

第 3 章

プロジェクトの内容

3 プロジェクトの内容

3-1 プロジェクトの目的

本計画の目的は、ビスカチャス高原の地下水をアリコータ湖に導水することにより、アリコータ湖の枯渇を防ぎ、これによってタクナ県の発電用水、灌漑用水および生活用水を確保するものである。

1966年8月にアリコータ第2発電所(出力11.9MW)、1967年1月にアリコータ第1発電所(出力23.8MW)がそれぞれ運転を開始し、使用する発電用水は、アリコータ湖へ流入する平均日量相当分(1.05 m³/sec)と、平均1.3 m³/secの湖水をあわせて消費する計画であった。しかしながら、発電所運転開始後22年間でアリコータ湖の計画貯留量を消費し尽くしてしまうため、その枯渇を防ぐために他の流域からの導水を行うアリコータ湖補水計画が策定され、本計画はそのアリコータ湖補水計画の一端を担うものである。

3-2 プロジェクトの基本構想

3-2-1 水収支バランス

本プロジェクトにおいては、ビスカチャス高原における地下水盆の水収支バランスを崩さない範囲内で取水することを基本方針とする。しかし、ビスカチャス高原における水収支機構をどのようにとらえるかによって、「水収支バランスを崩さない範囲」が著しく異なってくる。当地の地下水帯水層がビスカチャス高原の周辺域にまで水理的に連続しているものとみなしたり、当高原の外側から表流水や地下水が流入してくるものとみなす場合には、これらを否定的にとらえる場合よりも「水収支バランスを崩さない範囲」は格段に大きくなる。また、当高原の約75%の面積を占める火山体や氷河堆積物分布域からの蒸発量をどのように評価するかによっても、その「範囲」は格段に違ったものとなる。

確かに、帯水層の地下水賦存量が当地内だけでも約1300~1800MCM(Maure累層を除いた値)と見積もられることや、帯水層となっているCapillune累層およびMaure累層が広大な規模をもっていることからすれば、これらの帯水層から膨大な量の地下水を開発できる潜在的可能性がある。しかし、これまでに実施された地下水調査はビスカチャス高原内に限定されており、しかもその調査結果はビスカチャス高原の地下水盆が基本的に閉塞系であることを示唆している。そして、これらの調査結果は、広域的な地下水開発の可能性を定量的に評価するには全く不十分である。

そこで、本プロジェクト段階においては、ビスカチャス高原における水理機構は次のような厳しい制約条件下にあるものとみなし、これらの条件にもとづいて地下水開発可能量を評価することとする。

- 1) ビスカチャス高原における地表水と地下水(帯水層)は共に閉塞系であるとみなす。つまり、降水を除き当高原の外からの流入水は皆無であるとみなし、また、蒸発~蒸発散を除き当高原の外への流出水も皆無であるとみなす。
- 2) ビスカチャス湖の水位と湖面からの蒸発量とは次のような”平衡関係”を保ってきたもの

と考え、この機構を組み込んだ水収支モデルを設定する。

- a) 湖の水位が一時的に高い場合には、湖水面積が広大(水位のほぼ二乗に比例)になるため、これに比例して湖水面からの蒸発総量も大きくなる。その蒸発総量は降水による湖への流入水量(地下水を含む)に匹敵していたり、またはこれを上回るため、湖の水位上昇は小さいか又は水位低下をもたらす。
 - b) 湖の水位が一時的に低い場合には、湖水面積が狭くなるため、これに対応して湖水面からの蒸発総量も少なくなる。その蒸発総量は一般に降水による湖への流入水量よりも少ないため、上記の場合よりも大きな湖水面上昇をもたらす。このような機構によって、湖水面の高さはある一定値(平衡水位)を上下することになる。そして、長期間にわたっての湖の平均水位はこの"平衡水位"に近づくはずであり、これを水収支モデルの検証の基準とすることができる。
- 3) 湖面や草地に限らず、火山体や氷河堆積物分布域においても蒸発作用が働いているものとする。この蒸発量は全くの未知数であり、湖水面からの単位蒸発量も未知数とし、両者の(現実的な)あらゆる組み合わせの中から、揚水前の水収支モデルに適合する蒸発量を探し出すものとする。

上記検討の詳細を資料 12-1 に示す。

3-2-2 取水可能量

前項で設定した条件を満足する水収支モデルを用いて、取水量を様々に変化させた場合の将来予測シミュレーションを行い、地下水位が一定の平衡状態を保つ範囲内の最大の取水量、あるいは帯水層からの損失量が一方的に増加しない範囲内の最大の取水量を、取水可能量と設定する。これは降水による地下水～湖水の長期的かん養量の範囲内での取水、言い換えれば、再生可能地下水の範囲内での取水を意味している。

取水量を 200l/s、300l/s、400l/s、500l/s、600l/s と変化させてのシミュレーションの結果を図 3-1 に示してある。

図 3-1 に示されるように、取水量が 400 l/s 以下である場合には、降水量の多少によって水位が変動するものの、水位の一方的低下や地下水損失量の一方的増大はおこらない。一方、取水量が 500l/s 以上になると、降水量の多少にかかわらず、将来的には水位の一方的低下あるいは地下水損失量の一方的増大が生じることになる(取水量がかん養量を常に上回っていることを意味している)。400l/s の取水量は、両者の傾向の境界的位置にあることから、これをピスカチャス高原からの取水可能量(限界取水量)とみなすことにする。

当高原からの地下水取水可能量(限界取水量)は 400l/s と評価されるが、既に鉾山会社(SPCC)によって平均 40l/s の取水が行われていることから、本プロジェクトにおける取水可能量は 360l/s ということになり、この取水可能量にもとづいて取水設備設計を行うものとする。

上記検討の詳細を資料 12-2 に示す。

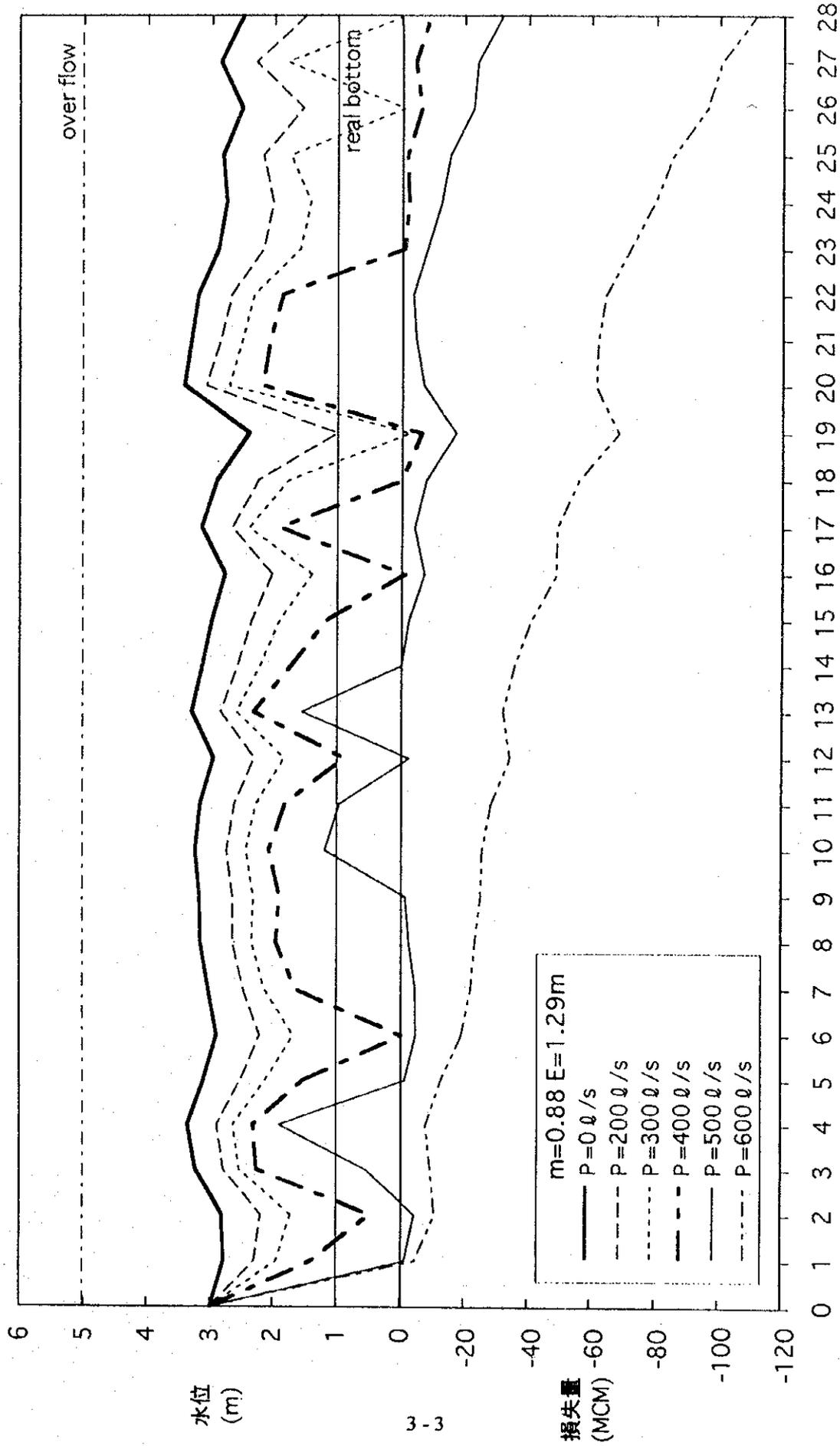


図 3-1 取水による湖水位の変化 (地下水損失量の変化) の将来予測

3-2-3 計画のアウトライン

(1) 地下水観測設備のアウトライン

本プロジェクトにおいては、取水設備の長期的な維持・管理態勢を確立すると共に、貴重な地下水資源が賦存する帯水層の科学的管理を行うことが肝要である。

360l/s という取水量は地下水開発量としては相当に大きな水量であり、帯水層に予期しえない影響を及ぼす可能性があることを考慮する必要がある。このため、このように多量の取水がビスカチャス高原の帯水層に及ぼす影響を継続的・長期的に監視する態勢を確立することが肝要である。また、多量の取水によって地下水の水質が変化する可能性もあるが、水質が悪化した場合には各井戸からの取水量を変更するなどの措置を講じるなどして、アリコータ湖の水質悪化を防止することが望まれる。このために、地下水の水質を追跡調査できる現地設備を備える必要がある。このような観点から施設および地下水盆の維持・管理に必要とされる機材を検討する。このような観点から、次のような井戸・地下水観測設備についての無償資金協力を検討する。

a) 井戸の内部状況を観察・点検するための機器

井戸の補修を適切・効率的におこなうためには、井戸の内部状況を詳細に把握することが肝要であるが、井戸は地下に施工されているため、井戸の破損状況や老朽化状況を直接的に把握することは困難であった。このような問題に対処するために、近年、井戸の内部にビデオカメラを挿入し、これによってスクリーン、ケーシングなどの状態を半ば直接的に観察できる機器が開発されてきている。井戸の科学的管理にとって極めて有効な機器であり、これを導入する方向で検討する。

b) 井戸内部の地下水および取水の水質を検査するための機器

井戸の水質は固定的なものではなく、特に多量の揚水がおこなわれる場合には変化することが一般的である。したがって、現在の水質が問題ないとしても、揚水にともなう水質変化を継続的に監視し、水質が悪化した井戸が出現した場合には取水量を変更するなどの対処をおこなうことが肝要である。このためには、現場で簡易に水質を検査できる機器を現場管理事務所などに常備しておくことが望ましく、現場用水質分析器(pH、電気伝導度、塩分濃度など)を導入する方向で検討する。また、揚水された水だけでなく、井戸の深度ごとの水質を解明すること、そしてその経時的変化を追跡することは、地下水の水理機構を解明し、地下水盆の科学的管理をおこなう上で重要な役割をもっているだけでなく、井戸(スクリーン)の目詰まり状況などを間接的に推測する資料にもなるものであり、井戸内に挿入できる水質検査機器を導入する方向で検討する。

c) 取水井戸の水位およびビスカチャス高原の地下水を継続的に観測するための機器

地下水観測井における水位観測は現在も実施されているが、手動式水位計による測定であるため、計測間隔が長く(月1回程度)、気象状況や人員の都合で欠測となることも少なくない。しかし、地下水盆の科学的管理にとっては、地下水位の変化を詳細に計測・記録していくことが最も肝要であり、自記水位計を設置することにより、地下水観測態勢をより正確かつ持続性のあるものにすることが望ましい。自記水位計の配置は、取水井戸における水位変化の監視だけでなく、ビスカチャス高原全体における地下水位の変化を観測する

方向で検討する。

(2) 取水設備のアウトライン

本プロジェクトでは安定した地下水汲み上げが可能なように、汲み出し量を計画通りに管理するとともに連続的なポンプ設備の運転が可能なようにすることが肝要である。あわせて、多量の取水によって水質が将来悪化した場合にも流量調整運転が可能な仕様とすることも考慮する。

前項で述べられたように、ビスカチャス高原から取水される量は、全計画取水量から SPCC の取水量を差し引いた差の 360 l/s である。本プロジェクトではポンプの運転効率を 90% と仮定して、設備容量は 400 l/s とする。この運転効率は取水設備の定期点検・維持管理に費やされる期間を考慮した一般的な数値である。3-3-2 (2) 項に述べられるように、井戸は PV-2、PV-3、PV-6、PV-8 の四本とし、これらの井戸にその能力に適したポンプを据え付けるものとしてポンプ機材を選定する。

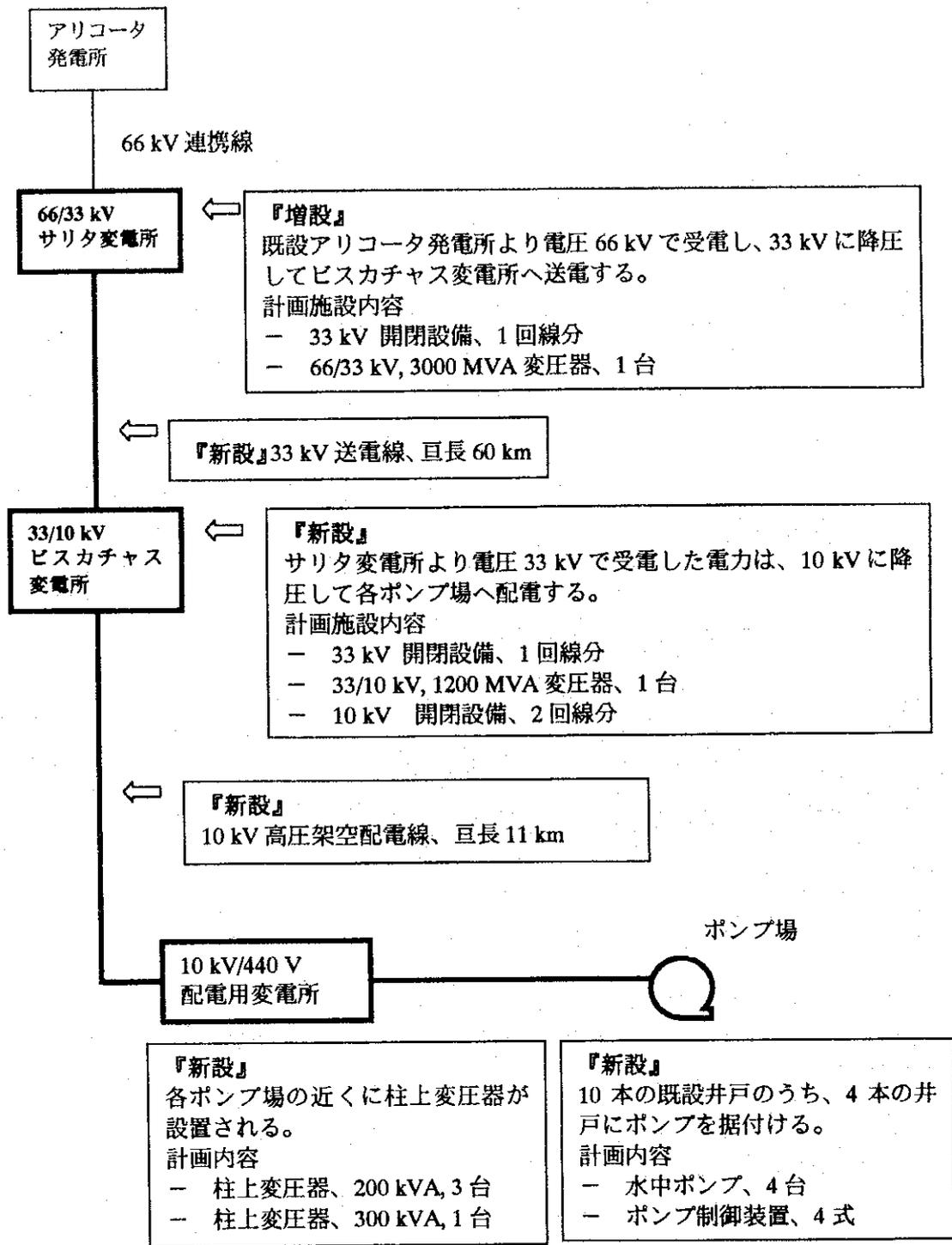
井戸から汲み上げられた地下水は、PV-2 ではそのまま受水枡に落とし地中に埋設した管路でコンクリート製の水路に流下させる。その他の井戸では、水路が井戸位置より数メートル高い位置にあるため、ポンプの吐出し管に直接接続された埋設管路を通じて水路に設けられた受水枡まで送水する。押し上げ高さが小さいため、管路途中にブースターポンプを設ける必要はない。これらの条件を元にして配水管機材を選定する。

