

(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8月2日(02.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/157398 A1

(51) 国際特許分類:
G06N 20/00 (2019.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/002311

(22) 国際出願日: 2023年1月25日(25.01.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).

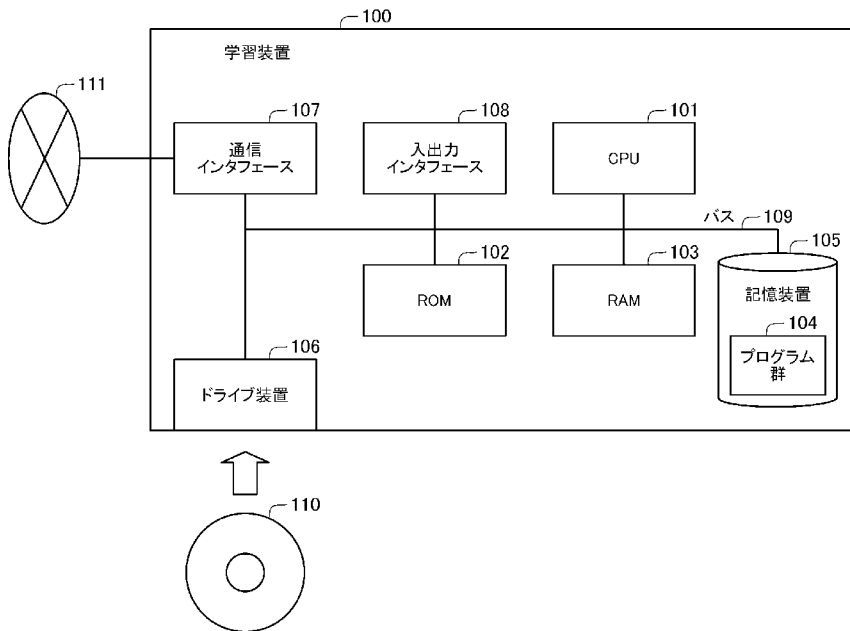
(72) 発明者: 梶田 昌尚 (NATSUMEDA, Masanao); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 馬場 資博, 外 (BABA, Motohiro et al.); 〒3500046 埼玉県川越市菅原町25番地1 石井ビル2階 Saitama (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, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, 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,

(54) Title: LEARNING APPARATUS, LEARNING METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 学習装置、学習方法、プログラム



- 100 Learning apparatus
104 Program group
105 Storage device
106 Drive device
107 Communication interface
108 Input/output interface
109 Bus

(57) Abstract: A learning apparatus 100 according to the present disclosure comprises: a pseudo label determination unit 121 that determines a pseudo label indicating a remaining life of equipment on the basis of output resulting from inputting non-labeled data comprising time-series operation data indicating the operation state of the equipment, to a first trained model obtained by performing learning by using labeled data comprising a remaining life period and the time-series operation data indicating the operation state of the equipment; a prediction label output unit 122 that uses output resulting from inputting non-labeled data to a second trained model as a prediction label indicating a predicted

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, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

remaining life predicted of the equipment; and a learning unit 123 that performs learning to obtain the second trained model on the basis of the pseudo label and the prediction label.

(57) 要約: 本開示の学習装置 100 は、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データと余寿命期間とからなるラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定する疑似ラベル決定部 121 と、第二の学習モデルに対してラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとする予測ラベル出力部 122 と、疑似ラベルと予測ラベルとに基づいて第二の学習モデルを学習する学習部 123 と、を備える。

明 細 書

発明の名称：学習装置、学習方法、プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、学習装置、学習方法、プログラムに関する。

背景技術

[0002] 各種機器のメンテナンスを行うために、機器の故障発生までの期間である余寿命を推定することが検討されている。例えば、特許文献1では、機械学習モデルによって、工作機械の数値制御装置に設けられるNANDフラッシュメモリの余寿命を予測することが開示されている。具体的に、特許文献1では、NANDフラッシュメモリの実際に計測された寿命つまり故障までの期間を含む教師ありデータを用いて、教師あり学習により機械学習モデルを生成している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第6386523号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、教師ありデータである機器の寿命までのデータ、つまり、故障発生までのデータを多数入手することは困難である。特に、機器の故障発生より前にメンテナンスが実行される場合があり、教師ありデータの取得がより困難である。すると、十分ではない数の教師ありデータを用いた教師あり学習を行うこととなるが、かかる場合には、生成する機械学習モデルの精度の向上を図ることができない、という問題が生じる。

[0005] このため、本開示の目的は、上述した課題である、教師ありデータの取得が困難である場合に、生成する機械学習モデルの精度の向上を図ることができない、ことを解決することができる学習装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一形態である学習装置は、

機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定する疑似ラベル決定部と、

第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとする予測ラベル出力部と、

前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する学習部と、

を備えた、

という構成をとる。

[0007] また、本開示の一形態である学習方法は、

機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定し、

第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとし、

前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する、

という構成をとる。

[0008] また、本開示の一形態であるプログラムは、

機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定し、

第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器

の予測した余寿命を表す予測ラベルとし、

前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する、

処理をコンピュータに実行させる、

という構成をとる。

発明の効果

[0009] 本開示は、以上のように構成されることにより、教師ありデータの取得が困難である場合であっても、生成する機械学習モデルの精度の向上を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1に開示した情報処理装置の構成を示すブロック図である。
[図2]図1に開示した情報処理装置による処理の様子を示す図である。
[図3]図1に開示した情報処理装置による処理の様子を示す図である。
[図4]図1に開示した情報処理装置による処理の様子を示す図である。
[図5]図1に開示した情報処理装置による処理の様子を示す図である。
[図6]図1に開示した情報処理装置の動作を示すフローチャートである。
[図7]図1に開示した情報処理装置の動作を示すフローチャートである。
[図8]本開示の実施形態2における情報処理装置のハードウェア構成を示すブロック図である。
[図9]本開示の実施形態2における情報処理装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0011] <実施形態1>

本開示の第1の実施形態を、図1乃至図7を参照して説明する。図1は、情報処理装置の構成を説明するための図であり、図2乃至図7は、情報処理装置の処理動作を説明するための図である。

[0012] [構成]

本実施形態における情報処理装置10は、各種機器の故障発生までの期間

である余寿命を予測するモデルを生成するための学習装置、及び、かかるモデルを用いて機器の余寿命を予測する予測装置として機能するものである。例えば、余寿命を予測する対象となる機器としては、上述した特許文献1に挙げられているような工作機械の数値制御装置に設けられるNANDフラッシュメモリや、ハードディスクなどの情報処理装置に装備されうる精密機器であったり、ポンプやファンといった回転機械などであるが、いかなる機器が余寿命の予測対象であってもよい。

[0013] そして、余寿命の予測対象となる機器については、予め実際の稼働状況を表す稼働データが計測されて蓄積されている。本実施形態では、まず、実際に故障が発生して寿命となった機器の稼働データ及び余寿命期間からなるラベルありデータが計測されている。つまり、ラベルありデータは、機器が稼働している所定の期間において計測された複数種類の稼働状況の計測値を含む時系列の稼働データと、機器の稼働データが計測されたときから故障発生までの余寿命と、が含まれており、稼働データに対して余寿命がラベルとなって対応付けられたデータである。また、本実施形態では、故障が発生する前のメンテナンスが実行された機器の稼働データからなるラベルなしデータが計測されている。つまり、ラベルなしデータは、機器が稼働している所定の期間において計測された複数種類の稼働状況の計測値を含む時系列の稼働データのみであり、余寿命といったラベルが付されていない。ラベルなしデータは故障が発生していないデータであり、例えば、メンテナンスによって故障が防がれた場合に得られるデータである。

[0014] ここで、機器がNANDフラッシュメモリである場合には、稼働データは、例えば、書き換え回数、書き換えの間隔、読み出し回数、温度、製造メーカ、製造ロット、ECC性能（ECC：誤り訂正符号化）などである。また、機器がハードディスクである場合には、S. M. A. R. T.（Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology）情報やRAIDコントローラ経由で入手できるようなRead/Writeに関する情報など稼働中の性能情報である。また

、機器がポンプやファンなどの回転機器の場合には、加速度、超音波、電流、モータのトルク、歪み、などである。但し、機器の稼働データは、機器に応じていかなる種類のデータであってもよい。そして、上述したようなラベルありデータ及びラベルなしデータは、所定の記憶装置に記憶されていることとする。

[0015] 情報処理装置 10 は、演算装置と記憶装置とを備えた 1 台又は複数台の情報処理装置にて構成される。そして、情報処理装置 10 は、図 1 に示すように、データ収集部 11、第一学習部 12、第二学習部 13、予測部 14、を備える。データ収集部 11、第一学習部 12、第二学習部 13、予測部 14、の各機能は、演算装置が記憶装置に格納された各機能を実現するためのプログラムを実行することにより実現することができる。また、情報処理装置 10 は、データ記憶部 16、モデル記憶部 17、を備える。データ記憶部 16、モデル記憶部 17 は、記憶装置により構成される。以下、各構成について詳述する。

[0016] データ収集部 11 は、所定の記憶装置に記憶されている上述したラベルあるデータ及びラベルなしデータを読み取って取得し、ラベルありデータを時系列データとし、ラベルなしデータをメンテナンスサイクルデータとして、データ記憶部 16 に記憶する。なお、ラベルありデータは、故障が発生して寿命を迎えた機器のデータであり、ラベルなしデータと比較して、その取得された数は少ないこととなりうる。

