

# 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

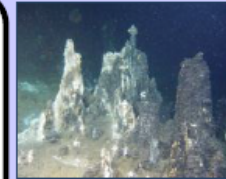
海洋開発系 深海技術研究グループ  
正信 聡太郎

# 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

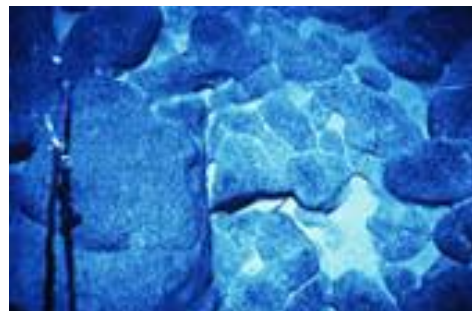
- コバルトリッチクラスト及びマンガン団塊については、資源量調査と生産関連技術について、国際海底機構が定めた探査規則を踏まえつつ、調査研究に取り組む。(特にコバルトリッチクラストについては、海底熱水鉱床の取組の成果も踏まえ、具体的な開発計画を策定)
- レアアースについては、将来の資源としてのポテンシャルを検討するための基礎的な科学調査・研究に取り組む。(特に平成25年度以降3年間程度で、海底に賦存するとされるレアアースの概略資源量・賦存状況調査を実施)

