Ecological Times

2012/8/28　第５号【地熱発電】

今注目の再生エネルギー

・注目されるその理由（わけ）とは

・日本のシェアは世界一位！？

隠された 2347 万のエネルギー

写真 三井翔太

今、注目の再生エネルギー

地熱発電への関心が高まっている。ほとんどの原子力発電（略 原発）が停止する現状において、ピークを乗り切ったとはいえ日本は未だ電力不案に悩まされている。このまま原発を停止して生活していくのだとすれば原発が負担していた３割の電力を別の発電で賄わなければならない。そういった需要の元注目されているのが地熱発電だ。地熱は他の再生エネルギー（略 再エネ）と比べ安定な発電が可能であり、日本には2000 万ｋｗ以上のエネルギーが眠っていると言われる。国もこれに期待しており今年３月、国立公園内での地熱開発を許可することが決まった。7 月に開始した「再生エネルギー全量買い取り制度」の後押しもあり、今後地熱発電は普及していくだろう。では地熱とはどういった発電なのか？原発のような事故・自然破壊の心配はないのだろうか？地熱発電を解説していく。

・注目の理由（わけ）

地下に眠るマグマの熱を蒸気として取り出し利用する。それが地熱発電だ。様々な再エネの中で注目される理由の一つとして膨大な資源量がある。火山大国である日本には膨大な地熱資源の潜在が予測されており、産業総合研究所（以下産総研）の調べでは発電量換算で 2347 万ｋｗもの量になるという。この量は世界第 3 位であり、地熱を国の主要電源としているアイスランドの 4 倍近い資源量を誇り発電量の 3 割を占めていた原発の代用候補に成りうるわけだ。

純国産である点も好評価だ。資源量の乏しい日本は火力発電にしろ原発にしろその燃料を輸入に頼っている。しかし、地熱ならば自給することができエネルギー安全保障の観点から優位である。また他の再エネが発電量を天候に左右されるのに対し安定した稼働ができるのも地熱の利点だ。当然化石燃料を燃やさないため発電時に二酸化炭素を排出しない。資源エネルギー庁によると温室効果ガスの排出量が火力発電の 20 分の 1 と非常に少ない。地下の熱を利用するため枯渇の心配なく繰り返し使えるというのも魅力だ。

松川地熱発電所

国も地熱開発に本腰を入れ始めている。今年 2 月には環境省が国立公園での斜め掘りを認め、3 月には国立公園内での垂直堀りや地熱発電所の開発を認めた。さらに 7 月から始まった「再生エネルギー全量買い取り制度」では地熱も含まれている。このため各企業は資源量の多いとされる国立公園内で確実な収入が見込まれる開発を行うことができるのだ。既に出光興産など地熱開発を表明している。

ここに注目地熱発電！

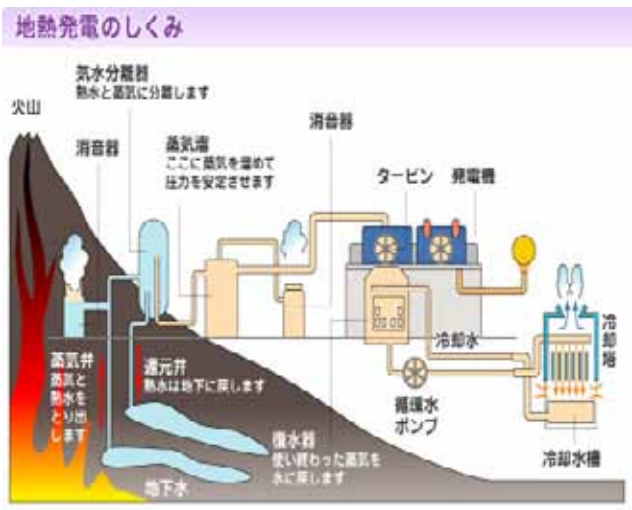
純国産資源
二酸化炭素排出が火力の 20 分の 1
枯渇しない再生可能エネルギー
日本は世界第 3 位の地熱大国
再エネ全量買い取り制度による利潤の安定化
国立公園内建設認可による仕様可能熱源の増加

