

## ムーンショット目標 8 PM 追加公募における PD の方針

PD: 三好 建正 (理化学研究所 計算科学研究センター チームリーダー)

本公募では、現在のプログラムポートフォリオで不足している、豪雨(線状降水帯を含む)や強風の制御を主な目的とする研究開発を実施する PM を追加で募集します。

### 1. ムーンショット目標達成に向けた本研究開発プログラムの概要

地球温暖化が進み、台風や豪雨等の極端気象による風水害が激甚化・増加している中で、災害につながる極端気象自体の強度やタイミング、発生範囲などを変化させることができれば、直接的な被害を回避することや格段に被害を軽減させられる可能性があります。

ムーンショット目標 8 では、2050 年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会の実現を目指します。

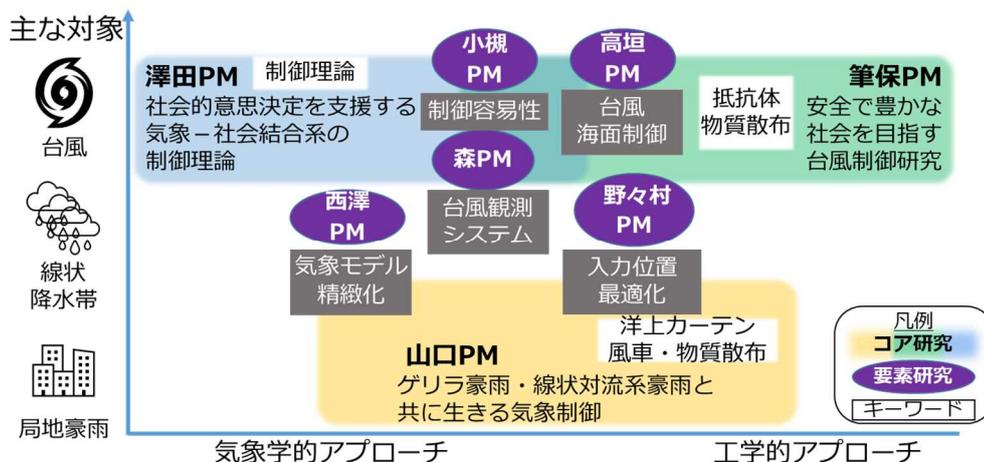
この目標達成に向けて、本研究開発プログラムでは、極端気象の深い理解、気象モデルやデータ同化、アンサンブル手法などの気象予測技術の向上等により気象制御理論の構築を進めるとともに、社会的・技術的・経済的に実現可能な気象制御技術の実現を目指した研究開発を進めていきます。詳細は、本方針の最後に掲載している「2021 年度 PM 公募における PD による補足」を参照してください。

### 2. ポートフォリオとその取組状況

#### (1) ポートフォリオ

本研究開発プログラムにおいては、我が国において極端風水害を引き起こす可能性の高い気象として、台風から局地的な豪雨・強風までの幅で捉え、それらに対応する研究開発を推進しています。

また、2050 年の社会像からバックキャストし、全体シナリオを描いた上で進める「コア研究」と、現段階では全体構想を描くことが困難であるが尖ったアイデア等を大胆に探索する「要素研究」の 2 種類の研究開発プロジェクトでポートフォリオを構成し、各プロジェクトが連携・協力しながら、気象制御の達成に向けた研究開発を推進しています。

