

第3章 プロジェクトの内容

3-1 プロジェクトの概要

(1) プロジェクト目標

パンジャブ州の州都であるラホールは、「パ」国ではカラチに次ぐ第二の大都市で、都市部に 7.4 百万人、農村部に 1.6 百万、計 9.0 百万人の人口（2012 年 12 月、州統計年報 2012 年推計）を擁している。都市部の水道人口普及率は 2011/12 年で 89%に達している。

ラホール都市部の水道水源はすべて 474 本の深井戸（2013 年 4 月現在）から汲み上げられる地下水に依存している。ラホールの年間平均人口増加率は州平均を上回る 3.0%で、今日もなお人口集中が続いている。このため WASA は区域の拡大、人口の増加に対応して深井戸の本数を増やすことで水需要に対応しているが、これら深井戸の建設年代は 1979 年～2013 年に幅広く分布しており、ポンプ場の揚水能力低下のため毎年 20～30 箇所、深井戸ポンプ場の更新を余儀なくされている。深井戸本数の増加は電力使用量の増大を招く一方で、燃料費調整メカニズムによって燃料費の上昇を料金に反映できる電力料金の値上げと相俟って、WASA の財務状況を悪化させており、営業収支率は 2012/13 年度で 0.55 と収入が支出を賄えない状況が続いており、州政府からの補助金によって、何年かに一度赤字分を一掃するということが行われてきた。州政府の承認を要する料金値上げが思うようにできない状況の中で、内部努力として経費（運転管理費）の中で最大のウェイトを占める電力費の削減に目が向けられ、深井戸ポンプ場運転におけるエネルギー効率化も WASA の取り組むべき大きな課題の一つとなっている。

深井戸ポンプ場自体の問題として以下のことが指摘される。

深井戸ポンプ場は深井戸とポンプから構成され、それぞれが揚水能力の低下に関係している。深井戸にはスクリーンの目詰まりという問題があり、早くから定期洗浄を行っていればその機能を長持ちさせることが可能であるが、WASA はそのような定期洗浄を行っておらず、どのような洗浄方式が WASA の深井戸に適しているかという知見もない。一方、ポンプについては揚水量や揚程に見合ったポンプが選定されていないケースがあり、これに地下水位の慢性的低下、不安定な電力供給が加わって、モータ焼損事故の多発、ひいてはポンプの老朽化をもたらし、揚水量を低下させ、これがポンプ効率の低下へとつながって、運転管理費の増大をもたらしている。ポンプ場の揚水能力に低下がみられたとき、これが深井戸によるものなのかポンプによるものなのか、あるいはその両方に関わるものなのかは、現在 WASA が保有するデータからその原因を特定することができないため、ポンプ場の平均耐用年数を過去の経験から 15 年に設定して、耐用年数を超えて揚水能力に低下が観られるとき、深井戸とポンプ、すなわち、ポンプ場のまるごと更新が行われてきた。

水源である地下水については以下のような問題を抱えている。

ラホールの地下水はすでに過剰汲み上げの状態に陥っている。地下水位は毎年平均 0.67 m (激しい地域では 1.38 m) の速さで低下が続いており、2008 年には-35m の地下水位等高線が観られたが、調査の結果、2013 年には-40m の等高線が現れ、2031 年には-65m の等高線が現れると予測できた。これまでのところ、地下水位の低下に伴う地盤沈下、塩水侵入といった副次的現象は報告されていないものの、地下水位の低下が何mまでなら許されるのか分からないため、懸念されている。また、2000 年代に入って地下水のヒ素汚染が顕在化し、WASA が 2010 年 6 月に PUIC に委託して行った深井戸全数検査では 85%が、さらに JICA 調査団が 2013 年 7 月に調査対象となった 140 本に対して行った水質調査でも 96%が WHO 水質ガイドラインに定めるヒ素濃度の 10 µg/L を超える結果となっている。ヒ素による健康被害の例はまだ確認されていないが、パンジャブ州政府と WASA は長期的には水道水源の置かれている状況を改善すべく、「BRB 灌漑用水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study for Construction of Water Treatment Plant to Treat the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore)」を本年度から開始する予定になっている。また、短期的には、WASA は「パ」国の飲料水質基準のヒ素濃度 50 µg/L から離れて、ヒ素濃度が 20 µg/L を超える深井戸を対象にヒ素除去施設を設置して飲料及び調理用水相当分を公共栓方式 (住民は容器をもって公共栓から水を汲んできて利用する) で給水すべく 2012 年より 2 年間に 100 箇所設置する事業を実施中で、今後さらにヒ素除去施設設置数を拡大することを計画している。このようなヒ素除去装置の設置も今後、WASA に運転管理費の増大をもたらすこととなる。

このような状況から、本プロジェクトは以下のことを目的として実施するものである。

- (1) ポンプ設備計画においてエネルギー効率化を図る。
- (2) 揚水能力の低下した深井戸ポンプ場を更新することにより揚水能力を回復する。

しかし、現在のラホールの地下水の状況に鑑み、以下のことに留意する。

- (1) 地下水位への影響を配慮する。
- (2) ヒ素濃度が 10 µg/L を超える深井戸については、健康被害へのリスクを最小化するために WASA はヒ素除去施設の設置を行う。

(2) 要請内容の評価

1-2及び表1-3に記載の要請内容は、以下のように判定される。

1) 太陽光発電による地下水給水システム

太陽光発電による地下水給水システムは、最も経済的な商用電源との連携方式を採用した場合でも、初期投資額を電力使用量節減による電力料金の差額で回収するには99年

要すると試算され、一方、太陽光発電システムは約15年で更新が必要になることから、経済的に実施可能でないと評価され、プロジェクト対象より除外された。

2) 既存深井戸のポンプ及びモータの交換、及び深井戸の掘り直し既存深井戸のポンプ及びモータの交換、及び深井戸の掘り直し

ラホールの水道事業は現在、水源を100%地下水に依存しているが、地下水位の慢性的低下及び地下水のヒ素汚染という問題を抱えている。このため長期的には表流水への切り替えもしくは表流水との混合配水が考慮され、表流水導入に向けての調査も開始されようとしている。しかし、それらが実現するまでには相当の年月を要するため、これまでと同様に揚水能力の低下した深井戸を掘り直してポンプの交換を続ける必要が認められる。WASAでは深井戸ポンプ場の寿命を深井戸及び又はポンプの揚水能力低下に起因して経験的に約15年としているが、少なくともこれと同程度の年数が表流水導入まで要すると思料される。

3) エネルギー監査用機材

エネルギー監査用機材は、(2)で採択された深井戸及び深井戸ポンプの運転管理、運転方法の改善、更新時期の予測、プロジェクト効果の測定等に必要不可欠であり、プロジェクトの対象とする。

4) WASA水質試験室の改善

WASAが要請しているヒ素を分析できる原子吸光分析装置等の精密分析には基礎化学や分析化学の知識と経験が必要とされるが、現状のWASAの分析内容とレベル、職員の学歴及び年1回で十分と思料されるヒ素分析頻度等を考慮すると対応は難しいと判断され、プロジェクト対象より除外された。

5) 水道メータの試験及び修理のためのワークショップの建設と機材

既存の水道メータの試験及び修理のための設備が有効に使われていないこと、技術の継承がなされておらず水道メータ、深井戸ポンプ揚水量メータ（BFM）を修理・検定できる技術力はない、現状の体制・施設では大量の水道メータを監理するのは難しいことから、プロジェクト対象より除外された。

(3) プロジェクトの概要

プロジェクトの目標を達成するために、以下の考えの下にプロジェクトの内容を定めた。

- (1) WASAの深井戸ポンプ場は深井戸スクリーンの目詰まりも想定されるが、これについてはこれまで深井戸の定期的洗浄を行ってこなかったため、現在利用可能なデータからはスクリーンの目詰まりによる影響が判断できない。ポンプについては、計画揚水能力別に単一の仕様を定めて設置することが行われてきており、結果的に更

新される深井戸ポンプ場位置における地下水位を考慮しておらず、ポンプは最適効率点で運転されるようにはなっていない。このため、ポンプの仕様は、想定される地下水位等高線図に基づいて揚程を 1~2 段階に分けて設定し、ポンプの最適効率点で運転できるように配慮することにより、単位水量当たりの電力使用量の低減を図った。

- (2) 深井戸ポンプ場の揚水能力の回復は、揚水能力低下の原因が深井戸及び又はポンプにあるのか特定できないため、深井戸ポンプ場をまるごと新しいものにするにしました。この際、まだ耐用年数に達していなくて計画揚水能力の95%以上を發揮しているものについては対象より除外した。

上記プロジェクトの内容を決定するに際し、以下のことに留意した。

- (1) 現在利用可能な地下水位データに基づいて現在の地下水位等高線図を作成し、地下水位のゾーンに応じてポンプの揚水能力を定めた。すなわち、地下水位の浅いところには揚水能力の大きなポンプを、深いところには小さいポンプを配置することにより、低下が著しいサイトにおける地下水位への影響を配慮した。
- (2) 地下水のヒ素汚染に対しては、プロジェクト対象の採択基準にWHO井戸ラインに定めるヒ素濃度10 µg/Lを採用して、ヒ素濃度が10 µg/Lを超える深井戸についてはWASAによるヒ素除去装置の設置を前提とした。ここで、ヒ素濃度は2013年7月にJICA調査で行った水質試験結果をベースにしているが、ヒ素濃度が10 µg/L未満であっても、深井戸竣工時の水質確認試験で10 µg/Lを超えることがあり得るため、そのような深井戸についてもWASAによるヒ素除去装置の設置を前提とした。ヒ素除去装置が設置された公共給水栓を利用するようWASAが啓蒙活動を行うこととするが、ヒ素濃度が10 µg/Lを超える深井戸の選定に当たっては、ヒ素濃度の低いものを優先し、飲用向けに公共給水栓を利用しなかった場合の健康被害リスクに配慮した。

また、(2)に関連してエネルギー監査機材を調達して、ソフトコンポーネントを通じて使用方法、収集データの解析方法、結果に基づく深井戸ポンプ場運転の改善の考え方を指導することにより、WASA職員のポンプ場運転管理に係る能力アップを支援する。

プロジェクトの対象となる施設・設備は以下のようになる。

1) 土木・建築

(a) 深井戸築造工：計 105 箇所

- 深井戸(能力 5.1~6.8m³/min、2013 年予想静水位<GL-35m)： 8 井
- 深井戸(能力 5.1~6.8m³/min、2013 年予想静水位 GL-35m~-65m)： 88 井
- 深井戸(能力 3.4m³/min、2013 年予想静水位 GL-35m~-65m)： 9 井

※暫定的な対策としてラホール WASA がヒ素濃度 10µg/L を超える井戸にヒ素除去装置を設置することを前提に、水質による失敗井は考慮しない。

- (b) 井戸上屋建築工
 - 井戸ポンプ室(レンガ造、床面積約 31.5 m²、建築設備) : 105 箇所
- (c) 連絡配管工
 - HDPEφ200~φ300 : 105 箇所
- 2) 機械・電気
 - (a) 深井戸用ポンプ
 - 縦軸ポンプ(吐出量 6.8m³/min、全揚程 51/47m、出力 90/75kW) : 41 基
 - 縦軸ポンプ(吐出量 5.1m³/min、全揚程 64/62m、出力 90/75kW) : 55 基
 - 縦軸ポンプ(吐出量 3.4m³/min、全揚程 64m、出力 75kW) : 9 基
 - (b) ポンプ附帯設備
 - 弁類(逆止弁/仕切弁/空気弁)、タービン式流量計、附帯配管等 : 105 箇所
 - 予備モーター(90/75/55kW)、チェーンブロック : 各タウン 1 式
 - (c) 電気設備
 - ポンプ動力制御盤(90/75kW 用) : 105 面
 - 配線工事 : 105 箇所
 - 投込み式水位計 : 10 箇所
 - 交換部品 : 各タウン 1 式
- 3) 調達機材:
 - エネルギー監査機材(可搬式のパワーアナライザー、超音波流量計、水位計などエネルギー監査に使用する機材)

3-2 協力対象事業の概略設計

3-2-1 設計方針

3-2-1-1 深井戸施設の設計

ラホールWASA は揚水能力の低下した深井戸、ポンプ場上屋、ポンプ・モータ等の機械設備及び電気設備から成る105箇所の深井戸ポンプ場の更新を要請越し、147箇所の既存深井戸ポンプ場を調査対象候補として提案してきた。このため、プロジェクトからの除外基準及びプロジェクトの採択基準を設定して、以下に述べる手順で147箇所の深井戸ポンプ場から105箇所をプロジェクト対象として選定した。

(1) プロジェクト対象深井戸の除外基準

プロジェクト対象からの除外基準としては以下のものがある。

- 1) 代替井戸を既に掘削済みの深井戸
- 2) 揚水量実測で計画能力に近い揚水量が確認された深井戸

- 3) 代替深井戸のための用地取得ができない深井戸
- 4) 民有地
- 5) 揚水試験時の排水先が確保できない深井戸
- 6) 既存構造物の撤去を要する深井戸
- 7) 用地が狭いために施工できない深井戸

1) 代替深井戸を既に掘削済みの深井戸 (図 3-1 の㉠)

調査対象に挙げられた 147 ヶ所の深井戸のうち下記の 22 箇所は代替深井戸を既に掘削済みと報告されているためプロジェクト対象より除外する。

表 3-1 代替井戸を既に掘削済みのためにプロジェクト対象より除外される深井戸

No.	Location	Sub-District	Installation Year	Design Capacity (cfs)	Remarks
29	Khokhar Road No.III	Data Nagar	1996	4	-
9	Patiala Ground	Anarkali	1990	4	*
75	Shadman Market	Mozang	1990	4	*
142	E-Block Tajpura	Tajpura	1987	2	*
13	Royal Park	Anarkali	1995	4	*
45	B-I Block Gulberg (A-Block Gulberg)	Gulberg	1998	4	*
69	A-Block Johar town	Johar Town	2001	4	*
68	A-III Johar Town	Johar Town	1985	3	*
73	Jinah Park	Misri Shah	1996	4	*
74	Faiz Bagh	Misri Shah	1998	2	*
15	Salamatpura Takkia (Village)	Baghbanpura	1998	4	*
46	Mehboob Park, Ichra	Ichra	2001	4	*
88	Daras Barey Mian	Mughalpura	1997	4	*
106	Karim Park Old	Ravi Road	1990	4	*
25	Sharanwala Gate	City	1998	4	*
14	Suraya Jabeen Park	Baghbanpura	2003	4	*
109	Main Out Fall No.1	Ravi Road	1992	4	*
21	Iqbal Park-III	City	1998	4	*
132	Paracha Colony	Shahdara	1995	2	*
33	Latif Chowk (Wandala Road)	Farrukhabad	1994	4	*
139	Baghay Shah	Shimla Hill	1986	2	*
123	Chah Miran (Old)	Shadbagh	1995	4	*

注) (*)印の深井戸は 2014 年 3 月 22 日付 WASA 書簡一により更新予定として追加されたものである。

2) 揚水量実測で計画能力に近い揚水量が確認された深井戸 (図 3-1 の㉡)

揚水量の実測調査によって調査対象 147 箇所の深井戸のうちほぼ計画揚水量に近い、もしくはそれを上回る揚水量が確保されているものが含まれていることが判明した。このため耐用年数 15 年を考慮して 1998 年以降に設置されたもので、計画揚水量の 95%以

上が確保されているもの（表 3-2）についてはそのまま継続して使用するものとし、プロジェクトより除外するものとする。

表 3-2 そのまま継続使用すべき深井戸

No.	Name of TW	深井戸 建設年	計画揚水量 (A) (L/min)	実測揚水量 (B) (L/min)	実測/計画 (A)/(B)*100 (%)	地表からの 地下水位 (m)
計画揚水量：4 cfs (6,798 L/min)						
5	Ravi Block	1998	6,798	7,160	105	25
36	D-1 Block-III (3-D-2)	1999	6,798	7,092	104	25
計画揚水量：2 cfs (3,360 L/min)						
35	3-D-1	2001	3,360	4,872	145	25
112	B-Block Sabzazar	2002	3,360	4,068	121	-
135	Larex Colony	2004	3,360	3,374	100	-

3) 代替深井戸のための用地取得ができない深井戸（図 3-1 の㉔）

現在、WASA の深井戸用地は WASA 所有地の外に、パキスタン公園緑化庁（Pakistan Horticulture Authority: PHA）、ラホール市役所（City District Government Lahore: CDGL）、宗教局（AUQAF Dept.）、教育局（Education Dept.）、森林局（Forest Dept.）、連邦政府鉄道局（Railway Dept.）、区役所（Town Municipality Administration: TMA）等の公共用地を利用してものがほとんどで、同じ敷地内に場所を変えて設置することがしばしば行われている。

表 3-3 に示す 3 箇所の深井戸については用地取得ができないと WASA より報告があったため調査対象より除外する。

表 3-3 用地取得ができないためにプロジェクト対象より除外される深井戸

No.	Location	Sub-District	Installation Year	Design Capacity (cfs)	Remarks
53	Baba Farid Colony	Industrial Area	1996	4	-
54	Mian Fazal Haq Colony	Industrial Area	1999	4	-
104	Sardar Chapar	Ravi Road	1993	4	-

4) 民有地（図 3-1 の㉕）

現在、本プロジェクトは既存深井戸の代替深井戸の建設であるために特別な環境社会配慮上の問題も発生せず、必要な用地は公共用地を以て充当されるという見通しに立って、「JICA 環境社会配慮ガイドライン」のカテゴリ C に分類されている。調査対象深井戸の一部について、当初民有地であるという報告がなされたため、WASA に状況について確認を求めたところ、共有地（Sham Lot）になっている 3 箇所（No.32 Jia Musa、No.63 Sanda Patwar Khana、No.132 Paracha Colony）を除き、いずれも公共用地であることが関係タウン事務所責任者より確認された。なお、Sham Lot について、2013 年 11 月 8 日付け WASA 書簡（資料 4(4)参照）で、「Sham Lot は政府の土地であり、WASA への所有権移転

について、何らかの手続をする、WASA が何らかの支払いをしなければならないという要求は何もない。」と明言しており、深井戸用地と使用することに問題はないと判断される。

5) 揚水試験時の排水先が確保できない深井戸 (図 3-1 のE)

竣工時における揚水試験では大量の排水が生じるため、通常は近くの雨水排水施設もしくは下水道に排出される。以下の深井戸は適切な排水施設がないと報告されているためプロジェクト対象より除外する。

表 3-4 排水施設を確保できないためにプロジェクト対象より除外される深井戸

No.	Location	Sub-District	Installation Year	Design Capacity (cfs)	Remarks
106	Akram Park, Bund Road	Ravi Road	1990	2	-

6) 既存構造物の撤去を要する深井戸 (図 3-1 のF)

表 3-5 に示す調査対象深井戸は既存構造物の撤去を必要とするため、プロジェクト対象より除外する。

表 3-5 既存構造物があるためにプロジェクト対象より除外される深井戸

No.	Location	Sub-District	Installation Year	Design Capacity (cfs)	Existing Structure
59	Nonarian	Islampura	1987	4	Existing T/W
118	Juggian Shahab Din	Samanabad	1997	4	Existing T/W
134	Ghazi Muhala Children Park	Shimula Hill	1986	4	Fountain

7) 用地が狭いために施工できない深井戸 (図 3-1 のG)

表 3-6 に示す調査対象深井戸は用地が狭く配置が難しいあるいは施工が難しいため、プロジェクト対象より除外する。

表 3-6 用地が狭いためにプロジェクト対象より除外される深井戸

No.	Location	Sub-District	Installation Year	Design Capacity (cfs)	Remarks
18	Dhobi Ghat	Bagbanpura	1998	4	
42	Zafar Ali Road / Jail Road	Gulberg	1996	4	
102	Bilal Ganj	Ravi Road	1993	4	

