

# 海底熱水鉱床採鉱・揚鉱システムの 安全性・性能評価技術の開発

海洋開発系 深海技術研究グループ  
正信 聡太郎

# 海底熱水鉱床開発に向けた我が国の取り組み

## ● 海洋基本計画における海底鉱物資源開発に関する取組

### 海底熱水鉱床

- 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、既知鉱床の資源量評価、新規鉱床の発見と概略資源量の把握、実海域実験を含めた採鉱・揚鉱に係る機器の技術開発、環境影響評価手法の開発等を推進し、その成果が民間企業による商業化に資するよう、官民連携の下、推進

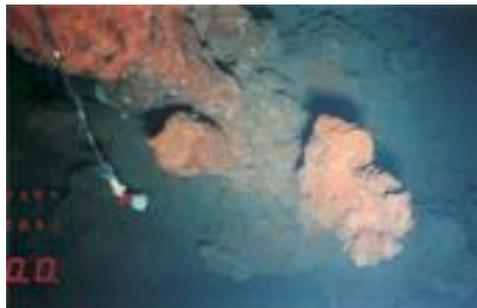


### コバルトリッチクラスト及びマンガン団塊、レアアース

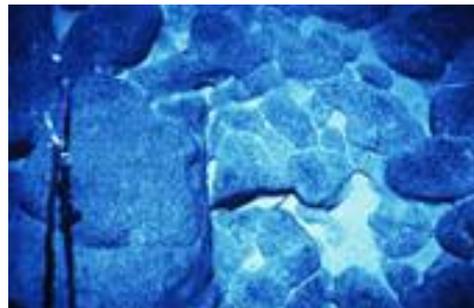
- コバルトリッチクラスト及びマンガン団塊については、資源量調査と生産関連技術について、国際海底機構が定めた探査規則を踏まえつつ、調査研究に取り組む。(特にコバルトリッチクラストについては、海底熱水鉱床の取組の成果も踏まえ、具体的な開発計画を策定)
- レアアースについては、将来の資源としてのポテンシャルを検討するための基礎的な科学調査・研究に取り組む。(特に平成25年度以降3年間程度で、海底に賦存するとされるレアアースの概略資源量・賦存状況調査を実施)

出典：海洋基本計画

海底熱水鉱床



コバルトリッチクラスト



マンガン団塊



レアアース堆積物



出典：(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)ホームページ

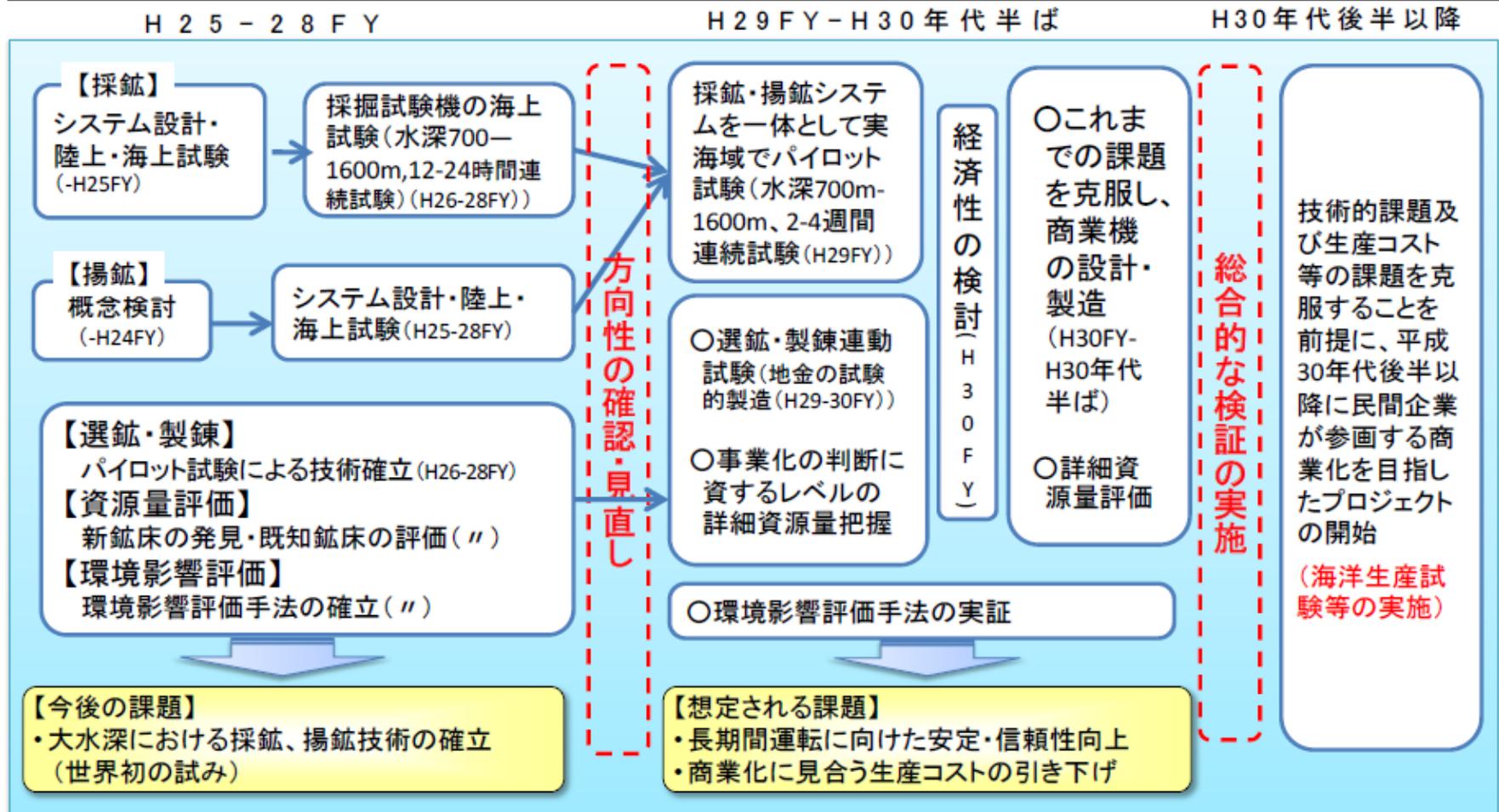
# 海底熱水鉱床開発に向けた我が国の取り組み

## ● 海底熱水鉱床の開発計画

出典：海洋エネルギー・鉱物資源開発計画

海洋基本計画(平成25年4月26日閣議決定)

- ①我が国周辺海域の資源ポテンシャルを把握するための資源探査の継続的な実施、及び②生産に向けた技術開発を集中的に実施。
- 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、資源探査、採鉱・揚鉱に係る機器の技術開発等を推進。



## 海技研のMISSION

- 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の自律性確保、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

