

図2-8-27 自然状態の温度分布断面図および熱水の流速ベクトル図(計算結果)

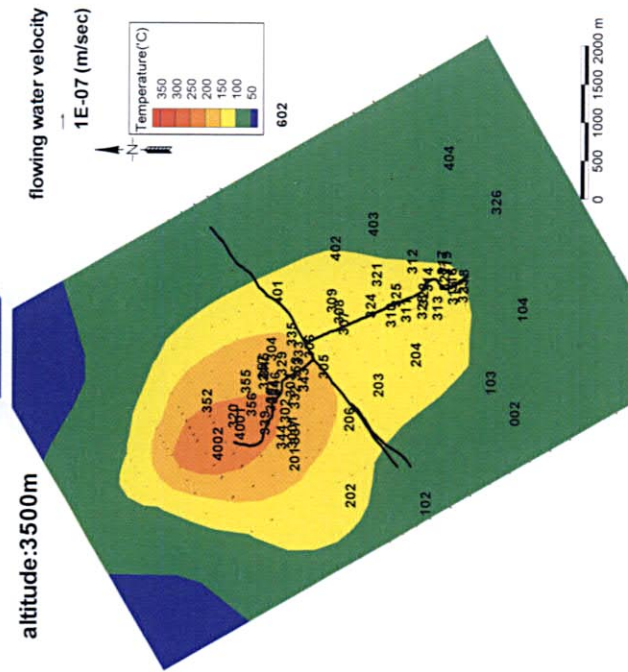
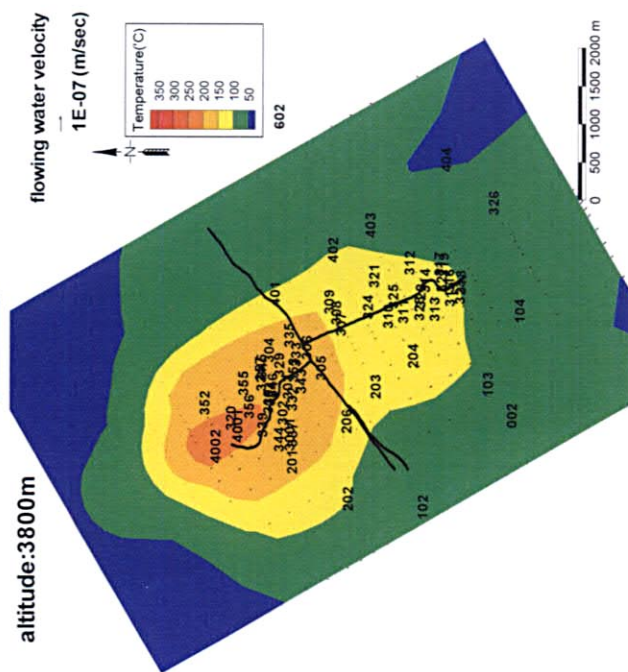
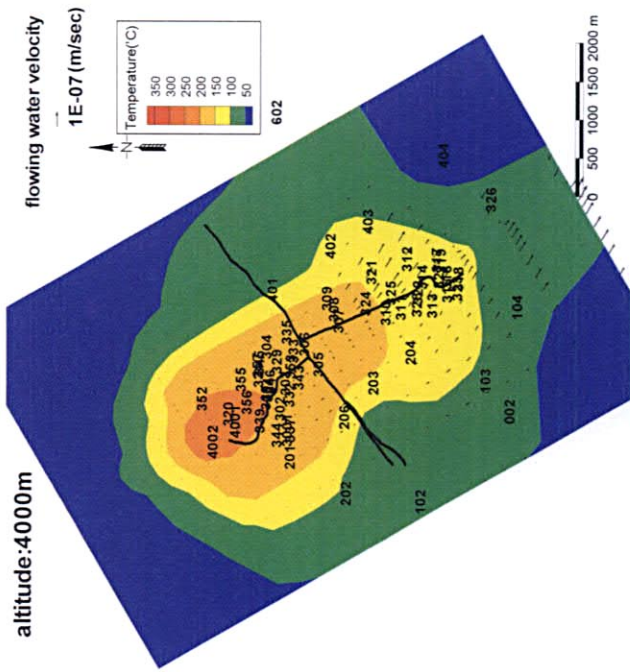
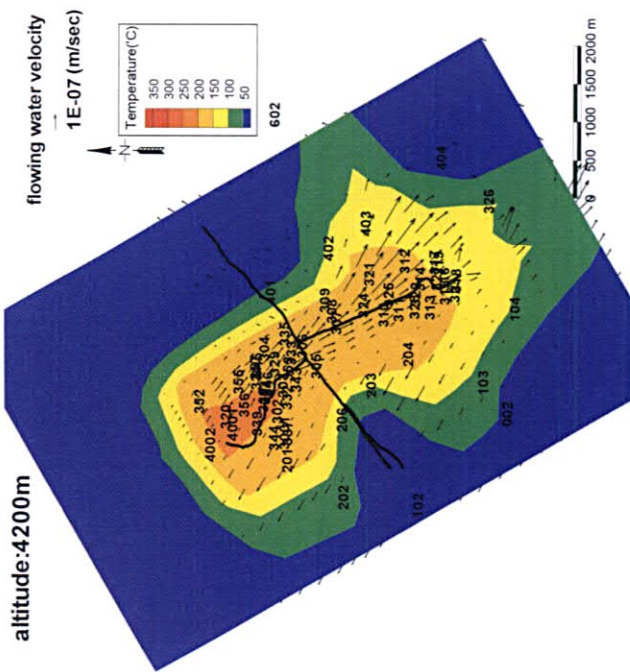


図2-8-28 自然状態の温度分布平面図および熱水の流速ベクトル図(計算結果)

