(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3561328号
(P3561328)
(45)発行日　平成16年9月2日(2004.9.2)　(24)登録日　平成16年6月4日(2004.6.4)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G21C 9/033	G21C	9/02	GDFL
G21C 7/22	G21C	7/22	
G21C 9/02	G21C	9/02	M

請求項の数 7　(全 13 頁)

(21)出願番号　特願平7-130320
(22)出願日　平成7年5月29日(1995.5.29)
(65)公開番号　特開平8-327767
(43)公開日　平成8年12月13日(1996.12.13)
審査請求日　平成14年4月10日(2002.4.10)

(73)特許権者　000173809
財団法人電力中央研究所
東京都千代田区大手町１丁目６番１号
(74)代理人　100087468
弁理士　村瀬　一美
(72)発明者　神戸　満
東京都狛江市岩戸北２－１１－１　財団法人電力中央研究所　狛江研究所内
(72)発明者　ハー．－ゲー．マーエル
ドイツ国　スタットガルト　デー－７０５５０，プファッフェンヴァルドゥリング３１，　フォルシュンクス　インスティテュート　フュア　ケルンテヒニーク　ウント　エネルギーヴァンドゥルング　エー．ファオ．

最終頁に続く

(54)【発明の名称】自己作動型炉停止装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、前記液体ポイズン領域と前記真空領域とをフリーズシールで隔離し、前記炉心の異常な温度上昇により前記フリーズシールが溶解すると、前記液体ポイズン領域内の液体ポイズンが前記真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、前記フリーズシールの前記液体ポイズン領域側の面を、前記液体ポイズンとの共存性に優れた材料より成る薄膜で覆うことを特徴とする自己作動型炉停止装置。

【請求項２】

炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、前記液体ポイズン領域と前記真空領域とをフリーズシールで隔離し、前記炉心の異常な温度上昇により前記フリーズシールが溶解すると、前記液体ポイズン領域内の液体ポイズンが前記真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、前記フリーズシールの前記液体ポイズン領域側の面を、前記液体ポイズンとの共存性に優れた材料より成る第１薄膜で覆うと共に、前記フリーズシールの前記真空領域側の面を、当該フリーズシールが溶融して体積が膨張した場合に破られる第２薄膜で支えることを特徴とする自己作動型炉停止装置。

【請求項３】

前記フリーズシールの体積を、当該フリーズシールと前記第１及び第２薄膜との接触面積

の増加量に対して大きく増加させ、前記フリーズシールが溶融する場合の体積膨張を増幅し、前記第１及び第２薄膜をより破り易くすることを特徴とする請求項２記載の自己作動型炉停止装置。

【請求項４】

前記フリーズシールと第１及び第２薄膜との間にそれぞれ加圧チップを介在させ、前記フリーズシールが溶融する場合の体積膨張でこれら各加圧チップを押し出して前記第１及び第２薄膜を破ることを特徴とする請求項２又は３記載の自己作動型炉停止装置。

【請求項５】

炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、前記液体ポイズン領域と前記真空領域とをフリーズシールで隔離し、前記炉心の異常な温度上昇により前記フリーズシールが溶解すると、前記液体ポイズン領域内の液体ポイズンが前記真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、前記液体ポイズン領域と前記フリーズシールとの間に薄膜を介在させると共に、当該薄膜と前記フリーズシールとの間に加圧不活性ガス領域を介在させることを特徴とする自己作動型炉停止装置。

【請求項６】

炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、前記液体ポイズン領域と前記真空領域とをフリーズシールで隔離し、前記炉心の異常な温度上昇により前記フリーズシールが溶解すると、前記液体ポイズン領域内の液体ポイズンが前記真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、前記液体ポイズン領域と前記フリーズシールとの間に薄膜を介在させると共に、当該薄膜と前記フリーズシールとの間に中間サポートを介在させることを特徴とする自己作動型炉停止装置。

【請求項７】

炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、前記液体ポイズン領域と前記真空領域とをシール手段で隔離し、前記炉心の異常な温度上昇により前記シール手段が溶解すると、前記液体ポイズン領域内の液体ポイズンが前記真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、前記シール手段は、オリフィスの開口部に栓をろう付けして構成されると共に、当該栓の前記液体ポイズン領域側の面を前記液体ポイズンとの共存栓に優れた材料より成る薄膜で覆い、前記ろう付けを行っていたろう材が溶融して前記栓が前記開口部から外れた場合に、当該栓で支えられていた前記薄膜が破れることを特徴とする自己作動型炉停止装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】

