

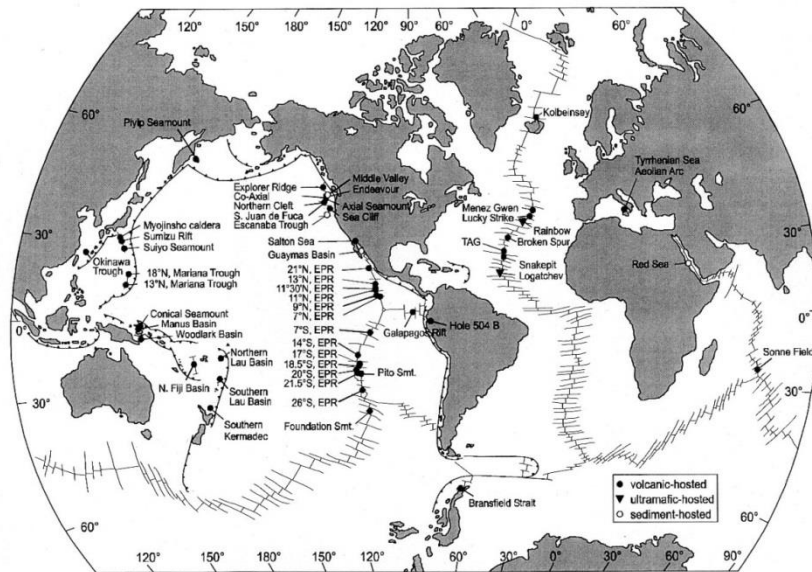
# 海上技術安全研究所における 海底熱水鉱床開発に係る取り組み

海洋開発系 深海技術研究グループ 山本 譲司



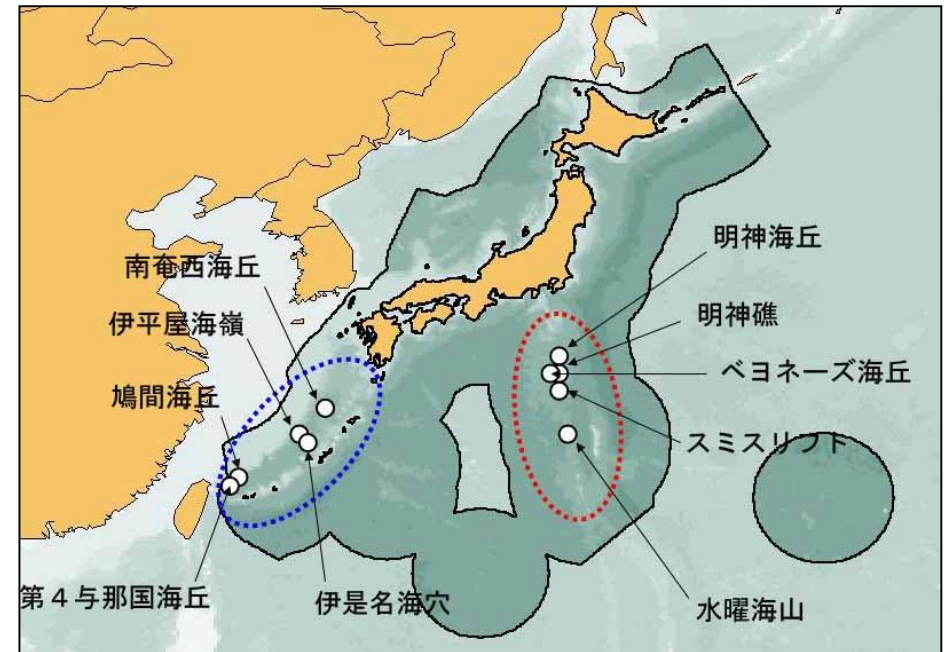
# 海底熱水鉱床とは

- 海底から噴出した熱水に含まれる硫化鉱物等が析出・沈殿して形成。
- 銅、亜鉛、鉛などのベースメタルを多く含む。
- 海洋底プレート境界に沿って分布。
- 日本周辺海域では、沖縄トラフ及び伊豆・小笠原海域で多数発見。



世界の海底熱水鉱床の分布

出典: ISA, Polymetallic Massive Sulphides and Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts: Status and Prospects (2002)

