

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 21 日現在

機関番号：10106

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18739

研究課題名（和文）メタンハイドレート賦存域での海底湧出ガス採取方法の確立

研究課題名（英文）Establishment of a method for collecting seafloor gas in areas where methane hydrate exists

研究代表者

山下 聡（Yamashita, Satoshi）

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：00174673

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）：本研究では、網走沖オホーツク海の広範囲においてマルチビーム音響測深機によるメタンシープの観測を行い、観測された湧出個所数から湧出量を算出した。また、湧出ガスの採取方法の検討を行った。

採取方法の検討では、湧出ガスを採取する方法として回収膜（網）を用いることを検討した。網構造を用いることの利点として次のことが挙げられる。1）網構造のため潮流による抵抗が少なく、海底への設置が容易となる。2）過剰なガスは網を透過し外部へ漏出させることができる。このような、回収装置を考案するために、回収装置のモデルを作製し、実際の海洋において模擬実験を行い、ガス回収の可能性の検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

網走沖オホーツク海において複数の調査航海で表層型メタンハイドレートが採取されている。表層型メタンハイドレートが賦存している場所では、音響測深機等によって海底面から湧出するガス気泡（メタンシープ）が観測される場合が多い。メタンは二酸化炭素の20倍もの温室効果のあるガスでもあり、湧出ガスの分布や湧出量を評価することは、地球規模の環境変動の解明にもつながる。また、湧出規模によっては資源としての可能性も持っているが、海底から湧出するガスを採取する方法の検討は行われたことはこれまでない。本研究では、簡易な方法でのガス回収方法を考案しており、将来の実用化の可能性も高い。

研究成果の概要（英文）：In this study, methane seeps were observed in a wide area off Abashiri in the Sea of Okhotsk using a multi-beam echo sounder, and the amount of methane seeps was calculated from the number of observed seeps. In addition, we investigated the sampling method of seeping methane gas.

In the study of the sampling method, we considered using a recovery membrane (net) as a method of gas sampling. Advantages of using a mesh structure include the following. 1) Due to the mesh structure, there is little resistance due to tidal currents, making it easy to install on the seabed. 2) Excess gas can permeate the mesh and leak to the outside. In order to devise such a recovery device, we created a model of the recovery device, conducted simulation experiments in the actual ocean, and investigated the possibility of gas recovery.

研究分野：地盤工学

キーワード：メタンハイドレート 湧出ガス 海洋探査 海洋資源

1. 研究開始当初の背景

メタンハイドレート(MH)は、大陸縁周辺などにおいて広く分布していることから、次世代エネルギー資源の一つとして注目されている。MHは低温・高圧下で安定に存在でき、温度・圧力条件により安定に存在する領域(HSZ: Hydrate Stability Zone)の下部に分布する深層型(砂層孔隙充填型)と呼ばれるMHは、国内では東部南海トラフにおいて生産試験が行われている。一方、HSZ上部の海底付近に存在する表層型MHは、日本周辺海域では、上越沖など日本海東縁海域で存在が確認され試料が採取されており、北海道周辺海域においても、申請者が中心となった網走沖オホーツク海での調査航海で複数回の表層型MHの採取に成功している。

MHを資源として活用するためには、連続的に大量に採取することが必要であるが、現段階での技術では困難な面が多い。MHは固体として安定のため流動性を有する石油や天然ガスなどの在来資源に比較して、単一の坑井で採取できる範囲が限られおり、狭い範囲に多くの坑井を設置する必要がある。

海底表層に存在する表層型MHに関しても、申請者はこれまでロシア・バイカル湖やサハリン島沖、網走沖オホーツク海など、国内外で10年以上表層型MH研究を継続しているが、調査で採取された海底表層に存在するMHは、塊状、層状、脈状など様々な形態で存在し、分布範囲は広いものの、その存在密度は低く資源としての将来性は必ずしも高いとは言えない。また、海底表層に存在するため、深層型と異なり、MHのみを採取することは困難であり、海底堆積物との分離や高含水比の堆積土の処分や環境問題など課題も多く、早急な商業化には課題がある。