[0017] 第一学習部 12 は、上述したラベルありデータである時系列データを用いて機械学習を行い、「teacher」と称する第一の学習モデルを生成する。このとき、第一学習部 12 は、図 2 に示すように、時系列データ内のある時刻の稼働データに対応する余寿命を、稼働データに対する教師データとして教師あり学習を行う。具体的に、第一学習部 12 は、ある時刻の稼働データを teacher に入力した出力である余寿命の予測値と、入力した時刻の稼働データに対応する余寿命である教師データと、の下記数 1 式に示すような損失関数 L_{pre} が小さくなるよう学習し、teacher のパラメータ

を更新する。そして、第一学習部12は、学習したteacherである第一の学習モデルを構成するパラメータ等のデータを、モデル記憶部17に記憶しておく。これにより、teacherである第一の学習モデルは、余寿命が未知である機器の稼働データを入力することにより、余寿命を予測した予測値を出力するよう構成される。

[0018] [数1]

$$L_{pre} = \frac{1}{|B_l|} \sum_{i \in B_l} (y_i - \hat{y}_i)^2$$

B_l : ラベルありデータのインデックス

[0019] なお、第一学習部12は、teacherにて余寿命の平均値 μ_i と予測分布 σ_i を予測するにしてもよい。その場合、例えばガウス分布も学習することとなり、下記数2式に示す損失関数 L_{pre} を用いてteacherを学習してもよい。

[数2]

$$L_{pre} = \frac{1}{2|B_l|} \sum_{i \in B_l} \frac{(y_i - \hat{\mu}_i)^2}{\sigma_i^2} + \frac{1}{2} \ln \sigma_i^2$$

[0020] 第二学習部13（疑似ラベル決定部、予測ラベル出力部、学習部）は、上述したラベルなしデータであるメンテナンスサイクルデータを用いて機械学習を行い、「student」と称する第二の学習モデルを生成する。このとき、第二学習部13は、図3に示すように、上述したteacherである第一の学習モデルを用いて、かかるteacherにメンテナンスサイクルデータ内のある時刻の稼働データを入力した出力である予測した余寿命に基づいて疑似ラベルを生成し、かかる疑似ラベルを教師データとして教師あり学習を行う。具体的に、第二学習部13は、まず、生成する第2の学習モデルであるstudentのパラメータの初期値に、上述したように生成したteacherのパラメータを設定する。そして、第二学習部13は、図3に示すように、メンテナンスサイクルデータ内のある時刻の稼働データを

s t u d e n t に入力した出力である機器の余寿命の予測値（予測ラベル）と、同じ時刻の稼働データを上述したように t e a c h e r に入力して生成した疑似ラベルと、の損失関数 L が収束するよう学習し、s t u d e n t のパラメータを更新する。これにより、s t u d e n t である第二の学習モデルは、余寿命が未知である機器の稼働データを入力することにより、余寿命を予測した予測値を出力するよう構成される。

[0021] ここで、第二学習部 13 による、メンテナンスサイクルデータと t e a c h e r とを用いて疑似ラベルを生成する機能（疑似ラベル決定部）について説明する。まず、データ記憶部 16 には、事前に設定された複数の疑似ラベル候補（余寿命候補）が記憶されている。疑似ラベル候補は、図 4 に示すように、経過時刻に対する余寿命が設定されたデータであり、最新時刻に対応する余寿命である終端余寿命がそれぞれ異なって設定されている。例えば、図 4 では、一例として、「終端余寿命 10 年」、「終端余寿命 30 年」、「終端余寿命 80 年」の疑似ラベル候補を示している。さらに、各疑似ラベル候補には、上述した終端余寿命と、当該終端余寿命に対応する最新時刻よりも前の所定期間における各時刻の余寿命と、がそれぞれ設定されたデータとして構成されている。このとき、疑似ラベル候補の横軸に設定した時刻は、メンテナンスサイクルデータの時刻に対応することとなる。このため、疑似ラベル候補は、最新時刻からより離れた前の時刻、つまり、機器の稼働時間が短い期間では、余寿命が長く一定に設定されており、時刻が最新時刻に近い期間、つまり、機器の稼働時間が長い期間では、最新時刻に近づくほど余寿命が徐々に短くなるよう設定されている。但し、疑似ラベル候補は、図 4 に示したものに限定されず、他のデータが用意されていてもよい。

[0022] そして、第二学習部 13 は、メンテナンスサイクルデータを t e a c h e r に入力した出力に基づいて、予め用意された疑似ラベル候補から 1 つを選択して、疑似ラベルを決定する。具体的に、第二学習部 13 は、図 5 に示すように、疑似ラベル候補毎に、メンテナンスサイクルデータに対するラベルとしての尤もらしさを表す評価値を算出する。このとき、第二学習部 13 は

、評価値を算出する対象となる疑似ラベル候補について、各時刻に対応する評価点 P を複数設定する。一例として、図 5 の例では、疑似ラベル候補毎に、黒丸印で示す時刻毎の評価点 P を複数設定し、特に、終端余寿命に対応する最新時刻に近くなるほど多くの評価点 P を設定する。そして、第二学習部 13 は、対象となる疑似ラベル候補における評価点 P 毎に、評価点 P に対応する時刻の疑似ラベル候補上の余寿命と、評価点 P に対応する時刻のメンテナンスデータを $teacher$ に入力した出力である余寿命と、を比較して評価値を算出する。例えば、第二学習部 13 は、疑似ラベル候補における余寿命と、メンテナンスデータを $teacher$ に入力した出力である余寿命と、の誤差を評価値として算出し、一例として、全評価点 P に対する余寿命の二乗平均平方根誤差 (RMSE (Root Mean Squared Error)) を評価値として算出する。そして、第二学習部 13 は、疑似ラベル候補毎に算出した評価値のうち最良の評価値である疑似ラベル候補を選択して、疑似ラベルとして決定する。図 5 の例の場合には、評価値「0.1」が最良であるため、終端余寿命 30 年の疑似ラベル候補を疑似ラベルとして決定する。このように、評価値は、疑似ラベルの良しあしを評価した値である。

[0023] $teacher$ が数 2 式に示す損失関数 L_{pre} を用いて学習された場合、評価値は評価対象とする疑似ラベル候補の各評価点の余寿命 y_{pi} 、 $teacher$ による余寿命の平均値 μ_{pi} と予測分布 σ_{pi} を用いて数 2 式の第一項と同様に算出し、下記数 3 式を用いて計算してもよい。このように評価値を算出することで、 $teacher$ による予測精度が高いと思われる評価点がより厳しく評価され、予測精度が低いと思われる評価点がより甘く評価されるため、より正しい疑似ラベル候補がより良い評価値を持つようにできる。

[数3]

$$P = \frac{1}{2|B_p|} \sum_{i \in B_p} \frac{(y_{pi} - \widehat{\mu}_{pi})^2}{\sigma_{pi}^2}$$

B_p : 評価対象とする疑似ラベル候補の全評価点のインデックス

[0024] このようにして、第二学習部13は、メンテナンスサイクルデータである機器のラベルなしの複数の時刻に対応する各評価点Pにおける稼働データを `teacher` に入力したときの出力である予測した余寿命と、対応する時刻である評価点Pにおける疑似ラベル候補に設定された余寿命と、を比較して、疑似ラベル候補を評価する。このとき、特に、疑似ラベル候補に設定された終端余寿命に対応する最新時刻に近くなるほど多くの評価点を設定し、メンテナンスサイクルデータを `teacher` に入力したときの出力を、疑似ラベル候補の余寿命と比較して評価することで、メンテナンスサイクルデータに対してより尤もらしい疑似ラベルを決定することができる。なお、第二学習部13による疑似ラベルを決定する方法は上述した方法に限定されない。例えば、第二学習部13は、上述同様に複数の疑似ラベル候補から評価値に応じて疑似ラベル候補を選択するものの、かかる選択した疑似ラベル候補をそのまま疑似ラベルとして決定せずに、選択した疑似ラベル候補を用いて、その一部の余寿命を修正するなどして疑似ラベルを生成してもよい。例えば、選択した疑似ラベル候補の終端余寿命と、その値を中心とする大小それぞれ複数個の終端余寿命に、終端余寿命の値を説明変数、評価値を目的変数として多項式にあてはめ、多項式の最小値に対応する説明変数の値が、選択した疑似ラベル候補の終端余寿命となるように修正してもよい。

[0025] そして、第二学習部13は、図3に示すように、メンテナンスサイクルデータを `student` に入力した出力である余寿命の予測値に対して、上述したように決定した疑似ラベルを教師データとして、下記数4式に示すようなこれらの損失関数Lが小さくなるよう学習し、`student` のパラメータを更新する。第二学習部13は、学習した `student` である第二の学習モデルを構成するパラメータ等のデータを、モデル記憶部17に記憶しておく。

[0026]

[数4]

$$L = \frac{1}{|B_{ul}|} \sum_{i \in B_{ul}} (y_{si} - \widehat{y}_{si})^2$$

B_{ul} : ラベルなしデータのインデックス

[0027] なお、第二学習部13は、studentにて余寿命の平均値 μ_{si} と予測分布 σ_{si} を予測するにしてもよい。その場合、例えばガウス分布も学習することとなり、下記数5式に示す損失関数Lを用いてstudentを学習してもよい。