本発明は、液体金属冷却高速炉の補助の炉停止装置として利用できる自己作動型炉停止装置に関する。さらに詳述すると、本発明は、例えば長期にわたって高い信頼性を発揮することが要求されるため、砂漠、離島、発展途上国等の保守が容易にできないような環境に設置される高速炉に適し、また船舶用、海上立地用、宇宙用等の重力の方向と大きさが陸上と異なる環境に設置される超小型高速炉にも利用できる自己作動型炉停止装置に関する。

【０００２】

【従来の技術】

炉心の異常な温度上昇を感知して作動する自己作動型炉停止装置としては、例えば、特開平５－１８０９７６号公報に開示されたものが知られている。この自己作動型炉停止装置は、両端を閉じた管内に、上から順に封入ガスを充填した領域と液体ポイズンを充填した領域及び真空領域を設け、且つ液体ポイズン領域と真空領域とをフリーズシールで隔離すると共に真空領域を炉心領域に位置させるものである。

【０００３】

炉心の温度が異常に上昇した場合、フリーズシールが溶融する。したがって、液体ポイズンが真空領域に移動して炉心領域に位置し、炉心に負の反応度が挿入されることになって原子炉が停止する。液体ポイズンは、封入ガスの圧力と真空領域の負圧によって移動するので、この自己作動型炉停止装置は、重力の方向及び大きさとは無関係の確実な作動を図ることができる。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述の自己作動型炉停止装置では、液体ポイズンとしてリチウムを、また、フリーズシールとしてアルミニウムをそれぞれ使用している。一方、フリーズシールとしては、ラジウム、バリウム、ストロンチウム等の使用も考えられる。これらのフリーズシール用材料にはリチウムに腐食されるものもあり、メンテナンスフリーとするには耐久性の点で改善が望まれる。

【０００５】

また、フリーズシールの強度は、その温度が融点以下であっても融点に近づくにつれて急激に低下する。このため、フリーズシールの温度が上昇して融点に達する前に振動などによって封入ガスの圧力と真空領域の負圧によって破壊され、設定温度を下回る温度でも作動する虞がある。

【０００６】

本発明は、耐久性の更なる向上とより確実な作動を実現できる自己作動型炉停止装置を適用することを目的とする。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために請求項１記載の発明は、炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、液体ポイズン領域と真空領域とをフリーズシールで隔離し、炉心の異常な温度上昇によりフリーズシールが溶解すると、液体ポイズン領域内の液体ポイズンが真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、フリーズシールの液体ポイズン領域側の面を、液体ポイズンとの共存性に優れた材料より成る薄膜で覆うようにしている。

【０００８】

また、請求項２記載の発明は、炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、液体ポイズン領域と真空領域とをフリーズシールで隔離し、炉心の異常な温度上昇によりフリーズシールが溶解すると、液体ポイズン領域内の液体ポイズンが真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、フリーズシールの液体ポイズン領域側の面を、液体ポイズンとの共存性に優れた材料より成る第１薄膜で覆うと共に、フリーズシールの真空領域側の面を、当該フリーズシールが溶融して体積が膨張した場合に破られる第２薄膜で支えるようにしている。この場合、請求項３記載の発明のように、フリーズシールの体積を、当該フリーズシールと第１及び第２薄膜との接触面積の増加量に対して大きく増加させ、フリーズシールが溶融する場合の体積膨張を増幅し、第１及び第２薄膜をより破り易くすることが好ましい。また、請求項４記載の発明のように、フリーズシールと第１及び第２薄膜との間にそれぞれ加圧チップを介在させ、フリーズシールが溶融する場合の体積膨張でこれら各加圧チップを押し出して第１及び第２薄膜を破ることが好ましい。

【０００９】

また、請求項５記載の発明は、炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、液体ポイズン領域と真空領域とをフリーズシールで隔離し、炉心の異常な温度上昇によりフリーズシールが溶解すると、液体ポイズン領域内の液体ポイズンが真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、液体ポイズン領域とフリーズシールとの間に薄膜を介在させると共に、当該薄膜とフリーズシールとの間に加圧不活性ガス領域を介在させる

