



第22回 海上技術安全研究所研究発表会



海底鉍物資源開発のための計画支援システムの開発

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

山本 譲司 中島 康晴 渡邊 充史 湯川 和浩 正信 聡太郎

- 海底鉍物資源開発の動向について
- 稼働性評価プログラムについて
- 経済性評価プログラムについて
- 成果の活用と今後の予定について
- まとめ

● 背景

- ✓ 低炭素・脱炭素を中心とする持続可能な社会への変革は、我が国における喫緊の課題。
- ✓ 海洋再生エネルギー開発、海運ゼロエミッション化等は、海洋・海事産業における重要な研究課題。
- ✓ 発電機、モーター、バッテリー等に不可欠な素材である銅やコバルト、レアアースなどの**希少金属（クリティカルメタル）**の確保が重要。
- ✓ 将来の金属鉱物資源として、**海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、マンガン団塊、レアアースを含む海底泥**といった**海底鉱物資源**の重要性が認識されている。

● 海洋基本計画（平成30年5月15日閣議決定）

〔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、技術開発等を実施。

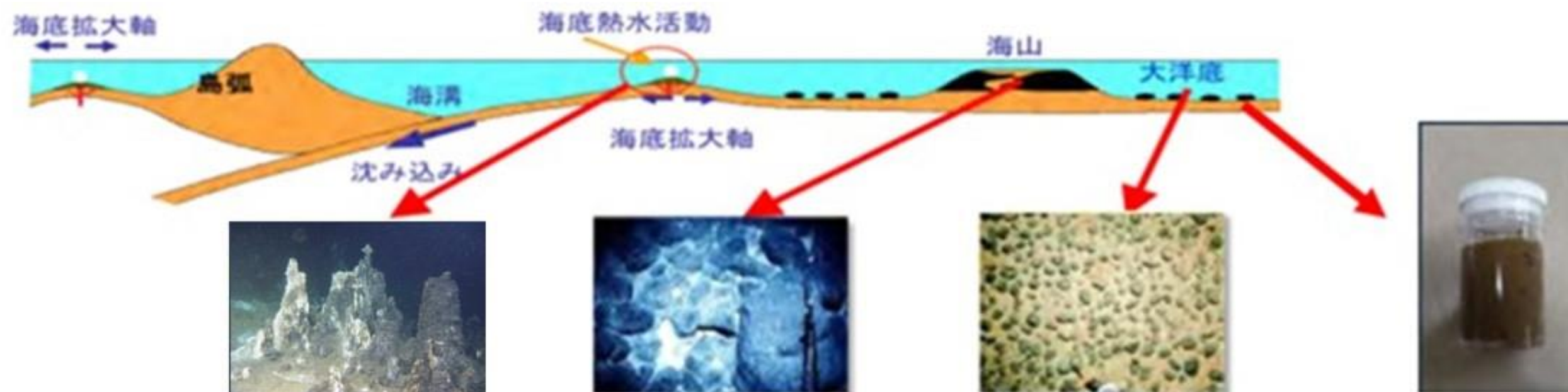
〔コバルトリッチクラスト〕

- ✓ 採鉱システム・揚鉱システムの概念設計の検討を実施。

〔レアアース泥〕

- ✓ SIP「革新的深海資源調査技術」において、広く海洋鉱物資源に活用可能な水深2,000m以深の海洋資源生産技術等の開発・実証に向けた取組を実施。

海底鉱物資源開発の動向について



	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

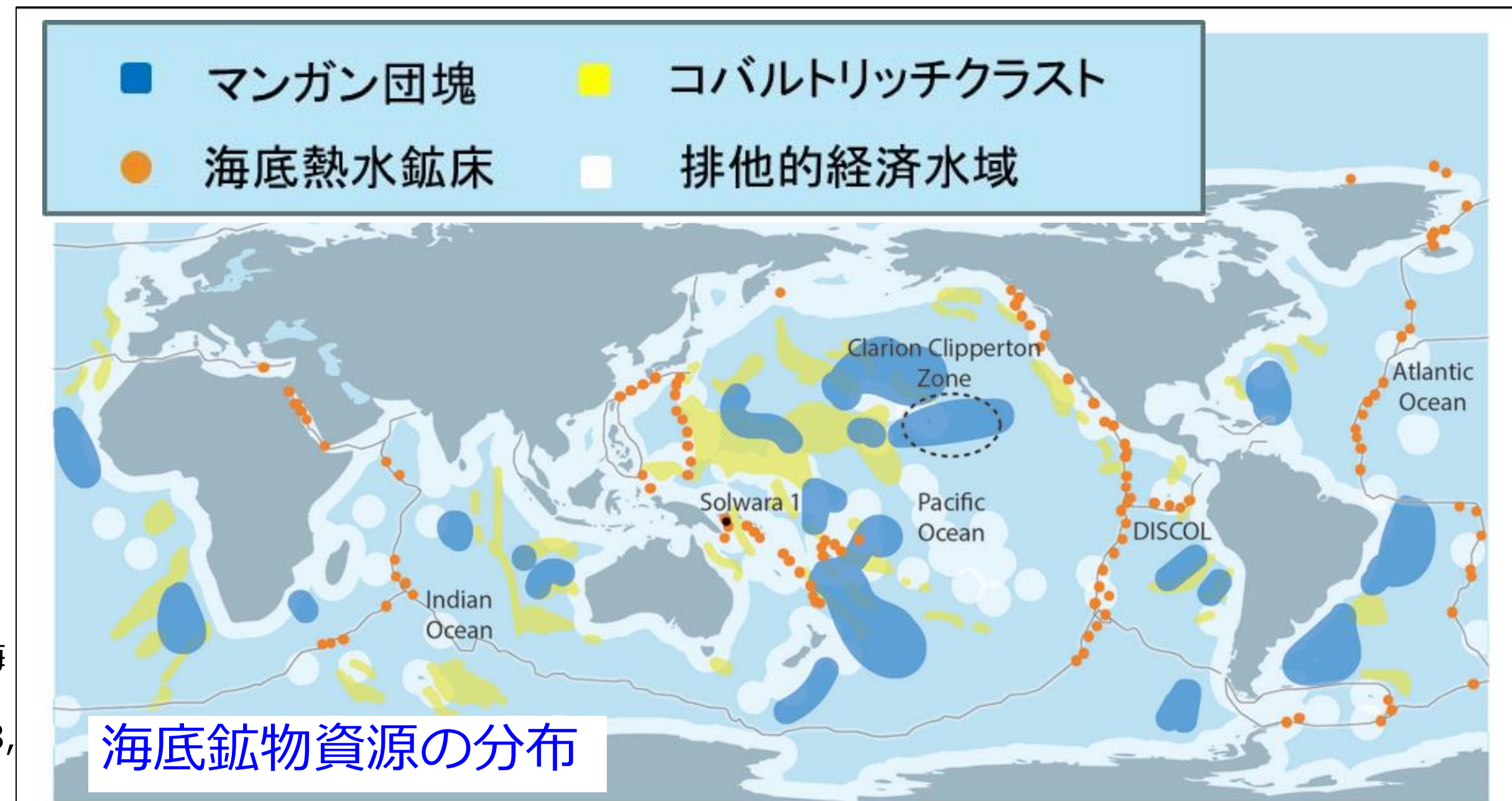
海底鉱物資源開発の動向について



- **日本**：海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験（2017）¹⁾や、コバルトリッチクラストの掘削試験を実施²⁾。また、レアアース泥開発のための揚泥性能試験を実施予定³⁾。
- **韓国、中国、インド**：2000年頃から、マンガン団塊の開発を目指す国家プロジェクトを実施中⁴⁾。
- **欧州連合（EU）**：マンガン団塊の開発を目指すプロジェクト（Blue Mining）を実施（2014～18）⁵⁾。
- **ノルウェー**：石油・ガス分野の技術的蓄積を活用し、海底鉱物資源の開発を目指すプロジェクト（MarMine）を実施中⁶⁾。

出典：

- 1) 山路ほか, J. MMIJ, vol.135, pp.42-51, 2019
- 2) JOGMEC NEWS RELEASE, 世界初、コバルトリッチクラストの掘削試験に成功, 2020/8/21
- 3) 内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局, 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）革新的深海資源調査技術 研究開発計画, 2021/5/26
- 4) S. Kim, et al., Ocean Eng., vol.171, pp.131-138, 2019
- 5) BLUE MINING, 2018
- 6) B. Snook, et al., Minerals, vol.8, article 576, 2018



（出典：K. A. Miller, et al., Frontiers in Marine Science, vol. 4, article 418, 2018）

