

生産シミュレータによる造船作業のモデル化 に関する研究

～海技研のデジタルシップヤード構築に向けた方針と
その取り組み～

2018年7月18日 第18回海上技術安全研究所 研究発表会

構造基盤技術系 松尾宏平
構造基盤技術系 谷川文章



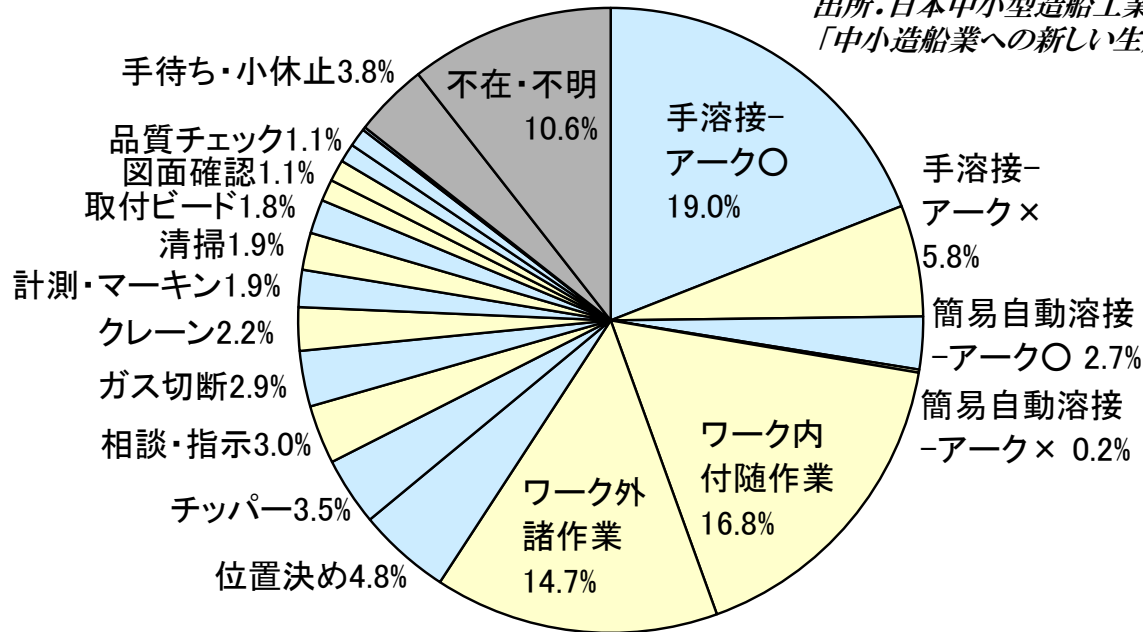
内容

- 造船製造現場の課題と海技研の着目点
- 「デジタルシップヤード」構想と造船のデジタル化
- 「デジタルシップヤード」を実現するための研究開発
⇒平成29年度の生産シミュレーションの事例
- まとめ
⇒「デジタルシップヤード」のその先に

造船現場の課題と着眼点 ~ 臨機応変に頼らざるを得ない造船現場 ~

■ 造船における付随作業と無付加価値行為は6割以上

【事例】船殻組立工程主作業率 中小型造船業12社平均38.6%
 出所：日本中小型造船工業会 平成28年度日本財団助成事業
 「中小造船業への新しい生産管理手法の導入による人材活用」



主作業：4割未満

ワーク(加工対象物)が完成に向かって進む作業。板を切る、板を曲げる、取り付ける、溶接をする、塗装するなど。

ワークが設計寸法通りならば、ほぼ物理現象。解析的に扱える。

付随作業と無付加価値行為：6割以上

付随作業：それをしないと主作業を進められないが、それ自体ではワークが完成に向かって進まない作業。

無付加価値行為：ワークの完成に対して何の価値もない行為。

■ 臨機応変に頼らざるを得ない造船現場

造船現場の根本的な課題：

- 主作業率が低く、生産性(能率)が低い
- 標準作業・標準時間が当てにならず、合理的な生産管理、コスト管理ができない
- 技能者不足、技能者育成の問題



付随作業と無付加価値行為に解決あり：

- 人間要素、人間作業で構成されるもの。
- 正しく表現することが難しく、結局は人間任せで曖昧。作業者による臨機応変な振る舞いに依存。「要領よく動く」の類の作業。
- 本人の動き次第で長くも短くもなる。造船業において数値計画通りに物事が運ばないに留めている。
- 臨機応変な振る舞いは作業者個人に内在し明示されない。技能差を発生。

■ 技能者の人間要素、人間作業の解明＝臨機応変性への対応

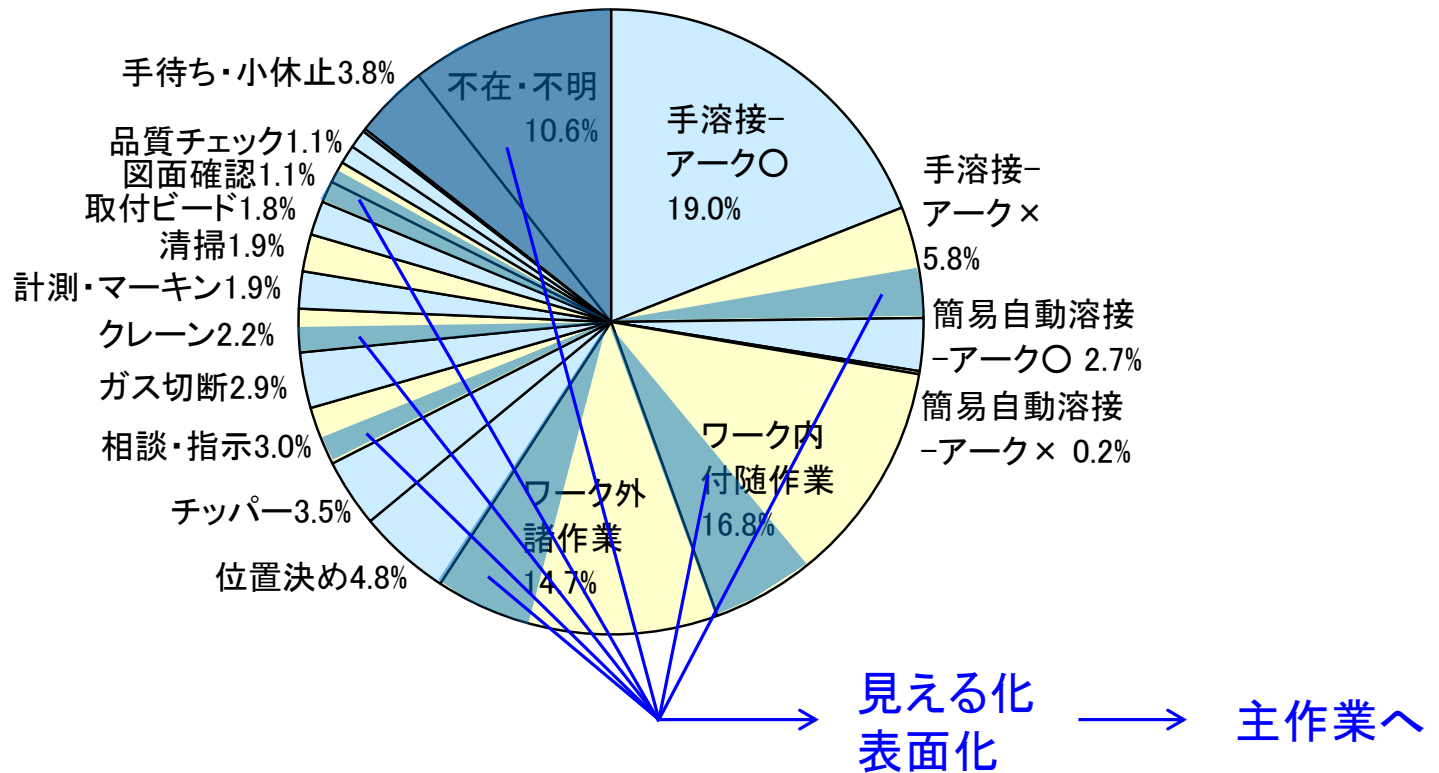
- 造船作業における人間要素の科学的な解明に取り組む。
- 造船作業の曖昧さを排除し、造船作業者の「要領よく動く」や臨機応変な振る舞いを表現する。
- 造船の生産行為を「すべてが数値表現され、すべて数値計画され、すべてが計画通りに完結する」へ※。
- 生産の最適化によって、リードタイム短縮、コスト削減、生産性の向上を目指す。造船のライン化、自動化を進める。

