

タイにおける低炭素排出型エネルギー技術戦略シナリオ研究

実施予定期間：平成21年度～平成23年度
代表機関：国立大学法人 京都大学
代表者：石原 慶一 エネルギー科学研究科
国内参画機関：独立行政法人 産業技術総合研究所
代表者：仁木 栄 太陽光発電研究センター
国内参画機関：独立行政法人 農業環境技術研究所
代表者：八木 一行 研究コーディネータ
国外参画機関：タイ国
エネルギー環境合同大学院大学、
ラジャマンガラ工科大学タンニャプリ校、
チュラロンコン大学
代表者：バンディット フンタマサン

I. 概要

タイ国において低炭素排出型のエネルギーシナリオを策定するために、Japan-SEE Forum がThai-SEE Forum のカウンターパートとなり、国際共同研究を推進する。特に本研究ではそれぞれの技術についてばらばらに共同研究を行うのではなく、エネルギー需給シナリオ策定研究を統括的に実施しつつ、タイ国における重点課題に対して分科研究グループ (NOE) を構築し、それぞれが有機的な連携を図りながら共同研究を実施する。

1. 研究の目的

地球温暖化問題が深刻化しており、IPCC 第4次評価報告書によれば人間活動に起因した温室効果ガス (GHG) の排出がその原因となっていることが明らかとなりつつある。この地球規模の問題の対応のためには、世界各国においてGHG 排出量を削減し、低炭素排出型社会を構築することが必要である。しかし、排出削減の数値目標枠組みに参加していないアジア・アフリカ諸国が、我が国と共通の数値目標を持ち、温暖化防止の協調関係を築くためには、先ず、環境・エネルギー科学技術の面で我が国が先導して数値目標達成に向けた基盤を途上国において整備することが肝要である。

近年タイでは、エネルギー政策：再生可能エネルギー開発政策 Strategic Plan for Renewable Energy Development : New Option of Thailand (2011 年目標：8% まで高める。RPS 法も整備) や、エネルギー効率化政策 Strategic Plan for Energy Efficiency (2007 年目標：エネルギー消費量/GDP=1) を進め、それに沿った、大学・研究機関の整備が進められている。また、タイの中期エネルギーロードマップ策定研究では、再生可能エネルギーや省エネルギー技術開発を促進するための施策がエネルギー省で検討されている。その中の重点課題として、持続可能なクリーンコール技術やバイオ燃料開発、太陽エネルギーなど自然エネルギー利用および省エネルギー技術開発が挙げられている。同時に、カーボンサイクルや大気循環システムなど環境評価技術の向上により、IPCC に連動したCO2 削減目標の設定に向けた動きが活発化している。

本提案では、タイ国において低炭素排出型のエネルギーシナリオを策定するために、最先端の解析手法やソフト支援を実施することで、低炭素排出型のエネルギー需給ロードマップを策定する。タイ国のエネルギーCOEである研究機関の再生可能エネルギーに関する技術開発水準を、将来、国際社会の中で我が国が目指すCO2排出量削減シナリオを共有できる水準に至るまで共同研究を推進することを目

的とする。特に、タイ国のエネルギーロードマップの中で、優先度の高いクリーンコールテクノロジー、バイオ燃料開発、太陽光利用、省エネルギー技術、炭素循環環境評価技術でタイ研究者が積み重ねてきた基礎研究成果に対して、我が国の先端研究ノウハウを駆使して基礎データ解析および設計・技術開発協力を行いタイ地域に適合したエネルギーシステムを開発する。最終的に、我が国の2050年50% CO2 削減の長期シナリオ共有できる連携・協力体制を構築する。

