

令和6年度 海外技術協力促進検討事業 アフリカにおける稲作振興支援 調査概要

1. 調査概要

1.1. 背景

サブサハラアフリカではコメの生産量は消費量より少なく、アジア、北米等からの輸入量が年々拡大してきた。このため、第4回アフリカ開発会議（TICAD IV）においてJICA等は、アフリカ稲作振興のための共同体（CARD）を設立し、アフリカにおけるコメ生産を10年間で倍増することを目標として掲げ、これを達成した。しかし依然としてアフリカではコメの需要が供給を大幅に上回っていたため、2030年までにさらなるコメ生産の倍増を目標（米生産目標 5,600万t）としたCARD2を発足させた。

かんがい稲作は天水稲作と比較すると単収が大きく、コメの増産を図るためには、かんがい地区の強化が必要である。しかし、新規の水資源開発によるかんがい面積の拡大は、財政への影響や環境負荷が大きいことから、難しい。このため、今後は気候変動対策にも留意しつつ、既設かんがい排水システムの機能維持・強化など、持続可能な開発協力に移行していく必要がある。

1.2. 目的

本事業は、アフリカの既設かんがい排水システムについて、我が国で培われた施設の機能維持・強化や再生可能エネルギーなどの技術を活用した持続可能な開発手法を確立し、水利用の効率化を行うとともにかんがい面積の拡大を図り、アフリカ各国への普及・展開に繋げていくことを目的とする。

1.3. 調査実施方針

1.3.1. 全体計画

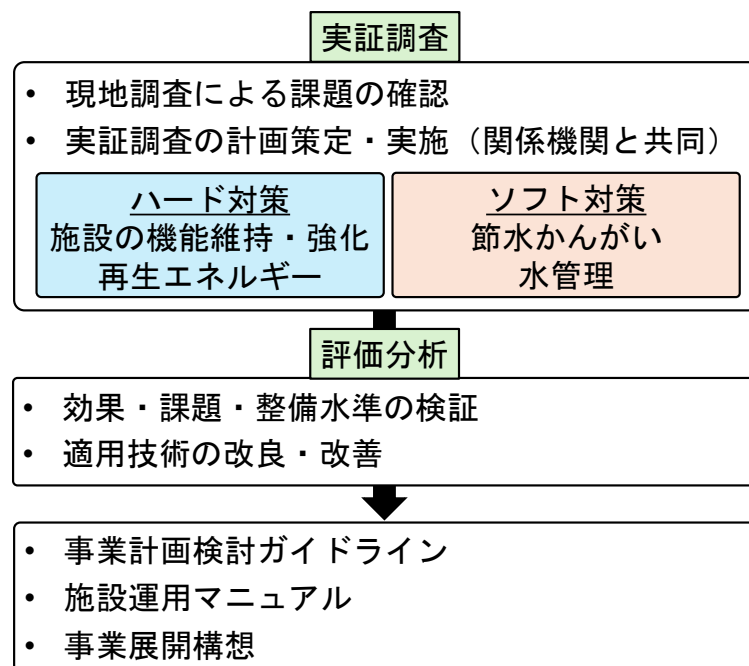
本事業の調査対象国は、JICA等による有償資金協力、無償資金協力又は技術協力が実施されており、今後もしかんがい稲作に関する協力の可能性があるケニア、タンザニア、エチオピア、ウガンダ、ルワンダ、マダガスカルおよびガーナから選定する。

調査対象地区は、既存かんがい地区などにおいて地形条件や用水配分の不均衡等の理由により適正に用水が配分されていない地区とする。

上記地区において、施設の機能維持強化、再生エネルギーを活用したかんがい技術、節水かんがい、効率的な水管理などの技術により水資源利用効率を向上させ、かんがい面積の拡大や畑作物作付面積増について検討する。

基礎調査として、調査対象国のかんがい地区の課題を整理し、開発ポテンシャルを分析するとともに、実証モデル調査国を2カ国選定する。また実証モデル調査を実施する地区（実証地区）を、1カ国につき1地区選定する。

実証地区において、水資源利用効率的上昇対策について実証計画をとりまとめ、一部実施するとともに実施過程を「事業計画検討ガイドライン」および「施設運用マニュアル」にとりまとめる。



