

「ノウハウの効果的な伝承につながる人作業伝達等の研究デジタル  
基盤技術」に関する研究開発構想（個別研究型）

令和5年12月  
内閣府  
文部科学省

## 目次

1 構想の背景、目的、内容.....	2
1.1 構想の目的.....	2
1.1.1 政策的な重要性.....	2
1.1.2 我が国の状況.....	3
1.1.3 世界の取組状況.....	4
1.1.4 構想のねらい.....	4
1.2 構想の目標.....	5
1.2.1 アウトプット目標.....	5
1.2.2 アウトカム目標.....	6
1.3 研究開発の内容.....	6
1.3.1 研究開発の必要性.....	6
1.3.2 研究開発の具体的内容例.....	7
1.3.3 研究開発の達成目標.....	8
2 研究開発の実施方法、実施期間、評価.....	9
2.1 研究開発の実施・体制.....	9
2.2 研究開発の実施期間.....	10
2.3 評価に関する事項.....	10
2.4 社会実装に向けた取組.....	10

## 1 構想の背景、目的、内容

### 1.1 構想の目的

#### 1.1.1 政策的な重要性

自動化やデジタルトランスフォーメーション（DX）が進展している現代においても、熟練した人のノウハウに頼る場面は多く残っている。労働人口が減少し続け熟練者不足が深刻化する我が国においては、このような人作業におけるノウハウを残すため、如何に効率的に伝承するかが、経済活動や安全保障の確保の観点から、国民生活を支えるあらゆる領域における課題となっている。このため、このようなノウハウ伝承への対応、人作業を中心としたビッグデータの占有、データ駆動型研究の加速によるイノベーション創出、研究データ・技術ノウハウの安全かつ適切な管理体制の構築は重要である。

熟練した人のノウハウは、個人の経験や勘に基づく、簡単に言語化できない、いわゆる「暗黙知」に基づくものが大勢を占めており、その伝承に大きな困難をもたらしている。熟練技術の分野例としては、農業、建設業、料理、伝統工芸、製造業（町工場の技術等）、プラント、医療、ライフサイエンス等の従事者に訓練が必要となる分野を挙げることができる。本構想では、これら熟練技術の継承を熟練者が不在でも、遠隔であっても可能とするデジタル基盤の構築を想定し、例えば、AI を用いたタンパク質の立体構造解析等、デジタル基盤の構築が進むライフサイエンス分野をユースケースとしてその基盤構築を開始する。

ライフサイエンス分野における研究開発は、人の手による実験作業で得られるデータに大きく依存しているが、実験の複雑さ・煩雑さがあるためにその作業のデジタル化は難しく、需要はあるものの未だ十分な実現はなされていない。また、人の手による実験作業であるが故、実験データのバラつきが創薬の研究開発等におけるその生産性向上のボトルネックとなっている。デジタル基盤を構築し、国内外にて利用を進め、収集したビッグデータの解析及び蓄積を我が国独自で行うことで、創薬の研究開発等の効率化のみならず、新たな価値の創造に対して、我が国が優位性を持続的に確保し、ひいては我が国の不可欠性を高めることに繋がる。

本構想により、このような複雑・煩雑なライフサイエンス分野で「暗黙知」のデジタル化が実現できれば、他分野でもこれに取り組む動機になり、

大きな波及効果が期待できる。

こうした背景の下、本構想は、個別研究型として、領域をまたがるサイバー空間と現実空間の融合システムによる安全・安心を確保する基盤の構築に資する支援対象とする技術として、研究開発ビジョン（第二次）において定められた「ノウハウの効果的な伝承につながる人作業伝達等の研究デジタル基盤技術」において、我が国技術の優位性の獲得を目指すものである。

