

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4987397号  
(P4987397)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl.

G 2 1 C 17/00 (2006.01)

F 1

G 2 1 C 17/00 G D B R

請求項の数 8 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2006-241578 (P2006-241578)  
 (22) 出願日 平成18年9月6日 (2006.9.6)  
 (65) 公開番号 特開2008-64548 (P2008-64548A)  
 (43) 公開日 平成20年3月21日 (2008.3.21)  
 審査請求日 平成20年12月22日 (2008.12.22)

(73) 特許権者 000003078  
 株式会社東芝  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (74) 代理人 100087332  
 弁理士 猪股 祥晃  
 (74) 代理人 100081189  
 弁理士 猪股 弘子  
 (74) 代理人 100145816  
 弁理士 鹿股 俊雄  
 (72) 発明者 秋葉 美幸  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社  
 東芝内  
 (72) 発明者 師岡 慎一  
 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 ア  
 イテル技術サービス株式会社内  
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】原子炉用模擬燃料棒

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

原子炉の実機核燃料棒の表面状態を模擬して製造される原子炉用模擬燃料棒であって、  
ステンレス又はインコネルからなる被覆管と、この被覆管内に絶縁体を介して収納された  
 発熱体と、前記被覆管の外表面の長手方向に形成された熱電対取り付け溝と、この熱電  
 対取り付け溝に埋め込まれた熱電対と、前記被覆管の外表面に溶射されて設けられ前記熱  
 電対を覆う溶射層と、を有し、前記溶射層はジルカロイにより形成されたことを特徴とする  
 原子炉用模擬燃料棒。

## 【請求項 2】

前記熱電対が前記被覆管の外表面に形成された取り付け溝内に埋め込まれ前記被覆管外  
 表面より内側へ埋め込まれて組立てられることを特徴とする請求項1記載の原子炉用模擬  
 燃料棒。 10

## 【請求項 3】

前記溶射層が前記被覆管の外表面全体に形成されたことを特徴とする請求項1または2  
 記載の原子炉用模擬燃料棒。

## 【請求項 4】

前記溶射層が前記被覆管の熱電対取り付け溝部分の外表面のみに形成されたことを特徴  
 とする請求項1または2記載の原子炉用模擬燃料棒。

## 【請求項 5】

前記溶射層が前記被覆管の熱電対の測温点付近のみに形成されたことを特徴とする請求 20

項 1 または 2 記載の原子炉用模擬燃料棒。

**【請求項 6】**

前記熱電対と熱電対取り付け溝の隙間部分を、熱伝導率が良く、埋め込み時は柔らかく、乾燥すると硬くなる埋め込み部材を埋め込んだことを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の原子炉用模擬燃料棒。

**【請求項 7】**

前記埋め込み部材が伝熱セメントであることを特徴とする請求項 6 記載の原子炉用模擬燃料棒。

**【請求項 8】**

前記被覆管の表面粗さを実機核燃料と同じにしたことを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の原子炉用模擬燃料棒。 10

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

本発明は、例えば沸騰水型原子炉（以下、BWR と記す）用燃料集合体の伝熱流動性能の評価試験に使用される原子炉用模擬燃料棒に関する。

**【背景技術】**

**【0002】**

一般に BWR 用燃料集合体では、原子力プラントの運転コスト低減を実現するため、限界出力が高く、圧力損失の小さな燃料集合体が求められている。 20

このような新しい燃料集合体の冷却特性を理解するために燃料集合体の伝熱流動性能を評価するための試験が行われている。

**【0003】**

この燃料集合体の伝熱流動性能を評価するための試験では、実際の核燃料棒を使用するのではなく、実機燃料棒の表面状態を模擬して製造され、電気ヒータを備えた原子炉用模擬燃料棒（以下ヒータロッドと記す）を使用して行われている。

**【0004】**

従来の代表的なヒータロッドの構成を図 7 に示す。

図示するように従来のヒータロッド 1 は、端部が閉塞された長尺、円筒状の、通常ステンレスあるいはインコネル等の金属材料によってできた被覆管 2 と、この被覆管 2 の内部に間隔を置いて同軸状に収納された内側電気絶縁材 3 - 1 および外側電気絶縁材 3 - 2 と、この内側電気絶縁材 3 - 1 と外側電気絶縁材 3 - 2 との間に配置されたニクロム線などから成る発熱体 4 および被覆管 2 の外表面に埋め込まれた熱電対 5 とから構成されている。 30

