

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4677614号
(P4677614)

(45) 発行日 平成23年4月27日 (2011. 4. 27)

(24) 登録日 平成23年2月10日 (2011. 2. 10)

(51) Int. Cl. F I
C 2 5 B 1/04 (2006. 01) C 2 5 B 1/04
C 2 5 B 1/22 (2006. 01) C 2 5 B 1/22

請求項の数 7 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2006-131668 (P2006-131668)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成18年5月10日 (2006. 5. 10)		独立行政法人 日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2007-302936 (P2007-302936A)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成19年11月22日 (2007. 11. 22)	(74) 代理人	100096862
審査請求日	平成20年1月10日 (2008. 1. 10)		弁理士 清水 千春
		(72) 発明者	中桐 俊男
			茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地
			独立行政法人日本原子力研究開発機構
			大洗研究開発センター内
		(72) 発明者	青砥 紀身
			茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地
			独立行政法人日本原子力研究開発機構
			大洗研究開発センター内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 亜硫酸電解水素製造方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

硫酸を熱分解して三酸化硫黄と水を生成する硫酸加熱工程と、三酸化硫黄を電気分解して二酸化硫黄と酸素に分解する三酸化硫黄電解工程と、二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸を電気分解して水素と硫酸を生成する亜硫酸電解工程とからなる亜硫酸電解水素製造方法において、三酸化硫黄電解工程と亜硫酸電解工程との間に硫酸分離工程を設けたことを特徴とする亜硫酸電解水素製造方法。

【請求項 2】

前記硫酸分離工程は、三酸化硫黄電解工程から供給される二酸化硫黄と水と未分解三酸化硫黄を含む高温の混合ガスを100～200℃の温度に冷却し、三酸化硫黄を水と結合させて液体硫酸として分離し、二酸化硫黄と余剰の水からなる混合ガスを亜硫酸電解工程へ供給することを特徴とする請求項1に記載の亜硫酸電解水素製造方法。

【請求項 3】

硫酸分離工程で分離した液体硫酸を、硫酸加熱工程へ供給することを特徴とする請求項2に記載の亜硫酸電解水素製造方法。

【請求項 4】

硫酸を熱分解して三酸化硫黄と水を生成する硫酸加熱装置と、三酸化硫黄を電気分解して二酸化硫黄と酸素に分解する三酸化硫黄電解装置と、二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸を電気分解して水素と硫酸を生成する亜硫酸電解装置とからなる亜硫酸電解水素製造装置において、三酸化硫黄電解装置と亜硫酸電解装置との間に硫酸分離装置を設けたことを

特徴とする亜硫酸電解水素製造装置。

【請求項 5】

前記硫酸分離装置は、分離槽と、分離槽内を $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ の温度に維持する温度制御手段と、三酸化硫黄電解装置から供給される二酸化硫黄と水と未分解三酸化硫黄を含む高温の混合ガスを分離槽内へ導入する導入管と、高温の混合ガスが分離槽内で冷却されて三酸化硫黄と水が結合して生成する液体硫酸を分離槽下部に貯留するための貯留部と、貯留部に貯留した液体硫酸を分離槽外部へ抜き出す排出管と、三酸化硫黄が液体硫酸として分離除去された二酸化硫黄と余剰の水からなる混合ガスを分離槽から排出し亜硫酸電解装置へ供給する排出管とからなることを特徴とする請求項 4 に記載の亜硫酸電解水素製造装置。

10

【請求項 6】

前記硫酸分離装置の排出管を前記硫酸加熱装置へ接続して、前記貯留部に貯留した液体硫酸を前記硫酸加熱装置へ供給するようにしたことを特徴とする請求項 5 に記載の亜硫酸電解水素製造装置。