PET は、1995 年の大渇水の実験から、緊急措置として PV-2 と PV-3 にディーゼルエンジン駆動の縦軸型深井戸用ポンプを設置した。現在、この設備を利用して、230 l/s の揚水が行なわれている。両井戸で揚水された地下水は、PV-2 からコンクリート製の永久水路を通じてマタサス川に給水されており、PV-3 と PV-2 の間は仮水路で接続されている。本計画が実施されればこれらのポンプ設備は撤去され、本計画で調達される電動モーター駆動のポンプ設備と交換される。水路設備に関しては以下に示す。

- a) PV-2 のポンプ場から永久水路までの水路はすでに供用されているのでこれを活用する。
- b) PV-3 ポンプ場から仮水路までは、PET により高密度ポリエチレンパイプが布設されているので、ポンプとの接続部分および、新設される受水枡への接続部分の材料のみを資機材調達対象とする。
- c) 新設される PV-6 および PV-8 のポンプ場からの送水管および、PV-8~PV-6~PV-3 間を接続する水路はベルー側費用で建設される。

(3) 電力設備のアウトライン

ビスカチャス高原に据付けられる、ポンプ場への電力供給は既設アリコータ発電所—既設サリタ変電所—送電線—ビスカチャス変電所—高圧配電線—配電用変電所—ポンプ場へと供給される。電力設備のアウトラインは図 3-2 に示す通りである。



各柱上変圧器とポンプ場の間は、600 V の地中ケーブルにて接続され、ポンプ場には受電盤が設置される。

図 3-2 電力設備のアウトライン

3-3 基本設計

3-3-1 設計方針

本計画の設計に当っては、PETの技術体系に適應し、据付および維持・管理の容易さを考慮して、既施設と整合性のとれた設計および機器を採用し、高い安全性と信頼性を確保出来るシステム構築を基本方針とする。電力設備は標高 4,600 m において開閉サージおよび商用周波電圧に耐える設計とする。

(1) 適用基準・規格

本計画で設置される機器・材料の設計・製作および工場検査、試験等については次の設計基準、規定によるものとする。

- 日本工業規格 (JIS)
- 日本電気学会規格調査会 (JEC)
- 日本電機工業会 (JEM)
- 国際電気標準会議 (IEC)
- 国際標準化機構 (ISO)
- アメリカ機械協会 (ASME)
- アメリカ水道規格 (AWWA)
- その他の国際規格
- メーカー規格

施設の据付・建設工事は PET の慣行および規定またはペルー国で実施されている規則に基づいて施工される。また工事従事者および公衆に対する安全対策は PET および据付・建設工事を実施する現地業者によって厳密に管理される。

(2) 使用電圧

本計画で使用される系統電圧は次の通りとする。

表 3-1 使用電圧

系統	定格電圧	最大系統電圧
送電線	33 kV	36 kV
高圧配電線	10 kV	11 kV
低圧配電線	440 V	460 V
制御電圧	220 V	240 V

(3) 気象条件

沿岸域～低山地においては、平均気温が約 14～20℃、平均最高気温が約 20～24℃、平均最低気温が約 8～14℃であり、気温は比較的温暖である。しかし、年降水量は約 50 mm 以下しかないのに対し、年間可能蒸発量は約 800～1600 mm と降水量の約 16～32 倍もあり、砂漠気候となって

いる。

一方、標高が約 4000~5000 m にも達するアンデス高原においては気温は寒冷で、平均気温は約 4~10°C、平均最高気温が約 14~18°C、平均最低気温は約 -6~2°C である。年降水量は沿岸域~低山地よりも多く約 300 mm~400 mm であり、年間可能蒸発量は約 1200~1800 mm となっている。気候学的にはステップ気候に該当している。

サリタ変電所およびビスカチャス高原に建設されるビスカチャス変電所および取水設備の設計気象条件は、以下の通りとする。

表 3-2 気象条件

サリタ変電所	標高	2,200 m
	最高温度	25 °C
	最低温度	-15 °C
ビスカチャス高原	標高	4,600 m
	最高温度	15 °C
	最低温度	-20 °C

送電線および配電線の設計に関しては、ペルー国の電力設備基準に従い、以下の条件で設計する

表 3-3 33 kV 送電線設計条件

異常時		
第一条件	温度	-15 °C
	風速	0 km/h
	被氷厚	6 mm
第二条件	温度	0 °C
	風速	90 km/h (=25m/sec)
常時		
	温度	15 °C
	風速	0 km/h
	EDS	4.5 kg/mm ²
最大弛度時条件	温度	40 °C
	風速	0 km/h

(4) 地形・地質条件

サリタ変電所は既設変電所の敷地に拡張するものであり、またビスカチャス高原には仮設のディーゼル・エンジン駆動のポンプが稼働していることから、これらの据付状況より地形・地質的には問題なく、変電所およびポンプ場の基礎に特殊設計は不要と判断する。33kV 送電線の布設については、サリタ変電所寄りの 14 km は地形が険しく岩盤地帯であるため爆薬による掘削が必要であるが、特殊基礎は不要である。

(5) 設計基準

機器設計のための設計基準は以下の通りとする

a) 取水設備設計基準

表 3-4 取水設備設計基準

ポンプ形式	: 深井戸用水中モータポンプ
揚水量 (l/s)	: 130~70
電源	: AC 三相 440V, 60Hz
送水管材料	: 高密度ポリエチレン HDPE
管径 (mm)	: 250~300
管路長 (m)	: 約 40~670

ポンプ運転開始後、井戸内の水位が安定してからは水位が頻繁に変動しないため、ポンプ流量を頻繁に変化させる必要がない。従って運転方式は手動とし、低水位時におけるキャビテーション発生からポンプを保護するために、低水位リレーを設ける。井戸水位によってポンプの吐出量が変わるので、過吐出し防止用と流量調節用として流量調整弁を設ける。さらに流量計を管路途中に設け取水量を記録・管理する。

b) 電力設備設計基準

表 3-5 33 kV 設備設計基準

電気方式	: 3相3線式
定格電圧	: 33 kV
最高電圧	: 36 kV
インパルス耐電圧	: 250 kV
AC 耐電圧	: 42 kV
短時間電流	: 600 A
定格遮断容量	: 12.5 kA
周波数	: 60 Hz

表 3-6 10 kV 設備設計基準

電気方式	: 3相3線式
定格電圧	: 10 kV
最高電圧	: 11 kV
インパルス耐電圧	: 125 kV
AC 耐電圧	: 12 kV
短時間電流	: 200 A
定格遮断容量	: 12 kA
周波数	: 60 Hz

表 3-7 440 V 設備設計基準

電気方式	:	3 相 4 線式
定格電圧	:	440 V
最高電圧	:	460 V
インパルス耐電圧	:	6,000 V
AC 耐電圧	:	2,000 V
周波数	:	60 Hz

(c) 接地方式

施設の接地方式は以下の通りとする。

表 3-8 接地方式

33 kV 送電系統	:	非接地
10 kV 高圧配電系統	:	非接地
440 V 低圧系統	:	中性点直接接地

(d) 許容最小離隔距離

33 kV 送電線の電線最下点からの最小離隔距離は以下の通りとする。

表 3-9 許容最小離隔距離

33 kV 送電線の地上高	道路沿い	:	6.0 m
	高速道路沿い	:	6.5 m
	道路横断	:	7.0 m
	原野	:	5.0 m
33 kV 送電線の最小垂直離隔距離	33 kV 送電線	:	1.2 m
	通信線	:	1.8 m
	樹木、	:	2.5 m
	構造物	:	2.5 m

3-3-2 基本計画

(1) 対象地区および施設の概要

a) 対象地区

ペルー国の最南端部タクナ県に位置するビスカチャス高原、アリコータ湖を対象地区とする。

対象地区	計画施設
i) アリコータ湖	: 既設サリタ変電所の拡張
ii) アリコータ湖 - ビスカチャス高原	: 33 kV 送電線
iii) ビスカチャス高原	: ビスカチャス変電所の新設 10 kV 高圧配電線の新設 取水設備新設

b) 施設の概要

本計画で対象地区に実施される施設の概要は以下の通りである。

表 3-10 施設の概要

項目	単位	数量
サリタ変電所		
変圧器、3,000 kVA, 66/33 kV	台	1
33 kV 開閉設備	式	1
屋外型制御盤	式	1
サリタ変電所 - ビスカチャス高原		
33 kV 送電線	km	60
ビスカチャス変電所		
変圧器 1,200 kVA, 33/10 kV	台	1
33 kV 開閉設備	式	1
10 kV 開閉設備	式	2
屋外型制御盤	式	1
10 kV 高圧配電線	km	11
取水設備		
取水ポンプ	台	4
予備ポンプ	台	1
ポンプ制御盤	式	4
送水管	式	1
変圧器、200 kVA 10kV/440V	台	3
変圧器、300 kVA 10kV/440V	台	1
その他		
15 トン・クラス、トラック・クレーン	台	1
3 トン・クレーン付き 6 トン・トラック	台	1
地下水観測機材	式	1

(2) 井戸配置計画

ビスカチャス高原からの取水施設は、既に PET によって掘削・施工されている 10 本の井戸の中から選定される井戸に設置するものとする。

既存井戸の諸元、取水施設設置井戸の選定方法と選定結果、および選定された井戸の計画揚水量と計画動水位とを以下に記す。

a) 既存井戸の諸元

ビスカチャス高原には揚水井戸を目的として既に 10 本の井戸(PV-1~PV-10)が掘削・施工されている。これらの井戸の井戸深度、静水位、試験揚水量の最大値、比湧出量、透水量係数、貯留係数、揚水量(Q)と水位低下量(s)との関係式「 $s=BQ+CQ'$ 」における係数 B と C、井戸効率、揚水影響圏半径を表 3-11 に示す。

これらの全ての井戸は、上段と下段の 2 段のフィルター付きケーシング(スクリーン)が施工されており、上段ケーシングの直径は 1 8 インチ、下段ケーシングの直径は 1 2 インチである。

表 3-11 中に示されるように、揚水試験においては最大約 70~130l/s の揚水がおこなわれた(PV-01、PV-10 を除く)。この揚水試験結果からすると、PV-1 と PV-10 以外の井戸においては、これらの揚水量は各井戸の限界揚水量には達していないところから、これらの最大揚水量を各井戸の計画取水量と設定しても問題はない。各井戸の計画取水量を約 70~130l/s、平均約 100l/s とすれば、全体の最大取水量である 400l/s(平均 360l/s)を確保するためには 4 本の井戸が必要となる。これはペルー国側が要請している取水設備数に一致している。

ビスカチャス高原の井戸・水路の配置は図 3-3 に示す通りである

表 3-11 既存井戸の諸元

井戸番号	井戸深度 (m)	最大試験揚水量 (l/s)	静水位 (m)	比湧出量 (m ³ /日/m)	透水量係数 (m ³ /日)	貯留係数	s=BQ+CQ'		井戸効率 E(%)	影響圏の半 径 R(m)
							B	C		
PV-01	260	50	27.01	113.7	123.64	0.00139	340	8650	28	5,479
PV-02	245	130	9.64	1,086.1	1,382.40	0.00124	80	-11.68	(100)	19,397
PV-03	308	100	6.02	339.8	494.04	0.00005	180	767	70	59,335
PV-04	330	100	10.97	474.1	598.66	0.00050	65	1184	35	20,036
PV-05	308	105	4.77	148.5	142.13	0.00890	495	792	86	2,322
PV-06	217	97	6.16	230.8	226.20	0.00425	234	1454	62	4,240
PV-07	298	88	13.29	398.6	404.61	0.00400	169	566	75	5,843
PV-08	308	100	5.15	366.3	314.24	0.00990	220	120	95	3,273
PV-09	300	72	34.84	309.3	414.72	0.00010	200	1090	65	37,412
PV-10	300	31	32.5	43.5	(算出不能)	(算出不能)	(算出不能)	(算出不能)	(算出不能)	(算出不能)

注 1 : 「s=BQ+CQ'」は、揚水量(Q)と水位低下量(s)との関係式。井戸により係数 B、C が異なる。

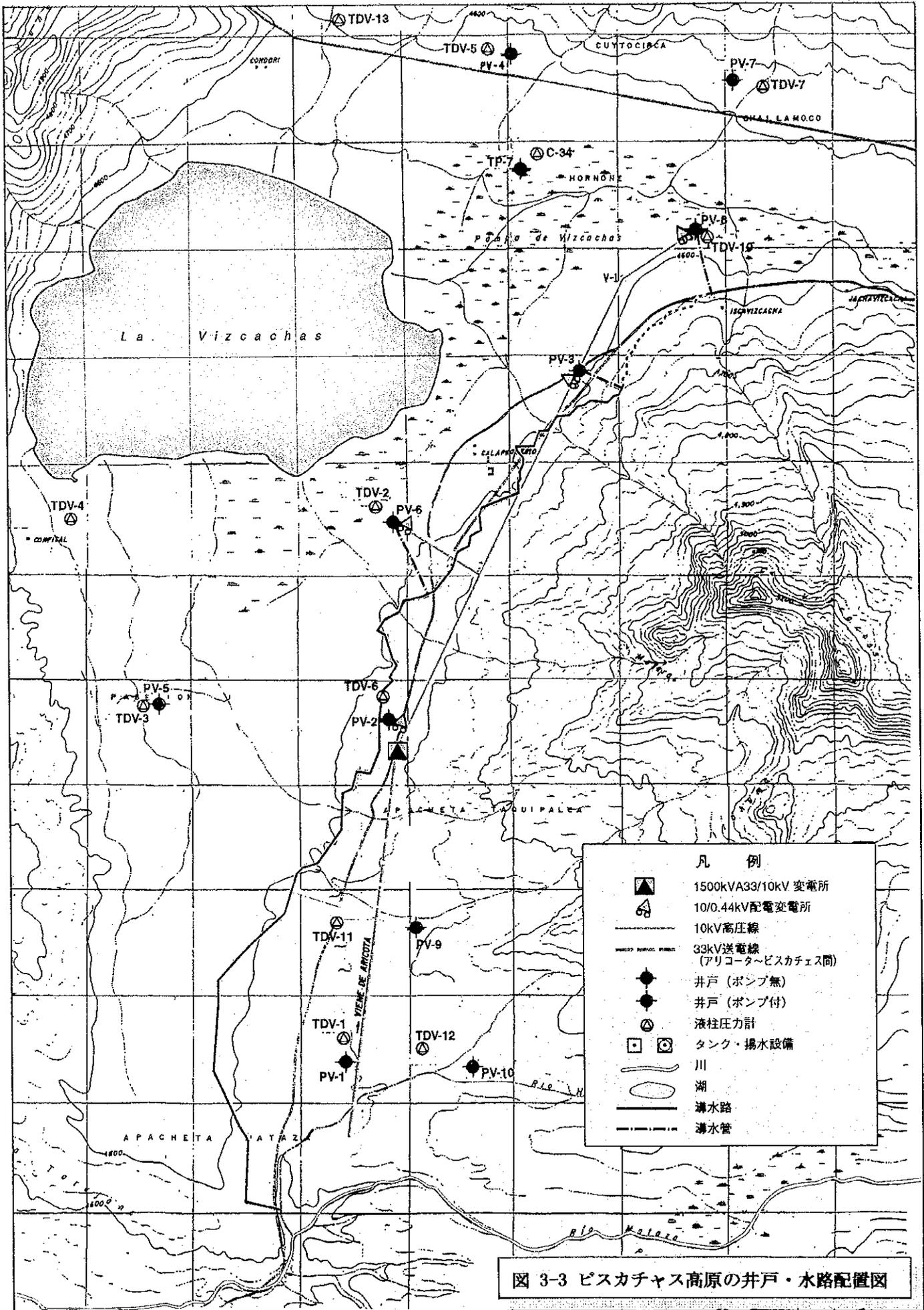
注 2 : 「井戸効率」は、水が井戸のストレーナーを通過する際の水頭損失を表す。揚水量を 100l/s とした場合のもの。BQ は理論的水位低下量、