海底鉱物資源開発プロジェクトに参画して、研究開発を促進

## ● 海底鉱物資源開発等に係る基盤技術の構築に関する研究

### ● 採掘技術

- ✓ 採掘要素技術試験機を用いた実海域試験に向けた研究
- ✓ 採掘ユニットに関する操作技術の検討

### ● 揚鉱・集鉱技術

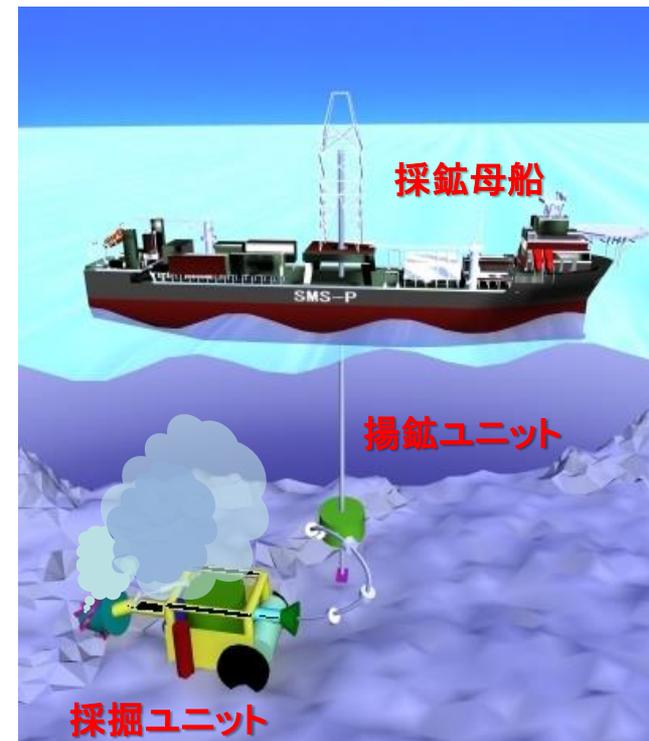
- ✓ 揚鉱ユニットの要素技術検討
- ✓ 集鉱用フレキシブルホースの検討

### ● 海底鉱物処理技術

- ✓ 海底選鉱システムの基礎的検討
- ✓ 海底破碎・選別ユニットの検討

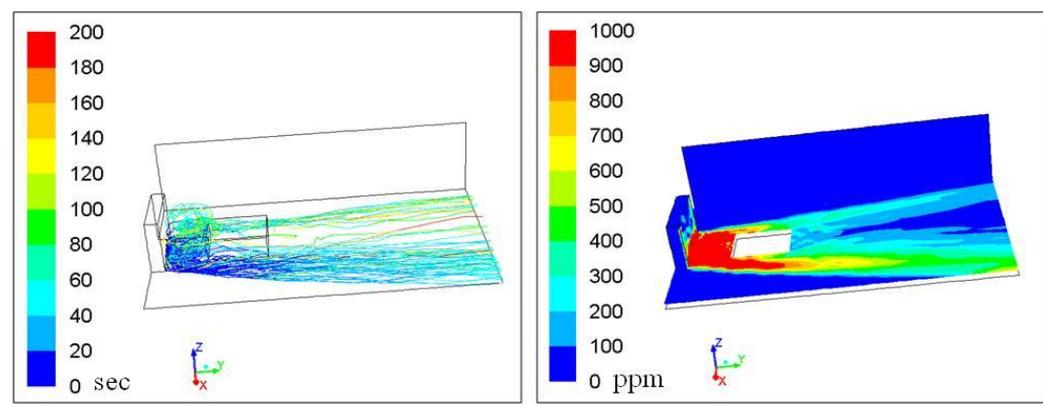
### ● 全体システムの安全性評価

- ✓ 母船・採掘・破碎・集鉱・揚鉱・排水処理
- ✓ 揚鉱管、アンビリカル等の複数本線状構造物の干渉影響評価
- ✓ 緊急時対応等のオペレーション評価



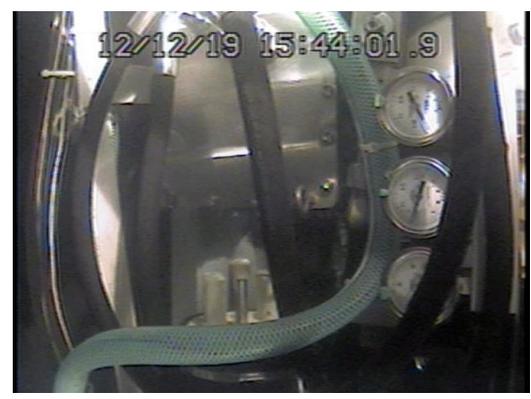
## ● 採掘ユニットの開発に資する研究

- ✓ 掘削時粉塵拡散シミュレーション
  - 掘削に伴う懸濁態粒子の挙動解析・評価



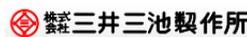
濁度解析結果（左：粒子飛跡図、右：濁度分布図）

- ✓ 耐圧作動試験
  - 海中機器の耐圧作動試験

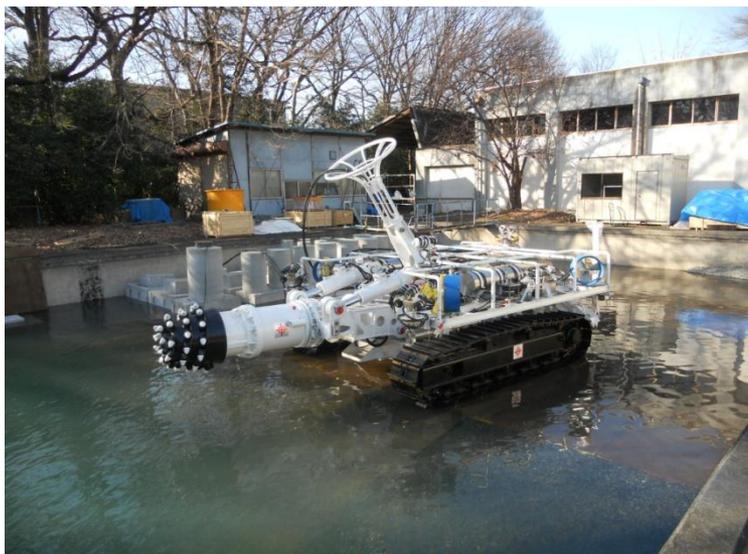


海中機器の耐圧作動試験の様子

## ● 採掘要素技術試験機の開発



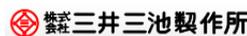
- ✓ 採鉱システムを構成する採掘ユニットに関する技術的評価を行うための基礎データを取得することを目的とした、採掘要素技術試験機の開発
- ✓ JOGMECの海底熱水鉱床開発に係る事業の一環として実施
- ✓ 当所と(株)三井三池製作所との共同開発
- ✓ 試験機に求められる機能
  - 稼働水深:700~2,000m
  - 稼働海底環境:礫が堆積した海底、砂泥が堆積した海底、チムニーが林立する海底 等
  - JOGMECが建造した海洋資源調査船「白嶺」に搭載可能であること
  - 移動、掘削等の性能に関する試験データを取得できること 等