(2) プロジェクト対象深井戸の採択基準

前述の「(1) プロジェクト対象深井戸の除外基準」に抵触しない深井戸で以下の条件を

満たすものはプロジェクト対象とする。

- 1) 既にヒ素除去施設が設置されている深井戸
- 2) ヒ素除去施設が設置されていないが、ヒ素濃度が WHO 水質ガイドライン濃度（10 µg/L）未満の深井戸
- 3) ヒ素濃度が WHO 水質ガイドライン（10 µg/L）以上で今後ヒ素除去施設が設置される深井戸

1) 既にヒ素除去施設が設置されている深井戸（**図 3-1** の⑨）

WASA のヒ素除去施設は 2012 年～2013 年の 2 年間に 100 箇所設置される予定で、2013 年 9 月末現在、このうち 78 箇所は既に稼働中、16 箇所は建設中、残り 6 箇所は設置場所未定となっている。稼働中及び建設中の 94 箇所のうち 8 箇所は深井戸を対象に設置されたものではなく、動物園、学校のように人の集まる場所を対象に設置されたものを含む。

表 3-7 に示すように、除外基準に抵触する 37 箇所を除く残りの調査対象深井戸 110 箇所のうち既にヒ素除去施設設置済みのものは 13 箇所ある

表 3-7 ヒ素除去施設設置済みのプロジェクト対象深井戸

No.	Location of A Filtration Plant	Sub-Division	Installation Year	Design Capacity (cfs)	As. Conc., (ug/L)
58	A-Block Gulsahn-e-Ravi	Islampura	1998	4	9
10	Rashi Bhawan (Pathi Ground)	Anarkali	2002	2	12
146	Q-Block Model Town EXT	Township	1986	4	15
70	Mustafa Town	Johar Town	1997	4	16
22	Chomala	City	2005	2	20
51	Block No.6 Sector-A-II Township	Industrial Area	1996	4	20
144	A-Block Tajpura	Tajpura	1986	2	21
93	Shah Kamal	Mughalpura	1998	4	23
121	Taj Pura Ground	Shadbagh	1995	4	23
6	Abdul Karim Road (Mela Ram Park)	Anarkali	2003	2	26
65	National Town Sandha (at Jhangir Park)	Islampura	1996	4	30
129	Takia Khusrianwala Shahdara	Shahdara	1989	4	33
26	Ali Park	City	1998	4	34

1) **4-5** 参照

- 2) ヒ素除去施設が設置されていないが、ヒ素濃度が WHO 水質ガイドライン濃度（10 µg/L）未満の深井戸（**図 3-1** の⑩）

ヒ素濃度が WHO 水質ガイドライン濃度（10 µg/L）未満の深井戸はプロジェクトの対象とする。**表 3-8** に示すように、4 箇所の深井戸がこれに該当する。これまでの調査結果に拠ればヒ素濃度は同じ深井戸であってもその時々で濃度を変えており、現時点で利用

可能なデータから WHO 水質ガイドライン濃度以下であると言えても、竣工時における確認試験でその濃度を超えることが起こり得ることに留意すべきである。もし確認試験でヒ素濃度が 10 µg/L を超えたときには、WASA によるヒ素除去装置の設置を前提とする。

表 3-8 ヒ素濃度が 10 µg/L 未満の調査対象深井戸

No.	Location of A Filtration Plant	Sub-Division	Installation Year	Design Capacity (cfs)	As. Conc., (ug/L)
11	Circular Road (Guru Argum Nagar)	Anarkali	1988	4	<5
104	Sardar Chapal	Ravi Road	1993	4	6
127	Shish Mehal Road (at Nazmabad)	Shadbagh	1994	4	6
147	S-Block Model Town Ext.	Township	1996	4	9

3) ヒ素濃度が WHO 水質ガイドライン濃度 (10 µg/L) 以上で今後ヒ素除去施設が設置される深井戸 (図 3-1 のⓀ)

WASA は PUIC 調査でヒ素濃度が 20 µg/L 以上の深井戸を対象に飲料水及び台所用水として使用できるヒ素除去施設 (詳細は 4-6 参照) 100 箇所の設置を 2012 年から始めており、2013 年中にすべて完成見込みである。これに加えてさらに 100 箇所分の事業計画書 (PC-1) を 2013 年 11 月 26 日に州政府に提出済みである。給水はパイプ給水ではなく公共栓方式であるため、住民がそこまで実際に水を汲みに行かなければその恩恵に浴さないという制限はあるが、飲料水・台所用水に限られるとは言え、ヒ素除去施設の設置は健康へのリスクを取り除く有効な方法と言える。そこで、要請された深井戸数の残りは「ヒ素濃度が WHO 水質ガイドライン濃度 (10 µg/L) 以上で現時点でヒ素除去施設が設置される計画がない深井戸」から、WASA によるヒ素除去施設の設置を条件に、ヒ素濃度の低いものから選ぶものとする。ここでヒ素濃度の低いものに優先権を与えるのは、ヒ素除去装置付の公共栓を利用することに係る啓発がなされているにも拘わらず、ヒ素に汚染された水道水を飲用する人々にリスクが残るため、飲用による健康へのリスクを最小限に止めることにある。結果的にこのカテゴリでプロジェクト対象に選択された深井戸は、ヒ素濃度が 10 µg/L~44 µg/L の範囲にある 88 箇所となっている (ヒ素濃度が 44 µg/L の深井戸は 2 箇所あるが設置年度の古いものを優先する)。

表 3-10 WASA によるヒ素除去施設設置を条件とするプロジェクト対象深井戸

No.	Location of A Filtration Plant	Sub-Division	Installation Year	Design Capacity (cfs)	As. Conc., (ug/L)
114	D-Block Sabzazar	Sabzazar	1987	2	10
66	Rustam Park	Islampura	1993	4	15
28	Raheem Road Data Nagar	Data Nagar	1998	4	16
37	D-II Block-IV	Green Town	1997	4	16
63	Sanda Patwar Khana	Islampura	1997	4	16

7	Nisar Scheme Qila Gujjar Singh	Anarkali	1996	4	17
84	Sadi Park.	Mozang	1994	4	18
38	Tanki No.4 Township (Abandoned)	Green Town	1985	1	19
39	Tanki No.3 Township (No motor)	Green Town	1985	1	19
48	C-Block Muslim Town	Icehra	1998	4	19
79	Faseeh Road	Mozang	2002	4	19
82	Shah Jamal.	Mozang	1993	4	19
89	Kotli Pir Abdur Rehman	Mughalpura	2001	4	19
122	Shahab Stadium (Fazal pura)	Shadbagh	1998	4	19
1	Huma Block	A.I.T	2002	4	20
49	Fareed Colony Printing Press	Industrial Area	1999	4	20
119	Children Park	Shadbagh	1985	2	20
41	Henry Key (Old)	Gulberg	1986	2	21
52	Block No.4 Sector-A-II Township	Industrial Area	1993	4	21
97	Canal Bridge	Mustafabad	1995	4	21
137	Scotch Cornor / Upper Mall	Shimla Hill	2002	4	21
143	Ghaziabad Bus Stop	Tajpura	1980	4	21
31	Siddique Pura	Data Nagar	1995	4	22
40	Gawala Colony No.1	Green Town	1993	2	22
44	WASA Head Office (at FCC Block.)	Gulberg	1996	4	22
50	Nishtar Colony	Industrial Area	1987	2	22
56	Rifle Range	Islampura	1992	4	22
92	Gulshan Park	Mughalpura	1993	4	22
98	Gulistan Colony	Mustafabad	1995	4	22
108	Ibrahim Road	Ravi Road	1992	4	22
145	Jorrey Pull	Tajpura	1992	4	22
8	Dhobi Mandi	Anarkali	2004	2	23
55	B-Block Gulsahn-E-Ravi	Islampura	1998	4	23
61	Jaffria Colony	Islampura	1990	4	23
81	Sui Gas Engine Lytton Road (at Kot Adullah Shah)	Mozang	1986	4	23
85	Jail Road (Lahore Collage)	Mozang	1992	2	23
111	K-Block Sabzazar	Sabzazar	1987	2	23
138	Muhammad Nagar.	Shimla Hill	1990	4	23
3	Pak Block	A.I.T	1986	4	24
30	Hussain Park	Data Nagar	2002	4	24
43	M-Block Gulberg (at Gupel Nagae P-Bk.)	Gulberg	1997	4	24
57	Bilal Park Shamnagar	Islampura	1992	4	24
67	E-I Johar Town	Johar Town	2004	2	24
72	D-Block China Scheme (Gujjar Pura)	Misri Shah	1993	4	24
96	Achant Garh	Mughalpura	2003	2	24
116	Ittehad Colony Samanbad	Samanabad	1996	4	24
126	Shadbagh Well Centre-IV	Shadbagh	1995	4	24
136	Tegore Park	Shimla Hill	1992	4	24
4	Jahanzaib Block	A.I.T	1986	4	25
12	Hilton Hotel (at Mason Road.)	Anarkali	1977	4	25

19	Madhu Lal Hussain	Baghbanpura	1999	4	25
94	Lal Pul Fayyaz Park	Mughalpura	1998	4	25
117	Pir Buddan Shah Dholanwal	Samanabad	1991	4	25
77	Queens Road	Mozang	1992	4	26
90	Punj Pir	Mughalpura	1991	4	26
110	E-Block Sabzazar	Sabzazar	1987	2	26
115	N-Block,Samanabad	Samanabad	1995	4	26
17	Milap Street	Baghbanpura	1996	4	27
47	A-Block Muslim Town	Icehra	1993	4	27
60	Sodiwal Quarter	Islampura	1993	4	27
62	Rewaz Gardan	Islampura	1991	4	27
78	Shah Shamas Qari (at Patyala House.)	Mozang	1987	2	27
101	Mohni Road Salmat Mohalla	Ravi Road	1998	4	27
16	Shah Gohar Abad	Baghbanpura	1992	4	28
124	Shadbagh Well Centre-I	Shadbagh	1995	4	28
71	Kanji House Misri Shah	Misri Shah	1998	4	29
91	Sansi Quarter	Mughalpura	1996	4	29
24	Sabzi Mandi (F&V Market)	City	1993	4	30
131	Saeed Park.	Shahdara	1998	4	30
87	Angori Bagh Scheme-II	Mughalpura	2001	2	31
105	MC High School Sanda	Ravi Road	1997	4	31
140	Habib Ullah Road	Shimla Hill	1997	4	31
99	Dev Samaj Road (Commisioner Office)	Ravi Road	1998	4	32
141	Ahmad Block	Garden Town	2004	2	32
76	Katcha Temple Road (Abid Market)	Mozang	2004	2	33
80	Shadman-I Rehmania Park	Mozang	1995	4	33
2	Neelam Block	A.I.T	2007	4	34
20	Iqbal Park-I	City	1998	4	34
120	Yasrab Colony	Shadbagh	1994	4	34
125	Shadbagh Well Centre-II	Shadbagh	1995	4	34
113	A-Block Sabzazar	Sabzazar	1997	2	37
100	Islampura	Ravi Road	1991	4	38
23	Iqbal Partk Fort (Not sampled)	City	2002	4	39
27	Iqbal Park-II (Abandoned)	City	1998	4	39
86	Mujahidabad (Not sampled)	Mughalpura	1997	4	39
83	Shadman Mental Reservoir	Mozang	1978	4	40
130	G.T.Road Shahdara	Shahdara	1990	4	41
34	Farrukh Abad Disposal	Farrukhabad	1998	4	44

注) ヒ素濃度の低い深井戸が優先される。

第二次現地調査時(2013年8月)では、調査対象深井戸147本のうち1本が緊急的にWASA自身により更新済みになっていたが、その後ドラフト・ファイナル・レポートの説明協議時(2014年3月)には21本が更新予定となっている。今後も上述したプロジェクト対象深井戸105本の中から緊急的に更新予定に加わるものが出てくることが予想されるため、プ

プロジェクト対象に選ばれなかった残りの5箇所は、それらの補充用予備Aとする。

表 3-10 プロジェクト対象深井戸の補充用予備 A

No.	Location of A Filtration Plant	Sub-Division	Installation Year	Design Capacity (cfs)	As. Conc., (ug/L)
95	Seher Road	Mughalpura	2003	2	44
64	Raj Garh Office	Islampura	1978	4	45
32	Jia Musa	Farrukhabad	2003	2	54
133	Latif Park (Abandoned)	Shahdara	1993	2	59
128	Majeed Park Shahdara	Shahdara	1997	2	106

除外基準でプロジェクト対象から外れた 37 箇所のうち更新済みもしくは更新予定の 22 箇所及び継続使用可能のもの 5 箇所を除く 10 箇所のうち代替用地がどうしても手当できない 1 箇所を除く表の 9 箇所は除外の原因が除かれるのを条件に補充用予備 B として認める。

表 3-11 プロジェクト対象深井戸の補充用予備 B

No.	Location of A Filtration Plant	Sub-Division	Installation Year	Design Capacity (cfs)	As. Conc., (ug/L)
54	Mian Fazal Haq Colony	Industrial Area	1999	4	15
102	Bilal Ganji	Ravi Road	1993	4	20
42	Zafar Ali Road / Jail Road	Gulberg	1996	4	21
53	Baba Farid Colony	Industrial Area	1996	4	24
134	Ghazi Muhala Children Park	Shimla Hill	1986	4	25
59	Nonarian	Islampura	1997	4	27
118	Juggian Shahab Din	Samanabad	1997	4	27
18	Dhobi Ghat.	Baghbanpura	1998	4	29
107	Akram Park, Bund Road	Ravi Road	1990	2	47

注) 補充用予備 A は補充用予備 B により優先する。

(3) プロジェクト対象深井戸の選定

これまで述べてきた選定基準に基づくプロジェクト対象深井戸の選定アルゴリズムを図 3-1 に示す。

このアルゴリズムによってプロジェクト対象となる深井戸は、以下の 105 箇所となる。

A : 既にヒ素除去施設が設置されている深井戸 : 13 箇所

B : ヒ素濃度が WHO 水質ガイドライン濃度 (10 µg/L) 未満の深井戸 : 4 箇所

C : ヒ素濃度が WHO 水質ガイドライン濃度 (10 µg/L) 以上で

WASA に拠るヒ素除去装置の設置を前提とするもの : 88 箇所

これらが緊急的に WASA 自身により更新されるときに補充用予備を以下のように設定する。

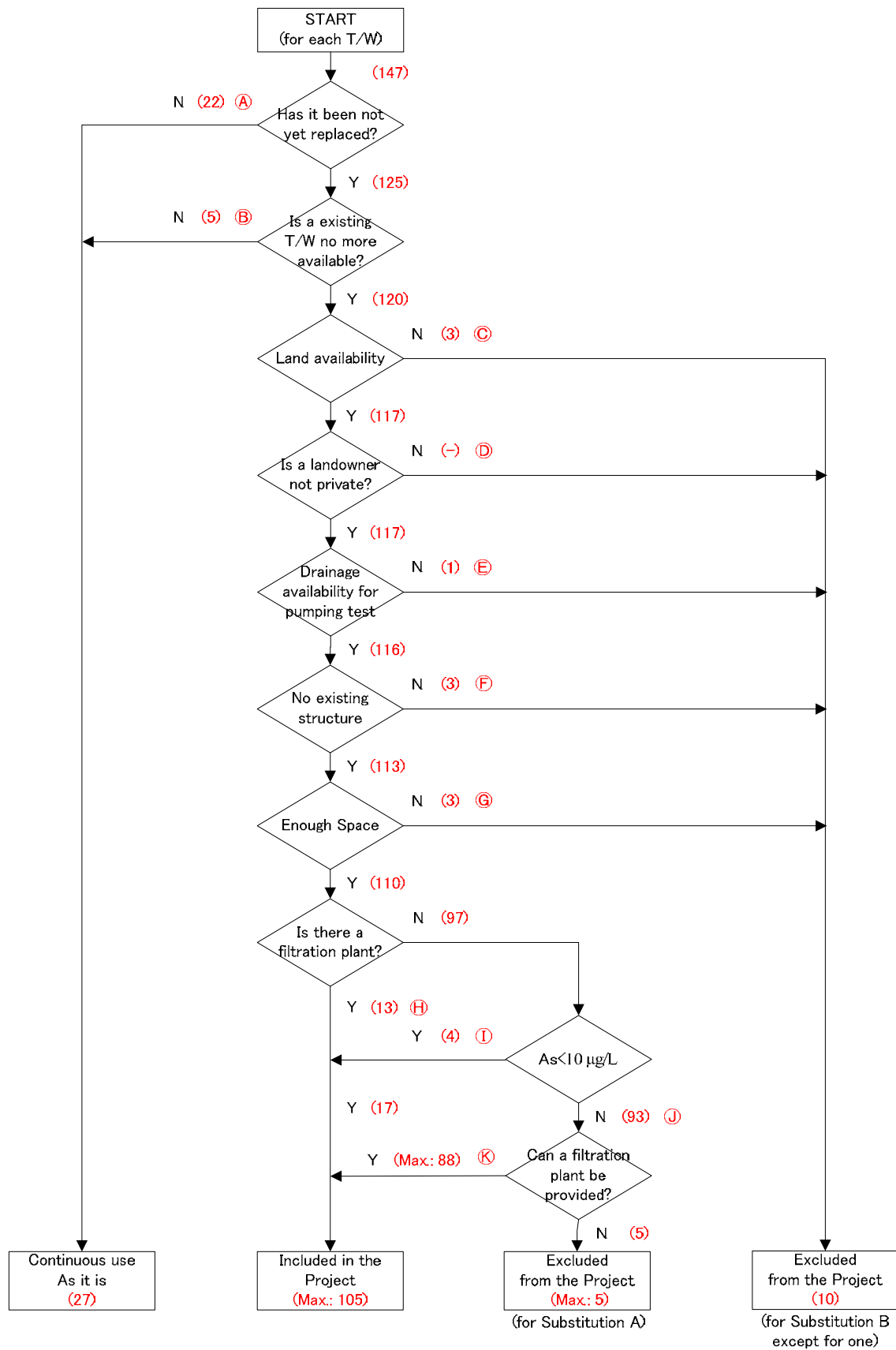


図 3-1 プロジェクト対象深井戸数の選定アルゴリズムとその結果

S-A : 補充用予備 A : 5 箇所
 S-B : 補充用予備 B (除外となる原因が取り除かれること) : 9 箇所
 ただし、補充用予備 A は補充用予備 B に優先する。

