

背景（1）

- 現時点、日本は必要な金属資源のほぼ**全量**を海外に依存。

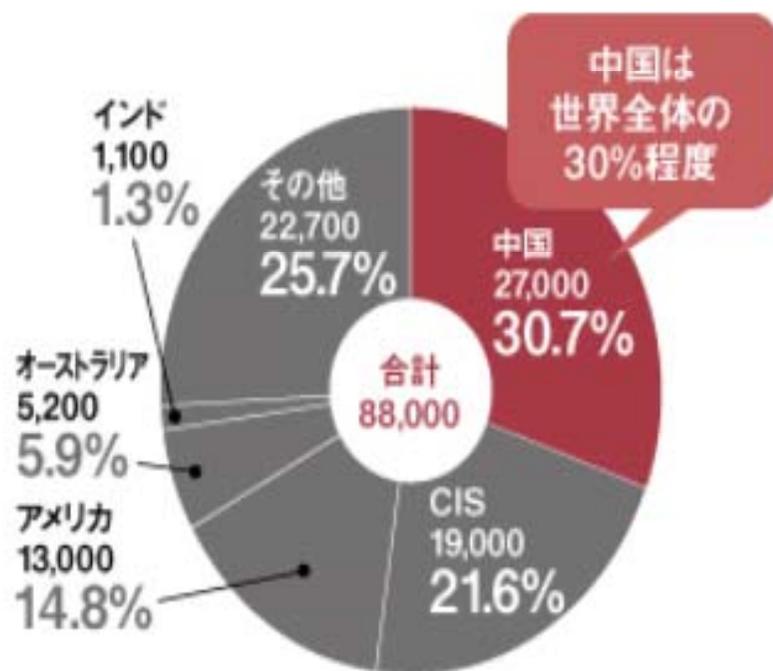


* JOGMECの資料より抜粋

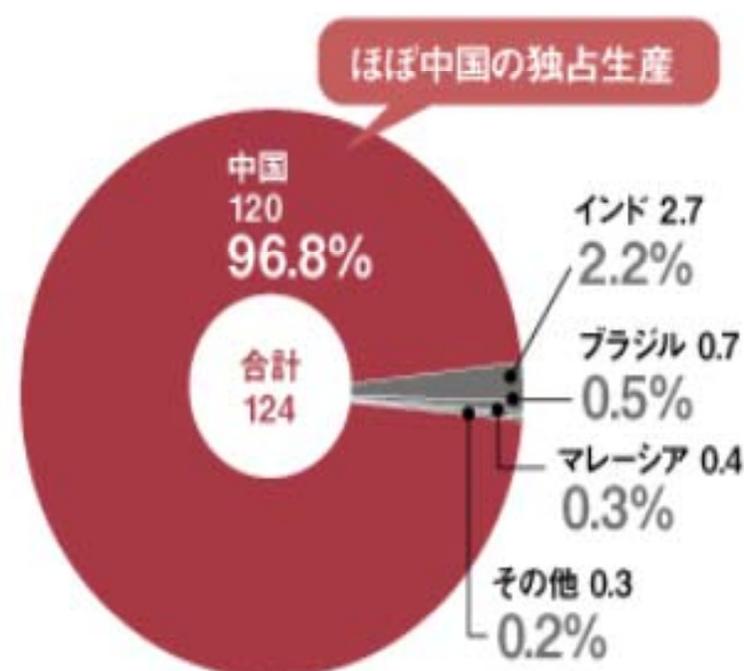
- 日本の金属資源主要輸入先（2011年）

背景（２）

- 特にレアアースは中国等の少数の資源国に集中しているため、**資源の安定供給に問題があり、価格変動が大きい。**



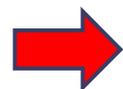
レアアースの埋蔵量
(酸化物量) 単位：千トン



レアアースの生産量
(酸化物量) 単位：千トン

背景（3）

- 陸上鉍物資源開発は需要増加のために低品位化、奥地化、高地化、困難化して、**開発コストが増加**、鉍山周辺の環境負荷は増加などの多くの問題がある。
- 海洋鉍物資源の日本の潜在資源量は、**海底熱水鉍床は世界第1位、コバルトリッチクラストは世界第2位**また、日本の南鳥島にはレアアースを多く含んだ泥が発見された。



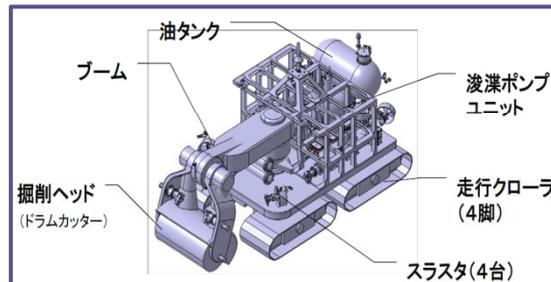
コスト面、環境面などを考慮して、輸入だけに頼らず、自国供給路線を考え、陸上鉍物採掘から海洋鉍物採掘にシフトしていくべき

目的

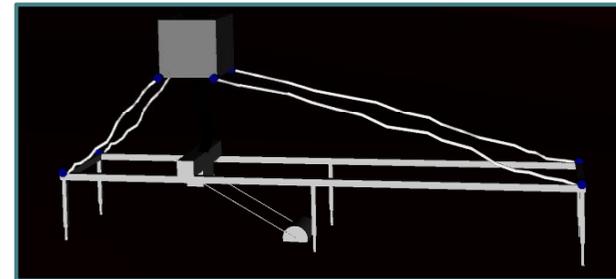
- ①環境に優しい
- ②掘削・輸送の効率が良い
- ③メンテナンス性

を考慮した新たな海洋資源（ベース・レアメタル）採掘法
を検討する。

従来のシステム



本研究のシステム



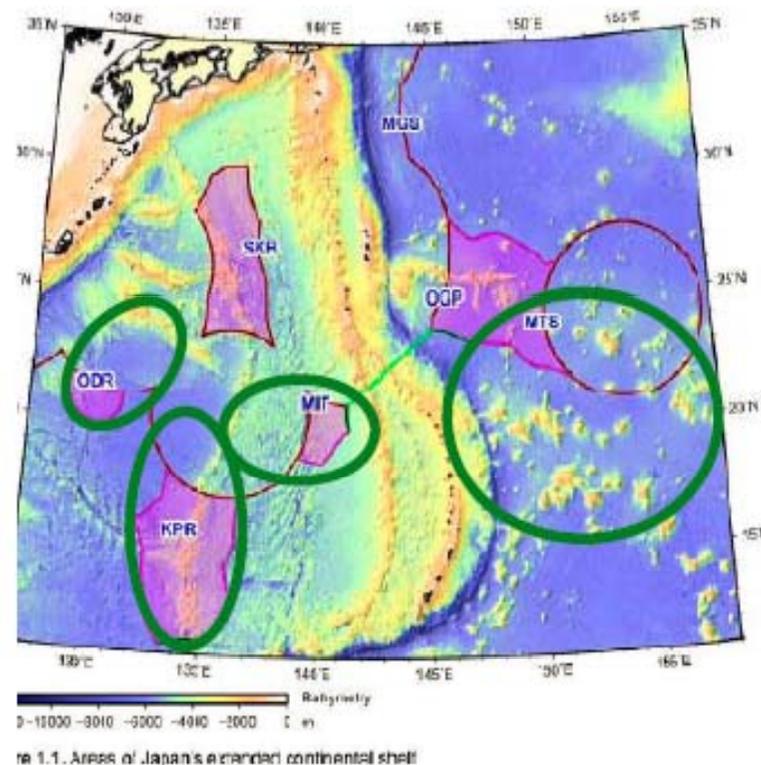
そして、日本が商業的な面においても、
自国で資源を採掘できるように検討する。

海底資源の可能性について (1)



● = 海底熱水鉱床が発見されている主な場所

上: 海底熱水鉱床賦存海域 ●
右: コバルト・リッチ・クラスト有望海域 ○



*日本がリードする海底資源開発より抜粋

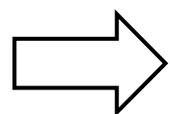
潜在資源量は、海底熱水鉱床は**世界第1位**、
コバルトリッチクラストは**世界第2位**

