

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年12月12日(12.12.2024)



(10) 国際公開番号

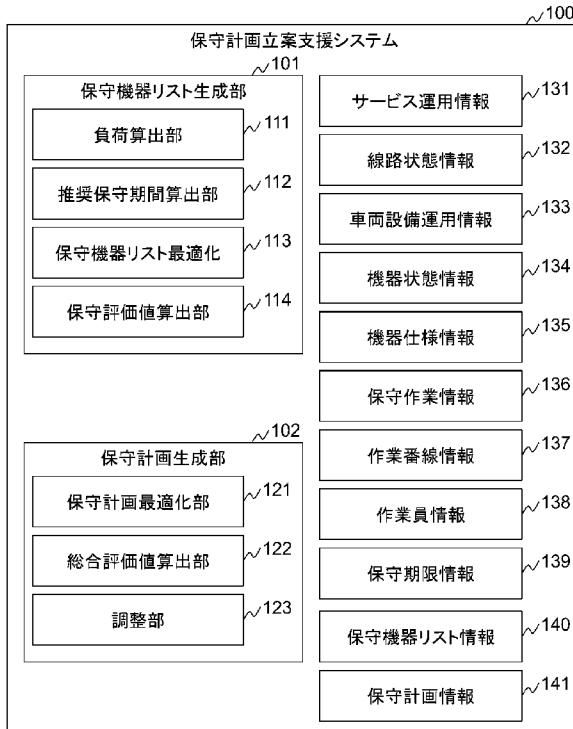
WO 2024/252704 A1

- (51) 国際特許分類:
G06Q 10/20 (2023.01) G06Q 50/40 (2024.01)
G06Q 10/04 (2023.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/000023
- (22) 国際出願日: 2024年1月4日(04.01.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-093105 2023年6月6日(06.06.2023) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内
一丁目6番6号 Tokyo (JP).

- (72) 発明者: 森 承宇(MORI Sho); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 矢野 浩仁(YANO Kojin); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 永吉 勤(NAGAYOSHI Tsutomu); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 小林 悠一(KOBAYASHI Yuichi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 平野 貴一(HIRANO Kiichi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(54) Title: MAINTENANCE PLANNING ASSISTANCE SYSTEM AND METHOD FOR GENERATING FACILITY MAINTENANCE PLAN

(54) 発明の名称: 保守計画立案支援システム及び設備の保守計画の生成方法



- 100 Maintenance planning assistance system
101 Device maintenance list generation unit
102 Maintenance plan generation unit
103 Maintenance plan optimization unit
111 Load calculation unit
112 Recommended maintenance timing calculation unit
113 Device maintenance list optimization
114 Maintenance evaluation value calculation unit
121 Maintenance plan optimization unit
122 Total evaluation value calculation unit
123 Adjustment unit
131 Service operation information
132 Rail state information
133 Vehicle equipment operation information
134 Device state information
135 Device specification information
136 Maintenance work information
137 Work track information
138 Worker information
139 Maintenance due date information
140 Device maintenance list information
141 Maintenance plan information

(57) Abstract: This maintenance planning assistance system holds device state information for managing a recommended maintenance timing for each facility device. The recommended maintenance timing refers to a point of time at which the cost required for maintenance of a device is low and the failure rate of the device is low. The maintenance planning assistance system: generates a plurality of lists which are for each facility and which serve as a first optimization problem for which a device list of a facility on which maintenance is performed at a maintenance timing is retrieved, such generation



(74) 代理人: 藤 央 弁 理 士 法 人 (TOU-OU PATENT FIRM); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 1 6 番 4 号アーバン虎ノ門ビル Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO(BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

performed by using a constraint condition related to the probability of a failure occurrence in the facility, and an evaluation value calculated using a facility maintenance cost loss that evaluates an economic loss due to device maintenance at a timing offset from the recommended maintenance timing; and generates a plurality of maintenance plans which are for a plurality of facilities and which serve as a second optimization problem for which a maintenance plan, which is a combination of maintenance date and time, resource allocation, and list, is retrieved, such generation performed by using a second constraint condition related to the probability of a failure occurrence in the facility and the resource required for the device maintenance, and a total evaluation value calculated by using the evaluation value.

(57) 要約: 保守計画立案支援システムは、設備の各機器の推奨保守時期を管理するための機器状態情報を保持する。推奨保守時期は、機器の保守に要するコストが低く、かつ、故障率が低くなる時期である。保守計画立案支援システムは、設備の不具合発生の確率に関する制約条件と、推奨保守時期からずれた時期での機器の保守による経済的損失を評価する設備保守費用損失を用いて算出される評価値とを用いて、保守時期に保守を行う設備の機器のリストを探索する第1最適化問題として、設備毎に、リストを複数生成し、設備の不具合発生の確率及び機器の保守に必要なリソースに関する第2制約条件と、評価値を用いて算出される総合評価値とを用いて、複数の設備について、保守日時、リソースの割り当て、及びリストの組合せである保守計画を探索する第2最適化問題として、保守計画を複数生成する。

明 細 書

発明の名称：

保守計画立案支援システム及び設備の保守計画の生成方法

参照による取り込み

[0001] 本出願は、2023年6月6日に出願された日本特許出願第2023-93105号の優先権を主張し、その内容を参照することにより、本出願に取り込む。

技術分野

[0002] 本発明は、複数の機器から構成される設備の保守計画の立案を支援するシステム及び方法に関する。

背景技術

[0003] モビリティ事業者は、安全性の確保及び安定した輸送を実現するために、複数の機器から構成される車両設備の保守を実施する。保守では、車両設備の各機器を検査し、検査で得た計測値が閾値より大きい場合、又は、各機器が保守時期に達した場合、機器の交換又は修繕が行われる。各機器の閾値及び交換周期は、機器の製造業者又はモビリティ事業者によって設定される。以下、本明細書では、検査、及び交換又は修繕の一連の行為を保守と記載する。

[0004] 保守計画を生成する技術として例えば、特許文献1及び特許文献2に記載の技術が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2020-004403号公報
特許文献2：特開2022-181069号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献 1 及び特許文献 2 に記載の技術を組み合わせれば、リスク及びコストを考慮し、かつ、制約違反が小さい保守計画を立案できる。しかし、設備の保守を実施するためのリソースに関する制約に違反がある場合、作業時間及び実施場所を十分に確保できないため保守の遅延が発生する。

[0007] モビリティ事業者が運用する車両設備は、保守後に運用する場合が多いため、保守の遅延は車両の運用計画に影響を及ぼす。これによって、保守作業及び車両運用の計画を調整する手間が発生する。そのため、上述の技術を用いて立案した保守計画は、実態としてリスク及びコストの観点から最適な計画とはならない。

[0008] 本発明は、リソースの制約を満たし、かつ、保守に要するコストが小さい保守計画の立案を支援する技術を実現する。

課題を解決するための手段

[0009] 本願において開示される発明の代表的な一例を示せば以下の通りである。すなわち、サービスの実施に用いられ、複数の機器から構成される設備の保守計画を生成する保守計画立案支援システムであって、プロセッサ、前記プロセッサに接続される記憶装置、及び前記プロセッサに接続されるインタフェースを有する計算機を備え、複数の前記設備を運用するシステムと接続し、前記設備の前記複数の機器の各々の推奨保守時期を管理するための機器状態情報を保持し、前記推奨保守時期は、前記機器の保守に要するコストが低く、かつ、前記機器の故障率が低くなる時期であり、前記プロセッサは、前記設備の不具合発生の確率に関する第 1 制約条件と、前記推奨保守時期からずれた時期での前記機器の保守による経済的損失を評価する設備保守費用損失を用いて算出される評価値とを用いて、保守時期に保守を行う前記設備の前記機器の組合せである保守機器リストを探索する第 1 最適化問題として、前記設備毎に、前記保守機器リストを複数生成する第 1 処理と、前記設備の不具合発生の確率の合計及び前記機器の保守に必要なリソースに関する第 2 制約条件と、前記評価値を用いて算出される総合評価値とを用いて、前記複数の設備の各々について、保守日時、前記リソースの割り当て、及び前記保

守機器リストの組合せである保守計画を探索する第2最適化問題として、前記保守計画を複数生成する第2処理と、を実行する。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、リソースの制約を満たし、かつ、保守に要するコストが小さい保守計画を立案することができる。上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施例の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]実施例1の保守計画立案支援システムの構成の一例を示す図である。
- [図2]実施例1の保守計画立案支援システムを構成する計算機のハードウェア構成の一例を示す図である。
- [図3]実施例1のサービス運用情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図4]実施例1の線路状態情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図5]実施例1の車両設備運用情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図6]実施例1の機器状態情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図7]実施例1の機器仕様情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図8]実施例1の保守作業情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図9]実施例1の作業番線情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図10]実施例1の作業員情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図11]実施例1の保守期限情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図12]実施例1の保守機器リスト情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図13]実施例1の保守計画情報のデータ構造の一例を示す図である。
- [図14]実施例1の保守計画立案支援システムが実行する処理を説明するフローチャートである。
- [図15]実施例1の保守計画立案支援システムが実行する走行負荷算出処理を説明するフローチャートである。
- [図16]実施例1の保守計画立案支援システムが実行する推奨保守期間算出処理を説明するフローチャートである。
- [図17]実施例1の保守計画立案支援システムが実行する保守機器リストの最

適化処理を説明するフローチャートである。

[図18]実施例1の保守計画立案支援システムが実行する保守評価値算出処理を説明するフローチャートである。

[図19]実施例1の保守計画立案支援システムが実行する保守計画最適化処理を説明するフローチャートである。

[図20]実施例1の保守計画立案支援システムが実行する総合評価値算出処理を説明するフローチャートである。

[図21]実施例1の保守計画立案支援システムが実行する調整処理を説明するフローチャートである。

[図22]実施例1の保守計画立案支援システムが提示する画面の一例を示す図である。

[図23]実施例2の保守機器リスト情報のデータ構造の一例を示す図である。

[図24]実施例2の保守計画立案支援システムが実行する保守評価値算出処理を説明するフローチャートである。

[図25]実施例2の保守計画立案支援システムが実行する総合評価値算出処理を説明するフローチャートである。

[図26]実施例2の保守計画立案支援システムが提示する画面の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の実施例を、図面を用いて説明する。ただし、本発明は以下に示す実施例の記載内容に限定して解釈されるものではない。本発明の思想ないし趣旨から逸脱しない範囲で、その具体的構成を変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。

[0013] 以下に説明する発明の構成において、同一又は類似する構成又は機能には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0014] 本明細書等における「第1」、「第2」、「第3」等の表記は、構成要素を識別するために付するものであり、必ずしも、数又は順序を限定するものではない。

- [0015] 図面等において示す各構成の位置、大きさ、形状、及び範囲等は、発明の理解を容易にするため、実際の位置、大きさ、形状、及び範囲等を表していない場合がある。したがって、本発明では、図面等を開示された位置、大きさ、形状、及び範囲等に限定されない。
- [0016] 本発明の実施例では、モビリティ事業の一例として鉄道事業を想定する。なお、本発明は、モビリティ事業の種別に限定されない。
- [0017] ここで、車両設備の保守計画の立案における課題を説明する。車両設備の数、車両設備を構成する機器の数、保守期間の数が多い場合、考えられる保守計画の数は非常に多くなる。モビリティ事業者が有する保守作業のリソースには上限が存在する。また、一つの車両設備について、各保守時期の保守機器を決定する必要がある。そのため、ある車両のある保守時期の保守機器を決定するためには、車両設備間及び保守時期間で調整を行う必要がある。
- [0018] 例えば、 n 個の機器から構成される設備が N 個あり、保守期間が P 個ある場合、考慮すべき組合せパターンの数は $2^{(N \times n \times P)}$ となる。
- [0019] したがって、現実的な計算量で保守計画を立案するためには、リソースの制約を考慮した上で、「各車両設備の保守機器のパターンを生成」及び「保守時期に採用するパターンの選択」を別々の問題として解くことが必要である。
- [0020] 具体的には、各車両設備について複数の保守機器のパターンを生成し、ある保守時期において各車両設備の保守機器パターンを選択する。各車両について C 個の保守機器パターンが生成されている場合、保守時期に考慮すべき組合せパターンの数は N^C となる。一つの保守時期について保守機器パターンを選択する操作を繰り返し実行する。これによって、中長期的な保守計画を立案できる。
- [0021] しかし、上記手法では、機器が中長期視点で適正な時期に保守されない可能性がある。機器の最適保守時期は保守のコスト及び故障特性を考慮して定められている。すなわち、保守のコスト及び故障のリスクがともに小さくなるように定められている。したがって、最適保守時期において機器の保守を

実施することが望ましい。しかし、リスク及びコストに基づいて一つの保守時期の保守計画を繰り返し生成すると、各機器を最適保守時期で保守することができなくなる。

[0022] (ケース 1) リソースの制約を満たしつつ、リスクが小さくなるように、各車両設備の保守機器を選択する場合を考える。この場合、保守時期において故障率が高い機器が優先的に保守の対象として選択され、一方、保守時期において故障率が低い機器は最適保守時期を過ぎても保守されない。すなわち、保守時期のリスクを減らすように保守機器を選択する処理を繰り返すと、各機器は最適保守時期で保守されなくなる。

[0023] (ケース 2) 車両設備のリスクを一定水準以下に抑えつつ、コストを小さくするように各車両設備の保守機器を選択する場合を考える。この場合、保守コストが低い機器が優先的に保守される。一方、保守コストが高い機器はリスクが高くなっても保守されない。すなわち、保守時期のコストを減らすように保守機器を選択する処理を繰り返すと、各機器は最適保守時期で保守されなくなる。

[0024] 以上のように、単純なリスク及びコスト等の評価指標に基づいて各車両設備の保守機器の選択を繰り返す手法では、各機器を最適保守時期で保守できなくなる。

[0025] 実施例では、複数の機器から構成される車両設備を用いた鉄道事業を想定する。車両設備の保守は車両基地にて行われるものとする。車両基地には車両設備の保守を行う線路（番線）が複数あるものとする。車両基地での保守作業は作業員によって行われる。番線及び作業員は保守に用いるリソースとして扱われる。

実施例 1

[0026] 図 1 は、実施例 1 の保守計画立案支援システムの構成の一例を示す図である。図 2 は、実施例 1 の保守計画立案支援システムを構成する計算機のハードウェア構成の一例を示す図である。

[0027] 保守計画立案支援システム 100 は、図 2 に示すような計算機 200 から

構成される。保守計画立案支援システム１００を構成する計算機２００の数は限定されない。

[0028] 計算機２００は、プロセッサ２０１、主記憶装置２０２、補助記憶装置２０３、入力装置２０４、表示装置２０５、及び通信装置２０６を備える。各ハードウェア要素はバスを介して互いに接続される。

[0029] 入力装置２０４は、キーボード及びマウス等であり、データ及び指示の入力を受け付ける。保守業務の管理者は、入力装置２０４を操作して、保守計画の生成を指示する。保守計画立案支援システム１００は、当該指示を受け付けた場合、車両設備の機器のリスク及びコスト、並びに、車両基地のリソースを考慮した保守計画を立案する。表示装置２０５は、ディスプレイ等であり、設定情報及び処理結果等を表示する。

[0030] 主記憶装置２０２は、メモリ等であり、プロセッサ２０１が実行するプログラム及びプログラムが使用するデータを格納する。主記憶装置２０２は、ワークエリアとしても用いられる。補助記憶装置２０３は、例えば、ＨＤＤ（Hard Disk Drive）等であり、プログラム及び情報を永続的に格納する。

[0031] 補助記憶装置２０３は、保守機器リスト生成部１０１及び保守計画生成部１０２を実現するプログラムを格納する。また、補助記憶装置２０３は、サービス運用情報１３１、線路状態情報１３２、車両設備運用情報１３３、機器状態情報１３４、機器仕様情報１３５、保守作業情報１３６、作業番線情報１３７、作業員情報１３８、保守期限情報１３９、保守機器リスト情報１４０、及び保守計画情報１４１を格納する。

[0032] プロセッサ２０１は、プログラムを実行することによって、特定の機能を実現する機能部（モジュール）として動作する。以下の説明では、機能部を主語に処理を説明する場合、プロセッサ２０１が当該機能部を実現するプログラムを実行していることを示す。

[0033] 通信装置２０６は、車両設備又はモビリティサービスを管理するシステムと通信する。

[0034] ここで、図3から図13を用いて、保守計画立案支援システム100が保持する情報について説明する。

[0035] 図3は、実施例1のサービス運用情報131のデータ構造の一例を示す図である。

[0036] サービス運用情報131は、モビリティサービスの運用計画を管理するための情報である。サービス運用情報131は、運用計画ID301、開始駅302、終了駅303、線路区間ID304、往復数305、運用方法306、及び運用負荷値307を含むエントリを格納する。一つの運用計画に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

[0037] 運用計画ID301は、運用計画のIDを格納するフィールドである。開始駅302は、運用計画の開始時に車両設備が存在する駅を格納するフィールドである。終了駅303は、運用計画の終了時に車両設備が存在する駅を格納するフィールドである。線路区間ID304は、車両設備が走行する区間（線路区間）のIDを格納するフィールドであり、後述する線路区間ID401と同一のフィールドである。往復数305は、車両設備が線路区間を往復する回数を格納するフィールドである。運用方法306は、車両設備の運用方法を格納するフィールドである。運用負荷値307は、運用計画の負荷を表す値（運用負荷値）を格納するフィールドである。

