

海底資源開発に係る海技研の取り組み

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

海洋開発系 深海技術研究グループ

山本 讓司



● 海技研の活動概要

- 大規模な研究施設、高い技術力を背景に、船舶の安全・環境に関する政策課題に対して、技術面から解決策を生み出す
- 研究開発を通じて、我が国海事産業の国際競争力強化に貢献する

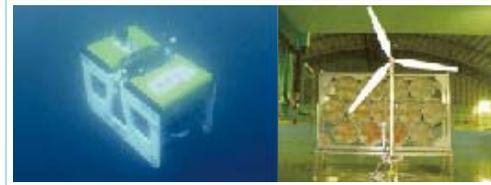
海上輸送の安全の確保



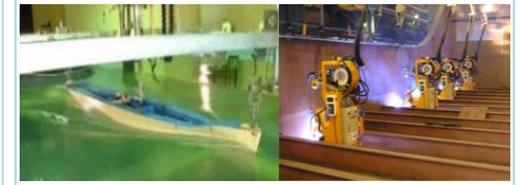
海洋環境の保全



海洋の開発



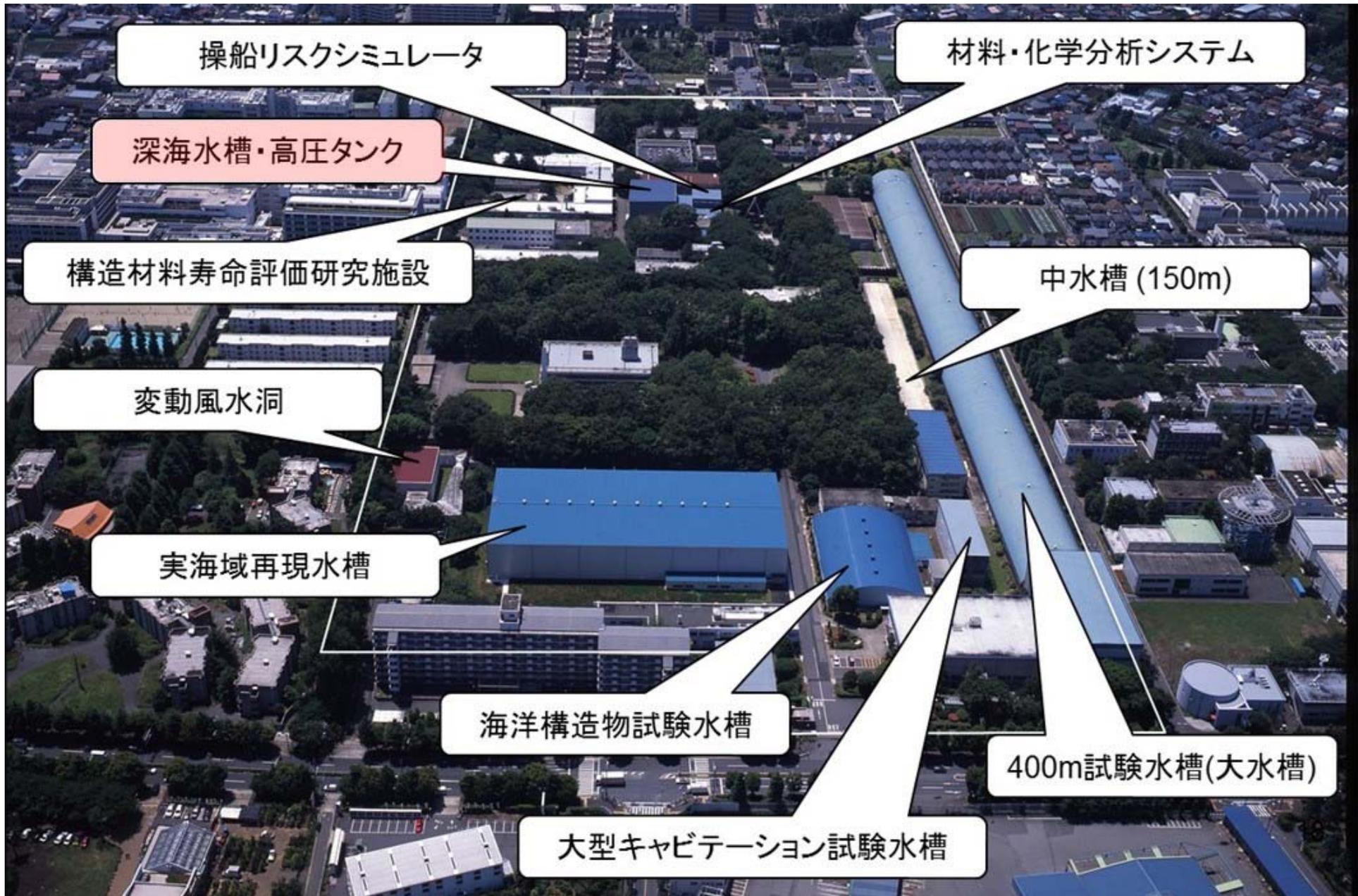
海上輸送を支える 基盤的技術開発



- 船舶の荷重・構造強度評価、船体構造モニタリングシステム
- 船舶のリスク評価、リスクに基づく安全対策構築
- 安全運航、海難事故防止
- 船舶から排出される大気汚染物質に関する環境対策
- 多様なエネルギー源を用いた新たな船用動力システム
- 実海域実船性能評価
- 次世代CFD
- 船舶に起因する海洋汚染防止、生態系影響評価
- 海洋エネルギー、鉱物資源開発のための基盤技術開発、プロジェクト認証支援
- 海洋再生エネルギーに関する基盤技術開発
- 海洋探査システムの基盤技術及び運用技術の開発
- ICTを利用した大陸間自律運航支援
- AI等による海上物流の効率化、最適化、予測
- 造船業の競争力強化等に対応するための新しい生産システムの構築、新材料利用



