

昭和63年1月

日本温泉科学会第40回大会

特別講演

海外における地熱開発の現状

西日本技術開発株式会社

下池忠彦

Present State of Geothermal Development in Abroad

Tadahiko SHIMOIKE

West Japan Engineering Consultants

このレポートでは海外における地熱発電の現状について、主として写真により紹介する。地熱発電は高品位の地熱資源の利用から始まり、近年は技術革新により逐次低品位の地熱資源を利用したものも実用化している。地熱発電は当初イタリアで乾燥蒸気を利用したもののみであったが、汽水分離器、フラッシュャーの開発により熱水卓越型の地熱資源を利用するものが一般的になってきた。近年はさらに低温の熱水を利用したバイナリー発電も実用化されたい。今後は熱水採取を計るためのdown hole 熱水ポンプの開発や、高温岩体からの熱採取を計るための地下深部に人工破砕帯を作る研究がすすめられている。高濃度の溶存化学成分を含む地熱資源についても技術革新がおこなわれており、例えば海水の数倍の溶存化学成分を含む地熱資源に対しては高性能の汽水分離器の開発、生産井の坑内に付着する炭酸カルシウムに対しては坑内薬注法等が実用化している。高濃度の非凝縮性ガスを含む地熱資源に対しても、その非凝縮性カズの圧力も同時に利用する発電方式が開発された。発電機の容量も逐次規模が大きくなり、テスト・プラントで50~100kw程度であったものが、現在の商業プラントでは30~55MW が標準サイズとされており、可採量が大きく搬入が容易な場所では110MW のプラントも実用化している。パイロット・プラントとして開発された小容量の発電機(1~5 MW)が坑口発電用として開発中の地熱帯や、自家用として民間ホテル等で建設されている。今後、開発途上国の、かつ遠隔地で需要の小さい地域の電源開発として地熱開発が行われる場合は小容量発電機が更に建設されると思われる。

アメリカ合衆国

アメリカは世界最大の地熱発電国であり、発電所のタイプも多く、乾燥蒸気を利用したものから、シングル・フラッシュ方式のプラント、ダブル・フラッシュ方式のプラントおよびバイナリー・サイクル方式のプラントが建設されており、非凝縮性ガスの圧力も同時に利用するバイフェーズ

方式のプラントも初めて建設された。アメリカにおける地熱開発はほとんど民間企業によって行われ、蒸気開発は専門会社や石油会社が行い、発電は公益電力事業会社が行っているが、公益企業体の参入も行われるようになってきた。カリフォルニア州西部のガイザース地熱地帯は現在世界最大の地熱開発地域であり、その設備容量は1985年現在1,792MWに達しており、今後も開発が予定されている。ガイザースの発電プラントはほとんどPacific Gas and Electric Co. が所有していたが、近年他社が新規参入している。写真-1はガイザース地熱帯の南端近くで1982年に運開されたNCPA No. 2の55MW×2 Unitの発電所である。NCPAは地方都市と民間企業が参加した発電企業体であり、公共企業体がアメリカで初めて地熱発電を担当したものとして注目される。なお蒸気開発はShell Oil Co. が担当し、発電された電力はPacific Gas and Electric Co. へ売電している。カリフォルニア州南部のインペリアル・バレイは熱水卓越型の地熱地帯であり、通常のシングル・フラッシュ方式プラント、ダブル・フラッシュ方式プラントのほかバイナリー・サイクル方式のプラントが建設されている。特に商業用バイナリー・サイクル式のプラントとしては世界最大の設備容量があり、今後も開発が予定されている。通常バイナリー・サイクル式プ

