

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「低炭素社会の実現に向けた高度エネルギーシステムに関する研究」

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：5年/相手国名：インドネシア共和国

## 平成28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

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ース性評価			←	←		
1-4 ガス組成分析と貯留層評価			←	←	←	
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			←	←	←	←
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			↔	↔	↔	↔

### (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)

該当する事項は特に無い。

## 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H28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、H29年度以降も継続する。

#### ➤ 連続性の良い亀裂の抽出

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、地球観測衛星によるリモートセンシングデータの解析を継続した。まず、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。主な変更点としては、断層の存在と関連した地形的特徴の定量化法、および連続性の良い亀裂を見出すためのリニアメントの連結法である。これらにより、Star Energy社の地質エキスパートによって、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分布に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。

DEMと併用してALOS衛星による合成開口レーダ(PALSAR)データを用いてのリニアメント抽出も実施した。マイクロ波の斜め方向入射により、後方散乱強度を表すPALSAR画像には断層地形が強調されることが知られているからである。今年度は西側と東側からの入射画像を組み合わせ、画像の幾何歪の影響を軽減するという工夫を施した。このようなペア画像を用いてのリニアメント抽出は初めての試みであり、新規性はある。図1に抽出結果を示す。また、リニアメント分布を密度として表し、単位面積当たりのリニアメントの交点数、本数、および長さの累計の3種類をマップ化した。それぞれを図2(A)、(B)、(C)に表す。各密度分布図を地熱兆候地(赤点)と断層(白線)と重ねるが、長さの累計密度の高い部分がこれらの地熱兆候地・断層の位置と最も良く対応することがわかった。

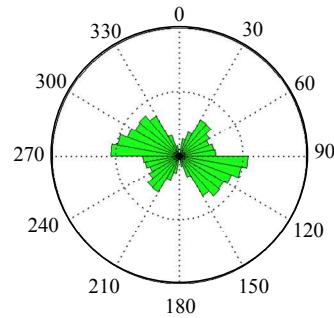
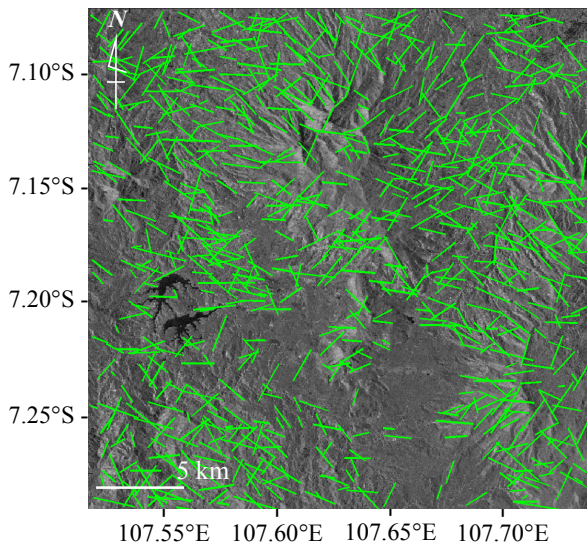


図1 東西マイクロ波入射の PALSAR ペア画像からの抽出リニアメント分布 (左) と方位分布 (右)

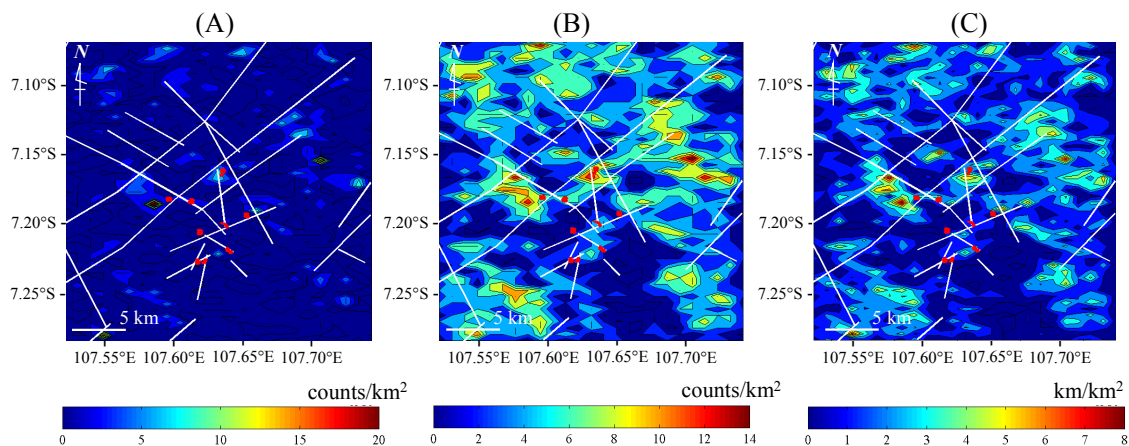


図2 単位面積当たりのリニアメントの交点数(A), 本数(B), 累計長さで表したリニアメント密度分布 (赤点は地熱徴候地, 白線は推定断層を表す)

➤ 地表付近の変質鉱物の分析

項目 1-6 は光学センサ画像と SAR 画像の解析, 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ている。前者の解析として, ASTER 画像から地熱徴候に関連する熱水変質鉱物の存在の可能性を表す鉱物指標を適用した。鉱物指標は ASTER データの 9 つの観測波長帯での反射率を組み合わせることで求められ, 特定の鉱物や植生の分布領域を抽出できる。Wayang Windu 地区では明礬石, イライト, 方解石が地熱徴候を識別するのに有効な鉱物として知られているので, これらの鉱物指標の分布を図 3(左)のように RGB カラー合成で示し, さらに NDVI (正規化植生指数) が 0.8 を超える高植生被覆域を灰色でマスクした。一方, PALSAR の HV 偏波データを用いて地表面粗度の計算も試みた。噴気帯などの地熱兆候地では変質岩が露出し, 転石も多く, 地表面の起伏が大きくなることから, 地表面粗度の分布は蒸気スポットの存在可能性が高い領域を絞り込むのに有用であると考えられる。実際, 推定された地表面粗度分布と現地で確認されている地熱兆候地の位置を比較すると, 図 3(右)のように一部の噴気帯が良く対応していることがわかる。また, 鉱物指標と地表面粗度の分布を比較すると, 一部の領域で両者ともに高い数値を示すことが確かめられた。このような領域は, 熱水変質鉱物を含む岩石が地表に露出した箇所であると考えられ, 蒸気スポットの絞り込み