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



レアアース泥



出典：(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)ホームページ

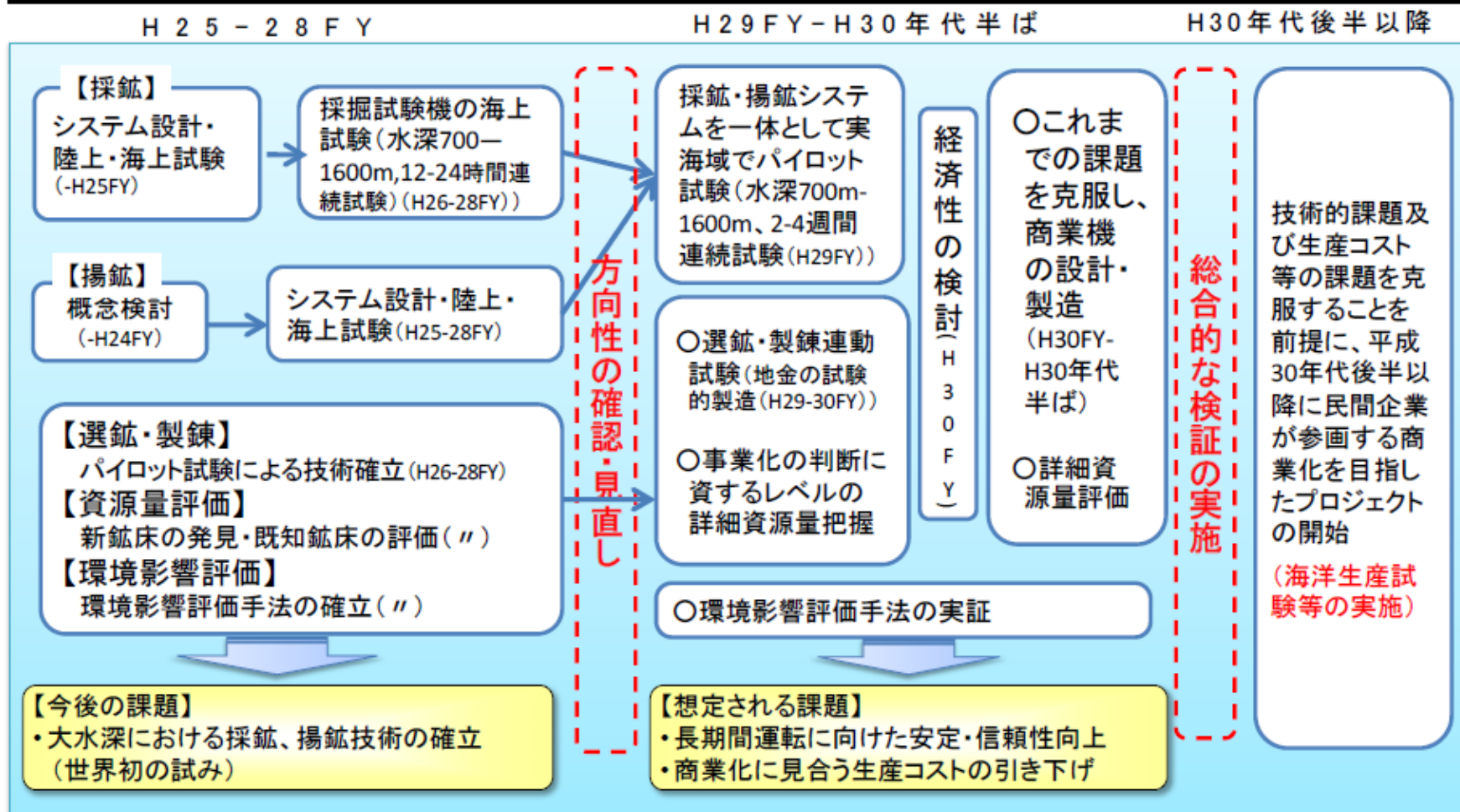
# 海底熱水鉱床開発に向けた我が国の取り組み

## ● 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

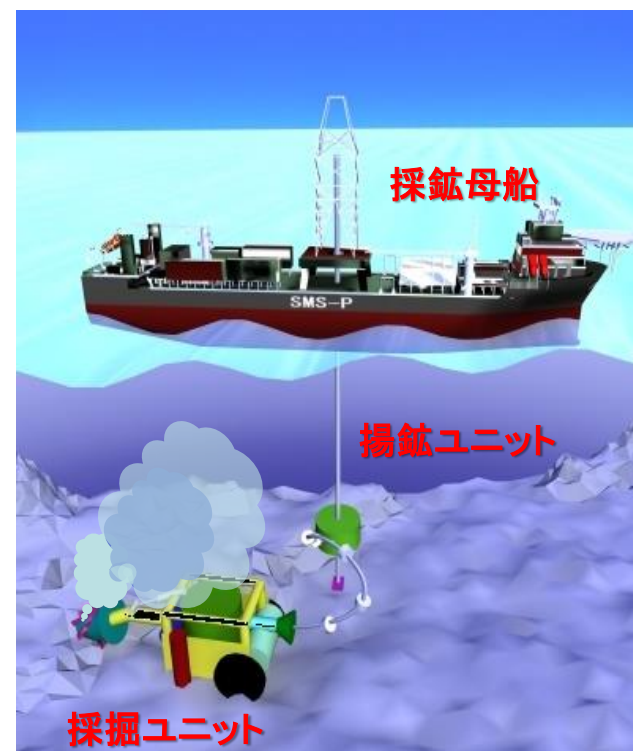
- ✓ 揚鉱ユニットの要素技術検討
- ✓ 集鉱用フレキシブルホースの検討

### ● 海底鉱物処理技術

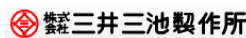
- ✓ 海底選鉱システムの基礎的検討
- ✓ 海底破碎・選別ユニットの検討

### ● 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
- ✓ 経済産業省の委託を受けJOGMECが実施している海底熱水鉱床の開発に向けた採掘技術の開発の一部として実施
- ✓ 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

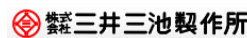


主要機器耐圧試験の様子

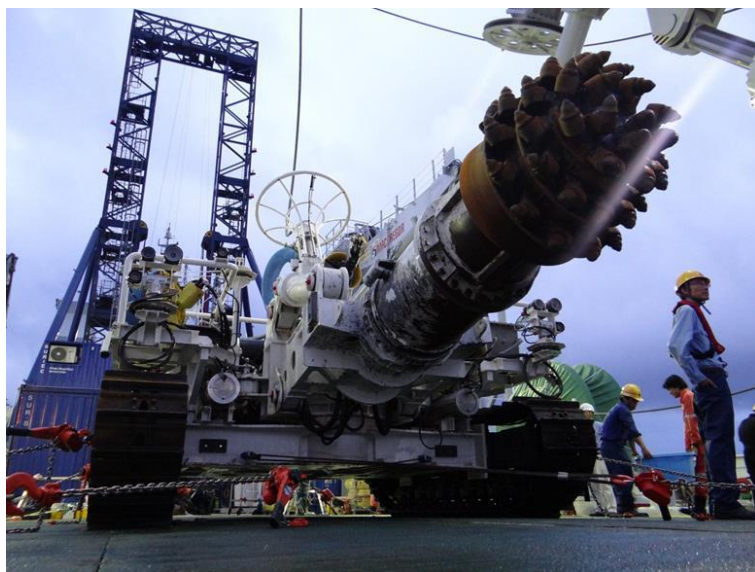
# 第3期中期計画期間中に実施した研究（採掘技術）



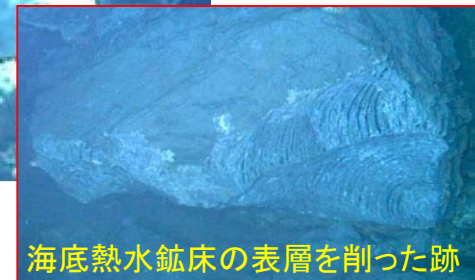
## ● 採掘要素技術試験機を用いた洋上試験



- ✓ 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
- ✓ 経済産業省の委託を受けJOGMECが実施している海底熱水鉱床の開発に向けた採掘技術の開発の一部として実施
- ✓ 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



試験状況（水深1,600m）



海底熱水鉱床の表層を削った跡

出典：JOGMECホームページ

➡ 商業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期中期計画期間中に実施した研究（揚鉦技術）

- 第2期中期計画期間では、ライザーの安全性評価手法の開発として、リジッドライザーを対象とした安全性評価を実施して、当該ライザーの強度・疲労評価技術を確立した。
- 第3期中期計画期間においては、新形式ライザーの安全性評価を実施して、強度・疲労評価の対象ライザーを拡張するとともに、ライザー管の内部流に関する評価技術を構築した。

## ● 新形式ライザーの強度・疲労評価

- ✓ 複数本で構成される長大管
- ✓ 管部材・螺旋部材の積層により構成されるフレキシブルライザー
- ✓ Free Standing Hybrid Riser (FSHR)

## ● ライザー管の内部流に関する評価

- ✓ 大粒径粒子のスラリー移送による圧力損失の評価
- ✓ 大粒径粒子のスラリー移送による管内摩耗量評価

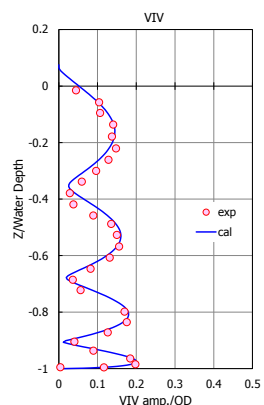
### 新形式ライザーの模型試験の様子



複数本長大管



フレキシブルライザー



計算結果と試験結果の比較例 (VIV)

### 循環式摩耗試験設備の例

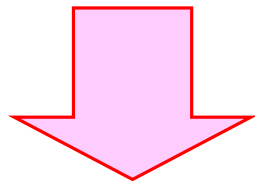


# 第3期中期計画期間中に実施した研究（揚鉱技術）

- 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(1/9)

