

图 2-5-4 ZK4001 流量特性

| 坑口圧力:MPaG | 蒸気流量:t/h | 熱水流量:t/h | 総流量 :t/h |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1.86      | 17.4     | 300      | 317      |
| 1.50      | 28.1     | 328      | 370      |
| 1.30      | 40.6     | 335      | 376      |
| 1.06      | 55.6     | 350      | 412      |
| 0.94      | 64.1     | 355      | 419      |

(\* 蒸気および熱水流量は、坑口圧力換算値)

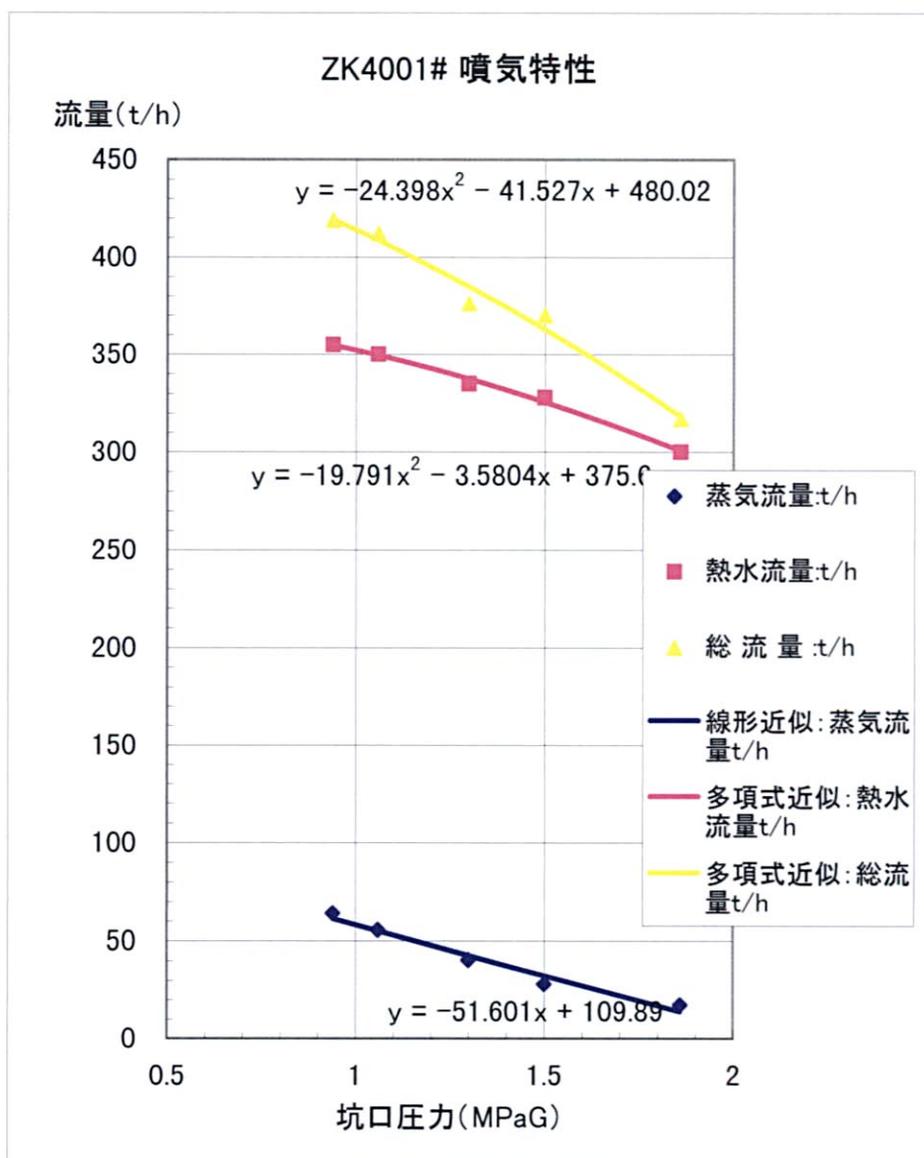


図2-5-5 ZK4001 噴気特性グラフ (2005.7.13~15 第2回測定)

| 坑口圧力:MPaG | 蒸気流量:t/h | 熱水流量:t/h | 総流量 :t/h |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1.7       | 22.6     | 263      | 286      |
| 1.17      | 42.3     | 258      | 300      |
| 1.00      | 49.4     | 285      | 334      |

(\* 蒸気および熱水流量は、坑口圧力換算値)

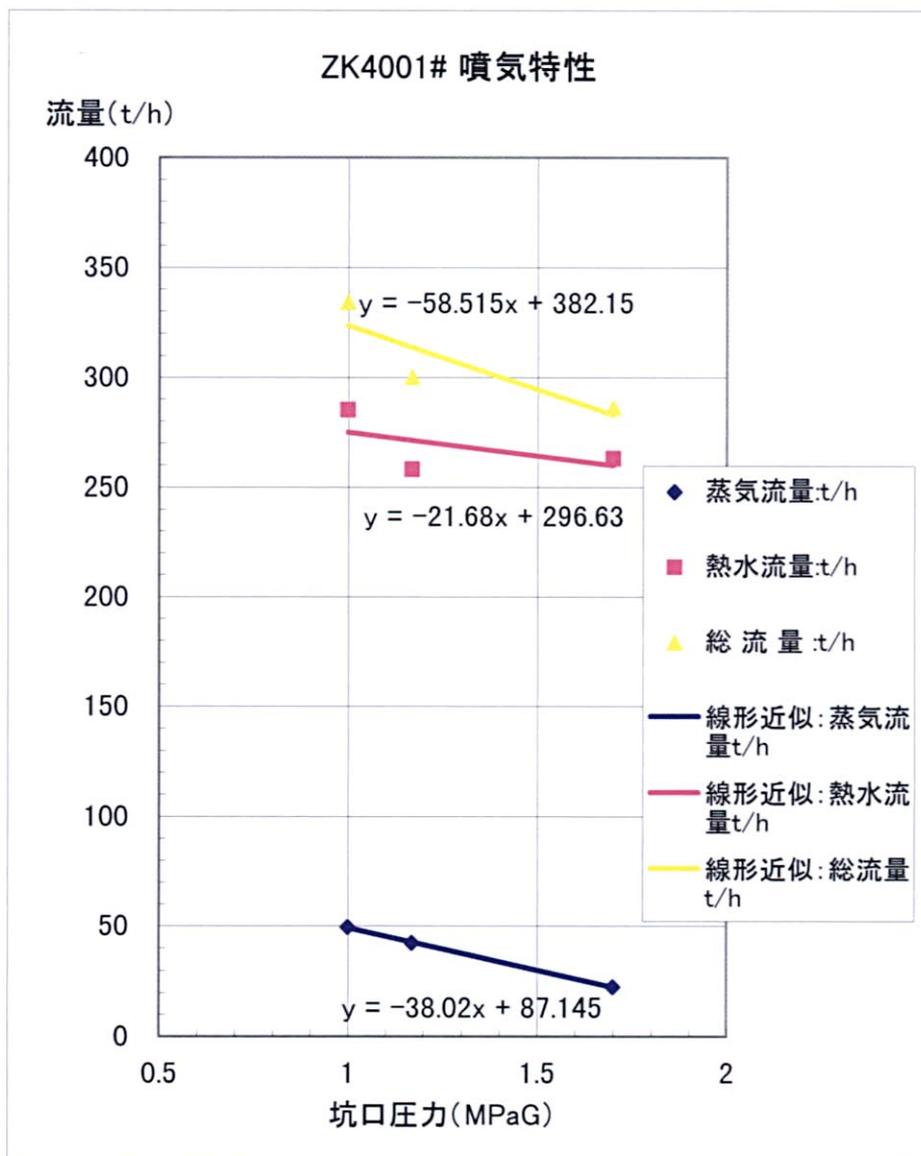


図2-5-6 ZK4001 噴気特性グラフ (2005.8.26~27 第3回測定)

| 坑口圧力:MPaG | 蒸気流量:t/h | 熱水流量:t/h | 総流量 :t/h |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1.40      | 27.8     | 289      | 317      |
| 1.15      | 38.7     | 298      | 337      |
| 0.98      | 44.1     | 294      | 338      |
| 0.89      | 48.1     | 274      | 322      |
| 0.84      | 50.9     | 275      | 326      |