【請求項 7】

二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸を電気分解して水素と硫酸を生成する亜硫酸電解装置の前段に硫酸分離装置を備えた亜硫酸電解水素製造装置であって、前記硫酸分離装置は、分離槽と、分離槽内を $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ の温度に維持する温度制御手段と、三酸化硫黄電解装置から供給される二酸化硫黄と水と未分解三酸化硫黄を含む高温の混合ガスを分離槽内へ導入する導入管と、高温の混合ガスが分離槽内で冷却されて三酸化硫黄と水が結合して生成する液体硫酸を分離槽下部に貯留するための貯留部と、貯留部に貯留した液体硫酸を分離槽外部へ抜き出す排出管と、三酸化硫黄が液体硫酸として分離除去された二酸化硫黄と余剰の水からなる混合ガスを分離槽から排出し亜硫酸電解装置へ供給する排出管とからなることを特徴とする硫酸分離装置を備えた亜硫酸電解水素製造装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、亜硫酸（二酸化硫黄の水溶液）の電解による水素製造方法および装置に関し、さらに詳しくは、水素発生用原料として供給する亜硫酸中に混入する硫酸および不純物金属元素を予め除去し、低い電解電圧での水素発生を可能として水素製造効率を向上させるとともに、亜硫酸電解装置の長寿命化を図るための方法と装置に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

硫酸の合成と分解反応を組み合わせる電気化学的および熱化学的に水から水素を製造するハイブリッド熱化学法プロセスは、従来から数多くの方法が提案されている。その一つとして、硫酸 (H_2SO_4) を熱分解して三酸化硫黄 (SO_3) と水 (H_2O) を生成する硫酸加熱工程と、三酸化硫黄を二酸化硫黄 (SO_2) と酸素 (O_2) に分解する三酸化硫黄分解工程と、二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸を電気分解して水素 (H_2) と硫酸を生成する亜硫酸電解工程とを組み合わせたハイブリッド熱化学法プロセスによる水素製造方法が知られている。

40

【0003】

かような水素製造方法に関連する技術としては、本願と同一出願人による特許文献 1 がある。この特許文献の発明においては、三酸化硫黄を二酸化硫黄と酸素に分解する三酸化硫黄分解工程を、酸素イオン透過性の固体電解質からなる隔壁を用いた電気分解により行うことを特徴とするものであり、これにより、従来の三酸化硫黄分解工程では約 800°C の反応温度が必要であったのに対して、熱と電気を併用することで 600°C 以下で電解することが可能となった。

【0004】

しかしながら、三酸化硫黄電解工程の生成物である二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸を亜硫酸電解工程へ供給するに際しては、未分解の三酸化硫黄も亜硫酸中に混入し、この

50

三酸化硫黄は水と結合して硫酸となって亜硫酸電解工程へ供給されるため、亜硫酸電解工程における電解電圧の上昇が起り、水素製造のための消費電気エネルギー量が増加する。また、亜硫酸電解工程へ供給される亜硫酸と硫酸の混合液中には、混合液の流路となる配管等を起源とする不純物金属イオンも混入するため、亜硫酸電解装置で使用される陽イオン交換膜を短時間で劣化させるという問題も生じる。

【0005】

【特許文献1】特開2004-232031公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

10

そこで本発明は、亜硫酸電解による水素製造に際して、水素発生用原料として供給する亜硫酸中に混入する硫酸および不純物金属イオンを予め除去し、低い電解電圧での水素発生を可能としてハイブリッド熱化学法プロセスにおいて高い水素製造効率を得るとともに、亜硫酸電解装置で使用される陽イオン交換膜の劣化を防止し、亜硫酸電解装置の長寿命化を達成することを目的としてなされたものである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

すなわち請求項1に記載の発明は、硫酸を熱分解して三酸化硫黄と水を生成する硫酸加熱工程と、三酸化硫黄を電気分解して二酸化硫黄と酸素に分解する三酸化硫黄電解工程と、二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸を電気分解して水素と硫酸を生成する亜硫酸電解工程とからなる亜硫酸電解水素製造方法において、三酸化硫黄電解工程と亜硫酸電解工程との間に硫酸分離工程を設けたことを特徴とする亜硫酸電解水素製造方法である。