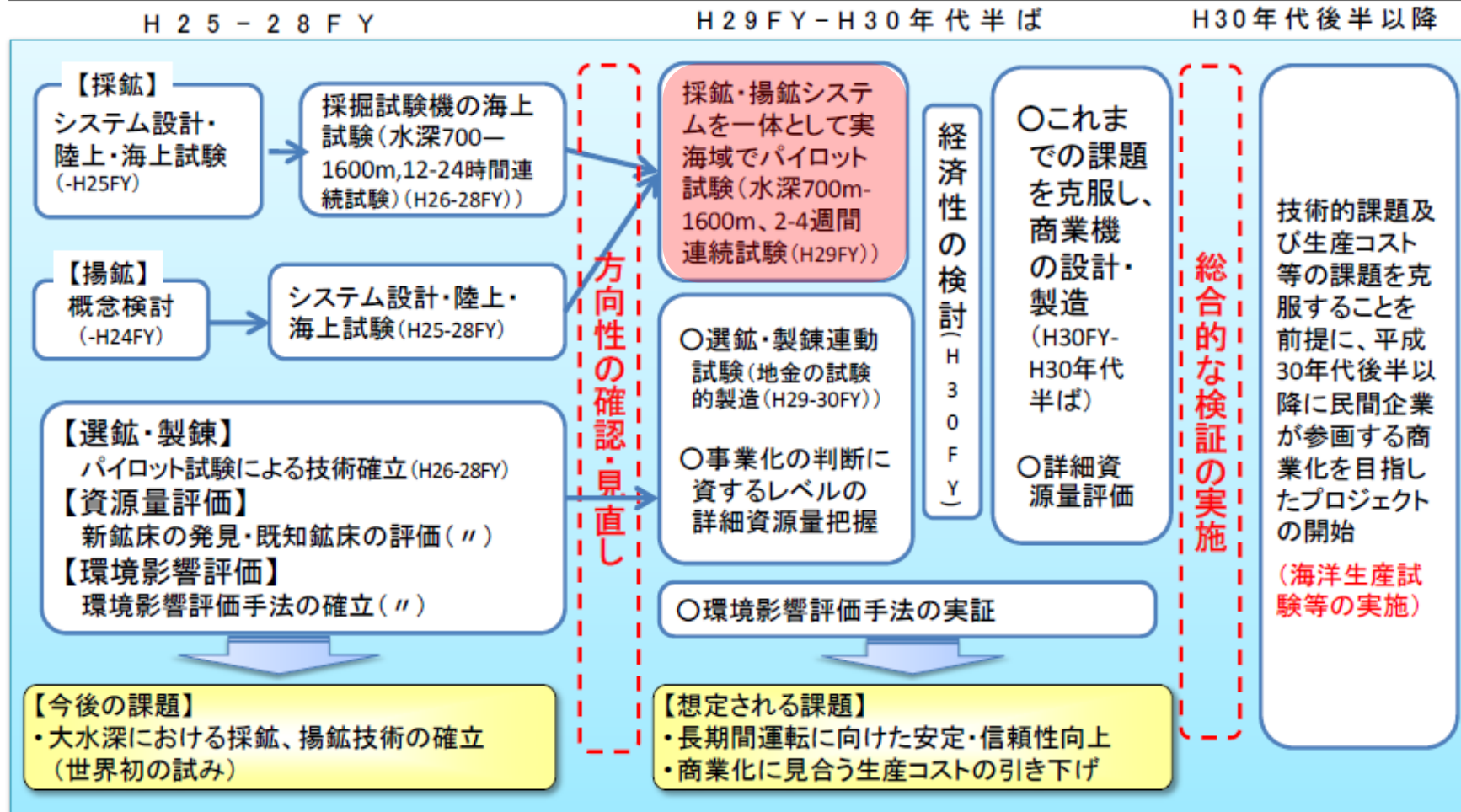


日本周辺海域における主な海底熱水鉱床

# 海底熱水鉱床開発に向けた資源エネルギー庁の取り組み

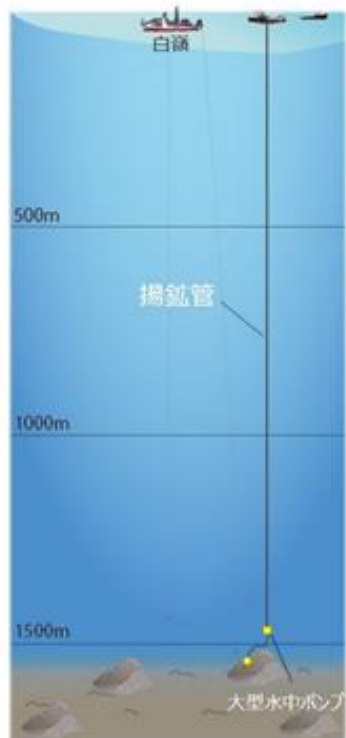
海洋基本計画(平成25年4月26日閣議決定)

- 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。



➡ 海技研の役割: ナショプロに参画して、研究開発を促進

試験概念図（実スケール）



試験時の船団



洋上に揚がった鉱石

(出典: JOGMECウェブサイト)

- 2017年夏季、沖縄近海で海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験を実施
- 世界で初めて海底熱水鉱床の連続揚鉱に成功



# JOGMEC海底熱水鉱床開発に係るパイロット試験の体制

JOGMEC殿から委託された採鉱・揚鉱パイロット試験共同企業体(コンソーシアム)

- 三菱造船株式会社(代表)
- 住友金属鉱山株式会社
- 新日鉄住金エンジニアリング株式会社(副代表)
- 深田サルベージ建設株式会社
- 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
- 株式会社三井三池製作所
- 清水建設株式会社
- 三菱重工株式会社

計8機関

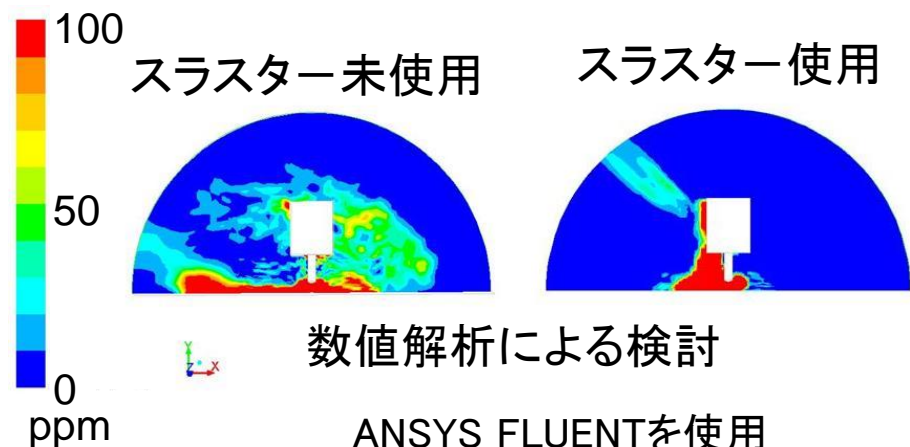
## 海技研の体制及び主な実施内容

- 海洋開発系－揚鉱管の全体解析評価、採掘時の濁り影響低減の検討、稼働性評価における事前検討及び事後評価
- 海洋リスク評価系－安全性評価における事前検討及び事後評価
- 構造安全評価系－鉱石分離装置内水槽の水位変動に係る試験





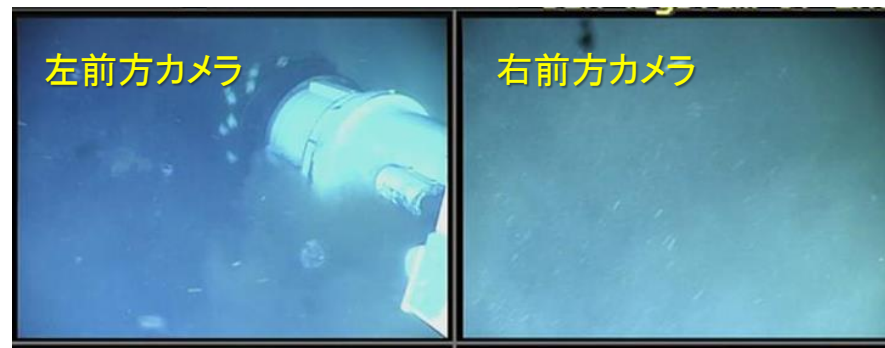
出典: JOGMECニュースリリース(H24.9.24)



