

## 2-6 地熱貯留層の追跡調査

## 2-6 地熱貯留層の追跡調査

### 2-6-1 地化学的追跡調査

ZK4001 の長期噴気試験に伴い、深部貯留層と浅部貯留層の関係などを調べるために、ZK4001 や既存浅部生産井から生産する地熱流体の化学性状の変化を追跡調査した。

本調査にて羊八井地域で取得した地化学調査結果を、表2-6-1～5に示す。それらの試料採取地点を図2-6-1に示す。解析図面としてCl-Ent(塩素-エンタルピー)混合モデル図を図2-6-2に、化学性状の経時変化を図2-6-3～4に示す。

#### (i) Cl-Ent(塩素-エンタルピー)混合モデル

図2-6-2において、ZK4001に代表される深部熱水と地表水、温泉水は直線上に分布し、それらの中間に既存浅部井の熱水がプロットされる。このことから羊八井の浅部熱水は、ZK4001に代表される深部熱水と地表水の混合で生成していることが確認された。これは中国側で推定していた既存モデルと同じである。実際の混合過程では地表水が直接高温の貯留層に流入するのではなく、浅部熱水と地表水の間接的な組成の流体(温泉水)と混合していると考えの方が自然である。羊八井地域の端成分となる熱水組成を以下に示す。

- ・4001 深部熱水：SiO<sub>2</sub> 温度 260℃，Cl 濃度 650 mg/L (深部換算値)
- ・浅部熱水：SiO<sub>2</sub> 温度 170～180℃，Cl 濃度 350～430 mg/L (深部換算値)
- ・地表水：温度 10℃，Cl 濃度 0 mg/L
- ・温泉水：温度 80～100℃，Cl 濃度 150～200 mg/L

#### (ii) 浅部貯留層と深部貯留層の干渉関係

既存浅部井は、ZK4001 の長期噴気試験の前及び噴気中に以下の変化を示した。

- ・ZK4001 噴気試験前：SiO<sub>2</sub> 濃度，Cl 濃度は比較的安定(生産量安定)。
- ・ZK4001 噴気試験前半：SiO<sub>2</sub> 濃度，Cl 濃度の低下が認められた。
- ・ZK4001 噴気試験後半：SiO<sub>2</sub> 濃度，Cl 濃度が回復している。

Cl-Ent 混合モデルに基づき ZK4001 噴気試験前半の浅部熱水の変化を考察すると、浅部井における SiO<sub>2</sub> 濃度及び Cl 濃度の低下は深部熱水の混入割合の低下が原因と言える。ZK4001 噴気に伴い深部貯留層の圧力が低下し、浅部貯留層への深部熱水の供給が減少したものと推測される。

ZK4001 噴気試験後半は SiO<sub>2</sub> 濃度及び Cl 濃度が回復している浅部井が認められる。この挙動は他の地熱フィールドでも認められる事例であり、以下のように推定する。

深部からの高温流体が減少することにより、浅部井周辺の貯留層圧力も低下する。この圧力低下により、これまでとは別の流動経路から浅部熱水と同様の流体が流入した。ZK4001 噴気試験後半の推定が正しいか否かは、今後継続して地化学調査を実施することにより明らかにできる。

ZK4001 噴気試験前の浅部熱水性状が安定していること及び ZK 4001 噴気試験に伴う二つの挙動から、羊八井における深部貯留層と浅部貯留層の干渉が明らかとなった。深部貯留層から生産を行う場合、浅部貯留層への干渉は避けられないことが地化学調査により実証された。

#### (iii) ZK4001 の流体性状



表 2-6-2 坑井噴出流体分析結果 (2001-2005) -熱水-

坑井名 Name	噴出期間 Eruption Date	噴出量 Rate	噴出高度 Height	pH	T (°C)	Cl (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	CO <sub>3</sub> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	熱水					T (°C)	H <sub>2</sub> S (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	CO <sub>3</sub> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cr (mg/L)	Ni (mg/L)	Mo (mg/L)	Se (mg/L)	Sr (mg/L)	Ba (mg/L)	Li (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	Total (mg/L)	TDS (mg/L)	TDS (%)	TDS (°C)	TDS (°F)
																		CO <sub>2</sub> (mg/L)	CO <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (°C)	CO <sub>2</sub> (°F)																															
2K02	01/02/23	1.8	1.3-1.5	9.6	2120	280	472	43	184	388	45	5.3	0.28	0.04	0.20	3.1	8.5	0.12	14	1.3	0.11	57	0.3	0.48	143	1326	-148	-17.4	18.4	-8.9	-9.3	1.8±0.1	182																			

