

第27回試錐研究会

講演資料集

期 日：平成元年 3 月28日(火)

会 場：ホテルアカシヤ(2 Fにれの間)

(札幌市中央区南12条西1丁目)

第27回 試錐研究会

プログラム

- 主催** 北海道立地下資源調査所
- 協賛** 北海道地質調査業協会
全国さく井協会北海道支部
- 日時** 平成元年3月28日(火) (9:50~17:15)
- 場所** 札幌市中央区南12条西1丁目
ホテルアカシヤ (TEL 521-5211)
(2F にれの間)

あいさつ

北海道立地下資源調査所長 中川 修

特別講演 (10:00~12:00)

“世界の地熱利用の現状と北海道”

北海道大学 理学部

助教授 浦上 晃一

昼食 (12:00~13:00)

一般講演

I 温泉利用の実情と問題点 (13:00～15:00)

1. 岩内町における観光開発と温泉利用

岩内町企画振興室 渡辺謙二

2. 弟子屈町の温泉利用の概況

弟子屈町地熱開発課 松橋秀和

3. 地熱水利用の施設園芸とその展開

壮瞥町産業振興課 橋本清孝

II 熱利用の関連技術 (15:15～17:15)

1. ヒートパイプとその利用法

北海道立工業試験場 富田和彦

2. 地下深部における地下蓄熱実験

～材木沢層および西野層を例として～

北海道立地下資源調査所 若浜洋

3. 坑井内同軸熱交換方式の実験結果

～夕張市東山地区を例として～

北海道立地下資源調査所 秋田藤夫

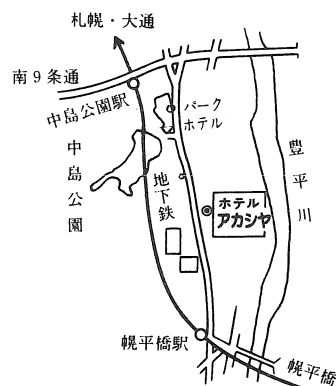
質疑応答

あいさつ

北海道地質調査業協会理事長 斎藤昌之

懇親会 (18:00～20:00)

会場 ホテルアカシヤ
(2F しゃくなげの間)



特 別 講 演

世界の地熱利用の現状と北海道

北海道大学理学部助教授 浦上晃一

1. まえがき

現在あるいは近い将来に利用可能と考えられている地熱資源は、火山性の地熱流体および高温岩体、非火山性の深部熱水である。火山性地熱資源は火山活動にともなって形成されるものであり、全地球的にみると、環太平洋火山帯、アフリカ東部のリフトバレイ地帯、イタリアからギリシャを通してトルコに至る帯状の地域、アイスランドなどプレートの境界に沿った火山活動の活発な地域に豊富に分布している。これらの地域では高温の蒸気や熱水を比較的容易に得ることができ、それを利用した地熱発電が行なわれている。また、フランスやルーマニアのように、堆積層が厚く分布している地域では深部に非火山性の深部熱水が分布しており、その熱が地域暖房やハウスの暖房などに利用されている。地熱資源はその温度や採取可能な熱量によって利用目的が異なっているが、地熱資源が石油や石炭などの化石燃料に比べて単位体積あたりのエネルギーが少なく、エネルギーの集中という点で劣っているため、地熱発電を除けば、いずれも熱水や蒸気の熱エネルギーを直接利用する形態がとられている。ここでは、地熱エネルギーの直接利用を中心に、その現状を紹介する。

2. 地熱発電

地熱発電は、第1表にみられるように、17カ国で実施されており、発電施設の容量は総計5,003.986 MWに達する。これを国別にみると、アメリカが最も多く2,211.85 MW、ついでフィリピンが894 MW、さらにメキシコ、イタリア、日本の順になっている。日本では9ヶ所で発電されており、1988年3月現在、発電施設容量は228.1 MWである(第2表)。

3. 直接利用

発電ではなく、熱水や蒸気の熱エネルギーを直接利用するときには、温度や湧出量によって利用対象が異なり、種々の目的で利用されている。低温な熱水は主として地域暖房や、ハウスの熱源や魚の養殖など農業や水産業に利用され、高温になると食品加工、紙パルプなど加工業に利用されることが多くなる(第1図)。地熱エネルギーを直接利用する施設の容量は、第3表にみられるように、世界全体では地

第1表 世界の地熱発電施設容量
(1987年8月現在)

国名・地域	設備容量 (MW)	国別計 (MW)
米国, The Geysers	1,918	2,211.85
Heber	94	
Salton Sea	44.5	
Milford	20	
Beowawe	17	
East Mesa	36.5	
Desert Peak	9	
Coso	27	
Steamboat	19	
他	26.85	
フィリピン, Tongonan	115.5	894
Tiwi	330	
Mak-Ban	330	
Palimpinon	118.5	
メキシコ, Cerro Prieto	620	655
Los Azufres	35	
イタリア, Larderello	171	504.2
Castelnuovo	50	
Serrazzano	47	
Lago	33.5	
Radicondoli	30	
Latera	4.5	
他	168.2	
日本	215.1	215.1
ニュージーランド, Wairakei	157.2	167.2
Kawerau	10	
エルサルバドル, Ahuachapan	95	95
インドネシア, Kamojang	85.25	87.25
Dieng	2	
ケニア, Olkaria	45	45
アイスランド, Namafjall	3	39
Krafla	28	
Svartsengi	8	
ニカラグア, Momotombo	35	35
トルコ, Kizildere	20.6	20.6
中国, Yangbajiang(羊八井)他	14,586	14,586
ソ連, Pauzhetka	11	11
フランス, Guadeloupe	4.2	4.2
アゾレス, Pico Vermelho	3	3
ギリシャ, Milos	2	2
計		5,003.986

出典: R. DIPPIPO (1988): International Developments in Geothermal Power Production, *Geothermal Resources Council Bulletin* Vol. 17, No. 5, P.8~18.

熱発電施設の容量よりもやや大きい程度であるが、国別にみると、それぞれの国の地熱資源の分布状況、気候条件、社会環境を反映して利用状況がかなり異なったものになっている。例えば、日本は諸外国に比べて直接利用量が極めて多いが、これらは主として浴用に利用されている。ハンガリーでは深部熱水を大量に揚水しハウスの熱源や穀物の乾燥など農業に利用されているし、フランスではパリ地域を中心に深部熱水の開発が進められ地域暖房に利用されているが、両国とも蒸気の噴出がなく発電は実施されていない。また、アイスランドは寒冷な気候条件下にあることもあって地域暖房を主体とした地熱開発が進められており発電量が少ない。アメリカでは、逆に、発電量は極めて多いが直接利用は比較的少なくなっている。ここでは、これらの諸国の直接利用の状況について簡単に紹介する。

3.1 フランスの深部熱水の利用

フランスでは Paris Basin と Aquitaine Basin に大規模の構造盆地が発達し深部熱水が広範囲に分布している(第2図)。1969年に、Melun-l'Almontにおいて最初の地熱利用地域暖房プロジェクトが完成し稼働を始めた。その後、勢力的に開発が進められ、1986年末までに64個のプロジェクトが完成した。これらのプロジェクト

第2表 わが国の地熱発電所の運転状況

(1988年3月31日現在)

発電所名(会社名)	設備容量 kW	認可出力 kW	①発電電力量 10 ³ kWh	②最大電力 kW	③稼働率 %	④負荷率 %	⑤利用率 %
松川(日本重化学工業(株))	22,000	22,000	184,538	22,500	95.9	93.4	95.5
大岳(九州電力(株))	13,000	12,500	85,427	11,120	95.6	87.5	77.8
大沼(三菱金属(株))	10,000	9,500	76,758	9,600	95.9	91.0	92.0
鬼首(電源開発(株))	25,000	12,500	63,149	9,000	94.8	79.9	57.5
八丁原(九州電力(株))	55,000	55,000	465,797	55,000	100.0	96.4	96.4
葛根田(日本重化学工業(株) 東北電力(株))	50,000	50,000	323,454	49,000	92.1	75.1	73.6
杉乃井(株杉乃井ホテル)	3,000	3,000	15,736	2,150	100.0	83.3	59.7
森(道南地熱エネルギー(株) 北海道電力(株))	50,000	50,000	177,926	33,000	91.0	61.4	40.5
霧島国際ホテル (大和紡観光(株))	100	100	683	100	100.0	77.8	77.8
計	228,100	214,600	1,393,468	191,470	—	—	—

注 ① 発電電力量は昭和62年4月1日～63年3月31日の1年分

② 最大電力は1時間最大

③ 稼働率は(稼働日数/暦日数)×100%

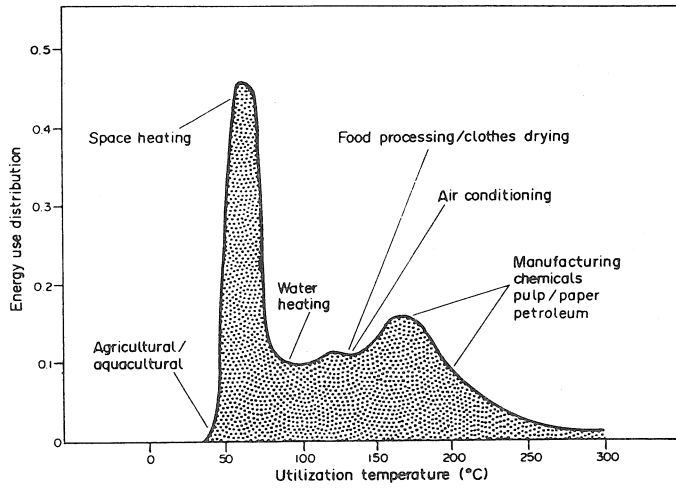
④ 負荷率は(暦日平均電力/最大電力)×100%

⑤ 利用率は(暦日平均電力/認可出力)×100%

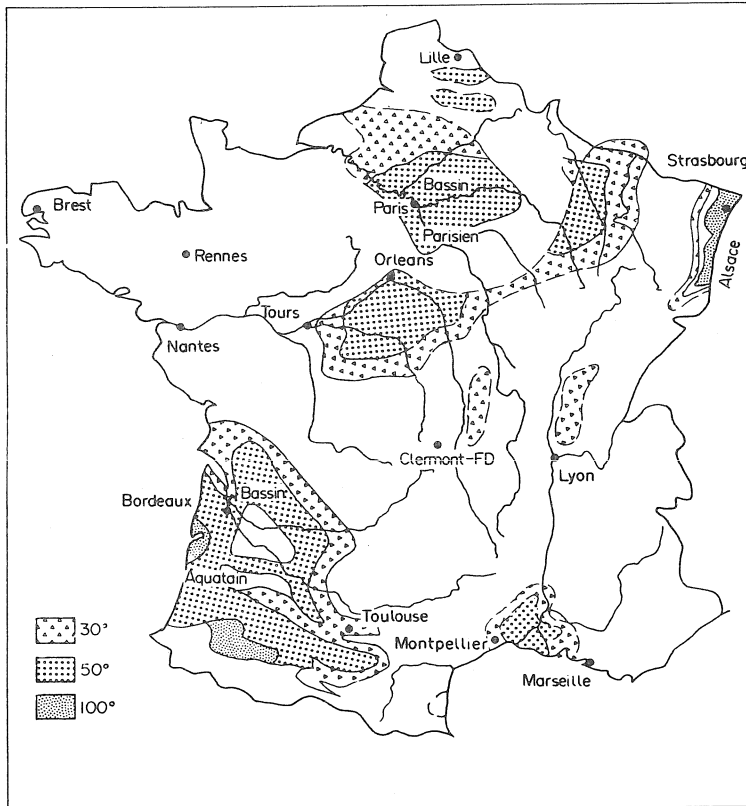
第3表 世界の地熱直接利用の利用量(1984年)

国	湧出量 (kg/s)	施設容量 (MW)	熱量 (GWh)	稼働率 (%)	地熱発電 (MW)
中国	3,540	393	1,945	56	20.6
フランス	2,340	300	788	30	
ハンガリー	9,533	1,001	2,615	30	
アイスランド ¹⁾	4,579	889	5,517	71	39
イタリー	1,745	288	1,365	54	504.2
日本	26,101	2,686	6,805	29	215.1
ニュージーランド ²⁾	559	215	1,484	79	167.2
ルーマニア	1,380	251	987	45	
ソ連	2,735	402	1,056	30	11
トルコ	1,355	166	423	29	20.6
アメリカ	1,971	339	390	13	2,211.6
その他	1,965	142	582	47	1,814.686
合計	57,803	7,072	23,957	--	5,003.986

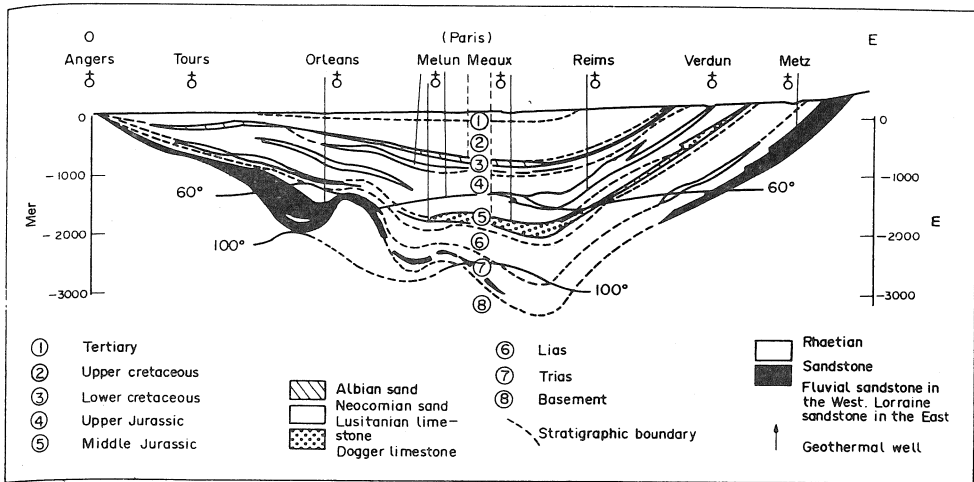
地熱発電は1987年の施設容量(第1表)を示す。(Gudmundsson, 1985)



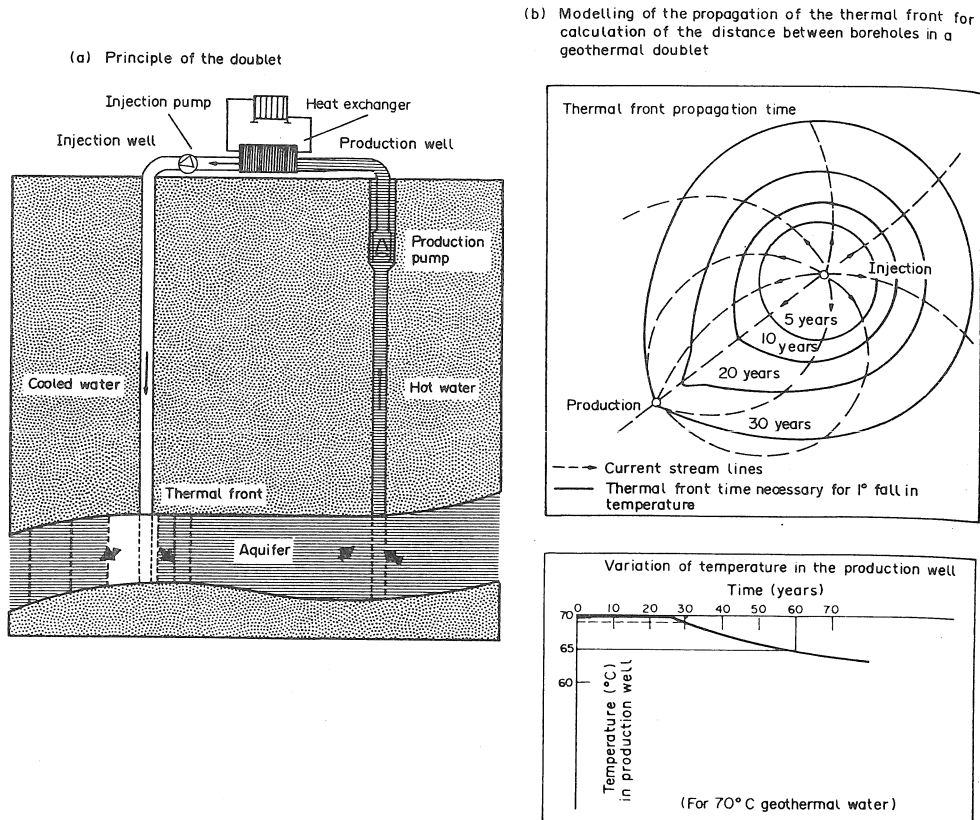
第1図 エネルギー利用の分布 (Gudmundsson, 1988)



第2図 フランスの地熱資源分布図 (Coudert and Jaudin, 1988)

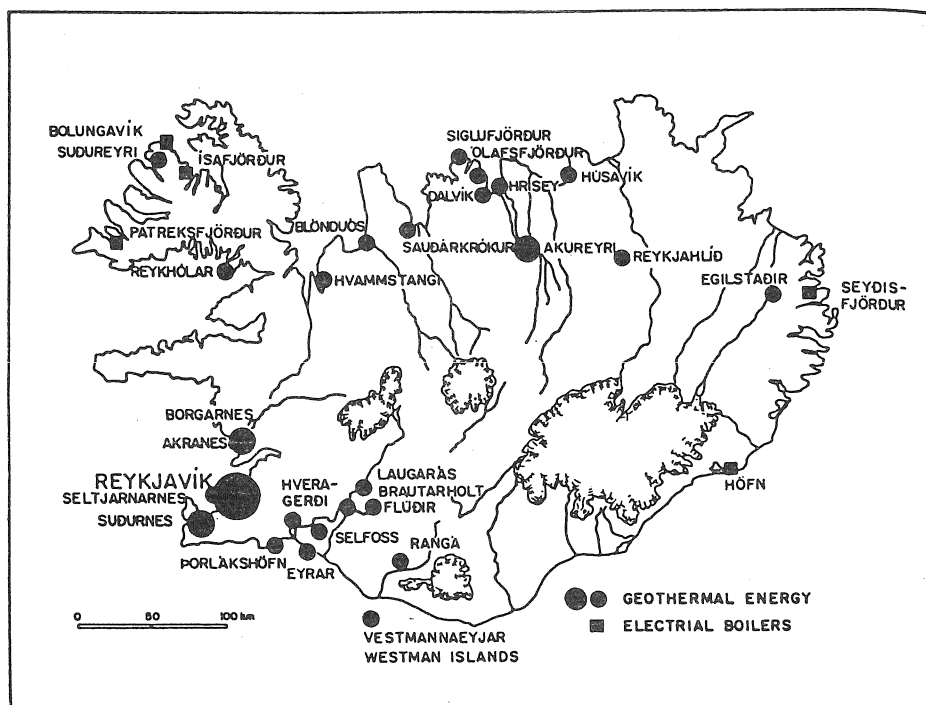


第3図 Paris Basin の深部帯水層の分布 (Coudert and Jaudin, 1988)



第4図 パリ地域の地域暖房施設における生産井と還元井の配置断面模式図
 (a)基本配置, (b)還元による温度低下予測 (Coudert and Jaudin, 1988)

トのほとんどが Paris Basin にあり、現在、52 個の地域暖房システムが Paris Basin にあり、19.5 万戸を対象として熱水供給事業を行なっている。この地域には、1,400 本の石油井戸があり、地下構造がかなり詳しく把握されている。第3図にみられるように、7層の帯水層があるが、主として Dogger 層が開発され、フランスの地熱エネルギーの80%余りがこの帯水層から得られている。Dogger 層は石灰岩よりなり、パリ地域の大部分に分布し、その面積は15,000 km²である。深度は最大で2,000 m、温度は85°Cに達する。揚水量は150 m³/h 以上であり、自噴量として450 m³/h が記録されている。熱水利用システムは生産井と還元井とが一对になり、深部の熱水は汲み上げられて真水と熱交換された後、直ちに同一帯水層に還元されている(第4図)。地下還元は熱水が高濃度の塩分を含むので地表に放出したとき地表水が汚染される恐れがあり、さらに揚水による帯水層の水圧低下を防ぐために実施されている。しかしながら、冷水の地下還元は帯水層を冷却する。数値計算の結果、生産井での熱水の温度は25~30年経過すると低下し始めると予想されている。



第5図 アイスランドにおける地熱利用による地域暖房(1987年)

(Thorhallsson,1988)

3.2 アイスランドの地域暖房

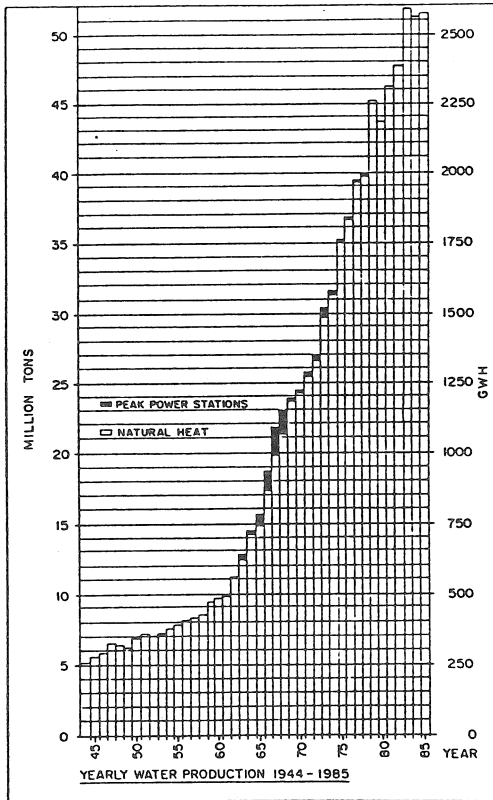
現在、アイスランドのエネルギーは全体の28%が地熱、43%が電力、29%が石油（輸入）によってまかなわれている。電力はほとんどが水力発電（3842GWh）であり、その僅か5%が地熱発電（212GWh）であり、石油は0.1%にすぎない。

第4表 アイスランドにおける地熱利用による地域暖房（1986年）

Geothermal District Heating Systems	Established year	Number of consumers x 1000	Capacity MW	Sold energy GWh
Reykjavík	1930		565	2.195
Seltjarnarnes	1972	3,7	30	40
Bessastaðahreppur	1980	0,7	-	11
Mosfellsshreppur	1943	3,6	-	43
Kjalarnes	1984			8
Suðurnes	1975	13,0	125	470
Akranes og Borg.	1980	6,6	38	86
Reykhólar	1974	0,1	1	1
Suðureyri	1977	0,5		7
Hvammstangi	1973	0,6		19
Blönduós	1978	1,1	6	20
Sauðárkrókur	1953	2,4	13	54
Siglufjörður	1975	1,9	7	23
Ólafsfjörður	1944	1,2	7	21
Dalvík	1969	1,4	8	34
Hrísey	1973	0,3		6
Akureyri	1977	12,5	12	218
Húsavík	1970	2,5		42
Reykjahlið	1969	0,3	1	6
Egilsstaðir	1979	1,4		23
Vestmannaeyjar	1976	4,1	14	55
Rangá	1982	1,1	4	22
Brautarholt	1979	0,1		1
Flúðir ¹⁾	1967	0,2		19
Laugarás ¹⁾	-	0,1	10	34
Selfoss	1948	3,5	21	60
Eyrar	1981	1,0		14
Hveragerði ¹⁾	1952	1,4		33
Þorlákshöfn	1979	1,0		21
		187,4	954	3586 GWh
Other District Heating Systems				
Orkubú Vestfjarða	1979	3,2	32	42
Seyðisfjörður	1981	0,8	8	11
Höfn Hornafirði	1981	1,0	10	15
		191,9	1004	3654 GWh

1) Village with greenhouse-farming

(Thorhallsson, 1988)



第6図 アイスランド、レイキャビック市の
熱水供給量 (Thorhallsson, 1988)

