

技 術 報 告

持続可能な蒸気生産・電力生産に向けて —松川地熱発電所の場合—

梶原竜哉*・花野峰行**・大宮武美***・小田中浩一****

(平成16年2月17日受付, 平成16年3月15日受理)

The Efforts for Sustainable Steam Production and Electrical Power Generation in the Matsukawa Geothermal Field, Japan

Tatsuya KAJIWARA*, Mineyuki HANANO**, Takemi OMIYA*** and Koichi KOTANAKA****

Abstract

This paper reports successful operation of the Matsukawa geothermal power plant since 1966. This includes a summary of the production and electrical power records of the power plant. The wells and reservoir have shown a very slow decline, which is a result of appropriate station sizing and adequate operational criteria. The power plant was sized only to meet the demand of the company's factory for its in-house electric use, instead of full utilization of the resource. The power plant has been operated so as to maximize the profit instead of insisting on operating continuously at full power. A proper understanding of the reservoir based on some chemical and physical monitoring data has helped to maintain stable operation. Station sizing (23.5 MWe since 1993) appears to be the most important factor in the successful development and operation of the Matsukawa geothermal field.

Keywords : sustainability, Matsukawa geothermal field, power generation

1. はじめに

松川地熱発電所は、盛岡市から北西約 27 km の十和田八幡平国立公園の南東部に位置し、第四紀火山である秋田駒ヶ岳や岩手山などに取り囲まれた地域にある (Fig. 1)。

松川地熱発電所は日本重化学工業(株)が1956年

(昭和31年) から開発を目指した調査を開始し、1966年 (昭和41年) 10月に発電を開始した日本で最初の商業規模地熱発電所であり、蒸気卓越型地熱貯留層を持つ。認可発電出力は当初 9.5 MW で開始され、1967年 (昭和42年) 4月に 12.5 MW、1968年 (昭和43年) 3月に 20 MW、1973年 (昭

*地熱エンジニアリング(株) 探査部 〒020-0172 岩手県岩手郡滝沢村鶴飼字細谷地 101-1

JMC Geothermal Engineering Co., Ltd. 101-1 Hosoyachi, Ukai, Takizawa-mura, Iwate, 020-0172, Japan

**日本重化学工業(株) 盛岡事務所 〒020-0172 岩手県岩手郡滝沢村鶴飼字細谷地 101-1

Japan Metals and Chemicals Co., Ltd. 101-1 Hosoyachi, Ukai, Takizawa-mura, Iwate, 020-0172, Japan

***東北水力地熱(株) 葛根田地熱事務所 〒028-0585 岩手県岩手郡雫石町長山北葛根田 Tohoku Hydropower and Geothermal Energy Co., Inc. Kita-Kakkonda, Nagayama, Shizukuishi-cho, Iwate, 028-0585, Japan

****東北水力地熱(株) 松川地熱発電所 〒028-7302 岩手県岩手郡松尾村寄木松川温泉 Tohoku Hydropower and Geothermal Energy Co., Inc. Matsukawa-onsen, Yoriki, Matsuo-mura, Iwate 028-7302, Japan

© The Geothermal Research Society of Japan, 2004

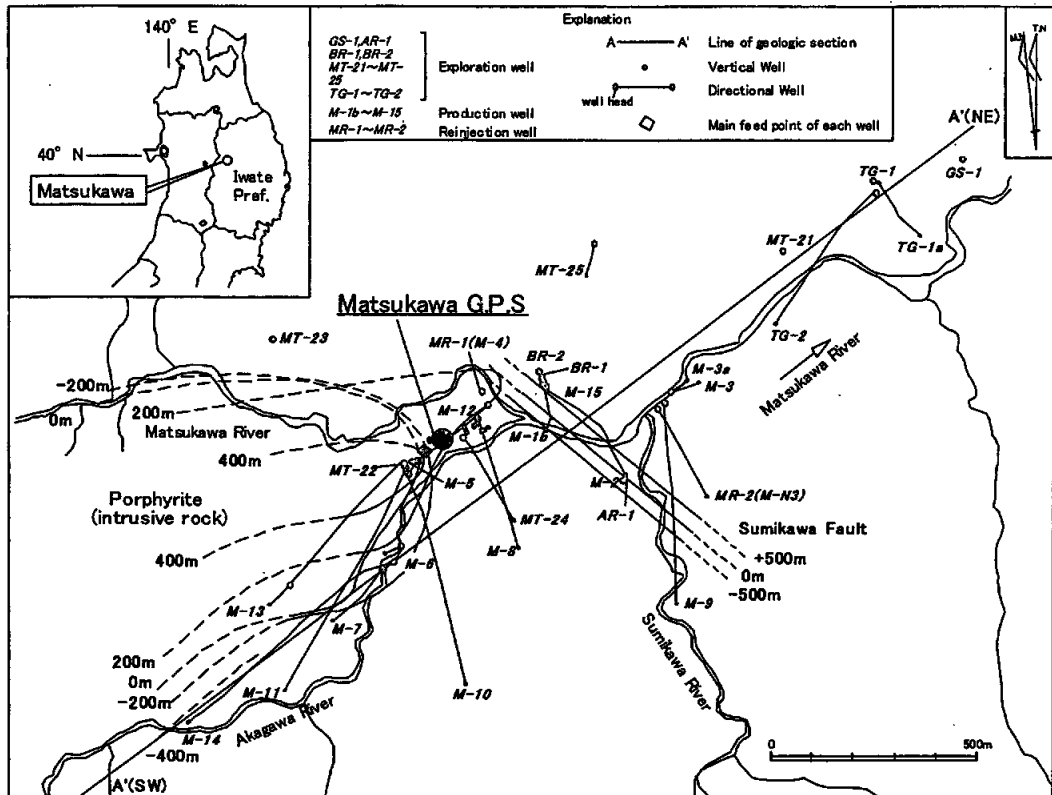


図1 松川地熱発電所の坑井配置図 (大関ほか, 2001)
Fig. 1 Well locations at Matsukawa (Ozeki et al., 2001).