● 2030年に向けた海洋開発系の長期ビジョン

目標

- ✓ 海底資源開発技術のCenter of Excellence (CoE) の地位を確立する。

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〕

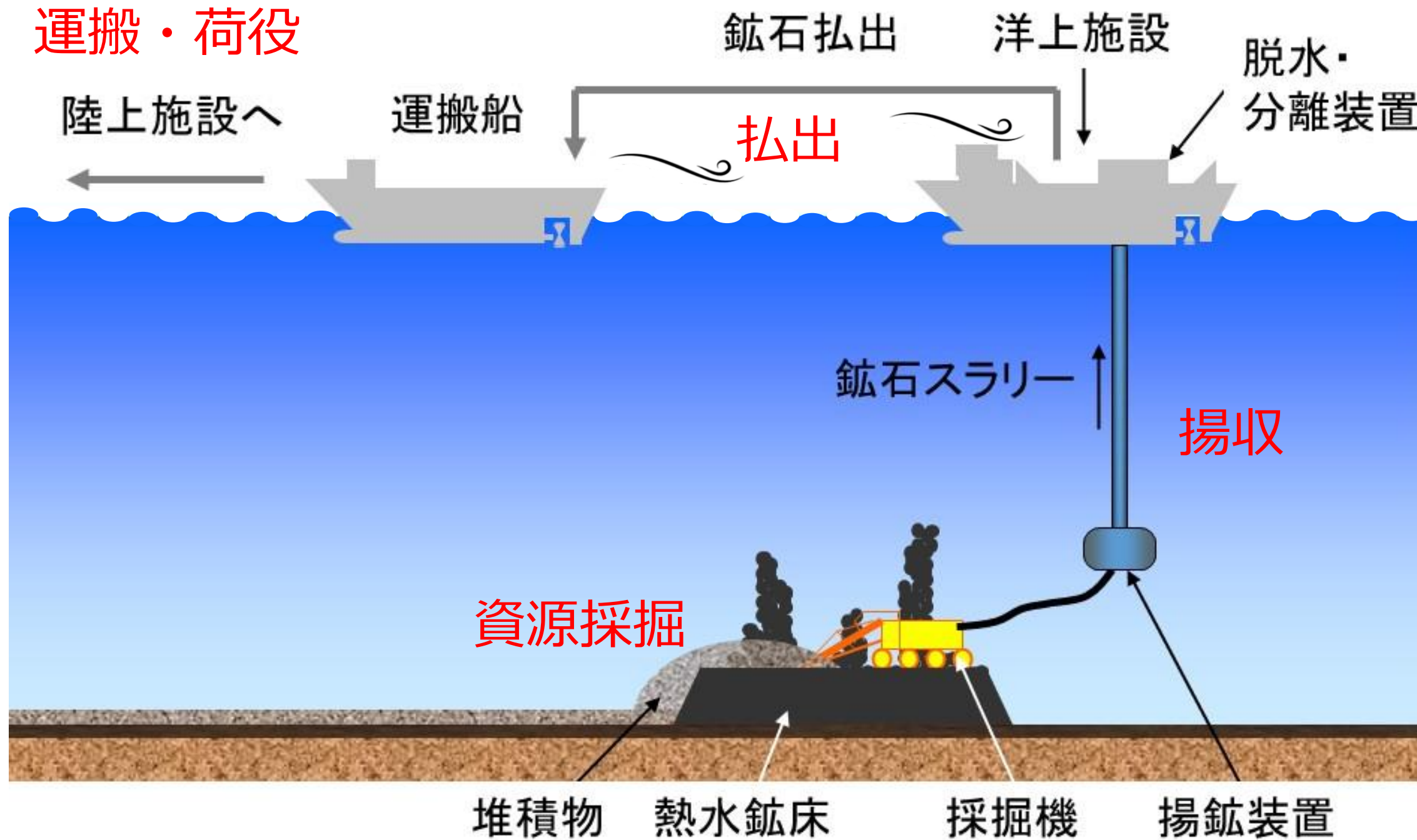
- ✓ 浮体、位置保持（係留、Dynamic Positioning System (DPS)）、ライザー、サブシー等の安全性・稼働性評価及び設計支援
- ✓ 全体システム等の安全性・稼働性評価及びプロジェクトの認証支援、計画支援。

✓ 開発支援システムの開発

簡易的な運用

✓ 稼働性評価プログラムの開発

✓ 計画支援プログラムの開発（経済性評価）

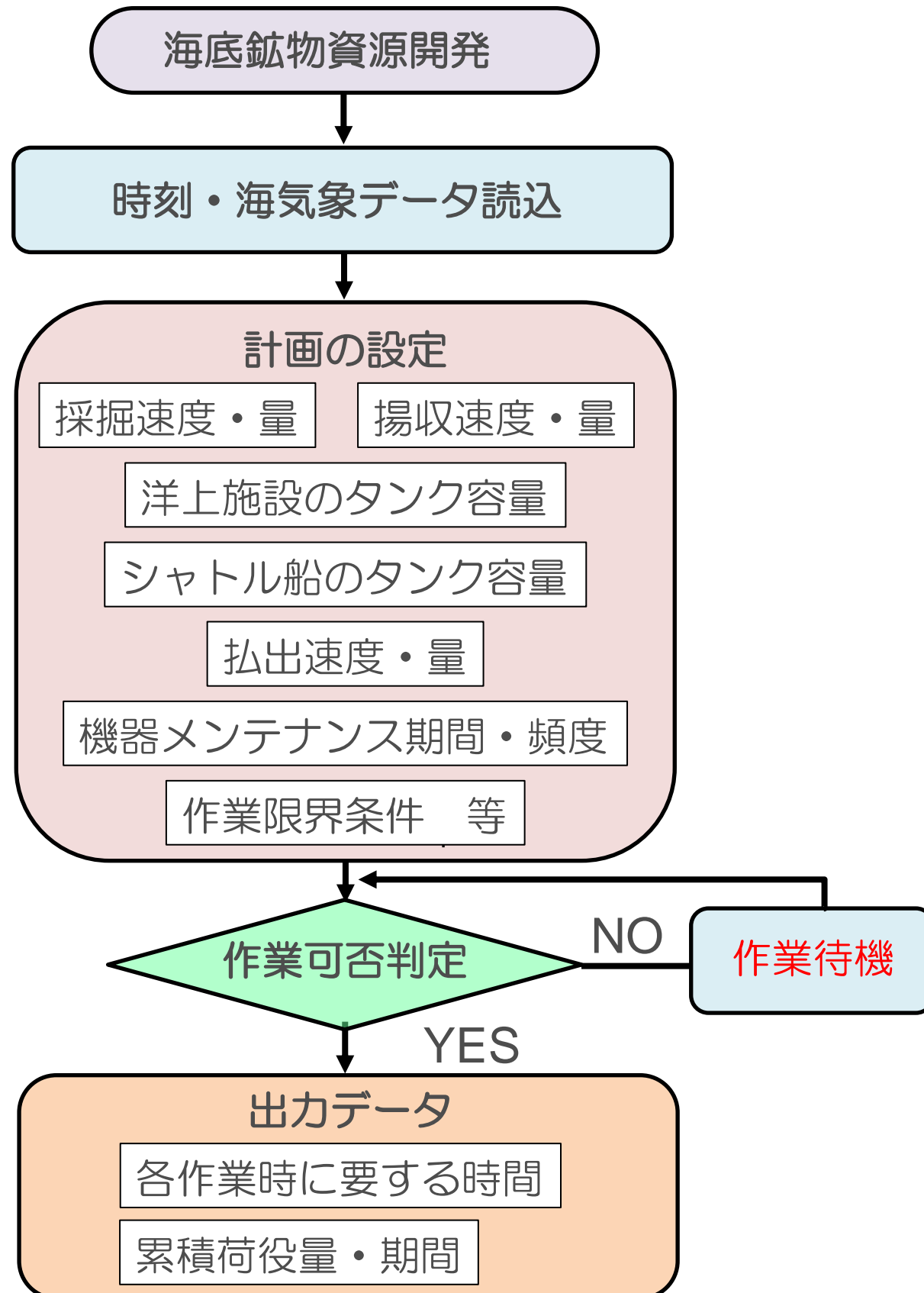


海底熱水鉱床開発事業の構成例

● プログラム開発のコンセプト

- ✓ 開発海域の海気象特性を考慮し、開発事業の稼働率や事業を構成する各開発作業に要する時間を算定するツール。
- ✓ 採掘から荷役完了までの期間を提示。
- ✓ 簡易的に運用できるようにマイクロソフト社EXCEL VBAで作成。