ル以上の施設がある。

1930：牛乳の殺菌，チーズの製造をするための施設が建設された。1938年に他の製造場と合併したが，施設は廃止された。

1937：村の共同利用施設として温水プールがつくられた。プールの水は近くの温泉から直接パイプで引いた。

1938：干し草製造の実験が実施された。実験は成功したが，牧草をプラントまで運ぶ経費が著しく高く施設は建設されなかった。

1939-41：海草の乾燥プラントが建設された。蒸気で熱せられた格子状のパイプを3段置きその上で乾燥させた。製品の需要が少なかったために，プラントは羊毛の精製プラントになった。第2次大戦中は英国兵士へクリーニングのサービスをした。

1940：ハウスの熱水を確保するため，温泉から3m離れた場所で深度34m

国内には，29の地熱地域暖房施設があり，ピーク時にはおよそ4,000 L/s の熱水（温度56～100℃）を供給している（第5図，第4表）。そのうち最大の施設は Reykjavik市のものであり，570 MW の施設容量をもち，約12万人に80℃の熱水を供給している。熱水は3ヶ所の地熱フィールド（市内2ヶ所）から揚水し，年間の揚水総量は51百万m³に達している。この揚水量は1965年頃から急激に増加し，1980年までに3倍にもなっている（第6図）。

つぎに，Reykjavik 市の南方約45 kmに位置する島にある村Hveragerdi（人口1254人）の地熱開発の歴史を紹介するが，小規模の地熱開発の様子がうかがえて興味深い。

1929：ハウス栽培が始められた。これはアイスランドで最初の地熱利用のハウスである。現在，40ヘクタール

の井戸が掘られた。0.5 L/s の蒸気と熱水の噴出が記録されている。その後4年間に最大深度70mの井戸が15本掘削された。

1944：最初、小さな蒸気タービンがテストされ、35kwの発電機が同一場所ですべて1年間（1936年）運転された。

1946：地熱を利用した野菜の冷蔵保存プラントが建設された。使用機械のトラブルのため、運転は中断。

1947：ライ麦パンをゆっくり焼くパンの製造が商業ベースで開始された。製法は単にスチーミンググラウンドに埋めるものであったが、今ではスチームチェストが用いられている。

1947：地域の木工店に供給するために、木材乾燥かまがつくられた。

1947-52：村と州政府が共同して広域浅層ボーリング調査を実施した。最高温度220℃が記録され、豊富な資源量が確認された。

1950-57：国立病院の援助のもとに、泥風呂と蒸気風呂がつくられた。

1953：村営の地域暖房が開始された。最初、個人的なシステムが家庭用およびハウスの暖房に広く利用されていた。1955年頃、生産井の近くで熱交換する2本のパイプラインをもつシステムが設置されたが、供給水の空気抜きが不十分なためパイプの腐食が生じたので、1973年に1本のシステムに変え、フラッシュした水を直接システムに供給するようにした。しかし、パイプや家庭の熱交換器にシリカが急速に沈澱するようになり、1974年にフラッシュタンクで真水と混合し地熱水を希釈するようにしたが、それでもまだマグネシウム・シリケートの沈澱があったので、1979年に蒸気のみを真水と混合するようにした。

1955-65：コンクリートのブロックとパイプ製造プラントが操業開始、地熱蒸気をコンクリートの養生に利用。

1955：蒸気風呂と泥風呂を用いた菜食主義者の健康温泉がオープンした。

1956：地域暖房サービスのために生産井を掘削。井戸は町の中にあり、現在も熱水を供給しているが、カルサイトの沈澱をとるため年に1～2回掃除をしている。

1958-61：深度300～1,200mの8本の地熱井戸が掘削された。15MW地熱発電が計画され十分な蒸気量があったが、大きな水力発電のプロジェクトがあったため、計画は中止。6本の井戸から蒸気を噴出するが、2本のみが地域暖房に利用されている。また、1本は政府高官が訪れたとき噴出させ地熱資源のドラマチックなデモンストレーションに利用している。

1963：フラワーショップとレストランをもった温室施設が営業開始した。

1964：羊毛洗濯プラントが建設された。羊毛の年間処理量は300トン、温度45～55℃で水洗し、60～70℃で空気乾燥している。

1964：37戸の地熱で暖房されたコテージと温水プールをもった休暇村がオープン。

1967-68：チーズ工場が操業開始。しかし、生牛乳の供給をめぐるトラブルが生じ、営業できなくなり、工場はアイスクリーム工場に変わった。

1975：魚の乾燥工場が建設された。最初、塩をした鱈を扱っていたが、後にシシャモを扱うようになった。乾燥釜はトレタイプ、1980年に新たにベルトコンベヤーを加え、温度25℃で空気乾燥していた。しかし、魚の臭いに対して住民から苦情が強く、1982年に工場は閉鎖された。

1979：菓子工場が建設された。

1979：アイスランドの伝統的な乾燥魚食品の製造工場が建設された。

1986：養魚池で2年子の鮭を養殖し始める。村の半径10km以内に8カ所に新たな養殖場が造られ、地熱水で鮭や虹鱒の養殖をしている。

1987：暖房された大きな温水プール、滑り台、蒸気風呂などを備えた近代的なホテルがオープンした。

3.3 ハンガリーの地熱利用

ハンガリー盆地は厚い堆積層で覆われており、深部に大量の熱水が分布している。熱水の塩分濃度は地域によって異なるが、平均して3,000～5,000 mg/L程度である。熱水の流出にメタンや炭酸ガスをとるが、その濃度には著しい差がある。ハンガリーではこの熱水を国の重要な資源と考え、1962年頃からその開発に積極的に取り組みはじめ、地熱開発団体に対しては掘削費、農業団体に対しては施設費の補助などを行なって地熱水利用の普及に努めた結果、現在までに650本の井戸が掘削された。これらの井戸を含めハンガリーには、現在、1,016本の井戸があり、98ヶ所の温泉とあわせて、年間に2985.5万トンの熱水（最高温度95℃）を湧出している（第5表）。また、第6表の利用目的をみると、利用量は温泉利用が最も多く、ついで農業用、飲料水の順になっている。農業利用は年々井戸の数が急速に増加しているが、暖房や熱水供給は減少傾向にあり、1985年には利用量が全体のわずか1.4%にすぎない。

3.4 アメリカの地熱直接利用

アメリカは地熱発電量が世界で最も多いが、その直接利用は利用量が比較的少な

第5表 ハンガリーの地熱井戸と温泉（1985年現在）

Temperature of water (°C)	Number of wells			Mineral springs			Flow rate (1000 m ³)
	1975	1980	1985	1975	1980	1985	
<35	257	297	325	23	25	29	4506
35-44	223	243	273	8	11	14	2842
45-59	159	168	196	16	20	22	8474
60-69	57	75	87	8	8	14	7272
70-79	40	50	53	6	8	8	3752
>80	57	65	82	7	8	11	3009
Total	793	898	1016	68	80	98	29,855

(Ottlik, 1988)

第6表 ハンガリーにおける井戸の数と利用別水量の割合

Utilization	Number of wells				(%)
	1975	1980	1984	1985	
Spas	221	240	262	277	27.3
Drinking water supply	351	416	366	236	23.2
Agricultural heating	81	97	160	258	25.4
Community heating and hot water supply	20	20	19	14	1.4
Industrial water	15	21	64	70	6.9
Others	21	46	94	128	12.6
Closed temporarily	84	58	44	33	3.2
Total	793	898	1009	1016	100.0

(Ottlik, 1988)

い。直接利用は216プロジェクトが稼働しており、6つのプロジェクトが建設中、21が計画中であり、西部の諸州に集中している（第7表）。利用施設うち、第8表に地域暖房、第9表にハウス利用、第10表に養殖漁業のそれぞれ使用熱量の多い上位5ヶ所の施設の状況が示してある。このうち地域暖房で最も利用熱量の多いオレゴン州 Klamath Falls の地熱利用を紹介する。ここでは、1930年頃、熱交換器を用いた一般家庭での地熱利用が始まった。その利用システムは、第7図のように、パイプを井戸の中に入れ（地元ではコイルと呼んでいる）、それに真水を循環させ地熱で加熱するものであり、500戸以上の家庭がこのシステムを利用している。井戸の深度は30～200mであり、孔低部には70～100℃の熱水が分布している。また、1979年には、2本の地熱井戸（103℃の熱水を45 kg/s 湧出する）が掘削され、11の政府ビルの暖房に利用されている。さらに、オレゴン工業大学の構内には地熱による暖房と冷房のシステムがあり、88℃の水で11

第7表 アメリカの地熱直接利用状況

State	Use in TJ/yr						Total
	S	D	G	F	I	P	
Alaska	4.2	0	1.0	0	0	4.2	9.4
Arkansas	7.4	0	0	0	0	7.4	14.8
California	81.5	42.9	57.3	102.9	31.0	5.3	320.9
Colorado	25.7	58.2	0	0	0	25.0	108.9
Hawaii	0	0	0	0	0.5	0	0.5
Idaho	29.3	167.4	153.9	310.4	3.6	10.5	675.1
Montana	57.0	0	25.3	0	0	7.4	89.7
Nevada	58.6	57.9	0	13.8	90.8	18.7	239.8
New Mexico	15.5	1.4	84.7	0	0	15.3	116.9
New York	5.3	0	0	0	0	0	5.3
Oregon	229.3	48.1	16.4	1.0	17.2	15.4	327.4
S. Dakota	8.8	10.2	9.8	0	0	15.8	44.6
Texas	10.5	0	0	5.3	0	0	15.8
Utah	19.3	0	71.2	0	0	3.2	93.7
Washington	16.8	5.3	0	0	0	2.1	24.2
Wyoming	12.0	0	12.0	9.9	0	0.5	34.4
Others*	5.0	0	0	0	0	10.0	15.0
Total	586.2	391.4	431.6	443.3	143.1	140.8	2136.4
MWt(peak)	96	50	34	26	9	18	233
Ave. load fac.	19%	25%	40%	54%	50%	25%	29%

*This includes minor hot spring use in Georgia, Florida, North Carolina, Pennsylvania, Virginia and West Virginia.
Key: S = Space heating and domestic hot water

D = District heating
G = Greenhouses
F = Fish farming
P = Pools and spas
I = Industrial processing.

(Lund, 1988)

第8表 アメリカにおける地域暖房（上位5ヶ所）

Location	Annual use in TJ (MWt)	Load factor (%)
Klamath Falls, Oregon	277.1 (35)	25.2
Boise, Idaho	194.1 (23)	26.3
Susanville/Litchfield, Calif.	92.3 (12)	25.2
Pagosa Springs, Colorado	58.2 (7)	25.0
Reno, Nevada	51.4 (6)	27.9

(Lund, 1988)

第9表 アメリカにおけるハウス利用（上位5ヶ所）

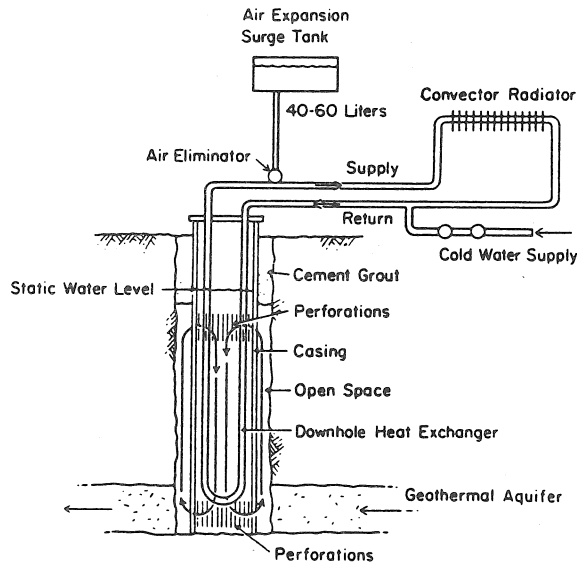
Location	Annual use in TJ (MWt)	Load factor	Area (ha)	Product
Animas, New Mexico	75.8 (6)	40.0%	4.4	Cut roses and bedding plants
Buhl, Idaho	63.0 (5)	40.0%	2.3	Potted and bedding plants
Sandy, Utah	47.1 (4)	25.0%	1.9	Cut roses
Wendel/Susanville, California	43.4 (3)	43.2%	1.5	Vegetables
Helena, Montana	25.0 (2)	45.0%	0.8	Cut roses

(Lund, 1988)

第10表 アメリカにおける養殖漁業への利用（上位5ヶ所）

Location	Annual use in TJ (MWt)	Load factor	Product
Buhl, Idaho	310.2 (12)	80%	Catfish
Mecca, California	75.0 (10)	25%	Prawns
Wabuska, Nevada	13.8 (2)	25%	Catfish/tropicals
Ft. Bidwell, California	12.1 (1)	80%	Catfish
Paso Robles, California	11.8 (1)	50%	Catfish

(Lund, 1988)



第7図 アメリカ、オレゴン州 Klamath Falls における一般家庭の地熱利用システム (Lund, 1988)

個の建物（床面積52,000m²）を暖房すると同時に、264kWの臭化リチウムを用いた冷房機によって5個の建物を冷房している。この大学構内の暖房システムは年間の経費が石油燃料の10分の1で済むと報告されている。

4. 日本の地熱利用の現状

第3表にみられるように、日本は世界中で最も地熱エネルギーを利用している国であり、直接利用の占める割合が極めて大きく、地熱発電はその10分の1以下である。日本人の風呂好き温泉好きは有名なところで、直接利用のほとんどが浴用であると考えられる。第11表は浴用以外の直接利用の状況をまとめたものである。

第11表 道県別地熱直接利用形態の設備容量，1987年12月

	暖房 給湯 MWt	施設 園芸 MWt	養殖 漁業 MWt	道路 融雪 MWt	プール MWt	工業 MWt	畜産 MWt	合計 MWt
北海道	9.47	18.01	0.92	3.81	0.65	0.45		33.31
青森	0.73	0.12	0.03	1.40				2.28
岩手		3.22						3.22
宮城	0.19	1.65	0.03	0.74				2.61
秋田	0.85	7.19	1.20	1.18	1.64	0.82		12.88
山形	0.08	0.00	3.28	1.81				5.17
福島					1.95			1.95
群馬	9.69			1.81				11.50
栃木	0.09	0.05		0.05	0.39			0.58
長野	1.85	0.40		1.14	0.01			3.40
静岡	0.86	1.27	3.58				0.10	5.81
岐阜	21.12		0.40	1.01	0.21			22.74
兵庫					0.09			0.09
和歌山			0.17					0.17
岡山	0.12	0.02						0.14
広島			0.01	0.35				0.36
山口		0.20						0.20
佐賀		0.01						0.01
熊本	0.96	0.93	1.06					2.95
大分	5.54	20.52	4.24					30.30
鹿児島	3.45	8.24	12.92		0.08	0.02	0.10	24.81
合計	55.00	61.83	27.84	13.30	5.02	1.29	0.20	164.48

(関岡，1988)

施設園芸が最も多く、ついで暖房および給湯、養殖漁業、道路融雪となっているが、道路融雪は札幌市定山溪温泉で大規模に実施されており、さらに群馬県草津温泉、長野県山ノ内温泉郷など各地で実施されている。これは日本の直接利用の一つの特徴であると思われる。また、地域暖房や大規模な給湯事業の例は少なく、わずかに長野県諏訪市の温泉給湯事業が挙げられる程度であろう。しかし、岩手県雫石町や秋田県角館市では地熱発電所で発電用蒸気とともに湧出する熱水の有効利用をはかるため、熱水給湯事業が調査計画されており、近い将来大規模な利用施設が建設されるものと期待される。北海道の利用状況については、藤本（1988）がすでに昨年の本研究会で利用の現状と今後の課題について詳しく発表している。

文献

Coudert, J. M. and F. Jaudin : French experience in geothermal energy.

Geothermics, Vol.17, No.1, 195 - 203, 1988.

Dickson, M. H. and M. Fanelli : Geothermal R&D in developing countries: Africa, Asia and the Americas. Geothermics, Vol.17, No.5/6, 815 - 877, 1988.

Drew, S. R. : Direct-use projects - equipment and controls. Geothermics, Vol.17, No.1, 141 - 171, 1988.

藤本和徳 : 北海道の地熱・温泉利用の現状. 第26回試錐研究会講演資料集, 32 - 37, 1988.

Gundmundsson, S. : The elements of direct uses. Geothermics, Vol.17, No.1, 119 - 136, 1988.

伊藤芳明, 斉藤輝夫, 市川 浩, 宮島孝夫 : 長野県山ノ内温泉郷における廃湯利用による道路融雪ならびに全国の融雪道路の概況 (1982年3月現在). 温泉工学会誌, Vol.17, No.1, 8 - 27, 1982.

Lund, J. W. : U.S.A. experience in direct heat use. Geothermics, Vol.17, No.1, 225 - 235, 1988.

Ottlik, P. : Geothermal experience in Hungary. Geothermics, Vol.17, No.2/3, 531 - 535, 1988.

関岡 満 : 我が国における地熱／温泉熱直接利用の現況, 第1部 : 主要利用例. 温泉工学会誌, Vol.18, No.2/3, 53 - 66, 1984.

関岡 満 : 地熱資源の直接利用, 現状. 地熱, Vol.24, No.5, 569 - 576, 1988.

Thorhallsson, S. : Experience in developing and utilizing geothermal resources in Iceland. Geothermics, Vol.17, No.1, 205 - 223, 1988.

一 般 講 演

I . 温泉利用の実情と問題点

1. 岩内町における観光開発と温泉利用

岩内町企画振興室 渡 辺 謙 二

1. はじめに

岩内町の観光は、日本海の雄大な奇岩美を有する雷電地区、ニセコ山系から連なる岩内岳山麓に展開する円山地区の2つの観光地から構成されている。

これらは、共に数々の効用を持つ温泉を有し、町民はもとより道内外の観光客にも大いに利用され、温泉は本町の観光資源の中で、欠くことのできない大きなセールスポイントになっている。

現在、この温泉資源を最大限に活用し、円山地区（いわない温泉）において、通年リゾートレクリエーション基地化を目ざして整備が進められているので、本地区での温泉の利用状況、維持管理、そしてこれからの観光開発計画について、その一端を紹介する。

2. 岩内町の概況

2-1 概況

岩内町の開基は宝暦元年（1751年）といわれ、早くから鯨漁場として発展し、道内でも古い歴史を持つ町であり歴史的遺産も多い。

明治33年に1級町村制が施行されたが、この頃本町の人口は約1万6千人で、札幌市が当時4万人といわれ、いかに隆盛を極めていたか往時が偲ばれる。

昭和に入り鯨が姿を消すとともにスケトウ漁、水産加工業に活路を見出したが、昭和29年洞爺丸台風時に大火災が発生し、市街地の約80%、3,300戸を消失するかつて経験したことのない大きな困難に遭遇する。

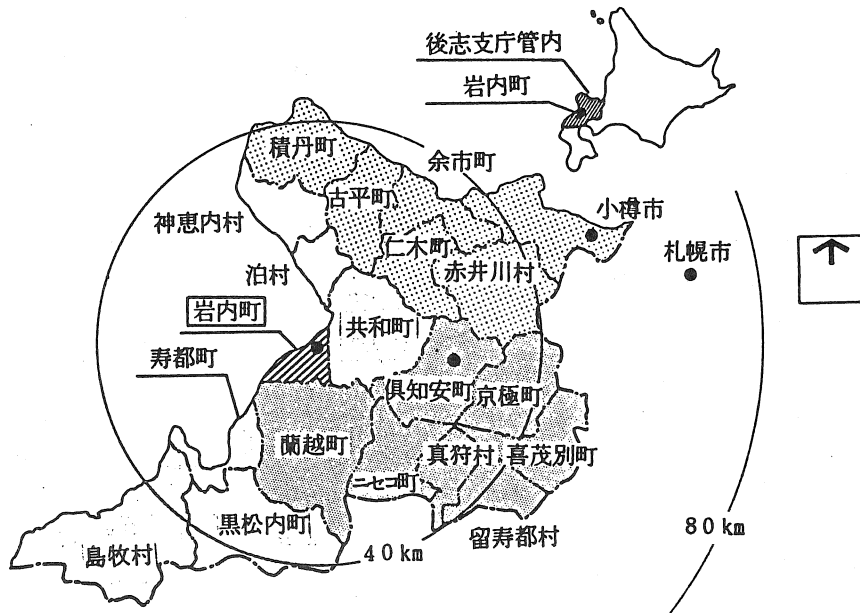
しかし、その後、直ちに火災復興土地区画整理事業が行なわれ、先人の血のにじむような努力の結果、都市計画に基づく整然とした町並みを形成し、漁業、水産加工業を中心に復興した。

近年、フェリー就航を目ざす新港港湾整備を始め各種事業が着々と進められる中で、本町は今後、より一層後志沿岸地域における文化・行政・観光の中心都市として発展を期待されている。

2-2 位置

本町は、西南北海道・積丹半島の基部に位置し、国道5号線を経由して道都札幌とは約95km、車で約2時間で連絡する。（図-1）

図-1 岩内町位置図



2-3 観光

本町は、「ニセコ積丹小樽海岸国定公園」の西部に位置し、昭和38年、景勝地・雷電温泉を中心に夏型の観光地としてスタートした。

その後、昭和49年に岩内岳山麓円山地区において、温泉ボーリングに成功し、道路等の基盤整備、宿泊施設の建設が行なわれ、さらに昭和55年には、スキー場（現在リフト7基）が開設され、通年観光に向け着々と整備が進められている。

昭和63年における観光客入込数は、539,382人で、スキー場開設により昭和56年以降50万人を超えている。（表-1）

表-1 観光入込客数

単位：人

年	区分	入込数	内（温泉）	内（町内）
昭和	53年	415,999	233,930	182,069
	54	417,367	263,673	153,694
	55	429,524	264,927	164,597
	56	506,364	185,415	320,949
	57	547,379	276,006	271,373
	58	510,943	276,167	234,776
	59	520,866	288,621	232,245
	60	532,932	306,698	226,234
	61	549,815	310,636	239,119
	62	519,627	296,223	223,404
	63	539,382	300,838	238,544

3. いわないオートリゾートキャンプ場整備計画

開発庁の新規事業として、車社会に対応した質の高いオートキャンプ場を核とするレクリエーションの拠点を全道的に整備し、そのネットワーク化を図る、オートリゾートネットワーク構想がスタートし、岩内岳山麓円山地区が調査対象地に選定された。

○整備方針

- ①温泉利用（クアプール、露天風呂）
 - ②海と山の良好な自然景観を生かした施設配置
 - ③日本海の海の幸を提供する海市場（朝市）、レストランの設置
- 等を整備方針の骨子とし、温泉をフルに活用したオートリゾートキャンプ場の整備を図る。(図-2)

図-2 オートリゾートキャンプ場イメージスケッチ



4. 温泉

「岩内」の語源は、アイヌ語の「イワウナイ」“硫黄の流れる沢”と言われており、この名のおり地下資源、特に温泉資源とは古くから密接な関わりをもっている。

町内には、安政3年(1856年)に泉源が発見された朝日温泉を始め、海岸に位置する雷電温泉、

高原に位置するいわない温泉と3カ所の温泉地がある。(図-3)(表-2)

図-3 温泉地区分布図(いわない・雷電・朝日温泉)

