

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289142

研究課題名(和文) オホーツク海網走沖ガスハイドレートの資源ポテンシャルと環境・災害インパクト

研究課題名(英文) Resource Potential and Impact for Environment and Disaster of Gas Hydrates on Continental Slope off Abashiri, the Okhotsk Sea

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) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、オホーツク海網走沖大陸斜面におけるメタン湧水の発達とガスハイドレートの産状・生成環境を明らかにするとともに、ガスハイドレートの資源としてのポテンシャルを評価するために、地震波探査、海底地形調査、ガスブルーム観測、海底堆積物の採取と採取試料に対する各種分析試験等を行った。

調査の結果、オホーツク海網走沖において、海底からガスが湧出するガスブルームを250か所以上発見し、ガスハイドレートを採取することに成功した。さらに、音波探査により調査海域一帯にBSRの存在が確認され、オホーツク海網走沖には広範囲にガスハイドレートが賦存していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, to clarify the distribution of gas-hydrate and its formative environment of seabed methane, and to evaluate the potential as resource of gas-hydrate, the geologic surveys were conducted by some cruises covering a wide area of continental slope off Abashiri, the Okhotsk Sea. The conducted investigations are the seismic geologic survey, the bathymetry and the gas plume observation by an echo sounder, and core sampling of sea-bottom sediments. Moreover, to examine the soil properties of sea bottom sediments, some kinds of shipboard tests and physical properties tests were performed for the samples.

A survey of the Okhotsk Sea offshore of Abashiri found more than 250 locations of gas plume from the seabed, and gas-hydrates were successfully sampled. The presence of BSR was confirmed in a stretch of sea where seismic survey was performed, thus indicating the widespread presence of gas hydrates offshore of Abashiri in the Okhotsk Sea.

研究分野：地盤工学

キーワード：メタンハイドレート 海洋資源 海洋探査 地盤工学 物性試験

1. 研究開始当初の背景

ガスハイドレート（GH）は、将来のエネルギー資源の一つとして注目され、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（砂層型）とよばれる GH は、資源化をターゲットとして各国でプロジェクトが進行している。我が国においても、資源化プロジェクト MH21 が東部南海トラフで生産試験を行っている。一方、海底表層付近に存在する表層型 GH は、日本周辺海域にも多く存在することが確認されており、採取方法は確立されていないものの将来の資源化の可能性もある。

一方、GH の主成分である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、GH の分布・集積形態・生成／解離動態は、地球規模の環境変動に重要な役割を果たす要素でもある。また、エネルギー資源として採取した際の海底地盤の沈下、掘削時の泥水循環による掘削孔周辺の温度上昇、地球環境変動に伴う海水温上昇などによって GH が分解し、海底地すべりを引き起こす恐れなど、地盤災害のトリガーとも成り得る。このように、GH は、資源、環境、災害という 3 つの側面でも人類社会と密接な関わりを持っている。

北海道周辺海域では、我が国が世界に先駆けて GH の資源化プロジェクトを立ち上げた 1995 年当時、オホーツク海網走沖の北見大和堆にも明瞭な BSR（Bottom Simulating Reflector：海底擬似反射面）が確認され GH の存在の可能性が指摘されていた（引用文献①）。それとは別に、産業技術総合研究所が 2001 年にオホーツク海網走沖で実施した GH01 航海で採取した音波探査記録にも顕著な BSR が確認されている（引用文献②）。このように、オホーツク海網走沖では GH が分布する徴候が見えるにも拘らず、これまで十分な調査は行われておらず実態は明らかにされていない。

2. 研究の目的

GH の存在の可能性が指摘されながら、これまで GH を対象とした調査がほとんど行われていなかったオホーツク海網走沖において、本格的に物理探査及び海底堆積物の採取・解析を行う。調査・解析から、メタン湧水の発達とハイドレートの産状・生成環境を明らかにするとともに、堆積土の物理的・力学的特性について海底地形・地質を考慮した評価を行い、網走沖海底 GH の資源としてのポテンシャルと GH の採取や環境変動に伴う GH の分解による環境や災害に及ぼす影響を明らかにすることを目指している。