CQ' は井戸損失による水位低下分を表していることから、井戸効率は以下の式で求める。

$$s = \frac{BQ}{BQ + CQ^2}$$

注 3 : 「影響圏の半径」は、揚水によって生じる水位降下の及ぶ範囲を意味し、水位降下が 0.001(〜0) となる井戸からの距離をいう。次式 (Jacob の式) によって求める。揚水時間を 5ヶ月とした場合のもの。

$$R = \sqrt{\frac{2.55Tt}{S}}$$



b) 取水設備設置井戸の選定

揚水試験結果から求められた帯水層と井戸の特性にもとづいて、10本の既存井戸の中から4本の取水施設設置井戸を選定するものとする。選定手順を以下に示す。

(i) 1次評価基準

透水量係数、係数 B の値(揚水量と水位低下量との関係式における係数)、比湧出量、井戸効率の4項目について、表 3-12 に示す評価基準を設定し、これにもとづいて評価するものとする。

表 3-12 井戸評価項目の評価基準

評価内容	評価記号	透水量係数(T) (m ³ /日)	係数 B *1	比湧出量(SC) (m ³ /日/m)	井戸効率(E) (%)
優良	AA	1000 以上	100 以下	1000 以上	80 以上
良	A	500~1000	100~300	500~1000	60~80
普通	B	200~500	300~600	100~500	45~60
不良	C	100~200	600~1200	50~100	30~45
極めて不良	D	200 以下	1200 以上	50 以下	30 以下

*1: 係数 B は、揚水量 Q と水位低下量 s との関係を表す次式の右辺第 1 項の係数である。

$$s = BQ + CQ^2$$

(ii) 1次総合評価基準

上記の4項目の評価結果にもとづいて、表 3-13 の方法により総合評価を行う。

表 3-13 1次総合評価の方法

	4 項目 の 評 価	総合評価
C 及び D を含まない	4 項目の全てが AA	AA
	3 項目が AA、1 項目が A	A
	3 項目が AA、1 項目が B	
	AA は 2 項目以下、B は 1 項目以下、他は A	
C 又は D を含む	B が 2 項目以上	B
	D は含まないが、C が 1 項目以上	C
	D が 1 項目以上	D

(iii) 既存井戸の 1次評価結果

上述の基準にもとづいて既存井戸の 1次評価をおこなった結果を表 3-14 に示す。

表 3-14 既存井戸の 1 次評価結果

井戸番号	透水量係数		係数 B		比湧出量		井戸効率		総合評価
	m ³ /日	評価	(*1)	評価	m ³ /日/m	評価	(%)	評価	
PV-01	123.64	C	340	B	112.3	B	28	D	D
PV-02	1382.40	AA	80	AA	1123.2	AA	100	AA	AA
PV-03	494.04	B	180	A	337.0	B	70	A	B
PV-04	598.66	A	65	AA	466.6	B	35	C	C
PV-05	142.13	C	495	B	146.9	B	86	AA	C
PV-06	226.20	B	234	A	233.3	B	62	A	B
PV-07	404.61	B	169	A	397.4	B	74	B	B
PV-08	314.24	B	220	A	362.9	B	95	AA	B
PV-09	414.72	B	200	A	311.0	B	65	A	B
PV-10	算定不能	D	算定不能	D	43.5	D	算定不能	D	D

*1: 係数 B は、揚水量 Q と水位低下量 s との関係を表す次式の右辺第 1 項の係数である。

$$s = BQ + CQ^2$$

上表に示されているように、PV-02 井戸は全ての評価項目が”AA”(優良)に評価される唯一の井戸であり、しかも、この井戸は導水路に接近した位置にあることから、この井戸を取水設備設置井戸に選定する。一方、PV-10 井戸は井戸条件が最悪であり、透水量係数や井戸効率などを算定することも不可能であるところから、この井戸は取水設備設置井戸から除外する。また、PV-01 井戸も井戸効率と透水量係数が悪く、PV-04 は井戸効率が悪いこと、さらに PV-05 は透水量係数が悪いことから、これらについても選定対象から除外する。つまり、総合評価が”D”または”C”となった井戸については、選定対象から除外するものとする。

残りの PV-03、PV-06、PV-07、PV-08、PV-09 の中から、下記の 2 次評価にもとづいて、3 井戸を選定する。(上述したように、PV-02 は優先順位が最も高い。)

(iv) 2 次評価

1 次評価で残された 5 箇所の井戸について、現在計画されている導水路との位置関係について検討してみる。なお、導水路は自然流下させるものであるため、地形条件に適合するように設計・計画されており、これを安易に変更することは望ましくない。

各井戸から水路までの水平距離と、各井戸と水路の高度差(“+”は水路の高度のほうが高いことを示す)、および水平距離と高度差から算出した配管距離の概算値を、表 3-15 に示す。

表 3-15 井戸と導水路との位置関係

井戸番号	水路までの水平距離 (m)	水路との高度差 (m)	配管距離 (m)
PV-03	約 280	約 +10.4	約 280
PV-06	約 670	約 +19.8	約 670
PV-07	約 2,240	約 + 8.9	約 2,240
PV-08	約 570	約 +20.0	約 570
PV-09	約 750	約 -27.0	約 750

上表に示されるように、高度差にくらべて水平距離が格段に長いため、配管距離はほぼ水平距離に等しくなる。

配管距離の長さは取水設備の機材・施工の経済性に影響するものであり、井戸の性能に大差がないのであれば(これらの5本の井戸の総合評価は全て“B”である)、配管距離の短いものを取水設備設置井戸に選定することが望ましい。配管距離が短いものから順に並べてみると、次のようになる。

PV-03、PV-08、PV-06、PV-09、PV-07

これらから3本の井戸を選定するならば、施工の経済性からみて、PV-03、PV-08、PV-06が妥当であると結論される。

なお、PV-09の配管距離(約750m)はPV-06(約670m)と大差がないが、PV-09のすぐ南側には井戸性能が劣るPV-01とPV-10が位置していることが示すように、その周囲の水理地質的環境はあまり良好ではなく、水理地質的観点からもPV-06のほうが好ましいと評価できる。

(v) 井戸選定の結論

以上に検討したように、井戸の性能と経済性の評価にもとづいて、取水設備設置井戸として次の4本の井戸を選定する。

- PV-02
- PV-03
- PV-06
- PV-08

(vi) 井戸の相互干渉について

表3-11の中に示されているように、既存井戸の影響圏(揚水によって水位低下をもたらす範囲)の半径は最小でも約2,300m、最大約60,000mにもなる(揚水試験結果にもとづく理論的影響圏の半径)。この影響圏の半径は井戸間の距離を上回るものであるところから、「相互干渉が生じない井戸の選定」は不可能である。

一般に、帯水層の透水性が良好であるほど井戸の影響圏は大きくなるが、水位低下量は小さい。一方、帯水層の透水性が悪い場合には、井戸の影響圏は狭くなるが、水位低下量は大きくなる。したがって、ピスカチャス高原にある既存井戸のように、影響圏の半径が大きいことは決して不利な条件ではなく、「相互干渉が生じない井戸の選定」が不可能であることをことさら問題視する必要はない。肝心なことは、相互干渉による水位低下が取水に問題を生じるほどの規模であるか否かである。

ペルー国側(PET)は、既存井戸のPV-02、PV-09、PV-10における同時揚水試験と、PV-02、PV-03、PV-08における同時揚水試験を行っている。この同時揚水試験結果によれば、同時揚水による水位低下が単一の井戸で揚水を行った場合の水位低下を大幅に上回る事態は生じていない。

また、各井戸の透水量係数と貯留係数を用いて算出した干渉量(他の井戸の揚水によって生じる水位低下量)は、約 15 m 前後であり(後述)、水中ポンプによる揚水に困難をもたらすような規模ではない。
したがって、井戸の選定に際しては、「井戸の相互干渉」は評価要素から除外した。

c) 取水設備設置井戸における計画取水量

本プロジェクトにおける平均取水量は 360l/s であるが、稼働率(90%)を考慮し、取水設備の容量は全体で約 400l/s に設定する。これは、各井戸の最大取水量の合計を 400l/s に設定することに等しく、この最大取水量にもとづいて、各井戸の計画取水量を設定することとする。

400l/s の取水量を単純に 4 本の井戸に配分すれば、それぞれ 100l/s の取水量となる。しかし、PV-02 の井戸性能は極めて良好であり、揚水試験において最大 130l/s の揚水が行なわれた実績をもっており、段階揚水試験結果からすればこの揚水量は限界揚水量には達していないものと判断されるところから、この井戸における計画取水量は 130l/s に設定する。一方、PV-06 の井戸効率は選定された 4 本の井戸の中では最も劣っている(62%)ことを考慮して、この井戸における計画取水量は 70l/s に設定する。PV-03 と PV-08 は 4 本の井戸の中では「平均的」な井戸であり、各井戸の平均的取水量である 100l/s を両井戸の計画取水量に設定する。

d) 取水設備設置井戸における計画動水位

計画動水位とは、各井戸がその最大取水計画量を揚水した時に生じる水位低下量の予測値に、他の井戸からの干渉による水位低下量の予測値、および静水位変化などによる水位低下量の予測値を加味した将来水位の予測値であり、井戸の計画揚程に等しい。当然ながら、水中ポンプはこの計画動水位よりも深部に設置する必要がある。

(i) 揚水にともなう各井戸の水位低下量

揚水による井戸水位の低下量を予測する方法には、段階揚水試験結果から求められる揚水量-水位低下量の関係式によって算出する方法(ほぼ揚水試験実績値に相当する)と、透水量係数と貯留係数にもとづいて算出する Jacob の式とがある。Jacob の式を当該井戸に適用する場合には、井戸からの距離(r)をスクリーンの半径とする(対象井戸の場合には、 $r=0.23\text{m}$)。

揚水量-水位低下量の関係式

$$s=BQ+CQ^2$$

B、C は井戸固有の係数、他の記号は下記に同じ。

Jacob による式

$$s = \frac{2.30 Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 T t}{r^2 S}$$

ここに、s : 井戸からの距離 r における水位低下量、
Q : 計画揚水量

r : 井戸からの距離

T : 透水量係数

S : 貯留係数

t : 揚水時間

両方の方法で水位低下量を試算した結果を、表 3-16 に示す。なお、Jacob の式を用いた計算では、揚水時間を 1 日、30 日(1 月)、365 日(1 年)とした場合の水位低下量を算出した。

この表 3-16 に示されるように、揚水量－水位低下量の関係式(ほぼ段階揚水試験結果に等しい)から求められる水位低下量よりも Jacob の式で求められる値のほうが大きい。

また、Jacob の式では揚水時間が長くなるにしたがって水位低下量も大きくなる。そこで、安全側をとって、Jacob の式から算出される 1 年間揚水した場合の水位低下量を設計条件として採用することとする。

表 3-16 揚水による水位低下量の試算結果

井戸番号	計画揚水量		揚水量－水位低下量 関係式による算出結果	Jacob の式による算出結果		
	L/s	m ³ /日		1 日	30 日	365 日
PV-02	130	11,232	10.20 m	11.41 m	13.61 m	15.22 m
PV--03	100	8,640	25.67 m	27.68 m	32.41 m	35.88 m
PV-06	70	6,048	23.50 m	31.10 m	38.33 m	43.64 m
PV-08	100	8,640	23.20 m	30.85 m	38.28 m	43.74 m

(ii) 井戸間の干渉による水位低下量

ある井戸に対して複数の揚水井戸がおよぼす干渉効果(水位低下)は、個々の揚水井戸がおよぼす水位低下量の算術的加算値で表わされるところから、まず各井戸の揚水が他の井戸におよぼす水位低下量を上述の Jacob の式によって算出する。この算出結果を表 3-17 に示す。

表 3-17 揚水が他の井戸におよぼす水位低下量

揚水井戸 (揚水量)	影響を受ける 井戸	井戸間の 距離 (m)	水 位 低 下 量 (m)		
			1 日	30 日	365 日
PV-02 (130 l/s)	PV-03	3,720	0.27	1.09	2.71
	PV-06	1,840	(0)	2.00	3.62
	PV-08	5,400	(0)	0.6	2.23
PV-03 (100 l/s)	PV-02	3,720	0.73	5.46	8.94
	PV-06	2,260	2.12	6.85	10.32
	PV-08	1,700	2.91	7.64	11.11
PV-06 (70 l/s)	PV-02	1,840	(0)	0.13	5.44
	PV-03	2,260	(0)	(0)	4.56
	PV-08	3,950	(0)	(0)	2.19
PV-08 (100 l/s)	PV-02	5,400	(0)	(0)	(0)
	PV-03	1,700	(0)	(0)	4.81
	PV-06	3,950	(0)	(0)	1.12

この場合も、365 日(1 年間)に渡って揚水した場合の水位低下量を設計値として使用すること

とする。ある井戸が影響を受ける全干渉量は、個々の揚水井戸から受ける水位低下量を合計したものとなる。例えばPV-02井戸の場合、PV-03の揚水により8.94mの水位低下が生じ、PV-06がもたらす水位低下は5.44m、PV-08の揚水によっては水位低下の影響を受けないから、これらを合計した値14.38mが干渉量(他の井戸での揚水がもたらす水位低下量)となる。

(iii) 静水位の低下量

上述した水位変化量は揚水による水位変化(動水位)を検討したものであるが、降水量の変化などによって静水位自体も変化する可能性があることを考慮する必要がある。

ビスカチャス高原における水位観測井の静水位は、1992年から1994年の間に最大約3.5mの変化を示している(特殊な場所に位置しているC76観測井での記録を除く)。この観測値をそのまま使用するのは危険であるため、この2倍の7.00mを将来的な静水位低下量として想定することとする。

現在の静水位から以上に検討した水位低下量を引いた水位が、各井戸の計画動水位(井戸の計画揚程)となる。表3-18に取水設備設置計画井戸の計画動水位(井戸の計画揚程)を示す。

表 3-18 取水設備設置計画井戸における水位低下計画値

井戸番号	計画揚水量 (l/s)	静水位 (m)	揚水による 干渉による		静水位変動 (m)	計画動水位 (m)
			水位低下 (m)	水位低下 (m)		
PV-02	130	9.54	15.22	14.38	7.00	46.14
PV-03	100	6.02	35.88	12.08	7.00	60.98
PV-06	70	6.16	43.64	15.06	7.00	71.86
PV-08	100	5.15	43.74	15.53	7.00	71.42

(3) 取水設備

本取水設備は、地下水汲み上げをその目的とするものである。地下水は、井戸の中に設置される垂直な揚水管の末端に取り付けられたポンプで加圧され、揚水管を通じて地上に押し上げられる。地上に送られた地下水は吐出し曲管で水平にその向きを変えられ、送水管に送られる。コンクリート製水路中に設置される受水柵に、送水管を通じて送られてきた地下水が放出され、下流に通水される。