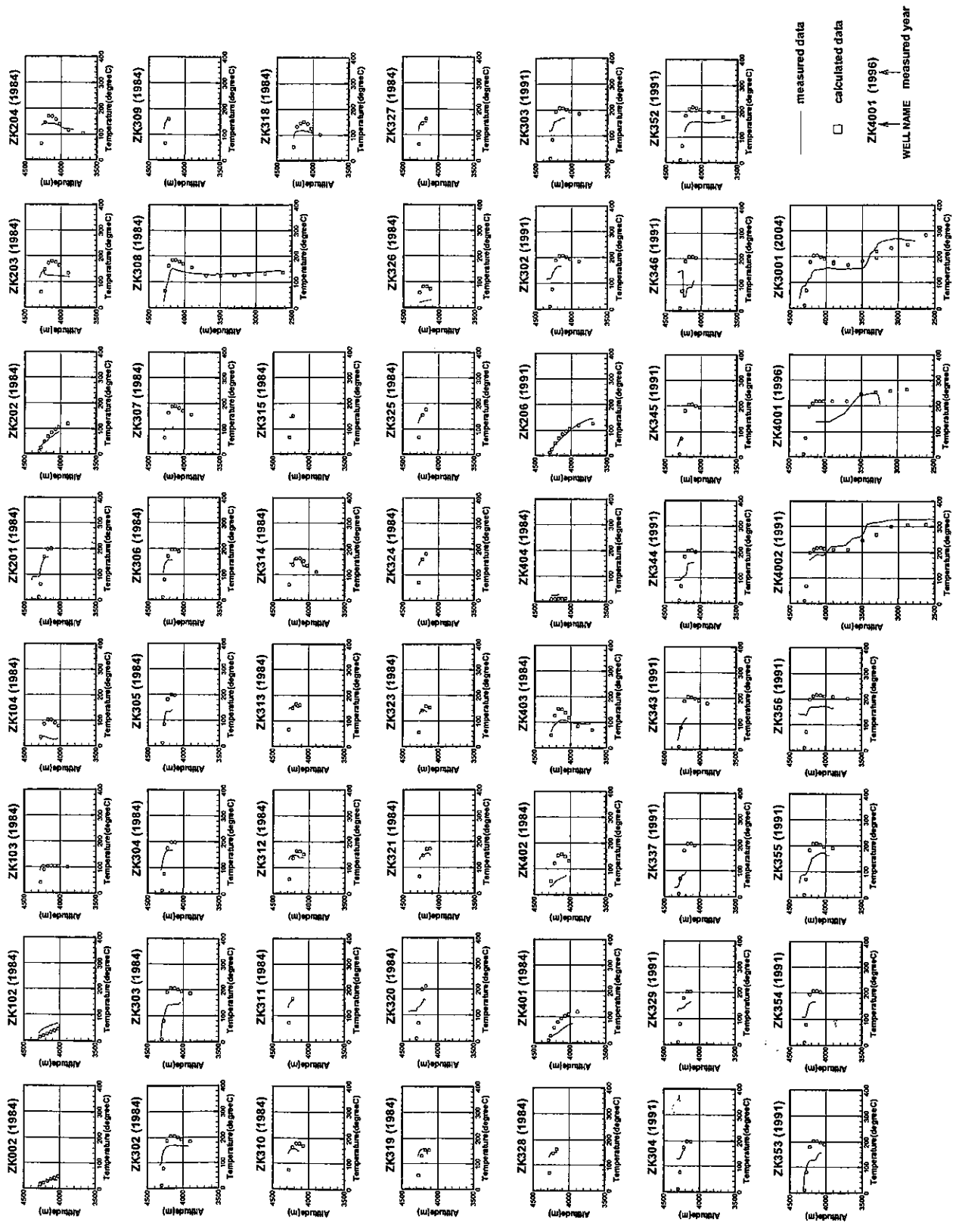


図2-8-29 坑井内温度分布(計算結果と測定結果の比較)

### (1) 蒸気流量・熱水流量

ヒストリーマッチングとは、発電所運転開始から現在までの生産・還元による貯留層の温度、圧力の変化を数値計算し、その計算結果と実際の温度・圧力等の経時的な測定結果が合うように、数値モデルを改善する作業である。

しかしながら、羊八井地熱発電所では経時的な蒸気流量を測定していないため、数値モデルに入力すべき生産量のデータが存在しない。そこで、ここでは実データである発電出力から蒸気流量を算出することとした。発電出力から各生産井の噴気流量を算出する方法の概念図を図2-8-30に示す。初めに、各坑井で測定された蒸気流量と発電出力の関係から、蒸気流量と発電出力の関係を近似的に求めた(図2-8-31)。次に、この蒸気流量と発電出力の関係の近似式を発電出力に適用して、1号発電所と2号発電所の蒸気流量をそれぞれ算出した。

1号発電所と2号発電所のそれぞれの年平均の発電出力の経時変化と算出した実績の蒸気流量の経時変化をそれぞれ図2-8-32、33に示す。本図の蒸気流量が実績の発電出力を満たすのに必要な蒸気流量と考える。従って、発電所運転開始から現在までの各時点において、タービンに合流していた各生産井の蒸気流量を足し合わせた総蒸気流量が、その時点で必要とされる蒸気流量を満たす必要がある。数値計算ではこの蒸気流量を満たすよう、各坑井の噴気流量(蒸気流量+熱水流量)を推定した。流入点からセパレータまで等エンタルピーと仮定した場合、1本の坑井の噴気流量を設定すれば汽水分離後の蒸気流量が算出できる。

この手法を全ての生産井について実施し、それらの生産井の蒸気流量の合計が上記の必要蒸気流量を満たすよう、発電所担当者の情報を元に数値シミュレーション作業者が各坑井の噴気流量を設定した。推定した実績の蒸気流量と熱水流量を図2-8-34～37に示す。これは時間に対する各坑井の蒸気流量(熱水流量)を積み重ねたグラフである。積み重ね面の上限が総蒸気流量(総熱水流量)を示している。2005年現在の蒸気流量は1号機が58t/h、2号機が109t/h、合わせて167t/hと算出された。

### (2) 流入点

本地域の坑井の多くは、地質や逸泥情報が少なく、噴気中の検層が実施されていないため、流入点の位置を特定するのが困難である。本解析では、地質柱状図などの坑井情報がある坑井についてはその情報から流入点を推定し、坑井情報のない坑井については周囲の坑井とほぼ同じ深度とした。なお、同一の坑井名で「老」がつく坑井と「老」が付かない坑井がある。これは「老」がつく坑井は元孔であり、「老」が付かない坑井名の坑井は「老」坑井の坑口から10m以内に新たに掘削された坑井である。本調査では「老」が付かない坑井の情報が得られなかったため、「老」がつく坑井と付かない坑井の流入点を同一とした。推定した生産井の流入点一覧を表2-8-2に示す。