海底資源の可能性について（2）

日本のEEZ内の海底資源の推定賦存量

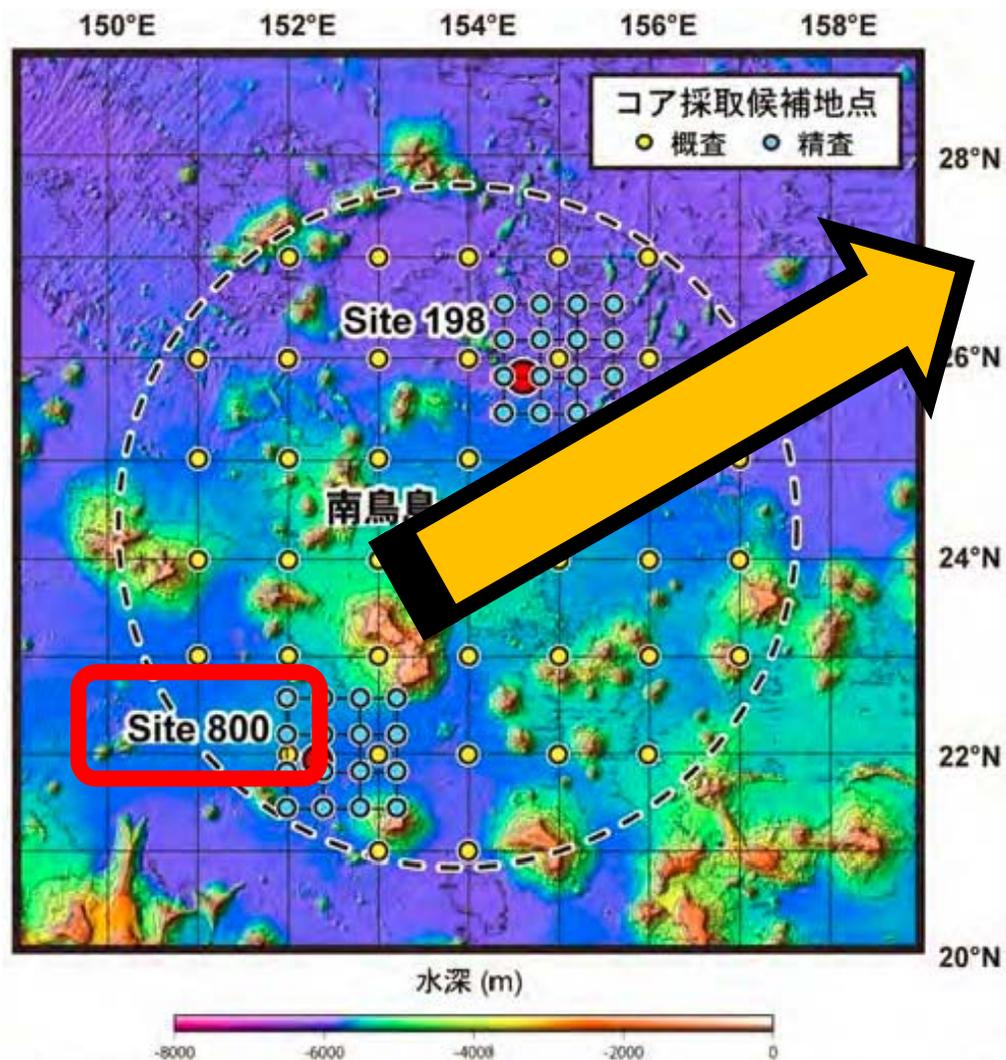


*日本がリードする海底資源開発より抜粋



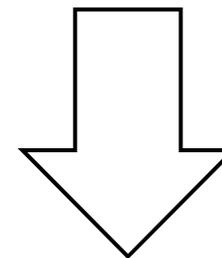
回収推定額は180兆円以上

海底資源の可能性について (3)



Kato et al., *Nature Geoscience* (2011)

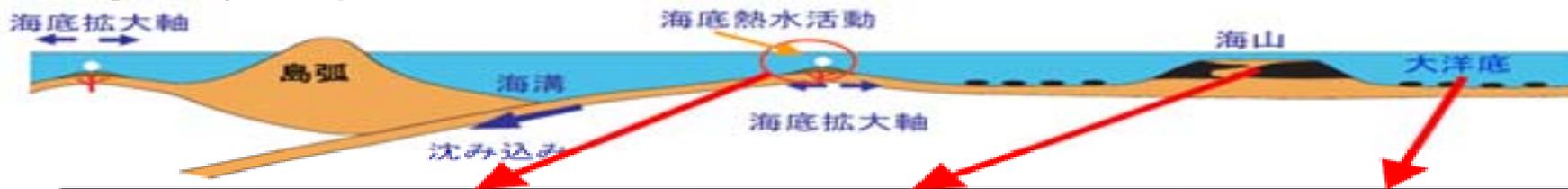
1年で**300トン**
揚泥すると・・・



700億/年の収入
が見込める

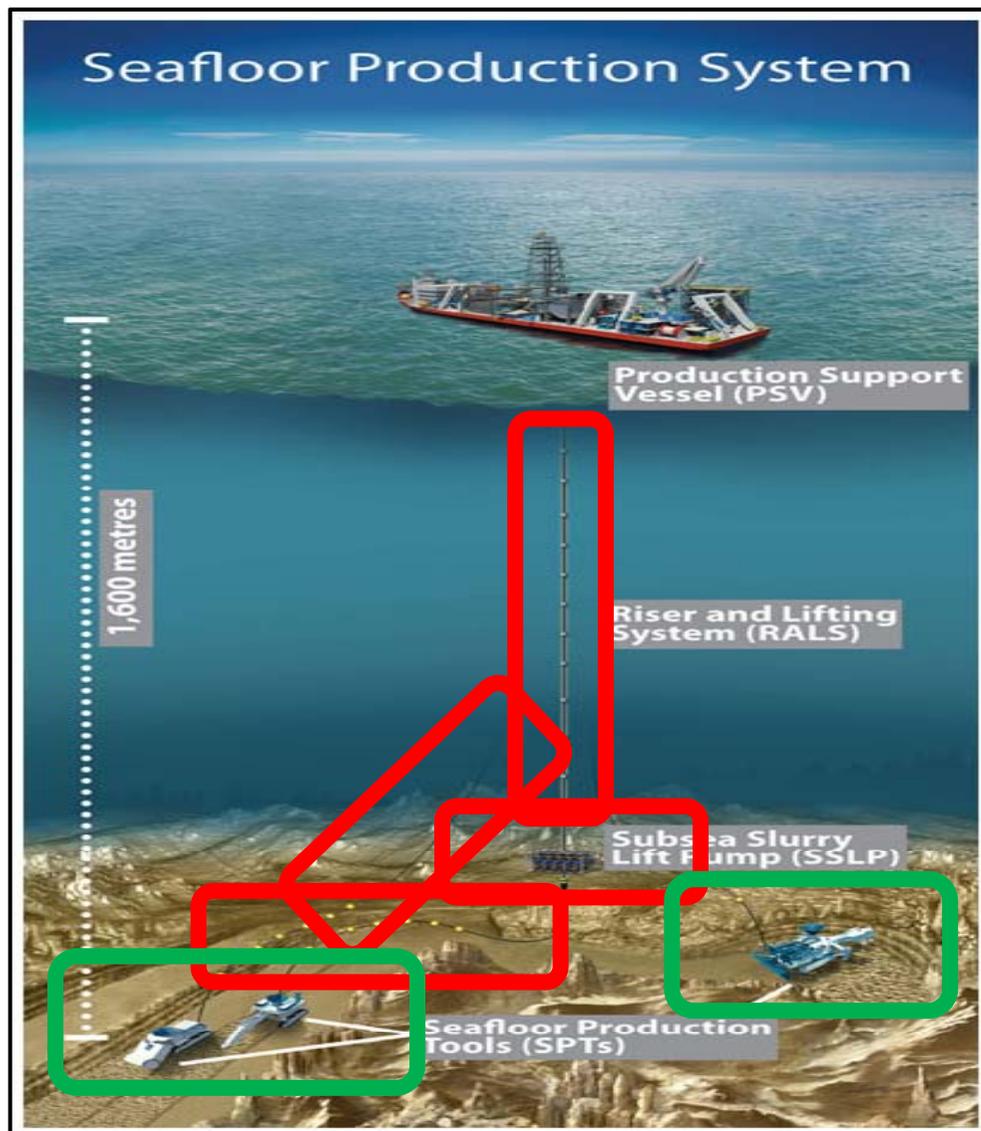
南鳥島のレアアース堆積物

海底資源について



	海底熱水鉱床	コバルトリッチクラスト	マンガン団塊	レアアース堆積物
水深が深いほど、ケーブルのコスト、浚渫コストが高くなり、総コストが高くなる	水は、ガリウムなどレアメタル	海底の岩石を皮殻状に覆う、厚さ数mm～10数cmの酸化物 マンガン、銅、ニッケル、コバルト、白金など。 メインは、コバルト、ニッケル、白金	直径が4～8cmの球場、扁平楕円形の形をしたマンガン酸化物 マンガン、ニッケル、銅、コバルト約30種類の金属。メインは、銅、ニッケル、亜鉛鉛	海底にある泥 レアアースを多く含む。特に重レアアースを多く含む。
分布する水深	500～3000m	1000～2400 m	1000～6000m	5000m～6000m
資源がある中心水域	排他的経済水域	排他的経済水域と公海	公海中心	排他的経済水域と公海
写真				