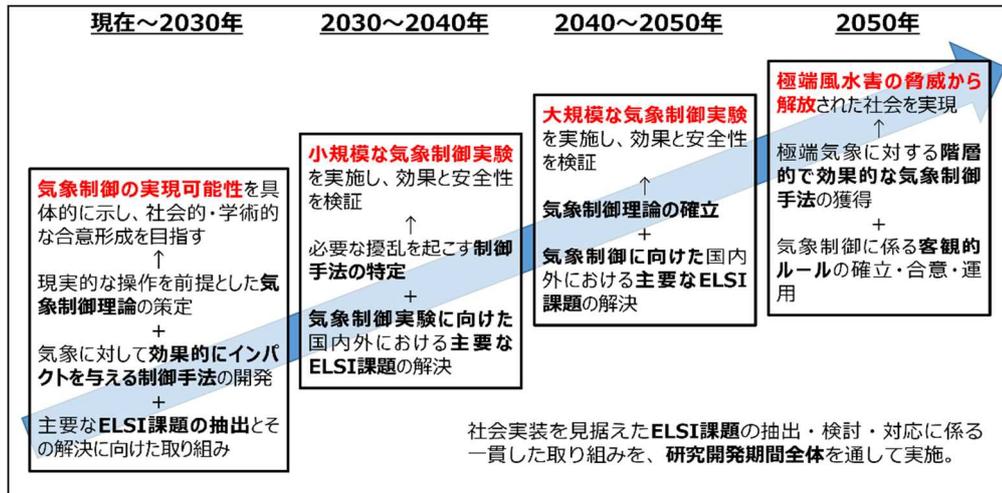


(図) 本研究開発プログラムのポートフォリオ

(2) 現在の取組状況

本研究開発プログラムでは、コア研究3プロジェクトと、要素研究5プロジェクトが、前項の通り役割分担を行いながら、研究開発を推進しています。

2050年に気象制御を実現するためには、2030年代から2040年代にかけては、気象制御実験の規模を徐々に拡大しながら実施し、効果や安全性を検証する必要があります。この際、科学技術的に可能であることのみならず、各年代・実験規模に応じて運用ルールの策定や社会合意を含めた ELSI（倫理的・法的・社会的課題）の解決もなされなければなりません。そして、今から2030年までの期間では、まず気象制御の理論的な実現可能性を気象シミュレーションの中で証明することが最も肝要です。その後には操作手法の本格的開発に取りかかり、2030年までに ELSI を考慮した上で実施する小規模な屋外での実験によって、工学的にも気象制御が実現可能であることを示します。



(図) 本研究開発プログラムの全体計画

コア研究のうち、主に台風を対象とする研究開発を推進しているのが、澤田洋平 PM と筆保弘徳 PM の 2PM です。もう 1 人の PM、山口弘誠 PM は、都市豪雨や線状対流系豪雨を主な対象としています。上記のプログラム全体計画に基づいた、各 PM の当初 5 年間の重点的な取り組みは以下の通りです。

●澤田洋平 PM

台風を人間が扱える程度のエネルギーで制御が可能であることを理論的に示すとともに、社会的に合意可能な気象場を選択する技術を開発する。

●筆保弘徳 PM

シーディングや風への抵抗力としての船舶といった台風への介入手法を想定しながら数値モデルの改良や制御の模擬実験を行い、気象制御の可能性を明らかにする。

●山口弘誠 PM

豪雨の発生メカニズムにおける都市に由来する気流渦の関係を明らかにする他、周辺の風や水蒸気流を変化させることで豪雨を制御する技術を開発する。

また、プロジェクト横断的な活動として、ELSI の抽出と解決に向けた取り組みや、気象シミュレーション技術や気象制御理論の高度化に向けた数理科学面からの取り組みなどを、積極的に実施しています。

### (3) 目標達成に向けた現状の課題

本研究開発プログラムでは、2050年に極端風水害の脅威からの解放を目指していますが、現状の科学技術の進展のみでは達成が困難であり、多くのブレークスルーが必要であると考えています。このため、極端風水害の原因となる極端気象を制御するための多様なアイデアやアプローチを用いて、様々な気象について多様な方法で研究開発を行い、その成果やノウハウを糾合していくことで目標達成の可能性が最大限広がると考えています。

他方、本研究開発プログラムの現状に鑑みると、線状降水帯～局地豪雨のような比較的スケールの小さい現象や、中高緯度に特有の極端気象についての研究開発が不足しており、2050年において極端気象全般による脅威から解放されるためにはさらなる拡充が必要です。また、様々な原因や形態の豪雨や強風がありますが、現状では取り組みの種類が十分ではないと考えています。