表 2 - 6 - 3

## 温泉水分析結果

試料名 name		藏布曲南温泉	熱水湖	還元井噴出流体①	還元井噴出流体②	
試料採取年月日 sampling date		01/9/28	01/9/28	02/8/10	02/8/10	
water temperature	°C	52.3	15.3	約70°C	約45°C	
flow rate	L/min	20	-	-	-	
hot water	pH	---	7.1	3.6	7.6	7.3
	E.C.	mS/cm	1020	2210	1410	2000
	SiO <sub>2</sub>	mg/L	93	65	97	100
	Cl	mg/L	141	119	188	343
	SO <sub>4</sub>	mg/L	15	1020	16	24
	HCO <sub>3</sub>	mg/L	303	<0.5	525	570
	Na	mg/L	193	181	263	397
	K	mg/L	11	14	13	23
	Ca	mg/L	18	195	32	15
	Mg	mg/L	1.1	50.6	0.40	0.40
	Fe	mg/L	0.22	9.0	<0.01	0.3
	Al	mg/L	0.54	15	<0.01	<0.01
	As	mg/L	0.1	0.1	0.5	1.1
	Li	mg/L	2.2	4.4	2.9	4.6
	Sr	mg/L	0.2	2.3	0.7	0.4
	F	mg/L	4.7	5.6	2.1	6.9
	Br	mg/L	0.4	0.3	0.7	1.0
	I	mg/L	<0.01	<0.01	0.05	0.8
	B	mg/L	17	13	24	37
	H <sub>2</sub> S	mg/L	0.2	<0.5	-	-
	Hg	μg/L	0.15	0.14	<0.5	<0.5
	T-CO <sub>2</sub>	mg/L	259	6	402	460
	TDS	mg/L	697	2080	-	-
δ D (H <sub>2</sub> O)	‰SMOW	-150	-124	-	-	
δ <sup>18</sup> O (H <sub>2</sub> O)	‰SMOW	-20.2	-14.1	-	-	
δ <sup>18</sup> O (SO <sub>4</sub> )	‰SMOW	+8.7	+0.2	-	-	
δ <sup>34</sup> S (SO <sub>4</sub> )	‰CDS	-7.3	-10.9	-	-	
δ <sup>13</sup> C (CO <sub>3</sub> )	‰PDB	-9.1	-33.0	-	-	
<sup>3</sup> H	TU	<0.37	6.0±0.2	-	-	

表 2 - 6 - 4 地表水分析結果

試料名 name		賞水沟	臭沟	硫黄沟西沟	海尤沟	回灌水
試料採取年月日 sampling dat		01/9/26	01/9/26	01/9/26	01/9/25	01/9/25
温 water temperaturu	°C	12.6	12.7	9.0	8.9	13.3
温 air temperaturu	°C	9.2	8.6	6.4	10.1	24.3
緯度 latitude	---	30° 05.655'	30° 05.678'	30° 05.932'	30° 05.460'	30° 03.672'
経度 longitude	---	090° 27.352'	090° 27.424'	090° 27.561'	090° 28.417'	090° 29.336'
標高 altitude	m	4576	4585	4630	4428	4315
pH	---	7.6	7.6	7.5	7.7	9.1
E.C.	mS/cm	75	76	79	161	2300
SiO <sub>2</sub>	mg/L	9	9	7	19	231
Cl	mg/L	0.12	0.12	0.17	4.8	515
SO <sub>4</sub>	mg/L	8.7	8.6	10.7	7.7	50
HCO <sub>3</sub>	mg/L	24	30	29	65	118
Na	mg/L	2.0	1.8	1.4	8.1	399
K	mg/L	0.70	0.52	0.74	0.56	49.0
Ca	mg/L	10	11	12	22	3.61
Mg	mg/L	1.0	1.1	1.0	2.3	0.11
Fe	mg/L	0.16	0.38	0.15	0.62	0.03
Al	mg/L	0.15	0.20	0.21	0.05	0.19
As	mg/L	0.005	0.005	0.009	<0.001	3.60
T-CO <sub>2</sub>	mg/L	18	23	23	49	93
δD (H <sub>2</sub> O)	‰SMOW	-141	-141	-142	-140	-138
δ <sup>18</sup> O (H <sub>2</sub> O)	‰SMOW	-19.9	-19.7	-20.0	-19.2	-16.6
<sup>3</sup> H	TU	13.8±0.3	13.0±0.2	12.2±0.3	13.4±0.2	2.3±0.2

緯度、経度、標高は携帯型GPSによる測定値である。

表 2 - 6 - 5 環境河川水分析結果

試料名 name		蔵布曲上流	蔵布曲中流	蔵布曲下流
試料採取年月日 sampling dat		01/9/25	01/9/25	01/9/29
温 water temperaturu	°C	12.2	14.8	9.7
温 air temperaturu	°C	19.8	18.0	14.0
緯度 latitude	---	29° 59.107'	30° 03.597'	30° 05.258'
経度 longitude	---	090° 24.452'	090° 29.606'	090° 32.695'
標高 altitude	m	4380	4337	4293
pH(temp.)	---	7.8	8.3	8.1
E.C.	mS/cm	101	214	177
SiO <sub>2</sub>	mg/L	11	22	19
Cl	mg/L	0.96	24	15
SO <sub>4</sub>	mg/L	5.2	8.7	7.8
HCO <sub>3</sub>	mg/L	42	53	51
Na	mg/L	4.3	24	17
K	mg/L	0.9	3.1	2.3
Ca	mg/L	14	14	15
Mg	mg/L	1.5	1.6	1.5
Fe	mg/L	1.00	0.89	0.16
Al	mg/L	0.60	0.51	0.19
As	mg/L	0.01	0.18	<0.01
Hg	μg/L	0.16	0.16	0.15
T-CO <sub>2</sub>	mg/L	37	45	43

