

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27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 に記載の協力期間 (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=R/D に記載の協力期間終了日又は当該年度末

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サ性評価			←	→*		
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			↔	↔	↔	↔

\*京都大学に導入したラドン濃度計測器を用いることで、野外調査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)

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

特に該当する事項は無い。

## 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。

今年度は京都大学に導入したラドン濃度測定器 RAD7 を用いて、地熱兆候地におけるラドン濃度と熱水上昇亀裂との位置的な関連性を検討するとともに、本プロジェクト遂行に不可欠となる最先端機器とソフトウェア類を ITB に導入した。

地熱モデル・サイトであるインドネシア西ジャワ州 Wayang Windu 地区に加えて、国内の検証サイトとして昨年度選定した岩手県西部の安比地区において、昨年度に引き続いてリニアメント解析を進展させ、これに加えて平成 27 年 10 月にラドンガス測定を実施した。ラドンガス測定は、安比地区における明瞭な地熱兆候の一つである安比温泉とそこに至るまでのルート上の計 9 点 (AP1～AP9) で行った (図 1)。安比温泉周辺では、レーダ画像と航空写真の判読により複数のリニアメントの存在が確認されている (三菱マテリアル株式会社「平成 12・13・14・15 年度地熱開発促進調査 安比地域資源評価報告書」)。

安比地区でのラドンガス測定結果は、1000 Bq/m<sup>3</sup> 程度の比較的高い濃度が時間とともに大きく減少

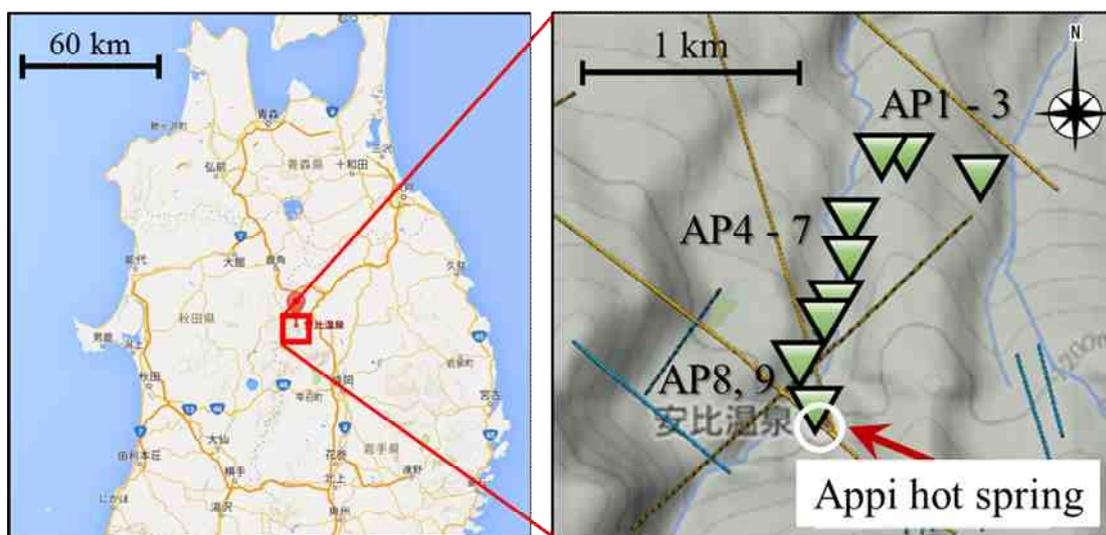


図 1 安比地区におけるラドンガス測点 (右図の逆三角が測点位置、黄色と青の実線は資料記載のリニアメントを表す)

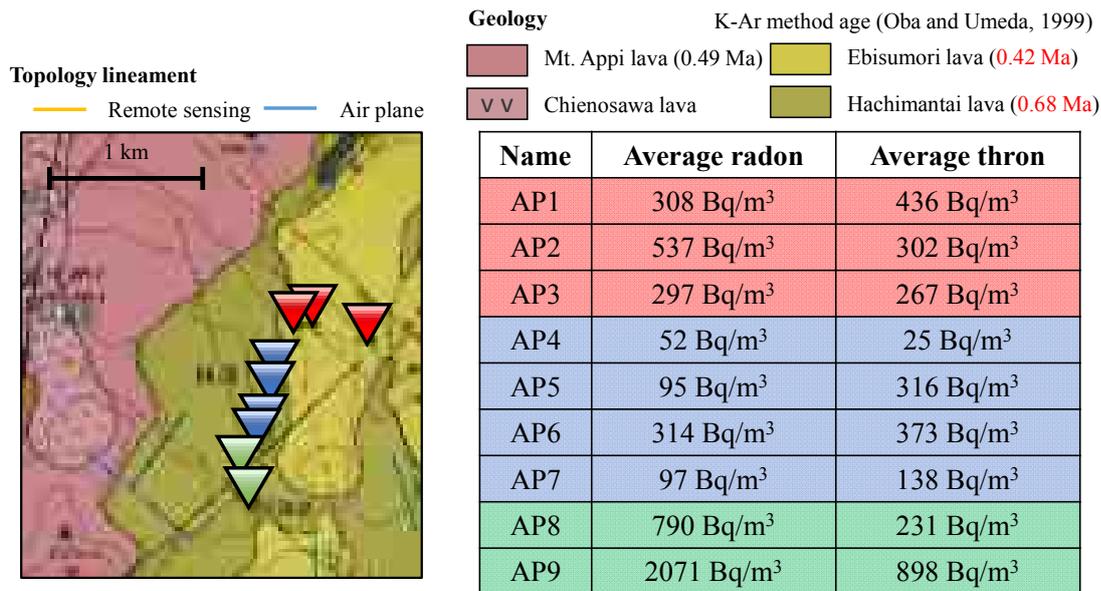


図2 各測点におけるラドン・トロン濃度の平均値および表層地質の分布

する区域 (AP1~AP3), 500 Bq/m<sup>3</sup> 以下の低濃度の区域 (AP4~AP7), および 1000 Bq/m<sup>3</sup> 程度の比較的高い濃度がある継続する AP8・AP9 と, 3つの区域に分類することができた (図2)。AP8・AP9 周辺は, 地形判読によるリニアメントが集中する区域であり (図1右), これらが熱水パスの機能を有し, 熱水起源の蒸気がキャリアガスとしてラドン濃度を増加させていると考えられる。AP1~AP3 と AP4~AP7 においては深部からのガスの供給はなく, 測定値の傾向の違いは, 表層地質の違いによるものと考えられる。

