

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「環境・エネルギー（低炭素社会）」

研究課題名「インドネシアにおける地熱発電の大幅促進を

目指した蒸気スポット検出と持続的資源利用の技術開発」

採択年度：平成 26 年度/研究期間：3・4・5年/相手国名：インドネシア国

平成 29 年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

平成 27 年 4 月 25 日から平成 32 年 3 月 24 日まで

JST 側研究期間^{*2}

平成 26 年 5 月 1 日から平成 32 年 3 月 31 日まで
(正式契約移行日 平成 27 年 1 月 1 日)

*1 R/D に基づいた協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者：小池 克明

京都大学 大学院工学研究科・教授

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

予定よりも研究期間の延長は研究が滞ったわけではなく、順調にデータが得られ、より質の高い研究成果を目指すためである。

研究題目・活動	H26年度 (3ヶ月)	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度 (12ヶ月)
1. 蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発（京大・ITBグループ）						
1-1 地形解析による連続性の良い亀裂の抽出	←		→			
1-2 亀裂系の3次元分布形態推定		←	→	→		
1-3 ガス中のラドン・水銀濃度分析による亀裂パサ性評価		*1 ←	→	→	→	
1-4 ガス組成分析と貯留層評価			*2 ←	→	→	
1-5 ガスの起源分析				←	→	
1-6 地表付近の変質鉱物の分析	←				→	
1-7 熱水系の化学分析				←	→	
1-8 データ統合と蒸気スポット存在可能性の評価		*3 ←	→		←	→
2. 環境調和型地熱利用のためのモニタリング技術開発（京大・ITBグループ）						
2-1 衛星画像解析による植生活性・水質の分析		←	→			
2-2 差分干渉SARによる地表変位の高精度検出			←	→		
3. 地熱エネルギー利用・産出の最適化システム設計（京大・ITBグループ）						
3-1 種々の地質構造と地熱資源利用に対する貯留層の温度・圧力変化のシミュレーション			←	→		
3-2 貯留層状態に連動した発電量変化のシミュレーション			←	→		
3-3 電力生産寿命の算定					←	→
4. インドネシアにおける地熱開発を担える人材の育成（京大グループ）					←	→
4-1 カリキュラム構築		←	→			
4-2 研修対象者の選定			↔	↔	↔	↔
4-3 講義とフィールド実習実施			↔	↔	↔	↔

*1 京大に導入したラドン濃度計を用いることで、野外調査を前倒して実施した。

*2 京大に導入したガスクロマトグラフィーを用いることで、野外調査による試料採取と分析を前倒し

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

て実施した。

*3 総合地球環境学研究所の誘導結合プラズマ質量分析装置、京大に導入した水同位体アナライザー及びイオンクロマトグラフィーを用いることで、野外調査による試料採取と分析を前倒して実施した。

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

上記研究項目「2-1 衛星画像解析による植生活性・水質の分析」は当初「2-1 衛星画像解析による植生活性・水質の分析」であったが、表流水の水質は本プロジェクトの目的と直接関係がないうえに、モデルサイト周辺には大きな河川や湖沼がないことから、平成29年10月の会合で削除することに合意した。

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

プロジェクト全体のねらいとして、地熱資源を利用した発電量の大幅な増加、および環境と調和した長期間の持続的地熱発電の2点を実現するために、リモートセンシング・地球化学・鉱物学での最先端手法を統合して発電に最適な蒸気スポットを高精度で検出できる技術、リモートセンシングを利用した地熱発電所周辺の広域環境モニタリング技術、長期にわたる地熱エネルギーの持続的利用・産出を可能にするための最適化システム設計技術、の3つを開発する。これに加えて、地熱開発を担える人材をバンドン工科大学(以下ITBと略する)と協同で育成する。プロジェクト全体のねらいはこれまでと同じである。下記にH29年度に得られた主な成果を述べるが、(2)から(5)でも個々の研究項目に対する成果を補足する。すべての研究項目に京大の若手研究員と大学院生が関与し、ITB側と連携しているため、研究の進展に伴って日本人若手人材の育成とグローバル化が展開できている。また、研究題目1と4で新たな共同研究の開始、地熱短期研修の実施で人的支援の構築を図れたが、これらは単年度で完遂するものではないので、H30年度以降も継続する。

➤ 亀裂系の3次元分布形態推定

上記の研究項目1-1と1-2に対しては、前年度までに引き続き、地熱モデルサイトであるインドネシア西ジャワ州Wayang Windu地熱地区を対象として、スペースシャトル合成開口レーダによる30m空間分解能のデジタル地形データ(Digital Elevation Model: 以下、DEM)を用い、リニアメント抽出・解析法を改良した。リニアメントは亀裂や断層の存在に関連した直線的な地形パターンである。これをDEMの多方位陰影画像から抽出する。主な改良点として、陰影画像を作成するための照射方向の偏りを軽減させるために、方位30°刻みで南北側、および東西側から照射し、それぞれの画像から抽出したリニアメントを重ね合わせ、方位の類似性と距離の近さを基準としてリニアメントをグループ化した。これによりリニアメントの抽出数と長さが増加し(すなわちより長いリニアメントになり)、ボーリングデータなどからモデルサイトで推定されている断層、あるいは地質調査による既知の断層と本手法によるリニアメント分布がより整合するようになった。

次に、リニアメントと地形データのベクトル解析から亀裂面の方向(走向・傾斜)を推定した。これと10本のボーリングによって観測された3210個の亀裂データの方向とを比較した。比較にはボーリングの位置に近い20個の推定亀裂面を用いた。その結果を図1に示す。これから最も卓越するのが北東

【平成29年度実施報告書】【180531】

方向であることが両者で一致している。次に、推定亀裂面、観測亀裂の極をシュミットネット下半球に投影し、その密度分布を比較する。観測亀裂で最も卓越するのは上述の北東走向で、北側に $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ と急傾斜する亀裂である。傾斜角はこれよりも 10° ほど大きい、リニアメントに基づく推定亀裂面も同様の最卓越方向を示している。よって、リニアメントに基づく推定亀裂面はボーリング調査による亀裂データの方向と概ね対応し、リニアメント解析からでも亀裂系の 3 次元分布形態を推定できることがわかった。

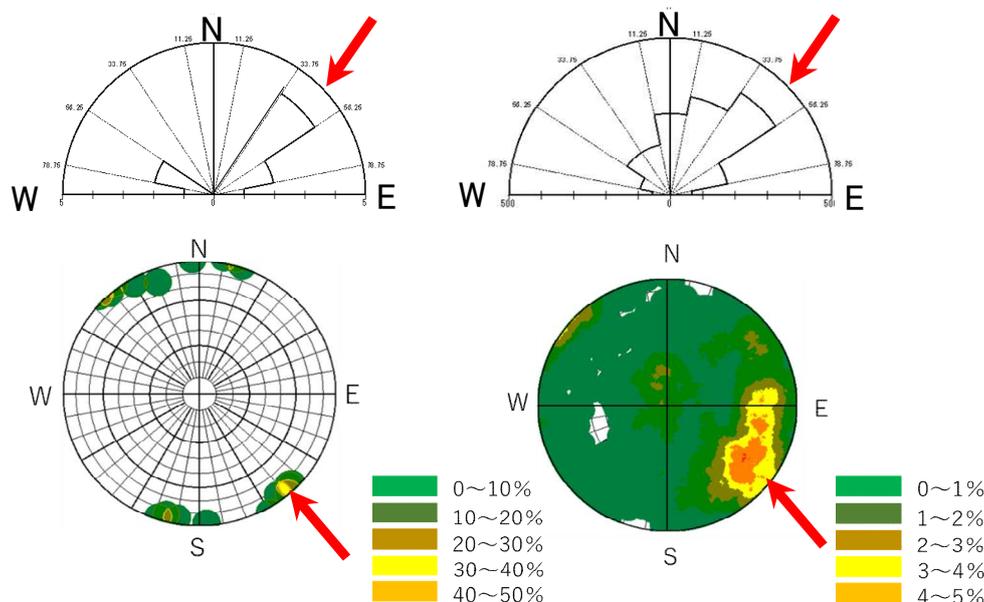
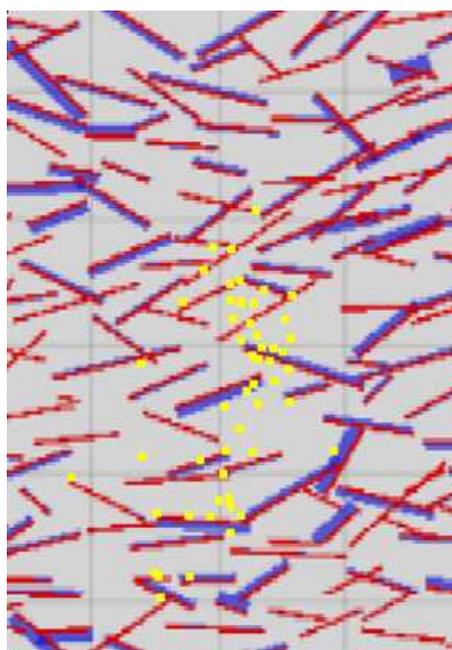


図1 亀裂の走向分布（上）とシュミットネット下半球投影による亀裂面の極の密度分布（下）。左側はリニアメントに基づく推定亀裂面、右側は10本のボーリング調査に基づく観測亀裂データによる方向分布である。矢印は最も卓越する方向を示す。



亀裂系の 3 次元分布形態を表現するのが図 2 である。図で赤はリニアメントで、それから形成される推定亀裂面を青で示し、傾斜が緩いほど青の長方形の面積が広くなり、垂直に近いほど赤の線のみになる。全体的には急傾斜の推定亀裂面が多いが、一部緩い亀裂も見られる。これと生産井先端の地表への投影位置を重ね合わせると、全 51 個の先端のうち 84%が本手法による推定亀裂面上に存在することが明らかになった。生産井は地熱貯留層から熱水や蒸気を抽出するためにあり、地熱貯留層は断裂系に一般に形成される。よって、生産井の先端は、実際の地下亀裂の位置に対応している可能性が極めて高い。以上から、本プロジェクトによるリニアメント抽出と亀裂系推定手法は蒸気スポット検出に有効であることが確かめられる。

図2 リニアメント（赤）に基づく推定亀裂面（青）の分布と生産井先端の位置との重ね合わせ

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

➤ 衛星画像からの地表付近の変質鉱物の抽出

項目 1-6 は光学センサ画像、および後述の表層ボーリングによる土壌・岩石サンプルの鉱物分析という 2 つのアプローチで実施した。前者では、衛星画像から高植生被覆下での熱水変質帯抽出を目的として、Wayang Windu 地区を対象に植生と岩石を端成分とする 2 成分スペクトル分離、植生と安山岩・明礬石などの変質鉱物を端成分とする 3 成分のスペクトル分離の適用、および決定係数と岩石の重み係数を用いての熱水変質帯分布の推定を行った。安山岩は対象地区での主要な地質である。植生域でのスペクトル分離を行う準備として、反射率の絶対値は異なるものの、物質が同じであれば同一のスペクトルパターンをもち、残差の評価で目的とするスペクトルパターンの抽出が可能であるという仮定を設けた。噴気帯周辺の ASTER データを用いて検証したところ、これらの仮定は変質鉱物分布の抽出精度を向上させることが確かめられた。また、2 成分の反射スペクトル分離では植生域と非植生域を分離できるが、熱水変質鉱物域を絞り込むことはできないのに対して、3 成分スペクトル分離法によれば、代表的な変質鉱物であるカオリナイトの分布域を特定できるように改善された。結果の一例を図 3 に示す。図では赤から青にかけて変質鉱物の存在可能性が高いことを表す。可能性が高い箇所は主に北西方向と北東方向に沿って線上に分布していることがわかり、これらは透水性の高い断層の方向に対応する。さらに、図 2 のように生産井の先端位置を地表に投影し、この地点と重ね合わせると、可能性が高い箇所の多くは先端位置と重なる、あるいはその周辺に存在することがわかる。生産井の先端は貯留層に達し、熱水・蒸気が卓越する場所であるので、その直上に変質鉱物が存在することは妥当である。よって、本プロジェクトで開発した本手法も蒸気スポットの大凡の位置検出に利用できる。

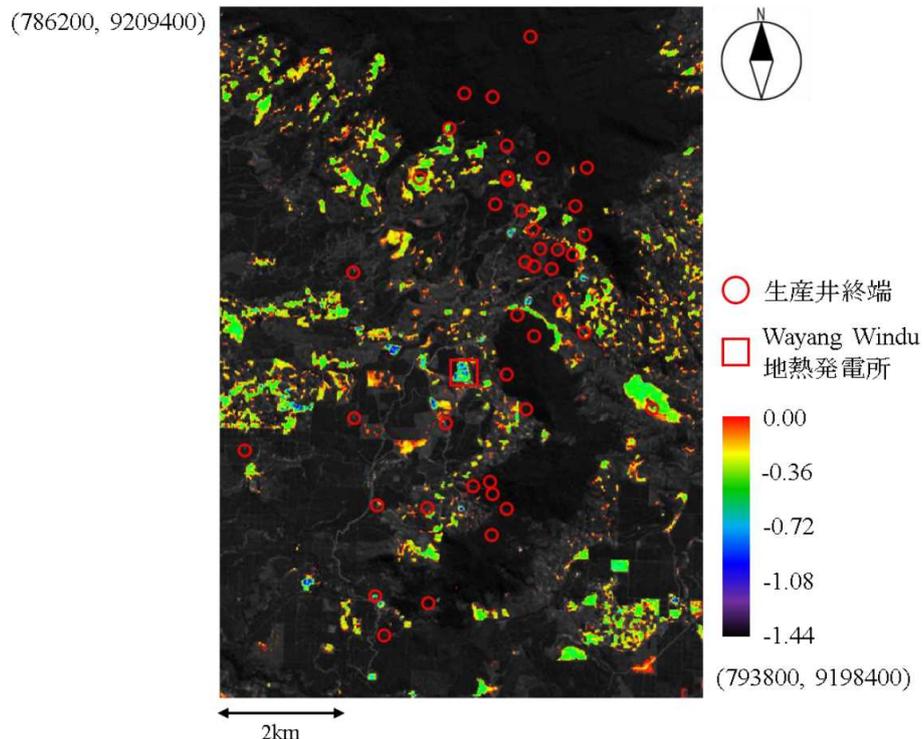


図 3 スペクトル分離法によって ASTER 画像から抽出された変質鉱物存在の高い箇所の分布（赤から青にかけて存在可能性は増加する）、および生産井先端を地表に投影した地点との重ね合わせ

後者に対しては、18 箇所の表層ボーリングのすべてにおいて土壌を構成する鉱物を X 線回折分析【平成 29 年度実施報告書】【180531】

(XRD)により同定した。結果の一例として、衛星画像解析による変質鉱物の存在推定箇所安定化温度が高い鉱物が卓越することがわかり、リモートセンシング解析の妥当性が確認されつつある。

➤ 表層ボーリングを利用した地殻ガス測定と蒸気スポットを示唆する特徴の抽出

項目 1-3・1-4・1-5・1-6 の実施において、深部に位置する貯留層の状態を表層付近で推定し、蒸気スポットを検出するために、複数の表層ボーリングを設けることが本プロジェクトのユニークな点の一つである。そのため、H28年8月20日から Wayang Windu 地区内の全18箇所（うち1箇所は損壊）において、最大深度5mの表層ボーリングの掘削と計測井の設置を実行した。計測井の設置箇所は、推定される透水性断層の交点や温水の湧出地点である。長期の計測に耐えられるように、ボーリング孔の構造を工夫している。さらに後述のように7箇所でもボーリングを追加するように検討した。

設置された計測井を用いて継続的なラドン・水銀濃度のモニタリング測定を実施している。測定は主に ITB 側の測定チームによって行われ、これまで各測点で3~5回の測定結果が得られた。ラドン濃度の時間変化に関して図4の3つのパターン、すなわち A：短時間での急増後に急減する、B：急増後に一定の濃度を保つ、および C：徐々に濃度が増加するパターンに分類できることがわかった。パターン B を代表するのが、K-15 という領域北東部に位置し、最も高いラドン濃度を示す地点である。パターン B と C は地殻ガスの上昇と供給が活発である可能性を示唆しており、地熱資源開発の有望地とみなすことができる。K-15 は透水性断層近傍に位置する測点ではあるが、周辺には地熱兆候は現れていない。このような熱水や蒸気の潜在的なパスを見出せたことは、本プロジェクトの有効性と新規性を示すものの一つである。

パターン B と C に対する上記の推測を検証するために、ラドン測定装置である RAD7 でカウントされるラドンの娘核種で、放射性同位体である ^{218}Po と ^{214}Po のサイクルごとの原子数割合を比較した（図5）。 ^{214}Po は ^{218}Po が壊変して生じる同位体であり、164.3 μ 秒と半減期が極めて短い（ ^{218}Po は 3.10 分）。そのため、カウントされる ^{214}Po は機器内に取り込まれたラドンガスが壊変して生じたものの可能性が高い。以上に基づき、各パターンを比較すると、いずれも測定初期段階では ^{218}Po が支配的であるが、時間経過でラドン濃度が急減するパターン A のみ最終的に ^{214}Po との割合が逆転している。よって、パターン A の測点では地中のガス流動性が低く、計測井周辺のガスを機器が吸い上げた後は大気が混入すると考えられる。これに対して、パターン B と C の測点では継続的に深部からガスが供給され、蒸気パスとなる亀裂系が存在する可能性が示唆される。この仮説の検証を目指して、H30年度には ITB に導入したガスクロマトグラフを用い、ガス成分の測定を実施する。

