

UDC 621.311.22:551.23



松川地熱発電所の概要

佐 藤 準

ま え が き

「地熱発電」に関しての解説に関してはすでに各種の報文が多数発表されているので、今回は主として、昨年10月岩手県松川地区において、地熱発電所としてわが国最初の営業を開始した東化工（株）松川地熱発電所の設備概要について述べる。

1. 松川地熱開発の経緯

昭和27年、岩手県松尾村が温泉開発のため松川地区にボーリングを始めたところ、温泉の代わりに異常な蒸気の噴出をみた。これが現在の松川地熱発電所の端緒となったものであり、電力多消費産業である合金鉄製造の電炉工業を主体とする東化工が地熱に着目し、現地調査を始めたのは昭和31年からである。以来、工業技術院地質調査所と共同で基礎調査研究を始め、昭和38年には科学技術庁の認可のもとに、新技術開発事業団と一部受託契約を結んで本格的な開発がなされたのである。

生産井については、同年8月、1号井掘削が開始され、翌年1月予想以上の噴気を見、その後、2、3号の順に継続された。

佐藤 準：東化工株式会社

最初 5,000 kW の発電を考えていたが、1号井の噴気の結果、急きょ計画を 20,000 kW に変更して、昭和39～41年に設備計画、昭和40～41年建設工事を経、昭和41年9月試運転、同10月営業運転の運びとなった。

2. 地熱発電の特質

一般発電所との特異点として、次の事項が考えられる。

(1) 最近の進歩した地熱探査技術によっても、計画時点における開発可能出力およびその他必要な資料を得ることは困難で、蒸気井の噴気後でなければ設備計画の決定はできない。今後の探査技術の進歩が待たれるゆえんである。

(2) 地熱発電で使用する天然蒸気はいろいろな不純物を含んでおり、地域的にもそれぞれ特徴があるので、それらに適應する発電設備方式を計画しなければならない。

また、水力、火力発電の中間的性格として、

(1) 地熱発電開発地域はたいてい山岳辺地であり、(都市に近い、あるいは温泉地として開発が進んでいる地域で有望な地域が存在するかもしれないが、現段階では社会的、経済的障害があると思われる) 発電所位置は地熱蒸気の地上輸送可能な経済的距離限界から、ほとんどその地域内に限定される。一般火力発電所のような立地条件を選択することはできない。

(2) 諸外国の例にも見られるとおり、1本の蒸気井からの噴気エネルギーは少なく、現在の新鋭火力のような容量の大きいユニットの開発が困難である。

(3) ボイラーに相当する蒸気井が噴気を続ける限り、燃料費なしの発電ができ、かつ貯蔵困難な蒸気を大気放出することはエネルギー源の浪費でもあり、機器にも障害となるので、負荷調整などのない連続運転を原則とすべきである。

次に、松川の地熱発電の計画には次の諸点が考慮された。

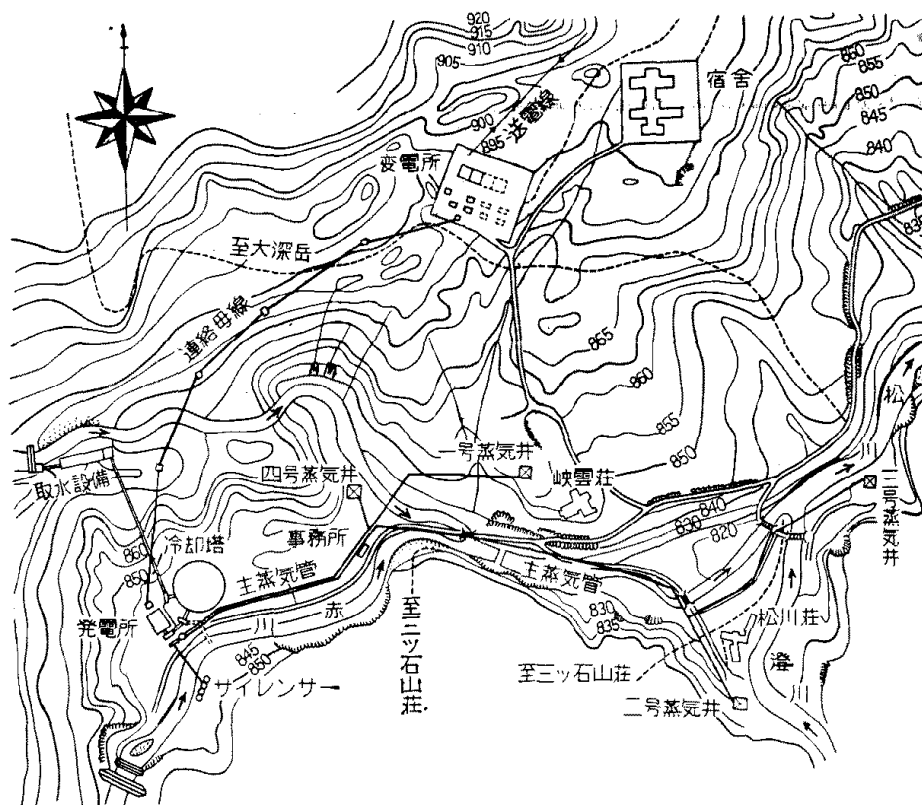
(1) わが国最初の商業用発電所である。

(2) 科学技術庁の認可を得て、新技術開発事業団と「地熱発電技術」に関する受託契約を結んで発足した。

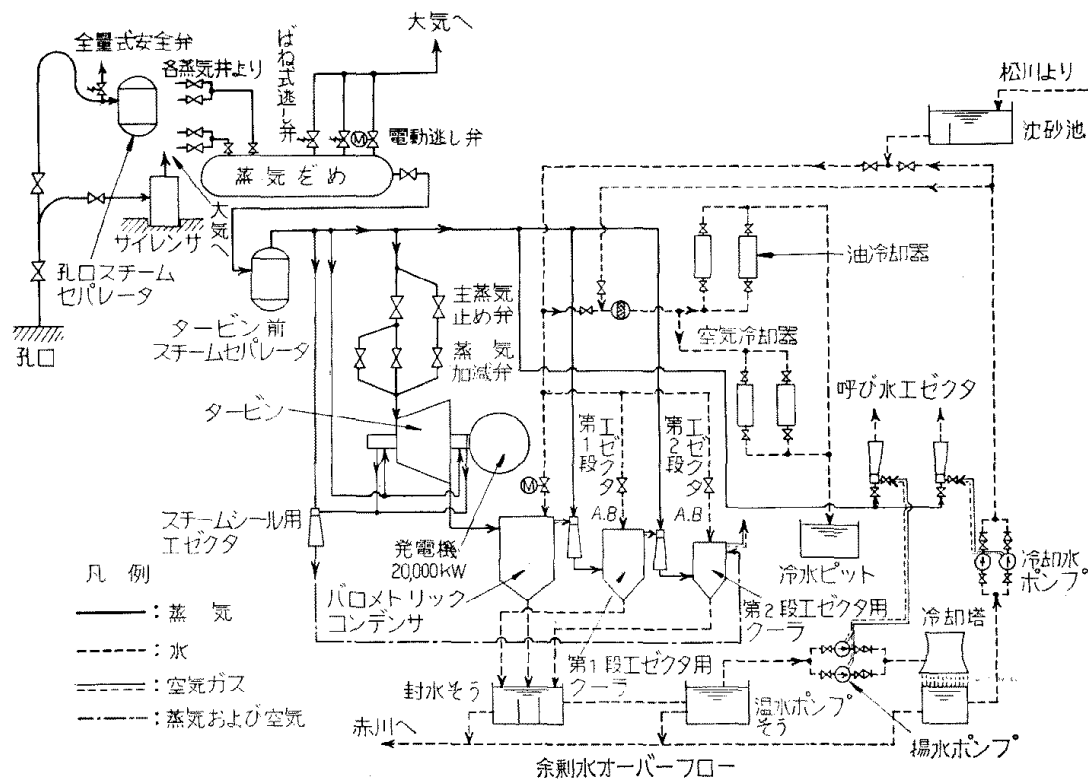
(3) 発電所は自家発電であるが、最初の1基分については東北電力（株）に全量売電する。

