

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究課題別終了時評価報告書

1. 研究課題名

テーラーメイド育種と栽培技術開発のための稲作研究プロジェクト
(2013年5月～2018年5月)

2. 研究代表者

- 2.1. 日本側研究代表者：山内 章（名古屋大学 大学院生命農学研究科 教授）
2.2. 相手側研究代表者：Eliud K. Kireger（ケニア 農畜産業研究機構（KALRO） 機構長）

3. 研究概要

ケニアは近年コメの増産に取り組んでいるが、同国の稲作は、早ばつ、高地で起こる冷害、土壌の低肥沃度、塩害、いもち病などの生物的・非生物的ストレスによりその生産性が影響を受けている。本プロジェクトでは、ケニアにおける稲作の安定化と生産性の向上を目指し、ケニア向けイネ品種の育成と栽培技術開発に必要なイネ研究基盤を構築する。

日本側は、名古屋大学を代表機関として、岡山大学、島根大学、山形大学が主たる共同研究機関として参加し、ケニア側研究機関のKALROと連携してプロジェクトを推進する。具体的には、KALRO ムエア支所及び付設のキロゴ農場にイネ育種及び品種特性評価等を実施可能な研究施設・試験圃場を整備し、ケニアにおける栽培対象地域の環境条件を考慮した上、以下の5個の研究題目を実施することにより、有用な量的形質遺伝子座（QTL）をテーラーメイドで導入したケニア向けイネ育種素材の作出、ならびに品種の能力を十分に発現させる栽培技術の開発を目指す。

- (1) ケニアにおけるイネ育種および品種評価システムの開発
- (2) 既存品種の特性評価と有用農業形質の特定
- (3) 有用QTLを導入したケニア向け育種素材の開発
- (4) 栽培環境、栽培技術、生育状況の実態解明と技術改善の検討
- (5) 遺伝子型（G）× 栽培環境（E）× 栽培管理（M）の相互作用の解析

4. 評価結果

総合評価：A+

（所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できる。）

本プロジェクトでは、研究題目1を中心とした両国研究者の協働により、KALRO ムエア支所及びキロゴ農場に、イネの育種と栽培技術開発のための研究基盤を構築した。具体的には、化学分析や遺伝子解析を実施できる分子生物学実験棟、イネ交配施設、並びに早ばつ、冷害、土壌の低肥沃度（窒素、リン酸）、

塩害、いもち病の各種ストレス条件、さらにはケニアの4種類の土壌（砂質粘土、火山灰土、赤色土、黒綿土）をはじめ、現地の様々な栽培環境及び生産性の阻害要因を再現できる特性評価試験圃場を整備した。研究題目1では、この研究基盤を利用して合計約1000品種/系統を各種ストレス耐性試験に供し、80品種以上の品種特性評価用基準品種を選定し、育種・特性評価マニュアルを作成した。

研究題目2では、各種ストレスに対する耐性及び適応性が高い品種として、耐旱性（4品種）、耐冷性（16品種）、耐塩性（4品種）、低肥土壌適応性（9品種）、いもち病抵抗性（18品種）の選抜に成功した。さらに、DNAマーカー検出技術（Genotyping by Sequencing: GBS）等を用いて、耐旱性、低肥土壌適応性をはじめとする有用な農業形質に関する合計27個のQTLの検出に成功した。

研究題目3では、既存品種を用いて有用なQTLの導入効果を評価し、籾数増加（12系統）、いもち病抵抗性（3系統）、低肥土壌適応性（4系統以上）、耐冷性（1系統）、冷害回避性（1系統）、乾燥回避性（1系統）が期待される多数の中間母本の作出に成功した。また、これら中間母本から品種開発、農家普及までのプロセスをまとめた育種計画を作成した。

研究題目4では、ムエア灌漑地区及び周辺の水田圃場で灌漑水の供給状況、水質調査、土壌分析、収量調査を実施し、下流域で塩類集積に起因するカリウム欠乏により収量低下が生じていることを見出した。また、作付時期や窒素施肥量の変更、耐冷性品種、代かき、間断灌漑、エアロビック・ライス法などの導入がイネの収量に与える影響を調査し、現地で栽培技術の改善に資する有用な知見を得た。