・地熱発電の仕組み

では地熱発電とはどういった仕組みで発電するのか。地熱には蒸気方式とバイナリ―方式の 2 種類があり条件によって使い分けられている。

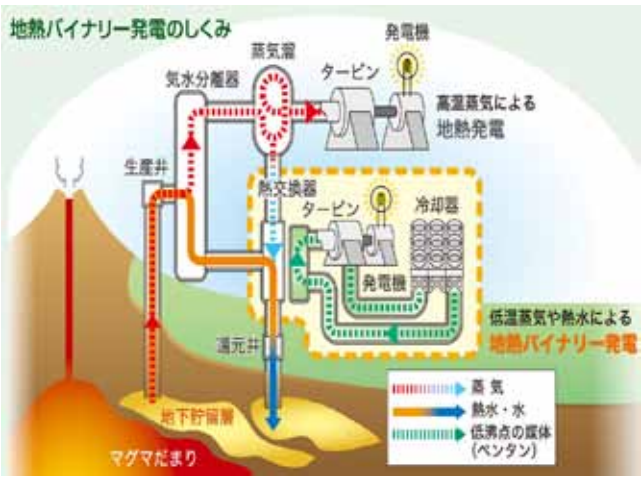
地下から取り出した蒸気で直接タービンを回転させる方式を蒸気方式という。

火山付近の地下数ｋｍには 1000 度近いマグマが溜まっており、周りの岩石を熱している。地下の岩石には割れ目があるため地上で降った雨水がこのすきまを通りマグマの溜まっている場所までたどり着き熱せられた熱水や蒸気となり再び岩石の割れ目から外に噴き出す。これがいわゆる温泉だ。さらに深くに溜まった雨水はこの蒸気により割れ目が塞がれ地上に出られず熱水溜まり（地熱貯留層とも呼ぶ）となる。ここへ坑井と呼ばれる石油・ガスなどの試掘や、鉱山で鉱物の運搬・通風などのための小さい竪坑をつなげることにより蒸気方式が使用する蒸気を取り出している。



蒸気方式の仕組み

地熱発電が出来る目安は 150℃だが地熱流体の温度が低く十分な蒸気を得られない場合がある。このとき使われるのがバイナリ―方式だ。バイナリ―方式では沸点の低い媒体を蒸気で加熱することで強い蒸気を発生させタービンを回している。



バイナリー方式の仕組み

この仕組みのため操業開始後は昼夜や気象条件を問わず一定の出力で発電することが可能で設備利用率 (一定期間に発電所が発電した電力量とその期間フル稼働していた場合に得られる電力量との比率) が格段に高く、ベースロード電源 (1 日の電力需要の中で常に発電される最低限の電力を賄う電源のこと。今までは原発が担当) としての位置づけが期待できる。また操業に多くの人間を必要としないため人件費が少なくてすむ。実際離れた土地からの遠隔操作で稼働する地熱発電所もある。

地熱発電所は昭和 41 年 10 月に松川地熱発電所が運転開始して以降、日本国内では専業用 13 か所、ありその発電容量は約 53 万ｋｗ。自家用で 5 か所の計 18 か所で発電が行われており。発電の他施設園芸や道路融雪への熱水利用も行われている。

・地熱発電の環境影響

地熱発電は環境に優しく、資源消費のないクリーンエネルギーと言われている。だが原発の安全神話が崩壊した今、我々はやすやすとその言葉を信じることができない。稼働している間は二酸化炭素を出さなくとも発電所建設の過程では環境破壊が起こっているのではないかという否定的な意見もある。その実を検証しなければならない。

古くから利用されてきた地熱発電所では建設された当初環境負荷や安全性の問題が指摘されその評価は厳しいものだった。今では技術の進歩に伴い環境負荷は軽減されているが完全になくなったというわけではない。例えばこのようなものがある。

- ☒ 発電所建設時の大規模な造成を伴う自然景観に与える影響
- ☒ 操業段階でも追加の坑井が必要
- ☒ 地下への環境影響は解明されていない
- ☒ 事故の発生による周辺地域住民や公園利用者への影響