全体の採鉱システム



左図は、カナダのNautilus Minerals社が現在開発を行っているイメージ図

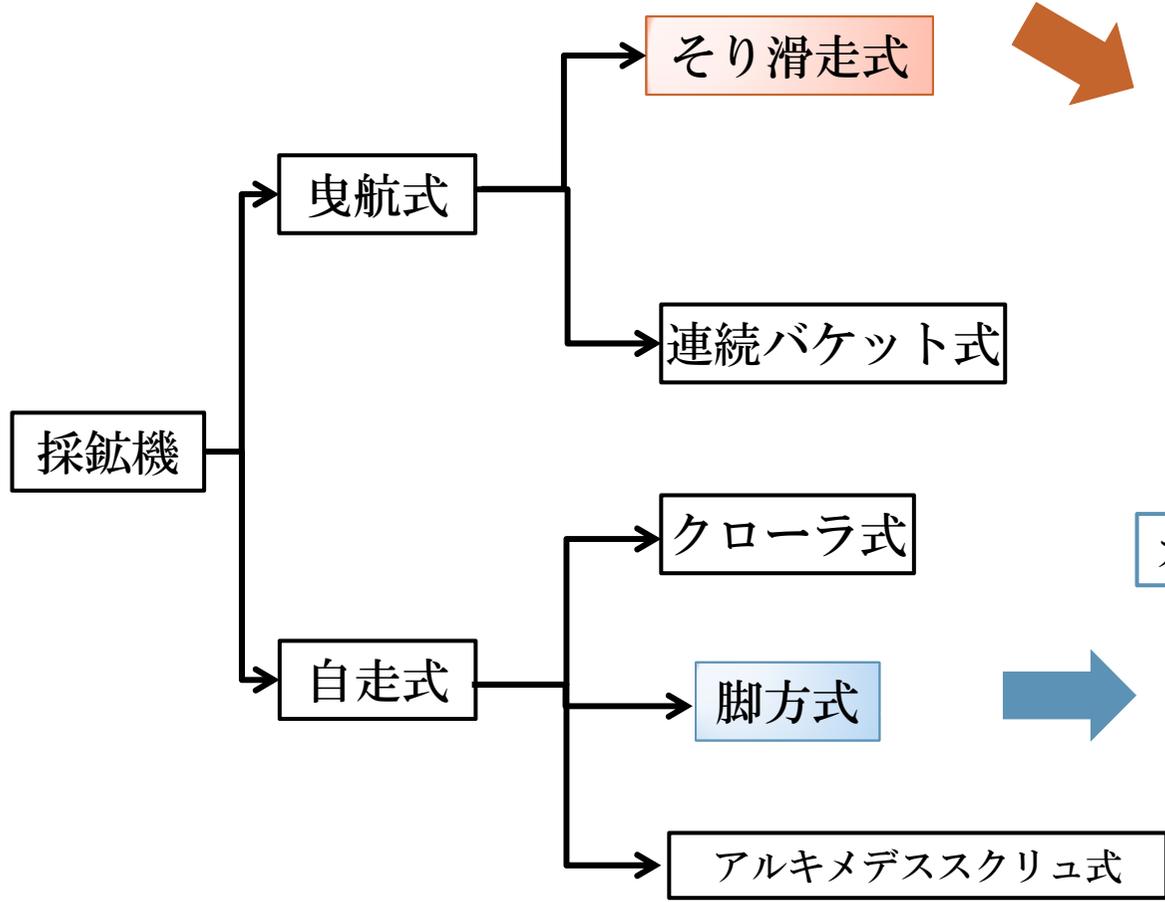
構成の中身は

- ①ケーブル
- ②フレキシブルパイプ
- ③水中ポンプ
- ④ライザー管
- ⑤採鉱機

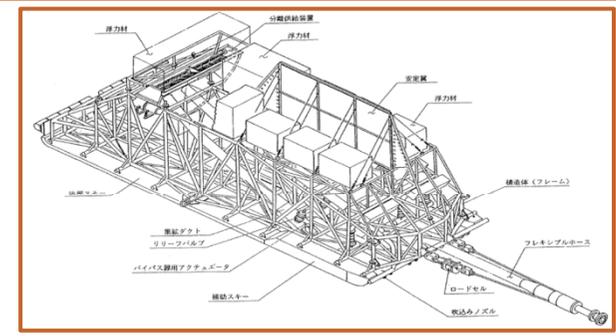
などがある。

現時点の採掘方法（1）

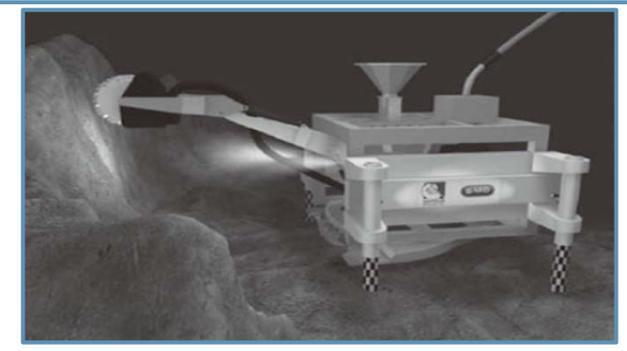
・採鉱機の種類について



日本製、マンガン団塊を想定した採鉱機



カナダ製、熱水鉱床を想定した採鉱機



現時点の採掘方法（2）

- **自走式のクローラー方式**



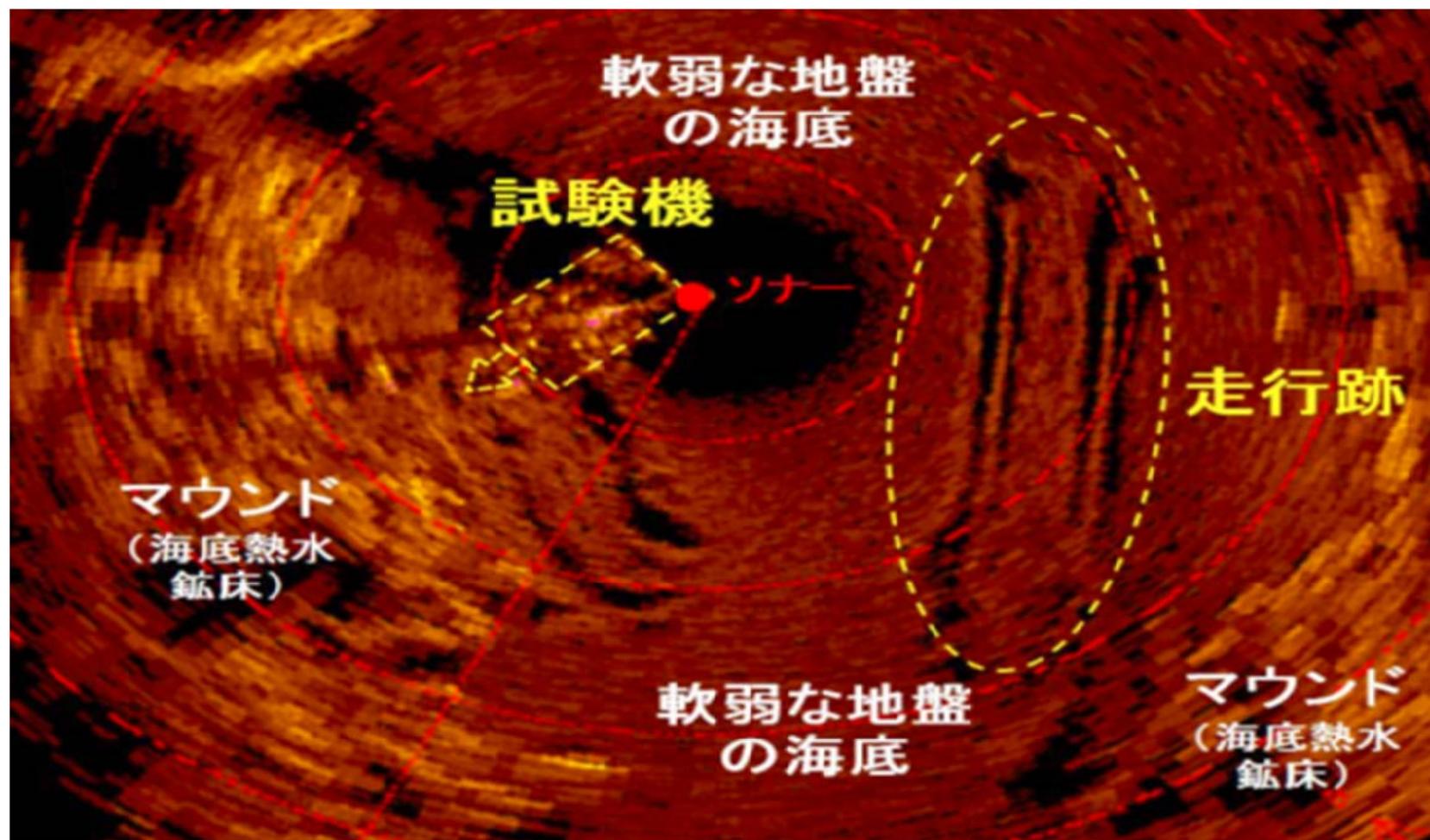
①三菱重工業製の採鉱機
⇒ALL IN ONE型
(採鉱と集鉱が一つの採鉱機)