[0038] サービス運用情報131は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。なお、運用負荷値307には、保守計画立案支援システム100によって算出された値が格納される。

[0039] 図4は、実施例1の線路状態情報132のデータ構造の一例を示す図である。

[0040] 線路状態情報132は、線路区間の状態を管理するための情報である。線路状態情報132は、線路区間ID401、線路区間402、区間距離403、設置日時404、検査日時405、及び劣化係数406を含むエントリ

を格納する。一つの線路区間に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

[0041] 線路区間ID401は、線路区間のIDを格納するフィールドである。線路区間402は、線路区間を格納するフィールドである。例えば、駅の組合せが線路区間を表す情報として格納される。区間距離403は、線路区間の距離を格納するフィールドである。設置日時404は、線路区間の線路が設置された日時を格納するフィールドである。検査日時405は、線路区間の線路が検査された日時を格納するフィールドである。検査日時405には、直近の検査日時が格納される。劣化係数406は、線路区間の線路の劣化が車両設備の走行に与える影響を表す劣化係数を格納するフィールドである。

[0042] 線路状態情報132は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。

[0043] 図5は、実施例1の車両設備運用情報133のデータ構造の一例を示す図である。

[0044] 車両設備運用情報133は、車両設備の運行を管理するための情報である。車両設備運用情報133は、車両設備ID501、負荷低減対象502、及び運用計画503を含むエントリを格納する。一つの車両設備に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

[0045] 車両設備ID501は、車両設備のIDを格納するフィールドである。負荷低減対象502は、保守計画立案支援システム100が使用するフラグを格納するフィールドである。負荷低減対象502には初期値として「無」が設定される。運用計画503は、車両設備が実施する運用計画のIDを格納するフィールドである。運用計画503は日時を表す列を含み、各列には、運用計画のIDが格納される。

- [0046] 車両設備運用情報 1 3 3 は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。
- [0047] 図 6 は、実施例 1 の機器状態情報 1 3 4 のデータ構造の一例を示す図である。
- [0048] 機器状態情報 1 3 4 は、車両設備の機器の状態を管理するための情報である。機器状態情報 1 3 4 は、機器 ID 6 0 1、車両設備 ID 6 0 2、使用開始日時 6 0 3、保守日時 6 0 4、故障日時 6 0 5、走行負荷累積値 6 0 6、走行負荷予測値 6 0 7、最適保守日時 6 0 8、開始日時 6 0 9、及び終了日時 6 1 0 を含むエントリを格納する。機器及び車両設備の組合せに対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。
- [0049] 機器 ID 6 0 1 は、車両設備の機器の ID を格納するフィールドである。本実施例では、機器の ID は機器の種別と機器の個別の番号とから構成される。車両設備 ID 6 0 2 は車両設備 ID 5 0 1 と同一のフィールドである。
- [0050] 使用開始日時 6 0 3 は、機器の使用を開始した日時を格納するフィールドである。保守日時 6 0 4 は、故障前に保守が行われた日時を格納するフィールドである。故障日時 6 0 5 は、機器が故障した日時を格納するフィールドである。
- [0051] 走行負荷累積値 6 0 6 は、使用開始日時から現在までの走行負荷の累積値を格納するフィールドである。走行負荷予測値 6 0 7 は、現在から保守時期までの走行負荷の予測値を格納するフィールドである。
- [0052] 最適保守日時 6 0 8 は、保守のコスト及び故障のリスクの観点から決定される、機器の最適な交換日時を格納するフィールドである。開始日時 6 0 9 及び終了日時 6 1 0 は、機器の保守が推奨される期間（推奨保守期間）の開始日時及び終了日時を格納するフィールドである。
- [0053] 機器状態情報 1 3 4 は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。なお、走行負荷累積値 6 0 6、走行負荷予測値 6 0 7、最適保守日時 6

08、開始日時609、及び終了日時610は、保守計画立案支援システム100によって算出された値が格納される。

[0054] 図7は、実施例1の機器仕様情報135のデータ構造の一例を示す図である。

[0055] 機器仕様情報135は、機器の仕様を管理するための情報である。機器仕様情報135は、機器種別ID701、故障損失費用702、保守費用703、寿命パラメータ704、保守機能リスト705、及び保守作業リスト706を含むエントリを格納する。一種類の機器に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

[0056] 機器種別ID701は、機器の種別を表すIDを格納するフィールドである。故障損失費用702は、機器の故障によって発生する経済的な損失を格納するフィールドである。保守費用703は、機器の保守に要する費用を格納するフィールドである。

[0057] 寿命パラメータ704は、機器の寿命モデルを表すパラメータを格納するフィールド群である。本実施例では、ワイブル分布に従う寿命モデルのパラメータが格納される。

[0058] 保守機能リスト705は、機器の保守を行う番線に必要な機能に関する情報を格納するフィールドである。本実施例では、機能を表す列を含む。各列には、機能が必要でないことを示す「0」又は機能が必要であることを示す「1」のいずれかが設定される。

[0059] 保守作業リスト706は、機器の保守において実施が必要な作業に関する情報を格納するフィールドである。本実施例では、作業を表す列を含む。各列には、作業の実施が必要でないことを示す「0」又は作業の実施が必要であることを示す「1」のいずれかが設定される。

[0060] 機器仕様情報135は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。

[0061] 図8は、実施例1の保守作業情報136のデータ構造の一例を示す図である。

[0062] 保守作業情報136は、保守作業の詳細を管理するための情報である。保守作業情報136は、保守作業ID801、作業内容802、作業量803、並列作業ID804、及び作業費用805を含むエントリを格納する。一つの保守作業に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

[0063] 保守作業ID801は、保守作業のIDを格納するフィールドである。作業内容802は、保守作業の具体的な内容を格納するフィールドである。作業量803は、保守作業の作業量を格納するフィールドである。作業量803には保守作業の実施時間が格納される。並列作業ID804は、並列で実施可能な保守作業を管理するためのIDを格納するフィールドである。並列で実施可能な保守作業には同一のIDが設定される。作業費用805は、保守作業の費用を格納するフィールドである。

[0064] 保守作業情報136は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。

[0065] 図9は、実施例1の作業番線情報137のデータ構造の一例を示す図である。

[0066] 作業番線情報137は、作業番線を管理するための情報である。作業番線情報137は、番線ID901、保守機能リスト902、及び滞在可能時間903を含むエントリを格納する。一つの作業番線に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

[0067] 番線ID901は、作業番線のIDを格納するフィールドである。保守機能リスト902は、機器の保守に用いる機能の有無に関する情報を格納するフィールドである。本実施例では、機能を表す列を含む。各列には、機能を

有しないことを示す「0」又は機能を有することを示す「1」のいずれかが設定される。滞在可能時間903は、作業番線の使用が可能な時間を格納するフィールドである。滞在可能時間903は日時を表す列を含み、各列には作業番線の使用が可能な時間が格納される。

[0068] 作業番線情報137は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。

[0069] 図10は、実施例1の作業員情報138のデータ構造の一例を示す図である。

[0070] 作業員情報138は、保守作業を実施する作業員を管理するための情報である。作業員情報138は、作業員ID1001及び勤務スケジュール1002を含むエントリを格納する。一人の作業員に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

[0071] 作業員ID1001は、作業員のIDを格納するフィールドである。勤務スケジュール1002は、作業員が作業可能な時間を格納するフィールドである。勤務スケジュール1002は日時を表す列を含み、各列には作業員の作業可能時間が格納される。

[0072] 作業員情報138は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。

[0073] 図11は、実施例1の保守期限情報139のデータ構造の一例を示す図である。

[0074] 保守期限情報139は、車両設備の保守期限を管理するための情報である。保守期限情報139は、車両設備ID1101、運用開始日時1102、保守日時1103、及び保守期限1104を含むエントリを格納する。一つの車両設備に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

- [0075] 車両設備 I D 1 1 0 1 は車両設備 I D 5 0 1 と同一のフィールドである。運用開始日時 1 1 0 2 は、車両設備の運用を開始した日時を格納するフィールドである。保守日時 1 1 0 3 は、保守が行われた日時を格納するフィールドである。保守日時 1 1 0 3 には、最新の保守の実施日時が格納される。保守期限 1 1 0 4 は、保守の実施期限となる日時を格納するフィールドである。
- [0076] 保守期限情報 1 3 9 は、予め設定されてもよいし、外部から取得してもよい。
- [0077] 図 1 2 は、実施例 1 の保守機器リスト情報 1 4 0 のデータ構造の一例を示す図である。
- [0078] 保守機器リスト情報 1 4 0 は、保守計画立案支援システム 1 0 0 によって生成された保守を行う機器のリストを管理するための情報である。一つの車両設備に対して複数の保守機器リストが生成される場合もある。
- [0079] 保守機器リスト情報 1 4 0 は、リスト I D 1 2 0 1、車両設備 I D 1 2 0 2、保守機器リスト 1 2 0 3、設備保守費用損失 1 2 0 4、機器保守費用損失 1 2 0 5、設備故障率 1 2 0 6、設備保守費用 1 2 0 7、設備作業量 1 2 0 8、番線滞在時間 1 2 0 9、及び保守機能リスト 1 2 1 0 を含むエントリを格納する。車両設備及び保守機器リストの組合せに対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。
- [0080] リスト I D 1 2 0 1 は、保守機器リストの I D を格納するフィールドである。車両設備 I D 1 2 0 2 は車両設備 I D 5 0 1 と同一のフィールドである。保守機器リスト 1 2 0 3 は、保守を行う機器（保守機器）のリストを格納するフィールドである。保守機器リスト 1 2 0 3 には、機器の I D のリストが格納される。
- [0081] 設備保守費用損失 1 2 0 4 は、設備保守費用損失を格納するフィールドである。設備保守費用損失の詳細は後述する。機器保守費用損失 1 2 0 5 は、

機器保守費用損失を格納するフィールドである。機器保守費用損失の詳細は後述する。設備故障率 1206 は、車両設備の保守後の故障率を格納するフィールドである。

[0082] 設備保守費用 1207 は、全ての保守機器を保守した場合の費用を格納するフィールドである。設備作業量 1208 は、全ての保守機器を保守した場合の作業量を格納するフィールドである。番線滞在時間 1209 は、全ての保守機器を保守した場合の番線の滞在時間を格納するフィールドである。保守機能リスト 1210 は、全ての保守機器を保守する場合に必要な保守機能のリストを格納するフィールドである。本実施例では、機能を表す列を含む。各列には、機能が必要でないことを示す「0」又は機能が必要であることを示す「1」のいずれかが設定される。

[0083] 図 13 は、実施例 1 の保守計画情報 141 のデータ構造の一例を示す図である。

[0084] 保守計画情報 141 は、保守計画立案支援システム 100 によって生成されたシステムの保守計画を管理するための情報である。システムの保守計画は各車両設備の保守計画から構成される。保守計画情報 141 は、計画 ID 1301、車両設備 ID 1302、保守予定日時 1303、番線 ID 1304、リスト ID 1305、及び保守評価値 1306 を含む。一つの保守対象の車両設備に対して一つのエントリが存在する。なお、エントリに含まれるフィールドは一例であってこれに限定されない。前述したフィールドのいずれかを含まなくてもよいし、また、他のフィールドを含んでもよい。

[0085] 計画 ID 1301 は、車両設備の保守計画の ID を格納するフィールドである。車両設備 ID 1302 は保守を行う車両設備の ID を格納するフィールドである。保守予定日時 1303 は、保守を行う予定日時を格納するフィールドである。番線 ID 1304 は、保守で使用する番線の ID を格納するフィールドである。リスト ID 1305 は、保守機器リストの ID を格納するフィールドである。保守評価値 1306 は、保守評価値を格納するフィールドである。

- [0086] 図14は、実施例1の保守計画立案支援システム100が実行する処理を説明するフローチャートである。
- [0087] 保守計画立案支援システム100は、保守計画を生成する期間（立案期間）に関する情報等を受け付けた場合、以下で説明する処理を開始する。
- [0088] 保守機器リスト生成部101は、車両設備を構成する機器の運用及び劣化の状態に関する情報を受け付け、各車両設備の保守機器リストを生成する。保守機器リスト生成部101は、負荷算出部111、推奨保守期間算出部112、保守機器リスト最適化部113、及び保守評価値算出部114を含む。
- [0089] 負荷算出部111は、車両設備の走行負荷を算出する。推奨保守期間算出部112は、機器の推奨保守期間を算出する。保守機器リスト最適化部113は、保守評価値算出部114によって算出される第1保守評価値に基づいて、各車両設備の保守機器リストを生成する。保守評価値算出部114は、保守機器リストを評価する保守評価値を算出する。
- [0090] 保守計画生成部102は、車両設備の保守機器リスト及びリソースの制約に関する情報を受け付け、リソースの制約を満たし、かつ、リスク及びコストを考慮して、車両設備の保守計画を生成する。車両設備の保守計画は、車両設備、保守日時、番線、及び保守機器リストから構成される。保守計画生成部102は、保守計画最適化部121、総合評価値算出部122、及び調整部123を含む。
- [0091] 保守計画最適化部121は、総合評価値算出部122によって算出される総合評価値に基づいて、各車両設備の保守計画を生成する。総合評価値算出部122は、保守計画を評価する総合評価値を算出する。調整部123は、制約を満たすシステムの保守計画を生成できない場合、車両設備間で運用計画を調整する。
- [0092] まず、保守計画立案支援システム100が実行する処理の概要を説明する。保守計画立案支援システム100には、保守を実施する期間である保守時期に関する情報が設定されているものとする。保守時期は一定の時間間隔で

設定されているものとする。

- [0093] 負荷算出部 111 は、走行負荷算出処理を実行する（ステップ S100）。次に、推奨保守期間算出部 112 は、推奨保守期間算出処理を実行する（ステップ S200）。次に、保守機器リスト最適化部 113 は、保守機器リスト最適化処理を実行する（ステップ S300）。保守機器リスト最適化処理では、保守評価値算出部 114 によって保守評価値算出処理が実行される（ステップ S400）。
- [0094] 次に、保守計画最適化部 121 は、保守計画最適化処理を実行する（ステップ S500）。保守計画最適化処理では、総合評価値算出部 122 によって総合評価値算出処理が実行される（ステップ S600）。
- [0095] 保守計画最適化部 121 は、制約を満たすか否かを判定する（ステップ S700）。
- [0096] 制約を満たす場合、保守計画立案支援システム 100 は一連の処理を終了する。
- [0097] 制約を満たさない場合、調整部 123 は、調整処理を実行する（ステップ S800）。その後、保守計画立案支援システム 100 はステップ S100 に戻り、同様の処理を実行する。
- [0098] 次に、保守計画立案支援システム 100 が実行する各処理の詳細について説明する。
- [0099] 図 15 は、実施例 1 の保守計画立案支援システム 100 が実行する走行負荷算出処理を説明するフローチャートである。
- [0100] 負荷算出部 111 は、線路状態及び運用方法等に基づいて、各運用計画の運用負荷値を算出する（ステップ S101）。具体的には、以下のような処理が実行される。
- [0101] （S101-1）負荷算出部 111 は、サービス運用情報 131 から一つの運用計画（エントリ）を選択する。負荷算出部 111 は、運用計画の往復数 305 の値を取得する。
- [0102] （S101-2）負荷算出部 111 は、線路状態情報 132 を参照し、線

路区間 I D 4 0 1 の値が、選択した運用計画の線路区間 I D 3 0 4 の値と一致するエントリを検索する。負荷算出部 1 1 1 は、検索されたエントリの区間距離 4 0 3 及び劣化係数 4 0 6 の値を取得する。

[0103] (S 1 0 1 - 3) 負荷算出部 1 1 1 は、往復数、区間距離、及び劣化係数を乗算した値を運用負荷値として算出する。負荷算出部 1 1 1 は、運用計画の運用負荷値 3 0 7 に算出した値を設定する。

[0104] (S 1 0 1 - 4) 負荷算出部 1 1 1 は、全ての運用計画について処理が完了したか否かを判定する。全ての運用計画について処理が完了していない場合、負荷算出部 1 1 1 は S 1 0 1 - 1 に戻る。全ての運用計画について処理が完了した場合、負荷算出部 1 1 1 はステップ S 1 0 1 の処理を終了する。

[0105] 次に、負荷算出部 1 1 1 は、各車両設備の走行負荷予測値を算出する（ステップ S 1 0 2）。具体的には、以下のような処理が実行される。

[0106] (S 1 0 2 - 1) 負荷算出部 1 1 1 は、車両設備運用情報 1 3 3 から一つの車両設備（エントリ）を選択する。負荷算出部 1 1 1 は、エントリの運用計画 5 0 3 から、現在から立案期間の終了日時まで期間の運用計画を取得する。

[0107] (S 1 0 2 - 2) 負荷算出部 1 1 1 は、運用計画の I D に基づいてサービス運用情報 1 3 1 を参照し、対応するエントリの運用負荷値 3 0 7 から値を取得する。

[0108] (S 1 0 2 - 3) 負荷算出部 1 1 1 は、各運用計画の運用負荷値の合計を走行負荷予想値として算出する。負荷算出部 1 1 1 は、機器状態情報 1 3 4 を参照し、車両設備 I D 6 0 2 に選択した車両設備の I D が格納される全てのエントリの走行負荷予測値 6 0 7 に、算出した値を設定する。

[0109] (S 1 0 2 - 4) 負荷算出部 1 1 1 は、全ての車両設備について処理が完了したか否かを判定する。全ての車両設備について処理が完了していない場合、負荷算出部 1 1 1 は S 1 0 2 - 1 に戻る。全ての車両設備について処理が完了した場合、負荷算出部 1 1 1 はステップ S 1 0 2 の処理を終了する。