また、ラドン濃度の空間分布をさらに詳細にし、蒸気スポットの検出精度を向上させるために、新たに7箇所の測点を追加した。追加測点（NSD）の位置は、断層の直上や交点であることを基準にし、現地での地表踏査を行って決定した。2018年3月に予備調査として NSD 各点で1mほどの簡易的な計測井を設置し、ラドン濃度計測を行ったところ、いずれの測点においてもパターン B や C の濃度変化を確認することができた。この結果は、パターン B と C の測点付近には深部に繋がる亀裂系が存在し、ガスの流動特性が高いという上記の仮説を裏付けるものである。H30年度には NSD 各点にこれまで同様の5m深度の表層ボーリングで計測井を設置し、モニタリング測定を実施する予定である。

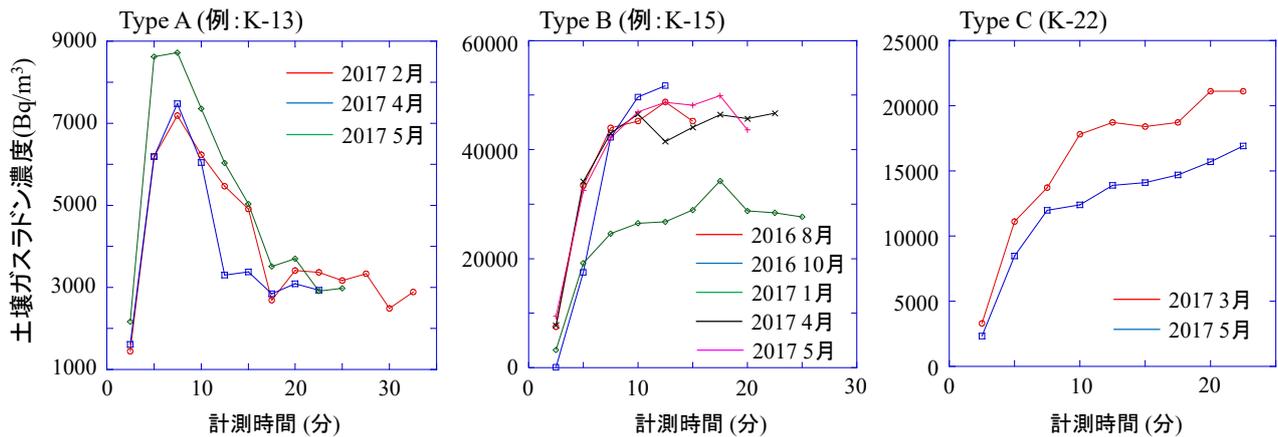


図4 ラドン濃度の時間変化に関する3つのパターン

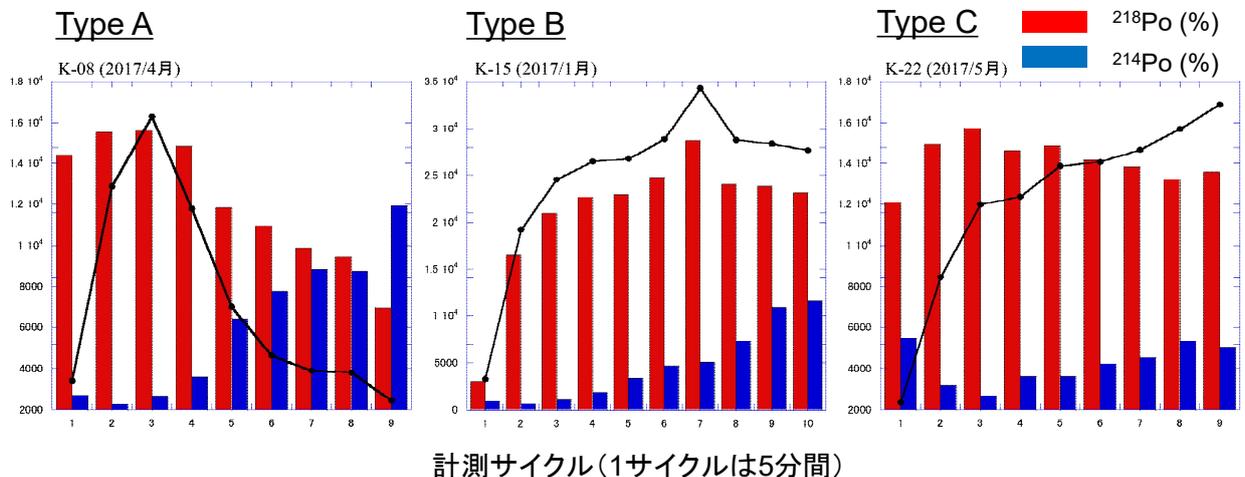


図5 3つのパターンにおける ^{18}Po と ^{214}Po 原子数の時間変化

ラドン測定と同様に 17 箇所の計測井の一部を利用して水銀測定も実施したが、現在までに良好なデータが得られていない。これは装置の不調が続いていることに加え、現地の交通事情などの影響で周辺大気中の水銀濃度が地殻ガスよりも高いことに起因している。しかしながら、Wayang Windu 地区、および試験的に実施された他地区での測定結果から、ラドン濃度と水銀濃度とは相関性は見られず、周辺大気と比較して無視できる程度の低濃度であることが確かめられている。これまで地熱調査への水銀濃度の適用例は多いが、検出器の精度が本研究の機器よりも低いこともあり、大気起源と地熱起源を分離できていないおそれもある。水銀濃度測定システムを改良し、データを蓄積することで、水銀の有効性について H30 年度には結論付ける。

➤ 地表水、熱水、地殻ガスの化学分析の深化

項目 1-4・1-5・1-7 に関しては、高度な分析技術を要し、試料の採取にも時間を要するため、ITB との協議の上、前倒しで 1-4 と 1-7 の予備研究を開始した。

特に、地熱流体の循環状態の解明に資するため、地熱サイトで湧出するガスの起源について検討した。

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

バンドン盆地周辺の4箇所の地熱サイト（Wayang Windu, Patuha, Tangkuban Perahu, Tampomas）の地熱生産井，噴気，温泉27地点でGiggenbach ボトルを用いてガス試料を採取した（図6）。本プロジェクトによりITBに導入されたガスクロマトグラフに加え，アルカリ度滴定，比色分析などを行うことで試料に含まれるガス成分の濃度を求めた。また，東京大学海洋研究所の希ガス同位体比質量分析装置により希ガス同位体比（ $^3\text{He}/^4\text{He}$ および $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ ）を，ITBに導入された安定同位体比質量分析装置により二酸化炭素とメタンの炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）を分析した。希ガス同位体比の分析結果において， $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ と $^3\text{He}/^4\text{He}$ の相関を検討したところ，大気に類似した同位体比を示すTangkuban Perahuの一地点を除いて，すべての試料が大気とマントル起源ガスの混合線の周辺に分布し，盆地南側の地熱サイト（Wayang Windu および Patuha）と比較して北側（Tangkuban Perahu および Tampomas）で R/Ra 比（大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を1として正規化した試料の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比）の高いガスが混合していることが明らかとなった。希ガス同位体比に基づいて，大気，地殻，マントルを起源とするガスの混合比を求めたところ，盆地北側のサイトでは南側に比べて相対的にマントル起源ガスの寄与が大きいことが明らかとなった。また，メタンの炭素同位体比と炭化水素濃度の分析結果から，すべての試料は McCollom and Seewald (2007) や Agosto et al. (2013) における Unsedimented mid-ocean ridges (MOR) type, Sediment-covered ridges type, Thermogenic type のガスに類似し，南側サイトのガスは北側と比較して，MOR type のガスに近い組成を示した。



図6 Giggenbach ボトルを用いたガスサンプリング

以上の結果より，南側サイトに比べて北側サイトでは相対的に深部を起源とするガスの寄与が大きく，地殻起源のガスや大気とあまり混合することなく湧出しているものと考えられる。これに対して，南側サイトで湧出するガスは大気や地殻起源のガスを含むことから，地表からの水の供給と地熱流体の循環が活発に生じていることが示唆される。

また，平成29年8月22日から24日にかけて，Wayang Windu 地区を対象に18箇所の集水域から19個の表層水試料を採取した（図7）。試料は用途に応じてろ過を行い，密閉して保存し，日本へ持ち帰って成分分析を実施した。その結果，一部集水域より採取された表層水試料の化学成分は，他の集水域と

【平成29年度実施報告書】【180531】

比べて特徴的な傾向を示し、表層水試料の採取と分析も発電に最適な蒸気スポットの位置を特定するためのツールとなり得ることが明らかになった。

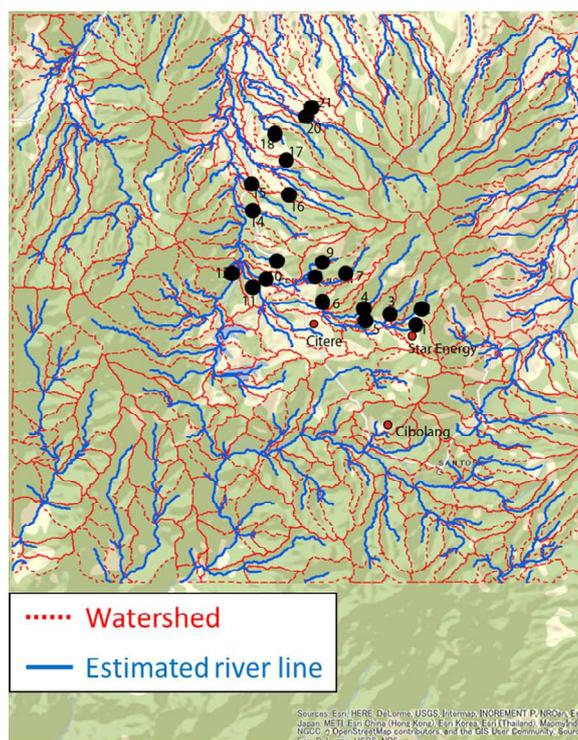


図7 Wayang Windu 地域における表層水の採取地点。赤破線がデジタルデータより求めた集水域の境界を、青実線が同様に求めた河川を示す。

➤ 機器投入の実績

H29 年度に輸送を完了した以下の 5 機種について、ITB における据付作業が完了した。

- ーイオンクロマトグラフ
- ー安定同位体比質量分析システム
- ー誘電結合プラズマ質量分析システム
- ー水同位体分析システム
- ー電子捕獲検出器型ガスクロマトグラフ

イオンクロマトグラフ、安定同位体比質量分析システム、誘導結合プラズマ質量分析システムについては、各メーカーまたは現地代理店からエンジニアが派遣され、現地語によるトレーニングが実施された。特に安定同位体比質量分析システムについては、日本からもエンジニアを派遣し、火山ガスの炭素同位体比を測定するための特別仕様に仕立て上げた。水同位体分析システムについては装置の初期不良が生じたため、現在もメーカー修理中である。

人材育成については下記の研究題目 4 で詳述する。また、研究グループは一つであるので、以下の(2)～(5)の各要点は当グループに関する記載のみである。

(2) 研究題目 1 : 「蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発」

①研究題目1の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

今年度実施した項目 1-2・1-3・1-6 は PDM と PO の活動 (Activity) に対応しており、前述のように地形データから抽出したリニアメントから地下亀裂の卓越方向を推定できたこと、植生が深い地域に対しても衛星データから熱水変質鉱物の同定と分布推定が可能になったこと、およびこれら亀裂情報と鉱物情報を組み合わせて地熱資源の胚胎推定精度を向上できたことが主な成果である。1-3 に関しては、昨年度 Wayang Windu 地区の 18 箇所で設けた表層ボーリングを利用し、長期的な地中ラドン・水銀濃度とガス組成のモニタリングを実施した。1 箇所は崩壊したもので、実際は 17 箇所での測定である。計測結果からラドン濃度の時間変化の特徴、濃度異常地点、および濃度異常の形成要因を明らかにすることができ、これらと断層分布とを関連付けられた。蒸気スポットをさらに広域から抽出し、分布の特徴・規則性を明らかにして生産井の位置決定に資するために、断層の交差部付近であることを基準にして 7 箇所での表層ボーリングを計画した。H30 年 3 月に試掘を行い、ラドン濃度を計測した。H30 年度にはこれら 24 箇所での計測を実施し、項目 1-3 を完了させる。項目 1-6 については、ボーリング時に得られた土壌・岩石サンプルの鉱物組成を分析でき、ラドン濃度の異常を示した表層ボーリング (K-15 孔) では、地表から 1 m 深度以内にハロイサイト、クリストバライト、黒雲母という安定化温度が高い鉱物の存在を確認できた。よって、この地点で貯留層から熱水・蒸気が上昇し、蒸気スポットが形成されている可能性が高いことが裏付けられる。以上の成果は研究題目 1 のアウトプット (Output) 「1.リモートセンシング、数理地質学、地球化学および鉱物学での各種手法を統合して、地熱発電に最適な蒸気スポットを検出できる技術が開発される。」に直結する。リモートセンシング手法から亀裂系と地熱兆候地を抽出するとともに地下での分布形態を推定し、これを地殻ガス化学と鉱物組成によって検証しながら蒸気スポットを検出する、という統合解析は初めての試みであり、学術的なインパクトはあると考える。ただし、後述のようにラドン計、水銀計ともに不具合が生じ、応急処置のみでは対応できない状況になっているので、修理のため H30 年度には欠測期間が生じる可能性がある。

項目 1-4・1-5・1-7 については、噴気ガスと熱水試料の採取を進め、ガス成分と炭素の安定同位体比については ITB で、熱水試料については京都大学と総合地球環境学研究所において分析を実施した。また、希ガスの同位体比測定を、東京大学海洋研究所所有の希ガス同位体質量分析装置を用いて実施した。以上を通して得られた結果に地質温度計を適用することで、地熱貯留層の温度が明らかになりつつある。また、希ガスや炭素などの安定同位体比などから、地熱貯留層における地熱流体の循環状態を推定できる可能性が示された。

項目 1-7 の一環として、集水域ごとに採取した表層水の化学成分分析を試験的に実施したところ、他の集水域と比べて特徴が異なる地域を見出すことができた。この特徴的な地域は、最大のラドン濃度を示したボーリング地点を含むとともに、熱水・蒸気パスの可能性が最も高いと考えられる断層の直上に位置している。よって、項目 1-3 が目指す「貯留層から地表に繋がる亀裂の位置を推定する」ためのツールとなり得ることが示唆された。この研究成果は、次年度に実施する追加測定と合わせて論文に纏め、国際誌に投稿する予定である。

下記 1-4・1-5・1-6・1-7 で用いる機器類のうち、上述した通り 5 機種について ITB への据付が完了し、使用を開始している。水同位体分析システムについては、修理が完了次第、ITB に据え付け

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

る。安定同位体比質量分析システムについては、すでに火山ガスや水試料に含まれる炭素や硫黄の安定同位体比を測定し、結果が得られつつある。H30 年度にはさらに、水素や窒素の同位体比測定を可能とし、地質温度計としての活用やガスの起源を特定する目的で使用する予定である。

②研究題目1のカウンターパートへの技術移転の状況

研究代表者らによる地形データの陰影処理から地形の線状構造や傾斜変換点の連続性を強調する手法、および陰影図から亀裂の存在に関連したリニアメントを自動抽出する手法に関連し、その原理とプログラムの使用方法についてのワークショップを H28 年 5 月 11 日に ITB にて開催した。ITB 教員と大学院生を合わせ 30 名ほどが参加した。ITB グループはこのプログラムを合成開口レーダの後方散乱強度画像に適用できるように独自に改良し、マイクロ波の照射方位が東西の画像を組み合わせることでリニアメント抽出精度を向上させるという手法を開発し、プログラム化した。その成果は地熱分野を代表する国際誌である *Geothermics* に H30 年 3 月に掲載された。さらに、H29 年度も久保研究員の ITB への長期滞在により、高分解能の地形データからもリニアメントを抽出できるように ITB 側と共同でプログラムを改良した。H29 年 5 月の ITB 若手研究者 2 名の京大滞在により、リニアメントから亀裂面の走向・傾斜を算定する手法についても教示でき、実際に ITB 側で活用されている。よって、項目 1-1・1-2 全体としての技術はほぼ移転できたと考える。

H28 年 8 月 18 日より 9 月 10 日にかけて、久保研究員と多田研究員が Wayang Windu 地区において、地中ラドン濃度と水銀濃度の測定方法に関して技術指導した。操作技術を習得し、それ以降は ITB 学生による計測の継続実施が可能となった。また、上記期間中の 8 月 27 日・28 日に(株)島津テクノロジーの上級技術者を ITB に招聘し、熱伝導度検出器型ガスクロマトグラフの使用法についてのショートセミナーを開催、同じく ITB にて H29 年 1 月 26 日から 28 日にかけて(株)リガクの技術者による X 線回折分析装置と蛍光 X 線分析装置の技術講習会を開催した。これらにより各機器の操作に関する基本的技術を習得でき、今後の専門的な技術移転を確実に行うことができる下地を築けた。その後も定期的に現地を訪問し、機器の取り扱いに関するマニュアルの更新、およびトラブル時の対応などの指導を実施し、現在では ITB の学生のみで水平展開が可能な状態となっている。ラドン測定に関しては、日本国内では未使用の RAD7 のオプション装置を用いた水中ラドン濃度の測定を、昨年度より ITB 側が自主的に開始しており、すでに一部の測定に関しては京大側以上のノウハウを獲得しつつあるといえる。平成 30 年 2 月の滞在時には、ITB の Heriawan 准教授が担当するゼミに久保研究員が参加し、当プロジェクトの紹介や学生の研究指導を行った。これらの様子を下の写真に示す。