**【0005】**

伝熱流動性能の評価試験に際しては、発熱体 4 に電流を流し、ヒータロッド 1 を発熱させる事により実機燃料棒を模擬させようとしている。

発熱体 4 で発生した熱は、電気絶縁材 3 を伝導で伝わり、被覆管 2 に伝わり、さらに被覆管 2 内部を熱伝導で伝わり、最終的に外部の冷却流体へ熱伝達される。

**【0006】**

内側、外側の電気絶縁材 3 は例えば酸化マグネシウム (MgO)、ボロンナイト (BN) などの絶縁材によって構成されている。

電気絶縁材 3 の熱伝導率、発熱体 4 と電気絶縁材 3 との接触抵抗、そして電気絶縁材 3 と被覆管 2 との接触抵抗を良好にし、発熱体 4 の温度を低く抑えるために、発熱体 4 と被覆管 2 との間に電気絶縁材 3 - 2 を詰めた後、被覆管 2 を減径するためにスエーリング工程により電気絶縁材 3 - 2 の密度の増加そして密着度合いを改善している。

**【0007】**

伝熱流動性能を評価するための温度測定用の熱電対 5 は、被覆管 2 の外表面あるいは内表面に溝を切り、そこに埋め込まれて温度を測定している。

このように構成されたヒータロッド 1 は、圧力容器に収納され伝熱流動性能の評価試験 50

が行われる。

【0008】

図8は、ヒータロッド1を圧力容器6内に収納した状態を示す。通常、冷却材7が圧力容器6の下部より圧力容器6内に供給され、圧力容器6内の中央部に配置されたヒータロッド1の熱を奪い、除去した後圧力容器6の上部より排出される。

【0009】

ヒータロッド1は、図示しない外部電源から発熱体4に電気が供給されるため、発熱体4には外部電源に接続される電極8が接続されており、圧力容器6の下部フランジ9から電極8部分が導出される。

【0010】

軽水炉の試験の場合は、圧力容器6内は高圧（例えば約7 MPa）で行われる事が多く、電極8の導出部の圧力シールそして電気絶縁のために電極8は被覆管2と共に下部フランジ9に気密に接続され外部へ導出される。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

このような従来のヒータロッド1においては以下に述べるような解決すべき課題があった。

即ち、実機核燃料棒の被覆管材料は一般にジルカロイが用いられているが、ヒータロッド1の被覆管2の材質としてはジルカロイが高価であるためステンレスあるいはインコネル等の材料が用いられている。

【0012】

前記したように、通常、ヒータロッド1を圧力容器6から導出する場合、圧力シールのために、ヒータロッド1を構成する被覆管2と圧力容器6の下部フランジ9とを溶接する必要があるが、下部フランジ9は通常ステンレスでできており、ヒータロッド1の被覆管2の材質をなるべく実機核燃料棒に近づけるため核燃料棒の被覆管と同じジルカロイで構成した場合、下部フランジ9と被覆管2とは異種金属となるため両者を溶接することができない。

【0013】

また、下部フランジ9をジルカロイで作る事も考えられるが、非常に高価であり、従来圧力容器の下部フランジをジルカロイで製作した例もない。

加えて、被覆管2の材質を圧力容器6内部で、引き出し部分をジルカロイからステンレスに変更する事も考えられるが、この場合もジルカロイとステンレスとの異種金属となり溶接ができないという課題がある。

【0014】

一方、熱電対5は、通常被覆管2の外表面に形成した溝内に取り付けられており、熱電対5をこの溝内に取り付けることにより、取付け用の溝が被覆管2表面に露出してしまい、被覆管2の外表面の表面状態が実機核燃料棒の表面状態と異なってしまう。

【0015】

これを防ぐため、熱電対5を被覆管2の内面に取り付けることによって表面状態を同じにする事が考えられているが、外面に取り付ける場合に比較して、製造が面倒であり、高価となる。