取水設備は、その運転・保守の容易さを考慮して仕様計画を行なう。機材の選定の検討結果は、ポンプとモーター、補機、操作装置、および送水管に分けて以下に述べる。

a) ポンプとモーター

ポンプの形式

本プロジェクトに使用されるポンプは吐出し量70~130 l/s、全揚程47~96 mである。この規模のポンプの形式には水中ポンプと立軸型ポンプがある。両形式の特徴を表3-19に示す。

表 3-19 ポンプ形式の比較

水中モーター型	立軸型
モーターとポンプが一体型であるので、施工が容易である。	モーターとポンプが別々であるので施工がやや難しい。
分解点検の際はモーター・ポンプとも水中から吊り上げる必要がある。	分解点検の際に、ポンプのみを水中から吊り上げればよい。
原動機を井戸内部に設置しなくてはならないので、維持管理が困難	原動機を地上に設置できるので維持管理が容易。
モーターが水中にあるので、モーターの水密シールに問題があったが、シールの性能向上により解決されている。	モーターが地上にあるので、水密の問題はない。
モーターとポンプが直結されているので、駆動軸が露出せず、腐食などの可能性はない。	原動機とポンプが数十メートル離れているので、長い駆動軸が必要。駆動軸の水中軸受けの保守に注意を要する。
漏電等のための保守・点検が必要。	モーターが地上にあるので、特別な点検は必要ない。

上表中の太線で囲った、施工性と水中軸受けの保守管理の面から、ポンプ形式として水中モーターポンプを選択するものとする。維持管理がやや困難であるが、水中軸受けの維持管理と故障のない点で水中ポンプ形式の方が適する。

駆動機の形式

本プロジェクトに使用される規模のポンプ用駆動機の形式には電動モーターとディーゼルエンジンがある。両形式の特徴を表 3-20 に示す。

表 3-20 ポンプ用駆動機形式の比較

	電動モーター	ディーゼルエンジン
設備費	安価である。	単位出力あたりの価格は高い
付帯設備	受配電設備が必要。	燃料油の運搬・貯蔵を必要とし、各種の補機が必要となる。
運転経費	運転時間が連続なので経費が安い。	運転中の燃料および潤滑油の費用が主である。
運転制御	操作は単純。制御上信頼度の高い自動化が可能である。	電気的な制御にはやや複雑なシステムが必要になる。
維持管理	ほぼメンテナンスフリー。	保守管理に手間がかかる。
建屋・基礎	省スペースが可能。	振動・動荷重を考慮した強固な基礎が必要なおうえ、エンジンは横長のため据付面積が大きい。
ベベルギア	立軸モーターを適用することにより不必要。	エンジンの出力軸が水平方向でポンプの入力軸が垂直なので、方向を変換するベベルギアが必要である。このため効率が数パーセント落ちる。

表 3-19 ポンプ形式の比較

水中モーター型	立軸型
モーターとポンプが一体型であるので、施工が容易である。	モーターとポンプが別々であるので施工がやや難しい。
分解点検の際はモーター・ポンプとも水中から吊り上げる必要がある。	分解点検の際に、ポンプのみを水中から吊り上げればよい。
原動機を井戸内部に設置しなくてはならないので、維持管理が困難	原動機を地上に設置できるので維持管理が容易。
モーターが水中にあるので、モーターの水密シールに問題があったが、シールの性能向上により解決されている。	モーターが地上にあるので、水密の問題はない。
モーターとポンプが直結されているので、駆動軸が露出せず、腐食などの可能性はない。	原動機とポンプが数十メートル離れているので、長い駆動軸が必要。駆動軸の水中軸受けの保守に注意を要する。
漏電等のための保守・点検が必要。	モーターが地上にあるので、特別な点検は必要ない。

上表中の太線で囲った、施工性と水中軸受けの保守管理の面から、ポンプ形式として水中モーターポンプを選択するものとする。維持管理がやや困難であるが、水中軸受けの維持管理と故障のない点で水中ポンプ形式の方が適する。

駆動機の形式

本プロジェクトに使用される規模のポンプ用駆動機の形式には電動モーターとディーゼルエンジンがある。両形式の特徴を表 3-20 に示す。

表 3-20 ポンプ用駆動機形式の比較

	電動モーター	ディーゼルエンジン
設備費	安価である。	単位出力あたりの価格は高い
付帯設備	受配電設備が必要。	燃料油の運搬・貯蔵を必要とし、各種の補機が必要となる。
運転経費	運転時間が連続なので経費が安い。	運転中の燃料および潤滑油の費用が主である。
運転制御	操作は単純。制御上信頼度の高い自動化が可能である。	電氣的な制御にはやや複雑なシステムが必要になる。
維持管理	ほぼメンテナンスフリー。	保守管理に手間がかかる。
建屋・基礎	省スペースが可能。	振動・動荷重を考慮した強固な基礎が必要なうえ、エンジンは横長のため据付面積が大きい。
ベベルギア	立軸モーターを適用することにより不必要。	エンジンの出力軸が水平方向でポンプの入力軸が垂直なので、方向を変換するベベルギアが必要である。このため効率が数パーセント落ちる。

上表中の太線枠で囲った、燃料の補給と保守管理の面から、駆動機の形式として電動モーターを選択するものとする。

電動機形式の選定

ポンプに使用されるモーターには、かご形誘導電動機、巻線型誘導電動機、同期電動機、整流子電動機がある。表 3-21 に特徴を述べる。

表 3-21 ポンプ駆動用電動機形式の比較

	かご形誘導電動機	巻線型誘導電動機	同期電動機	整流子電動機
価格	安い。	やや高い。	高い。	高い。
始動電流	大きい。	始動抵抗器をいれることにより始動電流を低減できる。	大きい。	小さい。
速度変化	定速度型	始動抵抗器により可変速にもなる。	定速度型	可変速型。

上表中の太線枠で囲った価格の面から、駆動機の形式としてかご型誘導電動機を選択するものとする。始動電流に関する短所は、コンドルファ始動方式の採用により補償するものとする。

電圧の選定

ペルー国の電動機用標準電圧は、3相の場合 440V、单相の場合は 220V に規定されている。モーターの定格容量は概算で 110~150 kW となるため、3相電動機が一般的である。従って、ポンプモーターの定格電圧は、440V とした。

始動方式の選定

本プロジェクトに適用される規模のモーターの始動方式には、スターデルタ始動とリアクトル始動、コンドルファ始動がある。表 3-22 に特徴を述べる。

表 3-22 モーター始動形式の比較

	スターデルタ始動	リアクトル始動	コンドルファ始動
構造	始動時巻線をスター結線として各巻線に加わる電圧を $1/\sqrt{3}$ にし、定格回転数の 70~90% でデルタ結線に切り替えるもの。	電動機の一次側にリアクトルを入れて、十分に加速してから、短絡するもの。	変圧器により減圧し、次に変圧器の中性点を切り離してリアクトルとし、最後に短絡するもの。
始動特性	始動トルクも減少するため軽負荷特性を持ち、比較的小容量の電動機に適用する。	比較的広範囲の始動特性が得られる。	操作が容易でリアクトル始動に比べて若干始動特性が低下するが、比較的大容量の電動機に適用される。
価格	最も安価である。	最も高い	中間

上表中の太線枠で囲った、燃料の補給と保守管理の面から、駆動機の形式として電動モーターを選択するものとする。

電動機形式の選定

ポンプに使用されるモーターには、かご形誘導電動機、巻線型誘導電動機、同期電動機、整流子電動機がある。表 3-21 に特徴を述べる。

表 3-21 ポンプ駆動用電動機形式の比較

	かご形誘導電動機	巻線型誘導電動機	同期電動機	整流子電動機
価格	安い。	やや高い。	高い。	高い。
始動電流	大きい。	始動抵抗器をいれることにより始動電流を低減できる。	大きい。	小さい。
速度変化	定速度型	始動抵抗器により可変速にもなる。	定速度型	可変速型。

上表中の太線枠で囲った価格の面から、駆動機の形式としてかご型誘導電動機を選択するものとする。始動電流に関する短所は、コンドルファ始動方式の採用により補償するものとする。

電圧の選定

ペルー国の電動機用標準電圧は、3相の場合 440V、単相の場合は 220V に規定されている。モーターの定格容量は概算で 110~150 kW となるため、3相電動機が一般的である。従って、ポンプモーターの定格電圧は、440V とした。

始動方式の選定

本プロジェクトに適用される規模のモーターの始動方式には、スターデルタ始動とリアクトル始動、コンドルファ始動がある。表 3-22 に特徴を述べる。

表 3-22 モーター始動形式の比較

	スターデルタ始動	リアクトル始動	コンドルファ始動
構造	始動時巻線をスター結線として各巻線に加わる電圧を $1/\sqrt{3}$ にし、定格回転数の 70~90% でデルタ結線に切り替えるもの。	電動機の一次側にリアクトルを入れて、十分に加速してから、短絡するもの。	変圧器により減圧し、次に変圧器の中性点を切り離してリアクトルとし、最後に短絡するもの。
始動特性	始動トルクも減少するため軽負荷特性を持ち、比較的小容量の電動機に適用する。	比較的広範囲の始動特性が得られる。	操作が容易でリアクトル始動に比べて若干始動特性が低下するが、比較的大容量の電動機に適用される。
価格	最も安いである。	最も高い	中間

本プロジェクトに適用されるモーターは 110~150 kW とやや大型であるため、スターデルタ始動方式では始動電流が大きすぎる。コンドルファ始動方式は、始動時のショック特性においてリアクトル始動方式にやや劣るものの、始動電流は小さく、操作性が良く、リアクトル始動方式に比べ安価であるためコンドルファ始動方式を選択するものとする。

b) 補機

補機としては揚水管、吐出し曲管、圧力計、流量調整弁、逆止弁、自動給気弁、流量計、コンパニオンフランジを含む。

c) 操作装置

操作装置としては、水位検知器と操作盤があり、ポンプ運転を電氣的に制御するために必要である。操作装置の目的を以下に述べる。

水位検知器： 水中においたポンプの安全を図るために必要。井戸内部の水位が異常に下がった場合に、ポンプが水面から空気を吸い込み、ポンプにキャビテーションなどの問題が発生し機器を短命化する。

操作盤： ポンプの運転に必要。低電圧式始動装置と水位検知器による低水位停止、その他の電氣的故障を検知し自動停止させる機能を組み込んだ操作盤である。人家から離れている高原に設置する操作盤であることを考慮して、操作回路は機械式リレーではなく電子制御方式を用いたソリッドステート回路とする。

本計画では、遠方監視と制御を行なわないため、水位検知器は井戸の水位を電氣的に取り出す必要がなく、狭い井戸内に設置することを考慮して、最も構造が簡単で安価な電極型を選定する。

操作盤は遠方制御を行なわないので、操作盤は機側のみとする。操作盤は厳しい自然条件に晒されるため、鋼製屋外・自立型を選定するものとする。操作盤には表 3-23 に示す機器を含むものとする。

表 3-23 操作盤機器

コンポーネント	用途
主開閉器	ポンプの動力回路を遮断する
過負荷、欠相、逆相リレー	モーターの保護回路
ソリッドステート型操作回路	自動運転用の回路
自動-手動切り替えスイッチ	自動運転と手動運転の切り替えスイッチ
電圧計	受電電圧測定(相間切り替えスイッチ付)
電流計	ポンプ運転中の電流値測定
水位リレー	井戸水位が異常に低下した時の非常停止用

d) 送水管

本プロジェクトに適用される送水管材料には高密度ポリエチレン管、強化プラスチック複合管、塩化ビニール管、鋼管などがある。各々の特徴を表 3-24 に示す通りである。

表 3-24 送水管材料比較

	高密度ポリエチレン管(HDPE100)	強化プラスチック管(FRPM管)	塩化ビニール管	鋼管
材料	高密度ポリエチレンが主材料。	ガラス繊維とポリエステル樹脂	塩化ビニール	炭素鋼
撓み	大	中	大	小
耐食性	大	大	大	小
耐寒性	大	大	小	大
耐衝撃性	大	中	小	大
塗装	不要	不要	不要	必要
接合部の強度	大	ゴム継手なので脱落の恐れがある。	小、接着剤で接合	大、溶接あるいはボルト接合
施工性	容易、軽いので運搬が容易。熱溶融継手を使用	容易、軽いので運搬が容易。ゴム継手	容易、軽いので運搬が容易。施工は簡単だが強度に不安が残る	難、重いので、高地での運搬が困難。溶接の場合には溶接機が必要。
交換性	ペルー国内で調達可	ペルー国内で調達可	ペルー国内で調達可	ペルー国内で調達可
耐久性	高	高	低	低、小口径(250~300mm)なので、内部塗装が困難。

上表に示すように、高密度ポリエチレン管は施工が簡単であり、標高 4600 m の高地で据付工事を行なう材料として最適である。よって、摩擦抵抗が少なく耐久性の高い 10 キロ圧に対応した高密度ポリエチレンパイプ(HDPE100)を用いるものとする。

鋼管の場合には溶接個所の防錆処理ができないため、経年劣化に伴う発錆による摩擦損失が大きくなるが、HDPE 管の場合にはプラスチックであるので、発錆がなく摩擦損失が増加しない利点がある。また、鋼管とは異なり可撓性が大きいことから、緩やかな曲がりの部分はベンド管を使わずに配管が可能である。

検討結果に基づく取水設備の基本仕様は表 3-25 に示す通りである。ポンプ場の機器配置を図 3-4 に示す。

表 3-24 送水管材料比較

	高密度ポリエチレン管(HDPE100)	強化プラスチック管(FRPM管)	塩化ビニール管	鋼管
材料	高密度ポリエチレンが主材料。	ガラス繊維とポリエステル樹脂	塩化ビニール	炭素鋼
撓み	大	中	大	小
耐食性	大	大	大	小
耐寒性	大	大	小	大
耐衝撃性	大	中	小	大
塗装	不要	不要	不要	必要
接合部の強度	大	ゴム継手なので脱落の恐れがある。	小、接着剤で接合	大、溶接あるいはボルト接合
施工性	容易、軽いので運搬が容易。熱溶融継手を使用	容易、軽いので運搬が容易。ゴム継手	容易、軽いので運搬が容易。施工は簡単だが強度に不安が残る	難、重いので、高地での運搬が困難。溶接の場合には溶接機が必要。
交換性	ペルー国内で調達可	ペルー国内で調達可	ペルー国内で調達可	ペルー国内で調達可
耐久性	高	高	低	低、小口径(250~300mm)なので、内部塗装が困難。

上表に示すように、高密度ポリエチレン管は施工が簡単であり、標高 4600 m の高地で据付工事を行なう材料として最適である。よって、摩擦抵抗が少なく耐久性の高い 10 キロ圧に対応した高密度ポリエチレンパイプ(HDPE100)を用いるものとする。

鋼管の場合には溶接個所の防錆処理ができないため、経年劣化に伴う発錆による摩擦損失が大きくなるが、HDPE 管の場合にはプラスチックであるので、発錆がなく摩擦損失が増加しない利点がある。また、鋼管とは異なり可撓性が大きいことから、緩やかな曲がりの部分はバンド管を使わずに配管が可能である。