②三井三池製作所の採鉱機
⇒採鉱と集鉱が別々の採鉱機

従来の採鉱機の問題点（1）

2012年、9月と12月に実際に熱水鉱床（沖縄）にて、2台の採鉱機を稼働させるという実験を行った。



従来の採鉱機の問題点（２）

①反力の問題

⇒掘削カッターの反力に対応するために採鉱機自身を大型化する必要がある。将来的は、ダイヤモンド掘削機（約**200**トン）のスケールが必要。

②採鉱機の移動の問題

⇒海底は軟弱な地盤であり、車輪や履帯の沈下のため移動が困難。大きな轍（わだち）を作って移動するため、大きなエネルギーコストを要する。

③環境面の問題

⇒掘り起こす際に物質をまき散らすことなどによる周辺環境面の悪化。

従来の採鉱機の問題点（3）

④カメラ等によるセンシングの問題

⇒掘削する際に相当、砂は舞い上がり、カメラでのセンシングはほぼ不可能。

⑤自動化の問題

⇒今はオペレータによるリモコン操縦で採鉱機を稼働させているが、将来は自動化したい。

⑥ソナーの問題

⇒現在使われているソナーだけを使って採鉱機を思いのままに操作することは難しいレベルである。掘削前に掘削範囲をスキャン等することで、掘削前に地形データを把握して、掘削を行いたい。

従来の採鉱機の問題点（４）

⑦採鉱機の安定性の問題

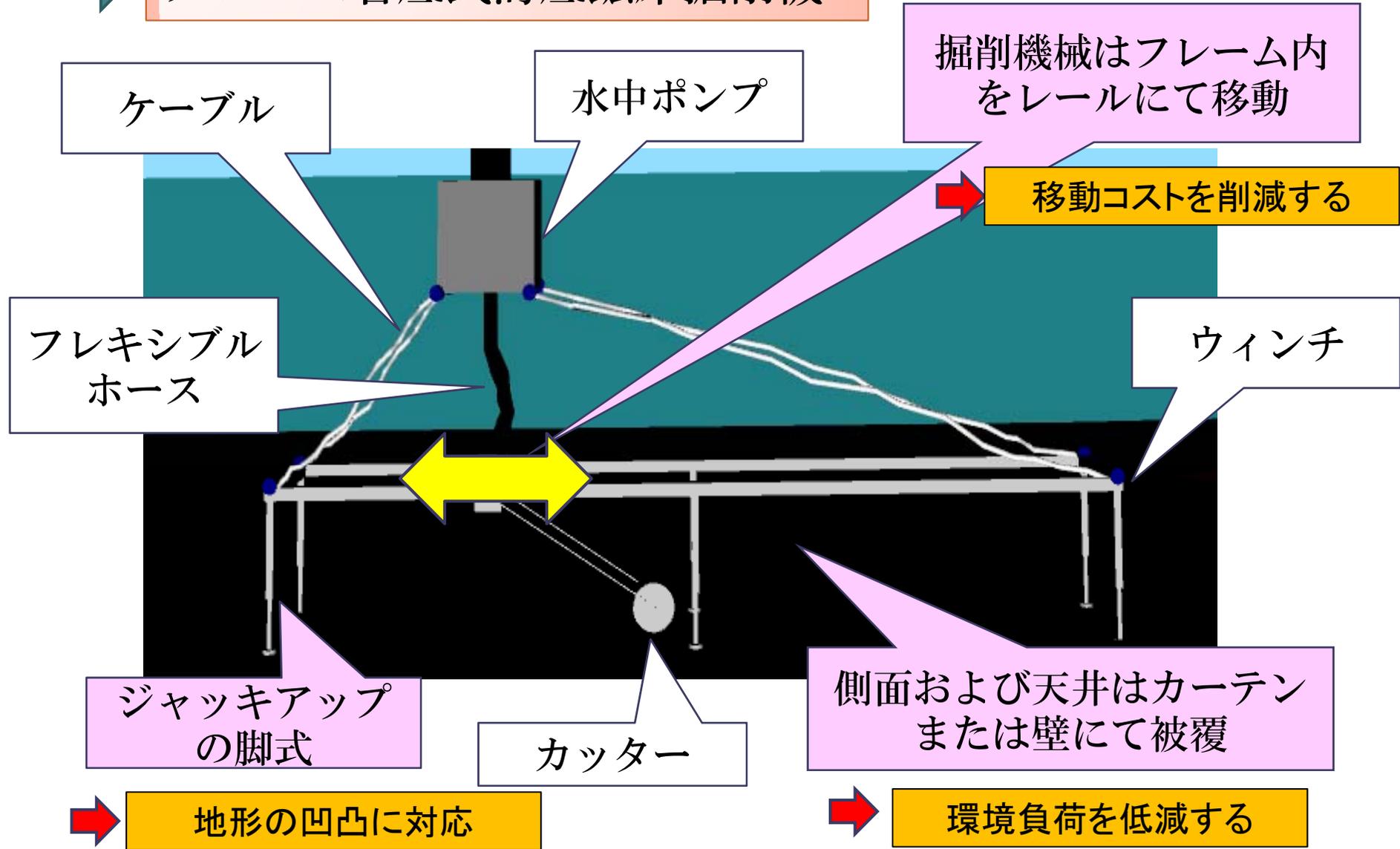
- ⇒ ・マンガン団塊などの軟弱で攪乱を受けると大きな強度低下が起きる粘土質の深海底堆積層の上では動けないのではないか？
- ・マウンドの傾斜などや微地形変化が大きい場合に対処出来ないのではないか？

⑧もし、掘削・集鉱機能が一体でない採鉱機や複数の採鉱機を動かす時

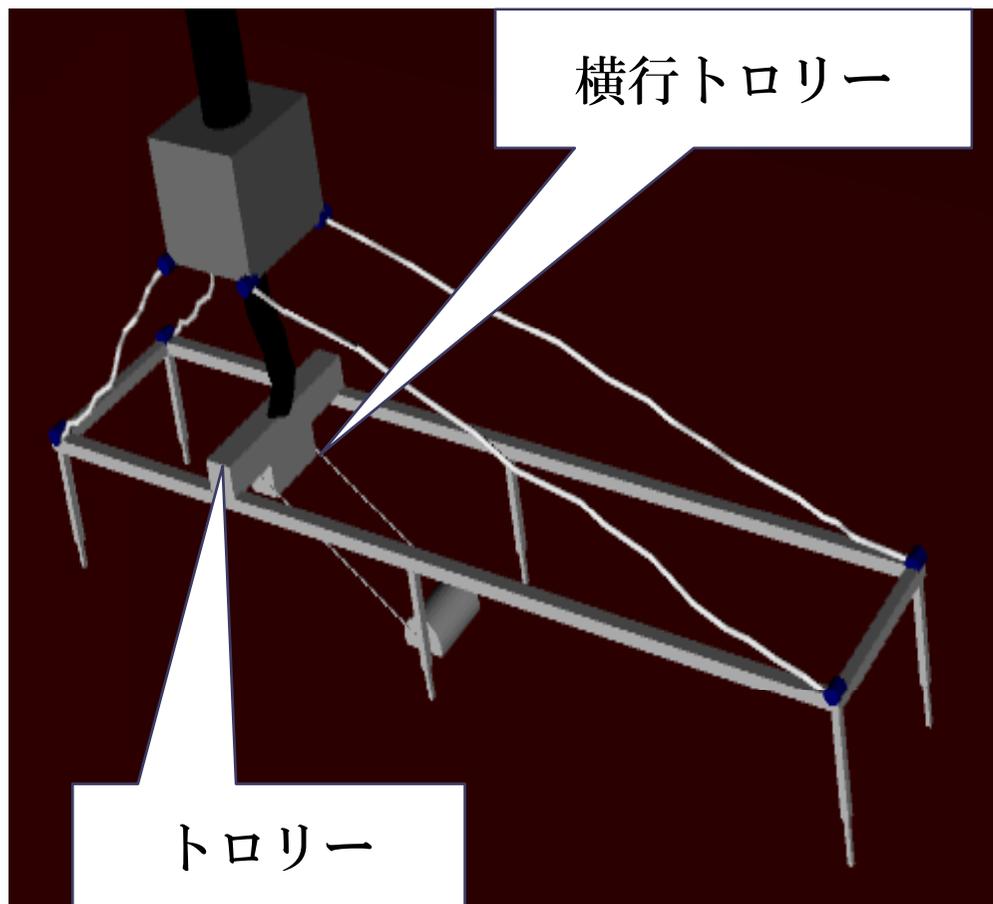
- ⇒ ・機械同士の衝突が発生する
- ・ケーブルが絡み合う
 - ・ロストする
 - ・メンテナンスする数が増える
- などの問題が発生する可能性が増える。