3. 研究の方法

(1) 海洋調査

研究期間内において、図 1 に示すオホーツク海網走沖の海域において、6 回の海洋調査を実施した。さらに、オホーツク海枝幸沖と

太平洋十勝沖の海域においても実施した。

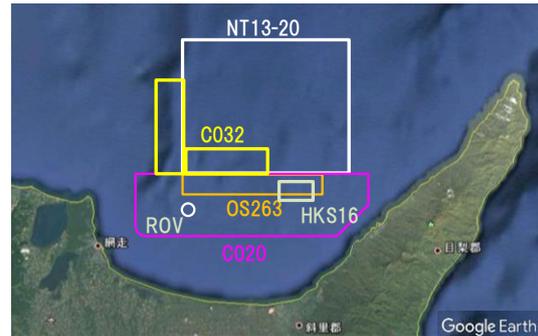


図 1 オホーツク海網走沖の調査範囲

①NT13-20 調査

2013 年 9 月に海洋研究開発機構調査船「なつしま」による調査（NT13-20）を図 1 に示す範囲において行った。行った調査は、シングルチャンネル音波探査（SCS）による海底下構造調査、マルチビーム測深機及び計量魚群探知機による海底地形及び海底湧出ガス（ガスプルーム）観測、コアリングによる海底堆積物の採取・分析である。

②OS263 調査

2013 年 11 月に北海道大学水産学部附属練習船「おしよろ丸」による調査実習（OS263）を図 1 に示す範囲において行った。行った調査は、計量魚群探知機による海底地形及びガスプルーム観測、コアリングによる海底堆積物の採取・分析である。

③C008 調査

2014 年 11 月に「おしよろ丸」による調査実習（C008）を太平洋十勝沖の海域において行った。行った調査は、マルチビーム音響測深機と計量魚群探知機による海底地形及びガスプルーム観測、コアリングによる海底堆積物の採取・分析、原位置コーン貫入試験（CPT）による海底表層地盤強度の測定である。

④C020 調査

2015 年 11 月に「おしよろ丸」による調査実習（C020）を図 1 に示す範囲において行った。行った調査は、サブボトムプロファイラー（SBP）による海底下構造調査、マルチビーム音響測深機と計量魚群探知機による海底地形及びガスプルーム観測、コアリングによる海底堆積物の採取・分析、CPT 試験である。

⑤網走沖 ROV 調査

2015 年 12 月に小型遠隔操作無人探査機（ROV）による海底湧出ガス観測調査を図 1 に示す地点において行った。

⑥HKY16 調査

2016 年 7 月に北海道立総合研究機構（道総研）試験調査船「北洋丸」による調査（HKY16）をオホーツク海枝幸沖の海域において行った。行った調査は、計量魚群探知機による海底地形及びガスプルーム観測、コアリングによる海底堆積物の採取・分析、海底観察そりによる海底面観察である。

⑦HKS16 調査

2016年9月に道総研試験調査船「北辰丸」による調査(HKS16)を図1に示す範囲において行った。行った調査は、計量魚群探知機による海底地形及びガスブルーム観測、コアリングによる海底堆積物の採取・分析、CPT試験、水中カメラによる海底面観察である。

⑧C032 調査

2016年11月に「おしよろ丸」による調査実習(C032)を図1に示す範囲において行った。行った調査は、SBPによる海底下構造調査、マルチビーム音響測深機と計量魚群探知機による海底地形及びガスブルーム観測、コアリングによる海底堆積物の採取・分析、CPT試験である。