また, 平成27年度9月に Wayang Windu 地区において, バンドン工科大学 (以下 ITB と略す) のメンバー, 共同研究機関の一つである Star Energy 社の若手技術者とともにラドンガス測定を行った。測定は, 噴気や温泉など明瞭な地熱兆候が確認できる計6点 (WW1~WW6) で実施した (図3)。Wayang Windu 地区では, WW2 と WW6 を除いた測点で, 4000~30,000 Bq/m<sup>3</sup> 程度の極めて高い濃度が得られた。これらの測点では, 活発な噴気や高温の湧水など明瞭な地熱兆候が確認でき, 深部からの蒸気や熱水の上昇があると考えられる。実際, これらの測点は, ボーリング調査に基づく推定断層上に位置する。WW2 についても, Wayang Windu 地区の他測点と比較すると低い濃度ではあるが, 500 Bq/m<sup>3</sup> 程度の濃度を示し時間的な減少がないことから, ラドンガスが定常的に供給されていると考えられる。また, WW2 と WW4 ではトロンが約 2000~5000 Bq/m<sup>3</sup> と高い濃度を示す。よって, これらの測点では, 他の測点とはガスの供給源が異なる可能性がある。

以上のように, 地熱兆候が認められる日本とインドネシアの2地区においてラドンガス測定を実施し, 得られたラドン濃度の時空間変化と地質情報から, 熱水上昇亀裂に対応すると推定されるリニアメント, およびガスの供給源の相違が見出された。これらは, 本プロジェクトの目標である地下深部の地熱系, 特に蒸気スポットの存在を地表探査から推定するための基礎情報になると考えられる。

さらに, 前年度から継続しているデジタル地形データ (Digital Elevation Model : 以下 DEM と略す) を用いたリニアメント解析については, 解析プログラムの開発を行った (図4)。本プログラムは, パラメータ変更や解析結果の出力の簡略化など高いユーザビリティの実現, および計算アルゴリズムとソ

【平成27年度実施報告書】【160531】



### Measurement points

- WW1 : Kawah Wayang (CF)
- WW2 : Sukaratu(HS)
- WW3 : Kawah Windu (CF)
- WW4 : Kawah Burung (CF)
- WW5 : Cibolang (HS)
- WW6 : Kertamanah (HS)
- ※ CF : Crater with Fumarole
- HS : Hot Spring

出典: google map

図3 Wayang Windu 地区におけるラドンガス測点

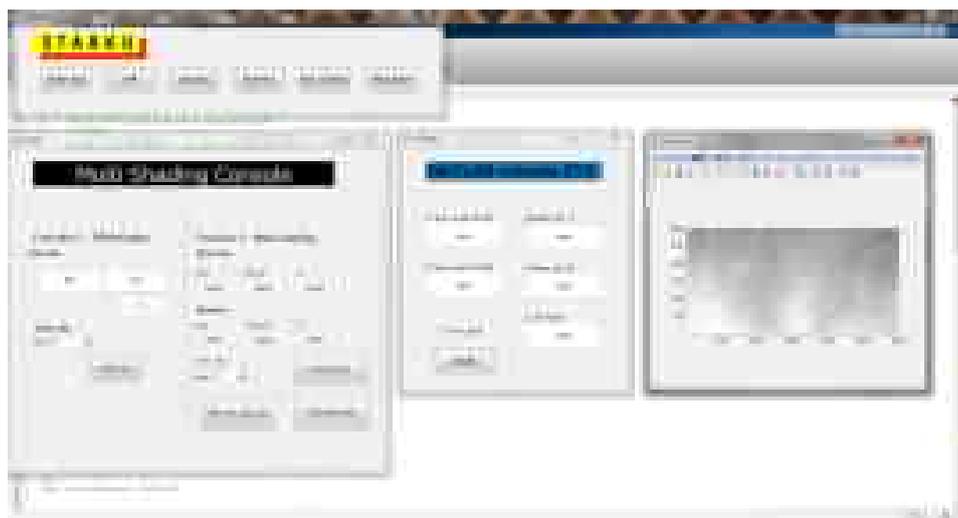


図4 リニアメント解析プログラムのパラメータ入力画面

ースコードの整理による拡張性の向上を目指したものである。これにより、地形的特徴や解析データの種類に合わせたパラメータの検討、他種の測定データとの比較を迅速かつ容易に行うことが可能となった。Wayang Windu 地区を対象に、本プログラムを用いて解析を行った結果を図5に示す。図5右がリニアメント抽出結果であり、図5左はボックスカウンティングによるリニアメント密度マップを表す。密度マップに、現地を確認されている噴気帯や温泉などの地熱兆候の分布を重ねると、その多くがリニアメントの密集帯と対応していることがわかる。このようなリニアメントが集中する領域では、熱水や蒸気など熱流体のパスとなる亀裂が存在する可能性が高いと考えられ、これを特定することが地熱発電のための生産井の配置に適した蒸気スポット抽出に貢献すると期待できる。今後は、リモートセンシングや広域地表調査などの結果と組み合わせることで、実際の地熱系との対応の検証や推定精度の向上を図っていく。

