

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5931690号
(P5931690)

(45) 発行日 平成28年6月8日 (2016.6.8)

(24) 登録日 平成28年5月13日 (2016.5.13)

(51) Int.Cl.

GO 1 T 1/17 (2006.01)

F I

GO 1 T 1/17 A

GO 1 T 1/17 F

請求項の数 10 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-232802 (P2012-232802)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成24年10月22日 (2012.10.22)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2014-85171 (P2014-85171A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成26年5月12日 (2014.5.12)	(74) 代理人	100094916
審査請求日	平成27年1月8日 (2015.1.8)		弁理士 村上 啓吾
		(74) 代理人	100073759
			弁理士 大岩 増雄
		(74) 代理人	100127672
			弁理士 吉澤 憲治
		(74) 代理人	100088199
			弁理士 竹中 孝生
		(72) 発明者	小林 達郎
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射線検出器と、

前記放射線検出器からの検出器信号を増幅するパルス増幅器と、

前記パルス増幅器からの検出器信号パルスの波形を分析し正規の波形とノイズ波形を識別してそれぞれ第1のデジタルパルスおよび第2のデジタルパルスとして出力する波形分析部と、

前記第1のデジタルパルスを計数する第1のカウントと、

前記第2のデジタルパルスを計数する第2のカウントと、

前記第1のデジタルパルスを加算入力に投入し、フィードバックパルスを減算入力に投入し、両者の差を積算した加減積算値を出力するアップダウンカウンタと、

前記加減積算値から前記フィードバックパルスを発生する負帰還パルス発生回路と、

前記アップダウンカウンタに対し計数時の重み付け指定する積算制御回路と、

前記アップダウンカウンタの前記加減積算値を強制的に設定する積算値設定回路と、

前記アップダウンカウンタの前記加減積算値から計数率を求めると共に前記第1のカウントおよび前記第2のカウントからの計数値に基づきノイズ侵入を検知する演算部と、を備え、

前記演算部は前回演算周期の前記加減積算値を記憶しておき、ノイズ侵入を検知すれば今回演算周期の前記加減積算値を前回演算周期の値に置き換えて所定の演算を行って出力すると共に、前記積算値設定回路で前記アップダウンカウンタの前記加減積算値をノイズ侵

10

20

入直前の演算周期の値に設定する放射線測定装置。

【請求項 2】

前記波形分析部は、前記検出器信号パルスの電圧を決められた時間間隔で測定し、所定数の最新のデータをデータパッケージとして保有し、分析の対象とする波高下限レベルを越えたタイミングで前記データパッケージを格納して最大波高値、最小波高値、パルス幅を分析し、ノイズの判定基準を逸脱した場合、ノイズと判定して前記第 2 のデジタルパルスを出し、前記ノイズの判定基準を満足した場合は正規の信号と判定して前記第 1 のデジタルパルスを出し、定周期でノイズ波形毎のノイズ分析結果を出力する構成とした請求項 1 に記載の放射線測定装置。

【請求項 3】

前記ノイズの判定基準は、最大波高値が許容上限値を超えた場合に波高過大として、最小波高値が逆極性の許容下限値以下となった場合に振動波形として、最大波高値に続く最小波高値が逆極性側に設定された許容上限値以上となった場合にアンダーシュート不足として、パルス幅が設定された範囲を逸脱した場合にパルス幅異常として判定する基準を有する構成とした請求項 2 に記載の放射線測定装置。

【請求項 4】

前記演算部は、前記第 2 のカウンタの計数値に対する前記第 1 のカウンタの計数値の比が前記第 1 のカウンタの計数値の標準偏差に基づいて決められたゆらぎ幅を逸脱して低下した場合ノイズ侵入と判定する構成とした請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の放射線測定装置。

【請求項 5】

さらに、前記演算部の出力を表示すると共に前記演算部の設定および操作を行う表示部を備える構成とした請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の放射線測定装置。

【請求項 6】

前記演算部は、所定の期間内に所定の演算周期数以上のノイズ侵入を検知した場合、前記表示部に警告を表示する構成とした請求項 5 に記載の放射線測定装置。

【請求項 7】

前記演算部は、前記波形分析部から定周期でノイズ分析結果を入力し、ノイズ侵入時に当該演算周期のノイズパルスの個数に対するノイズ波形の種類別の個数の比を求めて所定の演算周期数の最新データを保存し、前記表示部からの要求に応じて前記表示部に前記データを表示する構成とした請求項 5 または請求項 6 に記載の放射線測定装置。

【請求項 8】

前記表示部に表示された前記ノイズ波形の種類別の個数の比の表示において、前記ノイズ波形の種類を選択すると、そのノイズの要因を前記表示部に表示する構成とした請求項 7 に記載の放射線測定装置。

【請求項 9】

前記演算部に内蔵されたクロックの出力パルスを入力して決められた繰り返し周波数に低減してテストパルス₁を出力するテストパルス発生回路と、

前記テストパルスを波形整形して模擬信号パルス₂を出力する波形整形回路と、

前記模擬信号パルス₂と前記検出器信号パルスを切り替えて前記パルス増幅器に

信号切替回路とを更に備え、
前記演算部は、前記表示部からの操作信号に基づき前記信号切替回路を制御し、前記検出器信号パルスを

10

20

30

40

50

【請求項 10】

前記負帰還パルス発生回路は、前記アップダウンカウンタからの前記加減積算値と前記演算部からのクロックパルスとを入力し、前記加減積算値に基づいて前記クロックパルスの繰り返し周波数を低減して出力するレートマルチプライヤと、
前記レートマルチプライヤの出力パルスを分周して前記フィードバックパルスを出力する分周器と、を備える構成とした請求項1から請求項9のいずれか1項に記載の放射線測定装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

10

この発明は、原子炉施設、使用済核燃料再処理施設等の放出管理あるいは放射線管理に用いられる放射線測定装置に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

原子炉施設、使用済燃料再処理施設等で使用される放射線測定装置は、放射線を検出した結果としての信号パルスの入力繰り返し周波数が 10 cpm 程度から 10^7 cpm 程度までの広いレンジをカバーして測定することが求められる。このため、レンジ切り換えに伴う不連続性をなくすために、広いレンジをレンジ切り換えなしで高速で動作するアップダウンカウンタを用いた計数率測定が行われている。