緯度、経度、標高は携帯型GPSによる測定値である。

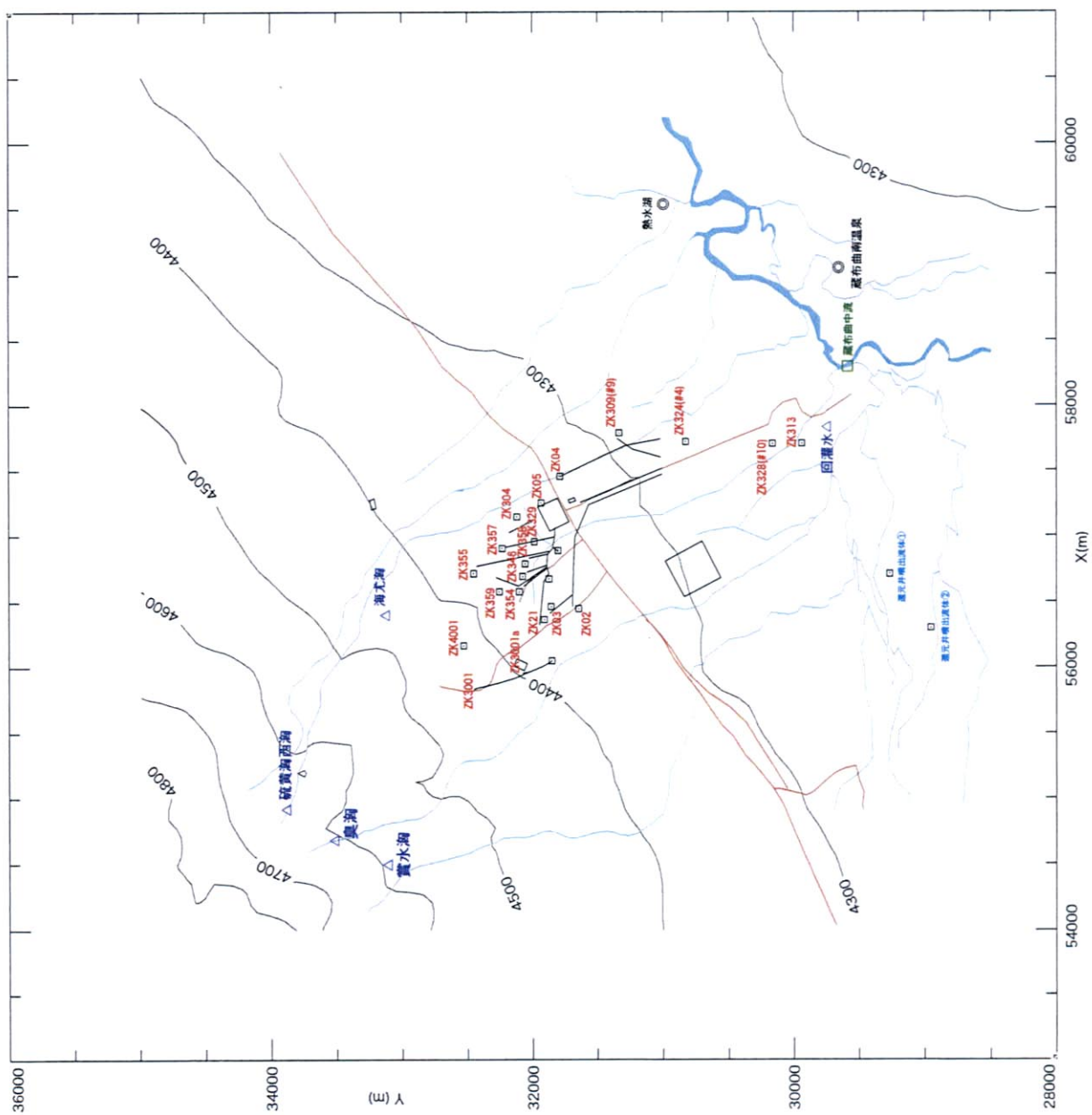
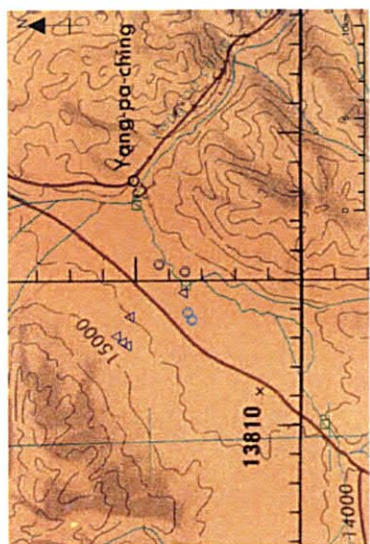