ようにしている。
【００１０】
また、請求項６記載の発明は、炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、液体ポイズン領域と真空領域とをフリーズシールで隔離し、炉心の異常な温度上昇によりフリーズシールが溶解すると、液体ポイズン領域内の液体ポイズンが真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、液体ポイズン領域とフリーズシールとの間に薄膜を介在させると共に、当該薄膜とフリーズシールとの間に中間サポートを介在させるようにしている。
【００１１】
さらに、請求項７記載の発明は、炉心内に挿入した両端を閉じた管内に、上から順に封入ガス領域、液体ポイズン領域及び真空領域を設けると共に、液体ポイズン領域と真空領域とをシール手段で隔離し、炉心の異常な温度上昇によりシール手段が溶解すると、液体ポイズン領域内の液体ポイズンが真空領域に移動することを利用して原子炉を停止させる自己作動型炉停止装置において、シール手段は、オリフィスの開口部に栓をろう付けして構成されると共に、当該栓の液体ポイズン領域側の面を液体ポイズンとの共存栓に優れた材料より成る薄膜で覆い、ろう付けを行っていたろう材が溶融して栓が開口部から外れた場合に、当該栓で支えられていた薄膜が破れるようにしている。
【００１２】
【作用】
したがって、請求項１記載の発明では、フリーズシールが液体ポイズンに直接接触することがなく、フリーズシールの腐食が防止される。一方、炉心の温度が異常に上昇した場合、フリーズシールが溶融して薄膜は支えを失う。また、この状態では、封入ガス領域内の圧力は上昇しており、真空領域との間の圧力差が増加する。そこで、液体ポイズンが薄膜を破り、炉心燃料の中心レベルに位置する真空領域に移動する。即ち、炉心に負の反応度が挿入されることになり、原子炉が停止する。
【００１３】
また、請求項２記載の発明では、フリーズシールが液体ポイズンに直接接触することがなく、フリーズシールの腐食が防止される。また、フリーズシールの強度は、その温度が融点以下であっても融点に近づくにつれて急激に低下する。しかしながら、このフリーズシールは第２薄膜で支えられており、溶融する前の破壊の防止が図られる。一方、フリーズシールが溶融した場合には、相変化に伴って体積が膨張し、第１及び第２薄膜を破る。したがって、液体ポイズンが真空領域に移動する。この場合、請求項３記載の発明では、フリーズシールの体積をより多く膨張させることができ、第１及び第２薄膜をより容易に破る。また、請求項４記載の発明では、各加圧チップが第１及び第２薄膜を破るので、第１及び第２薄膜をさらに容易に破ることができる。
【００１４】
また、請求項５記載の発明では、フリーズシールが液体ポイズンに直接接触することがなく、フリーズシールの腐食が防止される。一方、炉心の温度が異常に上昇してフリーズシールが溶融すると、加圧不活性ガス領域が真空領域に通じ、薄膜が支えを失う。したがって、液体ポイズンが薄膜を破り、炉心燃料の中心レベルに位置する真空領域に移動する。
【００１５】
また、請求項６記載の発明では、フリーズシールが液体ポイズン及び薄膜に直接接触することがなく、フリーズシールの腐食が防止される。一方、炉心の温度が異常に上昇してフリーズシールが溶融した場合、中間サポートは支えを失い自重で落下する。また、この状態では、封入ガス領域内の圧力は上昇しており、真空領域との間の圧力差が増加する。したがって、液体ポイズンが薄膜を破り、炉心燃料の中心レベルに位置する真空領域に移動する。即ち、炉心に負の反応度が挿入されることになり、原子炉が停止する。
【００１６】
請求項７記載の発明では、ろう材が液体ポイズンに直接接触することがなく、ろう材の腐

食が防止される。一方、炉心の温度が異常に上昇した場合、ろう材が溶融して栓がオリフィスの開口部から外れる。また、この状態では、封入ガス領域内の圧力は上昇しており、真空領域との間の圧力差が増加する。したがって、液体ポイズンが薄膜を破ってオリフィスを通過し、炉心燃料の中心レベルに位置する真空領域に移動する。即ち、炉心に負の反応度が挿入されることになり、原子炉が停止する。

【００１７】

【実施例】

以下、本発明の構成を図面に示す実施例に基づいて詳細に説明する。

【００１８】

図１には、本発明の自己作動型炉停止装置の一例としてリチウム注入モジュールとして構成した場合の第１の実施例を示す。このリチウム注入モジュールは、両端を端栓７及び８で密封された封入管１の中にオリフィス２及びフリーズシール３を設けて、フリーズシール３よりも上方に液体ポイズン４が充填された領域（以下符号４は液体ポイズン若しくはそれが充填された領域のいずれかを示す）並びに封入ガス５が充填された領域（以下符号５は封入ガス若しくはそれが充填された領域のいずれかを示す）を形成すると共にフリーズシール３の下方に真空領域６を形成して成る。尚、封入ガス領域５は液体ポイズン領域４の上方に形成されている。

【００１９】

また、図２に詳しく示すように、フリーズシール３の液体ポイズン４側の面には、この液体ポイズン４とフリーズシール３との接触を防ぐ薄膜１３が設けられている。

【００２０】

液体ポイズン４としては例えばリチウム－６（以下Li^6と記す）を用いる。Li^6はLi^7中の天然存在比が７．４２％であり、実際はこれを濃縮したものを用いる。Li^6の濃縮度は高めるほど反応度価値を高くできるが、コスト高となる。

