

11. 土木技術研究グループによる技術経営体制の概要

MOT (Management of Technology) by the Civil Engineering Research Group

田村 泰史^{*1} 渡辺 隆司^{*1}

要 旨

土木技術研究グループでは、新技術活用による施工現場の課題解決と生産能力維持および公益確保の対策を研究方針としている。研究開発は熟練技能のモデル化に主眼を置き、その要素をもとにした複数の開発コンテンツによる展開を計画している。コンテンツの特徴として、熟練技能者の特徴的なスキルをピックアップした定量化モデルにより構成されるシステムであり、施工現場での意思決定の再現により独自性ある開発効果を追求し、その効果として、生産効率化および人材育成による技能伝承の関連性を確保させる。

熟練者が有する技能の定量化については、依然として難易度が高く、開発環境やコストなどのリソースに対するマネジメントへの障壁があり、建設業においても課題となっている。しかし、次世代への関連な技能伝承とその技術経営体制(MOT)における取組みについては、回避できない事象であり、当該コンテンツ開発の継続は、当社にとっても公益性の高い業務であると考えられる。本編では、その取組みについて報告する。

キーワード：熟練技能維持／新技術活用／ロボット技術／予測モデル／生産性向上／公益確保／

1. はじめに

土木施工現場の取り巻く環境として、労働生産人口の低下による人材不足とともに、災害の甚大化、インフラの老朽化、多様化する生活様式などの課題があり、依然としてそれらへの対応を継続する責務は大きい。その課題への対策として、新技術の活用が推進されてきた。新技術活用による効果として、品質向上や施工ロスの削減といった生産の効率化とともに、人の技能習得の促進といった後進の人材育成への相乗効果も期待されるところである。しかしながら、現地一品生産を特徴とする土木施工現場では、新技術導入による成果が一律に得られることが少なく、活用形式をユースケースごとにカスタマイズする必要がある、そのマネジメントは最終的には熟練者の技能に委ねることが多い。つまり、現状の施工現場における新技術活用においては、人の技能との協働環境の構築を考慮したシステムが必要であることがわかる。よって、人材不足の現状においては、その技能の継承を効率的に確保するための“仕掛けづくり”が課題解決の鍵となり、その展開が次世代へ継承すべき知的財産になると考える。

本編では、土木技術研究グループが“仕掛けづくり”における研究開発の課題として主眼を置く、熟練技能の活用について現状の施工現場におけるエラー防止の課題およびその対策として展開中である開発コンテンツの概要と今後の展開について報告する。

2. 新技術活用の現状と課題

2.1 土木施工現場の現状

建設機械や測量機器の他、センシングデータの遠隔モニタリングなどの新技術が施工現場で導入されている。その中でも、建設機械による土工事では新技術活用工種としての管理基準が制定され、実施工において多くの成果が確認されている¹⁾。人材不足の現状における生産性向上対策の観点からも様々な工種や設計から維持管理までのフェーズにおける継続的な導入への取組みが期待されるところである。

2.2 土木施工現場の課題

新技術活用においては、国土交通省による革新的技術導入のプロジェクト(PRISM)等により、現場実装への検証が進められてきた。その結果、遠隔臨場検査や点群データなどの空間情報活用の実用化による効果が顕著になってきた。特に、過去経験した世界的な感染症対策の時勢下においては、非接触による施工管理の手法により最低限の生産性と安全性が確保できるなど、公益性の高い成果が確認されている。

しかし、そのような施工の効率化や時間短縮の効果が確認される一方で、実際の施工現場では、新技術活用時における施工精度や安全性の低下などのエラーを伴った事例が散見されるようになってきた(表-1)。

^{*1} 技術研究所土木技術研究グループ

表－1 新技術活用によるエラーの事例

No	工程	事象	原因	特徴
1	工程：ICT施工 	法面形状の不具合 出来形の不足 設計値との乖離	・オペは気付いた(勘・コツ) ・作業者は原因の確認ができない チェックできない(機造的)	・再施工(除去、盛土) ・コスト増、安全性低下
2	工程：測量工 	計測値の誤謬に気付かない。 計測手順の欠落	・チェックできない(スキルの) にできない ・トラバ一点の確認不足 チェックできない(スキルの)	・データロスト ・操作ミス
3	工程：品質管理 	施工条件に含わず 正確に稼働できない。 機械の誤作動	・スベックが含まない ・コストバランスが含まないため スベックアップができない。 適合確認していない(人的)	・精度が確認できないため 使用中止
4	工程：施工管理 	変動が出ないことが 続く誤作動を疑い、 注視しなくなる。モチ ベーションが下がる 表示内容の不足	・表示用のレンジが含まない ・大きな変動が生じて確認す る(小さな変動では気がな らない) 気がない(気づきたい)	・結果が得られない と、すべてに不安が 残る

