(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6680781号
(P6680781)
(45)発行日　令和2年4月15日(2020.4.15)　(24)登録日　令和2年3月24日(2020.3.24)

(51)Int.Cl.　　F I
G21D 3/08 (2006.01)　　G21D 3/08 GDFX
G21C 19/20 (2006.01)　　G21C 19/20

請求項の数 11　(全 20 頁)

(21)出願番号　特願2017-526568(P2017-526568)
(86)(22)出願日　平成27年11月6日(2015.11.6)
(65)公表番号　特表2017-535776(P2017-535776A)
(43)公表日　平成29年11月30日(2017.11.30)
(86)国際出願番号　PCT/RU2015/000742
(87)国際公開番号　WO2016/076756
(87)国際公開日　平成28年5月19日(2016.5.19)
審査請求日　平成30年11月2日(2018.11.2)
(31)優先権主張番号　2014145266
(32)優先日　平成26年11月11日(2014.11.11)
(33)優先権主張国・地域又は機関
ロシア(RU)

(73)特許権者　517166158
ジョイント・ストック・カンパニー「エーケーエムイー　エンジニアリング」
ロシア　１１５０３５　モスクワ　ウリツァ　ピャトニツカヤ　１３　ストローニ　１
(74)代理人　110001900
特許業務法人　ナカジマ知的財産綜合事務所
(72)発明者　マーティノフ　ペト・ニキフォロヴィッチ
ロシア　ゴロッド　オブニンスク　２４９　０３０、カルザスカヤ　オーブラスチ、クヴァルチーラ　１１、プロスペクト　レニーナ　１３０

最終頁に続く

(54)【発明の名称】冷却材へのガス注入の方法及び制御システム、及び原子炉施設

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
反応炉内の液体金属からなる冷却材にガスを注入する方法であって、
前記反応炉はガス系統に接続され、前記冷却材へのガス注入用の装置を有し、
前記装置は、一部が前記冷却材の中に、別の一部が前記冷却材の界面上の空間に配置され、前記冷却材の界面上の空間から前記冷却材へガスを供給するように構成されており、前記ガス系統は、当該空間へガスを供給し、かつ当該空間からガスを除去することが可能であるように前記反応炉に接続されており、
前記冷却材への注入対象のガスを前記ガス系統から前記冷却材の界面上の空間へ供給するステップと、
前記装置の内部においてガス圧を前記冷却材の圧力よりも高く維持することで前記冷却材の中にガスを注入するステップと、
前記冷却材の界面上の空間から前記ガス系統の中へガスを注入するステップと
を含む方法。
【請求項２】
前記冷却材へガスを注入する間、前記ガス系統から前記冷却材の界面上の空間へガスを供給し続け、および／または当該空間から前記ガス系統へガスを除去し続けることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記冷却材へのガスの注入時間は、前記冷却材の中に注入されたガスが前記冷却材の界

面に到達するまでに要する時間以下であることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項４】
前記冷却材の界面上の空間から前記ガス系統へ除去したガスをろ過して当該空間に再注入することを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項５】
前記冷却材の界面付近の空間においてガス圧を上げることで、前記装置の内部においてガス圧を前記冷却材の圧力よりも高く維持することを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項６】
前記装置の少なくとも一部を回転させて前記装置の付近において前記冷却材の圧力を局所的に下げることで、前記装置の内部においてガス圧を前記冷却材の圧力よりも高く維持することを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項７】
反応炉内の液体金属からなる冷却材へのガス注入を制御するためのシステムであって、
前記反応炉は、ガス系統に接続され、前記冷却材へのガス注入用の装置を有し、
前記装置は、一部が前記冷却材の中に、別の一部が前記冷却材の界面上の空間に配置され、前記冷却材の界面上の空間から前記冷却材へガスを供給するように構成されており、
前記ガス系統は、当該空間へガスを供給し、かつ当該空間からガスを除去することが可能であるように前記反応炉に接続されており、
前記ガス系統を制御して、前記冷却材の界面上の空間へのガス供給および当該空間からのガス抜きを確実に行わせるように構成された系統制御部と、
前記装置を制御して、前記冷却材の界面上の空間から前記冷却材へのガス注入を確実に行わせるように構成された装置制御部と
を備えたシステム。
【請求項８】
前記系統制御部は、前記冷却材の界面上の空間へのガス供給と、当該空間からのガス抜きとの少なくとも一方を連続して行うように構成されていることを特徴する請求項７に記載のシステム。
【請求項９】
タイマーを更に備え、
前記装置制御部は、前記冷却材へのガスの注入時間を確実に、前記冷却材の中に注入されたガスが前記冷却材の界面に到達するまでに要する時間以下にするように構成されていることを特徴とする請求項７に記載のシステム。
【請求項１０】
反応炉と、
前記反応炉内の液体金属からなる冷却材と、
前記反応炉に接続され、前記冷却材の界面上の空間へガスを供給し、かつ当該空間からガスを除去するガス系統と、
一部が前記冷却材の中に、別の一部が前記冷却材の界面上の空間に配置され、当該空間から前記冷却材へガスを供給するように構成された装置と
を備えた原子炉施設であって、
前記ガス系統及び前記装置は、請求項１から請求項６までのいずれかに記載の方法に従って、および／または、請求項７から請求項９までのいずれかに記載のシステムの制御下で機能するように構成されている
ことを特徴とする原子炉施設。
【請求項１１】
前記ガス系統は、閉路形状に接続されたパイプ、ガスフィルタ、及びポンプを有し、当該閉路の起点は前記冷却材の界面上の空間からガスを受け入れるように構成され、終点は当該空間へガスを供給するように構成されていることを特徴とする請求項１０に記載の原子炉施設。
【発明の詳細な説明】

【技術分野】
【０００１】
本発明は、原子力産業及び原子炉施設に関し、特に液体金属冷却材を用いる原子炉施設に関する。また、本発明は原子炉以外の様々な反応炉を有する施設にも適用可能である。
【背景技術】
【０００２】
液体金属冷却材を用いる原子炉施設の主要な問題の一つに、原子炉構造材の腐食がある。腐食の防止には、酸化皮膜を形成して保護する技術が用いられている。この皮膜が完全か否かで、鋼鉄等、原子炉構造材の耐食性が決まる。
上述の問題は、液体金属以外の冷却材を用いる原子炉施設と、核反応以外の反応炉施設とのいずれでも生じうることに注意すべきである。以下、本発明は、液体金属冷却材を用いる原子炉施設について説明するが、液体金属以外の冷却材を用いる原子炉施設でも、核反応以外の反応炉施設でも使用できる。
【０００３】
酸化皮膜の形成には酸素が使用可能である。特許文献１は、酸素ガスを冷却材の中へ直接注入し、または冷却材の界面（例えば冷却材近くのガス室）へ供給する（この場合、酸素は浸透により冷却材の中へ染み込む）ことにより冷却材中の酸素濃度を高める方法を開示している。構造材を構成する鉄、クロム、その他の元素は、鉛やビスマス等、冷却材の構成元素よりも酸素に対する化学的親和性が高い。そのため、酸素が液体金属冷却材にその冷却材の構成元素の酸化物として導入されると、構造材の構成元素を酸化させる。そして酸素濃度が十分であれば、反応炉の壁面に酸化物による保護皮膜が形成される。このような効果を確実にするには、冷却材中の酸素濃度を特定の限度内に維持すべきである。この限度は、冷却材の種類、組成だけでなく、反応炉の設計、および構造材に依存する。
【０００４】
酸素に加えて他のガスが冷却材の中に注入されてもよい。このような方法の不利な点の１つは、冷却材へのガス注入が気泡を形成して冷却材の界面に浮かばせ、これらの気泡からガスが冷却材の界面上の空間に混入することにある。これらの気泡には、冷却材の中にいる間に、塵、および冷却材中に溶解していた要素の固化した粒子が侵入しうる。そのため、冷却材の中に注入されたガスは、冷却材の中に一旦留まり冷却材の界面上の空間に入った後では、これらの塵および固化した粒子で汚染される。このようなガスの再利用、特に冷却材への再注入は冷却材および反応炉設備の汚染をもたらすので、反応炉とその設備との全体に不具合を与え、稼働寿命を短縮させる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】ロシア特許公報第２２４６５６１号
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
本発明の目的は、冷却材へのガス注入に対するある方法、その制御システム、及び反応炉施設を提供することである。この方法、システム、および施設には、本発明の背景技術においては本質的であった不利な点がない。これらには特に、以前、反応炉の冷却材中に注入されたガスに再利用の可能性を与える一方、冷却材の界面上の空間の存在と、冷却材の中で汚染されたガスの再利用とに起因する冷却材、および反応炉の容器、設備の汚染を防止する必要がある。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
本発明の目的は次の方法を使うことによって達成される。この方法は、反応炉の冷却材にガスを注入する方法である。反応炉はガス系統に接続され、冷却材へのガス注入用の装置を有する。この装置は、一部が冷却材の中に、別の一部が冷却材の界面上の空間に配置

され、その空間から冷却材へガスを供給するように構成されている。ガス系統は反応炉に接続され、ガスを冷却材の界面上の空間へ供給し、かつその空間から除去するように構成されている。