検討結果に基づく取水設備の基本仕様は表 3-25 に示す通りである。ポンプ場の機器配置を図 3-4 に示す。

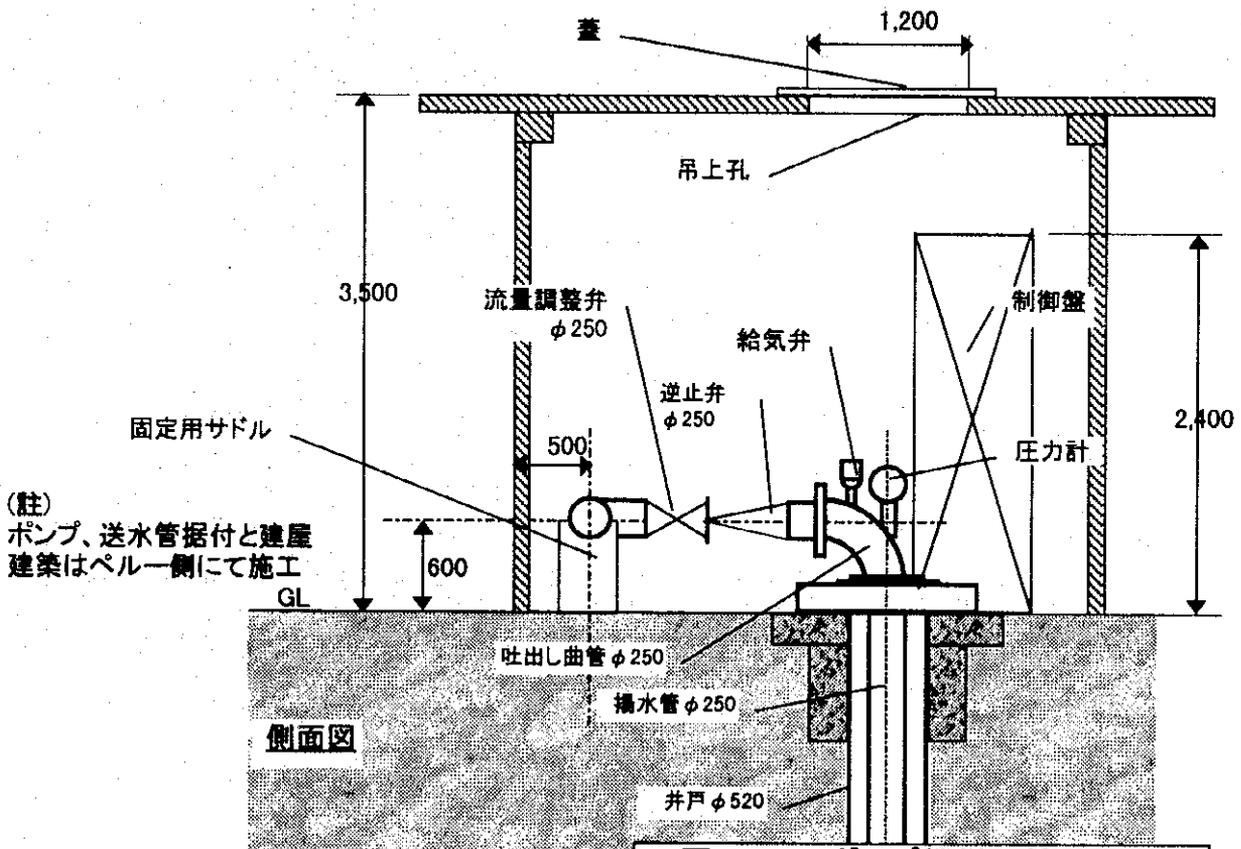
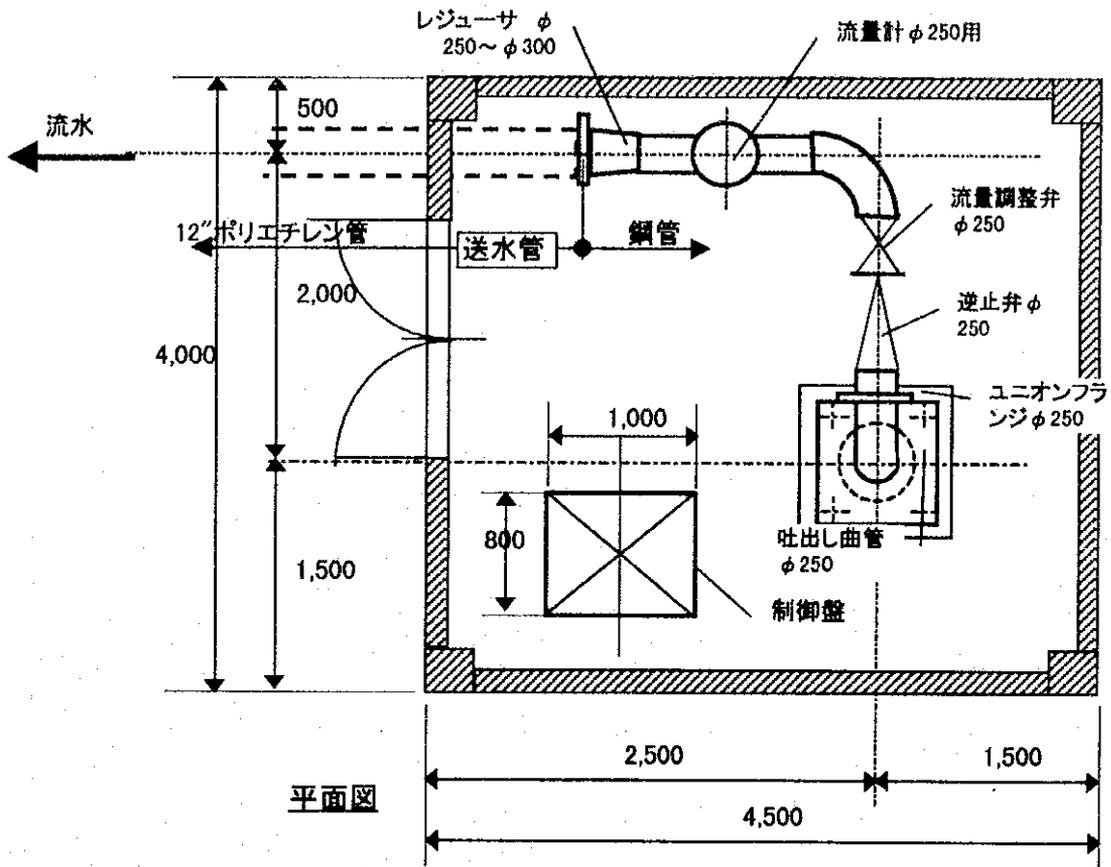


図 3 - 4 ポンプ機場の機器配置

表 3-25 取水設備の基本仕様

仕 様		PV1用	PV3用	PV4用	PV6用	予備機用	
ポンプ	形式	水中ポンプ					
	吐出量 (l / sec)	130	100	70	100	100	
	全揚程 (m)	47	72	96	96	72	
	付属品						
	ポンプ内蔵逆止弁	1台					
	揚水管: シームレス炭素鋼鋼管 Sch40、接続用特殊フランジとケーブル固定用ケースを含む	1台					なし
電動機	動力用水中パワーケーブル	長: 70 m	長: 80 m	長: 90 m	長: 90 m	長: 80 m	
	水位検知器	長: 52 m	62 m	75 m	76 m	なし	
操作盤	使用電力	三相、440 V、60Hz					
	始動方式	ソリッドステートシステム制御によるコンドルファ始動					
付属品	形式	水中密閉型、耐摩耗性スラストベアリング付					
	使用標高 (m)	4,600					
	形式	自立型鋼製、スプレー塗装仕上げ、兼付扉					なし
	主ブレーカー	フューズ付き MCCB					なし
	起動方法	三相電磁式。タイムリレーと温度リレー付					なし
	プリセット操作モード数	約 80 種類					なし
	保護方式	過負荷、欠相、逆相リレー					なし
	切り替えスイッチ	OFF-手動-自動					なし
	メーター類	電圧計、電流計、相間切替スイッチ付					なし
	運転用リレー	低水位検出					なし
送水管	予備品	ヒューズ: 1 式					なし
	吐出曲管	井戸カバー付き 250 mmφ 径 90° エルボ: 1 個	同左	同左	同左	なし	
	圧力計 (1 台)	Kg/cm ² 表示:	200 mmφ	250 mmφ	250 mmφ	なし	
	吐出量調整弁	250 mmφ 仕切弁	同左	同左	同左	なし	
	吐出管: Sch 40、フランジ付	250 mmφ、3.0 m 長: 2 本	同上	同上	同上	なし	
	逆止弁 (1 台)	なし	250 mmφ 径	200 mmφ	250 mmφ	なし	
	フロート型自動給気弁 (1 台)	なし	250 mmφ	200 mmφ	250 mmφ	なし	
	流量計 (1 台)	250 mmφ、送水量は 1/s、積算量は m ³ 表示台	同左	同左	同左	なし	
	分解組立用ユニオンフランジ (1 台)	250 mmφ 用	同左	同左	同左	なし	
	その他	ボルト、ナット、パッキン					なし
送水管	直管 250 mmφ	0 m	57 m	800 m	3 m	なし	
	直管 300 mmφ	40 m	0 m	0 m	670 m	なし	
	フランジ付き 45° エルボ 250 mmφ	0 個	4 個	4 個	0 個	なし	
	フランジ付き 45° エルボ 300 mmφ	4 個	0 個	0 個	4 個	なし	
	フランジ付き 90° エルボ 250 mmφ	0 個	1 個	1 個	0 個	なし	
	フランジ付き 90° エルボ 300 mmφ	1 個	0 個	0 個	1 個	なし	
	鋼製レジュースー 300 - 250 mmφ	1 個	0 個	0 個	1 個	なし	
	鋼製レジュースー 250 - 200 mmφ	0 個	0 個	1 個	0 個	なし	

表 3-25 取水設備の基本仕様

仕 様		PS-2用	PS-3用	PS-6用	PS-8用	予備機用
ポンプ	形式	水中ポンプ				
	吐出量 (l / sec)	130	100	70	100	100
	全揚程 (m)	47	72	96	96	72
	付属品					
	ポンプ内蔵逆止弁	1台				
	揚水管: シームレス炭素鋼 鋼管 Sch40、接続用特殊フ ランジとケーブル固定用ケー スを含む	1台				なし
電動機	動力用水中パワーケーブル	長: 70 m	長: 80 m	長: 90 m	長: 90 m	長: 80 m
	水位検知器	長: 52 m	62 m	75 m	76 m	なし
操作盤	使用電力	三相、440 V、60Hz				
	始動方式	ソリッドステートシステム制御によるコンドルファ始動				
	形式	水中密閉型、耐摩耗性スラストベアリング付				
	使用標高 (m)	4,600				
	形式	自立型鋼製、スプレー塗装仕上げ、錠付扉				なし
	主ブレーカー	フェーズ付き MCCB				なし
	起動方法	三相電磁式。タイムリレーと温度リレー付				なし
	プリセット操作モード数	約 80 種類				なし
	保護方式	過負荷、欠相、逆相リレー				なし
	切り替えスイッチ	OFF-手動-自動				なし
付属品	メーター類	電圧計、電流計、相間切替スイッチ付				なし
	運転用リレー	低水位検出				なし
	予備品	ヒューズ: 1 式				なし
	吐出曲管	井戸カバー付き 250 mmφ 径 90° エ ルボ: 1 個	同左 200 mmφ	同左 250 mmφ	なし	
	圧力計 (1 台)	Kg/cm ² 表示:		200 mmφ	250 mmφ	なし
	吐出量調整弁	250 mmφ 仕切弁		同左 200 mmφ	同左 250 mmφ	なし
	吐出管: Sch 40、フランジ付	250 mmφ、3.0 m 長: 2 本		同上	同上	なし
	逆止弁 (1 台)	なし	250 mmφ 径	200 mmφ	250 mmφ	なし
	フロート型自動給気弁 (1 台)	なし	250 mmφ	200 mmφ	250 mmφ	なし
	流量計 (1 台)	250 mmφ、送水量は l/s、積算量 は m ³ 表示台		同左 200 mmφ 用	同左 250 mmφ 用	なし
分解組立用ユニオンフランジ (1 台)	250 mmφ 用		同左 200 mmφ 用	同左 250 mmφ 用	なし	
その他	ボルト、ナット、パッキン				なし	
送水管	直管 250 mmφ	0 m	57 m	800 m	3 m	なし
	直管 300 mmφ	40 m	0 m	0 m	670 m	なし
	フランジ付き 45° エルボ 250 mmφ	0 個	4 個	4 個	0 個	なし
	フランジ付き 45° エルボ 300 mmφ	4 個	0 個	0 個	4 個	なし
	フランジ付き 90° エルボ 250 mmφ	0 個	1 個	1 個	0 個	なし
	フランジ付き 90° エルボ 300 mmφ	1 個	0 個	0 個	1 個	なし
	鋼製レジュースー 300 - 250 mm φ	1 個	0 個	0 個	1 個	なし
	鋼製レジュースー 250 - 200 mm φ	0 個	0 個	1 個	0 個	なし

(4) 送電設備

(a) 設計概要

送電線の経路および容量

ビスカチャス高原への電力供給として、要求される送電容量は、ビスカチャス変電所に設置される変圧器 1,200kVA の全容量とする。送電線の経路として次の 3 案が検討された。

第 1 案	サリタ変電所—ビスカチャス高原	亘長 60km
第 2 案	スーチェス変電所—ビスカチャス高原	亘長 45km
第 3 案	サリタ変電所—シタハラ変電所—ピラコー タ変電所—ビスカチャス高原	亘長 99km

第 2 案のスーチェス変電所は鉱山会社の所有であり、INADE より同変電所からビスカチャス変電所への送電依頼が提出されたが、鉱山会社に拒否されたため、この案の選択は不可能となった。

第 3 案のルートは、サリタ変電所よりタラタ方面に接続されている既設の送電線をピラコータ変電所で分岐してビスカチャス変電所に接続する案である。送電距離が 48km と短いことから最も経済的と思われる案であるが、この送電線は山岳地帯に点在する村落の負荷を担っていること、また発電所からビスカチャス変電所までの総亘長が 99km となることから、資料-8 の潮流計算結果に示すように、ビスカチャス変電所での電圧降下が 28.8 % となり、33kV での送電は技術的に不適當である。

第 1 案のルートは全亘長が 60km で、第 2 案より建設費は高くなるが、ビスカチャスでの電圧降下は 8.7% であり、タップを調整することにより定格電圧での受電が可能である。よって、第 1 案のサリタ変電所—ビスカチャス変電所の案を採用する。

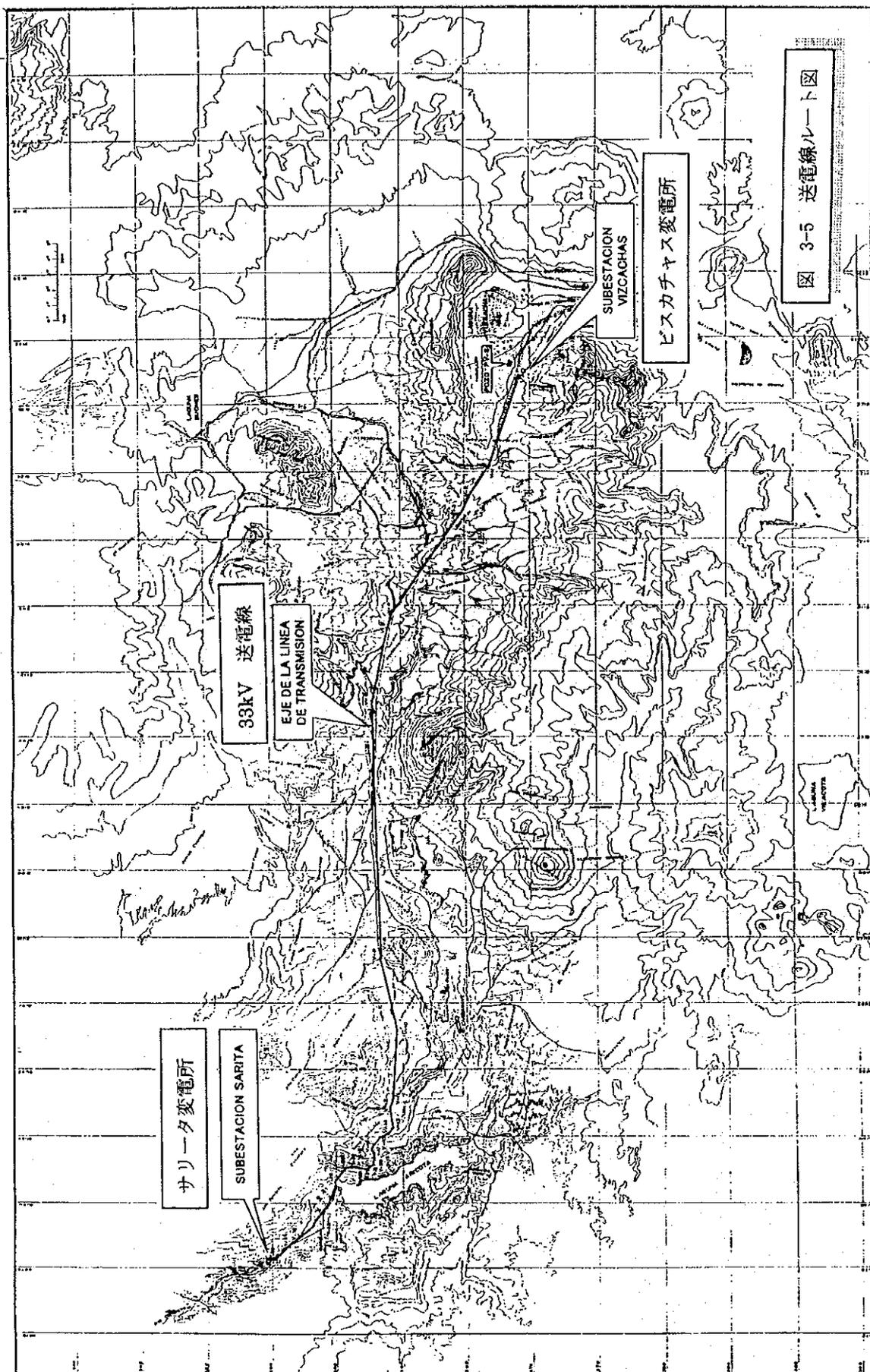
送電線はサリタ変電所より線路長 60 km、高低差 2,300 m をほぼ直線的に建設される。送電線ルートは図 3-5 に示す通りである。