20

【0008】

請求項2に記載の発明は、請求項1における硫酸分離工程が、三酸化硫黄電解工程から供給される二酸化硫黄と水と未分解三酸化硫黄を含む高温の混合ガスを100～200℃の温度に冷却し、三酸化硫黄を水と結合させて液体硫酸として分離し、二酸化硫黄と余剰の水からなる混合ガスを亜硫酸電解工程へ供給することを特徴とするものである。

請求項3に記載の発明は、請求項2における硫酸分離工程で分離した液体硫酸を、硫酸加熱工程へ供給することを特徴とするものである。

【0009】

30

さらに請求項4に記載の発明は、硫酸を熱分解して三酸化硫黄と水を生成する硫酸加熱装置と、三酸化硫黄を電気分解して二酸化硫黄と酸素に分解する三酸化硫黄電解装置と、二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸を電気分解して水素と硫酸を生成する亜硫酸電解装置とからなる亜硫酸電解水素製造装置において、三酸化硫黄電解装置と亜硫酸電解装置との間に硫酸分離装置を設けたことを特徴とする亜硫酸電解水素製造装置である。

【0010】

請求項5に記載の発明は、請求項4における硫酸分離装置が、分離槽と、分離槽内を100～200℃の温度に維持する温度制御手段と、三酸化硫黄電解装置から供給される二酸化硫黄と水と未分解三酸化硫黄を含む高温の混合ガスを分離槽内へ導入する導入管と、高温の混合ガスが分離槽内で冷却されて三酸化硫黄と水が結合して生成する液体硫酸を分離槽下部に貯留するための貯留部と、貯留部に貯留した液体硫酸を分離槽外部へ抜き出す排出管と、三酸化硫黄が液体硫酸として分離除去された二酸化硫黄と余剰の水からなる混合ガスを分離槽から排出し亜硫酸電解装置へ供給する排出管とからなることを特徴とするものである。

40

請求項6に記載の発明は、請求項5における硫酸分離装置の排出管を前記硫酸加熱装置へ接続して、前記貯留部に貯留した液体硫酸を前記硫酸加熱装置へ供給するようにしたことを特徴とするものである。

【0011】

さらに請求項7に記載の発明は、二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸を電気分解して水素と硫酸を生成する亜硫酸電解装置の前段に硫酸分離装置を備えた亜硫酸電解水素製造装

50

置であって、前記硫酸分離装置は、分離槽と、分離槽内を100～200℃の温度に維持する温度制御手段と、三酸化硫黄電解装置から供給される二酸化硫黄と水と未分解三酸化硫黄を含む高温の混合ガスを分離槽内へ導入する導入管と、高温の混合ガスが分離槽内で冷却されて三酸化硫黄と水が結合して生成する液体硫酸を分離槽下部に貯留するための貯留部と、貯留部に貯留した液体硫酸を分離槽外部へ抜き出す排出管と、三酸化硫黄が液体硫酸として分離除去された二酸化硫黄と余剰の水からなる混合ガスを分離槽から排出し亜硫酸電解装置へ供給する排出管とからなることを特徴とする硫酸分離装置を備えた亜硫酸電解水素製造装置である。

【発明の効果】

【0012】

10

請求項1～6に係る本発明によれば、三酸化硫黄電解工程または三酸化硫黄電解装置で分解されなかった未分解三酸化硫黄に起因する硫酸が、硫酸分離工程または硫酸分離装置で効果的に分離除去され、硫酸を含まない亜硫酸を亜硫酸電解工程または亜硫酸電解装置で電気分解することができ、低い電解電圧で効果的に水素を製造することが可能となる。電解電圧を低くできることで、ハイブリッド熱化学法プロセス全体の電気エネルギー消費量を低減できる。

【0013】

また、硫酸分離工程または硫酸分離装置により液体硫酸を分離する際に、配管由来の不純物金属イオンも液体硫酸とともに分離除去することができ、亜硫酸電解工程または亜硫酸電解装置への金属イオンの流入を防止できる。これにより、亜硫酸電解装置中の陽イオン交換膜の劣化を防止し、長寿命化が可能となる。

