

(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
2012 年 10 月 4 日(04.10.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/132103 A1

- (51) 国際特許分類:
H04L 27/22 (2006.01) H04B 10/26 (2006.01)
H04B 10/04 (2006.01) H04B 10/28 (2006.01)
H04B 10/06 (2006.01) H04L 7/08 (2006.01)
H04B 10/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/076741
- (22) 国際出願日: 2011 年 11 月 15 日(15.11.2011)
- (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 2011-067699 2011 年 3 月 25 日(25.03.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 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; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 嶋原 正博(SHIGIHARA, Masahiro) [JP/JP]; 〒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). 福知 清(FUKUCHI, Kiyoshi) [JP/JP]; 〒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).

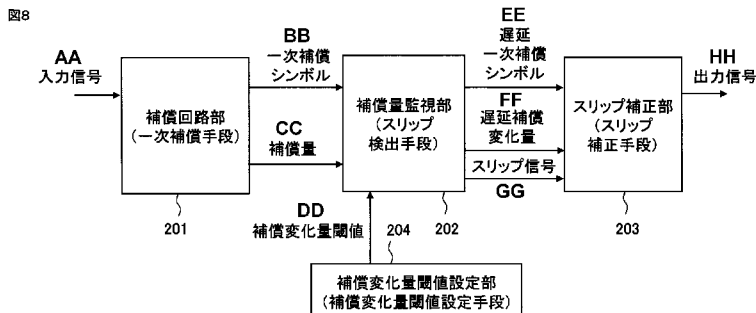
- (74) 代理人: 下坂 直樹(SHIMOSAKA, Naoki); 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第 21 条(3))

(54) Title: PHASE-COMPENSATION RECEIVER

(54) 発明の名称: 位相補償受信器



- 201 COMPENSATION CIRCUIT (PRIMARY COMPENSATION MEANS)
202 COMPENSATION QUANTITY MONITOR (SLIP DETECTION MEANS)
203 SLIP CORRECTION UNIT (SLIP COMPENSATION MEANS)
204 COMPENSATION CHANGE QUANTITY THRESHOLD SETTING UNIT (MEANS FOR SETTING COMPENSATION CHANGE QUANTITY THRESHOLD)
- AA INPUT SIGNAL
BB PRIMARY COMPENSATION SYMBOL
CC COMPENSATION QUANTITY
DD COMPENSATION CHANGE QUANTITY THRESHOLD
EE DELAY PRIMARY COMPENSATION SYMBOL
FF DELAY COMPENSATION CHANGE QUANTITY
GG SLIP SIGNAL
HH OUTPUT SIGNAL

(57) Abstract: The present invention provides a phase-compensation receiver which can perform processing for compensating phase deviations and carrier wave frequency deviations even when differential coding is not used and slips are generated. A phase deviation compensation circuit in a phase modulated signal demodulator of the present invention detects the generation of slips in a received signal from changes in the phase compensation quantity that is formed into the received signal by means of a phase deviation compensation means, and corrects the phase compensation quantity of the received signal after a slip is generated.

(57) 要約: 差動符号化を用いることなく、スリップが発生する状況においても位相偏差・搬送波周波数偏差補償処理を可能とする。本発明の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路は、位相偏差補償手段により受信信号になされる位相補償量の変化から、受信信号のスリップの発生を検出し、スリップ発生以降の受信信号の位相補償量を補正する。

明細書

発明の名称

位相補償受信器

5 技術分野

本発明は、周波數位相偏差・搬送波周波数偏差補償を行う受信器に関し、特に、サイクル(位相)スリップ発生時の光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償に関する。

背景技術

- 10 インターネットの普及により、基幹系通信システムのトラフィック量が急激に増大していることから、40Gbpsを越える超高速の光通信システムの実用化が待望されている。

- 超高速の光通信システムを実現する技術として、近年光位相変調方式が注目されている。光位相変調方式は関連の光強度変調方式のように送信レーザ光の光強度に
15 対してデータ変調を行うのではなく、送信レーザ光の位相に対してデータ変調を行う方式でありQPSKや8PSKなどの方式が知られている。なおQPSKは Quadrature Phase Shift Keying、8PSKは 8 Phase Shift Keying の略語である。

- 光位相変調方式の利点は次の通りである。即ち1シンボルに対して複数のビットを割り当てることにより、シンボルレート(ボーレート)を低下させることが可能なので、電気デ
20 バイスの動作速度を低減できる。その結果、装置の製造コストの削減が期待できることにある。例えば、QPSKを用いる場合、4個の光位相(例えば45度、135度、225度、315度)に対して、それぞれ2ビット(例えば00、01、11、10)を割り当てる。そのためQPSKのシンボルレートは光強度変調方式のシンボルレート(すなわちビットレート)の1/2に低減できる。

- 25 図1は、QPSKの4個のシンボルとそれに割り当てられたビット列を位相平面上に示した図であり、QPSKのコンスタレーションと呼ばれる。また光位相変調方式における各シンボルにビット列を対応付けることをシンボルマッピングと呼ぶ。以降では光位相変調方式としてQPSKを用いた場合を例として説明するものとするが、他の光位相変調方式も適用可能である。

- 30 光位相変調された信号光を受信するためには、信号光と、信号光とほぼ同一の光周

波数を有するレーザ光(局所光又はローカル光と呼ばれる)を90度ハイブリッドと呼ばれる光学素子により結合する。その後、その出力を光ディテクタにより受光し電気信号に変換した信号とする。この様な方式は光コヒーレント方式と呼ばれる。

簡単のため信号光と局所光の偏波状態は同一の直線偏光であると仮定する。光コ
5 ヒーレント方式を用いた場合、光ディテクタから出力される電気信号の交流成分は信号光と局所光のビート信号である。その振幅は信号光と局所光の振幅に比例し、その位相は、信号光の搬送波周波数と局所光の光周波数が同一であれば、信号光と局所光の光位相の差となる。局所光の光位相が送信端の光変調器に入力されるレーザ光の光位相と同一であれば、ビート信号の位相が送信端でレーザ光に付与された光
10 位相である。そのため、シンボルマッピングを用いてビート信号の位相をビット列に変換することにより送信データを復調することが可能である。すなわち、光送信機から図1のコンスタレーションを有する光信号を送信すれば、光受信機では同様のコンスタレーションを有する信号を受信することができる。

しかし一般に信号光の搬送波周波数と局所光の光周波数の値は完全に一致しない
15 上に、受信機における局所光の光位相と、光送信機において光変調器に入力されるレーザ光の光位相も一致しない。

光送信機において光変調器に入力される信号光と局所光の光位相差は光位相偏差、信号光の搬送波周波数と局所光の光周波数の差は光搬送波周波数偏差と呼ばれる。光位相偏差が存在する場合、図2(a)に示すように、図1に示すコンスタレーションに対して光位相偏差だけ回転したコンスタレーションを有する信号が受信される。光
20 位相偏差の値は予め知ることができないため、図1に示すシンボルマッピングをそのまま用いて、シンボルをビット列に変換すると誤ったデータが復調されてしまうという問題が生じる。

さらに、光搬送波周波数偏差が存在する場合、前述のビート信号の位相は光搬送
25 波周波数偏差と受信時刻の積に光位相偏差を加えた値となる。そのため、図2(b)に示すように、図1に示すコンスタレーションが時間的に回転するコンスタレーションを有する信号が受信される。このときビート信号の位相は時間的に変化するため、図1に示すシンボルマッピングを用いてビート信号の位相からデータを復調することは不可能である。

30 従って、光位相変調方式においては、光位相偏差と光搬送波周波数偏差によるコン

スタレーションの回転を防止する光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償機能が必要となる。以降では、光位相変調方式で広く用いられている光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償処理を説明する。

図3はいずれも光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償回路(以降では単に補償回路と記述することがある)の構成を示す図である。図3(a)はフィードフォワード型、図3(b)はフィードバック型と呼ばれる。以降では図3(a)に示すフィードフォワード型についてのみ説明する。

補償回路の入力信号は2つに分岐されて、一方は位相補償量を推定する回路に入力され、他方は推定した位相補償量だけの逆回転を与える複素数との積を取った上で、補償後の信号として出力される。位相補償量を推定する回路は、位相誤差検出部101と、フィルタ部102と、位相補償量算出部103により構成される。位相誤差検出部101は光位相偏差の単位時間当たりの変化、すなわち隣り合う2個のシンボル間の光位相偏差の変化を検出する回路であって、図9に示すM-th Power Algorithm(M乗回路)が広く用いられている。

隣接する2個のシンボル間の光位相偏差の変化は、光搬送波角周波数偏差と1シンボル時間(1シンボル時間はシンボルレートの逆数に等しい)の積に等しく、また1シンボル時間は一定である。そのため、位相誤差検出部101は光搬送波周波数偏差を算出する回路であると言える。

位相誤差検出部101の出力はフィルタ部102に送られて、フィルタ部102において雑音成分が除去される。フィルタ部102の出力は位相補償量算出部103に送られて、実際の位相補償量、すなわちコンスタレーションの回転量が算出される。具体的には位相補償量算出部103は積分して保持する回路と等価である。

最後に位相補償量算出部103により算出された位相補償量だけの逆回転を与える複素数(位相補償量を ϕ とすると $\exp(-i\phi)$ で表される)と入力信号との積が出力信号として出力される。

図4は補償回路が推定した位相補償量の時間変化の一例を示す図である。横軸は時間(時刻)、縦軸は位相補償量を示す。時間は補償回路に入力されるシンボルレートの逆数となる。図4に示すように、この場合は位相補償量は時間的に連続的に変化することが分かる。

以上に説明したように、光位相変調方式を用いた光通信システムにおいては、図3に

示す光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償回路を用いてコンスタレーションの回転を防止することにより、送信データを復調する。図3に示す回路は一般にデジタル信号処理により実行されるため、光位相変調方式は光デジタルコヒーレント方式と呼ばれることがある。

5 しかし上記方式を用いた超高速光通信システムの実現においては次の問題がある。即ち光の雑音成分、例えばインパルス雑音の様な非線形雑音、急激な位相変化を伴う位相雑音、およびASE雑音が入力信号に加わることにより、図5の $\alpha-1$ に示すように位相補償量の推定値が突発的に不連続に変化する場合がある。なおASEは Amplified Spontaneous Emission の略語である。その為図3に示す光位相偏差・
10 光搬送波周波数偏差補償回路を用いたとしても、位相の急激なズレによるコンスタレーションの回転(サイクルスリップ、以降スリップと記す。)を防止することができず、シンボルマッピングが変化(回転)してしまうことである。この現象が1度発生すると、上記の方式では、スリップが発生したことを確かめることができないため、誤ったデータが復調されることになる。

15 上述の問題を解決するために差動符号化と呼ばれる方法が一般に用いられる。差動符号化は隣り合う2個のシンボル間の遷移に対してビット列を対応付ける符号化方法である。

図6に差動符号化を適用したQPSKのコンスタレーションの一例を示す。差動符号化を用いる光通信システムにおいては、図6に示すように、シンボル自身にビット列が対応付けられるのではなく、あるシンボルから同一の又は他のシンボルへの遷移に対して
20 ビット列がマッピングされる。例えば、図6においては、隣り合うシンボル間の位相変化が+0度の遷移1に対して00、+90度の遷移2に対して01、+180度の遷移3に対して11、+270度の遷移4に対して10がそれぞれ割り当てられている。

図7は差動符号化を用いる光通信システムにおける補償回路の構成を示すブロック
25 図である。図2(a)の補償回路の後段に差動符号復調部104が追加された点を除いて、図2(a)に示す補償回路と同一である。差動符号復調部104は前述したように隣り合うシンボル間の遷移を所定のビット列に変換する。このとき、コンスタレーションが回転したとしても、隣り合うシンボル間の遷移に対してビット列が対応付けられていることから、送信データは問題無く復調することが可能である。

30 以上に説明したように、スリップが発生した場合においても、差動符号化を適用する

ことにより、送信データを正しく復調することが可能となっている。

関連する技術として、特許文献1には引き込み動作を行うことのできる周波数レンジの広い位相同期回路及びこれに好適なスリップ検出器を提供する技術が記載されている。これはアンロック状態から記録媒体の指定された記録位置の信号を読み取るまでのアクセス時間を短縮するというものである。

先行技術文献

特許文献

〔特許文献1〕 特開平9-23157号公報

〔特許文献2〕 特開2008-226363号公報

10 〔特許文献3〕 特開平10-229423号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

しかし特許文献1のスリップ検出は、監視対象として、信号とクロックの位相差(位相エラー)としている。従って、コンスタレーションが回転したときの問題を解決するものではない。

また、上述した関連の技術においては、以下に述べるような問題がある。

差動符号化は隣り合うシンボル間の遷移に対してビット列を割り当てるため、1個のシンボルに誤りが発生した場合、その直前のシンボルからの遷移と、その直後のシンボルへの遷移の両方に誤りが生じることになる。その結果、差動符号化を用いる場合は、

20 差動符号化を用いない場合に比べて、ビット誤り率(BER: Bit Error Rate)が増大してしまうという問題がある。理論的には同一の光通信システムにおいて同一の伝送特性を得るために必要な光SNR(Signal-to-Noise Ratio)は差動符号化を用いる場合の方が3dB高くなる。このことは光信号の光強度の増大による非線形光学効果のために伝送特性の劣化を招いたり、伝送可能距離を短縮させたりするなどの問題を生じ

25 させる。

(発明の目的)

本発明の目的は、上述の関連技術が有する問題を鑑みてなされたものである。即ち光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償処理を実装する場合においても、伝送特性を低下させることなく、スリップを補正し送信データを正しく復調可能な位相補償(光位相

30 偏差・光搬送波周波数偏差補償)を行うことを目的とする。

課題を解決するための手段

本発明の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路は、位相偏差補償手段により受信信号になされる位相補償量の変化から、受信信号のスリップの発生を検出し、スリップ発生以降の受信信号の位相補償量を補正する。

- 5 本発明の位相偏差補償方法は、受信信号の位相補償量の変化から、受信信号のスリップの発生を検出し、スリップ発生後の受信信号の位相補償量を補正する。

発明の効果

- この発明によれば、光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償処理を実装する場合においても、伝送特性を低下させることなく、スリップを補正し送信データを正しく復調可能な位相補償(光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償)を行うことができる。
- 10

図面の簡単な説明

- [図1]QPSKのコンスタレーションとシンボルマッピングの例である。
- [図2](a)光位相偏差により回転したQPSKのコンスタレーションとシンボルマッピングの一例を示す図である。(b)光搬送波周波数偏差により連続的に回転したQPSKのコンスタレーションとシンボルマッピングの一例を示す図である。
- 15 [図3](a)フィードフォワード型の光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償回路の構成を示すブロック図である。(b)フィードバック型の光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償回路の構成を示すブロック図である。
- 20 [図4]位相補償量の推定値の時間変化を示す図である。
- [図5]雑音による位相補償量の推定値の時間変化を示す図である。
- [図6]差動符号化を適用したQPSKのコンスタレーションとシンボルマッピングの一例を示す図である。
- [図7]差動符号化を用いた補償回路の構成を示した図である。
- 25 [図8]第1の実施形態におけるスリップ補償回路の構成を示す図である。
- [図9]M乗回路による位相誤差検出部の構成を示すブロック図である。
- [図10]第1の実施形態における補償回路部(光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償回路)201の構成を示すブロック図である。
- 30 [図11]第1の実施形態における補償量監視部202の構成を示すブロック図である。

[図12]第1の実施形態における補償変化量比較部303の構成を示すブロック図である。

[図13]第1の実施形態におけるスリップ補正部203の構成を示すブロック図である。

[図14]第1の実施形態における補償回路部201の入出力タイミングを示すタイミング
5 チャートの一例である。

[図15]第1の実施形態におけるシンボル時間遅延部301、および補償変化量検出部302の入出力タイミングを示すタイミングチャートの一例である。

[図16]第1の実施形態における累積部401、および比較部402の入出力タイミングを示すタイミングチャートの一例である。

10 [図17]第1の実施形態におけるシンボルタイミング調整部304、および遅延部403の入出力タイミングを示すタイミングチャートの一例である。

[図18]第1の実施形態における補正量計算部501の入出力タイミングを示すタイミングチャートの一例である。

[図19]第1の実施形態におけるスリップ補正部203内信号のタイミングを示すタイミ
15 ングチャートの一例である。

[図20]第2の実施形態におけるスリップ補償回路の構成の構成を示す図である。

[図21]第2の実施形態における補償変化量閾値決定部205の構成を示す図である。

[図22]第3の実施形態におけるスリップ補償回路の構成の構成を示す図である。

20 [図23]第3の実施形態における同期パターン挿入部701の入出力データの一例である。

[図24]第3の実施形態における、前段部での誤補正発生時の、同期部206のタイミング一例である。

[図25]第3の実施形態における、前段部での未補正発生時の、同期部206のタイミ
25 ング一例である。

[図26]第1の実施形態により補正された、位相を示す図である。

[図27]本発明の第4の実施形態を示す図である。

[図28]第5の実施形態におけるスリップ補正部207の構成を示すブロック図である。

[図29]第5の実施形態におけるスリップ補正部207内信号のタイミングを示すタイミ
30 ングチャートの一例である。

発明を実施するための形態

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

(第1の実施形態)

以下、本発明の第1の実施形態を図面を参照して説明する。

5 (構成)

図8を参照すると、本発明の第1の実施形態としての光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償回路(以降スリップ補償回路と称す)の構成を示すブロック図が示されている。

図8に示すように、第1実施形態におけるスリップ補償回路は、補償回路部201と、
10 補償量監視部202と、スリップ補正部203と、補償変化量閾値設定部204により構成される。

補償回路部201は、入力信号の位相を補償した信号と、推定された入力信号の位相の補償量を、それぞれ一次補償シンボル信号、および補償量として補償量監視部202へ出力する。

15 図10に図8に示される補償回路部201の構成を示す。この回路は、図3(a)または図3(b)に示す補償回路と基本的に同様の構成を有するが、図10に示すように補償回路が推定した位相補償量を他の機能ブロックに通知可能である点が異なる。

図8に示される補償量監視部202は、補償回路部201から入力した補償量の変化を監視する。補償量監視部202は、補償量変化量閾値設定部204から入力した補償変化量閾値を超えた変化が補償量に生じた場合、その発生箇所を示したスリップ
20 信号と、補償変化量を遅延させた遅延補償変化量を、スリップ補正部203へ出力する。ここで補償変化量閾値とは位相の補償変化量の閾値である。

図11を参照すると、図8に示す補償量監視部202の詳細が示されている。補償量監視部202は、シンボル時間遅延部301、補償変化量検出部302、補償変化量比較部303、およびシンボルタイミング調整部304より構成される。
25

シンボル時間遅延部301は、図8の補償回路部201から出力された補償量を、Jシンボル時間(Jは、正の整数、本実施形態では、一例としてJ=1とする)遅延し、補償変化量検出部302へ出力する。

補償変化量検出部302は、図8の補償回路部201から出力された補償量と、図11
30 のシンボル時間遅延部301から出力されるJシンボル時間前の補償量とを入力する。

その後補償変化量検出部302は、Jシンボル時間前の補償量と図8の補償回路部201から出力された補償量との差を求めたものを補償変化量として、補償変化量比較部303へ出力する。

補償変化量比較部303は、補償変化量検出部302に出力された補償変化量と、
5 補償変化量閾値設定部204から出力された補償変化量閾値を比較し、その結果をスリップ信号、および遅延補償変化量として、スリップ補正部203へ出力する。

シンボルタイミング調整部304は、補償変化量比較部303より出力されるスリップ信号と遅延補償変化量に、図8の補償回路部201から出力された一次補償シンボルのタイミングを一致させるために、一次補償シンボルの遅延調整を行う。その後シンボル
10 タイミング調整部304は、遅延調整された一次補償シンボルをスリップ補正部203へ出力する。