この測定方法は、加算入力と減算入力バランスしたときの加減積算値を演算部が定周期で読み取って計数率を演算するもので、特に高計数率まで測定できることが特長である。また、カウンタで測定した計数値に基づき計数率を求める方式に比べて、低計数率から高計数率まで全測定範囲で分解能が良好で高精度で測定できることも特長である。

20

しかし、アップダウンカウンタを用いた計数方式は一度ノイズが侵入すると元の指示値に時定数で応答して戻るため回復に時間がかかり、指示が正常復帰するまでの欠測時間の最小化が課題であった。

【0003】

これを解決するためにノイズ侵入を検知し、ノイズ侵入時は直前の計数率でホールドし、ノイズ侵入がなくなれば、アップダウンカウンタに並置したカウンタの計数値とノイズ侵入直前の計数率に基づきバックアップ計数率を演算して出力し、アップダウンカウンタに基づく正規の計数率がバックアップ計数率まで復帰したら出力計数率を正規の計数率に戻すことで、ノイズ侵入による指示上昇を防止する発明が開示されている（例えば、特許文献1参照）。

30

【0004】

また、上記施設で使用される放射線測定装置は、放射線特有の統計的変動に対して一定の精度で測定することが求められ、かつ計数率の増加に対して速い応答が求められる。このため、アップダウンカウンタは、測定レンジ全域で計数率の標準偏差が一定になるように、かつ計数率に対して時定数が反比例するように動作して加減積算値をバランスさせ、演算部は加減積算値に基づき計数率を演算して求める。

この演算処理が正常に機能していることを確認するため、放射線測定装置に切換スイッチとテストパルス発生部を設けて全測定レンジにおける高警報点以上の1点について、対応する繰り返し周波数のテストパルスを自動的に入力して健全性確認（動作テスト）できる構成としている。しかし、テストモードから測定モードに復帰させるときに時間がかかるという問題がある。

40

【0005】

これに対して切換スイッチをテストモードから測定モードに戻すと、記憶しているテスト直前の指示値の許容範囲に復帰するまで自動で速い時定数により応答させ、復帰時間を速める発明が開示されている。放射線測定装置に専用試験装置を接続して複数の警報設定点について健全性確認する場合も同様にしてテストモードから測定モードへの復帰時間を速めている（例えば、特許文献2参照）。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2008-215907号公報（段落[0040]～[0047]、図4）

【特許文献2】特開2009-63351号公報（段落[0029]～[0033]、図2）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

10

特許文献1開示発明では、ノイズ侵入後のアップダウンカウンタの加減積算値の回復期間についてカウンタの定周期の計数値を使ってバックアップ計数率を演算して出力し、アップダウンカウンタの加減積算値に基づく正規の計数率がバックアップ計数率まで復帰したら出力計数率をバックアップ計数率から正規の計数率に戻すようにしている。しかし、指数関数で応答するため正規の計数率への復帰に時間がかかり、この間は欠測ではなく測定できているが、低計数率から高計数率まで全測定範囲で分解能が良好で高精度の測定ができるというアップダウンカウンタ本来の特長が一時的に損なわれるという問題があった。

また、特許文献2開示発明では、テストモードから測定モードに切り換えて復帰させるときに自動で速い時定数に切り換えて復帰時間を短縮させているが、指数関数で応答するため復帰に時間がかかる同様の問題があった。

20

【0008】

この発明は、上記のような問題を解決するためになされたものであり、ノイズ侵入がなくなれば、あるいはテストモードから測定モードに復帰したら、直ちにアップダウンカウンタの分解能と精度により測定できる放射線測定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】

【0009】

この発明に係る放射線測定装置は、放射線検出器と、放射線検出器からの検出器信号を増幅するパルス増幅器と、パルス増幅器からの検出器信号パルスの波形を分析し正規の波形とノイズ波形を識別してそれぞれ第1のデジタルパルスおよび第2のデジタルパルスとして出力する波形分析部と、第1のデジタルパルスを計数する第1のカウンタと、第2のデジタルパルスを計数する第2のカウンタと、第1のデジタルパルスを加算入力に入力し、フィードバックパルスを減算入力に入力し、両者の差を積算した加減積算値を出力するアップダウンカウンタと、加減積算値からフィードバックパルスを発生する負帰還パルス発生回路と、アップダウンカウンタに対し計数時の重み付け指定する積算制御回路と、アップダウンカウンタの加減積算値を強制的に設定する積算値設定回路と、アップダウンカウンタの加減積算値から計数率を求めると共に第1のカウンタおよび第2のカウンタからの計数値に基づきノイズ侵入を検知する演算部とを備え、演算部は前回演算周期の加減積算値を記憶しておき、ノイズ侵入を検知すれば今回演算周期の加減積算値を前回演算周期の値に置き換えて所定の演算を行って出力すると共に、積算値設定回路でアップダウンカウンタの加減積算値をノイズ侵入直前の演算周期の値に設定する構成としたものである。

30

40

【発明の効果】

【0010】

この発明に係る放射線測定装置は、上記に説明したように構成したものであるため、ノイズ侵入による指示上昇を確実に防止でき、ノイズ侵入がなくなれば、あるいはテストモードから測定モードに復帰したら、直ちにアップダウンカウンタの高速動作を回復させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】この発明の実施の形態1の放射線測定装置に係るシステム構成図である。

50

【図 2】この発明の実施の形態 1 の放射線測定装置に係るノイズ識別動作の概念説明図である。

【図 3】この発明の実施の形態 1 の放射線測定装置に係るノイズ侵入検知処理のフローチャートである。

【図 4】この発明の実施の形態 1 の放射線測定装置に係るノイズ侵入時の計数率の応答概念図である。

【図 5】この発明の実施の形態 2 の放射線測定装置に係るノイズ分析結果の表示例を示す図である。

【図 6】この発明の実施の形態 2 の放射線測定装置に係るノイズ推定原因の解説の表示例を示す図である。

10

【図 7】この発明の実施の形態 3 の放射線測定装置に係る負帰還パルス発生回路の構成図である。

【図 8】この発明の実施の形態 4 の放射線測定装置に係るシステム構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

実施の形態 1 .