新たな採掘方法（１）

→ フレーム着底式海底鉱床掘削機



新たな採掘方法（２）



カッターの形状

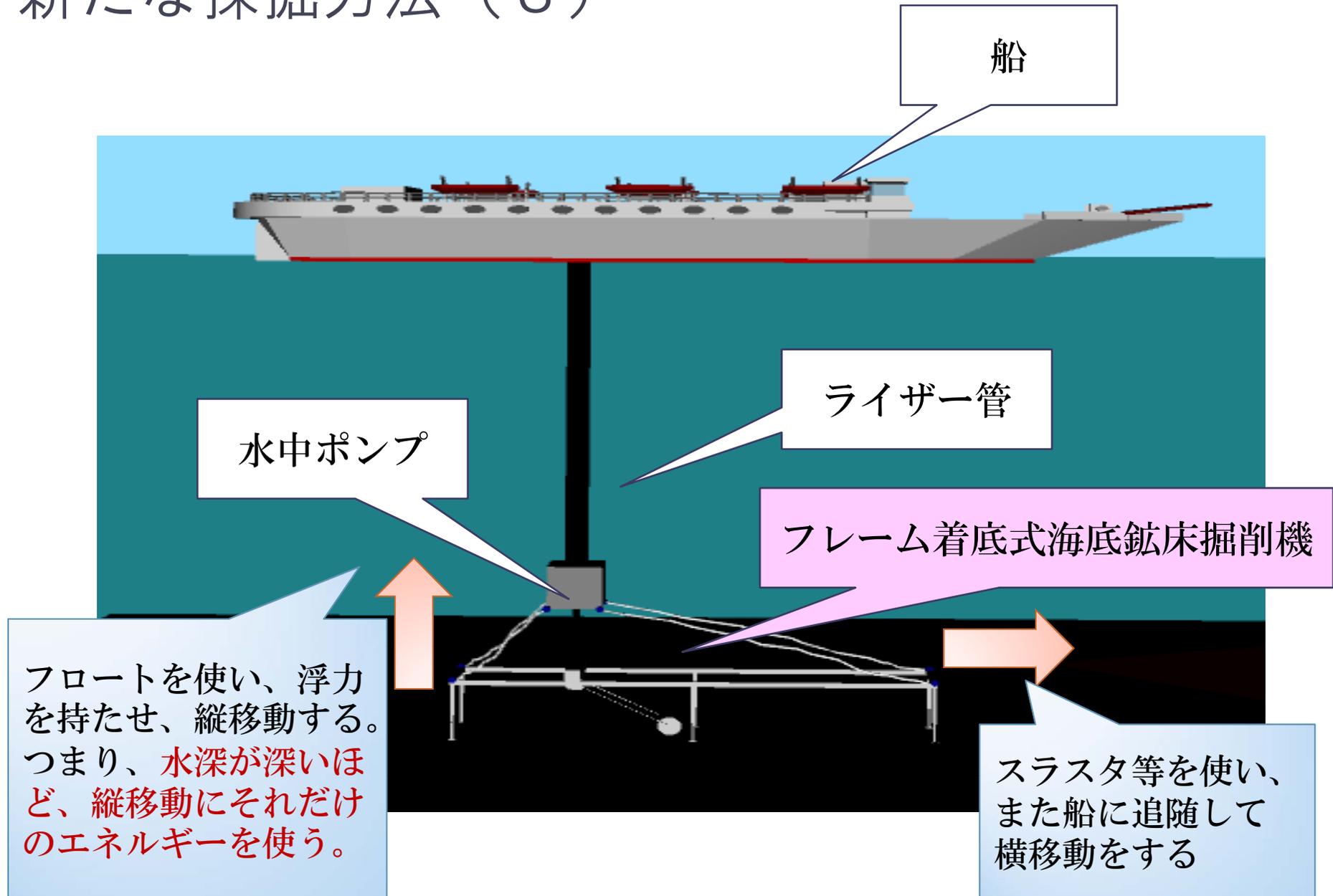


*CIAの資料より抜粋

2つのトロリーを組み合わせることで、

- ➡ ①掘削する前にソナー等を使い、地形データを得る。
- ②掘削範囲に柔軟性を持たせる。

新たな採掘方法（3）



新たな採掘方法（４）

◎新システムの特徴・長所◎

①反力の問題への対応

⇒フレームが大きな重量を有する、カッタードラムを大きくする、水中ポンプをこのフレーム構造内に入れることなどによって、ある程度の重さを調整が出来、反力の問題を解決。

②採鉱機の移動の問題への対応

⇒トロリーはレール上を移動するため、轍（わだち）等を作って移動せず、その分のエネルギーロスがない。特に、レアアース堆積物等の超軟弱地盤で有効だと思われる。

③環境負荷の低減

⇒側面および天井はカーテンまたは壁にて被覆するため、掘削時に砂等が舞い上がることによる拡散を防ぐ効果が高い。

新たな採掘方法（5）

④センシングの容易さ

⇒トロリーに超音波距離計を取り付けて、スキャナーのようにセンシングすることによって、掘削する前の掘削対象の形状の正確な計測を簡単にすることが可能。そのため、視界悪化に影響されず、掘削可能。

⑤自動化への容易さ

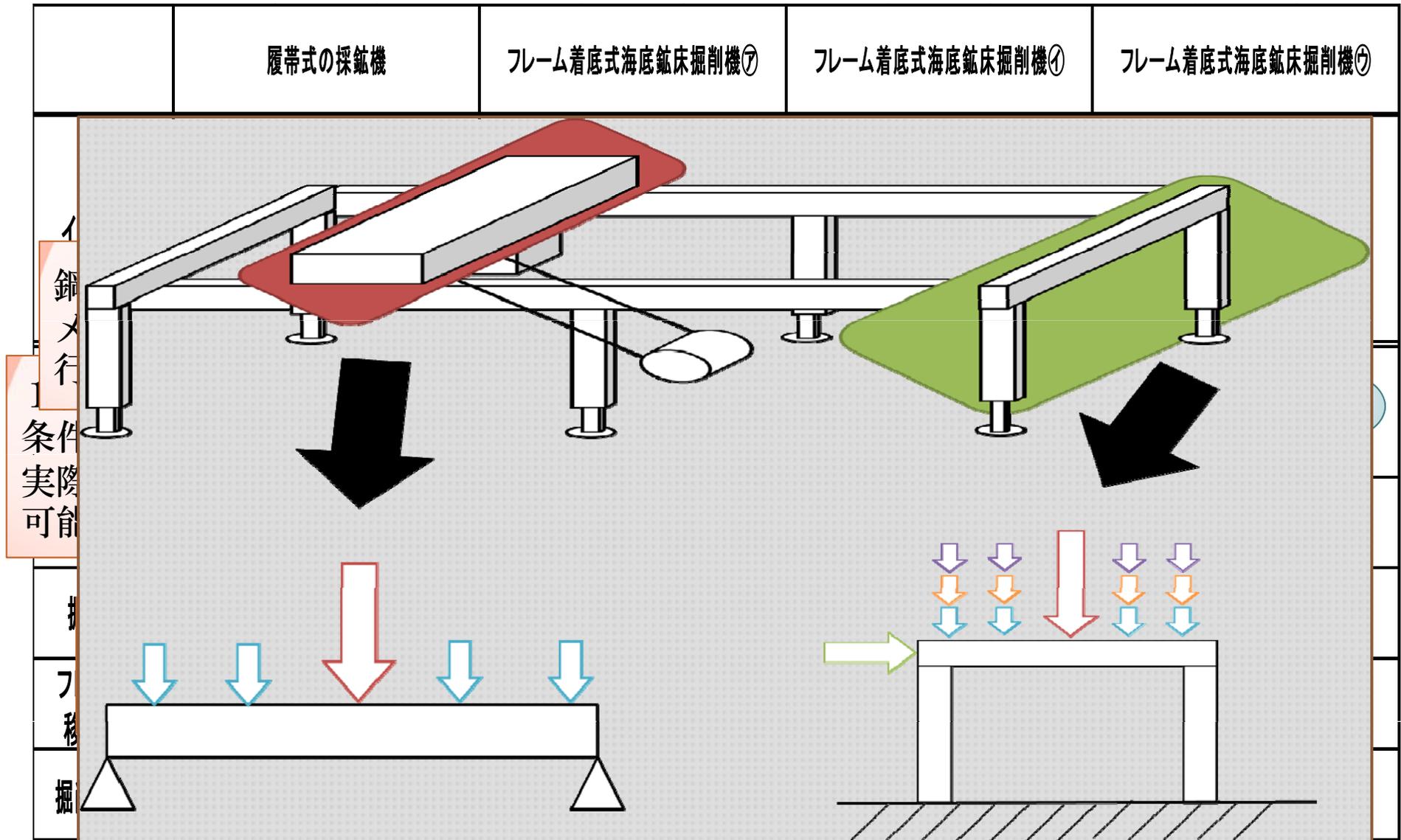
⇒④でも述べた通り掘削前に地形データを把握でき、オペレータの手を借りず、採掘作業の完全自動化が可能。

⑥ケーブルの損傷・衝突等の回避

⇒掘削カッター一部はレールを走行するので、掘削時にケーブルを踏むなどの事故の回避。
また、1台しか動かないため、衝突なども起こらず、メンテナンスの数も減らすことが可能。

