

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4898005号
(P4898005)

(45) 発行日 平成24年3月14日(2012.3.14)

(24) 登録日 平成24年1月6日(2012.1.6)

(51) Int.Cl.

F I

G 2 1 C 7/117 (2006.01)

G 2 1 C 7/10 G D P K

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-6142 (P2001-6142)
(22) 出願日 平成13年1月15日(2001.1.15)
(65) 公開番号 特開2002-214378 (P2002-214378A)
(43) 公開日 平成14年7月31日(2002.7.31)
審査請求日 平成20年1月11日(2008.1.11)

特許法第30条第1項適用 平成12年10月30日
社団法人日本機械学会発行の「第7回動力・エネルギー
技術シンポジウム 講演論文集」に発表

(73) 特許権者 000006208
三菱重工業株式会社
東京都港区港南二丁目16番5号
(74) 代理人 100089118
弁理士 酒井 宏明
(74) 代理人 100089163
弁理士 田中 重光
(74) 代理人 100069246
弁理士 石川 新
(74) 代理人 100110423
弁理士 曾我 道治
(73) 特許権者 000156938
関西電力株式会社
大阪府大阪市北区中之島三丁目6番16号

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 原子炉制御棒

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

両端が第1の上部端栓及び第1の下部端栓により密封された外側被覆管、該外側被覆管内の下部に設けられた上蓋付きスリーブ、

前記外側被覆管内で前記スリーブに載設され、両端が第2の上部端栓及び第2の下部端栓により密封された内側被覆管、

該内側被覆管の中に収容された炭化硼素ペレットの積重体と第1の銀・インジウム・カドミウム合金棒、これらの押さえばね、

前記スリーブの中に収容された第2の銀・インジウム・カドミウム合金棒、及び、前記内側被覆管と前記第1の上部端栓との間に設けられた押さえばね

を有し、外側被覆管の貫通摩耗損傷を容易に且つ効率的に検出できるように前記第2の下部端栓の下外面外周部と前記スリーブの上蓋の上外面外周部とで円周溝が形成されていることを特徴とする原子炉制御棒。

【請求項2】

前記外側被覆管が全長に亘って外面にクロムメッキが施されていることを特徴とする請求項1記載の原子炉制御棒。

【請求項3】

前記外側被覆管と前記円周溝とによって形成される空間内に銀等の微粒子が封入されていることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の原子炉制御棒。

【発明の詳細な説明】

10

20

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は原子炉制御棒に関し、特に加圧水型原子炉の制御棒の構造に関する。

【0002】

【従来の技術】

現在、広く使用されている加圧水型原子炉において、原子炉の炉内核反応を制御するために使用されている制御棒集合体乃至制御棒クラスタの代表的構造は、図7に示すようになっている。これを概説すると、制御棒クラスタ1は、主としてスパイダ構造体3と複数の制御棒5とから構成されている。スパイダ構造体3のハブ部材7から複数のベーン部材9が放射状に延出している。このベーン部材9の先端部又は中間部にフィンガ部11が一体的に形成されていて、これに制御棒5の上端が個別に連結されている。このような複数の制御棒5は互いに平行に垂下されており、原子炉炉心を構成する燃料集合体（図8）の制御棒案内シンプルの中に挿入される。

10

【0003】

図8に一般的な燃料集合体の上部の構造が示されている。図8を参照して燃料集合体13の構造を概説すると、複数の互いに平行に配置された制御棒案内シンプル15の上端に、上部ノズル17が固定されている。通常3乃至5メートル程度の長い案内シンプル15の下端には、図示しない下部ノズルが連結されている。このような案内シンプル15には、複数の支持格子19（1個のみ図示）が長手方向に間隔を置いて取り付けられ、その多数の格子開口に多数の燃料棒21が個別に挿通され支持されている。上部ノズル17は箱形の構造物であり、上端面にホールドダウンばね23が取り付けられると共に、図示しない底板部分には冷却材用流れ孔と、案内シンプル取付穴が所定の配置で複数設けられている。