地熱発電は熱源が主に山岳地帯や国立公園内にあるため必然的に自然豊かな土地での建設を余技なくされる。大規模な造成を必要とする発電所の建設は森林伐採を行う場合が多く、それが原因で生物多様性（多様性に関しては後述の国立公園の記事を参照）や自然の景観を破壊してしまうという問題が発生している。これに対し運転が開始された発電所では建屋の色彩を考慮し配管の周りに植栽するなど風致景観への影響を軽減させる措置も取られている。

地熱発電独特の問題として蒸気を取り出すため抗井がある。日本最大の八丁原発電所では 760mから 300mの蒸気井（蒸気を取り出す穴）が 30 本あり、さらにここから得た蒸気を地下に戻すための還元井が 10 本ある。その上運転開始後の操業段階でも安定して出力を維持していくために追加の抗井の掘削が行われる場合がある。そのために当初の計画以上の面積改変が必要になる場合があり、その分森林伐採が進む。地熱発電所では発電所本館や復水器、冷却塔、原水タンクなど発電に必要な施設が建設され、さらにそこから抗井基地を設置しパイプで連結する。すると発電所自体の面積が平面的に広くなり「国立・国定公園内における地熱開発にかかわる通知見直しに向けた基本的考え方」という政府案によると平均 10 ～ 30 ヘクタールの敷地が必要だ。

当然これだけの穴を掘るのだから地下への影響も考慮しなければならない。現時点では微小地震を生じさせる、地下の環境に悪影響を与えるといったことが予想されている。微小地震に関しては今のところ人間が感知できない程度にしか起こったことがないようだが地下の環境については十分な調査がなされておらず、分かっていないことが多い。

事故も発生している。過去に小規模ではあるが蒸気漏れなどの事故が起きており、平成 13 年には地熱開発促進調査中に有毒ガスが発生し作業員 1 人が死亡、平成 22 年には鬼首地熱発電所の敷地内で噴気事故による死者が出ている。火力発電などに比べれば被害は少ないだろうが稼働数や規模の違いから一概に判断することはできない。規模に関わらず事故の発生を防がなければ地熱開発は中止されるべきだろう。

・始まる国立公園内の地熱発電、課題も

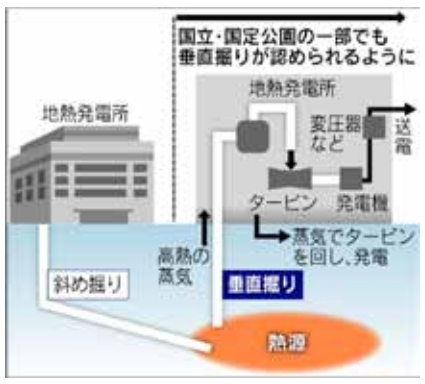
今年 3 月、環境省がそれまで規制していた国立公園内での地熱開発を認可した。地熱発電が公園内で行われる時代がくる。

規制緩和は電力需要の高まりに応じたものだ。地熱資源のほとんどが存在する国立国定公園での開発が可能になれば豊富な地熱資源を有効利用することができる。そもそもなぜ今まで規制されていたのか。国立国定公園とは自然公園法によって優れた自然の風景地を保護、利用の増進、国民の保健、休養、生物の多様性の確保を寄与することを目的に設置された国有の土地をさす。この区域内では自然景観を損なう行為は一定の制限が加えられており、地熱発電事業に関しては昭和 49 年通知によりそれまで建設工事、操業されていた 6 か所の発電所を除き国立国定公園の景観と環境に支障があると認められる地域では地熱発電所の開発は禁止されていた。この背景には当時操業を開始した地熱発電所に原因があった。

当時の地熱発電所が抱えてた問題

- 自然景観の著しい損傷
- 出力維持のための自然改変面積の拡張
- 汚染された熱水を地上に排出することによる水質汚染
- 有害物質を含む蒸気の排出による大気汚染
- 冷却塔の水蒸気による樹木への着氷被害
- 騒音による被害
- 温排水の問題や微小地震を引き起こす恐れ
- 蒸気等のくみ上げによる温泉量の衰退

