

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-243178

(P2010-243178A)

(43) 公開日 平成22年10月28日(2010.10.28)

| (51) Int.Cl.         | F I          | テーマコード (参考) |
|----------------------|--------------|-------------|
| GO1M 3/00 (2006.01)  | GO1M 3/00 A  | 2G005       |
| GO1N 27/62 (2006.01) | GO1N 27/62 V | 2G041       |
| GO1V 1/00 (2006.01)  | GO1V 1/00 A  | 2G067       |
| GO1N 30/72 (2006.01) | GO1N 30/72 A |             |
| GO1N 30/88 (2006.01) | GO1N 30/88 G |             |

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-88840 (P2009-88840)  
 (22) 出願日 平成21年4月1日(2009.4.1)

(71) 出願人 501204525  
 独立行政法人海上技術安全研究所  
 東京都三鷹市新川6丁目38番1号  
 (74) 代理人 100097113  
 弁理士 堀 城之  
 (74) 代理人 100124316  
 弁理士 塩田 康弘  
 (72) 発明者 中島 康晴  
 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立  
 行政法人海上技術安全研究所内  
 Fターム(参考) 2G005 AA04  
 2G041 CA01 EA06 EA12 FA05 FA22  
 HA01 LA08  
 2G067 AA04 BB11 CC12 DD17 DD18  
 DD27 EE01

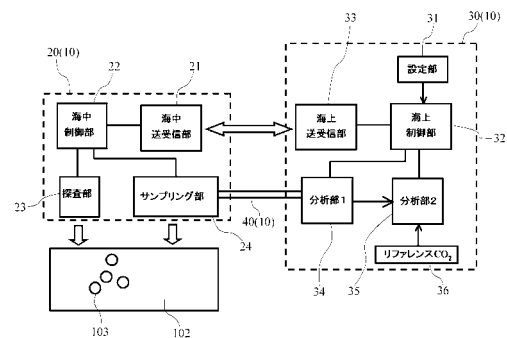
(54) 【発明の名称】 漏洩CO<sub>2</sub>検出方法及び漏洩CO<sub>2</sub>検出装置、地中貯留CO<sub>2</sub>の漏洩モニタリング方法

(57) 【要約】

【課題】CO<sub>2</sub>貯留層からの漏洩があることを的確に判定する。

【解決手段】海上部30は、船舶に搭載されて測定者によって直接制御され、海中部20を遠隔操作する。海中部20は、漏洩CO<sub>2</sub>を検知すべき海中に投入される。気泡等103が存在すると判定された、あるいはPHが所定の値以下であった場合には、海中制御部22又は海上制御部32は、CO<sub>2</sub>が存在する可能性があるとして認識する。この場合、海中制御部22は、サンプリング部(試料採取部)24にこの部分の海水を採取させる。第1の分析部34では、CO<sub>2</sub>成分が実際にこの中に存在するかが判定される。ここでCO<sub>2</sub>が検出された場合には、第2の分析部35は、採取されたCO<sub>2</sub>に対して質量分析を行い、その<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>Cの存在比率(同位体比)を算出する。海上制御部32は、この同位体比が、ある所定の値以下であるか否かを判定する。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

燃料の燃焼によって生成された $\text{CO}_2$ を貯留した $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩 $\text{CO}_2$ を検出する漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法であって、

前記 $\text{CO}_2$ 貯留層の周囲の環境から被分析試料を採取する採取ステップと、

前記被分析試料中において $\text{CO}_2$ が存在するか否かを判定する $\text{CO}_2$ 検出ステップと、

前記被分析試料中に存在した $\text{CO}_2$ における安定同位体同士の存在比率を測定する同位体分析ステップと、

前記存在比率に基づいて、前記 $\text{CO}_2$ には前記漏洩 $\text{CO}_2$ が含まれるか否かを判定する判定ステップと、

を具備することを特徴とする漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法。

10

**【請求項 2】**

前記安定同位体同士の存在比率は、 $^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ との存在比率であることを特徴とする請求項 1 に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法。

**【請求項 3】**

前記採取ステップの前に、

前記 $\text{CO}_2$ 貯留層近傍の環境に対して超音波を照射することによって気泡又は液滴の有無を認識する探査ステップを具備し、

前記採取ステップにおいて、前記気泡又は液滴が確認された箇所から前記被分析試料を採取することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法。

20

**【請求項 4】**

前記採取ステップの前に、

前記 $\text{CO}_2$ 貯留層近傍の環境の $\text{PH}$ 値を計測する探査ステップを具備し、

前記採取ステップにおいて、

前記 $\text{PH}$ 値が所定の値よりも低い箇所から前記被分析試料を採取することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法。

**【請求項 5】**

前記 $\text{CO}_2$ 検出ステップにおいて、

ガスクロマトグラフ法、ガスクロマトグラフ質量分析法、赤外分光法のうちの少なくとも一つを用いて $\text{CO}_2$ の分析を行うことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 までのいずれか 1 項に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法。

30

**【請求項 6】**

前記 $\text{CO}_2$ 検出ステップ及び前記同位体分析ステップにおいて、

ガスクロマトグラフ質量分析器を用いて $\text{CO}_2$ の分析及び安定同位体同士の存在比率の測定を行うことを特徴とする請求項 1 から請求項 5 までのいずれか 1 項に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法。

**【請求項 7】**

請求項 1 から請求項 6 までのいずれか 1 項に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法を用いて、海底の地中に設けた $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩 $\text{CO}_2$ を検出することを特徴とする地中貯留 $\text{CO}_2$ の漏洩モニタリング方法。

40

**【請求項 8】**

海上又は海中の船舶を用いて前記漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法を実施することを特徴とする請求項 7 に記載の地中貯留 $\text{CO}_2$ の漏洩モニタリング方法。

