

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

地熱発電 (Vol.3)

—高温岩体発電の水圧破碎エネルギーと開発可能な発電出力—

平成29年3月

“Geothermal Power (vol.3):

Energy of Hydraulic Fracturing for Hot Dry Rock System and Potential Power”

Strategy for Technology Development

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2016-PP-04

概要

高温岩体発電では人工貯留層を造成するために水圧破砕が行われるが、近隣地域への影響が大きい誘発地震の抑制が課題のひとつである。注入する水の圧力、流量、時間で計算される注入エネルギーを、岩体に亀裂を生じさせるエネルギーと生じた亀裂に水を浸入させるエネルギーに分けると、前者は誘発地震、後者は貯留層造成に対応する。過去に行われた 6 サイト（雄勝、肘折、Soultz、Cooper Basin、Basel、Newberry）での水圧破砕のデータを基に、注入エネルギー、誘発地震で解放されるエネルギーおよび造成される貯留層の体積の関係を調査した。その結果、造成される貯留層体積は、注入エネルギーではなく貯留層造成エネルギーに比例することが確認できた。水圧破砕の実施中に貯留層体積を計算できれば、誘発地震のマグニチュードを推定できる。

地熱資源が豊富と言われる日本で開発可能な高温岩体の発電出力を、地質調査総合センター(2009)全国地熱ポテンシャルマップ CD-ROM 版に示された地温勾配 100°C以上/1,000m の地域について試算した。河川から取水した水を人工貯留層に注入し、地上設備をシングルフラッシュ式とし、30 年間稼動する場合、全国で約 22GW が開発可能であることが分かった。温泉発電は約 1GW、熱水系地熱発電は 14GW が開発可能と推定されており、高温岩体発電と合わせると 37GW（電力需要の約 25%に相当）となる。

Summary

Artificial reservoirs are created during hydraulic fracturing for Hot Dry Rock system. However, one of the challenges in hydraulic fracturing is suppressing the induced seismicity which may affect neighboring areas. The water injection energy, calculated from wellhead pressure, flow rate and time, can be divided into energy which generates cracks in the rock mass and energy needed for the water to penetrate into the cracks. The former is associated with induced seismicity and the latter is related to the volume of the reservoir created. Based on data acquired from six sites (Ogachi, Higiori, Soultz, Cooper Basin, Basel and Newberry) where hydraulic fracturing was carried out in the past, the relationships between injection energy, the energy released by induced seismicity and the volume of the created reservoir were investigated. As a result, it could be established that the volume of the created reservoir is proportional to the energy required to create the reservoir. If the volume of the reservoir created during hydraulic fracturing can be measured, the magnitude of the induced seismicity can be estimated.

Generation of power from Hot Dry Rock was estimated in Japan, a country with abundant geothermal resources, with a geothermal gradient of more than 100°C/1,000m as shown in the Geothermal Potential Map (CD-ROM version) published by the Geological Survey of Japan (2009). In a geothermal single flash power plant, approximately 22 GW of power can be generated in 30 years of operation. As power generated from hot springs and hydrothermal resources are estimated to be respectively 1 GW and 14 GW, a geothermal power which includes Hot Dry Rock system can thus attain 37 GW power generation.

目次

概要

1. はじめに	1
2. 水圧破碎のエネルギー	1
2.1 注入エネルギー	1
2.2 造成された人工貯留層体積	3
2.3 貯留層造成エネルギー	3
3. 開発可能な発電出力	5
3.1 人工貯留層造成場所の選定と河川からの取水量	5
3.2 発電出力	6
4. 政策立案のための提案	9
参考文献	10

1. はじめに

高温岩体発電では、高温の岩体に人工貯留層を造成するために水圧破碎が行われる。水圧破碎では、造成される人工貯留層の大きさと透水性が重要であるが、近隣地域に与える影響が大きい誘発地震の抑制も重要である。誘発地震については地震モーメントとの関連で論じられることが多いが、本報告では注入エネルギーに着目する。注入エネルギーを、岩体に亀裂やズレを生じさせるエネルギー、及び生じた亀裂やズレの隙間に水を浸入させるエネルギーに分け、造成される人工貯留層の大きさととの関係を明らかにすることにより、誘発地震の抑制の可能性を示す。

高温岩体発電は経済性に優れた発電技術であることを前 LCS 提案書¹⁾[1]に示した。本報告では、地質調査総合センター(2009)全国地熱ポテンシャルマップ CD-ROM 版[2] (以下、ポテンシャルマップ) に示された地温勾配データを基に、100℃以上/1,000m の地域を抽出し、抽出地域の河川から取水できる量を求め、地上設備をシングルフラッシュ式とし、30 年間稼動するときの発電出力を試算する。

