

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

船舶の建造を統一データベースに蓄積された標準化したデータ構造で表現された情報に基づいてシミュレーションするシステムであって、
前記船舶の建造に関わる情報を標準化したデータ構造で蓄積する統一データベースと、
前記船舶の基本設計情報を前記統一データベースから取得して前記標準化したデータ構造で表現したプロダクトモデルとして設定するプロダクトモデル設定手段と、
前記船舶を建造する工場の設備と作業員に関する情報を前記統一データベースから取得して前記標準化したデータ構造で表現したファシリティモデルとして設定するファシリティモデル設定手段と、
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、前記船舶を構成部品から建造するための組み立て手順とタスクを明確化し前記標準化したデータ構造で表現した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時系列データ化し建造時系列情報とする時系列情報化手段と、
前記建造時系列情報を提供する情報提供手段とを備えたことを特徴とする統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

10

【請求項 2】

前記プロダクトモデルと前記ファシリティモデルは、それぞれ前記標準化したデータ構造で予め作成して前記統一データベースに蓄積されているものであることを特徴とする請求項 1 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

20

【請求項 3】

前記プロセスモデル作成手段で作成された前記プロセスモデルを、前記標準化したデータ構造で表現して前記統一データベースに蓄積するプロセスモデル蓄積手段をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 4】

前記建造シミュレーション手段が、前記統一データベースに蓄積された前記プロセスモデルを取得して前記シミュレーションを実行することを特徴とする請求項 3 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

30

【請求項 5】

前記プロセスモデル作成手段において、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工場内の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 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 6】

前記プロセスモデル作成手段が、過去に建造した過去船のプロセスデータを前記統一データベースから取得し、流用す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 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

40

【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は、時間ごとの前記船舶又は前記構成部品の位置、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 6 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 8】

前記作業員が仮想的な作業を進めるため、又は前記作業員が前記仮想的な作業で使用する前記設備を決めるためのルール情報を前記統一データベースから取得することを特徴とす

50

る請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 9】

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 8 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 10】

前記情報提供手段が、少なくとも前記建造時系列情報を前記標準化したデータ構造で表現して、前記統一データベースに提供することを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

10

【請求項 11】

前記時系列情報化手段で時系列データ化された前記建造時系列情報を検証する検証手段と、前記検証の結果に基づいて前記プロダクトモデル及び前記ファシリティモデルの少なくとも一方を修正するモデル修正手段をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 12】

前記船舶の前記基本設計情報を 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 11 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

20

【請求項 13】

前記ファシリティモデルが、複数の前記工場の前記設備の情報と、前記作業員の情報から作成されたファシリティモデルであり、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 11 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 14】

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、比較可能な前記建造時系列情報として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 13 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

30

【請求項 15】

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及び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の少なくとも一方を備えた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】

前記プロダクトモデル設定手段、前記ファシリティモデル設定手段、前記プロセスモデル作成手段、前記建造シミュレーション手段、前記時系列情報化手段、及び前記情報提供手段を建造シミュレータとして構成し、前記統一データベースと前記建造シミュレータとを情報通信回線を介して関係させたことを特徴とする請求項 1 から請求項 15 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

40

【請求項 17】

前記建造シミュレータの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前記情報通信回線を介して関係することを特徴とする請求項 16 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 18】

前記建造シミュレータとユーザ端末とを前記情報通信回線を介して関係し、前記情報提供手段からの建造時系列情報を前記ユーザ端末で確認可能とすることを特徴とする請求項 1

50

6 又は請求項 17 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 19】

前記建造シミュレータと前記ユーザ端末とを前記情報通信回線を介して連係し、前記ユーザ端末から前記建造シミュレータを操作可能としたことを特徴とする請求項 18 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 20】

前記船舶を建造する前記工場における前記船舶の実際の建造状況をモニターするモニター手段と、前記建造シミュレータから提供される前記建造時系列情報と前記建造状況のモニター結果を対比する対比手段をさらに備えたことを特徴とする請求項 16 から請求項 19 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

10

【請求項 21】

前記モニター手段が、前記工場の実際の前記建造状況を I o T (Internet of Things) 技術、又はモニタリング技術を利用してモニターすることを特徴とする請求項 20 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 22】

前記対比手段による前記建造時系列情報と前記建造状況のモニター結果との前記対比の結果に基づいて、ボトルネックとなっている工程を評価する又は前記作業員の技量を評価する評価手段をさらに備えたことを特徴とする請求項 20 又は請求項 21 に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

20

【請求項 23】

前記船舶を建造する前記工場における実際の前記作業員に対して前記建造時系列情報を提供する作業情報提供手段をさらに備え、前記作業員の教育に資することを特徴とする請求項 16 から請求項 22 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

【請求項 24】

前記船舶を建造する前記工場が有する自動化された前記設備を前記建造時系列情報に基づいて制御する制御手段をさらに備えたことを特徴とする請求項 16 から請求項 23 のいずれか 1 項に記載の統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム。

30

【請求項 25】

前記建造シミュレータが、前記船舶を建造する前記工場の前記設備及び前記作業員の少なくとも一方の改善情報を取得して前記ファシリティモデルを設定し、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、前記建造時系列情報を提供することを特徴とする請求項 16 から請求項 24 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 26】

前記建造シミュレータが、前記船舶を建造する前記工場の前記設備と前記作業員の組み合わせを変えた組み合わせ情報を取得して前記ファシリティモデルを設定し、前記組み合わせ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、前記建造時系列情報を提供することを特徴とする請求項 16 から請求項 25 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

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、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」の考え方に基づき求められている。

50

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ル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。

また、特許文献5には、生産物流設備の操業実績情報及び作業計画情報を格納する実績・計画情報データベースと、ここに格納されている操業実績情報及び作業計画情報を用いて、指定された時間帯における生産物流設備の操業状況の統計値を算出する統計情報計算部

10

20

30

40

50

と、算出された生産物流設備の操業状況の統計値を用いて、指定された時間帯における生産物流設備に含まれる設備の操業状況を示す設備稼働状況画面を表示すると共に、設備稼働状況画面に表示されている設備が選択操作されるのに応じて、選択操作された設備において行われる作業のリストを作業情報リストとして設備稼働状況画面上に重畳表示する設備稼働状況表示部と、製品が選択操作されるのに応じて、生産物流設備に含まれる設備のガントチャート又は選択操作された製品に関係する作業が識別表示されたガントチャート画面を表示すると共に、ガントチャート画面内の作業が選択操作されるのに応じて、選択操作された作業と先行後続関係にある作業を識別表示するガントチャート表示部とを備えた生産物流設備の操業支援システムが開示されている。

また、非特許文献1には、造船C I M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。

【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

【特許文献5】 特開2015-138321号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】 小山健夫，外1名，“造船C I M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】

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。

また、特許文献5は、シミュレーションのための工場の設備と作業員に関する情報を、データベースに蓄積しているものではない。

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統一データベースに基づく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記載に対応した統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステム

においては、船舶の建造を統一データベースに蓄積された標準化したデータ構造で表現された情報に基づいてシミュレーションするシステムであって、船舶の建造に関わる情報を標準化したデータ構造で蓄積する統一データベースと、船舶の基本設計情報を統一データベースから取得して標準化したデータ構造で表現したプロダクトモデルとして設定するプロダクトモデル設定手段と、船舶を建造する工場の設備と作業員に関する情報を統一データベースから取得して標準化したデータ構造で表現したファシリティモデルとして設定するファシリティモデル設定手段と、プロダクトモデルとファシリティモデルに基づいて、船舶を構成部品から建造するための組み立て手順とタスクを明確化し標準化したデータ構造で表現した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時系列データ化し建造時系列情報とする時系列情報化手段と、建造時系列情報を提供する情報提供手段とを備えたことを特徴とする。

10

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標準化したデータ構造で表現した情報に基づいて、時間ごとに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。

【0008】

請求項 2 に記載の本発明は、プロダクトモデルとファシリティモデルは、それぞれ標準化したデータ構造で予め作成して統一データベースに蓄積されているものであることを特徴とする。

20

請求項 2 に記載の本発明によれば、標準化したデータ構造のプロダクトモデルとファシリティモデルの取得や共同利用、また、新たなプロダクトモデルとファシリティモデルに基づいた情報の蓄積等を簡便に行うことができる。

【0009】

請求項 3 に記載の本発明は、プロセスモデル作成手段で作成されたプロセスモデルを、標準化したデータ構造で表現して統一データベースに蓄積するプロセスモデル蓄積手段をさらに備えたことを特徴とする。

請求項 3 に記載の本発明によれば、蓄積したプロセスモデルを統一データベースから取得して、時間発展系シミュレーションを行うことが可能となる。また、プロセスモデルを、例えば、情報の種類や属性、また複数の情報間の関係性を標準化したデータ構造で表現して蓄積することで、プロセスモデルの作成や蓄積、また利用が容易となる。

30

【0010】

請求項 4 に記載の本発明は、建造シミュレーション手段が、統一データベースに蓄積されたプロセスモデルを取得してシミュレーションを実行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、いざ時間発展系シミュレーションを行おうとする際にプロセスモデルを作成する時間を省くことができる。また、他のコンピュータや遠隔地に設置したコンピュータで、統一データベースからプロセスモデルを取得し、時間発展系シミュレーションを行うことができる。

40

【0011】

請求項 5 に記載の本発明は、プロセスモデル作成手段において、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工場内の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、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時間発展系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、時間発展系シミュレーションを行うことができる。

【0012】

請求項 6 に記載の本発明は、プロセスモデル作成手段が、過去に建造した過去船のプロセス

50

データを統一データベースから取得し、流用することを特徴とする。

請求項 6 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。

なお、プロセスデータには、プロセスモデルを含み、プロセスデータも標準化したデータ構造で表現して統一データベースに蓄積することができる。

【 0 0 1 3 】

請求項 7 に記載の本発明は、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。

10

請求項 7 に記載の本発明によれば、船舶の建造に関わる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。

【 0 0 1 4 】

請求項 8 に記載の本発明は、作業員が仮想的な作業を進めるため、又は作業員が仮想的な作業で使用する設備を決めるためのルール情報を統一データベースから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、時間発展系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ることや設備を決めることが容易になる。また、ルール情報が統一データベースに蓄積されているため、他のシミュレーションでも共通的に利用が可能となる。

20

【 0 0 1 5 】

請求項 9 に記載の本発明は、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 9 に記載の本発明によれば、このような建造時系列情報を具体化した情報を提供することにより、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知って、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 6 】

請求項 10 に記載の本発明は、情報提供手段が、少なくとも建造時系列情報を標準化したデータ構造で表現して、統一データベースに提供することを特徴とする。

30

請求項 10 に記載の本発明によれば、建造時系列情報として提供する情報の種類や属性、またフォーマット等を、プロダクトモデル等との関係性を考慮して建造時系列情報としての標準化したデータ構造で、統一データベースに容易に蓄積ができる。また、標準化したデータ構造として蓄積した建造時系列情報を、例えば、統一データベースから取得して、実際の船舶の建造時に参照したり、後のシミュレーション時の情報として利用したり、ルール情報の機械学習に活用したりすること等ができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 11 に記載の本発明は、時系列情報化手段で時系列データ化された建造時系列情報を検証する検証手段と、検証の結果に基づいてプロダクトモデル及びファシリティモデルの少なくとも一方を修正するモデル修正手段をさらに備えたことを特徴とする。

40

請求項 11 に記載の本発明によれば、プロダクトモデルやファシリティモデルを修正すべきか否かを、建造時系列情報を所定の目標に基づいて検証することによって判別し、プロダクトモデルやファシリティモデルを適切に修正することができる。

【 0 0 1 8 】

請求項 12 に記載の本発明は、船舶の基本設計情報を C A D システムから取得することを特徴とする。

請求項 12 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設計情報や変換情報を基本設計情報として取得し、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 1 9 】

50

請求項 13 記載の本発明は、ファシリティモデルが、複数の工場の設備の情報と、作業員の情報から作成されたファシリティモデルであり、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。

請求項 13 に記載の本発明によれば、例えば、複数の工場のファシリティモデルに対して、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、実際に建造する工場の選択を容易化でき、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。

【0020】

請求項 14 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、比較可能な建造時系列情報として情報提供手段から提供することを特徴とする。

請求項 14 に記載の本発明によれば、ユーザは迅速かつ的確に、各工場での工数予測結果、ファシリティの課題、ボトルネック等を比較でき、製造コストや工期などを比較することが可能となる。

【0021】

請求項 15 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及び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の少なくとも一方を備えたことを特徴とする。

請求項 15 に記載の本発明によれば、コスト計算手段を備えることで、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。また、部品調達計画手段を備えることで、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。

【0022】

請求項 16 記載の本発明は、プロダクトモデル設定手段、ファシリティモデル設定手段、プロセスモデル作成手段、建造シミュレーション手段、時系列情報化手段、及び情報提供手段を建造シミュレータとして構成し、統一データベースと建造シミュレータとを情報通信回線を介して連係させたことを特徴とする。

請求項 16 に記載の本発明によれば、統一データベースと建造シミュレータとを別々の場所に設置することや複数の建造シミュレータでのシミュレーションを可能とするなど、設置の自由度や利便性を高めることができる。

【0023】

請求項 17 記載の本発明は、建造シミュレータの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情報通信回線を介して連係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、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。

【0024】

請求項 18 記載の本発明は、建造シミュレータとユーザ端末とを情報通信回線を介して連係し、情報提供手段からの建造時系列情報をユーザ端末で確認可能とすることを特徴とする。