図12を参照すると、図11に示す補償変化量比較部303の詳細が示される。

累積部401は、補償変化量検出部302から出力される補償変化量をKシンボル時間分(Kは正の整数、一例として本実施形態では $K=2$)の加算を行い、補償変化量
15 累積値として、比較部402へ出力する。この累積部401を設ける理由は以下の通りである。即ち、現実に1シンボル時間で生じるスリップに起因する補償変化量は必ずしも十分に大きいものであるとは限らない。従って、補償変化量を複数シンボルに跨って加算(積分)することでより確実にスリップ発生を検出できるようにしている。

比較部402は、累積部401から入力した補償変化量累積値と補償量変化量閾値
20 設定部204から入力した補償変化量閾値との比較を行い、その結果をスリップ信号として、スリップ補正部203へ出力する。スリップ信号はスリップが発生した場合にその値が“1”、それ以外の場合は“0”になる。

遅延部403は、補償変化量検出部302から入力した補償変化量を、Lシンボル時間(Lは正の整数)遅延し、遅延補償変化量として、スリップ補正部203へ出力する。
25 本実施形態では、補償変化量を、累積部の累積時間(前述のKシンボル時間)に合わせ遅延($L=K$ シンボル時間遅延)させる。

図8に示されるスリップ補正部203は、補償量監視部202から出力されるスリップ信号、および補償変化量を用いて、前述の補償量監視部202から出力される遅延一次補償シンボルの位相を補正する。

30 図13を参照すると、図8に示すスリップ補正部203の詳細が示される。

補正量計算部501は、補償量監視部202から出力される遅延補償変化量とスリップ信号から、補正量を計算し、出力する。補正量計算部501により算出された補正量は、複素数(位相補償量を ϕ とすると $\exp(-i\phi)$ で表される)と入力信号との積が出力信号として出力される。

5 (動作)

次に図8、10、11、12、13に示す構成図、および図14、15、16、17、18、19に示すタイミングチャートを使用し、第1の実施形態におけるスリップ補償回路の動作を説明する。

図14は、図8に示す補償回路部201のタイミングチャートであり、図14(イ)の補償回路部201の入力信号 $S(0) \sim S(16)$ は、図5に示す雑音の影響により補償量に変化した箇所 $\alpha-1$ の部分のシンボル m からシンボル $m+16$ に一致する。図における(ロ)一次補償シンボル信号 $H(0) \sim H(16)$ 、および(ハ)補償量信号 $\phi(0) \sim \phi(16)$ は、補償回路部201の出力である。

また、図14内 $\alpha-3$ は、補償回路部201から出力される位相の補償量 ϕ を示し、図15における $\alpha-2$ は、時刻 $0T$ における補償量 $\phi(0)$ を示す。図内 $\alpha-4$ は、スリップが発生しない場合の補償量 ϕ を示しており、第1の実施形態におけるスリップ補償回路は、 $\alpha-3$ 補償量を $\alpha-4$ へ補正する。

なお、図内の $0T \sim 16T$ は、図5に示すシンボル m からの時刻を示し、 $1T$ は、1シンボル時間に相当する。

図8の補償回路部201は、図14(イ)の入力信号(シンボル) $S(0)$ を時刻 $0T$ に受け取ると、関連技術の項で述べた通り、位相補償量の推定と、推定した位相補償量による入力信号の補償を実行する。このとき補償回路部201は推定した位相の補償量 $\phi(1)$ と、入力信号の位相を補償した一次補償シンボル信号 $H(1)$ を時刻 $1T$ に、補償量監視部202へ出力する。

次に図8の補償量監視部202の動作を図11に示す構成図と、図15に示すタイミングチャートを使用して説明する。

図15は、図11に示すシンボル時間遅延部301、および補償変化量検出部302のタイミングチャートである。図15(イ)の補償量信号 $\phi(0) \sim \phi(16)$ は、補償回路部201からの出力信号である。また図における(ロ)遅延補償量信号 $\phi(-1) \sim \phi(15)$ は、図11におけるシンボル時間遅延部301の出力信号であり、図における(ハ)補償変化

量信号 $D(0) \sim D(16)$ は、補償変化量検出部 302 の出力である。なお、図におけるグラフ $\alpha-3$ は、(イ) の補償量信号 ϕ を、グラフ $\alpha-5$ は、(ロ) 遅延補償量信号 ϕ を、グラフ $\alpha-6$ は、(ハ) 補償変化量信号を示す。

図 15 において、時刻 $1T$ に、図内 (イ) 補償量 $\phi(1)$ が、図 11 に示すシンボル時間遅延部 301 に与えられると、シンボル時間遅延部 301 は、 J (J は、1 以上の正の整数、本実施形態では 1 とする) シンボル時間補償量 $\phi(1)$ を遅延する。その後シンボル時間遅延部 301 は、時刻 $2T$ に遅延補償量信号 $\phi(1)$ として、図 11 に示す補償変化量検出部 302 へ出力する。

時刻 $2T$ に、図内 (イ) 補償量 $\phi(2)$ と、(ロ) 遅延補償量信号 $\phi(1)$ が、図 11 に示す補償変化量検出部 302 に与えられる。すると、補償変化量検出部 302 は、 $\phi(1)$ と $\phi(2)$ の差を求め、時刻 $3T$ に補償変化量 $D(3)$ を、図 11 に示す補償変化量比較部 303 へ出力する。

次に図 11 の補償変化量比較部 303 の動作を図 12 に示す構成図と、図 16 に示すタイミングチャートを使用して説明する。

図 16 (イ) の補償変化量信号 $D(0) \sim D(16)$ は補償変化量検出部 302 からの出力信号である。また図における (ロ) 補償変化量累積値 $A(0) \sim A(16)$ は、図 12 における累積部 401 の出力信号であり、図における (ハ) 補償変化量閾値信号 Th は、図 8 における補償変化量閾値設定部 204 の出力である。さらに図における (ニ) のスリップ信号は、図 12 における比較部 402 の出力である。

なお、図 16 におけるグラフ $\alpha-6$ は、(イ) 補償変化量信号を、グラフ $\alpha-7$ は、(ロ) 補償変化量累積値を、グラフ $\alpha-8$ は、(ハ) 補償変化量閾値信号を示す。

図 16 において、時刻 $3T$ に、図内 (イ) 補償変化量 $D(3)$ が、図 12 に示す累積部 401 に与えられると、累積部 401 は、 K シンボル時間分の補償変化量を加算し、その絶対値を時刻 $4T$ に補償変化量累積値 $A(4)$ として、図 12 に示す比較部 402 へ出力する。例えば本実施形態において K は、2 とするため、時刻 $4T$ の補償変化量累積値 $A(4)$ は、補償変化量 $D(2)$ と $D(3)$ の和の絶対値、即ち $A(4) = |D(2) + D(3)|$ となる。

図 16 において、時刻 $4T$ に、図内 (ロ) 補償変化量累積値 $A(4)$ と、(ハ) 補償変化量閾値信号 Th が、図 12 に示す比較部 402 に与えられると、比較部 402 は、補償変化量累積値 $A(4)$ と補償変化量閾値信号 Th を比較する。その後比較部 402 は補償変化量累積値 $A(4)$ が補償変化量閾値信号 Th 未満の場合、スリップが発生しないことを

示す値0のスリップ信号 $\alpha-8$ を、時刻5Tに図8のスリップ補正部203へ出力する。

なお、時刻9Tのように、補償変化量累積値A(9)が補償変化量閾値信号Th以上の場合、スリップが発生したと判断し、スリップ発生を示す値1のスリップ信号 $\alpha-9$ を、時刻10Tに図8のスリップ補正部203へ出力する。

- 5 次に図11のシンボルタイミング調整部304と、図12の遅延部403の動作を図17に示すタイミングチャートを使用して説明する。

図17(イ)の一次補償シンボル信号H(0)~H(16)、(ハ)の補償変化量信号D(0)~D(16)は図8の補償回路部201の出力信号である。また図17における(ロ)遅延一次補償シンボル信号H(-4)~H(13)、は、図11におけるシンボルタイミング調整部304の出力信号であり、図17における(ニ)遅延補償変化量D(-3)~D(14)は、
10 図12における遅延部403の出力である。さらに図17における(ホ)のスリップ信号は、図12における比較部402の出力である。

なお、図17におけるグラフ $\alpha-3$ は、(イ)一次補償シンボル信号を、グラフ $\alpha-10$ は、(ロ)遅延一次補償シンボル信号を、グラフ $\alpha-6$ は、(ハ)補償変化量信号を、グラフ
15 $\alpha-11$ は、(ニ)遅延補償変化量信号を示す。

図17において、時刻0Tに、図内(イ)一次補償シンボル信号H(0)が図11のシンボルタイミング調整部304に与えられる。すると、シンボルタイミング調整部304は、図内(ホ)のスリップ信号の処理遅延に合わせ、一次補償シンボル信号H(0)を遅延し、時刻4Tに遅延一次補償シンボル信号H(0)を、図8におけるスリップ補正部203へ出力
20 する。本実施形態の場合、図11の補償変化量検出部302での処理遅延を1T(Tは、1シンボルあたりの時間)、図12の累積部401での遅延を2T(補償変化量累積値の累積シンボル時間をK=2としている為)、図12の比較部402の遅延を1Tとしている。そのため、遅延一次補償シンボル信号H(0)は計4T(4シンボル時間)遅延する。

図17において、時刻1Tに、図内(ハ)の補償変化量D(1)が、図12の遅延部403に
25 与えられると、遅延部403は、図内(ホ)のスリップ信号の処理遅延に合わせ、補償変化量D(1)を遅延する。その後遅延部403は時刻4Tに遅延補償変化量D(1)を、図8におけるスリップ補正部203へ出力する。本実施形態の場合、図12の累積部401での遅延を2T(本実施形態で、補償変化量累積値の累積シンボル時間をK=2としているため、)、図12の比較部402の遅延を1T、としているため、遅延補償変化量D
30 (1)は計3T(3シンボル時間)遅延する。

次に図8のスリップ補正部203の動作を、図13に示す構成図と、図18、19に示すタイミングチャートを使用して説明する。

図18(イ)の遅延補償変化量 $D(0) \sim D(16)$ 、(ロ)のスリップ信号は図8の補償量監視部202の出力信号である。また図18における(ハ)補正量 $B(3) \sim B(19)$ は、図13における補正量計算部501の出力信号である。

なお、図18におけるグラフ $\alpha-11$ は、(イ)遅延補償変化量を、グラフ $\alpha-12$ は、(ハ)補正量を示す。

図18において遅延補償変化量とスリップ信号が図13の補正量計算部501に与えられる。すると補正量計算部501はスリップ信号の値が位相スリップの発生を示す値
10 '1'の場合、遅延補償変化量と1シンボル時間前の補正量との加算を行い、その加算結果を補正量として出力する。

スリップ信号の値が位相スリップの未発生を示す値'0'の場合、遅延補償変化量と補正量の加算を行わず、1シンボル時間前の補正量を出力する。

本実施形態の場合、時刻4Tに、図18(イ)の遅延補償変化量 $D(1)$ と(ロ)のスリップ信号 $\alpha-13$ が、図13の補正量計算部501に与えられると、補正量計算部501は、
15 スリップ信号 $\alpha-13$ の値が'0'である。そのことから、時刻5Tに補正量 $B(4)$ の値を、補正量 $B(5)$ として、出力する。

また、時刻10Tに、図18(イ)の遅延補償変化量 $D(7)$ と(ロ)のスリップ信号 $\alpha-14$ が、図13の補正量計算部501に与えられると、補正量計算部501は、スリップ信号
20 $\alpha-14$ の値が'1'である。そのことから、時刻11Tに補正量 $B(10)$ と遅延補償変化量 $D(7)$ の和を、補正量 $B(11)$ として、出力する。

なお、本実施形態では、補正量 B の初期値は'0'とするが、特に、これに限定しない。

図19に示す(イ)補正量 $B(3) \sim (19)$ は、図13の補正量計算部501の出力信号である。また図19における(ロ)遅延一次補償シンボル信号 $H(-1) \sim H(15)$ は、図8における補償量監視部202の出力信号である。図19における(ハ)補正シンボル信号 $C(3) \sim C(19)$ は、スリップ補正部203から出力される位相補正された補正シンボル信号である。なお、図におけるグラフ $\alpha-12$ は、(イ)補正量を、グラフ $\alpha-10$ は、(ロ)の一次補償シンボル信号に適用された補償量を、グラフ $\alpha-15$ は、(ハ)補正シンボル信号
30 に適用された位相の補正量を示す。

図13の補正量計算部501から出力された図17(イ)の補正量は、複素数(位相の補正量を B とすると $\exp(-iB)$ で表される)と、図内(ロ)遅延一次補償シンボル信号との積が、補正シンボル信号として出力される。つまり、時刻11Tに、遅延一次シンボル信号 $H(7)$ に適用された補償量 ϕ と、補正量 $B(11)$ の加算を行い、時刻12Tに、位相補正された補正シンボル $C(12)$ を出力する。図19において、 $\alpha-16$ 以降に補正量が適用される。

図26は、実際の測定データを実施形態1に基づいて、補正処理を実施した際の補正後の位相の補償量を示した図である。

このように上記実施形態では、補償回路部201からの位相補償量を補償量監視部202で監視しているので、スリップが発生した際、スリップによる位相補償量の変化をスリップ補正部で補正することが出来る。

さらに本実施形態では、補償量監視部202内に、補償変化量を K シンボル時間累積する累積部401が設けられている。そのため複数シンボル時間に跨ってスリップが発生した場合でも、スリップによる異常な補償量の変化を検出することが可能であり、その異常な補償量をスリップ補正部203で、補正することができる。

以上説明したように、本発明によれば、差動符号化を用いることなく、スリップによる位相のずれを補償することが可能であり、入力シンボルに対する位相補償量の期待値(図14の $\alpha-4$)により補償された信号を出力することができる。

なお、上記実施形態では、スリップ発生箇所を特定するために、補償量の変化を監視している。しかし、補償量の変化の代わりに図10に示すフィルタ部102の出力信号(周波数オフセット量と称する場合もある。)を、使用しても良い。または、フィルタ部102の出力信号の変化を補償量の変化と併せて使用しても良い。

また、上記実施形態では、補償回路部内で、位相補償量を入力信号に反映し、そのデータを後段へ出力しているが、スリップ補正部203で、最終的にスリップキャンセルされた補償量を適用してもよい。

(第2の実施形態)

本発明の他の実施形態として、その基本的構成は上記の通りであるが、補償変化量閾値の生成についてさらに工夫している。その構成を図20に示す。図において、図8に示す補償変化量閾値設定部204を、補償変化量閾値決定部205に変更したことを除き、補償回路部201、補償量監視部202、スリップ補正部203は、図8に示す第

1の実施形態と同様の構成である。補償変化量閾値決定部205は、スリップ発生を検出するのに使用する補償変化量閾値を決定する。

図21を参照すると、図20に示す補償変化量閾値決定部205の構成が示される。補償変化量閾値決定部205は、平均変化量計算部601、および閾値計算部602により構成される。

平均変化量計算部601は、遅延補償変化量の移動平均を計算し、その計算結果を閾値決定部602へ出力する。

閾値決定部602は、平均補償変化量に基づいて補償変化量閾値を計算する。本実施形態では、一例として、平均補償変化量と係数信号から、補償変化量閾値を計算し、補償量監視部202へ出力する。なお、図示していないが係数信号は、CPU等の制御部に接続される。

(動作)

図21における平均変化量計算部601に、遅延補償変化量とスリップ信号が、補償量監視部202から与えられる。すると、平均変化量計算部601は、スリップ信号の値が‘0’の場合のみ、Wシンボル時間の遅延補償変化量の移動平均を計算し、その計算結果を平均補償変化量Vとして、閾値決定部602へ出力する。スリップ信号の値が‘0’の場合のみ、移動平均の計算をおこなうため、この平均補償変化量には、スリップ発生時の補償量が含まれない。スリップ信号の値が‘0’の場合とはスリップが発生していない状態を意味するからである。

閾値決定部602に、平均補償変化量Vが、平均補償変化量計算部601から与えられる。すると、閾値決定部602は、一例として式(1)に示すように平均補償変化量にKを乗じ、さらに係数信号 β を乗じた値を補償変化量閾値 th として、補償量監視部202へ出力する。Kは、図12に示す累積部401の累積シンボル時間であり、係数信号 β は、移動平均からの乖離率を示す。この係数信号 β は補償変化量閾値 th の値を適切に調整するために設定されるものである。

$$\text{補償変化量閾値 } th = \text{平均補償変化量 } V \times K \times \beta \cdots (1)$$

なお、上記以外の補償回路部201、補償量監視部202、スリップ補正部203は、実施形態1と同様の動作を行う。

このように、本実施形態では、スリップの発生を検出するのに使用する補償変化量閾値を、遅延補償変化量とスリップ信号から生成している。そのため補償変化量が変

化した場合でも、適切な補償変化量閾値を得ることができる。このため、補正誤りによる誤りを抑えるという効果が得られる。

(第3の実施形態)

本発明の他の実施形態として、その基本的構成は上記の通りであるが、補償変化
5 量閾値の生成についてさらに工夫している。その構成を図22に示す。本図において、
図20に示す実施形態2の構成に、同期パターン挿入部701、変調部702、同期部2
06を追加している以外、図20に示す第2の実施形態と同様の構成である。

同期パターン挿入部701、変調部702は、送信側に配置し、図示していないが、同
期パターン挿入部の入力側には、SD-FECエンコード部、フレーマー部が配置され
10 る。

同期パターン挿入部701は、SD-FECエンコード部からの出力データに同期パター
ンを挿入し、変調部702へ出力する。

変調部702は、同期パターンより入力したデータを変調し、受信側へと送信する。

本実施形態では、変調方式としてQPSKを挙げ説明するが、特にこれに限定しない。
15 また、変調部702と、補償回路部201間には、図示しないが、受信した信号の復調な
どを行う回路が配置される。

同期部206は、スリップ補正部203、補償量監視部202、補償変化量決定部205
に接続され、補正シンボル信号より、同期パターンを検出し、補正シンボル信号の位
相の正常性確認を行う。また、同期パターン検出後、同期外れが発生した場合、スリッ
20 プ信号の状態により、補正シンボル信号の位相量を再度補正する。さらに、補償変化
量閾値決定部205内で、補償変化量閾値を計算する際に使用する係数信号を更新
する。なお、係数信号を更新する具体的な手順については後述する。

(動作)

次に、図23、図24、図25を使用し、図22に示す実施形態3の、同期パターン挿入
25 部701、変調部702、および同期部206の動作を説明する。なお、その他の構成部
の動作については、実施形態2と同様の動作となる。

図23は、送信側に配置される同期パターン挿入部701の入力信号と出力信号を示
した図である。(イ)の同期パターン挿入部701の入力信号は、フレーマー部でyビット
毎にフレーム化され、SD-FECエンコード部で計算されたパリティを含む。図内UW
30 (Unique Word)は、フレームのヘッダであり、DATAは、ユーザデータであり、Pは、SD

—FECエンコード部で計算されたパリティ値が設定されている。なお、本実施形態では、一例として y ビットを32768ビット(4096バイト)として説明する。

(ロ)の同期パターン挿入部701の出力信号は、 I 、 Q の2ビット幅で出力される。これは、変調部702での変調方式がQPSKであることに起因しているためである。本実施形態では、同期パターン挿入部で挿入するパターンを以下の条件に従い挿入する。

条件1: UW の先頭データである場合、同期パターン $\alpha - 20$ として、 I に‘0’、 Q に‘1’を設定する。それ以外の場合、同期パターン $\alpha - 21$ として、 I に‘1’、 Q に‘0’を設定する。

図22の同期パターン挿入部701において、図23(イ)の入力信号が与えられると、同期パターン挿入部701は、入力信号を UW から x ビット毎に分離し、 x ビット毎に、条件1に対応した同期パターンを挿入し、変調部702へ出力する。なお、 x は正の整数で、 y の約数であり、本実施形態では、 x ビットを64ビットとして説明する。

