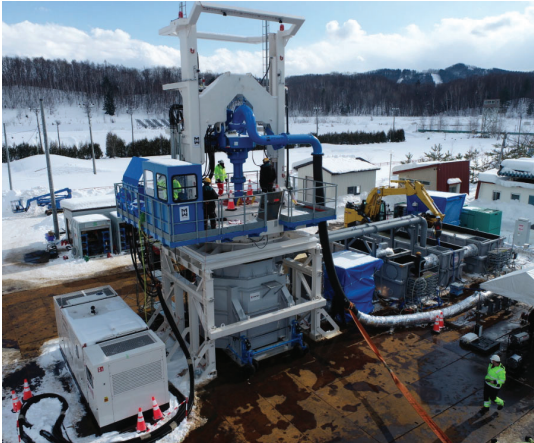


表層型MHの研究開発 2023年度研究成果報告会

広範囲鉛直掘削法による回収技術開発 －掘削性能試験結果－



三井海洋開発株式会社
日本大学
北見工業大学
北海学園大学

令和6年2月29日

本研究は、経済産業省「国内石油天然ガス地質調査・メタンハイドレート研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）」の一環として実施した。関係各位に対し、謝意を表する次第である。

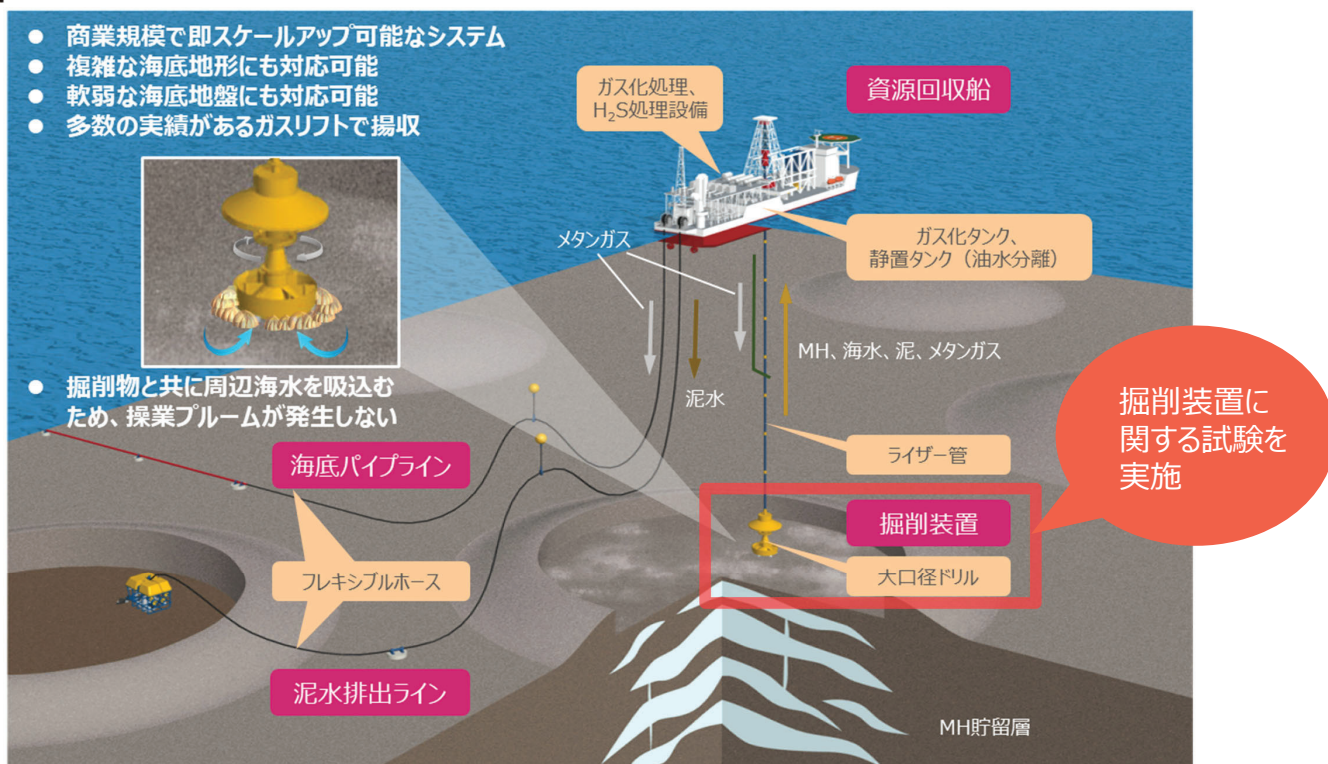
発表の流れ

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
(現時点までのご報告)