一方で、表層型のMHが海底表層付近に存在する地点においては、海底下部から供給されたメタンガスの内、ハイドレート化できなかった過剰なガスが海底表層から気泡となって湧出し、音響測深機等によって観測される(図1)。申請者が責任者として行った網走沖オホーツク海での調査において、これまでに湧出ガス(メタンシーブ)地点を250カ所以上で発見している。例示したメタンシーブは、2012年の調査航海で最初に発見したものであるが、現在も継続して観測されており、海底からメタンガスが常時湧出している。このメタンシーブを簡易に採取することができれば、資源量としては一般家庭ガス使用量の数千戸分程度であっても、常に自噴しているものであり、固体のMHよりも技術的にも費用の面でもはるかに簡易に資源化が可能であると考えられる。

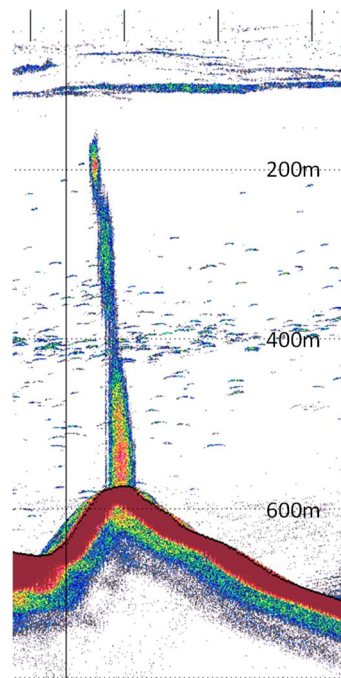


図1 網走沖で観測されたメタンシーブの例

2. 研究の目的

海底表層にMHが存在している場合、海底深部から供給されたメタンガスの内、ハイドレート化できなかった過剰なガスが海底表層から気泡となって湧出し、音響測深機や計量魚群探知機によって観測される。この湧出ガスは、MHが温度・圧力条件により存在できない浅水域でも観察される。本研究では、海底から湧出するガスの分布や湧出量を把握するとともに、湧出ガスを回収膜(網)によって安価で効率的に採取する方法を確立し、資源化につなげることを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 湧出ガス探査と湧出量把握

北海道周辺海域で行ったこれまでの海洋調査での観測データの解析に基づいて、湧出ガス量の評価を行う。また、網走沖オホーツク海を対象として湧出ガス探査と湧出継続性の確認を行う。

網走沖においては、これまで多くのメタンシーブが確認されているが、同じ場所を複数の航海で調査しているため、正確な湧出個所数の把握はできていなかった。そこで、網走沖オホーツク海の広範囲においてマルチビーム音響測深機によるメタンシーブの観測を行い、正確な湧出個所数を把握する。さらに、解析結果に基づいて、網走沖でのメタン湧出量の算定を行う。

(2) 湧出ガス回収装置の開発と室内実験

湧出ガスを回収する方法として回収膜(網)を用いることを検討する。網構造を用いることの利点として次のことが挙げられる。1) 安価に回収装置が製作できる。2) 網構造のため潮流による抵抗が少なく、海底への設置が容易となる。3) 海上近くでは、圧力の低下によりハイドレート泡は分解しガス気泡となるため、閉塞することがない。また、過剰なガスは網を通過し外部へ漏出させることができる。このような、回収装置を考案するために、ガス流量、網角度、網目寸法を変化させた条件で、湧出ガスの透過率を室内実験によって評価する。

(3)海洋での模擬実験

室内実験に基づいて模擬実験用の回収装置を試作し、実際の海洋において湧出ガスの回収模擬実験を行う。模擬実験では、湧出ガスの代わりに、船舶からコンプレッサーにより湧出ガスを模擬した空気を回収装置下部から湧出させ、装置の回収効率等の評価を行う。同時に水中ドローンによって、回収状況の確認を行う。

4. 研究成果

(1) 湧出ガス探査と湧出量把握

北海道周辺海域では、これまで稚内西方沖日本海、枝幸沖および網走沖オホーツク海、十勝沖および日高沖太平洋において、MH採取調査と湧出ガス観測を行っている。これまでの調査データに基づいて、北海道周辺海域での調査範囲内におけるガス湧出地点数と調査面積から、各海域でのガス湧出地点密度を求めた。その結果、1平方kmあたりの湧出地点数は、稚内西方沖(0.064)、枝幸沖(0.060)、網走沖(0.125)、十勝沖(0.057)、日高沖(0.004)となり、網走沖のガス湧出密度が最も高いことがわかった。

湧出密度が最も高い網走沖においては、同じ場所を複数の航海で調査しているため、正確な湧出箇所数の把握はできていなかった。そこで、図2に示す網走沖オホーツク海の東西26km、南北22kmの範囲において、マルチビーム音響測深機による湧出ガスの観測(2K23調査)を行い、正確な湧出箇所数を把握した。その結果、これまでの複数回の調査で433か所(図2の×)の湧出ガスが確認された範囲での正確なガス湧出地点数は333か所(図2の+)であった。