● フローチャート



● 海気象データ

- ✓ 波高・風速データを使用。
- ✓ 読込形式に倣いデータを作成し使用。
- ✓ 一般財団法人日本気象協会が提供する1時間毎の波高・風速情報を読み込むことも可能。

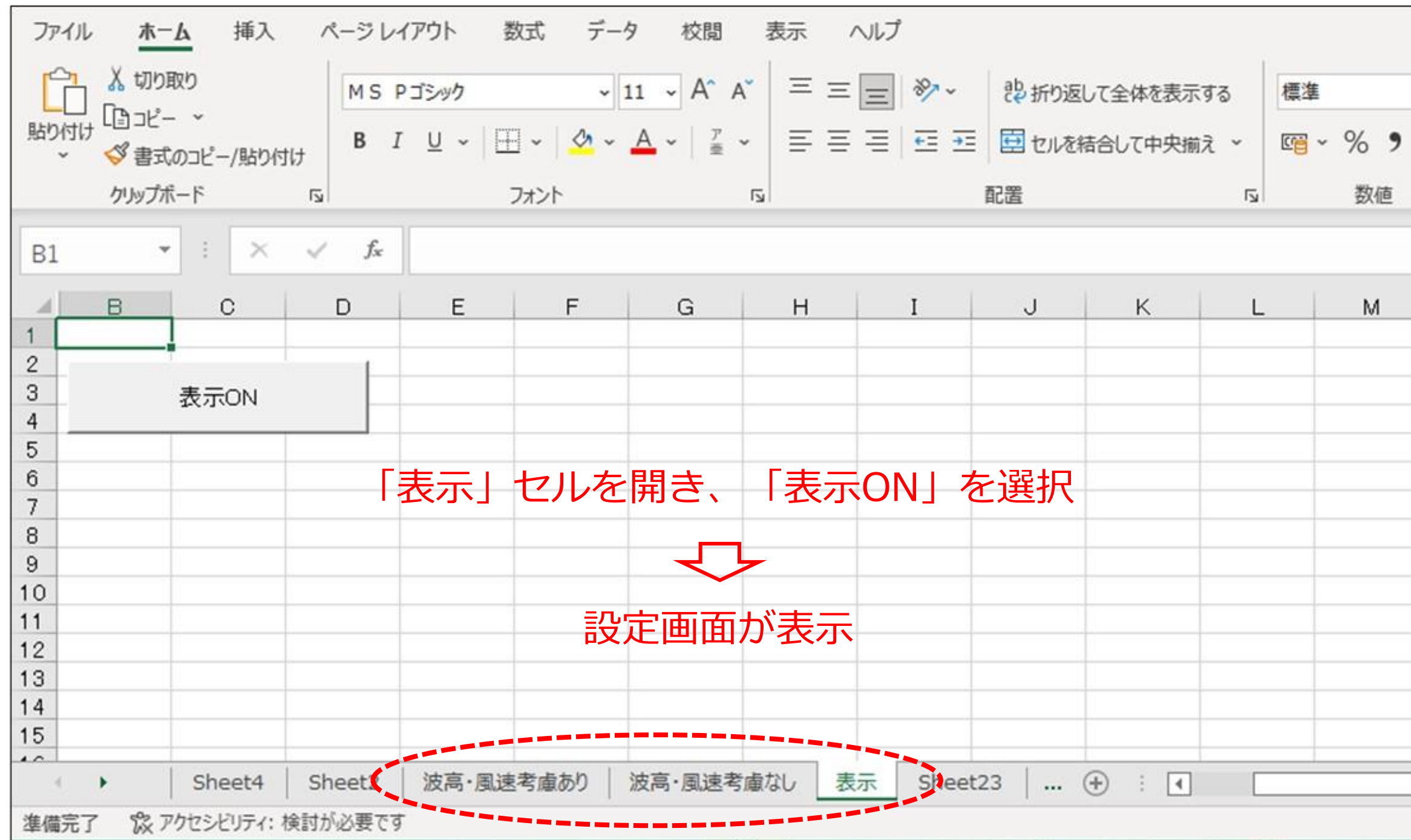
● 作業限界条件

- ✓ 採掘機器等の投入及び揚収時の限界波高・風速。
- ✓ シャトル船の接舷及び離舷時の限界波高・風速。
- ✓ シャトル船への払出時の限界波高と風速。
- ✓ シャトル船の出入港の制限時間帯。

● 作業可否判定

- ✓ 洋上施設のタンク容量を超える前に、採掘・揚収作業を停止する。
- ✓ 洋上施設のタンク貯蔵量が毎時払出量よりも少なくなった場合は、払出を中止し、シャトル船は想定母港へと向かう。
- ✓ シャトル船の出港判断は、洋上施設への離接舷時間、洋上施設からの払出時間を確保した上で離接舷が可能な海気象条件であること。

●プログラムの起動



- ✓ 「表示」セル：プログラムの起動
- ✓ 「波高・風速考慮あり」セル：海気象を考慮した条件での結果を表示
- ✓ 「波高・風速考慮なし」セル：海気象を考慮しない条件での結果を表示

起動画面

稼働性評価プログラムについて



● 海気象データの読込、計画設定

海域・解析年 海気象データ参照先フォルダ C:\JOB\2022年度\講演・学会・セミナー・研修\海技研発表会\F 解析海域 a:伊是名 解析開始年 2015 解析開始月 4 解析終了年 2015 解析終了月 5	母船システム 母船タンク容量(t) 5000 母船タンク貯蔵量初期値(t) 0 定期検査開始月 4 定期検査開始日 1 定期検査継続時間(days) 27 払出し速度(t/h) 2000 払出し限界波高(初盤) 3.0 払出し限界波高(中盤) 3.0 払出し限界波高(終盤)(m) 3.0 払出し限界風速(m/s) 15.0 払出し待機時離舷可否 12 天気予報(h) 200 避候地までの航行距離(km) 航行速度(km/h) 20	洋上施設に関する設定
揚鉤システム 揚鉤時限界波高(m) 4.0 揚鉤時限界風速(m/s) 15.0 揚鉤速度(t/d) 5000 揚鉤継続可否判断時刻1 7 揚鉤継続可否判断時刻2 16 揚鉤継続可否天気予報(h) 48 揚鉤可能鉤石総量(t) 9000000	シャトル船システム シャトル船タンク容量(t) 41000 接舷時限界波高(m) 3.0 接舷時限界風速(m/s) 15.0 離舷時限界波高(m) 3.0 離舷時限界風速(m/s) 15.0 接舷時天気予報(h) 48 航行距離(km) 1000 航行速度(km/h) 20 日の出時間 6 日没時間 18 シャトル船隻数 1 荷役速度(t/h) 2000	シャトル船・荷役に関する設定