20

【0014】

特に請求項3と6に係る本発明によれば、硫酸トラップ機能を備えた硫酸分離工程または硫酸分離装置で分離され濃縮された硫酸(H_2SO_4 :100質量%硫酸、および $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$:65質量%)を、硫酸加熱工程または硫酸加熱装置に供給することにより、硫酸加熱工程または硫酸加熱装置において余分な水の蒸発に必要な熱エネルギーを低減することができる。

【0015】

したがって、硫酸分離工程または硫酸分離装置を使用することによって、電気エネルギー消費量と熱エネルギーの低減、さらには亜硫酸電解装置の長寿命化が同時に達成でき、ハイブリッド熱化学法プロセス全体の熱効率および水素製造効率を高めるとともに、プロセス全体の長時間運転および低コスト化が可能となる。

30

【0016】

さらに、請求項7に係る本発明によれば、製鉄所や火山等から発生する二酸化硫黄を利用して亜硫酸電解による水素製造を行うに場合にも、二酸化硫黄の水溶液からなる亜硫酸中に混入する硫酸や不純物金属イオンを硫酸分離装置により効果的に分離除去することができる結果、亜硫酸電解装置における電解電圧を低くでき、電気エネルギー消費量の低減が可能となる。

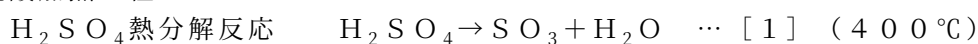
【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

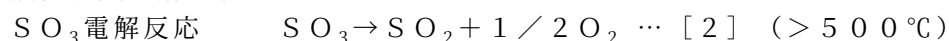
40

図3は、本発明において採用するハイブリッド熱化学法プロセスにおける亜硫酸電解水素製造方法を構成する反応および反応式を示している。

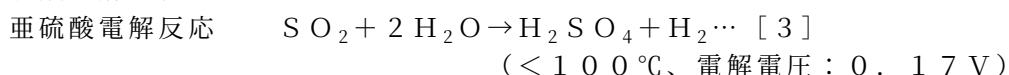
硫酸加熱工程：



三酸化硫黄電解工程：



亜硫酸電解工程：



【0018】

50

約 500℃以上で運転される三酸化硫黄電解工程から亜硫酸電解工程に供給される流体中には、 SO_2 と H_2O （水または水蒸気）に加えて、未分解の SO_3 が混入する。混入した SO_3 は H_2O と結合して H_2SO_4 となる。

図4は、亜硫酸中の H_2SO_4 濃度と亜硫酸電解電圧との関係を示すグラフであり、亜硫酸中の H_2SO_4 濃度の上昇とともに亜硫酸の電解電圧が上昇することがわかる。このため、 SO_3 または H_2SO_4 を予め除去し、 SO_2 と H_2O のみを亜硫酸電解工程に供給することで、水素発生のための電解電圧を低く維持でき、過電圧を低減させることができる。

【0019】

SO_3 は372℃以下で H_2O と結合して H_2SO_4 になる。一方、 SO_2 は100℃以下では液体の水に対する溶解度を持つが、100℃以上の水蒸気とは結合せず、単体のガスとして存在する。図5は、 SO_2 、 SO_3 および H_2O 混合ガスの平衡状態を示す状態図であり、熱力学データベースMALT2および平衡計算ソフトGEMを使用して求めた計算結果である。図5からわかるように、三酸化硫黄電解工程から亜硫酸電解工程へ供給される SO_2 、 SO_3 および H_2O 混合ガス（各ガスの初期モル数は、 SO_2 : 1mol、 SO_3 : 1mol、 H_2O : 2mol）を100～200℃の温度範囲におくことで、 SO_2 ガス、水蒸気および液体硫酸（ H_2SO_4 および $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）の混合物となり、 SO_2 ガスと水蒸気からなる混合ガスから液体硫酸を容易に分離除去することができる。