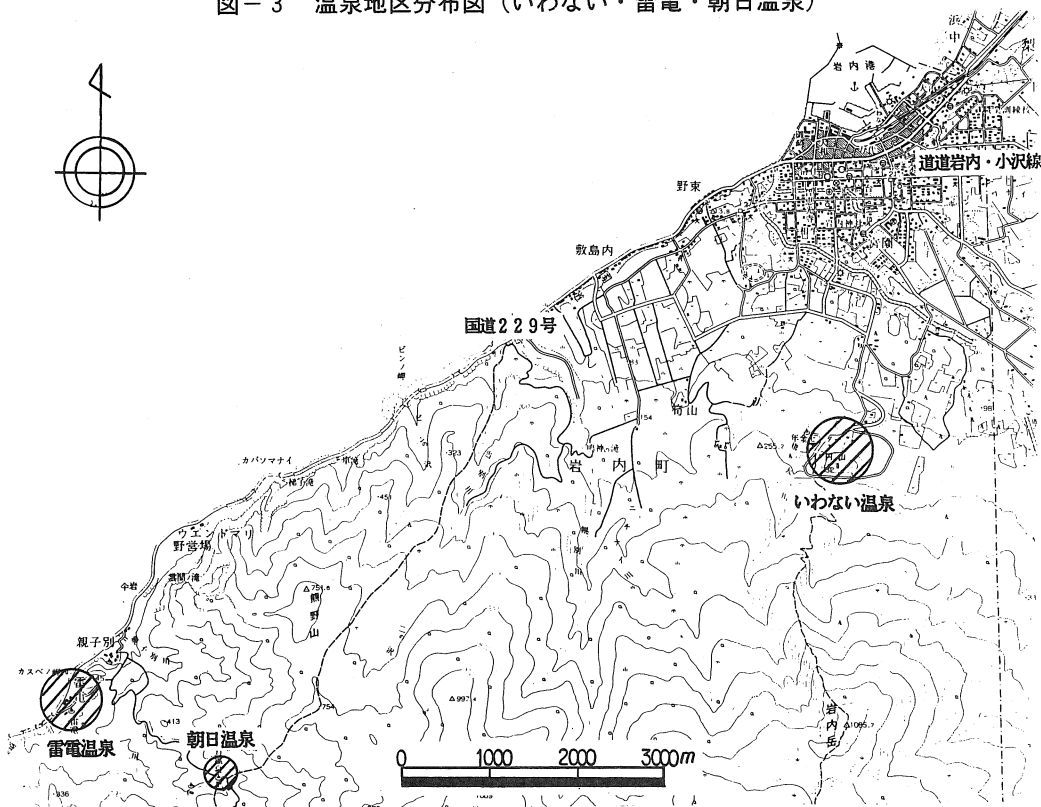


表-2 泉源の状況

泉源名	掘削年度	所有者	深度	温度	湧出量	揚湯方法	泉質	ホテル等	
朝日温泉	安政3年 1856年 発見	民間	m	℃	ℓ/分	自然湧出	石こう泉	旅館1軒 22名収容	
雷電温泉	1号井	昭和37年	岩内町	107	55.8	171	自噴	〃	ホテル等5軒
	2号井	昭和39年	〃	120	51.8	89	〃	〃	383人収容
いわない温泉	1号井	昭和49年	〃	750	46.0	200	(現在は廃井)	食塩泉	ホテル等3軒
	2号井	昭和53年	〃	750	63.0	200	エア-コンレッサー	〃	
	3号井	昭和53年	〃	750	57.0	150	〃	〃	
	5号井	昭和55年	〃	800	52.0	220	水中ポンプ	重曹泉	355人収容
	6号井	昭和58年	〃	1,000	62.0	285	水中ポンプ	食塩泉	

この中で、朝日温泉を除く全ての泉源（6本）は、町が管理しており、岩内町温泉条例に基づき各施設に供給している。

5. いわない温泉

5-1 概況

いわない温泉は、市街地中心部から南へ約4kmに位置する岩内岳山麓円山地区に湧出する温泉で、昭和49年に掘削された1号井を皮切りに、昭和53年の2号井・3号井、昭和55年の5号井、そして昭和58年の6号井と5本のボーリングが行なわれ、泉源開発に成功している。

この中で、1号井は昭和54年にスケール付着のため廃井、2号井もスケール対策のため揚湯中止となっており、現在は3号井、5号井をメインに、6号井をサブ（予備井）とし、3本の温泉井を使用し各施設に送湯している。

5-2 泉源の分布状況

泉源の分布状況は、図-4のとおりで、基礎データより本地区の湧出状況を比較すると各井とも深度590m～750mの範囲で湧出しており、亀裂系の湯脈ではなく、むしろ層状系の湯脈と考えられている。

この中で、特徴的な事例として次のことが上げられる。

- ① 泉質を比較すると、5号井のみが重曹泉（ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物泉）で、他の4本の温泉井は食塩泉（ナトリウム-塩化物塩泉）であり、泉質的に大きな相違が見られる。
- ② 各井とも、泉温、泉質は安定しているが、6号井だけは、経時変化に伴ないNaClを主体とした全固形物量の増加現象と、泉温の低下現象が見られる。

5-3 送湯施設・利用状況

本地区で現在使用している温泉は、3号井がエアリフト、5号井・6号井が水中ポンプと全て動力による揚湯となっている。

送湯方法は、高原ホテルに送湯している5号井の一部を除いて、温泉管理棟にある貯湯槽（50トンタンク）に集湯し、これより、国民年金保養センター他3施設に送湯している。

図-4

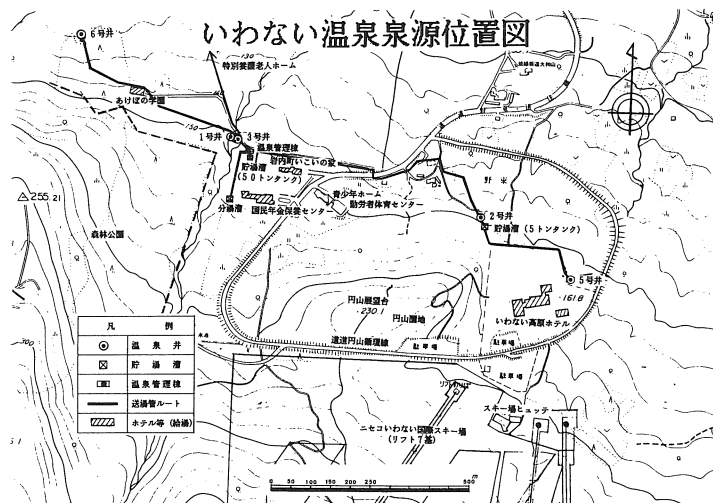
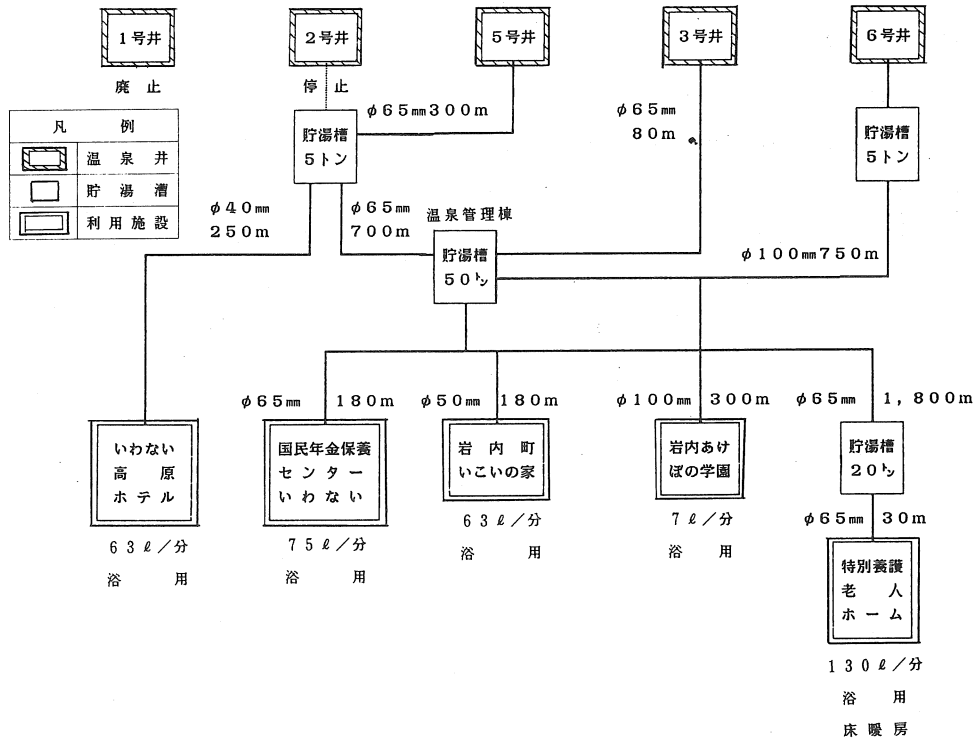


図-5 いわない温泉送湯施設フロー図



5-4 維持管理

温泉の揚湯は、3号井、5号井の2本体制を基調とし、補完的に前記の各井の整備・点検時と、主に冬季間に6号井を揚湯し各施設に送湯している。

泉源の分布状況の項でも述べたとおり、5号井は重曹泉で全固形物量も約1,200mg/lであり送湯管内でのスケール付着度は比較的少ない。一方、3号井・6号井は、全固形物量が15,000mg/lを超える食塩泉で、揚湯管、エア管、及び送湯管内でのスケール付着によるトラブルが、運営当初数多く発生した。

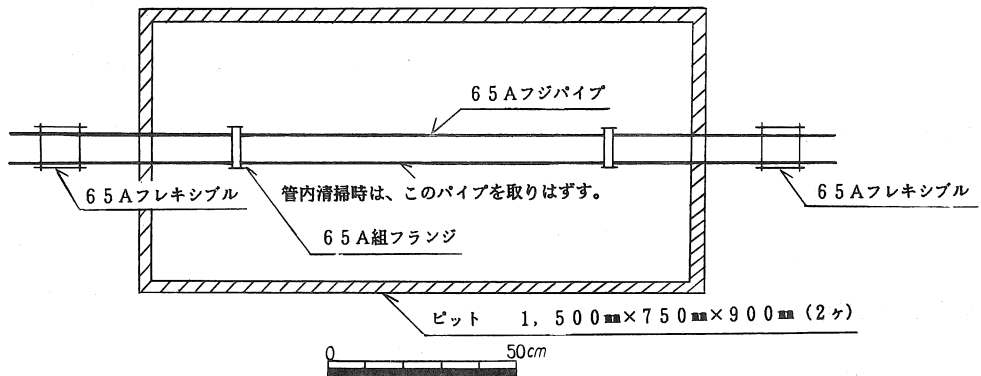
これらを解消するために

- ①揚湯管、エア管の定期点検
- ②送湯管ルート上における管理用ピットの設置

等の対策を講じ揚湯量及び送湯量の確保に努めてきた。

特に、昭和59年に直営で管理用ピットを設置し、これを利用しての高圧洗浄機による送湯管の清掃作業（スケール除去）は、大きな効果を上げているので、その詳細について述べる。

図-6 管理用ピット平面図



・管理用ピット設置内容等

①設置カ所 約140mに1カ所の割合で下記の3ルート上に合計21カ所のピットを設置した。
ピットの詳細は図-6のとおり。

ア) 管理棟～2号井ルート	(700m)	6カ所
イ) 管理棟～年金センタールート	(180m)	2カ所
ウ) 管理棟～特養ルート	(1,800m)	13カ所
計 3ルート	2,680m	21カ所

②高圧洗浄機	圧力	150kg/cm ²
	水量	17ℓ/分
	エンジン	8PS
	給水方法	自吸式
	寸法	970mm×712mm×680mm
	重量	130kg

6. おわりに

本町は、人々に健康とやすらぎを与える温泉資源をフルに活用し、雷電・円山地区において観光地づくりを進めている。

ここに、本町における観光開発と温泉利用について紹介したが、これからも観光を中心としたまちづくりを指向する本町にとって、温泉に寄せる期待は非常に大きなものがある。

特に新年度においては、北海道開発庁が進めているオートリゾートネットワーク構想に基づき、円山地区(いわない温泉)においてオートリゾートキャンプ場を核とした調査・計画が予定されており、この中でも温泉の開発・利用が整備方針の大きな骨子となっている。

21世紀に向け、“観光いわない”として大きく飛躍するためにも、関係者各位の皆様の一層のご指導、ご協力を心よりお願いいたします。

2. 弟子屈町の温泉利用の概況

弟子屈町地熱開発課 松橋秀和

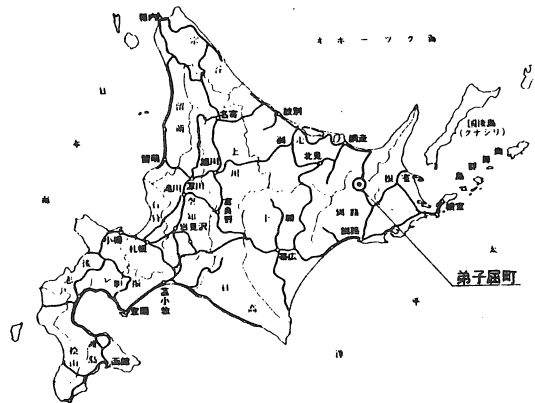
◎弟子屈町の位置

弟子屈町は北海道釧路支庁の北部60kmの内陸に位置し、阿寒国立公園の摩周湖、屈斜路湖を有し、国立公園の70%余りの面積を行政区域とする観光、農業、林業を主とする町であります。

◎地勢及び面積

地勢の大部分は千島火山脈に属する高原地で標高120m～200mで起伏の多い高燥地域で西北は山脈に囲まれ、平坦に乏しい地形であります。本町の土地総面積は772.65 km²で、その内国有地70.4%、道有地0.6%、町有地2.1%、法人有地4.2%、個人有地22.7%であります。また地目別面積は、山林が総面積の65.6%を占め、残る34.4%は摩周湖、屈斜路湖、各河川が13.3%、農用地11.7%、原野、雑種5.6%、宅地、その他3.8%の形勢となっております。

弟子屈町の位置



◎気 象

一般に冷涼で積算温度(年)は2,000℃以下で、盛夏の候でも25℃を越えることは極めて少なくしのぎやすい。然し厳寒期は-20℃以下になることもしばしばで厳しく、降水量は少なく、降雪は10月下旬に初雪、12月初旬には根雪となり翌年4月下旬に消滅する。

霜は10月中旬に初霜をみ、翌年5月中旬に終る。

霧の発生は5月から8月にかけて発生し、特に濃霧は6、7月に多い。

◎人口の推移

本町における人口の推移は次に掲げる通りである。

別 表

年 次	世 帯 数	人 口			一世帯当り人口
		男	女	計	
昭和5年	820世帯	人	人	4,186人	5.10人
昭和10年	1,700			9,017	5.30
昭和15年	1,734			9,421	5.43
昭和20年	1,978			10,936	5.53
昭和25年	2,087			11,395	5.46
昭和30年	2,388	6,557	6,404	12,961	5.43
昭和35年	2,683	6,716	6,546	13,262	4.94
昭和40年	3,073	6,312	6,582	12,894	4.20
昭和45年	3,278	5,927	6,310	12,237	3.74
昭和50年	3,552	5,740	6,234	11,974	3.37
昭和55年	3,846	5,919	6,180	12,099	3.15
昭和60年	4,168	5,742	6,054	11,796	2.83

※昭和60年度における観光客入込数は、346万人、ホテル、旅館等施設利用宿泊者数は58万人を数えた。

◎地熱（温泉）の概要

弟子屈町の温泉採取地域は、我が国7つの大型火山帯に数えられる千島系火山帯に属し、弟子屈温泉、川湯温泉、和琴温泉の自噴湧出源泉の外に数多くの温泉源を有し、豊富な湯量と自然環境に恵まれた「温泉観光地」であります。

この豊富で良質な温泉を当町が集中的に管理し、自然エネルギーである地熱温水を地域暖房給湯及び浴用、産業振興の熱源として地域開発をしている。弟子屈町は昭和52年より98℃の温泉熱を利用して、役場庁舎、町立老人ホーム、屈斜路研修センター、公民館、NTT 弟子屈電報電話局、釧路信用金庫弟子屈支店、土木現業所弟子屈出張所、ホテル、一部商店街の暖房に温泉を活用して、冬期（外気温度-20℃）で室内温度を21℃～23℃に保ち、石油等の代替エネルギーとしての暖房費節減による経済効果を得ることのみならず、「クリーンエネルギー」として「大気汚染」、「火災々害」のない熱として活用している。

更に温泉を効率よく利用するため、温泉暖房及び給湯に用いた高温泉水（98℃～80℃）の2次利用として60℃の温泉水を、パイプラインによってホテル、旅館、民宿、保養所共同浴場、温水プール、病院（温泉リハビリテーション）、家畜衛生舎（牛、馬等家畜を温泉水により治療、リハビリ）等施設の外一般家庭の浴用として循環配管によって給湯し、更に3次利用として40℃の温泉水をロードヒーティングによる融雪、養魚、きのこ栽培、ハウス栽培等の産業振興と多目的を計り、特性のある地域づくりを進めている。

※各温泉水の温度に応じた有効利用系態

1次利用……………98℃～80℃の高温泉水

暖房, 木材乾燥

2 次利用……………60℃～50℃の中温泉水

床暖房, 浴用, リハビリテーション, プール, クア・ハウス

3 次利用……………40℃以下の低温泉水

ハウス園芸, 養魚, ロードヒーティング

地熱(温泉)の集中管理

温泉の集中管理方式は比較的新しく, ここ数年前より使われ, 特に温泉掘削技術及びボーリングマシン等の向上によって源泉開発が野放し状態で乱掘され, 近隣源泉に悪影響を与え, 湧出量の減少又は温度低下したことによって, 温泉を営業源としている温泉地の経営者が自衛策として, 共有配湯管理を行なって共同利用が数ヶ所存在していることは推測されますが, 弟子屈町の場合は「既存源泉の保護」と「省エネルギー」を先き取りした大規模温泉給湯構想により, 官民一体となって集中管理を行なう寒冷地帯での広範囲の地熱利用を他に先がけ実施したところであります。

本町は特に年間の内8ヶ月以上暖房を必要とする寒冷地域であり, またこれら熱源の多くを広く世界各国にたよっている省資源国の我国であり, 地域で採取可能自然エネルギーである温泉熱及び温泉水を循環配湯システムにより, 効率利用を計っております。

集中管理の効率

弟子屈町地域に賦存する地熱エネルギーを開発採取し, これを地域暖房及び給湯に利用することは, 冬期における暖房が生活の必要不可欠の条件であり, 更に浴用として温泉が利用されることは, 保健, 健康管理に大きな役割を果し, 地域住民にとってその恩恵は計りしれないものがあります。

1. エネルギーの効率利用

多くを輸入に依存している石油, 石炭と異なり, 明治初期より枯渇することなく湧出している温泉水を, 有効利用することこそ国策に沿うものと確信するものです。

2. 温泉集中管理の経済性

石油, ガス及び石炭等に代り暖房, 給湯用エネルギーとして廉価な地熱エネルギーが供給されるので, 燃料費が大幅に軽減され, 一度の設備で長期間熱を得る事が出来る経済的熱源であります。

弟子屈町温泉利用状況 その1

利用の種類	利用区分	利用件数	主 な 利 用 施 設	備 考
暖房	公共施設	8	弟子屈町役場庁舎・役場自動車格納庫・弟子屈町公民館・老人ホーム倭和園・釧路土木現業所弟子屈出張所 屈斜路研修センター・奥春別小学校体育館・川湯駅前会館	
	事業所業務用	16	N T T弟子屈電報電話局・摩周パークホテル・釧路信用金庫弟子屈支店・弟子屈町商工会・後藤田医院 その他	
浴用	公共施設	9	福祉センター・老人ホーム倭和園・摩周観光文化センター・屈斜路研修センター・国立弟子屈病院 公衆浴場2件・釧路土木現業所詰所・釧路市庁監督員詰所	
	事業所業務用	30	ホテル・旅館 7件 寮・民宿 16件 公衆浴場 2件 その他 5件	
	一般家庭	310	循環配湯本管より引湯 配湯温度 60℃	
その他の	クア・ハウス	1	温泉健康保養施設	
	テラピア養殖施設	3	低温泉水を直接養殖池に配湯利用	
	木材乾燥施設	1	高温泉水を直接利用 製品まで25日～30日間	
	プー ル	2	町営施設	
	キノコ栽培	1	タモギタケの栽培	
	家畜衛生舎	1	温泉による家畜（牛・馬）の療養施設	
	ロード・ヒーティング	1	道々札友内・弟子屈（停）線 弟子屈市街 1,940㎡ 240m	
	水耕栽培	1	2ヶ所× 1,000㎡	
	ハウス園芸	1	2ヶ所× 330㎡	

弟子屈町における温泉熱利用状況 その2の1

施設管理	施設名	熱源供給者	利用区分	利用概要 (高温泉水 75～85℃・中温泉水 55～65℃・低温泉水 45℃以下)
弟子屈町	役場庁舎	弟子屈町	暖房	高温泉水を熱交換によって暖房及び雑用給湯に利用。
〃	公民館	〃	〃	〃
〃	老人ホーム倭和園	〃	暖房・浴用	〃 中温泉水を浴用に利用。
〃	屈斜路研修センター	〃	〃	〃
〃	奥春別小学校体育館兼地集会所	〃	暖房	〃
〃	弟子屈町長公宅	〃	〃	中温泉水を熱交換によって暖房。
〃	役場自動車格納庫	〃	〃	〃
〃	摩周観光文化センター	〃	浴用	低温泉水をボイラーで加温し浴用に利用。
〃	弟子屈町家畜衛生舎	〃	〃	中温泉水を家畜の(牛・馬)洗浄・術後のリハビリに利用。
〃	クア・ハウス	民間	〃	温泉の化学的・温熱的・機械的作用の総合的な効果を利用した温泉療法施設。
〃	町営業湯	〃	〃	一般町民が利用する浴場。
〃	老人福祉センター	弟子屈町	〃	老人福祉を目的とし、浴場を無料開放。
〃	野菜栽培ハウス	〃	暖房	温泉熱を利用した野菜栽培実験施設。
〃	温水プール	〃	加温	中・低温泉水を熱交換によって真水を加温しプールに利用。
国	国立弟子屈病院	〃	浴用	温泉の化学的・温熱的作用を利用したリハビリに利用。
北海道	ロードヒーティング	〃	融雪	低温泉水を直接道路に配管したパイプに通し融雪に利用。
〃	釧路土木現業所弟子屈出張所	〃	暖房・浴用	高温泉水を熱交換によって暖房・雑用給湯に利用。中温泉水を浴用に利用。
民間	N T T 弟子屈電報電話局	〃	〃	〃
〃	釧路信用金庫弟子屈支店	〃	暖房	〃 暖房に利用。
〃	摩周大通り商店街	〃	〃	中温泉水直接による床暖房に利用。 12施設

その2の2

施設管理	施設名	熱源供給者	利用区分	利用概要 (高温泉水 75~85℃・中温泉水 55~65℃・低温泉水 45℃以下)
民間	摩周パークホテル	弟子屈町	暖房・浴用	高温泉水を熱交換により暖房・雑用給湯に利用。 中温泉水を浴用に利用。
〃	弟子屈町商工会	〃	〃	〃
〃	一般浴用給湯	〃	浴用	ホテル・旅館・民宿・保養所・一般家庭に中温泉水を浴用に供給している。
〃	摩周きのこ生産組合	民間	暖房	温泉熱をきのこ栽培に利用。
〃	木材乾燥施設	〃	〃	温泉熱を木材の乾燥に利用。
〃	テラピア養殖池	〃	加温	中・低温泉水を直接池に入れテラピア（魚）を養殖している。
〃	一般給湯	〃	暖房・浴用	源泉所有者が暖房・浴用に供給している。
弟子屈町	弟子屈消防署	〃	〃	高温泉水を熱交換によって暖房・雑用給湯に利用。 中温泉水を浴用に利用。
民間	水耕栽培ハウス	〃	加温	中温泉水を熱交換により真水を温水に換え野菜栽培をしている。
組合	ハウス園芸	弟子屈町	暖房	施設暖房利用後の中温泉水をパイピングにより直接暖房とし野菜栽培をしている。

3. 環境の保全

地熱エネルギーは「クリーンエネルギー」であり、従って石油、石炭等のように、バイ煙や燃焼ガス等による大気汚染がなく、自然環境を保全するには最も適したエネルギーであります。

4. 災害の防止

火災発生件数の多くが暖房器具浴用釜に起因するものでありますが、地熱エネルギーを使用することで、火災、ガス事故の防止が出来る。

特に150名が入園している当町老人ホームにおいては、全館温泉暖房を利用しているので、その安全性には確信しているところであります。

5. 省力化

熱供給及び温泉給湯は集中管理によって配湯所で調整が行なわれ、利用者の暖房機器等の運転保全に人手がかからない。

6. 生活環境の維持保全と体力増進

温泉熱による暖房、リハビリテーション、一般家庭浴用として供給しているので、体力増進及び機能回復に利用されています。又利用者は入浴時間の選択が自由であります。

7. 低温泉水を活用した産業振興と融雪効果

1次、2次利用後の低温泉水を園芸ハウス、養魚、きのこ栽培等の産業上の振興を計ることが出来ます。又、当町商店街形成地域240m、1,940㎡の融雪用として利用、その効果は多大であります。