研究題目5では、ケニア在来品種及び中間母本において、リン酸や窒素の施肥量調節により根の可塑性が誘起され、地上乾物量の増加につながることを見出した。また、傾斜圃場における水分欠乏の回避と根の可塑性の関係、異なる水分供給能や硬度等の土壌条件下における表現型、土壌肥沃度が籾数増加のQTLに与える影響等の解析を進め、「イネの遺伝子型（G）×栽培環境（E）×栽培管理（M）の相互作用の解析」に係る貴重なデータを蓄積した。さらに、これら研究題目4、5で得られた成果をもとに栽培技術改善に関する実証マニュアルを作成した。

本プロジェクトでは、これら成果に加え、持続的な国際共同研究の推進に資する両国の研究人材の育成においても大きな成果を上げた。以上のことから、所期の計画を上回る取り組みが達成されたと評価されるとともに、プロジェクトが整備したイネ研究基盤は、将来、サブサハラ地域のイネ研究・育種拠点として発展することが大いに期待される。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

本プロジェクトは、稲作研究の蓄積が少ない東アフリカのケニアにおいて、イネの育種と栽培技術開発のための研究基盤を構築した。この研究基盤を用いて各種ストレスに対する既存品種の特性評価が実施され、ケニア向けイネ品種の開発に利用できる多数の中間母本が育成されるとともに、育種・特性評価マニュアル、育種計画、栽培技術開発のための実証マニュアルが作成された。以上のことから、ケニアにコメ生産増加のための研究基盤の構築に成功したと考えられ、課題解決に与える科学的・技術的インパクトは極めて高いと評価される。

【国際社会における認知、活用の見通し】

本プロジェクトでは、多くの国際学術誌及び国内外の学会・シンポジウム等で成果が発表された。ま

た、本プロジェクトの取り組みは、ケニアのメディアを通して国内外に広く紹介されている。とくに、2016年12月にナイロビでプロジェクトが主催した国際シンポジウムには、日本とケニアを含む14カ国から、研究者、技術者、国際協力関係者等、合計105名が参加した。会議では、国際稲研究所（IRRI）やアフリカ稲センター（Africa Rice）を含む国際農業研究機関、並びに日本が支援している国際協力であるアフリカ稲作振興のための共同体（Coalition for African Rice Development : CARD）の国際協力関係者の参加の下、本プロジェクトの成果が発表されるとともに、成果を活用した将来の国際共同研究及びアフリカ・イネ育種ネットワーク構想について活発な議論が交わされた。よって、近い将来、国際農業研究機関と連携した研究ネットワークの形成が期待されることから、本プロジェクトに対する国際社会における認知度及び成果の活用の見通しは高いと評価される。

【他国、他地域への波及】

アフリカ諸国においてイネの研究体制が脆弱である中、本プロジェクトがケニアに構築したイネ育種・研究基盤は、サブサハラ地域の稲作研究や作物研究に利用されることが大いに期待される。また、本プロジェクトが構築したイネ育種システム並びに作出した多数の中間母本は、前述の国際農業研究機関や国際協力機関との連携を通して、周辺諸国に試験的に導入し、品種育成に利用できる可能性がある。よって、本プロジェクトの成果が他国、他地域に波及する見込みは高いと評価される。

【国内外の類似研究と比較したレベルや重要度】

本プロジェクトでは、ケニアという稲作研究の蓄積が少ない土地で、品種特性データやQTLの検出、ムエア灌漑地区水田の水質・土壌に係る情報等、新規性の高い科学的知見を蓄積し、多くの原著論文を国際誌で発表した。とくに研究題目5で取り組んだG x E x Mは、アフリカ地域では極めて先駆的な取り組みであり、プロジェクトが作出した中間母本とともに、同地域のイネ育種・研究において重要な布石になると考えられる。よって、本プロジェクトの取り組みは科学的にも社会的にも重要度が高いと評価される。

