

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6414830号
(P6414830)

(45) 発行日 平成30年10月31日(2018.10.31)

(24) 登録日 平成30年10月12日(2018.10.12)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 T	1/17	(2006.01)	GO 1 T	1/17	F
GO 1 T	1/20	(2006.01)	GO 1 T	1/20	F
GO 1 T	3/06	(2006.01)	GO 1 T	1/20	B
			GO 1 T	1/20	E
			GO 1 T	3/06	

請求項の数 15 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2016-504864 (P2016-504864)	(73) 特許権者	516088329 株式会社ANS ee N 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1
(86) (22) 出願日	平成26年2月28日 (2014.2.28)	(73) 特許権者	304023318 国立大学法人静岡大学 静岡県静岡市駿河区大谷836
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/001106	(74) 代理人	100108914 弁理士 鈴木 壯兵衛
(87) 国際公開番号	W02015/128905	(72) 発明者	青木 徹 静岡県浜松市中区城北三丁目5-1 国立 大学法人静岡大学電子工学研究所内
(87) 国際公開日	平成27年9月3日 (2015.9.3)	(72) 発明者	小池 昭史 静岡県浜松市中区城北三丁目5-1 静岡 大学イノベーション社会連携推進機構21 6号室 株式会社ANS ee N内 最終頁に続く
審査請求日	平成29年2月17日 (2017.2.17)		
前置審査			

(54) 【発明の名称】 波形弁別装置、波形弁別方法及び波形弁別プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

中性子線のパルスとガンマ線のパルスを被測定パルスとし、該被測定パルスの波形を入力し、前記被測定パルスの物理量を電気信号に変換する波形検出器と、

前記波形検出器に接続され、前記電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大して増幅するアナログ増幅器と、

前記アナログ増幅器に接続され、前記電気信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された前記電気信号を標本化してデジタルデータに変換するAD変換器と、前記AD変換器に接続され、

前記立ち上がり期間の互いに連続する2つの前記デジタルデータの第1の差分値を計算する差分値計算回路と、

前記第1の差分値を積算して前記立ち上がり期間の特徴量を第1座標軸上の点として計算する差分値積算回路と、

前記立ち上がり期間のピーク値と前記立ち下がり期間の前記デジタルデータの差分により、前記立ち下がり期間の減衰量を計算する減衰量計算回路と、

2次元座標プロット回路と

を備える信号処理回路であって、前記差分値計算回路は、前記立ち下がり期間の互いに連続する2つの前記減衰量の第2の差分値を計算し、前記差分値積算回路は、前記第2の差分値を積算して前記立ち下がり期間の特徴量を第2座標軸上の点として計算し、前記2次元座標プロット回路は、前記第1座標軸上の点及び前記第2座標軸上の点の組を座標点

10

20

として、前記第 1 座標軸と前記第 2 座標軸が定義する弁別平面に前記座標点をプロットする、前記信号処理回路と、

を備え、前記座標点のプロット位置から、前記被測定パルスが前記ガンマ線が入力されたことに起因する第 1 波形、或いは前記中性子線が入力されたことに起因し、前記第 1 波形とは波形の形状が異なる第 2 波形であるのか弁別することを特徴とする波形弁別装置。

【請求項 2】

前記中性子線及び前記ガンマ線を光に変換する放射線 - 光変換素子を更に含み、前記波形検出器は、前記光を電気信号に変換する光検出器であることを特徴とする請求項 1 に記載の波形弁別装置。

【請求項 3】

前記放射線 - 光変換素子は、CsLiYCl, LiCaAlF₆, LiF/ZnS, LiBaF₃, Li₆Gd(BO₃)₃のいずれかを材料とするシンチレータであることを特徴とする請求項 2 に記載の波形弁別装置。

【請求項 4】

前記波形検出器は、波長 190 ~ 450 nm の光を電気信号に変換する光検出器であることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の波形弁別装置。

【請求項 5】

前記光検出器は、光電子増倍管、半導体フォトダイオード、フォトダイオードアレイ、ガイガーモード並列読み出し APD ピクセルアレイのいずれかであることを特徴とする請求項 2 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の波形弁別装置。

【請求項 6】

前記光検出器は光電子増倍管であり、該光電子増倍管の信号出力端子と基準電位点端子が、各々前記アナログ増幅器の入力端子と接地間に接続され、更にアナログ増幅器の入力端子と接地間に 5 k Ω 以上の入力抵抗が接続されていることを特徴とする請求項 5 に記載の波形弁別装置。

【請求項 7】

前記アナログ増幅器は、前記電気信号の立ち下がり時間が 2 μ 秒以上になるように、前記電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の波形弁別装置。

【請求項 8】

前記信号処理回路は、予め波形が既知の校正用物理量を前記波形検出器に入力することによって、前記弁別平面上に定めた弁別用の窓部の内部に前記座標点のプロット位置が存在するか否かを判定する波形弁別判定回路を含むことを特徴とする請求項 7 に記載の波形弁別装置。

【請求項 9】

前記波形弁別判定回路は、立ち下がり期間の特徴量の下限識別値、立ち下がり期間の特徴量の上限識別値、立ち上がり期間の特徴量の下限識別値及び立ち上がり期間の特徴量の上限識別値で囲まれた矩形の領域を前記弁別用の窓部とすることを特徴とする請求項 8 に記載の波形弁別装置。

【請求項 10】

前記波形弁別判定回路は、前記弁別用の窓部の内部に前記座標点のプロット位置が存在しない判定された場合、前記被測定パルスが前記第 1 波形であると判別し、

前記弁別用の窓部の内部に前記座標点のプロット位置が存在すると判定された場合、前記被測定パルスが弁別用線形方程式を表す直線よりも第 2 座標軸側の領域に存在するか否かを判定することを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の波形弁別装置。

【請求項 11】

中性子線のパルスとガンマ線のパルスを被測定パルスとし、該被測定パルスの波形を入力し、前記被測定パルスの物理量を電気信号に変換するステップと、

前記電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大して増幅するステップと、

前記電気信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された前記電気信号

10

20

30

40

50

を標本化してデジタルデータに変換するステップと、

前記デジタルデータを用いて、前記立ち上がり期間の特徴量を第1座標軸上の点として計算するステップと、

前記デジタルデータを用いて、前記立ち下がり期間の特徴量を第2座標軸上の点として計算するステップと、

前記第1座標軸上の点及び前記第2座標軸上の点の組を座標点として、前記第1座標軸と前記第2座標軸が定義する弁別平面に、前記座標点をプロットするステップと、

前記座標点のプロット位置から、前記被測定パルスが前記ガンマ線が入力されたことに起因する第1波形、或いは前記中性子線が入力されたことに起因し、前記第1波形とは波形の形状が異なる第2波形であるのか弁別するステップと、

10

を含み、前記立ち上がり期間の特徴量を計算するステップは、前記立ち上がり期間の互いに連続する2つの前記デジタルデータの差分値を計算する段階と、前記差分値を積算して前記立ち上がり期間の特徴量を決定する段階とを更に含み、前記立ち下がり期間の特徴量を計算するステップは、互いに連続する2つの前記差分値を比較することにより、前記立ち上がり期間のピーク値を決定する段階と、前記立ち上がり期間のピーク値と前記立ち下がり期間の前記デジタルデータとの差分により、前記立ち下がり期間の減衰量を計算する段階と、前記立ち下がり期間の互いに連続する2つの前記減衰量の差分値を計算する段階と、前記減衰量の差分値を積算して前記立ち下がり期間の特徴量を決定する段階とを更に含むことを特徴とする波形弁別方法。

【請求項12】

20

前記弁別するステップでは、予め波形が既知の校正用物理量を入力して測定することによって、前記弁別平面上に定めた弁別用の窓部の内部に前記座標点のプロット位置が存在するか否かを判定することにより、前記第1波形と前記第2波形が弁別されることを特徴とする請求項11に記載の波形弁別方法。

【請求項13】

前記弁別用の窓部は立ち下がり期間の特徴量の下限識別値、立ち下がり期間の特徴量の上限識別値、立ち上がり期間の特徴量の下限識別値及び立ち上がり期間の特徴量の上限識別値で囲まれた矩形の領域であることを特徴とする請求項12に記載の波形弁別方法。

【請求項14】

前記弁別用の窓部の内部に前記座標点のプロット位置が存在しない判定された場合、前記被測定パルスが前記第1波形であると判別し、

30

前記弁別用の窓部の内部に前記座標点のプロット位置が存在すると判定された場合、前記被測定パルスが弁別用線形方程式を表す直線よりも第2座標軸側の領域に存在するか否かを判定することを特徴とする請求項12又は13に記載の波形弁別方法。

【請求項15】

中性子線のパルスとガンマ線のパルスを被測定パルスとし、該波形検出器に被測定パルスの波形を入力させ、前記被測定パルスの物理量を電気信号に変換させる命令と、

前記波形検出器に接続されたアナログ増幅器に前記電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大して増幅させる命令と、

前記アナログ増幅器に接続されたAD変換器に前記電気信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された前記電気信号を標本化してデジタルデータに変換させる命令と、

40

前記AD変換器に接続された信号処理回路に備えられた差分値計算回路に前記立ち上がり期間の互いに連続する2つの前記デジタルデータの第1の差分値を計算させる命令と、前記信号処理回路に備えられた差分値積算回路に前記第1の差分値を積算して前記立ち上がり期間の特徴量を第1座標軸上の点として計算させる命令と、

前記信号処理回路に備えられた減衰量計算回路に前記立ち上がり期間のピーク値と前記立ち下がり期間の前記デジタルデータの差分により、前記立ち下がり期間の減衰量を計算させる命令と、

前記差分値計算回路に前記立ち下がり期間の互いに連続する2つの前記減衰量の第2の

50

差分値を計算させる命令と、

前記差分値積算回路に前記第2の差分値を積算して前記立ち下がり期間の特徴量を第2座標軸上の点として計算させる命令と、

前記信号処理回路に備えられた2次元座標プロット回路に、前記第1座標軸上の点及び前記第2座標軸上の点の組を座標点として、前記第1座標軸と前記第2座標軸が定義する弁別平面に、前記座標点をプロットさせる命令と、

前記信号処理回路に備えられた波形弁別判定回路に、前記座標点のプロット位置から、前記被測定パルスが前記ガンマ線が入力されたことに起因する第1波形、或いは前記中性子線が入力されたことに起因し、前記第1波形とは波形の形状が異なる第2波形であるのか弁別させる命令と、

10

を含む一連の命令を制御回路に実行させることを特徴とする波形弁別プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は互いに波形の異なる2つのパルス波形を弁別する波形弁別装置に係り、特に、例えばガンマ線と中性子線がシンチレータに入射した場合のような、立ち上がり特性と立ち下がり特性がそれぞれ異なる2つのパルス波形の物理量を原因とする電気信号を弁別する波形弁別装置、波形弁別方法及び波形弁別プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

20

ガンマ線と中性子線がシンチレータに入射し、シンチレータ内でそれぞれ異なる波形の光を発生する場合のように、互いに相似形をなす第1波形を有する任意の強度のパルスが任意のタイミングで発生して一群の集合を構成し、第1波形とは異なるが、互いに相似形をなす第2波形を有する任意の強度のパルスが任意のタイミングで発生して一群の集合を構成する場合がある。

即ち、シンチレータの出力として、ガンマ線が入力されたことに起因する第1波形の光信号が任意の強度で任意のタイミングで発生して一群の光信号の集合を構成し、この一群の光信号を入力した光検出器が、第1波形に対応した第1の電気信号を逐次出力し、中性子線が入力されたことに起因する第2波形の光信号が任意の強度で任意のタイミングで発生して一群の光信号の集合を構成し、この一群の光信号を入力した光検出器が、第2波形に対応した第2の電気信号を逐次出力するような状況（環境）において、第1波形と、第1波形とは異なる第2波形を弁別したい場合がある。

30

【0003】

Ceを添加したLiCaAlF₆結晶からなるシンチレータにガンマ線と中性子線が同時に入射した場合、シンチレータからは、ガンマ線に固有な波形の発光と中性子線に固有な波形の発光が発生することが知られている。このため、シンチレータからの2種類の発光を光電子増倍管で電気信号に変換し、光電子増倍管の出力を電荷感应型前置増幅器と波形整形増幅器（シェイピングアンプ）で増幅して2入力マルチチャンネルアナライザ（MCA）で分析するシステムが提案されている（非特許文献1参照。）。

【0004】

40

非特許文献1に記載の発明においては、波形整形増幅器の出力を波高値観測用出力と立ち上がり時間観測用出力に分岐し、波高値観測用出力を直接2入力MCAの一方の入力端子に入力し、立ち上がり時間観測用出力をパルス波形分析装置に入力している。そしてパルス波形分析装置から立ち上がり時間の10%と90%のタイミングの2つの信号を出力し、この2つの信号を時間/振幅変換器に入力し、時間/振幅変換器によって、2つの信号の時間差をパルスの振幅に変換し、時間/振幅変換器の出力を2入力MCAの他方の入力端子に入力するという、極めて複雑かつ大型で高価なシステム構成を用いている。