[数5]

$$L = \frac{1}{2|B_{ul}|} \sum_{i \in B_{ul}} \frac{(y_{si} - \widehat{\mu}_{si})^2}{\sigma_{si}^2} + \frac{1}{2} \ln \sigma_{si}^2$$

[0028] また、第二学習部13は、studentの学習時の損失関数Lに、下記数6式に示すラベルありデータに対する損失項を付与してもよい。これにより、studentがラベルなしデータに過度に適合することを防ぐことができ、学習結果の安定化を図ることができる。ここで λ は、調整パラメータであり、事前に決定しておく、または後述するモデル評価値が最良になるように調整される。

[数6]

$$L = \frac{1}{2|B_{ul}|} \sum_{i \in B_{ul}} (y_{si} - \widehat{y}_{si})^2 + \lambda \frac{1}{|B_l|} \sum_{i \in B_l} (y_i - \widehat{y}_i)^2$$

[0029] なお、第二学習部13は、上述したように疑似ラベル候補を評価する際に、評価値に応じて、メンテナンスサイクルデータの一部を選択してもよい。例えば、第二学習部13は、決定した疑似ラベルにおいて評価点P毎に算出した評価値が、予め設定された基準により良い（例えば、閾値よりも低い）と判断された場合、かかる評価点Pに対応する時刻のメンテナンスサイクルデータを選択する。そして、第二学習部13は、選択されたメンテナンスサイクルデータのみをstudentに入力し、その出力である余寿命の予測

値を用いて上述したように *student* を学習して、当該 *student* のパラメータを更新してもよい。

[0030] また、第二学習部 13 は、さらに、上述したようにパラメータを更新した学習後の *student* の予測性能を評価する。例えば、第二学習部 13 は、データ記憶部 16 に予め記憶されている機器の稼働データと余寿命期間とが対応付けられた検証データを用いて、*student* の予測性能を評価する。このとき、第二学習部 13 は、検証データの稼働データを *student* に入力した出力である余寿命の予測値と、検証データの余寿命期間と、を比較し、そのモデルの評価値であるモデル評価値を記憶しておく。例えば、モデル評価値は、検証データの余寿命期間に対する、検証データの稼働データを *student* に入力した出力である余寿命の予測値の予測誤差であり、二乗平均平方根誤差としてもよい。このように、モデル評価値は、*student* である第二の学習モデルの予測性能の良しあしを表す値である。

[0031] そして、第二学習部 13 は、*student* のパラメータ更新毎に上述したように *student* の予測性能を評価し、評価結果に基づいて、*student* のパラメータを用いて *teacher* のパラメータを変更する。例えば、第二学習部 13 は、*student* について新たに算出したモデル評価値と、過去に算出して記憶しているモデル評価値と、を比較し、新たに算出したモデル評価値が過去に対して改善している、つまり、モデル評価値が予め設定された基準により向上していると判断される場合には、下記数 7 式の θ^{new} に示すように、*student* のパラメータ $\theta_{student}$ を用いて *teacher* のパラメータ $\theta_{teacher}$ を更新する。但し、第二学習部 13 は、いかなる方法で *teacher* のパラメータを更新してもよい。そして、第二学習部 13 は、更新した *teacher* である第一の学習モデルを構成するパラメータ等のデータを、モデル記憶部 17 に記憶しておく。

[数 7]

$$\theta_{teacher}^{new} = m \cdot \theta_{teacher}^{old} + (1 - m) \cdot \theta_{student}$$

なお、 m は1未満であり、1に近い値であると望ましい。

[0032] さらに、第二学習部13は、上述したようにteacherである第一の学習モデルが更新された後に、かかるteacherを用いて、上述同様に図3に示すように、studentの学習を継続する。そして、第二学習部13は、予め設定された回数の学習が終了するまでや、studentのモデル評価値の改善が収束して学習が終了するまで、上述したstudentの学習を繰り返し行い、最終的なstudentのデータをモデル記憶部17に記憶する。

[0033] 予測部14は、モデル記憶部17に記憶された学習されたstudentである第二の学習モデルを用いて、機器の余寿命を予測する。つまり、予測部14は、余寿命が未知である機器の稼働データをstudentに入力し、当該studentから出力された余寿命を予測した予測値を取得する。

[0034] [動作]

次に、上述した情報処理装置10の動作を説明する。まずはじめに、図6のフローチャートと図2を参照して、teacherである第一の学習モデルを学習する動作を説明する。

[0035] 情報処理装置10は、ラベルありデータである時系列データを取得し（ステップS1）、時系列データ内のある時刻の稼働データをteacherに入力する。そして、情報処理装置10は、teacherの出力である余寿命の予測値と、入力した時刻の稼働データに対応する余寿命である教師データと、の損失関数が小さくなるよう学習する（ステップS2）。情報処理装置10は、学習後にteacherのパラメータを更新し（ステップS3）、学習が収束するまで上述した学習を繰り返し行う（ステップS4でNo）。情報処理装置10は、学習が収束すると、学習したteacherである第一の学習モデルを構成するパラメータ等のデータを記憶しておく。

[0036] 次に、図7のフローチャートと図3を参照して、studentである第二の学習モデルを学習する動作を説明する。

[0037] 情報処理装置10は、記憶されているteacherとラベルなしデータ

であるメンテナンスサイクルデータとを取得し（ステップS11）、teacherのパラメータを第2の学習モデルであるstudentのパラメータの初期値に設定する（ステップS12）。

[0038] そして、情報処理装置10は、メンテナンスサイクルデータをteacherに入力し、その出力であるteacherにより予測された余寿命に基づいて、疑似ラベルを決定する（ステップS13）。このとき、情報処理装置10は、事前に設定された複数の疑似ラベル候補内の余寿命と、teacherにより予測された余寿命と、を比較して評価することで、疑似ラベル候補から疑似ラベルを決定する。例えば、図4に示すような終端余寿命がそれぞれ異なって設定されている疑似ラベル候補において、図5に示すように複数時刻の評価点Pを設定し、評価点毎に、疑似ラベル候補内の余寿命とメンテナンスサイクルデータを入力した出力である予測した余寿命とを比較して、各疑似ラベル候補を評価する。そして、情報処理装置10は、評価値が最良の疑似ラベル候補を、疑似ラベルとして決定する。このように、情報処理装置10は、上述したように第二学習部13が有する疑似ラベルを評価するための機能（疑似ラベル評価部）により、疑似ラベルの良しあしを表す評価値を算出して、疑似ラベルを決定する。

[0039] また、情報処理装置10は、メンテナンスサイクルデータ内の稼働データをstudentに入力した出力である機器の余寿命の予測値を取得し、かかる予測値と、上述したように決定した疑似ラベルと、の損失関数が小さくなるようstudentを学習する（ステップS14）。そして、情報処理装置10は、学習後にstudentのパラメータを更新する（ステップS15）。このとき、情報処理装置10は、さらに、パラメータを更新した学習後のstudentの予測性能を評価する。例えば、情報処理装置10は、検証データの稼働データをstudentに入力した出力である余寿命の予測値と、検証データの余寿命期間と、を比較し、これらの誤差からモデル評価値を算出する。そして、情報処理装置10は、新たに算出したモデル評価値が過去に対して改善している場合には（ステップS16でYes）、s

t u d e n t のパラメータを用いて t e a c h e r のパラメータを更新する（ステップ S 1 7）。このように、情報処理装置 1 0 は、上述したように第二学習部 1 3 が有する s t u d e n t である第二の学習モデルを評価するための機能（モデル評価部）により、s t u d e n t の予測性能の良しあしを表すモデル評価値を算出して、s t u d e n t が改善しているかを判断する。

[0040] 続いて、情報処理装置 1 0 は、学習が収束するまで上述した学習を繰り返し行う（ステップ S 1 8 で N o）。情報処理装置 1 0 は、学習が収束すると、学習した s t u d e n t である第二の学習モデルを構成するパラメータ等のデータを記憶しておく。

[0041] その後、情報処理装置 1 0 は、上述したように学習することによって記憶された s t u d e n t である第二の学習モデルを用いて、機器の余寿命を予測する。つまり、情報処理装置 1 0 は、余寿命が未知である機器の稼働データを s t u d e n t に入力し、その出力である余寿命を予測した予測値を取得する。

[0042] 以上のように、本実施形態における情報処理装置 1 0 によると、多くのラベルありデータの取得が困難な状況であっても、まず少ない数であってもラベルありデータから t e a c h e r といった第一の学習モデルを生成しておき、これを用いることで、メンテナンスサイクルデータといったラベルなしデータから s t u d e n t といった第二の学習モデルを生成することができる。具体的に、情報処理装置 1 0 は、ラベルなしデータを t e a c h e r に入力して得られる疑似ラベルを教師データとして、ラベルなしデータを s t u d e n t に入力して得られる予測値に基づいて s t u d e n t を学習することで、生成するモデルの精度の向上を図ることができる。特に、情報処理装置 1 0 は、上述したように t e a c h e r の出力を用いて疑似ラベル候補を評価して疑似ラベルを決定したり、学習した s t u d e n t のパラメータを用いて t e a c h e r のパラメータを更新することで、より s t u d e n t の精度の向上を図ることができる。