#### (ii) 計算結果

浅部井の流入点が多数存在する第3層(海拔4,150～4,200m)の貯留層温度平面分布及び熱水の流速ベクトル分布の経時変化を図2-8-38に示す。本図より、南部の温度が生産に伴い経年的に低下していることがわかる。また、南部の流体の流動方向は

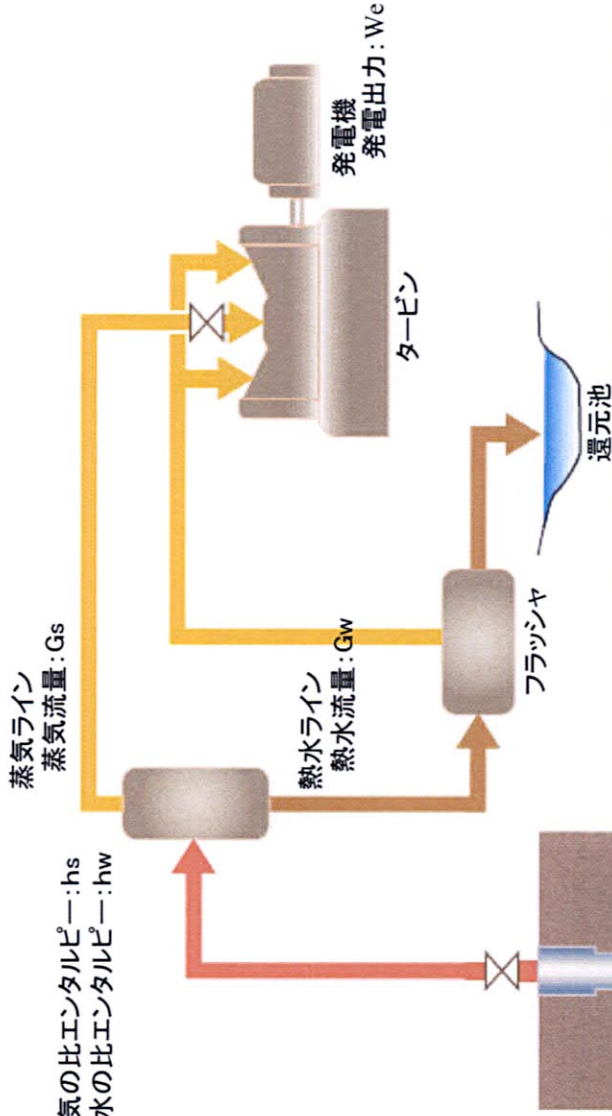
汽水分離器

ライン圧:P

ライン圧PIに対する飽和蒸気の比エンタルピー:hs

ライン圧PIに対する飽和熱水の比エンタルピー:hw

汽水分離後の乾き度:x



発電出力から各坑井の噴気流量(蒸気流量+熱水流量)算出の手順

①発電出力と蒸気量の関係式: $(\text{蒸気流量})=0.013 \times (\text{発電出力})+0.858$ からタービンに流入した総蒸気流量(一次)を算出する。

②発電所担当者の情報を基に貯留層評価解析者が①の総蒸気流量を各坑井に分配する。

③流入点~タービン入り口間を等エンタルピー変化と仮定,汽水分離器の圧力を設定し, 次の式を用いて熱水流量を算出する。

$$G_t \cdot H_w = G_s \cdot h_s + G_w \cdot h_w$$

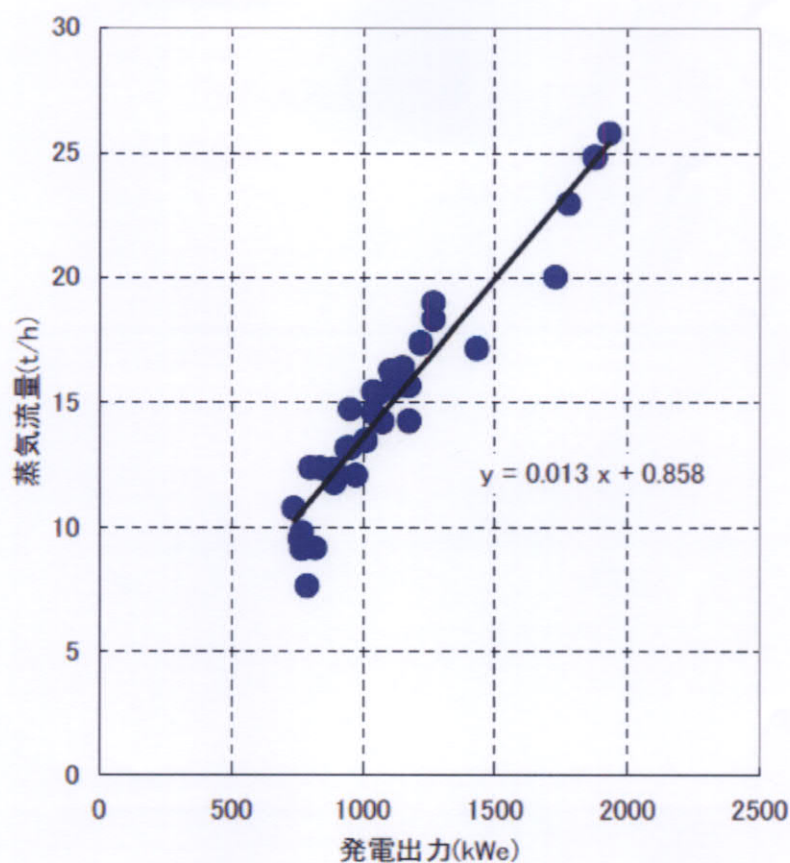
Gs: 汽水分離器後の蒸気流量  
 Gw: 汽水分離器後の熱水流量  
 Gt: 噴気流量(蒸気流量+熱水流量)  
 Hw: 流入点温度の熱水の比エンタルピー  
 hs: 汽水分離器ライン圧に対する飽和蒸気の比エンタルピー  
 hw: 汽水分離器ライン圧に対する飽和熱水の比エンタルピー