### 1.1.2 我が国の状況

様々な分野でデジタル技術を用いた熟練技術伝承の試みが進められている。

農業においては、スマートグラスを活用した熟練農業者の技術を見える化する取組を挙げることが出来る<sup>1</sup>。その取組においては、スマートグラスを活用し、熟練農業者が収穫するブドウの選定基準を把握するために画像データを収集している。また、収穫時、スマートグラスで捉えたブドウ画像をAIで解析し、適切な作業指示を表示させることを試みている。

建設業においては、溶接中の動作（速度や視線等）を複数のカメラで計測し、電流・電圧等のデータも収集して、溶接の仕上がりや品質との相関を解析し、訓練システムを開発する取組が行われている。

製造業においては、銅管接続（ろう付け）の際の卓越技能者の動作（角度・速度等）や温度変化を各種カメラやセンサーで計測し、標準化モデルを構築する取組が行われている。

料理においては、調理前後の食材の写真をAIで解析することによるレシピ（文章）の自動生成<sup>2</sup>や、スマートグラスと音声対話による料理支援の取組<sup>3</sup>も報告されている。

ライフサイエンス分野においても、暗黙知の形式知化に関する取組が行われている。例えば、顕微鏡下での細胞の選別において、操作者の判断に

---

<sup>1</sup> 山梨県農業分野の課題解決に向けたローカル5G実証コンソーシアム

<sup>2</sup> 西村太一・橋本敦史・森信介、重要語に着目した写真列からのレシピの自動生成、2006

<sup>3</sup> 柴田翔平・打矢隆弘・内匠逸、スマートグラスと音声対話による料理支援、2016

関わる情報を数値化し、システムにて制御可能とした研究がある<sup>4</sup>。しかし、実験操作における暗黙知を、デジタル化により抽出、形式知化するためには、更なる技術開発を要すると考えられている。

例示したように、映像を主体として熟練技術のデジタル化を考えた際に関わる分野がコンピュータビジョンである。コンピュータビジョンとは、コンピュータとシステムがデジタル画像、動画、その他の視覚データから意味のある情報を導き出し、その情報に基づいて対処し、推奨を行うことが出来るようにする AI 技術の分野のことである<sup>5</sup>。この分野において、国内的に、Instructional video（教育／解説ビデオ）を作成し、手順を基にした人の作業を理解しようという流れがある。また、大規模言語モデルを活用した映像理解もこれから重要となる。

### 1.1.3 世界の取組状況

海外企業により、日常生活の一人称視点の動画から得られる、人の動作に関するビッグデータを用いた AI による作業支援システムの開発がライフサイエンスを除く特定の分野を対象に行われている<sup>6</sup>。なお、ライフサイエンスの実験においては、スマートグラス（Mixed Reality）を用いた作業支援が開発されているが、AI によりリアルタイムに次の操作を提示するような技術はまだ現れていない。

### 1.1.4 構想のねらい

本構想は、これまで取組がなされてきた熟練技術を支える暗黙知の形式知化を、ライフサイエンス分野の実験操作において実現しようとするものである。従来の AI を用いた暗黙知の形式知化は、「成功」例と「失敗」例のデータを入力して機械学習を行い、そこから作業の成功に必要な要素を抽出・提示するものである。その点においては、本構想も同様の考えであるが、ライフサイエンス分野の実験操作は動作が細かなものであり、また