(2) 道総研魚探データの解析

道総研試験調査船が過去の定期観測で取得した計量魚群探知機のデータ解析を行い、ガスブルームの観測地点を調べた。

(3) 各種船上試験と室内試験

各海洋調査では、コアリングにより採取した海底堆積物に対して、力学特性を求めるための船上試験、物理試験、間隙水や溶存ガスに対する水分析やガス分析試験等を行った。

4. 研究成果

(1) 海洋調査結果

①海底下構造調査

NT13-20 調査において、SCS 探査を図1に示した範囲内において南北1測線、東西4測線で行った。また、C020 及び C032 調査においては、SBP による海底浅層の音波探査を行った。

図2は、NT13-20 調査での SCS 探査で得られた音波探査断面図の一例(南北方向測線)を示したものである。図中の点線はBSRを示しており、測線ほぼ全長に渡ってBSRが確認できる。断面図左端(測線北端)においてBSR深度は140m程度、断面図右端(測線南端)では100m程度となる。網走沖のBSRの発現深度は南海トラフの1/2~1/3と浅く、その理由としてこの海域の地殻熱流量が高く、地温勾配が高いためと考えられる。

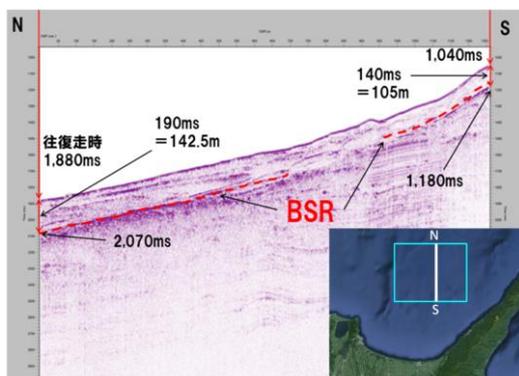


図2 SCS 音波探査断面の例(南北方向)

②海底地形とガスブルーム観測結果

それぞれの海洋調査において、マルチビー

ム音響測深機や計量魚群探知機によるガスブルーム観測を行った。図3には、一例としてNT13-20 調査及びOS263 調査範囲で観測されたガスブルーム観測位置(過去の調査も含む)を×で示している。

調査海域において、ガスブルームは水深が大きい沖側ではほとんど確認されなかったが、陸側の水深500~700m程度の領域において多く確認された。特に、斜里海底谷南端とその西側の泥火山付近において顕著に見られ、斜里海底谷南端付近では洋上で硫化水素臭も確認された。観測されたガスブルームの数は過去の調査も含めて200地点程度であった。また、図3の南側で行ったC020 調査では、約120地点でガスブルームが観測され、その半数以上は、C020 調査で新たに観測されたものであった。

このように、比較的水深の浅い地点でガスブルームが確認された理由として以下のことが考えられる。図2で示したように、BSRが沖側(北側)では海底面下約140m付近にあるのに対して、陸側(南側)では海底面下約100m付近に存在している。したがって、陸側の方がGHの安定領域の厚さが薄く、BSR下部からのフリーガスの供給を受けて海底からガスが湧出しやすい状態となっていることが考えられる。また、陸側ほど水深も浅いので、海底表層においても相平衡境界に近い場合ガスの湧出が顕著であったことも考えられる。

一方、太平洋十勝沖で行ったC008 調査では、約20地点でガスブルームが観測された。観測地点は海脚部分やマウンド地形、断層付近など、地形に特徴が見られる地点であった。ガスブルームの観測密度は網走沖調査と比較すると少なく、十勝沖は海底下部からガスが湧出しにくい環境にあるのではないかと考えられる。その要因として、BSR深度の違いが考えられる。十勝沖は産業技術総合研究所の調査(引用文献③)に基づくC008 調査地点のBSR深度は約550mとなり、網走沖の4倍程度の深度である。したがって、十勝沖はBSR深度が深いためBSR下部からのフリーガスが供給されにくく、海底からガスが湧出しにくい状態であることが考えられる。