送電電圧

送電線の経済電圧の指標となる、下記の A.Still の式によれば、33 kV を若干超過するものの、硬質な地盤で土木工事が難しく、運搬が容易でないこの地域で、上位電圧 66kV を採用することは経済的でないため、33 kV が経済電圧であると判断した。

$$\begin{aligned} V &= 5.5 \times \sqrt{(0.6 \times L + 0.01 \times P)} \\ &= 5.5 \times \sqrt{(0.6 \times 60 + 0.01 \times 1000)} \\ &= 37.3 \text{ kV} \end{aligned}$$

V = 送電電圧 (kV)、L = 送電距離 (km)、P : 送電容量 (kW)



電線

選定された電線 AAAC 67 mm² は、資料-8 の潮流計算に示すように容量 1,200 kVA の送電に十分であることが確認された。

支持物

支持物は運搬が容易な個所については、コンクリート柱を使用し、その他の個所には、木柱を使用する。コンクリート柱は、ペルー国規格 INDECOPI339,027 に定められた遠心中空コンクリート柱を用いる。木柱はペルー国規格 INDECOPI251 に定められた防食含浸木柱を使用する。

碍子設計

碍子は既設設備との整合性を図り、ANSI 規格 (American National Standards Institute) を用いる。標高による絶縁低下は、ペルーの基準である CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD - TOMO IV を適用し、標高 1000m に対する絶縁低下補正係数を以下のとおりとする。

$$(4,600-1,000) / 100 \times 0.0125 + 1 = 1.45$$

ペルーの基準による閃絡電圧は、

$$\begin{aligned} U_c &= 2.1 \times (U_o \times 1.45 + 5) \\ &= 2.1 \times (33 \times 1.45 + 5) \\ &= 110.985 \text{ kV} \end{aligned}$$

であり、この閃絡電圧に対する耐電圧を持つ碍子として、

- Pin 碍子 - ANSI Class 56-5
- 懸垂碍子 - ANSI Class 52-3 x 3 個

また、耐雷対策として、標高 4000m 以上の耐張装置は懸垂碍子を 4 個とし、懸垂装置としては、Pin 碍子の代わりに懸垂碍子 3 個を使用する。

架空地線

標高 4000m 以上については、耐雷設備として架空地線を架線する。

(b) 送電設備仕様

送電設備の基本概要を表 3-26 に示し、それぞれについての詳細を述べる。

表 3-26 送電設備の基本概要

33kV 送電線	電圧	33 kV
	距離	60 k m
	接地方式	非接地
	送電容量	3,000kVA
	支持物	コンクリート柱、木柱
	電線	AAAC 67 mm ²
	架空地線	GSW23.4 mm ² (標高 4000m以上)
	碍子	懸垂がいし・ピンがいし
	その他	中間地点に保守用区間断路器を設置する
10kV 配電線	電圧	10 k V
	距離	11 k m
	送電容量	3,000kVA
	支持物	コンクリート柱
	電線	HDCC 16 mm ²
	架空地線	GSW23.4 mm ²
	碍子	懸垂がいし・ピンがいし

電線

線種	AAAC(All Aluminum Alloy Conductor)
断面積	67.43 (mm ²)
素線数	19
外径	10.5 (mm)
重量	0.184 (kg/m)
電気抵抗 (20°)	0.5215 (ohm)
最小引張荷重	28.5 (kg/mm ²)

架空地線

線種	GSC(Galvanized Steel Wire)
断面積	23.44 (mm ²)
素線数	7
外径	6.35 (mm)
重量	0.181 (kg/m)
最小引張荷重	1450 (kg)

254mm 懸垂碍子

規格/型	ANSI 52-3 磁器ボールソケット (茶)
外径	254 mm
高さ	146 mm
課電破壊荷重	6800 (kg)
注水閃絡電圧(60Hz)	50 (kV)
雷インパルス F.O 電圧	125 kV (+)

ピン碍子

規格/型	ANSI 56-5 磁器 (茶)
定格電圧	72 (kV)
表面漏れ距離	864 mm
曲破壊強度	1363 (kg)
注水閃絡電圧(60Hz)	125 (kV)
雷インパルス F.O 電圧	270 (kV) (+)

支持物

S 型 一般径間の直線個所に用い、支持物は木柱 1.2 m とする。懸垂装柱、水平配列、ピン碍子支持とする。(資料-9 参照)

水平角度	0° - 1°
風径間	200 m 以内
重量径間	280 m 以内

A 型 一般径間、直線個所の耐張装置として用い、支持物は木柱 1.1 m を用いる。耐張装柱、水平配列、懸垂碍子 (3 個/連) 支持とする。(資料-9 参照)

水平角度	0° - 1°
風径間	200 m 以内
重量径間	520 m 以内

A30 型 一般径間の角度点に用い、支持物は木柱 1.2 m を用いる。耐張装柱、垂直配列、懸垂碍子 (3 個/連) 支持とし、支線 2 本にて補強する。(資料-9 参照)

水平角度	1° - 30°
風径間	120 m 以内
重量径間	150 m 以内

A60 型 一般径間の重角度点に用いる。耐張装柱、垂直配列、懸垂碍子 (3 個/連) 支持とする。支持物はコンクリート柱 1.2 m を用いる。支線 4 本にて補強する。

水平角度	30° - 60°
風径間	120 m 以内
重量径間	150 m 以内

H 型 中距離径間直線個所に用いる。懸垂装柱、水平支持、ピン碍子支持とし、支持

物は木柱 1 2 m 2 本を用いる (H 柱)。

水平角度 0° - 1°
風径間 2 0 0 - 3 5 0 m

HA 型 中距離径間の角度点に用い、支持物は木柱 1 2 m x 2 本を用いる (H 柱)。耐張装柱、水平支持、懸垂碍子 (3 個/連) 支持とする。

水平角度 0° - 15°
風径間 200-350 m

E 型 長距離径間の直線箇所または角度点に用いる。耐張装柱、懸垂碍子 (3 個/連) 支持とし、電線 1 条に対し、1 本の支持物、木柱 1 2 m を用いる。

水平角度 0° - 35°
風径間 200-350 m

S-2 型 一般径間の直線箇所に用い、支持物はコンクリート柱 1 2 m とする。懸垂装柱、水平配列、ピン碍子支持とする。

水平角度 0° - 1°
風径間 200 m 以内
重量径間 280 m 以内

A-2 型 一般径間、直線箇所の耐張装置として用い、支持物はコンクリート柱 1 1 m を用いる。耐張装柱、水平配列、懸垂碍子 (3 個/連) 支持とする。

水平角度 0° - 1°
風径間 200 m 以内
重量径間 520 m 以内

A2-30 型 一般径間の角度点に用い、支持物はコンクリート柱 1 2 m を用いる。耐張装柱、垂直配列、懸垂碍子 (3 個/連) 支持とする。支線 2 本にて補強する。

水平角度 1° - 30°
風径間 120 m 以内
重量径間 150 m 以内

H2-A 型 中距離径間の角度点に用い、支持物はコンクリート柱 1 2 m x 2 本を用いる (H 柱)。耐張装柱、水平支持、懸垂碍子 (3 個/連) 支持とする。

水平角度 0° - 15°
風径間 200-350 m

S-1 型 400m 以上の箇所に用いる。架空地線付。その他仕様は、S-2 型と同様

A-1 型 400m 以上の箇所に用いる。架空地線付。その他仕様は、A-2 型と同様

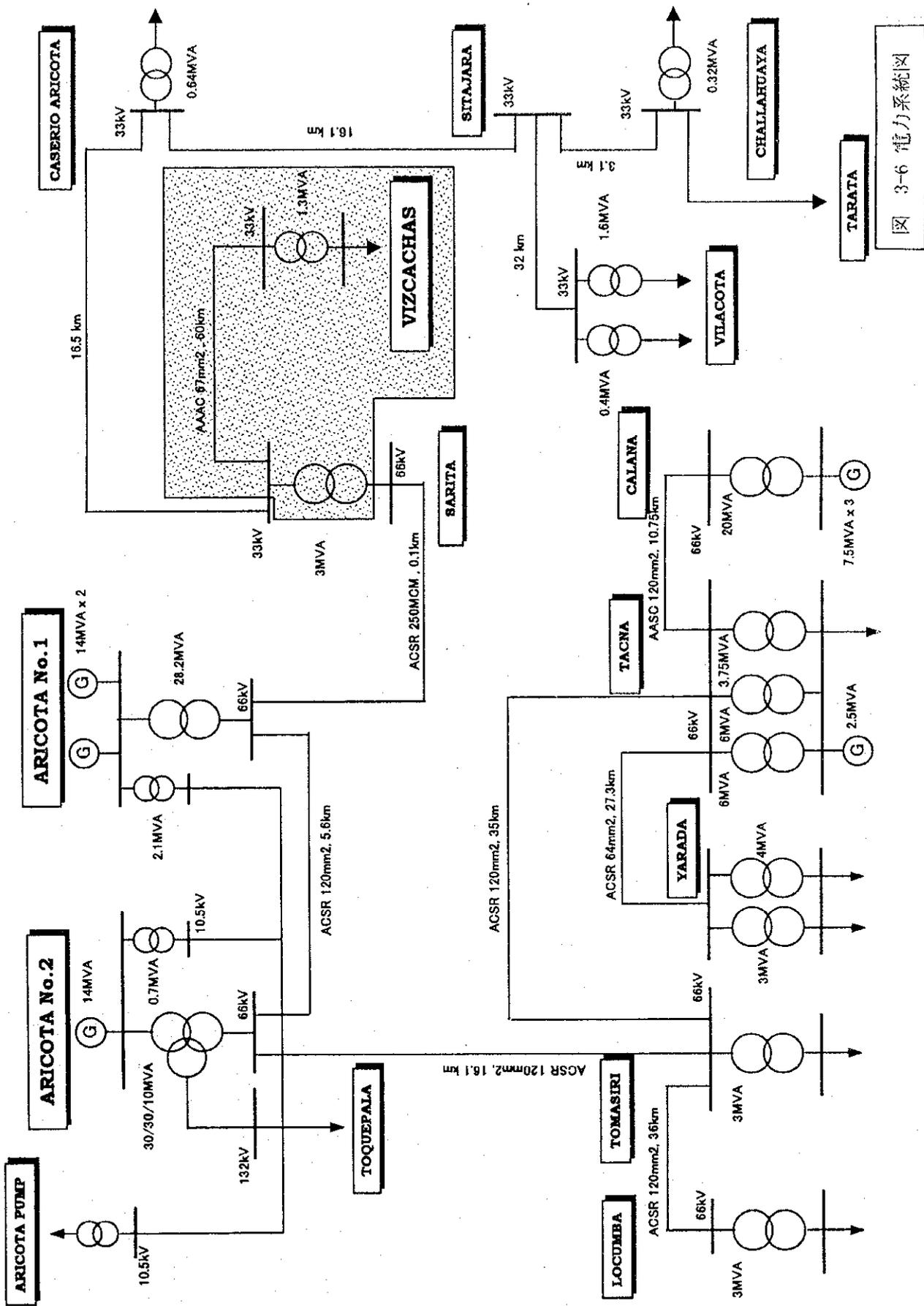


図 3-6 電力系統図

A1-30型 400m以上の個所に用いる。架空地線付。その他仕様は、A2-30型と同様
H1-A型 400m以上の個所に用いる。架空地線付。その他仕様は、A2-30型と同様

送電線材料表を資料-10に示す。

(5) 変電設備

本計画には表3-27に示す66/33kVサリタ変電所、33/10kVビスカチャス変電所、10/0.4kVポンプ場用配電用変電所の新設または増設が含まれる。それぞれの設備概要は表3-27のとおりである。また、これらの変電所周辺の電力系統図を図3-6に、各々の変電所の単線結線図を資料-11に示す。

表3-27 変電設備の基本概要

名 称		仕 様	
サリタ変電所	電圧	66kV/33kV	
	供給元	アリコータ発電所	
	供給先	ビスカチャス変電所	
	供給回線数	1回線	
	新設/増設	増設	
	変圧器仕様	変圧比	66/33kV
		容量	3,000kVA
		冷却方式	ONAN (自冷式)
		タップ切換方式	無負荷時
		数量	1台
ビスカチャス変電所	電圧	33kV/10kV	
	供給元	サリタ発電所	
	供給先	配電用変電所	
	供給回線数	2回線	
	新設/増設	新設	
	変圧器仕様	変圧比	66/33kV
		容量	1,200kVA
		冷却方式	ONAN (自冷式)
		タップ切換方式	負荷時
		数量	1台

ポンプ場用配電用変電所	電圧	10kV / 440V				
	供給元	ビスカチャス発電所				
	供給先	各ポンプ場				
	供給回線数	1 回線				
	新設/増設	新設				
	変圧器仕様	変圧比	10/0.44kV			
		容量	PV-2	PV-3	PV-6	PV-8
			200kVA	200kVA	200kVA	300kVA
		冷却方式	ONAN (自冷式)			
		タップ切換方式	無負荷時			
数量		1 台				

(a) 66/33 kV サリタ変電所

サリタ変電所は、アリコータ発電所より約 50 m 離れた位置にあり、サリタ変電所とアリコータ発電所は ACSR 120 mm² の電線 1 回線にて接続されている。サリタ変電所は現在、2,000 kVA 変圧器が設置されており、シタハラ、ピラコータ、タラタ等の山岳地方に電力を供給している。本計画では、この変電所に変圧器 3,000 kVA を新設し、ビスカチャス変電所に供給するため、1 回線分の 33 kV の屋外開閉機器を増設する。

サリタ変電所の増設に必要な主要な資機材は以下のとおりである。

表 3-28 サリタ変電所増設用資機材

機器名	数量
変圧器	1 台
33kV 遮断機	1 台
33kV 接地器付断路器	1 台
33kV 断路器	1 台
66kV 変流器	3 台
33kV 変流器	3 台
33kV 計器用変圧器	1 台
33kV 避雷器	3 台
屋内型制御盤	1 台

変圧器の保護には、差動継電器を使用し、33 kV 送電線の保護としては、短絡に対して過電流継電器、地絡に対しては方向地絡継電器を用いる。ただし、地絡事故に関しては、非接地系のため零相電流が小さく回線選択遮断が難しいため、地絡故障時にビスカチャス線路を先に遮断し、

故障除去が出来ない場合タイマーを用いてタラタ線路を遮断する方式を採用する。尚、変電所の制御電源は、アリコータ発電所より供給される AC380/220V を使用する。

変電所は、標高 2,200 m に位置するため、66 kV、33kV の機器の BIL (基準衝撃絶縁強度) をそれぞれ以下のとおり設定する。

$$\text{絶縁低下補正係数} : (2,200-1,000) / 100 \times 0.0125 + 1 = 1.15$$

表 3-29 基準衝撃絶縁強度(標高 2,000 m)

公称電圧	66kV	33kV
1000m以下における BIL	325kV	170kV
$BIL_{1000} \times \text{絶縁低下補正係数}$	373.75kV	195.5kV
BIL_{2200}	450kV	250kV