【平成 28 年度実施報告書】【170531】



に活用できる可能性が高い。

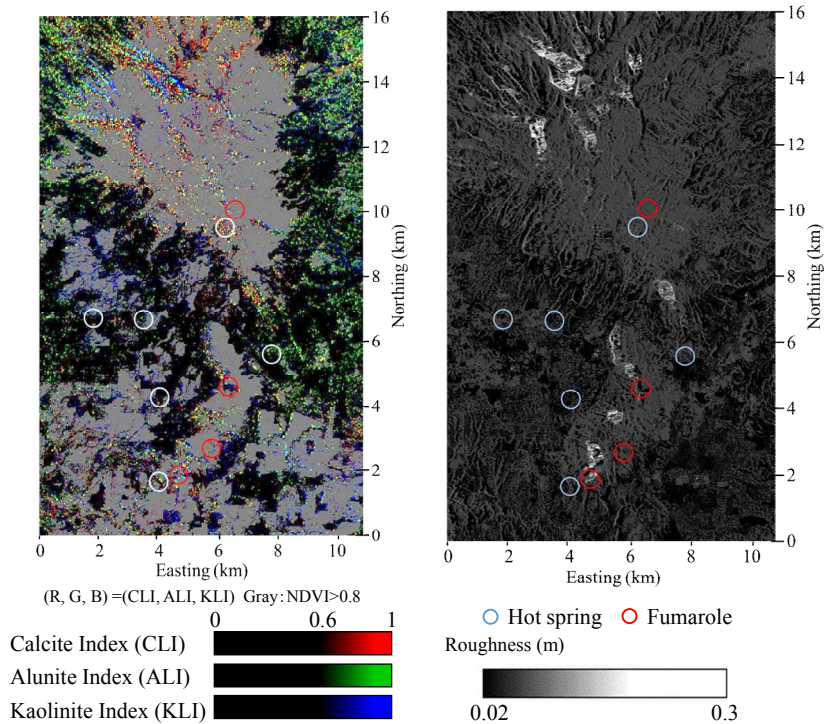


図3 ASTER 画像を用いた鉱物指標分布(左)と ALOS PALSAR の偏波データから計算された地表面粗度分布(右)

#### ➤ 表層ボーリングの実施とモニタリング開始

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 箇所において、最大深度 5 m 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。ボーリング掘削作業の様子を下記の写真に示す。また、長期の計測に耐えられるように工夫している計測井の構造概要を図 4 に示す。掘削により得られる土壌や岩石の特徴はその場で記録した上でサンプルとして保管し、ITB でそれらの X 線回折分析 (XRD) と蛍光 X 線分析 (XRF) を開始した。分析は継続中である。

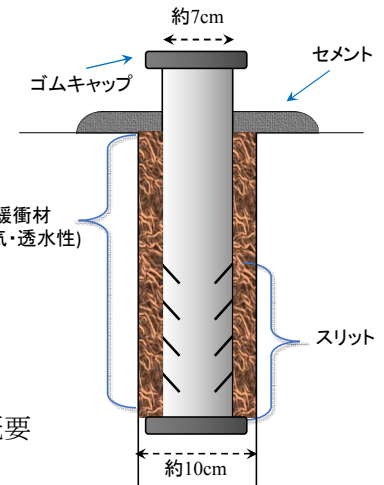


図4 表層ボーリングの構造概要

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

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、H28 年度には各測点で 2~4 回の測定結果が得られた。計測井の設置箇所と各測点における最新のラドン濃度の分布を図 5 に示す。K-15 という領域北東部の測点が最も高いラドン濃度を示し、さらに時間経過に伴う濃度の変化が小さいという結果が得られた。これらは深部からの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、周辺にも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。

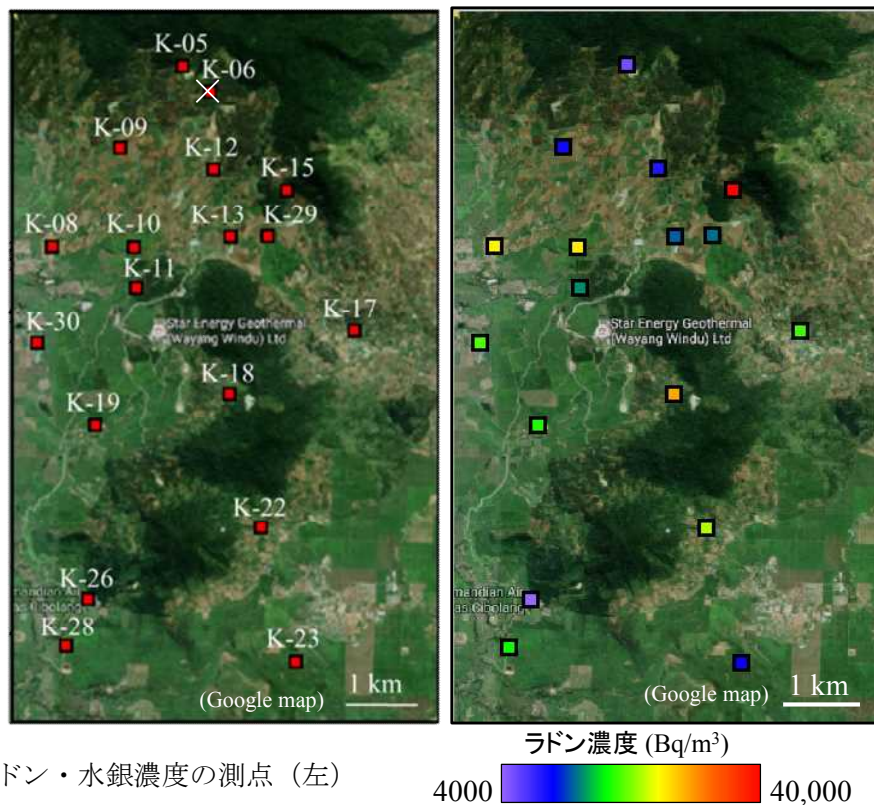


図 5 ラドン・水銀濃度の測点 (左)  
とラドン濃度分布 (右)