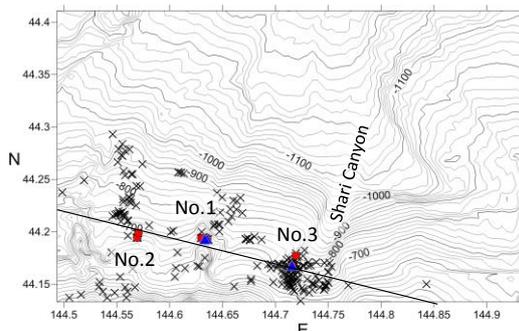


図3 ガスブルーム観測地点とコアリング地点

③ガスブルーム観察

海底から湧出するガスを直接観測するた

めに、小型 ROV による調査を行った。図 1 に示す調査地点の水深は 120m 程度である。湧出ガスは 2 地点で観察されたが、その湧出量は僅かであった。図 4 に観測されたガスブルーム画像の一例を示す。



図 4 ROV 調査で確認された海底湧出ガス

(2) 道総研魚探データの解析

オホーツク海北海道北東部沖でのガスブルーム分布状況把握のため、道総研が所有する魚探データの解析を行った。解析した魚探データは、2005 年から 2015 年に「北辰丸」（釧路水産試験場所属試験調査船）と「北洋丸」（稚内水産試験場所属試験調査船）がオホーツク海にて行った定期海洋観測調査の際に計量魚探探知機により得られたものである。

魚探データを解析した結果、図 5 に示す定期海洋観測航路上に●印でプロットされている地点において、ガスブルームが約 20 地点観測された。また、図 5 に示した No.9 地点では、2016 年 6 月に「北洋丸」による調査（HKY16）を行ったところ、同一地点で複数のガスブルームが観測され、観測航路上においても魚探データの解析結果以上の多数のガスブルームが存在していると考えられた。

2016 年 9 月に行った北辰丸による調査（HKS16）においても、C020 調査でマルチビーム音響測深機によって確認されたガスブルーム地点付近において観測測線幅を狭めて計量魚探探知機によって調査したところ、図 6 に示すように約 10 地点で新たなガスブルームが観測された。したがって、より高密度の探査を行うことによって、より多くのガスブルームが観測されると思われる。

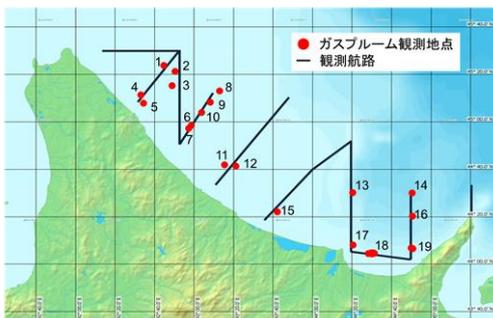


図 5 オホーツク海観測航路及びガスブルーム地点

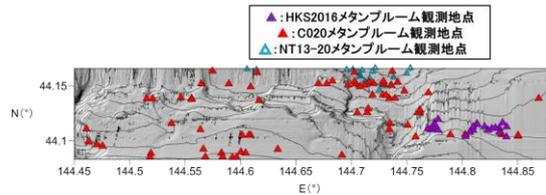


図 6 C020 調査と HKS16 調査でのガスブルーム観測地点

(3) 各種船上試験と室内試験結果

① 海底堆積物の採取と試験結果

ガスブルームが確認された地点において、コーラーを用いて海底表層堆積物の採取を行った。使用したコーラーはピストンコーラー（PC、長さ 4、6m）とグラビティコーラー（GC、長さ 2、4m）である。なお、網走沖で GH が採取されたのは、図 3 の No.1 地点と No.3 地点である。No.1 地点では NT13-20 調査で 2 コア、C020 調査で 1 コア GH が採取された。また、No.3 地点では NT13-20 調査で 1 コア GH が採取された。