【０００８】

この方法は次のステップを含む。冷却材への注入対象のガスをガス系統から冷却材の界面上の空間へ供給するステップと、装置の内部においてガス圧を冷却材の圧力よりも高く維持することで冷却材の中にガスを注入するステップと、冷却材の界面上の空間からガス系統の中へガスを注入するステップ。

発明の可能な実施形態の１つは、冷却材へガスを注入する間、ガス系統から冷却材の界面上の空間へガスを供給し続け、その空間からガス系統へガスを除去し続ける。別の可能な実施形態では、冷却材へのガスの注入時間は、冷却材の中に注入されたガスが冷却材の界面に到達するまでに要する時間以下である。

【０００９】

冷却材の界面上の空間からガス系統へ除去したガスは、好ましくは、ろ過されてその空間に再注入される。ある実施形態は、冷却材の界面付近の空間においてガス圧を上げることで、装置の内部においてガス圧を冷却材の圧力よりも高く維持する。他の実施形態は、装置の少なくとも一部を回転させてその装置の付近において冷却材の圧力を局所的に下げることで、装置の内部においてガス圧を冷却材の圧力よりも高く維持する。

【００１０】

本発明の目的はまた、反応炉の冷却材にガスを注入するための制御システムを使用することによっても達成される。反応炉はガス系統に接続され、冷却材へのガス注入用の装置を有する。この装置は、一部が冷却材の中に、別の一部が冷却材の界面上の空間に配置され、その空間から冷却材へガスを供給するように構成されている。ガス系統は反応炉に接続され、ガスを冷却材の界面上の空間へ供給し、かつその空間から除去するように構成されている。

【００１１】

この制御システムはガス系統制御部と装置制御部とを備えている。ガス系統制御部は、ガス系統を制御して、冷却材の界面上の空間へのガス供給およびその空間からのガス抜きを確実に行わせるように構成されている。装置制御部は、上記のガス注入用の装置を制御して、冷却材の界面上の空間から冷却材へのガス注入を確実に行わせるように構成されている。

【００１２】

ある実施形態では、ガス系統制御部は、冷却材の界面上の空間へのガス供給と、その空間からのガス抜きとの少なくとも一方を連続して行うように構成されている。他の実施形態では、システムがタイマーを更に備えていてもよく、装置制御部は冷却材へのガスの注入時間を確実に、冷却材の中に注入されたガスが冷却材の界面に到達するまでに要する時間以下にするように構成されていてもよい。

【００１３】

本発明の目的はまた、次の原子炉施設を使用することによっても達成される。この施設は、反応炉と、その反応炉内の冷却材と、その反応炉に接続され、冷却材の界面上の空間へガスを供給し、かつその空間からガスを除去するガス系統と、一部が冷却材の中に、別の一部が冷却材の界面上の空間に配置され、その空間から冷却材へガスを供給するように構成された装置とを備えている。このガス系統及び装置は、上記の実施形態のいずれかによる方法に従って、および／または、上記の実施形態のいずれかによるシステムの制御下で機能するように構成されている。

【００１４】

好ましい実施形態では、ガス系統は、ループの形状に接続されたパイプ、ガスフィルタ、及びポンプを有し、このループの起点は冷却材の界面上の空間からガスを受け入れるように構成され、終点はその空間へガスを供給するように構成されている。

【発明の効果】

【００１５】
本発明は、冷却材へのガス注入の方法及びその制御装置（システム）、並びに反応炉施設を提供する。これらには、本発明の背景技術では本質的であった不利な点がない。反応炉の冷却材、容器、および設備の汚染防止という技術的効果が得られる。特に、冷却材の界面上の空間を換気することで、冷却材の中にいる間に汚染されたガスをその空間から確実に除去する。それにより反応炉施設の安全性と信頼性とを向上させ、稼働寿命を延ばすことができる。
【図面の簡単な説明】
【００１６】
【図１】本発明による反応炉施設の模式図である。
【図２】ガス系統の可能な実施形態の１つを示す。
【図３】分散機の実施形態の１つを示す。
【図４】冷却材へのガス注入方法のフローチャートの一例を示す。
【発明を実施するための形態】
【００１７】
本発明は反応炉施設（例えば原子炉施設）に適用される。図１の示す一例のとおり、この反応炉施設は反応炉１０１を有する。この反応炉１０１は冷却材１０４を有し、隔離弁１０９を備えたパイプ１０８と、隔離弁１１５を備えたパイプ１１４とによってガス系統に接続されている。反応炉１０１はさらに、羽根車（インペラー）１１１を有する循環ポンプ１１０と、電源・制御端子１１３を有する分散機１１２とを有する。
【００１８】
反応炉１０１はタンクであり、その壁１０２は、反応炉施設の安全な稼働に必要な、機械的、熱的、および他の種類の耐久性を適度に有する材料（例えば鋼鉄）で形成されている。反応炉施設の安全な稼働は特に重要である。反応炉１０１のコア１０３の内部には、核分裂の過程でエネルギーを放出する放射性燃料が格納されているからである。このエネルギーのうち少なくともある量は熱として、反応炉の中でコア１０３と接触している冷却材１０４（すなわち、放射性燃料はそもそも冷却材の中に置かれている。）に伝わり、更に熱交換器１０７へ運ばれる。熱交換器１０７では熱エネルギーが、放射線源からある距離に置かれた他の物質（例えば、水、蒸気、その他の吸熱性物質）に伝わる。本発明のある実施形態では熱交換器は、他の媒体の加熱、またはタービンの駆動に利用可能な蒸気を発生するように設計された蒸気発生器であっても良い。熱交換器１０７よりも下流では、熱エネルギーが反応炉の外部の系統を通して放射能汚染の危険を冒すことなく伝搬するので、放射能汚染の危険性は反応炉内に限られる。このことと、周囲の放射能汚染が与える深刻かつ長期的な悪影響とを関連付ければ、反応炉の強度及びその安全な稼働には特に重点が置かれる。コア１０３から熱交換器１０７へ熱を長期間、効率良く伝搬させるには、反応炉１０１内の冷却材を、コアと熱交換器とにわたる周回路の中で循環させることが好ましい。この循環を確実にするには、羽根車を有するポンプ１１０の利用が好ましい。
【００１９】
反応炉１０１の強度を長期にわたって保つ上で重要な因子の１つに、反応炉１０１の壁１０２、補強部材、固定部材、強化部材、その他の要素の構造材の腐食を許容レベルにまで防ぎ、または抑えることがある。この因子はまた、ナトリウム、リチウム、鉛、ビスマス等の液体金属から成る冷却材を冷却材１０４として使用する場合にも考慮されねばならない。重金属（鉛、ビスマス）は軽金属と比べ安全性が高い点、特に火災の危険性が低い点で有利である。
【００２０】
重金属から成る冷却材にはさらに、万一の浸水時においても性質が安定であるという利点もある。もちろん、このような冷却材であっても浸水時にはその物理的・化学的性質の変化は避けられないが、その変化は深刻なものではなく、稼働が継続できる。この特徴は、液化または気化した状態で水が存在し、または流れている設備、例えば熱交換器または蒸気発生器の故障または漏れの危険性を考慮すれば、反応炉施設の安全性の向上にとって

有益であり得る。たとえ熱交換器または蒸気発生器が故障した（漏れを生じた）としても、故障した（漏れを生じた）設備の修理または交換を始めるまで反応炉施設を稼働することが可能である。重金属から成る冷却材はその物理的・化学的性質が水または蒸気の侵入には深刻な（致命的な）影響を受けないので、反応炉施設のそのような稼働が可能である。

【００２１】

反応炉の構造材に対する腐食作用を抑制するには、例えば冷却材の界面に酸素を供給し（続いて冷却材の中へ浸透させ）、または冷却材の中に酸素を供給することで、冷却材と構造材との間の界面に酸化皮膜を形成することが効果的であると考えられている。これらの酸素は冷却材によって炉壁へと運ばれ、そこで構造材（例えば鋼鉄）と反応して構造材の表面に酸化皮膜を形成する。このような抗腐食保護の付加的な利点は、酸化物の熱伝導性が低いことにより冷却材と炉壁との間の熱交換率が下がる点にある。冷却材の中に酸素を注入して冷却材中の酸素濃度を上げることは、酸素ガスまたは酸素含有ガスを反応炉内のガス系統から冷却材の界面近傍の空間へ供給すること、またはそのガスを冷却材の中に注入することの少なくともいずれかにより可能である。

【００２２】

もし冷却材中の酸素濃度が高すぎれば、構造材の酸化による腐食が起こるかも知れない。この腐食は、反応炉の稼働期間の短縮、冷却材の漏出の危険、冷却材の中で固化した沈殿物の過度な蓄積等につながる。冷却材中の過度の酸素濃度は、例えば炉内圧の低下と炉内への大気の侵入、または定期的な保守作業が原因であったかも知れない。これらが結果的に冷却材中の酸素濃度を過度に上昇させたかも知れないからである。冷却材中の過度の酸素濃度を下げ、または冷却材を浄化するには、水素ガスまたは水素含有ガスを冷却材の界面付近の空間に供給し、または冷却材の中に注入することが可能である。水素ガスが冷却材の中に注入されると、水素が冷却材中の酸素と相互作用し、および／または酸素が冷却材の元素の酸化物に戻るので、冷却材中の酸素濃度が下がる。著しく高い酸素濃度は炉壁の酸素による腐食の危険性を招くので、冷却材中の過度の酸素濃度を下げることは、反応炉の安全性にとって重要な工程である。