● 海技研の研究施設



深海水槽

最大水深: 35m
造波装置: 最大波高0.5m
潮流発生装置: 最大0.35m/sec
その他: 水中3次元挙動計測装置



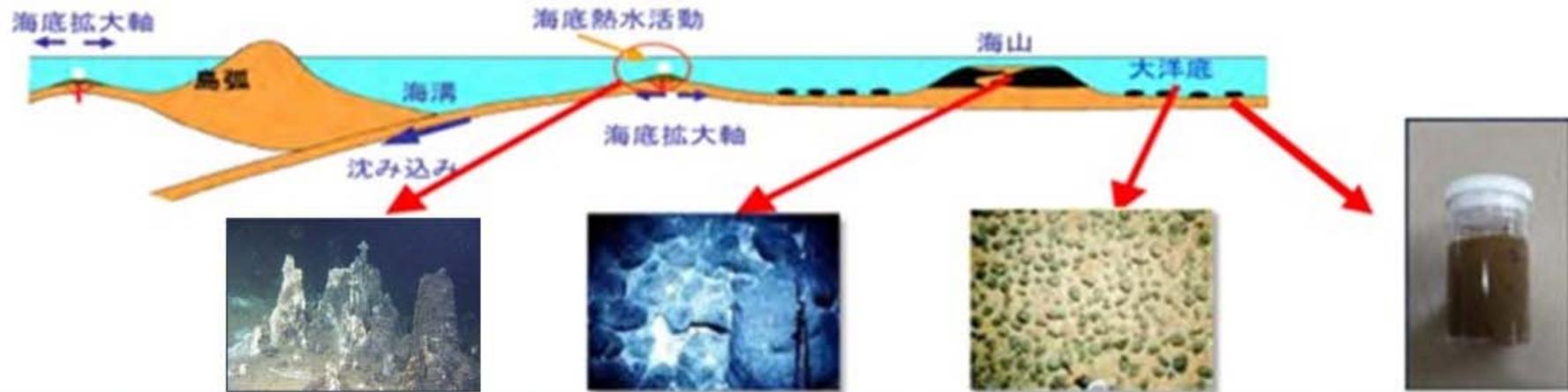
高圧タンク



内径1.1m、高さ3.0m
最大圧力: 60MPa
設備: 水中カメラ、ライト、回流装置
その他: 水温調整(2°C~室温)

海底資源開発の動向－鉱物資源

● 主な海底鉱物資源の種類と分布



	海底熱水鉱床	コバルトリッチクラスト	マンガン団塊	レアアース泥
特徴	海底から噴出する熱水に含まれる金属成分が沈降してできたもの	海山斜面から山頂部の岩盤を皮殻状に覆う、厚さ数cm～10数cmの鉄・マンガン酸化物	直径2～15cmの楕円体の鉄・マンガン酸化物で、海底面上に分布	海底下に粘土状の堆積物として広く分布
含有金属	銅、鉛、亜鉛等 (金、銀も含む)	コバルト、ニッケル、 銅、白金、マンガン 等	銅、ニッケル、コバルト、マンガン等	レアアース (重希土を含む)
存在水域等	沖縄、伊豆・小笠原 (EEZ) 700m～2,000m	南鳥島等 (EEZ、公海) 800m～2,400m	太平洋 (公海) 4,000m～6,000m	南鳥島海域 (EEZ) 5,000m～6,000m

