

# 卷 末 資 料

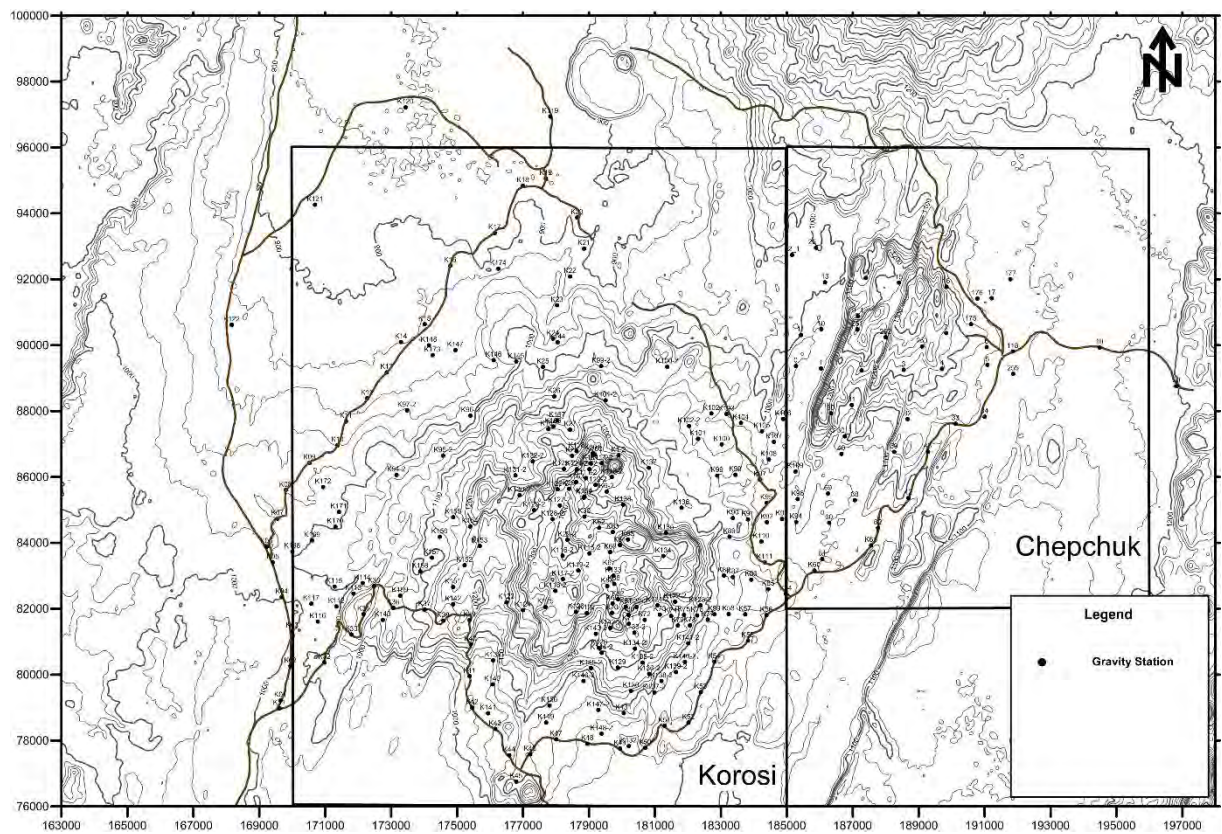
7. 重力探査データ解析方法と結果

## 重力探査データ解析方法と結果

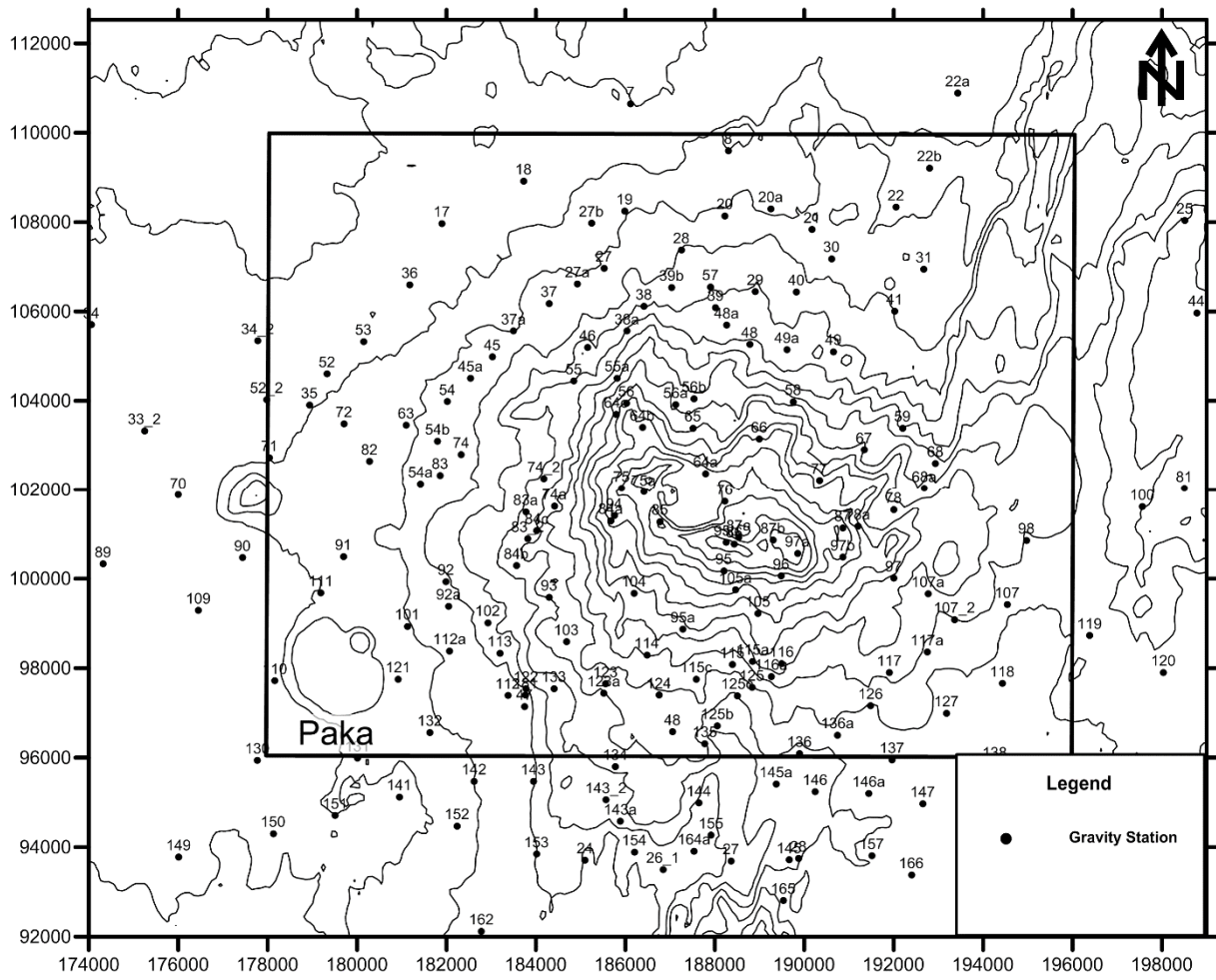
今回の重力探査データの解析手法に関して以下に記述する。

### 1. 重力探査測点位置

コロシ、チェプチャク地域及びパカ地域の重力探査測点位置図をそれぞれ第 Gr-01 図、第 Gr-02 図に示す。また、コロシ、チェプチャク地域及びパカ地域の重力探査測点座標をそれぞれ第 Gr-01 表、第 Gr-02 表に示す



第 Gr-01 図 コロシ及びチェプチャク地域における重力探査測点位置図



第 Gr-02 図 パカ地域における重力探査測点位置図

第 Gr-01 表(1) コロシ及びチェプチャク地域における重力探査測点座標

Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation	Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation
	E_utm	N_utm	Lat	Lon			E_utm	N_utm	Lat	Lon	
K01	169645	79217	0.7157	36.0323	986	K59	182803	81835	0.7395	36.1504	1075
K02	169947	80257	0.7251	36.0350	984	K60	185837	83161	0.7515	36.1776	1040
K03	170001	81324	0.7348	36.0355	1000	K61	187556	83922	0.7584	36.1930	1053
K04	169684	82355	0.7441	36.0326	993	K62	179306	84460	0.7632	36.1190	1404
K05	169415	83407	0.7536	36.0302	978	K63	179723	84327	0.7620	36.1227	1376
K06	169223	83885	0.7579	36.0285	973	K64	179937	83928	0.7584	36.1246	1378
K07	169556	84737	0.7656	36.0315	974	K65	180185	84104	0.7599	36.1269	1436
K08	169800	85598	0.7734	36.0336	961	K66	179652	83719	0.7565	36.1221	1341
K09	170526	86432	0.7809	36.0402	967	K67	179616	83223	0.7520	36.1218	1324
K10	171376	86966	0.7858	36.0478	952	K68	179763	82758	0.7478	36.1231	1326
K11	171634	87687	0.7923	36.0501	937	K69	179712	82160	0.7424	36.1226	1328
K12	172273	88387	0.7986	36.0558	925	K70	179701	81871	0.7398	36.1225	1300
K13	172865	89177	0.8057	36.0611	919	K71	180208	81543	0.7368	36.1271	1247
K14	173302	90096	0.8140	36.0650	912	K72	180687	81661	0.7379	36.1314	1216
K15	174020	90635	0.8189	36.0715	916	K73	181150	81827	0.7394	36.1355	1215
K16	174793	92415	0.8350	36.0784	907	K74	181490	81781	0.7390	36.1386	1198
K17	176141	93407	0.8440	36.0905	879	K75	181886	81813	0.7393	36.1421	1171
K18	176998	94838	0.8569	36.0982	875	K76	182283	81800	0.7391	36.1457	1113
K19	177692	95056	0.8589	36.1044	875	K77	182603	81670	0.7380	36.1486	1072
K20	178640	93870	0.8482	36.1129	883	K78	182060	81493	0.7364	36.1437	1135
K21	178850	92933	0.8397	36.1148	900	K79	181695	81491	0.7363	36.1404	1172
K22	178431	92087	0.8321	36.1111	907	K80	180195	81813	0.7392	36.1270	1273
K23	178034	91209	0.8241	36.1075	919	K81	180118	82064	0.7415	36.1263	1301
K24	177913	90194	0.8150	36.1064	958	K82	179881	82288	0.7435	36.1241	1355
K25	177606	89339	0.8072	36.1037	983	K83	179556	82690	0.7472	36.1212	1320
K26	177948	88447	0.7992	36.1068	1061	K84	184977	82450	0.7450	36.1699	1069
K27	178429	87440	0.7901	36.1111	1126	K85	184442	82598	0.7464	36.1651	1054
K28	178484	86641	0.7829	36.1116	1222	K86	183921	82884	0.7490	36.1604	1057
K29	178396	85643	0.7738	36.1108	1329	K87	183369	82961	0.7496	36.1554	1056
K30	178862	84796	0.7662	36.1150	1360	K88	183096	83008	0.7501	36.1530	1059
K31	169611	78974	0.7135	36.0320	984	K89	183260	84182	0.7607	36.1545	1097
K32	170977	80369	0.7261	36.0442	999	K90	183362	84756	0.7659	36.1554	1088
K33	171796	81214	0.7338	36.0516	1047	K91	183819	84713	0.7655	36.1595	1078
K34	172165	81832	0.7394	36.0549	1077	K92	184401	84625	0.7647	36.1647	1033
K35	172487	82685	0.7471	36.0578	1064	K93	184856	84730	0.7656	36.1688	1031
K36	173063	82026	0.7411	36.0630	1056	K94	185284	84636	0.7648	36.1726	1029
K37	174016	81979	0.7407	36.0715	1118	K95	184391	85213	0.7700	36.1646	1021
K38	174584	81634	0.7376	36.0766	1128	K96	185334	85325	0.7710	36.1731	1018
K39	175382	81656	0.7378	36.0838	1169	K97	184192	85921	0.7764	36.1628	1020
K40	175411	80918	0.7311	36.0840	1111	K98	183443	86069	0.7777	36.1561	1058
K41	175380	79949	0.7224	36.0838	1026	K99	182888	86040	0.7775	36.1511	1066
K42	175459	78998	0.7138	36.0845	1015	K100	183026	86987	0.7860	36.1523	1046
K43	176156	78352	0.7080	36.0907	1036	K101	182308	87159	0.7876	36.1459	1037
K44	176582	77556	0.7008	36.0946	1042	K102	182712	87927	0.7945	36.1495	1043
K45	176798	76752	0.6935	36.0965	1095	K103	183175	87910	0.7944	36.1537	1036
K46	177216	77583	0.7010	36.1003	1079	K104	183610	87641	0.7919	36.1576	1006
K47	178002	78039	0.7051	36.1073	1064	K105	184249	87389	0.7897	36.1633	1001
K48	178957	77907	0.7040	36.1159	1029	K106	184892	87762	0.7930	36.1691	1017
K49	179942	77757	0.7026	36.1247	1018	K107	184613	87068	0.7868	36.1666	1017
K50	180709	77778	0.7028	36.1316	1027	K108	184455	86534	0.7819	36.1652	1019
K51	181293	78449	0.7089	36.1368	1043	K109	185265	86170	0.7787	36.1725	1019
K52	182023	78547	0.7097	36.1434	1046	K110	184228	84039	0.7594	36.1632	1027
K53	182392	79469	0.7181	36.1467	1067	K111	184331	83409	0.7537	36.1641	1029
K54	182804	80391	0.7264	36.1504	1056	K112	171342	82070	0.7415	36.0475	986
K55	183821	81035	0.7322	36.1595	1051	K113	171857	82461	0.7451	36.0521	991
K56	184383	81806	0.7392	36.1646	1054	K114	172139	82777	0.7479	36.0547	994
K57	183735	81828	0.7394	36.1587	1068	K115	171280	82670	0.7469	36.0469	1000
K58	183234	81840	0.7395	36.1542	1069	K116	170776	81608	0.7373	36.0424	997

第 Gr-01 表(2) コロシ及びチェプチャク地域における重力探査測点座標

Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation	Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation
	E_utm	N_utm	Lat	Lon			E_utm	N_utm	Lat	Lon	
K117	170578	82153	0.7423	36.0406	990	K124-2	178631	86232	0.7792	36.1129	1284
K118	178627	86789	0.7842	36.1129	1171	K125-2	178238	86247	0.7793	36.1094	1238
K119	177829	96938	0.8759	36.1056	887	K126-2	178046	85624	0.7737	36.1077	1336
K120	173438	97221	0.8784	36.0662	879	K127-2	178115	85130	0.7692	36.1083	1325
K121	170694	94259	0.8516	36.0416	890	K128-2	177897	84722	0.7655	36.1063	1312
K122	168167	90617	0.8187	36.0189	927	K129-2	177335	84992	0.7680	36.1013	1285
K123	176495	82200	0.7427	36.0938	1155	K130-2	176895	85448	0.7721	36.0973	1213
K124	176996	81960	0.7406	36.0982	1248	K131-2	176768	86046	0.7775	36.0962	1122
K125	177687	82055	0.7414	36.1045	1300	K132-2	177293	86473	0.7813	36.1009	1152
K126	178610	81905	0.7401	36.1127	1363	K133-2	180378	81276	0.7344	36.1286	1233
K127	178941	81867	0.7397	36.1157	1310	K134-2	180390	80787	0.7300	36.1287	1218
K128	179314	80811	0.7302	36.1191	1191	K135-2	180620	80368	0.7262	36.1308	1188
K129	179879	80213	0.7248	36.1241	1200	K136-2	180824	80020	0.7231	36.1326	1160
K130	180278	79510	0.7184	36.1277	1170	K137-2	180985	79460	0.7180	36.1341	1074
K131	180054	78836	0.7123	36.1257	1101	K138-2	181198	79807	0.7211	36.1360	1082
K132	180208	77833	0.7033	36.1271	1008	K139-2	181637	80080	0.7236	36.1399	1067
K133	179741	83002	0.7500	36.1229	1342	K140-2	181911	80382	0.7263	36.1424	1068
K134	181256	83601	0.7554	36.1365	1336	K141-2	182009	80949	0.7315	36.1433	1093
K135	181333	84306	0.7618	36.1372	1167	K142-2	179644	81420	0.7357	36.1220	1286
K136	181803	85063	0.7686	36.1414	1130	K143-2	179210	81241	0.7341	36.1181	1202
K137	180815	86275	0.7796	36.1325	1164	K144-2	179388	80662	0.7288	36.1197	1192
K138	180035	85162	0.7695	36.1255	1266	K145-2	179060	80196	0.7246	36.1168	1108
K139	176093	80434	0.7268	36.0902	1051	K146-2	178837	79807	0.7211	36.1148	1066
K140	176071	79704	0.7202	36.0900	1033	K147-2	179282	78924	0.7131	36.1188	1042
K141	175941	78829	0.7123	36.0888	1031	K148-2	179382	78209	0.7067	36.1197	1027
K142	174884	82134	0.7421	36.0793	1171	K149	177699	78549	0.7097	36.1046	1074
K143	172748	81665	0.7379	36.0601	1042	K150	177801	79066	0.7144	36.1055	1088
K144	178050	90089	0.8140	36.1077	943	K151	174878	82662	0.7469	36.0792	1170
K145	176792	89502	0.8087	36.0964	995	K152	175226	83319	0.7528	36.0824	1165
K146	176111	89544	0.8091	36.0903	968	K153	175685	83902	0.7581	36.0865	1142
K147	174949	89848	0.8118	36.0798	924	K154	175399	84498	0.7635	36.0839	1162
K148	174149	89998	0.8132	36.0726	915	K155	174881	84780	0.7660	36.0793	1125
K97-2	173480	88023	0.7953	36.0667	956	K156	174473	84182	0.7606	36.0756	1109
K96-2	175408	87864	0.7939	36.0840	977	K157	174234	83550	0.7549	36.0735	1090
K95-2	174580	86647	0.7829	36.0765	1059	K158	173884	83135	0.7512	36.0703	1094
K94-2	173162	86061	0.7776	36.0638	1021	K159	173274	82399	0.7445	36.0648	1071
K201	179114	86721	0.7836	36.1172	1271	K160	179167	86675	0.7832	36.1177	1297
K101-2	179506	88328	0.7981	36.1207	1093	K161	179051	86410	0.7808	36.1167	1315
K102-2	182036	87546	0.7911	36.1435	1063	K162	179011	86237	0.7792	36.1163	1317
K100-2	181375	89346	0.8073	36.1375	1018	K163	178609	85846	0.7757	36.1127	1343
K99-2	179372	89364	0.8075	36.1195	1014	K164	178863	85402	0.7717	36.1150	1348
K111-2	178907	85964	0.7768	36.1154	1313	K165	177772	87457	0.7902	36.1052	1161
K112-2	179202	85758	0.7749	36.1180	1301	K166	177918	87533	0.7909	36.1065	1147
K6-2	179539	85555	0.7731	36.1211	1247	K167	178037	87715	0.7926	36.1076	1123
K113-2	179692	86001	0.7771	36.1224	1265	K168	170002	83741	0.7566	36.0355	987
K1-2	179897	86654	0.7830	36.1243	1281	K169	170609	84072	0.7596	36.0409	992
K114-2	179384	86419	0.7809	36.1197	1307	K170	171308	84489	0.7634	36.0472	989
K202	178848	85368	0.7714	36.1149	1375	K171	171417	84937	0.7674	36.0482	986
K115-2	179017	83679	0.7561	36.1164	1327	K172	170940	85695	0.7743	36.0439	985
K29-2	178346	84091	0.7598	36.1104	1292	K173	174255	89694	0.8104	36.0736	920
K116-2	178199	83606	0.7554	36.1090	1288	K174	176253	92323	0.8342	36.0915	905
K117-2	178213	82899	0.7490	36.1092	1348	175	190585	90637	0.8191	36.2202	1184
K118-2	177983	82542	0.7458	36.1071	1363	176	190778	91415	0.8261	36.2219	1157
K119-2	178675	83159	0.7514	36.1133	1328	177	191784	92004	0.8314	36.2309	1154
K120-2	180433	82054	0.7414	36.1291	1283	61	186078	83507	0.7546	36.1798	1037
K121-2	181081	82104	0.7419	36.1349	1215	62	187766	84450	0.7631	36.1949	1050
K122-2	181613	82213	0.7429	36.1397	1139	42	188691	85360	0.7714	36.2032	1080
K123-2	182380	82101	0.7419	36.1466	1091	43	189280	86772	0.7841	36.2085	1113

第 Gr-01 表(3) コロシ及びチェプチャク地域における重力探査測点座標

Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation
	E_utm	N_utm	Lat	Lon	
33	190122	87614	0.7917	36.2160	1149
34	191003	87829	0.7937	36.2240	1144
6	191063	89946	0.8128	36.2245	1169
5	191087	89398	0.8079	36.2247	1155
255	191865	89131	0.8055	36.2317	1145
19	194487	89930	0.8127	36.2552	1169
20	196820	88762	0.8021	36.2762	1198
118	191854	89805	0.8115	36.2316	1149
60	186284	84605	0.7645	36.1816	1076
69	186254	85496	0.7726	36.1813	1037
38	187066	85298	0.7708	36.1886	1038
40	186657	86702	0.7835	36.1849	1050
30_1	186763	87235	0.7883	36.1859	1082
30	186342	87926	0.7945	36.1821	1164
31	186970	88185	0.7969	36.1877	1118
17	191217	91424	0.8262	36.2258	1153
16	189840	91776	0.8293	36.2135	1198
15	188405	91895	0.8304	36.2006	1208
14	187398	92044	0.8317	36.1916	1120
13	186162	91910	0.8305	36.1805	993
12_1	185163	92741	0.8380	36.1715	986
25_1	185891	92956	0.8400	36.1780	997
7	189832	90370	0.8166	36.2134	1234
253	189109	89961	0.8129	36.2069	1241
4	189707	89284	0.8068	36.2123	1227
3	188546	89249	0.8065	36.2019	1218
32	188666	87755	0.7930	36.2030	1146
39	188256	86764	0.7840	36.1993	1152
2	187265	89235	0.8064	36.1904	1170
1	186038	89295	0.8069	36.1794	1015
0	185275	89368	0.8075	36.1725	1019
11	185428	90307	0.8160	36.1739	1021
10	186046	90482	0.8176	36.1794	1019
9_1	187159	90882	0.8212	36.1894	1164
251	187142	90478	0.8176	36.1893	1211
252	188000	90239	0.8154	36.1970	1184

第 Gr-02 表(1) パカ地域における重力探査測点座標

Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation	Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation
	E_utm	N_utm	Lat	Lon			E_utm	N_utm	Lat	Lon	
69	173721	101151	0.9139	36.0687	885	143	183943	95470	0.8627	36.1605	1012
89	174323	100328	0.9065	36.0741	884	135	187780	96313	0.8703	36.1950	1168
109	176454	99291	0.8972	36.0933	877	125	188832	97568	0.8817	36.2044	1198
110	178164	97718	0.8830	36.1086	877	125b	188058	96711	0.8739	36.1975	1112
130	177774	95941	0.8669	36.1051	877	125c	188503	97386	0.8800	36.2014	1142
121	180920	97754	0.8833	36.1334	916	116a	189264	97812	0.8839	36.2083	1266
112	183373	97388	0.8800	36.1554	968	116	189498	98102	0.8865	36.2104	1315
101	181125	98936	0.8940	36.1352	940	115a	188849	98150	0.8869	36.2045	1273
111	179192	99681	0.9007	36.1179	903	115	188392	98077	0.8863	36.2004	1209
51	173795	102193	0.9234	36.0694	872	115c	187586	97755	0.8834	36.1932	1232
70	176004	101878	0.9205	36.0892	876	95a	187288	98869	0.8934	36.1905	1318
122	183777	97541	0.8814	36.1590	988	75	185918	102033	0.9220	36.1782	1489
133	184403	97543	0.8814	36.1646	1071	75a	186412	101948	0.9212	36.1826	1528
123	185557	97646	0.8824	36.1750	1152	95b	188260	100809	0.9110	36.1992	1662
124	186753	97396	0.8801	36.1857	1156	95	188203	100175	0.9052	36.1987	1548
114	186482	98294	0.8882	36.1833	1229	105a	188464	99753	0.9014	36.2011	1428
104	186195	99671	0.9007	36.1807	1314	105	188966	99221	0.8966	36.2056	1403
94	185753	101410	0.9164	36.1767	1447	96	189489	100060	0.9042	36.2103	1504
85	186776	101277	0.9152	36.1859	1559	86	188439	100771	0.9106	36.2008	1659
76	188229	101736	0.9193	36.1990	1578	84a	185674	101297	0.9153	36.1760	1427
65	187512	103388	0.9343	36.1925	1357	64a	187799	102363	0.9250	36.1951	1470
57	187907	106550	0.9628	36.1960	1058	56a	187127	103912	0.9390	36.1891	1248
53	180144	105327	0.9517	36.1264	897	56b	187538	104046	0.9402	36.1927	1247
35	178936	103907	0.9389	36.1155	900	39	188019	106088	0.9587	36.1970	1061
28	187257	107377	0.9703	36.1902	1002	29	188906	106443	0.9619	36.2050	1047
19	185986	108247	0.9781	36.1788	948	40	189828	106436	0.9618	36.2133	1015
18	183725	108917	0.9842	36.1585	878	30	190612	107180	0.9685	36.2203	967
17	181898	107968	0.9756	36.1421	867	21	190175	107834	0.9744	36.2164	951
36	181182	106597	0.9632	36.1357	878	20a	189252	108298	0.9786	36.2081	942
7	186121	110647	0.9998	36.1800	848	20	188228	108140	0.9772	36.1989	964
8	188303	109601	0.9904	36.1996	926	64b	186382	103404	0.9344	36.1824	1384
72	179710	103485	0.9351	36.1225	909	64c	185793	103697	0.9370	36.1771	1338
82	180279	102640	0.9274	36.1276	923	56	186027	103944	0.9393	36.1792	1386
83	181859	102325	0.9246	36.1418	968	55a	185818	104508	0.9444	36.1773	1230
74	182331	102795	0.9289	36.1460	991	55	184849	104445	0.9438	36.1686	1093
63	181099	103454	0.9348	36.1349	938	46	185159	105196	0.9506	36.1714	1024
120	198034	97904	0.8848	36.2870	1213	38a	186037	105560	0.9539	36.1792	1104
119	196385	98727	0.8922	36.2722	1206	38	186416	106114	0.9589	36.1827	1066
107	194541	99420	0.8984	36.2556	1197	39b	187036	106538	0.9627	36.1882	978
98	194971	100857	0.9114	36.2595	1218	92	181988	99935	0.9030	36.1430	991
81	198497	102031	0.9221	36.2911	1305	92a	182049	99384	0.8980	36.1435	980
100	197561	101614	0.9183	36.2827	1310	91	179695	100491	0.9080	36.1224	906
44	198776	105970	0.9577	36.2936	1307	90	177441	100468	0.9078	36.1021	883
25	198510	108038	0.9764	36.2912	1303	54a	181421	102136	0.9229	36.1378	946
165	189533	92808	0.8387	36.2107	1182	54b	181802	103093	0.9315	36.1412	958
145	189664	93714	0.8468	36.2119	1147	54	182022	103981	0.9396	36.1432	962
166	192399	93379	0.8438	36.2365	1156	45a	182540	104508	0.9443	36.1479	975
108	172291	97633	0.8821	36.0559	869	45	183025	104982	0.9486	36.1522	975
32	170490	105827	0.9562	36.0397	854	37a	183501	105561	0.9539	36.1565	970
33	172171	105771	0.9557	36.0548	852	37	184296	106178	0.9594	36.1636	954
34	174060	105701	0.9550	36.0717	854	27a	184930	106616	0.9634	36.1693	973
52	179330	104602	0.9452	36.1191	891	27	185522	106965	0.9666	36.1746	941
71	178044	102724	0.9282	36.1075	896	27b	185242	107974	0.9757	36.1721	925
170	178061	91844	0.8299	36.1078	913	69_2	171759	102411	0.9253	36.0511	869
171	180008	91779	0.8293	36.1252	917	51_2	173359	103714	0.9371	36.0655	861
172	182103	91795	0.8295	36.1440	948	33_2	175246	103325	0.9336	36.0824	863
162	182783	92122	0.8324	36.1501	955	34_2	177781	105343	0.9518	36.1051	873
153	184015	93844	0.8480	36.1612	998	52_2	177978	104025	0.9399	36.1069	884

第 Gr-02 表(2) パカ地域における重力探査測点座標

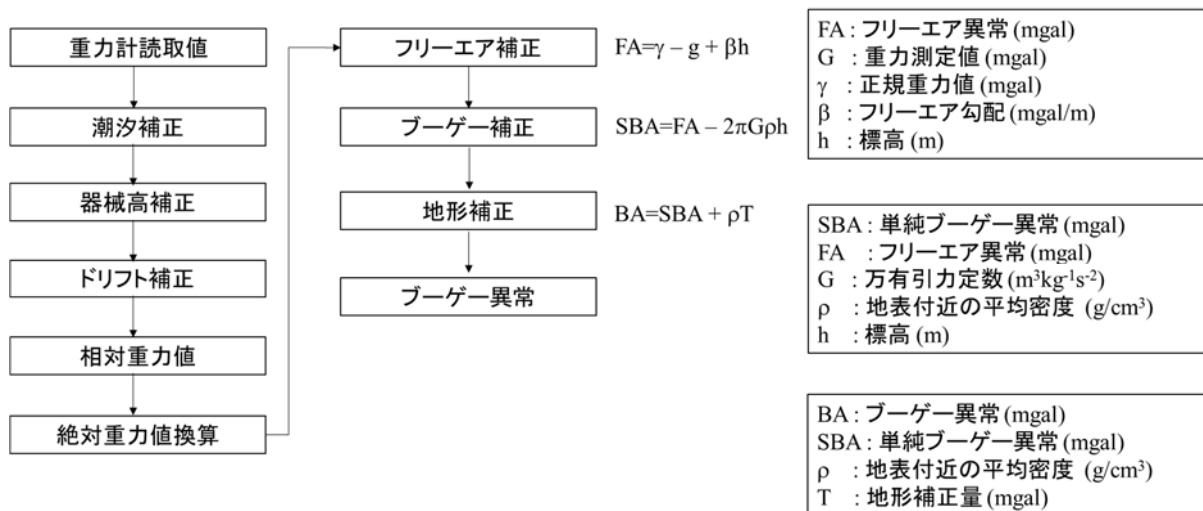
Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation	Station	UTM(ZONE37S)		WGS84		Elevation
	E_utm	N_utm	Lat	Lon			E_utm	N_utm	Lat	Lon	
48a	188268	105694	0.9551	36.1993	1063	102	182924	99015	0.8947	36.1514	1020
48	188782	105260	0.9512	36.2039	1107	113	183193	98334	0.8886	36.1538	998
49a	189614	105141	0.9501	36.2114	1062	150	178125	94303	0.8521	36.1083	886
49	190657	105099	0.9497	36.2207	1052	149	176011	93779	0.8473	36.0893	882
58	189753	103979	0.9396	36.2126	1264	151	179511	94706	0.8557	36.1207	884
66	188999	103142	0.9320	36.2059	1444	141	180944	95123	0.8595	36.1336	880
123a	185520	97442	0.8805	36.1747	1140	152	182239	94473	0.8537	36.1452	915
112a	182073	98386	0.8890	36.1437	956	142	182619	95475	0.8627	36.1486	953
87a	188539	100926	0.9120	36.2017	1652	132	181630	96560	0.8725	36.1398	939
87b	189302	100859	0.9114	36.2086	1580	131	180009	95988	0.8673	36.1252	893
87	190862	101133	0.9139	36.2226	1493	128	173754	98164	0.8870	36.0690	873
78a	191202	101172	0.9143	36.2257	1409	24	185102	93712	0.8468	36.1709	991
78	192001	101542	0.9176	36.2328	1360	26_1	186843	93499	0.8449	36.1866	1002
68a	192686	102030	0.9220	36.2390	1275	27	188365	93691	0.8466	36.2002	1058
68	192935	102595	0.9271	36.2412	1201	28	189874	93750	0.8472	36.2138	1143
59	192200	103386	0.9343	36.2346	1201	47	183747	97140	0.8778	36.1588	984
67	191342	102899	0.9299	36.2269	1210	48	187056	96576	0.8727	36.1885	1170
77	190339	102210	0.9236	36.2179	1405						
22a	193433	110888	1.0021	36.2456	872						
22b	192804	109211	0.9869	36.2400	927						
22	192053	108332	0.9790	36.2332	943						
31	192678	106945	0.9664	36.2389	970						
41	192025	106004	0.9579	36.2330	993						
97a	189850	100565	0.9088	36.2135	1669						
97b	190865	100478	0.9080	36.2226	1460						
97	192000	100010	0.9038	36.2328	1322						
107a	192769	99663	0.9006	36.2397	1280						
107_2	193362	99086	0.8954	36.2451	1246						
117a	192752	98359	0.8888	36.2396	1226						
117	191906	97901	0.8847	36.2320	1261						
126	191488	97160	0.8780	36.2282	1210						
136a	190749	96505	0.8721	36.2216	1188						
136	189897	96090	0.8683	36.2140	1153						
145a	189371	95410	0.8622	36.2093	1129						
144	187646	94987	0.8583	36.1938	1043						
155	187919	94266	0.8518	36.1962	1061						
164a	187538	93911	0.8486	36.1928	1048						
154	186202	93892	0.8484	36.1808	1004						
143a	185891	94577	0.8546	36.1780	1011						
143_2	185570	95055	0.8589	36.1751	1066						
134	185777	95799	0.8657	36.1770	1102						
146	190248	95240	0.8606	36.2171	1127						
157	191512	93805	0.8477	36.2285	1155						
147	192654	94968	0.8582	36.2387	1157						
138	194263	95849	0.8662	36.2532	1175						
118	194430	97656	0.8825	36.2547	1187						
127	193183	96993	0.8765	36.2435	1179						
137	191966	95951	0.8671	36.2325	1164						
146a	191447	95199	0.8603	36.2279	1159						
84b	183563	100290	0.9062	36.1571	1065						
84c	184020	101072	0.9133	36.1612	1151						
74a	184417	101622	0.9183	36.1647	1198						
74_2	184180	102249	0.9239	36.1626	1130						
83a	183774	101496	0.9171	36.1590	1103						
83_2	183820	100893	0.9117	36.1594	1139						
181	183771	97397	0.8801	36.1590	983						
103	184683	98588	0.8909	36.1672	1180						
93	184297	99585	0.8999	36.1637	1159						



## 2. データ処理及び解析方法

### (a) 重力データ処理

測定した重力値を用いてブーゲー異常を算出するための各種補正を行った。第 Gr-03 図に重力データ処理のフローを示す。



第 Gr-03 図 重力データ処理フロー

#### (i) 潮汐補正

月や太陽の起潮力の変化を補正するものである。潮汐補正では、起潮力による地球の弾性変形及び潮の満ち引きによる潮汐荷重の変化も含めた補正を行う。

#### (ii) 器械高補正

重力計のセンサー部と地表との間の高さの差異を補正するもので、地表付近の平均的な重力鉛直勾配 (0.3086 mgal/m) を用いて、次式により補正を行う。

$$V_{hi} = 0.3086 \times Hi$$

$V_{hi}$  : 器械高補正量 (mgal)

$Hi$  : 地表から重力計上面までの高さ (m)

#### (iii) ドリフト補正

ドリフト補正は、重力計の経時的なばねの伸びに起因する見かけ上の重力値の変化で、ほぼ時間に比例する。このばねの伸びの影響を補正するものがドリフト補正である。実際のドリフトにはばねの伸びのほかに、運搬時における機械的ショックによるもの (テア) や気温の急激な変化など不規則な要因も含まれている。通常のドリフト補正ではこれらの影響も含めて補正を行っている。測定は基準点を基点とする閉塞測定を行い、基点における閉塞差を重力計のドリフトとみなし、基点からの経過時間に応じて比例配分を行う。

#### (iv) フリーエア補正

フリーエア補正は、測点の高さの違いによる影響を補正するものである。重力の鉛直勾配は

必ずしも一定ではないが、ここでは平均的な値 0.3086mgal/m を用いて以下の式で補正を行った。

$$F=0.3086 \times h$$

F : フリーエア補正量 (mgal)

h : 測点の標高 (m)

(v) ブーゲー補正

ブーゲー補正は、ジオイド面と測点の間に挟まれた物質が重力値に及ぼす影響を補正する。この補正にはブーゲー平板の仮定密度が必要である。本調査での仮定密度は、後述する仮定密度の推定法に基づいて計算された  $2.4\text{g/cm}^3$  を用いた。ブーゲー補正量は以下の式で補正する。

$$B=2\pi G\rho h$$

B : ブーゲー補正量 (mgal)

G : 万有引力定数 ( $6.67 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ )

$\rho$  : 仮定密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

H : 測点の標高 (m)

(vi) 地形補正

地形補正は、ブーゲー面からの地形の起伏部分が測点の重力値に及ぼす影響を補正するもので、本調査では SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) の 90m メッシュ (標高) を用いて、測点を中心に半径 60km の円形範囲の地形の影響を計算した。この円形範囲は測点からの距離に応じて極近傍域 (測点が位置する 500m まで)、近傍域 (4km まで)、中間域 (4~16km)、遠方域 (16~60km) の 4 つのエリアに分けて、最後にこれらの影響を足し合わせるにより補正值を算出した。

(vii) ブーゲー異常の算出

以上の補正量を計算した後、次式を用いてブーゲー異常を算出した。

$$\Delta B = g_{\text{obs}} - \gamma + \beta h - 2\pi G \rho_B h + \rho_T T$$

$\Delta B$  : ブーゲー異常 (mgal)

$g_{\text{obs}}$  : 重力測定値 (mgal)

$\gamma$  : 正規重力値 (mgal)

$\beta$  : 地表付近のフリーエア勾配 (mgal/m)

h : 測点の標高 (m)

G : 万有引力定数 ( $6.67 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ )

$\rho_B$  : ブーゲー補正に用いる仮定密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_T$  : 地形補正に用いる仮定密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

T : 地形補正量 (mgal)

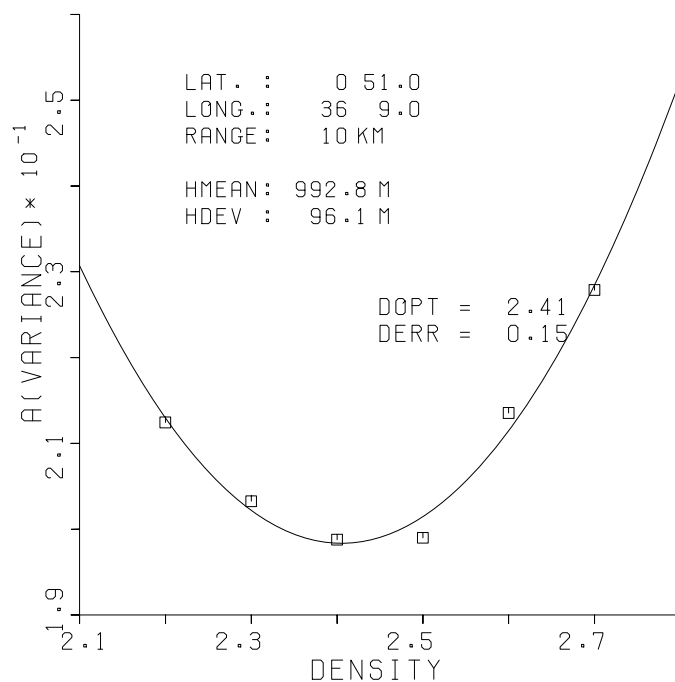
(b) 仮定密度の評価

仮定密度の決定には、岩石試料の密度測定による方法、G-H 及び F-H 相関法を用いる方法、ブーゲー異常と地形図を見比べる方法などがある。本調査ではブーゲー異常と地形図を見比べ

る方法を計算機で機械的に行う上方接続残差分散比較法（CVUR 法）（Komazawa, 1995）、G-H 相関法及び F-H 相関法を用いて仮定密度の推定を行った。以下に各仮定密度推定法について述べる。

(i) 上方接続残差分散比較法（CVUR 法）

本手法は、ブーゲー異常を 2 つの異なる高度へ上方接続後、差を取ることによって短波長成分を取り出す。仮定密度が大きすぎたり小さすぎたりすると地形の影響が出るため、ブーゲー異常の分散量が大きくなる。最終的にこの分散が最小となるものが地形との相関が最も少ない仮定密度となる。本調査では接続高度  $h_1:0\text{m}$ 、 $h_2:250\text{m}$  とし、調査対象地域中心から半径 5km の範囲の平均密度として  $2.41\text{g/cm}^3$  という結果を得た（第 Gr-04 図）。



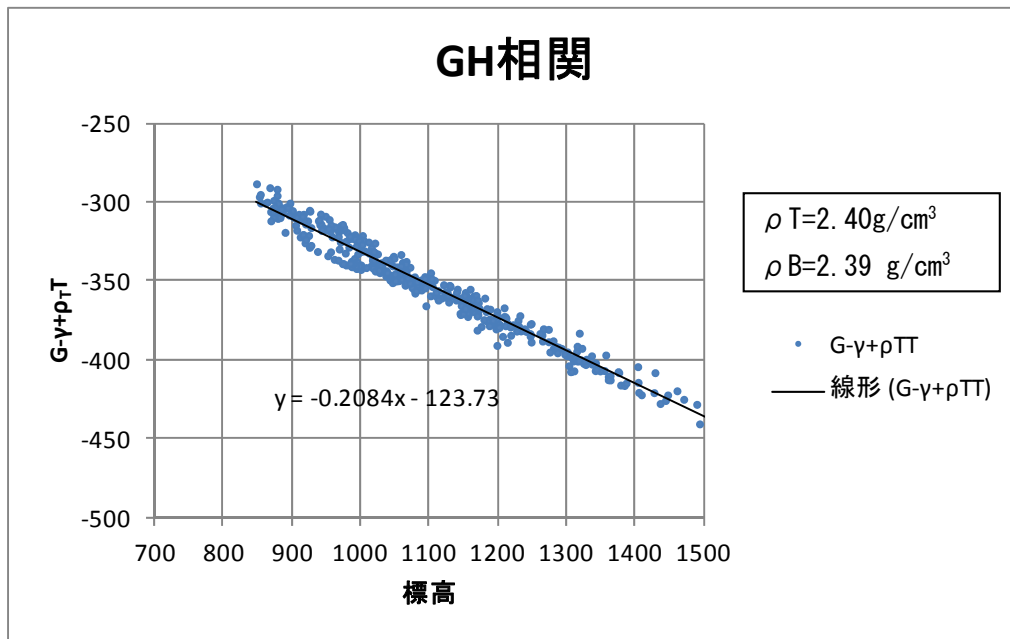
第 Gr-04 図 上方接続残差分散比較法結果

(ii) G-H 相関法

ブーゲー異常値を算出する式  $\Delta B = g_{\text{obs}} - \gamma + \beta h - 2\pi G \rho_B h + \rho_T T$  を下記のように変形する。

$$g_{\text{obs}} - \gamma + \rho_T T = \Delta B - (\beta - 2\pi G \rho_B) h$$

左辺の  $\rho_T$  に適当な値を仮定し、横軸に  $h$  を、縦軸に  $g_{\text{obs}} - \gamma + \rho_T T$  としプロットする。最小二乗法等でこのプロットした点の近似直線を引き、勾配  $-(\beta - 2\pi G \rho_B)$  を決定し、 $\rho_B$  を算出する。 $\rho_T$  の値を試行錯誤的に変えながらこのステップを続け、 $\rho_T$  と  $\rho_B$  が近い値になったときが最適な仮定密度となる。第 Gr-05 図に G-H 相関法結果を示す。この結果から G-H 相関法による先的な仮定密度は  $2.4\text{g/cm}^3$  と推定された。



第 Gr-05 図 G-H 相関法結果

(iii) F-H 相関法

F-H 相関法はブーゲー異常値を算出する式を

$$F = g_{\text{obs}} - \gamma + \beta h$$

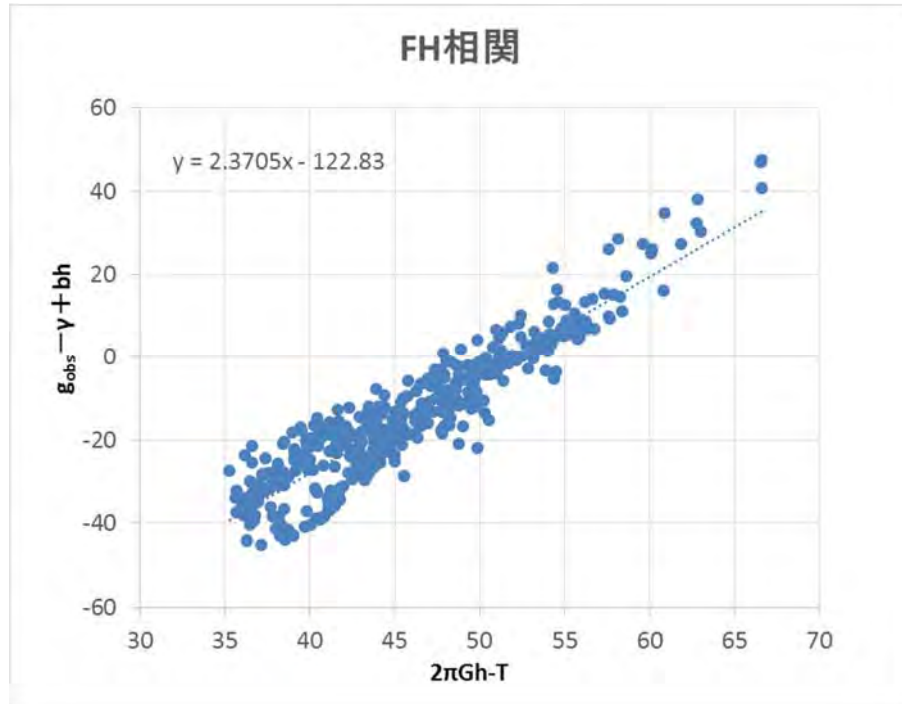
$$H = 2\pi G h \cdot T$$

として、

$$F = \rho H + g$$

と変形し、各測点におけるブーゲー異常値  $g$  と全測点のブーゲー異常値の平均値との残差を最小にするように仮定密度を求める方法である。第 Gr-06 図に F-H 相関法結果を示す。この結果から F-H 相関法による仮定密度は  $2.37 \text{ g/cm}^3$  と推定された。

以上の 3 手法により算出された仮定密度を検討した結果、コロシ、チェプチャク及びパカ地域における仮定密度は  $2.4 \text{ g/cm}^3$  決定した。



第 Gr-06 図 F-H 相関法結果

(c) ブーゲー異常

重力探査は、地下の密度分布の不均一性に起因する重力異常を地表において測定し、重力異常の空間分布から逆に地下の密度分布を推定する方法である。

重力探査でいう重力とは、物質と地球が引き合う引力、地球の自転による遠心力、及び月と太陽から物質が受ける引力（潮汐力）の合力である。自転による遠心力は赤道で最大、極で最小となるため、緯度の異なる測点では重力値は異なる。また、標高の高い地点では地球の中心から離れるため、標高の低い地点よりも引力が小さくなる。潮汐力は測点と月、太陽の相対位置によって変化するため、同一地点で重力を測定しても、測定時刻が異なれば異なる重力値が観測される。地球と物質が引き合う引力には地形の影響も含まれ、山体のような大きな質量の近くではそれに引き付けられる向きに引力が加わる。これらの要因を全て正確に補正してもなお、重力値は場所によって異なる値をとる。重力探査では、各測点の重力値と、平均的な重力値とのずれを重力異常と呼び、その大きさをブーゲー異常値という指標で測る。このブーゲー異常が地下の密度分布の不均一性に起因する重力異常であり、重力探査における解析（地下構造の検討・抽出）の対象となる。

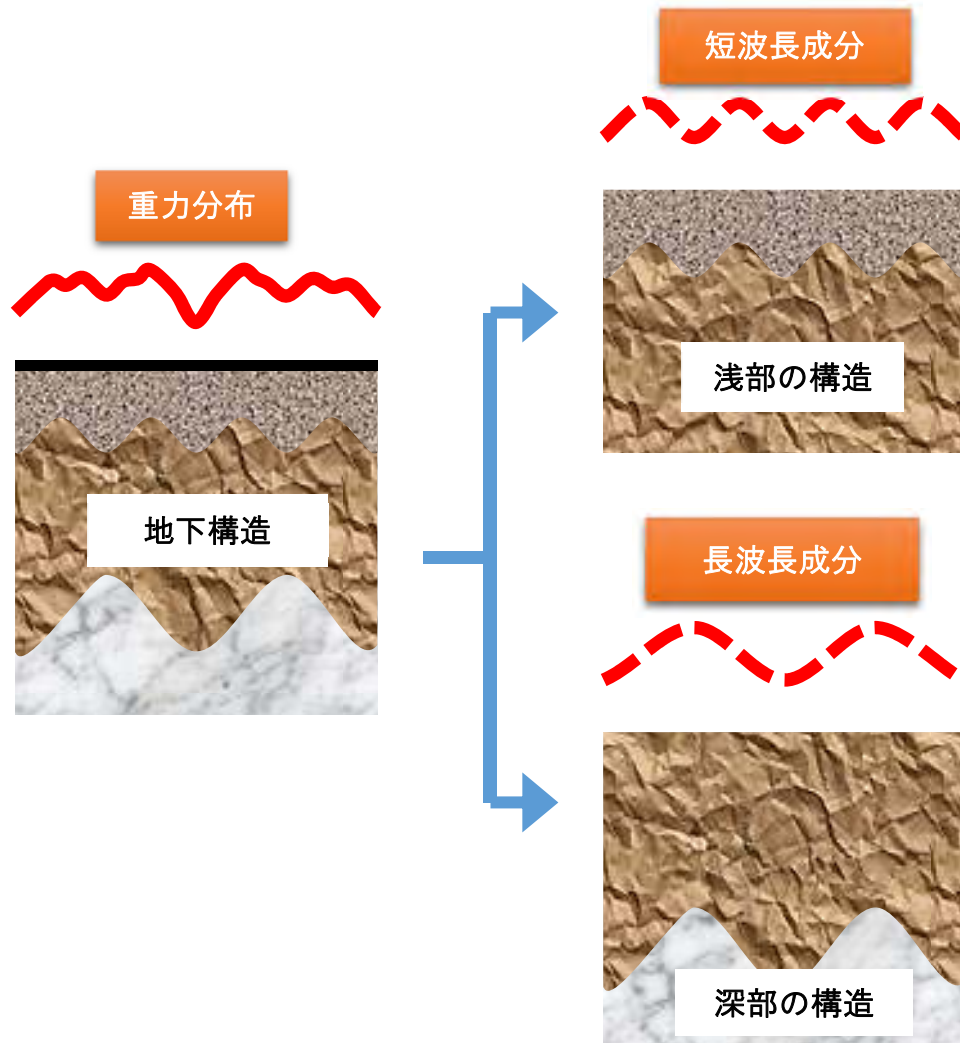
(d) 傾向面解析

傾向面解析は、第 Gr-07 図に示す地下深部の構造に起因する長波長のブーゲー異常成分を抽出することを目的として実施される。傾向面解析による傾向面は、フィルタ処理のうち、ローパスフィルタ処理（短波長成分を取り除く処理）を施すこととほぼ等価であり、重力異常の長波長成分を低次の  $n$  次の曲面で近似することである。具体的には、ブーゲー異常値の分布  $\Delta g(x, y)$  を用いて、多項式の各係数を最小二乗法により求める。各次数の傾向面はそれぞれ次の式で表される。

- 一次傾向面 :  $\Delta G_1(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y$
- 二次傾向面 :  $\Delta G_2(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2$
- n次傾向面 :

$$\Delta G_n(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_{m-1}xy^{n-1} + a_my^n$$

ここに  $m=n(n+3)/2$  である。  
 ブーゲー異常値  $\Delta g(x, y)$  から n 次の傾向面を差し引いた n 次傾向面残差は、重力異常値に一種のハイパスフィルタ処理（長波長成分を取り除く処理）を施した結果を表す。



第 Gr-07 図 フィルタ解析概念図

(e) スペクトル解析

スペクトル解析は、重力異常分布の波長特性を把握し、重力異常を深部構造に起因する長波長異常と浅部構造に起因する短波長異常とに分離する解析手法である。

矩形領域  $L1 \times L2$  の 2 点  $(x, y)$  における重力異常  $\Delta g(x, y)$  を 2 次元フーリエ級数に展開する

と

$$\Delta g(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ A_{mn} \cos(m\omega_1 x) \cos(n\omega_2 y) + B_{mn} \cos(m\omega_1 x) \sin(n\omega_2 y) \right. \\ \left. + C_{mn} \sin(m\omega_1 x) \cos(n\omega_2 y) + D_{mn} \sin(m\omega_1 x) \sin(n\omega_2 y) \right\}$$

$$0 \leq x \leq L_1, \quad 0 \leq y \leq L_2$$

$$\omega_1 = 2\pi / L_1, \quad \omega_2 = 2\pi / L_2$$

$m, n$  :  $x$  方向,  $y$  方向の波数

$$P_{mn} = \frac{1}{16} \left\{ (A_{mn} - D_{mn})^2 + (B_{mn} + C_{mn})^2 \right\}$$

で定義される。 $P_{mn}$ がパワースペクトルである。ただし、 $m=n=0$ の項は除く。

また、フーリエ係数  $A_{mn}$ は、

$$A_{mn} = \frac{4}{\varepsilon_{mn} L_1 L_2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta g(x, y) \cos(m\omega_1 x) \cos(n\omega_2 y) dx dy$$

$$\varepsilon_{mn} = \begin{cases} 2 : m = n = 0 \\ 1 : m, n = 1, 2, 3, 4, \dots \end{cases}$$

として求めることができる。 $B_{mn}, C_{mn}, D_{mn}$ についても同様である。

重力異常の原因となる密度境界面の起伏に規則性がないと仮定すると、パワースペクトル  $P_{mn}$ は次式から算出される。

$$\ln P_{mn} = C - 4\pi D \sqrt{\left(\frac{m}{L_1}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_2}\right)^2}$$

$C$  : 定数

$D$  : 密度境界面の平均深度

$L_1, L_2$  : 矩形長

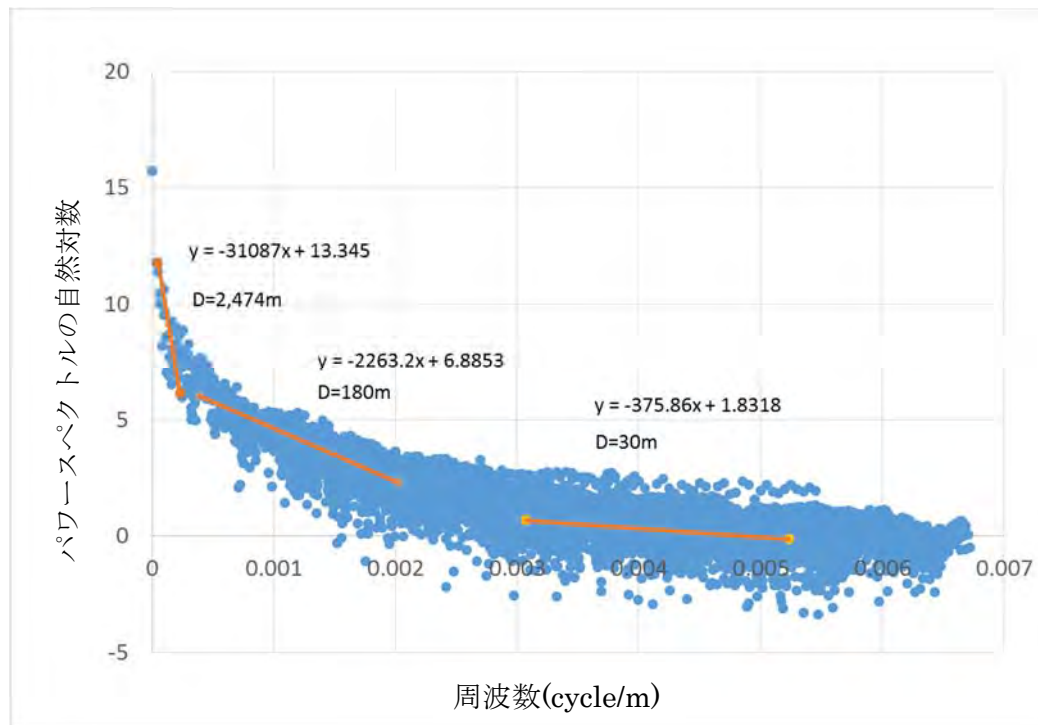
$m, n$  : 波数

縦軸に  $\ln P_{mn}$ , 横軸に  $\sqrt{(m/L_1)^2 + (n/L_2)^2}$  をとってプロットすると、点の分布から勾配の異なる直線が数本得られる。パワースペクトルの理論から、各直線は異なった深度の密度境界面に対応しており、周波数の小さい（波長の長い）領域の直線は境界面が深く、周波数の大きい（波長の短い）領域の直線は境界面が浅いことを意味する。各直線の勾配を  $-4\pi$  で割ると密度境界面の平均深度  $D$  が得られる。

本業務では、調査地域を中心とする  $31\text{km} \times 20\text{km}$  の範囲のブーゲー異常値を  $200\text{m}$  間隔の格子データに補間し、2次元フーリエ変換を用いて周波数解析を行った。スペクトル解析図を第 Gr-08 図に示す。スペクトル解析の結果、本解析範囲においては3つの周波数帯に区分された。各周波数帯の近似直線の傾きからそれぞれの周波数帯の重力異常が表す密度構造の平均深度が計算される。以下に3つに区分された密度構造の平均深度をまとめた。

- 平均深度  $2,474\text{m}$  以上の長波長（トレンド成分）。当該地域の重力基盤に相当。
- 平均深度  $30\text{m} \sim 2,474\text{m}$  の中波長成分（リージョナル成分）