8. 省エネルギー

地熱エネルギーを利用することで石油等の輸入エネルギーに多く依存することなく、価格変動による影響も受ける事なく、常に安定した廉価な熱供給を受ける事が出来る。

温泉源の保護と熱源

本町の熱水系は、関係専門機関の調査の結果2つの熱水系が存在するところがあった。1つは弟子屈、釧別地域と屈斜路湖岸に湧出する真湯に近い中性の熱水系と、川湯地域の酸性の熱水系が豊富に採取出来る。

1. 源泉保有状況（61年4月調）

(イ)弟子屈、釧別地域源泉

源泉数 114ヶ所（自噴5ヶ所、動力揚湯109ヶ所）

最高採取温度 98℃

(ロ)川湯地域源泉

源泉数 83ヶ所（自噴23ヶ所、動力揚湯60ヶ所）

最高採取温度 59℃

(ハ)屈斜路湖岸源泉

源泉数 77ヶ所（自噴24ヶ所、動力揚湯53ヶ所）

最高採取温度 93℃

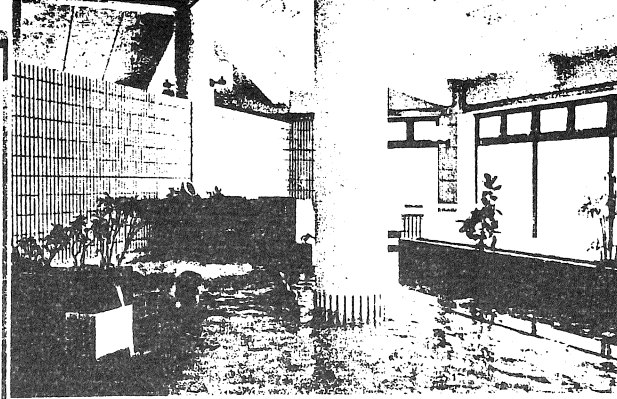
弟子屈町総源泉数

源泉総数 274ヶ所（自噴52ヶ所，動力揚湯222ヶ所）

※昭和51年4月1日北海道温泉保護対策要綱が施行され，屈斜路地域を除く地熱水採取可能地域全てが，保護，準保護の指定を受け，乱掘防止を計ると共に地熱水枯渇対策をとった。

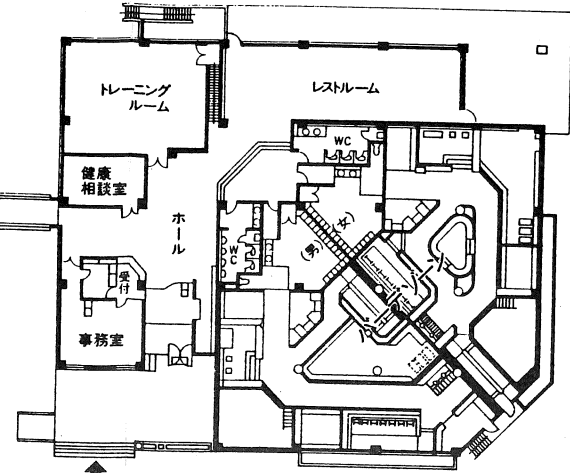
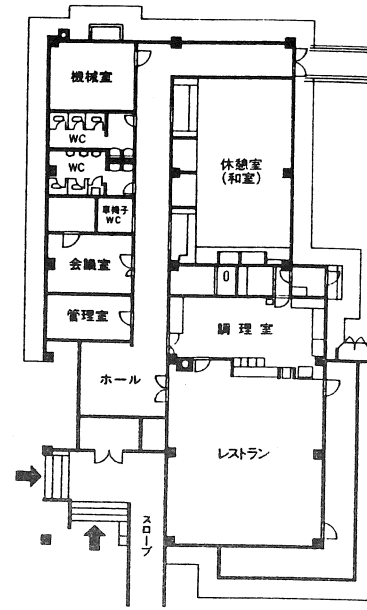
クアハウス
屈斜路

温泉健康保養施設



- ① 泡沫浴
浴槽底から発生する泡がこわれる時に発振する超音波が効果の源です。肩痛、腰痛、関節痛の人に入っていただきたい浴槽です。
- ② 塩湯
のびのびと足をリラックスさせ、ゆったりとした気分で入浴出来ます。顔面痛、倦怠の効果があり、高血圧・不眠症の人にピッタリです。
- ③ トレーニングルーム
10数種によるトレーニング機器を用意しており、コンピューターによる健康診断と適切なアドバイスが表示されます。シェイプアップや、体力づくり、リハビリテーションにご利用ください。
- ④ 箱むし
箱の中に、すっぽり体をおさめ、発汗が快適さにつながります。70度～80度の蒸気を5～10分通し、神経痛、リウマチの人に効果的です。
- ⑤ 全身浴・部分浴
全身浴と部分浴をひとつの浴槽にまとめ、たっぷりと高温・低温の温泉を味わっていただけます。体力、持病、体質によって選択出来ます。
- ⑥ かぶり湯
まず、入浴前のウォーミングアップ。3種類の温度差のお湯を、足から腹部、胸、肩へと徐々に上部へかけていきます。5～10杯が適切です。
- ⑦ 歩行浴
お湯と水に分けられた細長い浴槽を交互に歩きます。底に敷きつめた小石が、足の裏を刺激し、冷え症、精神的疲労回復に効果があります。
- ⑧ うたせ湯
温度による効果、水圧によるマッサージ効果を組み合わせ、うたせ湯。高・中・低温落下する高さ差をつけマッサージしたい部分を3～5分程打たせます。
- ⑨ リラックスコーナー
バーデゾーンの中にある休憩コーナーです。入浴プログラムに合わせてご利用ください。
- ⑩ 圧注浴
体に心地よい刺激を与えてくれる圧注浴。浴槽中のノズルから噴出される噴流をマッサージしたい部分にあて、ゆっくり入浴することが可能です。

クアハウス屈斜路
平面図



■モデル入浴プログラム

高血圧 コース	かぶり湯	部分浴	泡沫浴	休憩	寝湯	安	静		
	40～41℃	40℃	39℃	10分	10分	60分			
腰痛 コース	かぶり湯	全身浴	泡沫浴	休憩	うたせ湯	運動浴	安	静	
	40～41℃	40℃	39℃	10分	(1ヶ所) 3～5分	10分	60分		
冷え症 コース	かぶり湯	全身浴	泡沫浴	休憩	運動浴	歩行浴	手指の温冷	安	静
	40～41℃	40℃	39℃	10分	10分	5回	5回	60分	

施設名 林業者等健康管理施設 (クアハウス屈斜路)

事業主体 弟子屈町

開設年月日 昭和61年5月25日

事業名 広域林業構造改善事業

建物面積 1,022.81 m²

総事業費 300,000千円

(給排水衛生暖房設備工事費)

88,263千円

摩周きのこ生産施設概要

施設の概要

場所 弟子屈町字鋤別 151 番地 1
 面積 1,000 m²
 建物 458 m² 軽量鉄骨造 平屋建

主な施設

作業所・接種室・培養室・芽出室・生育室・菌種室・ 出室
 選別包装室・事務室・空調設備一式・冷蔵庫・栽培機器一式
 暖房設備 温泉（源泉温度 65℃）

工事の着手 昭和53年8月1日
 完成 昭和53年11月30日
 工事の費用 55,993千円

生産目標

年産 33t （日産 100~120Kg）
 栽培数 最大 90,000本
 平均時 68,000本

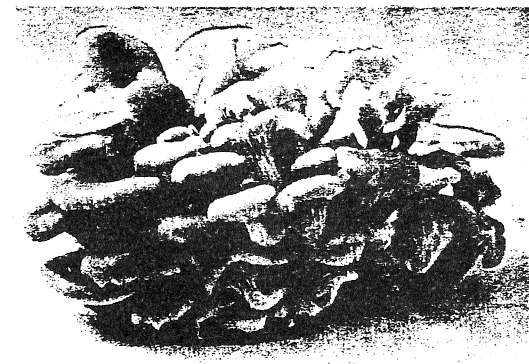
組合の設立

名称 摩周きのこ生産企業組合
 創立 昭和53年 4月/3日

説明資料

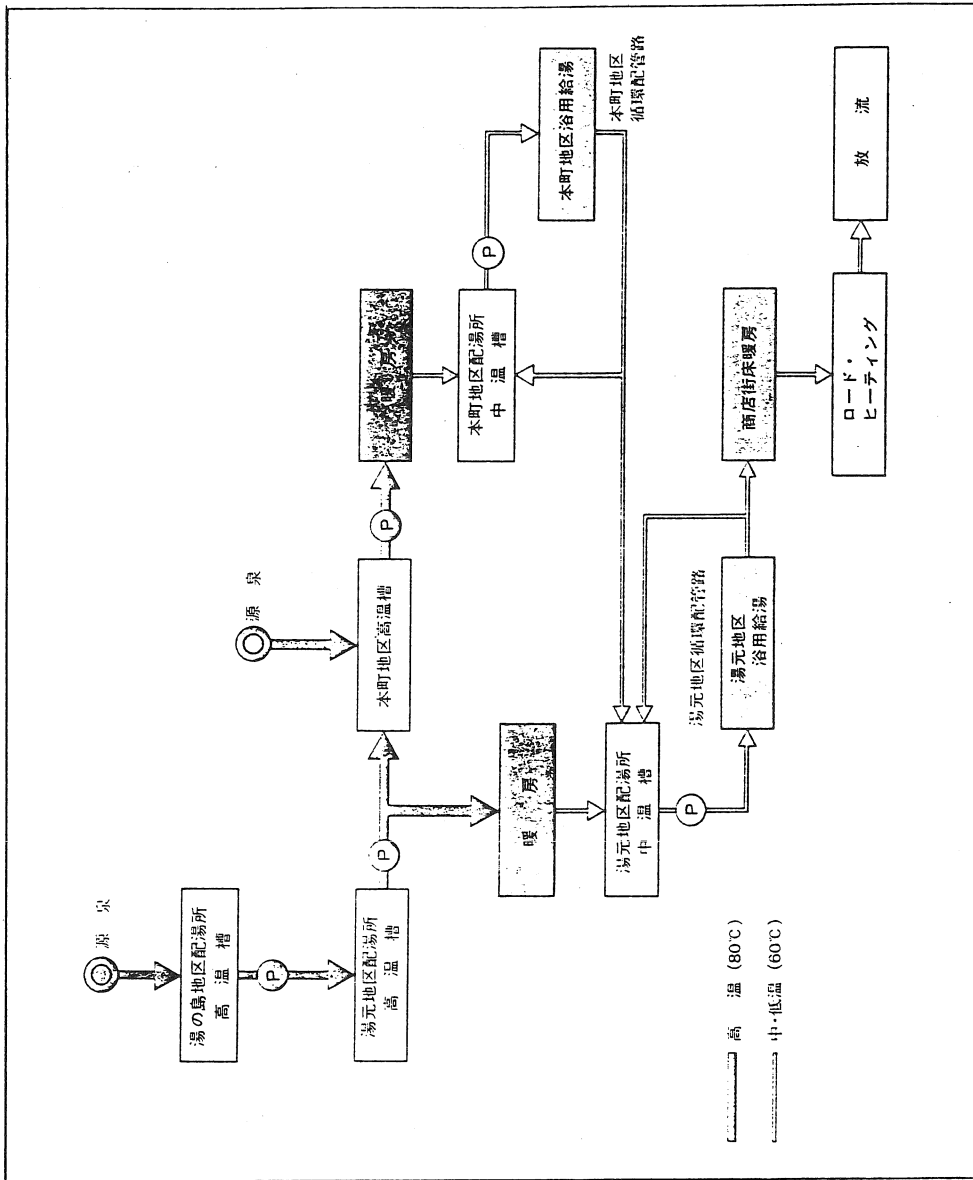
1. 事業主体 摩周きのこ生産企業組合
2. 導入事業名 第2次林業構造改善事業
3. 施設名 特殊林産物生産施設（タモギタケ生産施設）
4. 地域指定年度 昭和43年度
5. 施設導入年度 昭和53~54年度
6. 導入施設の内訳

年度	事業内容	事業費	国庫補助金
53	作業用建物 458m ² /	39,931千円	24,650千円
	栽培機器- 一式	9,369千円	
	計	49,300千円	
54	作業用建物 97.2m ² /	3,613千円	3,345.5千円
	トラック 2t / 台	2,100千円	
	ライトバン 1,600CC / 台	980千円	
計		55,993千円	27,996.5千円



タモギタケ
 温泉熱を利用して栽培しているおいしいキノコ。いまや、摩周温泉・川湯温泉の各ホテルや旅館、家庭での鍋料理には欠すことのできないものになりました。

■ システムフローシート (本町地区)



3. 地熱水利用の施設園芸とその展開

壮瞥町産業振興課 橋本清孝

1. 地域の概況

壮瞥（そうべつ）の語源は、アイヌ語「ソーベツ」であり「滝の川」を意味し、カルデラ湖の洞爺湖より落下する滝に由来する。

壮瞥町は、図-1に示す通り、北海道の南西部に位置し、東は、登別温泉（登別市）南は伊達市、北は北湯沢温泉（大滝村）に連なり、西は有珠山、昭和新山、洞爺湖を擁する「火山と湖と温泉のまち」として知られており、道都札幌市より約2時間と交通の便もよく、北海道の湘南と称せられ、年間約300万人の観光客がおとずれる道内有数の観光地である。

図-1 壮瞥町の位置

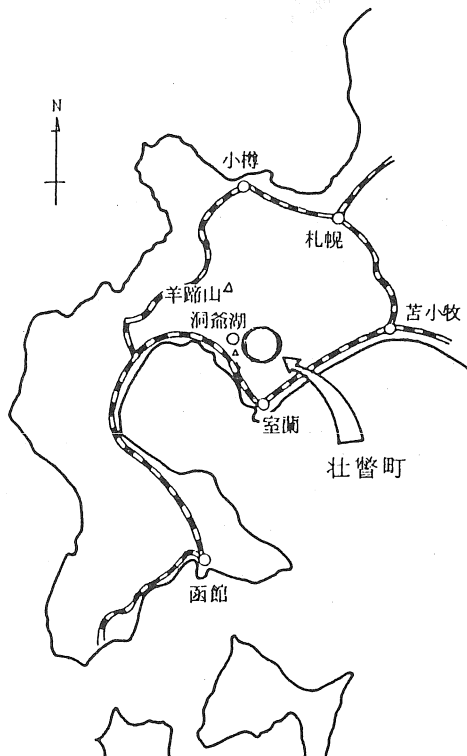
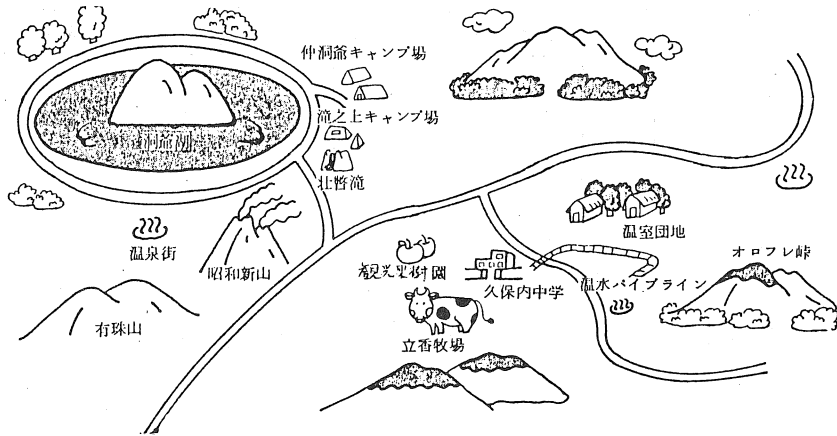


図-2 壮瞥町の概観



気候も比較的温暖な地帯で、積雪も少ない。(表-1) また、日射量は札幌と同程度の値であり、帯広と稚内の中間値に相当する。(表-2)

表-1 壮瞥町の気象

種別		月											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均温度(℃)		-1.6	-2.1	1.8	6.7	12.6	16.8	17.3	21.8	18.5	10.8	3.6	-0.6
平均最高温度(℃)		1.3	1.0	4.3	11.9	17.7	20.3	24.3	26.5	22.4	16.6	8.5	2.0
平均最低温度(℃)		-9.1	-8.6	-5.7	0.6	3.6	9.7	13.8	14.9	8.4	4.4	-2.6	-7.3
降雨量(mm)		10.3	30.9	37.2	59.9	67.0	56.6	86.1	190.3	137.7	105.4	85.7	14.2
降雪量(cm)		46.4	38.9	8.8	2.0	0	0	0	0	0	0	11.9	18.8
天気	快晴	2.0	2.8	2.4	4.4	7.0	1.4	4.4	4.2	4.0	4.8	3.2	2.4
	晴	12.8	9.2	15.0	14.6	11.6	13.8	9.6	12.8	13.2	14.2	12.8	14.6
	曇	16.2	16.4	13.2	11.0	11.8	14.4	15.0	13.4	12.8	12.0	14.0	14.0
	雨・雪	7.8	8.0	6.8	8.4	9.6	7.4	13.6	9.6	11.4	11.0	11.6	9.4

(昭和47~51年、室蘭営林署壮瞥苗畑事業所観測)

注) 天気の数字は現象別の日数の平均値である。

表-2 日 射 量

地域	日射量	平均日射量 (cal/cm ² ・day)						2月の蓄熱量	
		1月	2月	3月	4月	10月	11月	12月	(Kcal/m ² ・day)
壮 瞥		120	180	280	360	230	230	90	540
帯 広		175	246	329	381	381	237	145	738
札 幌		128	195	285	367	367	223	108	585
稚 内		83	153	259	345	345	200	65	459
秋 田		107	166	261	365	365	239	90	498
仙 台		172	233	311	385	385	232	146	699
熊 谷		234	285	337	385	385	249	206	855

全体の標高は、約50mから200mと波状を呈している丘陵地で、中央を長流川が貫流し、その土壌の98%までが、有珠系火山灰である。

総面積2,037.17km²人口約4,000人の農山村で、開基以来110年を経て、現在260戸の農家が、高級菜豆などの豆作やてん菜（ビート）等を中心とした畑作に、水稻、果樹、グリーンアスパラガス等の野菜や黒毛和牛の産地として、寒冷地型複合経営が主体で、自然と安らぎのある農業と観光の町である。

2. 温泉利用施設導入の経緯

1) 導入以前の実情

農業経営の安定的向上を目指すには集約型と土地利用型とがある。壮瞥町周辺の、伊達市や、洞爺村においては、水稻を中心とした経営基盤の中に古くから集約型を組み合わせた経営が行なわれており、全道的レベルにおいて、野菜の生産地として知られていた。

一方本町においては、畑作物である^{おおふく}大福、^{しろはな}白花、^{とらまめ}虎豆、紫赤花等いわゆる高級菜豆の主産地として、すでに80余年の歴史があり、特に大福については、全道シェア40%と極めて高率である。その需要も、高級和菓子の原料として安定していた事が、高価格を長年に渡り維持させ得たところである。

しかしながら、^{せいあん}製餡技術の向上と、甘味離れもあり、その上生産現場においては連作、過作に加えて、有機質投入量の減少と大型農業機械の踏圧に影響されやすい土壌特性から、根の生息域の縮小をまねき、製品の小粒化も一部に発現するに至り、高値安定だった基幹作物にかげりも見えはじめた。

そのような伏流の中で、個々の農家経営規模が平均で5.5haと府県型に近い耕作面積である事、他に産業が乏しい事から、過疎化の傾向に危惧の念を、抱き始めたことが上げられる。

2) 契機及び地元合意の形成

オイルショック後のエネルギー事情から各方面において、ローカルエネルギーに対する研究開発を積極的に推進する素地があった。

本町は、那須火山帯に位置し、明治43年（1910年）^{よそみ}四十三山、昭和19年（1944年）昭和新山、昭和52年（1977年）有珠新山と隆起し周期的な火山活動が続いている。

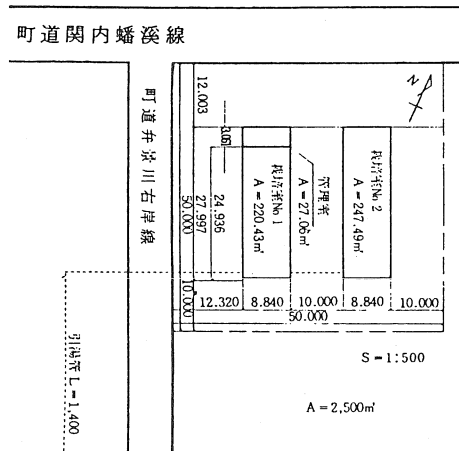
この地殻エネルギーを天与の恩恵としてとらえ、有効な拡大活用に結びつけたいとする地元気運の高揚があった。

通商産業省、資源エネルギー庁主管による「電源開発促進対策事業」の一環として、地熱発電所建設の可能性を探るため、全国地熱基礎調査の一つとして、壮瞥町と大滝村を対象に昭和51年より開始され、壮瞥では、52年に調査井600mを掘削して、この坑井より45.5℃、自噴量77ℓ/minの地熱水を得た。

結論として、弁景温泉地区は長流川層に貯留されている地熱が熱源となって岩盤の亀裂を上昇し、弁景川水系の地下水が温泉水となっているものと考えられ、弁景温泉附近一帯は、地熱資源の可能性として有望であると位置づけられ、これに基づき熱水の多目的利用の基礎計画が作られた。これは、広範囲に分布する既存の家屋暖房に利用するより、熱供給源から近距離の地区で集約化し、直接生産に結びつく形での利用が望ましいとの通産への答申があった事。その骨子を踏まえ、早急に実用化が望まれる品目について、3ヶ年の計画で実用化試験を行うこととし、「熱水利用多目的実証試験」の実施を見た。

この試験に用いた施設は、図-3の通り南北棟であり、鉄骨のガラスハウスである。

図-3 施設配置図



この位置は、当初泉源付近に設ける予定であったが、太陽光線の入射角を最低でも30度に設定する事で、山間部を避け65m/m径ポリプロピレンパイプを用いて、1400m引揚した。

「熱水利用多目的実証試験」はこのような段階を踏んで、国から道を経て町が委託を受け低温水の利用方法、利用効果、利用下限など利用技術及び、栽培技術の実用化試験をきゅうり、トマト、刈りたいなの作目で行った。

畑作物中心の寒冷地型複合経営の中で、施設園芸というものを初めて目にした新鮮な刺激は、大きいものがあつた。

農業改良普及所の指導の下に、弁景、幸内地区の畑作農家26戸の、管理作業委託組合員は総て

の施設野菜の栽培技術について白紙の状態からスタートした。この事は、その後の事業において、好成果を生むことにつながっていった。

尚、本施設は、2ケ年の実証試験終了後町立壮警高等学校園芸部で、研究を目的とし、各種の栽培プラントに合せ、種々の作目栽培試験を通して、実践的な農業後継者育成に実績を上げている。

町は、農林水産省の補助事業である施設野菜省エネルギーモデル団地設置事業導入について、地元生産者の積極的な同意を得、54年に町単独で生産井を1本開発した。これは、55年度同時事業実施へ向けての大きな布石となった。