この結果、研究期間内に、タイの研究開発技術力に裏打ちされた「低炭素排出型のエネルギーシナリオ」を策定する。研究者の育成に伴いエネルギーCOE 研究機関ではクリーンコールテクノロジー、バイオ燃料開発、太陽光利用、炭素循環環境評価技術において我が国と同水準の研究開発が実施され始める。タイの研究機関で国際レベルの研究開発が行えることより、タイ国内での産学官連携研究が加速され、よりタイコミュニティに適合した新しいエネルギー技術が導入され始める。また、研究レベルの向上に伴い、エネルギー開発における指導力が向上し、タイ国内においても、エネルギー開発に関する、研究者、教育者、技術者および政策立案者を輩出できる体制が進む。さらに、タイとの共同研究の成果は既存のネットワークSEEフォーラムを通じて、近隣アジア諸国のパートナーへも波及し、「低炭素排出型のエネルギーシナリオ」が国際標準として普及することが期待できる。

2. ネットワーク構築の実現可能性

京都大学はエネルギー環境分野において、アジアの大学と豊富な交流実績を有し、特にタイ国参画機関であるJGSEE、ラジャマンガラ工科大学、チュラロンコン大とは下記に示す通り、a. 21COE 活動、b. SEE Forum 活動、c. G-COE 活動を通じて活発な研究交流を実施しており、参画機関とは既に交流協定を有する。

a. 21COEでの活動

京都大学では京都大学21世紀COEプログラム「環境調和型エネルギー研究教育拠点形成」事業 (H14-18) において、エネルギー・環境分野においてアジアとの連携を強化してきた。特にタイとはバンコクオフィス

(21COEThai-Research Station Bangkok Office) をタイ国バンコク市内に設けるとともに、すでに協力協定を結ぶラジャマンガラ工科大学 (RMUT) 内に国際共同研究のための実験室 (21COEThai-Research Station Collaborative Research Laboratory at Rajamangala Institute of Technology) を開設した。さらに、2004年2月には本21COEプログラム、JGSEE、ラジャマンガラ工科大学の3機関間で協力協定を結ぶことにより、アジアを取り巻くエネルギー・資源・環境に関する情報収集のための拠点を整備した。2005年からバンコクに調査研究員を置き、アジア諸国のエネルギー環境に関する情報収集を行ってきた。本21COEプログラムは、この3機関間の協定に基づき、2004年から平成2007年の間で計5回国際会議を共同開催した。まずラジャマンガラ工科大学と共催の「環境エネルギーおよび材料化学・工学国際シンポジウム (EMSES)」では国際的な研究者間の交流の「場」を提供し、環境・エネルギーまた先端材料研究に関する研究交流を実施してきた。更に、JGSEE と「持続可能なエネルギーと環境国際会議 (SEE International Conference)」を共催し、アジア太平洋地域を中心にエネルギーと環境分野に従事する、科学者、研究者、技術者、政策立案者が集い、「持続可能なエネルギ

一と環境」についての研究交流を深め、アジア太平洋地域における国際連携を進めてきた。

b. SEE Forumの活動

京都大学では21世紀COEを核に、「新エネルギーイニシアティブ」の実現に向けて、アジア地域でより一層の協調と連携を図るために国際的な枠組みを設け、大学・研究機関の連携ネットワークである持続可能なエネルギーと環境フォーラム（SEE Forum: Sustainable Energy and Environment Forum）を組織してきた。SEE Forumは2006年の第2回国際SEE International Conference, Bangkok, において、地球温暖化とエネルギー安全保障など、共通する課題に対する協調と連携を図るために、アジア太平洋圏における学及び科学技術者の連携ネットワークとして8カ国20名の賛同者の下、“SEE 2006-Expression of Intent on New Energy Initiative”を採択したことに始まる。第3回目Forumからは、AUN(ASEAN University Network)に所属する21大学に呼びかけ、その賛同の基に、イニシアティブの実現に必要な教育・研究・連携・資金の4つの課題を中心に、段階的な取り組みを進めてきた。この取り組みが評価され2008年5月25-27日にASEAN COST+3 (ASEAN 諸国に日本、中国、韓国を加えた科学技術委員会)の枠組みにおいてNEFSE(New Energy Forum for Sustainable Environment)会議を主催した。その会議において、新エネルギーイニシアティブの推進における人材開発が重要な役割を演じるが、現状においては十分な体制が整っていないことが認識され、大学連合を組織してエネルギー・環境を総合的に教育研究する体制作りを協力して実施することにより、各国で教育体制が整備され、必要な人材の開発が行えるとの合意の下、NECSE (New Energy Consortium for Sustainable Environment) の結成が提案された。本提案は2008年11月マレーシアクチンで開催の第3回ASEAN COST+3 会合にて報告され、現在、京都大学が主導でASEAN University Network (AUN)と協力して設立準備を進めている。2008年12月に開催した第4回SEE ForumはNew Delhiで開催され、“New Delhi Initiative”が採択され、現在、各国におけるSEE Forumの樹立を推進している。

