

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6179920号  
(P6179920)

(45) 発行日 平成29年8月16日(2017.8.16)

(24) 登録日 平成29年7月28日(2017.7.28)

(51) Int. Cl.		F I		
G 2 1 D	3/08	(2006.01)	G 2 1 D	3/08 G
G 2 1 C	17/02	(2006.01)	G 2 1 C	17/02 F

請求項の数 6 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-166232 (P2013-166232)</p> <p>(22) 出願日 平成25年8月9日(2013.8.9)</p> <p>(65) 公開番号 特開2015-34765 (P2015-34765A)</p> <p>(43) 公開日 平成27年2月19日(2015.2.19)</p> <p>審査請求日 平成28年2月24日(2016.2.24)</p> <p>(出願人による申告)平成24年度、文部科学省、エネルギー対策特別会計委託事業「ナノ粒子分散ナトリウムの高速炉への適用化技術の開発」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 505374783 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地1</p> <p>(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</p> <p>(74) 代理人 100139114 弁理士 田中 貞嗣</p> <p>(74) 代理人 100092495 弁理士 蛭川 昌信</p> <p>(74) 代理人 100139103 弁理士 小山 卓志</p> <p>(74) 代理人 100157118 弁理士 南 義明</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 ナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御方法およびそのシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

原子炉、プラント等の冷却材として利用されるナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御方法であって、

前記冷却材におけるナノ粒子の総表面積を取得する総表面積取得工程と、  
前記総表面積取得工程によって取得された総表面積を、予め基準化された基準総表面積と比較することで、前記ナノ粒子分散液体アルカリ金属を濃縮するか、希釈するかの判定を行い、かつ、複数の濃縮ユニットを内蔵する濃縮装置あるいは複数の希釈ユニットを内蔵する希釈装置の運転条件を決定する濃縮・希釈量設定工程と、を有し、  
前記濃縮ユニットおよび前記希釈ユニットは、ナトリウムイオン導電性の固体電解質を使用し、前記固体電解質によって純アルカリ金属とナノ粒子分散液体アルカリ金属とが隔絶されることを特徴とするナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御方法。

【請求項2】

前記ナノ粒子分散液体アルカリ金属のアルカリ金属が、ナトリウム、リチウム、ナトリウム-カリウム合金のいずれかであることを特徴とする請求項1に記載のナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御方法。

【請求項3】

前記濃縮・希釈設定工程で決定する運転条件とは、複数の濃縮ユニットの稼働台数ならびに各濃縮ユニットの濃縮濃度、あるいは、複数の希釈ユニットの稼働台数ならびに各希釈ユニットの希釈濃度であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のナノ粒子分散

液体アルカリ金属の濃度制御方法。

【請求項 4】

原子炉、プラント等の冷却材として利用されるナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御システムであって、

前記冷却材におけるナノ粒子の総表面積を取得する総表面積取得手段と、

前記総表面積取得手段によって取得された総表面積を、予め基準化された基準総表面積と比較することで、前記ナノ粒子分散液体アルカリ金属を濃縮するか、希釈するかの判定を行い、かつ、複数の濃縮ユニットを内蔵する濃縮装置あるいは複数の希釈ユニットを内蔵する希釈装置の運転条件を決定する濃縮・希釈量設定手段とを有し、

前記濃縮ユニットおよび前記希釈ユニットは、ナトリウムイオン導電性の固体電解質を使用し、前記固体電解質によって純アルカリ金属とナノ粒子分散液体アルカリ金属とが隔絶されることを特徴とするナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御システム。

10

【請求項 5】

前記ナノ粒子分散液体アルカリ金属のアルカリ金属が、ナトリウム、リチウム、ナトリウム - カリウム合金のいずれかであることを特徴とする請求項 4 に記載のナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御システム。

【請求項 6】

前記濃縮・希釈設定手段で決定する運転条件とは、複数の濃縮ユニットの稼働台数ならびに各濃縮ユニットの濃縮濃度、あるいは、複数の希釈ユニットの稼働台数ならびに各希釈ユニットの希釈濃度であることを特徴とする請求項 4 又は請求項 6 に記載のナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御システム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子炉、プラント等で冷却材として利用されるナノ粒子分散液体アルカリ金属（以下、ナノ粒子アルカリ金属と称す。）の濃度制御システムに関する。詳しくは、時々刻々と変化するナノ粒子アルカリ金属の濃度情報を基に、運転条件に適合したナノ粒子アルカリ金属の濃度とするため濃縮・希釈を行うナノ粒子アルカリ金属の濃度制御方法ならびに濃度制御システムに関する。

【背景技術】

3

【0002】

一般に、ナノ粒子アルカリ金属は、原子炉、プラント等において冷却材として利用されている。冷却材としたときの表面張力、反応度抑制効果（反応熱量、反応速度、融点、比熱等）の安定化のために利用されている。

【0003】

そのナノ粒子アルカリ金属の製造方法については、いかにして分散性を良くしたものにすかの観点から、特許文献 1、特許文献 2 に記載のようにナノ粒子のネッキング防止、分散度、分散維持の時間的解析等の基礎的な発明が多く、原子炉、プラント等で冷却材として使用するナノ粒子アルカリ金属としたときの、濃度を測定してから濃度を濃縮あるいは希釈し始めるまでの時間（以下、フィードバック時間と称す）といった時間的ファクターを考慮した発明とはなっていなかった。

4

【0004】

なお、本明細書において、「ナノ粒子アルカリ金属の濃縮」は、1) ナノ粒子アルカリ金属から所定量のアルカリ金属を取り除き、濃度の高いナノ粒子アルカリ金属を得る、また、2) 濃度の低いナノ粒子アルカリ金属に、濃度の高いナノ粒子アルカリ金属を加えて全体の濃度を高める、この 2 つを含むものである。一方、「ナノ粒子アルカリ金属の希釈」は、ナノ粒子アルカリ金属に所定量のアルカリ金属あるいは所定量の低濃度のナノ粒子アルカリ金属を加えて濃度の低いナノ粒子アルカリ金属を得るものである。

【0005】

一方、ナノ粒子アルカリ金属の濃度を維持するための方策として特許文献 3、特許文献

50

4に記載のように、ナノ粒子アルカリ金属の濃度を変更する方法としてナトリウムイオンを通過させる固体電解質利用のナトリウム精製装置が提案されている。しかしながら、原子炉、プラント等で冷却材として使用するナノ粒子アルカリ金属とした場合には、さらに濃度制御のフィードバック時間を考慮した迅速に対応できる濃度制御システムの工夫が必要となっていた。