【0020】

そこで本発明においては、三酸化硫黄電解工程と亜硫酸電解工程との間に硫酸分離工程を設け、三酸化硫黄電解工程から供給される SO_2 、 H_2O および未分解 SO_3 を含む高温の混合ガスを硫酸分離工程で100～200℃の温度に冷却し、 SO_3 を H_2O と結合させて液体硫酸（ H_2SO_4 および $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）として分離することにより、 SO_2 ガスと余剰の H_2O （水蒸気または凝縮した水）のみを亜硫酸電解工程へ供給することができる。

【0021】

また、三酸化硫黄電解工程から供給される SO_2 、 H_2O および SO_3 の混合物中には配管材料から溶出したFeやCr等の不純物金属イオンが混入している可能性がある。これらの金属イオンは、亜硫酸電解装置で使用されている陽イオン交換膜（例えば「ナフィオン(Nafion)」(デュポン社の商品名)等)を劣化させることが知られている。本発明によれば、硫酸分離工程により分離される液体硫酸とともに金属イオンも分離除去することができるため、亜硫酸電解装置の寿命を延ばすことが可能となる。

【実施例】

【0022】

本発明の亜硫酸電解による水素製造方法の実施例を示す図1の工程図を参照して、本発明方法の各工程および本発明を実施するための装置構成を以下に説明する。

図1に示した本発明の亜硫酸電解水素製造装置は、硫酸加熱装置と、三酸化硫黄電解装置と、硫酸分離装置と、亜硫酸電解装置とから構成されている。

【0023】

硫酸加熱装置においては、亜硫酸電解装置から供給される H_2SO_4 および $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ を約400℃に加熱することで、硫酸熱分解反応[1]にしたがって SO_3 と H_2O の混合ガスが得られる。

三酸化硫黄電解装置においては、硫酸加熱装置から供給される SO_3 と H_2O の混合ガスを電気分解することで、 SO_3 電解反応[2]にしたがって SO_3 は SO_2 と O_2 に分解され、 O_2 は電解装置から排出される。前記した特許文献1に記載された発明によれば、この SO_3 電解反応を熱と電気を併用することにより、温度600℃以下、電解電圧0.2V以下で行うことができる。本発明の実施例においては、温度を約500℃、電解電圧を最小0.13Vで実施している。

【0024】

硫酸分離装置においては、三酸化硫黄電解装置から供給される SO_2 、 H_2O および未分解 SO_3 を含む高温（約500℃）の混合ガスを100～200℃の温度範囲に冷却する

ことで、 SO_3 と H_2O とが結合反応し、液体硫酸（ H_2SO_4 および $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）が生成される。 SO_2 と、 SO_3 との反応で消費されなかった余剰の H_2O とは、気体状態のまま $100 \sim 200^\circ\text{C}$ に冷却され、亜硫酸電解装置へ供給される。生成した液体硫酸は、硫酸分離装置から抜き出すことにより SO_2 と H_2O の混合ガスから容易に分離することができる。この液体硫酸は濃縮されているため、抜き出した液体硫酸を硫酸加熱装置に供給することにより、硫酸加熱装置において H_2SO_4 中から余分な H_2O を蒸発するために要する熱エネルギーを低減できる。また、三酸化硫黄電解装置から硫酸分離装置へ供給される高温の混合ガス中には、配管材料から溶出した不純物金属イオンが混入している場合もあるが、これらの金属イオンは硫酸分離装置内で生成する液体硫酸中に移行するため、液体硫酸とともに効果的に分離除去することができる。