実行

海気象データファイル、海域、使用期間の選択

採掘・揚鉤に関する設定

シャトル船・荷役に関する設定

設定画面

稼働性評価プログラムについて

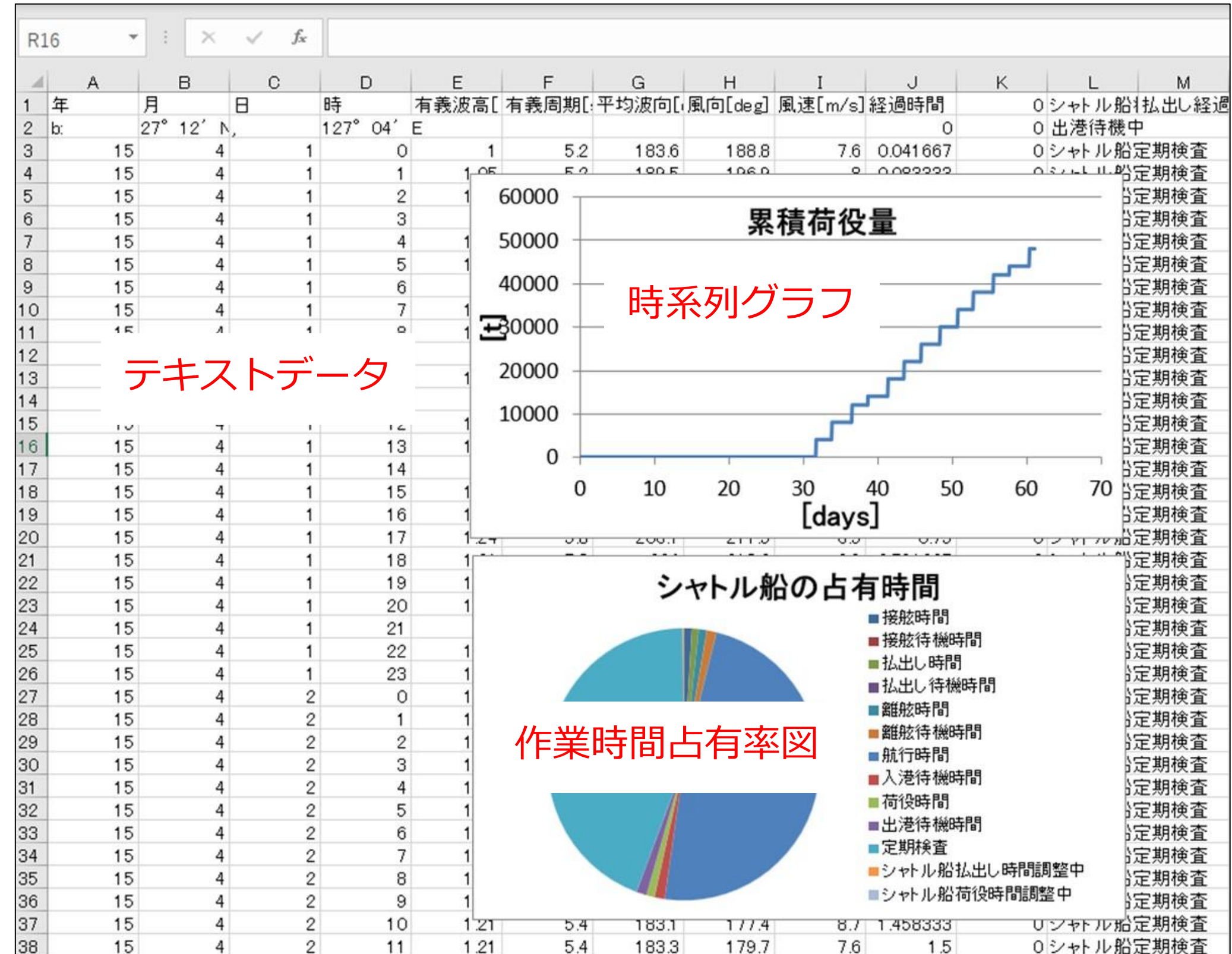


● 出力情報

- ✓ 時間毎の採掘量, 揚収量, 払出量, 荷役量, タンク貯蔵量
- ✓ 採掘に係る作業状況
(採掘中, 待機中, メンテナンス中)
- ✓ 洋上施設の作業状況
(揚収中, 待機中, メンテナンス中)
- ✓ シャトル船の作業状況
(航行中, 待機中, 払出中)
- ✓ 累積揚収量, 累積荷役量