現場への事例調査の結果、エラー発生の多くは、履行時におけるチェック不足や判断の誤りといったヒューマンエラーを要因としたものが多くを占めていた。

2.3 具体的な対策

人によるチェック不足の要因は、新技術の機能や精度への依存(思い込み)などのバイアス的なものと、各施工フェーズにおけるチェック体制遵守の不適正や不具合防止への認識不足などのスキルの低下による事案が多くを占めていた。このようなチェック不足やスキル低下の問題は、新技術活用への依存によるものだけではなく、生産活動全般において従来から提起されてきたが、特に、新技術活用によるエラーの発生においては「新技術やロボット技術に対する心理的安心²⁾」が損なわれるとともに、慣れた旧来の技術への依存によるレガシーシステムからの脱却の停滞など基本的な要因として、建設生産システム全体の運用における障壁になると考える。

本来、新技術の活用やロボットとの協働には、人から技術への作法(適正なオペレーション)を施すことでその経験により人が技術から学習できるといったスキルの効果が含まれており、それは次世代への生産能力維持に不可欠な要素として期待されてきた。よって、ヒューマンエラーを防止し、新技術活用による効果を維持させるためにも熟練技能によるマネジメントのシステム化と現場実装への展開が重要である。

3. 研究方針の展開(コンテンツの抽出)

前項より、土木技術研究グループでは、熟練技能の特性を活かしたコンテンツの研究開発とその運用としての現場実装を推進させることを職掌の礎としている。ここで、

研究開発におけるコンテンツについて、熟練者の技能特性との相関およびその概要について説明する。

古より“匠の技”と評される、熟練者の技能をシステムにより再現することは、筆者がこれまで取り組んできたデータ活用や予測モデルによる検証³⁾においても、単純明快なものではないのが立証されている。しかし、昨今のセンシング技術などの高度技術の活用により、熟練者の行動特性とのアプローチが可能になってきた。

熟練者の行動特性として、①計画時における適正配置、②点検時における確認手法、③検査時における性状判定、④施工時における課題解決、そして⑤全般評価としての意思決定、この5つの要件を設定した(表－2)。

表－2 熟練技能の特性と該当するコンテンツ

No	コンテンツ名	フェーズ	技能特性
1	生産技能ナッジシステム (アイスケール)	計画時	リソースの適正配置(人・機材・資材)
2	現場点検システム (アンサーアクト)	点検時	確認のポイントや効率的な手順
3	シビルライブラリ (非接触型施工管理システム)	検査時	熟練者の視覚、触覚等の感覚による判定
4	空間情報活用とデジタルツイン (土留変位計測システム・高所作業安全管理システム・コアドリル安全カバー)	施工時	センシングデータ活用によるマネジメント
5	データ統合システム (めぐりすai)	全般	情報共有・分析による意思決定

これらの特性は、熟練者の“勘やコツ”といった特異なスキルであると考えられる。いずれも経験や広い範囲の知識そして個人の特性により培われてきたものであり、機械学習などの高度な演算によっても再現し難いものである。しかし、この再現方法を探求することが技能伝承のシステム化への基幹になると考える。