【0005】

非特許文献1に記載されている発明では、非特許文献1の図3に示されるようにガンマ線と中性子線の立ち上がり時間（Rise Time）とその波高値（Pulse Height）を座標面に

50

プロットすることによって、ガンマ線と中性子線を分離して表示している。しかしながら、非特許文献 1 に記載されている発明では、非特許文献 1 の図 3 に示されるように、放射線の発生源としてのカルフォルニウム 252 (^{252}Cf) から同時に放射される中性子とガンマ線により両者の波形が波高値軸でも時間軸でも重なっている。

この理由は、非特許文献 1 の図 1 に示される電荷感応型前置増幅器の過渡特性（スルーレート）に起因する遅延によって高速な入力信号波高値が大きい信号は立上時間も大きくなってしまいうためである。このため、非特許文献 1 に記載されている発明では、入射するガンマ線のエネルギーが中性子のエネルギー以上の場合、弁別が不可能となり、計数誤差を生じる。

【0006】

10

又、非特許文献 1 に記載されている発明が用いている測定システムでは、非特許文献 1 の図 5 に記載された 2 次元分布図において、本来抽出したい中性子を抽出する矩形の計数関心領域（ROI）A の範囲内に、非測定対象であるガンマ線を抽出して抑制するための矩形の計数関心領域 B が設定されている。非特許文献 1 に記載されている発明では、計数関心領域 A の領域内となる座標面において、計数関心領域 B の領域設定を、2 次元分布図上でのデータのプロットを見ながら行う手動調整で行っており、誤差を少なくするためには人間の注意力と工夫が必要になる。しかし、非特許文献 1 の図 5 に示されるように、ガンマ線のプロット軌跡は非線形であり、中性子によるプロットとの分離を正確に実施することは困難である。

【0007】

20

即ち、非特許文献 1 に記載の発明のようなデスクトップサイズの MCA を用いた大型で高価かつ複雑なシステム構成を用いたとしても、従来技術によっては、ランダムにそれぞれ独立なイベントとして入射するガンマ線と中性子線とを、それぞれの線量がリアルタイムで計数できるように、それぞれの入力波形を弁別することはできない。又、ガンマ線と中性子線の線量をリアルタイムで正確に測定することはできない。

又、非特許文献 1 では、ガンマ線と中性子線による入力信号が、短い時間間隔内で入射する場合への対応は考慮されておらず、パルス波形分析装置の時定数よりも短い時間間隔内でガンマ線と中性子線による入力信号があった場合にパイルアップを起こすことから、正確なエネルギーが計測できなくなり、精度が下がる。

【先行技術文献】

30

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献 1】山崎 淳 他 11 名著、「Ce:LiCaAlF₆ シンチレータを用いたパルス波形の弁別を基礎とした中性子/ガンマ線弁別 (Neutron-gamma discrimination based on pulse shape discrimination in a Ce:LiCaAlF₆ scintillator)」、ニュークリア・インスツルメンツ・イン・フィジックス・リサーチ、A 652、2011 年、p. 435 - 438

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

40

上記事情を鑑み、本発明は、小型の回路基板上に集積化できるような簡単かつ安価な構成によって、ポータブル化が容易な波形弁別装置、波形弁別方法及び波形弁別プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するために、本発明者らは、一例として、第 1 波形を有する任意の強度の物理量のパルスとして、ガンマ線がシンチレータに入射した際の発光による電流波形を、第 2 波形を有する任意の強度の物理量のパルスとして中性子がシンチレータに入射した際の発光による電流波形に着目した。

即ち、例示的な検討例ではあるが、ガンマ線と中性子とが、同時又は一方がシンチレー

50

タに入射した際の発光による電流波形を比較すると、ガンマ線については、立ち上がり部の信号強度と立ち下がり部の減衰強度が線形比例すること、中性子については、非線形関係となる物理現象を応用して、第1波形と第2波形を有する任意の強度の物理量を正確に分離して計数する波形弁別装置、波形弁別方法及び波形弁別プログラムを見いだした。

【0011】

本発明の第1の態様は、(a)被測定パルスの波形を入力し、被測定パルスの物理量を電気信号に変換する波形検出器と、(b)電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大して増幅するアナログ増幅器と、(c)電気信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された電気信号を標本化してデジタルデータに変換するAD変換器と、(d)デジタルデータを用いて、立ち上がり期間の特徴量を第1座標軸上の点として計算し、立ち下がり期間の特徴量を第2座標軸上の点として計算し、更に、第1座標軸上の点及び第2座標軸上の点の組を座標点として、第1座標軸と第2座標軸が定義する弁別平面に、座標点をプロットする信号処理回路とを備える波形弁別装置であることを要旨とする。第1の態様に係る波形弁別装置は、座標点のプロット位置から、被測定パルスが第1波形、或いは第1波形とは異なる第2波形であるのかを弁別する。

10

【0012】

本発明の第2の態様は、(a)被測定パルスの波形を入力し、被測定パルスの物理量を電気信号に変換するステップと、(b)電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大して増幅するステップと、(c)電気信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された電気信号を標本化してデジタルデータに変換するステップと、(d)デジタルデータを用いて、立ち上がり期間の特徴量を第1座標軸上の点として計算し、立ち下がり期間の特徴量を第2座標軸上の点として計算するステップと、(e)第1座標軸上の点及び第2座標軸上の点の組を座標点として、第1座標軸と第2座標軸が定義する弁別平面に、座標点をプロットするステップと、(f)座標点のプロット位置から、被測定パルスが第1波形、或いは第1波形とは異なる第2波形であるのかを弁別するステップとを含む波形弁別方法であることを要旨とする。

20

【0013】

本発明の第2の態様で述べた波形弁別方法を実現するためのコンピュータソフトウェアプログラムは、コンピュータ読取り可能な記録媒体に保存し、この記録媒体をコンピュータシステムによって読み込ませることにより、本発明の波形弁別方法を実行することができる。

30

即ち、本発明の第3の態様は、(a)波形検出器に被測定パルスの波形を入力させ、被測定パルスの物理量を電気信号に変換させる命令と、(b)アナログ増幅器に電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大して増幅させる命令と、(c)AD変換器に電気信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された電気信号を標本化してデジタルデータに変換させる命令と、(d)信号処理回路の差分値計算回路、減衰量計算回路及び差分値積算回路を互いに連携させ、デジタルデータを用いて、立ち上がり期間の特徴量を第1座標軸上の点として計算させ、立ち下がり期間の特徴量を第2座標軸上の点として計算させる命令と、(e)信号処理回路の2次元座標プロット回路に、第1座標軸上の点及び第2座標軸上の点の組を座標点として、第1座標軸と第2座標軸が定義する弁別平面に、座標点をプロットさせる命令と、(f)信号処理回路の波形弁別判定回路に、座標点のプロット位置から、被測定パルスが第1波形、或いは第1波形とは異なる第2波形であるのかを弁別させる命令とを含む一連の命令を制御回路に実行させる波形弁別プログラムであることを要旨とする。

40

【0014】

ここで、「記録媒体」とは、例えばコンピュータの外部メモリ装置、半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、磁気テープなどのプログラムを記録することができるような媒体などを意味する。具体的には、フレキシブルディスク、CD-ROM、MOディスク、カセットテープ、オープンリールテープなどが「記録媒体」に含まれる。第1の態様に係る波形弁別装置は、装置サイズを小型化することが可能であり、小型化

50

の設計にさいしては、マイクロコントローラユニット（MCU）等の機器組み込み用プロセッサで、第3の態様に係る波形弁別プログラムを格納する記録媒体等の構成を実現することができる。MCUは当初、搭載メモリの少なさからアセンブリ言語でのみプログラムが組まれていたが、メモリ量やCPUの処理能力が向上すると、開発効率の観点からC言語が使われるようになった。BASIC言語インタプリタなどの言語処理系が予めROMに書き込まれた半完成製品も存在し、第3の態様に係る波形弁別プログラムを格納する記録媒体等を実現することが可能である。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、小型の回路基板上に集積化できるような簡単かつ安価な構成によって、ポータブル化が容易な波形弁別装置、波形弁別方法及び波形弁別プログラムを提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る波形弁別装置の主要部の概略を説明する模式的なブロック図である。

【図2】第1の実施の形態に係る波形弁別装置に用いられるアナログ増幅器の一例を、より具体的に説明する図である。

【図3】第1の実施の形態に係る波形弁別装置の物理的な実装構造の主要部の概略を、筐体の側壁を透明にして模式的に説明する立体図である。

20

【図4】図4(a)は、光検出器としての光電子増倍管の出力を50で終端した場合において、ガンマ線がシンチレータに入射した際に、シンチレータから出射した第1波形の光が光電子増倍管に入射したことによる、光電子増倍管の出力としての第1の電気信号をオシロスコープで観測したパルス波形を示す図である。図4(b)は、光電子増倍管の出力を50kで終端した場合において、図4(a)に示した第1の電気信号をオシロスコープで観測したパルス波形を示す図である。

【図5】図4(a)の第1の電気信号のV部で示したパルス波形を時間軸を拡大して示す図であるが、比較のために第2の電気信号のパルス波形も第1の電気信号と時間軸を共通にして示している。

【図6】図6(a)は、図5と同様に、図4(a)のV部を時間軸を拡大して示す図で、図6(b)は、比較のために第2の電気信号のパルス波形を、図6(a)と時間軸を共通にして示す図である。

30

【図7】図7(a)は、第1の実施の形態に係る波形弁別装置のアナログ増幅器の出力波形を示し、図7(b)は、AD変換器が図7(a)の波形をデジタル化可能な信号に変換している状態を概念的な理解を補助する模式図である。

【図8】AD変換器が出力したデジタルデータに対して、図9及び図10の処理を実行し、立ち上がり期間の特徴量及び立ち下がり期間の特徴量を計算する場合の、演算の内容や前提とする定義を説明するための模式図である。

【図9】本発明の第1の実施の形態に係る波形弁別方法の基本となる2次元分布の作成方法の一例を説明する概念的なフローチャートである。

40

【図10】図9に続く第1の実施の形態に係る2次元分布の作成方法を説明する概念的なフローチャートである。

【図11】立ち上がり期間の特徴量を第1座標軸上の点、立ち下がり期間の特徴量を第2座標軸上の点として、第1座標軸と第2座標軸が定義する弁別平面にプロットすると、ガンマ線（第1波形）と中性子線（第2波形）の分布領域が局在し、分類整理できることを説明する図である。

【図12】第1の実施の形態に係る波形弁別方法に用いる弁別用の窓部と、弁別用線形方程式を表す直線を説明する図である。

【図13】第1の実施の形態に係る波形弁別装置を構成する信号処理回路の内部構造を、論理的なハードウェア資源の組み合わせとして概念的に説明する図である。

50

【図14】第1の実施の形態に係る波形弁別方法によれば、光検出器の出力としての電気信号の立ち下がり波形に対し、次のパルス信号の立ち上がり波形が重畳するパイルアップが発生した場合でも正しい波高値を取得ができることを説明する図で、AD変換器における処理の状態を概念的に説明する模式図である。

【図15】第1の実施の形態に係る波形弁別方法における弁別用の窓部と、弁別用線形方程式を表す直線を用いた処理の流れを説明する概念的なフローチャートである。

【図16】第1の実施の形態に係る波形弁別方法に用いられる弁別用の窓部と、弁別用線形方程式を表す直線の決定方法を説明する概念的なフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

10

次に、図面を参照して、本発明の第1の実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。

又、以下に示す第1の実施の形態は、本発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、本発明の技術的思想は、構成部品の材料、形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。本発明の技術的思想は、特許請求の範囲に記載された請求項が規定する技術的範囲内において、種々の変更を加えることができる。

【0018】

20

(波形弁別装置の構成)

本発明の第1の実施の形態に係る波形弁別装置は、図1に示すように、被測定パルスの波形を入力し、被測定パルスの物理量を電気信号に変換する波形検出器12と、波形検出器12に接続され、電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大して増幅するアナログ増幅器13と、アナログ増幅器13に接続され、電気信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された電気信号を標本化してデジタルデータに変換するAD変換器14と、AD変換器14に接続され、デジタルデータを用いて、立ち上がり期間の特徴量を第1座標軸上の点として計算し、立ち下がり期間の特徴量を第2座標軸上の点として計算し、更に、第1座標軸上の点及び第2座標軸上の点の組を座標点として、第1座標軸と第2座標軸が定義する弁別平面に、座標点をプロットする信号処理回路15と、信号処理回路15に接続された表示装置16及びデータ記憶装置18と、波形検出器12、アナログ増幅器13、AD変換器14、信号処理回路15及び表示装置16に接続された制御回路17と、制御回路17に接続されたプログラム記憶装置19とを備える。

30

【0019】

なお、図1にはデータ記憶装置18及びプログラム記憶装置19が、便宜上、それぞれ単独のハードウェア資源であるかのように図示されているが、現実の物理的ハードウェア資源としては、データ記憶装置18及びプログラム記憶装置19が、それぞれ、機能及び規模を異にする複数の記憶装置の集合として構成されている構成を否定するものではない。例えば、データ記憶装置18は、複数のレジスタ、複数のキャッシュメモリ、主記憶装置、補助記憶装置を含む一群の内から適宜選択された任意の組み合わせとすることも可能である。又、キャッシュメモリは1次キャッシュメモリと2次キャッシュメモリの組み合わせとしてもよく、更に3次キャッシュメモリを備えるヒエラルキーを有しても構わない。