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
(現時点までのご報告)

3

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
—商業時の施設全体像と本講演の対象設備—



広範囲鉛直掘削法

4

掘削試験で確認すべき事項（試験の位置づけ）

表層型MHを対象とした掘削技術を考えるために、表層型MHの開発対象域に適用可能な掘削能力を有する技術であるかどうかを確認する

2022年
10月

模擬地盤掘削試験による実証試験（デモンストレーション）

小さな粒状MHを含む軟泥地盤を想定した模擬地盤において、掘削ドリルが粒状MHを模擬した個体を上手くとらえて回収できることを確認

2023年
1月～2月

大型氷掘削試験による実験データの取得

100%MHの地盤を想定した大型氷にて、有望な掘削刃3種類を用いて掘削を行い、掘削能力を定量的に示すためのデータを取得（例：ドリル回転数、ドリル設置圧、掘進速度等）

2023年
3月～

実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討

取得した実験データを基に、商業段階における実機サイズの掘削能力推定、表層型MH用掘削装置の設計方針の検討を実施

5

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
（現時点までのご報告）

2. 試験設備概要：試験場所

北見工業大学 オホーツク地域創生研究パーク (北海道 北見市)

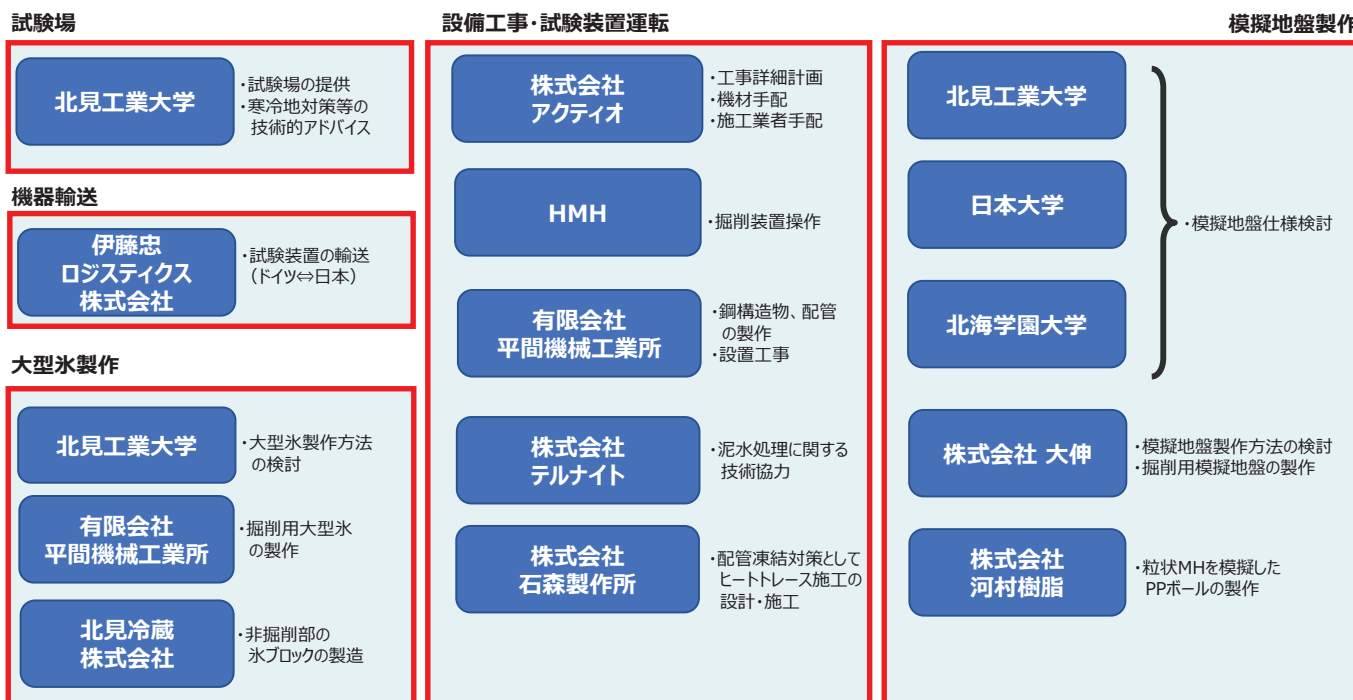


(写真：北見工業大学 提供)

