

# 石油など資源掘削時の抑留トラブル を自動検知するAI技術

エネルギー・金属鉱物資源機構  
デジタル推進チーム 安部俊吾

2023年7月27日

# 研究背景

- 操作者(Driller)は、主に船上の掘削機器のデータを見ながら、坑内の状況や掘削状態を想像して掘削(掘削機器操作)を行う。
- 坑内や掘削状態を示す直接的な情報がないため、時として把握が困難であり、掘削効率低下や「抑留」などの事故が発生する。



# 研究目的

検知対象		操業への寄与
抑留検知	離脱作業検知	離脱作業の検知であり，識別の意義は小さい
	抑留早期検知	抑留開始直前/直後の検知であり，一定の意義がある
予兆検知		抑留前の予兆検知であり，抑留回避が期待できる

操作者の状態推定に基づく判断

## 物理法則/経験則ベース

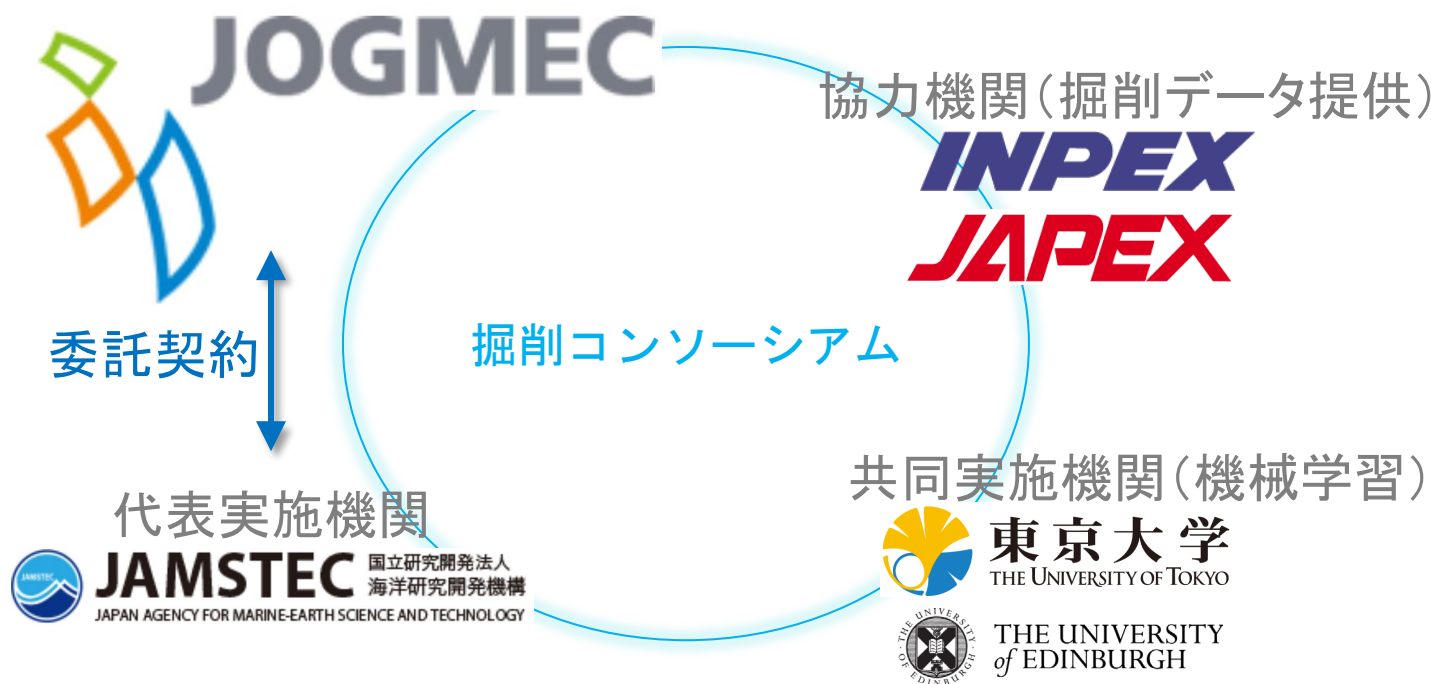
- 掘削機器に上限値を設定.
- 物理法則やシミュレーションに基づく判別や上限設定.