- 陸上用ロードヘッダーをベース
- 海底で稼働できるように各種機器を設計

# 第3期中期計画期間で実施中の研究（採掘技術）

## ● 採掘要素技術試験機の開発



### ✓ 要素試験

- 現有機試験@大牟田※
- 調査観測装置水中試験@落下水槽
- 集鉱装置試験@落下水槽
- 主要機器耐圧試験@高压タンク

### ✓ 性能試験／検収試験

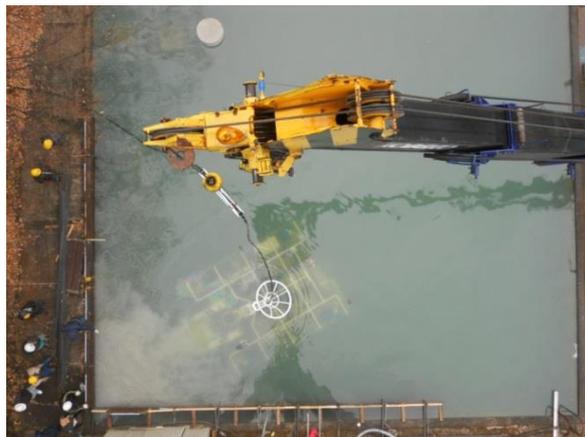
- 陸上性能試験（走行、掘削）@大牟田※
- 水中性能試験（走行、掘削）@落下水槽
- 検収試験@落下水槽



主要機器耐圧試験の様子



陸上性能試験の様子



水中性能試験の様子



試験機の操縦 in CV室

# 第3期中期計画期間で実施中の研究（採掘技術）

## ● 採掘要素技術試験機を用いた洋上試験



- ✓ 採鉱システムを構成する採掘ユニットに関する技術的評価を行うための基礎データを取得することを目的とした、採掘要素技術試験機を用いた洋上試験
- ✓ JOGMECの海底熱水鉱床開発に係る事業の一環として実施
- ✓ 当所と(株)三井三池製作所、新日鉄住金エンジニアリング(株)との共同実施
- ✓ 平成24～26年度に沖縄海域において洋上試験を実施
  - 水深1,600mの海底熱水鉱床が賦存する海底で、世界初の採掘試験に成功
  - 同海域で、24時間以上の連続運転に成功

JOGMEC 世界初

海底熱水鉱床の採掘試験に成功

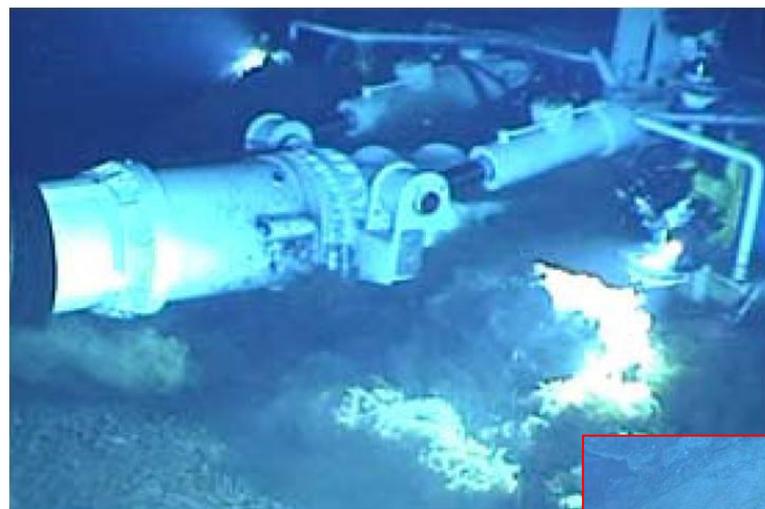
石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）は、共同企業体（三井三池製作所及び海上技術安全研究所）と共同開発した海底採掘要素試験機を用いて、水深1,600mの海底熱水鉱床を対象とした世界初の採掘試験に成功したと発表した。

今回の試験では、試験機を海底に着底させて、軟弱な泥の上での約30分の走行試験や、約26度の急勾配の海底斜面の登坂試験、さらには採掘ドリルによる海底熱水鉱床の採掘試験など計4回の試験を行い、将来の海底熱水鉱床の開発・商業化に向けて多くの貴重なデータを取得した。

金属取引所（LME）の銅相場は26日、前日比32%高の現物8236ドル、先物8242ドル（後場）。先物は前回の改定時に比べて63%安い。足元では前日の下落を受けて小反発したものの、中国の国慶節連休によって市場全体が様子見ムード。動意に乏しい展開となった。

また、欧州債務問題の先行き不透明感に加え、中国の景気減速にともなう銅需要減の懸念が上値を抑えている。カーブ取引終値は92ドル高の8275ドル。このほか為替が1ドル77円70銭台と円高が進行し、国内銅価を押し下げた要因となった。

海底採掘要素試験機



試験状況（水深1,600m）



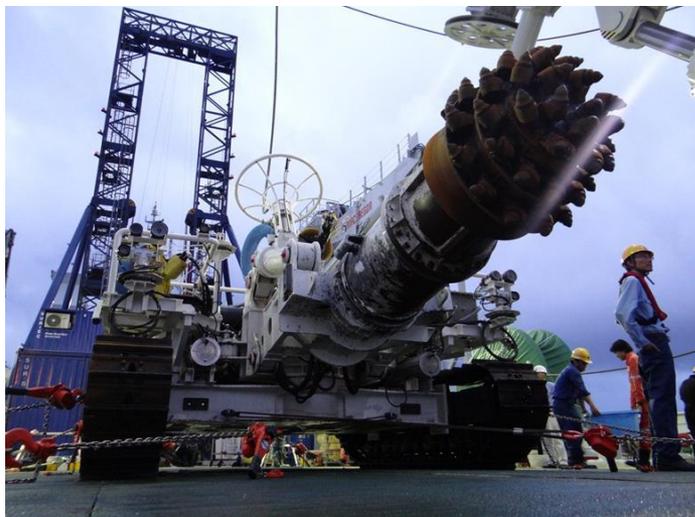
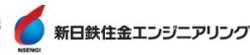
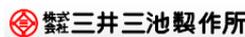
海底熱水鉱床の表層を削った跡

出典：鉄鋼新聞（平成24年9月27日）

出典：JOGMECホームページ

# 第3期中期計画期間で実施中の研究（採掘技術）

## ● 採掘要素技術試験機を用いた洋上試験



### スラスタ使用効果による濁りの低減

左前方カメラ

右前方カメラ



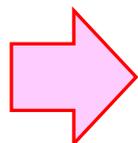
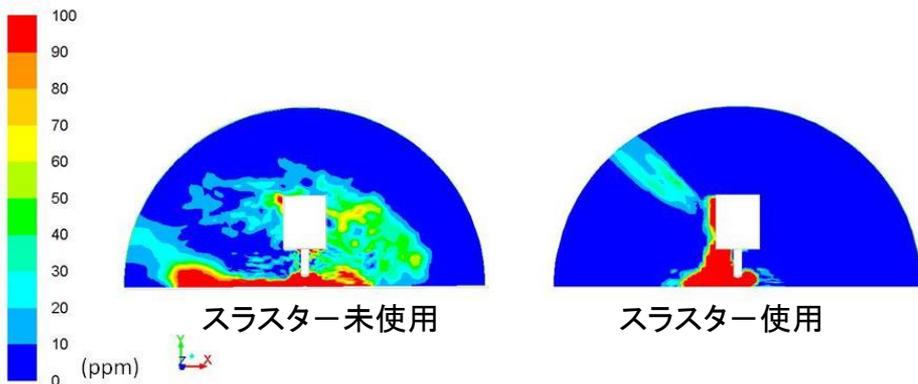
スラスタ未使用時