安定同位体比質量分析システムの取扱いについては、現地代理店エンジニア、シンガポール駐在の正規エンジニア（インドネシア人）、日本人の正規エンジニアによって機器の操作方法、および基
【平成 29 年度実施報告書】【180531】

礎的なメンテナンス方法について、詳細な説明を受けた。特に、正規エンジニアが同国人である点が非常に大きなメリットとなっており、現在も頻繁に連絡を取りながら、運用の相談を行っている状況である。京大からは柏谷助教と多田研究員が平成 29 年 12 月と平成 30 年 2 月、同年 4 月に訪問し、試料の前処理方法と実分析の指導を行い、少なくとも固体試料・水試料・ガス試料の炭素同位体比、水試料と固体試料の硫黄同位体比、および固体試料の窒素同位体比などは、すでに ITB 側で自発的に測定・運用がなされている。技術指導の様子を下記の写真に示す。今後は、本プロジェクトで必要となるガス試料の窒素同位体比、水素同位体比の測定を目指して、技術移転を実施していく予定である。

イオンクロマトグラフと誘電結合プラズマ質量分析システムについては、ITB 側の専任技術職員が、メーカーエンジニアから操作方法を一通り学び、自発的に測定・運用を行っている。京大からは多田研究員が平成 29 年 12 月と平成 30 年 2 月、同年 4 月に訪問し、特にイオンクロマトグラフについては高濃度試料測定後の機器洗浄方法、誘電結合プラズマ質量分析システムについてはより高精度の測定を目指した内標準校正法の導入や検量線作成方法の改良などを指導している。測定対象の試料がいずれも高濃度であり、装置に掛かる負担も大きいため、これらの装置は慎重に運用を開始しており、現在は京大側との同一試料を用いた測定結果のクロスチェックを実施している。



③研究題目1の当初計画では想定されていなかった新たな展開

地熱発電所適地を低コスト、かつ従来よりも高い成功確率で特定することを目指す本プロジェクトに、インドネシア公立企業の GeoDipa Energi が強い興味を示し、新たな共同研究機関として本プロジェクトに加わったことが、想定していなかった水平展開である。この企業は Wayang Windu サイトから西方に約 20 km に位置する Patuha サイトで地熱発電を実施しており、Wayang Windu よりも発電規模は小さいが、生産性の増加によって発電量の大幅増大を目指している。この新たなモデルサイトに対する研究項目は Wayang Windu と同じであり、既に同社の技術者と熱水、地殻ガスのサンプリング・分析を共同で実施し、H30 年度にラドン濃度も測定する予定である。また、研究題目 3 の地熱貯留層シミュレーションも予備解析を開始し、複数の貯留層が存在することなどの熱水系形成に関する重要因子が推定できた。GeoDipa Energi により、当サイトでのボーリング調査による地質柱状図や温度・圧力検層が提供される見込みである。インドネシアでの技術移転先が増加したとともに、蒸気スポット検出の精度を検証できるサイトが 2 つになったことは本プロジェクトにとってメリットは大きい。

また、本プロジェクトに当初、地球物理学の研究内容は含めていなかったが、上記のラドン濃度の異常を示し、貯留層と繋がる熱水・蒸気パスの可能性の高い箇所 (K-15) で、ITB と共同で地磁気-地電流探査を実施し、パスの存在を H30 年度に確認する。主に地球化学的・鉱物学的分析によ

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

り抽出する蒸気スポットの存在の確からしさを、地球物理学的手法の適用により検証し、物理・化学データの統合を図ることは新たな展開である。

さらに、熱水と地殻ガスの分析では、モデルサイトと同様にバンドン盆地周辺に分布する3地域の地熱サイト、およびバンドン盆地北部を走る東西方向の活断層（レンバン断層）にまで対象を拡張し、昨年度に引き続き、試料採取と分析を実施中である。これらの結果を統合することで、広域的な地質構造と水・物質循環の観点からバンドン盆地周辺に発達する地熱システムを明らかにでき、地熱開発適地をより詳細に抽出すること、および本プロジェクトで開発する手法の有効性を複数のサイトで実証することが期待できる。

④研究題目1の研究のねらい(参考)

リモートセンシング、数理地質学、地球化学および鉱物学での各種手法を統合して、地熱発電に最適な蒸気スポットを検出できる技術が開発される。

⑤研究題目1の研究実施方法(参考)

- 1-1 衛星画像もしくは地形データから連続性が良く透水性の高い亀裂を抽出する。
- 1-2 各亀裂面の走向および傾斜を算出することによって、3次元的な分布形態を推定する。
- 1-3 土壌ガス中のラドン濃度と水銀濃度により、貯留層から表層まで繋がる連続的な亀裂を特定する。
- 1-4 土壌ガスおよび水化学を活用した地質温度計によって、貯留層の温度・圧力を算定する。
- 1-5 土壌ガス中の安定同位体比によってガス起源の深さを推定する。
- 1-6 地表付近の岩石の鉱物分析および衛星画像解析により、貯留層から地表までの熱水やガスのパスとなる亀裂を特定する。
- 1-7 水試料の化学組成・同位体組成の分析によって、熱水の起源および循環を明らかにする。
- 1-8 数理的な手法により蒸気スポットが存在する可能性を評価する。

(3) 研究題目2：「環境調和型地熱利用のためのモニタリング技術開発」

①研究題目2の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

これに関連する研究項目は「2-1 衛星画像解析による植生活性の分析」と「2-2 差分干渉 SAR による地表変位の高精度検出」である。2-1 は光学センサ画像の複数バンドの反射率データを組み合わせ、植物の活性度を評価するという手法（VIGS）を開発できたので、これを昨年度に引き続いて Wayang Windu 地区の 12 シーンの Landsat ETM+画像データに適用した。対象期間は地熱発電所が稼働した前後の3年間である。この衛星画像の空間分解能は 30 m と高くはないが、最も観測期間が長いので、雲量が少ないデータが他の衛星データに比べて圧倒的に多い。この特長は、雲量ゼロ%という観測条件に恵まれる機会が少ない熱帯の山岳地域では特に重要である。また、対象期間で利用できる衛星画像は Landsat ETM+しかない、というのも理由の一つである。これまで広く用いられている代表的な植生指標である NDVI よりも VIGS の精度が高く、日本の鉱床域での解析ではあるが、重金属汚染による植物ストレスを検知でき、精度が高いことを実証できている。図 8 に観測日が異なる 6 シーンのフォールスカラー合成画像とそれらの VIGS 画像を示す。個々の VIGS 画像では、プランテーションでの植生の活性が現れており、雨期に相当する 8, 9, 10 月での VIGS 値が大きくなっている。発電所周辺でも大きな VIGS 値が分布し、植生活性度が大きいことが示されているので、

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

発電所稼働の影響は見られない。さらに、各画素で6シーンのVIGS値の変動係数を求めたところ、図9のように変動係数の大小の特徴が現れ、変動係数が特に大きな箇所は断層に沿う、というこれまで報告例のない新規の知見が得られた。すなわち、断層を通して上昇した熱水や蒸気が植生活性度の季節変化に影響を及ぼしている、あるいは断層部分の透水性が高く、これが土壌水分の季節変動を生じさせていることが考えられる。よって、植生活性度は、地熱発電所よりも断層の存在に影響されるといえるが、H30年度はASTER画像を用いて結果を精緻化させる。

2-2では、10シーンのALOS-PALSARデータを用いて解析を行ったところ、図10に示すようにWayang Windu地区での変位は小さく、-6~+6 mm/year程度の変位速度であることが推定できた。領域北西部のマラバル山西側で-20 mm/year程度の最大の地表変位(沈降)が得られ、これは地殻変動に起因すると考えられる。生産井付近の変位に注目すると、Wayang Winduサイトの北部では沈降、南部では隆起という北部と南部で変動のパターンが異なる、という興味深い推定結果が得られた。これは領域中央で東西方向に走る断層の動き、あるいは北部は蒸気卓越型、南部は熱水卓越型という貯留層中の流体状態の相違に起因する可能性が高い。さらに、Sentinel衛星データを用いて、解析精度の向上を図るとともに、手法の改良中である。

以上の2つは、インドネシアの地熱地帯を対象に初めて見出した特徴である。よって達成状況は良好と判断できるとともに、2つともインドネシアでは初めての成果であるのでインパクトもあると考える。

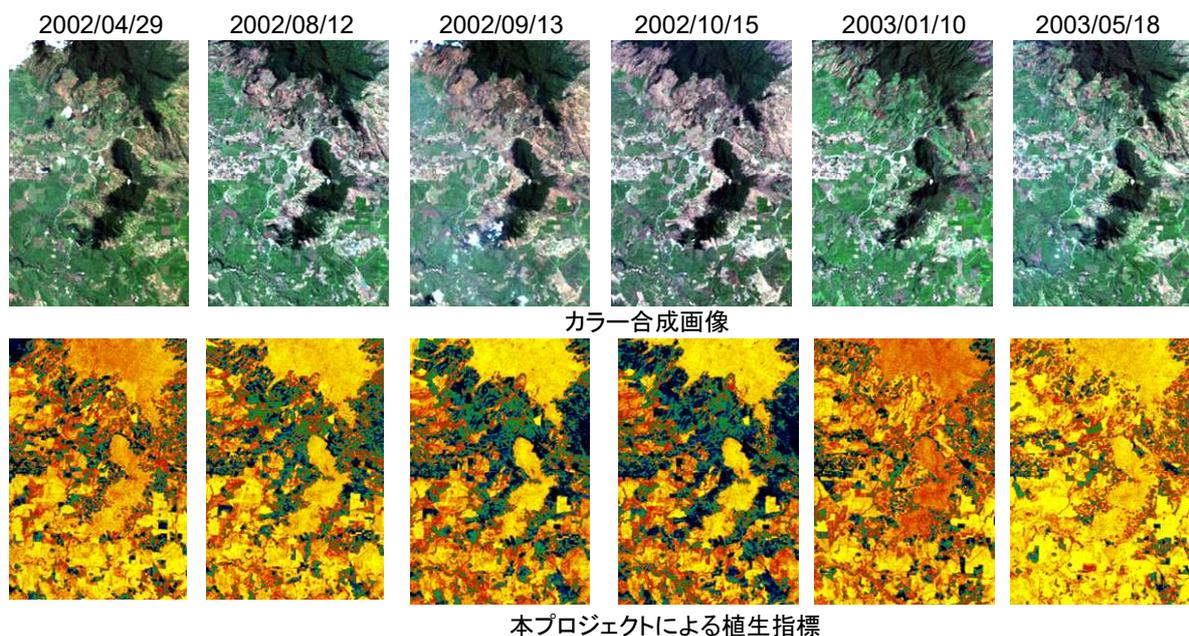


図8 Landsat ETM+のフォールスカラー合成画像(上)とVIGSによる植生指数の時間変化(植生指数は赤、橙、黄、緑、黒の順で大きくなる)

②研究題目2のカウンターパートへの技術移転の状況

汎用衛星画像解析と干渉SAR(D-InSAR)に関するソフトウェアをH27年度にITBに投入した。H27年度に京大に招聘したAsep氏を通して、いずれのソフトウェアともにITBグループは習得し、2-1と2-2の研究に有効に活用されている。また、衛星画像データ解析の現地検証用として対象物質

【平成29年度実施報告書】【180531】

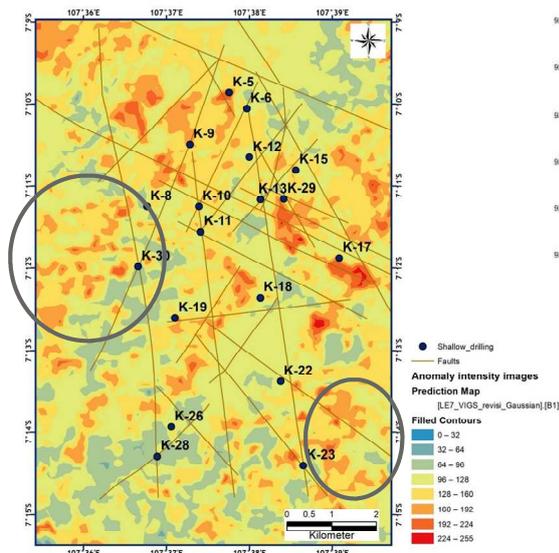


図9 VIGS の変動係数の分布

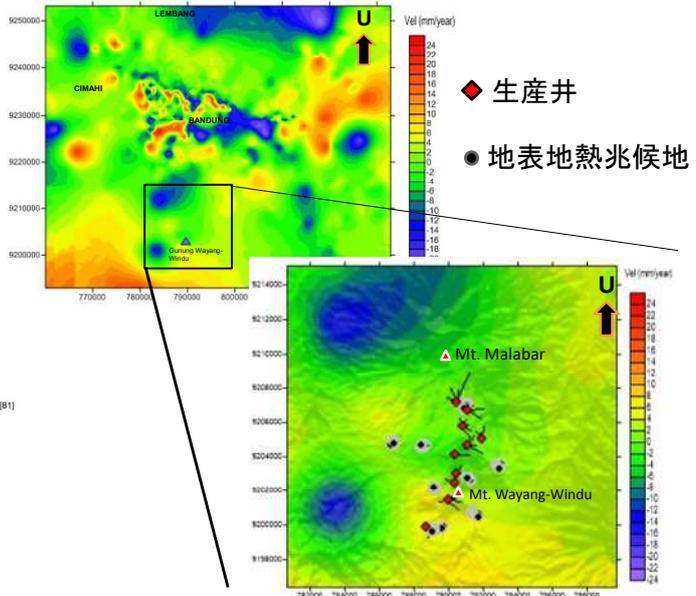


図10 差分干渉 SAR による Wayang Windu 周辺の地表変動

(岩石, 土壌, 植生) の反射スペクトルの測定は不可欠である。野外での使用を想定し, H27 年度に投入した携帯型分光放射計 FieldSpec4 も Asep 氏, および研究代表者の指導の下で博士号を取得した Arie 氏を通じて使い方が習得され, すでに百個近くのサンプルを測定して, 良質のデータが得られている。よって, 技術移転は順調に展開できている。

③研究題目2の当初計画では想定されていなかった新たな展開

Asep 氏の研究室の卒業生が, JICA 事業のイノベティブ・アジアに応募し, 京大内で極めて高い競争倍率であったにもかかわらず選拔され, H29 年 10 月に京大大学院の研究生になった。H30 年 2 月の入試に合格し, 4 月より博士後期課程に入学した。この学生はリモートセンシングの基礎を修得しており, 国際会議での発表実績もある。昨年 10 月より研究項目 2.2 に取り組み, 上記のように Wayang Windu サイト周辺の地形変動に関する予察的な成果も得られている。このように研究に適した人材を確保できたことは本プロジェクトでの大きなメリットであり, 項目 2.2 の研究が大きく進展し, 質の高い成果が得られるものと期待できる。

また, 研究項目 2.1 で開発した植生指標 VIGS への関心は高く, リモートセンシング分野では定評のある国際誌に既に数回引用されており, e-mail での問い合わせも多い。また, 研究代表者のもとで VIGS を利用した研究に取り組みたい, との大学院入学希望も複数来ている。これらは, VIGS が環境モニタリングに有効に利用できる可能性が高いことを示すものである。よって, 地熱分野のみでなく, 環境リモートセンシング分野へも本プロジェクトが貢献できる可能性が萌芽したことが新たな展開である。

④研究題目2の研究のねらい(参考)

地熱発電所運転の影響を確認するため, リモートセンシングを利用した環境モニタリング技術が開発される。

⑤研究題目2の研究実施方法(参考)

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

2-1 光学センサ衛星画像を用いて、地熱発電所付近の植物活性を明らかにする。

2-2 高湿度の気象条件下で、差分干渉 SAR (D-InSAR : Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) 法を用いて貯留層の圧力変化に伴う地表の変位を検出する。

(4) 研究題目 3 : 「**地熱エネルギー利用・産出の最適化システム設計**」

①研究題目3の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

H29 年度は「3-1 種々の地質構造と地熱資源利用に対する貯留層の温度・圧力変化のシミュレーション」と「3-2 貯留層状態に連動した発電量変化のシミュレーション」の項目に取り組んだ。昨年度に引き続き、3-1 に関しては既存のソフトウェア TOUGH2, およびこれをベースとして新規に開発したソフトウェアを用いて国内の 2 つの地熱サイトを対象としてシミュレーションを実行し、実際のボーリング検層による温度にほぼ等しい計算結果を得ることができた。また、ITB との協力のもと、3-2 では種々の条件における発電量を計算し、その経年変化も推定して、追加生産井の必要本数も計算できるようになった。H30 年度にさらに精緻化する予定である。このように当初の予定に従って研究は進行している。特に新規のソフトウェアを開発でき、これを国際誌論文として取り纏めているところであり、論文の受理・掲載によって国際的に広報できればインパクトも強くなる。

②研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

昨年度に引き続き、H29 年 9 月の人材育成トレーニングの期間中に、研究代表者の研究室と研修生とでゼミナールを開催した。このとき、新規に開発した地熱貯留層シミュレーションソフトの詳細について京大側が説明し、実際にデモも行った。その後の ITB との会合時にもソフトの詳細を研究代表者が説明し、ITB 側から改善を要する点などのフィードバックももらっている。H29 年度には下記の③に述べる学生が京大博士後期課程に入学したことにより、このソフトの改良と技術移転が加速化する見込みである。

