

# 自然電位シミュレーションによる CO<sub>2</sub> 地中貯留モニタリングの検証

長谷英彰(北大), 窪田健二(電中研), 伊藤久敏(電中研), 鈴木浩一(電中研),  
海江田秀志(電中研), 若濱洋(RITE)

## Verification of CO<sub>2</sub> storage monitoring by using numerical simulation of groundwater flow and self-potential

Hideaki Hase (Hokkaido Univ.), Kenji Kubota (CRIEPI), Hisatoshi Ito (CRIEPI),  
Hideshi Kaieda (CRIEPI) and Hiroshi Wakahama (RITE)

### Abstract

Accelerating of global warming is caused by increasing emissions of greenhouse gases such as carbon dioxide. Reduction approaches of the greenhouse gases is one of the urgent problems on a global scale and attempted in many countries. Carbon dioxide capture and storage is an economical and efficient technology to reduce greenhouse gas emissions. However, monitoring method of injected and storage carbon dioxide is now developing. Self-potential is caused by the electrokinetic phenomenon of streaming potential, which has been applied to investigation of subsurface fluid flow. In this study, we demonstrate self-potential monitoring with carbon dioxide storage at the Ogachi test field in Japan and calculating of the self-potential changes using 2D simulation code (STAR + EKP post-processor, e.g. Ishido and Pritchett, 1999). The observed self-potential change is very small, however, significant self-potential anomaly is located at the center of the injected well. 3D simulation of the self-potential predicts the same scale of the observed anomaly. These results suggest that self-potential method is useful for the monitoring of carbon dioxide storage.

### 1. はじめに

地球温暖化対策の一環として、温室効果ガスである大気中 CO<sub>2</sub> の濃度増加を抑制することが国家レベルの緊急課題となっており、社会的にも広く認識されるようになってきている。大気中の CO<sub>2</sub> を削減する方法として、化石燃料の消費量削減や植林による CO<sub>2</sub> の吸収増進などに加え、近年では CO<sub>2</sub> 地中貯留技術が効果的な手法として注目されている。CO<sub>2</sub> の地中貯留技術は、火力発電所や大型工場などの大規模 CO<sub>2</sub> 発生源から CO<sub>2</sub> を回収し、地中深部の帯水層などに貯留する技術であり、現在日本でも実施に向けた研究開発が進められている。CO<sub>2</sub> を地下深部の地層に長期的かつ安全に貯留するためには、CO<sub>2</sub> 地中貯留が行われる深部の地質構造やその特性を詳細に把握することに加え、CO<sub>2</sub> 地中貯留時のモニタリング技術の確立が不可欠である。これまで CO<sub>2</sub> 地中貯留時のモニタリングには AE(微小地震)や重力などを適応する例が多かったが、本研究では地下の流体流動に伴って発生する流動電位効果(界面動電現象)を応用した CO<sub>2</sub> 地中貯留のモニタリング手法を提案し、フィールドにおける観測と数値シミュレーションから、実際に適応可能であるか検証を行った。本研究では数値シミュレーションの結果についてご報告する。

## 2. 数値シミュレーション

数値シミュレーションは電力中央研究所が所有する雄勝実験場(Fig.1)から CO<sub>2</sub> を注入することを想定して行った。グリッドは OGC-2 を中心とした軸対称 2 次元(Fig.2)で、温度・比抵抗構造・浸透率などのパラメーターはこれまで行われた研究結果を参考に値を決定した(Fig.3,5)。ゼータ電位は OGC-2 のコアサンプルを用いた測定により求めた(Fig.4)。

雄勝実験場では過去に流電電位法の実験が行われており、注水に伴う明瞭な自然電位変化が観測されている(海江田ほか, 1996)。本研究では、まず注水に伴う自然電位変化についてシミュレーションを行い、流電電位法の実験結果とのマッチングを行った(Fig.6)。そして、この結果をもとに雄勝地域におけるトーチオシティなどの地層係数パラメーターを推定し、CO<sub>2</sub> 地中貯留に関するシミュレーションに活用した。