左前方カメラ

右前方カメラ



スラスタ使用時



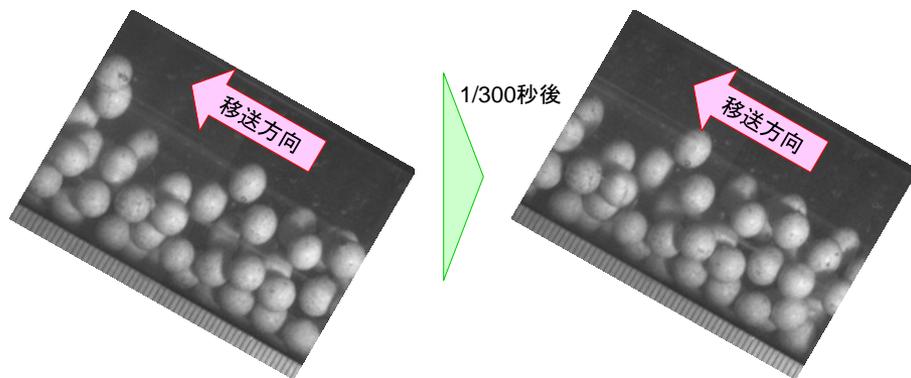
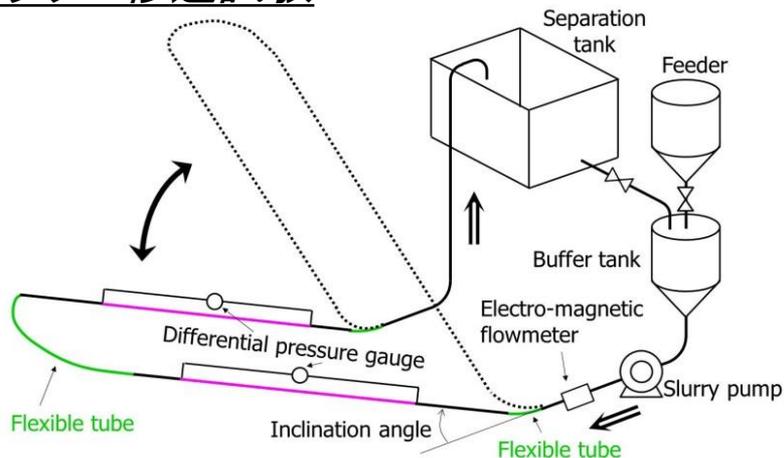
商用採掘ユニットの設計・製作に必要な各種データを取得

# 第3期中期計画期間で実施中の研究（揚鉍技術）

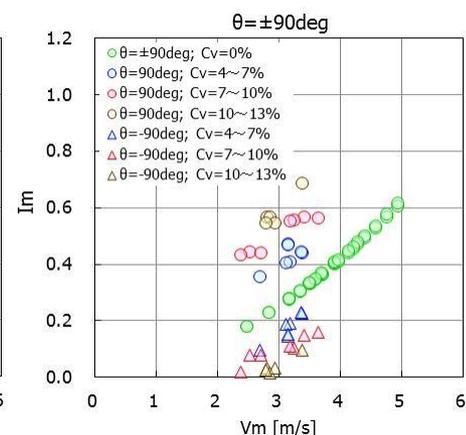
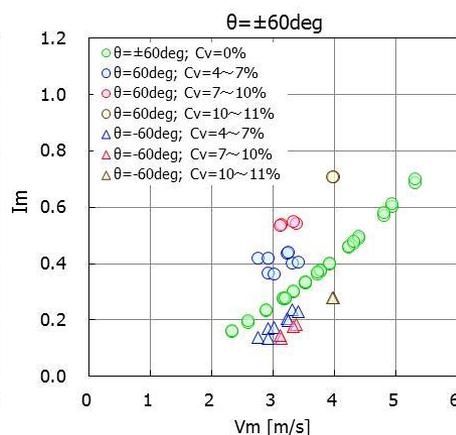
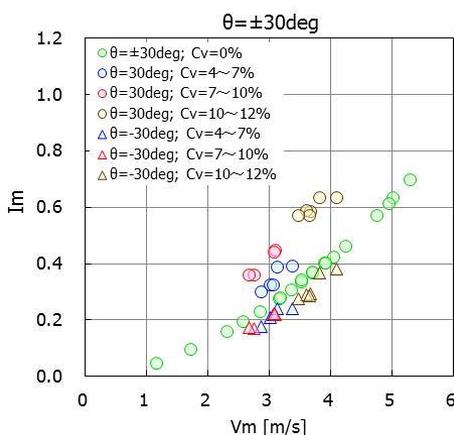
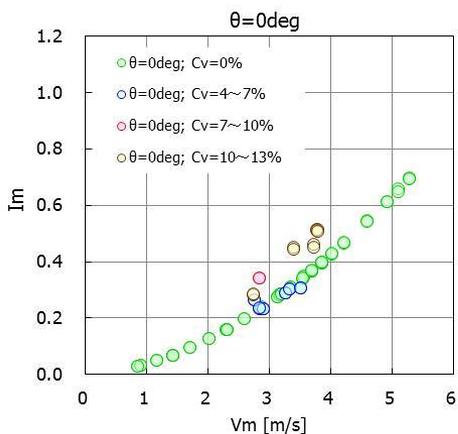
## ● スラリー移送評価

✓ 傾斜管内の圧力損失推定法の開発 (JSPS 科研費 25289323 の助成を受けて実施)

### スラリー移送試験



固体粒子の移送状況例 (傾斜角 30°)



スラリー流速と水力勾配の関係

## ● スラリー移送評価

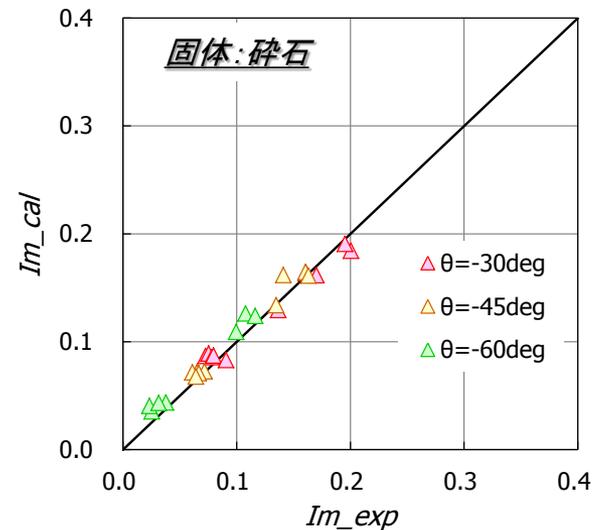
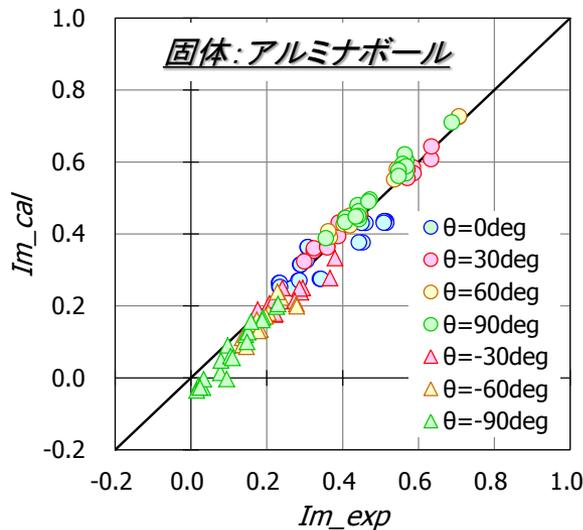
- ✓ 傾斜管内の圧力損失推定法の開発（JSPS科研費 25289323の助成を受けて実施）