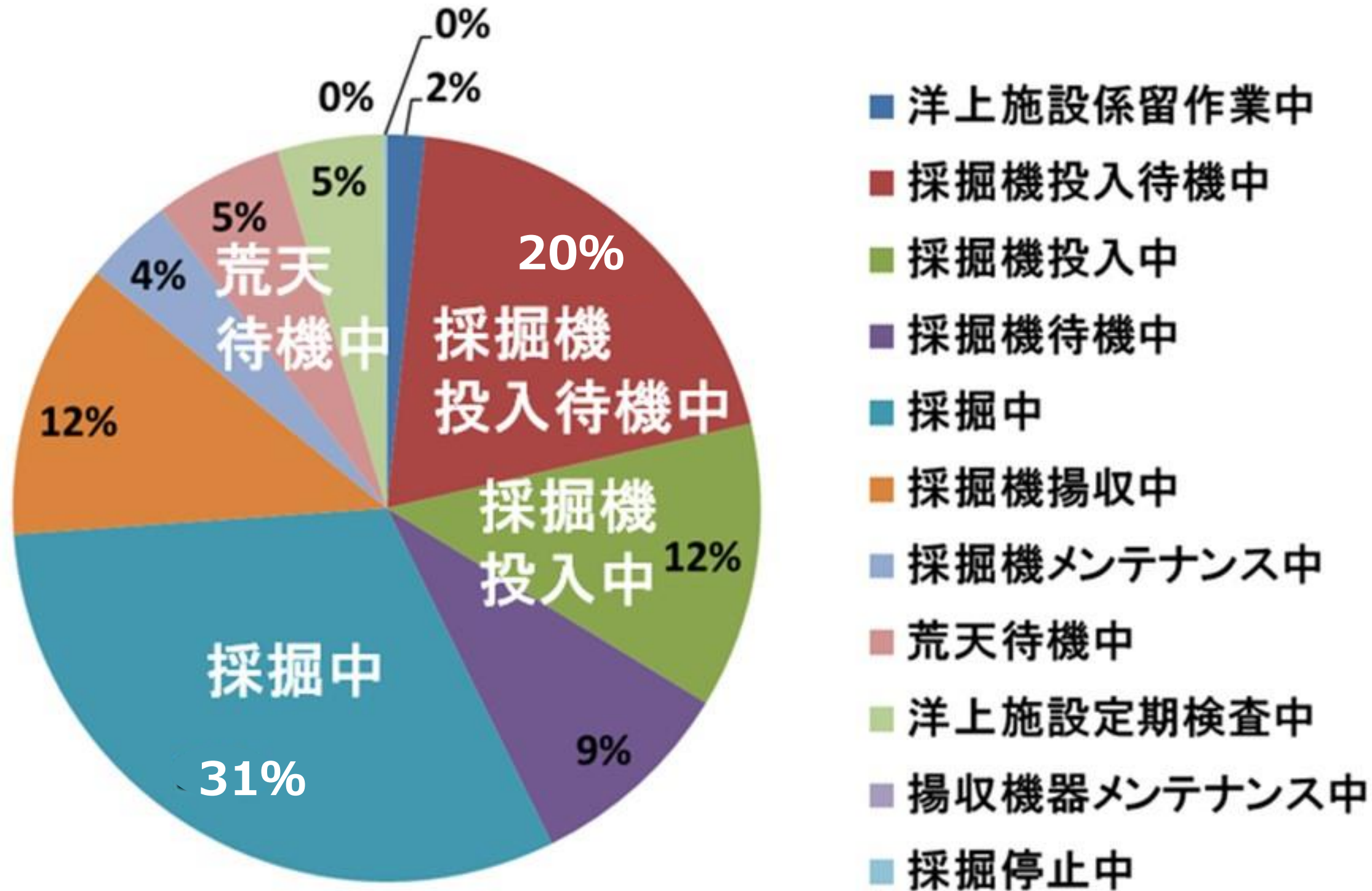
● 出力形式

- ✓ テキストデータ
- ✓ 時系列グラフ
- ✓ 作業時間占有率図



結果出力画面

● 使用事例 1

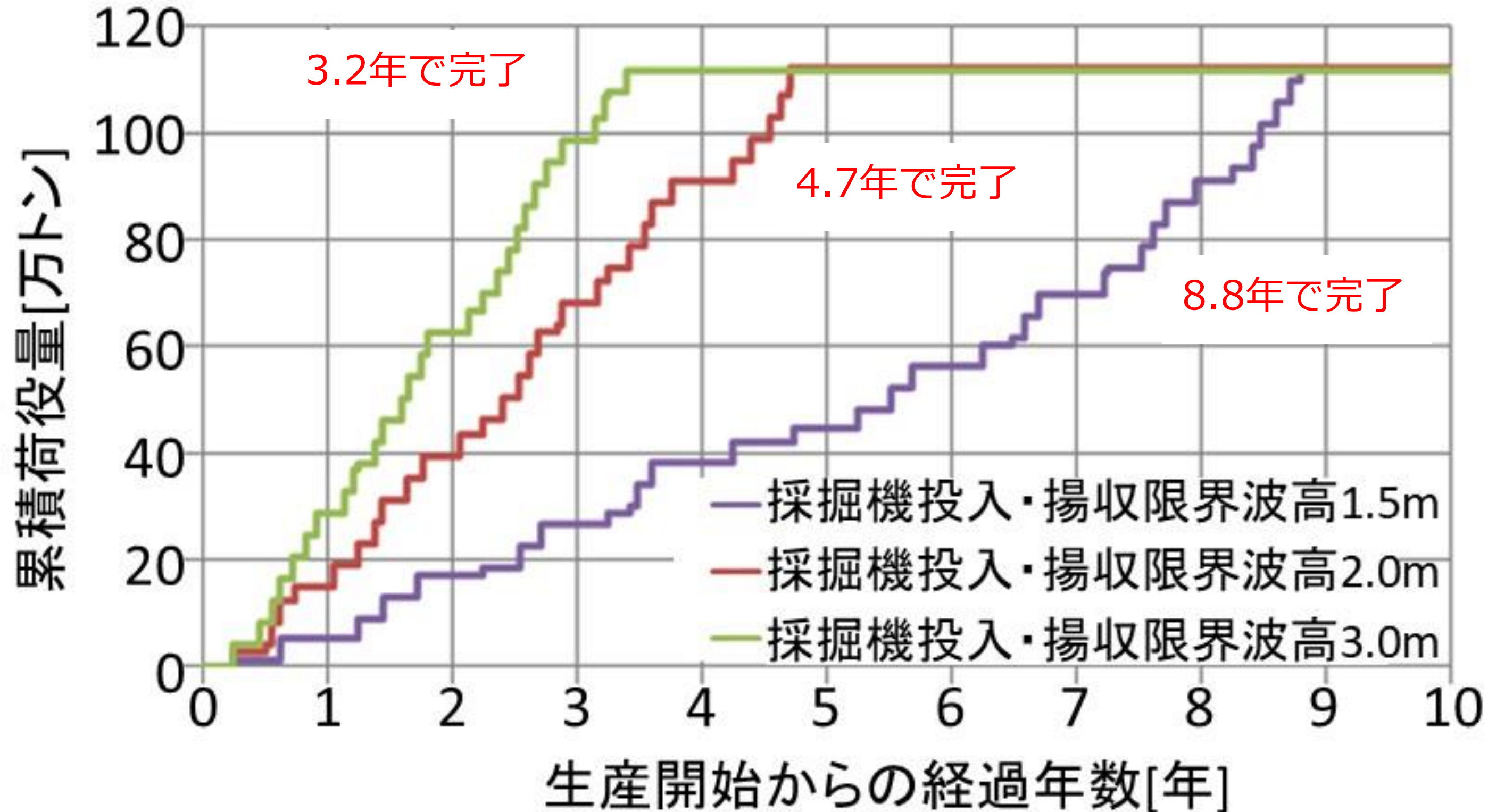


✓ 採掘・揚収・洋上施設・シャトル船（荷役作業も含む）に係る作業について作業時間の占有率図を作成。



稼働効率を上げるための検討の優先項目を洗い出すことができる。

● 使用事例2



採掘機投入・揚収時の限界波高条件に伴う比較

● プログラム開発のコンセプト

- ✓ 海底鉱物資源開発事業の経済性を簡易的に評価する解析・評価ツール。
- ✓ ユーザーサイドから見た使い勝手の向上を目指す（多くの設定値をユーザーが調節可能）。
- ✓ 現在のバージョンでは海底熱水鉱床とコバルトリッチクラストの資源データを収録。
- ✓ 水深データ、気象・海象データ等も収録。