2. 水圧破碎のエネルギー

2.1 注入エネルギー

地表に設置されたポンプにより高压の水が坑井を通して高温岩体に向けて注入される。その注入エネルギー E_i (J)は、式(1)に示すように坑口圧力 P (Pa (=N/m²))、水の流量 F (m³/s)、注入時間 t (s)の積で表すことができる[3]。

$$E_i = P \times F \times t \quad (1)$$

水圧破碎の例として、雄勝高温岩体発電実証実験で 1991 年に実施されたデータ[3]を示す。

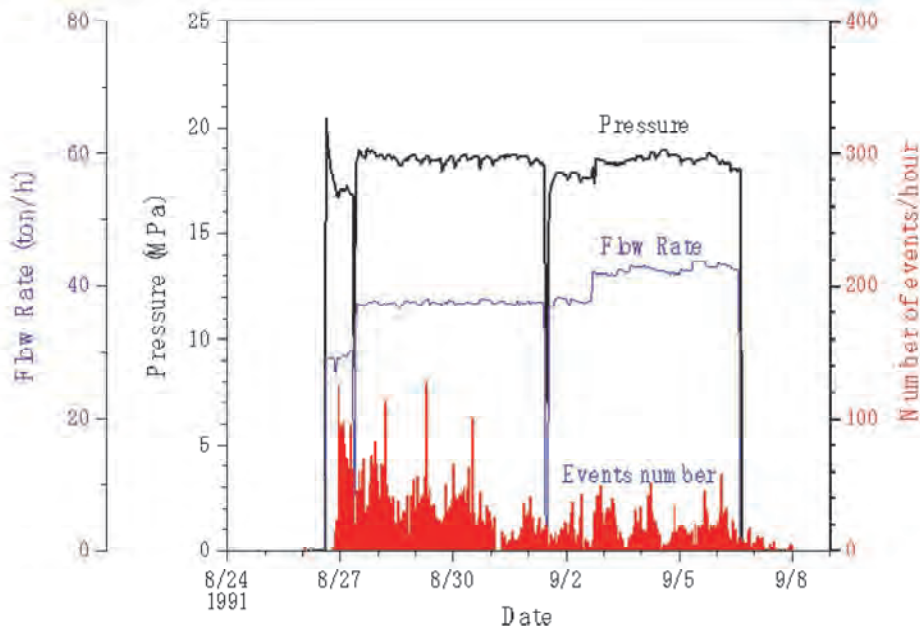


図 1 雄勝の水圧破碎データ[3] (Number of events/hour は 1 時間あたりの誘発地震の回数)

¹⁾ 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書、科学技術振興機構低炭素社会戦略センター (以下、LCS 提案書)。

坑口圧力 P により図 1 を 4 区間に分け、各区間の平均的な坑口圧力、流量、注入時間を読み取り、式(1)により注入エネルギー E_i を計算した結果を表 1 に示す。

表 1 注入エネルギー E_i の計算例

区間	1	2	3	4	合計
坑口圧力 P (MPa)	17.0	18.5	18.0	18.5	—
流量 F (m ³ /h)	28.7	37.6	37.6	43.2	—
注入時間 t (h)	21	120	33	91	—
注入量 (m ³)	603	4,512	1,241	3,931	10,287
注入エネルギー E_i (GJ)	10	84	22	73	189

一方、誘発地震により解放される地震エネルギー E_s (J) は Richter 式(式(2))により計算できる[4]。

$$E_s = 10^{1.5 \times M + 4.8} \quad (2)$$

ここで、 M は地震のマグニチュードである。過去に行われた 6 事例[3],[5],[6],[8]について、水圧破碎の注入エネルギー E_i と、誘発地震のなかで最大マグニチュードの地震エネルギー E_{max} を計算した結果を表 2 に示す。

表 2 高温岩体発電実証実験の水圧破碎データから得られる、注入エネルギー E_i と地震エネルギー E_{max}

	雄勝[3]	肘折[3]	Soultz[5]	Cooper Basin[3]	Basel[6]	Newberry [8]
実施時期	1991 年	1992 年	2000 年	2003 年	2006 年	2012 年
注入エネルギー E_i (GJ)	189	46.6	300	879	288	347
最大マグニチュード	2.0	0.3	2.6	3.7	3.4	2.4
地震エネルギー E_{max} (GJ)	0.06	0.0002	0.5	22.4	7.9	0.25
比率 E_{max} / E_i	3×10^{-4}	4×10^{-6}	1.7×10^{-3}	2.5×10^{-2}	2.7×10^{-2}	7.2×10^{-4}

図 2 に示すように、水圧破碎で発生した最大マグニチュードの地震エネルギー E_{max} と注入エネルギー E_i には相関がない。また、図 3 に示すように、比率 E_{max} / E_i はサイトにより差が大きく、2.5~3.0% と 0.5% 以下の 2 グループに分かれる。

