

第225回地質調査所研究発表会講演要旨*

特集 新期花崗岩関連の深部地熱資源

プロジェクトの狙い

川村政和

国が豊肥地域や仙岩地域で実施した「大規模深部地熱発電所環境保全実証調査」および「地熱探査技術等検証調査」等の深部地熱資源調査の結果、基盤岩・貫入岩中に高温で優勢な地熱資源が存在することが実証された。企業においても浅部地熱開発の延長として深部地熱開発へと進み、次第に深部地熱を主要な目標とした開発に移行しつつある。更に既開発地域のいくつかにおいても深部地熱資源の賦存の可能性が指摘されている。これらの地域の浅部地熱下部の深部地熱資源を開発し、既発電所の拡充をはかることが地熱発電容量増大への即効的対策である。このために深部地熱資源の①賦存形態の解明と②掘削・採取技術の開発を目的として、4,000m級試錘を含む深部地熱資源調査プロジェクトが、平成5年度より葛根田地域において開始された。(地殻熱部)

Keywords: deep geothermal system, geothermal development

世界の深部地熱開発の事例

玉生志郎

最近の地熱開発調査によって、新期花崗岩に伴う深部地熱系が明らかにされつつある。具体的には、米国ザガイザーズ、フィリピン国トンゴナン地域、イタリア国ラルデレロ地域等である。これらの開発事例は、日本国内の深部地熱開発をすすめる上で大変参考になるデータである。これらの地域の文献調査を行って、各地の深部地熱系モデルと国内の葛根田地熱地域の深部地熱系との相違点について、比較・検討を行った。その結果、いずれの地域においても新期花崗岩が地熱熱源として実証ないし予想されていることが判明した。また、新期花崗岩の周縁部は地熱貯留層としても重要な役割を果たしている

ことが併せて明かとなった。(地殻熱部)

Keywords: deep geothermal system, geothermal model, The Geysers, Tongonan, Larderello, Kakkonda, neo-granite

深部地熱資源調査の概要

村岡洋文

わが国の地熱発電設備容量はここ数年のうちに倍増するが、将来の地熱開発では既存の温泉や国立公園等立地上の制約がより深刻な問題となる。この問題に抵触せず、即効的に発電量を増大する方法の一つが、既存の地熱発電所の敷地をそのまま利用して、2km以深の基盤あるいは貫入岩に付随する深部地熱レザバーを開発することである。NEDOでは平成4年度より深部地熱資源調査に着手した。このプロジェクトでは、葛根田地域における4,000m級の掘削により、深部地熱モデルを作成するとともに、深部調査法の開発、深部掘削の体系化、流体利用技術の研究等を行って、平成9年度までに深部地熱開発の指針を作成する予定である。(NEDO)

Keywords: deep geothermal resources survey, deep geothermal reservoir, deep drilling, neo-granitoid pluton

葛根田地域の深部地熱系

宮崎眞一

葛根田地熱地域においては日本重化学工業(株)によってすでに3本の3,000m級坑井で深部地熱貯留層が確認されている。調査の結果、深部の地熱貯留層は約2,500mの深さにある新期花崗岩貫入岩体の上面付近に発達する断裂に密接に関連していることが明かとなった。

(日本重化学(株))

Keywords: Kakkonda, deep geothermal system, neo granite, geothermal reservoir

* 平成5年9月28日本所において開催

熱変成作用—相平衡計算・手法と応用

竹野直人

仙岩検証調査井での新期花崗岩による熱変成作用の発見以来、他の坑井でも同様な変成作用が見いだされている。深部探査が進むにつれ遭遇する可能性の高い熱変成作用について、探査指針及び熱源評価の一要素として評価法を明らかにせねばならない。深部地熱資源調査の進捗とともに今後採取されるであろう熱変成坑井試料もこのような視点で定量的に解析する必要がある。演者はSOLGASMIX(Eriksson, 1973)に倣った方法で固溶体鉱物及び混合ガスを含む相平衡計算プログラムを開発した。これを用いてフランスピレネー東部のケリギェット花崗岩体に見られる接触変成作用の初生鉱物の分解過程を論じた。初生鉱物の分解は1) 温度降下による2) SiO_2 に富む花崗岩起源の熱水との反応による、2通りのモデルが考えられたが、この計算によって、前者が最も重要な要因であることが定量的に明らかにされた。以上のように、この手法は地化学モデルの選択に有効であり、今後の深部地熱調査にも利用しうることが示された。