次に、湧出ガスを求めるために2017年に遠隔操作無人探査機ROVによる潜航調査(山下ら, 2017)を行った際の撮影画像(図3)に基づいて、湧出ガス量の算定を行った。ROV調査では、水深約550m程度のマウンド地形上の東西200m、南北100mの範囲において潜航調査を行っている(図4)。観測範囲でのメタンシープ(ガス湧出口)数は22か所であり、1か所に複数の湧出口もあり総数は46か所であった。湧出口の撮影動画から求めた1湧出口あたりの湧出泡数は、1秒間で300個程度で、気泡直径を5mmと仮定した場合、1日あたりの湧出量は 1.7m^3 、湧出口の総数は46か所であったので1日の湧出量は $78\text{m}^3 (=1.7 \times 46)$ と見積もられた。ここで、網走沖のROV観測地点は最も大きなメタンシープ観測地点なので、1シープのガス量を1/10と仮定すると、1シープの海底でのガス量は1日 $7.8\text{m}^3 (=1.7 \times 46/10)$ となる。本研究で行った2K23調査での網走沖の範囲では、メタンシープが333か所で確認されているので、全体で1日当たりの湧出量は $2597\text{m}^3 (=7.8 \times 333)$ となる。平均水深を500mとすると大気圧状態で 129850m^3 、1年間で 47400000m^3 、質量では $2116000\text{mol} \times 16 = \text{約} 34 \text{トン}$ と見積もられる。

(2)湧出ガス回収装置の開発と室内実験

試験装置と方法

図5の模式図に示すように、直径30cm、高さ1m程度の円柱タンク内に網を取り付けた塩ビパイプを設置し、タンク下部から気泡を湧出させた。湧出量は流量バルブで制御し、湧出した気泡

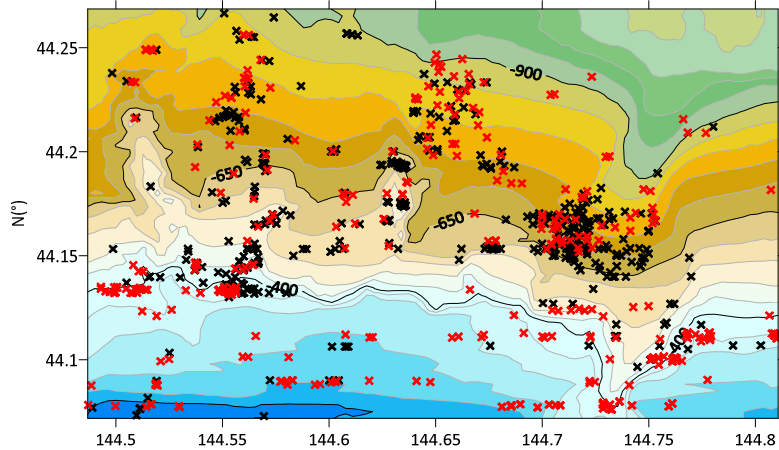


図2 2K23調査範囲での湧出ガス確認地点



図3 ROV調査で撮影された湧出ガス画像例

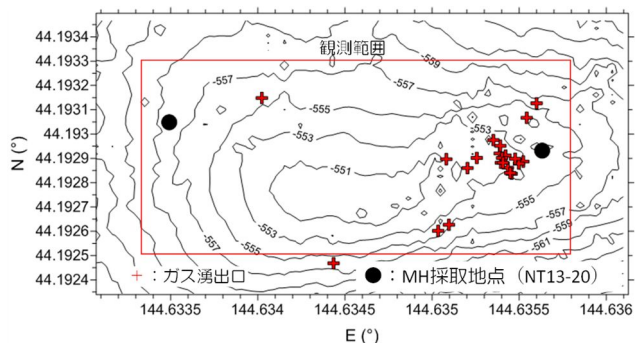
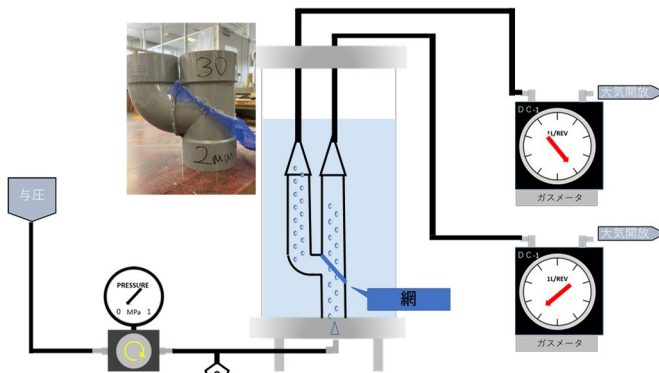