噴気流量(蒸気流量+熱水流量): Gt

流入点温度: Te

流入点温度Teの熱水の比エンタルピーHw

図2-8-30 各坑井の噴気流量の計算方法概念図



Well No.	Max.T in well (°C)	Work T at WH (°C)	Work P at WH (bar)	Lip P (bar)	Total M.flow (kg/s)	Steam M.flow (kg/s)	Steam ratio (%)	Power (kWe)
ZK203	141	125	2.3	0.766	23.8	2.5	10.73	818.5
ZK204	147	122	2.3	0.716	21.2	2.5	11.95	767.3
ZK302	172	137	3.6	1.066	25.7	4.4	17.23	1124.2
ZK303	167	134	3.2	1.066	26.9	4.3	15.70	1109.9
ZK304	172	133	3.8	1.066	25.7	4.5	12.24	1109.9
ZK309	160	146	4.6	1.916	49.0	7.2	14.63	1948.8
ZK310	160	125	2.9	0.836	22.4	3.3	14.63	890.2
ZK311	157	147	4.7	1.716	45.6	6.4	14.00	1775.6
ZK312	149	138	3.7	1.116	32.0	4.0	12.36	1174.8
ZK313	161	131	3.3	0.966	25.2	3.7	14.85	1009.8
ZK314	160	131	3.5	1.106	28.9	4.4	15.09	1164.7
ZK315	152	127	3.1	1.856	20.1	2.7	13.17	761.2
ZK319	161	130	3.3	1.116	29.3	4.4	14.84	1174.8
ZK321	155	120	2.1	0.716	20.0	2.7	13.61	767.3
ZK324	160	147	4.3	1.816	47.1	6.9	14.66	1874.8
ZK325	155	143	4.1	1.666	45.0	5.6	13.60	1725.9
ZK327	152	116	2.6	0.916	25.9	3.4	12.98	971.9
ZK328	152	138	3.5	1.370	38.1	4.8	12.98	1430.4