さらに昭和 54 年には「国立国定公園内における地熱開発に関する政府の意見」の中で地熱発電所の建設は自然環境・景観への影響が大きいとされ建設を避けるべきだと判断された。



斜め掘りと認可された垂直堀

このようなことがあり地熱発電は十分な地熱資源を得られず発電容量も 54 万キロワットに収まっていた。しかし事業用の大型発発電所は自然景観や生物多様性を軽減するための技術や措置も取られており、この実績も蓄積されている。さらに前述の電力需要が重なり 2012 年 3 月、2 月の斜め掘り認可につづき政府は昭和 49 年の通知の取り消しを決定した。これにより地元自治体や地元住民の許可があれば垂直発掘が可能となった。垂直採掘が可能となったのは傾斜発掘にデメリットが多かったためだ。傾斜採掘は公園内の熱源に向かって斜めに坑井を掘る方式。公園の外から掘削を行うので景観を乱すことなく掘ることができるのが特徴だ。しかし技術的に難しく、また斜めにほる分掘削の距離も長くコストがかさむ。それに比べて垂直掘削は熱源に向かって垂直に掘るため傾斜掘削に比べてコストを抑えることができる。しかし熱源に向かって垂直に向かって掘削をするのですから前述のように景観の乱れなどから地元住民の反対が予想できる。

課題はそれだけではない。建設が認可されたのは国立公園の普通地域だが、これが自然保護において

八丈島の景観

価値が低いというわけではない。何故ならこれらの区分けは所有者の意見が大きく反映されるものであり、実際、木材生産に不要な高山帯が林野庁により特別保護地区などに指定された経緯がある。国有地の多くを林野庁が管理しているためだ。このように現行の国立公園には問題が多く指摘されており国立公園自体への疑念があり、“支笏洞爺国立公園における公園計画と国有林森林計画の関係について”とうい論文においてこの点が指摘されている。また、環境省が環境保護に必要な地域を網羅しているわけではなく、現在その総点検を行っている。地熱開発が及ぼす生態系への影響においても未知の部分が多い中対策を急ぐ必要がある。

・地熱発電の現状 世界者シェア７割の実力

規制緩和が進み再生可能エネルギーとして将来が期待される地熱発電だが現在日本ではどのような状況なのだろうか。前述の通り日本国内には事業用と自家用合わせて 18 か所で地熱発電所が稼働している。事業用のうち最大出力を誇るのは大分県九重町 八丁原発電所で 11 万 2000ｋｗの発電容量を誇る。最小は東京都八丈島にある八丈島発電所で 3300ｋｗだ。自家用も含めた国内地熱発電所の発電容量は約 54 万ｋｗであり、発電電力は約 31 億ｋｗｈ。国内の総発電量電力量の約 0.3％を占めている。同じ再エネである太陽光は 2009 年末で 260 万ｋｗ、風力は 220 万ｋｗであることから出力がわずかであることが分かる。これは熱源確保が難しく 1999 年に八丈島発電所が建てられて以降開発していないことに起因する。

あまり開発されていないように思われるかもしれないが実は地熱において日本は最大のシェアを誇っている。地熱発電システムでは東芝・三菱重工・富士電機が世界シェアの７割を占めており、特に富士電機は４割のトップシェアを持つ。今回の規制緩和によりすでに開発を表明している企業もある。出光興産など９社が福島県内に国内最大の地熱発電建設を表明している。発電容量 27 万ｋｗ、総事業費１千億円の発電所は 2020 年の稼働目指す。出光では 1980 年代から地熱発電を行い、大分県では 2700ｋｗの滝上発電所を操業（96 年）している。また、東芝はより効率の良い地熱システムを開発し売り出している。これは通常のタービンに小型のタービンを１基追加することで１度通過した蒸気で再び回転させるという仕組みで従来に比べ発電量の３割増が見込まれている。割高になる初期投資も 10 ～ 15 年でコストを回収できるとされており回収後はコストを 2、３割減らすことができる。海外での開発も行われており、富士電機は米での地熱開発を進めている。土地の制約がなくなり、他の再エネに比べ割高だったコストも全量買い取り制度により解決した現状。地熱発電の開発は盛んになっていくだろう。地元理解が課題となる中で都道府県の多くが地熱開発に前向きであることも開発への追い風になるだろう。

