

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2022-68836
(P2022-68836A)

(43)公開日 令和4年5月10日(2022.5.10)

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

G 0 6 Q 50/04 (2012.01) G 0 6 Q 50/04 3 C 1 0 0

G 0 5 B 19/418 (2006.01) G 0 5 B 19/418 Z 5 L 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 22 O L (全46頁)

(21)出願番号	特願2021-156407(P2021-156407)	(71)出願人	501204525
(22)出願日	令和3年9月27日(2021.9.27)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技
(31)優先権主張番号	特願2020-177515(P2020-177515)		術研究所
(32)優先日	令和2年10月22日(2020.10.22)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100098545
			弁理士 阿部 伸一
		(74)代理人	100189717
			弁理士 太田 貴章
		(72)発明者	谷口 智之
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国
			立研究開発法人 海上・港湾・航空技術
			研究所内
		(72)発明者	竹澤 正仁
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国
			立研究開発法人 海上・港湾・航空技術
			最終頁に続く

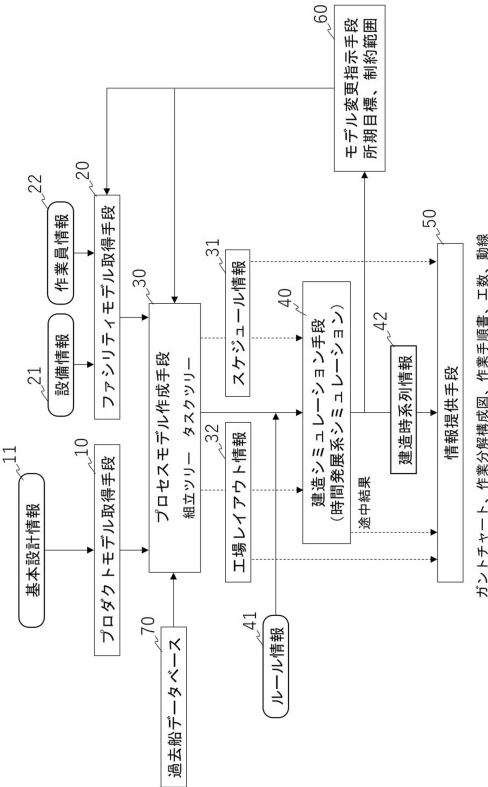
(54)【発明の名称】 船舶の建造シミュレーションシステム

(57)【要約】

【課題】船舶の建造を細かな作業レベルでシミュレーションすることができる船舶の建造シミュレーションシステムを提供すること。

【解決手段】設計された船舶の建造をシミュレーションするシステムであって、船舶の基本設計情報11に基づいて作成されたプロダクトモデルを取得するプロダクトモデル取得手段10と、船舶を建造する工場の設備情報21と、作業員情報22に基づいて作成された船舶の建造に関わる設備と作業員に関するファシリティモデルを取得するファシリティモデル取得手段20と、取得したプロダクトモデルとファシリティモデルに基づいて、船舶を建造するための組み立て手順とタスクを明確化しプロセスモデルを作成するプロセスモデル作成手段30と、プロセスモデルに基づいて時間発展系シミュレーションを行う建造シミュレーション手段40と、時間発展系シミュレーションの結果を建造時系列情報42として提供する情報提供手段50とを備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

設計された船舶の建造をシミュレーションするシステムであって、
前記船舶の基本設計情報に基づいて作成されたプロダクトモデルを取得するプロダクトモデル取得手段と、前記船舶を建造する工場の設備情報と、作業員情報に基づいて作成された前記船舶の建造に関わる設備と作業員に関するファシリティモデルを取得するファシリティモデル取得手段と、取得した前記プロダクトモデルと前記ファシリティモデルに基づいて、前記船舶を建造するための組み立て手順とタスクを明確化しプロセスモデルを作成するプロセスモデル作成手段と、前記プロセスモデルに基づいて時間ごとの建造の進行状況を逐次計算する時間発展系シミュレーションを行う建造シミュレーション手段と、前記時間発展系シミュレーションの結果を建造時系列情報として提供する情報提供手段とを備えることを特徴とする船舶の建造シミュレーションシステム。

10

【請求項 2】

前記プロセスモデルは、前記船舶の組み立てに関連した部品の依存関係を表す組立ツリーと、組み立てに当たって必要な前記タスク間の依存関係を表すタスクツリーを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 3】

前記タスクは、前記建造シミュレーション手段における前記時間発展系シミュレーションで実行可能な関数であるベーシックタスクを組み合わせて構築されるカスタムタスクを含むことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の船舶の建造シミュレーション方法。

20

【請求項 4】

前記プロセスモデル作成手段が、前記組み立て手順と前記タスクに基づいて前記作業員のスケジュール情報、及び前記設備と前記作業員の配置に関する工場レイアウト情報の少なくとも一方を作成し、前記情報提供手段からも提供可能とすることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 5】

前記プロセスモデル作成手段が、前記プロセスモデルの作成に当たって、過去に建造した過去船のプロセスデータを過去船データベースから参照し、流用することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 6】

前記建造シミュレーション手段における前記時間発展系シミュレーションは、時間ごとの前記船舶の完成部品又は構成部品の位置、前記設備及び前記作業員の位置と占有状況、前記組み立て手順と前記タスクの進行状況を逐次計算するものであることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

30

【請求項 7】

前記建造シミュレーション手段における前記時間発展系シミュレーションの途中結果を、前記情報提供手段から提供することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 8】

前記建造シミュレーション手段が前記時間発展系シミュレーションを行う以前に、前記作業員が自律的に仮想的な作業を進めるためのルール情報を取得することを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

40

【請求項 9】

前記ルール情報として、前記作業員に付与される判断ルールであるブレインを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 10】

前記情報提供手段で提供する前記建造時系列情報は、ガントチャート、作業分解構成図、作業手順書、工数、又は動線の少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 11】

50

前記建造時系列情報の結果が、所期目標の範囲を超えているかを判断し、超えている場合は、対応可能な条件下で前記ファシリティモデル、及びプロセスモデルの少なくとも一方を変更する指示を行うモデル変更指示手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 12】

前記ファシリティモデル取得手段が、複数の前記工場の前記設備情報と前記作業員情報に基づいて作成された前記工場ごとの前記ファシリティモデルを取得し、前記プロセスモデル作成手段が、前記工場ごとの前記プロセスモデルを作成し、前記建造シミュレーション手段が、前記プロダクトモデルに対して前記工場ごとの前記時間発展系シミュレーションを行うことを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

10

【請求項 13】

前記建造シミュレーション手段における前記工場ごとの前記時間発展系シミュレーションの結果を、比較可能な状態で前記情報提供手段から提供することを特徴とする請求項 12 に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 14】

前記プロダクトモデル取得手段が、前記船舶の前記基本設計情報を情報通信回線を介して取得し、前記情報提供手段が前記建造時系列情報を、前記情報通信回線を介して提供することを特徴とする請求項 1 から請求項 13 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

20

【請求項 15】

前記船舶の前記基本設計情報は、CAD システムから取得することを特徴とする請求項 1 から請求項 14 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 16】

前記ファシリティモデル取得手段が、前記工場の改善情報としての前記設備情報と前記作業員情報の少なくとも一方に基づいて作成された前記工場の前記ファシリティモデルを取得し、前記建造シミュレーション手段が、前記工場の前記改善情報に基づいた前記時間発展系シミュレーションを行い、前記情報提供手段が前記改善情報に基づいた前記建造時系列情報を提供することを特徴とする請求項 1 から請求項 15 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

30

【請求項 17】

前記船舶の建造に関わる共通データベースをさらに備え、前記プロダクトモデル取得手段が前記基本設計情報を、前記ファシリティモデル取得手段が前記設備情報と前記作業員情報を、前記プロセスモデル作成手段が前記プロセスモデルに関連したプロセスモデル関連情報を前記共通データベースから取得することを特徴とする請求項 1 から請求項 16 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 18】

前記情報提供手段が、前記時系列情報を前記共通データベースに提供することを特徴とする請求項 17 に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 19】

前記共通データベースが、前記プロセスモデル関連情報として前記過去船の前記プロセスデータを提供する前記過去船データベースも含むことを特徴とする請求項 5 を引用する請求項 17 又は請求項 18 に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

40

【請求項 20】

前記建造時系列情報に基づいて、前記船舶の建造に関わるコストを計算するコスト計算手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 19 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 21】

前記建造時系列情報に基づいて、前記船舶の建造に必要な購入部品の購入計画を作成する部品調達計画手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 20 のいずれか 1

50

項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 22】

前記建造時系列情報に基づいて、前記船舶の建造に関わる生産計画を立案する生産計画システムと連係する生産計画システム連携手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 21 のいずれか 1 項に記載の船舶の建造シミュレーションシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、設計された船舶の建造をシミュレーションするシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

造船の生産（建造）計画や日程計画の設定根拠となる各作業の作業量、つまり工数は、一般に「工数＝管理物量あたりの標準時間×管理物量」の考え方にに基づき求められている。しかし、本質的には、管理物量に比例するのは主作業（それによって製品が完成に向かって進む作業）のみであり、付随作業（それをしないと主作業を進められないが、それ自体では製品が完成に向かって進まない作業）や無付加価値行為（製品の完成に対して何の価値もない行為）は管理物量と違う次元で決まるにもかかわらず、現状、これらをすべて管理物量に比例するものとして簡便に扱っている。造船における主作業率は、職種にもよるが一般に 30～40%との報告があり、工数を管理物量から比例的に推定することには精度上の課題がある。

一方で、製造工程のシミュレーションを実施するラインシミュレータが存在するが、すべての細かな作業の一つ一つを手入力する必要がある。また、ラインシミュレータは、大量生産品のライン生産のように物の流れと作業者の動きが決まっており同様の作業を繰り返すシミュレーションには向いているものの、受注生産である造船のように様々な作業を状況に応じて変更するようなシミュレーションには向いていない。

【0003】

ここで、特許文献 1 には、各造船所の各々異なる環境と関係なく共通的に適用される船舶及び海洋プラント生産シミュレーションフレームワークと、この船舶及び海洋プラント生産シミュレーションフレームワークに基づき、各造船所の異なる環境に合わせて差別的に適用される造船海洋工程の相互検証シミュレーションシステム、ブロックのクレーンリフティング及び搭載シミュレーションシステム、GIS 情報基盤設備シミュレーションシステム、及びブロック及び物流管制シミュレーションシステムを分離可能に結合することによって、各造船所の状況に合わせて効果的に適用される拡張性とリサイクル性を備えた船舶及び海洋プラント生産シミュレーション統合ソリューションシステムが開示されている。

また、特許文献 2 には、プロジェクト計画を生成する方法であって、タスク間の順位関係を記述する情報、タスクの所要時間を示す情報、及びタスクの所要時間の変動性を示す情報を含むプロジェクト明細情報をプロセッサユニットによって受信し、プロジェクト明細情報を使用してプロセッサユニットによって、プロジェクトのシミュレーションモデルを生成し、シミュレーションモデルを複数回実行して、クリティカルパスを形成しているタスクのサブセットを識別して、シミュレーション結果データを生成し、シミュレーション結果データから、クリティカルパスを形成しているタスクの識別されたサブセットを含むプロジェクトネットワークプレゼンテーションを生成することを含み、プロジェクト明細情報は、テキストファイル、電子スプレッドシートファイル、及び拡張マークアップ言語ファイルからなる情報形式のグループから選択された情報形式でプロセッサユニットによって受信される方法が開示されている。

また、特許文献 3 には、複数の工程からなる生産対象物の生産スケジューリングを行うスケジューリング装置であって、工程の接続順序関係を設定するための工程接続情報と、工程に含まれる各ブロックの移動経路を設定するブロックフロー情報と、各ブロックの各工程での工期を設定する作業工期情報と、各工程の制約条件とが蓄積された蓄積手段と、蓄

10

20

30

40

50

積手段に蓄積された情報から工程を下流から上流に遡る順序に並べ替える解釈手段と、解釈手段により得られる並べ替え後の工程データに基づいてスケジューリングモデルを作成するモデル作成手段と、モデル作成手段により得られるスケジューリングモデル毎にスケジューリングを最適化する日程計画作成手段と、日程計画作成手段により得られるスケジューリング結果を出力する出力手段とを有するスケジューリング装置が開示されている。

また、特許文献４には、工程計画と、工程計画に基づく設備配置計画と、工程計画および設備配置計画に基づく配員計画と、工程計画、設備配置計画および配員計画に基づく生産計画とを用い、各計画において作成された生産ラインモデルにより、生産活動をシミュレーションして各計画の評価規範値を作成し、規範値により各計画の良否を判定し、それに基づき計画の修正を行う生産システム計画方法が開示されている。

10

また、非特許文献１には、造船ＣＩＭを構築するための工程管理に対応する具体的なはたらきとしてProcess PlanningとSchedulingが挙げられ、Process Planningでは、製品情報について製造現場に関する概念的な知識に基づき製造のための方法・手順を決定すること、Schedulingでは、実際の製造現場における具体的な状況に関する知識に基づいてProcess Planningの結果を時間・現場機材の活用の観点から展開し、納期その他の条件を満たす日程計画を作成することが記載されていると共に、オブジェクト指向に基づく工程管理のための造船工場モデルが開示されている。

また、非特許文献２には、船舶建造プロセスにおける生産設備の導入効果を評価するため、生産プロセスで対象とする製品の製造誤差に基づく手直し作業を考慮した生産プロセスシミュレーションを利用して、新規生産設備導入によるプロセス全体の期間と費用への影響を評価する手法が開示されており、当該生産プロセスシミュレーションにおいては、造船所の作業場所の制約と作業員のスキルを考慮することが記載されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】実用新案登録第３２１１２０４号公報

【特許文献２】特開２０１３－１１７９５９号公報

【特許文献３】特開２００７－１８３８１７号公報

【特許文献４】特開２００３－１６２３１３号公報

【非特許文献】

30

【０００５】

【非特許文献１】小山健夫，外１名，“造船ＣＩＭ構築のための工程管理システムに関する基礎的研究”，日本造船学会論文集，日本造船学会，平成元年１１月，第１６６号，p.415-423

【非特許文献２】満行泰河，外３名，“船舶建造プロセスシミュレーションを用いた生産設備の導入に関する研究”，日本船舶海洋工学会論文集，日本船舶海洋工学会，２０１６年１２月，第２４号，p.291-298

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

40

特許文献１－４、及び非特許文献１－２は、建造のシミュレーションにおいて作業員の生産行為を主作業や付随作業まで含めて精密に再現しようとするものではない。

そこで本発明は、船舶の建造を細かな作業レベルでシミュレーションすることができる船舶の建造シミュレーションシステムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

請求項１記載に対応した船舶の建造船舶の建造シミュレーションシステムにおいては、設計された船舶の建造をシミュレーションするシステムであって、船舶の基本設計情報に基づいて作成されたプロダクトモデルを取得するプロダクトモデル取得手段と、船舶を建造する工場の設備情報と、作業員情報に基づいて作成された船舶の建造に関わる設備と作業

50

員に関するファシリティモデルを取得するファシリティモデル取得手段と、取得したプロダクトモデルとファシリティモデルに基づいて、船舶を建造するための組み立て手順とタスクを明確化しプロセスモデルを作成するプロセスモデル作成手段と、プロセスモデルに基づいて時間ごとの建造の進行状況を逐次計算する時間発展系シミュレーションを行う建造シミュレーション手段と、時間発展系シミュレーションの結果を建造時系列情報として提供する情報提供手段とを備えることを特徴とする

請求項1に記載の本発明によれば、ユーザは船舶の建造を細かな作業レベルでシミュレーションすることが可能となり、その精度の高いシミュレーション結果としての建造時系列情報に基づいて工場の改善、生産設計の改善、受注時のコスト予測、及び設備投資などを検討することができるため、建造コストの低減や工期の短縮につながる。

10

【0008】

請求項2記載の本発明は、プロセスモデルは、船舶の組み立てに関連した部品の依存関係を表す組立ツリーと、組み立てに当たって必要なタスク間の依存関係を表すタスクツリーを含むことを特徴とする。

請求項2に記載の本発明によれば、組み立ての手順と、それに関わるタスクを明確にし、プロセスモデルを精度よく作成することができる。

【0009】

請求項3記載の本発明は、タスクは、建造シミュレーション手段における時間発展系シミュレーションで実行可能な関数であるベーシックタスクを組み合わせて構築されるカスタムタスクを含むことを特徴とする。

20

請求項3に記載の本発明によれば、作業の種類別に小さな作業を組み合わせたカスタムタスクにより、シミュレーションの精度を向上させることができる。

【0010】

請求項4記載の本発明は、プロセスモデル作成手段が、組み立て手順とタスクに基づいて作業員のスケジュール情報、及び設備と作業員の配置に関する工場レイアウト情報の少なくとも一方を作成し、情報提供手段からも提供可能とすることを特徴とする。

請求項4に記載の本発明によれば、スケジュール情報に基づき、主作業や付随作業まで含めた作業員のすべての生産行為を精密に再現してシミュレーションを行うことができる。また、設備と作業員の配置が反映された工場レイアウト情報に基づき、シミュレーションを行うことができる。また、ユーザは作成されたスケジュール情報又は工場レイアウト情報を必要に応じて確認することができる。

30

【0011】

請求項5記載の本発明は、プロセスモデル作成手段が、プロセスモデルの作成に当たって、過去に建造した過去船のプロセスデータを過去船データベースから参照し、流用することを特徴とする。

請求項5に記載の本発明によれば、基本設計情報に基づきプロダクトモデルやファシリティモデルが変更された場合に、一からプロセスモデルを作成するよりも少ない労力で、早く精度よくプロセスモデルを作成することができる。

【0012】

請求項6記載の本発明は、建造シミュレーション手段における時間発展系シミュレーションは、時間ごとの船舶の完成部品又は構成部品の位置、設備及び作業員の位置と占有状況、組み立て手順とタスクの進行状況を逐次計算するものであることを特徴とする。

40

請求項6に記載の本発明によれば、時間発展系シミュレーションを精度よく行うことができる。

【0013】

請求項7記載の本発明は、建造シミュレーション手段における時間発展系のシミュレーションの途中結果を、情報提供手段から提供することを特徴とする。

請求項7に記載の本発明によれば、ユーザが途中結果に基づいて判断し、ユーザの意図に沿ったシミュレーションを行いやすくなる。

【0014】

50

請求項 8 記載の本発明は、建造シミュレーション手段が時間発展系シミュレーションを行う以前に、作業員が自律的に仮想的な作業を進めるためのルール情報を取得することを特徴とする。