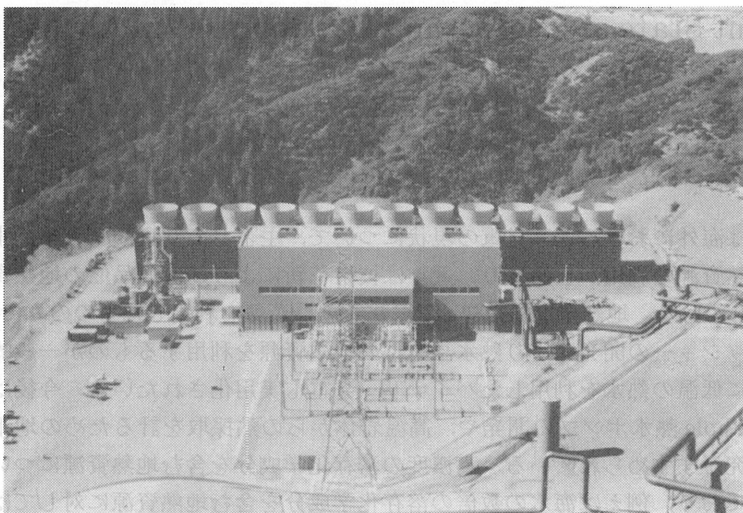


写真-1

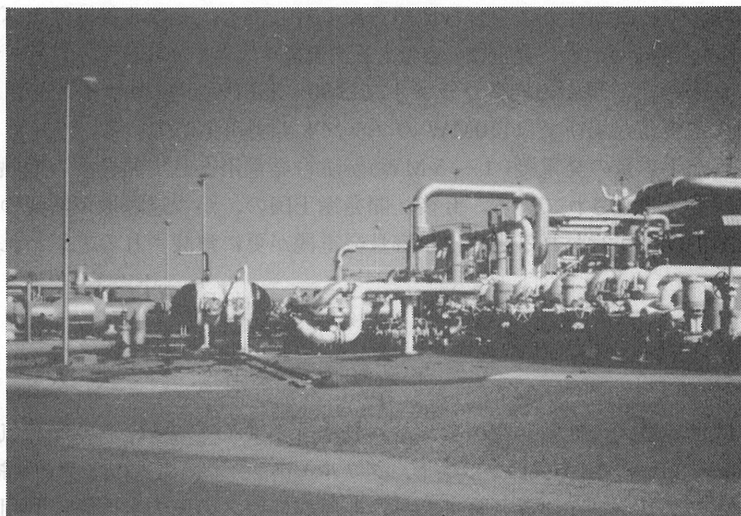


写真-2

ラントによる発電は発電原価が高く経済的に不利であり、かつインペリアル・バレイの地熱資源は溶存化学成分濃度が海水の10倍近いにも拘らず、バイナリー・サイクル方式プラントが開発されているのは、アメリカにおける地熱開発を保護、促進するPURPA法と技術革新に因るものが大きいと考えられる。写真-2は1980年に運開されたEast Mesa地熱発電所の熱交換器を示しており、媒体にイソブタン及びプロパンが使用され、出力12MWで稼働中である。高濃度の溶存化学成分を含有しているので、スケール付着防止対策として密閉状態のまま熱交換して地下還元を行っている。写真-3は、同発電所の冷却水貯水池で、媒体冷却器を出た冷却水を空中放散により冷却している状況を示す。写真-4は1980年に運開された10MWのBrawly地熱発電所であり、高濃度の溶存化学成分対策としてリボイラーによるフラッシュ・システムを採用している。写真-5は1982年に運開された10MWのSalton Sea地熱発電所であり、ここでは高濃度の溶存化学成分対策としてreactor-clarifier及びflash crystallizerを採用している。

Brawly及びSalton seaのバイナリー・サイクル方式プラントは、いずれも50MWの高塩分対策の地熱発電所建設のパイロット・プラントとして建設されたものであり、所期の成績が期待さ

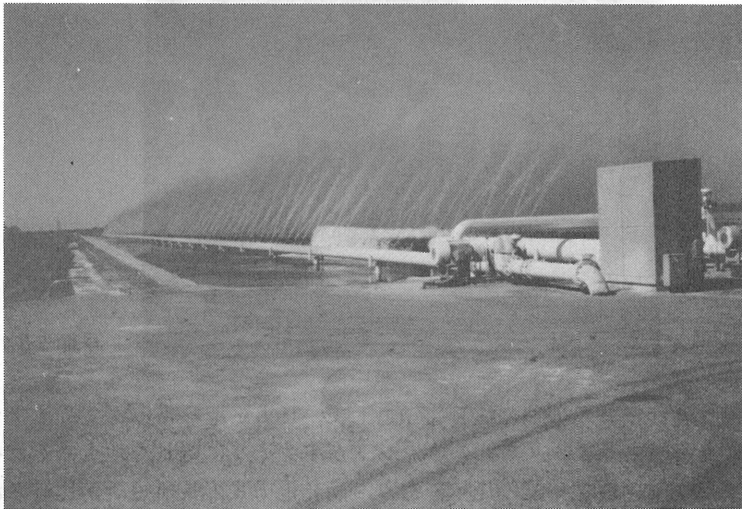


写真-3



写真-4

蒸気発電のトナハ、ホアリアケトのホ、ひまアアコハ奇羅ノ高水地熱発電所が建設されたことによる。インペリアル・バレイの他の注目事項として、Heber 地熱帯にダブル・フラッシュ方式のプラントとバイナリー・サイクル方式のプラントが1マイルに離れた地点にそれぞれ1985年に建設された。両プラントの運転実績の比較により、両発電方式の長所短所が比較されると思われる。(カリフォルニア州の東部や他の西部の州における地熱開発については参考資料参照)