---

<sup>4</sup> 久池井茂、サイバーフィジカルシステムとの統合で形式知化する次世代スマートハンドリングの革新（科学研究費助成事業）

<sup>5</sup> <https://www.ibm.com/jp-ja/topics/computer-vision>

<sup>6</sup> <https://ego4d-data.org/>

操作対象物（容器、溶液等）も解析対象としなければならない等、関与する要素も多い点で、従来の AI モデルでは形式知化することができない、膨大かつ複雑な暗黙知が存在する。そのため、これら暗黙知を形式知化するためには、それ特有の暗黙知を発見・獲得可能な、新たな AI モデル（以下、「ライフサイエンスでの実験等における暗黙知を発見・獲得する AI モデル」という。）を構築する必要がある。また、本 AI モデルにより提示される「成功」に必要な要素を、作業者に伝達し、実行に繋げるための手段も必要となり、これについても前述のライフサイエンス分野の実験操作の特徴に対応した、「作業を支援するアシストシステム」が必要となる。これらの AI モデル及びアシストシステムを開発し、その成果物及び開発の過程で得られた知見を活かして、同様の要素を持つライフサイエンス分野以外の分野における熟練技術（ものづくりに関する様々な作業や、手術手技等）へ展開していく点に、本構想のねらいがある。

## 1.2 構想の目標

### 1.2.1 アウトプット目標

#### <ライフサイエンスの実験等における暗黙知を発見・獲得する AI モデル>

ライフサイエンス実験の多くをカバーすることを視野に入れ、汎用的な実験操作を含むプレートアッセイ<sup>7</sup>、核酸・タンパク質精製<sup>8</sup>、細胞培養<sup>9</sup>等の実験を設定し、熟練者と同等の実験を成立させるために必要な暗黙知を抽出する AI モデルを構築する。また課題毎に、熟練者と非熟練者で実験の成否に違いがあり、その解決が必要とされている実験操作を設定し、暗黙知の発見・獲得を達成する。

#### <作業を支援するアシストシステム>

AI によりリアルタイムに示される作業手順の提示及び作業支援（実験記録等）により、人と協同してライフサイエンスの実験を支援するデバイス等を開発する。また、本デバイス等に用いる機械可読なファイルを基にした自動化システムへの応用可能性を確認するために、ロボット等を用いた

---

<sup>7</sup> 例えば、PCR や *in vitro*（試験管内）試験

<sup>8</sup> 例えば、大腸菌や動物細胞からの精製

<sup>9</sup> 例えば、遺伝子導入や目的細胞への分化

検証を行う。

### 1.2.2 アウトカム目標

発見・獲得した暗黙知の人作業伝達を支援する IT 技術は、熟練技術の継承のみならず、ライフサイエンス分野で生じてきた実験データのばらつき抑制及び実験の成否要因の解明にも繋がり、必要とする実験量・時間の削減による研究生産性の向上が図られる。更に、本構想で得られた成果は、ライフサイエンスの実験操作のみならず、国内外で医療分野における外科手術手技、ものづくりに関わる様々な作業（機器組み立て、溶接等）、各種機器のメンテナンス作業、建設作業、調理作業等に展開することが期待される。また、発見した暗黙知は、IT 技術による人作業伝達が可能な形式として獲得されることから、自動化システムへの応用も期待される。

## 1.3 研究開発の内容

### 1.3.1 研究開発の必要性

#### <ライフサイエンスの実験等における暗黙知を発見・獲得する AI モデル>

研究開発実験の再現を追求するにあたり、論文等の公開文献に記載されている方法は実験を成立させるための情報として不十分であることが多く、検証実験が成立しない理由の一つとなっている。研究室等において内部情報として作成されたプロトコルは、論文よりも詳細な手順まで記載されていることが多いが、それでも実際の作業をすべて記載することは難しく、ここには「プロトコルの行間」が存在する。この「プロトコルの行間」には暗黙知が含まれていることがあり、熟練技術の伝達においては、熟練者がこのような暗黙知を明確に伝達出来る形で認識出来ていないこともある。そのため、このような暗黙知を発見し、伝達可能な形式として獲得することが求められている。

#### <作業を支援するアシストシステム>

熟練技術の伝達をするためには、暗黙知を含む「プロトコルの行間」が補完された作業内容を、作業者に適切に提示可能なナビゲーションシステム（アシストシステム）が必要である。また熟練者・非熟練者に関わらず、効率的な作業支援（実験記録等）を可能とするデバイス・システムも求め