20

【0004】

図9に従来の制御棒5の代表的な構造が示されている。図示するように、制御棒5は、前述のベーン部材9のフィンガ部11への連結部（図示しない）を持つ上部端栓25、下部端栓27、これらに両端が密封溶接されたステンレス鋼製長尺被覆管29、その中に挿入された中性子吸収材としての銀・インジウム・カドミウム（Ag-In-Cd）合金棒31、33及び押さえばね35を有している。そして、図示はしていないが、被覆管29の先端部以外の外面には、耐摩性を向上するためクロムメッキが施されている。

30

【0005】

而して、最近二酸化ウラン燃料に代えて混合酸化物燃料所謂MOX燃料の使用が提唱されている。そして、これに適する制御棒が図10に示すハイブリッド型制御棒40として提案されている。ハイブリッド型制御棒40も全体的な構造は制御棒5と同様であり、同様な構造の上部端栓41、下部端栓43、ステンレス鋼製で相対的に厚肉の長尺被覆管45及び押さえばね47を有している。その被覆管45の中には、下側に銀・インジウム・カドミウム合金棒48及び上側に炭化硼素ペレットの積重体49が中性子吸収体として入れている。このようなハイブリッド型制御棒40は、炉心にMOX燃料が大量に装荷された時の必要な停止余裕を確保できると共に、1本当たりの制御棒価値が大きくなって通常型炉心においては必要な制御棒の本数又は制御棒クラスタの体数を削減できるなどのメリットがある。尚、被覆管45の外面のクロム鍍金も適宜行われている。

40

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

前述した制御棒5を使用した従来の原子炉の運転管理においても、又提案中のハイブリッド型制御棒40を使用する場合においても、制御棒被覆管の摩耗損傷は定期的、或いは必要に応じて行われる検査・点検においてその有無が検査される。損傷が無ければその信頼性は確保されるのであるが、確率的にその破損損傷を零にすることには無理がある。そして、もし仮に被覆管45に損傷が発生して銀・インジウム・カドミウム合金棒あるいは炭化硼素ペレットを減損（削り取る或いは溶出）させると、制御棒の機能低下を招来する虞がある。更には、制御棒被覆管の検査は、その数が多く、且つ前述のように長いものであ

50

るので、検査に要する手数、費用も膨大なものとなっている。

従って、本発明の課題は、中性子吸収材として炭化硼素を使用しても、制御棒被覆管の損傷によってその機能低下が生じず、且つ検査を容易に且つ効率的にできるハイブリット型制御棒のような制御棒を提供するにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

如上の課題を解決するため、本発明によれば、原子炉制御棒は、両端が第1の上部端栓及び第1の下部端栓により密封された外側被覆管、該外側被覆管内の下部に設けられた上蓋付きスリーブ、前記外側被覆管内で前記スリーブに載設され、両端が第2の上部端栓及び第2の下部端栓により密封された内側被覆管、該内側被覆管の中に收容された炭化硼素ペレットの積重体と第1の銀・インジウム・カドミウム合金棒、これらの押さえばね、前記スリーブの中に收容された第2の銀・インジウム・カドミウム合金棒、及び、前記内側被覆管と前記第1の上部端栓との間に設けられた押さえばねを有し、外側被覆管の貫通摩耗損傷を容易に且つ効率的に検出できるよう前記第2の下部端栓の下面外周部と前記スリーブの上蓋の上面外周部とで円周溝が形成されていることを特徴とする。又、外側被覆管の全長に亘って外面にクロムメッキを施すのが耐摩耗性を向上するために好適であり、加えて、内側被覆管の外面にクロムメッキを施すのも、制御棒の外部（上部炉内構造物の制御棒案内管カード部等）からの摩耗軸方向に対して2重の防護となり、全体的な信頼性を更に向上する点で有効である。また、スリーブについても同様である。外側被覆管と円周溝とによって形成される空間内の水の有無は、超音波検査により検知されるが、この空間内に銀等の微粒子などを予め封入しておいて、原子炉冷却材中での存否をモニタリングしても早期損傷検出に有効である。

【0008】

【発明の実施の形態】

以下添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。尚、全図に互り、同一部分には同一符号を付すこととする。