【0006】

さらに、ナノ粒子アルカリ金属の濃度制御については、ナノ粒子の個数濃度を考慮した技術が開示されているが、冷却材として利用し表面張力、反応度抑制効果（反応熱量、反応速度、融点、比熱等）の安定化させるためには、濃度のみではなく、アルカリ液体金属へのナノ粒子の濡れ性を考慮した濃度制御、具体的には、〔ナノ粒子径×ナノ粒子の個数密度＝ナノ粒子総表面積〕が必要となっていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2011-179024号公報（ナノ粒子分散アルカリ液体金属の製造方法）

【特許文献2】特開2011-179070号公報

【特許文献3】特許3854475号公報

【特許文献4】特許4209091号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、上記背景技術の問題点に鑑み、原子炉、プラント等の冷却材として利用されるナノ粒子アルカリ金属の濃度制御を、原子炉、プラント等のナノ粒子アルカリ金属の濃度の変化に即時対応できるナノ粒子アルカリ金属の濃度制御方法の提供、さらには、冷却材として利用し表面張力、反応度抑制効果（反応熱量、反応速度、融点、比熱等）の安定化させるため、〔ナノ粒子径×ナノ粒子の個数密度＝ナノ粒子総表面積〕を考慮した濃度制御方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の第1の発明は、原子炉、プラント等の冷却材として利用されるナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御方法であって、前記冷却材におけるナノ粒子の総表面積を取得する総表面積取得工程と、前記総表面積取得工程によって取得された総表面積を、予め基準化された基準総表面積と比較することで、前記ナノ粒子分散液体アルカリ金属を濃縮するか、希釈するかの判定を行い、かつ、複数の濃縮ユニットを内蔵する濃縮装置あるいは複数の希釈ユニットを内蔵する希釈装置の運転条件を決定する濃縮・希釈量設定工程と、を有し、前記濃縮ユニットおよび前記希釈ユニットは、ナトリウムイオン導電性の固体電解質を使用し、前記固体電解質によって純アルカリ金属とナノ粒子分散液体アルカリ金属とが隔絶されることを特徴とするナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御方法である。

【0010】

本発明の第2の発明は、前記記載のナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御方法において、前記ナノ粒子分散液体アルカリ金属のアルカリ金属が、ナトリウム、リチウム、ナトリウム-カリウム合金のいずれかであることを特徴とする。

【0011】

本発明の第3の発明は、前記記載のナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御方法前記濃縮・希釈量設定工程で決定する運転条件とは、複数の濃縮ユニットの稼働台数ならびに各濃縮ユニットの濃縮濃度、あるいは、複数の希釈ユニットの稼働台数ならびに各希釈ユニットの希釈濃度であることを特徴とする。

【0012】

本発明の第4の発明は、原子炉、プラント等の冷却材として利用されるナノ粒子分散液

体アルカリ金属の濃度制御システムであって、前記冷却材におけるナノ粒子の総表面積を取得する総表面積取得手段と、前記総表面積取得手段によって取得された総表面積を、予め基準化された基準総表面積と比較することで、前記ナノ粒子分散液体アルカリ金属を濃縮するか、希釈するかを判定を行い、かつ、複数の濃縮ユニットを内蔵する濃縮装置あるいは複数の希釈ユニットを内蔵する希釈装置の運転条件を決定する濃縮・希釈量設定手段とを有し、前記濃縮ユニットおよび前記希釈ユニットは、ナトリウムイオン導電性の固体電解質を使用し、前記固体電解質によって純アルカリ金属とナノ粒子分散液体アルカリ金属とが隔絶されることを特徴とするナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御システムである。

【0013】

本発明の第5の発明は、前記記載のナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御システムにおいて、前記ナノ粒子分散液体アルカリ金属のアルカリ金属が、ナトリウム、リチウム、ナトリウム-カリウム合金のいずれかであることを特徴とする。

【0014】

本発明の第6の発明は、前記記載のナノ粒子分散液体アルカリ金属の濃度制御システムにおいて、前記濃縮・希釈設定手段で決定する運転条件とは、複数の濃縮ユニットの稼働台数ならびに各濃縮ユニットの濃縮濃度、あるいは、複数の希釈ユニットの稼働台数ならびに各希釈ユニットの希釈濃度であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、

1. 濃縮装置に内蔵する濃縮ユニットにナトリウムイオン導電性の固体電解質、本実施例では アルミナを使用することによって、ナトリウムを蒸発させて濃縮する方法における「蒸発時にナノ粒子がカバーガス中に随伴されることによる濃縮効率の低下」といった問題を解消することができる。また、 アルミナを固体電解質に負荷する電気量とアルミナを固体電解質を透過するナトリウムの透過量が等価であるため濃縮量を正確に制御することができる。同様に、希釈装置に内蔵する希釈ユニットにナトリウムイオン導電性の固体電解質、本実施例では アルミナを使用することによって、 アルミナを固体電解質に負荷する電気量と アルミナを固体電解質を透過するナトリウムの透過量が等価であるため希釈量を正確に制御することができる。

2. 濃縮装置に内蔵する濃縮ユニットおよび/あるいは希釈装置に内蔵する希釈ユニットについて、異なる濃度のユニットを複数組配置することによって、短時間の濃縮ならびに希釈を可能とし、原子炉、プラント等で冷却材として使用するナノ粒子アルカリ金属としたときの必要な濃度制御のフィードバック時間を十分実現することができる。

3. ナノ粒子アルカリ金属の濃度制御に、アルカリ液体金属へのナノ粒子の濡れ性を考慮した濃度制御、〔ナノ粒子径×ナノ粒子の個数密度＝ナノ粒子総表面積〕を織り込むことによって、冷却材として利用した時の表面張力、反応度抑制効果（反応熱量、反応速度、融点、比熱等）の安定化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明のナノ粒子アルカリ金属の濃度制御システムの構成の一実施例を示す図である。