船上に引き上げたコアは、内管を 1m ごとに切断した後で半割し、5~40cm 間隔で、含水比測定のための試料採取、小型コーン貫入試験（コーン先端角 30°、コーン直径 9mm、貫入深 16.8mm）、小型ベーンせん断試験（ベーン幅 10mm、高さ 20mm、貫入深 30mm）を行った。なお、GH が採取されたコアでは、GH が存在していない部分において試験を行っている。

図 7 は一例として、NT13-20 調査で採取した試料から求めた含水比 w 、船上試験から求めたコーン貫入抵抗 q_c とベーンせん断強さ τ_v を海底面からの深度に対してプロットしたものである。

採取地点の違いによる含水比と強度特性を比較すると、含水比は海底表層から 2.5m までの深さにおいて、図 3 に示した No.1 地点で採取した試料の含水比が低く、No.3 地点で採取した試料の含水比が高くなっている。また、強度は No.1 地点で採取した試料において、海底表層から 2m までの深さにおいて強度が高くなっている以外は、採取地点の違いによる差はあまり認められない。このように採取地点によって含水比や強度特性が異なるのは採取地点の地形的な要因と思われる。

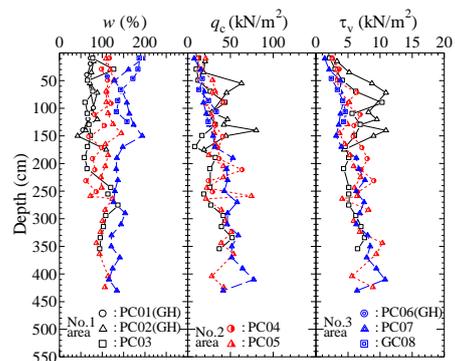


図 7 採取試料の含水比と船上試験結果

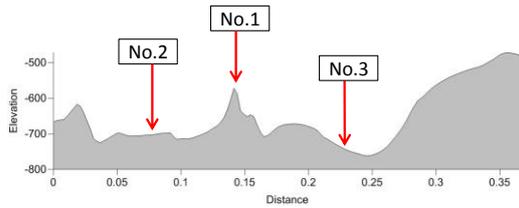


図8 コアリング地点の海底断面図

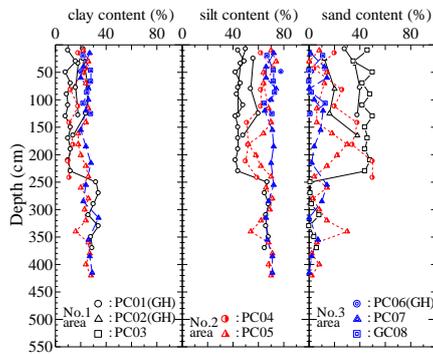


図9 採取試料の粒度(粘土分, シルト分, 砂分含有率)

図8は、図3に示したコアリングを行った地点を横断するラインの海底断面図を示したものである。GHが採取されたNo. 1地点は、比高 150m 程度の泥火山頂部付近であるのに対し、No. 2の地点はマウンド地形であるものの、その比高はNo. 1地点に比較すると小さい。一方、No. 3地点は、ガスハイドレートが採取されているものの平坦または谷地形である。

図9は、粒度試験結果から粘土、シルト、砂分の含有率を深度方向に示したものである。泥火山頂部であるNo. 1地点から採取した試料では、海底表層から2m程度までの深度において砂分の含有量が他の地点から採取した試料よりも多い。この地点は、調査範囲でガス湧出(ガスプルーム)が最も活動的な地点であるため、深部からの堆積土の噴出や再堆積による分級、メタン湧水に伴う炭酸塩鉱物の生成などによって、砂分が多くなり含水比が低くなったものと考えられる。一方、平坦部であるNo. 3地点は、ガス湧出はあるもののその活動度が低く、深さ方向の粒度分布に大きな変化が無く粘土分が多くなっているため、含水比が高くなったと考えられる。また、深度が2.5mを超えると、採取地点の相違による粒度分布に大きな違いは認められず、そのため含水比や強度も差が認められない。このように、地形的な相違と海底下部からのガスの湧出による堆積土の移動や再堆積の影響によって、採取地点によって含水比や強度特性が異なったものと考えられる。

