

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K21906

研究課題名(和文) 極限環境の地球-電気-生命相互作用の再現：二重構造式高温高压電気化学反応槽の開発

研究課題名(英文) Reproduction of geo-electro-bio-chemical interactions in extreme environments:
Development of hydrothermal electrochemical reactors with nested structure

研究代表者

山本 正浩 (Yamamoto, Masahiro)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究開発プログラム)・研究員

研究者番号：60435849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：本課題において二重構造式の電気化学反応槽の開発を行なった。反応液を含むガラス製のH型の電気化学セルをアルミ製の耐圧容器に閉じ込め蒸留水で内部を満たす。更にポンプで蒸留水を送り込み内圧を上げることで高压環境を作り出す。この際、耐圧容器は構造が堅牢であるため液漏れのリスクが低い。この耐圧容器ごとインキュベーターに入れることで高温条件を作り出す。本課題では180度、10MPaまでの条件での電気化学実験が行えることを実証した。本課題では高温高压環境でのシリカの電着過程の観察を行なった。今後、樹脂製の部品を金属製またはセラミック製に置き換えることでより高温の条件にも対応できると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高温高压電気化学反応は工業分野でのニーズが高いのみならず、自然界でも発生している現象であることが近年明らかになってきているため、基礎科学の分野でも注目されている。例えば、生命の起源の研究においても電気化学反応の重要性が指摘されており、特に高温高压条件での電気化学反応試験を行える装置は各種再現実験のために非常に有用である。電気化学を高温高压で制御するためには液漏れを抑えるために反応槽の構造を単純化しなければいけないという制約があったが、本課題で開発した二重構造式の反応槽を用いることで、この制約を克服した。今後様々な電気化学反応に応用できると期待される。

研究成果の概要(英文)：We developed an electrochemical reactor which has nested structure. A H-type glass electrochemical cell including reaction mixture was enclosed in an aluminum pressure-resistant container. The container was filled with distilled water using a pump to provide the high pressure conditions. Risk of liquid leakage was low due to the robust structure of the container. High temperature conditions were provided by putting the container in an incubator. In this project, we demonstrated that electrochemical experiments can be performed under conditions up to 180 degree Celsius and 10 MPa. We observed the electro deposition process of silica in the high temperature and high pressure conditions. In the future, it is expected to be possible to cope with even higher temperature conditions, by replacing resin parts with metal or ceramic parts.

研究分野：微生物生化学

キーワード：電気化学 生命の起源 極限環境

1. 研究開始当初の背景

一般に化学反応は高温・高圧条件で進行しやすいため、水熱反応と電気化学反応の組み合わせは非常に有効である。高温高圧電気化学反応は産業応用においてニーズの高い技術であり、過去に高温高圧電気化学反応装置が開発されて来た。近年、自然環境においても電気化学反応がエネルギー・物質循環において重要な寄与をしていることが明らかになりつつある。例えば深海熱水噴出孔周辺では放電現象が生じており、環境中の化学反応に影響を与えている。この現象が地球史における生命の起源にも寄与したとする仮説もある。このような自然界での電気化学反応を再現する上でも高温高圧環境に対応した電気化学反応槽が求められる。既存の高温高圧電気化学反応装置は高温高圧に耐えられる容器の内部に電極を配置する単槽型の構造が多く、電気化学で広く使用される H 型セル (反応槽をイオン交換膜のようなセパレーターを用いて複数に区画化する) 等の複雑な構造には対応していなかった。これは構造を複雑にすると反応液のリークが生じるリスクが増大するためである。そのため、これまで高温高圧環境下で実施できる電気化学反応の種類は限られて来ており、そのことがこの分野の発展を妨げて来た。

2. 研究の目的

本課題では、極限環境における地球-電気-生命相互作用を実験室で再現するために、高温・高圧下で様々な電気化学反応を起こすことのできる電気化学リアクターを開発することを目的とした (図 1)。リアクターを二重構造にすることで液体のリークのリスクを軽減させる。これによって H 型セルなどの複雑な構造のセルを用いる反応系の導入を可能にすることで、広範な電気化学反応を高温高圧条件で行えるようにする。このリアクターを用いて自然界で生じる電気化学反応を再現することで地球-電気-生命相互作用を実験室で再現することを可能にすることを目指した。

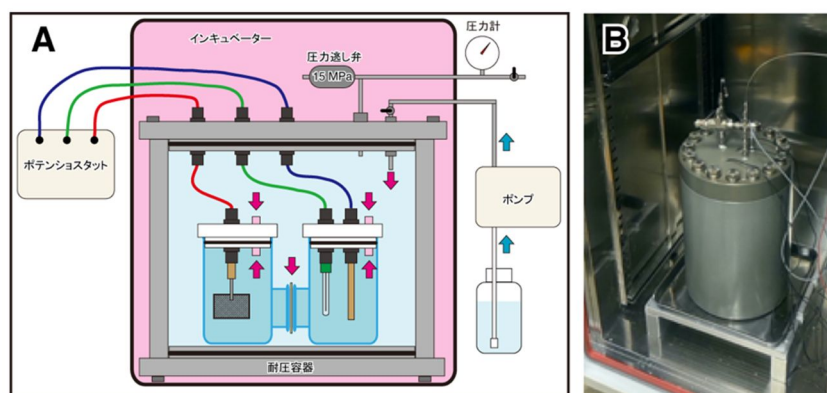


図 1 二重式の電気化学反応装置の概念図 (A) と実際に製作された装置 (B)