图 2-6-1 地化学试料采取地点位置图



凡例

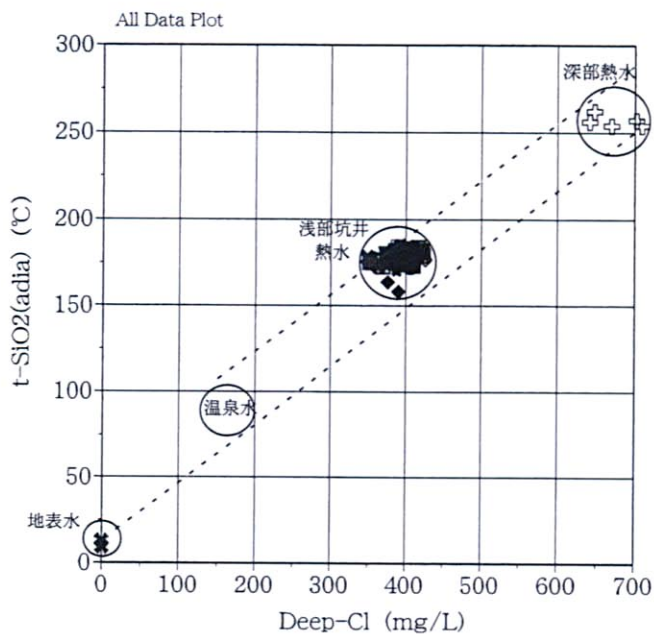
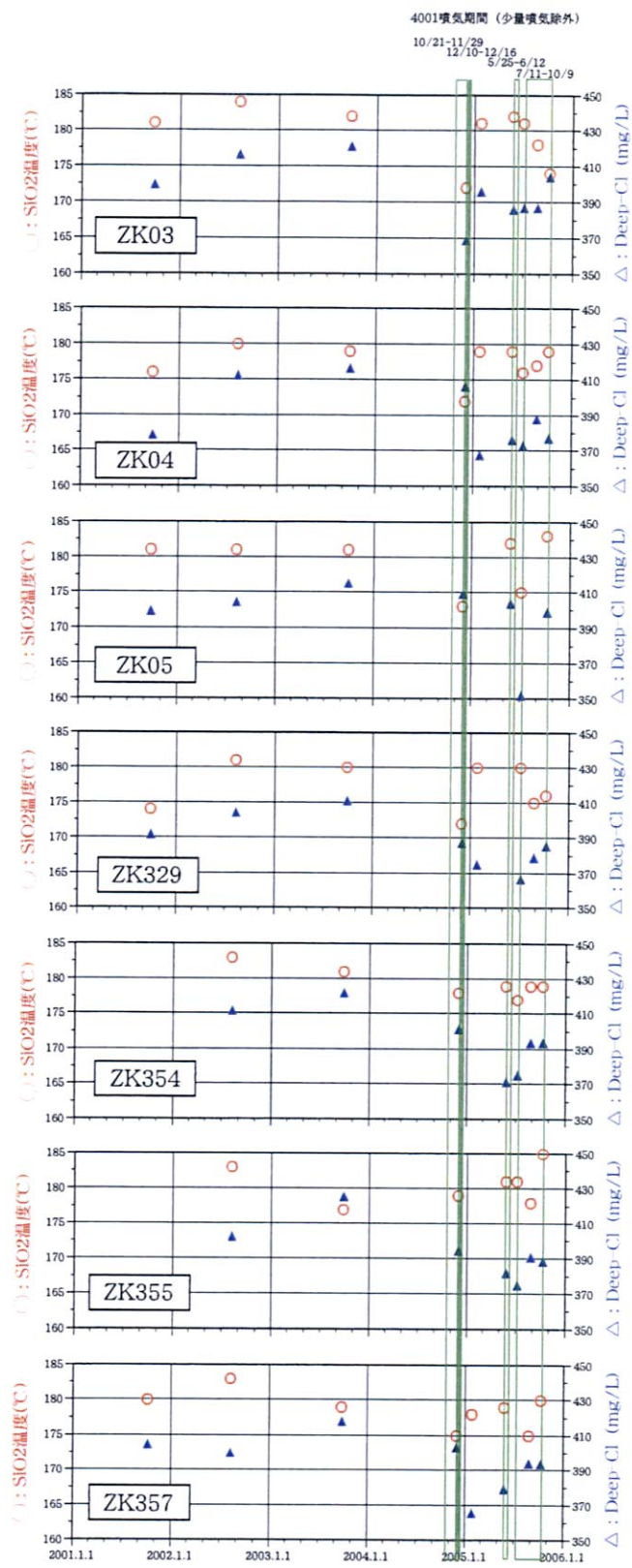
□	坑井取水	△	地表水
ZK02		△	泉水湖
ZK03		△	泉水湖
ZK04		△	硫酸湖西湖
ZK05		△	海元湖
ZK21		△	回灌水
ZK304			
ZK309(#9)			
ZK313			
ZK324(#4)			
ZK328(#10)			
ZK329			
ZK346			
ZK354			
ZK355			
ZK357			
ZK358			
ZK359			
ZK3001			
ZK3001a			
ZK4001			

□	埋藏河川水	△	埋藏水
□	崖布田上流	△	埋藏水湖
□	崖布田中流	△	埋藏水湖
□	崖布田下流	△	埋藏水湖

□	温泉水	○	埋藏井露出流体系1)
□	埋藏井露出流体系2)	○	埋藏井露出流体系2)
□	埋藏井露出流体系3)	○	埋藏水湖
○	埋藏水湖	○	崖布田埋藏水湖



混合モデル端成分

- ・4001深部熱水 (SiO<sub>2</sub>温度260℃、Cl濃度650mg/L:深部換算値)
- ・浅部熱水 (SiO<sub>2</sub>温度170-180℃、Cl濃度350-430mg/L:深部換算値)
- ・地表水 (温度10℃、Cl濃度0mg/L) : 直接貯留層には入らない
- ・温泉水 (温度80-100℃、Cl濃度150-200mg/L) : 実際に貯留層に流入

図の見方

- 二酸化硅素(SiO<sub>2</sub>)濃度: 地層温度に比例して濃度が高くなる。  
 流体温度の指標 羊八井はSiO<sub>2</sub>温度が流体温度に近い。
- Cl濃度: 地表水-低濃度、深部熱水-高濃度、反応性の無い物質。  
 深部熱水と地表水の混合指標  
 SiO<sub>2</sub>濃度の変化より敏感