図 2-8-31 発電出力と蒸気流量の関係

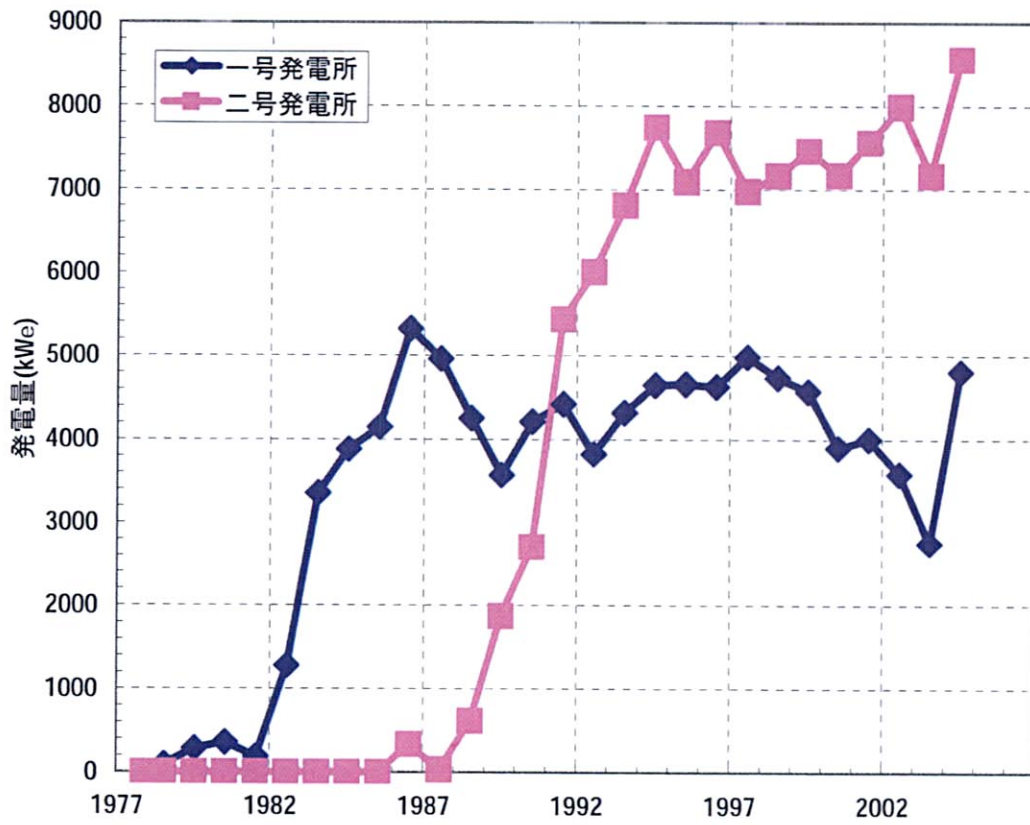


図2-8-32 年平均発電出力の経時変化

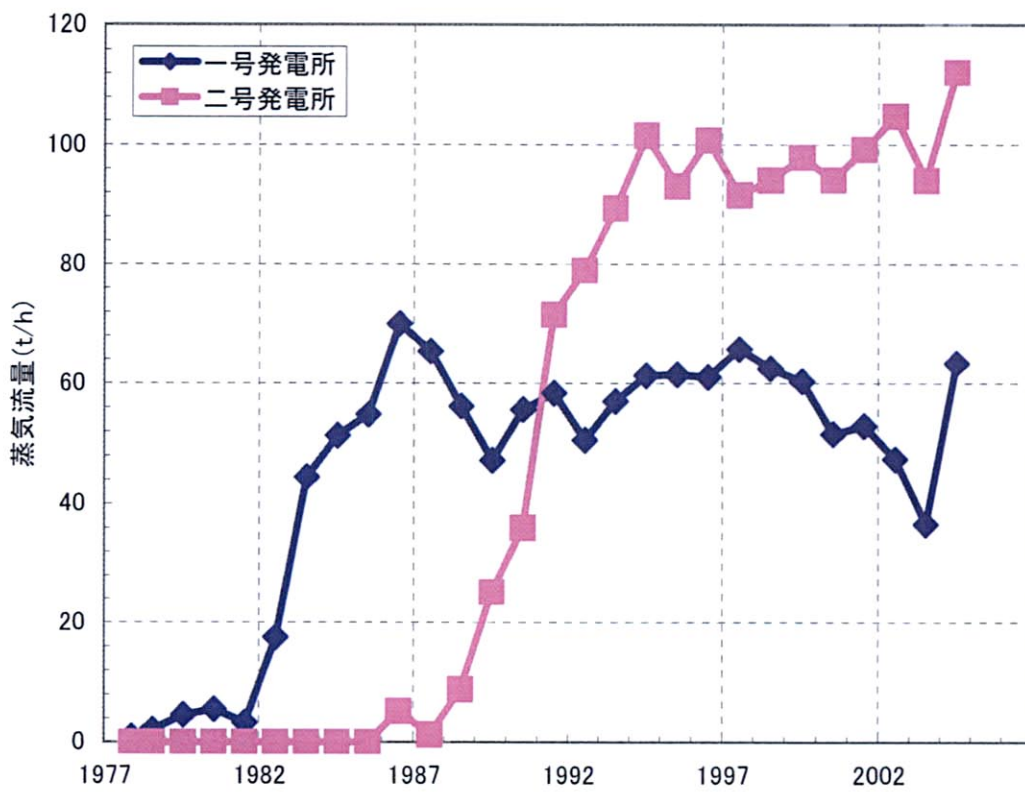


図2-8-33 発電出力から推定した蒸気流量



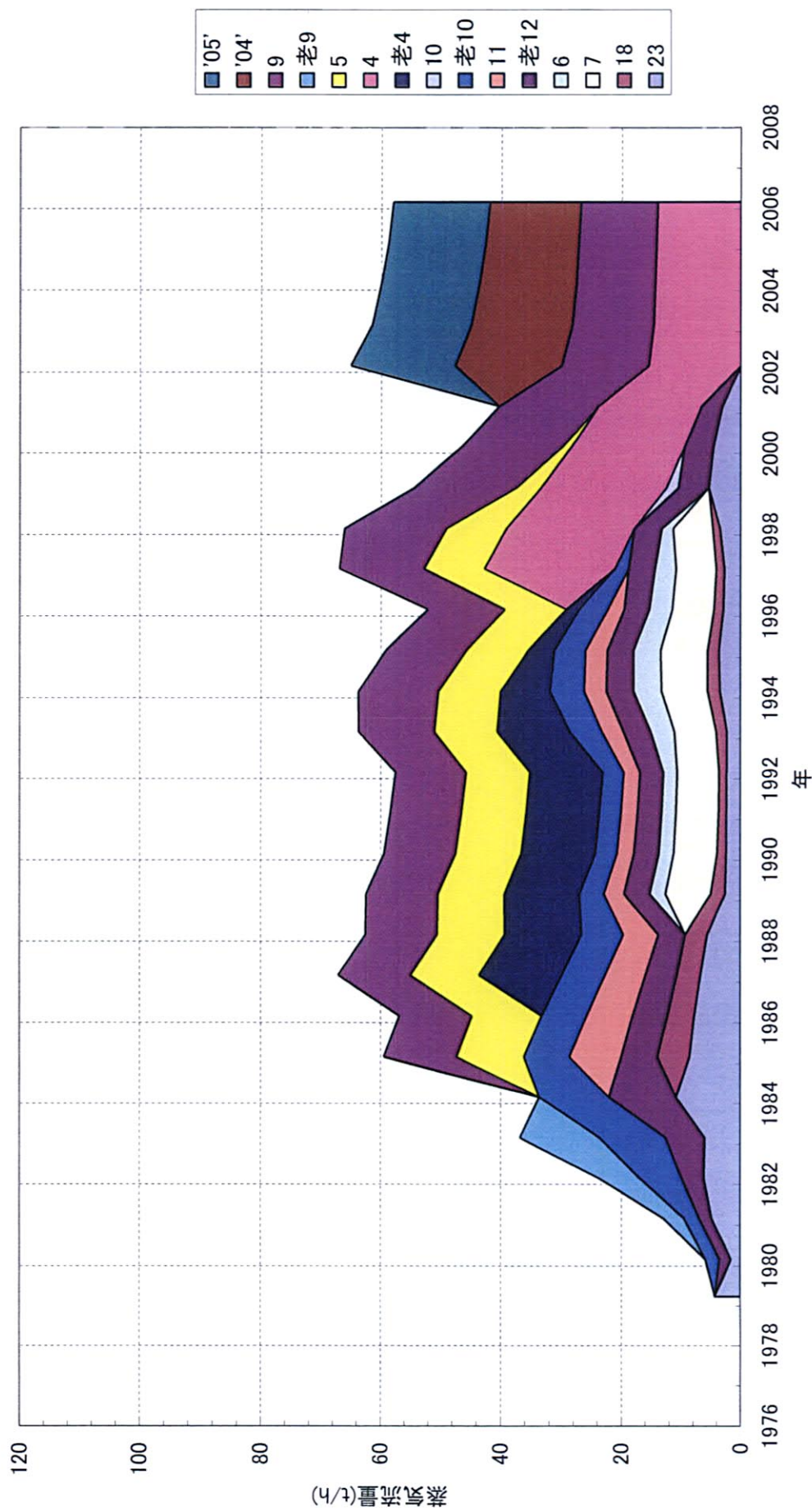


図2-8-34 推定した1号発電所の蒸気流量

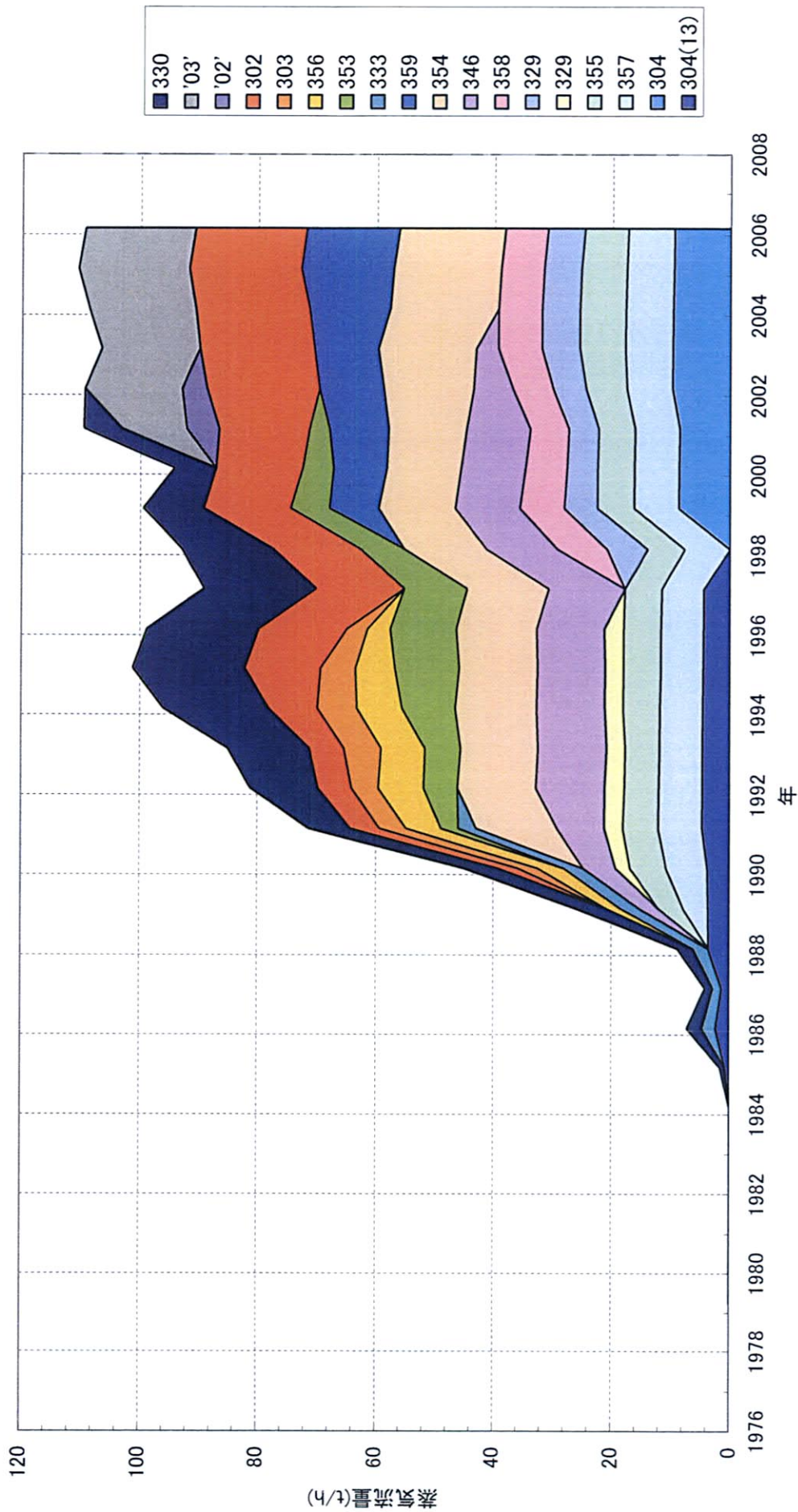


図2-8-35 推定した2号発電所の蒸気流量

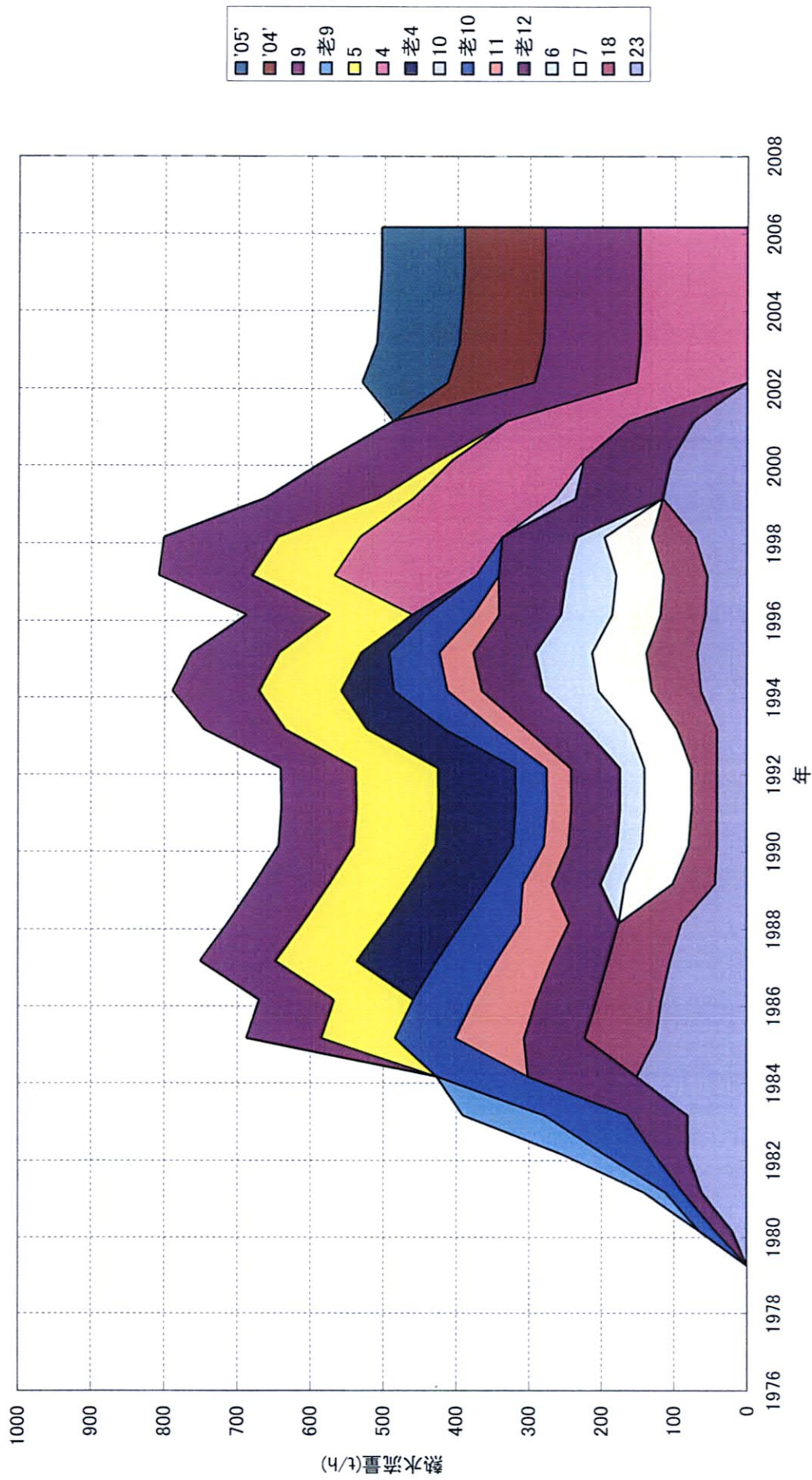


図2-8-36 推定した1号機発電所の熱水流量

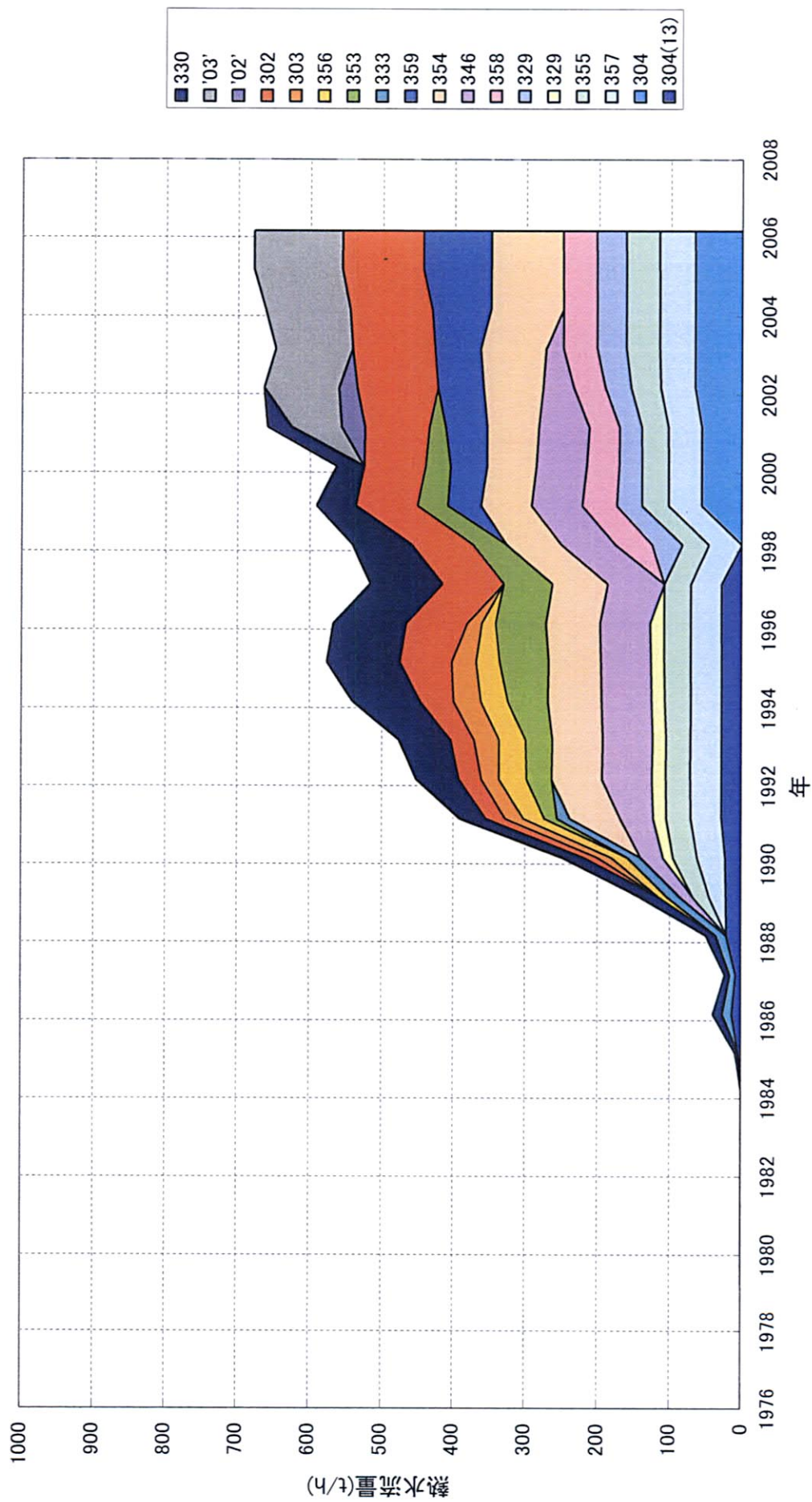


図2-8-37 推定した2号発電所の熱水流量

表 2-8-2 流入点位置の設定

No.	生産番号	坑井名	生産開始年月	生産停止年月	坑口海拔(m)	流入点深度(m)	流入点海拔(m)	数値モデルの層番号(K)	流入点設定の根拠/備考
1	23	313	1979年4月	2001年10月	4,283	77.93	4,127	4	坑底付近を流入点とした
2	18	319	1984年5月	1998年10月	4,284	133~156.93	4,127~4,151	4	地質柱状図に133~156.93mに硫化物充填き裂発達の記事より
3	7	311	1988年5月	1998年12月	4,286	81~82	4,284~4,285	3	地質柱状図に81~82m 初め逸泥、後に噴気の記載より