(地殻熱部)

Keywords: chemical equilibrium calculation, contact metamorphism, kinetics, deep geothermal exploration well

岩石—水反応の解析から何がわかるか？

藤本光一郎

熱水変質は化学平衡論に基づいて温度・pH・溶液組成などの熱水環境の復元を目的に解析されることが多かった。しかし反応速度論や結晶成長論的な観点を導入することによって、熱水の流動状況や割れ目の閉塞時間など時間軸の入った、より動的な解析が可能になる。本講演ではその幾つかの可能性について紹介した。

(地殻熱部)

Keywords: rock-water interaction, hydrothermal alteration, chemical equilibrium, chemical kinetics, crystal growth

化学的に見た火山と熱水系の関係 —何故高塩濃度の熱水系と低塩濃度の熱水系が存在するのか—

高橋正明

日本において開発されている熱水系は、(1)得られる地熱流体は、低塩濃度で、流体の同位体組成、窒素／希ガス組成からはマグマ起源物質の影響が小さいと考えられるのに、近傍には噴気地帯、酸性温泉など地表地熱微候が多く、また歴史時代に噴火記録のある成層火山や、大カルデラ火山などが存在している（火山（噴火）活動と熱水系が分離（棲み分け）している）場合と、(2)得られる地熱流体は、高塩濃度で、流体の同位体組成、窒素／希ガス組成からはマグマ起源物質の影響が大きいとされるのに、近傍には地表地熱微候が少なく、また小カルデラ火山のみが存在している（火山活動と熱水系が一体化している）場合に分類できる。（地殻熱部）

Keywords: geochemical model, high-salinity type geothermal reservoir, low salinity type geothermal reservoir

ストロンチウム同位体比を用いた 地熱流体母岩の推定

佐藤 努*・中野孝教**

地熱流体に含まれるストロンチウム (Sr) の同位体組成は、母岩の値をよく反映する。このことを利用して地熱流体の Sr 同位体組成から母岩の岩石種を推定する試みを、奥鬼怒温泉地域を例にして紹介した。奥鬼怒温泉地域の中心地域では、温泉水の Sr 同位体組成は露岩（第三紀流紋岩類）の値とほぼ同じ値を示すが、東部では顕著に異なっている。このことから東部の温泉水の母岩は、露岩とは異なる岩石種であると考えられる。温泉水の主成分データを参考にするとその岩石種は海成堆積岩と推定され、これは露岩の下位に存在すると考えられている中—古生層と調和的である。

(*環境地質部・**筑波大学地球科学系)

Keywords: Strontium isotope, geothermics, hot spring water, Okukinu, hydrological tracer

マグマ起源ガスの放出プロセス

GC-MS

風早康平*・篠原宏志**

マグマ起源ガスの放出過程のなかで、特に大規模珪長質マグマ溜りの脱ガスについて、「火山からの脱ガス」および「マグマの固化によるガス放出」の二つのモデルを議論した。「火山からの脱ガス」モデルは、マグマ溜り―火道系において、マグマ対流によって未脱ガスのマグマが浅所に運搬され、発泡・脱ガス・ガス分離される過程を扱い、薩摩硫黄島火山における活発な脱ガスが、鬼界カルデラ下部に存在する大規模珪長質マグマと硫黄岳をつなぐ火道内マグマ対流により起こり得ることを示した。一方、「マグマの固化によるガス放出」モデルは、鉾脈鉾床・断裂熱水系の成因に関連し、大規模マグマ溜りの固化に伴い脱ガスする過程を扱った。モデル計算によりマグマ溜りの固化率が95%以上になった時にマグマ溜りの流体圧が上昇し、マグマ溜り上部に開口割れ目系を生成しうることを示した。

(*地殻熱部・**鉱物資源部)

Keywords: magma reservoir, volcanic gas, degassing, hydrothermal fluid, convection, open crack