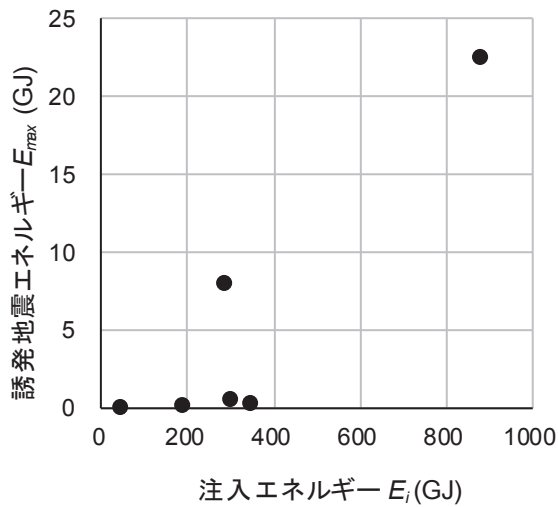


図 2 最大地震エネルギー E_{max}

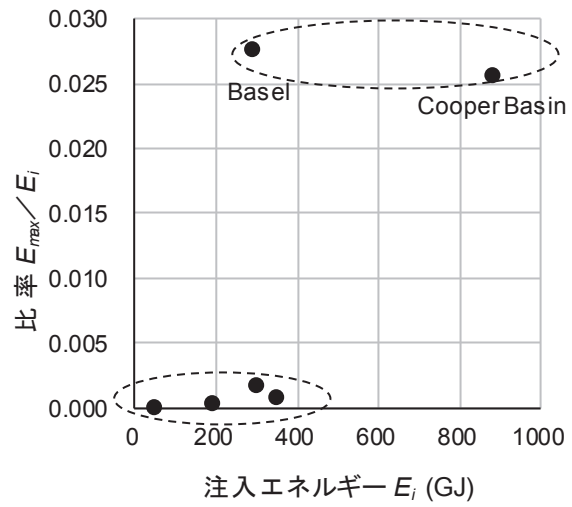


図 3 比率 E_{max}/E_i

2.2 造成された人工貯留層体積

雄勝、肘折、Cooper Basin、Basel の貯留層体積は文献[3],[6]に示されている。Soultz と Newberry の貯留層の体積は、誘発地震震源マップから人工貯留層が存在する直方体体積[7],[8]を基に推定した。その結果を表 3 (2.3 節に掲載) の貯留層体積に示す。

注入エネルギーに対して造成された貯留層体積を図 4 にプロットした。注入エネルギーが増えるほど貯留層体積も増加する傾向は認められるが、相関は弱い。

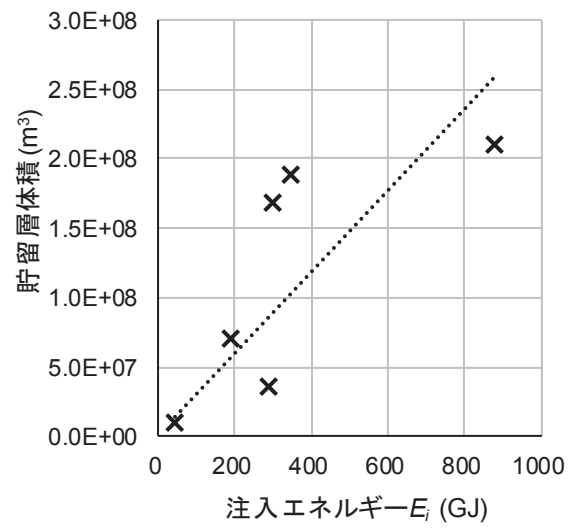


図 4 造成される貯留層の大きさ

2.3 貯留層造成エネルギー

地下に送り込まれた水の圧力によって岩体に亀裂が生じ、その亀裂の隙間に水が浸入する。浸入した水によって隙間の奥でさらに亀裂が生じる。このようにして水圧破砕により亀裂が進展する。水圧破砕の注入エネルギーを、岩体に亀裂を生じさせるエネルギーと、亀裂の隙間に水を浸入させるエネルギーに分けて考える。前者は誘発地震に、後者は貯留層造成に対応し、注入エネルギー E_i は、式(3)で表すことができる。

$$E_i = \sum(E_s) + E_R \quad (3)$$

ここで、 $\sum(E_s)$ は誘発地震エネルギーの総和、 E_R は貯留層造成エネルギーである。造成される貯留層体積は、注入エネルギーではなく貯留層造成エネルギーと関連付けられるはずである。

観測された最大マグニチュードの誘発地震エネルギー E_{max} は総和 $\sum(E_s)$ の 5%にあたと仮定すると、 E_{max} は式(4)で与えられる。

$$E_{max} = 0.05 \times \sum(E_s) \quad (4)$$

注入エネルギー E_i と最大地震エネルギー E_{max} が分かっているので、式(3)及び式(4)から、貯留層造成エネルギー E_R を計算できる。6 サイトの貯留層造成エネルギーを表 3 に示す。