請求項 18 に記載の本発明によれば、建造時系列情報を情報通信回線を介して、各工場（現場）や設計者、本社勤務者など、関係各所で共有することができる。

【0025】

請求項 19 記載の本発明は、建造シミュレータとユーザ端末とを情報通信回線を介して連係し、ユーザ端末から建造シミュレータを操作可能としたことを特徴とする。

請求項 19 に記載の本発明によれば、ユーザは例えば、建造シミュレータの始動や停止、建造シミュレータによるシミュレーションの途中結果の取得指示、取得した建造時系列情報を見てシミュレーションの条件を修正するなど、現場から情報通信回線を通じて建造シ

10

20

30

40

50

ミュレータに対する操作を行うことができる。

【0026】

請求項20記載の本発明は、船舶を建造する工場における船舶の実際の建造状況をモニターするモニター手段と、建造シミュレータから提供される建造時系列情報と建造状況のモニター結果を対比する対比手段をさらに備えたことを特徴とする。

請求項20に記載の本発明によれば、建造時系列情報とモニター結果を比較して、計画の進捗を遠隔からモニターして管理することができる。また、複数の工場をモニターして管理することやシミュレーションの課題の把握等に役立てることもできる。

【0027】

請求項21記載の本発明は、モニター手段が、工場の実際の建造状況をIoT（Internet of Things）技術、又はモニタリング技術を利用してモニターすることを特徴とする。請求項21に記載の本発明によれば、工場の実際の建造状況をセンサやモニター等を利用して、精度よくリアルタイムに監視することができる。

【0028】

請求項22記載の本発明は、対比手段による、建造時系列情報と建造状況のモニター結果との対比の結果に基づいて、ボトルネックとなっている工程を評価する又は作業員の技量を評価する評価手段をさらに備えたことを特徴とする。

請求項22に記載の本発明によれば、ボトルネックとなっている工程や、作業員の技量を適切に把握して、工程の見直しや作業員の配置替え等の改善活動、また客観的な評価に活かすことができる。

【0029】

請求項23記載の本発明は、船舶を建造する工場における実際の作業員に対して建造時系列情報を提供する作業情報提供手段をさらに備え、作業員の教育に資することを特徴とする。

請求項23に記載の本発明によれば、工場の作業員は、建造時系列情報から効率的な動きや作業手順等を学ぶことで、技量向上や生産活動の改善を図ることができる。

【0030】

請求項24記載の本発明は、船舶を建造する工場が有する自動化された設備を建造時系列情報に基づいて制御する制御手段をさらに備えたことを特徴とする。

請求項24に記載の本発明によれば、自動化された設備を建造時系列情報に基づいて制御することで、工場の効率的な運営ができる。

【0031】

請求項25記載の本発明は、建造シミュレータが、船舶を建造する工場の設備及び作業員の少なくとも一方の改善情報を取得してファシリティモデルを設定し、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、建造時系列情報を提供することを特徴とする。

請求項25に記載の本発明によれば、ユーザは工場の設備や作業員を変更し改善した場合の建造時系列情報を得ることができ、設備や作業員の変更に対する意思決定を支援できる。

【0032】

請求項26記載の本発明は、建造シミュレータが、船舶を建造する工場の設備と作業員の組み合わせを変えた組み合わせ情報を取得してファシリティモデルを設定し、組み合わせ情報に基づいた時間発展系シミュレーションを行い、建造時系列情報を提供することを特徴とする。

請求項26に記載の本発明によれば、工場の設備と作業員の組み合わせを変えた場合の建造時系列情報を得て、現状の工場の設備と作業員を活用した最適な運用状態を導出することができる。

【発明の効果】

【0033】

本発明の統一データベースに基づく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標準化したデータ構造で表現した情報に基づいて、時間ごとに細かな作

10

20

30

40

50

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。

【0034】

また、プロダクトモデルとファシリティモデルは、それぞれ標準化したデータ構造で予め作成して統一データベースに蓄積されているものである場合は、標準化したデータ構造のプロダクトモデルとファシリティモデルの取得や共同利用、また、新たなプロダクトモデルとファシリティモデルに基づいた情報の蓄積等を簡便に行うことができる。

【0035】

また、プロセスモデル作成手段で作成されたプロセスモデルを、標準化したデータ構造で表現して統一データベースに蓄積するプロセスモデル蓄積手段をさらに備えた場合は、蓄積したプロセスモデルを統一データベースから取得して、時間発展系シミュレーションを行うことが可能となる。また、プロセスモデルを、例えば、情報の種類や属性、また複数の情報間の関係性を標準化したデータ構造で表現して蓄積することで、プロセスモデルの作成や蓄積、また利用が容易となる。

【0036】

また、建造シミュレーション手段が、統一データベースに蓄積されたプロセスモデルを取得してシミュレーションを実行する場合は、いざ時間発展系シミュレーションを行おうとする際にプロセスモデルを作成する時間を省くことができる。また、他のコンピュータや遠隔地に設置したコンピュータで、統一データベースからプロセスモデルを取得し、時間発展系シミュレーションを行うことができる。

【0037】

また、プロセスモデル作成手段において、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工場内の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時間発展系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、時間発展系シミュレーションを行うことができる。

【0038】

また、プロセスモデル作成手段が、過去に建造した過去船のプロセスデータを統一データベースから取得し、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。なお、プロセスデータには、プロセスモデルを含み、プロセスデータも標準化したデータ構造で表現して統一データベースに蓄積することができる。

【0039】

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、組み立てとタスクの進行状況を逐次計算するものである場合は、船舶の建造に関わる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。

【0040】

また、作業員が仮想的な作業を進めるため、又は作業員が仮想的な作業で使用する設備を決めるためのルール情報を統一データベースから取得する場合は、ルール情報を利用することにより、時間発展系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ることや設備を決めることが容易になる。また、ルール情報が統一データベースに蓄積されているため、他のシミュレーションでも共通的に利用が可能となる。

【0041】

また、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、このような建造時系列情報を具体化した情報を提供す

10

20

30

40

50

ることにより、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知って、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 4 2 】

また、情報提供手段が、少なくとも建造時系列情報を標準化したデータ構造で表現して、統一データベースに提供する場合は、建造時系列情報として提供する情報の種類や属性、またフォーマット等を、プロダクトモデル等との関係性を考慮して建造時系列情報としての標準化したデータ構造で、統一データベースに容易に蓄積ができる。また、標準化したデータ構造として蓄積した建造時系列情報を、例えば、統一データベースから取得して、実際の船舶の建造時に参照したり、後のシミュレーション時の情報として利用したり、ルール情報の機械学習に活用したりすること等ができる。

10

【 0 0 4 3 】

また、時系列情報化手段で時系列データ化された建造時系列情報を検証する検証手段と、検証の結果に基づいてプロダクトモデル及びファシリティモデルの少なくとも一方を修正するモデル修正手段をさらに備えた場合は、プロダクトモデルやファシリティモデルを修正すべきか否かを、建造時系列情報を所定の目標に基づいて検証することによって判別し、プロダクトモデルやファシリティモデルを適切に修正することができる。

【 0 0 4 4 】

また、船舶の基本設計情報を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設計情報や変換情報を基本設計情報として取得し、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。

20

【 0 0 4 5 】

また、ファシリティモデルが、複数の工場の設備の情報と、作業員の情報から作成されたファシリティモデルであり、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、例えば、複数の工場のファシリティモデルに対して、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、実際に建造する工場の選択を容易化でき、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。

30

【 0 0 4 6 】

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、比較可能な建造時系列情報として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、各工場での工数予測結果、ファシリティの課題、ボトルネック等を比較でき、製造コストや工期などを比較することが可能となる。

【 0 0 4 7 】

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及び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の少なくとも一方を備えた場合は、コスト計算手段を備えることで、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。また、部品調達計画手段を備えることで、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 4 8 】

また、プロダクトモデル設定手段、ファシリティモデル設定手段、プロセスモデル作成手段、建造シミュレーション手段、時系列情報化手段、及び情報提供手段を建造シミュレータとして構成し、統一データベースと建造シミュレータとを情報通信回線を介して関係させた場合は、統一データベースと建造シミュレータとを別々の場所に設置することや複数の建造シミュレータでのシミュレーションを可能とするなど、設置の自由度や利便性を高めることができる。

【 0 0 4 9 】

50

また、建造シミュレータの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情報通信回線を介して連係する場合は、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。

【0050】

また、建造シミュレータとユーザ端末とを情報通信回線を介して連係し、情報提供手段からの建造時系列情報をユーザ端末で確認可能とする場合は、建造時系列情報を情報通信回線を介して、各工場（現場）や設計者、本社勤務者など、関係各所で共有することができる。

【0051】

また、建造シミュレータとユーザ端末とを情報通信回線を介して連係し、ユーザ端末から建造シミュレータを操作可能とした場合は、ユーザは例えば、建造シミュレータの始動や停止、建造シミュレータによるシミュレーションの途中結果の取得指示、取得した建造時系列情報を見てシミュレーションの条件を修正するなど、現場から情報通信回線を通じて建造シミュレータに対する操作を行うことができる。

【0052】

また、船舶を建造する工場における船舶の実際の建造状況をモニターするモニター手段と、建造シミュレータから提供される建造時系列情報と建造状況のモニター結果を対比する対比手段をさらに備えた場合は、建造時系列情報とモニター結果を比較して、計画の進捗を遠隔からモニターして管理することができる。また、複数の工場をモニターして管理することやシミュレーションの課題の把握等に役立てることもできる。

【0053】

また、モニター手段が、工場の実際の建造状況をIoT（Internet of Things）技術、又はモニタリング技術を利用してモニターする場合は、工場の実際の建造状況をセンサやモニター等を利用して、精度よくリアルタイムに監視することができる。

【0054】

また、対比手段による、建造時系列情報と建造状況のモニター結果との対比の結果に基づいて、ボトルネックとなっている工程を評価する又は作業員の技量を評価する評価手段をさらに備えた場合は、ボトルネックとなっている工程や、作業員の技量を適切に把握して、工程の見直しや作業員の配置替え等の改善活動、また客観的な評価に活かすことができる。

【0055】

また、船舶を建造する工場における実際の作業員に対して建造時系列情報を提供する作業情報提供手段をさらに備え、作業員の教育に資する場合は、工場の作業員は、建造時系列情報から効率的な動きや作業手順等を学ぶことで、技量向上や生産活動の改善を図ることができる。

【0056】

また、船舶を建造する工場が有する自動化された設備を建造時系列情報に基づいて制御する制御手段をさらに備えた場合は、自動化された設備を建造時系列情報に基づいて制御することで、工場の効率的な運営ができる。

【0057】

また、建造シミュレータが、船舶を建造する工場の設備及び作業員の少なくとも一方の改善情報を取得してファシリティモデルを設定し、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、建造時系列情報を提供する場合は、ユーザは工場の設備や作業員を変更し改善した場合の建造時系列情報を得ることができ、設備や作業員の変更に対する意思決定を支援できる。

【0058】

また、建造シミュレータが、船舶を建造する工場の設備と作業員の組み合わせを変えた組み合わせ情報を取得してファシリティモデルを設定し、組み合わせ情報に基づいた時間発展系シミュレーションを行い、建造時系列情報を提供する場合は、工場の設備と作業員の組み合わせを変えた場合の建造時系列情報を得て、現状の工場の設備と作業員を活用した

10

20

30

40

50

最適な運用状態を導出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0059】

【図1】本発明の第一の実施形態による統一データベースに基づく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P1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10】同プロセスモデル作成ステップの詳細フロー

【図11】同5枚板モデルの組立ツリーの例を示す図

【図12】同3枚板モデルの組立ツリーの例を示す図

【図13】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14】同3枚板モデルのタスクツリーの例を示す図

【図15】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16】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17】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18】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19】同シミュレーションステップの詳細フロー

【図20】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21】同シミュレーションステップの疑似コードを示す図

【図22】同ベーシックタスクの例として移動タスク（move）を示す図

【図23】同ベーシックタスクの例として溶接タスク（weld）を示す図

【図24】同ベーシックタスクの例としてクレーン移動タスク（CraneMove）を示す図

【図25】同配材タスク「取りに行く」の例を示す図

【図26】同配材タスク「配置する」の例を示す図

【図27】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28】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29】同形状データの例を示す図

【図30】同溶接線データの例を示す図

【図31】同裏焼き線データの例を示す図

【図32】同プロダクトモデルデータの例を示す図

【図33】同ポリラインデータの例を示す図

【図34】同組立ツリーデータの例を示す図

【図35】同タスクツリーデータの例を示す図

【図36】同出力処理の詳細フロー

【図37】本発明の第二の実施形態による統一データベースに基づく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38】本発明の第三の実施形態による統一データベースに基づく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39】本発明の第四の実施形態による統一データベースに基づく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40】本発明の第五の実施形態による統一データベースに基づく船舶の建造シミュレ

10

20

30

40

50

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４１】本発明の第六の本実施形態による統一データベースに基づく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４２】本発明の実施形態によるプロダクトモデルの標準化したデータ構造の例を示す図

【図４３】同ファシリティモデルの標準化したデータ構造の例を示す図

【図４４－１】同プロダクトモデル、ファシリティモデル、及びプロセスモデルの標準化したデータ構造の例のうち、プロダクトモデルを示す図

【図４４－２】同プロダクトモデル、ファシリティモデル、及びプロセスモデルの標準化したデータ構造の例のうち、ファシリティモデルを示す図

【図４４－３】同プロダクトモデル、ファシリティモデル、及びプロセスモデルの標準化したデータ構造の例のうち、プロセスモデルを示す図

【図４５】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４６】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４７】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】

【００６０】

本発明の第一の実施形態による統一データベースに基づく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統一データベースに基づく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。