【００２３】

注入対象の酸素または水素は、純ガスでも、不活性ガス、中性ガス、水蒸気、またはその他のガスとの混合物であっても良い。さらに、場合によっては、酸素または水素を含まず、不活性ガスだけから成るガスの注入が必要である（例えば、反応炉の内面を浮遊選鉱によって洗浄する場合）。

冷却材へのガス注入には次の３段階の繰り返しが利用可能である。第１段階では、酸素または水素（またはその他のガス）が冷却材の界面付近の空間の中にガス系統を用いて注入される。このガス系統は反応炉施設の一部であり、パイプ１０８を備えている。このパイプ１０８は、反応炉１０１内の冷却材１０４の界面上の空間１０６への排気口として利用される。冷却材１０４は反応炉１０１のタンクの一部しか満たしていないので、加熱時の熱膨張に伴う炉圧低下の危険性が抑制される。冷却材１０４の界面１０５より上に位置する反応炉１０１のタンクの上部１０６には通常、不活性ガス（Ｈｅ、Ｎｅ、Ａｒ）またはそれらの混合気が満たされ、腐食および望ましくない化学反応を妨げている。ガス系統のパイプ１０８は、反応炉１０１（図１に示されているように、冷却材の界面近傍の空間の中）へガスを供給する目的で設けられている。ガス系統はさらにパイプ１１４を含む。このパイプ１１４は呼吸弁１１５を備え、反応炉１０１からガス系統への排気口として利用される。パイプ（パイプライン）１０８、１１４の目的は、反応炉１０１の中へガスを供給し、またはその中からガスを除去することである（これらの目的は逆であってもよい）。反応炉施設には他のパイプ（パイプライン）が設けられ、反応炉１０１へのガスの供給口／排出口として利用されてもよい。

【００２４】

ガス系統は、図２に詳細が示されているように、パイプライン（パイプ）１０８、１１４、２１６等、混合器、分配器、隔離弁１０９、１１４、２１１～２１５（呼吸弁等）、

フィルタ２０４、ポンプ２０２、２０３、および、図２には示されていないが、ガス系統に通常用いられており、本発明の背景技術から周知である他の設備を含む。ガス系統はガス源２０１、または多様なガスの供給源に接続可能であり、それぞれを含んでいてもよい。ガス系統は、混合器でガスを混合し、分配器でガスを分配、混合することが可能である。分配器の機能は混合器自体でも実行可能である。ガス源２０１からガス系統へのガス供給は隔離弁２１１によって制御される。

【００２５】

反応炉への供給またはガス系統での利用を目的とするガスの供給源の典型は、水を酸素と水素とに電気分解する施設等、ガスの生成施設およびガスの精製施設である。ガス源は、主管、シリンダー、またはシリンダー系統であっても良い。これらは圧縮ガスを収容している。ガス供給には、これらのシリンダー内の高圧が用いられても、ガスが格納された容器からのガス供給用に設置されたポンプが用いられても良い。図２は、高圧の高純度ガスを収容しているガスシリンダー２０１を示す。ガス源からの供給口、またはガス源の内部にはガスフィルタが設置され、さまざまな大きさの粒子からのガスの精製が図られてもよい。ガスフィルタがなければこれらの粒子がガス系統および反応炉を損傷させて、ガスおよび冷却材の汚染につながるであろう。

【００２６】

隔離弁１０９、１１５、２１１～２１５は、ガス系統のパイプ、パイプライン、混合器、分配器、および他の設備を通したガスの動きを制御する目的で設置されている。典型的な隔離弁は、呼吸弁、スイッチ、栓、仕切弁、遮断弁、およびその他、液流または気流の制御に利用可能な設備でありうる。１次隔離弁は、例えば、電動式、油圧式、レバー式、およびその他の方式の駆動装置を用いて遠隔操作されるように構成されている。遠隔操作により、反応炉の修理、定期的な保守、または操作に従事する人々の安全が確保される。さらに、遠隔操作により、１箇所、例えば１枚の操作パネルで多数の隔離弁を制御可能であるので、１箇所で全体の状況を監視し、状況の変化に迅速に対応し、複雑な操作手順の遂行を要する広範な操作を実行することができる。こうして一般には、反応炉の安全性が高まる。

【００２７】

混合器、分配器は、複数本のパイプ、パイプラインを１箇所で接続することにより構成される。これらを通して多様なガスが供給されることで、これらのガスが様々なパイプ、パイプライン、および様々な設備で混合され、またはそれらに分配される。例えば、混合器、分配器の典型は、図２に示されている弁１０９、２１１、２１２の間、または弁２１３、２１４及びフィルタ２０４の間に伸びているパイプ間の接続部である。パイプ、パイプライン間の接続部に代えて、ガスの混合は、ガスの高い拡散性、及び互いに浸透して混じり合う能力により直に行われても良く、複数のパイプ、パイプラインが接続された混合専用の容器の中で行われても良い。混合で得られたガスは１本以上のパイプ、パイプラインによって送られてもよい。すなわち、ガスの送り先は１つであっても、複数に分配されても良い。さらに、同じガスが１本以上のパイプラインから複数本のパイプラインへ供給されてもよい。それらのパイプラインはガスを、それぞれに関係する消費者または目的地へ送る。この場合、ガスは分配される。別の場合では、混合器、分配器は、通常のパイプ、パイプラインのように動作してもよい。この場合、ガスは１本のパイプに供給され、別のパイプから取り出される。

【００２８】

ガス系統の動作状態は隔離弁を用いて制御される。特に、隔離弁の状態（開閉、流量等）によってガス流の方向が決まる。例えば、ガス源２０１からパイプ１０８へガスを供給させるには、すなわち、パイプ１０８は炉壁１０２を貫通して冷却材の界面上の空間１０６に出口を持つので、ガス源２１０からその空間１０６へガスを供給させるには、呼吸弁２１１、１０９が開かれ、呼吸弁２１２が閉じられねばならない。

【００２９】

冷却材の界面上の空間１０６からガスが除去できない場合、すなわち、呼吸弁１１５が

閉じ、または呼吸弁２１３、２１４の両方が閉じている場合、冷却材の界面上の空間１０６がガス源２０１内と同じガス圧になるまで、反応炉１０１へのガス供給に圧力ポンプが用いられる場合は、その圧力ポンプが作り出しうるガス圧と同一になるまで、ガスは反応炉１０１、すなわち冷却材の界面上の空間１０６へ送られる。

【００３０】

一方、冷却材の界面上の空間１０６からガスが除去できる場合、すなわち、呼吸弁１１５、２１４、２１５が開いており、呼吸弁２１２、２１３が閉じている場合、ガスは、ガス源２０１から反応炉１０１へ向い、パイプ１０８を通して冷却材の界面上の空間１０６に供給されると、その空間１０６からパイプ１１４を通してガス系統へ除去される。すると、ガスはフィルタ２０４を通過して除染され、パイプ２１６を通して大気または貯蔵用の空間（例えば、使用済みガス貯蔵容器）へ排出される。すなわち、この場合には、冷却材の界面上の空間１０６の換気が実行される。

【００３１】

冷却材の界面上の空間１０６の換気は、ガス源２０１からのガス供給がなくても可能である。このために、フィルタ２０４とポンプ２０２とを含むガス系統の閉路が用いられる。ガス系統内で閉路を形成するには、呼吸弁１０９、１１５、２１２、２１３を開き、呼吸弁２１１、２１４を閉じる必要がある。この閉路のポンプ２０２が起動し（電源がオンし）、冷却材の界面上の空間１０６からパイプ１１４を通してガスを吸い出すと、このガスはフィルタ２０４とポンプ２０２とを通過し、パイプ１０８を通して冷却材の界面上の空間１０６に再び供給される。ポンプ２０２が逆方向にガスを供給可能であれば、ガスは冷却材の界面上の空間１０６からパイプ１０８を通して除去され、パイプ１１４を通してその空間１０６へ再び入る。しかしこの場合、ガスがポンプ２０２を通過した後にフィルタ２０４でろ過されるので、ポンプ２０２が、ガスに混入している小さな粒子、塵によって汚染される可能性がある。したがって、冷却材の界面上の空間１０６と閉路とにおけるガス循環は、ガスがまずフィルタ２０４を通過し、次にポンプ２０２を通過するという選択肢が好ましい。この場合、ポンプ２０２の汚染の危険性が低減し、その寿命を修理の必要なく延ばすことができるからである。このようにガスを冷却材の界面上の空間１０６と閉路とにおいて循環させることで、この空間１０６内のガスをろ過し、フィルタ２０４で決まる必要な純度を確保することができる。その結果、外部の供給源のガスを消費することなく、冷却材の界面上の空間１０６を純ガスで換気することができる。