今般、これらの課題に対する対応策の一つとして、コア研究のPM追加公募を行います。

## 3. 本公募で追加募集する研究開発テーマおよび要件

### (1) 研究開発テーマ

豪雨（線状降水帯を含む）や強風の制御を主な目的とする研究開発

※豪雨や強風を主な対象としていけば、台風等の大きなスケールの気象を含んでいても構いません。

### (2) 研究開発の種類

コア研究

※今回の追加PM公募では、要素研究は募集しません

### (3) 募集の全体方針

現在の社会と技術から未来を予測する「フォーキャスティングする」考えと、2050年の社会を起点にして逆算し今何をすべきかを「バックキャスティングする」考えとの両方を考慮して、2050年までのシナリオと、ムーンショット目標8開始時点から10年目（2031年）、5年目（2026年）、3年目（2024年）までのシナリオ・研究開発を提案してください。提案されたシナリオ等の内容には、2050年の目標達成につながる事、挑戦的かつ革新的であること、倫理的・法的・社会的課題（ELSI）も考慮して、どのように社会に実装・適用していくのかの現時点での分析・根拠を含めてください。

#### (4) 応募要件

##### ①研究開発内容

目標達成には「a) 気象学的アプローチ」「b) 工学的アプローチ」「c) 数理研究」「d) ELSI 研究」の 4 つの研究開発要素が調和して進められることが重要かつ必須です。そこで、提案時点で、以下の「a) 気象学的アプローチ」「b) 工学的アプローチ」の両方、またはいずれか一方から取り組む研究開発を求めます。加えて、「d) ELSI 研究」も提案に含む必要があります。また、後述「3. (5) 研究開発におけるマイルストーン」の通り、2025 年度以降は、4 つの研究開発要素全てに取り組むことを求めます。

なお、採択後のプロジェクト作り込みの際に大幅な修正を行う場合があります。

##### a) 気象学的アプローチによる研究

気象に対するどのような操作が気象制御に有効か、という側面からの、目標達成に向けた研究開発（以下、総合的に取り組む研究開発の例示）

- (ア) 気象シミュレーション上での操作と気象変化との関係性の模索
- (イ) 狙った気象変化を起こす可能性がある操作手法の探索
- (ウ) 気象制御のために最低限必要な気象モデルやデータ同化の高度化や観測
- (エ) 想定する気象変化が発生した際の影響推定（経済面を含む） 等

##### b) 工学的アプローチによる研究

実際にどのような操作手法が実現可能か、という側面からの、目標達成に向けた研究開発（以下、総合的に取り組む研究開発の例示）

- (ア) 擾乱を与える操作手法の特定や実験による実現可能性の確認
- (イ) 操作による気象変化のシミュレーションによる有効性確認
- (ウ) 操作に必要な費用等の算出 等

##### c) 数理研究

本目標の達成に資する数理研究。

（特に関連することが想定される分野・キーワード：非線形力学系理論・複雑系、制御理論（最適制御理論、カオス制御等）、不確実性定量化（確率解析、統計解析）、データ科学、数値解析、数理モデリング、離散数学、代数学（表現論、計算代数統計等）、幾何学（最適輸送、位相的データ解析等）、解析学（非線型偏微分方程式等）

##### d) ELSI 研究

気象制御の実験や社会実装に向けて解決すべき倫理的・法的・社会的課題に係る研究開発。気象制御自体に係る課題から特定の現象・技術等に係

る課題まで、提案する気象制御の実現に十分な、幅広い研究開発を想定します。(以下、例示)

- (ア) 気象制御はどこまで実施して良いかといった倫理的課題
- (イ) 国内外の合意形成やルール作り等の法的課題
- (ウ) 社会受容や解決策の提示等の社会的課題

## ②研究開発期間

原則 4 事業年度 (2026 年度まで) とします。

## ③研究開発費 (直接経費)

最初の 2 年度間 (2024 年度末まで) の研究開発費 (直接経費) の上限は、「気象学的アプローチ」「工学的アプローチ」の両方から取り組む場合は総額 3 億円、片方のアプローチから取り組む場合は総額 1.5 億円とします。いずれの場合であっても ELSI 研究の実施も提案時点からの必須の要件とします。

次の 2 年度間 (2025・2026 年度) については、後述「3. (5) 研究開発におけるマイルストーン」の通り両方のアプローチが必須となることと、操作手法の開発に本格的に取り組むことから、いずれの場合も当該 2 年間の研究開発費は総額 6 億円を上限とします。

なお、後述「3. (5) 研究開発におけるマイルストーン」を満たすことを含め、研究開発の追加に必要な経費の概算金額を、提案する研究開発費に含めてください。また、大幅に低い金額での提案であっても全く構いません。

