

(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
2023年9月7日(07.09.2023)



(10) 国際公開番号

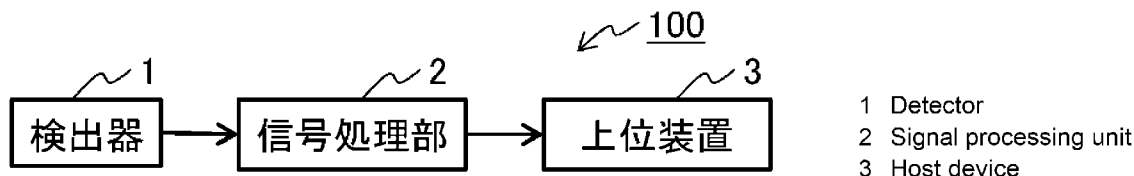
WO 2023/166592 A1

- (51) 国際特許分類:
G01T 1/17 (2006.01) G21C 17/12 (2006.01)
G01T 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/008785
- (22) 国際出願日: 2022年3月2日(02.03.2022)
- (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: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 東 哲史(AZUMA Tetsushi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 笹野 理(SASANO Makoto); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人ぱるも特許事務所(PALMO PATENT FIRM, P.C.); 〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘3丁目35番8号 Hyogo (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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, 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, 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,

(54) Title: LEARNING DEVICE AND NEUTRON MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 学習装置および中性子計測装置

図1



(57) Abstract: This learning device excludes erroneous detection, as a neutron, of a pulse signal originating from a pile-up phenomenon. This learning device is for obtaining a trained model for inferring a pulse origin, which is the origin of a pulse signal, in a neutron measurement device using a pulse measurement method, and comprises: a learning data acquisition unit (61) for acquiring learning data including pulse signals outputted from a detector (1) that is an ionization chamber or a proportional counter; and a model generation unit (62) for, by using the learning data, generating the trained model for inferring the pulse origin from a pulse signal outputted from the detector (1).

(57) 要約: パイルアップ現象を起源とするパルス信号を誤って中性子として検出することを排除する学習装置。パルス計測法を用いた中性子計測装置においてパルス信号の起源であるパルス起源を推論する学習済モデルを得る学習装置であって、電離箱あるいは比例計数管である検出器(1)から出力されるパルス信号を含む学習用データを取得する学習データ取得部(61)と、学習用データを用いて、検出器(1)から出力されるパルス信号からパルス起源を推論するための学習済モデルを生成するモデル生成部(62)とを備える。

DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, 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：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：学習装置および中性子計測装置

技術分野

[0001] 本願は、学習装置および中性子計測装置に関するものである。

背景技術

[0002] 原子炉出力監視用に用いられる中性子計測装置は、原子炉の制御および保護を行うために、炉心で発生した中性子を検出している。原子炉出力監視用の中性子計測の方法としては、検出器信号の個々のパルス数を数えるパルス計測法と、検出器信号のゆらぎ成分の二乗平均値を求めるキャンベル計測法と、検出器信号を直流電流として求める電流計測法とがある。加圧水型軽水炉（PWR）では、原子炉出力を監視するために、核燃料を装荷した炉心のある圧力容器の外に中性子検出器を設けて中性子を検出している。一般に、原子炉出力は、起動時から定格出力時まで1桁程度にわたって変化するため、計測のために便宜上は3つの領域に区分しており、原子炉の起動時から原子炉出力が比較的低い領域までを線源起動領域、定格出力付近を出力領域、線源起動領域と出力領域との間を中間領域と定義し、それぞれの領域に応じた中性子検出器と中性子計測法が用いられている。

[0003] 線源起動領域では、中性子検出器にBF₃ガス比例計測管あるいは核分裂電離箱などが用いられ、中性子計測法としてパルス計測法が用いられる。中性子検出器の出力であるパルス信号において、一般に、中性子によって生じるパルス信号の波高値は高く、中性子以外によって生じるパルス信号の波高値は低い。よって、線源起動領域では、信号のノイズとなる中性子以外の放射線の影響を除去するため、パルス信号の波高値の違いを利用した波高弁別処理を行っている。

[0004] 中間領域では、ガンマ線補償型B-10塗布電離箱には電流計測法が用いられ、核分裂電離箱にはパルス計測法とキャンベル計測法とが用いられており、炉心からの中性子以外の放射線によるノイズの影響を低減するノイズ除

去処理を施して中性子を検出している。

[0005] 出力領域では、中性子検出器にガンマ線非補償型 B-10 塗布電離箱あるいは核分裂電離箱が用いられ、中性子計測法には電流計測法が用いられる。なお、出力領域では、炉心からの中性子以外のノイズ信号の影響が相対的に小さくなるため、線源起動領域あるいは中間領域で行われているノイズ除去処理は必須とはされていない。

[0006] ここで、パルス計測法では、パルス信号の波高値の違いを利用した波高弁別処理によってノイズとなるパルス信号を除去しているが、原子炉出力の上昇に伴ってパルス信号の発生頻度が高くなると、2つ以上のパルス信号が重なり合って複数のパルス信号に対して一つの波高値しか得られないパイルアップ現象が発生する。パルス信号の波高値の違いを利用した波高弁別処理では、パイルアップ現象によるパルス信号を、誤って中性子によるパルス信号として扱われることになる。波高弁別処理を用いたパルス計測法では、パイルアップ現象によるパルス信号は、発生頻度の大小はあるものの本来はノイズとして除去されるべきパルス信号を誤って中性子によるものとして計数されてしまうため、原子炉出力を過大に示すことになる。よって、パイルアップ現象は、パルス計測法による中性子検出器の信頼性を低下させる要因であった。

[0007] パイルアップ現象による誤った計数を抑制するために、あらかじめパイルアップ現象に起因するノイズ源の発生率を予測し、パルス波高差による波高弁別処理のしきい値を設定することで、波高弁別処理の性能を改善する方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特許第5336934号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 特許文献1に示された中性子測定装置においては、ノイズであるアルファ線のパイルアップ現象によるパルス信号の最大値をしきい値判定に用いることにより、アルファ線由来のノイズであるパルス信号の除去を行っているが、あらかじめ想定されるアルファ線のパイルアップ現象によって生じる重畳信号に対するしきい値判定のみである。中性子以外の放射線のパイルアップ現象によって生じる重畳信号において、例えば、複数のガンマ線のパイルアップ現象によって生じる重畳信号の波高値、あるいは、ガンマ線とアルファ線の組み合わせのパイルアップ現象によって生じる重畳信号の波高値は、アルファ線のパイルアップ現象によって生じる重畳信号の波高値よりも高いため、特許文献1に示された中性子測定装置においては、これらの重畳信号を誤って中性子として検出してしまうという課題があった。

[0010] 本願は、上述の課題を解決するためになされたものであり、パイルアップ現象を起源とするパルス信号を誤って中性子として検出することを排除する学習装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本願に開示される学習装置は、パルス計測法を用いた中性子計測装置においてパルス信号の起源であるパルス起源を推論する学習済モデルを得る学習装置であって、核分裂電離箱あるいは比例計数管である検出器から出力されるパルス信号を含む学習用データを取得するデータ取得部と、学習用データを用いて、検出器から出力されるパルス信号からパルス起源を推論するための学習済モデルを生成するモデル生成部とを備える。

発明の効果

[0012] 本願に開示される学習装置は、検出器から出力されるパルス信号を含む学習用データを取得するデータ取得部と、学習用データを用いて、検出器から出力されるパルス信号からパルス起源を推論するための学習済モデルを生成するモデル生成部とを備えたので、パイルアップ現象を起源とするパルス信号を誤って中性子として検出することを排除することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]実施の形態1による中性子計測装置の構成を示すブロック図である。

[図2]実施の形態1における検出器の中性子検出を説明するための図である。

[図3]実施の形態1における検出器のガンマ線検出を説明するための図である。

。

[図4]実施の形態1における検出器のアルファ線検出を説明するための図である。

[図5]実施の形態1における検出器から出力されるパルス信号の例を示す図である。

[図6]実施の形態1における検出器から出力されるパイルアップ現象によるパルス信号の例を示す図である。

[図7]比較例の中性子計測装置の動作を説明するための図である。

[図8]中性子計測装置における原子炉出力と中性子検出の計数との関係を示す図である。

[図9]実施の形態1における信号処理部の構成を示すブロック図である。

[図10]実施の形態1における学習装置の構成を示すブロック図である。

[図11]実施の形態1のモデル生成部における教師なし学習の例を説明するための図である。

[図12]実施の形態1における学習装置および学習済モデル記憶部の処理を説明するためのフローチャートである。

[図13]実施の形態1における推論装置の構成を示すブロック図である。

[図14]実施の形態1における推論部の処理を説明するための図である。

[図15]実施の形態1における推論装置、計数装置および上位装置の処理を説明するためのフローチャートである。

[図16]原子炉の核分裂に起因する中性子の発生時刻を示す図である。

[図17]原子炉の中性子以外の放射線の発生時刻を示す図である。

[図18]実施の形態2による中性子計測装置の構成を示すブロック図である。

[図19]実施の形態2における信号処理部の構成を示すブロック図である。

[図20]実施の形態2における学習装置の構成を示すブロック図である。

[図21]実施の形態2のモデル生成部における教師なし学習の例を説明するための図である。

[図22]実施の形態2の学習装置におけるパイルアップ現象によるパルス信号の弁別処理を説明するための図である。

[図23]実施の形態2における推論装置の構成を示すブロック図である。

[図24]実施の形態1および実施の形態2による中性子計測装置のハードウェア構成の一例を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本願を実施するための実施の形態に係る学習装置および中性子計測装置について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一符号は同一もしくは相当部分を示している。

[0015] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1による中性子計測装置100の構成を示すブロック図である。中性子計測装置100は、原子炉からの中性子を検出する検出器1と、検出器1の出力から中性子を計数して出力する信号処理部2と、信号処理部2の出力を受信する上位装置3とを備える。上位装置3は、信号処理部2から出力される中性子の計数または計数率を処理する装置である。上位装置3は、例えば、原子炉保護用のコンピュータ、原子炉制御用のコンピュータあるいは原子炉出力監視用の表示装置である。中性子計測装置100においては、パルス計測法を用いて中性子の計測を行う。

[0016] 検出器1は、電離箱あるいは比例計数管であり、原子炉からの中性子を検出し、パルス信号を信号処理部2へ出力する。検出器1は、原子炉で発生した中性子の内のエネルギーが約0.025 eVの熱中性子との反応断面積が大きな物質を備えたものとして、核燃料物質であるウランの同位体U-235を内部に塗布した核分裂電離箱、あるいは、ホウ素の同位体B-10を含むBF₃比例計数管などが用いられる。

[0017] 図2は、実施の形態1における検出器1の中性子検出を説明するための図である。図2に示す検出器1は、核分裂電離箱であり、検出器筐体11の内

部にはガス 1 2 が充填されており、検出器筐体 1 1 の内側にはウラン塗布層 1 3 を備えている。電極 1 4 は抵抗を通して電源につながれており、検出器筐体 1 1 は接地されており、電極 1 4 と検出器筐体 1 1 とは絶縁体 1 5 によって絶縁されている。これによって、検出器筐体 1 1 と電極 1 4 との間には、高電圧が印加されている。電極 1 4 には電子回路 1 6 がつながっており、電子回路 1 6 は、電極 1 4 につながれた電源の直流電圧を遮断するコンデンサと、信号を増幅する増幅器とを備えている。

[0018] 検出器 1 に中性子 4 0 a が入射すると、ウラン塗布層 1 3 において核分裂生成物 4 1 a が発生し、これに伴ってイオン群 4 2 および電子群 4 3 が発生する。検出器 1 が B F 3 比例計数管の場合は、検出器 1 に中性子 4 0 a が入射すると、入射された中性子 4 0 a と B - 1 0 との原子核反応によって核分裂生成物 4 1 a が発生し、これに伴ってイオン群 4 2 および電子群 4 3 が発生する。発生したイオン群 4 2 は検出器筐体 1 1 に集まり、発生した電子群 4 3 は電極 1 4 に集まることにより、電子回路 1 6 からパルス信号が出力される。

[0019] 検出器 1 は、原理上、中性子 4 0 a のみを検出することは不可能であり、原子炉で発生した核分裂生成物に由来するガンマ線、あるいは、原子炉周辺の構造物の放射化に由来するガンマ線を検出する。図 3 は、実施の形態 1 における検出器 1 のガンマ線検出を説明するための図である。図 3 は、検出器 1 にガンマ線 4 0 b が入射され、電子 4 1 b、イオン群 4 2 および電子群 4 3 が発生する様子を示しており、このときにも電子回路 1 6 からパルス信号が出力される。

[0020] さらに、検出器 1 が核分裂電離箱の場合は、内部のウラン塗布層 1 3 の U - 2 3 5 が中性子との核反応によってアルファ崩壊する放射性同位体に核変換し、検出器 1 の内部にアルファ線が発生することがある。図 4 は、実施の形態 1 における検出器 1 のアルファ線検出を説明するための図である。図 4 は、検出器 1 の内部に発生したアルファ線 4 1 c によってイオン群 4 2 および電子群 4 3 が発生する様子を示しており、このときにも電子回路 1 6 から