③研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

後述のように研究題目 3 に直結する研究テーマに取り組んでいる ITB の若手教員が、京大特別プログラムに選抜され、H29 年 10 月より研究代表者の博士後期課程学生になった。この教員は ITB グループで地熱貯留層シミュレーション研究の中核をなす人材であるので、本プロジェクトでのメリットは大きい。また、世界的に使用されている貯留層シミュレーションの代表ソフトの TOUGH2 を学ぶ過程で、全く新規のソフトウェアを開発できた。これによって、いまだ未踏の領域である超臨界状態の計算などの追加が容易になり、貯留層シミュレーションの適用性、汎用性が広がって、温度・圧力状態の推定が精緻化できると考える。

④研究題目3の研究のねらい(参考)

地熱資源の長期利用に向けて、地熱発電の最適化制御システムが確立される。

⑤研究題目3の研究実施方法(参考)

3-1 種々の地質条件と地熱資源利用に対して、貯留層の温度・圧力変化をシミュレートする。

3-2 貯留層の温度・圧力変化に連動した発電量変化をシミュレートする。

3-3 電力生産寿命を算定する。

(5) 研究題目 4 : 「**インドネシアにおける地熱開発を担える人材の育成**」

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

①研究題目4の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

ITBにおいて水理地質学、地質学、地熱学、採鉱学をそれぞれ専門とする大学院生10名、およびITBの若手技術者1名とStar Energy社、CGR(地下資源局)に所属する若手技術者それぞれ1名の計13名に対し、インドネシア国における地熱開発を担う人材の育成を目指して、日本国内における地熱資源開発の先端研究者・技術者による研修をH29年9月4日(月)から16日(土)の期間に実施した。下記の表に示す地熱科学・工学の基礎から発電への応用、貯留層管理技術、地熱発電所設置の合意形成のための社会学、地熱発電を通じたグローバルリーダーシップを含む計13科目の幅広い内容について講義した。また大分県に移動し、八丁原地熱発電所付近での現地調査、採取したサンプルを用いての室内分析実習、さらに成果発表会も実施した。後述のように、昨年度のアンケート結果に基づき、前半は座学、後半は実習と研修内容を区分するように改善した。講師は京大、北大、九大、熊大、JAMSTEC、産総研、三菱マテリアルと多岐にわたる機関と専門分野から選出した。分析実習には研究代表者の実験室に設置している最新のXRD、XRF、安定同位体、水質、ガス組成、岩石の反射スペクトルに関する分析機器を用い、研修生の興味も高いものであった。全科目からレポート課題を課すことで学習内容の習得を図った。後述のように特別な事情があって最初の2日間参加できないITB学生が1名いたが、全員がレポートの合格基準を上回り、最終成果発表も合格したので、全員問題なく修了と認定できた。また、ITB学生にはこの修了によりITB特別実習科目として2単位が与えられた。

以上のように当初の計画通りに実行できたが、この人材育成トレーニングはあと2年間継続するので、昨年度・今年度と同様に成功するように、またより良いカリキュラムに改善できるように尽力する。研修生の満足度も高く、後述のようにニュースレターに関連記事を載せたこともあり、H29年度のトレーニング応募者は今年度の20名から30名と急増し、H30年度にはさらに31名へと増加した。よって、このトレーニングはITBに対してインパクトの強いものとなった。また、このような地熱に特化した国際研修プログラムは国内では九大にあるが、主に若手技術者を対象にしている。本プロジェクトは学生を対象としており、科目構成もユニークである。また、野外と分析実習は第一週目の講義の内容とすべて関連するので、座学による知識獲得に止まらずに知識の定着を図った点もユニークである。小規模ではあるが、その分丁寧にケアできるというメリットはある。よって、地熱分野での新たな試みとして本トレーニングの価値は高いと評価できる。



September 2017 (平成29年)

No.	Day	9:30-11:30	13:30-15:30	15:45-17:45
1	3 (Sun)	Arrival at Kyoto and Orientation		
2	4 (Mon)	[1] Prof. Koike <i>Remote Sensing</i>	[2] Prof. Fujimitsu <i>Volcanology</i>	[3] Prof. Tosha <i>Social Science</i>
3	5 (Tue)	[4] Prof. Ishida <i>Geomechanics</i>	[5] Prof. Mikada <i>Seismic Geophysics</i>	[6] Dr. Tenma <i>Reservoir Engineering</i>
4	6 (Wed)	[7] Prof. Koike <i>Geo-thermics & mathematics</i>	[8] Dr. Kashiwaya <i>Geochemistry</i>	[9] Prof. Yoneda <i>Mineralogy</i>
5	7 (Thu)	[10] Dr. Goto <i>Electromagnetic Geophysics</i>	[11] Prof. Sakurai <i>Global Leadership</i>	<i>Collaboration Seminar with Koike Lab.</i>
6	8 (Fri)	[12] Dr. Yamada <i>Geothermal Drilling</i>	[13] Mitsubishi Materials & Mitsubishi Materials Tecno <i>Geothermal Practice</i>	
7	9 (Sat)	Self study		
8	10 (Sun)	Trip to a Geothermal Site		[Orientation of field training]
9	11 (Mon)	Field training at a geothermal site (Hatchobaru, Kyushu)		
10	12 (Thu)	Return Trip to Kyoto (including geothermal site-visits in Beppu City)		
11	13 (Wed)	Laboratory experiments		
12	14 (Thu)	Laboratory experiments	Data Analysis	
13	15 (Fri)	Self study	Presentation of Learning Result	
14	16 (Sat)	Feedback of overall training		
15	17 (Sun)	Return to Indonesia		

講義

調査・分析実験

②研究題目4のカウンターパートへの技術移転の状況

人材育成トレーニング期間中の H29 年 9 月 10 日(日)から 12 日(火)にかけて、日本で最大の地熱発電所である八丁原発電所の近傍において、地熱調査法の習得を目指す野外実習を実施した。すなわち、熱水変質を受けた岩石試料、熱水試料、地下からの噴気ガス試料の採取法、地質分布の把握、温度・pH・放射線強度などの物性測定、および地下に潜在する変質帯の分布を推定するための電気探査比抵抗法のトレーニングを行った。次に、京大の実験室において最先端機器を操作し、これら試料の分析前処理と化学分析、反射スペクトルという物性測定、および得られたデータの解析処理の実習を併せて実施した。得られた成果をトレーニング最終日に各自 15 分で発表し、研究代表者を

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

はじめとする京大グループ研究員と質疑応答を行った。これによって技術移転の成果を確認した。これらの様子を下記の写真に示す。



③研究題目4の当初計画では想定されていなかった新たな展開

H28年度の研修に参加した ITB の若手教員が、地熱に関する専門知識を深め、研究力を養成するために、京大特別プログラムに応募し、H29年1月入試の選抜を経て、10月に博士後期課程に入学した。研究題目3の地熱貯留層シミュレーションに関する3つの項目の研究に取り組み、新たなシミュレーション法の開発を目指している。3年間の在学により、高度な専門知識と技術の移転が見込まれ、本プロジェクトの発展にも貢献できる。

また、Star Energy社は本研修を高く評価しており、H30年度は若手技術者の参加を1名から2名に増やして欲しい、との強い希望があった。京大側、ITB側双方の合意のもと、この希望を受け入れるに至った。これも技術移転の促進に貢献する展開である。

④研究題目4の研究のねらい(参考)

地熱科学技術に携わる ITB 研究者・学生の能力が向上する。

⑤研究題目4の研究実施方法(参考)

- 4-1 地熱科学技術の基礎に関するカリキュラムを構築する。
- 4-2 日本における地熱の講義およびフィールド研修に適格な研究者・学生を選定する。
- 4-3 ITB 研究者・学生のための講義およびフィールド研修を実施する。

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し (公開)

【平成29年度実施報告書】【180531】

研究開始後3年が経過した時点において、研究題目1の7項目、題目2の2項目、題目3の2項目が進行中であり、題目4についてはアンケート結果に基づく、第2回目となる今年度の研修が初回を上回る成功を収めることができました。上述した通り、衛星画像や地形データの解析に基づいた連続性・透水性の高い亀裂の抽出、貯留層から地表までに至る熱水・ガスのパスとなり得る亀裂の特定、ラドンガスや水銀濃度の野外定点観測、バンドン盆地全体を網羅する広範囲の熱水・地下水化学分析に基づいた地熱システムの解明、環境調和型発電のための高精度環境モニタリングを主眼としたリモートセンシング技術の開発、および地熱貯留層シミュレーションソフトウェアの改良開発に、カウンターパートであるITBと協同で取り組み、着実に成果を積み重ねている。特に前述のリモートセンシングによる亀裂の抽出と特定、および植生活性度に着目した環境モニタリングに関しては、定評のある国際誌に4本の論文を掲載できるほど、成果が得られている。ガスの組成分析に基づく地熱流体起源の推定、熱水の化学分析については調査対象をバンドン盆地全域にまで拡大し、Wayang Winduを含む4つの地熱サイトにおける地熱流体の涵養、流動状態や貯留層温度、および上昇流が卓越する領域に関する新たな知見が得られつつある。また、Wayang Windu サイトにおける表層水の化学分析にも熱水・ガスのパスとなり得る亀裂存在の情報が含まれていることがわかり、表層水も蒸気スポット検出に活用できることが初めて見出された。H28年度に引き続き、貯留層シミュレーションソフトウェアの開発をITBと協同で進めており、H30年度には完成させるとともに、国際誌への論文掲載を目指す。このソフト完成は地熱分野でのインパクトをもたらすことが期待される。リモートセンシングによる植生活性度を地熱地域の環境モニタリングに応用することは、本プロジェクトのみのアイデアであり、オリジナリティは高い。題目4の人材育成に関しては、H27年度に構築したカリキュラムを、H28年度研修生のアンケート結果に基づいて2週間の研修期間の前半1週間を座学、後半1週間を野外調査を含む実習とに分けるとともに、自学習日を2日設けるように改善した。これにより、H29年度研修生からは前年度を上回る満足度・達成感の評価が得られた。

ラドン・水銀濃度測定に関しては、H28年度に引き続き、17箇所ですべて定期的・継続的なモニタリング計画を実施した。また、前年度までの観測点に加え、今年度はバンドン盆地北部エリアにおいてもボーリングを新設し、モニタリング調査を開始した。さらにWayang Windu サイトでの蒸気スポット検出を精緻化するために、7箇所の追加ボーリングを決定し、平成30年3月に試掘を行った。このような多くの表層ボーリングを実施し、これによる地表浅部情報から深部の貯留層の位置や温度圧力状態を精度良く推定するという試みは、本プロジェクトの他に例を見ない。ここにもオリジナリティはある。測定機器の不調が断続的に生じており、特に水銀濃度に関しては一部満足なデータが得られていないため、平成29年12月に日本国内の販売元に依頼してメンテナンスを実施した。メンテナンス報告書から測定時の取り扱いや保管方法について複数の問題点があることが判明したため、より慎重な扱いを心掛けるようITB側のオペレーターへの指導やマニュアルの更新を行った。さらに、現地の水銀濃度が当初の想定よりも低いことから、より正確な測定を実施するために現地で機器校正を行うための標準ガスボックスの導入を予定している。

地球化学手法による調査については、これまでに総計100箇所以上から試料を収集し、ITB・京大双方において分析を実施してきた。ITBへ導入した機器からは、特に安定同位体比質量分析装置を用いた地質温度計と地熱流体の起源推定に関して結果が得られつつある。噴気ガスの直接分析を目的として、試料導入部にガスクロユニットを接続した同装置は、インドネシア国内において初めて導入された機器

【平成29年度実施報告書】【180531】

であり、同国内における地熱研究分野において、ITB が安定同位体比研究の先駆者的役割を果たすことが大いに期待できる。また、東京大学の協力のもと、噴気に含まれるヘリウムの同位体比測定に今年度成功し、ガスの起源とバンドン盆地の地熱システム形成過程における貴重な知見が得られつつある。

以上により、成果達成に向けて着実に研究は進展していることに加え、当初の研究計画に比べて対象範囲や研究内容は拡張、さらに深化しており、特に軌道修正を要する点は見当たらない。当初のモデルサイトである Wayang Windu に 3 サイトを追加することで、本プロジェクトによる開発手法を広く適用でき、有効性をさらに実証できるようになった。本プロジェクトの上位目標である「**開発された技術の適用によって、地熱発電所の予定地における探査ボーリング掘削費が減少する。**」に、インドネシア公立企業の GeoDipa Energi が強い興味を示し、新たな共同研究機関として本プロジェクトに加わったことから、本プロジェクトの成果が強く期待されていることを確認できる。本プロジェクト成果の社会的インパクトは、特に環太平洋造山帯など、地表下 2 km 以浅に 200 °C 以上の熱水が卓越する活火山保有国において強く、地熱資源の利用促進に貢献できる。よって、国内外における企業等との出口連携は充分に実現可能であり、実際にインドネシアの 2 社、国内の 1 社と連携を進めているところである。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など (公開)

(1) プロジェクト全体

・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題:

本プロジェクトの PO に従い、題目によっては前倒しして準備を進め、これまで研究題目 1 の 7 項目、題目 2 の 2 項目、題目 3 の 2 項目、および題目 4 の 2 つの項目に取り組んできた。各々の研究活動と得られたデータ・結果は PO に記載の Output に直結し、種々の国際学会での発表、および評価の高い国際誌への論文掲載がなされており、成果が得られているといえる。このような順調な進展は、本プロジェクトに対する ITB 側の積極的な関与、協力を因るところが大きい。ITB ではこのプロジェクトに関わる教員の研究室を中心として、13 名もの大学院修士課程学生が研究課題に取り組んでおり、精力的に現地調査・計測、および試料の化学分析を実施している。ITB 側の提案によって、研究対象地域をバンドン盆地北部にも展開しており、本プロジェクトを協同して推進、発展させている点が特長である。研究成果は例年 3 月に ITB で開催される国際地熱ワークショップや 2 月に米国スタンフォード大学で開催されるスタンフォード地熱ワークショップ、平成 29 年 11 月に九州大学で開催された国際地球科学工学シンポジウム等で発表している。H29 年度には研究題目 1 の成果を、リモートセンシング分野や地熱分野を代表する国際誌に 4 本の論文を掲載できた。

このように、プロジェクト全体としては順調な進捗状況であるといえ、相手国側研究機関との協力は密に図られ、現状大きな問題は生じていない。本プロジェクトは地熱関連研究分野において、未解決の重要な課題に取り組んでおり、本プロジェクトで取り扱う個々の要素を深く体系化するという研究は他に見当たらないので、そのオリジナリティは高いものとする。

・各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

行った工夫：

本プロジェクトにおいては、カウンターパート側の中心協力機関である ITB と緊密に連携を図ることが重要であると認識し、これを実践してきた。その一つとして、毎年度 ITB 側の主要メンバーを 11 月末～12 月初頭に京大へ招聘し、研究進捗の相互報告と遂行に向けた打ち合わせを行っている。この打ち合わせ終了後に、研究代表者の所属専攻と資源関連学会の関西支部の共催で、ITB 教員による特別講演を実施することも慣習化できており、これは京大側の教職員、学生と ITB 教員とが広く交流できる良い機会となっている。講演会終了後の集合写真を下に示す。H29 年度 5 月には、リモートセンシング技術の応用を専門とする ITB 側の若手教職員 2 名を約 2 週間京大へ招聘し、研究打合せと共著論文の執筆を加速させ、これが上記の論文掲載に繋がった。さらに、材育成トレーニングに参加した ITB の若手教員が京大の特別プログラムに合格し、平成 29 年 10 月より博士後期課程に入学したこと、同じく ITB の大学院生が卒業後に技術職員として本プロジェクトへ合流したことからも、プロジェクトの発展と、ITB とのさらなる連携強化に大きく貢献している。



人材育成トレーニングでは、フィールド実習、および現地において自分で採取した岩石や熱水のサンプルを分析した結果を纏め、トレーニング最終日に発表することを課したが、これによって実習内容の理解を深められ、有効な企画となった。特に H29 年度は、上述のように 2 週間のトレーニングを座学と実習とに分けたことで、講義内容を習得する時間を多く取れるようになった。昨年度に引き続き、後述のニュースレターに全研修生の顔写真と研修の感想を記事として載せたところ、研修生にとっても良い記念になったので、本人に加えて ITB でもこのニュースレターは好評であった。H29 年度版を下に示す。また、左上の研修者の写真にマークしているように、昨年度に引き続き、全講義のレポートの評点と発表会での評点を総合して最優秀者には **Best Score Award** として表彰した。このような取り組みも研修生のモチベーションをさらに高め、研修の持続性に繋がる工夫といえる。



【平成 29 年度実施報告書】【180531】



・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国(研究機関・研究者)が取り組む必要のある事項:

本プロジェクト予算による投入機器を設置するためのスペースは十分用意されており、電源・上下水・排気設備の工事も進められた。また、研究環境と安全性の向上を求め、H29年度には投入機器の全てを別棟に移し、新実験室に土足禁止区画の設置、および試料前処理用に簡易クリーンスペースの設置等を行った。投入・設置した分析機器は有効に活用され、初期不良の生じた水同

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

位体分析システムを除けばほぼフル稼働の状況である。機器設置後は、機器維持管理の費用と消耗品費の確保が必要である。そのため、ITB側による資金調達が不可欠となる。ITB側は投入機器を用いての水平展開による資金調達を計画しており、必要に応じて日本側からも情報を提供している。また、専門性の高いすべての機器を有効に使うためには教員と学生のみではマンパワーが不足するため、分析機器の取扱に精通した専門技術員の雇用が望まれる。ITBではすでに専任の技術職員2名（岩石・鉱物分析担当と水分析担当）を雇用しており、欠員の生じた安定同位体比担当の技術職員を選定中である。一部技術職員は、9月の研修プログラムへの参加を通じ、より一層の技術向上に努めさせている。