**【請求項 9】**

燃料の燃焼によって生成された $\text{CO}_2$ を貯留した $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩 $\text{CO}_2$ を検出する漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置であって、

前記 $\text{CO}_2$ 貯留層の周囲の環境から被分析試料を採取する試料採取部と、

前記被分析試料中における $\text{CO}_2$ を検出する $\text{CO}_2$ 検出部と、

前記被分析試料中に存在した $\text{CO}_2$ における安定同位体同士の存在比率を測定する同位体分析部と、

50

前記存在比率に基づいて、前記 $\text{CO}_2$ に前記漏洩 $\text{CO}_2$ が含まれるか否かを判定する制御部と、

を具備することを特徴とする漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置。

【請求項 10】

前記安定同位体同士の存在比率は、 $^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ との存在比率であることを特徴とする請求項 9 に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置。

【請求項 11】

前記 $\text{CO}_2$ 貯留層近傍の環境に対して超音波を照射し、かつ該超音波の反射波を検出する探査部を具備し、

前記制御部は、前記反射波の分析結果に基づいて前記被分析試料を前記試料採取部に採取させることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置。

10

【請求項 12】

前記 $\text{CO}_2$ 貯留層近傍の環境の $\text{PH}$ 値を計測する探査部を具備し、

前記制御部は、前記 $\text{PH}$ 値の測定結果に基づいて前記被分析試料を前記試料採取部に採取させることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置。

【請求項 13】

前記 $\text{CO}_2$ 検出部において、ガスクロマトグラフ法、ガスクロマトグラフ質量分析法、赤外分光法のうち少なくとも一つによる分析が行われることを特徴とする請求項 9 から請求項 12 までのいずれか 1 項に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置。

【請求項 14】

前記 $\text{CO}_2$ 検出部及び前記同位体分析部は、単一のガスクロマトグラフ質量分析器であることを特徴とする請求項 9 から請求項 13 までのいずれか 1 項に記載の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、地中に貯留した炭酸ガスの漏洩を検出する漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法、及び漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置に関する。また、これらを利用した地中貯留 $\text{CO}_2$ の漏洩モニタリング方法に関する。

【背景技術】

30

【0002】

地球温暖化の最大の原因として知られる炭酸ガス( $\text{CO}_2$ )を減少させることが全世界的に問題になっている。ただし、 $\text{CO}_2$ は産業上の様々な分野で発生するため、 $\text{CO}_2$ の生成を抑制することだけによってこれに対処することは困難であり、生成された $\text{CO}_2$ を大気中に放出せず、地下や海底下に貯留するという方法も提案、実施されている。ここで減少させる対象となる $\text{CO}_2$ は、主に燃料(化石燃料、バイオマス原料等)の燃焼によって生成された $\text{CO}_2$ である。

【0003】

図 3 は、この貯留の状況を模式的に表した図である。図においては、第 1 の地層 100、第 2 の地層 101、海水 102 からなる自然の地形の断面が示されている。この構成においては、地上における $\text{CO}_2$ 圧入設備 91 から、海底下の地中にある $\text{CO}_2$ 貯留層 92 まで配管 93 が設けられており、地上から $\text{CO}_2$ が輸送され、貯留 $\text{CO}_2$  94 となる。また、海上に $\text{CO}_2$ 圧入用浮体 95 から配管 96 を介して $\text{CO}_2$ を輸送することも可能である。海底下の $\text{CO}_2$ 貯留層 92 は、貯留 $\text{CO}_2$  94 の上方に強固な保護層 921 が存在しているため、貯留 $\text{CO}_2$  94 が高圧であるにもかかわらず $\text{CO}_2$ の漏洩は通常発生しない。従って、 $\text{CO}_2$ が大気中に拡散して温暖化の原因となることが抑制できる。なお、図 3 においては、便宜上第 1 の地層 100 と第 2 の地層 101 とを分けて記載しているが、 $\text{CO}_2$ 貯留槽 92 を形成できる構造であればよく、これらが明確に区別される構造をもつ必要はない。

40

【0004】

50

しかしながら、例えば地震により第2の地層101に衝撃が発生して第2の地層101や保護層921にクラック120が生じ、貯留CO<sub>2</sub>94の一部が海水101中に漏洩する可能性がある。通常CO<sub>2</sub>貯留層92は安定な岩盤下に存在するため、このクラック(漏洩)の有無を検知することは困難であるが、CO<sub>2</sub>貯留層92を設けた目的に鑑みて、これを検知することは極めて重要である。

#### 【0005】

この際にCO<sub>2</sub>は、海中に漏洩して気泡となるか、深い海底中においては圧力が高いため気泡がそのまま液体CO<sub>2</sub>となった状態(以下、この状態を液滴と呼称する)として存在する。これらの気泡や液滴(以下気泡等)103は、クラック120の上部に発生する。このCO<sub>2</sub>を検出する方法が、例えば特許文献1に記載されている。この技術において、船舶からデータキャリア(水中応答器)が海中に投入される。データキャリアは、例えば海中のPHを測定することによって、CO<sub>2</sub>が漏洩し、気泡等103が水中に溶存して生成される炭酸を検知する。データキャリアで検出されたデータは、音響通信を利用して船舶の送受信器に送信される。これによって、CO<sub>2</sub>の漏洩を間接的に検出することができる。これによって、CO<sub>2</sub>貯留層92にクラックが生じたことを知ることができる。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0006】