[0110] 次に、負荷算出部 1 1 1 は、各車両設備について、機器の走行負荷累積値

を算出する（ステップS 1 0 3）。その後、負荷算出部 1 1 1 は走行負荷算出処理を終了する。具体的には、以下のような処理が実行される。

- [0111] （S 1 0 3－1）負荷算出部 1 1 1 は、車両設備運用情報 1 3 3 から一つの車両設備（エントリ）を選択する。
- [0112] （S 1 0 3－2）負荷算出部 1 1 1 は、機器状態情報 1 3 4 を参照し、車両設備 I D 6 0 2 に選択した車両設備の I D が格納されるエントリを検索し、エントリの I D のリストを生成する。
- [0113] （S 1 0 3－3）負荷算出部 1 1 1 は、リストから一つのエントリ（機器）を選択する。
- [0114] （S 1 0 3－4）負荷算出部 1 1 1 は、機器の運用期間を算出する。ここでは、使用開始日時 6 0 3 に格納される日時から現在の日時までが運用期間として算出される。
- [0115] （S 1 0 3－5）負荷算出部 1 1 1 は、エントリの運用計画 5 0 3 を参照し、運用期間に実施された運用計画を特定する。負荷算出部 1 1 1 は、特定された運用計画の運用負荷値の合計値を走行負荷累積値として算出する。負荷算出部 1 1 1 は、機器のエントリの走行負荷累積値 6 0 6 に、算出した値を設定する。
- [0116] （S 1 0 3－6）負荷算出部 1 1 1 は、リストの全てのエントリについて処理が完了したか否かを判定する。リストの全てのエントリについて処理が完了していない場合、負荷算出部 1 1 1 は S 1 0 3－3 に戻る。
- [0117] （S 1 0 3－7）リストの全てのエントリについて処理が完了した場合、負荷算出部 1 1 1 は、全ての車両設備について処理が完了したか否かを判定する。全ての車両設備について処理が完了していない場合、負荷算出部 1 1 1 は S 1 0 3－1 に戻る。全ての車両設備について処理が完了した場合、負荷算出部 1 1 1 はステップ S 1 0 3 の処理を終了する。
- [0118] 以上で説明したように、負荷算出部 1 1 1 は、線路状態及び運用計画に基づいて、車両設備を構成する機器の走行負荷の累積値及び予測値を算出することができる。

[0119] 図16は、実施例1の保守計画立案支援システム100が実行する推奨保守期間算出処理を説明するフローチャートである。

[0120] 推奨保守期間算出部112は、車両設備運用情報133から一つの車両設備（エントリ）を選択する（ステップS201）。

[0121] 推奨保守期間算出部112は、選択した車両設備の機器の故障曲線を算出する（ステップS202）。ここでは、機器の故障率の分布はワイブル分布にしたがうものとする。なお、故障率の分布はワイブル分布以外の統計分布にしたがってもよい。以下、ステップS202の詳細を説明する。

[0122] （S202-1）推奨保守期間算出部112は、機器状態情報134を参照し、車両設備1602に選択した車両設備のIDが格納されるエントリを検索し、エントリのIDのリストを生成する。

[0123] （S202-2）推奨保守期間算出部112は、リストから一つのエントリ（機器）を選択する。

[0124] （S202-3）推奨保守期間算出部112は、機器仕様情報135を参照し、選択した機器に対応するエントリの寿命パラメータ704からパラメータ m 、 η を取得し、式（1）に代入することによって故障率曲線を算出する。

[0125] [数1]

$$\lambda_i(D(t)) = \frac{m_i}{\eta_i^{m_i}} (D(t))^{m_i-1} \quad \dots (1)$$

[0126] ここで、 i は機器の識別番号を表し、 m_i 及び η_i は機器 i の寿命パラメータを表す。 $D(t)$ は運用時間 t における走行負荷累積値を表し、 λ_i は機器 i の故障率を表す。式（1）によれば故障曲線は走行負荷値に対して算出する。機器の故障率を算出する場合、機器状態情報134の走行負荷累積値606及び走行負荷予測値607の値を取得し、式（2）にしたがって $D(t)$ を算出する。

[0127]

[数2]

$$D(t) = \begin{cases} \frac{t}{t_{now}} * D_{now}; & \text{if } t \leq t_{now} \\ D_{now} + \frac{(t - t_{now})}{T_{insp}} * D_{fut}; & \text{if } t > t_{now} \end{cases} \quad \dots (2)$$

[0128] ここで、 t_{now} は機器の運用開始日時から現在の日時までを表す運用時間（定数）を表し、 D_{now} は走行負荷累積値を表し、 D_{fut} は走行負荷予測値を表し、 T_{insp} は立案期間を表す。

[0129] 式（２）は、現在までの走行負荷の増加量を走行負荷累積値から算出し、その後の走行負荷の増加量の予測を走行負荷予測値から算出する式である。式（２）を用いて機器の走行負荷を算出することによって、式（１）を用いて各機器の故障曲線を算出できる。

[0130] （Ｓ２０２－４）推奨保守期間算出部１１２は、リストの全てのエントリについて処理が完了したか否かを判定する。リストの全てのエントリについて処理が完了していない場合、推奨保守期間算出部１１２はＳ２０２－２に戻る。リストの全てのエントリについて処理が完了した場合、推奨保守期間算出部１１２はステップＳ２０２の処理を終了する。

[0131] 次に、推奨保守期間算出部１１２は、各機器の保守候補時期を設定する（ステップＳ２０３）。具体的には、推奨保守期間算出部１１２は、二値変数 x_{ij} の集合を機器の保守候補時期を表す情報として設定する。二値変数 x_{ij} は機器 i を保守期間 j で保守する場合「１」となり、機器 i を保守期間 j で保守しない場合「０」となる変数である。初回の保守候補時期はランダムに設定されてもよいし、任意のルールに従って設定されてもよい。

[0132] 推奨保守期間算出部１１２は、各機器について、保守候補時期にて機器の保守を行った場合の機器の平均故障率を算出する（ステップＳ２０４）。ここで、平均故障率とは、運用開始から終了までの機器の故障率の平均を表す。機器の平均故障率からリスクの平均を見積もることができる。

[0133] 具体的には、推奨保守期間算出部１１２は式（３）を用いて機器の平均故障率を算出する。

[0134] [数3]

$$\lambda_{i_ave}(T_{ij}) = \frac{1}{T_{ij}} \int \lambda_i(D(t)) dt \quad \dots (3)$$

[0135] ここで、 T_{ij} は機器 i を保守期間 j で保守した場合の運用時間を表し、 $\lambda_{i_ave}(T_{ij})$ は平均故障率を表す。運用時間 T_{ij} は、機器 i の使用開始日時と保守期間 j の開始日時との間の時間幅として算出される。

[0136] 式 (3) では、機器の運用年数の分布を、運用開始から終了までの定常分布と想定して平均故障率を算出している。式 (3) では機器の運用中の故障を想定しておらず、機器を利用した時間の分布、すなわち運用年数分布が運用時間までの定常分布となっていることを仮定している。実際には運用中に機器が故障する場合もあるため、運用年数分布が定常分布とならないことを考慮して平均故障率を算出することもできる。しかし、機器の故障率が十分に低ければ、運用中の故障による機器の運用年数分布の変化を無視することができ、式 (3) に近似できる。

[0137] 推奨保守期間算出部 112 は、各機器について、単位時間あたりの保守費用を算出する (ステップ S205)。ここでは、単位時間は 1 年とする。具体的には、推奨保守期間算出部 112 は、式 (4) を用いて単位時間あたりの保守費用を算出する。

[0138] [数4]

$$AC_{Rep,i}(T_{ij}) = \frac{C_{Rep,i}}{T_{ij}} \quad \dots (4)$$

[0139] ここで、 $C_{Rep,i}$ は機器 i の保守費用を表す。式 (4) では、保守において発生する作業費用及び運用期間中の機器の故障によって発生する費用は考慮していない。これらの要素を考慮して保守費用を算出することもできるが、機器の故障率が十分低く、かつ、作業費用が機器の保守費用に比べて十分低い場合、式 (4) で近似できる。

[0140] 推奨保守期間算出部 112 は、機器の平均故障率の和が閾値より小さく (

制約条件)、かつ、式(5)を用いて算出される評価値が十分改善されているか否かを判定する(ステップS206)。なお、初回の処理では、ステップS206の処理は行わずステップS203に戻るものとする。

[0141] [数5]

$$\sum_{i,j} AC_{Rep,i}(T_{ij}) * x_{ij} \dots (5)$$

[0142] 評価値の評価については、評価値が閾値より小さく、かつ、一定期間評価値が変化しない場合、評価値が十分改善されていると判定される。

[0143] 制約条件を満たさない、又は、評価値が改善していない場合、推奨保守期間算出部112はステップS203に戻る。ステップS203では、推奨保守期間算出部112は、式(6)、(7)に示す制約条件の下、式(5)を用いて算出される評価値が小さくなるように保守候補時期(x_{ij})を設定する。

[0144] [数6]

$$\sum_j x_{ij} = 1 \dots (6)$$

[0145] [数7]

$$\sum_i \lambda_{i_ave}(T_i) \leq \Lambda_{st} \dots (7)$$

[0146] ここで、 Λ_{st} は設備全体で許容する平均故障率の上限値である。上限値は任意に設定できる。

[0147] 制約条件を満たし、かつ、評価値が十分改善されている場合、推奨保守期間算出部112は、各機器の最適保守日時を決定する(ステップS207)。具体的には、推奨保守期間算出部112は、保守候補時期の開始日時を最適保守日時に決定する。推奨保守期間算出部112は、機器状態情報134の最適保守日時608に、決定された最適保守日時を設定する。ステップS203からステップS207の一連の処理は、式(5)を用いて算出される評価値が最小となる保守候補時期 x_{ij} を探索する線形最適化問題を解く

ことで実現できる。

[0148] 推奨保守期間算出部 112 は、各機器の推奨保守期間の開始日時及び終了日時を決定する（ステップ S208）。

[0149] 具体的には、推奨保守期間算出部 112 は、機器の故障曲線を用いて、最適保守日時における故障率の定数倍（例えば、推奨保守期間の許容幅の下限で 0.9 倍）となる運用時間を求め、これに基づいて推奨保守期間の開始日時を算出する。また、推奨保守期間算出部 112 は、機器の故障曲線を用いて、最適保守日時における故障率の定数倍（例えば、推奨保守期間の許容幅の上限で 1.1 倍）となる運用時間を求め、これに基づいて推奨保守期間の終了日時を算出する。推奨保守期間算出部 112 は、機器状態情報 134 の開始日時 609 及び終了日時 610 に算出した日時を設定する。

[0150] なお、機器の推奨保守期間の終了日時は、機器の故障率に対して許容する信頼性水準を与え、機器の故障曲線に基づいて、信頼性水準を満たさなくなる運用時間を求め、これに基づいて算出してもよい。

[0151] 推奨保守期間算出部 112 は、全ての車両設備について処理が完了したか否かを判定する（ステップ S209）。

[0152] 全ての車両設備について処理が完了していない場合、推奨保守期間算出部 112 はステップ S201 に戻る。全ての車両設備について処理が完了した場合、推奨保守期間算出部 112 は推奨保守期間算出処理を終了する。

[0153] 以上の処理によって決定された推奨保守期間は、保守費用（コスト）及び故障率（リスク）のバランスがとれた期間となっている。したがって、推奨保守期間内で機器の保守を行うと保守費用及び故障率を低く抑えることができる。一方、推奨保守期間外で機器の保守を行うと保守費用及び故障率のいずれかが大きくなる。

[0154] 図 17 は、実施例 1 の保守計画立案支援システム 100 が実行する保守機器リストの最適化処理を説明するフローチャートである。図 18 は、実施例 1 の保守計画立案支援システム 100 が実行する保守評価値算出処理を説明するフローチャートである。

- [0155] 保守機器リスト最適化部 113 は、現在の日時に最も近い保守期間について以下で説明する処理を実行する。以下では、最も近い保守期間を対象保守期間と記載する。
- [0156] 保守機器リスト最適化部 113 は、車両設備運用情報 133 から一つの車両設備（エントリ）を選択する（ステップ S301）。
- [0157] 保守機器リスト最適化部 113 は、最適化条件を設定する（ステップ S302）。最適化条件は、後述する最適化問題で使用する制約条件である。線形最適化問題の場合、使用可能な番線及び車両設備の故障率の制約条件が設定される。遺伝的アルゴリズム等のヒューリスティックな最適化問題の場合、使用可能な番線、車両設備の故障率、作業量、及び番線の滞在時間の制約条件が設定される。本実施例では、線形最適化問題を例に説明をする。
- [0158] 保守機器リスト最適化部 113 は、選択した車両設備の保守機器リストを生成する（ステップ S303）。具体的には、保守機器リスト最適化部 113 は、二値変数 $x_{i,j}$ の集合を車両設備の保守機器リストとして生成する。二値変数 $x_{i,j}$ は機器 i を保守する場合「1」となり、機器 i を保守しない場合「0」となる変数である。
- [0159] 車両設備を構成する機器の数が多い場合、二値変数 $x_{i,j}$ の組合せの数は非常に多くなる。そこで、本実施例では、推奨保守期間が対象保守期間に重複する機器のみを考える。これによって、二値変数 $x_{i,j}$ の組合せの数を抑えることができる。なお、現在の日時が開始日時 609 に達していない場合、 $x_{i,j}$ は「0」、現在の日時が終了日時 610 を経過している場合、 $x_{i,j}$ は「1」に設定する。
- [0160] 初回の車両設備の保守機器リストは、例えば、上記のルールに従ってランダムに設定される。
- [0161] 保守機器リスト最適化部 113 は、保守評価値算出部 114 に対して、保守評価値算出処理の実行を指示する（ステップ S304）。このとき、保守機器リスト最適化部 113 は、保守機器リストを保守評価値算出部 114 に入力する。ここで、図 18 を用いて保守評価値算出処理について説明する。

[0162] 保守評価値算出部 114 は、各機器について、推奨保守期間における単位時間あたりの保守費用の最小値を算出する（ステップ S401）。ステップ S401 で算出された値を最小費用と定義する。機器 i の単位時間あたりの保守費用は、式（4）と同じ形式の式（8）を用いて算出できる。

[0163] [数8]

$$AC_{Rep,i}(T_i) = \frac{C_{Rep,i}}{T_i} \quad \dots (8)$$

[0164] ここで、 T_i は機器 i を推奨保守期間のいずれかの日時に保守した場合の運用時間を表す。 T_i は保守日時によって変わる変数である。保守日時は推奨保守期間内で変更される。なお、機器の推奨保守期間は、機器状態情報 134 の開始日時 609 及び終了日時 610 に基づいて算出できる。

[0165] 次に、保守評価値算出部 114 は、各機器について、対象保守期間において保守を行った場合の単位時間あたりの保守費用を算出する（ステップ S402）。ステップ S402 で算出された費用を比較用費用と定義する。単位時間あたりの保守費用は式（8）を用いて算出できる。なお、 T_i は、運用開始日時から対象保守期間の開始日時までの時間（定数）である。

[0166] 次に、保守評価値算出部 114 は、各機器について、比較用費用及び最小費用の差を機器保守費用損失として算出する（ステップ S403）。機器保守費用損失は式（9）を用いて算出される。

[0167] [数9]

$$\Delta AC_{Rep,i} = AC_{Rep-now,i} - AC_{Rep-min,i} \quad \dots (9)$$

[0168] ここで、 $AC_{Rep-now,i}$ は比較用費用を表し、 $AC_{Rep-min,i}$ は最小費用を表す。また、 $\Delta AC_{Rep,i}$ は機器保守費用損失を表す。

[0169] 本実施例では、推奨保守期間及び対象保守期間のズレに起因する費用損失を、単位時間値の保守費用の差として算出する。単位時間値の保守費用は、保守期間に依存する値であり、かつ、異なる保守期間同士で比較することができる。

[0170] 次に、保守評価値算出部 114 は、各機器の機器保守費用損失の合計を設備保守費用損失として算出する（ステップ S404）。設備保守費用損失は式（10）を用いて算出される。

[0171] [数10]

$$\Delta AC_{Rep} = \sum_i \{ \Delta AC_{Rep,i} * x_i \} \quad \dots (10)$$

[0172] ここで、 ΔAC_{Rep} は設備保守費用損失を表す。

[0173] 次に、保守評価値算出部 114 は、設備保守費用損失を用いて保守評価値を算出する（ステップ S405）。実施例 1 では、設備保守費用損失が保守評価値として算出される。ここで、保守評価値を ΔAC_{Vehi} と表記する。

[0174] 最小費用及び比較用費用は、いずれも、単位時間あたりの保守費用であり、保守期間の長さに依存しない同じ尺度の値である。そのため、機器保守費用損失は、各機器の保守を行う日時が、推奨保守期間からずれた場合の経済的な損失を見積もるための指標として用いることができる。本実施例では、推奨保守期間内で保守を行う機器が多くなるように、すなわち、保守評価値が小さくなるように保守を行う機器を決定することによって、機器の保守の優先順位を決定できる。

[0175] 保守評価値算出部 114 は、保守機器リスト最適化部 113 に保守評価値を出力し、保守評価値算出処理を終了する。

[0176] 図 17 の説明に戻る。保守機器リスト最適化部 113 は、保守に要する設備作業量を算出する（ステップ S305）。具体的には、以下のような処理が実行される。