「デジタルシップヤード」

※造船のデジタル化:

- 「デジタルシップヤード」の方針の基づき、効果的に新しいデジタルテクノロジー（ICT技術、IoT, AI技術）を活用し、人間要素、人間動作で構成される造船作業の数値化を実現する。

現在は現場での作業者判断、臨機応変に任せているものを
 机上で事前計画したり、あるいはAI技術などで支援することで、
 作業者にはその貴重なリソースを、より重要なことに充ててもらおう。

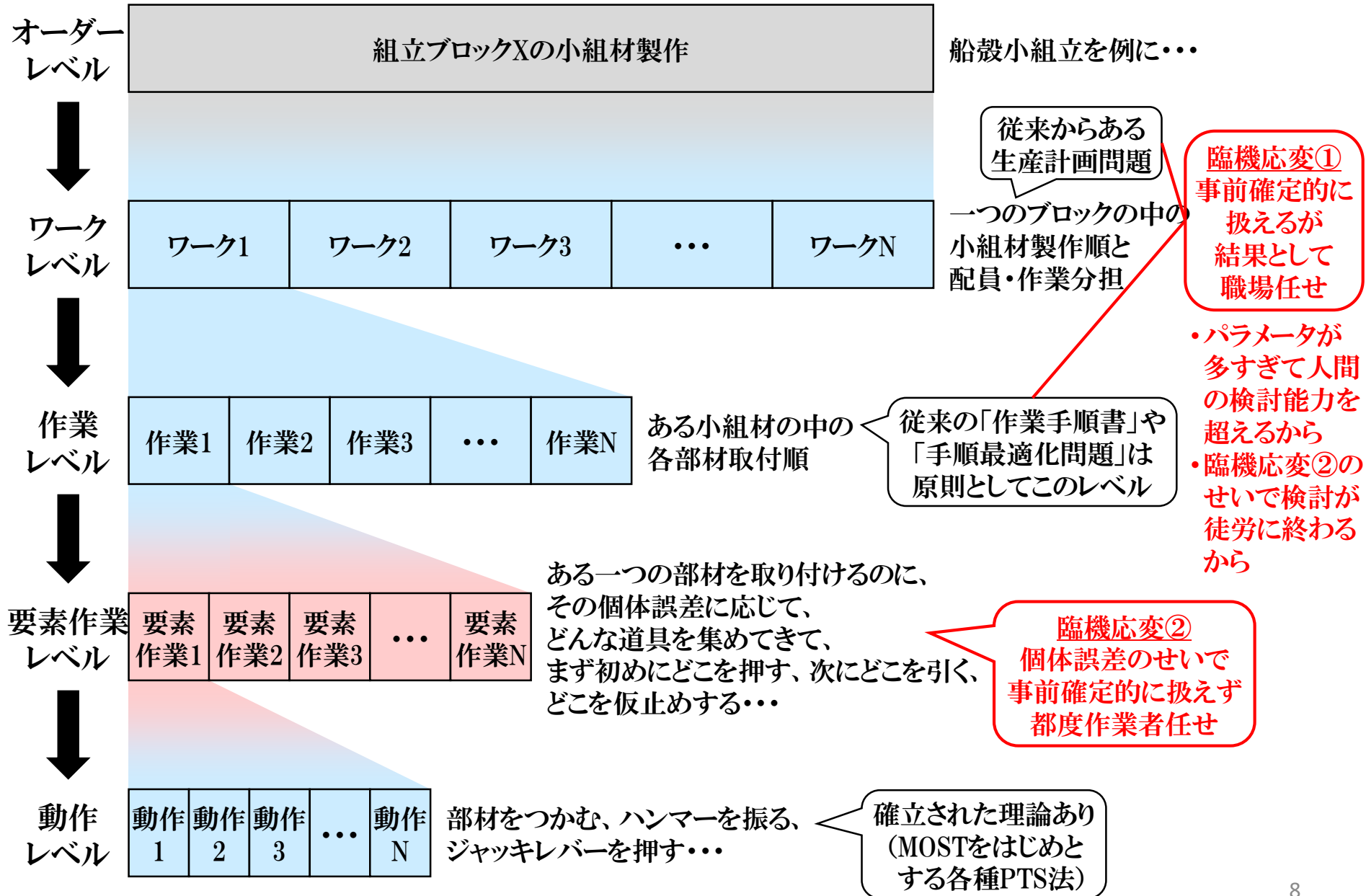


「デジタルシップヤード」構想と造船のデジタル化

すべてが数値表現され、すべて数値計画され、すべてが計画通りに完結する造船所

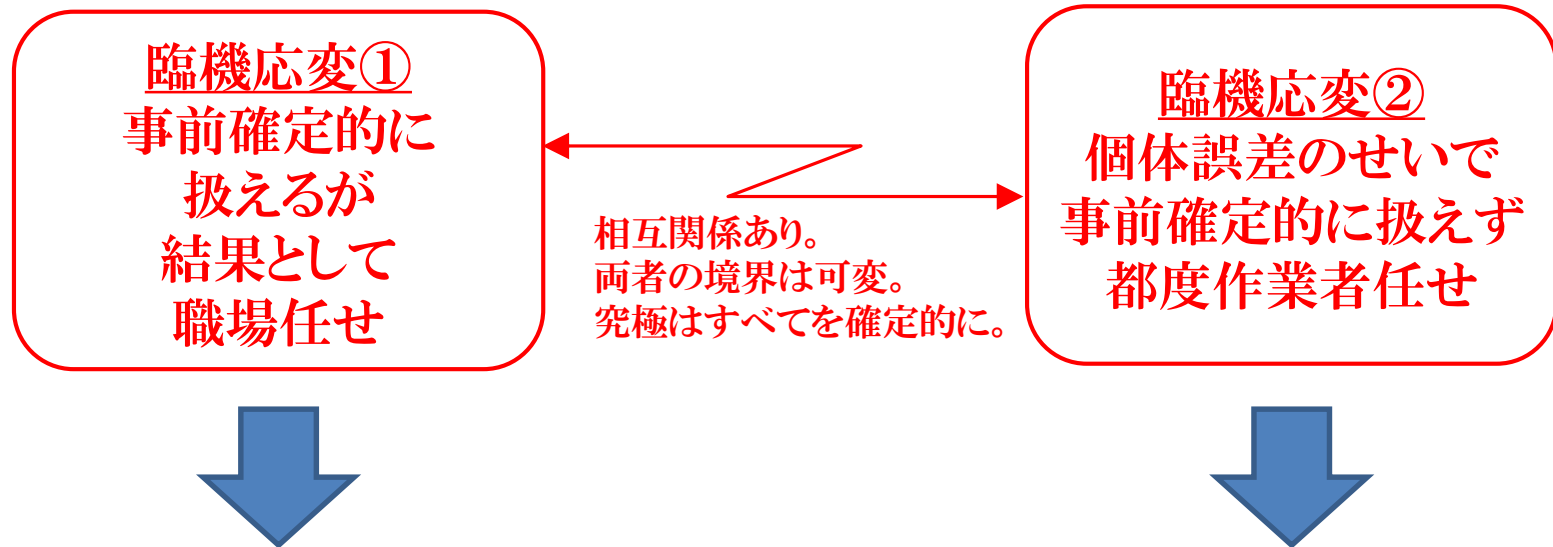
	アナログシップヤード	デジタルシップヤード
デジタルと 言われれば...	IoT、ビッグデータ、... 元々デジタルのものを詳しく扱う アナログはアナログのまま	数値表現 アナログのものをデジタルにする
思考	帰納、実績、...	演繹、計画、...
着目	結果・現象 $y = f(x)$	メカニズムと要因 $y \neq f(x)$
造船作業は 臨機応変 だから...	実績をマクロに捉えて 確率分布的に表現する	メカニズムを突き詰めて 臨機応変ではない姿にする
「見える化」とは	精密なモニタリング (結果・現象を見る方法づくり)	計画通りの結果を得ること by トヨタ自動車 (メカニズム上で何が起きているかを 端的に表す仕掛けづくり)
計画通りに いかないから...	バッファを設けて実行段階で調整対処する。 リスケジュールのアルゴリズムを追究する。	原因を解明して計画段階で取り除く。 リスケ不要とすることを目指す。