葛根田地熱地域における新期花崗岩中に見られる流体包有物について

佐々木宗建*・佐脇貴幸*・村松容一**
笹田政克*・藤本光一郎*

岩手県葛根田地熱地域では、深部に新期花崗岩類の貫入が確認されている。花崗岩類を構成する石英粒中には、気相包有物、液相包有物、及び、NaCl結晶、含Fe塩化物結晶、KCl結晶などを伴う多相包有物が観察される。これら流体包有物について加熱冷却実験を行った結果、かつて貫入岩体内には、高温かつ高塩濃度で花崗岩類とは比較的平衡にあったと推定される流体が存在したが、現在は低温かつ低塩濃度の天水が貫入岩体内に流入していることが明らかになった。(*地殻熱部・**日重化)

Keywords: Kakkonda geothermal field, fluid inclusion, polyphase inclusion, hydrothermal system, microthermometry

炭化水素ガスによる地下深部地熱環境の推定

野田徹郎

地熱地帯のガスにはメタン以外にC₂以上の炭化水素が含まれ、それらが地下の地熱環境(流体の起源や温度環境)を指示する可能性が指摘されている。葛根田地域で各種ガス(土壤ガス、温泉ガス、自然噴気、坑井ガス)を採取し、炭化水素により地下深部地熱環境を推定する方法の適用性を検討することを計画している。予察的に行った自然噴気ガスの炭化水素のGC-MSによる分析結果を次に示す。

①C₅-C₁₃のパラフィン及びベンゼン等の芳香族が主要成分をなし、C₅以上の幾つかのオレフィン(鎖状不飽和炭化水素)及びシクロパラフィンを少量伴っている。また、C₅以上の炭化水素化学組成の特徴は、他地域の地熱ガスのものにおおむね類似している。

②澄川地区の土壤ガス中に多量に検出されたモノテルペンが、葛根田地域のRガス中には検出されていない。

(企画室)

Keywords: hydrocarbon, deep geothermal system, Kakkonda,

光ファイバ・センサを用いた坑井内温度分布測定

阪口圭一・松島喜雄・玉生志郎・川村政和

光ファイバをセンサに用いた温度計測システムは、光ファイバ中の散乱光の強度の温度依存性を利用してファイバの各点での温度を測定するもので、ファイバの全長にわたる温度分布を数分間隔で得ることができる。このシステムを地熱坑井に適用すると、掘削後の温度回復や注水テストの際の温度変化など、坑井の温度プロファイルの時間変化を短い時間間隔で捉えることができる。また観測井に設置して長期間の温度変化をモニターするという用途も考えられる。さらに今後の素材改良によって、従来の温度検層装置では測定不能であった高温域での測定を行える可能性もある。1993年8月に豊肥地域湯坪地区の坑井で行った試験的な測定では、当初予定していた測定条件から変更があったために温度測定精度は若干低くなったが、同じ坑井について行われた従来方式の温度検層結果ともよい一致を示した。(地殻熱部)

Keywords: optical fiber, temperature log, Geothermal well

葛根田地域をモデルとした 弾性波シミュレーション

菊地恒夫

葛根田地域では種々の調査により、詳細な地下構造が推定されている。その構造をもとに、同地域のP波、S波速度および密度を概略推定し、速度構造モデルを作成した。このモデルを使用して、staggered grid finite-difference と呼ばれる差分法を用いて弾性波シミュレーションを実施し、地熱貯留層の有無などにより波動の伝播がどのように変化するのか検討した。その結果、貯留層を仮定すると地表で観測される波の振幅が小さくなり、その卓越周波数も2Hzと貯留層がない場合に比べて1Hz程度低下することが判明した。(地殻熱部)

Keywords: elastic wave simulation, difference method, Kakkonda geothermal area

微小地震解析と測地解析による深部地熱資源調査

杉原光彦・西 祐司・当舎利行

微小地震データは、地震活動・震源過程・速度構造の各種解析を通して深部地熱資源について多くの情報をもたらしてくれる。特に葛根田地域では地震活動から地下3000m以深の深部での断裂帯とその中での熱水の挙動を推定できる。また、微小地震の発震機構の解析によって断裂帯の内部構造を推定できる。その際に微小地震を発生させた応力場歪場を検討することになるが、このためにはGPS等による測地データの解析が有効であるだろう。(地殻熱部)

Keywords: micro-earthquake, GPS

葛根田地域の重力異常と密度モデル

駒澤正夫

葛根田地域について未編集の既存の精査データや新たに取得したデータを編集して重力図を作成した。ブーゲー異常から地形の凹凸による短波長成分が消えるのは、仮定密度が $2.2\text{--}2.3\text{ g/cm}^3$ となったときで、表層密度を示している。表層を 2.3 g/cm^3 、基盤を 2.7 g/cm^3 と仮定して均質2層3次元解析を実施した。その結果、