4. コンテンツの概要

施工現場の課題解決に展開するコンテンツの開発として、前項の熟練技能の特性をコンセプトとし、システム構築に着手している。以下、コンテンツの概要を列記する。

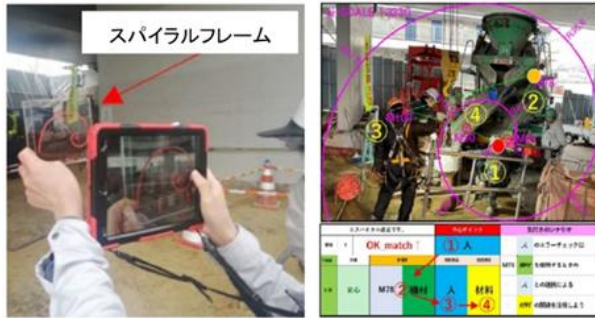
4.1 生産技能ナッジシステム(アイスケール)⁴⁾

(1) 技能特性：計画時における適正配置

リソースの適正配置が、生産性向上に大きく影響する。特に、主要要素となる人・機材・資材をバランスよく配置させる感覚は、予測モデルとして定量化すべきスキルである。

(2) 仕様・内容

基本形式は、画像分析による適正予測である。施工形態の画像を10段階のスコアで適正を評価する(図－1)。



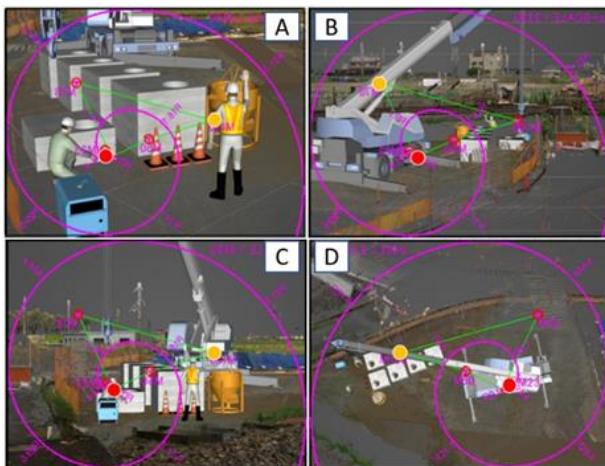
図－1 フレーム撮影（左）と出カイメージ（右）

主要技術は、独自のスパイラルフレームによる撮像で、施工状態の要素（人・機材・資材）構成を定量化させるシステムである。特徴として、当社熟練者のアンケート結果を教師データとして、回帰分析により独自の予測モデルを構成しているところにあり、その予測モデルによる適正評価をシナリオとして出力することでユーザーの気付きを促進させエラー防止に繋げる。また、予測モデルのパラメーターを工事のパターン毎に出力することで、組織自体のスキルの特性を見える化でき、明確な弱点補強による対策で、効率的なスキルアップが可能となる。

(3) 効果と今後の展開

期待される効果として、スパイラルフレームを活用したシステムにより適正な構図の判断基準がルール化されるため、施工現場における熟練者と未習熟者のリスクコミュニケーションの向上に繋がり、エラー防止の効果を得る。また、システム活用による検証で若手技術者の評価傾向の向上が確認されたことから、人材育成のアイテムとしての活用も有益と考える。

今後の展開として、セグメンテーションによる画像識別や機械学習などのシステム構成技術の自動化による



図－2 事故事例による危険予知への評価

組込みアプリケーションとして実装し、施工現場におけるリアルタイムでの判断や事故事例の画像による危険予知（図－2）への活用を目指す。また、要素構成による予測モデルを応用した、構造物劣化要因の推定モデルとしての構築について研究中である。

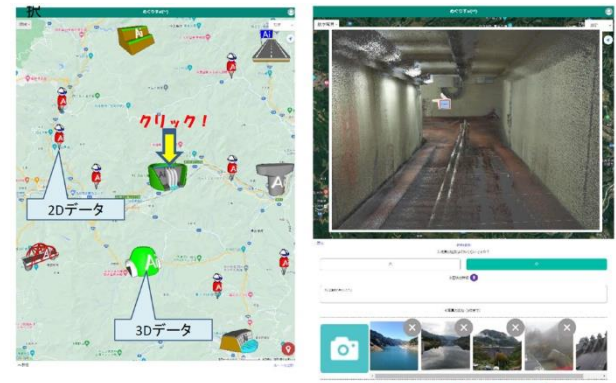
4. 2 現場点検システム（アンサーアクト）

(1) 技能特性：点検時における確認手法

確認のポイント抽出や効率的な手順が、エラー防止に大きく影響する。特に、施工条件や工程（フロー）に則してポイントを押さえた手法は、活きたマニュアルとして定量化すべきスキルである。