変調部702に、図23の(ロ)に示す同期パターン挿入部出力信号が与えられると、変調部702は、入力された I 、 Q を変調し、受信側へ送信する。

この様に送信側で条件1に従い同期パターンを挿入し変調されると、受信信号は $32(x\text{ビット}/2)$ シンボル時間毎に、図1に示す $\alpha - 20$ 、または $\alpha - 21$ に示す箇所に同期パターンが出現する。また受信信号は $256(y/x/2)$ シンボル時間毎に、 $\alpha - 20$ に示す箇所に同期パターンが出現する。

次に、図24と図25を使用し、受信側に配置される同期部206の動作を説明する。両図において(イ)の I' 、 Q' は、スリップ補正部203から出力された補正シンボル信号を、複素数で表示した図である。両図における(ロ)の同期信号は、同期部206内の同期状態を示しており、 $\alpha - 18$ の箇所で同期外れが発生している。両図における(ハ)は、補償量監視部202から出力されたスリップ信号である。

両図における(ニ)は、同期部206から出力される再補正されたシンボル信号 I'' 、 Q'' である。また、(ホ)の係数信号 β は、同期部206から補償変化量閾値決定部205へ出力される信号であり、補償変化量閾値を計算するのに使用される。

なお、図24は、スリップ補正部203の補正により、補正誤りが生じた場合の図であり、 $\alpha - 17$ は補正誤りの箇所を示している。また、図25は、スリップ補正部203で補正しきれない場合の図であり、図内(イ)の $\alpha - 21$ 以降での何処かでスリップが発生している。

まず、図24を使用し、スリップ補正部203の補正により、補正誤りが生じた場合の、同期部206の動作について以下に説明する。

図22において、同期部206に、図24(イ)に示す補正シンボル信号が与えられると、同期部206は、補正シンボル信号(I', Q')から、同期パターン挿入部701で挿入された同期パターンの検出を行い、図内(口)の同期信号を生成する。

図24において、 $\alpha - 18$ の箇所、同期外れが発生すると、同期部206は、同期外れ直前のスリップ信号の値が'1'である箇所 $\alpha - 22$ より、補正シンボル信号の再補正を行う。なお補正量は、同期パターンとの差とすることができる。

さらに、スリップ信号生成の閾値をより上げることにより、スリップ信号生成の閾値が適切でないために発生する補正誤りを防ぐことができる。具体的には、スリップ信号生成の閾値の係数である係数信号 β の値を、 $\beta(r-1) < \beta(r)$ になるように増加させ、補償変化量閾値決定部へ出力する。これは、現状の補償変化量閾値 th が、低いことにより補正誤りが発生しているためであり、補償変化量閾値 th を適切な値にするための処理である。 r は任意のシンボル時間である。

次に、図25を使用し、スリップ補正部203でスリップが補正しきれない場合の、同期部206の動作について以下に説明する。

図22において、同期部206に、図25(イ)に示す補正シンボル信号が与えられると、同期部206は、補正シンボル信号(I', Q')から、同期パターン挿入部701で挿入された同期パターンの検出を行い、図内(口)の同期信号を生成する。

図25において、 $\alpha - 18$ の箇所、同期外れが発生する。その時、同期部206は、図25(ハ)に示すスリップ信号が、'0'である場合、図25の $\alpha - 19$ に示す同期パターンの中間である(x ビット/2=32ビット)の箇所から、補正シンボル信号の再補正を行う。

スリップ信号の値が'0'である場合、スリップの発生箇所が不明であり、スリップの再補正箇所を決定する必要がある。このため前記処理では、スリップが、同期パターン間(x ビット=64ビット)で、1回発生したと仮定し、スリップによる誤りを32ビット(x ビット/2)以下に抑える。なお補正量は、同期パターンとの差とすることができる。

さらに、スリップ信号生成の閾値をより下げることにより、スリップ信号生成の閾値が適切でないために発生する補正誤りを防ぐことができる。具体的には、同期部206は、スリップ信号生成の閾値の係数である係数信号 β の値を、 $\beta(u-1) > \beta(u)$ になるよ

うに減少させ、補償変化量閾値決定部へ出力する。これは、現状の補償変化量閾値 t_h が、大きいことにより補正誤りが発生しているためであり、補償変化量閾値 t_h を適切な値にするための処理である。 u は任意のシンボル時間である。

このように、本実施形態では、送信側の同期パターン挿入部701で同期パターンを挿入し、同期部206で検出することで、スリップの発生を検出するのに使用する補償変化量閾値を制御している。具体的には、補償変化量閾値の係数信号 β を生成している。そのため、スリップの誤検出を抑えることができるため、伝送特性を向上させる効果が得られる。

また、同期部206で、同期外れ(スリップ発生)を検出した場合、スリップ信号の状態に応じて、再補正を行うことができるため、前段部での誤補正による誤りを押さえることができるため、伝送特性を向上させる効果が得られる。

(効果)

第1の効果は、光通信システムの伝送特性を3dB向上できる。その理由は、差動符号化を用いることなく、スリップによるマッピングのズレを補正することが可能なことにある。

第2の効果は、光通信システムの伝送特性を向上できる。その理由は、差動符号化を用いることがないため、高誤り訂正利得が期待できるSD-FECのLLRの計算を複雑な処理を追加することなく実現できることにある。

第3の効果は、光通信システムの伝送特性を向上できる。その理由は、送信側で、信号に挿入された同期パターンを、受信側で検出することで、スリップによる影響を、同期パターン間内におさえることができるためである。つまり、同期パターン間隔より大きい誤りは発生しないことになる。

第4の効果は、光通信システムの伝送特性を向上できる。その理由は、送信側で、信号に挿入された同期パターンを、受信側で検出し、同期パターン間に発生した、スリップ数により、スリップ検出閾値である補償変化量閾値を適切な値へ変更することができる。それによって、スリップによる誤りを抑えることが可能なためである。

(第4の実施形態)

本発明の第4の実施形態を図27を参照して説明する。

本実施形態の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路2701は、位相偏差補償回路により受信信号になされる位相補償量の変化から、受信信号のスリップの発生を

検出し、スリップ発生以降の受信信号の位相補償量を補正することを特徴とする。

以上の構成により、本実施形態の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路においては、下記の効果を有する。

- 5 即ち光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償処理を実装する場合においても、伝送特性を低下させることなく、送信データを正しく復調可能なスリップ補償方法(光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償方法)を提供できる。

(第5の実施形態)

- 本発明の第5の実施形態として、その基本構成は、第1の実施形態の通りであるが、補正量の生成についてさらに工夫している。その構成は、図8に示すスリップ補正部203をスリップ補正部207に変更したことを除き、図8に示す第1の実施形態と同様の構成である。スリップ補正部207は、スリップ補正部203内で計算される補正量に、
10 「平均補償変化量」を適用することを除き、スリップ補正部203と同一のブロックである。

- 図28を参照すると、図に示すスリップ補正部207の構成が示される。平均補償変化量計算部601は、遅延補償変化量の移動平均を計算し、補正量計算部502へ出力する。
15

- 補正量計算部502は、補償量監視部202から出力される遅延補償変化量、スリップ信号、および平均補償変化量計算部601からの平均補償変化量から、補正量を計算し、出力する。補正量計算部502により算出された補正量は、複素数(位相補償量を ϕ とすると $\exp(-i\phi)$ で表される)と入力信号との積が出力信号として出力される。
20

(動作)

- 図28における補正量計算部502に、補償量監視部202から遅延補償変化量とスリップ信号と、平均補償変化量計算部601から平均補償変化量が与えられる。すると、補正量計算部502は、スリップ信号の値が位相スリップの未発生を示す値‘0’の場合、
25 遅延補償変化量と補正量の加算を行わず、1シンボル時間前の補正量を出力する。
補正量計算部501は、スリップ信号の値が‘1’である場合、以下のように補正量 $B(t)$ と遅延補償変化量 $D(t)$ 、平均補償変化量 $AVE(t)$ の和を、補正量として、出力する。
 t は任意のシンボル時間である。

- 30 $B(t + 1) = B(t) + D(t) + AVE(t) \cdots (2)$

図29は、本実施形態の補正量計算部502の出力信号を示した図であり、図29に示す(イ)遅延一次補償シンボル信号 $H(-1) \sim H(15)$ は、図8における補償量監視部202の出力信号である。図29における(ロ)補正シンボル信号 $C(3) \sim C(19)$ は、スリ
5 ップ補正部207から出力される位相補正された補正シンボル信号である。なお、図におけるグラフ $\alpha-10$ は、(イ)の一次補償シンボル信号に適用された補償量を示す。
また、グラフ $\alpha-15$ は、第1の実施形態における補正シンボル信号に適用された位相の補正量を、グラフ $\alpha-17$ は、本実施形態における補正信号に適用された補正量を
示す。図内の $\alpha-18 \sim 20$ で、上記式(2)で生成された補正值が適用されている。

10 なお、上記以外の補償回路部201、補償量監視部202は、補償変化量閾値設定部204は、第1の実施形態と同様の動作を、平均補償変化量計算部601は、第2の実施形態と同様の動作を行う。

このように、本実施形態では、第1の実施形態で、スリップ発生時の補償量をキャンセルする補正量を生成していたのに対し次の点が異なっている。即ち、キャンセルした
15 補償量に平均補償変化量を加算するため、スリップ発生時に、増加(または減少)すべき変化量を加味した補正量を生成している。このため、スリップの発生による、位相のずれを抑えるという効果が得られる。

なお、ここまで説明した各実施形態では、専用の装置を想定したが、次のようなものでもよい。即ち例えば各種データ処理を行うパーソナルコンピュータ装置に、本例に相
20 当する処理を行うボードやカードなどを装着し、各処理を、コンピュータ装置側で実行させる。このようにして、その処理を実行するソフトウェアをパーソナルコンピュータ装置に実装させて実行する構成としても良い。

そのパーソナルコンピュータ装置などのデータ処理装置に実装されるプログラムについては、光ディスク、メモ리카ードなどの各種記録(記憶)媒体を介して配付しても良い。
25 或いはインターネットなどの通信手段を介して配付しても良い。

また、以上の実施形態は各々他の実施形態と組み合わせることができる。

以上、実施形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施形態に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

30 以上に述べた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が、

以下には限られない。

(付記1)

位相偏差補償手段により受信信号になされる位相補償量の変化から、受信信号のスリップの発生を検出し、スリップ発生以降の受信信号の位相補償量を補正すること
5 を特徴とする位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

(付記2)

入力信号に対し位相偏差の補償を行う位相補償手段と、
前記位相補償手段における位相補償量の変化を監視しスリップ発生の検出を行う
スリップ検出手段と、

10 前記スリップ検出手段で検出したスリップによって生じた位相変化分を補正するスリップ補正手段と、
を備えたことを特徴とする位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

(付記3)

前記スリップの検出は、前記位相補償手段における位相補償の変化量が所定の閾
15 値を超えることにより検出する、
ことを特徴とする付記2記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

(付記4)

前記閾値が前記位相補償の変化量の移動平均に基づいて決められる
ことを特徴とする付記3記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

20 (付記5)

受信信号に挿入された同期パターンを検出し、前記位相補償量の再補正を行う同期手段を有する、
ことを特徴とする付記1乃至付記4いずれかに記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

25 (付記6)

前記同期パターンは、フレームの先頭と、その他の位置とで異なるパターンをもつことを特徴とする付記5記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

(付記7)

前記位相偏差補償回路は搬送波周波数偏差の補償も含む
30 ことを特徴とする付記1乃至付記6のいずれかに記載の位相変調信号復調器の位相

偏差補償回路。

(付記8)

付記1乃至7のいずれかに記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路を備えることを特徴とする光伝送受信装置。

5 (付記9)

付記1乃至8のいずれかに記載の光伝送受信装置を備えることを特徴とする光伝送通信システム。

(付記10)

10 受信信号の位相補償量の変化から、受信信号のスリップの発生を検出し、スリップ発生後の受信信号の位相補償量を補正することを特徴とする位相偏差補償方法。

(付記11)

入力信号に対し位相偏差の補償を行い、
位相補償量の変化を監視しスリップ発生の検出を行い、
スリップによって生じた位相変化分を補正する

15 ことを特徴とする位相偏差補償方法。

(付記12)

前記スリップの検出は、位相補償の変化量が所定の閾値を超えることにより検出する、
ことを特徴とする付記11記載の位相偏差補償方法。

20 (付記13)

前記閾値が前記位相補償の変化量の移動平均に基づいて定められる
ことを特徴とする付記12記載の位相偏差補償方法。

(付記14)

25 受信信号に挿入された同期パターンを検出し、前記位相補償量の再補正を行う、
ことを特徴とする付記10乃至付記13いずれかに記載の位相偏差補償方法。

(付記15)

前記同期パターンは、フレームの先頭と、その他の位置とで異なるパターンをもつことを特徴とする付記14記載の位相偏差補償方法。

(付記16)

30 入力信号に対し位相偏差の補償を行う位相補償処理と、

前記位相補償処理における位相補償量の変化を監視しスリップ発生の検出を行うスリップ検出処理と、

前記スリップ検出処理で検出したスリップによって生じた位相変化分を補正するスリップ補正処理と、

- 5 をコンピュータに実施させることを特徴とする位相偏差補償プログラム。

この出願は、2011年3月25日に出願された日本出願特願2011-067699を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

10 産業上の利用可能性

本発明は、周波數位相偏差・搬送波周波数偏差補償を行う受信器に関し、特に、サイクル(位相)スリップ発生時の光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償に関するものであり、産業上の利用可能性を有する。

15 符号の説明

- 101 位相誤差検出部
- 102 フィルタ部
- 103 位相補償量算出部
- 104 差動符号復調部
- 20 201 補償回路部(光位相偏差・光搬送波周波数偏差補償回路)
- 202 補償量監視部
- 203 スリップ補正部
- 204 補償変化量閾値設定部
- 205 補償変化量閾値決定部
- 25 206 同期部
- 207 スリップ補正部
- 301 シンボル時間遅延部
- 302 補償変化量検出部
- 303 補償変化量比較部
- 30 304 シンボルタイミング調整部

- 401 累積部
- 402 比較部
- 403 遅延部
- 501 補正量計算部
- 5 502 補正量計算部
- 601 平均補償変化量計算部
- 602 閾値計算部
- 701 同期パターン挿入部
- 702 変調部

請求の範囲

[請求項1]

- 位相偏差補償手段により受信信号になされる位相補償量の変化から、受信信号のスリップの発生を検出し、スリップ発生以降の受信信号の位相補償量を補正すること
- 5 を特徴とする位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

[請求項2]

- 入力信号に対し位相偏差の補償を行う位相補償手段と、
- 前記位相補償手段における位相補償量の変化を監視しスリップ発生の検出を行うスリップ検出手段と、
- 10 前記スリップ検出手段で検出したスリップによって生じた位相変化分を補正するスリップ補正手段と、
- を備えたことを特徴とする位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

[請求項3]

- 前記スリップの検出は、前記位相補償手段における位相補償の変化量が所定の閾
- 15 値を超えることにより検出する、
- ことを特徴とする請求項2記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

[請求項4]

- 前記閾値が前記位相補償の変化量の移動平均に基づいて決められる
- ことを特徴とする請求項3記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

20 [請求項5]

- 受信信号に挿入された同期パターンを検出し、前記位相補償量の再補正を行う同期手段を有する、
- ことを特徴とする請求項1乃至請求項4いずれかに記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

25 [請求項6]

- 前記同期パターンは、フレームの先頭と、その他の位置とで異なるパターンをもつことを特徴とする請求項5記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路。

[請求項7]

- 前記位相偏差補償回路は搬送波周波数偏差の補償も含む
- 30 ことを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれかに記載の位相変調信号復調器の

位相偏差補償回路。

[請求項8]

請求項1乃至7のいずれかに記載の位相変調信号復調器の位相偏差補償回路を備えることを特徴とする光伝送受信装置。

5 [請求項9]

請求項1乃至8のいずれかに記載の光伝送受信装置を備えることを特徴とする光伝送通信システム。

[請求項10]

- 10 受信信号の位相補償量の変化から、受信信号のスリップの発生を検出し、スリップ発生後の受信信号の位相補償量を補正することを特徴とする位相偏差補償方法。

[請求項11]

- 入力信号に対し位相偏差の補償を行い、
位相補償量の変化を監視しスリップ発生の検出を行い、
スリップによって生じた位相変化分を補正する
15 ことを特徴とする位相偏差補償方法。

[請求項12]

- 前記スリップの検出は、位相補償の変化量が所定の閾値を超えることにより検出する、
ことを特徴とする請求項11記載の位相偏差補償方法。

20 [請求項13]

前記閾値が前記位相補償の変化量の移動平均に基づいて定められる
ことを特徴とする請求項12記載の位相偏差補償方法。

[請求項14]

- 受信信号に挿入された同期パターンを検出し、前記位相補償量の再補正を行う、
25 ことを特徴とする請求項10乃至請求項13いずれかに記載の位相偏差補償方法。

[請求項15]

前記同期パターンは、フレームの先頭と、その他の位置とで異なるパターンをもつことを特徴とする請求項14記載の位相偏差補償方法。

[請求項16]