## (5) 研究開発におけるマイルストーン

気象制御の研究開発は世界的に進んでいないことから、研究開発開始時点で 4 つ全ての研究開発要素を最適化し揃えることは、異分野融合や適切な研究参画者の確保等を含めて困難なケースが想定される他、進捗に応じて必要な研究開発が大きく変化していくことも想定されます。

したがって、2025 年度以降は、原則として「気象学的アプローチ」「工学的アプローチ」「数理研究」「ELSI 研究」の全要素を包含し最適化された研究開発プロジェクトのみを推進することとして、それまでに必要な研究開発を揃える形で研究開発を推進します。

具体的には、各研究開発プロジェクトが独自に設定するマイルストーンに加え、2024 年度末までの各年において、以下 a) b) の共通マイルストーンの達成を必須とします。

- a) 2023 年度末までに、気象制御の高度化等に向けた数理研究の方向性を

提示する。

- b) 2024 年度末までに、気象学・工学の両アプローチによる研究チーム、及び必要な数理研究・ELSI 研究のチームまたは専門家の全てを包含した研究開発グループを組成する。

(参考)

- ・ ムーンショット目標8ウェブサイト

<https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal8>

- ・ ムーンショット目標8キックオフシンポジウム (2022年6月16日開催)

<https://www.jst.go.jp/moonshot/sympo/20220616>

## (参考) 2021 年度 PM 公募における PD による補足

PD: 三好 建正 (理化学研究所 計算科学研究センター チームリーダー)

### 1. 募集・選考の方針等

#### (1) 気象制御の研究開発に関する考え

気象制御について、降雨降雪の促進・抑制等の比較的小規模な研究は世界中で進みつつありますが、台風・豪雨等の制御については未検討の部分が多い状況にあります。そのような中、気象に対するどのような操作が気象制御に有効かという気象学的側面と、実際にどのような操作手法が実現可能かという工学的側面の両面からアプローチし、幅広く可能性を探索しつつ、適切な時期に両者をマッチング・統合することが重要なポイントです。その際、気象制御のために必要な気象モデルやデータ同化の高度化が、実現に向けたキーポイントの一つになりますが、その解決のためには新しい数理概念を取り入れることも有効な解決策の一つだと考えています。

また、人間活動と一体となった新しい防災・減災を達成することが、最終的に目指すべき社会実装の姿です。例えば気象制御の範囲は限定的であることを想定しますが、可能な気象制御と人間活動（避難等）の両方を同時に最適化し運用することが重要です。これに向けて、研究開発の進展や社会・環境等の変遷に伴って変化する ELSI（倫理的・法的・社会的課題）等の課題を常に探索・整理し、必要に応じて研究開発の内容や方向性にも反映する等、将来の変容をも見据えた総合的な解決を図ることが重要です。加えて、本研究開発の成果を広く一般と共有することによって市民・社会の理解を得るとともに、世界中の研究者や研究コミュニティと緊密な情報交換を行うことにより学術界においても合意形成を図っていくことが必要です。

#### (2) 研究開発の推進方針

目標達成の可能性の幅を最大限広げつつ、最適な研究開発の組み合わせや体制を整えていく観点から、目標全体を俯瞰した研究開発マネジメントを実施します。特に、可能な限り幅広い解決可能性を見出すことが必要であるため、多様なアイデアやアプローチを採用しつつ、成果やノウハウを糾合して目標達成を目指します。

そのため、本目標の開始時には、2050 年の社会像からバックキャストし、全体シナリオを描いた上で進める「コア研究」と、尖ったアイデア等を大胆に探索する「要素研究」を公募・採択します。研究開発期間には、プロジェクト間の適度な競争や柔軟な協働、融合等を図りつつ、目標達成に向けた総

合的な研究開発を進めていきます。

具体的には、目標達成には「①気象学的アプローチ」「②工学的アプローチ」「③ELSI 研究」「④数理研究」の4つの研究開発要素が調和して進められることが重要かつ必須です。しかし、気象制御の研究開発は前述の通り世界的に進んでいないことから、研究開発開始時点で4つ全ての研究開発要素を最適化し揃えることは、異分野融合や適切な研究参画者の確保等を含めて困難なケースが想定される他、進捗に応じて必要な研究開発が大きく変化していくことも想定されます。したがって、上記①または②が必ず含まれる「コア研究」と、少なくとも①から④のうちの一つを含む「要素研究」を並行して進め、研究成果を着実にあげつつ、3年目終了時までには4つ全ての研究開発要素を含んだ体制を整備することとします。具体的な研究開発例や進め方は、後述「3.（4）提案内容」及び「3.（5）研究開発のマイルストーン」をご覧ください。