## 揚鉱ユニットの構成要素の設計に必須となるキーテクノロジー

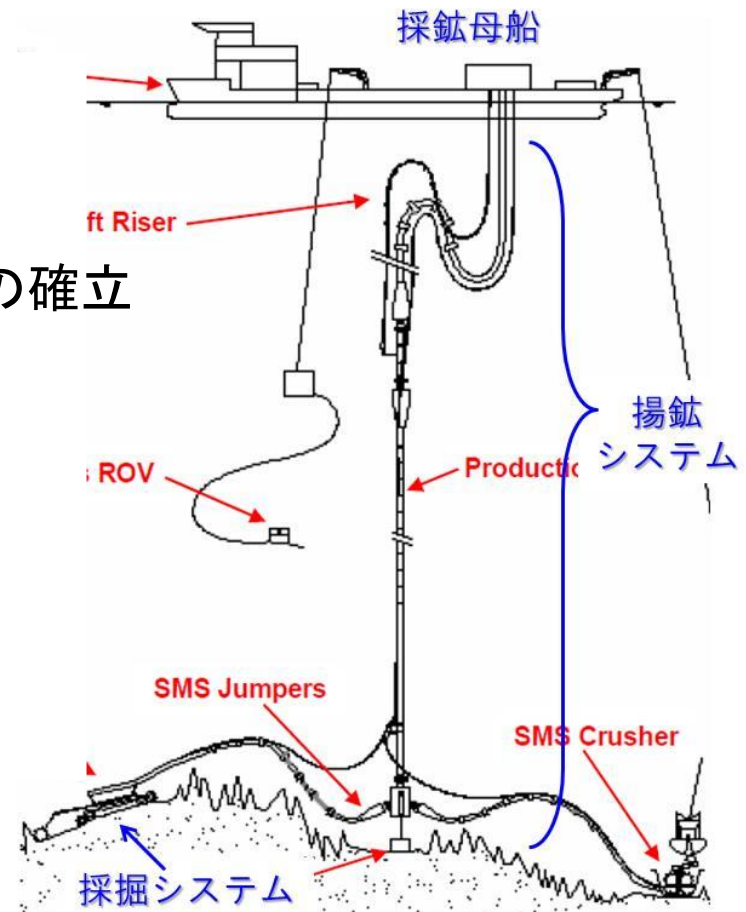
傾斜部を有するフレキシブルパイプ(揚鉱管、移送管)内での  
鉱石スラリー移送による圧力損失の評価



- ✓ 閉塞を回避するための揚鉱オペレーションの確立
- ✓ 揚鉱ポンプ、揚鉱管の設計 等

傾斜管内の圧力損失推定法  
を構築し、スラリー移送試験  
により検証※

※ JSPS科研費 25289323 の助成を受けたものです



出典: Neptune Minerals社 ホームページ






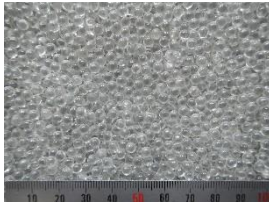

## ● 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(2/9)

### スラリー移送試験

- ✓ 試験目的: 傾斜管内の圧力損失の評価に必要な基礎データの取得
- ✓ 試験場所: 海上技術安全研究所 海洋実験棟
- ✓ 縮尺: 約1/8

	想定実機	試験設備
管内径、D	254mm(10インチ)	31mm
最大固体粒子径、ds	50mm	6mm

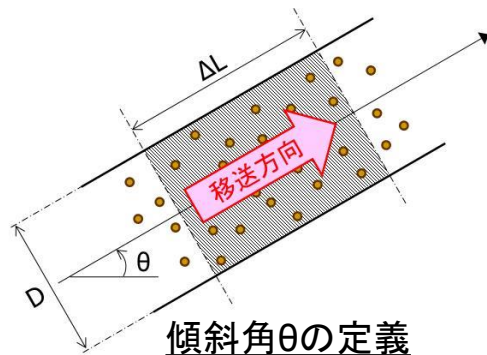
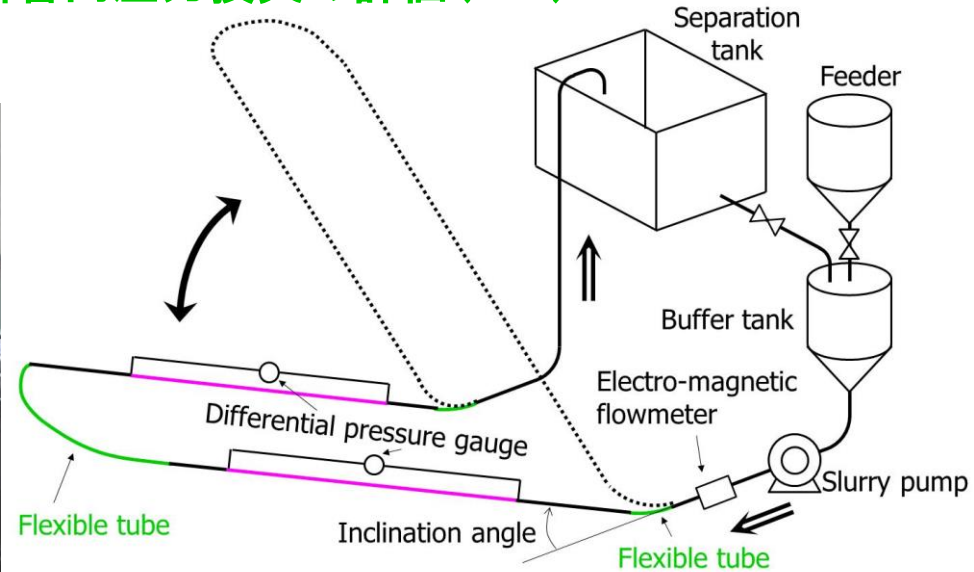
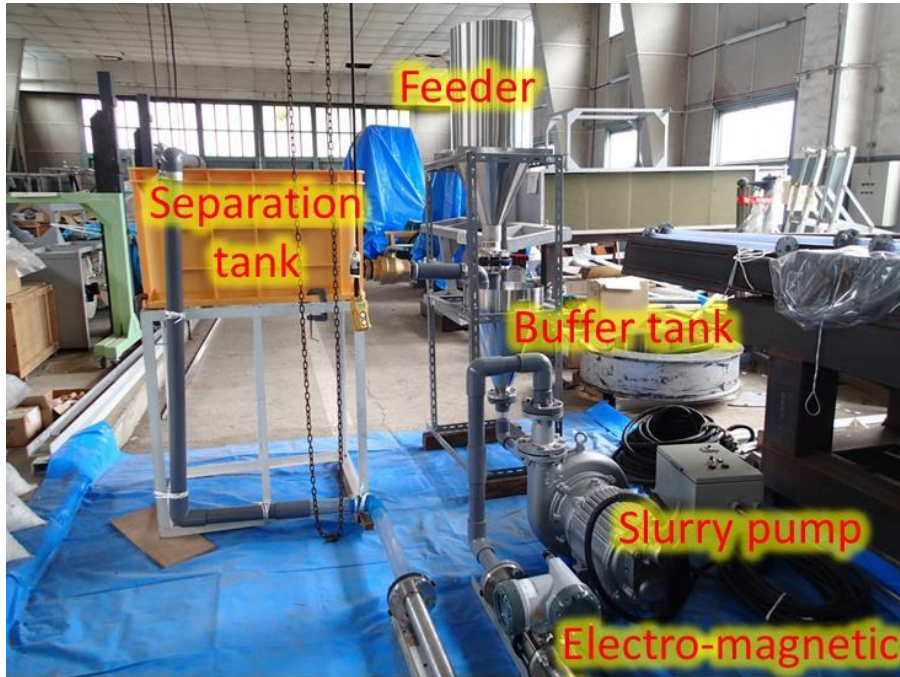
- ✓ 模擬鈇石: アルミナボール、ガラスボール、碎石