従来と新システムの比較（1）

1日あたりの採鉱量を **5000トン** と固定すると・・・



従来と新システムの比較（2）

◎1日当たりの総消費電力◎

新システムの方が
優れている状況下

	採鉱機	フレーム着底式海底鉱床掘削機㉗	フレーム着底式海底鉱床掘削機㉘	フレーム着底式海底鉱床掘削機㉙
ベヨネーズ (水深800m)	16800KWh	8814KWh	18832KWh	16897KWh
伊是名 (水深1650m)	16800KWh	15256KWh	29661KWh	23376KWh
最大の水深 (水深2000m)	16800KWh	17909KWh	34120KWh	26044KWh

◎従来と新システムの1日の稼働コスト（円）◎

モデル／掘削機	履帯式の採鉱機	新たな掘削機案㉗	新たな掘削機案㉘	新たな掘削機案㉙
ベヨネーズ	¥3	従来と新システムの 1日の稼働コストの差が もっとも大きい時で 差は約40万円/日	¥425,729	¥382,002
伊是名	¥3		¥670,536	¥528,469
最大水深	¥379,792	¥404,870	¥771,339	¥588,778

従来と新システムの比較（3）

◎考察◎

水深が深くなればなるほど、新システムは総消費電力において、不利。

⇒ ・鉄鋼ではない材質に変え、総重量を軽くするべき。

- ・新システムの掘削速さを速くすることで、採鉱量自体を増やし、より収入を増やす。

従来と新システムの比較（４）

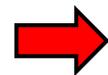
採鉱量を増やすには２つのパターンが考えられる。
まず、掘削速さを履帯式と同じまで上げて・・・

パターン①

掘削機の移動回数を増やさず、同じ経路を２回通ることで、掘削深さをさらに深くする

履帯式と同等のコストで
最大で２倍の掘削性能を
持つことが分かる

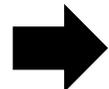
*適用するのはコバルトリッチクラストのように薄い層だけに資源の場合



採鉱量は **2500トン** 増加する

新システム案①で掘削速さを

1. 8 m/分



3. 6 m/分

にしたとき・・・

まとめと今後の課題

- 新システムの特定のケースにおける総消費電力の有用性が示せた。
また、新システムならではの長所、掘削速さ・重量を再検討することで、
新システムは、海底資源採掘の方法の一つとして、
検討する余地が十分にあると分かった。
- 実際の海底データと照らし合わせ、シミュレーションすることで、新システムの大きさ等の再検討。
- レアアース堆積物においても、この新システムが適用することが可能であるかの検討。