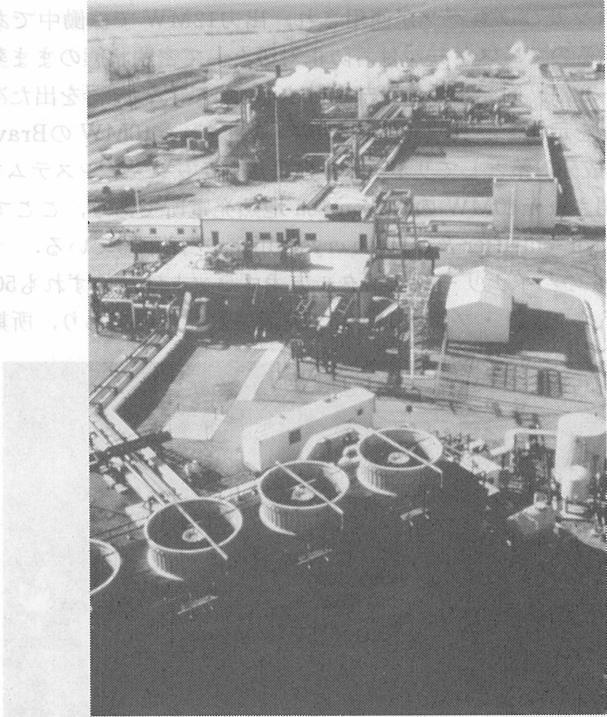


写真-5

れている。インペリアル・バレイの他の注目事項として、Heber 地熱帯にダブル・フラッシュ方式のプラントとバイナリー・サイクル方式のプラントが1マイルに離れた地点にそれぞれ1985年に建設された。両プラントの運転実績の比較により、両発電方式の長所短所が比較されると思われる。(カリフォルニア州の東部や他の西部の州における地熱開発については参考資料参照)

メキシコ

メキシコの地熱開発は蒸気開発から発電まで全て国営であり、電力庁によって行われている。現在発電所が建設されているのは、アメリカ合衆国のインペリアル・バレイに隣接するセロ・プリエトと中部メキシコのロス・アスフレスである。セロ・プリエトでは3地域で発電所が建設されており、更に開発が計画されている。セロ・プリエト-Iは5Unitより構成されており、各々はシングル・フラッシュ式プラントであるが、第5番目のプラントは第1~第4のプラントより排出される熱水を更に低圧でフラッシュさせた蒸気を使用しているため、セロ・プリエト-Iは全体的にはダブル・フラッシュ・サイクルになっている。ロス・アスフレスでは坑井間隔が長いことため1982年5地点において坑井毎に、写真-6に示すような5MWの背圧式ポータブル発電機を設置して送電線で連結している。なお、第1及び第2Unitが乾燥蒸気を利用しており、第3~第5Unitがシングル・フラッシュ方式となっている。

写真-6

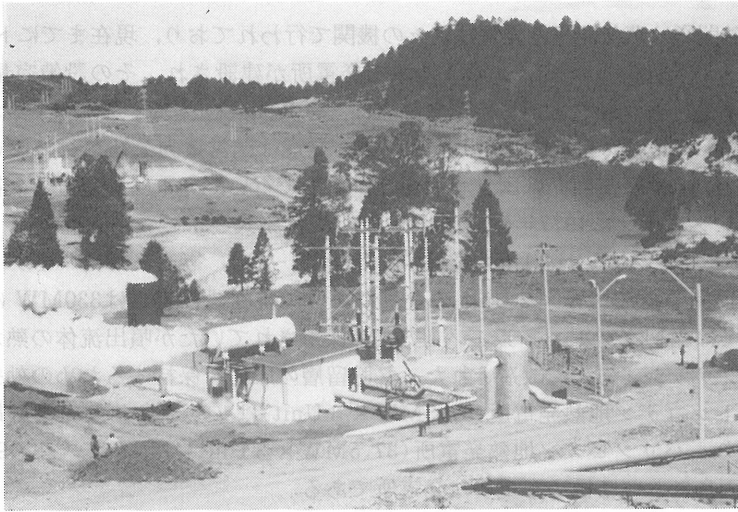


写真-6

エル・サルバドル

エル・サルバドルは1975年中央アメリカで最初に地熱発電所を建設し、現在までに3 Unit、設備容量は95MW に達している。写真-7はアウチャパン地熱発電所第1、第2 Unit の全景であり、それぞれ1975年、1976年に建設された30MW のシングル・フラッシュ方式プラントである。アウチャパンでは、熱水を海洋投棄と地下還元の方法で処理しており、その割合は生産量を最適化するために、貯留層の圧力を観測しながらその都度変化させ効果的な還元を計画している。