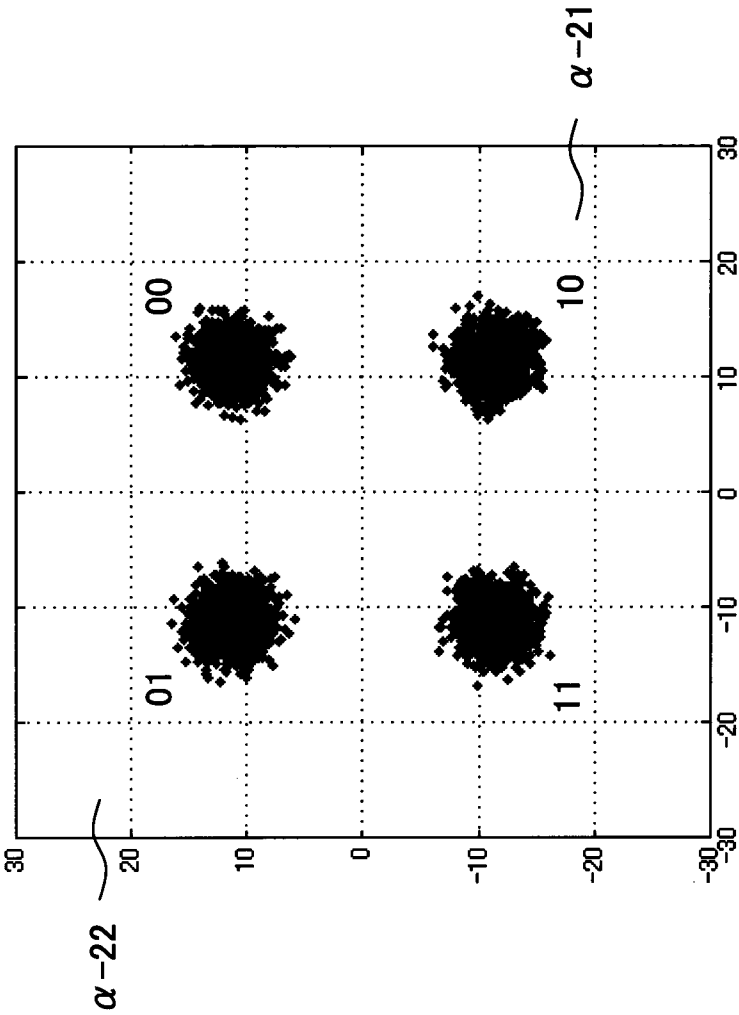
- 30 入力信号に対し位相偏差の補償を行う位相補償処理と、

前記位相補償処理における位相補償量の変化を監視しスリップ発生の検出を行うスリップ検出処理と、

前記スリップ検出処理で検出したスリップによって生じた位相変化分を補正するスリップ補正処理と、

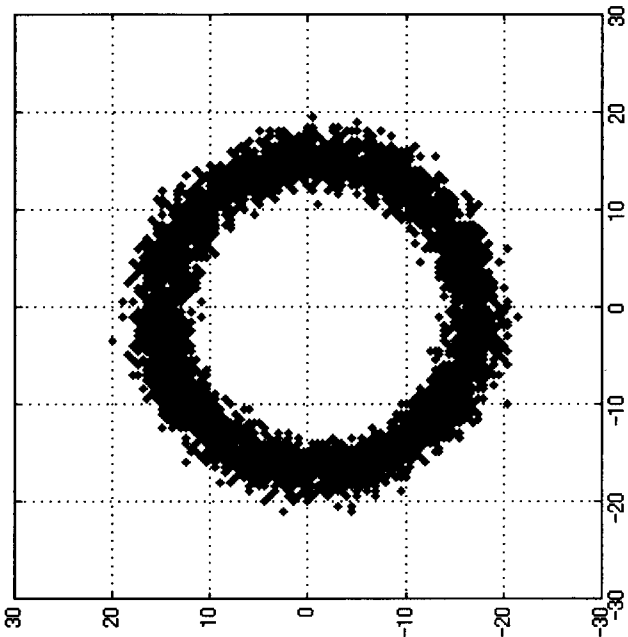
- 5 をコンピュータに実施させることを特徴とする位相偏差補償プログラム。

図1

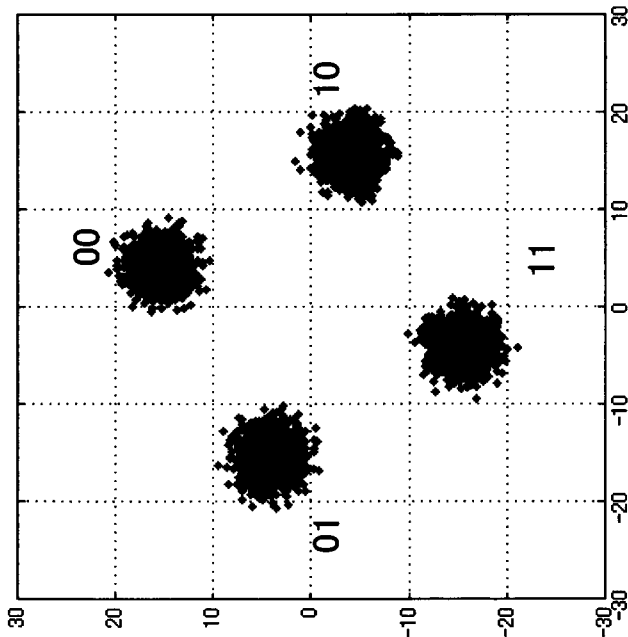


QPSKのコンスタレーションと
シンボルマッピングの例

図2



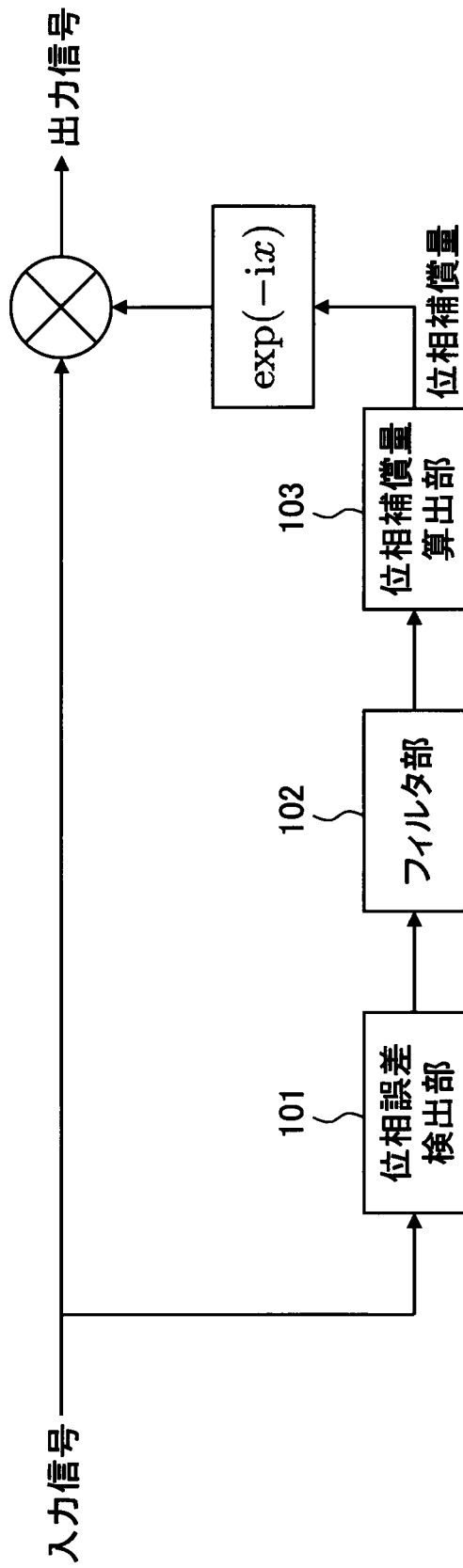
(b)光搬送波周波数偏差により
コンスタレーションが連続的に回転した例



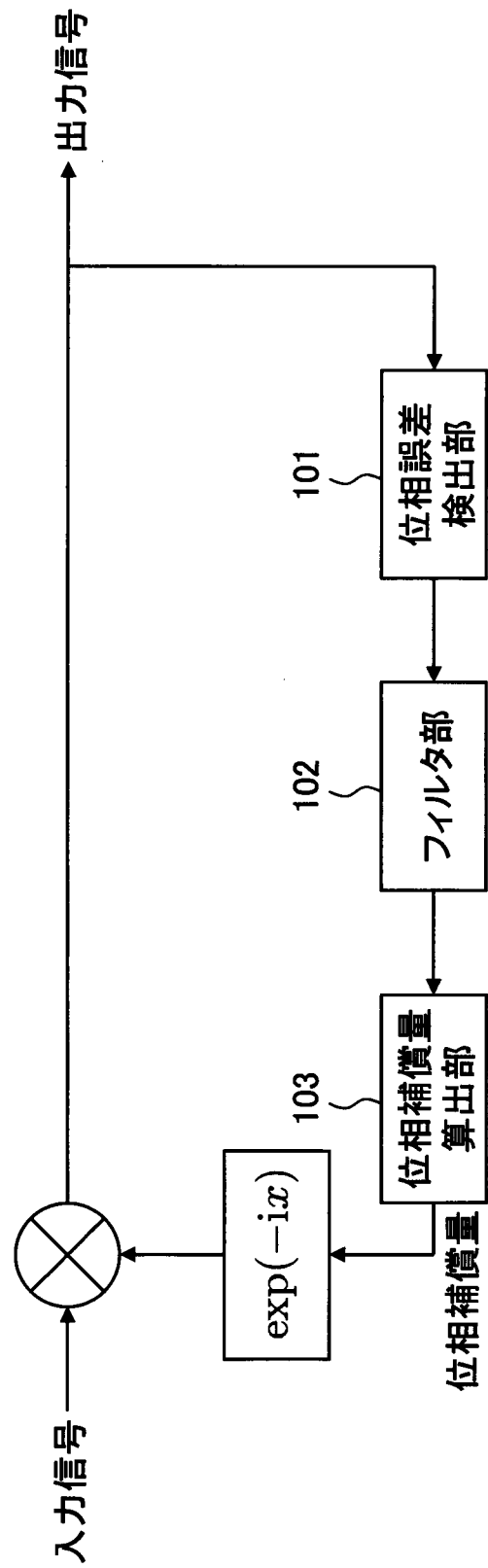
(a)光位相偏差によりコンスタレーションが
位相偏差量だけ回転した例

3/29

図3



(a)フィードフォワード型



(b)フィードバック型

図4

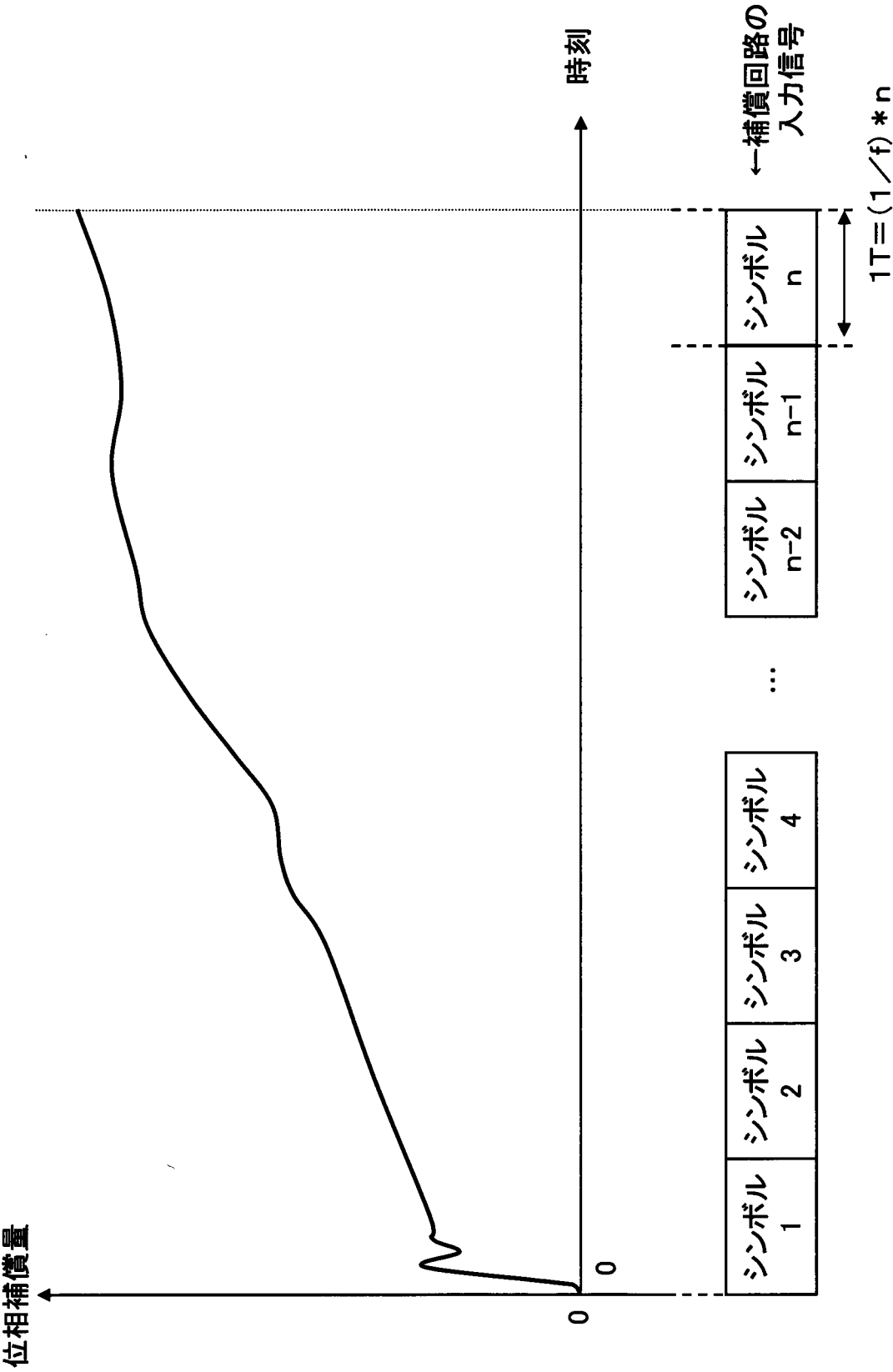


図5

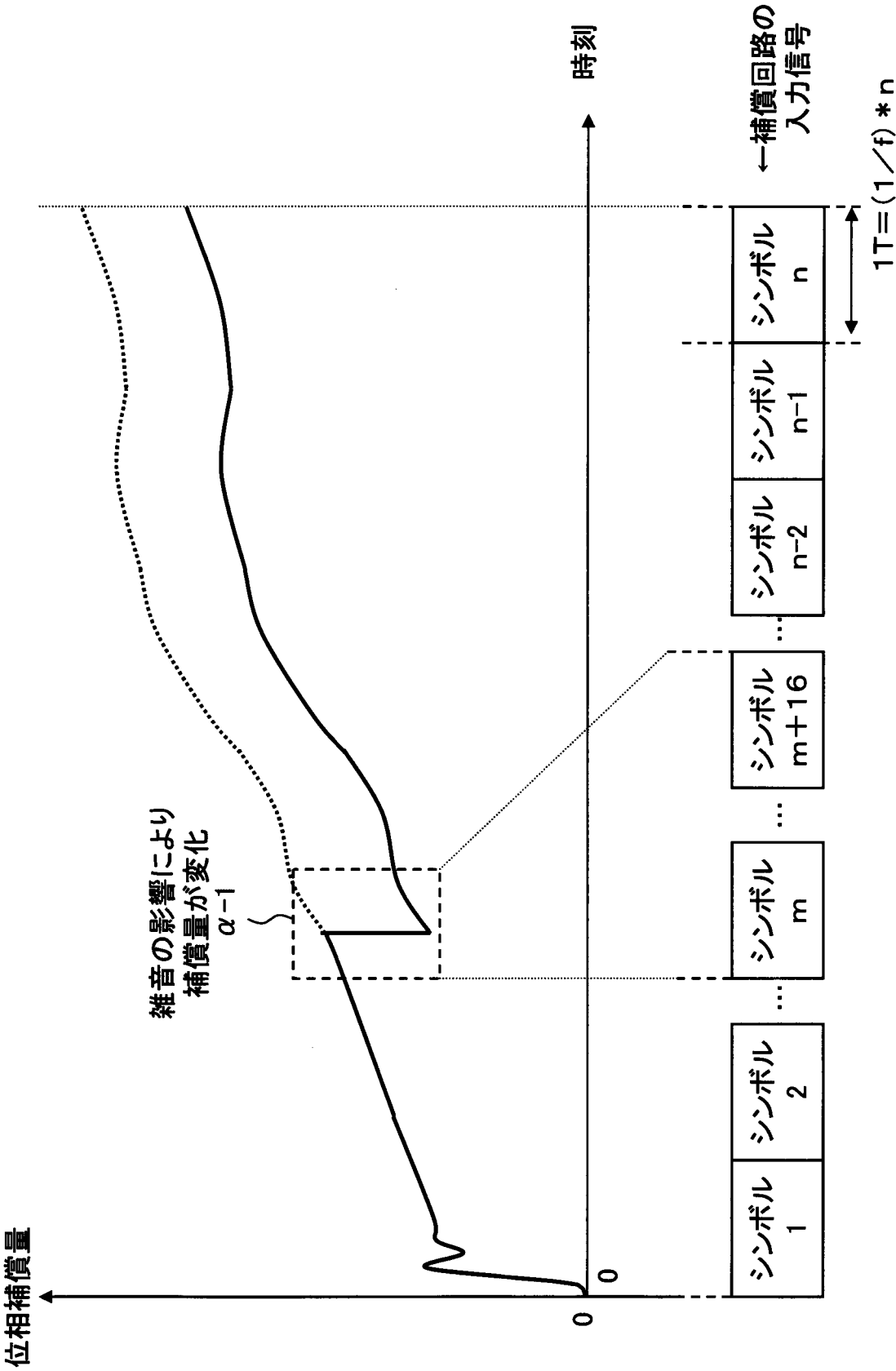
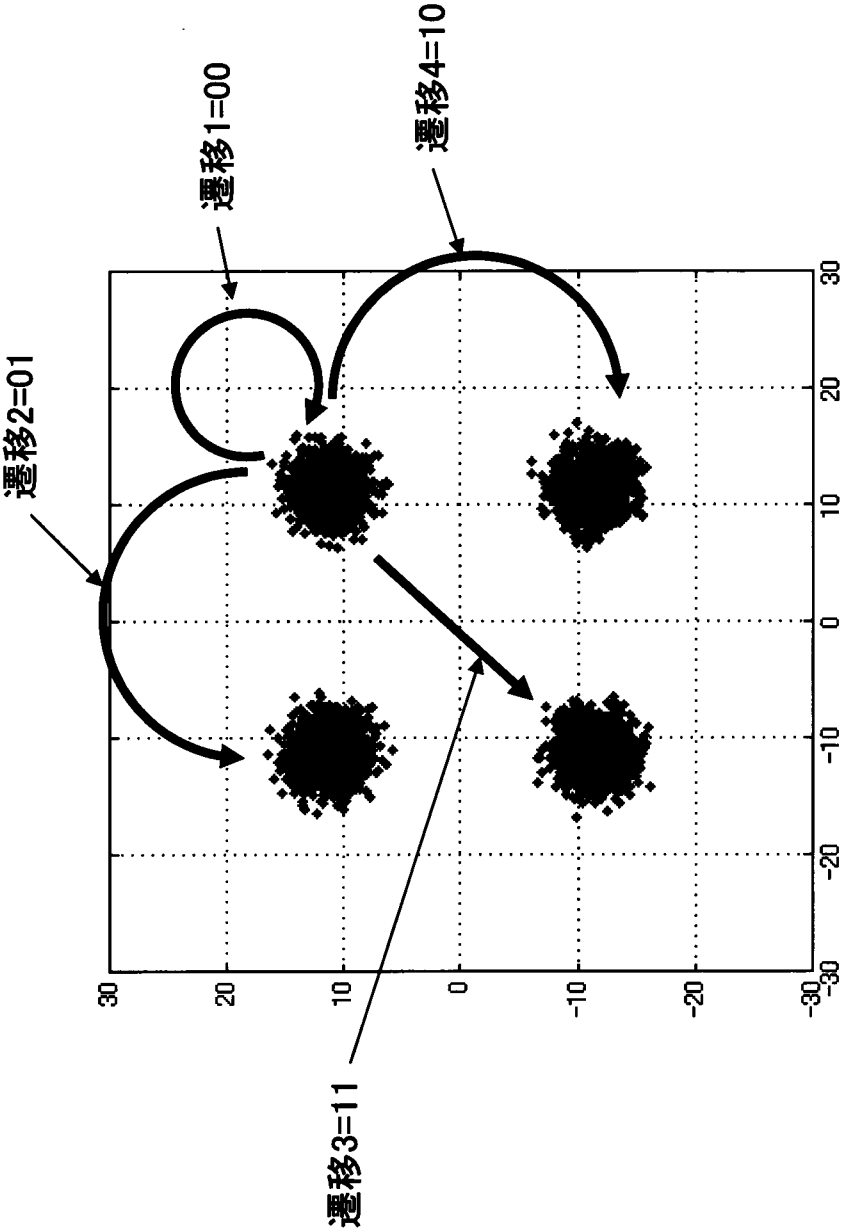