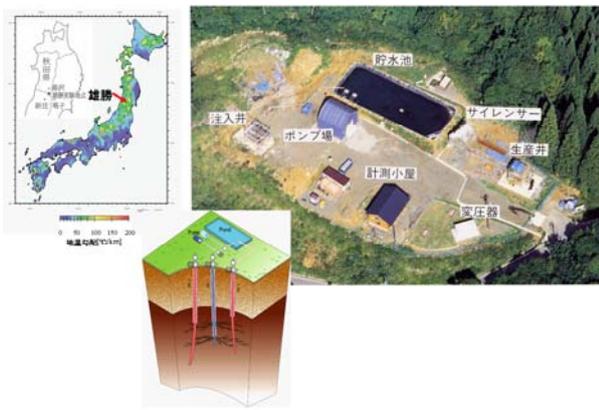


Fig.1. Location and picture of Ogachi test field.

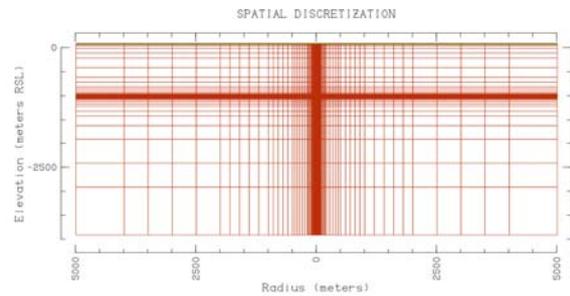


Fig.2. Simulation grid.

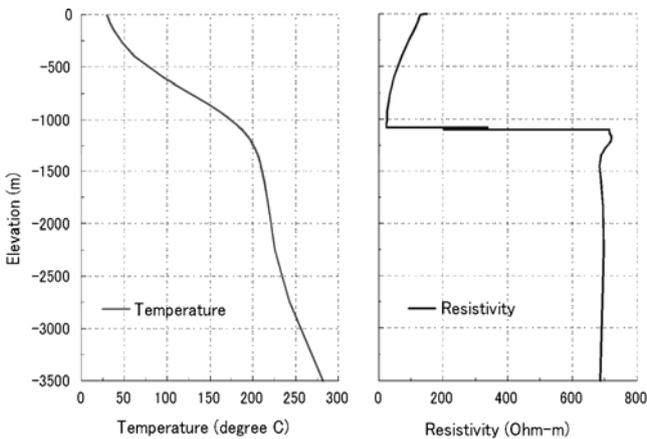


Fig.3. Temperature and resistivity models for the simulation, which are inferred from borehole temperature and CSAMT survey in Ogachi area.

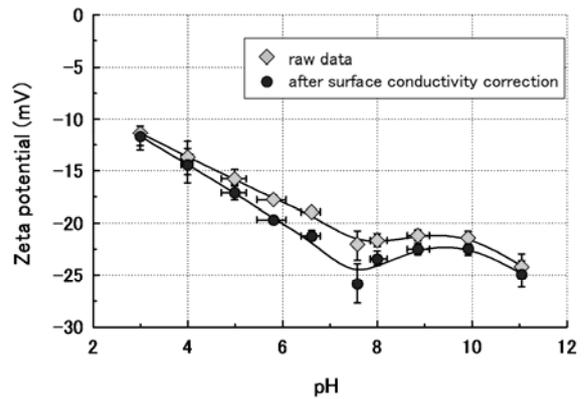
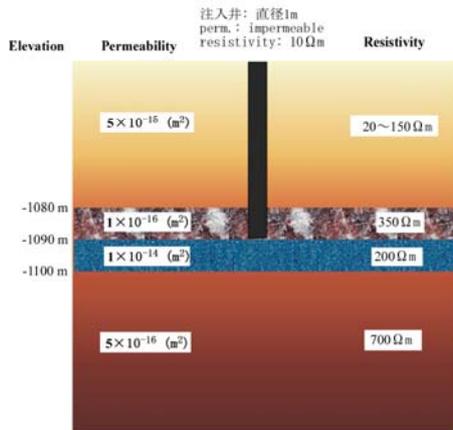
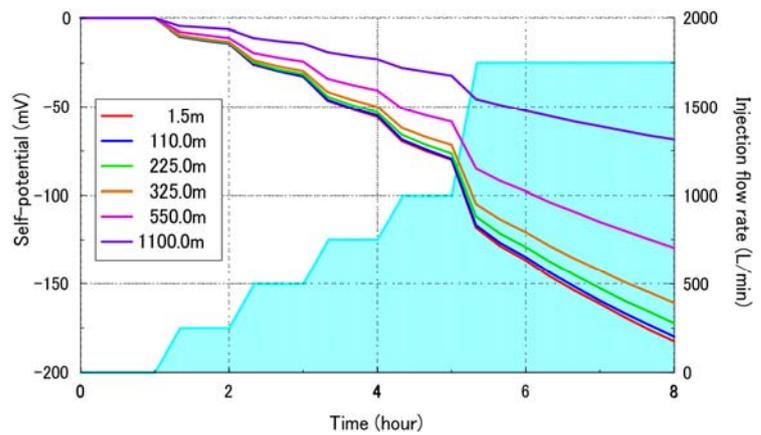