40

【0020】

図1に示す波形検出器12は、被測定パルスとしての第1波形を有する任意の強度のパルスが任意のタイミングで発生して一群の集合を構成した第1のパルス群に含まれる少なくとも1つのパルスを入力し、第1波形に対応した第1の電気信号を逐次出力し、他の被測定パルスとして、第1波形とは異なる第2波形を有する任意の強度のパルスが任意のタイミングで発生して一群の集合を構成した第2のパルス群に含まれる少なくとも1つのパルスを入力し、第2波形に対応した第2の電気信号を逐次出力する。

50

【 0 0 2 1 】

アナログ増幅器 1 3 は、第 1 及び第 2 の電気信号の少なくとも一方を、波形検出器 1 2 から弁別対象信号として入力し、弁別対象信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大するように弁別対象信号の波形を増幅する。アナログ増幅器 1 3 は、被測定パルスとしての第 1 波形がナノ秒レベルの半値幅のパルスであっても、立ち下がり時間を 2μ 秒程度以上の長さとなるように過渡応答特性を示す波形を時間軸に沿って拡大することが好ましい。立ち下がり時間がマイクロ秒レベルになると、A D 変換器 1 4 がデジタルデータを取得するためのサンプリング間隔を長くすることができるので、非常に安価かつ簡単な A D 変換器 1 4 が採用可能となる。そして、A D 変換器 1 4 は、弁別対象信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された弁別対象信号を標本化し、それぞれ一定間隔の離散的データを生成し、この離散的データをデジタルデータに変換する。

10

【 0 0 2 2 】

A D 変換器 1 4 が標本化して生成した離散的なデジタルデータを、信号処理回路 1 5 のデータ取込回路 1 6 2 (図 1 3 参照。) が、A D 変換器 1 4 から順次読み込み、データ記憶装置 1 8 に一時的に格納する。更に、信号処理回路 1 5 は、データ記憶装置 1 8 に格納されたデジタルデータを読み出し、立ち下がり期間の特徴量 Df を第 2 座標軸上の点として計算し、立ち上がり期間の特徴量 Uf を第 1 座標軸に直交する第 1 座標軸上の点として計算する。そして、第 1 座標軸上の点及び第 2 座標軸上の点の組 (Uf, Df) を座標点として、図 1 1 に示すように、信号処理回路 1 5 は座標点 (Uf, Df) を、A D 変換器 1 4 による過渡応答波形の標本化の処理の進行とともに、第 1 座標軸と第 2 座標軸が定義する弁別平面にリアルタイムで自動的にプロットする。座標点 (Uf, Df) を図 1 1 に示す弁別平面にリアルタイムでプロットしているので、データ記憶装置 1 8 は、A D 変換器 1 4 が出力するデジタルデータを一時的に記憶するレジスタとして機能している。

20

【 0 0 2 3 】

図 1 1 及びこの図 1 1 に続く図 1 2 では、第 2 座標軸を X 軸方向としているが、立ち下がり期間の特徴量 Df の値は、X 軸方向の右側に進むに従い大きくなる値としてプロットされている。一方、図 1 1 及び図 1 2 では、第 1 座標軸を Y 軸として表示しているが、立ち上がり期間の特徴量 Uf の値は、Y 軸方向の上側に進むに従い小さくなり、Y 軸方向の下側に進むに従い大きくなる値としてプロットされているので、第 1 座標軸と第 2 座標軸が定義する弁別平面は第 3 象限のデカルト座標として定義されている。なお、図 1 1 及び図 1 2 では、第 1 座標軸を Y 軸、第 2 座標軸を X 軸として表示しているが、例示に過ぎず、X 軸と Y 軸のいずれを第 1 座標軸として選択し、残るいずれを第 2 座標軸として選択するかは適宜決めてよい。

30

【 0 0 2 4 】

信号処理回路 1 5 の論理的なハードウェア資源の構成は図 1 3 のように表現される。信号処理回路 1 5 は、マイクロチップとして実装されたマイクロプロセッサ (M P U) 等が使用可能である。又、信号処理回路 1 5 として、算術演算機能を強化し信号処理に特化したデジタルシグナルプロセッサ (D S P) や、メモリや周辺回路を搭載し組み込み機器制御を目的としたマイクロコントローラ (マイコン) 等を用いてもよい。或いは、現在の汎用コンピュータのメイン C P U を信号処理回路 1 5 に用いてもよい。

40

第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置は、図 1 1 に示す弁別平面上の座標点の分布位置から、弁別対象信号が第 1 波形を発生源とするのか、或いは第 2 波形を発生源とするのかをリアルタイムで自動的に弁別することができる。特に、図 1 1 に示す弁別平面に対し、図 1 2 に示すように、弁別用の窓部及び弁別用線形方程式を定義することにより、弁別対象信号が第 1 波形を発生源とするのか、或いは第 2 波形を発生源とするのかを、コンピュータソフトウェアの処理にしたがって、リアルタイムで自動的に弁別することができる。

【 0 0 2 5 】

図 2 及び図 3 に示す構成は、第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置の具体的応用例に係り、被測定パルスとしての第 1 波形がガンマ線に固有な放射線 - 光変換素子 1 1 からの発光波形、他の被測定パルスとしての第 2 波形が中性子線に固有な放射線 - 光変換素子 1 1

50

からの発光波形の場合である。即ち、以後の説明では、第1波形が、ガンマ線が放射線 - 光変換素子11に入力されたことに起因する放射線 - 光変換素子11からの発光波形、第2波形が、中性子線が放射線 - 光変換素子11に入力されたことに起因する放射線 - 光変換素子11からの発光波形として例示的に説明する。

即ち、第1の実施の形態に係る波形弁別装置は、図2及び図3に示すように、中性子線及びガンマ線を光に変換する放射線 - 光変換素子11と、放射線 - 光変換素子11に接続された放射線 - 光変換素子11の発光する光を電気信号に変換する光検出器12aとを備えている。中性子線及びガンマ線をそれぞれ過渡応答特性の波形が異なる物理量である光に変換する放射線 - 光変換素子11としては、表1に示すようなCsLiYCl, LiCaAlF₆, LiF/ZnS, LiBaF₃, Li₆Gd(BO₃)₃等を使用することが可能である。

【0026】

【表1】

名称	発光波長
CsLiYCl	Ce 380nm
LiCaAlF ₆	Eu-Na 370nm, Ce 280-320nm
LiF/ZnS	Ag 450nm
LiBaF ₃	Ce-K 190-330nm
Li ₆ Gd(BO ₃) ₃	Ce 385, 415nm

【0027】

表1に示すように、より強い発光のためには発光中心となる元素、例えばY, Ce, Pr, Sm, Eu, TbやMnなどをCsLiYCl, LiCaAlF₆, LiF/ZnS, LiBaF₃, Li₆Gd(BO₃)₃等シンチレータ材料に添加するのが好ましい。例えば、Ceを添加したLiCaAlF₆を放射線 - 光変換素子11とする場合は、図5に示すように、放射線 - 光変換素子11からの発光の過渡応答特性は、ガンマ線(第1波形)と中性子線(第2波形)とで、立ち上がり特性及び立ち下がり特性がそれぞれ異なる。

図5において、ガンマ線(第1波形)での発光は、数ナノ秒程度の非常に発光時間の短い発光と、先端の鋭いピークに続くブロードな発光をしている。一方、中性子線(第2波形)の発光は、図5に示すように、数百ナノ秒以下程度の比較的発光時間の長い発光に特徴がある。ガンマ線(第1波形)での発光はチェレンコフ発光であると言われている。

【0028】

表1に示すように、CsLiYCl, LiCaAlF₆, LiF/ZnS, LiBaF₃, Li₆Gd(BO₃)₃等のシンチレータは、波長190~450nm程度の光を発光するので、放射線 - 光変換素子11の発光する光を電気信号に変換する光検出器12aとしては、波長190~450nm程度の光を電気信号に変換できる光電子増倍管(PMT)、半導体フォトダイオード、フォトダイオードアレイ、ガイガーモード並列読み出しAPDピクセルアレイ等が使用可能である。光検出器12aには、第1波形のパルスを入力して第1波形に対応した第1の電気信号が出力され、第2波形のパルスを入力して第2波形に対応した第2の電気信号を出力する特性が要求され、光検出器12aの入力と出力に線形性が保たれるデバイス性能が理想である。

【0029】

図3に示すように、放射線 - 光変換素子11は、光検出器12aの窓部に貼り付けられ、光検出器12aは、筐体21の上部突出部として構成されている。筐体21の内部には、光検出器12aの出力にケーブル31a, 31bを介して接続された回路基板23と、回路基板23に搭載され、回路基板23中の埋め込配線又は表面配線を介して、ケーブル

10

20

30

40

50

3 1 a , 3 1 b に電氣的に接続されるアナログ増幅器 1 3 及び高圧電源 2 2 と、回路基板 2 3 にケーブル 3 2 a , 3 2 b、3 2 c を介して接続された回路基板 2 4 と、回路基板 2 4 に搭載され、回路基板 2 4 中の埋め込配線又は表面配線を介して、ケーブル 3 2 a , 3 2 b、3 2 c に電氣的に接続される A D 変換器 1 4 及び信号処理回路 1 5 が内蔵されている。

【 0 0 3 0 】

図 3 においては、筐体 2 1 は例示的に直方体の形状をなし、筐体 2 1 の 1 側面の上部には表示装置 1 6 が取り付けられている。筐体 2 1 の形状は、直方体の形状に限定されるものではなく、円筒形等の他の形状でもよく、円筒形の筐体 2 1 であれば、筐体 2 1 の円周面の一部を平坦にして、表示装置 1 6 を埋め込む構造や、一部が筐体 2 1 の円周面から突出するようなトポロジーで取り付けても構わない。

10

筐体 2 1 の底面には信号処理回路 1 5 の条件を設定する調整つまみ 3 4 a , 3 4 b , 3 4 c , 3 4 d が設けられている。筐体 2 1 の底面には孔が設けられ、この孔から、信号処理回路 1 5 に回路基板 2 4 中の埋め込配線又は表面配線を介して接続される通信用ケーブル 3 3 が筐体 2 1 の外部に導かれている。

【 0 0 3 1 】

図 3 には図示を省略しているが、図 1 のデータ記憶装置 1 8 及びプログラム記憶装置 1 9 を含むシステム構成は例示に過ぎず、データ記憶装置 1 8 が図 3 に示した A D 変換器 1 4 や信号処理回路 1 5 等の内部構造として存在してもよく、信号処理回路 1 5 の内部メモリとして一部の記憶装置の機能をレジスタ等の形態で分散させ、残余の機能を回路基板 2 4 上に実装される外部メモリにおいて実行させるように、物理的な構造としては、データ記憶装置 1 8 を分散配置してもよい。或いは、回路基板 2 4 上に実装される外部メモリのみをデータ記憶装置 1 8 として備えるような物理的な構成でもよく、通信用ケーブル 3 3 を介して接続された筐体 2 1 の外部に配置されたデータ記憶装置 1 8 を含んでもよい。

20

【 0 0 3 2 】

同様に、図 1 のプログラム記憶装置 1 9 についても、信号処理回路 1 5 や制御回路 1 7 等の内部構造として存在してもよく、信号処理回路 1 5 や制御回路 1 7 の内部メモリとしての記憶装置と、外部メモリとしての記憶装置の両方を含むように構成してもよく、外部メモリのみの構成として存在する記憶装置でもよい。

更に、図 1 の制御回路 1 7 についても、その少なくとも一部の機能を分散させることにより、現実の物理的な構造として制御回路 1 7 を筐体 2 1 の内部構造として存在させてもよい。場合によっては、制御回路 1 7 を信号処理回路 1 5 の内部構造として構成することや、逆に、制御回路 1 7 の内部構造に信号処理回路 1 5 や A D 変換器 1 4 を機能ブロック等の形で集積化するような種々の物理的な構造を実現してもよい。

30

【 0 0 3 3 】

図 3 に例示したように、第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置は、簡単な構成であるので、装置サイズを小型化することが可能であり、マイクロコントローラユニット (MCU) 等の機器組み込み用プロセッサで実現することができる。MCU は、図 1 に示したアナログ増幅器 1 3、A D 変換器 1 4、信号処理回路 1 5 及び制御回路 1 7 等を含むコンピュータシステムを 1 つの集積回路に組み込んだものである。MCU は、自己充足性と低価格性を重視したタイプのマイクロプロセッサと言え、半導体の 1 チップのみでコンピュータとして機能させるということが可能である。MCU で構成すれば、汎用 CPU と比較した場合に周辺部品が少なく済むため、第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置をコンパクトに組み立てるのが容易である。