図1乃至図3は、本発明に係る制御棒50を示している。これらの図において、制御棒50のステンレス鋼製被覆管51は、従来のものと同様な形状の上部端栓53及び下部端栓55と両端とが円周溶接37により接合されて閉じている。被覆管51の外表面には、適当なクロムメッキが施されている。なお、上部端栓53のスパイダ部材との連結部の図示は省略されている。一方、被覆管51と下部端栓55との連結部の構造が、特に図2に拡大されて明確に示されている。又、別の方法として、下部端栓55の上部の被覆管内挿入部に円周溝56を形成すると、後述するように漏洩検査を行う際により便となる。被覆管51の内部において、下部端栓55の上面に中性子吸収材である銀・インジウム・カドミウム合金棒（以下合金棒と略称する。）59が載って配置されている。そして、合金棒59は上蓋61付きのスリーブ63で囲まれ、スリーブ63と被覆管51とは間に空間65を画成している。

【0009】

スリーブ63の上蓋61の上にカプセル構造体67が載設され、更にはカプセル構造体67と上部端栓53の間にコイル状の押さえばね69が介装されており、これによりカプセル構造体67を下方のスリーブ63に押し付けている。カプセル構造体67は、被覆管51と同様な内側被覆管71及びこれの両端に円周溶接73によって密封接合された内側上部端栓75及び内側下部端栓77とから構成されており、その中に複数の炭化硼素（ B_4C ）ペレット79と合金棒81が入れられている。図示するように、合金棒81が内側下部端栓77に載り、その上に炭化硼素ペレット79の積重体が載っている。そして最上の炭化硼素ペレット79と内側上部端栓75の間に螺旋状の内側押さえばね83が設けられ、これにより炭化硼素ペレット79の積重体と合金棒81とは下向きに押し付けられ、安定的に保持される。図示していないが、内側押さえばね83及び前述の押さえばね69は、C型クリップ等に代えることも可能である。下方のスリーブ63とカプセル構造体67の内側下部端栓77の隣接部分が図3に拡大して示されているが、本図でも明らかなよう

に、前述の空間 6 5 は外側被覆管 5 1 と内側被覆管 7 1 との間にも延びている。尚、図 4 の (a) に示すように、スリーブ 6 3 の上蓋 6 1 の上面外周部及び内側下部端栓 7 7 の下面外周部にそれぞれテーパ部を形成して上蓋 6 1 a 及び内側下部端栓 7 7 a となし、円周溝 8 5 a を形成すると、濾水収容空間が大きくなって濾水有無確認の検査を行う際により便となる。また、テーパ形状でなく、溝形状として図 4 の (b) のように円周溝 8 5 b を形成してもよい。この円周溝の形状はこれにこだわらない。尚、被覆管 5 1 の下方先端部に摩耗やクラックの発生が懸念される場合は、特開平 1 1 - 1 5 3 6 8 5 号公報及び特開平 1 1 - 2 8 1 7 8 4 号公報記載の発明を適宜適用しても良い。

【0010】

上述の構成の制御棒 5 0 も制御棒クラスタに組み立てられて、従来のものと同様に原子炉容器の上蓋に設けられた制御棒駆動装置に連結されて使用される。制御棒クラスタは多数使用され、概念的には負荷調整用と非常時落下用（停止用）に分けられるが、制御棒 5 0 はいずれにも使用できる。現在の原子炉運転においては定格出力運転が大部分であるが、この場合には負荷調整用制御棒クラスタも炉心上方に引き上げられ、その下端部は炉心内に延びている。即ち、図 1 において、2 点鎖線の横線 X 付近は、定格出力運転時の有効燃料部の上端付近を示し、又、2 点鎖線の横線 Y 付近は負荷調整のために炉心内に入る、所謂調整範囲の上端を示しており、これより下方に合金棒 5 9、8 1 が位置することになる。これは、専ら炭化硼素ペレット 7 9 が、停止時に炉心内に入って機能することを示している。この炭化硼素ペレット 7 9 の積重体の長さ、合金棒 5 9、8 1 の合計長さの比の一例は、6 対 4 である。

【0011】

原子炉運転の停止時に制御棒 5 0 は、炉心内に全挿入状態で使用されるが、炭化硼素ペレット 7 9 の中性子吸収能は大きいから、炉心が高燃焼度燃料（炉心寿命の初期において余剰反応度が大きい。）で構成されていても、中性子を十分吸収して炉内反応を安全に停止できる。又、内側押さえばね 8 3 の収容空間は、炭化硼素ペレット 7 9 から発生するヘリウムガスを収容して内圧上昇を緩和する。