和48年) 4月に22 MW, そして, 1993年(平成5年) 6月に23.5 MWになり現在に至っている。1993年6月には蒸気タービンの更新も実施した。当発電所運転開始以来の発電量は2003年(平成15年) 3月末までで59億6千8百万 kWh, 平均発電出力は19.97 MWである。現在は10本の生産井が使用されている。また, 1988年(昭和63年)以降は貯留層の涵養を目的とした注水を断続的に行っており, Hanano et al. (1991a), 笠井(2001a), 奥村ほか(2001), 梶原(2003), 梶原ほか(2003)にその成果が紹介されている。

当地域における開発経緯や運転状況については, 中村(1966a, 1966b), 森(1967), Mori(1970), 大西ほか(1981), 七沢(1987), 花野ほか(1989), 森・片桐(1991), Hanano et al. (1993)などに述べられ, Hanano(2003)では松川地熱地域の持続性について述べられている。また, 当地域の

貯留層管理については, 花野(1994, 1995), 笠井(1997, 2001b)に述べられている。さらに, 松川地域の貯留層モデルについては, 大関ほか(2001)において, 開発当初から最近までのモデルの変遷についてまとめられている。

ここでは, 松川地熱発電所の運転開始に至るまでの経緯と37年余の発電継続の状況を先達の成果に基づき改めて述べると共に, 地熱発電の持続性について述べる。

なお, 松川地熱発電所は2003年(平成15年) 10月1日から日本重化学工業(株)から東北電力(株)グループ企業である東北水力地熱(株)へ事業承継され, 葛根田地熱発電所の蒸気供給設備(1号機, 2号機)と共に運転・管理がなされている。

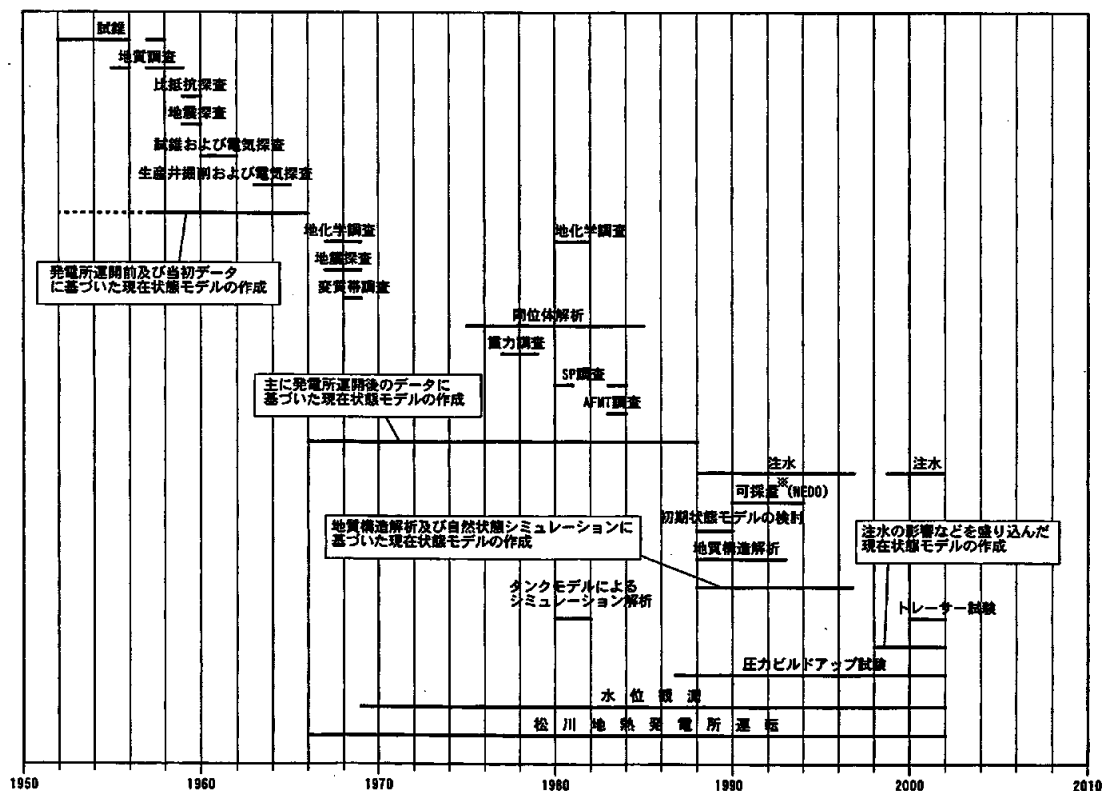
2-(1) 開発開始の経緯

2-(2) 開発までの調査内容・発電出力の決定経過

その後、1958年（昭和33年）からは当時地熱調査の唯一の機関であった通商産業省工業技術院地質調査所（現、産業技術総合研究所）との共同研究のもとに、調査研究を進めた。その後、1960年（昭和35年）には鉱工業技術試験研究補助金（通産省工業技術院より）の交付や1962年（昭和37年）には新技術開発事業団の技術開発委託事業「地熱発電用蒸気の生産技術」に取り上げられるなどの支援を受けている（中村、1966a, 1966b, 森、1967）。

運転開始までの調査内容を運転開始後と併せて Table 1 に示す。地表調査としては、地質調査、電気探査、地震探査を実施し、地下構造を明らかにすると共に、深度 325~571 m の 3 本の調査井を掘削し、坑井内調査や噴気試験と材料試験を実施した。坑井内温度情報（深度 500 m で 250℃）や噴気試験結果を受け、生産井として深度 1,200 m まで掘削すれば、温度は 290℃ に達し、1 坑井

表1 松川地域主要調査一覧 (大関ほか, 2001)
Table 1 Table of the survey at Matsukawa (Ozeki et al., 2001).



※：「可採量」はNEDOによる「可採量増大技術の開発」による調査である。

当たり 30～60 t/h の蒸気が得られるとして 3 本の生産井の掘削を計画するに至った。この時点での目標とする発電出力は 5 MW であった (Mori, 1970)。

1963 年 (昭和 38 年) から生産井 M-1 の掘削に取りかかり、翌 1964 年 (昭和 39 年) 1 月には深度 945 m まで掘削後に 60 t/h の噴気を見るに至った。同年に掘削された生産井 M-2 も深度 1,085 m まで掘削後に噴気したが、1 坑井当たり 4～5 MW の蒸気が得られると判断されたため、発電計画を当初の 5 MW から 20 MW へ変更した。これらの坑井掘削の成功後も順次生産井 M-3、M-4 の掘削を行うと共に、同時並行して発電所の建設工事を進め、1966 年 (昭和 41 年) 10 月 8 日に調査開始から 10 年の年月を経て、開発に当たられた諸先輩方の苦勞の結晶である我が国最初の設備容量 20 MW の自家用地熱発電所が完成する運びとなった (森, 1967, Mori, 1970)。