水銀測定もラドン測定と平行して継続的に実施しているが、亀裂・断層分布やラドン濃度との相関性、および地熱系との対応は今のところ得られていない。測定装置の不具合も時折生じるので、この調整と測定データの高品質化が H29 年度の課題である。

#### ➤ ガスと熱水の化学分析の開始

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 との協議の上で前倒しで 1-4 と 1-7 の予備研究を開始した。そのため、H28 年 8 月 19 日から 9 月 10 日にかけて、Wayang Windu 地区を対象に 25 箇所ですぐ気ガスと地下水・熱水試料の採取を実施した。噴気地帯では非凝縮性ガスと水蒸気凝縮水を採取した。地下水・熱水試料は分析項目に応じてろ過し、密閉して保存した。非凝縮性ガス試料は ITB において成分を分析し、分析結果の検討を進めている。地下水・熱水試料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、水素酸素同位体比、主要溶存イオン濃度、微量元素濃度などを求めた。得られた同位体組成や濃度に基づいて、Wayang Windu 地区にお

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

る地熱流体の涵養，流動状態を解釈するとともに貯留層温度を推定し，上昇流が卓越する領域を検出することを H29 年度で本格化させる。

#### ➤ 貯留層シミュレーションソフトウェアの開発

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」では地熱貯留層の温度・圧力推定を行う数値シミュレーションがコアとなる。地熱分野では汎用貯留層シミュレータの一つである TOUGH2 がこれまで広く利用されているが，コードの可読性が低く，機能を追加するのが難しいという問題がある。そこで，TOUGH2 のアルゴリズムをベースとし，ソフトウェア工学の手法であるオブジェクト指向プログラミングを適用することで，シンプルかつ直感的であり，しかも拡張性に優れた貯留層シミュレータの開発を行った。構築した貯留層シミュレータに対して，3 次元熱伝導問題，および貯留層の代表的な問題である Five-spot problem を用いることで計算信頼性を評価した。その結果，TOUGH2 と比較して 3 次元熱伝導問題では温度の相対誤差は 0.35% 以下であり，Five-spot problem でも圧力・温度の相対誤差は 0.05% 以下と小さく，本貯留層シミュレータの高い計算精度が確かめられた。

しかしながら，オブジェクト指向プログラミングにより計算速度が増大したため，その対策として要素統合による計算高速化の手法を拡張機能として本貯留層シミュレータに組み込んだ。その結果，3 次元熱伝導問題の計算時間を半分以下まで短縮できた。また，深部の地熱資源開発を想定し，超臨界状態計算機能を追加した。熱力学的変数を適宜変更することで液相－臨界相－気相の相移行を安定に実行することが可能となり，温度・圧力状態の時間変化が妥当であることを確認した。さらに，簡単な幾何学的手法を用いた相遷移アルゴリズムにより，気相－臨界相間の相転移における収束性を向上させることができた。これらの開発と機能追加は，本プロジェクトが初めての試みであるので，学術上の新規性は高いと評価できる。

#### ➤ 機器投入の実績

H28 年度に輸送を完了した以下の 7 機種について，ITB における据付作業が完了している。括弧内は設置場所を表す。

- －携帯型反射スペクトル測定装置 (X 線・電子顕微鏡室)
- －ラドン濃度測定システム (野外調査用)
- －水銀計測システム (野外調査用)
- －熱伝導度検出器型ガスクロマトグラフ (ガスクロマトグラフ・同位体比質量分析計室)
- －X 線回折分析装置 (X 線・電子顕微鏡室)
- －走査型電子顕微鏡 (X 線・電子顕微鏡室)
- －蛍光 X 線分析装置 (X 線・電子顕微鏡室)

これらのうち，熱伝導度検出器型ガスクロマトグラフ，X 線回折分析装置，蛍光 X 線分析装置については，国内と現地法人より技術者を招聘し，機器類の基本操作方法に関する講習会を開催した。これにより，分析装置の使い方を ITB 側が習得し，分析データの取得と蓄積に貢献している。また，以下の 5 機種は国内での調達完了しており，H29 年 7 月 30 日までにインドネシアに到着し，ITB に設置されるように，輸送の準備中である。

- －イオンクロマトグラフ
- －安定同位体比質量分析システム
- －誘電結合プラズマ質量分析システム

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

- －水同位体分析システム
- －電子捕獲検出器型ガスクロマトグラフ

人材育成については下記の研究題目 4 で詳述する。

## (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

項目 1-1・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 DEM データと線素追跡アルゴリズムによるリニアメント抽出技術の開発、および衛星データを用いての熱水変質鉱物の同定と分布推定、地表面粗度の算定による地熱兆候地の抽出法の開発は、研究題目 1 のアウトプット「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。」に貢献できたと考える。このような亀裂、鉱物、地表形態を統合して地熱資源の胚胎推定精度を向上させるということは初めての試みなので、学術的なインパクトはあると考えられる。1-3 に関しては、今年度 Wayang Windu 地区の 18 箇所で見層ボーリングを実施することで、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できる体制を構築できた。装置のトラブルも発生したが、モニタリングは継続中である。得られた広域ラドン濃度分布、前述の手法によって抽出できたリニアメントの分布、およびこれらと断層分布との関連性を検討しているところである。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 ITB において分析中であり、リモートセンシング解析の現地検証用として次のステップで活用できる。