【0016】

さらに、上記課題を解決するために図9に示すように、ヒータロッド1の最外周にある被覆管2を二重にして内側被覆管2-1と外側被覆管2-2としたヒータロッドが考えられている。

このようにすると、外側被覆管2-2をジルカロイで製造すれば実機燃料棒表面材質であるジルカロイと同等の材質とすることができます。

【0017】

また、図9に示すように内側被覆管2-1表面に取付け用の溝を形成し、この溝内に熱

10

20

30

40

50

電対 5 を埋め込むことで、熱電対取り付け用の溝が外側被覆管 2 - 2 の外表面に形成されず、ヒータロッド 1 の表面状態が実機核燃料棒と同じ滑らかなヒータロッドを得られるという利点があり、上記課題をクリアすることができると考えられる。

#### 【 0 0 1 8 】

しかし、外側被覆管 2 - 2 を内側被覆管 2 - 1 に密着させる場合両者の密着性に均一性が保たれているかどうかの検査ができず、両被覆管 2 - 1、2 - 1 間に不必要的ギャップが形成されていた場合、熱の伝達が不均一になったり、熱の伝達が良好に行われなかつたりして正確な伝熱流動性能の評価試験が行えない、という課題がある。

#### 【 0 0 1 9 】

本発明は以上の課題を解決するためになされたものであり、被覆管表面状態をより一層実機核燃料棒の外表面の状態に近づけ、より正確な伝熱流動性能の評価試験が行える原子炉用模擬燃料棒を得ることを目的とする。 10

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【 0 0 2 0 】

以上の目的を達成するために、本発明に係る原子炉用模擬燃料棒は、原子炉の実機核燃料棒の表面状態を模擬して製造される原子炉用模擬燃料棒であって、ステンレス又はインコネルからなる被覆管と、この被覆管内に絶縁体を介して収納された発熱体と、前記被覆管の外表面の長手方向に形成された熱電対取り付け溝と、この熱電対取り付け溝に埋め込まれた熱電対と、前記被覆管の外表面に溶射されて設けられ前記熱電対を覆う溶射層と、を有し、前記溶射層はジルカロイにより形成されたことを特徴とする。 20

#### 【発明の効果】

#### 【 0 0 2 1 】

本発明によれば、被覆管表面状態をより一層実核燃料棒の表面の状態に近づけ、より正確な伝熱流動性能の評価試験が行える原子炉用模擬燃料棒を得ることができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【 0 0 2 2 】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

#### (第1の実施の形態)

まず、図1を参照して本発明の第1の実施の形態について説明する。

なお、以下の実施の形態の説明において、図7乃至図9に示す従来のものと同一部分には同一の符号を付し、詳細な説明は省略する。 30

#### 【 0 0 2 3 】

図1において、1は原子炉用模擬燃料棒(ヒータロッド)、2は円筒状の被覆管、3-1は内側電気絶縁材、3-2は外側電気絶縁材、4は発熱体、10は被覆管2の外表面に形成された熱電対取り付け溝、5は前記熱電対取り付け溝10中に埋め込まれた熱電対である。

#### 【 0 0 2 4 】

11は被覆管2の外表面全体に亘って被覆管2と同じ材質の粒子を溶射によって被覆した溶射層である。

ここで、溶射とは、コーティング材料を、加熱により溶融もしくは軟化させ(「溶」)、微粒子状にして加速し被覆対象物表面に衝突させて(「射」)、扁平に潰れた粒子を凝固・堆積させることにより被覆対象物表面に皮膜を形成するコーティング技術の一種であり、るものである。 40

#### 【 0 0 2 5 】

このような構成にすると、溶射層11と被覆管2とは金属的に接着しているため、図9で説明したように従来のヒータロッドの如く外側、内側被覆管との間に隙間が生じる恐れもなくなり、熱の流れが均一となり、正確な伝熱流動性能の評価試験が行える。

#### 【 0 0 2 6 】

さらに、図1に示すように被覆管2の表面に埋め込まれた熱電対5は、溶射層11により覆われるため、熱電対取り付け溝10が被覆管2の表面に露出せず、表面状態が滑らか 50