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

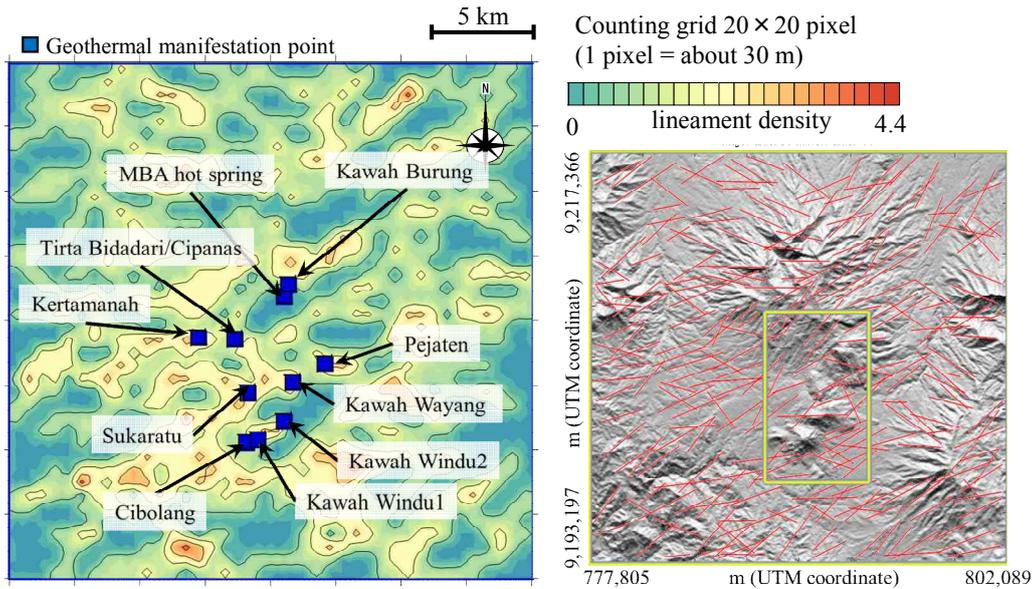


図5 Wayang Windu 地区でのリニアメント解析プログラムによる解析結果（左：リニアメント密度マップと地熱兆候点の分布，右：多方位 DEM 陰影図から抽出されたリニアメントの分布）

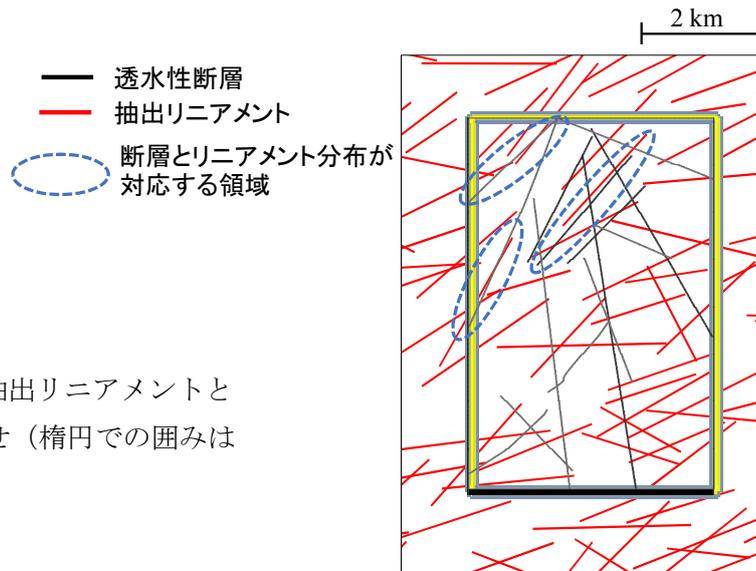


図6 Wayang Windu 地区での抽出リニアメントと透水性断層分布の重ね合わせ（楕円での囲みは両者が対応する領域を表す）

また、地形判読やボーリング調査によって分布が推定されている透水性断層と抽出されたリニアメントを重ねると、北東-南西走向の断層と特に良い対応が見出された（図6）。透水性断層は地熱貯留層の形成に寄与する要素であり、これを DEM データなどの広域情報から簡便かつ精度良く抽出することができれば、蒸気スポット検出に大きく貢献できる。一方で、上記のリニアメント解析法には、大規模亀裂に関連したリニアメントが抽出されにくく、微細な地形変化を捉えることで誤検出されるリニアメントが多いという問題点がある。そのため DEM を平滑化し、空間分解能を低下させることでリニアメントを抽出し、これと元の DEM からの抽出リニアメントと重ね合わせることで、大規模と小規模リニアメントの両方の抽出を可能にするという改良も進行中である。改良による推定亀裂面は、従来よりも高温域の位置や地温の谷構造などと良く対応することが確かめられた。以上の成果の一部は、平成 27 年度 3 月に ITB で開催された第 5 回国際地熱ワークショップにおいて、久保研究員により報告された。

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

さらに、平成 27 年 12 月 1 日から 5 日にかけて、柏谷助教と多田研究員が ITB を訪問し、今年度における機器導入に関する詳細な打ち合わせを行った。輸出入に関する諸手続きに要する期間等を勘案した結果、今年度日本から ITB へ導入する 7 機種は平成 28 年 5 月にインドネシアへ到着、順次 ITB へ移送されることとなった。また、この時期までに ITB 側の研究室インフラを整備し、「X 線・電子顕微鏡室」、「ガスクロマトグラフ・同位体比質量分析計室」、「クリーンルーム・微量元素分析室」、「水試料測定室」を設けることに合意した。