3. 研究の方法

我々は、電気化学セルを耐圧容器に密封する二重構造形式を持つリアクターの開発を試みた。アルミニウム製の耐圧容器に耐圧コネクタを取り付け内外を電線で連絡させることで、耐圧容器からの液体のリークの危険性の軽減を試みた。耐圧容器内に設置するガラス製の電気化学セルの蓋に可動式の栓を設けることでセル内部の反応液の体積の変動に応じてセルの容積も変動するようにした。純水を耐圧容器に圧入することで外圧が電気化学セル全体にかかって可動式の栓が押され、電気化学セルの内圧を上昇させるようにした。耐圧容器をインキュベーターに入れ加温することで任意の温度に設定した。内部の温度は温度計でモニタリングした。この条件で耐熱性の導線に連絡したポテンシostatを操作して電気化学実験を行なった。

極限環境の地球-電気-生命相互作用の一例としてシリカの挙動に着目した。カソード表面では溶液の pH が上昇しシリカの沈殿が促進されることが知られている。そこでケイ酸ナトリウム溶液を用いて高温高圧条件で定電流-電位計測実験を行い、カソードによってシリカの沈殿が促進されるかの観察を行なった。

4. 研究成果

装置を製作し試験を繰り返しながら部品の交換等の調整や運転条件の修正を行うことで、最終的に最大で 180 °C・10 MPa までの条件でのサイクリックボルタンメトリー試験に成功し、この条件での高温高圧電気化学実験を行えることを実証した (図 2)。

ケイ酸ナトリウム溶液の電解実験を行なったところ、カソード槽においてシリカ粒子の沈殿が観察された (図 3)。高温であるほどシリカの沈殿量は多くなった。沈殿したシリカ粒子を観察・分析したところ、細かい粒子径の粒子で構成されており、高い比表面積を有することを確認された。このことは電着によって形成されたシリカ粒子は高い分子吸着性やイオン伝導性を

持つことを示唆している。

今後は、以下のような展開が考えられる。(1)装置の高性能化：装置を小型化・軽量化することで取り回しを簡単にし、使いやすくしたり、樹脂製の部品を金属製やセラミック製の部品に交換することで、より高温高圧な条件に対応できるようにする。(2) 極限環境の地球-電気-生命相互作用の観察：シリカの挙動について更なる分析を進めたり、他の電気化学反応に着目した実験を行う。

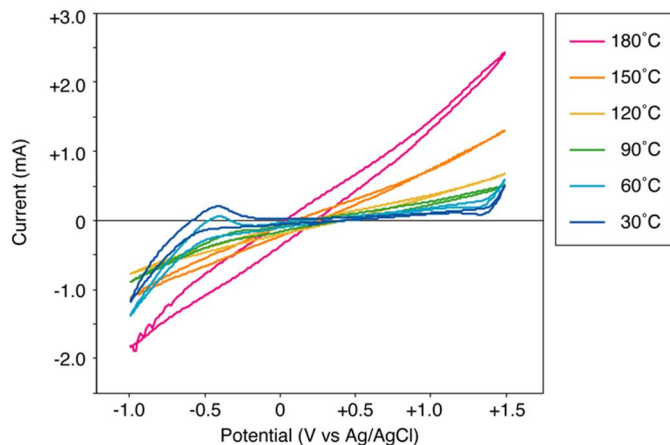


図2 高温高圧条件でのサイクリックボルタンメトリー
反応条件：温度：30 - 180°C, 圧力：14.5 MPa, 電解液：0.6M NaCl,
作用電極：Pt mesh, 掃引速度：100 mV/s

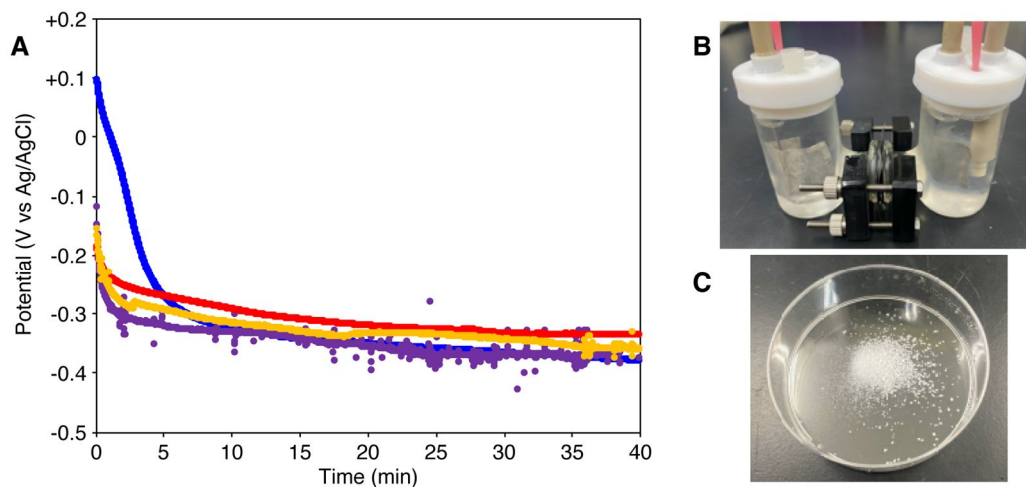


図3 シリカの電解析出実験時の定電流 - 電位計測 (A) と反応後の電気化学セル (B) と回収されたシリカ (C)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 新庄晃太郎, 山本正浩, 鹿島裕之, 田角栄二, 川人洋介, 高井研
2. 発表標題 深海熱水発電環境を模擬する高温高压電気化学装置の開発とシリカの電気化学的挙動の観察
3. 学会等名 第46回生命の起源および進化学会 学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本正浩, 田角栄二, 鹿島裕之, 北台紀夫, 山口晃, 高井研
2. 発表標題 生命の起源研究のための液体二酸化炭素中での電気化学
3. 学会等名 生命の起源および進化学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鹿島 裕之 (Kashima Hiroyuki) (70780914)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究プログラム)・研究員 (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------