【００３２】

フィルタ２０４は、塵、固状、液状、またはゼリー状の粒子、およびその他、ガスを汚染する不純物を吸い込んで保持することの可能な装置である。フィルタ２０４は、不純物を確実に保持する繊維素材、例えばガラス繊維、フェルトを含んでいても良い。様々なスクリーン、ガーゼ等も利用可能である。フィルタ２０４は、例えばサイクロンフィルタのような形式で、遠心分離式もしくは重力式の集塵機を含み、それに接続され、またはそれ自体として設計されていても良い。フィルタ２０４は冷却器を含み、それに接続され、またはそれ自体として設計されてもよい。冷却器は、雰囲気中の水蒸気を冷却して水に変化させることで、水蒸気からガスを精製することができる。一方、精製されたガスはフィルタ２０４から除去される。

【００３３】

冷却材の界面上の空間１０６の換気は別の構造でも可能である。この空間１０６からガスはポンプで除去される。このポンプは排気パイプの中（好ましくはフィルタの下流）に配置されている。そのガスは大気、使用済みガス貯蔵容器、または処理設備へ排出される。図２ではポンプ２０３がそのような設備として利用可能であり、空間１０６からパイプ１１４及びフィルタ２０４を通してガスを除去して排気パイプへ供給する。このような構造を形成するには、呼吸弁１１５、２１４、２１５を開き、呼吸弁２１３を閉じる必要がある。この場合、どのガス源からも冷却材の界面上の空間１０６へガスを供給する必要はない。ガス貯蔵容器または大気へ連通する吸気パイプが設けられれば十分である。貯蔵容器からのガスは、例えば出力ポンプが冷却材の界面上の空間内に作り出したガスの希薄な

状態（低下した圧力）によって、その空間の中に（好ましくはフィルタを通して）吸い込まれる。図２に示されているガス系統では、ポンプも高圧ガス源も使うことなく大気またはガス貯蔵容器に連通可能なパイプが、冷却材の界面上の空間に接続されたパイプの中には存在しない。しかし、他の実施形態ではそのようなパイプが設けられ、それらのパイプが大気またはガス源に連通するように設置されてもよい。

【００３４】

ガス系統の上述の構造においては、冷却材の界面上の空間の換気が複数の方法で実行される。第１の方法では、ガス源からのガスが給気パイプを通して、またはポンプの圧力下で冷却材の界面上の空間に供給され、この空間を通過する。一方、ガスは独りでにこの空間から排気パイプへ送られる。第２の方法では、ガスが抽出ポンプにより、冷却材の界面上の空間から排気パイプを通して除去される。一方、ガスは独りでに給気パイプから冷却材の界面上の空間へ流入し、その空間を通過して排気口へ向かう。第３の方法は上記２つの方法の組み合わせであり、ガスは（ポンプにより、および／またはガス源から）給気パイプを通して冷却材の界面上の空間へ供給されると同時に、ポンプによってその空間から排気口を通して除去される。この場合、閉路内のポンプ２０２と同じポンプが、冷却材の界面上の空間からのガス抜きとその空間へのガスの再供給との両方を行ってもよい。ガス系統の構造がどのように変更されても、冷却材の界面上の空間の換気は、その空間へのガス供給とその空間からのガス抜きとの少なくともいずれかにより行われる。

【００３５】

冷却材の界面上の空間へガスが注入された後、冷却材へのガス注入の第２段階が実行される。この段階では、ガスが冷却材の界面上の空間から冷却材の中へ直接注入される。冷却材の中へガスを注入するための装置（以下、「ガス注入装置」と称する。）を反応炉は備えている。ガス注入装置は、一部が冷却材の中に配置され、別の一部が冷却材の界面上の空間に配置されている。ガス注入装置はこの空間から冷却材の中へ２つの穴を通してガスを注入することができる。これらの穴は流路によって相互に連通しており、一方は冷却材の界面上の空間に位置し、他方は冷却材の中に位置する。実施形態の１つにおいてガス注入装置は、両端で穴に連通している流路を内蔵した管である。管の一端は冷却材よりも上に位置し、他端は冷却材の中に位置する。別の実施形態においては、同様の管が、冷却材の界面上の空間から管の中へ、それにより冷却材の中へガスを注入するポンプを備えていても良い。ガス注入装置は分散機として実現可能である。その構造及び動作原理については後述する。ガス注入装置は、この分散機に、（機能の異なる装置はもちろん、）別の分散機、または冷却材の中へガスを注入可能な他の装置を組み合わせた装置であっても良い。

【００３６】

ガスを冷却材の中へ注入する方法は例えば２つあり得る。第１の方法は、（例えば、冷却材の界面上の空間内のガスがその界面の全体には圧力をかけていない場合、および／または、冷却材内部に比べて圧力が上昇していない空間へ冷却材が流動可能である場合、）冷却材の界面上の空間を冷却材内部に比べて高圧にすることから成る。この方法は、ガス注入装置内のガス圧よりも内圧が低い冷却材の中にガスを強制的に浸透させることができる。ガス圧値は、冷却材の界面上の空間、またはこの空間とガス系統のパイプラインで連通した空間に設けられた圧力センサーを用いて測定することができる。ガス圧値は、冷却材の界面上の空間へポンプで供給されたガスの量（流量計を用いて測定可能である。）に従って決定されてもよい。この方法の不利な点は、冷却材の中に位置するガス注入装置の穴が、皮膜の形成、粒子の固化、または、冷却材の上方に位置するガスから装置内への固形の不純物、塵の侵入によって詰まりやすいことにある。分散機の穴の詰まりを防ぐ目的で、この穴は主にガス注入装置の可動要素に設けられる。これらの可動要素は冷却材の中、例えばガス注入装置の回転要素の下端に設けられる。

【００３７】

第２の方法は、冷却材の中、例えばガス注入装置の近傍に、局所的に圧力の低い領域を作り出すこと、すなわち、ガスに冷却材を同伴させることから成る。これは例えば、冷却

材の中で回転し、または動くガス注入装置の要素を用いることで実現可能である。実施形態の１つではこれは、分散機の下部の円盤（複数枚の羽根を備えていてもよい。）を用いて達成することができる。これらの円盤は回転時、冷却材の内部に遠心力の作用によって低圧領域を作り出す。冷却材の界面上の空間から縦方向の流路を通過して円盤の近傍またはその内部に位置する下側の穴へ到達したガスは、上述の低圧領域へ向かう。ガス注入装置（例えば分散機）、特にその円盤の付近における冷却材の速度勾配により、すなわち、冷却材が分散機付近ではそこから離れた領域よりも速く移動することにより、冷却材の中に入ったガスの気泡は更に小さい気泡に砕かれ、細分されたガスと冷却材との２成分の懸濁液を作り出す。ガス注入装置が可動（回転）要素を含むので、冷却材はガス注入装置の表面付近を移動して（表面に沿って流れて）固体粒子および酸化皮膜を装置から洗い流す。これにより、ガス注入装置の自動的な自己浄化が確実に行われる。この性質は、反応炉施設全般の稼働寿命を延ばし、稼働時の安全性を高めるだけでなく、ガス注入装置の稼働寿命を延ばす。

【００３８】

本発明の実施形態においては、分散機１１２が、反応炉１０１内において冷却材１０４の上に位置する空間１０６から冷却材１０４の中へガスを注入するための装置の機能を持つ。この目的により、分散機１１２は一部が冷却材１０４の中に配置され、別の一部が冷却材１０４の界面近傍の空間１０６に配置されている。酸素または水素を含むガスは、ガス系統のパイプラインから直に冷却材の中へ注入可能である。しかしこの場合、そのパイプラインが冷却材に漬かる。これは、そのパイプラインの閉塞および詰まりにつながるかも知れず、ひいては反応炉施設の安全性に悪影響を及ぼし、その稼働寿命を短縮させかねない。

【００３９】

分散機１１２は垂直に取り付けられる。この場合、分散機１１２はその稼働寿命が延びる姿勢に置かれている。分散機１１２の内部へ冷却材および固化した酸化物が侵入するには、それらが上方へ移動しなければならないので、垂直に取り付けられた分散機１１２ではそれらの侵入が起こらず、それらによる詰まりが発生しない。これが分散機の稼働寿命を延ばす。分散機は冷却材の界面付近の空間から冷却材へガスを供給することができる。具体的には、分散機の上部の穴は、特に冷却材の界面上の空間に位置し、その穴を通して分散機内に取り込まれたガスは、分散機内（例えばそのシャフト内）の流路を下降して、冷却材の中に位置する分散機の下部から排出される。（なお、分散機の配置が異なれば各方向の呼称も変わる。）

図３に示される実施形態では、分散機は２枚の円盤を含む。それらの一方は回転可能であり、他方は回転できない。これらの組み合わせは、間に冷却材の圧力の低い領域を作り出す。この領域にはガスが、シャフトまたは円盤の一方もしくは両方に設けられた穴から到達しうる。円盤間は十分に短い距離に設計可能であり、かつ円盤の一方が他方に対して回転するので、冷却材の圧力の降下速度は、円盤が両方とも回転する場合よりも高い。その結果、冷却材へのガス注入の効率が向上し、ガスの気泡が更に細かくなる。すなわち、冷却材にガスが更に効率良く溶解する。

