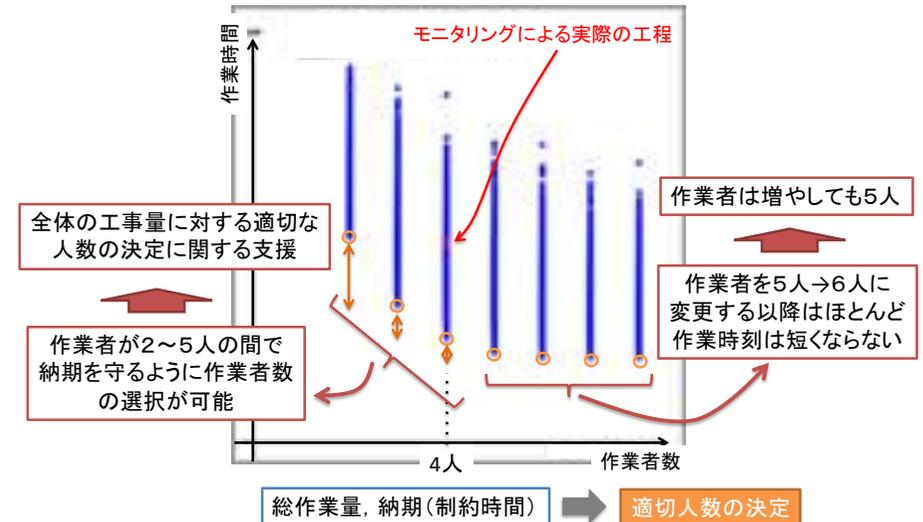
考察2 (異なる作業人数の結果との比較 1/2)

異なる作業人数における最短工程の比較



考察2 (異なる作業人数の結果との比較 2/2)