【００２１】

封入ガス５としては、アルゴン、ヘリウム等の不活性ガスを室温にて大気圧～数ｋｇ／cm^2Ｇに加圧して封入する。

【００２２】

封入管１は当該リチウム注入モジュールを重力依存型として構成するか、重力非依存型として構成するかによってその内径の大きさを異にする。即ち、重力依存型の場合は地上用の原子炉にのみ適用可能なもので、封入の管１の太さには制約がない。この場合、１本でかなりの反応度価値をもたせることができる。一方、重力非依存型の場合は船舶用、海上立地用、宇宙用などに適用可能なもので、封入管１内の液体ポイズン４と封入ガス５との界面９が重力の方向および大きさにかかわらず、想定される最大加速度に対して維持されるような一定値以下の内径を選定しなければならない。即ち、封入ガス５の表面張力によって、封入ガス５と液体ポイズン４との境界（界面９）が維持される封入管１の直径を選定することが重力非依存型とするには重要である。

【００２３】

また、封入管１およびオリフィス２は、Li^6及び原子炉の冷却材と共存性があり、且つ、設置する炉心部分の最高温度に耐えられる材質であることが必要である。そこで、ナトリウム冷却炉で冷却材局所最高温度が６００°Ｃ程度の場合には例えばステンレス鋼が、リチウム冷却炉で冷却材局所最高温度が１２００°Ｃ程度の場合には例えばモリブデン・レニウム（Ｍｏ－Ｒｅ）系合金又はニオブ・ジルコニウム（Ｎｂ－Ｚｒ）系合金などの使用が適する。

【００２４】

フリーズシール３は物質の凝固を利用したシール材で、ある温度に達すると溶融しシールを解除するものである。このフリーズシール３は、スクラム設定温度が融点となるような金属等で、且つ封入管１およびLi^6と共存性の良い材質のものを用いる。例えば、ナトリウム冷却炉用としては、アルミニウム（融点６６０℃）、ラジウム（融点７００°Ｃ）、バリウム（融点７１４°Ｃ）、ストロンチウム（融点７６８°Ｃ）等が採用できる。

ただしアルミニウムはLi^6と共晶反応を起こすため、耐久性につき実験による検証を要する。また、リチウム冷却炉用としては、例えばマンガン（融点１２５３℃）、ベリリウム（融点１２７０℃）等が適する。これらは共晶反応の問題がなく耐久性が優れている。

【００２５】

薄膜１３は、リチウムとの共存性に優れ、且つ融点が採用するフリーズシールの融点より高い材質のものを用いる。例えば、モリブデン・レニウム（Ｍｏ－Ｒｅ）系合金又はニオブ・ジルコニウム（Ｎｂ－Ｚｒ）系合金等が挙げられる。なお、薄膜１３は、オリフィスに対して拡散接合等により固定する必要があるが、フリーズシール３に対して固定する必要はない。この薄膜１３は、液体ポイズン４とフリーズシール３との接触を防いでいる。

【００２６】

次に、以上のように構成された封入管１の設置位置の一例及び作動原理を図３に示す。

【００２７】

本発明の自己作動型炉停止装置は、平面的には炉心のどの位置にでも設置可能であるが、炉心中心に近いほど反応度価値を高くできる。また、設置レベルとしては、正常運転時（図３の（Ａ）参照）にはリチウム注入モジュールの液体ポイズン領域４を炉心（燃料）領域１０よりも上（炉心出口側）のレベルとし、かつ真空領域６を炉心領域１０に位置させている。ここで、符号１１は燃料ピンないし燃料集合体の軸ブランケット・遮蔽体領域を、１２は軸ブランケット・遮蔽体・ガスプレナム領域を示す。

【００２８】

薄膜１３として、例えば、アルミニウム製のフリーズシールとモリブデン・レニウム合金（Ｍｏ－４１Ｒｅ）製薄膜を採用した場合を例に挙げて詳しく説明する。

【００２９】

炉心領域１０の上の炉心出口温度が異常に上昇してスクラム設定値に達すると、フリーズシールが３が溶融する。

【００３０】

ここで、リチウム側の封入ガスの圧力を室温にて$1kg/cm^2$　Ｇに設定していると、作動設定温度（６６０°Ｃ）では熱膨張により約$6kg/cm^2$　ａｂｓに加圧され、薄膜１３には$6kg/cm^2$　の差圧が作用する。作動設定温度におけるモリブデン・レニウム合金の許容応力は、$160kg/mm^2$　である。薄膜１３の厚さを５０μｍ（＝０．０５ｍｍ）、薄膜１３とフリーズシールの接触部の直径を１２ｍｍとすると、上記差圧により薄膜１３に作用する応力は$650kg/mm^2$　となり、許容応力の約４倍のため薄膜１３は直ちに破れる。