図II-1 調査の枠組み

1.3.2. 調査全体スケジュール

本調査の調査全体スケジュールおよび本年度のスケジュールを表1に示す。

表 1 今年度の調査スケジュール

活動内容	R4		R5		R6	
基礎調査						
課題抽出・開発ポテンシャル分析						
調査対象国選定						
現地調査						
調査対象地区選定						
実証調査						
現地調査（課題確認）						
計画策定						
実証調査実施						
モニタリング・評価・改良策検討						
改善策実施						
評価分析						
ガイドライン・マニュアル作成						
事業展開構想						
有識者検討委員会		○		○	○	○

2. 調査結果

2.1. 実証調査

2.1.1. 施設機能維持強化

(1)土水路漏水対策

アフリカにおけるかんがい地区の末端水路は土水路であることが多い。土水路の漏水は大きく、漏水を抑制することによりかんがい面積の増加が期待できる。このため、土水路にパイプ（塩ビ管）を埋設し漏水を抑制する工法について検討した。

今年度は、以下の調査を実施した。

- ・ アルーシャ州オルジョロにあるATC（アルーシャ工科大学）試験圃場において、土水路漏水対策として、仮想水路に埋設深さを変えてパイプを埋設し、降雨による土壤水分の上昇に伴うパイプの浮上状況を確認した。測定の結果、最大浮上高さは19 mmと、浮力による浮上についてはほぼ問題ないことが確認できた。
- ・ 農家ほ場での試験施工を実施した。パイプの敷設は施工技術的に問題がないことを確認した。またパイプの浮上状況についてモニタリングするとともに、パイプの状態について確認した。設置時（2024年2月）とモニタリング時（2024年5月）における高さについて確認を行った結果パイプはほぼ動いていないことが分かった（最大30 mm浮上）。これより、ローアモシの土壤では埋め戻し深さ10 cm程度を確保することでパイプの浮上は生じないことが分かった。
- ・ これらのことから、土水路漏水対策として、土水路にビニールパイプを敷設することは、経済的に有利で技術的にも問題がないことが実証された。
- ・ これまでの試験結果に基づき、ガイドラインの作成を行った。

(2)ほ場漏水対策

水資源の効率的利用を行うためには、ほ場の漏水量を減少させる必要がある。本調査では、簡易なほ場漏水対策として、日本の乾田において漏水対策の効果が認められているケンブリッジローラーによる鎮圧を検討する。

今年度は、以下の調査を実施した。

- ・ MS4-2において、ローラーによる締固めの追加試験を行った。試験は、締固め前後の減水深、土壤水分、土壤硬度を計測して評価した。締固め前後の減水深に明確な差が見られなかった。締固め前後の土壤硬度において、土壤硬度最大値が出現した深さは、1ほ場を除き浅くなっており、また統計的にも有意である。このことから、ローラーによる締固めは、施工時の土壤水分にかかわらず土壤硬度に影響を与えている。また施工前後の土壤硬度の最大値は2W、3Wで上昇しており、土壤の締固めに影響していることがわかる。さらに3Wは2Wに比べて最大土壤硬度の差が大きく、また統計的にも有意である。3Wの締固め時の土壤水分は平均で13%、2Wの土壤水分は21%であることから、締固めに有効な土壤水分は15%程度であることがわかった。
- ・ これまでの試験結果を反映したガイドライン（案）を作成し、地方政府による試験施工を実施した。実施については問題がなく、ガイドラインの記述方法に問題がないことが分かった。

- ローラーによる締固め試験を実施したほ場の均平度を測定した。この結果、ほぼすべてのほ場の最大高低差は70 mm以下、標準偏差は25 mmと、均平度の測定を行ったほかのブロックに比べて均平度が高く、ローラーによる締固めは、ほ場の均平度が改善するという副次的効果が見られた。

(3)ほ場均平化対策

ほ場の均平度が悪いと、水が均一に行き渡らず、施肥効果に偏りがでるほか、湛水時の水深が異なることから、収量にムラができることが考えられる。このため、ほ場の均平度と収量の関係について明らかにするとともに、均平度を向上させる対策を検討する。