地熱サイトでの現場・実験室測定を支障なく実施でき、さらには蒸気スポット推定精度の検証用としてボーリング調査データや化学分析データ等がスムーズに提供されるように、Star Energy社との協力関係をさらに緊密化することも必要である。ITB側とのコミュニケーションには全く問題はないが、共著でのプロシーディングや投稿論文の作成になると、英文の改善に時間がかかることが多い。軽微な英文校正でもよいので、ITB内またはインドネシア国内にそのようなサービスがあると成果発表がさらにスムーズになるであろう。プロジェクト開始からこれまでに得られた成果を、地熱科学・工学分野では評価の高い国際誌に積極的に論文投稿しようとするITB側の姿勢は大変好ましい。京大グループにもいえることではあるが、得られたデータと結果に問題はないものの、論文の論理構成や英文の改善に時間がかかることが多い。双方ともライティング・スキルを継続的に向上させることが必要である。

研究題目3に関しては、既存のソフトウェアのみに頼らず、さらに高度なシミュレーションが実行可能になるようにプログラムを開発できることも要求される。また貯留層シミュレーションで

は浸透率などの物性を適切に与えられることも重要であり、これは計算精度に強い影響を及ぼす。京大側にも共通するが、地質分布を考慮して、物性値分布の最適な設定法を確立することも昨年度に引き続き課題である。このテーマに取り組む学生が、ITBより京大の博士後期課程に10月に入学したので、次年度は研究題目3の大きな展開を図る。

さらに、研究題目4に関して、研修トレーニングへのITB学生の関心は高く、10名の枠に対してH28年度は20名、H29年度は30名、H30年度は31名という、いずれも2~3倍の倍率で応募があった。

いずれもモチベーションが高く、学業成績が優秀で英語力も高い学生を確保できた。書類選

【平成29年度実施報告書】【180531】



考で20名に絞り、右の写真に示すように、研究代表者とITB側教員がITBで面接試験を実施し、書類評価と総合して10名を選ぶようにしている。この面接試験により、語学力を確かめられる。高いトレーニング成果が得られるように、今後も優秀な学生の確保と選抜を継続する必要がある。

・諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果:

H28年度に、機器類の調達と輸出入に関する書類手続きを同時並行させたが、同年度の導入機器は2機種が政府調達案件に該当して、京大における事務手続きにも大幅な遅延が生じた。輸出入に関する書類手続きは、経産省からの輸出許可取得手続きに大幅な時間が消費され、ジャカルタ港に到着したのは平成29年7月19日であった。投入機器を利用した熱水試料の分析は、H29年度後期から開始する当初計画であるので、この機器導入遅れがプロジェクトにおける分析計画の進捗に及ぼす影響はなかったが、ITB側には気を揉ませる結果となった。機器操作方法のトレーニング等は、実試料の分析時に行うことで、導入の遅延分をカバーしている。また、上記のように平成29年5月にITB共同研究者2名を京大に2週間ほど招聘し、関連機器の使用トレーニングも併せて実施しており、より充実した技術の移転を行うことができた。

研究題目1・2・3に共通して、亀裂分布モデリング、植生活性度変化と地表変位推定、貯留層シミュレーションに関する結果の精度を検証するためには、モデルサイトで実施されたボーリングデータが必要である。ITBを通してStar Energy社にデータ提供を依頼しており、限られた場所でのデータは得られたが、ボーリングデータは企業の資産価値に直結するため、モデルサイト全域にわたってのデータ提供は難しい状況が続いている。H29年度には、公立企業であるGeo Dipa Energiが共同研究機関として本プロジェクトに参画した。同社との研究対象サイトにおけるボーリングデータの提供を打診中である。

研究題目4に関し、H29年度の研修プログラムで、参加を予定していたITBの大学院生1名が、希望就職先の面接試験で全日程の参加が困難となった。しかしながら、本人の強い希望もあり、期間途中からの参加を認めたところ、不参加となった冒頭2日間の評点が得られなかったにもかかわらず、その後の講義、実習、プレゼンテーションで優秀な成績を修め、最終的に合格の評価に至った。

研究グループは一つであるので、以下の(2)~(5)の各要点は当グループに関する記載のみである。

(2) 研究題目1:「蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発」

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用:

共同研究打ち合わせ、JCC、セミナー開催、現地調査と採取試料の室内分析を目的とした計15回のITBへの訪問、共同研究者の計7回の招聘、およびe-mailでのやり取りで共同研究を進展させている。平成28年8・9月に共同で実施した18箇所の表層ボーリングを用い、1ヶ月間隔でラドンと水銀の濃度測定、ガス組成分析を繰り返し、データのモニタリングを継続中である。これらの測定と分析はITBグループが主に担当しているが、得られたデータは共有し、質の管理と分析は共同で行

【平成29年度実施報告書】【180531】

っている。また、熱水のサンプリング場所と分析方法に関して打ち合わせ、最適なものとして合意が得られた後、温泉や生産井から熱水のサンプリングと分析を平成28年8月から開始した。京大グループの訪問時に共同でこれらに取り組み、熱水の化学分析も両グループで分担し、データを共有している。H29年度には、上記に加えて噴気・蒸気や表層水を対象とし、サンプリング場所と分析方法について打合せ、合意形成後、試料採取と分析を実施中である。特にWayang Winduサイトではサンプリング地点の多くが地元のプランテーション敷地内に位置するため、事前の打合せと試料採取許可の取得が必須となっている。

京大グループは地形データを利用した亀裂系抽出と衛星リモートセンシング画像解析、およびITBグループはWayang Windu地区での噴気帯における地表粗度、磁気、土壌pHなどの物性の測定に継続して取り組んでいる。また、研究代表者らの開発によるリニアメント抽出プログラムを改良し、Wayang Windu地区に応用することに成功して、有意義な結果が得られた。上記のように、この成果は国際誌*Geothermics*に平成29年6月に投稿し、査読審査後、翌年3月号に掲載された。推定亀裂と生産井先端位置との整合性も確かめられた。研究題目1に関連するアウトプット (Output) は「リモートセンシング、数理地質学、地球化学および鉱物学での各種手法を統合して、地熱発電に最適な蒸気スポットを検出できる技術が開発される。」であるが、その最初であるリモートセンシング手法は両グループでほぼ確立できたと考える。

問題点としては、下記の2つの活動 (Activity) に関して結果が得られ、特に亀裂面の走向・傾斜をリニアメントデータから推定することに成功はしたが、結果を検証するための地下情報の量と精度がまだ不足している。Star Energy社が保有しているボーリング資料の提供依頼を継続するとともに、新たな共同研究機関であるGeo Dipa Energi社にも資料提供依頼を行っていく。また、透水性の高低に応じて分類した断層の判断基準、断層の連続性の推定基準、および断層の走向・傾斜の算定法などに関して、各社の技術者からのヒアリングを継続し、これらの基準と推定法の妥当性をさらに深く議論する予定である。

1-1 衛星画像もしくは地形データから連続性が良く透水性の高い亀裂を抽出する

1-2 各亀裂面の走向および傾斜を算出することによって、3次元的な分布形態を推定する

もう一点の問題として、ラドン濃度測定器RAD7と水銀濃度計の不具合をH28年度に応急処置し、測定方法を改善したにもかかわらず、今年度も再度不具合が生じた。RAD7は今回は応急処置では対応できず、メーカー修理が必要となった。計測中断を避けるために、京大側の同種機器を貸与中である。水銀濃度計については、平成29年末にメーカーによるメンテナンスを実施し、機器の取り扱いについてこれまで以上の慎重さが必要であることが判明したため、保管時に乾燥剤を同梱する・開放部の保護を行うなどの対策を実施している。また、上記のように、当初の想定よりも水銀濃度が低いことが判明したため、低濃度でも高い精度で測定できるように、現地で標準ガスを用いた校正を行うことを予定している。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等：

e-mail でのやり取りのみでは双方の意図がよく伝わらず、メール書きにも多大の時間と労力を要するので情報量も限られたものとなる。また、e-mail 単独による通信では先方への依頼が忘れられるリスクもある。また、たとえ京大側スタッフを現地に長期滞在させても、意思疎通に関し

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

て同様の通信上の問題が生じることから、国内の研究中核部と相手国側との間でいかに緊密なコミュニケーションを取るか、という点が最肝要であると認識している。予算を確保して、共同研究者の招聘、あるいは共同研究機関への訪問を通して、できる限り直接打ち合わせを行い、深く議論し、合意が得られる機会を設けることがプロジェクトの進展のために望まれる。実際、本プロジェクトでは上記のように ITB への訪問と共同研究者の招聘を繰り返している。結果として多くの渡航・滞在費用が必要となるが、研究の着実な推進・発展のためには必要不可欠な投資である。また、毎回議事録を当日中に漏れなく作成し、合意事項を次回の会合時に確認することも肝要である。これらの教訓、提言は研究題目 2・3・4 に共通する。

(3) 研究題目 2 : 「環境調和型地熱利用のためのモニタリング技術開発」

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用:

活動2-1は当初「光学センサ衛星画像を用いて、地熱発電所付近の植物活性や表流水の水質を明らかにする。」であったが、表流水の水質は本プロジェクトの目的と直接関係がないうえに、モデルサイト周辺には大きな河川や湖沼がないことから、平成29年10月の会合で削除することに合意した。植物活性度に関しては、研究代表者の主査のもと、これに関連するテーマで博士号を平成28年1月に京大で取得したITB教員を軸として解析を進めており、Landsat衛星画像に加えて、ASTER画像の解析に取り組み、研究は進展できている。ただし、衛星画像の分解能は高くはなく、詳細な変化までは把握できないので、ITB側においてドローンを用いた空撮により植生分布の高精度化を図るという工夫が試みられている。その第一段階として、空間分解能が0.5 mという従来の20倍以上もの高精度なデジタル地形モデルを作成でき、植生の識別精度も衛星画像に比べて画期的に向上した。

活動2-2「高湿度の気象条件下で、差分干渉 SAR (D-InSAR) 法を用いて貯留層の圧力変化に伴う地表の変位を検出する。」では D-InSAR ソフトウェアを ITB に投入し、京大側と別々な手法を用いて地表変位の解析を行い、いずれの手法が地表変位の抽出に最適であるかの検討中である。上記のように 10 シーンの ALOS-PALSAR データを用いて Wayang Windu サイトの北部と南部では変動のパターンが異なる、という興味深い推定結果が得られた。問題点としては、研究題目 1 と同様に、環境変化や地形変化の推定結果の妥当性を検証するための現地調査資料をまだ取得できていないことである。これについては ITB 側を通して、地表変位に関する計測データの提供の内諾は得られている。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等:

衛星画像解析では、解析によって得られた結果の妥当性を現地調査によって検証することが不可欠である。よって、解析技術のみでなく、地形図を読み解き、GPS 等の調査機器を使いこなし、現地調査を正確に実行できる共同研究者が必要となる。また、対象物の反射スペクトルデータを計測するために、可視から短波長赤外域まで計測できる高額な分光光度計が必要となる。類似のプロジェクトの実施に際しては、この機器をカウンターパートに投入できることが求められる。

(4) 研究題目 3 : 「地熱エネルギー利用・産出の最適化システム設計」

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用:

このテーマでは地熱貯留層シミュレーションが主になるが、その代表的なソフトウェアである TOUGH2 を京大側・ITB 側ともに使用し、京大側は安比地区、ITB 側は Wayang Windu 地区をモデルとして熱水流動シミュレーションと深部温度・圧力分布の推定に取り組んだ。しかし、この研究題目の目的を達成するためには、モデルサイトの地質構造や物性分布をより深く理解する必要があり、このサイトに対する研究期間が短い京大側では理解にも限度がある。そこで、貯留層シミュレーションの実績が長く、モデルサイトに関する知識も多い ITB の研究者を、京大の博士後期課程に入学してもらうことで問題の克服を図った。まだ十分な精度ではないが、モデルサイトでの熱水流動形態と温度・圧力分布が推定できたことである。

また、H28 年度には TOUGH2 での計算方法に沿って、複雑に肥大化していたソースコードをオブジェクト指向のコードに変更し、拡張性を向上させる改良を加えた。この改良により、計算精度は TOUGH2 とほぼ同じであるが、このオブジェクト指向化により機能の追加が容易になるとともに、ソースコードの可読性が格段に向上した。H29 年度はこの開発ソフトを ITB 側と共有し、貯留層の温度・圧力変化、および貯留層状態に連動した発電量変化のシミュレーションを可能にするために、改良を加えているところである。

問題点としては、研究題目 1・2 と同様に、シミュレーション結果の妥当性を検証するために実際のボーリング調査データが必要になり、これが一部分の場所しかまだ取得できていないことである。シミュレーション結果について Star Energy 社の技術者と議論し、意見をもらいうとともに、データ提供依頼を継続する。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等:

地熱貯留層シミュレーションでは、そもそも地質や物性の分布に関する情報が少ない状況下で計算モデルの作成、境界条件の設定等を行うので、不確実性が大きい。現地の地質情報を熟知したカウンターパートとの議論の上に地下構造のイメージングをしないと、全く異なる計算モデルとなり得る。シミュレーションに際してはできる限り対象サイトの情報を収集し、尤もらしく、かつ検証可能な計算モデルを共同で構築することが不可欠である。

(5) 研究題目 4 : 「インドネシアにおける地熱開発を担える人材の育成」

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用:

人材育成トレーニング用に設計したカリキュラムに従い、H28 年度には 10 名の ITB 学生と 1 名の若手教員、および 2 名の Star Energy 社の若手技術者、H29 年度には 10 名の ITB 学生と 1 名の若手技術職員、および Star Energy 社と CGR の若手技術者それぞれ 1 名という各年度計 13 名に対して、2 週間の講義と野外実習、そこで採取した試料の室内分析、および研修成果のプレゼンテーションを首尾良く実施できた。各講義では内容に関連した課題を課し、正解率が低かった内容に対して説明を加えるというフィードバックも行った。これらの成果より、研究題目のアウトプ

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

ット「地熱科学技術に携わる ITB 研究者・学生の能力が向上する。」が満足されたものとする。

研修後は講義の内容、講義構成、レポート課題、フィールド実習と分析実習の内容、全体的な時間配分等についてのアンケート調査を実施した。H28 年度の結果は、この研修に対して高い評価が得られたが、研修の構成と日程について改善が必要であるという意見があった。これに基づき、H29 年度のカリキュラムでは、第一週は講義、第二週は野外実習・室内分析実習、成果発表会と内容を分離するとともに、その間に講義課題レポートの作成に専念できる日を設けるようにプログラムを改善した。その結果、全体的に前年度を上回る評価が得られた。アンケート結果の一部を下に示す。H30 年度もトレーニング実施後にアンケート調査を行い、その回答によって問題点の抽出、プログラム全体のさらなる改善を図る。

- Is the overall structure of this course (composed of lectures and field survey) good?
5(11) 4(2) 3(0) 2(0) 1(0)
- All lectures were necessary for this course? Yes(13) No(0)
- Were the lectures understandable and useful? 5(9) 4(4) 3(0) 2(0) 1(0)
- Your evaluation of the Field Survey including the visit of Hatchobaru geothermal plant.
5(10) 4(3) 3(0) 2(0) 1(0)
- Will you recommend your classmate or colleague to attend this course in the next year?
Yes(12) No(1: I will recommend myself again if I can)
- Are you satisfied with attending this course? 5(10) 4(3) 3(0) 2(0) 1(0)
- Your evaluation of overall of this course. 5(11) 4(2) 3(0) 2(0) 1(0)
 - ✓ I like all of the courses, because we need all of these courses. If we want to know about the geothermal energy. The excellent point is about all the lecturer is a professional in his own topic. For something to be improved, I think we need more practical courses.
 - ✓ It is great, overall it is great. The course, the accommodation, field work, and lab work were arranged very well. Although it was very tight schedule, we were still enjoying the course.