Fig.4. Results of zeta potential of rock of a borehole sample of OGC-2 (the borehole is located in the Ogachi test field).



**Fig.5.** Permeability and resistivity model for the simulation.

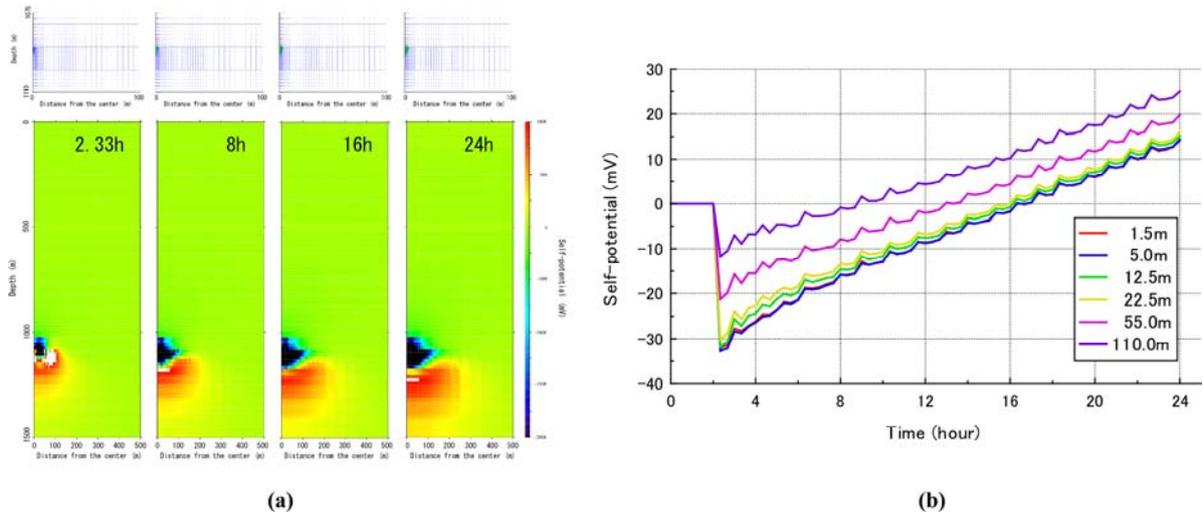


**Fig.6.** Self-potential change associated with water injection under the condition of water injection experiments at the Ogachi OGC-2 borehole [Kaieda et al., 1996].