【図2】本発明のナノ粒子アルカリ金属の濃度制御システムの処理の一実施例を示す処理フローチャートである。

【図3】本発明の濃縮・希釈量設定手段の詳細な処理内容の一実施例を示す処理フローチャートである。

【図4】本発明の濃縮量・希釈量設定手段における濃縮量設定の一実施例を示す図である。

【図5】本発明の濃縮装置に内蔵する濃縮ユニットの一実施例を示す図である。

【図6】本発明の希釈装置に内蔵する希釈ユニットの一実施例を示す図である。

【図 7】本発明の濃縮ユニットと、一般的に行われているナトリウムを蒸発させて濃縮する方法とについて、電荷負荷量とナトリウム濃縮量との相関度の検証を行った図である。

【図 8】本発明の濃縮ユニットと、一般的に行われているナトリウムを蒸発させて濃縮する方法とについて、濃縮率、濃度比ならびに体積比によるナトリウム濃縮の効率比較を行った図である。

【図 9】本発明の濃縮装置に内蔵する濃縮ユニットの一実施例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本発明は、原子炉、プラント等の冷却材として利用されるナノ粒子アルカリ金属の濃度としてナノ粒子分散濃度、ナノ粒子径ならびにナノ粒子個数を取得する濃度取得手段と、濃度取得手段によって取得された取得濃度が、予め基準化された基準濃度と比較することによって、前記ナノ粒子アルカリ金属を濃縮するか、希釈するかの判定を行い、かつ、複数の濃縮ユニットを内蔵する濃縮装置あるいは複数の希釈ユニットを内蔵する希釈装置に対して、運転条件を決定する濃縮・希釈量設定手段とを有するナノ粒子アルカリ金属の濃度制御方法ならびに濃度制御システムである。

【0021】

冷却材としてのナノ粒子アルカリ金属のアルカリ金属が、ナトリウム、リチウム、ナトリウム - カリウム合金のいずれかである。

【0022】

また、前記濃縮・希釈設定手段における運転条件の決定は、複数の濃縮ユニットの稼働台数ならびに各濃縮ユニットの濃縮濃度、あるいは、複数の希釈ユニットの稼働台数ならびに各希釈ユニットの希釈濃度であり、その決定には濃度に付加して、〔ナノ粒子径×ナノ粒子の個数密度＝ナノ粒子総表面積〕を参照する。

【0023】

また、各濃縮ユニットならびに各希釈ユニットは、ナトリウムイオン導電性の固体電解質を使用することで、固体電解質に負荷した電気量に比例したナトリウムイオンの透過（移行）が実現でき、精度の高い濃縮ならびに希釈を行う。

なお、ナトリウムイオン導電性の固体電解質は、アルミナあるいはアルミナを使用するが、アルミナがより好ましい。

【0024】

また、前記濃縮・希釈設定手段における運転条件の決定は、予め定めた基準濃度に対する測定濃度値との差を解析することで、複数の濃縮ユニットの稼働台数ならびに各濃縮ユニットの濃縮濃度、あるいは、複数の希釈ユニットの稼働台数ならびに各希釈ユニットの希釈濃度の組み合わせを選択、決定する。

【0025】

前記濃度取得手段によって取得されたナノ粒子分散濃度、ナノ粒子径ならびにナノ粒子個数の情報は、前記原子炉、プラント等の累計稼働時間をファクターにして蓄積され、該蓄積された情報は、前記運転条件を決定する濃縮・希釈量設定手段として使用する。

【0026】

図 1 に、本発明のナノ粒子アルカリ金属の濃度制御システム 1 のシステム構成を示す。

【0027】

図 1 は、ナノ粒子アルカリ金属 26 を冷却材として使用し、ナノ粒子アルカリ金属の循環に循環装置（循環ポンプ）8 を使用したナノ粒子アルカリ金属の濃度制御システム 1 で構成する。

【0028】

ナノ粒子アルカリ金属の濃度制御システム 1 は、プラント 7 で冷却に使用されたナノ粒子アルカリ金属 26 のプラント 7 の出口におけるナノ粒子アルカリ金属の濃度の計測を行う濃度計測装置 5 a - 4、ナノ粒子の粒径分布、個数計測を行う粒径分布・個数計測装置 5 b - 4、さらに、ナノ粒子アルカリ金属の供給・攪拌装置 4 の入口におけるナノ粒子アルカリ金属の濃度の計測を行う濃度計測装置 5 a - 1、ナノ粒子の粒径分布、個数計測を

行う粒径分布・個数計測装置 5 b - 1 を配設する。

【 0 0 2 9 】

また、濃度計測装置 5 a - 1、粒径分布・個数計測装置 5 b - 1 の測定結果を基に、制御装置 9 に内蔵したナノ粒子アルカリ金属の濃縮・希釈量設定手段 9 a - 2 によって決定された量のナノ粒子アルカリ金属を供給・攪拌するナノ粒子アルカリ金属の供給・攪拌装置 4 を配設する。

ナノ粒子アルカリ金属の供給・攪拌装置 4 には、所定の濃度のナノ粒子アルカリ金属に濃縮する濃縮装置 2 と所定の濃度のナノ粒子アルカリ金属に希釈する希釈装置 3 を接続する。

濃縮装置 2 には、複数の濃度値に濃縮する濃縮ユニット 2 a を内蔵し構成で、希釈装置 3 には、複数の濃度値に希釈する希釈ユニット 3 a を内蔵した構成である。 10

【 0 0 3 0 】

ナノ粒子アルカリ金属の供給・攪拌装置 4 によって供給・攪拌されたナノ粒子アルカリ金属の濃度の計測を行う濃度計測装置 5 a - 2、ナノ粒子の粒径分布、個数計測を行う粒径分布・個数計測装置 5 b - 2 を配設し、ナノ粒子アルカリ金属の濃度制御をした結果の確認を行う。

【 0 0 3 1 】

つぎに、冷却材であるナノ粒子アルカリ金属を循環させるための循環装置（循環ポンプ）8 を配設する。

【 0 0 3 2 】

さらに、プラント 7 の入口部のナノ粒子アルカリ金属の濃度の計測を行う濃度計測装置 5 a - 3、ナノ粒子の粒径分布、個数計測を行う粒径分布・個数計測装置 5 b - 3 を配設する。 20