大型実験設備の設置が可能
冬季には外気温を利用した大型氷の製作が可能

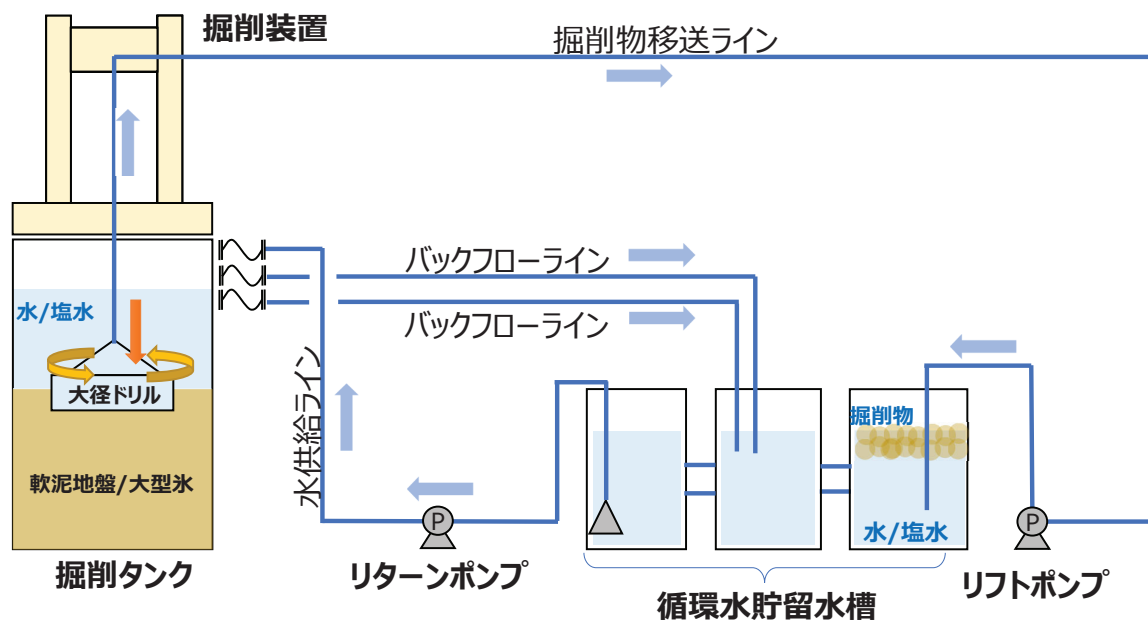
2. 試験設備概要：掘削試験の実施体制

※本プロジェクトは国立研究開発法人 産業技術総合研究所殿の委託により実施しております



2. 試験設備概要：試験の全体装置図

掘削タンク内に、海底地盤を模擬した人工地盤を作成し、掘削を実施



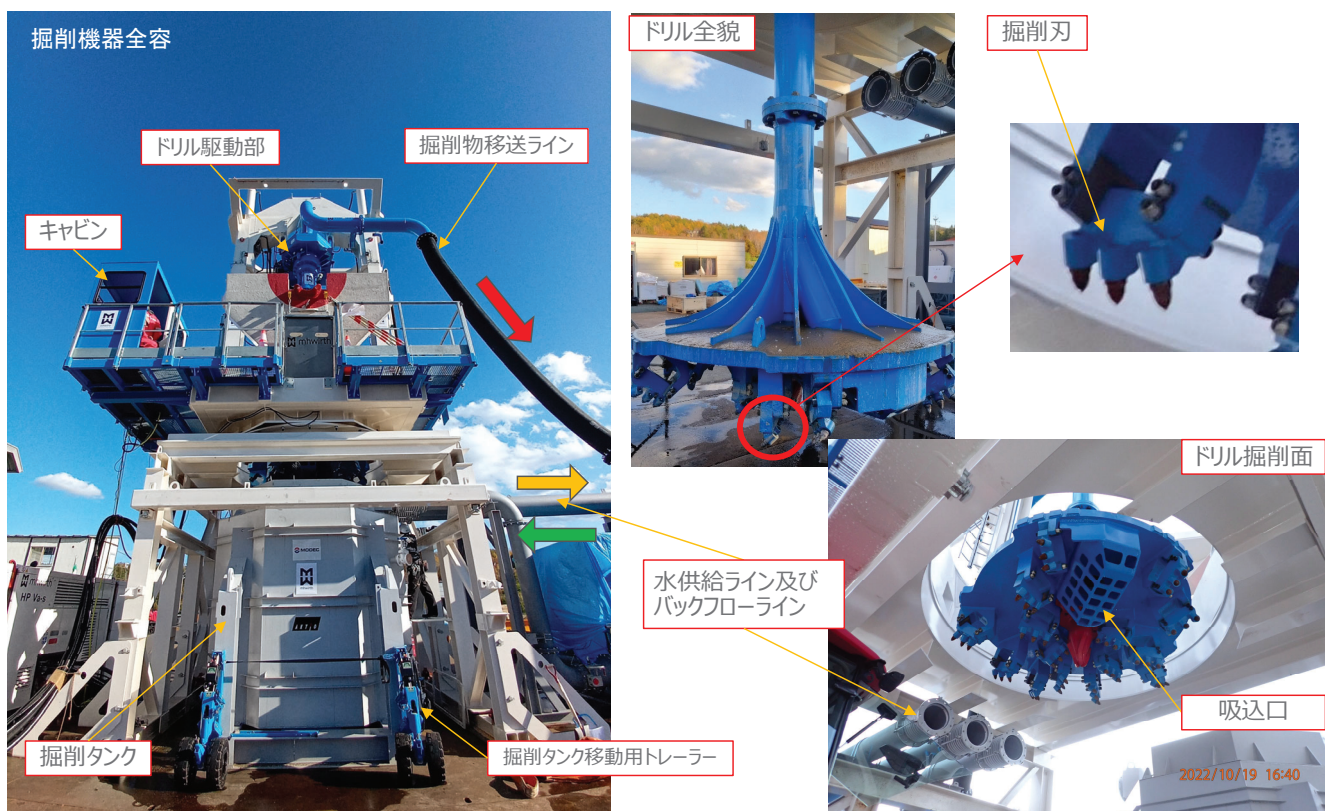