プロジェクト対象深井戸の選定結果および選定深井戸 105 ヶ所の位置をそれぞれ表 3-12、
 図 3-2 に示す。

表 3-12 プロジェクト対象深井戸の選択

Sr. No.	Name of T/W	Arsenic (µg/L)	Site Conditions							Arsenic Concentration (µg/L) (July 2013)						Category	Situation	
			Replaced	T/W Still Available	Land Availability	Private	Drainage Availability	Existing Structure	Limited Space	Filtration Plant	10	20	30	40	50			≥50
1	Hurma Block	20														20	C	
2	Neelam Block	34														34	C	
3	Pak Block	24														24	C	
4	Jahanzab Block	25														25	C	
5	Ravi Block	23		●												23	A	Still available
6	Abdul Kanim Road (Mela Ram Park)	26														26	A	
7	Nisar Scheme Qila Gujjar Singh	17														17	C	
8	Dhobi Mandi	23														23	C	
9	Patiala Ground	5	●													5	B	To be replaced
10	Rashi Bhawan (Pathi Ground)	12														12	A	
11	Circular Road (Guru Argum Nagar)	5														5	B	
12	Hilton Hotel (at Mason Road.)	25														25	C	
13	Royal Park	17	●													17	A	To be replaced
14	Suraya Jabeen Park	33	●													33	A	To be replaced
15	Salamatpura Takkia (Village)	24	●													24	A	To be replaced
16	Shah Gohar Abad	28														28	C	
17	Milap Street	27														27	C	
18	Dhobi Ghat.	29								●	●					29	S-B	Alternative land w ill be arranged
19	Madhu Lal Hussain	25														25	C	
20	Iqbal Park-I	34														34	C	
21	Iqbal Park-III	39	●													39	A	To be replaced
22	Chormala	20														20	A	
23	Iqbal Park Fort (Not sampled)	39														39	C	
24	Sabzi Mandi (F&V Market)	30														30	C	
25	Sharanwala Gate	32	●													32	A	To be replaced
26	Ali Park	34														34	A	
27	Iqbal Park-II (Abandoned)	39														39	C	
28	Raheem Road Data Nagar	16														16	C	
29	Khokhar Road No.III	29	●													29	A	Replaced
30	Hussain Park	24														24	C	
31	Siddique Pura	22														22	C	
32	Jia Musa	54														54	S-A	
33	Latif Chowk (Wandala Road)	44	●													44	A	To be replaced
34	Farrukh Abad Disposal	44														44	C	
35	3-D-I	16		●												16	A	Still available
36	D-I Block-III (Not sampled)	29		●												29	A	Still available
37	D-II Block-IV	16														16	C	
38	Tanki No.4 Township (Abandoned)	19														19	C	
39	Tanki No.3 Township (No motor)	19														19	C	
40	Gawala Colony No.1	22														22	C	
41	Henry Key (Old)	21														21	C	
42	Zafar Ali Road / Jail Road	21														21	S-B	Alternative land w ill be arranged
43	M-Block Gulberg (at Gupel Nagae P-Bk.)	24														24	C	
44	WASA Head Office (at FCC Block.)	22														22	C	
45	B-I Block Gulberg (A-Block Gulberg)	17	●													17	A	To be replaced
46	Mehboob Park, Ichra	27	●													27	A	To be replaced
47	A-Block Muslim Town	27														27	C	
48	C-Block Muslim Town	19														19	C	
49	Fareed Colony Printing Press	20														20	C	
50	Nishtar Colony	22														22	C	
51	Block No.6 Sector-A-II Township	20														20	A	
52	Block No.4 Sector-A-II Township	21														21	C	
53	Baba Farid Colony	24			●											24	S-B	Alternative land w ill be arranged
54	Mian Fazal Haq Colony	15			●											15	S-B	Alternative land w ill be arranged
55	B-Block Gulsahn-E-Ravi	23														23	C	
56	Rifle Range	22														22	C	
57	Bilal Park Shamnagar	24														24	C	
58	A-Block Gulsahn-e-Ravi	9														9	A	
59	Nonarian	27						●								27	S-B	Existing structure w ill be removed
60	Sodiwal Quarter	27														27	C	
61	Jaffria Colony	23														23	C	
62	Rewaz Gardan	27														27	C	
63	Sanda Patwar Khana	16														16	C	
64	Raj Garh Office	45														45	S-A	
65	National Town Sandha (at Jhangir Park)	30														30	A	
66	Rustam Park	15														15	C	
67	E-I Johar Town	24														24	C	
68	A-III Johar Town	23	●													23	A	To be replaced
69	A-Block Johar town	20	●													20	A	To be replaced
70	Mustafa Town	16														16	A	

表 3-12 プロジェクト対象深井戸の選択 (続き)

Sr. No.	Name of T/W	Arsenic (µg/L)	Site Conditions							Arsenic Concentration (µg/L) (July 2013)						Category	Situation	
			Replaced	T/W Still Available	Land Availability	Private	Drainage Availability	Existing Structure	Limited Space	Filtration Plant	10	20	30	40	50			≥50
71	Karji House Misri Shah	29														29	C	
72	D-Block China Scheme (Gujar Pura)	24														24	C	
73	Jinah Park	23	●													23	C	To be replaced
74	Faiz Bagh	23	●													23	C	To be replaced
75	Shadman Market	16	●													16	C	To be replaced
76	Katcha Temple Road (Abid Market)	33														33	C	
77	Queens Road	26														26	C	
78	Shah Shamas Qari (at Patyala House.)	27														27	C	
79	Faseeh Road	19														19	C	
80	Shadman-I Rehmania Park	33														33	C	
81	Sui Gas Engine Lytton Road (at Kot Adullah Shah)	23														23	C	
82	Shah Jamal.	19														19	C	
83	Shadman Mental Reservoir	40														40	C	
84	Sadi Park.	18														18	C	
85	Jaili Road (Lahore Collage)	23														23	C	
86	Mujahidabad (Not sampled)	39														39	C	
87	Angori Bagh Scheme-II	31														31	C	
88	Daras Barey Mian	30	●													30	C	To be replaced
89	Kotli Pir Abdur Rehman	19														19	C	
90	Punj Pir	26														26	C	
91	Sansi Quarter	29														29	C	
92	Gulshan Park	22														22	C	
93	Shah Kamal	23														23	A	
94	Lai Pul Fayyaz Park	25														25	C	
95	Seher Road	44														44	S-A	
96	Achant Garh	24														24	C	
97	Canal Bridge	21														21	C	
98	Gulistan Colony	22														22	C	
99	Dev Samaj Road (Commissioner Office)	32														32	C	
100	Islampura	38														38	C	
101	Mohni Road Salmat Mohalla	27														27	C	
102	Bilal Ganji	20														20	S-B	Alternative land w ill be arranged
103	Yasir Road	26														26	C	No available land
104	Sardar Chapal	6														6	B	
105	MC High School Sanda	31														31	C	
106	Karim Park Old	31	●													31	C	To be replaced
107	Akram Park, Bund Road	47														47	S-B	Arrangement for drainage w ill bernade
108	Ibrahim Road	22														22	C	
109	Main Out Fall No.1	33	●													33	C	To be replaced
110	E-Block Sabzazar	26														26	C	
111	K-Block Sabzazar	23														23	C	
112	B-Block Sabzazar	27		●												27	C	Still available
113	A-Block Sabzazar	37														37	C	
114	D-Block Sabzazar	10														10	C	
115	N-Block, Samanabad	26														26	C	
116	Ittehad Colony Samanabad	24														24	C	
117	Pir Buddan Shah Dholanwal	25														25	C	
118	Juggian Shahab Din	27														27	S-B	Existing structure w ill be removed
119	Children Park	20														20	C	
120	Yasrab Colony	34														34	C	
121	Taj Pura Ground	23														23	A	
122	Shahab Stadium (Fazal pura)	19														19	C	
123	Chah Miran (Old)	26	●													26	C	To be replaced
124	Shadbagh Well Centre-I	28														28	C	
125	Shadbagh Well Centre-II	34														34	C	
126	Shadbagh Well Centre-IV	24														24	C	
127	Shish Mehal Road (at Nazmabad.)	6														6	B	
128	Majeed Park Shahdara	106														106	S-A	
129	Takia Khusnawala Shahdara	33														33	A	
130	G.T.Road Shahdara	41														41	C	
131	Saeed Park.	30														30	C	
132	Paracha Colony	43	●													43	C	To be replaced
133	Latif Park (Abandoned)	59														59	S-A	
134	Ghazi Muhala Children Park	25														25	S-B	Existing structure w ill be removed
135	Larex Colony	27		●												27	C	Still available
136	Tegore Park	24														24	C	
137	Scotch Cornor / Upper Mall	21														21	C	
138	Muhammad Nagar.	23														23	C	
139	Baghay Shah	24	●													24	C	To be replaced
140	Habib Ullah Road	31														31	C	
141	Ahmad Block	32														32	C	
142	E-Block Tajpura	16	●													16	C	To be replaced
143	Ghaziabad Bus Stop	21														21	C	
144	A-Block Tajpura	21														21	A	
145	Jorrey Pull	22														22	C	
146	Q-Block Model Town EXT	15														15	A	
147	S-Block Model Town Ext.	9														9	B	

Note: Category "A": Already has an existing filtration plant
 Category "B": An arsenic concentration is lower than the WHO guideline of 10 µg/L
 Category "C": Included in the Project on the premise that WASA will install a filtration plant
 Category "S-A": Substitution A
 Category "S-B": Substitution B on the premise that cause for exclusion will be cleared

A	13
B	4
C	88
S-A	5
S-B	9

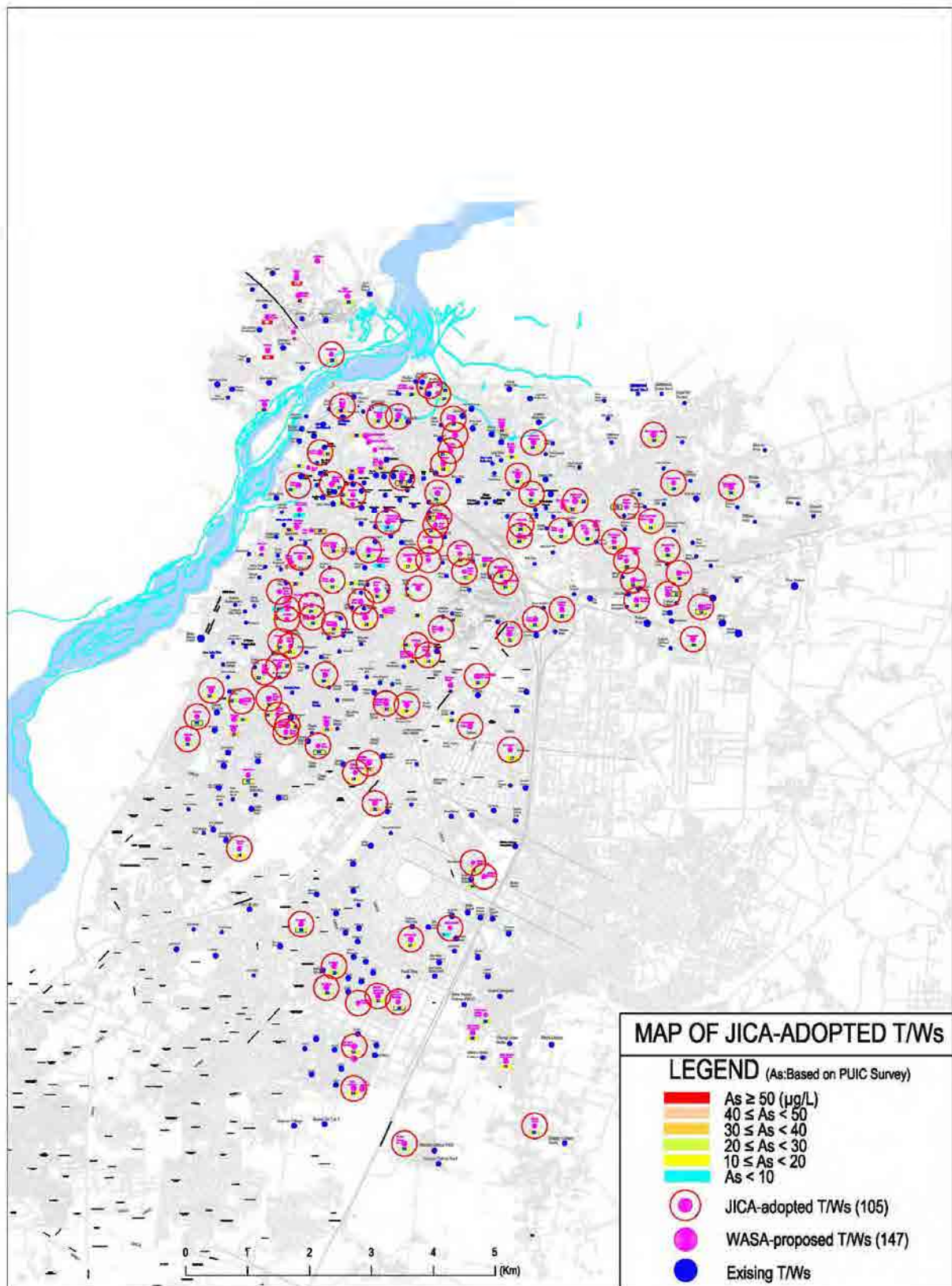


図 3-2 プロジェクト対象深井戸 105 箇所位置図

3-2-1-2 深井戸ポンプ場の機械設備

(1) 深井戸ポンプ

1) ポンプ型式

深井戸へ適用するポンプとしては立軸多段ポンプ、もしくは水中モータポンプが一般的であり、それぞれのポンプに特徴がある。今回の深井戸へ適用するポンプ形式を決定するためには、本プロジェクトの主目的である運転の効率化を考慮した上で、どちらのポンプの特徴が現地状況によりふさわしいかを見極める必要がある。

それぞれのポンプの一般的な特徴を表 3-13 に示す。(ポンプ口径、揚水量等、性能が同じ場合として考える)。さらに、地元業者のポンプおよびモーター修理能力の現状について表 3-14 に示す。

表 3-13 ポンプ形式の一般的な特徴

項目	立軸多段タービンポンプ	水中モータポンプ
運転安定性	モータとポンプをつなぐ長い駆動軸があり、軸ブレ発生の可能性がある	安定している
ポンプ効率	良い(概ね、80~83%)	悪い(概ね、74~79%)
施工性	揚水管内に駆動軸があるため、やや困難	揚水管のみであり、比較的容易
ポンプメンテナンス性	グラウンド部のメンテナンスが必要	据付後は日常のメンテナンスは不要
モータメンテナンス性	容易(モータ陸上の為)	ポンプ、揚水管の引き上げが必要であり、困難(モータ水中の為)

出典：JICA 調査団

表 3-14 地元業者の修理能力

機器	立軸多段タービンポンプ	水中モータポンプ
ポンプ	可能	可能
モータ	可能	不可

出典：JICA 調査団

上表を見ると、運転安定性・施工性・ポンプメンテナンス性では水中モータポンプの方が有利であるが、ポンプ効率・モータメンテナンス性では縦軸多段タービンポンプが優れている。また、立軸多段タービンポンプのモータが焼損した場合は地元業者での修理が可能であるのに対し、水中モータが故障した場合は地元業者による修理が困難である。

現在、ラホールWASAは、主に井戸用として縦軸多段タービンポンプ(陸上モータ)を使用しており、例外的に、水中ポンプ(水中モータ型の縦軸多段タービンポンプ)が15から20

台程度設置されている。

ラホールWASAが陸上モータ式の縦軸多段タービンポンプを使用し続けているのは、頻発するモータ焼損事故に対する地元業者のモータ修理能力が理由である。Shalimar Townの2012年から2013年にかけての1年間の井戸ポンプのモータ巻直し業務発注は20台であった。これは、タウン内井戸ポンプ55台の36%にも達する。平均するとすべてのモータが3年に1度は焼損事故を発生することになる。

モータ焼損事故の原因としては以下が挙げられる。

- ① 電力会社LESCOの電力供給が不安定である。(頻繁な停電、電圧変動が大きい等)
- ② 低電圧等が原因で、保護回路にてポンプが停止した際、ポンプ運転の継続を優先するため保護回路をバイパスするよう配線が変更される。
- ③ 焼損事故でまき直されたモータは、効率・耐力が下がり、そのため再度焼損事故が発生する可能性が高くなる。

このような状況が短期間に改善されることは望めないため、本プロジェクトでは、設置後の長期的な運転・維持管理を考慮し、焼損したモータを巻直すことが容易な陸上モータを使用する縦軸多段タービンポンプを採用する。

なお、高効率モータの採用による、深井戸ポンプ場の効率的運転も効率化の一つの手法と考えていたが、このように頻繁に焼損事故を起こしている現状から、高効率モータの導入は、効果がないと判断した。

2) ポンプ揚水量

対象地域の地下水位をみると、ラビ川周辺は比較的水位が浅く、ラホール市中心部に向かうに従い深くなっている。また、これまでの調査から地下水位は年々低下していることが確認できている。

ラホール WASA はこれまで地下水位の低下を考慮することなく需要優先で各ポンプの計画揚水量（主に 6.8 m³/min、3.4 m³/min）を設定してきた。このため一部地域では急激な地下水位の低下を招いている。従来の考え方にしがたって、本設計の計画揚水量を既存ポンプと同じに設定すれば、地下水位の低下はこれまで以上の速さで進行することは避けがたい。揚水能力の落ちたポンプ能力の回復は本プロジェクトの目的の一つではあるが、地下水位低下速度を多少なりとも抑制するために、地域的な予想地下水位を考慮して、地下水位の低いところには揚水能力の小さいものを、高いところには揚水能力の大きいものを配置する。

ポンプの実揚水能力を現状よりも高めているので現状よりも地下水低下が速まることは避けがたいが、それでも要望通りの揚水能力のポンプを設置するよりも地下水位低下速度を緩めることは可能である。

計画揚水量は、これまでの調査をもとに作成された 2031 年の井戸水位予測から **図 3-5** に示す通り設定した。

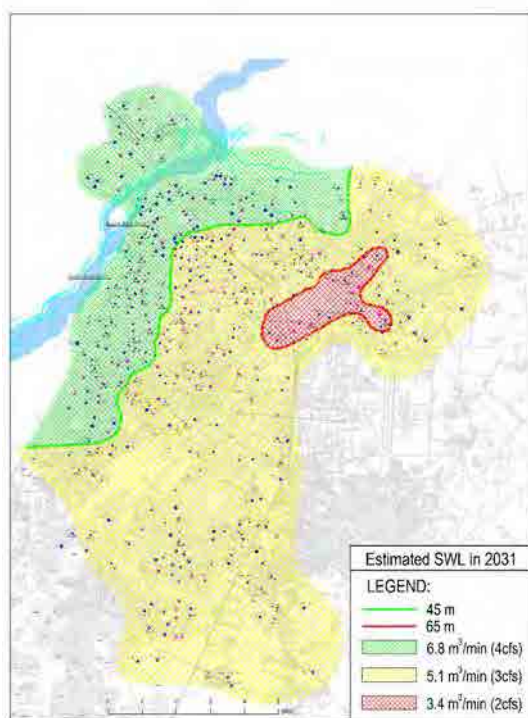


図 3-3 左上、地下水位の浅いラビ川周辺地域予想地下水位が-45 m より浅い地域には既存と同じ揚水量の大きな 6.8 m³/min (4 cfs) のポンプ、予想地下水位が-65 m とかなり低い地域には 3.4 m³/min (2 cfs)のポンプを設置する。また、それ以外の予想地下水位が-45 m ~-65 m 地域には 5.1 m³/min (3 cfs)のポンプを設ける。これによって現状程度の揚水量を確保しつつ、将来の水位低下を抑えることにつながる効率的な揚水量の設定になると考える。

このようなポンプ揚水量を 3 段階で設置することにより、全体的に当初の計画揚水量に近づく揚水量を確保し、将来の地下水位低下を抑制し、かつ、揚水のためのエネルギー効率を改善できる。

出典：JICA 調査団

図 3-3 ポンプ揚水量

このようなポンプ能力の配置によるゾーン別の揚水量の変化は表 3-15 のようになる。

表 3-15 ポンプ能力の配置によるゾーン別の揚水量の変化

地下水位ゾーン	内 訳	現在のポンプ (要請内容)		提案のポンプ	設置台数	実測揚水量 (m ³ /min)
		計画揚水量(cfs)	実測揚水量(cfs)	計画揚水量(cfs)		
-45m 以浅	全 体	154	121.3	164	41	
	(停止中)	(54)	(-)	(56)	(17)	-
	(運転中)	(100)	(121.3)	(108)	(27)	206.1
	揚水量比(%)	100%	79%	106%		
-45m~-65m	全 体	186	142.3	165	55	
	(停止中)	(56)	(-)	(51)	(17)	-
	(運転中)	(130)	(142.2)	(114)	(38)	241.6
	揚水量比(%)	100%	76%	89%		
-65m 以深	全 体	36	18.7	18	9	
	(停止中)	(-)	(-)	(-)	(-)	-
	(運転中)	(36)	(18.7)	(18)	(9)	31.8
	揚水量比(%)	100%	52%	50%		
全地域	全 体	376	282.2	347	105	
	(停止中)	(110)	(-)	(107)	(31)	-
	(運転中)	(266)	(282.2)	(240)	(74)	479.5
	揚水量比(%)	100%	75%	92%		