4-2. 相手国ニーズの充足

【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

ケニアではコメの需要が増加しており、生産量の向上が求められている。ケニアでコメ生産量を向上させるためには、灌漑インフラ整備による水田面積の拡大も有効であるが、本プロジェクトが構築した研究基盤を利用して、ケニアの各地域の環境条件に適したイネ品種及び栽培管理技術を確立できれば、大規模な設備投資を伴わずにコメ生産性を高めることが可能である。また、本プロジェクトの人材育成を通して5名のケニア人若手研究者が日本で博士学位を取得し、4名がケニアの研究機関に配属された。よって、本プロジェクトは将来性の高い研究基盤と研究人材を創出したという点で、相手国ニーズの充足に与えたインパクトは高いと評価される。

【課題解決、社会実装の見通し】

本プロジェクトでは、ケニアのムエアにイネ研究基盤を整備するとともに若手のケニア人研究者を育成し、さらには前述の育種・栽培管理技術の開発のためのマニュアルを作成するなど、研究活動の継続と

社会実装に向けた取り組みが着実に実施されたことから、課題解決及び社会実装への見通しは高いと評価される。一方、プロジェクトの成果を基としたイネ新品種及び栽培管理技術の確立には長い時間を要することから、ケニア政府、国際機関、海外ファンド等による継続的な支援が必要であると考えられる。

【継続的発展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

本プロジェクトでは、6名のケニア側研究者が博士号を取得し、そのうち5名が日本の大学で博士号を取得した。また、9名が修士号を取得し、そのうち2名が日本の修士課程で学んだ。さらに、プロジェクト終了時点で1名のケニア側研究者が名古屋大学の博士課程に所属している。プロジェクト期間中、日本側の支援によりケニア人研究者は、自ら研究機材を操作し、圃場に出てデータを取得する主体的な研究スタイル、並びに定例会議等で自分の研究進捗状況を報告して議論する技能を習得した。このように多数のケニア側研究人材が育成されただけでなく、日本で研究手法を習得した博士研究者をプロジェクトサイトの KALRO ムエア支所に集結させ、プロジェクト活動を継続的に実施する体制構築が図られている。プロジェクト終了時点で既に2名の博士研究員が KALRO ムエアに配属され、今後も追加配属される予定である。よって、本プロジェクトにおける継続的発展の見通しは高いと評価されるが、当面は日本側の継続的な支援が必要であると考えられる。

【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込み（政策等への反映、成果物の利用など）】

本プロジェクトは、イネ育種研究基盤を整備し、多数の中間母本を作出し、育種・栽培技術開発のマニュアルを作成するとともに、これら成果を継続的に活用できる若手研究人材を育成した。よって、本プロジェクトの成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込みは高いと評価されるが、成果が政策等に反映されるためには、新品種及び栽培管理技術を確立してコメ増産を実証する必要があると考えられる。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

CARD は、2018 年度で終了するが、その後もこの活動は次のフェーズとして継続される見込みである。本プロジェクトが KALRO ムエアに構築した研究基盤は、CARD のような技術支援と連携して周辺諸国における研究人材の育成並びにイネ育種研究等を実施する中核拠点として機能する潜在的能力を有している。よって、将来、アフリカ地域における日本のプレゼンスの向上に貢献する可能性がある。

【科学技術の発展】

本プロジェクトでは、根系発達に関与する QTL の効果を実際の圃場環境で丁寧に解析することにより、G x E の相互作用による形質発現パターンとその解釈を科学的に明示し、栽培管理 (M) による形質発現制御プロセスに具体的な道筋を付けた。よって、国内外の G x E x M の研究を通じたイネ育種・栽培管理技術の開発にとって貴重な知見を獲得したと考えられる。将来、本プロジェクトが確立した解析手法を活用してケニア及び他のアフリカ諸国で G x E x M の解析を行うことにより、様々な環境条件下に対応した種々の QTL の検出や有用遺伝子の同定、さらには品種育成に繋がることが期待される。本プロジェクトが作出した中間母本、発表した学術論文も世界のイネ研究に寄与するものであり、本プロジェク