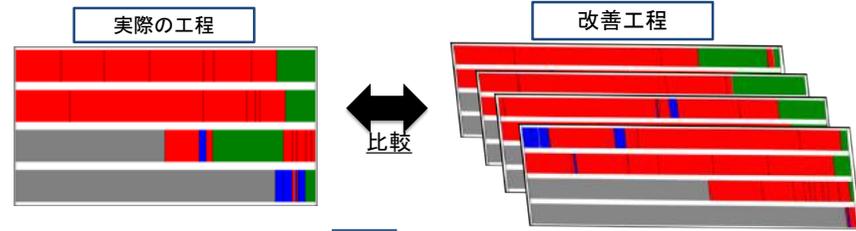
異なる作業人数における最短工程の比較



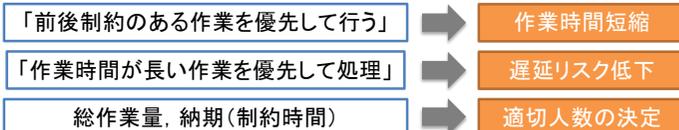
改善工程と現実の比較による工程改善支援

一般的に正しいかどうか分からないが、改善工程の作業処理の順番に関する指標を改善工程から考察できる。

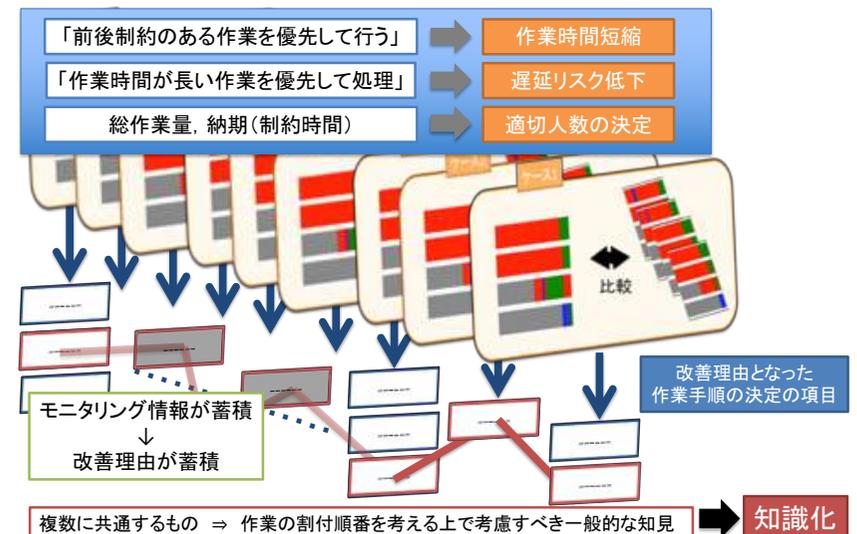
今回のケース



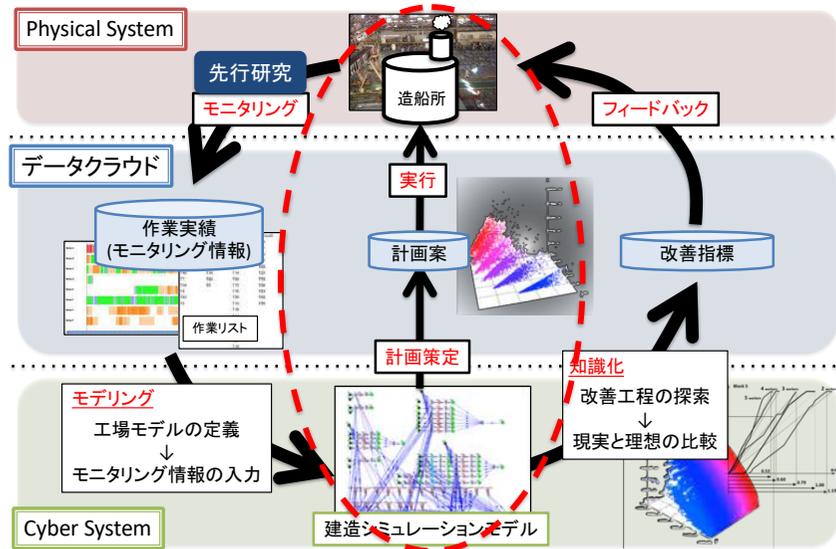
改善理由となった
作業手順の決定の項目



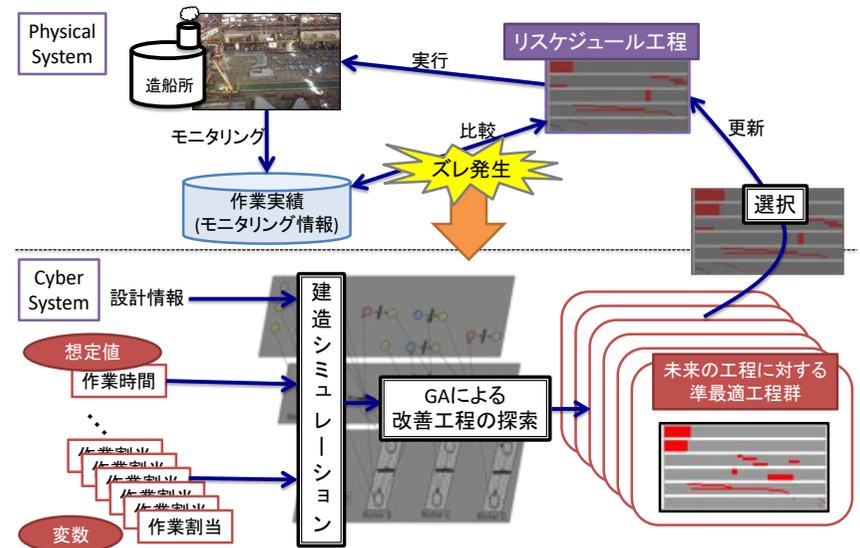
改善工程との比較による工程改善支援



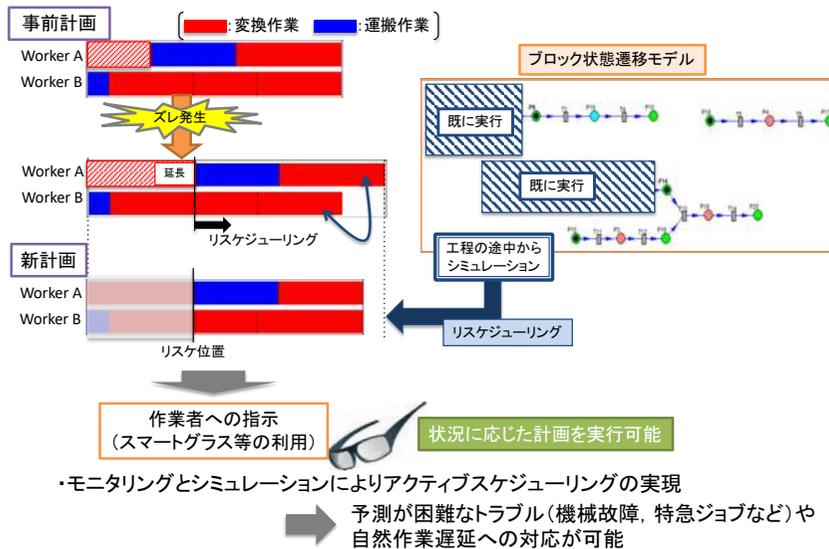
建造シミュレータの計画策定への利用



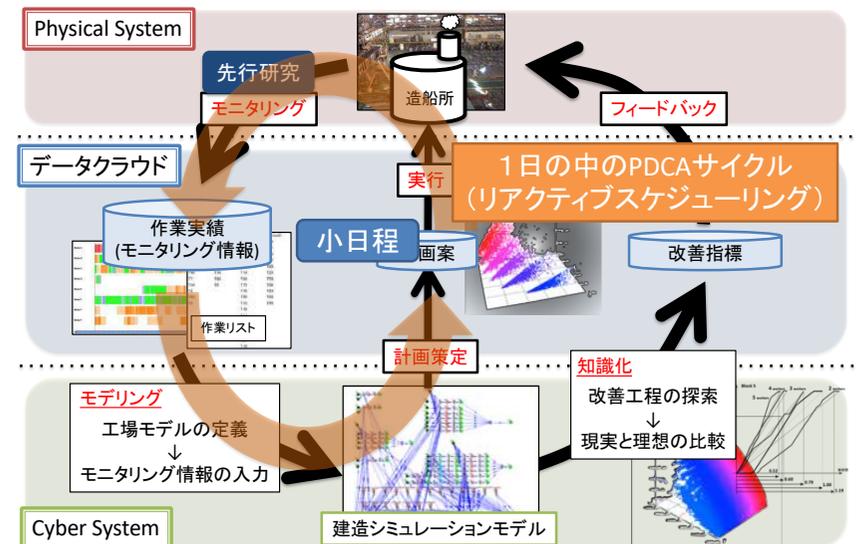
モニタリングとシミュレーションによるリアクティブスケジューリング



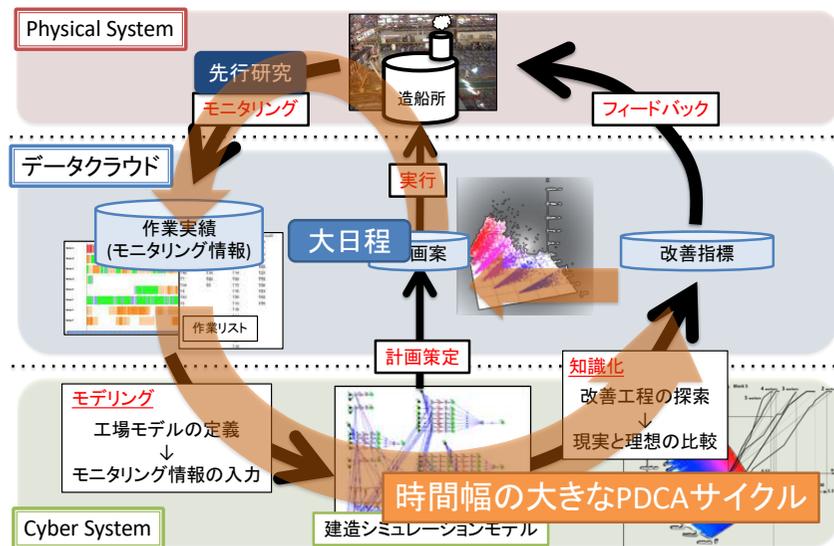
モニタリングとシミュレーションによるリアクティブスケジューリング



まとめ：CPSの構築とPDCAサイクルの自動化



まとめ：CPSの構築とPDCAサイクルの自動化



工場モニタリングとインダストリ4.0

モニタリングによって実現化される製造データを基盤とした製造マネジメントへの期待と、造船工場を題材に近未来の工場の姿を議論

- 生産マネジメントを高度化する技術
 - IoT (Internet of Things) の時代、ビッグデータ技術