【 0 0 3 3 】

一方、プラント 7 とナノ粒子アルカリ金属の供給・攪拌装置 4 との任意の位置に、ナノ粒子アルカリ金属のナノ粒子劣化を防止するために、ナノ粒子アルカリ金属の一部、例えば単位時間当たりのナノ粒子アルカリ金属の量の 5 % を濃縮し、ナノ粒子を取り除くナノ粒子回収装置 6 を配設する。このナノ粒子回収装置 6 は、濃縮装置 2 に内蔵する濃縮ユニット 2 a と同一構造とし、高濃度のナノ粒子アルカリ金属 2 6 を回収する。このナノ粒子回収装置 6 の稼働によってナノ粒子アルカリ金属濃度は一時的に高くなるが、下流に配置されているナノ粒子分散アルカリ金属の濃縮・希釈量設定手段 9 a - 2 とナノ粒子アルカリ金属の供給・攪拌装置 4 とによって適正なナノ粒子アルカリ金属の濃度に維持される。 30

【 0 0 3 4 】

制御装置 9 は、濃度計測装置 5 a - 1 ~ 5 a - 4 で計測した濃度データ、粒径分布・個数計測装置 5 b - 1 ~ 5 b - 4 で計測した粒径分布・個数を取得する濃度取得手段 9 a - 1、濃度取得手段 9 a - 1 で取得したデータを基に、ナノ粒子分散アルカリ金属の濃縮あるいは希釈の判定とそれに対する濃縮、希釈の量を設定する濃縮・希釈量設定手段 9 a - 2、濃縮・希釈量設定手段 9 a - 2 の設定に基づき濃縮装置 2、希釈装置 3 を制御する濃縮装置、希釈装置の制御手段 9 a - 3 を制御プログラム 9 a として内蔵する。

【 0 0 3 5 】

また、前記制御プログラムに対する各種判断基準としての基準濃度テーブル 9 b - 1、ナノ粒子の表面積基準 9 b - 2、基準濃度に対する濃度差の補正条件 9 b - 3 を基準データ 9 b として記憶している。 40

【 0 0 3 6 】

さらに、濃度計測装置 5 a - 3 と濃度計測装置 5 a - 4 との濃度差の蓄積によって、プラント 7 の稼働時間との関数としてプラント 7 の濃度損失データを蓄積する蓄積手段 9 c と、濃度計測装置 5 a - 2 と濃度計測装置 5 a - 3 との濃度差の蓄積によって、循環装置 8 の稼働時間との関数として循環ポンプの濃度損失データを蓄積する蓄積手段 9 d とを備える。

【 0 0 3 7 】

図 2 に、本発明のナノ粒子アルカリ金属の濃度制御システムの処理概要のフローチャートを示す。

【0038】

まず、SA1ステップとして、濃度計測装置 5a - 1 ~ 5a - 4 からの濃度情報、ナノ粒子の粒径分布・個数計測装置 5b - 1 ~ 5b - 4 からの粒子の大きさ、粒子の個数情報の取得を行う。

【0039】

SA2ステップでは、SA1ステップで取得した情報と基準濃度 9b とを比較し、濃度が基準濃度 9b と合致しているか否かの判断を行う。合致する場合は、SA3ステップへ移行する。否の場合は、SA4ステップへ移行する。

10

【0040】

SA3ステップでは、SA2で合致しているが、プラント7における冷却材の安定化を図るために随時の濃度補正を行う必要があるか否かの判定を行う。否の場合はSA1ステップへ移行する。随時の濃度補正の必要がある、あるいは望ましい場合には、SA4ステップに移行する。

【0041】

SA4ステップでは、濃度計測装置 5a - 1 ~ 5a - 4 からの濃度情報と基準濃度 9b との差を演算する。

【0042】

SA5ステップでは、演算結果が（正）あるいは（負）かの判定を行い、（負）の場合には、いわゆる濃縮処理が必要であるとしてSA6ステップへ移行する。（正）の場合には、いわゆる希釈処理が必要であるとしてSA8ステップへ移行する。

20

【0043】

SA6ステップでは、SA4ステップの演算結果を基に、ナノ粒子アルカリ金属の必要な補充量を設定する。この場合、必要な補充量は、濃度の異なるナノ粒子アルカリ金属を混合して補充することを条件にして設定する。

【0044】

SA7ステップでは、SA6ステップで設定した必要な補充量に沿って、ナノ粒子アルカリ金属の補充を実施する。

【0045】

一方、SA8ステップでは、アルカリ金属を投入してナノ粒子アルカリ金属の濃度を低下させるようにするために、SA4ステップの演算結果を基に、アルカリ金属の必要な補充量を設定する。この場合、必要な補充量は、低濃度で、かつ濃度の異なるナノ粒子アルカリ金属を混合して補充することを条件にして設定する。

3

【0046】

SA9ステップでは、SA8ステップで設定した必要な補充量に沿って、ナノ粒子アルカリ金属の補充を実施する。

【0047】

これらのSA1ステップからSA10ステップのうち、SA1ステップは、濃度取得手段 9a - 1 に相当し、SA2ステップ~SA6、SA8ステップまでは、濃縮量・希釈量設定手段 9a - 2 に相当する。

4

【0048】

つぎに、濃縮量・希釈量設定手段 9a - 2 の詳細内容を実施例1で説明、濃縮量・希釈量設定手段 9a - 2 に沿って濃縮、さらに希釈を行う濃縮ユニット 2a および希釈ユニット 3a の構成を、濃縮ユニット 2a を例に実施例2として説明する。また、濃縮装置の構成 2 を実施例3として説明する。

【実施例】

【0049】

〔実施例1〕

図3は、濃縮・希釈量設定手段 9a - 2 の詳細な処理フローチャートである。各処理ス

50

テップにおいて、図 2 と重複するステップについては、説明の内容は若干異なるが図 2 と同一ステップ番号を付与した。

【 0 0 5 0 】

まず、S A 1 ステップとして、制御装置 9 で取得した計測濃度 9 a - 1 ( ナノ粒子アルカリ金属の濃度、粒子径分布、粒子の個数 ) と、制御装置 9 に予め記憶した基準濃度 9 b - 1 を制御装置 9 の演算部 ( 図示せず ) に取り込む。

【 0 0 5 1 】

S B 1 ステップでは、取り込んだ計測濃度 9 a - 1 と基準濃度 9 b - 1 を基に、濃度のずれ率 = 計測濃度 / 基準濃度、濃度差 = 計測濃度 - 基準濃度を演算する。

【 0 0 5 2 】

S A 2 ステップでは、S B 1 ステップで演算した濃度のずれ率 = 計測濃度 / 基準濃度が基準となるずれ率の範囲内か否かを判定する。基準内のずれ率の場合には、S A 3 ステップへ移行する。基準外の濃度のずれ率である場合には、S A 5 のステップへ移行する。