- SiO<sub>2</sub>濃度 低下 → 流体温度低下、深部熱水割合減少
- Cl濃度 低下 → 深部熱水割合減少=地表水割合増加

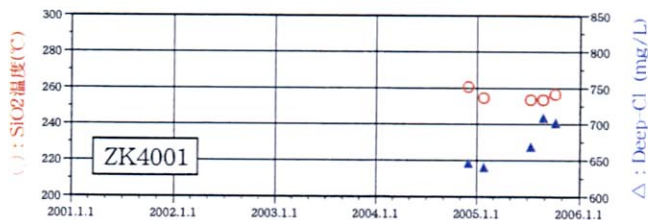


図 2-6-2 Cl-Ent混合モデル図



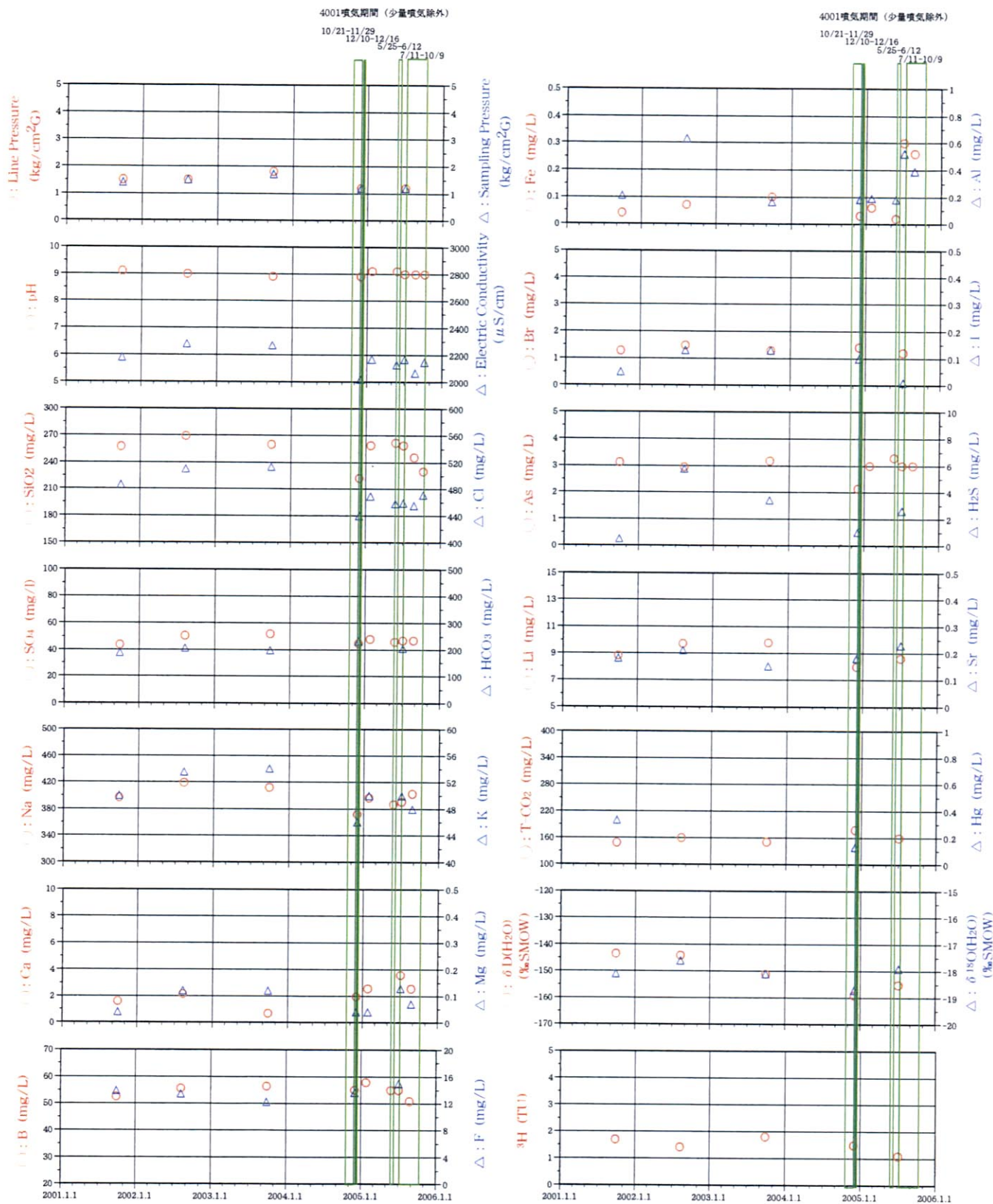


図2-6-3 熱水の化学性状経時変化図(1) - ZK03-

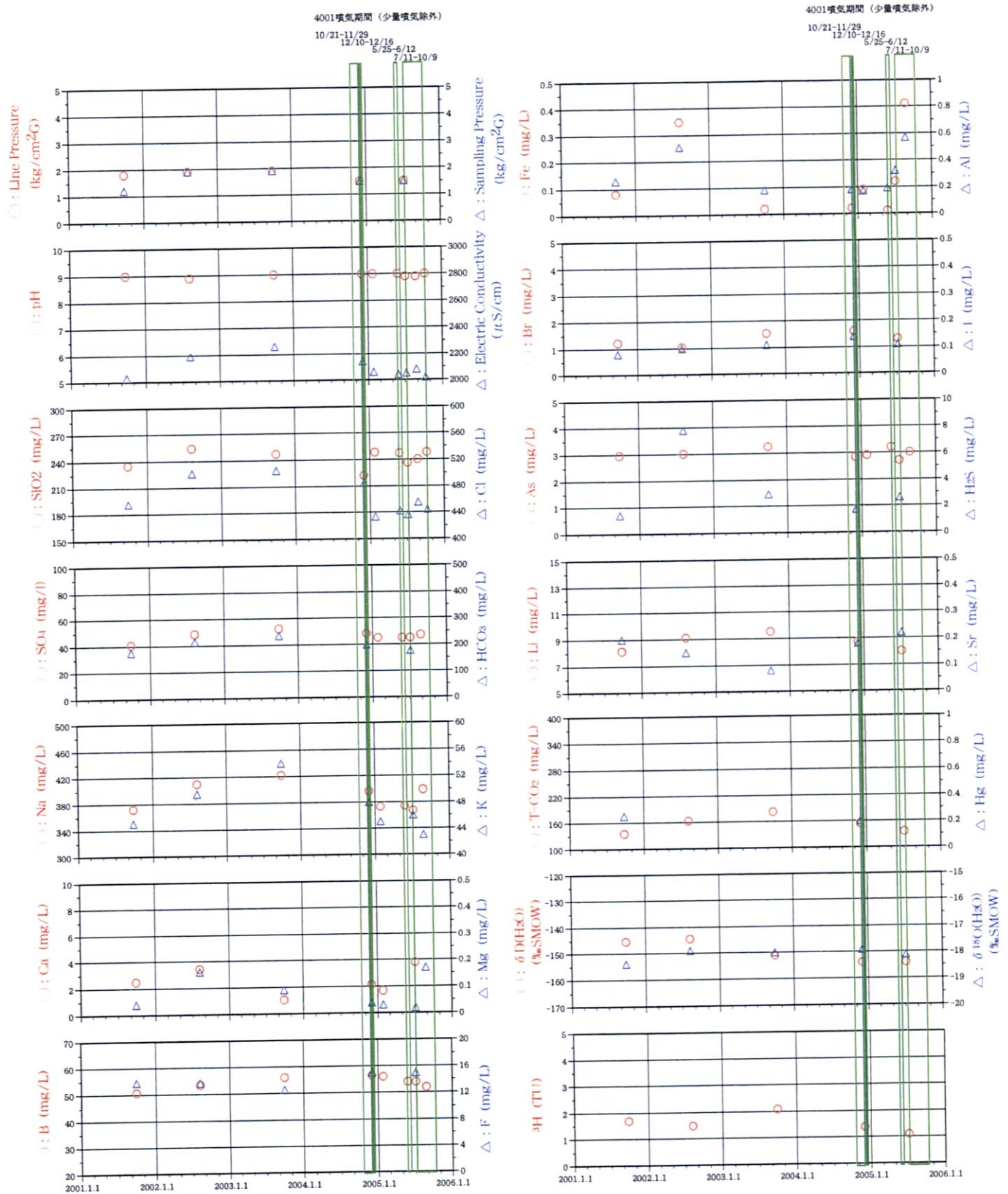


図 2-6-3 熱水の化学性状経時変化図 (2) -ZK04-