【００３１】

したがって、フリーズシールが溶解すると、液体ポイズン４が直ちに真空領域（炉心燃料レベル）６内の負圧によって吸引され、且つ挿入ガス５の圧力によって押し出され、この真空領域６内に移動する（図３の（Ｂ）参照）。このため、炉心領域１０に負の反応度が挿入され、原子炉が停止する。

【００３２】

即ち、本実施例のリチウム注入モジュールでは、フリーズシール３が溶融して薄膜１３が破れるまでは、フリーズシール３がリチウムに接触することはないため、フリーズシールの健全性が長期的に保証される。

【００３３】

次に、図４に本発明の自己作動型炉停止装置を具現化したリチウム注入モジュールの第２の実施例を示す。

【００３４】

このリチウム注入モジュールは、図４に示すように、オリフィス２の両側に薄膜１４，１５を備えている。ここで、液体ポイズン４に接触する側の薄膜１４は、液体ポイズン（リチウム）との共存性に優れ、且つ融点が採用するフリーズシール３の融点より高い材質のものを用いる。例えば、モリブデン・レニウム（Ｍｏ－Ｒｅ）系合金又はニオブ・ジルコ

ニウム（Ｎｂ－Ｚｒ）系合金等がある。また、真空領域６側の薄膜１５は、融点が採用するフリーズシールの融点より高い材質のものを用いる。リチウムとの共存性は問わないが、リチウムに接触する側の薄膜１４と同じ材質でも良い。この真空領域６側の薄膜１５は、融点近くでフリーズシール３が崩れ易くなるときに、フリーズシールを設定温度まで受け支える。各薄膜１４，１５は、オリフィス２に対して拡散接合等により固定する。

【００３５】

次に、以上の構成のリチウム注入モジュールにおいて、例えば、アルミニウム製のフリーズシール３とモリブデン・レニウム合金（Ｍｏ－４１Ｒｅ）製の各薄膜１４，１５を採用した例を挙げて作動を説明する。作動設定温度（６６０°Ｃ）におけるモリブデン・レニウム合金の許容応力は１６０ｋｇ／ｍｍ^2　である。フリーズシール３が溶融すると、相変化により体積は１１％膨張する。フリーズシール３の体積を１ｃｍ^3　、各薄膜１４，１５とフリーズシール３の接触部直径を１２ｍｍ、各薄膜１４，１５の厚さを５０μｍ（＝０．０５ｍｍ）とすると、上記体積膨張により薄膜に作用する最大応力は許容応力の５倍以上のため、各薄膜１４，１５は直ちに破れる。この時点でのリチウム側の封入ガス５の圧力は、室温における封入圧を１ｋｇ／ｃｍ^2　Ｇとすると、作動設定温度（６６０°Ｃ）では、熱膨張により約６ｋｇ／ｃｍ^2　ａｂｓに加圧されている。したがって、フリーズシール３の溶解により各薄膜１４，１５が破れると、上記差圧により直ちにリチウムが真空領域（炉心燃料レベル）６に移動し、炉心に負の反動度を挿入して原子炉を停止させる。

【００３６】

即ち、本実施例のリチウム注入モジュールでは、フリーズシール３が溶融して各薄膜１４，１５が破れるまでは、フリーズシール３がリチウムに接触することはないため、フリーズシール３の健全性が長期的に保証される。また、フリーズシール３が融点に達した時点で相変化に伴う体積膨張により正確に作動する。

【００３７】

なお、図４に示すフリーズシール３の形状は、断面が液体ポイズン領域４側に向けて広がる截頭円錐状を成しているが、必ずしもフリーズシール３の形状はこの形状に限るものではない。その体積を大きくできる形状であれば、例えば、図５に示すフリーズシール２４のように、大径部２４ａとこの大径部２４ａの両側に位置する小径部２４ｂ，２４ｂより構成しても良い。この場合には、フリーズシール３の体積をより大きくすることができ、溶融する際の相変化に伴う体積膨張が増幅され、各薄膜１４，１５がより破れ易くなる。

【００３８】

さらに、図６に示すように、フリーズシール３と各薄膜１４，１５間に加圧チップ１６，１６を介在させても良い。この場合には、フリーズシール３が溶融する際の相変化に伴う体積膨張で各加圧チップ１６が押し出され、各薄膜１４，１５をより破り易くなる。なお、各加圧チップ１６は、その融点がフリーズシール３の融点よりも高く、尚かつフリーズシール３及び各薄膜１４，１５の何れとも共存性の良い材質のものとすることが好ましく、例えばセラミック等が適している。

【００３９】

次に、図７に本発明の自己作動型炉停止装置としてのリチウム注入モジュールの第３の実施例を示す。

【００４０】

このリチウム注入モジュールは、図７に示すように、フリーズシール３と液体ポイズン（リチウム）４とを薄膜１７及び加圧不活性ガス領域１８により隔離し、フリーズシールがリチウムに腐食されることを防止するものである。