今年度は、以下の調査を実施した。

- ほ場の均平度と収量の関係を明らかにするために、昨年度に引き続きほ場の均平度を測定するとともに、当該ほ場の収量調査を実施した（n=115）。標準偏差は日本の設計基準である15 mm未満を満たすほ場は3ほ場、平均は27.4 mmであった。最大高低差は、日本の基準である±35 mm（最大高低差70mm）を満たすほ場は11ほ場、平均で121.5 mmであった。なお、10%出現確率の最大高低差は166 mm（MS6-3を除く）であった。
- 水田へのかんがいは、ほ場の最も高い場所が湛水するように行う必要がある。このため、完全に均平なほ場と比較すると、ほ場の最も高い場所に水が到達するまでに追加的にかんがい水が必要となる（追加かんがい水量（AIWV））。均平度を測定したほ場（MS6-3を除く100ほ場）を対象にして、追加かんがい水量とほ場の最大高低差の回帰分析を行った。回帰分析の結果、相関は高く（ $R^2=0.54$ ）、回帰係数の値（0.38）は有意である。均平度の標準偏差との回帰分析を行った結果、相関は高く（ $R^2=0.52$ ）、また回帰係数の値（1.75）は有意である。
- 得られた係数を用いて、ほ場の高低差が166 mm（ほ場の最大高低差の10%確率出現値）のほ場が、モシ地区の平均値である120 mm、もしくは日本の設計基準値である70 mmに均平度が改善された場合の効果について分析した。
- この結果、166 mmから70 mmに改善することによる追加かんがい水量は36.5 mm、これにより0.032 haに追加的にかんがいが可能となる。また、これによる便益は44.5 USDである。AIWVが1作期で2回便益が発生すると、ほ場最大高低差を166→70 mmとすることによる便益は89USD(44.5*2)であり、これは、代掻き回数を2回に増加する便益と同等である。
- JICA網室では、16種類の水稲を、栽培期間を一か月ずらして栽培している。ここでドローンを用いてNDVIを測定した。品種ごとのNDVIと収量の相関を分析したところ、高い相関が見られた。このことからNDVIと収量には高い相関があることがわかった。
- 2024年度に均平化対策を実施したRS1-3について、対策実施後の均平度と収量の調査を実施した。この結果、代掻き方法は均平度に影響を与えていなかった。
- 今年度MS7-1で代掻き試験を実施した。均平化対策の結果、ドライブハローによる代掻きでは、均平度が改良されることが確認され、昨年度の結果とは異なるものとなった。
- 上記の試験結果をガイドラインに取りまとめた。

(4)ほ場排水対策

水田の排水性が悪化すると、湿田化や土壌の塩類化による収量低下や農業機械の走行不能に伴う非効率な営農が生じる恐れがある。本調査では、農家が営農活動として取り組める持続的な排水対策を構築するため、日本で開発されたトラクターアタッチメントである「カットドレーンミニ」と「カットブレーカーミニ」による浅層暗渠を適用し、その効果を検討する。今年度は以下の調査を実施した。

- ・ ローアモシかんがい地域の湧水源に近く、圃場の排水性が悪化しているアップーマボギニ（Upper Mabogini）地区MS1-1ブロックでは、これまで、2023年5月25日に排水路の浚渫、2024年2月20～25日に横断排水管の改修（内径60 cmから90 cmに交換）を実施してきた。本年度、最下流の圃場No.425はトラクター走行が可能な状態にまで乾燥していたことから、NIRCの協力の下、6月8日にカットブレーカーミニ、6月21日にカットドレーンミニを施工した。
- ・ MS1-1ブロックにおいて、湧水源に近く排水路に接していない圃場No.108、208、217を対照区、最下流で排水路に接する圃場No.321、412、425を排水区に設定し、これまでに測定してきた土壌硬度および米収量の変化を比較した。
- ・ これまでに観測してきた土壌硬度データを分析した結果、2023年5月の排水路浚渫後は対照区と排水区に差は認められなかったが、2024年2月の横断排水管の改修後から、排水区において表面土壌の土壌硬度が向上していることを確認した。
- ・ 排水区の米収量は、対照区より5-10%低い状態であったが、排水改良に着手後、対照区の収量と同等にまで向上したことを確認した。
- ・ MS1-1において排水改良前においてトラクターの走行が可能な圃場は5圃場であったが、排水改良後、37圃場にまで増加したことを確認した。