表 3 高温岩体発電実証実験の水圧破碎データから得られる貯留層体積、地震エネルギー総和 $\sum(E_s)$ 、及び貯留層造成エネルギー E_R *1

	雄勝	肘折	Soultz	Cooper Basin	Basel	Newberry
貯留層体積 (m ³)	7×10 ⁷	1×10 ⁷	1.7×10 ⁸	2.1×10 ⁸	3.5×10 ⁷	1.9×10 ⁸
注入エネルギー E_i (GJ)	189	46.6	300	879	288	347
最大地震エネルギー E_{max} (GJ)	0.06	0.0002	0.5	22.4	7.9	0.25
地震エネルギー総和 $\sum(E_s)$ (GJ)	1.2	0.004	10	448	158	5
貯留層造成エネルギー E_R (GJ)	188	46.6	290	431	129	342

*1, 表 3 には、表 2 で求めた注入エネルギー E_i 、及び最大地震エネルギー E_{max} を再掲した。

図 5 に示すように、貯留層体積は貯留層造成エネルギーとほぼ比例関係にあることが確かめられた。ここで、横軸が注入エネルギー E_i である図 4 と、横軸が貯留層造成エネルギー E_R である図 5 を重ねて、図 6 に示す。

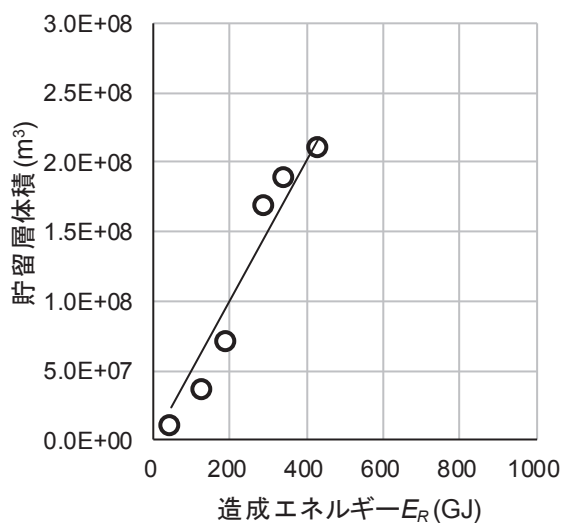


図 5 造成される貯留層の大きさ

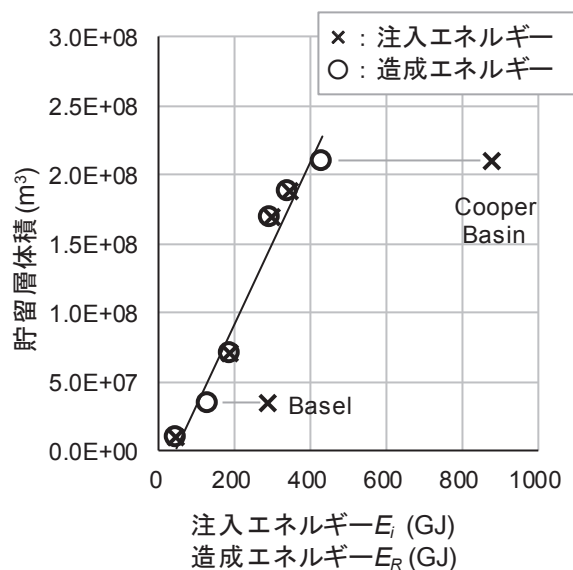


図 6 造成される貯留層の大きさ

Cooper Basin と Basel 除く 4 サイトは、注入エネルギー(\times)と貯留層造成エネルギー(\circ)が近接している。式(3)に示したように、注入エネルギー=誘発地震エネルギー+貯留層造成エネルギーであるから、この 4 サイトの誘発地震エネルギーは小さい。しかし、Cooper Basin と Basel は、岩体の材質、構造などが原因で、岩体に亀裂を発生させるのに高いエネルギーを必要としていると考えられる。これは図 3 から導かれる推論と一致する。

一方、図 5 より 6 サイトの貯留層体積は貯留層造成エネルギーとほぼ比例するから、貯留層を造成するのに必要なエネルギーは、地域によらないと言える。

水圧破碎を実施中に圧力と流量は計測されており、式(1)から注入エネルギー E_i を求めることができる。貯留層体積を同時に計測できれば、図 5 の比例関係から人工貯留層を造成するのに要した貯留層造成エネルギー E_R が分かるので、式(3)から誘発地震エネルギーの総和 $\Sigma(E_s)$ を計算でき、更には最大誘発地震マグニチュードを推定することが可能となる。

3. 開発可能な発電出力

3.1 人工貯留層造成場所の選定と河川からの取水量

ポテンシャルマップ[2]によると地温勾配が 100°C 以上/ $1,000\text{m}$ の地域は 21 あり (図 7 参照)、深度 $3,000\text{m}$ で地温 300°C 以上が期待できる。