図4 ROV観測範囲とガス湧出口位置

は、塩ビパイプ内を通過し、網を通過する気泡と通過しない気泡を2本の塩ビパイプで収集した。塩ビパイプ上部にはロートとパイプを設置し、ガスメータに接続し、気泡流量を計測した。網目寸法は2mmと4mmとし、塩ビパイプ(内径70mm)の間に角度の異なる網を設置した。網角度は、水平面から30°、45°、60°、75°の4条件で、網に防水コーティング剤の噴霧の有無の条件でも実施した。



バルブで流量を調整

図5 実験装置の模式図

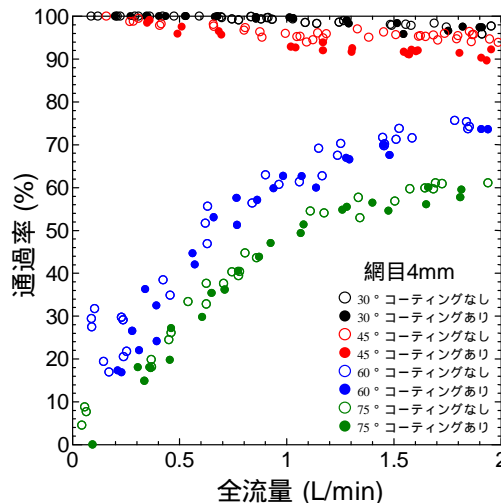
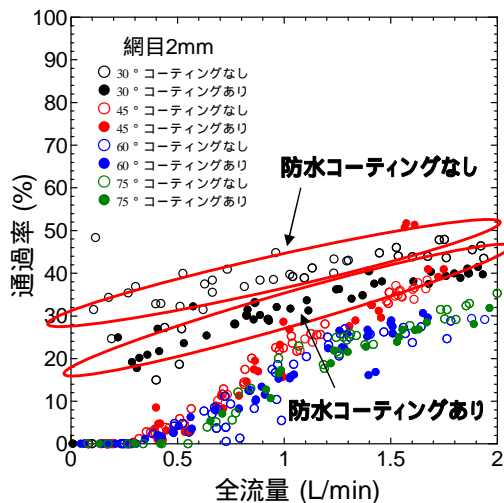


図6 異なる網角度での流量と通過率の関係(網目寸法2mm, 4mm)

試験結果

実験では、網を挟んだ塩ビパイプ下部から、一定流量で気泡を湧出させ、単位時間(1min)あたりに網を通過する空気量と通過しない空気量を測定した。図6は、試験結果の一例を示したもので、図の横軸の全流量は、網を通過した気泡と通過しなかった気泡の1分間あたりの流量の合計値で、縦軸の通過率は、通過流量/全流量の値である。

実験の結果、網角度が大きくなるにしたがって、通過率は低下した。2mmの網では、コーティングの効果がやや認められたが、4mmの網では認められなかった。また、4mmの網では、流量が大きいと角度との関係が逆転した。これは、角度が小さい場合、流量が大きくなると網の通過能力を流量が超えてしまうためと考えられた。

このように、網角度によって通過率が異なるのは、真上から見た平面面積が網角度によって異なるためである。そこで、平面面積と通過率の関係を求めると、図7に示すように、網目寸法によらず一様な関係が得られた。