## データ駆動型

- 機械学習による検知

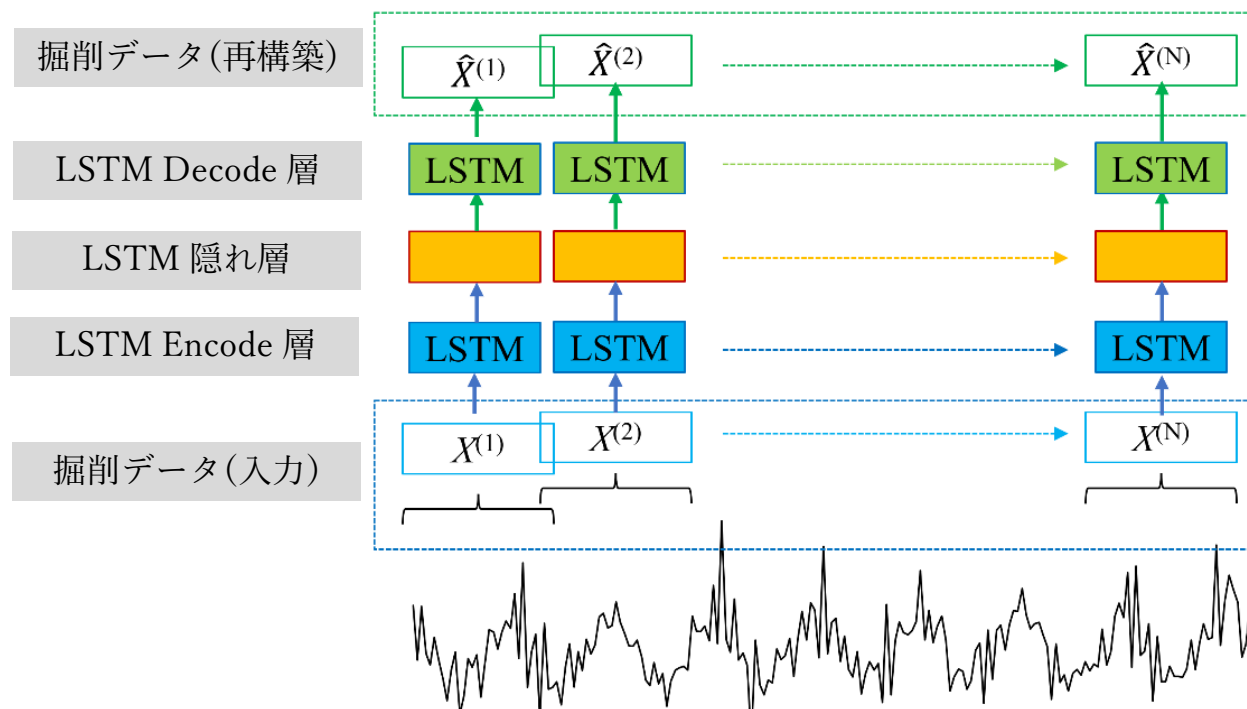
# 研究体制

実操業で得た掘削データを基に，人工知能技術を適用した  
安全性向上（抑留検知や抑留予兆検知の可能性）を調査する



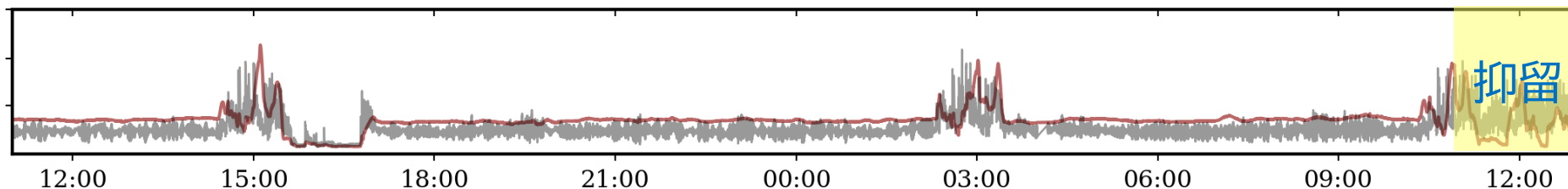
# 既往研究①(LSTM-AE)

