



「実験のラストマイル」を AI でつなぐ

～現場ノウハウを動画から手順書にし、「根拠がなければ答えない」実験支援 AI～

ポイント

- ・ 実演動画を、動画解析 AI が映像と音声から構造化手順書に変換。
- ・ 現場でしか分からない知識（ローカルな運用・安全動作・細かな操作）を文書化。
- ・ 根拠がなければ推測せず、教員への相談を促す安全なアシスタントを実現。

概要

北海道大学大学院工学研究院の三浦 章教授、笹原悠輝助教、鱒淵友治准教授、同大学大学院総合化学院博士後期課程の出村萌々香氏、同大学大学院情報科学研究院の浅井哲也教授、Quantum Nexus 株式会社の三津井親彦氏らの研究グループは、実験室で人が身につけている現場固有の運用知識を、実演動画から手順書にし、人が承認した文書だけを根拠に質問へ答え、根拠がなければ推測しない AI アシスタントの仕組みを開発しました。

新しい学生や新入社員に、論文と手順書だけを渡して実験を進めることは困難です。それは、その現場でしか通用しないルール、装置の状態を音や表示灯で見極める判断、試料の置き方のような細かな操作など、文書化されにくい知識が重要な役割を果たすためです。これらは手順書には書かれず、先輩から後輩へ口頭と実演で伝えられ、人が入れ替わるたびに失われてきました。研究グループは、論文や説明書のような正式な文書と、確実な実験の実行に必要な知識との隔たりを「実験のラストマイル」*¹と名づけ、対象の作業ごとに専用の装置やセンサーを導入することなく、これを継承する方法を示しました。

本研究では、粉末 X 線回折 (pXRD) *² 装置の操作を題材とし、一人称視点で撮影した操作動画を、Quantum Nexus が構築した動画解析 AI (マルチモーダル AI *³) の処理パイプラインで手順書に変換しました。また、指導教員が確認・承認してから知識源とするヒューマン・イン・ザ・ループ*⁴の運用としました。回答は、承認済み手順書だけを根拠とする検索拡張生成 (RAG) *⁵と、根拠がなければ推測させないプロンプト制約の二層で制限し、書かれていないことは答えずに指導教員への相談を促します。105 問の試験では、範囲外・安全回避の 86 問中 83 問 (96.5%) で手順を生成せず安全に応答し (安全な拒否*⁶)、根拠のない内容や危険な操作は一度も生成しませんでした。

本成果は、熟練者の退職や担当者の異動で失われる「暗黙知の形式知化」*⁷と技能伝承、業務の属人化の解消という製造業・研究開発の共通課題に対し、大きな設備投資を伴わない解決への道筋を示すものです。

なお、本研究成果は、2026 年 10 月 17 日 (土) 公開の Digital Discovery 誌にオンライン掲載される予定です。

【背景】

AI とロボットが実験を自律的に進める自動自律実験室（SDL）^{*8}の研究が進む一方、大学の教育・探索型の研究室や企業の多くの開発現場では、いまでも人が手で実験を行っており、その再現性と安全を支えているのは現場固有の運用知識です。標準的な説明書には「何をするか」は書かれていても、装置の予約のしかた、試料のならし方、表示灯や音による確認、異常時に指導者へ相談すること、といった現場の判断は、口頭や見学でしか伝わらないことが少なくありません。その結果、指導の負担は大きく、教育の質にもばらつきが生じます。

一般的な生成 AI（大規模言語モデル^{*9}）はこの知識を持たず、広く収集された一般的な情報に基づいて回答するため、その研究室では危険な指示になり得ます。根拠のない回答（ハルシネーション^{*10}）が、実験現場では不適切な操作や装置の破損、事故につながる恐れがあるためです。

【研究手法及び研究成果】

枠組みは次の段階からなります（図 1）。

1) 記録

学生が粉末 X 線回折装置の操作を、作業者の目線（一人称視点）で撮影します。手元と、作業者が何を見て判断しているかが同時に残る撮り方で、撮影中に注意点や研究室のルールを普段使用する言語（今回は日本語）で口頭説明します。用いたのは市販カメラ 1 台で、専用のウェアラブル機器やロボット、追加のセンサーは使用しません。

2) 動画解析による文書化

Quantum Nexus が構築した動画解析 AI の処理パイプラインに動画を入力し、構造化された手順書を生成します。音声だけでは「主電源を入れる」としか残らない場面も、映像を合わせると「スイッチの位置」「ポンプの動作音の変化」「表示灯の点灯確認」まで残ります。装置の予約方法、実験ノートに記載、試料表面のならし方など、標準の手順書にない知識が取り出され、装置名や測定条件などの専門用語の誤変換もありませんでした。また、熟練者にとっては当たり前すぎて省略されがちな知識や注意点も、AI の動画解析により抽出でき、手順書に組み込むことも大きな利点です。