なお、Mori (1970) によれば、運開当時において松川地域の発電能力は 60 MW までであると考えられていた。ただし、当発電所の建設目的が、玉山村に建設する予定であったフェロアロイ工場のための自家発電であったことから、この時点では、この能力までの開発を手がけることはなかった。また、その後は、後述するように掘削用敷地の問題から増設は行われなかった。

3. 運転開始後の経過・運転実績

3-1(1) 運転実績

1966 年 (昭和 41 年) 10 月に M-1 と M-2 を使用して出力 9.5 MW の一部使用認可を得て運転を開始し、1967 年 (昭和 42 年) 4 月には M-3 を合流させて出力 12.5 MW の一部使用認可、さらに、1968 年 (昭和 43 年) 3 月には M-5 を合流させて、目標としていた 20 MW の認可を受けるに至った。その後、M-7 の成功による蒸気増量を受けてタービン・発電機等の改造を行い、1973 年 (昭和 48 年) 4 月から認可出力を 22 MW に変更した (大西ほか, 1981)。また、発電開始から 26 年余を経た 1993 年 (平成 5 年) 6 月には蒸気タービンを更新し、発電効率を改善することによって認可出力を 23.5 MW へと変更した。このように、発電は

表 2 運転実績と生産井数の推移
(火力原子力発電技術協会, 2003)

Table 2 Power generation history and number of production wells for each fiscal year at Matsukawa.

年度	認可出力 (MW)	累計時間 (h)	発電量 (kWh)	平均出力 (kW)	稼働率 (%)	利用率 (%)	所内率 (%)	発電率 (%)	生産井 使用本数
昭和 41 年	9.5	3,115	27,389	8,786	76.0	68.8	7.0	62.7	2
昭和 42 年	12.5	7,146	77,238	10,809	86.8	69.5	6.2	42.9	3
昭和 43 年	20.0	7,621	115,501	15,158	89.3	65.9	4.5	68.9	4
昭和 44 年	20.0	8,410	151,304	17,991	96.4	86.4	4.1	83.8	5
昭和 45 年	20.0	8,254	157,819	19,120	96.2	90.1	4.1	85.8	6
昭和 46 年	20.0	8,398	182,073	19,299	97.5	92.3	4.5	87.4	6
昭和 47 年	20.0	8,434	176,463	20,923	97.0	100.7	4.2	91.6	6
昭和 48 年	22.0	8,478	183,680	21,665	97.5	95.7	4.0	93.2	6
昭和 49 年	22.0	8,384	181,222	21,667	96.2	94.0	4.0	91.9	6
昭和 50 年	22.0	8,450	170,884	20,197	97.3	88.3	4.2	86.7	6
昭和 51 年	22.0	7,885	180,848	19,860	88.2	78.3	4.6	78.6	6
昭和 52 年	22.0	8,487	174,959	20,615	97.0	90.8	4.5	89.2	7
昭和 53 年	22.0	8,089	162,278	20,082	93.2	84.2	4.5	83.1	7
昭和 54 年	22.0	8,441	175,477	20,789	97.0	90.8	4.5	89.2	8
昭和 55 年	22.0	8,010	158,123	19,741	93.2	82.0	5.6	82.4	8
昭和 56 年	22.0	8,432	183,688	21,784	97.0	95.3	6.3	92.4	8
昭和 57 年	22.0	8,174	171,918	21,032	94.0	89.2	6.3	85.3	8
昭和 58 年	22.0	8,409	181,346	21,566	96.7	93.6	6.1	89.4	9
昭和 59 年	22.0	7,287	143,062	19,806	84.4	74.2	6.5	70.7	9
昭和 60 年	22.0	8,323	142,604	17,134	86.7	74.0	7.7	74.0	9
昭和 61 年	22.0	8,108	167,945	20,713	94.0	87.1	6.3	85.2	10
昭和 62 年	22.0	8,294	184,538	22,250	95.9	95.5	5.9	93.4	10
昭和 63 年	22.0	8,270	180,380	21,811	95.1	93.6	6.4	91.5	10
平成 1 年	22.0	8,355	173,387	20,750	96.2	90.0	7.5	94.4	10
平成 2 年	22.0	8,157	171,874	21,083	93.7	89.2	6.6	89.2	11
平成 3 年	22.0	8,541	173,551	20,320	98.1	89.8	6.8	89.8	10
平成 4 年	22.0	8,460	175,832	20,784	97.3	91.2	7.4	91.2	10
平成 5 年	23.5	7,103	164,686	23,172	82.2	80.0	6.8	80.0	10
平成 6 年	23.5	8,420	194,759	23,131	96.7	94.6	6.6	94.6	10
平成 7 年	23.5	8,297	173,841	20,952	95.3	84.4	7.3	84.4	9
平成 8 年	23.5	8,434	169,547	20,103	97.0	82.4	7.7	82.4	10
平成 9 年	23.5	8,511	170,902	20,080	97.2	83.9	7.7	83.0	10
平成 10 年	23.5	8,302	157,362	18,955	95.3	76.4	8.0	76.4	10
平成 11 年	23.5	8,490	145,285	17,112	97.2	70.4	9.2	70.4	10
平成 12 年	23.5	8,494	161,690	19,031	97.0	78.5	8.9	78.5	10
平成 13 年	23.5	8,482	182,691	21,590	97.3	88.7	7.3	88.7	11
平成 14 年	23.5	8,130	171,651	21,113	93.4	83.4	7.4	83.4	11
合計	—	298,827	5,867,337	19,970	—	—	—	—	—

社内で目標とされた開発規模 20 MW に見合う蒸気が確保される前から開始され、その後の生産井の掘削・合流により発電出力は随時アップされた。また、早期の発電開始により、早期の開発資金の回収を実現できた。このような段階的な発電出力の増強が可能であったのは、自家発電であることから許認可事項が少なく済んだことと、当時まだ大規模な環境アセスメントが必要ではなかったことによる。

運開以来、2003 年 (平成 15 年) 3 月末までの発電実績は Table 2 の通りである。この間の発電量は 59 億 6 千 8 百万 kWh、平均発電出力は 20.0 MW となる。発電所の定期点検は春期と秋期の年 2 回に分けて実施している。

運転開始以来、順調に運転を実施しているが、運転開始もない 1967 年 (昭和 42 年)、1968 年 (昭和 43 年) と 1987 年 (昭和 62 年) にはタービン羽根の折損事故が発生し、1984 年 (昭和 59 年) には発電機回転子コイルの溶損事故が発生した。また、1984～1986 年 (昭和 59～61 年) にかけては蒸気性