項目 1-4・1-7 については、当初計画では平成 29 年度に着手する予定であったが、本年度より噴気帯でのガス試料と地下水・熱水試料の採取、および化学成分分析を前倒しで開始しており、ガス組成分析は ITB で、地下水・熱水試料の分析は京大で実施した。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の地熱システムを明らかにし、地熱資源ポテンシャルと地熱発電可能性の評価を精緻化する目的で、Wayang Windu 地区に加えて 3 地域の地熱サイトにおける試料採取と分析を含め、その始めとして H29 年 4 月から 5 月にかけて約 50 地点で熱水試料を採取する予定である。これらの項目と 1-6 で用いる機器類のうち 7 機種は ITB への据付が完了しており、いずれも十分に活用されている。残りの 5 機種については調達完了し、輸送を準備しているところである。

### 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。その成果は国際会議プロシーディングに掲載され、国際誌への論文化も完了できたところである。この部分についての技術移転は完了したが、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はプログラムに組み込み中であるので、項目 1-1・1-2 全体としての技術移転は 8 割程度の状況である。

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、  
【平成 28 年度実施報告書】【170531】



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。下の写真はその風景である。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。その風景も下の写真に示す。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。



### 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

H28 年度 SATREPS 企画提案型プログラムに採択され、「アフリカにおける地熱資源探査へのリモートセンシング応用の新展開」の共同研究をエジプトのトップ大学の一つであるタンタ大学とジンバブエ地質調査所と実施した。ジンバブエからの招聘者は帰国後も本課題に関連した研究を継続しており、この企画提案が研究意欲の発火と研究力の発現に繋がった。さらに研究を発展させることを願って京大大学院に入学を希望している。実現できればさらに研究を深化させ、学位取得に至れるとともに、本プロジェクトの水平展開にも多大に貢献できる。また、両国での地熱研究の促進という効果も望める。インドネシアでのモデル・サイトに加えて、共同研究で対象としたエジプトの

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

スエズ湾周辺，およびジンバブエ東部地域に本プロジェクトで開発中のリニアメント抽出法と変質鉱物特定法を適用し，亀裂分布や変質鉱物の種類と分布域を概ね明らかにできたことにより，手法の妥当性が確かめられた。このようなケーススタディの追加によって，本手法は地熱サイトに汎用的に適用可能であることを実証し，上位目標の達成に向けて貢献できたと考える。

さらに，熱水の分析では，モデル・サイトと同様にバンドン盆地周辺に分布する3地域の地熱サイトにまで対象を拡張し，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・水質の分析」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て，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画像データに適用しているところである。Landsat衛星画像の空間分解能は30m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。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た。2-2では，10シーンのALOS-PALSARデータを用いて予備解析を行ったところ，Wayang Windu地区とその周辺での地表変位の時系列変化を予察的に把握することができた。これ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。以上により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。

【平成28年度実施報告書】【170531】

## 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差分干渉 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 Saepuloh 助教を通して、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(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 Saepuloh 助教, および研究代表者の指導の下で博士号を取得した Hede 研究員を通じて使い方が習得され, すでに数十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

VIGS に関する論文は, アメリカ地球物理連合のオフィシャルジャーナルの一つであり, 地球システムにおける地球化学と地球物理の融合を扱うユニークな内容で, 定評のある *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* というインパクトファクターの高いジャーナルに掲載された。これは昨年度に引き続き成功である。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)

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や表流水の水質を明らかにする。

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

H28 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」の項目に取り組む計画であった。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対象とする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と圧力データにほぼ等しい計算結果を得ることができた。まだ初歩的な段階ではあるが, 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できるようになったが, H29 年度に精緻化する予定である。このように当初の予定通りに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, これは国際誌論文に取り纏められるほどのレベルであるので, 高い成果が得られたといえ, 論文の完成・投稿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

H28 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, 開発中の地熱貯留層シミュレーションソフトの詳細について担当学生が発表し, 実際にデモも行った。H29 年 3 月の ITB 訪問時にはこのソフトは完成しており, さらに詳細を研究代表者が説明した。H29 年度には下記の③に述べる学生の入学により, このソフトの改良と技

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

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れる見込みである。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、当初は TOUGH2 の改良を目指していたが、このテーマに取り組んだ修士学生の卓越したプログラミング力により、全く新規のソフトウェアが開発された。これによって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」

### 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 の若手教員 1 名と Star Energy 社に所属する若手技術者 2 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 H28 年 9 月 11 日(日)から 23 日(金)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 14 科目の幅広い内容を講義した。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。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、ガス組成に関する分析機器を用いた。全科目からレポート課題を課したが、全員すべての科目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 3 年間継続するので、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書いたこともあり、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。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。

【平成 28 年度実施報告書】【170531】



No.	Day	9:30-11:30	13:30-15:30	15:45-17:45
1	11 (Sun)	Arrival at Kyoto and Orientation		
2	12 (Mon)		Dr. Goto <i>Electromagnetic Geophysics</i>	Prof. Mikada <i>Seismic Geophysics</i>
3	13 (Tue)	Prof. Sakurai <i>Global Leadership</i>	Prof. Koike <i>Fundamental Geology</i>	Prof. Ishida <i>Geomechanics</i>
4	14 (Wed)	Prof. Koike <i>Remote Sensing</i>	Dr. Yamada <i>Geothermal Drilling</i>	
5	15 (Thu)	Dr. Kashiwaya <i>Geochemistry</i>	Prof. Yoneda <i>Mineralogy</i>	
6	16 (Fri)	Dr. Tenma <i>Reservoir Engineering</i>	Prof. Koike <i>Mathematical Geology</i>	
7	17 (Sat)	Trip to a Geothermal Site [Orientation of field training]		
8	18 (Sun)	Field training at a geothermal site (Hatchobaru, Kyushu)		
9	19 (Mon)	Return Trip to Kyoto (including geothermal site-visits in Beppu City)		
10	20 (Thu)	Laboratory experiments		
11	21 (Wed)	Data Analysis	Prof. Tosha <i>Social Science</i>	
12	22 (Thu)	Prof. Fujimitsu <i>Volcanology</i>	Dr. Kato <i>Geothermal Practice</i>	
13	23 (Fri)	Self study	Presentation of Learning Result	
14	24 (Sat)	Return to Indonesia		