統一データベースに基づく船舶の建造シミュレーションシステムは、船舶の建造を、統一データベース１０に蓄積された標準化したデータ構造で表現された情報に基づいてシミュレーションするものである。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４１と工場レイアウト情報４２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１２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１２により導かれる仮想的な作業の体系であるともいえる。

【００６１】

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情報を標準化したデータ構造で蓄積する統一データベース１０と、プロダクトモデル設定手段２０と、ファシリティモデル設定手段３０と、プロセスモデル作成手段４０Ａ及び建造シミュレーション手段４０Ｂを有する建造シミュレータ４０と、時系列情報化手段５０と、情報提供手段６０と、プロセスモデル蓄積手段７０と、検証手段８０と、モデル修正手段９０を備える。

統一データベース１０には、基本設計情報１１と、設備情報１２Ａ及び作業員情報１２Ｂを有するファシリティモデル１２と、過去船のプロセスデータ１３と、ルール情報１４と、品質情報１７が蓄積されている。このように統一データベース１０に各種情報を蓄積することで、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蓄積や取得が容易となり、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。なお、統一データベース１０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

10

20

30

40

50

まったデータベースであっても、分散型のデータベースであっても、基本的に蓄積された各種情報がそれぞれの標準化したデータ構造を有していること、又は標準化したデータ構造を有するように変換し得ることが重要であり、各種情報がそれぞれの標準化したデータ構造を有すること、又は標準化したデータ構造に変換し得ることをさして「統一」ともいう。

ファシリティモデル 12 は、工場の設備と作業員に関する情報（設備情報 12 A 及び作業員情報 12 B）に基づいて予め作成し、標準化したデータ構造で表現して統一データベース 10 に蓄積されたものである。ファシリティモデル 12 の「標準化したデータ構造」とは、設備と作業員に関する情報の種類や属性をクラスとして定義しておくことであり、クラス同士の親子関係等といった関係性を情報のツリーとして定義する。なお、工場の設備には道具も含まれる。

なお、統一データベース 10 に蓄積された標準化したデータ構造の品質情報 17 を、プロセスモデルの作成に利用することもできる。例えば、組立ツリーやタスクツリーの定義や作成、またスケジュール情報 41 や工場レイアウト情報 42 の作成に当たって、品質基準や、過去の品質状況を考慮して作成することができる。さらに、過去船の設計条件や製造条件と検査結果、就航試験や就航後の品質として蓄積された品質状況を考慮して、プロセスモデル等を作成することができる。例えば、溶接時の作業標準、組み立て部品と溶接欠陥の起こりやすさとの関係、補修を要した過去の事例、非破壊検査時の不具合と事前対策方法、また就航後の劣化や不具合の発生と対策方法等を考慮して、プロセスモデルやスケジュール情報 41、また、工場レイアウト情報 42 を作成できる。

【0062】

プロダクトモデル設定手段 20 は、船舶の基本設計情報 11 を統一データベース 10 から取得して標準化したデータ構造で表現したプロダクトモデルとして設定する。

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、統一データベース 10 に蓄積されている。これにより、基本設計情報 11 の取得や共同利用、また、新たな基本設計情報 11 の蓄積等を簡便に行うことができる。

また、基本設計情報 11 は、CAD システム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て得てもよいし、基本設計情報 11 を取得後にプロダクトモデル設定手段 20 で変換して得てもよい。また、CAD システムから取得する基本設計情報 11 が、各 CAD 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、プロダクトモデル設定手段 20 において、CAD 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、CAD システムからの基本設計情報 11 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。

【0063】

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。

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 line 1 ~ line 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。

10

【0064】

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、3DCAD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。

20

【0065】

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。

【0066】

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。

30

【0067】

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、CADシステムの性能によっては、CADシステムから取得する基本設計情報 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、プロダクトモデル設定手段 20 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。

40

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。

50

【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

10

【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

20

【0068】

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 P 1、第二の板 P 2、第三の板 P 3）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 P 1～P 3 の基準座標 3 点（ $v_o(0,0,0)$ 、 $v_x(1,0,0)$ 、 $v_z(0,0,1)$ ）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。

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。

30

【0069】

図 1 に示すように、ファシリティモデル設定手段 30 は、船舶を建造する工場の設備と作業員に関する情報に基づいて、標準化したデータ構造で表現したファシリティモデル 12 を設定する。

ファシリティモデル設定手段 30 においては、船舶を建造する工場の設備と作業員に関する情報を統一データベース 10 から取得して標準化したデータ構造で表現したファシリティモデル 12 として設定することもできるが、本実施形態では、上述のように予め作成されたファシリティモデル 12 が統一データベース 10 に蓄積されているため、標準化したデータ構造で表現されたファシリティモデル 12 を統一データベース 10 から直接取得して設定する。標準化したデータ構造で表現されたファシリティモデル 12 を統一データベース 10 から取得して設定することで、標準化したデータ構造のファシリティモデル 12 の取得や、共同利用、設定、新たなファシリティモデル 12 に基づいた情報の蓄積等を簡便に行うことができる。

40

ファシリティモデル 12 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

50

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。

【0070】

ファシリティモデル12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

10

【0071】

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。

20

【0072】

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12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。

【0073】

図1に示すように、建造シミュレータ40のプロセスモデル作成手段40Aは、プロダクトモデルとファシリティモデル12に基づいて、船舶を構成部品から建造するための組み立て手順とタスクを明確化し標準化したデータ構造で表現したプロセスモデルを作成する。ここで、先にプロダクトモデルとファシリティモデル12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。

30

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、船舶を構成部品から建造するための組み立て手順として組み立ての依存関係を表す組立ツリーと、組立ツリーに基づいた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、カスタムタスクを含む一単位の作業を指す。

40

【0074】

図10はプロセスモデル作成手段40A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40Aは、プロダクトモデル設定手段20が設定したプロダクトモデルと、ファシリティモデル設定手段30が設定したファシリティモデル12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13を統一データベース10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13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

50

し（組立ツリー定義ステップ S 3）、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 S 4）、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 S 5）。

一方、流用判断ステップ S 2において、流用することを選択した場合は、統一データベース 10 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 S 6）、組立ツリー定義ステップ S 3、タスク定義ステップ S 4、及びタスクツリー定義ステップ S 5において、抽出した過去船のプロセスデータ 13 を参照して流用する。過去船のプロセスデータ 13 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 12 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。なお、プロセスデータ 13 には、プロセスモデルを含み、プロセスデータ 13 も標準化したデータ構造で表現して統一データベース 10 に蓄積することができる。

【0075】

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 S 3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。

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 P 1 と第二の板 P 2 と第四の板 P 4 が組み合わされて第一の中間部品 U 1 を成し、第三の板 P 3 と第五の板 P 5 が組み合わされて第二の中間部品 U 2 を成し、第一の中間部品 U 1 と第二の中間部品 U 2 を組み合わせて完成部品 SUB 1 を成す状態を示している。なお、第一の中間部品 U 1 を組み立てるにあたっては第一の板 P 1 をベースとし、第二の中間部品 U 2 を組み立てるにあたっては第三の板 P 3 をベースとし、完成部品 SUB 1 を組み立てるにあたっては第二の中間部品 U 2 をベースとしている。

【0076】

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

【0077】

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。

【 0 0 7 8 】

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。

【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

10

【 0 0 7 9 】

ここで、図 1 3 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。

20

図 1 3 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。

【 0 0 8 0 】

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。

30

【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

40

【 0 0 8 1 】

50

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。

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。

【0082】

また、図 10 に示すように、プロセスモデル作成手段 40A 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 41 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 41 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 41 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 41 は、情報提供手段 60 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 41 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 41 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。

【0083】

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 41 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。

スケジュール情報 41 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。

【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

【0084】

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、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。

【0085】

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 12 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 S 7）。

能力値範囲判断ステップ S 7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 S 8に進んでスケジュール情報 4 1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 4 1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 4 1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 6 0からユーザに提供される。

一方、能力値範囲判断ステップ S 7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 S 3、タスク定義ステップ S 4、及びタスクツリー定義ステップ S 5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。

【0086】

スケジュール情報作成ステップ S 8の後、組み立て手順とタスクに基づいて、工場内の設備と作業員の配置に関する工場レイアウト情報 4 2を作成する（工場レイアウト情報作成ステップ S 9）。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 4 2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 4 2は、情報提供手段 6 0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 4 2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 4 2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。

【0087】

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 1 2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 4 2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 1 7 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。

【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)

【0088】

また、図 1 8 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 1 2 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。

【0089】

図 1 に示すように、プロセスモデル蓄積手段 7 0 は、プロセスモデル作成手段 4 0 A によって作成された標準化したデータ構造で表現したプロセスモデルを、標準化したデータ構造で表現して統一データベース 1 0 に蓄積する。プロセスモデルを統一データベース 1 0 に蓄積することで、蓄積したプロセスモデルを統一データベース 1 0 から取得して、時間発展系シミュレーションを行うことが可能となる。また、プロセスモデルを、例えば、情報の種類や属性、また複数の情報間の関係性を標準化したデータ構造で表現して蓄積することで、プロセスモデルの作成や蓄積、また利用が容易となる。

プロセスモデルの「標準化したデータ構造」とは、プロセスに関する情報、例えば、要素

作業としてのタスク（属性情報に開始時間や終了時間等を持たせたもの）等の情報の種類や属性をクラスとして定義しておくことであり、クラス同士の親子関係等といった関係性を情報のツリーとして定義する。

【0090】

建造シミュレーション手段40Bは、プロセスモデル作成手段40Aによって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。

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、建造シミュレーション手段40B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。

【0091】

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。

建造シミュレーション手段40Bは、作業員が自律的に仮想的な作業を進めるための、又は作業員が仮想的な作業で使用する設備を決めるためのルール情報14を統一データベース10から取得する。そして、プロダクトモデル設定手段20が設定したプロダクトモデルと、ファシリティモデル設定手段30が設定したファシリティモデル12と、プロセスモデル作成手段40Aが作成したプロセスモデル、スケジュール情報41、及び工場レイアウト情報42と、取得したルール情報14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）。

ここで、ルール情報14とは、建造シミュレーション手段40B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14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40B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14となる。ルール情報14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ることや設備を決めることが容易になる。また、ルール情報14は統一データベース10とは別のデータベースに蓄積しておくこともできるが、本実施形態のようにルール情報14を統一データベース10に蓄積することで、他のシミュレーションでも共通的に利用が可能となる。ルール情報14は、あらかじめカタログのように作成して統一データベース10に蓄積しておく。なお、ルール情報14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14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40B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14を生成する手法を用いる。ルール情報14の一例は以下の通りである。

ルール1A：空いている近い道具を取得する。

ルール1B：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。

【0092】

ルール情報 1 4 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 4 1 が自動構築される。本実施形態では、ルール情報 1 4 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 1 4 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。

【0093】

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

...

【0094】

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。

【0095】

タスクタイプごとのブレインの例を表9に示す。表中の「AtBrain」は配材Atのブレイン、「FtBrain」は仮付Atのブレイン、「WtBrain」は本溶接Wtのブレイン、「DtBrain」は裏焼きDtのブレインである。

10

【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）

20

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。

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

30

40

【0096】

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。

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。

50

【0097】

図19に示すように、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41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14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。これにより、船舶の建造に関わる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。

【0098】

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)。

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。

【0099】

また、建造シミュレータ40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60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60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14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14と、タスクとしてのベッ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14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14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。

なお、情報提供手段60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とも可能である。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

10

20

30

40

50

行うことができる。

図 2 1 はシミュレーションの疑似コードを示す図である。

【 0 1 0 0 】

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、引数が与えられ、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上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ることで、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、時間発展系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 1 1 に示す。なおベーシックタスクは、表 1 1 に挙げたもの以外にも多数存在する。

【表 1 1】

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

【 0 1 0 1 】

図 2 2 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 次元的な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。

【 0 1 0 2 】

図 2 3 はベーシックタスクの例として溶接タスク（weld）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。

【 0 1 0 3 】

図 2 4 はベーシックタスクの例としてクレーン移動タスク（CraneMove）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。

【 0 1 0 4 】

ここで、タスク実行ステップ S 1 2 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。

【 0 1 0 5 】

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 1 2 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 1 3 に示す。

【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)：－

【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)：－

【 0 1 0 6 】

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。

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 . m o v e （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。

【0107】

図26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At」、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)

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。

【0108】

図27は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xf、xp、stを変化させる。そのために、各カスタムタスク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14(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14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14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。

【0109】

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40B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 100 付近はメッシュが存在しないため、壁 100 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 U n i t y (登録商標) の N a v m e s h A g e n t クラスを活用する。これによりベッ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。

【0110】

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

【表 14】

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

20

30

【0111】

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。

40

【0112】

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。

50

【0113】

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。

【0114】

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。

10

【0115】

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。

20

【0116】

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。

30

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。

【0117】

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。

40

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

50

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。

【0118】

時系列情報化手段50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。

【0119】

情報提供手段60は、時間発展系シミュレーションの結果として建造時系列情報をユーザに提供する。ユーザは、取得した建造時系列情報を、クラウドサーバ等を利用して、作業

10

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。

ここで、図36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12、プロセスモデル、スケジュール情報41、ルール情報14、及び建造時系列情報を読み込む（出力情報読み込みステップS21）。

次に、表示に必要な計算や生成等を行い、建造時系列情報を表示する（表示ステップS22）。建造時系列情報は、ガントチャート、作業分解構成図、工数、又は動線の少なくとも一つを含むことが好ましい。このような建造時系列情報を具体化した情報を提供することにより、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知って、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、建造時系列情報は、パート（PERT）図として表現することもできる。また、情報提供手段60は、作業員が次にどの作業にかかって、その時どの設備（クレーンなど）を使用し、どの道具をどこから取得すべきかの「作業手順書」を出力することもできる。なお、作業手順書、作業分解構成図、工数、及び動線は、時系列化された情報として表現することも可能である。