実施の形態 1 の放射線測定装置は、放射線検出器と、パルス増幅器と、検出器信号パルスの波形を分析し正規の波形とノイズ波形を識別してそれぞれ第 1 のカウンタおよび第 2 のカウンタに出力する波形分析部と、第 1 のカウンタからのデジタルパルスを加算入力し加減積算値を出力するアップダウンカウンタと、アップダウンカウンタからの出力から計数率を求め、第 1 のカウンタおよび第 2 のカウンタからの計数値に基づきノイズ侵入を検知する演算部とを備える。そして、放射線測定装置の演算部は、ノイズ侵入を検知すれば今回演算周期の加減積算値を前回演算周期の値に置き換えて所定の演算を行って出力すると共に、積算値設定回路でアップダウンカウンタの加減積算値をノイズ侵入直前の演算周期の値に設定する構成としたものである。

20

以下、本願発明の実施の形態 1 の構成、動作について、放射線測定装置のシステム構成図である図 1、ノイズ識別動作の概念説明図である図 2、ノイズ侵入検知処理のフローチャートである図 3、およびノイズ侵入時の計数率の応答概念図である図 4 に基づいて説明する。

【0013】

30

まず、放射線測定装置 1 の構成を説明し、次に機能、動作を説明する。

図 1 において、放射線測定装置 1 は、放射線検出器 2 と、パルス増幅器 3 と、波形分析関連部と、アップダウンカウンタ関連部と、演算部 11 と、表示部 12 とから構成される。波形分析関連部は、波形分析部 4 と、第 1 のカウンタ 5 と、第 2 のカウンタ 6 とから構成される。アップダウンカウンタ関連部は、アップダウンカウンタ 7 と、積算制御回路 8 と、負帰還パルス発生回路 9 と、積算値設定回路 10 とから構成される。

【0014】

次に各回路、各部の機能、動作を説明し、その後全体の機能動作を説明する。まず、各回路、各部の機能、動作を説明する。

放射線検出器 2 は放射線を検出して検出器信号パルスを出力し、パルス増幅器 3 はその検出器信号パルスを入力して増幅すると共に検出器信号パルスに重畳する高周波ノイズを除去する。

40

波形分析部 4 はその増幅された検出器信号パルスの波形を分析し、正規の信号パルスの波形とノイズパルスの波形を識別して、それぞれ第 1 のデジタルパルスおよび第 2 のデジタルパルスとして出力する。第 1 のカウンタ 5 は第 1 のデジタルパルスを定周期で計数し、第 2 のカウンタ 6 は第 2 のデジタルパルスを定周期で計数する。

【0015】

アップダウンカウンタ 7 は、第 1 のデジタルパルスを加算入力 71 に入力し、後述の負帰還パルス発生回路 9 から出力されたフィードバックパルスを減算入力 72 に入力し、その結果の加減積算値を出力する。積算制御回路 8 は、アップダウンカウンタ 7 に入力され

50

たパルスが標準偏差に基づき重み付けされて計数されるように制御する。

負帰還パルス発生回路 9 は、アップダウンカウンタ 7 から出力された加減積算値と演算部 11 からのクロックパルスを入力して、加算入力に対して時定数の一時遅れで応答する繰り返し周波数のフィードバックパルスを生成し、アップダウンカウンタ 7 の減算入力 72 に出力する。

積算値設定回路 10 はアップダウンカウンタ 7 の加減積算値を強制的に設定する。

【0016】

演算部 11 は、第 1 のカウンタ 5 から出力された計数値、第 2 のカウンタ 6 から出力された計数値、およびアップダウンカウンタ 7 から出力された加減積算値を入力し、その加減積算値に基づき計数率を求める。演算部 11 は、この求めた計数率に基づき工学値変換および警報判定を行って工学値および警報を出力する。

10

また演算部 11 は、第 1 のカウンタ 5 の計数値、および第 2 のカウンタ 6 の計数値に基づきノイズ侵入を検知し、演算手順およびデータを記憶する。

さらに演算部 11 は、ノイズ侵入を検知した場合、今回演算周期の工学値を前回演算周期の値に置き換えて出力すると共に、積算値設定回路 10 を動作させてアップダウンカウンタ 7 の加減積算値を前回演算周期の値に強制的に設定する。

表示部 12 は、演算部 11 の出力を表示すると共に演算部 11 の設定および操作を行うことができる。

【0017】

次に、アップダウンカウンタ 7 を用いた計数率の測定方法の概要を説明する。具体的には、アップダウンカウンタ 7 に入力される繰り返し周波数に対し、演算部 11 から出力される計数率の応答について説明する。

20

アップダウンカウンタ 7 は、波形分析部 4 から出力された繰り返し周波数 F_{IN} の第 1 のデジタルパルス（正規の信号パルスと識別されたもの）を加算入力 71 に入力し、負帰還パルス発生回路 9 から出力される繰り返し周波数 F_B のデジタルパルス（フィードバックパルス）を減算入力 72 に入力する。アップダウンカウンタ 7 は、その結果の加減積算値（M）を負帰還パルス発生回路 9 および演算部 11 に出力する。

負帰還パルス発生回路 9 は、加減積算値（M）を入力して、後で説明する式（1）で示す繰り返し周波数 F_B （M）のデジタルパルスを出力する。同様に、演算部 11 は、加減積算値（M）を入力して、式（1）により計数率（n）を演算する。

30

演算部 11 は、設定された標準偏差（ ）に基づき積算制御回路 8 の計数の重み付けを決定し、 F_B （M）および n は、 F_{IN} に平衡するように時定数（ ）の一次遅れで追従して応答する。

【0018】

ここで、n を計数率、 を標準偏差、 を時定数としたとき、これらには次式で示す関係がある。

$$F_{IN}(M) = F_B(M) = n = e^{-M} = 2^{-M/1n^2} \quad (1)$$

$$= 1 / (2n)^{1/2} = (/ 2)^{1/2} \quad (2)$$

$$= 1 / (2n^2) \quad (3)$$

$$= 2^{-2} = 2^{-1n^2} \quad (4)$$

$$= 11 - \quad (5)$$

40

なお、 は重み付け関数の関係因子、 は零または正の整数である。

【0019】

（4）式において を例えば 11、9、7、5 とすると、（2）式で示すように標準偏差 はそれぞれ 1.3%、2.6%、5.2%、10.4% となる。（4）式で が 11 の時を基準にすると、 が 9、7、5 の時、 はそれぞれ 2^2 倍、 2^4 倍、 2^6 倍となる。この場合、標準偏差 は、（2）式のようにそれぞれ 2^1 倍、 2^2 倍、 2^3 倍となり、時定数 は（3）式のようにそれぞれ 2^{-2} 倍、 2^{-4} 倍、 2^{-6} 倍となる。