(4) 諸般の事情により運転開始は昭和41年秋とした。

(5) 敷地が国有林、国立公園地帯にある。



第 1 図 松川地熱発電所位置地図



第 2 図 松川地熱発電所系統図

(6) 豪雪地帯であるので、1 箇年を通じての屋外工事可能な期間は半年足らずである。

そのほかの事項については設備概要の際に記することにする。

3. 設 備 概 要

〈3・1〉 設備全般 地熱発電は熱サイクル、機器形式および使用材料などが一般的問題点としてあげられるが、いずれも蒸気井の特性によって決定される。そのほか、松川の場合は国立公園地帯のための諸施設の外観と周囲の自然との調和、標高 850~900m の山地であることから、冬期の豪雪、氷結、冷却水量の不足、発電所の周辺は硫化水素ふんい気に包まれること、排水、排ガスによる公害の問題、そのほか敷地が狭いための工事上の問題などを考慮して計画を進めた。

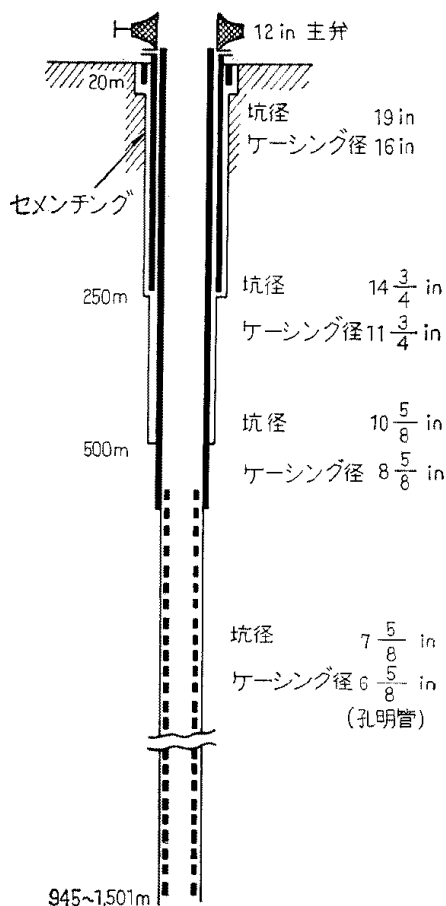
まず、当発電所の全般的な系統について簡単に述べてみる。(第2図参照)

各蒸気井から噴出した蒸気はサイクロン形気水分離器を通り、地上布設の蒸気管によって発電所前の蒸気だめで合流する。なんらかの原因による圧力上昇に対処して、各蒸気井元にある分離器には安全弁、蒸気だめには逃し弁が設けられてある。また、トリップ時および蒸気量調整の際に用いる電動弁がある。蒸気だめで合流した蒸気はタービン前分離器を経、2 個の主止弁、3 個の加減弁(うち1 個は起動用で小形)によってタービンに導かれ、排気管を経て復水器にはいる。復水器内には多量の不凝縮ガスが放出されるので、蒸気エゼクタによって排除し、ガスは冷却塔頂部から大気中に放散する。一方、冷却水は冷却水ポンプにより冷却塔水そうから復水器およびエゼクタ冷却器に送られ、排気と直接混合し温水となり、冷却塔に送られ、冷水となり再び復水器へと循環する。

補給水として、松川河川水が直接冷却塔水そうに送られているが、そのため本川には簡単な取水堤、沈砂池が設けられている。

発生電力は 11 kV の連絡母線(約 600 m)を経て昇圧され、150 kV、1 回線の送電線によって、約 20 km 離れた地点の東北電力(株)八戸幹線に送出される。

〈3・2〉 蒸気井 種々の物理探査および試掘のデータより、当松川地区での実用化できる地熱蒸気が存在する深度は 500~1,500m という結論を得てから、深度 1,200m 前後(玉川熔結凝灰岩の下部層)を目標として掘削にかかった。地質は非常に硬く、深度が増加するにつれて地温の上昇が激しく、数々の困難に遭遇



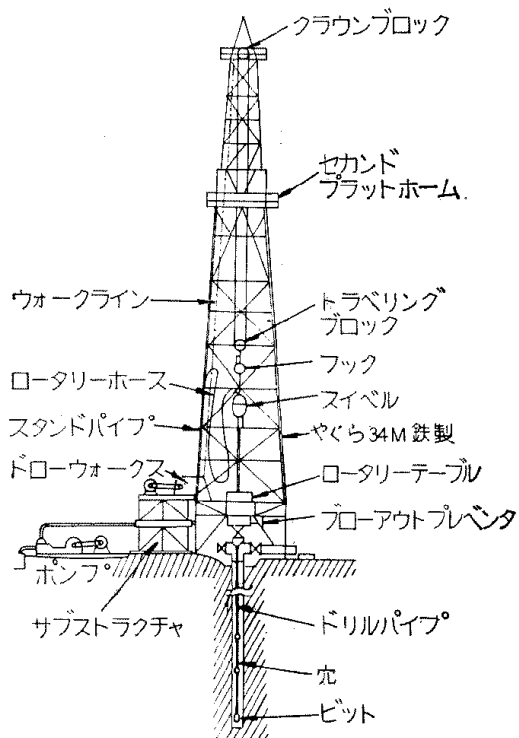
第 3 図 松川生産井断面図

したが、これを克服し初期の目標深度まで完掘した。松川の蒸気井はいずれも深度約 500m、すなわち松川安山岩類および玉川熔結凝灰岩の上部まで経 $8\frac{5}{8}$ in のケーシングで遮水を行ない、上部にある冷い地下水の流入を防止しており、地下蒸気は 500m 以深に設置してある孔明管より採取している。第3図に松川蒸気井の断面図を示す。