## (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 の研究のねらい

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。

### ②研究題目 1 の研究実施方法

- 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 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

上記 1-1・1-2・1-3・1-6 は PDM と PO の活動（Activity）に対応しており、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。」に対して、前述の結果のように 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は貢献できたと考えられる。また、1-3 については当初の計画を前倒しして研究を進め、Wayang Windu 地区における高濃度ラドンの分布域と、連続性の良い亀裂に対応するリニアメントとの関連性を予察的に明らかにすることができた。一方で、亀裂に関連した地形的特徴の特定による亀裂起源リニアメントの抽出精度の向上、長さや方向・地形的特徴に基づくリニアメントの透水性の評価、これに基づく高透水性亀裂分布の抽出精度と熱水・蒸気パスの特定が継続課題である。平成 28 年度はこれに傾注する。この課題を解決した研究はこれまでないので、実行できれば本プロジェクトの成果のインパクトは強い。また、リモートセンシング解析の現地検証用データとして、安比と Wayang Windu 地区から採取した岩石試料の鉱物組成を XRD により分析中である。両地区では今年度、衛星画像分析技術により熱水変質帯の検出に関して、まだ精度は低いものの有効な手法が見出せたので、現地検証データとの対比により高精度の検出技術が確立できることが見通しである。

上記 1-4・1-5・1-6・1-7 で用いる機器類のうち 7 機種については、インドネシア国への輸送が完了しており、今後同国内の輸送・据付を経て使用を開始する。残り 5 機種については現在日本国において調

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

達準備中である。

#### ④研究題目1のカウンターパートへの技術移転の状況

地形データの陰影処理によって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しては、平成27年度末の研究代表者と久保研究員のITB訪問時に技術移転の講習会を実施した。また、後述するITBからの招聘研究者を通して、地下水や熱水に含まれている化学成分の濃度を高精度に分析できる技術、水質の空間分布を明らかにするデータ解析法、光学センサ画像の反射スペクトルデータ分析による熱水変質帯と鉱物名の特定、および合成開口レーダ画像の後方散乱強度の特徴による地表粗度の推定と噴気帯の検出を可能にする技術を移転できた。

#### ⑤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

平成27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と共同研究「課題名：タンタ大学との協同によるアフリカでの地熱発電促進に向けてのイニシアティブ」を実施した。この詳細は企画提案\_結果報告書に纏めているが、研究代表者と長年にわたる共同研究の実績のあるタンタ大学の教授、およびその教え子である若手教員の2名を3ヶ月間招聘した。この滞在期間とITB側からの若手教員の研修期間を重ねることにより、タンタ大学は地質情報のGIS解析、ITBは地熱兆候抽出へのリモートセンシングの応用というそれぞれが得意とする分野の先端的研究の情報共有を図ることができ、研究視野の拡大と研究力向上に貢献できた。京都大学側では地質構造と熱物性との関係に関する理解を深めることができた。日本-インドネシア-エジプト間での共同研究の着手は新たな展開である。また、タンタ大学の若手教員は帰国後、博士後期課程に入学し、博士号取得を目指して上記課題の研究を継続、発展させている。

### (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の研究のねらい

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。

#### ②研究題目2の研究実施方法

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。

#### ③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

汎用衛星画像解析とD-InSARに関するソフトウェアをITBに導入した。前者のENVIに関してはITB側でも使い方を習得でき、これは2-1の活動に有効に利用されている。2-2に関しては京大側も同じD-InSARソフトウェアを導入し、ITBと同様に使い方をマスターしているところである。2-1は光学センサ画像の複数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Wayang Windu地熱地区のLandsat 8 OLI画像データに適用しているところである。VIGSは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よりも精度が高いことを実証できたいので、インパクトは強い。この成果で達成状況は良好と判断できる。平成28年度は長期にわたるLandsat 7と8画像データに適用し、植物活性度の時間-空間変化を明らかにするとともに、表流水の水質、特

【平成27年度実施報告書】【160531】

に降雨量とは連動しない異常な水量低下、濁度の変化などを明らかにするための手法を開発する。

#### ④研究題目2のカウンターパートへの技術移転の状況

平成28年1月6日から27日にかけて、Saepuloh 助教に対し、京都大学において「Remote Sensing and Geothermics (リモートセンシングと地球熱学)」に関する研修を実施した。これにより、光学センサ画像と SAR 画像の利用による地熱兆候地の検出に関するデータ解析技術を深化させることができた。

リモートセンシング技術の基礎研究に不可欠となる分光反射率測定機器として、野外での使用を想定した携帯型分光放射計 FieldSpec4 を導入し、他の分析機器と併せて ITB へ輸送中である。また、同装置の操作に習熟した、リモートセンシング技術の専門家である Arie Naftali Hawu Hede 氏 (Doctor of Engineering) が新たにプロジェクトメンバーに加わったことで、Saepuloh 助教と共に ITB 側における同技術の展開と教育を強力に推進できる体制が整った。

#### ⑤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、リモートセンシング分野では最もインパクトファクターの高いジャーナルである *Remote Sensing of Environment* に掲載された。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といえる。

### (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の研究のねらい

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。

#### ②研究題目3の研究実施方法

- 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。

#### ③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

この題目は平成28年度に開始するので本年度は準備期間であり、研究のコアとなる地熱貯留層シミュレーションソフトウェア TOUGH2 を京都大学と ITB の両方に導入し、使い方の習得に重点を置いた。また、TOUGH2 を用いて、Wayang Windu 地熱地区の地温・圧力分布と熱水流動を明らかにするために、地質構造、水理物性分布、熱と水の移動に対する境界条件の設定法などに関して ITB 共同研究者と情報交換を行い、適切な計算モデルの構築を進めているところである。