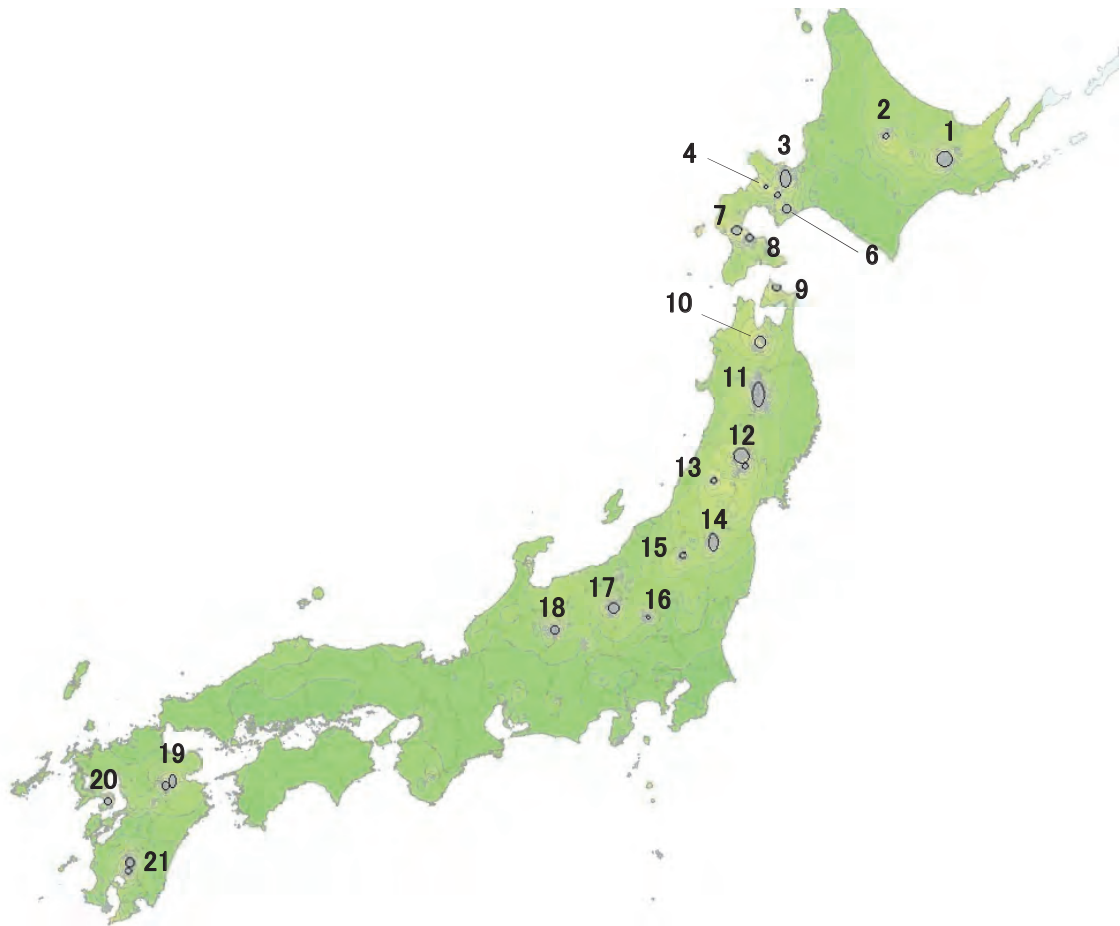


図 7 地温勾配 100°C 以上/ $1,000\text{m}$ の地域
ポテンシャルマップ[2]を基に作成

次の条件の下で人工貯留層の造成場所を選定する。

- (1) 地温勾配 100°C 以上/ $1,000\text{m}$ の中に造成する
- (2) ポテンシャルマップ[2]に示された河川沿いとする
- (3) 一単位 ($1\text{km}\times 1\text{km}$) 以上の集合とする
- (4) 景観保護のため 1 つの人工貯留層は河川を跨がない
- (5) 干渉を避けるため、隣り合う人工貯留層は約 2km 離す
- (6) 自然公園の特別保護地区は避ける

ポテンシャルマップ[2]に示された河川から取水して、人工貯留層に注入する。河川に設けられた水文観測所[9]、及び水力発電所[10]の流域面積と低水流量²⁾のデータから、取水位置での取水量は流域面積に比例するとして算出する。また、水文観測所の低水流量を流域面積で割った値は約 $0.02\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ [9]であるので、水文観測所や水力発電所がない場合は、取水位置での流域面積にこれに乗じて計算する。