出典：資源エネルギー庁HP

NMRI

海底熱水鉱床開発に向けた我が国の取り組み

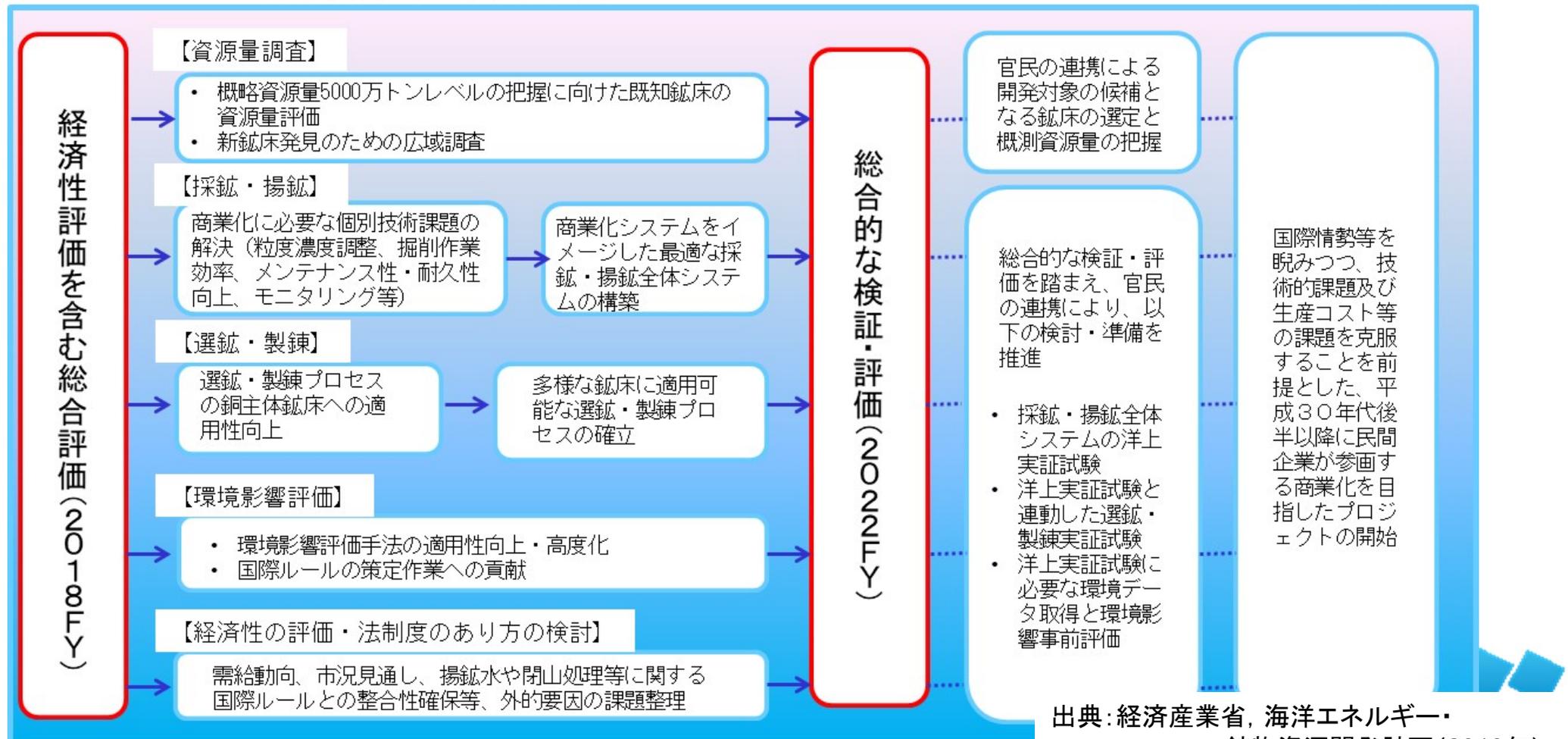
● 海洋基本計画

平成30年代後半以降に民間企業が参画する商業化を目指したプロジェクトが開始されるよう、生産技術の開発等を行う。

● 海洋エネルギー・鉱物資源開発計画

2018FY-2022FY

2023FY-2027FY以降

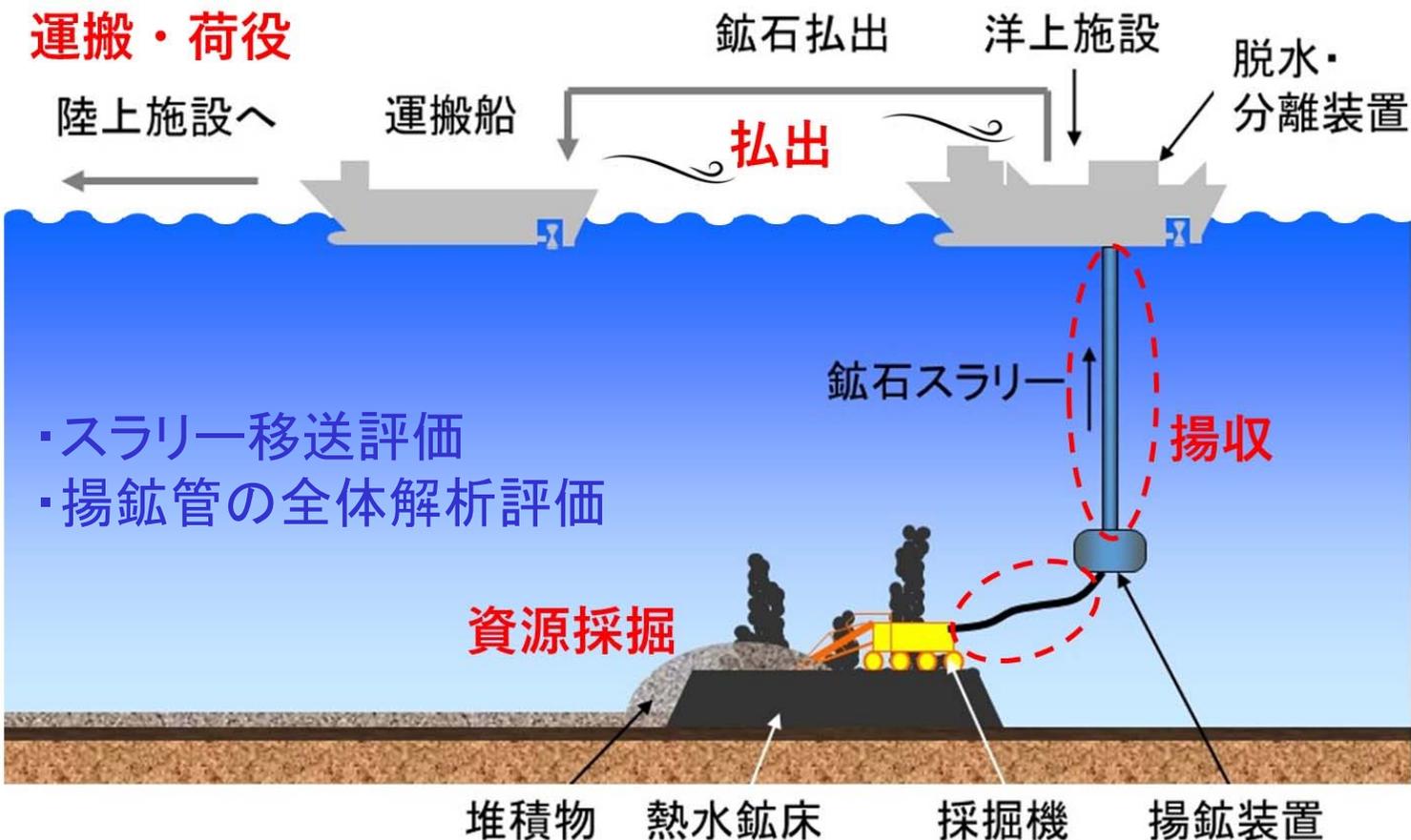


出典：経済産業省、海洋エネルギー・
鉱物資源開発計画(2019年)

➡ 海技研の役割：ナショプロに参画して、研究開発を促進

- ・洋上施設の挙動解析
- ・鉱石払出方法の検討

運搬・荷役



- ・スラリー移送評価
- ・揚鉱管の全体解析評価

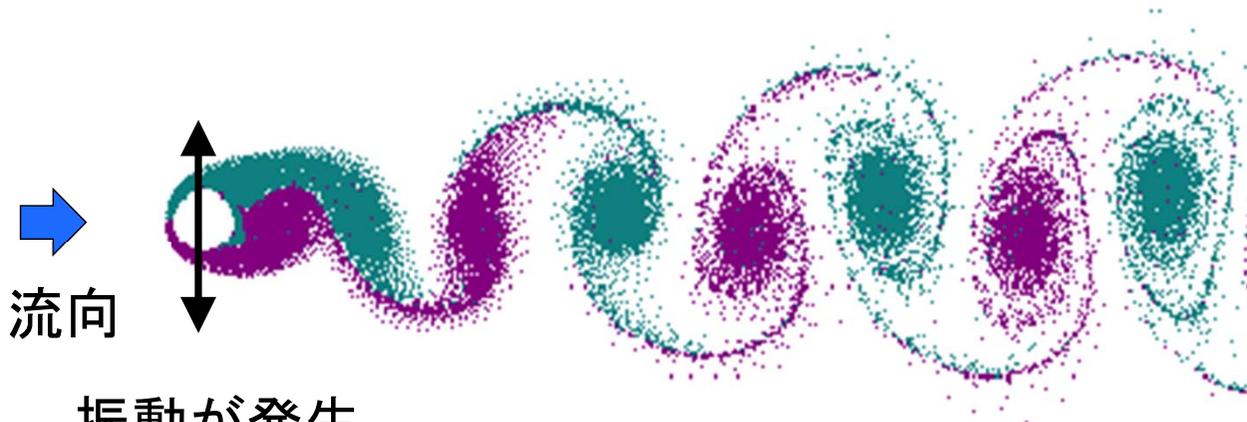
- ・稼働性評価の検討
- ・安全性評価の検討
- ・経済性評価の検討

- ・採掘時の濁り影響低減の検討
- ・海底選鉱技術の検討

- ・移送管の挙動検討

海流による影響

✓ VIV (Vortex Induced Vibration)



振動が発生

出典: Wikipedia (一部修正)



疲労・破損へ



安全性の評価が必要

低減対策例:



出典: Trelleborg_HP

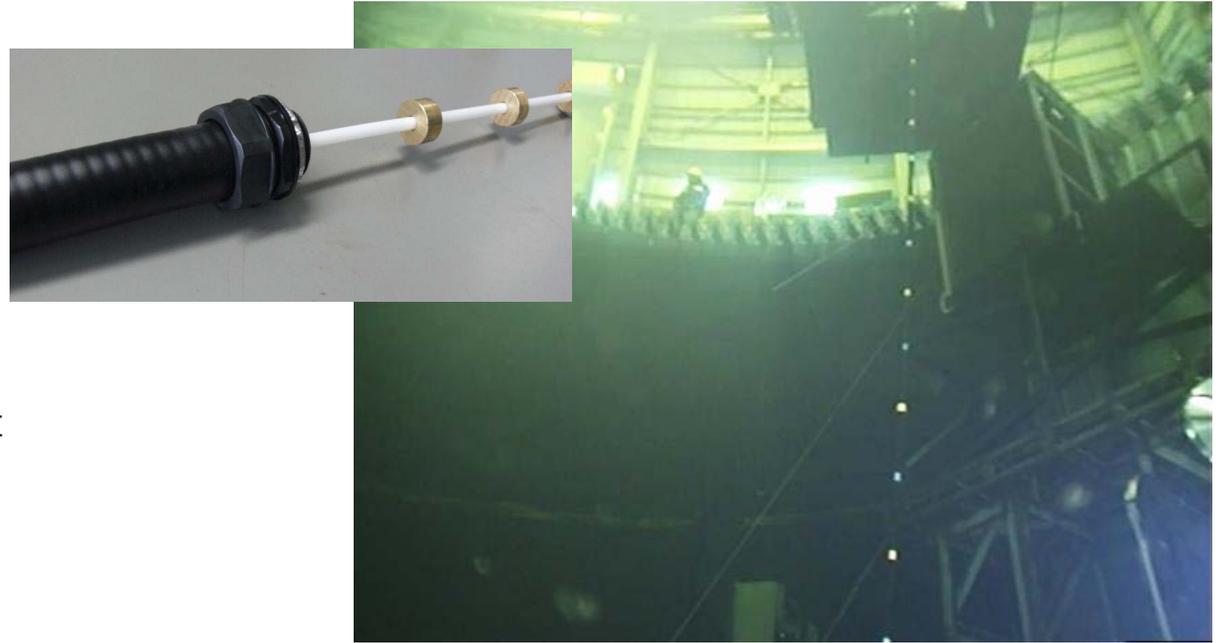
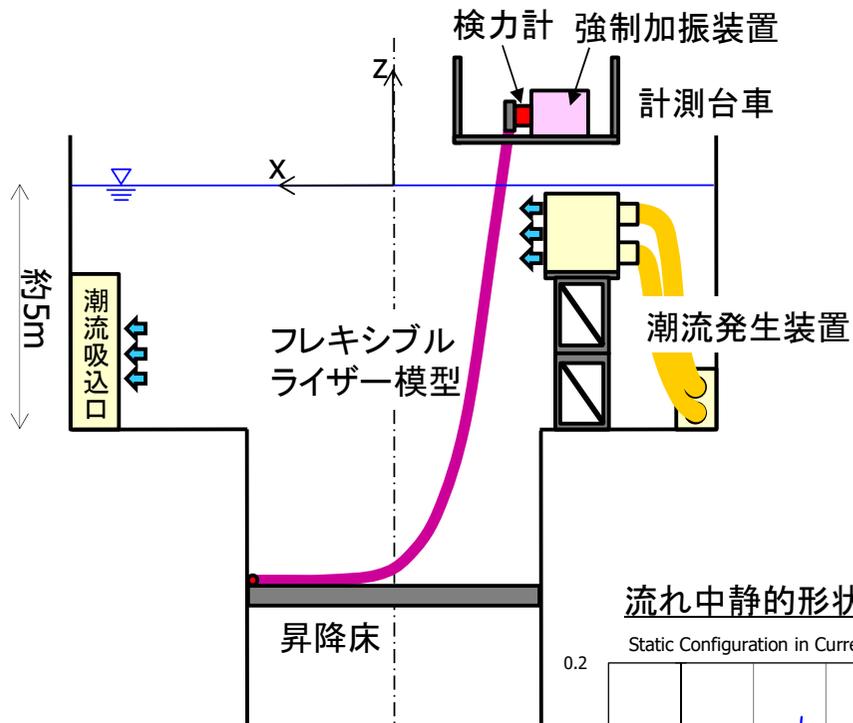


出典: Offshore Magazine

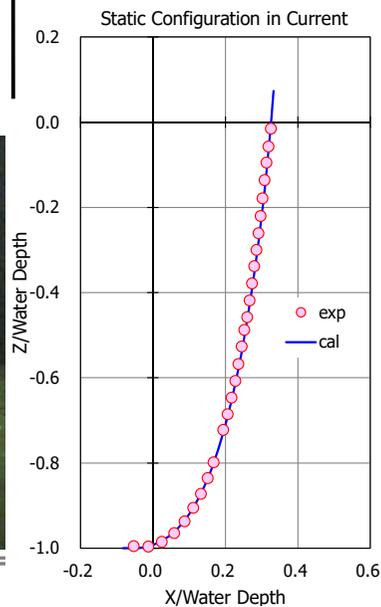


揚鉤システム設計のキーとなる技術課題の解決に向けた検討

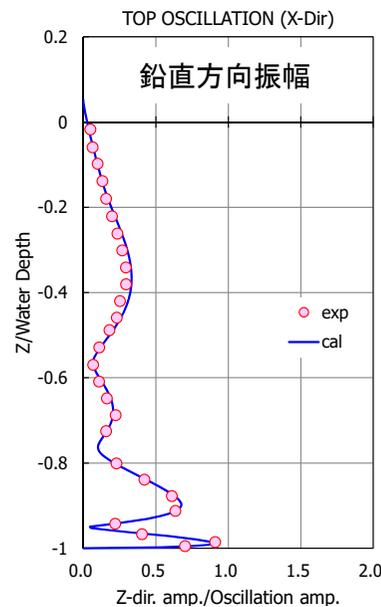
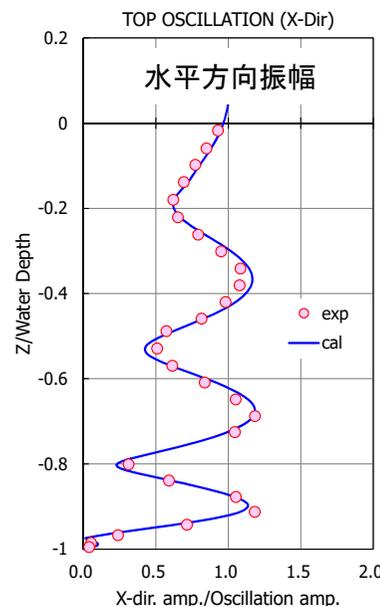
- ✓ 水中線状構造物の挙動評価