図6



QPSKにおける差動符号の
シンボルマッピングの例

図7

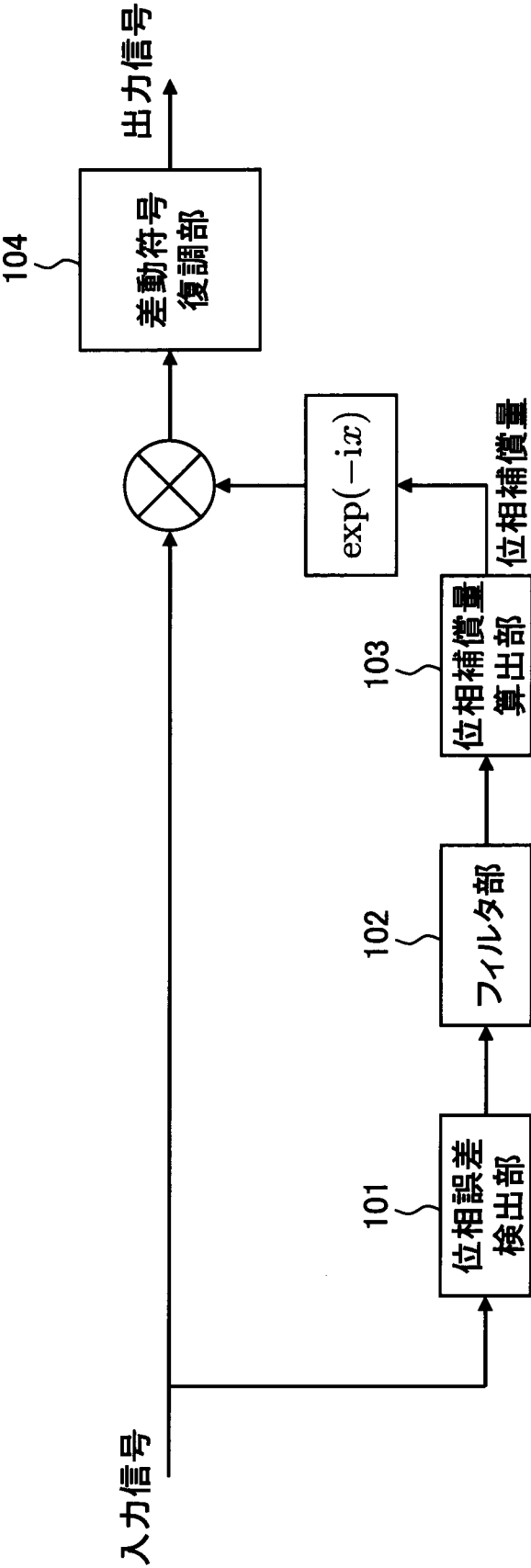


図8

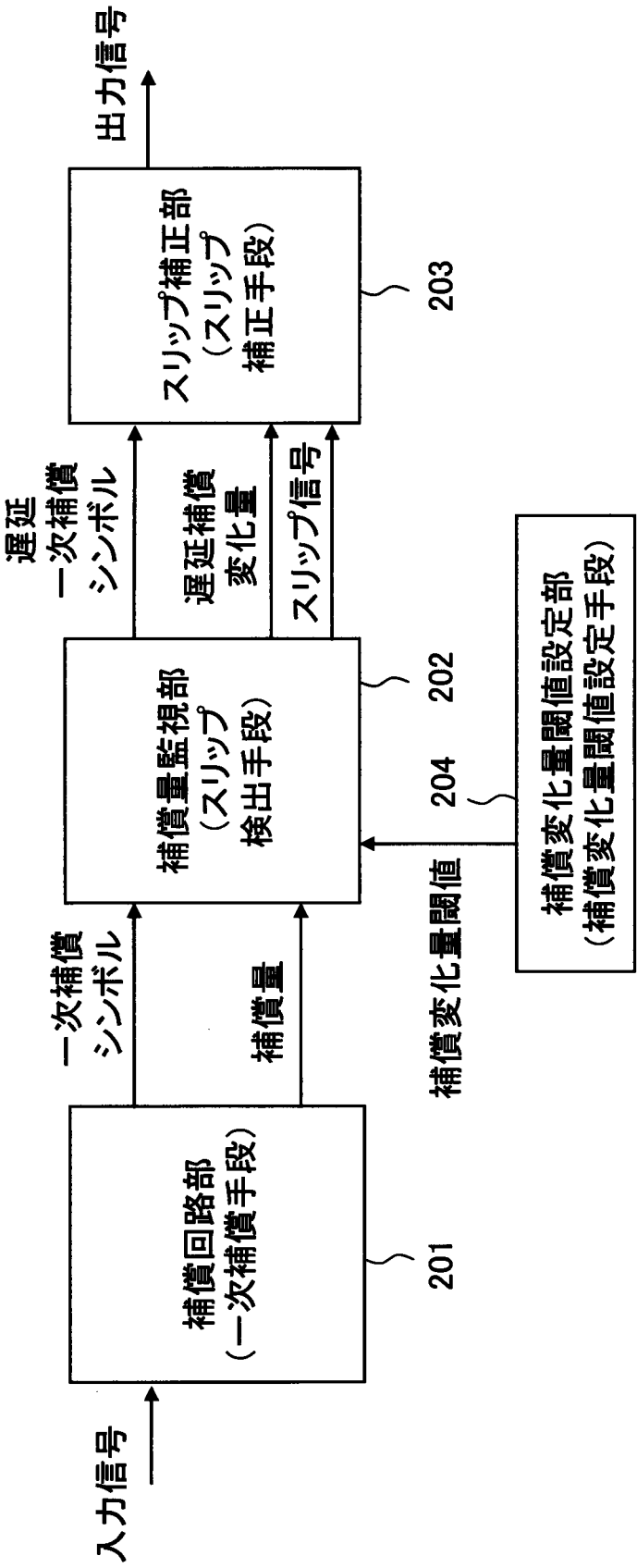
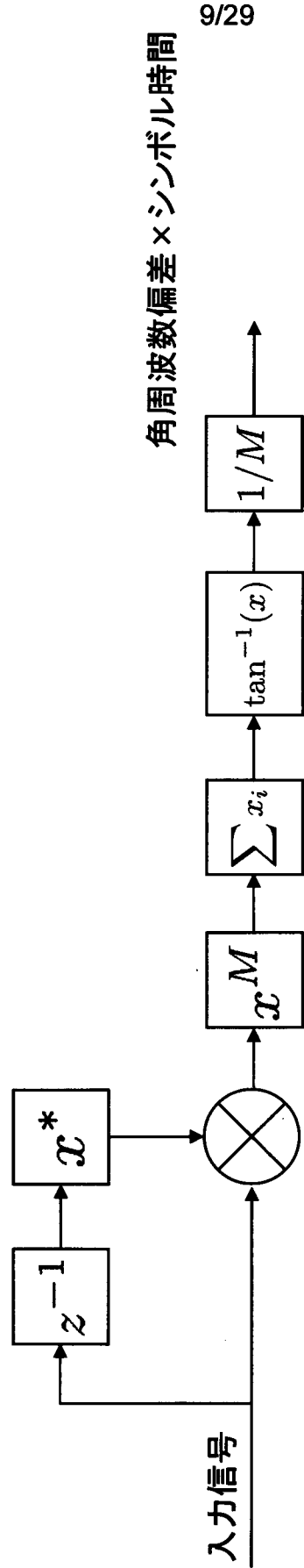


図9



10/29

図10

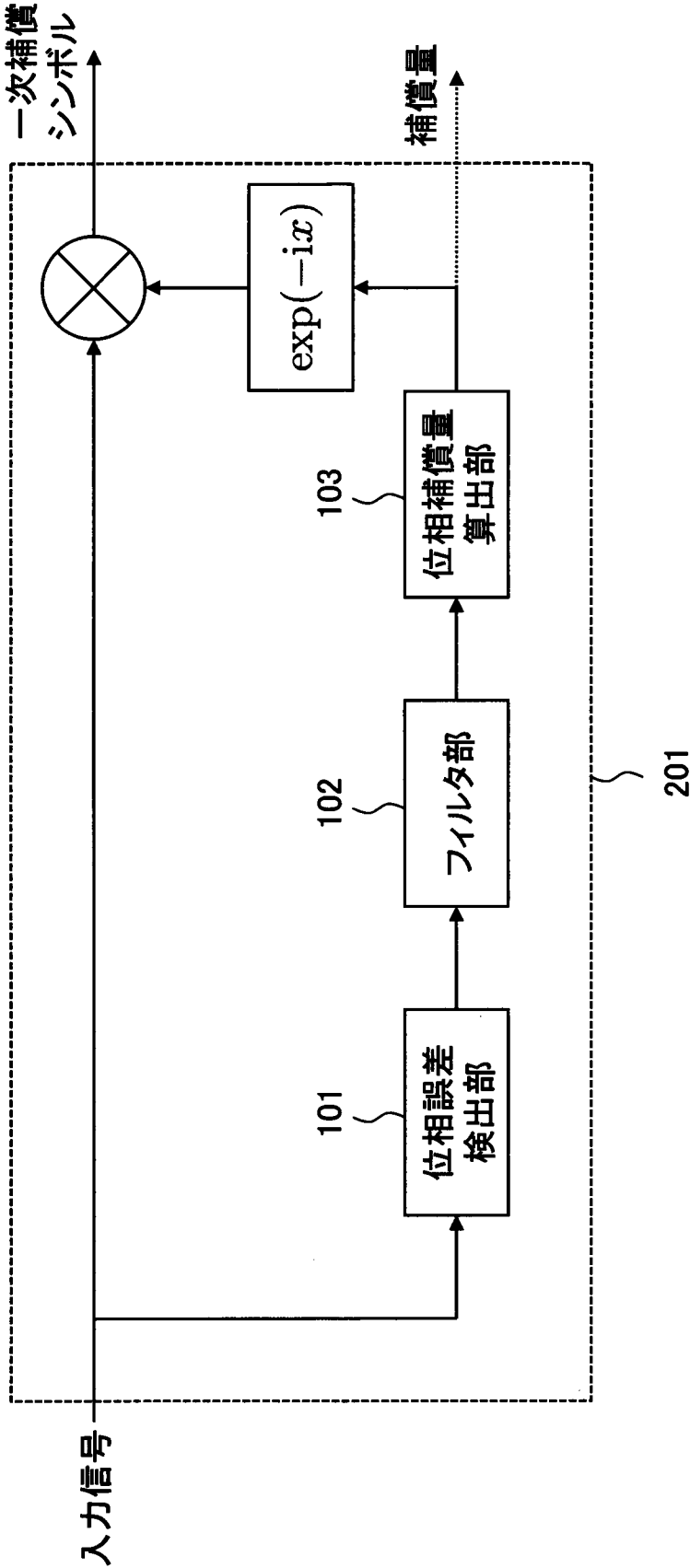
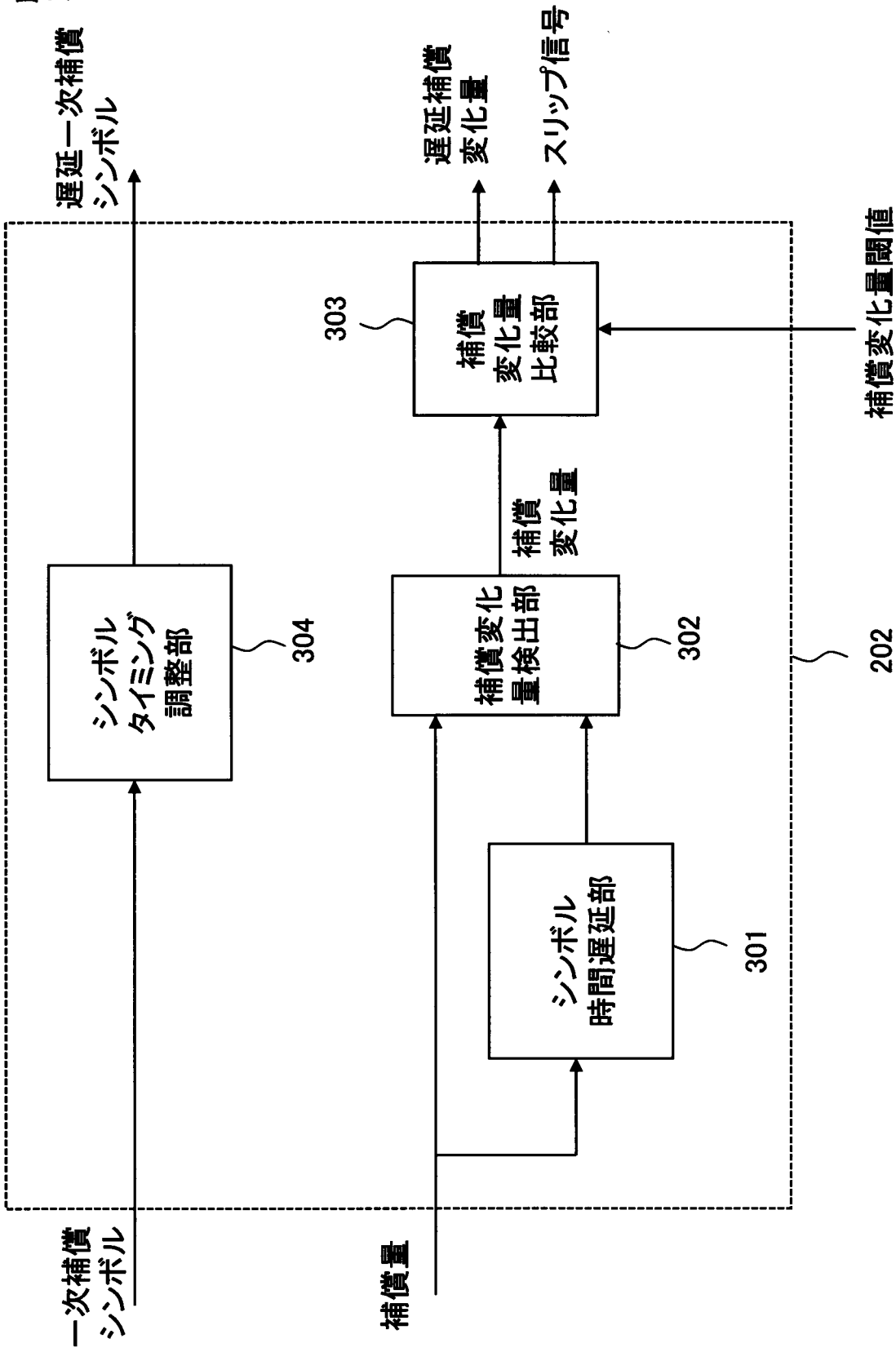
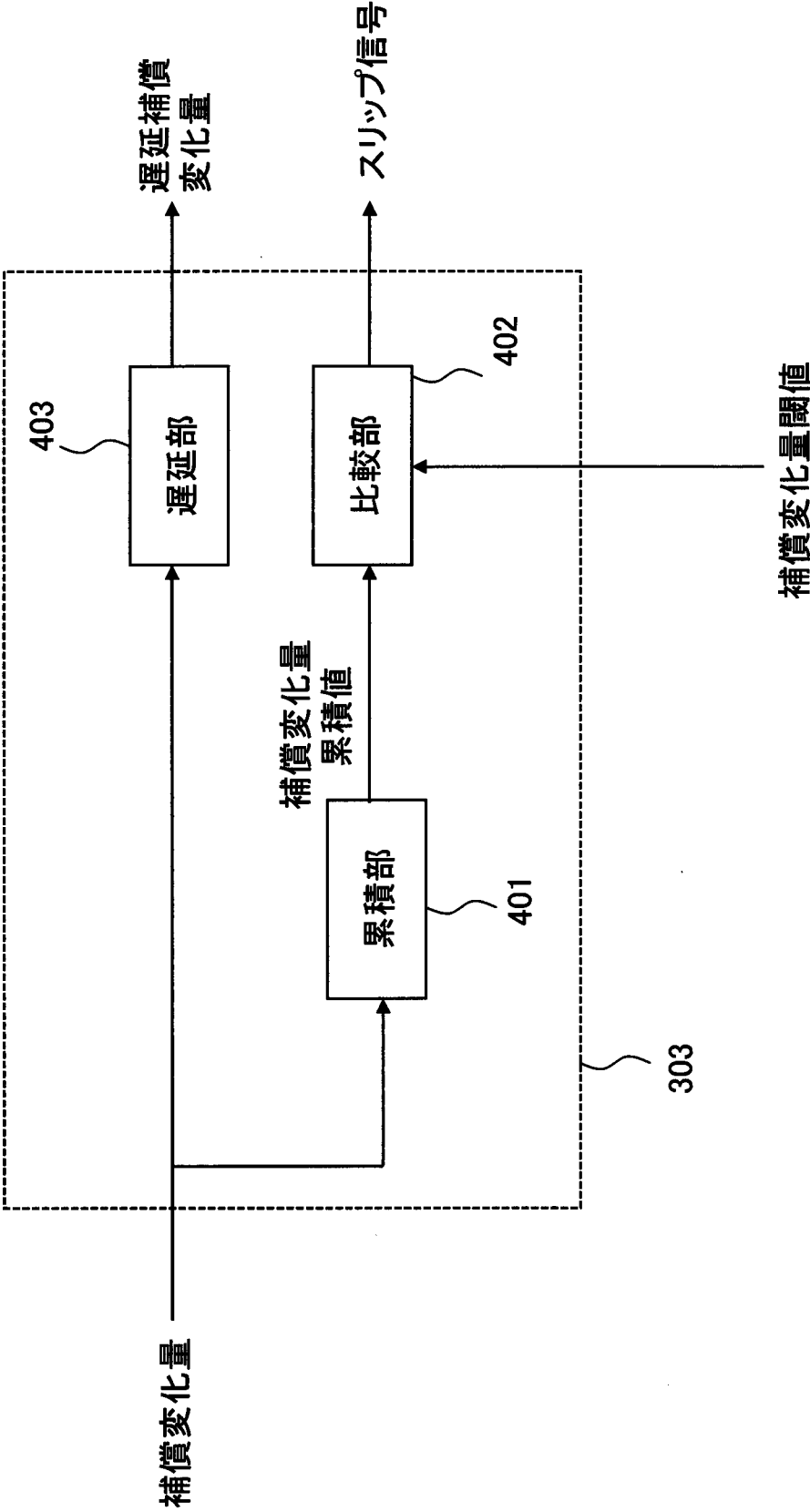