昭和51年度から町行政が農政サイドから進めていった各事業の取り組みについては、まとめて(表-3)に示す。

表-3 昭和51年度からの地熱開発に対する町農政の取組み

年度	事業内容	事業総額 <small>円</small>	国 費	町 費	受 益 者
51	電源開発促進対策の一環として、大滝、社管地域として基礎調査が開始	地化学調査、放熱調査、重力調査	21,000	21,000	
52	昭和52年度社管町字井景の町有地において、ボーリング精査(52SB-1)	調査井	35,000	35,000	
53	昭和53年度熱水利用多目的実証試験のための施設建設	ガラス温室468㎡ 2棟 引湯管 L=1400m	34,452	34,452	
54	昭和54年度～55年度熱水利用多目的実証試験の実施	「トマト」「タイナ」の実証試験	6,510	6,510	
	町は、昭和52年の精査の跡地後、昭和54年施設野菜省エネルギーモデル団地設置事業の実施を前提に泉源の掘削を町単独で実施	「きゅうり」「トマト」「タイナ」の実証試験 深度264mの生産井ボーリング 引湯工事 L=629m	4,500	4,500	
55	昭和55年度施設野菜省エネルギーモデル団地設置事業を実施 カリタイナの栽培から開始(55.12.26)	深度500mの生産井ボーリング 引湯管2,276m 本ほ温室7,735㎡ 16棟 受水タンク 50t 1基 整地 2.24a 道路 L=230m	26,430	26,430	
			201,480	87,773	68,770 44,937
56	昭和56年度全町的に野菜の作付増と土地の高度利用の促進により、育苗専用棟を設置。町内の育苗センターとなる。	育苗専用棟756㎡ 2棟 圧力調整槽6t 1基 分岐ピット 一式	21,000		14,500 6,500
57	地熱利用の施設団地における生産性の向上を目的とし、第2団地として、昭和57年度施設野菜省エネルギーモデル団地設置事業を実施	深度700mの生産井ボーリング 引湯管2,259m 本ほ温室7,920㎡ 12棟 育苗温室1,320㎡ 2棟 受水タンク 70t 1基 整地 2.174a 道路 L=197m	308,569	130,977	93,906 83,686
58	地熱利用野菜団地(省エネ団地)の生産性向上が大きな波及効果となり、耕作総面積の24%を占める高級菜豆の畑作複合経営から、無加温のハイハウスによる、より高度な土地利用が行われるようになった。一方、地熱を利用する施設として、昭和58年度新地域農業生産総合振興対策事業地場野菜団地育成型として、昭和57年度省エネ団地の排湯を利用し、葉菜類の栽培を行い、より少ない労働力、より小さい建設費で地熱水の低温域有効活用を図る為、第3番目の団地として実施。 一般畑作の作業体系からずらすことで労働力の有効活用を併せて行い、農家所得の増収を目的として導入した。	ハイハウス5,447㎡ 16棟 引湯管 650m 受水タンク 30t 1基 整地 1,168㎡ 道路 99m	34,400	11,466	13,650 9,284

3. 事業の実施

生産井、^{ほじょう}圃場整備、灌水・給湯の各施設は事業主体を町とし、温室の事業主体は生産組合とそれぞれ区分し事業実施に取り組んだ。

生産組合は、前期実証試験において種々勉強する機会を得た26戸の農家の中から、本人の意志、労力、経営面積を総合的に考慮した結果、13戸の生産者で構成されている。

計画では、トマト、きゅうり、葉菜類の周年栽培で、10a当り450万の年粗収に対し、初年度より、480万を越え、57年度において同事業を新たに設置し、実質規模拡大となった事で、年

商1億円産業に成長した。(表-4)

表-4 出荷実績

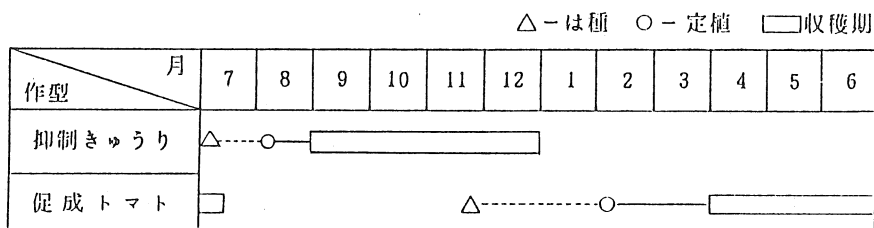
年	作目	1次利用		2次利用		売上計	10a当り	
		出荷量	売上金額	出荷量	売上金額		1次利用	2次利用
60 (210a)	トマト	227	76,134	34	6,790	82,924	4,880	1,698
	きゅうり	152	35,833	6	1,535	37,368	2,297	
	スイートコーン			3	936	936		585
	葉茎菜			7	3,429	3,429		857
	計		111,967		12,690	124,657	7,177	2,350
61 (210a)	トマト	223	69,922			96,922	4,482	
	きゅうり	132	20,593			20,593	1,320	
	花卉				6,139	6,139		2,558
	果菜			26	5,579	5,579		1,860
	葉茎菜				3,243	3,243		737
計		90,515		14,961	105,476	5,802	2,771	
62 (210a)	トマト	213	60,313			60,313	3,866	
	きゅうり	141	33,242			33,242	2,131	
	花卉				5,760	5,760		3,032
	果菜			28	6,335	6,335		1,760
	葉茎菜				2,595	2,595		412
計		93,555		14,690	108,245	5,997	2,720	
63	トマト	233	78,416	27	7,626	86,042	5,027	3,813

(主な出荷先)

札幌 51% 室蘭 27% その他(苫小牧、旭川) 22%

又現在のハウス年間利用は、1次利用団地において図-4の通りである。

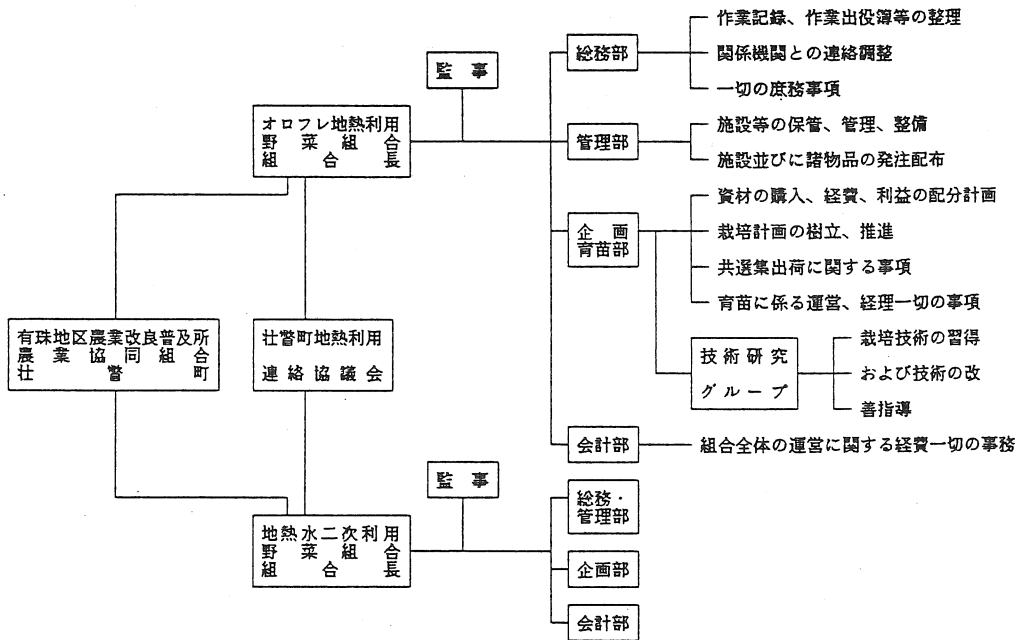
図-4 ハウス年間利用



生産組合の運営は、品種、品目の統一と一元集出荷多元販売で市場対応している。完全な共同育苗で、組織を円滑に運営する上で、専門部制を採用、若手中心の企画育苗部が、生産部門において基本的な舵取りを担っている。

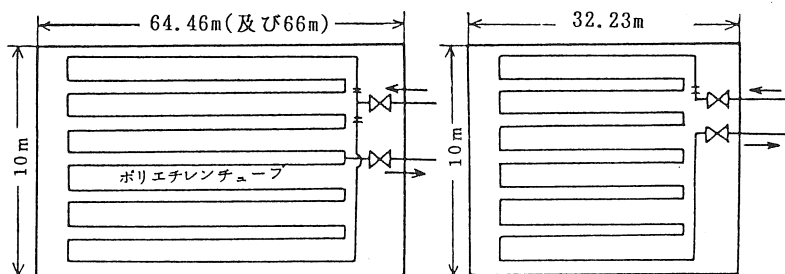
企画育苗部に於ける協議には、町、農協、普及所が参画し、意見の統一、相互の意思の疎通に留意し、土壌保全等にも充分な注意がはらわれている。

図-5 組織体系図



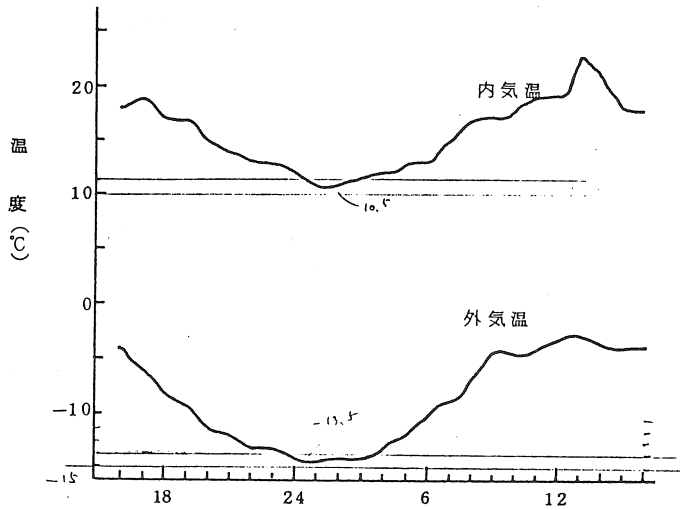
1次利用のハウスは、亜鉛メッキ軽量鉄骨で、被覆材は、妻面と屋根部が FRA ($t=0.7\text{m/m}$) 側窓はビニール ($t=0.15\text{m/m}$) でポリエチレン ($t=0.75\text{m/m}$) の二重カーテンを設け、放熱方式は地表配置で折り径160mmのポリエチレンチューブ ($t=0.4\text{m/m}$) を用い、入湯圧0.2 kg/cm²以内でゆっくり引流しされている。(図-6)

図-6 放熱管の配置列



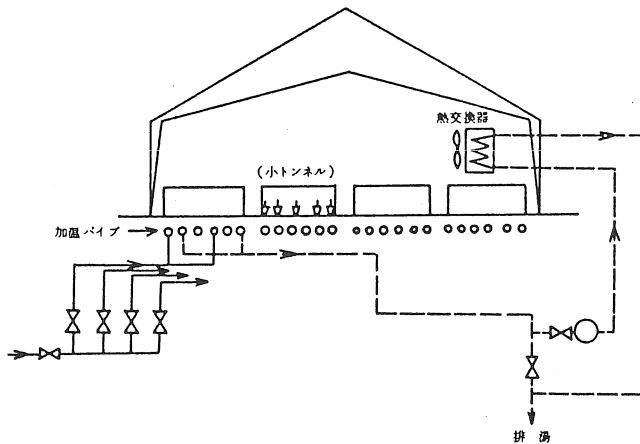
ハウス内温度は外気温 -17°C の時、二重カーテン下で $+7^{\circ}\text{C}$ という設定に対し図-7に示す通りであり、過去最低を記録した -24°C の外気温に対しても $+7^{\circ}\text{C}$ を維持した。

図-7 ハウス内外気温（昭和58年2月10日）



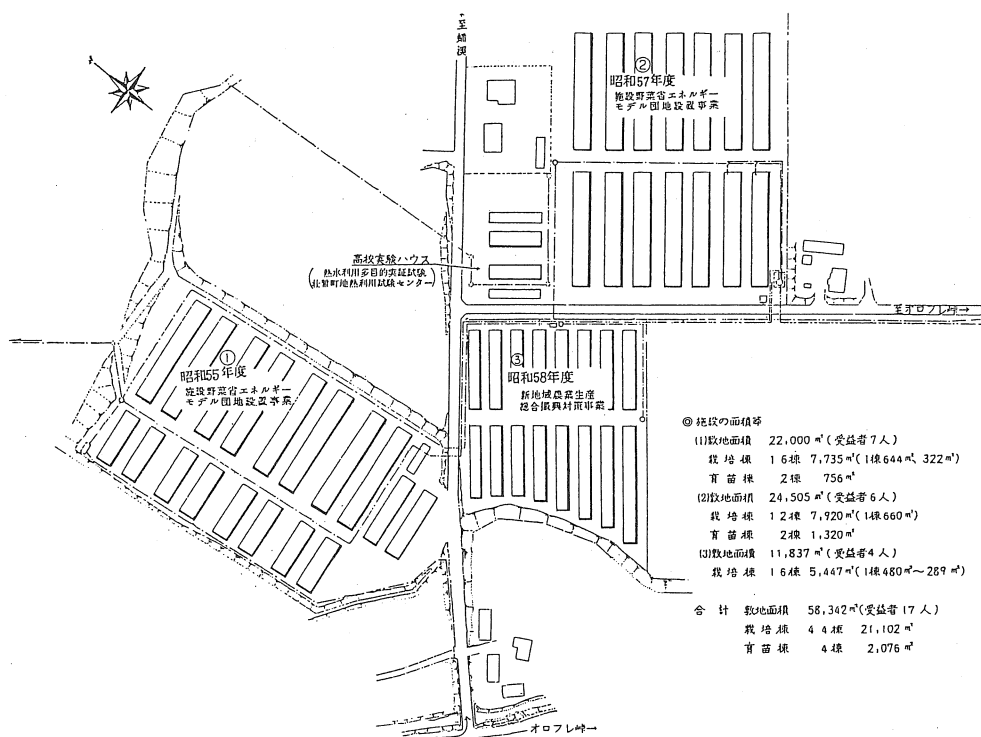
育苗棟の加温方式は地表下5 cmのレベルに20m/m径のポリエチレン管を埋設し（図-8）頭寒足熱式の方法を採用している。熱交換機はグリーンソーラータイプで、室内温度の平準化を主目的とした補助暖房である。

図-8 育苗ハウスの暖房



ハウス団地部の平面図は、58年度に設置した二次利用のパイプ式ビニールハウス16棟を含めて（図-9）のように配置されている。

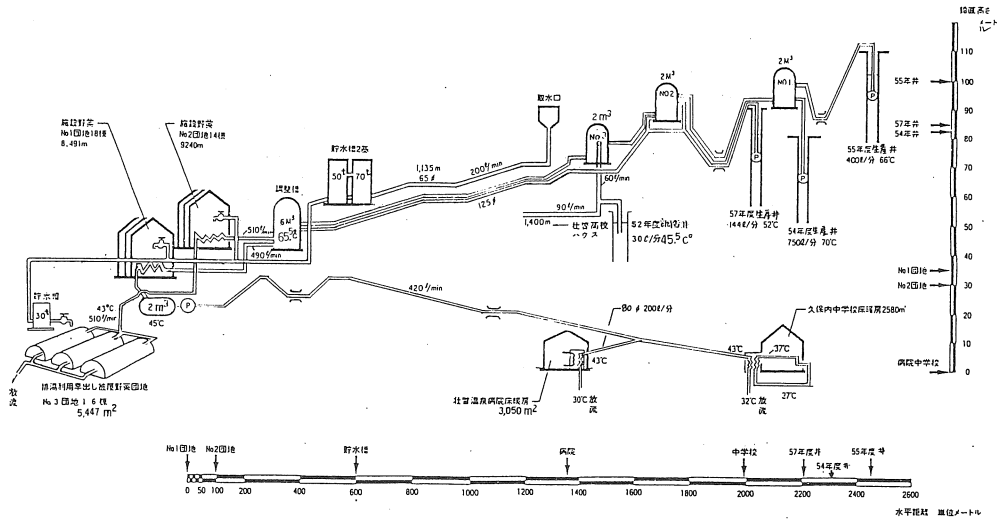
図-9 地熱利用ハウス団地配置図



地熱水の管路系統図は(図-10)のようになっており、3本の泉源共水中モーターポンプにより揚湯している。泉源とハウス団地の地盤高の差が約50mある所から、ミックスタンクの機能を含めた圧力調整槽をライン途中に4基設け、自然流下で給湯している。二次利用も含めて給湯管種は総てポリブデンパイプを使用し、地下埋設深度800~1000m/mウレタンスチロール21m/mの一層保温で対処している。

ドロップ温度は1000m引湯して1℃という事であったが実際には0.6℃のドロップで治まっている。

図-10 管路系統図



4. 事業の展開

地熱水の有効活用の面では、前記施設団地に於いて65°Cで入湯、約40°C前後で排湯される1次利用に対し40°C前後から再利用する2次利用を推進した。

昭和56年度町立中学校の全校舎床暖房、57年度企業誘致した私立病院の全棟床暖房と、浴用の利用、58年度地熱水二次利用野菜団地の設置である。

地熱利用野菜団地の成功は、他の果樹農家に対しては、ぶどう、さくらんぼ等に又一般畑作主体の農家では、葉菜類、花卉の被覆栽培が夫々若手を中心に急速に進み、少ない経営面積の中で、安定経営を目指す方向へと、農業体系の変革に先導的役割を果した事に加えて、病院、中学校等地域社会において多面的な活性化実現の核となっている。

II. 熱利用の関連技術

1. ヒートパイプとその利用法

北海道立工業試験場 富田和彦

1. はじめに

近年、我が国の経済力が向上し、一般家庭生活を含めて社会環境の整備が求められるようになってきた。これに伴って、エネルギーの利用目的も多様化し、北海道においても融雪、ロードヒーティングなど新しい熱需要が生じてきた。

現在は石油を始めとするエネルギーの需給や価格が安定しているとはいえ、我が国のエネルギー自給率は極めて低く、太陽熱、地熱、廃熱などの自然エネルギー、環境エネルギーの活用は今後とも望まれる。これらローカルエネルギーを効率的に利用するためには、熱回収、熱交換、熱伝達、熱輸送、熱貯蔵などの熱関連技術の効果的な適用を図ることが重要であり、熱利用の新技術や複合利用システムの積極的な利用を推し進めていく必要があると考えられる。

北海道に豊富に存在する地熱は自然エネルギーの中でも最も安定した熱資源であるため、地熱発電はもとより融雪、暖房など民生用エネルギー資源としての利用が考えられている。この地熱を効率よく地上まで輸送する方法の一つに、ヒートパイプの利用が考えられる。ヒートパイプは外力を必要とせず非常に小さな温度差で長距離にわたり多量の熱を輸送できる優れた伝熱素子であるため、ヒートパイプを使った地熱抽出方法の検討や利用技術の開発が盛んに進められている。

ここでは、ヒートパイプの作動原理や特徴について簡単に触れるとともに、地熱を利用したヒートパイプの応用例について、いくつかの実施例を上げながら紹介する。

2. ヒートパイプの作動原理とその特徴

ヒートパイプの作動原理は図1に示すように、密閉した容器（コンテナ）内に作動液と呼ばれる液体を適量封入したもので、この作動液の相変化と循環によって高速に熱を輸送するものである。このため、銅などの金属材料では難しい低温度差の熱移動も容易に行うことができる。また、地上で使用する場合には作動液の帰還を重量で行うため、毛細管現象

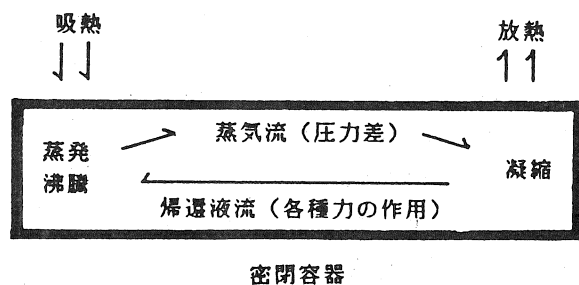


図-1 ヒートパイプの作動原理

による複雑なウイックを必要とせず、構造は極めて簡単である。この地上用ヒートパイプはサーモンサイフォン型ヒートパイプあるいは二相密閉型サーモンサイフォンと呼ばれており、大型化や長尺化が容易で熱輸送能力が大きく低コストである。その作動原理を、図2に模式的に示す。

次にこの形式のヒートパイプの作動限界について考える。

白石¹⁾らは、サーモンサイフォン型ヒートパイプの最大熱輸送量について詳細な検討を行っている。彼らによると、作動液の物性値以外でヒートパイプの作動限界を決める重要な因子は、作動液のコンテナ内への封入量、加熱部長さ/パイプ径 (Le/d)、パイプ径 (ボンド数: B) とし、種々の作動限界をこれらの因子との関係により定性的に整理している (図3)。

3. 地熱を利用したヒートパイプの応用例

北海道のような寒冷地に適したヒートパイプの応用例については、寒地技術シンポジウムの論文集や、これまでに刊行されているいくつかのヒートパイプに関する書物^{2), 3)}などに詳述されているが、

ここでは主として当工業試験場で進めている地熱を利用したヒートパイプの応用例についての研究概要を紹介する。

3. 1 水道メータの凍結防止⁴⁾

寒冷地における水道メータ交換を容易にするため、メータボックス内のメータ取付け位置を地表面下500mm程

度まで立ち上げ、その位置でメータが凍結しないように、冬期でも7~10℃ある地熱をヒートパイプを利用してメータに伝える凍結防止システムの開発を進めている。

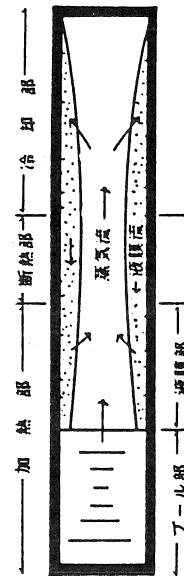


図-2 サーモンサイフォン型ヒートパイプの作動原理

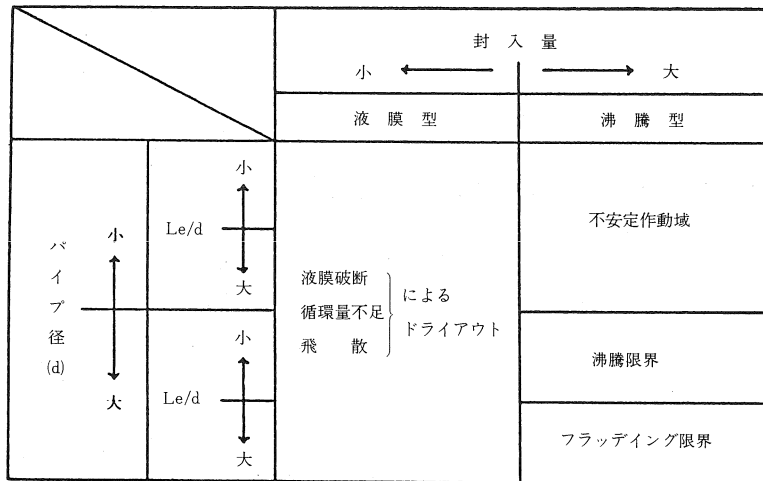


図-3 サーモンサイフォン型ヒートパイプの作動限界の概略

図4にその設置例の略図を示す。また、北見市の企業局における測定結果の一例を表1に示す。表から明らかなように、地下300mmに設置したモニター用メータの表面温度は2℃前後を示し、地下120mmに設置の既存メータより高い温度になっている。この時の地中温度は5.5~5.7℃、ヒートパイプ受熱部は熱を上部に伝えているために、これより2℃程度低い値を示している。

これまでの一連の実証試験から、地熱を熱源とするヒートパイプを利用した水道メータの凍結防止が確認された。今後、道内各地域における地温の期間変動や凍結深度とヒートパイプ必要長さ及び埋設工法などについて検討し、早急に実用化を図る予定である。

3. 2 ヒートポンプとの組合せによる地熱からの直接抽熱⁵⁾

地熱をヒートポンプの熱源とする場合、地下水を汲み上げて熱交換器（蒸発器）により抽熱するのが一般的な方法である。しかし、この方法では地下水を枯渇に導く危険性があり、また実際に汲み上げなどに規制を受けている都市もある。このため、ここではヒートパイプを利用し、地下水を汲み上げずに直接地熱