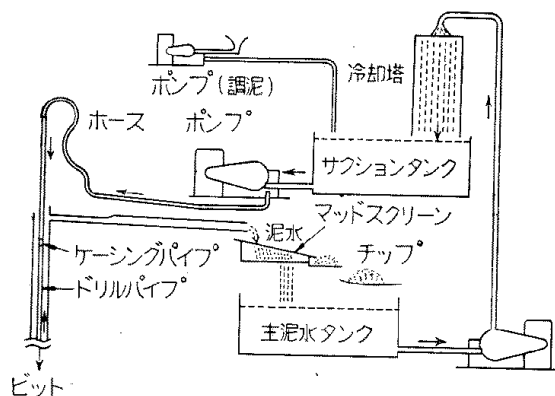
当地区の蒸気井掘削には回転式が適用されている。ちょうど“きり”で木板に穴をあけるようにビットの回転により岩層を削摩して掘り進むと同時に、孔壁崩壊の防止、孔底の掘くず排出およびきり先の冷却潤滑などのため、孔内に泥水を循環させている。

掘削地点には掘管をつり下げるために“やぐら”を必要とする。“やぐら”は高さ 30~40m のものを使用し、“やぐら”下中央にロータリーマシンがあってビットをつけた掘管をつかんで回転する。第4図および第5図にロータリー式掘削機構図および泥水循環系統図を示す。

噴気蒸気は一般に蒸気と熱水の混合状態で存在しており、この割合は各蒸気井によって異なり、かつ、蒸気井自体の圧力変化に対応して変動する性格をもっている。また蒸気中には固形物、非凝縮性ガスも含まれ



第4図 ロータリー式掘鑿機構図



第5図 泥水循環系統図

ている。物理特性は孔内の温度、圧力、流量出力、熱容量などの諸条件によって決まる。孔口圧は松川では孔口元バルブ開放で $0.5 \sim 2.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ の範囲にあり、これに伴う温度はほぼこの圧力に相当する飽和温度を示すが、現在では数度の過熱温度を示す蒸気井もある。

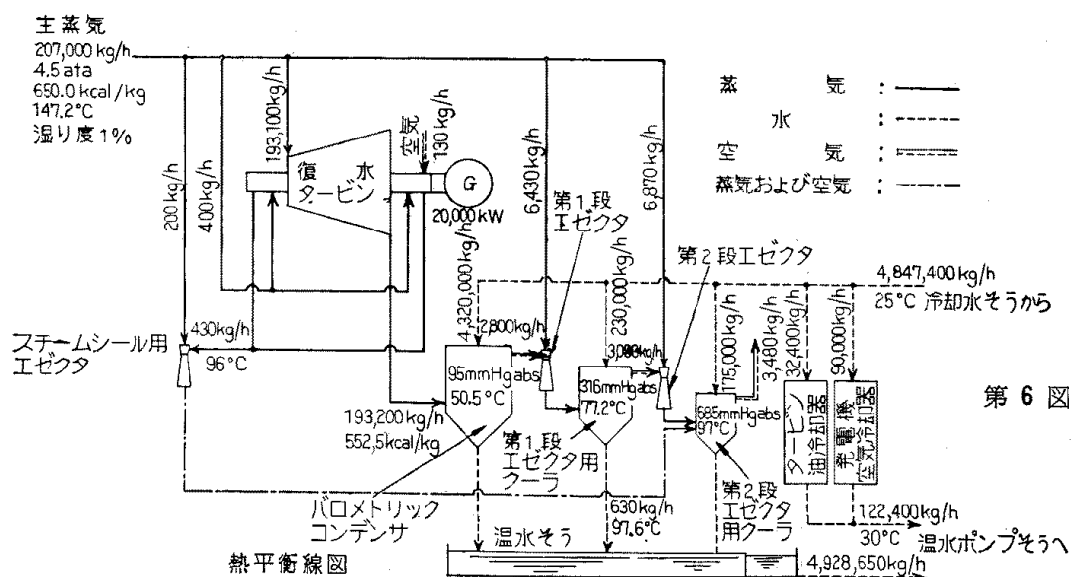
〈3・3〉 タービン 地熱蒸気圧力は蒸気井ごとに噴気量との間に一定の関係をもっているが、もともと地熱の使用圧力特性は低圧で全蒸気井の共用できる圧力範囲は狭い。

使用蒸気圧の選定にあたっては、最高出力を得る圧力点、蒸気制御およびエゼクタ使用圧などの問題を考慮して、噴気蒸気特性測定結果より、タービン入口圧 $3.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ とした。(蒸気井出口圧は管路の圧力降下によりほぼ $5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ となる)

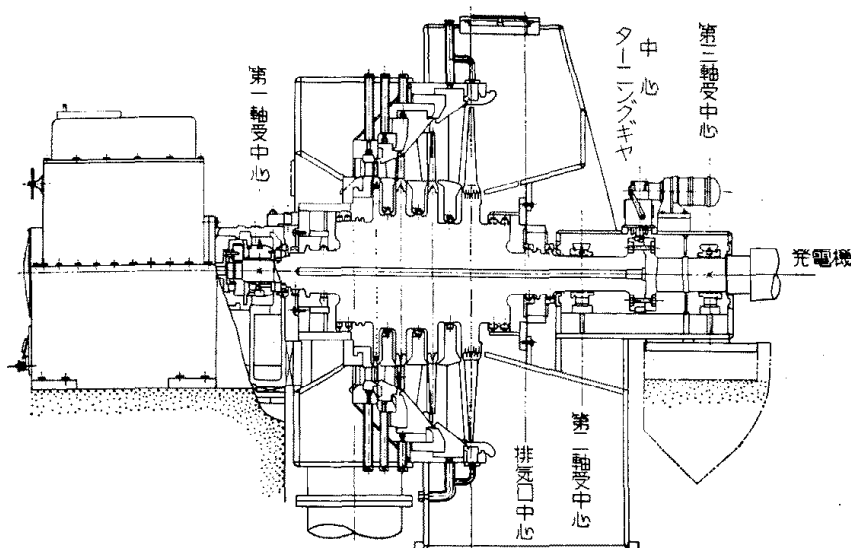
熱サイクルは単純復水形、排気圧はタービン出口湿り度の関係から 100 mmHg ab とした。熱平衡図を第6図に示す。

羽根のドレンによる浸食を防止するため、最終段およびその前段にステライトを張りつけた。また、羽根から飛び出したドレンをキャッチするためノズルダイヤフラムにポケットを設け、ノズル板出口部外輪にはみぞを設けるなどして、種々ドレン、スケール対策を構じたが、これらは今後の研究課題のうちの重要なものの一つであると考えられる。

なお、簡単に制御について触れるが、天然蒸気の利用という機器に対する悪条件を考え、ほとんどの補機の操作は現場で行なう方針とした。かえって制御装置の保守に追われ人員減少も期待し得ないと考えたからである。今回は安全運転を主眼とし、その経緯をみてから徐々に改良していくつもりである。



第6図 熱平衡線図



第 7 図 タービン組立断面図

主止弁、加減弁はスケール付着によるしゅう動部の焼付防止を考慮して、主止弁はスイングチェック形弁、加減弁はバタフライ弁 2 系列とし、同期操作を容易にするため、200 mmφ のバイパス弁を備えている。

〈3・4〉 復水器 地熱発電では復水を回収する必要がないので、冷却水が少なくてすむ直接接触形のバロメトリック式を採用した。冷却管が不用なので構造が簡単に運転が容易、しかも腐食その他の故障にも対処しやすい利点をも有する。