な実核燃料棒と同じ表面状態のヒータロッドが得られ、正確な伝熱流動性能の評価試験が行える。

#### 【0027】

##### (第2の実施の形態)

次に本発明の第2の実施の形態について図2(a)、(b)を参照して説明する。

前記第1の実施の形態においては、被覆層2の外表面全体に亘って溶射層11を形成するようにしているが、本実施の形態においては図2に示すように溶射層11は熱電対取り付け溝10部分の外表面のみに形成するようにしている。

#### 【0028】

このような構成にすると、ヒータロッド1の被覆管2全表面に溶射層を施工するのに比べて溶射に要する施工時間が短くなり、工程の短縮ならびに材料費の低減からコストの削減が図られ、ヒータロッドの価格を低く抑えることができる。 10

#### 【0029】

この場合溶射層部分だけが被覆管2の表面より飛び出した形となると実核燃料棒の表面状態と異なる状態となる恐れがあるため、熱電対取り付け溝10の深さを熱電対5の寸法より若干深くするか、あるいは逆に熱電対5の寸法を熱電対取り付け溝10の深さより細くすることによって熱電対取り付け用溝10内において、熱電対5の表面と被覆管2の表面との間に0.1~0.2mm程度の隙間12を形成するようとする。

#### 【0030】

このような構成にすることによってその隙間12部分に溶射層11を形成するようにすれば、溶射層11表面と被覆管2表面とが面一となり、溶射層11部分が被覆管2の表面より飛び出した形となるのを防ぐことができ、正確な伝熱流動性能の評価試験が行える。 20

#### 【0031】

##### (第3の実施の形態)

次に本発明の第3の実施の形態について図3(a)、(b)を参照して説明する。

本実施の形態においては、ヒータロッド1の被覆管2表面に取り付けた熱電対5の測温点13付近のみに溶射層11を形成している。

このように、被覆管2表面には熱電対5と熱電対取り付け溝10との間に空間があり、その空間が伝熱性能に影響する可能性がある。 30

#### 【0032】

本実施の形態では、伝熱性能を計測するのに重要な熱電対の測温点13付近のみ、熱電対取り付け溝10を溶射によって埋めることにより熱電対取り付け溝10がこの部分で被覆管2の表面に露出されず、ヒータロッド1の表面状態が実機核燃料棒と同じ表面状態とすることができます、正確な伝熱流動性能の評価試験が行える。

また、溶射の施工時間短縮と、材料費の低減からヒータロッドの価格をさらに低減することができる。

#### 【0033】

##### (第4の実施の形態)

次に本発明の第4の実施の形態について説明する。

本実施の形態においては、図1から図3における溶射材をジルカロイとする。このようにすると、実機燃料棒表面材質はジルカロイのため、表面状態が同じ状態、同じ材質のより模擬されたヒータロッドが得られ、より正確な伝熱流動性能の評価試験が行える。 40

#### 【0034】

##### (第5の実施の形態)

次に本発明の第5の実施の形態について図4(a)、(b)を参照して説明する。

本実施の形態においては、熱電対5と被覆管2に形成された熱電対取り付け溝10との間の隙間12に伝熱セメント等の熱伝導率が良く、埋め込み時は柔らかく、乾燥すると硬くなる埋め込み部材14を埋め込むことにより、熱電対取り付け溝10と熱電対5との接触面の凹凸を無くし、熱伝達が良好になり、表面状態が実機核燃料棒に近いヒータロッドが得られる。 50

**【0035】**

埋め込み部材として用いられる伝熱セメント14は溶射材に比べて安価であるため、よりコスト削減を図ったヒータロッドが得られる。

**【0036】**

## (第6の実施の形態)

次に本発明の第6の実施の形態について図5(a)、(b)を参照して説明する。

本実施の形態においては、被覆管2に形成した熱電対取り付け溝10の大きさを可能な限り大きくし、熱電対5との隙間を大きくする。

**【0037】**

これにより、伝熱セメント等の埋め込み部材14の埋め込み作業を容易にし、熱電対5と熱電対取り付け溝10との間の隙間12を埋め込み部材14により完全に満たすことができる。 10