## スラスター使用効果による濁りの低減



スラスター未使用時



スラスター使用時

- 濁度計測を行い、現況再現計算を実施。
- 解析結果を基に、低減効果確認試験を実施。
- パラメータ・スタディを実施。

# 採掘時の濁り影響低減の検討

## パラメータ・スタディ

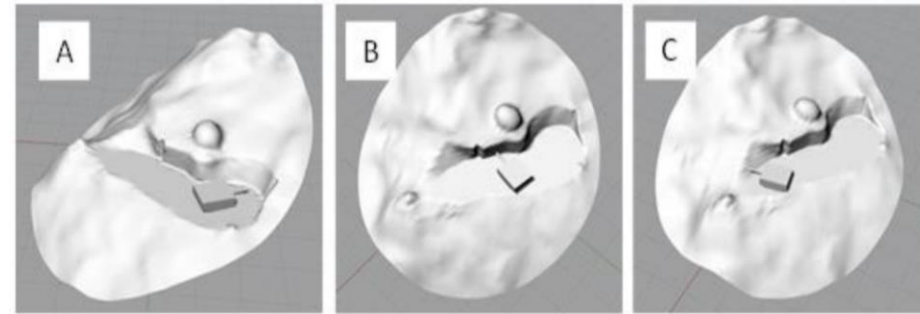
### ■低減効果の検討

- ベンチ内の機体の位置
- 海流流向
- 海流流速
- スラスタ角度
- スラスタ出力
- スラスタ運用方法

500ケース近い

パラメータ・スタディを実施。

検討した機体位置



スラスタ不使用時からの濁度増減量[ppm]

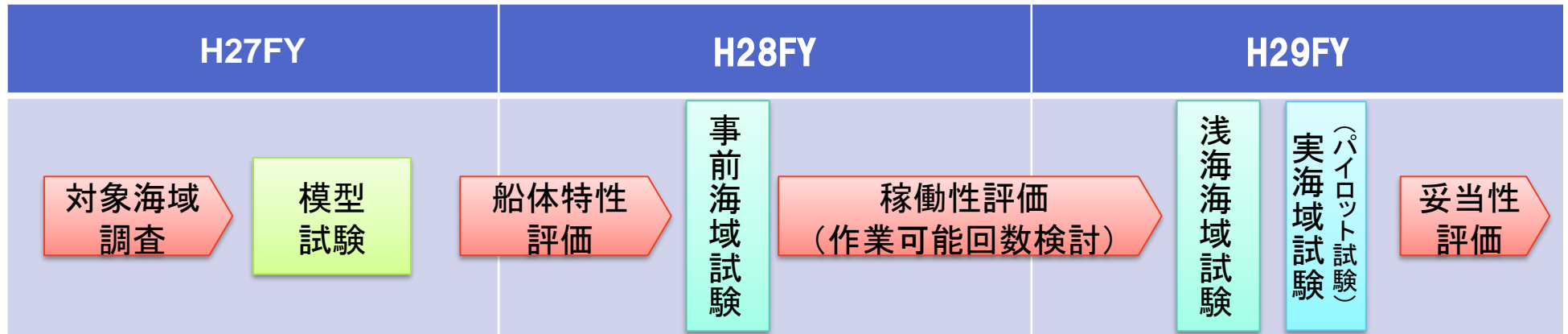
-60 -40 -20 0 20 40 60

左前		スラスタ角度[°]								スラスタ 不使用時
		0	45	90	135	180	225	270	315	
海 流 流 向 [°]	0	-8.0	-19.0	-19.0	-18.4	-19.0	-19.0	-19.0	-19.0	19.0
	45	-92.7	-92.8	-92.7	-87.0	-92.8	-92.8	-92.8	-92.4	92.8
	90	4.0	-2.9	-25.2	-29.5	-35.3	-34.8	-29.9	-21.9	35.3
	135	115.2	105.4	-2.8	-1.4	-8.7	-8.5	56.9	14.1	8.7
	180	48.4	129.0	21.9	0.0	0.0	64.3	15.1	16.0	0.0
	225	-38.7	14.8	-44.4	-34.7	-45.1	13.1	6.0	-7.7	45.2
	270	-3.4	19.0	-3.4	7.9	-3.4	-1.4	38.5	9.4	3.4
	315	1.0	12.2	0.0	48.8	0.0	9.2	18.3	27.8	0.0