注) 揚水量比は、運転中のものを対象にして現在のポンプの計画揚水量を 100 としたときの比率を示す。

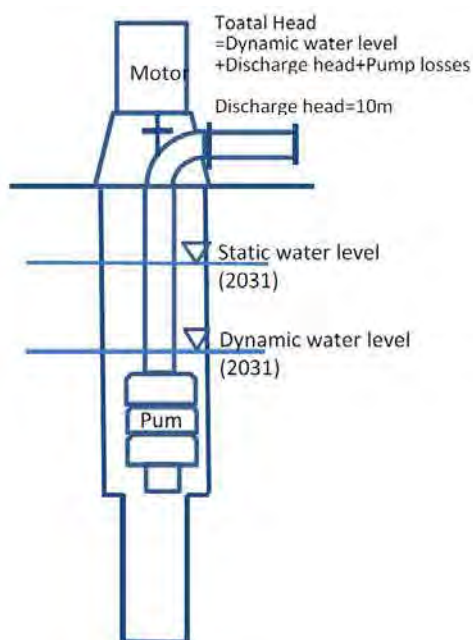
出典：JICA 調査団

-45 m より浅い地域は、深井戸ポンプ場 35 か所更新するが、当初 122cfs の計画揚水量であったが、井戸水位が比較的高いこともあり、 $6.8 \text{ m}^3/\text{min}$ (4 cfs) のポンプを設置することにより、このゾーン全体として今回 140cfs と 15% 増量した。一方、-65 m より深い地域は深井戸ポンプ場 10 か所更新するが、 $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ (2 cfs) のポンプの設置することにより、当初 36cfs の計画揚水量であったが、今回 20cfs となり、44% と大幅な減量となった。

これにより、対象地域全体では、当初計画揚水量の 97% まで回復させるが、一方、-65 m より深い地域は将来の水位低下を抑えることを配慮し、また、地下水位の比較的高い地域からの揚水を増やすことにより、エネルギー使用量の削減にも配慮した。

3) ポンプ揚程

今回ポンプの全揚程の考え方について **図 3-4** に示す。ただし、現在の地下水位に基づき設定しており、将来において井戸水位が下がった場合、揚水量は低下する。



出典：JICA 調査団

図 3-4 全揚程

ポンプ揚程には通常、井戸の設計動水位から配水池等の送水先までの全揚程に、ポンプ廻りロスと残存水頭、送水先までの配管ロスが加えられる。ラホール開発庁から出されている設計基準では、望ましい配水圧力範囲の最低値は 13.8m (20psi) と示されており、これを満足するようポンプ揚程を設定することが望ましいが、ラホール WASA の配水システムは、井戸水源が基幹配水管網に直接つながっており、配管ロスを算出するのは困難である。そこで、測定された既設ポンプ吐出圧がおおよそ 10 m 前後であることから、配管ロスの代わりに測定された吐出圧 10 m を全揚程に含めた。さらに、動水降下、ポンプ廻りロスを考慮し全揚程を決定した。

ポンプ設置位置は 2031 年の動水位を基準に設定する。2031 年の動水位は、2031 年の静水位とポンプ運転時の損失(帯水層ロスと井戸ロス)から設定される。水位や運転時の損失は場所によって異なるが、必要以上にポンプ位置を下がることは、揚水管・駆動軸を長くする、すなわち、振動等発生の可能性が高くなるため、現在の静水位から 20m をポンプの設置位置とする。将来、動水位(ポンプ運転時水位)が、この水位を下回るまで低下した場合には、WASA の費用にて、揚水管・駆動軸の延長を実施することとする。

4) ポンプ選定

従来ラホール WASA では、4 cfs ポンプは、揚水量 4 cfs (6.8 m³/min = 408 m³/hr)、揚程 64 m (1 段あたりの揚程 16 m の 4 段多段ポンプ) を調達し、深井戸ポンプ場に設置していた。しかし、前述のとおり、井戸水位は深井戸ポンプ場ごとに異なっており、それを 1 種類のポンプで対応するのは、非常に乱暴なポンプ選定である。

以下の表に、従来 WASA の標準としていた 4cfs ポンプと今回必要とされるの代表的運転点 A/B/C に適していると選定したポンプのポンプ効率、動力について比較した。

また、これらの運転点を **図 3-5** のとおり、ポンプ性能曲線にプロットした。

表 3-16 6.8 m³/min (4 cfs) ポンプの代表的仕様

運転点		揚水量 (m ³ /hr)	揚程(m)	効率(%)	動力(kW)	径(mm)	段数
標準		408	64	82.5	21.7 x 4 = 86.8	260/252	4
A (赤)	標準	408	57	77	22.5 x 4 = 90	260/252	4
	選定			82	17 x 4 = 68		
B (緑)	標準	408	48	70	22 x 4 = 88	260/252	4
	選定			83	16.5 x 3 = 49.5		
C (紫)	標準	408	33	60	22 x 4 = 88	260/252	4
	選定			82	24 x 2 = 48		

運転点 A のポンプでは、インペラ径の小さなポンプを選定することにより、ポンプ効率は 77% から 82% に向上する。それに伴って、必要動力は 90 kW から 68 kW に下げることができる。同様に、運転点 B のポンプは、インペラ 4 段のポンプを 3 段にすることにより、ポンプ効率は 70% から 83% に向上、必要動力は 88 kW から 49.5 kW に抑制できる。

さらに運転点 C のポンプは、標準ポンプを使用した場合、**図 3-5** から読み取れるように、本来の運転点を大きく逸脱した運転点である。この状態では、ポンプは過剰揚水からモータが過電流での運転となり、ポンプのキャビテーション、モータの焼損事故を発生する可能性が高い。この運転点では、インペラ 2 段で十分な性能を発揮する。インペラ 2 段のポンプの効率は 60% から 82% に向上、必要動力は 88 kW から 48 kW に抑制できる。

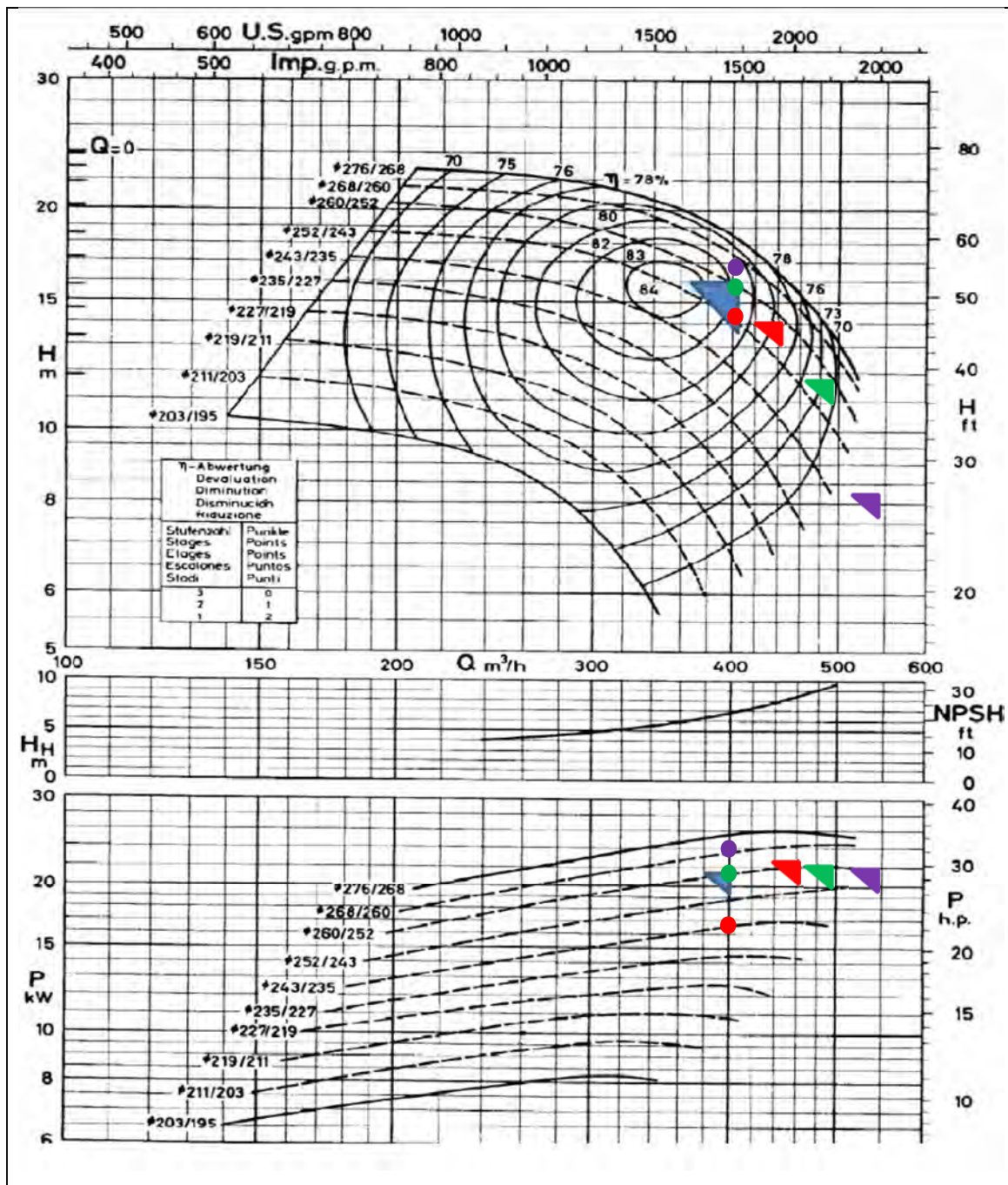


図 3-5 6.8 m³/min (4 cfs)ポンプの代表的運転点での運転状況

今回、105 箇所の深井戸ポンプ場の更新を行う。本来、各ポンプ場に最も適したポンプを選定することが運転効率上は、最も好ましいが、維持管理が非常に複雑で困難となる。そこで、揚水量は 6.8 m³/min (4 cfs)、5.1 m³/min (3 cfs)、3.4 m³/min (2 cfs)毎に揚程に応じ 1 ~2 機種に絞り込むことによって、維持管理の困難さを緩和する。

(2) 消毒設備

水道用消毒用としての塩素剤には、一般的に塩素ガス、次亜塩素酸ナトリウム、次亜塩素酸カルシウムが使用される。また、注入設備には、塩素注入器やダイヤフラムポンプによる

注入設備がある。塩素剤および注入設備の特徴を以下に示す。

表 3-17 塩素剤・注入設備の特徴

薬品	塩素ガス	次亜塩素酸ナトリウム (液体)	次亜塩素酸カルシウム (固体)
機器	塩素ポンプ、塩素ガス注入器、 加圧ポンプ、エジェクター	貯留タンク、 ダイアフラムポンプ、	貯留タンク、 ダイアフラムポンプ、 攪拌機
特徴 (長所)	・薬品が比較的安価である	・安全である ・維持管理が比較的容易である ・既存で使用しており、調達も容易である	・安全である ・維持管理が比較的容易である
(短所)	・塩素ガス漏洩事故時、甚大な被害を発生する ・機器の取扱がやや難しい ・新たに調達方法を確保する必要がある	・薬品がやや高価である	・薬品が高価である ・薬品を溶解する必要がある ・新たに調達方法を確保する必要がある
評価	可	優	良

出典：JICA 調査団

両者の比較から、塩素ガス漏えい事故、機器の取扱の困難さ、調達の容易さを考え、塩素剤は、現在使用している液体次亜塩素酸ナトリウムとする。また、現在はダイアフラムポンプが故障しているため、既存の消毒設備が機能しておらず、故障時の対応が容易にできるよう予備機を設置する。

消毒設備は、薬品貯蔵用タンク(1槽)とダイアフラムポンプ2台(常用1台、予備1台)から構成される。

3-2-1-3 深井戸ポンプ場の電気設備

既存設備で観察された電動機焼損および力率改善不備への対応のため、次のことを設計方針とする。

- 1) 電動機容量および始動方式に見合う適切な変圧器容量の選定
- 2) 変圧器容量その他の条件を考慮した適切な始動方式の選定
- 3) 短絡、過負荷などの異常に対応する適切な保護装置の設置
- 4) 電動機に対する直接保護装置として固定子巻線に温度センサーの設置
- 5) 適切な容量のコンデンサー設置

その他に、地下水水位を監視するために現況地下水水位によりグループ化された3つのグループ毎に水位計の設置を検討する。

3-2-2 基本計画

(1) 深井戸施設

1) 深井戸構造設計に係る設定条件

設計上の安全側にたち、 $6.8 \text{ m}^3/\text{min}$ (4 cfs) と $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ (2 cfs) のいずれの計画揚水量においても、以下の条件を満たすものとする。

- 深井戸径は、現在のWASA深井戸標準仕様に準じるものとする。従って、 $6.8 \text{ m}^3/\text{min}$ (4 cfs) 深井戸は、ポンプ井部分：20” (500 mm)径、スクリーン部分：10” (250 mm)、 $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ (2 cfs) 深井戸は、ポンプ井部分：18” (450 mm)径、スクリーン部分：8” (200 mm)とする。
- スクリーンは、現地で採用の縦型スリット構造とし、その開口率を10%とする。
- 計画動水位降下量を実際の観測深井戸の最大値 $18.75 \text{ m} \approx 19 \text{ m}$ を適用する。
- ポンプ吸込口とスクリーン部分の間隔を経験上3 mとして設定する。
- ポンプ井部分の予備長を8 mとする。
- 深井戸井戸構造上のポンプ井部分とスクリーンケーシングの重複部分を3 mとする。
- スクリーン長は、深井戸構造上、深井戸全長の約30%程度とし、かつ、スクリーン内への地下水の流入速度 $V=0.03 \text{ m/sec}$ (USA標準値) として、計画揚水量 Q を確保できる長さとする。
- 計画最大深井戸深度は、既存最大深井戸深度を超えないこととする。

2) プロジェクト対象深井戸の仕様

ポンプ井部分長は以下の設定により計画される。

$$\begin{aligned} \text{ポンプ井部分実長} &= \text{計画目標年2031年の静水位} + \text{動水位降下量} \\ &+ \text{ポンプ吸込口とスクリーン部分の間隔} + \text{ポンプ井部分の予備長} \end{aligned}$$

ポンプ井ケーシング長は、深井戸構造上のポンプ井部分とスクリーンケーシングの重複部分があるため、ポンプ井実長よりも9 m長くなる(図 3-6 の計画井戸デザインを参照)。標準井戸仕様は、2031年における静水位や必要なスクリーンの長さ(深井戸構造による可能井戸取水量)の条件により、 $6.8 \text{ m}^3/\text{min}$ (4 cfs) 計画深井戸と $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ (2 cfs) 計画深井戸を、大きく2 種類のカテゴリーに分けて設計する。

2031年の静水位は、大凡-25 m~-65 mまでの大きな範囲が見込まれるが、井戸建設時、初めて明らかになる深井戸建設サイトの帯水層条件や深井戸施工上の利点等を考慮して、地下水位を2つのカテゴリーに分けて、深井戸標準図を設計する。なお、その際に計画値として採用する静水位は、各カテゴリーの最深の水位を採用する。表 3-18 に計画深井戸

の設計標準仕様、**図 3-6**に標準仕様図を示す。

表 3-18 計画井戸の設計標準仕様

No	2031年での 適用静水位	静水位	動水位	スクリーン ～ポンプ井 の間隔	予備長	ポンプ 井実長 (A)	重複 部分長 (B)	ポンプ井 ケーシング 全長 (C)=(A)+(B)	スクリ ーン 実長 (S)	スクリーン ケーシング 全長 (D)=(S)+(L*)	深井戸 全長 (F)=(C)+(D)
6.8 m ³ /min (4 cfs) 深井戸											
1	-35 m～-65m	65 m	19 m	3 m	8 m	95 m	9 m	104 m	75 m	146 m	250 m
2	<-35m	35 m	19 m	3 m	8 m	65 m	9 m	74 m	75 m	146 m	220 m
3.4 m ³ /min (2 cfs) 深井戸											
1	-35 m～-65m	65 m	19 m	3 m	8 m	95 m	9 m	104 m	48 m	96 m	200 m
2	<-35m	35 m	19 m	3 m	8 m	65 m	9 m	74 m	48 m	96 m	170 m

注) 上記の静水位及び動水位は、井戸長に換算するために地表からの深度を示し、マイナス記号を省略している。A、B、D、F記号は、**図 3-6**の計画井戸の標準仕様図に示す。

L* スクリーンケーシング無孔管長 (6.8 m³/min (4 cfs) 深井戸: 71 m、3.4 m³/min (2 cfs) 深井戸: 48 m)

計画深井戸仕様は、基本的に、2031年の地下水位低下地域において、-65 m以下の最大低下地域に3.4 m³/min (2 cfs) 深井戸を適用し、その他は6.8 m³/min (4 cfs) 深井戸を適用する。

井戸標準仕様において、ポンプ井の長さ及びスクリーン長及び井戸深度等は、計画目標年の地下水位低下状況や井戸湧出可能量の計算等に基づき設定している。

スクリーン長決定のための井戸湧出可能量の計算

$$Q = 2 \pi r \times L \times \text{Sop} \times (1 - \text{スクリーン目詰り率}) \times V$$

Q: 井戸湧出可能量 (m³/sec)

r : 井戸半径 (m)

L : スクリーン実長 (m)

Sop: スクリーン開口率 (10%)

スクリーン目詰り率 (30%)

V: スクリーン流入速度 (USA基準=0.03m/sec)