9

2. 試験設備概要：掘削装置全容（機器配置）



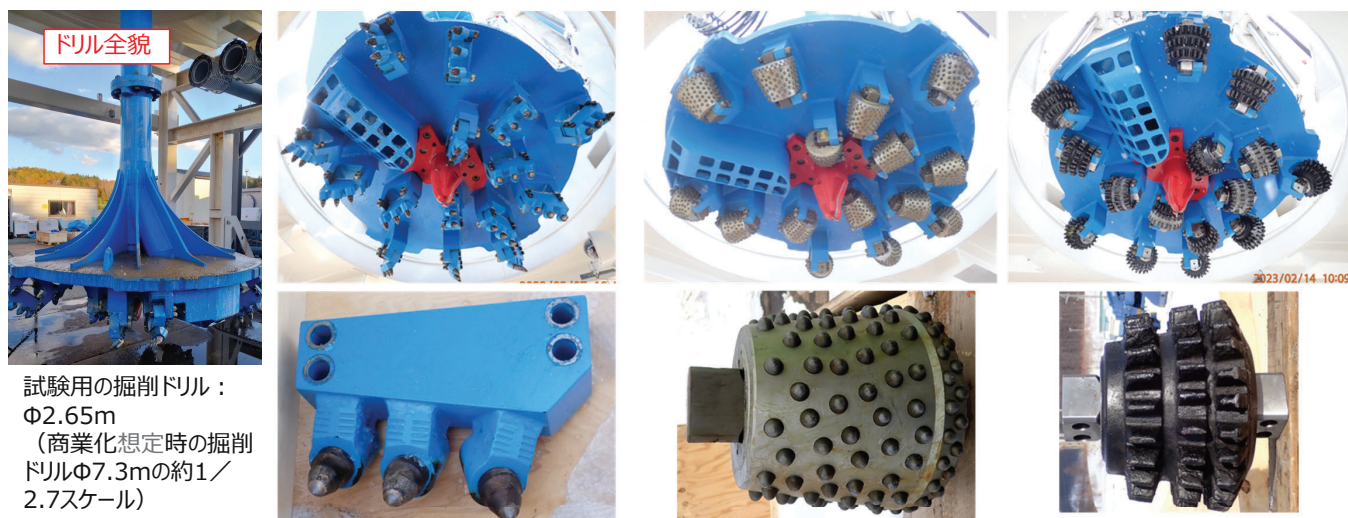
(写真：北見工業大学 提供)

2. 試験設備概要：掘削装置全容（掘削装置、掘削タンク）



2. 試験設備概要：試験に用いた掘削刃

3種類の掘削刃の違いによる掘削性能の差異の把握を目指した



試験用の掘削ドリル：
Φ2.65m
(商業化想定時の掘削
ドリルΦ7.3mの約1/
2.7スケール)