3.2 発電出力

地上発電設備をシングルフラッシュ式とした場合の高温岩体発電のブロック図を図 8 に示す。

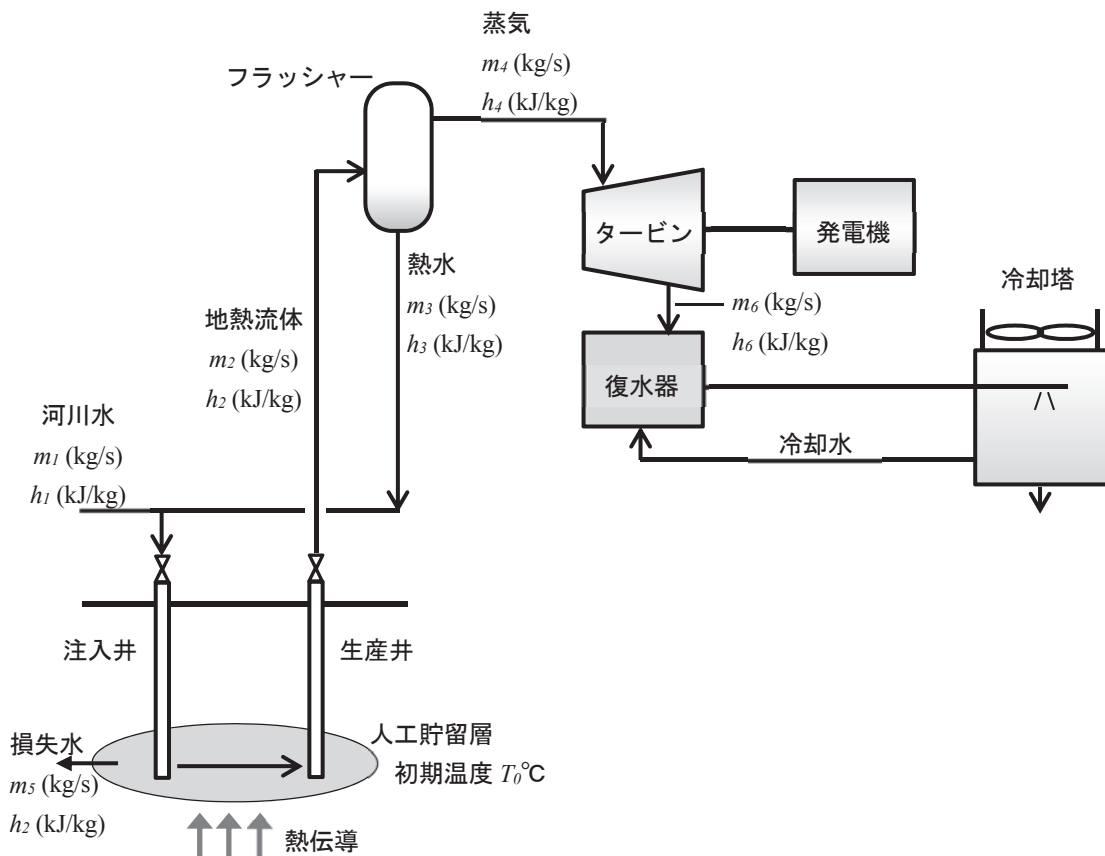


図 8 高温岩体発電ブロック図

m_i (kg/s)及び h_i (kJ/kg)は、 i 成分の流量およびエンタルピー、 T_0 ($^{\circ}\text{C}$)は人工貯留層の初期温度。

²⁾ 河川で観測した 365 日分の流量データを、大きい順に並べて、275 番目の流量。1 年を通じて 275 日はこれを下回らない流量。

図 8 において、人工貯留層の水が外部に逃げる損失水の流量を $m_5(\text{kg/s})$ とし、生産井から取り出される地熱流体流量 $m_2(\text{kg/s})$ と注入井への注入水量 (すなわち、河川水流量 $m_1(\text{kg/s})$ 及びフラッシュャー熱水出口から出る熱水流量 $m_3(\text{kg/s})$ の和($=m_1+m_3$) の比率を、水回収率 $R (=m_2/(m_1+m_3))$ とする。また、フラッシュャー蒸気出口における蒸気の流量 $m_4(\text{kg/s})$ と地熱流体流量 $m_2(\text{kg/s})$ の比率を、フラッシュ蒸気比率 $X (=m_4/m_2)$ とする。

微小時間 dt のあいだに岩体温度変化 dT が生じるとすると、式(5)が成り立つ。

$$V\rho C \cdot dT = (-m_2h_2 - m_3h_2 + \lambda AS + m_1h_1 + m_3h_3) \cdot dt \quad (5)$$

V : 岩体体積 m^3 、 ρ : 岩体密度 kg/m^3 、 C : 岩体の比熱 $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ 、 λ : 熱伝導率 $\text{W/m}^\circ\text{C}$ 、