種類	アルミナボール			ガラスボール	碎石7号
粒径	6mm	4、5mm混合	2mm	4mm	3.2mm(平均)
					
密度	3,695kg/m <sup>3</sup>			2,553kg/m <sup>3</sup>	2,632kg/m <sup>3</sup>

# 第3期中期計画期間中に実施した研究（揚鉍技術）

## ● 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(3/9)

### ✓ 試験設備



Slurry pump →  
Separation tank ←

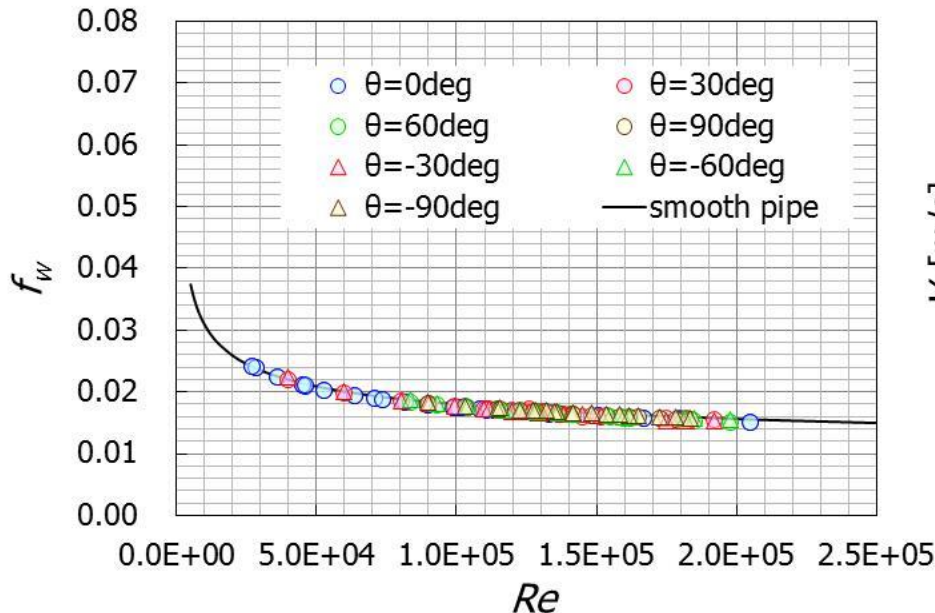
## ● 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(4/9)

### ✓ 試験条件

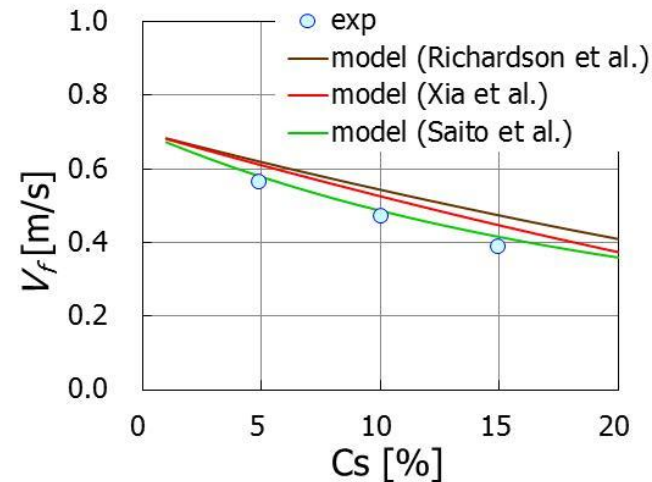
- 傾斜角: -90~90deg (30deg刻み)
- スラリー流速: 1.9~4.1m/s
- 吐出濃度: 3~13%