図11



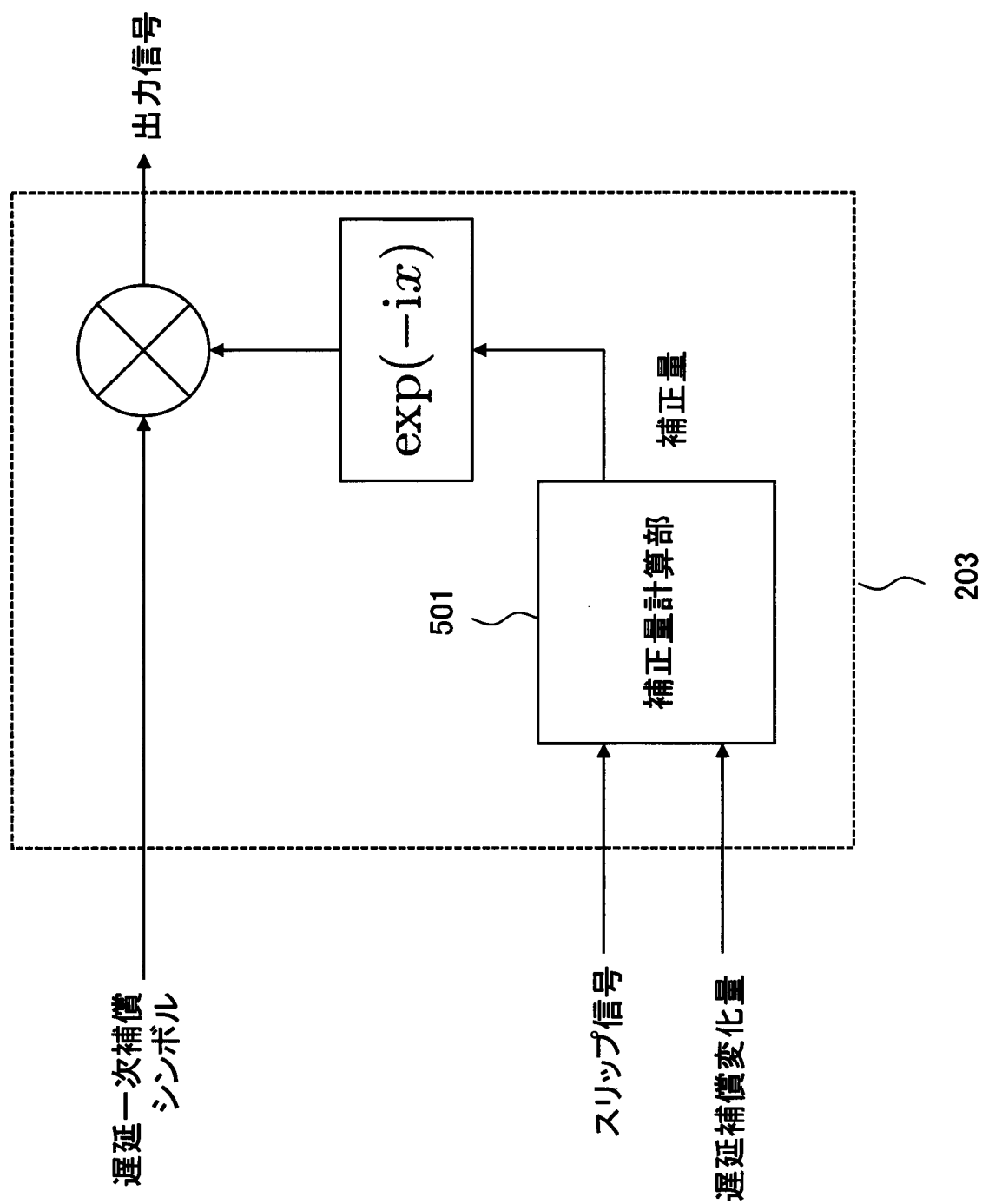
12/29

図12



13/29

図13



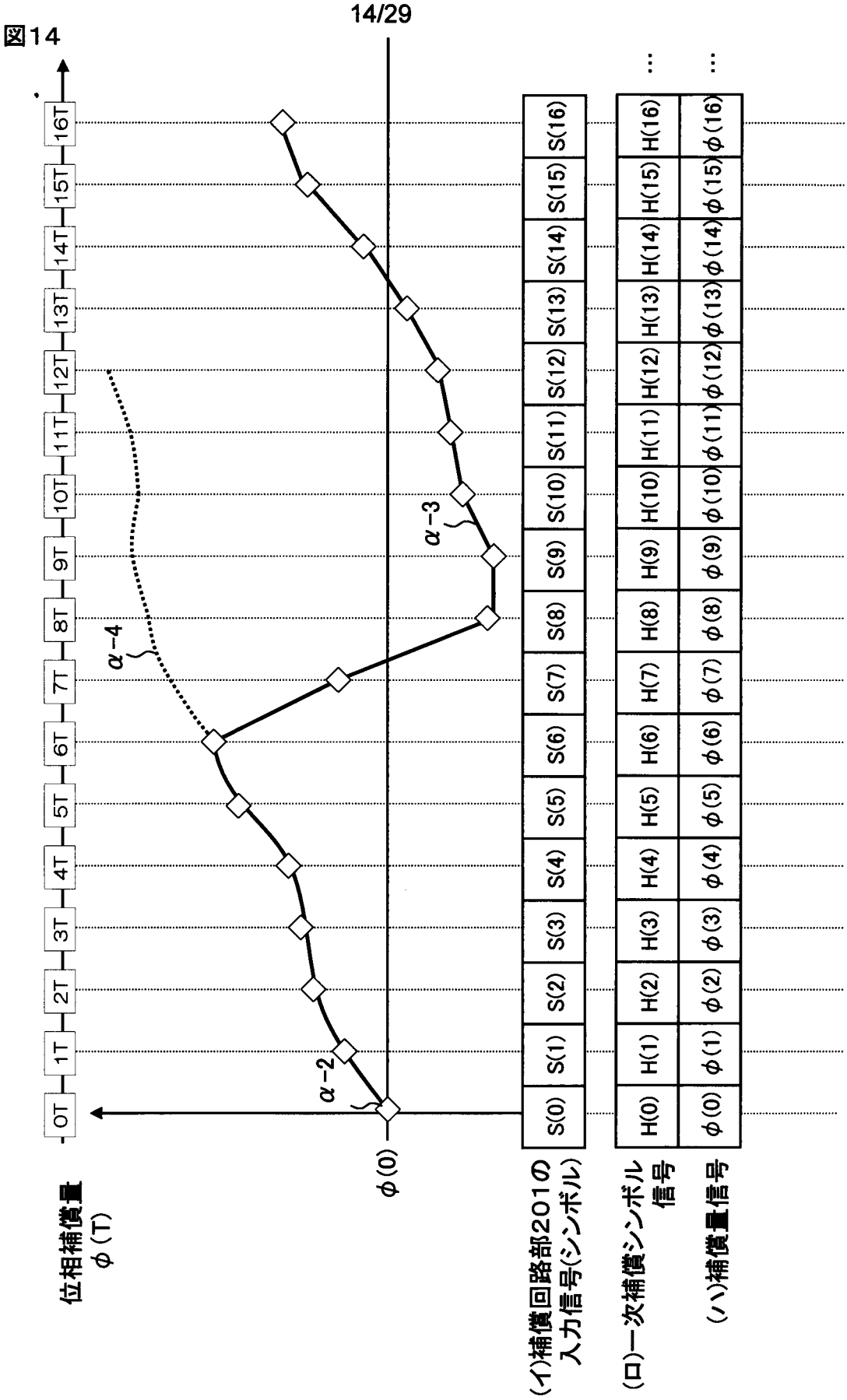


図15

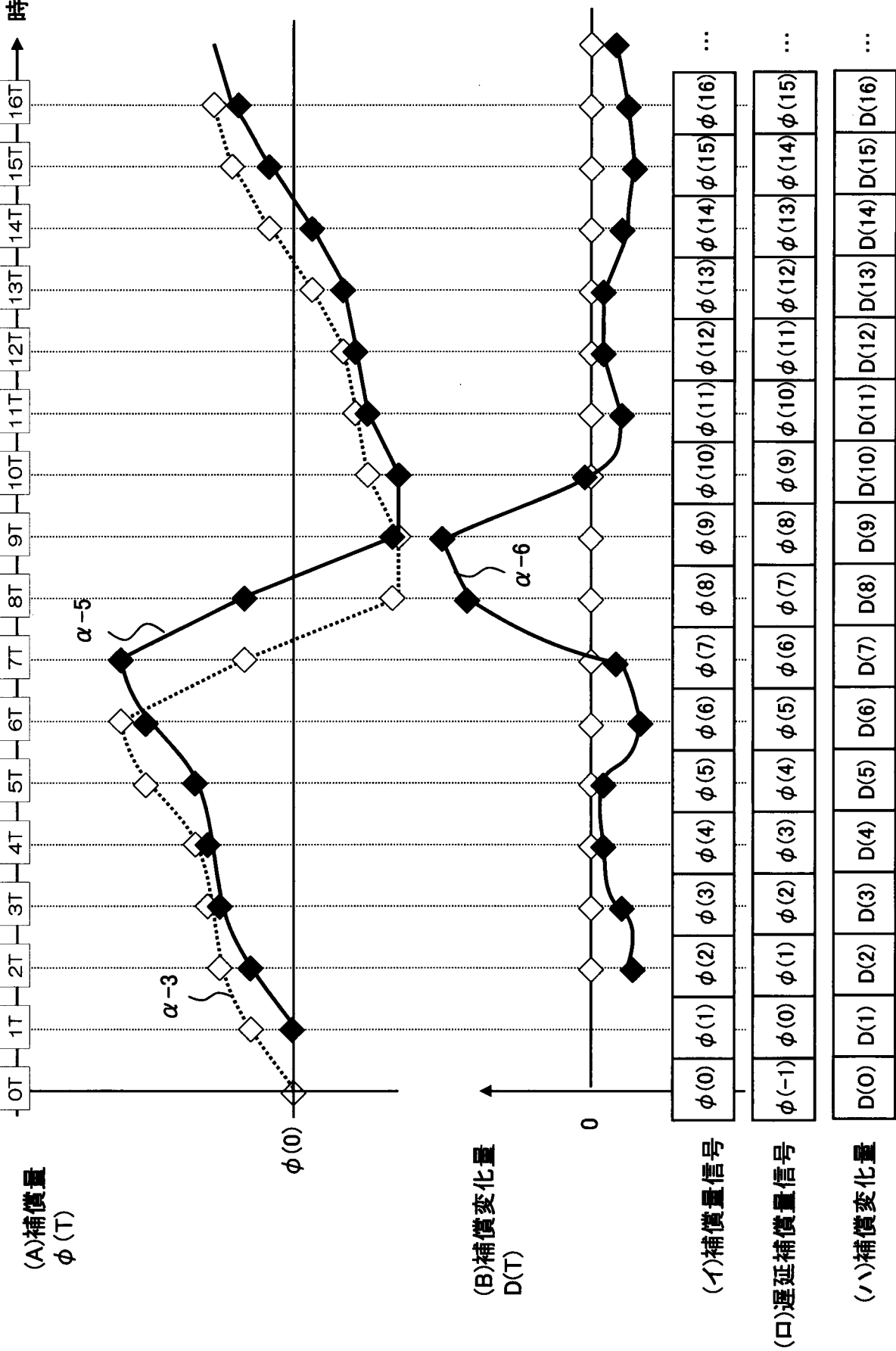


図16

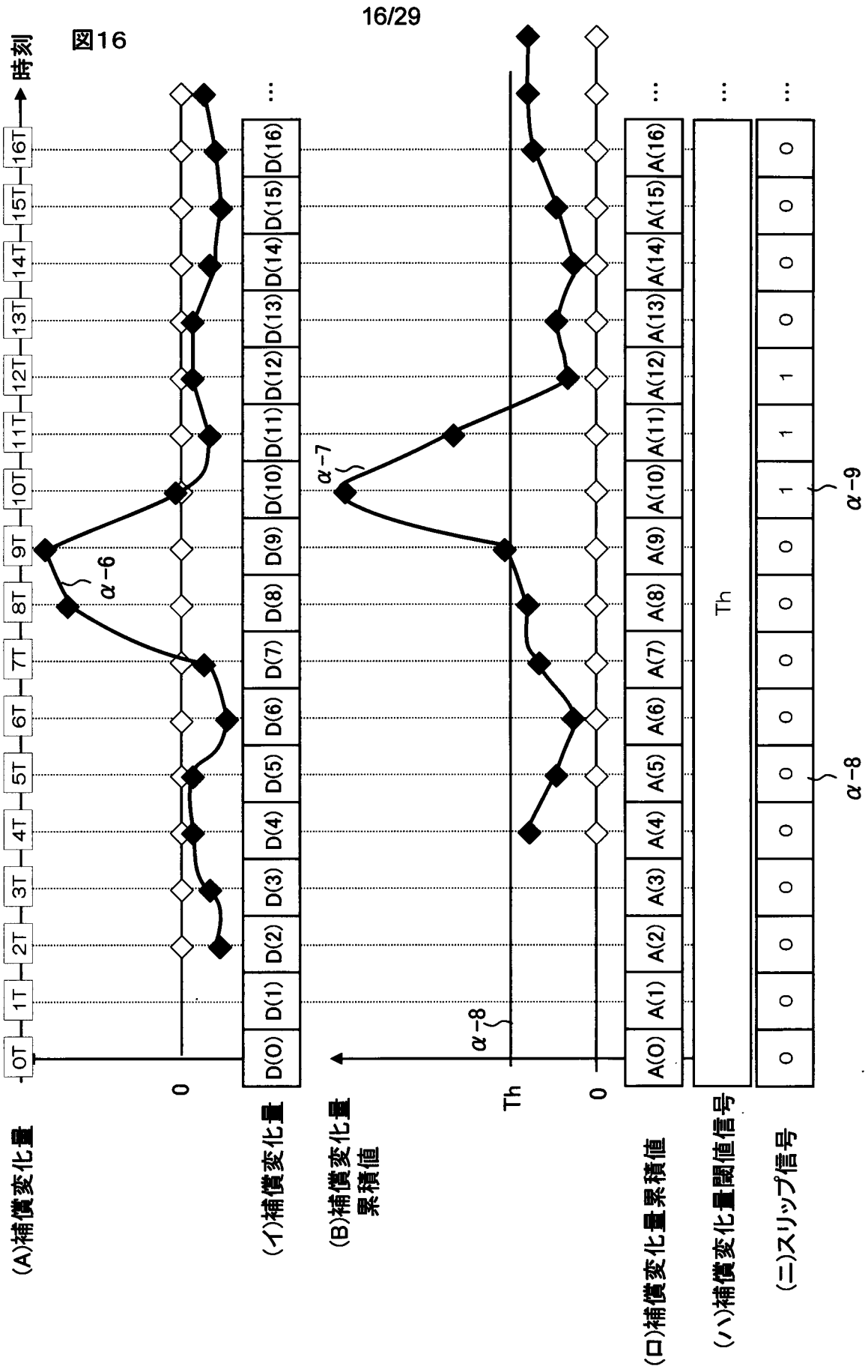
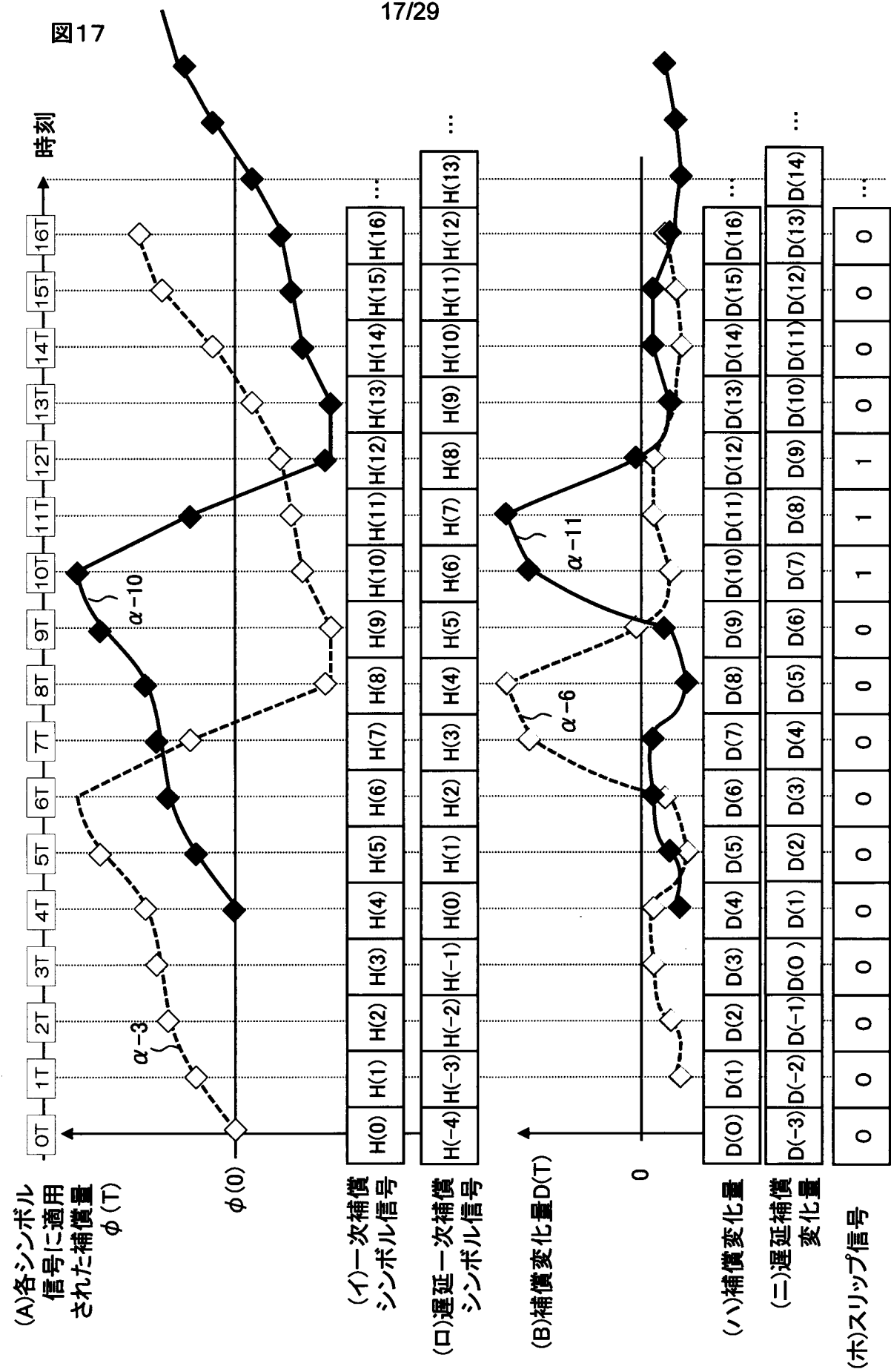