日本最大の発電所 八丁原地熱発電所

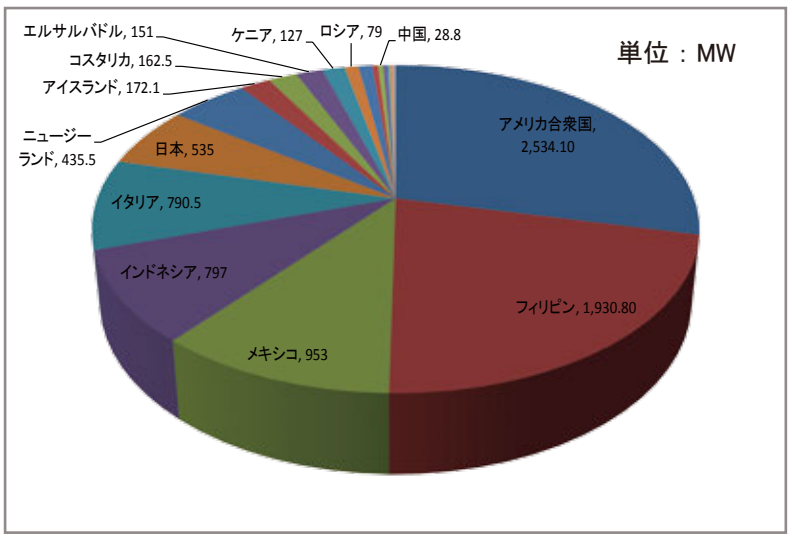
日本最小にして最後に建設された発電所 八丈地熱発電所

・外国での取り組み

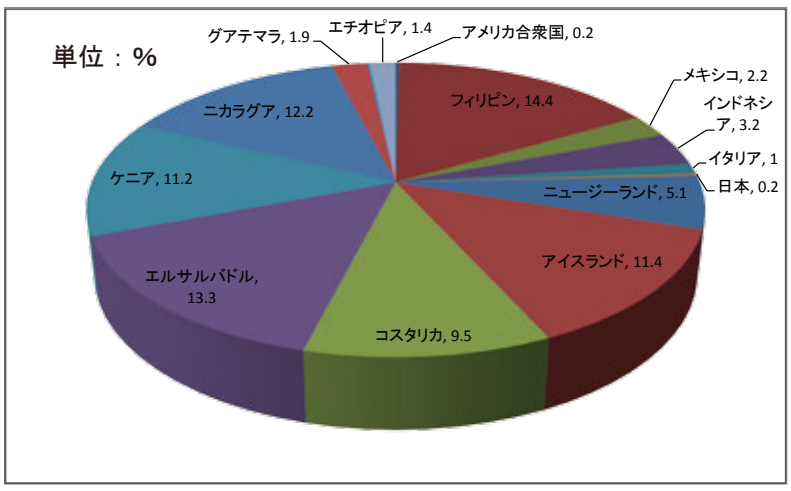
　では海外ではどうだろう。右のグラフは社団法人 火力原子力発電技術協会の出版している『地熱発電の現状と動向』の 2007 年版に記載されていたデータだ。最大の地熱発電はアメリカで行われておりその容量は日本の 4 倍以上だ。しかし割合としては 0.2％と火力や原発の発電と比べ低い。またメキシコやコスタリカなど北アメリカ大陸で多く行われていることが分かる。地熱発電として有名なアイスランドは割合としては高めだが意外と小さく、容量も小さい。