トにおける科学技術の発展への貢献は高いと評価される。

【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

名古屋大学の准教授が過去のケニアの技術協力における長期専門家の経験を活かして、両国を活動拠点としてプロジェクトを強力に牽引したことは特筆すべき点である。また、アフリカでの研究活動に精通した日本人博士研究員 1 名も KALRO ムエアに長期滞在して研究活動を推進した。さらに、修士課程の学生 2 名が青年海外協力隊員として KALRO ムエアに滞在し、日本人研究員を補佐する形でケニア側研究者や作業員と協働し、さらには彼らへの技術指導を担うことでプロジェクトの推進に貢献した。その他にも 13 名の日本人学生が KALRO ムエアで両国研究者と協働して研究活動に取り組み、貴重な国際経験を積んだ。以上のことから、本プロジェクトでは世界で活躍できる日本人若手人材の育成に十分に貢献したと評価される。

【知財の獲得や国際標準化への取り組み、生物資源へのアクセスや、データ入手】

本プロジェクトでは、日本、ケニア、国際農業研究機関が保有する多数のイネ遺伝資源、並びに DNA 等のサンプルが研究機関間の素材移転契約（MTA）に基づき 2 国間で移転された。本プロジェクトで作出された中間母本等のイネ遺伝資源は、今後、食料農業植物遺伝資源条約（ITPGR）の標準材料移転契約（SMTA）に基づき海外に移転され、研究等に広く利用されることが期待される。

【その他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】

本プロジェクトでは、原著論文 38 報（国際誌 36 報、国内誌 2 報）並びに総説・書籍等その他著作物 6 報が発表された。さらに、研究成果を取りまとめたケニア側研究者が使用できる育種・特性評価マニュアル、育種計画書、栽培技術改善に関する実証マニュアルを作成した。G x E x M の解析を中心として今後のイネ研究、品種育成にとって有益なデータも多数取得されており、プロジェクト終了後も論文発表、新品種育成等の成果創出に繋がることが大いに期待される。

【技術及び人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

前述の通り多数のケニア側若手研究者を育成するとともに、KALRO ムエア支所に日本式の主体的な研究手法・スタイルを定着させたことから、両国の研究者ネットワークは十分に構築されたと考えられる。本プロジェクトが提案したアフリカ・イネ育種ネットワーク構想に関しては、国際農業研究機関との連携を通して準備が進められており、その実現が大いに期待される。日本国内においても名古屋大学を核としてプロジェクトに参画した大学、研究者、学生間で強固なネットワークが構築されたと考えられ、将来の日本におけるアフリカ研究の中核として機能するものと考えられる。以上のことから、本プロジェクトにおける技術的・人的ネットワーク構築の達成度は高いと評価される。

4-4. プロジェクトの運営

【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

研究代表者らは、本プロジェクトの発足以前から、科学研究費補助金によるケニア西部を対象とした海外学術調査（2008～2012 年）、日本学術振興会の二国間交流事業共同研究によるケニア・ムエア灌漑地区

を対象とした研究（2011～2012年）を実施した。さらに、科学技術戦略推進費による国際共同研究（2009～2011年）においてケニアの大学と共同研究協定を締結し、ケニアのイネ研究者を日本に招聘するなど、ケニア側との研究体制を長期にわたり周到に準備してから本プロジェクトを実施した。本プロジェクトの期間中も日本側からの技術移転及び人材育成、ケニア側のプロジェクトマネージャーとの良好な協力関係の構築を通して研究推進体制はさらに強化されたものと考えられる。日本国内においても他のイネ研究プロジェクトから有用遺伝子等の成果物の提供を受けて本プロジェクトで利用するなど、他のプロジェクトとの連携も効果的に図られたことから、優れたプロジェクト推進体制が構築されたと評価される。

【プロジェクト管理及び状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

プロジェクト発足時点でケニア側の研究代表機関が当初計画から変更になるという事態が生じたが、研究代表者を中心としてケニア側研究機関と粘り強く協議し、柔軟に対処した。プロジェクト開始後、ケニア側の予算支出は大幅に遅延したが、両国研究者、KALRO、JICAが協力して農業省の予算執行を促した。耐塩性の栽培試験を予定していたコースト地域では、治安悪化のため日本人研究者が入域できなくなったが、同地域の塩性土壌を KALRO ムエアに搬入して耐塩性試験圃場を整備することで対処した。また、KALRO ムエア支所では安定した電力確保及び清浄な水の入手が困難であったが、アンペア数の増加・三相電源の導入、簡易蒸留水の調製、付近の村落からの水道の引き込み等を行い、土壌分析や遺伝子解析を実施できる環境を整備した。研究代表者の優れたリーダーシップの下、両国研究チームが結束してこれらの困難を乗り越え、成果を創出したことは特筆に値する。