### ✓ 試験結果

#### 管摩擦係数とレイノルズ数の関係



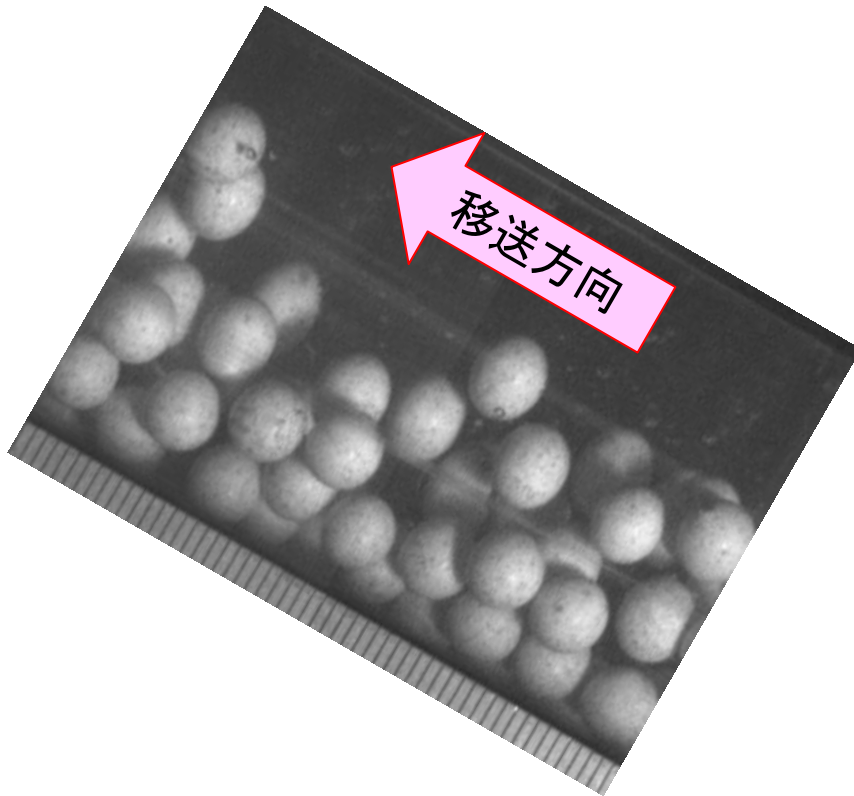
#### 模擬鉱石群の浮遊速度



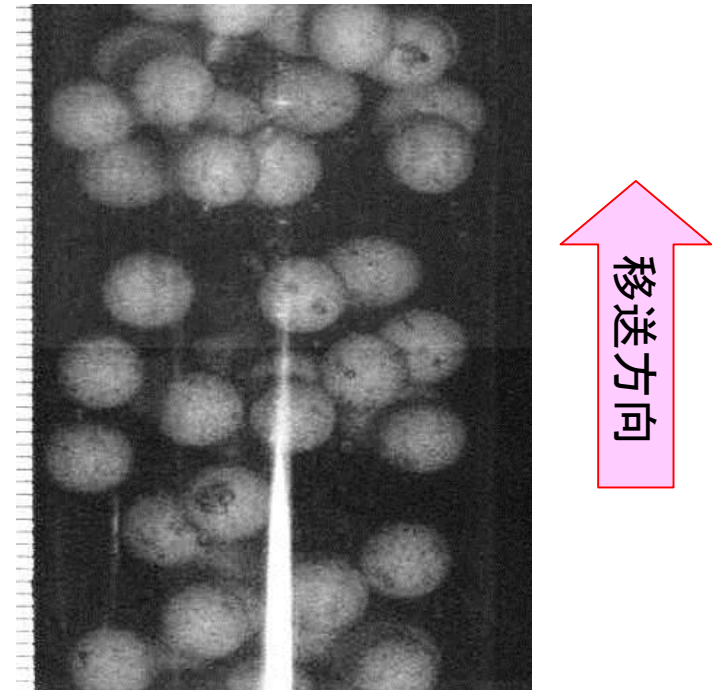
# 第3期中期計画期間中に実施した研究（揚鉍技術）

- 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(5/9)
  - ✓ 固体粒子群の移送状況(アルミナボール6mm)

$\theta=30\text{deg}$ 、 $C_v=11.6\%$ 、 $V_m=3.6\text{m/s}$

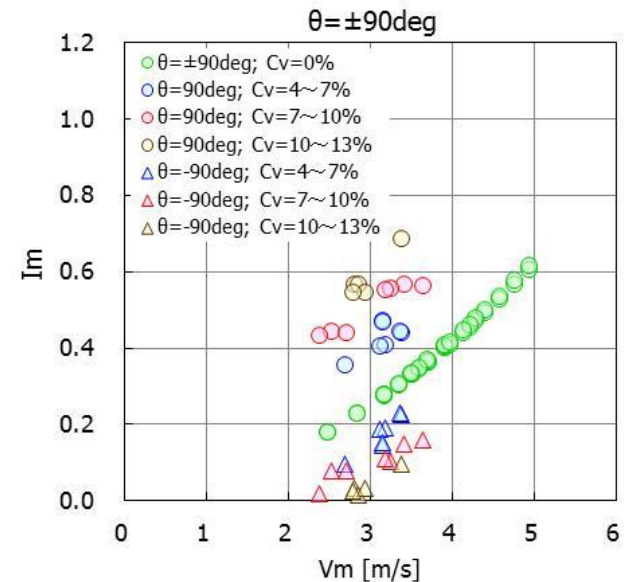
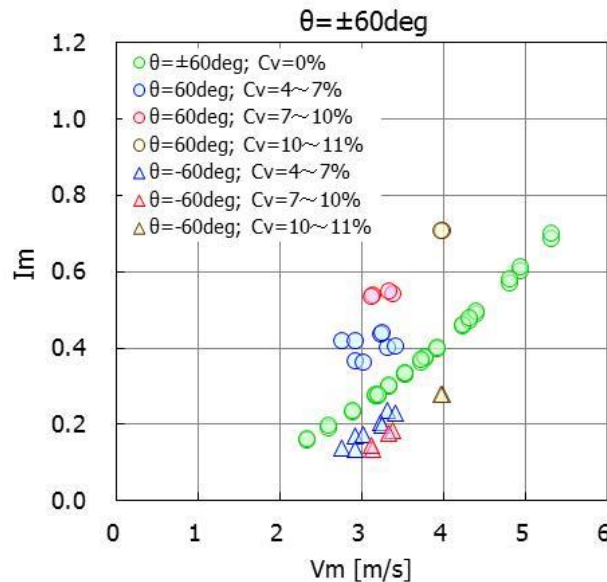
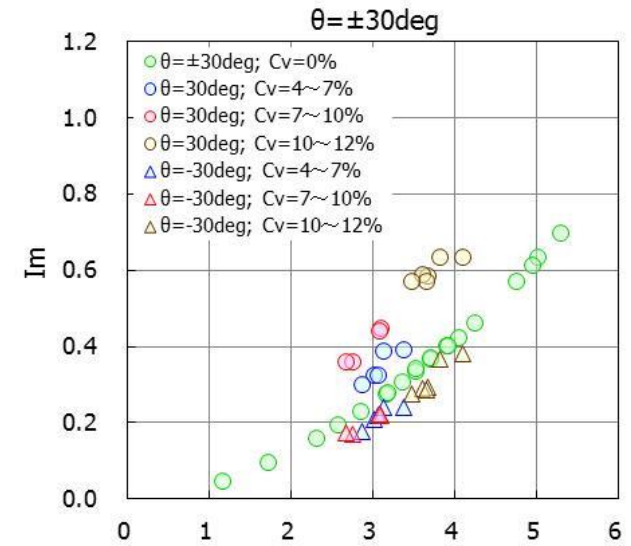
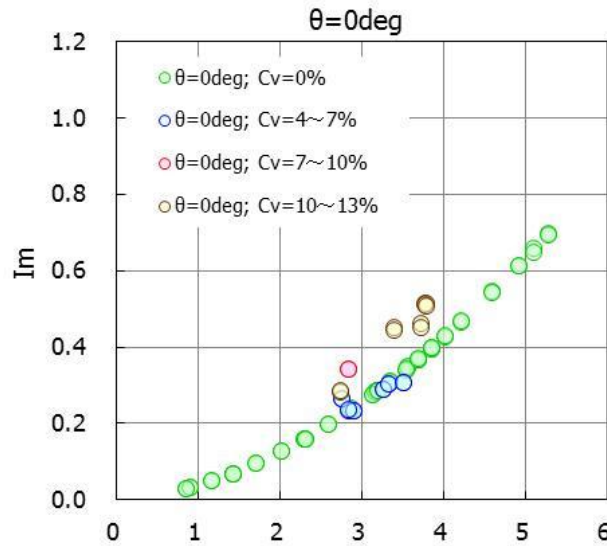