復水量 194 t/h、交換熱量 9.75×10^7 kcal/h、抽出ガス量 2,234 kg/h という容量のバロメトリックコンデンサは世界的にもあまり例がなく、メーカーでの慎重なモデル実験をかさねた結果、第 8 図に示すような散水だにに数多くのスリットを切って冷却水を落とす構造が

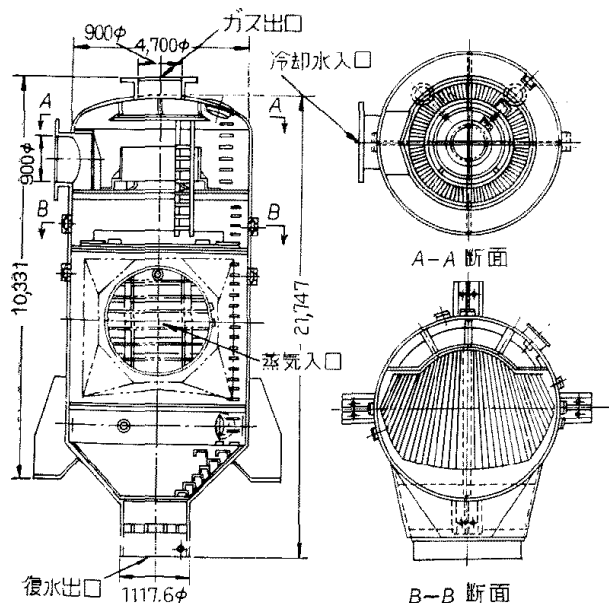
とられた。

〈3・5〉 ガスエゼクタ 噴気蒸気中に含まれる不凝縮ガス量は、松川の場合平均 0.5% (容積比) であり、作動蒸気圧 $3.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ と低く、蒸気の量、圧力変動をも考慮して、大小 2 組が設置された。大小併用した場合 1.5% までガス分が増加しても支障ないようになっている。第 1 段で 95 mmHg ab より、316 mmHg ab に圧縮、第 2 段で大気圧 685 mmHg ab まで圧縮する。冷却器は主復水器と同じバロメトリックジェット式である。

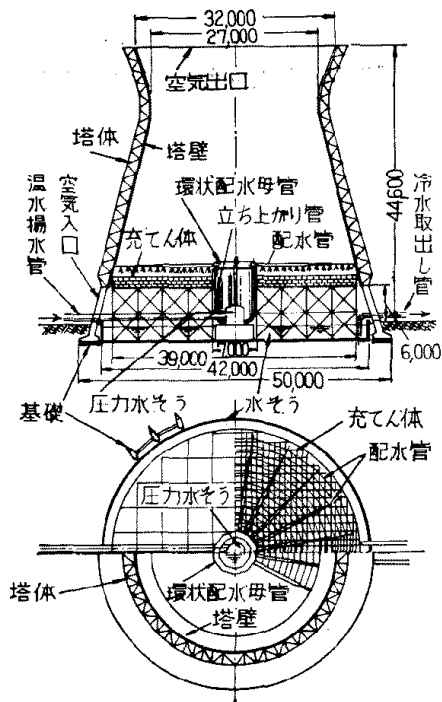
〈3・6〉 冷却塔 冷却水は周辺河川水を直接利用できれば最適であるが、年間約 1 箇月を除いてこれを充足することはできない。形式として機械通風式と自然通風式の両者を比較検討したが、敷地が周囲山に囲まれた凹地である関係上、排気中に含まれる湿気の再循環現象は避け得ず、また回転機に対する有害ガスの悪影響、冬期間における氷結など、保守の問題をも考慮して自然通風式を採用した。

自然通風式冷却塔としてはイギリスムーシェル社によって開発、ヨーロッパ一般に採用されている双曲線体コンクリート壁構造、木材充てん式の設計を行なったが、工事施工上の諸問題（工期、敷地の狭さ、各種工事の混雑など）を解決するため、半球継手を用いた鋼管立体トラス版で塔体を作り、外壁にはコンクリートパネルを取り付けるプレハブ工法が採用された。このため基礎、水そう以外の現場コンクリート打設はなくなり、多数の足場も不必要となった。

充てん体は前記のように、最初木材を用いるとして設計を行なったが、機械通風冷却塔に使われているプラスチック製のものを使用しても通風力、伝熱率、耐熱、強度の諸問題に対し、さしつかえないことがわか



第 8 図 バロメトリックコンデンサ組立図



第 9 図 冷却塔説明図

ったのでこれを採用することとした。その結果、重量が非常に軽減され、支柱も軽くなり、工期的にもきわめて好結果をもたらした。

配水管配置は中央のデットスペース（冷却塔の中心部は周囲の通風口より遠く、空気の流通が悪い）を活用して、ここに圧力水そうを設け、ここからの立ち上がり管を上部配水管につなぎ、先端の噴射ノズルにより散水させる方式とした。

冷却塔、ことに自然通風式を採用する場合、気象の変化に常に応じ得ることは不可能で、また不経済なことである。設計にあたっては極端な多湿高温時には能力不足も止むを得ないこととした。しかし、幸いにも敷地近くに容易に引水利用できる松川河川があるので、簡単な取水堤、沈砂池を設け、(最大 5,000 t/h) 冷却塔水そうに導き、極力常時最大限にこれを利用することにした。したがって、冷却の効果はもちろん復水の濃縮も避けられることとなった。

〈3・7〉 蒸気管 地熱の場合には一般発電所の主蒸気管に比べ、

(1) 蒸気中には混合物がはいっており、それが腐食、浸食、あるいはスケールの原因になる。

(2) 管の口径が大きい。

(3) 比較的距離が長い。(松川にあっては山間にあり、なだれの起こりやすい箇所もある。)