20

【0120】

このように、統一データベース10に基づく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、標準化したデータ構造で表現した情報に基づいて、船舶の建造を時間ごとに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。また、ファシリティモデル12は統一データベース10とは別のデータベースに蓄積しておくこともできるが、本実施形態のようにファシリティモデル12を統一データベース10に標準化した情報として蓄積することで、標準化したデータ構造のファシリティモデル12の取得や共同利用、また新たなファシリティモデル12に基づいた情報の蓄積等を簡便に行うことができる。

30

また、建造時系列情報は、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、AR（Augmented Reality）技術、MR（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、VR（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、作業員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。AI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。

40

【0121】

また、情報提供手段60は、少なくとも建造時系列情報を標準化したデータ構造として、統一データベース10に提供する。これにより、建造時系列情報として提供する情報の種類や属性、またフォーマット等を、プロダクトモデル等との関係性を考慮して建造時系列情報としての標準化したデータ構造で、統一データベース10に容易に蓄積できる。また、標準化したデータ構造として蓄積した建造時系列情報を、例えば、統一データベース1

50

0 から取得して、実際の船舶の建造時に参照したり、後のシミュレーション時の情報として利用したり、ルール情報 14 の機械学習に活用したりすること等ができる。

建造時系列情報の「標準化したデータ構造」とは、建造時系列情報としての情報の種類や属性、フォーマット等を定義しておくことであり、情報同士の親子関係や情報ごとのフォーマット、また、フォーマットに当てはめるデータ等の関係性を定義する。

なお、情報提供手段 60 を介さずに、時系列情報化手段 50 で時系列データ化された建造時系列情報を標準化したデータ構造として統一データベース 10 に提供することもできる。

また、設定されたプロダクトモデル、ファシリティモデル 12、プロセスモデル、スケジュール情報 41、及び工場レイアウト情報 42 等を統一データベース 10 に提供することも可能である。

10

【0122】

検証手段 80 は、時系列情報化手段 50 で時系列データ化された建造時系列情報を検証する。また、モデル修正手段 90 は、検証手段 80 による検証の結果に基づいてプロダクトモデル及びファシリティモデル 12 の少なくとも一方を修正する。例えば、検証手段 80 において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否かを判断し、超えている場合は、モデル修正手段 90 においてプロダクトモデル及びファシリティモデル 12 の少なくとも一方を修正する。これにより、プロダクトモデルやファシリティモデル 12 を修正すべきか否かを、建造時系列情報を所定の目標に基づいて検証することによって判別し、プロダクトモデルやファシリティモデル 12 を適切に修正することができる。なお、検証手段 80 において建造時系列情報の結果が所期目標の範囲を超えていないと判断された場合は、処理を終了する。なお、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、作業の平準化の度合（作業負荷を分散できているか）や、作業場の安全確保の度合、危険性の有無等を含めることができる。

20

また、モデル修正手段 90 によりプロダクトモデル及びファシリティモデル 12 の少なくとも一方を修正した場合は、修正されたプロダクトモデル及びファシリティモデル 12 の少なくとも一方に基づいて、プロセスモデル作成手段 40A によるプロセスモデルの作成と、建造シミュレーション手段 40B によるシミュレーションと、時系列情報化手段 50 による時系列情報化と、検証手段 80 による検証を繰り返す。なお、この際、モデル修正手段 90 で修正しなかったプロダクトモデル又はファシリティモデル 12 については修正前のものを用いる。このように各処理を繰り返すことで、船舶の建造が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。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。

30

なお、検証手段 80 を、時系列情報化手段 50 を介さずに、プロセスモデル作成手段 40A で作成したプロセスモデル、建造シミュレーション手段 40B でのシミュレーションの途中結果、また、スケジュール情報 41 や工場レイアウト情報 42 を検証するように機能させ、検証結果に基づいてモデル修正手段 90 によりプロダクトモデル及びファシリティモデル 12 の少なくとも一方を修正することも可能である。

【0123】

40

次に本発明の第二の実施形態による統一データベースに基づく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 37 は本実施形態による統一データベースに基づく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。

本実施形態では、プロダクトモデル 15 は、船舶の基本設計情報 11 に基づいて予め作成され、標準化したデータ構造で表現して統一データベース 10 に蓄積されている。これにより、標準化したデータ構造のプロダクトモデル 15 の取得や共同利用、また、新たなプロダクトモデル 15 に基づいた情報の蓄積等を簡便に行うことができる。また、プロダクトモデル 15 の設定をより簡便に行うことができる。プロダクトモデル 15 の標準化した

50

データは、例えば、ブロック割りでツリー構造化された各ブロックの情報であり、具体的には、ブロック名、ブロックの構成部材、部材名、各部材の形状、部材の接続情報、及び溶接線の情報である。プロダクトモデル15の「標準化したデータ構造」とは、これらの情報の種類や属性をクラスとして定義しておくことであり、クラス同士の親子関係等といった関係性を情報のツリーとして定義する。

また、統一データベース10には、情報提供手段60から提供された建造時系列情報51が蓄積されている。

【0124】

また、建造シミュレータ40は、プロセスモデル作成手段40Aを有する建造シミュレータIと、建造シミュレーション手段40Bを有する建造シミュレータIIの二つに分けられ、建造シミュレータIでプロセスモデル16の作成を行い、建造シミュレータIIで時間発展系シミュレーションを実行するように構成されている。

本実施形態では、プロセスモデル作成手段40Aがシミュレーション前に予めプロセスモデル16を作成し、プロセスモデル蓄積手段70は、プロセスモデル作成手段40Aで作成されたプロセスモデル16を、標準化したデータ構造で表現して統一データベース10に蓄積する。建造シミュレーション手段40Bは、統一データベース10に蓄積されたプロセスモデル16を取得してシミュレーションを実行する。これにより、いざ時間発展系シミュレーションを行おうとする際にプロセスモデル16を作成する時間を省くことができる。また、他のコンピュータや遠隔地に設置したコンピュータで、統一データベース10からプロセスモデル16を取得し、時間発展系シミュレーションを行うことができる。

【0125】

次に本発明の第三の実施形態による統一データベースに基づく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38は本実施形態による統一データベースに基づく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、プロダクトモデル設定手段20と、ファシリティモデル設定手段30と、プロセスモデル作成手段40Aと、建造シミュレーション手段40Bと、時系列情報化手段50と、情報提供手段60を建造シミュレータ400として構成し、統一データベース10と建造シミュレータ400は情報通信回線110を介して連係している。これにより、統一データベース10と建造シミュレータ400とを別々の場所に設置することや複数の建造シミュレータ400でのシミュレーションを可能とするなど、設置の自由度や利便性を高めることができる。

また、統一データベース10と建造シミュレータ400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110で接続されている。なお、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。

【0126】

プロダクトモデル設定手段20は、船舶の基本設計情報11を統一データベース10から取得して標準化したデータ構造で表現したプロダクトモデルを設定する。

統一データベース10には、A工場、B工場、及びC工場それぞれの設備の情報（設備情報12A）と作業員の情報（作業員情報12B）から作成された工場ごとのファシリティモデル12が蓄積されている。プロセスモデル作成手段40Aは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40B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、例えば、統一データベース10に蓄積された複数の工場のファシリティモデル12に対して、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12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、実際に建造する工場の選択を容易化でき、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12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。

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単数、又は複数の工場であってもよい。

10

【0127】

また、建造シミュレーション手段40B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、比較可能な建造時系列情報51として情報提供手段60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、各工場での工数予測結果、ファシリティの課題、ボトルネック等を比較でき、製造コストや工期などを比較することが可能となる。

【0128】

また、プロダクトモデル設定手段20は、船舶の基本設計情報11を情報通信回線110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、船舶の建造シミュレーションシステムは、建造時系列情報51を情報通信回線110を介して各工場やD社に提供する。なお、情報提供手段60は、建造時系列情報51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。

20

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51の提供を、情報通信回線110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設計情報や変換情報を基本設計情報11として取得し、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。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CADシステムを配置してもよい。

30

【0129】

また、建造シミュレータ400は、コスト計算手段120と、部品調達計画手段130を備えている。

コスト計算手段120は、建造時系列情報51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51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51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。

40

部品調達計画手段130は、建造時系列情報51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51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。

【0130】

次に本発明の第四の実施形態による統一データベースに基づく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39は本実施形態による統一データベースに基づく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、建造シミュレータ400の建造時

50

系列情報 5 1 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 1 4 0 と情報通信回線 1 1 0 を介して連係している。これにより、建造時系列情報 5 1 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 1 4 0 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連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。

【 0 1 3 1 】

また、A 工場、B 工場、C 工場、及び E ユーザにはユーザ端末 1 5 0 が備えられている。ユーザ端末 1 5 0 は、例えばノートパソコンやタブレットパソコン等である。建造シミュレータ 4 0 0 とユーザ端末 1 5 0 とは情報通信回線 1 1 0 を介して連係されており、情報提供手段 6 0 から提供された建造時系列情報 5 1 をユーザ端末 1 5 0 で確認することができる。これにより建造時系列情報 5 1 を情報通信回線 1 1 0 を介して、各工場（現場）や設計者、本社勤務者など、関係各所で共有することができる。なお、関係者には、造船所だけでなく主機メーカや機器メーカ等のサプライヤーを含めることができる。

ユーザは、ユーザ端末 1 5 0 から建造シミュレータ 4 0 0 を操作可能である。これによりユーザは例えば、建造シミュレータ 4 0 0 の始動や停止、建造シミュレータ 4 0 0 によるシミュレーションの途中結果の取得指示、取得した建造時系列情報 5 1 を見てシミュレーションの条件を修正するなど、現場から情報通信回線 1 1 0 を通じて建造シミュレータ 4 0 0 に対する操作を行うことができる。

【 0 1 3 2 】

次に本発明の第五の実施形態による統一データベースに基づく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 4 0 は本実施形態による統一データベースに基づく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。

本実施形態では、A 工場、B 工場、C 工場、及び E ユーザの他、F ユーザにもユーザ端末 1 5 0 が備えられている。

また、本実施形態の船舶の建造シミュレーションシステムは、モニター手段 1 6 0 と対比手段 1 7 0 を備えている。モニター手段 1 6 0 は、船舶を建造する各工場に設置され、船舶の実際の建造状況をモニターする。対比手段 1 7 0 は、建造シミュレータ 4 0 0 に設置され、建造シミュレータ 4 0 0 から提供される建造時系列情報 5 1 と建造状況のモニター結果を対比する。これにより、建造時系列情報 5 1 とモニター結果を比較して、計画の進捗を遠隔からモニターして管理することができる。また、複数の工場をモニターして管理することやシミュレーションの課題の把握等に役立てることもできる。なお、例えば監督や検査官が遠隔で作業管理を行うことも可能である。対比手段 1 7 0 における建造時系列情報 5 1 と建造状況のモニター結果との対比は、例えば建造時系列情報 5 1 に含まれる所定時刻における作業員の位置と、モニター結果における所定時刻における作業員の位置との一致度を判定すること等により行われる。

また、モニター手段 1 6 0 は、工場の実際の建造状況を I o T (Internet of Things) 技術、又はモニタリング技術を利用してモニターすることが好ましい。これにより、工場の実際の建造状況をセンサやモニター等を利用して、精度よくリアルタイムに監視することができる。なお、モニタリング技術とは、計測する技術、計測データを収集・伝送する技術、及び収集したデータを分析する技術を適切に組み合わせるものである。

【 0 1 3 3 】

また、建造シミュレータ 4 0 0 は評価手段 1 7 1 を備えている。対比手段 1 7 0 は、対比の結果を評価手段 1 7 1 へ送信する。評価手段 1 7 1 は、受信した対比の結果に基づいて、ボトルネックとなっている工程の評価、又は作業員の技量の評価を行う。これによりユーザは、ボトルネックとなっている工程や、作業員の技量を適切に把握して、工程の見直しや作業員の配置替え等の改善活動、また客観的な評価に活かすことができる。

【 0 1 3 4 】

また、本実施形態の船舶の建造シミュレーションシステムは、作業情報提供手段 1 8 0 を

備えている。

作業情報提供手段 180 は、船舶を建造する各工場に配置され、実際の作業員に対して建造時系列情報 51 を提供することで作業員の教育に資するものである。工場の作業員は、建造時系列情報 51 から効率的な動きや作業手順等を学ぶことで、技量向上を図ることができる。

【0135】

また、本実施形態の船舶の建造シミュレーションシステムは、制御手段 200 を備えている。制御手段 200 は、建造時系列情報 51 に基づいて、船舶を建造する A 工場が有する自動化された設備（自動化設備 190）を制御する。これにより、自動化された設備を建造時系列情報 51 に基づいて制御することで、工場の効率的な運営ができる。自動化された設備とは、例えば自動溶接ロボットや自動走行クレーン等である。

10

なお、自動化設備 190 が全自動化される場合は、作業員を相当するロボットや自動製造機に置き替えて、ファシリティモデル 12 を設定することができる。

【0136】

次に本発明の第六の実施形態による統一データベースに基づく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 41 は本実施形態による統一データベースに基づく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、建造シミュレータ 400 が、船舶を建造する工場の設備と作業員の少なくとも一方の改善情報を E 本社から取得してファシリティモデル 12 を設定し、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、建造時系列情報 51 を提供する。これにより、ユーザは工場の設備や作業員を変更し改善した場合の建造時系列情報 51 を得ることができ、設備や作業員の変更に対する意思決定を支援できる。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、又は作業員の増員等である。