A : 底面積 m^2 、 S : 温度勾配 $^\circ\text{C/m}$

h_1 : 河川水のエンタルピー kJ/kg

h_2 : 温度 $T(^\circ\text{C})$ の人工貯留層内の熱水エンタルピー kJ/kg

h_3 : フラッシュ温度における熱水エンタルピー kJ/kg

h_4 : フラッシュ温度における飽和蒸気エンタルピー kJ/kg

m_2 、 m_3 、 m_5 は、河川水流量 m_1 、水回収率 R 、フラッシュ蒸気比率 X で表せる[1]。

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{R}{1-R(1-X)} \quad m_3 = m_1 \cdot \frac{R(1-X)}{1-R(1-X)} \quad m_5 = m_1 \cdot \frac{1-R}{1-R(1-X)}$$

式(5)に、上記の m_2 、 m_3 、及び m_5 を代入した後、 $X=(h_2-h_3)/(h_4-h_3)$ [1]を代入し、水の物性値から $h_2=4.19 \times T$ と近似して、 T について整理すると式(6)を得る。

$$\frac{a_1T + a_2}{a_3T + a_4} \cdot dT = dt \quad (6)$$

ここで、式(6)の係数および定数は次式で与えられる。

$$a_1 = 4.19V\rho CR \quad (7)$$

$$a_2 = -V\rho C(h_3 - h_4 + Rh_4) \quad (8)$$

$$a_3 = 4.19\{m_1(h_3 - h_4) + \lambda ASR + m_1(h_1 - h_3)R\} \quad (9)$$

$$a_4 = -\lambda AS(h_3 - h_4 + Rh_4) - m_1h_1(h_3 - h_4) - m_1Rh_4(h_1 - h_3) \quad (10)$$

人工貯留層の初期温度を $T_0(^\circ\text{C})$ とし、式(6)を解いて式(11)を得る。

$$\frac{a_1}{a_3}(T - T_0) + \left(\frac{a_2}{a_3} - \frac{a_1a_4}{a_3^2} \right) \cdot \ln \left(\frac{a_3T + a_4}{a_3T_0 + a_4} \right) = t \quad (11)$$

式(11)により時刻 t における岩体温度を計算し、前報[1]の高温岩体発電プロセスに示した計算式(式(12))を用いて発電出力 W_e を計算する。

$$W_e = m_4 \times (h_4 - h_6) \quad (12)$$

計算条件は下記とする。

人工貯留層の厚さ：2,000m（深度 2,000～4,000m）

岩体：初期平均温度 $T_0=300^{\circ}\text{C}$ 、密度 $\rho=2,660\text{kg/m}^3$ 、比熱 $C=0.84\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ 、熱伝導率 $\lambda=2.6\text{W/m}^{\circ}\text{C}$

地温勾配 S ： $100^{\circ}\text{C}/1,000\text{m}$ （時間経過によらず一定と仮定する）

水回収率 R ：98%

温度：フラッシュ温度 150°C 、復水器出口温度 45°C

稼動期間：30 年（平均岩体温度が 300°C から 200°C まで低下する）

図 7 の中から北海道 2 地域、東北 3 地域、九州 1 地域を選び、P.6 に示す貯留層造成条件の下で取水量と発電出力を試算した結果を表 4 に示す。

表 4 6 地域の取水量と開発可能な発電出力

地域番号 (図 7)	地域面積 km^2	貯留層 No.	貯留層面積 km^2	取水量 m^3/s	可能な発電出力 MW	地域の合計 MW
3	330	1	4	0.5	200	770
		2	9	1.4	570	
6	60	1	12	2.3	920	920
10	200	1	6	1.2	460	1,350
		2	12	2.2	890	
11	620	1	7	1.3	520	4,830
		2	2	0.4	150	
		3	2	0.3	120	
		4	4	0.8	310	
		5	9	1.6	640	
		6	10	1.8	720	
		7	10	1.9	760	
		8	10	1.9	760	
12	450	1	9	1.5	600	3,170
		2	12	1.8	730	
		3	9	1.6	640	
		4	18	3.8	1,200	
21	130	1	4	0.5	200	810
		2	9	1.5	610	
合計	1,790	--	--	30.4	--	11,550

開発可能な発電出力の合計 11,550MW を 6 地域の面積の合計 $1,790\text{km}^2$ で割ると、単位面積あたりの発電出力は $6.5\text{MW}/\text{km}^2$ である。全国の地温勾配 100°C 以上/ $1,000\text{m}$ の面積 $3,340\text{km}^2$ に $6.5\text{MW}/\text{km}^2$ を乗じると、表 5 に示すように全国の発電出力は約 22GW と推定できる。

表 5 全国の高温岩体発電出力

エリア	地域番号(図 7)	高温地域の面積 km ²	推定発電出力 MW
北海道	1 - 8	1,160	7,500
東北	9 - 15	1,590	10,300
東京	16 - 17	210	1,400
中部	18	110	700
九州	19 - 21	270	1,800
合計		3,340	21,700