（1）式に示すように n が一定の状態を 2 倍にすると、加減積算値（M）は 2 倍に置き換える必要がある。しかし、n が一定の状態において を変えても加減積算値

50

(M)が変化しないようにするために、 α を2 倍にしたらアップダウンカウンタ7は1パルスの重み付けを2 倍にして計数する。すなわち、アップダウンカウンタ7の加算入力7 1に波形分析部4から出力されたデジタルパルスが1個入力されると、加減積算値(M)は2 倍されて加算計数される。

一方、アップダウンカウンタ7の減算入力7 2に負帰還パルス発生回路9から出力されるデジタルパルスが1個入力されると、加減積算値(M)は2 倍されて減算計数される。結果として加減積算値(M)は、加算入力と減算入力の差の積算値Nに2 を掛け算した値となる。

ここで α は0または正の整数で、(5)式のように α が1 1、9、7、5の時、 α としてそれぞれ0、2、4、6が与えられる。例えば、 α が1 1の時は1パルスの入力に対して1個として加算または減算される。 α が9の時は1パルスの入力に対して4個として加算または減算される。

【0020】

したがって、(1)式において α を2 倍に変えることは、計数の重み付けを2 倍に変えることと同等であり、計数率nは、2 倍に重みづけされた結果の加減積算値(M)と基準の $n_0 = 1$ ($\alpha = 0$)に対応する n_0 に基づき(1)式により求められる。

このように、積算制御回路8がアップダウンカウンタ7の計数の重み付けを制御することで、標準偏差を容易に変更することができる。また、標準偏差を変更しても加減積算値(M)が変化しないので、測定中に指示の中心値を変化させることなく応答特性を変えることができる。

なお、式(1)は、アップダウンカウンタ7からの加減積算値と演算部1 1からのクロックパルスから出力のフィードバックパルスを生成する負帰還パルス発生回路9の回路上の制約あるいは演算処理の方法に合わせて、例えば、折れ線近似としてもよい。

【0021】

演算部1 1は、例えば線量率が工学値の場合は、計数率に変換定数を乗じて線量率を求める。工学値がプロセス中の放射能濃度の場合は、測定した計数率からバックグラウンド計数率を減算して求めた正味計数率に変換定数を乗じて放射能濃度を求める。しかし、バックグラウンド計数率は設置場所および時間によって異なるため、取り扱いの容易な計数率を工学値に変換せずにそのまま出力する場合が多い。以降の説明では、演算部1 1の出力は計数率を代表例として説明する。

【0022】

次にノイズ信号処理方法について説明する。

波形分析部4は、検出器信号パルスの電圧を決められた時間間隔でサンプリング測定し、決められた個数の電圧データを時系列的に並べて常に最新化して波形データパッケージとして保有する。分析の対象とする電圧データが波高下限レベル(トリガレベル)を越えたら、それから所定時間前後の電圧データを波形データパッケージとして取り込む。

例えば、25 n秒の時間間隔で電圧を測定し、常に最新の200個の電圧データを移動させながら更新する。この200個のデータの内1個の電圧データの電圧がトリガレベルを超えたら、この電圧データの前1 μ 秒とその後の4 μ 秒の電圧データをパッケージにして波形データとして取り込む。こうすることにより波高下限レベルの前後の全5 μ 秒の波形データを採取できる。

【0023】

波形測定の精度を高めるには電圧測定の時間間隔をできるだけ短くすることが望ましい。

なお、トリガレベルは、例えば、正規の信号として許容される波高範囲の下限レベルに設定する。このように設定することで、その下限レベル以下の放射線検出器2の暗電流ノイズ、電源リップル等が波形分析の対象から排除され、波形分析の対象を絞り込んで効率的な分析を行うことができる。

【0024】

次に、正規の信号とノイズとを区別しノイズの種類を判定する判定基準、および分析方

10

20

30

40

50

法について説明する。

波形分析部 4 において、波形データの最大波高値、最小波高値、パルス幅に基づき、下記判定基準で判定および分析を行う。

最大波高値が許容上限値を超えた場合は、波高過大としてノイズと判定する。最小波高値が逆極性の許容下限値以下となった場合は、振動波形としてノイズと判定する。最大波高値に続く最小波高値が、逆極性側に設定された許容上限値以上となった場合は、アンダーシュート不足としてノイズと判定する。パルス幅が設定された範囲を逸脱したら、パルス幅異常としてノイズと判定する。

以上いずれの場合もノイズと判定されると、第 2 のデジタルパルスが出力される。全ての判定でノイズと判定されなかった場合は、正規の信号と判定されて第 1 のデジタルパルスが出力される。

10

ノイズ波形毎のノイズ分析結果は、波形分析部 4 から演算部 1 1 に定周期で出力される。

【 0 0 2 5 】

次に、演算部 1 1 で行うノイズ侵入の判定方法について説明する。

演算部 1 1 は、正規の信号を計数する第 1 のカウンタ 5 の計数値とノイズを計数する第 2 のカウンタ 6 の計数値とからノイズ侵入を判定する。すなわち、第 2 のカウンタ 6 の計数値に対する第 1 のカウンタ 5 の計数値の比が、第 1 のカウンタの計数値の標準偏差に基づいて定められたゆらぎ幅を逸脱して低下したらノイズ侵入と判定する。また、第 2 のカウンタ 6 の計数値に対する第 1 のカウンタ 5 の計数値の比が、この定められたゆらぎ幅内に

20

戻ればノイズ侵入はなくなったと判定する。また、演算部 1 1 は、波形分析部 4 から定周期でノイズの種類毎のノイズ分析結果を入力し、ノイズ侵入時の当該演算周期のノイズパルスの個数に対するノイズ波形毎の個数の比を求めてノイズ侵入判定データとして記憶しておく。表示部 1 2 からリクエストすることにより、このノイズ分析結果およびノイズ侵入判定データを表示部 1 2 に表示することができる。