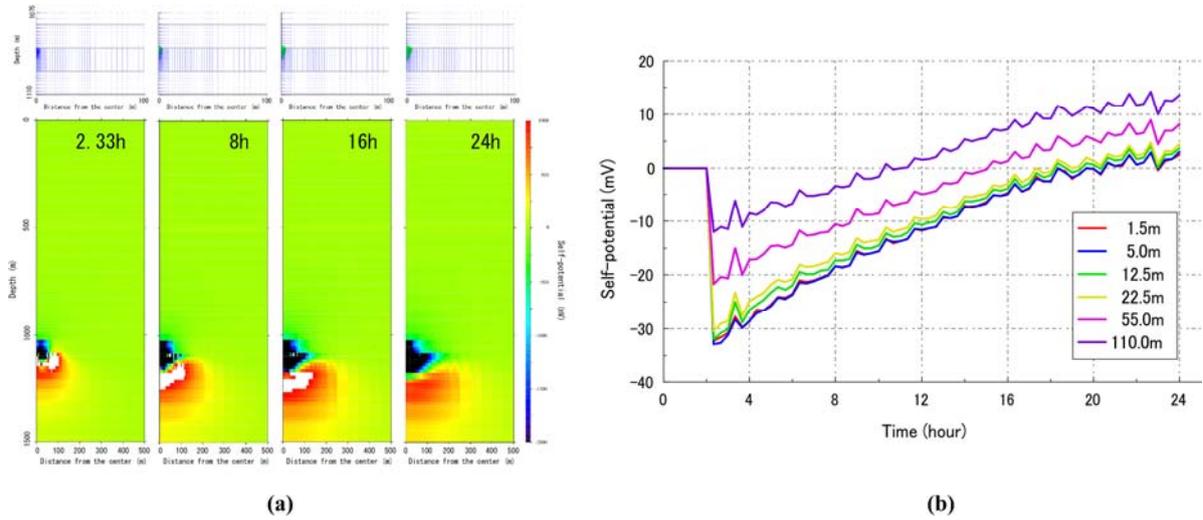
### 3. 計算結果と議論

注入する CO<sub>2</sub> 量は 10ton/day, 30ton/day, 50ton/day の 3 つの場合について行った。通常この程度の流体が地下 1,000m 付近で流動した場合、地表で自然電位変化として捉えることは非常に難しい。しかし雄勝実験場には井戸が存在し、地表から地下深部まで鉄のケーシングで繋がっているため、それが電流のコンダクターとして働き、地下深部の電位を地表に押し上げる効果が期待される。このような垂直に伸びた低比抵抗体のコンダクター効果は、石戸(2004)や長谷ほか(2009)によって議論されており、地下深部から垂直方向に伸びた低比抵抗体が地表に高電位異常を形成することが示唆されている。

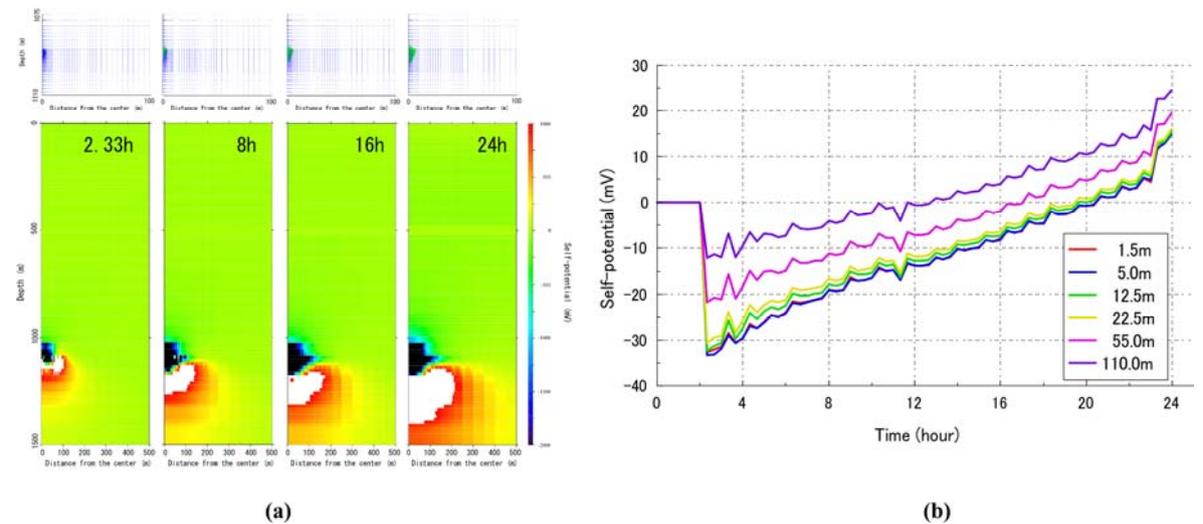
数値シミュレーション結果を Fig.7~9 に示す。図の(a)は鉛直断面の流体流動とそれに伴う自然電位を示しており、CO<sub>2</sub>の注入後から CO<sub>2</sub>貯留場所を中心として 3V 以上の自然電位変化がみられ、時間とともに変化量や変化領域が大きくなっている。また変化量は時間当たりの CO<sub>2</sub>注入量が多いほど顕著である。CO<sub>2</sub>の流動電位カップリング係数は、気体・超臨界状態のいずれにおいても極めて小さいと考えられるため、CO<sub>2</sub>そのものが流動電位を発生しているとは考え難い。そのため図の(a)の自然電位変化は、CO<sub>2</sub>の注入によって周辺に地下水が押し出され、それに伴い発生した流動電位の影響によるものと考えられる。その特徴として、注入された CO<sub>2</sub>の存在領域よりも、かなり広範囲で自然電位変化が生じている。(b)は地表の自然電位変化を示しているが、いずれの場合でも変化がみられており(最大で約-30mV)、井戸から遠ざかるほどその変化は小さくなっている。これは低比抵抗のケーシングが地下深部から地表に伸びて存在しているため、コンダクター効果で地下深部の電位が押し上げられ、井戸を中心とした電位異常を地表に形成していることが考えられる。この電位効果の特徴は、CO<sub>2</sub>の単位注入量の違いにかかわらず変化量やパターンはほぼ同じになっていることである。これはケーシングの深部先端付近の局所的な環境が地表の電位変化を支配的に決定していると推察され、CO<sub>2</sub>や地下水の流動分布に対する感度がそれほど大きくないことを意味している。