c. G-COEでの活動

京都大学では、エネルギー科学研究科、エネルギー理工学研究所、工学研究科（原子核工学専攻）、原子炉実験所において2008年度グローバルCOEプログラム「地球温暖化時代のエネルギー科学-CO2ゼロエミッションをめざして」に採択され、再生可能エネルギーと先進原子力エネルギーに関する教育研究を、エネルギー需給シナリオ策定と協調させながら遂行し、技術創出や政策提言を行う先進的な研究者や政策立案者等の人材を育成する国際的教育研究拠点形成の事業を開始している。本グローバルCOEプログラムでは、SEE Forum、NECSEをアジア国際連携の要として推進している。

3. 本制度により取組を支援する必要性

本事業は、我が国がこれまでアジア諸国に対して実施してきたODA政策による技術支援・移転の事業や、経産省関連機関のNEDOがアジア諸国で実施してきた商業化ベースの応用技術移転事業とは異なり、大学・研究所レベルで取り組む基礎・応用研究および教育を共同で実施することを目的とする取組である。本事業は、我が国のハイレベルの研究・人材シーズを有する大学・研究所とタイの大学が先端クリーンエネルギー研究開発を共同で実施し、タイの技術開発力に裏打ちされたエネルギーシナリオを検討しようとする基礎研究分野での協力を強化することを目的としている。また、研究費用共同負担を導入し参画機関と人材や研究資源を互いに補完して、低炭素排出型のエネルギ

ーシナリオ策定を共同で研究することを目指した活動であり、産業中心ではなく、アカデミックが中心となり実施する研究活動である。

現在採択されている本グローバルCOEプログラム「地球温暖化時代のエネルギー科学-CO2ゼロエミッションをめざして」は主に教育を中心とした事業であり、留学生受け入れや研究集会開催等による交流は可能であるが、共同研究実施をカバーすることは困難である。よって、本提案により共同研究を実施し、研究ベースでの人材交流および成果共有が必要である。

4. 継続性の担保（特に課題期間終了後の取組）

京都大学は本事業推進の基盤ネットワークであるSEE Forumを既に科学技術振興調整費とは独立して構築している。現在SEE Forumは、本学G-COEプログラム（地球温暖化時代のエネルギー科学拠点：平成20-24年）活動の一環として実施しており、本振興調整費による支援期間終了後も継続できる予算を確保している。本取組により、SEE Forumの研究協力体制が強化され、より強固な連携基盤へと発展することが見込まれる。さらに、京都大学では、研究者個人ネットワークであるSEE Forum連携した、大学・研究機関組織間ネットワークであるNECSE設立を全学的に推進している。これは、京都大学での組織的な取組であり、エネルギー・環境分野での研究・教育協力体制においてASEAN諸国との恒常的なネットワークを構築するものであり、本事業はそのための重要な共同研究パイロット事業である。