以下、本プログラムの説明では、洋上施設のことをプラットフォームと呼称。

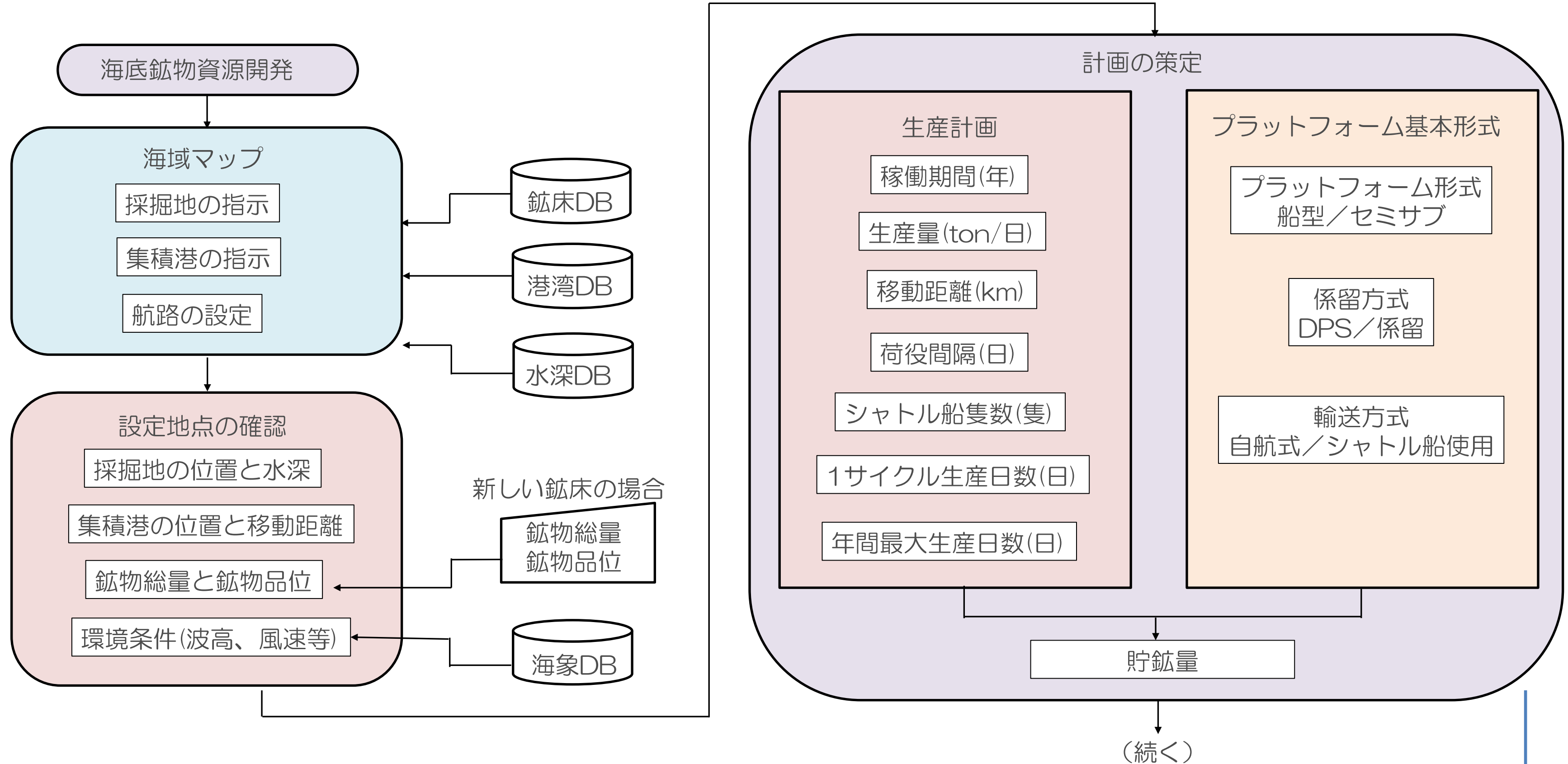


起動画面

計画支援（経済性評価）プログラムについて



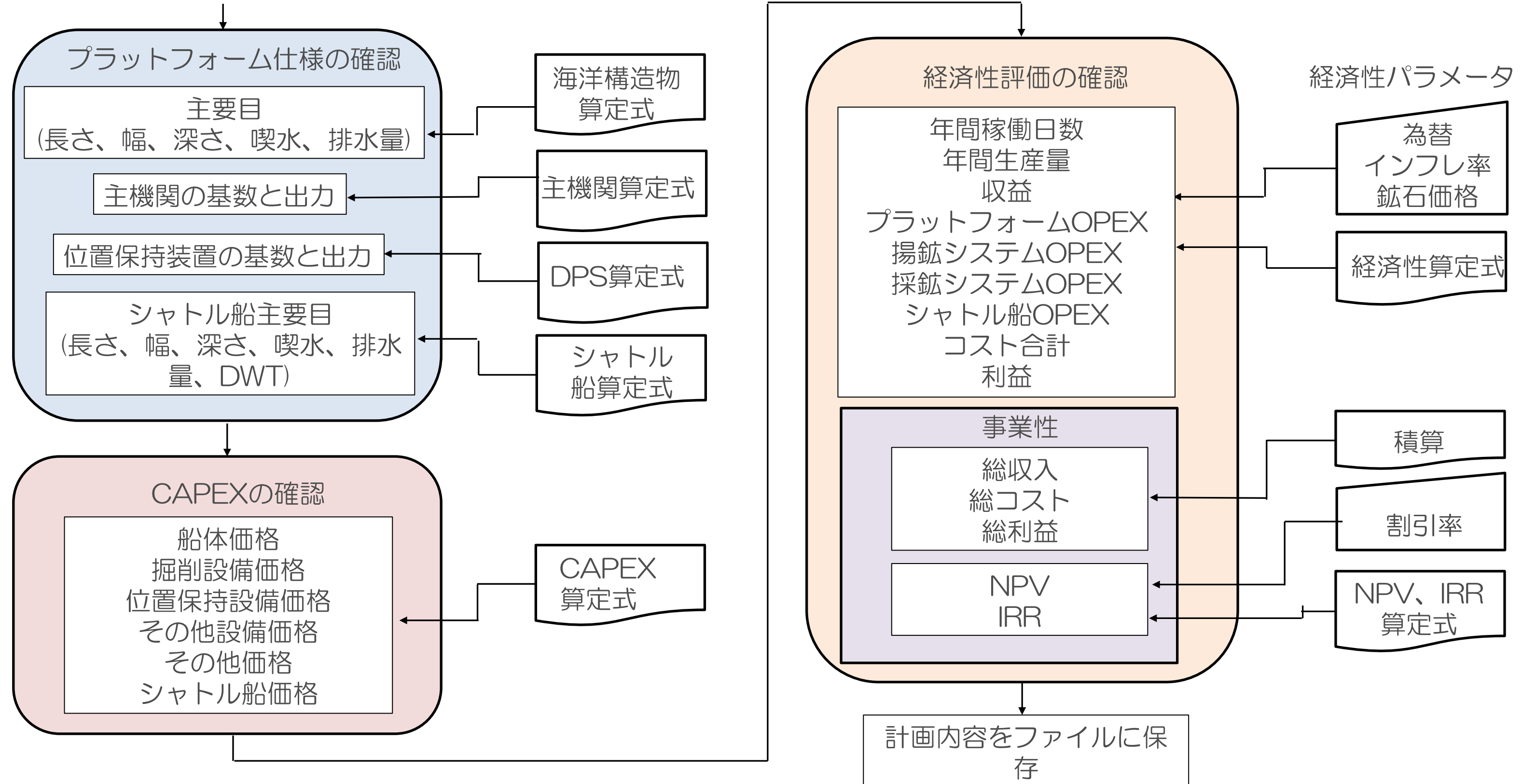
● フローチャート



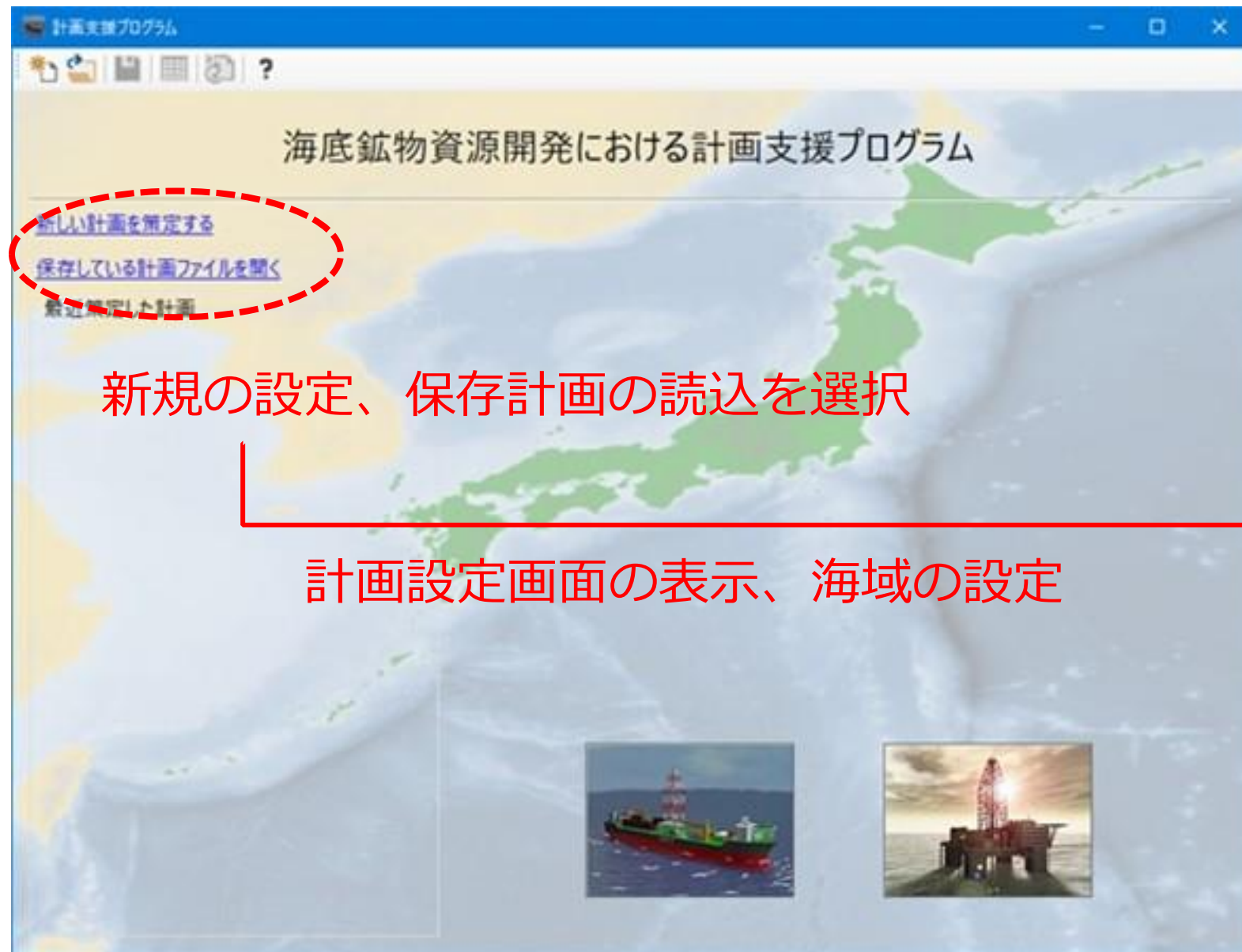
計画支援（経済性評価）プログラムについて



● フローチャート



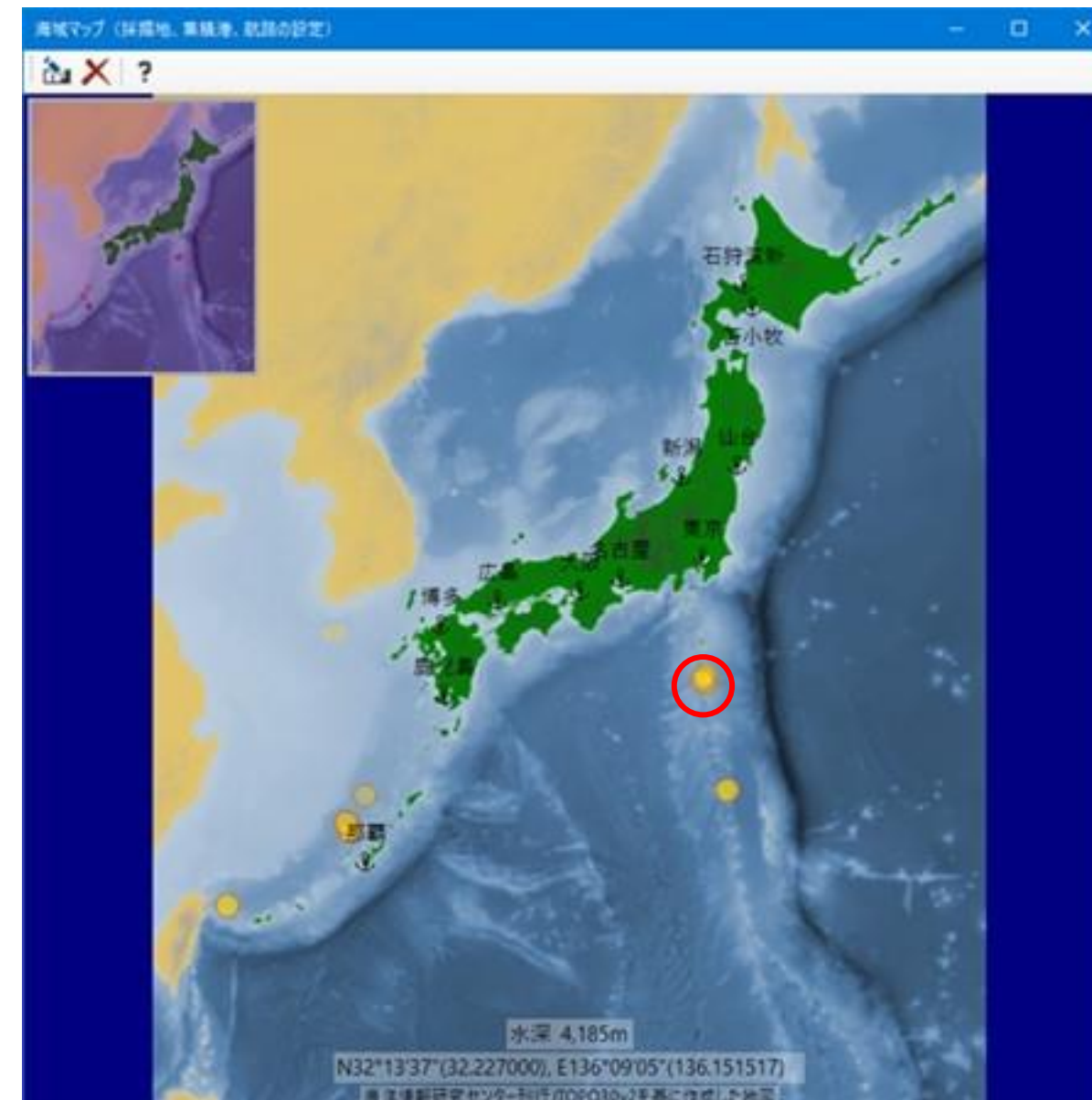
●プログラムの起動と海域設定



新規の設定、保存計画の読込を選択

計画設定画面の表示、海域の設定

起動画面



海域設定画面

- ✓ 海域マップ上で採掘地、集積港を選択。
- ✓ 航路は自動で設定。
- ✓ 資源データが収録されている地点は○印で表示（図中赤丸）

計画支援（経済性評価）プログラムについて



● 計画設定とプラットフォームの仕様

- ②採掘地、集積港、水深、移動距離が反映
- ①海域設定

計画設定画面

PF仕様画面（自動設定）

計画支援（経済性評価）プログラムについて



● 海域環境表示と結果画面

計画設定 プラットフォーム仕様 CAPEX 経済性評価 環境条件

波高	<input type="text" value="2.3"/>	m	再現期間	平均
波周期	<input type="text" value="17.82"/>	s		20年
風速	<input type="text" value="32.4"/>	m/s		50年
表層流速	<input type="text" value="2.42"/>	m/s		100年

再現期間

- 平均
- 10年
- 20年
- 30年
- 40年
- 50年
- 60年
- 70年
- 80年
- 90年
- 100年

採掘地の海気象情報を表示

計画設定 プラットフォーム仕様 CAPEX 経済性評価 環境条件

CAPEX概要 (MMS)		CAPEX詳細 (MMS)	
船体価格	<input type="text" value="102.9"/>	主船総計	270.8
掘削設備	<input type="text" value="101.3"/>	船体価格	102.9
位置保持設備	<input type="text" value="24.2"/>	Hull	48.5
その他設備	<input type="text" value="17.8"/>	Accommodation	5.0
その他	<input type="text" value="24.6"/>	Steel Works	4.9
総計	<input type="text" value="270.8"/>	Geotechnical	1.6
シャトル船	<input type="text" value="27.5"/>	Electric system	10.7

CAPEX内訳表示

掘削設備	101.3
位置保持設備	24.2
その他設備価格	17.8
その他	24.6
シャトル船	27.5