状態変化に伴いタービンにスケールが付着しタービン効率が低下するトラブルに見舞われている（七沢，1987）。それぞれの事故・トラブルに対してタービンの改良を行うなどの対策を行った結果，その後は安定的な発電を行うことができるようになった。

3-(2) 蒸気流量・蒸気温度の推移

タービン入口での蒸気流量と蒸気温度の推移を Fig. 2 と Fig. 3 に示す。蒸気流量は，ここ 30 年間以上おおよそ 200 t/h 前後で推移している。また，1988 年（昭和 63 年）からは貯留層涵養を目的として，MR-1 と MR-2（M-N3）に断続的な注水

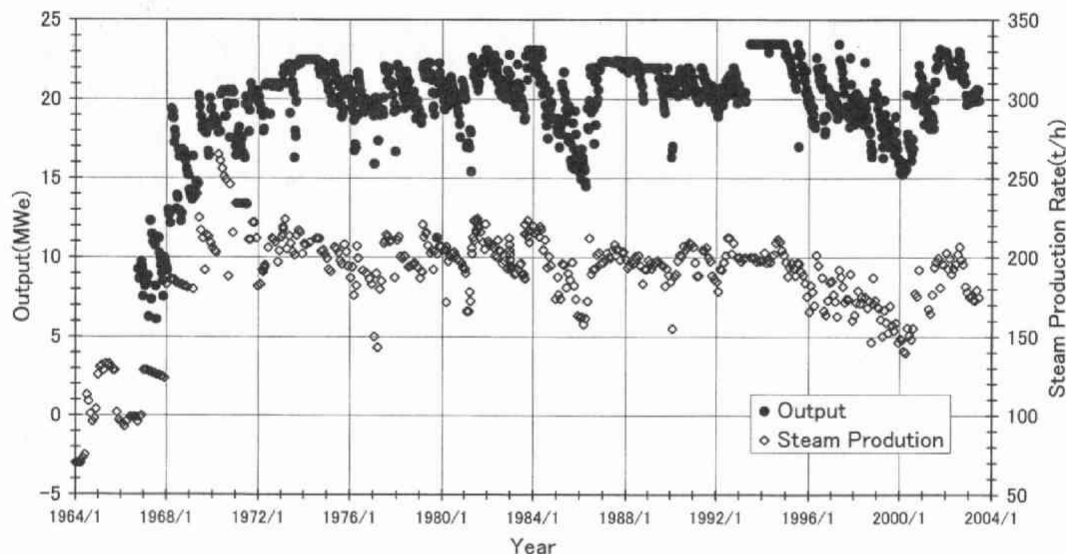


図 2 松川地熱発電所 発電出力と蒸気流量の推移
Fig. 2 Power generation and Steam Production history at Matsukawa.

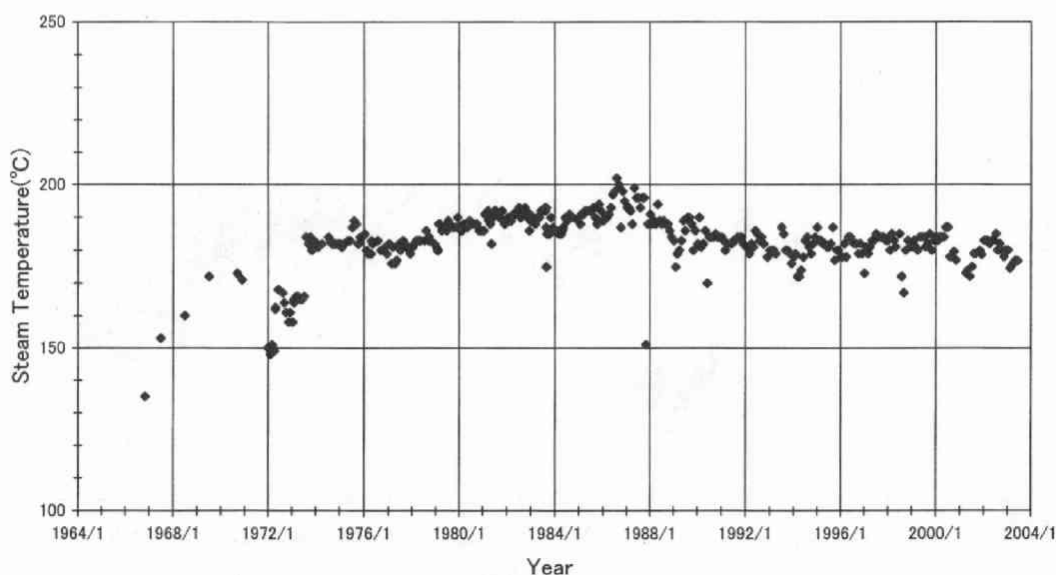


図 3 松川地熱発電所 タービン入口主蒸気温度の推移
Fig. 3 Steam Temperature history at Matsukawa at the turbine inlet.

を行っており、一部の坑井には蒸気増量の効果が認められている (Hanano et al., 1993, 奥村ほか, 2001, 梶原ほか, 2003)。また、坑内に付着したスケールによる蒸気流量減衰が認められる生産井 M-7 は、定期点検時などに注水を行い、坑内に付着したスケールを地上へ排出させて、蒸気流量を回復させている (Fig. 4)。タービン入口蒸気温度は、初期には飽和であったが、運転開始後まもなく過熱化し、最高で 200°C 程度まで上昇したが、近年は 180°C 程度となっている。近年について、個別の坑井で見ると、北東側の坑井では 1988 年 (昭和 63 年) 以降の注水により過熱蒸気ではなく飽和蒸気を生産する坑井が認められるようになったが、南西側の坑井では依然として過熱化が進行している。

3-(3) 坑井掘削

松川地熱発電所運転開始時には、M-1、M-2 の 2 坑井でスタートしたが、これまで延べ 19 本の生産井を掘削した。調査井と還元井を含めると 28 本である (Table 3)。生産井の使用本数は Table 2 に示すとおりで推移した。平均して、2～3 年に 1 本のペースで坑井掘削を実施した。最新の生産井は、2001 年 (平成 13 年) に掘削された M-14 井である。本坑井は、後述する松川貯留層

表 3 坑井の掘削状況 (花野ほか, 1989 に加筆)
Table 3 Lists of the production, re-injection and exploration wells at Matsukawa (modified from Hanano et al., 1989).