[0043] <実施形態2>

次に、本開示の第2の実施形態を、図8乃至図9を参照して説明する。図8乃至図9は、実施形態2における学習装置の構成を示すブロック図である。なお、本実施形態では、上述した実施形態で説明した学習装置の構成の概略を示している。

[0044] まず、図8を参照して、本実施形態における学習装置100のハードウェア構成を説明する。学習装置100は、一般的な情報処理装置にて構成されており、一例として、以下のようなハードウェア構成を装備している。

- ・CPU (Central Processing Unit) 101 (演算装置)

- ・ROM (Read Only Memory) 102 (記憶装置)

- ・RAM (Random Access Memory) 103 (記憶装置)

- ・RAM 103にロードされるプログラム群104

- ・プログラム群104を格納する記憶装置105

- ・情報処理装置外部の記憶媒体110の読み書きを行うドライブ装置106

- ・情報処理装置外部の通信ネットワーク111と接続する通信インタフェース107

- ・データの入出力を行う入出力インタフェース108

- ・各構成要素を接続するバス109

[0045] なお、図8は、学習装置100である情報処理装置のハードウェア構成の一例を示しており、情報処理装置のハードウェア構成は上述した場合に限定されない。例えば、情報処理装置は、ドライブ装置106を有さないなど、上述した構成の一部から構成されてもよい。また、情報処理装置は、上述したCPUの代わりに、GPU (Graphic Processing Unit)、DSP (Digital Signal Processor)、MPU (Micro Processing Unit)、FPU (F

oating point number Processing Unit)、PPU (Physics Processing Unit)、TPU (Tensor Processing Unit)、量子プロセッサ、マイクロコントローラ、又は、これらの組み合わせなどを用いることができる。

[0046] そして、学習装置100は、プログラム群104をCPU101が取得して当該CPU101が実行することで、図9に示す疑似ラベル決定部121と予測ラベル出力部122と学習部123とを構築して装備することができる。なお、プログラム群104は、例えば、予め記憶装置105やROM102に格納されており、必要に応じてCPU101がRAM103にロードして実行する。また、プログラム群104は、通信ネットワーク111を介してCPU101に供給されてもよいし、予め記憶媒体110に格納されており、ドライブ装置106が該プログラムを読み出してCPU101に供給してもよい。但し、上述した疑似ラベル決定部121と予測ラベル出力部122と学習部123とは、かかる手段を実現させるための専用の電子回路で構築されるものであってもよい。

[0047] 上記疑似ラベル決定部121は、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データと余寿命期間とからなるラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定する。例えば、疑似ラベル決定部121は、第一の学習モデルに対してラベルなしデータを入力した出力と、予め用意された疑似ラベル候補と、の差異を評価することで、疑似ラベルを決定する。

[0048] 上記予測ラベル出力部122は、第二の学習モデルに対してラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとする。

[0049] 上記学習部123は、疑似ラベルと予測ラベルとに基づいて、第二の学習モデルを学習する。このとき、学習部123は、学習後の第二の学習モデルのパラメータを用いて、第一の学習モデルのパラメータを変更して、さらに学習を行ってもよい。

[0050] 本開示は、以上のように構成されることにより、多くのラベルありデータの取得が困難な状況であっても、まず少ない数であってもラベルありデータから第一の学習モデルを生成しておき、これを用いることで、ラベルなしデータからでも精度の高い第二の学習モデルを生成することができる。

[0051] なお、上述したプログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体（non-transitory computer readable medium）を用いて格納され、コンピュータに供給することができる。非一時的なコンピュータ可読媒体は、様々なタイプの実体のある記録媒体（tangible storage medium）を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の例は、磁気記録媒体（例えばフレキシブルディスク、磁気テープ、ハードディスクドライブ）、光磁気記録媒体（例えば光磁気ディスク）、CD-ROM（Read Only Memory）、CD-R、CD-R/W、半導体メモリ（例えば、マスクROM、PROM（Programmable ROM）、EPROM（Erasable PROM）、フラッシュROM、RAM（Random Access Memory））を含む。また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体（transitory computer readable medium）によってコンピュータに供給されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体の例は、電気信号、光信号、及び電磁波を含む。一時的なコンピュータ可読媒体は、電線及び光ファイバ等の有線通信路、又は無線通信路を介して、プログラムをコンピュータに供給できる。

[0052] 以上、上記実施形態等を参照して本開示を説明したが、本開示は、上述した実施形態に限定されるものではない。本開示の構成や詳細には、本開示の範囲内で当業者が理解しうる様々な変更をすることができる。また、上述した疑似ラベル決定部121と予測ラベル出力部122と学習部123との機能のうちの少なくとも一以上の機能は、ネットワーク上のいかなる場所に設置され接続された情報処理装置で実行されてもよく、つまり、いわゆるクラウドコンピューティングで実行されてもよい。

[0053] <付記>

上記実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうる。以

下、本開示における学習装置、学習方法、プログラムの構成の概略を説明する。但し、本開示は、以下の構成に限定されない。

(付記 1)

機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定する疑似ラベル決定部と、

第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとする予測ラベル出力部と、

前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する学習部と、

を備えた学習装置。

(付記 2)

付記 1 に記載の学習装置であって、

前記疑似ラベル決定部は、予め設定された複数の余寿命候補を、前記第一の学習モデルに前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて評価して、評価結果に応じて前記余寿命候補に基づいて前記疑似ラベルを決定する、学習装置。

(付記 3)

付記 2 に記載の学習装置であって、

複数の前記余寿命候補は、前記ラベルなしデータのうち最新時刻の前記稼働データに対応する余寿命である終端余寿命がそれぞれ異なって設定されており、

前記疑似ラベル決定部は、複数の前記余寿命候補を前記第一の学習モデルに前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて評価して、評価結果に応じて前記余寿命候補から選択して前記疑似ラベルを決定する、学習装置。

(付記 4)

付記 3 に記載の学習装置であって、

複数の前記余寿命候補は、前記終端余寿命と、当該終端余寿命に対応する最新時刻より前の所定期間の時刻の余寿命と、がそれぞれ設定されており、

前記疑似ラベル決定部は、前記第一の学習モデルに複数の評価点となる時刻の前記ラベルなしデータを入力した出力と、各前記評価点となる時刻における前記余寿命候補に設定された余寿命と、に基づいて、複数の前記余寿命候補を評価する、

学習装置。

(付記 5)

付記 4 に記載の学習装置であって、

前記疑似ラベル決定部は、複数の前記余寿命候補に、それぞれ前記最新時刻に近くなるほど多くの前記評価点を設定し、前記第一の学習モデルに各前記評価点となる時刻の前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて、複数の前記余寿命候補を評価する、

学習装置。

(付記 6)

付記 4 又は 5 に記載の学習装置であって、

前記疑似ラベル決定部は、各前記評価点において前記余寿命候補を評価すると共に、評価結果に基づいて前記ラベルなしデータを選択し、

前記予測ラベル出力部は、前記第二の学習モデルに対して選択された前記ラベルなしデータを入力して前記予測ラベルを出力する、

学習装置。

(付記 7)

付記 1 乃至 6 のいずれかに記載の学習装置であって、

前記学習部は、学習後の前記第二の学習モデルに対して予め余寿命期間が対応付けられた前記稼働データを入力した出力と、当該稼働データに対応付けられた余寿命期間と、に基づいて前記第二の学習モデルを評価し、評価結

果に応じて前記第二の学習モデルに設定されたパラメータを用いて前記第一の学習モデルのパラメータを変更する、
学習装置。

(付記 8)

付記 7 に記載の学習装置であって、

前記学習部は、前記第二の学習モデルの評価結果が予め設定された基準を満たしている場合に、前記第二の学習モデルに設定されたパラメータを用いて前記第一の学習モデルのパラメータを変更する、
学習装置。

(付記 9)

機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定し、

第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとし、

前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する、
学習方法。

(付記 10)

付記 9 に記載の学習方法であって、

予め設定された複数の余寿命候補を、前記第一の学習モデルに前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて評価して、評価結果に応じて前記余寿命候補に基づいて前記疑似ラベルを決定する、
学習方法。

(付記 11)

付記 10 に記載の学習方法であって、

複数の前記余寿命候補は、前記ラベルなしデータのうち最新時刻の前記稼

働データに対応しうる余寿命である終端余寿命がそれぞれ異なって設定されており、

複数の前記余寿命候補を前記第一の学習モデルに前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて評価して、評価結果に応じて前記余寿命候補から選択して前記疑似ラベルを決定する、
学習方法。

(付記 1 2)

付記 1 1 に記載の学習方法であって、

複数の前記余寿命候補は、前記終端余寿命と、当該終端余寿命に対応する最新時刻より前の所定期間の時刻の余寿命と、がそれぞれ設定されており、

前記第一の学習モデルに複数の評価点となる時刻の前記ラベルなしデータを入力した出力と、各前記評価点となる時刻における前記余寿命候補に設定された余寿命と、に基づいて、複数の前記余寿命候補を評価する、
学習方法。

(付記 1 3)

付記 1 2 に記載の学習方法であって、

複数の前記余寿命候補に、それぞれ前記最新時刻に近くなるほど多くの前記評価点を設定し、前記第一の学習モデルに各前記評価点となる時刻の前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて、複数の前記余寿命候補を評価する、

