

Copilot を使用した生物実験規則の作成

○千賀 信幸

量子科学技術研究開発機構 NanoTerasu センター管理部保安全管理課

1. はじめに

3GeV 高輝度放射光施設 NanoTerasu（以下「NanoTerasu」という。）は仙台市の東北大学青葉山新キャンパスにある世界最高強度の放射光施設である。2024 年 5 月から稼働しており、コアリッションビームライン 7 本、共用ビームライン 3 本の計 10 本（設計本数 28 ビームライン）を運用している。NanoTerasu は、官民地域パートナーシップに基づき、施設設置者であり国の主体である国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（QST）に加え、地域パートナーの代表機関である一般財団法人光科学イノベーションセンター（PhoSIC）と特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律に基づく利用促進業務を行う公益財団法人高輝度光科学研究センター（JASRI）の参画を得て運営している。利用制度は、成果公開型の利用である共用利用に加え、成果非公開の利用であるコアリッション利用も可能であるため、幅広い産業利用が可能である。表 1 に NanoTerasu の概要を示す。

表 1 NanoTerasu の概要

施設名	3GeV 高輝度放射光施設 NanoTerasu
施設設置者	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
地域パートナー [代表機関]	一般財団法人光科学イノベーションセンター
登録施設利用促進機関	公益財団法人高輝度光科学研究センター
整備費用	約 380 億円
電子ビームエネルギー	3GeV
蓄積電流値	400mA（設計値）
水平エミッタンス	1.14nm・rad
線型加速器長	110m
蓄積リング長	349m
ビームラインポート	最大 28 ポート

NanoTerasu は国内の放射光施設として初めて実験のためにユーザーが立ち入るエリア（実験ホール）

を放射線管理区域から除外することを実現した結果、放射線業務従事者以外の人も利用可能である。

2. ソフトマテリアルを観察するのに適した波長

NanoTerasu は軟 X 線（～2keV）からテンダー X 線（2keV～5keV）領域の X 線を発生させるのに最適化された放射光施設で、主にソフトマテリアルや軽元素の電子状態測定に用いられている。表 2 に稼働しているビームラインの利用目的一覧を示す。

表 2 ビームライン一覧

共用ビームライン		
BL 名	測定手法	研究テーマ
BL02U	RIXS（共鳴非弾性 X 線散乱）	強相関電子系、磁性励起、超伝導、軌道・スピン励起
BL06U	ナノ ARPES	トポロジカル物質、2 次元材料、表面電子状態
BL13U	XAS / XMCD / ナノ吸収分光	元素選択分析、磁性材料、スピントロニクス
コアリッションビームライン		
BL07U	XPS / resonant PES / XAS	電子状態解析、化学結合状態
BL08U	operando XAS / XPS	作動中計測（電池・触媒）
BL08W	XRD + XAFS（複合）	結晶構造 × 電子状態
BL09U	operando XAS / 時分割分光	プロセス中の状態変化追跡
BL09W	SAXS/WAXS / 階層構造解析	マルチスケール構造
BL10U	コヒーレント回折 / タイコグラフィ	ナノ構造の実像観察
BL14U	X 線顕微分光（STXM 系）	化学・磁区イメージング

例えば新薬開発を想定した場合、NanoTerasu の高輝度放射光を用いると標的タンパク質の立体構造を

短時間かつ高精度で解析できる。また、豊富な X 線エネルギー領域により結合部位の電子状態変化を詳細に評価でき、新薬の作用の理解と候補化合物の最適化に寄与する。さらに、オペランド測定によって薬が実際に作用する瞬間をリアルタイムで解析でき、副作用やリスク要因の早期把握にも寄与する。このように、NanoTerasu の放射光は研究及び産業応用と幅広く利用することが可能である。

3. 安全管理の難しさ

NanoTerasu では管理運営基本規程に基づき建屋管理は PhoSIC、加速器管理は QST など分担して管理を行っているが、安全に関するルールや施設利用のルールなどの共通事項の決定は、取りまとめ機関である総括事務局が行うことになっている。

共通事項のルール作りは、その組織文化を反映するため、3 機関をまたぐ規則作りは意見の対立が多く難航する場合が多い。各機関の組織文化を理解しながら落としどころを見つけることが、規則作りの最も肝となる。また、安全衛生管理は各機関で実施することになっているため、例えば、安全衛生委員会の審議内容や衛生管理者巡視の内容などはブラックボックス化されており、どのような活動が行われているか分からない。そのような状況の中で重要なことは、お互いの意見を聴くことである。これにより相手の問題意識を共有し、効率的に落としどころを見つけることが出来る。