請求項 8 に記載の本発明によれば、ルール情報を利用することにより、シミュレーションにおける作業員が的確に仮想的な作業を進めやすくなる。

【 0 0 1 5 】

請求項 9 記載の本発明は、ルール情報として、作業員に付与される判断ルールであるブレインを含むことを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、繰り返し作業ではなく現場で判断することが非常に多い作業を作業員がブレインを利用して判断し、仮想的な作業を円滑に進めることができる。

10

【 0 0 1 6 】

請求項 1 0 記載の本発明は、情報提供手段で提供する建造時系列情報は、ガントチャート、作業分解構成図、作業手順書、工数、又は動線の少なくとも一つを含むことを特徴とする。

請求項 1 0 に記載の本発明によれば、このような可視化を行うことにより、ユーザはシミュレーションの結果としての建造時系列情報を見て、構成部品又はファシリティの変更や、ボトルネックの分析・解明、工数予測など、建造に有益な知見を得ることができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 1 1 記載の本発明は、建造時系列情報の結果が、所期目標の範囲を超えているかを判断し、超えている場合は、対応可能な条件下でファシリティモデル、及びプロセスモデルの少なくとも一方を変更する指示を行うモデル変更指示手段をさらに備えることを特徴とする。

20

請求項 1 1 に記載の本発明によれば、船舶の建造が所期目標の範囲内に収まるシミュレーション結果を得ることができる。

【 0 0 1 8 】

請求項 1 2 記載の本発明は、ファシリティモデル取得手段が、複数の工場の設備情報と作業員情報に基づいて作成された工場ごとのファシリティモデルを取得し、プロセスモデル作成手段が、工場ごとのプロセスモデルを作成し、建造シミュレーション手段が、プロダクトモデルに対して工場ごとの時間発展系シミュレーションを行うことを特徴とする。

30

請求項 1 2 に記載の本発明によれば、一つのプロダクトモデルから工場ごとのプロセスモデルが作成され、工場ごとのファシリティモデルを用いたシミュレーションが行われるため、例えば、複数の工場が共同で船舶を建造する際の受注時のコスト予測や、設備投資などを検討することができ、建造コストのさらなる低減や工期のさらなる短縮につながる。

【 0 0 1 9 】

請求項 1 3 記載の本発明は、建造シミュレーション手段における工場ごとの時間発展系シミュレーションの結果を、比較可能な状態で情報提供手段から提供することを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の本発明によれば、ユーザは迅速かつ的確に、各工場での製造コストや工期などを比較することができる。

40

【 0 0 2 0 】

請求項 1 4 記載の本発明は、プロダクトモデル取得手段が、船舶の基本設計情報を情報通信回線を介して取得し、情報提供手段が建造時系列情報を、情報通信回線を介して提供することを特徴とする。

請求項 1 4 に記載の本発明によれば、船舶の建造シミュレーションシステムが遠隔地にあったとしても、基本設計情報の取得や建造時系列情報の提供を、情報通信回線を介して迅速に行うことができる。

【 0 0 2 1 】

請求項 1 5 記載の本発明は、船舶の基本設計情報は、C A D システムから取得することを特徴とする。

50

請求項 15 に記載の本発明によれば、C A D システムで作成された船舶の基本設計情報をプロダクトモデルの設定等に容易、かつ有効に利用できる。

【 0 0 2 2 】

請求項 16 に記載の本発明は、ファシリティモデル取得手段が、工場の改善情報としての設備情報と作業員情報の少なくとも一方に基づいて作成された工場のファシリティモデルを取得し、建造シミュレーション手段が、工場の改善情報に基づいた時間発展系シミュレーションを行い、情報提供手段が改善情報に基づいた建造時系列情報を提供することを特徴とする。

請求項 16 に記載の本発明によれば、工場の改善情報を取得して用いることで、工場の設備や作業員を変更し改善した場合のシミュレーションを行うことができる。

10

【 0 0 2 3 】

請求項 17 に記載の本発明は、船舶の建造に関わる共通データベースをさらに備え、プロダクトモデル取得手段が基本設計情報を、ファシリティモデル取得手段が設備情報と作業員情報を、プロセスモデル作成手段がプロセスモデルに関連したプロセスモデル関連情報を共通データベースから取得することを特徴とする。

請求項 17 に記載の本発明によれば、共通データベースから各種情報を取得することで、情報の種類ごとに別々のデータベースが設けられている場合と比べて情報の取得が容易となり、情報の共同利用が可能となり、またデータベースの管理を一元化することができる。

【 0 0 2 4 】

請求項 18 に記載の本発明は、情報提供手段が、時系列情報を共通データベースに提供することを特徴とする。

20

請求項 18 に記載の本発明によれば、新たな時系列情報を共通データベースに蓄積し、例えば、後のシミュレーション時の過去船情報として利用することやルール情報の機械学習に活用すること等ができる。

【 0 0 2 5 】

請求項 19 に記載の本発明は、共通データベースが、プロセスモデル関連情報として過去のプロセスデータを提供する場合も含むことを特徴とする。

請求項 19 に記載の本発明によれば、類型船舶のプロセスモデル関連情報の取得が可能となり、シミュレーションの省略や容易化等が図れる。

30

【 0 0 2 6 】

請求項 20 に記載の本発明は、建造時系列情報に基づいて、船舶の建造に関わるコストを計算するコスト計算手段をさらに備えることを特徴とする。

請求項 20 に記載の本発明によれば、建造時系列情報に基づいて計算された船舶の建造に関わるコストを簡便に得ることができる。

【 0 0 2 7 】

請求項 21 に記載の本発明は、建造時系列情報に基づいて、船舶の建造に必要な購入部品の購入計画を作成する部品調達計画手段をさらに備えることを特徴とする。

請求項 21 に記載の本発明によれば、建造時系列情報に基づいて作成された購入部品の購入計画を簡便に得ることができる。

40

【 0 0 2 8 】

請求項 22 に記載の本発明は、建造時系列情報に基づいて、船舶の建造に関わる生産計画を立案する生産計画システムと連携する生産計画システム連携手段をさらに備えることを特徴とする。

請求項 22 に記載の本発明によれば、建造時系列情報を船舶の建造全体の生産計画の立案へとスムーズに繋げることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 9 】

本発明の船舶の建造船舶の建造シミュレーションシステムによれば、ユーザは船舶の建造を細かな作業レベルでシミュレーションすることが可能となり、その精度の高いシミュレ

50

ーション結果としての建造時系列情報に基づいて工場の改善、生産設計の改善、受注時のコスト予測、及び設備投資などを検討することができるため、建造コストの低減や工期の短縮につながる。

【0030】

また、プロセスモデルは、船舶の組み立てに関連した部品の依存関係を表す組立ツリーと、組み立てに当たって必要なタスク間の依存関係を表すタスクツリーを含む場合は、組み立ての手順と、それに関わるタスクを明確にし、プロセスモデルを精度よく作成することができる。

【0031】

また、タスクは、建造シミュレーション手段における時間発展系シミュレーションで実行可能な関数であるベーシックタスクを組み合わせて構築されるカスタムタスクを含む場合は、作業の種類別に小さな作業を組み合わせたカスタムタスクにより、シミュレーションの精度を向上させることができる。

10

【0032】

また、プロセスモデル作成手段が、組み立て手順とタスクに基づいて作業員のスケジュール情報、及び設備と作業員の配置に関する工場レイアウト情報の少なくとも一方を作成し、情報提供手段からも提供可能とする場合は、スケジュール情報に基づき、主作業や付随作業まで含めた作業員のすべての生産行為を精密に再現してシミュレーションを行うことができる。また、設備と作業員の配置が反映された工場レイアウト情報に基づき、シミュレーションを行うことができる。また、ユーザは作成されたスケジュール情報又は工場レイアウト情報を必要に応じて確認することができる。

20

【0033】

また、プロセスモデル作成手段が、プロセスモデルの作成に当たって、過去に建造した過去船のプロセスデータを過去船データベースから参照し、流用する場合は、基本設計情報に基づきプロダクトモデルやファシリティモデルが変更された場合に、一からプロセスモデルを作成するよりも少ない労力で、早く精度よくプロセスモデルを作成することができる。

【0034】

また、建造シミュレーション手段における時間発展系シミュレーションは、時間ごとの船舶の完成部品又は構成部品の位置、設備及び作業員の位置と占有状況、組み立て手順とタスクの進行状況を逐次計算するものである場合は、時間発展系シミュレーションを精度よく行うことができる。

30

【0035】

また、建造シミュレーション手段における時間発展系シミュレーションの途中結果を、情報提供手段から提供する場合は、ユーザが途中結果に基づいて判断し、ユーザの意図に沿ったシミュレーションを行いやすくなる。

【0036】

また、建造シミュレーション手段が時間発展系シミュレーションを行う以前に、作業員が自律的に仮想的な作業を進めるためのルール情報を取得する場合は、ルール情報を利用することにより、シミュレーションにおける作業員が的確に仮想的な作業を進めやすくなる。

40

【0037】

また、ルール情報として、作業員に付与される判断ルールであるブレインを含む場合は、繰り返し作業ではなく現場で判断することが非常に多い作業を作業員がブレインを利用して判断し、仮想的な作業を円滑に進めることができる。

【0038】

また、情報提供手段で提供する建造時系列情報は、ガントチャート、作業分解構成図、作業手順書、工数、又は動線の少なくとも一つを含む場合は、このような可視化を行うことにより、ユーザはシミュレーションの結果としての建造時系列情報を見て、構成部品又はファシリティの変更や、ボトルネックの分析・解明、工数予測など、建造に有益な知見を

50

得ることができる。

【0039】

また、建造時系列情報の結果が、所期目標の範囲を超えているかを判断し、超えている場合は、対応可能な条件下でファシリティモデル、及びプロセスモデルの少なくとも一方を変更する指示を行うモデル変更指示手段をさらに備える場合は、船舶の建造が所期目標の範囲内に収まるシミュレーション結果を得ることができる。

【0040】

また、ファシリティモデル取得手段が、複数の工場の設備情報と作業員情報に基づいて作成された工場ごとのファシリティモデルを取得し、プロセスモデル作成手段が、工場ごとのプロセスモデルを作成し、建造シミュレーション手段が、プロダクトモデルに対して工場ごとの時間発展系シミュレーションを行う場合は、一つのプロダクトモデルから工場ごとのプロセスモデルが作成され、工場ごとのファシリティモデルを用いたシミュレーションが行われるため、例えば、複数の工場が共同で船舶を建造する際の受注時のコスト予測や、設備投資などを検討することができ、建造コストのさらなる低減や工期のさらなる短縮につながる。

【0041】

また、建造シミュレーション手段における工場ごとの時間発展系シミュレーションの結果を、比較可能な状態で情報提供手段から提供する場合は、ユーザは迅速かつ的確に、各工場での製造コストや工期などを比較することができる。

【0042】

また、プロダクトモデル取得手段が、船舶の基本設計情報を情報通信回線を介して取得し、情報提供手段が建造時系列情報を、情報通信回線を介して提供する場合は、船舶の建造シミュレーションシステムが遠隔地にあったとしても、基本設計情報の取得や建造時系列情報の提供を、情報通信回線を介して迅速に行うことができる。

【0043】

また、船舶の基本設計情報は、CADシステムから取得する場合は、CADシステムで作成された船舶の基本設計情報をプロダクトモデルの設定等に容易、かつ有効に利用できる。

【0044】

また、ファシリティモデル取得手段が、工場の改善情報としての設備情報と作業員情報の少なくとも一方に基づいて作成された工場のファシリティモデルを取得し、建造シミュレーション手段が、工場の改善情報に基づいた時間発展系シミュレーションを行い、情報提供手段が改善情報に基づいた建造時系列情報を提供する場合は、工場の改善情報を取得して用いることで、工場の設備や作業員を変更し改善した場合のシミュレーションを行うことができる。

【0045】

また、船舶の建造に関わる共通データベースをさらに備え、プロダクトモデル取得手段が基本設計情報を、ファシリティモデル取得手段が設備情報と作業員情報を、プロセスモデル作成手段がプロセスモデルに関連したプロセスモデル関連情報を共通データベースから取得する場合は、共通データベースから各種情報を取得することで、情報の種類ごとに別々のデータベースが設けられている場合と比べて情報の取得が容易となり、情報の共同利用が可能となり、またデータベースの管理を一元化することができる。

【0046】

また、情報提供手段が、時系列情報を共通データベースに提供する場合は、新たな時系列情報を共通データベースに蓄積し、例えば、後のシミュレーション時の過去船情報として利用することやルール情報の機械学習に活用すること等ができる。

【0047】

また、共通データベースが、プロセスモデル関連情報として過去船のプロセスデータを提供する場合、過去船データベースも含む場合は、類型船舶のプロセスモデル関連情報の取得が可能となり、シミュレーションの省略や容易化等が図れる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

また、建造時系列情報に基づいて、船舶の建造に関わるコストを計算するコスト計算手段をさらに備える場合は、建造時系列情報に基づいて計算された船舶の建造に関わるコストを簡便に得ることができる。

【 0 0 4 9 】

また、建造時系列情報に基づいて、船舶の建造に必要な購入部品の購入計画を作成する部品調達計画手段をさらに備える場合は、建造時系列情報に基づいて作成された購入部品の購入計画を簡便に得ることができる。

【 0 0 5 0 】

また、建造時系列情報に基づいて、船舶の建造に関わる生産計画を立案する生産計画システムと連携する生産計画システム連携手段をさらに備える場合は、建造時系列情報を船舶の建造全体の生産計画の立案へとスムーズに繋げることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 1 】

【 図 1 】 本発明の第一の実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムを機能実現手段で表したブロック図

【 図 2 】 同全体概要図

【 図 3 】 同プロダクトモデルの例を示す図

【 図 4 】 同 5 枚板モデルの結合関係を示す図

【 図 5 】 同第一の板 P 1 の 3 次元モデルを示す図

【 図 6 】 同 3 枚板モデルのプロダクトモデルの例を示す図

【 図 7 】 同ファシリティの 3 次元モデルの例を示す図

【 図 8 】 同ファシリティモデルの例を示す図

【 図 9 】 同プロセスモデルの概念図

【 図 1 0 】 同プロセスモデル作成ステップの詳細フロー

【 図 1 1 】 同 5 枚板モデルの組立ツリーの例を示す図

【 図 1 2 】 同 3 枚板モデルの組立ツリーの例を示す図

【 図 1 3 】 同全タスクの関係をツリーとして表現した例を示す図

【 図 1 4 】 同 3 枚板モデルのタスクツリーの例を示す図

【 図 1 5 】 同 3 枚板モデルのタスクツリーのデータの例を示す図

【 図 1 6 】 同 3 枚板モデルにおける作業員へのタスクの割り振りとタスクの順番の例を示す図

【 図 1 7 】 同実際にシミュレーション空間に配置した例を示す図

【 図 1 8 】 同 3 枚板モデルにおける工場レイアウト情報の例を示す図

【 図 1 9 】 同シミュレーションステップの詳細フロー

【 図 2 0 】 同ブレインを利用したシミュレーションの様子を示す図

【 図 2 1 】 同シミュレーションステップの疑似コードを示す図

【 図 2 2 】 同ベーシックタスクの例として移動タスク (m o v e) を示す図

【 図 2 3 】 同ベーシックタスクの例として溶接タスク (w e l d) を示す図

【 図 2 4 】 同ベーシックタスクの例としてクレーン移動タスク (C r a n e M o v e) を示す図

【 図 2 5 】 同配材タスク「取りに行く」の例を示す図

【 図 2 6 】 同配材タスク「配置する」の例を示す図

【 図 2 7 】 同本溶接タスクをベーシックタスクの組合せで表現した例を示す図

【 図 2 8 】 同 2 つの入り口がある壁で囲まれた領域のうち、移動可能なメッシュを構成した例を示す図

【 図 2 9 】 同形状データの例を示す図

【 図 3 0 】 同溶接線データの例を示す図

【 図 3 1 】 同裏焼き線データの例を示す図

【 図 3 2 】 同プロダクトモデルデータの例を示す図

10

20

30

40

50

- 【図 3 3】同ポリラインデータの例を示す図
- 【図 3 4】同組立ツリーデータの例を示す図
- 【図 3 5】同タスクツリーデータの例を示す図
- 【図 3 6】同出力処理の詳細フロー
- 【図 3 7】本発明の第二の実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムを機能実現手段で表したブロック図
- 【図 3 8】本発明の第三の実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムを機能実現手段で表したブロック図
- 【図 3 9】本発明の第四の実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムを機能実現手段で表したブロック図
- 【図 4 0】本発明の実施例によるケース 1 の組立シナリオにおけるシミュレーションの計算結果のガントチャート
- 【図 4 1】同ケース 2 の組立シナリオにおけるシミュレーションの計算結果のガントチャート
- 【図 4 2】同ケース 2 におけるシミュレーションの 3 次元的な外観図
- 【発明を実施するための形態】

【0052】

本発明の第一の実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムについて説明する。図 1 は本実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムを機能実現手段で表したブロック図、図 2 は全体概要図である。

船舶の建造シミュレーションシステムは、作業員の詳細な動き、すなわち要素作業の動きまでを建造シミュレーション内で表現することを目的に、仮想的な造船工場を構築するために必要な情報を整理する。造船工場は、プロダクト（製品）モデル、ファシリティ（道具を含む設備・作業員）モデル、及びプロセス（作業）モデルという、3つのモデルから構築される。この3つのモデルが、造船工場をモデル化するために必要な核となるデータである。また、シミュレーションを実施するにあたり、これらの情報を補完する2つの付随情報として、スケジュール情報 31 と工場レイアウト情報 32 を併せて定義する。

なお、プロダクトモデルは実際の製品を、ファシリティモデルは実際の設備や作業員を抽象化しシミュレーションで扱えるようにした体系化されたデータ群であり、仮想的な製品、設備や作業員であるともいえる。また、プロセスモデルは、プロダクトモデルとファシリティモデルにより導かれる仮想的な作業の体系であるともいえる。