られている。これらのデバイス・システムには、ハンズフリー等の作業性を低下させないもの（ウェアラブルデバイス等）が求められる。

また、自動化システムもアシストシステムの一つとして捉え得る。既存のものは動作パラメータを人の手により入力する必要があるが、活用の機会を広げるにあたり、作業データを基にした AI モデルによる動作ファイルの生成及びその利用・検証を可能とするシステムが求められている。

### 1.3.2 研究開発の具体的内容例

#### <ライフサイエンスの実験等における暗黙知を発見・獲得する AI モデル>

- 一人称視点のカメラや、実験台やクリーンベンチ等に対する複数のカメラから AI の機械学習等に適した質の高い映像（人の動作、操作対象物）及び音声（発話内容）を取得する技術、または IoT 機器（ペットマン等）を含む各種センサーから統合解析に有用なデータを取得する技術を開発する。
- 得られた作業データに対し、操作毎の作業内容の説明をアノテーションし、蓄積する。蓄積した一連の作業データについて、機械学習を通じ、その内容・順番及び動きの適切性について認識する AI モデルを開発する。本モデルにより、作業内容の逸脱を認識することを可能とする。
- 本 AI モデルに対し、熟練者と非熟練者の両方の作業データ及び実験結果を用いることで、実験成功に寄与する熟練者の操作を暗黙知として発見・獲得することを可能とする AI モデルを開発する。
- 暗黙知の発見・獲得の効率・精度を上げるため、熟練者が非熟練者に技能を伝達している場面での作業データも解析対象とする。そのために、言語・映像（視線）の大規模な事前学習モデルを開発し、活用する。

#### <作業を支援するアシストシステム>

- 各種カメラ・センサーとの連携を通じて、AI が作業内容をリアルタイムで認識し、次の手順の提示及び作業内容の逸脱を知らせる作業支援デバイス・システム（ウェアラブルなものに限定しない）を開発する。
- 本デバイス・システムにおいて、実験記録（映像等）も可能なものを開発し、適切な実験ノート作成を支援するものとする。また、従来の

実験ノートでは保存し得なかった暗黙知を含む作業データの保存も可能とする。なお作業者の理解・同意の上で記録を取ることが可能なものとする。

- 自動化システムに転写する技能について、ロボット等による動作が可能な物理パラメータに落とし込む必要がある。そのため、作業データを基に作業内容が認識されたファイルから、機器動作ファイルに変換するための AI モデルを開発する。その後、ロボット等にて、実現したい動作及び結果が得られるか検証を行う。

なお、上記の AI モデル及びアシストシステムの開発は、技術間の連携を担保するため、同一課題内で実施することとする。

### 1.3.3 研究開発の達成目標

#### <ライフサイエンスの実験等における暗黙知を発見・獲得する AI モデル>

ライフサイエンス分野の実験作業データの取得のための技術開発を行う。そして、作業データの取得を進め、操作毎の作業内容の説明をアノテーションし、実験操作における作業内容を認識する AI モデルの開発を行う。また、これらの種類のファイルを格納する、研究用のデータストレージ整備も行う（将来的なオープンプラットフォームとしての利用を想定した一般用データストレージの整備も想定）。なお、作業データ取得、アノテーション等にあたっては、アシストシステム開発と連携して行う。

その後、ライフサイエンス分野での汎用的な実験操作を含む実験について、作業データ取得及び作業内容を認識させたファイルの蓄積を進め、暗黙知を発見・獲得する AI モデルを開発し、既に形式知化されている暗黙知を対象にその発見・獲得が可能であることを検証する。さらに、事業期間内に、各課題で設定する、熟練者と非熟練者で実験の成否に違いがあり、その解決が必要とされる実験操作（形式知化されていない暗黙知）についても、作業データ取得、ファイル蓄積、暗黙知発見・獲得 AI モデルの開発を進め、その発見・獲得が可能であることを実証する。