- ・平均深度 30m 以浅の短波長成分。当該地域のノイズ成分に相当



第 Gr-08 図 スペクトル解析結果

(f) 上方接続フィルタ

ある一定の高度で求められているブーゲー異常値を用いて、その面から高度  $H$  だけ高い面におけるブーゲー異常を計算するフィルタである。これは  $x$  方向の波数  $m$ 、 $y$  方向の波数  $n$  のフーリエ係数に、

$$w_{mn} = \exp\left(-\sqrt{(m^2 + n^2)H}\right)$$

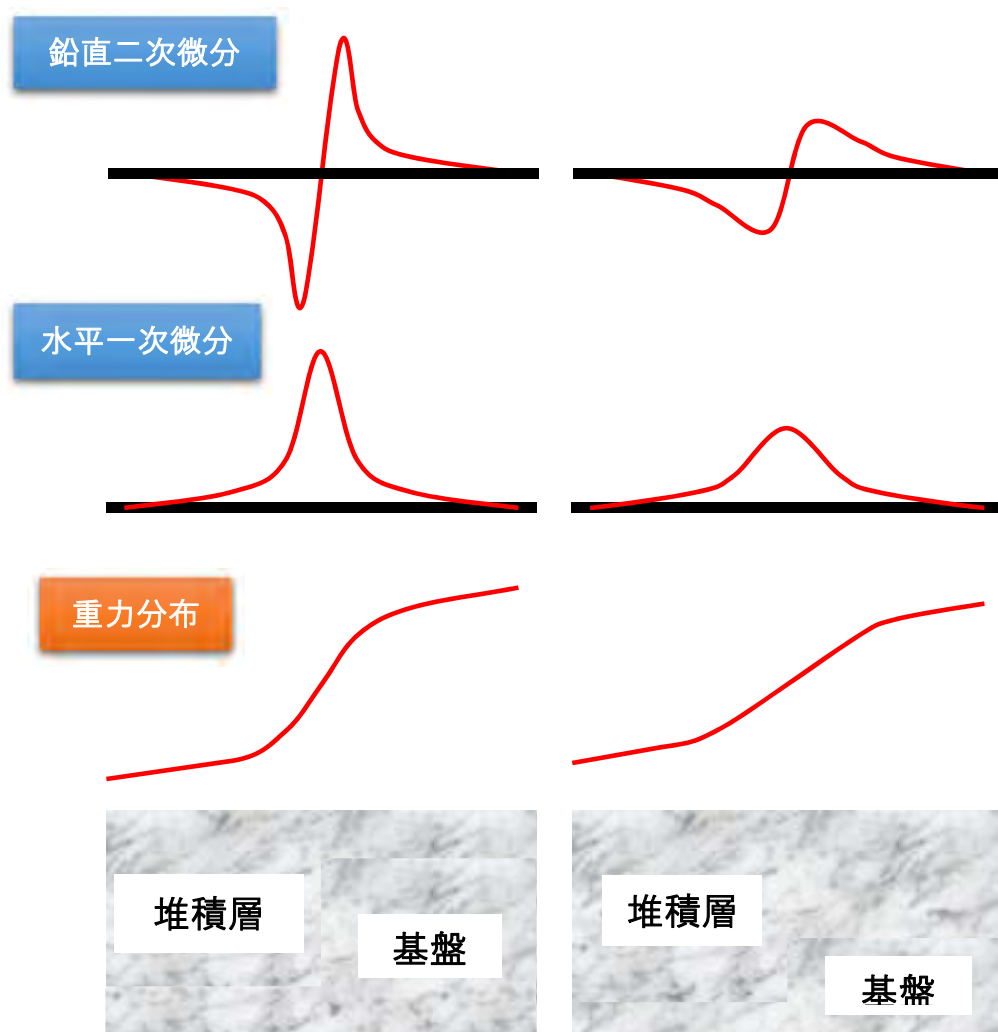
の重みを付けることに相当する。波数の大きな成分ほど小さい重みが付けられることとなるため、上方接続フィルタはローパスフィルタ（短波長成分を取り除く平滑化作用）となることが明らかである。また、異なる 2 つの  $H$  の値を用いて上方接続を行い、その差を計算することで、バンドパスフィルタの役割をさせることも可能である。

(g) 水平 1 次微分フィルタ（第 Gr-09 図）

水平一次微分フィルタとはブーゲー異常の水平勾配を求めるもので、構造の境界を強調するハイパスフィルタである。ブーゲー異常のフーリエ係数を求めておき、その係数に対応する波数をかけて逆フーリエ変換を求めることで  $x$  方向、 $y$  方向の微分値を求めることもできるが、通常は格子点値が求められているため、差分をとって最大振幅を求めることが多い。水平 1 次微分は直感的に理解しやすいが、微分値の大小で陥没構造の落差を判断しがちであり、深部の大きな規模の構造を見落とすことや、過小評価する可能性があるという短所を有している。このため、本解析においては、水平 1 次微分値の大きさのみでの判断は行わず、水平 1 次微分平面分布における極大値の連続性を検討して、重力構造（重力急変部）を抽出した。



なお、本解析では、格子間隔 200m の水平一次微分を実施した。



第 Gr-09 図 水平 1 次微分フィルタの概念図

(h) 3次元基盤構造解析

第 Gr-10 図のような鉛直下方に無限に長い直方体による点(A,B,C)における重力値 (G) は、

$$G = \gamma\rho\{F(X1,Y1,Z) - F(X2,Y1,Z) - F(X1,Y2,Z) + F(X2,Y2,Z)\}$$

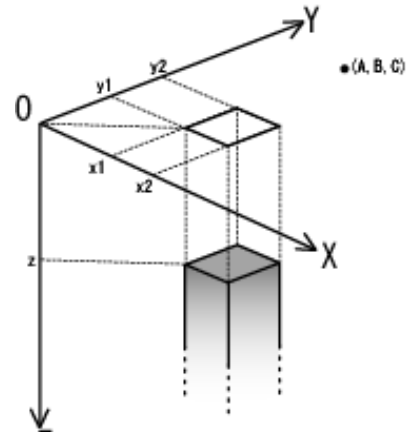
で与えられる。

ただし、

$$X1 = A - x1, \quad X2 = A - x2$$

$$Y1 = B - y1, \quad Y2 = B - y2$$

$$Z = |z - C|$$



第 Gr-10 図 3次元基盤構造解析概念図

である。

図のように直方体を格子状に配置し、その上面を基盤深度とすれば、基盤による重力異常は下式から計算することができる。

$$F(x, y, z) = -\iiint \frac{z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$= x \ln \left( \frac{y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right) + y \ln \left( \frac{x + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{y^2 + z^2}} \right) - z \tan^{-1} \left( \frac{xy}{z\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right)$$

計算点と基盤を表す直方体が X 方向、Y 方向に格子状に同じように並んでいるとする。点(x<sub>i</sub>, y<sub>j</sub>, z)における(x<sub>k</sub>, y<sub>l</sub>, D<sub>kl</sub>)の直方体による重力値を G<sub>ij<sup>kl</sup></sub>とすると、基盤による相対的な重力異常値 ΔG<sub>ij</sub>(z)は基盤深度の平均値を D<sub>0</sub>とおくと、

$$\Delta G_{ij}(z) = \sum_k \sum_l \{G_{ij}^{kl}(z, D_{kl}) - G_{ij}^{kl}(z, D_0)\}$$

と計算される。測定値 g\*と計算値が最もよく合うような D<sub>kl</sub>をイタレーション法によって求める。

測定値からその平均値を引いたものを δg\*とする。D<sub>kl</sub>の第1近似を

$$D_{kl}^{(1)} = D_0 + \lambda \delta g_{ij}^* / 2\pi\gamma\rho$$

とする。この基盤による重力異常値を上式で計算する。

$$g_{ij}^{(1)} = \Delta G_{ij}(z_{ij}) = \sum_k \sum_l \{G_{ij}^{kl}(z_{ij}, D_{kl}^{(1)}) - G_{ij}^{kl}(z_{ij}, D_0)\}$$

g<sub>ij</sub><sup>(1)</sup>からその平均値を引いたものを δg<sub>ij</sub><sup>(1)</sup>とする。δg<sub>ij</sub><sup>(1)</sup>と δg\*の残差の二乗和の平均が十分小さければその時の D<sub>kl</sub>を最適解とする。もし、大きければ、第2近似として、

$$D_{ij}^{(2)} = D_{ij}^{(1)} + \lambda (\delta g_{ij}^* - \delta g_{ij}^{(1)}) / 2\pi\gamma\rho$$

を式(2)に代入して、

$$g_{ij}^{(2)} = \Delta G_{ij}(z_{ij}) = \sum_k \sum_l \{G_{ij}^{kl}(z_{ij}, D_{kl}^{(2)}) - G_{ij}^{kl}(z_{ij}, D_0)\}$$

を計算し、以下残差二乗和の平均値が十分小さくなるまで反復計算を繰り返し、最適解を求める。

(i) 2次元密度構造解析

Talwani, Worzel and Landisman (1959) は、断面形状が多角形で表される2次元物体による重力異常値の解析解を示している。

第 Gr-11 図のような断面形状が多角形 ABCDEF で表される2次元物体を考える。この場合

重力異常値は下記の式から求められる。

$$\oint z d\theta = \oint_{AB} z d\theta + \oint_{BC} z d\theta + \dots + \oint_{EF} z d\theta + \oint_{FA} z d\theta \dots (1)$$

辺 BC での線積分を考える。辺 BC 上の任意の点 P の座標を  $(x, z)$ 、X 軸と OP の成す角を  $\theta$ 、直線 BC と X 軸の交点を  $Q(a_i, 0)$ 、X 軸と QC の成す角を  $\phi_i$  とする。  $z$  は  $\theta$  を使って、

$$z = x \tan \theta \dots (2)$$

と表される。同様に  $\phi_i$  を使って、

$$z = (x - a_i) \tan \phi_i \dots (3)$$

とも表される。(2)、(3)式より、

$$z = \frac{a_i \tan \theta \tan \phi_i}{\tan \phi_i - \tan \theta} \dots (4)$$

となる。BC 上の線積分を  $Z_i$  とすると、

$$Z_i = \int_B^C z d\theta = \int_B^C \frac{a_i \tan \theta \tan \phi_i}{\tan \phi_i - \tan \theta} d\theta \dots (5)$$

となる。(5)式は、各辺で成り立つので、辺の数を  $n$  とすると、重力異常値 ( $g$ ) は、

$$g = 2G\rho \sum_{i=1}^n Z_i \dots (6)$$

で与えられる。(6)式の積分は解析的に解くことができ、以下ようになる。

$$Z_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i \left[ \theta_i - \theta_{i+1} + \tan \phi_i \log \frac{\cos \theta_i (\tan \theta_i - \tan \phi_i)}{\cos \theta_{i+1} (\tan \theta_{i+1} - \tan \phi_i)} \right] \dots (7)$$

ここで、

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{z_i}{x_i}$$

$$\theta_{i+1} = \tan^{-1} \frac{z_{i+1}}{x_{i+1}}$$

$$\phi_i = \tan^{-1} \frac{z_{i+1} - z_i}{x_{i+1} - x_i}$$

$$a_i = x_{i+1} + z_{i+1} \frac{x_{i+1} - x_i}{z_i - z_{i+1}}$$

である。ただし、以下の場合にはより単純な式になる。

$x_i = 0$  の場合、

$$Z_i = -a_i \sin \phi_i \cos \phi_i \left[ \theta_{i+1} - \frac{\pi}{2} + \tan \phi_i \log \{ \cos \theta_{i+1} (\tan \theta_{i+1} - \tan \phi_i) \} \right]$$

となる。

$x_{i+1} = 0$  の場合、

$$Z_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i \left[ \theta_i - \frac{\pi}{2} + \tan \phi_i \log \{ \cos \theta_i (\tan \theta_i - \tan \phi_i) \} \right]$$

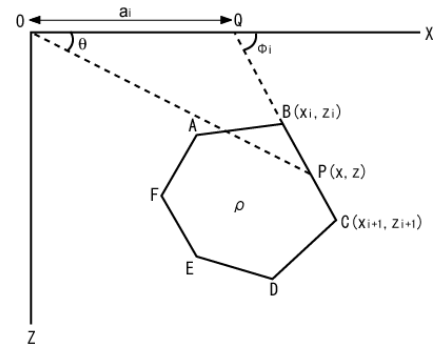
となる。

$z_i = z_{i+1}$  の場合、

$$Z_i = z_i (\theta_{i+1} - \theta_i)$$

となる。

$x_i = x_{i+1}$  の場合、



第 Gr-11 図 2次元密度構造解析概念図

$$Z_i = x_i \log \frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_{i+1}}$$

となる。

$\theta_i = \theta_{i+1}$  または  $x_i = z_i = 0$  または  $x_{i+1} = z_{i+1} = 0$  の場合、

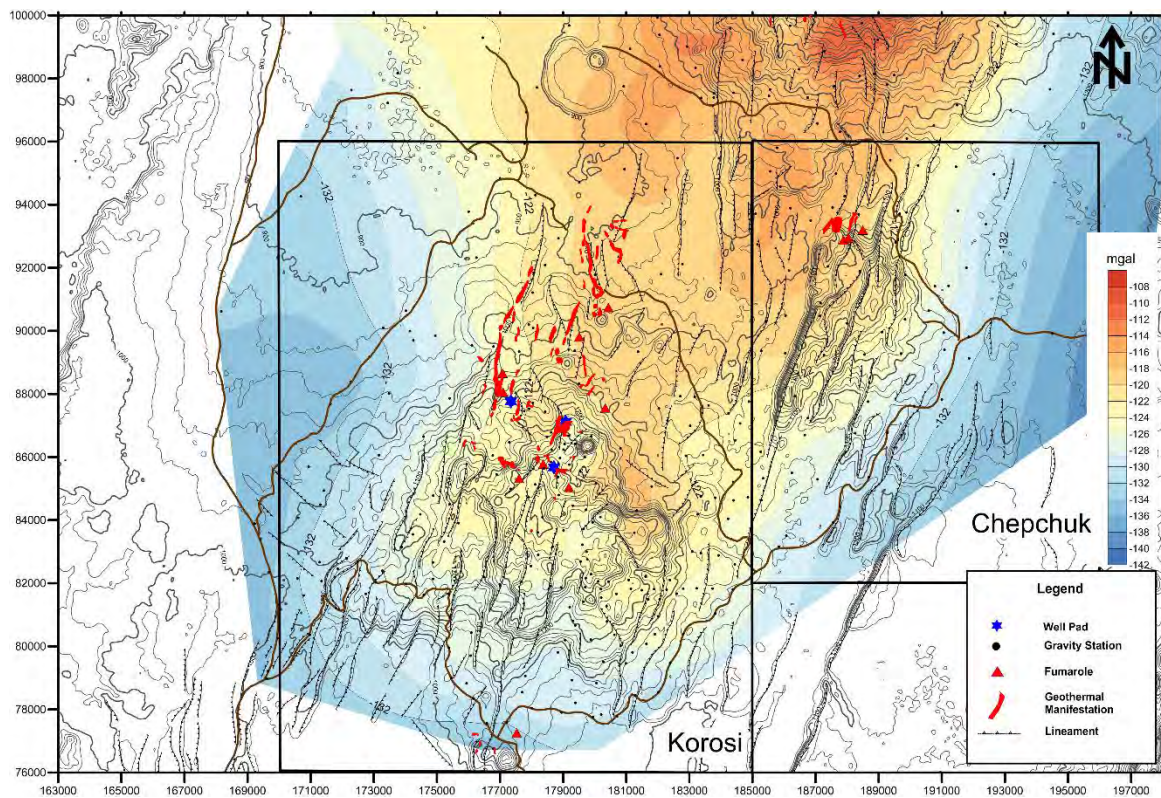
$$Z_i = 0$$

となる。

### 3. データ解析結果

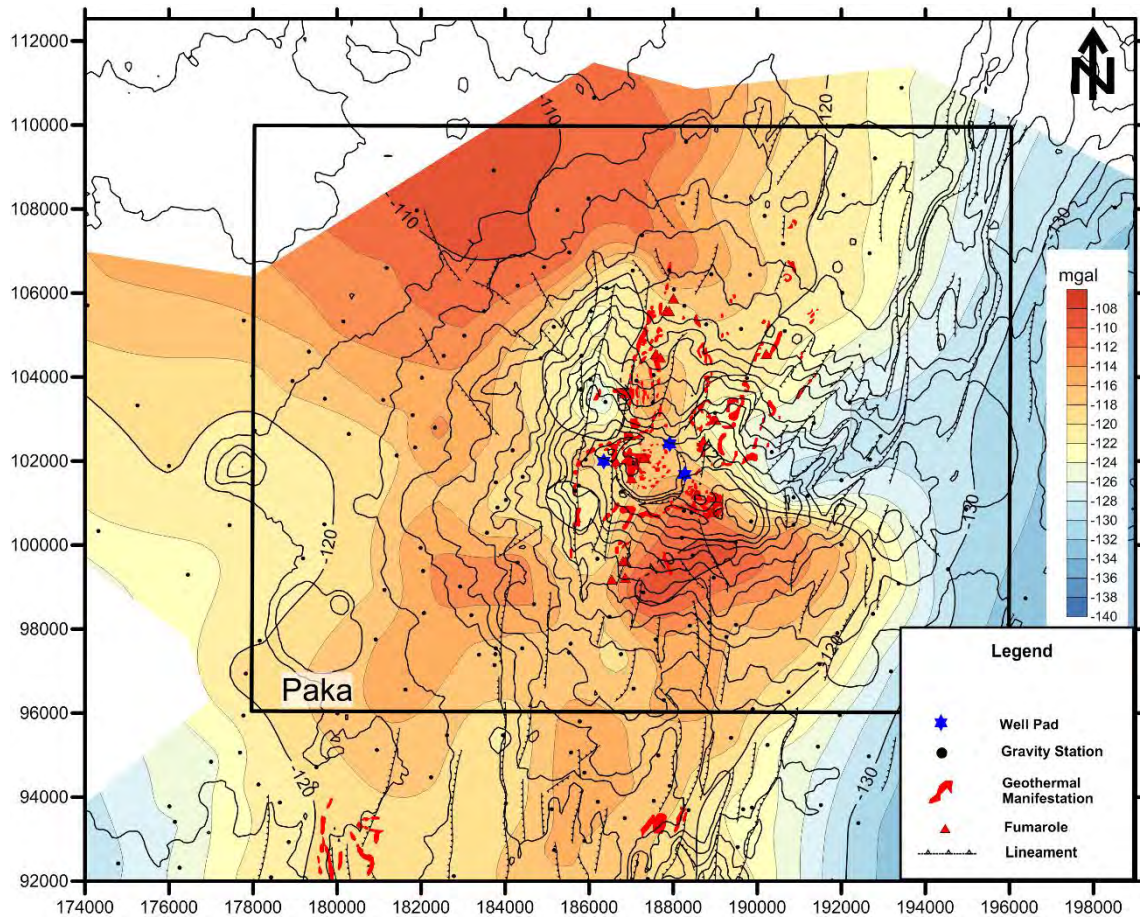
#### (a) ブーゲー異常分布

第 Gr-12 図にコロシ及びチェプチャク地域におけるブーゲー異常分布図を、第 Gr-13 図にパカ地域におけるブーゲー異常分布図をそれぞれ示す。



第 Gr-12 図 コロシ及びチェプチャク地域におけるブーゲー異常分布図  
(仮定密度：2.4g/cm<sup>3</sup>)





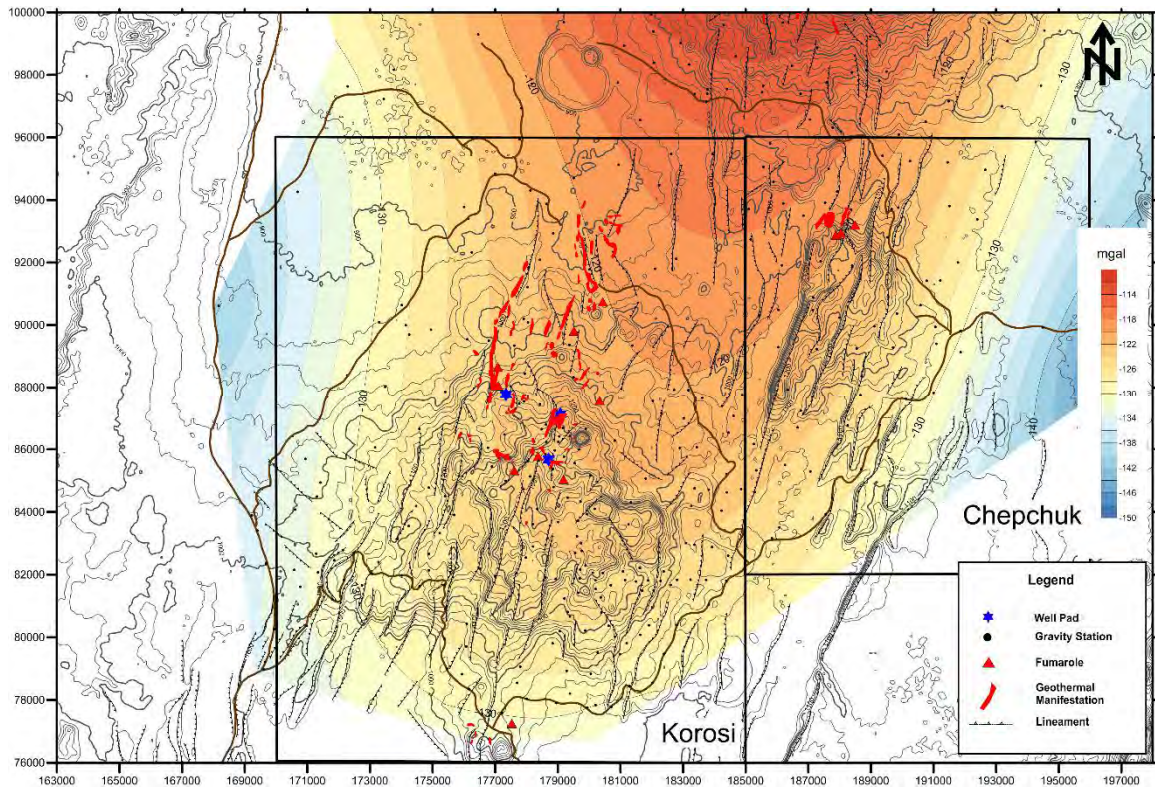
第 Gr-13 図 パカ地域におけるブーゲー異常分布図 (仮定密度:  $2.4\text{g/cm}^3$ )

(b) 傾向面解析及び傾向面残差分布

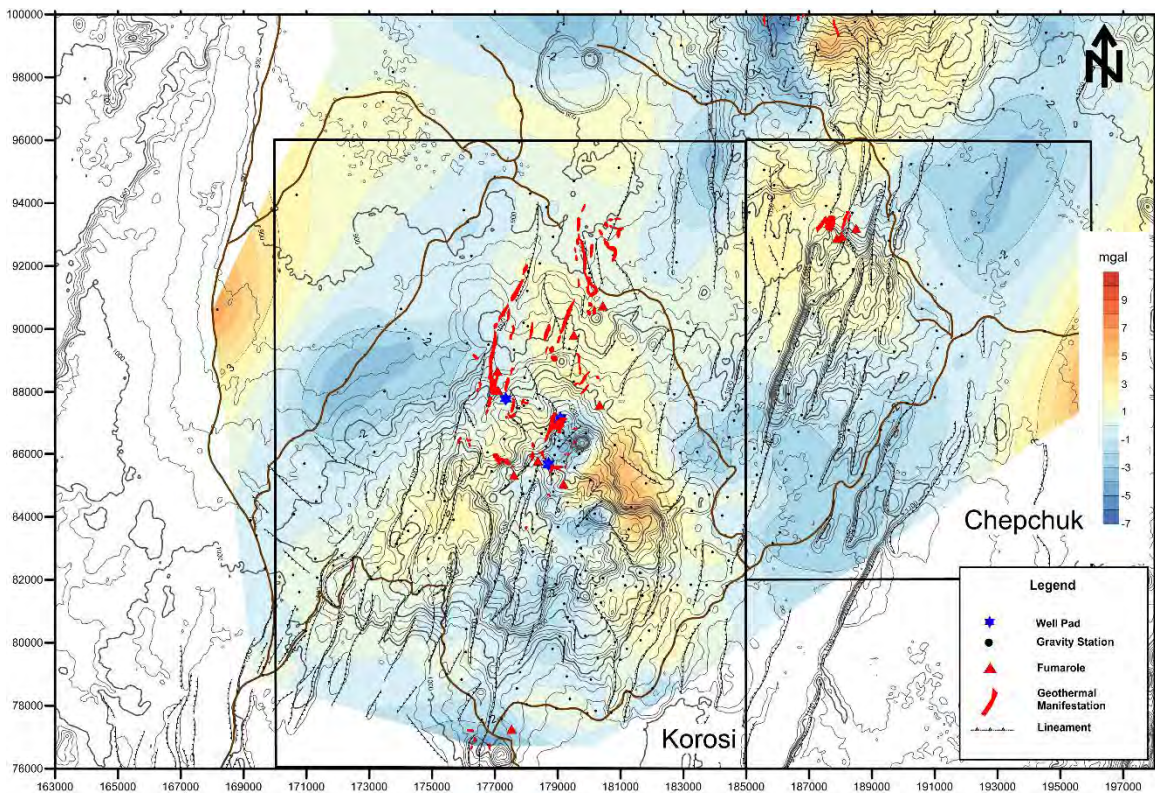
コロシ及びチェプチャク地域では 3 次傾向面が当該地域の大局的な重力異常分布を示していることから、3 次傾向面を用いて当該地域のリージョナルな重力異常分布の抽出を実施した。

第 Gr-14 図にコロシ及びチェプチャク地域における 3 次傾向面分布、第 Gr-15 図に 3 次傾向面残差分布を示す。また、パカ地域もコロシ及びチェプチャク地域と同様に 3 次傾向面が大局的な重力異常分布を示していることから、3 次傾向面を用いてリージョナルな重力異常分布の抽出を実施した。第 Gr-16 図にパカ地域における 3 次傾向面分布、第 Gr-17 図に 3 次傾向面残差分布を示す。



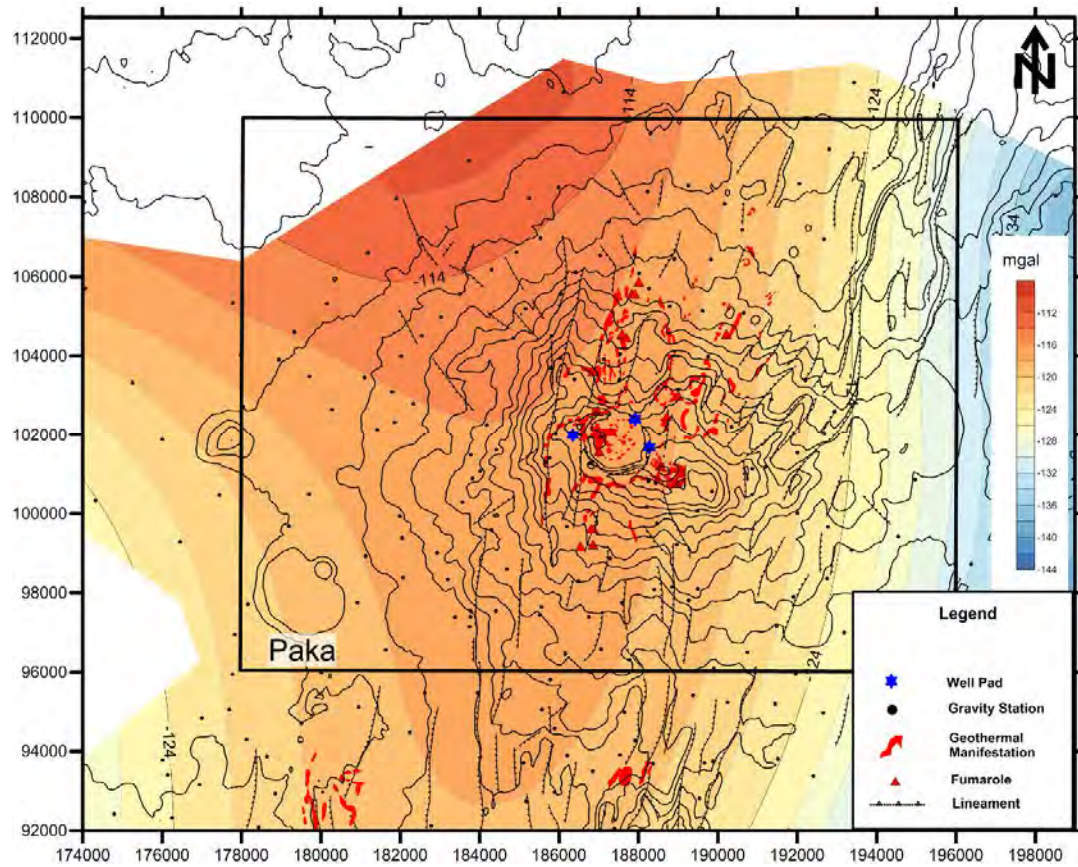


第 Gr-14 図 コロシ及びチェプチャク地域における 3 次傾向面分布図

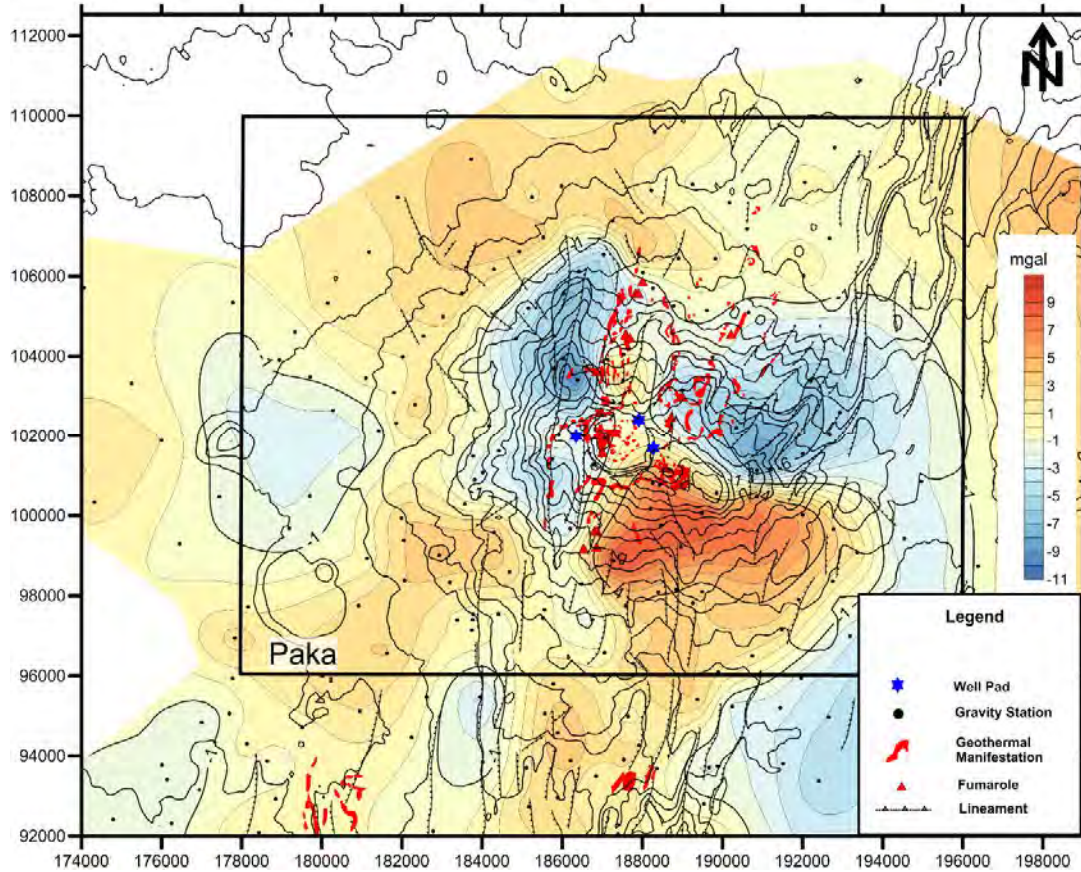


第 Gr-15 図 コロシ及びチェプチャク地域における 3 次傾向面残差分布図





第 Gr-16 図 パカ地域における 3 次傾向面分布図

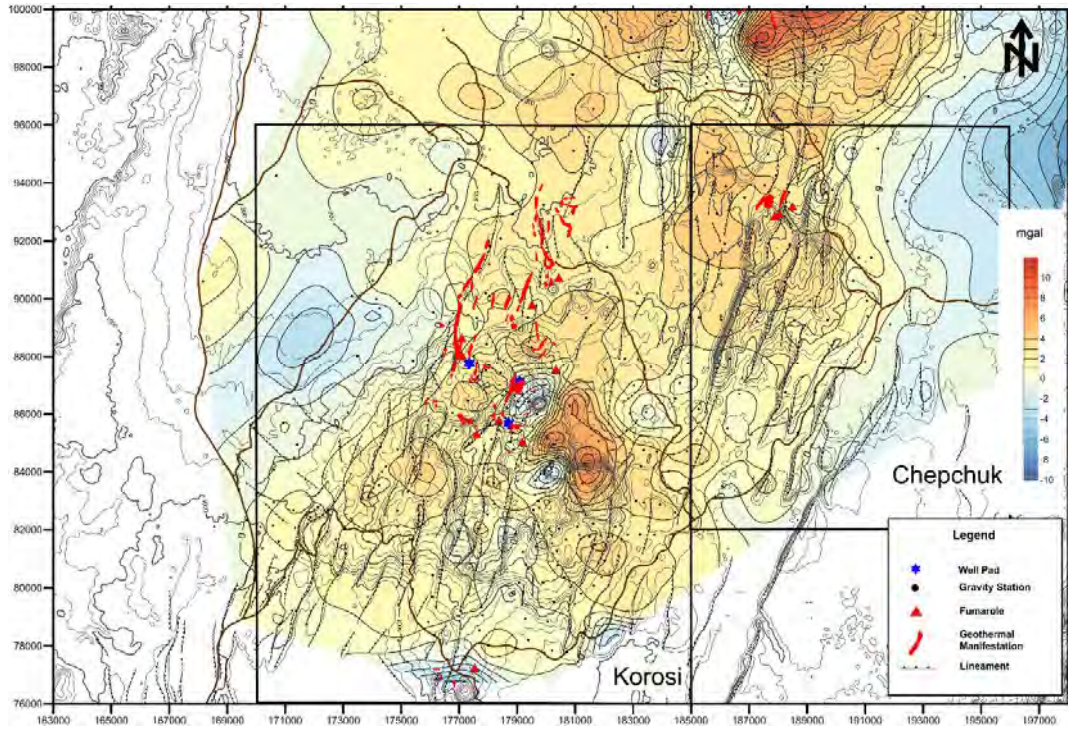


第 Gr-17 図 パカ地域における 3 次傾向面残差分布図

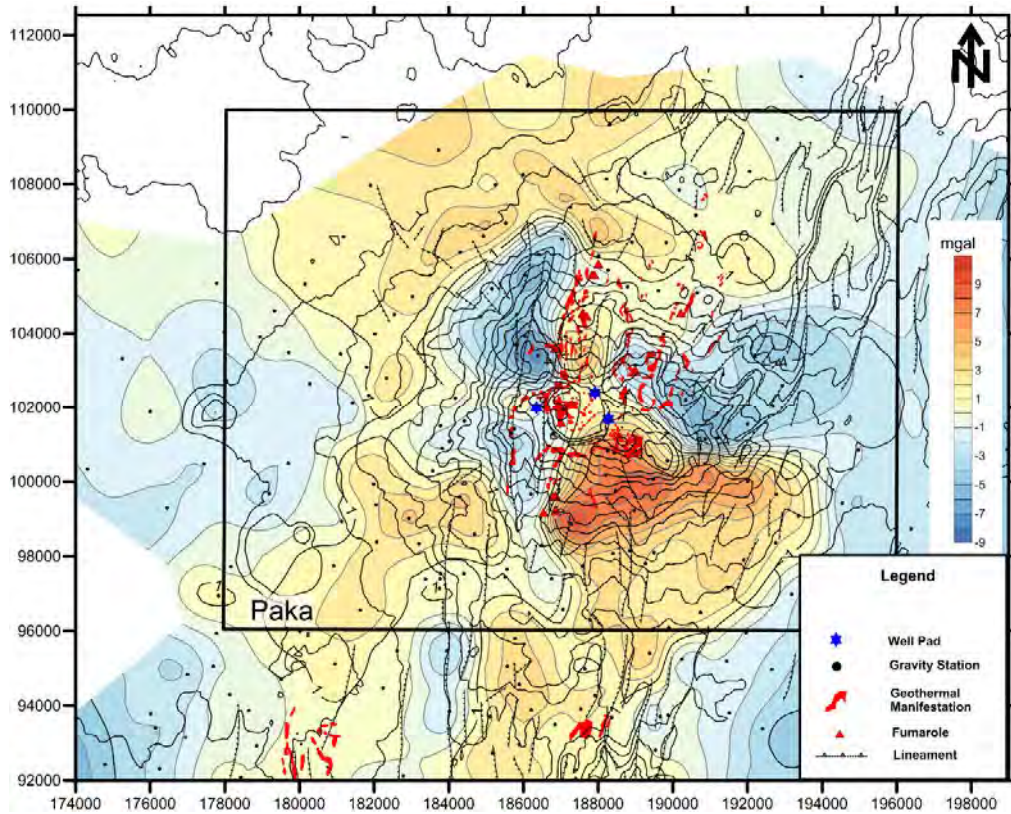


(c) 上方接続残差分布

第 Gr-18 図にコロシ及びチェプチャク地域における 50-2,500m 上方接続残差分布図を、第 Gr-19 図にパカ地域における 50-2,500m 上方接続残差分布図をそれぞれ示す。



第 Gr-18 図 コロシ及びチェプチャク地域における 50-2,500m 上方接続残差分布図



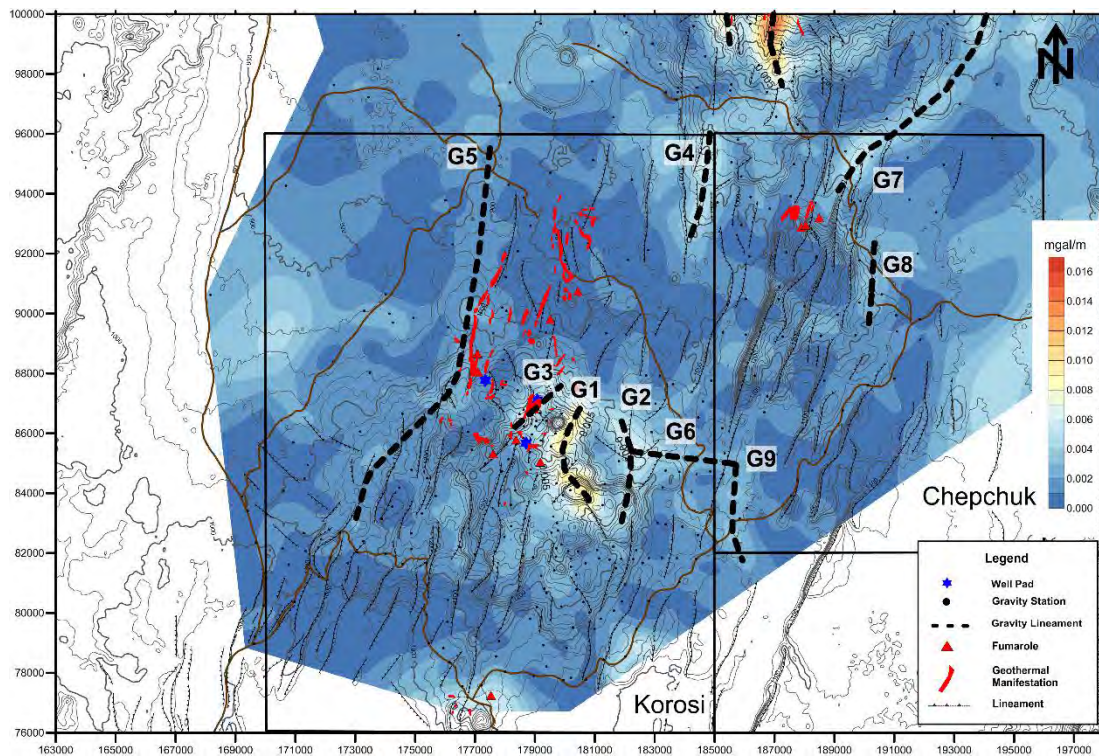
第 Gr-19 図 パカ地域における 50-2,500m 上方接続残差分布図



(d) 水平 1 次微分図

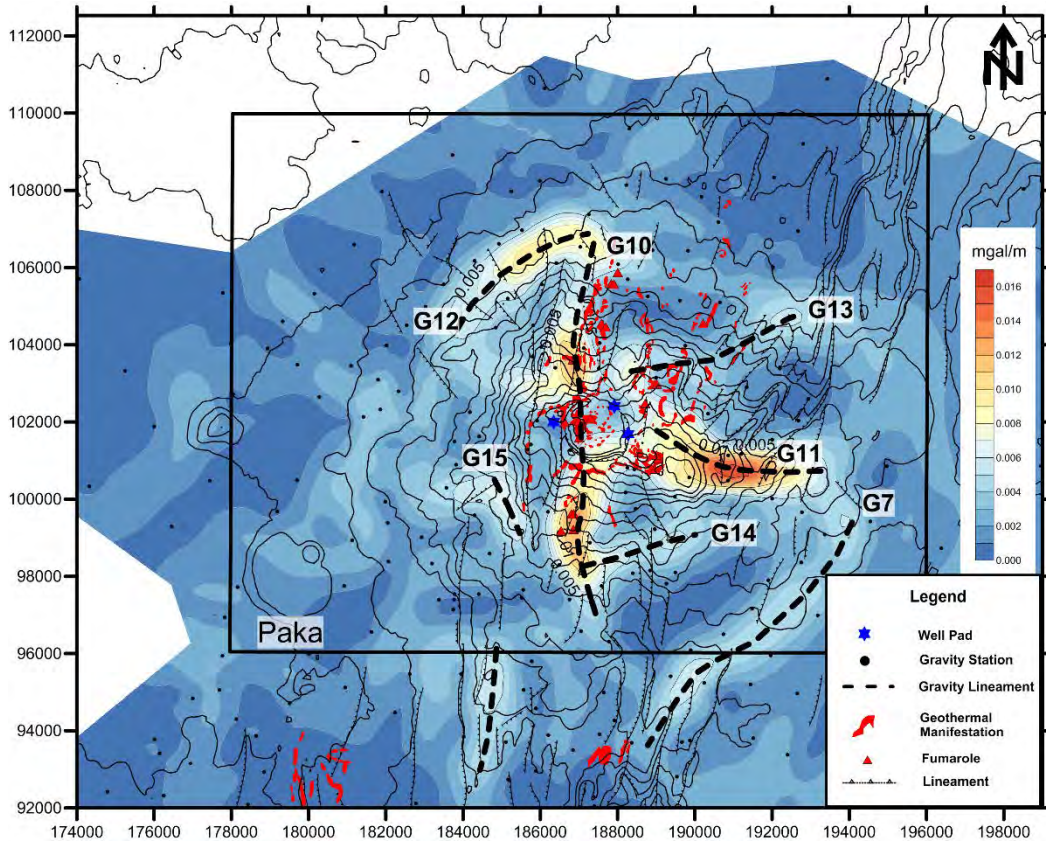
第 Gr-20 図にコロシ及びチェプチャク地域における 3 次傾向面残差水平 1 次微分分布図を、第 Gr-21 図にパカ地域における 3 次傾向面残差水平 1 次微分分布図をそれぞれ示す。

また、第 Gr-22 図にコロシ及びチェプチャク地域における 50-2,500m 上方接続残差水平 1 次微分分布図を、第 Gr-23 図にパカ地域における 50-2,500m 上方接続残差水平 1 次微分分布図をそれぞれ示す。

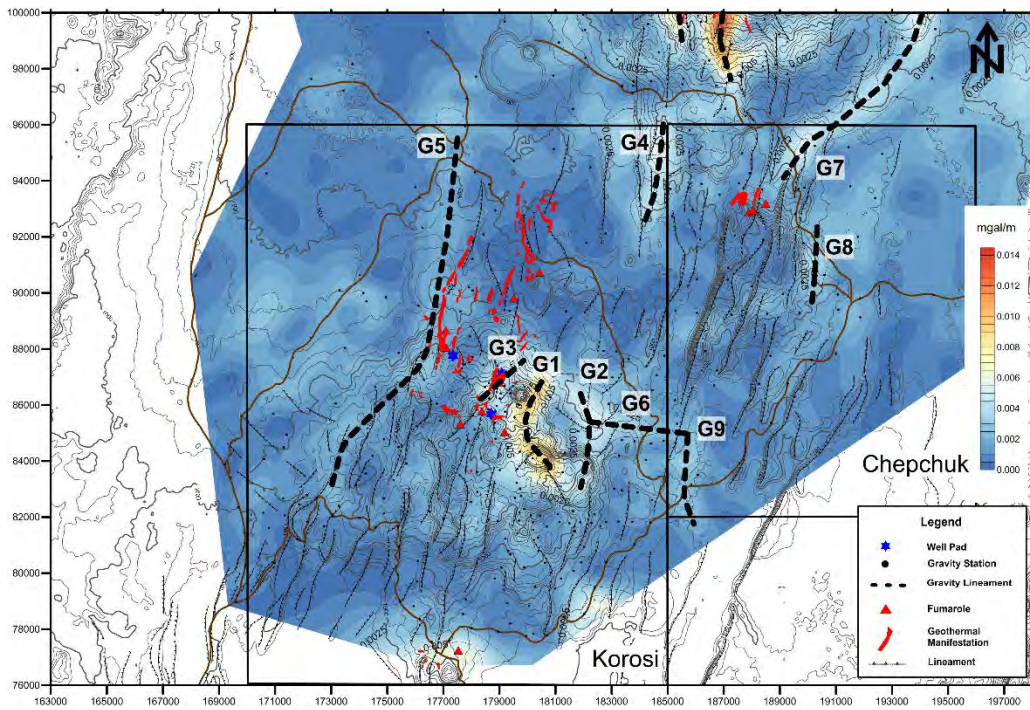


第 Gr-20 図 コロシ及びチェプチャク地域における 3 次傾向面残差  
水平 1 次微分分布図



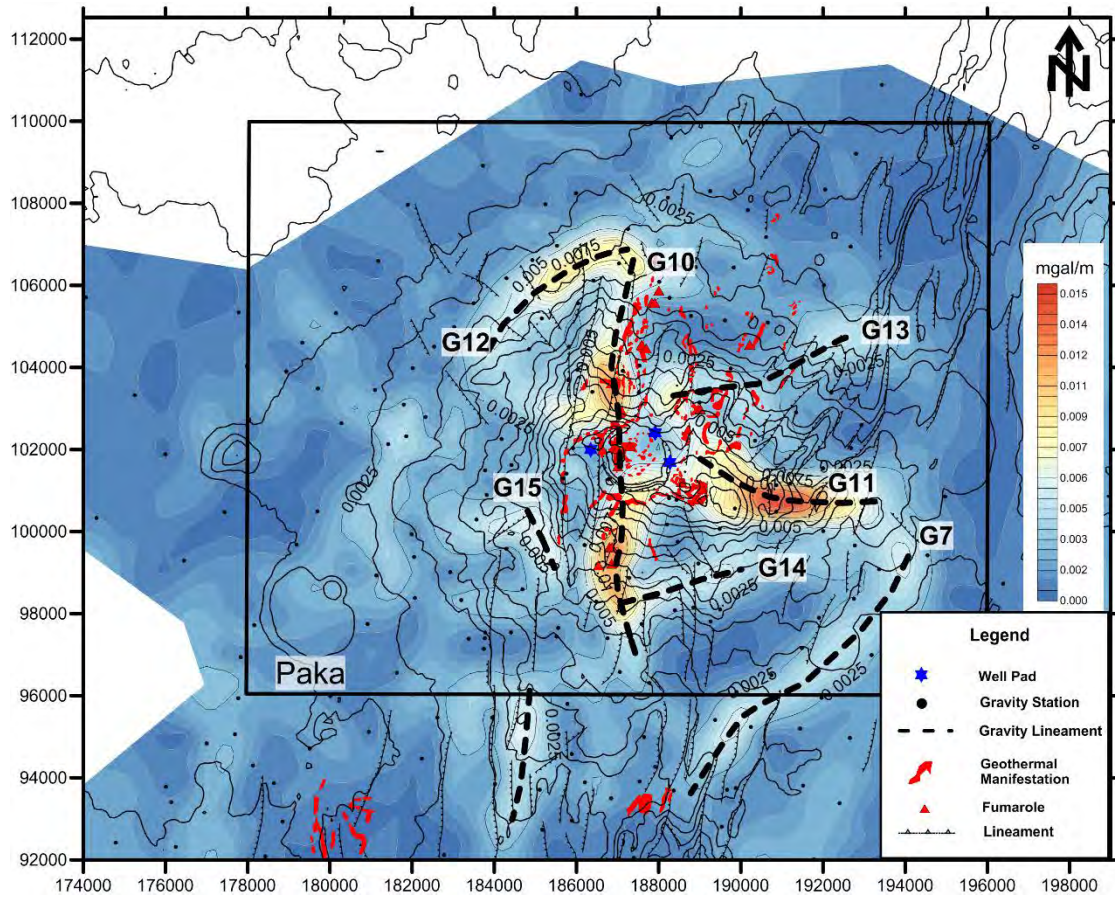


第 Gr-21 図 パカ地域における 3 次傾向面残差水平 1 次微分分布図



第 Gr-22 図 コロシ及びチェプチャク地域における 50-2,500m 上方接続残差  
水平 1 次微分分布図



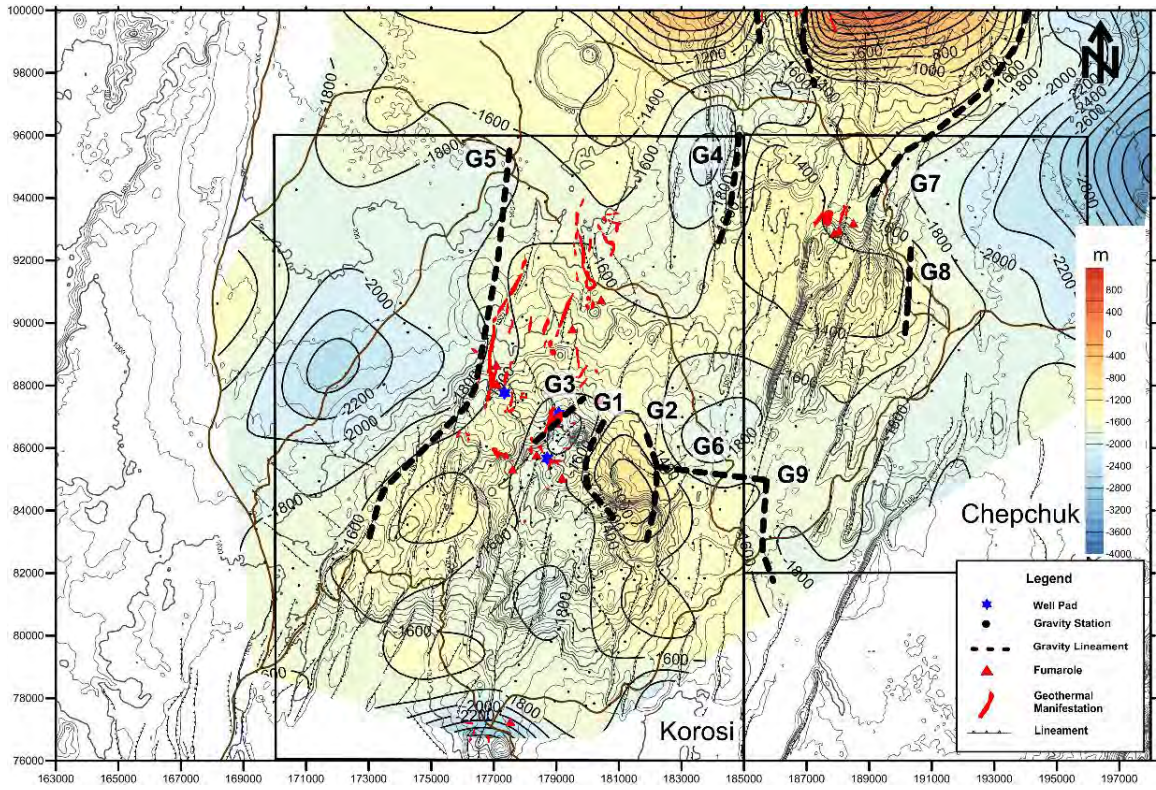


第 Gr-23 図 パカ地域における 50-2,500m 上方接続残差水平 1 次微分分布図

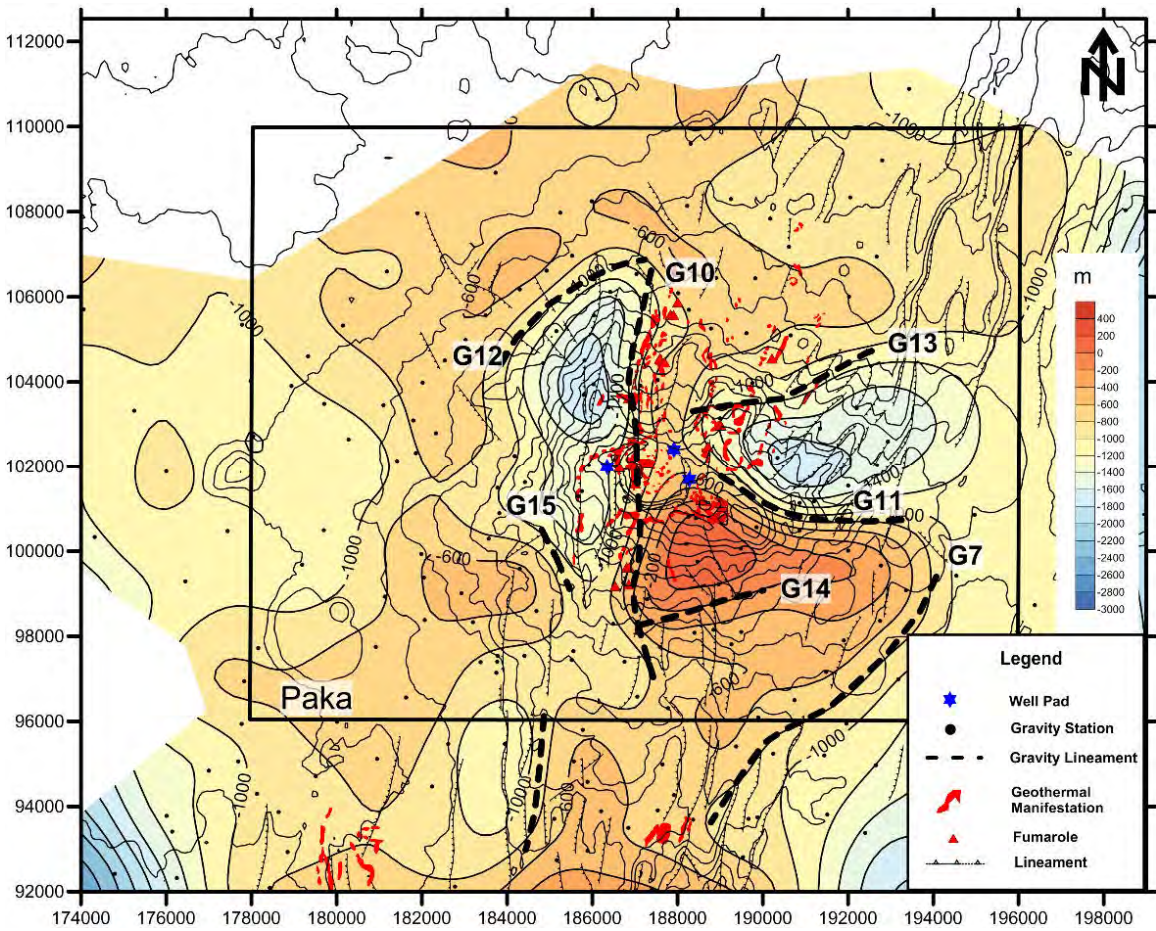
(e) 3 次元基盤構造解析

第 Gr-24 図にコロシ及びチェプチャク地域における 3 次元基盤構造解析結果を、  
第 Gr-25 図にパカ地域における 3 次元基盤構造解析結果をそれぞれ示す。