パルス信号が出力される。

[0021] 図5は、実施の形態1における検出器1から出力されるパルス信号の例を示す図である。図5において、左の図は検出器1に中性子が入射したときに出力される中性子検出によるパルス信号50aを示しており、中央の図は検出器1にガンマ線が入射したときに出力されるガンマ線検出によるパルス信号50bを示しており、右の図は検出器1の内部にアルファ線が発生したときに出力されるアルファ線検出によるパルス信号50cを示している。図5に示すそれぞれの図において、横軸は時間を示しており、縦軸は電圧を示している。検出器1が核分裂電離箱の場合は、中性子検出によるパルス信号50aは、U-235と中性子との核分裂反応による約200MeVのエネルギーを起源としており、生成された核分裂生成物41aが持つエネルギーに由来する波高値を持っている。ガンマ線検出によるパルス信号50bは、ガンマ線と検出器筐体11との相互作用、あるいは、ガンマ線とウラン塗布層13との相互作用によって生成された数十から数百keVの電子41bによるものであり、ガンマ線検出によるパルス信号50bの波高値は、中性子検出によるパルス信号50aの波高値よりも低い。中性子とウラン塗布層13のU-235との核反応によって生成されたアルファ崩壊する放射性同位体が放出するアルファ線41cのエネルギーは約5MeVであり、アルファ線検出によるパルス信号50cの波高値は中性子検出によるパルス信号50aの波高値の数%程度となる。

[0022] 以上により、パルス信号の波高値は、中性子検出によるパルス信号50aの波高値が最も高く、次いで、アルファ線検出によるパルス信号50cの波高値が高く、ガンマ線検出によるパルス信号50bの波高値が最も低い。

[0023] なお、検出器1がBF3比例計数管の場合の中性子検出によるパルス信号は、B-10と中性子との核反応による最大2.7MeVのエネルギーを起源とした波高値を持つ。検出器1がBF3比例計数管の場合のガンマ線検出によるパルス信号の波高値は、検出器1が核分裂電離箱の場合と同じである。検出器1がBF3比例計数管の場合は、核分裂電離箱のようにアルファ崩

壊する放射性同位体は生成されないので、アルファ線検出によるパルス信号は出力されない。

[0024] また、電子回路 16 において電荷を積分する回路を用いる場合には、パルス信号を生成する起源によって、パルス信号の立ち上がり時間が異なる。立ち上がり時間は、例えば、パルス信号の最大値の 20% から 80% に立ち上がる時間で定義される。図 5 の左の図においては、中性子検出によるパルス信号 50a の立ち上がり時間 51a が示されている。検出器 1 が核分裂電離箱の場合は、中性子 40a と U-235 との核反応によって生じた核分裂生成物 41a、ガンマ線 40b を起源とした相互作用によって生じた電子 41b、あるいは、ウラン塗布層 13 に生成されたアルファ崩壊する放射性同位体が放出するアルファ線 41c によって、内部に充填されたガス 12 が電離されるが、電離が生じる範囲はそれぞれの起源によって異なる。その結果、パルス信号の立ち上がり時間は、中性子検出によるパルス信号 50a、ガンマ線検出によるパルス信号 50b およびアルファ線検出によるパルス信号 50c のそれぞれにおいて異なり、パルス信号の立ち上がり時間にも起源となった放射線固有の情報が含まれている。

[0025] 検出器 1 が出力するパルス信号としては、中性子検出によるパルス信号 50a、ガンマ線検出によるパルス信号 50b、および、アルファ線検出によるパルス信号 50c に加えて、パイルアップ現象によるパルス信号がある。図 6 は、検出器 1 から出力されるパイルアップ現象によるパルス信号の例を示す図である。パイルアップ現象とは、中性子検出によるパルス信号、あるいは、中性子以外の放射線検出によるパルス信号が、同時あるいはほぼ同時に現れ、複数のパルス信号が重畳した重畳信号を出力することを指しており、原子炉の出力が上昇するに伴い、重畳する割合が増加する。図 6 は、アルファ線検出によるパルス信号 50c と中性子検出によるパルス信号 50a とが重畳したパイルアップ現象によるパルス信号 50d の例を示している。なお、重畳されるパルス信号の個数、および、複数のパルス信号が重畳されるタイミングは、一意には決まらない。

[0026] パイルアップ現象によるパルス信号50dは、大別すると、中性子検出によるパルス信号50aのみが複数個重畳したもの、中性子検出によるパルス信号50aとガンマ線検出によるパルス信号50bとが重畳したもの、ガンマ線検出によるパルス信号50bのみが複数個重畳したものがある。検出器1が核分裂電離箱の場合は、さらに、アルファ線検出によるパルス信号50cのみが複数個重畳したものがある。

[0027] 図7は、比較例の中性子計測装置の動作を説明するための図である。比較例の中性子計測装置は、図1に示す実施の形態1による中性子計測装置100と同じ検出器1を備えている。比較例の中性子計測装置の信号処理部においては、中性子検出によるパルス信号50aを選択的に計数するために、例えば、図7に示すように、波高値があらかじめ定められたしきい値52を超えるパルス信号を、中性子を起源とするものと判断している。ここで、しきい値52は、測定における調整要素として任意に設定され、例えば、図7の左の図に示すように、中性子検出によるパルス信号50aの波高値の最小値よりも小さい値に設定される。しきい値52は、検出器1がBF3比例計数管の場合は、例えば、図7の右の図に示すように、中性子以外の放射線であるガンマ線検出によるパルス信号50bの波高値の最大値に設定されてもよい。検出器1が核分裂電離箱の場合は、しきい値52は、アルファ線検出によるパルス信号50cの波高値の最大値に設定されてもよい。

[0028] 比較例の中性子計測装置の信号処理部にパイルアップ現象によるパルス信号が入力され、パイルアップ現象によるパルス信号が中性子検出によるパルス信号50aのみが複数個重畳したものであった場合、パイルアップ現象によるパルス信号を1つの中性子検出によるパルス信号50aとして数えてしまう。その結果、中性子検出によるパルス信号50aの数え落としが発生することになり、実際の中性子の数よりも少ない数を入力することになる。また、例えば、パイルアップ現象によるパルス信号がガンマ線検出によるパルス信号50bのみが複数個重畳したものであり波高値がしきい値52を超えた場合、あるいは、パイルアップ現象によるパルス信号がアルファ線検出に

よるパルス信号50cのみが複数個重畳したものであり波高値がしきい値52を超えた場合、パイルアップ現象によるパルス信号を1つの中性子検出によるパルス信号50aとして数えてしまい、実際の中性子の数よりも多い数を出力することになる。いずれの場合も、比較例の中性子計測装置の信頼性を低下させてしまうことになる。

[0029] 比較例の中性子計測装置の信頼性が低下する要因としては、原子炉の出力上昇に伴って中性子だけでなく中性子以外の放射線も増加し、パイルアップ現象が発生することにある。図8は、中性子計測装置における原子炉出力と中性子検出の計数との関係を示す図である。中性子計測装置において正しく計測が行われている場合は、直線53aに示すように、原子炉出力と中性子の計数とが線形性を示す。比較例の中性子計測装置においては、中性子よりも中性子以外の放射線が多く存在する場合、原子炉の出力上昇に伴ってパイルアップ現象によって中性子以外の放射線検出によるパルス信号が重畳した重畳信号によって計数が過大となり、曲線53bに示すように原子炉出力と中性子の計数との線形性が崩れる。あるいは、中性子以外の放射線が多く存在しない場合は、中性子検出によるパルス信号のみが重畳することによって計数が過少となり、曲線53cに示すように原子炉出力と中性子の計数との線形性が崩れる。

[0030] 次に、実施の形態1による中性子計測装置100の信号処理部2について説明する。信号処理部2は、あらかじめ設定した測定時間内に検出された中性子によるパルス信号の計数を出力する。信号処理部2は、あらかじめ設定した測定間隔において、測定間隔の時間内の中性子によるパルス信号の計数を測定間隔で割った値を計数率として出力してもよい。図9は、実施の形態1における信号処理部2の構成を示すブロック図である。信号処理部2は、学習装置60と、学習済モデル記憶部21と、推論装置70と、計数装置22とを備える。

[0031] 図10は、実施の形態1における学習装置60の構成を示すブロック図である。学習装置60は、電離箱あるいは比例計数管である検出器1から出力

されるパルス信号を含む学習用データを取得する学習データ取得部 6 1 と、学習用データを用いて、検出器 1 から出力されるパルス信号からパルス信号の起源であるパルス起源を推論するための学習済モデルを生成するモデル生成部 6 2 とを備える。

[0032] 学習データ取得部 6 1 は、検出器 1 から出力されるアナログ信号のパルス信号を取得し、アナログのパルス信号をデジタル信号に変換したデジタルのパルス信号をモデル生成部 6 2 に出力する。アナログ信号からデジタル信号に変換する時間幅は、取得したパルス信号の全体が含まれる時間幅であればよく、例えば、取得したパルス信号がゼロから立ち上がる立ち上がり時刻から再びゼロになる終息時刻までを含む時間幅である。また、アナログ信号からデジタル信号に変換する時間分解能は、モデル生成部 6 2 において学習済モデルを生成するために十分な時間分解能であればよい。検出器 1 から出力されるパルス信号は、パルス信号を生成する起源によって特徴を有しており、学習データ取得部 6 1 は、中性子検出によるパルス信号すなわち中性子を起源とするパルス信号と、ガンマ線検出によるパルス信号すなわち中性子以外の放射線を起源とするパルス信号と、パイルアップ現象によるパルス信号すなわちパイルアップ現象を起源とするパルス信号とを含む学習用データを取得する。検出器 1 が核分裂電離箱の場合は、学習データ取得部 6 1 は、さらに、アルファ線検出によるパルス信号を含む学習用データを取得する。

[0033] モデル生成部 6 2 は、学習データ取得部 6 1 から出力される学習用データを用いて、検出器 1 から出力されるパルス信号からパルス信号の起源であるパルス起源を推論するための学習済モデルを生成する。モデル生成部 6 2 が用いる学習アルゴリズムは、教師あり学習、教師なし学習、強化学習等の公知のアルゴリズムを用いることができる。一例として、教師なし学習である K 平均法を適用した場合について説明する。教師なし学習とは、結果であるラベルを含まない学習用データを学習装置に与えることで、それらの学習用データにある特徴を学習する手法をいう。

[0034] 図 1 1 は、実施の形態 1 のモデル生成部 6 2 における教師なし学習の例を

説明するための図である。実施の形態 1 における学習済モデルは、検出器 1 から出力されるパルス信号から、パルス信号の起源であるパルス起源が、中性子、中性子以外の放射線、あるいは、パイルアップ現象のいずれであるかを推論するものである。モデル生成部 62 は、例えば、K 平均法によるグループ分け手法に従って、いわゆる教師なし学習によりパルス信号の起源を学習する。K 平均法とは、非階層型クラスタリングのアルゴリズムであり、クラスタの平均を用い、与えられたクラスタ数を k 個に分類する手法である。

[0035] 具体的には、K 平均法は、以下のような流れで処理される。まず、各データ x_i に対してランダムにクラスタを割り振る。次いで、割り振ったデータをもとに各クラスタの中心 V_j を計算する。次いで、各 x_i と各 V_j との距離を求め、 x_i を最も近い中心のクラスタに割り当て直す。そして、上記の処理で全ての x_i のクラスタの割り当てが変化しなかった場合、あるいは変化量が事前に設定した一定のしきい値を下まわった場合に、収束したと判断して処理を終了する。実施の形態 1 の学習装置 60 では、学習データ取得部 61 によって取得されるパルス信号に基づいて作成される学習用データに従って、いわゆる教師なし学習によってパルス信号の起源であるパルス起源を学習する。実施の形態 1 の学習装置 60 では、例えば、図 11 に示されるように、中性子検出によるパルス信号 50a、ガンマ線検出によるパルス信号 50b およびパイルアップ現象によるパルス信号 50d を含む学習用データ 80 に従って、いわゆる教師なし学習によってパルス信号の起源であるパルス起源を学習し、3つのグループへのグループ分けを行う。さらに、例えば、原子炉内を再現した数値計算から中性子を起源とするパルス信号のシミュレーションデータを作成し、作成されたパルス信号のシミュレーションデータを学習済モデル 81 に入力したときに振り分けられたグループを、中性子を起源とするグループ 82 とする。さらに、原子炉内を再現した数値計算からガンマ線を起源とするパルス信号のシミュレーションデータを作成し、作成されたパルス信号のシミュレーションデータを学習済モデル 81 に入力したときに振り分けられたグループを、中性子以外の放射線を起源とするグル

ープ83とし、原子炉内を再現した数値計算からパイルアップ現象を起源とするパルス信号のシミュレーションデータを作成し、作成されたパルス信号のシミュレーションデータを学習済モデル81に入力したときに振り分けられたグループを、パイルアップ現象を起源とするグループ84としてもよい。モデル生成部62は、以上のような学習を実行することで学習済モデルを生成し、出力する。学習済モデル記憶部21は、モデル生成部62から出力された学習済モデルを記憶する。