【００４０】

図３に示す分散機は主に以下の要素で構成されている：上側固定円盤を含む分散機のハウジング３０１；下側回転円盤３０３に接続された中空のシャフト３０２；反応炉容器に分散機を固定しているフランジ３０４；マグネティックカップリング（磁気継手）の駆動側３０６を備え、マグネティックカップリングの従動側３０５を介してシャフト３０２へ回転を伝えるモーター３０７。モーター３０７は駆動側カップリング３０６と共に炉壁１０２の外側に配置され、従動側カップリング３０５は炉壁１０２の内側に配置されている。

【００４１】

図３に示されている好適な例では、分散機の上側固定円盤はハウジング３０１にしっかりと接続されている。下側回転円盤３０３はシャフト３０２に接続され、それと共に回転

可能である。下側円盤とシャフトとは中空であり、両者の内部空間は連通している。シャフトの上部では内部空間が穴を介してガスの周回路に連通している。下側円盤の表面には、周方向に沿って複数個（少なくとも１２個）の小穴が開けられている。この表面は上側円盤の表面から隙間を開けて配置されている。上側円盤にも、この隙間に液体金属を注入するための小穴が開けられていても良い。シャフトはその上部においてモーター３０７のシャフトと、マグネティックカップリング３０５、３０６によって回転可能に接続されている。モーター３０７は密閉されており、周波数変換器から電力を受ける。

【００４２】

分散機は冷却材に浸され、シャフトの上部の穴が液面よりも上に、上下の円盤が液面よりも下に位置する。モーターが作動すると、下側円盤が所定の角速度で回転する。下側円盤に対して冷却材が動く結果、円盤の隙間に低圧領域が形成され、この隙間に下側円盤の上部の穴を通してその内部空間からガスを注入させる。冷却材の速度勾配により、隙間内の気泡は砕かれ、細分されたガスの粒が冷却材と共に隙間から冷却材の主流へ移動する。

【００４３】

分散機の別の実施形態では、下側円盤が固定され、上側円盤が回転可能であっても良い。また、冷却材の界面付近の空間と円盤の穴とを連通させる空洞は、シャフトとハウジングとの双方の内部に設けられていてもよい。穴は、回転円盤と固定円盤とのいずれか、または双方に開けられていても良い。

上述のように、ガス分散機の動作原理は、液体の中の気泡が速度勾配の急な液体の流れの中に注入された途端に砕かれることに基づいている。このような流れの中では大きな気泡は、界面の要素に加わる力の乱雑さにより破壊され、複数の小さい気泡に分解される。分散機は好ましくは、急勾配の液流を回転円盤と固定円盤との隙間に作り出す。他の条件がすべて同一の場合、ガスの拡散度は流れの速度勾配で決まる。円盤の隙間を狭め、または円盤間の相対運動における線速度を上げることで、流れの速度勾配は増大する。

【００４４】

冷却材へ注入するガスは、分散機の動作を制御する機能はもとより、ガス系統の動作を制御する機能により調節可能である。ガス系統の動作により、肝心なガスを冷却材の界面付近の空間へ注入することと、その空間の圧力を上昇させることとの少なくとも一方が実現可能である。分散機の動作状態には、（円盤を回転させず）冷却材の界面上の空間から冷却材の中へはガスを注入しない受動的状態と、（円盤を回転させて）その空間から冷却材の中へ酸素含有ガスを注入する能動的状態とがある。冷却材の中へガスを注入する速度（効率）は円盤の回転速度に依存しうる。回転円盤を備えた分散機の適用は合理的である。何故なら、冷却材の界面付近の空間から冷却材へガスを注入するのに圧力を高める必要がなく、分散機を（能動的状態で）駆動するだけで十分であるので、分散機の動作が簡単化され、これにより制御系統の動作の信頼性を向上させるからである。

【００４５】

分散機を（能動的状態で）駆動するには、シャフト及び円盤（すなわち、円盤のうち回転する１枚と、それに接続された１本のシャフト）を回転させる必要がある。これは例えばモーターを使って実行可能である。高温及び冷却材の蒸気の破壊的な影響を抑制し、その結果として稼働寿命を延ばすには、モーターは反応炉の外に設置されるべきである。（ただし、別の実施形態ではモーターが反応炉の中に設置可能である。）分散機の一部を回転させるには、シャフトはモーターから伸びて炉壁を貫通していても良い。この場合、炉壁には開口部があるべきである。しかし、反応炉の構造強度を高めて稼働時の安全性を向上させるには、好ましくは、炉壁の両側に互いに対向するように設置された部分を持つマグネティックカップリングを用いて、回転がモーターから分散機の要素へ伝達可能である。マグネティックカップリングの半分により形成される磁界が回転力を、炉壁の反対側に位置するマグネティックカップリングのもう１つの半分へ伝えることで、分散機が作動する。分散機のモーターは、反応炉の外に位置する場合、図１に示されている配線（ケーブル）１１３を通して制御可能である。この配線１１３は、電源電圧の供給、遮断、またはそのパラメータの変更により、モーターに電力を供給するように設計されている。

【００４６】
本発明において、モーターを用いて分散機を作動することを分散機の「駆動」と称し、分散機に動作を停止させる場合においてモーターを停止させることを分散機の「駆動解除」と称する。モーターの回転速度の制御としては複数の異なる方法があり得る。バイナリー（オンオフ）式のもの、異なる回転速度を切り換えるもの、または特定範囲内の回転速度を任意に設定可能なもの。結局のところ、回転速度が高いほど、冷却材に溶解するガス（酸素を含む）の量が多く、形成される気泡が小さい。
【００４７】
上述のように、冷却材の界面上の空間にガス圧の高い状態が作り出され、分散機が駆動されない場合でも、冷却材の中へガス（酸素含有ガスを含む）を注入することはできる。しかしこの場合、分散機の排気口が詰まるかも知れない。したがって、反応炉設備の信頼性を向上させ、かつその稼働寿命を延ばすには（これらは、反応炉施設の安全性の向上及びその稼働寿命の延長につながる。）、冷却材の中へのガス注入にこの方法（冷却材の界面付近の空間においてガス圧を上昇させることによる）を適用する場合においても、とにかく、ガス注入装置を駆動するべきである。その結果、冷却材に浸されたガス注入装置の下端では排気口が冷却材と共に周囲を移動するので、排気口の上および中に、酸化物、沈殿物、膜等が蓄積することを防ぐことができる。
【００４８】
さらに、ガス注入装置を駆動することなくそれを通して冷却材の中にガスが染み込むように冷却材の界面付近の空間のガス圧をまさに制御することは、大きな気泡を形成するので望ましくないかも知れない。大きな気泡は、例えば、反応炉の内面を浮遊選鉱によって洗浄する効果が小さい。また、冷却材の界面付近の空間のガス圧をまさに制御することは、ガス系統における圧力制御が分散機の回転速度の制御よりも精度が低いので、冷却材中のガス（例えば水素または酸素）の濃度を大幅に不正確にし、結果的に、分散機の回転端（円盤）付近で冷却材の圧力を局所的に低下させる。したがって、分散機を駆動して冷却材の中へガスを注入することが好ましい。
【００４９】
ガスは、冷却材の中に気泡の形で注入された後、界面に浮上する傾向を示す。これは、ガスの密度が冷却材の密度よりも大幅に低いことによる。冷却材は、気泡が移動可能な液体である。（一般的には、本発明は、冷却材だけでなく、他のあらゆる液体へのガス注入に利用可能である。）アルキメデスの原理に従って気泡は上方へ流れ、すなわち浮上する。
【００５０】
冷却材が反応炉内を循環させられている場合、すなわち、例えばポンプ１１０のような循環ポンプの作用で冷却材が閉路内を移動している場合、冷却材の速度がその中の気泡の速度よりも高いと、気泡は冷却材に引きずられて閉路全体にわたって移動し得る。浮遊する気泡を含む冷却材の塊が反応炉内の冷却材の界面（すなわち、冷却材１０４とその上の空間内のガス１０６との２種類の媒体を分ける界面１０５）に近い場合、または冷却材の循環が止まった場合にのみ、気泡は冷却材の界面に浮上する。
【００５１】
いずれの場合にも、冷却材内をガスが移動するときに気泡の流れが炉壁の表面から、沈殿物、固体粒子、塵等を取り除く。これらの沈殿物、固体粒子、塵は気泡内に蓄積し、やがて冷却材の界面に浮上し、そこから冷却材の界面上の空間内のガスの中に取り込まれる。このような効果は、冷却材に曝される反応炉の構造物を浮遊選鉱によって洗浄するのに利用可能である（その場合、不活性ガス、水蒸気、または、水素と水蒸気とが不活性ガスに混合した物等の混合気が注入され得る）。上述の現象により、ガスが気泡の形で冷却材の中へ注入された直後から、冷却材内における気泡の浮上速度及び循環時間で定義される時間の後、上述の汚染物質（これらは、炉壁からだけでなく、冷却材自体からも、気泡内に侵入しうる。）で満たされた気泡が冷却材の界面に浮上し、冷却材の界面上の空間内のガスが塵、固体粒子等で汚染される。