[0177] （S305-1）保守機器リスト最適化部 113 は、機器仕様情報 135 を参照し、車両設備の全ての機器に対応するエントリの保守作業リスト 706 を取得する。保守機器リスト最適化部 113 は、機器 i において実施する保守作業 j を式（11）のように定義する。 u_j は二値変数であり、保守作業 j を実施する場合には「1」となり、保守作業 j を実施しない場合は「

0」となる変数である。

[0178] [数11]

$$u_j = u_{ij} * x_i \quad \dots (11)$$

[0179] ここで、 u_{ij} は機器 i に対応するエントリの保守作業リスト 706 における保守作業 j の値を表す。

[0180] (S305-2) 保守機器リスト最適化部 113 は、車両設備の各機器の保守作業の作業量の合計を設備作業量として算出する。具体的には、式 (12) を用いて設備作業量が算出される。

[0181] [数12]

$$W_{Vehi} = \sum_j \{w_j * u_j\} \quad \dots (12)$$

[0182] ここで、 W_{Vehi} は設備作業量を表し、 w_j は保守作業 j の作業量を表す。保守作業 j の作業量は、保守作業情報 136 の作業量 803 から取得される値である。

[0183] 次に、保守機器リスト最適化部 113 は、保守を実施する場合の番線滞在時間を算出する (ステップ S306)。具体的には、以下のような処理が実行される。

[0184] (S306-1) 保守機器リスト最適化部 113 は、機器 i において実施する保守作業 j を式 (11) のように定義する。

[0185] (S306-2) 保守機器リスト最適化部 113 は、保守作業 j の作業量に基づいて、番線滞在時間を算出する。並列で実行される保守作業群については、各保守作業の中で最大の作業量を当該保守作業群の作業量として算出すればよい。そのため、番線滞在時間は式 (13) に示すように、保守作業群の作業量の合計として算出できる。

[0186] [数13]

$$R_{Vehi} = \sum_k \left\{ \max_{j \in U_k} (w_j * u_j) \right\} \quad \dots (13)$$

[0187] ここで、 R_{Vehi} は番線滞在時間を表し、 k は並列作業 ID を表し、

U__k は並列作業 ID が k の保守作業の集合を表す。

[0188] 次に、保守機器リスト最適化部 113 は、車両設備の保守の実施が可能な作業番線を特定する（ステップ S307）。具体的には、以下のような処理が実行される。

[0189] （S307-1）保守機器リスト最適化部 113 は、機器仕様情報 135 を参照し、車両設備の全ての機器に対応するエントリの保守機能リスト 705 を取得する。

[0190] （S307-2）保守機器リスト最適化部 113 は、式（14）を用いて、車両設備の保守に必要な作業機能を特定する。

[0191] [数14]

$$v_l = \max_{i \in E} (v_{il} * x_i) \quad \dots (14)$$

[0192] ここで、l は保守機能を表す。v__i l は機器 i の保守機能リスト 705 の機能 l の値を表す。v__l は保守機能 l が必要であるか否かをあらす二値変数である。保守機能が必要ない場合「0」をとり、保守機能が必要である場合「1」をとる。E は車両設備を構成する機器の集合である。少なくとも一つの機器において保守機能 l が必要である場合、式（14）の値は 1 となる。

[0193] （S307-3）保守機器リスト最適化部 113 は、作業番線情報 137 の各エントリの保守機能リスト 902 を参照し、v__l が 1 である全ての保守機能が 1 となっている番線を特定する。保守機器リスト最適化部 113 は、処理結果を二値変数 H__s の集合として保存する。ここで、s は作業番線を表す。二値変数 H__s は作業番線 s で保守を行うことができる場合「1」となり、作業番線 s で保守を行うことができない場合「0」となる変数である。

[0194] 次に、保守機器リスト最適化部 113 は、車両設備を構成するいずれかの機器が故障する確率を設備故障率として算出する（ステップ S308）。具体的には、以下のような処理が実行される。

[0195] （S308-1）保守機器リスト最適化部 113 は、各機器について、式

(15)を用いて、保守時期において機器を保守しない場合の機器の故障確率 P_i を算出する。また、保守機器リスト最適化部113は、各機器について、式(16)を用いて、保守時期において機器を保守した場合の機器の故障確率 P'_i を算出する。

[0196] [数15]

$$P_i = \int_{D_{now}}^{D_{now}+D_{fut}} \lambda_i(D(t)) dD \quad \dots (15)$$

[0197] [数16]

$$P'_i = \int_0^{D_{fut}} \lambda_i(D(t)) dD \quad \dots (16)$$

[0198] ここで、 D_now は走行負荷累積値を表し、 D_fut は走行負荷予測値を表す。走行負荷累積値及び走行負荷予測値は、機器状態情報134の走行負荷累積値606及び走行負荷予測値607の値である。また、故障率曲線のパラメータは、機器仕様情報135の寿命パラメータ704の値である。

[0199] (S308-2) 保守機器リスト最適化部113は、式(17)を用いて、設備故障率 P_Vehi を算出する。

[0200] [数17]

$$P_{Vehi} = 1 - \prod_{i \in E} \{(1 - P_i) * (1 - x_i) \mp (1 - P'_i) * x_i\} \quad \dots (17)$$

[0201] 次に、保守機器リスト最適化部113は、車両設備の保守費用 C_R を算出する(ステップS309)。具体的には、保守機器リスト最適化部113は、式(18)を用いて車両設備の保守費用を算出する。

[0202] [数18]

$$C_R = \sum_i C_{Rep,i} * x_i \quad \dots (18)$$

[0203] 保守機器リスト最適化部113は、制約条件を満たし、かつ、式(19)を用いて算出される評価値 ΔAC_Part が十分改善されているか否かを

判定する（ステップS 3 1 0）。なお、機器 i についての初回の処理では、ステップS 3 1 0の処理は行わずステップS 3 0 3に戻るものとする。

[0204] [数19]

$$\Delta AC_{part} = \Delta AC_{vehi} + \alpha * W_{vehi} \quad \dots (19)$$

[0205] ここで、 α は作業量調整係数を表す。また、制約条件は式（2 0）、式（2 1）、式（2 2）、式（2 3）で与えられる。

[0206] [数20]

$$H_s \leq H_{s_st} \quad \dots (20)$$

[0207] [数21]

$$P_{vehi} \leq P_{vehi_st} \quad \dots (21)$$

[0208] [数22]

$$x_i = 0; \text{ if } t < t_{start,i} \quad \dots (22)$$

[0209] [数23]

$$x_i = 1; \text{ if } t > t_{end,i} \quad \dots (23)$$

[0210] ここで、 $H_ (s_ s t)$ は作業可能番線の上限值を表し、 $P_ (V e h i_ s t)$ は設備故障率の上限值を表し、 $t_ s t a r t, i$ は機器 i の推奨保守期間の開始日時を表し、 $t_ e n d, i$ は機器 i の推奨保守期間の終了日時を表す。 t は保守期間の開始日時を表す。

[0211] 制約条件を満たさない、又は、評価値 $\Delta AC_ P a r t$ が十分改善されていない場合、保守機器リスト最適化部 1 1 3 はステップS 3 0 3に戻る。ステップS 3 0 3では、保守機器リスト最適化部 1 1 3は、式（2 0）、式（2 1）、式（2 2）、式（2 3）に示す制約条件の下、評価値 $\Delta AC_ P a r t$ を小さくするように保守機器リストを設定する。

[0212] 評価値 $\Delta AC_ P a r t$ に含まれている設備作業量は保守機器リストに対して線形ではないが、絶対値又は「max」を含む関数の和で定義された関数は、式変形をすることで線形な目的関数と線形な制約条件との和で表現できる。すなわち、評価値 $\Delta AC_ P a r t$ に基づく最適化問題は混合整数線

形計画問題として表現可能であり、分枝限定法などの手法が適用可能である。

[0213] なお、ヒューリスティックな最適化手法を用いて保守機器リストを探索してもよい。この場合は、作業可能番線及び設備故障確率に加えて、保守機器リストに対して線形ではなかった設備作業量及び番線滞在時間に対しても制約を設けることができる。評価値は保守評価値 ΔAC_Vehi を用いる。すなわち、推奨保守終了日時、作業量調整係数、作業可能番線、設備交渉確率の上限値、設備作業量の上限値、番線滞在時間の上限値を用いて、式(20)、式(21)、式(22)、式(23)と、式(24)、式(25)の制約条件の下、保守評価値 ΔAC_Vehi が最小となる保守機器リストを探索する。

[0214] [数24]

$$W_{Vehi} \leq W_{Vehi_st} \quad \dots (24)$$

[0215] [数25]

$$R_{Vehi} \leq R_{Vehi_st} \quad \dots (25)$$

[0216] 制約条件を満たし、かつ、評価値 ΔAC_Part が十分改善している場合、保守機器リスト最適化部113は、保守機器リスト情報140に保守機器リストを登録する(ステップS311)。ステップS303からステップS311の一連の処理は評価値 ΔAC_Part が最小となる保守機器リスト x_i を探索する最適化問題を解くことで実施できる。

[0217] 次に、保守機器リスト最適化部113は、新たに最適化条件を設定するかどうかを判定する(ステップS312)。例えば、生成された保守機器リストの数が一定数以上の場合、又は、設定可能な全ての最適化条件について処理を実行した場合、保守機器リスト最適化部113は、新たに最適化条件を設定しない。

[0218] 新たに最適化条件を設定する場合、保守機器リスト最適化部113はステップS302に戻る。

[0219] 新たに最適化条件を設定しない場合、保守機器リスト最適化部113は、

全ての車両設備について処理を実行したか否かを判定する（ステップS 3 1 3）。

[0220] 全ての車両設備について処理を実行していない場合、保守機器リスト最適化部 1 1 3 はステップS 3 0 1 に戻る。全ての機器について処理を実行した場合、保守機器リスト最適化部 1 1 3 は保守機器リストの最適化処理を終了する。

[0221] 図 1 9 は、実施例 1 の保守計画立案支援システム 1 0 0 が実行する保守計画最適化処理を説明するフローチャートである。図 2 0 は、実施例 1 の保守計画立案支援システム 1 0 0 が実行する総合評価値算出処理を説明するフローチャートである。

[0222] 保守計画最適化部 1 2 1 は、現在の日時と最も近い保守期間（対象保守期間）について以下で説明する処理を実行する。

[0223] 保守計画最適化部 1 2 1 は、検査日時毎に、作業可能時間及び作業番線の滞在可能時間を算出する（ステップS 5 0 1）。

[0224] 保守計画最適化部 1 2 1 は、システムの保守計画を生成する（ステップS 5 0 2）。システムの保守計画は、車両設備 p について保守機器リスト q にしたがって検査日時 r に番線 s で保守を行うか否かを表す二値変数 y_{pqr} （車両設備の保守計画）の集合として表される。ここでは、対象保守期間において全ての車両設備を一度だけ保守を行うという条件の下でシステムの保守計画が生成されるものとする。なお、検査日時は対象保守期間内の日時を表す。

[0225] 保守計画最適化部 1 2 1 は、総合評価値算出部 1 2 2 の総合評価値算出処理の実行を指示する（ステップS 5 0 3）。このとき、保守計画最適化部 1 2 1 は、総合評価値算出部 1 2 2 にシステムの保守計画を入力する。ここで、図 2 0 を用いて総合評価値算出処理について説明する。

[0226] 総合評価値算出部 1 2 2 は、保守機器リスト情報 1 4 0 を参照し、各車両設備の保守評価値 ΔAC_Vehi を取得する（ステップS 6 0 1）。

[0227] 総合評価値算出部 1 2 2 は、保守評価値 ΔAC_Vehi を用いて、総合

評価値を算出する（ステップS602）。具体的には、総合評価値算出部122は、式（26）を用いて総合評価値を算出する。

[0228] [数26]

$$\Delta AC_{All} = \sum_{p,q,r,s} \{ \Delta AC_{Vehi,pq} * y_{pqrs} \} \quad \dots (26)$$

[0229] ここで、 ΔAC_{All} は総合評価値を表し、 $\Delta AC_{Vehi,pq}$ は設備pを保守機器リストqにしたがって保守を行った場合の保守評価値を表す。保守評価値は保守計画情報141の保守評価値1306の値である。本実施例では、総合評価値が小さくなるようにシステムの保守計画を作成することによって、各車両設備について優先的に実施する保守機器リストを決定できる。

[0230] 総合評価値算出部122は、保守計画最適化部121に総合評価値を出力し、総合評価値算出処理を終了する。

[0231] 図19の説明に戻る。保守計画最適化部121は、システムの保守計画における設備故障確率の合計を算出する（ステップS504）。具体的には、保守計画最適化部121は、式（27）を用いてシステムの保守計画における設備故障確率の合計を算出する。

[0232] [数27]

$$P_{All} = \sum_{p,q,r,s} \{ P_{Vehi,pq} * y_{pqrs} \} \quad \dots (27)$$

[0233] ここで、 P_{All} は車両設備故障率の合計を表し、 $P_{Vehi,pq}$ は設備pを保守機器リストqにしたがって保守を行った場合の設備故障率を表す。 $P_{Vehi,pq}$ は、保守機器リスト情報140の車両設備ID1202及び保守機器リスト1203が、設備pの保守機器リストqに一致するエントリの設備故障率1206の値である。

[0234] 次に、保守計画最適化部121は、保守日時rにおける設備作業量の合計を算出する（ステップS505）。具体的には、保守計画最適化部121は、式（28）を用いて保守日時rにおける設備作業量の合計を算出する。

[0235] [数28]

$$W_{All,r} = \sum_{p,q,s} \{W_{Vehi,pq} * y_{pqrs}\} \quad \dots (28)$$

[0236] ここで、 $W_{All,r}$ （ All, r ）は保守日時 r における設備作業量の合計を表し、 $W_{Vehi,pq}$ は設備 p を保守機器リスト q にしたがって保守を行った場合の設備作業量を表す。 $W_{Vehi,pq}$ は、保守機器リスト情報 140 の車両設備 ID 1202 及び保守機器リスト 1203 が、設備 p の保守機器リスト q に一致するエントリの設備作業量 1208 の値である。

[0237] 次に、保守計画最適化部 121 は、各保守日時について、番線 s の滞在時間を算出する（ステップ S506）。具体的には、保守計画最適化部 121 は、式（29）を用いて保守日時 r の番線 s の滞在時間を算出する。

[0238] [数29]

$$R_{All,rs} = \sum_{p,q} \{R_{Vehi,pq} * y_{pqrs}\} \quad \dots (29)$$

[0239] ここで、 $R_{All,rs}$ （ All, rs ）は保守日時 r の番線 s の滞在時間を表し、 $R_{Vehi,pq}$ は設備 p を保守機器リスト q にしたがって保守を行った場合の番線の滞在時間を表す。 $R_{Vehi,pq}$ は、保守機器リスト情報 140 の車両設備 ID 1202 及び保守機器リスト 1203 が、設備 p の保守機器リスト q に一致するエントリの番線滞在時間 1209 の値である。

[0240] 次に、保守計画最適化部 121 は、制約条件を満たすか否かを判定する（ステップ S507）。なお、初回の処理では、ステップ S507 の処理は行わずステップ S502 に戻るものとする。

[0241] ここで、制約条件は、式（30）、式（31）、式（32）、式（33）、式（34）、式（35）で与えられる。

[0242] [数30]

$$P_{All} \leq P_{All,st} \quad \dots (30)$$

[0243] [数31]

$$W_{All,r} \leq W_{All,st,r} \quad \dots (31)$$

[0244] [数32]

$$\sum_{p,q,r,s} \{H_{pqs} * y_{pqrs}\} = N \quad \dots (32)$$

[0245] [数33]

$$R_{All,rs} \leq R_{All,st,rs} \quad \dots (33)$$

[0246] [数34]

$$\sum_{q,r,s} y_{pqrs} = 1 \quad \dots (34)$$

[0247] [数35]

$$y_{pqrs} = 0; \text{ if } t(r) > t_{deadline,p} \quad \dots (35)$$

[0248] ここで、 $P_{\text{---}}(A \mid I \text{---} s t)$ は設備故障確率の合計の上限値を表し、予め設定される。 $W_{\text{---}}(A \mid I \text{---} s t)$ 、 r は保守日時 r の作業可能時間の上限値を表し、ステップ S 5 0 1 で算出された作業可能時間である。 N は車両設備の数を表す。 $H_{\text{---} p q s}$ は設備 p を保守機器リスト q にしたがった保守を作業番線 s で実施できるか否かを表す二値変数である。保守を実施できる場合には「1」となり、保守を実施できない場合には「0」となる変数である。 $R_{\text{---}} \{ (A L L \text{---} s t) , r s \}$ は検査日時 r の作業番線 s の滞在可能時間の上限値を表し、ステップ S 5 0 1 で算出された滞在可能時間である。 $t(r)$ は検査日時 r の具体的な日時を表す。 $t_{\text{---} d e a d l i n e , p}$ は車両設備の保守締切日時を表し、保守期限情報 1 3 9 の保守期限 1 1 0 4 の値である。

[0249] 制約条件を満たさない場合、保守計画最適化部 1 2 1 は、制約条件を満たすシステムの保守計画を生成できない旨を出力し、処理を終了する。

[0250] 制約条件を満たす場合、保守計画最適化部 1 2 1 は、総合評価値 $\Delta A C \text{---} A \mid I$ が十分改善されているか否かを判定する（ステップ S 5 0 8）。