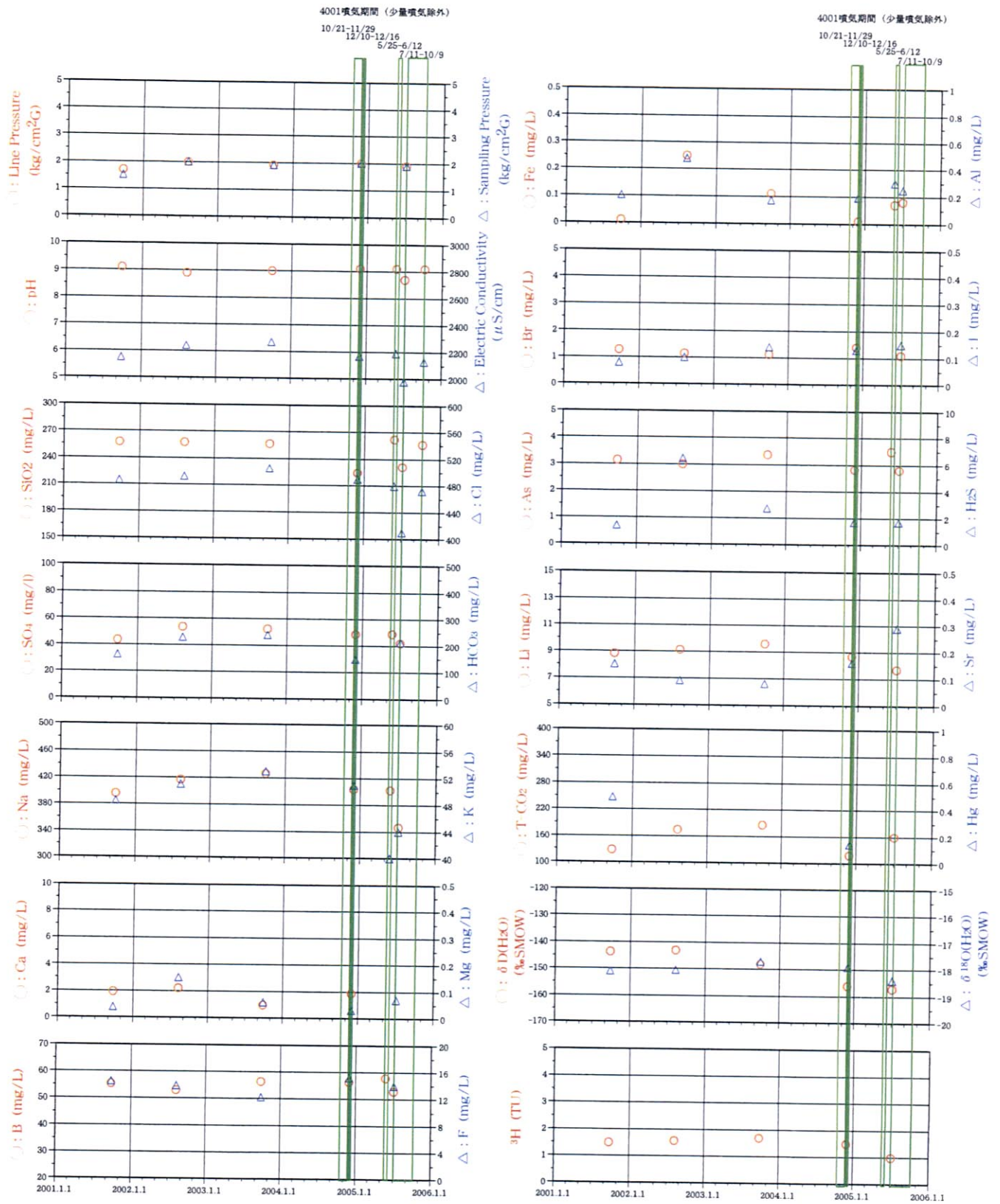


図 2-6-3 熱水の化学性状経時変化図 (3) -ZK05-

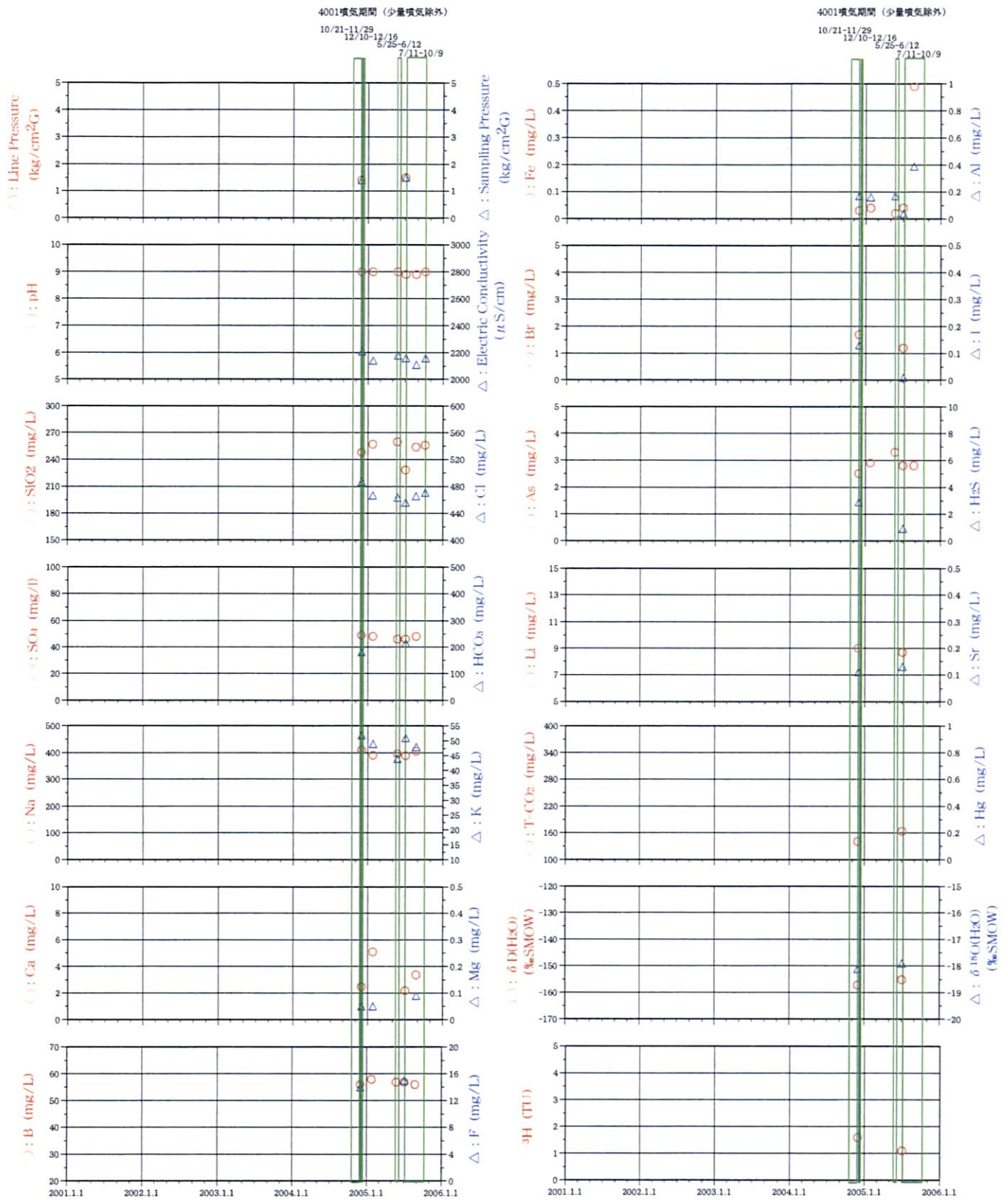


図 2-6-3 熱水の化学性状経時変化図 (4) -ZK21-