坑井種別	坑井名	深度 (掘進長) (m)	水止め 深度 (m)	最終 口径 (mm)	工期	備考
調査井	AR-1	325		194	1960/7-1960/8	
	BR-1	450		219	1960/9-1960/10	
	BR-2	571		184	1961/7-1961/11	
	T-21	602	206	96	1964/8-1964/12	
	T-22	700	243	95	1967/2-1967/6	
	T-23	702	252	114	1968/2-1968/5	
	T-24	1,050	430	130	1971/11-1972/3	
	T-25	558	505	130	1974/11-1980/2	
蒸気生産井	M-1	945	474	194	1963/10-1963/12	廃坑
	M-1a	965	509	219	1971/10-1972/1	廃坑
	M-1b	1,206	850	222	1981/1-1981/3	廃坑
	M-2	1,080	498	194	1964/4-1964/7	
	M-3	1,207	501	194	1964/9-1964/12	廃坑
	M-3a	1,055	552	194	1966/10-1967/1	廃坑
	M-N3	1,170	801	200	1973/2-1973/5	MIR-2
	M-4	1,501	488	194	1965/3-1965/8	廃坑
	M-5	1,190	500	216	1967/8-1968/1	
	M-6	1,203	504	194	1968/10-1969/1	
	M-7	1,280	506	219	1970/1-1970/4	
	M-8	1,200	647	200	1976/12-1977/4	
	M-9	1,500	970	222	1978/7-1978/12	
	M-10	1,507	800	222	1983/7-1983/8	廃坑
	M-11	1,450	900	222	1985/11-1986/5	
還元井	M-12	1,130	1,057	222	1989/8-1990/2	
	M-13	1,157	701	222	1988/5-1988/11	
	M-14	1,600	1,100	222	2000/12-2001/7	
	M-15	1,181	652	222	1996/5-1996/10	
	MR-1	1,000	490	168	1988/1-1988/4	

の熱源が想定されている酸性変質帯であるパイロフィライトの分布域の中心のアップフローゾーンをターゲットとし、本地域において最も南西側に掘削した。その結果、50 t/h 以上の蒸気を得ることに成功し、現在 (2004 年 1 月) も 50 t/h 以上の蒸気量を維持している。

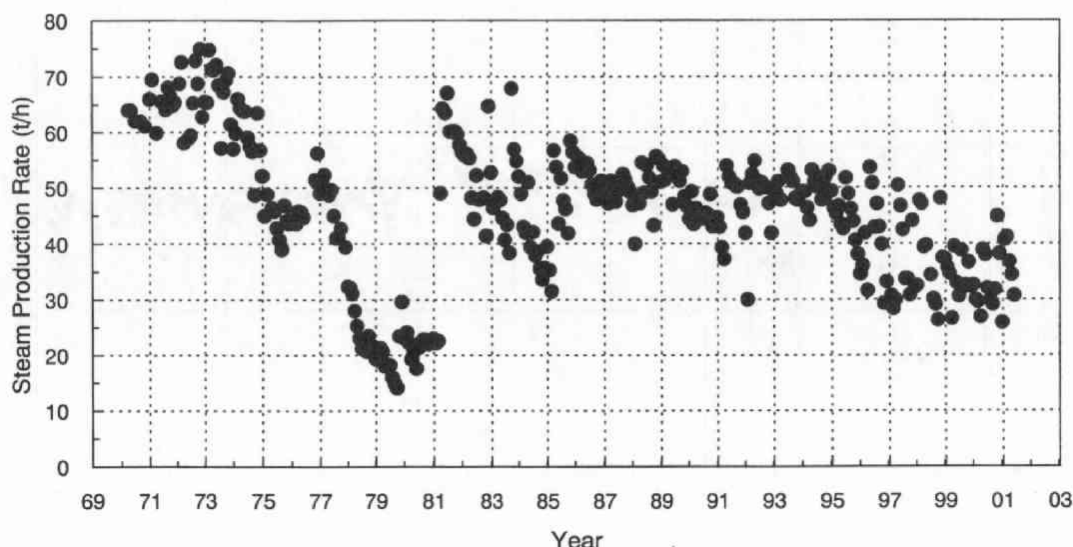


図 4 M-7 蒸気流量の経時変化 (Hanano, 2003)
Fig. 4 Steam Production History of M-7 (Hanano, 2003).

4. 貯留層モデルと現在の貯留層内状況・課題

4-1) 松川地域の貯留層モデル

松川地域の地質構造は、上位から第四紀の松川安山岩、新第三紀鮮新世の玉川溶結凝灰岩類、新第三紀中新世の滝ノ上温泉層と国見峠層に区分される。また、本地域の西側にはひん岩（貫入岩）が分布している。地表付近を広く覆っている松川安山岩は硬く緻密であり、キャップロックの役割を果たしている（Fig. 5）。本地域の地熱貯留層（蒸気生産域）は、玉川溶結凝灰岩類（上部）の下部から国見峠層に至る海拔 500～500 m 間にあり、高透水性フラクチャーはひん岩（貫入岩）の境界付近と澄川断層沿い及び滝ノ上温泉層中に分布す

る。平面的に見た貯留層の境界は、水位データや温度構造から、北西側については MT-23 と M-1、12 などの生産井群の間に、北東側は TG-2 と M-3 の間に推定されている。貯留層中にはパイロフィライト等の酸性変質鉱物が分布している（大関ほか，2001）。

本地域のアップフローゾーンは、圧力ビルドアップ試験（Hanano and Sakagawa, 1990, Hanano et al, 1991b）や非凝縮性ガス濃度分布（石崎・金藤，1992）と温度構造から推定され、主たるアップフローゾーンは南西側に、副次的なアップフローが澄川断層沿いに存在すると推定している。