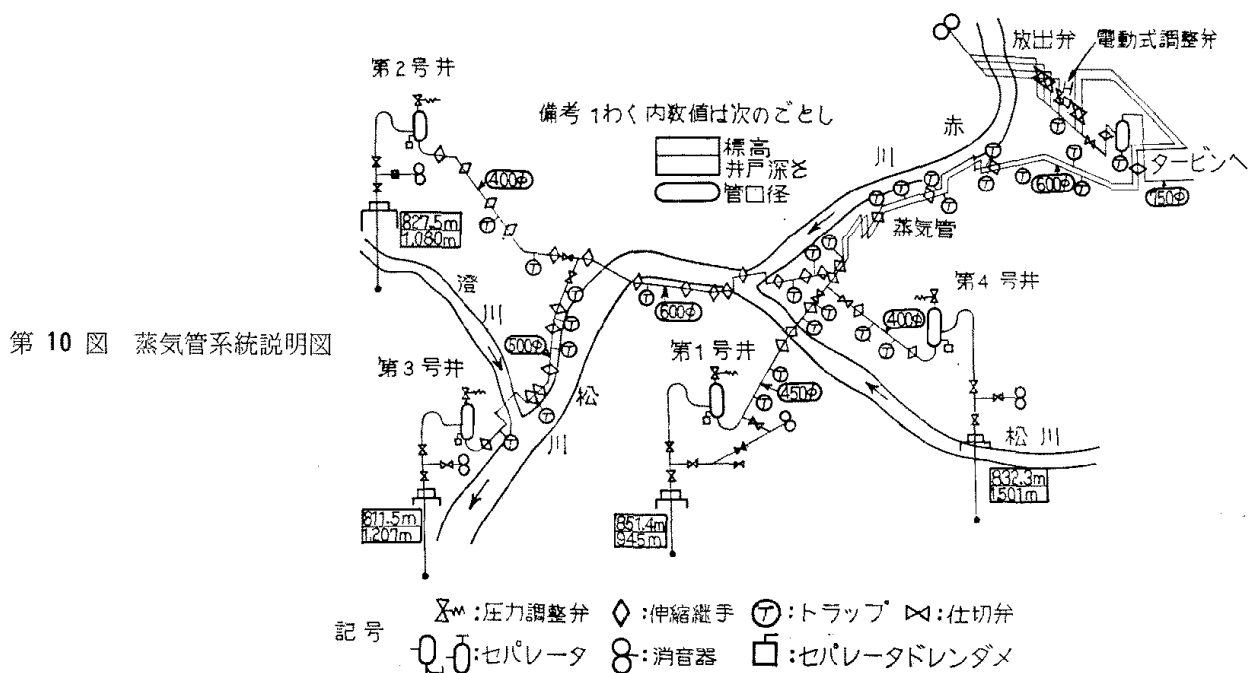
などの差異点がある。

管径はタービン入口圧 $3.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ を基準圧力とし、各蒸気井元の圧力がほぼ $5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ となる寸法をとった。

将来起こりうる蒸気井の経年変化を予想することは諸外国の例で推定する以外に方法はなく、また設計時点においてすべての蒸気井の特性を計測することはできなかったので、一部推定値をもって条件を決定した。

使用蒸気圧にもある程度幅をもたせ、設計圧力 $10 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 、温度 185°C 、気温 $30 \sim -20^\circ\text{C}$ とした。

保温の経済比較はなかなか困難であるが、ケイ酸カ



第 10 図 蒸気管系統説明図

ルシウム保温筒 100 mm, アスファルトルーフィングの防水層, 0.5 mm のアルミニウム板を外層とした。

管材質は気水分離器, 弁, ベローズなどを除いて, 一般的な SS41 とし, 腐食代数 mm を考慮した。弁は要部 SUS 27, ベローズ内面には内筒を設け, 直接の蒸気接触をさせた。孔口元の分離器前分岐異形管や分離器胴板は铸鋼とした。

管経過地は土地が狭く, 国立公園地帯で大部分は観光客の往来の激しい所でもあるので, 管の熱膨張吸収はUベレド配管などの方法をとらず, ベローズ形伸縮継手を使用, 極力直線配管を原則とし, 構外は地上高さを2m以上として, 容易に手の触れないよう配慮した。

配管系統は第 10 図に示すとおりであるが, 当所の場合発電時以外には常に蒸気はいずれかの地点で大気放出をさせるようにしている。したがって, 孔口元のサイレンサのほかに発電所近くに総合サイレンサを設けた。

噴出異形物, 水分の除去のための分離器は各孔口元とタービン前に設けてある。

圧力上昇時の保護として, 各孔口元分離器にそれぞれ全量式安全弁 ($10 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 作動), タービン前蒸気だめには逃し弁 ($7 \sim 8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 作動) かつトリップ時には自動で開く電動弁を設けている。この電動弁は常時閉であるが, タービンの起動, 停止時には蒸気量調整に使用される。そのほかの弁類はすべて手動操作としたが, これらは今後の経過をみて, 将来電動遠隔操作にしたい方針である。

〈3・8〉電気設備一般 機器は硫化水素のふんい気に包まれるので, 耐食に意を用いた。そのほかは特記すべき事項はなく一般的である。まず裸導体はアルミニウムを用い, 区分開閉器類のやむをえないものは導電グリスあるいは防食塗装などで, そのほかは露出分を極力少なくするようにした。

発電機は励磁装置は静止形とし, 冷却方式は全閉形水冷空気冷却とした。

変電設備は発電所敷地が将来の増設を見込むと収容しきれないので, 約 600m 離れた場所に施設することにしたが, そのため発電機, 主変圧器を結ぶ 600m の母線を要することになった。この線路は3回線鉄塔 6 基, $\text{Al } 400 \text{ mm}^2 \times 2$ で, 冷却塔の近くを通るので防食のほかに冷却塔頂部より出る蒸発水分の水結および耐雪に意を用いた。

送電線路は 150 kV, 1 回線, 鉄塔 76 基, こう長 20 km で, 東北電力 (株) 八戸幹線に接続されている

が, 地熱蒸気の影響範囲と考えられる区間は特に耐食設計とした。

〈3・9〉主要設備仕様 主要設備の概略仕様を下記に示す。

タービン

形 式: 単気筒衝動式復水タービン

定格出力: 20,000 kW (発電端)

回転数: 3,000 rpm

蒸気状態: 圧力 $4.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$ (主蒸気止め弁前) 温度, 湿度 1%

排気圧力: 100 mmHg abs (タービン排気口)

計画最大蒸気量: タービン入力蒸気量 208,800 kg/h

上記所定条件にて

翼段落数: 4 段

最終段有効長さ: 548.2 mm

最高許容圧力: $10 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$

復水器

形 式: バロメトリックジェットコンデンサ

復水量: 194 t/h

器内圧: 95 mmHg abs

冷却水温度: 25°C

冷却水流量: 4,320 t/h

エゼクタ

形 式: 二連二段蒸気噴射式

バロメトリックジェットコンデンサ冷却式

抽出ガス量: 平時 2,234 kg/h, 最大 6,518 kg/h

抽出ガス圧: 20 mmHg abs (抽気室入口にて)

抽出ガス温度: 30°C

作動蒸気圧: $4.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$

蒸気消費量: 平時 13.3 t/h, 最大 40.1 t/h

冷却水温度: 25°C

冷却水流量: 405 t/h

冷却塔

形 式: 向流形自然通風式

循環水量: $5,000 \text{ m}^3/\text{h}$

入口温度: 47°C

出口温度: 25°C

設計外気湿度: 75%

主要寸法: 直径 46m, スロート部 32.4m, 高さ 44.6m

蒸気管

管 径: 16~24 in

総延長: 1,300m

発電機

形 式: 横軸円筒形回転界磁, 空気冷却 (全閉形, 水冷式空気冷却器使用)

容 量: 23,500 kVA

回転数: 3,000 rpm

電圧, 電流: 11,000V, 1,233A

力 率: 85%

励磁方式: 静止励磁装置による自励 (220V)