■造船作業における2つの「臨機応変」



「デジタルシッパード」を実現するための研究開発

2種類の臨機応変それぞれに対して、別々のアプローチからメカニズムの解明に取り組む。

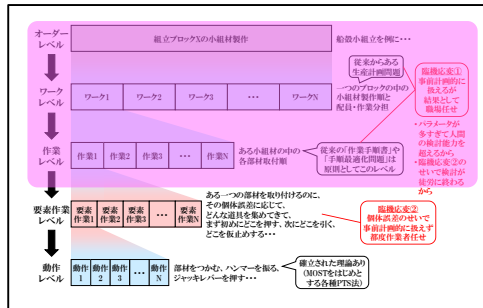


ワークレベル、作業レベルでの計画、手順を精度よく定める。
計算機上の生産シミュレーション等により演繹的に、ワークレベルの生産計画(小組材の製作順)、作業レベルの作業手順、手順最適化(小組の中の部材の取り付け順)する。

個体誤差に応じて、要素作業レベルで作業指示を定める。
中間製品の個体誤差の計測を実施。
個体誤差の臨機応変に対応するベテラン作業者の作業を形式知化、学習させ、人工知能で判断。

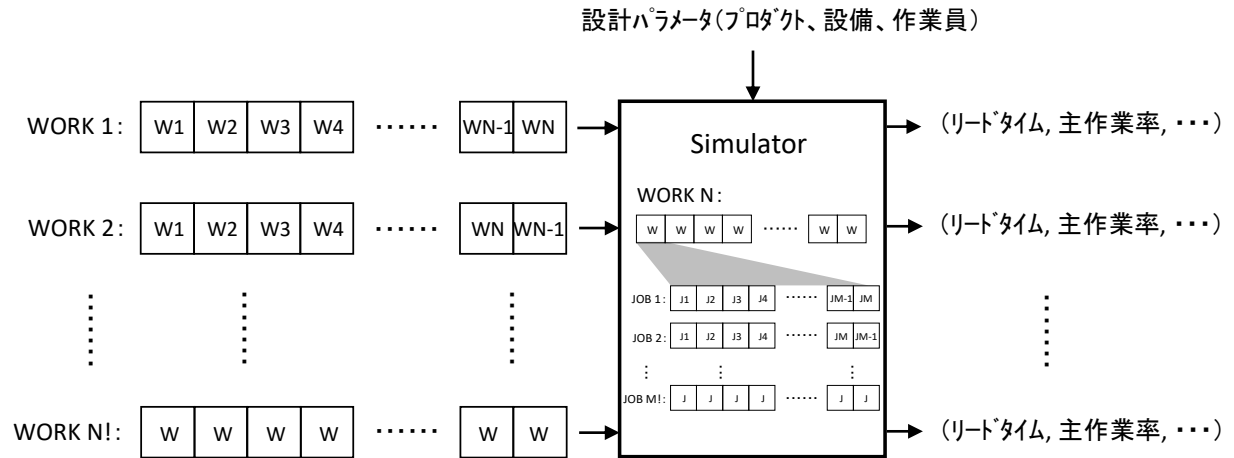
■ 臨機応変①： 生産シミュレータによる事前計画

臨機応変①
事前確定的に扱えるが
結果として職場任せ



ワークレベル、作業レベルでの計画、手順を精度よく定める。計算機上の生産シミュレーション等により演繹的に、ワークレベルの生産計画(小組材の製作順)、作業レベルの作業手順、手順最適化(小組の中の部材の取り付け順)する。

具体的には、ワークあるいは作業の順番、手順のすべてのパターン(順列問題)に対して生産シミュレーションを行い、最適解を探し、それを生産計画、作業手順として出力。



すべてのワーク順の組み合わせをシミュレータに投入。

投入されたワーク順の各ワークにおけるすべての作業順についてもシミュレーション。

ベスト解

ワーク製作順
作業手順
標準時間

生産シミュレーションにより、ベテラン作業者の高度な先読み、臨機応変な対応と同等、あるいはそれを超越する(これまで気づかなかった)生産計画、生産手順を出力する。

ベテランの先読み例(＝臨機応変の要因パラメータ):

ベテラン作業員が普段取っている臨機応変性を、シミュレーションに反映させる。あるいは、人の思考、判断を超越する結果を得る。

最小化(距離、時間、回数、動作など)する	移動距離を最小化する(歩行距離、クレーンのパス)
	手の動き、足の動きを最小限にする
	二度手間を避ける(治具の設置、道具の収集)
	場所を有効的に使う(隙間が最小となる定盤上の配置)
作業性を考慮する、効率的な作業をする	後先に必要なもの(道具、治具)をあらかじめ用意する
	作業補助となるマーキングなどをあらかじめやっておく
	奥の方から手前に物をつけていく
	作業しやすい形、姿勢で作業する
	進行方向に沿って後ろ側から作業する(塗装、掃除)
	作業方向の先にかからないようにする(ケーブル&ワイヤ)
	変形が少なくなるように順番をつける(溶接順など)
	同じ作業をまとめてやる(多台持ち、ながら作業)
タイミングを見計らう、同期を取る(作業間、複数人作業)	配材で経路に応じてまとめて運ぶ
	作業単位で部材を仕分ける
	タイミングを計って複数の簡易自動台車をセットする
	一緒に作業するものとタイミングを計って作業する
	待ちの時に他の作業を進める、やれる作業をする
	塗料・錆止めの乾燥、余熱など、タイミングを計って作業する ¹¹

■造船小組工程の生産シミュレーション事例(H29年度)