貯留層温度は、運開当初は全域 250℃ 以上（南

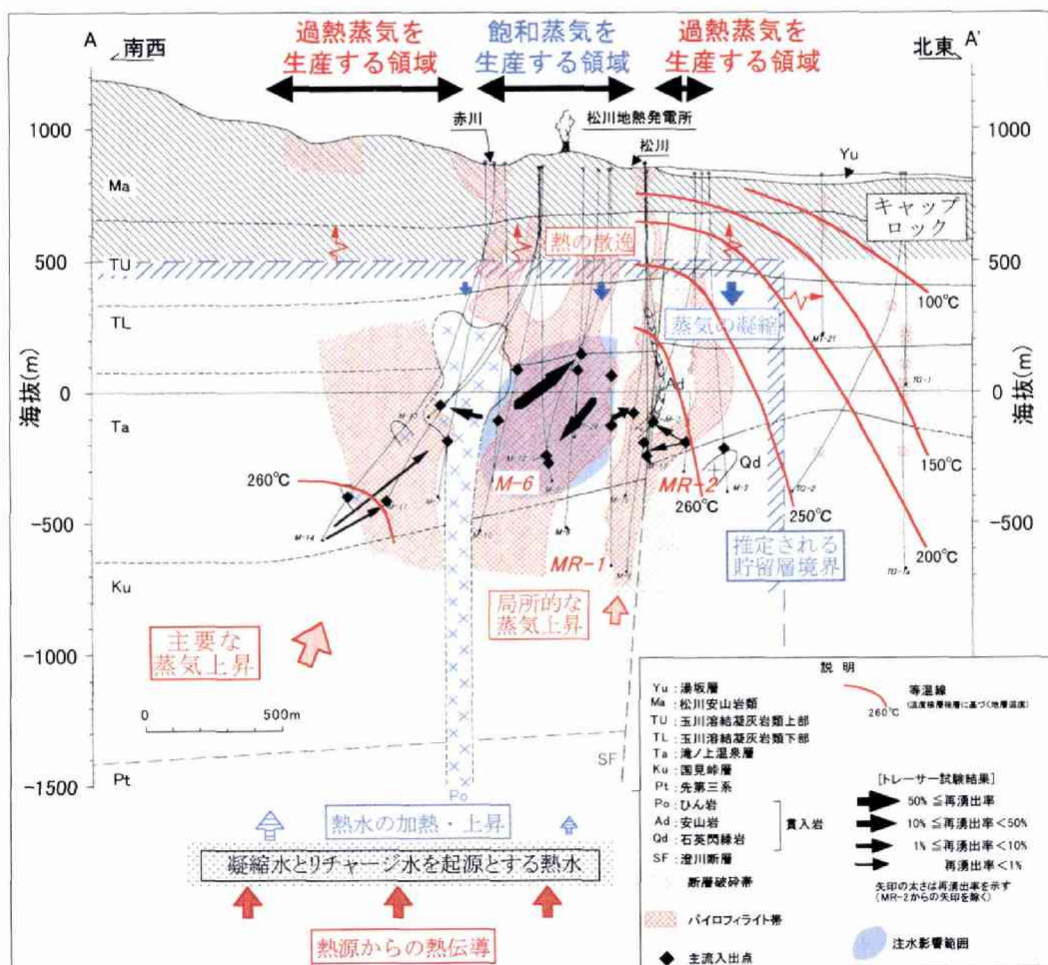


図5 松川地熱貯留層の現在状態モデル（大関ほか，2001）

Fig. 5 Conceptual model of the current state of the Mtsukawa geothermal reservoir (Ozeki et al., 2001).

西側深部では 285°C を記録) を示していた。近年の涵養を目的とした注水により地域の中央部では、飽和蒸気・熱水を生産するようになり注水の影響を受けている地域では初期に比べて温度低下している。一方で、南西側では M-14 の掘削直後に坑底で 265°C (S.T.=約 8 h) を示したことから、依然として南西側では初期状態に近い高温を保持していると考えられる。

貯留層圧力の状況は、水位観測 (Fig. 6) と定期点検時に実施される圧力ビルドアップ試験により、運開以後の圧力低下状況を観測している。貯留層圧力分布は、南西側で高く北東側ほど低くなる分布を示す (Fig. 7, 花野ほか, 1989)。南西側の M-14 では 2003 年 (平成 15 年) 10 月の圧力ビルドアップ試験の結果、4 MPaG 以上の圧力を確認しており、この結果を裏付けている。

また、福田ほか (2000, 2001) は蒸気卓越型貯留層において、アルコールを用いたトレーサー試験を実施し、その結果、貯留層内における蒸気と熱水の動きを捉えることができた。

4-(2) 松川地域における課題

松川地域では、運転開始以来概ね順調に発電す

ることができた。また、1988 年 (昭和 63 年) 以降の注水による出力維持を実施してきた。しかしながら、前述のように長年の注水により過熱蒸気から飽和蒸気を生産するようになった生産井の範囲が広がってきた。このため、注水量あるいは期間もしくはその両者が過大であった可能性が考えられている。

2003 年 (平成 15 年) 7 月より MR-1 への注水を停止しており、注水停止後の生産井の動向 (蒸気・熱水流量変化や蒸気性状・水位等の変化) を監視している。これらのデータを基に今後の松川地域における適切な涵養手法を検討する必要がある。

5. 持続可能な蒸気生産・電力生産維持のための提言

松川地域における開発と 37 年間にわたる生産維持・管理に関わる経験に基づいて、地熱開発を成功させるための要件について Hanano (2003) にも記載されているが、まとめて述べてみたい。

5-(1) 松川地域での地熱開発が成功した理由

5-(1)-1) 適正な発電規模と出力維持レベル

松川地熱発電所は自家用発電所であり、日本重

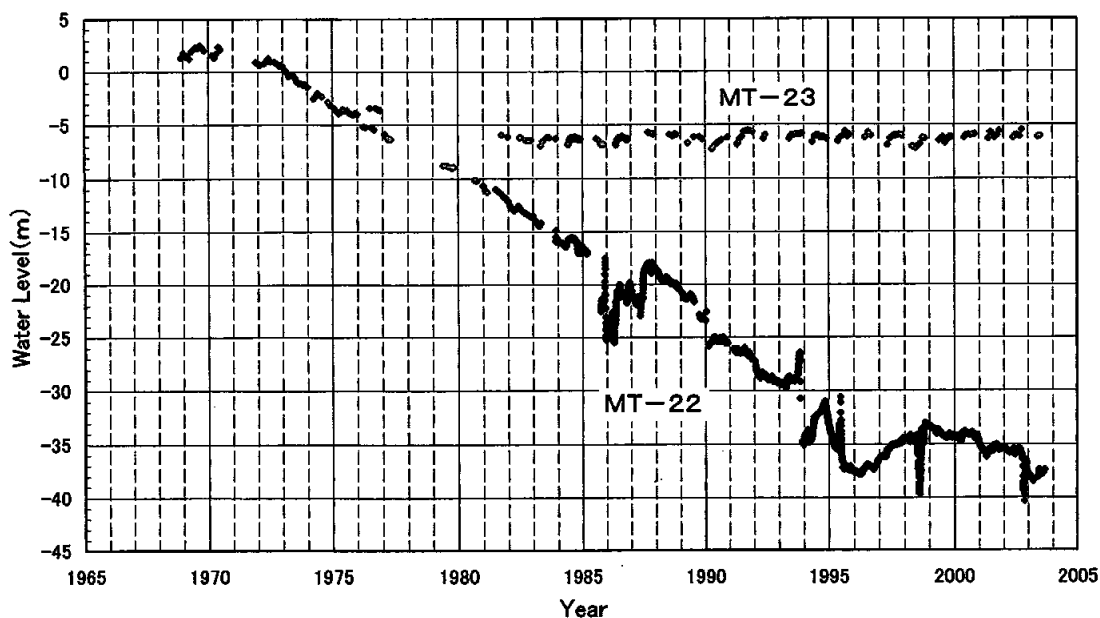


図 6 MT-22 および MT-23 水位観測結果
Fig. 6 Water Level of MT-22 and MT-23.