学習方法。

(付記 1 4)

付記 1 2 又は 1 3 に記載の学習方法であって、

各前記評価点において前記余寿命候補を評価すると共に、評価結果に基づいて前記ラベルなしデータを選択し、

前記第二の学習モデルに対して選択された前記ラベルなしデータを入力して前記予測ラベルを出力する、

学習方法。

(付記 1 5)

付記 9 乃至 1 4 のいずれかに記載の学習方法であって、

学習後の前記第二の学習モデルに対して予め余寿命期間が対応付けられた前記稼働データを入力した出力と、当該稼働データに対応付けられた余寿命期間と、に基づいて前記第二の学習モデルを評価し、評価結果に応じて前記第二の学習モデルに設定されたパラメータを用いて前記第一の学習モデルのパラメータを変更する、
学習方法。

(付記 1 6)

付記 1 5 に記載の学習方法であって、

前記第二の学習モデルの評価結果が予め設定された基準を満たしている場合に、前記第二の学習モデルに設定されたパラメータを用いて前記第一の学習モデルのパラメータを変更する、
学習方法。

(付記 1 7)

機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定し、

第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとし、

前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する、
処理をコンピュータに実行させるプログラムを記憶したコンピュータにて読み取り可能な記憶媒体。

符号の説明

[0054] 1 0 情報処理装置

1 1 データ収集部

- 1 2 第一学習部
- 1 3 第二学習部
- 1 4 予測部
- 1 6 データ記憶部
- 1 7 モデル記憶部
- 1 0 0 学習装置
- 1 0 1 C P U
- 1 0 2 R O M
- 1 0 3 R A M
- 1 0 4 プログラム群
- 1 0 5 記憶装置
- 1 0 6 ドライブ装置
- 1 0 7 通信インタフェース
- 1 0 8 入出力インタフェース
- 1 0 9 バス
- 1 1 0 記憶媒体
- 1 1 1 通信ネットワーク
- 1 2 1 疑似ラベル決定部
- 1 2 2 予測ラベル出力部
- 1 2 3 学習部

請求の範囲

- [請求項1] 機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定する疑似ラベル決定部と、
- 第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとする予測ラベル出力部と、
- 前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する学習部と、
- を備えた学習装置。
- [請求項2] 請求項 1 に記載の学習装置であって、
- 前記疑似ラベル決定部は、予め設定された複数の余寿命候補を、前記第一の学習モデルに前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて評価して、評価結果に応じて前記余寿命候補に基づいて前記疑似ラベルを決定する、
- 学習装置。
- [請求項3] 請求項 2 に記載の学習装置であって、
- 複数の前記余寿命候補は、前記ラベルなしデータのうち最新時刻の前記稼働データに対応しうる余寿命である終端余寿命がそれぞれ異なって設定されており、
- 前記疑似ラベル決定部は、複数の前記余寿命候補を前記第一の学習モデルに前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて評価して、評価結果に応じて前記余寿命候補から選択して前記疑似ラベルを決定する、
- 学習装置。
- [請求項4] 請求項 3 に記載の学習装置であって、

複数の前記余寿命候補は、前記終端余寿命と、当該終端余寿命に対応する最新時刻より前の所定期間の時刻の余寿命と、がそれぞれ設定されており、

前記疑似ラベル決定部は、前記第一の学習モデルに複数の評価点となる時刻の前記ラベルなしデータを入力した出力と、各前記評価点となる時刻における前記余寿命候補に設定された余寿命と、に基づいて、複数の前記余寿命候補を評価する、
学習装置。

[請求項5] 請求項4に記載の学習装置であって、

前記疑似ラベル決定部は、複数の前記余寿命候補に、それぞれ前記最新時刻に近くなるほど多くの前記評価点を設定し、前記第一の学習モデルに各前記評価点となる時刻の前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて、複数の前記余寿命候補を評価する、
学習装置。

[請求項6] 請求項4に記載の学習装置であって、

前記疑似ラベル決定部は、各前記評価点において前記余寿命候補を評価すると共に、評価結果に基づいて前記ラベルなしデータを選択し、

前記予測ラベル出力部は、前記第二の学習モデルに対して選択された前記ラベルなしデータを入力して前記予測ラベルを出力する、
学習装置。

[請求項7] 請求項1に記載の学習装置であって、

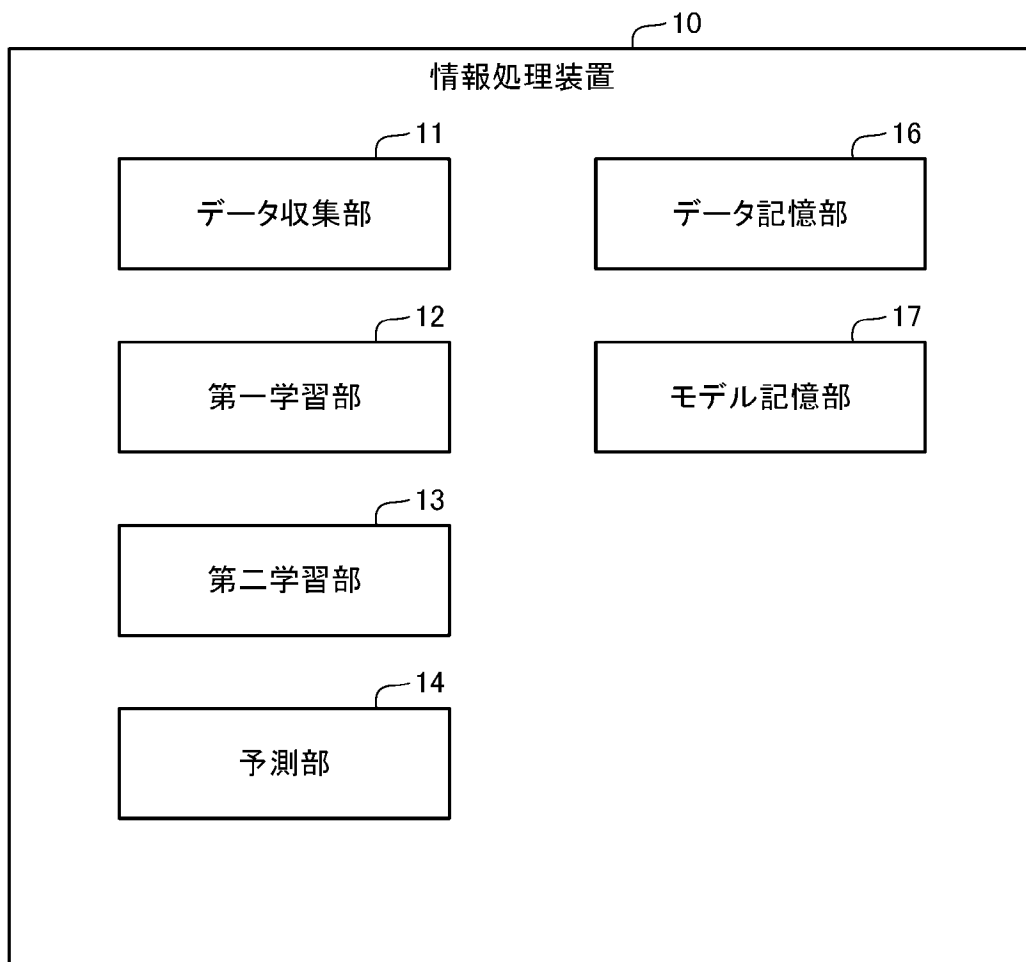
前記学習部は、学習後の前記第二の学習モデルに対して予め余寿命期間が対応付けられた前記稼働データを入力した出力と、当該稼働データに対応付けられた余寿命期間と、に基づいて前記第二の学習モデルを評価し、評価結果に応じて前記第二の学習モデルに設定されたパラメータを用いて前記第一の学習モデルのパラメータを変更する、
学習装置。

- [請求項8] 請求項7に記載の学習装置であって、
前記学習部は、前記第二の学習モデルの評価結果が予め設定された基準を満たしている場合に、前記第二の学習モデルに設定されたパラメータを用いて前記第一の学習モデルのパラメータを変更する、
学習装置。
- [請求項9] 機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定し、
第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとし、
前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する、
学習方法。
- [請求項10] 請求項9に記載の学習方法であって、
予め設定された複数の余寿命候補を、前記第一の学習モデルに前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて評価して、評価結果に応じて前記余寿命候補に基づいて前記疑似ラベルを決定する、
学習方法。
- [請求項11] 請求項10に記載の学習方法であって、
複数の前記余寿命候補は、前記ラベルなしデータのうち最新時刻の前記稼働データに対応する余寿命である終端余寿命がそれぞれ異なって設定されており、
複数の前記余寿命候補を前記第一の学習モデルに前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて評価して、評価結果に応じて前記余寿命候補から選択して前記疑似ラベルを決定する、
学習方法。