**Fig.7.** Results of self-potential change associated with CO<sub>2</sub> injection (10ton/day).



**Fig.8** Results of self-potential change associated with CO<sub>2</sub> injection (30ton/day).



**Fig.9** Results of self-potential change associated with CO<sub>2</sub> injection (50ton/day).

#### 4. まとめ

本研究は CO<sub>2</sub> の地中貯留のモニタリング手法として自然電位が適応できるかどうか数値シミュレーションを用いて検討したものである。数値シミュレーションは CO<sub>2</sub> の注入割合が 10ton/day, 30ton/day, 50ton/day の 3 つの場合について行った。その結果, いずれの場合においても地表で約-30mV の自然電位変化が期待できることが示された。期待される自然電位変化は, 主に CO<sub>2</sub> 注入によって押し出された地下水流動によって形成されていると考えられるが, 本研究の結果は CO<sub>2</sub> 貯留領域よりもかなり広範囲で発生していることが示された。これは重力や比抵抗の変化が主に CO<sub>2</sub> 貯留領域のみに限定して発生することを考慮すると, 自然電位は他の手法よりも CO<sub>2</sub> の注入に伴う変化を広域かつ容易に捉えることが可能であり, 自然電位法が CO<sub>2</sub> 地中貯留のモニタリング手法として有効であることを示唆している。しかし, 地表の電位変化は地下の流体分布を正確に把握するには感度が小さいという課題もあり, 実際にモニタリング手法として自然電位を適応する際には, 電位異常が検知できる深部にモニタリング電極を設置する, 或いはコンダクターとなるケーシングのようなものを設置する, などの工夫が必要であると思われる。

#### 謝辞

本研究は, 経済産業省の補助金交付を受けた(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)が実施する「プログラム方式二酸化炭素固定化・有効利用技術開発, 基盤技術研究: ジオリアクターによる排ガス中 CO<sub>2</sub> の地中直接固定化技術開発」の成果の一部である。

#### 参考文献

- 長谷英彰・橋本武志・西田泰典・宇津木充・井上寛之・佐波瑞恵, 自然電位観測から推定される有珠火山の熱水系, 日本地熱学会誌, 31, 27-37, 2009.
- Ishido, T. and J. W. Pritchett, Numerical simulation of electrokinetic potentials associated with subsurface fluid flow, *J. Geophys. Res.*, 104(B7), 15,247-15,259, 1999.
- Ishido, T. Electrokinetic mechanism for the “W”-shaped self-potential profile on volcanoes, *Geophys. Res. Lett.*, 31, doi:10.1029/2004GL020409, 2004.
- 海江田秀志・鈴木浩一・水永秀樹・牛島恵輔, 高温岩体発電のための岩盤破碎評価技術の開発—流電電位法と自然電位法による雄勝貯留層の評価—, 電力中央研究所報告, U96022, 1996.