サリタ変電所の主要機器の仕様を以下に示す。

変圧器

型式	:	3相、油入屋外型
容量	:	3,000 kVA
変圧比	:	無電圧タップ切換装置付 69.3-67.65-66-64.35F-62.7F/33kV
定格電圧	:	一次側 66 kV スター 二次側 33 kV デルタ
ベクトルグループ	:	Ynd5
冷却方式	:	ONAN (油入自冷式)
ブッシングCT	:	33kV側 100/5A

遮断機

型式	:	3相、屋外型小油量型遮断機
定格電圧	:	36 kV
定格連続電流	:	600 A
定格遮断電流	:	12.5 KA
定格遮断時間	:	5 サイクル
動作責務	:	O-1 min. - CO-3min. - CO
制御電源電圧	:	AC 220

断路器

型式	:	3相、屋外型、水平2点切、手動操作式 (接地装置付きの場合、接地装置は手動型)
----	---	--

定格電圧	:	36 kV
定格電流	:	600 A
定格短時間電流	:	12.5 kA

変流器

66 kV用

型式	:	単相、油入、屋外型
最高使用電圧	:	72 kV
定格電流比	:	100 / 5 / 5 A
定格耐電流	:	12.5 kA
確度階級	:	計器用 — 1.0 保護継電器用 — 5P20

33 kV用

型式	:	単相、油入、屋外型
最高使用電圧	:	36 kV
定格電流比	:	50 / 5 / 5 A
定格耐電流	:	12.5 kA
確度階級	:	計器用 — 1.0 保護継電器用 — 5P20

避雷器

型式	:	酸化亜鉛型ギャップレス避雷器
定格電圧	:	42 kV
定格電流	:	10 kA
放電開始電圧	:	59.4 kV

屋内型制御盤

型式	:	屋内型キュービクル
計器類	:	電流計、電圧計、電力計、電力量計
保護継電器類	:	5I, 67G
その他	:	警報装置
使用電源	:	220V

(b) 33/10kV ビスカチャス変電所

ビスカチャス変電所は、ビスカチャス湖にあるポンプ場（井戸 No. PV-2）の付近に新設される。サリタ変電所からの送電電圧 33kV を 1,200 kVA 変圧器により 10kV に降圧し、2つの供給線に分岐してポンプ場への 10kV 配電線に電力を供給する。変圧器は、自動タップ調整機能付とし、無

人変電所での電圧調整を可能にする。また、2つの給電線の引き出し口にはリクローザーを設置し、瞬時事故による停電を回避する。変電所は、標高4,600 mに位置するため、33 kV, 10 kVのBILをそれぞれ以下のとおり設定する。

絶縁低下補正係数 : $(4,600-1,000) / 100 \times 0.0125 + 1 = 1.45$

表 3-30 基準衝撃絶縁強度(標高 4,600 m)

公称電圧	33 kV	10 kV
1000m以下における BIL	170 kV	75 kV
BIL ₁₀₀₀ × 絶縁低下補正係数	246.5 kV	108.75 kV
BIL ₄₆₀₀	250 kV	125 kV

サリタ変電所とビスカチャス変電所の間地点(標高4,000m)に区間開閉器を設置する。この開閉器は負荷電流を遮断することはないが、線路の充電電流を開閉できる性能を持つものとする。尚、BILは250kVとする。

ビスカチャス変電所建設に必要な主要資機材および機器の仕様は、以下の通りとする。

表 3-31 ビスカチャス変電所建設用主要資機材

機器名	数量
変圧器	1台
33kV 遮断機	1台
33kV 接地器付断路器	1台
33kV 変流器	3台
10kV 変流器	3台
33kV 計器用変圧器	1台
10kV 計器用変圧器	1台
33kV 避雷器	3台
10kV 避雷器	9台
リクローザー	2台
屋外型制御盤	2台
区間開閉器(地上型断路器)	1台

10 kV 送電線の保護としては短絡に対して過電流継電器を使用する。尚、変電所の制御電源として 50 kV の変圧器を設置し、AC380/220 V を得る。

主要機器の仕様を以下に示す。

変圧器

型式	:	3相、屋外型
容量	:	1.200 kVA
変圧比	:	自動電圧タップ切換装置付

避雷器

33 kV用

型式	:	酸化亜鉛型ギャップレス避雷器
定格電圧	:	42 kV
連続使用電圧	:	59.4 kV
放電電流	:	10 kV

10 kV用

型式	:	酸化亜鉛型ギャップレス避雷器
定格電圧	:	14 kV
連続使用電圧	:	19.8 kV
放電電流	:	10 kV

a) 10/0.4 kV ポンプ用配電変圧器

各ポンプ場には、10kV/440Vの配電変圧器を設置する。それぞれの容量はポンプモーターの始動電流を考慮して以下の通りとする。

ポンプ場 No.	ポンプモーター容量	変圧器容量
1) PV-2	110kVA	200kVA
2) PV-3	110kVA	200kVA
3) PV-6	110kVA	200kVA
4) PV-8	150kVA	300kVA

変電所は、標高4,600mに位置するため、10 kVのBILは以下のとおり設定する。

$$\text{絶縁低下補正係数} : (4,600-1,000) / 100 \times 0.0125 + 1 = 1.45$$

表 3-32 低圧設備の基準衝撃絶縁強度(標高 4,600 m)

公称電圧	10 kV
1000m以下における BIL	75kV
BIL ₁₀₀₀ x 絶縁低下補正係数	108.75kV
BIL ₄₆₀₀	125kV

配電変電所建設に必要な主要資機材及び主機器の仕様は、以下の通りとする。

表 3-33 ポンプ場用配電変電所建設用資機材

機器名	数量
変圧器, 200 kVA	3 台
変圧器, 300 kVA	1 台
避雷器	12 台
ヒューズ付カットアウトスイッチ	12 台
低圧分電盤	4 台

変 圧 器

型 式	:	3 相、屋外型
容 量	:	300 kVA, 200 kVA
変圧比	:	無電圧タップ切換装置付 9.0F-9.5F-10-10.5kV/440V
定格電圧	:	一次側 10kV デルタ 二次側 440V スター
冷却方式	:	ONAN (油入自冷式)

避雷器

型 式	:	酸化亜鉛型ギャップレス避雷器
定格電圧	:	14 kV
連続使用電圧	:	19.8 kA
放電電流	:	10 kV

(6) 配電設備

ビスカチャス変電所から各ポンプ場へは、10 kV 配電線により電力を供給する。

10 kV 配電線の概要は、以下の通りである。

表 3-34 低圧配電線概要

電気方式	3 相 3 線式
亘長	11 km
支持物	コンクリート柱
電線	HDCC 16mm ²
架空地線	GSW 23.4mm ²
平均径間	85m
碍子	ピン碍子 ANSI 56-2
碍子	懸垂碍子 ANSI 52-3

(7) 地下水観測設備

取水施設の維持・管理、水質管理およびビスカチャス高原における地下水盆の科学的管理を目的として、以下の機材について計画する。

(a) 孔内検査用ビデオカメラ (1台)

本機器は、下記の仕様を満足する必要がある。

- i) 機器の種類 : 井戸を対象とした孔内検査用のビデオカメラシステム。
- ii) 対象とする井戸の口径 : 直径 12~18 インチ。
- iii) 調査深度 : 最大約 400 m。

なお、孔内検査用ビデオカメラは、対象とするボアホールや井戸の口径が小さいほど高価であるため、本プロジェクトにおける井戸口径に適應したサイズの機器を選定することに努め、必要以上に小口径用のものとしなないことが肝要である。

(b) 孔内水質検査器 (1台)

センサーを井戸内に挿入して深度ごとの水質を検査する機器であり、以下の仕様を満足する必要がある。

- i) 機器の種類 : 井戸などの孔内にセンサーを挿入し、水質を検査するための機器。
- ii) 対象とする井戸の口径 : 直径 12~18 インチ。
- iii) 計測項目 : 少なくとも、水温、pH、電気伝導度。できれば塩分濃度の測定も可能なものが望ましい。
- iv) 調査深度 : 最大約 400 m。

(c) 現場用水質分析器 (1台)

現場において日常的に水質を検査するための機器であり、水質評価の基準となる指標(pH、電気伝導度など)を簡易に計測できることが肝要である。水質の指標に異常が認められた場合には、水を採取し、これを試験室において水質分析することで対処すればよい。本機器は、以下の仕様を満足する必要がある。

- i) 機器の種類 : 地表水または採水の水質を電氣的に計測する簡易用機器。
- ii) 計測項目 : 少なくとも、水温、pH、電気伝導度。できれば塩分濃度の測定も可能なものが望ましい。

(d) 自記水位計(8台)

取水が計画されている4本の井戸の水位と、ビスカチャス高原全体の地下水位の変動を継続的に観測するために、表 3-35 に示す8箇所の観測井に自記水位計を設置することを計画する。

表 3-35 自記水位計取付井戸

観測井番号	位置	深度 (m)	現状静水位 (m)	予測動水位 (m)	ワイアー長 (m) (*1)
TDV-6	PV-2 の観測井	81	15	25~50	60
PC-3	PV-3 の観測井	154	10	40~60	70
TDV-10	PV-8 の観測井	263	1	40~70	80
TDV-2	PV-6 の東方(*2)	240	16	40~70	80
TDV-5	平地最北部	292	6	10~20	30
PL-3	湖北平地部	55	2	5~20	30
TDV-3	湖南平地部	156	1	5~20	30
TDV-1	平地南端部	338	30	30~50	60
合 計					440

*1: ワイアー長=(最大水位+フロート固定用+バランス固定用+余裕)=(最大予測動水位+10m)

*2: PV-6 用の観測井として掘削された TDV-2 は自噴井であるため、C-77 を PV-6 用の観測井とする。

本機器は、下記の仕様を満足する必要がある。特に、機器が設置されるビスカチャス高原は寒冷地であり、機器の頻繁な監視が困難であることを考慮すべきである。

- i) 機器の種類 : 口径約 3~4 インチの観測井に設置できるフロート式自記水位計(井戸口径に合ったフロート径であること)。
- ii) 用紙交換期間 : 用紙交換タイプの機器の場合には、少なくとも1月間用の記録用紙を使用する機器であること。
- iii) 気象条件 : 最低気温が-20°C 近くにまで低下する気象条件下で使用できる機器であること。
- iv) ワイアー長 : 上表のとおり。なお、フロートをつるすワイアーは、絡まったり、折れたりすると使用できなくなるため、長期的観測に備えるためには、少なくとも、上記のワイアー長の2倍を用意することが望ましい。自記水位計の設置工事はペルー国側が行うものとする。

図 3-7 国家開発庁組織図

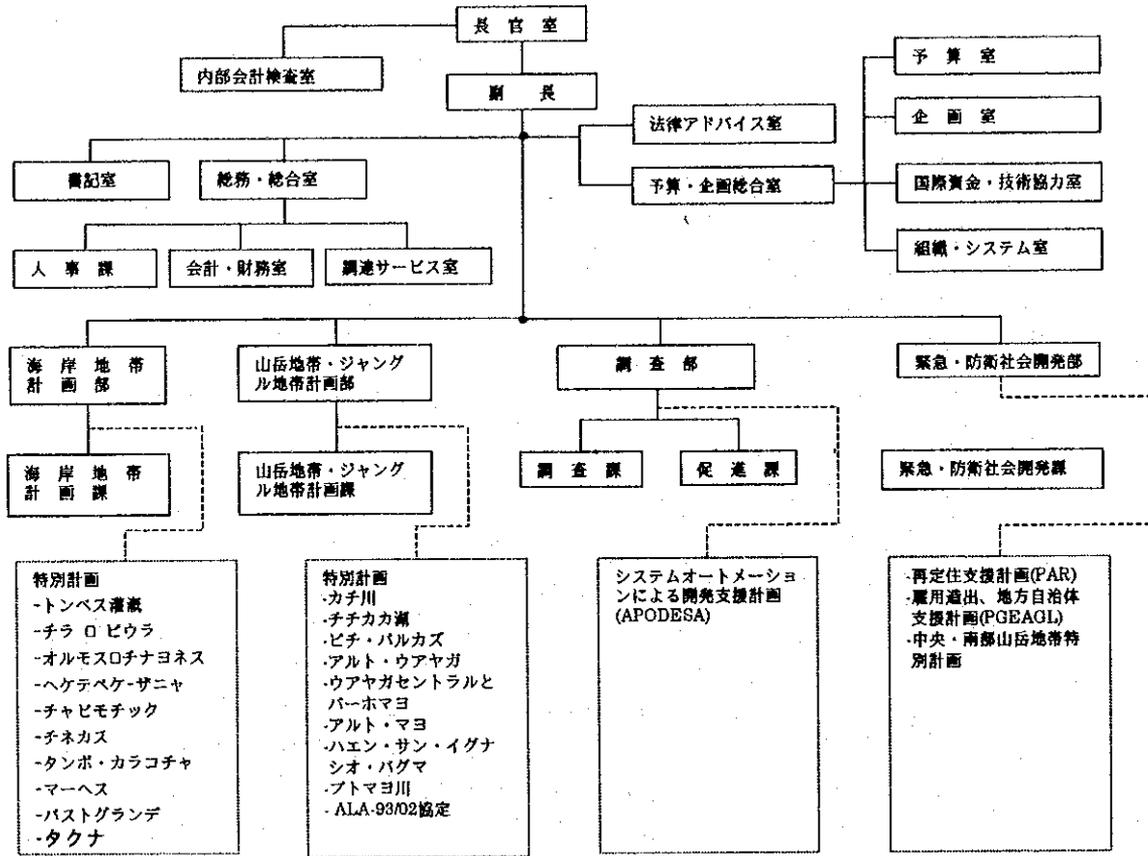
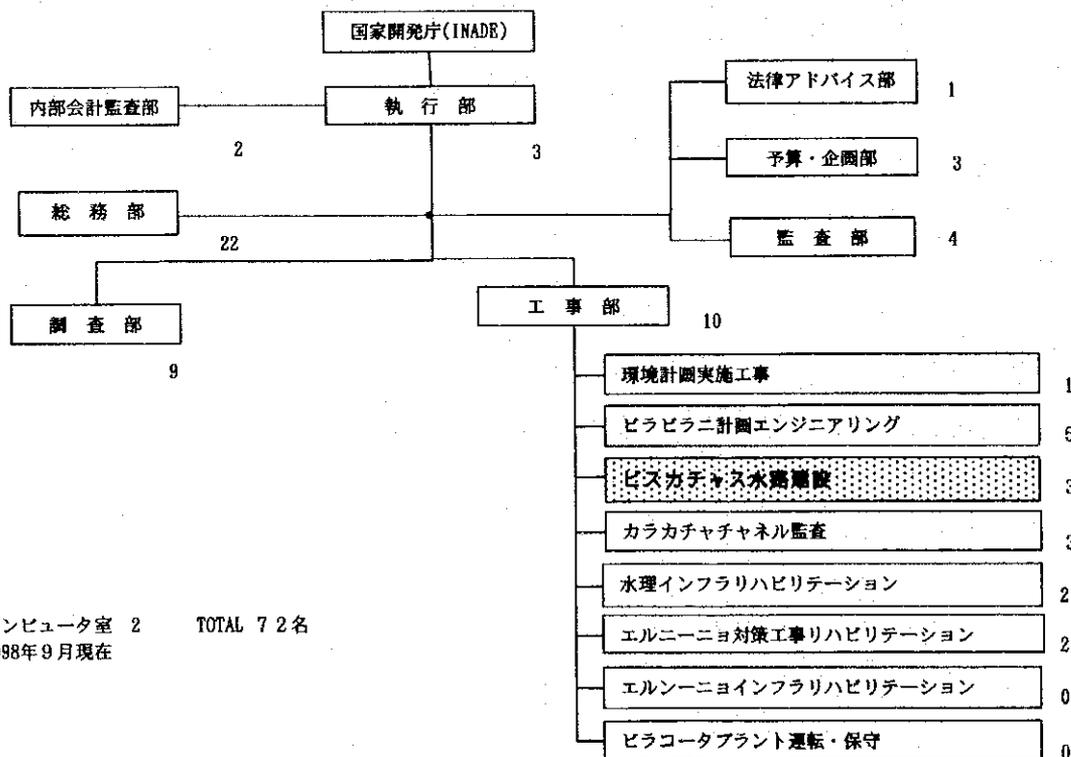