第 Gr-24 図 コロシ及びチェプチャク地域における 3 次元基盤構造解析結果



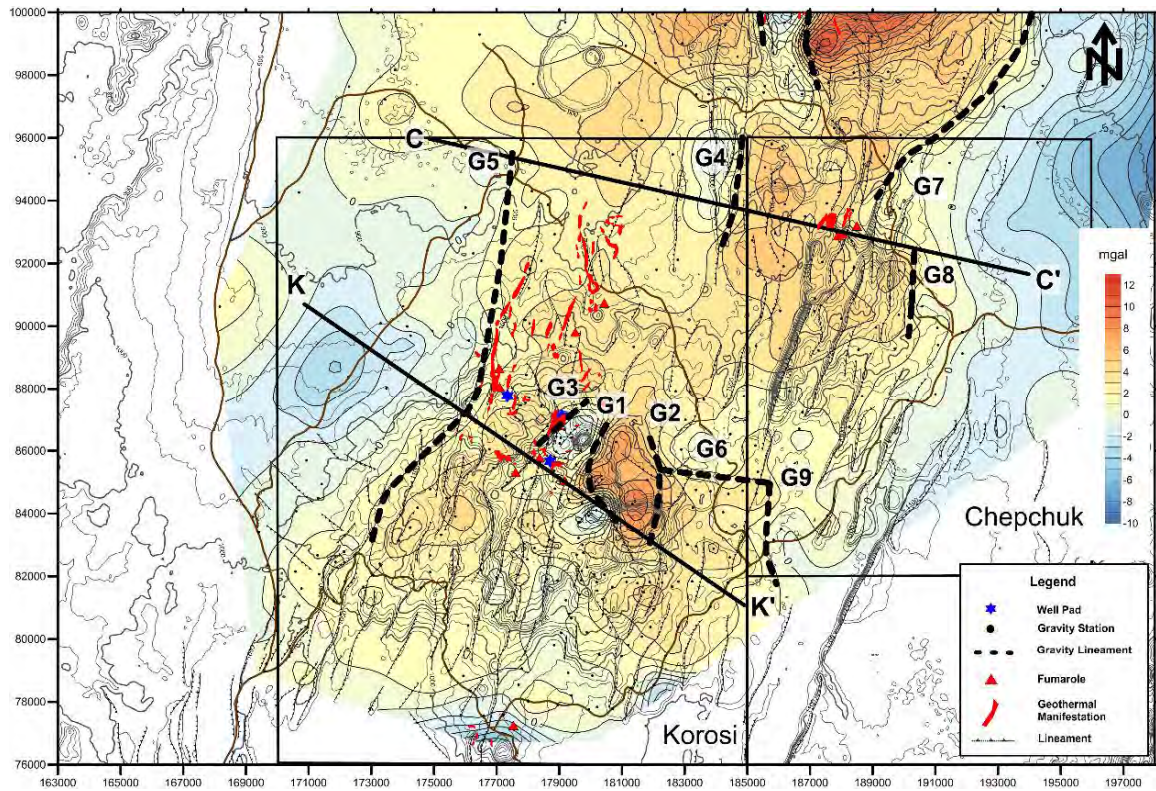
第 Gr-25 図 パカ地域における 3 次元基盤構造解析結果



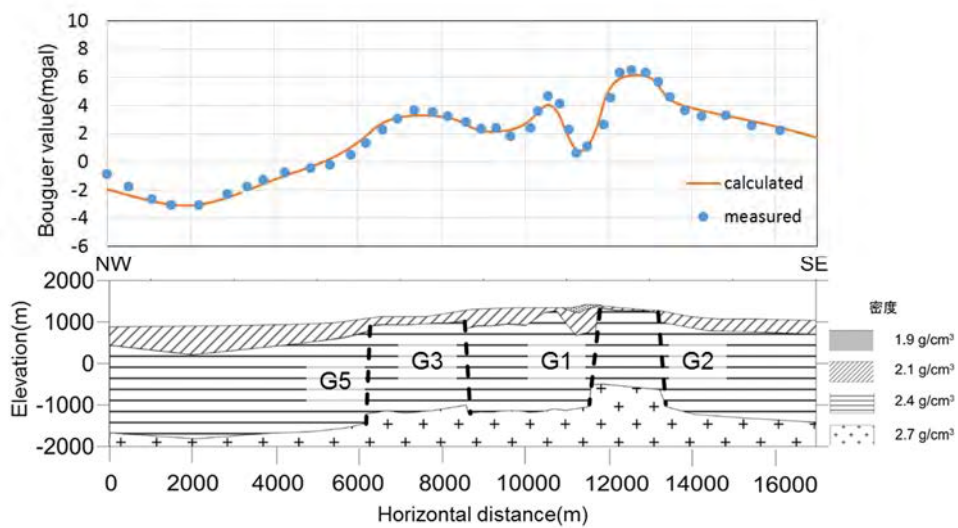
(f) 2次元密度構造解析

第 Gr-26 図にコロシ及びチェプチャク地域における2次元密度構造解析断面位置図を、第 Gr-27 図及び第 Gr-28 図にコロシ及びチェプチャク地域における2次元密度構造解析結果をそれぞれ示す。

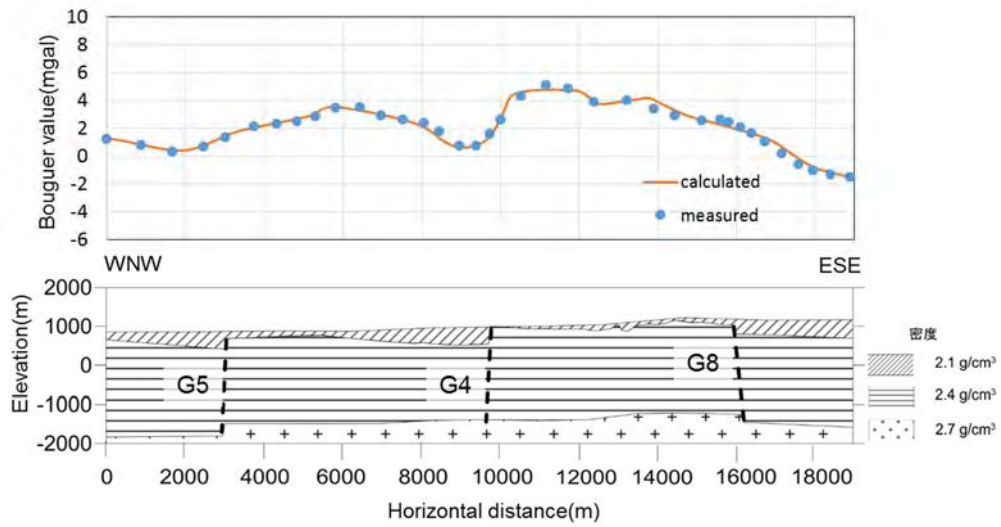
また、第 Gr-29 図にパカ地域における2次元密度構造解析断面位置図を、第 Gr-30 図にパカ地域における2次元密度構造解析結果をそれぞれ示す。



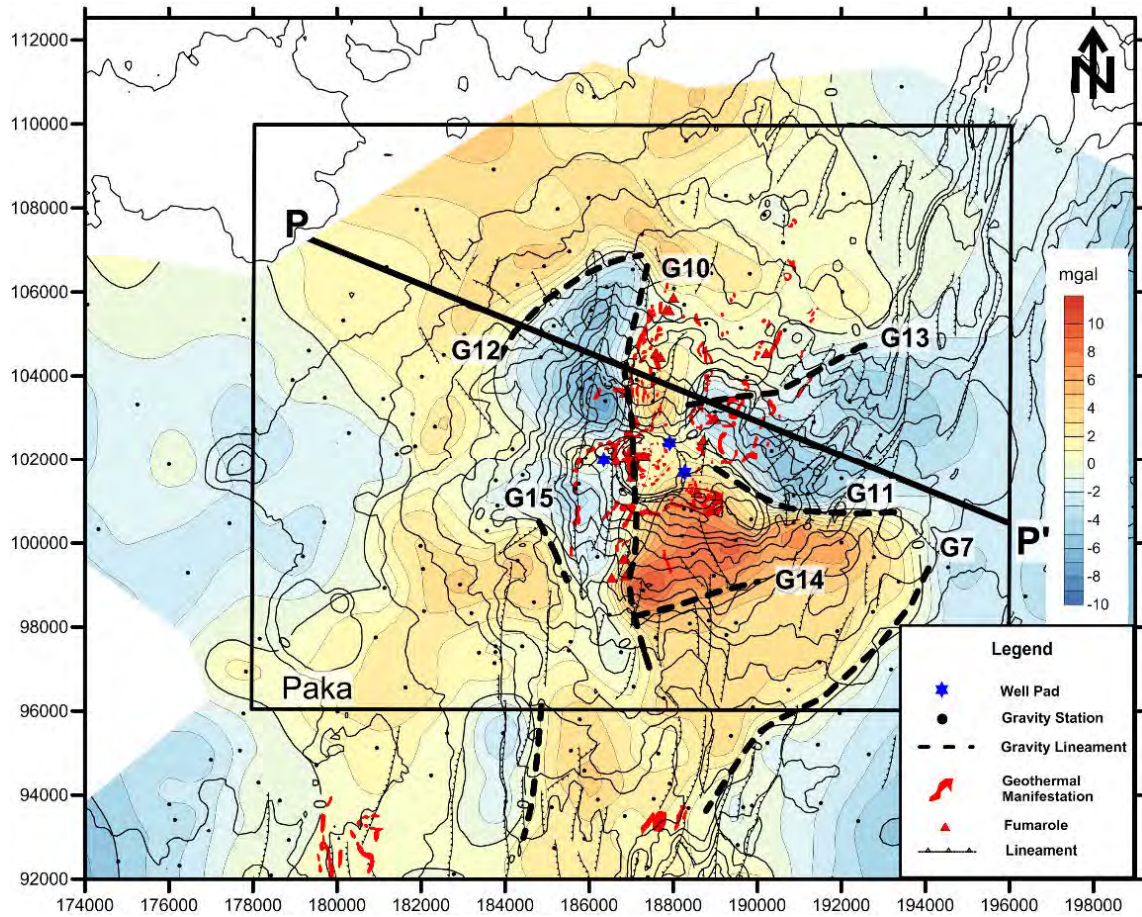
第 Gr-26 図 コロシ及びチェプチャク地域における2次元密度構造解析断面位置図



第 Gr-27 図 コロシ地域における2次元密度構造解析結果 (K-K'断面)

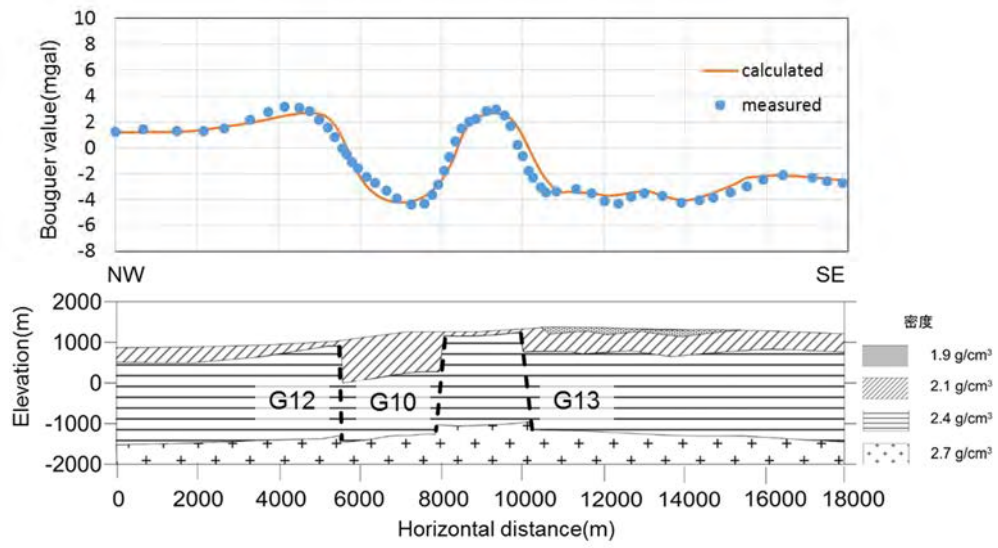


第 Gr-28 図 チェプチャク地域における 2 次元密度構造解析結果 (C-C'断面)



第 Gr-29 図 パカ地域における 2 次元密度構造解析断面位置図





第 Gr-30 図 パカ地域における 2 次元密度構造解析結果 (P-P'断面)





# 巻末資料

8. 環境社会配慮のための補足調査結果表

# 1. 初期環境影響調査

表 1.1 アルス地域の初期環境影響調査結果

項目	説明
自然環境	位置 Arus-Bogoria 開発地域は、北側にバリング湖、南側に Menengai 地熱区の間位置する。
	大気質 硫化水素濃度レベルは、1.4 ppm の Lokortabim 噴気孔付近および 3.3 ppm のボゴリア湖温泉ジェット口を除いて、全測定地点で 0.0 ppm であった。掘削、井戸排出テスト、およびプロジェクトオペレーションの際、硫化水素濃度レベルは 1.0 ppm を上回ると予想されるが、その値は世界保健機関（WHO）が規定した暴露限度値の 10 ppm から大きく下回っている。受容体のいる場所（receptor sites）における現在の硫化水素バックグラウンド濃度は 0.0 ppm である（検出限界以下）。
	地形・地質 Arus-Bogoria 地域は地熱利用可能性の指標と考えられるさまざまな地質学的な特徴を有している。これらには Arus 火山の強烈な噴気孔活動、Bogoria, Lobo, および Maji Moto 地域における猛烈に噴出する泉や温泉、Mugurin および Emining 地域でのボアホール中に存在する温水、Esageri 地域での一酸化炭素の排出孔が含まれている。起伏の多い地形は、高レベルなテクトノ-マグマチック活動を指示する強烈な断層活動によって引き起こされた近年の地殻変動によるものと考えられる。地域の表面の 98% は、近年いくつかの噴火によって引き起こされた低ガスの溶岩や火砕流に覆われている。地域にはいくつかの火山地帯が存在している。
	土壌 Arus-Bogoria 地域の土壌型や土質分布は地形による影響を受けている。緩急のある丘には火山岩由来の土壌が存在する。これらの低地の土壌は火山岩と沖積堆積物から成り、多くの地域の岩盤の構成は玄武岩、一部に沖積である。これらが乾燥気候により風化したことによって、砂質ローム土壌のような性状となった。比較的深い深度までこれらの土壌は水はげが良く、砂質土もしくはロームであり、また、浸食を受けている。主として、頁岩とシルトが沈殿したことによりできた堆積岩がくぼ地となっている箇所が、特に小川が沼沢地に入る地域に存在する。Mugurin と Molo Sirwe 周辺の土壌は保水能力が低い礫混じり粘性ローム土壌がきわめて浅部にしか存在しない。斜面の土は保水能力が中程度あるが、石が多く、礫混じりの粘性ローム土壌である。Marigat 周辺には沖積の粘性ローム土壌みられる。
	水環境 および 保護区 ボゴリア湖とその集水域の一部がボゴリア湖国立保護区（LBNR）として保護されている。動物相が豊富で、107 平方キロメートルの面積をカバーする。これは、1973 年に指定され、現在はバリングおよび Koibatek 郡評議会によって管理されている。近年、LBNR はナクル湖とナイバシャに続く第 3 のラムサールサイトと指定された。湖は塩湖で、34 km <sup>2</sup> をカバーし、小型のフラミンゴ類 ( <i>Phoeniconaias minor</i> ) の世界生息数の約半分が生息しており、生物多様性に富んでいる。また、大型のフラミンゴ類 ( <i>Phoeniconaias rubber</i> )、ハジロカイツブリ ( <i>Podiceps nigricollis</i> )、ダチョウ、魚食性のワシ類、渡り鳥を含む他の鳥種にとっても生息地となっている。また、鳥類相の豊かさのため、重要な鳥エリア（IBA）に指定されている。LBNR における哺乳類動物は、シマウマ、ガゼル、バッファロー、その他霊長類と比較的アクセス容易なクーズーの群れがあげられる。また、ボゴリア湖は、豊かな生物多様性に加えて、数多くの温泉がある。
植物相 および 動物相 <b>植物相</b> ：Arus 丘陵の植生は常緑の灌木である。高地には <i>Euclea divinorum</i> 、低地はアカシア植林地が優占する。低地の植生は主にアカシア類 ( <i>Acacia</i> )、ハマビシ科の植物 ( <i>Balanites</i> ) およびカンラン科の多肉植物 ( <i>Commiphora</i> ) のよ	

項目	説明	
	<p>うなイバラの低木林が存在し、所々に <i>Ficus capensis</i>、<i>Acacia xanthophloea</i>、および <i>Acacia tortilis</i> を含む河岸性植生（森林）が見られる。Siricho 崖の斜面下側はシクンジ属 (<i>Combretum</i>) およびウオトリギ属 (<i>Grewia</i>) の藪が優占する。</p> <p><b>動物相</b>：地域のコミュニティによれば、プロジェクトエリアで生息する動物は、ガゼル、ヒヒ、サル、ディクディク、ウサギ、ハイエナ、リス、サソリなどがなどである。また、鳥類では、サギ、ダチョウ、ハト、ハタオリドリ、サイチョウがプロジェクトエリア内で確認された。爬虫類は、オオトカゲ、ヤモリ、カメ、ヘビ（例：ロックパイソン、パファダー、ブラックマンバ）が存在すると考えられる。昆虫は、プロジェクトエリア内で多数のが確認され、トンボ類とチョウ類が目立つ。</p>	
希少種	コイ科の魚類である <i>Barbus intermedius</i> と <i>Labeo cylindricus</i> が生息している。	
社会環境	人口分布	アルス近郊で比較的大きなコミュニティ（Division）として、Emining および Mochongoi が上げられる。2009 年の KNBS の統計データによると、それぞれ人口は 16,067 人、25,737 人である。
	教育	教育水準は、特に中心都市から離れている場所では低い。若年での結婚、牧歌的なライフスタイル、重度の貧困といった社会的背景が就学率の低い原因の一つである。
	言語	ケニアでは英語が公用語、スワヒリ語が国語である。方言として、Turgen, Pokot, Ilchamus/Njemps における方言がある。
	宗教	Baring 郡では主にキリスト教徒が占めるが、イスラム教、伝統的信仰のような他の宗教の人々も存在する。
	地域特性	住民の多くは伝統的な小屋に住み、伝統的な衣装を着ている。例えば、男性はシュカを腰にまとい、女性は伝統的なビーズを首に巻いている。このような慣行はケニアの多くの地域ではなくなっている。地域はさまざまな社会的・文化的な問題に直面しており、主な問題は異なる部族間の紛争による不安定である。Pokots, Turkana, Samburu（まれに Turgens および Marakwets を含む）の間に引き起される窃盗罪や境界線紛争等の事件があげられる。財産および文化的背景以外に、牛窃盗罪の主な原因は、新郎から新婦一家への贈り物が高いからだといわれる。干ばつの時期には資源紛争が増加する。これは、近年住民が軽火器を入手することによって悪化している。
	所得、生計 および 土地利用	主な経済活動は、養蜂および蜂蜜収穫、畜産である。数名での小規模な農業も営む。都市での自営業には、マーケットセンターにおける小規模事業（卸売業、小売業、民宿）や非公認の事業（溶接、木工など）が含まれる。一般的に、プロジェクトで雇用する労働力の大部分は特殊な能力がないか、少ないかである。
	貧困	地域の約 50%以上が貧困レベルに達していると考えられる。
	土地利用	大部分は藪であり、放牧地および小規模な農地が存在する。
	土地所有者	プロジェクトエリアの大部分は共有地（コミュニティとして所有、管理する土地）となっている。
	インフラ（下 水道、道路、 電気、病院）	道路網は脆弱である。プロジェクトエリアの数少ない場所のみに電気が通り、これらは主に送電網沿いに接続されている交易の中心地となっている。また、プロジェクトエリアは水不足である。
文化遺産	プロジェクトエリアには国の文化遺産は存在しない。 過去には温泉がコミュニティの神聖な場所として考慮されていたが、現在主流となっているキリスト教徒としては信仰活動のための重要な場所としてのみ考慮	

項目	説明
	されている。プロジェクト進捗時には、地域住民との協議で確認するのが望ましい（重要な風景保全の観点より）。
景観	バリngo湖およびボゴリア湖は景観上重要である。
部族	Tugens 族
少数民族 および 先住民族	少数民族や社会的弱者は存在しない。
温室効果ガス	著しい温室効果ガスの排出源は確認されていない。
関係者	NEMA、KWS、KFS、農業省、公衆衛生省、水資源管理局、水資源利用者協会、教育機関、郡政府（知事、青少年および女性や職員の代表）、郡政委員、郡議会のメンバー、地域社会の行政指導者（チーフおよびアシスタントチーフ）、地域社会組織、NGO、国会議員、牧場関係

表 1.2 バリngo地域の初期環境影響調査結果

項目	説明	
自然環境	位置	バリngoは、リフトバレー地区と Turkana と Samburu の境界北側に位置する（経度 35° 30' E と 36° 30' E の間、緯度 0° 10' N and 1° 40' N の間）。
	気候	バリngo郡は、乾燥・半乾燥地域に区分される。降雨に関しては2つの季節があり、ボゴリア湖付近のリフトバレーで 300～750 mm である一方、Eldama Ravine 町付近の高地で 1200 mm と様々である。気温は 15～35℃に変化し、降雨パターンと連動する。エリア内の蒸発量は、年間 1800～2200 mm と場所によって異なる。
	地形・地質	プロジェクトエリアは、大きく3つ自然地理学の地域に分かれる（地溝帯の谷底、高原、火山）。ケニア地溝帯は、北の Afar 三重会合点から南のモザンビーク（Beira, Mozambique）まで幅広いアフリカ地溝帯系の一部である。40-80 km の広い地溝を形成する。地溝帯の谷底は海拔 1000m 以下に位置し、北東方向に広がる。谷底の東に Kaikipia 高原、西に Loru 高原が存在する。それらの高原は海拔 1000-2000m の間にある。
	水環境	Loru 及び Laikipia 高原の東・西縁は Gregory 谷の北側に向かっている。Paka-Silali 地域では常時水がある河川はなく、Suguta 川に流れる季節的な河川が形成される。谷底は構造地質学及び地域の土壌特性に左右されている。火山から半円形の小峡谷は、統合されていない火山碎屑物のエリアだけでなく、谷底の川に向け傾斜している。谷底の本流は、海嶺と平行に北・北東方向に走り、同方向に向かう。プロジェクトエリア内の地表水は不十分である。湖が2つが存在する（Baringo と Bogoria）。これらの湖に常時水を帯水する河川、季節的な河川及び冷・温泉が水を供給している。プロジェクトエリア内の他の水資源はダム、水盆、掘削孔が存在する。開発計画エリアの湿地は Bogoria 湖の北側に位置する Greater Loboï 湿地及び Kesubo 湿地が含まれ、それぞれの面積が 2 km <sup>2</sup> と 1 km <sup>2</sup> ある。一年中水が流れる Suguta 川、Kerio 川、Molo, Pekera、Endau 川、及び Mukutan 川以外の、地域の殆どの川が季節的である。排水は地域の構造要素で支配されている。地溝帯東縁の峰が2つの川に挟まることによって流域のような役割がある。一つ目は西方向に険しい渓谷の間を流

項目	説明
	れる川、二つ目は流れがより遅く、高平から東の Ewaso Ng' iro 方向のに流れる川である。地溝断層の内側に排水システムが二つある（南に Baringo 湖集水地域、北に Suguta）。
保護区	バリngo湖はラムサール条約の指定湿地として2002年1月に定められている。約500種の鳥類が生息している。また、バリngo湖は淡水湖であり、淡水魚、カバ、クロコダイルが生息する。
植物相 および 動物相	バリngo湖は淡水であり、7種の魚類にとって重要な生息環境となっている。魚類は、ティラピア ( <i>Tilapia Oreochromis niloticu</i> )、プロトプテルス ( <i>Protopterus aethiopicus</i> , <i>Clarias</i> , <i>garipepinus</i> , <i>Barbus</i> , <i>intermedius</i> )、 <i>Labeo cylindricus</i> が含まれる。バリngo湖は、約500種の鳥類のための重要な生息地や避難場所を提供しており、地域および世界の保全地として重要である。サイトは、カバやクロコダイル、哺乳類、両生類、爬虫類や無脊椎動物群といった多くの動物の生息地である。西側の岸辺周辺はアカシア類 ( <i>Acacia tortilis</i> ) の主な生育地となっており、小さな藪に覆われた丘、崖地、溪谷にり森林が形成されている。イチジク類の数種 ( <i>Ficus</i> spp.) は崖面に植生する。北側と東側には密な藪があり、南に向かって疎になっている。
希少種	<i>Barbus intermedius</i> および <i>Labeo cylindricus</i> , <i>The tilapia Oreochromis niloticus baringoensis</i> がバリngo湖の絶滅危惧種である。
人口分布	2009年のバリngo県の人口は、ケニアの人口の1.4%にあたる555,561名であり、うち、50.2%は男性、49.8%は女性であった。人口密度は282人/km <sup>2</sup> である。バリngo県には Tiaty (East Pokot)、Baringo South (Marigat)、Mogotio、Eldama Ravine (Koibatek)、Baringo Central and Baringo North の6つの選挙区がある。Kabarnet はバリngo県人口の5%を占める都会の人口の中心であり、Eldama Ravine が3%、Marigat、Maji Mazuri、Mogotio、Timboroa がそれぞれ1%を占める。
教育	教育水準は、特に中心都市から離れている場所では低い。若年での結婚、牧歌的なライフスタイル、重度の貧困といった社会的背景が就学率の低い原因の一つである。
言語	ケニアでは英語が公用語、スワヒリ語が国語である。方言として、Turgen, Pokot, Ilchamus/Njempis における方言がある。
宗教	バリngo郡では主にキリスト教徒が占めるが、イスラム教、伝統的信仰のような他の宗教の人々も存在する。
所得、生計 および 土地利用	主な経済活動は、養蜂および蜂蜜収穫、畜産である。数名での小規模な農業も営む。都市での自営業には、マーケットセンターにおける小規模事業（卸売業、小売業、民宿）や非公認の事業（溶接、木工など）が含まれる。一般的に、プロジェクトで雇用する労働力の大部分は特殊な能力がないか、少ないかである。
貧困	地域の約50%以上が貧困レベルに達していると考えられる。
土地利用	大部分は草地であり、放牧地および小規模な農地が存在する。
土地所有者	プロジェクトエリアの大部分は共有地（コミュニティとして所有、管理する土地）となっている。
インフラ （下水道、道 路、電気、病院）	道路網は脆弱である。プロジェクトエリアの数少ない場所のみに電気が通り、これらは主に送電線網沿いに接続されている交易の中心地となっている。また、プロジェクトエリアは水不足である。
文化遺産	プロジェクトエリアには国の文化遺産は存在しない。過去には温泉がコミュニティの神聖な場所として考慮されていたが、現在主流となっているキリスト教徒としては信仰活動のための重要な場所としてのみ考慮されている。プロジェ

社会環境

項目	説明
	クト進捗時には、地域住民との協議で確認するのが望ましい（重要な風景保全の観点より）。
景観	バリngo湖およびボゴリア湖は景観上重要である。
部族	Tugen 族、Pokots 族、Ilchamus 族
少数民族 および 先住民	Ilchamus は社会的弱者として考慮されている。ケニアの憲法は、国内の少数民族および社会的弱者を認識しているが、特定のプロジェクトの影響を受けた場合の取るべき対策は明記されていない。
温室効果ガス	民間の電力生産として、ケニア初の商用バイオマス発電所がバリngo郡のMarigat に設置されている。11.5 MW の電力施設は、マメ科の侵入雑木である <i>Prosopis juliflora</i> を発電材料としている。発電された電気は KPC (Kenya Power Company) に売電され、年間 31,145 t-CO <sub>2</sub> の削減に寄与している。
関係者	NEMA、KWS、KFS、農業省、公衆衛生省、水資源管理局、水資源利用者協会、教育機関、郡政府、郡議会のメンバー（知事、青少年および女性や職員の代表）、地域社会の行政指導者（チーフおよびアシスタントチーフ）、地域社会組織、NGO、バリngo湖管理組合、漁業関係者、議会の漁業関係メンバー、牧場関係者、教会

表 1.3 コロシ地域の初期環境影響調査結果

項目	説明	
自然環境	位置	コロシ地熱区は、ナイロビから約 300km 離れている活断層であるケニア地溝帯の北側に位置する (0°45' N, 36° 05' E.)。Korosi 山の周囲には南側にバリngo湖、北側に Paka 山が位置する。
	大気質	硫化水素濃度レベルは、1.4 ppm の Lokortabim 噴気孔付近および 3.3 ppm のボゴリア湖温泉ジェット口を除いて、全測定地点で 0.0 ppm であった。掘削、井戸排出テストおよびプロジェクト作業の際、硫化水素濃度レベルは 1.0 ppm を上回ると予想されるが、値は世界保健機関 (WHO) が規定した暴露限度値の 10 ppm から大きく下回っている。受容体のいる場所 (receptor sites) における現在の硫化水素バックグラウンド濃度は 0.0 ppm である (検出限界以下)。
	気候	地域は半乾燥で、平均降雨量は 450-700 mm である。
	地形・地質	Korosi 山は、リフトバレーのトラフ内側の谷部から高さ 450-500m である。コロシ周辺の主な地質はエリアの中央・東にみられる安山岩質溶岩（主に粗面岩・粗面安山岩）、南側、北側、西側にみられる玄武岩である。しかし、南西の平地帯は、沖積・河成堆積物、西平地帯は降下軽石層が主要なものとなっている。
	土壌	土壌の大部分には最小限の変性が発生している（例：未分化した第三紀火山岩上にできた固結岩層）。この大部分は水はけの良い土壌で、土壌の深さは浅く、石・岩を多く含む。濃赤褐色で砕けやすく、炭酸カルシウムの割合が高い埴壌土で、浸食性が高い。
	水環境 および保護区	バリngo湖がラムサールサイトとして登録されている。詳細はバリngo調査結果を参照。
	植物相 および 動物相	Away 湖の岸辺から地上にかけての植生は、主に藪で占められる。高地には <i>Euclea divinorum</i> 、低地にはアカシア植林地が優占する。低地の植生は主に <i>Acacia</i> 、 <i>Balanites</i> および <i>Commiphora</i> のようなイバラの低木林が存在し、所々に <i>Ficus capensis</i> 、 <i>Acacia xanthophloea</i> 、および <i>Acacia tortilis</i> を含む川

項目		説明
		沿いの森林が見られる。Siricho 崖の斜面下側は <i>Combretum</i> および <i>Grewia</i> の藪が優占する。 動物相：地域のコミュニティによれば、プロジェクトエリアに生息する動物は、ガゼル、ヒヒ、サル、ディクディク、ウサギ、ハイエナ、リス、サソリなどが。また、鳥類では、サギ、ダチョウ、ハト、ハタオリドリ、サイチョウがプロジェクトエリア内で確認された。爬虫類は、オオトカゲ、ヤモリ、カメ、ヘビ（例：ロックパイソン、パファアダー、ブラックマンバ）が存在すると考えられる。昆虫は、プロジェクトエリア内で多数のが確認され、トンボ類とチョウ類が目立つ。
	希少種	コイ科の魚類である <i>Barbus intermedius</i> と <i>Labeo cylindricus</i> が生息している。
社会環境	教育	教育水準は、特に中心都市から離れている場所では低い。若年での結婚、牧歌的なライフスタイル、重度の貧困といった社会的背景が就学率の低い原因の一つである。
	言語	ケニアでは英語が公用語、スワヒリ語が国語である。方言として、Turgen, Pokot, Ilchamus/Njemps における方言がある。
	宗教	バリngo郡では主にキリスト教徒が占めるが、イスラム教、伝統的信仰のような他の宗教の人々も存在する。
	所得、生計 および 土地利用	主な経済活動は、養蜂および蜂蜜収穫、畜産である。数名の人々による小規模な農業も営んでいる。都市での自営業にはマーケットセンターにおける小規模事業（卸売業、小売業、民宿）や非公認の事業（溶接、木工など）が含まれる。一般的に、プロジェクトで雇用する労働力の大部分は特別な能力がないか、少ないかである。
	貧困	地域の約 50%以上が貧困レベルに達していると考えられる。
	土地利用	大部分は藪であり、放牧地および小規模な農地が存在する。
	土地所有者	プロジェクトエリアの大部分は共有地（コミュニティとして所有、管理する土地）となっている。
	インフラ (下水道、道路、電気、病院)	道路網は脆弱である。プロジェクトエリアの数少ない場所のみに電気が通り、これらは主に送電網沿いに接続されている交易の中心地となっている。また、プロジェクトエリアは水不足である。
	文化遺産	プロジェクトエリアには国の文化遺産は存在しない。 過去には温泉がコミュニティの神聖な場所として考慮されていたが、現在主流となっているキリスト教徒としては信仰活動のための重要な場所としてのみ考慮されている。プロジェクト進捗時には、地域住民との協議で確認するのが望ましい（重要な風景保全の観点より）。
	景観	バリngo湖およびボゴリア湖は景観上重要である。
	部族	Pokots 族
	少数民族 および 先住民族	少数民族や社会的弱者は存在しない。
	温室ガス効果	著しい温室効果ガスの排出源は確認されていない。
関係者	NEMA、KWS、KFS、農業省、保健省、水資源管理局（WRMA）、水資源利用者の協会、教育機関、郡政府（知事、青少年および女性や職員の代表）、郡長官、郡議会のメンバー（MCA）、地域社会の行政指導者（チーフおよびアシスタントチーフ）、地域社会組織（CBO；女性のグループや若者のグループなど）、NGO、国会議員、牧場関係者	

表 1.4 チェプチャク地域の初期環境影響調査結果

項目	説明	
自然環境	位置	チェプチャクは北から南に走る尾根の最高地点（1,380m）の名称である。尾根は平原から高さ 220m であり、コロシの北東からパカの南東に位置する。
	大気質	硫化水素濃度レベルは、1.4 ppm の Lokortabim 噴気孔付近および 3.3 ppm のボゴリア湖温泉ジェット口を除いて、全測定地点で 0.0 ppm であった。掘削、井戸排出テスト、およびプロジェクトオペレーションの際、硫化水素濃度レベルは 1.0 ppm を上回ると予想されるが、その値は世界保健機関（WHO）が規定した暴露限度値の 10 ppm から大きく下回っている。受容体がある場所（receptor sites）における現在の硫化水素バックグラウンド濃度は 0.0 ppm である（検出限界以下）。
	気候	地域は半乾燥で、平均降雨量が 450-750 mm である。
	地形・地質	チェプチャクの地質は、マイクロ地溝を占める鮮新・更新世の洪水粗面岩および（young）玄武岩が特徴的である。当該エリアは大規模な断層が発生しており、Chepchuk 火山の半分が西方向にむかってずれている。Chepchuk 火山は、さまざまな時代・火砕性の粗面岩および玄武岩質溶岩の中間層といった様々な地質から成り立っている。
	土壌	土壌の大部分は最小限の変性が発生している（例：未分化した第三紀火山岩上にできた固結岩層）。土壌の大部分は水はけの良い土で、土壌の深さは浅く、石・岩を多く含む。濃赤褐色で、砕けやすく、炭酸カルシウムの割合が高い埴壌土で、浸食性が高い。
	水環境 および 保護区	周辺にある Baringo 湖がラムサールサイトに指定されている。詳細はバリngo の調査結果を参照。
	植物相 および 動物相	チェプチャクの植生ではアカシア類の藪が優占する。下層植生は一年生植物であり、そのほとんどが主に草本で構成される。 動物相：地域のコミュニティによれば、プロジェクトエリアで生息する動物は、ガゼル、ヒヒ、サル、ディクディク、ウサギ、ハイエナ、リス、サソリなどがなどである。また、鳥類では、サギ、ダチョウ、ハト、ハタオリドリ、サイチョウがプロジェクトエリア内で確認された。爬虫類は、オオトカゲ、ヤモリ、カメ、ヘビ（例：ロックパイソン、パファダー、ブラックマンバ）が存在すると考えられる。昆虫は、プロジェクトエリア内で多数のが確認され、なかでもトンボ類とチョウ類が目立つ。
	希少種	コイ科の魚類である <i>Barbus intermedius</i> と <i>Labeo cylindricus</i> が生息する。
社会環境	人口分布	チェプチャク近郊で比較的大きなコミュニティ（Division）として、Tangulbei が上げられる。2009 年の KNBS の統計データによると、人口は 17,251 人である。
	教育	教育水準は、特に中心都市から離れている場所では低い。若年での結婚、牧歌的なライフスタイル、重度の貧困といった社会的背景が就学率の低い原因の一つである。
	言語	ケニアでは英語が公用語、スワヒリ語が国語である。方言として、Turgen, Pokot, Ilchamus/Njemps における方言がある。
	宗教	バリngo 郡では主にキリスト教徒が占めるが、イスラム教、伝統的信仰のよう



項目	説明
	な他の宗教の人々も存在する。
地域特性	住民の多くは伝統的な小屋に住み、伝統的な衣装を着ている。例えば、男性はシュカを腰にまとい、女性は伝統的なビーズを首に巻いている。このような慣行はケニアの多くの地域ではなくなっている。地域はさまざまな社会的・文化的な問題に直面しており、主な問題は異なる部族間の紛争による不安定さである。Pokots, Turkana, Samburu (まれに Turgens および Marakwets を含む) の間に引き起される窃盗罪や境界線紛争等の事件があげられる。財産および文化的背景以外に、牛窃盗罪の主な原因は、新郎から新婦一家への贈り物が高いからだといわれる。干ばつの時期には資源紛争が増加する。これは、近年住民が軽火器を入手することによって悪化している。
所得、生計および土地利用	主な経済活動は、養蜂および蜂蜜収穫、畜産である。数名の人々による小規模な農業も営んでいる。都市での自営業にはマーケットセンターにおける小規模事業（卸売業、小売業、民宿）や非公認の事業（溶接、木工など）が含まれる。一般的に、プロジェクトで雇用する労働力の大部分は特別な能力がないか、少ないかである。
貧困	地域の約 50%以上が貧困レベルに達していると考えられる。
土地利用	大部分は藪であり、放牧地および小規模な農地が存在する。
土地所有者	プロジェクトエリア計画地の大部分は共有地（コミュニティとして所有、管理する土地）となっている。
インフラ (下水道、道路、電気、病院)	道路網は脆弱である。プロジェクトエリアの数少ない場所のみに電気が通り、これらは主に送電網沿いに接続されている交易の中心地となっている。また、プロジェクトエリアは水不足である。
文化遺産	プロジェクトエリアに国の文化遺産は存在しない。
景観	バリngo湖は景観上重要である。
部族	Pokots 族
少数民族および先住民族	少数民族や社会的弱者は存在しない。
温室ガス効果	著しい温室効果ガスの排出源は確認されていない。
関係者	NEMA、KWS、KFS、農業省、保健省、水資源管理局 (WRMA)、水資源利用者の協会、教育機関、郡政府 (知事、青少年および女性や職員の代表)、郡長官、郡議会のメンバー (MCA)、地域社会の行政指導者 (チーフおよびアシスタントチーフ)、地域社会組織 (CBO; 女性のグループや若者のグループなど)、NGO、国会議員、牧場関係者

表 1.5 パカ地域の初期環境影響調査結果

項目	説明	
自然環境	位置	Paka 山は、Baringo 湖の北部から約 25km に位置する (00° 25' N and 36° 12' E)。
	大気質	硫化水素またメタンの濃度は全サイトの測定で 0 ppm を示し、一般的な検出限界以下である。酸素および二酸化炭素濃度はそれぞれ 20.9%、150-200 ppm であった。全体的に大気は汚染されていないと予想される。
	騒音	騒音レベルは WHO (1997 年) が推奨する標準 (85dB) 以下であり、バックグラウンド騒音レベル内である。

項目	説明
気候	プロジェクトエリアは乾燥～半乾燥地帯に位置し、農業生態ゾーン (LM5, LM6) が含まれる。雨季は長雨の季節と短い雨の季節の2つがある。平均降雨量は年間 486-755 mm。年平均最高気温は約 30 度だが、35 度を越えることもある。最も暑い時期は 1 月～3 月である。
地形・地質	Paka 山はケニアリフトのトラフ内側に位置し、その山塊は約 280 km <sup>2</sup> の面積に延び、リフト内の底部から高さ約 600-700 m がある。Paka 中央火山の高さが 1697 masl であり、平原に四方八方を囲まれている。火山の頂上には保存状態の良い 1.5 km 直径のカルデラ、その中に玄武岩質溶岩が存在する。大山塊の北・北東の方向に向かっては、数個のクレーターが見られる。火山の中央・東面は北・北東方向に走る多くの断層線が存在する。パカは小さい盾状火山であり、粗面岩、玄武岩質溶岩、火山砕屑堆積物から構成された。多くの溶岩が粗面岩状の火山砕屑堆積物から成り、火山の周辺を覆っているのが見られる。北東および南方に位置する断層帯および一連の裂罅から、玄武岩質溶岩（玄武岩の種類：hawaiiite, mugearit）噴出された。火山活動は 39 万年前から始まり、10 万年前まで続いた。火山体周辺にある small satellite centers で同時に粗面岩・玄武岩活動が多数発生した。最も古く露出された岩は Lower Trachytes と言って、早期盾状の火山層を作成した。北・北東方向に走る多くの断層線により火山層の後続破砕は東方面の山腹割れ目噴火（Lower Basalt）と共に、発生した。
土壌	土壌の特性は主に Paka-Silale エリアの波形（丘陵から平原）または地質によって決められる。土壌のタイプは地形学、火山性質、および地球化学的プロセスを現したものとなっている。
水環境	地溝帯の他の火山と同様に、西側の Loru 高原を形成する並列の尾根と東側のライキピア高原に挟まれる。このように、東側及び西側の台地は、グレゴリー谷北部へと流れ出る。Paka-Silale エリアには、恒久的な河川は存在しない。しかし、谷底で Suguta 川に流れ込む流れのような季節的な水流は、主に構造地質学、地域の土壌の特性によって制御されている。火山に由来する、密な放射状の谷底の形は、谷底における河川への排出流出経路として代表的なものである。北北東地区の谷底を流れる主な河川は、同じ方向に流れている。
保護区	開発地域内には保護区は確認されていない。
植物相 および 動物相	植物相：プロジェクトエリアは、ケニアの乾燥地域及び半乾燥地域の中間的な植物多様性を持っている。アカシア類 ( <i>Acacia raficiens</i> ) が優占種である。一般的な植物は、 <i>Acacia mellifera</i> , <i>Salvadora persica</i> , <i>Boscia coriacea</i> 。動物相：Paka-Silale エリア原因で、既存の自然の生息地にこれは、動物の多様性の面で自然に豊富であると考えられている。確認された動物として、サイチョウ、ハタオリドリ、トカゲ、シロアリが挙げられる。コミュニティに滞在するヤギは、プロジェクトエリアで一般的にみられる。エリア内の野生動物にはデユクデユクが含まれる。
希少種	アカシア類の樹木の 3 種 ( <i>Acacia xanthopholea</i> , <i>Acacia abyssinica</i> , <i>Acacia drepanolobium</i> )、ホウオウボク ( <i>Delonix elata</i> )、woolly caper bush ( <i>Capparis tomentosa</i> ) が挙げられる。
社会環境	人口分布 Paka 周辺の人口構成としては、女性が 39,122 人、男性が 39,324 人となっている。Paka 近郊で比較的大きなコミュニティ (Division) として、Nginyang が上げられる。2009 年の KNBS の統計データによると、それぞれ人口は 20,7587 人である。
	教育 エリアの現在の識字レベルは 5% 以下である。地区には 60 の ECD センター、34

項目	説明
	の小学校、3つの高校、1つの大学がある。東 Turkana 地区の Kapedo にて全地域として公立小学校が3つあるのみである。
言語	ケニアでは英語が公用語、スワヒリ語が国語である。方言として、Turgen, Pokot, Ilchamus/Njemps における方言がある。
宗教	バリンゴ郡では主にキリスト教徒が占めるが、イスラム教、伝統的信仰のような他の宗教の人々も存在する。
地域特性	地域はさまざまな社会的・文化的な問題に直面されている。主な問題は異なる部族間の紛争による不安定である。Pokots, Turkana, Samburu (たまに Turgens および Marakwets も含む) の間に引き起こされる牛窃盗罪や境界線紛争等の事件が挙げられる。財産および文化的背景以外に、牛窃盗罪の一つの主な原因は、新郎から新婦一家への贈り物が高いことが挙げられる。干ばつの時期に資源紛争が増加する。これは、近年住民が軽火器を入手したことで悪化している。
所得、生計および土地利用	地域の主な経済活動は牧畜である。経済的重要性のある動物には、ヤギ、牛、ラクダ、羊が含まれる。
貧困	地域の約 50%以上が貧困レベルに達していると考えられる。
土地利用	牧畜および養蜂
土地所有者	プロジェクトエリア計画地の大部分は共有地 (トラスト地) となっている。
インフラ (下水道、道路、電気、病院)	水および衛生：プロジェクトエリアにて水不足問題が発生している。これは乾燥地域で典型的である。地域の人々が生活用水 (家畜行動含む) のために季節の川水や水皿に依存している。衛生状態が悪く、これは文化的な慣行によって悪化すると考えられる。プロジェクトエリア内に幾つかの保健医療施設がある。東 Pokot 地区開発計画 (2008-2011) によると、地区には診療所が 30、医療センターが 4、プライベートクリニック 1 がある。
文化遺産	プロジェクトエリアには国の文化遺産は存在しない。過去には温泉がコミュニティの神聖な場所として考慮されていたが、現在主流となっているキリスト教徒としては信仰活動のための重要な場所としてのみ考慮されている。プロジェクト進捗時には、地域住民との協議で確認するのが望ましい (重要な風景保全の観点より)。
部族	Pokots 族
少数民族および先住民族	少数民族や社会的弱者は存在しない。
温室ガス効果	著しい温室効果ガスの排出源は確認されていない。
関係者	NEMA、KWS、KFS、農業省、保健省、水資源管理局 (WRMA)、水資源利用者の協会、教育機関、郡政府 (知事、青少年および女性や職員の代表)、郡長官、郡議会のメンバー (MCA)、地域社会の行政指導者 (チーフおよびアシスタントチーフ)、地域社会組織 (CBO；女性のグループや若者のグループなど)、NGO、国会議員、牧場関係者

## 2. 環境影響評価項目の抽出

地熱開発プロジェクトにおいては、調査・工事期間、供用期間にそれぞれ何らかの環境・社会面での影響を及ぼす可能性が考えられる。本調査で対象としている各開発計画区域に対して、これまでの初期環境社会影響評価結果を元に、影響を及ぼしそうな環境影響評価項目の抽出を行った。なお、いくつかの開発計画区域においては現時点で具体的な井戸や設備設置計画が進んでいない部分もあるため、現時点で想定できる範囲内で、安全サイドにたって、より深刻な影響が生じる可能性について検討をおこなった。抽出結果は表 2.1～2.5 の通りである。

表 2.1 アルス地域の環境社会影響の抽出結果

項目	評 定		理 由 (抽出した、またはしなかった理由)	
	調査/ 工事期間	供用期間		
社会環境	非自発的住民移転	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現在計画されている地熱開発区域は丘陵地帯に位置し、固定の住居はなく、周辺に放牧民等が利用していると考えられる土地が散在する程度であり、住民移転の可能性は低いものと考えられる。</li> <li>・ 地熱開発区域までの道路も整備されているため、調査工事等のために新たな移転を伴う可能性は比較的低いものと考えられる。地熱開発による住民移転の可能性は低いと考えられるが、住民移転の有無は開発の詳細計画によって異なるため、現段階では不明である。</li> </ul>
	雇用や生計手段等の地域経済	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 調査/工事期間、供用期間を通じて、雇用機会の増加、資材/機材の地元調達、開発を通じてのインフラの整備、地熱の直接利用などにより地域経済や住民の暮らしについては正の影響が期待される。</li> <li>・ 発電施設の建設予定地周辺の放牧地の使用制限、土地収用等による放牧地の減少により、地域の住民の生活、経済に一定の影響が生じる可能性がある。その場合、住民生活への影響は、施設供用後も継続する。</li> </ul>
	土地利用や地域資源利用	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 調査、建設のための基地設置による土地利用や地域資源の利用が予想される。</li> <li>・ 発電所施設等による土地利用や地域資源の利用が予想される。</li> </ul>
	社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織	C	C	<p>地方には、行政機関（地方自治体、部族のコミュニティー）、社会（教育機関）、各グループ（女性や若者のグループ）、宗教組織（キリスト教等）、NGO 等多くの組織があり、これらの組織のコンセンスをを得る必要がある。現段階で各プロジェクトにおける影響の有無は不明であるが、本調査でおこなった直接利用に関するインタビューの中では地熱開発に関しては好意的な意見が多く聞かれ、正の影響が想定されている。</p>



既存の社会インフラや社会サービス	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間における道路や水供給設備等のインフラの建設、整備等により社会インフラの改善が期待できる。一方、建設機械や資材の輸送により既存道路のダメージ等、負の影響が想定されるが、現段階では影響は不明である。</li> <li>・発電所施設等の存在による道路の整備、維持管理 や、住民への電気供給等の正の影響が予想される。</li> </ul>
貧困層・先住民民族・少数民族	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発地域周辺の住民の約 50%程度が貧困レベルに達している。発電施設等の建設に伴い、経済的には正の影響が期待されている。</li> <li>・開発地域周辺には少数民族などの社会的弱者は存在しないと考えられている。地域で最も多い、放牧を主とする生活基盤への影響は一定程度あるものと考えられるが、現段階では不明である。</li> </ul>
被害と便宜の偏り	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所施設の立地・設計によっては、特定の地区への汚染の集中等、被害の偏りや不平等が生じる可能性はあり、また、利益を得られる地区や特定の集団、個人が生じる可能性は否定できない。</li> <li>・これらの影響の有無および程度は、開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
文化遺産	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発計画地域内には国の文化遺産は存在しない。一方で、過去には温泉がコミュニティーの神聖な場所として考えられ、現在も宗教上の重要な場所として利用されている。開発の詳細計画作成時にコミュニティーと協議し、十分配慮する必要がある。</li> <li>・これらの影響の有無及び程度は開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
地域内の利害対立	C	C	<p>地域内でプロジェクトに対する賛成と反対のグループの対立が起こる可能性も考えられるが、現段階では不明である。</p>
水利用、水利権、入会権	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、坑井掘削工事用水の取水により、河川流量、湖水位に影響を及ぼす可能性が想定される。周辺は乾燥地域であるため、河川からの取水の場合、時期によっては比較的大きな影響が出る可能性が考えられる。湖水からの取水の場合、量も少ないため、影響は小さいと考えられる。このため、F/S 段階では、取水量および水域の利用状況や水利権を確認する必要がある。</li> <li>・取水については WRMA の許可を得る必要がある。</li> </ul>

	公衆衛生	C	D	調査、建設期間では、衛生施設の未設置や不足および処理能力不足等により、公衆衛生が悪化する可能性が考えられる。これは開発計画次第であり、現段階では影響は不明である。
	災害、HIV/AIDS等の感染症	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電施設の建設期間中は、多くの外部建設労働者が従事することから、HIV/AIDS 感染、蔓延の危険性が考えられる。一方で、開発地域は人口密度が低く、放牧等で定住せずに生活している放牧民が多いため、現段階では影響の有無は不明である。</li> <li>・供用時には外部からの労働者従事はほとんどなく、産業員数も少ないために影響は想定されない。</li> </ul>
自然環境	地形・地質	B	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は工事等による土地の形状の変更が予想される。</li> <li>・供用時における地形、地質への影響は想定されない。</li> </ul>
	土壌浸食	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は掘削坑井基地、敷地造成やアクセス道路の建設に伴い、裸地が発生し、降雨時に裸地の土壌浸食が想定される。</li> <li>・供用時には大規模土木工事等はないため、土壌浸食の影響は想定されない。</li> </ul>
	温泉	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は調査時や建設時の坑井掘削等において、発電所周辺の温泉等に一時的な影響を及ぼす可能性が想定される。</li> <li>・供用時には深部地熱流体の採取、熱水の地下深部への還元を継続して行うことにより、発電所周辺の温泉等に影響を及ぼす可能性が想定される。</li> </ul>
	地下水	D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の取水は想定されない。また、地熱発電所の実績より坑井掘削時などにより地下水位、水量への影響は想定し難い。</li> </ul>
	河川・湖沼・湿地状況	B	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中においては、河川・湖沼・湿地の形態を大きく変更するような工事は想定されないが、本計画地域では付近の Molo 川より取水される予定であるため、計画次第で影響する可能性がある。</li> <li>・供用時においては、発電所用水取水により、河川流量、湖水位への影響が予想されるが、取水量は少ないため、量の面での影響は小さいと考えられる。発電時のラインを排水する場合には、塩濃度が高い可能性も考えられる。河川の流量自体が少ないため、排水量が多い場合、水質への影響が考えられる。ただし、具体的には開発の詳細計画次第であるため、影響の程度は現時点では不明である。</li> </ul>

動植物、生物多様性		C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は植物除去や土地の改変による一時的な影響が考えられるが、乾燥地域であり植生密度も高くないため、影響の程度はあまり大きくないものと考えられるが、現時点では不明である。</li> <li>・供用時においては、動植物、生物多様性への影響はあまりないものと考えられるが、現時点では不明である。</li> </ul>
景観		B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所の立地によっては、発電所および周辺施設の建設やアクセス道路の建設により、地域の自然景観および眺望景観への影響の可能性が想定される。Arus 近郊の Bogoria 湖は景観上重要な場所である。</li> <li>・発電所の立地によっては、施設の存在、発電所からの白煙（蒸気）により地域景観への影響が想定される。</li> </ul>
地球温暖化		D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中の工事用建設機械の稼働、資材の搬出入において発生する温室効果ガスは少なく、影響は一過性で軽微であると想定される。</li> <li>・また、供用期間中には CO2 の排出が想定されるが、他の発電方法と比較して温室効果ガスの排出はきわめて少ない技術であるため、多大な正の影響が予想されている。</li> </ul>
大気汚染	H <sub>2</sub> S	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地熱貯留層評価を行うために実施する噴出試験に伴い、H<sub>2</sub>S を含むガスが発生し、近傍地域における一時的な影響が想定される。</li> <li>・H<sub>2</sub>S を含む地熱流体を発電用蒸気として利用することにより、H<sub>2</sub>S が水蒸気とともに冷却塔から排出され、発電所近傍における環境影響が想定されている。</li> </ul>
	粉塵	B	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事中の資材等の搬出入に使用する車両から、土砂粉じんの巻き上げ等が発生するが、その影響は道路近傍に限られると考えられる。アクセス道路の近傍に民家等がある場合は、影響が想定される。</li> <li>・供用時における車両の通行台数は少ないため、影響は想定されない。</li> </ul>
水質汚濁		A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、削孔工事等に伴う泥水や建設時の一般排水の発生による影響が想定される。</li> <li>また、敷地造成時の裸地発生により、降雨時の土砂の流出による地表水の濁りが考えられる。</li> <li>・供用時に発生する排水による周辺の水環境への影響が想定される。</li> </ul>

土壌汚染	B	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、掘削汚泥、熱水の一時貯留時の漏洩による周辺土壌の汚染の可能性が想定される。</li> <li>・地上設備建設時には、土壌汚染を生じさせるような物質を取り扱うことは想定されない。</li> <li>・供用時は、一般的に土壌が汚染されるような物質の取り扱うことは想定されない。一方で、地熱の直接利用として、蒸気やブラインの水利用がなされる場合は、水中に含まれる重金属等により、汚染の可能性が考えられるが、現段階では影響は不明である。</li> </ul>
廃棄物	A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中に産業廃棄物（掘削汚泥、廃材）の発生が想定される。</li> <li>・供用時に産業廃棄物（汚泥、廃油等）の発生が想定される。</li> </ul>
騒音・振動	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査時において、地熱流体の噴出時に発生する騒音や建設機械の稼働により発生する建設作業騒音および振動が想定されるが、一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。</li> <li>・供用時の影響については、冷却塔、蒸気タービン、発電機等からの騒音・振動が想定され、近傍における環境への影響が想定される。</li> </ul>
地盤沈下	D	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は地熱流体の噴出は短期間であるため、影響は想定されない。</li> <li>・供用期間中は深部地熱流体を採取することから、発電所近傍における地盤沈下の可能性が想定される。</li> </ul>
悪臭	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴出試験で発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、近傍地域における一時的な影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>・供用時に発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、発電所近傍に影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> </ul>
事故	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査時の地熱流体の噴出や H<sub>2</sub>S ガスによる事故は、確率は低いが否定できない。</li> <li>・建設時の工事ともなう事故や作業中の H<sub>2</sub>S ガスの漏洩による事故の可能性も想定される。</li> </ul>

評価；

A：深刻な負の影響が予想される。

B：いくつかの負の影響が予想される。

C：影響の程度は不明。

D：影響は予想されない。IEE/EIAは必要ない。



表 2.2 バリンゴ地域の環境社会影響の抽出結果

項目	評 定		理 由 (抽出した、またはしなかった理由)	
	調査/ 工事期間	供用期間		
社会環境	非自発的住民 移転	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現在計画されている地熱開発区域はバリンゴ湖西岸に位置し、固定の住居はなく、周辺に放牧民等が利用していると考えられる土地が散在する程度である。</li> <li>・地熱開発区域までのアクセス道路も整備されているため、調査工事等のために新たな移転を伴う可能性は比較的低いものと考えられる。地熱開発による住民移転の可能性は低いと考えられるが、住民移転の有無は開発の詳細計画によって異なるため、現段階では不明である。</li> </ul>
	雇用や生計手段等の地域経済	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/工事期間、供用期間を通じて、雇用機会の増加、資材/機材の地元調達、開発を通じてのインフラの整備、地熱の直接利用などにより地域経済や住民の暮らしについては正の影響が期待される。</li> <li>・発電施設の建設予定地周辺の放牧地の使用制限、土地収用等による放牧地の減少により、地域の住民の生活、経済に一定の影響が生じる可能性がある。その場合、住民生活への影響は、施設供用後も継続する。</li> </ul>
	土地利用や地域資源利用	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査、建設のための基地設置による土地の利用や地域資源の利用が予想される。</li> <li>・発電所施設等による土地の利用や地域資源の利用が予想される。</li> </ul>
	社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織	C	C	<p>地域には、行政機関（地方自治体、部族のコミュニティー）、社会（教育機関）、生産（バリンゴ湖管理組織、漁業関係者）、各グループ（女性や若者のグループ）、宗教組織（キリスト教等）、NGO、バリンゴ湖東岸の Ruko Community Conservancy 等多くの組織があり、これらの組織のコンセンスを得る必要がある。現段階で各プロジェクトにおける影響の有無は不明であるが、本調査でおこなった直接利用に関するインタビューの中では地熱開発に関しては好意的な意見が多く聞かれ、正の影響が想定されている。</p>

既存の社会インフラや社会サービス	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間における道路や水供給設備等のインフラの建設、整備等により社会インフラの改善が期待できる。一方、建設機械や資材の輸送により既存道路のダメージ等、負の影響が想定されるが、現段階では影響は不明である。</li> <li>発電所施設等の存在による道路の整備、維持管理 や、住民への電気供給等の正の影響が予想される。</li> </ul>
貧困層・先住民・少数民族	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発地域周辺の住民の約 50%程度が貧困レベルに達している。発電施設等の建設に伴い、経済的には正の影響が期待されている。</li> <li>主としてバリング湖東岸に少数民族の Ilchamus が生活をしている。バリング湖西岸の開発地域周辺には少数民族などの社会的弱者は存在しないと考えられている。地域で最も多い、放牧を主とする生活基盤への影響は一定程度あるものと考えられるが、現段階では不明である。</li> </ul>
被害と便宜の偏り	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電所施設の立地・設計によっては、特定の地区への汚染の集中等、被害の偏りや不平等が生じる可能性はあり、また、利益を得られる地区や特定の集団、個人が生じる可能性は否定できない。</li> <li>これらの影響の有無および程度は、開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
文化遺産	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発計画地域内には国の文化遺産は存在しない。一方で、過去には温泉がコミュニティーの神聖な場所として考えられ、現在も宗教上の重要な場所として利用されている。開発の詳細計画作成時にコミュニティーと協議し、十分配慮する必要がある。</li> <li>これらの影響の有無及び程度は開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
地域内の利害対立	C	C	<p>地域内でプロジェクトに対する賛成と反対のグループの対立が起こる可能性も考えられるが、現段階では不明である。</p>
水利用、水利権、入会権	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中、坑井掘削工事用水の取水により、湖水位に影響を及ぼす可能性が想定される。本開発計画地域では湖水からの取水を想定しており、量も少ないため、影響は小さいと考えられる。なお、F/S 段階では、取水量および水域の利用状況や水利権を確認する必要がある。</li> <li>取水については WRMA の許可を得る必要がある。</li> </ul>