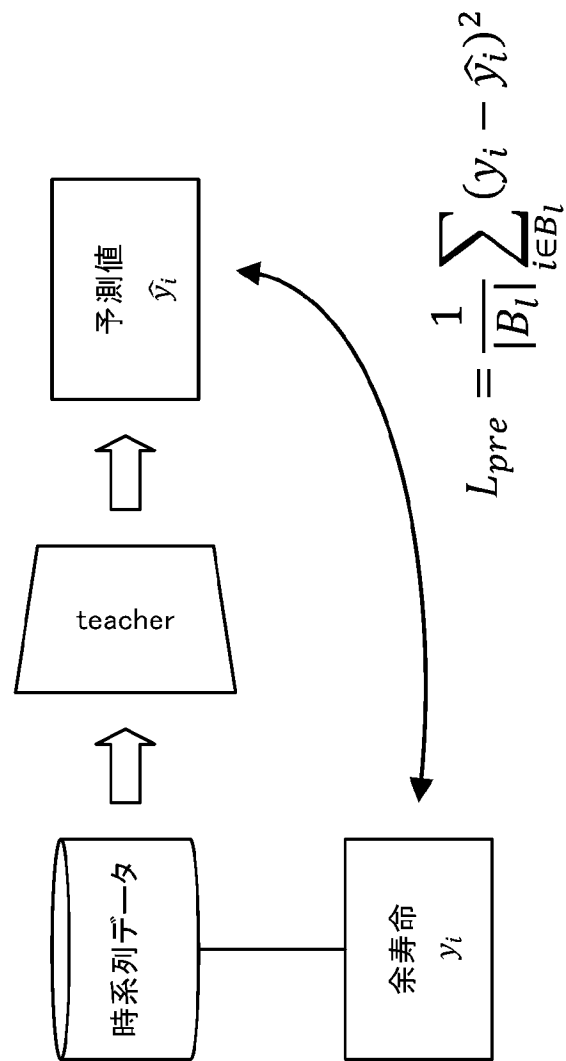
- [請求項12] 請求項 1 1 に記載の学習方法であって、
 複数の前記余寿命候補は、前記終端余寿命と、当該終端余寿命に対応する最新時刻より前の所定期間の時刻の余寿命と、がそれぞれ設定されており、
 前記第一の学習モデルに複数の評価点となる時刻の前記ラベルなしデータを入力した出力と、各前記評価点となる時刻における前記余寿命候補に設定された余寿命と、に基づいて、複数の前記余寿命候補を評価する、
 学習方法。
- [請求項13] 請求項 1 2 に記載の学習方法であって、
 複数の前記余寿命候補に、それぞれ前記最新時刻に近くなるほど多くの前記評価点を設定し、前記第一の学習モデルに各前記評価点となる時刻の前記ラベルなしデータを入力した出力に基づいて、複数の前記余寿命候補を評価する、
 学習方法。
- [請求項14] 請求項 1 2 に記載の学習方法であって、
 各前記評価点において前記余寿命候補を評価すると共に、評価結果に基づいて前記ラベルなしデータを選択し、
 前記第二の学習モデルに対して選択された前記ラベルなしデータを入力して前記予測ラベルを出力する、
 学習方法。
- [請求項15] 請求項 9 に記載の学習方法であって、
 学習後の前記第二の学習モデルに対して予め余寿命期間が対応付けられた前記稼働データを入力した出力と、当該稼働データに対応付けられた余寿命期間と、に基づいて前記第二の学習モデルを評価し、評価結果に応じて前記第二の学習モデルに設定されたパラメータを用いて前記第一の学習モデルのパラメータを変更する、
 学習方法。

- [請求項16] 請求項15に記載の学習方法であって、
前記第二の学習モデルの評価結果が予め設定された基準を満たしている場合に、前記第二の学習モデルに設定されたパラメータを用いて前記第一の学習モデルのパラメータを変更する、
学習方法。
- [請求項17] 機器の稼働状況を表す時系列の稼働データに対する余寿命期間をラベルとするラベルありデータを用いて学習された第一の学習モデルに対して、機器の稼働状況を表す時系列の稼働データからなるラベルなしデータを入力した出力に基づいて、機器の余寿命を表す疑似ラベルを決定し、
第二の学習モデルに対して前記ラベルなしデータを入力した出力を、機器の予測した余寿命を表す予測ラベルとし、
前記疑似ラベルと前記予測ラベルとに基づいて、前記第二の学習モデルを学習する、
処理をコンピュータに実行させるプログラムを記憶したコンピュータにて読み取り可能な記憶媒体。

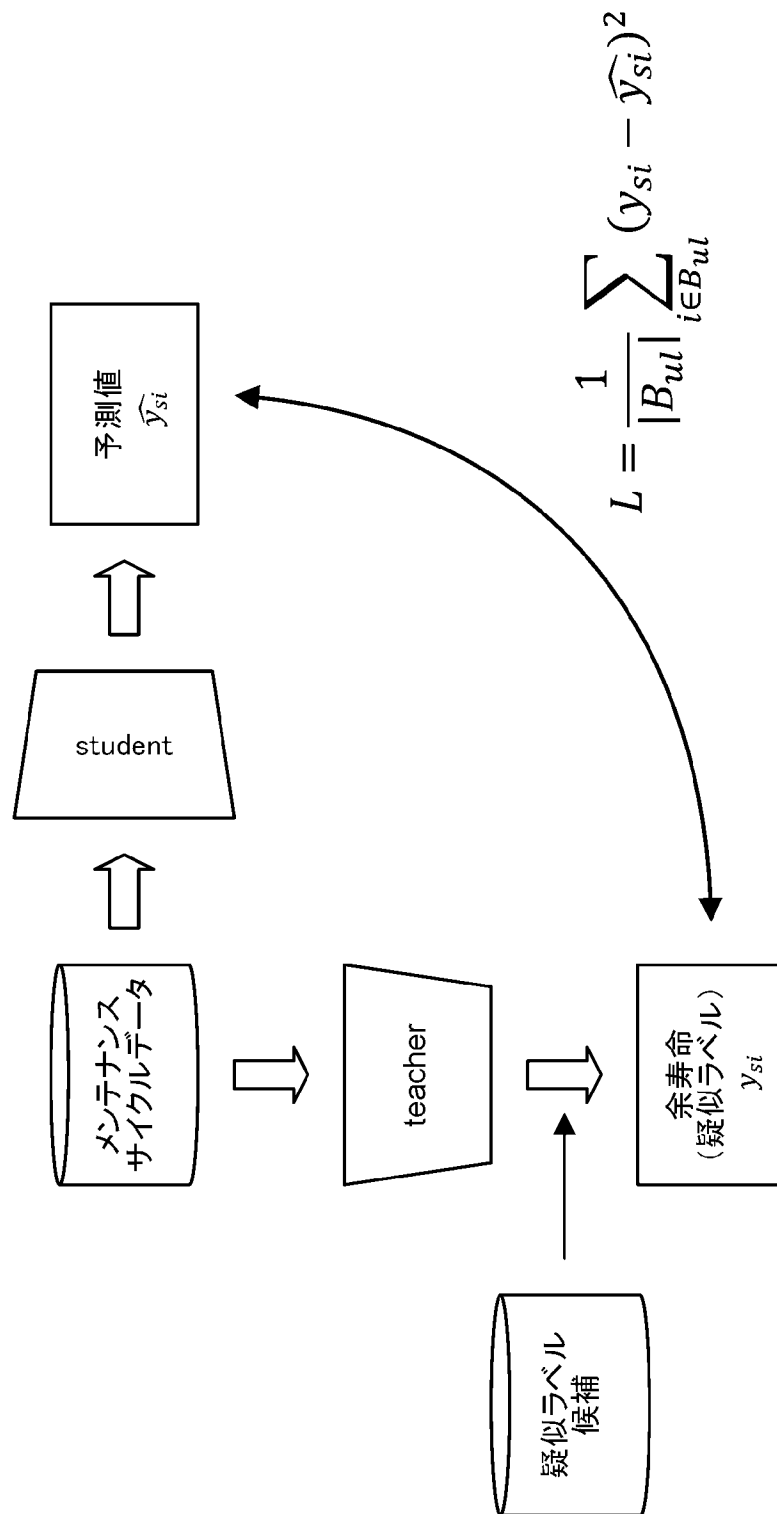
[図1]



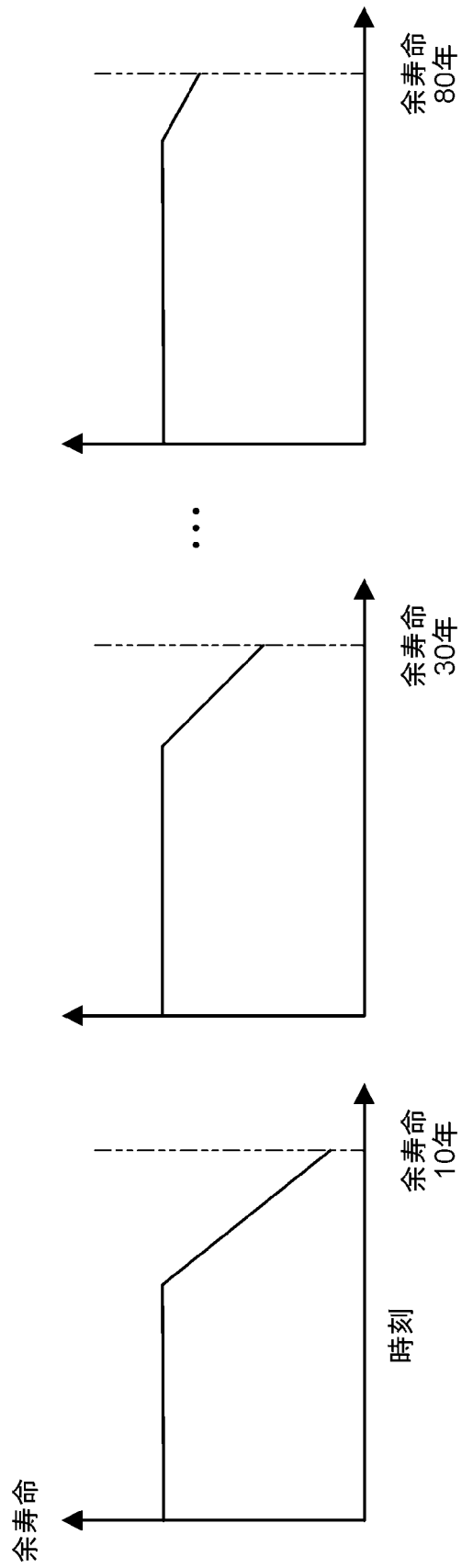
[図2]