[0036] 図12は、実施の形態1における学習装置60および学習済モデル記憶部21の処理を説明するためのフローチャートである。図12は、学習装置60の学習処理に関するフローチャートである。ステップS01は学習パルス信号取得ステップであり、ステップS02は学習処理ステップであり、ステップS03は学習済モデル記憶ステップである。

[0037] ステップS01では、学習データ取得部61は、検出器1から出力される学習用のパルス信号を含む学習用データを取得し、モデル生成部62に出力し、ステップS02に進む。ステップS02では、モデル生成部62は、パルス信号に基づいて作成される学習用データに従って、いわゆる教師なし学習により出力となるパルス信号の起源であるパルス起源を学習し、学習済モデルを生成し、生成した学習済モデルを学習済モデル記憶部21に出力し、ステップS03に進む。ステップS03では、学習済モデル記憶部21は、モデル生成部62から取得した学習済モデルを記憶し、処理を終了する。

[0038] 次に、実施の形態1による中性子計測装置100の推論装置70について説明する。図13は、実施の形態1における推論装置70の構成を示すブロック図である。推論装置70は、電離箱あるいは比例計数管である検出器1から出力される検出用のパルス信号を取得する検出データ取得部71と、パルス信号からパルス信号の起源であるパルス起源を推論するための学習済モデルを用いて、検出データ取得部71で取得したパルス信号からパルス起源を出力する推論部72とを備える。

[0039] 検出データ取得部71は、検出器1から出力されるアナログ信号のパルス

信号を取得し、パルス信号をデジタル信号に変換したデジタルのパルス信号を推論部 7 2 に出力する。アナログ信号からデジタル信号に変換する時間幅は、取得したパルス信号の全体が含まれる時間幅であればよく、例えば、取得したパルス信号の立ち上がり時刻から終息時刻までを含む時間幅である。また、アナログ信号からデジタル信号に変換する時間分解能は、推論部 7 2 において学習済モデル記憶部 2 1 に記憶された学習済モデルを利用してパルス起源を推論するために十分な時間分解能であればよく、学習データ取得部 6 1 においてアナログ信号からデジタル信号に変換する時間分解能と同じであってもよい。

[0040] 推論部 7 2 は、学習済モデル記憶部 2 1 に記憶された学習済モデルを利用して、パルス信号の起源であるパルス起源を推論する。すなわち、検出データ取得部 7 1 において取得したパルス信号をこの学習済モデルに入力することで、入力されたパルス信号がいずれのクラスに属するかを推論し、推論結果をパルス起源として出力することができる。図 1 4 は、実施の形態 1 における推論部 7 2 の処理を説明するための図である。例えば、図 1 4 の上の図は、推論部 7 2 に中性子検出によるパルス信号 5 0 a が入力されたときに、推論部 7 2 において学習済モデル 8 1 の中性子を起源とするグループ 8 2 に振り分けられ、推論結果のパルス起源として「中性子」が出力されることを示している。図 1 4 の中央の図は、推論部 7 2 にガンマ線検出によるパルス信号 5 0 b が入力されたときに、推論部 7 2 において学習済モデル 8 1 の中性子以外の放射線を起源とするグループ 8 3 に振り分けられ、推論結果のパルス起源として「中性子以外の放射線」が出力されることを示している。図 1 4 の下の図は、推論部 7 2 にパイルアップ現象によるパルス信号 5 0 d が入力されたときに、推論部 7 2 において学習済モデル 8 1 のパイルアップ現象を起源とするグループ 8 4 に振り分けられ、推論結果のパルス起源として「パイルアップ現象」が出力されることを示している。

[0041] なお、実施の形態 1 では、推論部 7 2 は、中性子計測装置 1 0 0 のモデル生成部 6 2 で学習した学習済モデルを用いて出力となるパルス起源を出力す

るものとして説明したが、他の中性子計測装置などの外部から学習済モデルを取得し、この学習済モデルに基づいて出力となるパルス起源を出力するようにしてもよい。

[0042] 図15は、実施の形態1における推論装置70、計数装置22および上位装置3の処理を説明するためのフローチャートである。ステップS11は検出パルス信号取得ステップであり、ステップS12は推論処理ステップであり、ステップS13はパルス起源出力ステップであり、ステップS14は測定時間確認ステップであり、ステップS15は計数算出ステップであり、ステップS16は上位装置処理ステップである。

[0043] ステップS11では、検出データ取得部71は、検出器1から出力される検出用のパルス信号を取得して推論部72に出力し、ステップS12に進む。ステップS12では、推論部72は、学習済モデル記憶部21に記憶された学習済モデルに検出データ取得部71から取得したパルス信号を入力し、出力となるパルス起源を得て、ステップS13に進む。ステップS13では、推論部72は、学習済モデルの出力であるパルス起源を計数装置22に出力して、ステップS14に進む。ステップS14では、計数装置22は、あらかじめ設定された測定時間が経過したかどうかを確認し、測定時間が経過した場合はステップS15に進み、測定時間が経過していない場合はステップS11に戻ってステップS11からステップS13の処理を再び行う。ステップS15では、計数装置22は、測定時間内に推論部72から受信したパルス起源が中性子であるパルス信号の数を数えた結果を計数として上位装置3に出力して、ステップS16に進む。ステップS16では、上位装置3は、計数装置22から取得した計数を表示する、あるいは、計数装置22から取得した計数をもとに原子炉を制御し、処理を終了する。

[0044] なお、ステップS11からステップS13の処理を繰り返し行い、計数装置22があらかじめ設定された測定時間内に推論部72から取得した受信したパルス起源が中性子であるパルス信号の数を数えた結果を計数として上位装置3に出力してもよい。また、ステップS11からステップS13の処理

を繰り返し行い、計数装置 22 があらかじめ設定した測定間隔において、測定間隔の時間内のパルス起源が中性子であるパルス信号の計数を測定間隔の時間で割った値を計数率として出力してもよい。なお、測定時間あるいは測定間隔は、例えば、原子炉の保護動作となる信号の検知、上位装置 3 への伝送から、種々演算による判定の後、制御棒を挿入し、炉心の保護を確保するまでに中性子計測装置が応答可能な時間であればよく、一般に数 msec から数百 msec である。

[0045] 以上の処理により、パイルアップ現象を起源とするパルス信号を誤って中性子として検出することを排除することができ、その結果、パルス起源が中性子であるパルス信号の計数を取得でき、パイルアップ現象を起源とするパルス信号による誤った計数を除くことができる。よって、原子炉出力の監視を、過大評価あるいは過小評価が無く高精度に実施することができる。

[0046] なお、モデル生成部 62 あるいは推論部 72 が用いる学習アルゴリズムに教師なし学習を適用した場合について説明したが、これに限るものではない。学習アルゴリズムについては、教師なし学習以外にも、強化学習、教師あり学習、または、半教師あり学習などを適用することも可能である。また、学習装置 60 に用いられる学習アルゴリズムとしては、特徴量そのものの抽出を学習する深層学習を用いることもでき、他の公知の方法でもよい。教師なし学習を実現する場合、先に示した K 平均法による非階層型クラスタリングに限らず、クラスタリング可能な他の公知の方法であればよい。例えば、最短距離法等の階層型クラスタリングであってもよい。教師あり学習を実現する場合は、例えば、原子炉内を再現した数値計算から、シミュレーションデータとして、中性子検出によるパルス信号、ガンマ線検出によるパルス信号、アルファ線検出によるパルス信号、および、パイルアップ現象によるパルス信号を生成し、これらのパルス信号をパルス起源が分かっている学習用データとして用いてもよい。

[0047] また、実施の形態 1 において、検出器 1 はデジタル信号のパルス信号を出力し、学習装置 60 および推論装置 70 はネットワークを介して検出器 1 あ

るいは計数装置 22 に接続されるものとしてもよい。また、学習装置 60 および推論装置 70 は、中性子計測装置 100 に内蔵されていてもよい。さらに、検出器 1 はデジタル信号のパルス信号を出力し、学習装置 60 および推論装置 70 はクラウドサーバ上に存在してもよい。学習装置 60 および推論装置 70 がネットワークを介して検出器 1 あるいは計数装置 22 に接続される場合、あるいは、学習装置 60 および推論装置 70 がクラウドサーバ上に存在する場合は、学習データ取得部 61 および検出データ取得部 71 はデジタル信号のパルス信号を取得する。

[0048] また、モデル生成部 62 は、複数の中性子計測装置に対して作成される学習用データに従って、入力されたパルス信号を生成する起源を学習するようにしてもよい。なお、モデル生成部 62 は、同一のエリアで使用される複数の中性子計測装置から学習用データを取得してもよいし、異なるエリアで独立して動作する複数の中性子計測装置から収集される学習用データを利用して、入力されたパルス信号を生成する起源を学習してもよい。その他、原子炉内を再現した数値計算から得られる中性子計測装置のパルス信号から作成される学習用データに従って、入力されたパルス信号を生成する起源を学習するようにしてもよい。また、学習用データを収集する中性子計測装置を途中で対象に追加したり、対象から除去したりすることも可能である。さらに、ある中性子計測装置に関して入力されたパルス信号を生成する起源を学習した学習装置 60 を、これとは別の入力されたパルス信号を生成する起源に適用し、当該別の入力されたパルス信号を生成する起源に関して入力されたパルス信号を生成する起源を再学習して更新するようにしてもよい。

[0049] 以上のように、実施の形態 1 による学習装置 60 は、パルス計測法を用いた中性子計測装置 100 においてパルス信号の起源であるパルス起源を推論する学習済モデルを得る学習装置 60 であって、電離箱あるいは比例計数管である検出器 1 から出力されるパルス信号を含む学習用データを取得する学習データ取得部 61 と、学習用データを用いて、検出器 1 から出力されるパルス信号からパルス起源を推論するための学習済モデルを生成するモデル生

成部 6 2 とを備えたので、パイルアップ現象を起源とするパルス信号を誤って中性子として検出することを排除することができる。

[0050] 実施の形態 2.

最初に、検出器 1 から出力されるパルス信号の発生時刻について説明する。図 1 6 は、原子炉の核分裂に起因する中性子の発生時刻を示す図である。図 1 6 では、横軸は時間を示しており、斜線で示された部分は横軸で示された時刻に中性子が発生していることを示している。図 1 6 に示されるように、原子炉内では、核分裂反応に起因して発生する中性子が離散的に生じている。運転状態の原子炉の中では、中性子が飛び交っており、その一部の中性子を検出器で捉え計測している。ここで、核分裂が発生しない場合を考えると、原子炉内の中性子の発生と移動はランダムで起こるため、いずれのタイミングにおいても独立的に中性子を計測することになる。一方、核分裂が発生する場合を考えると、一つ中性子から核分裂の連鎖反応で発生した同じ世代に属する中性子の集団が原子炉内を飛び交うことになり離散的に生じる。つまり、計測される中性子としては、集団が発生したタイミングだと立て続けに計測できるが、発生しないタイミングだと計測できない状態となる。一方、図 1 7 は、原子炉における中性子以外の放射線の発生時刻を示す図である。図 1 7 では、横軸は時間を示しており、斜線で示された部分は横軸で示された時刻に中性子以外の放射線が発生していることを示している。図 1 7 に示されるように、原子炉からは中性子以外の放射線が常に発生している。図 1 6 および図 1 7 に示されることから、図 1 6 において斜線で示された時刻に検出器 1 から出力されるパイルアップ現象によるパルス信号には、中性子を含むパイルアップ現象によるパルス信号が多く含まれることが分かる。よって、実施の形態 2 による中性子計測装置では、パルス信号と検出器 1 からパルス信号を取得した時刻である取得時刻とからパルス起源を推論するための学習済モデルを用いる。

[0051] 図 1 8 は、実施の形態 2 による中性子計測装置 1 0 0 a の構成を示すブロック図である。図 1 8 に示す実施の形態 2 による中性子計測装置 1 0 0 a を

図 1 に示す実施の形態 1 による中性子計測装置 100 と比較すると、信号処理部 2 が信号処理部 2 a になっている。実施の形態 2 による中性子計測装置 100 a の他の構成は、実施の形態 1 による中性子計測装置 100 の構成と同じである。

[0052] 図 19 は、実施の形態 2 における信号処理部 2 a の構成を示すブロック図である。図 19 に示す実施の形態 2 における信号処理部 2 a を図 9 に示す実施の形態 1 における信号処理部 2 と比較すると、学習装置 60 が学習装置 60 a になっており、学習済モデル記憶部 21 が学習済モデル記憶部 21 a になっており、推論装置 70 が推論装置 70 a になっており、計数装置 22 が計数装置 22 a になっている。

[0053] 図 20 は、実施の形態 2 における学習装置 60 a の構成を示すブロック図である。図 20 に示す実施の形態 2 における学習装置 60 a を図 10 に示す実施の形態 1 における学習装置 60 と比較すると、学習データ取得部 61 が学習データ取得部 61 a になっており、モデル生成部 62 がモデル生成部 62 a になっている。

[0054] 学習データ取得部 61 a は、検出器 1 から出力されたアナログ信号のパルス信号を取得する。さらに、学習データ取得部 61 a は、学習データ取得部 61 a が検出器 1 からパルス信号を取得した時刻である取得時刻の情報を取得する。学習データ取得部 61 a は、学習データ取得部 61 a が検出器 1 からパルス信号を取得したタイミングにおいて外部の時計から取得時刻の情報を取得してもよく、内部に時計を備えて取得時刻の情報を取得してもよい。学習データ取得部 61 a は、取得したパルス信号と取得時刻との組を学習用データとしてモデル生成部 62 a に出力する。