5: Strongly agree, 4: Agree, 3: So-so, 2: Disagree, 1: Strongly disagree
5: Excellent, 4: Good, 3: Fair, 2: Bad, 1: Very bad

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等：

カウンターパートの要望を踏まえたカリキュラム設計が重要であり、座学と実習・演習をバランス良く組み合わせる必要がある。交通手段、宿泊先の準備、食事の用意を含む、慣れない日本での日常生活を問題なく送れることも研修の成功には不可欠である。英語での対応は双方にとって意思疎通が不十分な場合が多く、研修に支障をきたすこともあり得る。レポート作成に十分な時間をとれるよう、また日本の文化や風習を楽しめる機会があるようにスケジュールを組むことも重要である。さらに、たとえ少人数でも、日本での研修には現地語を話せる留学生などによるサポートが望ましい。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

- 本プロジェクトはモデルサイトである Wayang Windu 地区で地熱発電を行っている Star Energy 社と

【平成 29 年度実施報告書】【180531】

連携し、H27年度には合同でラドン探査を行ったほか、平成28年8月から9月にかけて18箇所で行った表層ボーリングの地点選定と掘削に多大な協力が得られた。また、このボーリングを利用したラドンと水銀濃度測定、生産井での蒸気と熱水のサンプリングを共同で実施し、現在も継続中である。平成29年7月7日会合での合意に基づき、表層ボーリングの追加に再度協力が得られることになり、平成30年3月には実際に試掘に至った。このような蒸気スポット検出の実用化に向けての取り組みをインドネシアでアピールでき、インドネシアの地熱関連企業である Geo Dipa Energi と新たな連携を構築できた。早速、Wayang Windu 地区の西部に位置する Patuha 地区で熱水のサンプリングと分析を共同で実施し、本プロジェクトの成果の展開と新たな技術移転が図れた。

- 平成29年7月に開催されたの JCC の後、昨年度に引き続き、ITB において30名の大学院生と若手教員に対して、「Advanced remote sensing method (高度なリモートセンシング技法)」と「Geostatistics combined with a physical law for resource exploration (資源探査のために物理法則を組み合わせた地球統計学)」という2つのセミナーを研究代表者が実施した。前者は、研究活動「1-6 地表付近の変質鉱物の分析」に関連する手法であり、観測波長数が少ない衛星画像から地熱資源の存在に起因した熱水変質鉱物域をいかに精度良く抽出できるか、を目的とする。元の複数の反射率データから、可視域から短波長赤外域での反射率をほぼ連続的に推定することで鉱物の識別精度を向上させることが可能になった。この新しい手法の開発と有用性の検証は、2017年のリモートセンシング分野で最もインパクトファクターの高い国際誌 *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* に2本の論文として掲載された。セミナーでは手法の原理とアルゴリズムを説明し、ITB 側でも使用できるように実例を交えて指導した。また、後者は研究活動「1-8 データ統合と蒸気スポット存在可能性の評価」に関連する手法の紹介であり、各地点で得られたデータ（すなわちポイントデータ）をいかにして対象領域全体にわたる面データに変換できるか、を目的とする。これは蒸気スポット存在可能性を表すマップの作成に利用できる。変換精度をさらに高める方法について ITB 側と議論し、そこでのアイデアに基づき、双方でプログラムを開発しているところである。
- リニアメント抽出法を本プロジェクトで改良し、複数のプログラムを一つのパッケージとして体系化した。このリニアメント抽出法の原理、プログラムの実行法、得られた結果の地質的有効性とその解釈法のケーススタディに関する論文が平成29年6月に国際数理地球科学会誌 *Computers & Geosciences* に受理された。ソフトはウェブサイト「<http://alaamasoud.tripod.com/id2.html>」に公開中であり、フリーにダウンロードできる。ITB 側の共同研究者の研究室では実際にこのソフトを使用し、合成開口レーダ画像を用いた解析に適するように独自に改良を加え、マイクロ波の照射方位が東、西と異なる2つの画像を組み合わせた。これにより、Wayang Windu 地区での亀裂分布形態を明らかにでき、その妥当性は実際の地熱兆候地とリニアメント密集帯との整合性から確認できた。この成果は、地熱分野を代表する国際誌 *Geothermics* に平成30年3月に掲載された。地熱分野をはじめ、亀裂分布が重要となる関連分野の研究者・技術者に本ソフトを広く使用してもらうことで、成果の社会還元が図れる。
- オブジェクト指向プログラミングに基づき、拡張性に優れた貯留層シミュレータを前年度に開発できた。これを ITB に提供し、利用を通して改善を図っているところである。この成果を国際誌論文

【平成29年度実施報告書】【180531】

として執筆中であり、成果の社会還元のために受理とその後のプログラム公開を目指す。

(2) 社会実装に向けた取り組み

本プロジェクトの内容、研究活動、成果を紹介するために、H27年10月に研究代表者研究室とITBの学科のURLに開設したサイトを運用中であり(京大側 <http://www.geoenv.kumst.kyoto-u.ac.jp/project.htm>, ITB側 <http://www.mining.itb.ac.id/satreps/>), 一般に公開している。昨年度に引き続き、活動がわかる写真を多く掲載し、掲載論文や国内・国際会議発表のリスト、研究速報、受賞報告を随時更新している。また、本プロジェクトを広く紹介するために本年度はニュースレターを3号発行した。各号での掲載内容は次のようであり、1ページ目のみを下記に掲載する。

- 第2号(H29年10月発行): 研究代表者のバンドン工科大学賞の紹介、8月の熱水・地表水・ガスのサンプリングを含む最新の研究活動とその成果、プロジェクトで新たに導入された5つの機器のITBへの到着とセッティングの報告など。
- 第3号(H29年12月発行): 10月にITBで実施されたJICA中間レビューの報告、短期9月の短期地熱研修(人材育成トレーニング)の実施内容と研修生からのコメントなど。
- 第4号(H30年3月発行): 後述の「第7回ITB国際地熱ワークショップ」でのBAGUSセッションの報告、京大とITBとの2回のプロジェクト・ミーティングの内容と合意事項の一例、平成30年9月に実施する短期地熱研修への応募者と研究代表者・ITB教員との面接試験の様子、野外測定と新規ボーリング地点での試掘の風景など。

また、Star Energy社、Geo Dipa Energy社とそれぞれ2回会合をもち、Star Energy社とはH30年3月、Wayang Windu地区における新規ボーリング7箇所での試掘に多大な協力が得られた。既設の18地点でのボーリングを利用したラドンと水銀濃度測定、生産井での蒸気と熱水のサンプリングも共同で実施中である。

上記のようにGeo Dipa EnergiともPatuha地区を対象として数回、合同測定を行っている。このように本プロジェクトによる開発手法を、実際に民間企業が地熱資源探査・開発に応用することを通して社会

【平成29年度実施報告書】【180531】



BAGUS Project News

(BENEFICIAL AND ADVANCED GEOTHERMAL USE SYSTEM)

No.2
13th SEPTEMBER 2017

ITB Awards Professor Koike



Project leader on the Japanese side, Professor Katsuaki Koike received Ganesha Wirya Jasa Aditutama, an award given to those who have shown a high achievement in supporting the development of Bandung Institute of Technology (ITB). The award was handed over by the Rector of ITB Professor Kadersah Suryadi in an Open Session to commemorate the 97th Anniversary of Higher Education of Technology in Indonesia (1920–2017) on 24th August 2017 at Aula Barat Hall attended by all the academics of ITB and invited guests.



Kyoto University and ITB have been conducting collaborative researches for many years and particularly this SATREPS project's contribution to ITB in strengthening its research facility at the Faculty of Mining & Petroleum Engineering as well as the development of research education were highly appreciated. Professor Koike believes that this award recognizes not only his personal but also collective endeavor of the ITB and Kyoto University colleagues over the years and will become a spring board for continued collaborative researches under the ongoing partnership.

Kyoto University Team Visits Bandung

A team of researchers from Kyoto University visited ITB from 19th August to 2nd September 2017 for fieldwork, laboratory research, equipment installation, giving lectures to students as well as briefing to the trainees of the upcoming two-week geothermal course in Kyoto University. Fieldworks were done in Wayang Windu (23rd to 29th August 2017) and Lembang-Maribaya (21st and 31st August 2017). The aim of fieldwork on 21st August 2017 was to take six water samples; one sample was taken from hot spring, one from warm spring, and four from cold spring. The sampling points were determined based on high Radon concentration and gas chromatography analysis result. This water sample will be used to analyze Mercury, Strontium, Silica, alkalinity, Deuterium, 18-Oxygen, trace element, and Ion Chromatography analysis at Kyoto University laboratory. On 31st August 2017, four Radon gas measurements were conducted. Whereas the fieldwork in Wayang Windu area was to take water sample and conduct Radon measurement from water sample. Like in Maribaya-Lembang, water sample will be used to analyze Mercury, Strontium, Silica, alkalinity, Deuterium, 18-Oxygen, trace element, and Ion Chromatography analysis which will be carried out at Kyoto University laboratory. Slightly different from Maribaya-Lembang, Radon was measured from water sample.



実装を目指している。

No. 3 | 4th Dec. 2017

BAGUS Project News

Project Mid-term Review

From 9th to 19th October 2017 a Project Mid-term Review Study Mission visited the project.

The purposes of the mission are:

- to review the performance, achievement and implementation of the process of the Project
- to conduct comprehensive evaluation of the activities and achievement of the Project in accordance with the five evaluation criteria, namely relevance, effectiveness, efficiency, impact, and sustainability
- to draw up recommendations for further improvements of the Project during its remaining period and afterward
- to prepare a Joint Evaluation Report and Minutes of Meeting which reflect the direction of the Project

The result of the mid-term review is summarized as follows:

RELEVANCE (High)	SUSTAINABILITY
The Project is consistent with the relevant policies of Indonesia and Japan, and with the needs of the target group.	In terms of policy, financial, organizational and technical aspects, sustainability is high.
EFFECTIVENESS (Moderately High)	EFFICIENCY
Most of the research has been conducted smoothly to achieve the Project purpose, the target figure of the indicators of the Project Purpose was met.	The input from the Indonesian and Japanese sides is appropriate. Installation of some equipment delayed, but most of the activities have been implemented in a timely manner. It is expected that each Output will be achieved by the end of the Project.
IMPACT (Very Early on Assess)	
As of the Mid-Term Review there are no data. Therefore, the data should be collected and analyzed. The technique developed under the Project may be effective for research other than geothermal development. Competitiveness of geothermal power may affect the impact of the Project.	

ACHIEVEMENT OF OUTPUTS

Output 1: Technologies for detecting steam spots suitable for geothermal power generation are developed in combination with remote sensing, geophysical, geochemistry, and mineralogy.

Output 2: Remote sensing-based technologies for environmental monitoring are established to detect the effect of geothermal power plant operation.

Output 3: 3.1. Botanical and surface water quality conditions extracted from remote sensing-based technologies are verified for the comparison with the existing environmental monitoring data.
3.2. GIS-based terrain topographic change is qualified for the comparison with the existing data.

Output 4: The optimal operation control system of geothermal power generation is established for long-term use of geothermal resources.

3.1 The computer tool in the system for calculating temperature and pressure in geothermal reservoir conditions for the comparison with the existing data.
3.2 The electrical output and lifetime of power generation are predicted by using the computer tool in the system.

Output 5: The capacity of ITB researchers and students for the geothermal science and technology is enhanced.

The recommendations based on the mid-term review to further improve the Project implementation are:

Modification of the Verification Indicators of the Overall Goal, Project Purpose and Outputs	Establishment of new collaborations with other relevant institutions.
Enhancing the information sharing and socialization of the Project results to the stakeholders.	Start discussing the future to expand the research, continuous development of human resources, and laboratory facilities after the completion of the Project in April 2020.

On 19th October 2017 the 4th Joint Coordinating Committee Meeting was conducted and the Project's mid-term review report was signed by Prof. Sri Widiantoro, M.Sc., Ph.D., Dean of the Faculty of Mining and Petroleum Engineering, Bandung Institute of Technology (ITB) and Mr. Hiroaki Kobayashi, Senior Deputy Director General/Group Director for Energy and Mining of Industrial Development and Public Policy Department of Japan International Cooperation Agency (JICA).

V. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

長年にわたるバンドン工科大学との共同研究の実施，特に本 SATREPS プロジェクトによるバンドン工科大学での研究設備の飛躍的な充実，人材育成による研究力の大幅向上，およびプロジェクト開始時からの着実な研究成果の蓄積が高く評価され，研究代表者がバンドン工科大学賞「Ganesa Wirya Jasa Adiutama」を受賞した。これはバンドン工科大学による表彰の中で，最も高く位置付けられる賞である。大学内の Aula Barat という歴史ある講堂で H29 年 8 月 24 日に表彰式が行われ，学長より盾とメダルが贈呈された。表彰式には国家教育省の高等教育総局長 (Djoko Santoso 教授) などの要人も参加されており，表彰式後，学長や要人からバンドン工科大学に対する貢献に謝辞をいただいた。



【平成 29 年度実施報告書】【180531】

No. 4 | 6th Apr. 2018

BAGUS Project News

ITB International Geothermal Workshop 2018

On 21st and 22nd March 2018, Geothermal Master Program, Faculty of Mining and Petroleum Engineering ITB held the annual ITB International Geothermal Workshop (IGW) for the seventh time. This year's theme was "Uniting Geothermal Energy Stakeholders through Collaborative Efforts for Nation's Prosperity". A series of workshops, exhibitions and field trip were organized in the event.

In the event, BAGUS Project team was given a special session on 22nd March 2018 from 13.00 to 16.00 as seen in the next table.

BAGUS SATREPS Session
Thursday, 22 March 2018

TIME	Project Title	Prize No.
13.00	Research Progress of the BAGUS Project by Kyoto University Team	---
13.30	Research Progress of the BAGUS Project by ITB Team	---
13.45	Introduction of the Geothermal Energy in ITB	---
14.00	Introduction of the Geothermal Energy in Indonesia	---
14.15	Introduction of the Geothermal Energy in Japan	---
14.30	Introduction of the Geothermal Energy in the World	---
14.45	Introduction of the Geothermal Energy in the Geothermal Energy Stakeholders	---
15.00	Introduction of the Geothermal Energy in the Geothermal Energy Stakeholders	---
15.15	Introduction of the Geothermal Energy in the Geothermal Energy Stakeholders	---
15.30	Introduction of the Geothermal Energy in the Geothermal Energy Stakeholders	---
15.45	Introduction of the Geothermal Energy in the Geothermal Energy Stakeholders	---
16.00	Introduction of the Geothermal Energy in the Geothermal Energy Stakeholders	---

Prof. Koike presented the research progress of the BAGUS Project by Kyoto University team, while Dr. M. Nur Heriawan presented research progress of the BAGUS Project by ITB. Mr. Taiki Kubo presented the overview and progress report of radon measurement for BAGUS Project. ITB students also participated in presenting their joint researches with BAGUS Project team members.

Project Technical Meetings in December 2017 and March 2018

ITB team, headed by Indonesian Project Leader, Prof. Sudarto Notosiswoyo, visited Kyoto University and had a technical meeting and presented a special lecture from 28th November to 7th December 2017.

During his visit to ITB for the 7th IGW 2018, Prof. Koike took the opportunity to sit with the ITB team members to discuss about progress of the Project's researches and the possibility of collaborating on the publications. In the meeting, he also informed that the Project has passed JST's midterm evaluation with a satisfying score and some remarks by JST to enable the technology developed in the project into a policy or technical standard in Indonesia. As a result of the meeting, Kyoto University and ITB were able to confirm the research activity plans and research paper plan in 2018.

この表彰式は、インドネシアでの最初の高等工学教育機関であるバンドン工科大学の創立 97 周年記念行事の一環でもあった。下記に授賞式の写真を示す。受賞の様子はバンドン工科大学の web サイトに掲載されたとともに、他の受賞者と併せて、インドネシア内の複数のインターネットニュースにも取り上げられた。

さらに、平成 30 年 3 月 21 日・22 日にかけて ITB キャンパスで開催された「第 7 回 ITB 国際地熱ワークショップ」において、昨年度に引き続き本プロジェクトの特別セッション (SATREPS Session) が設けられ、本プロジェクトの H29 年度での成果を京大グループと ITB グループのそれぞれから計 8 件発表した。セッション後は、オランダやインドネシアの企業からの参加者と交流を深められた。また、平成 30 年 2 月の第 43 回スタンフォード地熱ワークショップでも研究成果を 2 件発表し、本プロジェクトを世界の主要な地熱研究者に紹介した。これら 2 つの国際会議で本プロジェクトをアピールできた。さらに、これまでの成果発表を通して、インドネシアの地熱関連企業である Geo Dipa Energi が本プロジェクトに高い関心を寄せ、新たな連携を年度内に構築できたことも成果である。

以上の受賞、2 つの国際会議での発表、および企業との新たな連携により、本プロジェクトのプレゼンスを高めることができたと考えられる。

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】(非公開)

VIII. その他 (非公開)

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
H26年度	Arie Naftali Hawu Hede, Katsuaki Koike, Koki Kashiwaya, and Shigeki Sakurai, "Application of remote sensing to detecting hydrothermal alteration zones covered by thick vegetation", <i>Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration</i> , Hanoi, Vietnam, Sept. 22-24, 2014, pp. 7-12.		国際誌	発表済	発表に対して、第13回国際資源探査会議奨励賞を受賞した。
H27年度	Arie Naftali Hawu Hede, Koki Kashiwaya, Katsuaki Koike, and Shigeki Sakurai, "A new vegetation index for detecting vegetation anomalies due to mineral deposits with application to a tropical forest area", <i>Remote Sensing of Environment</i> , 2015, vol. 171, pp. 83-97.	10.1016/j.rse.2015.10.006	国際誌	発表済	リモートセンシング分野ではインパクトファクター(6.39: 2016年データ)が最も高いトップジャーナルへの掲載
H27年度	Asep Saepuloh, Katsuaki Koike, Minoru Urai, and Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, "Identifying surface materials on an active volcano by deriving dielectric permittivity from polarimetric SAR data", <i>IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters</i> , 2015, vol. 12, pp. 1620-1624.	10.1109/LGRS.2015.2415871	国際誌	発表済	米国電気電子学会(IEEE)発行のリモートセンシング技術の地球科学への応用に関するジャーナルであり、インパクトファクターは2.10であるが、この分野では定評があり、高いレベルのジャーナルとして知られている。
H27年度	Asep Saepuloh and Katsuaki Koike, "Quantifying surface roughness to detect geothermal manifestations from Polarimetric Synthetic Aperture Radar (PolSAR) data", <i>Proceedings of 41th Annual Stanford Geothermal Workshop</i> , Stanford, Feb. 22-24, 2016, pp. 1744-1750.		国際誌	発表済	
H27年度	Irwan Iskandar, Cipto Purnandi, Andre Putra Arifin, Sudarto Notosiswoyo, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, and Katsuaki Koike, "Hydrochemical characterization for identifying hydrothermal systems in the Bandung Volcanic Basin", <i>Proceedings of 41th Annual Stanford Geothermal Workshop</i> , Stanford, Feb. 22-24, 2016, pp. 1320-1325.		国際誌	発表済	
H28年度	Arie Naftali Hawu Hede, Katsuaki Koike, Koki Kashiwaya, Shigeki Sakurai, Ryoichi Yamada, and Donald A. Singer, "How can satellite imagery be used for mineral exploration in thick vegetation areas?", <i>Geochemistry, Geophysics, Geosystems</i> , vol. 18, pp. 1-13.	10.1002/2016GC006501	国際誌	発表済	アメリカ地球物理学連合(AGU)発行の地球化学と地球物理学の融合をターゲットとしたユニークなジャーナルであり、インパクトファクターも地球科学分野では高い。