20

また、建造シミュレータ 400 は、船舶を建造する工場の設備と作業員の組み合わせを変えた組み合わせ情報を取得してファシリティモデル 12 を設定し、組み合わせ情報に基づいた時間発展系シミュレーションを行い、建造時系列情報 51 を提供する。これにより、工場の設備と作業員の組み合わせを変えた場合の建造時系列情報 51 を得て、現状の工場の設備と作業員を活用した最適な運用状態を導出することができる。なお、組み合わせ情報の組み合わせは、建造シミュレータ 400 が自動的に変更することも、ユーザが任意に変更することもできる。

30

また、改善情報、組み合わせ情報、及びそれらに基づくファシリティモデル 12 は、統一データベース 10 に蓄積される。

【0137】

図 42 はプロダクトモデルの標準化したデータ構造の例を示す図である。

プロダクトモデルの標準化したデータ構造は、製品情報を BOM (Bill of Materials) で表現したものであり、クラス間の階層構造と、各クラスの属性情報を示している。

図 42 においては、標準化したデータ構造の構成要素であるクラスを四角で示し、その種類（名称）を四角内に記載すると共に、クラス間の関係及びクラス間の親子関係をツリー構造で示している。また、各クラスの属性情報を四角の右隣に記載している。具体的には、最上位のクラスは 1 番船や 2 番船など建造対象の船舶を示す「番船」であり、その一つ下のクラスは船殻を構成する「ブロック」であり、さらに一つ下のクラスはブロックを構成する「部材」、「接続線」、又は「材料」であり、さらに一つ下のクラスは接続線を構成する「溶接線」、部品を構成する「管」及び「艤装品」、材料を構成する「溶材」、「塗料」、「吊りピース」及び「取付治具」である。また、クラス「溶接線」の属性情報は「脚長」及び「開先形状」であり、クラス「管」の属性情報は「管系統」及び「管材質」であり、クラス「艤装品」の属性情報は「艤装品種類」であり、クラス「溶材」の属性情報は「種類（材料）」及び「ワイヤー径」であり、クラス「塗料」の属性情報は「種類（

40

50

材料)」であり、クラス「吊りピース」の属性情報は「吊りピース種類」であり、クラス「取付治具」の属性情報は「取付金具種類」である。

なお、図示はしていないが、艤装品毎に更にサブクラスを設置することもできる。サブクラスの例としては、「梯子」や「管サポート」等が挙げられる。

【0138】

図43はファシリティモデルの標準化したデータ構造の例を示す図である。

ファシリティモデルの標準化したデータ構造は、ファシリティ情報をBOE (Bill of Equipment) で表現したものであり、クラス間の階層構造と、各クラスの属性情報を示している。

図43においては、標準化したデータ構造の構成要素であるクラスを記載すると共に、クラス間の関係及びクラス間の親子関係をツリー構造で示している。最上層のクラスは「工場A/B」など造船工場の種別（名前）であり、その一つ下のクラスは「棟A/B/C」など各工場における棟の種別（名前）であり、さらに一つ下のクラスは「定盤A/B/C/D」など各棟における定盤の種別（名前）であり、さらに一つ下のクラスは「溶接機A/B/C」、「送給機A/B/C」、「簡易自動台車A/B」、「グラインダーA/B」、「盤木A」、「ガストーチA/B」、「クレーンA/B」、「取付班A」、「溶接班A」、及び「配材班A」など各定盤で用いる設備（又は道具）、作業員の種別（名前）である。

また、図示はしていないが、能力値や形状といった属性情報が、溶接機や取付班といったクラスごとに設定されている。なお、形状は、クラス「溶接機」や「クレーン」等と関連のあるクラスとして整理することもできる。

【0139】

図44-1～3はプロダクトモデル、ファシリティモデル、及びプロセスモデルの標準化したデータ構造の例を示す図であり、図44-1に示すプロダクトモデルのデータ構造をBOM、図44-2に示すファシリティモデルのデータ構造をBOE、図44-3に示すプロセスモデルのデータ構造をBOP (Bill of Process) で表現している。なお、図44-1に示すプロダクトモデルの標準化したデータ構造は、クラス「ブロック」のインスタンスの中で「大組」、「中組」、「小組」の親子関係に分かれている点等において、図42に示すプロダクトモデルの標準化したデータ構造と異なっている。また、図44-2に示すファシリティモデルの標準化したデータ構造は、最下層のクラスを上位概念的な表現としている点等において、図42に示すファシリティモデルの標準化したデータ構造と異なっている。

図44-1～3に示すように、シミュレータで再現するプロセスモデルの情報を、当該プロセスモデルの対象となるプロダクトモデルの情報と、当該プロセスモデルに必要なファシリティモデルの情報を組み合わせて、ツリー構造で表現し、各モデルの関係を整理する。これにより、プロセスモデルに各プロセスの対象となるプロダクトとファシリティを関連付けて管理できる。また、シミュレータの運用に必要なプロセスの表現（プロセスの粒度）を整理する。これにより、造船設計や生産計画において取り扱うデータを統一データベース10上で統一的に管理できるため、造船設計と生産計画業務において単一の情報に基づいて業務を運用することができ、建造のリードタイム短縮や設計及び生産計画の最適化に寄与する。

【0140】

図44-3に示すプロセスモデルの標準化したデータ構造のうち、タスク「プロセスA-1～3」の具体例は「配材A～C」、タスク「プロセスB-1～4」の具体例は「取付A～D」、タスク「プロセスC-1～2」の具体例は「溶接A～B」、タスク「プロセスD-1」の具体例は「反転A」、タスク「プロセスE-1～2」の具体例は「配管A～B」、タスク「プロセスF-1～2」の具体例は「歪み取りA～B」、タスク「プロセスG-1～2」の具体例は「錆止塗装A～B」、タスク「プロセスH-1～2」の具体例は「清掃A～B」である。

配材、取付、溶接等といった各プロセスについて、そのプロセスをシミュレータで適切に

表現するためのプロダクトモデルの情報とファシリティモデルの情報を対応付けて整理している。すなわち、プロダクトモデルのどの情報とファシリティモデルのどの情報をセットにして表現すればシミュレータは各プロセスを再現できるかを整理し、BOPの設計に反映させている。特に、溶接作業等に付帯する清掃作業、錆止塗装作業等の表現を工夫しており、例えば「清掃」タスクについては、溶接作業後に溶接線に沿った筈掛けが行われているという実態に着目し、プロダクトモデルの情報として「溶接線」を対応付けている。

また、プロセスモデルにおいては、各プロセスの実行順序を規定している。実行順序は、例えば図44-3の右側に示すように、「プロセスA-1（配材A）」→「プロセスB-1（取付A）」→「プロセスB-2（取付B）」→「プロセスC-1（溶接A）」→「プロセスE-1（配管A）」→「プロセスF-1（歪み取りA）」→「プロセスH-1（清掃A）」→「プロセスG-1（錆止塗装A）」→「プロセスD-1（反転A）」→「プロセスA-2（配材B）」→「プロセスB-3（取付C）」→「プロセスA-3（配材C）」→「プロセスB-4（取付D）」→「プロセスC-2（溶接B）」→「プロセスE-2（配管B）」→「プロセスF-2（歪み取りB）」→「プロセスH-2（清掃B）」→「プロセスG-2（錆止塗装B）」とする。

このように、プロダクトモデル、ファシリティモデル、及びプロセスモデルの標準化したデータ構造は、少なくとも、データの種類ごとに分けた複数のクラスと、クラス間の関係及びクラス間の親子関係とを含む。これにより、プロダクトモデル、ファシリティモデル、及びプロセスモデルの取得や蓄積、利用等が、クラスやクラス間の関係を軸としたデータ構造により容易となる。

【実施例】

【0141】

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

【0142】

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。

【0143】

（ケース1）

図45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。このガントチャートは、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った時系列情報を、プロダクトモデルやファシリティモデルの情報とも関連付けて表現したものであるともいえる。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45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。

【0144】

（ケース2）

図46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47はケース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

【0145】

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46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 47 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】

【0146】

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、船舶と同様のアナ

10

【符号の説明】

【0147】

- 10 統一データベース
- 11 基本設計情報
- 12 ファシリティモデル
- 13 過去船のプロセスデータ
- 14 ルール情報
- 15 プロダクトモデル
- 16 プロセスモデル
- 20 プロダクトモデル設定手段
- 30 ファシリティモデル設定手段
- 40、400 建造シミュレータ
- 40A プロセスモデル作成手段
- 40B 建造シミュレーション手段
- 41 スケジュール情報
- 42 工場レイアウト情報
- 50 時系列情報化手段
- 51 建造時系列情報
- 60 情報提供手段
- 70 プロセスモデル蓄積手段
- 80 検証手段
- 90 モデル修正手段
- 110 情報通信回線
- 120 コスト計算手段
- 130 部品調達計画手段
- 140 生産計画システム
- 150 ユーザ端末
- 160 モニター手段
- 170 対比手段
- 171 評価手段
- 180 作業情報提供手段
- 200 制御手段

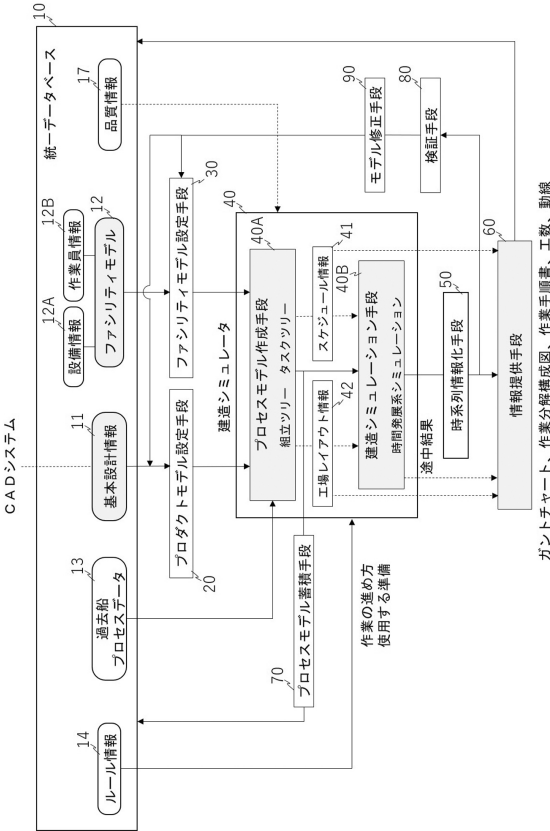
20

30

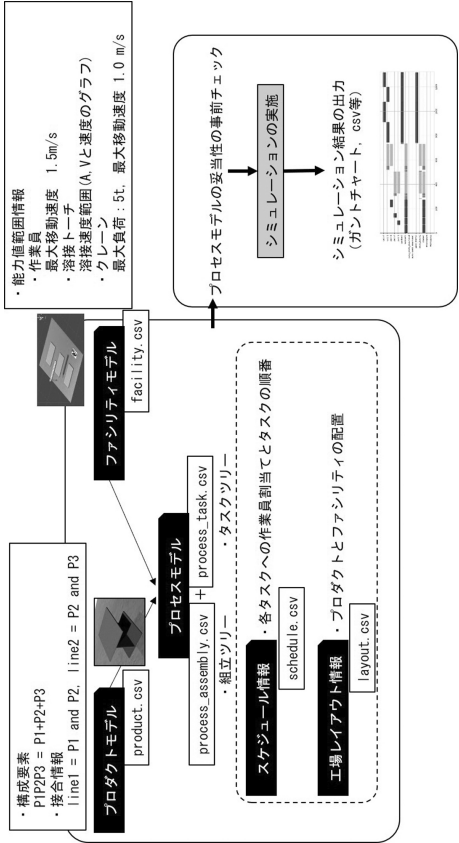
40

50

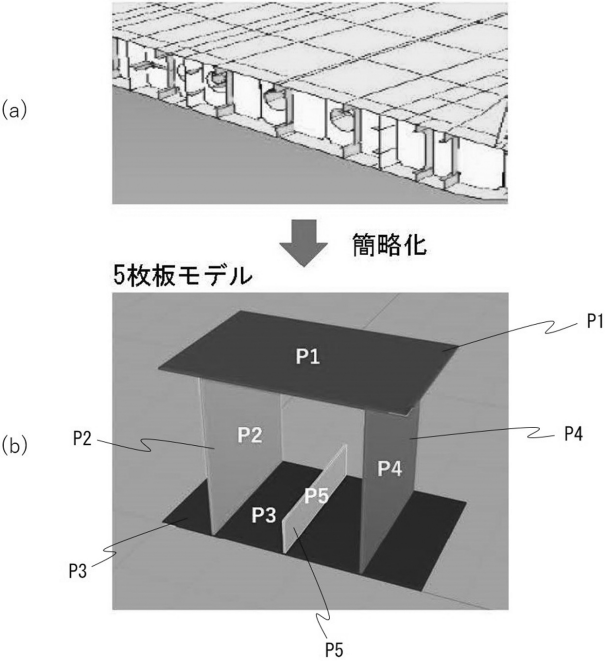
【図面】
【図 1】



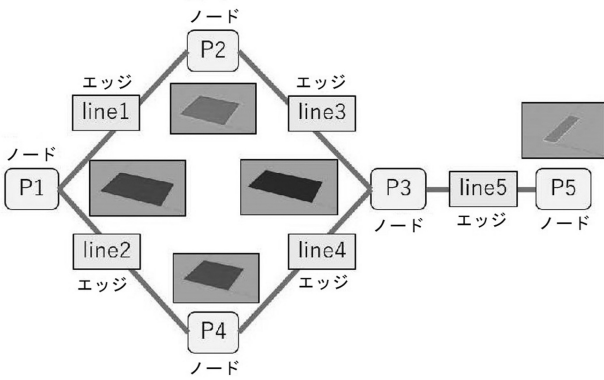
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