2.1.2. 再生可能エネルギー

(1)小水力発電を用いたかんがい

既存かんがい地区および隣接地区において、水路から重力でかんがいできないほ場に対して、小水力発電を用いたポンプによるかんがい方法を検討する。

今年度は以下の調査を実施した。

- ・ 昨年度の発電試験結果から、らせん水車に接続する発電機を風力発電用発電機とし、電動ドリルを動力源とした発電試験を実施した。その結果、バッテリー充電に必要な電圧28.2 Vを得られること、また小流量から充電可能とするため低回転での充電を可能とするため4倍程度の増速が必要なことが明らかとなった。
- ・ その後のCY幹線水路における発電試験では、40W程度の出力が得られたものの、幹線水路の通水が週末に停止することを考慮すると、水車を1週間連続で稼働させてもポンプは6時間程度しか運転できないため、水車の動力を発電機に伝えるプーリー、ベルトの改善により出力が改善され、最大出力77.1 W（ $=48.2\text{V} \times 1.6\text{A}$ ）が得られた。
- ・ 世界銀行プロジェクトによるCY幹線水路改修により通水が止まること、またCY幹線水路よりも高落差が得られるAK/C5支線水路での試験実施要望がMoFA（ガーナ国食糧農業省）、GIDA（ガーナ国かんがい開発庁）から出されたことを受け、プーリーをより小型のものに変更し、増速比を上げ同支線水路において発電試験を実施した。その結果、最大出力118.8 W

($=47.5\text{V} \times 2.5\text{A}$) が得られた。

- ・ 同出力をもとに、農家負担率と定格出力・揚水量の異なるポンプの組合せからIRRを算定した結果、市販品ではなく日本メーカー製品を利用すると仮定した場合、ガーナ長期国債利率20.85%を超える28.1%であった。

過年度の試験およびその実施過程から得られた知見等をガイドライン・マニュアルに取りまとめた。また過年度の小水力発電適地調査の結果から、草の根無償資金協力の申請書を作成しMoFAへ提出した。

(2)太陽光発電を用いた循環かんがい

かんがい稲作地域であっても、不均衡な水配分やかんがい施設の老朽化などにより水供給が不十分になっている地域がある。特に、水資源が不足する乾季での作付けが困難になっている。このような地域の農業生産性を安定化し、農家所得の向上を図るには、限られた水資源を有効活用する持続的なかんがい技術を開発する必要がある。本調査では、日本で開発された地下かんがいシステム（OPSIS: Optimum Subsurface Irrigation System）における用水を循環利用する手法を活用した循環かんがいの導入を検討する。今年度は以下の調査を実施した。

- ・ 2024年11月28日から4月1日にかけて、トウモロコシ栽培を対象とした第2回かんがい試験を実施した。
- ・ 第2回かんがい試験における各処理区への灌漑水量は、対照区148 mm、OPSIS区18 mm、簡易OPSIS区40 mmとなり、対照区と比べ、OPSIS区で88%、簡易OPSIS区で63%の節水となったことを確認した。
- ・ 第2回かんがい試験における各処理区のトウモロコシ収量は、対照区と比べ、OPSIS区で12%増加、簡易PSIS区で2%の減少となった。
- ・ 第2回かんがい試験では、OPSISおよび簡易OPSISにより大幅な節水となったが、概ね対照区と同等の収量が確保できていることから、本技術は限られた水資源を有効活用する手法として有望と考えられる。
- ・ 第2回試験完了後、試験区をATCに引き渡すため、給水施設、鳥獣害防止柵等の復旧作業を行った。

2.1.3. 節水かんがい

本課題で検討する「水田に供給されるかんがい用水の節約」については、AWD（Alternate Wetting and Drying：間断かんがい）を検討してきた。これまでの調査では、AWDの実施時に問題となる可能性がある現象、1) 給水と給水の間に土壌が乾燥して生じるヒビによって漏水が激しくなる、2) 給水と給水の間に外気温が低下した場合、イネの植物体が冷気に晒されて生育遅延や収量の低下が起こる、3) 畦畔からのかんがい水の滲出、畦畔崩壊による漏水やかんがい水路からの用水浸出が見られた。これらの中、1) と2) についてはイネの栽培に及ぼす影響を明らかにするとともに、解決策を検討する必要がある。さらに、4) ひこばえ栽培により節水して水田の生産性向上を図れる可能性も既報の文献に示唆されている。

これまでに1) については地下水位の低い場所ではかんがい水量はAWD栽培区の方が常時湛水区よりも多くなる可能性が示唆されている。2) についてはAWD処理中の植物の生育に顕著な影

響を及ぼす気象条件は再現されず、可能性は否定できていない。

そこで昨年度は1) に対応するため、農家のほ場を供試して、①ボトムプラウによる耕起とケンブリッジローラーによる締め固めを行ったほ場においてイネのAWD栽培試験を行うとともに、4) への対応として②コンバインによる収穫区および手刈りによる収穫区を設けたひこばえ栽培を実施した。さらに今年度は1) への対応として、③地下水位が高い地域の農家ほ場でAWD栽培試験を実施した。その結果、以下の知見を得た。