[0251] 総合評価値 $\Delta A C \text{---} A \mid I$ が十分改善されていない場合、保守計画最適化部 1 2 1 はステップ S 5 0 2 に戻る。ステップ S 5 0 2 では、保守計画最適化部 1 2 1 は、式 (3 0)、式 (3 1)、式 (3 2)、式 (3 3)、式 (3

4)、式(35)に示す制約条件の下、総合評価値を小さくするようにシステムの保守計画を設定する。

[0252] 総合評価値 ΔAC_{AII} が十分改善されている場合、保守計画最適化部121は、システムの保守計画を保守計画情報141に登録し(ステップS509)、その後、処理を終了する。ステップS502からステップS509の一連の処理は総合評価値が最小となるシステムの保守計画 y_{pqrs} を探索する線形最適化問題を解くことで実施できる。

[0253] 図21は、実施例1の保守計画立案支援システム100が実行する調整処理を説明するフローチャートである。

[0254] 調整部123は、走行負荷を減らす車両設備を選択する(ステップS801)。具体的には、以下のような処理が実行される。

[0255] (S801-1)調整部123は、車両設備運用情報133を参照し、負荷低減対象502が「無」である車両設備を特定する。

[0256] (S801-2)調整部123は、特定された車両設備の中から一つの車両設備を選択する。例えば、調整部123は、運用開始日時が古い順に車両設備を選択する。これは、運用開始日時が古い車両設備は、運用開始日時が新しい車両設備に比べて走行負荷に対する劣化が早いため、走行負荷を減らす必要があるためである。

[0257] 次に、調整部123は、サービス運用情報131及び車両設備運用情報133を参照して、保守期間において選択された車両設備が実施する運用計画を一つ選択する(ステップS802)。運用計画は、実施順に選択されるものとする。

[0258] 次に、調整部123は、保守期間において、選択された運用計画の開始駅及び終了駅の組合せが同一である運用計画(類似運用計画)を実施する車両設備が存在するか否かを判定する(ステップS803)。

[0259] 車両設備が存在しない場合、調整部123はステップS806に進む。

[0260] 車両設備が存在する場合、調整部123は、特定された車両設備の中から、類似運用計画の運用負荷値が最も小さい車両設備を特定する(ステップS

804)。運用負荷値はサービス運用情報131の運用負荷値307から取得することができる。

[0261] 次に、調整部123は、選択された車両設備の選択された運用計画と、特定された車両設備の類似運用計画と入れ替える（ステップS805）。具体的には、車両設備運用情報133の運用計画503が更新される。

[0262] 次に、調整部123は、保守期間において選択された車両設備が実施する全ての運用計画について処理を実行したか否かを判定する（ステップS806）。

[0263] 保守期間において選択された車両設備が実施する全ての運用計画について処理を実行していない場合、調整部123はステップS802に戻る。

[0264] 保守期間において選択された車両設備が実施する全ての運用計画について処理を実行した場合、調整部123は、車両設備運用情報133を参照し、選択された車両設備に対応するエントリの負荷低減対象502を「有」に更新し（ステップS807）、その後、処理を終了する。

[0265] 選択された車両設備の走行負荷は低減されるため、システム全体における車両設備の保守に要するコストは小さくなる。また、機器の故障曲線も変化する。

[0266] 図22は、実施例1の保守計画立案支援システム100が提示する画面の一例を示す図である。

[0267] 画面2200は、パラメータ入力欄2201、保守計画出力欄2202、保守機器リスト出力欄2203、及び評価値出力欄2204を含む。

[0268] 保守業務の管理者は、パラメータ入力欄2201に、パラメータを設定し、処理の開始を指示する。保守計画立案支援システム100は、各種処理を実行し、保守計画出力欄2202、保守機器リスト出力欄2203、及び評価値出力欄2204に処理結果を出力する。

[0269] パラメータ入力欄2201は、保守計画の立案に必要なパラメータを設定するための欄である。パラメータは、例えば、リスク許容値として設定される設備全体の平均故障率 Λ_{st} 、推奨保守期間の許容幅、法定の保守周期

、全設備の故障確率の許容値 P_{Allst} 等である。

[0270] 保守計画出力欄 2202 は、システムの保守計画を表示する欄である。本実施例では、検査日時を行、作業番線を列とする行列としてシステムの保守計画が表示される。行列の成分には、保守機器リストの ID が格納される。保守計画出力欄 2202 は、保守機器リストを表示する車両設備の保守計画を選択するチェック欄が設けられている。

[0271] 保守機器リスト出力欄 2203 は、保守計画出力欄 2202 にて選択された車両設備の保守計画の保守機器リストを表示する欄である。なお、保守機器リスト出力欄 2203 には、設備保守費用等が表示されてもよい。

[0272] 評価値出力欄 2204 は、保守計画出力欄 2202 にて選択された車両設備の保守計画の評価値を表示する欄である。評価値出力欄 2204 には、例えば、保守評価値及び総合評価値が表示される。また、評価値出力欄 2204 には、保守対象の機器の推奨保守期間の終了日時までの日数が表示されてもよい。当該日数は、推奨保守期間の終了日時から車両設備の保守予定日時までの日数である。

[0273] 実施例 1 によれば、制約条件を満たし、保守に要するコストが最小となるシステムの保守計画を生成できる。推奨保守期間と保守期間とのズレに起因する保守費用の損失を用いることによって、中長期視点で適切な保守時期での保守を行うシステムの保守計画を作成できる。

実施例 2

[0274] 実施例 2 では、複数の機器を同時に保守した場合の保守費用の低減効果を考慮する点が実施例 1 と異なる。また、実施例 2 では、法定の保守周期の範囲内で、車両設備の検査間隔が可能な限り長くなるようにシステムの保守計画を立案する。以下、実施例 1 との差異を中心に実施例 2 について説明する。

[0275] 実施例 2 の保守計画立案支援システム 100 の構成は実施例 1 と同一である。実施例 2 では、保守評価値及び総合評価値の算出方法が異なる。実施例 2 では、保守機器リスト情報 140 が実施例 1 と異なる。図 23 は、実施例

2の保守機器リスト情報140のデータ構造の一例を示す図である。

[0276] 実施例2では、保守機器リスト情報140は、新たに、設備保守費用補正值1251を含む。

[0277] 図24は、実施例2の保守計画立案支援システム100が実行する保守評価値算出処理を説明するフローチャートである。

[0278] 実施例1では、機器を推奨保守期間で保守する車両設備の保守計画を生成するために、設備保守費用損失 ΔAC_Rep を用いて保守評価値を算出する。実施例2では、保守時に複数の機器を同時に保守した場合の保守費用の低減効果を評価する設備保守費用補正值を導入する。さらに、設備保守費用損失及び設備保守費用補正值を用いて保守評価値を算出する。

[0279] ステップS401からステップS404の処理は実施例1と同一である。ステップS404の処理の後、保守評価値算出部114は、保守機器リストの機器に対して実施する保守作業を特定する（ステップS451）。具体的には、保守評価値算出部114は、機器仕様情報135を参照し、保守対象の機器に対応するエントリの保守作業リスト706を取得する。保守評価値算出部114は、実施する保守作業を二値変数 u_j の集合として表す。二値変数 u_j は保守作業jを実施する場合には「1」となり、保守作業jを実施しない場合は「0」となる変数である。

[0280] 保守評価値算出部114は、推奨保守期間において、保守機器の保守作業を実施した場合における単位時間あたりの作業費用の最小値を算出する（ステップS452）。ステップS452で算出された値を第2最小費用と定義する。具体的には、以下のような処理が実行される。

[0281] （S452-1）保守評価値算出部114は、保守作業情報136を参照し、実施する保守作業に対応するエントリの作業費用805の値を取得する。

[0282] （S452-2）保守評価値算出部114は、式（36）を用いて、各機器について、推奨保守期間において機器iの保守作業jを実施した場合における単位時間あたりの作業費用の最小値を算出する。

[0283] [数36]

$$AC_{Work,j}(T_i) = \frac{C_{Work,j}}{T_i} \quad \dots (36)$$

[0284] ここで、 T_i は機器 i を推奨保守期間のいずれかの日時に保守した場合の運用時間を表す。 T_i は保守日時によって変わる変数である。保守日時は推奨保守期間内で変更される。なお、機器の推奨保守期間は、機器状態情報 134 の開始日時 609 及び終了日時 610 に基づいて算出できる。 $C_ (Work, j)$ は、保守作業 j の作業費用を表す。

[0285] (S452-3) 保守評価値算出部 114 は、式 (37) を用いて、推奨保守期間において機器 i を保守した場合における単位時間あたりの作業費用を算出する。

[0286] [数37]

$$AC_{Work,i} = \sum_j \{AC_{Work-ideal,j} * u_j\} \quad \dots (37)$$

[0287] ここで、 $AC_ (Work-ideal, j)$ は S406-2 において算出された最小値である。

[0288] (S452-4) 保守評価値算出部 114 は、式 (38) を用いて、第 2 最小費用を算出する。

[0289] [数38]

$$AC_{Work-ideal} = \sum_i \{AC_{Work,i} * x_i\} \quad \dots (38)$$

[0290] 次に、保守評価値算出部 114 は、対象保守期間において、保守機器の保守作業を実施した場合における単位時間あたりの作業費用の最小値を算出する (ステップ S453)。ステップ S453 で算出された費用を第 2 比較用費用と定義し、 $AC_ (Work-now)$ と表記する。第 2 比較用費用は式 (11) を用いて、全ての機器の保守に必要な作業 j を算出し、これによって定まった u_j を式 (37) に代入することによって求めることができる。

[0291] 次に、保守評価値算出部 114 は、各機器について、第 2 比較用費用及び第 2 最小費用の差を設備保守費用補正值として算出する（ステップ S 454）。設備保守費用補正值は式（39）を用いて算出される。

[0292] [数39]

$$\Delta AC_{Work} = AC_{Work-now} - AC_{Work-ideal} \dots (39)$$

[0293] ここで、第 2 最小費用は、保守機器の各々を推奨保守期間において保守作業を行った場合の単位時間あたりの費用を表す。第 2 比較用費用は、対象保守期間において同時に保守機器の保守作業を行った場合の単位時間あたりの費用を表す。したがって、第 2 比較用費用及び第 2 最小費用の差は、複数の機器を同時に保守した場合の保守費用の低減効果を評価する指標となっている。

[0294] 次に、保守評価値算出部 114 は、各機器の設備保守費用損失及び設備保守費用補正值を用いて保守評価値を算出する（ステップ S 455）。具体的には、式（40）を用いて保守評価値が算出される。

[0295] [数40]

$$\Delta AC_{Vehi} = \Delta AC_{Rep} + \Delta AC_{Work} \dots (40)$$

[0296] 実施例 2 の保守機器リスト最適化部 113 は、式（40）を用いて算出された保守評価値を用いて保守機器リストを最適化する。

[0297] 図 25 は、実施例 2 の保守計画立案支援システム 100 が実行する総合評価値算出処理を説明するフローチャートである。

[0298] 実施例 2 では、法定の保守周期内で、車両設備の保守間隔が可能な限り長くなるようにするために、法定の保守周期より短い間隔で保守を行った場合の経済的損失を評価する第 2 設備保守費用損失を導入する。

[0299] ステップ S 601 は実施例 1 と同一である。ステップ S 601 の実行後、総合評価値算出部 122 は、対象保守期間における、車両設備の保守機器リストに基づく保守の単位時間あたりの保守費用を算出する（ステップ S 651）。ステップ S 651 で算出された値を第 3 比較用費用と定義する。具体的には、総合評価値算出部 122 は、各車両設備に対して以下の処理を実行

する。

[0300] (S 6 5 1 - 1) 総合評価値算出部 1 2 2 は、保守機器リスト情報 1 4 0 から、車両設備の各保守機器リストの設備保守費用を取得する。

[0301] (S 6 5 1 - 2) 総合評価値算出部 1 2 2 は、式 (4 1) を用いて、車両設備の保守機器リストに基づく保守の単位時間あたりの保守費用を算出する。

[0302] [数41]

$$AC_{Insp.pqr}(T) = \frac{C_{Work.pq}}{T} \quad \dots (41)$$

[0303] ここで、 $C_{Work.pq}$ は車両設備 p の保守機器リスト q の設備保守費用を表し、T は保守間隔を表す。T は前回の保守日時から対象保守期間の開始日時までの間の時間であり、保守日時 r によって定まる。 $AC_{Insp.pqr}(T)$ は、保守日時 r で車両設備 p の保守機器リスト q に基づく保守を行った場合の単位時間あたりの保守費用を表す。

[0304] 次に、総合評価値算出部 1 2 2 は、法廷の保守周期に対応する期間における、車両設備の保守機器リストに基づく保守の単位時間あたりの保守費用を算出する（ステップ S 6 5 2）。ステップ S 6 5 2 で算出された値を第 3 最小費用と定義する。算出方法はステップ S 6 5 1 と同一である。なお、T は保守日時 1 1 0 3 及び保守期限 1 1 0 4 から求めることができる。保守期限で保守を行った場合、単位時間あたりの保守費用は最小となる。

[0305] 次に、総合評価値算出部 1 2 2 は、第 3 比較用費用及び第 3 最小費用の差を第 2 設備保守費用損失として算出する（ステップ S 6 5 3）。第 2 設備保守費用損失は式 (4 2) を用いて算出される。

[0306] [数42]

$$\Delta AC_{Insp.pqr} = AC_{Insp.pqr}(T_r) - AC_{Insp-min.pq} \quad \dots (42)$$

[0307] ここで、 T_r は保守日時 r における保守期間を表す。 $AC_{Insp.pqr}$ は、保守日時 r に設備 p を保守機器リスト q にしたがって保守した場合の第 3 比較用費用を表し、 $AC_{Insp-min.pq}$ は第 3

最小費用を表す。

[0308] 次に、総合評価値算出部122は、保守評価値 ΔAC_Vehi 及び第2設備保守費用損失を用いて、総合評価値を算出する（ステップS602）。具体的には、総合評価値算出部122は、式（43）を用いて総合評価値を算出する。

[0309] [数43]

$$\Delta AC_{All} = \sum_{p,q,r,s} \{(\Delta AC_{Vehi,pq} + \Delta AC_{Insp,pqr}) * y_{pqrs}\} \quad \dots (43)$$

[0310] 実施例2の保守計画最適化部121は、式（43）を用いて算出された総合評価値を用いてシステムの保守計画を最適化する。

[0311] 実施例2の総合評価値は、機器の保守時期の推奨保守期間からのズレ、同時に複数の機器を保守することによる保守費用の低減効果、並びに、保守期間及び保守周期の差を考慮した指標となっている。

[0312] 図26は、実施例2の保守計画立案支援システム100が提示する画面の一例を示す図である。

[0313] 実施例2の画面2200の表示される欄は、実施例1の画面2200と同一である。実施例2では、評価値出力欄2204に表示される項目が実施例1と異なる。具体的には、第2保守評価値、第3保守評価値、及び期限誤差が表示される。期限誤差は、検査日時と保守期限日時との差を表す。

[0314] 実施例2によれば、総合評価値は、（1）中長期視点から機器を適切な時期に保守すること、（2）複数の機器を同時に保守することによる保守費用の低減効果、（3）法定の保守周期の範囲内で、車両設備の保守間隔が可能な限り長くなるようにすることを考慮した値となっている。三つの要素は、単位時間あたりの費用として算出され、互いの要素を比較することができる。総損失評価値が小さくなるシステムの保守計画を算出すれば、上記の要素を勘案して各車両設備の保守計画の優先順位を定め、中長期視点から適正なシステムの保守計画を生成できる。

[0315] なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例

が含まれる。また、例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために構成を詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、各実施例の構成の一部について、他の構成に追加、削除、置換することが可能である。

[0316] また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、本発明は、実施例の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードによっても実現できる。この場合、プログラムコードを記録した記憶媒体をコンピュータに提供し、そのコンピュータが備えるプロセッサが記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出す。この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施例の機能を実現することになり、そのプログラムコード自体、及びそれを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。このようなプログラムコードを供給するための記憶媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM、ハードディスク、SSD (Solid State Drive)、光ディスク、光磁気ディスク、CD-R、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROMなどが用いられる。

[0317] また、本実施例に記載の機能を実現するプログラムコードは、例えば、アセンブラ、C/C++、perl、Shell、PHP、Python、Java等の広範囲のプログラム又はスクリプト言語で実装できる。

[0318] さらに、実施例の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを、ネットワークを介して配信することによって、それをコンピュータのハードディスクやメモリ等の記憶手段又はCD-RW、CD-R等の記憶媒体に格納し、コンピュータが備えるプロセッサが当該記憶手段や当該記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出して実行するようにしてもよい。

[0319] 上述の実施例において、制御線や情報線は、説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。全ての構成が相互に接続されていてもよい。

請求の範囲

[請求項1]

サービスの実施に用いられ、複数の機器から構成される設備の保守計画を生成する保守計画立案支援システムであって、

プロセッサ、前記プロセッサに接続される記憶装置、及び前記プロセッサに接続されるインタフェースを有する計算機を備え、

複数の前記設備を運用するシステムと接続し、

前記設備の前記複数の機器の各々の推奨保守時期を管理するための機器状態情報を保持し、

前記推奨保守時期は、前記機器の保守に要するコストが低く、かつ、前記機器の故障率が低くなる時期であり、

前記プロセッサは、

前記設備の不具合発生確率に関する第1制約条件と、前記推奨保守時期からずれた時期での前記機器の保守による経済的損失を評価する設備保守費用損失を用いて算出される評価値とを用いて、保守時期に保守を行う前記設備の前記機器の組合せである保守機器リストを探索する第1最適化問題として、前記設備毎に、前記保守機器リストを複数生成する第1処理と、