②CPT 試験結果

海底地盤の安定性を評価するためには、原位置から採取した不攪乱試料を用いた室内試験や原位置試験などを行う必要がある。しかし、GHが存在している深海底地盤では、堆

積物中の間隙水にメタンが溶存しており、通常の採取法では、採取コアを船上に引き上げることによって溶存ガスが気泡化し、採取試料が乱され正確な強度を求めることが困難である。そこで、重力式コーン貫入試験(CPT)を深海底表層地盤で行い、海底地盤強度の直接測定を試みた。

重力式コーン貫入試験機は、重錘部、延長ロッド、CPT計測ユニットからなり、最大5m程度までの貫入が可能である。コーンの先端角は 60° 、直径は36mmである。計測ユニットには、先端抵抗測定用のロードセル、間隙水圧センサ、傾斜計チップ、電池が内蔵されている。また、重錘部に深度計を取り付け、水圧の変化から貫入深を推定した。

図10は、C020、C032調査で図3のNo. 1及びNo. 3地点付近で行った試験結果の一例を示したものである。両地点の試験結果を比較すると、採取コアの含水比は、No. 1地点よりもNo. 3地点の方が高い。それに対し、船上試験でのコーン貫入抵抗やベーンせん断強さは含水比の差ほど大きくは異なる。GHがコア下部に含有していたNo. 1地点のGC1502試料では、上部で強度が高くなっているが深度とともに強度が低下している。一方、原位置でのCPT試験結果では、No. 3地点の抵抗値ははるかに低い。これらのことから、No. 1地点で採取したコア試料の多くは、溶存ガスの気泡化及びGHの分解によって試料が乱され、強度が過小に評価されていると考えられる。また、No. 1地点では含水比の違い以上にCPTによるコーン貫入抵抗 $q_{c(CPT)}$ が高くなっており、近傍の複数地点でGHが採取されていることから、ハイドレート含有層に貫入したと考えられる。

このように、簡易な方法で深海底表層地盤の強度を求めることができ、乱れの影響を受けない原位置強度の推定が可能となった。

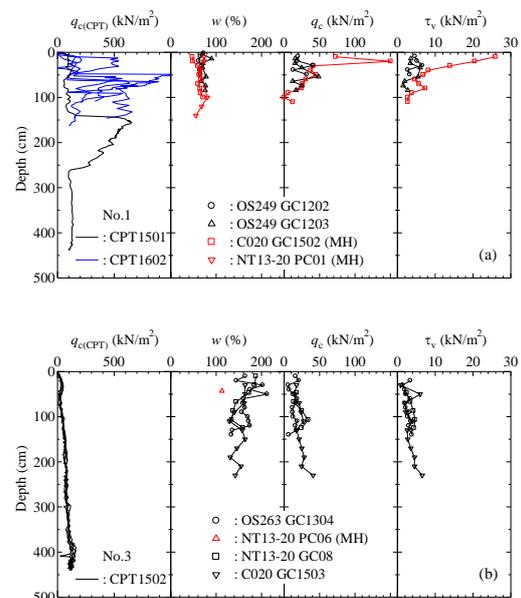


図10 CPTと船上試験との比較; (a)No. 1, (b)No. 3地点

<引用文献>

- ① 佐藤幹夫, 前川竜男, 奥田義久: 天然ガスハイドレートのメタン量と資源量の推定, 地質学雑誌, Vol. 102, No. 11, pp. 959-971, 1996.
- ② 野田篤, 池原研, 片山肇: 北見大和堆表層堆積図説明書, 海洋地質図, No. 68(CD), 産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 2009.
- ③ 辻野匠: 釧路沖海底地質図説明書, 海洋地質図, No. 73(CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2011.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 17 件)