40

【 0 0 3 4 】

図 2 に示すように、光検出器 1 2 a の出力側にはアナログ増幅器 1 3 の入力端子 I が、光検出器 1 2 a の信号出力端子と基準電位点端子が、各々アナログ増幅器 1 3 の入力端子 I と接地間に接続されるような構成で、接続されている。アナログ増幅器 1 3 の入力端子 I はアナログ増幅器 1 3 の入力段を構成する第 1 オペアンプ U 1 の非反転入力端子に接続され、アナログ増幅器 1 3 の入力端子 I と接地間には入力抵抗 R 1 が接続されている。入

50

力端子 I と光検出器 12 a の出力電流の基準電位とする回路の接地間に接続される入力抵抗 R 1 の値は、5 k 以上が好ましく、例えば、 $R 1 = 50 \text{ k} \sim 1 \text{ M}$ 程度の大きな値とすること好ましい。通常、アナログ増幅器として用いるオペアンプの入力抵抗 ($I m p$) は、10 M オーム乃至 1 T であるので、入力抵抗 R 1 の最大値は、アナログ増幅器 13 の入力段を構成する第 1 オペアンプ U 1 の入力抵抗を考慮して決めればよい。第 1 オペアンプ U 1 の反転入力端子がバイアス補償抵抗 R 6 を介して接地されている。第 1 オペアンプ U 1 の反転入力端子は更に帰還抵抗 R 5 を介して第 1 オペアンプ U 1 の出力端子に接続されている。第 1 オペアンプ U 1 の出力端子は更に、伝送抵抗 R 2 を介して第 2 オペアンプ U 2 の反転入力端子に接続され、第 2 オペアンプ U 2 の反転入力端子は、帰還抵抗 R 3 を介して第 2 オペアンプ U 2 の出力端子に接続されている。

10

【 0 0 3 5 】

第 2 オペアンプ U 2 の出力端子は更に、伝送抵抗 R 4 を介してアナログ増幅器 13 の出力段を構成する第 3 オペアンプ U 3 の非反転入力端子に接続され、第 3 オペアンプ U 2 の反転入力端子は第 3 オペアンプ U 3 の出力端子に直結され、第 3 オペアンプ U 3 の出力端子がアナログ増幅器 13 の出力端子 0 を構成している。

図 2 に示すようなアナログ増幅器 13 の回路を構成することで、第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置では、放射線 - 光変換素子 11 で変換された光を光検出器 12 a で第 1 又は第 2 の電気信号に逐次変換し、アナログ増幅器 13 にて、第 1 又は第 2 の電気信号を、対応する第 1 又は第 2 の電圧信号への変換と増幅を行うことができる。

【 0 0 3 6 】

20

図 2 においては、入力抵抗 R 1 の値を、例えば、50 k 程度の大きな値に設定することにより、光検出器 12 a の出力端子間容量 $C p$ とアナログ増幅器 13 の入力抵抗 R 1 による減衰時定数 $= R 1 \cdot C p$ の値を大きな値として、過渡応答波形を時間軸に沿って拡大し、本来弁別したい第 2 波形 (中性子線) と第 1 波形 (ガンマ線) の高周波成分を低周波数帯シフトさせることができる。

図 4 (a) は、光検出器 12 a の出力を 50 で終端した場合において、第 1 波形 (ガンマ線) の光が光検出器 12 a に入射したことにより光検出器 12 a から出力される第 1 の電気信号のパルス波形である。光検出器 12 a の出力を 50 k で終端した場合は、50 で終端した場合に比して、図 4 (b) に示すように 1000 倍程度に過渡応答波形が時間軸方向に拡大されることが分かる。

30

【 0 0 3 7 】

図 5 は、図 4 (a) の第 1 の電気信号の V 部で示したパルス波形を時間軸を拡大して示す図であるが、比較のために第 2 の電気信号のパルス波形も時間軸を共通にして示している。図 5 は、 $C e$ を添加した $L i C a A l F_6$ 結晶を放射線 - 光変換素子 (シンチレータ) 11 として用い、放射線 - 光変換素子 11 からの発光を光検出器 (光電子増倍管) 12 a で検出した場合の第 1 及び第 2 の電気信号のパルス波形を示す。

図 6 (a) は、図 5 と同様に、図 4 (a) の第 1 の電気信号の V 部で示したパルス波形を時間軸を拡大して示す図である。図 6 (a) に示すように第 1 波形 (ガンマ線) は、半値幅 4 n s 程度の急峻な立ち上がり / 立ち下がり特性を示す尖塔部分と、この尖塔部分が立ち上がったのち再び緩やかな立ち上がり / 立ち下がり特性を示す丘状部分の 2 つの部分をも有することが分かる。図 6 (b) は、図 6 (a) との比較のために、第 2 の電気信号のパルス波形を、図 6 (a) と時間軸を共通にして示しているが、第 2 の電気信号には、図 6 (a) に示すような急峻な立ち上がり / 立ち下がり特性を示す尖塔部分が存在しないことが分かる。

40

【 0 0 3 8 】

第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置では、アナログ増幅器 13 の入力抵抗 R 1 の値を 50 k 程度の大きな値に設定して減衰時定数 $= R 1 \cdot C p$ の値を大きな値としているので、アナログ増幅器 13 は、図 4 (a) の第 1 の電気信号の過渡応答波形を、図 7 (a) に示すように立ち下がり時間が 2 μ 秒程度以上となるように時間軸に沿って拡大する。即ち、アナログ増幅器 13 は、汎用の A D 変換器 14 が図 7 (b) に示すようなデジタイズ

50

が可能な信号に、第1及び第2の電気信号の少なくとも一方を変換する。

A/D変換器14は、第1及び第2の電気信号の波高値だけでなく減衰時間の違いを取得することで、A/D変換器14に接続された信号処理回路15が、図9及び図10に示すフローチャートにしたがって、図12に示すような弁別平面の上に座標点を逐次生成し、2次元分布が作成される。第1座標軸と第2座標軸が定義する2軸間の相関の違いから、図12に示すように2次元分布の領域が決定され、第1波形(ガンマ線)と第2波形(中性子線)の立ち上がり特性及び立ち下がり特性の違いが判断できるので、第1波形(ガンマ線)と第2波形(中性子線)とを弁別することが可能となる。

【0039】

図13に論理的なハードウェア資源の構成を示すように、第1の実施の形態に係る波形弁別装置の信号処理回路15は、図9及び図10に示す処理を実行するに先立ち、校正用の波形を波形検出器12に入力させて、波形の弁別に必要な窓部境界条件を決定する窓部境界条件決定回路151、同様に、図9及び図10に示す処理を実行するに先立ち、校正用の波形を波形検出器12に入力させて、波形の弁別に必要な線形方程式を決定する線形方程式決定回路152と、A/D変換器14が生成した一定間隔の離散的データの互いに連続する2値間の差分を計算する差分値積算回路153と、弁別対象信号の立ち下がり期間において、弁別対象信号の立ち上がり期間において実現された波形のピーク値からの減衰量を計算する減衰量計算回路154と、差分値積算回路153が出力した差分値を積算する差分値積算回路155と、図9及び図10に示すフローチャートの処理にしたがって得られた座標値を2次元空間にプロットする2次元座標プロット回路156と、図9及び図10に示すフローチャートの処理に伴う演算の進行を判定し、分岐の方向を決定する演算進行判定回路157と、2次元空間にプロットされた座標点の分布から波形を弁別して判定する波形弁別判定回路158と、波形弁別判定回路158が判定した波形点を累積する波形点累積回路159と、波形点累積回路159が計数した累積数を表示するように命令する累積数表示命令回路160と、図1のプログラム記憶装置19に格納された実行すべき命令を信号処理回路15がどこまで実行したか、或いは信号処理回路15が、現在実行しているプログラム記憶装置19上のアドレスを記憶するプログラムカウンタ161と、A/D変換器14からデータを取込むデータ取込回路162と、弁別対象信号のピーク値を決定するピーク値決定回路163とを機能ブロックとして備える。

【0040】

図13に示すように、窓部境界条件決定回路151、線形方程式決定回路152、差分値積算回路153、減衰量計算回路154、差分値積算回路155、2次元座標プロット回路156、演算進行判定回路157、波形弁別判定回路158、波形点累積回路159、累積数表示命令回路160、プログラムカウンタ161、データ取込回路162、ピーク値決定回路163は、データバス164を介して互いに接続されている。図13に示す窓部境界条件決定回路151、線形方程式決定回路152、差分値積算回路153、減衰量計算回路154、差分値積算回路155、2次元座標プロット回路156、演算進行判定回路157、波形弁別判定回路158、波形点累積回路159、累積数表示命令回路160、プログラムカウンタ161、データ取込回路162、ピーク値決定回路163は、論理的な機能に着目したハードウェア資源を形式的に表現しているのであって、必ずしも、半導体チップ上に物理的な領域としてそれぞれ独立して存在する機能ブロックを意味するものではないが、現実に存在する構成を否定するものでもない。

【0041】

図1及び図13では図示を省略しているが、第1の実施の形態に係る波形弁別装置は、操作者からのデータや命令などの入力を受け付ける入力装置、分別結果を出力する出力装置等を更に備えるようにしてもよい。入力装置はキーボード、マウス、ライトペン又はフレキシブルディスク装置などで構成される。入力装置より波形弁別の実行者は、入出力データを指定したり、波形弁別に必要な個別の数値や許容誤差の値及び誤差の程度を設定したりすることができる。更に、入力装置より出力データの形態等の解析パラメータを設定することも可能で、又、演算の実行や中止等の指示の入力も可能である。又出力装置及び

10

20

30

40

50

表示装置 16 は、それぞれプリンタ装置及びディスプレイ装置等により構成してもよい。

【0042】

第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置によれば、図 1 ~ 図 3 及び図 13 に示したような簡単かつ安価なハードウェア資源で実現可能であるので、波形弁別装置の主要部を小型の回路基板上に集積化して、波形弁別装置の全体の構造を小型化できるので、波形弁別装置のポータブル化が容易であるという効果を奏することができる。

特に、放射線計測応用の分野においては、非特許文献 1 に記載の発明のシステム構成では、このシステム構成に用いられていた電荷感应型前置増幅器の過渡特性（スルーレート）に起因する計数誤差の問題があった。第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置によれば、電荷感应型前置増幅器に起因した計数誤差の問題を回避することができるという顕著な効果を奏することができる。

10

【0043】

（2次元分布の作成）

図 9 ~ 図 13 を用いて、本発明の第 1 の実施の形態に係る波形弁別方法の基本となる 2 次元分布の作成方法を説明する。なお、以下に述べる 2 次元分布の作成方法は、一例であり、特許請求の範囲に記載した趣旨の範囲内であれば、この変形例を含めて、これ以外の種々の 2 次元分布の作成方法が実現可能であることは勿論である。

図 9 のステップ S 101 において、図 13 に示した信号処理回路 15 の窓部境界条件決定回路 151 が弁別窓部境界条件を決定し、プログラムカウンタ 161 がプログラム記憶装置 19 から次に読み出す命令のアドレスをカウントして、ステップ S 102 に信号処理回路 15 の処理を進める。図 9 のステップ S 102 において、図 13 に示した信号処理回路 15 の線形方程式決定回路 152 が弁別用線形方程式を決定し、プログラムカウンタ 161 がステップ S 103 に信号処理回路 15 の処理を進める。

20

【0044】

ステップ S 103 において、図 13 に示した信号処理回路 15 の演算進行判定回路 157 が立ち上がり期間の特徴量 U_s をリセットし、特徴量 $U_s = 0$ の値を図 13 に示したデータ記憶装置 18 に格納する。その後、プログラムカウンタ 161 によってステップ S 104 に信号処理回路 15 の処理が進む。ステップ S 104 において、演算進行判定回路 157 が弁別対象信号の標本値 U_j をデータ記憶装置 18 から読み出し、標本値 U_j が立ち上がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(U)$ より大きいか否かを判定する。図 8 の例では $j = m - 1$ として、標本値 U_m が立ち上がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(U)$ より大きいか否かを判定する。

30

【0045】

図 9 及び図 10 のフローチャートに示した信号処理回路 15 の動作は、第 1 のパルス群に含まれるパルス又は第 2 のパルス群に含まれるパルスが任意のタイミングで波形検出器 12 に入力され、第 1 及び第 2 の電気信号の少なくとも一方が、波形検出器 12 から弁別対象信号として任意のタイミングで出力されることによりリアルタイムで進行するので、ステップ S 104 における演算進行判定回路 157 がデータ記憶装置 18 に格納された標本値 U_j を読み出す処理は、データ記憶装置 18 を介さずに、AD変換器 14 の出力を直接、演算進行判定回路 157 が取り込むようにしてもよい。

40

【0046】

ステップ S 104 で、標本値 U_j が立ち上がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(U)$ より大きいと判断された場合は、ステップ S 105 に進み、図 13 に示したデータ記憶装置 18 に格納する。データ記憶装置 18 としては、マイクロプロセッサ (MPU) のレジスタ等が使用可能である。ステップ S 105 では更に、差分値積算回路 153 が、データ記憶装置 18 に格納された標本値 U_{j+1} を読み出してステップ S 106 に進む。上述したとおり、信号処理回路 15 の動作は、測定と同時にリアルタイムで進行するので、ステップ S 105 におけるデータ記憶装置 18 に格納された標本値 U_{j+1} を差分値積算回路 153 が読み出す処理は、データ記憶装置 18 を介さずに、波形検出器 12 が第 1 波形又は第 2 波形を測定したタイミングに対応して、AD変換器 14 から差分値積算回路 153 に標