(\* 蒸気および熱水流量は、坑口圧力換算値)

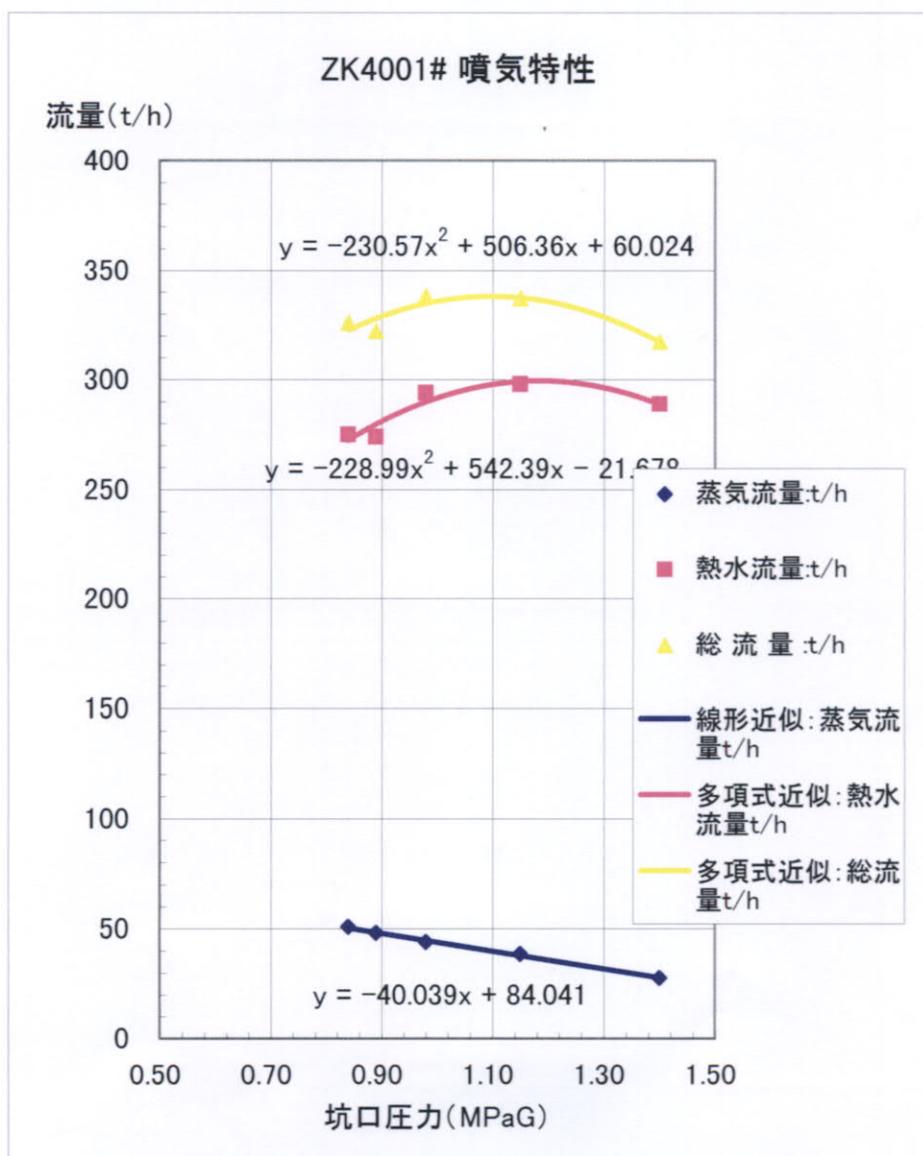


図2-5-7 ZK4001 噴気特性グラフ (2005.10.8~9 第4回測定)

包有物測定を実施した。

#### (1) 噴出岩の肉眼及び岩石薄片顕微鏡観察

岩石名及び変質状況を明らかにすることを目的とする。

噴出試料写真を図2-5-8に、顕微鏡観察結果を表2-5-6に示す。

噴出試料はすべて固結した断層破碎岩起源である。噴出試料の大きさは10cm大のものから1mm未満である。断層破碎岩は白色・淡緑色の花崗岩質マイロナイトの断層角礫岩、黒～灰色の固結した断層ガウジからなる。断層角礫岩、断層ガウジには不規則石英脈が発達する。石英脈の一部は晶洞を形成し、晶洞に水晶及び板状方解石を伴う。径5mm以下の細粒物は花崗岩起源の石英斑晶を主とし、少量の板状方解石、微量の水晶が認められる。

噴出試料はすべて断層破碎岩起源であるが、これらはマイロナイトやカタクラサイトが破碎されたものである。したがって、同一箇所では断層運動（延性変形～脆性破壊）が繰り返し起こっていることを示唆する。

#### (2) X線分析

本地域の熱水による変質状況を明らかにすることを目的とする。

X線分析結果一覧表を表2-5-7に示す。X線分析では、緑泥石、セリサイト、石英、方解石、黄鉄鉱が同定された。

#### (3) 流体包有物測定

貯留層の流体温度及び塩濃度を明らかにすることを目的とする。

流体包有物測定結果一覧表を表2-5-8に、均質化温度分布図を図2-5-9に、均質化温度と塩濃度の相関図を図2-5-10に示す。測定試料は方解石・石英（水晶と斑晶）である。これらの鉱物には液相包有物のみ形成している。方解石の初生包有物の均質化温度は203～261℃である。石英斑晶の二次包有物の均質化温度は241～282℃である。水晶の二次包有物の均質化温度は219～238℃である。流体包有物の均質化温度は石英斑晶より方解石や水晶などの脈鉱物が低い。均質化温度と塩濃度の関係を見ると、全体として弱い正の相関を示す。

#### (4) 噴出試料の予想分布深度

噴出試料の産状から、ZK4001深部貯留層は断層沿いに発達し、この断層はマイロナイトの形成期（約8Ma）から現在まで継続して活動していると考えられる。

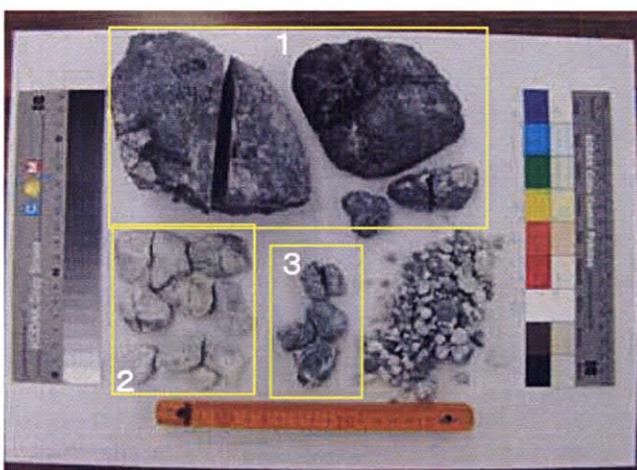
西藏地熱地質大隊(1996)ではZK4001の水止め深度は971mであり、今回の噴出試料にケーシング片が混入していないことから、噴出試料の起源は裸坑部の深度971m以深と考える。西藏地熱地質大隊(1996)によると、ZK4001の深部貯留層は深度950～1,336mで、ここには花崗岩起源のマイロナイト～カタクラサイトが分布する。したがって、今回の噴出試料は深度950～1,336mの貯留層から噴出したものと考えられる。

なお、西藏地熱地質大隊(1996)によると、この貯留層温度は約250℃であり、今回の噴出試験時の噴出流体のシリカ温度もほぼ同じ256～262℃であるが、噴出試料の流体包有物試験ではそれより低い均質化温度が確認されている（方解石203～261℃；水晶219～238℃）。これは開口性フラクチャでは流体性状（温度）が変化することを示唆しているかもしれない。