4. 生物関係の規則が必要な理由

NanoTerasu の放射光はソフトマテリアルの測定に向いている波長領域であるため、新薬開発や遺伝子組み換え植物などの測定に応用可能である。例えば、この新薬開発には、精緻な構造解析や反応過程の観察が必要不可欠であり、これらの試料の扱いには安全性・倫理性の観点から規則に基づく取扱いが求められる。特に、遺伝子組み換え体やレトロウイルス（バクテリオファージ）を用いた実験は、産業利用と密接な関係を持つことから、物性実験のような非生物実験との両立を図るうえで生物実験に関する安全管理規則の制定が望まれていた。

5. 実験ホールを考慮した生物実験安全管理規則の設計

生物実験を実施するにあたり、関連する法令は大きく分けて以下の 3 つに分類される。

1. 遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（通称、「カルタヘ

ナ法」）

2. 動物の愛護及び管理に関する法律（通称、「動物愛護法」）
3. 感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律（通称、「感染症法」）

これらの法律を遵守するような規則を作成しなければならないが、NanoTerasu の実験ホールは、その特殊性から法令順守はなかなか難しい。以下に実験ホールの特徴を列記する。

- ・実験ハッチ以外は、実験ホール内に一般的な生物実験を行えるような閉鎖空間はない
- ・実験ホール内は蓋付きの飲料のみ摂取可
- ・放射線発生装置使用施設ではあるが、実験ハッチ以外は非管理区域のため、一般の見学者が立ち入る

上記を踏まえ、施設としての制約及び法規制との整合を図るため、生物関係の規則を以下の方針に沿って作成することとした。

- ・実験動物に対する衛生基準（衛生管理）、施設基準を満たすことが困難であるため、動物実験は禁止
- ・別の施設で加工された状態の“生物試料”の測定は可能
- ・実験ハッチを“通常の生物の実験室（閉鎖空間）”として考え、確実に不活化をすることで P1 実験のみ可能
- ・実験ハッチ内で安全に作業を行うために必要な設備と手順を考慮し BSL1 実験のみ可能
- ・通常は各法令に対して各規則を作るが、重複する箇所が多いことから一つの規則とする

6. Copilot への指示と出力結果

本研究では、生物実験安全管理規則の原案作成に際し、Microsoft Copilot（以下「Copilot」）を文書作成支援ツールとして活用した。生物実験に関する規則類は、法令遵守だけでなく、各機関の組織体制や設備特性に即した構成が求められる。そこで、AI がどの程度まで「形式」と「内容」の双方を整えた規則案を生成できるかを検証し、実務への適用可能性を評価することとした。

Copilot への指示に際しては、まず QST および東北大学で実際に運用されている関連規程を読み込ませ、規程文書に共通する文体・条項構造を把握させた。その上で、表 3 に示すとおり、規則を構成する章立てと各章に登場する役割（生物実験安全責任者、実験責任者、実験者等）を明確に指定し、文書全体の枠組みを提示した。

生成された文書を確認したところ、章構成は指示

通りとなっていた。特に、総則、組織体制、通知・報告など、文書全体を構造づける部分については、事前に与えた枠組みが忠実に反映されていた点が特徴的であった。一方で、内容については、用語の定義が簡略化されていり、生物実験安全責任者の職務に実務的作業が含まれるなど、役割整理にばらつきがみられる箇所も確認された。また、参照させた他機関の規則文の影響とみられる記述が一部に含まれており、NanoTerasu の体制と必ずしも一致しない部分もあった。全体的には、“雛形”としては良くできていたが内容は期待以下であったとの印象である。

表3 Copilot へ指示した章立て及び役割分担

章	登場人物
第1章 総則	生物実験安全責任者 →生物実験の実施に関する総括
第2章 生物実験	
第3章 組織及び職務	
第4章 通知及び報告	実験責任者 →生物実験の実施に関する実務
第5章 区域・使用・保管・運搬	
第6章 教育・健康診断・異常時の措置	実験者（共同実験者） →実験責任者の指示に従い行動する
第7章 記録・罰則	

7. Copilot からの結果を考察

内容が想定より抽象的になった理由として、指示した情報量の不足が挙げられる。特に記録管理に関する項目では、「誰が」「何を」「いつまで」管理するかといった基礎情報を与えないまま生成を行ったため、「実験者は実験結果を保管する。」といった、具体性や実務性を欠く表現が生じた。AI は不明瞭な部分を一般化して補完する傾向があるため、前提条件が曖昧な場合には最も一般的な規程像に収束してしまうものだと解釈される。