　アイスランドの地熱は発電容量以外にの点にも配慮しながら運営されており、景観への対策も怠らない。アイスランドでは地学的に重要な景観エリアでは熱水輸送パイプラインや送電線を地下埋設したりパイプの色を周囲の景観と調和させることで景観を保っている。これはアイスランドでは自然エネルギーの利用方針としてマスタープランが策定されており、その中で開発候補地が示されている。マスタープランの中では地熱開発もその他の鉱物などの地下資源と同じくエリア毎に調査が行われ地熱開発エリアと保護区が重複することはなかったため、保護区内への傾斜掘削を行わず開発することができた。綿密な調査により開発が支えられているのだ。最大級の発電を誇るスヴァルエインギ地熱発電所では熱水の排水地点にブルーラグーンと呼ばれる温泉地を作るといった観光地を開発しており、無駄なくかつ市民に根差した地熱開発が行われている。またアイスランドは電力の 70％以上を水力発電で賄っている。総発電量や人口・経済・気候と日本と異なる面は多いが今後のエネルギー政策において参考にすべき国だろう。

各国の地熱発電の設備容量



各国の総発電設備容量に占める地熱発電の割合

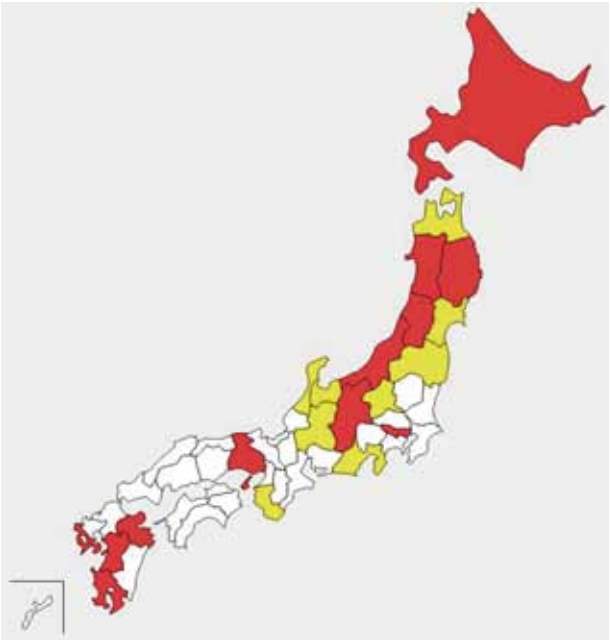


送電線が埋設されている

温泉地として開発されたブルーラグーン
奥には発電所も見える

・エコタイム（論説）

下の図をみて下さい。これは日経新聞社が地熱開発に適した 150 度以上の熱源を持つ都道府県に対し実施したアンケート結果から製作しました地図です。赤色が賛成（12 都同県）、黄色がどちらでもない（9 県）です。あなたの県はありますか？なんと回答していますか？



150℃以上の熱源を持つ都道府県の地熱開発に対する賛否（日本経済新聞調べ）

ここで注目して欲しいのが「反対」と回答した県がないことだ。日本で地熱開発が遅れている理由としてコストの高さや開発規制地の熱源存在などを上げてきましたが地元の反対による開発中止も少なからず起こっている。そんな中このような結果が得られた背景には原発への不信や電気の必要性の再認識などがあるだろう。

私も同じことを感じている。地熱開発には様々な課題があるが、それらを克服し日本は地熱開発を促進していくべきだ。我々の生活や環境への負担、エネルギー安保などの面からもそうであると信じている。しかし解決すべき課題は多い。

例えば上記のアンケートだが注意して欲しいのは

これは県の回答であるという点だ。地熱開発の認可は各都道府県知事がすることになっている。しかしいざ開発となれば直接影響を受けるのは市であり町であり村である地元だ。「どちらでもない」と回答した理由の中にも「地元の理解が得られるか分からない」とういものがある。地熱開発をしていく中で地元理解が最大の課題となるだろう。特に温泉街を有する土地では困難が予測される。前述のように地熱に使用する蒸気は温泉のそれとは異なる。しかし地下への影響は未だ未解明なことが多く、仮に温水の温度が低下してしまえば温泉宿にとっては死活問題となるだろう。各企業は対策に迫られる。