- ・ ①においては、常時湛水区の平均かんがい水量が約2,200 mmであり、AWD区の平均かんがい水量は約1,800 mmであった。しかし、常時湛水区のかんがい水量の変動幅が大きく、有意な差とはならなかった。AWD区のかんがい水量はキリマンジャロ農業訓練センター（KATC）で昨年度実施した常時湛水条件のかんがい水量（1,600mm-1,800mm）と同等となった。このことは、ボトムプラウによる耕起とケンブリッジローラーによる締め固めだけでは、農家ほ場におけるAWD栽培時の漏水対策として十分ではない可能性を示唆すると思われた。
- ・ ②においては手刈り区、コンバインによる刈り取り区、コンバイン刈り取りの轍区のイネを3反復、各10株収穫し、収量構成要素を基に収量を算出したところ、それぞれ5.1 t/ha、4.7 t/ha、5.1 t/haとなった。しかし、ひこばえ栽培における品質や収量の安定性についてはさらなる検証が必要と思われた。
- ・ ③においては、地下水位が高い地域でAWD栽培を実施した場合でもかんがい水量には638 mm～2,347 mmと大きな変動があり、安定した節水栽培には注意が必要であることが明らかとなった。試験を実施した地域では、地下水位が高いためほ場の耕うんや代掻きは大型機械で行っていなかったが、AWD栽培を実施したほ場には大型機械を入れることができたとの報告があった。このことは、地下水位が高い地域におけるAWDの実施には、節水ばかりではなく、栽培作業の効率化に貢献できる可能性を示唆している。

2.1.4. 水管理

ローアモシ地区においては、ローアモシ水利組合（Lower Moshi Irrigators Association：以下ロミア）が存在し、活動を行っているが、受益地の upstream・downstream間で適切な水配分が行われていないことが明らかになっている。本課題では、同地区の水利組合の活動を中心に、効率的、効果的な水管理の実現のための課題とその解決策を検討した。

今年度は、ロミアの下部組織であるセントラルロミア間の合意形成、水配分の決定方法を中心に、農家の合意形成と水管理について、関連行政組織であるKADP（Kilimanjaro Agricultural Development Program,キリマンジャロ農業開発計画（県の組織））、NIRC（National irrigation Commission;国家かんがい庁）、DAICO（District Agricultural, Irrigation and Cooperative Officer;県農業かんがい協同組合担当官）および農家側から各サブロミアのリーダー、水配分担当者（ゲートキーパー、ウォーターマン）に参集してもらい、聞き取り調査及び技術情報の提供を行うとともに、課題の原因の検討と提言を行った。

検討の結果、明らかになった課題の原因と原因への具体的な対応策については以下のとおり。

原因 1：技術的な情報、知見の収集、提供が不十分

対応策 1-1 :NIRCには、これまで提供されているマニュアル等があり、担当者も理解していることを確認していることから、これを十分に活用し、必要かんがい水量の計算、

適正なゲート操作を行うことが望ましい。

対応策 1-2:これらの情報は、水利組合の分水の実施者（ゲートキーパー、ウォーターマン）及び農家に対しても、十分に提供されることが必要である。

原因 2：支援体制（活動の指導、調整のための組織）が不十分

対応策 2-1:近年のNIRCの組織改編により、農家に近いレベルで直接的に農家への支援が行える体制になりつつあることを踏まえ、引き続きNIRCの強化による技術情報の提供、ゲート操作等の指導等の徹底が必要である。

対応策 2-2:特に当該地区のように国のプロジェクトとして開始した地区は、地区全体としての収量増加のために上下流間の水配分の是正は、国あるいは行政側が調整、指導を行う必要があると考えるべき。KADPにおいては、農家の理解や円滑な合意形成を推進する「調整」を実施する体制づくりを強化することが望ましい。

原因 3：水配分の検証手段の不備

対応策 3-1:分水施設の機能については、それぞれサブロミアへの分水を行うゲートは機能しているものの、量水する機能（量水標）がなく、適時適量の調整が不十分であり、また、農家自身が分水量を確認できていないため、現地において、量水標の設置と必要水量に応じた越流水深等が確認できる早見表を設置した（設置中）。

2.2. ガイドライン・マニュアル作成

ガイドライン・マニュアル（原案）を作成、国内検討委員会、タンザニア国およびガーナ国で開催されたガイドライン・マニュアル会議で了承、最終的にテクニカルコミッティーで承認された。承認されたガイドライン・マニュアルを用いたセミナーを開催した。