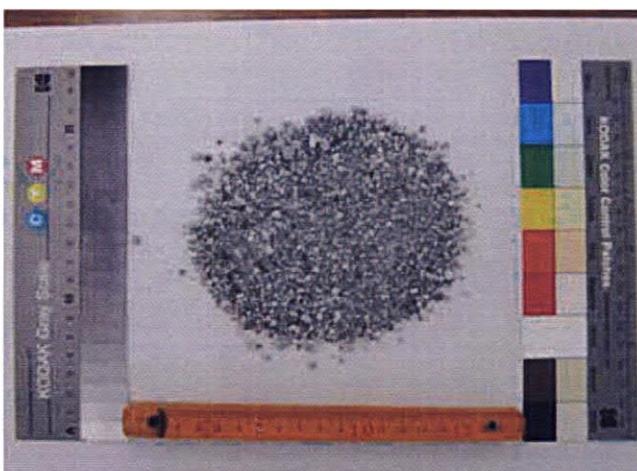
ZK4001噴出試料

ZK4001セパレータに溜まっていた噴出試料



ZK4001噴出試料(φ5mm≦)

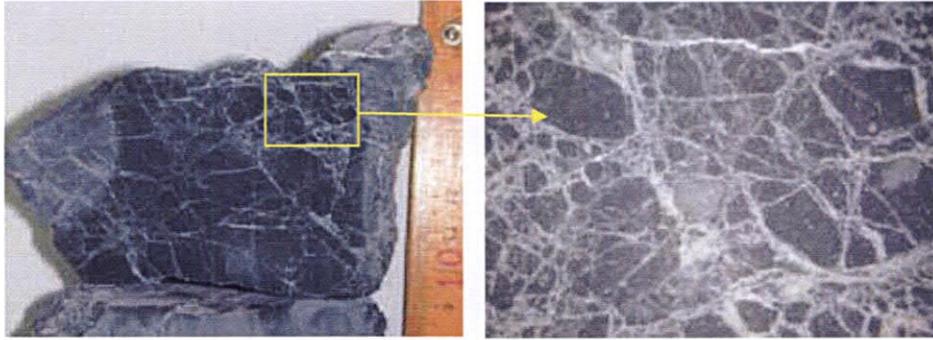
固結した断層破碎岩である。  
 1. 写真上半分は黒色の岩片で、固結した断層ガウジである。  
 2. 写真左下は白色の花崗岩質岩石で、固結した断層角礫岩である(一部、断層ガウジを伴う)。  
 3. 写真中央下は緑色の花崗岩質岩で、固結した断層角礫岩である。



ZK4001噴出試料(<φ5mm)

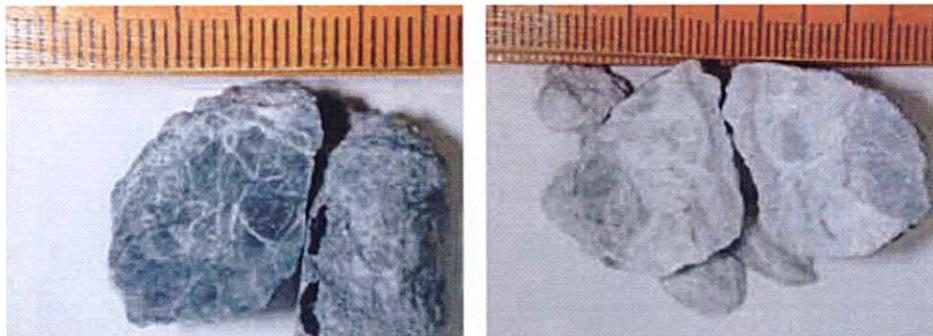
すべて断層破碎岩で、破碎岩から分離した石英斑晶を多量に含む。少量の鉱物脈(方解石≫水晶)を伴う。

図2-5-8 ZK4001噴出試料写真(1)



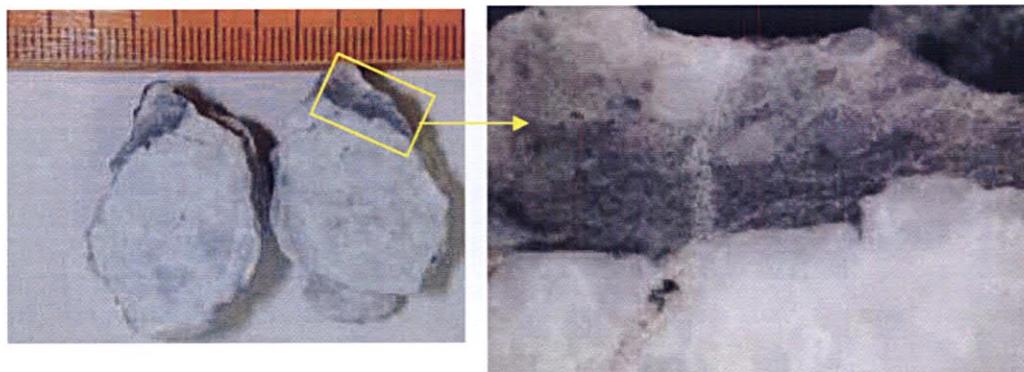
固結した断層ガウジの切断面(右は拡大写真)

岩石薄片顕微鏡観察, X線回折分析実施試料(試料A)  
全体に不規則鉱物脈が発達する。鉱物脈は石英を主とする。鉱物脈の一部は開口し、晶洞を形成する。



固結した断層角礫岩の切断面(左:緑色, 右:白色)

岩石薄片顕微鏡観察, X線回折分析実施試料(左:試料B, 右:試料C)  
全体に不規則鉱物脈が発達する。鉱物脈は石英, 方解石, セリサイトを主とする。鉱物脈の一部は開口し、水晶や方解石の晶洞を形成する。試料Cは灰色の断層ガウジを伴う。



固結した断層角礫岩・ガウジの切断面(右は拡大写真)

岩石薄片顕微鏡観察, X線回折分析実施試料(試料D)  
全体に不規則鉱物脈が見られ, 灰色の断層ガウジを伴う。鉱物脈は石英を主とする。鉱物脈の一部は開口し、晶洞を形成する。

図2-5-8 ZK4001噴出試料写真(2)



表2-5-7 ZK4001噴出岩のX線回折分析結果

| Minerals |                                  | Clay minerals |             |              |            |                      |              | Silica minerals |              | Silicates    |              | Carbonates | Sulfides | Remarks   |
|----------|----------------------------------|---------------|-------------|--------------|------------|----------------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|------------|----------|---|
|          |                                  | Smectite      | C/S*        | Chlorite     | S/S*       | Sericite (Muscovite) | Kaolinite    | Quartz          | Plagioclase  | K-Feldspar   | Calcite      | Pyrite     |          |   |
| No       | Rock name                        | 5.2           | 6.5 or 12.5 | 12.4 or 12.5 | 7.2 or 8.8 | 8.8 or 8.9           | 12.3 or 12.4 | 26.6            | 27.8 or 28.0 | 26.8 or 27.6 | 29.4 or 29.6 | 33.0       |          |   |
| A        | fault breccia (solidified gouge) |               |             | 1.7          |            | 0.8                  |              | 65.4            |              |              |              | 0.3        |          | Many quartz veinlets are observed in random orientation.  |
| B        | fault breccia (ultramylonite)    |               |             | 3.4          |            | 1.7                  |              | 42.9            |              |              | 0.8          |            |          | Some quartz and calcite veinlets are observed in random orientation.                                      |
| C        | fault breccia (granitic rock)    |               |             |              |            | 2.8                  |              | 50.1            |              |              |              |            |          | Some quartz veinlets are observed in random orientation. This rock fragment has thin greyish fault gouge. |
| D        | fault breccia (granitic rock)    |               |             |              |            | 0.9                  |              | 68.0            |              |              |              |            |          | Some quartz veinlets are observed in random orientation. This rock fragment has thin greyish fault gouge. |

\* C/S : Interstratified Chlorite and Smectite, S/S : Interstratified Sericite and Smectite.

The values in this table show Quartz Index (QI).

QI =  $I_m / I_q \times 100$

$I_m$  : The strongest X-ray intensity of a mineral in the examined sample,  $I_q$  : The strongest X-ray intensity of pure Quartz.