- ① 山下聡, 川口貴之, 大島弘己: 小型簡易コーン貫入試験器の考案とその適用性, 地盤工学ジャーナル, 査読有, Vol. 11, No. 2, pp. 193-200, 2016, <http://doi.org/10.3208/jgs.11.193>
- ② Satoshi Yamashita, Shintaro Yamasaki, Hiroki Ohshima, Satsuki Kataoka: Surveys of gas hydrates in the Okhotsk Sea offshore of Abashiri and soil properties of sea bottom sediments, Japanese Geotechnical Society Special Publication, 査読有, Vol. 2, No. 13, pp. 526-530, 2015, <http://doi.org/10.3208/jgssp.JPN-031>
- ③ Hirotosugu Minami, Akihiro Hachikubo, Hirotoshi Sakagami, Satoshi Yamashita, Yusuke Soramoto, Tsuyoshi Kotake, Nobuo Takahashi, Hitoshi Shoji, Tatyana Pogodaeva, Oleg Khlystov, Andrey Khabuev, Lieven Naudts, Marc De Batist: Sequentially sampled gas hydrate water, coupled with pore water and bottom water isotopic and ionic signatures at the Kukuy mud volcano, Lake Baikal: ambiguous deep-rooted source of hydrate-forming water, Geo-Marine Letters, 査読有, Volume 34, Issue 2, pp. 241-251, 2014, DOI: 10.1007/s00367-014-0364-4

[学会発表] (計 35 件)

- ① 三輪昌輝, 山下聡, 八久保晶弘, 坂上寛敏, 山崎新太郎, 小西正朗, 南尚嗣, 片岡沙都紀, 板谷和彦, 仁科健二: 北海道沖オホーツク海でのガスハイドレート調査, 第 8 回メタンハイドレート総合シンポジウム, 2016 年 12 月 8 日, 産業技術研究所 (東京都江東区)
- ② 三輪昌輝, 山下聡, 南尚嗣, 八久保晶弘, 坂上寛敏, 山崎新太郎, 片岡沙都紀, 館山

一孝: 太平洋十勝沖でのガスハイドレート調査と海底堆積土の土質特性, 第 7 回メタンハイドレート総合シンポジウム, 2015 年 12 月 2 日, 産業技術研究所 (東京都江東区)

- ③ 山下聡, 庄子仁, 坂上寛敏, 山崎新太郎, 片岡沙都紀, 小川恵介, 南尚嗣, 八久保晶弘, 高橋信夫: オホーツク海網走沖でのガスハイドレート調査と海底堆積土の土質特性, 第 6 回メタンハイドレート総合シンポジウム, 2014 年 12 月 3 日, 産業技術研究所 (東京都江東区)

[その他]

ホームページ等

<http://www-ner.office.kitami-it.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 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

(2) 連携研究者

庄子 仁 (SHOJI Hitoshi)
北見工業大学・工学部・特任教授
研究者番号: 50201562

高橋信夫 (TAKAHASHI Nobuo)
北見工業大学・学長
研究者番号: 20108187

南 尚嗣 (MINAMI Hirotosugu)
北見工業大学・工学部・教授
研究者番号: 40241426

八久保 晶弘 (HACHIKUBO Akihiro)
北見工業大学・工学部・教授
研究者番号: 50312450

川口 貴之 (KAWAGUCHI Takayuki)
北見工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 20310964

坂上寛敏 (SAKAGAMI Hirotoshi)
北見工業大学・工学部・助教
研究者番号: 70271757

片岡 沙都紀 (KATAOKA Satsuki)
神戸大学大学院・工学研究科・助教
研究者番号: 50552080

山崎新太郎 (YAMASAKI Shintaro)
北見工業大学・工学部・助教
研究者番号: 40584602