5. 我が国を中心としたアジア・アフリカ諸国等との政府レベルでの協力関係の強化・構築への発展性

地球温暖化防止に関する国際的な動向を鑑みると、既存の京都議定書に見られるように一部の先進国だけが数値目標を共有し、アメリカ、オーストラリア、カナダなどの先進国や、中国、インド、ASEAN諸国などの途上国は枠組みに参加していない。現在、東アジア地域の削減義務を負っていない国が、我が国と共通の数値目標を持つためには、新たな連携・協力の関係を構築しグローバルな取り組みが必要である。本事業により、科学技術の面で我が国が中心となって、タイの技術開発力に裏打ちされたエネルギーシナリオ策定を研究することにより、タイ自国のCO2削減努力目標から国際的に共通の努力目標へと発展したエネルギー開発ロードマップを策定することが可能である。共同研究相手であるJGSEEはタイ国エネルギー省へエネルギー開発ロードマップを提案する立場にあり、本研究成果は日タイ政府間において、共通のエネルギー開発ロードマップに沿った研究・開発の協力関係強化に資する。

また、ASEAN諸国に着目すると、先進ASEANと後進ASEANに大別され、域内においても

科学・技術の水準は大きく異なる。タイ、シンガポールなどは再生可能エネルギーや省エネルギー技術に関する分野で先導しているが、カンボジア、ラオス、ミャンマーなどの後進ASEANでは、自国のエネルギー開発ロードマップを策定できる科学・技術の水準に至っていない。今後、これらの諸国と長期的な数値目標を共有することを視野に入れ、先ず先進ASEAN諸国であるタイの科学技術の基盤レベルを我が国と同水準まで上げて、自国の努力目標から国際的な共通の努力目標へ発展させる。そのうえで順じてSEEフォーラムやNECSEの活動を通じて域内での後進ASEAN連携協力を推進することで科学・技術レベルの底上げを果たし、自国の努力目標の策定に協力する。これらの情報交換を我が国が提案した新しい政府間の枠組みである日-ASEANワークショップと連動して実施することで