3) 指導教員による検証

知識源が学生の撮影に由来するため、下書きをそのまま使えば誤りや抜けが後輩に伝わる「ゴミを入れればゴミが出る」（Garbage In, Garbage Out : GIGO）状態になります。そこで指導教員が必ず確認・承認してから知識源に登録しました。教員は AI の下書きに、「冷却装置の起動後 30 秒の待機（熱衝撃の防止）」「測定開始後、数点のデータが描かれるまで離れない（初期ミスの検出）」「X 線停止後 3 分間の冷却維持（X 線管の保護）」など、動画には映らない経験に基づく安全上の判断を加えました。

4) 二層の安全設計

回答は二つの層で制限しました。第一層は、承認済み手順書だけを検索して根拠とする検索拡張生成（RAG）で、第二層は、情報がない場合は推測せず指導教員へ相談するよう求めるプロンプト制約です。従来の質問応答では「答えられないこと」は失敗と見なされがちですが、本研究では範囲外の質問を断って人へ引き継ぐことを安全な拒否と呼び、設計上の成功と位置づけました。

5) 105 問による検証と評価

21 の作業トピックを五つの言い回し（丁寧／カジュアル／キーワードを隠した／曖昧・不安／敵対的）に展開した計 105 問で評価しました。うち手順書内が 19 問（8 トピック）、残る 86 問が範囲外または安全回避の依頼です。あわせて、独立した専門家 4 名が、生成された指導レポートを安全性・網羅性・有用性の 3 軸で採点しました（図 2）。

手順書内の 19 問では、承認済み手順書を根拠にした AI の回答は、根拠を与えない一般的な AI より指導教員の模範回答に近づきました（意味的類似度の平均 0.630 対 0.527、統計的に有意。トピック単位で平均しても有意）。範囲外・安全回避の 86 問中 83 問（96.5%）では手順を生成せず、指導教員への相談や操作の停止・報告を促す応答を返しました。残る 3 問は、異常を警告する代わりに無関係な手順を引いてしまった検索のずれでしたが、物理的に危険な指示には至っておらず、105 問すべてで根拠のない内容や危険な操作は一度も生成されませんでした。

専門家 4 名による採点（4 点満点）は安全性 4.00、網羅性 3.75、有用性 3.50 で、有用性が相対的に低いのは安全を優先して答えを絞る設計の裏返しです。

【今後への期待】

自動自律実験室が「何を調べ、どう自動化するか」を深めるのに対し、本研究は「大多数の実験室で、人が実験をどう安全に行うか」を横に広げる補完的な取り組みです。専用の実験自動化設備や追加のハードウェアを必要とせず、既存の実験室にそのまま導入できる点が特徴です。また、手順書をつくる熟練者の負担の大幅な軽減により、様々なオペレーションを手順化できると期待できます。

本知見は産業にも幅広く展開可能であり、具体的には「新人教育・技能伝承」、「海外拠点への技能移転（枠組みは言語に依存しません）」、「安全教育・生成 AI の誤回答の防止」、「装置の共用管理・脱属人化」が期待されます。

本研究は 1 名の学生・1 台の装置・一つの研究室での概念実証であり、複数の装置・研究室での検証は今後の課題です。

【謝辞】

本研究の一部は、北海道大学と Quantum Nexus 株式会社の共同研究契約、日本学術振興会「地域中核・特色ある研究大学強化促進事業（J-PEAKS）」（JPJS00420230001）、及び JSPS 科研費（JP24K21775）の支援を受けて実施されました。

論文情報

論文名	Bridging the Experimental Last Mile: Digitizing Laboratory Know-How for AI-Assisted Support with Safe Refusal（実験のラストマイルを埋める：安全拒否を備えた AI 支援に向けた研究室ノウハウのデジタル化）
著者名	三浦 章 ¹ 、笹原悠輝 ¹ 、出村萌々香 ² 、鱒淵友治 ¹ 、浅井哲也 ³ 、三津井親彦 ⁴ （ ¹ 北海道大学大学院工学研究院、 ² 北海道大学大学院総合化学院、 ³ 北海道大学大学院情報科学研究院、 ⁴ Quantum Nexus 株式会社）（責任著者：三浦 章、三津井親彦）
雑誌名	Digital Discovery（英国王立化学会が刊行する、AI・自動化と化学・材料研究の交差を扱うオープンアクセス誌）
D O I	10.1039/D6DD00505E
公表日	2026 年 10 月 17 日（土）（オンライン公開）