表2-5-8 ZK4001噴出岩の流体包有物試験結果一覧

| mineral      | occurrence | Th(L-V)<br>(°C) |     |     | Tm(ice)<br>(°C) |    |      | Salinity<br>(wt% NaCl) |      |    | remarks |     |     |   |
|--------------|------------|-----------------|-----|-----|-----------------|----|------|------------------------|------|----|---------|-----|-----|---|
|              |            | N               | Min | Max | Av              | N  | Min  | Max                    | Av   | N  |         | Min | Max | Av  |
| Calcite      | vein       | 21              | 203 | 261 | 232             | 21 | -1.2 | -0.3                   | -0.7 | 21 | 0.5     | 2.1 | 1.2 |   |
| Quartz       | phenocryst | 20              | 241 | 282 | 264             | 18 | -1.2 | -0.3                   | -0.8 | 18 | 0.5     | 2.1 | 1.3 | Each quartz phenocryst has many inclusions by faulting. |
| Rock crystal | vein       | 20              | 219 | 238 | 232             | 20 | -0.6 | -0.1                   | -0.3 | 20 | 0.2     | 1.1 | 0.5 |   |

N: number, Min: minimum, Max: maximum, Av: average

Th(L-V): disappearance temperature of bubble in liquid-rich inclusion

Tm(ice): final melting temperature of ice

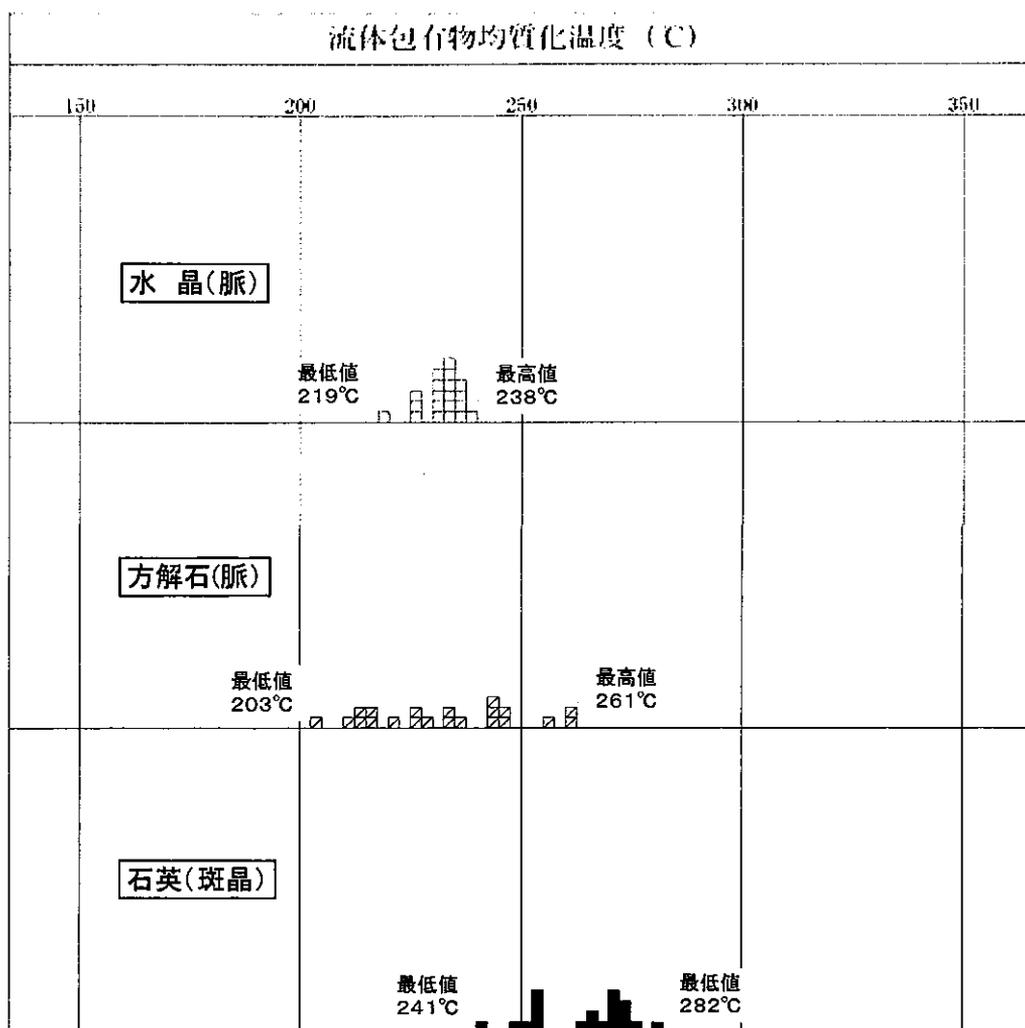


図2-5-9 ZK4001噴出岩の流体包有物均質化温度分布図

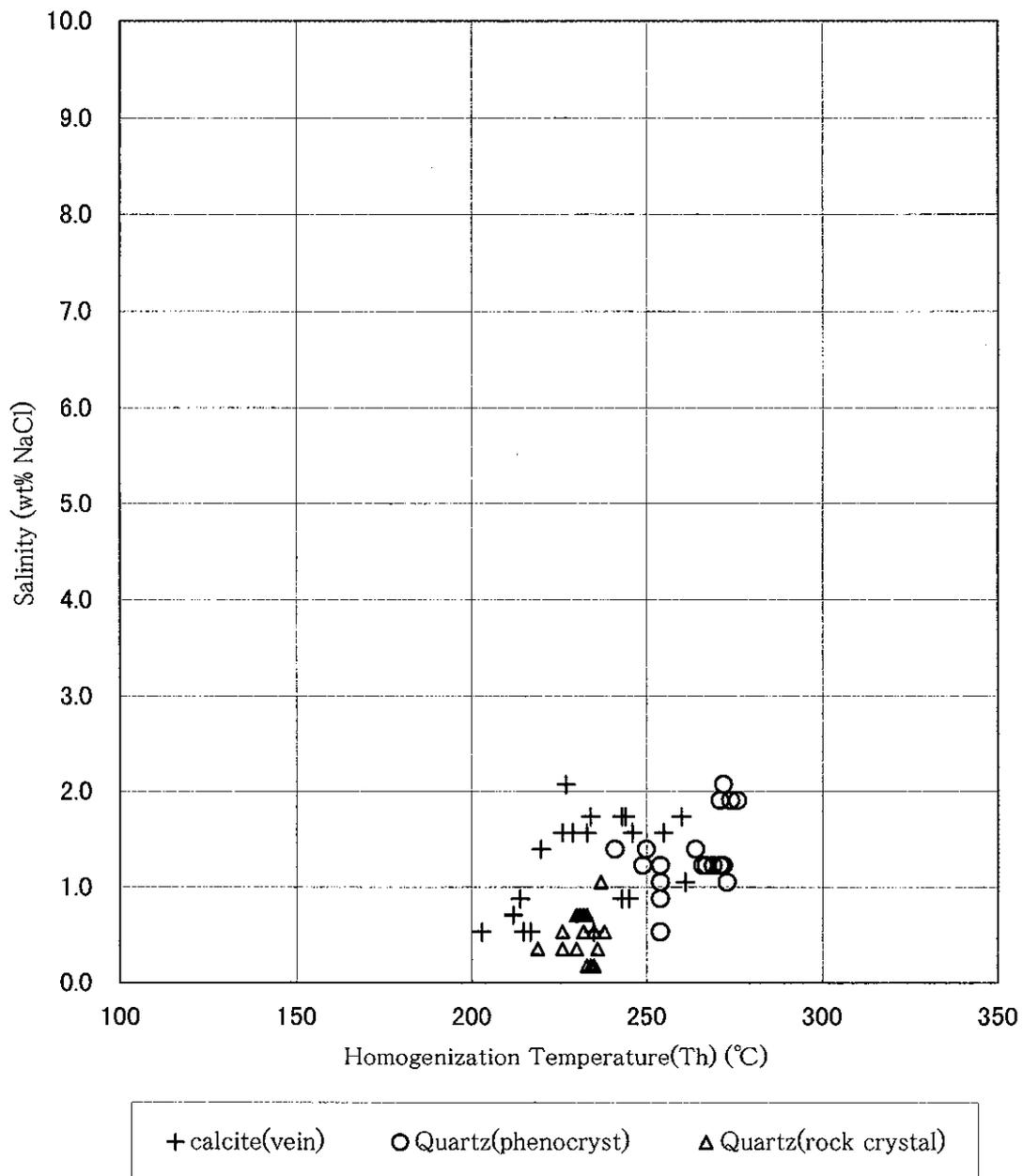


図 2 - 5 - 1 0 ZK4001噴出岩の流体包有物の均質化温度と塩濃度の相関図

## 2-5-2 スケール付着試験

ZK4001 では 2004 年 10 月 21 日に噴気試験を開始したが、パイプラインの減圧弁下流にスケールの付着がみられた。スケール付着は地熱発電の運転に多大な支障をきたすので、2005 年度の ZK4001 の噴気試験に際してスケール付着試験を行い、ZK4001 の長期噴気によって生成するスケールの付着防止を検討することとした。