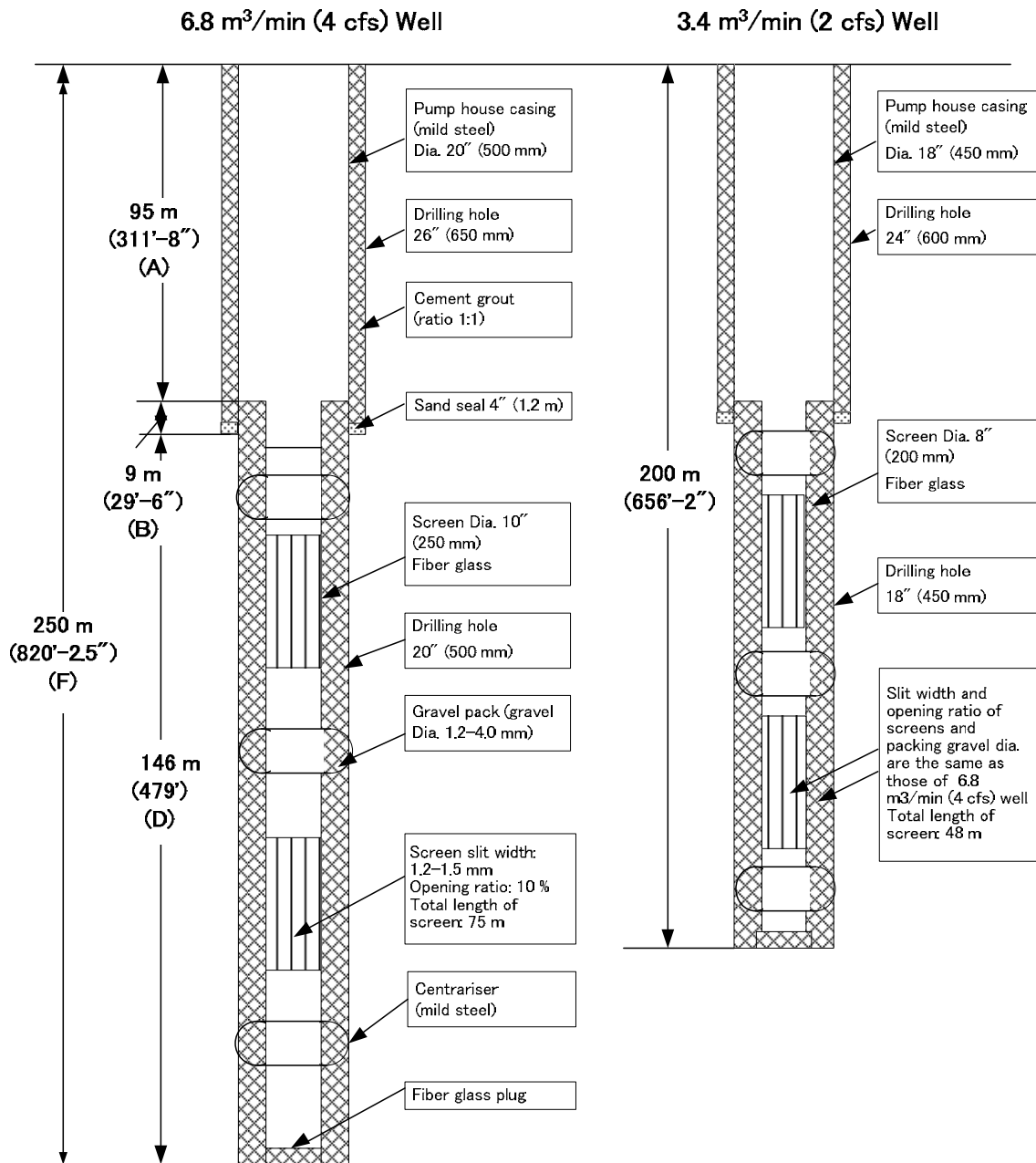


図 3-6 計画深井戸の標準仕様

- 上記ケースは静水位が-35~-65mで深井戸深度が最大のケース
- 静水位<-35mでは、6.8 m³/min (4 cfs) 深井戸の深度は220 m、3.4 m³/min (2 cfs) 深井戸の深度は170 mとなる。深井戸深度以外の仕様は同じである。

(2) 深井戸ポンプ場機械設備

1) 井戸ポンプ

設計方針に基づき、105 台のポンプを揚水量毎に取りまとめると以下となる。

表 3-19 揚水量毎のポンプ台数

揚水量	揚程	台数
6.8 m ³ /min (4 cfs)	51 m～47 m	41
5.1 m ³ /min (3 cfs)	64 m～62 m	55
3.4 m ³ /min (2 cfs)	64 m	9

出典：JICA 調査団

上記にて設定したポンプ仕様からインペラ外径のパターンを減らし、ポンプ形式を減らす。それによって予備品の管理がしやすくなり、メンテナンス性の向上が図れる。これらの検討を行い、下記に示す7種の形式のポンプへ絞った。

表 3-20 ポンプ仕様

No.	仕様	台数
1	6.8 m ³ /min x 51 m, 90 kW (120 HP)	20
2	6.8 m ³ /min x 47 m, 75 kW (100 HP)	21
3	5.1 m ³ /min x 64 m, 90 kW (120 HP)	9
4	5.1 m ³ /min x 62 m, 75 kW (100 HP)	46
5	3.4 m ³ /min x 64 m, 55 kW (75 HP)	9

出典：JICA 調査団

ポンプ引き上げの際の作業効率向上のため、電動チェーンブロックを1タウンに1台ずつ配備する。

2) 井戸ポンプ用モータ

モータについては上記のとおり 75kW (100HP)、90kW (120HP) の2種類にて対応する。またモータを保護するため、巻き線の温度を測定する温度センサーを設ける。

また、モータ焼損事故の頻度を考え、タウン毎にこれら2種類のモータの予備を各1台ずつ保管させる。これによってモータ焼損の際に修理完了までの時間を稼ぐことにより、品質の悪いモータまき直し業者への発注を減らすことができ、モータの延命と修理後のモータの品質向上が図れると考える。

3) 塩素注入設備

塩素剤の注入はポンプ吐出管へダイアフラムポンプにて行うものとする。井戸へ直接の注入はポンプ腐食の原因となるため行わない。また、ポンプ室には薬品貯蔵用のタンクを設置する。次亜塩素酸ナトリウムのポンプ室への配達は、現状の WASA のシステムに従い、WASA ワークショップへ配達された次亜塩素酸ナトリウムを小分けにし、Sub-Division 毎に行う。その量については揚水量に合わせ、設備容量としては 1 mg/L の注入率で注入できる薬品貯蔵タンク (250 mL) とポンプ (最大吐出量 560 mL/分) を設置する。なお、

消毒剤補充頻度は、6.8 m³/分（4 cfs）のポンプ場で、24 時間 1 mg/L の注入率で運転した場合に 3 日となる容量である。注入ポンプの予備は各タウンに 1 台の計 5 台とする。

表 3-21 揚水量毎の塩素注入設備

揚水量	貯蔵用タンク	注入ポンプ
6.8 m ³ /min (4 cfs)	250 L	35 units
5.1 m ³ /min (3 cfs)	250 L	60 units
3.4 m ³ /min (2 cfs)	250 L	10 units

出典：JICA 調査団

(3) 深井戸ポンプ場電気設備

1) 変圧器

変圧器容量の選定においては、電動機運転時の定常状態だけでなく電動機始動時の電圧降下も考慮する必要がある。電動機容量毎の始動時の電圧降下および変圧器と適用始動方式の工事費を項目とした検討内容を表 3-21、表 3-22 及び表 3-23 に示す。

電動機容量 90 kW の場合表 3-22 よりケース 3 の 200 kVA のソフトスタータ、75 kW の場合表 3-23 より 200 kVA の Y-Δ 始動方式、55 kW の場合表 3-24 より 100 kVA のソフトスタータとする。

表 3-22 電動機 90 kW に対する変圧器容量比較

電動機容量 90 kW	ケース 1 変圧器；400 kVA Y-Δ 始動方式	ケース 2 変圧器；200 kVA Y-Δ 始動方式	ケース 3 変圧器；200 kVA ソフトスタータ
始動時電圧降下	6.9%	13.9%	8.1%
工事費	Rs.2,496,000.-	Rs.1,850,000.-	Rs.2,101,000.-
総合評価	機能上問題ないが高価となる。	始動時の電圧降下が 10% を超過する。	最適

表 3-23 電動機 75 kW に対する変圧器容量比較

電動機容量 75 kW	ケース 1 変圧器；200 kVA Y-Δ 始動方式	ケース 2 変圧器；200 kVA ソフトスタータ	ケース 3 変圧器；100 kVA ソフトスタータ
始動時電圧降下	9.2%	5.3%	15.3%
工事費	Rs.1,773,000.-	Rs.1,978,000.-	Rs.1,581,000.-
総合評価	最適	ケース 1.に比較して高価となる。	始動時の電圧降下が 10% を超過し、変圧器が過負荷運転となる。

表 3-24 電動機 55 kW に対する変圧器容量比較

電動機容量 75 kW	ケース 1. 変圧器；100 kVA Y-Δ 始動方式	ケース 2. 変圧器；100 kVA ソフトスタータ	ケース 3. 変圧器；200 kVA Y-Δ 始動方式
始動時電圧降下	11.2%	6.5%	10.8%
工事費	Rs.1,324,000.-	Rs.1,469,000.-	Rs.1,721,000.-
総合評価	始動時の電圧降下が 10% を超過する。	最適	始動時の電圧降下が 10% を超過し、工事費も 3 案の中で最も高価となる。

(d) 深井戸予定地での受電関連工事費

プロジェクト予定地に必要な次の受電関連工事については、9月16日のWASAとの協議においてそれぞれの工事はLESCO、それらの工事費はWASAが負うことを確認した。

- 架空電力線の予定地への延長および引込線工事
- 変圧器工事
- 取引用電力量計（有効電力量計および無効電力量計）とその付属装置

2) 始動方式の選定

電動機の始動方式に表 3-25 に示す方式がある。

表 3-25 電動機の始動方式と特徴

	方式名	解 説
a)	直入れ方式	電源の全電圧を印加し始動する方式で始動時の電流は定常時のその6から7倍程度のものが流れる。始動トルクは最も大きいのが、始動時の変圧器の電圧降下が大きくなる。
b)	オープン型 Y-Δ 方式	始動時に電動機へ印加する電圧を 1/3 に抑制する方式で、始動トルク始動電流ともに直入れ方式の 1/3 となり、変圧器容量を抑制できる。
c)	クローズド型 Y-Δ 方式	オープン型 Y-Δ 方式と同様な始動方式であるが、オープン型の場合スター回路からデルタ回路への切替え時に発生する瞬時大電流を抑制できる。
d)	リアクトル方式	始動時に減電圧するためにリアクトルを使用し、始動完了後リアクトル回路をバイパスして定常状態に移行する方式である。巻線比率により減電圧の程度を調整できる。
e)	コンドルファ方式	単巻変圧器を始動時に使用し、始動完了後単巻変圧器回路をバイパスし定常状態に移行する方式である。巻線比率により減電圧の程度を調整できる。
f)	ソフトスタータ方式	電力用半導体を使用した減電圧始動方式で、始動電流、始動時立ち上がり時間および停止時漸減電圧時間等の設定が可能となり電動機のスムーズな始動・停止が達成できる。

本プロジェクトにおいては単純なシステム及び電動機始動時の変圧器電圧降下等を考

慮し、クローズド型 Y-Δ 方式またはソフトスタータ方式から選定する。つまり、適切な電動機運転を可能とする変圧器容量と始動方式との組み合わせとその経済性を考慮して決定する。前述の 1) 変圧器容量選定の項目における比較表より各電動機容量における始動方式を下記のとおり選定する。

- 90 kW 電動機； ソフトスタータ方式
- 75 kW 電動機； クローズド型 Y-Δ 方式
- 55 kW 電動機； ソフトスタータ方式

3) 保護装置

想定される電氣的異常および故障から電動機および他の電気設備を保護するために次の保護装置を設置する。

(a) 避雷器（サージ保護装置）

外部からの誘導雷サージおよび電源上流部での電路の開・閉サージによる異常電流を安全に接地へ流すことにより電動機を保護する。

(b) 過電圧・不足電圧継電器

過電圧および不足電圧から電動機を保護するために設置する。

(c) 漏電遮断機

漏電による過電流から操作員の安全を確保し電動機を保護するために設置する。また、しゃ断機は回路が短絡した場合に電動機、始動盤、ケーブルおよび変圧器等の電気設備を保護するために電源から切り離すことにより異常の拡大を抑制する機能を有する。

(d) 過負荷継電器

過負荷による過電流から電動機を保護するため熱動形継電器を設置する。回路を遮断する過電流設定値は負荷の状況により設定可能である。

(e) 電動機固定子巻線温度センサー

電動機固定子巻線の温度を直接測定し設定温度以上を検知した場合回路を遮断する。巻線の温度を直接測定することにより電動機焼損事故の大幅な削減が期待できる。

(f) 保護用接地

避雷器および漏電遮断器の機能を十分に発揮させるため堅固な保護設置システムを構築する。また、変圧器の中性点接地についても LESCO とも協力し適切に堅固に施工する必要がある。

4) 力率改善用コンデンサー

低力率による LESCO への不要な電気料金支払いを抑制するために、改善後の力率を 0.9 以上とする適切なコンデンサー容量を取り付ける。現地状況を考慮し 0.99 の力率改善が可能なコンデンサー容量を取付けるが、電動機への過励磁を防止するため自動力率調整装置も設置計画する。また、運転操作員の技術水準を考慮し電動機運転に連動したコンデンサーの自動運転が可能な回路とする。

5) 地下水位観測用水位計

現在、ラホール市域においては WASA を含めた水道事業体はその水源を地下水に依存している。地下水利用は地下水位の低下を招き 2008 年から 2013 年の最近 5 年間に於いても地下水位低下が報告されている。

地下水位を観測することは地下水に依存する WASA の運営において必要不可欠となることから、本プロジェクトにおいて現状地下水位によりグループ化した 3 つの井戸群毎に 3 ヶ所程の水位計設置を計画する。水位計の種類については施工性および経済性を考慮し圧力式投込み式水位計を設置する。

(4) エネルギー監査機材

現在、エネルギー監査を担当している部署は、電気技師 Executive Engineer が長となり、電気を専門とする Sub-Divisional Officer 主任クラス電気技師 2 名が所属する。今後この部署の組織強化が予定されており、2 名の電気 Sub-Divisional Officer がエネルギー監査班の中心となる監査班 2 チームで、定期的に稼働中の井戸ポンプ場の運転状況をチェックする。この活動のため、エネルギー監査機材 2 組を納入する。

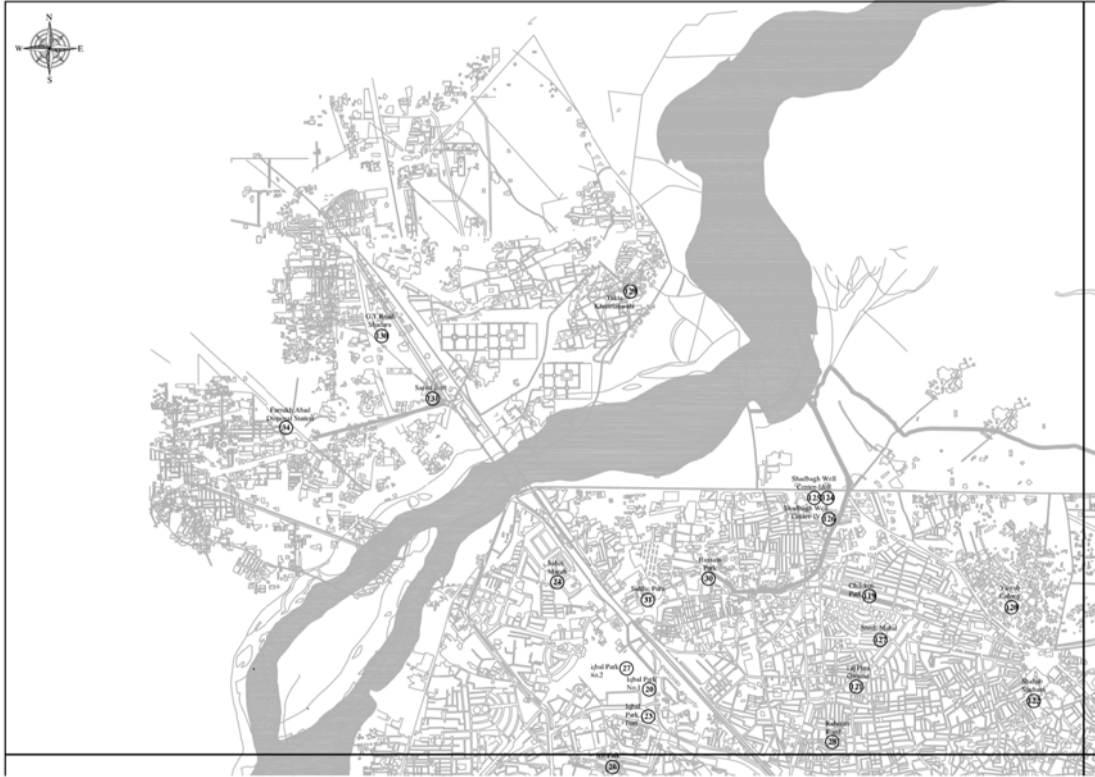
エネルギー監査機材は、井戸ポンプのエネルギー効率性を解析するための機材で、電気エネルギー投入量と水エネルギー使用量により深井戸ポンプ場の効率を確認する。前述 2.1.4 既存施設・機材に示す通り、運転実態調査で得られたデータを解析し、ポンプ・モータの運転時の効率を知ることができる。深井戸ポンプ場の効率により運転状況を把握でき、ポンプ・モータの修理・更新の手掛かりとなる。さらに、揚水 1m³ あたり電動機で消費した電力量(kWh/m³)でも深井戸ポンプ場ごとの効率を比較することもできる。このようにポンプ場の効率的運転を調査するには不可欠な機材であり、ソフト・コンポーネント等のトレーニングの実施により有効に活用できるようになる。エネルギー監査機材とその測定項目を表 3-26 に示す。

表 3-26 エネルギー監査機材

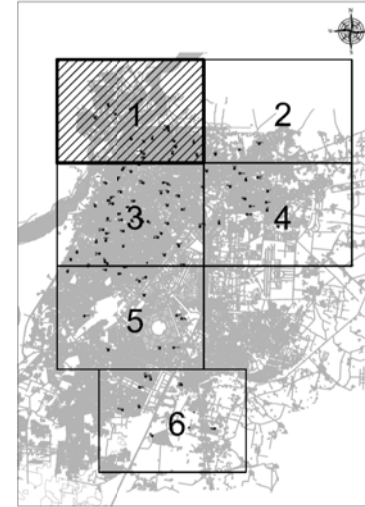
No.	名称	台数	測定項目
1	Power Analyzer	2	電流、電圧、電力量、力率等
2	Potable Flow Meter (Ultrasonic)	2	流量
3	Pressure Logger	2	ポンプ吐出圧
4	Potable Level Meter	2	井戸静水位、動水位
5	Tachometer	2	ポンプ回転数
6	Thermo Meter (Laser)	2	温度
7	Vibration Meter	2	振動
8	Lap-top computer	2	データ解析

3-2-3 概略設計図

概略設計図を以下に示す。図面目録にある配置図については、ここでは二枚のみを設計例として示し、**資料**に全配管図を示す。



LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (1)
NOT TO SCALE



INDEX MAP
NOT TO SCALE

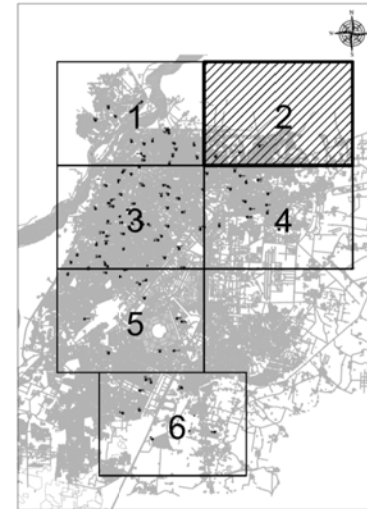
LEGEND

(100) : RENEWAL WELL & WELL NO.

PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (1), INDEX MAP	NOT TO SCALE
	DRAWING NO. 1 / 75



LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (2)
NOT TO SCALE



INDEX MAP
NOT TO SCALE

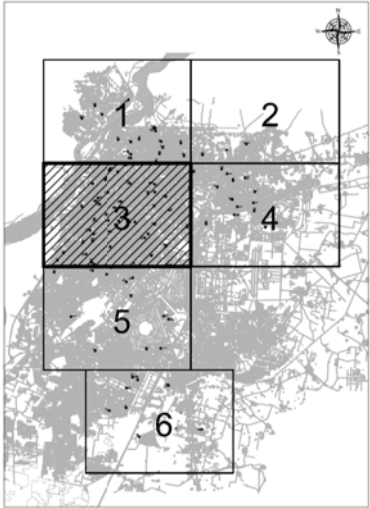
LEGEND

⊙ : RENEWAL WELL & WELL NO.

PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (2), INDEX MAP	AS SHOWN DRAWING NO. 2 / 75



LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (3)
NOT TO SCALE

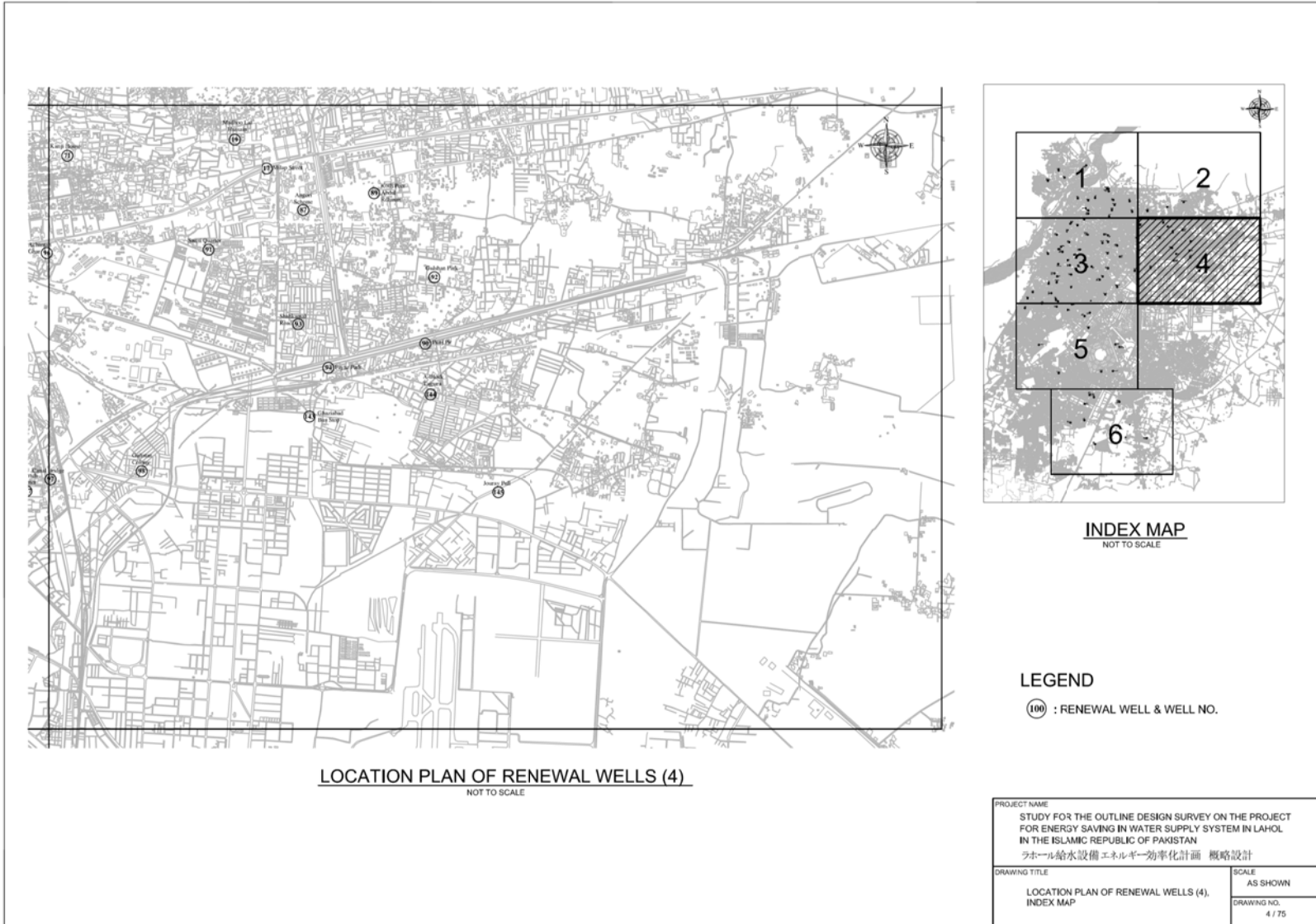


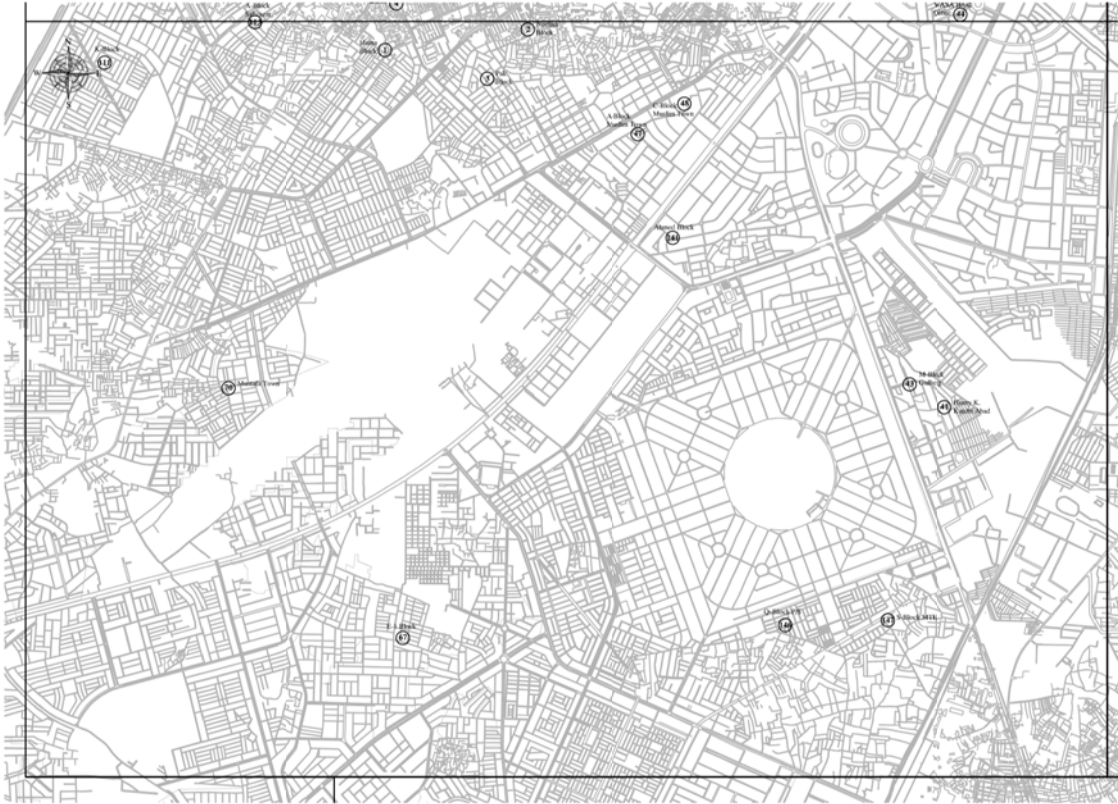
INDEX MAP
NOT TO SCALE

LEGEND

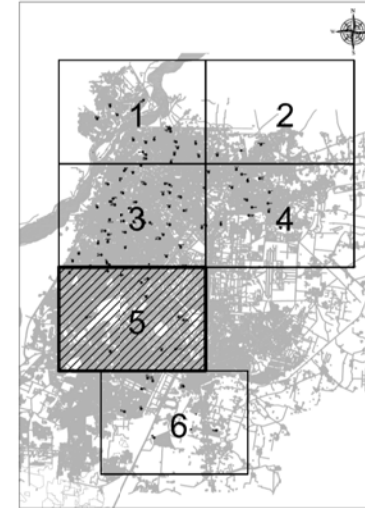
⑩ : RENEWAL WELL & WELL NO.

PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (3), INDEX MAP	AS SHOWN
	DRAWING NO. 3 / 75





LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (5)
NOT TO SCALE

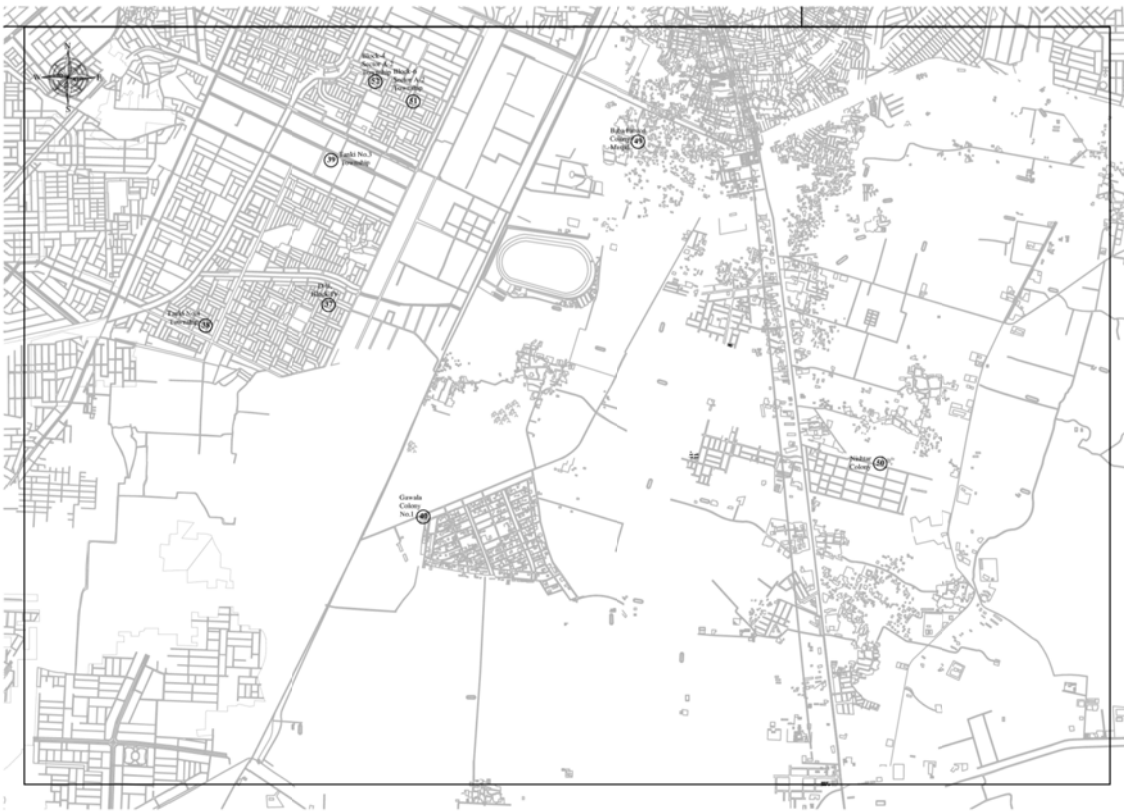


INDEX MAP
NOT TO SCALE

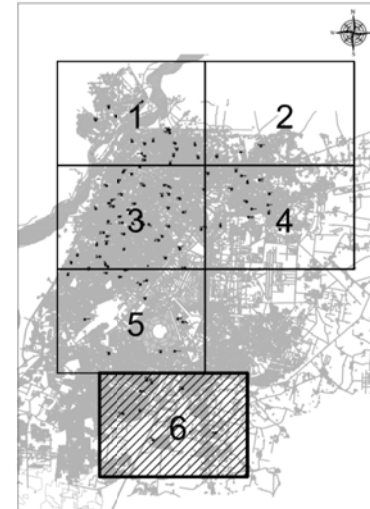
LEGEND

⊙ : RENEWAL WELL & WELL NO.

PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (5) INDEX MAP	AS SHOWN
	DRAWING NO. 5 / 75



LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (6)
NOT TO SCALE

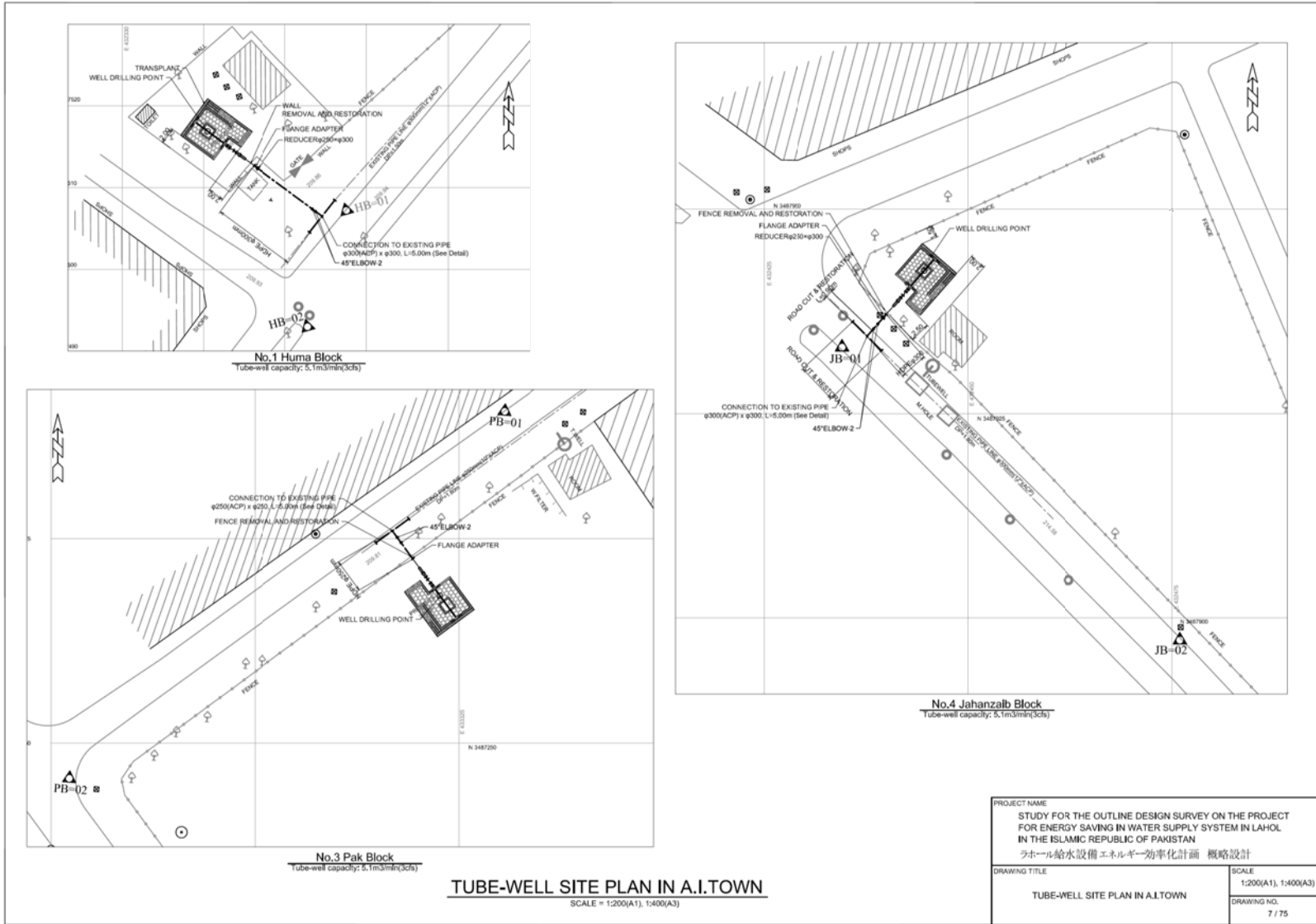


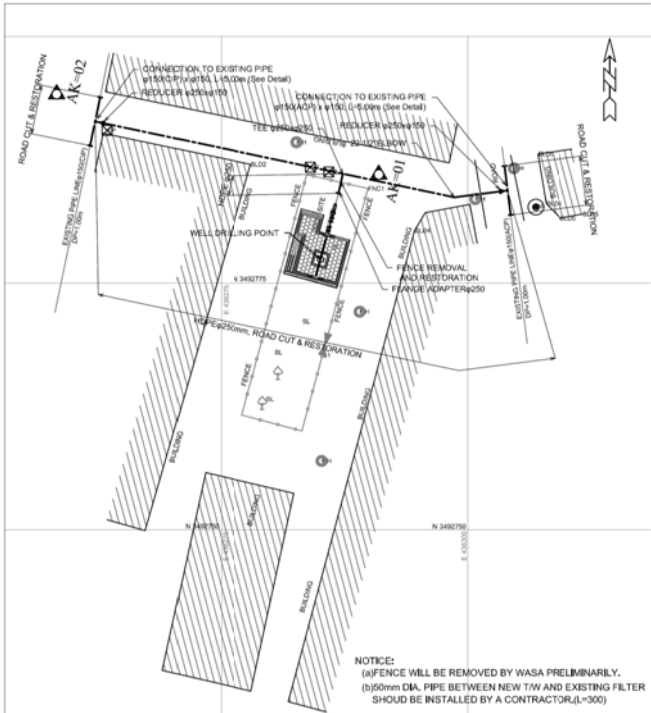
INDEX MAP
NOT TO SCALE

LEGEND

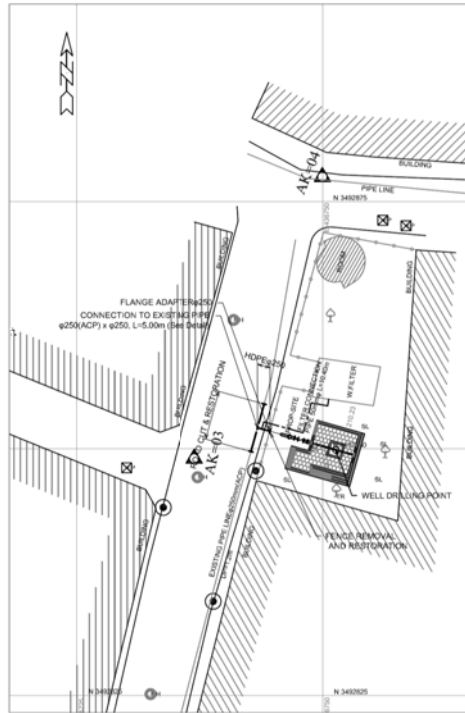
⊙ : RENEWAL WELL & WELL NO.

PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
LOCATION PLAN OF RENEWAL WELLS (6), INDEX MAP	AS SHOWN
	DRAWING NO. 6 / 75





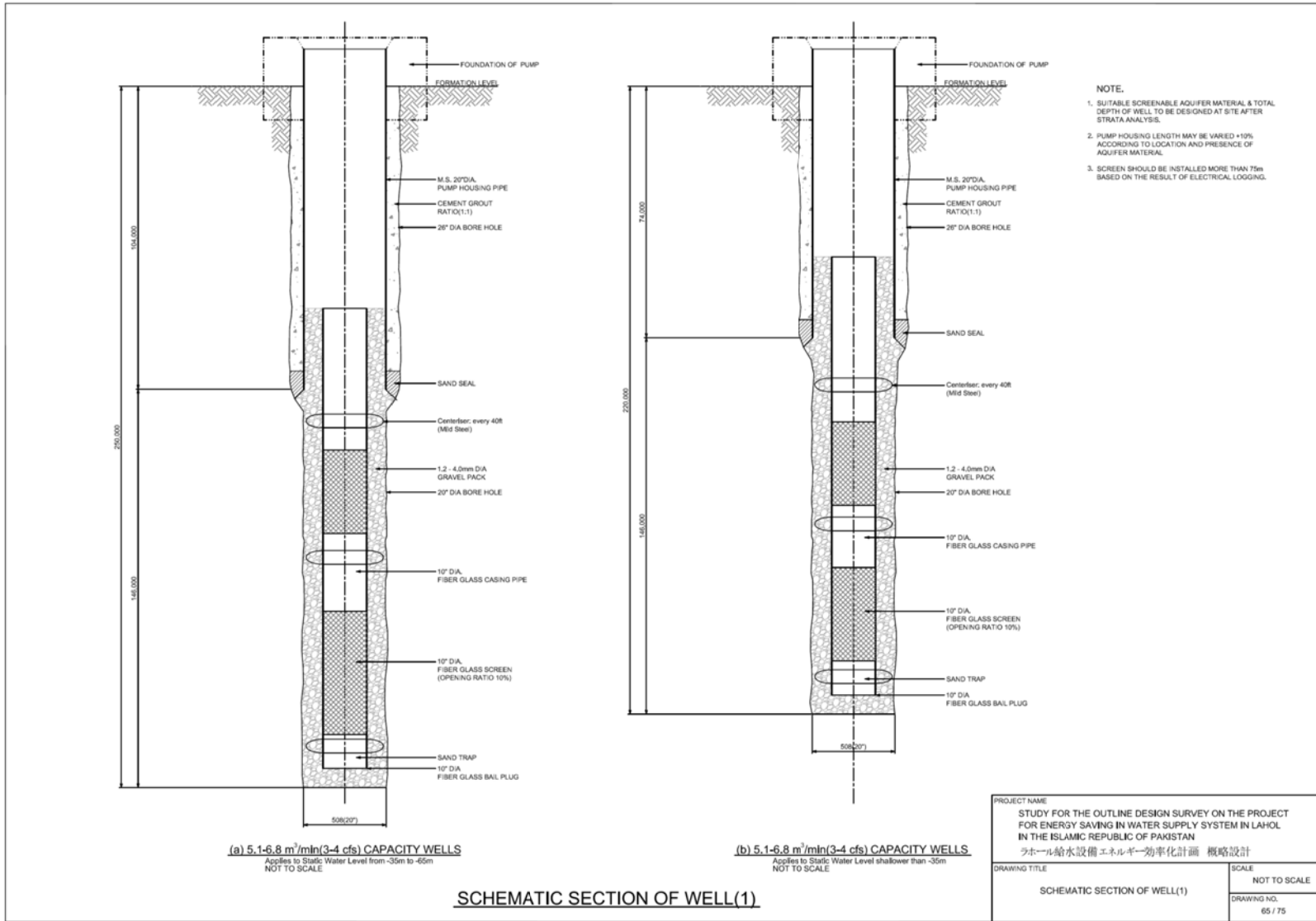
No.6 Abdul Karim Road (Mela Ram Park)
Tube-well capacity: 5.1m³/min (3cfs)



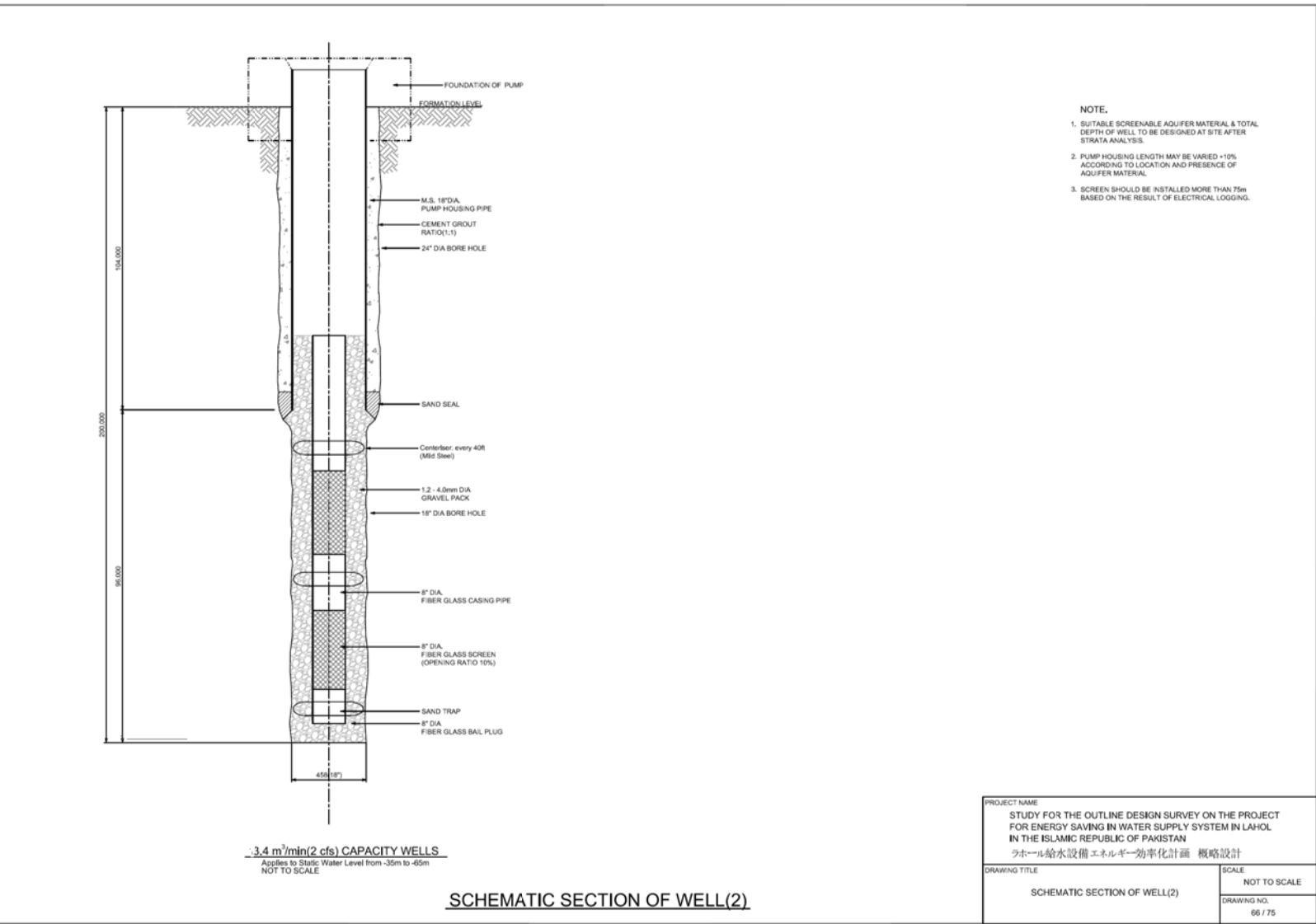
No.7 Nisar Scheme Olla Gujjar Singh
Tube-well capacity: 5.1m³/min (3cfs)

TUBE-WELL SITE PLAN IN ANARKALI(1)
SCALE = 1:200(A1), 1:400(A3)

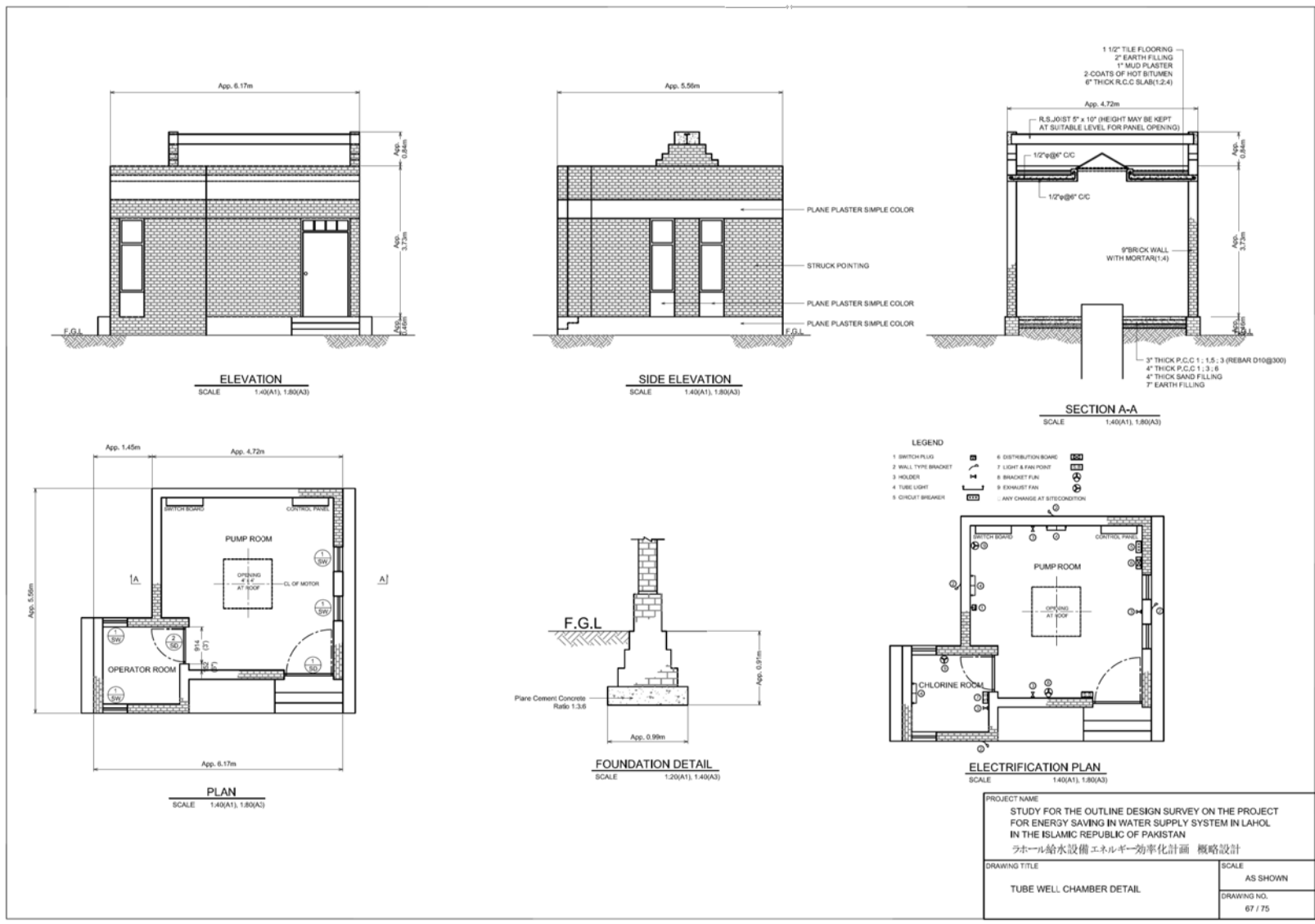
PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
TUBE-WELL SITE PLAN IN ANARKALI(1)	1:200(A1), 1:400(A3)
	DRAWING NO.
	8 / 75

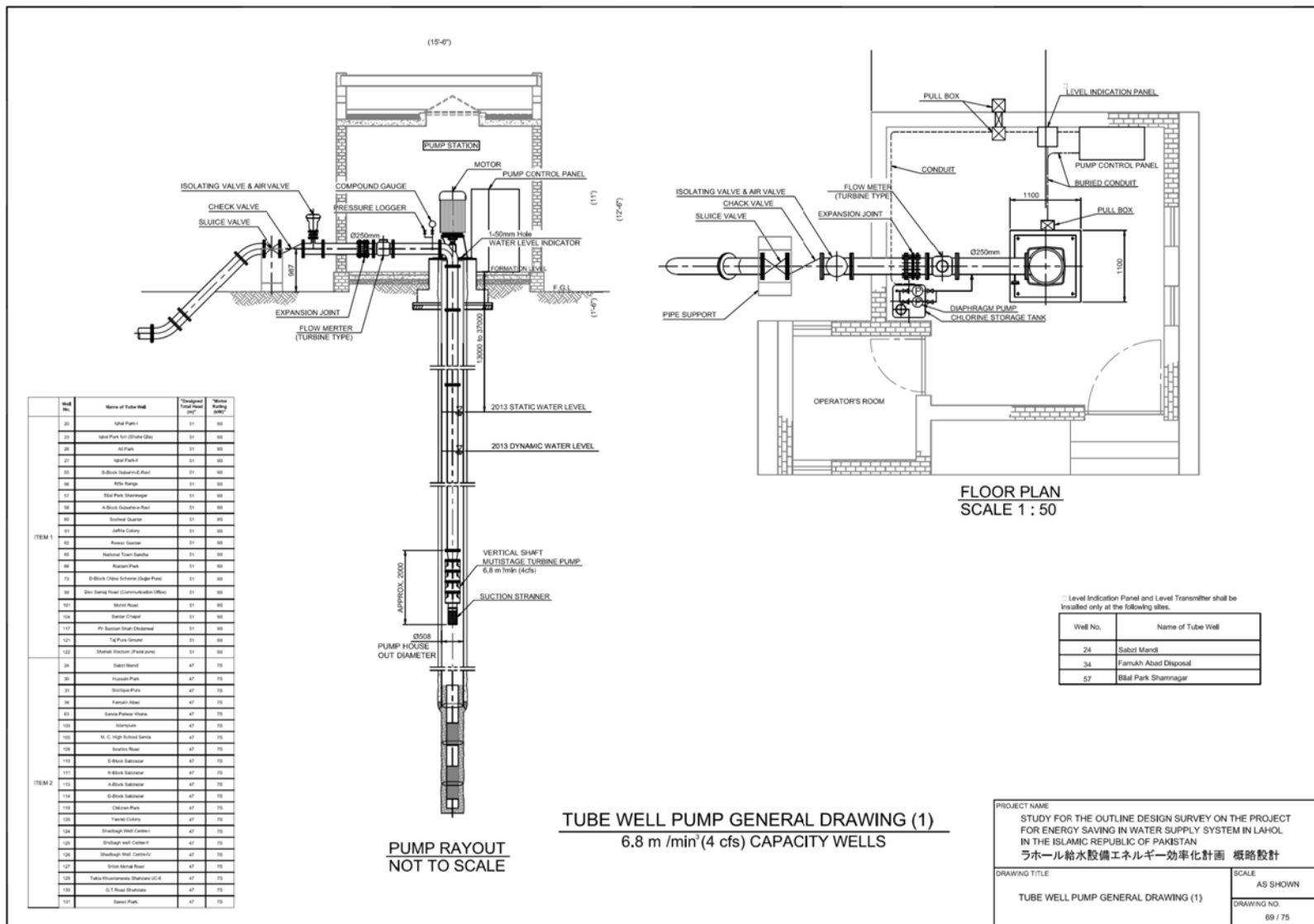


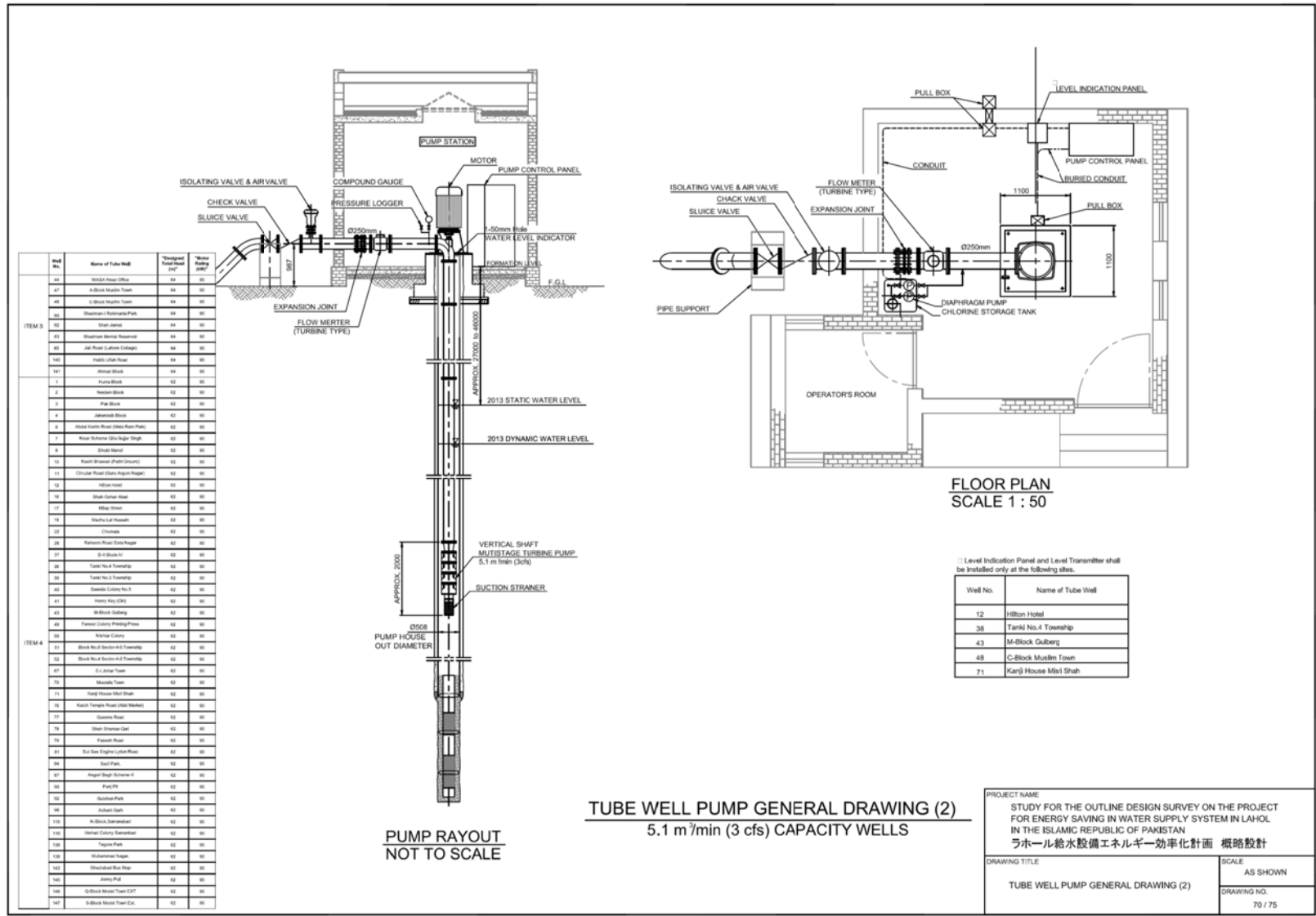
SCHEMATIC SECTION OF WELL(1)

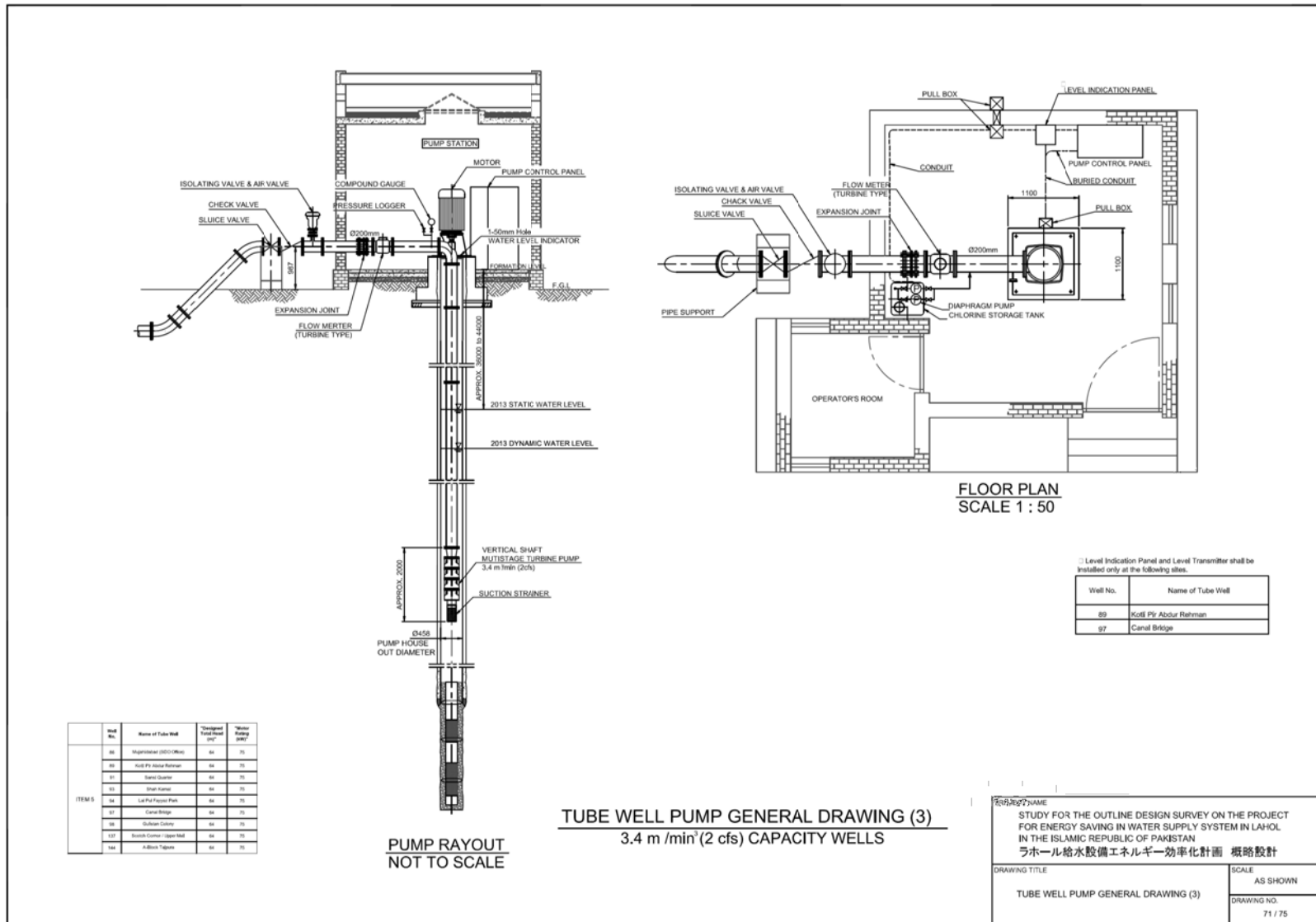


3.4 m³/min(2 cfs) CAPACITY WELLS
 Applies to Static Water Level from -35m to -65m
 NOT TO SCALE