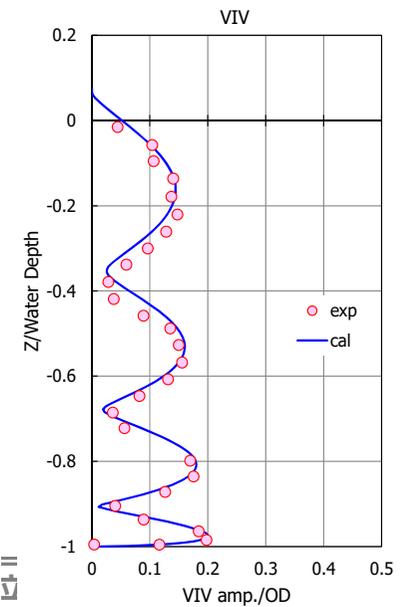
流れ中静的形状



上端強制加振試験



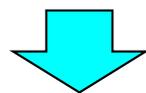
VIV試験



移送管の挙動に係る検討

検討内容

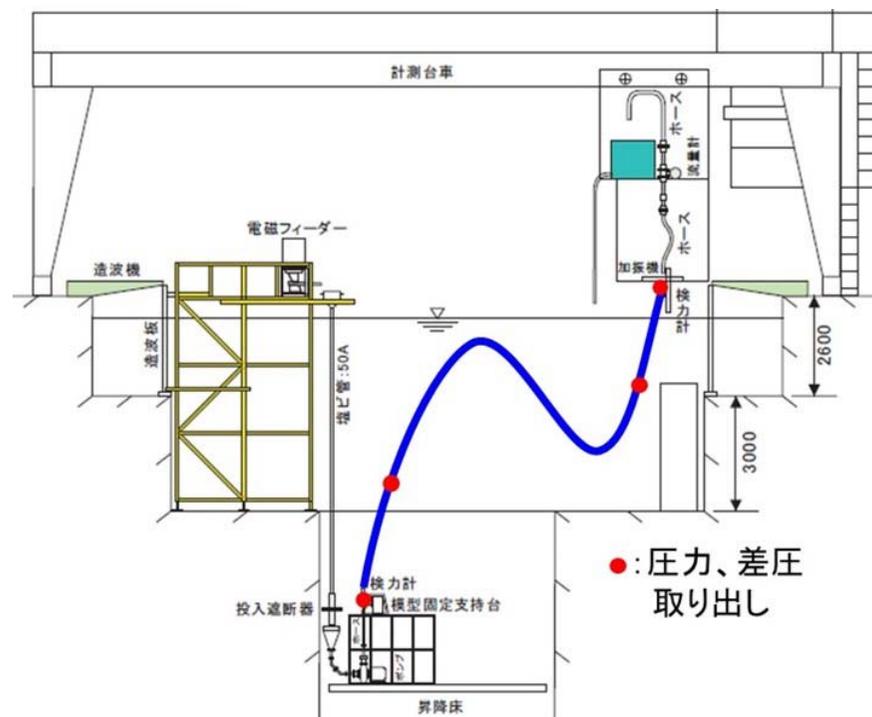
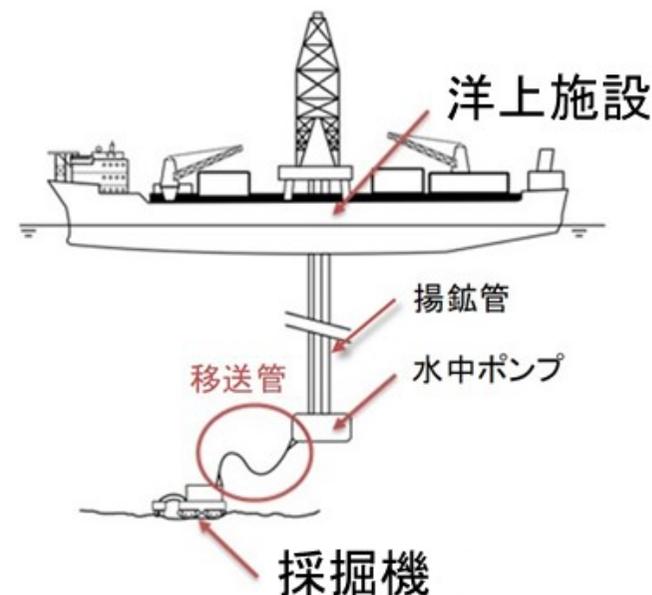
- 移送管は、フレキシブル管を使用することが想定
- フレキシブル管は内部流により形状が大きく変化
- 形状変化により、海底面との接触や管内閉塞が生じる危険性がある
- 内部流を考慮した動的な形状推定が必要



- 水槽試験により内部流（固液2相流）と移送管の形状変化を確認
- 数値モデルの開発、検証データを取得

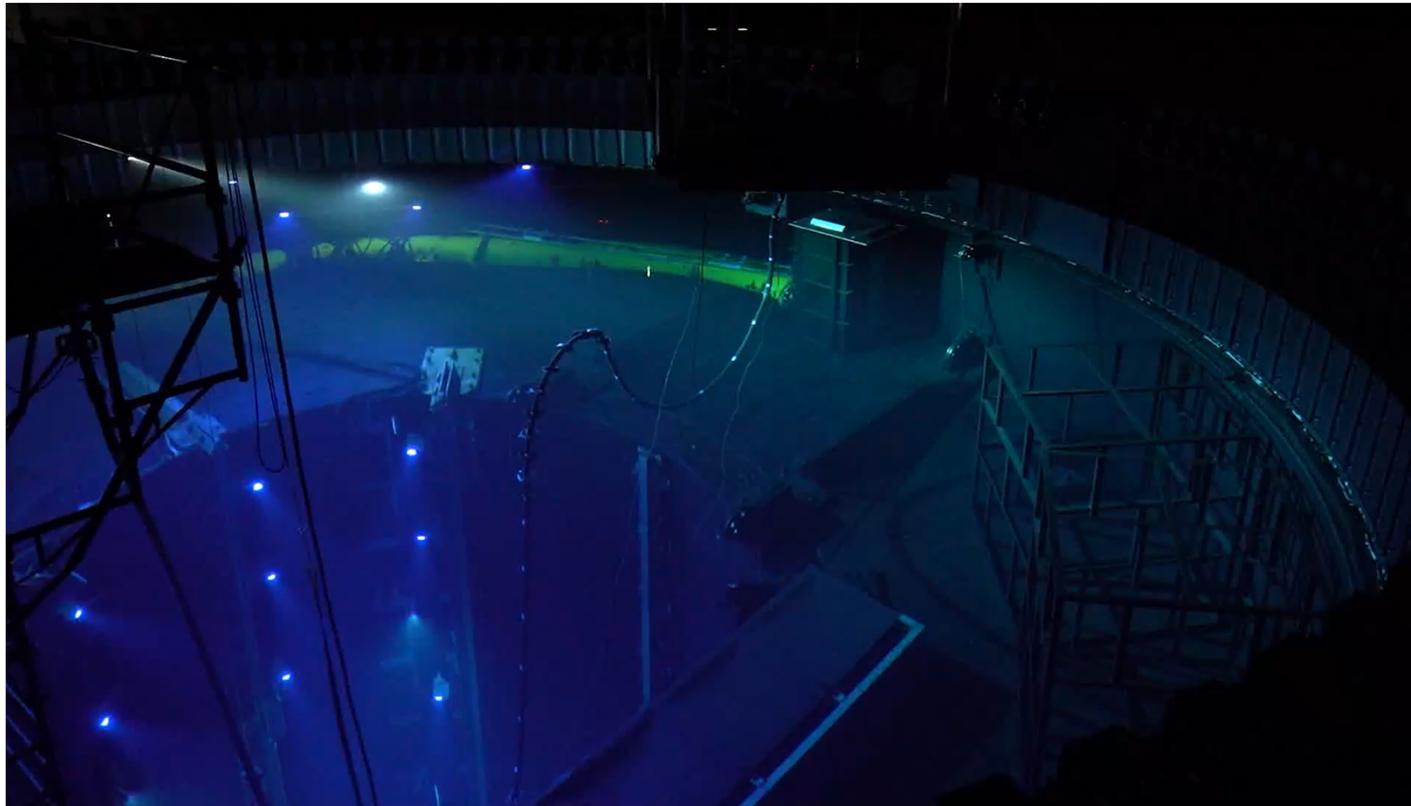
模擬鉱石:

- 4mmのアルミナボールを使用
- 比重: 約3.7
(海底熱水鉱床を模擬)

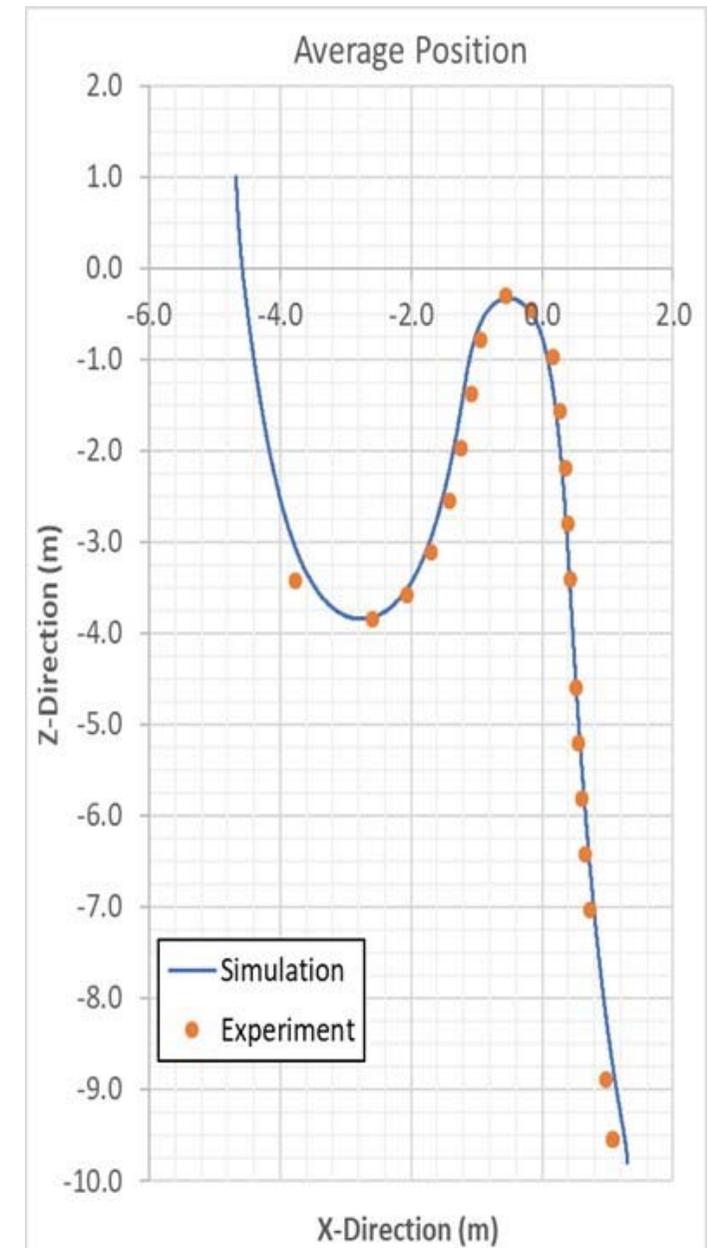


移送管の挙動に係る検討

✓ 水槽試験



✓ 数値解析 & 評価

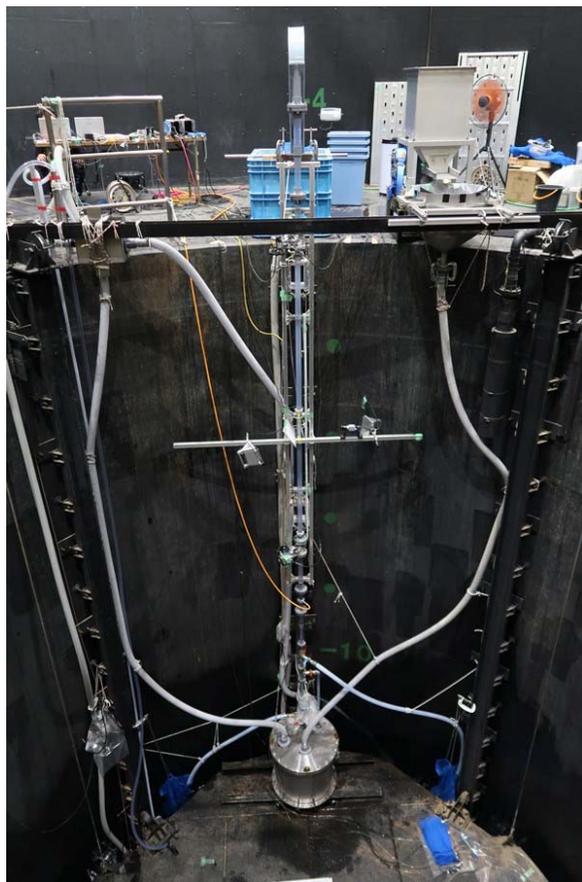
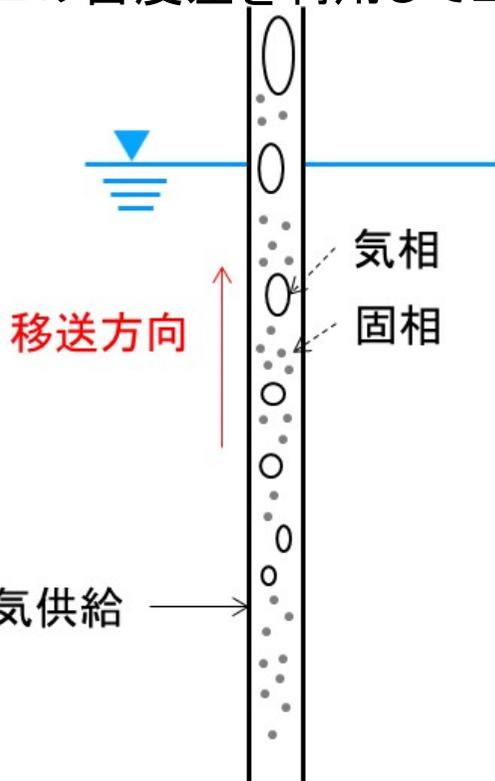


エアリフト方式:

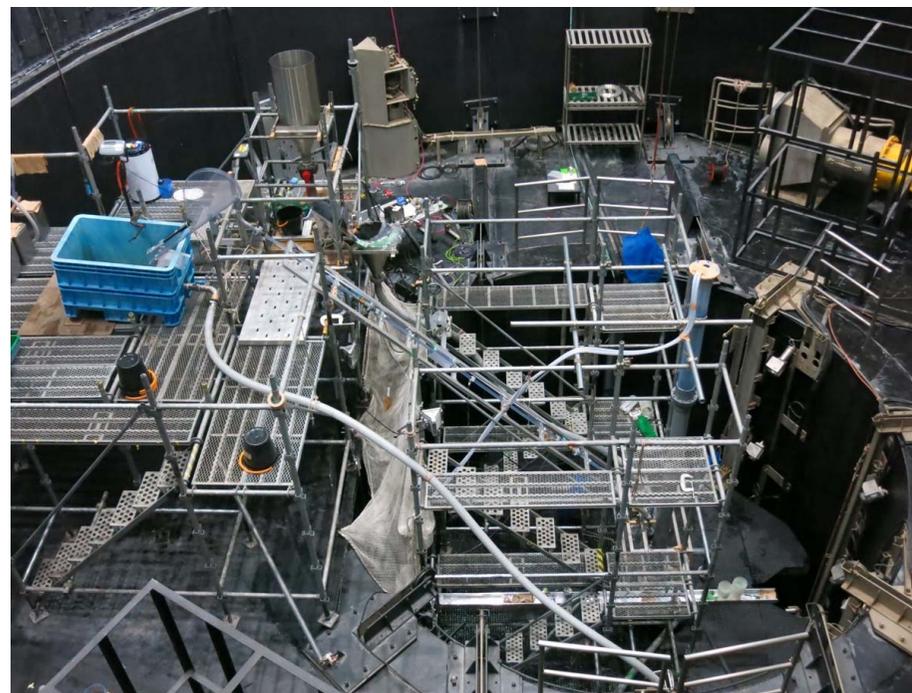
水中に沈めた管内に空気を供給すると管内のみかけの密度が低下し、管外側と密度差が生じる。この密度差を利用して上昇流を発生させる。

固気液三相流の圧力損失や体積率等を取得するための実験を実施

- 配管口径の変化が及ぼす影響を評価するための試験



- 傾斜影響を評価するための試験



- エアリフト方式模式図

□ 90deg

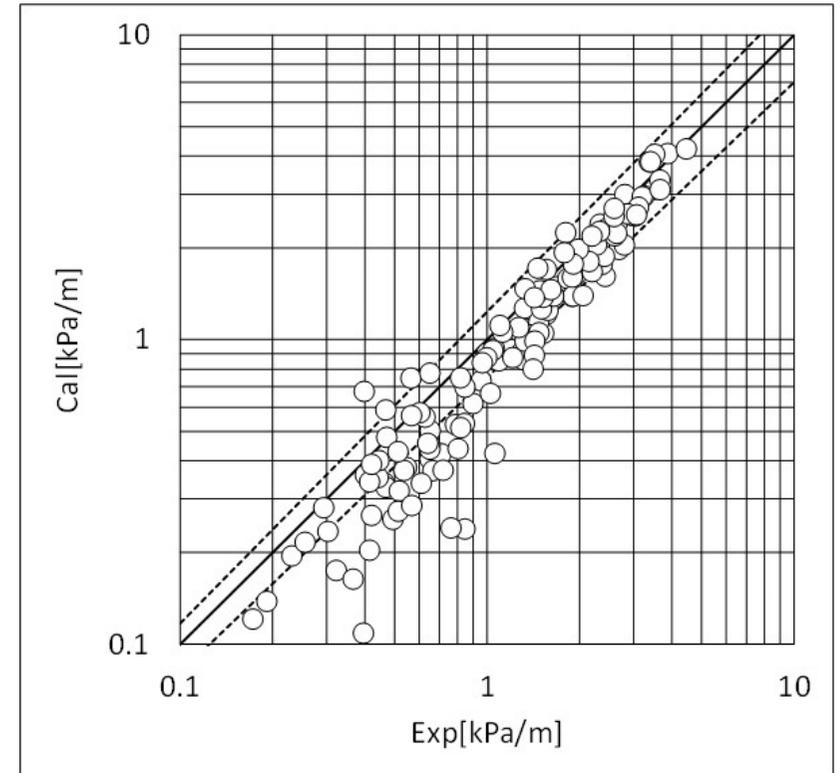
□ 45deg



➤ 配管が傾くと、断面方向の分布が変化することを確認

※1/10倍速で再生

□ 摩擦損失の比較例(固気液三相流)



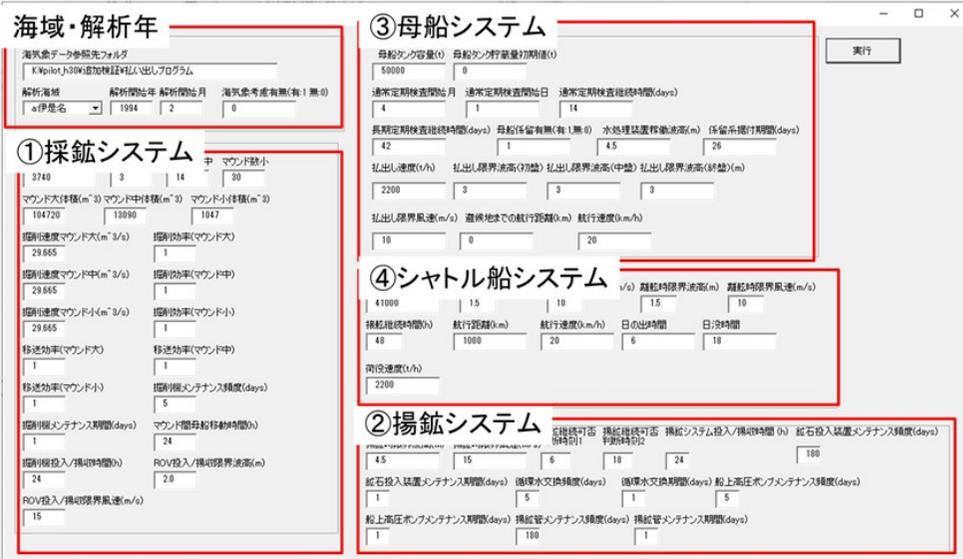
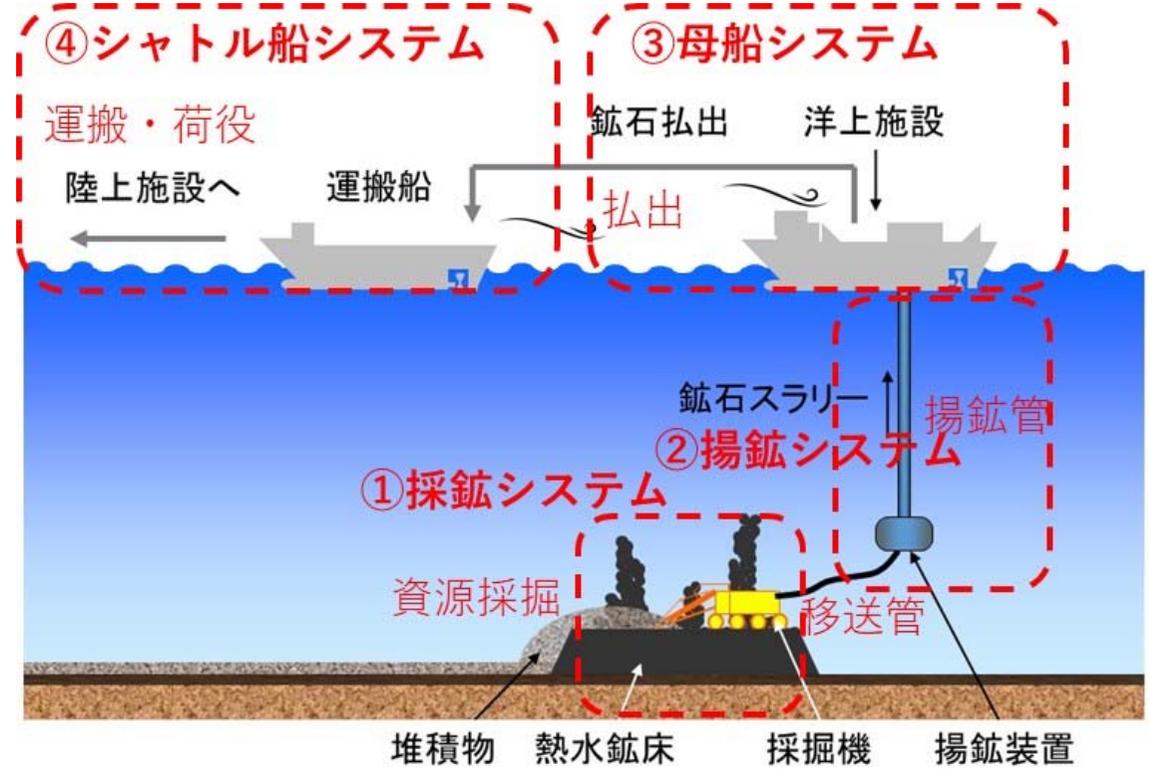
- 三相流の評価に適した摩擦損失モデルを検討
- 鉛直管については、液相に支配的なモデルが適する
- 傾斜管は別のモデルの開発が必要