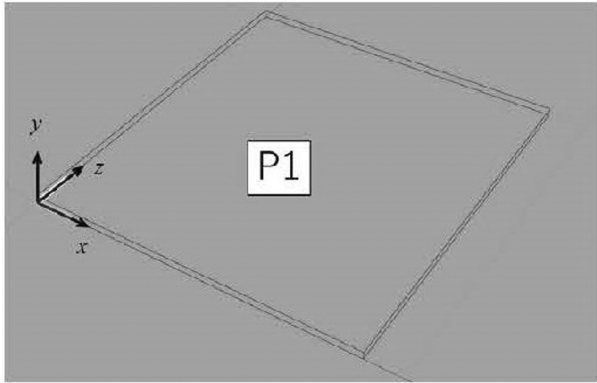
20

30

40

50

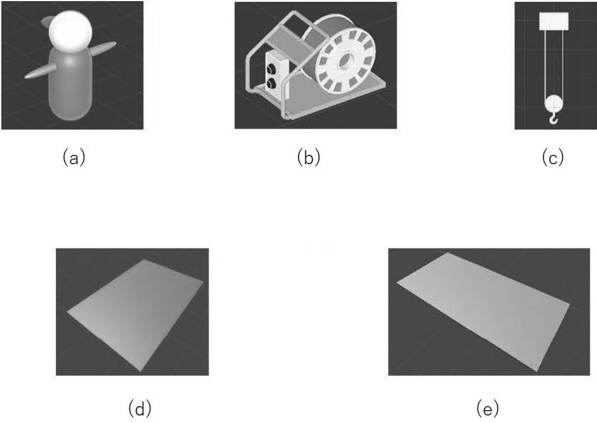
【図 5】



【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)					

【図 7】



【図 8】

facility.csv			
ID	name	type	model_file_path
f1	作業員1 (鉄工)	作業員	Resources/worker.obj
f2	作業員2 (溶接)	作業員	Resources/worker.obj
f3	クレーン1	クレーン	Resources/grane_v2.obj
f4	溶接機1	溶接機	Resources/welding_machine.obj
f5	溶接機2	溶接機	Resources/welding_machine.obj
f6	床	床	Resources/Floor.obj
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

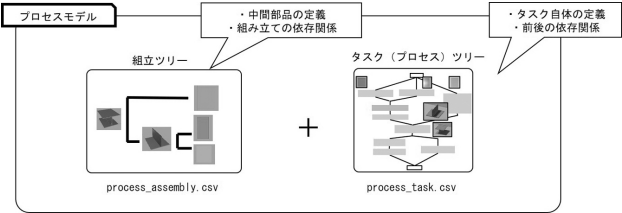
20

30

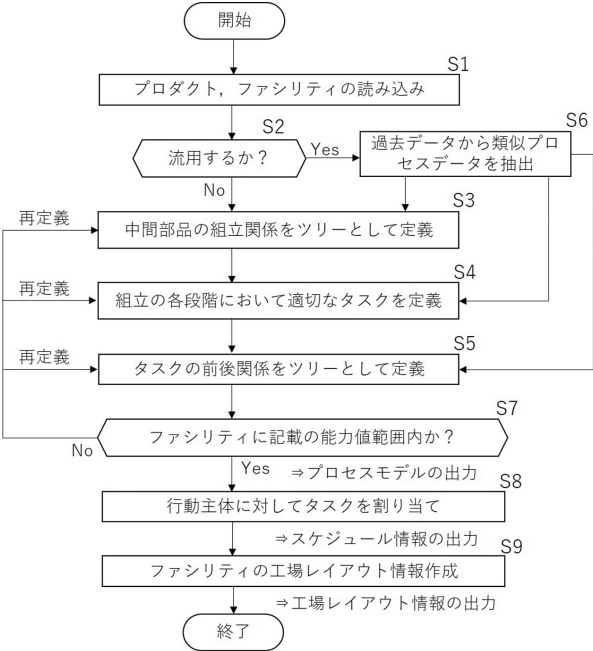
40

50

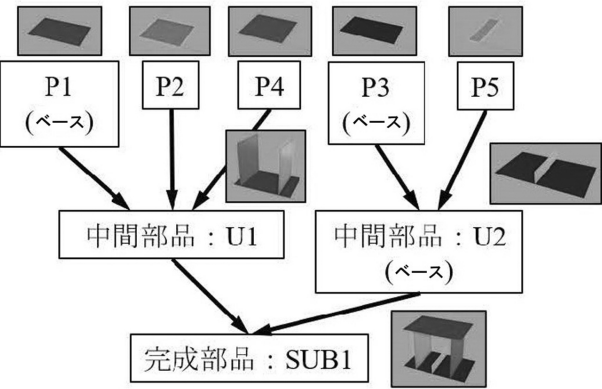
【図 9】



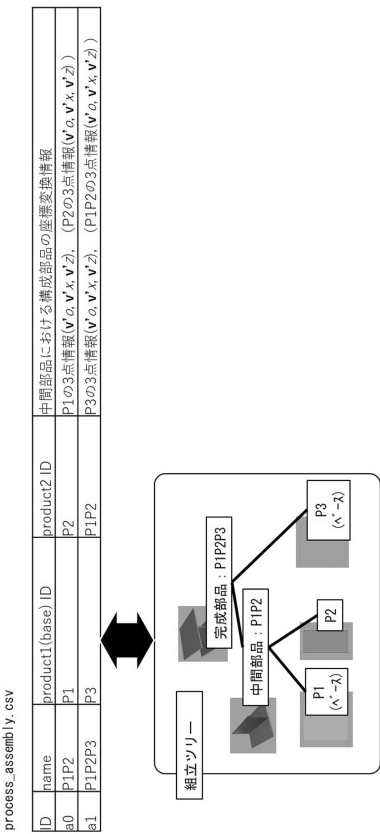
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

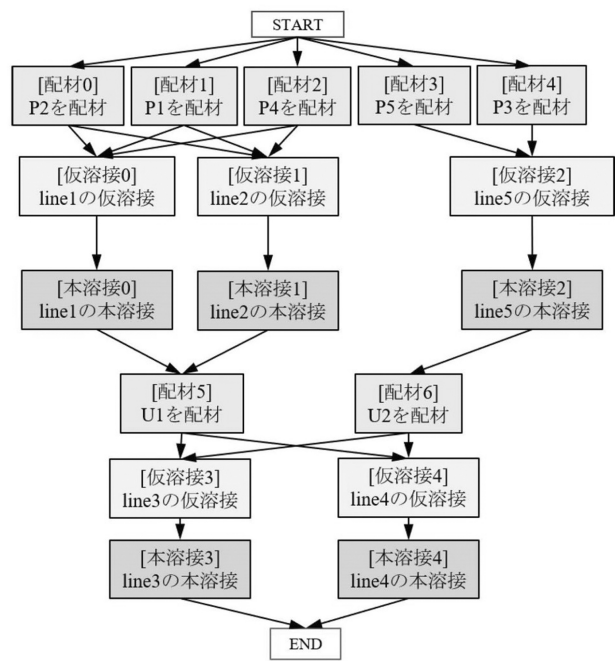
20

30

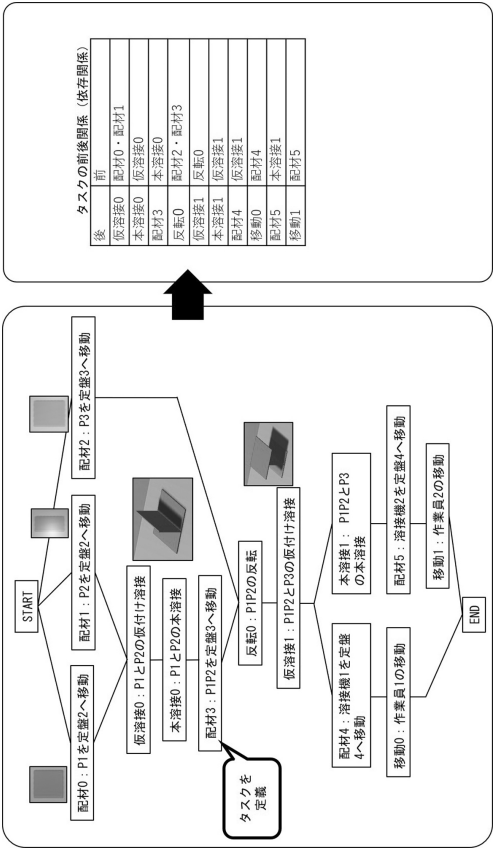
40

50

【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】

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 1 6】

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)

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)

Process_task.csv

10

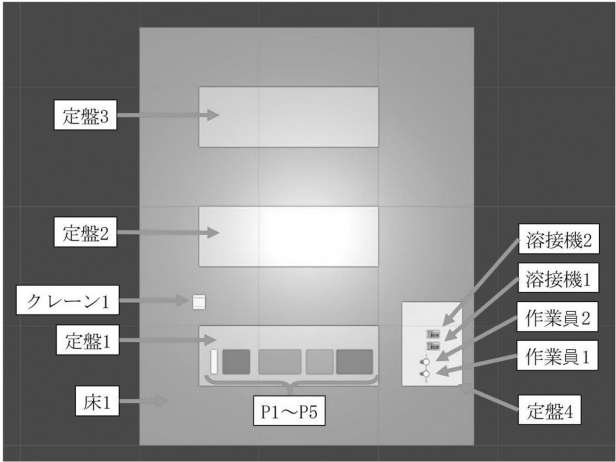
20

30

40

50

【図 17】



【図 18】

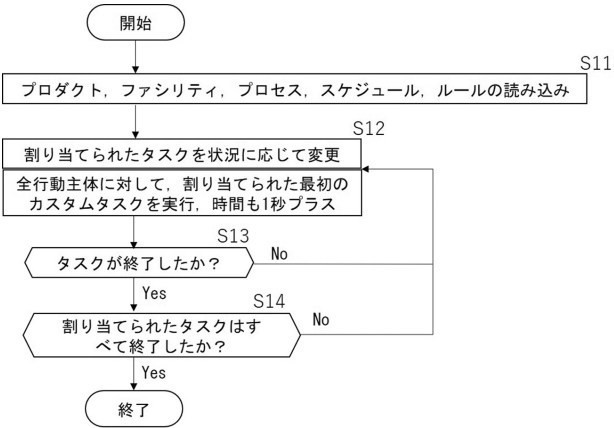
layout.csv

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	6	0	3	0	0	0	1	1	1	
P3	定盤4	4	0	3	0	0	0	1	1	1	

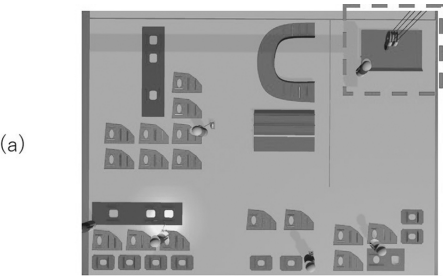
10

20

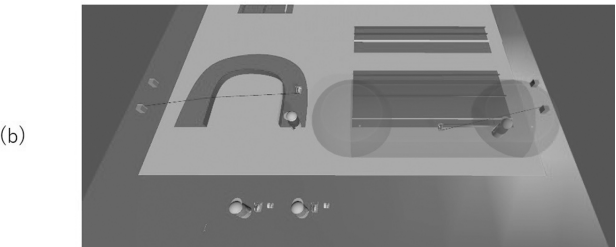
【図 19】



【図 20】



30



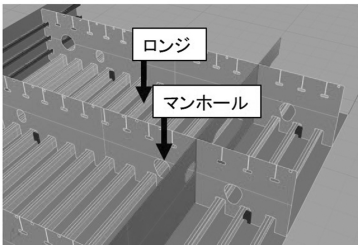
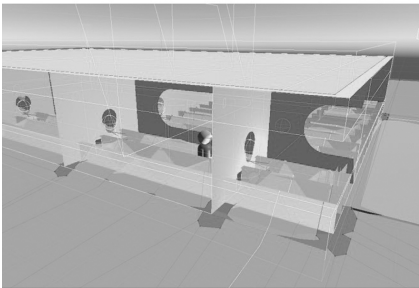
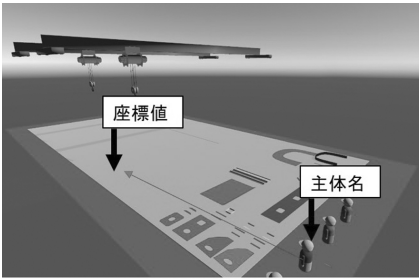
40

50

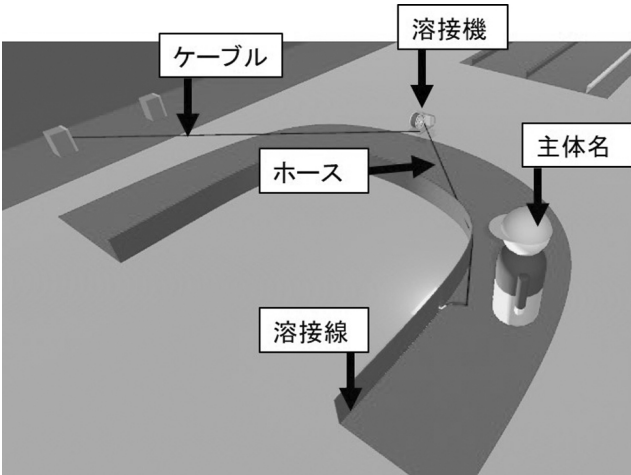
【図 2 1】

```
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
```