#### <作業を支援するアシストシステム>

課題毎に設定する課題に対応する作業支援デバイスの要件を設定する。事業期間内に、AI が作業内容をリアルタイムで認識し、次の作業手順の提

示及び作業内容の逸脱を知らせる作業支援デバイス・システム（ウェアラブルなものに限定しない）のプロトタイプを開発する。

また、事業期間内に、作業データを基に作業内容が認識されたファイルから、機器動作ファイルに変換するための AI モデルを開発し、ロボット等にて、実現したい動作等の検証を行う。

より具体的には、提案者の設定した個別の達成目標を基本としつつ、文部科学省及び JST のサポートの下、採択後、研究開発を開始するにあたって行う研究計画の調整にて定めるとともに、研究開発開始後においては、協議会における意見交換を行い、研究開発の開始から 3～4 年程度を目途として、注力すべき技術内容を設定する。

## 2 研究開発の実施方法、実施期間、評価

### 2.1 研究開発の実施・体制

本構想のアウトプット目標等をより詳細に設定するため、研究開発対象となり得る技術動向を踏まえ、プログラム・オフィサー（PO）、当該関係分野の有識者、関係府省等による意見交換を経た上で研究公募を行い、研究開発課題を決定する。

PO の指揮・監督の下、研究代表者（研究開発課題の実施責任を法人が担う場合は当該法人を含む。以下同じ。）が研究開発構想の実現に向け責任を持って研究開発を推進する。また、JST 等の助言に基づき、研究代表者は、適切な技術流出対策を行うよう体制を整備するとともに、研究インテグリティの確保に努め、適切な安全保障貿易管理を行うよう、これらを推進するとともに、研究開発に必要な事項を行う。

研究開発成果を民生利用のみならず公的利用にもつなげていくことを指向し、社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究代表者は PO 及び研究分担者との協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開発途中及び終了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めることとする。

## 2.2 研究開発の実施期間

各研究開発課題の実施期間は原則 5 年以内とする。構想全体で最大 50 億円程度の予算を措置する。

## 2.3 評価に関する事項

自己評価は毎年実施する。外部評価の実施時期は原則、研究開発の開始から 3 年目に中間評価、研究開発終了年に最終評価を実施する。具体的な時期については、担当する PO が採択時点でマイルストーンを含む研究計画とともに調整した上で、JST が決定するものとする。

## 2.4 社会実装に向けた取組

本構想は、プロトコルには記載されていない暗黙知を抽出する AI モデルの開発や、非熟練者による熟練技術の実行も支援するようなデバイスの開発等により、まずはライフサイエンス分野におけるノウハウの効果的な伝承につながる人作業伝達等の研究デジタル基盤技術を確立する。本構想からの社会実装としては以下が考えられる。

第一は、他の研究者への  $\beta$  テスト参画の依頼及びそれに伴う作業データ収集・解析システム、作業支援デバイスのプロトタイプを提供である。本  $\beta$  テストを受けて、ユーザーインターフェース部分を含めたシステムの完成度の向上や、ビジネスモデルの検討を行い、事業者による製品化に繋げる。

第二は、データシェアリングの体制整備に向けた取組である。本デジタル基盤を多くの研究者が利用するにあたり、データストレージの運営体制の検討には企業との議論が必要であり、本ストレージへの格納のルール作りには学会等との議論が必要になると考えられる。

第三は、本デジタル基盤技術の他分野への展開である。本構想の研究成果を、熟練技術の継承等のニーズのある分野に共有し、応用可能性がある場合にはその具体化に向けた調整を行う。

社会実装に向けては、今後設置される協議会の場を活用し、参加者間で研究開発を進める上で有用な情報の交換や協議を行い、これらの取組を円滑に行うことのできるパートナーシップを確立することも重要である。

なお、協議会の詳細は別に示す。また、PO は研究マネジメントを実施する際には、協議会における意見交換の結果も踏まえるものとする。