2.3. 事業展開構想

タンザニア国においてはガイドライン・マニュアルに基づいた技術協力の構想を策定した。ガーナ国では、小水力発電を用いた草の根無償資金協力の構想を策定した。

2.4. テクニカルコミッティー

2.4.1. タンザニア

関係機関から総勢37名が参集し、現地及びオンラインのハイブリッド方式で実施された。午前中に、アルーシャ市オルジョロ地区にある循環かんがいの試験ほ場の現地調査を行ったのち、会議を開催した。今年は最終年であり、これまでの調査結果と調査結果を反映したガイドラインの説明を行った。説明後、ガイドラインは関係機関により承認された。また、同時に水資源利用効率化マニュアルの改訂についても説明を行い承認された。

2.4.2. ガーナ

関係機関から総勢18名が参集し、現地及びオンラインのハイブリッド方式で実施された。ガイドライン・マニュアルおよび事業展開構想について議論し、それぞれ了承された。

2.5. セミナー

2.5.1. タンザニア

本調査のテクニカルコミッティーにおいて承認されたガイドラインについて、タンザニア国北部の7つの州における土木技術者を対象に説明会（セミナー）を開催した（総勢37名）。併せて過去に実施した水資源利用効率化工事後のモニタリングに基づく水資源利用効率化マニュアルの改訂について説明を行った。その後、アルーシャ市オルジョロ地区にある循環かんがいの試験ほ場の現地調査を行った。

2.5.2. ガーナ

本調査で作成したポンプ灌漑向け小水力発電導入ガイドラインおよび発電試験に関する説明会を、水利組合、KIS職員を対象に開催した。併せて現地工業高校の職員、生徒を対象に再生可能エネルギーの利用事例としても紹介した（総勢58名）。

2.6. 国内検討委員会

本調査を効率的、効果的に実施するため、有識者による国内検討委員会を設置（委員は表2のとおり）し、委員から意見を聴取している。今年度は、ガイドライン内容の検討及び今年度調査方針について意見を聴取するために令和6年6月に委員会を開催した。また8月には現地調査（参加委員3名）を実施し、令和7年1月にはガイドラインの最終版について意見の徴収を行った。

表2 国内検討委員

分野	氏名	所属
水管理	石井 敦	筑波大学生命環境系 教授
かんがい	清水 克之	鳥取大学農学部 教授
栽培	鳥山 和伸	山形大学農学部 客員教授
水資源	堀野 治彦	大阪公立大学大学院農学研究科緑地環境科学専攻 教授

調査状況



土水路漏水対策（パイプ敷設状況）



土水路漏水対策（スクリーン設置）



ほ場漏水対策（土壌水分測定）



ほ場漏水対策（土壌硬度測定）



ほ場漏水対策（ローラーによる締固め）



ほ場漏水対策（代掻き）

調査状況



ほ場均平化対策（均平度測定）



ほ場均平化対策（ドライブハロー）



カットドレーンミニ施工状況



カットブレーカーミニ施工状況



循環かんがい



循環かんがい

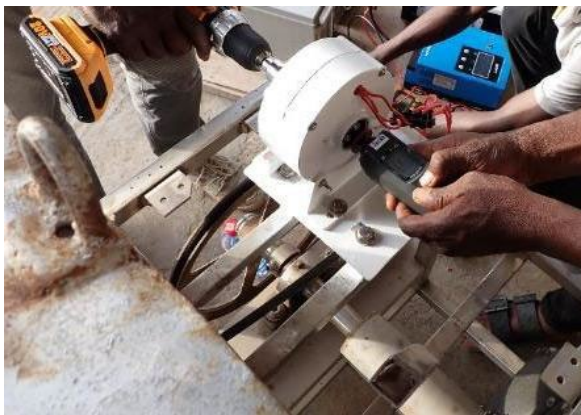
調査状況



節水栽培（KATCほ場における試験）



節水栽培（収穫後のひこばえ栽培）



小水力（風力発電用発電機性能試験）



小水力（CY幹線水路発電試験）



小水力（上乘せ型フレーム組立）



小水力（AK/C5落差工試験地訪問）

調査状況



水管理（ラウ地区水路の溢水状況）



水管理（チェケレニ地区の水路の状況）



テクニカルコミッティー（ガーナ）



テクニカルコミッティー（タンザニア）



セミナー（ガーナ）



セミナー（タンザニア）