(2) 仕様・内容

基本形式は、点検記録を位置情報に紐づけたデータとしての記録方式であり、端末機上で熟練者の視点による記録がフィールドワーク上で可能である。（図－3）。

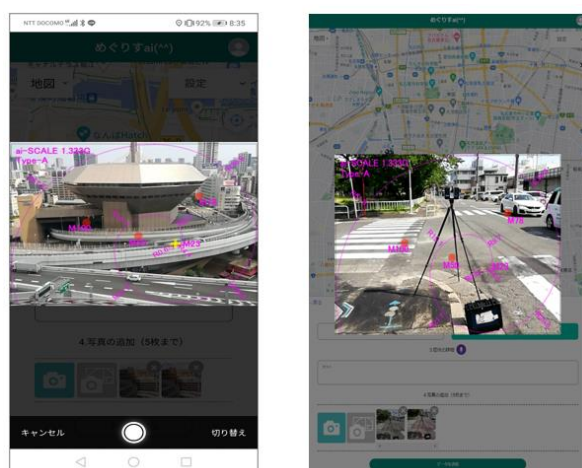


図－3 現場点検システム（アンサーアクト）

主要技術は、2D による地図上での記録保存とともに、多層階構造などの複雑なインフラ構造物への対応が可能な 3D モデルとの連携による記録方式としてアプリ化を行う。特徴として、アプリ内で熟練者による点検ポイントの情報を設定し、点検該当箇所に近接した場合にアラートで気付きを促す。また、コメントの音声入力やカルテ出力などデータ活用のカスタマイズが容易であるところが独自開発の有利性である。

(3) 効果と今後の展開

期待される効果として、2D に関しては、既に技術提案案件として現場実装されており効果が確認されているが、3D についてはダム監査路点検への試行など収益性を含んだ運用を目標とする。今後の展開として、前項のアイスケールにおけるスパイラルフレームによる撮影機能を連携（図－4）させることで、より情報量の多いデータ確保と利活用によるエラー防止が可能になると考える。



図－４ スパイラルフレームとの連携

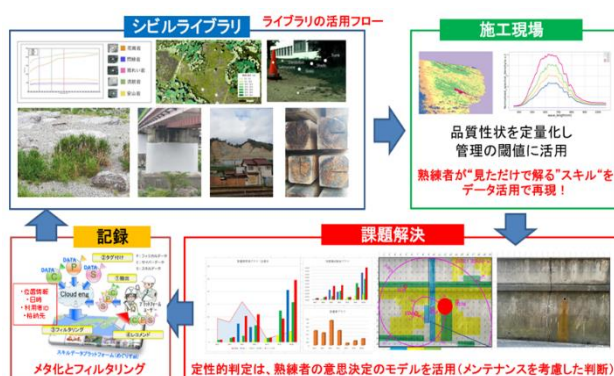
4.3 シビルライブラリ（非接触型施工管理システム）

(1) 技能特性：検査時における性状判定

熟練者の“見た目でわかる”感覚が、品質管理に大きく影響する。特に、コンクリートや土質、鋼材などの主要材料の施工後における品質のばらつきを判定する能力は、熟練者の五感の再現としてモデル化すべきスキルである。

(2) 仕様・内容

基本形式は、画像や計測データによる物質同定による性状判定のシステムとする。従来の物質同定では、鉋物の場合、赤外線分析や X 線解析などの複数の検査結果により同定を行う。この場合、可視領域での情報と過去の実験結果による推定となる。それらの既存の技術と併せて、新技術による計測データを用いた AI 学習により同定の高精度および効率化を行う（図－5）。



図－5 推定モデルのフロー（イメージ）

計測データとして、ハイパースペクトルカメラによる色彩分析、アスベスト抽出などのバイオ蛍光法および 3D スキャニングによる点群計測技術等を活用したデータを蓄積する。主要技術は、蓄積したデータを位置情報

等のタグ付けされたメタデータとして生成し、AI 学習によりさまざまな物質性状の判定を行うシステムである。特徴として、広範囲のデータをマッピング抽出することで、劣化の有無を同条件で定量化できるため、劣化傾向および経過のモデル化により損傷の予防および拡大防止を図る。また、ハイパーデータ×バイオ蛍光法×点群モデルのように複数の情報を組合せた分析により、自然由来物質による構造物の影響についての予測モデルの新技術開発が期待されるとともに、今後、新たに開発される計測手法とのマッチングの可能性を見出すことによる技術開発の適用範囲の拡張を目指す。