	公衆衛生	C	D	調査、建設期間では、衛生施設の未設置や不足および処理能力不足等により、公衆衛生が悪化する可能性が考えられる。これは開発計画次第であり、現段階では影響は不明である。
	災害、HIV/AIDS等の感染症	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電施設の建設期間中は、多くの外部建設労働者が従事することから、HIV/AIDS 感染、蔓延の危険性が考えられる。一方で、開発地域は人口密度が低く、放牧等で定住せずに生活している放牧民が多いため、現段階では影響の有無は不明である。</li> <li>・供用時には外部からの労働者従事はほとんどなく、産業員数も少ないために影響は想定されない。</li> </ul>
自然環境	地形・地質	B	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は工事等による土地の形状の変更が予想される。</li> <li>・供用時における地形、地質への影響は想定されない。</li> </ul>
	土壌浸食	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は掘削坑井基地、敷地造成に伴い、裸地が発生し、降雨時に裸地の土壌浸食が想定される。</li> <li>・供用時には大規模土木工事等はないため、土壌浸食の影響は想定されない。</li> </ul>
	温泉	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は調査時や建設時の坑井掘削等において、発電所周辺の温泉等に一時的な影響を及ぼす可能性が想定される。</li> <li>・供用時には深部地熱流体の採取、熱水の地下深部への還元を継続して行うことにより、発電所周辺の温泉等に影響を及ぼす可能性が想定される。</li> </ul>
	地下水	D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の取水は想定されていない。また、地熱発電所の実績より坑井掘削時などにより地下水位、水量への影響は想定し難い。</li> </ul>
	河川・湖沼・湿地状況	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中においては、河川・湖沼・湿地の形態を大きく変更するような工事は想定されないが、本計画地域では付近のバリngo湖より取水される予定である。現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>・供用時においては、発電所用水取水により、湖水位への影響が予想されるが、取水量は少ないため、量の面での影響は小さいと考えられる。発電時のブラインを排水する場合には、塩濃度が高い可能性も考えられる。河川の流量自体が少ないため、排水量が多い場合、水質への影響が考えられる。ただし、具体的には開発の詳細計画次第であるため、影響の程度は現時点では不明である。</li> </ul>

動植物、生物多様性		C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は植物除去や土地の改変による一時的な影響が考えられるが、乾燥地域であり植生密度も高くないため、影響の程度はあまり大きくないものと考えられるが、現時点では不明である。</li> <li>・供用時においては、動植物、生物多様性への影響はあまりないものと考えられるが、現時点では不明である。なお、地熱利用の一環として地元住民からの要望として蒸気やブライン等の利用が上げられている。ブラインには重金属等が含まれる可能性があるため、その水が付近のバリngo湖等に放流される場合、動植物への影響が考えられるが、現時点では影響の程度は不明である。</li> </ul>
景観		B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所の立地によっては、発電所および周辺施設の建設やアクセス道路の建設により、地域の自然景観および眺望景観への影響の可能性が想定される。バリngo湖は景観上重要な場所である。</li> <li>・発電所の立地によっては、施設の存在、発電所からの白煙（蒸気）により地域景観への影響が想定される。</li> </ul>
地球温暖化		D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中の工事用建設機械の稼働、資材の搬出入において発生する温室効果ガスは少なく、影響は一過性で軽微あると想定される。</li> <li>・また、供用期間中にはCO<sub>2</sub>の排出が想定されるが、他の発電方法と比較して温室効果ガスの排出は少ない技術であるため、多大な正の影響が予想されている。</li> </ul>
大気汚染	H <sub>2</sub> S	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地熱貯留層評価を行うために実施する噴出試験に伴い、H<sub>2</sub>Sを含むガスが発生し、近傍地域における一時的な影響が想定される。</li> <li>・H<sub>2</sub>Sを含む地熱流体を発電用蒸気として利用することにより、H<sub>2</sub>Sが水蒸気とともに冷却塔から排出され、発電所近傍における環境影響が想定されている。</li> </ul>
	粉塵	B	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事中の資材等の搬出入に使用する車両から、土砂粉じんの巻き上げ等が発生するが、その影響は道路近傍に限られると考えられる。アクセス道路の近傍に民家等がある場合は、影響が想定される。</li> <li>・供用時における車両の通行台数は少ないため、影響は想定されない。</li> </ul>
水質汚濁		A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、削孔工事等に伴う泥水や建設時の一般排水の発生による影響が想定される。また、敷地造成時の裸地発生により、降雨時の土砂の流出による地表水の濁りが考えられる。</li> <li>・供用時に発生する排水による周辺の水環境への影響が想定される。この地域の水利用はバリngo湖に依存しているため、考慮が必要である。</li> </ul>

土壌汚染	B	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、掘削汚泥、熱水の一時貯留時の漏洩による周辺土壌の汚染の可能性が想定される。</li> <li>・地上設備建設時には、土壌汚染を生じさせるような物質を取り扱うことは想定されていない。</li> <li>・供用時は、一般的に土壌が汚染されるような物質の取り扱うことは想定されない。一方で、地熱の直接利用として、蒸気やブラインの水利用がなされる場合は、水中に含まれる重金属等により、汚染の可能性が考えられるが、現段階では影響は不明である。</li> </ul>
廃棄物	A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中に産業廃棄物（掘削汚泥、廃材）の発生が想定される。</li> <li>・供用時に産業廃棄物（汚泥、廃油等）の発生が想定される。</li> </ul>
騒音・振動	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査時において、地熱流体の噴出時に発生する騒音や建設機械の稼働により発生する建設作業騒音および振動が想定されるが、一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。</li> <li>・供用時の影響については、冷却塔、蒸気タービン、発電機等からの騒音・振動が想定され、近傍における環境への影響が想定される。</li> </ul>
地盤沈下	D	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は地熱流体の噴出は短期間であるため、影響は想定されない。</li> <li>・供用期間中は深部地熱流体を採取することから、発電所近傍における地盤沈下の可能性が想定される。</li> </ul>
悪臭	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴出試験で発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、近傍地域における一時的な影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>・供用時に発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、発電所近傍に影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> </ul>
事故	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査時の地熱流体の噴出や H<sub>2</sub>S ガスによる事故は、確率は低いと否定できない。</li> <li>・建設時の工事にとまなう事故や作業中の H<sub>2</sub>S ガスの漏洩による事故の可能性も想定される。</li> </ul>

評価；

A：深刻な負の影響が予想される。

B：いくつかの負の影響が予想される。

C：影響の程度は不明。

D：影響は予想されない。IEE/EIAは必要ない。



表 2.3 コロシ地域の環境社会影響の抽出結果

項目	評 定		理 由 (抽出した、またはしなかった理由)	
	調査/ 工事期間	供用期間		
社会環境	非自発的住民移転	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現在計画されている地熱開発区域には、ほとんど固定の住居はなく、主として放牧民等が利用していると考えられる土地が散在する程度である。</li> <li>・地熱開発区域までの道路も整備されていないため、今後の開発計画にもよるが、もともとの人口密度が低いため、新たな移転を伴う可能性は比較的低いものと考えられる。地熱開発による住民移転の可能性は低いと考えられるが、住民移転の有無は開発の詳細計画によって異なるため、現段階では不明である。</li> </ul>
	雇用や生計手段等の地域経済	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/工事期間、供用期間を通じて、雇用機会の増加、資材/機材の地元調達、開発を通じてのインフラの整備、地熱の直接利用などにより地域経済や住民の暮らしについては正の影響が期待される。</li> <li>・発電施設の建設予定地周辺の放牧地の使用制限、土地収用等による放牧地の減少により、地域の住民の生活、経済に一定の影響が生じる可能性がある。その場合、住民生活への影響は、施設供用後も継続する。</li> </ul>
	土地利用や地域資源利用	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査、建設のためのアクセス道路や基地設置による土地の利用や地域資源の利用が予想される。</li> <li>・発電所施設等による土地の利用や地域資源の利用が予想される。</li> </ul>
	社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織	C	C	<p>地方には、行政機関（地方自治体、部族のコミュニティー）、社会（教育機関）、各グループ（女性や若者のグループ）、宗教組織（キリスト教等）、NGO 等多くの組織があり、これらの組織のコンセンスを得る必要がある。現段階で各プロジェクトにおける影響の有無は不明であるが、本調査でおこなった直接利用に関するインタビューの中では地熱開発に関しては好意的な意見が多く聞かれた。</p>
	既存の社会インフラや社会サービス	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間における道路や水供給設備等のインフラの建設、整備等により社会インフラの改善が期待できる。一方、建設機械や資材の輸送により既存道路のダメージ等、負の影響が想定されるが、現段階では影響は不明である。</li> <li>・発電所施設等の存在による道路の整備、維持管理 や、住民への電気供給等の正の影響が予想される。</li> </ul>

貧困層・先住民民族・少数民族	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発地域周辺の住民の約 50%程度が貧困レベルに達している。発電施設等の建設に伴い、経済的には正の影響が期待されている。</li> <li>・開発地域周辺には少数民族などの社会的弱者は存在しないと考えられている。地域で最も多い、放牧を主とする生活基盤への影響は一定程度あるものと考えられるが、現段階では不明である。</li> </ul>
被害と便宜の偏り	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所施設の立地・設計によっては、特定の地区への汚染の集中等、被害の偏りや不平等が生じる可能性はあり、また、利益を得られる地区や特定の集団、個人が生じる可能性は否定できない。</li> <li>・これらの影響の有無および程度は、開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
文化遺産	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発計画地域内には国の文化遺産は存在しない。一方で、過去には温泉がコミュニティーの神聖な場所として考えられ、現在も宗教上の重要な場所として利用されている。開発の詳細計画作成時にコミュニティーと協議し、十分配慮する必要がある。</li> <li>・これらの影響の有無及び程度は開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
地域内の利害対立	C	C	地域内でプロジェクトに対する賛成と反対のグループの対立が起こる可能性も考えられるが、現段階では不明である。
水利用、水利権、入会権	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、坑井掘削工事用水の取水により、湖水位に影響を及ぼす可能性が想定される。本開発計画地域では湖水からの取水を想定しており、量も少ないため、影響は小さいと考えられる。なお、F/S 段階では、取水量および水域の利用状況や水利権を確認する必要がある。</li> <li>・取水については WRMA の許可を得る必要がある。</li> </ul>
公衆衛生	C	D	調査、建設期間では、衛生施設の未設置や不足および処理能力不足等により、公衆衛生が悪化する可能性が考えられる。これは開発計画次第であり、現段階では影響は不明である。
災害、HIV/AIDS 等の感染症	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電施設の建設期間中は、多くの外部建設労働者が従事することから、HIV/AIDS 感染、蔓延の危険性が考えられる。一方で、開発地域は人口密度が低く、放牧等で定住せずに生活している放牧民が多いため、現段階では影響の有無は不明である。</li> <li>・供用時には外部からの労働者従事はほとんどなく、産業員数も少ないために影響は想定されない。</li> </ul>

自然環境	地形・地質	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中はアクセス道路、基地、発電所設置等の工事による土地の形状の変更が予想される。</li> <li>供用時における地形、地質への影響は想定されない。</li> </ul>
	土壌浸食	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中は掘削坑井基地、敷地造成やアクセス道路の建設に伴い、裸地が発生し、降雨時に裸地の土壌浸食が想定される。</li> <li>供用時には大規模土木工事等はないため、土壌浸食の影響は想定されない。</li> </ul>
	温泉	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中は調査時や建設時の坑井掘削等において、発電所周辺の温泉等に一時的な影響を及ぼす可能性が想定される。</li> <li>供用時には深部地熱流体の採取、熱水の地下深部への還元を継続して行うことにより、発電所周辺の温泉等に影響を及ぼす可能性が想定される。</li> </ul>
	地下水	D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の取水は想定されない。また、地熱発電所の実績より坑井掘削時などにより地下水位、水量への影響は想定し難い。</li> </ul>
	河川・湖沼・湿地状況	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中においては、河川・湖沼・湿地の形態を大きく変更するような工事は想定されないが、本計画地域では付近のバリngo湖より取水される予定である。現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>供用時においては、発電所用水取水により、湖水位への影響が予想されるが、取水量は少ないため、量の面での影響は小さいと考えられる。発電時のブラインを排水する場合には、塩濃度が高い可能性も考えられる。河川の流量自体が少ないため、排水量が多い場合、水質への影響が考えられる。ただし、具体的には開発の詳細計画次第であるため、影響の程度は現時点では不明である。</li> </ul>
	動植物、生物多様性	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中は植物除去や土地の改変による一時的な影響が考えられるが、乾燥地域であり植生密度も高くないため、影響の程度はあまり大きくないものと考えられるが、現時点では不明である。</li> <li>供用時においては、動植物、生物多様性への影響はあまりないものと考えられるが、現時点では不明である。なお、地熱利用の一環として地元住民からの要望として蒸気やブライン等の利用が上げられている。ブラインには重金属等が含まれる可能性があるため、その水が付近のバリngo湖等に放流される場合、動植物への影響が考えられるが、現時点では影響の程度は不明である。</li> </ul>

景観		B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所の立地によっては、発電所および周辺施設の建設やアクセス道路の建設により、地域の自然景観および眺望景観への影響の可能性が想定される。バリソゴ湖は景観上重要な場所である。</li> <li>・発電所の立地によっては、施設の存在、発電所からの白煙（蒸気）により地域景観への影響が想定される。</li> </ul>
地球温暖化		D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中の工事用建設機械の稼働、資材の搬出入において発生する温室効果ガスは少なく、影響は一過性で軽微であると想定される。</li> <li>・また、供用期間中にはCO<sub>2</sub>の排出が想定されるが、他の発電方法と比較して温室効果ガスの排出はきわめて少ない技術であるため、多大な正の影響が予想されている。</li> </ul>
大気汚染	H <sub>2</sub> S	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地熱貯留層評価を行うために実施する噴出試験に伴い、H<sub>2</sub>Sを含むガスが発生し、近傍地域における一時的な影響が想定される。</li> <li>・H<sub>2</sub>Sを含む地熱流体を発電用蒸気として利用することにより、H<sub>2</sub>Sが水蒸気とともに冷却塔から排出され、発電所近傍における環境影響が想定されている。</li> </ul>
	粉塵	B	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事中の資材等の搬出入に使用する車両から、土砂粉じんの巻き上げ等が発生するが、その影響は道路近傍に限られると考えられる。アクセス道路の近傍に民家等がある場合は、影響が想定される。</li> <li>・供用時における車両の通行台数は少ないため、影響は想定されない。</li> </ul>
水質汚濁		A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、削孔工事等に伴う泥水や建設時の一般排水の発生による影響が想定される。</li> <li>また、敷地造成時の裸地発生により、降雨時の土砂の流出による地表水の濁りが考えられる。</li> <li>・供用時に発生する排水による周辺の水環境への影響が想定される。</li> </ul>
土壌汚染		B	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、掘削汚泥、熱水の一時貯留時の漏洩による周辺土壌の汚染の可能性が想定される。</li> <li>・地上設備建設時には、土壌汚染を生じさせるような物質を取り扱うことは想定されない。</li> <li>・供用時は、一般的に土壌が汚染されるような物質の取り扱うことは想定されない。一方で、地熱の直接利用として、蒸気やブラインの水利用がなされる場合は、水中に含まれる重金属等により、汚染の可能性が考えられるが、現段階では影響は不明である。</li> </ul>

廃棄物	A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中に産業廃棄物（掘削汚泥、廃材）の発生が想定される。</li> <li>供用時に産業廃棄物（汚泥、廃油等）の発生が想定される。</li> </ul>
騒音・振動	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査時において、地熱流体の噴出時に発生する騒音や建設機械の稼働により発生する建設作業騒音および振動が想定されるが、一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。</li> <li>供用時の影響については、冷却塔、蒸気タービン、発電機等からの騒音・振動が想定され、近傍における環境への影響が想定される。</li> </ul>
地盤沈下	D	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中は地熱流体の噴出は短期間であるため、影響は想定されない。</li> <li>供用期間中は深部地熱流体を採取することから、発電所近傍における地盤沈下の可能性が想定される。</li> </ul>
悪臭	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>噴出試験で発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、近傍地域における一時的な影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>供用時に発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、発電所近傍に影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> </ul>
事故	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査時の地熱流体の噴出や H<sub>2</sub>S ガスによる事故は、確率は低いが否定できない。</li> <li>建設時の工事にもなう事故や作業中の H<sub>2</sub>S ガスの漏洩による事故の可能性も想定される。</li> </ul>

評価；

A：深刻な負の影響が予想される。

B：いくつかの負の影響が予想される。

C：影響の程度は不明。

D：影響は予想されない。IEE/EIAは必要ない。



表 2.4 チェプチャク地域の環境社会影響の抽出結果

項 目	評 定		理 由 (抽出した、またはしなかった理由)	
	調査/ 工事期間	供用期間		
社会環境	非自発的住民 移転	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現在計画されている地熱開発区域には、ほとんど固定の住居はなく、主として放牧民等が利用していると考えられる土地が散在する程度である。</li> <li>・地熱開発区域までの道路も整備されていないため、今後の開発計画にもよるが、もともとの人口密度が低いいため、新たな移転を伴う可能性は比較的低いものと考えられる。地熱開発による住民移転の可能性は低いと考えられるが、住民移転の有無は開発の詳細計画によって異なるため、現段階では不明である。</li> </ul>
	雇用や生計手段等の地域経済	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/工事期間、供用期間を通じて、雇用機会の増加、資材/機材の地元調達、開発を通じてのインフラの整備、地熱の直接利用などにより地域経済や住民の暮らしについては正の影響が期待される。</li> <li>・発電施設の建設予定地周辺の放牧地の使用制限、土地収用等による放牧地の減少により、地域の住民の生活、経済に一定の影響が生じる可能性がある。その場合、住民生活への影響は、施設供用後も継続する。</li> </ul>
	土地利用や地域資源利用	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査、建設のためのアクセス道路や基地設置による土地の利用や地域資源の利用が予想される。</li> <li>・発電所施設等による土地の利用や地域資源の利用が予想される。</li> </ul>
	社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織	C	C	<p>地方には、行政機関（地方自治体、部族のコミュニティー）、社会（教育機関）、各グループ（女性や若者のグループ）、宗教組織（キリスト教等）、NGO 等多くの組織があり、これらの組織のコンセンスを得る必要がある。現段階で各プロジェクトにおける影響の有無は不明であるが、本調査でおこなった直接利用に関するインタビューの中では地熱開発に関しては好意的な意見が多く聞かれた。</p>
	既存の社会インフラや社会サービス	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間における道路や水供給設備等のインフラの建設、整備等により社会インフラの改善が期待できる。一方、建設機械や資材の輸送により既存道路のダメージ等、負の影響が想定されるが、現段階では影響は不明である。</li> <li>・発電所施設等の存在による道路の整備、維持管理 や、住民への電気供給等の正の影響が予想される。</li> </ul>

貧困層・先住民 民族・少数民族	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発地域周辺の住民の約 50%程度が貧困レベルに達している。発電施設等の建設に伴い、経済的には正の影響が期待されている。</li> <li>・開発地域周辺には少数民族などの社会的弱者は存在しないと考えられている。地域で最も多い、放牧を主とする生活基盤への影響は一定程度あるものと考えられるが、現段階では不明である。</li> </ul>
被害と便宜の 偏り	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所施設の立地・設計によっては、特定の地区への汚染の集中等、被害の偏りや不平等が生じる可能性はあり、また、利益を得られる地区や特定の集団、個人が生じる可能性は否定できない。</li> <li>・これらの影響の有無および程度は、開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
文化遺産	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発計画地域内には国の文化遺産は存在しない。一方で、過去には温泉がコミュニティーの神聖な場所として考えられ、現在も宗教上の重要な場所として利用されている。開発の詳細計画作成時にコミュニティーと協議し、十分配慮する必要がある。</li> <li>・これらの影響の有無及び程度は開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
地域内の利害 対立	C	C	地域内でプロジェクトに対する賛成と反対のグループの対立が起こる可能性も考えられるが、現段階では不明である。
水利用、水利 権、入会権	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、坑井掘削工事用水の取水により、湖水位に影響を及ぼす可能性が想定される。本開発計画地域では湖水からの取水を想定しており、量も少ないため、影響は小さいと考えられる。なお、F/S 段階では、取水量および水域の利用状況や水利権を確認する必要がある。</li> <li>・取水については WRMA の許可を得る必要がある。</li> </ul>
公衆衛生	C	D	調査、建設期間では、衛生施設の未設置や不足および処理能力不足等により、公衆衛生が悪化する可能性が考えられる。これは開発計画次第であり、現段階では影響は不明である。
災害、HIV/AIDS 等の感染症	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電施設の建設期間中は、多くの外部建設労働者が従事することから、HIV/AIDS 感染、蔓延の危険性が考えられる。一方で、開発地域は人口密度が低く、放牧等で定住せずに生活している放牧民が多いため、現段階では影響の有無は不明である。</li> <li>・供用時には外部からの労働者従事はほとんどなく、産業員数も少ないために影響は想定されない。</li> </ul>

自然環境	地形・地質	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中はアクセス道路、基地、発電所設置等の工事による土地の形状の変更が予想される。</li> <li>供用時における地形、地質への影響は想定されない。</li> </ul>
	土壌浸食	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中は掘削坑井基地、敷地造成やアクセス道路の建設に伴い、裸地が発生し、降雨時に裸地の土壌浸食が想定される。</li> <li>供用時には大規模土木工事等はないため、土壌浸食の影響は想定されない。</li> </ul>
	温泉	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中は調査時や建設時の坑井掘削等において、発電所周辺の温泉等に一時的な影響を及ぼす可能性が想定される。</li> <li>供用時には深部地熱流体の採取、熱水の地下深部への還元を継続して行うことにより、発電所周辺の温泉等に影響を及ぼす可能性が想定される。</li> </ul>
	地下水	D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の取水は想定されない。また、地熱発電所の実績より坑井掘削時などにより地下水位、水量への影響は想定し難い。</li> </ul>
	河川・湖沼・湿地状況	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中においては、河川・湖沼・湿地の形態を大きく変更するような工事は想定されないが、本計画地域では付近のバリngo湖より取水される予定である。現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>供用時においては、発電所用水取水により、湖水位への影響が予想されるが、取水量は少ないため、量の面での影響は小さいと考えられる。発電時のラインを排水する場合には、塩濃度が高い可能性も考えられる。河川の流量自体が少ないため、排水量が多い場合、水質への影響が考えられる。ただし、具体的には開発の詳細計画次第であるため、影響の程度は現時点では不明である。</li> </ul>
	動植物、生物多様性	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査/建設期間中は植物除去や土地の改変による一時的な影響が考えられるが、乾燥地域であり植生密度も高くないため、影響の程度はあまり大きくないものと考えられるが、現時点では不明である。</li> <li>供用時においては、動植物、生物多様性への影響はあまりないものと考えられるが、現時点では不明である。なお、地熱利用の一環として地元住民からの要望として蒸気やライン等の利用が上げられている。ラインには重金属等が含まれる可能性があるため、その水が付近のバリngo湖等に放流される場合、動植物への影響が考えられるが、現時点では影響の程度は不明である。</li> </ul>

景観		B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所の立地によっては、発電所および周辺施設の建設やアクセス道路の建設により、地域の自然景観および眺望景観への影響の可能性が想定される。バリソゴ湖は景観上重要な場所である。</li> <li>・発電所の立地によっては、施設の存在、発電所からの白煙（蒸気）により地域景観への影響が想定される。</li> </ul>
地球温暖化		D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中の工事用建設機械の稼働、資材の搬出入において発生する温室効果ガスは少なく、影響は一過性で軽微であると想定される。</li> <li>・また、供用期間中にはCO<sub>2</sub>の排出が想定されるが、他の発電方法と比較して温室効果ガスの排出はきわめて少ない技術であるため、多大な正の影響が予想されている。</li> </ul>
大気汚染	H <sub>2</sub> S	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地熱貯留層評価を行うために実施する噴出試験に伴い、H<sub>2</sub>Sを含むガスが発生し、近傍地域における一時的な影響が想定される。</li> <li>・H<sub>2</sub>Sを含む地熱流体を発電用蒸気として利用することにより、H<sub>2</sub>Sが水蒸気とともに冷却塔から排出され、発電所近傍における環境影響が想定されている。</li> </ul>
	粉塵	B	D	
水質汚濁		A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、削孔工事等に伴う泥水や建設時の一般排水の発生による影響が想定される。</li> <li>また、敷地造成時の裸地発生により、降雨時の土砂の流出による地表水の濁りが考えられる。</li> <li>・供用時に発生する排水による周辺の水環境への影響が想定される。</li> </ul>
土壌汚染		B	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、掘削汚泥、熱水の一時貯留時の漏洩による周辺土壌の汚染の可能性が想定される。</li> <li>・地上設備建設時には、土壌汚染を生じさせるような物質を取り扱うことは想定されない。</li> <li>・供用時は、一般的に土壌が汚染されるような物質の取り扱うことは想定されない。一方で、地熱の直接利用として、蒸気やブラインの水利用がなされる場合は、水中に含まれる重金属等により、汚染の可能性が考えられるが、現段階では影響は不明である。</li> </ul>

廃棄物	A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中に産業廃棄物（掘削汚泥、廃材）の発生が想定される。</li> <li>・供用時に産業廃棄物（汚泥、廃油等）の発生が想定される。</li> </ul>
騒音・振動	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査時において、地熱流体の噴出時に発生する騒音や建設機械の稼働により発生する建設作業騒音および振動が想定されるが、一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。</li> <li>・供用時の影響については、冷却塔、蒸気タービン、発電機等からの騒音・振動が想定され、近傍における環境への影響が想定される。</li> </ul>
地盤沈下	D	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は地熱流体の噴出は短期間であるため、影響は想定されない。</li> <li>・供用期間中は深部地熱流体を採取することから、発電所近傍における地盤沈下の可能性が想定される。</li> </ul>
悪臭	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴出試験で発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、近傍地域における一時的な影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>・供用時に発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、発電所近傍に影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> </ul>
事故	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査時の地熱流体の噴出や H<sub>2</sub>S ガスによる事故は、確率は低いが否定できない。</li> <li>・建設時の工事ともなう事故や作業中の H<sub>2</sub>S ガスの漏洩による事故の可能性も想定される。</li> </ul>

評価；

A：深刻な負の影響が予想される。

B：いくつかの負の影響が予想される。

C：影響の程度は不明。

D：影響は予想されない。IEE/EIAは必要ない。



表 2.5 パカ地域の環境社会影響の抽出結果

項目	評 定		理 由 (抽出した、またはしなかった理由)	
	調査/ 工事期間	供用期間		
社会環境	非自発的住民 移転	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現在計画されている地熱開発区域は丘陵地帯に位置し、固定の住居はほとんどなく、主として放牧民等が利用していると考えられる土地が散在する程度である。</li> <li>・地熱開発区域までの道路はほとんど整備されていないため、アクセス道路等の建設に伴い、住民移転が発生するを伴う可能性はあるが、もともとの人口密度が低いため、住民移転の可能性は比較的低いものと考えられる。住民移転の有無は開発の詳細計画によって異なるため、現段階では不明である。</li> </ul>
	雇用や生計手段等の地域経済	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/工事期間、供用期間を通じて、雇用機会の増加、資材/機材の地元調達、開発を通じてのインフラの整備、地熱の直接利用などにより地域経済や住民の暮らしについては正の影響が期待される。</li> <li>・発電施設の建設予定地周辺の放牧地の使用制限、土地収用等による放牧地の減少により、地域の住民の生活、経済に一定の影響が生じる可能性がある。その場合、住民生活への影響は、施設供用後も継続する。</li> </ul>
	土地利用や地域資源利用	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査、建設のための基地設置による土地の利用や地域資源の利用が予想される。</li> <li>・発電所施設等による土地の利用や地域資源の利用が予想される。</li> </ul>
	社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織	C	C	<p>地方には、行政機関（地方自治体、部族のコミュニティー）、社会（教育機関）、各グループ（女性や若者のグループ）、宗教組織（キリスト教等）、NGO 等多くの組織があり、これらの組織のコンセンスを得る必要がある。現段階で各プロジェクトにおける影響の有無は不明であるが、本調査でおこなった直接利用に関するインタビューの中では地熱開発に関しては好意的な意見が多く聞かれた。</p>
	既存の社会インフラや社会サービス	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間における道路や水供給設備等のインフラの建設、整備等により社会インフラの改善が期待できる。一方、建設機械や資材の輸送により既存道路のダメージ等、負の影響が想定されるが、現段階では影響は不明である。</li> <li>・発電所施設等の存在による道路の整備、維持管理 や、住民への電気供給等の正の影響が予想される。</li> </ul>

貧困層・先住民 民族・少数民族	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発地域周辺の住民の約 50%程度が貧困レベルに達している。発電施設等の建設に伴い、経済的には正の影響が期待されている。</li> <li>・開発地域周辺には少数民族などの社会的弱者は存在しないと考えられている。地域で最も多い、放牧を主とする生活基盤への影響は一定程度あるものと考えられるが、現段階では不明である。</li> </ul>
被害と便宜の 偏り	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所施設の立地・設計によっては、特定の地区への汚染の集中等、被害の偏りや不平等が生じる可能性はあり、また、利益を得られる地区や特定の集団、個人が生じる可能性は否定できない。</li> <li>・これらの影響の有無および程度は、開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
文化遺産	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発計画地域内には国の文化遺産は存在しない。一方で、過去には温泉がコミュニティーの神聖な場所として考えられ、現在も宗教上の重要な場所として利用されている。開発の詳細計画作成時にコミュニティーと協議し、十分配慮する必要がある。</li> <li>・これらの影響の有無及び程度は開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。</li> </ul>
地域内の利害 対立	C	C	<p>地域内でプロジェクトに対する賛成と反対のグループの対立が起こる可能性も考えられるが、現段階では不明である。</p>
水利用、水利 権、入会権	B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、坑井掘削工事用水の取水により、河川流量、湖水位に影響を及ぼす可能性が想定される。周辺には季節的に発生する河川しかないため、河川からの取水は想定されていない。有力な候補としてはバリンゴ湖からの取水であるが、その場合、量も少ないため、影響は小さいと考えられる。なお、F/S 段階では、取水量および水域の利用状況や水利権を確認する必要がある。</li> <li>・取水については WRMA の許可を得る必要がある。</li> </ul>
公衆衛生	C	D	<p>調査、建設期間では、衛生施設の未設置や不足および処理能力不足等により、公衆衛生が悪化する可能性が考えられる。これは開発計画次第であり、現段階では影響は不明である。</p>

自然環境	災害、HIV/AIDS等の感染症	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電施設の建設期間中は、多くの外部建設労働者が従事することから、HIV/AIDS 感染、蔓延の危険性が考えられる。一方で、開発地域は人口密度が低く、放牧等で定住せずに生活している放牧民が多いため、現段階では影響の有無は不明である。</li> <li>・供用時には外部からの労働者従事はほとんどなく、産業員数も少ないために影響は想定されない。</li> </ul>
	地形・地質	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中はアクセス道路、水のパイプライン、発電設備等の建設工事による土地の形状の変更が予想される。</li> <li>・供用時における地形、地質への影響は想定されない。</li> </ul>
	土壌浸食	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は掘削坑井基地、敷地造成やアクセス道路の建設に伴い、裸地が発生し、降雨時に裸地の土壌浸食が想定される。</li> <li>・供用時には大規模土木工事等はないため、土壌浸食の影響は想定されない。</li> </ul>
	温泉	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は調査時や建設時の坑井掘削等において、発電所周辺の温泉等に一時的な影響を及ぼす可能性が想定される。</li> <li>・供用時には深部地熱流体の採取、熱水の地下深部への還元を継続して行うことにより、発電所周辺の温泉等に影響を及ぼす可能性が想定される。</li> </ul>
	地下水	D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の取水は想定されていない。また、地熱発電所の実績より坑井掘削時などにより地下水位、水量への影響は想定し難い。</li> </ul>
	河川・湖沼・湿地状況	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中においては、河川・湖沼・湿地の形態を大きく変更するような工事は想定されないが、本計画地域ではバリゴ湖より取水される予定であるため、計画次第で影響する可能性も否定できない。ただし、現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>・供用時においては、発電所用水取水により、湖水位への影響が予想されるが、取水量は少ないため、量の面での影響は小さいと考えられる。発電時のブラインを排水する場合には、塩濃度が高い可能性も考えられる。河川の流量自体が少ないため、排水量が多い場合、水質への影響が考えられる。ただし、具体的には開発の詳細計画次第であるため、影響の程度は現時点では不明である。</li> </ul>

動植物、生物多様性		C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は植物除去や土地の改変による一時的な影響が考えられるが、乾燥地域であり植生密度も高くないため、影響の程度はあまり大きくないものと考えられるが、現時点では不明である。</li> <li>・供用時においては、動植物、生物多様性への影響はあまりないものと考えられるが、現時点では不明である。</li> </ul>
景観		B	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所の立地によっては、発電所および周辺施設の建設やアクセス道路の建設により、地域の自然景観および眺望景観への影響の可能性が想定される。</li> <li>・発電所の立地によっては、施設の存在、発電所からの白煙（蒸気）により地域景観への影響が想定される。</li> </ul>
地球温暖化		D	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中の工事用建設機械の稼働、資材の搬出入において発生する温室効果ガスは少なく、影響は一過性で軽微あると想定される。</li> <li>・また、供用期間中にはCO<sub>2</sub>の排出が想定されるが、他の発電方法と比較して温室効果ガスの排出は少ない技術であるため、多大な正の影響が予想されている。</li> </ul>
大気汚染	H <sub>2</sub> S	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地熱貯留層評価を行うために実施する噴出試験に伴い、H<sub>2</sub>Sを含むガスが発生し、近傍地域における一時的な影響が想定される。</li> <li>・H<sub>2</sub>Sを含む地熱流体を発電用蒸気として利用することにより、H<sub>2</sub>Sが水蒸気とともに冷却塔から排出され、発電所近傍における環境影響が想定されている。</li> </ul>
	粉塵	B	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事中の資材等の搬出入に使用する車両から、土砂粉じんの巻き上げ等が発生するが、その影響は道路近傍に限られると考えられる。アクセス道路の近傍に民家等がある場合は、影響が想定される。</li> <li>・供用時における車両の通行台数は少ないため、影響は想定されない。</li> </ul>
水質汚濁		A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、削孔工事等に伴う泥水や建設時の一般排水の発生による影響が想定される。</li> <li>また、敷地造成時の裸地発生により、降雨時の土砂の流出による地表水の濁りが考えられる。</li> <li>・供用時に発生する排水による周辺の水環境への影響が想定される。</li> </ul>

土壌汚染	B	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中、掘削汚泥、熱水の一時貯留時の漏洩による周辺土壌の汚染の可能性が想定される。</li> <li>・地上設備建設時には、土壌汚染を生じさせるような物質を取り扱うことは想定されない。</li> <li>・供用時は、一般的に土壌が汚染されるような物質の取り扱うことは想定されない。一方で、地熱の直接利用として、蒸気やブラインの水利用がなされる場合は、水中に含まれる重金属等により、汚染の可能性が考えられるが、現段階では影響は不明である。</li> </ul>
廃棄物	A	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中に産業廃棄物（掘削汚泥、廃材）の発生が想定される。</li> <li>・供用時に産業廃棄物（汚泥、廃油等）の発生が想定される。</li> </ul>
騒音・振動	B	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査時において、地熱流体の噴出時に発生する騒音や建設機械の稼働により発生する建設作業騒音および振動が想定されるが、一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。</li> <li>・供用時の影響については、冷却塔、蒸気タービン、発電機等からの騒音・振動が想定され、近傍における環境への影響が想定される。</li> </ul>
地盤沈下	D	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査/建設期間中は地熱流体の噴出は短期間であるため、影響は想定されない。</li> <li>・供用期間中は深部地熱流体を採取することから、発電所近傍における地盤沈下の可能性が想定される。</li> </ul>
悪臭	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴出試験で発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、近傍地域における一時的な影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> <li>・供用時に発生する H<sub>2</sub>S による悪臭が、発電所近傍に影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。</li> </ul>
事故	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査時の地熱流体の噴出や H<sub>2</sub>S ガスによる事故は、確率は低いと否定できない。</li> <li>・建設時の工事ともなう事故や作業中の H<sub>2</sub>S ガスの漏洩による事故の可能性も想定される。</li> </ul>

評価；

A：深刻な負の影響が予想される。

B：いくつかの負の影響が予想される。

C：影響の程度は不明。

D：影響は予想されない。IEE/EIAは必要ない。



# 卷 末 資 料

## 9. 坑口発電設備の経済性

## 1. はじめに

一般に地熱発電は発電所規模が大きくなるとスケールメリットが働き、建設費単価 (US\$/kW) が小さくなり、経済的に有利である。しかし、ケニア電力公社 (KenGen) が開発を進めているオルカリア地点では、大型発電プラントに加えて、待機中の生産井の傍に小型プラント (1ユニット6 MW) を設置する坑口発電も数カ所で実施されており、将来的には総計 75 MW の坑口発電が計画されている。このため、GDC においても現在開発が進んでいる蒸気井に 1 ユニット 5 MW 程度の坑口発電設備を導入し、早期発電開始の可能性を検討している。このため、この小規模の坑口発電設備を利用した場合の経済性に関して検討を行った。

## 2. 坑口発電設備の分類

坑口発電設備には、背圧式、復水式、バイナリー式などの発電方式がありうる。しかし、本稿では生産井から十分な温度、流量の蒸気が得られることを前提として、背圧式と復水式による坑口発電を検討した。背圧式と復水式のシステム図と特徴は表-1 の通り。

表-1 坑口発電設備の技術オプション

方式	システム図 (Joel Sutter, et al (2012)による)	特徴
背圧式		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 小容量発電に適する</li> <li>- 復水装置が不要</li> <li>- 建設費が安価</li> <li>- 蒸気消費率が大きい</li> <li>- ガス含有量が多い場合に適する</li> <li>- 騒音対策が必要</li> </ul>
復水式		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 大容量発電に適する</li> <li>- 建設費が高むが、蒸気消費率が小さい</li> </ul>

## 3. 坑口発電設備の利用形態

小規模の坑口発電設備は次の利用形態が考えられる。

### 3.1 建設期間中の短期的利用

一般的な地熱開発は図-3.1 のように発電に必要な数の生産井を順次掘削し、本体発電所の完成

を待つて運転開始に至る。しかし、必要な蒸気量を確保するために建設期間は数年を要することが一般である。坑口発電設備の利用方法として第1に考えられるものは、この建設期間中において、使用されていない生産井に坑口発電設備を短期的に設置して発電を行う方法である。発電を行いつつ、井戸の長期的な噴出試験が行えるという技術的な利点がある。経済的には建設段階から早期 cash flow が入手できるという利点がある利用方法である（図-3.2）。発電設備は据付・移動が簡単に行える可搬型として、本体発電所の運転開始時には撤去する。利用期間が短いため、投資額を回収するために別プロジェクトで使用する必要がある。このため、多数の開発現場を抱えている事業者に適している。

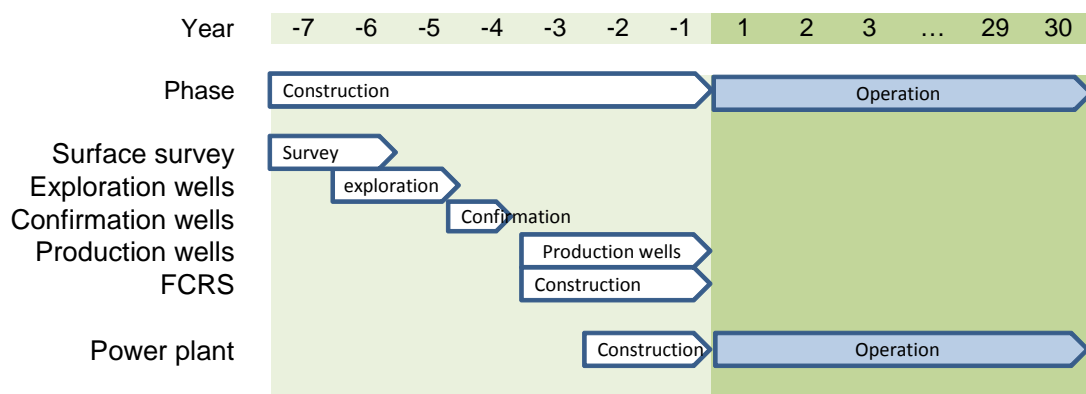


図-3.1 地熱発電所の開発工程例

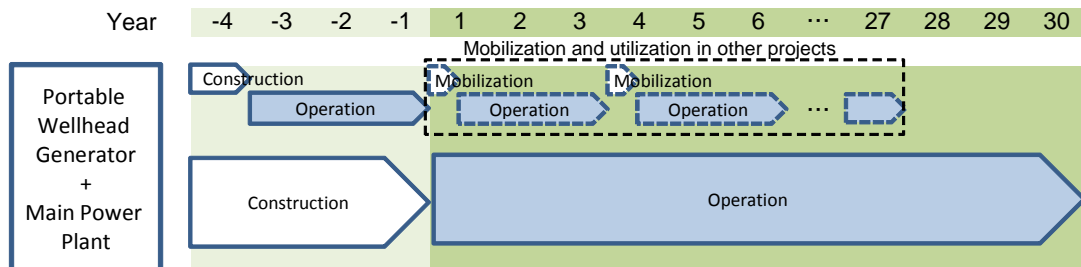


図-3.2 坑口発電設備の利用（建設期間中の短期的利用）

### 3.2 長期的利用

第2に考えられる利用方法は、生産井の坑口に据付型発電設備を設置し、建設期間のみならず本体発電所の運転期間中も併存させて長期的に発電を行う形態である（図-3.3）。建設期間中からの早期 cash flow の入手を図ること、坑口発電による蒸気輸送管建設費の低減、それぞれの井戸の圧力に応じた発電設備の利用が可能であることなどの利点がある。ただし、他方で本体発電所で使用できる蒸気量が減るため、本体発電所の規模が小さくなり、建設費のスケールメリットが生かせなくなるという問題がある。前者による利益が後者の損失を上回る場合に成立する可能性がある。

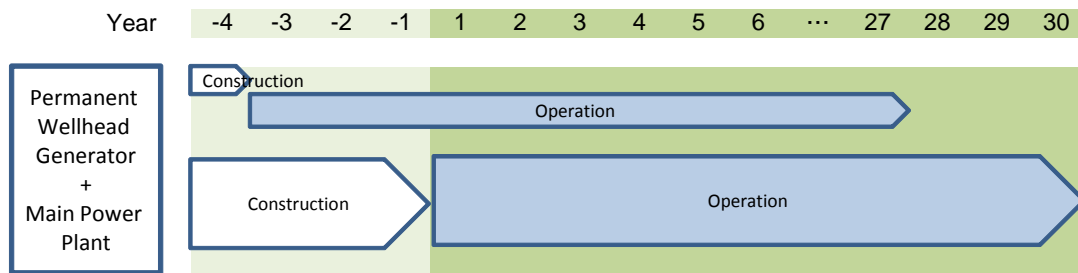


図-3.3 坑口発電設備の利用（長期的利用）

### 3.3 減衰井の回収利用

井戸の生産圧力が本体発電設備の蒸気輸送管設計圧力以下に減衰し、蒸気設備から解列した生産井（減衰井）に対し、坑口発電設備を設置して残存蒸気を回収し、利用しようとする利用形態である（図-3.4）。設置される坑口発電設備は 3.1~3.2 の場合に比較して設計圧力が小さいものを用いる。このため、出力規模は非常に小さいものとなる。投資額と回収蒸気量とのバランスで経済性が左右される。

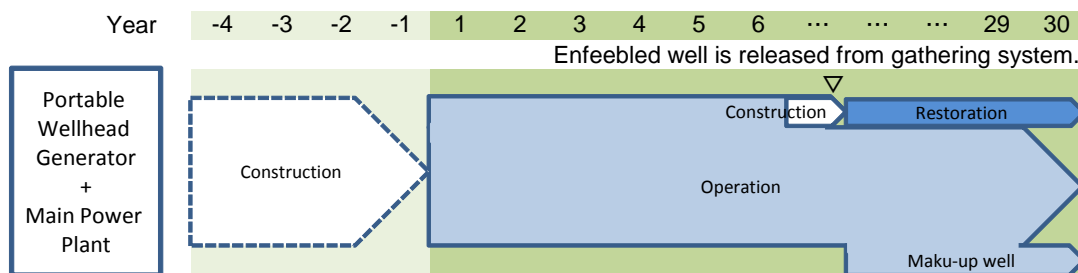


図-3.4 坑口発電設備の利用（減衰井の有効利用）

以上の各利用形態をまとめると表-3.1 の通りである。

表-3.1 坑口発電設備の各種利用形態

利用形態	内 容	経済的利益	経済的損失
建設期間中の短期的利用 (可搬型 WHG)	<p>本体建設期間中に、生産井の口元に可搬型発電設備を設置して発電を行う。</p> <p>運開後には使用しないため、他のプロジェクトで使用して投資額を回収する必要がある。</p>	<p>建設期間中の未利用蒸気を利用して、建設段階からの早期 cash flow が入手できる。</p>	<p>投資額が必要となる。</p>
長期的な利用 (据付型 WHG)	<p>生産井の坑口に据付型発電設備を設置し、建設期間+運転期間中に発電を行う。</p>	<p>建設期間中からの早期 cash flow が入手できる。</p> <p>蒸気輸送管建設費の低減が期待できる。</p>	<p>投資額が必要となる。</p> <p>建設費のスケールメリットが得られない。</p>
減衰井の回収利用 (可搬型 WHG)	<p>本体発電機の設計圧力以下に減衰したことにより蒸気設備から解列した生産井に対し、口元に可搬型発電設備を設置して単独発電により残存蒸気を回収する。</p>	<p>廃棄されてきた坑井からの蒸気が利用できる。</p>	<p>投資額が必要となる。</p>

## 4. 坑口発電設備の経済性試算の前提

### 4.1 検討モデル

図-4.1 に示すように、中心から  $L_1$  [km] 離れた地点に 3 カ所の蒸気生産基地があるモデルを考えた。各基地には生産井が各 3 本ずつ、合計 9 本存在するとする。汽水分離器は各坑井毎に設置され、熱水分離後、蒸気のみが蒸気輸送管で輸送されるとする。熱水は別途、熱水還元ラインにて処理されているものとする。このような地点に従来型の地熱発電所を建設する場合は、各基地毎に蒸気を集約して 3 本の蒸気輸送管で中央まで輸送し、そこで発電を行うことになる。これを集中型発電所と呼ぼう。

一方、図-4.2 の様に 9 本の生産井のうちいくつかは坑口発電 (WHG) を設置した発電所を考える。坑口発電を使用しない生産井からの蒸気は蒸気輸送管で集められ、本体発電所で発電する。これを坑口発電と本体発電所とからなるからハイブリッド型発電所と呼ぼう。また、ハイブリッド型の極端なケースとして、すべての坑井に坑口発電を設置し、電気で中央変電所まで輸送する方式を分散型発電所と呼ぼう (図-4.3)。

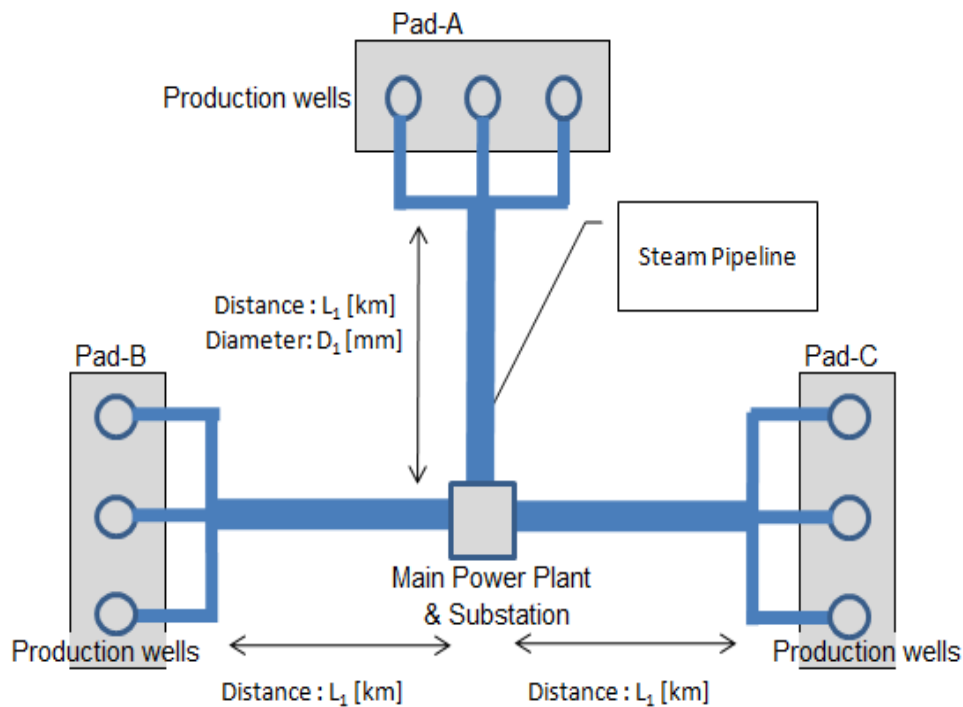


図-4.1 集中型発電所の構成



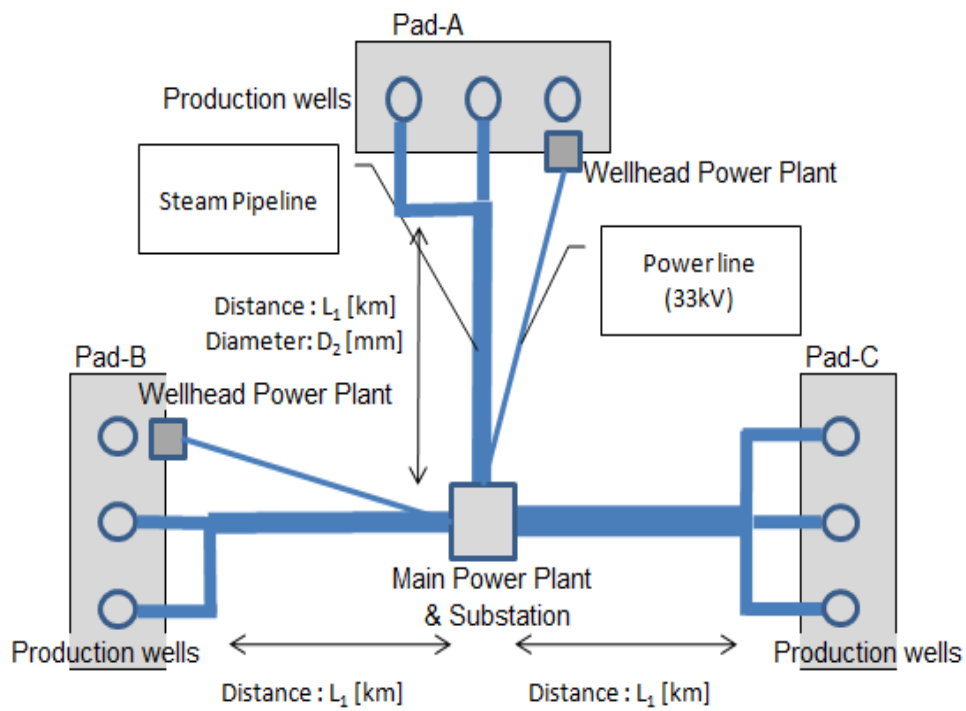


図-4.2 ハイブリッド型発電所の構成

### Decentralized Geothermal Power Plant

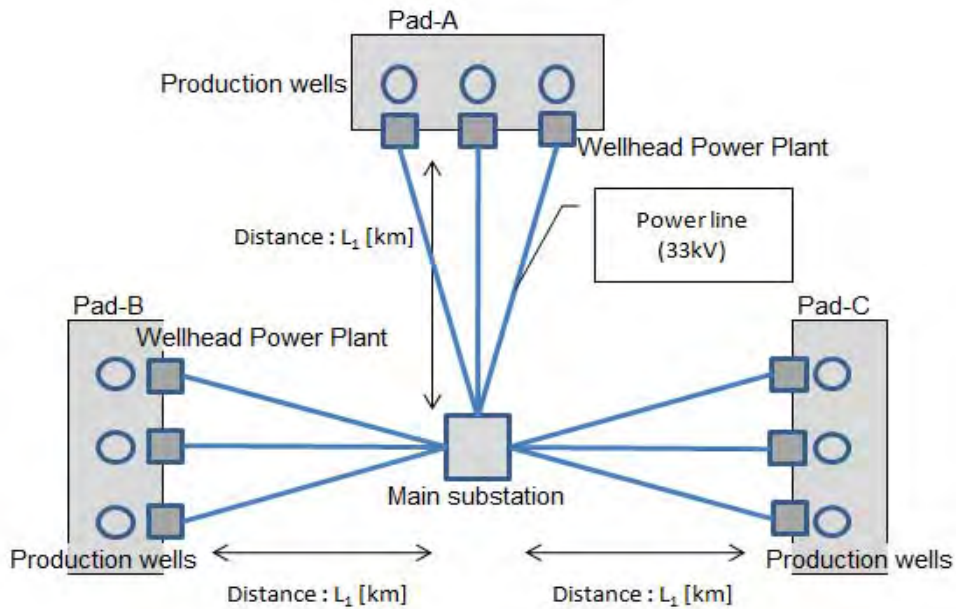


図-4.3 分散型発電所の構成

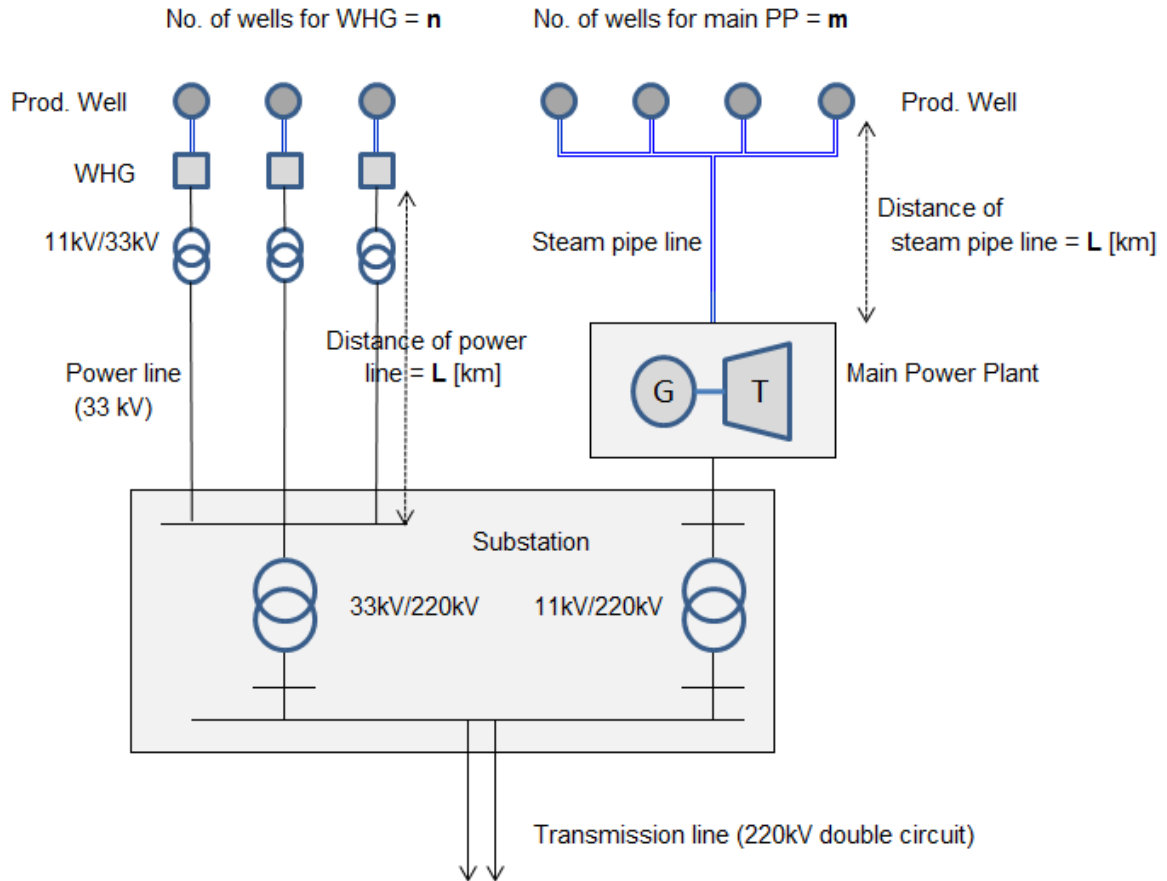


図-4.4 ハイブリッド型発電所のシステム構成

図-4.4 にハイブリッド型発電所のシステム構成を示す。n 本の生産井に坑口発電を設置し、残る  $(9-n)$  本の生産井の蒸気は蒸気輸送管により本体発電所まで運ばれて発電するシステムである。本体発電所は坑口発電により蒸気が消費されるため、すべての蒸気を利用する集中型発電所より出力は小さいものとなる。また、蒸気輸送管は集中型発電所の場合より蒸気量が少ないから、配管径が減少し敷設費は小さくなる。もし、生産基地のすべての生産井に坑口発電が設置されれば蒸気輸送管は不要となる。一方、n 台の坑口発電により生産された電気はそれぞれ 33 kV まで昇圧され、n 本の低圧配電線 (33 kV) を用いて本体発電所隣接の中央変電所まで送電される。従って、坑口発電設備、昇圧変圧器 (11kV/33kV)、33kV 配電線、本体変電所への接続経費 (スイッチギア、ベイ設置費)、本体変圧器 (33kV/220kV) の設置が必要となる。

このモデルにおいて、 $n=0$  とした場合が集中型発電所のケースとなり、 $n=9$  とした場合が分散型発電所のケースとなる。いずれの経済性が優れるか、あるいは n の最適値が存在するかどうか、が我々の関心事項である。

## 4.2 ハイブリッド型発電所の出力

簡単のために9本の生産井隣接の汽水分離器から、それぞれ流量50 t/hの蒸気が産出され、全体で450 t/hの蒸気が存在するとする。仮に本体発電所の蒸気消費率を7.5 t/h/MWとすると、 $n=0$ の場合、すなわち集中型発電所では60 MWの発電が可能となる。これに対し、坑口発電の蒸気消費率を8.0 t/h/MWとすると、1台設置した場合は6.25 MWの発電が可能である。しかし、本体発電所では蒸気量が400 t/hに減少するから発電量は53.3 MWに減少する。従って、坑口発電を1台導入した場合のハイブリッド型発電所の出力は59.6 MWとなる。