【 0 0 2 6 】

次に先に説明した波形分析部 4 で識別される各ノイズ波形の特徴について、図 2 に基づいて説明する。

図 2 において、波形 (a) は、正規の信号パルスの波形、すなわち放射線による信号波形である。この正規の信号パルスの波形 (a) を基準にし、これに対するノイズパルスの波形の特徴を判定基準に定めてノイズ判定が行われる。

30

なお、図中、黒点は波高の最大または最小を示し、W はパルス幅を示す。

図 2 において、波形 (b 1 - 1) および波形 (b 1 - 2) は、最小波高値が逆極性の基準レベルを超過しているもので、これらは振動波形として判定される。

波形 (b 2 - 1) は、パルス幅が所定の範囲以下のものであり、波形 (b 2 - 2) は、パルス幅が所定の範囲以上のもので、これらはパルス幅異常と判定される。

これら波形 (b 1 - 1、2)、(b 2 - 1、2) は、経験的にいずれも放射線検出器 2 から表示部 1 2 の各部位または図示しない伝送部、電源入力、接地線に外部から侵入する外来ノイズの可能性が高い。稀に、振動により発生する場合もある。なお、波形 (b 1 - 1、2) と波形 (b 2 - 1、2) の両方の特徴を有する場合が多い。

40

【 0 0 2 7 】

また、波形 (b 3) は、アンダーシュートが基準レベル以下に到達しないもので、アンダーシュート不足と判定される。この波形 (b 3) は、波高の大小に関係なく、放射線検出器 2 の H V (H I G H V O L T A G E) 信号重畳ラインの不具合に起因するノイズ特有のものである。

放射線検出器 2 の放射線センサ (図示せず) に放射線が作用すると、その作用の結果として放射線検出器 2 に印加されている H V バイアス電源の高電圧にパルス状の電流変化が重畳される。この電流変化がコンデンサで直流カットされて抽出され、内蔵のプリアンプ (図示せず) で電圧パルスに変換され、ノイズパルスとして放射線検出器 2 から出力され

50

る。

このコンデンサで直流カットされる前段のHV信号重畳ラインに起因するノイズは、HV信号重畳ラインの活線部に関係している。この活線部に絶縁耐圧の低い被覆を有する0Vコモン線等が接触することで、暗電流放電ノイズが発生する。HV信号重畳ラインの絶縁被覆内の断線が、被覆で保持されて接触導通している不安定な状態から温度上昇で繰り返し切断に進展することで接断ノイズが発生する。また、HV信号重畳ラインに接触している絶縁物が、劣化等により瞬時に剥離するとき電荷移動ノイズが発生する。波形(b3)は、これらに共通するノイズ波形であり、放射線検出器2の内部ノイズの代表的なものである。

【0028】

10

さらに、波形(b4)は、最大波高値が正規の信号波形の上限レベルを超過しているもので、波高過大として判定される。波高過大は宇宙線によるものもあるが、放射線検出器2に遮蔽が設けられている場合は、宇宙線による発生は少ない。

この波形(b4)は、放射線検出器2の内部の絶縁物の振動による擦れ、劣化による割れにより発生する静電気放電光が、放射線センサに入射することで発生する静電気放電ノイズに特有なものである。波高過大としてノイズ検知されるものから正規の信号パルスとして計数されるものを含み、帯状のスペクトルとなる特徴がある。

なお、アンダーシュートについては、正規の信号パルスと同じであるため識別できず、波高過大としてそのノイズ信号の一部をノイズとして検知する。

【0029】

20

次に演算部11のノイズ侵入検知処理手順を、図3のフローチャートに基づいて説明する。

演算部11は、今回演算周期の第1のカウンタ5の計数値N1(今回)と、今回演算周期の第2のカウンタ6の計数値N2(今回)と、今回演算周期のアップダウンカウンタ7の加減積算値(M)(今回)とを読み込む(S1)。次に、N2が判定基準値A以上($N2 \geq A$)かを判定する(S2)。判定結果がNOであればS4に進む。判定結果がYESであれば、N2(今回)に対するN1(今回)の比が許容下限値k1以下($N1/N2 \leq k1$)かを判定する(S3)。

判定結果がNOであれば、 $N1/N2 \leq k1$ の状態が連続している演算周期数Pについて、今回演算周期のP(今回)を0とし(S4)、加減積算値(M)(今回)に基づき、式(1)によりn(今回)を演算して、出力し(S5)、S1に戻る。

30

ここで、k1は、第1のカウンタの計数値の標準偏差に基づいて決められたゆらぎ幅を逸脱して上昇した場合、ノイズ侵入と判定する値 $100A/\sigma$ に決定される。

【0030】

例えば、正規の信号に対するノイズの比率を標準偏差程度に抑制しようとする、Aを例えば2とすることで、標準偏差が例えば10.4%の場合は、概ね正規の信号20個に対してノイズ2個以下を検知してノイズ侵入と判定するので、低計数率では定周期中の2カウント以上のノイズ計数に対して指示上昇を抑制でき、高計数率では指示に影響しないノイズ入力は許容するように合理的に処理される。

経験的に計数率に大きく影響するようなノイズ侵入では、突発的に侵入する多数のノイズパルス($A > 2$)が複雑に重なって擬似信号パルスが生成され、波形分析部4でノイズとして識別されないでアップダウンカウンタ7の加算入力71に入力されるが、S3の判定と後述のS6の処理でこの擬似信号パルスの入力を排除する。

40

波高過大パルスは、経験的に宇宙線寄与が数cpmあるが、静電気放電光が放射線センサ(図示せず)やそれから放射される蛍光を電子に変換して増倍させる光電子増倍管(図示せず)に入射すると広い波高分布のノイズを発生することがあり、この静電気放電光ノイズは信号と波形が同じであるため、その一部(氷山の一角)の波高過大パルスをS3の判定で存在を検知し、後述のS6の処理でその擬似信号パルスの入力を排除する。