富士通、富士通九州システムズ、富士通研究所と連携。

臨機応変性の表現の検証として、造船小組工程を対象に、モデル化、シミュレーションを実施。

臨機応変①の発生、メカニズムの解明。

効率的な小組材の製作順を対象。

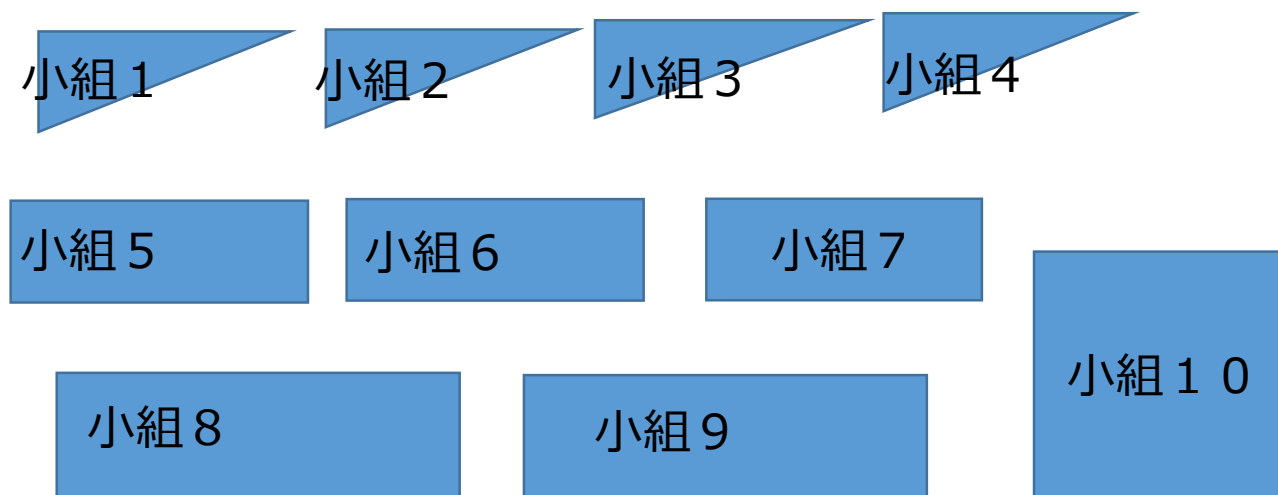
作業に必要な道具の取得(付随作業)を例に、

- なるべく同じ道具で作業できるようにする(回数の最小化)
 - なるべく1か所から集められるようにする(作業の効率化)
- という臨機応変性が表現できるかを検証。



造船小組工程の生産計画問題として、最適な小組材の製作順、リードタイムを検索する。

対象の小組材： 4種、10個の小組材

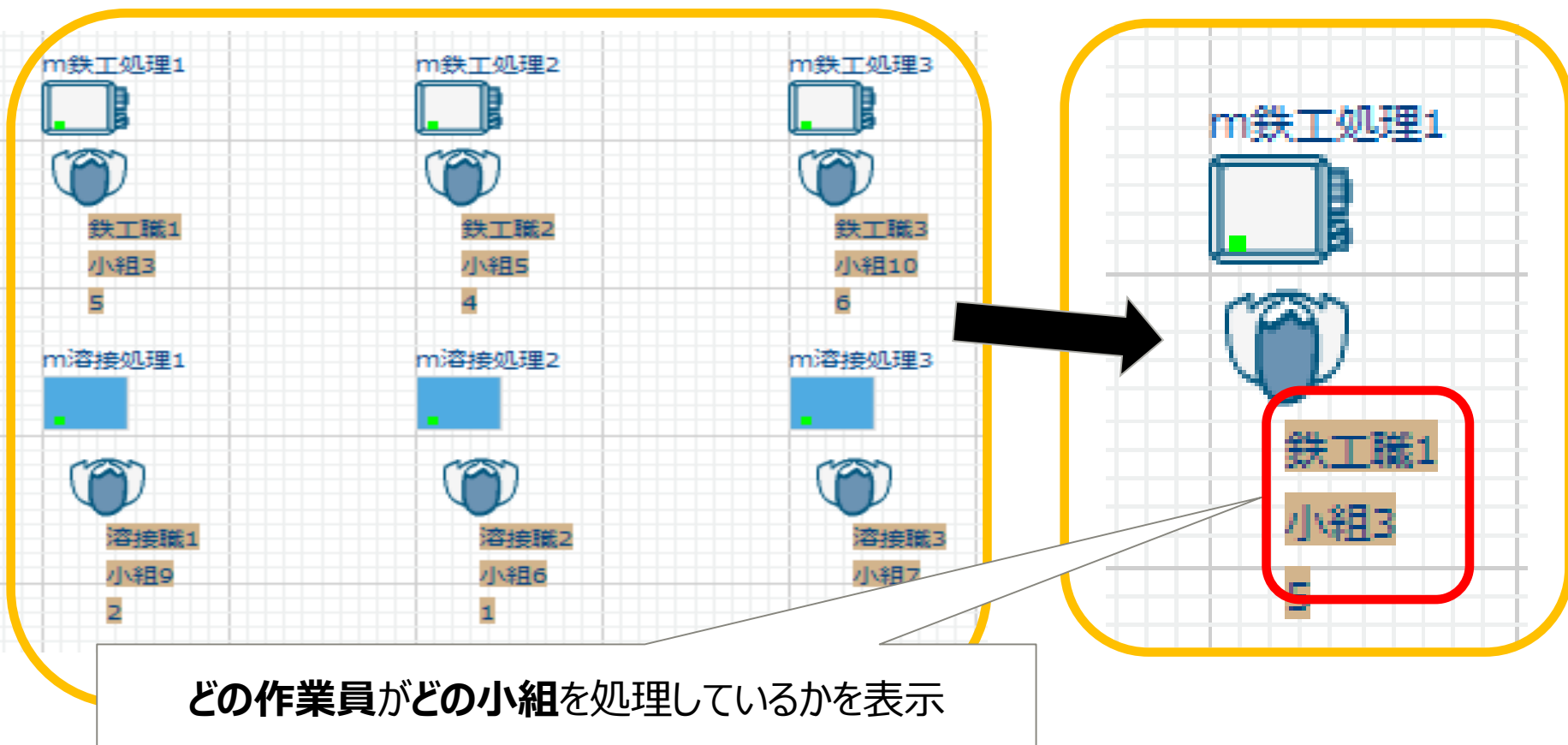


各小組材の取付に必要な道具：

	小組 1, 2, 3, 4	小組 5, 6, 7	小組 8	小組 9, 10
取付けに要する 道具の種類	A,B,C	B,C,D,E,F,G	A,B,C,D,E	D,E,F

シミュレーション条件①:

作業員の人数6人(鉄工職:3名、溶接職:3名)