【特許文献1】特開2008-191111号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0007】

しかしながら、上記のようにCO<sub>2</sub>貯留層92に貯留されたCO<sub>2</sub>の他に、自然発生するCO<sub>2</sub>も存在し、例えば、火山活動に伴ってCO<sub>2</sub>が発生することもある。このため、実際にはCO<sub>2</sub>貯留層92からの漏洩CO<sub>2</sub>以外に、自然発生したCO<sub>2</sub>も同様に検出される。従って、人工的に貯留された漏洩CO<sub>2</sub>のみを正確に検出することは困難であり、CO<sub>2</sub>貯留層92からの漏洩があることを的確に判定することは困難であった。

#### 【0008】

本発明は、斯かる問題点に鑑みてなされたものであり、上記問題点を解決する発明を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

本発明の請求項1に係る漏洩CO<sub>2</sub>検出方法は、燃料の燃焼によって生成されたCO<sub>2</sub>を貯留したCO<sub>2</sub>貯留層からの漏洩CO<sub>2</sub>を検出する漏洩CO<sub>2</sub>検出方法であって、前記CO<sub>2</sub>貯留層の周囲の環境から被分析試料を採取する採取ステップと、前記被分析試料中においてCO<sub>2</sub>が存在するか否かを判定するCO<sub>2</sub>検出ステップと、前記被分析試料中に存在したCO<sub>2</sub>における安定同位体同士の存在比率を測定する同位体分析ステップと、前記存在比率に基づいて、前記CO<sub>2</sub>には前記漏洩CO<sub>2</sub>が含まれるか否かを判定する判定ステップと、を具備することを特徴とする。

この発明においては、採取ステップにおいて採取された非分析試料中にCO<sub>2</sub>が存在するか否かがCO<sub>2</sub>検出ステップにおいて判定される。その後、検出されたCO<sub>2</sub>中の安定同位体同士の存在比率が同位体分析ステップにおいて測定され、この存在比率に基づいてこのCO<sub>2</sub>に漏洩CO<sub>2</sub>が含まれるか否かが判定ステップにおいて判定される。

また、本発明の漏洩CO<sub>2</sub>検出方法において、前記安定同位体同士の存在比率は、<sup>13</sup>Cと<sup>12</sup>Cとの存在比率であることを特徴とする。

この発明においては、前記の安定同位体として<sup>13</sup>Cと<sup>12</sup>Cが特に用いられ、これらの存在比率が算出され、判定ステップではこの存在比率に基づいて判定がなされる。

また、本発明の漏洩CO<sub>2</sub>検出方法は、前記採取ステップの前に、前記CO<sub>2</sub>貯留層近傍の環境に対して超音波を照射することによって気泡又は液滴の有無を認識する探査ステ

10

20

30

40

50

ップを具備し、前記採取ステップにおいて、前記気泡又は液滴が確認された箇所から前記被分析試料を採取することを特徴とする。

この発明においては、 $\text{CO}_2$ が存在している可能性が高いと認識された箇所から被分析試料が採取される。 $\text{CO}_2$ が存在している可能性が高いことは、気泡や液滴（液状の $\text{CO}_2$ ）からの超音波の反射の有無を利用して認識される。

また、本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法は、前記採取ステップの前に、前記 $\text{CO}_2$ 貯留層近傍の環境のPH値を計測する探査ステップを具備し、前記採取ステップにおいて、前記PH値が所定の値よりも低い箇所から前記被分析試料を採取することを特徴とする。

この発明においても、 $\text{CO}_2$ が存在している可能性が高いと認識された箇所から被分析試料が採取される。 $\text{CO}_2$ が存在している可能性が高いことは、水のPH値が低いことで認識される。

また、本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法は、前記 $\text{CO}_2$ 検出ステップにおいて、ガスクロマトグラフ法、ガスクロマトグラフ質量分析法、赤外分光法のうち少なくとも一つを用いて $\text{CO}_2$ の分析を行うことを特徴とする。

この発明においては、ガスクロマトグラフ法、ガスクロマトグラフ質量分析法、赤外分光法のうち少なくとも一つによって、被分析試料中の $\text{CO}_2$ の有無を認識することができる。

また、本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法は、前記 $\text{CO}_2$ 検出ステップ及び前記同位体分析ステップにおいて、ガスクロマトグラフ質量分析器を用いて $\text{CO}_2$ の分析及び安定同位体同士の存在比率の測定を行うことを特徴とする。

この発明においては、単一のガスクロマトグラフ質量分析器によって、 $\text{CO}_2$ 成分の有無の認識（ $\text{CO}_2$ 検出ステップ）と、この $\text{CO}_2$ 中の安定同位体の分析（同位体分析ステップ）とが共に行われる。

#### 【0010】

本発明の請求項7に係る地中貯留 $\text{CO}_2$ の漏洩モニタリング方法は、漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法を用いて、海底の地中に設けた $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩 $\text{CO}_2$ を検出することを特徴とする。

この発明においては、前記漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法を、特に海底の地中に設けた $\text{CO}_2$ 貯留層の漏洩モニターに適用する。

また、本発明の地中貯留 $\text{CO}_2$ の漏洩モニタリング方法は、海上又は海中の船舶を用いて前記漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法を実施することを特徴とする。

この発明においては、海上又は海中の船舶を用いてモニタリングが行われる。

#### 【0011】

本発明の請求項9に係る漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置は、燃料の燃焼によって生成された $\text{CO}_2$ を貯留した $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩 $\text{CO}_2$ を検出する漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置であって、前記 $\text{CO}_2$ 貯留層の周囲の環境から被分析試料を採取する試料採取部と、前記被分析試料中における $\text{CO}_2$ を検出する $\text{CO}_2$ 検出部と、前記被分析試料中に存在した $\text{CO}_2$ における安定同位体同士の存在比率を測定する同位体分析部と、前記存在比率に基づいて、前記 $\text{CO}_2$ に前記漏洩 $\text{CO}_2$ が含まれるか否かを判定する制御部と、を具備することを特徴とする。