[0055] モデル生成部 62 a は、学習データ取得部 61 a から出力されるパルス信号と取得時刻とが組となった学習用データを用いて、パルス信号および取得時刻からパルス信号の起源であるパルス起源を推論するための学習済モデルを生成する。図 21 は、実施の形態 2 のモデル生成部 62 a における教師なし学習の例を説明するための図である。実施の形態 2 における学習済モデル

8 1 a は、検出器 1 から出力されるパルス信号および取得時刻から、パルス信号の起源であるパルス起源が、中性子、中性子以外の放射線、中性子を含むパイルアップ現象あるいは中性子を含まないパイルアップ現象のいずれであるかを推論するものである。モデル生成部 6 2 a は、例えば、K 平均法によるグループ分け手法に従って、いわゆる教師なし学習によりパルス信号の起源を学習する。

[0056] 実施の形態 2 の学習装置 6 0 a では、学習データ取得部 6 1 a によって取得されるパルス信号および取得時刻に基づいて作成される学習用データに従って、いわゆる教師なし学習によってパルス信号の起源であるパルス起源を学習する。実施の形態 2 の学習装置 6 0 a では、例えば、図 2 1 に示されるように、取得時刻を含む中性子検出によるパルス信号 5 6 a、取得時刻を含むガンマ線検出によるパルス信号 5 6 b、および、取得時刻を含むパイルアップ現象によるパルス信号 5 6 d を含む学習用データ 8 0 a に従って、いわゆる教師なし学習によってパルス信号の起源であるパルス起源を学習し、中性子を起源とするグループ 8 2、中性子以外の放射線を起源とするグループ 8 3、中性子を含むパイルアップ現象を起源とするグループ 8 5、および、中性子を含まないパイルアップ現象を起源とするグループ 8 6 の、4 つのグループへのグループ分けを行う。実施の形態 2 の学習装置 6 0 a では、取得時刻の情報を用いることにより、パイルアップ現象を起源とするグループ 8 4 を、中性子を含むパイルアップ現象を起源とするグループ 8 5 と中性子を含まないパイルアップ現象を起源とするグループ 8 6 の 2 つのグループに分ける。

[0057] 図 2 2 は、実施の形態 2 の学習装置 6 0 a におけるパイルアップ現象によるパルス信号の弁別処理を説明するための図である。図 2 2 は、図 1 8 の検出器 1 からの出力信号を示しており、横軸は時間を示しており、縦軸は電圧を示している。図 2 2 では、検出器 1 から、中性子検出によるパルス信号 5 0 a、パイルアップ現象によるパルス信号、アルファ線検出によるパルス信号 5 0 c、パイルアップ現象によるパルス信号、アルファ線検出によるパル

ス信号 50c、パイルアップ現象によるパルス信号、中性子検出によるパルス信号 50a、パイルアップ現象によるパルス信号、ガンマ線検出によるパルス信号 50b の順番に信号が出力されていることを示している。学習データ取得部 61a では、図 22 に示されたそれぞれのパルス信号を取得するとともに、パルス信号の立ち上がり時刻を、パルス信号を取得した時刻である取得時刻として取得し、取得したパルス信号と取得時刻との組を学習用データとして出力する。

[0058] モデル生成部 62a におけるパイルアップ現象によるパルス信号の弁別については、中性子測定時間 55 をあらかじめ設定し、中性子検出によるパルス信号 50a の立ち上がり時刻から中性子測定時間 55 の間に検出されたパイルアップ現象によるパルス信号を、中性子を含むパイルアップ現象によるパルス信号 50e とし、中性子を含むパイルアップ現象によるパルス信号 50e が含まれるグループを、中性子を含むパイルアップ現象を起源とするグループ 85 とする。また、中性子検出によるパルス信号 50a の立ち上がり時刻から中性子測定時間 55 の間ではない時刻に検出されたパイルアップ現象によるパルス信号は、中性子を含まないパイルアップ現象によるパルス信号 50f とし、中性子を含まないパイルアップ現象によるパルス信号 50f が含まれるグループを、中性子を含まないパイルアップ現象を起源とするグループ 86 とする。

[0059] 中性子測定時間 55 は、例えば、中性子寿命とする。中性子寿命とは、原子炉の中での核分裂により中性子が発生した後、吸収または原子炉外への漏れによって中性子が消滅するまで、中性子が原子炉内に存在する平均時間であって、原子炉内の中性子の総数を単位時間に消滅する中性子の数で割ったものが中性子寿命となる。なお、消滅した中性子の一部は、燃料に吸収された核分裂を引き起こし、次の世代の中性子を発生するが、ある世代の核反応とその次の世代の核反応の時間間隔である中性子寿命は、一般の軽水炉で 0.05 秒から 0.07 秒である。よって、中性子測定時間 55 は、0.05 秒から 0.07 秒の値とする。中性子検出によるパルス信号 50a の立ち上

がり時刻から中性子測定時間 5 5 の間に発生するパイルアップ現象は中性子によるものが大半を占めるため、実施の形態 2 の学習装置 6 0 a では、中性子検出によるパルス信号 5 0 a の立ち上がり時刻から中性子測定時間 5 5 の間に検出されたパイルアップ現象によるパルス信号は、中性子を含むパイルアップ現象によるパルス信号 5 0 e として、中性子を含むパイルアップ現象を起源とするグループ 8 5 に含まれるものとする。また、中性子検出によるパルス信号 5 0 a の立ち上がり時刻から中性子測定時間 5 5 の間ではない時刻に発生するパイルアップ現象は中性子によらないものが大半を占めるため、実施の形態 2 の学習装置 6 0 a では、中性子検出によるパルス信号 5 0 a の立ち上がり時刻から中性子測定時間 5 5 の間ではない時刻に検出されたパイルアップ現象によるパルス信号は、中性子を含まないパイルアップ現象によるパルス信号 5 0 f として、中性子を含まないパイルアップ現象を起源とするグループ 8 6 に含まれるものとする。

[0060] 図 2 3 は、実施の形態 2 における推論装置 7 0 a の構成を示すブロック図である。図 2 3 に示す実施の形態 2 における推論装置 7 0 a を図 1 3 に示す実施の形態 1 における推論装置 7 0 と比較すると、検出データ取得部 7 1 が検出データ取得部 7 1 a になっており、推論部 7 2 が推論部 7 2 a になっている。

[0061] 検出データ取得部 7 1 a は、検出器 1 から出力されたアナログ信号のパルス信号を取得するとともに、検出データ取得部 7 1 a が検出器 1 からパルス信号を取得した時刻である取得時刻の情報を取得する。検出データ取得部 7 1 a は、検出データ取得部 7 1 a が検出器 1 からパルス信号を取得したタイミングにおいて外部の時計から取得時刻の情報を取得してもよく、内部に時計を備えて取得時刻の情報を取得してもよい。検出データ取得部 7 1 a は、取得したパルス信号と取得時刻との組を推論部 7 2 a に出力する。

[0062] 推論部 7 2 a は、学習済モデル記憶部 2 1 a に記憶された学習済モデルを利用して、パルス信号の起源であるパルス起源を推論する。推論部 7 2 a から出力されるパルス起源は、中性子、中性子以外の放射線、中性子を含むパ

イルアップ現象、または、中性子を含まないパイルアップ現象のいずれかである。計数装置 22a は、あらかじめ定められた測定時間内に推論部 72a から受信したパルス起源が中性子または中性子を含むパイルアップ現象であるパルス信号の数を数えた結果を計数として上位装置 3 に出力する。上位装置 3 は、計数装置 22a から取得した計数を表示する、あるいは、計数装置 22a から取得した計数をもとに原子炉を制御する。

[0063] 以上のように、実施の形態 2 による学習装置 60a は、パルス計測法を用いた中性子計測装置 100a においてパルス信号の起源であるパルス起源を推論する学習済モデルを得る学習装置 60a であって、電離箱あるいは比例計数管である検出器 1 から出力されるパルス信号を含む学習用データを取得する学習データ取得部 61a と、学習用データを用いて、検出器 1 から出力されるパルス信号からパルス起源を推論するための学習済モデルを生成するモデル生成部 62a とを備え、学習データ取得部 61a は、検出器 1 から出力されたパルス信号を取得した時刻である時刻情報を含む学習用データを取得し、モデル生成部 62a は、学習用データを用いて、パルス信号および時刻情報からパルス起源を推論するための学習済モデルを生成するので、中性子によるパルス信号と中性子を含むパイルアップ現象によるパルス信号との両方を計数でき、精度の高い中性子検出を行うことができる。

[0064] 図 24 は、実施の形態 1 および実施の形態 2 による中性子計測装置のハードウェア構成の一例を示す模式図である。モデル生成部 62、62a、推論部 72、72a および計数装置 22 は、メモリ 202 に記憶されたプログラムを実行する CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサ 201 によって実現される。学習データ取得部 61、61a および検出データ取得部 71、71a は、A/D 変換器 203、および、メモリ 202 に記憶されたプログラムを実行する CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサ 201 によって実現される。メモリ 202 は、プロセッサ 201 が実行する各処理における一時記憶装置としても使用される。また、複数の処理回路が連携して上記機能を実行し

てもよい。さらに、専用のハードウェアによって上記機能を実現してもよい。専用のハードウェアによって上記機能を実現する場合は、専用のハードウェアは、例えば、単回路、複合回路、プログラム化されたプロセッサ、ASIC、FPGA、あるいは、これらを組み合わせたものである。上記機能は、専用ハードウェアとソフトウェアとの組み合わせ、あるいは、専用ハードウェアとファームウェアとの組み合わせによって実現してもよい。メモリ202は、例えば、RAM、ROM、フラッシュメモリ、EPROMなどの不揮発性または揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、または、これらを組み合わせたものである。学習済モデル記憶部21、21aは、メモリ202によって実現される。検出器1はA/D変換器203に接続されており、プロセッサ201、メモリ202、A/D変換器203および上位装置3は、互いにバス接続されている。

[0065] 本願は、様々な例示的な実施の形態が記載されているが、1つまたは複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、および機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

したがって、例示されていない無数の変形例が、本願に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも1つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも1つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

符号の説明

[0066] 1 検出器、2、2a 信号処理部、3 上位装置、11 検出器筐体、12 ガス、13 ウラン塗布層、14 電極、15 絶縁体、16 電子回路、21、21a 学習済モデル記憶部、22、22a 計数装置、40a 中性子、40b ガンマ線、41a 核分裂生成物、41b 電子、41c アルファ線、42 イオン群、43 電子群、50a 中性子検出によるパルス信号、50b ガンマ線検出によるパルス信号、50c アルフ

α線検出によるパルス信号、50d パイルアップ現象によるパルス信号、50e 中性子を含むパイルアップ現象によるパルス信号、50f 中性子を含まないパイルアップ現象によるパルス信号、51a 立ち上がり時間、52 しきい値、53a 直線、53b、53c 曲線、55 中性子測定時間、56a 取得時刻を含む中性子検出によるパルス信号、56b 取得時刻を含むガンマ線検出によるパルス信号、56d 取得時刻を含むパイルアップ現象によるパルス信号、60、60a 学習装置、61、61a 学習データ取得部、62、62a モデル生成部、70、70a 推論装置、71、71a 検出データ取得部、72、72a 推論部、80、80a 学習用データ、81、81a 学習済モデル、82 中性子を起源とするグループ、83 中性子以外の放射線を起源とするグループ、84 パイルアップ現象を起源とするグループ、85 中性子を含むパイルアップ現象を起源とするグループ、86 中性子を含まないパイルアップ現象を起源とするグループ、100、100a 中性子計測装置、201 プロセッサ、202 メモリ、203 A/D変換器。