図17



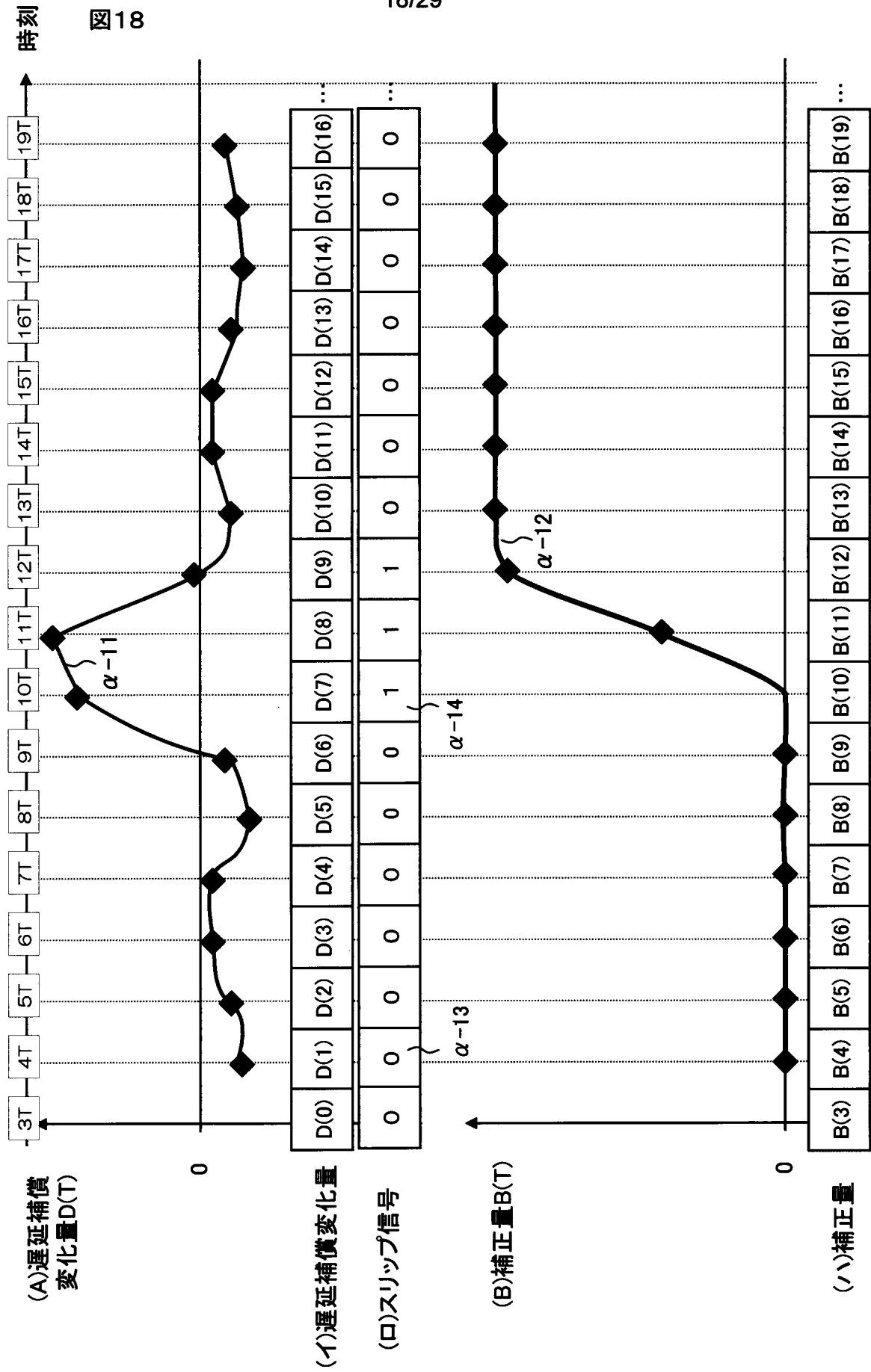


図 19

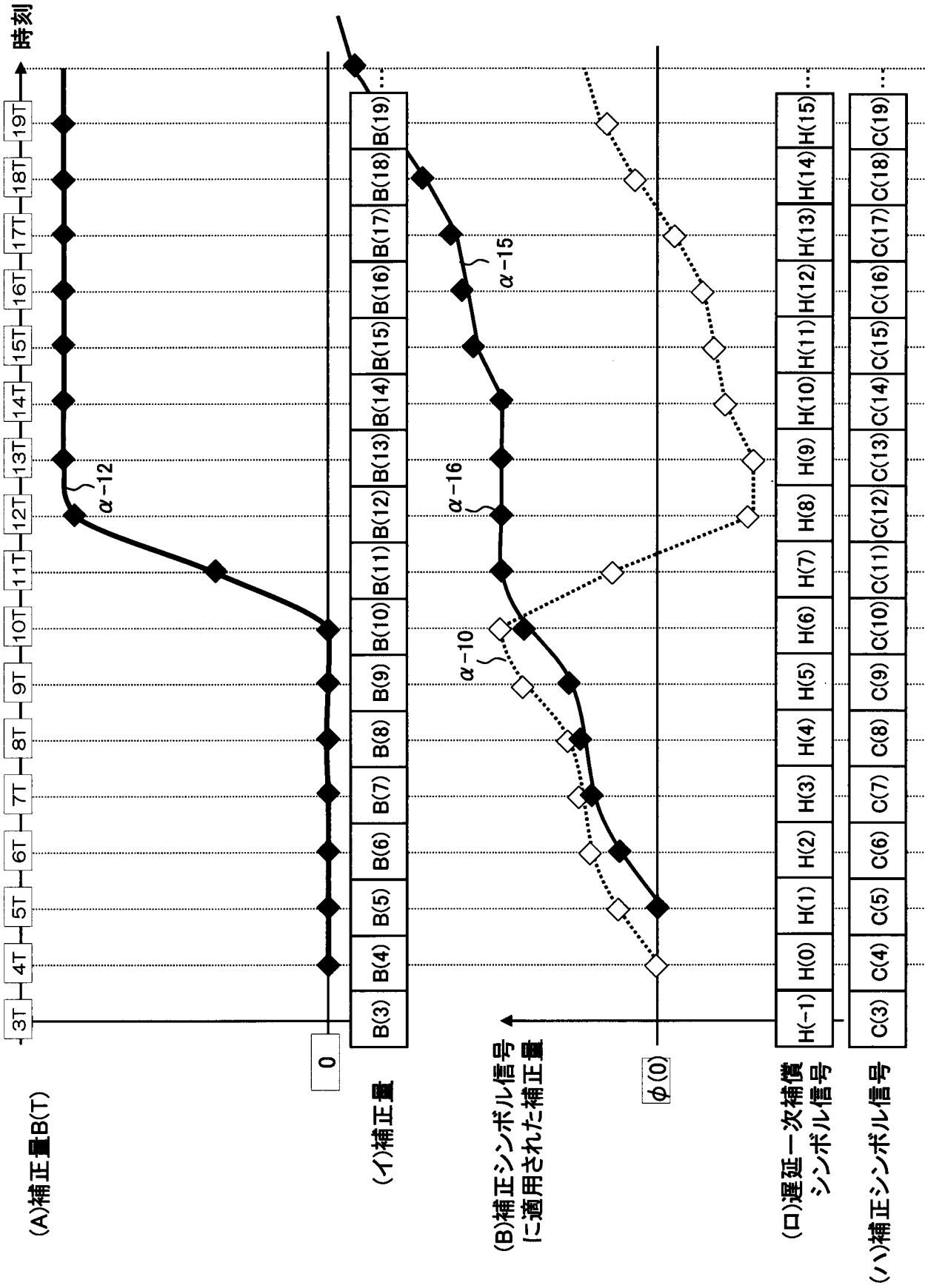


図20

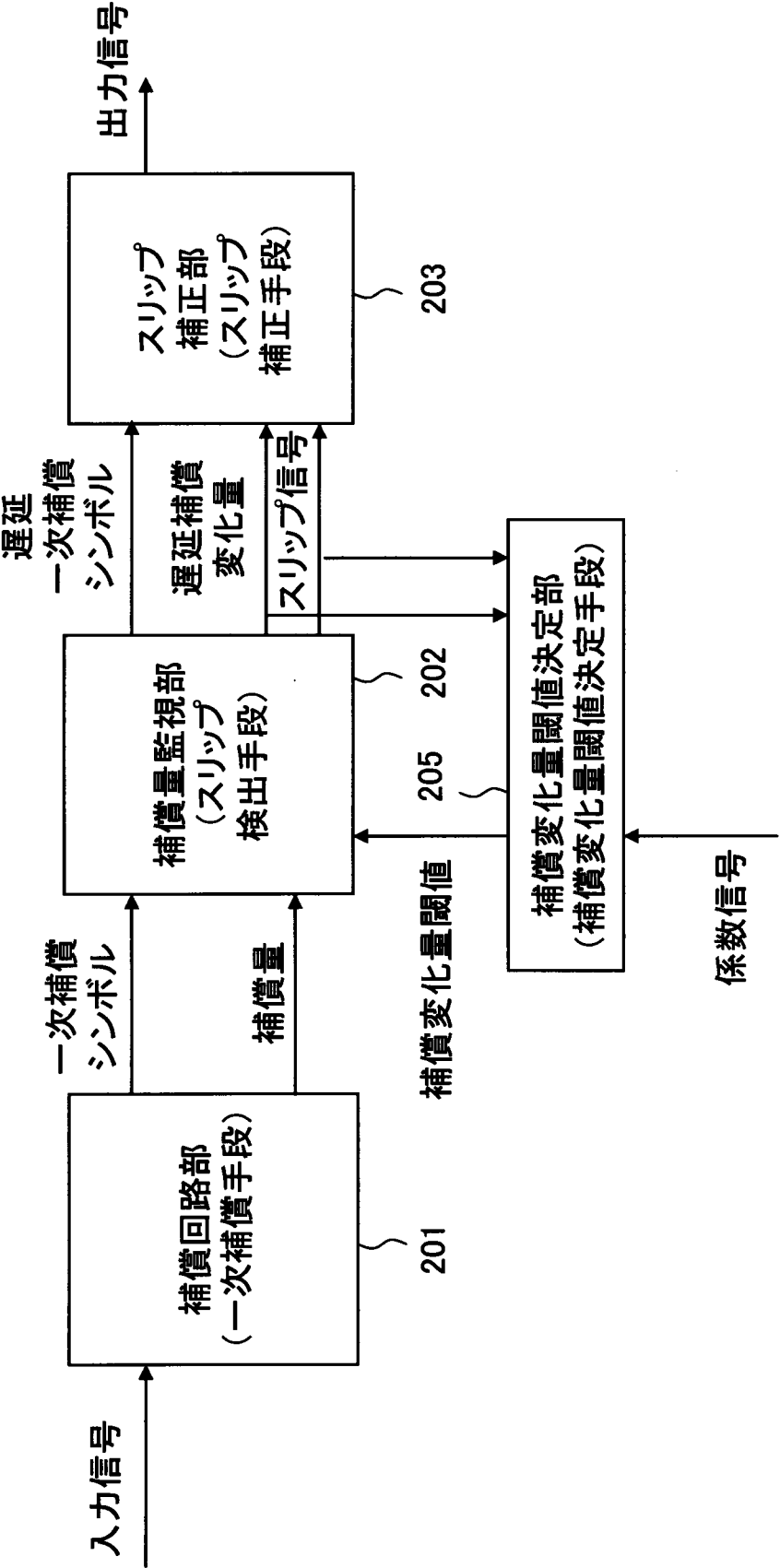


図21

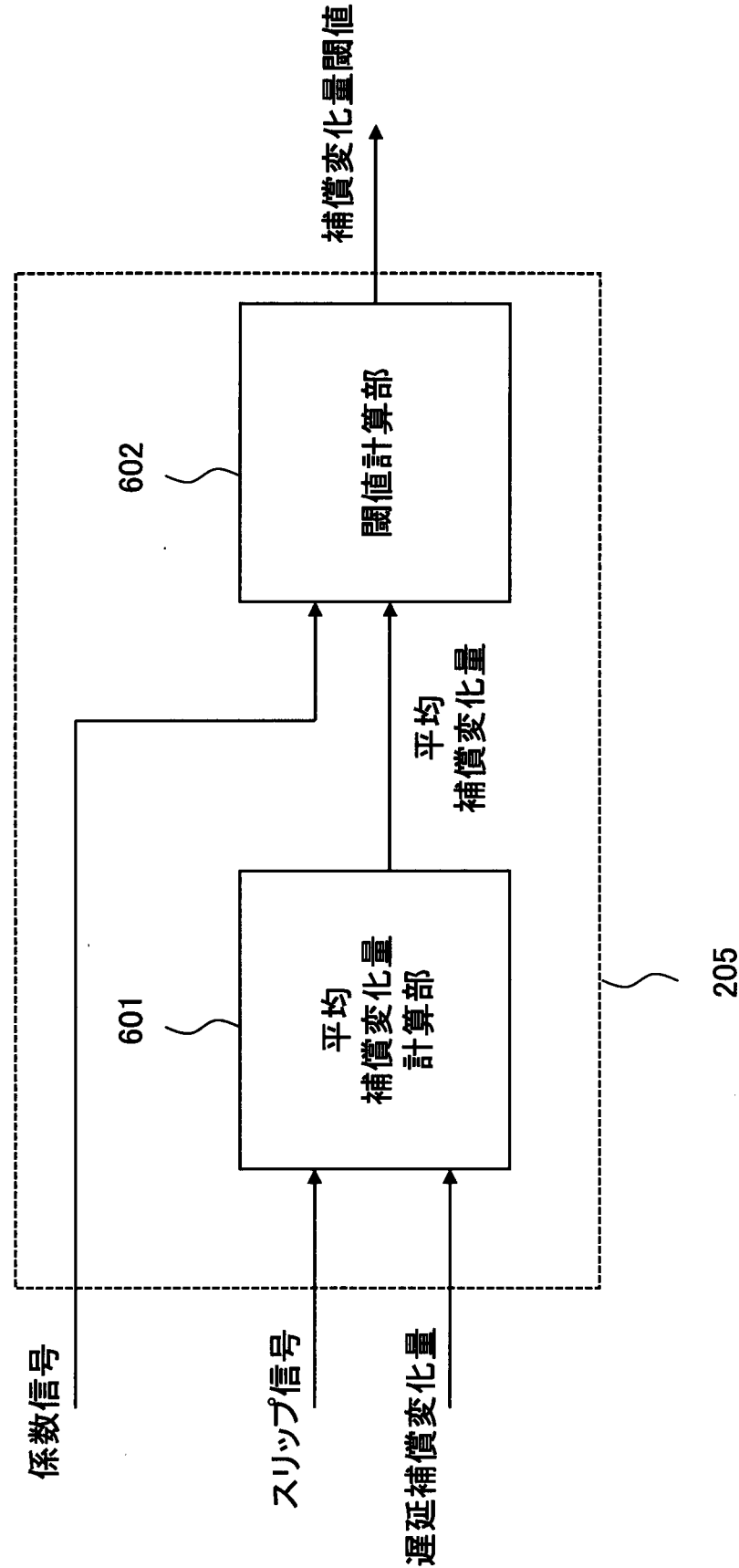


図22

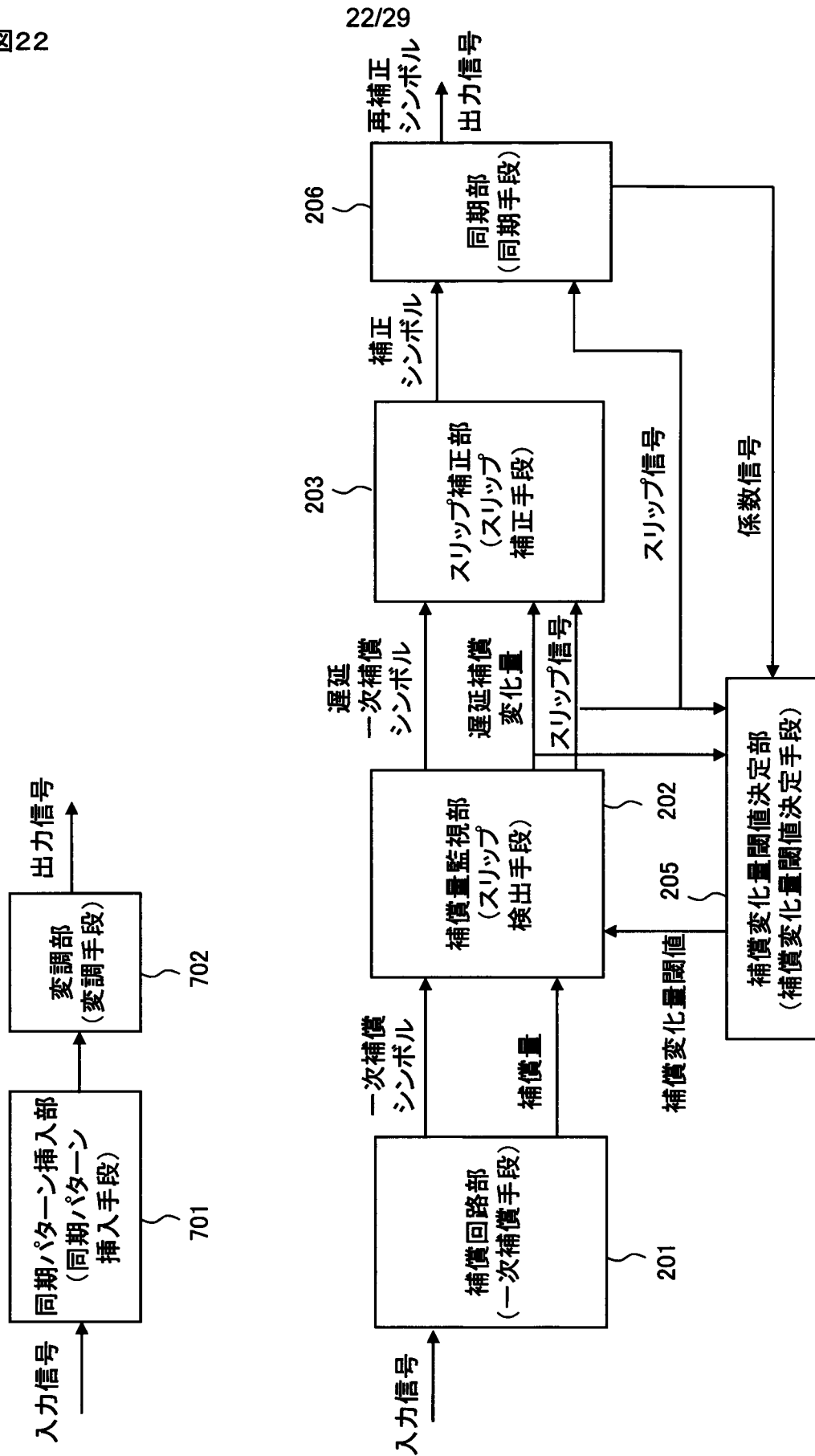


図23

23/29

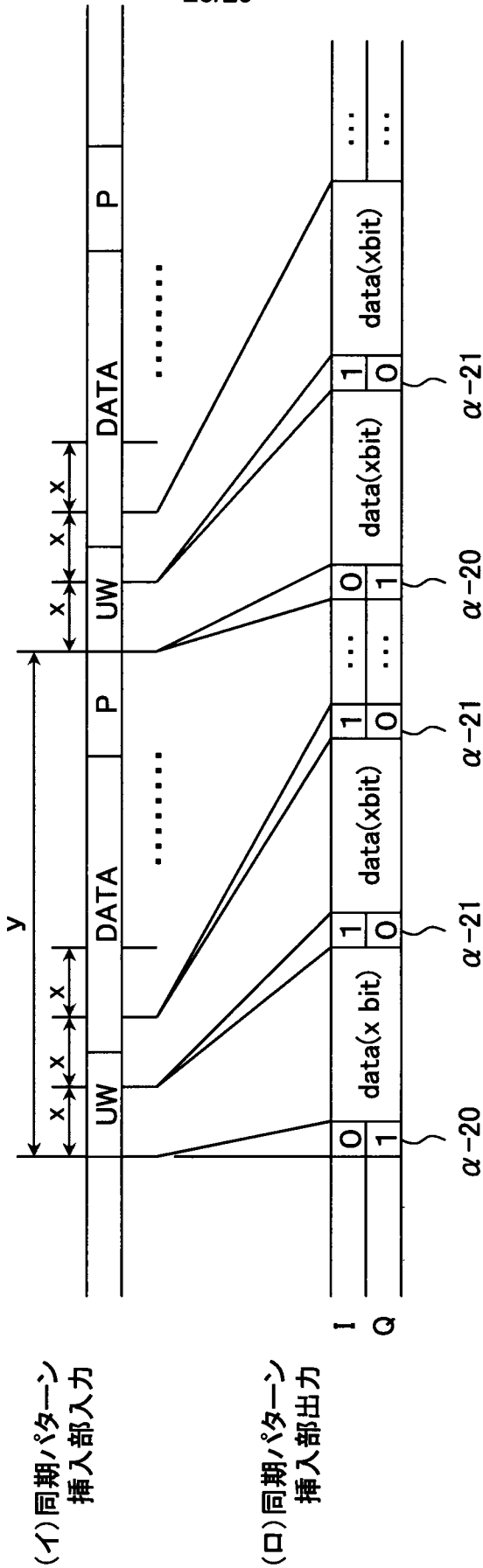


図24

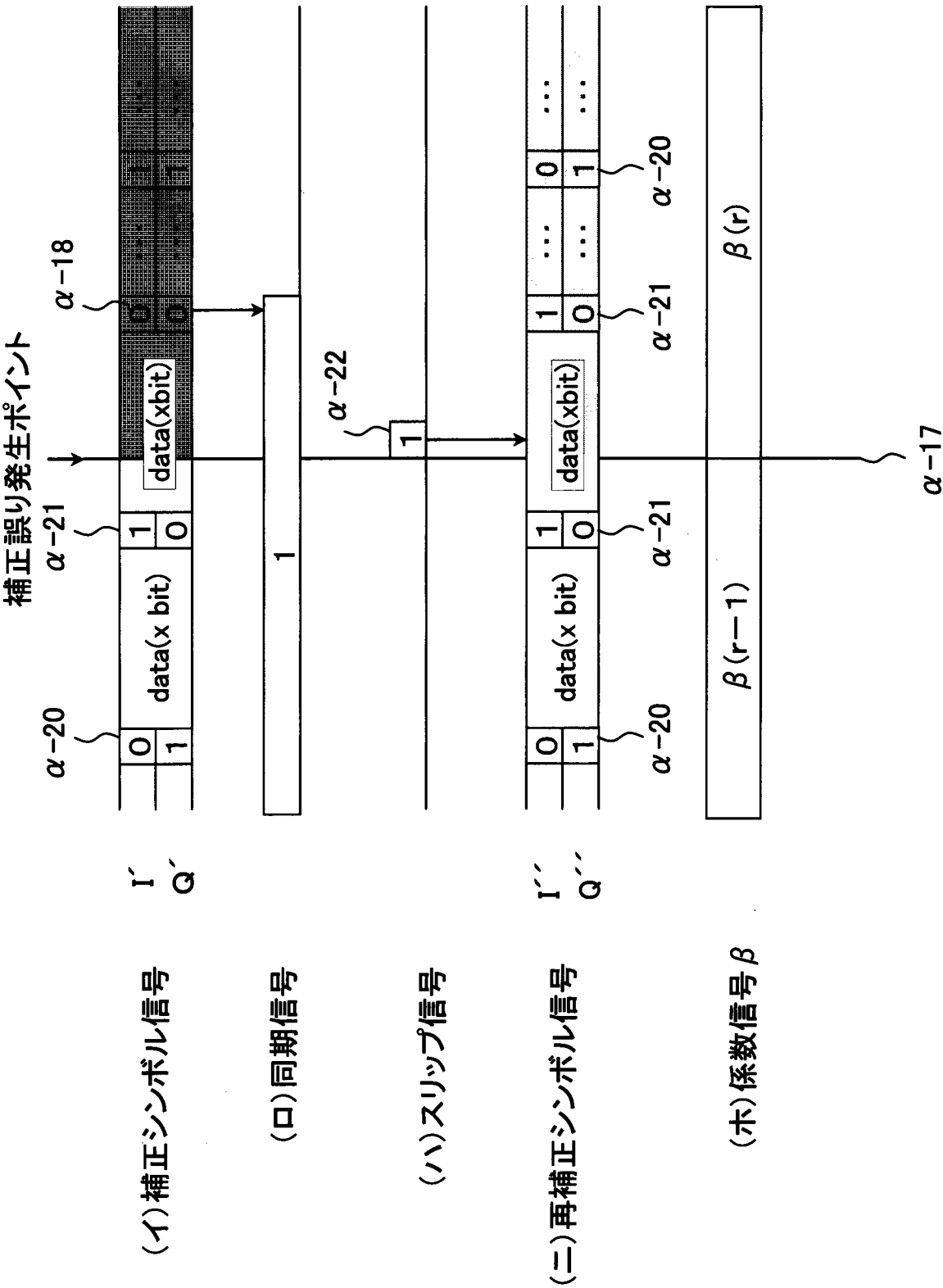


図25

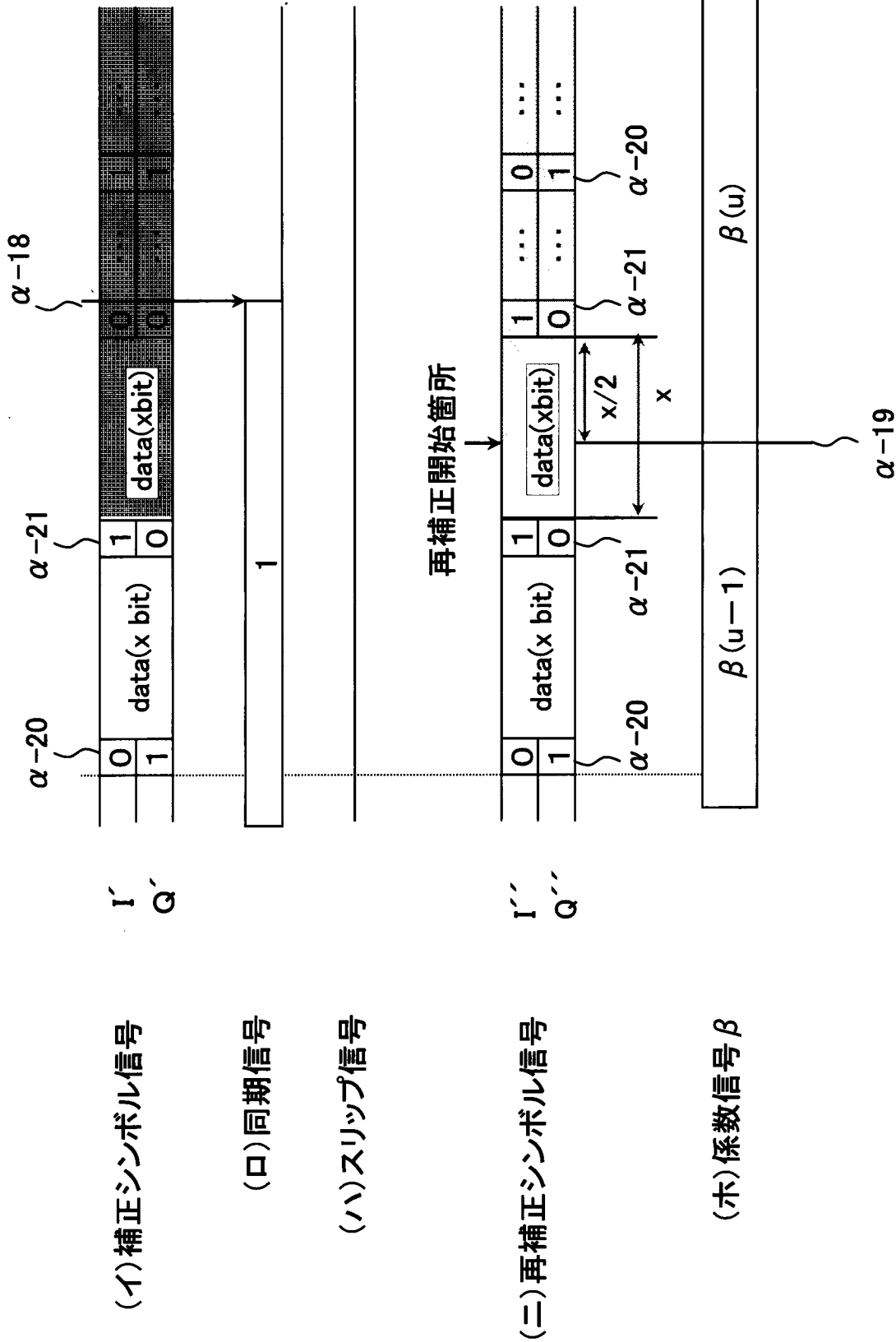


図26

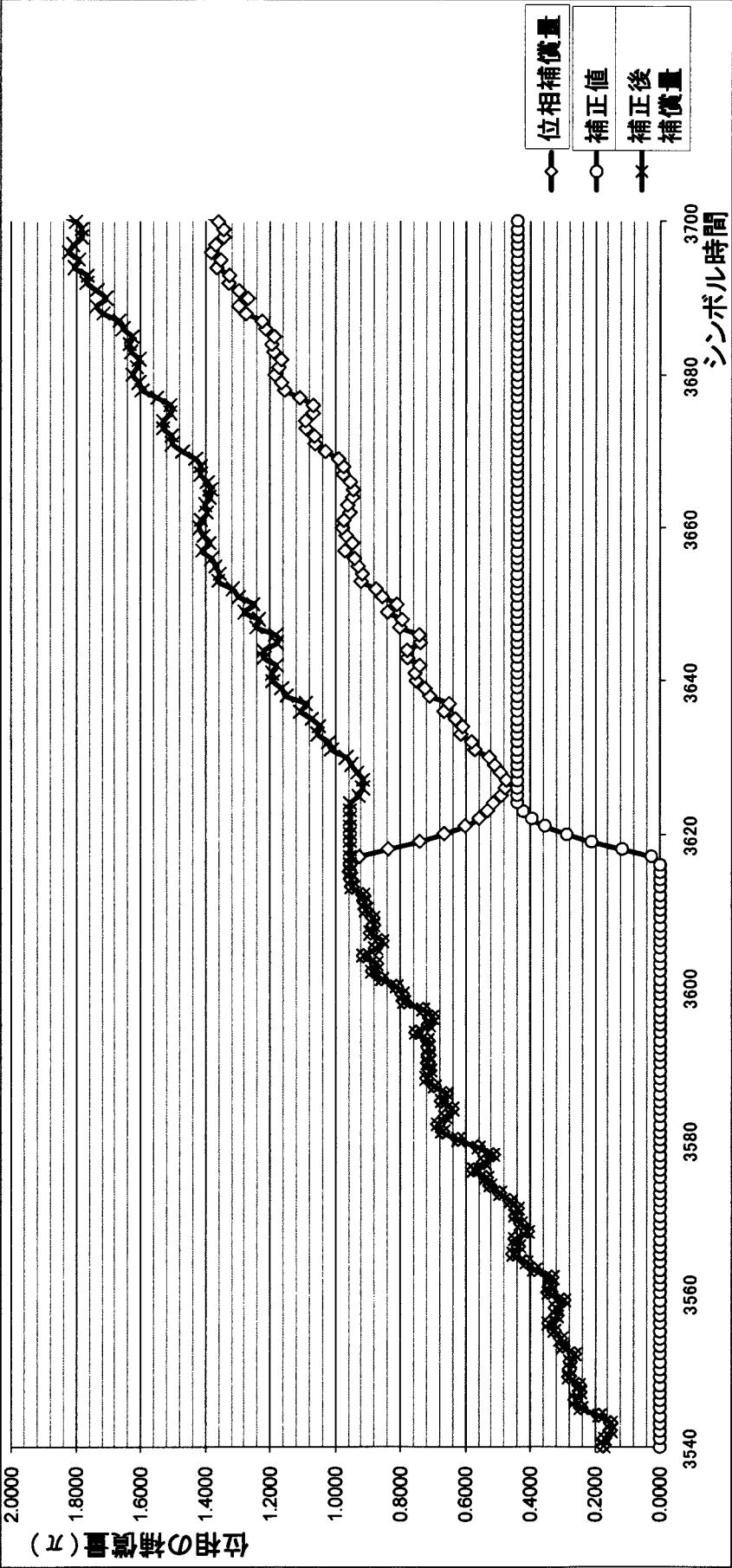


図27

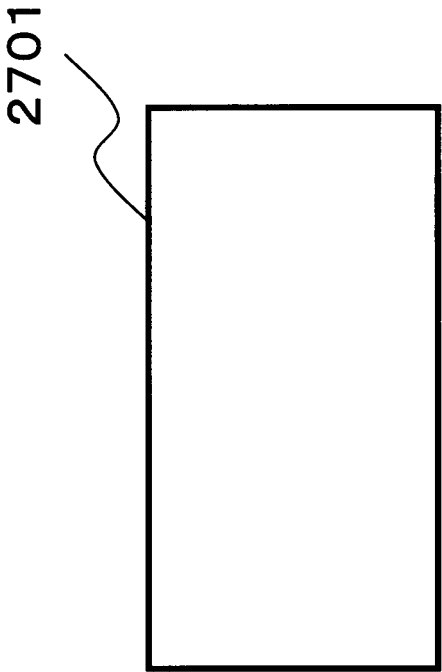


図28

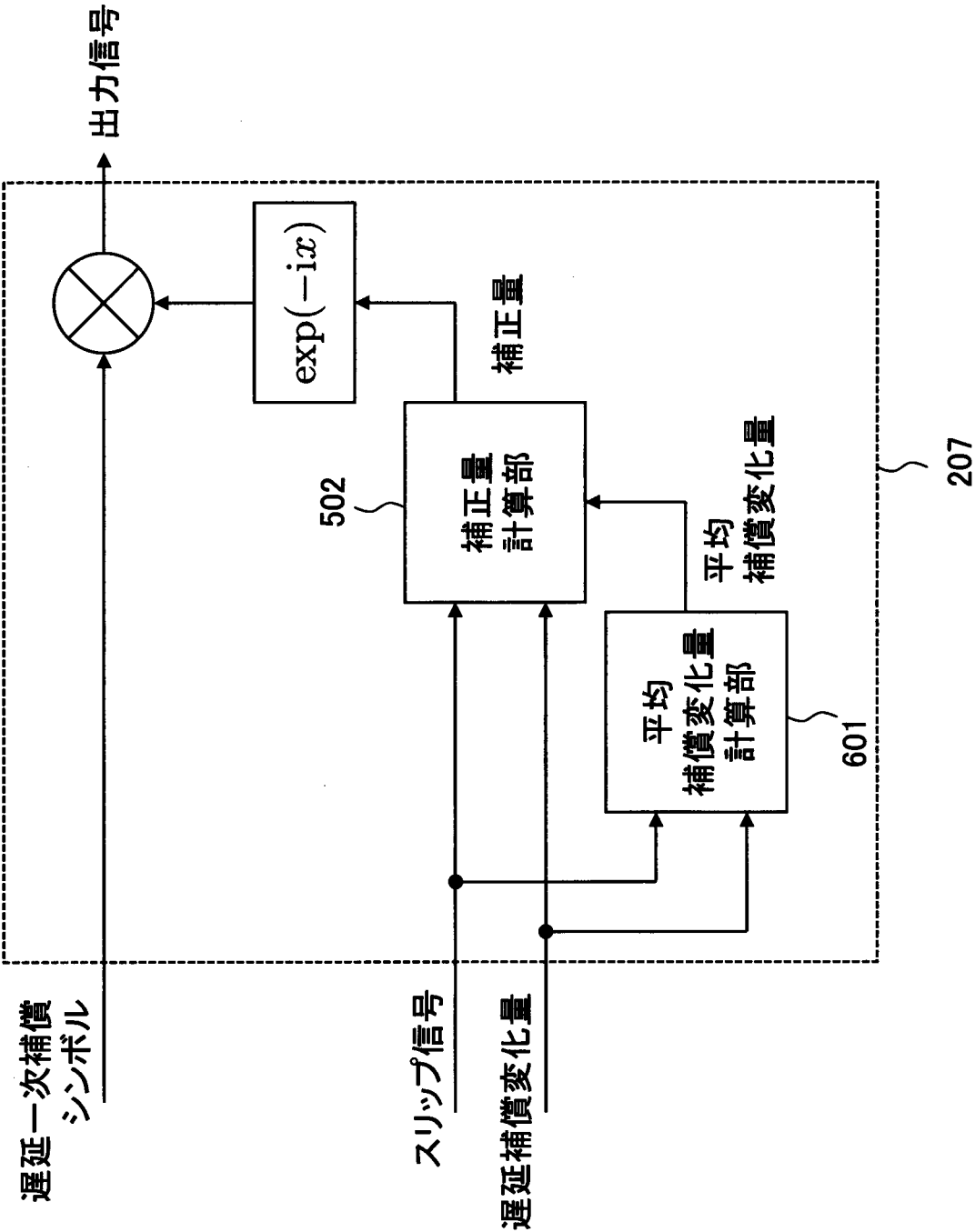
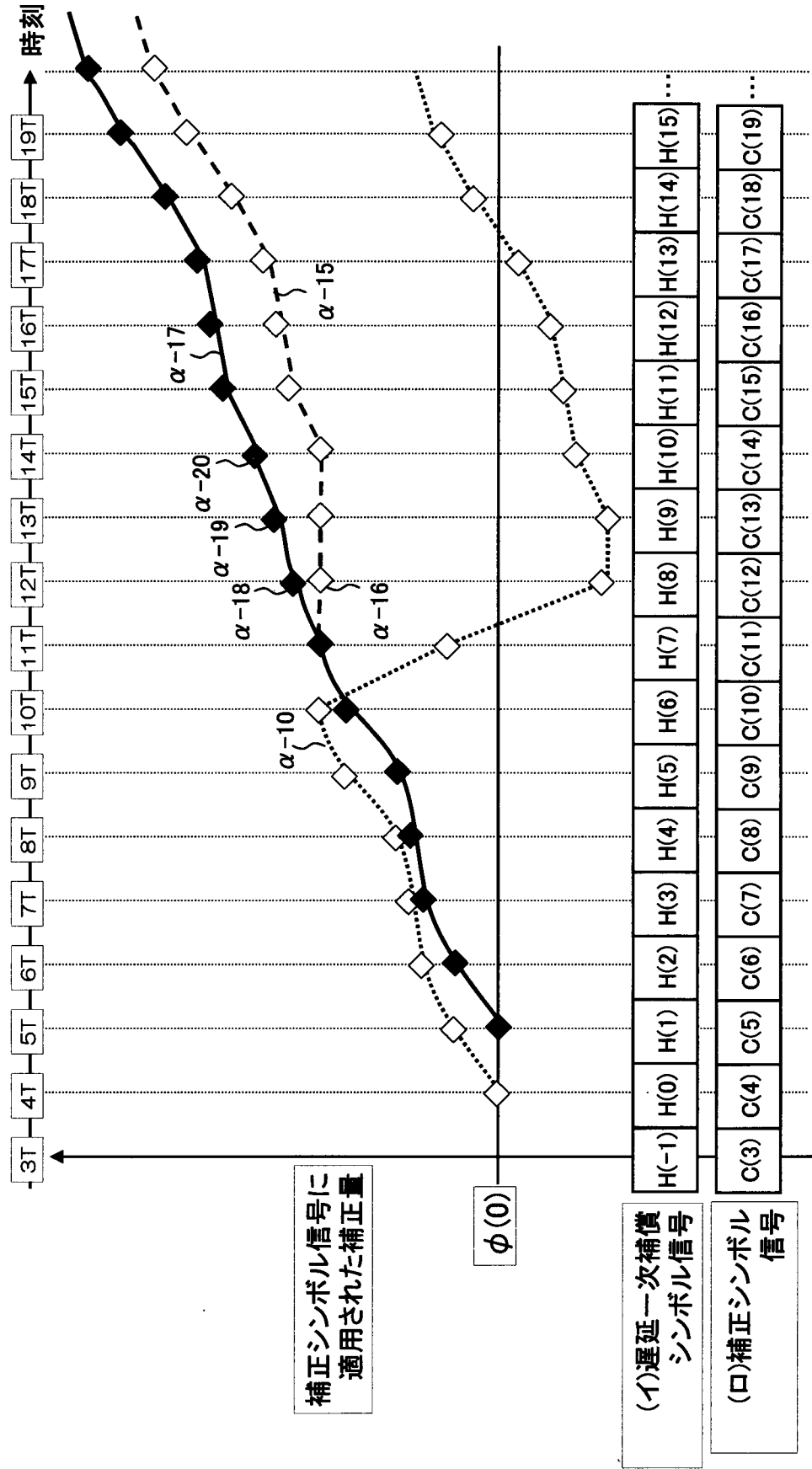


図29



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/076741

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L27/22(2006.01)i, H04B10/04(2006.01)i, H04B10/06(2006.01)i, H04B10/14(2006.01)i, H04B10/26(2006.01)i, H04B10/28(2006.01)i, H04L7/08(2006.01)i

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)

H04L27/22, H04B10/04, H04B10/06, H04B10/14, H04B10/26, H04B10/28, H04L7/08

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

IEEE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 3-289844 A (NEC Corp.), 19 December 1991 (19.12.1991), fig. 1; entire text (Family: none)	1-3, 7-12, 16 4-6, 13-15
Y	JP 11-205399 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 30 July 1999 (30.07.1999), fig. 1; paragraphs [0013] to [0014] (Family: none)	4, 13
Y	JP 2009-135844 A (Icom Inc.), 18 June 2009 (18.06.2009), fig. 1; paragraphs [0028] to [0030] (Family: none)	5-6, 14-15



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
23 January, 2012 (23.01.12)

Date of mailing of the international search report
07 February, 2012 (07.02.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/076741

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2-11047 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 16 January 1990 (16.01.1990), entire text (Family: none)	1-16