### (i) スケール付着試験の設備と方法

ZK4001 におけるスケール付着試験は、長期噴気試験と平行して実施した。

スケール付着試験は、噴気試験設備を利用し、二相流体の管路に 1 個、熱水の管路に 2 個のテストピース（短管）を装着し、長期噴気試験の中間時点と終了時点の 2 回内部を点検してスケールの付着状況を調査したものである。試験においては、テストピースに付着したスケールとテストピース部から採取した熱水の化学成分の分析も併せて実施した。

図 2-5-1 1 に、スケール付着試験の設備とスケール採取位置を示す。ZK4001 の二相流ライン及び熱水ラインに 3 つのテストピース（下記①～③）を設置し、長期噴気試験によって生成するスケールを調査した。

- ① テストピース No.1：二相流ライン
- ② テストピース No.2：熱水ライン上流側
- ③ テストピース No.3：熱水ライン下流側

また、2005 年 10 月 10 日はセパレーター蒸気管外壁、熱水タンク（レベルヘッダーの上部、水位面付近、ドレン抜き付着物）及び熱水フラッシュのスケールについても調査した。なお、坑井内スケールはフラッシュタンク内の堆積物で調査した。スケールは噴気試験を中断したのち、テストピースを開放して採取した。採取日は 2005 年 8 月 28 日と 2005 年 10 月 10 日である。

### (ii) スケールの付着状況

#### (1) 2005 年 8 月 28 日採取のスケール付着状況

- ① セパレーター底部堆積物には粒径 0.1～1 mm の透明、白、淡緑、黒、金色を呈する岩片・結晶片・スケール片が確認された。
- ② テストピース No.1 には厚さ 0.1mm の黒色板状スケールが付着していた。
- ③ テストピース No.2 には厚さ 0.3mm の黒色、一部透明な板状スケールが付着していた。
- ④ テストピース No.3 には厚さ 0.1mm の黒色部と透明部からなる板状スケールが付着していた。

#### (2) 2005 年 10 月 10 日採取のスケール付着状況

- ① セパレーター底部堆積物には粒径～3 mm の淡緑、白～透明を呈する岩片・結晶片・スケール片が確認された。
- ② テストピース No.1 には厚さ 0.1mm の黒色板状スケールが付着していた。
- ③ テストピース No.2 には厚さ 0.3mm の黒色部と透明部からなる板状スケールが付着していた。
- ④ テストピース No.3 には厚さ 0.3mm の黒色部と透明部からなる板状スケール

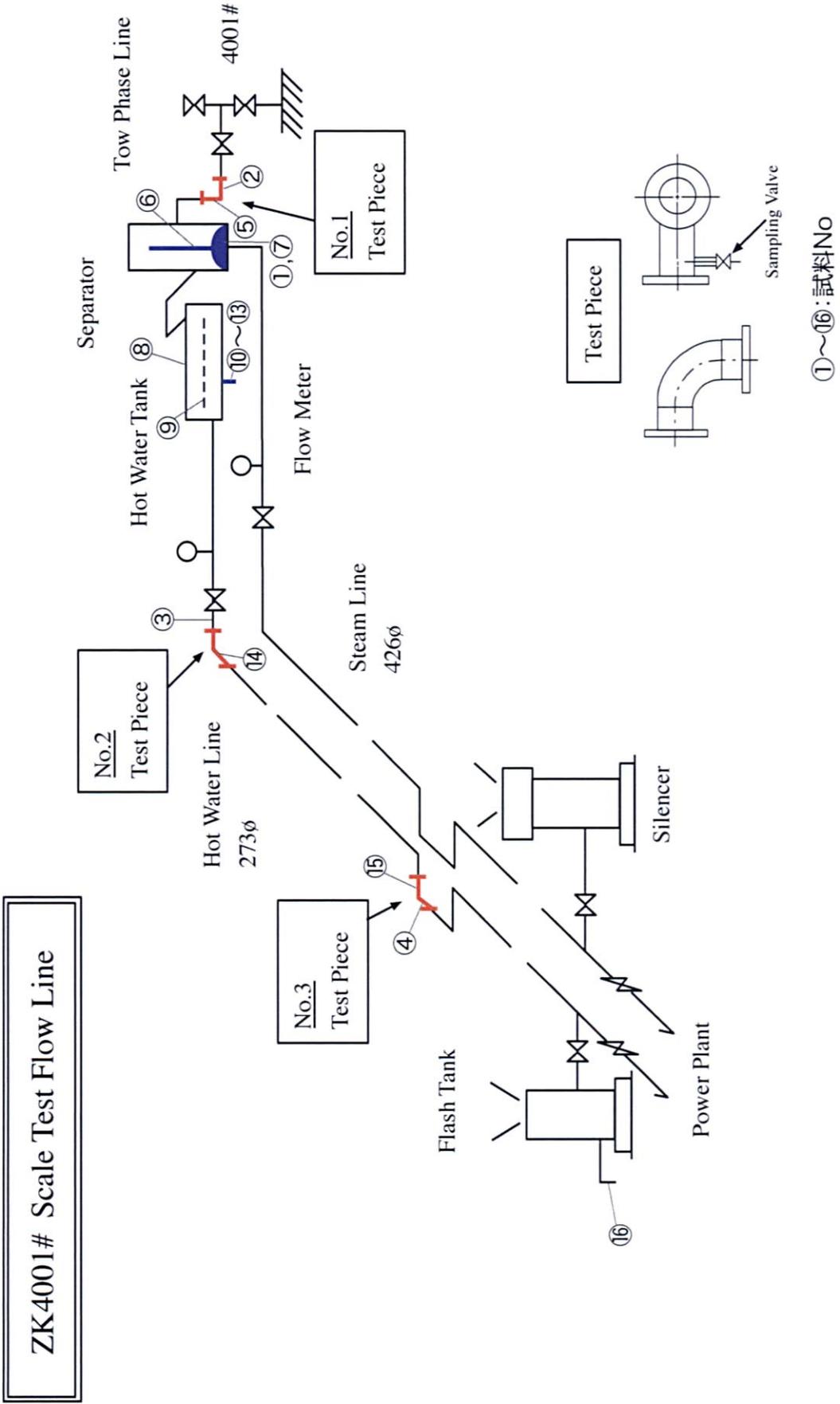


図 2-5-1-1 ZK4001 スケール・噴出試料採取位置図

が付着していた。

- ⑤ セパレーター蒸気管外壁には厚さ 1 mm の黒色部と透明部からなる板状スケールが付着していた。
- ⑥ レベルヘッダー上部には厚さ 0.5mm の赤茶色のスケール（腐食物）が確認された。
- ⑦ レベルヘッダー水位面付近には厚さ 0.3mm の褐色板状スケールが付着していた。
- ⑧ レベルヘッダードレン抜きには粒径 0.2mm 以下の岩片・鉱物片・スケール片が付着していた。
- ⑨ 熱水フラッシャーには厚さ 5 mm 以下の多孔質白色スケールが付着していた。

(3) スケール付着状況のまとめ

スケールの付着状況の調査結果を、表 2-5-9 に示す。

その最終結果のまとめは、下記のとおりである。

| テストピース No. | 1             | 2           | 3                               |
|------------|---------------|-------------|---------------------------------|
| 流体の種類      | 蒸気+熱水         | 熱水          | 熱水                              |
| 流量         | 330~260 t/h   | 260~210 t/h |                                 |
| 流送日数       | 90 - 4 = 86 日 |             |                                 |
| 取付け位置      | 坑口 2 次弁下流     | 熱水流量調整弁下流   | ZK001 敷地～フラッシュタンクまでの熱水パイプライン中間部 |
| スケール付着     | 微量            | 無し          | 無し                              |