$\theta=90\text{deg}$ 、 $C_v=12.8\%$ 、 $V_m=3.4\text{m/s}$



## ● 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(6/9)

✓ 水力勾配



## ● 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(7/9)

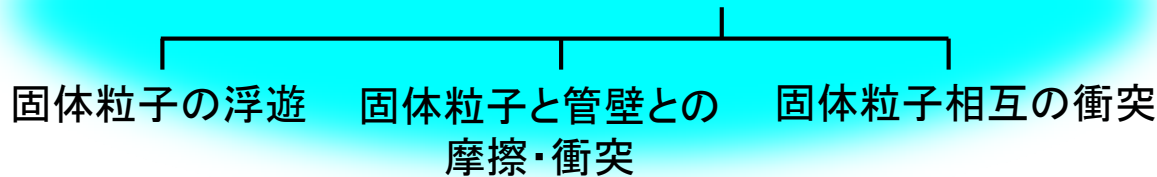
### 圧力損失推定法

#### ✓ 計算モデル

- 十分発達した定常状態
- 固体粒子によって流体の流動様式は大きく変化しない
- 主流方向のみを考慮する管軸方向一次元モデル

全圧力損失 = 流体だけの单相流による損失

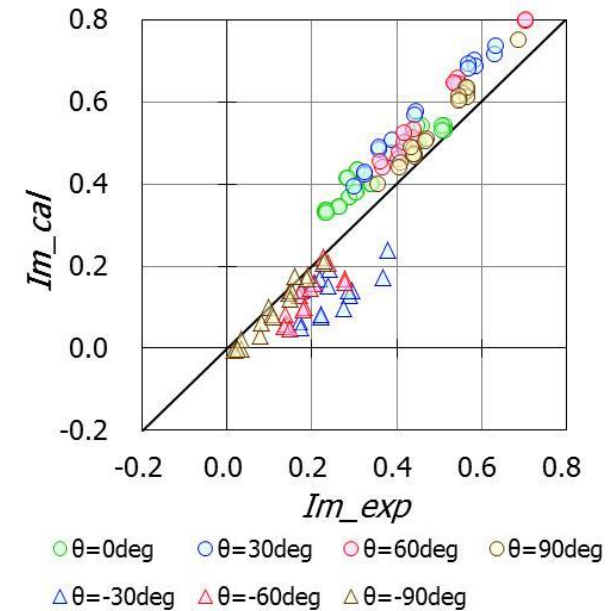
+ 固体粒子による付加的な損失



#### ✓ 傾斜管を対象とした過去の研究

- Worsterら
  - Graf
  - 川島ら、野田
- 固体粒子と流体の速度差: 非考慮
- 固体粒子と流体の速度差: 考慮  
管壁との摩擦評価に実験式を導入

野田の推定式と試験結果の比較



川島ら、野田の推定式は、鉛直管( $\theta = \pm 90deg$ )では良い一致を示すが、それ以外の角度では一致度が悪い  $\Rightarrow$  固体粒子と管壁との摩擦による損失分の推定精度の向上が必要

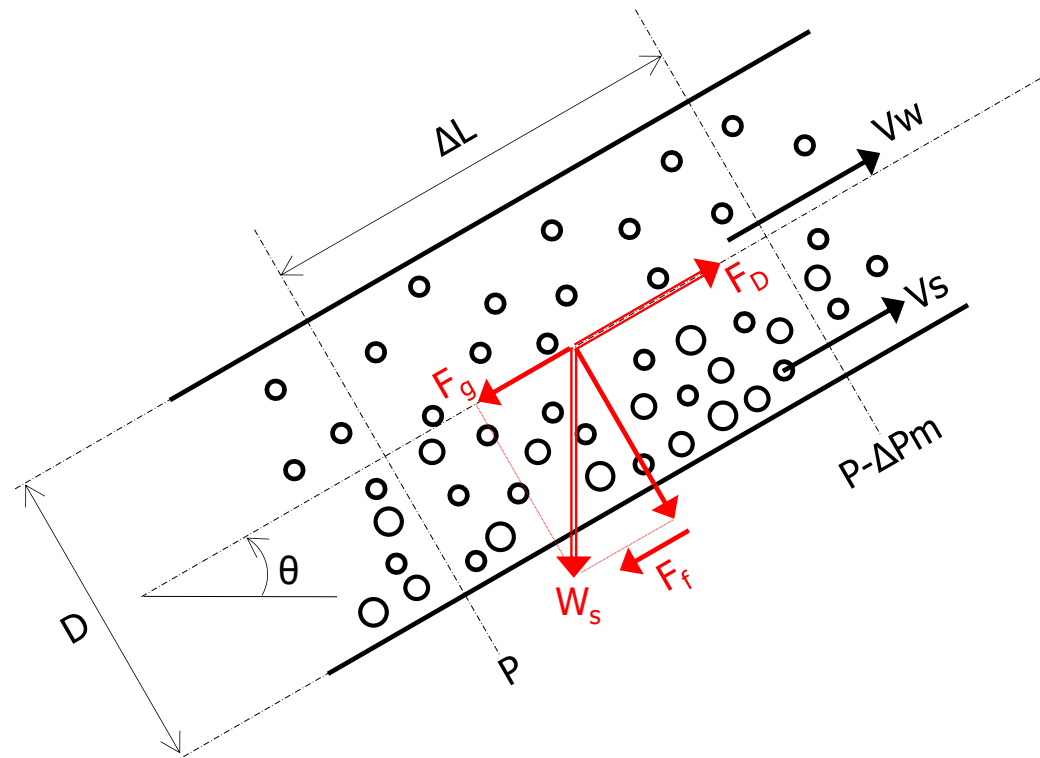
## ● 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(8/9)