一方、定格運転時の制御棒は、前述のように燃料集合体からある程度引き抜かれた位置にあり、1 次冷却水の流体励振力により、制御棒と上部炉内構造物の制御棒案内管カード部等と干渉する。燃料集合体内に挿入されている制御棒先端付近も同様である。

【0012】

従って、上部炉内構造物の制御棒案内管カード部などと干渉する軸方向範囲を 2 重被覆管構造（カプセル構造）としている。一方で、制御棒の先端付近については照射を受けやすいので、先端付近の銀・インジウム・カドミウム合金棒のスェリングによる被覆管損傷モードもあるため、カプセル構造の中にカプセル構造の中にこの先端付近の合金棒を装填せず、スリーブで覆うこととしている。

そして、原子炉の運転に長らく使用されて、被覆管 5 1 に摩耗による貫通損傷が仮に発生して外部の水が侵入しても、炭化硼素ペレット 5 1 は健全なカプセル構造体 6 7 により囲繞されているから、水との接触反応及び溶出が防止される。また、前述の被覆管 5 1 の損傷による浸水乃至濾水は、被覆管 5 1 と内側被覆管 7 1 及びスリーブ 6 3 との間の空間 6 5 内を通過して空間の大きい内側下部端栓 7 7 a とスリーブ上蓋 6 1 a との円周溝 8 5 に溜まるから、この浸水の存在をこの軸方向位置に絞った超音波検査で検知することにより、外側の被覆管 5 1 の貫通摩耗損傷を容易に且つ効率的に検出することができる。従って、従来行われていた被覆管 5 1 の全面走査による損傷検査（摩耗深さの定量検査）に比し、本制御棒構造では検査時間を大幅に短縮し、検査効率を向上することができる。尚、空間 6 5 内に銀等の微粒子などを予め封入しておいて、原子炉冷却材中での存否をモニタリングしても早期損傷検出が可能となる。

【0013】

次に図 5 乃至図 9 を参照して本発明の改変実施形態を説明する。前述したように、図 1 の実施形態において、外側被覆管 5 1 の損傷は容易に検出されるのであるが、後述のように耐摩耗性を向上すれば、損傷の発生時期を遅らせることができる。図 5 及び図 6 において

、制御棒 90 の機械的構造は前述の制御棒 50 とほぼ同じであり、被覆管 51、カプセル構造体 67 の内側被覆管 71 及びスリーブ 63 の外面にそれぞれクロムメッキ 91、93、95 が施されている部分が異なる。クロムメッキ 95 は場合により省略しても良い。このように被覆管 51、71 などの外面に耐摩耗性を向上するクロムメッキを施すことにより、それらの摩耗損傷の進行を抑制することができる。クロムメッキの厚さは、コスト的には軸方向に一様にするのがよい。一方で、従来の使用経験などを考慮して、軸方向に一様な厚さとせず、外側被覆管 51 の下端（先端）付近から上方のメッキ厚さを適切に厚くすることで、制御棒の外側被覆管 51 の貫通損傷発生位置を制御棒先端に絞り、この部分の損傷検査を実施するだけでよいようにすれば、この方法でも検査は容易で且つ効率的となる。尚、この時の制御棒先端（下部端栓）の構造は図 2 のようなものが効果的である。

10

【0014】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、炭化硼素ペレットなどの中性子吸収材は、被覆管の内側にあるカプセル構造体やスリーブの中に収容されているので、被覆管が摩耗損傷を生じても、これらの中性子吸収材は減損する（削り取られる或いは溶出する）ことがないのは勿論、先端の銀・インジウム・カドミウム合金棒のスェリングによる被覆管の損傷（クラック）による炭化硼素ペレットの溶出に配慮し、先端の吸収材はカプセル構造体内に装填せず、別のスリーブ内に装填させているので、摩耗以外の劣化モードに対しても配慮した構造である。そのような観点から、カプセル構造体とスリーブの軸方向長さは適切に設定（カプセル構造体の長さは上部炉内構造物の制御棒案内管カード部等との干渉位置をカバーし、且つ、照射は受けにくい）しているので、摩耗或いはスェリングの劣化モードに対して、信頼性の高い構造である。又、前述のように（カプセル構造体の長さは上部炉内構造物の制御棒案内管カード部等との干渉位置をカバーし、且つ、照射は受けにくい）被覆管検査の貫通摩耗有無の検査について、容易で且つ効率化が図れるような構造としている。