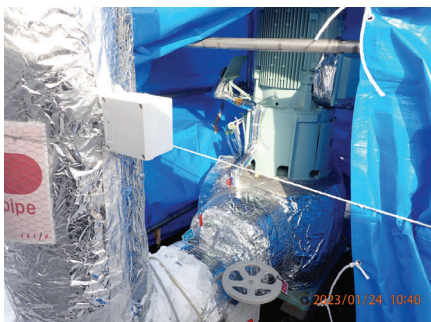
ラウンドシャンクスクレーパ
& リッパ

ボタンカッタ

ツースカッタ

2. 試験設備概要：凍結対策（大型氷掘削試験のみ）

配管を常時加温



人力で氷を除去



塩水に変更



水槽内を攪拌



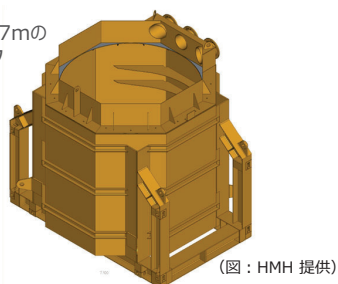
13

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. **模擬地盤掘削試験**
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
（現時点までのご報告）

3. 模擬地盤掘削試験：概要①

項目	
目的	<ul style="list-style-type: none"> 軟泥中に散在する粒状型MHを掘削ドリルが上手くとらえて回収できることを確認 <p>性能データ取得ではなく、機能確認試験として実施</p>
時期	<ul style="list-style-type: none"> 試験実施日：2022年10月20日 <p>現場工事等 準備/片付け期間 2022年9月20日～11月8日</p>
場所	<ul style="list-style-type: none"> オホーツク地域創生研究パーク (北海道北見市北見市若松306)
掘削対象	<ul style="list-style-type: none"> 20%MHを想定した、粒状MHを含んだ海底下数十mにおける軟泥地盤を想定した地盤 ⇒同地盤と同じ強度をもった地盤を模擬すべく、粒状MHを想定したPPボールを混合した流動化処理土を掘削タンク内に作成

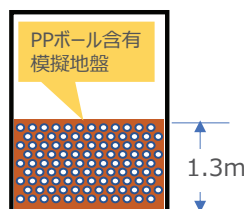
対辺3.2m,高3.7mの八角柱形状タンク



掘削タンク外景

(図：HMH 提供)

80vol%:流動化処理土
20vol%:Φ10mmPPボール



掘削タンク断面

1.3m



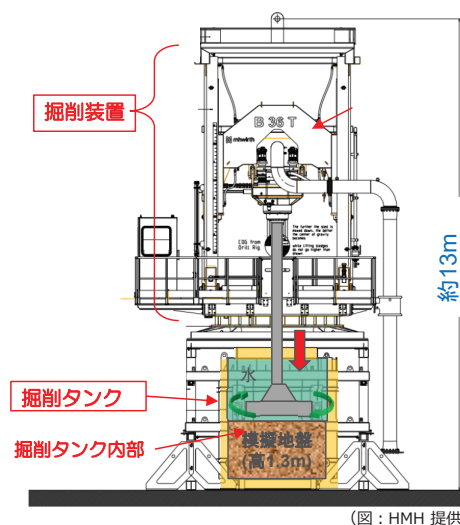
Φ10mm PPボール

15

3. 模擬地盤掘削試験：概要②

試験条件・計測項目

ドリル径	Φ2.65m
掘削刃種類	ラウンドシャンクビット&リップ 
ドリル回転数	約6.0 rpm
管内流速	約2.5~3.0m/s (事前水循環試験結果に基づき設定)
ドリル掘進速度	低速：0.1m/h⇒2.2m/h 高速：5m/h
計測項目	管内流速、ドリル回転数、ドリル設置圧、ドリル掘進速度、ドリル掘削トルク etc.



(図：HMH 提供)

掘削深さが約1mに到達した時点で終了

3. 模擬地盤掘削試験：掘削試験結果



掘削物+水

回収されたPPボール

掘削後の24m³水槽

掘削ドリルで、粒状MH(PPボール)を回収できることを確認した

ドリル回転形状に沿ってきれいに模擬地盤が掘削されている



掘削前のタンク内部



掘削後のタンク内部

掘削ドリルで上手く掘削できた 17

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、最適な掘削装置の検討
(現時点までのご報告)

4. 大型氷掘削試験：概要

項目	
目的	掘削能力を定量的に示すためのデータを取得
時期	<ul style="list-style-type: none"> 大型氷製作：2022年12月5日～2023年2月6日 掘削試験実施日：2023年1月31日～2月13日
場所	オホーツク地域創生研究パーク（模擬地盤掘削試験と同じ）
掘削対象	<ul style="list-style-type: none"> 100%MHを想定した地盤 ⇒模擬地盤掘削試験時と同形状の掘削タンク内に高さ1.3mの大型氷を製作（計4個）