CAPEX表示

CAPEX画面

計画支援（経済性評価）プログラムについて



● 経済性評価画面

経済性評価に関する指標：

- ✓ プラットフォーム等の設備投資費用 (CAPEX)
- ✓ プラットフォーム等の運営費 (OPEX)
- ✓ 総収入
- ✓ 総コスト
- ✓ 総利益
- ✓ 正味現在価値 (NPV) :
投資の採算性を示す指標 (回収額-投資額)
- ✓ 内部収益率 (IRR) :
投資の収益性・効率性を測る指標
(早期に投資額を回収できる程IRRは高くなる)

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	110.0	円/\$	インフレ率	0.5	%	鉱石価格	300.0	\$/ton		
	単位	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	
年間稼働日数	日	360	360	345	360	330	360	360	345	
年間生産量	ton	432,000	432,000	414,000	432,000	396,000	432,000	432,000	414,000	4
収益	MMS\$	129.6	130.2	125.4	131.6	121.2	132.9	133.5	128.6	
プラットフォーム CAPEX	MMS\$	270.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
プラットフォーム OPEX	MMS\$	41.6	41.8	44.2	42.2	48.2	42.7	42.9	45.3	
揚鉱システム CAPEX	MMS\$	44.4						0.0	0.0	
揚鉱システム OPEX	MMS\$	4.4						4.6	4.6	
採鉱システム CAPEX	MMS\$	45.6	vv	vv	vv	vv	vv	0.0	0.0	
採鉱システム OPEX	MMS\$	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	
シャトル船 CAPEX	MMS\$	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
シャトル船 OPEX	MMS\$	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	
コスト合計	MMS\$	65.1	65.3	67.7	65.8	71.9	66.3	66.6	69.1	
利益	MMS\$	64.5	64.9	57.7	65.7	49.3	66.5	66.9	59.5	

年毎の収益・CAPEX・OPEX

事業性		総収入・総コスト			NPV・IRR		
総収入	2,159 億円	総計	909 億円	NPV	7 億円	割引率	12.0 %
総コスト	1,250 億円			IRR	12.4 %		

経済性評価画面

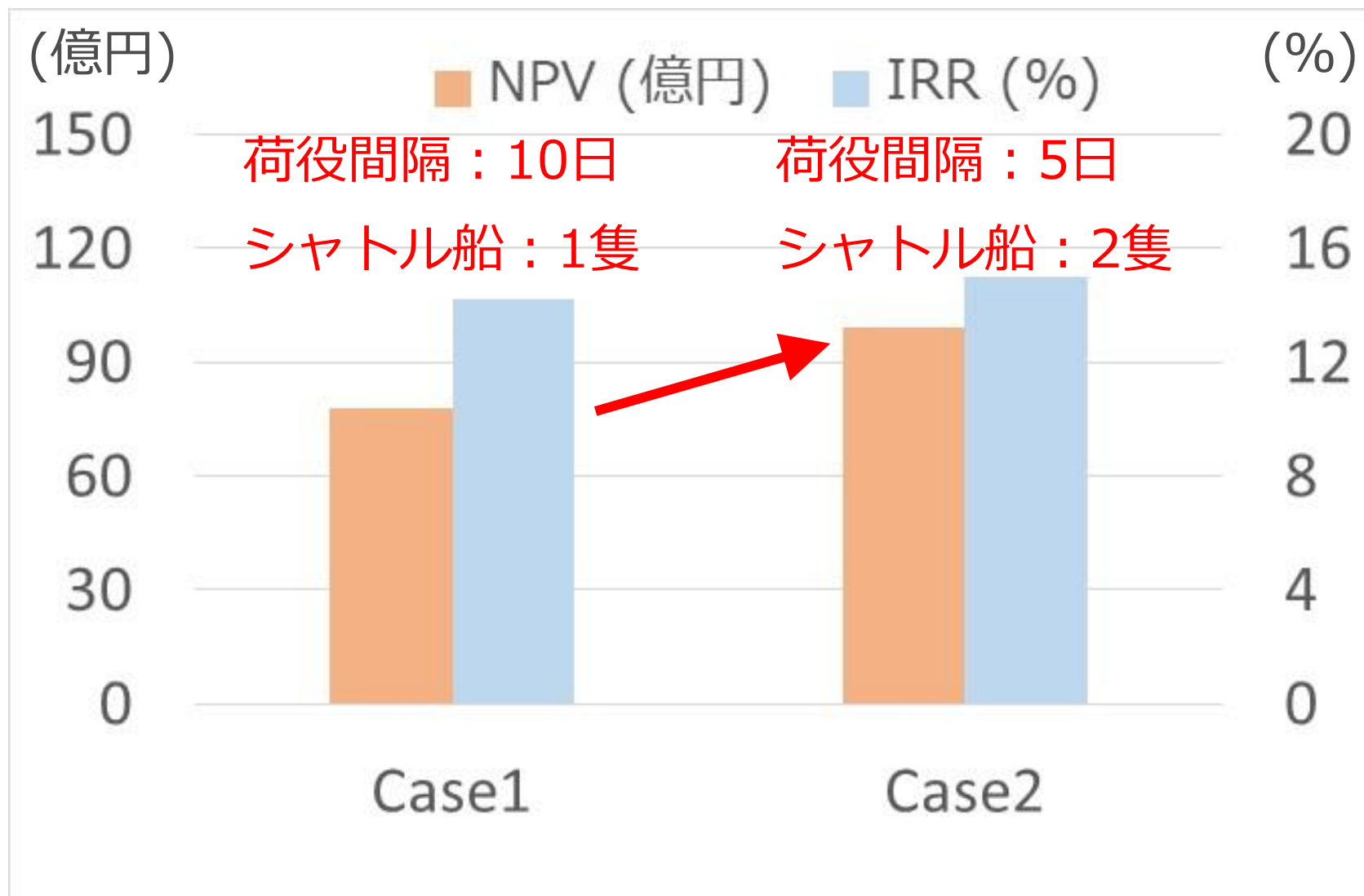
- 収益やOPEXは年単位で表示。
- 為替レート、インフレ率、割引率等はユーザーが変更可能。