H28年度	Riostantieka M. Shoedarto, Taiki Kubo, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Katsuaki Koike, Shigeki Sakurai, Irwan Iskandar, Mohamad Nur Heriawan, Sudarto Notosiswoyo, and Dwiyoarani Malik, "Responses of H ₂ S and radon-222 gas concentrations in various geothermal reservoir states: A case study of Wayang Windu area (Indonesia)", <i>Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2016</i> , Fukuoka, Japan, 2016, pp. 101-105.		国際誌	発表済	
H28年度	Haeruddin, Asep Saepuloh, Mohamad Nur Heriawan, and Taiki Kubo, "Identification of linear features at geothermal field based on Segment Tracing Algorithm (STA) of the ALOS PALSAR data", <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i> , 2016, vol. 42, 012003 (pp. 1-9).	10.1088/1755-1315/42/1/012003	国際誌	発表済	
H29年度	Asep Saepuloh, Haeruddin, Taiki Kubo, Katsuaki Koike, Dwiyoarani Malik, and Mohamad Nur Heriawan, "Application of lineament density extracted from dual orbit of Synthetic Aperture Radar (SAR) images to detecting fluids paths in the Wayang Windu geothermal field (West Java, Indonesia)", <i>Geothermics</i> , 2018, vol. 72, pp. 145-155.	10.1016/j.geothermics.2017.11.010	国際誌	発表済	
H29年度	Riostantieka M. Shoedarto, Yohei Tada, Koki Kashiwaya, Taiki Kubo, Katsuaki Koike, Dwiyoarani Malik, Irwan Iskandar, Mohamad Nur Heriawan, and Sudarto Notosiswoyo, "Deducing geothermal boiling zone from rare earth elements on early-stage geothermal exploration", <i>Proceedings of 43th Annual Stanford Geothermal Workshop</i> , Stanford, Feb. 12-14, 2018, pp. 1081-1085.		国際誌	発表済	
H29年度	Yudi Rahayudin, Koki Kashiwaya, Andi Susmanto, Yohei Tada, Irwan Iskandar, and Katsuaki Koike, "Estimation of fluid-rock interaction process and recharge area of the Tampomas geothermal field, West Java, Indonesia by water chemistry", <i>Proceedings of 43th Annual Stanford Geothermal Workshop</i> , Stanford, Feb. 12-14, 2018, https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/SGW/2018/Rahayudin.pdf		国際誌	発表済	

論文数	11 件
うち国内誌	0 件
うち国際誌	11 件
公開すべきでない論文	0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
H26年度	Bingwei Tian, Ling Wang, Koki Kashiwaya and Katsuaki Koike, "Combination of well-logging temperature and thermal remote sensing for characterization of geothermal resources in Hokkaido, northern Japan", <i>Remote Sensing</i> , 2015, vol. 7, no. 3, pp. 2647-2667	10.3390/rs70302647	国際誌	発表済	インパクトファクターが3.18(2015年データ)と高く、リモートセンシング分野ではトップレベルのジャーナルとして知られている。
H26年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Combination of landsat and EO-1 hyperion data for accurate mineral mapping", <i>Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration</i> , Hanoi, Vietnam, Sept. 22-24, 2014, p. 13-18.		国際誌	発表済	
H26年度	Lei Lu, Koki Kashiwaya and Katsuaki Koike, "Geostatistics-based hydro-chemical characterization for deep groundwater system using borehole logs: Application to Horonobe site, northern Japan", <i>Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration</i> , Hanoi, Vietnam, Sept. 22-24, 2014, p. 95-99.		国際誌	発表済	
H27年度	Bingwei Tian and Koike Katsuaki, "3D crustal temperature modeling over Japan for geothermal resource assessment", in <i>Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment</i> (N. Janardhana Raju, ed.), Springer, 2016, pp. 637-641.	10.1007/978-3-319-18663-4_97	国際誌	発表済	
H27年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Development of Bayesian-based transformation method of Landsat imagery into pseudo-hyperspectral imagery", <i>Proc. SPIE 9643, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXI, 96430J</i> , 2015, pp. 1-6.	10.1117/1.2.2194886	国際誌	発表済	
H28年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Hyperspectral transformation from EO-1 ALI imagery using pseudo-hyperspectral image synthesis algorithm", <i>Proceeding of XXIII ISPRS Congress</i> , 12-19 July 2016, Prague, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLI-B7, pp 1-5.	10.5194/isprsarchives-XLI-B7-661-2016	国際誌	発表済	
H29年度	Alaa A. Masoud and Katsuaki Koike, "Applicability of computer-aided comprehensive tool (LINDA: LINEament Detection and Analysis) and shaded digital elevation model for characterizing and interpreting morphotectonic features from lineaments", <i>Computers and Geosciences</i> , 2017, vol. 106, p. 89-100.	doi:10.1016/j.cageo.2017.06.006	国際誌	発表済	

H29年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Transformation of Landsat imagery into pseudo-hyperspectral imagery by a multiple regression-based model with application to metal deposit-related minerals mapping", <i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i> , 2017, vol. 133, p. 157-173.	10.1016/j.isprsjprs.2017.09.016	国際誌	発表済	リモートセンシング分野の2017年データでインパクトファクター(6.39)が最も高いトップジャーナルへの掲載
H29年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Comparison of hyperspectral transformation accuracies of multispectral Landsat TM, ETM+, OLI and EO-1 ALI images for detecting minerals in a geothermal prospect area", <i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i> , 2018, vol. 137, p. 15-28.	10.1016/j.isprsjprs.2018.01.007	国際誌	発表済	直上論文の第二報

論文数	9 件
うち国内誌	0 件
うち国際誌	9 件
公開すべきでない論文	0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
H28年度	小池克明・古宇田亮一, "金属鉱物・地熱資源探査へのリモートセンシング応用技術とその最近の動向", <i>Journal of MMIJ</i> , vol. 132, no. 6, pp. 96-113.		学会誌	発表済	doi:10.2473/journalofmmij.132.96

著作物数 1 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
H28年度	地熱科学・工学の基礎から発電への応用に関する講義と野外調査, および分析実験からなる2週間の研修。対象はバンドン工科大学から選抜された10名の大学院修士学生, 1名の若手教員, Star Energy社の2名の若手技術者。英語力と学力, 目的意識の高さなどによって選抜された。各授業で課したレポートをすべて提出し, 合格基準を超えた。また, 八丁原地熱発電所周辺で地質調査を実施し, 岩石や熱水を採取して, 京大で分析した。これらの結果に対する発表も評価に加えた結果, 13名全員を修了と認定した。	Electromagnetic Geophysics, Seismic Geophysics, Global Leadership, Fundamental Geology, Mathematical Geology, Remote Sensing, Geomechanics, Geothermal Drilling, Geochemistry, Mineralogy, Reservoir Engineering, Social Science, Volcanology, Geothermal Practiceの計14の講義科目の資料(PowerPointファイル), および簡易的な野外調査資料と分析法マニュアル	本研修はバンドン工科大学の正式な大学院科目に認定され, 修了者には2単位が与えられた。
H29年度	上記の研修の継続でバンドン工科大学の10名の大学院修士学生, 1名の若手教員, Star Energy社と地下資源局の2名の若手技術者を対象に実施した。	上記のテキストの改訂版であるが, 講義科目を13に絞った。	上記と同じである。

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
H26年度	国際学会	Arie Naftali Hawu Hede ² , Katsuaki Koike ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Shigeki Sakurai ¹ , "Application of remote sensing to detecting hydrothermal alteration zones covered by thick vegetation", 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, 2014年9月22-24日. [1: 京都大学, 2: バンドン工科大学(ITB), 以下同じ]	口頭発表
H27年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・高橋貫太 ¹ ・柏谷公希 ¹ ・多田洋平 ¹ ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ ・Asep Saepuloh ² , "リモートセンシングによる地熱流体パスの抽出の試み—安比地域を対象としたケーススタディー", 日本地熱学会, 別府国際コンベンションセンター, 2015年10月20-24日.	ポスター発表
H27年度	国際学会	Asep Saepuloh ² , Katsuaki Koike ¹ , "Quantifying surface roughness to detect geothermal manifestations from Polarimetric Synthetic Aperture Radar (PolSAR) data", 41th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, 2016年2月22-24日.	口頭発表
H27年度	国際学会	Irwan Iskandar ² , Cipto Purnandi ² , Andre Putra Arifin ² , Sudarto Notosiswoyo ² , Koki Kashiwaya ¹ , Yohei Tada ¹ , Katsuaki Koike ¹ , "Hydrochemical characterization for identifying hydrothermal systems in the Bandung Volcanic Basin", 41th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, 2016年2月22-24日.	口頭発表
H27年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・北村将悟 ¹ ・多田洋平 ¹ ・内倉里沙 ¹ ・Iskandar Irwan ² ・Heriawan Mohamad Nur ² ・Saepuloh Asep ² ・高橋貫太 ¹ ・柏谷公希 ¹ ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , "地熱兆候地域での地中ラドンガス濃度分布による熱水上昇亀裂抽出の試み", 資源・素材学会平成28年度春季大会, 東京大学, 2016年3月28-30日.	口頭発表
H28年度	国際学会	Katsuaki Koike ¹ , Shigeki Sakurai ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Yohei Tada ¹ , Taiki Kubo ¹ , Sudarto Notosiswoyo ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Nenny Miryani Saptadji ² , Irwan Iskandar ² , Asep Saepuloh ² , and Budi Sulistijo ² , "Towards specifying steam spots suitable for power generation and promoting use of geothermal resources", International Symposium Hanoi Geoengineering 2016, ベトナム国家大学, 2016年10月21-22日.	招待講演
H28年度	国際学会	Katsuaki Koike ¹ , Taiki Kubo ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Yohei Tada ¹ , Shigeki Sakurai ¹ , Irwan Iskandar ² , Asep Saepuloh ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Sudarto Notosiswoyo ² , Alaa M. Masoud ³ , "Detection of fractures acting as hydrothermal fluid path by lineament analysis and radon gas measurement", 35th IGC (International Geological Congress), Cape Town, 2016年8月27日-9月4日. [3: タンタ大学]	ポスター発表

H28年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・多田洋平 ¹ ・柏谷公希 ¹ ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Irwan Iskandar ² ・Asep Saepuloh ² ・Sudarto Notosiswoyo ² , “地中ラドン・水銀探査とリニアメント解析による地熱流体パス抽出の試み—Wayang Windu地区を対象としたケーススタディー”, 日本地熱学会 平成28年学術講演会, 郡山市中央公民館, 2016年10月19-21日.	ポスター発表
H28年度	国際学会	Shoedarto, R.M. ¹ , Kubo, K. ¹ , Kashiwaya, K. ¹ , Tada, Y. ¹ , Koike, K. ¹ , Sakurai, S. ¹ , Iskandar, I. ² , Heriawan, M.N. ² , Notosiswoyo, S. ² , and Malik, D. ² , “How BAGUS project benefits geothermal energy?”, Honda Y-E-S Forum 2016, 東京大学, 2016年11月19日.	ポスター発表
H28年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・北村将悟 ¹ ・高橋貫太 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , “地熱兆候地域における断裂系推定への地中ガスラドン濃度分布の有効性”, 資源・素材学会平成29年度春季大会, 千葉工業大学, 2017年3月27日-29日.	口頭発表
H29年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・江崎俊介 ¹ ・北村将悟 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , “リモートセンシング解析と現地調査データの統合による地熱資源探査の試み”, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 幕張メッセ, 2017年5月20日-25日.	口頭発表
H29年度	国内学会	小池克明 ¹ ・Arie Naftali Hawu Hede Arie ² ・久保大樹 ¹ ・Asep Saepuloh ² ・櫻井繁樹 ¹ , “高植被率地域における熱水起源資源推定へのリモートセンシングの適用性”, Geoinforum2017, 山梨県立図書館, 2017年6月29-30日.	口頭発表
H29年度	国内学会	Riostantieka Mayandari ¹ , Yohei Tada ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Katsuaki Koike ¹ , Irwan Iskandar ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Sudarto Notosiswoyo ² , Dwiyoğa Malik ⁴ , “Oxygen isotope and ranking faults analyses to delineate water-rock interaction processes in a high-temperature geothermal system”, Geoinforum2017, 山梨県立図書館, 2017年6月29-30日. [4: Star Energy社]	口頭発表
H29年度	国際学会	Mohamad Nur Heriawan ² , Hifdzul Fikri ² , Irwan Iskandar ² , Asep Saepuloh ² , Taiki Kubo ¹ , Sudarto Notosiswoyo ² , “Spatial correlation between radon gas concentration and lineament intensity for assessing the near-surface permeability of geothermal prospect area”, 18th International Association for Mathematical Geosciences Conference 2017 (IAMG2017), Fremante, Australia, 2017年9月2-9日.	ポスター発表
H29年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・江崎俊介 ¹ ・北村将悟 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , “ラドンガス測定と衛星データ解析の統合による地熱資源有望地域の抽出”, 資源・素材 & EARTH 2017 (札幌), 北海道大学, 2017年9月26-28日.	口頭発表
H29年度	国内学会	北村将悟 ¹ ・久保大樹 ¹ ・多田洋平 ¹ ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Irwan Iskandar ² ・Asep Saepuloh ² ・Sudarto Notosiswoyo ² , “地中ラドン濃度の長期モニタリング測定による地熱資源有望地域抽出の試み”, 日本地熱学会, 函館アリーナ, 2017年10月18-20日.	口頭発表
H29年度	国内学会	柏谷公希 ¹ ・多田洋平 ¹ ・Yudi Rahayudin ¹ ・Riostantieka M. Shoedarto ¹ ・弥富文次 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ , “地球化学的指標から解釈されるインドネシア, バンドン盆地周辺の地熱系の特徴”, 第7回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 2017年12月22日.	ポスター発表

H29年度	国際学会	Riostantieka M. Shoedarto ¹ , Yohei Tada ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Taiki Kubo ¹ , Katsuaki Koike ¹ , Dwiyoarani Malik ³ , Irwan Iskandar ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Sudarto Notosiswoyo ² , "Deducing geothermal boiling zone from rare earth elements on early-stage geothermal exploration", 43th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, 2018年2月12-14日.	口頭発表
H29年度	国際学会	Yudi Rahayudin ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Andi Susmanto ⁵ , Yohei Tada ¹ , Irwan Iskandar ² , Katsuaki Koike ¹ , "Estimation of fluid-rock interaction process and recharge area of the Tampomas geothermal field, West Java, Indonesia by water chemistry", 43th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, 2018年2月12-14日. [5: インドネシアエネルギー・鉱物資源省]	口頭発表
H29年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・北村将悟 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , "地中ガスラドン濃度の時間・季節変化に基づく地熱地域での蒸気スポット検出の可能性", 資源・素材学会平成30年度春季大会, 東京大学, 2018年3月27日-29日.	口頭発表

招待講演	1 件
口頭発表	13 件
ポスター発表	6 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
H26年度	国内学会	文田了介・柏谷公希・小池克明[京大]・多田洋平・谷口真人・中野孝教[地球研], "マルチ環境トレーサー分析とクリギングにより推定された河川水と地下水の交流状態", Geoinforum2014, 京都大学吉田キャンパス, 2014年6月12・13日.	口頭発表
H26年度	国内学会	小池克明・柏谷公希・久保大樹[京大], "資源関連の地質構造・物性の3次元モデリング法と形成要因解釈への応用", 資源・素材2014(熊本), 熊本大学黒髪キャンパス, 2014年9月15日.	口頭発表
H26年度	国際学会	Nguyen Tien Hoang, Katsuaki Koike [京大], "Combination of landsat and EO-1 hyperion data for accurate mineral mapping", 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, 2014年9月22-24日.	口頭発表
H26年度	国際学会	Lei Lu, Koki Kashiwaya, Katsuaki Koike [京大], "Geostatistics-based hydro-chemical characterization for deep groundwater system using borehole logs: Application to Horonobe site, northern Japan", 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, 2014年9月22-24日.	口頭発表
H26年度	国際学会	Bingwei Tian, Koike Katsuaki [京大], "3D crustal temperature modeling over Japan for geothermal resource assessment", 16th IAMG Conference, Jawaharlal Nehru Univ., New Delhi, India, 2014年10月17-20日.	口頭発表