開発可能な発電出力は、温泉発電で 1~2GW、熱水系地熱発電で 14GW と試算されており[11]、高温岩体発電と合わせると 37GW となり、電力需要の約 25%に相当する。

日本全国の降水量は 6,400 億 m³/年であり、このうち河川水量は 2,400 億 m³/年である[12]。河川水は、農業用水 520 億 m³/年、工業用水 80 億 m³/年、生活用水 120 億 m³/年に使用されており、残りは 1,680 億 m³/年である。

表 6 日本の水資源収支

単位:億 m³/年

全降水量	内訳	
	6,400	蒸発散
	河川水	2,400
	地下水	1,700

高温岩体発電 20GW を発電するのに必要な水量は、水回収率 50%、98%のときそれぞれ 86 億 m³/年、16 億 m³/年であり、河川水から確保することは可能である。

4. 政策立案のための提案

現在多くの熱水系地熱発電と温泉発電の開発プロジェクトが進められており、これらの水の起源は地下水である。高温岩体発電は河川水を利用するため、地下水を利用する温泉事業との共存が可能である。地熱発電の比率をさらに高めるためには高温岩体発電の開発が必要であり、そのための技術課題を以下に示す。

- (1) 水圧破碎の注入エネルギーを地震エネルギーと貯留層造成エネルギーに分けることにより、誘発地震エネルギーの大きさを推定することが可能になった。今後、最大マグニチュードの誘発地震の発生時期を予測するためにも、誘発地震低減の原理の解明が必要である。
- (2) 注水量に対する生産量の比である水回収率は、発電出力と発電コストに大きく影響する。今後は、坑井配置や人工帽岩の形成など、水回収率を向上させる技術を確立する必要がある。
- (3) 熱水系地熱資源量の評価は容積法によって行われるが、高温岩体発電の資源量の評価方法は定まっていない。本報告の 3 章に発電出力の評価方法の一例を示したが、今後は、高温岩体発電の賦存量や開発可能な発電出力を明確にするために、資源量を評価する方法を確立する必要がある。
- (4) 本報告書では、地上設備をシングルフラッシュ式とし、取水量に合わせて発電出力を試算した。一方、取水量に制約がある地域で地上設備にバイナリー式を採用すると発電が可能となる場合がある。今後は、地上設備としてシングルフラッシュ式とバイナリー式の使い分けの条件を定量的に明らかにする必要がある。

参考文献

- [1] 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書, “地熱発電(Vol.2)－高温岩体発電の発電コスト試算－”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2016 年 3 月.
- [2] 産業技術総合研究所地質調査総合センター, “地質調査総合センター(2009)全国地熱ポテンシャルマップ CD-ROM 版”, 数値地質図, GT-4, 2009.
- [3] Kaieda, H., Sasaki, S. and Wyborn, D., “Comparison of Characteristics of Micro-Earthquakes Observed During Hydraulic Stimulation Operation in Ogachi, Hijiori and Cooper Basin HDR Projects”, Proceedings World Geothermal Congress, 2010.
- [4] Gutenberg, B. and Richter, C.F., “Magnitude and energy of earthquakes”, Ann. Geofis., 9, 1-15, 1956.
- [5] Weidler, R. et al., “Hydraulic and Micro-Seismic Results of a Massive Stimulation Test at 5 km Depth at the European Hot-Dry-Rock Test Site Soultz, France”, Proceedings, 27th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, 2002.
- [6] Häring, M.O., Schanz, U., Lander, F. and Dyer, B.C., “Characterisation of the Basel 1 enhanced geothermal system”, Geothermics, 37, 469-495, 2008.
- [7] Tester, J.W. et al., “The Future of Geothermal Energy – Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century”, Massachusetts Institute of Technology, 2006.
- [8] Cladouhos, T.T., et al., “Micro-seismic Monitoring of Newberry Volcano EGS Demonstration”, Proceedings, 38th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, 2013.
- [9] 国土交通省, “水質水文データベース”, <http://www1.river.go.jp/> (2017 年 2 月 21 日アクセス).
- [10] 流域面積と低水流量, 各水力発電所のホームページ, 2016.
- [11] 環境省, “平成 26 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書”, <http://www.env.go.jp/earth/report/h28-02/index.html> (2017 年 2 月 21 日アクセス).
- [12] 国土交通省水管理・国土保全局水資源部, “日本の水資源”, 平成 26 年版, http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_fr2_000012.html (2017 年 2 月 21 日アクセス).

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

地熱発電 (Vol.3)
— 高温岩体発電の水圧破碎エネルギーと開発可能な発電出力 —

平成 29 年 3 月

“Geothermal Power (vol.3):
Energy of Hydraulic Fracturing for Hot Dry Rock System and Potential Power”
Strategy for Technology Development,
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2017.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 主任研究員 石川 環 (Tamaki ISHIKAWA)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<http://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2017 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