【成果の活用に向けた活動】

プロジェクト終了後の研究継続に向けて国際農業研究機関との連携構築の取り組みに着手し、また、日本国内でも独自に研究予算を獲得して当面の継続体制を整えるなど、成果の活用に向けて優れた取り組みが実施されている。一方、本プロジェクトで構築した研究基盤、作出した育種素材、獲得した科学的知見を十分に活用するためには、ケニア政府や海外ファンド等による支援を受けることが望ましいと考えられる。

【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

本プロジェクトでは、原著論文 38 報（国際誌 36 報、国内誌 2 報）を発表した。また、国内外の招待講演 9 回、国際シンポジウム 1 回、並びに日本国内のシンポジウム・セミナー 4 回を通してプロジェクト活動及び成果を発表した。また、2017 年 1 月にケニアの主要な放送局・新聞社で本プロジェクトの活動が報道され、KALRO ムエアに整備した分子生物学的実験棟や名古屋大学の研究者へのインタビューが紹介された。以上のことから、本プロジェクトでは優れた情報発信が行われたと評価される。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

日本人研究者・学生、業務調整員、ケニア側研究者が緊密に連携してウィークリーミーティングの定例化や、圃場データの収集・解析作業、プロジェクトの進捗管理を遂行した。また、業務調整員が彼らの適

切な雇用管理に尽力したことから、多数の現地作業員を効率的に雇用し、多くの実験作業を実施した。さらに、日本政府食糧援助（KR）見返り資金を活用して KALRO ムエア支所に分子生物学実験棟を建設し、本プロジェクトで供与した機材を実験棟内に設置することにより、化学分析、遺伝子解析を実施できる研究環境を整備した。以上のことから、人材、機材、予算は効率的かつ効果的に活用されたと評価される。

5. 今後の研究に向けての要改善点及び要望事項

以下について期待するとともに要望したい。

- (1) 今後、KALRO ムエアに整備したイネ育種の研究基盤、開発した育種素材、育成した研究人材を活用して研究活動を継続するとともに、ケニアにおけるイネ育種の優先順位を精緻に把握、判断した上で実用品種及び栽培管理技術の開発を進めていただきたい。
- (2) 本プロジェクトの成果展開を基に、大規模な灌漑インフラ整備を伴わない育種によるコメ増産が可能であることを示すことにより、同国政府からより高いレベルの政策支援を引き出していただきたい。
- (3) 将来、ケニアにおいてイネ育種の成功例を示し、また同時に国際農業研究機関や国際協力事業と連携を深めることにより、ケニアと同様の自然環境・社会経済環境をもつアフリカ諸国への本プロジェクトの成果を普及していただきたい。
- (4) プロジェクトが整備した長期連用施肥試験圃場はアフリカ地域において大変貴重な施設であり、今後も長期に亘り試験を継続していただきたい。上記の点も含め、KALRO ムエアが本プロジェクト活動を継続することにより、アフリカのイネ育種研究の中核拠点として発展することを期待する。
- (5) $G \times E \times M$ はもちろん、 $G \times E$ 、 $G \times M$ 、 $E \times M$ の 2 要素の相互作用においても、今後より一層解析を進めることにより、新品種の育成に限らず現行品種の利用も含めて、ケニアの環境条件下でコメ増産に繋がる栽培管理技術を開発していただきたい。

以上

JST成果目標シート

研究課題名	テラーメード育種と栽培技術開発のための稲作研究プロジェクト
研究代表者名 (所属機関)	山内 章(名古屋大学大学院生命農学研究科 教授)
研究期間	H24採択 平成25年4月1日～平成30年3月31日(5年間)
相手国名/主要相手国研究機関	ケニア/ケニア農畜産業研究機構、国家灌漑公社、ジョモケニヤッタ農工大学、ケニヤッタ大学、ナイロビ大学