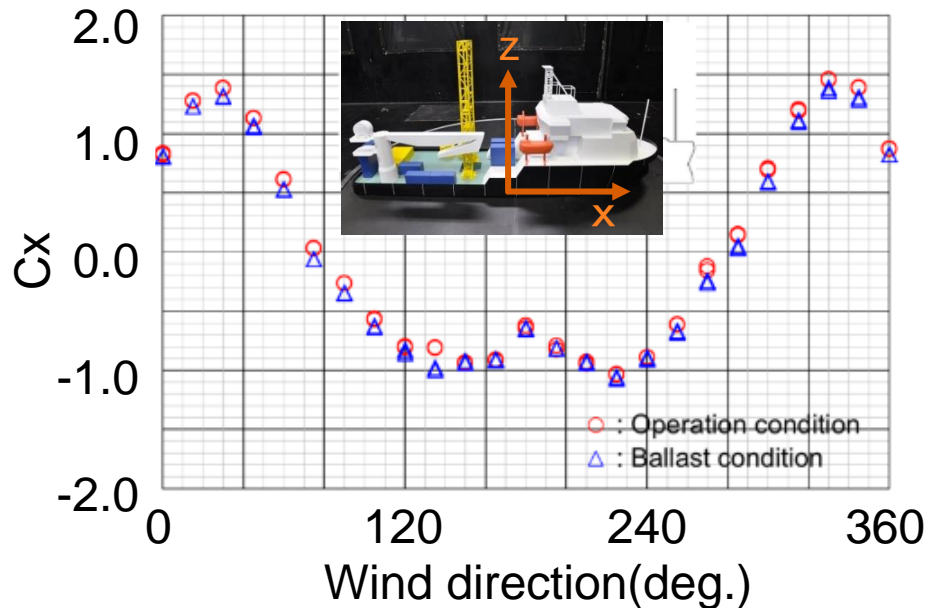
青色:効果有り  
赤色:効果無し



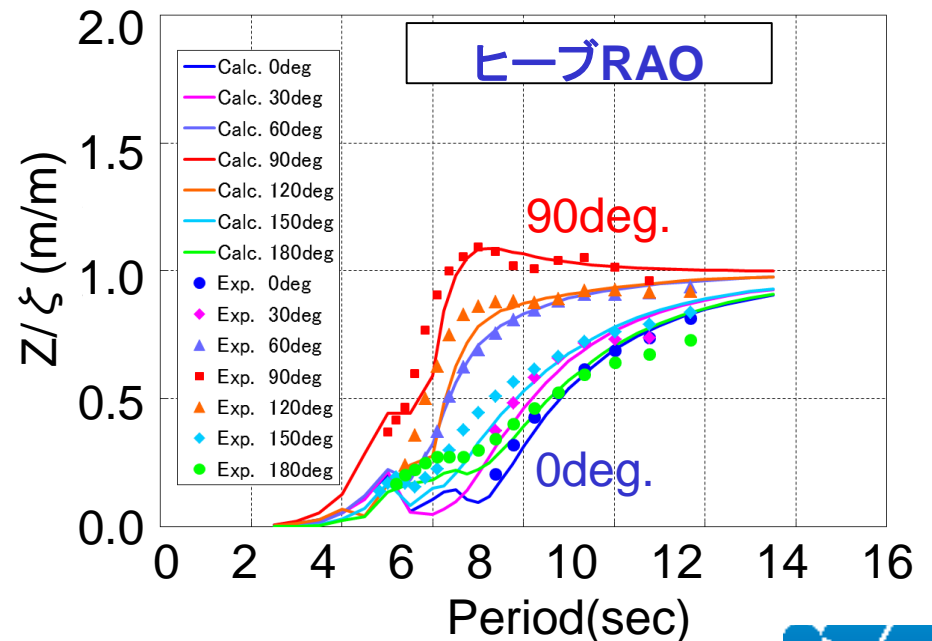
# 稼働性評価に係る支援(作業可能回数の検討)



- 揚鉦母船に作用する環境外力(風力、潮流力、波力)の評価・動揺性能・位置保持の評価
  - ▶ 揚鉦母船のスケール模型を用い外力計測等を実施



風力計測事例



動揺性能の計測及び数値解析事例



# 稼働性評価に係る支援(作業可能回数の検討)

パイロット試験における事前検討と検証結果

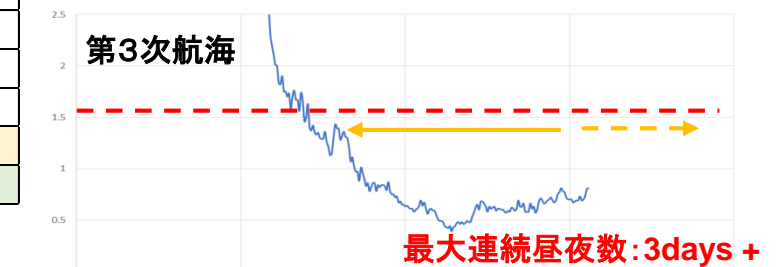
- 揚鉤管の強度等を考慮して設定された作業限界(波高1.5m、風速10m/s以下)に基づき作業可能回数を検討
- 実海域試験結果より、**商業化においても本評価手法が使用可能であることを確認**

## 作業可能回数における事前検討結果と実績

(全航海まとめ)							
関連: 許容波高1.5[m]、風速 10[m/s] 以下とした場合	連続昼夜数 (オペレーションウィンドウ)						
作業可能回数 [回] ~全航海~	1	2	3	4	5	6	7
設置回収時	24	48	72	96	120	144	168
2009	15.0	6.5	3.0	2.3	1.8	1.5	1.3
2010	12.0	4.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
2011	7.0	3.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
2012	11.0	5.5	2.3	1.8	1.4	1.2	1.0
2013	11.0	5.5	3.3	2.8	1.4	1.2	1.0
2014	15.0	7.5	3.0	2.3	1.8	1.5	1.3
2015	4.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	6.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平均	10.1	4.4	1.8	1.4	0.9	0.7	0.6
実際に作業確保できた回数	14.0	6.0	4.0	2.0	1.0	1.0	1.0

平均(回)                      10.1    4.4    1.8    1.4    0.9    0.7    0.6

**2017**                      **14**    **6**    **4**    **2**    **1**    **1**    **1**



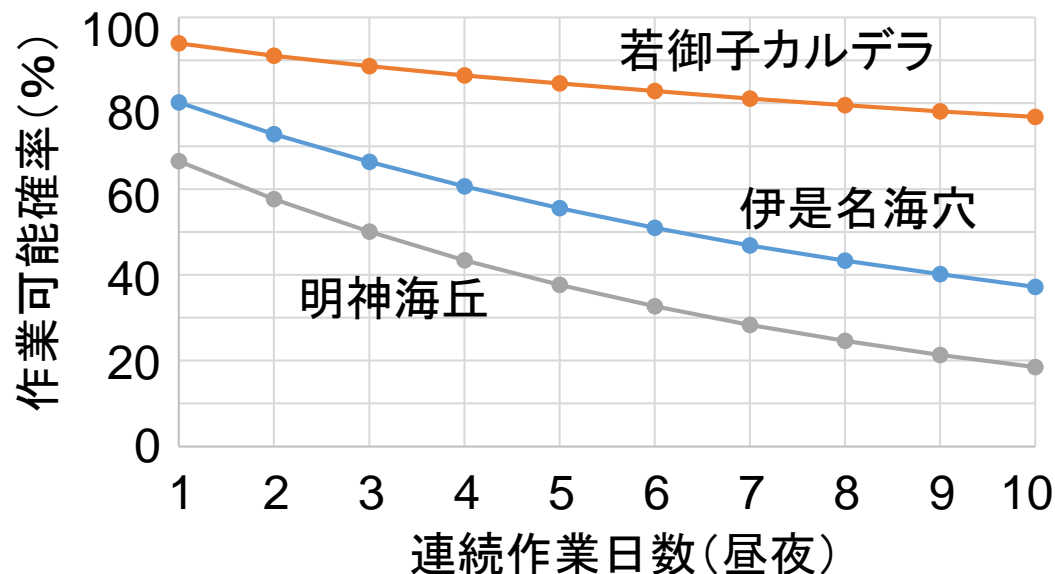
実際に確保できた作業日数  
(連続好天)