- 6名の作業員が10個の小組材の作業に分担してかかる。
- 溶接職は鉄工職が部材取付け処理を完了させるまで作業を行うことができない。

シミュレーション条件②： 各作業の条件

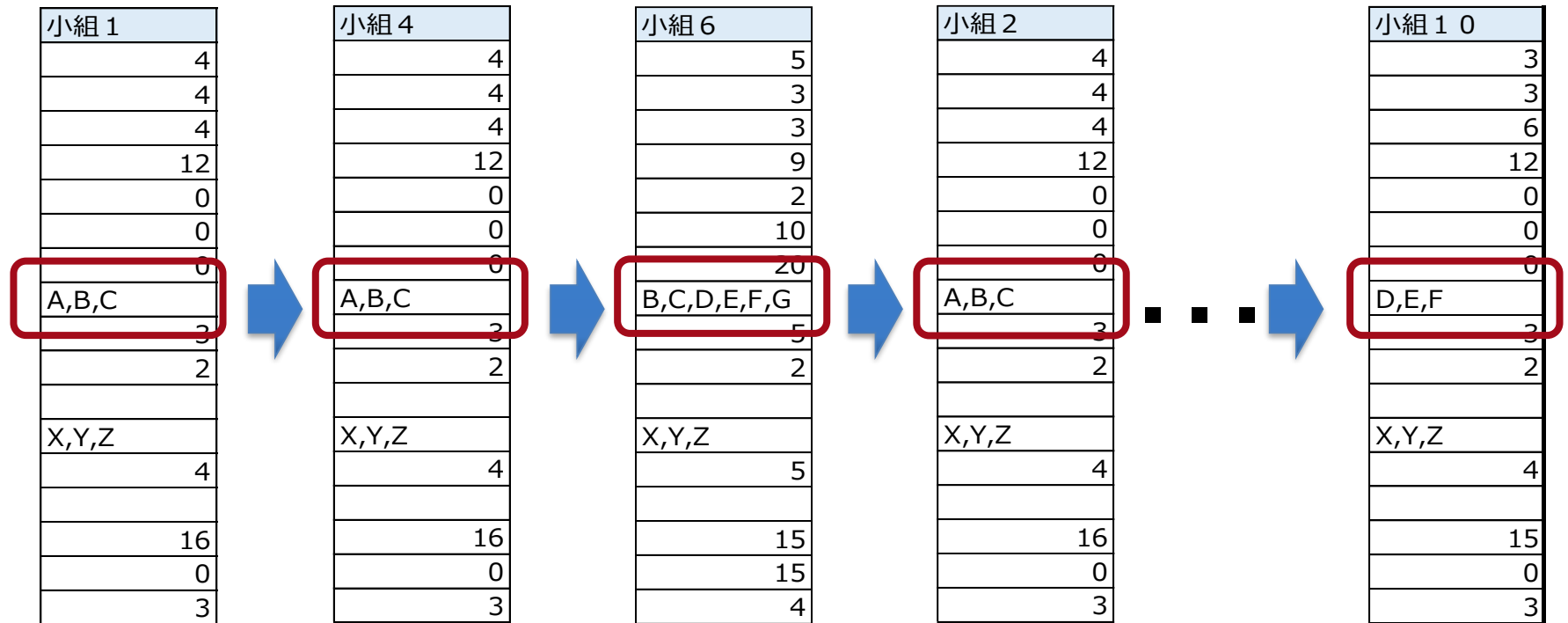
- 道具を取得～各小組まで運ぶのに要する時間は3分
- ただし、一人が持ち運べる道具は最大2つまで

	パラメータ	単位	回答	
			小組 1	小組 2
	●鉄工職業務			
1	小組1つに対する取付け部材数	[個]	4	4
2	手で運べる部材数	[個]	4	4
	それを手で配る際の手作業時間	[分]	4	4
	1部材取付けに要する時間	[分]	12	12
3	クレーンで運ぶ部材数	[個]	0	0
	それをクレーンで配る処理時間(移動時間)	[分]	0	0
	1部材取付けに要する時間	[分]	0	0
4	取付けに要する道具の種類	取付け道具A、取付け道具B・・・	A,B,C	A,B,C
5	取付け段取りに要する時間(必要道具取得に要する時間)	[分]	3	3
8	道具の片付けに要する時間	[分]	2	2
	●溶接職業務			
9	溶接に要する道具の種類	溶接道具A、溶接道具B・・・	X,Y,Z	X,Y,Z
10	溶接段取りに要する時間(必要道具取得に要する時間)	[分]	4	4
12	1部材溶接に要する時間 (手で運べる部材)		16	16
	1部材溶接に要する時間 (クレーンで運ぶ部材)		0	0
13	道具の片付けに要する時間	[分]	3	3

例： 必要道具が3つの場合→所要時間は3分 × 2往復=6分

シミュレーション条件③： 処理する小組の順番

- 処理する小組の順番はランダムで変動。
- 10個の小组の順列組合せ $10! = 3628800$



前の小组と次の小组で道具が重複する場合、そのまま同じ道具を使えるものとする。その際の道具取得時間は0分。

例：小组1→小组4に移る場合、道具A,B,Cが重複の為、道具取得時間は0分
 ※道具重複が無い場合、道具は処理終了時の小组に残していくものとする

生産シミュレータ:

生産工程をモデル化し、作業条件を入力することで、作業内容の時系列推移、生産時間、稼働率などを出力。

分散シミュレータ「Witness」を利用。

作業パラメータ(Input例)



小組	鉄工業務									
	鉄工段取り	鉄工取付	必要道具							
			A	B	C	D	E	F	G	
小組6	9	67	0	1	1	1	1	1	1	1
小組9	6	36	0	0	0	1	1	1	1	0
小組7	9	67	0	1	1	1	1	1	1	1
小組5	6	67	0	1	1	1	1	1	1	1
小組3	3	48	1	1	1	0	0	0	0	0
小組10	0	36	0	1	1	1	1	1	1	0
小組4	6	48	1	1	1	0	0	0	0	0
小組2	3	48	1	1	1	0	0	0	0	0
小組1	0	48	1	1	1	0	0	0	0	0
小組8	3	208	1	1	1	1	1	1	0	0

■ シミュレーション条件入力
Excel上各パラメータを設定

スケジュール(Output例)



小組	結果担当者	担当者
小組1	鉄工職1	鉄工職1
小組2	鉄工職2	鉄工職2
小組3	鉄工職1	鉄工職1
小組4	鉄工職2	鉄工職2
小組5	鉄工職3	鉄工職3
小組6	鉄工職3	鉄工職3

■ シミュレーション結果を反映
Witnessの結果をExcelに反映

時間
の検討

ログ
の出力

小組処理順序 10パターンの結果例：

段取り時間(分)＝道具準備時間の昇順

実測回数	小組順	スループット時間(分)	段取り合計時間(分)
実測3	小組3→小組9→小組10→小組6→小組5→小組1→小組4→小組7→小組8→小組2	507	33
実測4	小組6→小組9→小組10→小組3→小組7→小組2→小組1→小組5→小組8→小組4	507	33
実測6	小組4→小組10→小組6→小組7→小組1→小組9→小組5→小組3→小組8→小組2	507	42
実測9	小組5→小組8→小組10→小組6→小組1→小組9→小組2→小組4→小組3→小組7	398	45
実測1	小組7→小組4→小組5→小組2→小組3→小組1→小組10→小組8→小組6→小組9	519	45
実測10	小組6→小組9→小組7→小組5→小組3→小組10→小組4→小組2→小組1→小組8	558	45
実測2	小組1→小組8→小組10→小組5→小組2→小組4→小組3→小組7→小組9→小組6	399	48
実測8	小組10→小組2→小組5→小組4→小組9→小組8→小組7→小組3→小組1→小組6	468	48
実測5	小組8→小組9→小組7→小組1→小組3→小組2→小組6→小組10→小組4→小組5	405	51
実測7	小組9→小組7→小組6→小組4→小組1→小組2→小組10→小組8→小組5→小組3	519	57

↑
↑
↑
↑
↑
↑
↑
↑
↑
↑
↑

結果

**小組処理順序の変更によって段取り合計時間に差が生じる
→段取り合計時間 最小:33分/最大:57分**

小組処理順序 10000パターンの結果例:

鉄工職作業員の道具に関する付随作業時間

- 道具に関する付随作業(道具取得、片付け等)の総時間数を小組の製作順をランダムにした場合、どのような分布になるかを検証。
- 製作順(臨機応変性)によって、分布が発生することを確認。
- 分布の左側にある(作業時間が少ないもの)製作順が要領のいい製作順と見なせ、シミュレーションからそれを導くことができる。