全圧力損失 = 流体だけの単相流による損失 + 固体粒子の存在による付加的な損失

固体粒子の浮遊 + 固体粒子と管壁との摩擦・衝突 + 固体粒子相互の衝突

➡ 管傾斜の影響を考慮可能なスラリー移送による圧力損失の推定式を導出

「固体粒子と管壁との摩擦・衝突 + 固体粒子相互の衝突」の評価には、過去に提案された水平管内のスラリー移送流を対象とした評価式を傾斜の影響を考慮できるようにしたものを使用



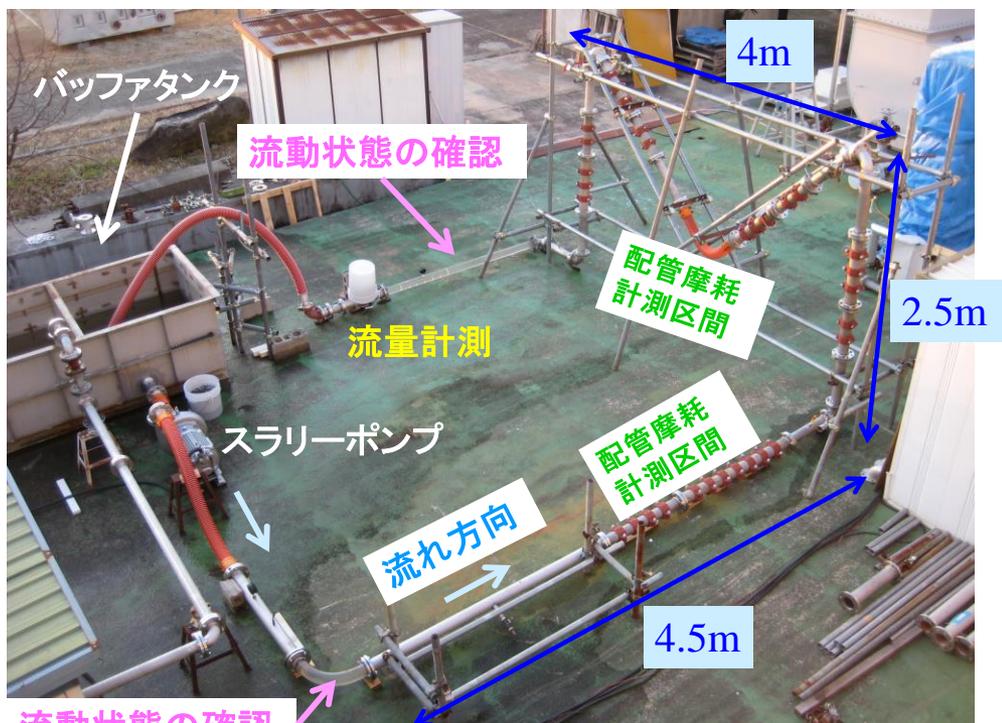
試験結果と推定結果の比較

出典: S. Masanobu, et.al, Experimental Studies of Pressure Loss in Inclined Pipe in Slurry Transport for Subsea Mining, OMAE2015-41211

## ● 揚鉱管内摩耗量評価

### ✓ 循環式摩耗試験による管内摩耗量の計測

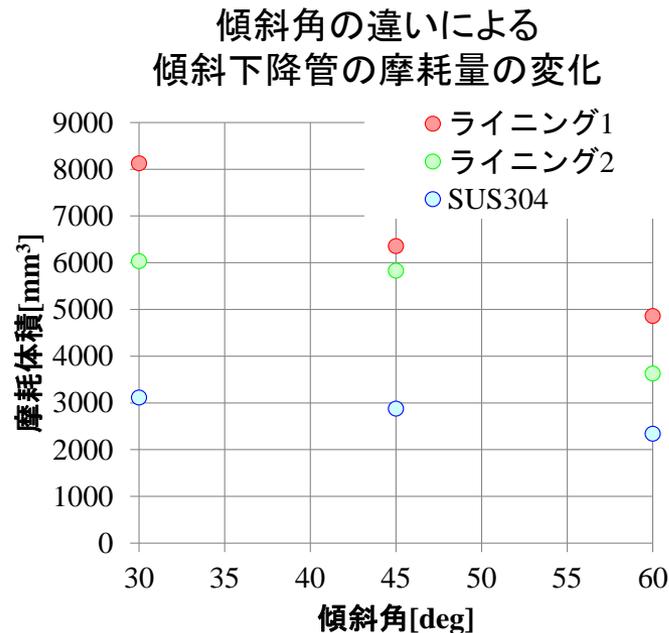
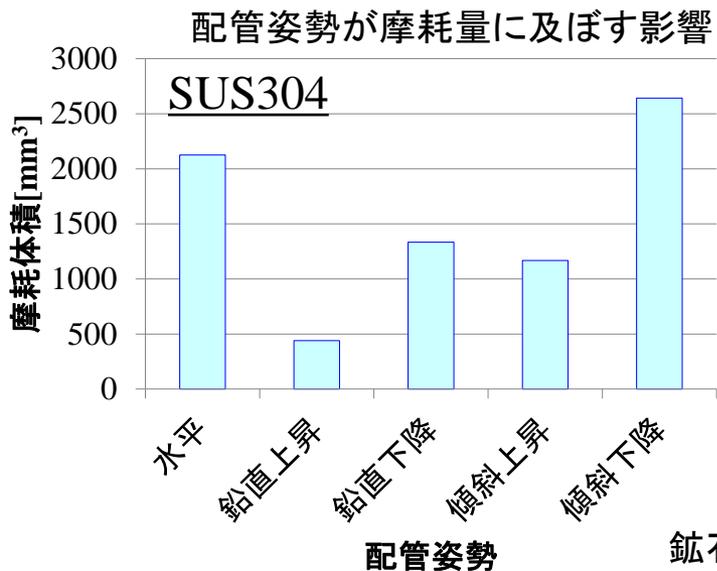
- 配管径: 80A
- 摩耗量計測配管
  - 長さ: 150mm、材質: SUS304、ゴムライニング、LDPEライニング等
  - 配管姿勢: 水平、鉛直上昇、鉛直下降、傾斜上昇(45°)、傾斜下降(30°、45°、60°)
- 模擬鉱石: 流紋岩碎石5号(10~20mm)
- 吐出濃度: 4%程度、スラリー流速: 4m/s程度