官学の情報共有体制を構築し、日タイだけでなく多国間の協力体制の強化に寄与する。

6. 生命倫理・安全面への配慮について

本研究は「生命倫理・安全対策に関する留意事項」に該当せず、生命倫理面・安全面にたいする特別な配慮は必要ないと判断する。

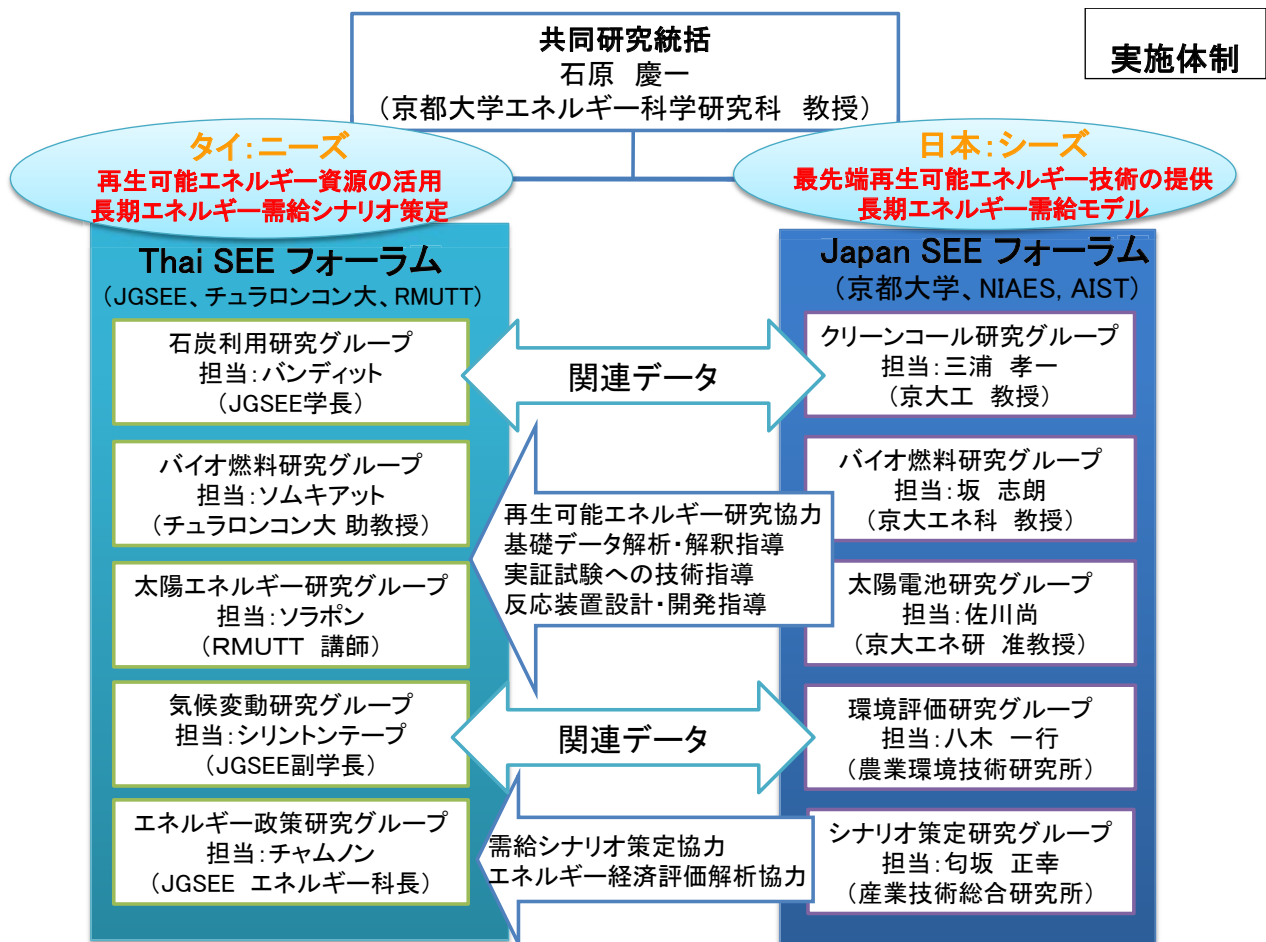
7. 研究実施体制

タイ国における低炭素型のエネルギーシナリオを策定するために、京都大学に事務局を有するJapan-SEE フォーラムがThai-SEE フォーラムのカウンターパートとなり国際共同研究を推進する。特に本研究ではそれぞれの技術についてばらばらに共同研究を行うのではなく、エネルギー需給シナリオ策定研究を統括的に実施しつつ、タイ国における重点課題に対して分科研究グループNOE を構築し、それぞれが有機的に連携を図りながら共同研究を実施する。

本シナリオ策定研究では、エネルギー科学研究科石原が共同研究統括の責任をとり、京都大学工学研究科三浦グループはクリーンコール技術開発の担当として、JGSEE バンディットグループと共同でタイ国産低品質炭の高効率エネルギー転換方法の開発を実施する。エネルギー科学研究科坂グループは、チュラロンコン大ソムキアットグループと共同でタイ農耕地から得られるバイオマス試料を用いて超臨界流体技術によるバイオ燃料製造プロセスの検討をする。エネルギー理工学研究所佐川、AIST 仁木グループはラジャマンガラ大学ソラポングループと共同で無機系及び有機系太陽電池用の材料創製とハイブリッド化ならびにデバイスの作製と評価を担当し、エネルギー理工学研究所大垣グループでは中赤外波長可変レーザーを用い、

レーザーアシスト有機太陽電池用薄膜材料作成法の開発を行うとともに多光子吸収過程の実現による高効率化を目指す。また、農業環境技術研究所の八木グループは、JGSEE シリントンテープグループと共同で、エネルギー需給シナリオに従って導入されるエネルギーシステムや既存システムの環境評価のためにGHG モニタリングシステムを構築し、新システム導入時の環境面における得失の定量化への適用を目指す。そして、エネルギー科学研究科手塚・AIST 匂坂グループは先端エネルギー技術導入による化石燃料代替シナリオを検討し、GHG 抑制を定量的に評価するとともに、二酸化炭素削減シナリオをJGSEE チャムノングループと共同で策定する。