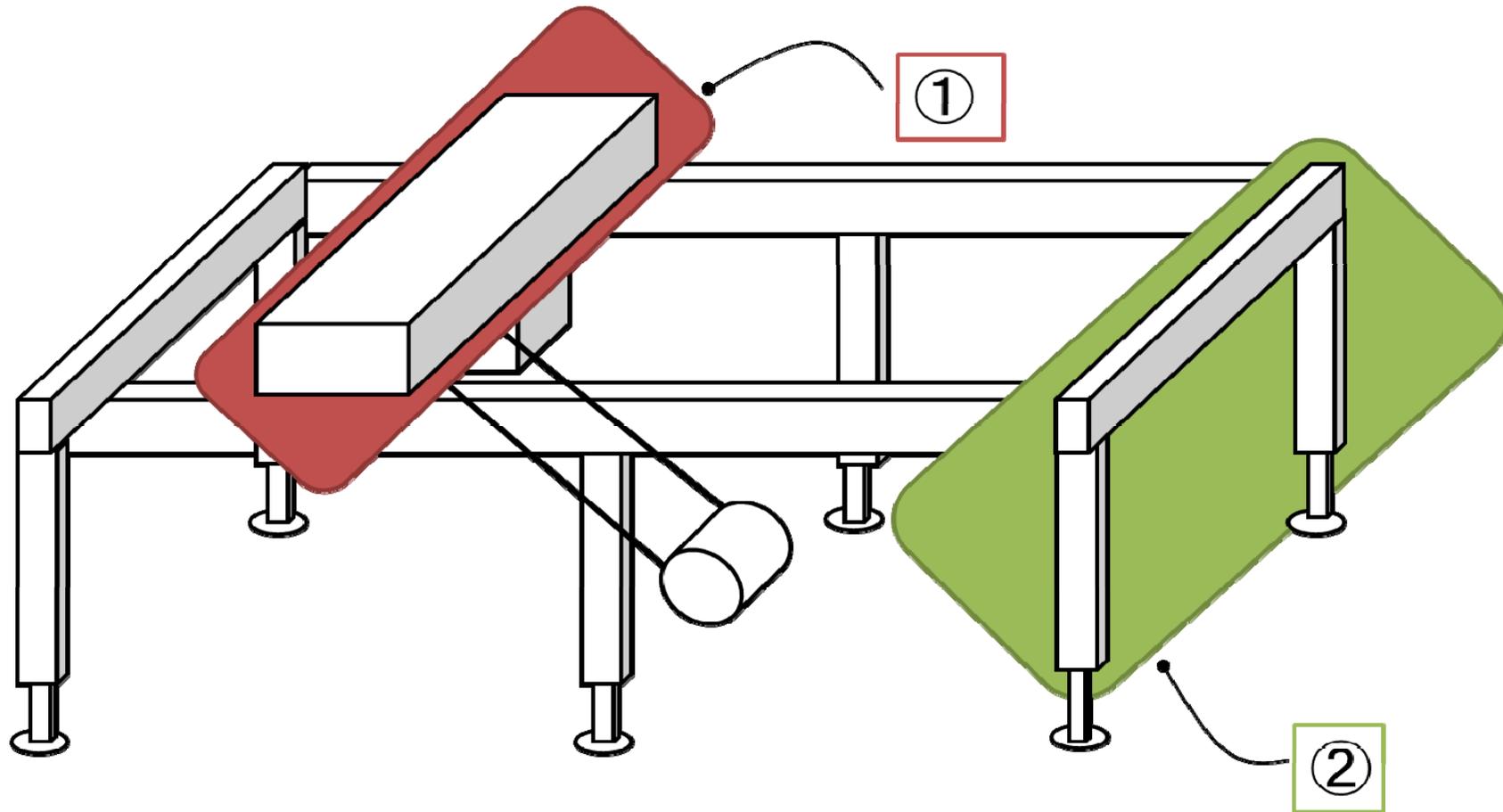


ご清聴ありがとうございました



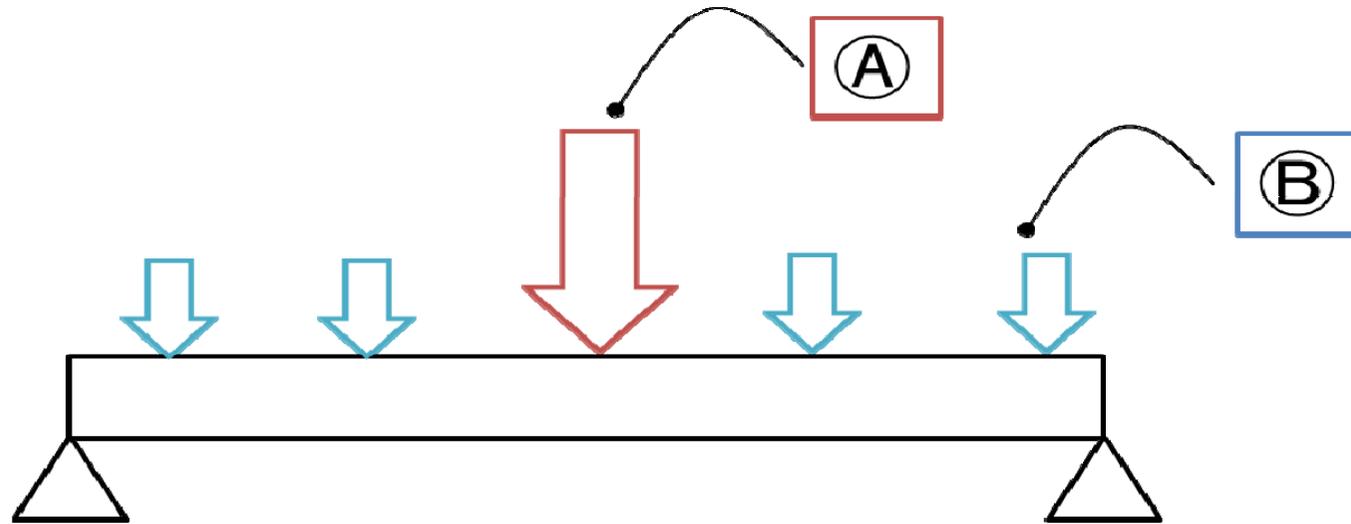
強度計算など

◎フレーム着底式海底鉋床掘削機の重量計算について



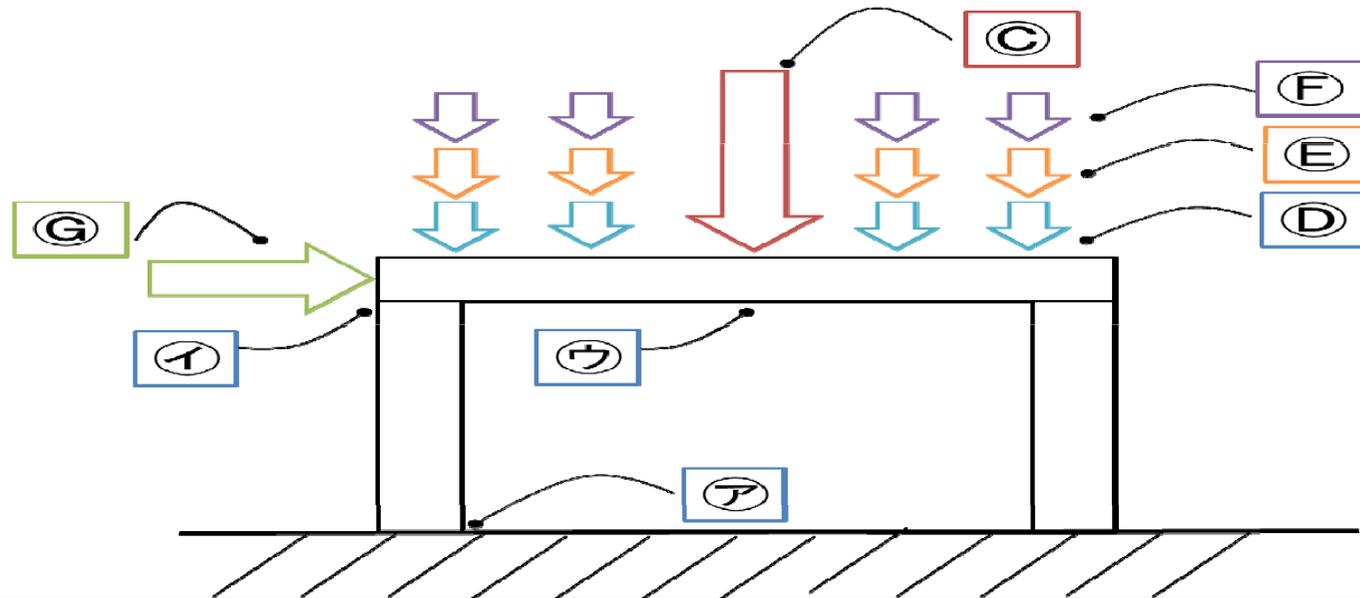
図のように①と②に分けて、計算を行っていく。①はカッタードラムを支えるための鋼材の重量、②は、掘削機全体を支える鋼材の重量の計算である。

・①の計算について

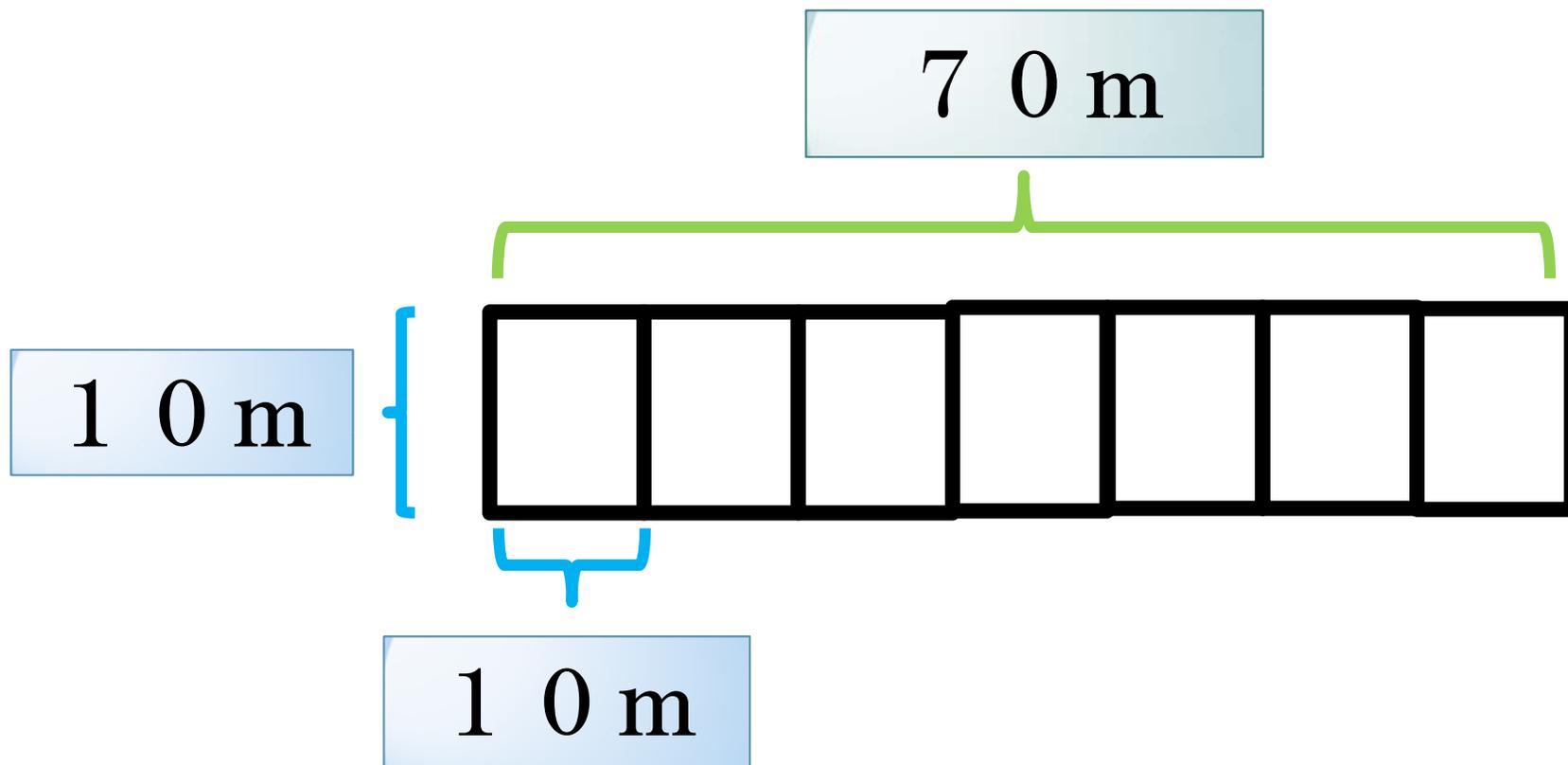


①に関しては、両端単純支持の梁だと考える。Ⓐは、カッタードラムを支えるための集中荷重である。Ⓑは、①の鋼材自身（浮力を考慮）の分布荷重である。鋼の降伏応力を250MPaとし、安全率を1.6として計算を行った。