中性点接地: 100A 抵抗接地

主変圧器

形 式: 油入自冷式

容 量: 23,500 kVA

相: 三相

電 圧: 161, 154, 147kV/10,500V

結線法: 一次三角, 二次星形

連絡母線

電 圧: 11kV

回線数: 3回線

鉄 塔: 6基

こう長: 545m

電 線: 硬アルミより線 400mm² 複導体

地 線: 70mm² アルミウエルド線

送電線

電 圧: 154kV

回線数: 1回線

鉄 塔: 76基

こう長: 19.9km

電 線: 特強鋼心アルミより線, 160mm²

一部中防高品位アルミ線使用

地 線: 70mm² 第1種亜鉛めっき鋼より線

一部アルモウエルド線使用

〈3・10〉 腐食試験と使用材料 松川では直接噴気蒸気を使用するので, 地殻より混入する固形物, または硫化水素, 炭酸ガスなどの腐食性ガスを溶存し, しかも水分を含む蒸気もあるので, 使用材料の腐食, エロージョンなどにじゅうぶんな考慮をはらわなければならない。

われわれは腐食試験を試験井についても試みたが, 1号井噴気とともに, 寸法減少率, 引張試験, 顕微鏡検査などを含む本格的な試験を実施した。

腐食環境として蒸気, 復水中の二つに大別し, タービン本体, 蒸気管, 冷却水管などに一般に使用される金属材料, ならびに塗装を施したものについて行なった。

当初, 噴気蒸気をそのまま使用した場合は固形物, ドレンにより予想以上のスケール付着, 浸食を受けたが, ドレンセパレータ設置後は安定した試験が行なわ

れた。復水中の試験は表面式復水器による復水と冷却水を混合し, バロメトリックコンデンサと同じ状態を作り, その中に試験片を浸した。その結果,

(1) セパレータを設置しない高速蒸気による試験では蒸気中の固形物, 水分の影響で腐食よりエロージョンの影響が大きく, 試験片の硬さの高いものほど良好であった。

(2) 試験日数の経過につれて, 腐食減量は次第に飽和する傾向である。

(3) 流速をおそくした化学的な腐食試験ではチタン, SUS27 がすぐれ, SUS22, Al, 銅, 軟鋼という順位になったが, 問題となるほどの腐食減量ではなかった。ただし SUS22, Al のように孔食を生ずるものについては考慮する必要がある。

(4) 応力腐食割れは認められなかった。

(5) 復水中では蒸気中に比べると一般に腐食減量が少ない。

(6) エポキシ樹脂皮覆が耐食性にすぐれていることがわかった。

以上の試験のほかに, 機器の構造, 運転制御などの調査, ならびに工事用電源, 運転員の地熱発電の訓練をも含めた目的をもって, 一般用の中古 1,000kV 排圧タービンの実機による試験発電を行なった。なんら改造することなくすべ付運転を行なったので, いくつかの不備な点があり, 保守には相当苦勞を重ねたが, 本工事完了まで運転を続け, 復水器関係の試験はできなかったが, 工事用電源の確保という経済的な意味も含めて, ほぼその目的を達した。

以上のような諸試験を重ねて, 若干の修正もあったが, 当初予定してあった使用材料の適否の再検討を行ない, 高級材料は極力必要最少限におさえ, 一般的に広く使用されている材料を使用し, 塗装防食を広く用いるよう材料の選定を行なった。

参考のために機器主要部の材料を簡単に次に記す。

タービンケーシング SS41

タービンロータ Cr, Mo, V 鋼

羽根, ノズル板 SUS50 (羽根 3, 4 段はステライト張り)

ノズルダイヤフラム F.C.

ラビリンスパッキング Cr, Mo 鋼

復水器本体 SS41 内面エポキシ樹脂

復水器散水だな SUS27

ガスエゼクタ ノズル, 吸込室, ディフューザ
SUS27

排気管 SS41 内面エポキシ樹脂

蒸気管 SS41

油冷却管

水 室 F.C. 内面エポキシ樹脂

冷却水管 脱酸鋼管

〈3・11〉 公害問題 地熱の開発上、当然公害についても慎重に対策を考えなければならない。松川においては、

- (1) 蒸気井からの噴出物
 - (2) 冷却水の排水
 - (3) 排ガス
 - (4) 蒸気井の噴出音
- などの問題があげられる。

(1) は蒸気井噴出直後の坑内の泥水、これに付随する岩くずの飛散による周辺への被害である。これらは半径約 100m の範囲に散らばるので、蒸気井を仕上げた後に清水で坑内を洗浄して、泥水飛散による樹木の損害を防止するよう努めた。また、冬期における噴気は飛散する多量の水滴が樹木に氷結して、これらを一晚のうちに枯してしまう状態であるので、冬期間の噴気をさける方針にしている。これらはすべて噴気直後の短時間の間における問題であり、サイレンサに通気後はあまり問題とならない。

(2) 復水の一部は下流河川に放出されるが、これらの河川は約 30 km² の田畑をかんがいでいる。したがって、稲作に対する影響調査を岩手大学農学部作物学教室にお願いして実験を進めているが、影響は認められていない。

(3) 排ガスは蒸気中に含まれている 0.4~0.5% (容積比) のガスで、このうち 85% は CO₂ およびそのほかで、残りの約 15% は H₂S である。これらはエセクタから冷却塔内に導かれて空気に希釈されて放散しているが、周辺のガス検知では運転前と差異は認められていない。

(4) 蒸気井の噴出音は付近に民家や旅館がある場合、当然問題となる。松川ではニュージーランドで使用されている双胴式サイレンサを使用している。1号井の場合、使用前は耳せんを使用しても井戸元付近で数時間の作業では耳が一時的に聞えなくなり、回復に 5~6 日を要するほどであったが、サイレンサ使用後は難聴を訴える程度になった。サイレンサは蒸気井の測定などのため圧力、流量を変動させた場合にもじゅうぶん有効でなければならない。乾き蒸気の場合は文字どおりの金属音を発し、サイレンサの効果も半減するが、付近に水源が得られれば、水を圧入し湿度を増せば効果的である。松川では付近に民家がなく、2軒の旅館のみが補償の対象になっただけですんだ。

4. 工 事 概 況

当初 5,000 kW 発電の計画で開始したが、1号井の噴気後急きょ 20,000 kW への計画変更となり、おもなる現場工事の実施段階にはいったのは昭和 40 年 6 月からである。以下その経過の概略を記述してみる。

〈4・1〉 敷地造成 山間部において将来の増設工事をも見込んだ発電所用地を得ることは、なかなか困難なことであるが、幸いにも蒸気井に近く、熱変成地質の多い当地にあって、地表 1~1.5m 以下では、砂、砂利、玉石などのきわめて良好なる状態で存在した旧キャンプ地を使用することができた。それにしても両側山に囲まれ、大木、老木の密生した狭い土地であるので、河心の変更で敷地の拡大を計り、がけくずれ、増水対策に留意して、樹木伐採作業から取りかかったのは昭和 39 年後半である。河川のつけかえ、構内道路および復水器、蒸気管などの屋外設備の基礎掘削作業は、至る所に存在する大石の処理に難渋した。また、表土も盛土材料としては役だたぬ状態で重機車両の機動性を弱めることが多かった。

〈4・2〉 輸送道路 機材搬入の唯一の動脈である東八幡平(松尾鉾山鉄道終着駅)~松川間の輸送道路は従来営林署所管の林道であって、到底発電機、変圧器などの重量物や多量の機材の運搬には耐えうる道路ではなかったので、緊急に県道に昇格し、第三種山地部規格を目標とし、約 9.5 km を改良することにしたが、とりあえず 60 t 機器を運搬する計画に沿い、9.5 km に存在する最悪の曲線、こう配部ならびに地盤の改良を行なった。大部分の作業は昭和 40 年に終了し、41 年は重量物搬入時までには修復、補強し重量物運搬に備えた。現在は一般自動車道路として有効に利用されている。