【0053】

船舶の建造シミュレーションシステムは、プロダクトモデル取得手段 10 と、ファシリティモデル取得手段 20 と、プロセスモデル作成手段 30 と、建造シミュレーション手段 40 と、情報提供手段 50 と、モデル変更指示手段 60 と、過去船データベース 70 を備える。

過去船データベース 70 には、過去に建造した過去船のプロセスデータが蓄積されている。

【0054】

プロダクトモデル取得手段 10 は、船舶の基本設計情報 11 に基づいて作成されたプロダクトモデルを取得する。

基本設計情報 11 には、船舶の完成部品と完成部品を構成する構成部品の結合関係が含まれている。例えば、プロダクト（製品）が船殻である場合、完成部品は船殻を構成するブロック（区画）であり、構成部品はブロックを構成する板材である。結合関係は、ノード（Node, 部品の実体情報）とエッジ（Edge, 部品の結合情報）で表現される。

基本設計情報 11 は、CAD システム（図示なし）から取得することもできる。CAD システムから基本設計情報 11 を取得することにより、CAD システムで作成された基本設計情報 11 をプロダクトモデルの設定等に有効利用できる。なお、基本設計情報 11 には、例えば、船殻の設計 CAD データを変換したノードとエッジで表現される結合関係を含む情報も含めることができる。この結合関係を含む情報は、CAD システムで予め変換し

10

20

30

40

50

て得てもよいし、基本設計情報 1 1 を取得後にプロダクトモデル取得手段 1 0 で変換して得てもよい。なお、C A D システムから取得する基本設計情報 1 1 が、各 C A D システムにおける独自のデータ構造で保持されている場合は、プロダクトモデル取得手段 1 0 において、C A D データをシミュレーションで利用できるデータ構造に変換する。また、C A D システムからの基本設計情報 1 1 の取得は、通信回線を介した取得の他、近距離無線通信や記憶手段を用いた取得等、様々な手段を利用して行うことができる。

プロダクトモデルでは、組立対象のプロダクトに関わる情報として、プロダクトを構成する部品自身の属性情報ならびに部品間の結合情報を定義する。プロダクトモデルには、プロダクトの組立に関わる作業（組み立て手順、プロセス）の情報は含まれない。

プロダクトは構成部品である実体をもつ部品同士が個々に結合されていると考える。そこでプロダクトモデルは、グラフ理論に基づきノードとエッジで表現されるグラフ構造を用いて定義する。ノード同士の結合であるエッジには方向性はないとし、無向グラフとする。

10

【 0 0 5 5 】

図 3 はプロダクトモデルの例を示す図、図 4 は 5 枚板モデルの結合関係を示す図である。なお、図 4 の 5 枚板モデルは、説明の便宜上、簡略化したプロダクトモデルを示しているが、プロダクトモデルの対象としては、複雑な船殻のブロックや、船体構造、また船舶全体まで含めることが可能である。

ここでは、図 3 (a) に示すような二重底ブロックを、図 3 (b) に示すように簡略化した 5 枚板モデルを対象としている。厳密には異なるが、第一の板 P 1 がインナーボトム、第三の板 P 3 がボトムシェル、第二の板 P 2 と第四の板 P 4 がガーダー、第五の板 P 5 をロンジと見立てて簡略化している。カラープレートやフロアがなく、ロンジも本数が少ないなど、実際の完成部品とは異なるものの、十分かつ本質的な要素を抽出している。

20

この完成部品は、図 4 に示される結合関係で定義される。各板 P 1 ~ P 5 が構成部品実体のノードに該当し、それらの結合関係である l i n e 1 ~ l i n e 5 がエッジに該当する。ここでは簡単のために 5 枚板モデルを用いているが、数多くの構成部品で構成される実際の完成部品においても、構成部品実体とそれらの結合関係で完成部品全体を定義することができるため、同様なグラフ表現を用いてプロダクトモデルを定義することが可能である。

【 0 0 5 6 】

図 5 は第一の板 P 1 の 3 次元モデルを示す図である。

プロダクトの構成部品の形状は、3 D C A D モデルを入力することで定義できる。図 5 に示すように、3 次元モデルの座標系は、その部材全体を囲む四角形 (Bounding-box) を定義し、その四角形の 8 頂点のうち、x , y , z 座標値が最小となる頂点が原点位置になるように 3 次元モデルを配置した。またシミュレーションの実行中は、3 次元モデルに定義した基準点の位置 (ローカル座標系、又はグローバル座標系における座標) 、姿勢情報 (初期姿勢を基準としたオイラー角・クォータニオン) を随時参照できるものとする。

30

【 0 0 5 7 】

構成部品同士の接合情報を示すエッジには、当該構成部品同士の接合情報を示す必要がある。本実施形態では、簡単のために、完成部品の完成状態の座標系における、それぞれの構成部品の位置・姿勢の情報を与える。具体的には、各構成部品に対して基準点とする 3 点を任意に与え、その 3 点が完成状態の座標系において、どこに位置するか、という座標データで情報を保持する。その情報を用いることで、任意の構成部品間の位置関係を算出することが可能である。

40

【 0 0 5 8 】

溶接線情報は、3 次元的な情報で保持される。例えば、1 本の溶接線は、溶接線経路 (ポリライン) と、溶接トーチの方向ベクトル (法線ベクトル) で構成されたとする。これらの情報は、完成部品の完成状態の座標系において定義されるデータとし、実際にシミュレーションにて溶接タスク (カスタムタスク) が実施される際に、そのタイミングにおける

50

構成部品の位置・姿勢に基づき、溶接線データに対して座標変換を行う。溶接線経路に加えて、トーチの方向も定義することで、溶接中の作業員の位置を定義することができる。さらに溶接中のトーチの向きを認識することができるため、溶接姿勢を判定することが可能となる。

【0059】

このように、プロダクトモデルには、構成部品同士の連結関係、連結部における接合データ、及び完成部品における構成部品の位置と角度などの情報が含まれる。なお、基本設計情報11をCADシステムから取得する場合、CADシステムの性能によっては、基本設計情報11にプロダクトモデルの作成に必要なデータが一部含まれない場合がある。例えば、裏焼き線データを取り扱えるCADシステムは少数である。そのような場合は、プロ

10

セスモデル作成手段30において、基本設計情報11に含まれなかったプロダクトモデルの作成に必要なデータの作成を行う。

以上説明したデータについてまとめると、プロダクトモデルは、下表1及び下表2に示すようなノードとエッジの情報として整理される。

【表1】

属性名	説明
ノード名	自身のノードの名前（構成部品名）
完成部品名	完成部品の名前
座標変換情報	完成状態における自身の位置・姿勢を定義する3点情報
構成部品の属性情報	重量など構成部品の属性情報
エッジ	自身に接続しているエッジ
3次元オブジェクト	シミュレーション空間に配置される3次元オブジェクト

20

【表2】

属性名	説明
エッジ名	自身のエッジの名前
ノード1	自身に接続するノード1
ノード2	自身に接続するノード2
エッジ属性情報	溶接線データなどの属性情報

30

【0060】

また、図6は3枚板モデルのプロダクトモデルの例を示す図である。

図6では、構成部品（第一の板P1、第二の板P2、第三の板P3）間の接合関係が登録されたデータベースであるプロダクトモデルを示している。「name」は名前、「parent」は親プロダクト、「type」は種別である。なお、各板P1～P3の基準座標3点（ $v_0(0,0,0)$ 、 $v_x(1,0,0)$ 、 $v_z(0,0,1)$ ）は省略している。また、データには本来は対象IDを記載するが、説明用に「name」で記載している。

40

上述のように、プロダクトモデルには、組立に関わる作業（プロセス）の情報は含まれない。

【0061】

図1に示すように、ファシリティモデル取得手段20は、船舶を建造する工場の設備情報21と、作業員情報22に基づいて作成された船舶の建造に関わる設備と作業員に関するファシリティモデルを取得する。なお、設備情報21には道具の情報も含まれる。また、設備情報21と作業員情報22は、ファシリティモデル取得手段20へ直接入力すること

50

で取得できるほか、ファシリティモデル取得手段 20 がデータベースに蓄積されているデータから選択して取得することもできる。

ファシリティモデルでは、工場のファシリティに関する情報として、ファシリティの個別の名前（例えば、溶接機 No. 1）、種別（例えば、溶接機）に加えて、個々のファシリティが有する能力値を定義する。能力値には、そのファシリティが有する機能の最大値（範囲）を定義する。例えば、クレーンが有する能力値の一つとしては、吊り上げ荷重値や速度などが挙げられ、その能力値範囲は、最大吊り上げ荷重値や最大速度となる。

また、プロダクトだけでなく、ファシリティも作業員の移動経路上の障害物になり得るため、3次元モデルを用いて形状を定義する。それにより、シミュレータ内では、オブジェクト同士の3次元的な干渉を判断することも可能となる。ここで図7はファシリティの3次元モデルの例を示す図であり、図7（a）は作業員、図7（b）は溶接機、図7（c）はクレーン、図7（d）は床、図7（e）は定盤である。

【0062】

ファシリティモデルが保持する具体的な属性情報を下表3に示す。

【表3】

属性名	説明
名前	ファシリティの名前
種別	ファシリティの種別
固有の能力値	ファシリティ固有の能力値範囲
3次元オブジェクト	シミュレーション空間に配置される3次元オブジェクト

【0063】

また、図8はファシリティモデルの例を示す図である。

図8では、工場のファシリティが登録されたデータベースであるファシリティモデルを示している。「name」は名前、「type」は種別、「model__fwile__path」は形状（3次元モデルデータ）、「ability」は能力（ファシリティの能力値範囲を定義）である。

【0064】

このように、プロダクトモデルにおける完成部品と構成部品、及びファシリティモデルにおける工場の設備を3次元モデルで表現する。3次元モデルを利用することで、シミュレーションの精度を向上させることができる。

【0065】

図1に示すように、プロセスモデル作成手段30は、取得したプロダクトモデルとファシリティモデルに基づいて、船舶を建造するための組み立て手順とタスクを明確化してプロセスモデルを作成する。また、建造シミュレーション手段40は、プロセスモデルに基づいて時間ごとの建造の進行状況を逐次計算する時間発展系シミュレーションを行う。ここで、先にプロダクトモデルとファシリティモデルが設定され、後からプロセスモデルを作成する点が重要である。この順番に進めることで、的確に、後戻りすることなくプロセスモデルが作成でき、後の処理が滞りなくできる。

図9はプロセスモデルの概念図である。

プロセスモデルは、一連の組立工程に関わる作業情報が定義されたデータである。プロセスモデルは、船舶の組み立てに関連した部品の依存関係を表す組立ツリーと、組み立てに当たって必要なタスク間の依存関係を表すタスクツリーを含む。これにより、組み立ての手順と、それに関わるタスクを明確にし、プロセスモデルを精度よく作成することができる。ここでタスクとは、一単位の作業を指す。

【0066】

図10はプロセスモデル作成手段によるプロセスモデル作成の詳細フローである。

まず、プロセスモデル作成手段 30 は、プロダクトモデル取得手段 10 が取得したプロダクトモデルと、ファシリティモデル取得手段 20 が取得したファシリティモデルを読み込む（プロセスモデル作成情報読込ステップ S1）。

次に、プロセスモデルの作成に当たって、過去に建造した過去船のプロセスデータを過去船データベース 70 から参照し、流用するか否かを選択する（流用判断ステップ S2）。流用判断ステップ S2 において、流用しないことを選択した場合は、過去船のプロセスデータを参照せずに、構成部品の中間部品を含む組み立て手順を組立ツリーとして定義し（組立ツリー定義ステップ S3）、組み立て手順の各段階における適切なタスクを定義し（タスク定義ステップ S4）、タスクの依存関係としての前後関係をタスクツリーとして定義する（タスクツリー定義ステップ S5）。

10

一方、流用判断ステップ S2 において、流用することを選択した場合は、過去船データベース 70 から類似のプロセスデータを抽出し（過去船プロセスデータ抽出ステップ S6）、組立ツリー定義ステップ S3、タスク定義ステップ S4、及びタスクツリー定義ステップ S5 において、抽出した過去船のプロセスデータを参照して流用する。過去船のプロセスデータを流用することで、基本設計情報 11 に基づきプロダクトモデルやファシリティモデルが変更された場合に、一からプロセスモデルを作成するよりも少ない労力で、早く精度よくプロセスモデルを作成することができる。

【0067】

ここで、図 11 は 5 枚板モデルの組立ツリーの例を示す図である。

組立ツリー定義ステップ S3 において、組立ツリーには、中間部品の情報（名前、部品の姿勢）及び組み立ての前後関係の情報を定義する。部品の組立順番には前後関係が存在するため、組立ツリーは有向グラフで表現される。

20

中間部品とは、幾つかの部材が結合した状態の構成部品であり、中間部品と部材、又は中間部品同士を組み立てることで完成部品となる。図 11 では、第一の板 P1 と第二の板 P2 と第四の板 P4 が組み合わせられて第一の中間部品 U1 を成し、第三の板 P3 と第五の板 P5 が組み合わせられて第二の中間部品 U2 を成し、第一の中間部品 U1 と第二の中間部品 U2 を組み合わせることで完成部品 SUB1 を成す状態を示している。なお、第一の中間部品 U1 を組み立てるにあたっては第一の板 P1 をベースとし、第二の中間部品 U2 を組み立てるにあたっては第三の板 P3 をベースとし、完成部品 SUB1 を組み立てるにあたっては第二の中間部品 U2 をベースとしている。

30

【0068】

組立ツリーの定義に必要な属性情報を下表 4 に示す。これらの情報をすべての中間部品及び完成部品において定義する。

【表 4】

属性名	説明
部品名	自身の部品の名前
座標変換情報	自身の完成状態における位置・姿勢を定義する情報
ベース部品の名前	自身の子製品群のうち、ベースとなる部品の名前
親部品	自身の親となる部品
子部品群	自身の子となる部品群
子部品群の位置・姿勢データ	自身の座標系における子部品の位置・姿勢を定義する情報

40

【0069】

また、図 12 は 3 枚板モデルの組立ツリーの例を示す図である。「name」は名前、「product1 (base)」は接合する対象部品のうちベースとする部品、「product2」は接合する対象部品、「中間部品における構成部品の座標変換情報」は中間

50

部品の定義である。なお、中間部品や完成部品の基準座標 3 点 ($v_0(0,0,0)$, $v_x(1,0,0)$, $v_z(0,0,1)$) は省略している。また、データには本来は対象 ID を記載するが、説明用に「name」で記載している。

図 12 の 3 枚板モデルでは、第一の板 P 1 と第二の板 P 2 が組み合わされて中間部品を成し、その中間部品に第三の板 P 3 が組み合わされて完成部品を成す。なお、中間部品を組み立てるにあたっては第一の板 P 1 をベースとし、完成部品を組み立てるにあたっては第三の板 P 3 をベースとしている。

【0070】

タスクツリー定義ステップ S 5 において、タスクツリーには、タスクに必要な情報とタスク同士の前後関係の情報を定義する。例えば、タスク定義ステップ S 4 において、下表 5 に示す 3 種類のタスクを定義する。

10

【表 5】

タスク名	説明
配材	対象の部品を、指定するファシリティを用いて、指定場所に運搬する
仮溶接	対象の部品同士を、指定するファシリティ（溶接機・クレーン）を用いて、指定された溶接線情報に従って溶接する
本溶接	指定の部品同士を、指定するファシリティ（溶接機）を用いて、指定された溶接線情報に従って溶接する

20

【0071】

ここで、図 13 は全タスクの関係をツリーとして表現した例を示す図である。

図 13 は、5 枚板モデルに対して、P 1～P 5 の各板（鋼板）を所定の位置に配材して、仮溶接及び本溶接を行うことで、完成部品を組み立てるシナリオを想定したものである。タスクには前後関係があるため、タスクツリー定義ステップ S 5 において、タスクのツリーは有向グラフで表現される。例えばタスク[仮溶接 0]は、[配材 0]、[配材 1]、[配材 2]のすべてのタスクを完了してからでないと開始することが出来ないことを意味している。

30

【0072】

また、タスクツリーが有する具体的な属性情報を下表 6 に示す。例えば、タスク[配材 0]では、オブジェクト[第二の板 P 2]をファシリティ[クレーン 1]を用いて、オブジェクト[定盤 2]上の位置(8 m, 0 m, 2 m)に、オイラー角(0, 0, 0)の姿勢で配置されるように運搬する、という情報が定義される。配材タスクでは始点の座標を定義しておらず、シミュレーション実施時に当該タスクの実行時点における座標から開始される。他にも同様にタスク[本溶接 0]は、エッジ[line 1]（第一の板 P 1 と第二の板 P 2 との結合部）を対象にファシリティ[溶接機 2]を用いて、0.2 m/s の速度で本溶接する、という情報が定義される。ただし、このタスクはタスクの前後関係から、タスク[仮溶接 0]が完了してからでなければ開始することは出来ない。溶接経路の情報はプロダクトモデルの当該エッジに関連付けられた情報を参照する。

40

【表 6】

属性名	説明
名前	タスクの名称
種別	タスクの種類
オブジェクト群	タスクで対象とするオブジェクト群
ファシリティ群	タスクで利用するファシリティ群
先行タスク群	タスクの開始までに終了しておく必要があるタスク群
タスク情報	タスクの実行に必要な固有の情報

10

【0073】

また、図14は3枚板モデルのタスクツリーの例を示す図であり、右側の表は左側のグラフ図を表現している。また、図15は3枚板モデルのタスクツリーのデータの例を示す図である。図15の「name」は名前、「task type」は種別、「product」は関連する部品、「facility」は関連するファシリティ、「conditions」はタスクツリー情報、「task data」はタスク情報（そのタスクに必要な固有のデータ）である。なお、データには本来は対象IDを記載するが、説明用に「name」で記載している。

20

この例では、図14に示すように、3枚板モデルに対して、P1～P3の各板（鋼板）を所定の位置に配材して、仮溶接及び本溶接を行うことで、完成部品を組み立てるシナリオを想定している。