薄膜１７は、リチウムとの共存性に優れ、且つ融点が採用するフリーズシール３の融点より高い材質のものを用いる。例えば、モリブデン・レニウム（Ｍｏ－Ｒｅ）系合金又はニオブ・ジルコニウム（Ｎｂ－Ｚｒ）系合金等がある。なお、薄膜１７は、オリフィスに対して拡散接合等により固定する。

【００４１】

加圧不活性ガス領域１８を構成するガスとしては、高温での安定性の良好なものが求められ、例えばアルゴンガス（Ａｒ）の使用が好ましい。

【００４２】

次に、以上の構成のリチウム注入モジュールにおいて、例えばアルミニウム製のフリーズシール３とモリブデン・レニウム合金（Ｍｏ－４１Ｒｅ）製薄膜１７を採用した例を挙げて作動を説明する。液体ポイズン領域（リチウム領域）４及び加圧不活性ガス領域１８の封入ガス圧力を室温にて１ｋｇ／ｃｍ^2　Ｇに設定していると、作動設定温度（６６０°Ｃ）では熱膨張により約６ｋｇ／ｃｍ^2　ａｂｓに加圧される。フリーズシール３が溶融すると、この薄膜１７には６ｋｇ／ｃｍ^2　の差圧が作用する。薄膜１７の厚さを５０μｍ（＝０．０５ｍｍ）とすると、上記作動設定温度におけるモリブデン・レニウム合金の許容応力は、１６０ｋｇ／ｍｍ^2　である。薄膜１７の有効直径を１２ｍｍとすると、上記差圧により薄膜１７に作用する応力は６５０ｋｇ／ｍｍ^2　となり、許容応力の約４倍のため薄膜１７は直ちに破れる。

【００４３】

したがって、フリーズシール３が溶解すると、直ちにリチウムが真空領域（炉心燃料レベル）６内に移動し、炉心領域１０に負の反応度が挿入され、原子炉が停止する。

【００４４】

即ち、本実施例のリチウム注入モジュールでは、フリーズシール３が溶融して薄膜１７が破れるまではフリーズシール３がリチウムに接触することはないため、フリーズシール３の健全性が長期的に保証される。また、薄膜１７とフリーズシール３とが接触しないため、高温における両者間の相互拡散及び金属間化合物の生成によるフリーズシールの劣化を防止することができる。

【００４５】

次に、図８に本発明の自己作動型炉停止装置としてのリチウム注入モジュールの第４の実施例を示す。

【００４６】

このリチウム注入モジュールは、図８に示すように、液体ポイズン４とフリーズシール３の間に、液体ポイズン４側から順に薄膜１９及び中間サポート２０を介在させて成る。

【００４７】

薄膜１９は、リチウムとの共存性に優れ、且つ融点が採用するフリーズシール３の融点より高い材質のものを用いる。例えば、モリブデン・レニウム（Ｍｏ－Ｒｅ）系合金又はニオブ・ジルコニウム（Ｎｂ－Ｚｒ）系合金等がある。なお、薄膜１９は、オリフィス２に対して拡散接合等により固定する。

【００４８】

中間サポート２０は、その融点がフリーズシール３の融点より高く、薄膜１９及びフリーズシール３の何れとも共存性の優れた材質のものを用いる。中間サポート２０の材質としては、例えばセラミック等が適している。

【００４９】

以上の構成のリチウム注入モジュールにおいて、例えばアルミニウム製のフリーズシール３とモリブデン・レニウム合金（Ｍｏ－４１Ｒｅ）製薄膜１９を採用した例について以下に作動を説明する。液体ポイズン領域（リチウム領域）４側の封入ガス５の圧力を室温にて１ｋｇ／ｃｍ^2　Ｇに設定していると、作動設定温度（６６０°Ｃ）では熱膨張により約６ｋｇ／ｃｍ^2　ａｂｓに加圧される。フリーズシール３が溶融すると、中間サポート２０は支えを失って自重により落下し、薄膜１９には６ｋｇ／ｃｍ^2　の差圧が作用する。作動設定温度におけるモリブデン・レニウム合金の許容応力は、１６０ｋｇ／ｍｍ^2　である。薄膜１９の厚さを５０μｍ（＝０．０５ｍｍ）、薄膜と中間サポート２０の接触部直径を１２ｍｍとすると、上記差圧により薄膜１９に作用する応力は６５０ｋｇ／ｍｍ^2　となり、許容応力の約４倍のため薄膜１９は直ちに破れる。