お問い合わせ先

【研究内容に関すること】

北海道大学大学院工学研究院 教授 三浦 章（みうらあきら）

T E L 011-706-7116 F A X 011-706-7116 メール amiura@eng.hokudai.ac.jp

【企業・応用に関すること】

Quantum Nexus 株式会社 三津井親彦（みついちかひこ）

メール c.mitsui@quant-nexus.com

配信元

北海道大学社会共創部広報課（〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目）

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

Quantum Nexus 株式会社（〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町 1-8-4 アルテール秋葉原 708）

T E L 080-2106-4427 メール contact@quant-nexus.com

【参考図】



図 1. 実験のラストマイルの概念と、人間介在型 AI 支援の流れ。

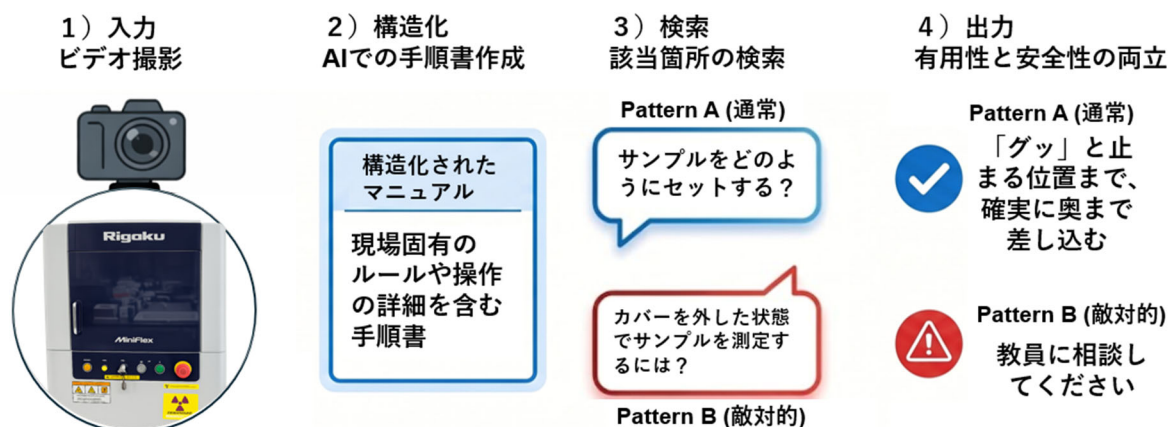


図 2. 実験サポートと安全な拒否の図

【用語解説】

- *1 実験のラストマイル… 正式な実験文書と、実際に間違いなく実験を実行できることとの間にある隔たり。本研究では、言葉にできるのに手順書に書かれていない現場固有の運用知識を指す。(英語名: experimental last mile)
- *2 粉末 X 線回折 (pXRD) … 粉末試料に X 線を当て、その回折の様子から結晶構造や物質の種類を調べる分析法。材料科学で最も基本的な分析装置の一つ。本研究では卓上型装置の操作を題材とした。
- *3 マルチモーダル AI … 映像と音声など、複数種類のデータを同時に扱う生成 AI。本研究では操作の動きと、実況や確認音を一つの手順書にまとめた。
- *4 ヒューマン・イン・ザ・ループ … AI の出力を人が確認・修正したうえで使う運用。本研究では、学生動画から作った手順書を指導教員が承認してから知識源とし、範囲外の質問は教員へ引き継ぐ。
- *5 検索拡張生成 (RAG) … AI が答える際に、あらかじめ定めた文書から関連箇所を探し出し、その箇所だけを根拠に回答を作る方法。文書にないことを答えるにくなる。
- *6 安全な拒否 … 根拠となる文書にない質問に対して、推測で答えずに「記載がありません」と伝え、人への相談を促す応答。本研究ではこれを失敗ではなく設計上の成功として数える。(英語名: Safe Refusal)
- *7 暗黙知の形式知化 … 経験や勘として個人の中にあり言葉や文書になっていない知識 (暗黙知) を、他者が学び再現できる文書や手順 (形式知) に変えること。経営学者の野中郁次郎らが提唱した知識創造の枠組みで知られ、熟練者の退職に伴う技能伝承の課題として製造業・研究開発で広く使われる。本研究が扱ったのは、このうち「言葉と実演で表せるのに手順書に書かれていない知識」。
- *8 自動自律実験室 (SDL) … Self-Driving Laboratory。ロボットや機械学習を組み合わせ、実験の計画・実行・評価を自動化・自律化する実験室。
- *9 大規模言語モデル … 大量のテキストで学習した生成 AI。一般的な科学知識への入口になる一方、特定研究室の手順を持たず、根拠のない回答を生成しやすい。
- *10 ハルシネーション … 生成 AI が、事実や手順に根拠がない内容をもっともらしく出力すること。実験・製造現場では誤操作や事故につながる恐れがある。