【0074】

また、図10に示すように、プロセスモデル作成手段30は、組み立て手順とタスクに基づいて作業員のスケジュール情報31を作成する（スケジュール情報作成ステップS8）。図10に示されるように、組み立て手順を先に決めて、タスクを決めることが重要であり、これにより、的確に、後戻りすることなくプロセスモデルが作成でき、後の処理が滞りなくできる。すなわち、組立ツリーを先に作成し、後からタスクツリーを作成する。スケジュール情報31は、各行動主体となる作業員に対してタスクを順番も含めて割り当てたものである。これにより、スケジュール情報31に基づき、主作業や付随作業まで含めた作業員のすべての生産行為を精密に再現してシミュレーションを行うことができる。また、スケジュール情報31は、情報提供手段50が備えるモニタやプリンタ等からユーザに提供される。これにより、ユーザは作成されたスケジュール情報31を必要に応じて確認することができる。なお、スケジュール情報31は、ユーザの要望があったときのみ提供することも可能である。

30

【0075】

プロセスモデルでは組立ツリーとタスクツリーに関わる情報が定義されたが、スケジュール情報31ではタスクツリーで定義されたそれぞれのタスクに対して、担当作業員の割り振り、タスクの具体的な実行順番が定義される。

40

スケジュール情報31の作成例を下表7に示す。この例では、作業員1は鉄工職の作業者を想定しており、配材タスクと仮溶接タスクが割り当てられている。作業員1は、タスク【配材0】から開始し、タスク【仮溶接4】まで順次実施する。一方、作業員2は溶接職の作業者を想定しており、本溶接タスクが順番に割り当てられている。作業員2は、タスク【本溶接0】から開始し、タスク【本溶接3】まで順次実施する。

50

【表 7】

担当者	担当タスクと実行順番
作業員 1	配材0, 配材3, 配材2, 配材1, 配材4, 仮溶接1, 仮溶接2, 配材5, 配材6, 仮溶接3, 仮溶接4
作業員 2	本溶接0, 本溶接1, 本溶接2, 本溶接4, 本溶接3

【0076】

また、図 16 は図 14、15 で示した 3 枚板モデルにおける作業員へのタスクの割り振り
とタスクの順番の例を示す図であり、図 16 (a) は作業員 1 へのタスクの割当てとタス
ク順番を示し、図 16 (b) は作業員 2 へのタスクの割当てとタスク順番を示し、図 16
(c) はデータ形式のスケジュール情報である。なお、データには本来は対象 ID を記載
するが、説明用に「name」で記載している。

【0077】

また、図 10 に示すように、本実施形態では、スケジュール情報作成ステップ S8 の前に
、ファシリティモデルに基づいて、タスクがファシリティの能力値範囲を超えるか否かを
判断する（能力値範囲判断ステップ S7）。

能力値範囲判断ステップ S7 において、タスクがファシリティの能力値範囲を超えないと
判断した場合は、スケジュール情報作成ステップ S8 に進んでスケジュール情報 31 を作
成する。このように、タスクがファシリティの能力値範囲を超えないと判断した場合にス
ケジュール情報 31 を作成することで、ファシリティやタスクの能力値を超えたシミュレ
ーションが行われるスケジュール情報 31 を作成することを防止できる。また、作成した
プロセスモデルは情報提供手段 50 からユーザに提供される。

一方、能力値範囲判断ステップ S7 において、タスクがファシリティの能力値範囲を超え
ると判断した場合は、組立ツリー定義ステップ S3、タスク定義ステップ S4、及びタス
クツリー定義ステップ S5 に戻り、中間部品の定義、組立ツリーの定義、タスクの定義、
及びタスクツリーの定義のうちの対応可能な少なくとも一つを再定義する。各定義を再定
義することにより、より精度の高いプロセスモデルを作成することができる。

【0078】

スケジュール情報作成ステップ S8 の後、組み立て手順とタスクに基づいて、実際に時間
発展系シミュレーションで使用する設備と作業員の配置に関する工場レイアウト情報 32
を作成する（工場レイアウト情報作成ステップ S9）。これにより、設備と作業員の配置
が反映された工場レイアウト情報 32 に基づき、シミュレーションを行うことができる。
また、工場レイアウト情報 32 は、情報提供手段 50 が備えるモニターやプリンタ等からユ
ーザに提供される。これにより、ユーザは作成された工場レイアウト情報 32 を必要に応
じて確認することができる。なお、工場レイアウト情報 32 は、ユーザの要望があったと
きのみ提供することも可能である。

【0079】

これまで定義したプロダクトモデル及びファシリティモデルには、工場での配置情報を定
義していない。そこで工場レイアウト情報 32 では、各オブジェクトの初期配置を定義す
る。必要な属性情報を下表 8 に示す。また、図 17 は実際にシミュレーション空間に配置
した例を示す図である。

10

20

30

40

50

【表 8】

属性名	説明
オブジェクト名	シミュレーション空間に配置するプロダクト名、又はファシリティ名
基準オブジェクト名	配置の基準とするオブジェクト
座標情報	基準オブジェクトに対して配置する位置 (x,y,z)
姿勢情報	基準オブジェクトに対して配置する姿勢 (オイラー角, ϕ, θ, ψ)

10

【0080】

また、図18は3枚板モデルにおける工場レイアウト情報の例を示す図である。なお、データには本来は対象IDを記載するが、説明用に「名前」で記載している。プロダクトモデル、ファシリティモデルのデータベースから、実際にシミュレーションに利用する部品、ファシリティの配置情報をlayout.csvで定義している。

【0081】

建造シミュレーション手段40は、作成されたプロセスモデルに基づいて時間ごとの建造の進行状況を逐次計算する時間発展系シミュレーション（3次元空間上の時間発展）を行う。

20

時間発展系シミュレーションにおいては、プロセスモデルを基に、3次元プラットフォーム上での各ファシリティとプロダクトの位置と占有状況、カスタムタスクの進捗状況を変化させることで、造船における建造をシミュレーションする。なお、乱数を与えて中間部品の精度をあえて悪くし、その影響を下流の工程に至るまでシミュレーションすることもできる。また、カスタムタスクとタスクツリーとの関係は、カスタムタスクをツリー構造で前後関係を表し、繋ぎ合わせたものがタスクツリーとなる。

本実施形態では、3次元プラットフォームをゲームエンジンであるUnity（登録商標）を活用して構築している。

時刻 t における各ファシリティとプロダクトの位置、角度および占有を表す変数 x_f 、 x_p と、プロセスモデルにおけるカスタムタスクの未完又は完了を表す状態の s_t の3つを引数とすると、プロセスモデル作成手段30が定義したスケジュールに記載のカスタムタスクの順に、タスクに関係する各引数を事前に設定したルールに従って変化させることで、次の時刻 $t+1$ への x_f 、 x_p 、 s_t の変化を表すことができる。これにより各引数の時刻歴が出力される。

30

【0082】

図19は時間発展系シミュレーションの詳細フローである。

図1に示す建造シミュレーション手段40は、時間発展系シミュレーションを行う以前に、作業員が自律的に仮想的な作業を進めるためのルール情報41をルール情報データベース等から取得する。そして、プロダクトモデル取得手段10が取得したプロダクトモデルと、ファシリティモデル取得手段20が取得したファシリティモデルと、プロセスモデル作成手段30が作成したプロセスモデル、スケジュール情報31、及び工場レイアウト情報32と、取得したルール情報41に基づいて、3次元プラットフォーム上にオブジェクトを配置する（シミュレーション実行情報読込ステップS11）。

40

ここで、ルール情報41とは、建造シミュレーション手段40による自律判断に必要な制約や選択肢である。例えば、溶接タスク（カスタムタスク）では、使える溶接機の種類だけをルール情報41として指定しておき、どの溶接機を使用するかはシミュレーションの途中で建造シミュレーション手段40が自律的に判断する。

すなわち、仮想的な作業員がシミュレーション内でどのように判断するのかを記述したものがルール情報41となる。ルール情報41を利用することにより、シミュレーションにおける作業員が的確に仮想的な作業を進めやすくなる。ルール情報41は、あらかじめ力

50

タログのように作成してデータベースに蓄積しておく。なお、ルール情報 4 1 は、強化学習やマルチエージェント等により自律的に学習させて作成して取得することも可能である。強化学習等により自律的にルール情報 4 1 を作成する方法としては、エージェントが建造シミュレーション手段 4 0 内を自由に動き回り効率的なルールを学習してルール情報 4 1 を生成する手法を用いる。ルール情報 4 1 の一例は以下の通りである。

ルール 1 A：空いている近い道具を取得する。

ルール 1 B：後工程でも空いている近い道具を取得する。

ルール 2：クレーンを使用する場合、クレーン同士の干渉によって他の工程が妨げられないようなクレーンを選択する。

ルール 3：使用後、マグネット式の釣り具は台車の上に置く。

ルール 4：作業場所が同じ後の工程について、道具をまとめて取ってくる。

これらのルールは、時間発展系シミュレーションを行う以前に作業員に割り当てておくものであり、例えば以下になる。

作業員 1：ルール 1 A

作業員 2：ルール 1 B、ルール 2、ルール 3、ルール 4

作業員 1 は新人を想定し、作業員 2 は熟練者を想定したものである。新人の作業員 1 は自分のことだけを考えて動くため、他工程の邪魔になったりもする。

【0083】

ルール情報 4 1 により、時間発展系シミュレーションの実施中に、未入力だったタスク情報やスケジュール情報が自動構築される。本実施形態では、ルール情報 4 1 として、作業員に付与される判断ルールであるブレインを含む。

ブレインは、カスタムタスクに 1 対 1 で対応させ、時間発展系シミュレーションを実行する前に構築しておく。時間発展系シミュレーション上では、ブレインを逐次動作させることで、時間発展の中で状況に応じて作業員が判断する様子を再現する。そのため、特に造船工程のような、繰り返し作業ではなく現場で判断することが非常に多い作業を作業員がブレインを利用して判断し、仮想的な作業を円滑に進めることができる。

ルール情報 4 1 の一つであるブレインで判断される内容は、大別すると以下の四つである。

1. ある一つのカスタムタスクに対して、必要な引数を決定する。

2. ある一つの種類（タスクタイプ）に属する複数のカスタムタスクの中から一つのカスタムタスクを選択する。

3. 複数の種類のカスタムタスクから一つの種類を選択する。

4. カスタムタスクを実施中に競合が発生した場合の対応をルールに基づいて選択する。

【0084】

ブレインによる判断方法においては、まず引数の組合せとして候補群を作成し、その候補群それぞれに対して評価パラメータを抽出し、所定の評価値ルールに基づく評価値の計算を実施し、最終的に最も評価値が高いものを選択する。

評価パラメータの抽出、所定のルール、評価値に基づく選択は、配材タスクを例にすると、それぞれ例えば以下になる。

〔評価パラメータの抽出〕

判断に関わる評価パラメータ群を、時間発展系シミュレーション中に順次取得する。

- ・ p 1：作業員の現在地からプロダクトまでの距離
- ・ p 2：プロダクトからクレーンまでの距離
- ・ p 3：プロダクトから目的地までの距離（目的地は自動計算）
- ・ p 4：ベース板か否か（0 or 1）
- ・ p 5：干渉無く行動可能か（0 or 1）

〔評価値ルール〕

$$v = (p 4 - 0.2 * (p 1 + p 2 + p 3)) * p 5$$

〔選択〕

0 より大きい評価値の中で最大の評価値を得たタスクを選択する。

タスク 1 : v 1
 タスク 2 : v 2
 タスク 3 : v 3
 . . .

【 0 0 8 5 】

ブレインの評価値ルールは、手動又は機械学習によって構築する。

手動で構築する場合は、ビデオ分析の結果や作業員に対するヒアリング等を通じてルールを推定し構築する。

機械学習によって構築する場合は、二つの構築方法がある。一つ目の構築方法は、造船工場での作業員、道具、及びプロダクトの動きに関するデータをカメラや位置センサ等を用いたモニタリングにより取得し、取得した大量のデータから、作業員とプロダクトとの距離や作業員と道具との距離などのパラメータ X と、作業員のタスク選択結果（判断履歴） Y を整理し、整理したデータを教師データとし、パラメータ X からタスク選択結果 Y を予測するニューラルネット等の機械学習モデルとして構築するものである。また、二つ目の構築方法は、例えば時間が短いほど良い等の目標を設定し、その目標を報酬とした強化学習を適用し、最適な戦略を自動構築するものである。

10

【 0 0 8 6 】

タスクタイプごとのブレインの例を下表 9 に示す。表中の「 A t B r a i n 」は配材 A t のブレイン、「 F t B r a i n 」は仮付 A t のブレイン、「 W t B r a i n 」は本溶接 W t のブレイン、「 D t B r a i n 」は裏焼き D t のブレインである。

20

【表 9】

ブレイン	自動決定事項 ※引数は全共通で、着手可能な全タスクのリスト
AtBrain	(タスクの選択): AtPickとAtPlaceのリスト (対象を決定するのと同義) (引数の決定): 利用ファシリティ名 (クレーン), 配材先の基準オブジェクト, 座標値, オイラー角
FtBrain	(タスクの選択): ある一つのFt (対象を決定するのと同義) (引数の決定): 利用ファシリティ名 (溶接機, 電源)
WtBrain	(タスクの選択): ある一つのWt (対象を決定するのと同義) (引数の決定): 利用ファシリティ名 (溶接機, 電源)
DtBrain	(タスクの選択): ある一つのDt (対象を決定するのと同義) (引数の決定): 利用ファシリティ名 (バーナー, ガス口)

30

カスタムタスクについて、シミュレーション中に自動決定される引数と、事前にタスクツリーで構築しておく引数を下表 10 に示す。下線が引かれた引数が自動決定される引数、下線が引かれていない引数が事前に構築しておく引数である。

40

50

【表 10】

タスクタイプ	関数名	引数
		(共通)：タスク名，タスクタイプ，関数名，対象， <u>利用ファシリティ</u> ，先行タスク， <u>主体名</u> ，要求ファシリティ種別・個数
配材At	AtPick	(固有)：－
	AtPlace	(固有)：配材先の基準オブジェクト，座標値 (x,y,z)，オイラー角 (θ, ϕ, ψ)
仮付Ft	Ft	(固有)：－
本溶接Wt	Wt	(固有)：－
裏焼きDt	Dt	(固有)：－

10

【0087】

図20はブレインを利用したシミュレーションの様子を示す図であり、図20(a)は配材タスク、図20(b)は溶接タスクである。

配材タスクにおいては、配材場所の制約と配置位置が自動決定される。

20

溶接タスクにおいては、溶接線の位置などの評価パラメータが取得され、評価値計算が実施される。なお評価値計算では、溶接作業者の近くで別の作業を実施しないなど、溶接領域が考慮される。

【0088】

シミュレーション実行情報読込ステップS11の後、スケジュール情報31に記載のカスタムタスクのうち、全行動主体に対して先頭に存在するタスクを実行し、時間を1秒プラスする。(タスク実行ステップS12)。カスタムタスクは事前にメソッドとして定義しておき、割り当てられたカスタムタスクを状況に応じてルール情報41等に基づき変更する。

時間発展系シミュレーションでは、時間ごとの完成部品又は構成部品の位置、設備及び作業員の位置と占有状況、組み立て手順とタスクの進行状況を逐次計算する。これにより、時間発展系シミュレーションを精度よく行うことができる。

30

【0089】

次に、カスタムタスクが終了したか否かを判定する(タスク終了判定ステップS13)。タスク終了判定ステップS13において、カスタムタスクが終了していないと判定した場合は、タスク実行ステップS12に戻り、カスタムタスクを実行する。

一方、タスク終了判定ステップS13において、カスタムタスクが終了したと判定した場合は、終了したカスタムタスクをスケジュールの先頭から削除し、割り当てられたカスタムタスクがすべて終了したか否かを判定する(シミュレーション終了判定ステップS14)。

40

シミュレーション終了判定ステップS14において、割り当てられたカスタムタスクがすべて終了していないと判定された場合は、タスク実行ステップS12に戻り、カスタムタスクを実行する。

一方、シミュレーション終了判定ステップS14において、割り当てられたカスタムタスクがすべて終了したと判定された場合は、シミュレーションを終了する。このようにシミュレーションは、すべての予定されたカスタムタスクがなくなるまで繰り返し実行する。

【0090】

また、船舶の建造シミュレーションシステムは、時間発展系シミュレーションの途中結果を、情報提供手段50から提供する。シミュレーションの途中結果は、例えばタスク実行ステップS12が終了するたびにユーザに提供される。ユーザは、提供された途中結果を

50

基に、そのままシミュレーションを続行するか、又はカスタムタスク等を変更して次のシミュレーションを行うかなどを判断する。これにより、ユーザが途中結果に基づいて判断し、ユーザの意図に沿ったシミュレーションを行いやすくなる。

情報提供手段50からの途中結果の提供は、ユーザが例えばシミュレータの実行ボタンを押す際に任意にオン／オフを選択可能であり、オフが選択されている場合は実行されない。一方、オンが選択されている場合は、例えばモニタが閲覧モードとなり、シミュレーションの状況がアニメーション的に流れていく様子が提供され、ユーザは一時停止ボタンを押したり、また再生ボタンを押したりして、逐次確認することができる。ユーザは、一時停止ボタンを押したとき、既に終了しているカスタムタスク、実施中のカスタムタスク、及び未実施の予定されているカスタムタスクを見ることができ、例えば予定されているカスタムタスクの順番を変更したり、そのカスタムタスクで使う道具を変更及び指定したりできる。変更後、再生ボタンを押すと、シミュレーションが再開し、変更したシナリオで進行する。

また、時間発展系シミュレーションにおいては、予め取得したルール情報41とタスクを利用し、仮想の作業員が自律的に仮想的な作業を進める。具体的には、ルール情報41と、タスクとしてのベーシックタスクを組み合わせて構成したカスタムタスクを利用して仮想的な作業を進める。

ルール情報41とは、上述のように例えば、使える溶接機の種類などである。ルール情報41とタスクを利用することにより、シミュレーションにおける仮想の作業員が的確に仮想的な作業を進めやすくなる。

本実施形態では、情報提供手段50から途中結果を提供した後に、ユーザから変更を加えた変更条件を受け付け、変更条件に基づいて時間発展系シミュレーションを実行する。これにより、ユーザの意向が反映された変更条件を基に精度よくシミュレーションを行うことができる。

図21はシミュレーションの疑似コードを示す図である。

【0091】

カスタムタスクを構成するベーシックタスクは、汎用的に使われうる小さな作業を表す。ベーシックタスクは、時間発展系シミュレーション上で実行可能な関数であり、時間発展系シミュレーションを実行する前に、関数として構築しておく。ベーシックタスクは、引数を与えられ、その引数に関連したシミュレーションのオブジェクトを移動させたり占有したりといった、シミュレーションに必要な基本的な関数である。また、ベーシックタスクは、3次元的な制約を考慮した関数となる。