- LSTM-AE  
(Long Short-Term Memories+Autoencoder)
- 自己再現モデル
- 再帰モデルであるLSTMと自己符号化器であるAutoencoderからなる。
- 各掘削パラメータの再現誤差の平均にて評価。



# 既往研究①(LSTM-AE)

## 検知結果 (異常度)



- 実際に抑留が発生したデータに対して予測(異常度を出力).  
(実際に抑留発生 = 操作者は兆候を、適切に把握することが困難であった)
- 抑留の予兆を検知できる可能性を示唆.
- 一方で、誤検知 (掘削機器の操作に反応) が多く見られる.
- 純粋なデータ駆動型機械学習では、多岐に亘る操業の表現が困難であることを意味する. 言い換えると、更なる情報が必要.
- 例えば、グローバルな特徴とローカルな特徴を捉える必要がある.

# 既往研究②(3D-CNN)

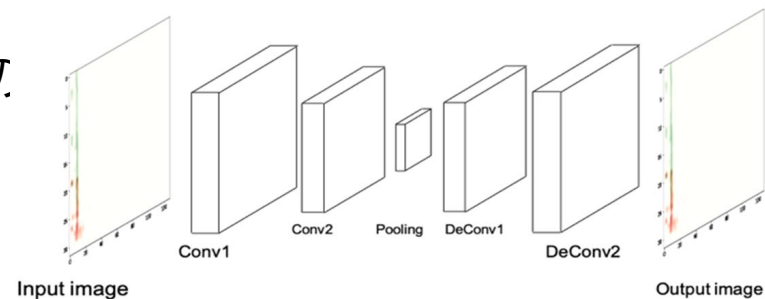
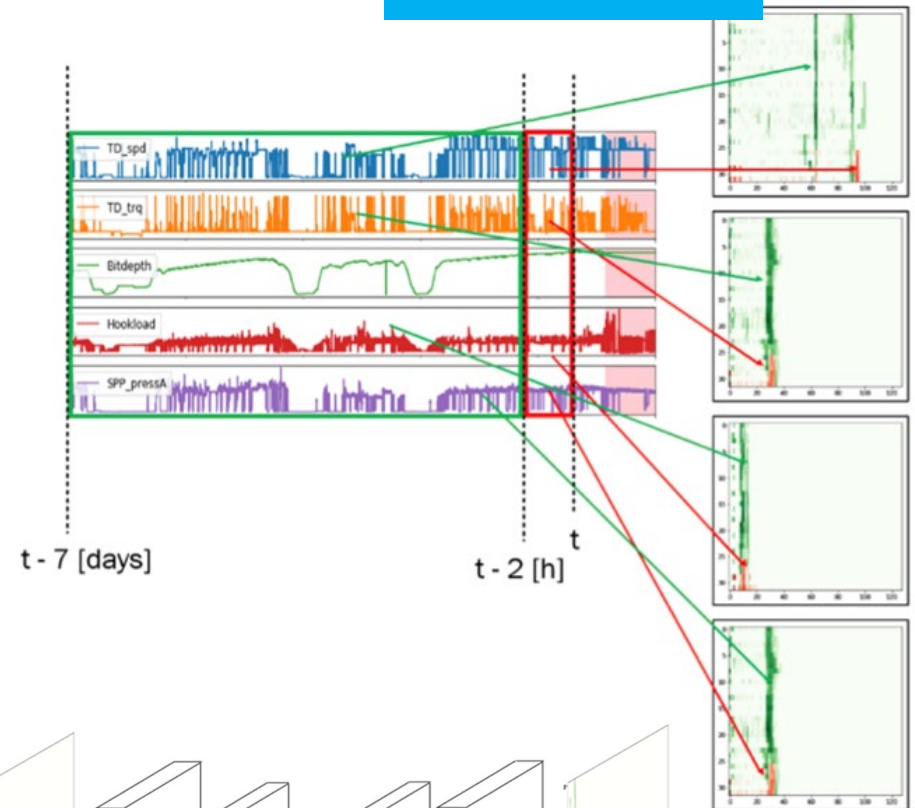
## 着想:

- 作業上の知見を加える。  
(操作者や掘削計画立案者の視点に立つ)
- 掘削状態は掘削地層に関係すると類推し、  
深度領域での直近データとの比較を行う。

## 内容:

- 掘削データを二次元ヒストグラムの画像クリップに変換する。  
(深度領域で表現し、かつ、データ点数を色濃度で表現する)
- 最新の時間は色を変える。  
(時系列での過去と現在の情報付与し、過去のデータと直近データの比較を行う)
- 教師なし学習 (Autoencoder) で学習

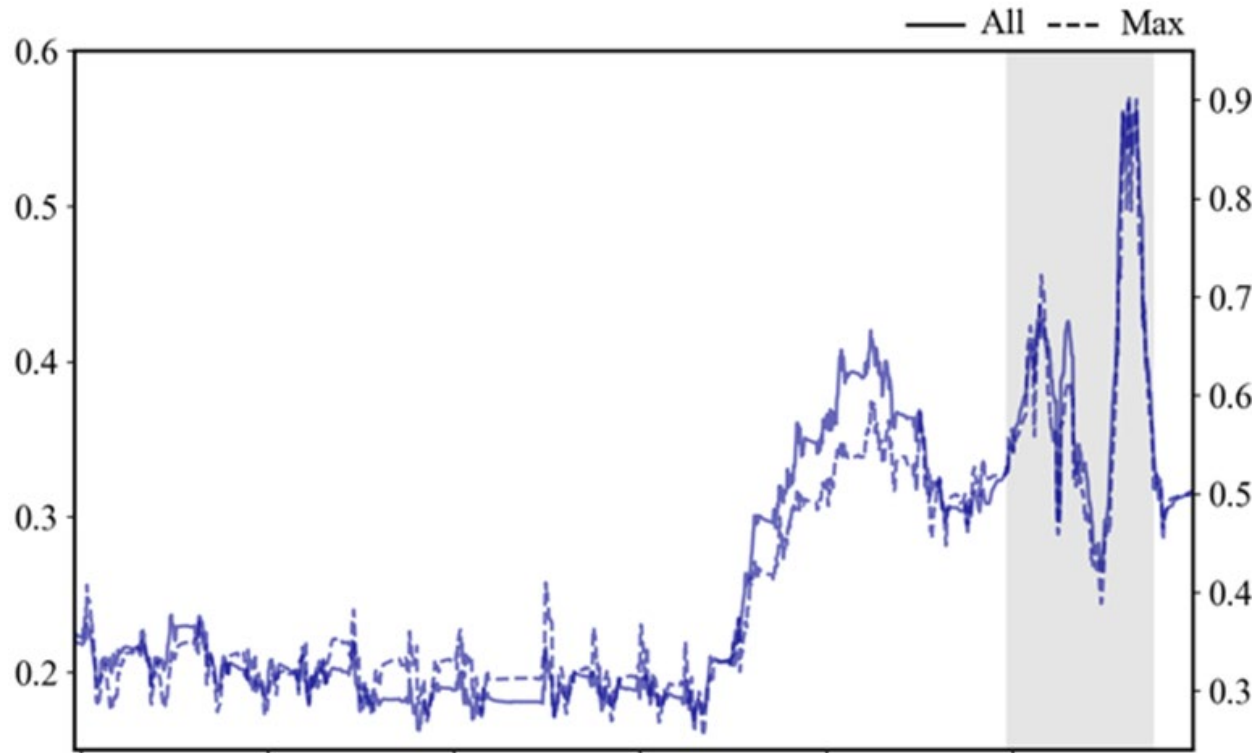
特許出願中



# 既往研究②(3D-CNN)

- 検知性能

- ・ 幾つかのケースでは，抑留発生前の予兆を捉え，誤検知も抑えられた。





# 新技術(物理モデルハイブリッド機械学習)

- 着想:

- 既知の情報や推論を活用.
- 掘削データに関する物理数理モデルを活用.  
(物理モデルはグローバルな特徴を与える)
- 抑留により兆候が表れる掘削データの選定と,  
データ内での特徴の現れ方を推定.

データ駆動



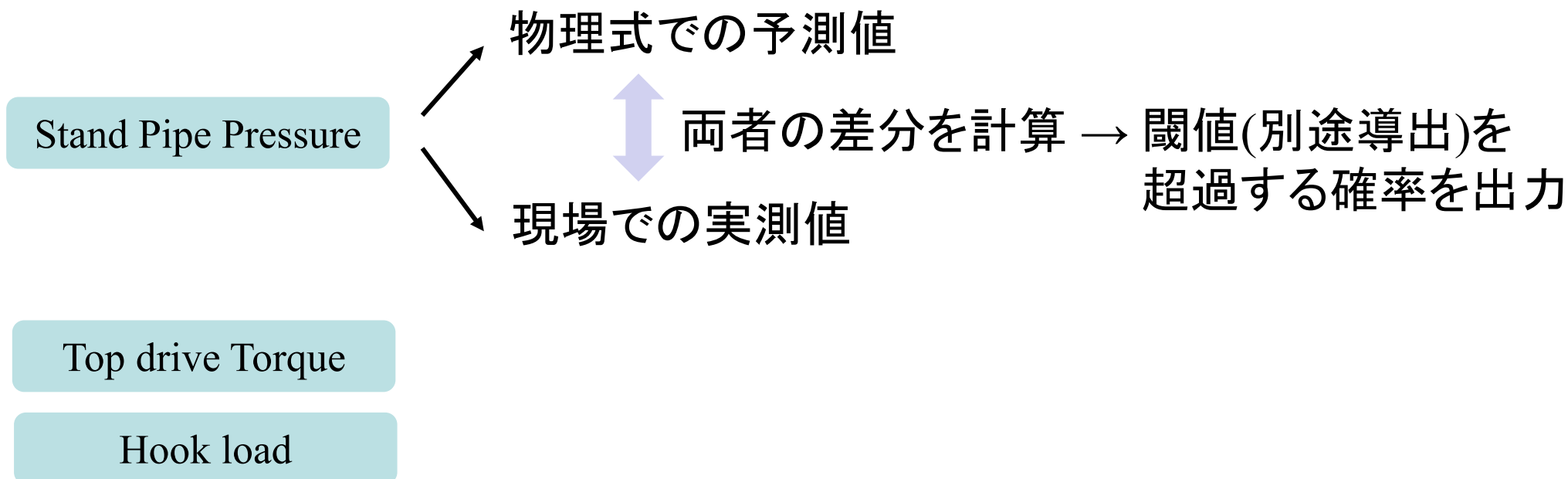
- 機械学習
- Hybrid Model
- データ同化
- 物理法則, 数値解析

物理モデル

# 新技術(物理モデルハイブリッド機械学習)

- 内容:

- 物理モデルを組み入れた機械学習.