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態を示す短縮立断面図である。

【図 2】図 1 中の II 部を示す拡大部分立断面図である。

【図 3】図 1 中の III 部を示す拡大部分立断面図である。

【図 4】図 1 中の III 部に示す構造を部分的に改変した改変実施形態の部分立断面である

30

。【図 5】図 1 の実施形態の一部を改変した別の改変実施形態の短縮立断面図である。

【図 6】図 5 中の VI-VI 線に沿う拡大平断面図である。

【図 7】従来の制御棒から構成される制御棒クラスタを示す短縮立面図である。

【図 8】制御棒が使用される原子炉炉心を形成する燃料集合体の部分図である。

【図 9】従来の制御棒の構造を示す短縮立面図である。

【図 10】従来の制御棒の別の構造を示す短縮立面図である。

【符号の説明】

50 制御棒

51 被覆管

40

53 上部端栓

55 下部端栓

56 円周溝

57 円周溶接

59 銀・インジウム・カドミウム合金棒

61、61a 上蓋

63 スリーブ

65 空間

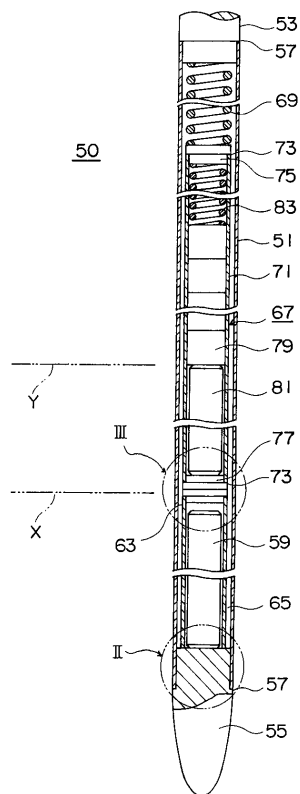
67 カプセル構造体

69 押えばね

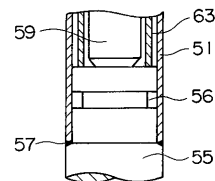
50

- 7 1 内側被覆管
- 7 3 円周溶接
- 7 5 内側上部端栓
- 7 7、7 7 a 内側下部端栓
- 7 9 炭化硼素ペレット
- 8 1 銀・インジウム・カドミウム合金棒
- 8 3 内側押えばね
- 8 5 a、8 5 b 円周溝
- 9 1、9 3、9 5 クロムメッキ