【 0 0 5 3 】

S A 3 ステップでは、基準内のずれ率であってもプラントな安定化のために、予め入力された随時、纏めて補正を行うかの情報を基に、計測濃度補正の随時か否かを判定する。随時行わず一括補正でよい場合には、S A 1 ステップへ移行する。随時濃度補正を行う方が望ましい場合には S A 5 ステップへ移行する。

【 0 0 5 4 】

S A 5 ステップでは、S A 2 ステップでの濃度差演算結果が、( 負 ) か ( 正 ) かを判定する。( 負 ) の場合には、S B 2 ステップへ移行し、( 正 ) の場合には S B 7 ステップへ移行する。

【 0 0 5 5 】

S B 2 ステップは濃縮に関する設定であるが、計測ナノ粒子の表面積演算 ( 粒子径分布 × 粒子個数 ) を行う。

【 0 0 5 6 】

S B 3 ステップでは、ナノ粒子の計測総表面積とナノ粒子の基準総表面積からその差分を演算する

S B 4 ステップでは、濃度差分と S B 3 ステップで演算した総表面積差分に基づき、濃縮パターンを選択設定する。

【 0 0 5 7 】

S B 5 ステップでは、濃縮パターンの設定に基づき、実際に濃縮を行う複数の濃縮ユニット 2 a の濃度種類と稼働させる台数を選択する。

【 0 0 5 8 】

S B 6 ステップでは、S B 5 ステップで選択した複数の濃縮ユニット 2 a を稼働させ、ナノ粒子アルカリ金属の補充を行い濃縮を実現する。

【 0 0 5 9 】

S B 7 ステップは、希釈に関する設定であるが、計測ナノ粒子の表面積演算 ( 粒子径分布 × 粒子個数 ) を行う。

【 0 0 6 0 】

S B 8 ステップでは、ナノ粒子の計測総表面積とナノ粒子の基準総表面積からその差分を演算する

S B 9 ステップでは、濃度差分と S B 3 ステップで演算した総表面積差分に基づき、希釈パターンを選択設定する。

【 0 0 6 1 】

S B 1 0 ステップでは、希釈パターンの設定に基づき、実際に希釈を行う複数の希釈ユニットの濃度種類と稼働させる台数を選択する。

【 0 0 6 2 】

S B 1 1 ステップでは、S B 1 0 ステップで選択した複数の希釈ユニットを稼働させ、ナノ粒子アルカリ金属あるいはアルカリ金属の補充を行い希釈を実現する。

10

20

3

4

50



## 【 0 0 6 3 】

つぎに、図 4 を基に、濃縮の具体例について説明する。

1 ) において、計測濃度 - 基準濃度 = 濃度差を演算し、( 負 ) の場合には、濃縮と判定し、2 ) の処理を行う。

## 【 0 0 6 4 】

2 ) において、プラントに使用する濃度補正の許容フィードバック時間の入力値から、フィードバック時間経過に伴う濃度差分の補充量を設定する。本例で、許容フィードバック時間を 1 0 分とした場合は、A 1、A 2、・・・A 5、A 6 の濃度差分の補充量とする。ここで、A 1 ~ A 6 と濃度差の補充に傾斜濃度値を使用したのは、補充したナノ粒子アルカリ金属の十分な攪拌を行うためである。十分な攪拌が不要の場合には、フィードバック時間 0 分の時に、A 6 の濃度のナノ粒子の補充を行うこともできる。

## 【 0 0 6 5 】

許容フィードバック時間を 2 0 分とした場合は、B 1、B 2、・・・B 1 0、B 1 1 の濃度差分の補充量とする。

## 【 0 0 6 6 】

また、このフィードバック時間は、プラントの使用条件等によって適宜設定できるものとする。

## 【 0 0 6 7 】

3 ) において、補充したナノ粒子アルカリ金属の十分な攪拌をさらに高めるために、濃度の異なるナノ粒子アルカリ金属を複数準備し、濃度差分の補充量を X 1、X 2、X 3、X 4、X 5、X 6、X 7 の濃度パターンに按分して補充するようにする。ここで、補充濃度調整分の平均濃度は、基準濃度に比較し、「補充濃度調整分」として若干濃度の高いナノ粒子アルカリ金属とする。また、この例で示す X 1 ~ X 7 の濃度パターン ( 7 段階 ) は、許容フィードバック時間、分散されやすいナノ粒子アルカリ金属か否か、等の条件によって、3、4、5 段階のように適宜設定することができる。

## 【 0 0 6 8 】

4 ) 上記 1 ) 2 ) 3 ) は濃度を考慮した補正であるが、さらに、ナノ粒子アルカリ金属の冷却材として利用する場合に影響度の高い表面張力、反応度抑制効果 ( 反応熱量、反応速度、融点、比熱等 ) を安定化させるためのナノ粒子総表面積の補正について説明する。

## 【 0 0 6 9 】

補正する濃度が同一であっても、ナノ粒子の計測総表面積 - ナノ粒子の基準総表面積 = 差分が ( - ) の場合には、高い表面張力、反応度抑制効果を安定化させるために、ナノ粒子総表面積の大きいナノ粒子アルカリ金属を補充することが必要となる。

## 【 0 0 7 0 】

ここでは、標準のナノ粒子総表面積の分布 ( 点線 ) に対してナノ粒子総表面積が高い ( 粒子径が小さい ) ナノ粒子アルカリ金属を補充することにして、上記 3 ) で設定した補充パターンの X 1 ~ X 7 に対して、補充量で合致する濃度を選択し補充する。

## 【 0 0 7 1 】

また、ナノ粒子の計測総表面積 - ナノ粒子の基準総表面積 = 差分が ( + ) の場合には、ナノ粒子総表面積の小さいナノ粒子アルカリ金属を補充することが必要となり、上記 3 ) で設定した補充パターンの X 1 ~ X 7 に対して、補充量で合致する濃度を選択し補充する。

## 【 0 0 7 2 】

希釈の場合には、前記 2 ) 3 ) のナノ粒子アルカリ金属濃度をアルカリ金属濃度と置き換えて同様の処理をことにより希釈を実現できる。

さらに、以上の処理構成を行うことによりナノ粒子アルカリ金属の濃度補正、ナノ粒子総表面積補正を実現することができる。

## 〔 実施例 2 〕

実施例 2 として、アルカリ金属がナトリウムである場合を例に、濃縮装置 2 内蔵する濃縮ユニット 2 a、希釈装置に内蔵する希釈ユニットについて、図 5、図 6、図 7、図 8 を