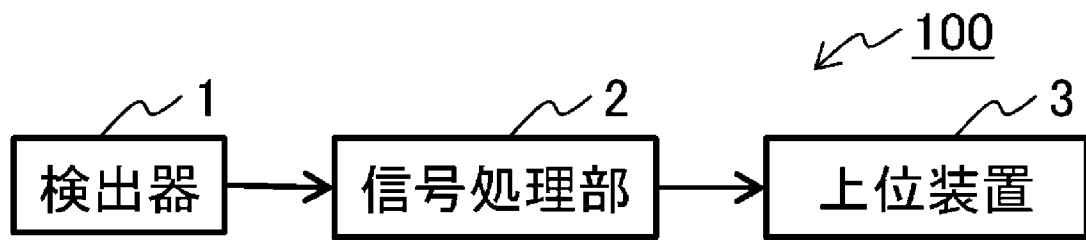
請求の範囲

- [請求項1] パルス計測法を用いた中性子計測装置においてパルス信号の起源であるパルス起源を推論する学習済モデルを得る学習装置であって、
 電離箱あるいは比例計数管である検出器から出力される前記パルス信号を含む学習用データを取得する学習データ取得部と、
 前記学習用データを用いて、前記検出器から出力される前記パルス信号から前記パルス起源を推論するための前記学習済モデルを生成するモデル生成部とを備えた学習装置。
- [請求項2] 前記学習データ取得部は、前記検出器から出力された前記パルス信号を取得した時刻である時刻情報を含む前記学習用データを取得し、
 前記モデル生成部は、前記学習用データを用いて、前記パルス信号および前記時刻情報から前記パルス起源を推論するための前記学習済モデルを生成することを特徴とする請求項1に記載の学習装置。
- [請求項3] パルス計測法を用いた中性子計測装置であって、
 電離箱あるいは比例計数管である検出器と、
 前記検出器から出力されるパルス信号を取得する検出データ取得部と、
 前記パルス信号から前記パルス信号の起源であるパルス起源を推論するための学習済モデルを用いて、前記検出データ取得部で取得した前記パルス信号から前記パルス起源を出力する推論部と、
 前記パルス起源が中性子である前記パルス信号の計数を出力する計数装置とを備えた中性子計測装置。
- [請求項4] 前記検出データ取得部は、前記検出器から出力された前記パルス信号を取得した時刻である取得時刻を取得し、
 前記推論部は、前記パルス信号および前記取得時刻から前記パルス起源を推論するための学習済モデルを用いて、前記検出データ取得部で取得した前記パルス信号および前記取得時刻から前記パルス起源を出力し、

前記計数装置は、前記起源が中性子または中性子を含むパイルアップ現象である前記パルス信号の計数を出力することを特徴とする請求項 3 に記載の中性子計測装置。

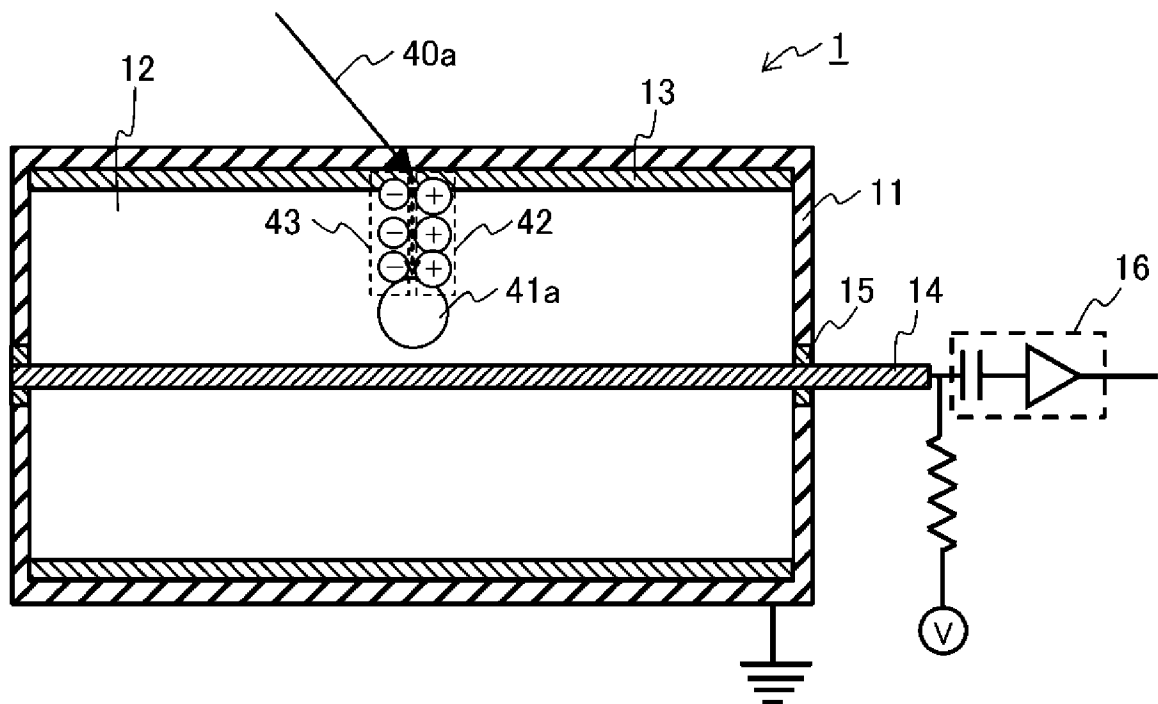
[図1]

図1



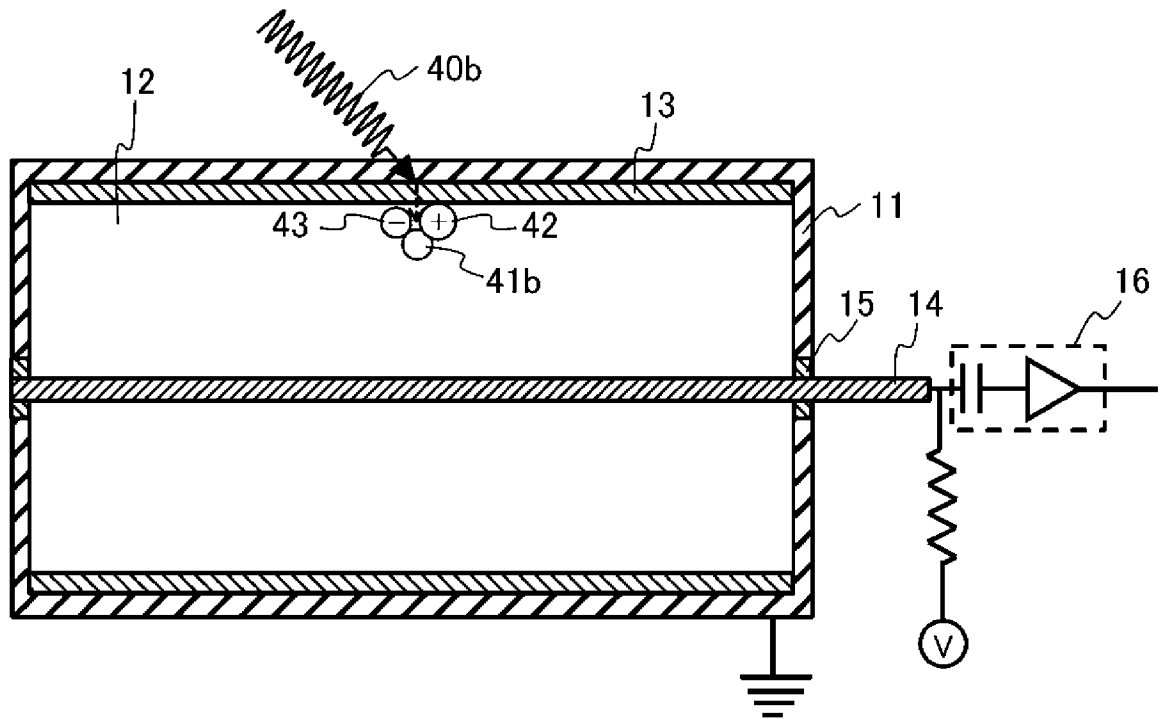
[図2]

図2



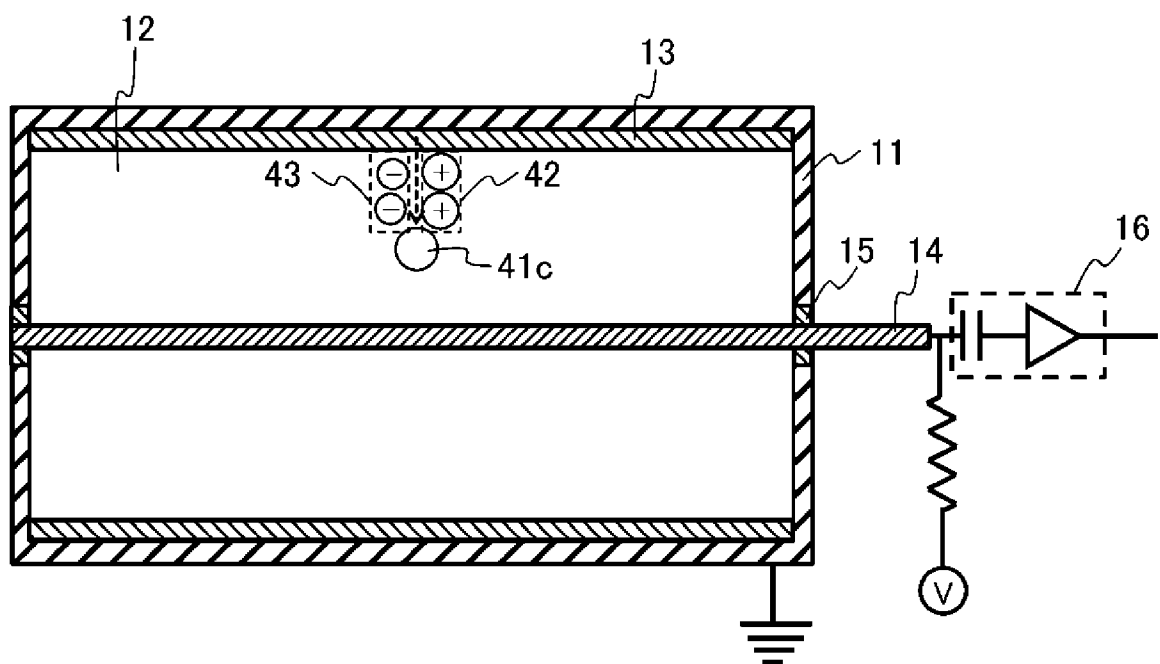
[図3]

図3



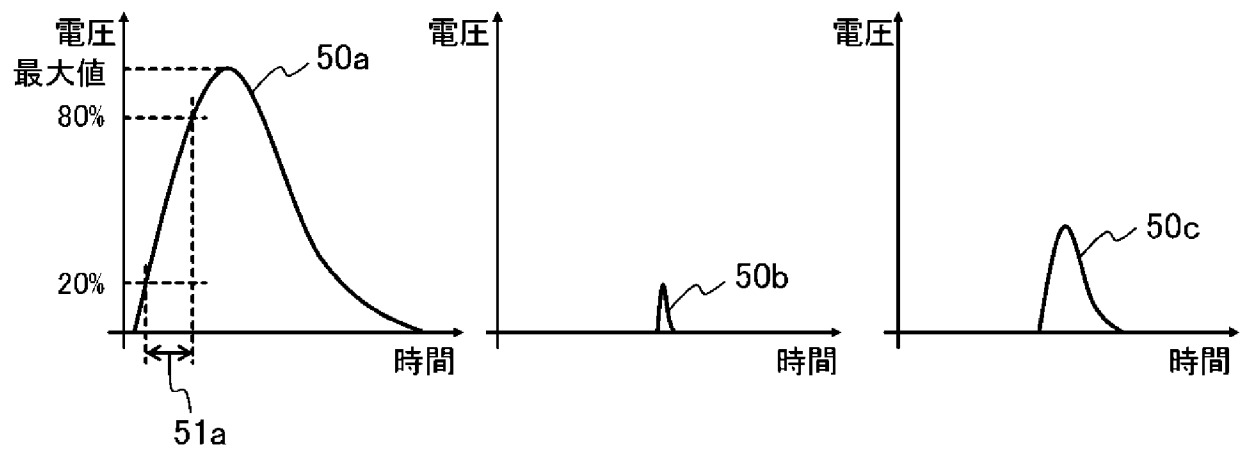
[図4]

図4



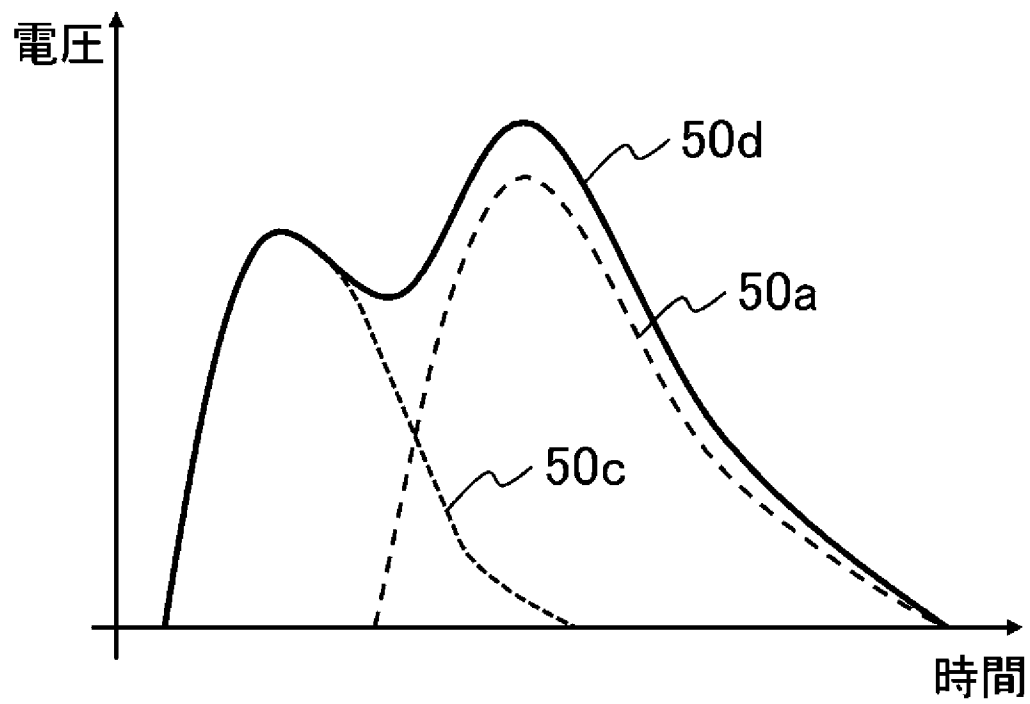
[図5]