これまでの研究結果に基づき、外気温を利用して、市販氷・水から天然MHと同程度の強度を持つ大型氷を製作

19

4. 大型氷掘削試験：試験条件・計測項目






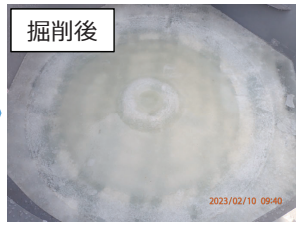

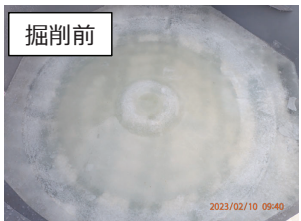
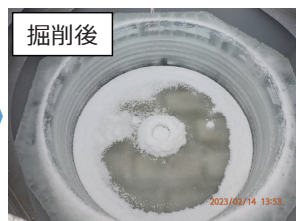
3種類の掘削刃を用いて、模擬MHとなる大型氷を掘削し、実験データを取得する

掘削刃種類	ラウンドシャンクスレーパ&リッパ			ツースカッタ			ボタンカッタ
	ソフトな地盤に対応			ソフトな地盤、ハードな地盤に対応			ハードな地盤に対応
	0MPa			地盤強度（一軸圧縮強さ）			400MPa
RUN	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st
ドリル回転数	7.1±0.2rpm	10.0±0.2rpm	13.7±0.4rpm	14.4±0.2rpm	11.7±0.0rpm	16.0±0.0rpm	14.2±0.2rpm
ドリル掘進速度	1.25~6.50m/h	5.50~7.50m/h	7.00~15.00m/h	4.00~13.00m/h	10.00m/h	10.00m/h	4.00m/h, 8.00m/h
揚収管内流速	2.50±0.39 m/s			2.50±0.06 m/s			2.50±0.08m/s
計測値	設定したドリル掘進速度（ROP）にて掘削 ドリル掘削トルク、ドリル設置圧、ドリル回転数 ドリル掘削位置、ドリル掘進速度 など、各データを取得			実機サイズにおける掘削能力の推定、最適な掘削カッターの検証を実施			

20






4. 大型氷掘削試験：掘削試験前後の掘削タンク内の様子

模擬MHである大型氷の掘削ができたことを確認した。

<p>ラウンドシャックスレーバ & リッパ</p> 	<p>掘削前</p> 	<p>掘削後</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 円筒状の掘削面 掘削可能範囲限界まで掘削実施
<p>ボタンカッタ</p> 	<p>掘削前</p> 	<p>掘削後</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削ドリルの掘進速度を上げたところ、途中で負荷が運転の上限値を超えた為、掘削中断
<p>ツースカッタ</p> 	<p>掘削前</p> 	<p>掘削後</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 円筒状の掘削面 掘削可能範囲限界まで掘削実施