 - ICT (情報通信技術) の有効利用
 - インダストリ4.0/インダストリアル・インターネット
- 工場モニタリングの試作と可能性
 - 建造情報の収集システムの構築
 - 収集した情報の活用技術・マネジメント技術の構築
 - プロトタイプシステムの紹介
- モニタリングからインダストリ4.0へ
 - 人と設備、物がつながる製造業
 - 人間中心 (Human Centric) のモニタリングシステム
 - 人間中心 (Human Centric) の製造環境の構築

人（作業員）を見守る建造システム

- 人（作業員）を見守る製造環境
 - Human First：人間優先， Human Centric：人間中心へ
 - 人と設備，物が優しくつながる製造業
 - 人間中心のモニタリングシステム
- 高い生産性，高い品質の実現
 - 労働安全の向上：環境の改善活動の促進
 - 品質の向上：品質の改善活動の促進
 - 生産性の向上：生産の改善活動の促進
- 価格に囚われない競争力の実現
- 強い生産システム：造船の確立

おわりに：CPSSへの期待

CPSS: Cyber Physical Shipbuilding System

企業サイド

- 船舶（製品）の品質保証データの獲得
- トレーサビリティの確立
- オペレーション，メンテナンスデータも追加し，ライフサイクルデータとして管理，活用

労働者サイド

- 作業員/労働者に優しい工場へ
- 能力，体調に合わせた無理が無い優しい工場
- 作業指示システムの構築と連携
- ムリ・ムダ・ムラの排除
 - ムリとは負荷が能力を上回っている状況
 - ムダとは負荷が能力を下回っている状況
 - ムラはムリとムダの両方が混在して時間によって表れる状況