50

本値 U_{j+1} が直接取り込まれるようにできる。

【 0 0 4 7 】

ステップ S 1 0 4 で、標本値 U_j が立ち上がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(U)$ より大きくないと判断された場合は、ステップ S 1 0 8 に進む。ステップ S 1 0 8 では、データ記憶装置 1 8 に格納された次の標本値 U_{j+1} を新たな標本値 U_j に置き換え、この新たな標本値 U_j を演算進行判定回路 1 5 7 が取り込み、信号処理回路 1 5 の処理はステップ S 1 0 4 に戻る。

ステップ S 1 0 6 では差分値積算回路 1 5 3 が、データ記憶装置 1 8 に格納された標本値 U_j を読み出し、差分値 $U_{j+1,j} = U_{j+1} - U_j$ を計算し、計算結果を演算進行判定回路 1 5 7 に出力する。図 8 の $j = m$ の例では、差分値 $U_{m+1,m} = U_{m+1} - U_m$ を計算し、計算結果を演算進行判定回路 1 5 7 に出力する。ステップ S 1 0 6 において、演算進行判定回路 1 5 7 は、差分値 $U_{j+1,j}$ が立ち上がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(U)$ より大きいかなかを判定する。

10

【 0 0 4 8 】

ステップ S 1 0 6 で、弁別対象信号の差分値 $U_{j+1,j}$ が立ち上がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(U)$ より大きいと判断された場合は、ステップ S 1 1 1 に進み、標本値 U_{j+1} 及び差分値 $U_{j+1,j}$ をデータ記憶装置 1 8 に格納する。ステップ S 1 1 1 では更に、差分値積算回路 1 5 3 が、データ記憶装置 1 8 に格納された標本値 U_{j+2} を読み出してステップ S 1 1 2 に進む。信号処理回路 1 5 の動作は、測定と同時にリアルタイムで進行するので、ステップ S 1 1 1 におけるデータ記憶装置 1 8 に格納された標本値 U_{j+2} を差分値積算回路 1 5 3 が読み出す処理は、データ記憶装置 1 8 を介さずに、第 1 波形又は第 2 波形が測定されたタイミングに対応して、AD変換器 1 4 から差分値積算回路 1 5 3 に標本値 U_{j+1} が直接取り込まれるようにできる。

20

【 0 0 4 9 】

ステップ S 1 0 6 で、差分値 $U_{j+1,j}$ が立ち上がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(U)$ より大きくないと判断された場合は、ステップ S 1 0 7 に進む。ステップ S 1 0 7 では、データ記憶装置 1 8 に格納された次の標本値 U_{j+2} を新たな標本値 U_{j+1} に置き換え、ステップ S 1 0 8 に進む。ステップ S 1 0 8 では、データ記憶装置 1 8 に格納された標本値 U_{j+1} を標本値 U_j に置き換え、この新たな標本値 U_j を演算進行判定回路 1 5 7 に取り込ませて、ステップ S 1 0 4 に戻る。

30

【 0 0 5 0 】

ステップ S 1 1 2 で、差分値積算回路 1 5 3 が、データ記憶装置 1 8 に格納された標本値 U_{j+1} を読み出し、差分値 $U_{j+2,j+1} = U_{j+2} - U_{j+1}$ を計算し、計算結果を演算進行判定回路 1 5 7 に出力する。ステップ S 1 1 2 において、演算進行判定回路 1 5 7 は、データ記憶装置 1 8 に格納された差分値 $U_{j+1,j}$ を読み出し、差分値積算回路 1 5 3 が出力した差分値 $U_{j+2,j+1}$ が、差分値 $U_{j+1,j}$ より大きいかな、又は差分値 $U_{j+2,j+1}$ が正の値であるかなかを判定する。ステップ S 1 1 2 で、差分値 $U_{j+2,j+1}$ が差分値 $U_{j+1,j}$ より大きい又は差分値 $U_{j+2,j+1}$ が正の値であるのいずれかの条件を満足した場合は、差分値 $U_{j+2,j+1}$ を信号処理回路 1 5 の差分値積算回路 1 5 3 に出力して、ステップ S 1 1 3 に進む。一方、ステップ S 1 1 2 で、差分値 $U_{j+2,j+1}$ が差分値 $U_{j+1,j}$ より大きい又は差分値 $U_{j+2,j+1}$ が正の値であるのいずれの条件をも満足しない場合は、差分値 $U_{j+2,j+1}$ 及び差分値 $U_{j+1,j}$ を、差分値積算回路 1 5 3 に並列又は順次出力して、ステップ S 1 2 1 に進む。

40

【 0 0 5 1 】

ステップ S 1 1 3 では、信号処理回路 1 5 の差分値積算回路 1 5 3 が、特徴量 U_s 及び差分値 $U_{j+1,j}$ をデータ記憶装置 1 8 から読み出し、 $U_s + U_{j+1,j} + U_{j+2,j+1}$ の値を計算し、計算結果を新たな U_s としてステップ S 1 1 4 に進む。

ステップ S 1 1 4 では、差分値積算回路 1 5 3 が、新たな特徴量 U_s の値 ($= U_s + U_{j+1,j} + U_{j+2,j+1}$) 及び標本値 U_{j+2} をデータ記憶装置 1 8 に格納する。ステップ S 1 1 4 では、プログラムカウンタ 1 6 1 がプログラム記憶装置 1 9 から次に読み出す命令

50

のアドレスを $j + 2$ から $j + 1$ に戻し、更にデータ記憶装置 18 に格納された次の標本値 U_{j+1} のアドレスを新たな標本値 U_j のアドレスに置き換え、新たな標本値 U_{j+1} を演算進行判定回路 157 がデータ記憶装置 18 から読み出し、ステップ S106 に戻る。

【0052】

ステップ S121 では、差分値積算回路 153 が、特徴量 U_s をデータ記憶装置 18 から読み出し、 $U_s + U_{j+1,j} + U_{j+2,j+1}$ の値を第 1 座標軸の値 U_f として計算し、ステップ S122 に進む。ステップ S122 では、信号処理回路 15 のピーク値決定回路 163 が、データ記憶装置 18 に格納された標本値 U_{j+1} 及び標本値 U_{j+2} を読み出し、標本値 U_{j+1} と標本値 U_{j+2} の大きさを比較する。ピーク値決定回路 163 が $U_{j+2} > U_{j+1}$ と判断した場合は、標本値 U_{j+2} の値をピーク値 U_p と判断し、ピーク値 $U_p = U_{j+2}$ の値と、差分値積算回路 153 が決定した第 1 座標軸の値 U_f をデータ記憶装置 18 に格納し、ステップ S201 に進む。ピーク値決定回路 163 が $U_{j+2} < U_{j+1}$ と判断した場合は、標本値 U_{j+1} の値をピーク値 U_p と判断し、ピーク値 $U_p = U_{j+1}$ の値をデータ記憶装置 18 に格納する。更に、差分値積算回路 153 は、ステップ S121 で決定した第 1 座標軸の値 U_f を $U_f = U_s + U_{j+1,j}$ と補正して、補正した U_f の値をデータ記憶装置 18 に格納し、ステップ S201 に進む。

10

【0053】

図 10 のステップ S201 において、演算進行判定回路 157 が立ち下がり期間の特徴量 D_s をリセットし、特徴量 $D_s = 0$ の値をデータ記憶装置 18 に格納する。その後、プログラムカウンタ 161 がプログラム記憶装置 19 から次に読み出す命令のアドレスをカウントして、ステップ S202 に進む。ステップ S202 において、減衰量計算回路 154 が標本値 D_j とピーク値 U_p をデータ記憶装置 18 から読み出し、減衰量 $D_{dj} = U_p - D_j$ を計算し、減衰量 D_{dj} を演算進行判定回路 157 に出力する。図 8 には、例として $j = n$ の場合についての定義が示され、減衰量 $D_{dn} = U_p - D_n$ が、ピーク値 $U_p = U_{max}$ に対して計算されることが示されている。

20

【0054】

なお、信号処理回路 15 の動作は、波形検出器 12 による測定と同時にリアルタイムで進行するので、ステップ S202 におけるデータ記憶装置 18 に格納された標本値 D_j を減衰量計算回路 154 が読み出す処理は、データ記憶装置 18 を介さずに、第 1 波形又は第 2 波形が測定されたタイミングに対応して、AD変換器 14 から減衰量計算回路 154 に標本値 D_j が直接取り込まれるようにできる。

30

演算進行判定回路 157 は、ステップ S202 において、減衰量 D_{dj} が立ち下がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(D)$ より大きいか否かを判定する。ステップ S202 で、減衰量 D_{dj} が立ち下がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(D)$ より大きいと判断された場合は、ステップ S203 に進み、減衰量 D_{dj} をデータ記憶装置 18 に格納する。

【0055】

ステップ S203 では更に、減衰量計算回路 154 が標本値 D_{j+1} とピーク値 U_p をデータ記憶装置 18 から読み出し、減衰量 $D_{dj+1} = U_p - D_{j+1}$ を計算し、ステップ S204 に進む。ステップ S203 におけるデータ記憶装置 18 に格納された標本値 D_{j+1} を減衰量計算回路 154 が読み出す処理は、データ記憶装置 18 を介さずに、第 1 波形又は第 2 波形が測定されたタイミングに対応して、AD変換器 14 から減衰量計算回路 154 に標本値 D_{j+1} が直接取り込まれるようにできる。

40

ステップ S202 で、減衰量 D_{dj} が立ち下がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(D)$ より大きくないと判断された場合は、ステップ S206 に進む。ステップ S206 では、データ記憶装置 18 に格納された次の標本値 D_{j+1} を新たな標本値 D_j に置き換え、この新たな標本値 D_j を減衰量計算回路 154 が取り込み、信号処理回路 15 の処理はステップ S202 に戻る。

【0056】

ステップ S204 では差分値積算回路 153 が、データ記憶装置 18 に格納された減衰量 D_{dj} を読み出し、減衰量の差分値 $D_{j+1,j} = D_{dj+1} - D_{dj}$ を計算し、計算結果を演算

50

進行判定回路 157 に出力する。ステップ S204 において、演算進行判定回路 157 は、減衰量の差分値 $D_{j+1,j}$ が立ち下がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(D)$ より大きいかな否か、又は減衰量 D_{dj+1} が減衰量 D_{dj} より大きいかな否か、を判定する。

ステップ S204 で、減衰量の差分値 $D_{j+1,j}$ が立ち下がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(D)$ より大きいと判断、又は減衰量 D_{dj+1} が減衰量 D_{dj} より大きいと判断された場合は、ステップ S211 に進み、減衰量 D_{dj+1} 及び減衰量の差分値 $D_{j+1,j}$ をデータ記憶装置 18 に格納する。ステップ S211 では更に、減衰量計算回路 154 が標本値 D_{j+2} とピーク値 D_p をデータ記憶装置 18 から読み出し、減衰量 $D_{dj+2} = U_p - D_{j+2}$ を計算し、ステップ S212 に進む。ステップ S211 におけるデータ記憶装置 18 に格納された標本値 D_{j+2} を減衰量計算回路 154 が読み出す処理は、第 1 波形又は第 2 波形が測定されたタイミングで AD 変換器 14 から減衰量計算回路 154 に標本値 D_{j+2} が、データ記憶装置 18 を介さずに直接取り込まれるようにすることもできる。

10

【0057】

ステップ S204 で、減衰量の差分値 $D_{j+1,j}$ が立ち下がり期間の特徴量の下限識別値 $LLD(D)$ より大きくないと判断、又は減衰量 D_{dj+1} が減衰量 D_{dj} より大きくないと判断された場合は、ステップ S205 に進む。ステップ S205 では、データ記憶装置 18 に格納された次の標本値 D_{j+2} を新たな標本値 D_{j+1} に置き換え、ステップ S206 に進む。ステップ S206 では、データ記憶装置 18 に格納された標本値 D_{j+1} を標本値 D_j に置き換え、この新たな標本値 D_j を減衰量計算回路 154 に取り込ませて、ステップ S202 に戻る。

20

ステップ S212 では、差分値積算回路 153 が、減衰量の差分値 $D_{j+2,j} = D_{dj+2} - D_{dj+1}$ を計算し、減衰量の差分値 $D_{j+2,j+1}$ が減衰量の差分値 $D_{j+1,j}$ より大きいかな否か、又は減衰量 D_{dj+2} が減衰量 D_{dj+1} より大きいかな否かを判定する。ステップ S212 で、減衰量の差分値 $D_{j+2,j+1}$ が減衰量の差分値 $D_{j+1,j}$ より大きい又は減衰量 D_{dj+2} が減衰量 D_{dj+1} より大きいか、のいずれかの条件を満足した場合は、減衰量の差分値 $D_{j+2,j+1}$ を差分値積算回路 153 に出力して、ステップ S213 に進む。