#### ④研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

久保研究員と京都大学の大学院修士学生が平成27年度末に ITB を訪問し、TOUGH2 を用いた地熱貯留層シミュレーションに見出される問題点に関しての情報交換を行った。計算モデルに必要な地質構造に関し、点在するボーリングデータから補間操作と存在確率を組み合わせることで3次元の地質構造を推定するという研究代表者らが開発した手法 (OPTSIM) を紹介した。これを実際、Heriawan 准教授の学生が研究に用い、地熱地帯のように、火山岩の貫入や断層を伴う複雑な地質構造にも適用できることが明らかになった。

【平成27年度実施報告書】【160531】

⑤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

TOUGH2の利用を通して、京都大学とITBとの学生間の交流が萌芽したことが新たな展開である。ITBへの訪問によって、京大学生が地熱研究への興味をさらに深められたのが良い効果といえる。

#### (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の研究のねらい

地熱科学技術に携わるITB研究者・学生の能力が向上する。

②研究題目4の研究実施方法

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。

③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、Star Energy社、CGR（地質資源センター）にそれぞれ所属する研究者3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最先端研究者による研修を平成28年9月11日(日)から23日(金)の期間に実施することを決定した。本研修では、地球熱学と地熱工学の基礎、地熱開発に関する基礎、地球物理・化学と鉱物学を駆使した地熱資源探査法、地質構造のモデリング法、発電の維持・管理、地熱発電所建設のためのコミュニティーとの合意形成に必要な社会科学、世界で活躍できる技術者として内面を磨くグローバルリーダー養成学という地熱科学・工学全般を網羅した座学のほか、研究代表者の研究室に設えた機器類、および自作・市販のソフトウェアを用いて実習を行う。また、日本国内最大の地熱発電所がある九州中部の八丁原地熱地域において、野外実習を実施する。

ITBとの議論に基づき、座学科目を下記のように確定した。各講義は2時間であり、講義内容の復習と知識の定着のためにレポートを課す。括弧内は各講義の担当者を表す。

- Geomechanics（京都大・石田）
- Fundamental Geology（京都大・小池）
- Remote Sensing（京都大・小池）
- Seismic Geophysics（京都大・三ヶ田）
- Electromagnetic Geophysics（京都大・後藤）
- Geothermal Drilling（海洋研究開発機構・山田）
- Geochemistry（京都大・柏谷）
- Mineralogy（山の手博物館・米田）
- Reservoir Engineering（産業技術総合研究所・天満）
- Mathematical Geology（京都大・小池）
- Volcanology（九州大・藤光）
- Geothermal Practice（三菱マテリアル・加藤）

【平成27年度実施報告書】【160531】

- Social Science (熊本大・當舎)
- Global Leadership (京都大・櫻井)

また、野外実習では八丁原地熱地域において、地質構造と変質帯の分布、変質帯を構成する鉱物、噴気帯の分布と断層との関連、泥プールの水質などに関する調査を行い、岩石と熱水のサンプルも取得する。このサンプルを使って京大内で XRD による鉱物組成、XRF による元素分析、放射分光計による反射スペクトル測定、および定量分析による水質組成などの室内分析を実施する。これらの結果をトレーニング最終日に発表する。座学のレポート評点と発表点を併せて、ITB 側は成績を評価する。

このトレーニングには ITB の大学院修士学生 10 名（水理地質学科 2 名、地質学科 1 名、地熱学科 4 名、鉱山工学科 3 名）と若手研究者 3 名（ITB, Star Energy 社, CGR より各 1 名）が選定された。

これとは別に、人材育成に関して下記の活動を行った。

- ・平成 27 年 9 月 18 日に研究代表者が ITB の 50 名の学部生と大学院生に「Advanced combinations of remote sensing and mathematical geology to detecting earth resources-related structures and properties」と題する 2 時間の特別講義を実施した。
- ・平成 27 年 9 月 16・17・23 日の 3 日間にかけて、研究代表者（16・17 日のみ）と久保研究員が ITB 学生数名と Star Energy 社の研究員を引率し、Wayang Windu 地区のラドン探査を実施した。これに加えて、久保研究員が ITB 学生に対してリニアメント抽出法に関する技術指導を行った。
- ・平成 27 年 12 月 8 日に ITB の Notosiswojo 教授が京都大学桂キャンパスにて、インドネシアの地熱資源の利用状況と今後の動向に関する 2 時間の特別講演を、京都大学の 30 名の学生に対して実施した。
- ・平成 28 年 2 月 22 日から 24 日にかけてスタンフォード大学で開催された第 41 回スタンフォード地熱ワークショップに、ITB の Iskandar 助教と Saepuloh 助教が参加し、本プロジェクトに関する成果を発表した。アメリカで開催されるレベルの高い地熱国際会議にて、しかも口頭で発表するのは両者にとって始めの経験であり、研究力向上に有用であったと考える。

#### ④研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

平成 27 年 10 月 4 日から 30 日にかけて、ITB の Iskandar 助教を京都大学に招聘し、「Water Chemistry and Isotope Hydrology（水質化学と同位体水文学）」の研修を実施した。研修では、Wayang Windu 地区周辺の広範囲から取得した地下水の水質データの解析、および X 線回折により同定した Wayang Windu 地区岩石試料の鉱物組成と水質との関連性評価に関する技術の習得に重点を置いた。また、京都市北区の総合地球環境学研究所において、導入を検討している機器と同型機の運用状況を見学し、ITB におけるインフラ整備と継続的な機器運用に関する知識を身に付けた。