(3) 効果と今後の展開

期待される効果として、計測データによる物質同定の方式は、非接触による性状判定が可能であるためインフラ点検などの近接目視にコストを要する対象部への調査業務への効果が期待される。また、計測データをシビルライブラリとして統合格納しておくことでインフラ情報の知的財産として次世代へのアセットマネジメントに対して高い公益性を得ると考える。

今後の展開として、当該研究課題は、基礎研究としてシビルライブラリと予測モデルの構築に長期間を要すると考えられる。これまでの成果と併せて効率的な学習データの蓄積を試みる予定である。また、それと並行して非接触型施工管理システム（図－6）として、前述のアイススケールの予測モデルを応用したシステム設計を行うとともに、JAXA⁵⁾等の革新的技術による公募案件へのマッチングを計画中である。



図－6 非接触型施工管理システム

4.4 空間情報活用とデジタルツイン（現場業務支援）

(1) 技能特性：施工時における課題解決

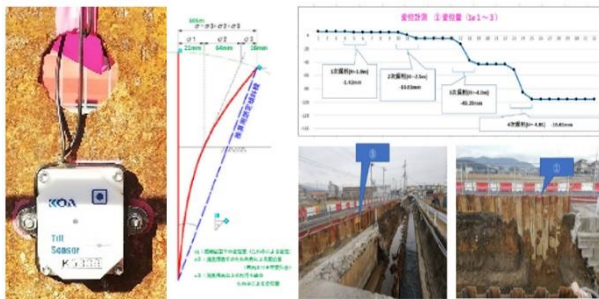
データ活用によるマネジメントが、生産効率化に大きく影響する。特に、センシングデータによる判断の迅速化は、継承すべきスキルである。

(2) 仕様・内容

基本形式は、加速度センサや 3D モデルによる計測デ

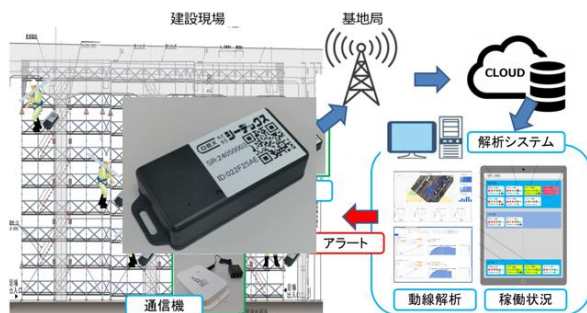
ータなどの空間情報をもとに生産効率化の体制確保が可能な管理モデル（ビジネスモデル）である。独自技術による以下の3つのコンテンツを稼働中である。

①土留変位計測システム（図－7）は、加速度センサによる土留鋼矢板の掘削時における変形をモニタリングすることで管理の効率化と安全性向上を図る。特徴として、既存技術では変位の定量化によるアラートシステムであるが、当該システムでは変位傾向を予測モデルにより推定させるためのデータ編集をシステム内で行う機能を有する。この手法により、変状予測によるエラー防止とともに、通常の加速度センサでは抽出が難しい水平移動の傾向を予測することで変位量算出の精度を向上させる。



図－7 土留変位計測システム

②高所作業安全管理システム（図－8）は、作業足場内部での作業員の稼働状況をセンシングすることで安全環境の確保と生産効率向上を図る。特徴として、作業足場内の空間に通信環境を設定し、作業員に小型センサを携帯させそのセンシングデータによりモニタリングを行う。加速度センサでは、高度計測の精度が得られにくい傾向にあるが、当該システムでは、気圧変換等の演算方法を採用し精度を確保する。現在では、足場内部のフロア検知は完成しているが、今後、複数のセンサを組合せ、作業員の動線解析により危険行動の抽出や稼働率による生産管理などの高度化を図る。