タイ国産の低品質炭、農業廃棄バイオマスなど試験試料は、タイ協力機関から提供されるとともに、試料評価のための熱分析装置、構造解析装置、ガス分析装置等はタイ協力機関所有の機材が利用可能である。国内参画機関は、提供されたデータを基に、パイロット試験機を共同で検討しクリーンコール技術およびバイオ燃料研究を実施する。また、タイ協力機関で作成された有機薄膜太陽電池用の半導体材料およびデバイスを双方の研究機関で分析し、信頼性の高いデータを取得する。シナリオ策定研究においては、タイ国で得られる排出データと日本側が提供する将来予測モデルや、排出インベントリーデータの総合化プログラムを合わせてシナリオ策定研究を進める。これらの国内外参画機関の有機的な連携を円滑に推進するために既存のSEE Forum を通じて各研究グループの交流と、材料の相互的供与を進める。



氏名	所属部局・職名	提案課題における役割
石原 慶一	京都大学・教授	研究代表者（シナリオ策定研究）
三浦 孝一	京都大学・教授	クリーンコールテクノロジー研究開発
坂 志朗	京都大学・教授	バイオ燃料研究開発
佐川 尚	京都大学・准教授	有機/無機1次元材料のハイブリッド化
大垣 英明	京都大学・教授	次世代太陽電池材料評価
手塚 哲央	京都大学・教授	シナリオ策定研究
匂坂 正幸	産業技術総合研究所・グループ長	LCA 評価・資源生産性評価研究
仁木 栄	産業技術総合研究所・グループ長	太陽電池標準評価試験
八木 一行	農業環境技術研究所・上席研究員	シミュレーションモデルによる広域評価

8. 各年度の計画と実績

a. 平成 21 年度

- ・計画 基本的なデータ収集と研究協力体制の構築を行う。また、タイでワークショップを行い、全体の計画の確認を行う。
- ・実績

タイ国の産業連関表、経済データ、エネルギーバランス、CO2 排出量など「低炭素排出型のエネルギーシナリオ」策定のための基礎資料の収集を行った。また、タイの研究者を日本に招聘し個別研究課題について共同研究の打ち合わせを行った。各研究分野ごとの役割と統合方法について日本-タイ間でさらに打ち合わせを続け、シナリオ策定のためのモデルツールの設計を始めた。

京都大学新エネルギー技術開発グループはタイ国産低品質炭の高効率エネルギー転換方法の開発の基礎資料としてタイ国産の褐炭の特性分析を行い、また、タイ農耕地から得られるバイオマス試料を用いて各種バイオマス資源の組成分析を行い、さらに、無機系及び有機系太陽電池用の材料創製とハイブリッド化ならびにデバイスの作製と評価および中赤外波長可変レーザーを用い、レーザーアシスト有機太陽電池用薄膜材料作成法の開発を行うとともに多光子吸収過程の実現による高効率化を目指し、新規材料開発を行った。

産業総合研究所新エネルギー技術評価グループではライフサイクル的観点からの温室効果ガス排出削減を最適化するエネルギー供給システムを探るため、バイオエネルギーの生産から利用にわたるシステムのモデルを作成し、ライフサイクルでの炭素排出への効果を試算する試験的な運用を行った。

農業環境技術研究所環境評価グループでは、現地実証試験の圃場選定、試験設計の確立、および予備的計測を行った。以上の成果については、バンコクでワークショップを行い、全体確認を行い、その後テーマごと会合を持ち基本計画を策定した。

b. 平成 22 年度

- ・計画 各グループにおいて要素技術の確立を検討し、そのデータをライフサイクルグループが評価する。その結果を経てシナリオに反映させ、暫定的な温暖化ガス削減シナリオを策定し、各グループに説明する。
- ・実績

シナリオ策定研究グループでは、シナリオのドラフトを各研究グループに提案しタイで開催するワークショップで紹介しそれに基づき議論を行い、ツールの修正、データの修正を行い、最終年度に向けて基本的な設計を終了させた。