## 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 H28 年 9 月 17 日(土)から 19 日(月)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の実習を行った。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、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、京大グループ研究員と質疑応

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

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

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 月実施の入試を経て選抜された。6 月中に文科省から最終結果が届く予定であり、承認されればこの 10 月から博士後期課程に入学する。主として、研究題目 3 の地熱貯留層シミュレーションに関する 3 つの項目を研究し、新たなシミュレーション法の開発を目指す。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。

### 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)

研究開始後 2 年 3 ヶ月が経過した現時点において、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 については初回の研修が成功裡に完了したところである。衛星画像や地形データに基づき、連続性が良く透水性の高い亀裂の抽出、貯留層から地表までの熱水やガスのパスとなる亀裂の特定、ラドンガスや水銀濃度の野外定点観測、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 ITB と協同で取り組み、徐々に成果を上げている。特に上記の亀裂の抽出と特定、リモートセンシングの環境モニタリングに関しては国際誌に論文の掲載と投稿ができるまで新規の手法を開発できた。ガスの組成分析や起源解析、熱水の化学分析については精度の高い結果を得るために当初計画を前倒しして研究を開始し、Wayang Windu 地熱【平成 28 年度実施報告書】【170531】

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予察的な結果が得られている。貯留層シミュレーションソフトウェアの開発を H29 年度にさらに進め，完成できれば，当該分野でのインパクトはある。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が的確であり，地熱科学・工学の基礎知識と基礎調査・分析技術の涵養に有効であることを実証できた。また，京大での講義・分析実習と八丁原地熱発電所周辺での野外調査に加えて，生活面でも周到にケアすることで，研修生全員が健康面でも問題なく研修期間を過ごせ，良好な成績で修了できた。研修の成功に対して，ITB の教員側からも深い謝辞が述べられた。

ラドン・水銀濃度測定に関しては，予定していた 18 箇所の表層ボーリングの実施と計測井の設置が H28 年 10 月までに完了し，定期的・継続的な測定の実施が可能になった。測定機器の不調と雨期による天候不良のため，データが取得できない期間もあったが，現在は復旧と対策が完了し，データ取得を再開できている。特にラドン濃度についてはその時間的変化に基づいて，熱水・蒸気パスの存在が推定できる領域を特定するのに有効活用できしており，これも新規性のある成果の一つである。水銀濃度に関してもデータ蓄積中であり，H29 年度には亀裂分布，ラドン濃度と組み合わせて蒸気スポット抽出に活用する。また，年間を通してのラドン・水銀濃度の定期測定によって，濃度の季節変化，特に降雨の影響の強弱を明らかにすることができ，これらのデータも濃度の真の異常地点を特定し，蒸気スポットを絞り込むのに利用できる。

地球化学的手法による調査については，H29 年 5 月（計 50 箇所）と 8 月（計 100 箇所程度）に大規模な試料収集を予定している。基本的には ITB と京大の両機関で分析を実施する。ITB への機器導入に遅延が生じていることから，分析技術の移転については，当初予定した H29 年 8・9 月から年度後半にずらす必要がある。熱水の化学分析について，熱水の起源と循環メカニズムに関する精緻化を目指し，当初予定した ITB における測定項目に加えて，ストロンチウム同位体と希ガス同位体の測定を実施できるように関連研究機関と調整中である。これらのうち，ストロンチウム同位体の測定については，予察的に採取した試料の前処理を京大側にて進めている段階である。

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と評価でき，特に軌道修正を要する点は見当たらない。植生が深い，急峻な地形であるなどの地理的制約から，現時点では 18 箇所の表層ボーリングが限界であるが，データ取得・解析を継続してみると十分ではないおそれもある。その場合は ITB と協議し，改善策を立てる。本プロジェクトの上位目標は「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。」であるが，研究代表者らが国内外における学会等の発表や企業とのヒアリングを通じて，このコスト削減を可能とする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している。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，企業等との出口連携は実現可能である。

### 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て準備を進め、本年度は研究題目 1 中の 6 つの項目、研究題目 2 の 2 つの項目、研究題目 3 の 2 つの項目、および研究題目 4 の 2 つの項目に取り組んだ。それぞれの研究活動と得られたデータ・結果は Output に直結し、第一段階としての成果が得られている。ITB でもこのプロジェクトに関わる教員の研究室を中心として、10 数名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。本プロジェクトに対する ITB の積極的な関与、協力が大きいことが特長である。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 H28 年 12 月に九大で開催された国際地球科学工学シンポジウムで発表されている。研究題目 1 に関連しては定評のある国際誌用に 3 本の論文を作成できたので（再査読中、査読中、および最終校正中）、高質の成果も順調に得られている。このようにプロジェクト全体としては順調に進んでおり、相手国側研究機関との協力は密に図られ、大きな問題はない。本プロジェクトは地熱関連分野においてまだ未解決の重要な課題に取り組んでおり、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行った工夫：**これらをも高めるためには中心協力機関である ITB と密な連携を図ることが重要である。そのため、昨年度と同様に ITB 側の主要メンバー 3 名を H28 年 12 月に京大に招聘し、打ち合わせを密に行った。また、前述の SATREPS 企画提案型プログラム「課題名：アフリカにおける地熱資源探査へのリモートセンシング応用の新展開」を実施し、アフリカへの水平展開、および秋田大学 SATREPS グループや資源探査関連研究者を交えてのリモートセンシング・ワークショップを開催し、最新技術と研究動向の情報・意見交換を図れたことも有意義であった。さらに、人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、H29 年 10 月より博士後期課程に入学する予定であることもプロジェクト発展、ITB とのさらなる連携強化に大きく貢献できる。

また、現状の問題点を改善できるように地熱貯留層シミュレーションソフトを開発できたことも工夫の一つである。開発理念と実際の地熱地区への応用結果を H28 年 10 月に郡山で開催された日本地熱学会学術講演会、および 12 月の資源・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で発表した。後者では優秀発表賞を受賞し、これはインパクトを高めることに資するものである。人材育成トレーニングでは、フィールド実習、および自分で採取した岩石や熱水のサンプルを分析した結果についてトレーニング最終日に発表会を開催したが、これによって実習内容の理解を深められ、有効な企画であった。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。また、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