〈4・3〉 建築関係 狭い土地にあって、発電所建家、冷却塔はいずれも工程を左右する大きな要因の一つである。まず建家は昭和 40 年秋までには内装を除いて、来春 5 月機器すえ付にさしつかえないよう本屋の組立を完了するようにした。

敷地は特別の基礎強化する必要のない良好な土質であったこと、プレハブ方式をとったことなどで、着工が遅延したにもかかわらず、降雪前にはその目的をほぼ達するまでに至った。

冷却塔も同様の工程で進行したが、通風口部の脚部をコンクリート巻設計としたために工程上無理を生じたが、外殻の組立作業がその威力を発揮したので、翌年の水そう工事、充てん物組立工事には支障をきたさ

なかった。充てん物を軽量の合成樹脂にしたことは、工事量を少なくする点においてもきわめて効果的であった。

〈4・4〉 蒸気管 蒸気井、発電所位置が決定すれば、自らその経過地は限定されてしまう。

蒸気井に近い他工事とあまり関連のない区域は単独に施工できたが、工事の混雑している構内は大部分の機材の搬入後布設する結果となった。40年には大部分の基礎打ちを終えたが、一部は保温コンクリート養生を行なわざるを得なかった。パイプ布設は41年8月いっぱい完了、9月以降フラッシング、通気試験とともに、これまで各蒸気井元のサイレンサで個々に放出してあった蒸気は、はじめて発電所前総合サイレンサより各蒸気混合して白煙をあげるようになった。

〈4・5〉 機器関係 タービン、発電機、変圧器などの主機は41年5月工場製作、試験を終え、続々現地へ搬入されることになった。貨車おろし後の輸送道路使用はバス、一般車の通行を妨げないよう、トレーラによる運搬は朝3時～7時の間に限られ、1回につき約1週間を要する道程となった。激しい降雨に見まわれることもなく、継続的に搬入できたのは幸運であった。

タービン、発電機基礎プレート類は積雪時の4月中から取りかかっていたので重量物すえ付は支障なく行なわれた。屋外すえ付の復水器類は現場加工が多く、水そう工事が未完で雪解け後の工事であったため、機器すえ付け中のネックであった。内面塗装完了をまってタービン試運転の運びとなったのは41年9月中旬であった。

屋外変電設備の敷地は山地を切り開いて確保したわけであるが、当初予想していたほどの地盤の軟弱はなく、杭打ちなどの補強をすることなく、基礎施工ができた。41年4月、残雪をかきわけて鉄構組立を開始した。

〈4・6〉 線路 発電機、主変圧器を結ぶ連絡母線は試験線路にて冬期間の観測を行っていたが、最後の越冬期間をも続けて行なうこととし、基礎掘削は41年5月末から着工した。

送電線は40年秋までに、特に積雪の多い山地にある18基の鉄塔組立を完了した。41年7月末には全線完工し、発電所の電気機器とともに8月初め検査終了し、東北電力(株)よりの受電を開始、タービン試運転に備えた。

以上現場工事の概略を述べたが、9月初旬、通気、通水試験、9月中旬待望のタービン試運転の段階を経、10月8日営業運転開始の運びとなった。

今回の工事は、悪環境のもとにやはり国内最初の地熱発電であるという点において、起こる諸問題が直接、間接の影響となって超突貫工事となったが、幸い各界の理解、協力を得、難工事を遂行することができた。

5. 運 転 経 過

試運転後10箇月を経過した現在、ある程度得た運転経験、分解の状態に基づいて一般状況について述べてみる。

低圧、低温蒸気を使用する簡単な復水サイクルであり、復水器は混合バロメトリック式、ガス排除は蒸気エゼクタを用いるから、起動、停止は容易に行なえる。回転補機のおもなるものは冷却水、温水ポンプのみである。

日常の保守作業は天然の蒸気を相手に行なうことであり、各種の巡視、点検は手数を要する。

地熱の一般的特徴である腐食、摩耗、スケールによる影響は、当所の場合もそのわく外にあるはずはないが、腐食のほうは現在ほとんど現われていない。

〈5・1〉 蒸気井 一般的に関心が持たれる蒸気井の経年変化は、地熱発電の根本的な問題であり、この項で論ずるのは当を得ないことであるかもしれない。当所で最初掘削された蒸気井で約3.5年を経過したのみで、これらを検討するほどの資料は得られない段階である。ただ、現在までの徴候として、湿り蒸気より乾き蒸気に変化した蒸気井があり、これに伴って保守の方法も若干これらを加味して行なうことが必要であろう。

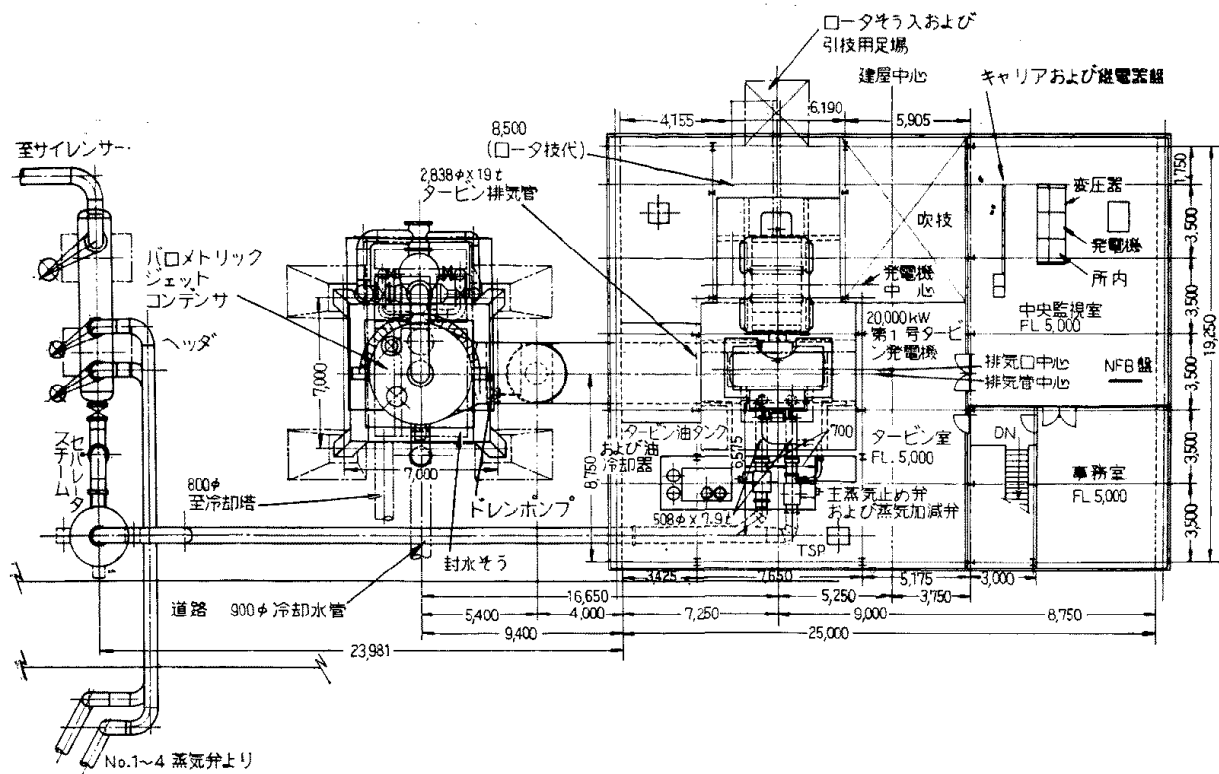
〈5・2〉 蒸気管 バルブの開閉、トラップの作動などの日常の点検は、一般に比べ特に念入りに行なうべきであろう。