この発明においては、試料採取部によって被分析試料が採取され、 $\text{CO}_2$ 検出部によって被分析試料中の $\text{CO}_2$ が検出される。その後、同位体分析部によって、検出された $\text{CO}_2$ 中の安定同位体同士の存在比率を測定される。制御部は、この存在比率に基づいてこの $\text{CO}_2$ に漏洩 $\text{CO}_2$ が含まれるか否かを判定する。

また、本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置において、前記安定同位体同士の存在比率は、 $^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ との存在比率であることを特徴とする。

この発明においては、前記の安定同位体として $^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ が特に用いられ、これらの存在比率が算出され、制御部は、この存在比率に基づいて判定を行う。

また、本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置は、前記 $\text{CO}_2$ 貯留層近傍の環境に対して超音波を照射し、かつ該超音波の反射波を検出する探査部を具備し、前記制御部は、前記反射波の

10

20

30

40

50

分析結果に基づいて前記被分析試料を前記試料採取部に採取させることを特徴とする。

この発明においては、試料採取部は、 $\text{CO}_2$ が存在している可能性が高いと認識された箇所から被分析試料を採取する。 $\text{CO}_2$ が存在している可能性が高いことは、探査部が気泡等からの超音波の反射を確認することによって認識する。

また、本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置は、前記 $\text{CO}_2$ 貯留層近傍の環境のPH値を計測する探査部を具備し、前記制御部は、前記PH値の測定結果に基づいて前記被分析試料を前記試料採取部に採取させることを特徴とする。

この発明においても、試料採取部は、 $\text{CO}_2$ が存在している可能性が高いと認識された箇所から被分析試料を採取する。 $\text{CO}_2$ が存在している可能性が高いことは、探査部が測定した水のPH値が低いことで認識される。

また、本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置は、前記 $\text{CO}_2$ 検出部において、ガスクロマトグラフ法、ガスクロマトグラフ質量分析法、赤外分光法のうちの少なくとも一つによる分析が行われることを特徴とする。

この発明においては、 $\text{CO}_2$ 検出部が、ガスクロマトグラフ法、ガスクロマトグラフ質量分析法、赤外分光法のうちの少なくとも一つを行うことによって、被分析試料中の $\text{CO}_2$ の有無を認識する。

また、本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置において、前記 $\text{CO}_2$ 検出部及び前記同位体分析部は、単一のガスクロマトグラフ質量分析器であることを特徴とする。

この発明においては、ガスクロマトグラフ質量分析器が、 $\text{CO}_2$ 検出部と同位体分析部とを兼ねる。

#### 【発明の効果】

##### 【0012】

本発明の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法、検出装置は、以上のように構成されているので、 $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩があることを的確に判定することができる。

この際、安定同位体同士の存在比率として $^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ の存在比率を用いた場合には、漏洩 $\text{CO}_2$ と天然 $\text{CO}_2$ との識別を特に容易に行うことができる。

この際、探査ステップ（探査部）を用いれば、 $\text{CO}_2$ が検出される可能性が高い箇所から選択的に被測定試料を採取することができるので、測定の効率を高めることができる。更に、超音波の反射波を検出すること、水のPH値を測定することによって、 $\text{CO}_2$ が検出される可能性の有無を容易に判定することができる。

また、ガスクロマトグラフ法、ガスクロマトグラフ質量分析法、赤外分光法によれば、特に $\text{CO}_2$ の検出を容易に行うことができる。

更に、ガスクロマトグラフ質量分析器を用いれば、 $\text{CO}_2$ 検出ステップと同位体分析ステップとを同一の装置を用いて一度に行うことができるため、装置構成や検査工程が簡略化される。

また、本発明の地中貯留 $\text{CO}_2$ の漏洩モニタリング方法によれば、特に検出が困難であった海底の地中にある $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩を的確に検知することができる。この際、上記の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法を海上又は海中の船舶から実施することが可能であるため、広範囲にわたりこの漏洩のモニタリングを行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0013】

【図1】本発明の実施の形態となる漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置の構成を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態となる漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法を示すフローチャートである。

【図3】 $\text{CO}_2$ を地中に貯留する際の構成を示す断面図である。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0014】

以下、本発明を実施するための形態となる漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置について説明する。図1は、この漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置10の構成を示す図である。この漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置10によって検出されるのは、図3における $\text{CO}_2$ 貯留層92から海水101中（水中）に漏洩した $\text{CO}_2$ （以下、漏洩 $\text{CO}_2$ ）や、これ以外の天然に存在する $\text{CO}_2$ 、例えば地下に天

10

20

30

40

50

然に存在し、海中に漏洩してきた $\text{CO}_2$ （以下、天然 $\text{CO}_2$ ）である。これらの $\text{CO}_2$ は、図3における気泡や液滴（気泡等103）として存在するか、これらが海水101に溶存した形態として存在する。特にこの漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置10においては、漏洩 $\text{CO}_2$ と、天然 $\text{CO}_2$ とを区別して認識することができる。従って、 $\text{CO}_2$ 貯留層92からの漏洩を的確に検出することができる。この漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置10は、図1、3に示されるように、海中部20と、海上部30とに分かれて構成される。海上部30は、船舶98に搭載されて測定者によって直接制御され、海中部20を遠隔操作する。海中部20は、漏洩 $\text{CO}_2$ を検知すべき海中に投入される。

【0015】

また、この漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置の動作（漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法）を示すフローチャートが図2である。

【0016】

測定者は、海上部30における設定部31を制御し、探査や分析のパラメータを設定する。これらのパラメータは、海上制御部（制御部）32（例えばパーソナルコンピュータ）に入力され、海上送受信部33を介して、海中に投入された海中部20における海中送受信部21に送信される。これらの間の通信は無線によってもよく、有線によってもよい。