【００５０】

したがって、フリーズシール３が溶解すると、直ちにリチウムが真空領域（炉心燃料レベ

ル）６内に移動し、炉心領域１０に負の反応度が挿入され、原子炉が停止する。

【００５１】

即ち、本実施例のリチウム注入モジュールでは、フリーズシール３が溶融して薄膜１９が破れるまでは、フリーズシール３がリチウムに接触することはなく、フリーズシール３の健全性が長期的に保証される。また、薄膜１９とフリーズシール３の間に中間サポート２０が介在されているため、薄膜１９とフリーズシール３との相互拡散及び両者間の金属間化合物の生成によるフリーズシール３の劣化を阻止することができる。

【００５２】

次に、図９に本発明の自己作動型炉停止装置としてのリチウム注入モジュールの第５の実施例を示す。

【００５３】

このリチウム注入モジュールは、炉心の温度が異常に上昇した場合に溶融するフリーズシール３に代えて、図９に示すように、炉心温度が異常に上昇した場合に溶融するろう材２１を備えている。

【００５４】

ろう材２１は、スクラム設定温度が融点となるような金属で、オリフィス２、栓２２及び薄膜２３と共存性に優れ、且つオリフィス２と栓２２とを接合可能な材質のものを用いる。例えば、ナトリウム冷却炉用としては、銀・銅・インジウム合金（融点は配合割合により６０５～７１０°Ｃ）及び銀・銅・リン合金（融点６４３°Ｃ）等が採用できる。

【００５５】

薄膜２３は、リチウムとの共存性に優れ、且つ融点が採用するフリーズシールの融点より高い材質のものを用いる。例えば、モリブデン・レニウム（Ｍｏ－Ｒｅ）系合金又はニオブ・ジルコニウム（Ｎｂ－Ｚｒ）系合金等がある。

【００５６】

栓２２は、封入管１及びオリフィス２の材料と同一材質とすることが好ましい。

【００５７】

以上の構成のリチウム注入モジュールにおいて、例えば銀・銅・リン合金製のフリーズシール３とモリブデン・レニウム合金（Ｍｏ－４１Ｒｅ）製薄膜２３を採用した例を挙げてその作動を説明する。液体ポイズン領域（リチウム領域）４側の封入ガス５の圧力を室温にて１ｋｇ／ｃｍ^2　Ｇに設定する。作動設定温度（６４３°Ｃ）におけるモリブデン・レニウム合金の許容応力は、１６０ｋｇ／ｍｍ^2　である。ろう材２１が溶融すると、栓２２は支えを失って自重により落下し、薄膜２３には６ｋｇ／ｃｍ^2　の差圧が作用する。薄膜２３の厚さを５０μｍ（＝０．０５ｍｍ）、薄膜２３と栓２２の接触部直径を１２ｍｍとすると、上記差圧により薄膜２３に作用する応力は６５０ｋｇ／ｍｍ^2　となり、許容応力の約４倍のため薄膜２３は直ちに破れる。

【００５８】

したがって、フリーズシール３が溶解して薄膜２３が破れると、直ちにリチウムが真空領域（炉心燃料レベル）６内に移動し、炉心領域１０に負の反応度が挿入され、原子炉が停止する。

【００５９】

即ち、本実施例のリチウム注入モジュールでは、ろう材２１が溶融して薄膜２３が破れるまでは、ろう材２１がリチウムに接触することはないため、フリーズシール３の健全性が長期的に保証される。

【００６０】

なお、図９に示す栓２２は、真空領域６側に向けて広がる截頭円錐状を成しているが、必ずしも栓２２の形状はこの形状に限るものではなく、真空領域６側に抜けることができる形状であれば良い。例えば、図１０に示す栓２３のように、大径部２３ａと小径部２３ｂより構成されたプラグ状に成形しても良い。

【００６１】

なお、上述の各実施例は本発明の好適な実施の一例ではあるがこれに限定されるものでは

なく本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。

【００６２】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では上述のように自己作動型炉停止装置を構成したので、フリーズシールやろう付け材の腐食を防止して耐久性を向上させることができると共に、フリーズシールが溶融する前に崩れることを防止してより確実な作動を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明を適用したリチウム注入モジュールの第１実施例を示す断面図である。

【図２】図１のリチウム注入モジュールのフリーズシールが配置された部分を拡大した断面図である。

【図３】図１のリチウム注入モジュールを液体金属冷却高速炉の炉心に配置した一例を示し、（Ａ）は正常運転時における位置関係を示す概念図、（Ｂ）はスクラム時における位置関係を示す概念図である。