上位目標

- 育成品種と栽培技術を活用した稲作生産性向上方策が圃場レベルで実証される
- 稲作安定化と生産性向上に資する品種および品種の能力を十分に発現させる栽培技術が開発され、それらを活用した稲作生産性向上方策が提案される

プロジェクト目標

ケニア向けイネ品種の育成と栽培技術開発のための基盤が構築される

付随的成果	
日本政府、社会、産業への貢献	・CARDイニシアティブへの貢献
科学技術の発展	・ケニアの稲作安定化、生産性向上 ・G×E×M相互作用の解明
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	・イネ育種素材 ・イネ新品種の開発 ・品種の能力を十分に発現させる栽培技術
世界で活躍できる日本人人材の育成	・日本の学生および若手研究者の問題解決力や国際共同研究運営能力の向上(現地試験実施ノウハウ習得、査読付き学術誌への論文掲載など)
技術及び人的ネットワークの構築	・アフリカ稲作研究に関するケニアとの戦略的パートナーシップ ・日本のイネ研究ノウハウのケニア人研究者への移転 ・国際的なイネ研究ネットワークにおける我が国のプレゼンスの向上
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・ケニアにおけるイネ育種品種評価システム(交配設備、評価圃場、品種特性表、マニュアルなど) ・ケニア向け品種の中間母本 ・栽培技術改善に関する提案書 ・査読付き学術誌への論文掲載

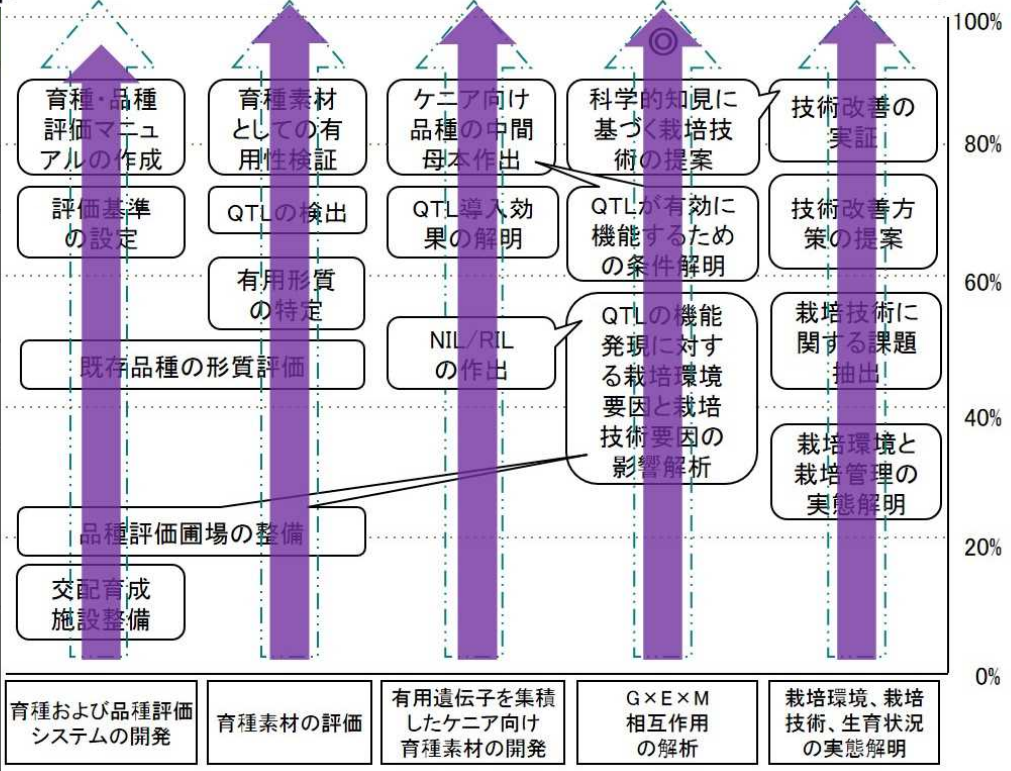


図1 成果目標シートと達成状況 (2018年5月時点)