図5



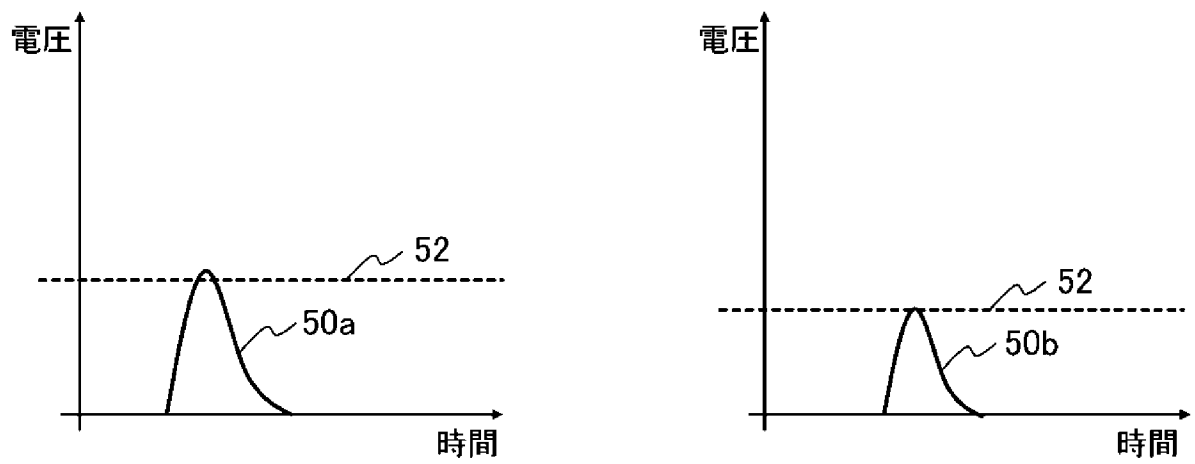
[図6]

図6



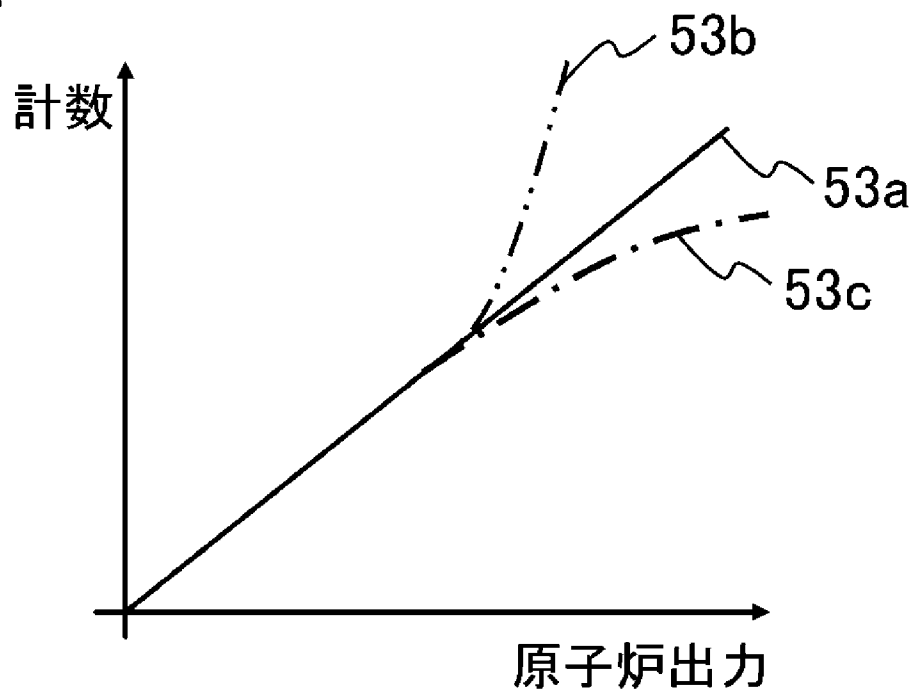
[図7]

図7



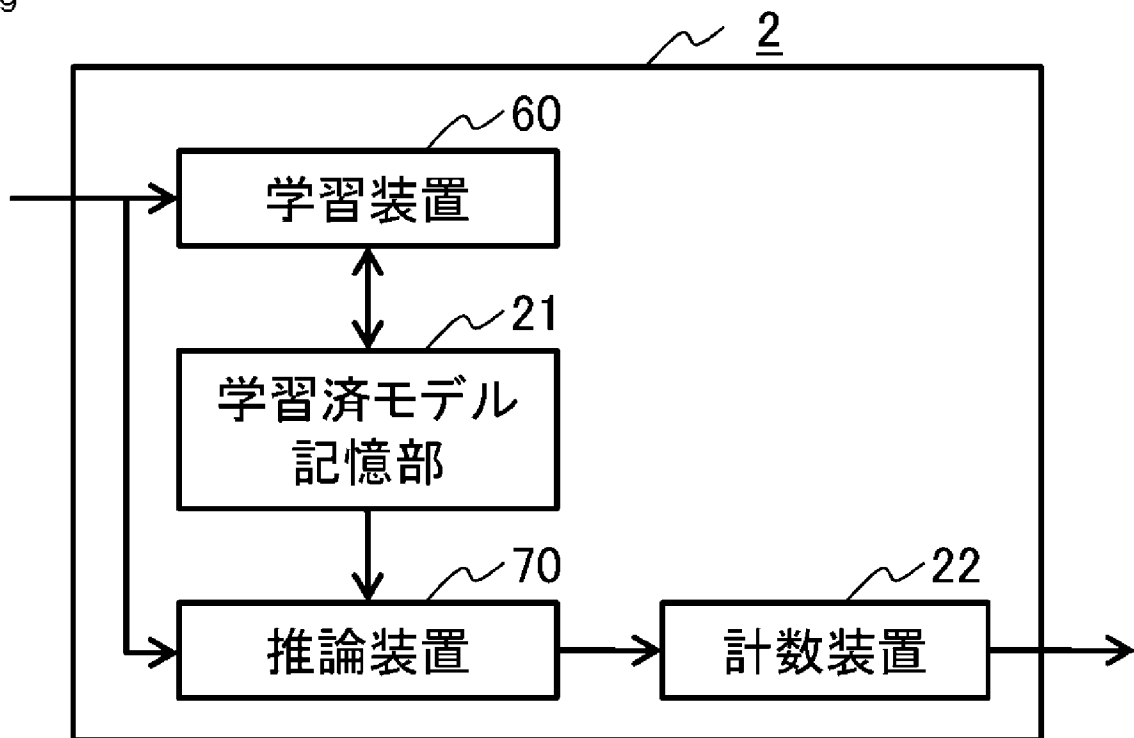
[図8]

図8



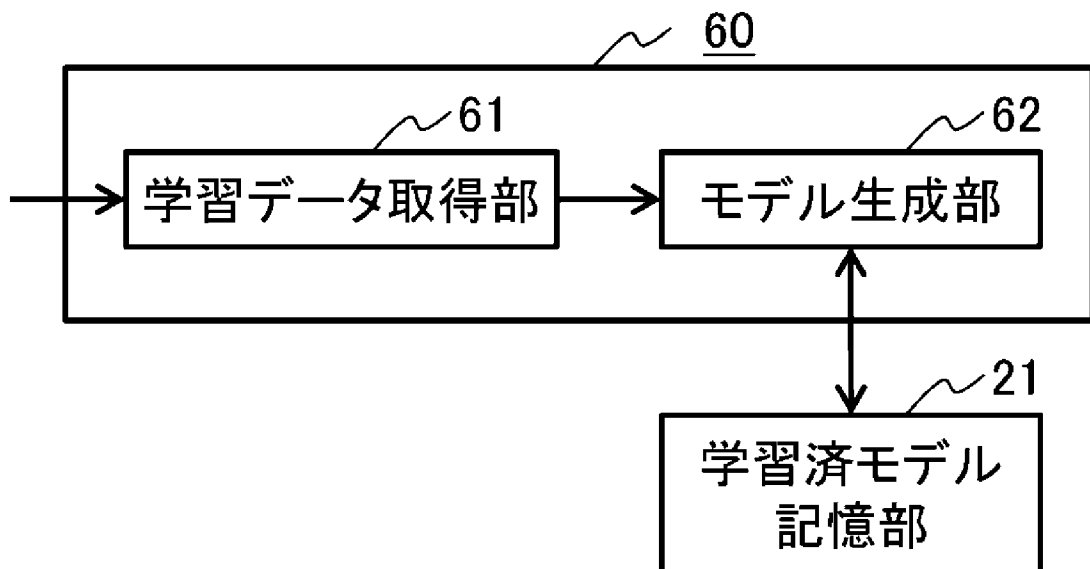
[図9]

図9



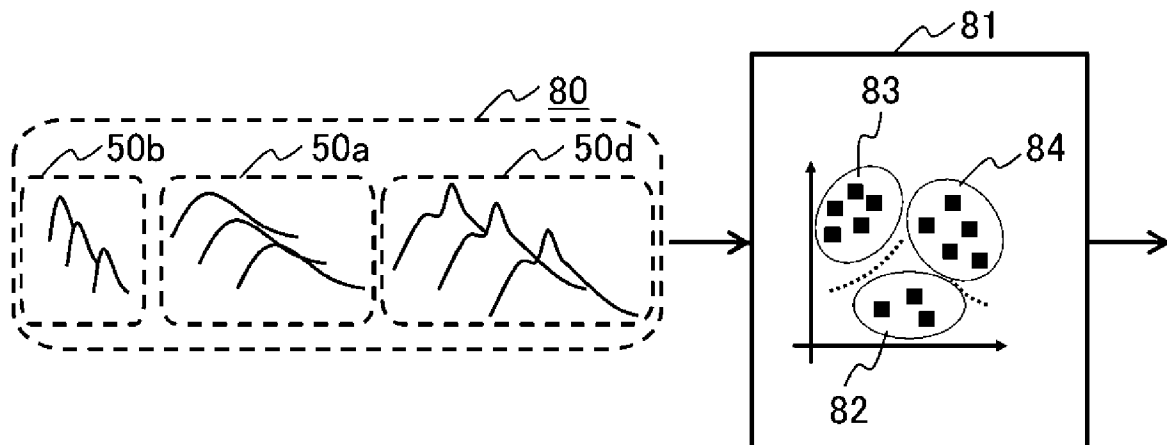
[図10]

図10



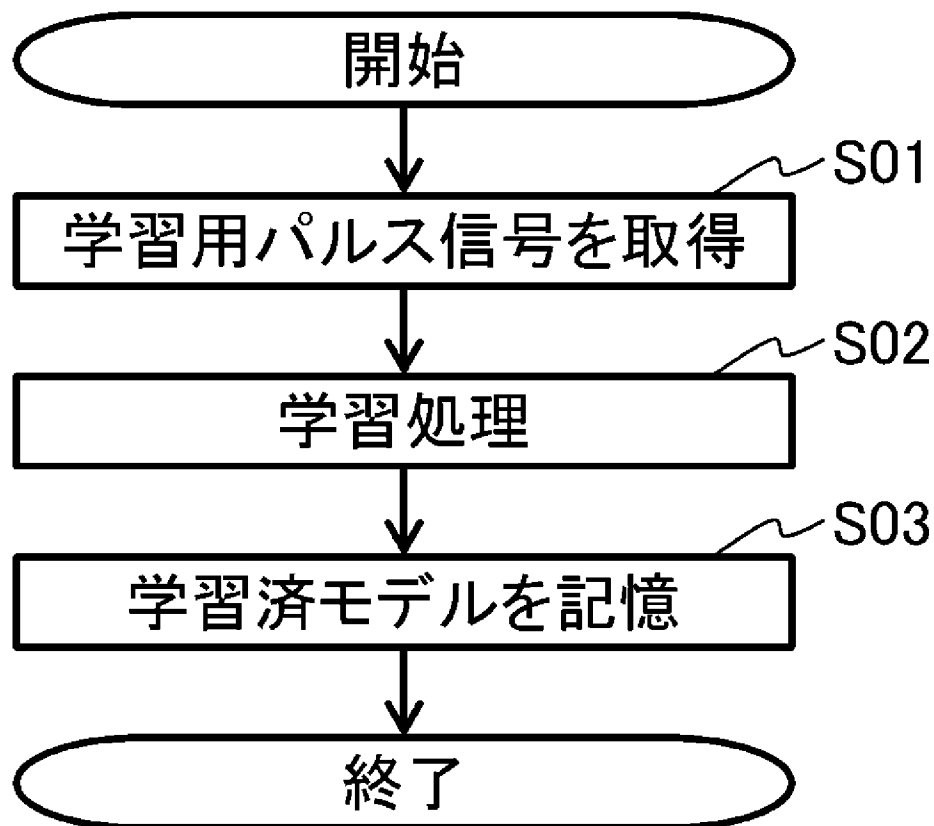
[図11]