【0017】

海中部20における海中制御部22（例えば、CPU）は、この通信によって得られた海上部30からの指令に基づき、探査部23を用いて、 $\text{CO}_2$ が海水102中に存在する可能性があるか否かを探査する（S1：探査ステップ）。ここでは、可能性があるか否かを探査すればよく、 $\text{CO}_2$ が実際に存在しているか否かを判定する必要はない。また、ここでは漏洩 $\text{CO}_2$ と天然 $\text{CO}_2$ の区別も行う必要はない。

【0018】

この探査方法としては、例えば、図3における気泡等103を認識するという方法が考えられる。この場合には、ソナー等を用いて超音波を水中に発振し、気泡からの反射波を検出することができる。また、気泡ではなく、圧力が高いために液体となった $\text{CO}_2$ （液滴）が存在しても、同様に反射波が発生するため、気泡や液滴（気泡等103）が存在すれば、これからの反射波を検出することが可能である。また、 $\text{CO}_2$ は水中に溶解して炭酸となるため、海水102のPHを調べ、PHの値がある所定の値（例えば6.8程度）以下である場合に $\text{CO}_2$ が存在すると認識するという方法を用いることもできる。この所定の値は、予めわかっているこの地域での海水のPH値を基準にして適宜設定できる。

【0019】

従って、探査部23としては、ソナーやPHセンサ等を用いることができる。ここでは漏洩 $\text{CO}_2$ 自身を探知するのではなく、 $\text{CO}_2$ が含まれる可能性があるか否かを認識すれば充分であるため、これら以外にも、電気的な方法、光学的な方法等、任意の方法を使用することができる。気泡等103が存在すると判定されない、あるいはPHが所定の値以下ではない場合のように、 $\text{CO}_2$ は存在しないと判定された場合（S2：No）には、漏洩 $\text{CO}_2$ は存在しない、すなわち、 $\text{CO}_2$ 貯留層92からの漏洩は発生していないと認識される（S3）。なお、海中制御部22がこの判定を行ってもよいが、海中送受信部21及び海上送受信部33を介して測定データを海上制御部32が入手し、海上制御部32がこの判定を行う設定とすることもできる。

【0020】

気泡等103が存在すると判定された、あるいはPHが所定の値以下であった場合（S2：Yes）には、海中制御部22又は海上制御部32は、 $\text{CO}_2$ が存在する可能性があるとして認識する。この場合、海中制御部22は、サンプリング部（試料採取部）24にこの部分の海水を採取させる（S4：採取ステップ）。サンプリング部24の形態は任意であり、例えば下側にのみ開口部を設けた筒状の容器であれば、気泡等103が存在した場合、 $\text{CO}_2$ を主として採取することが可能である。特に $\text{CO}_2$ が気泡である場合は、下側にのみ開口部を設けた筒状の容器に $\text{CO}_2$ が充満した段階で容器を閉じ、 $\text{CO}_2$ 主成分とし

10

20

30

40

50

て採取することが可能となる。また、液状のCO<sub>2</sub>や溶液に対しては、これらの存在箇所に容器を持って行き、これらを容器に満たした後、容器を閉じることによってCO<sub>2</sub>を主成分として採取することが可能となる。

【0021】

この採取されたサンプル（被分析試料）の主成分はCO<sub>2</sub>であると期待されるが、例えば、発振された超音波に対して類似の反射波を発生する他の気泡や液体、CO<sub>2</sub>と同レベルのPH値を示す他の溶液である場合もある。このサンプルは、ホース40を通り、海中部20から、海上部30における第1の分析部（CO<sub>2</sub>検出部）34に輸送される。あるいは、サンプリング部24にサンプルを保管し、海中部20を船舶98側に引き上げてからこれを第1の分析部（CO<sub>2</sub>検出部）34に輸送してもよい。

10

【0022】

第1の分析部34では、CO<sub>2</sub>成分が実際にこの中に存在するか否かが判定される（S5：CO<sub>2</sub>検出ステップ）。ここで行われる分析は、サンプルの中にCO<sub>2</sub>が存在しているか否かであり、このCO<sub>2</sub>における漏洩CO<sub>2</sub>と天然CO<sub>2</sub>とは、区別なく同様に検出される。この分析方法としては、ガスクロマトグラフ法が好ましく用いられるが、CO<sub>2</sub>を検出できる分析方法であれば、これに限定されない。例えば、気化したサンプルに対する赤外線吸収スペクトルを調べてCO<sub>2</sub>の存在を調べる赤外分光法や、試薬等を用いることによって溶存CO<sub>2</sub>を検出する方法を用いてもよい。ただし、CO<sub>2</sub>成分のみを分離して取り出すことのできるガスクロマトグラフ法が特に好ましい。

【0023】

20

海上制御部32は、ここでCO<sub>2</sub>が検出されない場合（S5：No）には、CO<sub>2</sub>は存在せず、漏洩CO<sub>2</sub>も存在しないと認識する（S3）。

【0024】

ここでCO<sub>2</sub>が検出された場合（S5：Yes）には、海上制御部32は、第2の分析部（同位体分析部）35に更にこのサンプルの質量分析を行わせる。ここでは、漏洩CO<sub>2</sub>と天然CO<sub>2</sub>とを分離して分析する。これらの識別方法について以下に説明する。