① 今回の試験においては、テストピース内部にスケール発生はほとんど見られなかった。ただし、熱水タンクのドレン抜バルブなどの熱水滞留部においては、シリカ (SiO<sub>2</sub>) と思われる白色の硬度の高いスケールの付着が見られた。このことから ZK4001 の熱水は、今回のテスト条件より低温の領域においては、相当量のシリカケールを析出させる可能性が高いものと思われる。

② スケールの析出条件（温度、圧力など）については、今後もさらに詳細な調査を行う必要があるものと思われる。

(iii) スケール付着試験における熱水分析

スケール付着試験における熱水採取箇所を図 2-5-12 に示す。本調査では、ZK4001 井の熱水をライン上流から下流へ位置を変えて採取・分析した。分析結果から、スケールの生成の有無及び生成する鉱物の種類を予測した。熱水の分析結果を表 2-5-10 に示す。

最上流が熱水 No.1, 最下流が熱水 No.4 である。No.1 から No.4 に流れるに伴い、濃度が低くなる成分がスケールとして析出している可能性がある。2005 年 7 月 13 日及び 2005 年 10 月 9 日の HCO<sub>3</sub>, Ca, SiO<sub>2</sub> に連続した値の減少が認められた。この結果が

表2-5-9 ZK4001スケールテスト:テストピース点検記録表

| テストピースNo.        | No.1                              | No.2            | No.3        | 備 考    |    |
|------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------|--------|----|
| 流体種別             | 二相流                               | 熱 水             | 熱 水         |        |    |
| 取付位置             | (取付位置図参照)                         |                 |             |        |    |
| 流送時間             | 流送開始年月日                           | 2005/7/12       |             |        |    |
|                  | 流送停止年月日                           | 2005/10/9       |             |        |    |
|                  | 日 数                               | 90-4 = 86       |             |        |    |
| 点検記録             |                                   |                 |             |        |    |
| 1. 中間点検          | 年 月 日                             | 2005/8/28       |             |        |    |
|                  | (流送日数)                            | 48              |             |        |    |
| 1. スケール付着厚さ (mm) | [入口部]                             |                 |             |        |    |
|                  | 天 地                               | --              | --          | --     |    |
|                  | 上流側からみて右側                         | --              | --          | --     |    |
|                  | " 左側                              | --              | --          | --     |    |
|                  | [中間部]                             |                 |             |        |    |
|                  | 天 地                               | --              | --          | --     |    |
|                  | 上流側からみて右側                         | --              | --          | --     |    |
|                  | " 左側                              | --              | --          | --     |    |
|                  | [出口部]                             |                 |             |        |    |
|                  | 天 地                               | --              | --          | --     |    |
|                  | 上流側からみて右側                         | --              | --          | --     |    |
|                  | " 左側                              | --              | --          | --     |    |
|                  | 2. スケール量(採取時:wet)                 | cm <sup>3</sup> | --          | --     | -- |
|                  |                                   | g               | --          | --     | -- |
|                  |                                   |                 |             |        |    |
| 3. スケールの状況       | 付着状況                              | 0.1mm以下         | 0.1mm~0.2mm | 皮膜程度   |    |
|                  | 硬度                                | 硬い              | 硬い          | 硬い     |    |
|                  | 色                                 | 黒(暗緑色)          | 黒(暗緑色)      | 黒(暗緑色) |    |
|                  | 結晶の有無                             | --              | --          | --     |    |
|                  | その他                               | --              | --          | --     |    |
|                  |                                   |                 |             |        |    |
| 4. 特記事項          | 管底部に細砂の沈積あり                       |                 |             |        |    |
| 2. 最終点検          | 年 月 日                             | 2005/10/10      |             |        |    |
|                  | (流送日数)                            | 90-4 = 86       |             |        |    |
| 1. スケール付着厚さ (mm) | [入口部]                             |                 |             |        |    |
|                  | 天 地                               | --              | --          | --     |    |
|                  | 上流側からみて右側                         | --              | --          | --     |    |
|                  | " 左側                              | --              | --          | --     |    |
|                  | [中間部]                             |                 |             |        |    |
|                  | 天 地                               | --              | --          | --     |    |
|                  | 上流側からみて右側                         | --              | --          | --     |    |
|                  | " 左側                              | --              | --          | --     |    |
|                  | [出口部]                             |                 |             |        |    |
|                  | 天 地                               | --              | --          | --     |    |
|                  | 上流側からみて右側                         | --              | --          | --     |    |
|                  | " 左側                              | --              | --          | --     |    |
|                  | 2. スケール量(採取時:wet)                 | cm <sup>3</sup> | --          | --     | -- |
|                  |                                   | g               | --          | --     | -- |
|                  |                                   |                 |             |        |    |
| 3. スケールの状況       | 付着状況                              | 0.1mm以下         | 0.1mm~0.2mm | 皮膜程度   |    |
|                  | 硬度                                | 硬い              | 硬い          | 硬い     |    |
|                  | 色                                 | 黒(暗緑色)          | 黒(暗緑色)      | 黒(暗緑色) |    |
|                  | 結晶の有無                             | --              | --          | --     |    |
|                  | その他                               | --              | --          | --     |    |
|                  |                                   |                 |             |        |    |
| 4. 特記事項          | 汽水分離器および熱水箱下部の弁取付ノズルに白色(硬い)スケール有り |                 |             |        |    |