道具に関する全付随作業分布



シミュレーションの条件:

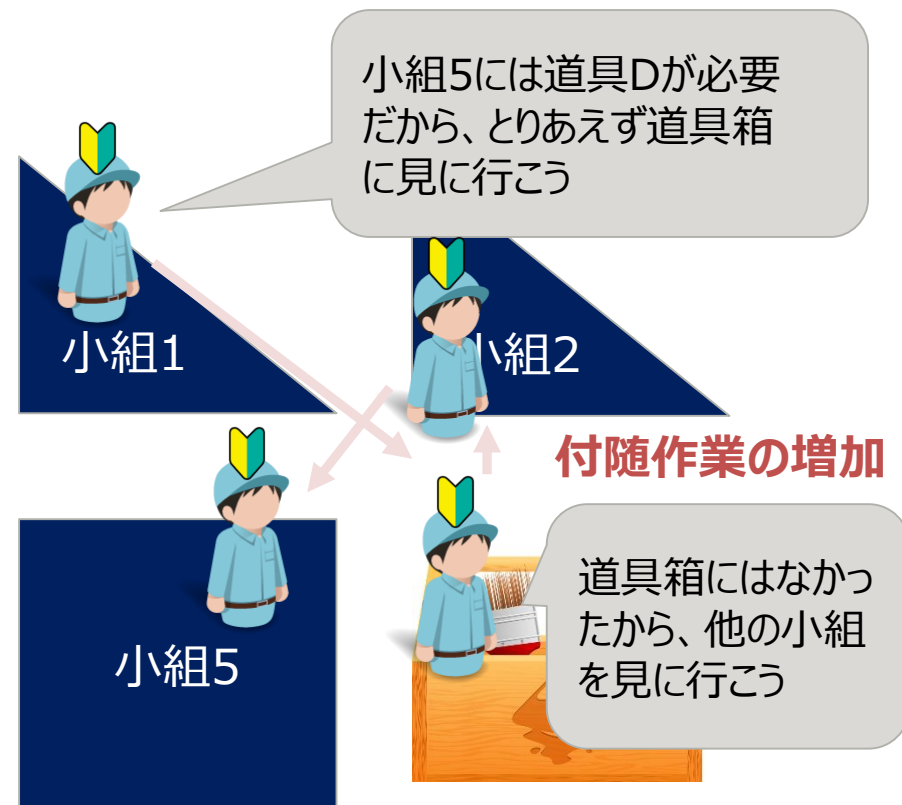
- 道具を持っていない場合、道具が道具箱にある場合は道具箱から取得
- 持っている道具が次の小組でも必要な場合、その道具を次小組に持っていく
- 持っている道具が次の小組で不要な場合、その道具は現小組に放置
- 道具を持っていない場合、対象道具が道具箱にない場合は小組定盤から取得
- 一回の移動で道具は2個までしか持てない。一回の往復には一律3分
- 移動時に道具を持っていない場合でも、移動に一律3分かかる
- 片付け時間として、道具を持っている作業員は道具箱に返還。小組定盤にある道具は回収して道具箱に返還。ルールは先と同様

ベテラン／非ベテランのモデル化：

- ベテランと非ベテランの違いを表現するシミュレーション事例
- ベテランと非ベテランの違いのひとつとして、作業の進捗における道具の在りかに関する認識とそれを踏まえた要領のよい動きとする



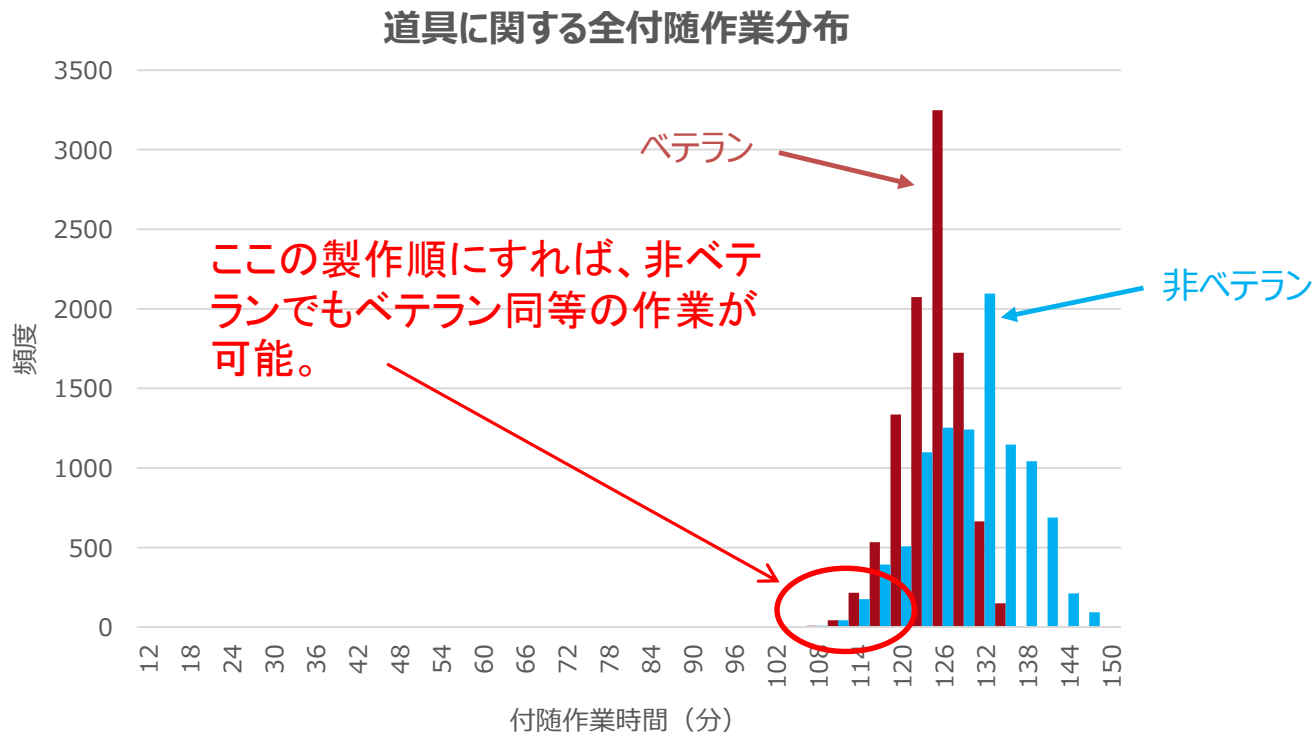
ベテランの判断



非ベテランの判断

ベテラン／非ベテランにおける付随作業時間の違い

- 非ベテランの付随作業の増加に伴い、ヒストグラムの裾野が増加
- 小組の製作順によってはベテランと同様のパフォーマンスを非ベテランでも発揮できる計画は立案可能
- 非ベテランが工具箱に無駄に足を運ぶのは、自分が道具を持っていない場合。次の小組を自身の保有道具内で処理可能な小組になるように計画(小組の製作順)を立案すれば、その無駄が減少する。