【平成 28 年度実施報告書】【170531】



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。

- ・ **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**：H27年度に投入・設置した分析機器は有効に活用され、ほぼフル稼働の状況である。H28年度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んでいる。機器設置後は、今以上に機器維持管理の費用と消耗品費の確保が必須となり、そのためにITB側が継続的に競争的資金に応募し、採択されることが不可欠となる。また、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不十分なおそれがあり、分析機器の取扱に精通している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を一名雇用しており、H29年9月の地熱研修に参加し、専門技術を習得してもらう予定である。H27・28年度に得られた成果を、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課題であるが、物性値分布の最適な設定法を確立することも必要である。また、研究題目4に関して、今年度実施のトレーニングへのITB学生の関心は高く、10名の枠に対して倍の20名の応募があった。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。京大側も応募者に対する評価に加わり、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**：JICA予算による機器導入に関し、今年度は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にも大幅な遅延が発生した。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たものの概ね完了し、発送待ちの状況で、7月中には輸送が完了する見込みである。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い。機器操作方法のトレーニング等は、実試料の分析を通じて行うことで、導入の遅延分をカバーできる見通しである。また、H29年5月にITB共同研究者2名を京大に2週間ほど招聘して、関連機器の使用トレーニングを実施し、これによっても機器設置後、スムーズに分析を開始できるようになる。

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を通して民間会社にデータ提供を依頼してはいるが、まだサイトの一部での温度検層データが紙媒体で提供されたのみである。再度、提供希望のデータ種類のリストを作成し、ITB側に提出した。会社内でプロセスは進行しているので、その結果待ちの状

【平成28年度実施報告書】【170531】

況である。

研究題目 4 に関しては、当初 CGR（地下資源局）から若手研究員がこのトレーニングに参加する予定であり、人選も終わっていたが、転勤によりトレーニング実施 3 週間前にキャンセルされた。ITB と Star Energy の協力のもと、急遽 Star Energy に応募を掛けたところ、このトレーニングに参加意欲が高く、英語力も高い優秀な人材を選出することができた。ビザ取得と渡航手続きに全く余裕のない日程であったが、JICA の迅速かつ的確な協力もあって、予定の人数でトレーニングを実施できた。この急遽追加の技術者もレポートと発表のいずれも合格の評点であった。

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 5 回の ITB への訪問（4 月、5 月、8・9 月、1 月、3 月）、共同研究者の招聘（12 月）、および e-mail でのやり取りで共同研究を進展させている。8・9 月の訪問では 18 箇所の表層ボーリングを共同で実施し、これによって得られた表層地質の鉱物分析、ボーリングからのガス採取と組成の分析、およびガス中のラドンと水銀の濃度分析を始動できた。各ボーリングでは 1 ヶ月間隔でこれらの濃度分析とガス採取を繰り返し、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 H28 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。その他、昨年度に引き続き、京都大学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 などの物性の測定を継続した。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。この成果は国際誌論文に纏め終え、投稿するところである。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、ラドン濃度測定器 RAD7 と水銀濃度計が計測中にエラー表示を示したことである。年度後半は雨期に入り、その中で計測したことが原因の可能性が高い。メーカーに複数問い合わせた上で応急処置し、計測は再開でき、データの質に問題はないことは確認できたが、再発のおそれもある。降雨時の測定は避けることに合意したとともに、不意の降雨に対応できるように測定器に不透水性のカバーを被せるという工夫を行った。

また、昨年度に引き続く問題ではあるが、推定できた亀裂分布の妥当性を検証するための地下情報が不足している点である。民間企業にボーリング資料の提供依頼を継続するとともに、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などに関して技術者からの

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

ヒアリングと議論を再度実施する予定である。

- ・ **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**：前年度にも記載したことであるが、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。予算を確保し、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を進展させるのに必要である。実際、当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。また、毎回議事録を漏れなく作成し、前回の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、提言は下記の研究題目2・3・4にも共通する。

### (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「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。」に関しては、光学センサ衛星画像から従来の指標よりも植物活性を高精度で抽出できる新規の植生指標を衛星画像データに適用し、活性度の経年変化を明らかにしているところである。この指標は研究代表者とITB共同研究者によって提案され、H29年2月にアメリカ地球物理連合の一つのジャーナルに掲載された。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、ドローンによって植生分布の高精度化を図るという工夫もしている。

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。」はD-InSARソフトウェアをITBに投入し、共同研究者とその指導学生が使用法を習得した。10シーンのALOS-PALSARデータを用いて予備解析を行ったところ、モデル・サイトであるWayang Windu地区の一部で地表上昇、その北側のカルデラ周辺で沈降の傾向が現れた。H29年度は解析を本格化し、地表変位の推定を精緻化させる。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。これについても資料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**：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、GPS等の調査機器を使いこなす、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の計測も必要となるが、可視から短波長赤外域まで計測できる分光計は高価である。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「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**：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の使い方を京大側、ITB側ともに習得した。このソフトはFORTRANでプログラミングされている。長年にわたって世界的に広く利用されているが、ソースコードまで読み込むことはあまりなく、ブラックボックス的な使われ方が主流である。これでは解析の発展性が望めない

【平成28年度実施報告書】【170531】

いという問題がある。そこで、TOUGH2 での計算方法に沿ってオブジェクト指向のコードに変更し、拡張性を向上させた。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。この開発ソフトを H29 年度は ITB 側と共有し、さらに改良を加えて、貯留層の温度・圧力変化と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実行する。

- ・ 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作成、境界条件の設定等を行うので、不確実性は大きい。カウンターパートの議論の上に地下構造のイメージ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、尤もらしい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、10名の ITB 学生と1名の若手教員、および2名の Star Energy 社の若手技術者に対して、2週間の講義とフィールド実習、サンプルの室内分析、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、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、全体的な時間配分についてのアンケート調査を実施した。その結果、この研修に対して概ね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 年度は第一週は講義、第二週はフィールド実習・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。H29 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。
- ・ 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て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、宿泊、食事を含む、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。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のサポートがあった方がよい。

## IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

### (1) 成果展開事例

- 平成 28 年度 SATREPS 企画提案型プログラムに採択され、エジプトのトップ大学の一つであるタンタ大学、およびジンバブエ地質調査所と共同研究「課題名：アフリカにおける地熱資源探査へのリ  
【平成 28 年度実施報告書】【170531】



モートセンシング応用の新展開」を実施した。この詳細は企画提案の報告書に纏めている。アフリカ大地溝帯のそれぞれ北端と南端に位置するエジプト、ジンバブエを対象として地熱資源の有望地をリモートセンシング技術により抽出する手法を概ね確立し、その有望地の地質的特徴や形成メカニズムを初めて明らかにでき、学術的な意義が得られた。提案タイトルに即した成果が得られ、若手研究者の育成も図れた。また、プロジェクトでの主要技術の一つであるリモートセンシングがアフリカでも有効に活用できることを実証できたことは、実用化に向けての進展といえる。

- 平成 28 年 5 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、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リニアメント抽出・解析ソフトを研究代表者と分担者が説明した。研究代表者は従来のリニアメント抽出法のレビュー、これらと本手法の相違、抽出法の数理的基礎、結果の解釈法、広域断裂系や地熱地帯での亀裂分布の特徴に関する複数のケーススタディについて講義し、分担者はモジュールの構成と流れ、それぞれの処理内容、および使用上の注意点など、ソフトの利用法という実際の側面について解説した。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、モデル・サイトである 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。この成果は地熱科学・工学の国際誌用に論文に纏め終わったところであり、英文のチェックが済み次第、投稿できる。また、このソフト自体に関しても、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国際誌論文が再査読中であり、受理されればウェブサイトに公開し、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・技術者に使用してもらうことで、成果の社会還元が図れる。
- 前述のように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。また、この成果も国際誌論文として取り纏める予定であり、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/bagus1.html>, ITB 側 <http://bagus-satreps.fttm.itb.ac.id/>)、一般に公開している。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、H29 年 1 月に本プロジェクトのニュースレター第 1 号を発行し、5 月の JCC 以降の研究活動とその成果、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、国際会議での発表状況と反響、受賞報告などを取り纏めた。本プロジェクトに関わる研究者の所属機関、日本とインドネシアの地熱関係企業、資源探査関係の大学・学会・機関の研究グループなどに配布し、本プロジェクトを広報している。昨年度に引き続き、後述の「第 6 回 ITB 国際地熱ワークショップ」でも本プロジェクト広報用のブースを設け、当該分野の関係者数十名に対して、プロジェクトの説明を行い、ニュースレターを配布した。

また、Wayang Windu 地区で地熱発電を行っている Star Energy 社と 2 回会合をもち、H28 年 8 月から 9

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

月にかけて 18 箇所を実施し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、これらは継続中である。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実装を目指している。

10th December, 2016



## Greetings from Leaders



Following the agreements between Kyoto Univ. and Bandung Institute of Technology (ITB) by the second Joint Coordination Committee (JCC) held on 9th May 2016 at ITB, both University teams have advanced the BAGUS project during the last seven months. In addition to the daily research activities, big events in this term were (i) installation and set-up of the seven instruments at ITB (field portable spectrometer system for remote sensing, radon measurement system, mercury measurement system, gas chromatograph-thermal conductivity detector, X-ray diffraction system, scanning electron microscope system, and X-ray fluorescence analysis system) in July, (ii) implementation of shallow drillings and preliminary measurements of radon and mercury before and after the drilling in August and September, (iii) execution of two-weeks intensive geothermal course at Kyoto Univ. in September. This newsletter reports briefly these events. I am very pleased if this newsletter is useful to make known vigorous and diligent works of both University teams and hope the BAGUS project will furthermore advance towards the prime objectives of this project, detection of steam spots.

**Katsuaki Koike**

*Leader of BAGUS project  
Professor of Graduate School of Engineering, Kyoto University*

BAGUS project is an international research schemes between Institute of Technology (ITB) and Kyoto University in the field of geothermal energy development. In this partnership, I on behalf of the ITB and the people of Indonesia welcomes for this cooperation, in addition to research and transfer of technology with the installation of advanced equipment in the field of geothermal exploration and geochemistry, the cooperation is also useful in terms of developing human resources in Indonesia. For example, the training given to ITB researchers, graduate students and professionals in geothermal industry provide great benefits for the individual and also create a positive academic climate that involving academia, government and professional. Recently, most of the equipment that has been installed at ITB provides tremendous benefits for researchers, faculty members and students to conduct advanced research in particular areas of geothermal, geochemistry, remote sensing, mineralogy, hydrogeology and environmental studies.

**Sudarto Notosiswojo**

*Project Director of Indonesia team  
Professor of Faculty of Mining and Petroleum Engineering, ITB*

## V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

地球科学関係では最も伝統があり、最大規模の国際会議である万国地質会議（International Geological Congress）の第35回大会がH28年8月24日～9月4日にかけて南アフリカのケープタウン・コンベンションセンターで開催され、117ヶ国から4052名の参加があった。この中で“Energy in a Carbon Constrained World（炭素制約世界でのエネルギー）”というセッションで本プロジェクトの研究成果を紹介し、地熱資源利用に興味をもつ多くの国の参加者に本プロジェクトを宣伝することができた。また、H28年10月21・22日にベトナム国家大学で開催されたInternational Symposium Hanoi Geoengineering 2016では30分の招待講演として、“Towards specifying steam spots suitable for power generation and promoting use of geothermal resources”というタイトルで本プロジェクトの背景、目的・目標、研究構成、これまで主な成果等を発表した。参加者は200名程度であったが、ベトナム国家大学の元学長、ベトナム天然資源・環境省、メリーランド大学世界農業モニタリングセンター長、クイーンズランド大学地理・環境管理学部長などの要人もこれに含まれ、本プロジェクトに興味をもってもらえ、研究が進展することを期待された。また、会議終了後、ベトナムからe-mailにて数件の共同研究の問い合わせを受け、本プロジェクトがベトナムでの地熱資源利用促進に貢献できることが確かめられた。