なお、操作手法に係る屋内実験は必要に応じて実施可能です。また、屋外実験については、その影響（悪影響を含む）に係る整理・解決手法を確立するとともに、ELSI等の側面から目標全体として実行可能だとPDが判断することを、実施の要件とします。

### （3）募集・選考の方針

以下の2種類の応募枠のいずれかを選び、応募してください。

#### a) コア研究

2050年の社会像からバックキャストし、全体シナリオを描いた上で進める研究開発を「コア研究」として公募します。この枠に応募する場合は、現在の社会と技術から未来を予測する「フォーキャストする」考えと、2050年の社会を起点にして逆算し今何をすべきかを「バックキャストする」考えとの両方を考慮して、2050年までのシナリオとPM採択時点から3年目、5年目、10年目までのシナリオ・研究開発を提案してください。提案されたシナリオ等の内容には、2050年の目標達成につながる事、挑戦的かつ革新的であること、倫理的・法的・社会的課題（ELSI）も考慮して、どのように社会に実装・適用していくのかの現時点での分析・根拠を含めてください。研究開発期間は、原則5年間とします。

#### b) 要素研究

目標の実現に貢献しうる研究のうち、新奇性の高い提案であり提案する技術の実現可能性自体を研究開発の中で判断する必要がある、研究開発の範囲が限定的である、等の理由で全体構想を描くことが困難な研究開発を「要素研究」として公募します。この枠に応募する場合は、どのような新奇な研究

開発に挑戦し、既存技術・既往研究に比してどの程度の飛躍が見込まれるか（または比較するものが無いか）、気象制御に対してどのような貢献が期待されるか、という点を明記した上で明確な達成目標を設定し、研究開発を提案してください。なお、研究開発期間の上限は3年間として、設定する達成目標に必要な期間とします。

なお、研究開発期間後は、その成果をもって既存のコア研究に参画し目標達成に寄与する、あるいは、他の要素研究等との統合により新しいコア研究グループを組成し目標達成を目指すこと等、研究開発がより高次のレベルに発展していくことを期待しています。

#### (4) 提案内容

##### ① コア研究

目標達成に向けて、以下の a) b) の両方から、またはいずれかから取り組む研究開発を求めます。なお、コア研究に応募した提案であっても、選考の過程で要素研究での採択となる場合があるほか、採択後のプロジェクト作り込みの際に大幅な修正を行う場合もあります。

##### a) 気象学的アプローチ

気象に対するどのような操作が気象制御に有効か、という側面からの、目標達成に向けた研究開発（以下、総合的に取り組む研究開発の例示）

- (ア) 気象シミュレーション上での操作と気象変化との関係性の模索
- (イ) 狙った気象変化を起こす可能性がある操作手法の探索
- (ウ) 気象制御のために最低限必要な気象モデルやデータ同化の高度化や観測
- (エ) 想定する気象変化が発生した際の影響推定（経済面を含む） 等

##### b) 工学的アプローチ

実際にどのような操作手法が実現可能か、という側面からの、目標達成に向けた研究開発（以下、総合的に取り組む研究開発の例示）

- (ア) 擾乱を与える操作手法の特定や実験による実現可能性の確認
- (イ) 操作による気象変化のシミュレーションによる有効性確認
- (ウ) 操作に必要な費用等の算出 等

##### ② 要素研究

目標達成に貢献しうる、以下の最低一つの研究開発要素に取り組む要素研究を求めます。なお、採択後のプロジェクト作り込みの際に大幅な修正を行う場合もあります。

##### a) 気象学的アプローチによる研究

気象に対するどのような操作が気象制御に有効か、という点を検討するための研究開発。具体例は、前述「1. (4) ① a) 気象学的アプローチ」に記載する個別研究開発例を参照してください。

b) 工学的アプローチによる研究

実際にどのような操作手法が実現可能か、という点を検討するための研究開発。具体例は、前述「1. (4) ① b) 工学的アプローチ」に記載する個別研究開発例を参照してください。擾乱を与える新奇なアイデア（他の手法と組み合わせる大きな効果を発揮するような、大気の状態に小さな変化を与えるものも含む）を期待します。