# 稼働性評価に係る検討(評価手法の活用事例)

## ■ 商業生産システムを対象とした稼働性検討

### 検討条件

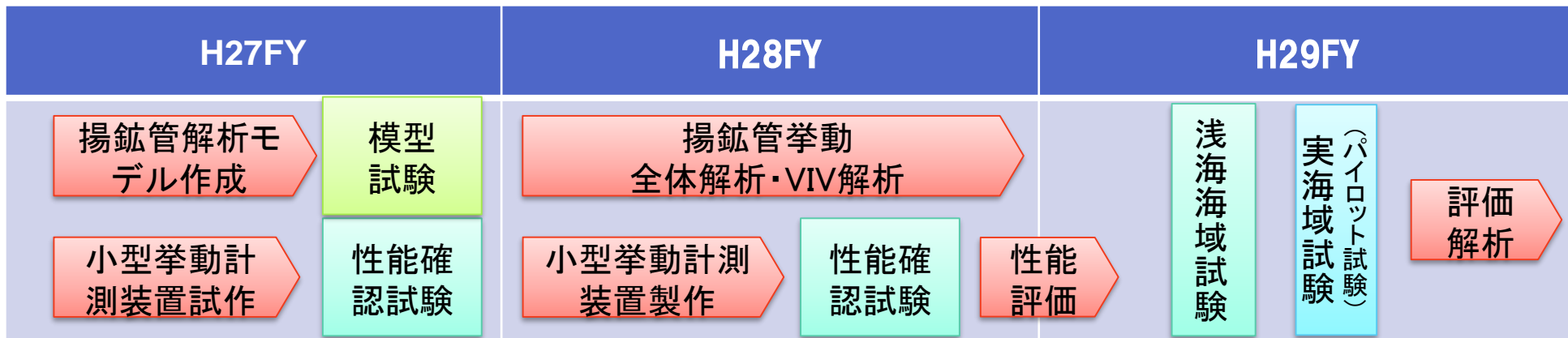
対象海域	伊是名海穴(沖縄本島北西約110km)、若御子カルデラ(鹿児島湾北部)、明神海丘(伊豆・小笠原海域)
使用データ	波浪推算データ、JCOPE2再解析データ
使用データ期間	1994年2月1日～2014年1月31日(20年間)
連続作業検討日数	1～10昼夜
閾値	有義波高3m、平均風速15m/s、平均海流流速5kt
データ間隔	6時間毎