4	6	314	1988年6月	1998年9月	4,284	100~180	4,104~4,184	4	温度測定結果の高温部より
5	老12	12	1979年5月	2001年10月	不明	不明	不明	4	周囲の生産井の流入点と同じ深さ
6	11	328	1984年10月	1996年7月	4,284	108	4,176	3	逸泥記録なし、坑底付近を流入点とした
7	老10	322	1980年3月	1997年8月	4,283	108	4,176	3	地質柱状図なし、坑底付近を流入点とした
8	10	322	1998年10月	1999年10月	不明	不明	不明	3	老10と同じ深さとした
9	老4	324	1986年8月	1996年6月	4,290	90	4,200	3	地質柱状図に掘削中90mで無加重の記載あり
10	4	324	1996年12月	不明	不明	不明	不明	3	老4と同じ深さとした。
11	5	325	1984年9月	2000年4月	4,285	95	4,190	3	地質柱状図に深さ95mで全量逸泥の記載あり
12	老9	309	1980年8月	1983年10月	4,298	203~214	4,119~4,130	5	地質柱状図に深さ203~214mに直立的き裂の記載あり
13	9	309	1984年9月	不明	不明	不明	不明	5	老9と同じ深さとした
14	"04"	"04"	2001年8月	不明	不明	不明	不明	4	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
15	"05"	"05"	2001年9月	不明	不明	不明	不明	5	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