【0031】

S3の判定結果がYESであれば、演算部11は、前回演算周期の加減積算値(M)(

50

前回)を今回演算周期加減積算値(M)(今回)とし、式(1)によりn(今回)を演算して出力すると共に、積算値設定回路10を動作させて、アップダウンカウンタ7の加減積算値(M)を前回演算周期の値に設定して強制的に置き換え(S6)、前回演算周期のP(前回)に1を加算して今回演算周期のP(今回)とする(S7)。次に、P(今回)k2かを判定する(S8)。

S8の判定結果が、NOであれば前回演算周期の加減積算値(M)(前回)を今回演算周期の加減積算値(M)(今回)とし、式(1)によりn(今回)を演算して出力し(S9)、S1に戻る。

S8の判定結果がYESであれば、表示部12にノイズ侵入中の警報を出力する。さらに前回演算周期の加減積算値(M)(前回)を今回演算周期加減積算値(M)(今回)とし、式(1)によりn(今回)を演算して出力し(S10)、S1に戻る。

【0032】

なお、上記S2の判定基準値Aは、1以上の自然数として設定可能である。宇宙線は計数率が小さいため、定周期で2個の宇宙線を計数することは確率的に無視できる頻度であるため、Aを2とすれば無用なS6の動作で入力信号を廃棄してしまうことを抑制できる。また、上記S8の判定基準値k2は1以上の自然数として設定可能である。例えばk2を3に設定することで、連続して3定周期の期間ノイズが侵入したら一過性でないと判定してノイズ侵入中の警報を出力する。

【0033】

以上のように、演算部11は今回演算周期の第2のカウンタ6の計数値に対する今回演算周期の第1のカウンタ5の計数値の比が、許容下限値以下かどうかを演算周期毎に判定することによりノイズ侵入を検知する。ノイズ侵入を検知したら、ノイズが存在する期間は、アップダウンカウンタ7の前回演算周期の加減積算値に基づき今回計数率を演算して出力すると共に、積算値設定回路10によりアップダウンカウンタ7の加減積算値を強制的に前回演算周期の値に置き換え、今回計数率を演算して出力する。

したがって、多数のノイズパルスが複雑に重なって生成される擬似信号パルスでアップダウンカウンタ7が誤計数することがあっても、ノイズ侵入による指示上昇を確実に防止できる。さらにノイズがなくなれば、直ちにアップダウンカウンタ7の高速動作を回復させることができる。

【0034】

次にノイズ侵入時の演算部11が演算する計数率の応答の概念を、図4に基づいて説明する。

図4において、g1の期間は、ノイズ侵入のない初期状態を示す。g2の期間は、ノイズ侵入時に加減積算値(M)(前回)を加減積算値(M)(今回)としてn(今回)を演算した状態を示す。g3の期間は、ノイズ侵入がなくなって、直ちにアップダウンカウンタ7の加減積算値(M)を前回演算周期の値に強制的に置き換え、正規の測定に復帰させた状態を示す。

なお、h1はg2の期間のアップダウンカウンタ7の加減積算値(M)に基づき演算した場合の想定計数率を示す。h2はアップダウンカウンタ7の加減積算値(M)を前回演算周期の値に設定しなかった場合の想定計数率を示す。h23はg2からg3に移行する際にアップダウンカウンタ7の加減積算値(M)を前回演算周期の値に設定して置き換えた結果としての計数率の変化を示す。

【0035】

実施の形態1では、放射線測定装置1に表示部12を設ける構成としたが、表示部12を設けずに放射線測定装置1の構成を簡素化しても、ノイズ侵入による指示上昇を確実に防止でき、ノイズ侵入がなくなれば直ちにアップダウンカウンタの高速動作を回復させることができる効果を奏することができる。

【0036】

以上説明したように、実施の形態1に係る放射線測定装置は、放射線検出器と、パルス増幅器と、検出器信号パルスの波形を分析し正規の波形とノイズ波形を識別してそれぞれ

10

20

30

40

50

第1のカウンタおよび第2のカウンタに出力する波形分析部と、第1のカウンタからのデジタルパルスを加算入力し加減積算値を出力するアップダウンカウンタと、アップダウンカウンタからの出力から計数率を求め、第1のカウンタおよび第2のカウンタからの計数値に基づきノイズ侵入を検知する演算部とを備える。そして、演算部は、ノイズ侵入を検知すれば、今回演算周期の加減積算値を前回演算周期の値に置き換えて所定の演算を行って出力すると共に、積算値設定回路でアップダウンカウンタの加減積算値をノイズ侵入直前の演算周期の値に設定する構成とした。したがって、ノイズ侵入による指示上昇を確実に防止でき、ノイズ侵入がなくなれば直ちにアップダウンカウンタの高速動作を回復させることができる。

【0037】

10

実施の形態2.

実施の形態2の放射線測定装置は、実施の形態1の放射線測定装置にノイズ原因調査の支援を効率的に行う機能を追加したものである。

【0038】

以下、本願発明の実施の形態2の機能、動作について、ノイズ分析結果の表示例を示す図5およびノイズ推定原因の解説の表示例を示す図6に基づいて説明する。

なお、実施の形態2の放射線測定装置のシステム構成図は、実施の形態1と同じ図1である。

【0039】

実施の形態2に係る放射線測定装置は、実施の形態1に係る放射線測定装置1にノイズ原因調査の支援を効率的に行う機能を追加したものであるため、この追加機能を中心に説明する。

20

【0040】

実施の形態1で説明したように、演算部11は、波形分析部4から定周期でノイズ分析結果を入力し、ノイズ侵入時に当該演算周期のノイズパルスの個数に対するノイズ波形の種類別の個数の比を求めて、ノイズ侵入判定データとして記憶している。

表示部12からの要求に応じて、演算部11はこのデータを表示部12に送る。表示部12は、図5の表示例のようにノイズ分析結果を表示する。

【0041】

さらに、操作員が表示部12に表示されたノイズ波形の種類別の個数の比におけるノイズ波形の種類ボタンを選択すると、演算部11は表示部12に選択された種類のノイズに関する情報を送る。表示部12は、図6のようにノイズの種類についてノイズ要因を表示する。

30

【0042】

例えば、振動波形またはパルス幅異常のボタンを選択すると、そのノイズ要因として、伝送部、電源入力、接地線に外部から侵入する外来ノイズまたは検出器が機械的に振動することにより発生するノイズの可能性が高いことを示す説明を表示する。