- 薩摩湾に囲まれた若御子カルデラは、長期の連続作業日数が高確率で確保可能である。
- 一方、外海では、連続作業日数を確保することが困難である。



- 生産可能稼働率の検討
- 生産システムの検討に資する情報



## ■ 揚鉤管の挙動解析

- ▶ 模型試験により挙動の計測、張力計測等を実施

## ■ 揚鉤管の強度・疲労解析

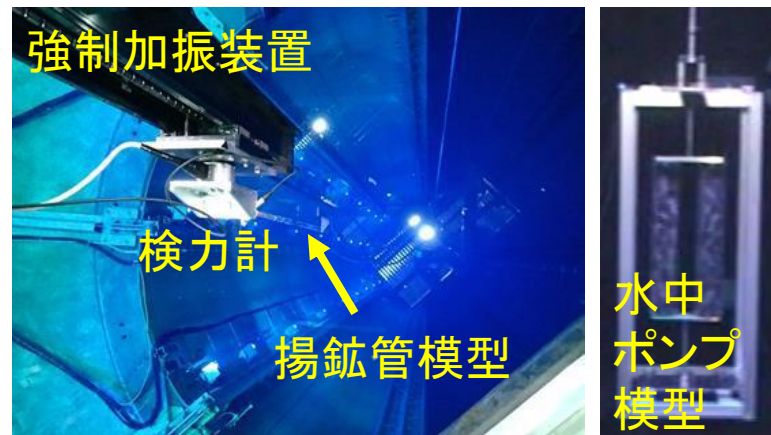
- ▶ 揚鉤ユニットの設置、回収時を想定した解析を実施



## ■ 試験期間中、揚鉤管が疲労基準を満足するかを確認

## ■ 揚鉤ユニットの強度の面から揚鉤母船の許容動揺範囲を検討

- ▶ 稼働性評価における閾値設定に資する情報となる。



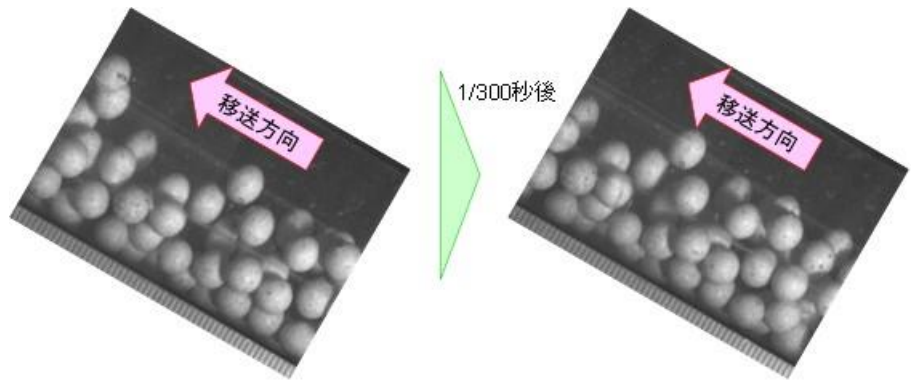
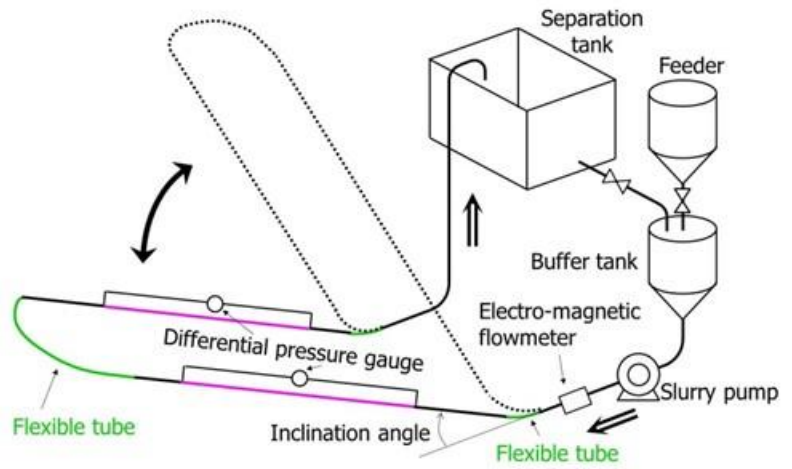
(新日鉄住金エンジニアリング株式会社殿と実施)



# 揚鉸管に係る検討(スラリー移送評価)

## ■ スラリー移送評価

▶ スラリー移送試験を行い、傾斜管内の圧力損失推定法を開発(JSPS科研費 25289323にて実施)



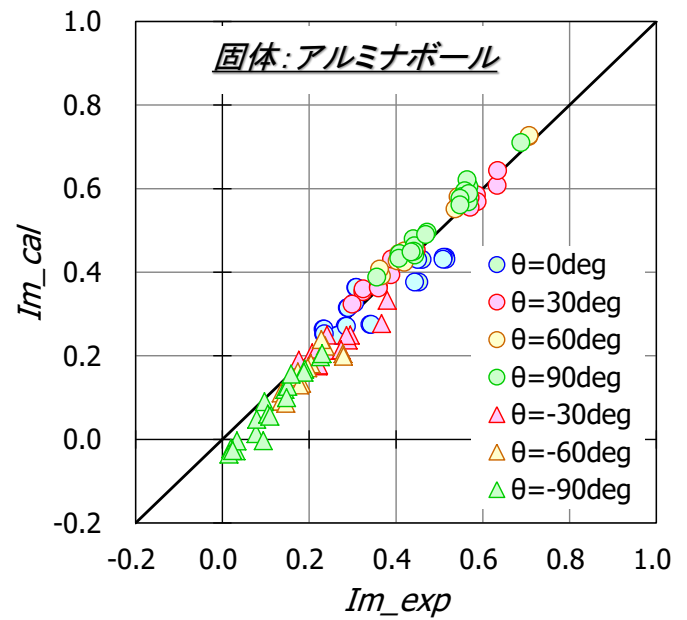
固体粒子の移送状況例(傾斜角30°)

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**

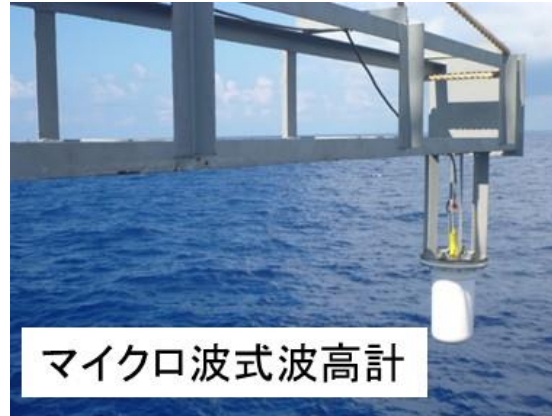
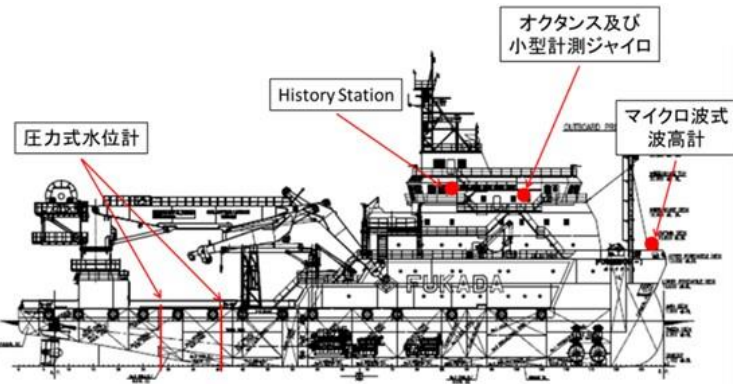
管傾斜の影響を考慮可能なスラリー移送による  
 圧力損失の推定式を導出