のみを抽出するヒートポンプシステムを考案し、その実証試験をおこなった。設置場所は当工業試験場敷地内である。

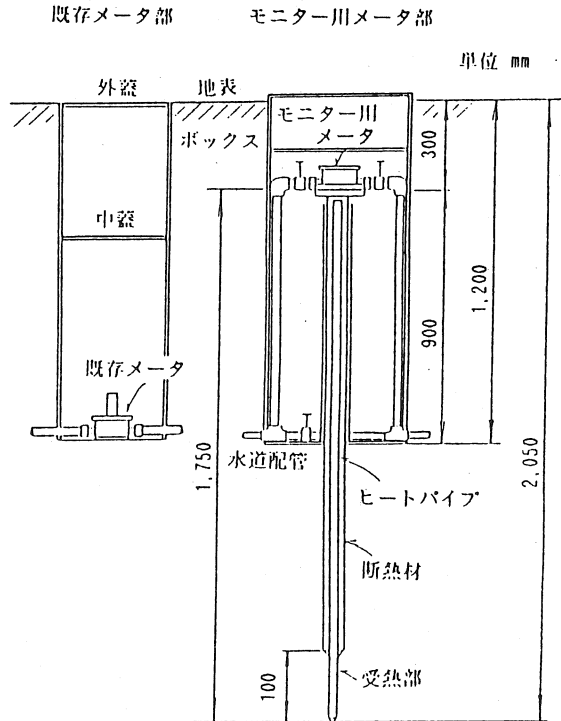


図-4 水道メータの埋設概略図

表-1 温度測定結果（北見市企業局倉庫 S63.1.31）

温度測定位置	地表面からの深度(mm)	計測時間			
		0時	6時	12時	18時
外気温度 (°C)		-18.4	-18.3	-1.6	-9.3
モニターメータボックス内(°C)	300	1.1	1.0	0.9	1.1
既存メータボックス内(°C)	300	-0.7	-1.1	-0.3	-0.3
モニターメータ表面 (°C)	300	2.1	1.8	1.8	2.1
既存メータ表面 (°C)	1,200	1.6	1.3	1.6	1.8
ヒートパイプ受熱部(°C)	2,050	3.9	3.8	3.7	3.9
地中温度 (°C)	1,950	5.7	5.5	5.6	5.7

システムの概略を図5に示す。このシステムにおいて、ヒートパイプ加熱部は地下熱交換器（抽熱部）として利用し、冷却部はヒートポンプサイクルの蒸発器の中に二重管式熱交換器に似た形で組み込まれる。このため、ヒートポンプ冷媒を蒸発器に送り、ヒートパイプ冷却部を冷やすとヒートパイプの作動が開始し、地中からヒートパイプ加熱部へと熱が移動する。なお、汲み上げた熱はヒートポンプにより床暖房用の温水加温に利用する。

試験に使用したヒートパイプの仕様を表2に、またヒートポンプ運転時のヒートパイプ管壁温度変化の一例を図6に示す。この状態における地中からの抽熱量は約260kcal/h、ヒートポンプ出熱量は520kcal/h、温水温度40℃であった。なお、圧縮機は定格出力300Wを使用した。

3. 3 超大型ヒートパイプを利用した地熱発電

白石らは、超大型ヒートパイプを使用して地下深部から直接抽熱する新しい地熱発電を提案して

いる¹⁾。これはヒートパイプを超大型化したものであり、3. 2で述べた方式と考え型は同一である。彼らは、ヒートパイプの超大型化に伴う構造や熱輸送量の限界値問題について言及し、予想される最大熱輸送量についての推算を行っている。これによると、作動蒸気温度100℃で最大

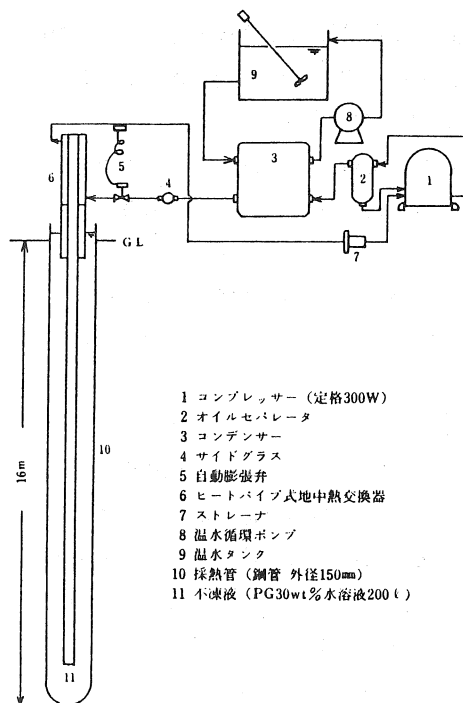


図-5 地熱抽出実験装置略図

表-2 ヒートパイプの仕様

		試作ヒートパイプ	供試ヒートパイプ
容器	材料	銅管(Do=19 mm, Di=17 mm)	銅コルゲート管(Do=26.5 mm, Di=21.5 mm)
	加熱部	15 m (Ao=0.895 m ²)	14 m (Ao=2.33 m ²)
	断熱部	1.5 m (0.0895 m ²)	1.5 m (0.250 m ²)
	冷却部	2 m (0.119 m ²)	2 m (0.333 m ²)
作動液	物質	フロンR12	フロンR11
	封入量	426 m ^l (Vh/Vt=1/8)	800 m ^l (Vh/Vt=1/8)
二重管蒸発器	材料	銅管(Do=28.6 mm, Di=26 mm)	銅管(Do=40 mm, Di=36 mm)
	管内容積	495 m ^l	821 m ^l

熱輸送量は0.43MW, 200°Cで1.5MWとなっている。但し, 作動液には水, 加熱部長さ100m, 直径150mmのヒートパイプを使用した場合である。

4. おわりに

以上, ヒートパイプ利用について当工業試験場で進めている地熱利用を中心とした応用例について述べてきたが, この他にも融雪や人口凍土など地熱を利用したヒートパイプの

利用技術も盛んに進められている。今後, さらにこの優れた伝熱素子であるヒートパイプを利用した, 今までにない新しい技術が開発されることを期待したい。

参考文献

- 1) 白石: 地熱, Vol. 24, No. 1, p57 (1987)
- 2) 山西ら: ヒートパイプとその応用, オーム社 (1980)
- 3) P. D. Dunn, D. A. Reay: ヒートパイプ, 学献社 (1979)
- 4) 三上ら: 共同研究報告書「水道メータの凍結防止」 (1988)
- 5) 富田ら: 北工試報告, No.284, p203 (1985)

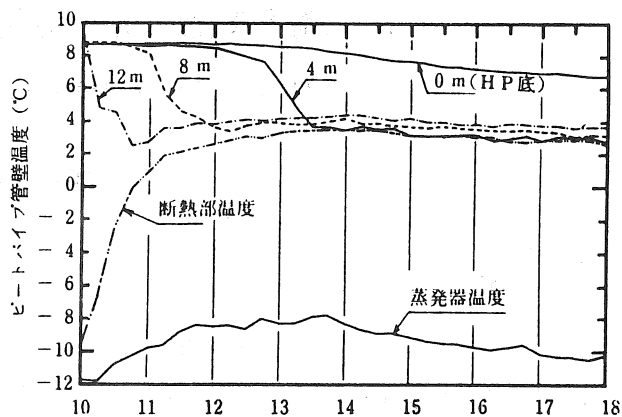


図-6 ヒートパイプ管壁温度変化

2. 地下深部における地下蓄熱実験

—材木沢層および西野層を例として—

北海道立地下資源調査所 若 浜 洋

1. はじめに

地下資源調査所では札幌市地下深部の地質構造ならびに地熱水の胚胎状況に関しての基礎資料収集のため地下資源調査所構内に坑井を掘さくし調査をおこなっている。(第1図参照) これまでに掘さく調査, 多種目検層, コア試験等をおこない, 揚水試験, 泉質分析の結果から深度250m~650m間に以下2か所の優勢な帯水層を確認した。

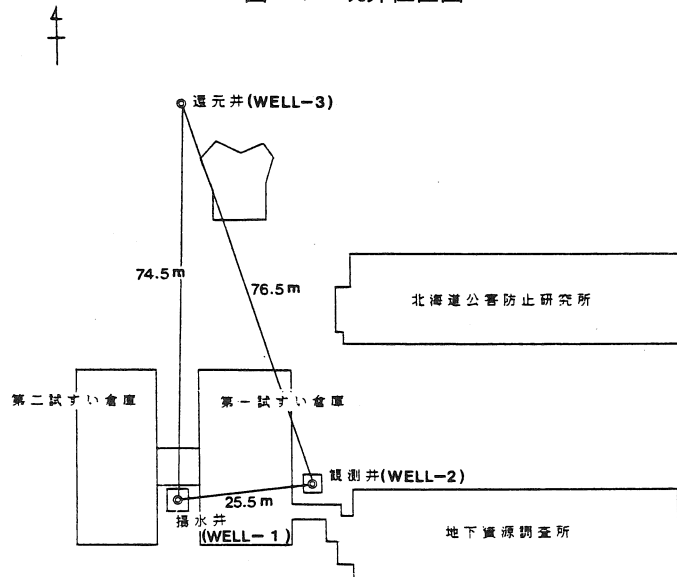
① 深度260m~287m間
—第四紀前期更新世—材木沢層—最下部の砂礫層

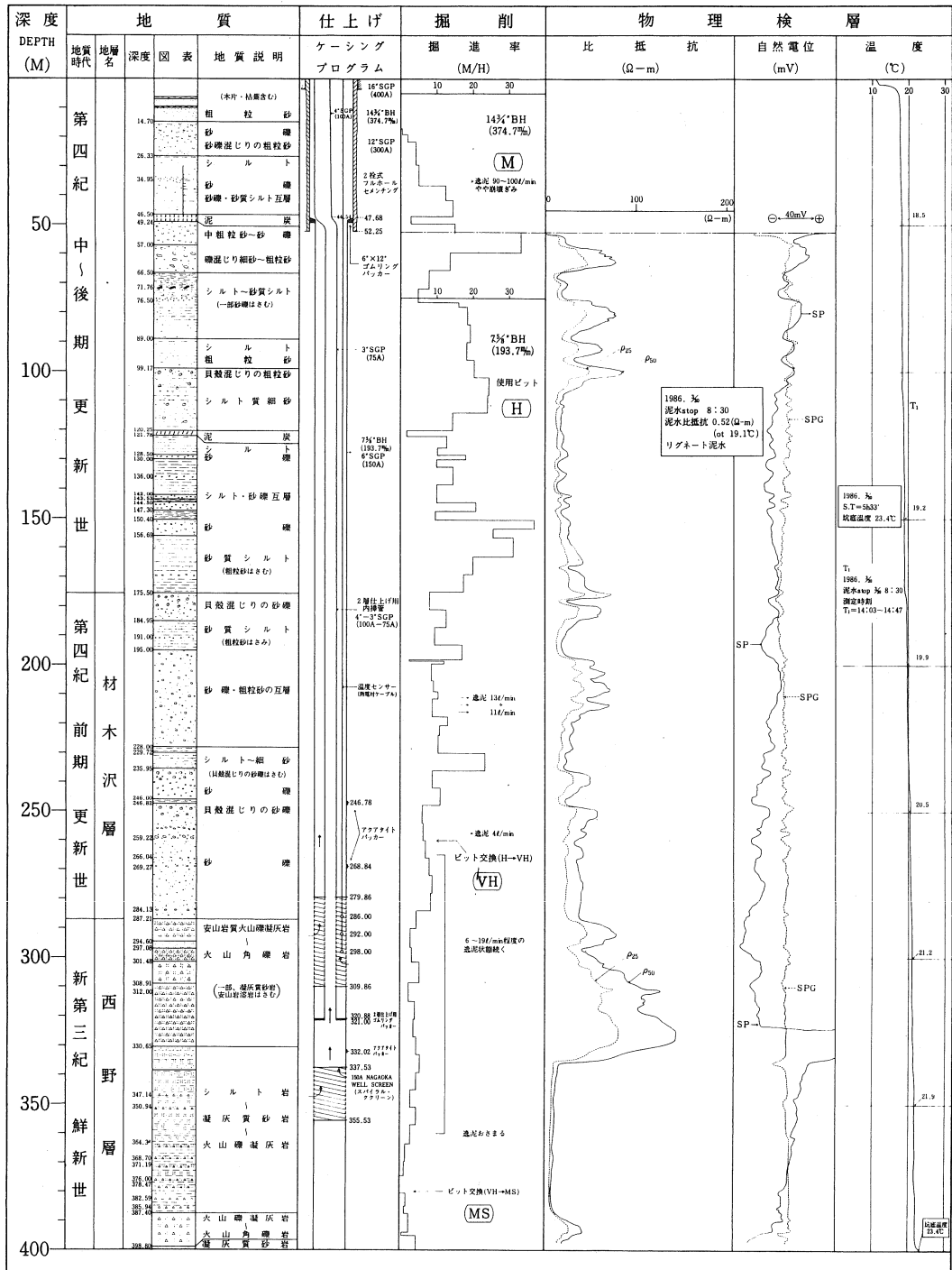
② 深度550m~570m間
—新第三紀鮮新世西野層中上部の凝灰岩質粗粒砂岩層

昭和60年度までに各々①, ②の帯水層を対象とした揚水試験はほぼ完了し,

H-Q曲線, 透水量係数等おおまかな水理的性質は把握している。また昭和60年から地熱水生産井(WELL-1)より産出された35℃の温泉水を用いた融雪, ロードヒーティング, 床暖房等の熱利用実験を敷地内でおこなっており, それらの一部は現在試すい倉庫周辺で冬期間に利用している。これまでに揚水試験を中心とした地熱水の産出能力試験, 産出後の有効利用システムの研究の2つのテーマを柱として調査を進めてきたが, 利用が終了した後の低温度レベルの温排水については何ら検討していなかった。昭和61年新らたに還元井(WELL-3)(第2図参照)を掘さくし, 上記帯水層①を中心に還元試験を実施している。さらにいわゆる“地下蓄熱”の可能性をさぐるための実験をおこなっているが, これは還元試験時の注入温水と注入対象帯水層の初期温度のちがいに着目し, 還元試験結果を踏まえて実施している。地下蓄熱(帯水層地下蓄熱技術)⁽¹⁾とは保温性の高い帯水層を狙って熱水あるいは冷水を注入・充填し, 必要時に回収利用する技術であり, 省エネルギーと石油代替のソフトエネルギー源として欧米を中心に研究調査がはじまっている。地下蓄熱は大別すれば i) 熱源として夏期の産業廃熱, 余剰熱を用い冬期に

図-1 坑井位置図





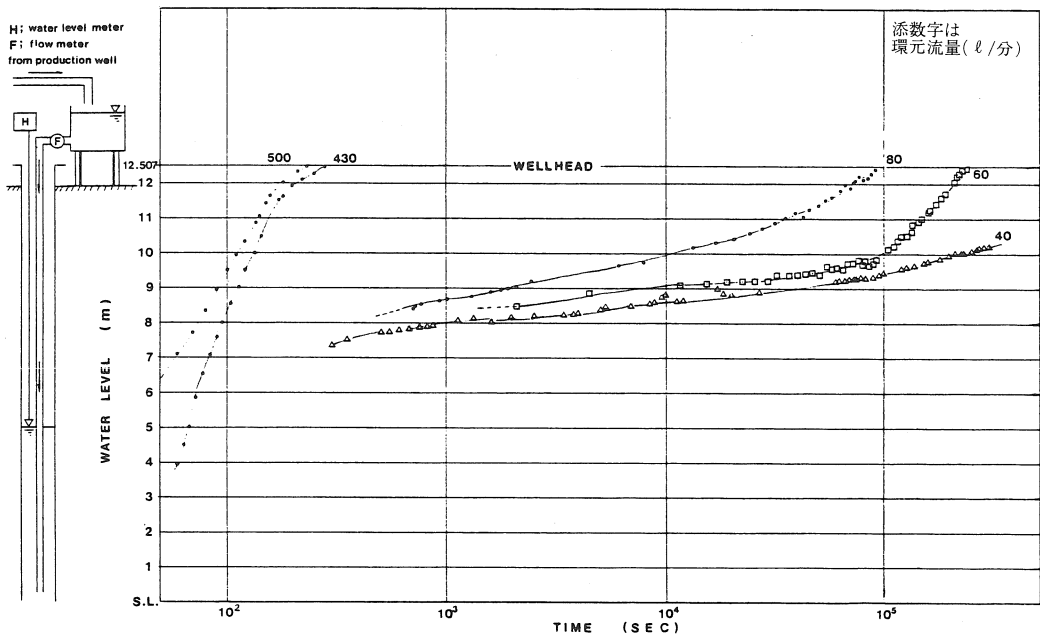
回収、使用する温蓄熱と ii) 冬期の天然冷熱源（河川、湖沼、雪水）あるいはヒートポンプの 2 次廃水等を用い夏期に回収使用する冷蓄熱の 2 つとなる。国内では浅部低温帯水層を対象とし、温蓄熱を主とした実験研究が山形大学等で積極的におこなわれており、山形、長岡、札幌（北海道リハビリ）⁽²⁾ で実用化されているが、深部中～高温被圧帯水層についての実績はない。本発表では主として上記①の被圧帯水層を対象とした還元試験、温蓄熱実験結果についてその概要を述べたい。

2. 還元試験

2-1 自然流下方式による還元試験

地下還元にあたってはポンプ等の動力を用いなくて長期間注入可能であることが最も望ましい。試験の第 1 段階では坑口と坑井の自然水位の落差を利用した自然流下方式で注入をおこなった。実験では生産井（WELL-1）より産出した 35°C、T. S. M. 3300p. p. m. の温泉水を受水タンクで抜気したのち還元井（WELL-3）に注入して水位の経時変化を観測した。（第 3 図）還元井の自然水位は正弦波的に季節変動するが、その振幅、周期は各々 30cm、180日程度である。

図-3 自然流下還元時の水位の経時変化



実験開始時点での自然水位は坑口標高-10.25m（海水面標高+2.26m）であった。なお注入した温泉水および還元対象帯水層から産出される温泉水の各々の成分は第 1 表に示したとおりである。第 3 図に還元時の水位の経時変化を示したが 500 ℓ/min、430 ℓ/min の還元量では 5～6 分程度で水頭が 10.25m 上昇し、坑口からオーバーフローしてしまう。また、80 ℓ/min、60 ℓ/min、40 ℓ/min と段階的に還元量を変えて注入した結果、80 ℓ/min、60 ℓ/min の場合にはそれぞれ 27hr、50hr でオーバーフローとなった。40 ℓ/min の場合には 97hr 後に水頭は 7.6m 上昇、依然上

昇傾向にある。

水位回復試験ならびに観測井 (WELL-2) との水位干渉から透水量係数*を算出したが、80 l/minの還元量 (10⁵sec時) では1.5×10⁻⁴ (m²/sec) となり、同量を揚水した場合の7.9×10⁻² (m²/sec) と比較して1/500程度となった。ひき続いて注入-停止を繰り返しながら還元試験を実施した。注入量は平均80 l/minで約24hr~30hr注入し、0.5hr~1 hr程度停止、これをサイクルに繰り返しT₀ 2526 (m³) 還元した。透水量係数の下限はサイクル中10⁻⁴ (m²/sec) のオーダーに保たれ、22日後2526 (m³) 還元時点でも10⁻⁴ (m²/sec) のオーダーであった。その後新たに製作した温度センサーのテストを兼ねて坑井内ストレーナー部の温度を計測したが、80 l/minの注入量の場合、注入温水の温度はストレーナー到達時には約4℃も低下してしまうことが判った。

2-2 強制圧入による還元試験、蓄熱試験。

この様に上部帯水層は水頭差10 m程度の自然流下による方式では還元能力はきわめて小さい。また、さきに述べた様な間欠的な注入方式を用いればある程度長期間は還元可能である。しかし注入絶対量が小さいので目的とする帯水層に充填される以前の熱損失がきわめて大きく蓄熱効率の低下はまぬがれ得ない。よって、より注入量の多い領域での還元能力を調べ、坑井内での熱損失を少なくするために強制圧入方式にきりかえた。

2-2-1 実験方法の概要 (第4図参照)

表-1 各々の帯水層から産出される温水の泉質分析表 (横山による)

帯水層		Aquifer - 2	Aquifer - 1
分析年月日		S 59. 7. 18	S 61. 5. 20
湧出湧量 (l/min)		450	503
泉温 (℃)		35.6	23.6
色		22	7.4
PH		7.7	8.1
T. S. M (mg/l)		3275.5	338.0
Ca		14.5	9.1
Mg		23.1	95.2
Na		1162.0	9.0
K		55.0	9.0
Total Fe		0.40	0.06
Fe ²⁺		0.40	0.04
Fe ³⁺		0.00	0.02
Total ha (CaCO ₃)		131.2	33.8
Mn		0.07	0.01
Cu		0.005	-
Zn		0.089	-
As		<0.001	<0.001
Cl		1886.3	74.9
HCO ₃		438.0	181.8
SO ₄		0	0
F		0.29	0.30
HBO		25.3	9.5
SiO		101.8	53.5
Free CO ₂		6.4	(CO ₂) 4.8
H ₂ S		=	=
COD		11.1	4.4
NH ₄		1.43	1.27
遊離ガス (Vol%)	O ₂	0.000	-
	CO ₂	0.682	-
	CH ₄	71.173	-
	N ₂ etc	27.599	-
	Ar	0.366	-

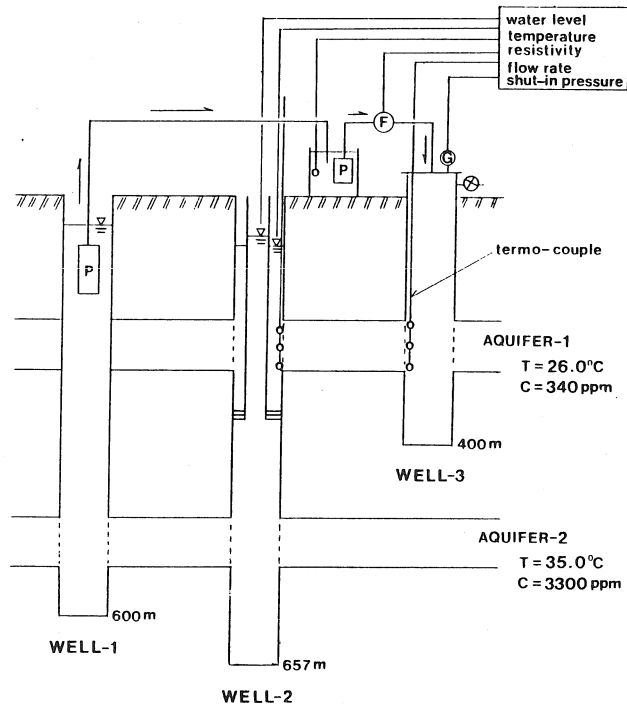


図-4 実験方法の概要

* 2坑井間の水位干渉からとりあえず grad h = Const. × V, div V = 0 により算出 (V, 平均流速, h, 水頭)

生産井（WELL-1）の下部帯水層より汲み上げた温水（34.8℃, T. S. M3300ppm）にはメタンガスを主体とした遊離ガスが付随しており、これを一旦貯湯タンクに受けて抜気したのちラインポンプを用いて還元井（WELL-3）の上部帯水層に圧入した。観測項目は温度、注入時（および回収時）流量、坑井内水位、坑口圧、注入時（および回収時）の温水電気伝導度である。温度は地表での坑口温度に加え、注入井、観測井のストレーナー位置に熱電対を配し、実験に供した。これらの熱電対は各々6m～9m間隔に3か所測定点をもっており、さきの調査で得られた地質柱状結果に基づいて挿入深度を決定した。実験開始の約3か月前に坑井内に挿入し、帯水層（ストレーナー部分）の温度のバックグラウンド値を計測した。