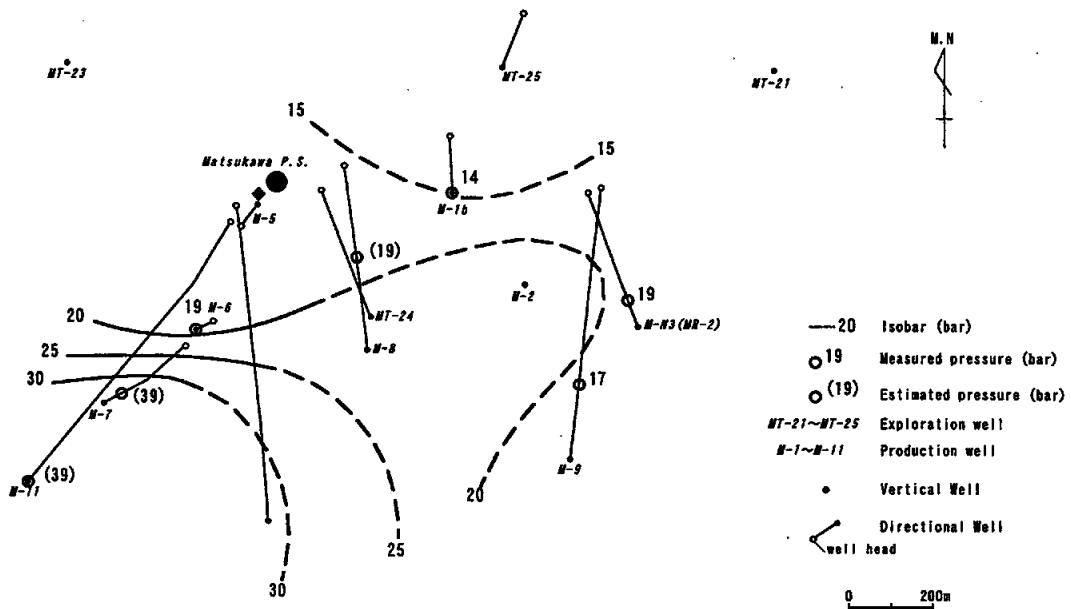


図7 松川地域の流入点圧力分布 (1988年) (花野ほか, 1989)

Fig. 7 Shut-in pressure distribution at feed points in Matsukawa in 1988 (Hanano et al., 1989).

化学工業(株)の電気炉で必要としていた発電量が20 MWであったことから、敢えて発電規模を大きくする必要がなかった。また、自家発電であるために、プロジェクト全体で利益の最大化を図ることが重要視された。そのため、必ずしも常時フル出力を維持する必要はなく、状況によっては追加井掘削を延期したりした。

貯留層の範囲は現在の坑井配置よりも広いと考えられるため、M-7 (Fig. 4) のように減衰が少なく30年以上生産を続けることができている坑井もある。現状までの蒸気流量の変化や貯留層の各種挙動の状況から、松川地域の現在の開発可能範囲内での貯留層能力は設備容量 (20~23.5 MW) 程度と考えてよいであろう。

5-(1)-2) 追加開発の未実施

前述のように、開発当初は60 MW程度の能力があると考えられていたが (Mori, 1970)、松川地域の急峻な谷地形による掘削基地確保の制約のために、2号機の開発といった追加開発は実施しなかった。2号機の開発を実施していた場合には、出力維持のための補充井掘削などの費用がかさんでいた可能性もあり、2号機開発を実施しなかつ

たことが、松川地域の出力を低コストで維持できた理由の一つになっている。

5-(1)-3) 継続的な貯留層管理のためのデータ収集

松川地域では、開発前から様々な調査・観測・計測を実施してきた。定期的な蒸気・熱水性状の把握、圧力・水位データの観測及び近年実施したトレーサー試験は、発電出力維持・貯留層管理のために重要な役割を果たしていることは言うまでもないことである。また、開発初期に蓄積された豊富なデータは、後年、貯留層の初期状態を高精度で復元することを可能にした点で特筆すべきである (Hanano and Matsuo, 1990)。

5-(1)-4) パイオニアであったからこそその決断

松川地熱発電所は国内で最初の地熱発電所であり、参考となる前例が極めて少なかったため、その開発には手探りの面が多かった。そのため、特に開発初期段階においては、最大のリターンを狙った開発は実施せず、最悪の事態になった場合の損失が最小限となるような開発を行ってきた。このことが、無理な開発を実施せずに出力の維持を図ることができた理由の一つでもある。

5-(2) 持続可能な蒸気生産・電力生産を維持する地熱発電所建設のための提言

最近の地熱発電に対する状況はそのコスト高が要因となり厳しいものがある。しかしながら、地球温暖化といった環境問題やエネルギーセキュリティの面で社会貢献できると確信している。制度上の問題として、リードタイムが長くなる要因である事前の大規模な環境アセスメントや総合資源エネルギー調査会での審議手続きに多大な時間と労力がかかるといった点がある。さらに、地熱資源が賦存する地域が国立・国定公園内に位置することが多く、自然公園法の規制により、現状では事実上開発ができない場所も多くある。松川では幸運なことに、前述のように当時の許認可手続きの容易さから、20 MW の発電設備を導入して、認可発電出力を徐々に上げていった。

企業として利益を多くするためには、開発規模を大きくしてスケールメリットを追求する必要があるが、最大の開発可能規模（発電出力）を事前の調査だけから評価することは困難であろう。したがって、事前調査による最大開発可能規模と最小開発可能規模の間の規模で開発を行うことになる。環境アセスメント、国立・国定公園内の規制や総合資源エネルギー調査会（旧、電源開発調整審議会）の問題が解決し、短期間での発電開始が可能となれば、発電規模をユニット化（例えば、10 MW）し、短期間の調査・評価でユニット毎の開発を行って、発電状況を見ながら、さらに増設するという方法もある。企業間で使い回しのできる小規模発電ユニットを導入して、開発当初は小規模発電を実施し、見通しが立った時点で開発規模に応じた発電機を導入する方法もあるであろう。