10

【0025】

亜硫酸電解装置においては、硫酸分離装置により液体硫酸と不純物金属イオンが分離除去された SO_2 と H_2O の混合ガスと、別途供給される原料としての液体 H_2O とを混合して亜硫酸とし、亜硫酸電解反応〔3〕にしたがって亜硫酸を分解することにより H_2SO_4 と H_2 が生成される。亜硫酸電解装置は、図1に示すように、電解槽1内部を「ナフィオン」等の陽イオン交換膜2により2つの反応室に区切り、これらの反応室に陽極3と陰極4をそれぞれ配設した構造を有しており、電極間に電源装置（図示せず）から電圧を印加する。電極材料としては、白金、金、パラジウム、ルテニウム、ロジウム、イリジウム等の貴金属材料や炭素系材料が使用できる。本発明の実施例においては、温度 100°C 以下、電解電圧 0.17V で亜硫酸の電解が行われ、陽極側反応室で H_2SO_4 が、陰極側反

20

応室で H_2 がそれぞれ生成され、 H_2SO_4 は硫酸加熱装置へ循環供給され、 H_2 は製品として陰極側反応室から排出される。

H_2 の陰極側反応室からの排出は、 N_2 のごときパージガス、あるいは陰極側反応室で生成する H_2SO_4 と同程度の濃度の液体硫酸を、パージ流体として陰極側反応室に流すことにより行うことができる。

【0026】

図2は、硫酸分離装置の実施例を示す説明図である。この硫酸分離装置は、分離槽10と、この分離槽10内を $100 \sim 200^\circ\text{C}$ の温度に維持する温度制御手段11（ヒータまたは冷却器）と、三酸化硫黄電解装置から供給される高温（約 500°C ）の $\text{SO}_2 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 混合ガスを分離槽10内へ導入する導入管12と、この高温の混合ガスが分離槽内で冷却されて SO_3 と H_2O が結合して生成する液体硫酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）を分離槽10下部に貯留するための貯留部Lと、貯留部Lに貯留した液体硫酸（ $100 \sim 200^\circ\text{C}$ ）を分離槽10外部へ抜き出す抜出管13と、 SO_3 が液体硫酸として分離除去された $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合ガス（ $100 \sim 200^\circ\text{C}$ ）を分離槽から排出し亜硫酸電解装置へ供給する排出管14とを有している。分離槽10の硫酸に接触する部分を構成する材料は、使用温度に応じて、 SiO_2 、 ZrO_2 、 Al_2O_3 等の耐硫酸性のセラミックスや、高Si鋳鉄、ステンレス鋼、ニッケル合金等の金属材料が用いられる。

30

【0027】

導入管12から分離槽10内に導入された高温の混合ガスが分離槽内で冷却されることで、混合ガス中の SO_3 は H_2O と結合し、生成する液体硫酸は分離槽10下部の貯留部Lに貯まる。一方、 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合ガスは分離槽10上部のガス空間Gに留まるため、 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合ガスと液体硫酸とを容易に分離することができ、 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合ガスのみを排出管14から亜硫酸電解装置へ供給することができる。なお、ミスト状となった液体硫酸が $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合ガスと同伴して排出管14に流入しないようにするために、排出管14の下方にミストセパレータ15を配設することが望ましい。図3に示したようなハイブリッド熱化学法プロセスを実施する場合には、抜出管13から抜き出された液体硫酸は硫酸加熱装置へ循環供給される。