アンダーシュート不足のボタンを選択すると、そのノイズ要因として、高電圧ライン絶縁不良による暗流放電ノイズ、高電圧ライン断線しかりによる接断ノイズ、また光電子増倍管の陽極とプリアンプ入力の高電圧信号重畳ライン（図示せず）の絶縁物剥離による電荷移動ノイズの可能性が高いことを示す説明を表示する。

40

波高過大のボタンを選択すると、そのノイズ要因として、放射線検出器がシンチレーション検出器またはSi半導体検出器の場合、放射線検出器内部に使用している部材のクラック、摩擦、剥離のいずれかによる静電気放電光ノイズである可能性が高いことを示す説明を表示する。

【0043】

操作員は、ノイズの発生状況に応じて、表示部12からノイズ分析データを要求して、図5のノイズ分析結果または図6のノイズ推定原因の解説を表示することで、効率良くノイズの発生原因を調査し、対策を講じることができる。

【0044】

50

また、一過性ノイズでなくノイズ源が長時間存在する場合の対応として、所定の期間内に所定の演算周期数以上のノイズ侵入を検知すると表示部 12 にノイズ侵入中の警報を表示させる構成とすることができる。例えば、所定の期間内に所定の演算周期数以上のノイズ侵入を検知すると、演算部 11 は自動的に表示部 12 に図 5 のノイズ分析結果を表示することで、ノイズ源に対する早期処置を可能とすることができる。

【0045】

以上説明したように、実施の形態 2 に係る放射線測定装置は、ノイズ原因調査の支援機能が追加されているため、ノイズの発生原因を効率良く調査し、早期に対策を講じることができる。

【0046】

10

実施の形態 3 .

実施の形態 3 の放射線測定装置は、実施の形態 1 の放射線測定装置の負帰還パルス発生回路の内部構成を具体的に示したものである。

【0047】

以下、本願発明の実施の形態 3 の放射線測定装置について、負帰還パルス発生回路 9 の構成、動作を中心に負帰還パルス発生回路の構成図である図 7 に基づいて説明する。

【0048】

負帰還パルス発生回路 9 は、レートマルチプライヤ 21 と分周器 22 とを備え、単独のクロックは備えていない。

レートマルチプライヤ 21 は、アップダウンカウンタ 7 からの加減積算値と演算部 11 内蔵のクロック（図示せず）からのクロックパルスを入力し、この加減積算値に基づいて、クロックパルスの繰り返し周波数を低減して出力する。分周器 22 は、レートマルチプライヤ 21 からの出力パルスを分周して繰り返し周波数を低減してフィードバックパルスとして出力する。

20

レートマルチプライヤ 21 で加減積算値に基づいて、クロックパルスの繰り返し周波数を低減してから、分周器 22 で分周することで、フィードバックパルスを等間隔にすることができる。

このため、先行技術文献 1 で開示されたパルス発生器のように単独でクロックを備える場合に比較して、パルス間隔がばらつくことによる計数率のデジタル誤差を排除して高精度の測定ができる。

30

また、演算部 11 内蔵のクロックの出力パルスを負帰還パルス発生回路にも使用するようにしたので、単独でクロックを備える場合に比較してコストを低減することができる。

【0049】

以上説明したように、実施の形態 3 に係る放射線測定装置は、負帰還パルス発生回路をレートマルチプライヤ 21 と分周器 22 とを備え単独のクロックは備えない構成としているので、フィードバックパルスのパルス間隔がばらつくことによる計数率のデジタル誤差を排除して高精度の測定ができる。さらに、コストを低減することができる。

【0050】

実施の形態 4 .

実施の形態 4 は、実施の形態 1 の放射線測定装置 1 に指示応答テスト機能を追加し、テストモードから測定モードに復帰する際、積算値設定回路により、アップダウンカウンタ 7 の加減積算値を記憶していた切換直前の測定モードの値に強制的に設定する構成としたものである。

40

【0051】

以下、本願発明の実施の形態 4 の構成、動作について、放射線測定装置 101 のシステム構成図である図 8 に基づいて説明する。

図 8 において、図 1 と同一あるいは相当部分には、同一の符号を付している。

【0052】

まず、実施の形態 4 に係る放射線測定装置 101 において、実施の形態 1 の放射線測定装置 1 に追加された指示応答テストに関わる構成部分を説明する。

50

テストパルス発生回路 3 1 と、波形整形回路 3 2 と、信号切換回路 3 3 とが追加されている。

【 0 0 5 3 】

テストパルス発生回路 3 1 は、演算部 1 1 内蔵のクロック（図示せず）の出力パルスを入力し、繰り返し周波数を低減して出力する。波形整形回路 3 2 は、テストパルス発生回路 3 1 からのテストパルスを波形整形して、放射線検出器 2 から出力される検出信号パルスを模擬した模擬信号パルスを出力する。信号切換回路 3 3 は、波形整形回路 3 2 からの模擬信号パルスと放射線検出器 2 からの検出信号パルスを切り換えてパルス増幅器 3 に出力する。

【 0 0 5 4 】

指示応答テストに関わる構成部分を追加したので、高警報よりも高い計数率のテストポイントの指示応答テストを高警報発信確認も含めて行うことができる。

演算部 1 1 は、信号切換回路 3 3 を制御し、検出信号パルスを入力する測定モードから模擬信号パルスを入力するテストモードに切り換える。固定のテストポイントの指示応答テストを行うときに、切換直前の測定モードの加算積算値を記憶しておく。

指示応答テストを完了し、テストモードを終了して測定モードに戻すときに、積算値設定回路 1 0 により、アップダウンカウンタ 7 の加減積算値を記憶していた切換直前の測定モードの値に強制的に設定する。

【 0 0 5 5 】

アップダウンカウンタ 7 の加減積算値を強制的に設定しない場合、テストモード時のバックグラウンド計数率は測定レンジ上限側にあり、時定数は計数率に反比例するために、計数率がバックグラウンド計数率に復帰するのに指数関数で低下するため時間がかかる。この加減積算値を強制的にテストモード直前の値に置き換え、テストモード直前の測定モードのバックグラウンド計数率に瞬時に戻すことで、直ちにアップダウンカウンタの高速動作を回復させることができる。さらに、演算部 1 1 内蔵のクロックの出力パルスをテストパルス発生回路にも使用する構成としたので単独でクロックを備える場合に比べてコストを低減することができる。