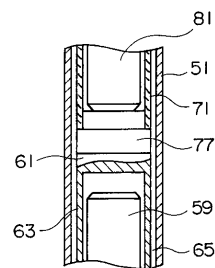
【図 1】



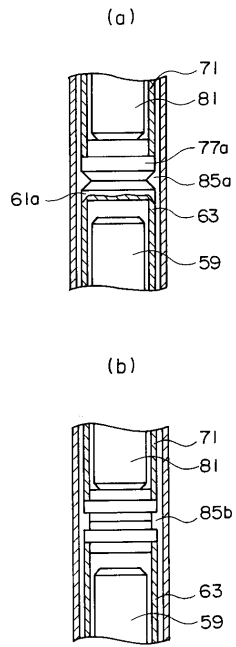
【図 2】



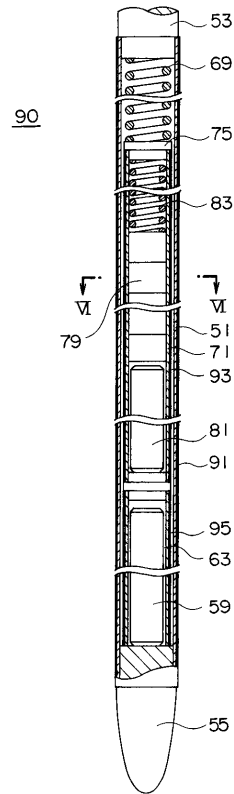
【図 3】



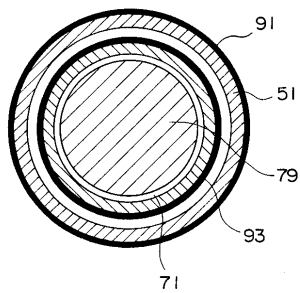
【図 4】



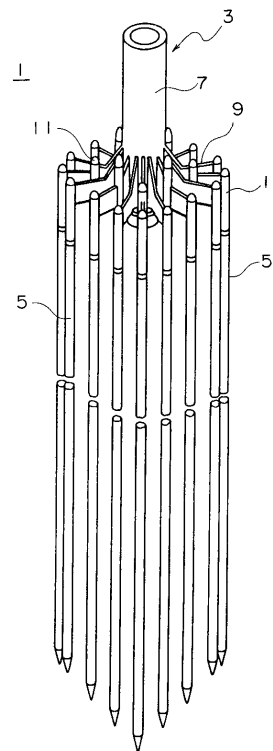
【図 5】



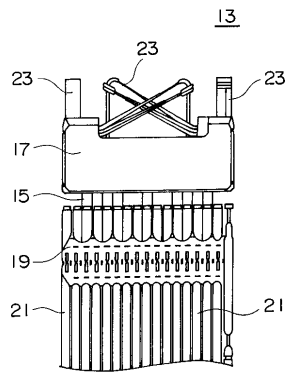
【図 6】



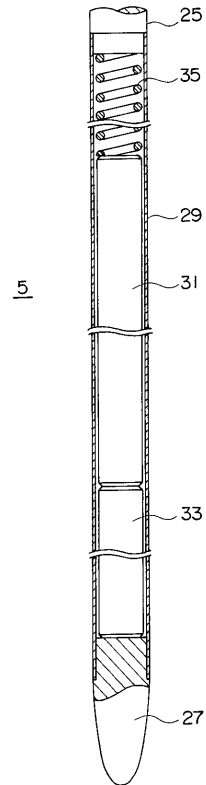
【図 7】



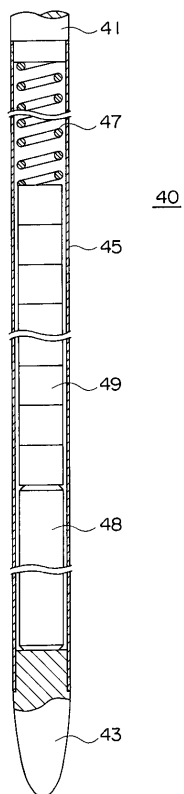
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (73)特許権者 000241957
北海道電力株式会社
北海道札幌市中央区大通東1丁目2番地
- (73)特許権者 000180368
四国電力株式会社
香川県高松市丸の内2番5号
- (73)特許権者 000164438
九州電力株式会社
福岡県福岡市中央区渡辺通2丁目1番82号
- (73)特許権者 000230940
日本原子力発電株式会社
東京都千代田区神田美土代町1番地1
- (74)代理人 100089118
弁理士 酒井 宏明
- (74)代理人 100089163
弁理士 田中 重光
- (74)代理人 100069246
弁理士 石川 新
- (72)発明者 押部 敏弘
大阪府大阪市北区中之島3丁目3番22号 関西電力株式会社内
- (72)発明者 栗山 博美
北海道札幌市中央区大通東1丁目2番地 北海道電力株式会社内
- (72)発明者 藤井 澄夫
香川県高松市丸の内2番5号 四国電力株式会社内
- (72)発明者 村上 省三
福岡県福岡市中央区渡辺通二丁目1番82号 九州電力株式会社内
- (72)発明者 室田 実
東京都千代田区大手町一丁目6番1号 日本原子力発電株式会社内
- (72)発明者 内藤 考文
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三菱重工業株式会社 神戸造船所内
- (72)発明者 川原 博人
東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 三菱重工業株式会社内

審査官 青木 洋平

- (56)参考文献 特開2000-046980 (JP, A)
特開2000-121769 (JP, A)
実開平01-134298 (JP, U)
特開2000-046979 (JP, A)
特開2000-028775 (JP, A)
特開2000-039491 (JP, A)
特開昭55-125481 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21C 7/117