クリーンコール研究グループでは引き続き褐炭、バイオマスの脱水・改質実験を実施し、クリーンコールに関する日タイ学生セミナーを開催し、研究経過を報告した。バイオ燃料研究グループにおいては多種多様なバイオマス資源に対する科学組成の分析方法を確立した。また太陽電池グループではタイ産出で高い酸化チタン含有量の Leucoxene 鉱石から酸化チタンナノファイバーを作製し、色素増感太陽電池用電極に利用して、そのセル特性を評価した。また、チタン酸ストロンチウムナノ微粒子上に白金、金、銀、ニッケルを担持させた光触媒を作製し、メタノールを少量含む水からの水素発効率を検討したところ、金を担持した触媒が最も高活性であることがわかった。

産業総合研究所が担当する新エネルギー技術評価グループでは、タイにおける天然ガス、石炭等の従来型のエネルギーのライフサイクルでの温室効果ガス排出量評価に関するこれまでのデータを総括し、生産量、技術に変動がある天然ガスについてについては新たに評価を行った。また、バイオマスエネルギーなど新エネルギーに関する同評価を行い、低炭素排出への貢献を定量化した。

産業技術総合研究所太陽光発電研究センターでは、タイのチュラロンコン大学と共同で、太陽電池の評価技術に関する研究に着手した。昨年度は、今後の共同研究のベースとなる CIGS 太陽電池の性能評価技術について、双方の評価技術・装置の整合性の確認を行った。また、今後の研究の進め方に関して意見交換を行った。

農業環境技術研究所が担当する環境評価グループでは、中央平原西部の天水田試験地（ラチャブリ県）において、水稲休閑期に畑作物（トウモロコシ、大豆、またはキャサバ）を導入する輪作体系に関する現地試験を実施した。クロードチャンパー法により CO2, CH4, N2O フラックスを計測し、年間温室効果ガス発生吸収量を定量化した。日本側研究者が渡航してタイ側研究者とともに調査地を訪問し、現地試験進捗状況を確認し、畑作物の選定や管理の方法など、試験設計を再検討した。さらに GHG データ収集と若手の研究者のキャパシティビルディングのために、タイ側研究者を招聘した。京都大学および産業技術総合研究所とプロジェクト全体の進行状況の情報交換をし、最終年度のとりまとめ方向を検討した。

c. 平成 23 年度

- ・計画 22 年度の結果をさらに精査し、完全なものにする。農業、工業、運輸、商業、家庭各部門におけるエネルギー消費を最小化し、またタイの気候風土にあう新エネルギーの導入を図り、適応可能な温暖化ガス排出削減エネルギー技術シナリオを作成し、広く世界に発信する。

9. 年次計画

研 究 項 目	1年度目	2年度目	3年度目
(1) シナリオ策定研究活動 (京都大学：石原グループ)	エネルギー技術 シナリオ検討	エネルギーシナリオ策定	とりまとめ
(2) クリーンコール技術研究活動 (京都大学：三浦グループ)	溶剤抽出を用いたタイ褐炭の改質法の開発	若手研究者の定期的な交流・情報交換	とりまとめ
(3) バイオ燃料研究活動 (京都大学：坂グループ)	バイオマス資源組成分析	バイオエタノール製造技術確立 バイオディーゼル製造技術確立	とりまとめ
(4) 次世代太陽電池創生研究 (京都大学：佐川グループ)	新規材料開発 新素子構造開発	高効率化 安定性向上	モジュール化 FS 調査
(5) 太陽電池評価 (産業技術総合研究所：仁木)	材料の物性評価	デバイスの試作と評価 評価手法の検討	太陽電池の高性能化 ハイブリッド型太陽電池の検討と試作
(6) 温室効果ガス測定活動 (農業環境技術研究所：八木)	GHG 計測システム構築検討	GHG データ収集	広域 GHG 収支評価
(7) LCA 評価、資源生産性評価研究 (産業技術総合研究所：匂坂)	インベントリデータ収集 エネルギー需給データ収集	エネルギー需給モデル・最適化モデルの作成・検討	作成モデルの試験運用・考察