### ✓ 固体粒子と管壁との摩擦・衝突による圧力損失

- 鮎川ら(1967)による水平管を対象とした摩擦モデルを傾斜管にも適用

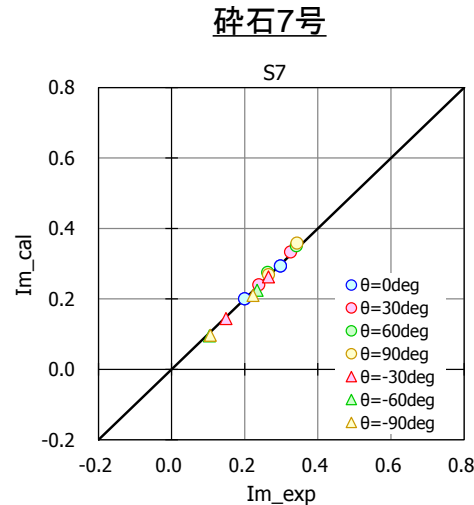
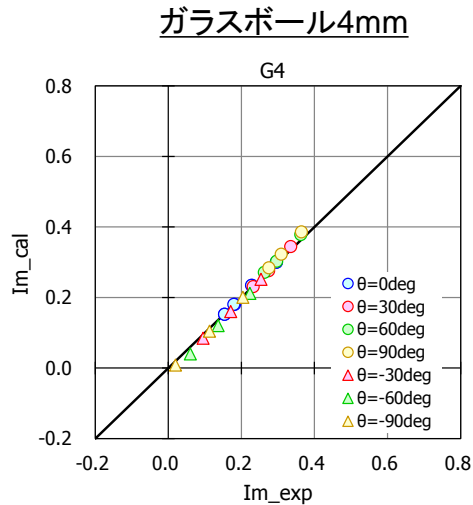
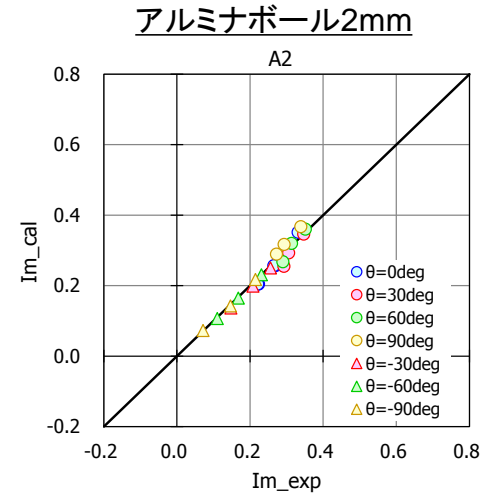
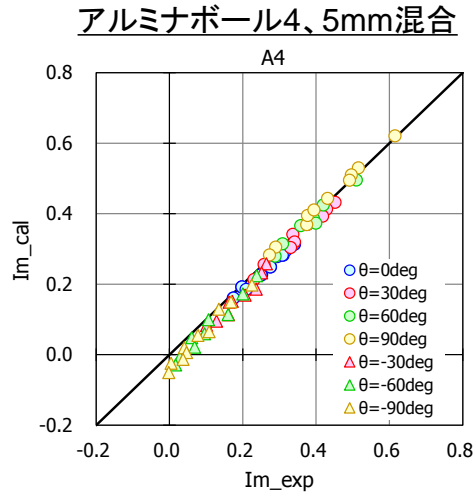
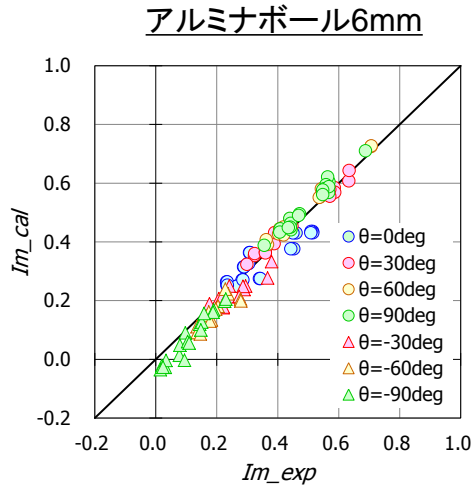
[鮎川らの摩擦モデル]

- 広い粒径範囲での試験結果に基づき、かつ異なる種類の固体粒子にも適用可能
- 相似パラメータ: 粒径と管径の比、修正フルード数、固体粒子群と流体の相対速度
- 固体粒子群の移送状態: 一部浮遊を伴う摺動状態

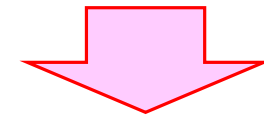


## ● 大粒径粒子のスラリー移送による傾斜管内圧力損失の評価(9/9)

### ✓ 試験結果と推定結果の比較



試験結果と推定結果は良い相関



傾斜管内での圧力損失を  
評価可能な推定手法を構築



# 第3期中期計画期間中に実施した研究（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

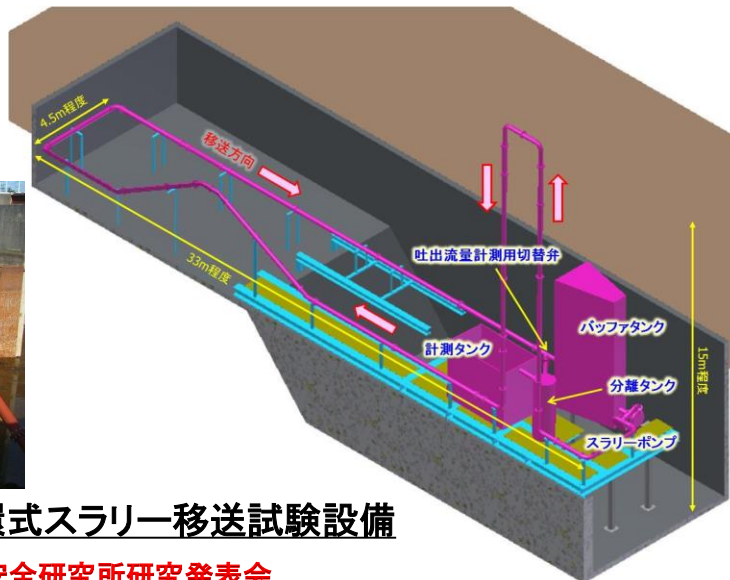
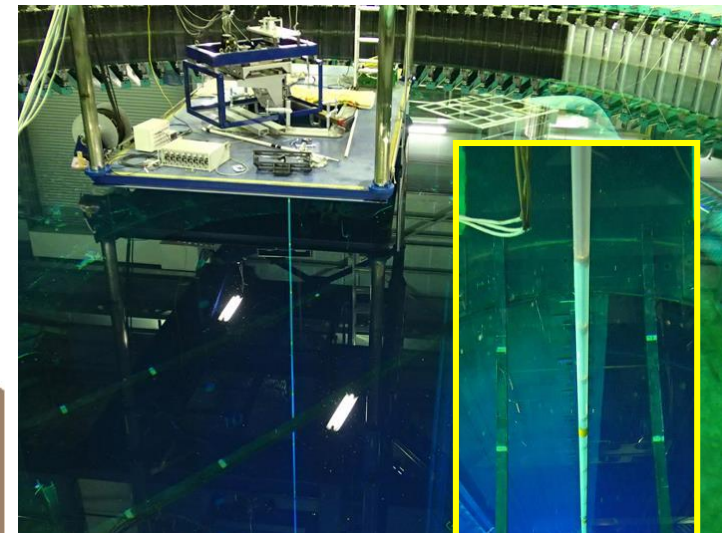