16	老13	304	1985年8月	1997年10月	4,333	143	4,190	3	深さ143m以下逸泥
17	13	304	1988年9月	不明	不明	不明	不明	3	老13と同じ深さとした
18	357	357	1988年10月	不明	4,345	不明	不明	3	地質柱状図なし、近隣のZK304と同じ深さとした
19	355	355	1988年10月	不明	4,366	不明	不明	3	地質柱状図なし、近隣のZK304と同じ深さとした
20	老329	329	1989年8月	1997年3月	4,328	不明	不明	3	地質柱状図なし、近隣のZK303と同じ深さとした
21	329	329	1997年11月	不明	不明	不明	不明	3	老329と同じ深さとした
22	358	358	1997年10月	不明	不明	不明	不明	3	地質柱状図なし、近隣のZK329と同じ深さとした
23	346	346	1988年6月	2003年10月	4,335	不明	不明	3	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
24	354	354	1990年10月	不明	4,338	不明	不明	4	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
25	359	359	1988年9月	不明	不明	不明	不明	4	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
26	333	333	1985年8月	1992年3月	4,317	不明	不明	4	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
27	353	353	1990年8月	2001年10月	4,322	不明	不明	5	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
28	356	356	1988年10月	1996年6月	4,381	不明	不明	5	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
29	303	303	1989年9月	1995年9月	4,333	266~277	4,056~4,057	5	地質柱状図に深さ266~277mで逸泥の記載より
30	302	302	1989年9月	不明	4,353	300	4053	5	電気検層で深さ300m付近で大きく変化する
31	"02"	"02"	2000年8月	2002年9月	不明	不明	不明	4	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
32	"03"	"03"	2000年8月	不明	不明	不明	不明	5	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした
33	330	330	1984年9月	2001年11月	4,358	不明	不明	5	地質柱状図なし、周囲の坑井とほぼ同じ深さとした

生産停止年月が空欄の坑井は現在稼働中を意味する

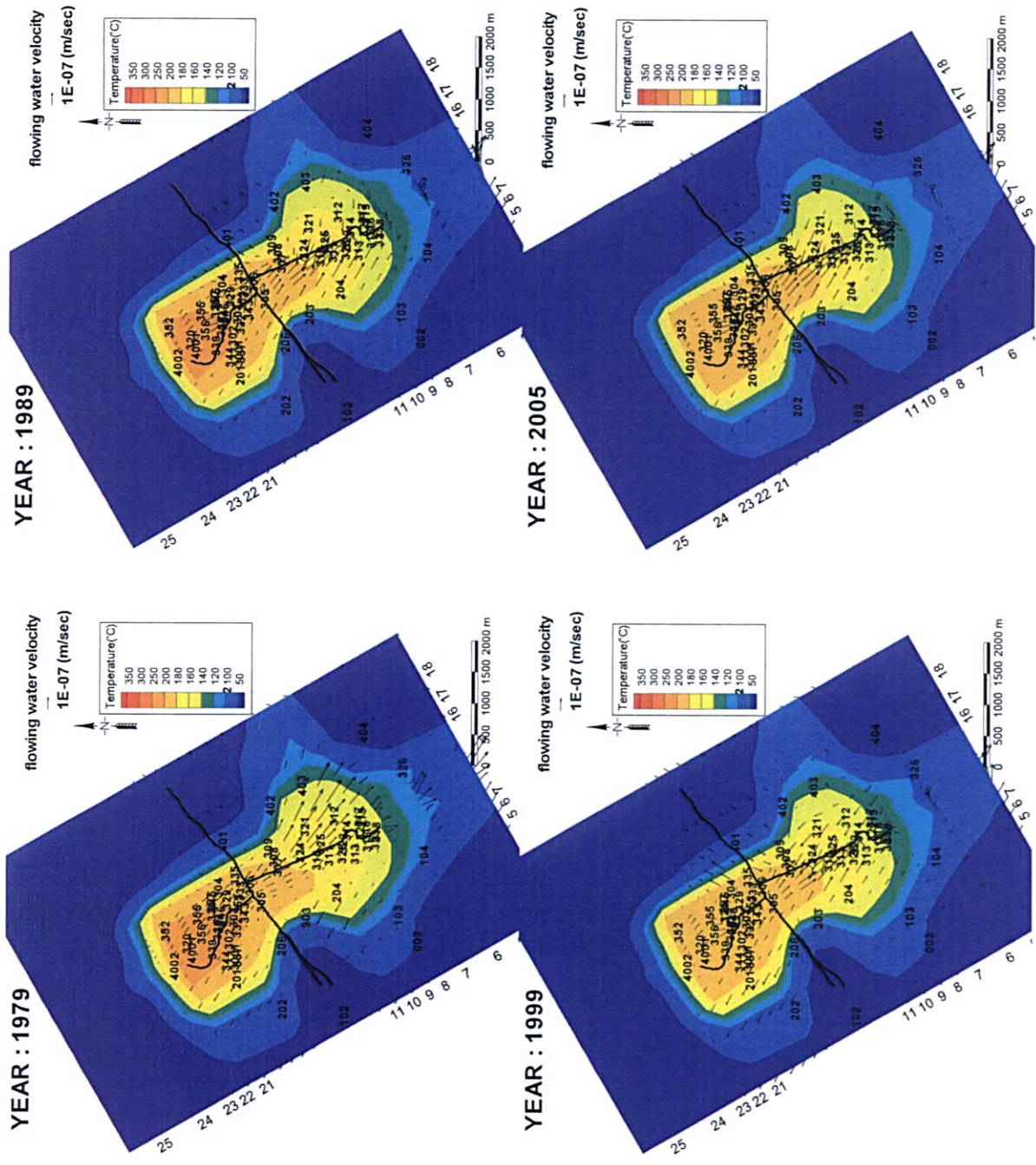


図2-8-38 ヒストリーマッピングにおける貯留層温度分布の経時変化(第3層: 海拔4150 ~ 4200m)