前記設備の不具合発生確率の合計及び前記機器の保守に必要なリソースに関する第2制約条件と、前記評価値を用いて算出される総合評価値とを用いて、前記複数の設備の各々について、保守日時、前記リソースの割り当て、及び前記保守機器リストの組合せである保守計画を探索する第2最適化問題として、前記保守計画を複数生成する第2処理と、

を実行することを特徴とする保守計画立案支援システム。

[請求項2]

請求項1に記載の保守計画立案支援システムであって、

前記プロセッサは、前記第1処理において、

前記設備の候補保守機器リストを生成し、

前記設備の前記複数の機器の各々について、前記推奨保守時期に保

守した場合の単位時間あたりの保守費用の最小値を第1最小費用として算出し、

前記設備の前記複数の機器の各々について、前記保守期間に保守した場合の単位時間あたりの保守費用を第1比較用費用として算出し、

前記設備の前記複数の機器の各々について、前記第1比較用費用及び前記第1最小費用の差を機器保守費用損失として算出し、

前記設備の前記複数の機器の前記機器保守費用損失の合計を前記設備保守費用損失として算出し、

前記候補保守機器リストの保守対象の前記機器の保守の作業量と、前記設備保守費用損失とを用いて前記評価値を算出し、

前記第1制約条件及び前記評価値を用いた前記第1最適化問題を解くことによって、新たな前記候補保守機器リストを生成し、

前記プロセッサは、前記第2処理において、

前記複数の設備の各々について、候補保守計画を生成し、

前記複数の候補保守計画の各々の前記保守機器リストに対応する前記評価値の合計を、前記総合評価値として算出し、

前記第2制約条件及び前記総合評価値を用いた前記第2最適化問題を解くことによって、新たな前記候補保守計画群を生成することを特徴とする保守計画立案支援システム。

[請求項3]

請求項2に記載の保守計画立案支援システムであって、

前記プロセッサは、前記第1処理において、

前記推奨保守時期に、前記候補保守機器リストの全ての保守対象の前記機器を保守した場合の単位時間あたりの作業の費用の最小値を第2最小費用として算出し、

前記保守時期に、前記候補保守機器リストの全ての保守対象の機器を保守した場合の単位時間あたりの作業の費用を第2比較用費用として算出し、

前記第2比較用費用及び前記第2最小費用の差を、同時に複数の前

記機器を保守した場合の保守費用の低減効果を評価する設備保守費用補正值として算出し、

前記設備保守費用損失と、前記設備保守費用補正值とを足し合わせて前記評価値を算出することを特徴とする保守計画立案支援システム。

[請求項4]

請求項3に記載の保守計画立案支援システムであって、

前記設備の保守期限を管理するための情報を保持し、

前記プロセッサは、前記第2処理において、

前記保守期限に、前記設備の前記保守機器リストの全ての保守対象の前記機器を保守した場合の単位時間あたりの保守費用を第3最小費用として算出し、

前記保守期間に、前記設備の前記保守機器リストの全ての保守対象の前記機器を保守した場合の単位時間あたりの保守費用を第3比較用費用として算出し、

前記第3比較用費用及び前記第3最小費用の差を、前記保守期限より短い間隔で保守を行った場合の経済的損失を評価する第2設備保守費用損失として算出し、

前記複数の候補保守計画の各々の前記保守機器リストに対応する前記評価値及び前記第2設備保守費用損失の合計を、前記総合評価値として算出することを特徴とする保守計画立案支援システム。

[請求項5]

請求項1に記載の保守計画立案支援システムであって、

前記プロセッサは、

前記設備を選択し、

保守候補時期を生成し、

選択した前記設備の前記複数の機器の各々について、前記保守候補時期に保守した場合の故障率の合計値を、設備故障率として算出し、

選択した前記設備の前記複数の機器の各々について、前記保守候補時期に保守した場合の単位時間あたりの保守費用の合計を第2評価値

として算出し、

前記設備故障率に関する制約条件及び前記第2評価値を用いて、選択した前記設備の前記複数の機器の前記保守候補期間を探索する第3最適化問題として、前記保守候補期間を決定し、

前記第3最適化問題の実行結果である前記保守候補期間を、前記推奨保守時期として前記機器状態情報に登録することを特徴とする保守計画立案支援システム。

[請求項6]

請求項1に記載の保守計画立案支援システムであって、

前記設備の運用計画を管理する運用情報を保持し、

前記プロセッサは、

前記第2制約条件を満たさない前記保守計画が存在する場合、運用開始日時が古い前記設備の運用計画と、運用開始日時が新しい前記設備の運用計画とを入れ替える前記運用情報の更新を実行し、

前記第1処理及び前記第2処理を再度実行することを特徴とする保守計画立案支援システム。

[請求項7]

保守計画立案支援システムが実行する、サービスの実施に用いられ、複数の機器から構成される設備の保守計画の生成方法であって、

前記保守計画立案支援システムは、

プロセッサ、前記プロセッサに接続される記憶装置、及び前記プロセッサに接続されるインタフェースを有する計算機を含み、

複数の前記設備を運用するシステムと接続し、

前記設備の前記複数の機器の各々の推奨保守時期を管理するための機器状態情報を保持し、

前記推奨保守時期は、前記機器の保守に要するコストが低く、かつ、前記機器の故障率が低くなる時期であり、

前記保守計画の生成方法は、

前記プロセッサが、前記設備の不具合発生の確率に関する第1制約条件と、前記推奨保守時期からずれた時期での前記機器の保守による

経済的損失を評価する設備保守費用損失を用いて算出される評価値とを用いて、保守時期に保守を行う前記設備の前記機器の組合せである保守機器リストを探索する第1最適化問題として、前記設備毎に、前記保守機器リストを複数生成する第1のステップと、

前記プロセッサが、前記設備の不具合発生確率の合計及び前記機器の保守に必要なリソースに関する第2制約条件と、前記評価値を用いて算出される総合評価値とを用いて、前記複数の設備の各々について、保守日時、前記リソースの割り当て、及び前記保守機器リストの組合せである保守計画を探索する第2最適化問題として、前記保守計画を複数生成する第2のステップと、

を含むことを特徴とする保守計画の生成方法。

[請求項8]

請求項7に記載の保守計画の生成方法であって、

前記第1のステップは、

前記プロセッサが、前記設備の候補保守機器リストを生成するステップと、

前記プロセッサが、前記設備の前記複数の機器の各々について、前記推奨保守時期に保守した場合の単位時間あたりの保守費用の最小値を第1最小費用として算出するステップと、

前記プロセッサが、前記設備の前記複数の機器の各々について、前記保守期間に保守した場合の単位時間あたりの保守費用を第1比較費用として算出するステップと、

前記プロセッサが、前記設備の前記複数の機器の各々について、前記第1比較費用及び前記第1最小費用の差を機器保守費用損失として算出するステップと、

前記プロセッサが、前記設備の前記複数の機器の前記機器保守費用損失の合計を前記設備保守費用損失として算出するステップと、

前記プロセッサが、前記候補保守機器リストの保守対象の前記機器の保守の作業量と、前記設備保守費用損失とを用いて前記評価値を算

出するステップと、

前記プロセッサが、前記第 1 制約条件及び前記評価値を用いた前記第 1 最適化問題を解くことによって、新たな前記候補保守機器リストを生成するステップと、を含み、

前記第 2 のステップは、

前記プロセッサが、前記複数の設備の各々について、候補保守計画を生成するステップと、

前記プロセッサが、前記複数の候補保守計画の各々の前記保守機器リストに対応する前記評価値の合計を、前記総合評価値として算出するステップと、

前記プロセッサが、前記第 2 制約条件及び前記総合評価値を用いた前記第 2 最適化問題を解くことによって、新たな前記候補保守計画群を生成するステップと、を含むことを特徴とする保守計画の生成方法。

[請求項9]

請求項 8 に記載の保守計画の生成方法であって、

前記第 1 のステップは、

前記プロセッサが、前記推奨保守時期に、前記候補保守機器リストの全ての保守対象の前記機器を保守した場合の単位時間あたりの作業の費用の最小値を第 2 最小費用として算出するステップと、

前記プロセッサが、前記保守時期に、前記候補保守機器リストの全ての保守対象の機器を保守した場合の単位時間あたりの作業の費用を第 2 比較用費用として算出するステップと、

前記プロセッサが、前記第 2 比較用費用及び前記第 2 最小費用の差を、同時に複数の前記機器を保守した場合の保守費用の低減効果を評価する設備保守費用補正值として算出するステップと、

前記プロセッサが、前記設備保守費用損失と、前記設備保守費用補正值とを足し合わせて前記評価値を算出するステップと、を含むことを特徴とする保守計画の生成方法。

[請求項10] 請求項9に記載の保守計画の生成方法であって、

 前記保守計画立案支援システムは、前記設備の保守期限を管理するための情報を保持し、

 前記第2のステップは、

 前記プロセッサが、前記保守期限に、前記設備の前記保守機器リストの全ての保守対象の前記機器を保守した場合の単位時間あたりの保守費用を第3最小費用として算出するステップと、

 前記プロセッサが、前記保守期間に、前記設備の前記保守機器リストの全ての保守対象の前記機器を保守した場合の単位時間あたりの保守費用を第3比較用費用として算出するステップと、

 前記プロセッサが、前記第3比較用費用及び前記第3最小費用の差を、前記保守期限より短い間隔で時期に保守を行った場合の経済的損失を評価する第2設備保守費用損失として算出するステップと、

 前記プロセッサが、前記複数の候補保守計画の各々の前記保守機器リストに対応する前記評価値及び前記第2設備保守費用損失の合計を、前記総合評価値として算出するステップと、を含むことを特徴とする保守計画の生成方法。

[請求項11] 請求項7に記載の保守計画の生成方法であって、

 前記プロセッサが、前記設備を選択するステップと、

 前記プロセッサが、保守候補時期を生成するステップと、

 前記プロセッサが、選択した前記設備の前記複数の機器の各々について、前記保守候補時期に保守した場合の故障率の合計値を、設備故障率として算出するステップと、

 前記プロセッサが、選択した前記設備の前記複数の機器の各々について、前記保守候補時期に保守した場合の単位時間あたりの保守費用の合計を第2評価値として算出するステップと、

 前記プロセッサが、前記設備故障率に関する制約条件及び前記第2評価値を用いて、選択した前記設備の前記複数の機器の前記保守候補

期間を探索する第3最適化問題として、前記保守候補期間を決定するステップと、

前記プロセッサが、前記第3最適化問題の実行結果である前記保守候補期間を、前記推奨保守時期として前記機器状態情報に登録するステップと、を含むことを特徴とする保守計画の生成方法。

[請求項12]

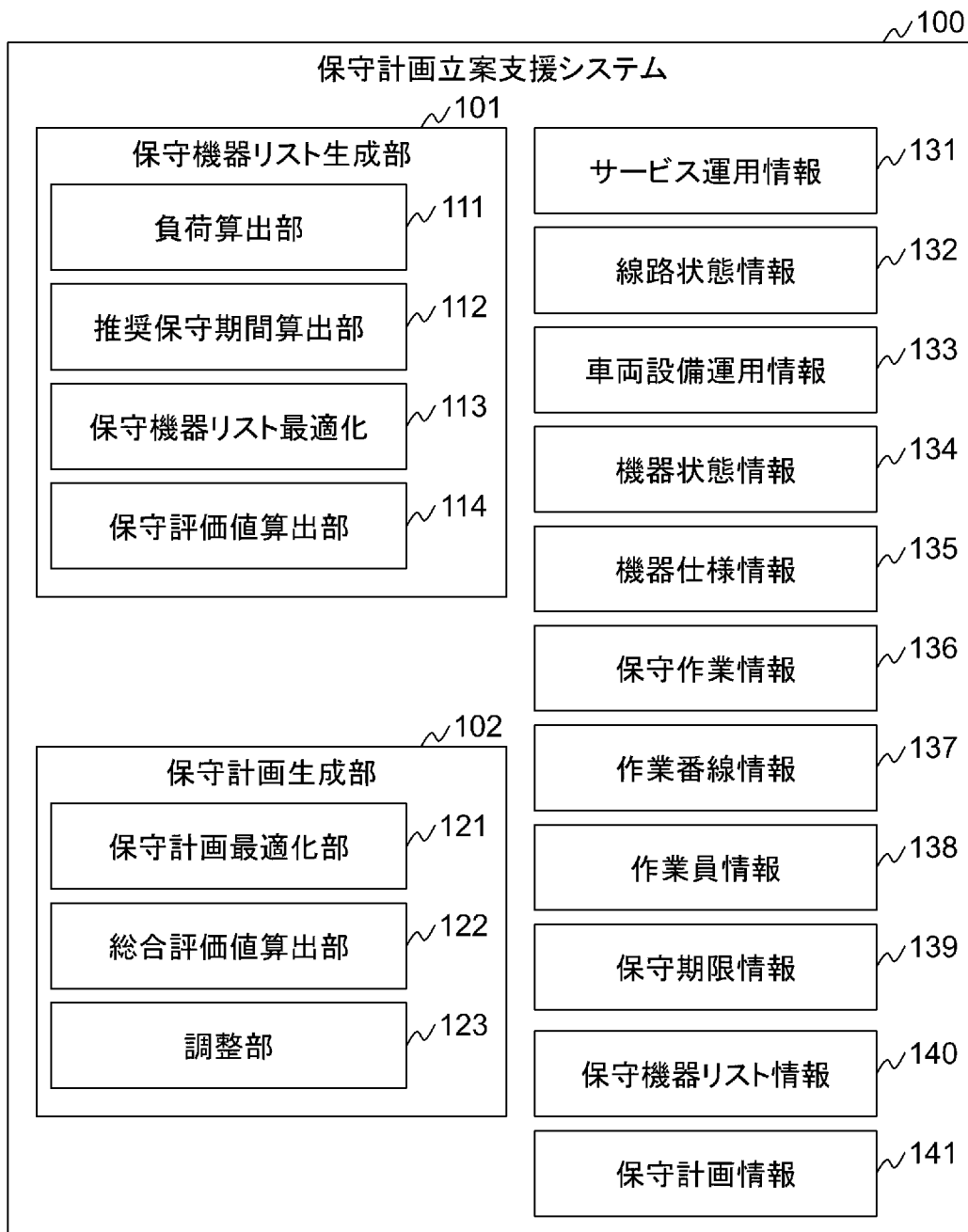
請求項7に記載の保守計画の生成方法であって、

前記保守計画立案支援システムは、前記設備の運用計画を管理する運用情報を保持し、

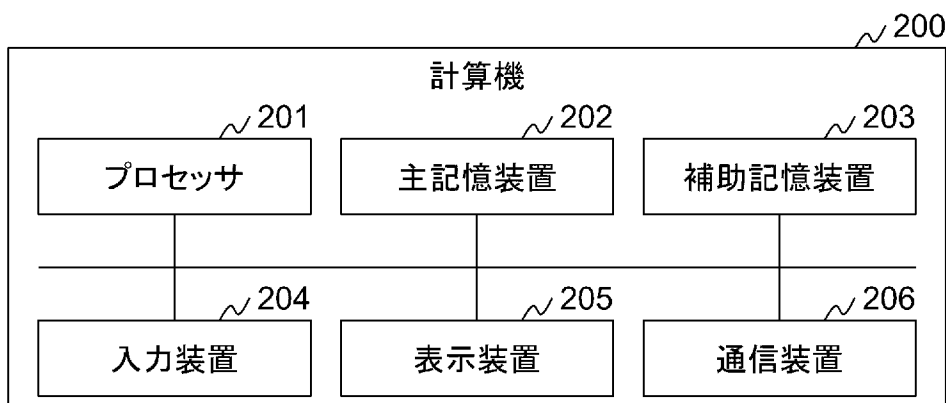
前記プロセッサが、前記第2制約条件を満たさない前記保守計画が存在する場合、運用開始日時が古い前記設備の運用計画と、運用開始日時が新しい前記設備の運用計画とを入れ替える前記運用情報の更新を実行するステップと、

前記プロセッサが、再度、前記第1のステップ及び前記第2のステップを実行することを特徴とする保守計画の生成方法。

[図1]



[図2]



[図3]

131	301	302	303	304	305	306	307
	運用計画ID	開始駅	終了駅	線路区間ID	往復数	運用方法	運用負荷値
	U1001	B	B	S001	10	各駅停車	297.6
	U1002	B	B	S002	10	急行	753.6
	U1003	A	B	S001	7.5	各駅停車	222.4
	U1004	C	A	S002	4.5	各駅停車	324.3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

[図4]

132

線路区間ID	線路区間	区間距離 [km]	設置日時	検査日時	劣化係数
S001	A-B	37.2	2015/05/12	2021/01/09	0.8
S002	B-C	62.8	2016/03/04	2021/03/20	1.2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

[図5]

133
501
502
503

車両設備ID	負荷低減 対象	運用計画		
		2022/ 10/01	2022/ 10/02	...
V0001	無	U1001	U1002	...
V0002	無	U1002	U1002	...
V0003	無	U1003	U1003	...
V0004	無	U1002	U1001	...
⋮	⋮	⋮	⋮	...