10

20

30

40

50

基に説明する。

【0073】

図5は、固体電解質として アルミナを使用した濃縮ユニット2 aの構成を示した図であり、a)に濃縮ユニット2 aの構造、b)に アルミナ固体電解質における電解原理、c)に濃縮後の濃縮ユニット2 aの状態を示す。

【0074】

純アルカリ金属(ナトリウム)を収納する容器2 1の中に、有底で アルミナ固体電解質で構成したナノ粒子アルカリ金属2 6を収納した内筒容器2 2を載置し、電源2 3によってナノ粒子アルカリ金属2 6及び純アルカリ金属(ナトリウム)2 7にそれぞれ負極2 5 a及び正極2 5 bを配設する。

10

【0075】

電源2 3における電荷の負荷は、制御装置9の指示によって変更させる。電荷の(正)を負荷する経路途中で電荷量測定装置2 4を載置し実際に負荷される電荷量の測定を行う。

【0076】

この状態で、電源2 3によって電荷を負荷すると、b)に記載のように、ナノ粒子アルカリ金属2 6中のナトリウムがナトリウム<sup>+</sup>とe<sup>-</sup>とに電離され、ナトリウム<sup>+</sup>は アルミナ固体電解質を透過し、純アルカリ金属(純ナトリウム)側に移行し、純アルカリ金属(純ナトリウム)側で再度e<sup>-</sup>と結合し、純アルカリ金属(純ナトリウム)に変化する。この繰り返しによってナノ粒子アルカリ金属中のナトリウムが純アルカリ金属側へ移行し、ナノ粒子アルカリ金属の濃度を高くすることができる。ナノ粒子アルカリ金属は、ナトリウムが移行することによって高濃度のナノ粒子アルカリ金属となり、純ナトリウム側ではナトリウムが移行してくることによって量が増加し、液面増加を呈する。

20

【0077】

c)は、濃縮が完了した時のナノ粒子アルカリ金属およびアルカリ金属の状態を示したものである。この結果、内筒容器2 2内には高濃度のナノ粒子アルカリ金属(濃縮状態)、外筒容器2 1には純ナトリウムが存在することとなる。

【0078】

図6は、図5と同様な構成であるが、付加する電源2 3からの電荷を、正極、負極逆に付加した構成である。この結果、前記図5とは全く逆の状態となり、ナノ粒子アルカリ金属2 6は純ナトリウム2 7を取り込み濃度の低いナノ粒子アルカリ金属(希釈)となり、内筒容器2 2内で液面上昇を起こす。反対に、純ナトリウム2 7は液面が低下する。

30

【0079】

つぎに、 アルミナ固体電解質にした濃縮ユニット2 aの濃縮精度について、図7、図8を基に説明する。

図7は、電荷量(クーロン量:C)と濃縮による純ナトリウムの増加の関連を示した図である。例えば、10,000Cの時に、純ナトリウム増加量が2.382gであり、理論計算の $10,000C / 96,500C \times \text{ナトリウム原子量}(22.99) = 2.382g$ と合致し、通電電荷量が100%ナトリウムの移動に利用されていることが検証できる。

40

【0080】

図8は、本発明の アルミナ固体電解質にした濃縮方法(加熱温度は350℃)と、一般に行われている加熱による蒸発方法(加熱温度は500℃)とを濃度比によって検証したものである。

【0081】

5倍の濃縮率を設定し、本発明の アルミナ固体電解質にした濃縮方法では4.95倍を実現できるのに対して、加熱による蒸発方法では4.10倍であり、本発明の アルミナ固体電解質による濃縮が、濃縮精度から見て非常に優位であることがわかる。さらに、加熱温度が150℃の差を呈していることから、エネルギー効率からも本発明が優位

50

であることがわかる。

〔実施例 3〕

実施例 3 として、図 9 を基に濃縮装置 2 の具体的な構成を説明する。

図 9 a ) は、濃縮装置 2 の構成を模式化した図であり、図 4 の 3 ) に対応して表わしている。図 4 の 3 ) に対応して濃縮ユニット 2 a は、X 1 - 1 ~ X 1 - 2 の 2 台、X 2 - 1 ~ X 2 - 3 の 3 台、・・・X 7 - 1 ~ X 7 - 2 の 2 台、さらに、ナノ粒子総表面積の補正用として濃縮ユニット 2 a は、Y 1 - 1 ~ Y 1 - 3 の 3 台、Z 1 - 1 ~ Z 1 - 3 の 3 台を配置する。

【0082】

なお、装置構成を簡略化するために、上記 X 1、X 2・・・X 7、Y、Z を、発明者らの知見「特許文献 1 の図 3 記載の『ナノ粒子分散ナトリウムは、分散後 100 hr 経過しても、当初の分散度の 80% を維持できる。』を活用し、予め濃縮したナノ粒子ナトリウムをポンペに充填し、濃縮ユニット 2 a の代替として使用することもできる。

【0083】

各濃縮ユニット 2 a は、配管、二方弁、三方弁、電磁ポンプ（図示しない）等を使用し、濃縮装置 2 および供給・攪拌装置 4 へ接続される。また、各濃縮ユニット 2 a に対しては、標準ナノ粒子ナトリウムを濃縮配管とは別の配管（破線）によって各濃縮ユニット 2 a へ供給する。

【0084】

濃縮ユニット 2 a、二方弁、三方弁、電磁ポンプ等、濃縮装置 2、供給・攪拌装置 4 は、制御装置 9 によってリアルタイムに制御される。

【0085】

また、図 9 の b ) には、図 9 の a ) の一つの濃縮ユニット（例えば、X 1 - 1）を例に模式化した図として表したものである。

【0086】

制御装置 9 の下位に接続され、濃縮ユニット 3 a の制御を行う濃縮ユニット制御装置は、直流電源 23、電荷量測定器 24、液面計および電磁ポンプを制御し、濃縮の開始時に液面計によって液面を一定に保つように電磁ポンプを作動させることで、濃縮時は常に同一電流密度にて濃縮ユニットの稼働を実現できる。また、クーロン効率は 100% であることから、電荷量測定器にて濃縮の終点を判断し、各濃縮ユニットの濃度を正確に制御することができる。