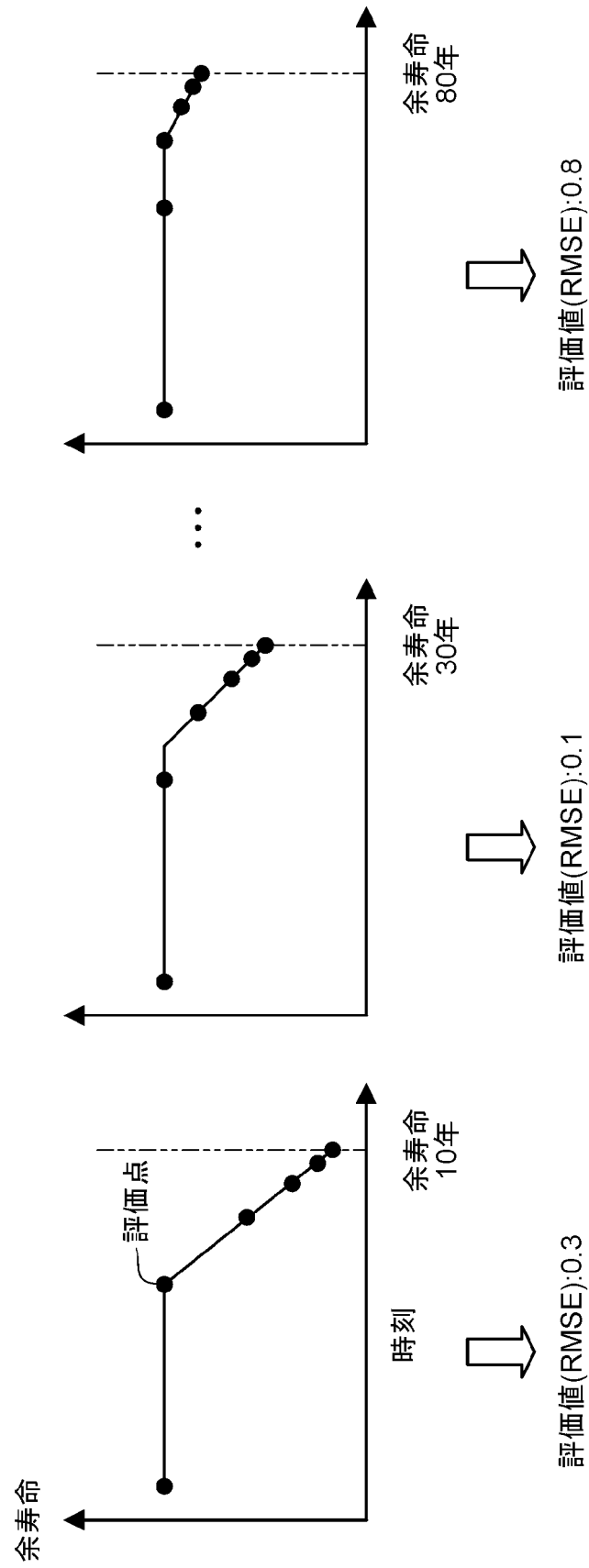
[図3]



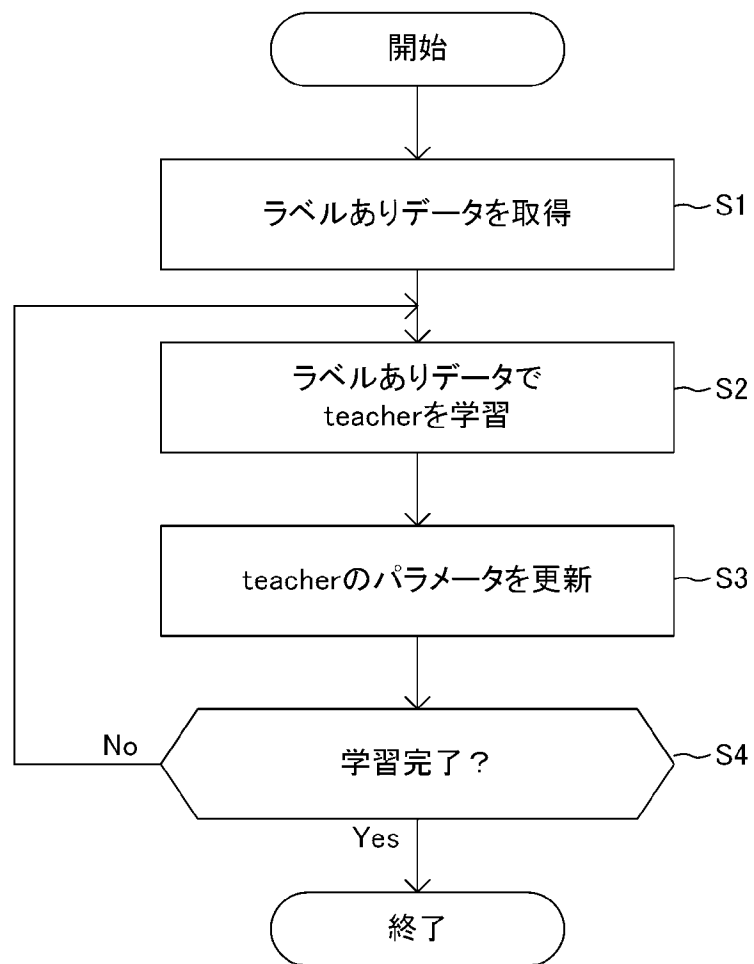
[図4]



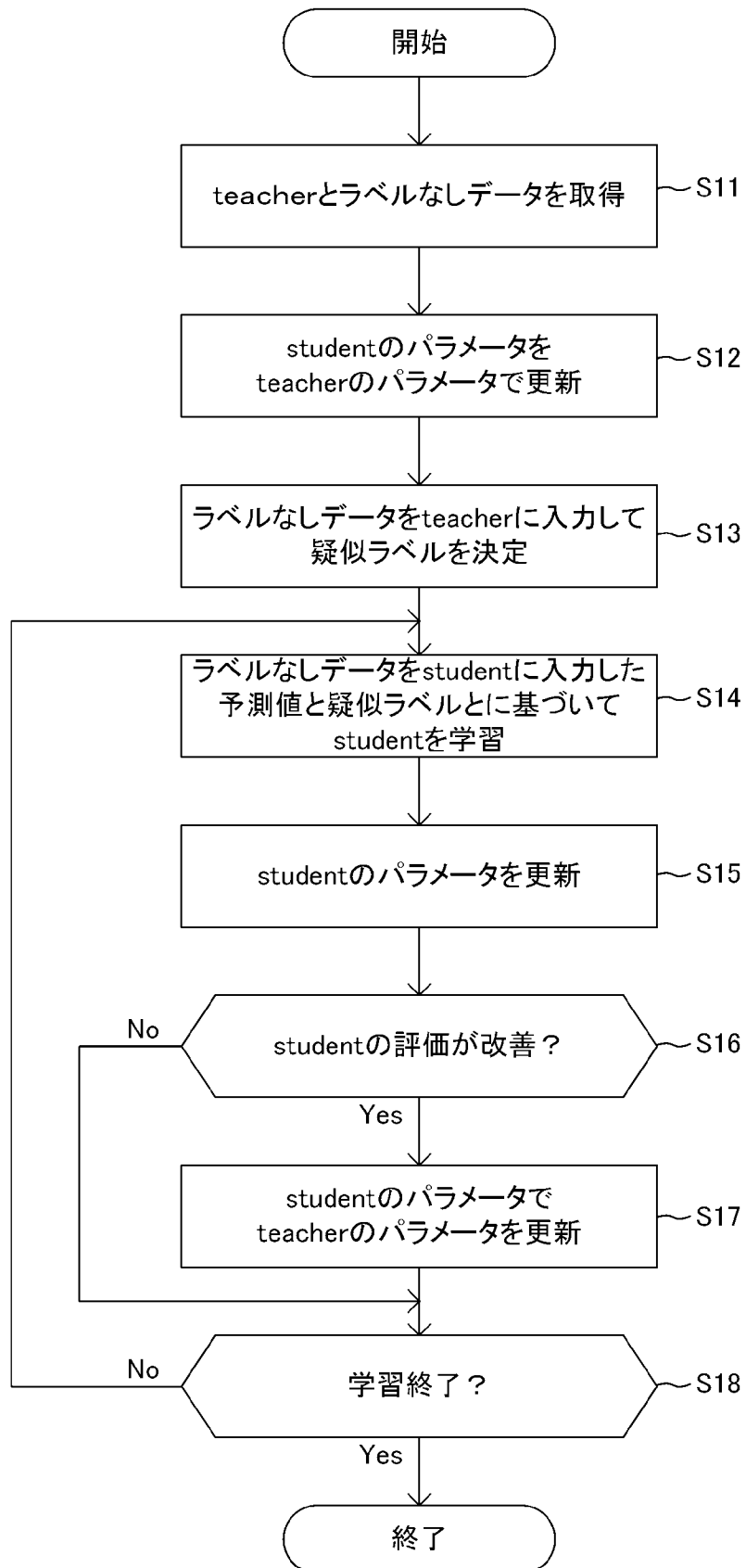
[図5]