ベーシックタスクの組合せとしてカスタムタスクを構築する。タスクが時間発展系シミュレーションで実行可能な関数であるベーシックタスクを組み合わせて構築されるカスタムタスクを含むことで、作業の種類別に小さな作業を組み合わせたカスタムタスクにより、シミュレーションの精度を向上させることができる。

ベーシックタスクの具体例を下表11に示す。なおベーシックタスクは、表11に挙げたもの以外にも多数存在する。

【表11】

ベーシックタスク名	引数	内容
move	主体名, 移動先	主体者を移動先へ移動させる関数 自動経路算出
weld	主体名, 溶接線, 溶接機	主体者を溶接機とともに溶接線の先頭に移動し、 溶接スピードで移動させ、プロダクトを更新する関数
CraneMove	主体名, 移動先	主体者（クレーンなどの機器）を移動先へ移動させる関数 自動経路算出、他クレーンとの干渉を考慮

【0092】

図22はベーシックタスクの例として移動タスク（move）を示す図である。移動タスクの定義は以下の通りである。

- ・動く主体名と目的地の座標値を引数として持つ。
- ・シミュレーション上では、特定のスピードで主体者を移動させる関数となる。
- ・３次元的地形を考慮して最短経路を自動算出する。
- ・経路の途中にマンホールやロングなどの障害物が存在し、当該障害物をくぐったり跨いだりして越える必要がある場合、それに応じて速度を減速させる。

【００９３】

図２３はベーシックタスクの例として溶接タスク（w e l d）を示す図である。溶接タスクの定義は以下の通りである。

- ・主体名、対象溶接線名、及び利用する溶接機名を引数とする。
- ・シミュレーション上では、特定の溶接スピードで溶接線近くを移動させる関数となる。
- ・溶接機には電源ケーブル、トーチ、及びホースを再現し、ケーブルとホースは他のオブジェクトと干渉する。
- ・溶接線が上向きにある場合と下向きにある場合で溶接速度が変更される。

【００９４】

図２４はベーシックタスクの例としてクレーン移動タスク（C r a n e M o v e）を示す図である。クレーン移動タスクの定義は以下の通りである。

- ・主体名と目的地の座標値を引数とする。
- ・シミュレーション上では、特定の移動スピードで目的地まで移動する関数となる。
- ・本ベーシックタスクは、主体者が機器（クレーン）となる。機器については、外部からタスクを命じられて実行するという形態をとる。
- ・他のクレーンとの干渉判定を行い、移動可能な領域を制約として考慮する。

【００９５】

ここで、タスク実行ステップＳ１２の前に事前にメソッドとして定義しておくカスタムタスクについて詳細に説明する。カスタムタスクは以下のように定義される。

- ・カスタムタスクは、ベーシックタスクの組合せとして構築するものであり、パターン化又は慣習化された途切れない一連の作業の集合を一つのカスタムタスクとして表現する。例えば、カスタムタスクが配材タスクの場合は、「物へ移動→物をつかむ→物と移動→物を置く」となる。
- ・カスタムタスクに引数が渡され、その引数に基づいて、事前に決められた順番のベーシックタスクを構築していき、最終的にベーシックタスクのリストを構築する。
- ・カスタムタスクは、配材タスク、仮付タスク、溶接タスクなど、再現したいタスク毎に構築する。
- ・カスタムタスクは、インプットとして共通の引数とタスク毎に固有の引数を持つ。
- ・カスタムタスクには、人が主体となるものと、機器が主体となるものがある。例えば、配材タスクの主体は人（作業員）、自動溶接タスクの主体は機器（自動溶接機）となる。

【００９６】

人に割り当てられるカスタムタスクのタスクタイプ、関数名、及び引数の例を下表１２に示し、機器に割り当てられるカスタムタスクの関数名、及び引数の例を下表１３に示す。

10

20

30

40

50

【表 1 2】

タスクタイプ	関数名	引数
		(共通)：タスク名，タスクタイプ，関数名，対象，利用ファシリティ，先行タスク，主体名，要求ファシリティ種別・個数
配材At	AtPick	(固有)：－
	AtPlace	(固有)：配材先の基準オブジェクト，座標値 (x,y,z)，オイラー角(θ, ϕ, ψ)
仮付Ft	Ft	(固有)：－
本溶接Wt	Wt	(固有)：－
裏焼きDt	Dt	(固有)：－

10

【表 1 3】

関数名	引数
	(共通)：タスク名，タスクタイプ，関数名，対象，利用ファシリティ，先行タスク，主体名，要求ファシリティ種別・個数
CraneRun	(固有)：－
CraneHoist	(固有)：－
AutoWeldRun	(固有)：－

20

【0097】

図 2 5 はカスタムタスクとしての配材タスク「取りに行く」の例を示す図である。なお、ホイストクレーンを使用する。

30

この配材タスクのタスクタイプは「配材 A t」、関数名は「AtPick」、共通の引数は「タスク名，タスクタイプ，関数名，対象，利用ファシリティ，先行タスク，主体名，要求ファシリティ種別・個数」、固有の引数はなしとなる。

配材タスク「取りに行く」を構成するベーシックタスクのリストの例を以下に示す。

1. move (主体者，ファシリティの場所)
2. move (主体者とファシリティ，対象の場所)
3. CraneHoist (下げる)
4. Timeout (指定秒数)
5. CraneHoist (上げる)

なお、上記 3 のベーシックタスクはフックを下降させ、上記 4 のベーシックタスクは玉掛時間分待機させ、上記 5 のベーシックタスクはフックを上昇させるものである。

40

【0098】

図 2 6 はカスタムタスクとしての配材タスク「配置する」の例を示す図である。

この配材タスクのタスクタイプは「配材 A t」、関数名は「AtPlace」、共通の引数は「タスク名，タスクタイプ，関数名，対象，利用ファシリティ，先行タスク，主体名，要求ファシリティ種別・個数」、固有の引数は「配材先の基準オブジェクト，座標値 (x, y, z)、オイラー角 (θ, ϕ, ψ)」となる。

配材タスク「配置する」を構成するベーシックタスクのリストの例を以下に示す。

1. move (主体者，ファシリティと対象，指定された座標値へ)
2. CraneHoist (下げる)

50

3. Timeout (指定秒数)

4. CraneHoist (上げる)

なお、上記3のベーシックタスクは物を取り外す時間分待機させるものである。

【0099】

図27はカスタムタスクの一つである本溶接タスクをベーシックタスクの組合せで表現した例を示す図である。

メソッドとしてのタスクを実行することにより、変数 x_f 、 x_p 、 s_t を変化させる。そのために、各カスタムタスクのそれぞれに対してメソッドを定義するが、そのカスタムタスクをさらに細かなメソッドであるベーシックタスクの組合せで表現する。

まず、開始条件を確認するベーシックタスク (Wait_start) は、条件が満たされるまでは待つといったメソッドとなる。

道具を確保するベーシックタスク (Wait_hold) は、使用する道具がすべて空いていなければ待ち、空いていれば、本タスクのために占有する状態に変化させるといった基本的なメソッドとなる。

また、クレーンによって構成部品を移動させるなどの表現は、移動タスク (move) として表し、指定した速度で位置や角度を変更する。

溶接タスク (weld) は、プロダクトモデルに定義された溶接線情報を基に、溶接開始点までの移動と溶接姿勢に基づく速度で溶接トーチおよび作業者を移動させ、構成部品を次の中間部品へと変化させるといったメソッドとしている。このようなベーシックタスクの組合せで様々なタスクを表現し、メソッドとして事前 (タスク実行ステップS12の前) に構築する。

このように、カスタムタスクはあらかじめ決められた標準的な手順を記載するものである。カスタムタスクは、時間発展系シミュレーションの前にカタログのように作っておく。カスタムタスクの一例は以下の通りである。

仮溶接 (カスタムタスク) : 溶接機を取りに行く + クレーンを取りに行く + 部品を吊る + 位置をあわせる + 仮止めする

このとき、どの道具 (溶接機1又は溶接機2など) を選択するかはルール情報41 (ルール1A、ルール1B、ルール2など) に基づいて決められる。また、ルール情報41のうちのルール3に関し、マグネット式のクレーンを使っていた場合は、道具を使用後に台車の上に置くという新たなタスクが発生する。もちろん、ルール情報41に基づかずに、使用する道具をユーザが指定することもできる。

【0100】

また、ベーシックタスクの中でも移動については、すべてのタスク内の移動経路を手入力することが困難なことが多いと想定されるため、建造シミュレーション手段40が経路探索を行い自動判断するように設定することが好ましい。この場合、具体的には、まず移動可能な領域をメッシュで動的に生成し、そのメッシュの頂点と線分を経路と見立て、A*アルゴリズムにより経路を自動算出する。

図28は2つの入り口がある壁で囲まれた領域のうち、移動可能なメッシュを構成した例を示す図である。壁130付近はメッシュが存在しないため、壁130を回り込んで移動するような経路が生成されることとなる。実装には、例えばUnity (登録商標) のNavmeshAgentクラスを活用する。これによりベーシックタスクでは到達先の地点又は到達先のオブジェクトを指定することで、途中の経路は自動算出され入力の手間を大幅に削減することが可能となる。

【0101】

ここで、シミュレーションにおいて入力するインプットデータの具体例を下表14に示す。なお、ファシリティに関するデータは除いている。

10

20

30

40

【表 1 4】

N o	データ名	簡易説明	サンプル場所 (input_sample)
1	形状データ	部品一つ一つの形状データ。サンプルではobj形式。	SUB_F/OriginalData/*.obj
2	溶接線データ	溶接線のポリラインとトーチ方向でのラインを表すデータで、サンプルではtxt形式。	SUB_F/WeldingLine/Line*/weld_0.txt
3	裏焼き線データ	溶接線と同様に、裏焼きが必要なラインのデータで、サンプルではtxt形式。	SUB_F/HeatingLine/Line*/heat_0.txt
4	プロダクトモデルデータ	部品間の関係性と、接続関係を表すデータ。	Product.csv
5	ポリラインデータ	裏焼き線と製品との関係性を表すデータ。	Polyline.csv
6	組立ツリーデータ	部品の組立階層と、その階層におけるベース板の局所座標系における位置と向きのデータ。	Assemblytree.csv
7	タスクツリーデータ	製品を組み立てるまでに必要なタスクの一覧とパラメータ、その前後関係を表すデータ。一部、空欄にしたものはシミュレーション内で自動決定される。	Tasktree.csv

10

20

【0102】

図29は形状データの例を示す図である。

図29に示すサンプルは、SUB_Fという名前の小組を想定している。すべての部品について、部品ごとのローカル座標系で、かつ安定な姿勢で定義している。なおソリッドモデルとしているが、他のデータ形式とすることもできる。

30

【0103】

図30は溶接線データの例を示す図である。

溶接線データは、溶接線1本ごとに定義し、溶接線のポリラインは、完成状態の座標系におけるものである。中央の図において実線は溶接線、点線は溶接線をトーチを当てる逆方向に引いた線である。また、右側の図は側方から見た図であり、「○」は溶接線の位置、「△」は溶接線をトーチを当てる逆方向に引いた線の位置を示している。

なお、上述のように、本実施形態では溶接線が上向きにある場合と下向きにある場合で溶接速度が変更されるように定義しているが、実際の溶接速度に関するデータを予め取得して、それに基づいて溶接速度を変更することもできる。

40

【0104】

図31は裏焼き線データの例を示す図である。

ここでは、ひずみをとる目的で、小組段階で骨の裏側にガスバーナーで火をいれることを想定している。裏焼き線のポリラインは、完成状態の座標系におけるものである。左側の図において実線は裏焼き線、点線は裏焼き線をガスバーナーを向ける逆方向に引いた線である。また、右側の図は側方から見た図であり、「○」は裏焼き線の位置、「△」は溶接線をガスバーナーを向ける逆方向に引いた線の位置を示している。

【0105】

図32はプロダクトモデルデータの例を示す図である。

列Aはタイトルが「名前」であり、部品と溶接線の名前が記載されている。列Bはタイト

50

ルが「グループ名」であり、属するグループ名が記載されている。列Cはタイトルが「種別」であり、部品であれば「node」、線であれば「edge」が記載されている。列D、Eはタイトルが「node」であり、どの部品と部品をつなげる線かの情報が記載されている。列Fはタイトルが「Path」であり、形状データと溶接線データの保存場所を示すパスが記載されている。列Gはタイトルが「姿勢情報」であり、完成状態における部品の相対位置と角度が記載されている。列Hはタイトルが「重量」であり、部品の重量が記載されている。

【0106】

図33はポリラインデータの例を示す図である。

列Aはタイトルが「LineName」であり、裏焼き線の名前が記載されている。列Bはタイトルが「LineType」であり、線のタイプが記載されている。列Cはタイトルが「ParentProductName」であり、どの製品（親プロダクト）を基準にするかの情報が記載されている。列Dはタイトルが「Path」であり、裏焼き線データの保存場所を示すパスが記載されている。

10

【0107】

図34は組立ツリーデータの例を示す図である。

左側の図において、列Aはタイトルが「Name」であり、中間部品の名前が記載されている。列Bはタイトルが「ComponentName」であり、中間部品を構成する部材の名前が記載されている。列Cはタイトルが「IsBasedProduct」であり、ベース板であれば「base」が記載されている。列Dはタイトルが「ProductPose」であり、ベース板の場合は、中間部品の局所座標系におけるベース板の位置と角度が記載されている。

20

また、右側の図は、板モデルの組立ツリーの例を示している。

【0108】

図35はタスクツリーデータの例を示す図である。

列Aはタイトルが「TaskName」であり、タスクの名前が記載されている。列Bはタイトルが「TaskType」であり、タスクの種類が記載されている。列Cはタイトルが「FunctionName」であり、シミュレータ内の名前が記載されている。列D～Gにはタスクごとに必要な引数が記載されている。列Hはタイトルが「RequiredFacilityList」であり、必要ファシリティが記載されている。

30

列Bに記載されるタスクの種類としては、At1（配材）、Ft（仮付）、Wt（本溶接）、Tt（反転）、Dt（裏焼き）、At2又はAt3（製品の移動）などがある。

タスクごとに必要な引数が記載される列D～Gにおいて、列Dはタイトルが「TaskObject」であり、対象物が記載されている。列Eはタイトルが「TaskFacility」であり、利用するファシリティ名が記載されている。列Fはタイトルが「TaskConditions」であり、先行タスクが記載されている。列Gはタイトルが「TaskParameter」であり、タスクに固有なパラメータが記載されている。なお、列Fのタスクコンディション欄には「null」と記載されているが、これはシミュレーション内で自動決定される。

列Hの記載は、どの種別の道具が何個無いとできない作業なのかを示すものであり、例えば図中の「Crane 1」は、クレーンが1台無いとできない作業であることを示している。

40

【0109】

建造シミュレーション手段40は、時間発展系シミュレーションの後、時間発展系シミュレーションの結果を時系列データ化し建造時系列情報42とする。時系列データは、行動主体である作業員を含む各ファシリティの位置、角度、及び占有状況等の時刻歴データである。このように、船舶の建造シミュレーションシステムを用いることで、ユーザは船舶の建造を細かな作業レベルでシミュレーションすることが可能となり、その精度の高いシミュレーション結果としての建造時系列情報42に基づいて工場の改善、生産設計の改善、受注時のコスト予測、及び設備投資などを検討することができるため、建造コストの低

50

減や工期の短縮につながる。

また、建造時系列情報 4 2 は、非常に細かい作業レベルまで存在するので、タブレット等の携帯端末、A R (Augmented Reality) 技術、M R (Mixed Reality) 技術、又はホログラムディスプレイを活用した視覚的な確認や、V R (Virtual Reality) を用いた仮想空間における実寸大での確認ができるように、作業者に対して情報伝達することで、作業効率を向上させることができる。A I チャットボットなどで音声的に作業案内することも可能である。

【0110】

情報提供手段 5 0 は、時間発展系シミュレーションの結果を建造時系列情報 4 2 としてユーザに提供する。ユーザは、取得した建造時系列情報 4 2 を、クラウドサーバ等を利用して、作業者、設計者、管理者など関係各所で横断的に共有すること等ができる。なお、ユーザは、取得した建造時系列情報 4 2 を見てシミュレーションの条件を修正する必要性を感じた場合、若干の変更であれば現場からクラウドサーバを通じて船舶の建造シミュレーションシステムに対する操作を行うことができる。

ここで、図 3 6 は情報提供手段による出力処理の詳細フローである。

まず、プロダクトモデル、ファシリティモデル、プロセスモデル、スケジュール情報 3 1、ルール情報 4 1、及び建造時系列情報 4 2 を読み込む（出力情報読み込みステップ S 2 1）。

次に、表示に必要な計算や生成等を行い、建造時系列情報 4 2 を表示する（表示ステップ S 2 2）。建造時系列情報 4 2 は、ガントチャート、作業分解構成図、作業手順書、工数、又は動線の少なくとも一つを含むことが好ましい。このような可視化を行うことにより、ユーザはシミュレーションの結果としての建造時系列情報 4 2 を見て、構成部品又はファシリティの変更や、ボトルネックの分析・解明、工数予測など、建造に有益な知見を得ることができる。なお、作業分解構成図は、時系列情報から各タスクの開始時間や終了時間を記載できるため、直接的ではないが、建造時系列情報 4 2 として扱うことができる。また、工数とは、例えば、各作業にかかる日数を「〇〇人日」のように表したものである。また、作業分解構成図、工数以外の作業手順書や動線も時系列化された情報として表現することが可能である。

また、建造時系列情報 4 2 は、必要工程と工程同士の関係性や所要日数を確認できるパート（P E R T）図として表現することもできる。

【0111】

モデル変更指示手段 6 0 は、建造時系列情報 4 2 の結果が、所期目標の範囲を超えているか否かを判断し、超えている場合は、対応可能な条件下でファシリティモデル、及びプロセスモデルの少なくとも一方を変更する指示を行う。

建造シミュレーション手段 4 0 は、変更されたファシリティモデル又はプロセスモデルを用いて、時間発展系シミュレーションと建造時系列情報 4 2 の生成を繰り返し実行する。これにより、船舶の建造が所期目標の範囲内に収まるシミュレーション結果を得ることができる。なお、対応可能な条件下とは、工場に既にあるファシリティ又は数日以内に調達可能なファシリティの範囲内であることをいう。日数のかかる設備の導入や作業員の採用等は含まない。また、所期目標としては、例えば所定の時間等が設定されるが、それだけでなく、作業の平準化（作業負荷を分散できているか）や、作業場の安全確保、危険性の有無等を含めることができる。