【００５２】
この時点で、冷却材へのガス注入が継続している場合もある。冷却材の界面上の空間内のガスは汚染されているので、冷却材には汚染されたガスが注入される。したがって、冷却材が浄化されず、汚染物質が反応炉の壁及び構造物に再び堆積しうる。それは別としても、ガス注入装置は流路を備え、それを通して冷却材の中へガスを注入するので、汚染されたガスがこの流路を流れると、ガス注入装置を詰まらせ、その効率（処理量）を損なわせるかも知れない。さらに、ガス注入装置の排気口、すなわち冷却材の中に沈められた装置の端部に位置する穴の付近に堆積物および詰まりが生じる可能性は高いので、汚染されたガスはその可能性をさらに高め、排気口をさらに汚染されやすくする。一方が他方に対して回転する２枚の円盤を備えた分散機がガス注入装置として使用される場合、これらの円盤の隙間も汚染されて分散機の処理量を減少させるかも知れず、極端な場合、分散機を故障させ、排出口を詰まらせかねない。

【００５３】
これらは全て、汚染されたガスが冷却材の中へ注入されることを避けなければならないことを示唆している。この目的で、ガスが冷却材の中へ注入された後の第３段階においては、汚染されたガスが冷却材の界面上の空間から除去される。ガスの除去は、例えば、抽出ポンプを用いて反応炉内から排気パイプを通してガスを抜くことで行われても良い（通常、抽出ポンプの前段にはフィルタが実装され、ガス中の汚染物質をこし取ることが可能であるので、汚染によるポンプの故障またはその性能の劣化が防がれる）。それと同時に供給パイプが開いている場合、ガスは冷却材の界面上の空間へ供給（注入）される。このガスは、大気または純ガス貯蔵容器から精製されたガスであっても、冷却材の界面上の空間から除去されてろ過されたガスであっても良い。また、ガスの除去は、冷却材の界面上の空間へ純ガスを供給することで行われても良い。この純ガスが、開いている排気パイプを通して外へ強制的に、汚染されたガスを押し出す。

【００５４】
第３段階が利用可能であるので、汚染されたガスが冷却材の界面上の空間から除去され、純ガス（または精製ガス）で置き換えられる。したがって、汚染されていない純ガスが冷却材に注入され、冷却材の特性の劣化およびその交換の必要性を防ぎ、炉壁から汚染物質を除去してその発生を防ぐことで、反応炉の構造物を腐食から保護する。こうして、反応炉の寿命が延び、その稼働時間が修理不要で増えるだけでなく、ガス注入装置の汚染および詰まりが防止される。

【００５５】
冷却材の中への汚染されたガスの注入を防ぐ目的で冷却材の中へガスを注入する際、反応炉施設の操作、より具体的には、ガス系統の要素及びガス注入装置の操作は、例えば、図４に示されている方法に従って実行されてもよい。ガス供給の制御は単一の制御装置、または複数のモジュールからなる制御システムを用いて実行可能である。
１つの実施形態では、冷却材へのガス注入を制御するためのシステムは、ガス系統の制御用モジュール（以下、「系統制御部」と称する。）と、ガス注入装置の制御用モジュール（以下、「装置制御部」と称する。）を含む。系統制御部はガス系統、特にその設備、ポンプ、弁等を制御して、反応炉が内部に含む冷却材の界面上の空間へガスを供給させ、またはこのガス供給を遮断させ、その空間からガスを確実に除去させ、かつその除去動作を確実に停止させる。この目的を系統制御部は、例えば図２に示されているガス系統の構成に従って達成する。装置制御部はガス注入装置を制御して、冷却材の界面上の空間から冷却材へガスを供給させ、またはその供給を停止させる。この目的には、例えば図３に示されている分散機が、その駆動および駆動解除の方法と共に利用可能である。

【００５６】
図４に示されている方法が用いられる場合、まずステップ４０１において、冷却材へのガス注入が必要であるかが確認される。ガス注入が不要な場合、待機モードが継続され、ステップ４０１における確認作業が定期的に繰り返されるか、または冷却材へのガス注入の必要性を示すコマンドが受信されるまで処理が中断する。ステップ４０１は、系統制御

部、装置制御部、または汎用の制御モジュールにより実行可能である。

【００５７】

ステップ４０１で冷却材へのガス注入が必要と判断された場合、ステップ４０２において、系統制御部と装置制御部との少なくともいずれかが、冷却材の界面上の空間へガスが供給されているかを確認する。ガスが供給されていなければ、ステップ４０３において系統制御部が、例えば冷却材の界面上の空間にガスを供給するガス系統の構成（図２を参照して説明した複数の構成例）の１つを用いて、その空間にガスを供給する。

【００５８】

ステップ４０２において冷却材の界面上の空間へガスが供給されていると判断された場合（そのガスが、冷却材に供給されねばならないガスと一致しているかの確認が追加されても良い）、またはステップ４０３が完了した時、装置制御部はステップ４０４を実行し、すなわちガス注入装置を駆動する。

ステップ４０４の完了直後、またはその実行の過程では、ステップ４０５において、特定の時間を計測するタイマーが起動する。このタイマーは、独立したモジュールとして制御システムに含まれていても、装置制御部等、他のモジュールの一部であっても良い。タイマーによって計測される時間が経過する間、ガス注入装置が冷却材へのガス注入を継続する。タイマーに設定される時間は、ガスが冷却材へ注入された直後から、気泡が冷却材の界面に浮上するまでに要する時間として定義されても良い。仮に冷却材の循環が行われていなければこの時間はかなり短く、冷却材の界面から、ガス注入装置が冷却材へガスを注入するための穴までの距離（深さ）を気泡の浮上速度で割った値として定義できる。反応炉内での冷却材の循環が、例えば図１に示されている循環ポンプ１０１により生じる循環が存在し、注入されたガスの泡が冷却材に引きずられる場合（このことを目的として、例えば図１では分散機１１２がポンプ１１０付近に配置され、インペラー１１１が回転して冷却材を下降させている。）、それらの泡は循環路の全体を通過した後に冷却材の界面に浮上するかも知れない。この場合、タイマーに設定される時間は、循環路の長さまたは気泡が浮上までに辿る経路の長さを冷却材の循環速度で割った値に等しくても良い。

【００５９】

タイマーによって計測される時間が経過した直後における装置制御部の反応には複数の態様があり得る。第１の反応では、装置制御部は単に冷却材へのガス注入を止める。これにより、冷却材の界面上の空間が純ガスで換気されているか否かに関わらず、汚染されたガスの注入が防止される。第２の反応では、系統制御部が冷却材の界面上の空間の純ガスによる換気を中断することなく（連続して）行うのであれば、装置制御部は動作状態をそのまま維持し、冷却材へのガス注入を継続する。この場合、ガス注入装置が冷却材に注入するガスは純ガスであるので、汚染されたガスに起因する被害が防止される。第３の反応では、装置制御部は図４の方法（上記の２つの方法の組み合わせ）に従って動作する。

【００６０】

ステップ４０５で起動したタイマーによる設定時間の計測の完了に続き、ステップ４０６において装置制御部は、冷却材の界面上の空間へガスが供給されているか（その空間が換気されているか）を確認する。ガスの供給が継続されている場合、ガス注入装置は冷却材の中へのガスの注入を継続し、ステップ４０５へ進む。すなわち、設定時間が再度計測される。ガスが供給されていない場合、装置制御部はステップ４０７においてガス注入装置の駆動解除を行い、ステップ４０１に進んで同じ方法をもう一度用いる。この方法の繰り返しにより、冷却材へのガス注入を確実に自動制御することができる。これにより、適格者の介入の必要性を軽減し、反応炉施設の稼働制御への彼等の参加をある程度、排除することができる。

【００６１】

図４に示されている方法の実施形態では、冷却材へのガス注入を中断することなく行う時間は、冷却材の界面上の空間にガスを供給する時間で定義される。系統制御部によって制御されるガス供給の動作モードに依存して、システム全体では以下の２つの動作モードが可能である。系統制御部が長時間にわたって（ステップ４０５で計測される時間を超え

て）冷却材の界面上の空間へのガス供給を中断することなく行う場合、図４に示される方法に従って冷却材の中へのガス注入も中断することなく行われる。その時間は、例えば系統制御部の一部として追加されたタイマー、または他の装置もしくは制御盤から送信されるコマンドにより設定可能なガス系統からのガス供給時間で定義される。系統制御部が短時間（ステップ４０５で計測される時間未満）しか、冷却材の界面上の空間へのガス供給を行わない場合、もし図４に示されている方法に従って冷却材の中へのガス注入が一度実行された後、すなわちステップ４０７完了時点でもなお、冷却材へのガス注入が必要であれば、図４に示されている方法に従って冷却材の中へのガス注入が単発で、または非連続的に（繰り返して）実行される。