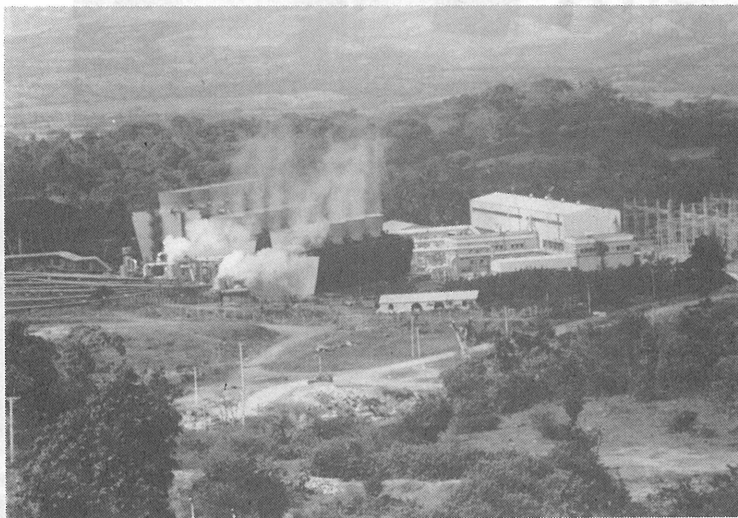


写真-7

フィリピン

フィリピンの地熱開発は蒸気開発と発電は別々の機関で行われており、現在までにトンゴナン、ティウィ、マック・パン、パリンピノンの4地域で発電所が建設され、その設備容量は89MWに達している。ティウィとマック・パンの蒸気開発は国営石油公社とアメリカのユニオン石油会社の共同出資によるPhilippine Geothermal社が行い、発電は国営電力公社が行っている。トナゴナンとパリンピノンでは蒸気開発は国営石油公社が単独で行い、発電は国営電力公社が行っている。写真-8はトンゴナンに1977年建設された3 MW 背圧式パイロット・プラントであり、その後37.5 MW 復水式プラントが3 Unit 建設された(写真-9)。写真-10はマック・パン第1発電所で1979年に運開した55MW×2 Unitの全景であり、現在設備容量は330MWに達している。マック・パンでは当初ダブル・フラッシュ方式が採用されていたが噴出流体の熱水比の変化に伴いシングル・フラッシュ方式に改造された。又貯留層の圧力を保持するための効果的な還元を計画している。トンゴナン地熱発電所(37.5MW×3 Unit)はレイテ島サマール送電網の唯一の電力供給源であり、パリンピノン地熱発電所(37.5MW×3 Unit)はネグロス島の95%の電力を供給しており、両島において極めて重要な発電所である。