【0087】

以上の説明により、原子炉、プラント等の冷却材として利用されるナノ粒子アルカリ金属の濃度制御を、原子炉、プラント等のナノ粒子アルカリ金属の濃度の変化に即時対応できるナノ粒子アルカリ金属の濃度制御方法として実現し、さらには、冷却材として利用し表面張力、反応度抑制効果（反応熱量、反応速度、融点、比熱等）の安定化させるため、〔ナノ粒子径 × ナノ粒子の個数密度 = ナノ粒子総表面積〕を考慮した濃度制御方法を実現することができる。

【符号の説明】

【0088】

- 1 ...濃度制御システム
- 2 ...濃縮装置
- 2 a ...濃縮ユニット
- 3 ...希釈装置
- 3 a ...希釈ユニット
- 4 ...供給攪拌装置
- 5 ...濃度計測 / 粒度分布・個数計測装置
- 5 a - 1 ~ 5 a - 4 ...濃度計測装置
- 5 b - 1 ~ 5 b - 4 ...粒径分布・個数計測装置
- 6 ...ナノ粒子回収装置

10

20

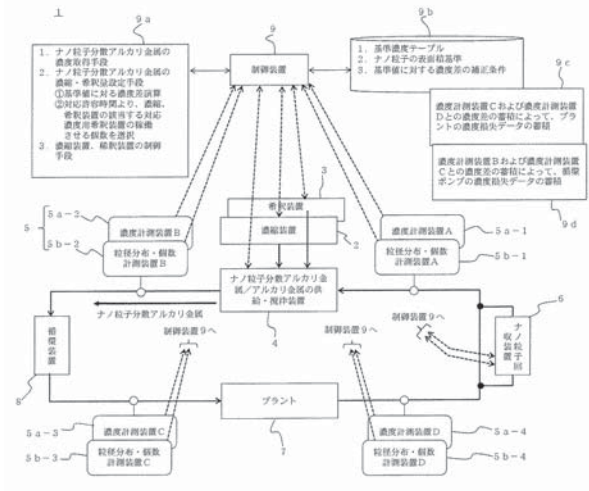
30

40

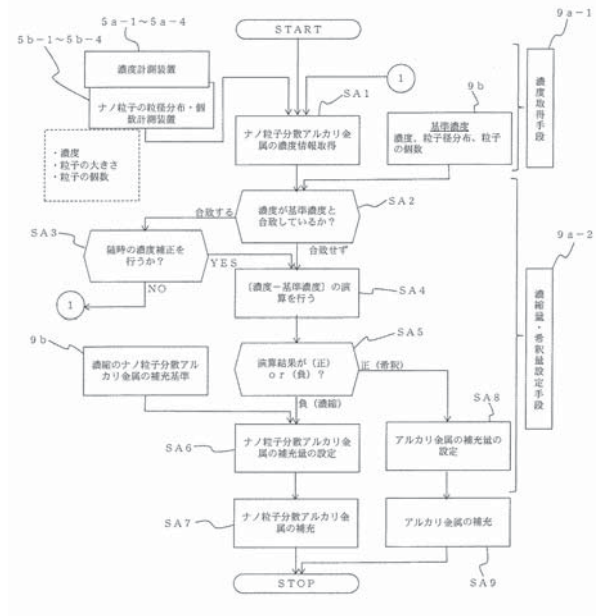
50

- 7 ... プラント
- 8 ... 循環装置
- 9 ... 制御装置
- 9 a ... 制御手段
- 9 b ... 基準マスター
- 9 c ... 9 d ... 濃度計測装置 C ~ 濃度計測装置 D 間の濃度損失の蓄積データ
- 9 d ... 濃度計測装置 C ~ 濃度計測装置 D 間の濃度損失の蓄積データ
- 9 d ... 濃度計測装置 B ~ 濃度計測装置 C 間の濃度損失の蓄積データ
- 2 1 ... 外筒容器
- 2 2 ... 内筒容器
- 2 3 ... 電源
- 2 4 ... 電荷量測定器
- 2 5 ... 電極
- 2 5 a ... 負極
- 2 5 b ... 正極
- 2 6 ... ナノ粒子アルカリ金属 ( ナノ粒子分散ナトリウム )
- 2 7 ... アルカリ金属 ( 純ナトリウム )