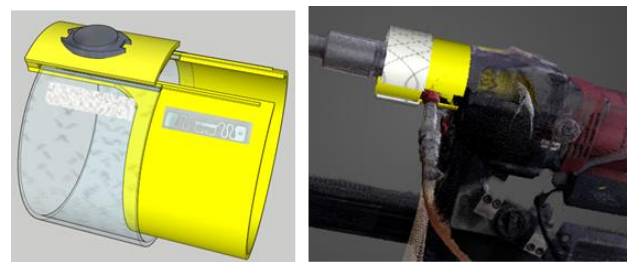


図－8 高所作業安全管理システム

最後に、③コアドリル安全カバー（図－9）の製作として、施工中の災害対応について空間情報の活用とビジネスモデル化による建設DXへの運用を試行中である。

複雑な形状のコアドリルへ装着する防護カバーについて、スキャナ計測と3Dデータによるモデリング、3Dプリンタでの部材製作により実施する。

今後の展開として、部材に磁気センサを添加させコアドリルの稼働状況のセンシングで、カバー未使用による稼働のアラートおよび稼働率の変化による機械の損耗を監視し、安全性確保と生産性向上を図る。また、カバー部材の拡販の他、空間情報技術活用による課題解決のビジネスモデルとして展開を想定している。



図－9 コアドリル安全カバー

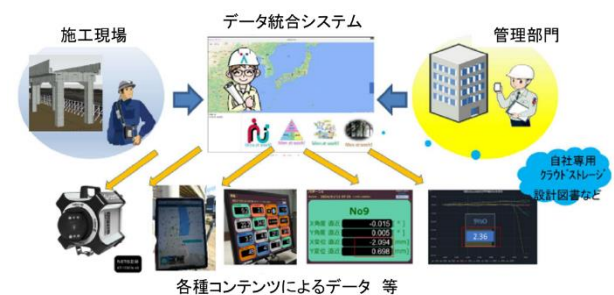
4.5 データ統合システム（めぐりす ai）

(1) 技能特性：全般評価としての意思決定

情報共有による意思決定が、施工管理の全般評価に大きく影響する。特に、施工情報は、現状のデータと過去の実績などを組合せて予測する感覚は、熟練技能者特有の最も貴重なスキルである。

(2) 仕様・内容

基本形式は、施工管理に活用する複数のデータを統合させるプラットフォームとする（図－10）。



図－10 事故事例による危険予測への評価

前項までの各コンテンツによるデータの他、技能者が施工現場での意思決定に必要な情報を格納先とのリンクにより取得する。主要技術は、活用するデータをメタ

データとして付加情報を独自の形式で生成させ、AIにより、そのメタデータによる決定木の抽出パターンをモデル化し、技能者のコンディションに適した施工情報のレコメンドを施す。その情報により気付きを促進させる仕掛けを提供するシステムである。

(3) 効果と今後の展開

期待される効果として、プラットフォームの活用により、技能者の意思決定を促進しエラー防止を図るとともに、技能者の技能訓練のアイテムとして活用することでこれまでの熟練者による技能伝承の形態を再現させる。

今後の展開として、決定木のパターンを熟練技能者の意思決定モデルとして構成することで、次世代のロボット技術への運用を展開させ、ロボット技術活用による安全・安心の確保が可能なシステム構築への研究開発を継続する。

5. まとめ

施工現場の課題解決を目的とした開発コンテンツの概要について述べた。いずれのコンテンツにおいても、画像解析やデータ活用等の新技術を主としたシステム構成となっているが、開発要件については、施工現場の熟練者および未習熟者を対象にした使用性やニーズについての調査結果が土台となっている。このような付加情報の確保もシステム開発の過程において重要であると考え。特に、技術革新の変化に追従できるよう、自社のスキルだけではなく産学連携およびスタートアップ活用といった異業種交流の開発環境の活用等、柔軟な対応による研究開発で他社との差別化を図り成果の確保を継続する所存である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：ICT 施工の普及拡大に向けた取組,
<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001631708.pdf>,2024.11.1.
- 2) 上出寛子・新井建生：人間らしいロボットに対する心理的安心,科学技術社会論研究,第 16 号,2018.
- 3) 田村泰史：意思決定支援システム及びサーバ,特願 2022-030575,2023-11-8
- 4) 田村泰史・上出寛子・中矢大輝・高橋めぐみ・渡辺隆司・新井建生：建設ロボットとの安全安心な協働環境確保のための意思決定システム開発の基礎研究,土木学会,第 22 回建設ロボットシンポジウム,2024.10.
- 5) 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構,JAXA イノベーションハブ「Moon to Mars Innovation」情報提供要請(RFI),
https://www.ihub-tansa.jaxa.jp/rfi/RFI_notice.html,2024.11.1.