また、地域貢献なども踏まえ、開発当初から発電に限らず直接利用などの開発も視野に入れておいた方がよいと考える。

発電所建設後の発電を維持管理するためには、貯留層管理のための定期的な調査（特に、蒸気・熱水の地化学性状の経時変化や貯留層温度・圧力情報、坑内状況の把握）が不可欠である。これらの調査データや涵養（広義では、最適な生産・還元配置）技術を活かすことができれば、経済的、

かつ長期間にわたる地熱発電・地熱資源の利用は可能と考えられる。

6. おわりに

松川地熱発電所は、日本初の地熱発電所として1966年から今日まで大きなトラブルもなく運転を実施できた。これは、開発・運転規模が適正であったことが一因であろう。ここで述べた松川地熱発電所における運転実績が今後の地熱開発に役立てることができれば幸いである。

謝辞

松川地熱発電所における地熱発電の継続は、開発・運転に尽力された日本重化学工業(株)、その他関係機関、研究機関の諸先輩方の努力の賜であるとともに、ここで述べた実績は、日本重化学工業(株)、地熱エンジニアリング(株)、日重建設(株)および松川地熱発電所を引き継がれた東北水力地熱(株)の諸氏の貢献によるものであり、ここに銘記して敬意と感謝の意を表します。

引用文献

- 福田大輔・菱靖之・外村毅・浅沼幹弘・笠井加一郎・猿舘正大・大宮武美（2000）松川地熱発電所の貯留層涵養に伴う気相トレーサー試験の試み。日本地熱学会平成12年度学術講演会講演要旨集，P10。
- 福田大輔・菱靖之・浅沼幹弘・小林佳代子・笠井加一郎・猿舘正大・小田中浩一（2001）松川地熱地域における気相マルチトレーサー試験。日本地熱学会平成13年度学術講演会講演要旨集，P28。
- 花野峰行（1994）松川地熱地域における貯留層工学的調査。日本地熱学会誌，16，255-284。
- 花野峰行（1995）松川蒸気卓越型地熱貯留層の管理。平成7年度地熱構造解析技術研修会資料（新エネルギー財団主催），1-54。
- Hanano, M. (2003) Sustainable Steam production in the Matsukawa geothermal field, Japan. *Geothermics*, 32, 311-324.
- Hanano, M. and Matsuo, G. (1990) Initial state of the Matsukawa geothermal reservoir : reconstruction of a reservoir pressure profile and its implications. *Geothermics*, 19, 541-560.

- Hanano, M. and Sakagawa, Y. (1990) Lateral steam flow revealed by a pressure build-up test at the Matsukawa vapor-dominated geothermal field, Japan. *Geothermics*, **19**, 29-42.
- 花野峰行・小田中浩一・大山孝 (1989) 松川地熱発電所の運転と貯留層管理. *地熱*, **26**, 67-91.
- Hanano, M., Omiya, T. and Sato, K. (1991a) Reinjection experiment at the Matsukawa vapor-dominated geothermal field : Increase in steam production and secondary heat recovery from the reservoir. *Geothermics*, **20**, 279-289.
- Hanano, M., Sakagawa, Y. and Saida, T. (1991b) Pressure build-up behavior of M-7 a dry steam well in Matsukawa, Japan. *Journal of the Geothermal Research Society of Japan*, **13**, 45-53.
- Hanano, M., Kotanaka, K. and Ohya, T. (1993) A quarter century of geothermal power production at Matsukawa, Japan. *GRC Bull.*, 32-47.
- 石崎裕之・金藤太由樹 (1992) 松川蒸気卓越型貯留層における蒸気化学性状の経時変化. 日本地熱学会平成4年度学術講演会講演要旨集, B9.
- 梶原竜哉 (2003) 7. 地下岩体からの熱回収-注水・還元による熱交換・安定生産とこれからの技術-. 平成14年度地熱開発利用マネジメント研修会資料 (新エネルギー財団主催).
- 梶原竜哉・笠井加一郎・堀越孝昌・當舎利行 (2003) 地熱生産井活性化技術 (貯留層涵養) の調査の概要. *地熱エネルギー*, **28**, 21-42.
- 火力原子力発電技術協会 (2003) 地熱発電の現状と動向. 99p.
- 笠井加一郎 (1997) 地化学データによる地熱貯留層管理-松川・葛根田・森-. 日本地熱調査会, セミナー資料: 地熱発電所の維持管理における地化学の活用について, 100-113.
- 笠井加一郎 (2001a) 注水による貯留層涵養の試み-松川地熱発電所の実績-. 日本地熱調査会, セミナー資料: 蒸気生産のマネジメント-基礎と最近の事例-, 54-66.
- 笠井加一郎 (2001b) 地熱地化学講座第6回地熱発電所管理のための地化学データ活用-蒸気卓越型貯留層: 松川地熱発電所の事例-. *地熱*, **38**, 369-389.
- 森芳太郎 (1967) 松川地熱地域開発上の問題点. *地熱*, Ser. No. 10, 52-64.
- Mori, Y. (1970) Exploitation of the Matsukawa Geothermal Area. *Geothermics*, Special Issue 2, **2**, part. 2, 1150-1156.
- 森芳太郎・片桐邦雄 (1991) 地熱に情熱を注いだ人々 (第3話) 富岡重憲氏のエネルギー開発に対する使命感と情熱. *地熱エネルギー*, **16**, 64-71.
- 中村進 (1966a) 松川地熱発電の現状. *地熱*, Ser. No. 6, 38-40.
- 中村進 (1966b) 松川地熱発電所完成, 営業運転に入る. *地熱*, Ser. No. 8, 9-11.
- 七沢正敏 (1987) 松川地熱発電所創業20周年を迎えて. *地熱*, **24**, 21-29.
- 奥村貴史・福田大輔・大関仁志・猿舘正大・小田中浩一 (2001) 松川地熱地域における注水実績とその効果について. 日本地熱学会平成13年度学術講演会講演要旨集, P29.
- 大西幸作・多胡武雄・兵頭教正 (1981) 松川地熱発電所の長時間運転実績と信頼性. 火力原子力発電, **32**, 665-673.
- 大関仁志・福田大輔・奥村貴史 (2001) 松川地熱貯留層モデルの歴史の変遷. *地熱*, **38**, 27-56.