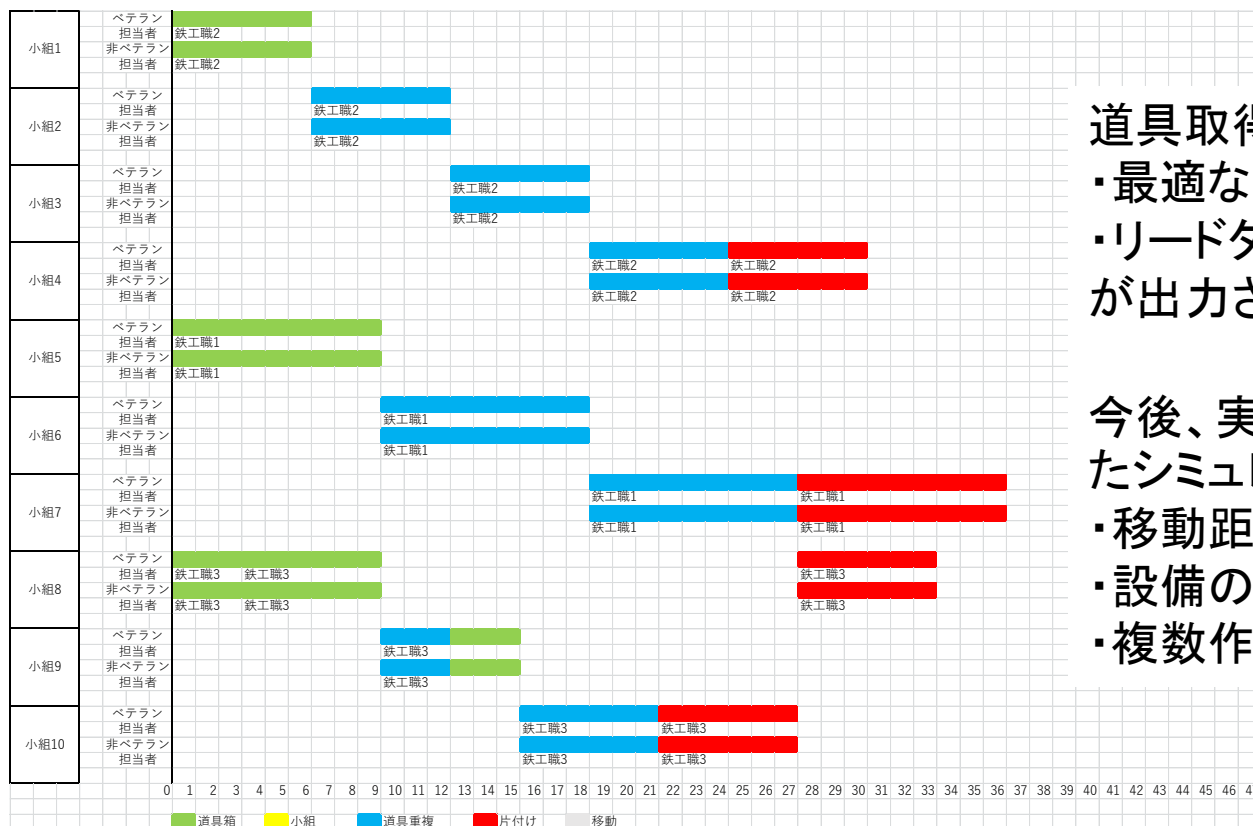
シミュレーションのまとめ:

ひとつひとつは確定的な作業(必要な道具、一度に取りに行ける道具の個数、それを取りに行くのに必要な時間)だが、これを組み合わせた全体の作業は変わりうる。

⇒要領のよさ、先読みの仕方によって作業時間が大きく変わりうる。

⇒造船の臨機応変性を表現。

【本シミュレーションでの最適な小組の生産計画】



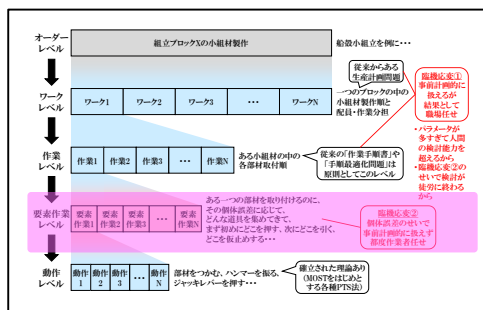
道具取得の要領の良さが反映された
 ・最適な生産計画(小組の製作順)
 ・リードタイム、標準時間
 が出力される。