【0112】

次に本発明の第二の実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムについて説明する。なお、上記した実施形態と同一機能部材については同一符号を付して説明を省略する。

図 3 7 は本実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムを機能実現手段で表したブロック図である。

本実施形態の船舶の建造シミュレーションシステムは、その設置場所とは異なる場所に位置する A 工場、B 工場、C 工場、及び D 社と、情報通信回線 8 0 で接続されている。なお

10

20

30

40

50

、D社は工場ではないが、例えば、工場を統括する本社、共同で船舶を建造するための取りまとめをする会社、船舶の基本設計を専門的に行う会社、また生産行為を認証する会社等である。

プロダクトモデル取得手段10は、船舶の基本設計情報11に基づいて作成されたプロダクトモデルを取得する。具体的には、A工場、B工場、C工場、及びD社のいずれかで設計された基本設計情報11を情報通信回線80を介して取得し、基本設計情報11として完成部品と完成部品を構成する構成部品の結合関係が明確な場合は、建造の役割や分担等を人が決め各工場のプロダクトモデルを作成する。構成部品の結合関係が明確になっていない場合は、基本設計情報11に基づいて建造シミュレーションシステム自体、又は結合関係明確化手段を用いて結合関係を明確にし、建造の役割や分担等を決め各工場のプロダクトモデルを作成する。

10

ファシリティモデル取得手段20は、A工場、B工場、及びC工場それぞれの設備情報21と作業員情報22に基づいて作成された工場ごとのファシリティモデルを取得する。具体的には、A工場、B工場、及びC工場それぞれから情報通信回線80を介して取得した設備情報21と作業員情報22に基づいて、人が支援手段を用いて抽象化し、シミュレーションで扱える体系化されたデータ群としてファシリティモデルを作成する。

また、プロセスモデル作成手段30は、取得したプロダクトモデルとファシリティモデルに基づいて工場ごとのプロセスモデルを作成し、建造シミュレーション手段40は、プロダクトモデルに対して工場ごとの時間発展系シミュレーションを行う。

これにより、一つのプロダクトモデルから工場ごとのプロセスモデルが作成され、工場ごとのファシリティモデルを用いたシミュレーションが行われるため、各工場での製造コストや工期を比較することができ、建造コストのさらなる低減や工期のさらなる短縮につながる。また、例えば、共同で単数隻又は複数隻の船舶の建造を受注した場合、複数の工場が共同で船舶を建造する際の受注時のコスト予測や、設備投資などを検討することも可能となる。例えば、各工場で仕事を分担することで年間何隻の受注が可能かなどといった受注機会の検討や、どのブロックをどの程度各工場に割り振るのが最も効率的かつ有益なのかの検討に、シミュレーション結果を用いることができる。また、或る会社が或るブロックを外注しようとする場合に、外注候補先の会社のファシリティモデルを用いてシミュレーションを行い、その結果を基にコストや工期等を検討することも可能である。

20

なお、複数の工場は、同じ会社がすべて所有するものであっても、異なる会社が其々所有する工場であってもよい。また、船舶の建造シミュレーションシステムに、複数の工場を遠隔からモニターして管理する機能を持たせることも可能である。

30

【0113】

また、建造シミュレーション手段40における工場ごとの時間発展系シミュレーションの結果は、比較可能な状態で情報提供手段50からユーザに提供される。

これにより、ユーザは迅速かつ的確に、各工場での製造コストや工期などを比較することができる。

【0114】

また、プロダクトモデル取得手段10は、船舶の基本設計情報11を情報通信回線80を介して各工場のCADシステムのいずれか、又は複数のCADシステムから取得する。また、情報提供手段50は、建造時系列情報42を情報通信回線80を介して各工場やD社に提供する。なお、情報提供手段50は、建造時系列情報42だけでなく、時間発展系シミュレーションに用いた基本設計情報11やファシリティ情報等、あらゆる情報を一緒に提供することもできる。

40

これにより、船舶の建造シミュレーションシステムが遠隔地にあったとしても、基本設計情報11の取得や建造時系列情報42の提供を、情報通信回線80を介して迅速に行うことができる。

また、船舶の基本設計情報11は、CADシステムから取得するので、CADシステムで作成された船舶の基本設計情報11をプロダクトモデルの作成等に容易、かつ有効に利用できる。なお、CADシステムは、A工場、B工場、及びC工場に設置されているが、一

50

つの工場で代表して設計することも、複数の工場で分担して設計することができる。また、代表した工場にのみ C A D システムを配置してもよい。

【 0 1 1 5 】

また、ファシリティモデル取得手段 2 0 は、工場の改善情報としての設備情報 2 1 と作業員情報 2 2 の少なくとも一方に基づいて作成された工場のファシリティモデルを取得することができる。これにより、建造シミュレーション手段 4 0 が工場の改善情報に基づいた時間発展系シミュレーションを行い、情報提供手段 5 0 が改善情報に基づいた建造時系列情報 4 2 を提供することができる。

工場の改善情報とは、例えばクレーンの更新や能力アップ、又は作業者の増員等である。工場の改善情報を取得して用いることで、工場の設備や作業員を変更し改善した場合のシミュレーションを行うことができる。

10

【 0 1 1 6 】

次に本発明の第三の実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムについて説明する。なお、上記した実施形態と同一機能部材については同一符号を付して説明を省略する。

図 3 8 は本実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムを機能実現手段で表したブロック図である。

本実施形態の船舶の建造シミュレーションシステムは、船舶の建造に関わる共通データベース 9 0 をさらに備えている。共通データベース 9 0 は、基本設計情報データベース、設備情報データベース、作業員情報データベース、ルール情報データベース、及び時系列情報データベースを有する。

20

プロダクトモデル取得手段 1 0 は、基本設計情報 1 1 を共通データベース 9 0 から取得する。また、ファシリティモデル取得手段 2 0 は、設備情報 2 1 と作業員情報 2 2 に基づいて作成された船舶の建造に関わる設備と作業員に関するファシリティモデルを共通データベース 9 0 から取得する。また、プロセスモデル作成手段 3 0 は、プロセスモデルに関連したプロセスモデル関連情報を共通データベース 9 0 から取得する。また、建造シミュレーション手段 4 0 は、ルール情報 4 1 を共通データベース 9 0 から取得する。このように共通データベース 9 0 から各種情報を取得することで、情報の種類ごとに別々のデータベースが設けられている場合と比べて情報の取得が容易となり、情報の共同利用が可能となり、またデータベースの管理を一元化することができる。

30

【 0 1 1 7 】

また、情報提供手段 5 0 は、時系列情報を共通データベース 9 0 に提供する。これにより新たな時系列情報を共通データベース 9 0 に蓄積し、例えば、後のシミュレーション時の過去船情報として利用することやルール情報 4 1 の機械学習に活用すること等ができる。

【 0 1 1 8 】

また、共通データベース 9 0 は、過去船データベース 7 0 も有している。プロセスモデル関連情報として過去船のプロセスデータを提供する過去船データベース 7 0 も共通データベース 9 0 に含めることで、類型船舶のプロセスモデル関連情報の取得が可能となり、シミュレーションの省略や容易化等が図れる。

なお、共通データベース 9 0 は、物理的にまとめたデータベースであってもよいし、通信回線を介して連絡する分散型のデータベースであってもよい。また、データベース化する上での基本要件として、蓄積されるデータは、例えば、共通的な呼称や番号付等を有する標準化されたデータ構造に基づくことが好ましい。

40

【 0 1 1 9 】

次に本発明の第四の実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムについて説明する。なお、上記した実施形態と同一機能部材については同一符号を付して説明を省略する。

図 3 9 は本実施形態による船舶の建造シミュレーションシステムを機能実現手段で表したブロック図である。

本実施形態の船舶の建造シミュレーションシステムは、コスト計算手段 1 0 0 と、部品調

50

達計画手段 110 と、生産計画システム連携手段 120 をさらに備えている。

コスト計算手段 100 は、建造時系列情報 42 に基づいて、船舶の建造に関わるコストを計算する。これにより、建造時系列情報 42 に基づいて計算された船舶の建造に関わるコストを簡便に得ることができる。また、建造時系列情報 42 に基づいて算出することで、治具の材料費、電気代、溶接ワイヤーの消費量など、従来よりも細かくコストを算出しやすくなる。

【0120】

部品調達計画手段 110 は、建造時系列情報 42 に基づいて、船舶の建造に必要な購入部品の購入計画を作成する。これにより、建造時系列情報 42 に基づいて作成された購入部品の購入計画を簡便に得ることができる。

【0121】

生産計画システム連携手段 120 は、建造時系列情報 42 に基づいて、船舶の建造に関わる生産計画を立案する生産計画システム 140 と関係している。これにより、建造時系列情報 42 を船舶の建造全体の生産計画の立案へとスムーズに繋げることができる。なお、生産計画システム 140 は、既存の生産計画システムを利用することも、本建造シミュレーションシステムと関係するように開発された生産計画システムとすることもできる。

【実施例】

【0122】

造船工場モデルを入力データとした実施例について説明する。シミュレーションにあたって設定した作業員の移動速度、クレーンの移動速度、及び溶接作業の単位長さ当たりの速度の設定値を下表 15 に示す。なお、ここではこれらの値を一律に設定しているが、タスクごとに（例えば、溶接姿勢に応じて）定義することも可能である。

【表 15】

属性名	設定値
作業員の移動速度	1.0m/s（クレーン利用時は、クレーン速度に合わせる）
クレーンの移動速度	0.5m/s
仮溶接作業の単位長さ当たりの速度	0.2m/s
本溶接作業の単位長さ当たりの速度	0.02m/s

【0123】

仮溶接は、本来であればタック溶接のように断続的な溶接線で表現されるべきであるが、本実施例では簡単のために、本溶接に利用する溶接線経路（ポリライン）を併用し、単位長さ当たりの溶接速度を変えることによって、作業の差を表現している。また、本実施例で設定した組立シナリオにおける溶接作業は、水平すみ肉溶接のみであり、上向き溶接は発生しない。

3DCADモデルのファイルは、Unity（登録商標）にインポート可能な汎用的な中間ファイル形式であるOBJ形式（Wavefront Technologies社）を採用した。

【0124】

（ケース 1）

図 40 はケース 1 の組立シナリオにおけるシミュレーションの計算結果のガントチャートである。縦軸の名称は各ファシリティとプロダクト（完成部品、中間部品、構成部品）を表し、横軸は時間（s）を示している。縦線の横棒は配材タスク、横線の横棒は仮溶接タスク、斜線の横棒は本溶接タスクで占有した時間を示している。

ケース 1 のシナリオでは、5 枚板モデルに対して、鉄工職 1 名と溶接職 1 名の計 2 名の作業員で組み立て作業を行う。定めた各作業員のスケジュールは表 7 の通りである。表 7 の 2 行目の作業員 1 が鉄工職であり、2 行目の作業員 2 が溶接職である。各作業員は表 7 に

記載した順にタスクを実施していく。

このシナリオに基づき船舶の建造シミュレーションシステムによって計算されたガントチャートである図40から、縦線の横棒で示される各板P1～P5の配材にかかる時間が約370秒であることがわかる。この時間は全体の約4分の1弱に相当している。この配材にかかる時間は、従来の溶接長から算出する方法では直接的に計算できないものであり、付随作業に相当する。また、作業員2は、配材と仮溶接タスクが終わらない限り作業を開始できないため、480秒近く待つことになる。その後、作業員2が中間部品U2を完成させるまで作業員1はタスクを待つ必要があり、1100秒付近から仮溶接タスクを実行して終了となる。

このように、船舶の建造シミュレーションシステムによって、従来の算出法だけでは計算できないような各タスクの必要な時間が計算され、タスクの進行度合いによって待ち時間が発生する様子が再現されている。

【0125】

(ケース2)

図41はケース2の組立シナリオにおけるシミュレーションの計算結果のガントチャートである。縦軸の名称は各ファシリティとプロダクト（完成部品、中間部品、構成部品）を表し、横軸は時間（s）を示している。縦線の横棒は配材タスク、横線の横棒は仮溶接タスク、斜線の横棒は本溶接タスクで占有した時間を示している。また、図42はケース2におけるシミュレーションの3次元的外観図である。

ケース2では、ケース1と同様に5枚板モデルを対象として、鉄工職2名（作業員1、3）と溶接職2名（作業員2、4）の計4名の作業員に増やしたシナリオを設定した。それに合わせて、溶接機を2台追加している。各作業員のスケジュールは下表16の通りである。

【表16】

担当者	担当タスクと実行順番
作業員1	配材0, 配材2, 配材4, 仮溶接0, 仮溶接1, 配材5, 仮溶接3
作業員2	本溶接0, 本溶接3
作業員3	配材3, 配材1, 仮溶接2, 配材6, 仮溶接4
作業員4	本溶接1, 本溶接2, 本溶接4

【0126】

このシナリオに基づきシミュレータによって計算されたガントチャートである図41から、各板P1～P5の配材にかかる時間が約400秒となっており、ケース1よりも長くなっていることがわかる。これは、作業員1と作業員3が1台のクレーンを共有して使うため、余計な歩行時間を要していることが要因にある。仮溶接の時間についても同様に1台のクレーンを共有して使うため、ケース1よりも長くなっている。中間部品U1と完成部品SUB1の本溶接は、それぞれ2本の溶接線を2名で並行して実施しているため、ケース1よりも時間が短縮されている。一方で、開始から終了までの総工期については、人数をケース1の2倍にしたが半分とはならず、結果的にその差は中間部品U1と完成部品SUB1の本溶接時間の短縮による150秒程度のみである。

このように、従来の能率という考えでは検討できない内容まで検討することが可能となり、定量的差とその根拠が明確となる。

また、図42に示すように、各モデルの3次元オブジェクトの位置が変更している様子を直接的に確認することも可能である。

【産業上の利用可能性】

【0127】

本発明は、製造時における物の流れと作業員の動きが定型的なものではなく状況に応じて

細かな作業の判断を要する船舶の建造を精度よくシミュレーションし、その結果を、コスト予測、生産設計、建造計画の立案及び改善、設備投資、生産現場の分析やボトルネックの解明など、建造に関わる多岐の用途で利用することができる。また、同様のアナロジーが成り立つような浮体、洋上風力発電施設、水中航走体や海洋構造物などの他製品、また建築業界など他産業への展開も可能である。これらに適用する場合は、請求項における船舶を他製品や他産業で対象とする言葉に置き替えて解釈することができる。

【符号の説明】

【0128】

- 10 プロダクトモデル取得手段
- 11 基本設計情報
- 20 ファシリティモデル取得手段
- 21 設備情報
- 22 作業員情報
- 30 プロセスモデル作成手段
- 31 スケジュール情報
- 32 工場レイアウト情報
- 40 建造シミュレーション手段
- 41 ルール情報
- 42 建造時系列情報
- 50 情報提供手段
- 60 モデル変更指示手段
- 70 過去船データベース
- 80 情報通信回線
- 90 共通データベース
- 100 コスト計算手段
- 110 部品調達計画手段
- 120 生産計画システム連携手段
- 140 生産計画システム

10

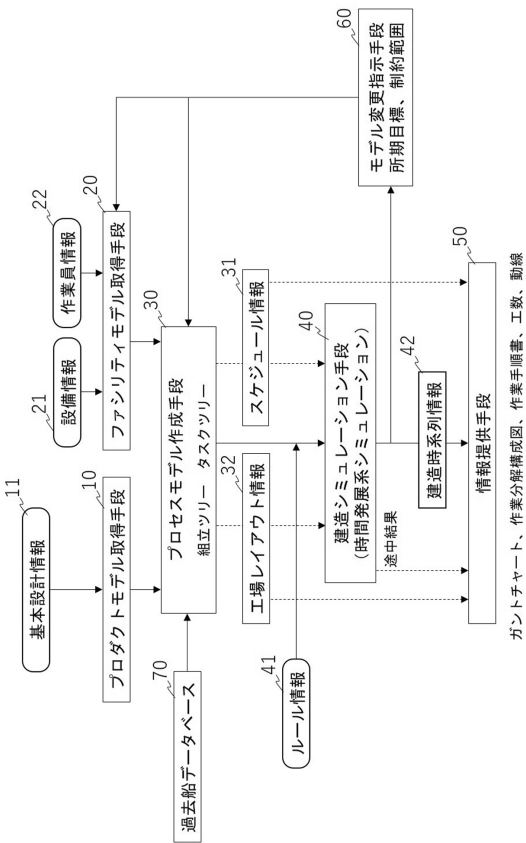
20

30

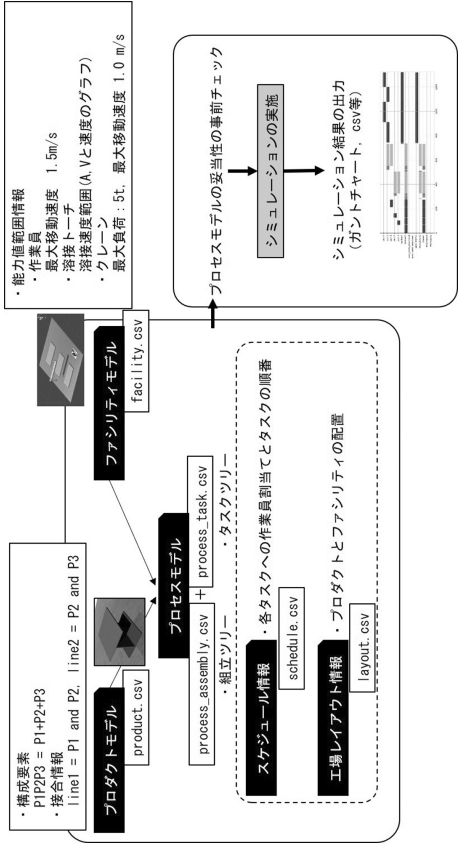
40

50

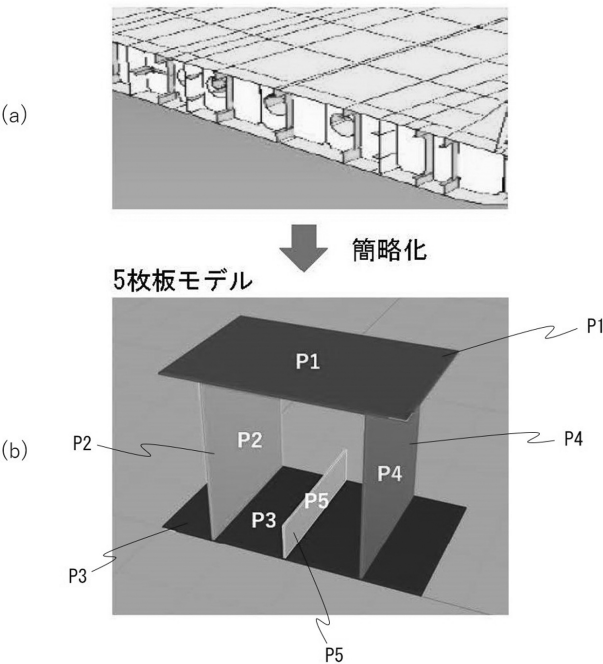
【図面】
【図 1】



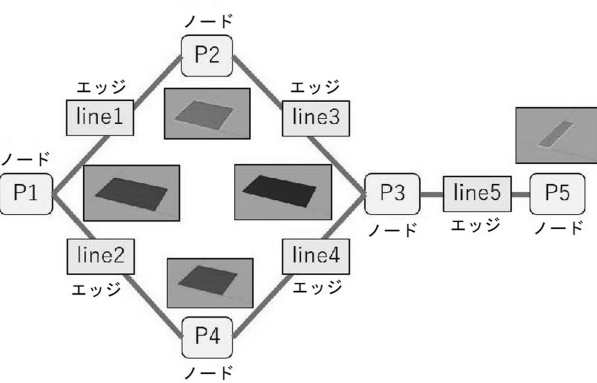
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