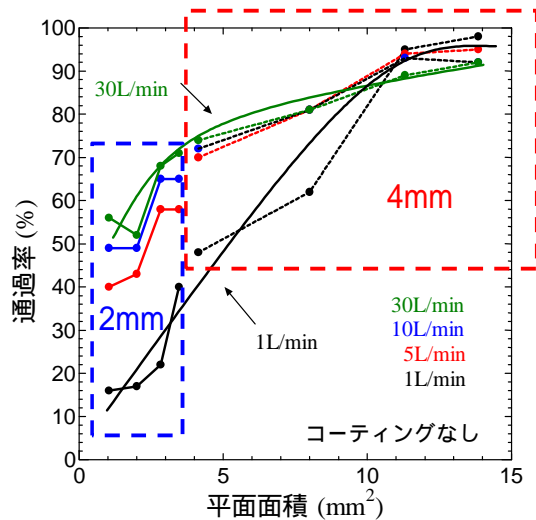


図7 平面面積と通過率の関係

(3) 海洋での模擬実験

試験装置と方法

室内実験に基づいて海洋での模擬実験用の回収装置を試作した。回収装置は図8に示すように、0.5m x 0.5m x 10mの角柱状の網目構造とし、網目寸法2mmの網を使用した。装置上部には漏斗とパイプ、下部には泡湧出部品と錘を設置し、実際の海洋において湧出ガス回収の模擬実験を行った。実験では、装置上部の漏斗に取り付けたパイプを流量計に接続し、コンプレッサーを用いて船上から空気を送り、装置下部から一定流量で気泡を湧出させ、その送気流量と単位時間(1min)あたりに回収した空気量を測定した。送気流量を変化させた実験を繰り返し実施し、気泡を回収する様子を水中ドローンで観察した。

実験を行った海域は、網走沖オホーツク海と苫小牧港内、日高沖太平洋の3か所である。

試験結果

図9は、試験結果の例として苫小牧港内（波高0m）と日高沖（波高1.1m）で実験を行った結果を示したものである。図中の●は送気流量増加時、●は送気流量低下時に測定した値で、縦軸の回収率は、回収流量/送気流量の値である。図から、波高が0mで送気流量が少ない場合（2~4L/min）、80%以上の回収率が得られる。一方、波高が1.1mの場合、回収率は波高が0mのときの1/2程度となる。

図10は、送気流量と回収流量の関係を示したものである。図に示すように、送気流量と回収流量の関係は右下がりであり一定へと近づいている。これは、送気流量に対して回収流量がある流量を超えるとほぼ一定となるためである。このことから、一定の流量のガスを回収しつつ、過剰なガスを外部へ漏出させることで、網構造の利点である回収装置に対する浮力の影響を低減させる効果も確認できている。

このように、試作した回収装置では、波高の影響を大きく受けたが、これは漏斗上部に取り付けたパイプ（内径32mm）が細ったことも一因である。したがって、より大きな回収装置であれば、安定してガス回収が可能であると考えられる。

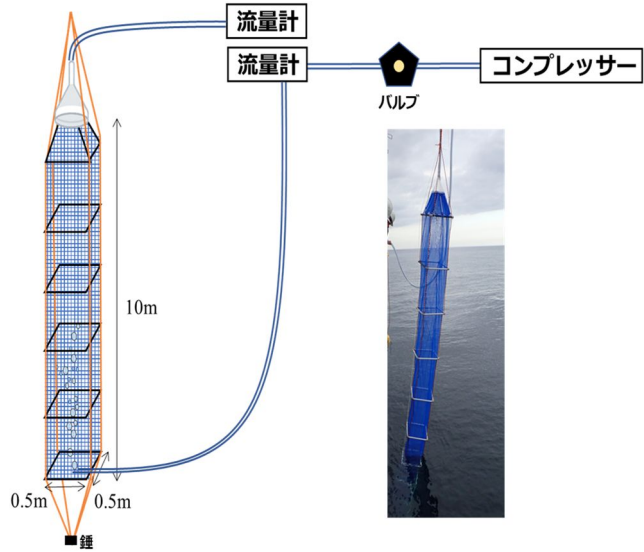


図8 海洋での実験装置の模式図

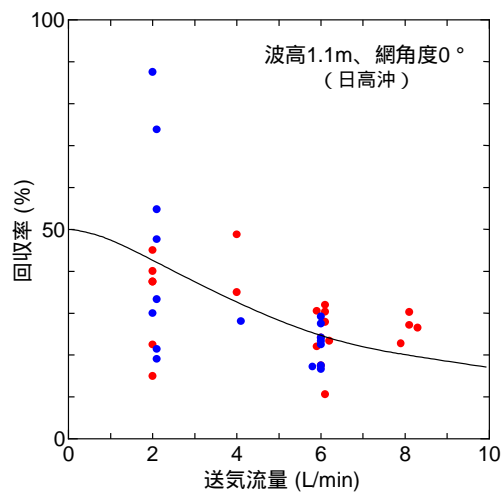
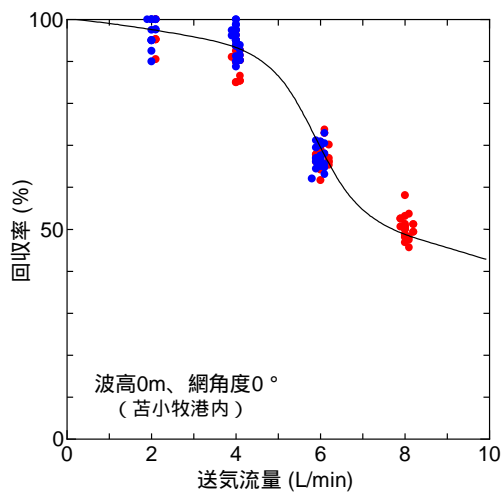