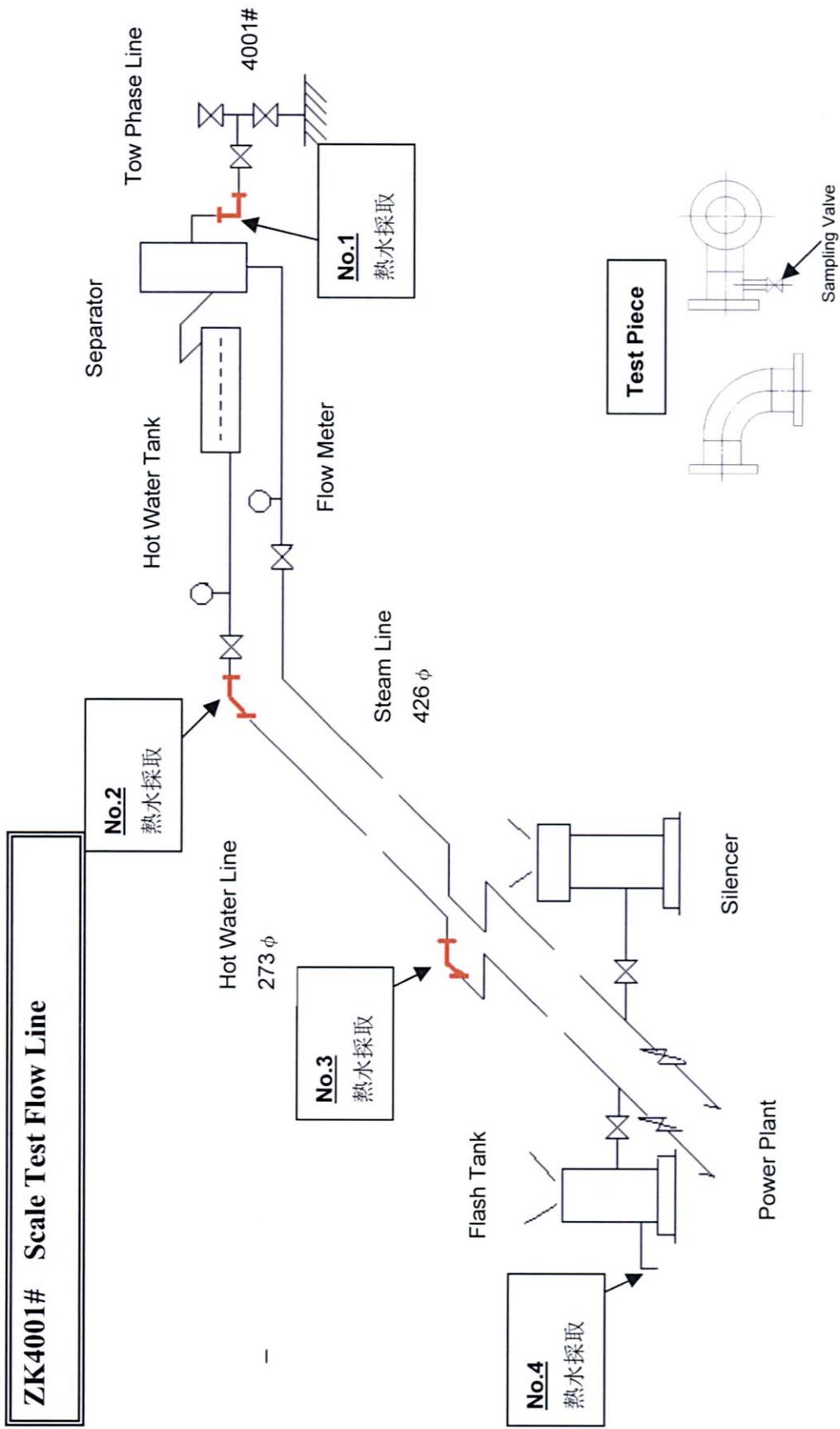


図 2-5-1 2 ZK4001 スケール試験熱水採取位置

表2-5-10 スケール付着試験熱水分析結果

| 試料名<br>name | 試料採取年月<br>日<br>sampling date | pH  | E.C.<br>μS/cm | SiO <sub>2</sub><br>mg/L | Cl<br>mg/L | SO <sub>4</sub><br>mg/L | HCO <sub>3</sub><br>mg/L | Na<br>mg/L | K<br>mg/L | Ca<br>mg/L | Mg<br>mg/L | Fe<br>mg/L | Al<br>mg/L | T-CO <sub>2</sub><br>mg/L |
|-------------|------------------------------|-----|---------------|--------------------------|------------|-------------------------|--------------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|---------------------------|
| スケール熱水No.1  | 2005/7/13                    | 8.3 | 3900          | 762                      | 990        | 27                      | 310                      | 647        | 132       | 1.6        | 0.02       | 0.56       | 2.1        | 230                       |
| スケール熱水No.2  | 2005/7/13                    | 8.6 | 3820          | 743                      | 963        | 26                      | 223                      | 630        | 128       | 1.5        | 0.03       | 0.32       | 1.7        | 167                       |
| スケール熱水No.3  | 2005/7/13                    | 8.7 | 3820          | 746                      | 967        | 26                      | 178                      | 632        | 128       | 1.4        | 0.02       | 0.10       | 1.7        | 134                       |
| スケール熱水No.4  | 2005/7/13                    | 8.9 | 3760          | 729                      | 955        | 25                      | 129                      | 624        | 127       | 1.4        | 0.01       | 0.23       | 1.6        | 99                        |
| スケール熱水No.1  | 2005/8/27                    | 8.4 | 4040          | 760                      | 1020       | 27                      | 350                      | 718        | 134       | 1.6        | 0.07       | 0.44       | 2.0        | 260                       |
| スケール熱水No.2  | 2005/8/27                    | 8.8 | 4030          | 764                      | 1010       | 27                      | 240                      | 716        | 134       | 1.9        | 0.09       | 0.79       | 1.9        | 182                       |
| スケール熱水No.3  | 2005/8/27                    | 8.9 | 4050          | 768                      | 1020       | 27                      | 181                      | 722        | 134       | 1.5        | 0.05       | 0.31       | 1.8        | 139                       |
| スケール熱水No.4  | 2005/8/27                    | 9.0 | 3970          | 766                      | 994        | 26                      | 131                      | 707        | 131       | 1.6        | 0.07       | 0.35       | 1.8        | 102                       |
| スケール熱水No.1  | 2005/10/9                    | 8.6 | 4030          | 772                      | 1010       | 27                      | 387                      | 710        | 132       | 1.1        | <0.01      | 0.08       | 1.6        | 289                       |
| スケール熱水No.2  | 2005/10/9                    | 8.6 | 4040          | 756                      | 1010       | 27                      | 364                      | 708        | 132       | 1.0        | <0.01      | 0.04       | 1.6        | 272                       |
| スケール熱水No.3  | 2005/10/9                    | 8.6 | 4090          | 748                      | 1020       | 28                      | 371                      | 715        | 134       | 0.9        | <0.01      | 0.04       | 1.6        | 277                       |
| スケール熱水No.4  | 2005/10/9                    | 8.8 | 3970          | 742                      | 997        | 26                      | 294                      | 695        | 131       | 0.9        | <0.01      | 0.02       | 1.5        | 220                       |

ら、シリカ系のスケール及び炭酸カルシウム系のスケールが析出する可能性があることがわかった。シリカ系のスケールは、流体温度が低くなるほど析出しやすい傾向にある。スケールの物質分析（2-5-2参照）において、下流に位置するNo.3テストピースのみから非晶質シリカが検出された。今回の噴気試験ではライン圧を高め（7kg/cm<sup>2</sup>G）で運転したため、非晶質シリカの析出が抑制できたと評価できる。この結果から、ZK4001のライン圧力を7kg/cm<sup>2</sup>G程度で運用するとシリカ系のスケールを抑制できることがわかった。

#### （iv）スケールの物質分析

採取したスケール及び噴出物のX線回折分析を行った。分析方法は地表調査・坑井調査と同様である。X線分析結果一覧表を表2-5-11～12に示す。また、X線回折チャートとZK4001スケール・噴出物の写真を巻末に添付する。

X線分析で同定された鉱物を以下に示す。

- ① 粘土鉱物：緑泥石，セリサイト／スメクタイト混合層鉱物，セリサイト，カオリナイト
- ② シリカ鉱物：石英，トリディマイト，非晶質シリカ
- ③ 硫化鉱物：黄銅鉱，四面銅鉱，黄鉄鉱，白鉄鉱
- ④ 炭酸塩鉱物：方解石，アラレ石
- ⑤ 硫酸塩鉱物：重晶石
- ⑥ 酸化鉱物：磁鉄鉱，磁赤鉄鉱，赤鉄鉱，針鉄鉱
- ⑦ その他：岩塩

#### （1）テストピース No.1

2005年8月28日及び2005年10月10日のスケールともに、厚さ0.1mm以下である。主構成物は四面銅鉱と黄銅鉱である。

#### （2）テストピース No.2

2005年8月28日及び2005年10月10日のスケールともに、厚さ0.3mm以下である。検出した鉱物の石英指数が1以下と小さいことから、非晶質物（透明部分）を主構成物とする可能性がある。

#### （3）テストピース No.3

2005年8月28日及び2005年10月10日のスケールは厚さがそれぞれ0.1mmと0.3mmで、後者がわずかに厚い。ともに黒色・透明板状スケールで、主構成物は非晶質シリカである。

#### （4）セパレーター内堆積物

ZK4001では2004年10月～2005年1月にかけて実施した噴気試験時には大量の岩石が噴出した。2004年11月26日に採取した噴出岩は緑泥石，セリサイト，石英，黄鉄鉱，方解石からなり，すべて岩石や鉱物脈起源である。

一方，2005年8月28日及び2005年10月10日は岩石・鉱物脈起源以外に特徴的にアラレ石を多く含む。これは明らかにスケールである。アラレ石はセパレーター前後のテストピースには生成していない。従って，坑井内で生成したとももの考える。