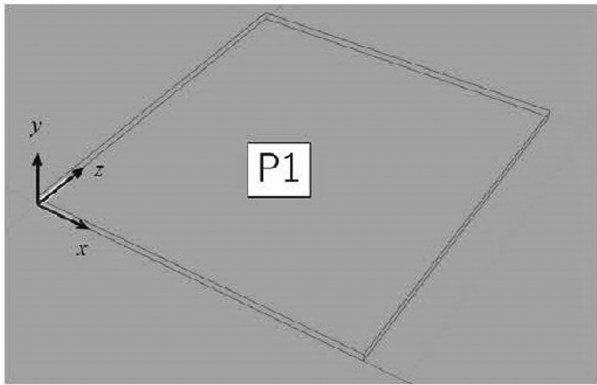
20

30

40

50

【図 5】

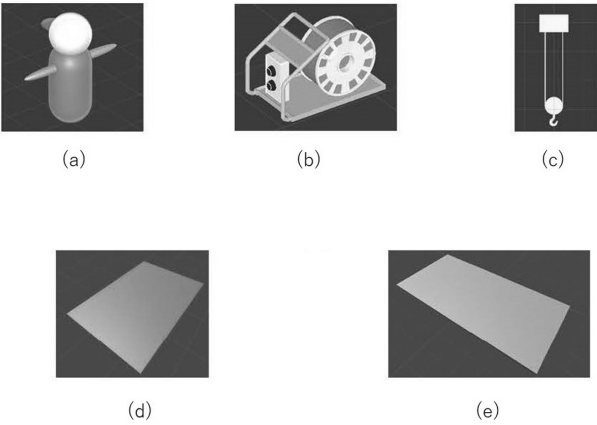


【図 6】

product.csv					
ID	name	parent	type	Node1	Node2
p1	P1	P1P2P3	Node	-	resources/P1.obj: 完成形状における座標変換情報 (3点データ, vo, vx, vz), 重量, ...
p2	P2	P1P2P3	Node	-	resources/P2.obj: 完成形状における座標変換情報 (3点データ, vo, vx, vz), 重量, ...
p3	P3	P1P2P3	Node	-	resources/P3.obj: 完成形状における座標変換情報 (3点データ, vo, vx, vz), 重量, ...
1	line1	P1P2P3	Edge	P1	P2
2	line2	P1P2P3	Edge	P2	P3
resources/line1.txt (接合線データ)					
resources/line2.txt (接合線データ)					

```
graph LR; P1[P1 ノード] --- line1[line1 エッジ] P2[P2 ノード]; P2 --- line2[line2 エッジ] P3[P3 ノード];
```

【図 7】



【図 8】

facility.csv				
ID	name	type	model_file_path	ability
f1	作業員1 (鉄工)	作業員	Resources/worker.obj	1.5m/s (最大歩行速度) (手で持ち上げられる最大荷重, ...)
f2	作業員2 (溶接)	作業員	Resources/worker.obj	1.5m/s (最大歩行速度) (手で持ち上げられる最大荷重, ...)
f3	クレーン1	クレーン	Resources/grane_v2.obj	0.5m/s (最大移動速度)
f4	溶接機1	溶接機	Resources/welding_machine.obj	(最大移動速度, 溶接速度範囲(A, V)と速度のグラフ), ...)
f5	溶接機2	溶接機	Resources/welding_machine.obj	(定格荷重, 溶接速度範囲(A, V)と速度のグラフ), ...)
f6	床	床	Resources/Floor.obj	(最大移動速度, 溶接速度範囲(A, V)と速度のグラフ), ...)
f7	定盤1	定盤	Resources/Surface_plate1.obj	
f8	定盤2	定盤	Resources/Surface_plate2.obj	
f9	定盤3	定盤	Resources/Surface_plate3.obj	
f10	定盤4	定盤	Resources/Surface_plate4.obj	

10

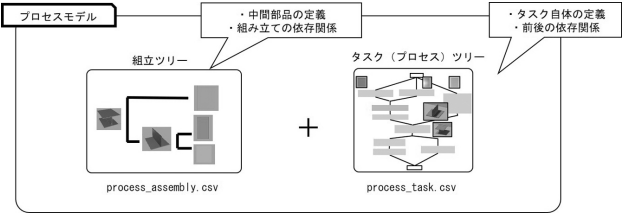
20

30

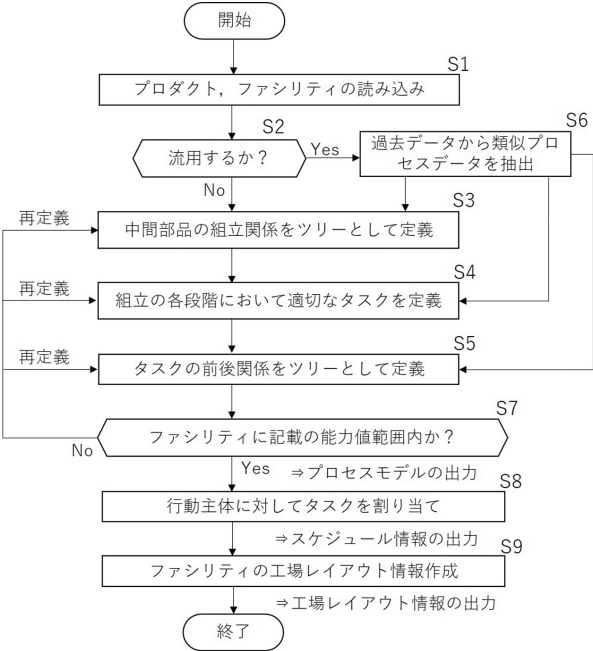
40

50

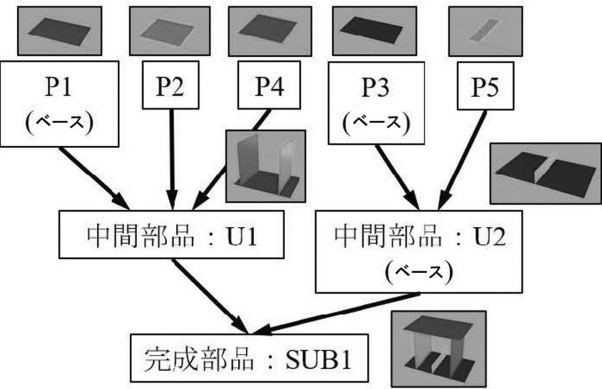
【図 9】



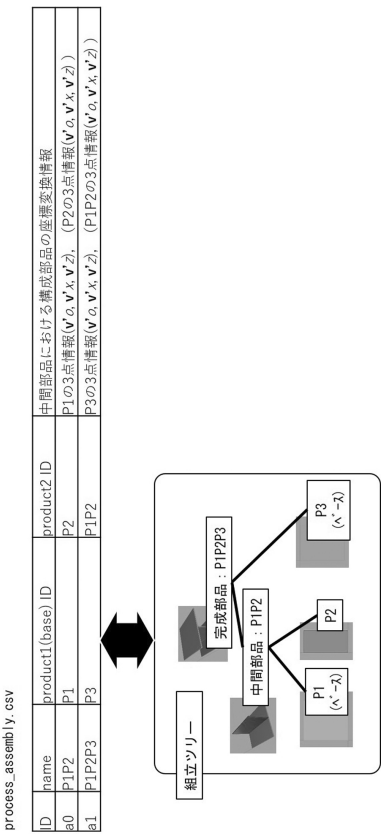
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

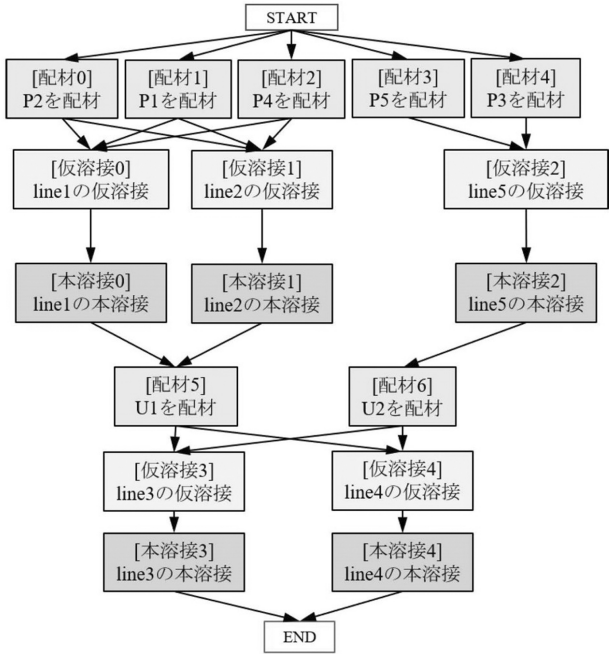
20

30

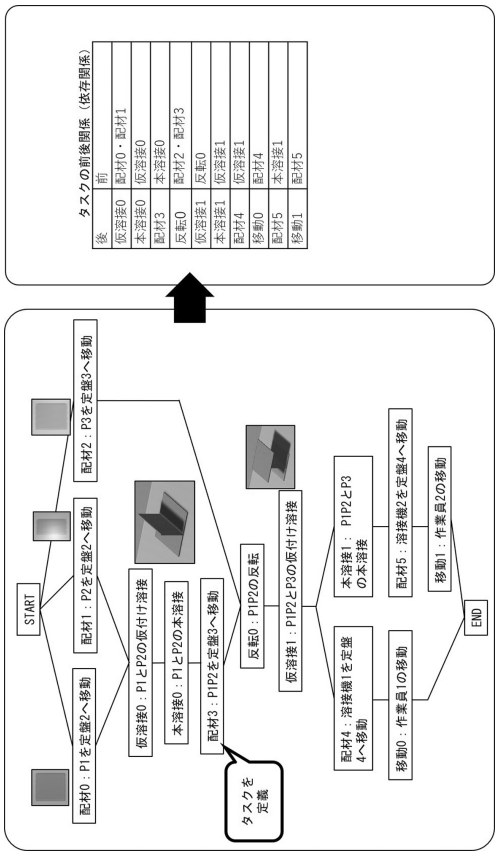
40

50

【図 13】



【図 14】



10

20

【図 15】

ID	name	task type	product ID	facility ID	conditions ID	task data
1	配材0	配材	P1	クレーン1		定盤2 (8.0, 4), (0.0, 0) (配材先基準オブジェクト、位置、回転)
2	配材1	配材	P2	クレーン1		定盤2 (4.0, 4), (0.0, 0) (配材先基準オブジェクト、位置、回転)
3	配材2	配材	P3	クレーン1		定盤3 (2.0, 4), (0.0, 0) (配材先基準オブジェクト、位置、回転)
4	配材3	配材	P1P2	クレーン1		定盤3 (8.0, 4), (0.0, 0) (配材先基準オブジェクト、位置、回転)
5	配材4	配材		溶接機1		定盤4 (8.0, 4), (0.0, 0) (配材先基準オブジェクト、位置、回転)
6	配材5	配材		溶接機2		定盤4 (8.0, 4), (0.0, 0) (配材先基準オブジェクト、位置、回転)
7	仮溶接0	仮溶接	P1P2	溶接機1クレーン1		0.2m/s (溶接速度), Resources/welding_line/ft1/ (溶接情報)
8	仮溶接1	仮溶接	P1P2P3	溶接機1クレーン1		0.2m/s (溶接速度), Resources/welding_line/ft1/ (溶接情報)
9	本溶接0	本溶接	P1P2	溶接機2		0.02m/s (溶接速度), Resources/welding_line/hwt0/ (溶接情報)
10	本溶接1	本溶接	P1P2P3	溶接機2		0.02m/s (溶接速度), Resources/welding_line/hwt1/ (溶接情報)
11	反転0	反転	P1P2	クレーン1		回転速度情報 (基準オブジェクト)
12	移動0	移動		作業員1		定盤4 (2.0, 1), (0.0, 0) (移動基準点、位置、回転)
13	移動1	移動		作業員2		定盤4 (2.0, 2), (0.0, 0) (移動基準点、位置、回転)

【図 16】

配材0: P1を定盤2へ移動	本溶接0: P1とP2の本溶接
配材1: P2を定盤2へ移動	本溶接1: P1P2とP3の本溶接
仮溶接0: P1とP2の仮付け溶接	配材5: 溶接機2の移動
配材2: P3を定盤3へ移動	移動1: 作業員2の移動
配材3: P1P2を定盤3へ移動	
仮溶接1: P1P2とP3の仮付け溶接	
反転0: P1P2の反転	
配材4: 溶接機1の移動	
移動0: 作業員1の移動	

(a)

(b)

30

schedule.csv

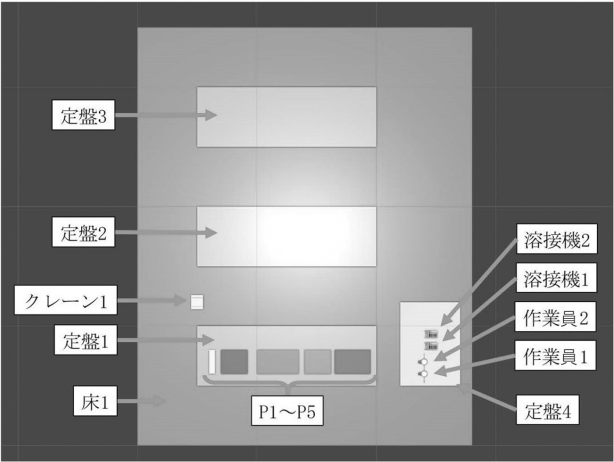
name	task	schedule ID	配材1	仮溶接0	配材2	配材3	反転0	仮溶接1	配材4	移動0
作業員1	配材0		配材1	仮溶接0	配材2	配材3	反転0	仮溶接1	配材4	移動0
作業員2	本溶接0		本溶接1	配材5	移動1					

(c)

40

50

【図 17】



【図 18】

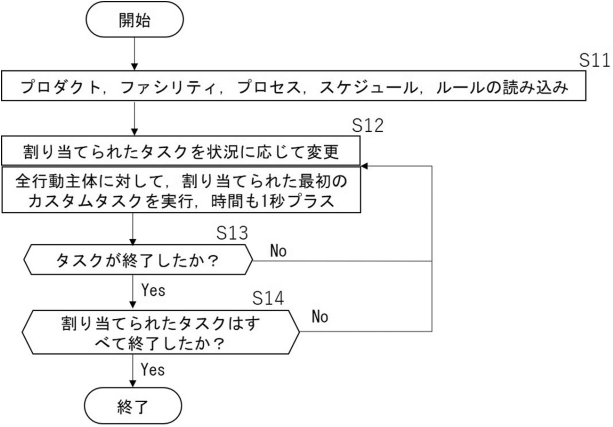
layout.csv

ID	位置・姿勢の基準オブジェクト ID	位置X	位置Y	位置Z	回転X	回転Y	回転Z	スケールX	スケールY	スケールZ	その他
床1	床	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
定盤1	床	3	0	0	0	0	0	1	1	1	
定盤2	床	3	0	13	0	0	0	1	1	1	
定盤3	床	3	0	23	0	0	0	1	1	1	
定盤4	床	20	0	3	0	0	0	1	1	1	
クレーン1	床	5	6	12	0	0	0	1	1	1	クレーン本体の垂からの距離: 0, クレーン桁長さ: 10
作業員1	定盤4	2	0	1	0	-90	0	1	1	1	
作業員2	定盤4	2	0	2	0	-90	0	1	1	1	
溶接機1	定盤4	2	0	3	0	0	0	1	1	1	
溶接機2	定盤4	2	0	4	0	0	0	1	1	1	
P1	定盤4	3	0	3	0	0	0	1	1	1	
P2	定盤4	3	0	3	0	0	0	1	1	1	
P3	定盤4	4	0	3	0	0	0	1	1	1	