これによって、熱電対5と熱電対取り付け溝10との間に隙間が無くなり、熱伝達の良いヒータロッドが得られる。

**【0038】**

## (第7の実施の形態)

次に本発明の第7の実施の形態について図6(a)、(b)を参照して説明する。

本実施の形態においては、熱電対5と熱電対取り付け溝10との間の隙間12に伝熱セメント等の埋め込み部材14を埋め込み、さらに被覆管2から露出した埋め込み部材14の外表面に溶射層11を形成することにより、よりヒータロッド1の外表面状態が実機核燃料棒と同じヒータロッドが得られる。 20

**【0039】**

## (第8の実施の形態)

次に本発明の第8の実施の形態について説明する。

本実施の形態においては、前記第1から7の実施の形態で説明したヒータロッド1の溶射層11あるいは埋め込み部材14等を埋め込んだ表面を、実機核燃料棒表面と同じ粗さに機械加工などにより研磨する。

これにより、親水性に影響がある表面粗さを実機核燃料棒と同じとしたヒータロッドが得られる。 30

**【0040】**

以上、本発明の好適な実施の形態について説明してきたが、本発明は上述の各実施の形態に限定されるものではなく、発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の変形を探ることができる。例えば、上述の第1ないし第7の実施の形態に説明した特徴を任意に組み合わせたところの原子炉用模擬燃料棒の構成であっても良い。

**【図面の簡単な説明】****【0041】**

【図1】本発明の第1の実施の形態によるヒータロッドを示す横断平面図。

【図2】本発明の第2の実施の形態によるヒータロッドを示す図で、(a)は正面図、(b)は一部横断平面図。

【図3】本発明の第3の実施の形態によるヒータロッドを示す図で、(a)は正面図、(b)は一部横断平面図。 40

【図4】本発明の第5の実施の形態によるヒータロッドを示す図で、(a)は正面図、(b)は一部横断平面図。

【図5】本発明の第6の実施の形態によるヒータロッドを示す図で、(a)は正面図、(b)は一部横断平面図。

【図6】本発明の第7の実施の形態によるヒータロッドを示す図で、(a)は正面図、(b)は一部横断平面図。

【図7】従来のヒータロッドを示す横断平面図。

【図8】従来のヒータロッドの圧力容器への設置状況を示す縦断正面図。

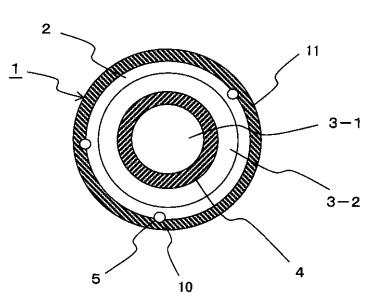
【図9】従来の別の形式の二重被覆ヒータロッドを示す横断平面図。 50

## 【符号の説明】

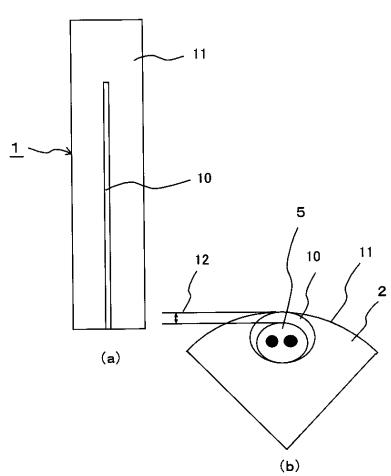
## 【0042】

1 ... ヒータロッド、2 ... 被覆管、3 ... 電気絶縁材、3-1 ... 内側電気絶縁材、3-2 ... 外側電気絶縁材、4 ... 発熱体、5 ... 热電対、6 ... 壓力容器、7 ... 冷却材、8 ... 電極、9 ... 下部フランジ、10 ... 热電対取り付け溝、11 ... 溶射層、12 ... 隙間、13 ... 热電対の測温点、14 ... 埋め込み部材。