【0025】

一般に、炭素には<sup>12</sup>Cと<sup>13</sup>Cの安定同位体が自然界において見られ、その大部分は<sup>12</sup>Cであるが、これらの存在比率は、試料の起源等に応じて異なる。これらにおいては、原子（原子核）の質量のみが異なり、化学的性質は同様であるため、どちらもCO<sub>2</sub>を同様に構成する。ここで、この存在比率を示す量として、<sup>13</sup>Cという下記の式で表される量（単位は‰：パーミル）が用いられる。<sup>13</sup>Cは、試料における<sup>13</sup>Cの<sup>12</sup>Cに対する存在比率と、標準物質におけるこれらの存在比率との比率の1からの偏差を示す。

30

【0026】

【数1】

$$\delta^{13}\text{C} = \left\{ \frac{\left( \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{試料}}}{\left( \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{標準}}} - 1 \right\} \times 1000 \text{ (‰)} \quad \dots (1)$$

40

【0027】

また、各種の物質において実測された<sup>13</sup>Cの値の例を表1に示す。

【0028】



【表 1】

| 試料                          | 採取場所    | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ | 備考       | 引用文献   |
|-----------------------------|---------|---------------------------------|----------|--|
| 石油、石炭                       |         | -23                             | 産地等により変動 | 石渡・山本, 有機地球化学(培風館)、酒井・松久, 安定同位体地球化学(東京大学出版会)   |
| 植物バイオマス                     |         | -25                             | 産地等により変動 | 同上   |
| 大気中の $\text{CO}_2$          |         | -9~-6                           | 大気中の平均値  | 同上   |
| 火山ガス中の $\text{CO}_2$        |         | -7~-5                           |          | 同上   |
| 海水中の溶存 $\text{CO}_2$        |         | 0                               | 海洋中の平均値  | 同上   |
| 海底からの天然の $\text{CO}_2$ 湧き出し | 沖縄トラフ   | -5.0~-4.8                       |          | Sakai, H., Gamo, T., Kim, E-S., Tsutsumi, M., Tanaka, T., Ishibashi, J., Wakita, H., Yamano, M., Oomori, T., Science, 248, 1093-1096 (1990)                |
| 海底からの天然の $\text{CO}_2$ 湧き出し | 第4与那国海丘 | -8.0~-7.0                       |          | Konno, U., Tsunogai, U., Nakagawa, F., Nakaseama, M., Ishibashi, J., Nunoura, T., Nakamura, K., Geophysical Research Letters, 33, L16607-1-L16607-5 (2006) |

10

## 【0029】

20

この結果より、化石燃料（石油、石炭）と植物バイオマス燃料に含まれる炭素においては特に  $^{13}\text{C}$  が -23 以下と小さい、すなわち、 $^{13}\text{C}$  含有量が少ない。これらの燃料を燃焼させることによって生成された  $\text{CO}_2$  においても、 $^{13}\text{C}$  の値は同様となる。一方、天然  $\text{CO}_2$  の代表例として火山ガスや海底からの天然の湧き出しガスに含まれる炭素における  $^{13}\text{C}$  は -7 以上であり、上記の値よりも大きい。大気中の  $\text{CO}_2$  は、天然に存在する  $\text{CO}_2$  と燃料を燃焼させることによって生成された  $\text{CO}_2$  の混合物である。従って、その  $^{13}\text{C}$  は、これらの中間的な値となっている。

## 【0030】

上記の漏洩  $\text{CO}_2$  検出装置 10 で検出すべき漏洩  $\text{CO}_2$  は、化石燃料や植物バイオマス燃料を燃焼させることによって生成された  $\text{CO}_2$  であるため、その  $^{13}\text{C}$  の値は通常の大気や海水に含まれる天然  $\text{CO}_2$  よりも低い。従って、上記の結果より、大気中や海水中に含まれる  $\text{CO}_2$  における  $^{13}\text{C}$  の  $^{12}\text{C}$  に対する存在比率を調べることによって、この  $\text{CO}_2$  が漏洩  $\text{CO}_2$  か天然  $\text{CO}_2$  であるかの判定を行うことができる。

30

## 【0031】

従って、第2の分析部 35 は、採取された  $\text{CO}_2$  に対して質量分析を行い、その  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$  の存在比率（同位体比）、あるいは  $^{13}\text{C}$  を算出する（S6：同位体分析ステップ）。この質量分析の手法としては、周知の質量分析法を用いることができ、分析対象は  $^{13}\text{C}$  と  $^{12}\text{C}$  のみとすることができる。ここで、リファレンス用  $\text{CO}_2$  が充填されたリファレンス用  $\text{CO}_2$  ボンベ 36 が第2の分析部 35 に接続され、第2の分析部 35 は、このリファレンス用  $\text{CO}_2$  を参照資料として用いることができる。すなわち、このリファレンス用  $\text{CO}_2$  を用いて式(1)における標準試料の  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$  を算出することができる。ただし、特にリファレンス用  $\text{CO}_2$  ボンベ 36 を用いずに、海上制御部 32 が予め求められた標準試料の  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$  を記憶し、この値を用いて  $^{13}\text{C}$  を算出する設定とすることもできる。なお、表1の結果より、漏洩  $\text{CO}_2$  や天然  $\text{CO}_2$  の存在しない箇所の海水（ $^{13}\text{C} = 0$ ）を標準試料として用いることもできる。

40

## 【0032】

海上制御部 32 は、この同位体比又は  $^{13}\text{C}$  が、ある所定の値以下であるか否かを判定する（S7：判定ステップ）。例えば、 $^{13}\text{C}$  の値が -15 以下であれば（S7：Yes）、漏洩  $\text{CO}_2$  が存在すると認識し（S8）、-15 よりも大きければ（S7：No）、漏洩  $\text{CO}_2$  はないと認識する（S3）。

50

## 【 0 0 3 3 】

従って、この漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法においては、天然 $\text{CO}_2$ と漏洩 $\text{CO}_2$ とを的確に識別して認識することができる。これによって、 $\text{CO}_2$ 貯留層92の漏洩を的確に判定することができる。