パイロット試験における揚鉸システムの検討に利用

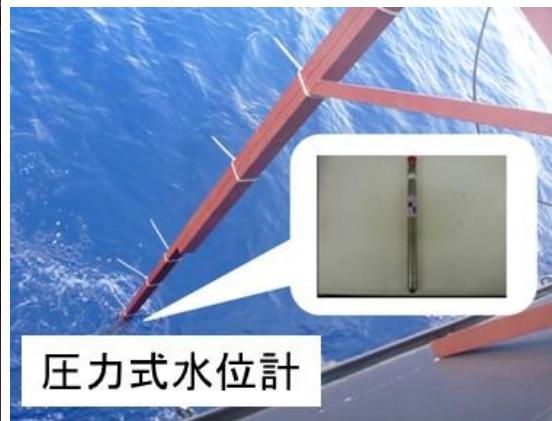


# パイロット試験にて各種データの取得

## ■ 船体、揚鉦管の挙動に関するデータを取得

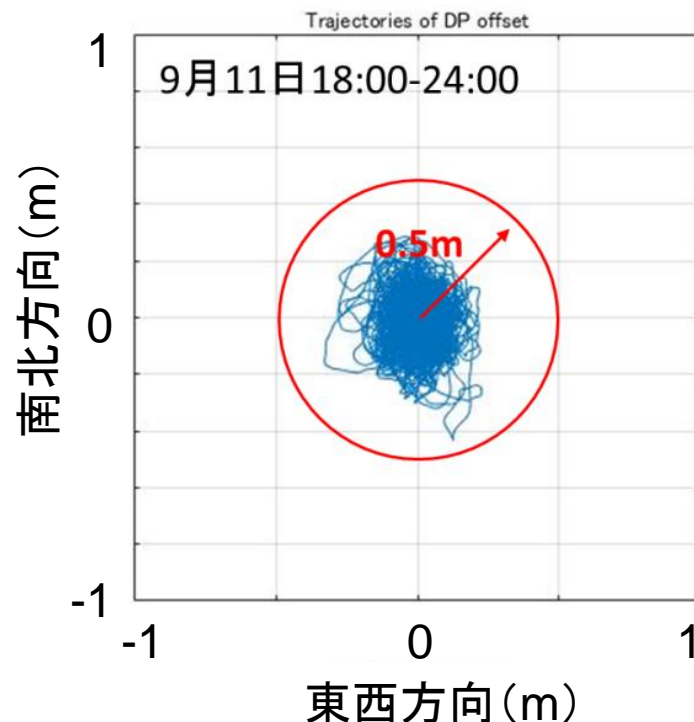
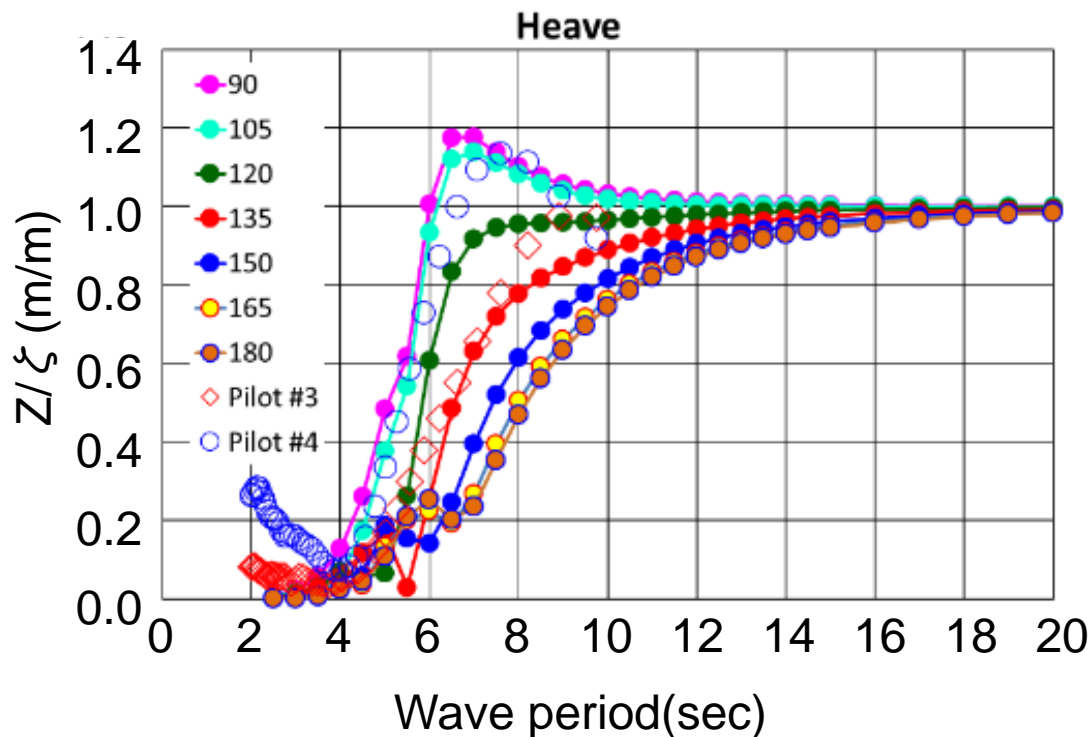


- ・10台を揚鉦管に取り付け
- ・回転角、加速度を計測



## ■ 評価手法の妥当性確認

- ▶ 揚鉤母船の動揺性能評価の妥当性確認
- ▶ 揚鉤母船の位置保持性能の確認

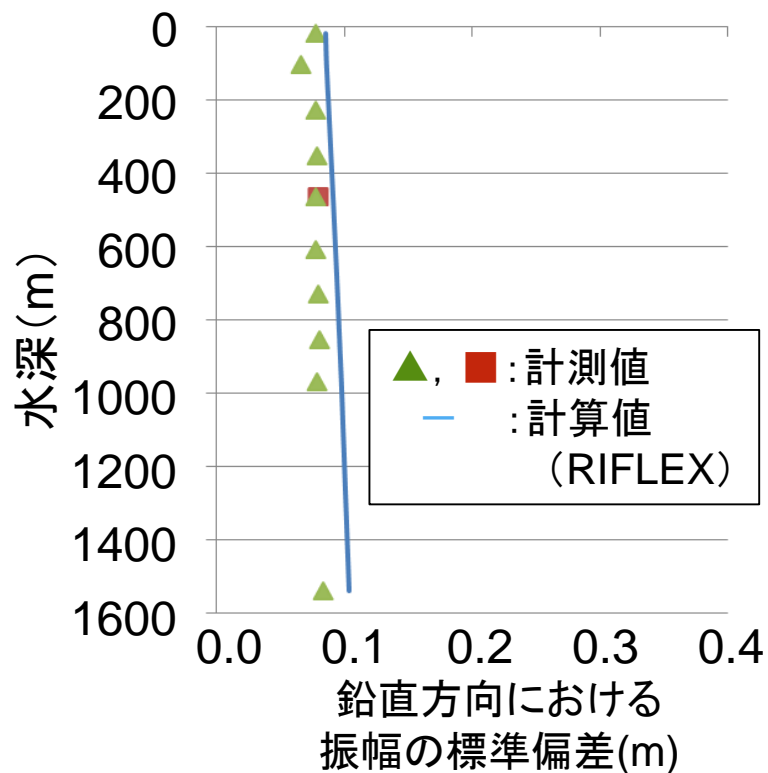
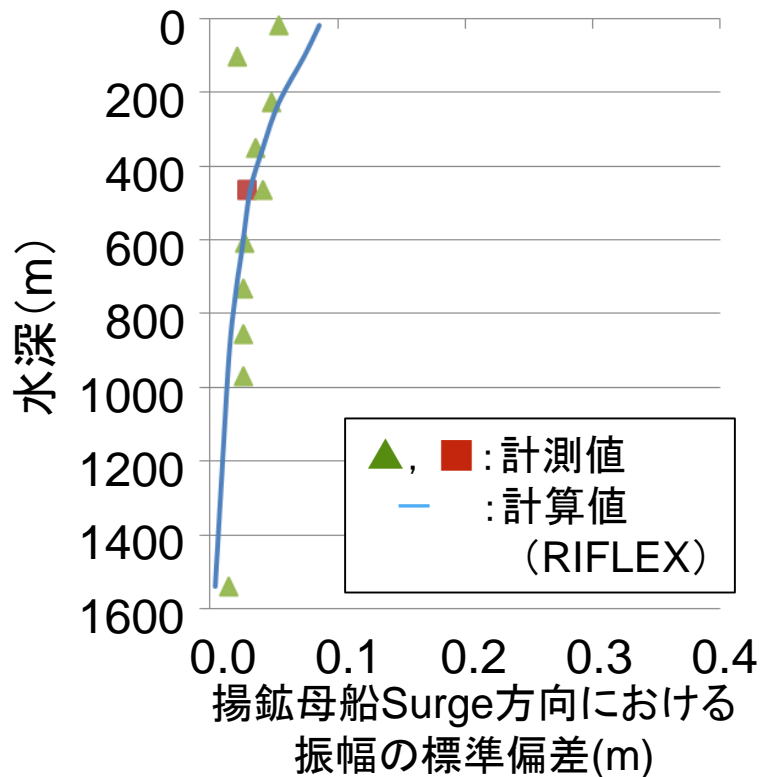