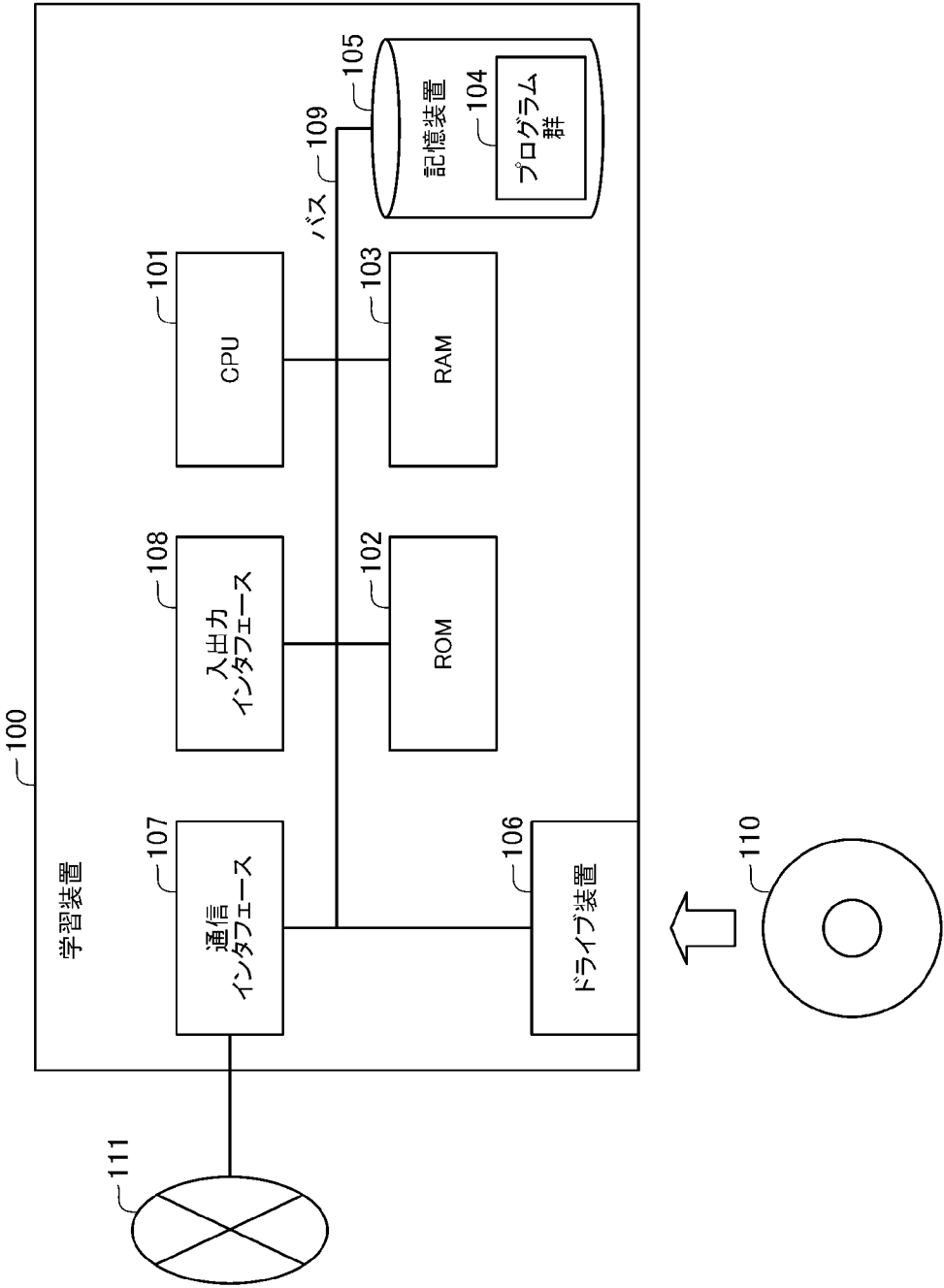
[図6]



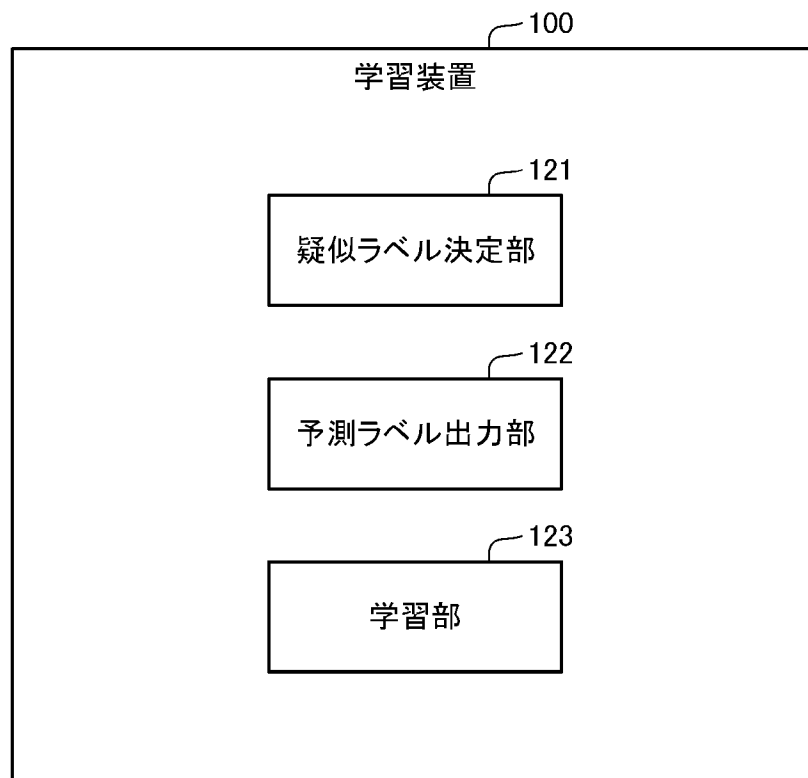
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/002311

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06N 20/00**(2019.01)i

FI: G06N20/00

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)

G06N20/00

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	JP 2017-27329 A (RENESAS ELECTRONICS CORPORATION) 02 February 2017 (2017-02-02) entire text	1-17
A	HE, Rundong et al. Safe-Student for Safe Deep Semi-Supervised Learning with Unseen-Class Unlabeled Data. 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Xplore, 27 September 2022, pp. 14565-14573, [retrieved on 28 March 2023], Internet:<URL:https://ieeexplore.ieee.org/document/9880080> entire text	1-17
A	JP 2022-56412 A (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 08 April 2022 (2022-04-08) entire text	1-17
A	WO 2019/035364 A1 (SONY CORPORATION) 21 February 2019 (2019-02-21) entire text	1-17



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
 “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

28 March 2023

Date of mailing of the international search report

11 April 2023

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/JP2023/002311

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2017-27329	A	02 February 2017	US	2017-0023634	A1	
				entire text			
JP	2022-56412	A	08 April 2022	US	2022/0101184	A1	
				entire text			
				CN	114358305	A	
WO	2019/035364	A1	21 February 2019	US	2020-0184341	A1	
				entire text			

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G06N 20/00(2019.01)i FI: G06N20/00		
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）） G06N20/00		
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 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023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	JP 2017-27329 A (ルネサスエレクトロニクス株式会社) 02.02.2017 (2017 - 02 - 02) 全文	1-17
A	HE, Rundong et al., Safe-Student for Safe Deep Semi-Supervised Learning with Unseen-Class Unlabeled Data, 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Xplore, 2022.09.27, pp.14565-14573, [検索日 20230328], インターネット:<URL:https://ieeexplore.ieee.org/document/9880080> 全文	1-17
A	JP 2022-56412 A (インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション) 08.04.2022 (2022 - 04 - 08) 全文	1-17
A	WO 2019/035364 A1 (ソニー株式会社) 21.02.2019 (2019 - 02 - 21) 全文	1-17
☐ 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、一般的な技術水準を示すもの “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 28.03.2023		国際調査報告の発送日 11.04.2023
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） 福西 章人 5B 4687 電話番号 03-3581-1101 内線 3545

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/002311

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2017-27329	A	02.02.2017	US	2017-0023634	A1	
				全文			
JP	2022-56412	A	08.04.2022	US	2022/0101184	A1	
				全文			
				CN	114358305	A	
WO	2019/035364	A1	21.02.2019	US	2020-0184341	A1	
				全文			