坑口発電を  $n$  台導入した場合は、坑口発電側の出力は  $6.25n$  MW となり、本体発電所の出力は  $(450-50n)/7.5 = (60-6.67n)$  MW になる。従って、ハイブリッド型発電所としては  $(60-0.42n)$  MW の出力となる。この場合、ハイブリッド型発電所の出力は集中型発電所より微減する。ただし、これは本体発電所の蒸気消費率を7.5 t/h/MW、坑口発電の蒸気消費率を8.0 t/h/MWと単純に仮定した場合である。実際は、後述するように蒸気消費率はタービン入口圧力により異なる。従って、ハイブリッド型発電所の出力がどのようになるかは、蒸気輸送管の圧力ロスも考慮して、本体発電所や坑口発電のタービン入口圧力と蒸気消費率を考慮して求めることになる。

## 4.3 ハイブリッド型発電所の建設費

次に建設費について考える。発電設備の建設費は出力により異なるが、出力が2倍になっても建設費は必ずしも2倍にはならない。これを建設費のもつスケールメリットと呼ぶ。一般にスケールメリット乗数を  $\kappa$  として、出力  $P_1$  と  $P_2$  の建設費は次式の様に表される。

$$\text{出力}P_2\text{の発電設備建設費} = \text{出力}P_1\text{の発電設備建設費} \times \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^\kappa \quad (4.1)$$

一般に  $\kappa$  は 0.7~0.8 といわれているから、出力が2倍になっても建設費は1.6~1.7倍にしかならない。逆に出力が1/2になっても建設費は6割程度までしか下がらない。

ここで60 MWの集中型発電所の建設単価を1,600 \$/kW、5 MWの坑口発電の建設単価を2,600 \$/kWと仮定しよう。これがスケールメリットによりもたらされていると仮定すると、 $\kappa=0.805$ を得る。この  $\kappa$  をもとにすると各発電設備の建設費は以下のように試算される。

$$\text{出力}60\text{ MWの集中型発電所の建設費} : 60\text{ MW} \times 1,600\text{ US\$/kW} = 96\text{ M\$}$$

$$\text{出力}5\text{ MWの坑口発電の建設費} : 5\text{ MW} \times 2,600\text{ US\$/kW} = 13\text{ M\$}$$

$$\text{出力}53.3\text{ MWの本体発電所の建設費} : 96\text{ M\$} \times \left(\frac{53.3}{60}\right)^{0.805} = 87.3\text{ M\$}$$

$$\text{出力}6.25\text{ MWの坑口発電の建設費} : 13\text{ M\$} \times \left(\frac{6.25}{5}\right)^{0.805} = 15.6\text{ M\$}$$

従って、60 MWの集中型発電所を建設した場合の建設費はUS\$ 96 millionであるが、坑口発電を1台導入したハイブリッド型発電所の建設費はUS\$ 102.9 million必要と試算される。

同様に、坑口発電を n 台導入した場合は、

$$\text{出力}(60-6.67n) \text{ MW の本体発電所の建設費} : 96 \text{ M\$} \times \left(\frac{60-6.67n}{60}\right)^{0.805}$$

$$\text{出力} 6.25 \text{ MW の坑口発電} n \text{ 台の建設費} : 13 \text{ M\$} \times \left(\frac{6.25}{5}\right)^{0.805} \times n$$

で求め、合計することになる。なお、前述の通り、実際には、蒸気消費率を精査し、出力を求めてから建設費を試算することになる。

ところで、この計算からすぐ分かる通り、坑口発電を 1 台でも導入すると建設費は大きく上昇する。これは設備の分割に伴う建設費のスケールメリット喪失によるものである(図-4.5)。

表-4.1 ハイブリッド型発電所の出力及び発電所建設費

項目	本体発電所	坑口発電
利用坑井数	m (=9-n) 本	n 本
出力 (P)	$P_{\text{MAIN}} = Q_{\text{MAIN}}/\eta_{\text{MAIN}}$ $P_{\text{MAIN}}$ : 本体発電所出力[MW] $Q_{\text{MAIN}}$ : 本体発電所で使用する蒸気量[t/h] $\eta_{\text{MAIN}}$ : 本体発電所蒸気消費率[t/h/MW]	$n * P_{\text{WHG}} = n * (Q_{\text{WHG}}/\eta_{\text{WHG}})$ $P_{\text{WHG}}$ : 坑口発電出力[MW] $Q_{\text{WHG}}$ : 坑口発電使用蒸気量[t/h] $\eta_{\text{WHG}}$ : 坑口発電の蒸気消費率[t/h/MW]
発電所建設費 (CC)	$CC_{\text{MAIN}} = CC_{60} * (P_{\text{MAIN}}/60)^{\kappa}$ $CC_{\text{MAIN}}$ : 本体発電所建設費[M\$] $CC_{60}$ : 60MW 集中型発電所建設費[M\$] $P_{\text{MAIN}}$ : 本体発電所出力[MW] $\kappa$ : 建設費スケールメリット乗数	$n * CC_{\text{WHG}} = n * CC_5 * (P_{\text{WHG}}/5)^{\kappa}$ $CC_{\text{WHG}}$ : 坑口発電の建設費[M\$] $CC_5$ : 5MW 坑口発電の建設費[M\$] $P_{\text{WHG}}$ : 坑口発電出力[MW] $\kappa$ : 建設費スケールメリット乗数

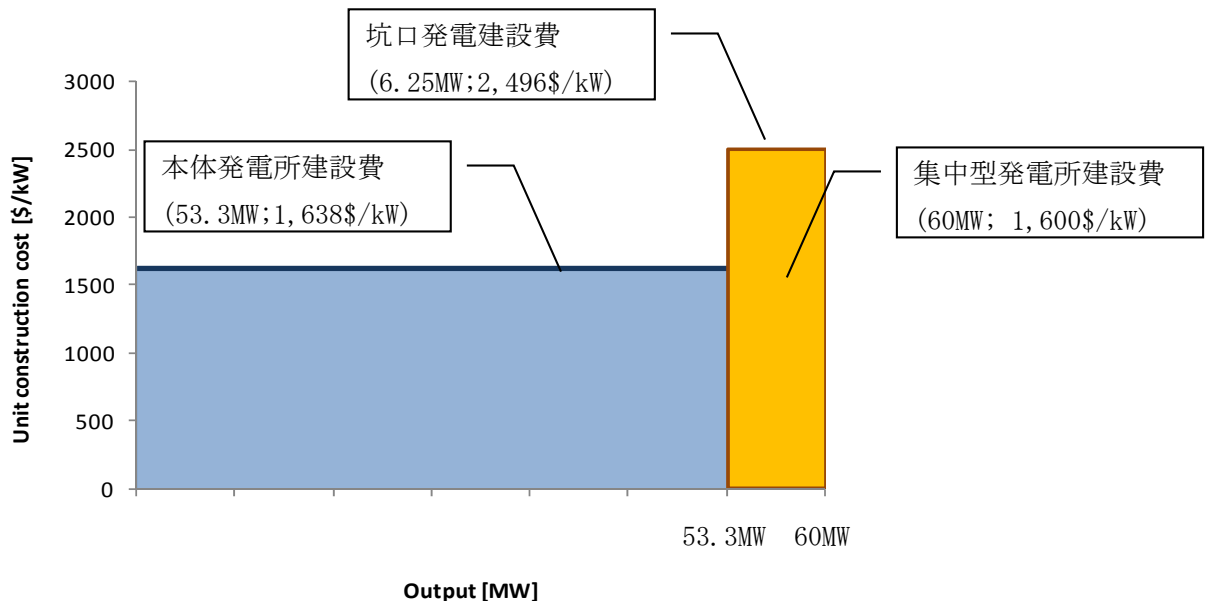


図-4.5 建設費スケールメリット喪失の影響説明図

#### 4.4 蒸気輸送管建設費と配電線建設費

蒸気輸送管内を流れる蒸気量  $Q$  [t/h]、蒸気流速  $v$  [m/s]、蒸気密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]、蒸気輸送管直径  $d$  [m] とする。これらの間に (4.2) 式が成立するから蒸気輸送管直径は (4.3) 式で表される。

$$\frac{\pi}{4} d^2 v \rho = \frac{Q}{3.6} \quad (4.2)$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{3.6\pi v \rho}} \quad (4.3)$$

ここで、 $v = 40$  m/s、 $\rho = 4.90$  kg/m<sup>3</sup> (飽和蒸気圧 9.5 bar(a)時) とすると、(4.4) 式で近似できる。

$$d = 0.0425\sqrt{Q} \quad (4.4)$$

蒸気輸送管の敷設費は概ね蒸気輸送管の直径と延長に比例し、その建設単価は約 2.0 M\$/mφ-km である。従って、蒸気流量  $Q$  [t/h] の蒸気輸送管の 1km 当たりの建設単価  $c_{PL}$  [M\$/km] は、

$$c_{PL} = 0.0850\sqrt{Q} \quad (4.5)$$

となる。

従って、3本の生産井の蒸気を輸送する場合は輸送管内の蒸気量  $Q$  が 150 t/h であるから、 $d = 0.521$  [m]、 $c_{PL} = 1.04$  [M\$/km] と試算される。ここで、1本の生産井に坑口発電が設置されると蒸気量  $Q$  は 100 t/h となるから  $d = 0.425$  [m]、 $c_{PL} = 0.85$  [M\$/km] となる。この結果、蒸気輸送管敷設費の節約は 0.19 [M\$/km] である。このように複数の生産井からの蒸気を集約して蒸気輸送管で輸送している場合は、流量  $Q$  が減少しても蒸気輸送管の直径は  $\sqrt{Q}$  でしか減少せず、流量が 2/3 になっても建設単価は 18%程度しか節約されない。また、2本の生産井に坑口発電が設置され流量が 1/3 になっても建設単価は 42%程度しか節約されない。ただし、3本の生産井すべてに坑口発電が設置されれば、蒸気輸送するの必要がなくなるから、蒸気輸送管建設費はゼロになる (図-4.6)。

一方、坑口発電を設置した場合、33kV 程度の配電線で送電することになる。これは坑口発電の出力 11kV のままで送電すると送電ロスが大きくなるため昇圧するもので、送電距離を考慮すると 33kV 程度が妥当と考えられる。この場合、配電線建設費が発生する。33kV の配電線建設費は 0.05 M\$/km と想定され、この経費が必要になる。従って、図-4.7 の順番で坑口発電を導入する場合、蒸気輸送管と 33kV 配電線の建設コストは図-4.8 のようになる (生産井基地の距離 1km の場合)。

表-4.2 ハイブリッド型発電所の蒸気輸送管建設単価と配電線建設単価

項目	本体発電所	坑口発電
蒸気輸送管建設単価 ( $c_{PL}$ )	$c_{PL} = 0.0850\sqrt{Q}$ $c_{PL}$ : 蒸気輸送管建設単価 [M\$/km] $Q$ : 蒸気輸送管蒸気量 [t/h]	-
33kV 配電線建設単価 ( $c_{DL}$ )	-	$c_{DL} = 0.05$ $c_{DL}$ : 33kV 配電線建設単価 [M\$/km]

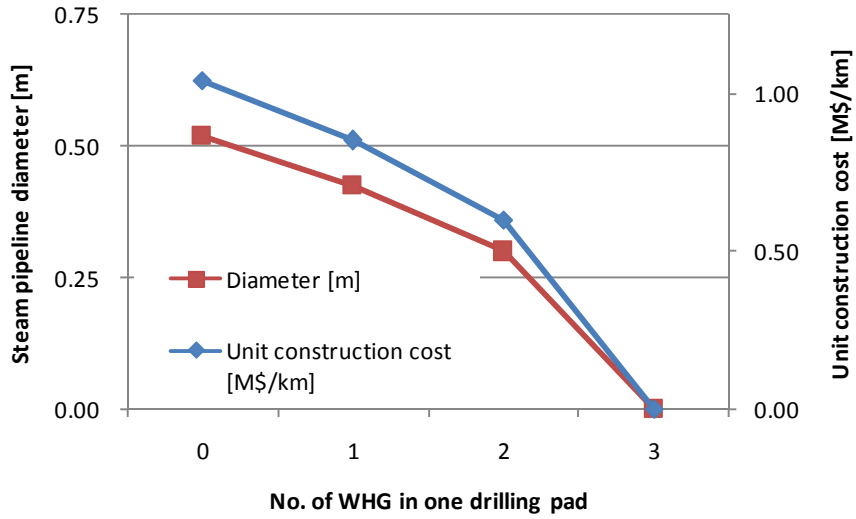


図-4.6 坑口発電導入による蒸気輸送管直径と建設単価の軽減効果

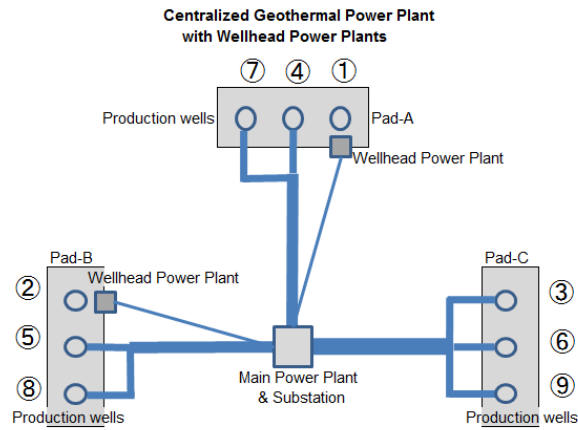


図-4.7 坑口発電の導入順番

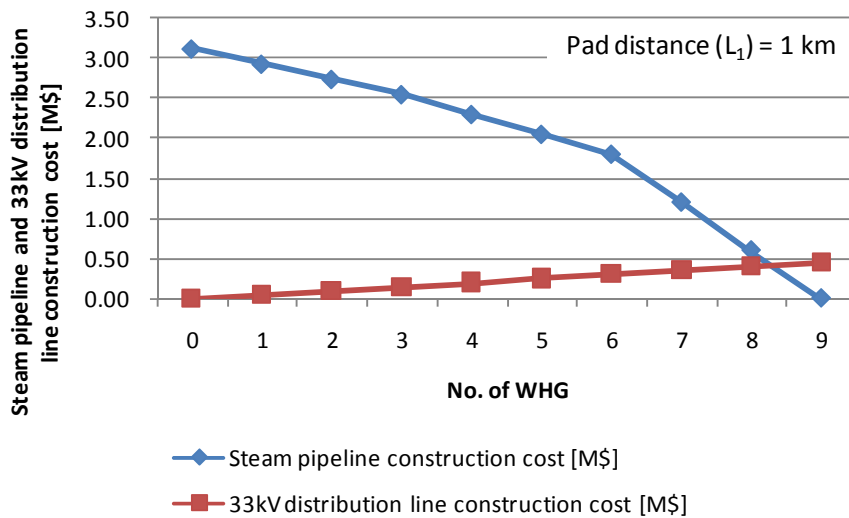


図-4.8 坑口発電の導入数と蒸気輸送管と 33kV 配電線の建設費 ( $L_1=1\text{km}$  の場合)



#### 4.5 坑口発電に伴う電気設備費

坑口発電を n 台導入した場合、以下の電気設備費が追加的に必要である。

表-4.3 坑口発電に伴う電気設備費

設備名	単価	備考	n=1 の場合
坑口発電昇圧変圧器(11kV/33kV)	30,000 \$/MVA/unit	n 台	0.24 M\$
中央変電所改装工事費	0.74 M\$/unit	n 台	0.74 M\$
スイッチギア	0.09 M\$/unit	n 台	0.09 M\$
中央変電所主変圧器 (33kV/220kV)	30,000 \$/MVA	1 台	0.24 M\$
送電ベイ (220kV) 増設費	1.28 M\$/bay	4 ベイ × (n/9) 負担	0.57 M\$
合 計			1.88 M\$

表-4.4 ハイブリッド型発電所の電気設備費

項目	本体発電所	坑口発電
電気設備費	-	表-4.3 の設備費

#### 4.6 蒸気消費率、蒸気輸送管の圧力損失及び配電線損失

前記 4.2 において、出力の算出は生産井からの蒸気量を蒸気消費率で除して求めると述べた。実はこの蒸気消費率は一定ではなく、タービン入口圧力の関数である。ここでは本体発電所のタービン効率を 0.8 と仮定し、坑口発電のタービン効率を 0.75 と仮定した。また、復水型は集中型、坑口発電ともに復水器圧力を 0.1 [bar(a)] とし、また、背圧型はサイレンサー損失を考慮して 1.1 [bar(a)] と仮定した。また、蒸気中の非凝縮ガス濃度は 2% と仮定した。以上の仮定から求めたタービン入口圧力に対する蒸気消費率を図-4.9、表-4.5 に示す。

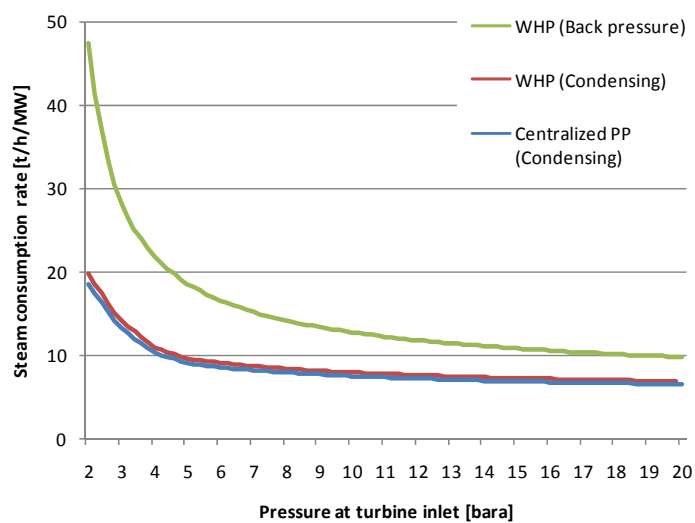


図-4.9 各発電設備のタービン入口圧力と蒸気消費率

表-4.5 各発電設備のタービン入口圧力と蒸気消費率

タービン入口圧力 ( $p_t$ ) [bar(a)]	本体発電所 (復水) ( $\eta_{MAIN}$ ) [t/h/MW]	坑口発電 (復水) ( $\eta_{WHG}$ ) [t/h/MW]	坑口発電 (背圧) ( $\eta_{WHG}$ ) [t/h/MW]
3.0	13.2	14.1	28.1
4.0	10.3	11.0	21.8
5.0	8.98	9.58	18.6
6.0	8.51	9.08	16.6
7.0	8.16	8.70	15.2
8.0	7.88	8.40	14.2
9.0	7.65	8.16	13.4
10.0	7.45	7.95	12.8

ところで、坑口発電は井戸元の汽水分離器の近傍に設置されるから、タービン入口圧力は汽水分離器圧力と等しいと考えてよい。一方、本体発電所では蒸気輸送管による輸送中の蒸気圧力損失があり、

$$\text{タービン入口圧力} = \text{汽水分離器圧力} - \text{蒸気輸送管圧力損失} \quad (4.6)$$

となる。

ここでは蒸気輸送管の圧力損失を単純化して、汽水分離器圧力によらず 1km 当たり 1.0 bar(a) と仮定した。

一方、坑口発電の場合は、33kV 配電線で電気を輸送するから、その間の送電損失がある。この送電損失を 1km 当たり発電電力量の 0.15% と仮定した。

表-4.6 ハイブリッド発電所の蒸気消費率、蒸気輸送管圧力損失及び送電損失

項目	本体発電所	坑口発電
蒸気消費率	$\eta_{MAIN}$ : 図-4.9 による。 ただし、 $p_t = p_s - \Delta p$ $\eta_{MAIN}$ : 本体発電所蒸気消費率[t/h/MW] $p_t$ : タービン入口圧力[bar(a)] $p_s$ : 汽水分離器圧力[bar(a)] $\Delta p$ : 圧力損失 ( $=p_s - p_t$ ) [bar(a)]	$\eta_{WHG}$ : 図-4.9 による。 ただし、 $p_t = p_s$ $\eta_{WHG}$ : 坑口発電の蒸気消費率[t/h/MW] $p_t$ : タービン入口圧力[bar(a)] $p_s$ : 汽水分離器圧力[bar(a)]
蒸気輸送管圧力損失	$\Delta p = 1.0 * L_1$ $\Delta p$ : 蒸気輸送管圧力損失[bar(a)] $L_1$ : 生産井基地と発電所との距離[km]	-
配電線損失	-	$\Delta E = 0.0015 * L_1 * E$ $\Delta E$ : 送電損失[MWh] $E$ : 送電電力量[MWh] $L_1$ : 生産井基地と発電所との距離[km]

#### 4.7 蒸気フィールド開発費

蒸気フィールドの開発は、各汽水分離器から 50 t/h の蒸気を産出する能力を有する生産井を 9 本開発 (60MW 相当) することを目的に、7 年間かけて地表調査・探査、貯留層確認調査、生産井・還元井等建設、還元熱水ライン建設等を行うこととする。生産井は 15 本掘削し、9 本が成功するものとし、掘削費を US\$ 5 million/本とした。還元井は 13 本掘削し、掘削費を US\$ 3.5 million/本とした。これにより開発費総額は US\$ 147.6 million (2,460 US\$/kW) と想定した。ただし、この費用には蒸気輸送管建設費は含まない (蒸気輸送管建設費は坑口発電の利用状況に合わせて別途試算し加算する)。

この活動の結果、成功生産井は表-4.7 に示す通り得られるものとし、n 台の坑口発電を設置する場合は、早い順に n 台を設置するものとした。

表-4.7 蒸気フィールド開発費 (単位：M\$)

項目	-7年	-6年	-5年	-4年	-3年	-2年	-1年	合計
地表調査・探査	10.0	5.0						15.0
貯留層確認調査			21.5	35.1				56.6
生産井・還元井等建設					17.0	27.2	24.8	69.0
管理費(5%)	0.5	0.3	1.1	1.8	0.9	1.4	1.2	7.0
合計	10.5	5.3	22.5	36.9	17.9	28.6	26.0	147.6
成功生産井本数(本)		1	1	1	3	3	0	9

本報告書では坑口発電の利用形態として、建設期間中利用、長期的利用、減衰井回収利用の 3 通りを考えている。このうち、建設期間中利用と減衰井回収利用においては蒸気フィールド開発費は本体発電所が負担するので、坑口発電は蒸気フィールド開発費を負担しないこととする。長期的利用の場合は坑口発電側も出力に応じて本体発電所と開発費を按分して負担することとする。

表-4.8 蒸気フィールド開発費の負担

WHG の利用形態	本体発電所	坑口発電
建設期間中の短期的利用 (可搬型 WHG)	全額負担する	負担なし
長期的利用 (据付型 WHG)	使用井戸本数に応じて本体発電所と坑口発電とで按分する	
減衰井の回収利用 (可搬型 WHG)	全額負担する	負担なし

#### 4.8 その他の試算条件

その他の試算条件は表-4.9 のとおりである。

表-4.9 その他の試算条件

項目	本体発電所 (復水式)	坑口発電	
		復水式	背圧式
汽水分離器出口蒸気量	50 t/h/well		
汽水分離器圧力	10 bar(a) (10~5 bar(a)の感度分析実施)		
生産井基地距離	1.0 km		
建設単価(*)	1,600 US\$/kW (@ 60MW)	2,600 US\$/kW (@ 5MW)	1,700 US\$/kW (@ 5MW)
所内率	6%	10%	2%
年間 O&M 費	建設費の 3%	同左	同左
出力低下率	-	毎年 0.5%	同左
移設工事費 (**)	-	建設費の 5%	同左
年間設備利用率	90%		
運転年数	30 年		
減価償却年数	蒸気生産設備 15 年、発電設備 25 年		
減価償却方法	定額法		
売電価格	8.5 US¢/kWh		
税率	30%		
資金負担	全額自己資金		

(\*) 建設単価は表中の値と出力から(4.1)式により調整する。

(\*\*) 建設期間中利用と減衰井回収利用の場合。

#### 4.9 経済性評価モデル概要

以上の各要素を取り入れたハイブリッド型発電所の経済性評価モデルを Excel シートにより作成した。

主な入力データは、9本の生産井毎の汽水分離器出口蒸気量 ( $Q_s$  [t/h])、汽水分離器圧力 ( $p_s$  [bar(a)])、坑口発電ユニット数 ( $n$ )、生産井基地と発電所との距離 ( $L_1$  [km])、WHG の技術方式 (復水式、背圧式)、各建設費、各所内率、売電価格、税率、建設スケジュール、O&M 費などである。

主な出力は、ハイブリッド型発電所の建設費 ( $CC_{HYB}$  [M\$]) と内部収益率 ( $IRR_{HYB}$  [%]) であり、その内訳として坑口発電の建設費 ( $CC_{WHG}$  [M\$]) と内部収益率 ( $IRR_{WHG}$  [%])、本体発電所の建設費 ( $CC_{MAIN}$  [M\$]) と内部収益率 ( $IRR_{MAIN}$  [%]) も算出する (図-4.10)。

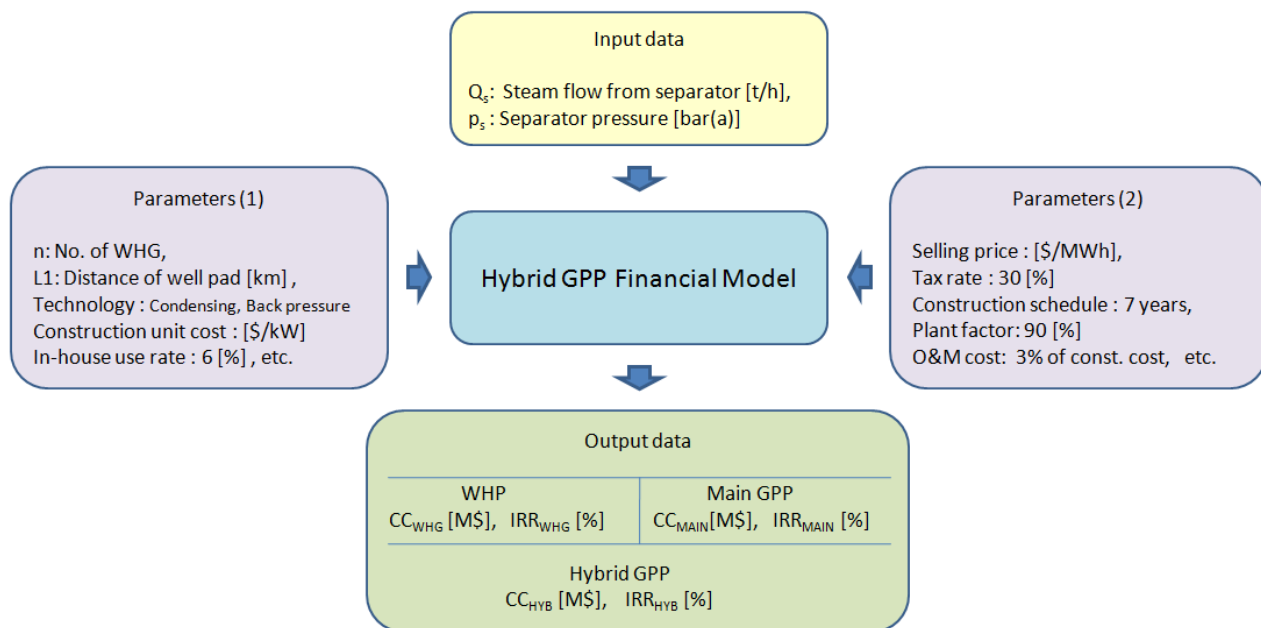


図-4.10 ハイブリッド型発電所の経済性評価モデルの概要

## 5. 建設期間中の短期的利用の経済性

### 5.1 出力・建設費・経済性

本体発電所の建設期間中に、掘削済みの生産井を利用して短期的に坑口発電を行う場合である。図-4.1の配置の地熱発電所において、すべての生産井（9本）からの蒸気（合計450t/h）を利用して出力60MWの集中型発電所を建設するとする（厳密には蒸気輸送管の圧力損失により出力は58.8MWである）。この建設期間中に、掘削が終了した生産井に順次、坑口発電を設置して、未利用の蒸気を有効利用しようとするものである。

9本の生産井は表-4.7に示す順に完成するため、図-5.1の様に利用することになる。発電所が運開すると坑口発電設備は他の建設中のプロジェクトに移設して、そこで再利用する。その際は、残存簿価で他のプロジェクトに譲渡するものとする。

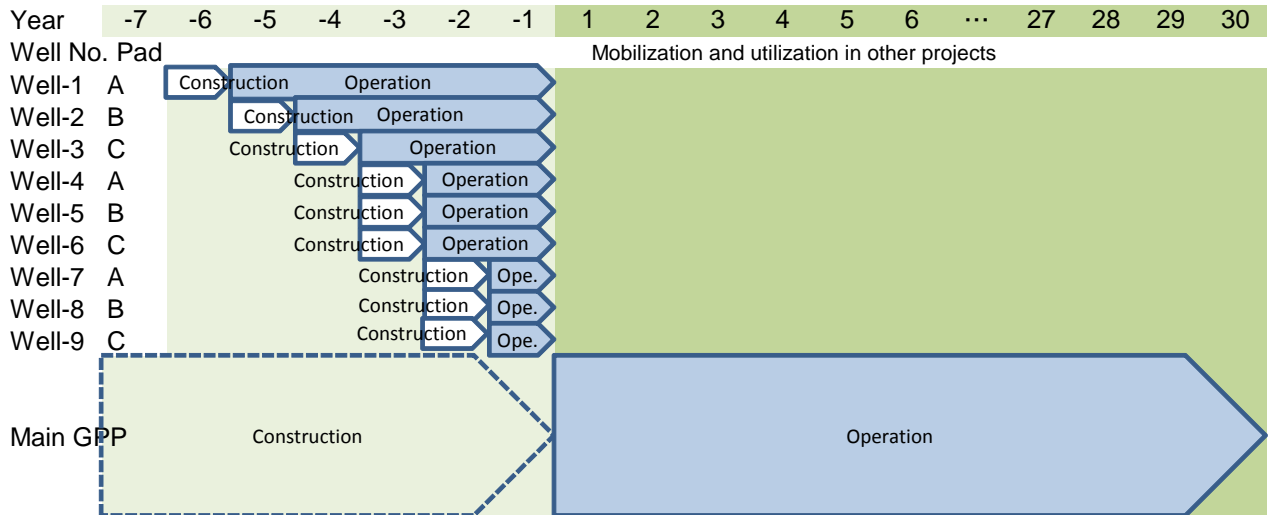


図-5.1 建設期間中の利用

坑口発電に利用できる方式は、復水式と背圧式である。汽水分離器圧力が 10.0 bar (a)、汽水分離器出口流量 50 t/h の場合、復水式坑口発電の蒸気消費率は 7.95 t/h/MW であるから、1 台当たり 6.3 MW の発電が可能となる。背圧式坑口発電の場合は蒸気消費率は 12.8 t/h/MW であるから、1 台当たり 3.9 MW の発電となる。これにより、復水式の場合は初年度 44.3 GWh の発電が、背圧式の場合は同 30.1 GWh の発電が期待できる。一方、坑口発電 1 台を導入した場合の坑口発電の建設費は、復水式の場合 US\$ 18.4 million、背圧式の場合 US\$ 9.2 million と試算される。

いずれの場合も、本体発電所は 58.8 MW の復水式発電所を建設するから、その建設費は蒸気フィールド開発費も含めて US\$ 261.1 million と試算される。

これらの結果から、復水式坑口発電だけの経済性は 12.5%、背圧式坑口発電だけの経済性は 18.0% と試算され、本体発電所の経済性は 7.1% と試算された (表-5.1、表-5.2)。

表-5.1 建設期間中の短期的利用 (復水式坑口発電 1 台利用の場合)

項目	坑口発電 (建設中)	本体発電所 (運開後)	合計/備考
蒸気量 (汽水分離器圧力 10 bar (a))	50 t/h	450 t/h	-
蒸気消費率 (@タービン入口圧力)	7.95 t/h/MW (@ 10.0 bar (a))	7.65 t/h/MW (@ 9.0 bar (a))	-
出力 (発電端)	6.3 MW	58.8 MW	-
発電設備建設単価	2,486 \$/kW	1,606 \$/kW	-
建設費	蒸気フィールド開発費 (a)	-	147.6 (M\$) 本体発電所負担
	坑口発電設備	15.6	-
	配電線・本体変電所改造費等	1.9	-
	坑口発電小計 (5%管理費込) (b)	18.4 (M\$)	-
	本体発電所発電設備	-	94.5



蒸気輸送管	-	3.1	-
中央開閉所改造費	-	10.5	-
本体発電所小計 (5%管理費込) (c)	-	113.5 (M\$)	-
建設費合計 (d)=(a)+(b)+(c)	18.4 (M\$)	261.1 (M\$)	279.6 (M\$)
発電電力量 (送電端) (初年度)	44.3 GWh	435.9 GWh	-
内部収益率 (IRR)	12.5%	7.12%	

表-5.2 建設期間中の短期的利用 (背圧式坑口発電 1 台利用の場合)

項目	坑口発電 (建設中)	本体発電所 (運開後)	合計/備考
蒸気量 (汽水分離器圧力 10 bar(a))	50 t/h	450 t/h	-
蒸気消費率 (@タービン入口圧力)	12.8 t/h/MW (@ 10.0 bar(a))	7.65 t/h/MW (@ 9.0 bar(a))	-
出力 (発電端)	3.9 MW	58.8 MW	-
発電設備建設単価	1,783 \$/kW	1,606 \$/kW	-
建設費	蒸気フィールド開発費 (a)	-	147.6 (M\$) 本体発電所負担
	坑口発電設備	7.0	-
	配電線・本体変電所改造費等	1.8	-
	坑口発電小計 (5%管理費込) (b)	9.2 (M\$)	-
	本体発電所発電設備	-	94.5
	蒸気輸送管	-	3.1
	中央開閉所改造費	-	10.5
	本体発電所小計 (5%管理費込) (c)	-	113.5 (M\$)
建設費合計 (d)=(a)+(b)+(c)	9.2 (M\$)	261.1 (M\$)	270.3 (M\$)
発電電力量 (送電端) (初年度)	30.1 GWh	435.9 GWh	-
内部収益率 (IRR)	18.0%	7.12%	

## 5.2 早期利用の効果

坑口発電のメリットの一つは、早期に発電が開始できキャッシュフローの入手が図れる点である。この効果を見るため、坑口発電と本体発電とを組み合わせた全体の経済性が坑口発電の利用期間によりどのように変化するか試算した。坑口発電1台を1~5年間利用した場合の経済性を図-5.2に示す。これによると背圧式は早期に導入すればするほど効果がある。復水式は1年の利用では効果が出ず2年以上利用すると効果があることが分かった。

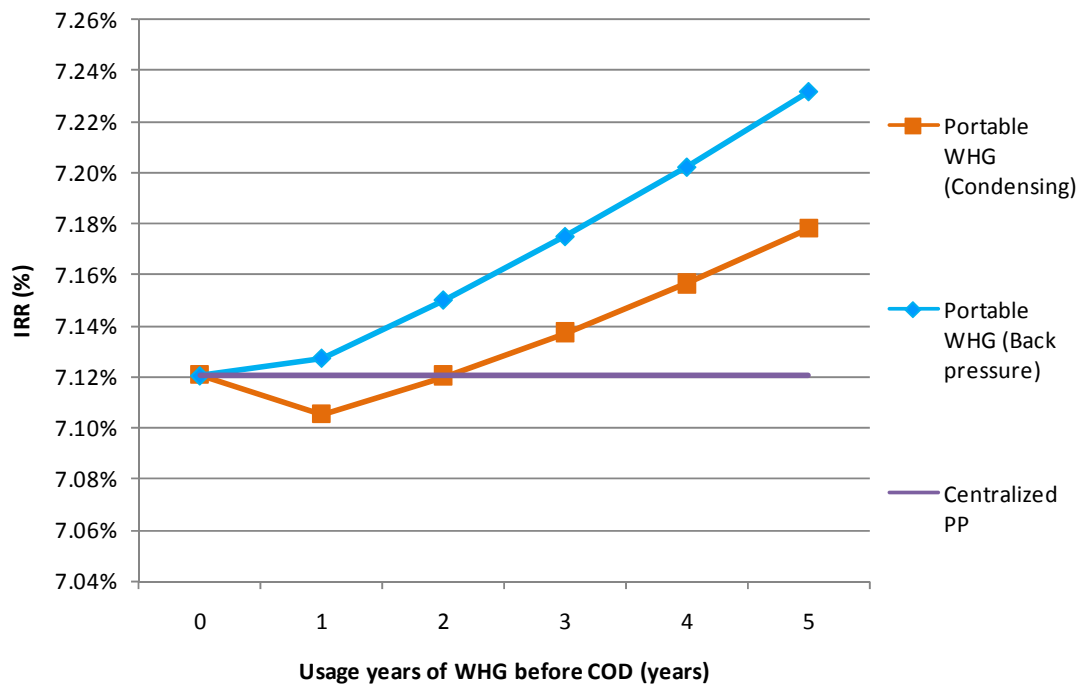


図-5.2 坑口発電利用期間の経済性への影響（建設期間中の短期的利用）（n=1）

## 5.3 最適導入数

次に前出表-4.7の順に生産井が完成し、そこに順次坑口発電を設置するケースを考える。最初の坑口発電は早期に導入されるため、その効果が大きい。あとから導入される坑口発電は利用年数が少ないから効果が小さくなる。このため、導入の効果は次第に小さくなる。この様子を図-5.3に示す。これによると背圧式は9本の生産井すべてに導入すれば効果が最大になるが、復水式は3台導入する場合に効果が最大となり、それ以上導入しても効果は減少する。すなわち、導入の最適値があることが分かった。

以上、見たように坑口発電を建設中利用する場合は、復水式より背圧式が優れる。これは表-5.3に示す通り、背圧式は復水式に比較して発電電力量は小さいものの、建設費がさらに安価であることに起因する。建設費が安価である理由は、蒸気フィールド開発費を本体発電所が負担するため、坑口発電としては自身の設備代だけ負担すればよいからである。（仮に、坑口発電もある程度の蒸気フィールド開発費を負担する必要があるとすると、背圧式の建設費の優位性は失われ、復水式が有利になる。）なお、技術面からみても、建設中利用は短期間しか使用しないから、据付・解体が容易な背圧式が推奨できる。

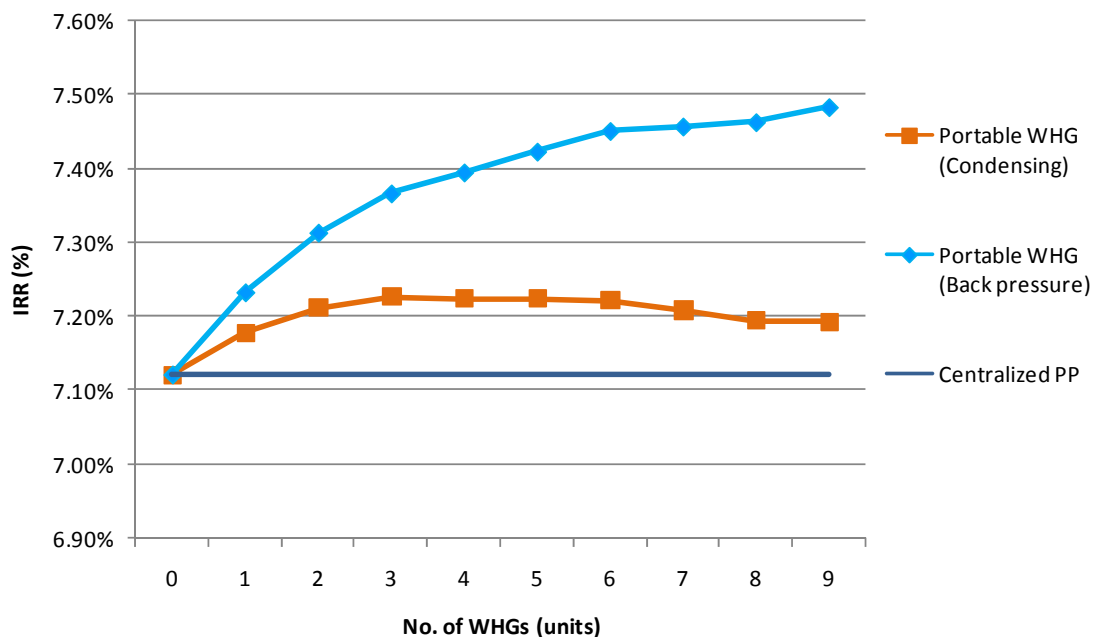


図-5.3 坑口発電の利用台数の効果（建設期間中の短期的利用）

表-5.3 復水式と背圧式の坑口発電の比較

項目	復水式	背圧式
出力	6.3 MW (1.00)	3.9 MW (0.62)
初年度発電電力量	44.3 GWh (1.00)	30.1 GWh (0.68)
坑口発電建設費 (1台あたり)	18.4 M\$ (1.00)	9.2 M\$ (0.50)

#### 5.4 低蒸気圧フィールド

以上の分析は、生産井直後の汽水分離器から圧力 10 bar(a)、蒸気量 50 t/h の蒸気が得られると仮定した場合である。ここで汽水分離器から蒸気量は同じ 50 t/h でも圧力が 5 bar(a) の蒸気しか得られないと仮定して同様の分析を行ってみよう。結果を図-5.4 に示す。汽水分離器圧力が 5 bar(a) に低下すると背圧式、復水式ともに蒸気消費率が悪化し、経済性はかなり低下する。そして、背圧式の蒸気消費率が復水式より大きく悪化するため、背圧式と復水式の差がほとんどなくなる。すなわち、生産井圧力の低いフィールドにおいては、必ずしも背圧式が有利とは限らなくなる。

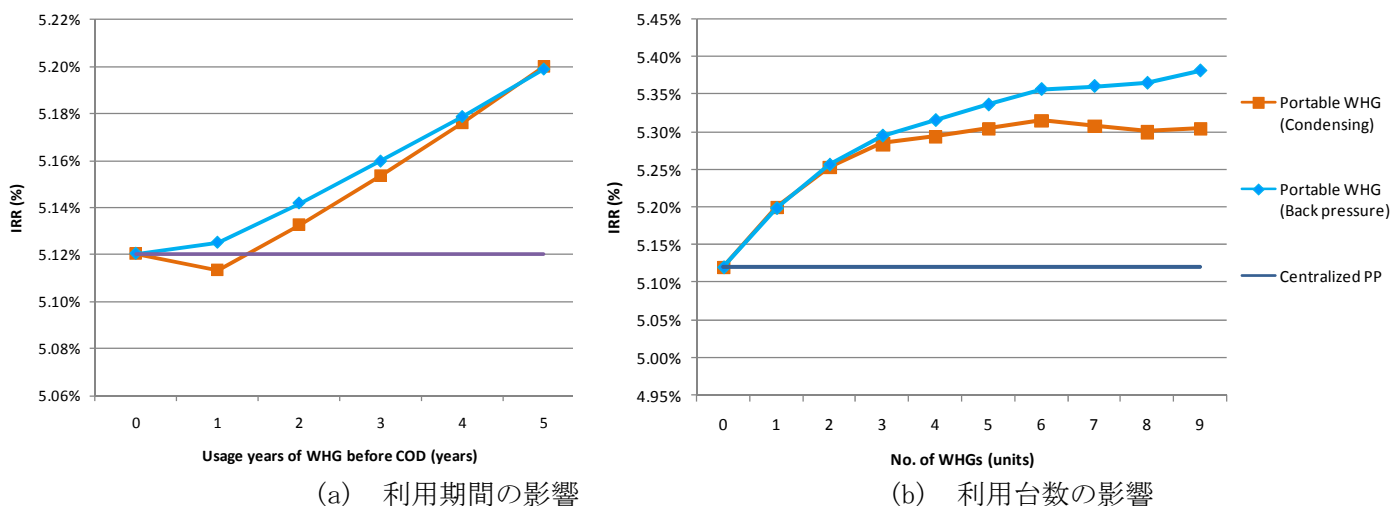


図-5.4 蒸気圧力 5 bar (a) の場合の坑口発電導入効果

## 5.5 建設中の短期的利用のまとめ

以上から、坑口発電設備を建設中に短期的利用することに関しては、次のように言える。

- (a) 本体発電所の建設中に未利用の蒸気を利用して早期にキャッシュフローを入手できる建設中の短期的利用はプロジェクトの経済性を高める効果があり、推奨できる。ただし、本体発電所運開後は別プロジェクトで有効利用されることを前提としているので、この点に留意する必要がある。
- (b) 背圧式の場合は1年以上、復水式の場合は2年以上利用すれば効果が出現する。建設中の未利用蒸気を使用することから、利用期間が長期になる程（早く設置するほど）、その効果が大きくなる。
- (c) 生産井の掘削に応じて坑口発電を設置する場合、背圧式はすべての坑井に利用することが有利である。復水式は利用期間を考慮して導入台数を選定することが望まれる。
- (d) 蒸気圧力の高いフィールドでは背圧式が有利である。技術的にも背圧式は移設しやすく、また、建設費が安価という利点を有している。ただし、騒音対策などが必要となる。なお、蒸気圧力の低いフィールドでは背圧式の蒸気消費率が低下し、必ずしも背圧式が有利とは限らなくなるので注意が必要である。
- (e) ケニアでは地熱開発計画が多数あり、また、フィールドの蒸気圧力が高いから、GDCは建設計画に照らして適切な台数の背圧式坑口発電設備を保有し、建設中のプロジェクトで順次利用していくことが望ましい。

なお、本体発電所の経済性試算表を参考表-1に、背圧式の坑口発電設備9台を建設期間中に利用した場合の経済性試算表を参考表-2に示す。

## 6. 長期的利用の経済性

### 6.1 出力・建設費・経済性

現在の建設中プロジェクト以外には建設中のプロジェクトがない、あるいは坑口発電設備の中古市場が国内に存在しない、などの場合には坑口発電を建設中だけ利用してその後、他のプロジェクトに譲渡するという手段を採用することができない。このような場合には、坑口発電設備を据置型発電設備として、建設期間中のみならず本体発電期間中も長期的に利用する可能性を模索することになる。本節ではこのような長期的利用の場合の経済性を検討する。

図-4.2 の配置のハイブリッド型発電所を考える。n 本の生産井に坑口発電を設置して長期的に使用し、残る (9-n) 本の生産井の蒸気は本体発電所で利用する。n 本の生産井は表-4.7 に示す順に完成するため、図-6.1 の様に利用することになる。n=9 の場合は、分散型発電所になり、図-6.2 の様に利用することになる。

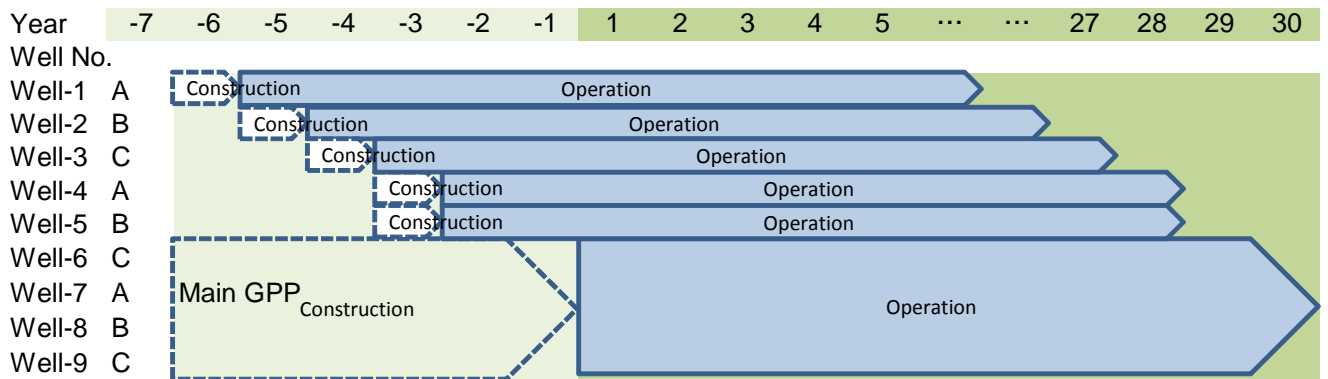


図-6.1 長期的利用（ハイブリッド型発電所 (n=5)）

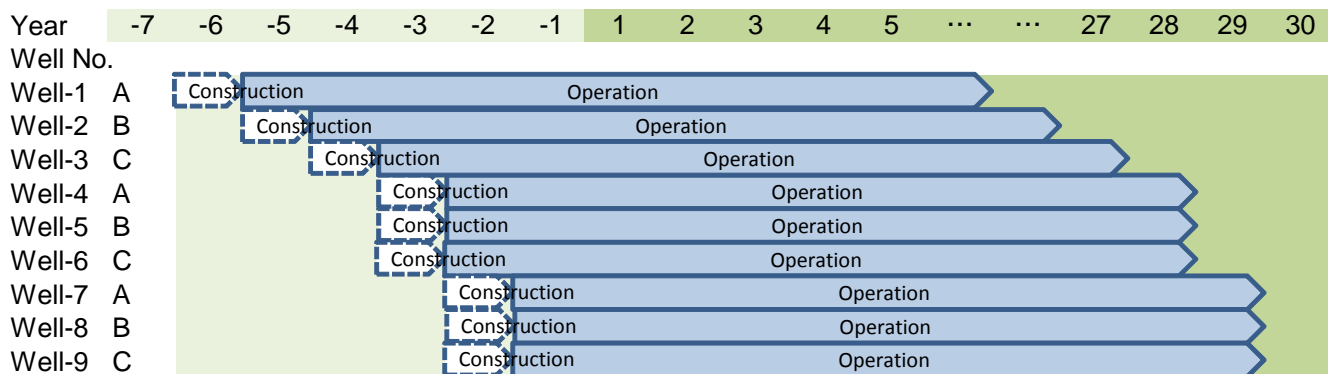


図-6.2 長期的利用（分散型発電所 (n=9)）

表-6.1 ハイブリッド型発電所（復水式坑口発電1台利用の場合）

項目	坑口発電	本体発電所	ハイブリッド型 発電所合計
蒸気量（汽水分離器圧力 10 bar(a)）	50 t/h	400 t/h	450 t/h
蒸気消費率 （@タービン入口圧力）	7.95 t/h/MW （@ 10.0 bar(a)）	7.65 t/h/MW （@ 9.0 bar(a)）	-
出力（発電端）	6.3 MW	52.3 MW	58.6 MW
発電設備建設単価	2,486 \$/kW	1,644 \$/kW	-
建設費	蒸気フィールド開発費 (a)	16.4 (M\$)	131.2 (M\$)
	坑口発電設備	15.6	-
	配電線・本体変電所改造費等	1.9	-
	坑口発電小計（5%管理費込）(b)	18.4 (M\$)	-
	本体発電所発電設備	-	85.9
	蒸気輸送管	-	2.9
	中央開閉所改造費	-	10.5
	本体発電所小計（5%管理費込）(c)	-	104.3 (M\$)
建設費合計 (d)=(a)+(b)+(c)	34.8 (M\$)	235.5 (M\$)	270.3 (M\$)
発電電力量（送電端）（初年度）	44.3 GWh	387.5 GWh	431.8 GWh
内部収益率（IRR）	5.8%	7.0%	6.9%

表-6.2 ハイブリッド型発電所（背圧式坑口発電1台利用の場合）

項目	坑口発電	本体発電所	ハイブリッド型 発電所合計
蒸気量（汽水分離器圧力 10 bar(a)）	50 t/h	400 t/h	450 t/h
蒸気消費率 （@タービン入口圧力）	12.8 t/h/MW （@ 10.0 bar(a)）	7.65 t/h/MW （@ 9.0 bar(a)）	-
出力（発電端）	3.9 MW	52.3 MW	56.2 MW
発電設備建設単価	1,783 \$/kW	1,644 \$/kW	-
建設費	蒸気フィールド開発費 (a)	16.4 (M\$)	131.2 (M\$)
	坑口発電設備	7.0	-
	配電線・本体変電所改造費等	1.8	-
	坑口発電小計（5%管理費込）(b)	9.2 (M\$)	-
	本体発電所発電設備	-	85.9
	蒸気輸送管	-	2.9
	中央開閉所改造費	-	10.5
	本体発電所小計（5%管理費込）(c)	-	104.3 (M\$)
建設費合計 (d)=(a)+(b)+(c)	25.6 (M\$)	235.5 (M\$)	261.1 (M\$)
発電電力量（送電端）（初年度）	30.1 GWh	387.5 GWh	417.6 GWh
内部収益率（IRR）	5.4%	7.0%	6.9%



坑口発電に利用できる方式は、復水式と背圧式である。復水式を用いた場合のハイブリッド型発電所の出力、建設費、経済性の試算結果を表-6.1に示す。汽水分離器圧力 10.0 bar(a)、流量 50 t/h の場合、復水式坑口発電の蒸気消費率は 7.95 t/h/MW であるから、1 台当たり 6.3 MW の発電が可能となる。一方、本体発電所は 1 km の蒸気輸送管により圧力損失が発生しタービン入口圧力は 9.0 bar(a) となり、蒸気消費率は 7.65 t/h となる。使用可能な蒸気量は 400 t/h であるから 52.3 MW の発電となる。このため、ハイブリッド型発電所の出力は 58.6 MW となる。建設費についてみると、坑口発電は長期的利用だから蒸気フィールド開発費の 1/9 (本数按分) を負担することになる。この結果、坑口発電の建設費は US\$ 34.8 million となり、本体発電所の建設費は US\$ 235.5 million となる。ハイブリッド型発電所としては合計の US\$ 270.3 million となる。ここから試算される経済性は、坑口発電分は 5.8%、本体発電分は 7.0% となり、ハイブリッド型発電所全体では 6.9% となった。

復水式坑口発電を 1 台、運開 6 年前に設置した場合のハイブリッド型発電所の経済性試算表を参考表-3 に示す。

同様に背圧式を用いた場合のハイブリッド型発電所の出力、建設費、経済性の試算結果を表-6.2 に示す。汽水分離器圧力が 10.0 bar(a)、流量 50 t/h の場合、背圧式坑口発電の蒸気消費率は 12.8 t/h/MW であるから、1 台当たりの出力は 3.9 MW へと低下する。一方、本体発電所は復水式の場合と同じで 52.3 MW の発電になる。このため、ハイブリッド型発電所の出力は 56.2 MW となる。建設費についてみると、坑口発電の建設費は US\$ 25.6 million となり、本体発電所の建設費 US\$ 235.5 million と合計してハイブリッド型発電所としては US\$ 261.1 million となる。ここから試算される経済性は、坑口発電分は 5.4%、本体発電分は 7.0% となり、ハイブリッド型発電所全体では 6.9% となった。

## 6.2 発電所の分割による不利益

第 6.1 節で見たように、ハイブリッド型発電所においては、すべての蒸気を利用する 58.8 MW の集中型発電所 (表-5.1 の本体発電所) の内部収益率 7.12% に比較して経済性が低下している。

この要因は表-6.3 に示すように、

- (i) 出力の減少 (坑口発電の蒸気消費率が本体発電所より若干劣るため) (▲0.2 MW)
- (ii) スケールメリットの喪失による建設費増大 (15.6 (A) - 8.5 (D) = 7.1 M\$)
- (iii) 坑口発電導入に伴う電気設備費増加 (1.9 (B) M\$)

が、

- (iv) 蒸気輸送管建設費減少 (0.2 M\$ (E))
- (v) 早期キャッシュフロー入手効果 (年間 1.7 M\$ 程度 : 参考表-3 参照)

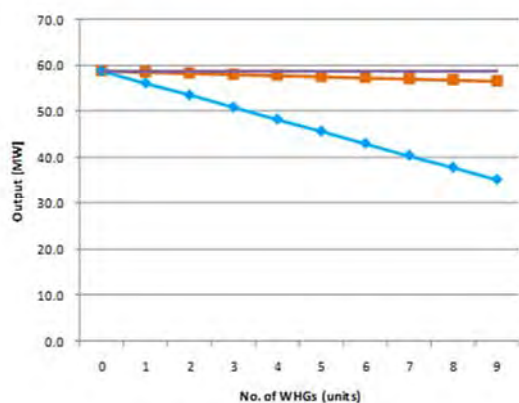
より大きいためである。

このうち特に大きい要因は、(ii) スケールメリットの喪失による建設費の増加である (前出図-4.5 参照)。

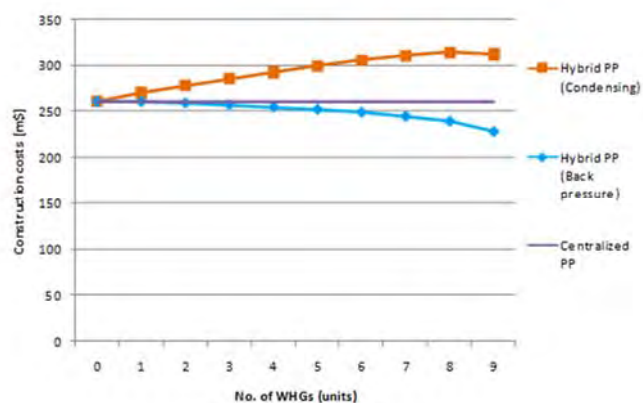
表-6.3 集中型発電所とハイブリッド型発電所（復水式坑口発電1台利用）の比較

項目		集中型発電所 (aa)	ハイブリッド型 発電所(bb)	差 (bb)-(aa)	
出力	坑口発電	-	6.3 MW		
	本体発電所	58.8 MW	52.3 MW		
	合計	58.8 MW	58.6 MW	▲ 0.2 MW	
建設費	蒸気フィールド開発費 (a)	147.6 (M\$)	147.6 (M\$)	-	
	坑口発電設備	-	15.6	15.6	A
	配電線・本体変電所改造費等	-	1.9	1.9	B
	坑口発電小計 (5%管理費込) (b)	-	18.4 (M\$)	18.4 (M\$)	C
	本体発電所発電設備	94.5	85.9	▲ 8.5	D
	蒸気輸送管	3.1	2.9	▲ 0.2	E
	中央開閉所改造費	10.5	10.5	▲ 0.0	F
	本体発電所小計 (5%管理費込) (c)	113.5 (M\$)	104.3 (M\$)	▲ 9.2 (M\$)	G
	建設費合計 (d)=(a)+(b)+(c)	261.1 (M\$)	270.3 (M\$)	9.2 (M\$)	H
発電電力量 (初年度)		435.9 GWh	431.8 GWh	▲ 4.1 GWh	
内部収益率 (IRR)		7.1%	6.9%	▲ 0.27%	
備考		表-5.1	表-6.1		