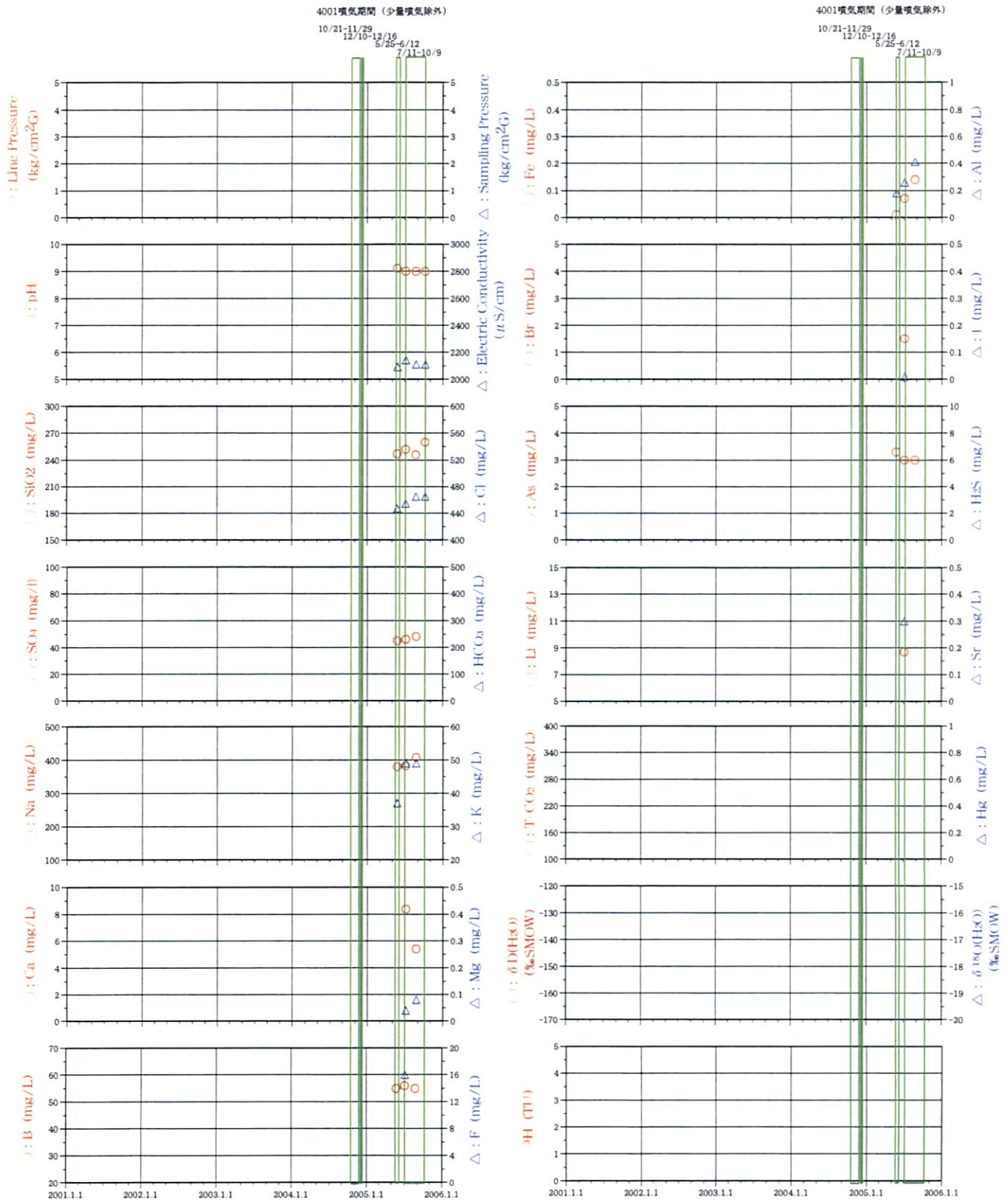


図 2-6-3 熱水の化学性状経時変化図 (5) - ZK304-

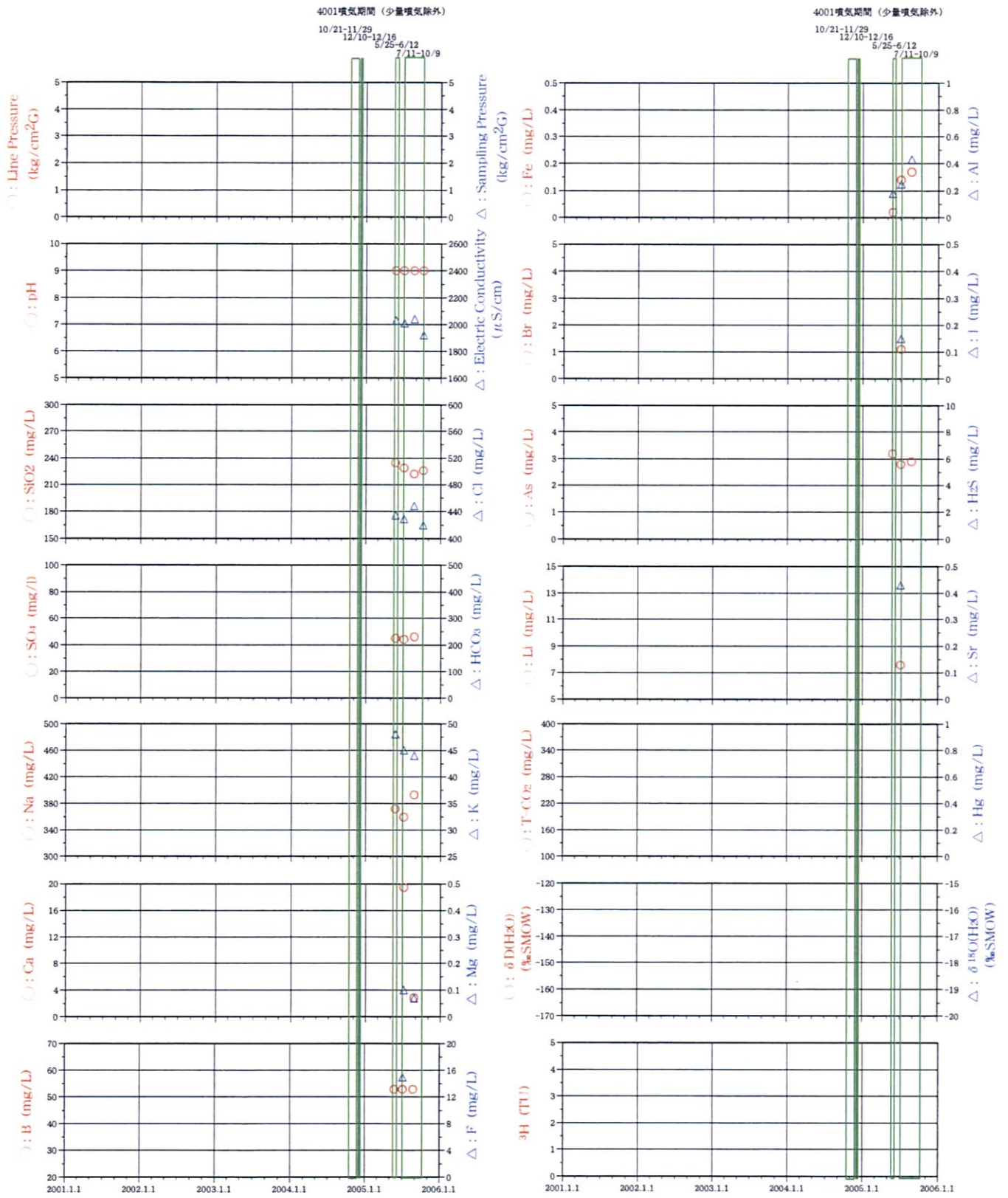


図 2-6-3 熱水の化学性状経時変化図 (6) -ZK309-