#### （v）スケール防止対策

表2-5-11 ZK4001スケール・噴出試料のX線分析結果(石英指数)一覧表

| No | 採取位置                | 採取年月日       | 試料の形状・色・厚さ    |                | 処理 <sup>a)</sup> | 粘土鉱物 <sup>b)</sup> |      |     | シロカ鉱物 |       |      | 酸化鉱物 |    |      | 硫酸塩  |      |      | その他  |      |      |      |               |  |
|----|---------------------|-------------|---------------|----------------|------------------|--------------------|------|-----|-------|-------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|--|
|    |                     |             | 形             | 色              |                  | 厚さ                 | カ    | セ   | 白     | 黄     | 黄    | 非    | 石  | ト    | 赤    | 磁    | 重    | 方    | ア    | 方    | 赤    | 針             | 岩  |
| 1  | 基岩の心<br>No.1744E-1  | 2005年8月28日  | 板状<br>0.1~1mm | 透明, 白, 緑, 黒, 金 | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.3 | 8.8 | 12.4  | 20    | 26.6 | 21.6 | 28 | 29.4 | 26.2 | 25.8 | 35.4 | 35.6 | 33.1 | 21.2 | 31.7 | 備考<br>(不明ピーク) |  |
| 2  | 基岩の心<br>No.1744E-2  | 2005年8月28日  | 板状<br>0.1mm   | 黒              | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 14.9  | 0.4  |      |    |      |      |      | 0.1  |      |      |      |      |               | 29=38.1 (Q.I.=0.4)<br>20=44.3 (Q.I.=0.2) |
| 3  | 基岩の心<br>No.1744E-3  | 2005年8月28日  | 板状<br>0.3mm   | 黒(一部透明)        | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 109.3 |      |      |    |      |      |      | 0.7  |      |      |      |      |               | 石英?<br>26=26.6 (Q.I.=3.3)                |
| 4  | 基岩の心<br>No.1744E-4  | 2005年8月28日  | 板状<br>0.1mm   | 黒(一部透明)        | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   |       |      |      |    |      |      |      | 0.4  |      |      |      |      |               | 29=38.2 (Q.I.=0.6)<br>20=44.3 (Q.I.=0.3) |
| 5  | 出露の心<br>No.1744E-5  | 2005年10月10日 | 板状<br>0.1mm   | 黒(一部透明)        | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 0.2   | 1.9  | 2.5  |    |      |      |      | 0.1  |      |      |      |      |               | 29=31.4 (Q.I.=0.5)                       |
| 6  | 基岩の心<br>No.1744E-6  | 2005年10月10日 | 板状<br>0.1mm   | 黒(一部透明)        | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 1.0   |      |      |    | 5.2  | 0.4  |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 7  | 基岩の心<br>No.1744E-7  | 2005年10月10日 | 板状<br>0.3mm   | 緑, 白(一部透明)     | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 29.2  | 0.8  |      |    | 1.3  | 1.6  |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 8  | 基岩の心<br>No.1744E-8  | 2005年10月10日 | 板状<br>0.5mm   | 赤茶(内部黒)        | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   |       |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 9  | 基岩の心<br>No.1744E-9  | 2005年10月10日 | 板状<br>0.5mm   | 黒              | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 105.9 |      |      |    | 0.2  |      |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 10 | 基岩の心<br>No.1744E-10 | 2005年10月10日 | 板状<br>0.2mm   | 緑, 白(一部透明)     | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 1.8   |      |      |    | 0.8  | 0.3  |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 11 | 基岩の心<br>No.1744E-11 | 2005年10月10日 | 板状<br>0.2mm   | 緑, 白(一部透明)     | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 51.4  |      |      |    | 0.2  |      |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 12 | 基岩の心<br>No.1744E-12 | 2005年10月10日 | 板状<br>0.2mm   | 緑, 白(一部透明)     | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 65.6  |      |      |    | 0.5  | 0.6  |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 13 | 基岩の心<br>No.1744E-13 | 2005年10月10日 | 板状<br>0.2mm   | 緑, 白(一部透明)     | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 8.5   |      |      |    | 0.3  |      |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 14 | 基岩の心<br>No.1744E-14 | 2005年10月10日 | 板状<br>0.2mm   | 緑, 白(一部透明)     | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 0.8   |      |      |    | 0.0  |      |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 15 | 基岩の心<br>No.1744E-15 | 2005年10月10日 | 板状<br>0.2mm   | 緑, 白(一部透明)     | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   |       |      |      |    | 0.1  |      |      |      |      |      |      |      |               |  |
| 16 | 基岩の心<br>No.1744E-16 | 2005年10月10日 | 板状<br>0.2mm   | 緑, 白(一部透明)     | BULK<br>UT<br>EG | カ<br>セ<br>白        | 12.5 | 8.8 | 8.9   | 644.9 |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |               | 5.0                                      |

a) BULK: 全岩無定方位, UT: 定方位X線処理, EG: 定方位X線処理  
 b) 粘土鉱物の同定されたピークを示す。\* 温度処理で鉱物が同定されたことを示す。  
 c) 石英の指数は石英指数(Q.I.)である。Q.I. =  $\frac{fm}{fm + iq} \times 100$ , fm: 石英の強度, iq: 緑泥石の強度

2-5-12 ZK4001スケール・噴出試料のX線分析結果(石英指数) 経時変化

| 採取位置                 | 採取年月日       | 試料の形状・色・厚さ    | 粘土鉱物 |           | シリカ鉱物 |         | 硫化鉱物 |     | 炭酸塩鉱物 |    | 硫酸塩鉱物 |     | 酸化鉱物 |     |
|----------------------|-------------|---------------|------|-----------|-------|---------|------|-----|-------|----|-------|-----|------|-----|
|                      |             |               | 緑    | イセリサイト混合層 | 石英    | トリディマイト | 非晶質  | 黄銅  | 四面銅   | 方解 | ア     | 重晶  | 磁赤   | 針   |
| セパレーター底部堆積物          | 2005年11月26日 | 最大10cm大の断層岩の塊 | ○    | ○         | ○     | ○       | ○    | ○   | ○     | ○  | ○     | ○   | ○    | ○   |
|                      | 2005年8月28日  | 形状<br>色<br>粒径 | 0.5  | 0.3       | 0.6   | 14.9    | 0.9  | 7.6 |       |    |       |     |      |     |
|                      | 2005年10月10日 | 形状<br>色<br>粒径 | 0.6  | 0.5       | 29.2  | 0.8     | 1.3  | 1.6 |       |    |       |     |      |     |
| 二相流ライン<br>No.1テストピース | 2005年8月28日  | 形状<br>色<br>厚さ |      |           | 0.4   |         | 1.1  | 2.4 |       |    |       |     | 0.1  |     |
|                      | 2005年10月10日 | 形状<br>色<br>厚さ |      |           | 0.2   |         | 1.9  | 2.5 |       |    |       |     | 0.1  |     |
| 熱水ライン<br>No.2テストピース  | 2005年8月28日  | 形状<br>色<br>厚さ |      |           |       |         |      |     |       |    |       |     | 0.7  |     |
|                      | 2005年10月10日 | 形状<br>色<br>厚さ |      |           |       |         | 0.1  |     |       |    |       |     | 0.6  | 0.1 |
| 熱水ライン<br>No.3テストピース  | 2005年8月28日  | 形状<br>色<br>厚さ |      |           | 109.3 |         |      |     |       |    |       | 0.2 |      | 0.4 |
|                      | 2005年10月10日 | 形状<br>色<br>厚さ |      |           | 38.7  |         |      |     |       |    |       |     | 0.7  | 0.2 |

今回のスケール付着テストにおいては、テストピースに顕著なスケールの発生は認められなかった。熱水中に多量のスケール成分を含有しているにもかかわらず、スケールの生成が見られなかった理由としては、今回のテストにおいてテストピース内を流れた熱水の温度がスケール成分の析出点温度（飽和温度）を上回っていたことが推定される。このことは、熱水の滞留部（熱水タンクのドレン抜きバルブ用ノズルなど）において、温度の低下した熱水中にシリカスケールの生成が見られたことから裏づけられる。

したがって、今後 ZK4001 におけるスケールの発生を防止するためには、噴出熱水の温度低下を防ぐことが最も重要な要件であるものと判断される。今後の ZK4001 の発電利用にあたっては、気水分離器の運転圧力や熱水の還元温度などについて慎重に検討していくことが必要である。

坑井内ではアラレ石スケールが生成していると考えられる。これまでの噴気試験では生産障害は起きていないが、今後長期的に生産していく場合は、アラレ石スケールで坑内が狭窄され生産流量が減衰する可能性がある。アラレ石は炭酸塩鉱物であり、スケール防止対策としては薬液注入または浅部生産井と同様に機械的な除去で解決できる。