管壁には微少なスケールが付着するが、蒸気の通気しゃ断をひん繁に行なうことは、これらのスケールが一時に多量タービンに流入することになったり、管の腐食を増すことになるので、タービン停止時にあっても、作業に支障ない限り極力通気を続けるよう留意すべきである。

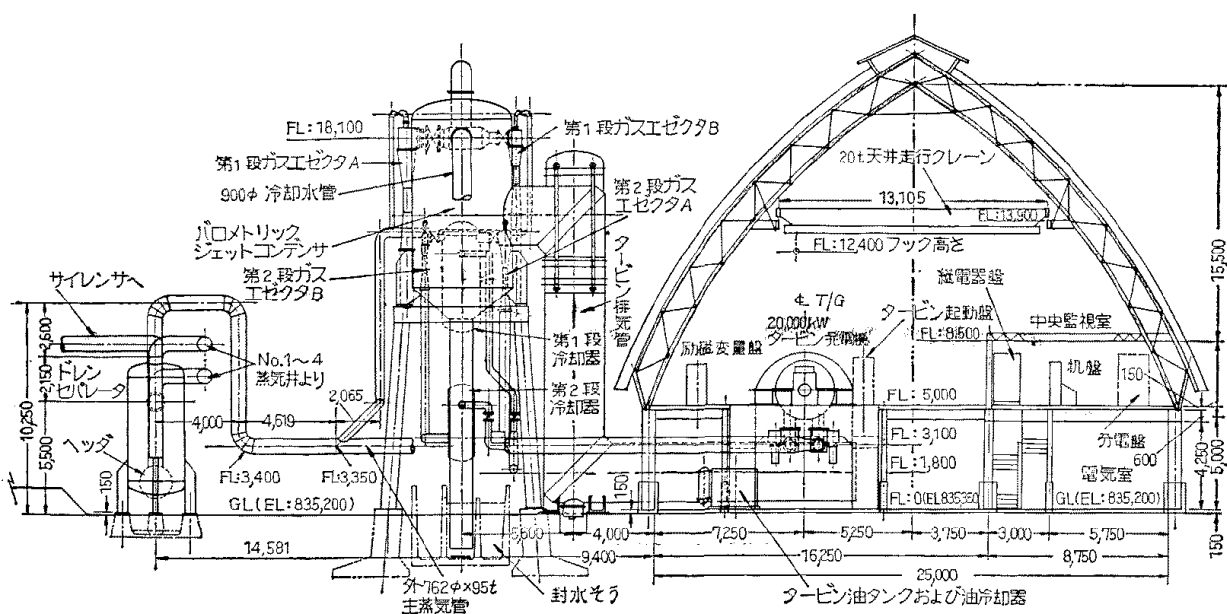
常時通気していないサイレンサ配管は酸化の度合いが多い。

分離器は湿り蒸気の場合はたいてい計画どおりであったが、乾き蒸気の場合の分離性能、排出機構についてはより完備したものにしたい意向である。

〈5・3〉 タービン機器 発電記録からみると、外温による冷却水温度の影響が排気室真空を支配し、出力がそれに伴って変化するという常識的な現象がみられ



第 11 図 機器配置計画図 (平面)



第 12 図 機器配置計画図 (側面)

る。また、運転開始後日時が経つにつれてスケール付着により若干出力に影響を及ぼすようであるが、これは負荷低下の限度を見きわめ、点検掃除を迅速、効果的に行なうよう努めなければならない。スケール対策はまだ研究の余地が多分にあり、分離器をも含めて考究する必要がある。

各種の圧力計、流量計のうち、媒体を用いたものは

あまり問題がないが、直接要部が蒸気に触れる計器は導管、ドレン排出機構など不備な点があり、徐々に改良を加えているところである。

主止弁、加減弁のステックおよび制御性は、当初懸念しておったところであるが、ステックについては日常の保守にじゅうぶんな注意を払えばじゅうぶんと思われ、制御についても問題はないようであるが、長時

間の低負荷運転は避けるべきであり、また摩耗をもひき起こす原因となる。

化学的な腐食は全般的に問題となるような点は現在のところ見受けられない。

〈5・4〉 復水器 性能的には問題なく、内部点検の際現場施工分のエポキシ塗料が一部はがれた所、内面の保護板の取り付け不備な点を発見した程度である。

エゼクタのステンレス鋼部は異常なく、スケール付着も問題とならない程度であった。

〈5・5〉 冷却塔 まだ冷却塔にとって最悪な時期である夏季を経過していないので、一概に論ずるわけにはいかないが、昨年の測定によれば、塔内の空気流れ分布や、冷却範囲温度も予期以上にかなりの均一化を示している。ただ冬季における氷結は予想以上であり、急きょ通風量を制限せざるを得なかった。目下恒久的な通風制限装置を考慮中である。回転機を使用した場合には相当保守に困難を生じたことであつたろうと想像される。

また、河川からの補給水取水口にまだ自動式の除じん装置を設けていなかったもので、秋の落葉時期、春の出水時には除じんを追われる結果となったが、これは間もなく自動式になるのでやがて解決される問題である。

6. む す び

以上、松川地熱発電所の概要について述べた。1905年（明治 38 年）イタリア、ラルデレロにて、初めて地熱発電が照明用に供給されて以来、地熱の火は各国に広がり、イタリアに次いで大規模な開発を進めたニュージーランド、アメリカ、ソビエト、その他数箇国が発電、研究に着手している。わが国の地熱発電は大正 14 年別府付近において 2kW 発電に成功したときいている。地熱発電は各地区とも、地質、噴気蒸気特性およびその他がそれぞれ独特な点があり、容易に他地区の開発方式がそのまま適用されるものではない。

わが国の地熱発電はこれからの電源であり、未開発の国内エネルギーとして経済開発を進めることは大いに意義があり、大きな魅力でもある。

当発電所運転開始後 1 年足らずの現在、いくつかの事象がわれわれの勉強不足を指摘し、未知の事項も多く、今後の経験を必要としている。この項の執筆中に九州電力大岳地熱発電所の試運転も開始されたことをきいた。そのほか数箇所においても調査研究が進められている。今後これらの発展により技術的および経済性についてもわが国の地熱発電の状況がより明りょうになり、火山国日本の地熱開発の将来に明るい期待がもてると思われる。