## 【 0 0 3 4 】

なお、第1の分析部34における $\text{CO}_2$ の分析方法は、 $^{13}\text{C}$ や $^{12}\text{C}$ の原子核を壊変させない限りにおいて任意である。従って、ガスクロマトグラフ法の他にも、任意の分析方法を用いることができる。ただし、ここでは、常温で気体である $\text{CO}_2$ が分析対象であるため、気体の分析が容易であり、かつ $\text{CO}_2$ 成分のみを分離でき、同位体分析ステップで用いることのできるガスクロマトグラフ法を使用することが好ましい。

10

## 【 0 0 3 5 】

また、図1の構成においては、第1の分析部34と第2の分析部35とが用いられていたが、これらを単一の分析装置とすることもできる。例えば、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)を用いれば、 $\text{CO}_2$ の同定と、その質量分析とを同時に行うことができる。従って、単一の分析装置を用いて $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ あるいは $^{13}\text{C}$ を求めることができ、装置構成を簡略化することが可能であり、上記の漏洩を検査する工程も簡略化される。

## 【 0 0 3 6 】

また、図1、3の構成においては、海上部30を船舶98に搭載したが、これに限られるものではなく、上記の測定を行うことができる限りにおいて、任意の形態をとることができる。例えば、海上部30をそのまま陸上に設けてもよいし、海中の他の箇所、例えば海中部20よりも浅い海中に設けてもよい。また、海中部20と海上部30の構成はそれぞれ図1に示される通りとしたが、上記の測定を行うことができる限りにおいて、図1全体に示された構成要素を図1の構成とは異なるように適宜選択して海中部20と海上部30に設け、機能させることもできる。あるいは、この漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置の全ての構成要素を海中部20に設けた構成とすることもできる。

20

## 【 0 0 3 7 】

また、上記の例では、探査部23あるいは探査ステップ(S1)、 $\text{CO}_2$ が存在する可能性有無の判定(S2)が用いられていたが、これらを用いず、例えば、定地点において定期的にサンプルをサンプリング部24が採取する設定とすることもできる。ただし、 $\text{CO}_2$ の検出(S6)や同位体の分析(S7)に要する時間が長い場合には、 $\text{CO}_2$ が存在しないことが確実な場合(S5:No)には $\text{CO}_2$ の検出(S6)や同位体の分析(S7)を省略することができるため、より効率的な測定が可能である。

30

## 【 0 0 3 8 】

なお、上記の例では、この漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置10は水中(海中)の $\text{CO}_2$ を検出するものとしたが、これに限られるものではない。例えば、 $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩を大気中で同様に検出することも可能である。この場合にも、探査ステップを特に行わず、気体(大気)のサンプルを適宜採取し、その赤外分光スペクトルを測定することによって、 $\text{CO}_2$ 成分が通常の大気よりも多く含まれるか否かを判定することができる( $\text{CO}_2$ 検出ステップ)。その後は、上記と同様に同位体分析ステップ等を行えばよい。

40

## 【 0 0 3 9 】

また、前記の例では炭素の安定同位体である $^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ との存在比率( $^{13}\text{C}$ )を用いたが、他の元素の安定同位体を用いることもできる。例えば、 $\text{CO}_2$ を構成する酸素(O)には、 $^{16}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$ が安定同位体として自然界において見られ、その大部分は $^{16}\text{O}$ である。 $^{13}\text{C}$ 、 $^{12}\text{C}$ 同様にこれらの存在比率も試料の起源等に応じて異なり、どれも $\text{CO}_2$ を同様に構成する。これらの存在比率を示す量として、式(1)と同様に、 $^{17}\text{O}$ 及び $^{18}\text{O}$ という量を定義することができる。すなわち、 $^{17}\text{O}$ は、式(1)における $^{13}\text{C}$ の代わりに $^{17}\text{O}$ を用い、 $^{12}\text{C}$ の代わりに $^{16}\text{O}$ を用いた量であり、 $^{18}\text{O}$ は、式(1)における $^{13}\text{C}$ の代わりに $^{18}\text{O}$ を用い、 $^{12}\text{C}$ の代わりに $^{16}\text{O}$ を用いた量である。これらの酸素同位体の地球全体における存在比は、それぞれ

50

、 $^{16}\text{O}$  : 99.763%、 $^{17}\text{O}$  : 0.0375%、 $^{18}\text{O}$  : 0.1995%である。従って、上記の $^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ との存在比率( $^{13}\text{C}$ )の代わりに、例えば $^{18}\text{O}$ を用いることができる。表2は、 $^{18}\text{O}$ の自然界の各種物質における値である。

【0040】

【表2】

| ケース                | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | 備考         | 引用文献                                      |
|--------------------|---------------------------------|------------|---|
| 大気中の $\text{O}_2$  | +23.5                           |            | J. ヘフス著, 和田・服部訳, 同位体地球化学の基礎(シュプリンガー・ジャパン) |
| 大気中の $\text{CO}_2$ | +41                             | 地域、季節により変動 | 同上  |
| 海水                 | -1~+1                           |            | 同上  |
| 有孔虫*<br>(石灰質硬組織)   | -2~0                            |            | 同上  |
| 地下の熱水              | -15~-5                          |            | 同上  |
| 玄武岩                | +6~+10                          |            | 同上  |
| 花崗岩                | -5~+15                          |            | 同上  |
| 堆積岩                | +8~+38                          |            | 同上  |