● 使用事例

- ✓ Case_1を基準ケースとして、
輸送条件、稼働効率を変更した
場合の正味現在価値（NPV）及
び内部収益率（IRR）を比較

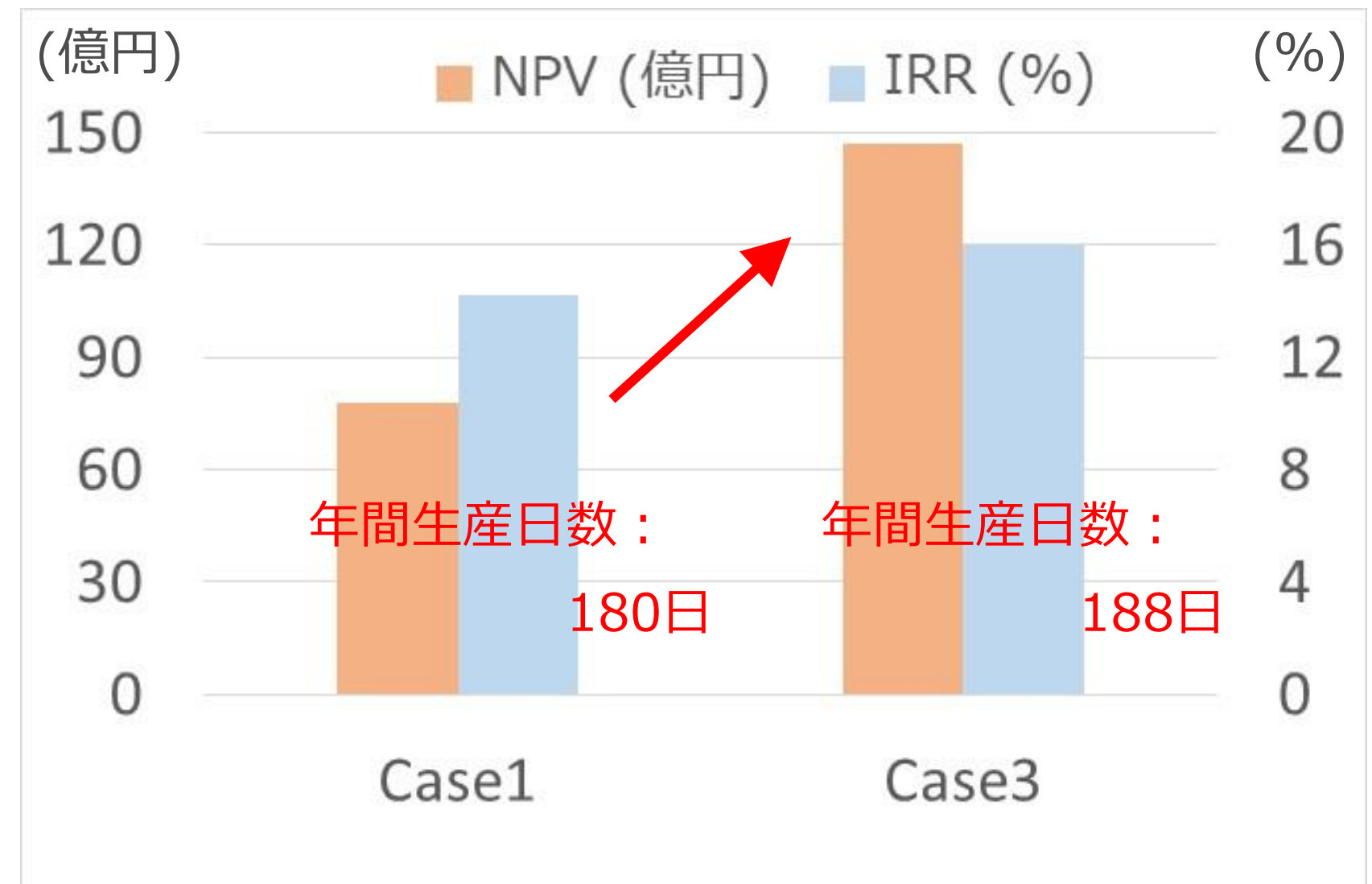
	Case_1	Case_2	Case_3
鉱物総量 (万ton)	900	900	900
生産量 (ton/day)	4,800	4,800	4,800
荷役間隔 (day)	10	5	10
シャトル船の隻数	1	2	1
年間生産日数 (day) (年間稼働日数)	180	180	188
	基準ケース	輸送条件を変 更	年間生産日数 を変更

● 使用事例



輸送条件を変更した場合の変化

荷役間隔変更によりPFの貯鋳量減少→PFサイズダウン→PFのコスト減少→経済性指標向上
 (シャトル船1隻分のコストは増加)



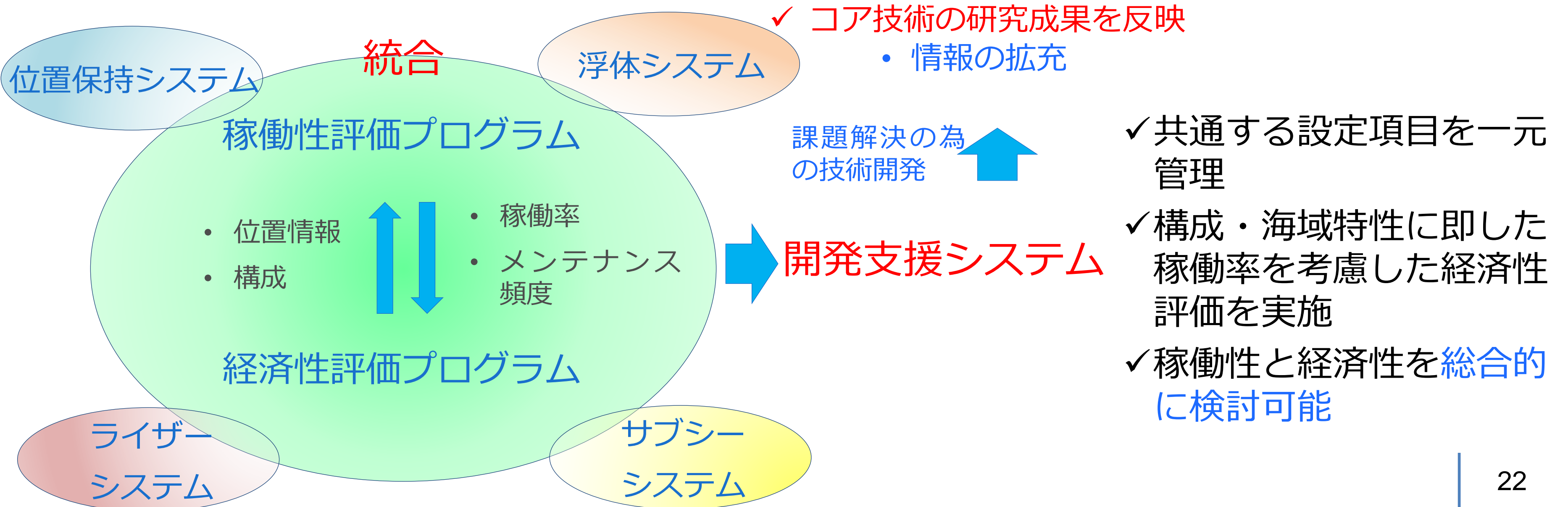
年間稼働日数を変更した場合の変化

年間稼働日数を向上できれば、経済性は向上
 (但し、稼働率向上に要する設備投資等との関係により効果は異なる)

● 成果の活用

- ✓ 開発したプログラムのもとに、海洋資源開発のナショナルプロジェクトにて、事業対象に即した構成、運用方法に変更・追加し利用。

● 今後の予定



- ✓ 現在、輸入に依存しているレアメタル等の希少鉱物資源について、経済安全保障の観点から、EEZ内に賦存する海底鉱物資源を採取・回収することが検討されている。
- ✓ 海底鉱物資源開発は国際的にも注目を集めており、海底熱水鉱床を皮切りとして、コバルトリッチクラストやマンガン団塊の開発に向けた動きも促進されている。
- ✓ 当所では、海底鉱物資源の開発に資することを目的として、海底鉱物資源の開発事業における稼働性及び経済性を評価できる開発支援システムの開発を進めている。
- ✓ 今後も、コア技術の研究を進めるとともに、国家プロジェクト及び本邦企業の技術支援を実施していく所存です。

本研究の実施にあたりご協力いただいた当所海洋開発系非常勤職員の阿部徹氏にお礼申し上げます。

海底鉱物資源開発のための計画支援システムの開発



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