【0058】

一方、ステップ S212 で、減衰量の差分値 $D_{j+2,j+1}$ が減衰量の差分値 $D_{j+1,j}$ より大きい又は減衰量 D_{dj+2} が減衰量 D_{dj+1} より大きいか、のいずれの条件をも満足しない場合は、減衰量の差分値 $D_{j+2,j+1}$ 及び $D_{j+1,j}$ を差分値積算回路 153 に並列又は順次出力して、ステップ S221 に進む。

30

ステップ S213 では、差分値積算回路 153 が、特徴量 D_s 及び減衰量の差分値 $D_{j+1,j}$ をデータ記憶装置 18 から読み出し、 $D_s + D_{j+1,j} + D_{j+2,j+1}$ の値を計算し、計算結果を新たな D_s としてステップ S214 に進む。ステップ S214 では、差分値積算回路 153 が、新たな特徴量 D_s の値 ($= D_s + D_{j+1,j} + D_{j+2,j+1}$) 及び減衰量 D_{dj+2} をデータ記憶装置 18 に格納する。ステップ S214 では、プログラムカウンタ 161 がプログラム記憶装置 19 から次に読み出す命令のアドレスを $j+2$ から $j+1$ に戻し、更にデータ記憶装置 18 に格納された次の減衰量 D_{dj+1} のアドレスを新たな減衰量 D_{dj} のアドレスに置き換え、新たな標本値 D_{j+1} を減衰量計算回路 154 がデータ記憶装置 18 から読み出し、ステップ S204 に戻る。

40

【0059】

ステップ S221 では、差分値積算回路 153 が、特徴量 D_s をデータ記憶装置 18 から読み出し、 $D_s + D_{j+1,j} + D_{j+2,j+1}$ の値を第 2 座標軸の値 D_f として計算し、第 2 座標軸の値 D_f をデータ記憶装置 18 に格納して、ステップ S222 に進む。

ステップ S222 では、信号処理回路 15 の 2 次元座標プロット回路 156 が、第 2 座標軸の値 D_f と第 1 座標軸の値 U_f との組からなる座標 (U_f, D_f) を示す点を、図 12 に示したような、第 1 座標軸と第 2 座標軸が定義する弁別平面にプロットする。座標 (U_f, D_f) が弁別平面にプロットされたら、ステップ S103 に戻り、立ち上がり期間の特徴量 U_s をリセットする。ステップ S103 に戻ると、プログラムカウンタ 161 が信号処理回路 15 が、クロック信号に同期させて、図 9 及び図 10 に示すフローチャートに示

50

された処理を時々刻々を実行させる。次の第1のパルス群に含まれるパルス又は第2のパルス群に含まれるパルスが波形検出器12に入力され、第1及び第2の電気信号の少なくとも一方が、波形検出器12から弁別対象信号として出力されることにより、2次元座標プロット回路156が、第1座標軸の値 U_f と第2座標軸の値 D_f との組からなる座標(U_f, D_f)を示す新たな点を、図12に示したような、第1座標軸と第2座標軸が定義する弁別平面にプロットする。

【0060】

第1の実施の形態に係る波形弁別方法によれば、パルス波形の立ち下がり期間において信号強度がベースラインに落ちる前に、ガンマ線や中性子線の放射線-光変換素子11に対する入力があり、図14に示すように、光検出器12aから出力される電気信号の立ち下がり波形に対し、次のパルス信号の立ち上がり波形が重畳するパイルアップが発生した場合も正しい波高値を取ることができる。

即ち、パイルアップが発生し、ステップS212で減衰量 D_{dj+2} が減衰量 D_{dj+1} より小さいと判断された場合は、ステップS221及びステップS222を経由してステップS103に戻る。図14に示すようなパイルアップが発生した場合は、ステップS103において、演算進行判定回路157が立ち上がり期間の特徴量 U_s をリセットし($U_s = 0$)、ステップS104に信号処理回路15の処理が進むことによりパイルアップ箇所の波形が測定できる。

【0061】

図14では、立ち下がり波形に対し、2箇所でパイルアップが発生した場合が示されているが、パイルアップが発生すると、その都度、ステップS212で、パイルアップが発生したと判断できるので、ステップS221及びステップS222を経由してステップS103に戻り、ステップS103において、演算進行判定回路157が立ち上がり期間の特徴量 U_s をリセットし($U_s = 0$)、ステップS104以降の一連のステップが実行されることにより、連続したパイルアップが発生した場合であっても正しい波形を計測することができる。

【0062】

既に述べたとおり、第1の実施の形態に係る波形弁別装置の特徴の一つは、図1に示したアナログ増幅器13が、波形検出器12から出力される弁別対象信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大するように増幅することにある。弁別対象信号の立ち下がり時間を時間軸に沿って拡大することにより、AD変換器14がデジタルデータを取得するためのサンプリング間隔を長くすることができるので、第1の実施の形態に係る波形弁別装置によれば、非常に安価かつ簡単なAD変換器14が採用可能となる。しかしながら、立ち下がり時間を時間軸に沿ってあまり拡大しすぎると、被測定パルスの物理量の特性によっては、図14に示すようなパイルアップの確率が高くなり、パイルアップの間隔が短くなりすぎて、波形弁別に必要な標本値がとれなくなり精度が低下する恐れもある。したがって、図2に示したアナログ増幅器13の入力端子Iと接地間に接続する入力抵抗 R_1 の値は、 $5k \sim 1M$ 程度範囲内で、被測定パルスの物理量の特性に合わせて適宜選択し、最適値に調整すればよい。この入力抵抗 R_1 の値の調整は、図3に示した筐体21の底面に設けられた調整つまみ34a, 34b, 34c, 34dと同様な入力抵抗調整つまみを更に設け、入力抵抗 R_1 の値を可変にして、被測定パルスの物理量の特性をみながら調整するようにして、汎用性を高めるようにしてもよい。

そして、第1の実施の形態に係る波形弁別方法を実現するための波形弁別装置の構成は、図1～図3及び図13に示したような簡単かつ安価なハードウェア資源を基礎としているので、結果として、測定に必要な費用も安価にできる。又、測定に用いる波形弁別装置を小型の回路基板上に集積化してポータブル化が容易であるので、作業性が向上するという顕著な効果を奏することができる。

【0063】

(パルスの波形の弁別)

信号処理回路15の波形点累積回路159は、図10のステップS222から図9の

10

20

30

40

50

ステップ S 1 0 3 に戻る帰還ループを、信号処理回路 1 5 を駆動する電源が入っている限り、継続的に繰り返す。図 9 及び図 1 0 に示す一連のフローに沿ったループの繰り返しの繰り返して、新たな点が弁別平面上に逐次累積されるので、弁別平面には多数の座標点が、第 1 のパルス群に含まれるパルスの波形であるのか、又は第 2 のパルス群に含まれるパルスの波形であるのかに依拠して、局在してプロットされる。図 1 2 に示すように、弁別平面上に複数の座標点が局在した領域に分布するので、図 1 5 に示すフローチャートにしたがって、局在した領域を分類し、解析することにより、第 1 のパルス群に含まれるパルスの波形であるのか、第 2 のパルス群に含まれるパルスの波形であるのかを、弁別できる。

【 0 0 6 4 】

まず、図 1 5 のステップ S 3 0 1 において、図 1 3 に示した信号処理回路 1 5 の波形弁別判定回路 1 5 8 が座標点の位置が弁別用の窓部の内部に位置するか否かを判定する。弁別用の窓部は図 1 2 においては、第 2 座標軸である X 軸に沿って立ち下がり期間の特徴量 D_f の下限識別値 $L L D (D)$ と立ち下がり期間の特徴量 D_f の上限識別値 $U L D (D)$ が定められ、第 1 座標軸である Y 軸に沿って立ち上がり期間の特徴量 U_f の下限識別値 $L L D (U)$ と立ち上がり期間の特徴量 U_f の上限識別値 $U L D (U)$ が定められる。これらの下限識別値 $L L D (D)$ 、上限識別値 $U L D (D)$ 、下限識別値 $L L D (U)$ 及び上限識別値 $U L D (U)$ は、それぞれ図 1 6 に示す手順で予め決定しておき、それぞれデータ記憶装置 1 8 に格納しておき、窓部の位置を決定する際にデータ記憶装置 1 8 から読み出せばよい。即ち、図 1 2 においては、データ記憶装置 1 8 に格納されたデータをそれぞれ用いて、第 2 座標軸に垂直で、第 2 座標軸に対する切片が $L L D (D)$ と $U L D (D)$ の 2 本の平行な直線（縦線）と、第 1 座標軸に垂直で、第 1 座標軸に対する切片が $L L D (U)$ と $U L D (U)$ である 2 本の平行な直線（水平線）で囲まれる矩形領域で弁別用の窓部が定義される。

【 0 0 6 5 】

ステップ S 3 0 1 においては、第 1 座標軸の値 U_f と第 2 座標軸の値 D_f との組で定義される座標点 (U_f, D_f) の分布が、弁別用の窓部の内部に位置するか否かを波形弁別判定回路 1 5 8 が判断する。ステップ S 3 0 1 で座標点 (U_f, D_f) の分布が、弁別用の窓部の内部に位置しないと判断された場合は、波形弁別判定回路 1 5 8 は、ステップ S 3 0 4 において、波形検出器 1 2 から出力された弁別対象信号が第 1 波形を発生源とする信号であると判断する。一方、ステップ S 3 0 1 において、座標点 (U_f, D_f) の分布が、弁別用の窓部の内部に位置すると判断された場合は、ステップ S 3 0 2 に進む。

ステップ S 3 0 2 においては、第 1 座標軸の値 U_f と第 2 座標軸の値 D_f との組で定義される座標点 (U_f, D_f) の分布が、弁別用線形方程式を表す直線よりも第 2 座標軸側の領域に存在するか否かを波形弁別判定回路 1 5 8 が判断する。弁別用線形方程式は図 1 2 に示すように傾き a 、第 1 座標軸の切片 b の 1 次関数で表現される。

【 0 0 6 6 】

これらの弁別用線形方程式の傾き a 及び切片 b の値は、それぞれ、図 1 6 に示す手順で予め決定しておき、データ記憶装置 1 8 に格納しておき、窓部の位置を決定する際にデータ記憶装置 1 8 から読み出せばよい。即ち、図 1 2 においては、データ記憶装置 1 8 に格納された傾き a 及び切片 b の値を用いて、弁別用線形方程式が弁別平面上に定義される。

ステップ S 3 0 1 で座標点 (U_f, D_f) の分布が、弁別用線形方程式を表す直線よりも第 2 座標軸側に位置しないと判断された場合は、波形弁別判定回路 1 5 8 は、ステップ S 3 0 4 において、波形検出器 1 2 から出力された弁別対象信号が第 1 波形を発生源とする信号であると判断する。一方、ステップ S 3 0 1 において、座標点 (U_f, D_f) の分布が、弁別用線形方程式を表す直線よりも第 2 座標軸側に位置すると判断された場合は、ステップ S 3 0 3 に進み、波形弁別判定回路 1 5 8 は、波形検出器 1 2 から出力された弁別対象信号が第 2 波形を発生源とする信号であると判断する。

【 0 0 6 7 】

このように、図 1 5 に示すフローチャートにしたがって、第 1 のパルス群に含まれるパルスの波形であるのか、第 2 のパルス群に含まれるパルスの波形であるのかを座標点 $(U$

10

20

30

40

50

f, Df)の分布位置によって弁別することにより、波形点累積回路159は、第1波形に対応した座標の累積数及び第1波形に対応した座標の累積数をそれぞれ計数することができる。

波形点累積回路159が累積し、計数した第1波形及び第2波形にそれぞれ対応した座標の累積数は、信号処理回路15の累積数表示命令回路160が、図1及び図3に示す表示装置16に対し、表示命令及び表示に必要なデータを送信することによって、表示装置16に表示させることができる。

【0068】

(弁別用窓部及び弁別用線形方程式の決定)

本発明者らは、一例としてガンマ線と中性子線の波形を互いに分離する第1の実施の形態に係る波形弁別方法の応用において、図11に示すように、ガンマ線の立ち上がり特徴量 U_f とガンマ線の立ち下がり特徴量 D_f とが線形比例することを見いだした。一方、図11に示すように、中性子線の立ち上がり特徴量 U_f とガンマ線の立ち下がり特徴量 D_f との間にも、ガンマ線の場合に比すと弱い、その座標点の分布領域のトポロジーには同様な線形比例の関係が認められることを見いだした。ガンマ線の立ち上がり特徴量 U_f と立ち下がり特徴量 D_f との強い線形比例関係を、予め弁別用線形方程式 $U_f = a D_f + b$ として求めておくことにより、第1波形と第2波形とが正確に弁別できる。