図9 送気流量と回収率の関係（苫小牧港内：波高0m、日高沖：波高1.1m）

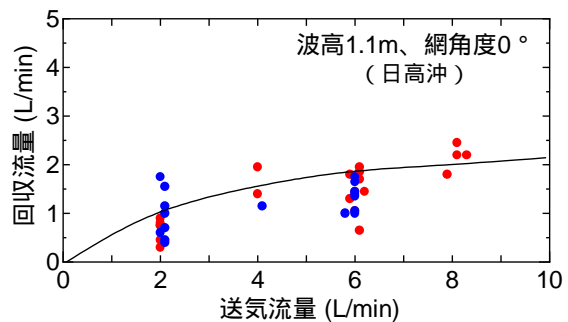
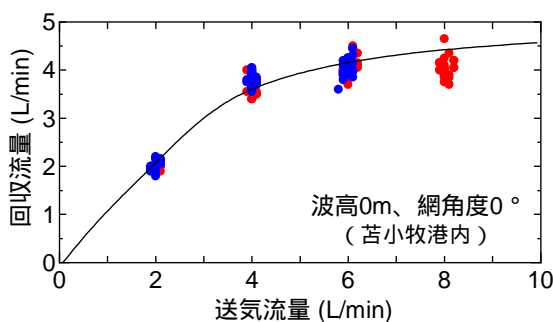


図10 送気流量と回収流量の関係（苫小牧港内：波高0m、日高沖：波高1.1m）

< 引用文献 >

山下 聡、八久保晶弘、小西正朗、坂上寛敏、丹羽達哉、仁科健二、南 尚嗣、オホーツク海網走沖のガス湧出域における ROV 調査概要、第9回メタンハイドレート総合シンポジウム講演集、2017、43-47

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村琴美、山下聡
2. 発表標題 網走沖オホーツク海における海底湧出メタンガスの分布と採取方法の検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2024年大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山下聡，井口靖隆
2. 発表標題 北海道周辺海域における海底湧出メタンガスの分布と採取方法の検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下聡，八久保晶弘，坂上寛敏，小西正朗，木田真人，南尚嗣
2. 発表標題 北海道日高沖太平洋でのメタンハイドレート調査
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂上寛敏，岡崎文保，山下聡，八久保晶弘，小西正朗，館山一孝，木田真人，南尚嗣
2. 発表標題 十勝沖で採取した表層型メタンハイドレートからの水素生成
3. 学会等名 第51回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎文保, 坂上寛敏, 山下聡, 八久保晶弘, 小西正朗, 館山一孝, 木田真人, 南尚嗣
2. 発表標題 表層型メタンハイドレートからの水素生成
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎文保, 坂上寛敏, 山下聡, 八久保晶弘, 小西正朗, 館山一孝, 木田真人, 南尚嗣
2. 発表標題 十勝沖メタンハイドレートからの水素製造
3. 学会等名 第30回日本エネルギー学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村宏海, 森谷優希, 鎌田諒也, 矢作大輔, 八久保晶弘, 竹谷敏, 小西正朗, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡
2. 発表標題 太平洋十勝沖の天然ガスハイドレートのバルク密度および結晶特性
3. 学会等名 第30回日本エネルギー学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎文保, 坂上寛敏, 山下聡, 八久保晶弘, 小西正朗, 館山一孝, 木田真人, 南尚嗣
2. 発表標題 天然メタンハイドレートを利用した水素製造
3. 学会等名 日本化学会北海道支部2021年夏季研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北見工業大学 地域循環共生研究推進センター
<https://www-ner.office.kitami-it.ac.jp/>
北見工業大学 工学部 社会環境系 地圏工学分野 地盤工学研究室
<https://kit-geosphere-engineering.com/jibankougaku/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------