HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	超臨界 CO2の圧入に伴う石炭の力学的挙動に関する基礎的研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	木山, 保
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	乙第7084号
Issue Date	2019-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/75859
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tamotsu_Kiyama_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　木山 保

審査担当者　主　査　教　授　藤井 義明
副　査　教　授　川﨑 了
副　査　教　授　石川 達也
副　査　准教授　児玉 淳一

学位論文題名

超臨界 CO_2 の圧入に伴う石炭の力学的挙動に関する基礎的研究
(A Basic Study on Mechanical Behavior of Coal during Supercritical CO_2 Injection)

二酸化炭素回収貯蔵の有力な手法の一つである二酸化炭素-炭層メタン増進回収においては、火力発電所などの大規模発生源で生成された二酸化炭素の分離・回収、ならびに、地下深部の石炭層への圧入が計画され、予備的な原位置試験が試みられている。たとえば、夕張で実施された予備実験において、二酸化炭素の圧入量は事前の予想を大きく下回った。その後、窒素を圧入すると圧入性が改善されたことから、二酸化炭素の低い圧入量は炭層と二酸化炭素の反応によるものと考えられた。このように、二酸化炭素の炭層固定では、二酸化炭素を吸着した石炭は膨潤し、浸透率が低下する。また、注入された流体の流路となる連続性が高い主炭理 (face cleat) およびこれに直交する従炭理 (but cleat) と呼ばれる石炭内部の割れ目系は、吸着・膨潤および脱着・収縮を生じる石炭マトリクスによって開口および閉塞する。したがって、石炭の浸透率の挙動は、二酸化炭素の相変化と粘性や圧縮率などの物理特性、二酸化炭素を圧入する地下の炭層の拘束条件および二酸化炭素吸着特性と温度の関係などに依存する。著者は、本論文において、室内試験によるこれら挙動の解明を試みた。

まず、著者は、変形が許される応力拘束条件におかれた石炭供試体に液体または超臨界二酸化炭素を注入し、膨潤特性および浸透率の変化を観察し、以下を明らかにした。窒素飽和状態の石炭に超臨界二酸化炭素を圧入すると、きわめて短い反応時間で窒素と超臨界二酸化炭素の置換が進行して膨張するのに対し、その後に窒素を圧入した場合、収縮するのに長い時間を要する。これは、マトリクスと二酸化炭素との反応が強く、窒素と二酸化炭素では吸着・脱着速度が違うこと、また、窒素の圧入では、二酸化炭素がすでに侵入しているマトリクス内部の孔隙に浸透しづらく、主たる流路が炭理となるためである。

次に、夕張予備実験などで観察された二酸化炭素 炭層固定における圧入量の大きな変化が拘束条件の違いに起因する可能性を考慮し、インタクトな石炭供試体を用いて窒素および二酸化炭素を応力拘束およびひずみ拘束条件下で注入し、以下を明らかにした。石炭に超臨界二酸化炭素または窒素が注入された場合は、それぞれ、マトリクスの膨潤または収縮が発生するが、応力拘束条件ではマトリクスの膨張または収縮に関わらず炭理の開閉は少ない。一方、ひずみ拘束条件ではマトリクスの膨潤または収縮を相殺するような炭理の開閉により、拘束条件の影響はきわめて大きく、石炭はマトリクスと平板き裂の炭理で構成されるが、有効封圧が比較的低い領域と高い領域で区別すると、前者では有効封圧の増加に伴いマトリクスの体積圧縮と炭理の閉塞が同時に進行する。後者

ではすでに多くの炭理が閉塞しているので有効封圧の増加に伴いマトリクスの体積圧縮のみが進行し、流路となる炭理がほとんど閉塞しているため浸透率は著しく低い。このように、有効封圧そのものよりも有効封圧の変化に伴う炭理の開閉が浸透率を支配する。ひずみ拘束条件で石炭に超臨界二酸化炭素を注入すると、まず二酸化炭素は炭理に浸入し、つぎにマイクロポアに吸着されてマトリクスは膨潤する。ひずみ拘束条件では、マトリクスの膨潤により炭理が閉鎖され、流動は間欠的となりその後停止する。この状態から窒素を注入すると、炭理が閉塞しているのですぐに流動は発生しないが、徐々に窒素が浸透して二酸化炭素と窒素が置換し、マトリクスが収縮すると炭理が開口して、浸透率は加速的に増加する。一方、応力拘束条件で石炭に超臨界二酸化炭素を注入すると、流動は継続し、流量の減少や流動の停止は起こらない。以上から、夕張における予備実験における二酸化炭素圧入量の低下は、原位置の拘束条件に応力拘束だけではなく、ひずみ拘束の要素が含まれていたためと結論付けている。

最後に温度の影響が検討され、以下が明らかにされた。石炭の二酸化炭素吸着量と温度は負の相関を示し、石炭の温度を上げると吸着可能な二酸化炭素の量が減少する。ひずみ拘束条件において二酸化炭素および窒素で飽和された石炭が温度上昇に伴い熱膨張するとき、膨張を抑制するために封圧が増加するが、二酸化炭素では窒素より浸透率が低く、間隙圧が下がりにくいので封圧の増加が顕著となる。

これを要するに、著者は、超臨界 CO_2 の圧入に伴う石炭の力学的挙動に関する貴重かつ有益な新知見を提示しており、資源工学および岩盤工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。