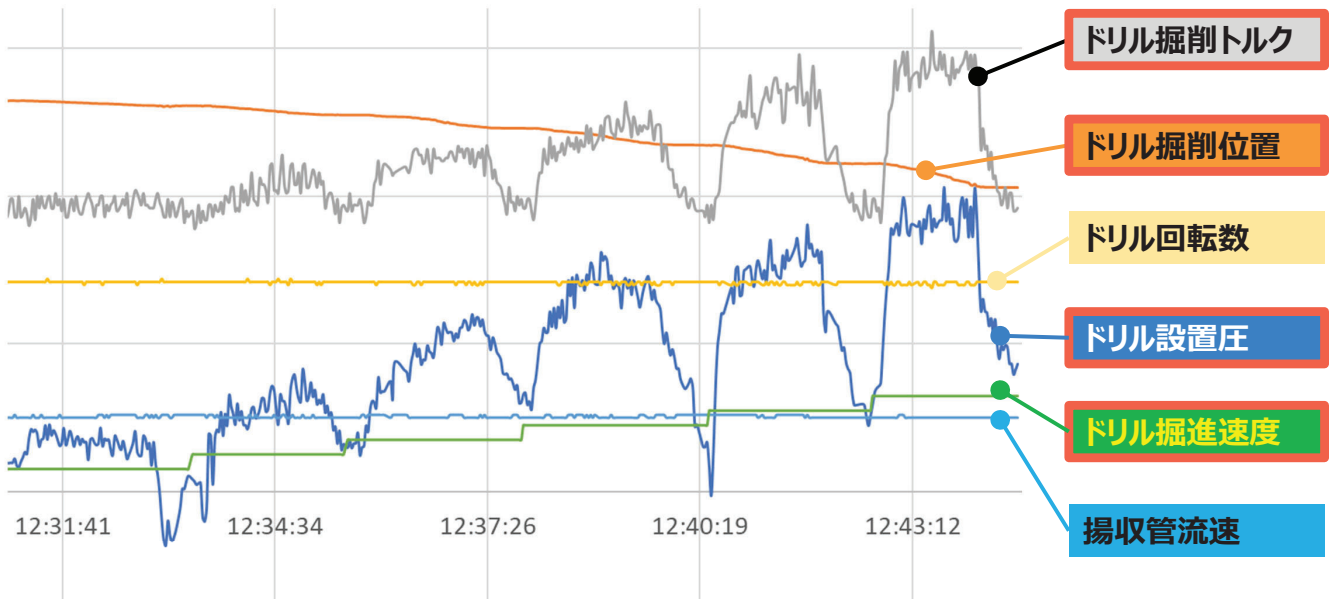
4. 大型氷掘削試験：掘削物の比較

掘削刃により掘削物の形状に違いあり

<p>ラウンドシャックスレーバ & リッパ</p> 		<p>数cmサイズの氷塊</p>
<p>ボタンカッタ</p> 		<p>シャーベット状の氷</p>
<p>ツースカッタ</p> 		<p>約1cmサイズの氷塊</p>