【図４】本発明を適用したリチウム注入モジュールの第２実施例を示し、フリーズシールが配置された部分を拡大した断面図である。

【図５】図４の変形例を示す断面図である。

【図６】図４の他の変形例を示す断面図である。

【図７】本発明を適用したリチウム注入モジュールの第３実施例を示し、フリーズシールが配置された部分を拡大した断面図である。

【図８】本発明を適用したリチウム注入モジュールの第４実施例を示し、フリーズシールが配置された部分を拡大した断面図である。

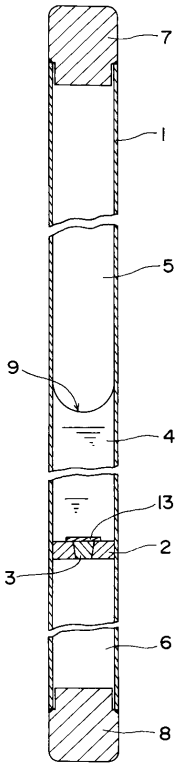
【図９】本発明を適用したリチウム注入モジュールの第５実施例を示し、栓が配置された部分を拡大した断面図である。

【図１０】図９の変形例を示す断面図である。

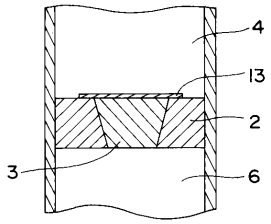
【符号の説明】

１　封入管
２　オリフィス
３，２４　フリーズシール
４　液体ポイズン（リチウム）を充填した領域
５　封入ガスを充填した領域
６　真空領域
１３～１５，１７，１９　薄膜
１６　加圧チップ
１８　加圧不活性ガス領域
２０　中間サポート
２１　ろう材
２２，２３　栓

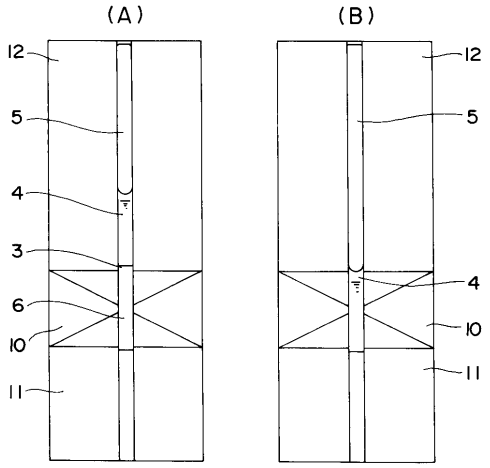
【図１】



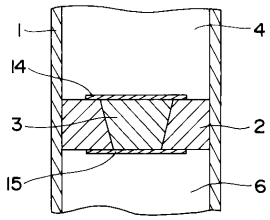
【図２】



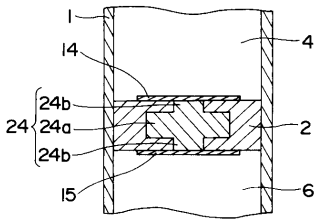
【図３】



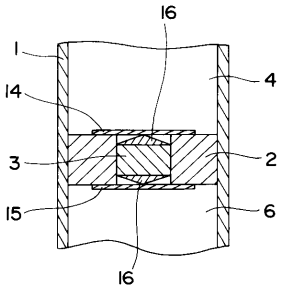
【図４】



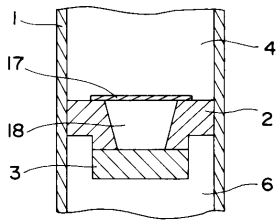
【図５】



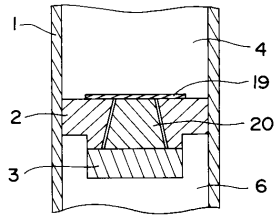
【図６】



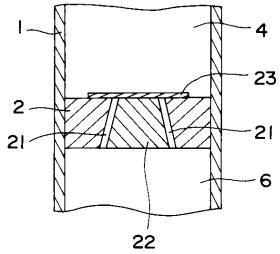
【図７】



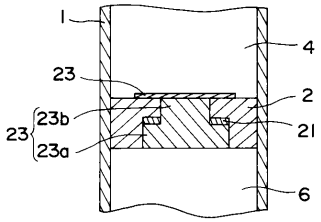
【図８】



【図９】



【図１０】



フロントページの続き

(72)発明者　オー．ブロスト
ドイツ国　スタットガルト　デー－７０５５０，プファッフェンヴァルドゥリング　３１，　フォルシュンクス　インスティテュート　フュア　ケルンテヒニーク　ウント　エネルギーヴァンドゥルング　エー．ファオ．

審査官　今浦　陽恵

(56)参考文献　特開平５－１８０９７６（ＪＰ，Ａ）
特開平７－１５１８８５（ＪＰ，Ａ）
特開平３－２６９３９７（ＪＰ，Ａ）
特開昭５２－８７５９８（ＪＰ，Ａ）
特公昭４９－３８７９８（ＪＰ，Ｂ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
G21C 9/033
G21C 7/22
G21C 9/02