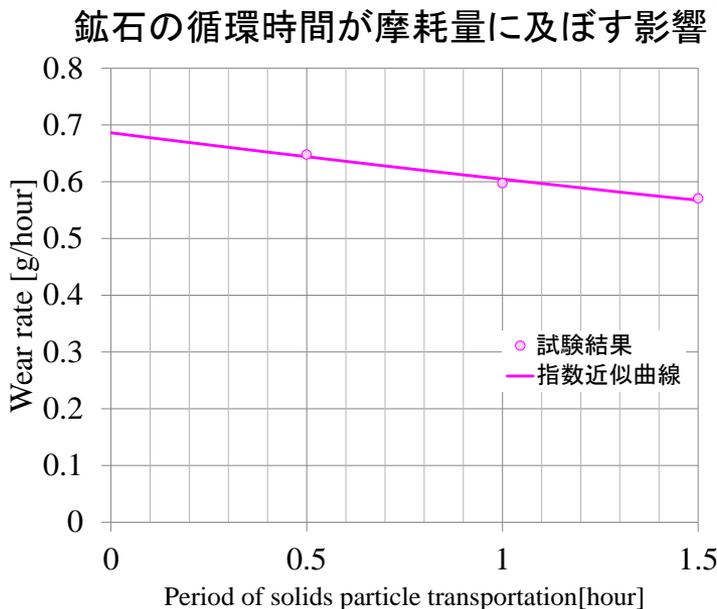
循環式摩耗試験設備の例

## ● 揚鉍管内摩耗量評価

✓ 循環式摩耗試験による管内摩耗量の計測

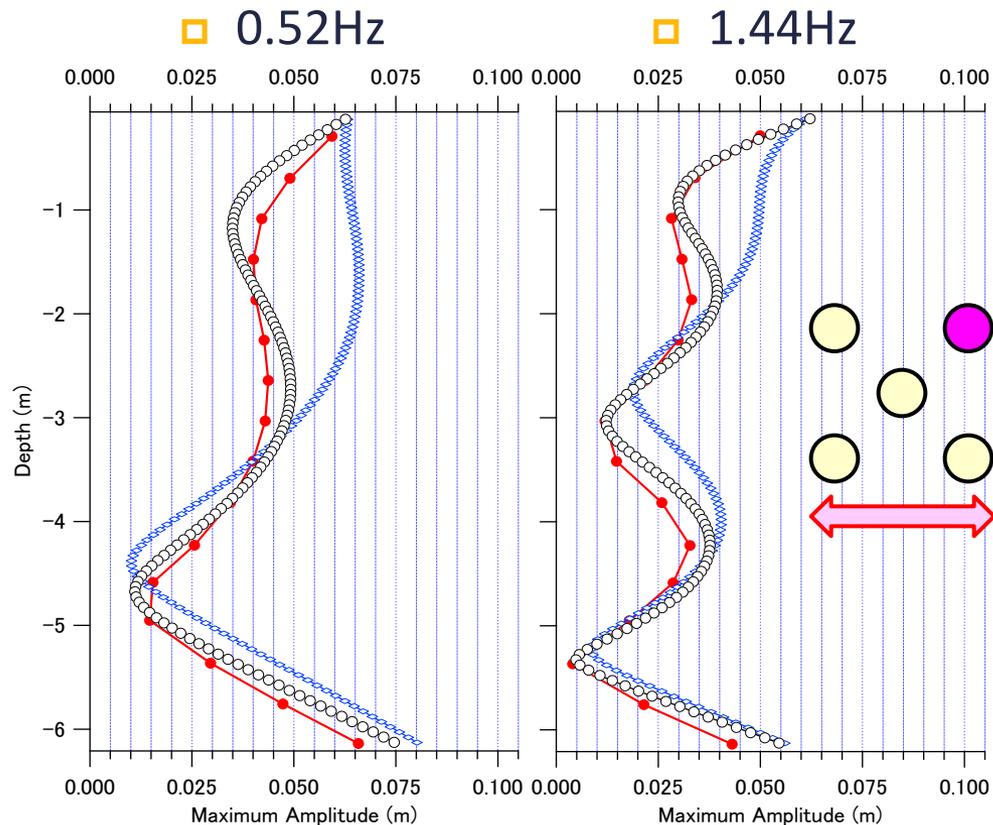


試験結果の例

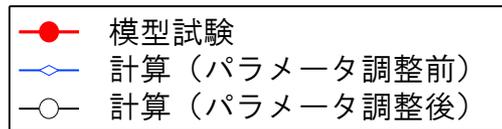


# 第3期中期計画期間で実施中の研究（揚鉦技術）

- 複数本で構成される長大管の挙動評価
  - ✓ 水槽模型試験を通じて、挙動推定法を構築



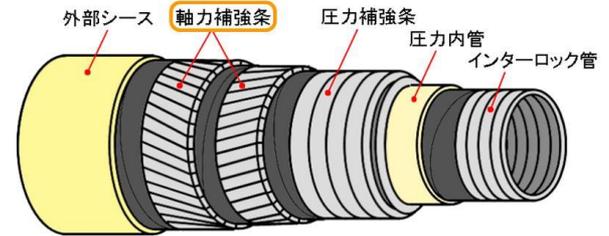
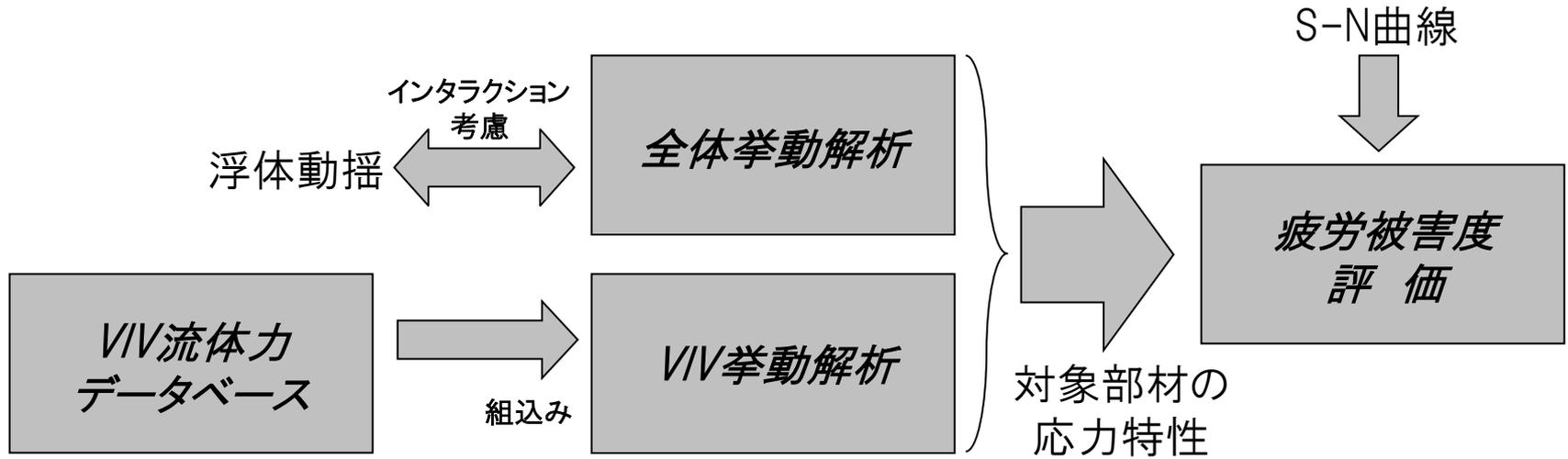
模型試験結果との比較例