重力基盤の盛り上がり、葛根田地域の北東域の大深岳、三ツ石山を含む地域に見られ、新期花崗岩のブロック的な隆起とも考えられる。葛根田地域の坑井による新期花崗岩の着岩深度は、北西方向に向かって浅くなっているように見え、重力基盤との対応はよい。また、それは、葛根田、松川地熱地域の熱源の可能性も考えられる。(地殻物理部)

Keywords: neo-granite, density model, bouguer anomalies, Kakkonda geothermal area

地熱貯留層周辺の比抵抗構造

内田利弘

地熱貯留層を形成する断裂群や粘土鉱物に富むキャップブロック、および、熱源となる貫入岩の比抵抗について、秋田県澄川地区における坑井調査、地表電気・電磁気探査のデータをもとに検討し、今後の葛根田地区における比抵抗調査に期待される役割について議論した。澄川地区のデータによると、キャップブロックは低温粘土鉱物に富んでいて顕著な低比抵抗であり、貯留層は高温の粘土鉱物が卓越して比較的に高比抵抗であることが確認された。葛根田地区では深さ約3000mに新期の花崗岩が捕捉され、比抵抗検層では $1000\text{ }\Omega\text{ m}$ 以上の高比抵抗を示す。浅部に低比抵抗のキャップブロックが存在する状況において、地表探査によって深部の花崗岩の構造を把握するには、非常に高品位の測定データが必要である。

(地殻物理部)

Keywords: resistivity, geothermal reservoir, cap rock, Sumikawa, Kakkonda

深部地熱貯留層の評価 —地熱流体生産時の貯留層挙動の 数値シミュレーション—

安川香澄*・矢野雄策**・石戸恒雄**

鬼首カルデラ南部の熱水系について、既存の数値モデルを用い、生産・還元ゾーンの配置を変えた際の貯留層挙動の変化をシミュレーション計算をした。A) 浅部で生産し深部に還元する場合、B) 深部で生産し浅部に還元する場合、C) 浅部で生産し水平的に離れた所に還元する場合について、挙動予測を行った。その結果、総流

体生産量を一定とした場合にはA) が最も安定しているが、蒸気生産量を一定とした場合には、いずれの場合も20年以上にわたって安定した挙動を示す。従って貯留層全体の最適生産法を検討する際は、生産・還元的位置のみならず、流体採取量についての検討が重要である。

(*新エネルギー・産業技術総合開発機構・**地殻熱部)

Keywords: geothermal reservoir, performance prediction

地熱資源評価図

高橋正明*・村田泰章**・玉生志郎*

地質調査所では地熱資源評価図の作成の一環として、1992年に縮尺300万分の1「日本地熱資源図」(山口他、1992)を出版するとともに、1993年には縮尺50万分の1「新潟」を出版した。今後、縮尺50万分の1「秋田」、「青森」、「札幌」、「福岡」、「鹿児島」を順次、出版していく予定である。

今回は縮尺50万分の1「新潟」、「秋田」、「青森」、「札幌」4枚をつなげた図面を展示した。それぞれの図面には温泉・噴気地、地熱地域を出来る限り多く表示し、地熱資源の賦存地域と地質構造、重力構造および温泉(地理的分布、化学成分)との関連を出来る限り明瞭に表示することに心掛けた。これらのデータは全てコンピュータソフトウェア“アークインフォ”でデジタル化され、静電プロッターでカラー図面として出力させたものである。

この図面から、資源分布に関して以下のようなことが明かとなった。

1. 東北日本の脊梁山脈沿いには、第四紀火山に関連した地熱資源賦存地域が多数分布する。
2. 東北日本の脊梁山脈の背弧側には、第四紀火山に関連しない地熱資源賦存地域が、いくつか認められる。
3. 東北日本の内陸盆地や日本海側には広く深層熱水資源賦存地域が分布している。
4. 東北日本の脊梁山脈の前弧側には、一部の例外を除いて地熱資源賦存地域は存在しない。

(*地殻熱部・**地質情報センター)

Keywords: geothermal resources, Northeast Japan, volcano-related geothermal system, non volcano-related geothermal system