[図6]

134	601	602	603	604	605
機器ID	車両設備ID	使用開始日時	保守日時	故障日時	
SEQ0001-001	V0001	2017/01/14	2021/01/09	-	
SEQ0002-001	V0002	2017/10/12	-	2019/12/05	
SEQ0001-002	V0001	2021/01/09	-	-	
SEQ0001-003	V0002	2022/01/15	-	-	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

606	607	608	609	610
走行負荷 累積値	走行負荷 予測値	最適保守日時	開始日時	終了日時
150,000	-	2025/04/28	2024/04/28	2026/04/28
500,000	-	2025/05/12	2024/05/12	2027/02/12
60,000	5,000	2024/04/28	2023/03/11	2024/12/11
30,000	7,000	2027/04/12	2027/03/11	2029/12/11
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

[illegible]

[図8]

136	801	802	803	804	805
↙	~	~	~	~	~
保守作業ID	作業内容	作業量 [h]	並行作業ID	作業費用 [¥]	
S0001	SEQ0001の交換	4.0	1001	70,000	
S0002	SEQ0002の交換	1.5	1001	50,000	
S0003	SEQ0003の交換	8.0	1002	200,000	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
S0100	床下作業準備	2.5	1000	100,000	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

[図9]

137

901

902

903

番線ID	保守機能リスト			滞在可能時間 [h]		
	保守機能A	保守機能B	...	2022/ 10/01	2022/ 10/02	...
B001	1	1	...	8.0	0.0	...
B002	0	1	...	2.0	12.0	...
B003	1	1	...	6.0	0.0	...
B004	1	0	...	12.0	12.0	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

[図10]

作業員ID	勤務スケジュール [h]		
	2022/ 10/01	2022/ 10/02	...
12345670	8.0	8.0	...
12345677	8.0	8.0	...
12345678	8.0	0.0	...
12345679	3.0	8.0	...
⋮	⋮	⋮	⋮

[図11]

車両設備ID	運用開始日時	保守日時	保守期限
S0001	2015/05/12	2023/01/09	2023/04/05
S0002	2016/03/04	2023/03/20	2023/06/20
S0003	2011/04/03	2023/02/25	2023/05/25
S0100	2006/10/03	2023/04/04	2023/07/04
⋮	⋮	⋮	⋮

[図12]

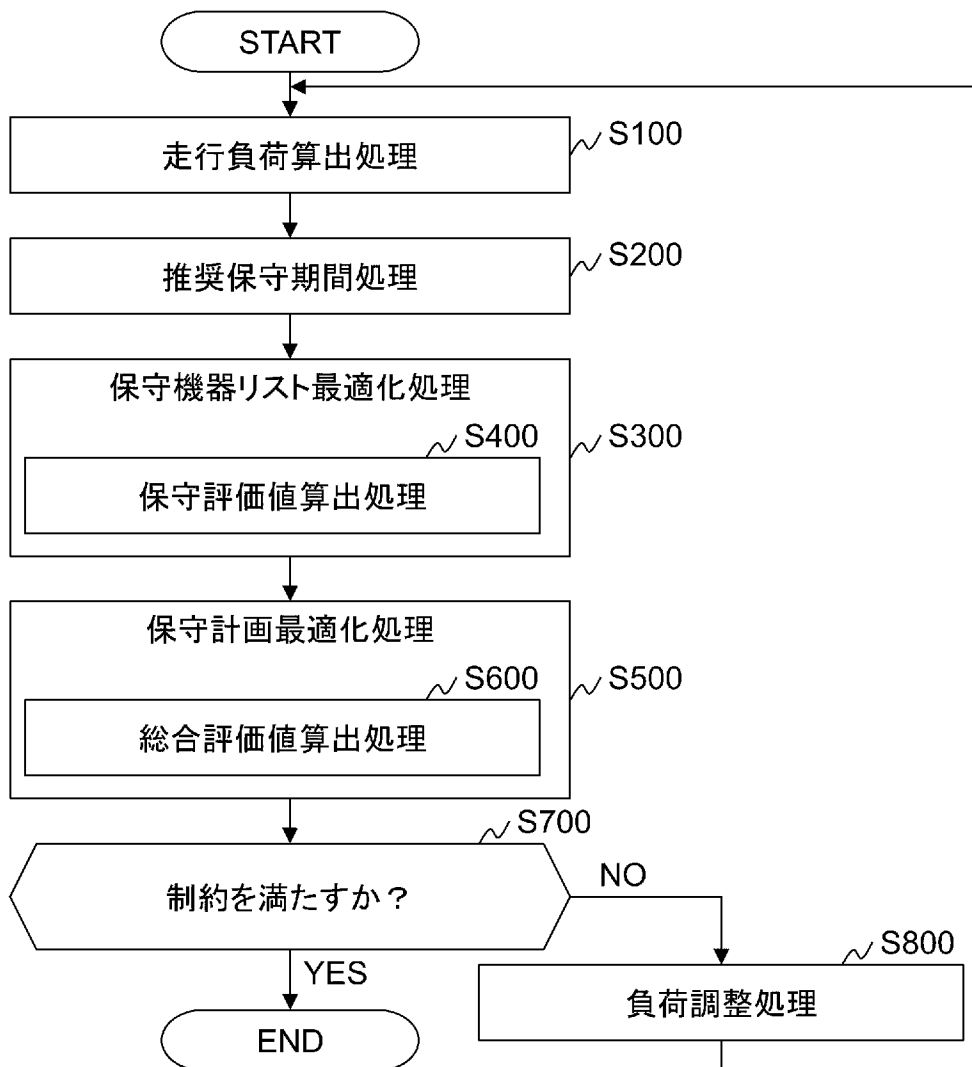
140 1201	1202	1203	1204	1205		1206
				機器保守費用損失	設備故障率	
				SEQ0001-001	...	
C0101	V0001	SEQ0001-001, ...	110.5	24	...	2.2×10^{-4}
C0102	V0001	SEQ0002-001, ...	23.6	0	...	3.1×10^{-4}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
C0201	V0002	SEQ0001-003, ...	10.8	30	...	2.2×10^{-4}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

1207	1208	1209	1210	
			保守機能リスト	作業機能A
設備保守費用 [¥]	設備作業量 [h]	番線滞在時間 [h]		...
100,000,000	6.0	4.0	0	...
50,000,000	4.0	4.0	1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	...
35,000,000	2.0	2.0	0	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

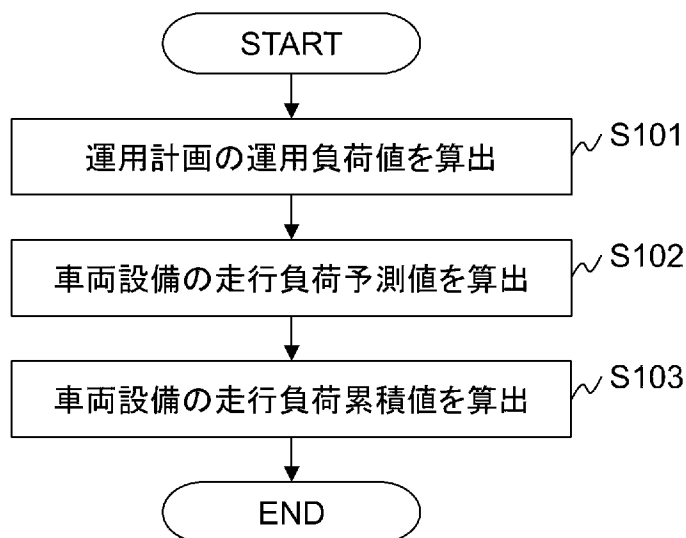
[図13]

141	1301	1302	1303	1304	1305	1306
	計画ID	車両設備ID	保守予定日時	番線ID	リストID	保守評価値
	I000001	V0001	2023/04/16	B001	C102	23.6
	I000002	V0002	2023/04/18	B001	C204	10.8
	I000003	V0003	2023/04/16	B003	C325	52.3
	I000004	V0004	2023/04/20	B002	C450	37.2
	:	:	:	:	:	:

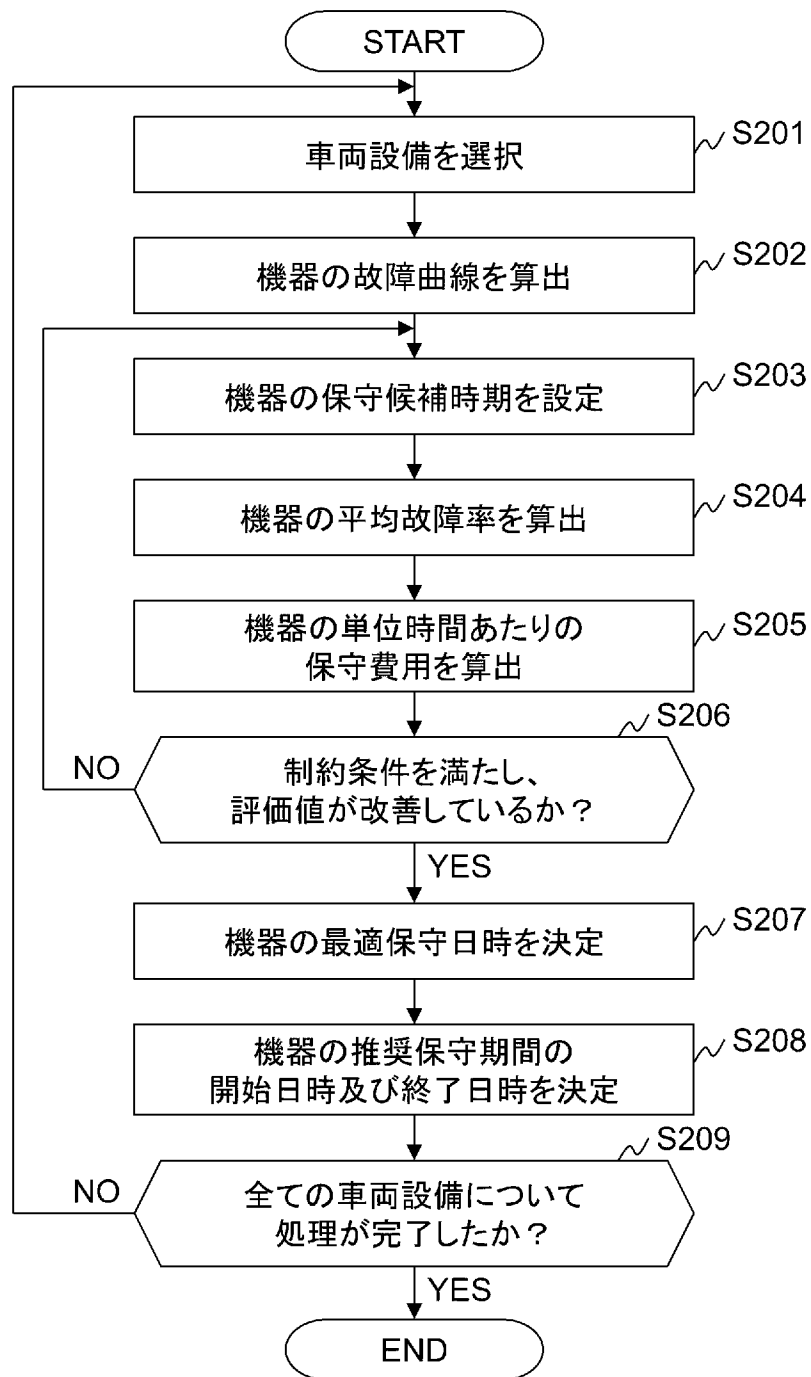
[図14]



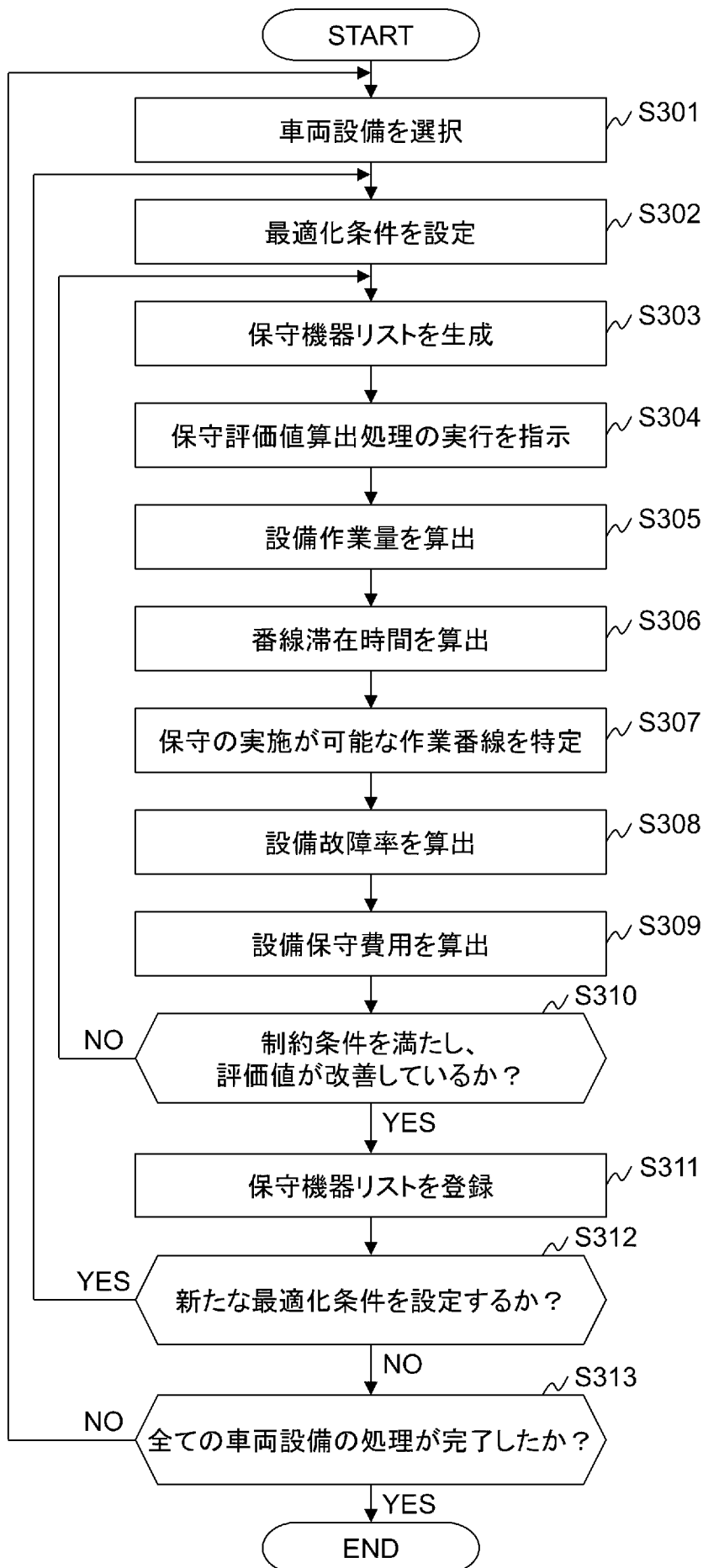
[図15]



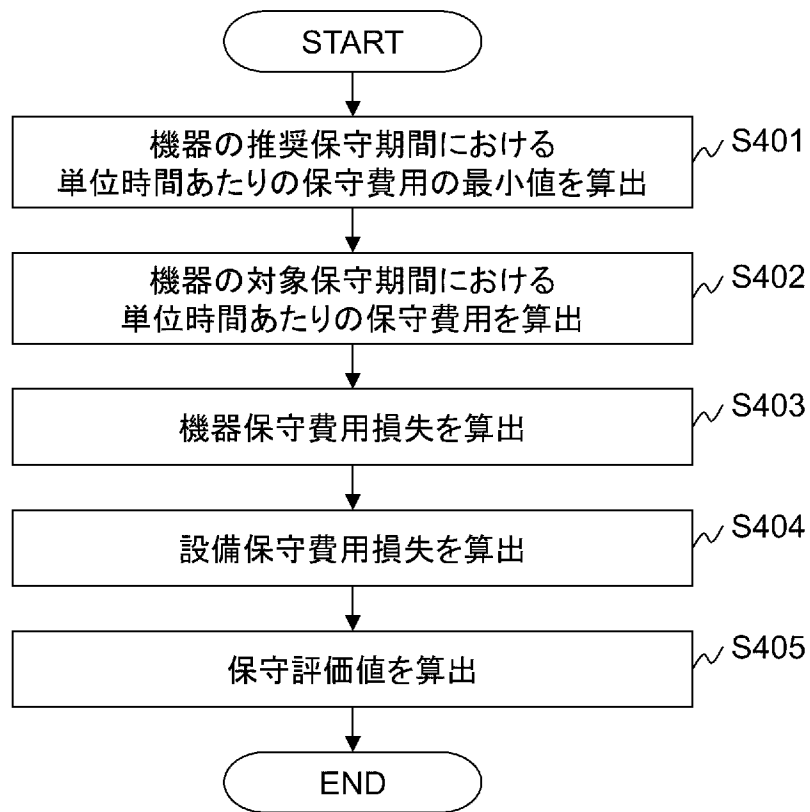
[図16]