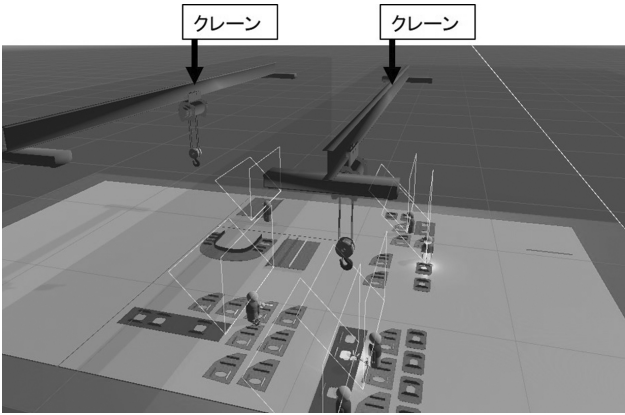
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

20

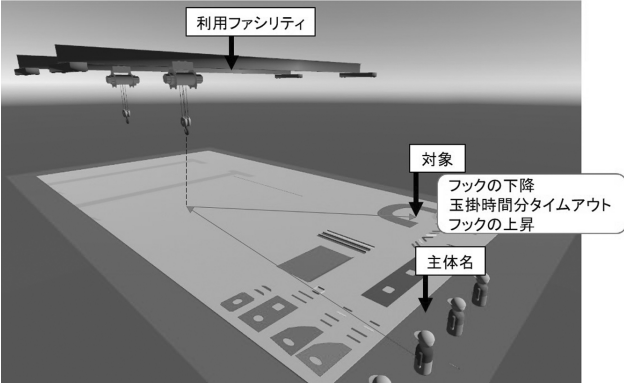
30

40

50

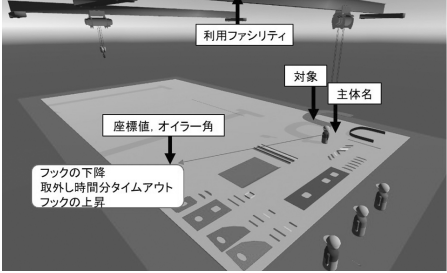
【図 2 5】

配材	AtPick	(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	(固有):なし
----	--------	---	---------



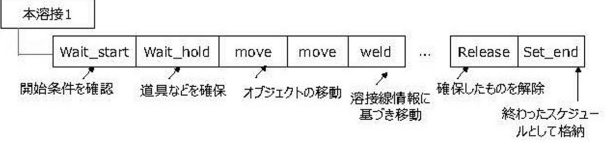
【図 2 6】

配材	AtPlace	(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	(固有): (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)
----	---------	---	---

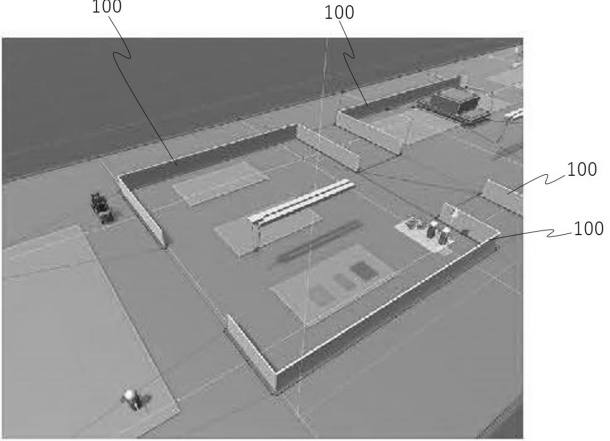


10

【図 2 7】

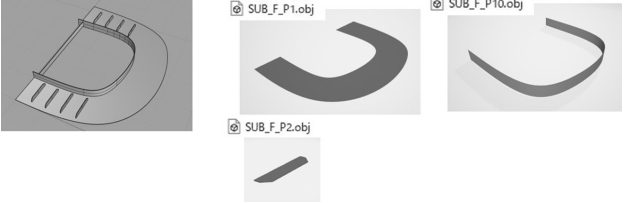


【図 2 8】

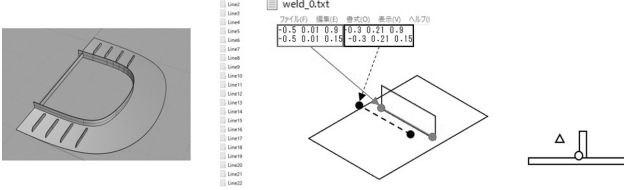


20

【図 2 9】



【図 3 0】

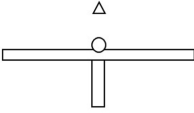
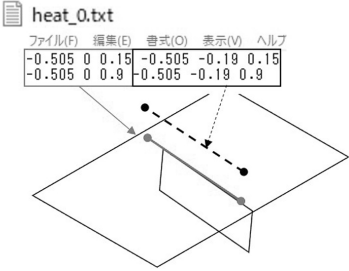


30

40

50

【図 3 1】



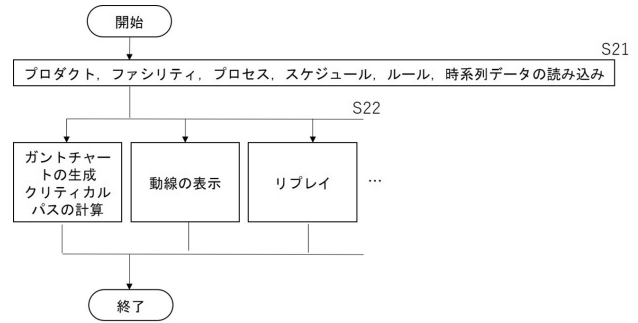
【図 3 2】

A	B	C	D	E	F	G	H
1	名	フルネーム	node1	node2	Path	平均値	属性
2	SUB_F_P1	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P1	0.03593145232088 0.0 0.4095745232088 1.5 0.395375325086	800.2919796
3	SUB_F_P2	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P2	0.01	800.2919796
4	SUB_F_P3	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P3	0.01	800.2919796
5	SUB_F_P4	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P4	1.51 0.0450000000000005 0.935 1.01000000000001 -0.062307118654 0.1	8.23895
6	SUB_F_P5	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P5	1.51 0.0450000000000005 0.935 1.01000000000001 -0.062307118654 0.1	8.23895
7	SUB_F_P6	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P6	2.61 0.0450000000000005 1.125 2.11000000000001 -0.062307118654 0.1	8.23895
8	SUB_F_P7	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P7	0.01	8.23895
9	SUB_F_P8	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P8	0.01	8.23895
10	SUB_F_P9	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P9	0.01	8.23895
11	SUB_F_P10	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P10	1.51 0.045 0.9353145232087 2.01 -0.2521007138666 53.516424210741	8.23895
12	SUB_F_P11	SUB_F	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P11	2.61 0.045 1.58453145232087 2.01 -0.2521007138666 53.516424210741	8.23895
13	SUB_F_P12	SUB_F_P1	node	-	Product/Amoel/SUB_F/SUB_F_P12	-0.00201132429912 1.51 0.00	

【図 3 5】

A		B		C		D		E		F		G		H	
#	TaskName	TaskType	Function	TaskObject	TaskFacility	TaskConditions	TaskParameter	RequiredFacility	TaskList	RequiredFacility	TaskList	RequiredFacility	TaskList	RequiredFacility	TaskList
1	TaskName1	TaskType1	Function1	TaskObject1	TaskFacility1	TaskConditions1	TaskParameter1	RequiredFacility1	TaskList1	RequiredFacility1	TaskList1	RequiredFacility1	TaskList1	RequiredFacility1	TaskList1
2	TaskName2	TaskType2	Function2	TaskObject2	TaskFacility2	TaskConditions2	TaskParameter2	RequiredFacility2	TaskList2	RequiredFacility2	TaskList2	RequiredFacility2	TaskList2	RequiredFacility2	TaskList2
3	TaskName3	TaskType3	Function3	TaskObject3	TaskFacility3	TaskConditions3	TaskParameter3	RequiredFacility3	TaskList3	RequiredFacility3	TaskList3	RequiredFacility3	TaskList3	RequiredFacility3	TaskList3
4	TaskName4	TaskType4	Function4	TaskObject4	TaskFacility4	TaskConditions4	TaskParameter4	RequiredFacility4	TaskList4	RequiredFacility4	TaskList4	RequiredFacility4	TaskList4	RequiredFacility4	TaskList4
5	TaskName5	TaskType5	Function5	TaskObject5	TaskFacility5	TaskConditions5	TaskParameter5	RequiredFacility5	TaskList5	RequiredFacility5	TaskList5	RequiredFacility5	TaskList5	RequiredFacility5	TaskList5
6	TaskName6	TaskType6	Function6	TaskObject6	TaskFacility6	TaskConditions6	TaskParameter6	RequiredFacility6	TaskList6	RequiredFacility6	TaskList6	RequiredFacility6	TaskList6	RequiredFacility6	TaskList6
7	TaskName7	TaskType7	Function7	TaskObject7	TaskFacility7	TaskConditions7	TaskParameter7	RequiredFacility7	TaskList7	RequiredFacility7	TaskList7	RequiredFacility7	TaskList7	RequiredFacility7	TaskList7
8	TaskName8	TaskType8	Function8	TaskObject8	TaskFacility8	TaskConditions8	TaskParameter8	RequiredFacility8	TaskList8	RequiredFacility8	TaskList8	RequiredFacility8	TaskList8	RequiredFacility8	TaskList8
9	TaskName9	TaskType9	Function9	TaskObject9	TaskFacility9	TaskConditions9	TaskParameter9	RequiredFacility9	TaskList9	RequiredFacility9	TaskList9	RequiredFacility9	TaskList9	RequiredFacility9	TaskList9
10	TaskName10	TaskType10	Function10	TaskObject10	TaskFacility10	TaskConditions10	TaskParameter10	RequiredFacility10	TaskList10	RequiredFacility10	TaskList10	RequiredFacility10	TaskList10	RequiredFacility10	TaskList10
11	TaskName11	TaskType11	Function11	TaskObject11	TaskFacility11	TaskConditions11	TaskParameter11	RequiredFacility11	TaskList11	RequiredFacility11	TaskList11	RequiredFacility11	TaskList11	RequiredFacility11	TaskList11
12	TaskName12	TaskType12	Function12	TaskObject12	TaskFacility12	TaskConditions12	TaskParameter12	RequiredFacility12	TaskList12	RequiredFacility12	TaskList12	RequiredFacility12	TaskList12	RequiredFacility12	TaskList12
13	TaskName13	TaskType13	Function13	TaskObject13	TaskFacility13	TaskConditions13	TaskParameter13	RequiredFacility13	TaskList13	RequiredFacility13	TaskList13	RequiredFacility13	TaskList13	RequiredFacility13	TaskList13
14	TaskName14	TaskType14	Function14	TaskObject14	TaskFacility14	TaskConditions14	TaskParameter14	RequiredFacility14	TaskList14	RequiredFacility14	TaskList14	RequiredFacility14	TaskList14	RequiredFacility14	TaskList14
15	TaskName15	TaskType15	Function15	TaskObject15	TaskFacility15	TaskConditions15	TaskParameter15	RequiredFacility15	TaskList15	RequiredFacility15	TaskList15	RequiredFacility15	TaskList15	RequiredFacility15	TaskList15
16	TaskName16	TaskType16	Function16	TaskObject16	TaskFacility16	TaskConditions16	TaskParameter16	RequiredFacility16	TaskList16	RequiredFacility16	TaskList16	RequiredFacility16	TaskList16	RequiredFacility16	TaskList16
17	TaskName17	TaskType17	Function17	TaskObject17	TaskFacility17	TaskConditions17	TaskParameter17	RequiredFacility17	TaskList17	RequiredFacility17	TaskList17	RequiredFacility17	TaskList17	RequiredFacility17	TaskList17
18	TaskName18	TaskType18	Function18	TaskObject18	TaskFacility18	TaskConditions18	TaskParameter18	RequiredFacility18	TaskList18	RequiredFacility18	TaskList18	RequiredFacility18	TaskList18	RequiredFacility18	TaskList18
19	TaskName19	TaskType19	Function19	TaskObject19	TaskFacility19	TaskConditions19	TaskParameter19	RequiredFacility19	TaskList19	RequiredFacility19	TaskList19	RequiredFacility19	TaskList19	RequiredFacility19	TaskList19
20	TaskName20	TaskType20	Function20	TaskObject20	TaskFacility20	TaskConditions20	TaskParameter20	RequiredFacility20	TaskList20	RequiredFacility20	TaskList20	RequiredFacility20	TaskList20	RequiredFacility20	TaskList20