国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所  
海上技術安全研究所  
National Maritime Research Institute

- ✓ 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
- ✓ 経済産業省の委託を受けJOGMECが実施している海底熱水鉱床の開発に向けた揚鉱技術の開発の一部として実施
- ✓ 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

## 揚鉱管挙動計測試験



循環式スラリー移送試験設備

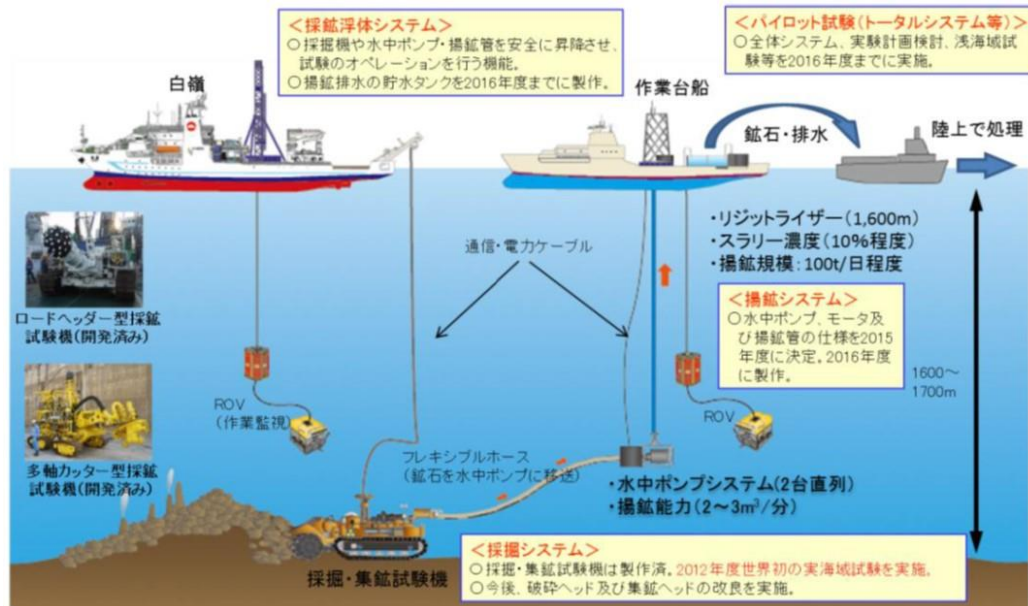


## ● 採鉱・揚鉱パイロット試験に向けた検討

- ✓ 平成29年度に計画されている実海域での採鉱・揚鉱パイロット試験の実施に向けた検討
- ✓ 経済産業省の委託を受けJOGMECが実施している海底熱水鉱床の開発に向けた全体システムの開発の一部として実施
- ✓ 当所は採鉱・揚鉱パイロット試験受託コンソーシアムの一員として参加
- ✓ 当所の実施内容
  - 実海域試験の安全性・稼働性評価
  - 実海域試験計画、データ計測・評価
  - 揚鉱管強度・疲労評価
  - 移送管模型試験 等

### 採鉱・揚鉱パイロット試験受託コンソーシアム

- ◆ 三菱重工業(代表)
- ◆ 新日鉄住金エンジニアリング(副代表)
- ◆ 海上技術安全研究所
- ◆ 清水建設
- ◆ 住友金属鉱山
- ◆ 深田サルベージ建設
- ◆ 三井三池製作所

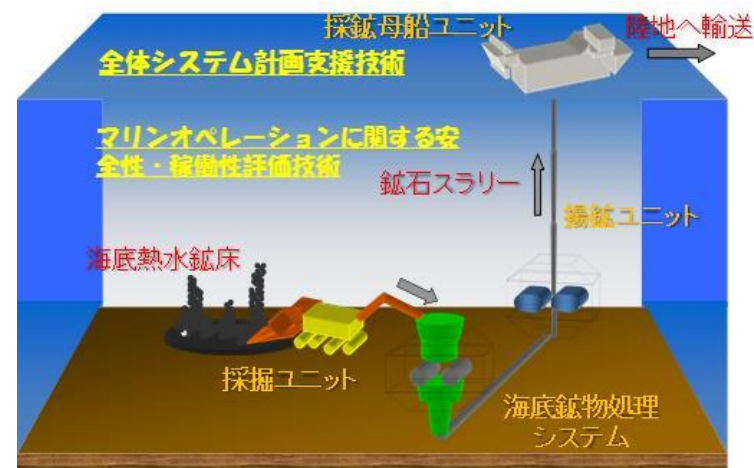


出典：総合資源エネルギー調査会資源・燃料分科会 報告書、H27.7

## 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

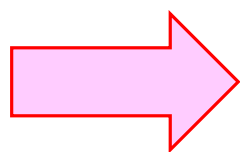
### ● 全体システムの安全性・稼働性評価技術

- ✓ 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、採掘・揚鉬ユニットの安全性・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た。
- JOGMECが実施している海底熱水鉬床開発に係る事業※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、将来の採鉬・揚鉬パイロット試験及び商業化に向けた採掘・揚鉬ユニット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鉬・揚鉬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。