### 動揺性能における解析結果と計測値の比較例

### 揚鉤母船のDPオフセット例

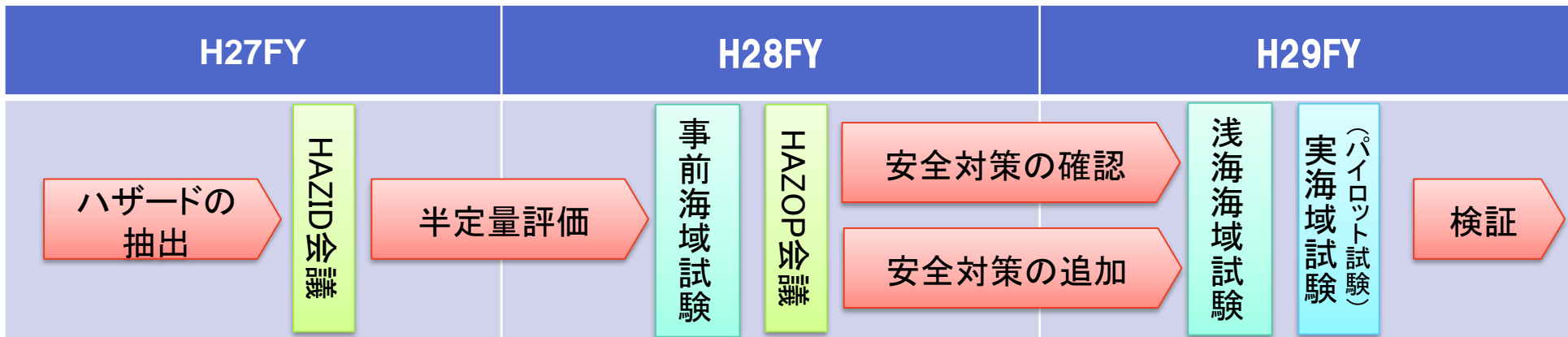
- 動揺性能に関しては、数値計算の結果は概ね計測結果と整合性があることを確認
- 位置保持に関しては、安全側の評価が来ていることを確認
  - ▶ 船体性能評価手法が概ね妥当であること、稼働性評価手法の妥当性を確認

- 評価手法の妥当性確認
  - ▶ 揚鉤管の全体解析評価



## 揚鉤管の挙動に係る解析結果と計測値の比較

- 解析結果は、計測結果と概ね一致していることを確認
  - ▶ 揚鉤管の選定に係る事前検討に資する情報となる。



## ■ 半定量評価

- ▶ IMO のFSA ガイドラインに従い、深刻度(SI, Severity index)、頻度(FI, Frequency index)にもとづきリスク指標(RI, Risk Index)を決定。

### 発生頻度 (Frequency Index) の定義

SI	深刻度	定義	
		人的影響	事業継続性 (アセットへの影響)
4	破滅的影響	複数の死者	永続的停止
3	深刻な影響	単一の死者または複数の重症者	複数日の停止
2	大きな影響	複数の負傷者又は重症者	一日までの停止
1	小さな影響	単一負傷者または複数の軽傷者	数分の停止

### 深刻度(SI, Severity index)の定義

FI	頻度	定義
7	頻繁	1隻において、月に1度発生
5	時々	10隻において年に1度発生
3	希な	1000隻において年に1度発生
1	非常に希な	全世界5000隻あったとして生涯中に1度発生

### リスクインデックス (Risk Index) の定義

		SI			
		1	2	3	4
FI	7	8	9	10	11
	5	6	7	8	9
	3	4	5	6	7
	1	2	3	4	5

- RIが8以上及び、SIが4のハザードを高リスクハザードとし、安全対策を検討





- 経済産業省委託事業として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、採鉱・揚鉱パイロット試験の稼働性評価、安全性評価等を実施した。
- 水深約1,600mの海底熱水鉱床を海水とともに連続的に洋上に揚げる世界初となる試験に成功した。
- 揚鉱母船の稼働性、揚鉱管挙動等に関して実海域試験にて取得した各種データとの比較を通じて、それらの評価手法を確立した。
- ハザードの抽出、取り纏めを行い、安全対策とその方法の検討を行った。
- 実海域試験により得られたインシデント情報から商用化に向けて注意すべきことを抽出し、安全ガイドラインに記載する項目として取り纏めた。
- 今後、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。