40

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の亜硫酸電解水素製造方法の実施例を示す工程図である。

50

【図2】本発明を実施するための硫酸分離装置の実施例を示す説明図である。

【図3】本発明において採用するハイブリッド熱化学法プロセスにおける亜硫酸電解水素製造方法を構成する反応および反応式の説明図である。

【図4】亜硫酸中の H_2SO_4 濃度と亜硫酸電解電圧との関係を示すグラフである。

【図5】 SO_2 、 SO_3 および H_2O 混合ガスの平衡状態を示す状態図である。

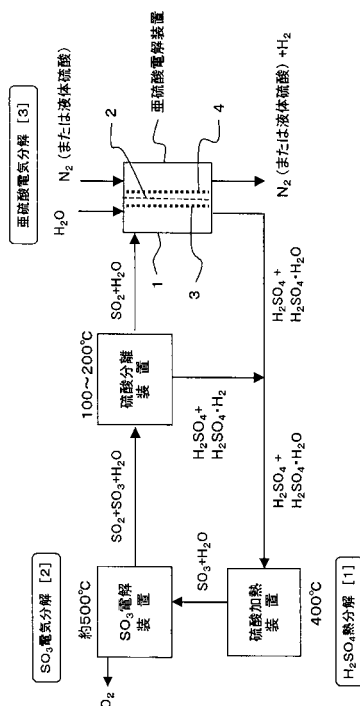
【符号の説明】

【0029】

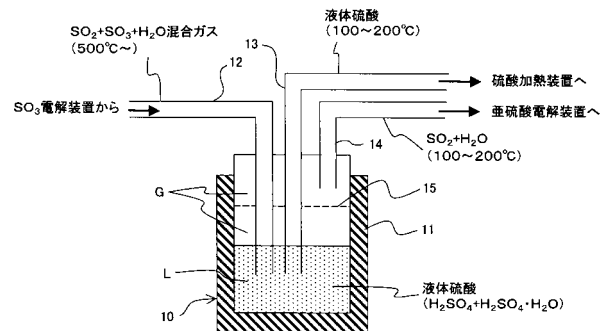
- 10：分離槽
- 11：温度制御手段
- 12： $\text{SO}_2 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 混合ガス導入管
- 13：液体硫酸拔出管
- 14： $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合ガス排出管
- L：液体硫酸貯留部

10

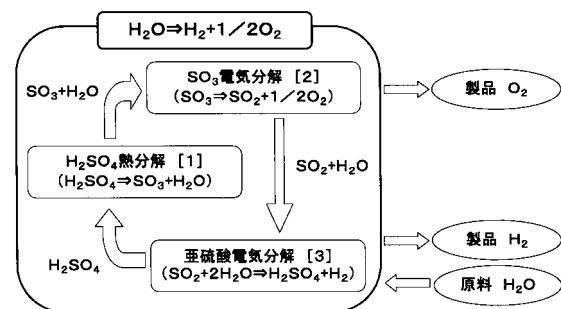
【図1】



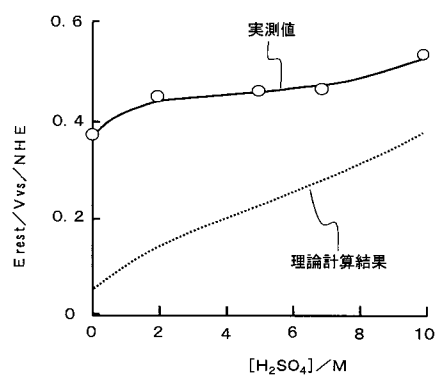
【図2】



【図3】



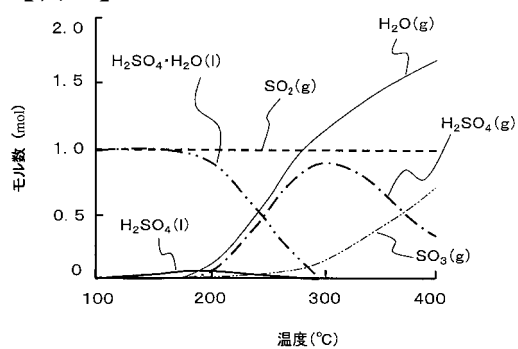
【図 4】



理論計算式

$$E = E_0 + \frac{RT}{2F} \log \frac{4 \cdot \gamma^3 \cdot (m_{H_2SO_4})^3 \cdot (p_{H_2})}{(a_{H_2O})^2 \cdot (p_{SO_2})}$$

【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 高井 俊秀

茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地 独立行政法人日本原子力研究開発機構 大洗研究開発
センター内

審査官 市枝 信之

(56)参考文献 特開2004-232031(JP, A)

特開昭54-010295(JP, A)

特開昭52-041196(JP, A)

特開昭57-114677(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C25B 1/00 ~ 9/04

C25B13/00 ~ 15/08

C01B 3/00 ~ 6/34