平成 27 年 12 月 1 日から 5 日にかけて、柏谷助教と多田研究員が ITB を訪問し、継続的な機器運用に関して必要となる実験設備と諸経費等について助言した。ITB においても高額機器を運用している他部署を見学したが、いずれもランニングコストの確保に苦勞しており、本プロジェクトにおいても重要な課題であることを認識した。

#### ⑤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

ITB からの留学生が、京都大学大学院工学研究科に SATREPS 奨学生（研究生）として H27 年 10 月 1

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

日に留学開始し、2月の入学試験を経て、平成28年4月入学に合格した。H27年12月に九州大学で開催された地球科学工学国際シンポジウムにて、この学生が本プロジェクトに関連のある内容で口頭発表したところ、最優秀発表賞を受賞した。また、Star Energy 社側で本プロジェクトの主要共同研究者でもある若手技術者（ITB 出身）が、本プロジェクトを契機としてさらに研究を深めたく、研究代表者のところに博士後期課程入学を希望している。このように本プロジェクトが ITB 関連の若手人材育成に想定以上に波及しつつある。

## (6) 研究代表者所感

ITB 側の本プロジェクトへの積極的で真摯な取り組みで、研究代表者らが予想していた以上の ITB の学生が本プロジェクトに関連した研究に取り組んでいる。プロジェクトの正式発足から1年経過の短さにもかかわらず、前述の第5回 ITB 国際地熱ワークショップでは大学院修士課程6名の学生が英語で成果を発表し、その倍程度の学生が本プロジェクトに携わっている。Star Energy でも3名の技術者から、現地計測やデータ解析・解釈に関して協力を得ている。これらの学生と技術者、および ITB の若手研究者と日本側研究チーム、研究代表者グループの大学院生との研究交流を通じて、英語力、原位置計測やデータ解析に関する技術力が共に向上しているのがわかる。

このように地熱資源開発分野に貢献できる若手人材の育成に、本プロジェクトは予想以上に貢献しつつあると感じる。学際的な共同研究の推進により、ITB の若手教員と地熱グループの大学院生の研究力・コミュニケーション力の一層の向上と人材育成を図る。

## 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1年3ヶ月間が経過した現時点では研究題目1の4項目、題目2の1項目、題目4の2項目を進めているところであり、衛星画像あるいは地形データから連続性が良く透水性の高い亀裂の抽出、および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、および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てリモートセンシング技術の開発に取り組んでいる。ラドン濃度を利用した地殻ガス探査は、機器の性能チェック、および熱水・蒸気パス検出への有用性評価のために、予定を前倒しで研究を開始した。題目4の人材育成に関しては ITB との協議の上、カリキュラムを構築でき、プログラムを編成できた。また、このトレーニング・プログラムの参加に適した人材の選出プロセスと評価基準も確立できた。平成28年9月のトレーニング実施によって題目4のアウトプット「インドネシアにおける地熱開発を担える人材の育成」の実現に一步近づくと考える。

前年度と今年度の研究により、安比と Wayang Windu という2つの地熱地区を対象とした解析によって、貯留層と連続し、熱水の上昇によって高温域形成の要因となっているような亀裂を、多方位 DEM 陰影という地形データのリニアメント解析によって抽出できる可能性が高いことがわかった。しかも、高濃度ラドンの分布域と、連続性の良い亀裂に対応するリニアメントとの関連性を予察的に明らかにすることができた。しかし、亀裂に関連した地形的特徴の特定がまだ不十分であり、亀裂起源リニアメントの抽出精度の向上、長さや方向・地形的特徴に基づくリニアメントの透水性の評価、これに基づく高透水性亀裂分布の抽出精度と熱水・蒸気パスの特定が次年度の重要課題である。光学センサ衛星画像か

【平成27年度実施報告書】【160531】

ら熱水変質鉱物帯の抽出と鉱物名の同定も精度的に不十分である。変質鉱物の反射スペクトルを教師データとして画像分類で考慮すること、2種類以上の鉱物の反射スペクトルを分離できる手法を確立することが課題である。地熱モデル・サイトをケーススタディとして、これらの課題解決に取り組むことで、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、まずはリモートセンシング技術の面で貢献する。また、研究題目2・3の活動に掲げた項目をPO通りに実施することで、各題目のアウトプットを達成できるものと考えられる。

現時点では軌道修正が必要な点はない。上記のリモートセンシング技術によって、平成27年度にはWayang Windu地区から連続性が良く透水性が高い亀裂を抽出する。この亀裂周辺域で深度5m程度のボーリングを30地点ほど掘削し、ボーリング孔からの地殻ガスのサンプリングと分析、ボーリングコアの土壌や岩石の構成鉱物の分析を平成28年度から実施する。Wayang Windu地区は広範囲であり、急勾配で植生が密集している箇所も多く、沼地も点在するのでアクセスできる場所が限られている。平成28年3月に、リニアメント解析結果や既存の断層分布資料に基づき、断層の交差点を重視して30のボーリング候補地点を選定した。30地点あればデータ間の空間的相関構造を考慮する地球統計学（geostatistics）が適用でき、各地点の離散的なデータからWayang Windu地区全体での蒸気スポット存在可能性評価マップを作成することができ、活動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」を実現できるようになる。Star Energy社の協力のもとにITBの共同研究者が、これらの候補地点へのアクセス可否と掘削可能性について現在調査中であるが、変更が必要な候補地も分かってきている。また、表層が風化土壌のみで岩塊の混入が少ない場合に深度10mまでは掘削できる簡易ボーリングマシンをITB側で用意しているが、Wayang Windu地区で予定の深度5mまでこのマシンで掘削できるか、地下水の湧出がないか、という掘削の懸念もある。これらのボーリング候補地点の選定と掘削可能性が留意点である。