図 3-8 タクナ特別プロジェクト組織図



3-4 プロジェクトの実施体制

3-4-1 組織

(1) 全体組織

本計画の実施機関は、大統領府管轄下の国家開発庁(Instituto Nacional de Desarrollo, INADE)の地方実施機関の1つであるタクナ特別プロジェクト部(Proyecto Especial Tacna, PET)である。国家開発庁およびタクナ特別プロジェクト部の組織図を図3-7および図3-8に示す。

(2) 計画・建設にかかわる組織機能

1998年9月現在のタクナ特別プロジェクト部の職員は事務局長以下72名である、このうち技術者は28人である。その他PETの直営工事にかかわる臨時雇用者387名が在籍している。部署別職員数および臨時雇用者の内訳は、表3-36に示すとおりである。

表 3-36 PET 職員数

部署名	職員数	臨時
執行部	3	1
監査部	2	
総務部	22	8
法律アドバイス部	1	
予算・企画部	3	
管理部	4	
調査部	9	
工事部	10	
コンピュータ室	2	
小計	56	9
環境計画実施工事事務所	1	3
ピラピラニ計画工事事務所	5	62
アリコータ湖補強工事事務所(ビスカチャスおよびカラカチャ)	6	206
ピラコータ・プラント運転・保守(停止中)	0	1
エル・ニーニョ対策工事、その他	4	106
合計	72	387

専門分野別の技術者の内訳は、表3-35に示すとおりである。

表 3-37 専門分野別の技術者

専門分野	技術者数	専門分野	技術者数
土木技師	6	鉾山技師	3
地質技師	7	その他の技師	5
農業技師	4		
電気技師	3	合計	28

計画実施のため、工事部の中にビスカチャス取水計画事務所が設立され、計画の完了まで建

設工事の監理に当る他、4-1-1(3)項で説明する「ペルー国側の実施項目」の実質的な実施者となる。その他、必要に応じて他部門の支援を受けるものとする。

3-4-2 予算

1985年以來、PETはピラピラニ、ピラコータ、コビレ及びビスカチャス計画等の調査・工事を継続して行ってきた。表3-36に各計画の予算と1997年迄の実行額を示す。

表 3-38 各計画の予算と1997年迄の実行額 (百万 US\$)

計 画	年 度	予 算	実行額
ピラピラニ計画	1985~1997		
1次調査		0.40	
1次工事		4.12	
2次調査		8.72	
2次工事		87.42	
合 計		100.66	37.27
ピラコータ計画	1985~1997		
合計		12.90	12.92
コビレ計画	1990~1997		
1次調査		2.42	
1次工事		137.32	
合 計		139.74	79.46
ビスカチャス計画	1991~1997		
調査		2.50	
井戸工事		3.51	
導水路工事		2.43	
緊急工事		1.36	
電気工事		1.43	
保守・維持費		0.23	
合 計		11.46	8.01
合 計		264.76	137.66

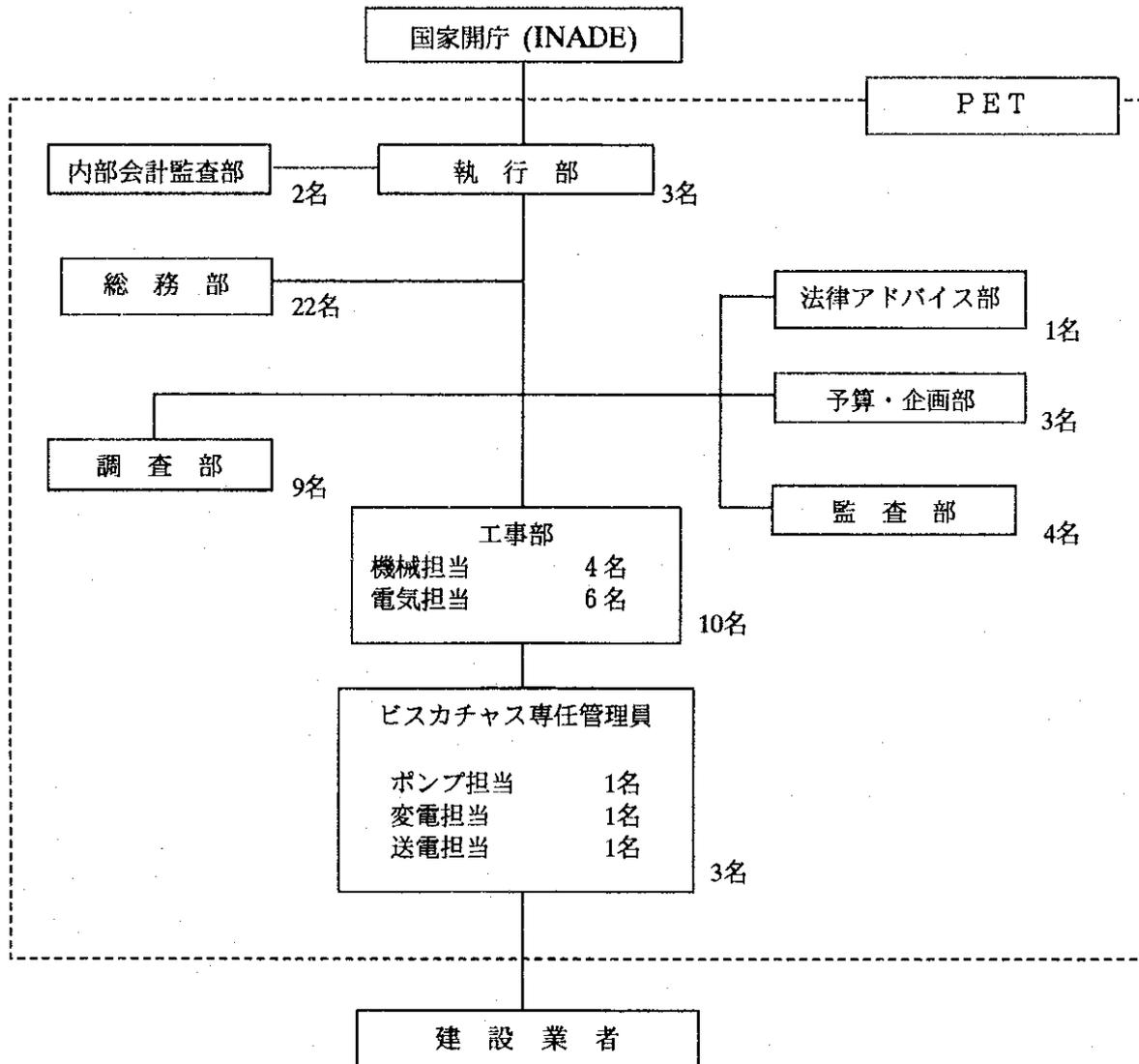
PETは本計画今後の建設工事の全体予算として2,550,000 USドルを既に確保している。予算の内訳は表4-3に示す。

3-4-3 要員・技術レベル

1998年9月に実施した調査結果の際に、ピラコータ取水設備およびビスカチャス仮設揚水設備の維持・管理、要員の配置、機材の保管を含め運転・保守は完全な状態で行われていた。

また、本件実施後は、上述の仮設揚水設備の維持・管理をおこなっているPETの技術者が、当計画に関わる工事用資材の調達や据付工事の管理業務を行なう予定となっている。このように、本件実施後の維持管理については、要員および技術レベルともに、問題ないものと判断される。

図 3-9 ビスカチャス計画実施体制



第 4 章

事業計画

4. 事業計画

4-1 施工計画

4-1-1 施工方針

本計画施設は、ポンプ、送電線、変電設備など形状、特性の異なった数多くの資機材から構成されており、資機材はそれ自身の形状と特性からくる異なった電氣的・機械的強度を持っている。したがって施工に際しては資機材の特性を生かした最適な工法を採用し、施設の信頼度と社会的な安全の確保を図る必要がある。

PET は 1985 年より、ピラピラニ計画、アリコータ計画、コビレ計画、ビスカチャス計画等の取水計画の調査・計画・施工等の作業を継続して実施してきており、現地業者によって本計画の内容と同じ送電線の建設、変電機器およびポンプの据付、水路建設が行われてきた。これらの計画において建設された施設は施工上の問題もなく、また施設の機能は十分にその目的を果していることが、1998 年 8 月に派遣された JICA 現地調査団によって確認された。従って、PET 及び現地業者は当該計画を実施する能力を有するものと判断される。

本計画実施のため、提供される日本側コンサルタントおよび業者の作業内容とペルー側実施項目の主なるものは次の通りである。

(1) 日本側コンサルタントの業務

- (i) 取水設備の詳細設計
- (ii) 送電線、配電線および変電設備の詳細設計
- (iii) 資機材購入の入札書類の作成
- (iv) 入札および入札審査作業
- (v) 契約交渉および契約締結の補助
- (vi) 製作図面・図書の承認作業および図面・図書に対するコメントの作成
- (vii) 船積み前の工場立会い検査
- (viii) 検査証明書の発行
- (ix) JICA への説明・報告業務

(2) 日本業者の業務

業者はコンサルタント作成の仕様書に従って、機器・資材の設計、製作、塗装、工場試験、梱包、海上保険、カヤオ港までの海上輸送を行う。尚、海上保険は PET によって行われるペルー国内輸送（カヤオ港―タクナ）も含むものとする。資機材の受入検査は PET 技術者立会いのもとに、ペルーにおける業者の代理人によって実施される。

(3) ペルー国側実施項目

無償資金協力が実施された場合、ペルー国側負担事項は以下の通りである。

- (i) バンキング・アレンジメント
- (ii) ベルギー国への輸入許可の取得およびそのための費用の負担
- (iii) 建設に必要な関連部局の許可の取得
- (iv) 送電線および配電線用の支持物、腕木、碍子金具、支線材料の調達
- (v) 資機材の国内輸送および据付・建設工事
- (vi) 建設工事に関する月報の作成およびコンサルタントへの送付
- (vii) 計画に必要な用地の取得
- (viii) その他無償資金協力で供与できない項目

4-1-2 施工上の留意事項

通常、電気機器の設計・施工については標高 1,000 m 以下が標準となっている。従って、本計画の施工に当っては以下の点に留意する必要がある。

- a) ポンプ場、ビスカチャス変電所および 10 kV 配電線は標高 4,600 m の高地に建設される。
- b) サリータ変電所は標高 2,200 m に位置する。
- c) 33 kV 送電線は亘長 60 km、標高 2,200 m から 4,600 m の地点に建設される。
- d) 33kV 送電線、サリータ変電所寄りの 14km は地形が険しく岩盤地帯であるため爆薬による掘削が必要である、また運搬を容易にするため軽量である木柱を使用する。残り 46km についてはコンクリート柱を使用する。

以上の条件を踏まえて、機器の仕様、建設方法が検討される。

4-1-3 施工区分

本計画にかかわる全ての資機材のベルギー国内の輸送および建設工事はベルギー側によって実施される。工事内容は以下に示す通りである。

- a) 資機材の国内輸送、カヤオ港～タクナおよびタクナ～建設現場
- b) 導水路および導水管の建設工事
- c) ポンプ場建屋および基礎工事
- d) ポンプおよび付帯設備据付工事
- e) 33 kV 送電線および 10 kV 配電線建設工事
- f) 66/33 kV サリータ変電所増設および 33/10 kV ビスカチャス変電所新設工事
- g) 地下水観測機材の据付工事
- h) 送電線および配電線用の支持物、腕木、碍子金具、支線材料の調達
- i) 資機材の据付・建設に必要とする建築・土木工事

j) 10/0.4 kV 配電用変圧器据付工事

4-1-4 施工監理計画

無償資金協力プロジェクトでは、基本設計調査の結果をもとに日本政府による計画の妥当性の確認をもって、両国政府間で交換公文（E/N）の取り交しが行われ、プロジェクトが開始される。コンサルタントの実施設計およびPETの施工監理を遂行するに当たっては、特に下記事項に留意して体制を確立する。

- 業務計画の実施に至る背景を理解する。
- 基本設計調査報告の内容を把握する。
- 無償資金協力の仕組みを理解する。
- 二国間で締結された交換公文の内容を把握する。
- 現地の施工条件を十分に把握する。

上記項目をふまえ業務の内容、担当、計画についての体制を以下に示す。

(1) 日本側コンサルタント業務

(a) 実施設計・入札書類の作成

実施設計

基本設計調査の結果をふまえ、現地調査およびペルー国側との協議を通して工事費の確認を行うと共にペルー国の負担工事も明確にする。入札書類作成に先立ち、計画のための詳細設計の実施、工事費の積算、施工計画の作成を行う。

入札書類の作成

詳細設計、施工計画および無償資金協力の制度に従い入札書類の作成を行う。

(b) 入札・契約業務

入札公示、質問・回答、入札の立会い、入札結果の評価、契約交渉の補助および業者契約の立会いが含まれる。

(c) 監督業務

着手前関係者協議、設計図の承認業務、出荷前製品検査、業務報告書の作成、および出来高証明書の発行との手続を行う。

(2) ペルー側 PET の業務

PET は国内輸送、現地据付工事の現地業者選定の入札図書作成、入札、入札結果の評価、業者契約、国内輸送・据付工事監理、工程監理および工事期間中の作業進捗状況報告書の作成を行う。

(3) コンサルタントおよび PET の業務担当者

上述(1)および(2)の業務内容を円滑に進捗させるため、類似業務の経験が豊富であり、本計画の内容を十分に理解している者を計画の総括業務の長にして、詳細設計、入札図書作成、入札、承認図審査および製品検査、工事監理の各業務を担当するスタッフによる実施体制を整える必要がある。

(a) 業務主任担当者(コンサルタント・PET)

本計画の背景・目的を十分に理解して業務全般の管理業務を行い、特に全体的な工程管理と業務期間中の進捗状況を把握して、必要に応じて各担当に適切なアドバイスを行う。

(b) 実施設計担当者(コンサルタント)

策定された基本計画に基づき、計画遂行に必要な機器や資材の仕様、機器配置、計画のための詳細設計、施工計画、事業費の積算業務を行う。

(c) 入札業務担当者(コンサルタント・PET)

計画のための入札書類を取りまとめ、入札公示、入札立会い、入札書類評価、契約交渉および契約立会い業務を行う。

特に PET 側においては、資機材がカヤオ港に到着した後、速やかにペルー国内輸送および据付工事が開始出来るよう現地業者の選定を終了しておく必要がある。

(d) 承認図審査および製品検査業務担当者(コンサルタント)

業者が提出する承認用製作図面、据付図面、運転・保守説明書等を審査し、承認または再提出を提示すると共に、機材の出荷前の製品検査も遂行する。

尚、受入検査はタクナにおける PET の倉庫にて、PET の技術者の立会いのもとにペルーにおける業者の代理人によって実施される。

(e) 実施業務担当者(PET)

工事着工より竣工までの現場における業務を監理するものとする。土木、建築、機械、電気各専門技術者が必要時期に作業現地に滞在して監理業務を行うものとする。

4-1-5 資機材調達計画

資機材の調達については、以下の点について十分なる検討と考慮を払い、その調達先を決めるものとする。

- 相手国側にて従来使用されており運転・保守が容易である。
- 相手国で調達・修理が可能で品質的に問題がなく価格的に有利なもの。
- 他の計画で使用されている資機材との整合性

本計画に使用される主なる資機材の調達案を次に示す。

表 4-1 資機材調達計画 (案)

分類	資機材	調達先(案)
取水設備	ポンプ	国内調達
	導水管	第三国調達
送電設備	電線	現地調達
	架空地線	現地調達
	碍子	現地調達
変電設備	主変圧器	国内調達
	屋外開閉機器	国内調達
配電設備	電線	現地調達
	碍子	現地調達
運搬設備	15トンクラス油圧式トラック・クレーン	国内調達
	3トンクレーン付き6トントラック	国内調達
地下水観測機材		国内/現地調達

尚、送電線および配電線の支持物、腕木、碍子金具は PET が準備するものである。

4-1-6 実施工程

我国の無償資金協力制度に基づき、図 4-1 のような事業実施工程とした。

図4-1 事業実施工程計画表