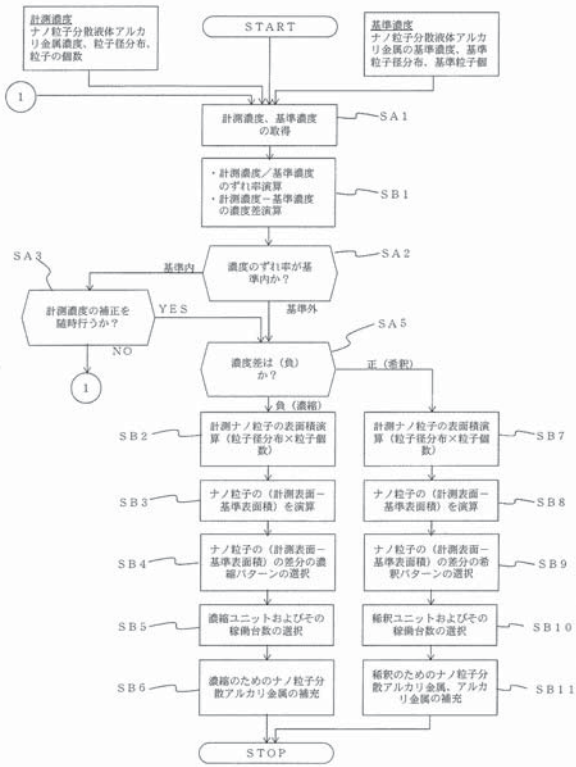
【 図 1 】



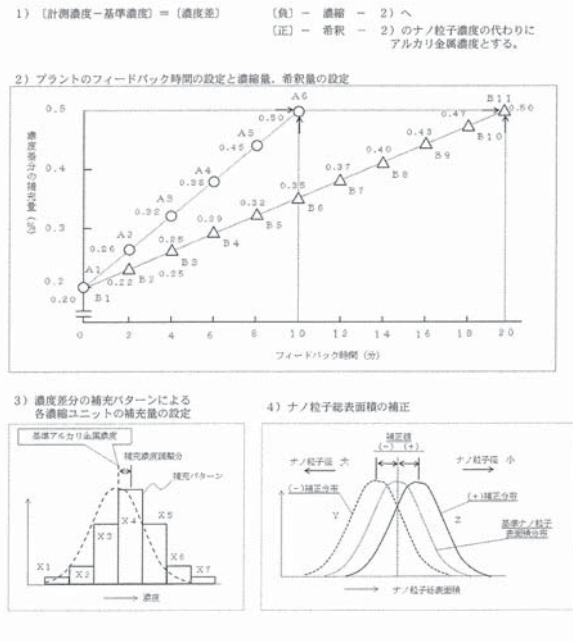
【 図 2 】



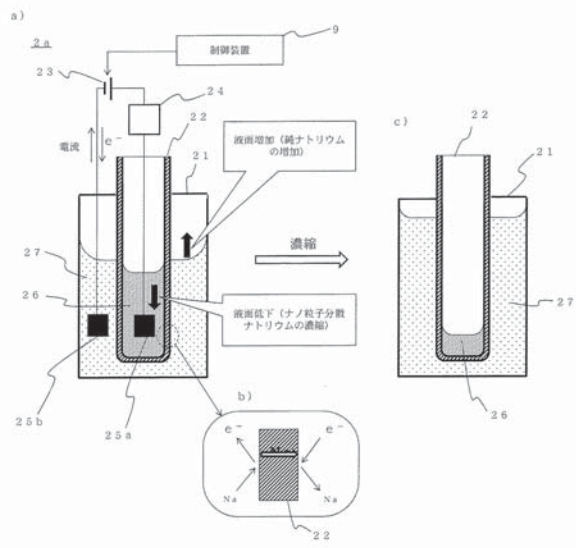
【図3】



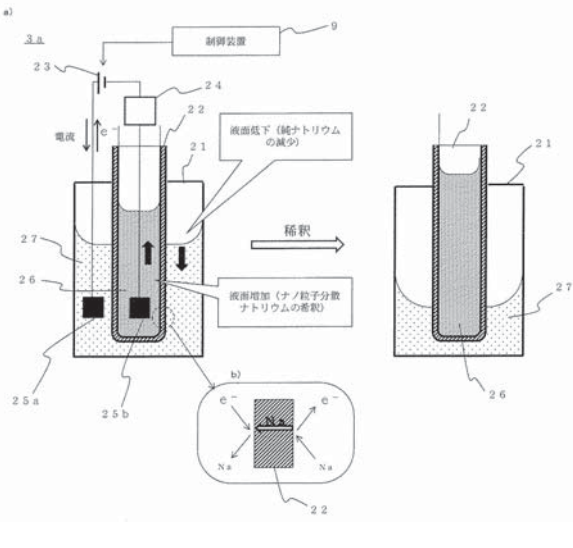
【図4】



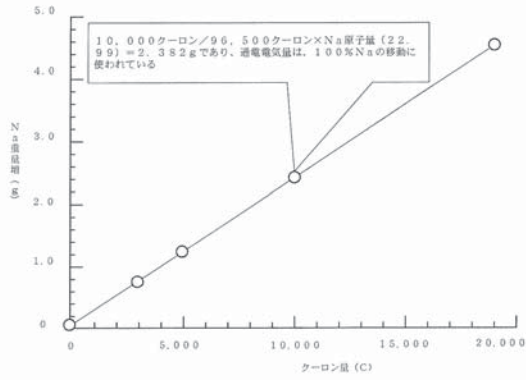
【図5】



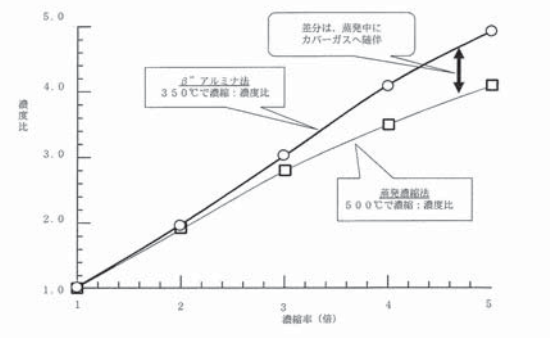
【図6】



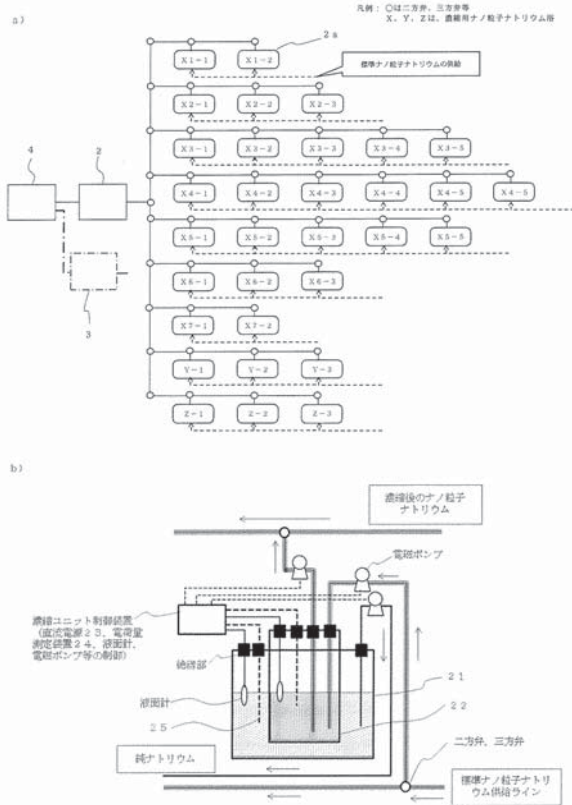
【図7】



【図8】



【図9】



## フロントページの続き

(74)代理人 10009478

弁理士 青木 健二

(74)代理人 10009777

弁理士 葦澤 弘

(74)代理人 10009191

弁理士 米澤 明

(74)代理人 10011920

弁理士 片寄 武彦

(72)発明者 荒 邦章

茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地  
発機構 大洗研究開発センター内

独立行政法人日本原子力研究開

(72)発明者 斉藤 淳一

茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地  
発機構 大洗研究開発センター内

独立行政法人日本原子力研究開

(72)発明者 佐藤 裕之

東京都港区南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 永井 正彦

東京都港区南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 西 敏郎

東京都港区南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 福永 浩一

東京都港区南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

審査官 関根 裕

(59)参考文献 特開2011-179070(JP,A)

特開2001-293470(JP,A)

特開昭57-004588(JP,A)

特開2004-115875(JP,A)

特開2004-339461(JP,A)

特開2006-003176(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21D 3/08

G21C 17/02