A	JP 55-110458 A (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd.), 25 August 1980 (25.08.1980), fig. 3; claims & US 4328587 A & GB 2045581 A & DE 3003757 A	1-16
A	JP 2002-111766 A (NEC Corp.), 12 April 2002 (12.04.2002), fig. 1; paragraphs [0022], [0008] to [0009] (Family: none)	1-16
A	JP 5-103030 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 23 April 1993 (23.04.1993), fig. 1, 2; paragraph [0018] (Family: none)	1-16

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H04L27/22 (2006.01)i, H04B10/04 (2006.01)i, H04B10/06 (2006.01)i, H04B10/14 (2006.01)i,
H04B10/26 (2006.01)i, H04B10/28 (2006.01)i, H04L7/08 (2006.01)i

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 (I P C))

Int.Cl. H04L27/22, H04B10/04, H04B10/06, H04B10/14, H04B10/26, H04B10/28, H04L7/08

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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)

IEEE

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
X Y	JP 3-289844 A (日本電気株式会社) 1991.12.19, 図1、全文 (ファミリーなし)	1-3, 7-12, 16 4-6, 13-15
Y	JP 11-205399 A (松下電器産業株式会社) 1999.07.30, 図1、段落【0013】 - 【0014】 (ファミリーなし)	4, 13
Y	JP 2009-135844 A (アイコム株式会社) 2009.06.18, 図1、段落【0028】 - 【0030】 (ファミリーなし)	5-6, 14-15

☒ 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矛盾するものではなく、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

2 3 . 0 1 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 7 . 0 2 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

彦田 克文

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 6

5 K

9 1 8 2

C (続き) . 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 2-11047 A (松下電器産業株式会社) 1990.01.16, 全文 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 55-110458 A (国際電信電話株式会社) 1980.08.25, 図 3、特許請求の範囲 & US 4328587 A & GB 2045581 A & DE 3003757 A	1-16
A	JP 2002-111766 A (日本電気株式会社) 2002.04.12, 図 1、段落【0022】、段落【0008】－【0009】 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 5-103030 A (日本電信電話株式会社) 1993.04.23, 図 1、図 2、段落【0018】 (ファミリーなし)	1-16