H26年度	国内学会	田兵偉・柏谷公希・小池克明 [京大], “坑井データと熱赤外衛星データを用いた日本列島地殻浅部の地温分布モデリング”, 資源・素材学会平成27年度春季大会, 千葉工業大学津田沼キャンパス, 2015年3月28日.	口頭発表
H27年度	国内学会	久保大樹・高橋貫太・柏谷公希・小池克明・櫻井繁樹 [京大], “地熱域でのDEMリニアメントに基づく推定亀裂系と地下温度分布との関連性”, Geoinforum2015, 小樽市小樽経済センター, 2015年6月18・19日.	口頭発表
H27年度	国内学会	小池克明・柏谷公希 [京大], “地中ガスのラドン濃度に含まれる地殻物性・破壊情報”, Geoinforum2015, 小樽市小樽経済センター, 2015年6月18・19日.	口頭発表
H27年度	国内学会	Nguyen Tien Hoang, Katsuaki Koike [京大], “Simulation of hyperspectral imagery from Landsat imagery for detailed mineral mapping”, Geoinforum2015, 小樽市小樽経済センター, 2015年6月18・19日.	口頭発表
H27年度	国内学会	Arie Naftali Hawu Hede・柏谷公希・小池克明・櫻井繁樹 [京大]・古宇田亮一 [産総研]・山田亮一 [東北大], “Remote sensing with a new vegetation index for detecting vegetation anomaly caused by metal deposits”, 資源・素材2015 (松山), 愛媛大学, 2015年9月8-10日.	口頭発表
H27年度	国内学会	柏谷公希・文田了介・小池克明・多田洋平 [京大]・申基澈・谷口真人・中野孝教 [地球研], “京都盆地における地下水の同位体特性および微量元素濃度の空間分布推定と示唆される地下水環境”, 資源・素材2015 (松山), 愛媛大学, 2015年9月8-10日.	口頭発表
H27年度	国際学会	Nguyen Tien Hoang, Katsuaki Koike [京大], “Development of Bayesian-based transformation method of Landsat imagery into pseudo-hyperspectral imagery”, Conference of Image and Signal Processing for Remote Sensing XXI, Toulouse, France, 2015年9月21日.	口頭発表
H27年度	国際学会	Sudarto Notosiswoyo [ITB], “SATREPS: Japanese academic institution strategy for strengthening geothermal community knowledge and skill in Indonesia”, 5th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2016年3月30-31日.	招待講演
H27年度	国際学会	Katsuaki Koike [京大], “Studies Design for BAGUS (Beneficial and Advanced Geothermal Use System) SATREPS Project”, 5th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2016年3月30-31日.	招待講演
H28年度	国内学会	北村将悟・久保大樹・多田洋平・柏谷公希・小池克明 [京大], “熱水パス亀裂抽出への地中ガスラドン濃度の応用”, Geoinforum2016, 大阪市立大学, 2016年6月16日・17日.	口頭発表
H28年度	国内学会	馬場浩太・久保大樹・小池克明 [京大], “TOUGH2を用いた安比地区地熱貯留層の温度・圧力状態のシミュレーション”, Geoinforum2016, 大阪市立大学, 2016年6月16日・17日.	口頭発表
H28年度	国内学会	内倉里沙・柏谷公希・多田洋平・久保大樹・小池克明・櫻井繁樹 [京大], “衛星画像からの地熱変質帯の抽出と熱水パス推定への応用”, Geoinforum2016, 大阪市立大学, 2016年6月16日・17日.	口頭発表
H28年度	国内学会	高橋貫太・久保大樹・柏谷公希・多田洋平・小池克明・櫻井繁樹 [京大], “地熱地区におけるDEMデータを用いたリニアメント抽出と断裂系モデリング”, Geoinforum2016, 大阪市立大学, 2016年6月16日・17日.	口頭発表

H28年度	国内学会	馬場浩太・久保大樹・小池克明 [京大], "オブジェクト指向プログラミングに基づく貯留層シミュレータ TOUGH2改良の試み", 日本地熱学会 平成28年学術講演会, 郡山市中央公民館, 2016年10月19日-21日.	ポスター発表
H28年度	国内学会	柏谷公希・文田了介・小池克明・多田洋平 [京大]・谷口真人 [総合地球環境学研究所], "京都盆地を対象とした地下水流動解析と水素酸素同位体比に基づく検証", 日本地下水学会2016年秋季講演会, 長崎新聞文化ホール, 2016年10月20-22日.	口頭発表
H28年度	国際学会	Katsuaki Koike [京大], "Research progress of the BAGUS project by Kyoto University team", 6th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2017年3月22日.	招待講演
H28年度	国際学会	Taiki Kubo [京大], "Characterization of fracture system in the Wayang Windu area using radon-gas concentration and remote sensing analyses", 6th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2017年3月22日.	口頭発表
H28年度	国内学会	江崎俊介・久保大樹・内倉里沙・小池克明・櫻井繁樹 [京大], "光学センサとSAR衛星データの併用による地熱兆候地検出", 資源・素材学会平成29年度春季大会, 千葉工業大学, 2017年3月27-29日.	口頭発表
H28年度	国内学会	Nguyen Tien Hoang, Katsuaki Koike [京大], "Towards spectral and spatial joint downscaling of multi-spectral satellite imagery for detailed mineral mapping", 資源・素材学会平成29年度春季大会, 千葉工業大学, 2017年3月27-29日.	口頭発表
H29年度	国内学会	江崎俊介・久保大樹・内倉里沙・小池克明・櫻井繁樹 [京大], "反射赤外・熱赤外・後方散乱の衛星データ組み合わせによる植生域での地熱兆候地検出精度の向上", Geoinforum2017, 山梨県立図書館, 2017年6月29-30日.	口頭発表
H29年度	国際学会	Katsuaki Koike [京大], "Research progress of the BAGUS project in 2017 by Kyoto University team", 7th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2018年3月22日.	招待講演
H29年度	国際学会	Taiki Kubo [京大], "Overview and progress report of radon measurement for BAGUS project", 7th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2017年3月22日.	口頭発表

招待講演	4 件
口頭発表	22 件
ポスター発表	1 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
H26年度	9月23日	第13回国際資源探査会議奨励賞	「Application of remote sensing to detecting hydrothermal alteration zones covered by thick vegetation」の研究成果	Arie Naftali Hawu Hede	(社)資源・素材学会探査工学部門委員会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
H27年度	6月19日	日本情報地質学会奨励賞	「Simulation of hyperspectral imagery from Landsat imagery for detailed mineral mapping」の研究成果	Nguyen Tien Hoang	日本情報地質学会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
H28年度	6月17日	日本情報地質学会奨励賞	「衛星画像からの地熱変質帯の抽出と熱水パス推定への応用」の研究成果	内倉里沙	日本情報地質学会	1.当課題研究の成果である	
H28年度	11月19日	Honda Y-E-S Forum 2016 Audience Award	「How BAGUS Project benefits geothermal fluid from the Earth?」の研究発表	Riostantieka Mayandari Shoedarto	(公財)本田財団	1.当課題研究の成果である	
H28年度	12月9日	資源・素材学会関西支部第13回若手研究者・学生のための研究発表会・優秀発表賞	「拡張性に優れた地熱貯留層シミュレータの開発」の研究成果	馬場浩太	資源・素材学会関西支部	1.当課題研究の成果である	
H29年度	8月24日	バンドン工科大学賞「Ganesa Wirya Jasa Adiutama」	主にSATREPSプロジェクトによるバンドン工科大学の研究設備の向上と研究教育の発展に対する顕著な貢献	小池克明	バンドン工科大学	1.当課題研究の成果である	

6 件

② マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
H27年度	6月8日	Pikiran Rakyat(新聞)	ITB-Kyoto University Meriset Teknologi "Steam-spot"	西ジャワ州版	1.当課題研究の成果である	タイトルは現地語表記である。

1 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
H26年度	5月22日	SATREPSプロジェクト第1回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	10名(3名)	非公開	研究の背景, 目標, 実施内容, PDM・POについて説明, 議論, 合意形成
H26年度	5月23日	SATREPSキックオフシンポジウム	京都大学桂キャンパス	30名(3名)	公開	地熱プロジェクトの概要・目標の説明, 各研究メンバーのこれまでの研究成果紹介と本プロジェクトへの貢献の構想, および意見交換
H26年度	5月29日	研究打ち合わせ会議	三菱マテリアル(株)本社	7名	非公開	企業との協力体制と共同研究の内容に関する意見交換, 暫定研究の対象サイトの選定
H26年度	8月26日	SATREPSプロジェクト第2回合同打ち合わせ会議(非公開)	バンドン工科大学	14名	非公開	PDM・PO, 投入機器について議論と合意形成, および実験室視察
H26年度	11月6日	学内研究打ち合わせ会議	京都大学吉田キャンパス	4名	非公開	研究進捗状況についての報告・意見交換, 今後の研究計画のブラッシュアップ
H26年度	3月6日	研究打ち合わせ会議	九州電力(株)本社	7名	非公開	研究目標・内容, 開発予定の手法に対する電力会社との意見交換, 協力体制形成の議論
H26年度	3月27日	研究打ち合わせ会議	三菱マテリアル(株)本社	6名	非公開	暫定研究成果の報告, および次年度以降の研究内容と手法の改善点に関する意見交換
H27年度	9月14日	SATREPSプロジェクト第3回合同打ち合わせ会議	Star Energy社(インドネシア)	12名	非公開	Star Energy社との協力体制の構築, モデル地熱サイトの既存調査データ利用の合意
H27年度	9月15日と18日	SATREPSプロジェクト第4回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	8名	非公開	モデルサイトでの地すべり状況の情報共有, PDMとPOの確認, 年次計画の検討と改善, 短期招聘研究員の京都大学での研究内容
H27年度	12月1日	SATREPSプロジェクト第5回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	7名	非公開	今年度導入予定の機器類の調達状況についての情報共有, 今後の導入手続きに関する打ち合わせ, ITB側で実施する実験室改装計画
H27年度	12月7日	SATREPSプロジェクト第6回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	12名(3名)	非公開	研究進捗状況, タンタ大学との協力体制と共同研究内容, 次年度の京都大学での短期研修の講義内容とスケジュール, 今後の研究計画などについて議論と合意形成
H27年度	12月8日	BAGUS特別講演会	京都大学桂キャンパス	35名(3名)	公開	本プロジェクトの概要紹介, およびITB側リーダーのSudarto Notosiswoyo教授によるインドネシアの地熱資源のポテンシャルと利活用状況に関する講演の実施

H28年度	4月1日	SATREPSプロジェクト第7回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	9名	非公開	表層ボーリングの実施場所, 掘削方法, 地質とガスのサンプリング法, ガス分析法についての打ち合わせ
H28年度	5月12日	SATREPSプロジェクト第8回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	10名	非公開	表層ボーリングの実施手順についての打ち合わせ, 候補地へのアプローチ可否の確認, および短期研修に招聘するITB学生との面談
H28年度	7月29日	研究打ち合わせ会議	三菱マテリアル(株)本社	4名	非公開	貯留層シミュレーションの精度向上に向けての情報交換
H28年度	8月19日	SATREPSプロジェクト第9回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	10名	非公開	表層ボーリングの実施場所の確認, および孔の保護法, モニタリング方法, 熱水サンプリング方法と場所などについての打ち合わせ
H28年度	12月11-12日	SATREPSプロジェクト第10回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	12名(4名)	非公開	研究進捗状況, 導入機器の手続き状況, 今年度の短期研修の改善点と次年度の内容・スケジュール, アフリカ展開研究の内容, 今後の研究計画などについて議論と合意形成
H28年度	3月3日	鉱物・地熱資源探査, 環境モニタリングのリモートセンシング国際共同プロジェクト	京都大学桂キャンパス	50名	公開	京都大学と秋田大学のSATREPSグループ, 資源・素材学会探査工学部門委員会との共催によるリモートセンシング研究の最新成果の発表, および意見交換
H28年度	3月21日	SATREPSプロジェクト第11回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	9名	非公開	研究進捗状況, 機器操作やガスモニタリング法に関する問題点, 今後の研究計画とスケジュール, 短期研修制の選抜方法などについて議論
H29年度	7月7日	SATREPSプロジェクト第12回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	15名	非公開	Star Energy社の技術者も含め, 研究協力体制と内容, プロジェクトで必要とするデータ, 今後のスケジュールに関しての打ち合わせ
H29年度	11月22日	BAGUS特別講演会	京都大学桂キャンパス	40名(1名)	公開	スタンフォード大学地熱プログラムのRoland Horne教授を招聘し, 岩体亀裂中の地熱流体流れの解析と検証法に関する最新研究成果の講演会を実施した。これに先立ち, Horne教授に本プロジェクトの内容とこれまでの研究成果を紹介し, コメントをいただいた。
H29年度	12月4-5日	SATREPSプロジェクト第13回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	12名(4名)	非公開	研究進捗状況, 各研究項目の計画とスケジュール, 表層ボーリングの追加地点と実施スケジュール, 研究成果公表の計画, これまでの問題点とその解決法などについて議論

H29年度	12月5日	BAGUS特別講演会	京都大学桂キャンパス	35名(4名)	公開	Sudarto Notosiswoyo教授とNenny Miryani Saptadji准教授によるインドネシアの再生、非再生資源のポテンシャルと利活用状況に関する講演の実施
H29年度	3月23日	SATREPSプロジェクト第14回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	9名	非公開	研究進捗状況、新規ボーリング地点の候補、機器の状況とトラブル解決法、今後の研究計画とスケジュール、短期研修生の選抜方法などについて議論

24 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
H27年度	6月1-3日	プロジェクト期間、昨年度の暫定期間での研究成果、PDMとPOの確認、今年度の研究内容とスケジュール、研究者リストの確定、ITBへの投入機器とソフトウェアの確認、次回のJCCの日程	15	バンドン工科大学の共同研究者とキックオフシンポジウムの開催し、これまでの研究成果について発表した。PDM・POと投入機器を確認し、研究目標と計画に対しての意見交換を行った。CGRとStar Energy社との連携についても検討した。また、モデル地熱サイトであるWayang Winduで地質巡検を行い、測定場所と適切な手法について議論した。以上の検討項目について合意し、小池リーダーとSudarto教授が議事録にサインした。
H28年度	5月9-11日	昨年度の研究成果、PDMとPOの確認、今年度の研究内容とスケジュール、研究者リストの確定、ITBへの投入機器の確認、短期研修生の応募状況と選抜方法・結果、次回のJCCの日程、これまでの問題点	16	前年度に引き続き、JCCの前にITBの共同研究者と成果報告会を開催した。研究目標、PDM・PO、投入機器を再確認し、今年度の研究計画とスケジュール、研究成果の発表法、表層ボーリングと熱水サンプリングの実施においてStar Energy社との連携などについて意見交換を行った。また、Wayang Winduで地質巡検を行い、断層の推定方法、表層ボーリングの適切な実施地点の選定法などについて議論した。以上の検討項目について合意し、小池リーダーとSudarto教授が議事録にサインした。
H29年度	7月4-6日	昨年度の研究成果、PDMとPOの確認、今年度の研究目標・内容とスケジュール、研究者リストの確定、ITBへの投入機器の輸送状況、研究室の整備状況、これまでの問題点と解決策、中間レビューに向けての協力体制、次回のJCCの日程	16	前年度と同様に、JCCの前にほぼ一日掛けてITBの共同研究者と成果報告会を開催した。PDMとPO、追加で必要となる投入機器等を確認し、今年度の研究計画とスケジュール、表層ボーリングの追加、熱水とガスのサンプリングの実施方法などについて意見交換を行った。また、バンドン盆地北側の地熱サイトで地質巡検を行い、Wayang Winduに加えての熱水のサンプリングと分析方法などについて議論した。以上の検討項目について合意し、小池リーダーとSudarto教授が議事録にサインした。

H29年度	10月19日	JICA中間レビュー報告書の確認, 上位目標・プロジェクト目標・成果に対する指標の改善, Geo Dipa Energi社とCMCGRとの連携強化, 昨年度の研究成果, PDMとPOの確認, 本プロジェクト終了後の研究持続性	19	JICA中間レビュー報告書の内容を承諾し, 上位目標・プロジェクト目標・成果4に対する指標を改善した。Geo Dipa Energi社とCMCGRとの連携強化策, Star Energy社を含めて定期的に会合を開き, 情報交換を行うこと, およびプロジェクト終了後を見据えて, 研究を発展させ, 機器維持費をITBチームが確保し, 人材育成の継続を図ることに合意した。これらを踏まえて, 小林JICA次長, 鉦山石油工学部長のWidiyantoro教授, 小池リーダー, Sudarto教授が議事録にサインした。
-------	--------	--	----	--

4 件

研究課題名	インドネシアにおける地熱発電の大幅促進を目指した蒸気スポット検出と持続的資源利用の技術開発: 先進的地熱資源利用システム
研究代表者名 (所属機関)	小池 克明 (京都大学大学院工学研究科)
研究期間	H26採択(平成26年4月1日~平成32年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	インドネシア共和国/バンドン工科大学, 地下資源局

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> グリーンイノベーションの推進 安定的なエネルギー供給と脱化石燃料、低炭素社会、持続可能な自然共生社会や循環型社会の実現 インフラ、システムというソフト・ハード両面からの包括的な輸出振興 「2国間炭素クレジット」のスキームの推進
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 地熱発電適地検出精度の画期的向上 インドネシアにおける地熱資源利用促進(低炭素社会の実現、大気環境の保全) 低温地熱地帯や深部高温岩体域における地熱資源開発へのフィードバック
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<p>下記の3技術に関する知財の獲得と世界展開</p> <ul style="list-style-type: none"> リモートセンシング・数理地質学・地球化学・鉱物学での最先端手法を統合した地熱発電適地検出技術 衛星リモートセンシングを利用した広域環境モニタリング技術 地熱エネルギー産出の最適化システム設計技術
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際共同研究の立案・実施、著名な国際ジャーナルへの論文掲載、国際会議の主導)
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> バンドン工科大学地熱グループ、および地下資源局と地熱研究に関わる技術・人的ネットワークの構築
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 研究成果の国際的地熱シンポジウム等での発表 地熱に関する国際ジャーナルへの論文掲載 地熱エネルギー産出の最適化プログラム 貯留層の温度と圧力変化予測プログラム 地熱発電適地検出法とプログラムのマニュアル

上位目標

開発された技術の適用によって、地熱発電所の予定地における探査ボーリング掘削費が減少する。

プロジェクトで開発された技術の適用性が、モデル・サイトにおいて実証される。

プロジェクト目標

発電に最適な蒸気スポットの検出技術、地熱発電所周辺の広域環境モニタリング技術、および長期にわたる地熱資源利用・発電を可能にするための最適システム設計技術を開発し、インドネシアにおける地熱発電の大幅促進に貢献する。