2-2-2 実験の経過と結果の概要（第5図参照）

実験は注入-休止-回収の3ステージを10か月間かけておこなった。以下その経過について述べる。

(i) 昭和62年5月8日～7月20日：注入期平均流量177.4ℓ/minで74.4日間、延べ19010m³注入した。着目している帯水層のストレーナー部分の温度はほぼステップ状に上昇している。注入開始15日間程度は過渡状態にあるが、これは坑口～帯水層間の坑井内水と注入温水との混合及びケーシングからの熱拡散と思われる。最終的には坑口温度と初期温度の差の94%に漸近し、注入時の熱損失は6%となった。注入帯水層の深度に比例して坑内体積は大きくなり、ケーシングとの熱交換面積も大きくなるのでこのことは深部蓄熱の設計に際しては無視し得ない問題である。注入時の密閉坑口圧は時間とともに対数関数的に増加し、注入終了時には坑口圧は0.5kgf/cm²まで上昇した。一方水平距離76.5m離れた観測井（WELL-2）の水位上昇は注入開始後24hrで0.16mに達し、以後は安定しつづけた[☆]。注入終了時点での透水量係数Tisは $Tis = 2.2 \times 10^{-4} \left(\frac{m^3}{sec} \right)$ まで低下した。さきの昭和61年5月に本帯水層の段階揚水試験をおこなっているが、その試験結果から揚水時の透水量係数Tpは $Tp = 5.06 \times 10^{-4} / Q^{0.762}$ （Qは揚水量： $\left(\frac{m^3}{sec} \right)$ ）ただし $100 \leq Q \leq 500$ （ℓ/min））になっている。今回の注入流量と同流量で揚水した場合の透水量係数Tpoは $Tpo = 2.0 \times 10^{-2} \left(\frac{m^3}{sec} \right)$ であり、 $Tis / Tpo \cong 1 / 90$ である。いわゆるH-Q曲線は揚水と還元の場合原点に関する回転対称性は成り立っていないが、このことについてはさらに検討を加える必要がある。注入した総熱量qiは対象帯水層の初期温度（26.3℃）を基準にして $qi = 6.71 \times 10^8$ （KJ） $\cong 1.60 \times 10^8$ （kcal）となった。

(ii) 昭和62年7月20日～12月4日：休止（蓄熱）期間

注入を停止して温度回復を測定、監視した。

(iii) 昭和62年12月4日～2月20日：回収期

休止期間（140日）を経たのち還元井（WELL-3）に水中モーターポンプを挿入して注入した温水を回収する実験をおこなった。

平均流量480ℓ/minで75日間、延べ52087m³（注入量の2.7倍）揚水を継続した。480ℓ/minの揚水量ではストレーナー部と坑口位置での温度に有為の差は認められない。揚水開始直後一旦温度が上昇（第5図Aの部分）し、その後指数関数的に減少していった。揚水開始後28.5日（10793m³）

☆ この様な坑井近傍だけの水頭上昇の主な原因は物質フロント付近でのスキンエリアの形成ではないかと現段階では考えている。

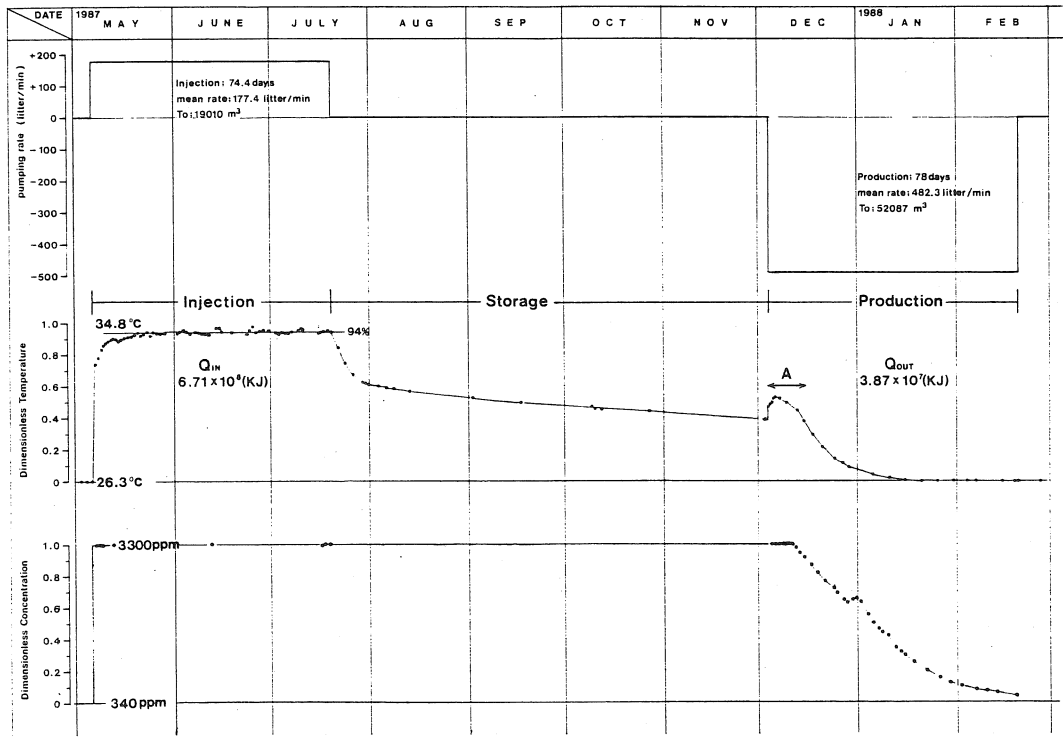


図-5 試験期間中の温度・T.S.M.の経時変化

回収時)すなわち回収量/注入量 = 1.04の時点で坑口温度は注入帯水層の初期温度に戻った。Aの部分の原因については、休止期間中の坑井からの熱損失、帯水層内自然流によるピークの移動等の考えられるがその原因については現段階では不明である。また、この期間中、回収した温水の電気伝導度を連続的に計測し、途中2回の化学定量分析結果(***)に基づいてT.S.M.の経時変化をもとめた。

(第6図)揚水開始から75日後にはT.S.M.はほぼ注入前の値に復元した。T.S.M. = 340 p.p.m. 基準の注入溶存成分重量 W_i は、

さきの自然流下と今回の強制圧入分の合計が 7.9×10^4 (kg) であり、回収分 W_R は $W_R = 8.9 \times 10^4$

*** 定量分析は地下資源調査所 横山地化学科長による。

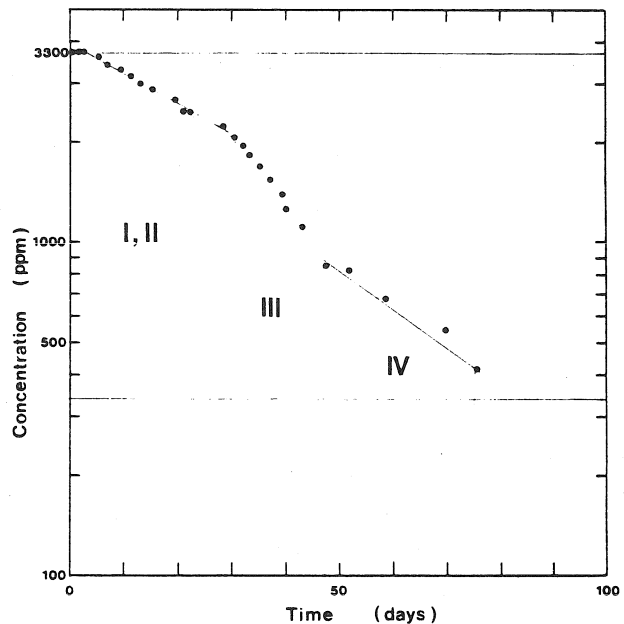


図-6 T.S.M.の経時変化

(kg)で $W_p/W_i = 1.1$ と約10%増加しているが、これは帯水層からの化学成分溶出によるものと推定される。また、回収時の温度の経時変化から帯水層の初期温度基準の回収熱量 q_p は $q_p = 1.62 \times 10^8$ (KJ) = 3.87×10 (kcal) である。10か月間に渡る実験での最終的な熱回収率 η (effective) は $\eta = g_p/g_i \times 100 = 24.1\%$ と低い値となったが、蓄熱処女地であり⁽⁴⁾、かつ注入温度レベルがあまり高くないことを考慮すると単純にこの値で蓄熱性能は規定できない。

(iii) 考 察

観測結果のうち、とりあえず温度の経時変化のみに着目し、試算をおこなった。計算の方法は注入期間については CHEN et al 1983)⁽⁵⁾、休止期間については (Carslaw, Jaeger, 1959)⁽⁶⁾に基づいた^(****)。計算結果から帯水層の見掛け熱伝導率 K_e 、温度伝導率 A_e を求めることができるが、 $K_e = 8.9 \left(\frac{J}{\text{sec m}^2 \text{K}} \right)$ 、 $A_e = 2.8 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \right)$ を得た。一方コアー試験結果^(****)から本帯水層を岩石・水充填層とみなした場合の熱伝導率 K_m 、温度伝導率 A_m を求めると、 $K_m = 1.25 \left(\frac{J}{\text{sec m}^2 \text{K}} \right)$ $A_m = 5.30 \times 10^{-7} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \right)$ となり、ゆえに $A_e/A_m = 5.4$ $K_e/K_m = 8.9$ である。 A_e 、 K_e と A_m 、 K_m との差異の原因のひとつに帯水層内の自然流の存在が考えられるが、これが熱回収率の値が小さい要因となっている可能性も十分に考えられる。坑井近傍の地質、水理特性等のローカルコンディションを用い、濃度拡散も考慮したシミュレーションをおこなって今後さらに検討を加えてゆきたい。また、自然流や熱物性値の現位置測定法についても早急に確立をはかる必要があり課題として残る。

3 おわりに

以上、材木沢層中の一帯水層を対象とした還元・蓄熱実験についてその実験経過の概要を述べた。西野層については現在実験中であり還元状況に関して整理した結果のみを述べたいと思う。

帯水層地下蓄熱は緒についたばかりの新しい手法であり、今後技術体系として実用化・定着化するためには研究調査を地球科学的見地から総合的におし進めていかなければならない。またフィールドテストには相当の時間と費用を要し、一つの実験システムの完成には少なくとも5～10年を要すると思われる。今後長期展望をもって努力してゆきたい。

参考文献

- (1) 落藤 澄他 地下蓄熱に関する世界の研究の動向 空間調和・衛生工学 Vol. 58, No.10 (1984)
- (2) 梅宮 弘道 地下帯水層による蓄熱 太陽エネルギー Vol., No. 3 (1983)
- (3) 山口久之助 二間瀬 冽 地下水の組成と比抵抗の関係 物理探鉱 Vol. No. 1 (1962)
- (4) 梅宮, 佐々木 地下帯水層蓄熱法におけるコロイドダム工法 日本機械学会論文集 (B) Vol. 54, No.507, pp20～pp34 (1988)

*** 測定したストレーナー部分の温度が帯水層坑壁位置での温度と等しいとし、帯水層の岩石バルク比熱を $0.8 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}} \right)$ 、層厚を40 (m)と仮定。なお帯水層のバルク密度 = $2200 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ 充填層熱伝導率 = $1.25 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}} \right)$ 、孔隙率 = 0.25に関しては秋田藤夫(地下資源調査)が1985年にコアーサンプル及びマルチログから算出した値を参考にして筆者が計算で求めた。

- (5) CHEN, C. S., and D. L. Reddell, Temperature distribution around a well during thermal injection and a graphical technique for evaluating aquifer thermal properties, *Water Resour. Res.*, 19 (2), 351-363, (1983)
- (6) Carslaw, H. S., and J. C. Jaeger, *Conduction of Heat in solids*, pp. 222, Oxford Univ. press, London, (1959)
- (7) 梅宮, 佐々木 地下帯水層蓄熱法における蓄熱適正地の選定法 日本機械学会論文集 (B) Vol. 54, No.507, pp12-17, (1988)

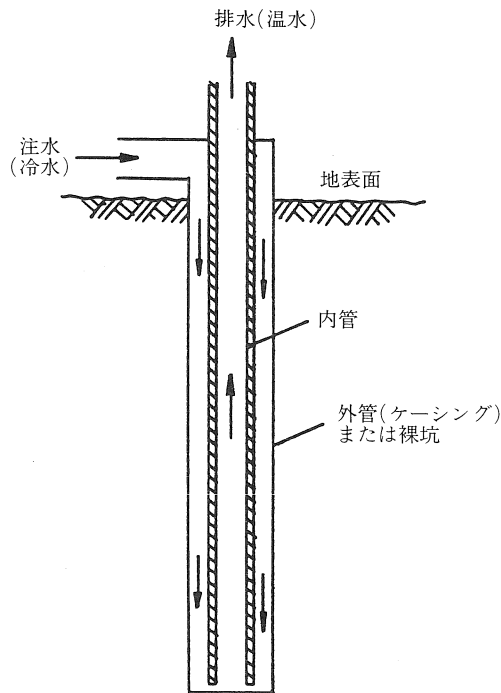
3. 坑井内同軸熱交換方式の実験結果

—夕張市東山地区を例として—

北海道立地下資源調査所 秋田 藤夫

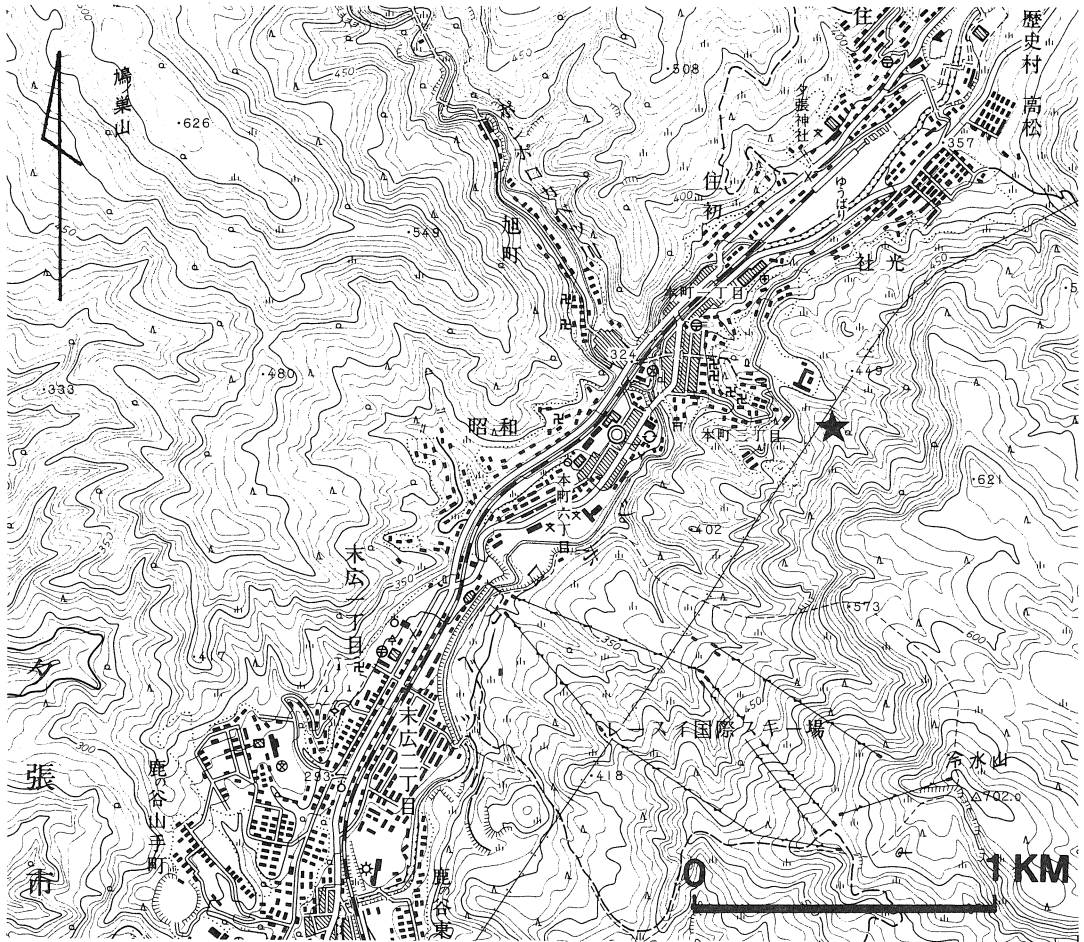
I 緒言

坑井内同軸熱交換方式とは、高温の地層中に掘削した坑井内に内管を挿入し、坑井自体を熱交換器に仕立て上げ、水や低沸点の熱抽出媒体等を用いて地熱エネルギーを採取する方式である。この熱抽出方式は、地層が高温でありさえすれば適用可能であり、既存の技術では開発が困難な低生産性の地熱貯留層等にも適用出来る。第1図には坑井内同軸熱交換方式の概念図を示す。熱



第1図 坑井内軸熱交換方式概念図

抽出媒体の循環方式としては、内管から注入し外管から排出する順循環方式と外管から注入し内管から排出する逆循環方式とがある。第1図の矢印は、逆循環方式の熱抽出媒体の流れの方向を示している。本熱交換方式の研究の歴史は浅く、実験的に試みられた例はあるものの、まだ実用化されていないのが現状である（坑井内同軸熱交換方式研究会、1988）。本報告では、坑井内同軸熱交換方式を適用した夕張市東山地区（第2図）での実験結果について紹介するとともに、本方式の利点あるいは問題点についても述べる。



★実験施設

第2図 実験施設位置図

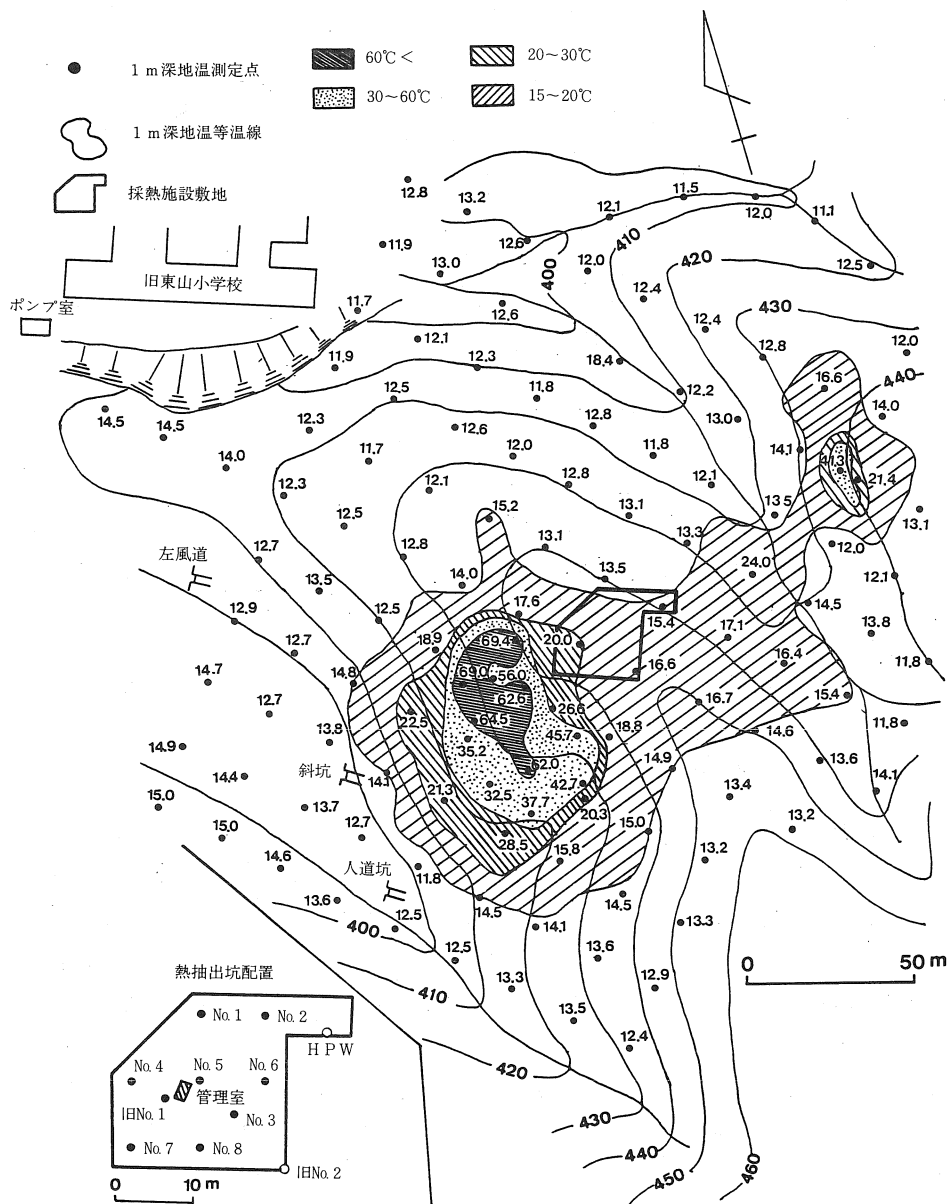
II 東山地区の地熱概要

東山地区の地熱概要については、夕張市が実施した一連の調査結果(夕張市, 1982, 1983, 1986, 1988)を中心に述べる。東山地区周辺には、古第三紀石狩層群の幌加別層、夕張層が分布している。これらの地層は東側の山地に向かって傾斜する構造をなし、その走行は $N70^{\circ} E$ 、傾斜は $25\sim 30^{\circ} SE$ である。幌加別層は頁岩が主体である。その上位の夕張層は砂岩・頁岩からなり、基底部に厚い炭層(6.00m±)が挟在しており、大正年間には北炭夕張炭鉱の神通坑として採炭されていた。

神通坑は1925年8月13日(大正13年)の坑内火災により廃坑となった。以来、採掘残炭が燃焼し続け現在に至っているとされている。燃焼の期間から推定して、現在の燃焼部は地下深部まで達していると考えられる。噴気帯には、この燃焼熱の一部が熱気となって移動することにより、熱エネルギーを供給していると考えられる。地下での燃焼サイクル(入気→燃焼→排気)のうち、入気経路については不明である。排気経路については、旧神通坑の排気坑道(扇風機風道)、採

掘古洞および焼け跡等が主体になっていると考えられる。つまり、排気坑道等があたかも「煙突」の役割をはたして、熱気を上昇させていると推定される。

第3図に示すように、現在の噴気帯は西側斜面の一部に形成されており、面積にして、約200㎡程度である（ほぼ60℃以上の地温を示す範囲）。噴気帯からの放熱は、大部分が熱気によると考えられ、伝導による放熱は少ないと推定される。地表面での噴気活動は、最盛期に比べてかなり弱まったと言われている。噴気帯の周辺部を見ると、野菊の自生する範囲には過去に出来た噴気口跡がみられ、噴気活動域が現在の約3倍近くに及んでいたであろうことが推測される。



第3図 1 m 深地温分布図および熱抽出坑配置図 (夕張市, 1988に加筆)

Ⅲ 東山地区における熱抽出実験

熱抽出実験は、本地区に賦存する地熱の総合的評価と有効な活用方法を探ることを目的に実施された（夕張市，1986, 1988；北海道立地下資源調査所，1988）。本報告では，1987年9月～1988年3月にかけて実施した実験結果を中心に述べる。

1 熱抽出実験施設の概要

1. 1 熱抽出坑

熱抽出坑は高温部をターゲットにして計10本掘削されている（掘削深度：15～30m）。各熱抽出坑の配置は第3図に，坑井仕様は第1表に示す。掘削時の坑井内温度（夕張市，1983, 1986）は，各坑井毎に異なるがおおよそ（a）表層部では40℃以下，（b）高温部（夕張層）では50～75℃，（c）下盤部（幌加別層）では40～50℃以下となっている。高温区間は，それぞれ3～15mと異なるが，平均では10m前後である。なお，各熱抽出坑の掘削深度の標高では，降雨時に伏流水が浸透する以外は，地下水がほとんど存在しない。

第1表 坑井一覧表

坑井名	口元標高 (m)	外管径	深度 (m)	内管径	注水方法	備 考
No. 1	428.36	SGP-200A	15	SGP-20A	順循環	
No. 2	438.82	〃	20	〃	逆循環	
No. 3	441.60	〃	25	〃	順循環	
No. 4	441.06	SGP-150A	17	〃	順循環	外管は羽根（フィン）付き
No. 5	441.28	〃	20	〃	逆循環	〃
No. 6	441.60	SGP-200A	25	〃	逆循環	内管の簡易保温加工
No. 7	441.24	〃	20	〃	順循環	
No. 8	441.60	〃	25	〃	逆循環	内管の簡易保温加工
旧No.1	441.73	〃	16	〃	逆循環	〃
旧No.2	442.00	〃	30	〃		未使用