【 0 0 5 6 】

以上説明したように、実施の形態 4 に係る放射線測定装置 1 0 1 では、指示応答テスト機能を追加し、テストモードから測定モードに復帰する際、積算値設定回路によりアップダウンカウンタ 7 の加減積算値を記憶していた切換直前の測定モードの値に強制的に設定する構成としたので、測定モードに復帰後、直ちにアップダウンカウンタの高速動作を回復させることができる。さらに、コストを低減することができる。

【 0 0 5 7 】

なお、放射線測定装置に係る本発明は、その発明の範囲内において、実施の形態を適宜、変形、省略することが可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 8 】

1, 1 0 1 放射線測定装置、2 放射線検出器、3 パルス増幅器、
4 波形分析部、5 第 1 のカウンタ、6 第 2 のカウンタ、
7 アップダウンカウンタ、8 積算制御回路、9 負帰還パルス発生回路、
1 0 積算値設定回路、1 1 演算部、1 2 表示部、2 1 レートマルチプライヤ、
2 2 分周器、3 1 テストパルス発生回路、3 2 波形整形回路、
3 3 信号切換回路、7 1 加算入力、7 2 減算入力。

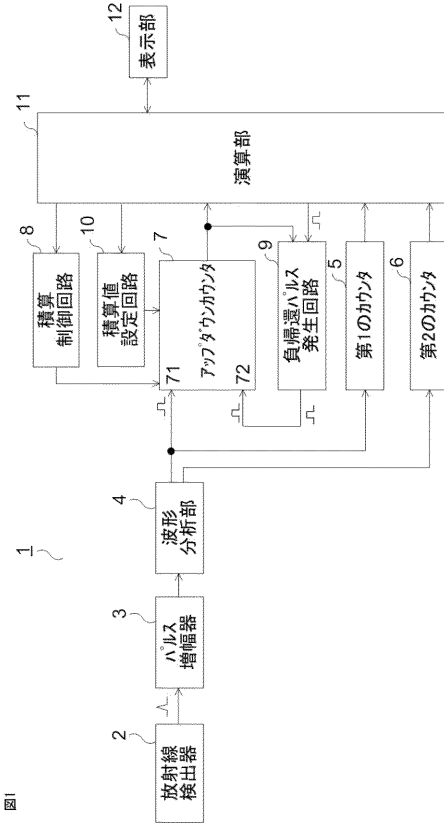
10

20

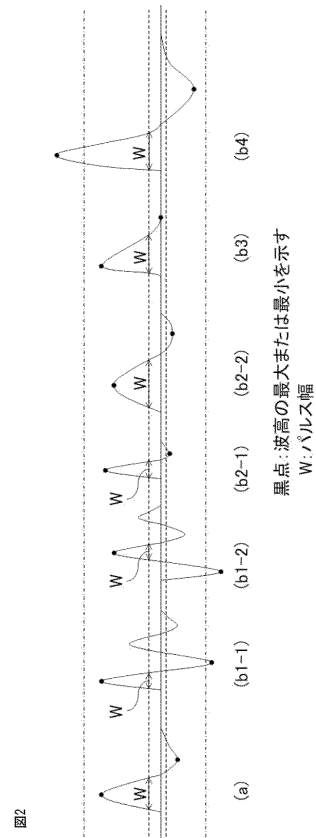
30

40

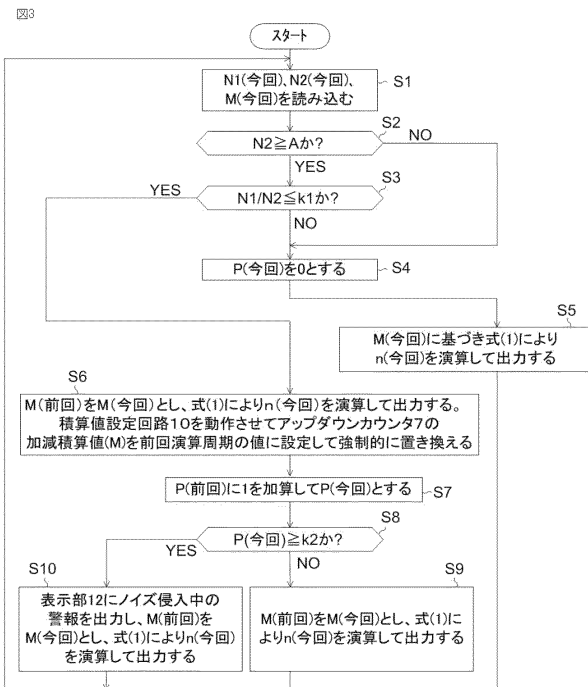
【 図 1 】



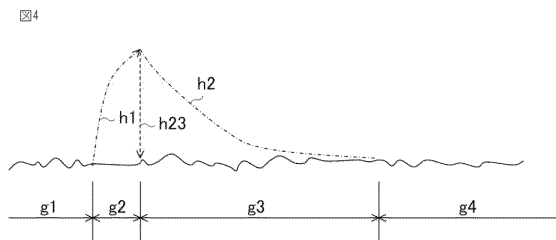
【 図 2 】



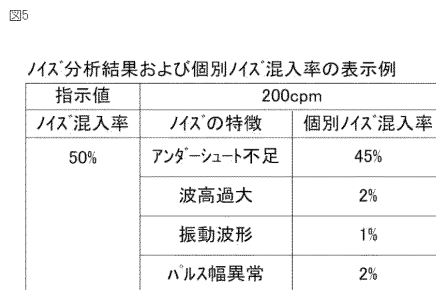
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



指示値	200cpm	
ノイズ混入率	ノイズの特徴	個別ノイズ混入率
50%	アンダーシュート不足	45%
	波高過大	2%
	振動波形	1%
	ハルス幅異常	2%

フロントページの続き

(72)発明者 茂木 健一

大阪府大阪市淀川区宮原5丁目1番18号 メルコプラントエキスパーツ株式会社内

審査官 後藤 孝平

(56)参考文献 特開2008-215907(JP,A)

特開2012-013611(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/17