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、前年度と本年度、地熱開発に関わる国内外企業とのヒアリングを通して、このコスト削減が極めて重要であり、本プロジェクトで開発を目指す地熱発電適地抽出技術が強く望まれていることが確かめられた。よって成果の社会的なインパクトは強いものと思われる。本技術は活火山を有する国の地熱資源利用促進に適用できるので、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、本年度は研究題目1中の3つの項目、研究題目2の1つの項目、および研究題目4の2つの項目に取り組んだ。それぞれにOutputに直結し、第一段階としての成果が得られている。他の項目についても前倒し的に準備しており、例えば研究題目3では貯留層シミュレーションソフトをJST予算で購入し、国内の地熱サイト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でいる。このソフトはITBに今年度投入した【平成27年度実施報告書】【160531】

ものであり、この研究に携わる大学院生を ITB に派遣することで、情報交換を行い、解析精度を向上させるための手法について議論した。また、研究資料・文献の収集、一部の機器の購入・セッティングと予備実験、および先端的な専門研究者からのヒアリングと情報交換を行っている。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ており、問題はない。

- ・ **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：** これらが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、ITB 側の若手教員（助教）2 名を平成 27 年 10 月と平成 28 年 1 月にそれぞれ一ヶ月間、京都大学に招聘し、機器の取扱に関する研修と共同研究を実施した。対象者は共同研究者の中で要となる優秀な人材である。この招聘により、本研究の核の一つであるリモートセンシング技術、電子顕微鏡を利用した熱水変質鉱物の観察・化学組成の分析技術、および水質分析技術の早期修得を目指した。使用する機器は研究代表者の実験室に設置しており、JICA 予算によりインドネシア側に投入する機器と同様の性能を有する。修得技術、および共同研究の実施内容・成果を ITB に持ち帰ることで、カウンターパートや学生に本プロジェクトの研究内容を正確に伝えられ、5 年間という限られた期間の中で共同研究を潤滑に開始でき、プロジェクト目標への達成に貢献できることが期待される。また、この 2 名ともに平成 28 年 2 月に開催され、地熱国際会議として伝統があり格式の高い第 41 回スタンフォード地熱ワークショップで成果を発表した。本プロジェクトを主要な地熱研究者に紹介することができた点でインパクトを強められ、またこのような国際会議で口頭発表できたという点で ITB の研究の持続性が高められたと考える。
- ・ **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：** 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、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 側が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。地熱地区サイトでの測定を支障なく実施できるとともに、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。
- ・ **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、日本国内調達は平成 27 年 12 月までに完了したものの、インドネシア国内における法令改正の影響から、輸出入・免税手続きに関して大幅な遅れが生じた。この遅延を予測し、輸送機器類を日本国内において保管していたため、本案件では時間的損失以外の影響は出ていない。手続きは平成 28 年 5 月 9 日にほぼ完了し、機器類は翌 10 日にジャカルタ港に到着した。次年度は、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ることで、同様の遅延を最小限に止める予定である。

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**：3ヶ月間隔での ITB への訪問（6月、9月、12月、3月）、共同研究者の招聘（10月、12月、1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。昨年度に引き続き、京都大学グループは衛星リモートセンシング画像と地形の解析を主に担当しているのに対し、ITB グループは Wayang Windu 地熱地区での噴気帯における岩石試料のサンプリングとその鉱物学的分析、当地区を対象とした既存の地質調査資料の収集と資料記載データの解析、および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の習得とその Wayang Windu 地区への応用、抽出精度の向上に取り組んでいる。これ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の確立を両グループで目指している。
- ・ 問題点としては、下記の2つの活動（Activity）に関し、得られた結果を検証するための地下情報の量と精度が不足している点である。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、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、Star Energy 社の技術者からヒアリングし、これらの基準と推定法の妥当性を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。
- ・ **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。e-mail では先方への依頼が忘れられるリスクもある。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、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た。また、毎回議事録を漏れなく作成し、前回の合意事項を次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 「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、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 月に取得した ITB からの留学生（現 ITB 教員で本プロジェクトの研究メンバー）を軸として解析を進めている。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指標を博士研究で開発し、これを応用しているところである。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。」は平成 28 年度後期から研究開始予定であるが、その準備として D-InSAR ソフトウェアを ITB に投入し、  
【平成 27 年度実施報告書】【160531】

共同研究者と学生が動作法の習得に取り組んでいる。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するための現地調査資料を取得できていないことである。これについても Star Energy 社に資料提供依頼を継続する。

#### (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」

- ・ **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**：この研究題目は平成28年度に開始するので、本年度はその準備期間として貯留層シミュレーションソフト TOUGH2 を京大側と ITB 側の両方に導入し、京大側は国内の地熱サイト、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でいる。互いに概ねソフトの使い方を習得できた状況である。しかし、初期条件や境界条件、物性の設定によっては計算結果が収束しないなどの問題も多い。この問題点の共有と計算結果の精度向上を図るために、上記のように、この研究に携わる大学院生を ITB に派遣した。これによって、既存のソフトでは対応できない物理条件が見出せ、基礎理論式の拡張や物性の最適設定法などの新規の研究テーマを創出できた。これらの課題克服を目指して平成28年度より本格的に取り組んで行く。

#### (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**：PO 通りに人材育成トレーニングのカリキュラム設計と参加する ITB 学生・若手研究者の選定を行えた。ITB 学生は10名の枠に対して倍の20名の応募があり、モチベーションが高く、成績が優秀で英語力も高い学生を確保できた。このトレーニングは平成28年9月に実施するので、これが成功すれば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。」に近づく。実施時に講義の内容、講義構成、レポート課題の内容や評価法、フィールド実習の内容や時間配分などに問題が見付かれば、平成29年度の継続実施に向けてこれらを改善して行く。また、トレーニング参加者にアンケート調査も実施し、その回答によっても問題点の抽出とプログラム全体の改善を図る。