【0069】

先ず、図16のステップS401において、波形が既知の校正用となる第2のパルス群に含まれるパルスを波形検出器12に入力させる。波形検出器12から出力される第2の電気信号は逐次、波形検出器12から弁別対象信号として出力され、アナログ増幅器13が弁別対象信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大し、AD変換器14が増幅された弁別対象信号を標本化し、デジタルデータに変換する。ステップS401では、図13に示した信号処理回路15の窓部境界条件決定回路151に、このようにして校正用第2波形を発生源とするデジタルデータがリアルタイムで逐次、複数個入力され、複数の校正用第2波形が計測されると、ステップS402に進む。

【0070】

ステップS402において、窓部境界条件決定回路151は、複数の校正用第2波形にそれぞれ対応して波形検出器12から出力された複数の第2の電気信号について、その立ち上がり期間のピーク値を、AD変換器14が逐次変換したデジタルデータを用いて、統計処理により探索し、ステップS403に進む。

ステップS402において探索された立ち上がり期間のピーク値を用いて、ステップS403では、窓部境界条件決定回路151が、立ち下がり期間の特徴量 D_f の下限識別値 $LLD(D)$ 、立ち下がり期間の特徴量 D_f の上限識別値 $ULD(D)$ 、立ち上がり期間の特徴量 U_f の下限識別値 $LLD(U)$ 及び立ち上がり期間の特徴量 U_f の上限識別値 $ULD(U)$ を決定する。ステップS403において決定された $LLD(D)$ 、 $ULD(D)$ 、 $LLD(U)$ 及び $ULD(U)$ の値は、ステップS404において、データ記憶装置18に格納される。

【0071】

その後、プログラムカウンタ161によって信号処理回路15の処理がステップS411に進む。ステップS411において、波形が既知の校正用となる第1のパルス群に含まれるパルスを波形検出器12に入力させ、複数の校正用第1波形が計測される。ステップS412において、波形検出器12から出力される第1の電気信号は逐次、波形検出器12から弁別対象信号として出力され、アナログ増幅器13が弁別対象信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大し、AD変換器14が増幅された弁別対象信号を標本化し、デジタルデータに変換する。そして図9及び図10に示したフローチャートにしたがって、ステップS412において、立ち上がり特徴量 U_f 、立ち下がり特徴量 D_f がそれぞれ算出される。

【0072】

更に、図9及び図10に示したフローチャートにしたがって、ステップS413におい

10

20

30

40

50

て、座標点（立ち上がり特徴量 U_f 、立ち下がり特徴量 D_f ）がそれぞれ算出され、図 1 1 に示したのと同様に、複数個の座標点が弁別平面にプロットされる。その後、プログラムカウンタ 1 6 1 によって信号処理回路 1 5 の処理がステップ S 4 1 4 に進む。ステップ S 4 1 4 において、信号処理回路 1 5 の線形方程式決定回路 1 5 2 が、弁別平面上にプロットされた座標点の分布から弁別用線形方程式 $U = aD + b$ の平均傾き a を算出する。

その後、プログラムカウンタ 1 6 1 によって信号処理回路 1 5 の処理がステップ S 4 1 5 に進む。ステップ S 4 1 5 において、線形方程式決定回路 1 5 2 が、弁別用線形方程式の切片 b を決定する。線形方程式決定回路 1 5 2 は、ステップ S 4 1 6 において、弁別用線形方程式 $U = aD + b$ の平均傾き a 及び切片 b の値をデータ記憶装置 1 8 に格納する。

【 0 0 7 3 】

（波形弁別プログラム）

図 9、図 1 0、図 1 5 及び図 1 6 に示した一連の波形弁別の操作は、図 9、図 1 0、図 1 5 及び図 1 6 と等価なアルゴリズムを実行させるプログラムにより、図 1 に示した波形弁別装置を制御して実行できる。この波形弁別プログラムは、図 1 に示したプログラム記憶装置 1 9 に記憶させればよい。又、この波形弁別プログラムは、コンピュータ読取り可能な記録媒体に保存し、この記録媒体をプログラム記憶装置 1 9 に読み込ませることにより、第 1 の実施の形態に係る一連の波形弁別の操作を実行することができる。

ここで、「コンピュータ読取り可能な記録媒体」とは、例えばマイクロプロセッサの外部メモリ装置、半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、磁気テープなどの種々のプログラムを記録することができるような媒体であれば構わない。具体的には、フレキシブルディスク、CD-ROM、MOディスク、カセットテープ、オープンリールテープなどが「コンピュータ読取り可能な記録媒体」に含まれる。

【 0 0 7 4 】

即ち、第 1 の実施の形態に係る波形弁別プログラムは：

(a) 波形検出器 1 2 に被測定パルスの波形を入力させ、被測定パルスの物理量を電気信号に変換させる命令；

(b) アナログ増幅器 1 3 に電気信号の過渡応答波形を時間軸に沿って拡大して増幅させる命令；

(c) AD変換器 1 4 に電気信号の立ち上がり期間及び立ち下がり期間において、増幅された電気信号を標準化してデジタルデータに変換させる命令；

(d) 信号処理回路 1 5 の差分値計算回路 1 5 3、減衰量計算回路 1 5 4 及び差分値積算回路 1 5 5 を互いに連携させ、デジタルデータを用いて、立ち上がり期間の特徴量 U_f を第 1 座標軸上の点として計算させ、立ち下がり期間の特徴量 D_f を第 2 座標軸上の点として計算させる命令；

(e) 信号処理回路 1 5 の 2 次元座標プロット回路 1 5 6 に、第 1 座標軸上の点及び第 2 座標軸上の点の組を座標点として、第 1 座標軸と第 2 座標軸が定義する弁別平面に、座標点をプロットさせる命令；

(f) 信号処理回路 1 5 の波形弁別判定回路 1 5 8 に、座標点のプロット位置から、被測定パルスが第 1 波形、或いは第 1 波形とは異なる第 2 波形であるのか弁別させる命令等を含む一連の命令を、図 1 に示した制御回路 1 7 に実行させる波形弁別プログラムである。

【 0 0 7 5 】

第 1 の実施の形態に係る波形弁別装置の制御回路 1 7 や信号処理回路 1 5 は、例えばフレキシブルディスク装置（フレキシブルディスクドライブ）及び光ディスク装置（光ディスクドライブ）を内蔵若しくは外部接続するように構成できる。フレキシブルディスクドライブに対してはフレキシブルディスクを、又光ディスクドライブに対しては CD-ROM をその挿入口から挿入し、所定の読み出し操作を行うことにより、これらの記録媒体に格納された波形弁別プログラムを波形弁別装置を構成するプログラム記憶装置 1 9 にインストールすることができる。更に、インターネット等の情報処理ネットワークを介して、この波形弁別プログラムをプログラム記憶装置 1 9 に格納することが可能である。

【 0 0 7 6 】

10

20

30

40

50

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明は第1の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面は本発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなる。

既に述べた第1の実施の形態の説明においては、第1波形がガンマ線に固有な放射線 - 光変換素子11からの発光波形、第2波形が中性子線に固有な放射線 - 光変換素子11からの発光波形の場合において、波形検出器12が第1波形の光パルスを入力して第1の電気信号を出力し、第2波形の光パルスを入力して第2の電気信号を出力する光検出器である場合について例示的に説明したが、第1の実施の形態の説明に限定されるものではない。例えば、波形検出器12が第1波形を有する音波を入力して第1の電気信号を出力し、第2波形を有する音波を入力して第2の電気信号を出力する音響電気変換素子であっても構わない。

10

このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【産業上の利用可能性】

【0077】

本発明は、互いに波形の異なる2つのパルス波形を弁別する波形弁別装置、波形弁別方法及び波形弁別プログラムであって、例えば、原子力発電等に用いられる自然界には存在しない放射性物質から生じるガンマ線と中性子を正確に分離するために利用することができる。又、例えば超音波探傷において伝播時間による計測では見いだせない異物質によるエコーを互いに波形の異なる2つのエコーパルス波形を弁別する手段を提供して明確に分離する産業上の利用価値がある。

20

【符号の説明】

【0078】

- 11 ... 光変換素子
- 12 ... 波形検出器
- 12 a ... 光検出器
- 13 ... アナログ増幅器
- 14 ... A/D変換器
- 15 ... 信号処理回路
- 16 ... 表示装置
- 17 ... 制御回路
- 18 ... データ記憶装置
- 19 ... プログラム記憶装置
- 21 ... 筐体
- 22 ... 高圧電源
- 23 ... 回路基板
- 24 ... 回路基板
- 31 a , 31 b , 32 a , 32 b , 32 c ... ケーブル
- 33 ... 通信用ケーブル
- 151 ... 窓部境界条件決定回路
- 152 ... 線形方程式決定回路
- 153 ... 差分値積算回路
- 154 ... 減衰量計算回路
- 155 ... 差分値積算回路
- 156 ... 2次元座標プロット回路
- 157 ... 演算進行判定回路
- 158 ... 波形弁別判定回路
- 159 ... 波形点累積回路

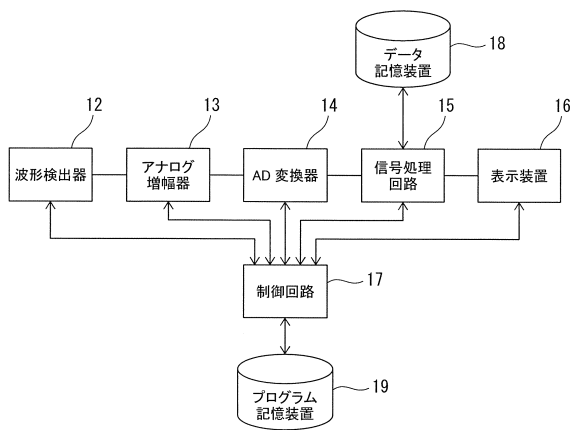
30

40

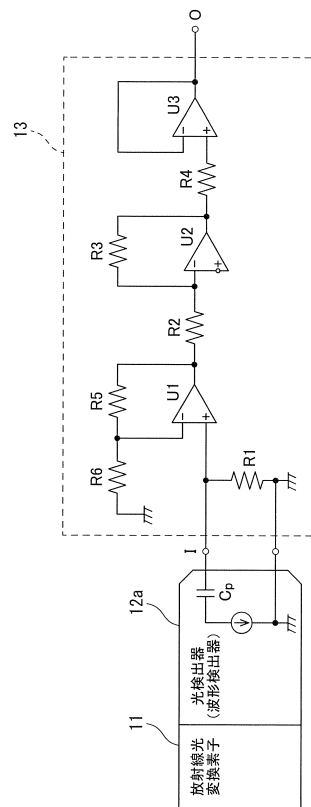
50

- 1 6 0 ... 累積数表示命令回路
- 1 6 1 ... プログラムカウンタ
- 1 6 2 ... データ取込回路
- 1 6 3 ... ピーク値決定回路
- 1 6 4 ... データバス