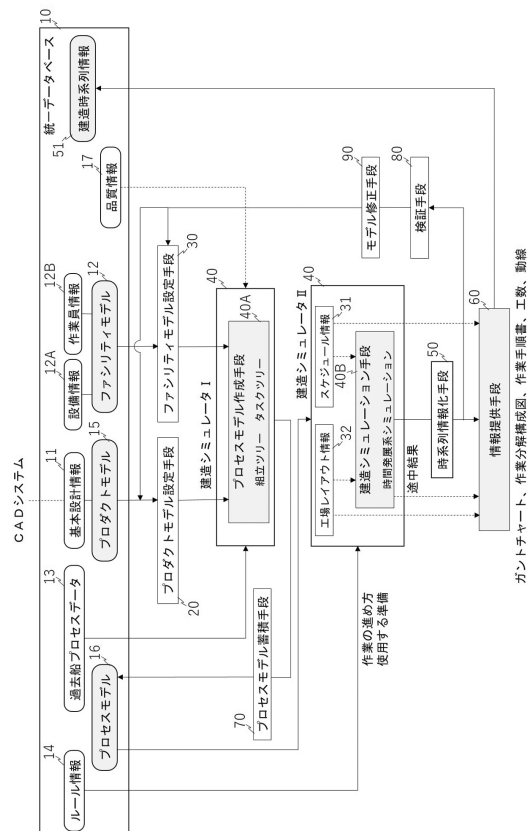
【図 3 6】



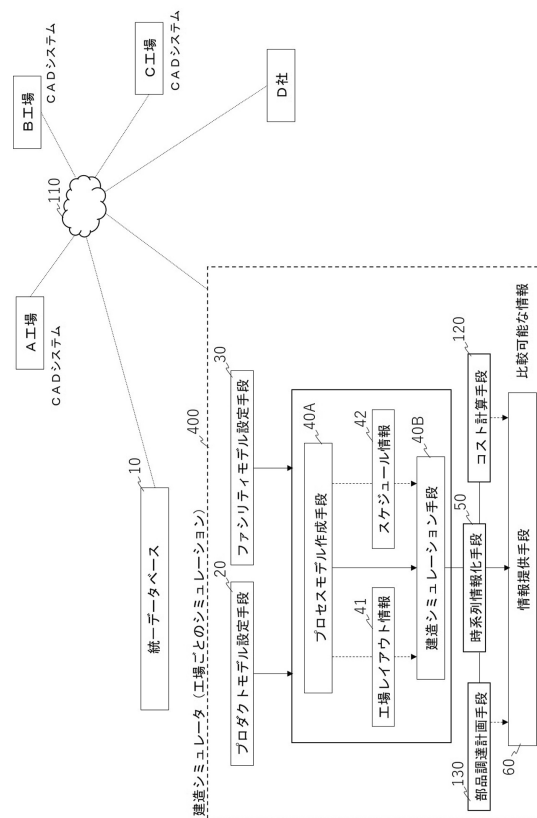
10

20

【図 37】



【図 38】

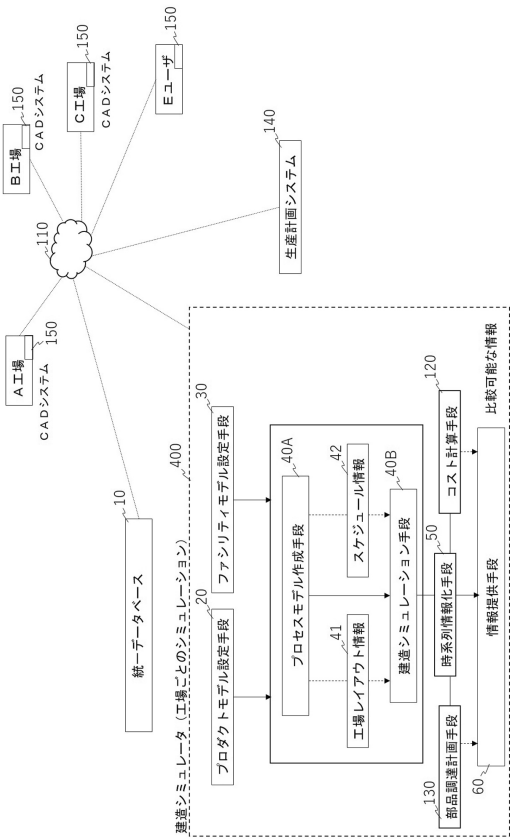


30

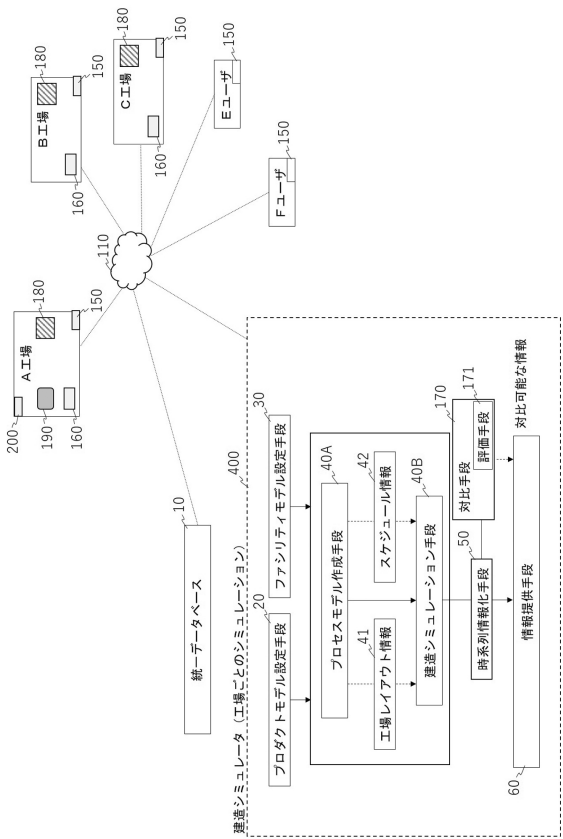
40

50

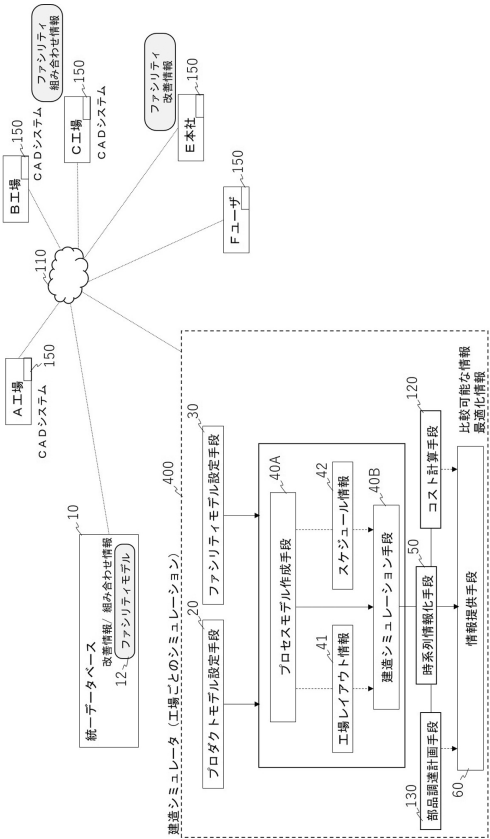
【図 39】



【図 40】



【図 41】



【図 42】



10

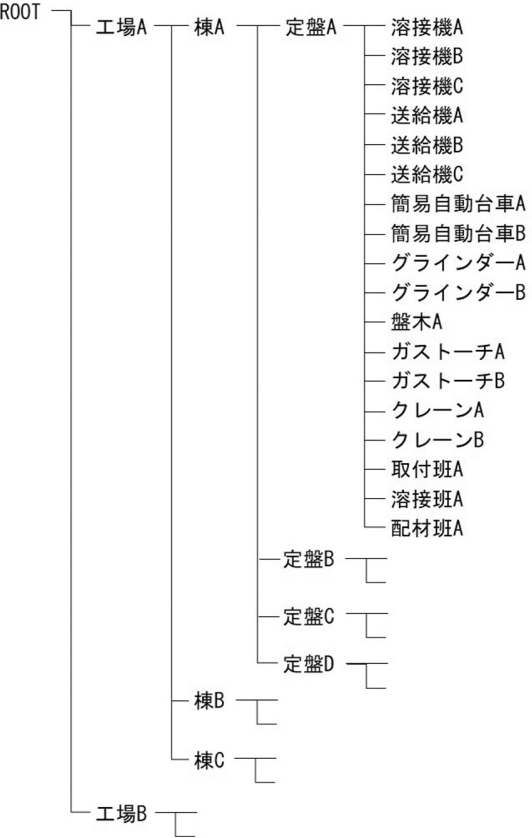
20

30

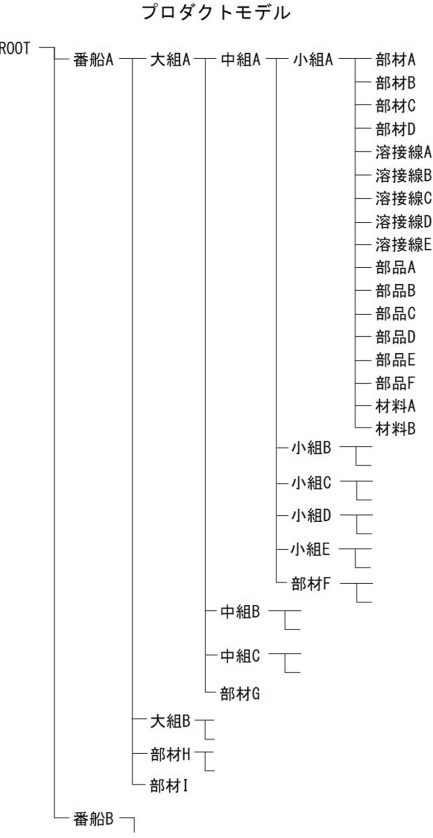
40

50

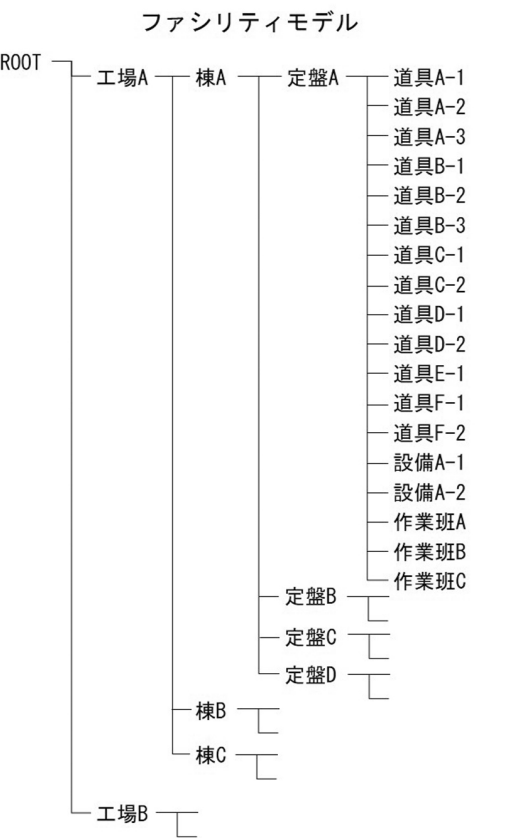
【図 4 3】



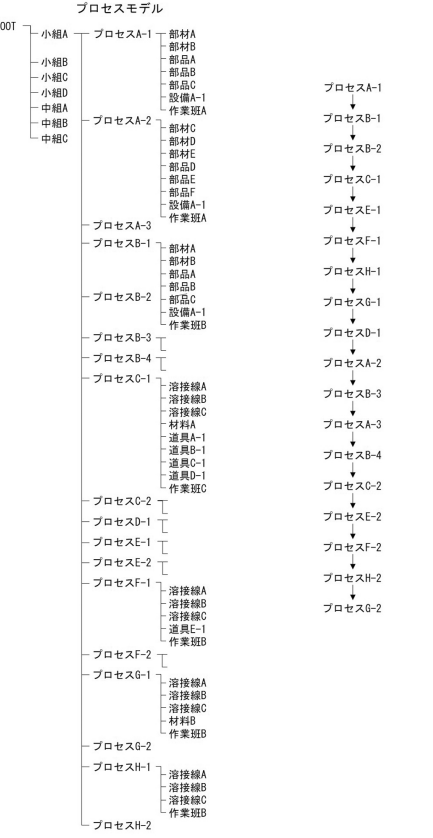
【図 4 4 - 1】



【図 4 4 - 2】



【図 4 4 - 3】



10

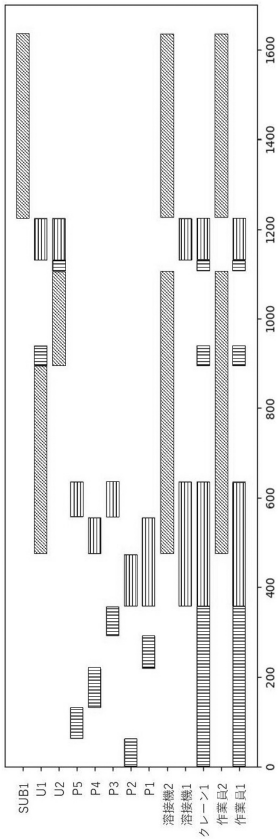
20

30

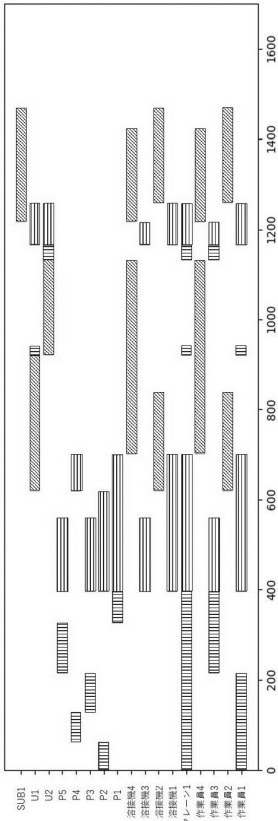
40

50

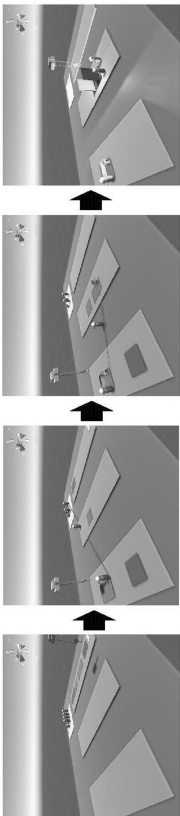
【図 4 5】



【図 4 6】



【図 4 7】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

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・航空技術研究所内

(72)発明者 平方 勝

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

Fターム(参考) 5L049 CC03