## 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27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と共同研究「課題名：タンタ大学との協同によるアフリカでの地熱発電促進に向けてのイニシアティブ」を実施した。この詳細は企画提案\_結果報告書に纏めているが、ITB 側からの若手教員の研修期間とタンタ大学からの招聘研究者の滞在期間を重ねることにより、それぞれ得意とする研究分野の先端的成果の情報共有を図ることができ、研究視野の拡大と研究力向上に貢献できた。京都大学側では地質構造と熱物性との関係に関する理解を深めることができた。
- 平成27年9月と平成28年3月の2回にわたり、ITB において30名の大学院生と若手教員に対して、  
【平成27年度実施報告書】【160531】

本研究で改良し、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。研究代表者はこの抽出と解析の地質学的背景、数的手法、結果の解釈法について講義し、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て、予察的ながらモデル・サイトである Wayang Windu 地熱地区での亀裂分布の特徴を明らかにしつつある。その成果は後述の「第 5 回 ITB 国際地熱ワークショップ」と第 41 回スタンフォード地熱ワークショップで発表した。分担者は特にこの研究室の学生への指導を継続している。ITB 側からのフィードバックをもとに、ソフトの改良と向上も続けている。また、このソフトについては、解析手法の原理、プログラムの実行法、得られる結果とその解釈法の例に関する論文が受理されれば、ウェブサイト公開する予定である。

## (2) 社会実装に向けた取り組み

研究代表者研究室と ITB の学科の URL (京大側 <http://www.geoenv.kumst.kyoto-u.ac.jp/project.htm>, ITB 側 <http://www.mining.itb.ac.id/satreps/>) に本プロジェクトの内容、研究活動、成果を紹介するサイトを開設し、H27 年 10 月より一般に公開中である。

活動がわかる写真を多く掲載し、情報を随時更新している。また、H28 年 3 月発行の京都大学工学研究科社会基盤工学専攻・都市社会工学専攻ニュースレター人融 (1,000 部印刷) の巻頭に、BAGUS 特集記事「BAGUS (バグース) プロジェクトの発進ー地熱資源利用の大幅促進に向けてー」が掲載された。配布は大学や高専に限られるが、これによっても情報提供と本プロジェクトを広報している。

後述の「第 5 回 ITB 国際地熱ワークショップ」では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うとともに、パンフレットを配布した。

また、Wayang Windu 地熱地区で地熱発電を行っている Star Energy 社と 3 回会合をもち、ラドン探査も合同で実施し、ボーリング調査データが一部提供された。このデータは地熱発電適地の推定結果の検証に活用できる。平成 28 年 8 月から実施予定の表層ボーリングの実施候補地についても協力を得ながら選定中である。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。





## V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

第一回 JCC 時に記者からインタビューされ、これを基に 6 月 8 日の *Pikiran Rakyat* 新聞西ジャワ州版に、地熱資源利用促進のため、地熱発電適所の高精度検知技術の開発を京都大学とバンドン工科大学が共同で取り組むことが報じられた。

JICA 研修「地熱開発における中長期的な促進制度設計支援プロジェクト」の一環として、平成 27 年 9 月 14 日、エネルギー・鉱物資源省地熱局、財務省、地質資源センターなどから 13 名のインドネシア政府系職員が研究代表者の研究室を訪問し、本プロジェクトの紹介と意見交換を行った。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とともに、発電に適した場所へのボーリングの成功率を向上させるため、本プロジェクトの研究内容は参考になったとの感謝の意が述べられた。

また、H28 年 3 月 28 日～4 月 1 日にかけて ITB キャンパスで開催され、欧米からの参加者も多かった「第 5 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、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に本プロジェクトの内容やこれまでの共同研究の成果を紹介できた。オランダの大学からの参加者が高い関心を示し、種々意見交換を行った。

## VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

詳細は別添様式 02\_成果発表等（別添）に纏めているが、大きな成果としては、本プロジェクトと一部関連した内容（リモートセンシングによる環境モニタリング）の論文が、リモートセンシング分野では最もインパクトファクターの高いジャーナルである *Remote Sensing of Environment* に掲載されたことがあげられる。土壌中の有害物質（重金属成分）による植生生育ストレスを、従来の植生指標よりも高精度で識別できる手法を開発できた。このジャーナルの 2015 年のインパクトファクターは 6.393 である (<http://www.journals.elsevier.com/remote-sensing-of-environment>)。次年度も質の高い論文の掲載が続くように尽力する。

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。)
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)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	5件
うち国内誌	0件
うち国際誌	5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。)
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	5件
うち国内誌	0件
うち国際誌	5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

著作物数 0 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

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
H27年度	国内学会	久保大樹 <sup>1</sup> ・高橋貴太 <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—", 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. [1: 京都大学, 2: バンドン工科大学(ITB), 以下同じ]	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> ・高橋貴太 <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	0 件
口頭発表	4 件
ポスター発表	1 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
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 Notosiswojo [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
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	1 件
口頭発表	10 件
ポスター発表	0 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	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	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	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	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)

- ・研究開始からこれまでのプロジェクトの活動に係わる受賞や新聞報道等を、時系列に記入ください。
- ・プレス発表をした場合には「②マスコミ(新聞・TV等)報道」に、その概要も記入ください。

#### 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
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	

2 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)	概要
H27年度	9月14日	SATREPSプロジェクト第三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プロジェクト第四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プロジェクト第五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プロジェクト第六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 Notosiswojo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プロジェクト第一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プロジェクト第二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

8 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。

1 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27年1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。