今後、実際の造船現場をより再現したシミュレーションへ拡張。
 ・移動距離の最小化(定盤配置)
 ・設備の制約(クレーンの有効利用)
 ・複数作業者間の同期

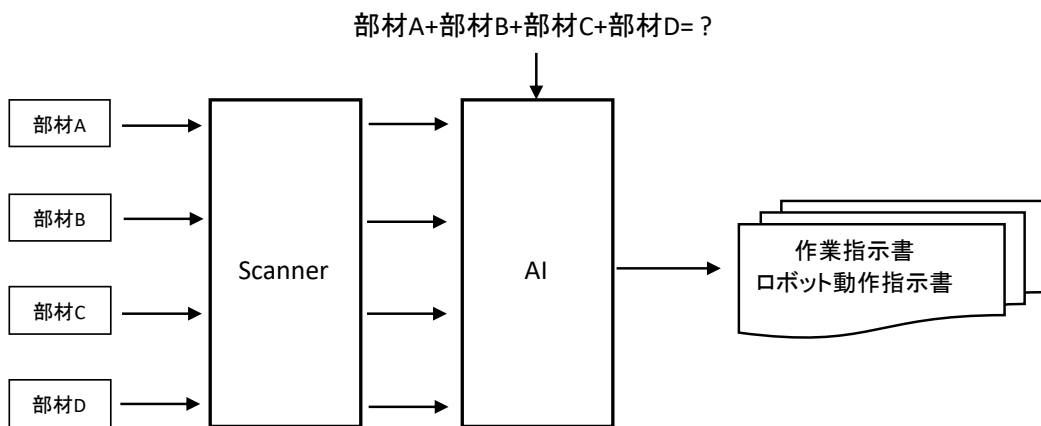
※鉄工職の道具取得の部分のみ抜粋

■ 臨機応変②： 生産シミュレータによる事前計画

臨機応変②
個体誤差のせいで
事前確定的に扱えず
都度作業任せ



具体的には、すべての中間製品の状態(形状誤差など)を計測し、その結果を踏まえて、「一発取付作業指示書」を出力する。



中間製品の個体誤差の計測を実施。

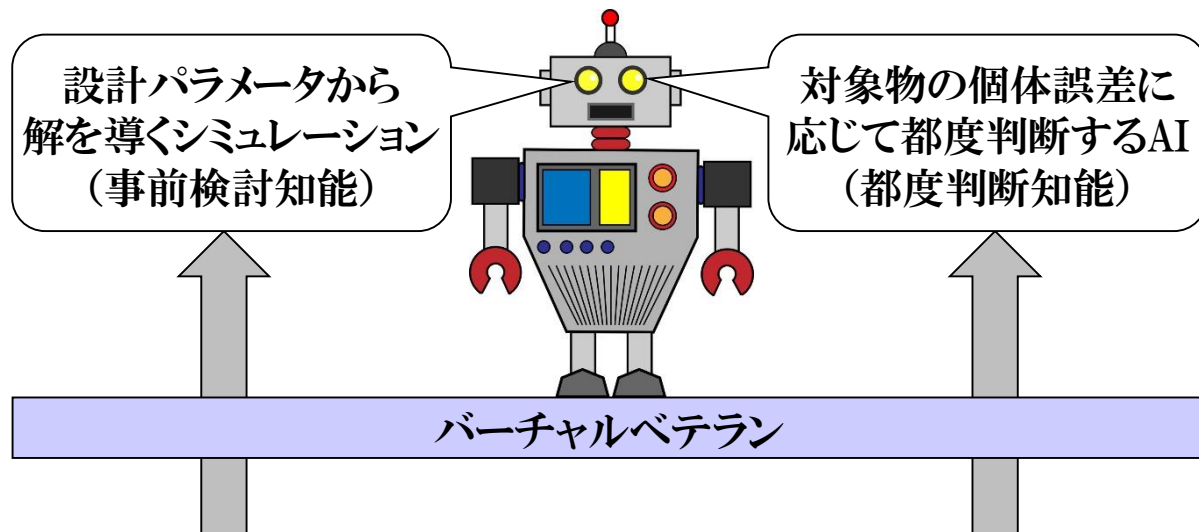
個体誤差の臨機応変に対応するベテラン作業者の作業を形式知化し、人工知能で判断。

個体誤差に対応した「一発取付作業指示書」があれば、それを機械化、ロボット化に展開可能。

例えば、作業指示書で必要な道具が明確化されれば、道具・治具を自動収集する「段取りロボット」を考案でき、これにより更に付随作業を削減できる。

■「デジタルシップヤード」を実現するための研究開発の今後

ベテラン作業者の臨機応変な振る舞いを再現する自律オブジェクト



課題
適切なシミュレーション
エンジンを選定し
「作業サンプル」を
実装してチューニング

課題
「作業のAI学習」の方法を確立
・ 作業中ベテランに喋らせて
録音(安全確保に注意)
・ 作業者動線・道具の動線
・ 作業の外観映像ではなく
ベテランの主観映像
・ . . .

まずは、

- ・ 船殻小組を対象に研究
- ・ 造船作業の特徴を網羅しつつ研究題材用にデフォルメした「作業サンプル」にて検証

まとめ ～デジタルシップヤードのその先に～

海技研では「デジタルシップヤード」構想を掲げ、特に作業者の臨機応変な振る舞いに注目し、造船に潜む曖昧や臨機応変の明確化、解明に取り組む。これを造船のデジタル化とする。

臨機応変＝丹念に計画すれば事前に計画できること＋個体誤差によってその場の臨機応変が必要なもの、とし、それぞれの臨機応変に対してアプローチをとる。

最終的には、計画と実行の境をなくす、計画通りに行くんだという計画を作ることを目的とする、事前計画やAI利用によって、作業者にはより高度な作業に従事してもらう。

ベテランのやっていることを解としてそれを再現、追従することが目的でない（マクロな扱いをしない）。

技能差についても、本研究では臨機応変によるものという仮説のもと、その問題解決に取り組む。

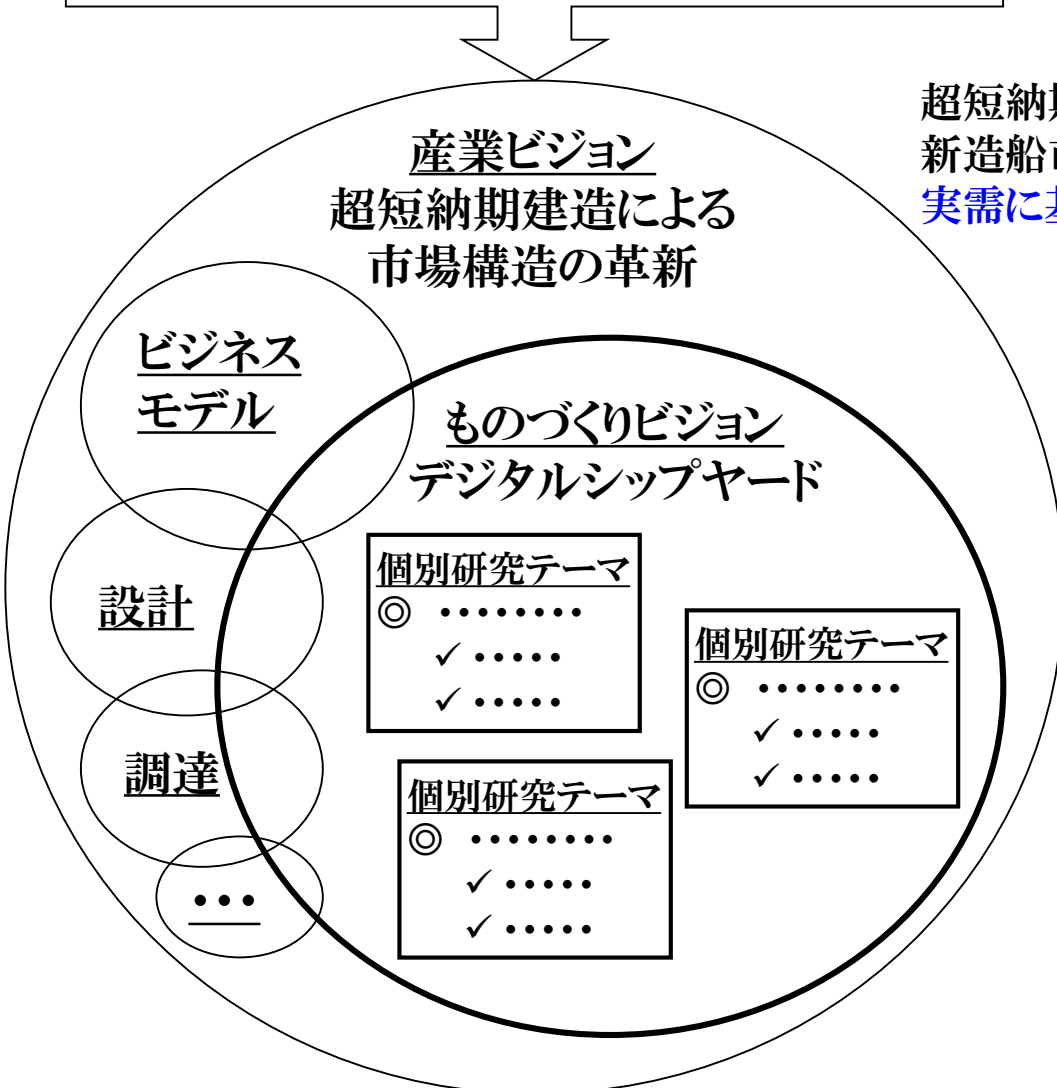
造船は大量生産ではなく一品生産であること、また、人が取り扱えるサイズ、重量を優に超える大型構造物の製造で、その取扱いが難しいだけでなく、多くの作業者が対象の製造物に群がって生産する方式であり、事前に作業内容を詳細に詰めることが難しい。造船は人間要素、人間作業が中心の労働集約型産業。この生産性革命を新しいテクノロジーで突破する。

■「デジタルシップヤード」のその先に

造船の不幸を繰り返さないビジョン
 構造不況業種の「構造」を変える課題に挑戦

造船業は受注生産のふりをした見込生産である。
 だから相場モノになって苦しむ。

超短納期建造(象徴的には受注～引渡=1ヶ月)により、
 新造船市場を見込み・投機から、
 実需に基づく真の受注生産に変える。



造船作業の曖昧さ(アナログ)を排除(デジタル)。
 造船作業者の臨機応変な振る舞いに着目。
 すべてが数値表現され、すべてが数値計画され、すべてが計画通りに完結する造船

個別研究テーマ

- ◎ 作業者の臨機応変な振る舞いを再現する自律オブジェクト開発(バーチャルベテラン)
- ✓ 作業順判断(シミュレーション)
- ✓ 個体誤差判断(AI)
- ◎ バーチャルベテランによる具体的改善
- ✓ 一発取付作業指示
- ✓ 段取りロボット