さらに、H29年3月22日・23日にかけてITBキャンパスで開催され、「第6回ITB国際地熱ワークショップ」において、本プロジェクトの特別セッションが設けられ、本プロジェクトのこれまでの共同研究の成果を京大グループとITBグループのそれぞれから発表した。聴衆には世界的に著名なエネルギー資源開発企業や地熱関連企業、研究者も含まれ、特にオランダの大学と企業からの参加者が高い関心を示し、種々意見交換を行った。オランダの大学の大学院生からはぜひ共同研究に加わりたいとの問い合わせも受けた。これら3件の国際会議での発表により、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。)
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	Shoedarto, R.M., Kubo, K., Kashiwaya, K., Tada, Y., Koike, K., Sakurai, S., Iskandar, I., Heriawan, M.N., Notosiswoyo, S., and Malik, D., "Responses of H <sub>2</sub> 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, Saepuloh, A., Heriawan, M.N., and Kubo, K., "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	
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	
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。

論文数 8 件  
うち国内誌 0 件  
うち国際誌 8 件  
公開すべきでない論文 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。)
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	
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.	10.1117/12.2194886	国際誌	発表済	

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	出版済み	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	出版済み	
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	出版済み	

論文数	6件
うち国内誌	0件
うち国際誌	6件
公開すべきでない論文	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。

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
H28年度	国際学会	Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Shigeki Sakurai <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Nenny Miryani Saptadji <sup>2</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Asep Saepuloh <sup>2</sup> , and Budi Sulistijo <sup>2</sup> , "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. [1: 京都大学, 2: バンドン工科大学(ITB), 以下同じ]	招待講演
H28年度	国際学会	Koike, K. <sup>1</sup> , Kubo, K. <sup>1</sup> , Kashiwaya, K. <sup>1</sup> , Tada, Y. <sup>1</sup> , Sakurai, S. <sup>1</sup> , Iskandar, I. <sup>2</sup> , Saepuloh, A. <sup>2</sup> , Heriawan, M.N. <sup>2</sup> , Notosiswoyo, S. <sup>2</sup> , Masoud, A.A. <sup>3</sup> , "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 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・柏谷公希 <sup>1</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Asep Saepuloh <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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. <sup>1</sup> , Kubo, K. <sup>1</sup> , Kashiwaya, K. <sup>1</sup> , Tada, Y. <sup>1</sup> , Koike, K. <sup>1</sup> , Sakurai, S. <sup>1</sup> , Iskandar, I. <sup>2</sup> , Heriawan, M.N. <sup>2</sup> , Notosiswoyo, S. <sup>2</sup> , and Malik, D. <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> ・北村将悟 <sup>1</sup> ・高橋貫太 <sup>1</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> , "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
H27年度	国内学会	久保大樹 <sup>1</sup> ・高橋貫太 <sup>1</sup> ・柏谷公希 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> ・Asep Saepuloh <sup>2</sup> , "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 <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , "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 <sup>2</sup> , Cipto Purnandi <sup>2</sup> , Andre Putra Arifin <sup>2</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> ・北村将悟 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・内倉里沙 <sup>1</sup> ・Iskandar Irwan <sup>2</sup> ・Heriawan Mohamad Nur <sup>2</sup> ・Saepuloh Asep <sup>2</sup> ・高橋貫太 <sup>1</sup> ・柏谷公希 <sup>1</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> , "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
H26年度	国際学会	Arie Naftali Hawu Hede <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Shigeki Sakurai <sup>1</sup> , "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.	口頭発表

招待講演	1 件
口頭発表	5 件
ポスター発表	4 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
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
H27年度	国内学会	久保大樹・高橋貴太・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

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	国内学会	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	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

招待講演	3 件
口頭発表	18 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            件  
 公開すべきでない特許出願数            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            件  
 公開すべきでない特許出願数            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
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	Riostantioka 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	
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	
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	

5 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

以下でITBはバンドン工科大学を意味する。

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)	概要
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	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	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
H26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	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	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)	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	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	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などについて議論
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	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	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	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の立案
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)	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)	本プロジェクトの概要紹介, およびITB側リーダーのSudarto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
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)	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)	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29日	研究打ち合わせ会議	三菱マテリアル(株)本社	7名	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	バンドン工科大学	14名	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	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	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	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

19 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
----	-----	----	------	----

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	次年度に引き続き, 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。
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	ITB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。

2 件

【要人との面会実績】

面会日: 平成26年8月25日 Surono博士, 26日 Akhmaloka教授, 28日 Djoko Santoso教授

コメント概要: 中心協力機関であるITBの学長(Akhmaloka教授), および政府関係では国家教育省の高等教育総局長(Djoko Santoso教授)とエネルギー・鉱物資源省・地質庁長(Surono博士)から本プロジェクト立案に対する謝意が述べられ, 本プロジェクトの成果がインドネシアにおける地熱発電の大幅な促進に貢献できることが期待された。

# JST成果目標シート

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: <b>先進的地熱資源利用システム</b>
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5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"> <li>・グリーンイノベーションの推進</li> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・「2国間炭素クレジット」のスキームの推進</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地熱発電適地検出精度の画期的向上</li> <li>・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)</li> <li>・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</li> </ul>
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"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・地熱エネルギー産出の最適化システム設計技術</li> </ul>
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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)</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul>
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"> <li>・研究成果の国際的地熱シンポジウム等での発表</li> <li>・地熱に関する国際ジャーナルへの論文掲載</li> <li>・地熱エネルギー産出の最適化プログラム</li> <li>・貯留層の温度と圧力変化予測プログラム</li> <li>・地熱発電適地検出法とプログラムのマニュアル</li> </ul>

## 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。