\*有孔虫: 海洋に広く棲息する微生物の1種、石灰質の殻を持つ

【0041】

この結果より、物質毎に $^{18}\text{O}$ の値(範囲)は異なることが明らかである。従って、漏洩 $\text{CO}_2$ と天然 $\text{CO}_2$ の $^{18}\text{O}$ を識別する閾値を予め設定しておき、第2の分析部34が $^{18}\text{O}$ と $^{16}\text{O}$ の組成比を求め、海上制御部32がこの値( $^{18}\text{O}$ )に応じて上記と同様の判定を行うことにより、漏洩 $\text{CO}_2$ の存在を認識する構成とすることもできる。すなわち、上記の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置又は漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法においては、必ずしも $^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ との組成比に基づいた判定を行うことは必要ではなく、他の2つの安定同位体を適宜選択し、これらの安定同位体同士の組成比を用いて同様の判定を行うこともできる。

【0042】

また、前記のように、この漏洩 $\text{CO}_2$ 検出方法は、特に海底の地中に設けた $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩を的確に検知することができるため、地中貯留 $\text{CO}_2$ の漏洩モニタリング方法として特に好ましく用いることができる。この場合、他の検出方法では検出が困難であった海底深くの地中に設けられた $\text{CO}_2$ 貯留層からの漏洩をモニタリングすることができる。特にこの場合には、天然 $\text{CO}_2$ がサンプルに混入する確率が高くなるために、このモニタリング方法は有効である。この際、海上の船舶や、海中の潜水艦等に上記の漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置を設置すれば、広範囲の領域における測定を適宜行うことができる。従って、特に的確に漏洩を検知することができる。

【符号の説明】

【0043】

- 10 漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置
- 20 海中部(漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置)
- 21 海中送受信部
- 22 海中制御部
- 23 探査部
- 24 サンプリング部(試料採取部)
- 30 海上部(漏洩 $\text{CO}_2$ 検出装置)
- 31 設定部

10

20

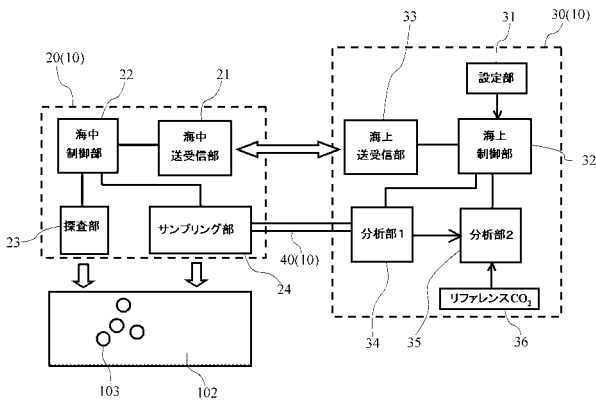
30

40

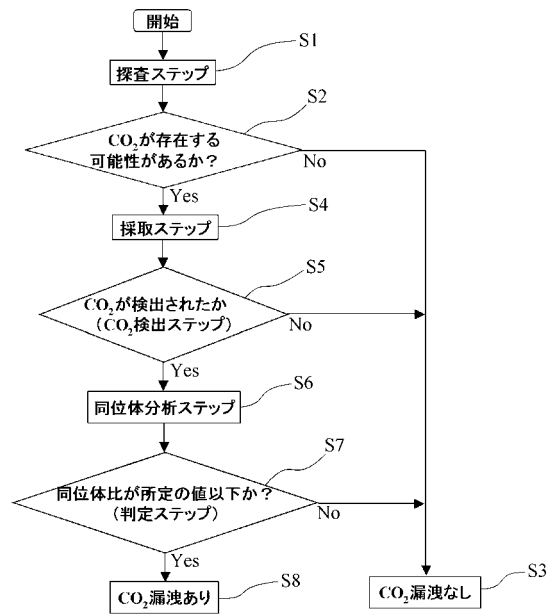
50

- 3 2 海上制御部 (制御部)
- 3 3 海上送受信部
- 3 4 第1の分析部 (CO<sub>2</sub> 検出部)
- 3 5 第2の分析部 (同位体分析部)
- 3 6 リファレンス用CO<sub>2</sub> ボンベ
- 4 0 ホース (漏洩CO<sub>2</sub> 検出装置)
- 9 1 CO<sub>2</sub> 圧入設備
- 9 2 CO<sub>2</sub> 貯留層
- 9 3、9 6 配管
- 9 4 貯留CO<sub>2</sub>
- 9 5 CO<sub>2</sub> 圧入用浮体
- 9 8 船舶
- 1 0 0 第1の地層
- 1 0 1 第2の地層
- 1 0 2 海水
- 1 0 3 気泡等
- 1 2 0 クラック
- 9 2 1 保護層

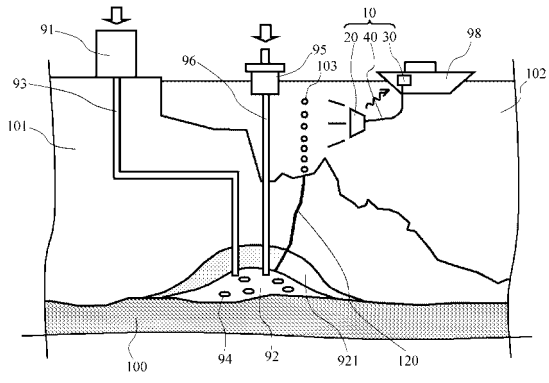
【図1】



【図2】



【 図 3 】



---

フロントページの続き

| (51) Int.Cl.   |             |                  | F I |         |       | テーマコード(参考) |
|----------------|-------------|------------------|-----|---------|-------|------------|
| <b>G 0 1 W</b> | <b>1/00</b> | <b>(2006.01)</b> |     | G 0 1 N | 27/62 | C          |
|                |             |                  |     | G 0 1 W | 1/00  | A          |