# 第3期中期計画期間で実施中の研究（揚鉦技術）

## ● ライザー管の疲労評価

✓ 鋼管ライザーだけでなく、フレキシブルライザーのような積層管も評価可能



- 実機ライザーの稼働条件をカバーする高レイノルズ数領域
- 模型試験に対応した低レイノルズ数領域
- VIV疲労被害度を低減するデバイスの影響も考慮可能

- 全体挙動解析プログラム (RIFLEX※2、ランダム法※3等)

- 疲労被害度予測プログラム (FATRUN※3)

- 周波数領域VIV挙動解析プログラム (VIVANA※1)

- 積層管の剛性・応力・疲労解析プログラム (LAYCAL※3)

※1 MARINTEK製、※2 DNV製、※3 In-houseプログラム

# 第3期中期計画期間で実施中の研究（揚鉱技術）

## ● 揚鉱ユニットの要素技術に関する検討

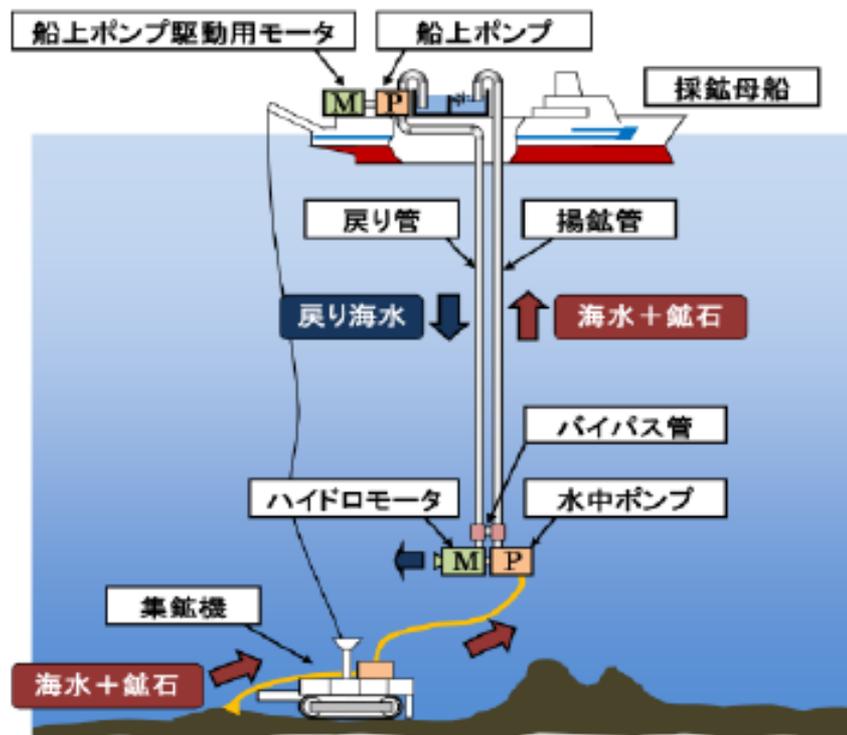


新日鉄住金エンジニアリング

三井三池製作所



- ✓ 将来の採鉱・揚鉱パイロット試験及び商業化に向けた、採鉱システムを構成する揚鉱ユニットの要素技術に係る基礎データの取得及び評価
- ✓ JOGMECの海底熱水鉱床開発に係る事業の一環として実施
- ✓ 当所と新日鉄住金エンジニアリング(株)、(株)三井三池製作所との共同実施
- ✓ 検討項目
  - 揚鉱管のスラリー移送能力
  - 揚鉱管の動揺影響
  - ターボ型水中ポンプの能力
  - 揚鉱ユニットの構造構成
  - 揚鉱管の摩耗



揚鉱ユニットの概念図

# 第3期中期計画期間で実施中の研究（揚鉱技術）

## ● 揚鉱ユニットの要素技術に関する検討



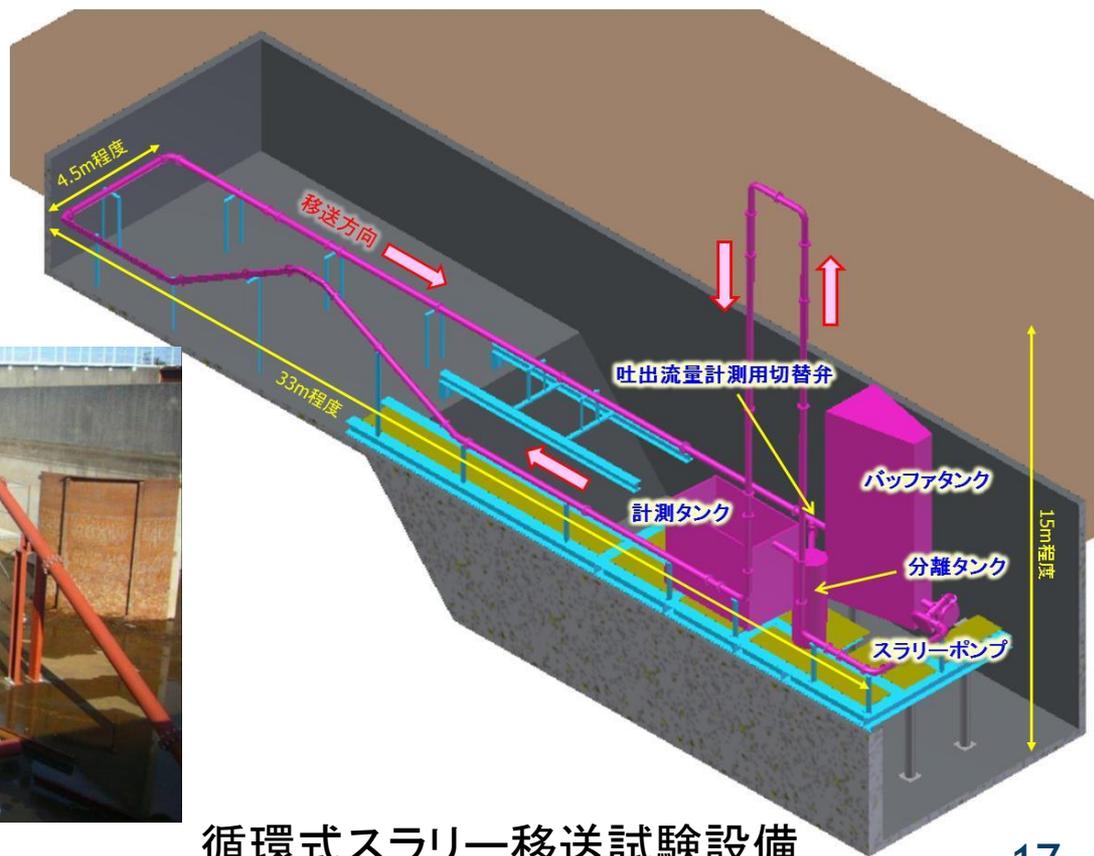
新日鉄住金エンジニアリング

三井三池製作所



### ✓ 揚鉱管のスラリー移送能力／揚鉱管の摩耗

- 当所は、実機スケールでの循環式スラリー移送試験（管内径：200A、鉛直部高さ15m程度）の計画作成、各種データの計測及び評価、管内摩耗量の評価等を担当
- 海底熱水鉱床実鉱石のスラリー移送にも成功
- 揚鉱管のスラリー移送能力及び摩耗の評価のための基礎データを取得