さらに、作成前に Copilot へ読み込ませた規程が影響したことで、NanoTerasu とは直接関係のない設備・組織構造（例：動物実験施設、遺伝子組換え実験支援部門等）が条文中に登場した。本来の目的は“章立ての参考”であったにもかかわらず、AI はそこから組織の存在自体を前提として推論し、規程に織り込んでしまったと考えられる。このことは、事前学習データと追加読み込みデータの双方が推論に強く影響する という LLM（Large Language Model：大規模言語モデル）の性質を示唆している。

一方、章立てや条項の並び順については、指示通りの構成が忠実に反映されていた。これは、LLM が構造化された指示（章立て）を特に高い精度で反映できる特性によるものだと考えられる。すなわち、形式的構造の生成は強いが、内容の専門性は入力 of 具体度（入力情報の量）に依存するという傾向が今回の結果から確認できた。

8. Copilot による文書及び適法性の確認

Copilot により生成された規則案は、“雛形”の段階で既に体裁が整っていたため、以降の作業は主として内容の修正・補強を行うだけであった。従来、人手で一から作成する場合は、章構成の検討や条文間の整合性確認に多大な時間を要するが、AI が初期案を即時生成することで、文書作成工程の大幅な効率化につながることが確認できた。この点は、規程類のように構造が明確で、かつ形式的要件が多い文書において特に有効である。

人手による内容修正は、組織固有の体制や登場人物を踏まえた条文調整など、AI では判断が難しい領域を中心に編集を行った。修正後の素案を一通り完成させた後、Copilot を用いて適法性の確認、誤字脱字の検出、条文の矛盾点の抽出を実施した。この工程は、従来であれば複数名による校閲が必要であったが、AI によって迅速かつ一定の基準でチェックが行われるため、作業負荷の軽減と他条項との整合性向上が同時に達成された。特に適法性の確認では、生物実験に係る複数の法令（例：感染症法、カルタヘナ法等）について、関連条文や指針等の公開資料を引用しながら、「本規則案の記述がどの法的要件に対応しているか？」をエビデンス付きで提示する機能が有効であった。この手法により、単なる文書校閲を超えて、適法令性の検証が可能となり、規則としての信頼性を高めることができた。さらに、条文内の矛盾点や重複表現についても、自動的に指摘され、確認した上で修正を行った。加えて、修正箇所を明示する“赤入れ版”を出力することで効率的に編集作業を進めることが出来た。

9. Copilot の適切な使用方法

現行の LLM は、基本的に文字情報をもとに推論を行う構造であり、人間同士のようない「行間」や「阿吽の呼吸」に相当する暗黙の了解や非言語的コミュニケーションを前提にできない。このため、入力情報が不足している場合には、AI が一般的な知識や典型事例を用いて内容を補完し、結果として一般化された条文や組織構造が生成される傾向がある。従っ

て、実務に適合した文書を作成するには、章ごとの目的、役割分担、法令上の要件など、必要な前提情報を丁寧に与えることが前提条件となる。

一方で、Copilot は構造化された情報の整理や文書の形式整備が非常に得意であり、特に 雛形作成・条文の整理・校閲作業の分野では、人手では時間を要する作業を短時間で高精度に実行できる点が大きな利点である。特に、適法性チェックや矛盾点指摘、誤字脱字の検出、条文間の整合性確認といった「論理的一貫性を検証する工程」においては、人手による読み合わせにも匹敵する精度を示した。

以上を踏まえ、Copilot を安全管理文書の作成に用いる際には、

- ① 人間による前提条件の明確化
- ② AI による構造生成
- ③ 人間による内容調整
- ④ AI による整合性チェック

というサイクルが最適と考えられる。特に校閲機能として利用する場合、誤記訂正・表現統一・矛盾個所の検出など、人間による校正作業の補助ツールとして極めて有効である。

10.まとめ

従来の規則作成業務は、関連法令の読み込み、条文要件の抽出、組織体制との整合性検証、章構造の設計、条文の起草、さらに複数名による校閲を経て、ようやく完成に至るという、多大な時間と労力を要するプロセスであった。特に、条文構造の整理や用語統一、矛盾点の解消といった作業は、経験値に依存し、属人的になりやすい点が課題であった。

本研究で実施したように、Copilot を文書作成プロセスに組み込むことで、初期案の生成、形式面の整備、適法性の一次確認、条文間の整合性チェックといった工程を短時間で実行でき、作成者はより重要な「内容の精緻化」「組織固有の要件を反映」といった本質的な作業に集中することが可能となった。その結果、大幅な時間短縮と文書品質向上の両立が実現した。

以上の検討から、Copilot は安全管理規則のように形式要件と法令整合性が求められる文書に対しても、適切に使えば実務レベルで十分に適用可能なツールであることが明らかとなった。