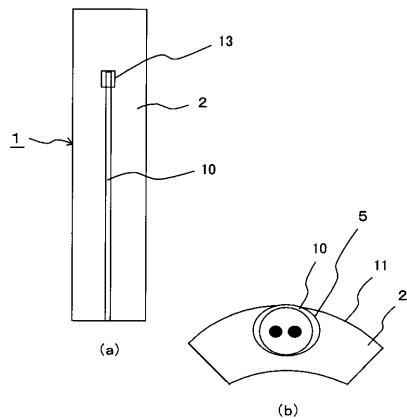
【図1】



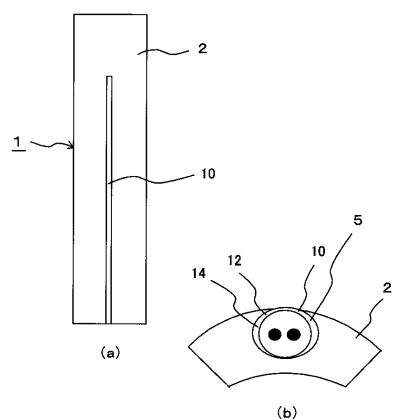
【図2】



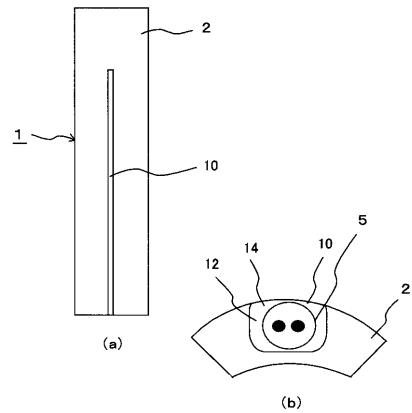
【図3】



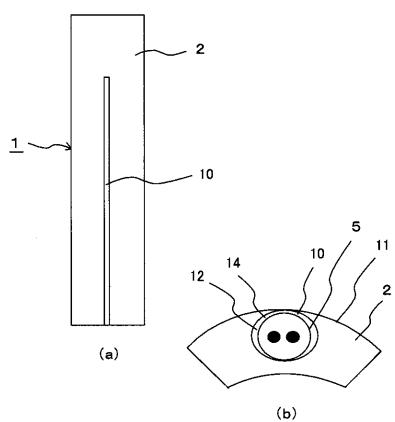
【図4】



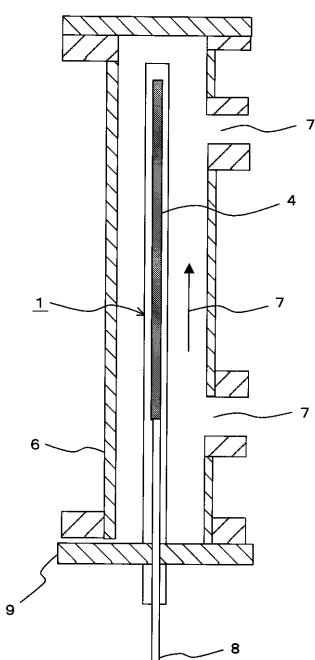
【図5】



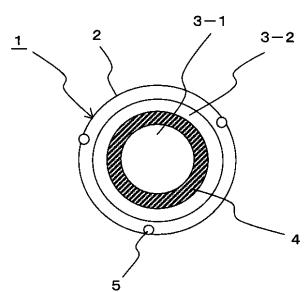
【図6】



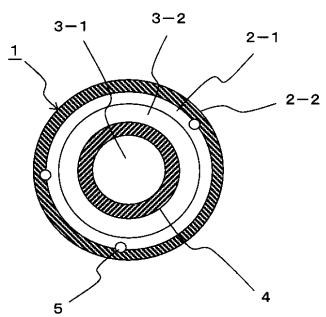
【図8】



【図7】



【図9】



---

フロントページの続き

審査官 山口 敦司

(56)参考文献 特開平05-005796(JP,A)  
特開昭59-155731(JP,A)  
特開昭60-244825(JP,A)  
特開昭55-124979(JP,A)  
特開平06-281785(JP,A)  
特開昭54-082278(JP,A)  
実開昭59-183698(JP,U)  
特公昭56-004849(JP,B1)  
実開昭63-120134(JP,U)  
特開平06-180385(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 21 C 17 / 00