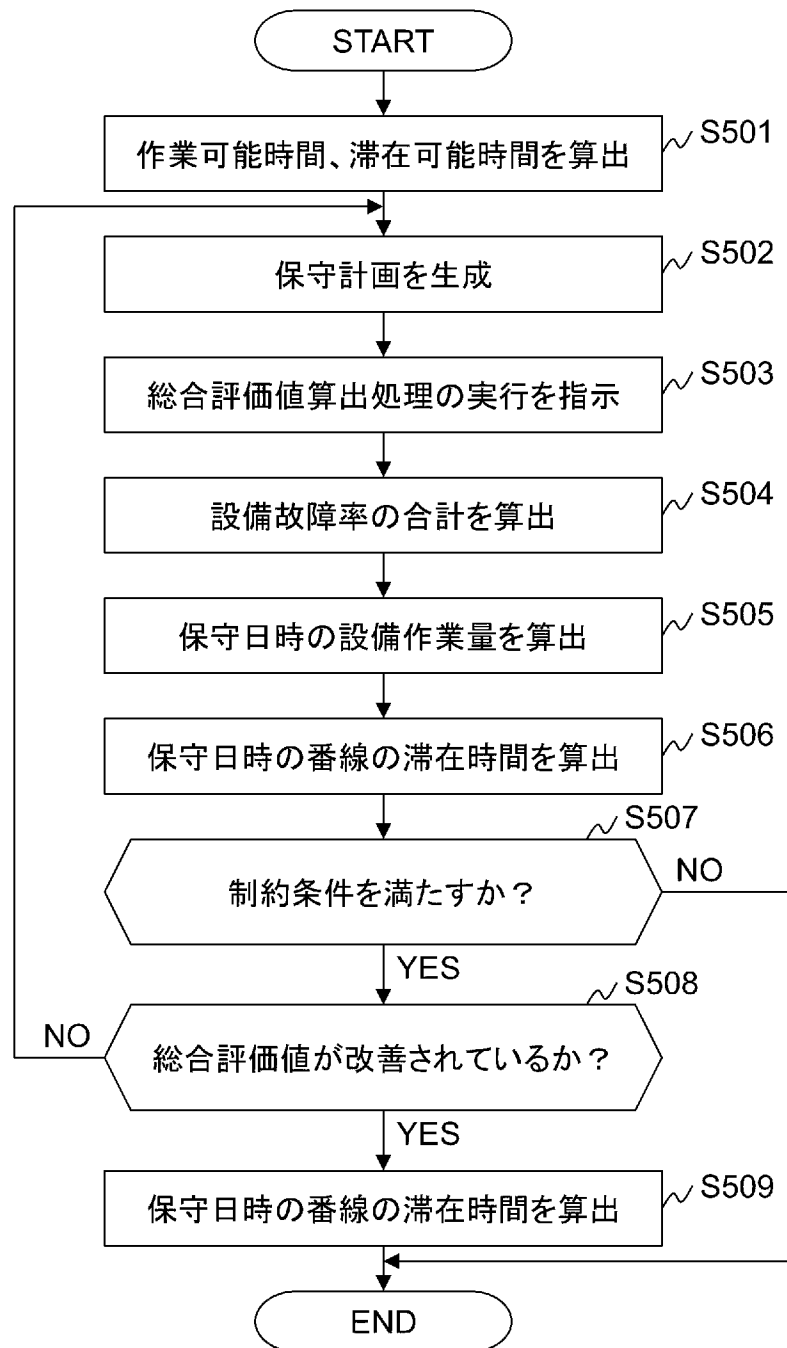
[図17]



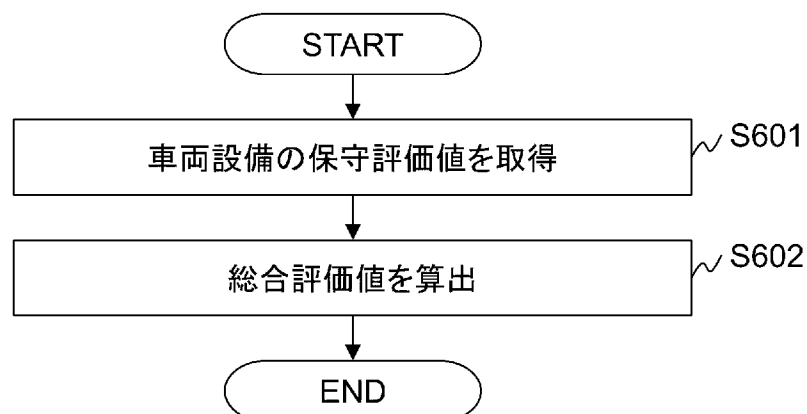
[図18]



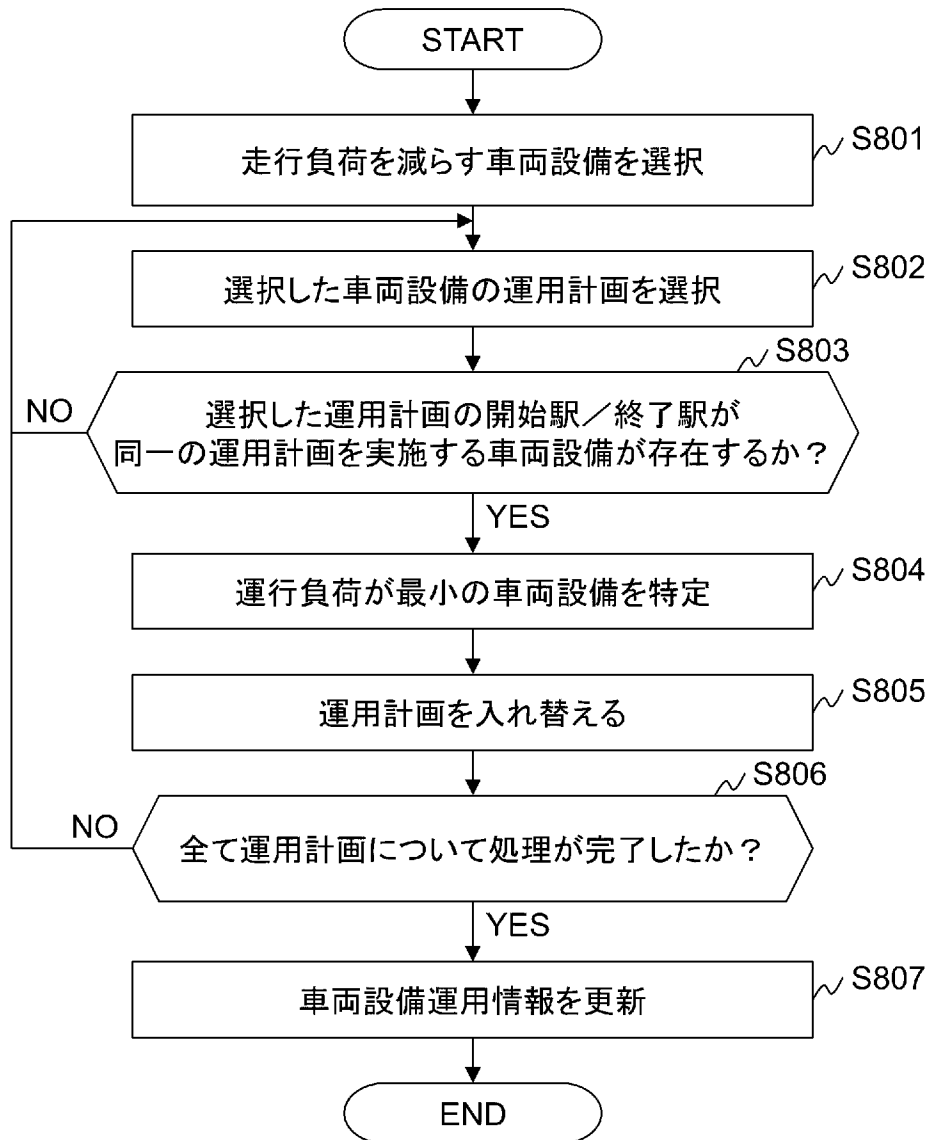
[図19]



[図20]



[図21]



[図22]

2200

2201

パラメータ入力

■推奨保守時期: 推奨保守時期許容幅

■推奨保守時期: リスク許容値

■保守計画: リスク許容値

■...

処理開始

2202

保守計画

	10/01	10/02	...
B001	☐ C0450	☒ C102	...
B002	☐ C0204	☐ C350	...
⋮	⋮	⋮	...

2203

詳細: C0102

■車両設備: V0001

■保守機器リスト

SEQ0001-001

SEQ0208-001

⋮

2204

評価値: C0102

■車両設備: V0001

設備保守費用損失

143

■保守対象機器

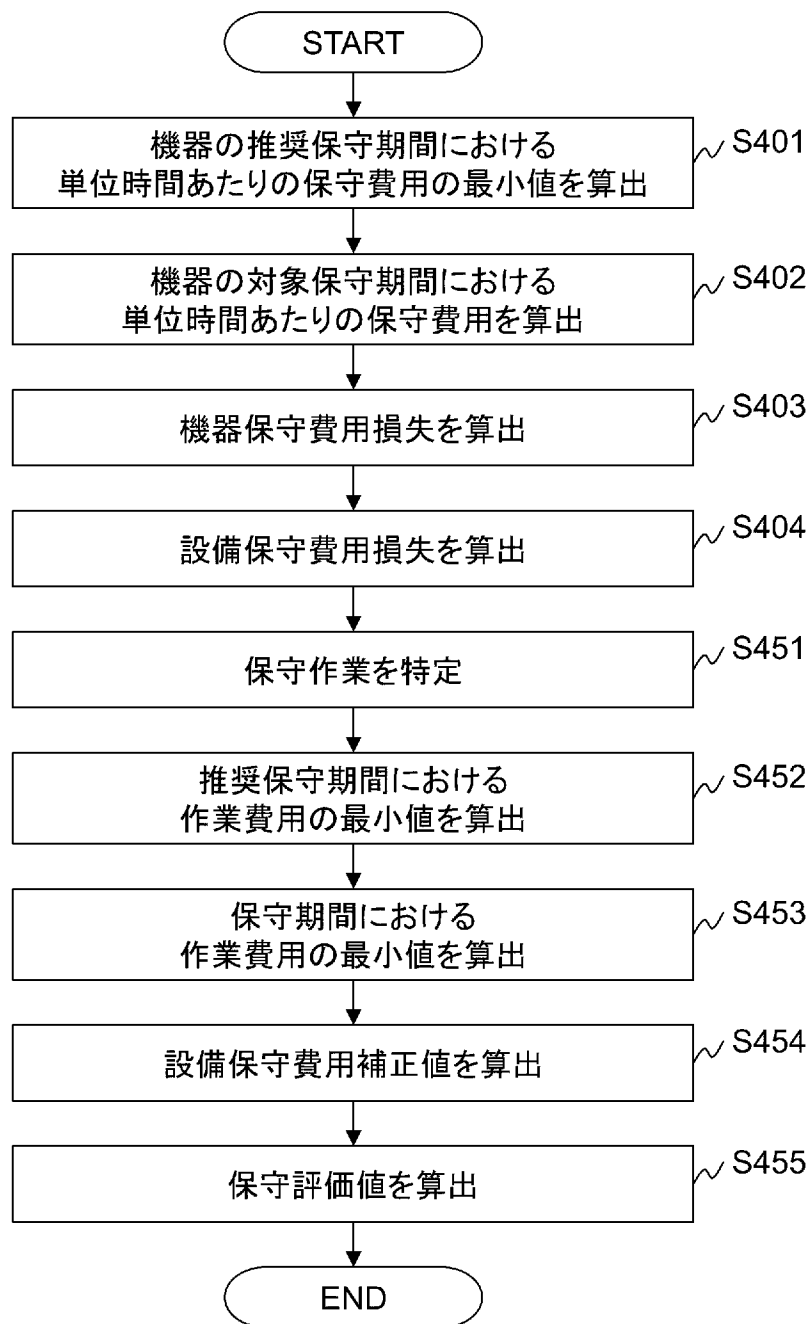
修繕項目	推奨保守期間 終了日時までの日数	機器保守費用損失
SEQ0001-001	-350日	20
SEQ0208-001	-40日	4
⋮	⋮	⋮

[図23]

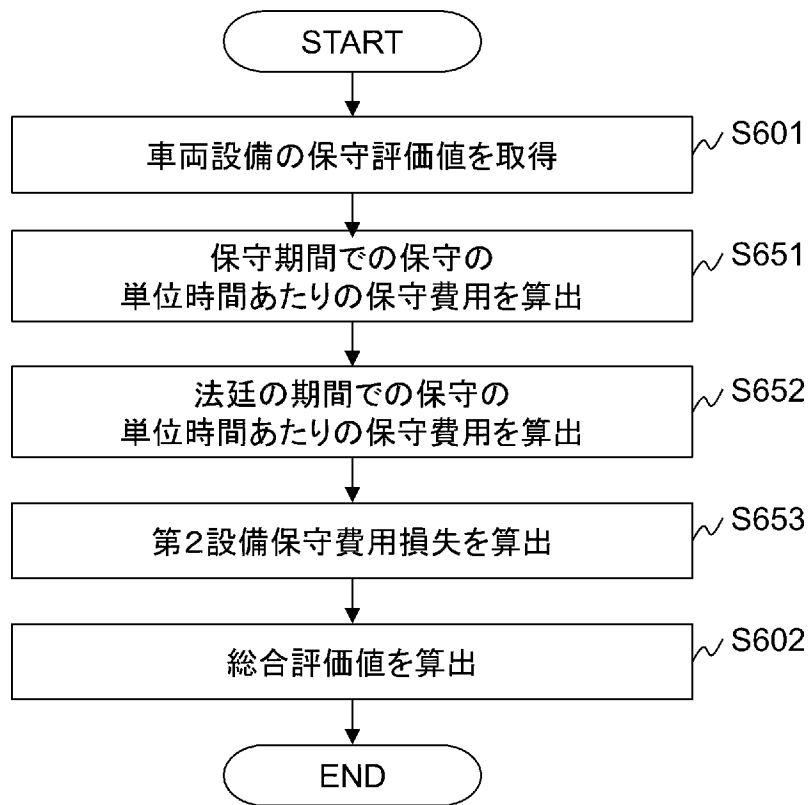
140	1201	1202	1203	1204	1205	1251	1206
	リストID	車両設備ID	保守機器リスト	設備保守費用 損失	機器保守費用損失 SEQ0001-001	設備保守費用 補正值	設備故障率
	C0101	V0001	SEQ0001-001, ...	110.5	24	-30	2.2×10^{-4}
	C0102	V0001	SEQ0002-001, ...	23.6	0	-10	3.1×10^{-4}
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	C0201	V0002	SEQ0001-003, ...	10.8	30	12	2.2×10^{-4}
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

1207	1208	1209	1210
設備保守費用 [¥]	設備作業量 [h]	番線滞在時間 [h]	保守機能リスト
100,000,000	6.0	4.0	作業機能A
50,000,000	4.0	4.0	...
⋮	⋮	⋮	...
35,000,000	2.0	2.0	...
⋮	⋮	⋮	...

[図24]



[図25]



[図26]

2200

2201

パラメータ入力

■推奨保守時期: 推奨保守時期許容幅

■推奨保守時期: リスク許容値

■保守計画: リスク許容値

■...

処理開始

2202

保守計画

	10/01	10/02	...
B001	☐ C0450	☒ C102	...
B002	☐ C0204	☐ C350	...
⋮	⋮	⋮	...

2203

詳細: C0102

■車両設備: V0001

■保守機器リスト

SEQ0001-001

SEQ0208-001

⋮

2204

評価値: C0102

■車両設備: V0001

保守評価値	143
設備保守費用損失	-20
設備保守費用補正	5
期限誤差	-6日

■保守対象機器

修繕項目	推奨保守期間 終了日時までの日数	機器保守費用損失
SEQ0001-001	-350日	20
SEQ0208-001	-40日	4
⋮	⋮	⋮

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/000023

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06Q 10/20**(2023.01)i; **G06Q 10/04**(2023.01)i; **G06Q 50/40**(2024.01)i

FI: G06Q10/20; G06Q10/04; G06Q50/40

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06Q10/20; G06Q10/04; G06Q50/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2017/175449 A1 (HITACHI, LTD.) 12 October 2017 (2017-10-12) entire text, all drawings	1-12
A	WO 2016/125248 A1 (HITACHI, LTD.) 11 August 2016 (2016-08-11) entire text, all drawings	1-12
A	WO 2014/061080 A1 (HITACHI, LTD.) 24 April 2014 (2014-04-24) entire text, all drawings	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“D” document cited by the applicant in the international application
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 March 2024

Date of mailing of the international search report

26 March 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/000023

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2017/175449	A1	12 October 2017	CN	108701332	A	
WO	2016/125248	A1	11 August 2016	(Family: none)			
WO	2014/061080	A1	24 April 2014	CA	2888334	A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

G06Q 10/20(2023.01)i; G06Q 10/04(2023.01)i; G06Q 50/40(2024.01)i

FI: G06Q10/20; G06Q10/04; G06Q50/40

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

G06Q10/20; G06Q10/04; G06Q50/40

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報

1922 - 1996年

日本国公開実用新案公報

1971 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2017/175449 A1（株式会社日立製作所）12.10.2017（2017 - 10 - 12） 全文，全図	1-12
A	WO 2016/125248 A1（株式会社日立製作所）11.08.2016（2016 - 08 - 11） 全文，全図	1-12
A	WO 2014/061080 A1（株式会社日立製作所）24.04.2014（2014 - 04 - 24） 全文，全図	1-12

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14. 03. 2024

国際調査報告の発送日

26. 03. 2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

毛利 太郎 5L 3990

電話番号 03-3581-1101 内線 3502

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際出願番号
PCT/JP2024/000023

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2017/175449	A1	12.10.2017	CN	108701332	A	
WO	2016/125248	A1	11.08.2016	(ファミリーなし)			
WO	2014/061080	A1	24.04.2014	CA	2888334	A	