このように坑口発電を長期的に利用することは、いわば発電所を分割する不利益が発生する。この様子を確認するために、ハイブリッド型発電所で坑口発電を運開直前に導入したと仮定して（すなわち、早期キャッシュフロー入手の効果を排除して）、導入数に応じて出力、建設費、内部収益率がどのように変化するか試算した。結果を図-6.3、図-6.4に示す。復水式坑口発電の場合は導入数の増加に伴い出力は微減するが、背圧式の場合は大きく減少する。建設費は復水式坑口発電の場合は導入数の増加に応じて増加するが、背圧式の場合は微減する。この結果、内部収益率は復水式、背圧式ともに、坑口発電数の増加により次第に低下する。すなわち、復水式、背圧式ともに分割の不利益が大きいことが分かる。



(a) 出力



(b) 建設費

図-6.3 坑口発電の導入数とハイブリッド型発電所の出力・建設費の変化

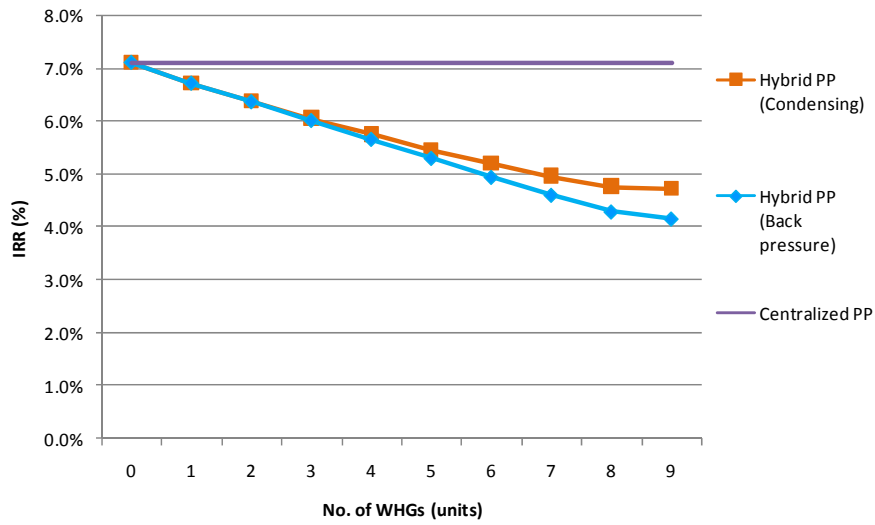


図-6.4 坑口発電の導入数とハイブリッド型発電所の経済性

### 6.3 早期利用の効果

坑口発電のメリットの一つは、早期に発電が開始できキャッシュフローの入手が図れる点である。この効果を見るため、ハイブリッド型発電所の経済性が坑口発電の利用期間によりどのように変化するか試算した。坑口発電1台を運開前第1～6年に設置して利用した場合の経済性を図-6.5に示す。これによると復水式、背圧式ともに早期に導入すればするほど効果があるが、発電所を分割した不利益を解消するまでには至らない。

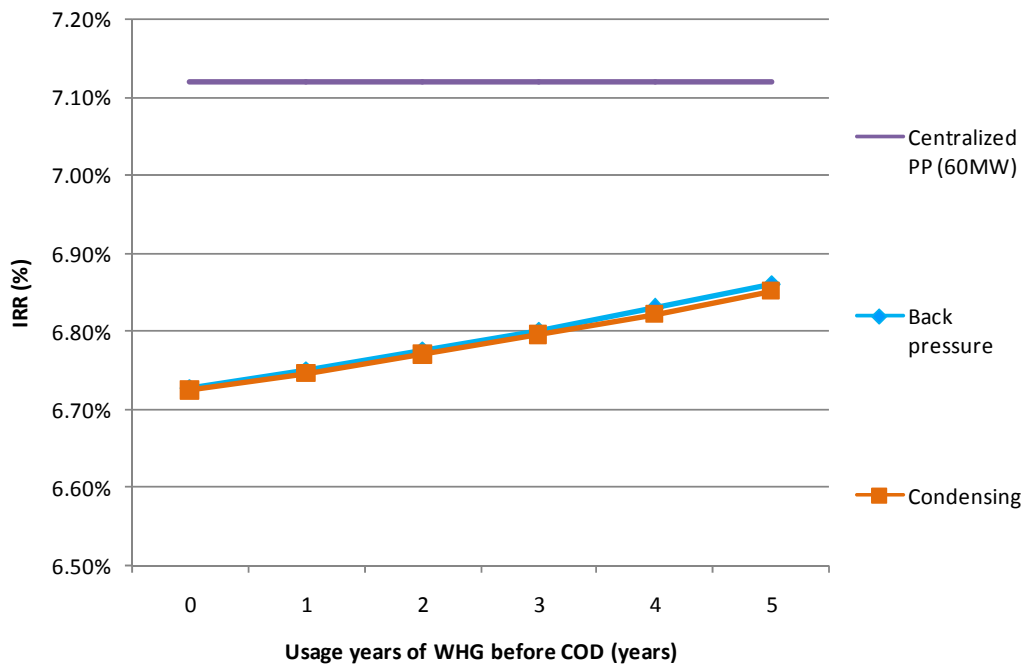


図-6.5 坑口発電利用期間の経済性への影響（長期的利用）

## 6.4 最適導入数

次に、ハイブリッド型発電所で坑口発電の最適導入数があるかを検討しよう。この場合、生産井は表-4.7の順に完成し、そこに順次坑口発電を設置するものとする。第6.2節でみたとおり、長期的利用は発電所の分割不利益があるから、蒸気圧力( $p_s$ )が10~5 bar(a)の範囲では坑口発電(復水式)を導入するほど経済性は悪化する(図-6.6)。

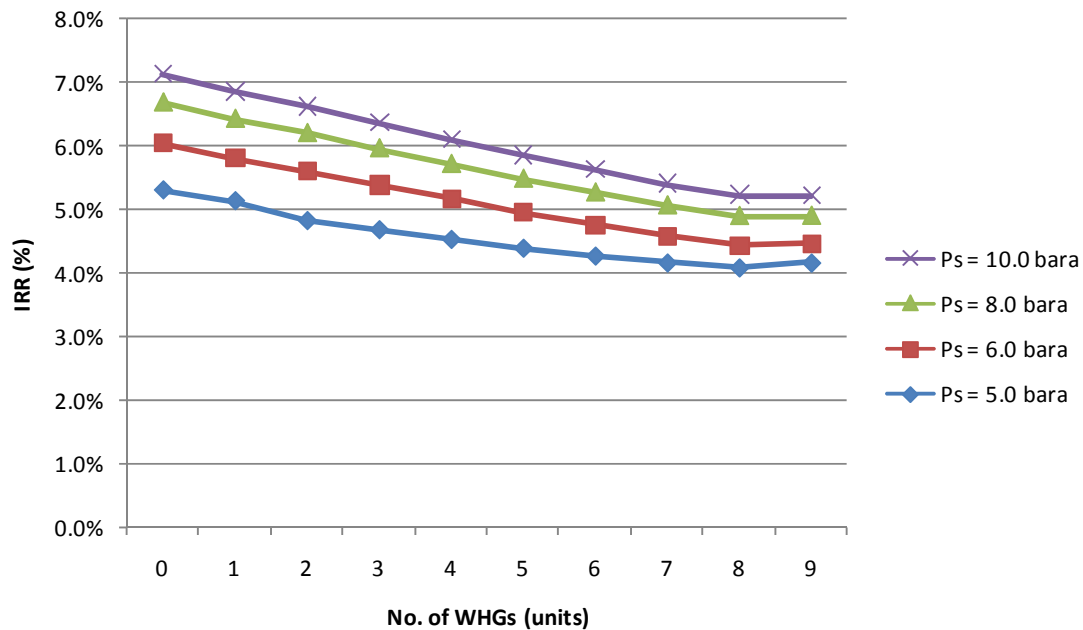


図-6.6 坑口発電の利用台数の効果(蒸気圧力の影響 復水式)

## 6.5 生産井蒸気量・圧力のランダム化

### 6.5.1 ランダム化の前提

以上の検討は、9本の生産井からいずれも等しく流量50 t/h、圧力10 bar(a)の蒸気が生産され、合計450t/hの蒸気量が得られると仮定したときのものである。ここでもう少し現実に近くするため、経済性評価モデルに以下の機能を加味して分析を行った。

(条件-1) 生産井蒸気量・圧力のランダム化

それぞれの生産井からの噴出流体について、流量 $Q_w$ を(6.1)式のように坑口圧力 $p_w$ の2次曲線で近似し、また、保有エンタルピー $h_w$ も(6.2)式のように仮定する。その上で、この坑口特性曲線と保有エンタルピーから、生産井毎に出力が最大となる汽水分離器圧力( $p_s$ )と出口流量( $Q_s$ )とを求めた。

$$Q_w = -ap_w^2 + c \quad (6.1)$$

$$h_w = e \text{ (一定)} \quad (6.2)$$

ここで、 $a$ を-0.001~-0.03、 $c$ を10~50 ([kg/s])、 $e$ を1,000~2,500 ([kJ/kg])の範囲で一様確率として乱数を発生させて設定し、その結果としてランダムな $Q_s$ と $p_s$ を得た。

このように生産井からの蒸気量をランダム化すると、9本の生産井から設計流量の450 t/hを超えた蒸気量を得る場合もあれば、少ない蒸気量の場合も出現する。このため、これに応じて次の条件も加味した。

(条件-2) 集中型発電所およびハイブリッド型発電所の本体発電所の出力の制限

集中型発電所やハイブリッド型発電所の本体発電所は運開3年前には製作を発注しているはずである。従って、その後の生産井の掘削で計画を超える大きな蒸気量が得られたとしても、発注した発電設備の出力を超える出力を得ることはできない。ここでは9本の井戸で計画蒸気量である450 t/hを超える蒸気量が得られたとしても、残念ながら集中型発電所の出力は60 MWを、ハイブリッド型発電所の本体発電所の出力は60 (1-n/9) MWを超えないとの条件を付加した。

(条件-3) 掘削本数の減少

一方、仮に8本以下で計画蒸気量である450 t/hが得られた場合には、それ以上の生産井の掘削は行わないとの条件も加味し、経済性の改善を図った。

他方、坑口発電については次の2通りのケースを考えた。

<坑口発電を井戸毎に最適調整したケース>

坑口発電は生産井ごとにそれぞれの井戸に合わせた最適設計となるよう調整を行い、それぞれの蒸気量・蒸気圧力に合った出力が得られるとするケース。

<坑口発電に標準品を利用したケース>

坑口発電は標準製品しか市場に存在せず、標準製品をそれぞれの生産井に設置するとしたケース。この場合、たとえ大きな蒸気量が得られている生産井でも、標準品の最大出力以上の出力は得られない。ここでは標準製品の最大出力を10 MWとした。

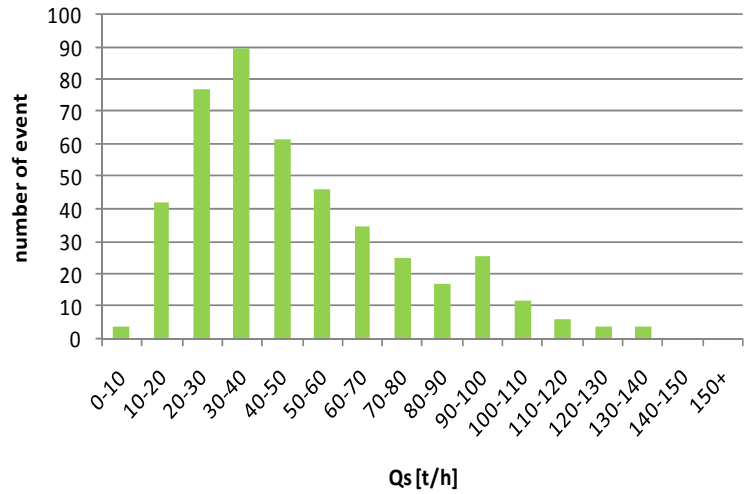
生産井蒸気流量、圧力のランダム化はMonte Carlo法により、乱数を発生させて行った。試行は50回行った。各試行ごとに坑口発電に利用する井戸本数(n)を変え、いかなるnの時に内部収益率(IRR)が最大になるか調べた。

### 6.5.2 ランダム化した蒸気量・圧力

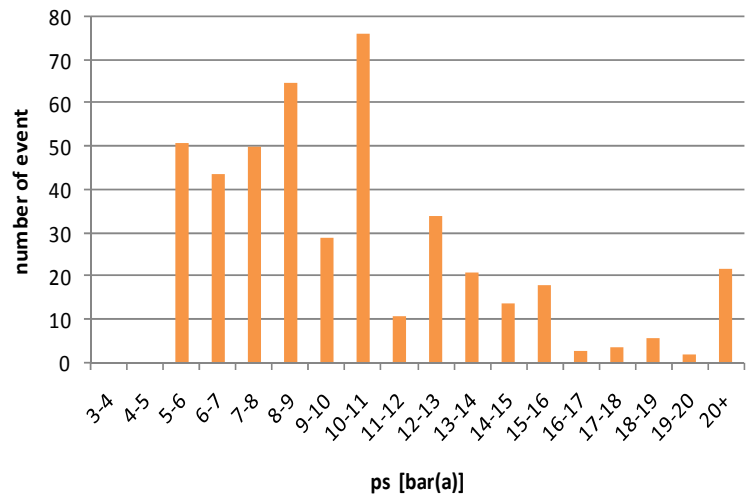
50回の試行(井戸数合計450本)で得られた汽水分離器出口流量 $Q_s$ と汽水分離器圧力 $p_s$ の分布を表-6.4、図-6.7に示す。ランダム化した蒸気量、汽水分離器圧力、出力の平均値は概ね均一ケースに近い値となった。

表-6.4 ランダム化した蒸気量・圧力・出力の分布(50回試行・井戸本数合計450本)

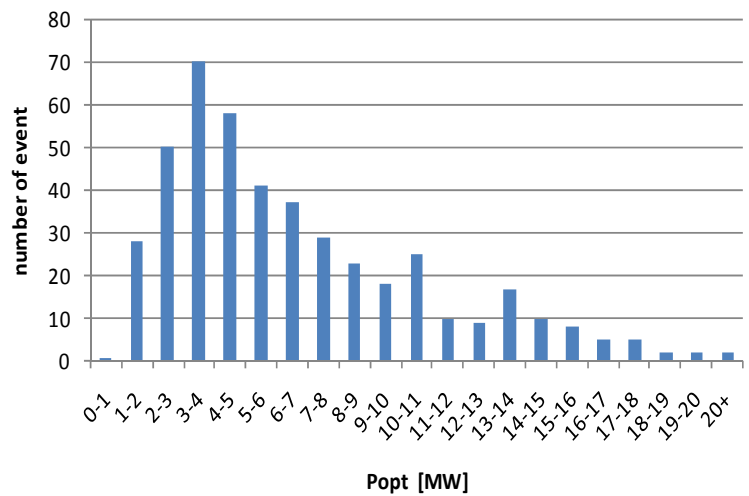
項目	均一蒸気量ケース			ランダム蒸気量ケース		
	蒸気量 ( $Q_s$ ) [t/h]	セパレータ圧力 ( $p_s$ ) [bar (a)]	出力 ( $P_{opt}$ ) [MW]	蒸気量 ( $Q_s$ ) [t/h]	セパレータ圧力 ( $p_s$ ) [bar (a)]	出力 ( $P_{opt}$ ) [MW]
平均値	50.0	10.0	6.7	49.2	9.8	6.7
標準偏差	-	-	-	27.7	3.9	4.2
最大値	-	-	-	138.8	20.0	20.6
最小値	-	-	-	8.6	5.0	1.0



(a) 蒸気流量の分布



(b) 汽水分離器圧力の分布



(c) 井戸出力の分布

図-6.7 ランダム化した蒸気量・圧力・出力の分布 (50回試行・井戸本数合計450本)

### 6.5.3 試算結果

50回の試行について、何台の坑口発電を導入すると内部収益率が最大となるか試算した結果を表-6.5(坑口発電を井戸毎に最適調整したケース)、表-6.6(坑口発電に標準品を利用したケース)に示す。

坑口発電を井戸毎に最適調整したケースにおいては、50回の試行のうち、坑口発電を1台導入する時に内部収益率が最大になるケース(n=1のケース)が5回、同2台のケース(n=2)が2回、同3台のケース(n=3)が1回、同9台のケース(n=9)が1回発生した。残る41回は集中型発電所を設置する時に内部収益率が最大となった。この結果から、どのような時に坑口発電が有利になるかの明確な規則性を発見することはできなかったが、概略以下のことが言える。

- (a) 50回の試行の平均を見ると、図-6.8に示す通り、坑口発電の台数を多くするに従って内部収益率は低下する。すなわち、集中型発電所が有利である。これは前節までに述べてきたことと一致する。
- (b) ただし、最初の1~3本の調査井で予想出力の2倍程度(13 MW)を超える坑井に遭遇した場合は、そこに坑口発電を設置すると収益性は最大になる(表-6.5)。

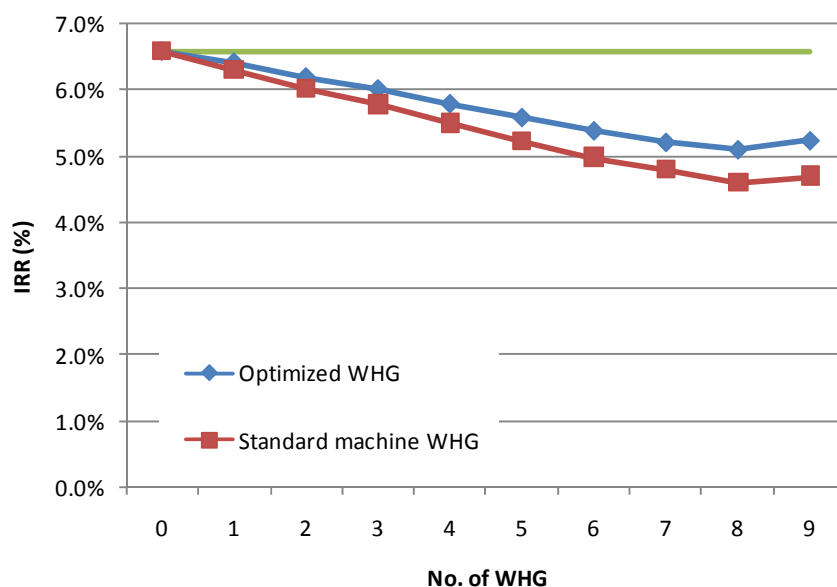


図-6.8 ランダム化した蒸気量・圧力の場合の坑口発電利用台数の効果

なお、坑口発電を坑井毎に最適化せず、標準品を適用しただけのケースを見ると、坑口発電を導入したら内部収益率が改善したケースは4回に減少した(表-6.6)。このことから、

- (c) 坑口発電を導入する場合は、標準品を適用するのではなく、井戸毎に最適設計となるように調整することが重要である。



表-6.5 蒸気量・圧力をランダム化した場合の最適坑口発電数（坑口発電最適調整ケース）

Trial No.	Output of Well									MW of 9 wells are used to WHP	MW of 0 wells are used to WHP
	Well-1 [MW]	Well-2 [MW]	Well-3 [MW]	Well-4 [MW]	Well-5 [MW]	Well-6 [MW]	Well-7 [MW]	Well-8 [MW]	Well-9 [MW]		
1	13.7	14.2	3.0	8.6	13.3	5.7	7.0	11.5	4.1	75.9	60.0
2	2.4	8.7	8.4	4.8	6.0	4.0	4.7	2.7	11.7	50.1	51.0
3	6.0	2.6	6.5	15.9	12.9	10.1	5.7	8.1	4.1	67.4	60.0
4	10.4	4.5	3.8	9.7	9.6	3.5	1.3	2.3	3.1	45.2	46.2
5	3.1	3.3	1.8	7.7	17.0	7.8	9.5	4.9	4.6	56.0	57.3
6	3.4	7.5	13.4	4.5	16.0	6.8	1.5	4.1	4.9	58.2	59.0
7	7.3	13.5	10.9	6.8	4.7	8.4	5.5	1.1	13.9	67.8	60.0
8	1.4	7.0	5.3	2.8	4.1	5.2	6.8	5.3	5.2	40.5	41.3
9	5.9	3.3	14.6	17.1	9.8	5.2	2.9	8.5	13.4	75.7	60.0
10	3.2	3.1	11.6	1.4	3.4	10.5	4.4	5.1	10.2	49.5	50.6
11	5.1	13.8	9.4	4.4	7.6	5.6	10.7	1.1	2.0	56.0	56.9
12	10.0	2.6	10.9	15.5	13.2	4.6	1.7	6.4	2.8	63.4	60.0
13	6.2	3.7	8.4	2.6	9.3	5.7	2.0	6.6	4.7	46.2	47.8
14	5.8	7.3	6.2	2.8	4.2	6.5	12.1	13.0	3.6	57.6	60.0
15	2.5	10.5	15.3	3.4	8.5	3.1	4.0	1.3	6.7	51.7	52.8
16	12.6	10.9	5.0	2.4	11.7	6.6	4.8	5.3	3.6	58.8	60.0
17	1.2	11.8	1.9	2.1	5.0	8.7	9.0	13.5	4.1	53.8	55.7
18	4.5	7.9	5.5	2.8	12.7	14.1	4.9	9.3	4.6	62.2	60.0
19	8.1	6.1	14.3	7.0	2.5	1.9	8.6	15.5	4.0	63.8	60.0
20	11.0	14.0	1.0	3.7	4.8	2.5	10.6	10.2	8.9	62.4	60.0
21	4.0	17.4	2.7	6.7	3.3	4.5	4.5	7.6	7.4	54.5	54.6
22	18.7	10.6	8.3	3.1	2.0	8.3	13.0	11.9	4.3	75.1	60.0
23	9.5	3.9	12.8	3.2	2.3	10.5	10.2	15.4	2.6	66.0	60.0
24	3.7	3.8	11.6	5.0	4.2	3.2	1.4	15.5	5.6	50.6	52.1
25	9.0	5.5	1.0	3.6	7.0	13.6	2.6	14.2	4.9	57.5	58.1
26	3.6	3.5	9.8	7.7	5.5	2.6	9.2	3.8	5.2	47.7	49.1
27	2.7	4.3	8.0	4.0	6.0	6.5	8.8	1.3	10.5	48.9	50.5
28	6.3	19.1	9.8	2.9	8.0	3.2	8.5	13.9	2.7	69.6	60.0
29	8.8	9.9	4.0	6.8	2.3	4.1	14.8	11.1	3.9	61.6	60.0
30	3.7	4.4	6.7	4.8	2.4	3.6	1.9	17.3	7.3	48.7	48.8
31	10.9	1.8	8.0	7.8	5.8	1.2	4.5	2.6	19.0	57.7	58.5
32	3.1	9.3	8.5	7.2	3.7	2.4	1.9	1.2	2.8	37.6	39.0
33	2.3	2.6	6.9	16.6	4.1	4.9	6.9	10.1	3.8	54.6	55.8
34	15.1	6.9	8.7	6.0	5.9	6.1	4.7	2.8	4.6	57.0	58.4
35	5.6	7.9	5.0	1.6	3.7	16.1	3.2	3.6	3.6	47.2	48.0
36	1.2	11.4	14.0	1.7	2.3	4.1	7.2	2.3	2.9	44.2	44.9
37	2.5	3.6	6.6	6.1	7.3	4.5	8.1	3.6	4.4	43.7	44.9
38	3.6	4.0	2.7	10.2	6.0	3.6	7.5	6.0	1.9	42.7	44.3
39	17.9	8.8	4.7	2.0	4.6	2.1	6.2	10.6	7.6	60.5	60.0
40	2.5	8.0	3.6	3.8	4.1	7.2	3.6	4.7	10.4	44.8	46.1
41	3.3	7.4	5.3	3.2	4.0	6.1	5.3	2.1	13.0	46.6	47.8
42	5.0	13.8	4.9	3.8	1.4	4.2	9.7	6.5	11.6	57.2	59.3
43	13.6	3.8	7.8	2.6	2.2	3.5	5.4	5.5	4.8	46.1	47.8
44	3.8	6.7	1.9	5.1	9.7	2.8	2.9	5.9	5.7	41.6	43.5
45	5.8	3.7	3.4	4.9	1.4	10.1	6.3	4.6	3.2	40.8	41.4
46	2.5	3.3	20.4	5.7	14.4	3.9	6.5	3.0	9.3	64.8	60.0
47	20.6	3.2	3.9	2.3	13.1	3.9	2.7	4.2	7.2	57.2	56.6
48	16.8	6.5	4.0	14.1	3.9	7.1	4.0	6.3	3.5	62.1	60.0
49	6.3	4.5	4.4	5.2	15.4	14.1	7.0	10.5	4.9	67.7	60.0
50	12.9	3.6	10.8	17.8	11.0	12.2	6.4	14.4	19.1	101.3	60.0
Average	7.0	7.2	7.3	6.0	6.9	6.1	6.0	7.2	6.4	56.4	54.2

IRR when No. of wells are used to WHP										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
7.8%	8.2%	7.7%	7.6%	7.6%	7.4%	7.2%	7.1%	7.2%	7.6%	
6.0%	5.8%	5.5%	5.3%	5.1%	4.8%	4.7%	4.1%	4.6%	6.2%	
7.2%	6.6%	6.3%	6.7%	6.8%	6.7%	6.5%	6.3%	6.3%	7.4%	
5.4%	5.2%	5.0%	4.7%	4.4%	4.3%	4.2%	4.1%	4.2%	5.5%	
6.6%	6.2%	5.6%	5.4%	5.7%	5.6%	5.4%	5.2%	5.2%	6.9%	
6.8%	6.5%	6.4%	6.1%	6.0%	5.8%	5.7%	5.6%	5.6%	7.1%	
7.0%	7.4%	7.5%	7.2%	6.9%	6.7%	6.4%	5.9%	6.5%	7.2%	
4.6%	4.4%	4.2%	4.0%	3.8%	3.6%	3.5%	3.3%	3.3%	4.8%	
7.1%	6.8%	7.0%	7.4%	7.3%	7.0%	6.6%	6.5%	7.0%	7.4%	
5.9%	5.7%	5.4%	5.3%	4.9%	4.9%	4.6%	4.2%	4.5%	6.1%	
6.8%	6.4%	6.1%	5.9%	5.8%	5.6%	5.4%	5.4%	5.4%	7.1%	
7.5%	6.9%	7.0%	6.9%	6.6%	6.4%	6.3%	6.1%	6.1%	7.4%	
5.4%	5.2%	5.0%	4.8%	4.6%	4.5%	4.4%	4.2%	4.1%	5.7%	
6.9%	6.7%	6.4%	5.9%	5.4%	5.1%	5.3%	5.4%	5.4%	7.3%	
6.2%	5.9%	5.7%	5.6%	5.3%	5.2%	5.0%	5.0%	4.9%	6.4%	
7.2%	6.9%	6.7%	6.5%	6.2%	6.0%	5.9%	5.7%	5.7%	7.3%	
6.5%	6.3%	6.1%	5.5%	5.1%	5.0%	5.0%	5.1%	5.0%	6.7%	
6.9%	6.8%	6.4%	5.8%	6.1%	6.1%	5.9%	5.8%	5.8%	7.4%	
7.3%	7.0%	7.1%	6.8%	6.4%	5.9%	5.9%	6.0%	6.1%	7.4%	
7.4%	7.2%	7.1%	6.6%	6.2%	5.8%	5.7%	5.8%	6.0%	7.3%	
6.3%	6.3%	6.1%	5.9%	5.7%	5.6%	5.3%	5.1%	5.2%	6.6%	
8.3%	8.2%	8.1%	7.7%	7.2%	7.1%	7.2%	7.2%	7.2%	7.6%	
7.4%	6.9%	7.2%	6.6%	6.0%	6.1%	6.2%	6.2%	6.3%	7.4%	
6.1%	5.8%	5.5%	5.2%	5.0%	4.8%	4.2%	4.7%	4.7%	6.3%	
6.8%	6.6%	6.3%	5.7%	5.5%	5.7%	5.3%	5.5%	5.5%	7.0%	
5.7%	5.5%	5.2%	4.9%	4.8%	4.6%	4.4%	4.3%	4.3%	5.9%	
5.9%	5.7%	5.4%	5.2%	5.0%	4.7%	4.4%	4.0%	4.4%	6.1%	
7.1%	7.8%	7.7%	7.5%	7.1%	6.8%	6.7%	6.7%	6.7%	7.4%	
7.2%	7.1%	6.7%	6.5%	6.0%	5.5%	5.9%	5.8%	5.8%	7.4%	
5.7%	5.4%	5.2%	4.9%	4.7%	4.2%	3.5%	4.4%	4.4%	5.9%	
6.8%	6.7%	6.5%	6.2%	6.0%	5.4%	4.9%	4.3%	5.5%	7.1%	
4.1%	3.9%	3.7%	3.5%	3.3%	3.2%	3.1%	3.1%	3.1%	4.4%	
6.6%	6.1%	5.8%	5.8%	5.6%	5.4%	5.2%	5.0%	5.1%	6.8%	
7.0%	6.8%	6.5%	6.2%	6.0%	5.8%	5.6%	5.5%	5.5%	7.1%	
5.5%	5.3%	5.1%	5.0%	4.8%	4.7%	4.5%	4.4%	4.4%	5.8%	
5.2%	5.0%	4.7%	4.6%	4.5%	4.3%	4.1%	4.1%	4.1%	5.3%	
5.1%	4.9%	4.6%	4.4%	4.2%	3.9%	3.7%	3.7%	3.7%	5.3%	
5.0%	4.7%	4.6%	4.3%	4.1%	3.8%	3.7%	3.6%	3.6%	5.2%	
7.3%	7.1%	6.9%	6.7%	6.6%	6.0%	5.7%	5.9%	5.9%	7.3%	
5.3%	5.2%	5.0%	4.8%	4.6%	4.3%	4.0%	3.5%	3.9%	5.5%	
5.5%	5.2%	5.0%	4.8%	4.6%	4.4%	4.2%	3.4%	4.2%	5.7%	
6.8%	6.7%	6.5%	6.2%	5.6%	5.1%	5.2%	5.0%	5.4%	7.2%	
5.5%	5.3%	5.1%	4.9%	4.8%	4.7%	4.5%	4.3%	4.3%	5.7%	
4.9%	4.7%	4.6%	4.3%	4.1%	4.0%	3.8%	3.6%	3.5%	5.1%	
4.5%	4.3%	4.1%	4.0%	3.9%	3.7%	3.5%	3.4%	3.4%	4.8%	
6.9%	6.3%	7.1%	6.7%	6.7%	6.5%	6.3%	6.0%	6.2%	7.2%	
6.9%	6.7%	6.5%	6.3%	6.1%	5.9%	5.7%	5.6%	5.7%	6.9%	
7.4%	7.1%	6.9%	6.7%	6.4%	6.2%	6.1%	6.0%	6.1%	7.4%	
7.1%	6.6%	6.3%	5.9%	6.3%	6.5%	6.3%	6.3%	6.3%	7.4%	
8.1%	7.6%	7.6%	7.9%	7.9%	8.0%	7.8%	8.0%	8.0%	7.8%	
6.4%	6.2%	6.0%	5.8%	5.6%	5.4%	5.2%	5.1%	5.2%	6.6%	

表-6.6 蒸気量・圧力をランダム化した場合の最適坑口発電数（坑口発電標準品利用ケース）

Trial No.	Output of Well									MW of 9 wells are used to WHP	MW of 0 wells are used to WHP
	Well-1 [MW]	Well-2 [MW]	Well-3 [MW]	Well-4 [MW]	Well-5 [MW]	Well-6 [MW]	Well-7 [MW]	Well-8 [MW]	Well-9 [MW]		

IRR when No. of wells are used to WHP										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	

1	13.7	14.2	3.0	8.6	13.3	5.7	7.0	11.5	4.1	66.5	60.0
2	2.4	8.7	8.4	4.8	6.0	4.0	4.7	2.7	11.7	49.1	51.0
3	6.0	2.6	6.5	15.9	12.9	10.1	5.7	8.1	4.1	60.4	60.0
4	10.4	4.5	3.8	9.7	9.6	3.5	1.3	2.3	3.1	45.2	46.2
5	3.1	3.3	1.8	7.7	17.0	7.8	9.5	4.9	4.6	50.1	57.3
6	3.4	7.5	13.4	4.5	16.0	6.8	1.5	4.1	4.9	50.7	59.0
7	7.3	13.5	10.9	6.8	4.7	8.4	5.5	1.1	13.9	61.7	60.0
8	1.4	7.0	5.3	2.8	4.1	5.2	6.8	5.3	5.2	40.5	41.3
9	5.9	3.3	14.6	17.1	9.8	5.2	2.9	8.5	13.4	63.4	60.0
10	3.2	3.1	11.6	1.4	3.4	10.5	4.4	5.1	10.2	48.7	50.6
11	5.1	13.8	9.4	4.4	7.6	5.6	10.7	1.1	2.0	53.0	56.9
12	10.0	2.6	10.9	15.5	13.2	4.6	1.7	6.4	2.8	56.3	60.0
13	6.2	3.7	8.4	2.6	9.3	5.7	2.0	6.6	4.7	46.2	47.8
14	5.8	7.3	6.2	2.8	4.2	6.5	12.1	13.0	3.6	54.2	60.0
15	2.5	10.5	15.3	3.4	8.5	3.1	4.0	1.3	6.7	47.3	52.8
16	12.6	10.9	5.0	2.4	11.7	6.6	4.8	5.3	3.6	55.8	60.0
17	1.2	11.8	1.9	2.1	5.0	8.7	9.0	13.5	4.1	50.0	55.7
18	4.5	7.9	5.5	2.8	12.7	14.1	4.9	9.3	4.6	57.1	60.0
19	8.1	6.1	14.3	7.0	2.5	1.9	8.6	15.5	4.0	55.8	60.0
20	11.0	14.0	1.0	3.7	4.8	2.5	10.6	10.2	8.9	59.0	60.0
21	4.0	17.4	2.7	6.7	3.3	4.5	4.5	7.6	7.4	48.2	54.6
22	18.7	10.6	8.3	3.1	2.0	8.3	13.0	11.9	4.3	64.2	60.0
23	9.5	3.9	12.8	3.2	2.3	10.5	10.2	15.4	2.6	59.5	60.0
24	3.7	3.8	11.6	5.0	4.2	3.2	1.4	15.5	5.6	45.1	52.1
25	9.0	5.5	1.0	3.6	7.0	13.6	2.6	14.2	4.9	51.5	58.1
26	3.6	3.5	9.8	7.7	5.5	2.6	9.2	3.8	5.2	47.7	49.1
27	2.7	4.3	8.0	4.0	6.0	6.5	8.8	1.3	10.5	48.9	50.5
28	6.3	19.1	9.8	2.9	8.0	3.2	8.5	13.9	2.7	58.7	60.0
29	8.8	9.9	4.0	6.8	2.3	4.1	14.8	11.1	3.9	57.3	60.0
30	3.7	4.4	6.7	4.8	2.4	3.6	1.9	17.3	7.3	42.5	48.8
31	10.9	1.8	8.0	7.8	5.8	1.2	4.5	2.6	19.0	49.7	58.5
32	3.1	9.3	8.5	7.2	3.7	2.4	1.9	1.2	2.8	37.6	39.0
33	2.3	2.6	6.9	16.6	4.1	4.9	6.9	10.1	3.8	49.0	55.8
34	15.1	6.9	8.7	6.0	5.9	6.1	4.7	2.8	4.6	52.9	58.4
35	5.6	7.9	5.0	1.6	3.7	16.1	3.2	3.6	3.6	42.1	48.0
36	1.2	11.4	14.0	1.7	2.3	4.1	7.2	2.3	2.9	40.4	44.9
37	2.5	3.6	6.6	6.1	7.3	4.5	8.1	3.6	4.4	43.7	44.9
38	3.6	4.0	2.7	10.2	6.0	3.6	7.5	6.0	1.9	42.7	44.3
39	17.9	8.8	4.7	2.0	4.6	2.1	6.2	10.6	7.6	53.7	60.0
40	2.5	8.0	3.6	3.8	4.1	7.2	3.6	4.7	10.4	44.8	46.1
41	3.3	7.4	5.3	3.2	4.0	6.1	5.3	2.1	13.0	44.4	47.6
42	5.0	13.8	4.9	3.8	1.4	4.2	9.7	6.5	11.6	53.3	59.3
43	13.6	3.8	7.8	2.6	2.2	3.5	5.4	5.5	4.8	43.4	47.8
44	3.8	6.7	1.9	5.1	9.7	2.8	2.9	5.9	5.7	41.6	43.5
45	5.8	3.7	3.4	4.9	1.4	10.1	6.3	4.6	3.2	40.8	41.4
46	2.5	3.3	20.4	5.7	14.4	3.9	6.5	3.0	9.3	52.2	60.0
47	20.6	3.2	3.9	2.3	13.1	3.9	2.7	4.2	7.2	45.6	56.6
48	16.8	6.5	4.0	14.1	3.9	7.1	4.0	6.3	3.5	53.1	60.0
49	6.3	4.5	4.4	5.2	15.4	14.1	7.0	10.5	4.9	60.1	60.0
50	12.9	3.6	10.8	17.8	11.0	12.2	6.4	14.4	19.1	79.3	60.0
Average	7.0	7.2	7.3	6.0	6.9	6.1	6.0	7.2	6.4	51.3	54.2

7.5%	7.6%	7.1%	7.0%	6.9%	6.6%	6.4%	6.3%	6.3%	7.6%
6.0%	5.8%	5.5%	5.3%	5.1%	4.8%	4.7%	4.1%	4.5%	6.2%
7.2%	6.6%	6.3%	6.2%	6.2%	6.0%	5.8%	5.6%	5.6%	7.4%
5.4%	5.2%	5.0%	4.7%	4.4%	4.3%	4.2%	4.1%	4.2%	5.5%
6.6%	6.2%	5.6%	5.4%	5.1%	4.9%	4.7%	4.5%	4.5%	6.9%
6.8%	6.5%	6.1%	5.9%	5.2%	5.0%	4.9%	4.7%	4.7%	7.1%
7.0%	7.1%	7.2%	6.9%	6.6%	6.5%	6.1%	5.5%	5.9%	7.2%
4.6%	4.4%	4.2%	4.0%	3.8%	3.8%	3.5%	3.3%	3.3%	4.8%
7.1%	6.8%	6.6%	6.5%	6.5%	6.1%	5.6%	5.6%	5.9%	7.4%
5.9%	5.7%	5.3%	5.2%	4.8%	4.8%	4.5%	4.1%	4.4%	6.1%
6.8%	6.1%	5.8%	5.6%	5.4%	5.2%	5.0%	5.0%	5.0%	7.1%
7.5%	6.9%	7.0%	6.4%	5.9%	5.2%	5.0%	5.3%	5.4%	7.4%
5.4%	5.2%	5.0%	4.8%	4.6%	4.5%	4.4%	4.2%	4.1%	5.7%
6.9%	6.7%	6.4%	5.9%	5.4%	5.1%	5.1%	5.0%	5.0%	7.3%
6.2%	5.9%	5.2%	5.0%	4.8%	4.6%	4.5%	4.4%	4.4%	6.4%
7.0%	6.6%	6.4%	6.3%	5.9%	5.7%	5.5%	5.4%	5.3%	7.3%
6.5%	6.2%	5.9%	5.4%	4.9%	4.9%	4.7%	4.6%	4.6%	6.7%
6.9%	6.8%	6.4%	5.8%	5.9%	5.6%	5.4%	5.3%	5.3%	7.4%
7.3%	7.0%	6.7%	6.4%	6.0%	5.6%	5.5%	5.2%	5.3%	7.4%
7.4%	6.9%	6.8%	6.3%	5.8%	5.4%	5.3%	5.5%	5.6%	7.3%
6.3%	5.6%	5.3%	5.1%	4.9%	4.8%	4.4%	4.3%	4.4%	6.6%
7.5%	7.5%	7.3%	6.9%	6.3%	6.2%	6.2%	6.1%	6.1%	7.6%
7.4%	6.9%	7.0%	6.4%	5.8%	5.9%	6.0%	5.6%	5.6%	7.4%
6.1%	5.8%	5.4%	5.1%	4.9%	4.7%	4.1%	4.0%	4.0%	6.3%
6.8%	6.6%	6.3%	5.7%	5.5%	5.4%	5.0%	4.8%	4.8%	7.0%
5.7%	5.5%	5.2%	4.9%	4.8%	4.6%	4.4%	4.3%	4.3%	5.9%
5.9%	5.7%	5.4%	5.2%	5.0%	4.7%	4.4%	4.0%	4.4%	6.1%
7.1%	7.0%	6.9%	6.7%	6.3%	6.0%	5.9%	5.5%	5.6%	7.4%
7.2%	7.1%	6.7%	6.5%	6.0%	5.5%	5.5%	5.4%	5.4%	7.4%
5.7%	5.4%	5.2%	4.9%	4.7%	4.2%	3.5%	3.6%	3.6%	5.9%
6.8%	6.7%	6.5%	6.2%	6.0%	5.3%	4.9%	4.2%	4.7%	7.1%
4.1%	3.9%	3.7%	3.5%	3.3%	3.2%	3.1%	3.1%	3.1%	4.4%
6.6%	6.1%	5.8%	5.2%	5.0%	4.8%	4.5%	4.4%	4.4%	6.8%
6.5%	6.3%	6.0%	5.7%	5.5%	5.2%	5.1%	5.0%	5.0%	7.1%
5.5%	5.3%	5.1%	5.0%	4.8%	4.0%	3.8%	3.7%	3.7%	5.8%
5.2%	4.9%	4.2%	4.1%	3.9%	3.8%	3.6%	3.5%	3.5%	5.3%
5.1%	4.9%	4.6%	4.4%	4.2%	3.9%	3.7%	3.7%	3.7%	5.3%
5.0%	4.7%	4.6%	4.3%	4.1%	3.8%	3.7%	3.6%	3.6%	5.2%
6.5%	6.3%	6.1%	5.9%	5.8%	5.1%	4.8%	5.0%	5.1%	7.3%
5.3%	5.2%	5.0%	4.8%	4.6%	4.3%	4.0%	3.5%	3.9%	5.5%
5.5%	5.2%	5.0%	4.8%	4.6%	4.4%	4.2%	3.4%	3.9%	5.7%
6.8%	6.4%	6.1%	5.9%	5.3%	4.7%	4.8%	4.8%	5.0%	7.2%
5.1%	4.9%	4.7%	4.5%	4.4%	4.3%	4.0%	3.9%	3.8%	5.7%
4.9%	4.7%	4.6%	4.3%	4.1%	4.0%	3.8%	3.6%	3.5%	5.1%
4.5%	4.3%	4.1%	4.0%	3.9%	3.7%	3.5%	3.4%	3.4%	4.8%
6.9%	6.3%	6.1%	5.7%	5.3%	5.2%	5.0%	4.5%	4.8%	7.2%
5.7%	5.5%	5.3%	5.1%	4.6%	4.3%	4.1%	4.0%	4.1%	6.9%
6.7%	6.5%	6.3%	5.6%	5.4%	5.2%	5.1%	5.0%	5.0%	7.4%
7.1%	6.6%	6.3%	5.9%	5.8%	5.8%	5.6%	5.6%	5.6%	7.4%
7.9%	7.3%	7.4%	7.1%	7.2%	7.2%	7.0%	6.9%	7.2%	7.8%
6.3%	6.0%	5.8%	5.5%	5.2%	5.0%	4.8%	4.6%	4.7%	6.6%

このことは、発電所出力の比較からも言える。各試行について、集中型発電所の平均出力 (A) (n=0 の場合)、最適調整した分散型発電所の平均出力(B) (n=9 の場合)、標準品を適用した分散型発電所の平均出力 (C)として、Aに対するBとCの分布を示したものが図-6.9、表-6.7である。

図-6.9、表-6.7 から、坑口毎に最適調整を行うと分散型発電所の平均出力は 56.2 MW となり、集中型発電所の平均出力 54.2 MW に対し、3.8%多い出力が期待できるが、標準品を利用して井戸毎の最適調整を行わないと平均出力は 51.2 MW と逆に 5.4%減少してしまう。坑口発電の特徴のひとつは坑井毎の特性に合わせた発電設備を設置できることであるから、その特徴を生かすためには、坑口発電設備は坑井毎に調整することが必要である。

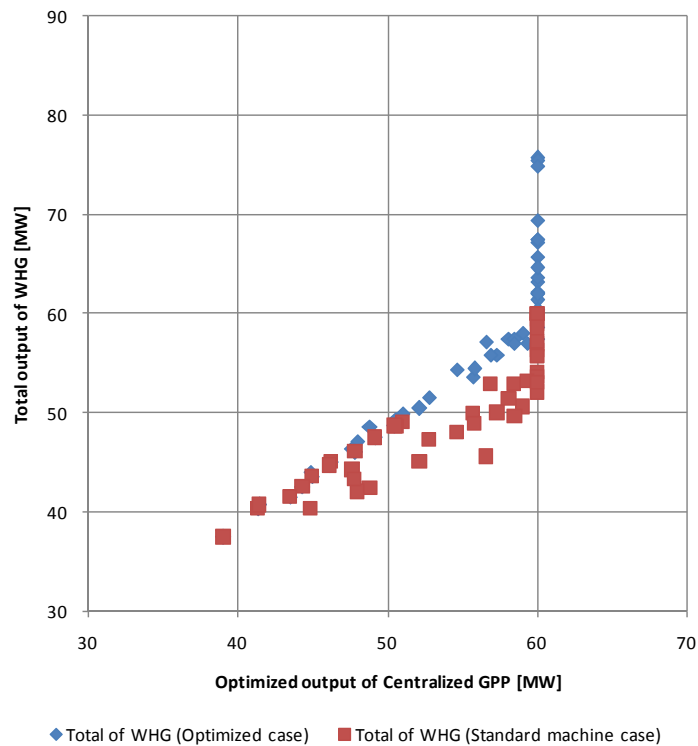


図-6.9 集中型発電所の出力に対する分散型発電所の出力

表-6.7 集中型発電所の出力に対する分散型発電所の出力

項目	集中型発電所 (A)	最適調整した分散型発電所 (B)	標準品利用の分散型発電所 (C)
50 試行の平均出力	54.2 MW (1.000)	56.2 MW (1.038)	51.2 MW (0.946)

## 6.6 遠隔生産井の扱い

ここで再び、均一な蒸気量・圧力の仮定の世界の戻り、図-4.1において1つの坑井 (Well-1) が A 基地から遠い場合を考えよう。A 基地から Well-1 までの距離を  $L_2$  [km] とする。この場合、(a) Well-1 の蒸気も蒸気輸送管で本体発電所まで輸送し 9 本の生産井を利用した集中型発電所を建設する、(b) Well-1 に坑口発電設備を設置するハイブリッド型発電所を建設する (坑口発電は運開前第 3 年に設置するとした)、(c) Well-1 の利用をあきらめ、8 本の本生産井のみを利用した集中型発電所を建設する、の 3 通りの対応が考えられる (図-6.10)。

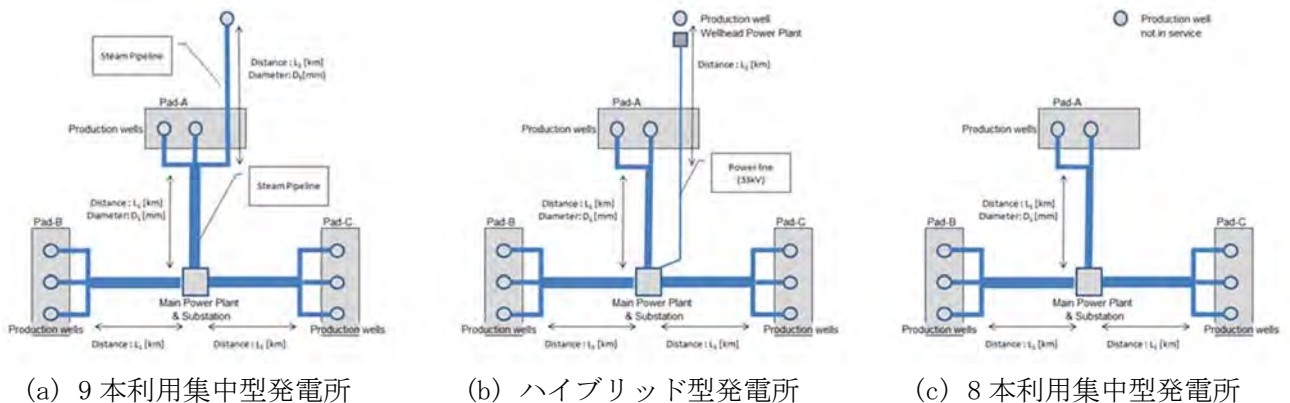


図-6.10 1本の坑井が遠い場合の開発計画

このうち、(a)のケースにおいては、A 基地における他の坑井の汽水分离器圧力が 10.0 bar (a) であることから、Well-1 の離隔距離 ( $L_2$ ) による圧力低下の分だけ Well-1 の坑口圧力を高めておく必要がある。坑口圧力を高めるとその分蒸気流量は減少するから、ここでは Well-1 の特性を表-6.8 の様に仮定した。

表-6.8 離隔坑井 Well-1 の坑口特性の仮定

坑口圧力 (ps) [bar(a)]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
蒸気流量 ( $Q_s$ ) [t/h]	50.0	48.8	47.6	46.3	45.0	43.6	42.1	40.6	39.2	37.3	35.6

(注) Well-1 の坑井特性を  $Q_w = -0.017p_w^2 + 21.135$  [kg/s],  $h_w = 2,200$  [kJ/kg] とした。

この 3 ケースについて、坑井距離 ( $L_2$ ) と発電所の経済性との関係の試算結果を図-6.11 に示す。まず、8 本の集中型発電所と 9 本の集中型発電所の場合を比較すると、距離 ( $L_2$ ) 10km の範囲内では 9 本の集中型発電所を建設した方が有利であることが分かる。次に、9 本の集中型発電所とハイブリッド型発電所とを比較すると、距離 ( $L_2$ ) 7.5km 以下では 9 本の集中型発電所が有利で、それ以上の距離ではハイブリッド型発電所が有利となった。ハイブリッド型発電所は復水式も背圧式も同程度の経済性を示した。

これをまとめると、

- (i) せっかく開発した坑井は遠距離にあっても利用することが望まれること、

- (ii) 距離( $L_2$ )が 7.5km 以内であれば蒸気輸送管で輸送し、集中型発電所を建設することが有利である、
  - (iii) 距離( $L_2$ )が 7.5km を超える場合は、坑口発電設備と組み合わせたハイブリッド型発電所が有利である
- といえる。

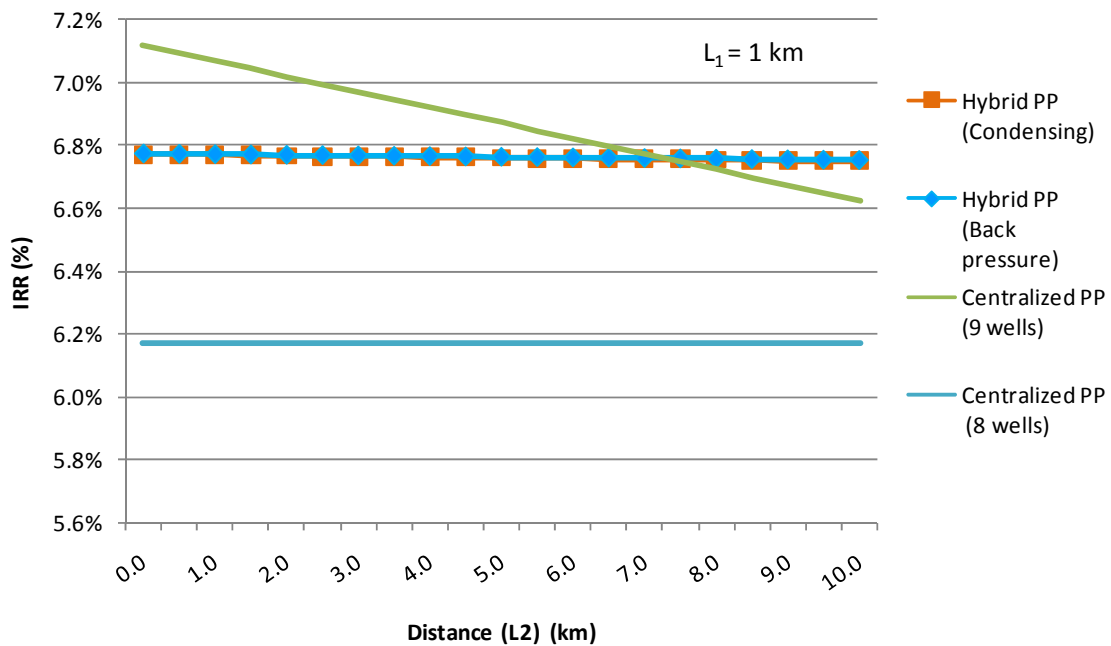


図-6.11 1本の坑井が遠い場合の各発電所の経済性

### 6.7 坑口発電の建設費低下の効果

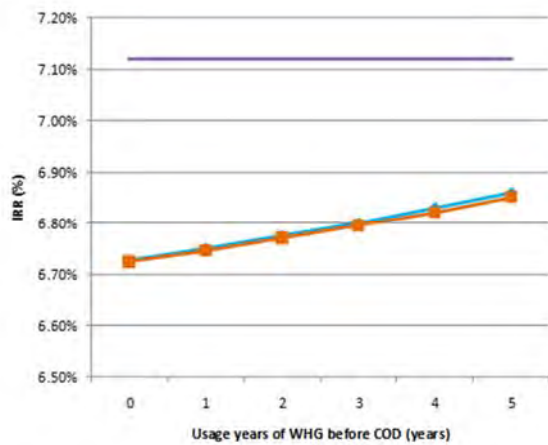
以上の分析は、復水式坑口発電の建設費が 5 MW で 2,600 US\$/kW、背圧式坑口発電の建設費が 1,600 US\$/kW と仮定した場合である。ここで復水式坑口発電の建設費が 5 MW で 2,000 US\$/kW、背圧式が 1,300 US\$/kW まで低下したと仮定して同様の分析を行ってみよう。

まず、早期導入の効果に関しては、5年の利用でも導入の効果は表れないが、かなりの改善がみられる(図-6.12(b))。次に1本の坑井が遠い場合の扱いであるが、この場合は、距離( $L_2$ )が 4.0 km 以上になるとハイブリッド型発電所が有利となる(図-6.13(b))。

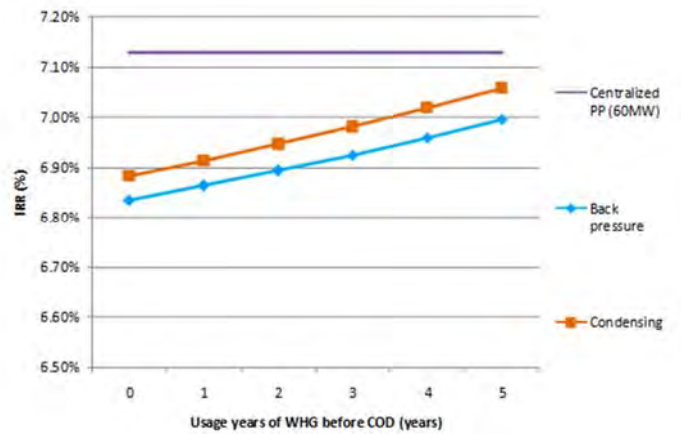
以上は依然、集中型発電所がハイブリッド型発電所より有利であることを物語っているが、最適導入数に関しては、興味深い結果が得られた。すなわち、図-6.14(b)に見るように、蒸気圧力が 5 bar(a)の低蒸気圧フィールドにおいては坑口発電の導入数にかかわらず、それぞれの経済性が同程度になっている。もちろん、IRRは5%程度まで低下するから一般には事業成立が困難といえるが、途上国においてODAの安価な資金が得られれば事業成立の可能性もないわけではない。すなわち、蒸気圧5 bar(a)程度の低蒸気圧フィールドにおいては、ハイブリッド型発電所やその極端ケースとして分散型発電所が成立する可能性が出てくる。

また、蒸気量・圧力をランダム化した場合、表-6.9、表-6.10 示すように、50 回の試行中 23 試行（最適調整した場合）あるいは 13 試行（標準品利用した場合）、でハイブリッド型発電所や分散型発電所が集中型発電所より有利になるとの結果が得られた。

このように坑口発電の建設単価が減少すると、集中型発電所よりハイブリッド型発電所や分散型発電所の方が有利になる場合が出現する。このため、坑口発電の価格動向には今後、十分な注意が必要である。これはわが国が得意とする大型の集中型発電所が競争力を失う可能性があることを意味するからである。