PDC ビットによる地熱井掘削能率の向上

唐沢広和・大野哲二

地熱井の高温環境に適用可能で、かつ掘削能率に優れたビットの開発を目的に、約700°Cの耐熱温度を有するPDC(polycrystalline diamond compact)ビットによる掘削実験を地熱井および室内において実施した。本講演では、地熱井掘削におけるPDCビットの性能を従来のダイヤモンドビットの性能と比較しながら報告した。また、室内における掘削実験結果として、刃先径や刃先数に工夫を加えたPDCビットを高速回転させることによって、岩石の掘削能率が大幅に向上できることを述べた。

(資環研)

Keywords: PDC Bit, geothermal well, drilling, drilling efficiency

光ファイバー・センサによる岩盤温度計測の事例

佐藤嘉晃・成田 孝・天満則夫

光ファイバーとレーザを組み合わせることで線上の温度分布を測定するシステムを、地熱地域に適用する可能性を実験的に検討した。まず、室内実験で温度精度、長期安定性を確認した。ばらつきが±1°Cあること、測定点前後の等温区間が1m以下であると誤差を生じることを確かめた。また、豊羽鉱山内の長さ150mの探査ボーリング孔内に、金属パイプで覆ったファイバーを挿入して、半月間に連続計測した。ファイバーの被覆により、孔壁との摩擦、熱水への暴露に耐えた。温度測定により、孔内への熱水流入量変動していること、また、地層分布に変化があることを確認できた。

(資環研)

Keywords: optical fiber, temperature log, Toyohama mine

深部地熱資源の有効活用をめざして 一坑井内同軸熱交換器(DCHE)方式の開発一

盛田耕二・田子 真

深部に賦存する地熱資源を有効に活用するためには、天然の地熱貯留層のみならず超高温岩体等も開発する必要がある。本講演では、超高温岩体等の深部・高温地熱資源からの熱抽出方法として最も現実的な方法と考えら

れている坑井内同軸熱交換器 (DCHE) 方式について、その概念 (高性能の断熱内管を使用、逆循環方式を採用、完全なクロードシステム) を紹介した。また、高性能の断熱内管の開発状況、ハワイにおける概念実証実験の概要ならびに解析結果、実用化の可能性を検討するために行った発電コストの計算結果、さらに、高温地熱地域と火山性噴気地域に DCHE 方式を適用した場合の純熱出力および発電コストの見積り結果、等を紹介した。

(資環研)

Keywords: downhole coaxial heat exchanger system, geothermal energy, heat extraction, geothermal power generation, power generation cost, magma

深部地熱坑井壁面の安定について

及川寧己*・伊藤久男**・佐藤嘉晃*・小林秀男*

将来的な地熱エネルギー利用は、より深部の貯留層を対象としたものへと移行していくものと予想される。それに従い地殻応力・温度は増大するため、坑井を維持するうえで浅部では未経験の障害が発生する可能性がある。例えば坑井壁面が地殻応力と相関して崩落するブレイクアウトと呼ばれる現象が知られているが、これなどは十分抑留の原因になりうる。さらに地熱井においては掘削時に大きな温度衝撃を受けることから、坑壁の破壊

が生じる可能性は十分考えられる。シミュレーションにより坑井裸孔部壁面の安定性について検討したところ、坑井まわりの地圧よりも泥水循環にともなう冷却による熱応力の方が大きく影響する結果が得られた。

(*資環研・**地殻熱部)

Keywords: crustal stress (geopressure), thermal stress, break out, well maintenance, deep geothermal system

高温岩体フィールド試験から 推定される深部地熱貯留岩盤の特徴

小林秀男・松永 烈

山形県肘折や米国フェントンヒル等で高温岩体中の既存き裂調査、人工貯留層造成の水圧破碎、抽熱試験等を通して高温岩体中の貯留層の特性が把握されてきた。これらの貯留層は深度が約 2-3.5km と比較的大深度である。深度増大に伴い、地圧増加、既存き裂発達程度の減少、造成した循環系からの逸水率低下の傾向等が示され、これは Bjornsson 等が報告している天然貯留層温度増大 (天然貯留層賦存深度増大) に伴い、人工抽熱技術の応用が求められることが強まると考えられる。

(資環研)

Keywords: hot dry rock, deep geothermal reservoir, existing fracture, permeability coefficient