図11



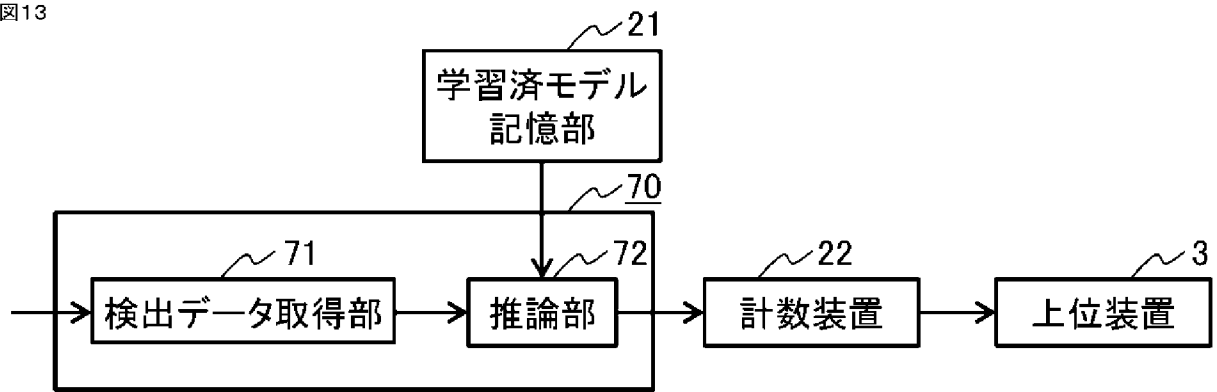
[図12]

図12



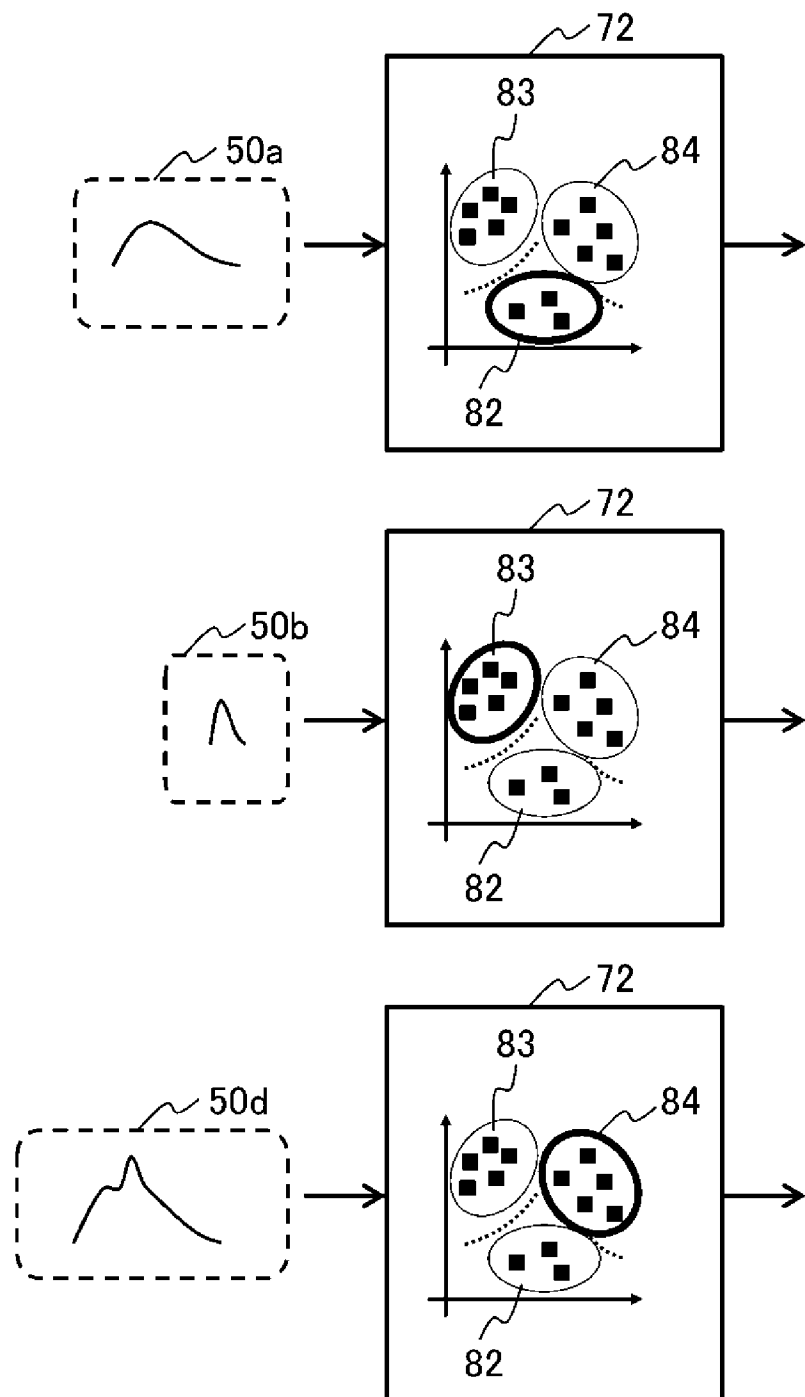
[図13]

図13



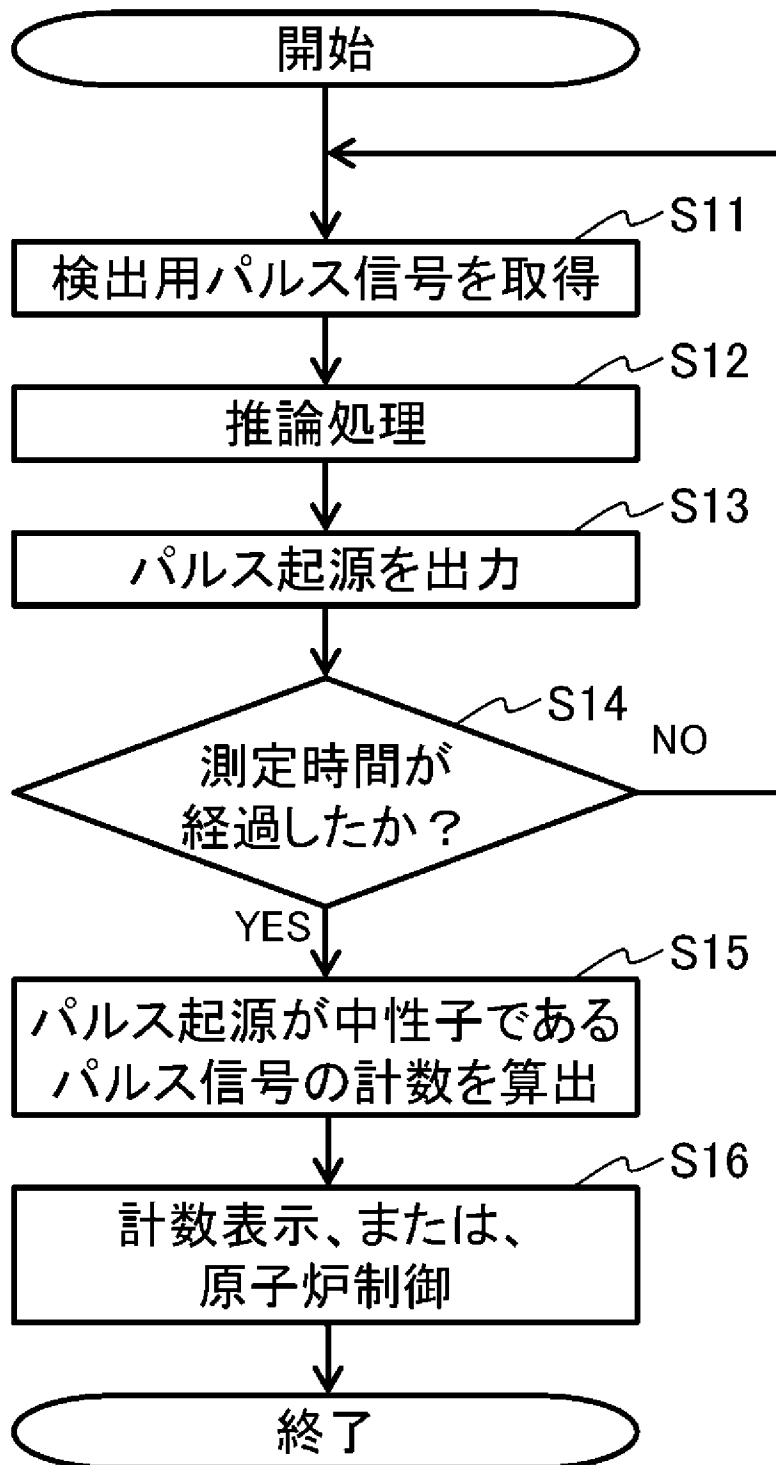
[図14]

図14



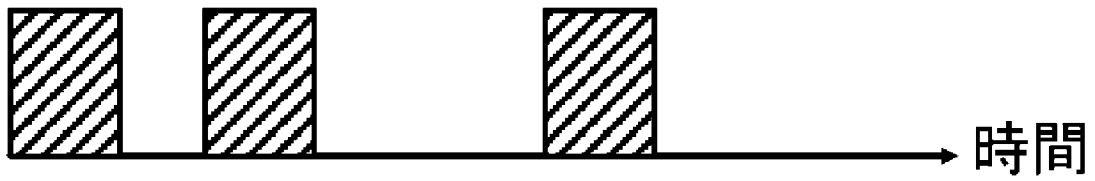
[図15]

図15



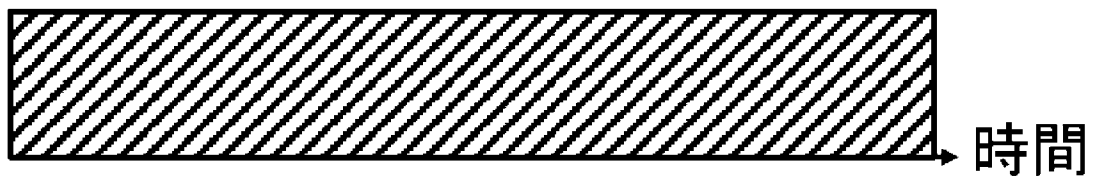
[図16]

図16



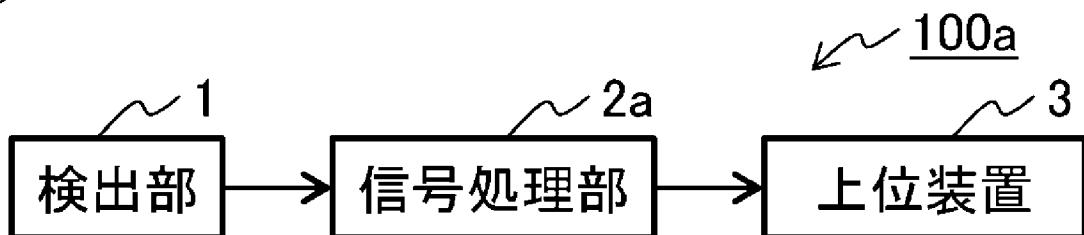
[図17]

図17



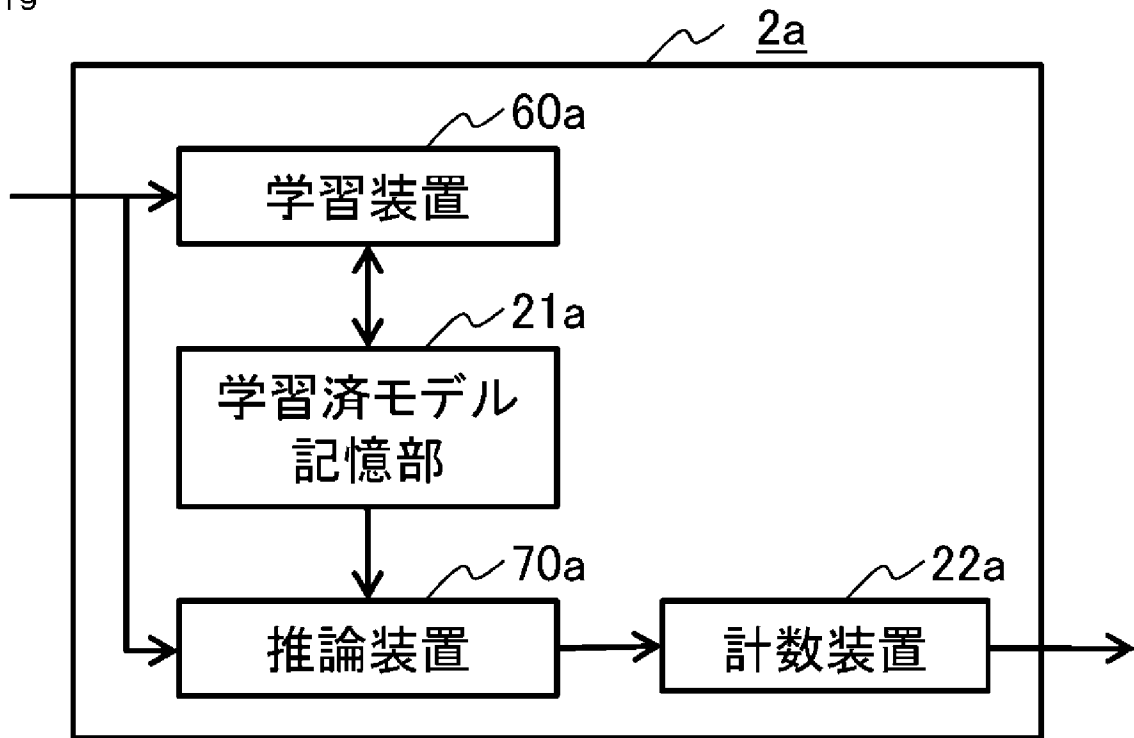
[図18]