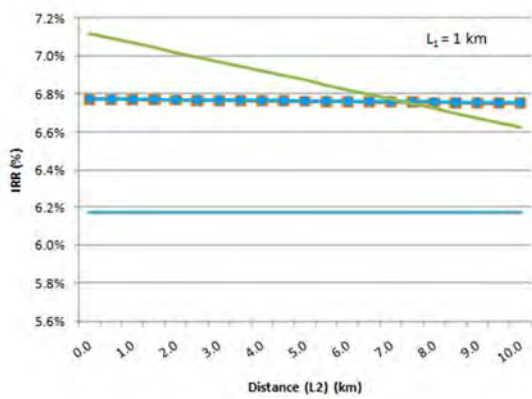


(a) 基本ケース

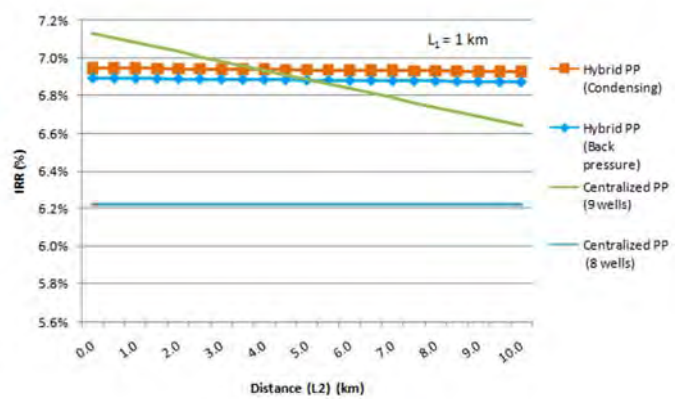


(b) 建設費低減ケース

図-6.12 利用期間の効果

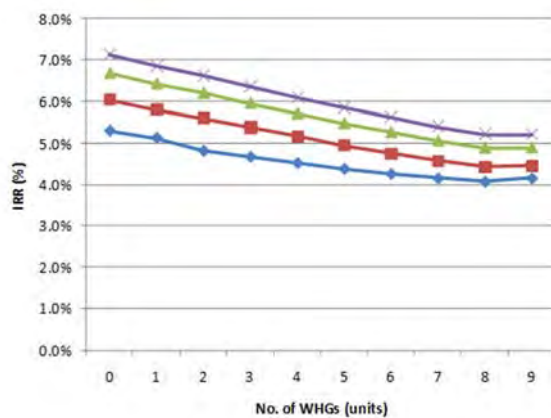


(a) 基本ケース

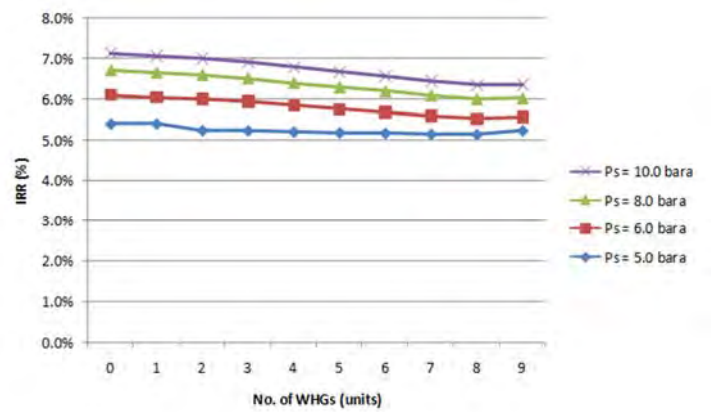


(b) 建設費低減ケース

図-6.13 1本の坑井が遠い場合の経済性



(a) 基本ケース



(b) 建設費低減ケース

図-6.14 坑口発電（復水式）の利用台数の効果



表 6. 9 蒸気量・圧力をランダム化した場合の最適坑口発電数 (坑口発電最適調整ケース)

〈復水式 2, 000 US\$/kW の場合〉

Trial No.	Output of Well									MW of 9 wells are used to WHP	MW of 0 wells are used to WHP										
	Well-1 [MW]	Well-2 [MW]	Well-3 [MW]	Well-4 [MW]	Well-5 [MW]	Well-6 [MW]	Well-7 [MW]	Well-8 [MW]	Well-9 [MW]												
1	13.7	14.2	3.0	8.6	13.3	5.7	7.0	11.5	4.1	75.9	60.0	8.1%	8.7%	8.3%	8.3%	8.5%	8.4%	8.3%	8.3%	8.4%	7.6%
2	2.4	8.7	8.4	4.8	6.0	4.0	4.7	2.7	11.7	50.1	51.0	6.2%	6.1%	6.1%	5.9%	5.9%	5.7%	5.6%	5.1%	5.6%	6.2%
3	6.0	2.6	6.5	15.9	12.9	10.1	5.7	8.1	4.1	67.4	60.0	7.5%	7.0%	6.8%	7.4%	7.6%	7.6%	7.5%	7.4%	7.4%	7.4%
4	10.4	4.5	3.8	9.7	9.6	3.5	1.3	2.3	3.1	45.2	46.2	5.7%	5.6%	5.5%	5.4%	5.3%	5.2%	5.2%	5.2%	5.2%	5.6%
5	3.1	3.3	1.8	7.7	17.0	7.8	9.5	4.9	4.6	56.0	57.3	6.8%	6.5%	6.1%	6.0%	6.5%	6.4%	6.3%	6.2%	6.2%	7.0%
6	3.4	7.5	13.4	4.5	16.0	6.8	1.5	4.1	4.9	58.2	59.0	7.0%	6.8%	6.9%	6.8%	6.8%	6.8%	6.8%	6.7%	6.6%	7.1%
7	7.3	13.5	10.9	6.8	4.7	8.4	5.5	1.1	13.9	67.8	60.0	7.2%	7.8%	8.1%	8.0%	7.7%	7.7%	7.5%	7.0%	7.6%	7.2%
8	1.4	7.0	5.3	2.8	4.1	5.2	6.8	5.3	5.2	40.5	41.3	4.8%	4.7%	4.7%	4.6%	4.5%	4.4%	4.4%	4.3%	4.3%	4.9%
9	5.9	3.3	14.6	17.1	9.8	5.2	2.9	8.5	13.4	75.7	60.0	7.3%	7.2%	7.5%	8.1%	8.2%	8.0%	7.6%	7.6%	8.1%	7.4%
10	3.2	3.1	11.6	1.4	3.4	10.5	4.4	5.1	10.2	49.5	50.8	6.1%	6.0%	5.9%	5.9%	5.8%	5.7%	5.5%	5.2%	5.6%	6.2%
11	5.1	13.8	9.4	4.4	7.6	5.6	10.7	1.1	2.0	56.0	56.9	7.0%	6.9%	6.8%	6.7%	6.6%	6.5%	6.5%	6.4%	6.5%	7.1%
12	10.0	2.6	10.9	15.5	13.2	4.6	1.7	6.4	2.8	63.4	60.0	7.7%	7.2%	7.5%	7.6%	7.5%	7.4%	7.3%	7.2%	7.2%	7.4%
13	6.2	3.7	8.4	2.6	9.3	5.7	2.0	6.6	4.7	46.2	47.8	5.7%	5.6%	5.5%	5.5%	5.3%	5.4%	5.3%	5.2%	5.2%	5.8%
14	5.8	7.3	6.2	2.8	4.2	6.5	12.1	13.0	3.6	57.6	60.0	7.1%	7.0%	6.9%	6.6%	6.2%	6.0%	6.3%	6.5%	6.5%	7.3%
15	2.5	10.5	15.3	3.4	8.5	3.1	4.0	1.3	6.7	51.7	52.8	6.3%	6.3%	6.4%	6.3%	6.2%	6.1%	6.0%	6.0%	6.0%	6.4%
16	12.6	10.9	5.0	2.4	11.7	6.6	4.8	5.3	3.6	58.8	60.0	7.4%	7.4%	7.4%	7.2%	7.1%	7.0%	6.9%	6.8%	6.8%	7.3%
17	1.2	11.8	1.9	2.1	5.0	8.7	9.0	13.5	4.1	53.8	55.7	6.6%	6.6%	6.5%	6.1%	5.7%	5.8%	5.9%	6.1%	6.0%	6.8%
18	4.5	7.9	5.5	2.8	12.7	14.1	4.9	9.3	4.6	62.2	60.0	7.1%	7.2%	6.9%	6.4%	6.9%	7.0%	7.0%	6.9%	6.9%	7.4%
19	8.1	6.1	14.3	7.0	2.5	1.9	8.6	15.5	4.0	63.8	60.0	7.5%	7.4%	7.7%	7.5%	7.2%	6.9%	6.9%	7.1%	7.2%	7.4%
20	11.0	14.0	1.0	3.7	4.8	2.5	10.6	10.2	8.9	62.4	60.0	7.6%	7.7%	7.7%	7.3%	7.0%	6.7%	6.7%	6.9%	7.1%	7.3%
21	4.0	17.4	2.7	6.7	3.3	4.5	4.5	7.6	7.4	54.5	54.6	6.5%	6.7%	6.7%	6.6%	6.5%	6.5%	6.2%	6.2%	6.3%	6.7%
22	18.7	10.6	8.3	3.1	2.0	8.3	13.0	11.9	4.3	75.1	60.0	8.6%	8.7%	8.7%	8.5%	8.0%	8.1%	8.2%	8.3%	8.4%	7.6%
23	9.5	3.9	12.8	3.2	2.3	10.5	10.2	15.4	2.6	66.0	60.0	7.7%	7.3%	7.8%	7.3%	6.8%	7.1%	7.2%	7.3%	7.4%	7.4%
24	3.7	3.8	11.6	5.0	4.2	3.2	1.4	15.5	5.6	50.6	52.1	6.3%	6.1%	6.0%	5.9%	5.8%	5.6%	5.1%	5.7%	5.7%	6.4%
25	9.0	5.5	1.0	3.6	7.0	13.6	2.6	14.2	4.9	57.5	58.1	7.1%	7.0%	6.8%	6.3%	6.2%	6.6%	6.3%	6.5%	6.5%	7.0%
26	3.6	3.5	9.8	7.7	5.5	2.6	9.2	3.8	5.2	47.7	49.1	5.9%	5.9%	5.7%	5.6%	5.5%	5.5%	5.4%	5.3%	5.3%	6.0%
27	2.7	4.3	8.0	4.0	6.0	6.5	8.8	1.3	10.5	48.9	50.5	6.0%	6.0%	5.9%	5.8%	5.7%	5.6%	5.4%	5.0%	5.4%	6.1%
28	6.3	19.1	9.8	2.9	8.0	3.2	8.5	13.9	2.7	69.6	60.0	7.3%	8.3%	8.3%	8.2%	8.0%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.4%
29	8.8	9.9	4.0	6.8	2.3	4.1	14.8	11.1	3.9	61.6	60.0	7.4%	7.5%	7.3%	7.2%	6.8%	6.4%	6.9%	6.9%	6.9%	7.4%
30	3.7	4.4	6.7	4.8	2.4	3.6	1.9	17.3	7.3	48.7	48.8	5.9%	5.8%	5.7%	5.6%	5.4%	5.0%	4.4%	5.4%	5.4%	5.9%
31	10.9	1.8	8.0	7.8	5.8	1.2	4.5	2.6	19.0	57.7	58.5	7.1%	7.1%	7.0%	6.9%	6.8%	6.2%	5.9%	5.3%	6.6%	7.1%
32	3.1	9.3	8.5	7.2	3.7	2.4	1.9	1.2	2.8	37.6	39.0	4.4%	4.3%	4.3%	4.2%	4.1%	4.1%	4.0%	4.0%	4.0%	4.5%
33	2.3	2.6	6.9	16.6	4.1	4.9	6.9	10.1	3.8	54.6	55.8	6.7%	6.4%	6.3%	6.4%	6.3%	6.2%	6.1%	6.0%	6.1%	6.8%
34	15.1	6.9	8.7	6.0	5.9	6.1	4.7	2.8	4.6	57.0	58.4	7.3%	7.3%	7.2%	7.0%	6.9%	6.8%	6.7%	6.7%	6.7%	7.1%
35	5.6	7.9	5.0	1.6	3.7	16.1	3.2	3.6	3.6	47.2	48.0	5.7%	5.7%	5.7%	5.6%	5.5%	5.6%	5.5%	5.4%	5.4%	5.8%
36	1.2	11.4	14.0	1.7	2.3	4.1	7.2	2.3	2.9	44.2	44.9	5.3%	5.4%	5.3%	5.3%	5.2%	5.2%	5.1%	5.0%	5.0%	5.4%
37	2.5	3.6	6.6	6.1	7.3	4.5	8.1	3.6	4.4	43.7	44.9	5.3%	5.2%	5.1%	5.0%	4.9%	4.8%	4.7%	4.7%	4.8%	5.4%
38	3.6	4.0	2.7	10.2	6.0	3.6	7.5	6.0	1.9	42.7	44.3	5.2%	5.1%	5.1%	4.9%	4.8%	4.7%	4.6%	4.6%	4.6%	5.3%
39	17.9	8.8	4.7	2.0	4.6	2.1	6.2	10.6	7.6	60.5	60.0	7.6%	7.6%	7.5%	7.4%	7.4%	6.9%	6.7%	7.0%	7.0%	7.3%
40	2.5	8.0	3.6	3.8	4.1	7.2	3.6	4.7	10.4	44.8	46.1	5.5%	5.6%	5.5%	5.4%	5.3%	5.2%	4.9%	4.5%	4.9%	5.6%
41	3.3	7.4	5.3	3.2	4.0	6.1	5.3	2.1	13.0	46.6	47.8	5.7%	5.6%	5.5%	5.4%	5.3%	5.2%	5.1%	4.4%	5.2%	5.8%
42	5.0	13.8	4.9	3.8	1.4	4.2	9.7	6.5	11.6	57.2	59.3	7.0%	7.2%	7.0%	6.9%	6.4%	6.0%	6.1%	6.0%	6.5%	7.2%
43	13.6	3.8	7.8	2.6	2.2	3.5	5.4	5.5	4.8	46.1	47.8	5.9%	5.8%	5.7%	5.7%	5.6%	5.5%	5.4%	5.3%	5.3%	5.8%
44	3.8	6.7	1.9	5.1	9.7	2.8	2.9	5.9	5.7	41.6	43.5	5.1%	5.1%	5.0%	4.9%	4.9%	4.8%	4.7%	4.6%	4.5%	5.2%
45	5.8	3.7	3.4	4.9	1.4	10.1	6.3	4.6	3.2	40.8	41.4	4.8%	4.7%	4.6%	4.6%	4.6%	4.5%	4.4%	4.4%	4.4%	4.9%
46	2.5	3.3	20.4	5.7	14.4	3.9	6.5	3.0	9.3	64.8	60.0	7.1%	6.6%	7.8%	7.3%	7.5%	7.4%	7.3%	7.0%	7.2%	7.2%
47	20.6	3.2	3.9	2.3	13.1	3.9	2.7	4.2	7.2	57.2	56.6	7.2%	7.2%	7.1%	7.0%	6.9%	6.8%	6.7%	6.7%	6.8%	6.9%
48	16.8	6.5	4.0	14.1	3.9	7.1	4.0	6.3	3.5	62.1	60.0	7.7%	7.6%	7.5%	7.4%	7.3%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.4%
49	6.3	4.5	4.4	5.2	15.4	14.1	7.0	10.5	4.9	67.7	60.0	7.3%	7.0%	6.8%	6.5%	7.1%	7.5%	7.4%	7.4%	7.4%	7.4%
50	12.9	3.6	10.8	17.8	11.0	12.2	6.4	14.4	19.1	101.3	60.0	8.4%	8.0%	8.2%	8.6%	8.8%	9.1%	9.0%	9.2%	9.4%	7.8%
Average	7.0	7.2	7.3	6.0	6.9	6.1	6.0	7.2	6.4	56.4	54.2	6.6%	6.6%	6.6%	6.5%	6.4%	6.3%	6.2%	6.2%	6.3%	6.6%

表-6.10 蒸気量・圧力をランダム化した場合の最適坑口発電数 (坑口発電標準品利用ケース) <復水式 2,000 US\$/kW の場合>

Trial No.	Output of Well									MW of 9 wells are used to WHP	MW of 0 wells are used to WHP
	Well-1 [MW]	Well-2 [MW]	Well-3 [MW]	Well-4 [MW]	Well-5 [MW]	Well-6 [MW]	Well-7 [MW]	Well-8 [MW]	Well-9 [MW]		
1	13.7	14.2	3.0	8.6	13.3	5.7	7.0	11.5	4.1	66.5	60.0
2	2.4	8.7	8.4	4.8	6.0	4.0	4.7	2.7	11.7	49.1	51.0
3	6.0	2.6	6.5	15.9	12.9	10.1	5.7	8.1	4.1	60.4	60.0
4	10.4	4.5	3.8	9.7	9.6	3.5	1.3	2.3	3.1	45.2	46.2
5	3.1	3.3	1.8	7.7	17.0	7.8	9.5	4.9	4.6	50.1	57.3
6	3.4	7.5	13.4	4.5	16.0	6.8	1.5	4.1	4.9	50.7	59.0
7	7.3	13.5	10.9	6.8	4.7	8.4	5.5	1.1	13.9	61.7	60.0
8	1.4	7.0	5.3	2.8	4.1	5.2	6.8	5.3	5.2	40.5	41.3
9	5.9	3.3	14.6	17.1	9.8	5.2	2.9	8.5	13.4	63.4	60.0
10	3.2	3.1	11.6	1.4	3.4	10.5	4.4	5.1	10.2	48.7	50.6
11	5.1	13.8	9.4	4.4	7.6	5.6	10.7	1.1	2.0	53.0	56.9
12	10.0	2.6	10.9	15.5	13.2	4.6	1.7	6.4	2.8	56.3	60.0
13	6.2	3.7	8.4	2.6	9.3	5.7	2.0	6.6	4.7	46.2	47.8
14	5.8	7.3	6.2	2.8	4.2	6.5	12.1	13.0	3.6	54.2	60.0
15	2.5	10.5	15.3	3.4	8.5	3.1	4.0	1.3	6.7	47.3	52.8
16	12.6	10.9	5.0	2.4	11.7	6.6	4.8	5.3	3.6	55.8	60.0
17	1.2	11.8	1.9	2.1	5.0	8.7	9.0	13.5	4.1	50.0	55.7
18	4.5	7.9	5.5	2.8	12.7	14.1	4.9	9.3	4.6	57.1	60.0
19	8.1	6.1	14.3	7.0	2.5	1.9	8.6	15.5	4.0	55.8	60.0
20	11.0	14.0	1.0	3.7	4.8	2.5	10.6	10.2	8.9	59.0	60.0
21	4.0	17.4	2.7	6.7	3.3	4.5	4.5	7.6	7.4	48.2	54.6
22	18.7	10.6	8.3	3.1	2.0	8.3	13.0	11.9	4.3	64.2	60.0
23	9.5	3.9	12.8	3.2	2.3	10.5	10.2	15.4	2.6	59.5	60.0
24	3.7	3.8	11.6	5.0	4.2	3.2	1.4	15.5	5.6	45.1	52.1
25	9.0	5.5	1.0	3.6	7.0	13.6	2.6	14.2	4.9	51.5	58.1
26	3.6	3.5	9.8	7.7	5.5	2.6	9.2	3.8	5.2	47.7	49.1
27	2.7	4.3	8.0	4.0	6.0	6.5	8.8	1.3	10.5	48.9	50.5
28	6.3	19.1	9.8	2.9	8.0	3.2	8.5	13.9	2.7	58.7	60.0
29	8.8	9.9	4.0	6.8	2.3	4.1	14.8	11.1	3.9	57.3	60.0
30	3.7	4.4	6.7	4.8	2.4	3.6	1.9	17.3	7.3	42.5	48.8
31	10.9	1.8	8.0	7.8	5.8	1.2	4.5	2.6	19.0	49.7	58.5
32	3.1	9.3	8.5	7.2	3.7	2.4	1.9	1.2	2.8	37.6	39.0
33	2.3	2.6	6.9	16.6	4.1	4.9	6.9	10.1	3.8	49.0	55.8
34	15.1	6.9	8.7	6.0	5.9	6.1	4.7	2.8	4.6	52.9	58.4
35	5.6	7.9	5.0	1.6	3.7	16.1	3.2	3.6	3.6	42.1	48.0
36	1.2	11.4	14.0	1.7	2.3	4.1	7.2	2.3	2.9	40.4	44.9
37	2.5	3.6	6.6	6.1	7.3	4.5	8.1	3.6	4.4	43.7	44.9
38	3.6	4.0	2.7	10.2	6.0	3.6	7.5	6.0	1.9	42.7	44.3
39	17.9	8.8	4.7	2.0	4.6	2.1	6.2	10.6	7.6	53.7	60.0
40	2.5	8.0	3.6	3.8	4.1	7.2	3.6	4.7	10.4	44.8	46.1
41	3.3	7.4	5.3	3.2	4.0	6.1	5.3	2.1	13.0	44.4	47.6
42	5.0	13.8	4.9	3.8	1.4	4.2	9.7	6.5	11.6	53.3	59.3
43	13.6	3.8	7.8	2.6	2.2	3.5	5.4	5.5	4.8	43.4	47.8
44	3.8	6.7	1.9	5.1	9.7	2.8	2.9	5.9	5.7	41.6	43.5
45	5.8	3.7	3.4	4.9	1.4	10.1	6.3	4.6	3.2	40.8	41.4
46	2.5	3.3	20.4	5.7	14.4	3.9	6.5	3.0	9.3	52.2	60.0
47	20.6	3.2	3.9	2.3	13.1	3.9	2.7	4.2	7.2	45.6	56.6
48	16.8	6.5	4.0	14.1	3.9	7.1	4.0	6.3	3.5	53.1	60.0
49	6.3	4.5	4.4	5.2	15.4	14.1	7.0	10.5	4.9	60.1	60.0
50	12.9	3.6	10.8	17.8	11.0	12.2	6.4	14.4	19.1	79.3	60.0
Average	7.0	7.2	7.3	6.0	6.9	6.1	6.0	7.2	6.4	51.3	54.2

IRR when No. of wells are used to WHP										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
7.8%	8.1%	7.7%	7.7%	7.7%	7.5%	7.4%	7.4%	7.5%	7.6%	
6.2%	6.1%	6.1%	5.9%	5.9%	5.7%	5.6%	5.1%	5.5%	6.2%	
7.5%	7.0%	6.8%	6.9%	7.0%	6.8%	6.7%	6.7%	6.7%	7.4%	
6.7%	5.6%	5.5%	5.4%	5.3%	5.2%	5.2%	5.2%	5.2%	5.6%	
6.8%	6.5%	6.1%	6.0%	5.8%	5.8%	5.7%	5.5%	5.6%	7.0%	
7.0%	6.8%	6.6%	6.5%	6.0%	5.9%	5.9%	5.8%	5.8%	7.1%	
7.2%	7.6%	7.8%	7.7%	7.4%	7.4%	7.2%	6.7%	7.0%	7.2%	
4.8%	4.7%	4.7%	4.6%	4.5%	4.4%	4.4%	4.3%	4.3%	4.9%	
7.3%	7.2%	7.1%	7.2%	7.3%	7.1%	6.6%	6.7%	7.0%	7.4%	
6.1%	6.0%	5.8%	5.8%	5.5%	5.6%	5.4%	5.1%	5.4%	6.2%	
7.0%	6.5%	6.4%	6.3%	6.3%	6.2%	6.1%	6.1%	6.1%	7.1%	
7.7%	7.2%	7.5%	7.1%	6.7%	6.6%	6.6%	6.4%	6.5%	7.4%	
5.7%	5.6%	5.5%	5.5%	5.3%	5.4%	5.3%	5.2%	5.2%	5.8%	
7.1%	7.0%	6.9%	6.6%	6.2%	6.0%	6.1%	6.1%	6.1%	7.3%	
6.3%	6.3%	5.8%	5.7%	5.6%	5.5%	5.5%	5.4%	5.4%	6.4%	
7.2%	7.1%	7.0%	7.0%	6.8%	6.6%	6.6%	6.5%	6.5%	7.3%	
6.6%	6.5%	6.4%	5.9%	5.6%	5.7%	5.8%	5.7%	5.6%	6.8%	
7.1%	7.2%	6.9%	6.4%	6.7%	6.5%	6.4%	6.4%	6.4%	7.4%	
7.5%	7.4%	7.3%	7.2%	6.9%	6.5%	6.5%	6.3%	6.3%	7.4%	
7.6%	7.3%	7.3%	6.9%	6.6%	6.2%	6.3%	6.5%	6.7%	7.3%	
6.5%	5.9%	5.9%	5.8%	5.7%	5.7%	5.4%	5.3%	5.4%	6.7%	
7.8%	7.9%	7.9%	7.7%	7.2%	7.2%	7.2%	7.3%	7.3%	7.6%	
7.7%	7.3%	7.6%	7.1%	6.6%	6.8%	7.0%	6.7%	6.7%	7.4%	
6.3%	6.1%	5.9%	5.8%	5.7%	5.5%	5.0%	5.0%	5.0%	6.4%	
7.1%	7.0%	6.8%	6.3%	6.2%	6.3%	5.9%	5.9%	5.9%	7.0%	
5.9%	5.9%	5.7%	5.6%	5.5%	5.5%	5.4%	5.3%	5.3%	6.0%	
6.0%	6.0%	5.9%	5.8%	5.7%	5.6%	5.4%	5.0%	5.4%	6.1%	
7.3%	7.5%	7.5%	7.4%	7.2%	6.9%	6.9%	6.7%	6.7%	7.4%	
7.4%	7.5%	7.3%	7.2%	6.8%	6.4%	6.5%	6.5%	6.5%	7.4%	
5.9%	5.8%	5.7%	5.6%	5.4%	5.0%	4.4%	4.6%	4.6%	5.9%	
7.1%	7.0%	7.0%	6.9%	6.8%	6.2%	5.8%	5.2%	5.7%	7.1%	
4.4%	4.3%	4.3%	4.2%	4.1%	4.1%	4.0%	4.0%	4.0%	4.5%	
6.7%	6.4%	6.3%	5.8%	5.7%	5.6%	5.4%	5.4%	5.4%	6.8%	
6.8%	6.7%	6.6%	6.5%	6.3%	6.2%	6.1%	6.1%	6.1%	7.1%	
5.7%	5.7%	5.7%	5.6%	5.5%	4.9%	4.8%	4.7%	4.7%	5.8%	
5.3%	5.3%	4.8%	4.7%	4.6%	4.6%	4.5%	4.4%	4.4%	5.4%	
5.3%	5.2%	5.1%	5.0%	4.9%	4.8%	4.7%	4.7%	4.8%	5.4%	
5.2%	5.1%	5.1%	4.9%	4.8%	4.7%	4.7%	4.6%	4.6%	5.3%	
6.8%	6.8%	6.7%	6.6%	6.6%	6.0%	5.8%	6.1%	6.2%	7.3%	
5.5%	5.6%	5.5%	5.4%	5.3%	5.2%	4.9%	4.5%	4.9%	5.6%	
5.7%	5.6%	5.5%	5.4%	5.3%	5.2%	5.1%	4.4%	4.9%	5.8%	
7.0%	6.8%	6.7%	6.5%	6.0%	5.6%	5.8%	6.0%	6.0%	7.2%	
5.5%	5.4%	5.3%	5.2%	5.2%	5.1%	5.0%	4.9%	4.9%	5.8%	
5.1%	5.1%	5.0%	4.9%	4.9%	4.8%	4.7%	4.6%	4.5%	5.2%	
4.8%	4.7%	4.6%	4.6%	4.6%	4.5%	4.5%	4.4%	4.4%	4.9%	
7.1%	6.6%	6.6%	6.3%	6.1%	6.0%	5.9%	5.6%	5.8%	7.2%	
6.0%	5.9%	5.8%	5.7%	5.3%	5.2%	5.1%	5.1%	5.2%	6.9%	
7.0%	6.9%	6.8%	6.4%	6.2%	6.1%	6.1%	6.1%	6.1%	7.4%	
7.3%	7.0%	6.8%	6.5%	6.6%	6.7%	6.6%	6.7%	6.7%	7.4%	
8.1%	7.7%	8.0%	7.8%	8.0%	8.2%	8.1%	8.1%	8.4%	7.8%	
6.5%	6.4%	6.3%	6.2%	6.0%	5.9%	5.8%	5.6%	5.8%	6.6%	

## 6.7 長期的利用のまとめ

以上から、坑口発電設備を長期的に利用することに関しては、次のように言える。

- (a) 坑口発電設備を長期的に利用することは、早期の cash flow の入手、蒸気輸送管の建設費節約等の利点があるものの、坑口発電が蒸気を消費するため本体発電所の出力がその分小さくなる。このため、本体発電所のスケールメリットが低下し、坑口発電を長期利用しない場合に比較して経済性が劣る。これは背圧式、復水式のいずれの方式を用いても言える。
- (b) 従って、現在の坑口発電の建設費を前提とすれば、坑口発電を長期的利用することは一般的に得策とは言えない。
- (c) 但し、調査段階の初期に、偶然、異常に大きな出力の調査井に遭遇したような場合は、そこに復水式坑口発電を設置することは考えてもよい。大きさの目安は計画出力の2倍程度以上である。
- (d) また、少数の生産井が発電所から極端に離れた場所にあるという特殊なケースでも蒸気輸送管で本体発電所まで蒸気を輸送するよりは、坑口発電設備を利用し、電気で輸送したほうが有利になる場合もありうる。距離の目安としては8 km 程度である。このような場合には、念のために、坑口発電を導入した場合と経済性比較を行うことが望まれる。
- (e) 坑口発電を設置する場合は、井戸毎に最適設計をすることが望まれる。さもないと坑口発電の有利性を発揮できない。
- (f) なお、将来、坑口発電設備の価格が低下した場合、蒸気圧力の低いフィールドでは集中型発電所を建設するよりハイブリッド型発電所や分散型発電所を建設したほうが有利になる場合が出てくる。従って、今後の坑口発電設備の価格動向とその性能動向には十分な注意が必要である。これはわが国が得意とする大型の集中型発電所が競争力を失い、また、地熱発電所の設計思想の大転換を迫る可能性があるからである。

## 7. 減衰井の回収利用

### 7.1 出力・建設費・経済性

第5章、第6章においては新たに掘削した生産井に坑口発電設備を設置する場合を考えた。本章では発電に利用し、使用済みとなった減衰生産井に対して坑口発電設備を設置して、残りの蒸気エネルギーを回収した場合の経済性を考える。

集中型発電所においては複数の生産井から蒸気を集めるが、運転中にある生産井の蒸気圧が汽水分離器の設計圧力以下にまで減衰するとその井戸は切り離され、使用が停止する。しかし、坑口圧力を下げると蒸気はまだ生産するから、低い設計圧力の坑口発電を設置すれば残る蒸気を回収することができる。減衰井の回収利用とは、このように坑口発電を利用しようとするものである(図-7.1)。ここでは、減衰井が汽水分離器圧力 4.0 bar (a)、出口流量 25 t/h に減少したとし、しかしながら、所定の期間中は引き続き蒸気を噴出し続けるものと仮定して、経済性を試算した。

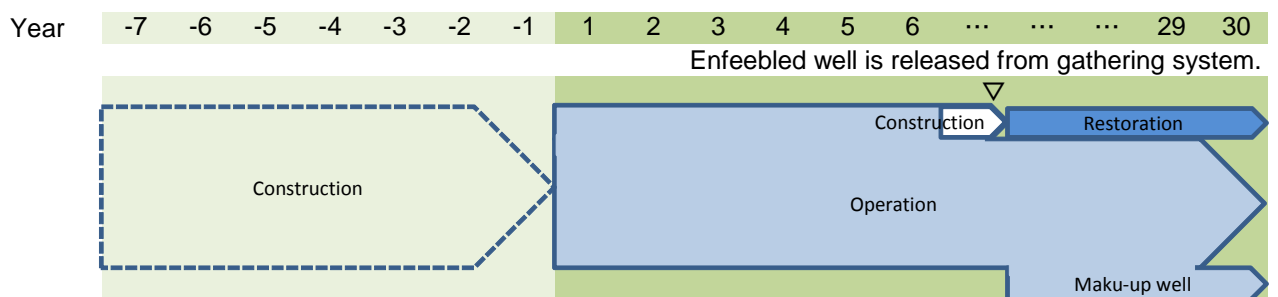


図-7.1 減衰井の回収利用

減衰井の回収利用の経済性を考える場合、減衰井は無償で取得できるものとして構わない。従って、検討対象となる初期費用は新たに設置される低設計圧力の坑口発電設備の建設費だけである。この初期費用を利用期間中の発電電力量で回収できるかどうかを調べることになる。

坑口発電に利用できる方式は、復水式と背圧式である。それぞれの方式を用いた坑口発電の出力、建設費、経済性の試算結果を表-7.1に示す。汽水分離器圧力が 4 bar (a) の場合、復水式坑口発電の蒸気消費率は 11.0 t/h/MW であるから、1 台当たり 2.3 MW の発電が可能となる。この出力の建設単価は 3,031 \$/kW となり、この結果、坑口発電の建設費は US\$ 9.0 million となる。これによる経済性 (IRR) は、5 年利用で 0.2%、8 年利用で 3.4%、10 年利用で 4.6% となった。

また、背圧式坑口発電の場合は、蒸気消費率が 21.8 t/h/MW となり、1 台当たり 1.1 MW の発電となる。この出力の建設単価は 2,267 \$/kW となり、この結果、坑口発電の建設費は US\$ 4.3 million となる。これによる経済性 (IRR) は、5 年利用で 1.9%、8 年利用で 5.1%、10 年利用で 6.3% となった。

表-7.1 減衰井の回収利用（坑口発電1台利用の場合）

項目		坑口発電 (復水式)	坑口発電 (背圧式)
蒸気量（坑口圧力 4 bar(a)）		25 t/h	25 t/h
蒸気消費率 (@タービン入口圧力)		11.0 t/h/MW (@ 4.0 bar(a))	21.8 t/h/MW (@ 4.0 bar(a))
出力（発電端）		2.3 MW	1.1 MW
発電設備建設単価		3,031 \$/kW	2,267 \$/kW
建設費	蒸気フィールド開発費（a）	-	-
	坑口発電設備	6.9	2.6
	配電線・本体変電所改造費等	1.6	1.5
	坑口発電小計（5%管理費込）（b）	9.0 (M\$)	4.3 (M\$)
	本体発電所発電設備	-	-
	蒸気輸送管	-	-
	中央開閉所改造費	-	-
	本体発電所小計（5%管理費込）（c）	-	-
	建設費合計（d）=（a）+（b）+（c）	9.0 (M\$)	4.3 (M\$)
発電電力量（送電端）（初年度）		16.1 GWh	8.8 GWh
内部収益率（IRR）	5年利用	0.2%	1.9%
	8年利用	3.4%	5.1%
	10年利用	4.6%	6.3%

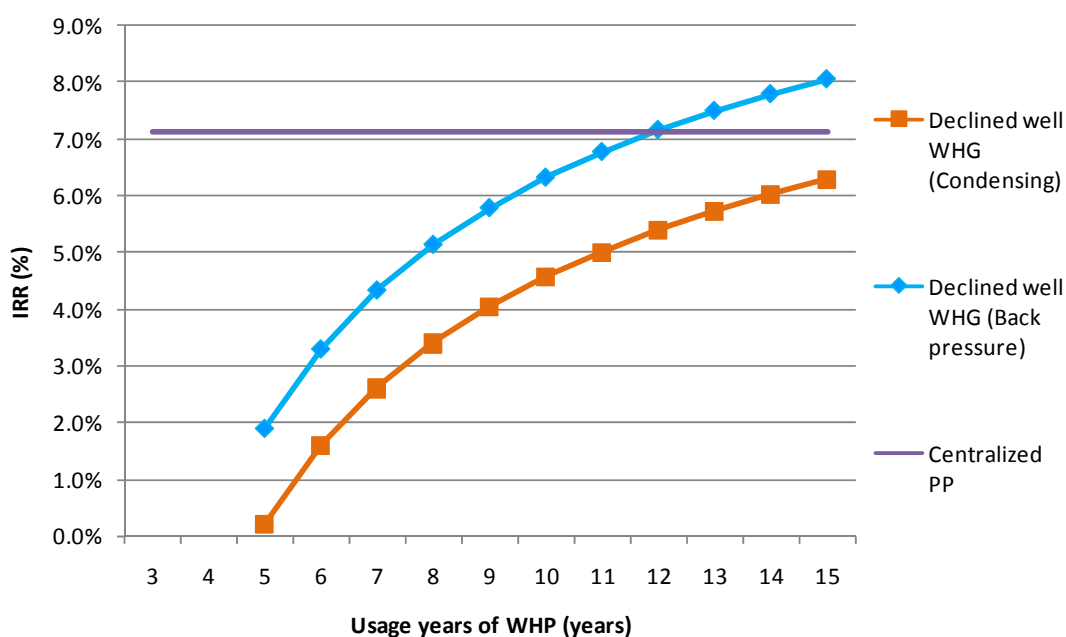
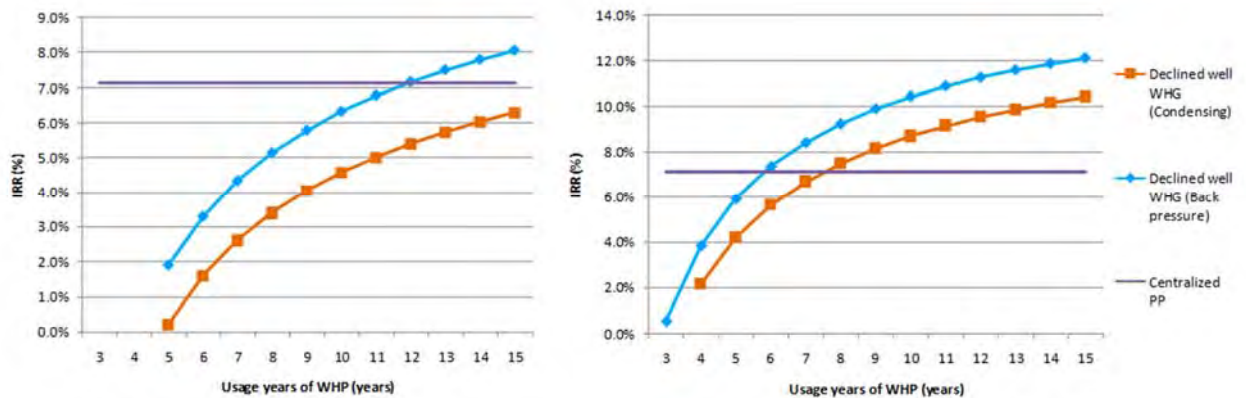


図-7.2 坑口発電利用期間の経済性への影響（減衰井の回収利用）

図-7.2に減衰井の利用期間と内部収益率との関係を示す。図-7.2から減衰井を利用する場合は背圧型が復水型より有利であることが分かる。全体に経済性はかなり悪いが、仮に低利の資金が使用でき、その結果、事業化可能 IRR が5%であるとする、背圧式で8年以上、復水式で11年以上、減衰井を利用することができれば事業化可能である。これは減衰井を結構長く利用する必要があることを意味する。従って、減衰井を利用する場合は減衰井の余寿命判断が非常に重要となる。

## 7.2 坑口発電の建設費低下の効果

以上は、復水式坑口発電の建設費が5 MW で2,600 US\$/kW、背圧式が1,600 US\$/kW と仮定した場合である。仮に復水式坑口発電の建設費が5 MW で2,000 US\$/kW、背圧式が1,300 US\$/kW まで低下したとすると、減衰井利用の経済性は図-7.3(b)のようになる。この結果、復水式で6年以上減衰井を利用することができれば事業化可能という結果となった。ここでも坑口発電の価格低下が大きな効果をもつことが確認できる。



(a) 基本ケース

(b) 建設費低減ケース

図-7.3 坑口発電の利用期間の経済性への影響

以上から、坑口発電設備を減衰井に利用することに関しては、次のように言える。

- (a) 設備投資を回収するためには減衰井を一定期間以上利用することが必要である。このため、坑口発電の減衰性への利用に当たっては、減衰井の余寿命評価が非常に重要となる。
- (b) ケニアにおいては今後、地熱開発が進展すると期待されるから、多くの減衰井が現れる可能性がある。そのような状況になった場合には、GDC として、設計圧力の低い坑口発電設備（背圧式）を適切な台数用意し、適宜、減衰井に設置して残る蒸気エネルギーを回収することは検討に値する。

なお、背圧式の坑口発電設備を減衰井に利用した場合の経済性試算表を参考表-4 に示す。

## 8. おわりに

以上、坑口発電の経済性に関して、(i)建設期間中の短期的利用、(ii)本体発電所と併存させた長期的利用、(iii)減衰井の回収利用、の3形態に関して検討した。これらをまとめると次のようである。

- (1) 建設期間中の坑口発電の短期的利用は大いに検討すべきである。すなわち、建設期間が終了した後も別の現場で利用できる、あるいは、中古市場で販売できるような状況であれば、建設期間中の短期的利用を積極的に行うべきである。
- (2) 建設期間中の利用は、背圧式を用いるべきである。ただし、蒸気圧力が低いフィールドでは必ずしもこの限りではなくなるので注意が必要である。
- (3) 坑口発電を長期的に利用することは、一般に推奨できない。これは開発規模を分割することによるスケールメリット喪失の影響が大きいからである。
- (4) ただし、開発段階の初期に想定以上の大出力の調査井に遭遇したような場合、遠隔地にある坑井を利用する場合などでは、そこに坑口発電を設置して長期的に利用しても構わない。
- (5) 減衰井に坑口発電を設置して、残存蒸気を回収することも検討に値するが、一定期間以上の利用を行わないと元が取れないので、微妙な状況にある。減衰井の余寿命評価を行う必要がある。

なお、適宜述べてきたとおり、以上の考察に当たってはいくつかの仮定を置いて行った。従って、個別のフィールドでの解析を行う場合はそのフィールド毎の条件を前提として、ケースバイケースで行うことが必要と思慮される。

また、以上の考察は、大型開発のための資金手当ての見通しがあり、資源量もおおよそ見当がついている場合についてである。仮に、開発のための資金量が十分でない、あるいは、資源量が必ずしも十分に把握されていない、などの状況にある場合は、最初に小規模の口元発電を設置し、これを長期的に利用しながら資源量の把握を進めるというアプローチが現実的と考える。本レポートはこのアプローチを否定するものではない。



参考表-1 本体発電所の経済性試算表

Type	<b>Total Power Plant (Field + MainPP + WHGs)</b>			
Technology	<b>Condensing</b>			
No of WHGs	0	units	Well production	ton/h
WHG capacity (gross)	0.0	MW		
Main Power Plant (gross)	58.8	MW		
<b>Total Capacity (gross)</b>	<b>58.8</b>	<b>MW</b>	WHG pattern	<b>B</b>
Total Capacity (net)	55.3	MW	WHG utilization years	- 0 ≤ N ≤ 5
Plant factor	90%			
Field dev. costs	147.58	M\$	Electricity tariff	0.085 \$/kWh
WHG Const. costs	0.00	M\$	Tax rate	30%
Main PP Const. costs	113.53	M\$		
WHG Power Line Length	0.0	km (total)	Field O&M costs (annual)	0.00 M\$
Steam Pipeline Length	3.0	km (total)	WHP O&M costs (annual)	0.00 M\$
<b>Total const. costs</b>	<b>261.1</b>	<b>M\$</b>	Main PP O&M costs (annual)	3.41 M\$
Total unit costs	4,439	\$/kW		
				Discount rate 10.00%

Profits and Losses Table

No	Year	Investment [M\$] 1	Generation [GWh] 2	Revenue [M\$] 3	Depreciation [M\$] 4	O&M costs [M\$] 5	Mobilization [M\$] 6	Other costs [M\$] 7	Income [M\$] 8=3-4-5-6-7	Tax [M\$] 9	Income af. Tax [M\$] 10=8-9	Free Cash Flows (FCF) [M\$] 11=10+4-1	Present Value
1	-7	-10.50										-10.50	-19.51
2	-6	-5.25										-5.25	-8.87
3	-5	-22.52			0.00				-0.00		-0.00	-22.52	-34.58
4	-4	-36.86			0.00				-0.00		-0.00	-36.86	-51.45
5	-3	-19.49			0.00				-0.00		-0.00	-19.49	-24.73
6	-2	-85.33			0.00				-0.00		-0.00	-85.33	-98.44
7	-1	-81.17			0.00				-0.00		-0.00	-81.17	-85.13
8	1	0.00	435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	23.62
9	2		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	21.47
10	3		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	19.52
11	4		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	17.74
12	5		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	16.13
13	6		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	14.66
14	7		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	13.33
15	8		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	12.12
16	9		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	11.02
17	10		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	10.02
18	11		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	9.10
19	12		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	8.28
20	13		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	7.52
21	14		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	6.84
22	15		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	6.22
23	16		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	4.98
24	17		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	4.53
25	18		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	4.12
26	19		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	3.74
27	20		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	3.40
28	21		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	3.09
29	22		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	2.81
30	23		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	2.56
31	24		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	2.32
32	25		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	2.11
33	26		435.92	37.05	0.00	7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.80
34	27		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.64
35	28		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.49
36	29		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.35
37	30		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.23
	Total	-261.11	13,077.54	1,111.59	261.15	235.00	0.00	0.00	615.45	184.64	430.81	430.85	-83.96

OK

IRR	NPV=
7.12%	-83.96

参考表-2 坑口発電の経済性試算表（建設中の利用）＜背圧式坑口発電＞

Type	<b>Total Power Plant (Field + MainPP + WHGs)</b>			
Technology	<b>Back pressure</b>			
No of WHGs	9	units	Well production	ton/h
WHG capacity (gross)	35.3	MW		
Main Power Plant (gross)	58.8	MW		
<b>Total Capacity (gross)</b>	<b>94.1</b>	<b>MW</b>	WHG pattern	<b>B</b>
Total Capacity (net)	89.8	MW	WHG utilization years	- 0 ≤ N ≤ 5
Plant factor	90%		Electricity tariff	0.085 \$/kWh
Field dev. costs	147.58	M\$	Tax rate	30%
WHG Const. costs	81.16	M\$		
Main PP Const. costs	113.53	M\$		
WHG Power Line Length	9.0	km (total)	Field O&M costs (annual)	2.43 M\$
Steam Pipeline Length	3.0	km (total)	WHG O&M costs (annual)	2.43 M\$
<b>Total const. costs</b>	<b>342.3</b>	<b>M\$</b>	Main PP O&M costs (annual)	3.41 M\$
Total unit costs	3,638	\$/kW		
				Discount rate 10.00%

Profits and Losses Table

No	Year	Investment	Generation	Revenue	Depreciation	O&M costs	Mobilization	Other costs	Income	Tax	Income af. Tax	Free Cash Flows (FCF)	Present Value
		[M\$]	[GWh]	[M\$]	[M\$]	[M\$]	[M\$]	[M\$]	[M\$]	[M\$]	[M\$]	[M\$]	
		1	2	3	4	5	6	7	8=3-4-5-6-7	9	10=8-9	11=10+4-1	
1	-7	-10.50											-19.51
2	-6	-14.27											-24.10
3	-5	-31.54	30.07	2.56	0.36	0.27			1.93	0.58	1.35	-29.83	-45.81
4	-4	-45.87	60.00	5.10	0.72	0.54			3.84	1.15	2.69	-42.47	-59.28
5	-3	-46.54	89.77	7.63	1.08	0.81			5.74	1.72	4.02	-41.45	-52.60
6	-2	-112.38	179.55	15.26	2.16	1.62			11.47	3.44	8.03	-102.18	-117.89
7	-1	-11.64	268.87	22.85	3.25	2.43			17.17	5.15	12.02	3.63	3.81
8	1	0.00	435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	23.62
9	2		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	21.47
10	3		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	19.52
11	4		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	17.74
12	5		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	16.13
13	6		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	14.66
14	7		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	13.33
15	8		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	12.12
16	9		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	11.02
17	10		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	10.02
18	11		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	9.10
19	12		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	8.28
20	13		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	7.52
21	14		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	6.84
22	15		435.92	37.05	14.38	7.83			14.84	4.45	10.39	24.77	6.22
23	16		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	4.98
24	17		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	4.53
25	18		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	4.12
26	19		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	3.74
27	20		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	3.40
28	21		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	3.09
29	22		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	2.81
30	23		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	2.56
31	24		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	2.32
32	25		435.92	37.05	4.54	7.83			24.68	7.40	17.27	21.82	2.11
33	26		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.80
34	27		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.64
35	28		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.49
36	29		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.35
37	30		435.92	37.05		7.83			29.22	8.77	20.45	20.45	1.23
Total		-272.74	13,705.81	1,164.99	268.68	240.68	0.00	0.00	655.63	196.69	458.94	454.88	-76.63
												IRR	NPV=
												7.48%	-76.63

参考表-3 ハイブリッド型発電所の経済性試算表（長期的利用）＜復水式坑口発電＞

Type	<b>Total Power Plant (Field + MainPP + WHGs)</b>			
Technology	<b>Condensing</b>			
No of WHGs	1	units	Well production	ton/h
WHG capacity (gross)	6.3	MW		
Main Power Plant (gross)	52.3	MW		
<b>Total Capacity (gross)</b>	<b>58.6</b>	<b>MW</b>	WHG pattern	<b>B</b>
Total Capacity (net)	54.8	MW	WHG utilization years	- 0 ≤ N ≤ 5
Plant factor	90%			
Field dev. costs	147.58	M\$	Electricity tariff	0.085 \$/kWh
WHG Const. costs	18.44	M\$	Tax rate	30%
Main PP Const. costs	104.33	M\$		
WHG Power Line Length	1.0	km (total)	Field O&M costs (annual)	0.55 M\$
Steam Pipeline Length	3.0	km (total)	WHP O&M costs (annual)	0.55 M\$
<b>Total const. costs</b>	<b>270.3</b>	<b>M\$</b>	Main PP O&M costs (annual)	3.13 M\$
Total unit costs	4,615	\$/kW		
				Discount rate 10.00%

Profits and Losses Table

No	Year	Investment	Generation	Revenue	Depreciation	O&M costs	Mobilization	Other costs	Income	Tax	Income af. Tax	Free Cash Flows (FCF)	Present Value
		[M\$] 1	[GWh] 2	[M\$] 3	[M\$] 4	[M\$] 5	[M\$] 6	[M\$] 7	[M\$] 8=3-4-5-6-7	[M\$] 9	[M\$] 10=8-9	[M\$] 11=10+4-1	
1	-7	-10.50										-10.50	-19.51
2	-6	-23.69										-23.69	-40.01
3	-5	-22.52	44.34	3.77	0.74	0.55			2.48	0.74	1.73	-20.05	-30.79
4	-4	-36.86	44.12	3.75	0.74	0.55			2.46	0.74	1.72	-34.40	-48.02
5	-3	-19.39	43.90	3.73	0.74	0.55			2.44	0.73	1.71	-16.94	-21.50
6	-2	-80.72	43.68	3.71	0.74	0.55			2.42	0.73	1.70	-78.29	-90.32
7	-1	-76.66	43.46	3.69	0.74	0.55			2.40	0.72	1.68	-74.24	-77.87
8	1	0.00	430.73	36.61	13.66	7.62			15.34	4.60	10.74	24.39	23.26
9	2		430.51	36.59	13.66	7.62			15.32	4.60	10.72	24.38	21.13
10	3		430.30	36.58	13.66	7.62			15.30	4.59	10.71	24.37	19.20
11	4		430.08	36.56	13.66	7.62			15.28	4.58	10.70	24.35	17.45
12	5		429.87	36.54	13.66	7.62			15.26	4.58	10.68	24.34	15.85
13	6		429.66	36.52	13.66	7.62			15.25	4.57	10.67	24.33	14.40
14	7		429.45	36.50	13.66	7.62			15.23	4.57	10.66	24.32	13.09
15	8		429.24	36.49	13.66	7.62			15.21	4.56	10.65	24.30	11.89
16	9		429.03	36.47	13.66	7.62			15.19	4.56	10.63	24.29	10.80
17	10		428.82	36.45	13.66	7.62			15.17	4.55	10.62	24.28	9.82
18	11		428.62	36.43	13.66	7.62			15.16	4.55	10.61	24.27	8.92
19	12		428.41	36.41	13.66	7.62			15.14	4.54	10.60	24.25	8.11
20	13		428.21	36.40	13.66	7.62			15.12	4.54	10.59	24.24	7.36
21	14		428.00	36.38	13.66	7.62			15.10	4.53	10.57	24.23	6.69
22	15		427.80	36.36	13.66	7.62			15.09	4.53	10.56	24.22	6.08
23	16		427.60	36.35	4.91	7.62			23.82	7.14	16.67	21.58	4.93
24	17		427.40	36.33	4.91	7.62			23.80	7.14	16.66	21.57	4.48
25	18		427.20	36.31	4.91	7.62			23.78	7.13	16.65	21.56	4.07
26	19		427.00	36.29	4.91	7.62			23.76	7.13	16.64	21.55	3.70
27	20		426.80	36.28	4.91	7.62			23.75	7.12	16.62	21.54	3.36
28	21		426.60	36.26	4.17	7.62			24.47	7.34	17.13	21.30	3.02
29	22		426.41	36.24	4.17	7.62			24.45	7.34	17.12	21.29	2.74
30	23		426.21	36.23	4.17	7.62			24.44	7.33	17.10	21.28	2.49
31	24		426.02	36.21	4.17	7.62			24.42	7.33	17.09	21.27	2.26
32	25		425.83	36.20	4.17	7.62			24.40	7.32	17.08	21.26	2.06
33	26		387.48	32.94	0.00	7.07			25.87	7.76	18.11	18.11	1.59
34	27		387.48	32.94		7.07			25.87	7.76	18.11	18.11	1.45
35	28		387.48	32.94		7.07			25.87	7.76	18.11	18.11	1.32
36	29		387.48	32.94		7.07			25.87	7.76	18.11	18.11	1.20
37	30		387.48	32.94		7.07			25.87	7.76	18.11	18.11	1.09
<b>Total</b>		<b>-270.34</b>	<b>12,862.72</b>	<b>1,093.33</b>	<b>253.98</b>	<b>228.55</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>610.80</b>	<b>183.24</b>	<b>427.56</b>	<b>411.20</b>	<b>-94.22</b>

OK

IRR	NPV=
6.85%	-94.22

参考表-4 本体発電所の経済性試算表（減衰井への利用）＜背圧式坑口発電＞

Type	<b>1 set of Wellhead PP Unit &lt;Base Table&gt;</b>		Well No.	<b>1</b>	
Technology	<b>Back pressure</b>		Installation year	<b>-1</b>	
Capacity (gross)	<b>1.1</b>	MW	No. of WHP units	<b>1</b>	units
In-house use ratio	<b>2%</b>		WHP Usage Years	<b>1</b>	years
Capacity (net)	<b>1.1</b>	MW	Decline Well WHP usage years	<b>8</b>	years
Efficiency gradation	<b>0.5%</b>	/year	Electricity tariff	<b>0.085</b>	\$/kWh
Plant factor	<b>90%</b>		Tax rate	<b>30%</b>	
Construction unit costs	<b>\$/kW @ 5MW</b>		Mobilization cycle	<b>14</b>	years
Power loss rate / km	<b>0.15%</b>	%/km	Mobilization costs	<b>0.00</b>	M\$
Pad location	<b>1.0</b>	km	Mobilization months	<b>0</b>	months
Power loss ratio	<b>0.15%</b>		O&M costs (annual)	<b>0.13</b>	M\$
WHP const. costs	<b>4.34</b>	M\$	O&M Rate	<b>3%</b>	
Total const. costs	<b>4.34</b>	M\$	Discount rat	<b>10.00%</b>	

<Base Table>

No	Year	Investment [M\$] 1	Generation [GWh] 2	Revenue [M\$] 3	Depreciation [M\$] 4	O&M costs [M\$] 5	Mobilization [M\$] 6	Other costs [M\$] 7	Income [M\$] 8=3-4-5-6-7	Tax [M\$] 9	Income af. Tax [M\$] 10=8-9	Free Cash Flows (FCF) [M\$] 11=10+4-1	Present Value
1	-7												
2	-6												
3	-5												
4	-4												
5	-3												
6	-2												
7	-1	-4.34										-4.34	-4.55
8	1		8.80	0.75	0.17	0.13			0.44	0.13	0.31	0.48	0.46
9	2		8.75	0.74	0.17	0.13			0.44	0.13	0.31	0.48	0.42
10	3		8.71	0.74	0.17	0.13			0.44	0.13	0.31	0.48	0.38
11	4		8.67	0.74	0.17	0.13			0.43	0.13	0.30	0.48	0.34
12	5		8.62	0.73	0.17	0.13			0.43	0.13	0.30	0.47	0.31
13	6		8.58	0.73	0.17	0.13			0.43	0.13	0.30	0.47	0.28
14	7		8.54	0.73	0.17	0.13			0.42	0.13	0.30	0.47	0.25
15	8		8.49	3.67	0.17	0.13	0.22		3.15	0.95	2.21	2.38	1.16
16	9												0.00
17	10												0.00
18	11												0.00
19	12												0.00
20	13												0.00
21	14												0.00
22	15												0.00
23	16												0.00
24	17												0.00
25	18												0.00
26	19												0.00
27	20												0.00
28	21												0.00
29	22												0.00
30	23												0.00
31	24												0.00
32	25												0.00
33	26												0.00
34	27												0.00
35	28												0.00
36	29												0.00
37	30												0.00
<b>Total</b>		<b>-4.34</b>											<b>-0.95</b>

IRR	NPV=
5.14%	-0.95

<参考文献>

Joel Sutter, et al (2012), The use of portable geothermal wellhead generators as small power plants to accelerate geothermal development and power generation in Kenya, GHC bulletin, February 2012

Carlos Atli Cordova Geirdal et al (2013), Economic comparison between a well-head geothermal power plant and a traditional geothermal power plant, Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013

Sachio Ehara, Tetsuro Noda, Wellhead power generation in the early stage of geothermal development, Journal of Geothermal resource society vol. 36, No. 4 (2014), P.143-148

# 卷 末 資 料

10. GDC 公社財務モデル取扱説明書

ケニア国 GDC 地熱開発戦略更新支援プロジェクト

## GDC 公社財務モデル

GDC Corporate Financial Model

(2015US\$) (16.6) (Basic)

取扱説明書



## GDC 公社財務モデル 取扱説明書

## 目 次

第 1 章	はじめに ～本モデルの特徴～	1
第 2 章	モデルの構成	2
第 3 章	「Project」シートの構成	5
第 4 章	「Olkaria_280MW」シート、「Menengai_105MW」シート、 「Headquarter」シートの構成	12
第 5 章	「GDC_Total」シートの構成	17
第 6 章	「GDC_Total(Summary)」シートの構成	19
第 7 章	「Olkaria_280MW」シート、「Menengai_105MW」シート、 「Headquarter」シートの仮定	22
第 8 章	GDC の財務状況下での最大開発計画の探索	24
第 9 章	複数プロジェクトの扱い	26
第 10 章	まとめ	28

## 1. はじめに ～本モデルの特徴～

- (1) GDC 公社財務モデル (GDC Corporate Financial Model) は、GDC の予定している開発プロジェクトの実施が、GDC の公社としての財務状態にどのような影響を及ぼすかをシミュレーションするモデルである。
- (2) このモデルは2つの機能を有する (図-1.1)。1つは My Plan として各プロジェクトに自分の設定した運開年を input すれば、それに応じた GDC の財務3表 (収支計算書、CF 計算書、Balance Sheet) を Output する。
- (3) 第2の機能は、GDC の財務状況が許容される制約条件下で最大の開発計画を求める機能である。すなわち、①GDC の累積 CF が一定期間一定値以下にならないこと、②リグ台数7台 (2020年まで)、との2制約条件下での最大の開発計画を Macro 機能により探索することができる。
- (4) 本モデルが GDC の開発計画策定の際の参考ツールとなることを期待する。