海底資源開発を支援するツールの開発

稼働性・経済性評価による計画支援技術の開発

稼働性評価プログラムの開発:

- ◆ 採掘から陸上での荷役までを評価可能なプログラムを開発

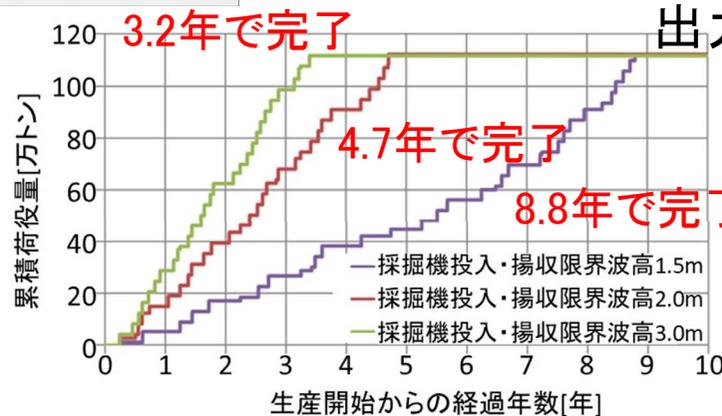


入力項目画面

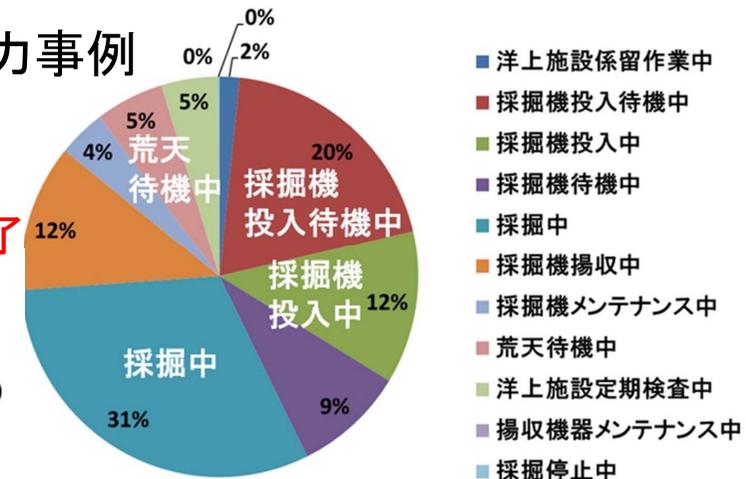
- ◆ 何年で採掘が完了するのか
- ◆ どの作業にどれだけの時間を要しているのか



効率向上のための改善項目が明らかになる！



出力事例



採掘作業における時間占有率図



海底資源開発を支援するツールの開発

稼働性・経済性評価による計画支援技術の開発

経済性評価プログラムの開発:

- ◆ 海底資源開発を計画するにあたり、資源情報、開発システムの情報、海象等の情報をもとに経済性評価が可能なプログラムを開発

海底資源開発における計画支援プログラム

新しい計画を指定する
保存している計画ファイルを開く
最近指定した計画

計画設定 プラットフォーム仕様 CAPEX 経済性評価 環境条件

経済性パラメータ
為替 100.0 円/\$ インフレ率 0.0 % 鉱石価格 300.0 \$/ton

項目	単位	1年目
年間稼働日数	日	360
年間生産量	ton	360
収益	MM\$	0.1
プラットフォーム CAPEX	MM\$	126.6
プラットフォーム OPEX	MM\$	31.6
揚鉱システム CAPEX	MM\$	0.0
揚鉱システム OPEX	MM\$	0.0
採鉱システム CAPEX	MM\$	0.0
採鉱システム OPEX	MM\$	0.0
シャトル船 CAPEX	MM\$	0.3
シャトル船 OPEX	MM\$	14.3
コスト合計	MM\$	45.9
利益	MM\$	-45.8

事業性
総収入 0 億円 総計 -46 億円 NPV -168 億円 割引率 12.0 %
総コスト 46 億円 IRR -9,988.0 %

プログラム画面

出力項目:

CAPEX, OPEX : プラットフォーム価格総計、シャトル船価格総計、プラットフォーム等の運営費

経済性評価: 稼働期間の年次別収支

事業性評価: 全稼働期間の総収入・総コスト・総利益、NPV、IRR

- コア技術の研究
- 計画支援技術の開発

✓ コア技術の研究成果を集約

位置保持システム

浮体システム

計画支援プログラム

対象を本邦EEZ内の鉱物資源全般
に拡張

ライザー
システム

サブシー
システム

海洋資源開発に関するコア技術

- ✓ 数値シミュレーション技術
- ✓ 模型試験技術
- ✓ 実海域試験技術(モニタリング技術含む)

〔対象〕

浮体、位置保持(係留、DPS)、ライザー(揚鉱技術含む)、サブシー等の安全性・稼働性評価及び設計支援

海洋開発系のミッション

- ✓ 国家戦略に基づくプロジェクトの実施・加速に向けた研究開発
- ✓ 本邦企業の海洋開発における自律性確保、開発の確実化・効率化等を目的とした、先行・先端的技術及び基盤的技術の研究



海底資源開発に係る海技研の取り組み

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

海洋開発系 深海技術研究グループ

山本 讓司