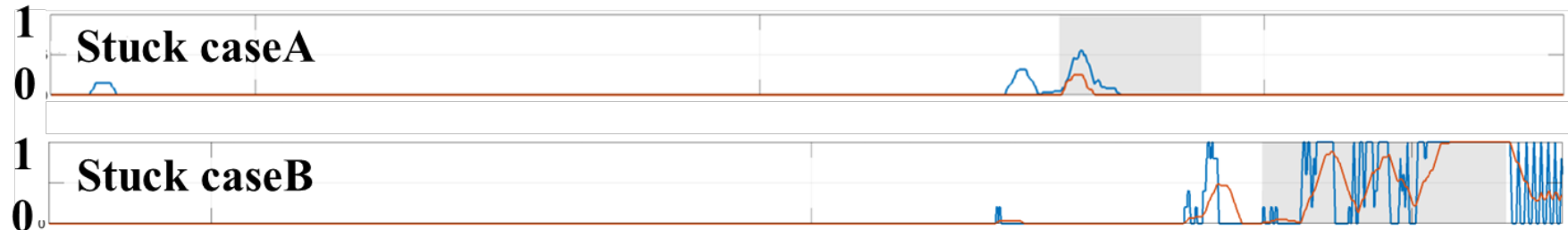


→ 3種類の物理モデルでの評価により、抑留パターンの検出にも期待(→対策の検討に役立つ)

# 新技術(物理モデルハイブリッド機械学習)

## ● 検知結果

- 多くの例で、抑留発生前に、予兆を捉えることができる。  
(予兆がない抑留もあるため、全ケースで予兆を捉えることは不可能)



No.	Stuck Type	Model No.		No.	Stuck Type	Model No.		No.	Stuck Type	Model No.		No.	Stuck Type	Model No.	
		1	2			1	2			1	2			1	2
1	pack off	—	○	16	unknown	○	×	31	unknown	—	—	46	unknown	—	—
2	pack off	—	—	17	unknown	△	×	32	unknown	—	—	47	unknown	—	△
3	pack off	○	×	18	unknown	—	×	33	unknown	—	—	48	unknown	—	△
4	pack off	—	—	19	differential	—	—	34	pack off	—	○	49	unknown	—	○
5	pack off	—	○	20	pack off	—	○	35	differential	—	—	50	unknown	—	△
6	pack off	—	○	21	pack off	—	○	36	pack off	—	—	51	unknown	—	○
7	mechanical	○	×	22	pack off	—	△	37	unknown	—	—	52	unknown	—	△
8	differential	—	△	23	mechanical	—	—	38	unknown	—	×	53	unknown	—	○
9	differential	×	○	24	mechanical	—	—	39	unknown	—	△	54	unknown	—	○
10	unknown	○	○	25	mechanical	—	—	40	unknown	—	△	55	unknown	—	△
11	unknown	○	○	26	mechanical	—	○	41	unknown	—	△	56	pack off	—	○
12	unknown	△	×	27	unknown	—	—	42	unknown	—	—	57	pack off	—	—
13	unknown	△	×	28	unknown	—	△	43	unknown	—	×	58	unknown	—	○
14	unknown	○	×	29	unknown	—	○	44	unknown	—	△	59	unknown	—	×
15	unknown	○	×	30	unknown	—	—	45	unknown	—	—	60	unknown	—	×

○ 抑留の一定期間前に、高い異常度を示すケース  
△ かなり前段階で高い異常度を示すケース  
× 抑留前に異常を示さないケース  
— 実施対象外

# 新技術(物理モデルハイブリッド機械学習)

## ● 検知結果

- ・ 既往のアルゴリズムと比較し、誤検知率も各段に低下。

### 掘削フィールドに対する検証例

- アラートの発出：130日間の掘削期間中に37ケース
  - ・ 抑留予兆検知の可能性有(この後、現場で対応がなされた)：9ケース
  - ・ 誤検知であるが、除去可能：23ケース
    - ※ 操業状態の変化等に依るもの
  - ・ 誤検知(原因が特定できなかったもの)：5ケース