影響は地下だけではなく生態系へも及ぼす。2010 年に名古屋で開催された cop10 では生態系についてとりだたされた。開催国である日本がこれを犯すわけにはいかないだろう。これを守るためにも国は早急に国立公園の整備をするべきだ。現在のように所有者が決めるのではなく専門の調査の元生態系が保持されるよう重要度の割り当てや規制を敷いて欲しい。昨今ではエコツーリズムという考え方も普及し始め、環境省の予算名目として組み込まれるまでになっている。国立公園の価値は一層高まることは間違いないだろう。電力・生物・癒し これらが共生できる公園の姿を期待する。

課題を克服し地熱開発を促進せよ

課題は多いがマイナスなことばかりではない。政府案によると地熱開発するためには地元への貢献が条件としてある。これにより地元の活性化を期待するのは虫がよすぎるだろうか。また雇用の創出・コージェネレーションへの利用・エネルギーによる災害への対策 なども　考えられる。先のアンケートでは産官学連携し　た開発を考えいる県もあった。長い道のりだ　が地熱の未来は決して常闇ではない。

参考資料：国立・国定公園内における地熱開発にかかわる通知見直しに向けた基本的考え方（政府案）

資源エネルギー庁 HP

資源エネルギー庁・地熱発電に関する研究における検討

「支笏洞爺国立公園における公園計画と国有林森林計画の関係について」

社団法人 火力原子力発電技術協会

日本地熱学界 HP

東京電力 HP

日本経済新聞

富士電機 HP

～ ～ ～ 編 集 後 記 ～ ～ ～

今回地熱発電というあまり聞きなれないテーマを取り上げてみましたがみなさんいかがでしたか。記事の中でも説明しましたが地熱発電はこれからの日本のエネルギー需要を満たす方法の１つとなり得るでしょう。それにはまだまだ時間が必要であり、開発していく中での課題も多く存在します。しかしこの地熱発電のような再生可能エネルギーが今後のエネルギー生産の担い手となっていかなくてはなりません。原発や化石燃料に頼らずとも環境にやさしいエネルギーを作り出すことができるということをわかっていただけたら著者としてもうれしい限りです。

生田目雄太

如何だったでしょうか。耳にしたことはあってもあまり馴染みのない発電方法であるかと思います。電需要の高まる現状を考えると今後身近になっていく発電の一つではあるはずです。今の地熱発電は絶対量が少なく、国立公園内など開発経験のない場所での施工は様々な問題を生み出すかと思います。その中には絶滅危惧種の増加や獣による農村の被害、温泉街への影響なども含まれるかもしれません。今回の原発事故で我々は“想定外”が当たり前に起こることを知りました。しかし、かもしれないだけでは生きていくことはできず、電気がなければこの記事を見て頂くこともできません。様々な想定のもと万全をつくして町おこしやエコツーリズムなど良い意味での想定外が起きるように開発を進めていって欲しいと思います。

Ecological　Times　Project 代表：三井翔太

本プロジェクトでは随時メンバーを募集しております。活動の根本には授業がありますが、外部の方の協力も歓迎しております。興味を持たれた方、話だけでも聞いてみたいという方がいらっしゃいましたら下記メールアドレスからご連絡下さい。よろしくお願します。

以下参照 HP。これらの HP にはエコタイの HP からリンクでアクセスできます。是非ご活用下さい。

Ecological　Times　Project：http://ecotimproject321.web.fc2.com/
ブログ：http://profile.ameba.jp/ecologicaltimesproject/
環境プロジェクト：http://kanpuro.wordpress.com/
武蔵野大学：http://www.musashino-u.ac.jp/

文章：三井翔太、生田目雄太
編集：三井翔太
デザイン：三井翔太、生田目雄太
編集後記：三井翔太、生田目雄太

Ecological　Times
【第 5 号～地熱発電～】
発効日：2012/8/28
制作：Ecological　Times　Project
代表：三井翔太（環境学専攻 3 年）
Gmail：ecological.times.project@gmail.com
所属：武蔵野大学　有明キャンパス
（東京都江東区有明 3-3-3）