【００６２】

この方法のステップは、図示され、かつ説明された順序で実施されるのが好ましいが、別の実施形態では、可能であればいつでも別の順序で、または同時に実行可能である。

系統制御部と装置制御部との動作の相互関係は、図４に示されている方法の実施に関連して上述された相互関係とは異なっていても良い。例えば、冷却材の界面上の空間へのガス供給と冷却材の中へのガス注入とは一緒に開始され、かつ終了されても良い。それらは同時であっても、時間差があっても良い。さらに、冷却材の界面上の空間へのガス供給が図４に記述されているものであり、全体として本発明の記載どおりである場合、これは、冷却材の界面上の空間からのガス抜きと同等とみなされても、その空間へのガス注入とその空間からのガス抜きとの並行と同等とみなされてもよい。これらの動作は、例えば冷却材の界面上の空間における圧力上昇の必要がなければ、同時に実行可能だからである。汚染されたガスを純ガスで強制的に押し出し、または置換することを連続的に、またはガスが冷却材の中へ注入されていない時に行うことを目的として冷却材の界面上の空間を換気する機能を与えることが重要である。

【００６３】

純ガスは、毎回新たに（すなわち、初めて）供給されたガスであるように、ガス源から冷却材の界面上の空間へ供給されてもよい。それとは別に、その空間に供給される純ガスが、その空間から除去された汚染されたガスをろ過することで得られる場合、ガスを循環させることができる。この目的においては、フィルタとポンプとを含む閉路を形成するガス系統の構成（上述参照。）を用いることができる。

【００６４】

もし、冷却材の圧力値よりも高い値の圧力を冷却材の界面付近の空間（したがって、ガス注入装置内）に作り出す方法が、冷却材の中へのガス注入に利用されるのであれば、冷却材の界面上の空間の換気は間欠モードと連続モードとのいずれかで実行可能である。間欠モードでは、上昇したガス圧による冷却材の中へのガス注入が許容時間以内であり、その後、ガスが排気パイプに流れ込むことによりガス圧が下がり、冷却材の界面上の空間が換気される。連続モードでは、冷却材の界面付近の空間において上昇したガス圧を維持する目的で、その空間からガスが、圧力を低下させない速度で排出される。排気速度は、例えば、隔離弁の穴の大きさ、または、フィルタもしくは他の設備によって生じるガス流に対する抵抗によって制御可能である。排気速度および冷却材の界面上の空間の換気能力は、例えばガス系統の状態（構成）または流量計の使用により測定可能である。

【００６５】

系統制御部と装置制御部とは情報を、例えばバイナリー形式で、相互に交換可能である。例えば、ガスが供給されているか否か、ガス注入の停止が必要であるか、ガス供給が開始可能であるかが通知される。（場合によっては、相手のガス供給を直接禁止する信号、または、相手が制御対象の設備に対して行う電力供給もしくは制御信号の送信を制限する信号が送られても良い。）別の実施形態では、系統制御部と装置制御部とは、設備の動作モードおよびガス系統の状態についての情報、動作モードおよび動作パラメータの変化についての情報、並びにガス系統の動作および状態の変化についての情報を交換しても良い。これらの情報は例えば、装置が駆動状態であるか、もしくは駆動解除であるか、または、隔離弁が一定速度で開いているか、もしくは閉じているかに関する。隔離弁の開閉速度

は、瞬時値、または、測定が継続されている期間のうち、特定の期間、単一の開閉期間、その中でも一部の期間、もしくは全体における変動値の中から特定可能である。他の実施形態では、系統制御部と装置制御部とはそれぞれ、相手の制御対象である設備または弁が駆動と駆動解除とのいずれの状態であるか（または駆動の程度）についての情報を、その設備もしくは弁から直に、またはその設備もしくは弁を制御するドライバ、ドライブ、もしくはカードから取得しても良い。したがって、例えば系統制御部と装置制御部とは、分散機の状態（駆動、駆動解除、駆動の程度）、および／またはガス系統を制御し、もしくは診断する設備の状態についての情報を受信し、または交換可能である。ガス系統を制御し、または診断する設備は、例えば、センサー、隔離弁（その他の弁、呼吸弁等）、またはポンプである。（この設備の状態は、開閉位置、容量、流速、駆動と駆動解除との状態の別、および／または駆動の程度で表現可能である。）この設備の状態についての情報を系統制御部と装置制御部とはそれぞれ、この設備を制御する相手の出力からだけでなく、分散機、ガス系統の設備（電源端子またはセンサー）から直に、および／または、特定の設備のボード、ドライバ、制御カードから取得する。

【００６６】

別の実施形態では、系統制御部と装置制御部とは、本発明に従って必要な操作のいくつかの実行の必要性を示す、光、音、その他の指示信号を生成しても良い。これらの指示を反応炉施設の監視制御員は知覚可能であり、例えばその知覚後になされる決定に基づき、設備および／または弁の駆動と駆動解除とを実行し、またはそれらについてのコマンドを系統制御部と装置制御部とに与えることができる。

【００６７】

制御システムは、現状の動作モードが機器や冷却材の汚染につながりうる場合に、分散機の駆動解除やガス供給の停止、冷却材上部空間へのガス供給、冷却材上部空間からのガス除去の必要性を知らせる警告信号を生成する警告信号モジュールを有していても良い。

本発明の制御装置（制御システム）は上記以外の構成を有していても良く、それは追加・除外・置換によって得られる代替的な構成であっても良い。図１～３に示されている反応炉施設や装置の実施例、及び図４に示されている制御方法のフローチャートは例示のみを目的とするものであり、請求項で定義される本発明の保護範囲を限定するものではない。また、ここまで単数で記載したあらゆる動作や物体、モジュール、要素、機器、その他性質については、施設・方法に複数存在すると解釈しても良い。また複数で記載したものについても、当該性質の利用には一つの物体・動作で十分な場合もある。

【００６８】

制御システムは自動化されていても良い。すなわち、当該システムは、それが受け付け・処理したデータに基づき、独自にすべての決定を行い、実施にうつしても良い。このような冷却材へのガス注入の自動化は、担当者が反応炉施設の制御に携わる必要をなくすという利点を有する。一方でこの自動化により、ポジティブフィードバックが無限大になった場合、制御サイクルの閉鎖性により反応炉施設の動作条件が許容限界を超えてしまうリスクがある。その場合、パラメータの逸脱を制御しようとすると、パラメータがかえって大きく逸脱してしまう（このような状況は、処理アルゴリズムの欠陥や機器の不具合により起こりうる）。

【００６９】

また、冷却材へのガス注入は、データ処理や意思決定への人の関与を伴って実現することもできる。この場合には、高い技術を持つ専門家の関与が必要になる。一方この場合、あらゆる全てのパラメータを考慮した上で、反応炉施設の危機的・臨界的な動作状況への移行を防ぐことができる。自動化された装置とは異なり、人間は安全性及び長期的な稼働に係る問題を考慮した上で適応的に現状を推測し、行動計画を変更できるためである。

【００７０】

人がデータを受け取り、制御システムとやり取りができるように、反応炉施設は、光による表示を行う装置（発光パネル、ディスプレー、情報盤等）や音による表示を行う装置（スピーカ、ブザー、警報システム等）等の表示手段を有する制御盤を有していても良い

。制御盤は、必要な情報の要求や、試験、制御コマンド入力用の入力装置を有していても良い。入力装置は、ボタンやトグルスイッチ、レバー、キーボード、センサー、タッチパッド、トラックボール、マウス、センサーパネル等の、既知の入力装置であっても良い。情報機器の多様性を考慮し、また人が制御盤をより快適に利用できるように、制御盤を物理的に延長しても良い。機器は、操作時の快適性に加え、その車輪の順行により、操作者が制御盤の離れた位置にある部分に迅速かつ容易に移動でき、また容易に現在の位置を離れ迅速に所望の位置に到達することを可能にする車輪付きの椅子を含んでも良い。

【００７１】

なお、制御システムのいずれの例も、すなわち自動化された例も人が関与する例も、それぞれ特定の欠点を有する。手動制御の欠点は、例えば人によるデータ処理及び意思決定の速度が反応炉施設が求めるそれよりも遅いことである。一方、完全に自動化された制御システムは、問題発生時やデータ処理アルゴリズムが欠点を有する場合に安全でない場合がある。よって、上記の例を組み合わせた制御システムを実施しても良い。具体的には、データ処理及び制御は自動的に実行する一方、データを表示手段で表示し、許容限界を超える（もしくは許容限界に近づいた）パラメータがある場合その他の必要な場合には、担当者が自動化された制御システムの動作の調節や手動での制御を実行するとしても良い。

【００７２】

制御システムのモジュールは、ハードウェア、すなわち個別電子部品、集積回路、プロセッサ、ラック等を用いて実施することができる。制御システムはアナログ式、デジタル式、デジアナ混合式のいずれであっても良い。反応炉内や制御盤内の機器に電気接続され、それら機器の動作制御やデータを処理するモジュールは、電圧変換器や電流変換器、周波数変換器、Ａ／ＤコンバータやＤ／Ａコンバータ、ドライバ、電流／電圧源、制御要素を含んでも良い。これらの要素やモジュールは一つの回路基板に集約して配しても良いし、複数の回路基板に配しても良い。また、一つの基板・部品に集約しても良いし、複数の基板・部品に適宜分配しても良い。また、回路基板を用いずに実施・配置しても良い。