→130日間の操業中、誤検知を5ケースまで減らせる可能性有り。月1回程度

# 本発明の概要

- 着目する掘削変数を目的変数と、他の掘削変数を説明変数とした回帰モデルにより表現し、対象坑井における(近傍の)履歴データを用いて逐次的に回帰モデル内のパラメータを推定する。
- 対象坑井の履歴データにより、正常状態における「推定パラメータの分布」および「目的変数の推定値と実測値の誤差分布」を求め、現在(～直近)のデータに対する「推定パラメータの分布」や「誤差分布」との乖離度を、異常値として出力する。
- 本手法により、抑留予兆検知精度の改善が見込まれる。

## 想定される用途

- 本発明は異常検知センサーに係る発明であり、掘削時の抑留検知技術以外にも広く活用が可能。

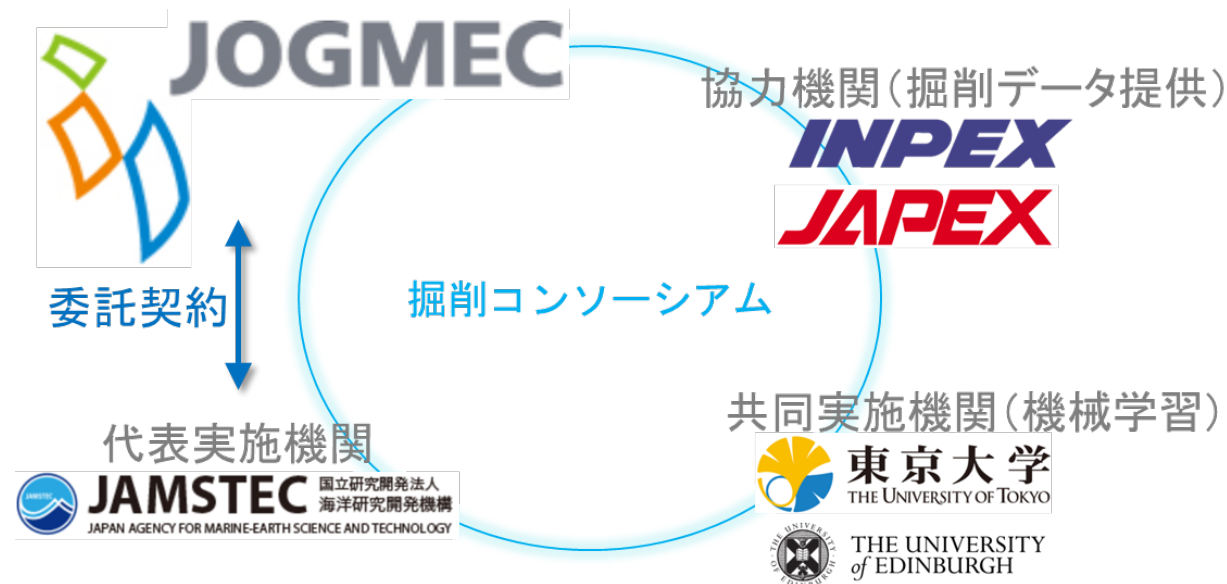
(例：プラント運転時の異常検知 など)

## 企業への期待

- 抑留予兆検知精度の向上、実績の蓄積に向け、掘削現場でのデータ取得、既存データの共有、リアルタイムシステムの検証作業等を継続する必要がある。
  - コンソーシアムへの参加/試行機会のご提供をお願いしたい。
- 抑留検知以外の異常検知についても活用をご検討いただきたい。

# 産学連携の経歴

- 2018年- コンソーシアム体制の確立。データ合意書を締結。契約更新の上案件継続中。
- 特許出願2件、学会講演/論文投稿20件程度





# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 抑留予兆検知手法
- 出願番号 : 特願2023-25074
- 出願人 : エネルギー・金属鉱物資源機構  
東京大学  
海洋研究開発機構
- 発明者 : 三好啓介、安部俊吾、和田良太、  
井上朝哉、金子達哉

# お問い合わせ先

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構  
総務部 知的財産推進課

TEL 03-6758-8020

e-mail [patent@jogmec.go.jp](mailto:patent@jogmec.go.jp)