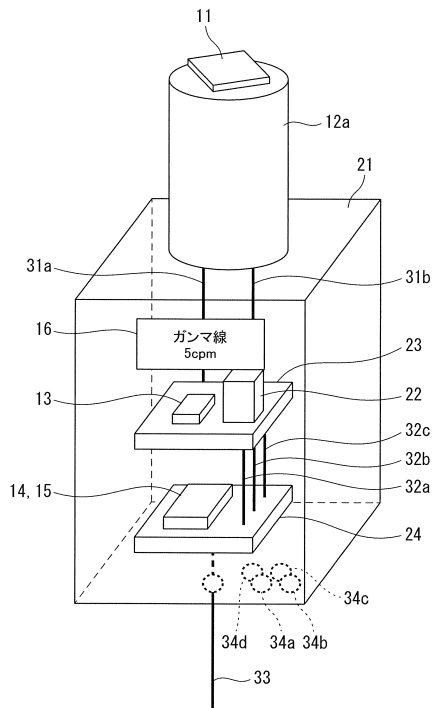
【図 1】



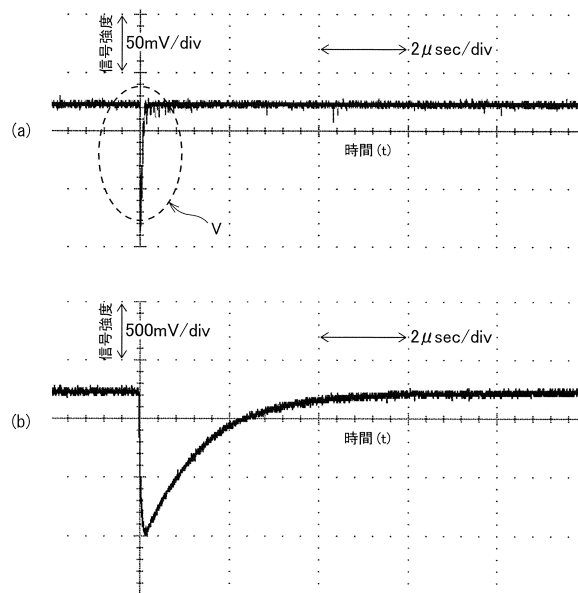
【図 2】



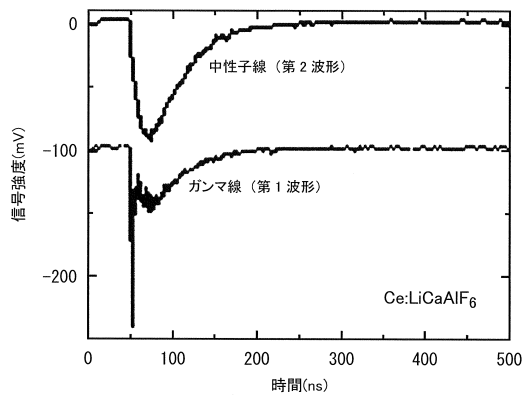
【 図 3 】



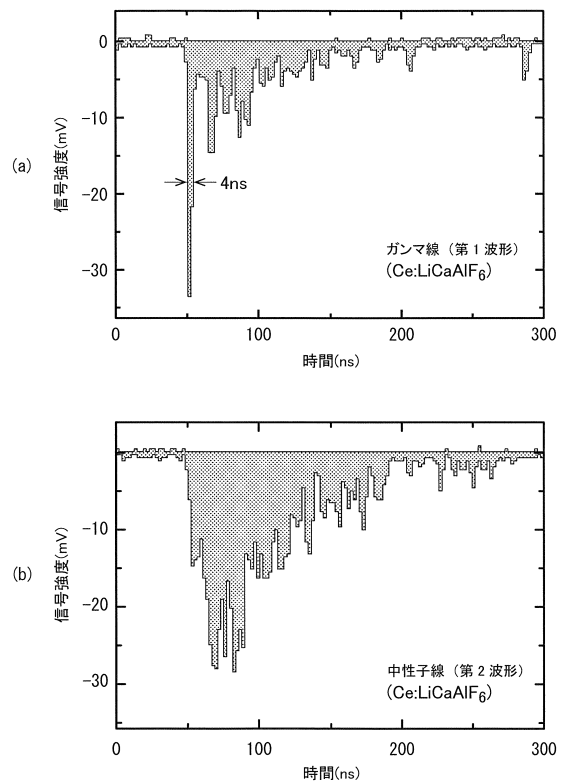
【 図 4 】



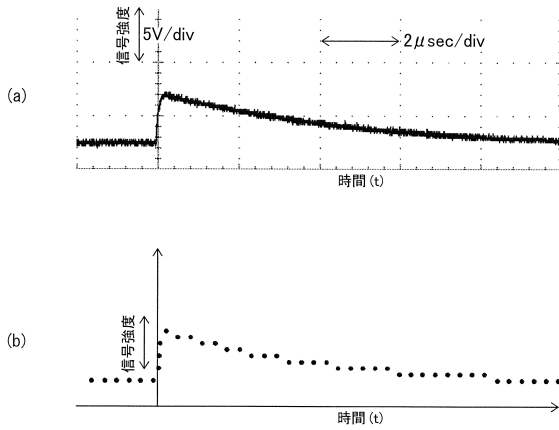
【 図 5 】



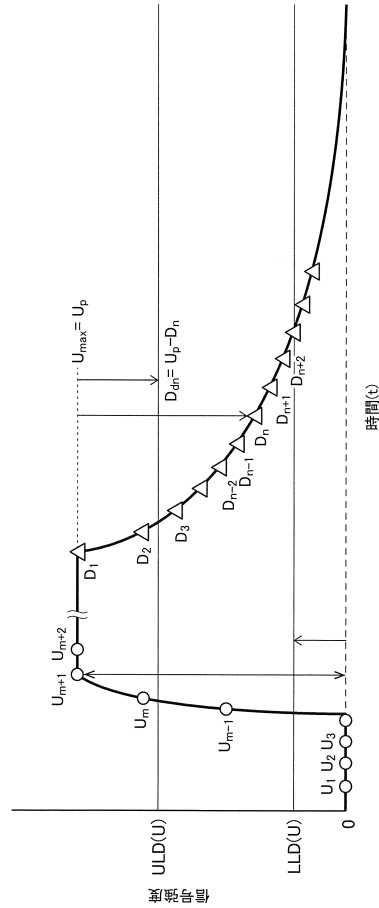
【 図 6 】



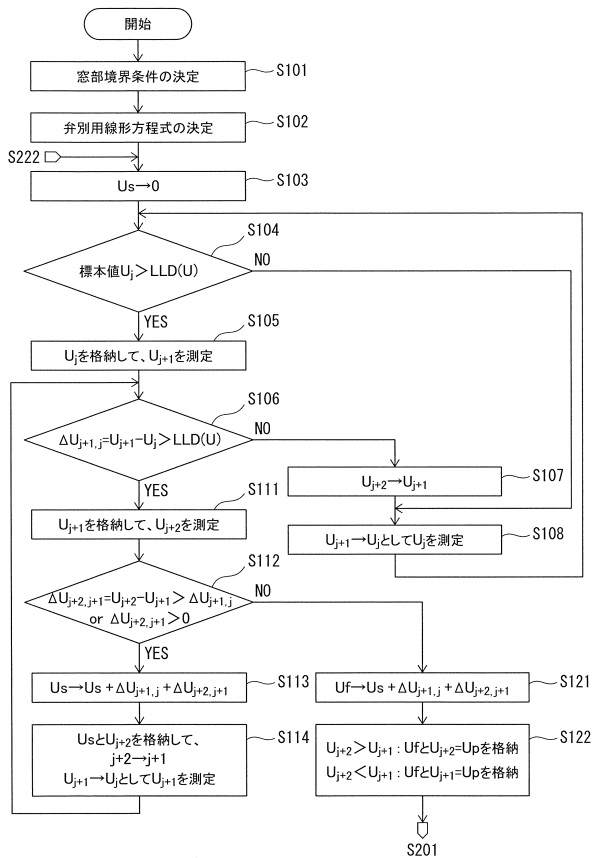
【図7】



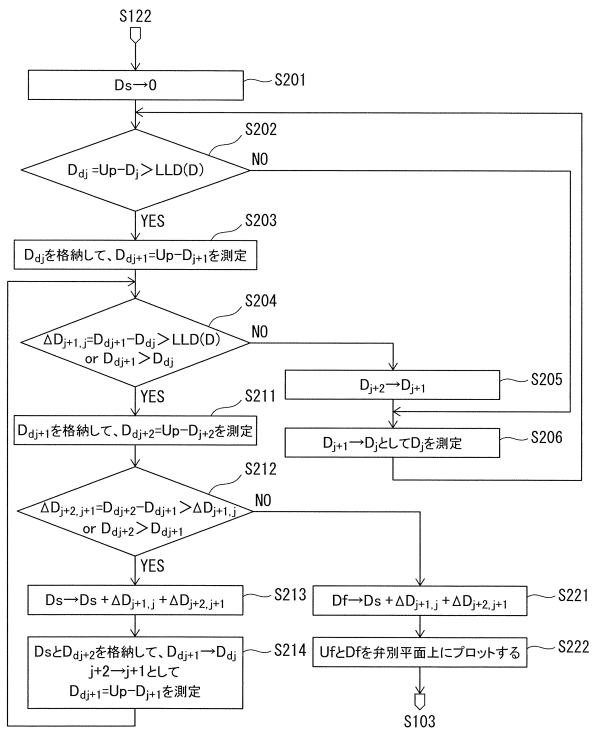
【図8】



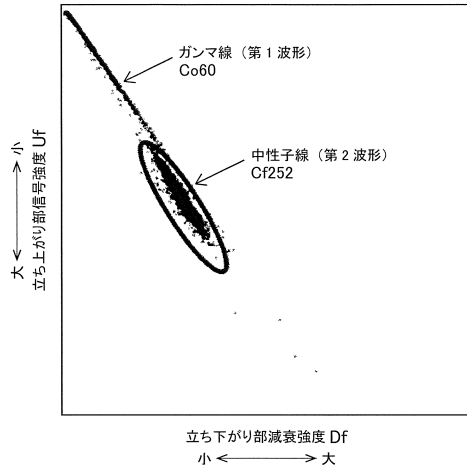
【図9】



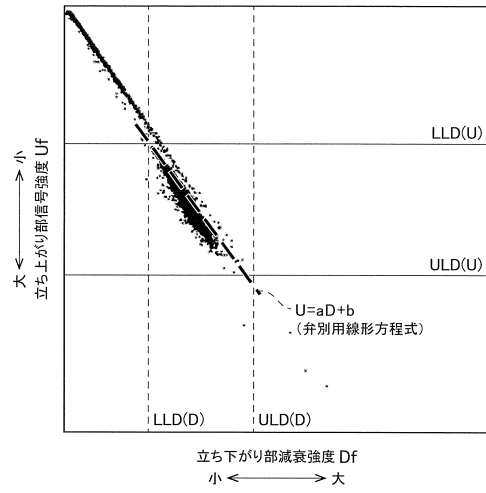
【図10】



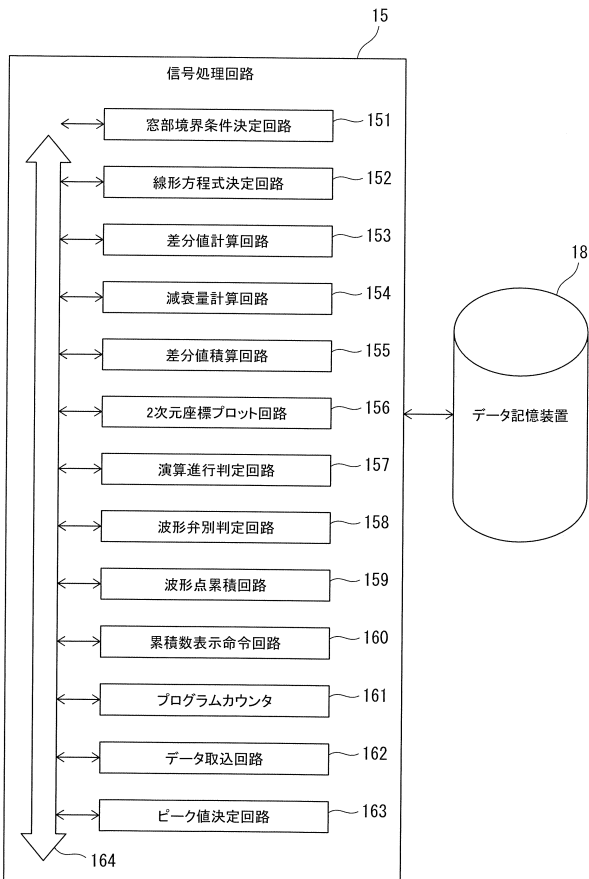
【図 1 1】



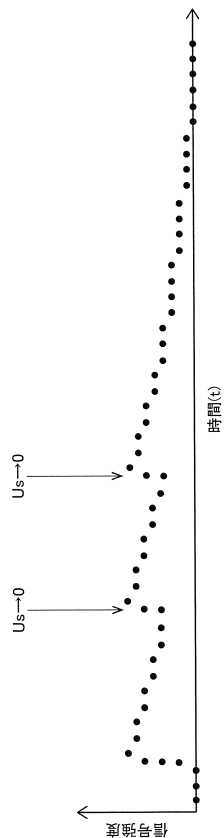
【図 1 2】



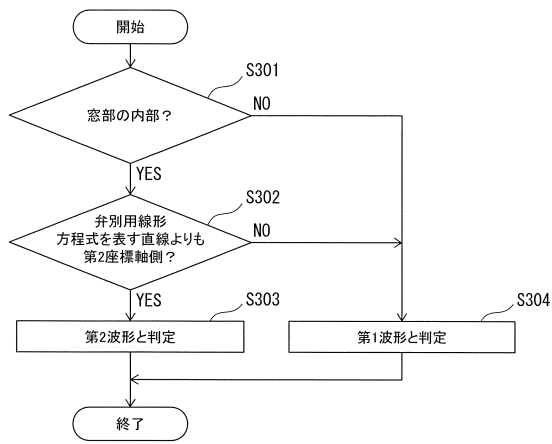
【図 1 3】



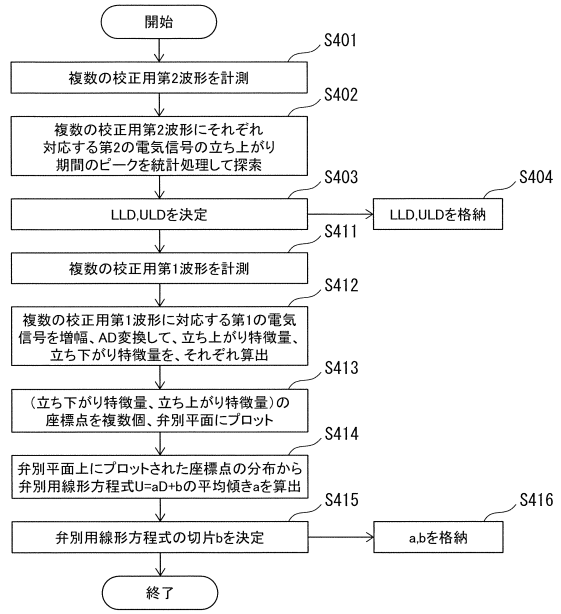
【図 1 4】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 米国特許出願公開第2004/0262530(US, A1)
特開2008-026195(JP, A)
特開2000-258536(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01T1/00-1/16
1/167-7/12