図18



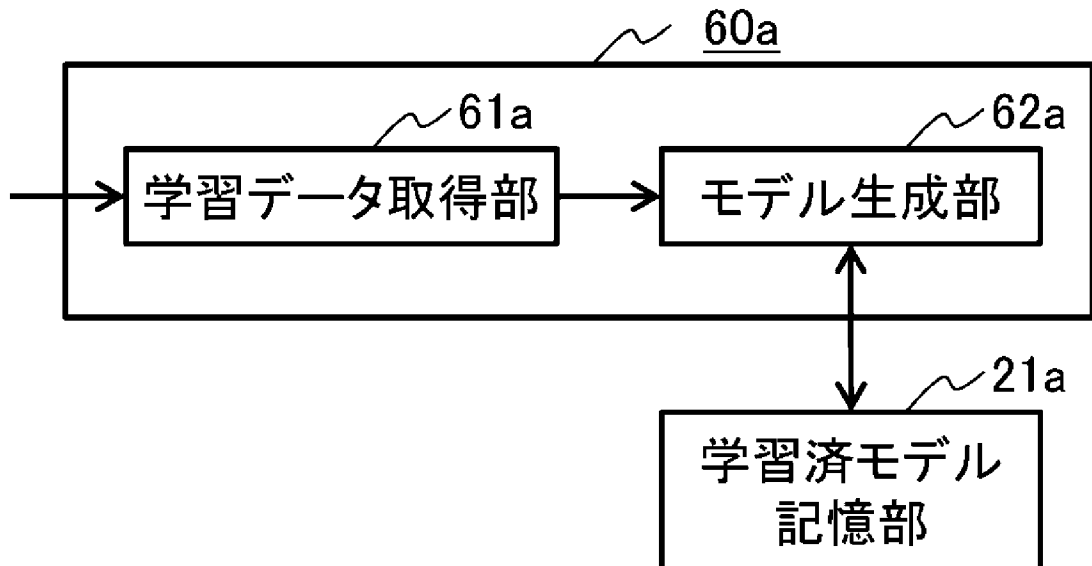
[図19]

図19



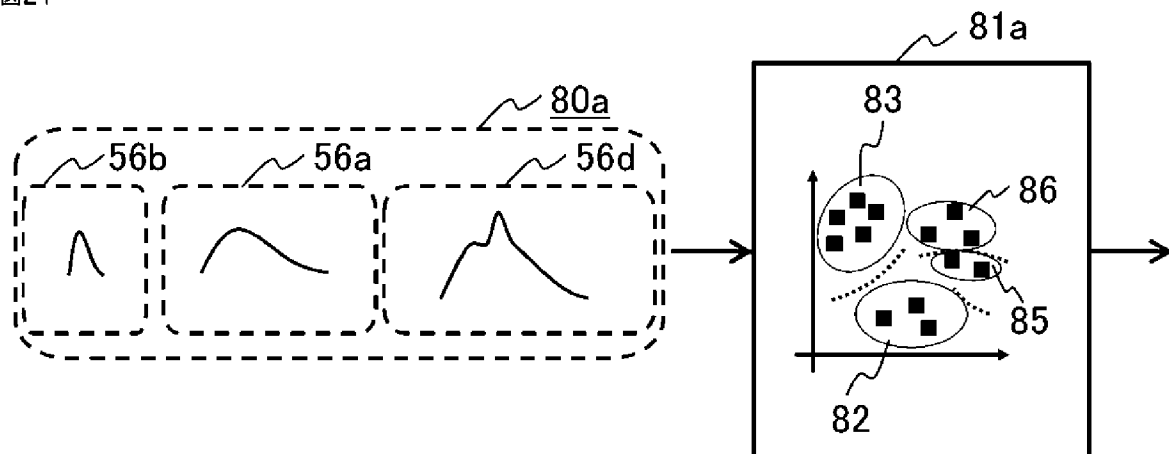
[図20]

図20



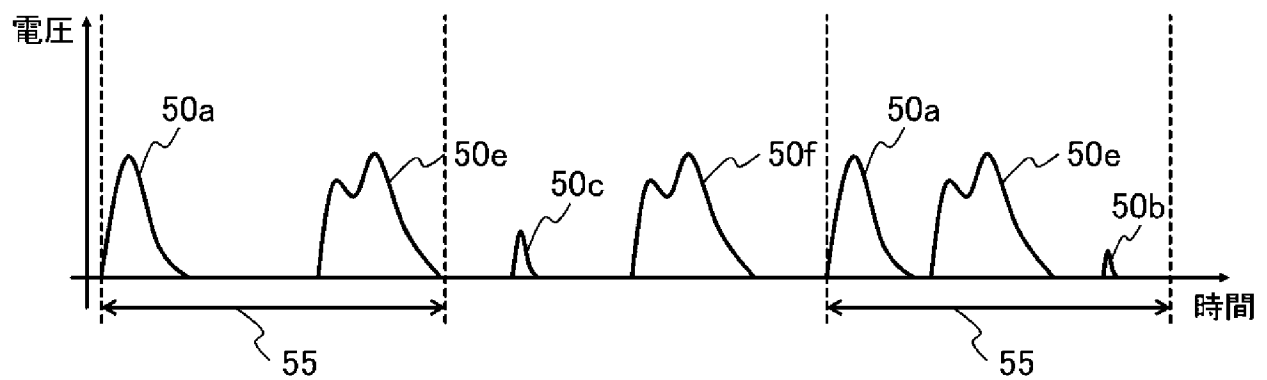
[図21]

図21



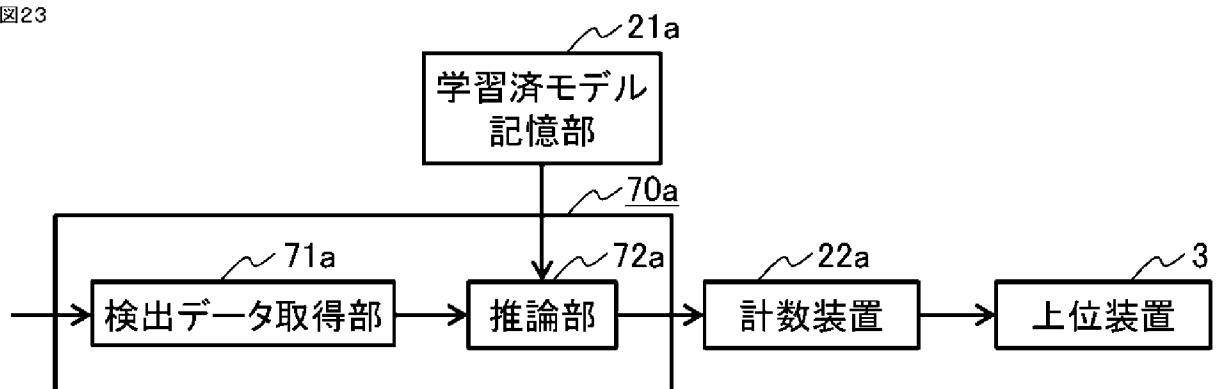
[図22]

図22



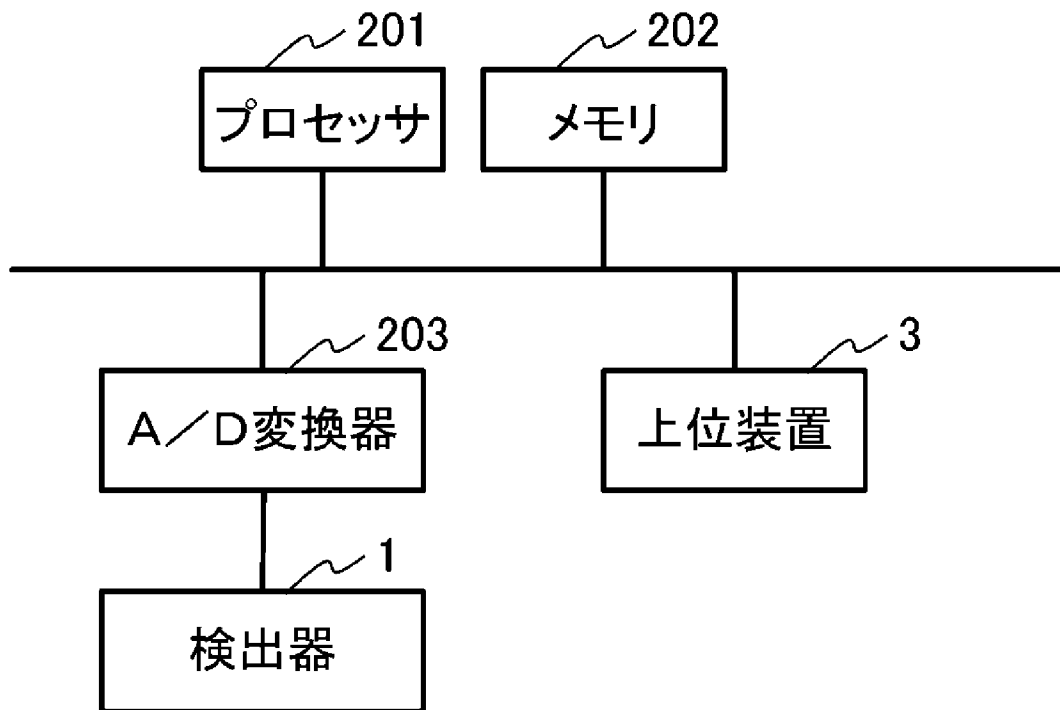
[図23]

図23



[図24]

図24



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/008785

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01T 1/17**(2006.01)i; **G01T 3/00**(2006.01)i; **G21C 17/12**(2006.01)i

FI: G01T3/00 H; G01T3/00 A; G01T3/00 C; G01T1/17 F; G21C17/12 100

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)

G01T1/17; G01T3/00; G21C17/12

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 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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 2021-513081 A (RHOMBUS HOLDINGS LIMITED LIABILITY COMPANY) 20 May 2021 (2021-05-20) entire text, all drawings	1-4
A	CN 110781906 A (INSTITUTE OF ELECTRONIC ENGINEERING, CHINA ACADEMY OF ENGINEERING PHYSICS) 11 February 2020 (2020-02-11) entire text, all drawings	1-4
A	CN 110187378 A (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 30 August 2019 (2019-08-30) entire text, all drawings	1-4
A	CN 111796320 A (UNIVERSITY OF SOUTH CHINA) 20 October 2020 (2020-10-20) entire text, all drawings	1-4

☐ 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 2022

Date of mailing of the international search report

05 April 2022

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/JP2022/008785

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-513081	A	20 May 2021	US 2019/0243012 A1 whole document US 2019/0244056 A1 US 2019/0242835 A1 WO 2019/152464 A1 EP 3749982 A1	
CN	110781906	A	11 February 2020	(Family: none)	
CN	110187378	A	30 August 2019	(Family: none)	
CN	111796320	A	20 October 2020	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01T 1/17(2006.01)i; G01T 3/00(2006.01)i; G21C 17/12(2006.01)i FI: G01T3/00 H; G01T3/00 A; G01T3/00 C; G01T1/17 F; G21C17/12 100														
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）） G01T1/17; G01T3/00; G21C17/12														
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022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 2021-513081 A (ロンパス ホールディングス リミテッド ライアビリティ カンパニー) 20.05.2021 (2021 - 05 - 20) 全文, 全図	1-4												
A	CN 110781906 A (INSTITUTE OF ELECTRONIC ENGINEERING, CHINA ACADEMY OF ENGINEERING PHYSICS) 11.02.2020 (2020 - 02 - 11) 全文, 全図	1-4												
A	CN 110187378 A (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 30.08.2019 (2019 - 08 - 30) 全文, 全図	1-4												
A	CN 111796320 A (UNIVERSITY OF SOUTH CHINA) 20.10.2020 (2020 - 10 - 20) 全文, 全図	1-4												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 28.03.2022	国際調査報告の発送日 05.04.2022													
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） 鳥居 祐樹 2G 4070 電話番号 03-3581-1101 内線 3226													

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/JP2022/008785

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2021-513081	A	20.05.2021	US 2019/0243012 A1	
				whole document	
				US 2019/0244056 A1	
				US 2019/0242835 A1	
				WO 2019/152464 A1	
				EP 3749982 A1	
CN	110781906	A	11.02.2020	(ファミリーなし)	
CN	110187378	A	30.08.2019	(ファミリーなし)	
CN	111796320	A	20.10.2020	(ファミリーなし)	