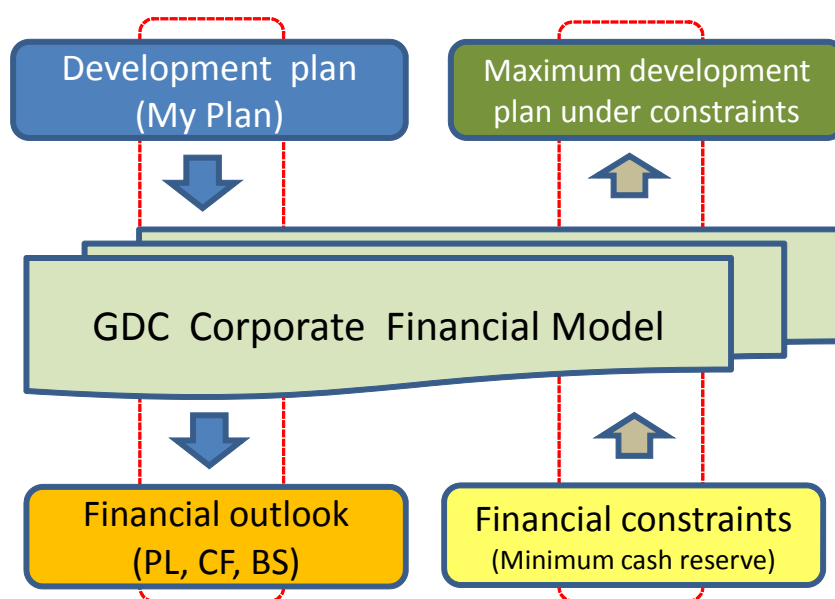


図-1.1 本モデルの機能

## 2. モデルの構成

- (1) 本モデルは図-2.1 に示すように、「Olkaria\_280MW」、「Menengai\_105MW」、「Headquarter」、「Project」、「GDC\_Total」、「GDC\_Total(Summary)」の6シートからなる。

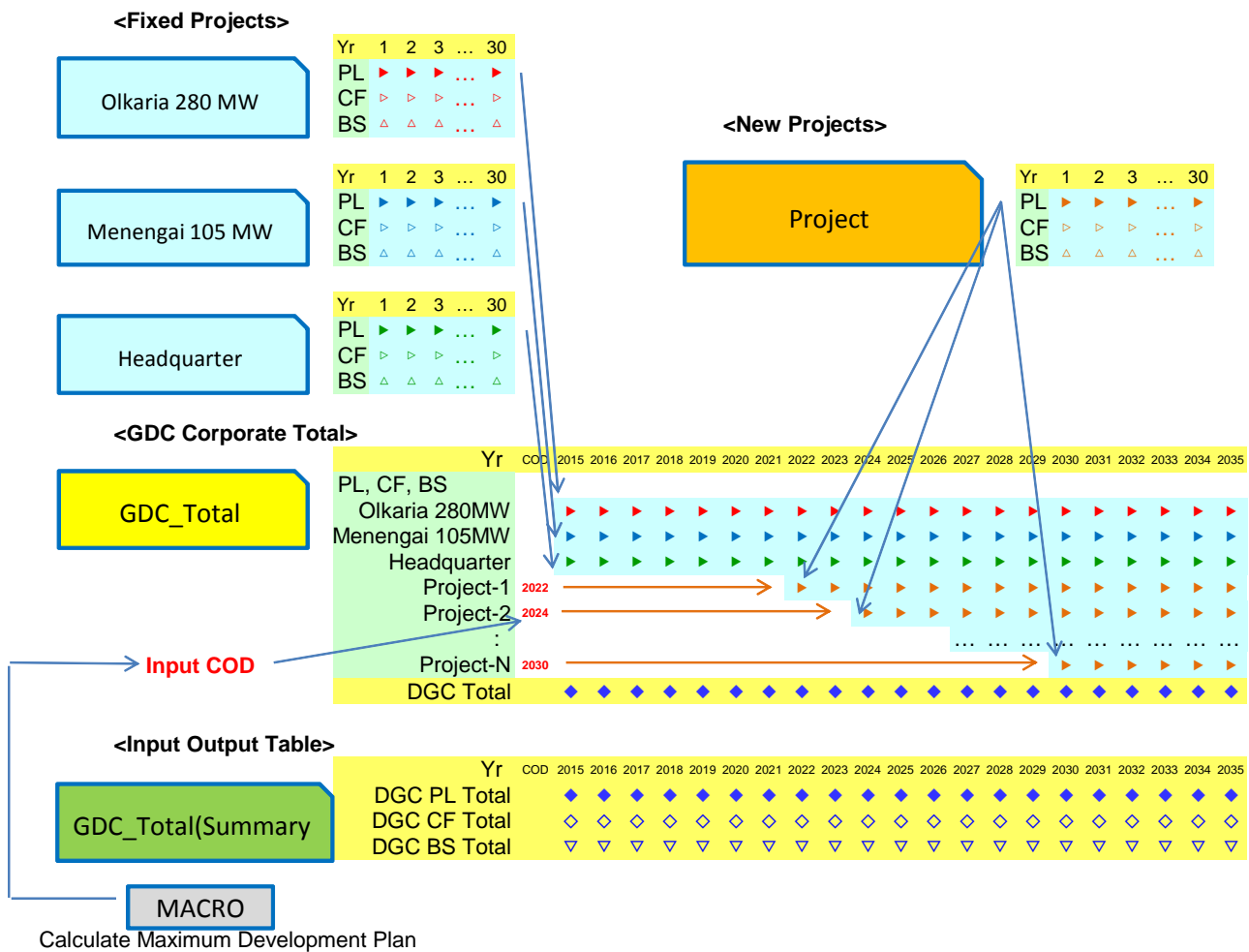


図-2.1 GDC Corporate Financial Mode の構成

- (2) 「Olkaria\_280MW」、「Menengai\_105MW」、「Headquarter」、「Project」の4シートは類似の構造をしており、各プロジェクトの仕様を入力するとプロジェクト毎の損益計算書 (PL表)、キャッシュフロー計算書 (CF表)、貸借対照表 (BS表) を30年間分にわたって出力する。
- (3) 「GDC\_Total」シートは、各プロジェクトの財務3表を合計する。合計に当たり、「Olkaria\_280MW」、「Menengai\_105MW」、「Headquarter」の3シートは確定プロジェクトであるから、2015年を初年度として計算する。これらの確定プロジェクトか

らの cash flows (CF) 見通しの前提条件は後述 (第 7 章) するが、3 つの確定プロジェクトからの CF 収支は全体で図-2.2 のように想定される。

一方、新規プロジェクトはすべて「Project」シートの姿をしているものとする。新規プロジェクト数は最大 30 まで扱える。各新規プロジェクトはそれぞれ与えられた運転開始年 (COD) を初年度とし、その前の建設期間中は建設費をキャッシュアウトし、運転開始後はキャッシュを生み出す。例えば、新規プロジェクトの規模を 70 MW、開発期間 7 年間、開発費総額 US\$ 145million (蒸気部門のみ) と想定する。また、運開後は 10% の期待収益率を得るために蒸気代 US\$ 5.2 cents/kWh で販売するとすると年間約 US\$ 8-10 million の CF を 30 年間生み出す (図-2.3)。

(注: MW、開発期間、開発費総額、蒸気代は変更可能である。)

このようにして、確定プロジェクトと新規プロジェクトを組み合わせることで、GDC 全体の財務 3 表を算出するものである (図-2.4)。

- (4) 「GDC\_Total(Summary)」シートは「GDC\_Total」シートを要約したもので、入出力表を兼ねている。
- (5) 本モデルはインフレーションや蒸気代の値上げは想定しない 2015 年価格で表記している。(これは、長期にわたるインフレーションや蒸気代値上げを想定することが困難であること、また、モデルを単純化するためである。)

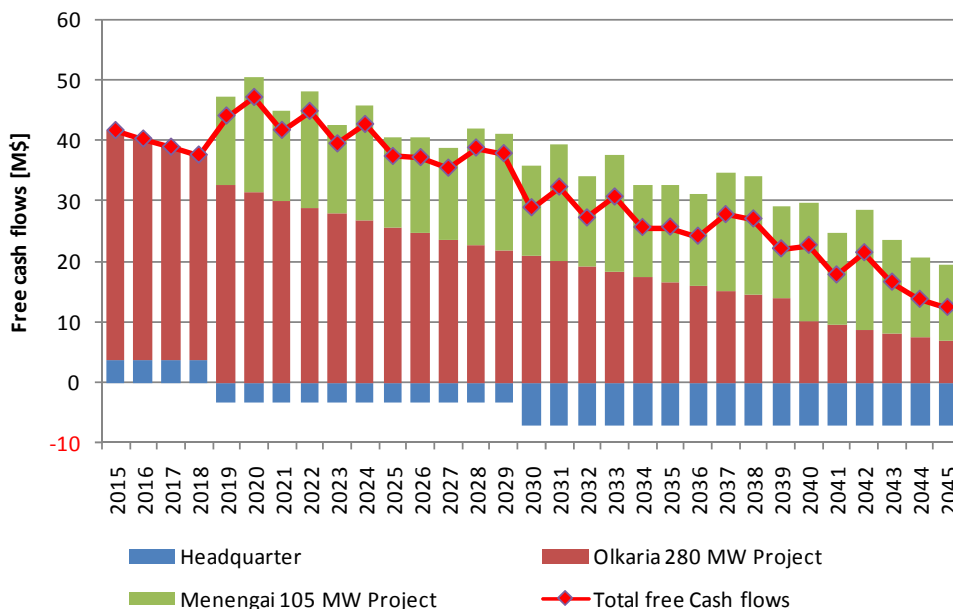


図-2.2 確定プロジェクトからの CF 収支見通し

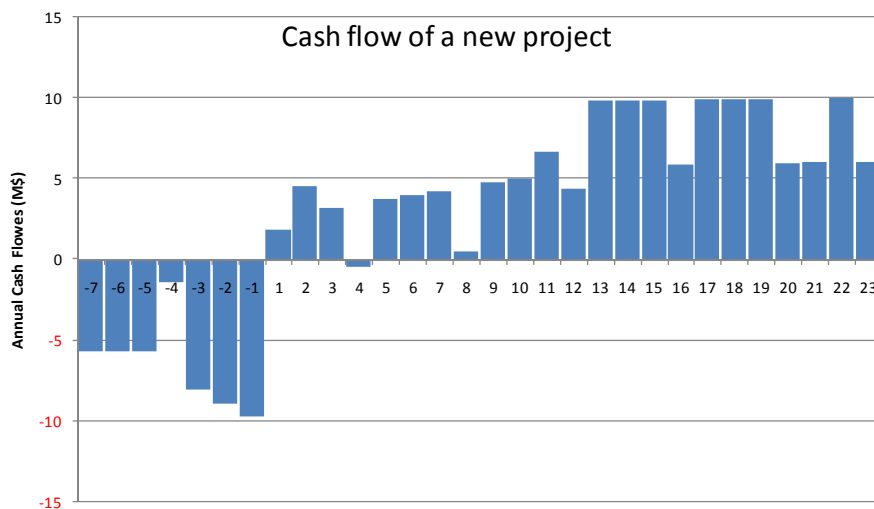


図-2.3 新規プロジェクト(70MW)の CF 収支見通し

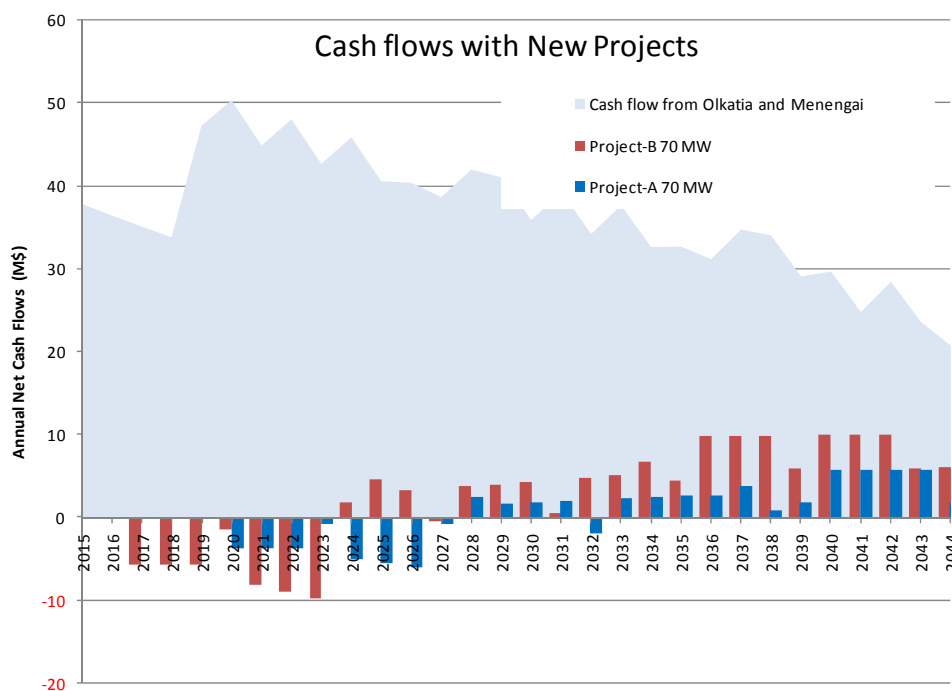


図-2.4 確定プロジェクトと新規プロジェクトとの組み合わせ (Project-A 2022 年運開、Project-B 2030 年運開の場合)

### 3. 「Project」 シートの構成

- (1) 「Project」シートの全体構成は図-3.1 に示すように大きな表である。大きく分けて、(i) プロジェクト前提 (Project Assumptions)、(ii) 建設費想定 (Construction Costs Estimation)、(iii) 建設スケジュール・減価償却 (Construction Schedule & Depreciation)、(iv) 財務 3 表 (Financial Statements)、(v) 融資返済計画 (Repayment Schedule)、(vi) 補充井計画 (Make-up Well Schedule) の 6 つのブロックからなる。
- (2) プロジェクト前提 (Project Assumptions) 部分は図-3.2 に示すように、Field Assumption, Turbine Assumption, Field Activities, Calculation Table of Development Stage Scheduling, Finance Arrangement, Selling Price, Tax 等を入力する部分である。赤字で表示された数字は変更できる。青字で表示されたセルは他シートからの引用数字であり、黒字で表示されたセルは計算式が入っている。これらのセルは変更できない。灰色で表示されたセルはこのモデルでは計算に用いていないことを示している。(以下、同じである。)
- (3) 建設費想定 (Construction Costs Estimation) 部分は図-3.3 に示すように、蒸気開発部門と発電部門とに分け、建設費推定を入力する部分である。
- (4) 建設スケジュール・減価償却 (Construction Schedule & Depreciation) 部分は図-3.4 に示すように、Drilling Schedule, Construction Costs Disbursement Schedule, Calculation of Equity & Debt 部分から成り、それぞれの結果が表示される部分である。
- (5) 財務 3 表 (Financial Statements) 部分は図-3.5 に示すように、蒸気開発部門と発電部門毎に、損益計算書、キャッシュフロー計算書、貸借対照表の結果が示される部分である。
- (6) 融資返済計画 (Repayment Schedule) 部分は図-3.6 に示すように、蒸気開発部門と発電部門毎に、外部融資の返済計画が示される部分である。
- (7) 補充井計画 (Make-up Well Schedule) 部分は図-3.7 に示すように、蒸気開発部門の補充生産井、補充還元井の掘削計画、減価償却費、簿価の計算結果が示される部分である。

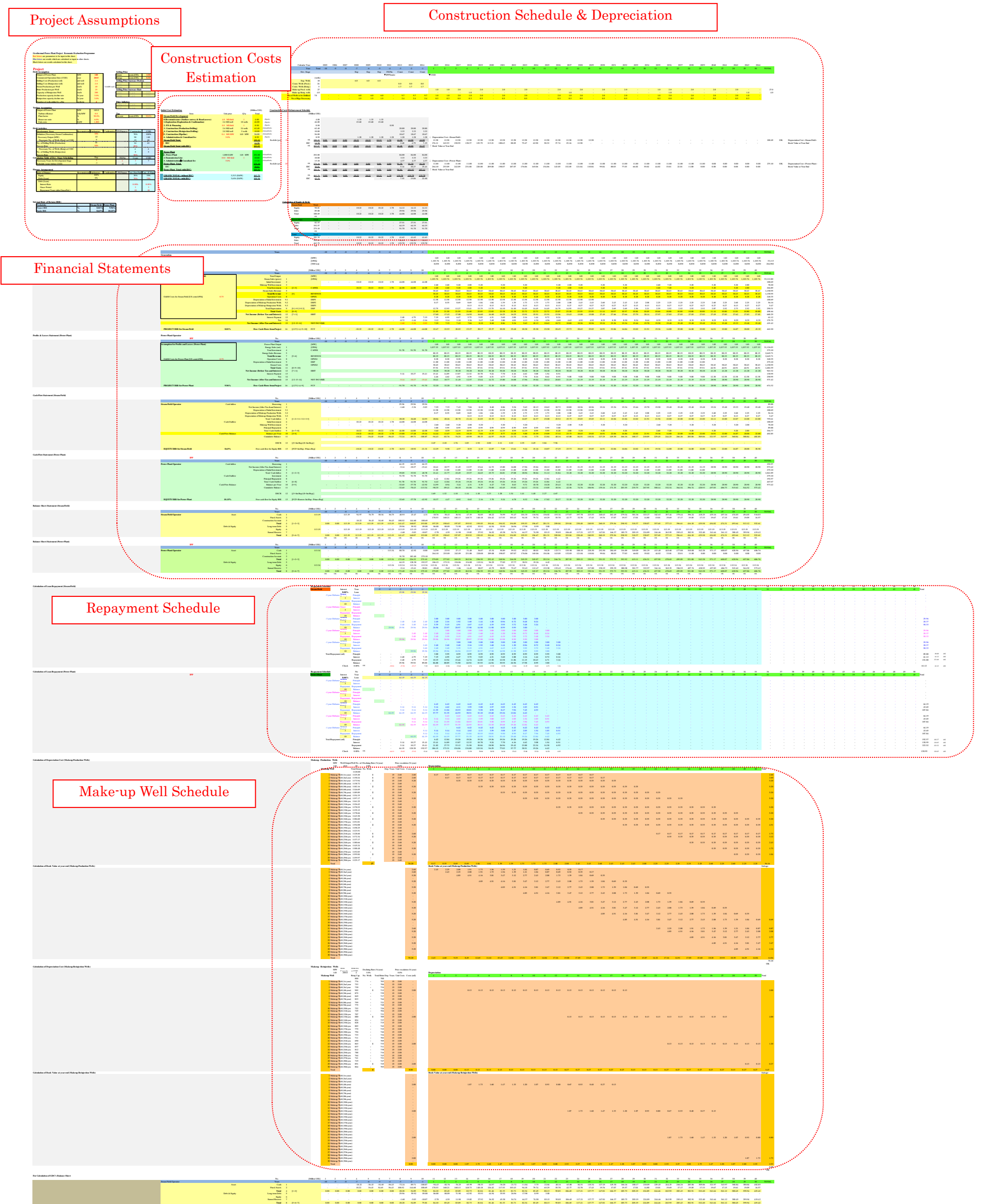


図-3.1 「Project」 シートの全体構成



**Geothermal Power Plant Project Economic Evaluation Programme**

Red letters are parameters to be input in this sheet.

Blue letters are results which are calculated or input in other sheets.

Black letters are results calculated in this sheet.

**Project**

**Field Assumption**

Output of Power Plant	MW	70
Commercial Operation Date (COD)	year	2015
Drilling Cost (Production well)	m\$/well	3.5
Drilling Cost (Reinjection well)	m\$/well	2.9
Steam Production per Well	ton/h	62
Brine Production per Well	ton/h	45
Capacity of Reinjection Well	ton/h	200
Production capacity decline rate	%/year	3.0%
Reinjection capacity decline rate	%/year	3.0%
Number of wells drilled by a Rig	wells/rig	4.0

Drilling 100 days

Steam	cents/kWh	5.22
Energy	cents/kWh	11.88

**Selling Price Increase Portion**

Steam	%	20.0%
Energy	%	20.0%

**Selling Price Increase Rate**

Steam	%/year	0.0%
Energy	%/year	0.0%

**Price Inflation**

Drilling well	%/year	0.0%
O&M costs	%/year	0.0%

**Tax**

Tax rate	cents/kWh	30.0%
----------	-----------	-------

**Turbine Assumption**

Output of Power Plant	MW	70.0
Turbine efficient	(t/h)/MW	7.0
Plant factor	%	90.0%
House use ratio	%	6.0%
Unit costs	\$/kW	1,550

**Field Activities**

Development Stage	Reconnaissance	Exploratory	Confirmation	FS/Finance	Construction	COD	
Definition (Necessary Steam Confirmation)		48%			52%	100%	
Necessary Output (MW)		33.6			36	70	
Necessary No. of Wells (Prod.) at COD		4			4	8	
No. of Drilling Wells (Production)		7			5	12	
Success Rate		66%			90%		
Necessary No. of Wells (Reinj) at COD					2	2	
No. of Drilling Wells (Reinjection)					3	3	
Success Rate					90%		
Calculation Table of Dev. Stage Scheduling				Exp	FS/Fin	Const	COD
Necessary Years for Development Stage		3		1	3	7	
Schedule (years before COD)		-7		-4	-3		

**Finance Arrangement**

Ratio of Finance	Reconnaissance	Exploratory	Confirmation	FS/Finance	Inst.(Stm Fiel)	Inst. (P.Plant)
Equity		100%			30%	30%
Debt (Loan)		0%			70%	70%
Debt (Loan)						
Interest Rate					8.00%	8.00%
Grace Period					3	3
Repayment Years (after GracePrd.)					10	10

Equity cost	Steam	P. Plant
	10.00%	20.00%

**Internal Rate of Return (IRR)**

Profitability		Steam	Power
Project IRR	%	9.92%	15.66%
Equity IRR	%	9.98%	20.00%
Equity IRR difference from target IRR		0.0%	0.0%

Target IRR	Steam	P. Plant
WACC	9.08%	11.60%
WACE	10.00%	20.00%

図-3.2 「Project」シートのプロジェクト前提 (Project Assumptions) 部分









#### 4. 「Olkaria\_280MW」シート、「Menengai\_105MW」シート、「Headquarter」シートの構成

- (1) 「Olkaria\_280MW」、「Menengai\_105MW」、「Headquarter」の各シートの全体構成は図-4.1 に示すように、基本的に「Project」シートと同様の構成をしている。
- (2) このうち、「Olkaria\_280MW」シートのプロジェクト前提（Project Assumptions）部分には図-4.2 に示すような数値が、また、建設費想定（Construction Costs Estimation）部分には図-4.3 に示すような数値が入力されている。
- (3) また、「Menengai\_105MW」シートのプロジェクト前提（Project Assumptions）部分には図-4.4 に示すような数値が、また、建設費想定（Construction Costs Estimation）部分には図-4.5 に示すような数値が入力されている。
- (4) 「Headquarter」シートはプロジェクトではなく、販管部門の支出だけからなるので、プロジェクト前提（Project Assumptions）部分は図-4.6 に示すような数値が、また、建設費想定（Construction Costs Estimation）部分は図-4.7 に示すような数値が入力されている。
- (5) これらの3シートの入力値の前提は第7章で述べる。





### Olkaria 280 MW Project

#### Field Assumption

Output of Power Plant	MW	280
Commercial Operation Date (COD)	year	2015
Drilling Cost (Production well)	m\$/well	2.0
Drilling Cost (Reinjection well)	m\$/well	2.0
Steam Production per Well	ton/h	60
Brine Production per Well	ton/h	60
Capacity of Reinjection Well	ton/h	200
Production capacity decline rate	%/year	3.0%
Reinjection capacity decline rate	%/year	3.0%
Number of wells drilled by a Rig	wells/rig	3

7.5 MW/well

#### Selling Price

Steam	cents/kWh	3.00
Energy	cents/kWh	8.50

#### Selling Price Increase Portion

Steam	%	20.0%
Energy	%	20.0%

#### Selling Price Increase Rate

Steam	%/year	0.0%
Energy	%/year	0.0%

#### Price Inflation

Drilling well	%/year	0.0%
O&M costs	%/year	0.0%

#### Tax

Tax rate	cents/kWh	30.0%
----------	-----------	-------

#### Turbine Assumption

Output of Power Plant	MW	280.0
Turbine efficient	(t/h)/MW	8.0
Plant factor	%	90.0%
House use ratio	%	6.0%
Unit costs	\$/kW	0

KenGen

#### Field Activities

Development Stage	Reconnaissance	Exploratory	Confirmation	FS/Finance	Construction	COD
Definition (Necessary Steam Confirmation)		20%			80%	100%
Necessary Output (MW)		56			224	280
Necessary No. of Wells (Prod.) at COD		8			30	38
No. of Drilling Wells (Production)		11			38	49
Success Rate		75%			80%	
Necessary No. of Wells (Reinj) at COD					12	12
No. of Drilling Wells (Reinjection)					14	14
Success Rate					90%	
Calculation Table of Dev. Stage Scheduling		Exp		FS/Fin	Const	COD
Necessary Years for Development Stage		2		1	3	6
Schedule (years before COD)		-6		-4	-3	

#### Finance Arrangement

Ratio of Finance	Reconnaissance	Exploratory	Confirmation	FS/Finance	Inst.(Stm Field)	Inst. (P.Plant)
Equity		100%			100%	30%
Debt (Loan)		0%			0%	70%
Debt (Loan)						
Interest Rate					8.00%	8.00%
Grace Period					3	3
Repayment Years (after GracePrd.)					10	10

図-4.2 「Olkaria\_280MW」 シートのプロジェクト前提 (Project Assumptions) 部分

#### Initial Cost Estimation

Item	Unit price	Q'ty	(Million US\$)		Construction Costs Disbu
			Total		
<b>Steam Field Development</b>					
0.Reconnaissance (Surface survey & Road access)	4.0 M\$/field	1	4.00		(Equity)
1.Exploration (Exploration & Confirmation)	2.0 M\$/well	11 wells	22.00		(Equity)
2. F/S & Financing	0.5 M\$/field	1	0.50		(Equity)
3. Construction (Production Drilling)	2.0 M\$/well	38 wells	76.00		(Equity&Debt)
4. Construction (Reinjection Drilling)	2.0 M\$/well	14 wells	28.00		(Equity&Debt)
5. Construction (Pipeline)	0.4 M\$/MW	280 MW	112.00		(Equity&Debt)
6. Administration & Consultant fee	5.0%		12.13		(Equity)
<b>Steam Field Total</b>			<b>254.63</b>		EcoLife (yrs) 25
IDC			0.00		
<b>Steam Field Total (with IDC)</b>			<b>254.63</b>		
<b>Power Plant</b>					
1. Power Plant	0 \$/kW	280 MW	0.00		(Equity&Debt)
2.Transmission Line	0.0 M\$/field	1	0.00		(Equity&Debt)
3. Administration & Consultant fee	5.0%		0.00		(Equity&Debt)
<b>Power Plant Total</b>			<b>0.00</b>		EcoLife (yrs) 25
IDC			0.00		
<b>Power Plant Total (with IDC)</b>			<b>0.00</b>		
<b>GRAND TOTAL (without IDC)</b>			909 (\$/kW)	254.63	
<b>GRAND TOTAL (with IDC)</b>			909 (\$/kW)	254.63	

図-4.3 「Olkaria\_280MW」 シートの建設費想定 (Construction Costs Estimation) 部分

### Menengai 105 MW Project

#### Field Assumption

Output of Power Plant	MW	105
Commercial Operation Date (COD)	year	2019
Drilling Cost (Production well)	m\$/well	4.3
Drilling Cost (Reinjection well)	m\$/well	3.5
Steam Production per Well	ton/h	60
Brine Production per Well	ton/h	45
Capacity of Reinjection Well	ton/h	200
Production capacity decline rate	%/year	3.0%
Reinjection capacity decline rate	%/year	3.0%
Number of wells drilled by a Rig	wells/rig	3

7.5 MW/well

#### Selling Price

Steam	cents/kWh	3.50
Energy	cents/kWh	8.50

#### Selling Price Increase Portion

Steam	%	20.0%
Energy	%	20.0%

#### Selling Price Increase Rate

Steam	%/year	0.0%
Energy	%/year	0.0%

#### Price Inflation

Drilling well	%/year	0.0%
O&M costs	%/year	0.0%

#### Tax

Tax rate	cents/kWh	30.0%
----------	-----------	-------

#### Turbine Assumption

Output of Power Plant	MW	105.0
Turbine efficient	(t/h)/MW	8.0
Plant factor	%	90.0%
House use ratio	%	6.0%
Unit costs	\$/kW	

IPP

#### Field Activities

Development Stage	Reconnaissa	Exploratory	Confirmation	FS/Finance	Construction	COD
Definition (Necessary Steam Confirmatio		100%			0%	100%
Necessary Output (MW)		105			0	105
Necessary No. of Wells (Prod.) at COI		14			0	14
No. of Drilling Wells (Production)		28			0	28
Success Rate		50%			80%	
Necessary No. of Wells (Reinj) at COD					4	4
No. of Drilling Wells (Reinjection)					5	5
Success Rate					90%	

#### Calculation Table of Dev. Stage Scheduling

	Exp	FS/Fin	Const	COD
Necessary Years for Development Stage	3	0	3	6
Schedule (years before COD)	-6	-3	-3	

#### Finance Arrangement

Ratio of Finance	Reconnaissa	Exploratory	Confirmation	FS/Finance	Const.(Stm Fiel	Const. (P.Plant
Equity		100%			100%	30%
Debt (Loan)		0%			0%	70%
Debt (Loan)						
Interest Rate					8.00%	8.00%
Grace Period					3	3
Repayment Years (after GracePrd.)					10	10

図-4.4 「Menengai\_105MW」 シートのプロジェクト前提 (Project Assumptions) 部分

#### Initial Cost Estimation

Item	Unit price	Qty	(Million US\$)		Construction Costs Disbu
			Total		
<b>Steam Field Development</b>					
0.Reconnaissance (Surface survey & Road access)	15.0 M\$/field	1	15.00		(Equity)
1.Exploration (Exploration & Confirmation)	4.3 M\$/well	28 wells	120.40		(Equity)
2. F/S & Financing	0.5 M\$/field	0	0.00		(Equity)
3. Construction (Production Drilling)	4.3 M\$/well	0 wells	0.00		(Equity&Debt)
4. Construction (Reinjection Drilling)	3.5 M\$/well	5 wells	17.50		(Equity&Debt)
5. Construction (Pipeline)	0.85 M\$/MW	105 MW	89.25		(Equity&Debt)
6. Administration & Consultant fee	5.0%		12.11		(Equity)
<b>Steam Field Total</b>			<b>254.26</b>		EcoLife (yrs) 25
IDC			0.00		
<b>Steam Field Total (with IDC)</b>			<b>254.26</b>		
<b>Power Plant</b>					
1. Power Plant	0 \$/kW	105 MW	0.00		(Equity&Debt)
2.Transmission Line	0.0 M\$/field	1	0.00		(Equity&Debt)
3. Administration&Consultant fee	5.0%		0.00		(Equity&Debt)
<b>Power Plant Total</b>			<b>0.00</b>		EcoLife (yrs) 25
IDC			0.00		
<b>Power Plant Total (with IDC)</b>			<b>0.00</b>		
<b>GRAND TOTAL (without IDC)</b>		2,422 (\$/kW)	<b>254.26</b>		
<b>GRAND TOTAL (with IDC)</b>		2,422 (\$/kW)	<b>254.26</b>		

図-4.5 「Menengai\_105MW」 シートの建設費想定 (Construction Costs Estimation) 部分

**Headquarter**

**Field Assumption**

Output of Power Plant	MW	
Commercial Operation Date (COD)	year	2014
Drilling Cost (Production well)	m\$/well	
Drilling Cost (Reinjection well)	m\$/well	
Steam Production per Well	ton/h	1
Brine Production per Well	ton/h	1
Capacity of Reinjection Well	ton/h	1
Production capacity decline rate	%/year	
Reinjection capacity decline rate	%/year	
Number of wells drilled by a Rig	wells/rig	3

**Turbine Assumption**

Output of Power Plant	MW	0.0
Turbine efficient	(t/h)/MW	
Plant factor	%	
House use ratio	%	
Unit costs	\$/kW	

**Selling Price**

Steam	cents/kWh	
Energy	cents/kWh	

**Selling Price Increase Portion**

Steam	%	20.0%
Energy	%	20.0%

**Selling Price Increase Rate**

Steam	%/year	0.0%
Energy	%/year	0.0%

**Price Inflation**

Drilling well	%/year	0.0%
O&M costs	%/year	0.0%

**Tax**

Tax rate	cents/kWh	30.0%
----------	-----------	-------

**Field Activities**

Development Stage	Reconnaissance	Exploratory	Confirmation	FS/Finance	Construction	COD
Definition (Necessary Steam Confirmation)		40%			60%	100%
Necessary Output (MW)		0			0	0
Necessary No. of Wells (Prod.) at COD		0			0	0
No. of Drilling Wells (Production)		0			0	0
Success Rate		50%			80%	
Necessary No. of Wells (Reinj) at COD					0	0
No. of Drilling Wells (Reinjection)					0	0
Success Rate					90%	

**Calculation Table of Dev. Stage Scheduling**

	Exp	FS/Fin	Const	COD
Necessary Years for Development Stage	3	1	2	6
Schedule (years before COD)	-6	-3	-2	

**Finance Arrangement**

Ratio of Finance	Reconnaissance	Exploratory	Confirmation	FS/Finance	Inst.(Stm Field)	Crst.(P.Plant)
Equity		100%			100%	30%
Debt (Loan)		0%			0%	70%
Debt (Loan)						
Interest Rate					8.00%	8.00%
Grace Period					3	3
Repayment Years (after GracePerd.)					10	10

図-4.6 「Headquarter」 シートのプロジェクト前提 (Project Assumptions) 部分

**Initial Cost Estimation**

Item	Unit price	Q'ty	(Million US\$)		Construction Costs Disbu
			Total		
<b>Steam Field Development</b>					
<b>Headquarter Assets</b>	190.0 M\$/field	1	190.00		(Equity)
1.Exploration (Exploration & Confirmation)	0.0 M\$/well	0 wells	0.00		(Equity)
2. F/S & Financing	0.5 M\$/field	0	0.00		(Equity)
3. Construction (Production Drilling)	0.0 M\$/well	0 wells	0.00		(Equity&Debt)
4. Construction (Reinjection Drilling)	0.0 M\$/well	0 wells	0.00		(Equity&Debt)
5. Construction (Pipeline)	0.4 M\$/MW	0 MW	0.00		(Equity&Debt)
6. Administration & Consultant fee	0.0%		0.00		(Equity)
<b>Steam Field Total</b>			190.00		EcoLife (yrs) 15
IDC			0.00		
<b>Steam Field Total (with IDC)</b>			190.00		
<b>Power Plant</b>					
1. Power Plant	0 \$/kW	0 MW	0.00		(Equity&Debt)
2. Transmission Line	0.0 M\$/field	0	0.00		(Equity&Debt)
3. Administration & Consultant fee	5.0%		0.00		(Equity&Debt)
<b>Power Plant Total</b>			0.00		EcoLife (yrs) 25
IDC			0.00		
<b>Power Plant Total (with IDC)</b>			0.00		
<b>GRAND TOTAL (without IDC)</b>	#DIV/0!	(\$/kW)	190.00		
<b>GRAND TOTAL (with IDC)</b>	#DIV/0!	(\$/kW)	190.00		

図-4.7 「Headquarter」 シートの建設費想定 (Construction Costs Estimation) 部分

## 5. 「GDC\_Total」シートの構成

- (1) 「GDC\_Total」シートは図-5.1 に示す構成をしている。
- (2) 以下の項目に関して、各プロジェクトの合計値を 2014 年から 2064 年までの 50 年間にわたり算出する。
- ① 開発計画関係
    - OUTPUT(MW)
    - RIGs needed
    - Wells to be Drilled
  - ② 損益計算書関係
    - Revenue
    - OPEX
    - Total Depreciation
    - EBIT
    - Interest Payment
    - Tax
    - Net Income (after Tax)
  - ③ キャッシュフロー計算書関係
    - Long-term Loan for Construction
    - Cash Inflows
    - CAPEX
    - Loan Repayment (Principal)
    - Cash Outflows
    - Net Cash Flows
  - ④ 貸借対象表関係
    - Cash
    - Fixed Asset
    - Asset Total
    - Long-term Debt
    - Equity
    - Earned Reserve
    - Debt & Equity Total



## 6. 「GDC\_Total (Summary)」 シートの構成

- (1) 「GDC\_Total(Summary)」シートは「GDC\_Total」シートを要約したもので、図-6.1に示す構成をしている。
- (2) 表示項目は次の各項目であり、GDC としての合計値のみを 2014 年から 2064 年までの 50 年間にわたり示している。
  - ① 開発計画(Development Plan)
    - OUTPUT(MW)
    - RIGs needed
    - Wells to be Drilled
  - ② 損益計算書(Profits and Losses of GDC)
    - Revenue
    - OPEX
    - Total Depreciation
    - EBIT
    - Interest Payment
    - Tax
    - Net Income (after Tax)
    - Net Income (after Tax) (cumulative)
  - ③ キャッシュフロー計算書(Cash Flow Statements of GDC)
    - Cash Inflows
      - Net Income (after Tax)
      - Borrowings for Construction
      - Total Depreciation
    - Cash Outflows
      - CAPEX
      - Loan Repayment (Principal)
    - Net Cash Flows
    - Net Cash Flows (cumulative)
  - ④ 貸借対象表(Balance Sheet of GDC)
    - Asset Total
      - Cash
      - Fixed Asset
    - Debt & Equity Total
      - Long-term Debt
      - Equity
      - Earned Reserve
  - ⑤ 財務指標 (Financial Analysis)
    - Return on Sales (ROS)

- Return on Asset (ROA)
  - Return on Equity (ROE)
  - Debt to Capital [D/(D+E)]
  - Debt Service Coverage Ratio
- ⑥ <再掲>プロジェクト別キャッシュフロー (Break down of Net Cash Flows by Project)

(3) 「GDC\_Total(Summary)」の上部には、財政制約下における最大開発計画を探索する Macro のボタンがある。同ボタンの右欄に、

- ① 2030年までのリグ数 (default 値は 12 台)
- ② GDC の累積 CF が制約値を下回ることを許容する最大年数 (default 値は 1 年。また、入力可能値は 1 年、2 年、3 年のいずれかである。)
- ③ GDC の累積 CF の制約値 (default 値はマイナス US\$ 0.0 million)  
の制約値を入力し、Macro ボタンを押すと Macro がその制約条件下での最大開発計画を探索する。



Click the Macro button to calculate the maximum development plan under given constraints.

Constraints - Upper limit of number of Rigs until the year of 2030 [count]  
 0 Upper limit of number of consecutive years that show negative Net Cash Flows (cum.) [years] <This number should be less than three (3).>  
 -0.0 Lower limit of negative Net Cash Flows (cum.) [M\$] <This number should be negative.>

Conditions 3.5 Drilling costs [M\$/well]  
 3.916 Construction Costs with IDC [\$/AW]  
 4 Number of wells drilled by a rig [wells/year]

Date 2/1/17  
 Time 15:43:31 PM

GDC TOTAL (Summary) [2015US\$]

Output (MW)	No.	Field	COD	[MW]	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
1	Headquarter	2015		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Okaria_280MW	2015	280	0	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
3	Menengai_105MW	2019	105	0	0	0	0	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
4	Project-1	2024	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	Project-2	2024	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	Project-3	2024	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	Project-4	2024	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	Project-5	2028	735	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	Project-6	2031	805	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	Project-7	2031	875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	Project-8	2031	945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	Project-9	2033	1,015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	Project-10	2033	1,085	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	Project-11	2033	1,155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	Project-12	2036	1,225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	Project-13	2038	1,295	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	Project-14	2038	1,365	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	Project-15	2038	1,435	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	Project-16	2038	1,505	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	Project-17	2039	1,575	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	Project-18	2039	1,645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	Project-19	2040	1,715	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	Project-20	2040	1,785	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	Project-21	2040	1,855	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	Project-22	2040	1,925	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	Project-23	2040	1,995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	Project-24	2040	2,065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	Project-25	2042	2,135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	Project-26	2043	2,205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	Project-27	2043	2,275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	Project-28	2044	2,345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	Project-29	2044	2,415	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	Project-30	2045	2,485	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
GDC Total Capacity [MW]					0	280	280	280	280	385	385	385	385	385	665	665	665	665	735	735	735	945	945	1,155	1,155	1,155	1,225	1,225	1,505	1,645	2,065	2,065	2,135	2,275	2,415	2,485	2,205	2,205	2,205	2,100	2,100	
Rigs needed and Wells to be drilled [count]					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
Rigs needed					9	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Wells to be Drilled					24	10	3	9	9	10	0	14	13	14	11	15	18	15	16	11	19	28	26	34	28	36	28	45	40	39	25	24	19	24	12	9	12	13	5	8	12	
Profits and Losses of GDC Total [M\$]					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
1 Revenue					0	155	119	64	82	88	88	84	82	81	105	193	162	190	188	216	183	300	399	384	383	392	410	409	523	580	732	751	779	836	892	920	894	894	894	865	865	
2 OPEX					0	27	27	27	27	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
3 Depreciation					0	23	23	2																																		

## 7. 「Olkaria\_280MW」シート、「Menengai\_105MW」シート、「Headquarter」シートの仮定

(1) 確定プロジェクトである「Olkaria\_280MW」シート、「Menengai\_105MW」シート、「Headquarter」シートは、次のような仮定を置いている。

- ① GDC は、2015 年から Olkaria 280MW からの蒸気販売収入があるため、2015 年以降は政府からの支援はないものとする。
- ② Menengai 105MW は 2019 年から IPP への蒸気販売収入が期待できるとする。ただし、それ以前の 2015 年、2016 年に蒸気井掘削、PL 敷設の投資を必要とする。この投資額や資材の在庫を 2014 年末に基金 (seed cash) としてキャッシュで保有していると考え、この基金 (seed cash) 総額を US\$ 160 million と想定する。
- ③ GDC は 2014 年末現在、US\$ 650 million の資産を有する。この資産のプロジェクト別内訳を次のように想定した。

表-7.1 GDC の資産のプロジェクト別推定 (2014 年末) [US\$ million]

Section	Head quarter	Olkaria	Menengai	Total
Exploration Assets		250	110	360
Equipment	190			190
Inventories			50	50
Cash & Receivables	50			50
Total	240	250	160	650

(2) Olkaria\_280MW の前提

- ① Olkaria に 60 本の井戸資産を有する。資産価値を US\$ 250 million とする。
- ② この資産から 280 MW 分の蒸気が得られる。
- ③ 蒸気代を US\$ 3.0 cents/kWh とし、2015 年から年間約 US\$ 66 million の収入が期待できる。ただし、年 3% の蒸気減衰にともない、収入も順次減少するとする。(補充井の掘削は KenGen が行うと考えた。)
- ④ O&M 費を考慮すると Cash Flow (CF) ベースでの収入は年間約 US\$ 40-15 million と想定される。

(3) Menengai\_105MW の前提

- ① IPP による発電所建設工事の遅れに伴い、蒸気供給開始を 2019 年とする。
- ② GDC はこれまでに 21 本の生産井を保有している。しかし、さらにあと 12 本の生産井・還元井の掘削が必要とする。
- ③ 現在の資産価値を US\$110 million と想定し、今後、生産井・還元井掘削、蒸気パイプライン整備も必要で、これらの投資に今後 2015-2016 年の 2 年間にさらに US\$ 145 million の資金が必要と想定する。
- ④ 2019 年以降は蒸気代 US\$ 3.5 cents/kWh とし年間約 US\$ 30 million の収入を

期待する。

- ⑤ GDC は蒸気量の減衰に対し、補充井を掘削するものとする。
- ⑥ O&M 費や追加井掘削費を考慮すると、収入は CF ベースで年間約 US\$ 20 million と考えられる。

(4) 本社経費

- ① 本社は US\$ 190 million の設備と US\$ 50 million の現金・債権を有し、また、経費として毎年約 US\$ 10 million を CF ベースで支出する。
- ② この支出は毎年一定とする。

(5) 以上、これらの仮定をまとめると表-7.2 の通り。

表-7.2 確定プロジェクトの収支見通しの仮定

Olkaria [280MW]		Dec. 2014		
Existing Wells	60 wells			
Assets	250 M\$			
Capacity	280 MW			
Generation	2,200 GWh/year			
Tariff	3.0 UScents/kWh			
Revenue	66 M\$/year			
Revenue decline	3 %/year			
Net Cash Flows	40-15 M\$/year			

Menengai [105 MW]		Dec. 2014	2015-2018	Jan. 2019 -
Existing Wells	21 wells	12 wells	33 wells	
Assets	110 M\$	145 M\$	255 M\$	
Capacity	- MW		105 MW	
Generation	- GWh/year		830 GWh/year	
Tariff	- UScents/kWh		3.5 UScents/kWh	
Revenue	- M\$/year		29 M\$/year	
Revenue decline	- %/year		- %/year	
Net Cash Flows	- M\$/year	- M\$	apr. 20 M\$/year	

Headquarter		Dec. 2014
Assets	190 M\$	
Cash & Receivables	50 M\$	
Expenditure	▲ 10 M\$/year	
Net Cash Flows	▲ 10 M\$/year	

## 8. GDC の財務状況下での最大開発計画の探索

- (1) 本 Model は一定の制約条件下での最大の開発計画を探索することができる。
- (2) 制約条件としては次のとおりである。
  - ① 2020 年までのリグ数 (default 値は 7 台)
  - ② GDC の累積 CF が制約値を下回ることを許容する最大年数 (default 値は 1 年。また、入力可能値は 1 年、2 年、3 年のいずれかである。)
  - ③ GDC の累積 CF の制約値 (default 値はマイナス US\$ 0.0 million)
- (3) 最大開発計画の探索は Macro が行う。上記の制約値を入力し、Macro ボタンを押すと Macro がその制約条件下での最大開発計画を探索する。
- (4) この作業を模式化すると図-8.1、図-8.2 の通り。

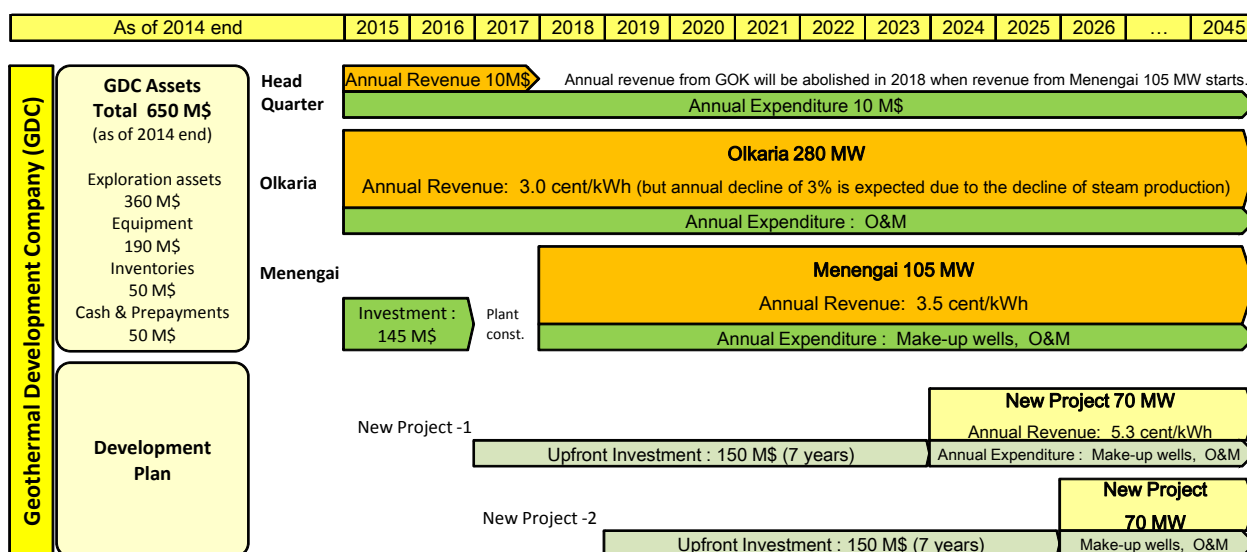
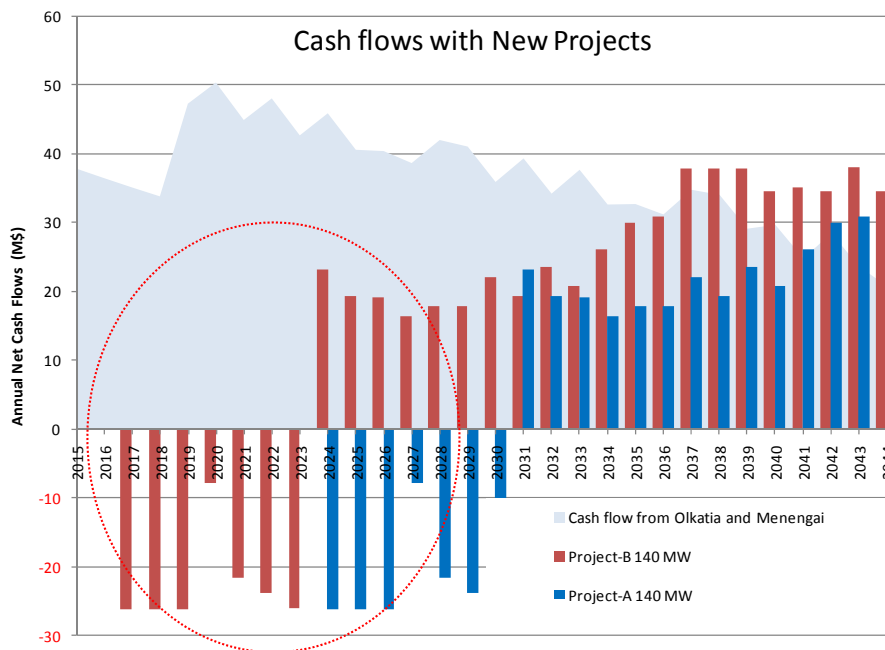


図-8.1 制約条件下での最大開発計画の算出(1)



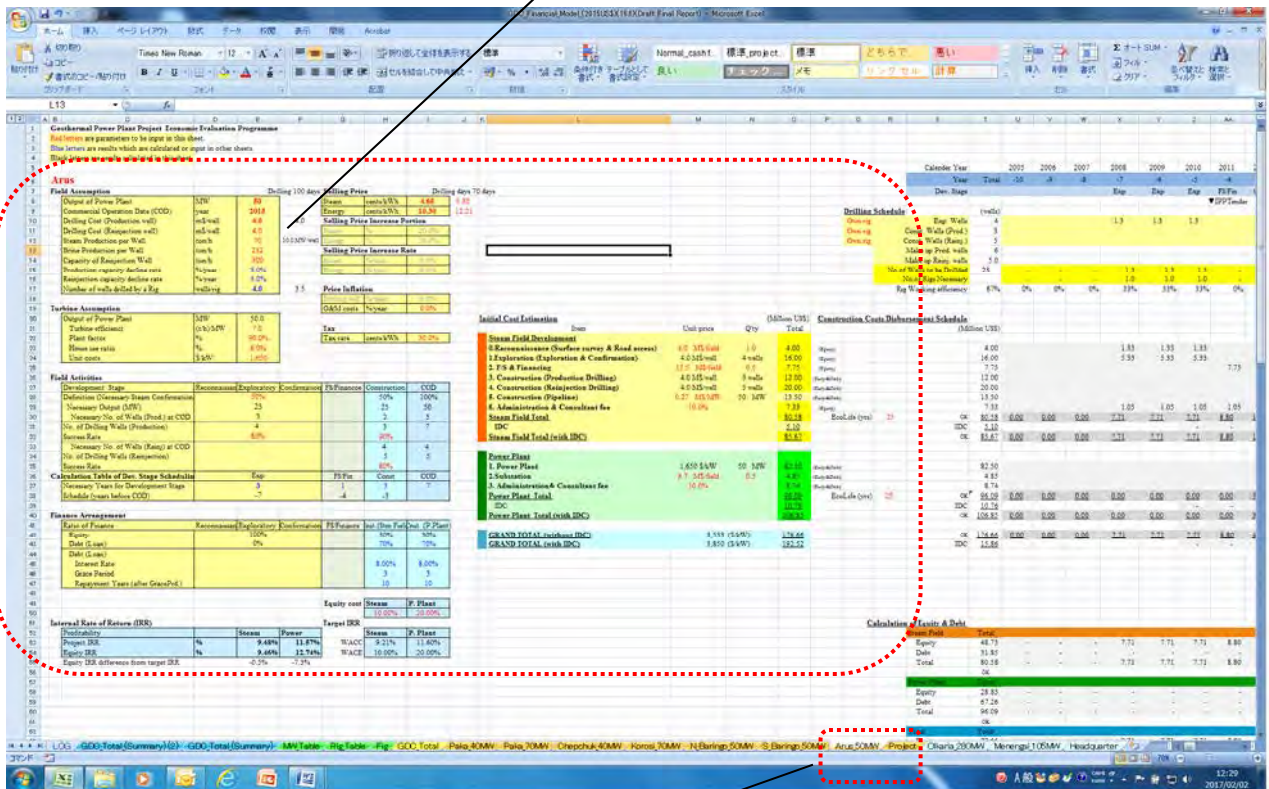
GDC の累積 CF を制約条件の範囲内としつつ、新規プロジェクトを最大いつからいくつ開始することが可能か？

図-8.2 制約条件下での最大開発計画の算出(2)

### 9. 複数プロジェクトの扱い

- (1) 本モデルは将来のプロジェクトについて「Project」シート1枚で対応している。しかし、実際には複数のプロジェクトを考慮したい場合がある。例えば、Arus (50MW)、Korosi (70MW)などのプロジェクトを考慮したい場合である。
- (2) この場合は、「Project」シートをコピーして、例えば「Arus\_50MW」、「Korosi\_70MW」などと名付け、各プロジェクトの特性値を入力する(図-9.1)。その上で、「GDC\_Total(Summary)」シートでのプロジェクト欄に「Arus\_50MW」、「Korosi\_70MW」などと入力する。すると、これらのシートの値が「GDC\_Total(Summary)」シートに引用される(図-9.2)。
- (3) その上で、「GDC\_Total(Summary)」シートのマクロボタンをクリックするとこれらのプロジェクトを考慮した最大開発計画が計算される。

Arus (50MW) プロジェクトの特性値を入力する



「Project」シートをコピーして「Arus\_50MW」シートとする

図-9.1 「Arus\_50MW」シートの作成

Arus (50MW) プロジェクト等の  
名前を入力する

GDC TOTAL (Summary) [2015US\$]							Click the Macro button to calculate the maximum development plan under given constraints																	
5 Fields Medium Development Plan							Constraints																	
							Upper limit of number of Rigs until the year of 2030 [count]																	
							0 Upper limit of number of consecutive years that show negative Net Cash Flows (cum.) [DAYS] <This sum																	
							-0.0 Lower limit of negative Net Cash Flows (cum.) [DAYS] <This sum																	
Output (MW)	No.	Field	COD	[MW]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
	1	Headquarter	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	Oltaria_30MW	2015	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
	3	Mtengeti_105MW	2019	385	0	0	0	0	108	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	
	4	Paika_70MW-1	2027	455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70	70	70	
	5	Paika_70MW-2	2028	525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70	70	70	
	6	Paika_70MW-3	2029	595	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70	70	
	7	Paika_40MW-4	2030	435	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	40	40	40	40	
	8	Korosi_70MW-5	2030	705	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	
	9	Korosi_70MW-6	2031	775	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	
	10	N_Baringo_50MW-7	2037	825	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11	Arus_50MW-8	2037	875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	S_Baringo_50MW-9	2037	925	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	Chapchuk_40MW-10	2041	965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	14	Project-11	2024	1,025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70	70	70	70	
	15	Project-12	2024	1,105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70	70	70	70	
	16	Project-13	2024	1,175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70	70	70	70	
	17	Project-14	2027	1,245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70	70	70	
	18	Project-15	2035	1,295	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	19	Project-16	2036	1,345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20	Project-17	2035	1,395	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	21	Project-18	2039	1,435	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	22	Project-19	2039	1,505	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	23	Project-20	2039	1,575	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	24	Project-21	2039	1,645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	25	Project-22	2039	1,715	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	26	Project-23	2039	1,785	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	27	Project-24	2039	1,855	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28	Project-25	2042	1,925	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	29	Project-26	2044	1,995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	30	Project-27	2044	2,065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	31	Project-28	2044	2,135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	32	Project-29	2044	2,205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	33	Project-30	2046	2,275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	GDC Total Capacity [MW]				0	280	280	280	280	385	385	385	385	385	385	595	595	595	735	805	875	965	1,055	1,055
	Rigs needed and Wells to be drilled				[count]	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	RIGs needed				9	4	1	3	3	4	2	7	7	8	9	9	6	10	8	7	12	10	16	
	Wells to be Drilled				24	10	3	6	6	7	2	13	13	14	14	16	16	19	18	14	16	11	31	
	Profit and Losses of GDC Total				[DAYS]	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	1 Revenue				0	155	119	64	62	68	86	84	82	81	123	151	120	183	168	213	209	255	254	
	2 OPEX				0	27	27	27	27	33	33	33	33	33	45	45	45	53	58	62	68	72	72	
	3 Depreciation				0	23	23	23	23	33	33	33	33	34	48	49	49	56	60	63	56	60	61	
	4 EBIT				0	105	70	13	13	22	20	18	16	15	30	58	26	73	51	83	84	133	131	
	5 Interest Payment				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6 Tax				0	32	21	4	4	6	6	4	2	0	4	12	1	15	7	18	17	24	24	
	7 Net Income (after Tax)				0	74	49	10	9	15	14	9	5	1	10	27	3	34	16	42	40	69	68	
	8 Net Income (after Tax) (Cum.)				0	74	123	133	142	157	171	181	186	187	196	204	207	201	217	319	359	428	496	
	Cash flows of GDC Total				[DAYS]	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032

図-9.2 「GDC\_Total(Summary)」シートへのプロジェクト名の入力

## 10. まとめ ～本モデルのもう1つの特徴～

- (1) 以上、GDC 公社財務モデル（GDC Corporate Financial Model）の使用方法を概略述べてきた。
- (2) 以上の説明で分かる通り、本モデルは EXCEL シートをベースにしている。従って、基本的な構成が理解できると、これを読者自身が自分に適した形に変更することが容易に行える。これが本モデルの持つもう一つの特徴である。
- (3) 本モデルが GDC 関係者の開発戦略更新作業に役立ち、また、GDC 関係者自身が本モデルを適宜カスタマイズし、より GDC にあったモデルに改良して頂ければ幸いである。