【００７３】

制御システムのモジュールはソフトウェアで実現しても良い。そのために、ハードウェアとしてプログラマブルロジックデバイス、コントローラ、プロセッサ、やコンピュータを用い、ソフトウェアとして、反応炉の装置や機器に接続された集積回路、コントローラ、プロセッサ、コンピュータ等によって実行されるコマンドやコードを有するプログラムを含むソフトウェアを用いる。これらプログラムは、既知の様々な形態で実施できる、コンピュータ読み取り可能なデータ媒体である記憶部に記憶する。そのような記憶部の例として、読み取り専用メモリ、フロッピーディスク、フラッシュドライブ、光学ディスク、フレームメモリ等がある。またプログラムは、本発明の方法及びアルゴリズムのすべてもしくはその一部の実施に必要なコードチェーンやコマンドチェーンを含んでも良い。集積回路やコントローラ、プロセッサ、コンピュータは、制御盤から独立した入力／出力装置に接続しても良いし、制御盤に含まれる入力／出力装置に接続しても良い。制御システムの各モジュールは、ソフトウェアモジュールであっても良い。また、一又は複数のプログラム、もしくは一又は複数のソフトウェアパッケージや要素に統合しても良い。

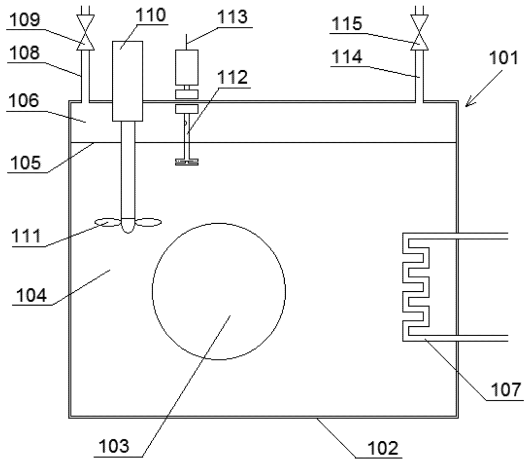
【００７４】

制御システム及びそのモジュールはハードウェア、ソフトウェアのいずれで実施しても良い。すなわち、モジュールの一部もしくは全てをハードウェアで実施しても良いし、モジュールや制御装置の一部をソフトウェアで実施しても良い。反応炉機器（ガス系、ガス注入装置）の制御モジュール及びセンサー変換モジュールはハードウェアで実現するのが好ましい。一方、データ・コマンドの処理や情報表示、及び処理パラメータ（例えば閾値や許容値）の制御を行うモジュールは、コンピュータ、プロセッサ、コントローラの使用を前提としてソフトウェアで実現しても良い。さらに、特殊用途の集積回路も生産可能である。これら回路は、必要なハードウェア要素を全て含み、データ処理用のプログラムやパラメータがこれら回路にダウンロードされる。

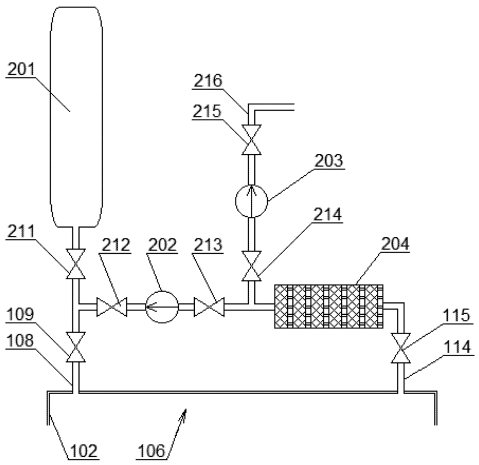
【００７５】

電子的なものに限らず、全ての要素や部品は耐放射線性を有するのが好ましい。このことで、電離放射線源となりうる反応炉施設の一部としての要素やシステム全体の動作を保証し、事故状態の下でも反応炉の動作制御を可能にし、潜在的な悪影響を防ぐことができ、ひいては安全性の向上と長寿命化を可能にする。

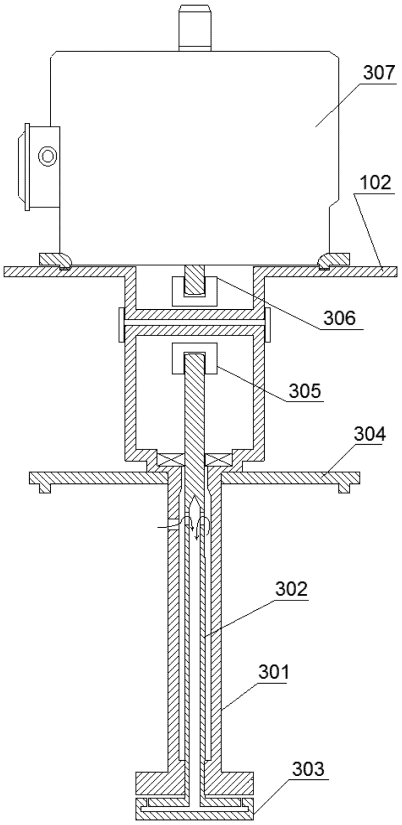
【図１】



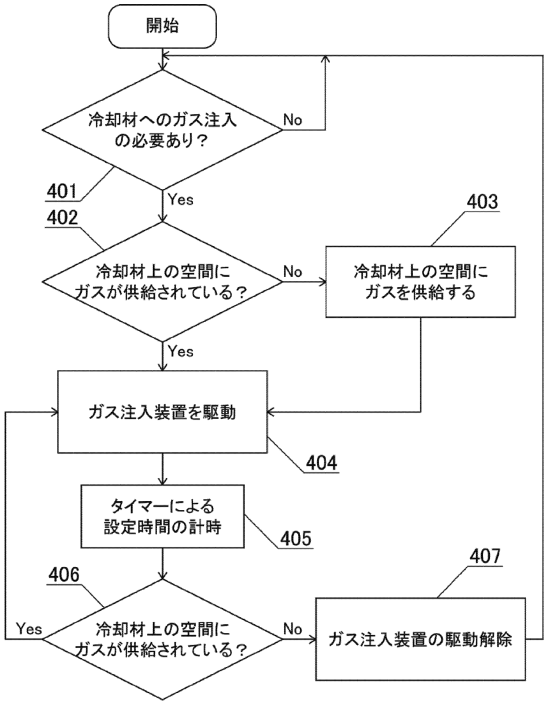
【図２】



【図３】


307
102
306
305
304
302
301
303

【図４】


開始
冷却材へのガス注入
の必要あり？
No
401
Yes
403
402
冷却材上の空間に
ガスが供給されている？
No
冷却材上の空間に
ガスを供給する
Yes
ガス注入装置を駆動
404
タイマーによる
設定時間の計時
405
407
406
Yes
冷却材上の空間に
ガスが供給されている？
No
ガス注入装置の駆動解除

フロントページの続き

(72)発明者　イワノフ　コンスタンティン・ドミトリーヴィッチ
ロシア　ゴロッド　オブニンスク　２４９０３０、カルザスカヤ　オーブラスチ、アップ　７１、ハウス　１３、ウリツァ　ズヴェズドナヤ
(72)発明者　アスクダドリン　ラドミール・シャミルヴィヒ
ロシア　ゴロッド　オブニンスク　２４９０３０、カルザスカヤ　オーブラスチ、マルクス　ストリート　７３－５２
(72)発明者　ストロジェンコ　アレクセイ・ニコラエヴィッチ
ロシア　ゴロッド　オブニンスク　２４９０３４、カルザスカヤ　オーブラスチ、プロスペクト　レニーナ　２２２－２７
(72)発明者　レキノフ　アレクサンダー・ユリエヴィッチ
ロシア　ゴロッド　オブニンスク　２４９０３０、カルザスカヤ　オーブラスチ、プロスペクト　レニーナ　４６－３３
(72)発明者　ウリヤーノフ　ウラジーミル・ウラジミロヴィッチ
ロシア　ゴロッド　オブニンスク　２４９０３２、カルザスカヤ　オーブラスチ、クヴァルチーラ　１０５、ドーム　２４、ウリツァ　エンゲルサ
(72)発明者　ポロヴィツキー　ステパン・アルテモヴィッチ
ロシア　モスクワ　１２１０６９、クヴァルチーラ　５０、ウリツァ　ポヴァルスカヤ　２９／３６　ストリート　１
(72)発明者　フィーリン　アレクサンドル・イワノヴィッチ
ロシア　モスクワ　１０７０６５、ウリツァ　アルタスカヤ　１９－６５
(72)発明者　ビラヴキン　セルゲイ・ヴィクトロヴィッチ
ロシア　モスクワ　１２７４１０、クヴァルチーラ　１１、プロスペクト　チェルスキー　５

審査官　小野　健二

(56)参考文献　特開２００３－２９４８８５（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－２７２４９３（ＪＰ，Ａ）
実開昭５８－１５３３９８（ＪＰ，Ｕ）
米国特許第０６９６８０２８（ＵＳ，Ｂ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ２１Ｄ　１／００－９／００
Ｇ２１Ｃ　１９／００－１９／５０
Ｂ０１Ｊ　１０／００－１０／０２