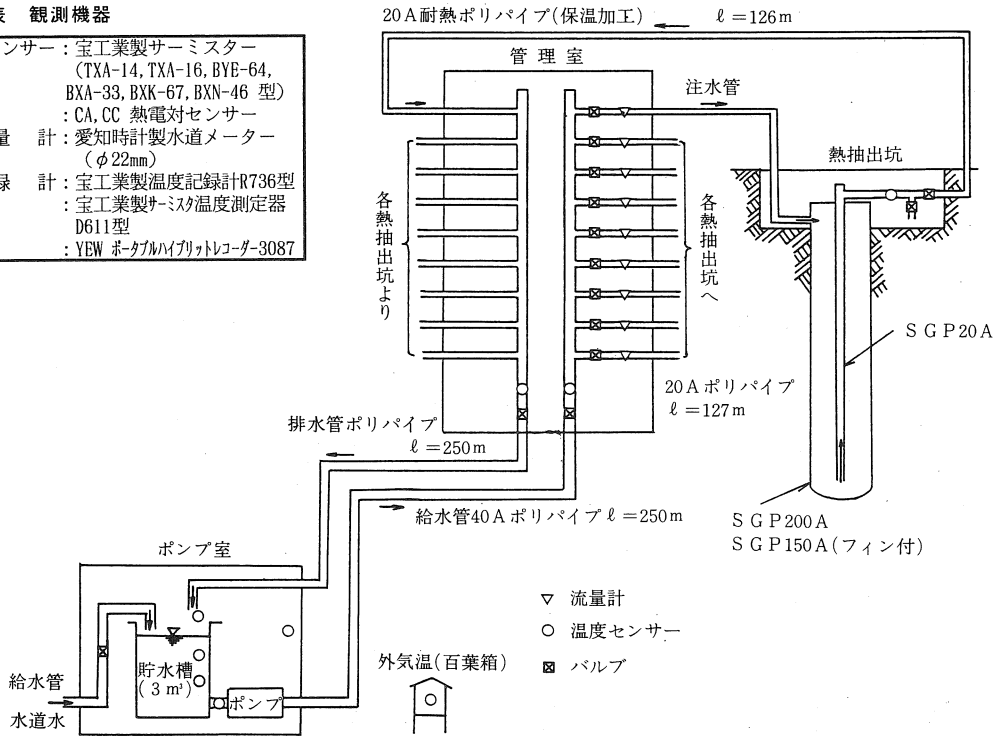
H P Wは白石ほか（1987）による熱抽出坑

1. 2 給排水設備および観測機器

熱抽出坑への給水設備としてポンプ室が熱抽出実験施設より水平距離にして約200m，標高にして約50m低い位置（旧東山小学校校舎脇）にある。管理室は実験施設内にある。熱抽出実験施設の概念図を第4図に示す。第2表には実験で使用した機器類の一覧表を示す。

第2表 観測機器

温度センサー	: 宝工業製サーミスター (TXA-14, TXA-16, BYE-64, BXA-33, BXK-67, BXN-46 型) : CA, CC 熱電対センサー
流量計	: 愛知時計製水道メーター (φ22mm)
記録計	: 宝工業製温度記録計R736型 : 宝工業製サーミスタ温度測定器 D611型 : YEW ポータブルプラットレコーダ-3087



第4図 熱抽出実験施設の概念図(夕張市, 1988)

2 熱抽出実験

2.1 実験方法

a) 注水方式

- a-1) 冷水(水道水)を直接各熱抽出坑に注水し, 熱抽出後排水する方式
- a-2) 貯水槽内を一定水温に保つという条件で注水する方式
- a-3) 各熱抽出坑への注水は, 順循環と逆循環方式を併用した。

b) 観測項目

b-1) 注水時

各熱抽出坑毎の注水量, 注水温度, 排水温度, 各排水合流後の温度の観測

b-2) 注水停止時

各熱抽出坑内の経時的な回復温度, 任意深度における温度の観測

b-3) 全期間を通じて

- No.1, No.3, No.4, No.5, 旧No.2の坑井内温度の観測
- 0.5m, 1.0m深地温の観測
- 外気温, ポンプ室温の観測

3 実験結果概要と考察

実験の経過および結果を第3表に示す（第1ステージ～第3ステージ）。

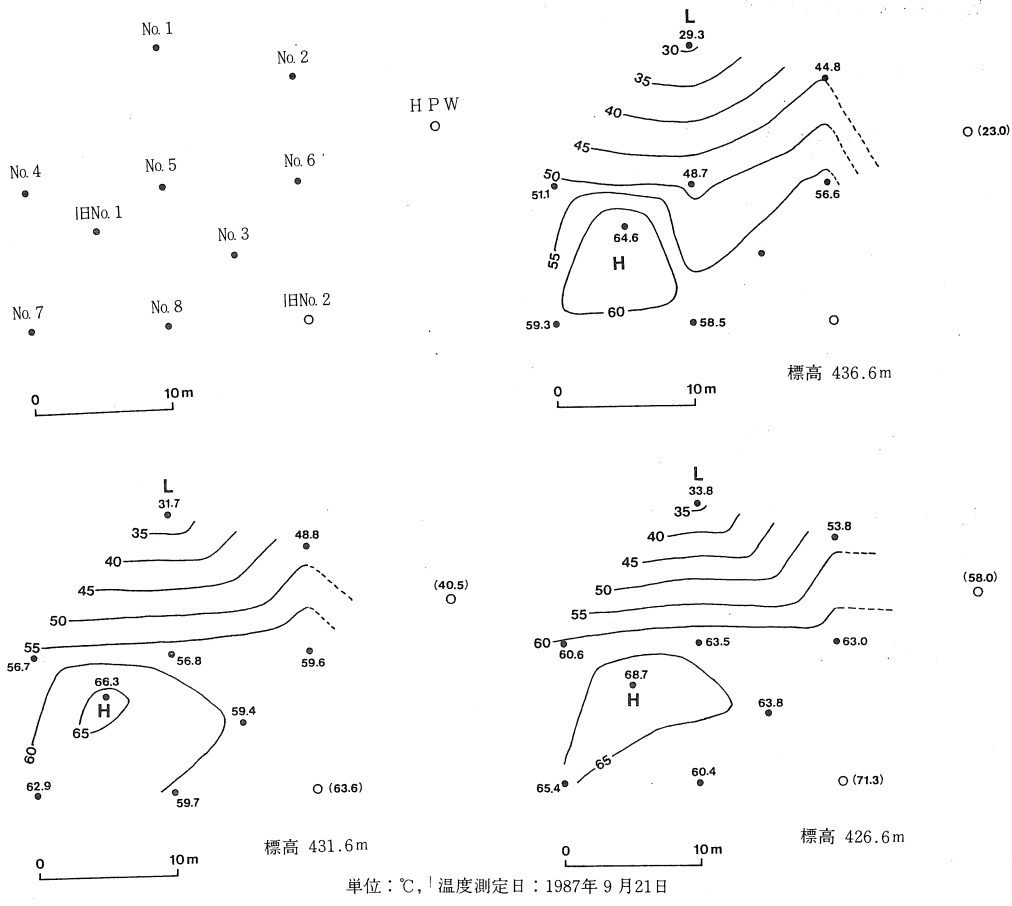
第3表 熱抽出実験経過及び結果

<p>★ 第1ステージ</p> <p>注水期間：1987年9月21日（11：40）～9月28日（9：00）</p> <p>注水方式：循環*，注水前の停止期間：約5カ月間</p> <p>熱抽出坑：No.2，No.4，No.5，No.6，No.7，No.8，旧No.1</p> <p>総注水量：14.6ℓ/min，注水温度：27.5℃</p> <p>排水温度：41.0℃，総抽出熱量：11500kcal/hr</p>
<p>★ 第2ステージ</p> <p>注水期間：1987年10月5日（11：33）～10月12日（9：00）</p> <p>注水方式：循環*</p> <p>注水前の停止期間：1987年9月28日（9：00）～10月5日（11：33）</p> <p>熱抽出坑：No.2，No.4，No.5，No.6，No.7，No.8，旧No.1</p> <p>総注水量：47.0ℓ/min，注水温度：32.0℃</p> <p>排水温度：38.0℃，総抽出熱量：18500kcal/hr</p>
<p>★ 第3ステージ</p> <p>注水期間：1987年10月26日（15：36）～11月9日（9：03）</p> <p>注水方式：水道水を直接注水</p> <p>送水前の停止期間：1988年10月12日（9：00）～10月26日（15：36）</p> <p>熱抽出坑：No.5，No.6，No.7，No.8，旧No.1</p> <p>総注水量：51.0ℓ/min，注水温度：8.5℃</p> <p>排水温度：17.0℃，総抽出熱量：28800kcal/hr</p>

熱抽出後の温水を貯水槽に戻したのち，再び熱抽出坑に送る

3.1 熱抽出前の地下温度状況

実験開始前の地下温度状況を把握するために，長期休止時（スタンディングタイム：約5ヶ月）の各熱抽出坑内の温度検層結果を使って，地下温度の水平分布を描いたのが第5図である。各断面とも，旧No.1を中心とした高温域が明瞭である。全体的な温度分布は北側で低く，南～西側で高い傾向が認められる。この温度分布は，熱抽出坑掘削前の地層温度ではなく，熱抽出坑が掘削された後の坑井内が満水状態での平衡温度である。本実験地の地下は，非常に通気性の良い状態にある。その上，熱抽出坑が掘削されると，ケーシングと地層間のクリアランスに沿って上昇する熱気による熱輸送で，坑内温度は比較的浅部においても高くなっている。

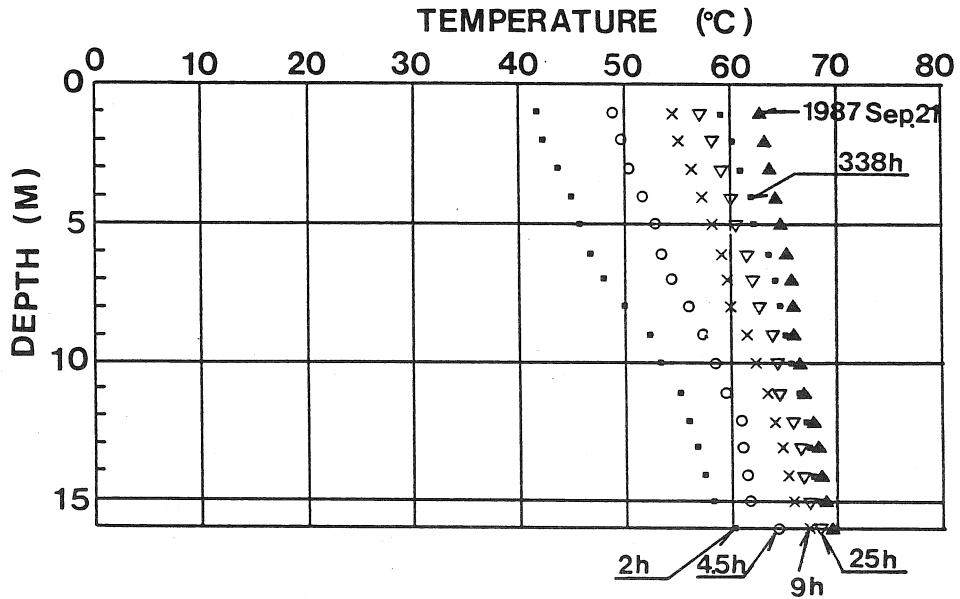


第5図 実験施設の地下温度分布図

3. 2 熱抽出状況と各坑の温度回復

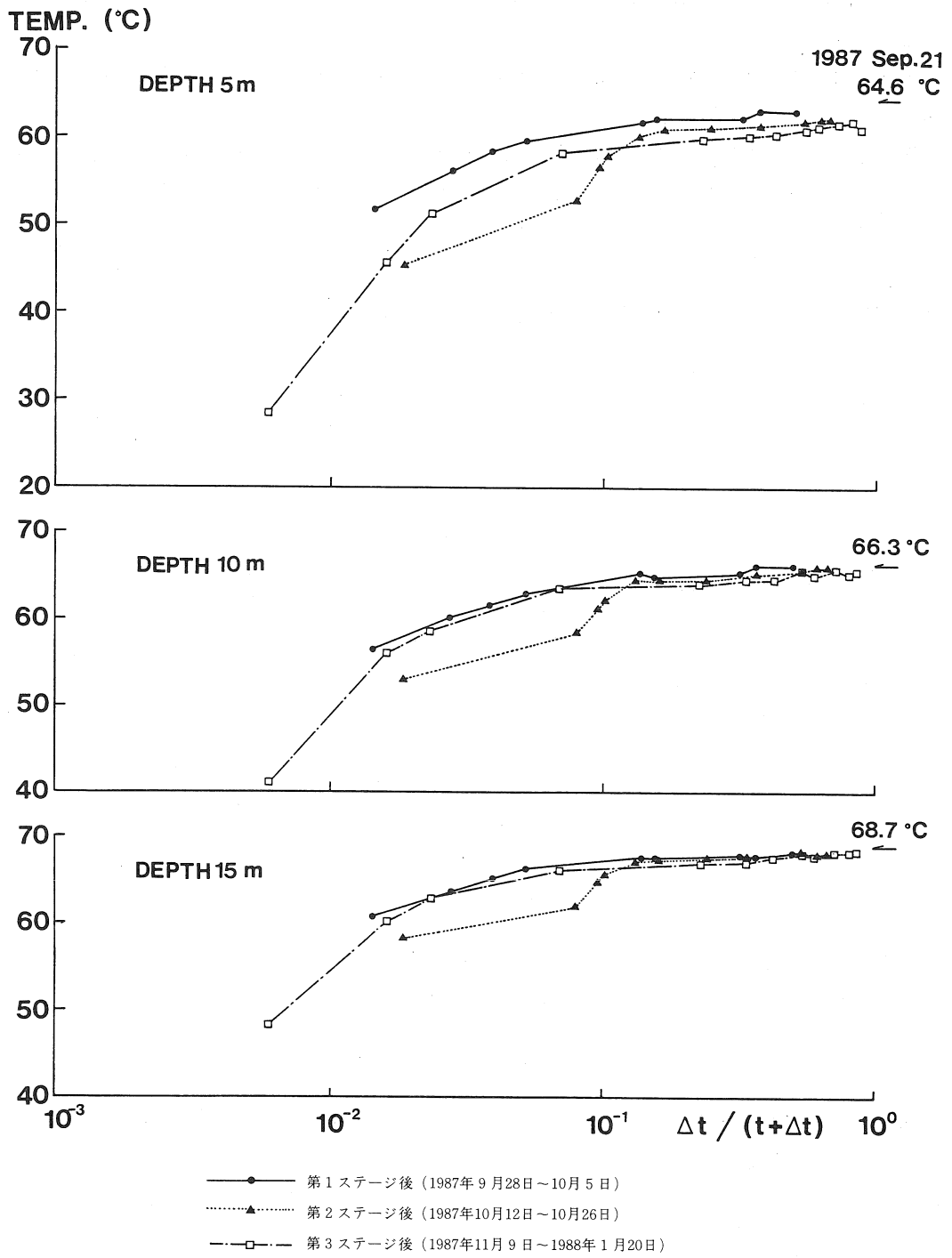
実験結果のうち、一例として1987年10月5日～12日のデータを第6図に示す。これまでの熱抽出実験における抽出熱量では、各坑からの排水温度が極端に低下するような観測結果は得られていない。また、熱抽出坑周囲の地層温度に回復不能ほどの冷却が起きている事実も認められていない。今回の実験では、No. 1, No. 3, 旧No. 2を観測坑とし、全注水期間を通じて坑井内温度の観測を行ったが、熱抽出の影響が及んでいるような温度変化は認められなかった。しかし、降雨の影響により短期間（2～3日）ではあるが温度低下している熱抽出坑が認められる。本熱源は、それ自体が極めて浅いという条件下にあるため、ある程度気象条件による影響を受けると考えられる。

注水停止後の坑井内の温度回復状況の測定例として、旧No.1の温度検層結果を第7図に示す。



第7図 旧No.1の温度検層結果（第2ステージ終了後）

また、第8図には旧No.1の温度検層結果をホーナープロットしたものを示す。注水停止後の温度回復は、注水（順・逆循環）方式あるいは抽出熱量、熱抽出期間等によって異なる。旧No.1は逆循環方式で、水の流れが外管から内管であることから、熱抽出後の温度分布は坑底に向かうにしたがい、徐々に温度が上昇する形態を示している。そして、時間経過とともに、徐々に注水前の温度に回復していく。ホーナープロットの結果から、本地熱地帯の熱供給形態は、熱気による熱輸送が大部分を占め、伝導によるものは極僅かであることが推察される。



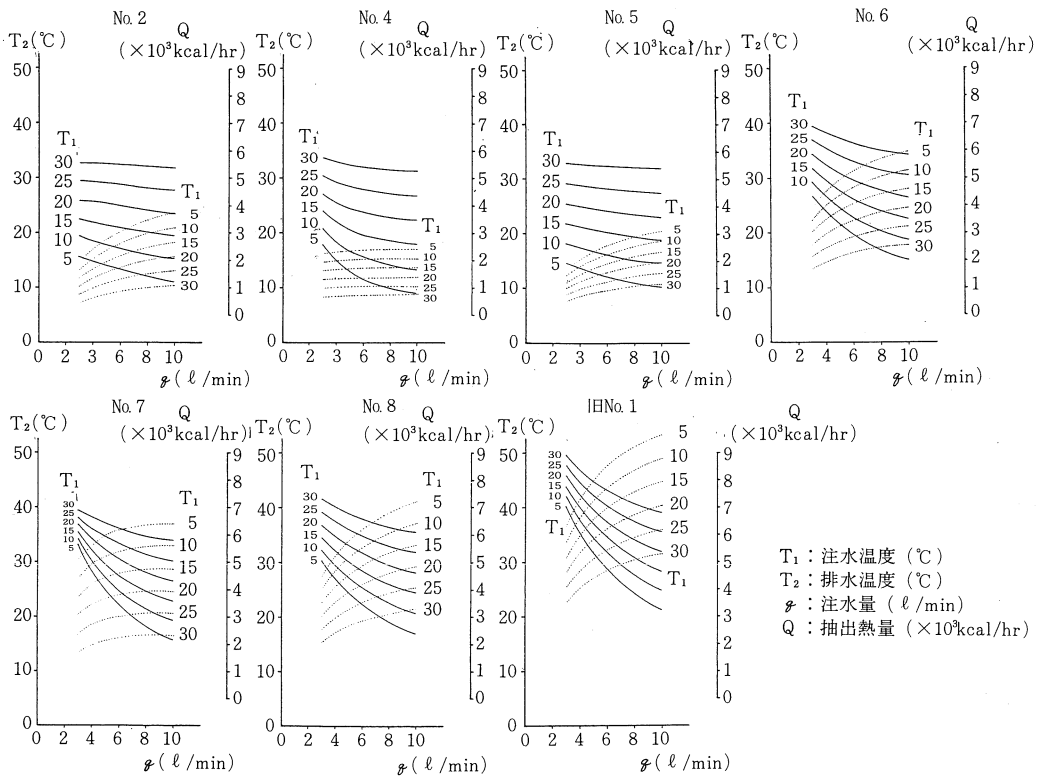
第8図 旧No.1の温度検層結果のホーナープロット

3. 3 熱抽出能力

各熱抽出坑の熱抽出能力は、注水方式（順、逆）、注水温度、注水量、内管材料の熱伝導率等に影響される。

各熱抽出坑における排水温度および抽出熱量については、以下のように言える。排水温度は注水量を減らすことにより上昇するが、抽出熱量は注水量を増やすほど大きくなる。

第9図には、一連の実験結果に基づき注水温度をパラメーターとした時の注水量に対する排水温度と抽出熱量の関係のシミュレーション結果を示す(夕張市, 1988)。注水温度をパラメーターとした時の注水量に対する排水温度と抽出熱量の関係は、各熱抽出坑への注水量が多くなるにつれて、排水温度は低くなり、これとは反対に抽出熱量は多くなる。排水温度、抽出熱量とも注水量を増やして行くと、各坑の熱交換能力に応じて、一定値に収束する傾向を示す。



第9図 注水温度をパラメーターとした時の注水量に対する排水温度と熱抽出量の関係（夕張市, 1988に加筆）

ちなみに、注水温度 5°C （冬期間）の時は、各熱抽出坑の総注水量を 40 l/min とすると、排水温度はおよそ $10\sim 13^{\circ}\text{C}$ （平均 20°C 程度）となり、その時の総抽出熱量は約 37000 kcal/hr となる。また、注水温度 20°C 、総注水量 44 l/min とした場合、平均の排水温度は約 30°C で総抽出熱量は約 26000 kcal/hr となる。

3. 4 内管の断熱

本実験では、3坑（No.6, No.8, 旧No.1）で簡易的な内管の断熱・保温施工をしている。その結果、若干の保温効果が認められた。しかし、断熱効果としてはかなり小さいといえる。本実験で用いた内管の熱伝導率は約 $41.6\text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$ である。もし仮に、真空二重管等の高断熱（熱伝導率約 $0.01\sim 0.025\text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$ ）の内管を使用するならば、旧No.1を考えた場合、注水量 5 l/min 、注水温度 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ では、排水温度にして約 5°C の温度上昇が見込めるであろう。

IV 結 言

本報告では、長期に渡る地下での石炭の燃焼により形成されたという世界的に見ても極めて特異な熱源に適用された坑井内同軸熱交換方式の実験結果を中心に述べた。本熱源は規模が小さいため、経済的な熱回収には問題はあるが、実験結果の解析を通じて坑井内同軸熱交換方式についての利点あるいは問題点等、多くの知見が得られた。

それらをまとめると以下ようになる。

利点としては、

- a) 坑井内同軸熱交換方式は、断熱性能の高い内管と逆循環方式を組み合わせることにより、非常に効率の良い熱抽出方式となる。
- b) 本方式は、地層が高温でありさえすれば適用可能であり、基本的にはほとんど全ての地熱資源に適用できる。
- c) 熱交換器の構造がシンプルであり、システムの造成に伴うリスクが少ない。また、高度あるいは大掛かりな技術を必要とせず、施工・保守・管理が容易である。
- d) クローズドシステムにすれば得られる蒸気・熱水は極めてクリーンであり、環境汚染の心配がない。

等である。

問題点としては、

- a) 真空二重管等の高性能断熱管が非常に高価であることと、長期間に渡る使用実績が無いこと。
- b) 地熱地帯においてどの程度の有効熱伝導率が得られるか理論的に明確にされていない。等があげられる。

実際に、地熱井を掘削しても地熱流体がほとんど得られない場合がある。このような場合には、空井戸と言われ失敗井と見なされる。しかし、地熱流体が産出しなくても、ある程度高温であれば坑井内同軸熱交換方式を適用する事により、失敗井を生産井として再利用出来る可能性がある。

文 献

- 北海道立地下資源調査所（1988）：（昭和63年度受託調査報告書）夕張市東山地区採熱試験調査報告，19P．（未公表資料）
- 坑井内同軸熱交換方式研究会（1988）：坑井内同軸熱交換方式による地熱発電の予備的経済性評価報告書，52P．
- 盛田耕二・松林 修（1986）：坑井内同軸熱交換器の性能に及ぼす主要設計諸元の影響－坑井内同軸熱交換器に関する研究（第1報）日本地熱学会誌，8，3，301－322
- ……………（1988）：坑井内同軸熱交換器の出力特性の検討－坑井内同軸熱交換器に関する研究（第2報）．日本地熱学会誌，10，2，109－129
- 瀬野錦蔵（1941）：地温のみによる温泉の可能性に就て。地球物理，5，3，216－223
- 白石正夫・望月正孝・益子耕一（1987）：夕張におけるヒートパイプ式地熱抽出実験とその利用．第3回寒地技術シンポジウム講演要旨集，7－12．
- 夕張市（1982）：夕張市東山周辺地帯・ガス・鉱泉調査報告書，13P．
- ……………（1983）：夕張市東山地熱開発調査報告書，21P．
- ……………（1986）：夕張市地熱開発業務委託報告書，65P．
- ……………（1988）：夕張市東山地熱高度利用実証化試験業務委託報告書，73P．

第27回 試錐研究会講演資料集

平成元年3月20日印刷

平成元年3月28日発行

編集 北海道立地下資源調査所

発行所 試錐研究会

〒060

札幌市北区北19条西12丁目

北海道立地下資源調査所内