4. 大型氷掘削試験：掘削試験による取得データ(生データ)例

掘削能力を評価するうえで必要なデータを取得できた

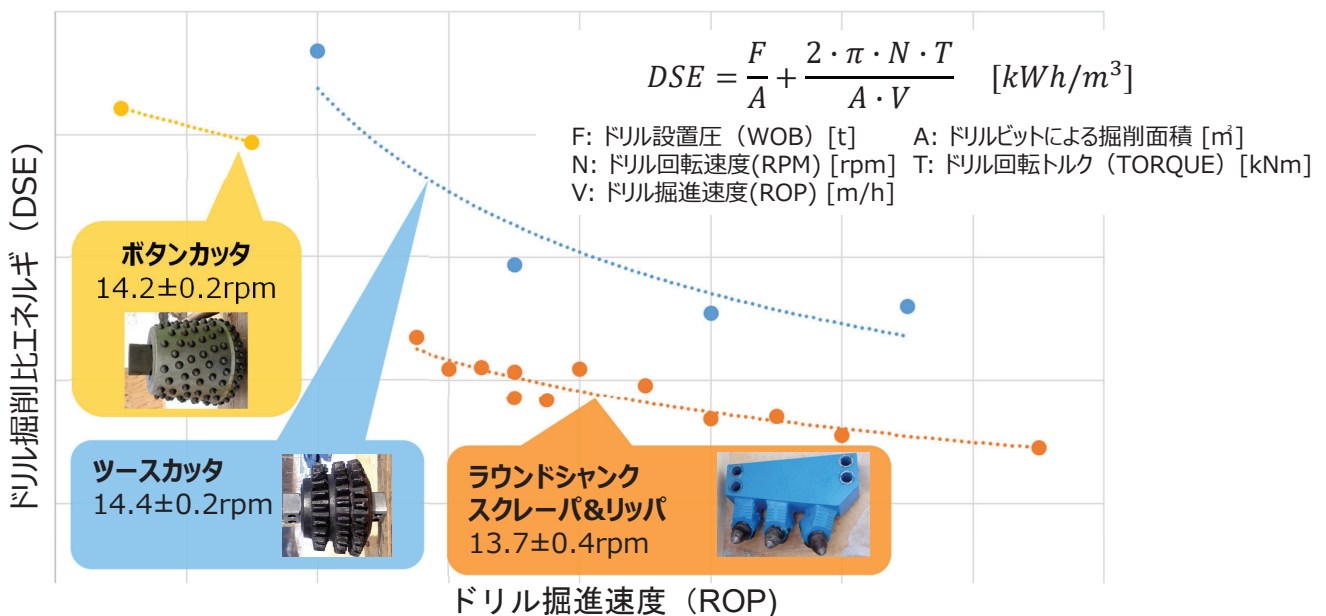


<取得データ例> ラウンドシャンクスクレーパ&リップによる掘削



4. 大型氷掘削試験：各掘削刃のドリル掘削比エネルギー(DSE)の比較

ボタンカッタに比べて、ツースカッタとラウンドシャンクスクレーパ&リップのドリル掘削比エネルギー (DSE) が小さい結果となった。



100%MH地盤掘削では、ツースカッタやラウンドシャンクスクレーパ&リップが適していることが分かった。

4. 大型氷掘削試験：ドリル掘進速度の影響

ドリル掘進速度の増加とともに、掘削タンク内に残った掘削物の量が増加した。

掘削タンク (ドリル掘進速度)	1 st Drilling Tank (ROP=1.25 to 6.5m/h)	2 nd Drilling Tank (ROP=5.5 to 7.5m/h)	3 rd Drilling Tank (ROP=10 to 15m/h)
<p>ドリルビット上面に残った掘削装置によって回収されなかった氷塊</p>	 <p>(写真：HMH 提供)</p>	 <p>(写真：HMH 提供)</p>	 <p>(写真：HMH 提供)</p>

【今後の開発課題】

本試験に用いた掘削ドリルは、シンプルな構造の試作機であった。
商業段階を踏まえた回収率を高めるための更なる改良が必要である。

25

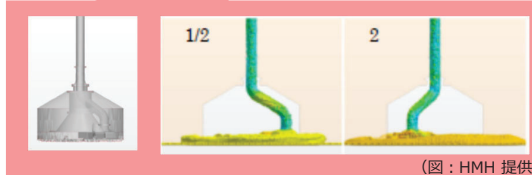
1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
(現時点までのご報告)

26

5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討 (現時点までのご報告) : 掘削能力の推定

- ラウンドシャンクスクレーパ&リップ、及び、ツースカッタは、実機レベルで想定されるドリル掘進速度に対応可能な掘削刃であることが分かった。
- 商業段階における実機サイズの掘削能力を推定したところ、**現在想定している掘削量を達成**できることが分かった。

実機スケール掘削条件	【参考】R4年度報告：土粒子拡散対策のCFD検証	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
ドリルビット径	Φ7.12m	Φ7.12m			Φ10.3m		
想定最大ドリル回転速度	2.65rpm	5.2rpm			3.0rpm		
想定ドリル掘進速度	3.0m/h	6.0m/h	8.0m/h	12.0m/h	3.0m/h	4.0m/h	6.0m/h
1日当たりの掘削時間	100% (24時間)	100% (24時間)	75% (18時間)	50% (12時間)	100% (24時間)	75% (18時間)	50% (12時間)
地盤掘削量	3,000m ³ /day (Φ4μm Silty Clay 100%地盤)	6,000m ³ /day (表層MH100%地盤)			6,000m ³ /day (表層MH100%地盤)		



(図：HMH 提供)

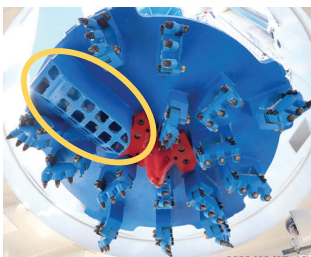
掘削試験結果により、土粒子拡散対策CFD検証で設定した掘削量に対して、2倍の掘削性能を持つことが分かった。

27

5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討 (現時点までのご報告) : 今後の改善点

本掘削試験で、実機で想定される掘進速度が明らかになった。
掘進速度が大きくなることによる掘削物の回収性能の向上が必須である。

① 吸込口形状の改良



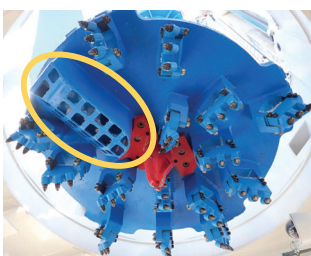
内容
・ 吸込みやすい形に変更

③ 掘削ドリル形状の改良



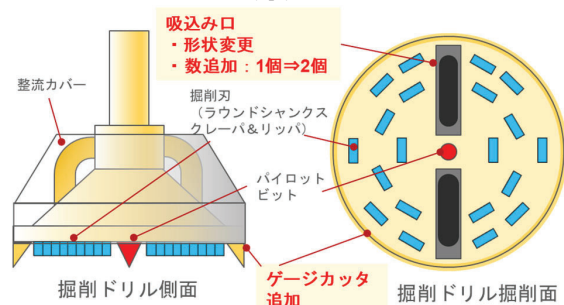
方法
・ 外周部に掘削物が出て行きにくい構造物を追加

② 吸込口数の増加



内容
・ 2個、3個に変更

改良案イメージ



28

ありがとうございました

2023/02/06