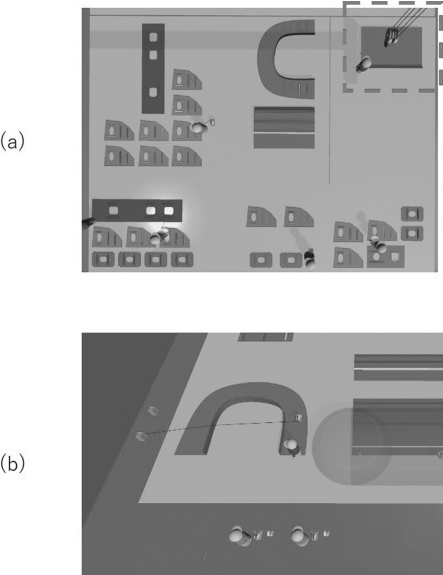
10

20

【図 19】



【図 20】



30

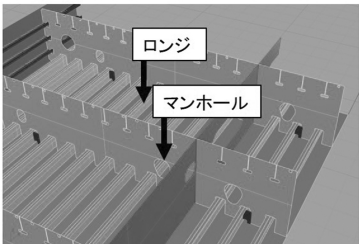
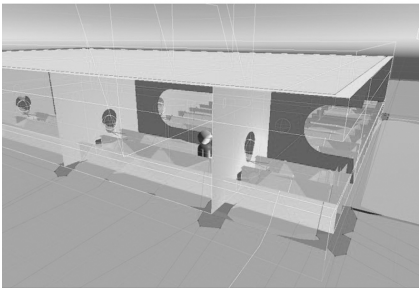
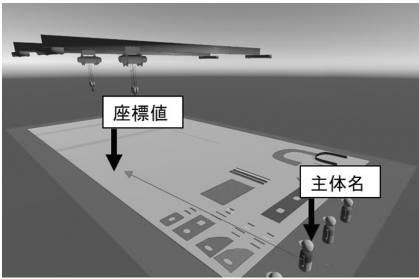
40

50

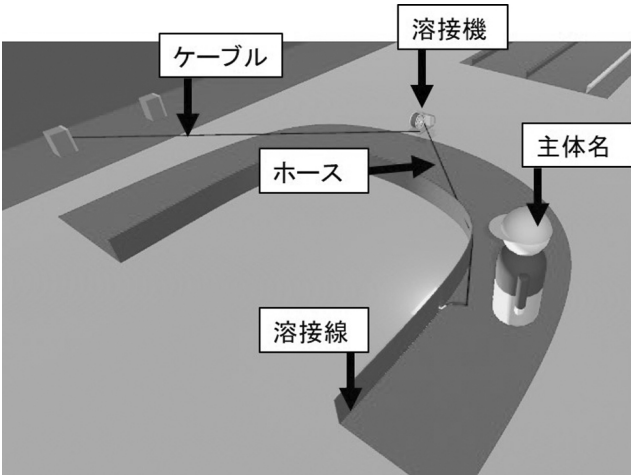
【図 2 1】

```
global_time = 0
While stop==false:
  For worker in workers:
    if Tasks[worker].Length>0
      isEnd = Tasks[worker][0].Run
      if isEnd=true:
        Tasks[worker][0].Remove
    global_time ++
  if all Tasks.Length==0: stop=true
```

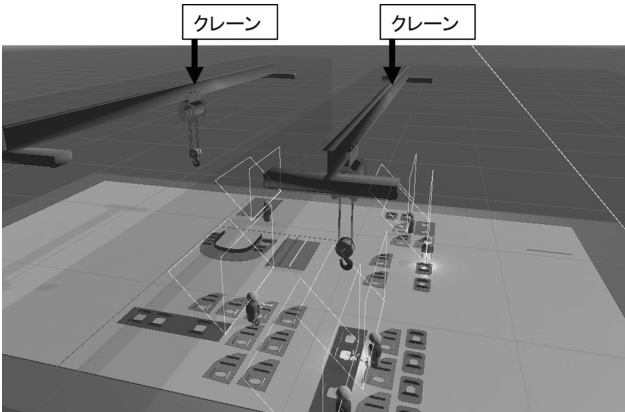
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

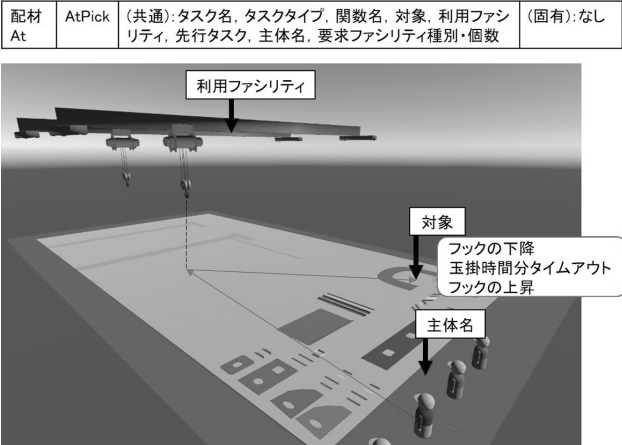
20

30

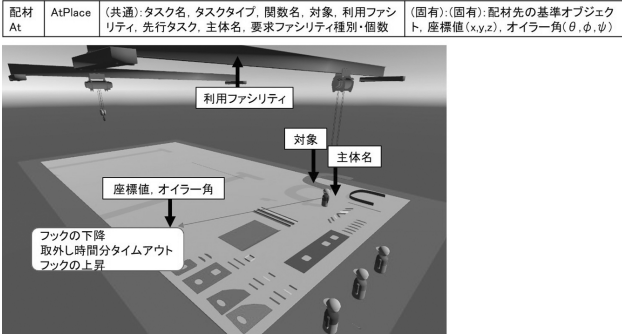
40

50

【図 2 5】

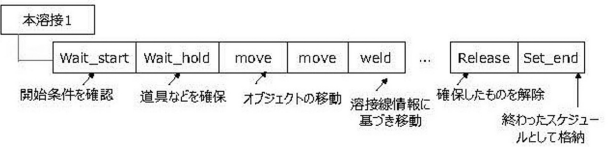


【図 2 6】

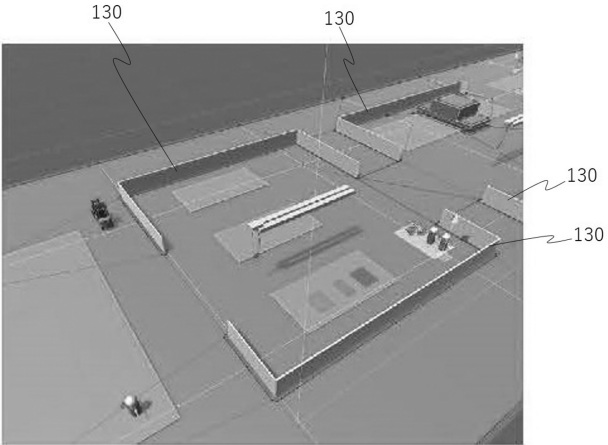


10

【図 2 7】

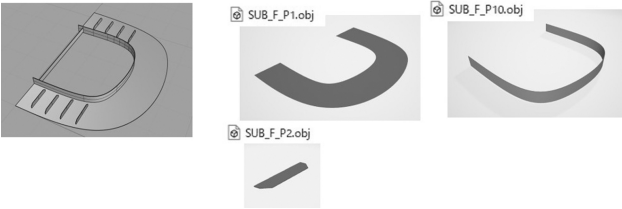


【図 2 8】

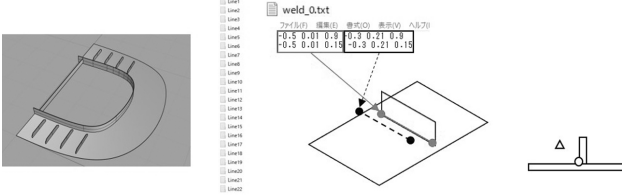


20

【図 2 9】



【図 3 0】

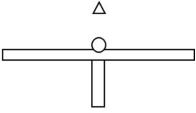
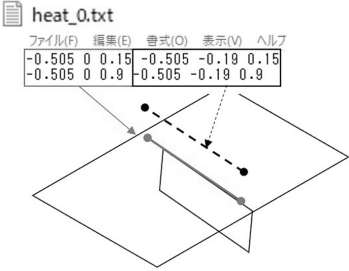


30

40

50

【図 3 1】



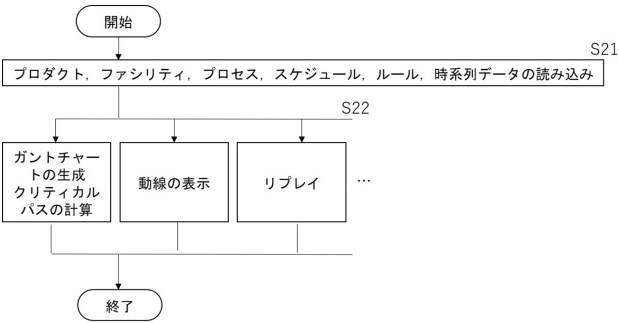
【図 3 2】

A	B	C	D	E	F	G	H
1 名 前	フル・名 姓 別	no01	no02		半 年 別		課 長
2 SUB_F_P1	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P1	0.053953145232088 0.0 0.4095745232088 1.5 0.395375325086	800.2919796
3 SUB_F_P2	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P2	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
4 SUB_F_P3	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P3	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
5 SUB_F_P4	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P4	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
6 SUB_F_P5	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P5	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
7 SUB_F_P6	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P6	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
8 SUB_F_P7	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P7	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
9 SUB_F_P8	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P8	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
10 SUB_F_P9	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P9	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
11 SUB_F_P10	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P10	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
12 SUB_F_P11	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P11	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
13 SUB_F_P12	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P12	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
14 SUB_F_P13	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P13	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
15 SUB_F_P14	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P14	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
16 SUB_F_P15	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P15	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
17 SUB_F_P16	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P16	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
18 SUB_F_P17	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P17	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
19 SUB_F_P18	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P18	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796
20 SUB_F_P19	SUB_F	no01	-	-	Product/Amosel SUB_F SUB_F_P19	0.0510000000000000 0.0 0.395100000000000 1.5 0.395100000000000	800.2919796

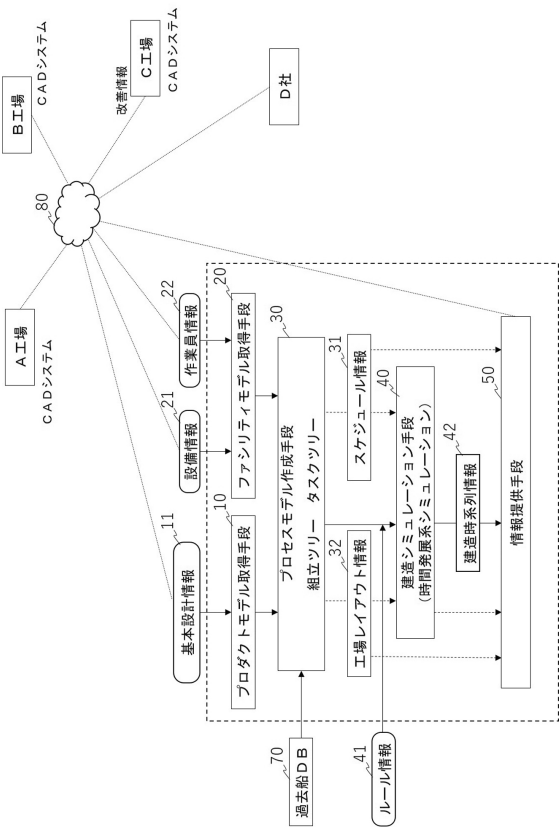
【図 3 5】

1 #	TaskName	TaskType	Function	TaskObject	TaskFacility	TaskConditions	TaskParameter	RequiredFacilityList
2	AI1.SUB_F_Pick_P1	AI1	AIPlace	SUB_F_P1	null	-	-	Crane 1
3	AI1.SUB_F_Pick_P2	AI1	AIPlace	SUB_F_P2	null	-	-	-
4	AI1.SUB_F_Pick_P3	AI1	AIPlace	SUB_F_P3	null	Wt.SUB_F_Line17	-	-
5	AI1.SUB_F_Pick_P4	AI1	AIPlace	SUB_F_P4	null	Wt.SUB_F_Line17	-	-
6	AI1.SUB_F_Pick_P5	AI1	AIPlace	SUB_F_P5	null	Wt.SUB_F_Line17	-	-
7	AI1.SUB_F_Pick_P6	AI1	AIPlace	SUB_F_P6	null	Wt.SUB_F_Line17	-	-
8	AI1.SUB_F_Pick_P7	AI1	AIPlace	SUB_F_P7	null	Wt.SUB_F_Line17	-	-
9	AI1.SUB_F_Pick_P8	AI1	AIPlace	SUB_F_P8	null	Wt.SUB_F_Line17	-	-
10	AI1.SUB_F_Pick_P9	AI1	AIPlace	SUB_F_P9	null	Wt.SUB_F_Line17	-	-
11	AI1.SUB_F_Pick_P10	AI1	AIPlace	SUB_F_P10	null	-	-	Crane 1
12	AI1.SUB_F_Pick_P11	AI1	AIPlace	SUB_F_P11	null	FL.SUB_F_Line18	-	-
13	AI1.SUB_F_Pick_P1	AI1	AIPlace	SUB_F_P1	null	AI1.SUB_F_Pick_P1	SurfacePlate2:null:null	Crane 1
14	AI1.SUB_F_Pick_P2	AI1	AIPlace	SUB_F_P2	null	AI1.SUB_F_Pick_P2	SurfacePlate2:null:null	-
15	AI1.SUB_F_Pick_P3	AI1	AIPlace	SUB_F_P3	null	AI1.SUB_F_Pick_P3	SurfacePlate2:null:null	-

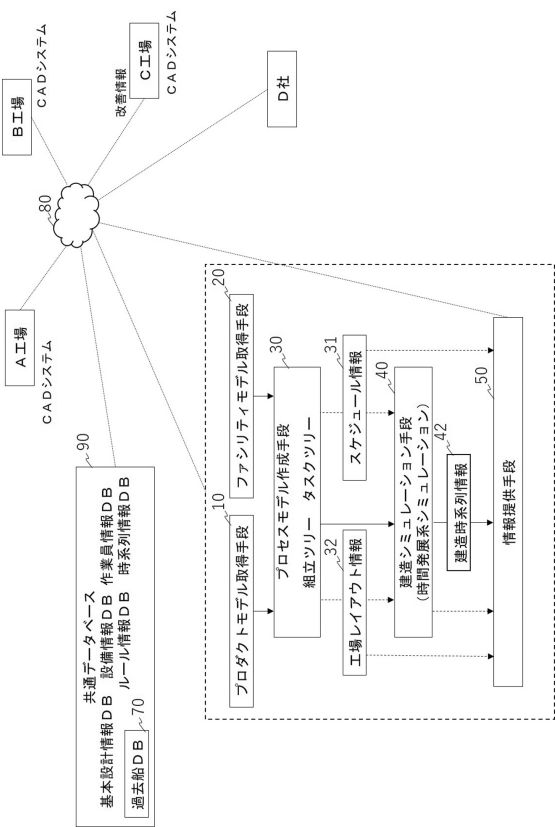
【図 3 6】



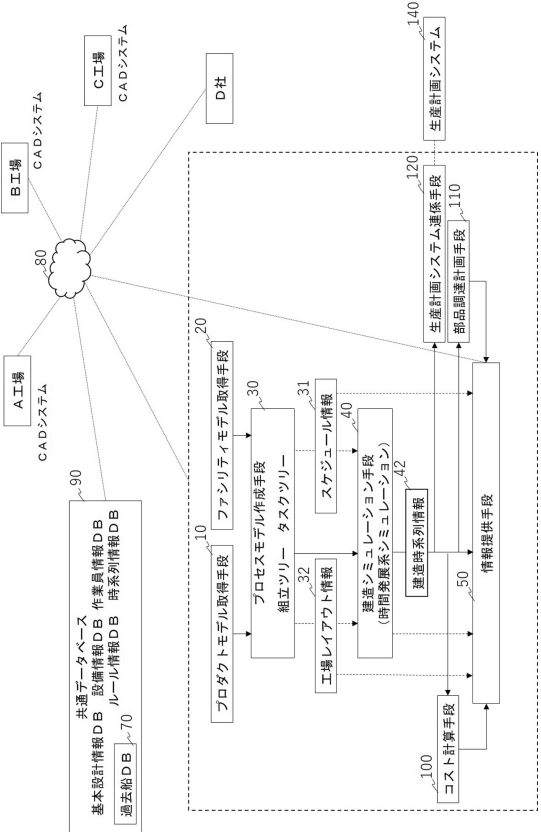
【図 3 7】



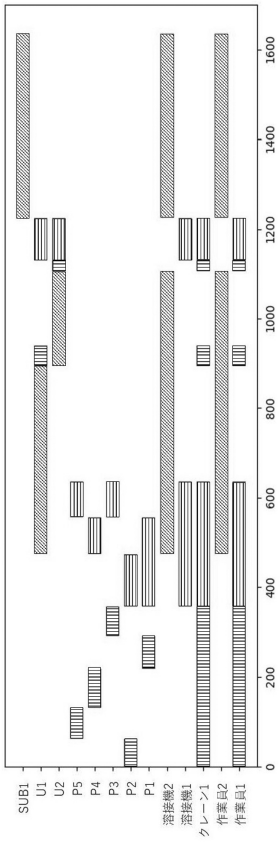
【図 3 8】



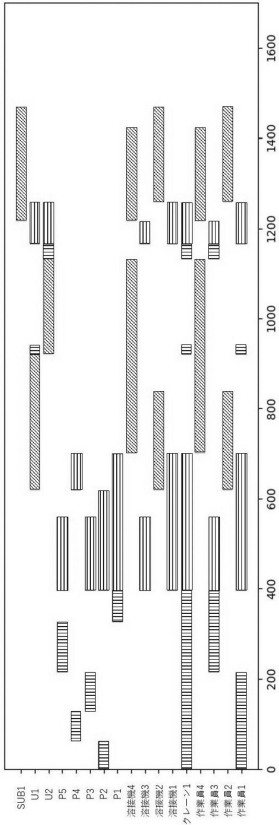
【図 39】



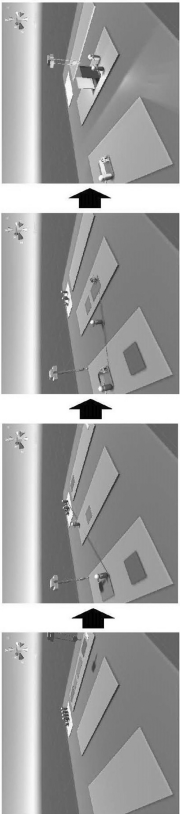
【図 40】



【図 41】



【図 42】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

研究所内

(72)発明者 松尾 宏平

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 平方 勝

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

Fターム(参考) 3C100 AA05 AA18 AA23 AA29 AA38 AA43 AA65 BB06 BB12 BB13
BB14 BB17 BB33 CC02 EE20
5L049 CC03