循環式スラリー移送試験設備

# 第3期中期計画期間で実施中の研究（揚鉦技術）

## ● 揚鉦ユニットの要素技術に関する検討



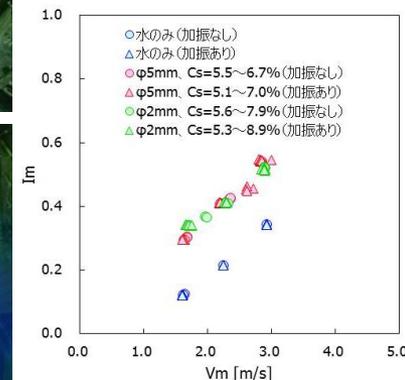
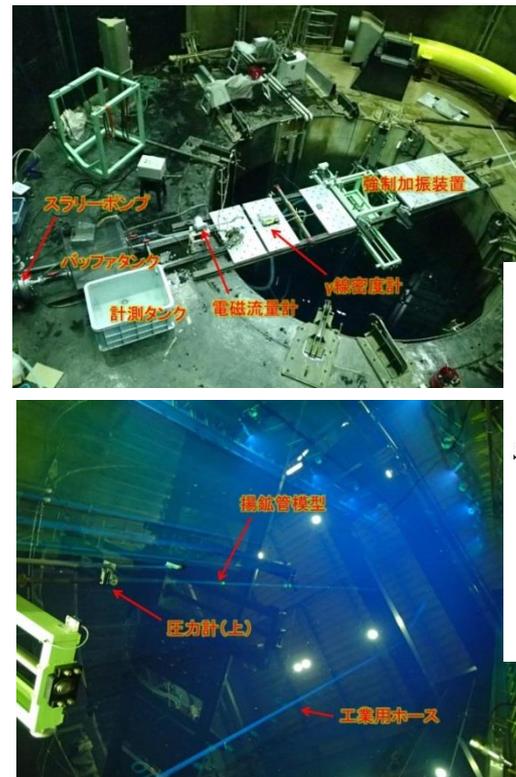
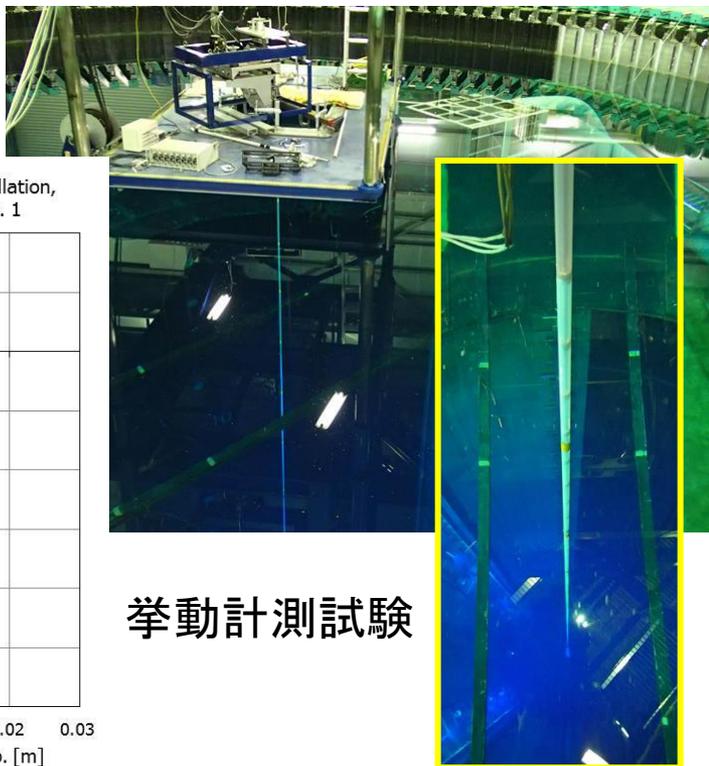
### ✓ 揚鉦管の動揺影響

#### ● 挙動計測試験

揚鉦ユニットの縮尺部分模型を用いた挙動計測を行い、揚鉦管の動揺性能評価に用いる全体挙動解析手法及びVIV解析手法を検証

#### ● スラリー移送模型試験

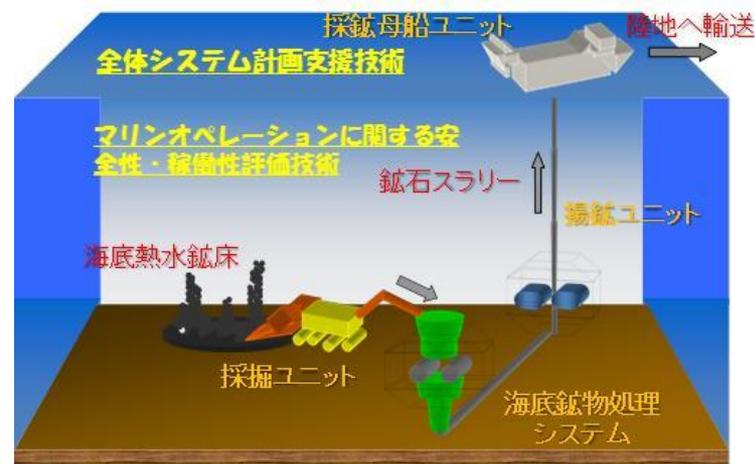
動揺する揚鉦管の縮尺部分模型内でスラリー移送を行い、揚鉦管の動揺がスラリー移送に及ぼす影響の基本特性を把握



関係機関と連携し、船舶関連技術を活用して、  
商業生産システムに関する基盤技術を構築

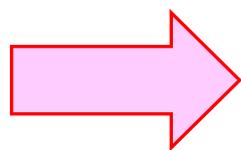
## ● 全体システムの安全性・稼働性評価技術

- ✓ 全体システムの挙動評価技術の構築
  - 採鉱母船ユニットの動揺を、採掘ユニット、揚鉱ユニットとのインターラクションを含めて一体解析
- ✓ 全体システムの安全性・稼働性評価技術の構築
  - 全体システムの挙動推定結果に基づく、安全性・稼働性評価
  - 採鉱・揚鉱オペレーションに関する安全ガイドライン



## ● 全体システムの計画支援技術

- ✓ 計画支援プログラムの開発
  - 海底熱水鉱床開発等に用いられる全体システムの初期設計段階において、設置海域や採鉱計画に基づき最適なシステム仕様を合理的かつ迅速に抽出



海底熱水鉱床開発事業の実現

他の海底鉱物資源開発事業への展開

# おわりに

- 第3期中期計画において、採鉱・揚鉱システムの安全性・性能評価のための基盤技術の構築に関する重点研究を実施している。
- JOGMECが実施している海底熱水鉱床開発に係る事業※に民間企業と共同で参加して、重点研究で得られた成果も活用しながら、将来の採鉱・揚鉱パイロット試験及び商業化に向けた採鉱・揚鉱システムの要素技術に関する検討を実施して、基礎データの取得・評価を行った。
- 第4期中長期計画期間では、平成29年度に予定されている採鉱・揚鉱パイロット試験への参画を図るほか、商業化に向けた全体システムの安全性・稼働性評価、計画支援のための研究を実施していく計画である。