写真-8

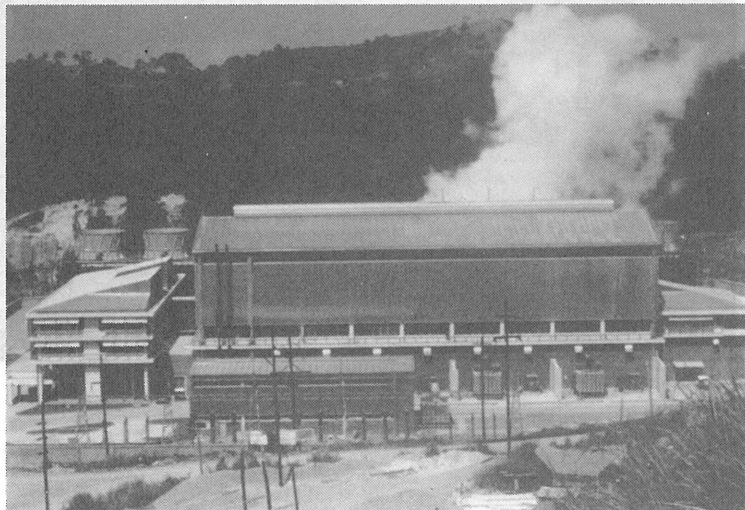


写真-9

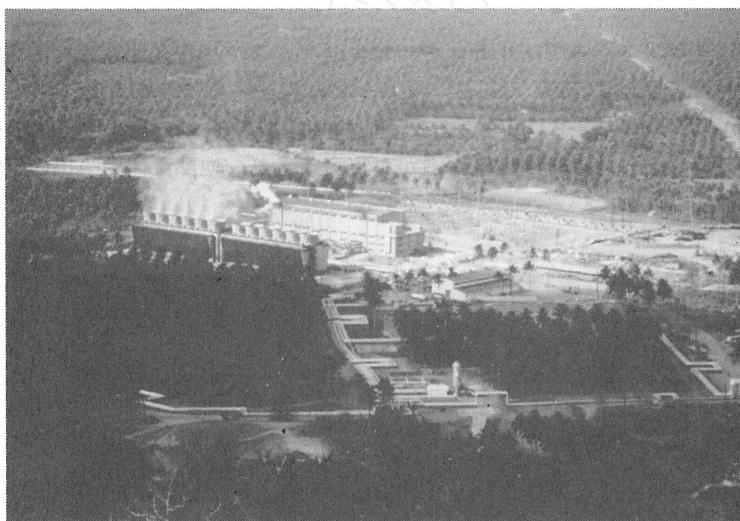


写真-10

インドネシア

インドネシアの地熱開発は、蒸気開発を国営石油ガス公社が行い、発電を国営電力公社が行っており、その設備容量は87.3 MW であり、今後も開発が計画されている。写真-11はカモジャンに1982年建設された30 MW の第1 Unit であり、1987年隣接して55MW の第2 Unit が建設され、更に55 MW の第3 Unit が建設中である。

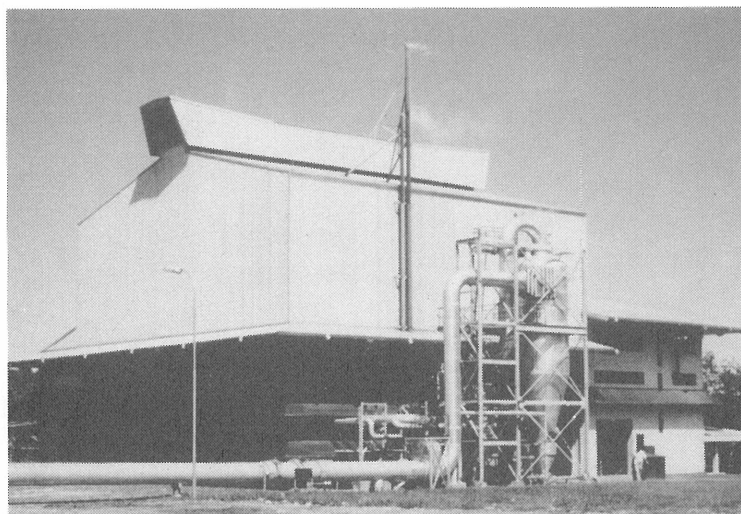


写真-11

アイスランド

アイスランドにはクラフス、スヴァルセングィ、およびナムファルの3地域で地熱発電所が建設されており、その建設容量は39 MWである。写真-12は建設中のクラフラ発電所のダブル・フラッシュ方式プラント(30MW×2 Unit)であり、他の2地域のプラントは背圧式の小容量の発電機である。アイスランドの地熱帯は地質構造が不安定であり、地熱流体の噴出の不安定と成分の多様性については注目されている。

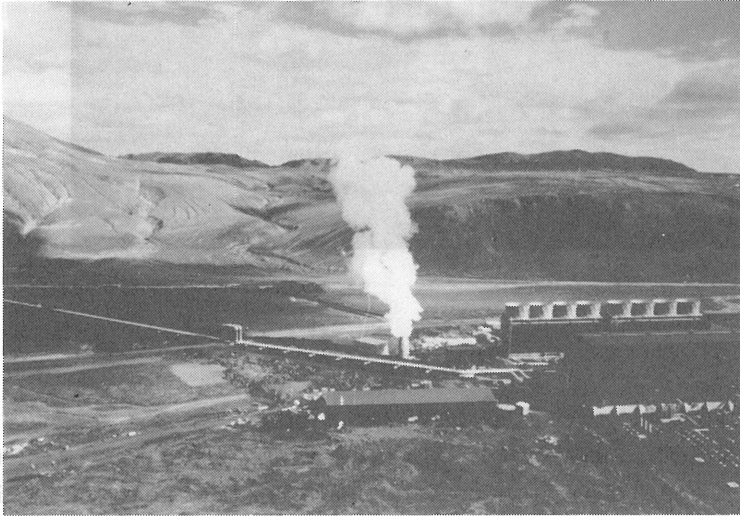


写真-12



11-写真