c) 数理研究

本目標の達成に資する数理研究。

（特に関連することが想定される分野・キーワード：非線形力学系理論・複雑系、制御理論（最適制御理論、カオス制御等）、不確実性定量化（確率解析、統計解析）、データ科学、数値解析、数理モデリング、離散数学、代数学（表現論、計算代数統計等）、幾何学（最適輸送、位相的データ解析等）、解析学（非線型偏微分方程式等）

d) ELSI 研究

気象制御の実験や社会実装に向けて解決すべき倫理的・法的・社会的課題に係る研究開発。気象制御自体に係る課題から特定の現象・技術等に係る課題まで幅広い研究開発を想定します。

- (ア) 気象制御はどこまで実施して良いかといった倫理的課題
- (イ) 国内外の合意形成やルール作り等の法的課題
- (ウ) 社会受容や解決策の提示等の社会的課題

③ 研究開発費（直接経費）

コア研究について、最初の 3 年間の研究開発費（直接経費）の上限は、「気象学的アプローチ」「工学的アプローチ」の両方から取り組む場合は総額 6 億円、片方のアプローチから取り組む場合は総額 3 億円とします。4-5 年目については、後述「3. (5) c)」の通り両方のアプローチが必須となることから、いずれの場合も当該 2 年間の研究開発費は総額 6 億円を上限とします。なお、後述「3. (5)」を満たすことを含め、研究開発の追加に必要な経費の概算金額を、提案する研究開発費に含めてください。

要素研究について、最長 3 年間の研究開発期間を通じた研究開発費（直接経費）は、総額 5,000 万円以内を目安とします。

コア研究と要素研究のいずれにおいても、大幅に低い金額での提案であっても全く構いません。

## (5) 研究開発におけるマイルストーン

4 年目以降は、原則として「①気象学的アプローチ」「②工学的アプローチ」「③ELSI 研究」「④数理研究」の全要素を包含し最適化された研究開発プロジェクトのみを推進します。したがって、特にコア研究については、各研究開発プロジェクトが独自に設定するマイルストーンに加え、3 年目までの各年において、以下 a) b) c) の共通マイルストーンの達成を必須とします。なお、適切なチーム・専門家の探索・参画にあたっては、要素研究チームの取り込みや事業参画者以外からの招致に加えて、複数のコア研究の融合や（必要な研究開発課題を提示した上での）公募等、様々な方法を想定しています。

- a) 1 年目終了時まで、ELSI の解決に向けた検討要件を抽出し、研究期間中に必要な ELSI 研究を行うチームまたは専門家が参画する。
- b) 2 年目終了時まで、気象モデルの高度化等に向けた数理研究の方向性を提示する。
- c) 3 年目終了時まで、気象学・工学の両アプローチによる研究チーム、及び必要な数理研究・ELSI 研究のチームまたは専門家の全てを包含した研究開発グループを組成する。

## 2. 研究開発の推進に当たっての方針

### (1) ポートフォリオ管理

ポートフォリオ管理として複数の研究開発プロジェクトの関係性も考慮した上で、PM 間の協業や競争等を求めることとなります。そのため、PM として採択された後の作り込み期間においては、提案されたシナリオに対して PM 採択時点から 3 年目、5 年目、10 年目までのシナリオ及び達成を目指すマイルストーンの明確化、合理的な推進計画及び予算計画の見直し等に関して、PD 等と相談して適宜修正しつつ実施するものとします。さらに、実施期間中に、PD と合意の上で、別の研究アプローチを採ることも可能とします。

### (2) 産学官連携

2050 年の目標達成に向けて研究成果を発展させることのみならず、研究開発を進めていく過程において、波及効果として、様々な産業に貢献し得る成果の創出や応用展開を期待します。そのため、プロジェクトに民間企業、自治体等の協力機関の参画が得られるような積極的な活動も求めます。

### (3) 国際連携

気象制御を実現するためには、国内のみならず国外の研究開発動向を常に把握し、必要な場合には海外の機関とも積極的に連携して研究開発を行うことを期待します。また、社会実装に向けて、各プロジェクトにおいても国際的な理解や協力が得られるような積極的な活動を求めます。

以上