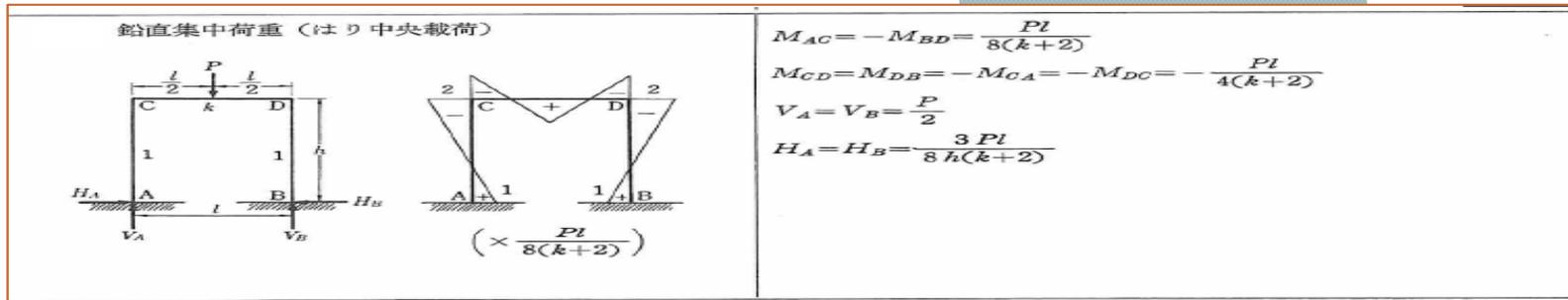
・②の計算に関して



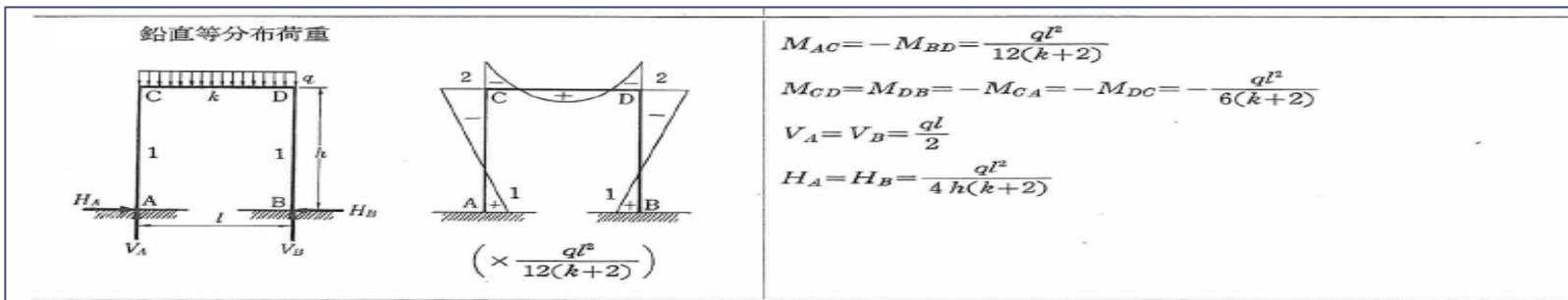
②に関しては、ラーメン構造だと考える。また、②の鋼材は、①の鋼材つまりカッタードラムが②の鋼材上にある時に一番強度が厳しくなるので、その場合において強度計算を行う。③は、カッタードラムを支えるための集中荷重である。④は、①の鋼材自身（浮力を考慮）の分布荷重である。⑤は、②の鋼材自身（浮力を考慮）の分布荷重である。⑥は、③と④の総荷重と②の鋼材自身（浮力を考慮せず）の総荷重を足し合わせ、かける0.1をした分布荷重である。⑦は、③と④の総荷重と②の鋼材自身（浮力を考慮せず）の総荷重を足し合わせ、かける0.3をした集中荷重である。⑥と⑦に関しては、水中、また地震等の影響を考慮した荷重である。そして、ア、イ、ウに関しては曲げモーメントが最も大きくなる可能性がある部位である。



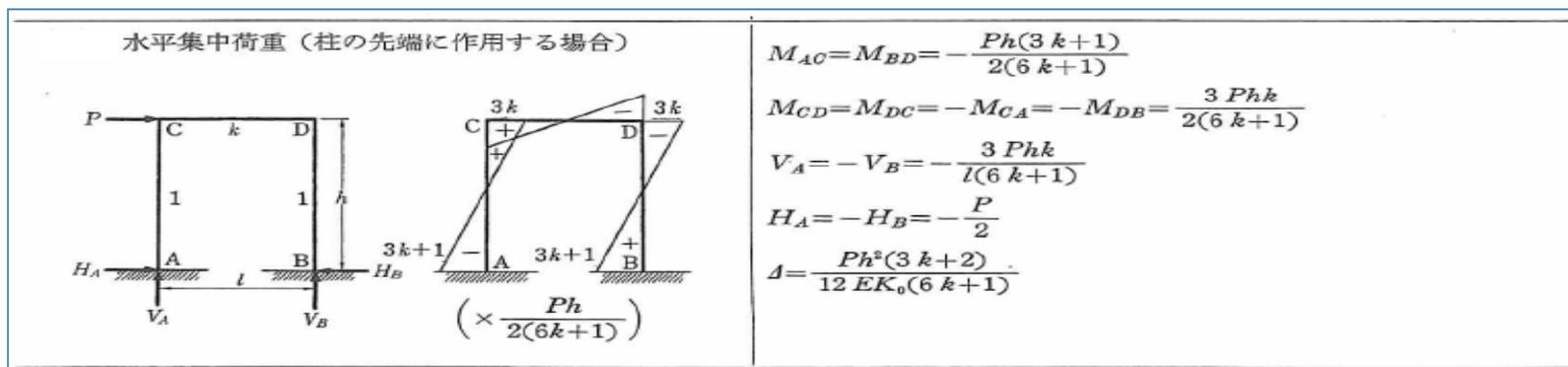
→ このように補強材を入れて、正方形の物の組み合わせで構造が成り立っていると想定している。



鉛直集中荷重における材端モーメント・反力・変形

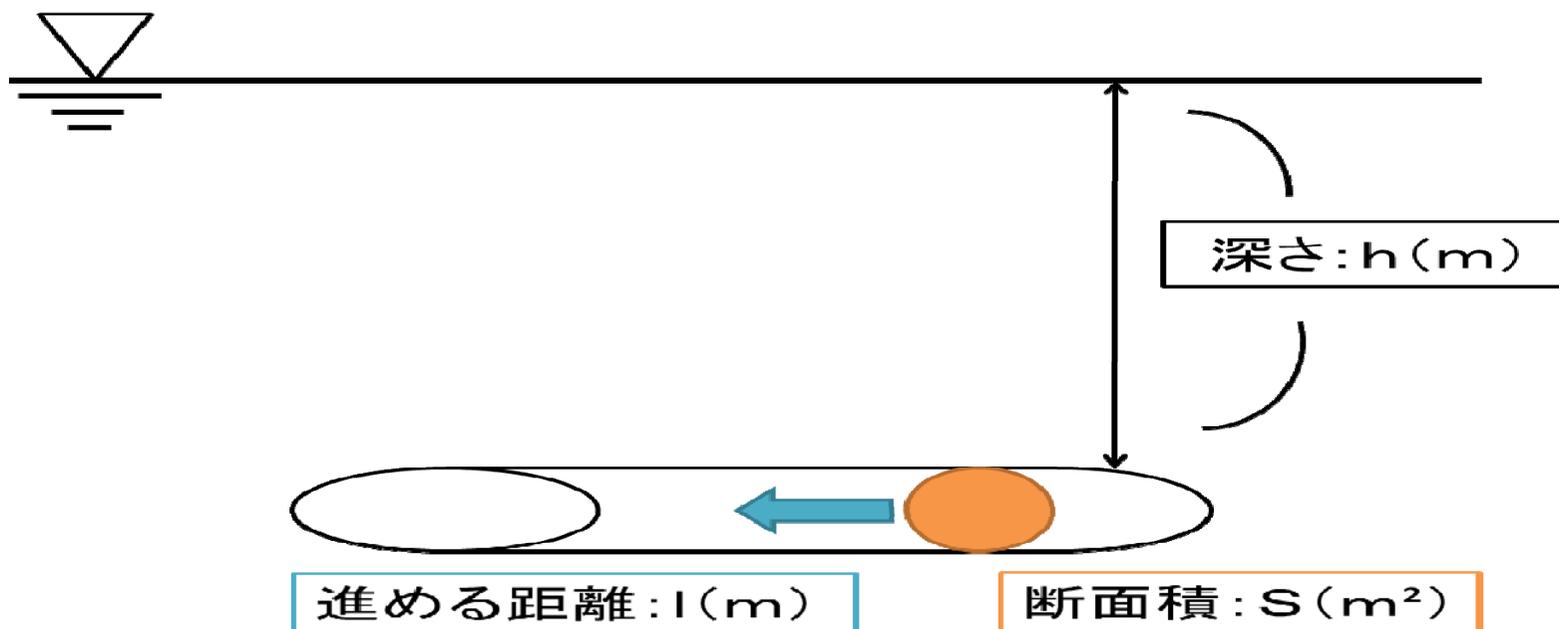


鉛直等分布荷重における材端モーメント・反力・変形



水平集中荷重における材端モーメント・反力・変形

◎浮力の仕事の計算について



深さ 10 m ごとに水圧は 1 気圧 (1 kg f / m²) 上昇する。

気圧 (kg f / m²) × 断面積 (m²) × 進める距離 (m) × 9.8 = 仕事 (N/m)

各モデルの各掘削機案における1回の移動消費電力 (KWh)

掘削機案\モデル	ベヨネーズ	伊是名	最大の水深
㊦	253	521	632
㊧	1,274	2,628	3,185
㊨	3,049	6,288	7,622



新フレーム着底式など

フレーム着底式海底鉱床掘削機の詳細の規格

項目／案	㉗	㉘	㉙
大きさ	10mL×70mW×10mH	18mL×108mW×10mH	36mL×216mW×10mH
水中重量	116t	585t	1400t
1タームの稼働時間	1時間	3時間	12時間
(1タームの掘削時間)	40分	2時間	10時間
(1タームの移動時間)	20分	1時間	2時間
1日当たりの移動回数	24回	8回	2回
カッタードラムの個数	1つ	1つ	1つ
カッタードラムの横幅	5.2m	8.9m	8.9m
掘削馬力	172KW	540KW	540KW
カッタードラムの重さ	23t	123t	123t
掘削速さ	3.5m/分	1.8m/分	1.4m/分

掘削機案①におけるパターン②に変更した際の変化

	掘削速さが始めの値 (1.8m/分)		掘削速さを速くした時の値 (3.6m/分)		増加した 移動回数	4回
掘削時間	16時間		12時間		減少した 掘削時間	4時間
移動時間	8時間	→	12時間	←		
移動回数	8回		12回			
					増加する 採掘量	2500トン

掘削機案②におけるパターン②に変更した際の変化

	掘削速さが始めの値 (1.4m/分)		掘削速さを速くした時の値 (3.5m/分)		増加した 移動回数	2回
掘削時間	20時間		16時間		減少した 掘削時間	4時間
移動時間	4時間	→	8時間	←		
移動回数	2回		4回			
					増加する 採掘量	5000トン