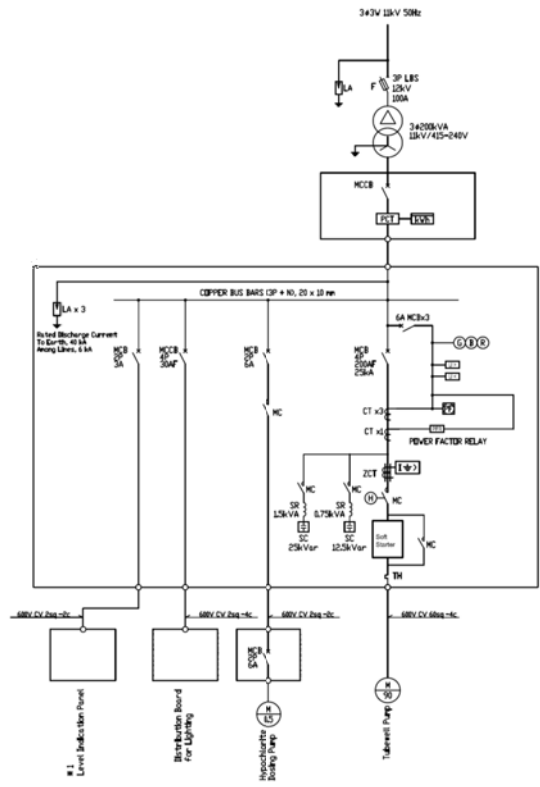




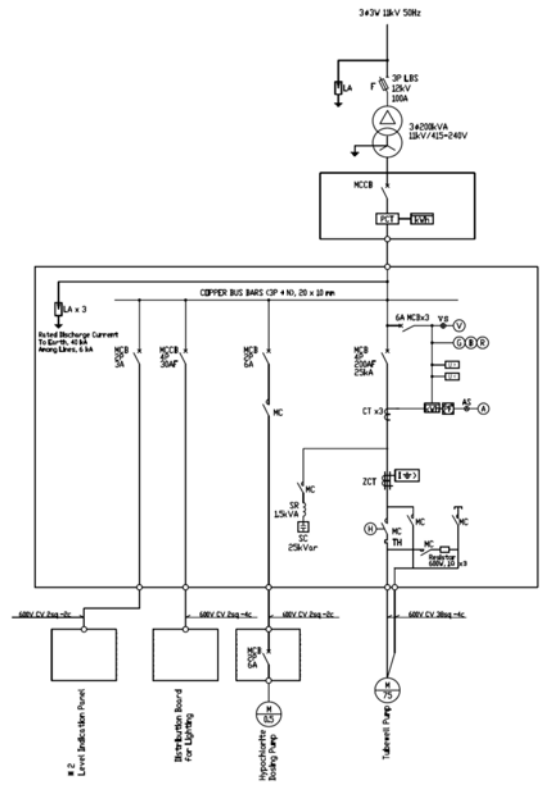


Well No.	Name of Tube Well	Designed Discharge (m ³ /hr)	Water Depth (m)
86	Majidkhan (2011) Office	84	75
89	Kotli Pir Abdur Rehman	84	75
92	Samra Quater	84	75
93	Shah Kamaal	84	75
94	Lah Pul Fajee Park	84	75
97	Canal Bridge	84	75
98	Gulshan Colony	84	75
107	Swatkh Corner (Upper Mall)	84	75
144	A-Brook Tapsra	84	75

PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
TUBE WELL PUMP GENERAL DRAWING (3)	AS SHOWN
	DRAWING NO.
	71 / 75



PUMP CONTROL PANEL FOR 90 kW MOTOR (SOFT STARTER)



PUMP CONTROL PANEL FOR 75 kW MOTOR (STAR-DELTA)

SYMBOL	DESCRIPTION
LBS	LOAD BREAK SWITCH
LA	LIGHTNING ARRESTER
F	FUSE
PCT	POTENTIAL CURRENT TRANSFORMER
CT	CURRENT TRANSFORMER
SC	STATE CAPACITOR
SR	SERIES REACTORS
ZCT	ZERO PHASE CURRENT TRANSFORMER
TR	THERMAL RELAY
MC	ELECTROMAGNETIC CONTACTOR
MCCB	MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
MCB	MINIATURE CIRCUIT BREAKER
M	MOTOR
(V)	VOLTS VOLTAGE RELAY
(U)	LINE'S VOLTAGE RELAY
(W)	WATT HOUR METER
(P)	POWER FACTOR METER
(I)	OVER CURRENT GROUND RELAY
(A)	AMMETER
(V)	VOLT METER
(L)	PHASE LAMPS
(H)	HOUR METER
(S)	AMMETER SWITCH
(V)	VOLTMETER SWITCH

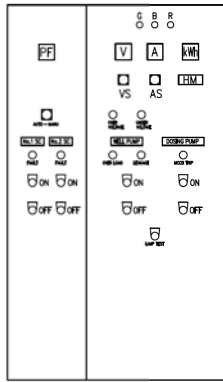
#1 Level Indication Panel and Level Transmitter shall be installed only at the following sites.

SITE NO.	SITE NAME	SUB DIVISIONS
32	Hilton Hotel	Anarkali
38	Tanki No.1 Township	Green Town
43	M-Block Gulberg	Gulberg
48	C-Block Muslim Town	Ichhra
57	Bhai Park Shansagar	Islampur
71	Kanji House Miri Shah	Miri Shah

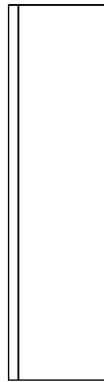
#2 Level Indication Panel and Level Transmitter shall be installed only at the following sites.

SITE NO.	SITE NAME	SUB DIVISIONS
24	Sabal Mandi	City
34	Farrukh Abad Bisposal	Farrukhabad
89	Kotli Pir Abdur Rehman	Mughalpura
97	Canal Bridge	Mustafabad

PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN	
ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
SINGLE LINE DIAGRAM	NON
	DRAWING NO.
	72 / 75

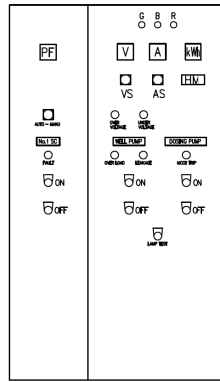


FRONT VIEW

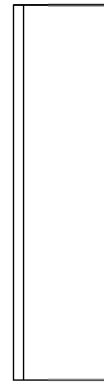


SIDE VIEW

PUMP CONTROL PANEL FOR 90kW (SOFT STARTER)



FRONT VIEW



SIDE VIEW

PUMP CONTROL PANEL FOR 75kW (STAR DELTA)

LEGEND	
SYMBOL	DESCRIPTION
V	VOLT METER
A	AMPERE METER
VS	VOLT METER SWITCH
AS	AMPERE METER SWITCH
kWh	WATT HOUR METER
HM	HOUR METER
PF	POWER FACTOR METER
G B R	PHASE LAMPS
□	CHANGE OVER SWITCH
○	PUSH BUTTON
○	INDICATION LAMP

PROJECT NAME	
STUDY FOR THE OUTLINE DESIGN SURVEY ON THE PROJECT FOR ENERGY SAVING IN WATER SUPPLY SYSTEM IN LAHOL IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF PAKISTAN ラホール給水設備エネルギー効率化計画 概略設計	
DRAWING TITLE	SCALE
PUMP CONTROL PANEL OUTLINE	1:20
DRAWING NO.	
73 / 75	

3-2-4 施工計画／調達計画

3-2-4-1 施工方針／調達方針

「パ」国側の本事業の実施機関は、ラホールWASA である。本事業は、詳細設計の段階からWASA 内部に設置されるプロジェクトチーム (Project Implementation Unit: PIU) が一貫して業務を担当するものとする。PIU の主な役割は、以下の内容とする。

- 本事業に対するWASAの窓口
- WASA内の関連部局との連絡
- 本事業実施に関連する関係機関（連邦政府、州政府、ラホール市役所、LDA 等）との連絡・調整
- 設計・入札業務のとりまとめ
- 「パ」国側分担事項の実施に係る予算及び要員の確保
- PIU は、WASAのグンジュ・バクシュ・タウン維持管理事務所内に置かれ、WASA 本部はPIUのマネジメントを支援するものとする。

本邦コンサルタントは、事業を円滑に進めるために、詳細設計と入札業務補助及び施工監理を行い、所定期間内での事業完了を目指す。

詳細設計段階においては、業務主任の監督の下に深井戸・土木・機械・電気・積算技術者を投入する。プロジェクトの内容についてはWASAの関連部局との詳細な協議が必要であり、このため、詳細設計及び入札図書の作成はラホールと日本で行う。

入札段階では、日本のコンサルタントのオフィスでWASA 及びJICA代表者立ち会いの下、JICAの入札ガイドラインに従ってコンサルタントが入札を執行する。コンサルタントは、JICAの承認を得るために必要な手続を行いながら、その後のWASAと落札者との契約交渉及び契約調印を補助する。

施工段階では、コンサルタントはラホールに常駐する施工管理者を派遣し、その者はすべての作業に関してWASAと一緒に差配する施工管理責任者として行動する。コンサルタントはまた、深井戸・配管・機械・電気技術者を主要施設・設備の完成時及び中間及び最終支払いの検査時に必要に応じて派遣し、施工管理を補佐する。

本事業の対象施設は、深井戸・建屋・機械設備・電気設備から成る深井戸ポンプ場を新しいものに立て替え、これらの深井戸ポンプ場から基幹配水管網及びヒ素除去施設との間に送水管を敷設することにある。そのため、水道施設全般の建設工事に十分な実績を持つ日本の一般土木工事請負業者を以て工事にあたるのが適当と判断される。契約業者の選定方法は、一般公開による競争入札とする。WASAと協議・確認の上、入札参加業者に求められる資格及び選定基準を入札準備作業時に決定する。

施工時には、邦人請負業者は現場責任者を含む技術者を現地に派遣して、現地業者の協力を得て建設工事を監督するものとする。

一つの深井戸ポンプ場の建設工事はその着手から竣工まで性格の異なるさまざまな工程を包含しており、一つの深井戸ポンプ場建設作業チームは以下のような班から構成される。

- ① 深井戸さく井
- ② 深井戸仕上げ（各種試験含む）
- ③ ポンプ場（上屋）建設
- ④ ポンプ場（上屋）内装
- ⑤ 機械設備設置
- ⑥ 電気設備設置

したがって、それぞれの班は一つの深井戸ポンプ場で作業を終えると順次次のサイトに移動することになる。五つの作業チームが並行して別々に作業し、全部で105箇所の深井戸ポンプ場を19ヶ月かけて建設することを想定している。

3-2-4-2 施工上／調達上の留意事項

(1) 施工上の留意事項

施工上の留意事項を以下に列記する。

- 105箇所のプロジェクト対象深井戸を地域的に5分割し、5つの深井戸ポンプ場建設作業班が並行して作業を進めることを基本とする。
- 事業実施には、連邦政府、州政府、ラホール市役所、ラホール開発庁等との業務調整（道路占有許可・敷設管路承認・鉄道横断承認・路面復旧承認等）が不可欠で、「パ」国側が設立するPIUを介し、十分に協議して事業を進める。
- 設計段階では、コンサルタント事務所はWASA オフィスの一画に置かれ、必要に応じて設計に係る協議を、PD、その他のPIU部員及びWASA関係部局と行う。
- コントラクターの事務所及び資機材置場用地は、WASAの各タウン維持管理事務所のスペースを用いることとする。
- 施工監理段階では、コンサルタントはコントラクターが設置する工事事務所内にオフィスを構えて工事期間中常駐する。
- 工区別の工事進捗に合わせた中間検査及び完了検査は、常駐管理者と検査内容に合わせた専門技術者をスポット派遣して実施する。
- 施工は昼間工事を原則とする。
- 配水管敷設路線、特に交通量の多い路線での敷設工事や付属設備工事等の開削部では、歩行者、通行車両への配慮をし、十分な安全対策を講じる。開削部は、原則として日々の工事後に埋め戻して仮復旧する。

- 深井戸竣工時の水質試験でヒ素濃度が20 $\mu\text{g/L}$ を超えたためにヒ素除去施設の設置が必要になった深井戸については、深井戸からヒ素除去装置までの原水（地下水）送水管敷設は「パ」国負担工事であり、WASAは施工業者が用意する分岐管からの原水送水管敷設工事を実施する。
- 完了検査後の竣工検査証明発行日から、該当施設の瑕疵期間を開始する。

(2) 調達上の留意事項

次に調達上の留意事項を列記する。

- 「パ」国内での調達を第一優先、日本国からの調達を第二優先とし、両国で調達できない物品に限りコスト優位性を考慮して第三国調達とする。
- 基幹配水管網接続用の管材は、WASAが通常使用している「パ」国産品のHDPE（高密度ポリエチレン管）とする。
- 調達資機材の輸入／輸送は、カラチからラホールまでの輸送を含むものとするが、必要に応じて、陸送が可能な数量への分別・梱包を勘案する。

3-2-4-3 施工区分/調達・据付区分

無償資金協力事業における日本側が提供する範囲と相手国側が負担する項目の区分を**表 3-27** に示す。

表 3-27 両国政府の主な分担事項

番号	項目	日本（無償資金協力）	「パ」国
1	用地取得		●
2	建設予定地伐採		●
3	建設予定地にゲート・フェンス設置		●
4	駐車場の設置		●
5	工事用道路の設置		
	1) 用地内	●	
	2) 用地外		●
6	深井戸さく井と仕上げ、上屋建設と内装、機械・電気設備設置、配管	●	
7	深井戸ポンプ場から基幹配水管網への送水管	●	
8	深井戸ポンプ場からヒ素除去施設への送水管	●	
9	ヒ素除去施設の設置		●
10	深井戸ポンプ場からヒ素濃度が 10 µg/L を超えたときに設置されるヒ素除去施設への送水管		●
11	工事用資材置場の提供		●
12	電力・水道・雨水排水及びその他付帯施設の建設		
	1) 電力		
	a. 深井戸ポンプ場用地までの受電用配線		●
	b. 用地内配線	●	
	c. ブレーカー及び変圧器		●
	2) 水道		
	a. 配水管から用地への接続管	●	
	b. 用地内配管	●	
13	PIU の設置及びソフトコンポーネント実施前の運転・維持管理要員配置		●
14	B/A に基く以下の手数料の支払い		
	1) A/P 手続き手数料		●
	2) 支払い手数料		●
15	「パ」国荷揚げ港での陸揚げ・通関手続き		
	1) 日本から被援助国への製品の海上輸送	●	
	2) 港での輸送品に対する租税免除及び迅速なる通関		●
	3) 国際港から計画対象地までの国内・国外輸送	●	
16	認証された契約に基づいて供与される日本国民の役務について、その業務の執行のための「パ」国への入国及び滞在に必要な便宜供与		●
17	契約に基づき調達される製品及び役務のうち、日本国民に課せられる関税、内国税及びその他課徴金の免除		●
18	無償資金協力で調達される機材が、当該計画実施のため適正かつ効果的に使用され、維持管理されるために必要な費用		●
19	無償資金協力対象外調達機材の輸送・据付等に必要となる費用		●

本事業における施工・調達・据付区分を、表 3-28に示す。

表 3-28 施工・調達・据付区分

分類	内容	日本 (無償資金協力)	「パ」国
深井戸ポンプ場	深井戸のさく井	●	
	深井戸の仕上げ (各種試験含む)	●	
	上屋建設	●	
	上屋内装	●	
	機械設備設置 (付属品含む)	●	
	電気設備設置 (水位計を含む)	●	
送水管	深井戸ポンプ場～基幹配水管網送水管	●	
	深井戸ポンプ場～ヒ素除去施設送水管	●	
	深井戸ポンプ場～ヒ素除去施設送水管 (ヒ素濃度が10 µg/Lを超えたときに設置されるヒ素除去施設の場合)		●
ヒ素除去施設	ヒ素除去施設の設置		●
調達機材	エネルギー監査機材	●	

下記の工事は相手国負担事項とする。

1) 門柵・フェンス等設置工事

WASAの深井戸ポンプ場には、門柵・フェンス等は設置しないのが普通である。

2) 既存深井戸の廃棄処分工事

WASAの既存深井戸の廃棄処分方法は一様ではなくケース・バイ・ケースで異なる。そのまま放置されるものもあれば、機械電気設備を撤去してポンプ場建屋を取り壊して更地になっているものもある。どちらかと言えば前者が多く、公園では一代目、二代目がそのまま残されているのが多く見受けられる。扱いがケース・バイ・ケースであるためWASAの責任とする。

既存深井戸を廃棄して、同じ敷地内の近傍、又は別の敷地内に更新井戸を建設する場合、既存深井戸をそのまま設置しておくのは井戸孔中へ子供等のはまり込みや小動物の落下による腐敗等により不衛生になり、周辺地下水が汚染される可能性があるため自然土壌により埋め戻しを行なうべきである。その後、電気設備を取り外し、ポンプ場を取り壊し、植樹して元の状況に戻すことが必要である。なお、コンクリート土台等がある場合には、建設重機等で壊し、一般廃棄物処分場に廃棄する。ポンプ場の取り壊しをしないときにはドアをしっかりと施錠して一般の人が立ち入りを禁止し、ポンプを撤去したときには深井戸にコンクリート版でしっかりと蓋をしておかなければならない。

3) LESCOに支払う受変電工事負担金

WASAの各深井戸ポンプ場の受変電設備工事は、地域配電会社であるLESCOが実施して申請者は負担金を支払うことになっており、WASAの工事委託でも実費精算扱いとしながらも負担金を工事金額に含めている。したがって、LESCOに対する負担金支払いは全額WASA負担とし、受変電設備以降の二次側配線及び電気設備工事はプロジェクトの工事範囲とする。

4) ヒ素除去施設設置工事

公共給水栓（水汲み場）を含むヒ素除去施設の設置がプロジェクト対象とする条件になっている深井戸については、ヒ素除去施設設置工事は全額WASAの負担とする。

5) 深井戸ポンプ場からヒ素除去施設までの原水送水管敷設工事

深井戸竣工時の水質試験でヒ素濃度が10 µg/Lを超える深井戸については、ヒ素除去施設設置工事及び深井戸ポンプ場からヒ素除去施設までの原水送水管敷設工事は全額WASAの負担とする。

3-2-4-4 施工監理計画／調達監理計画

本準備調査の結果に基づいて、日本国政府が無償資金協力の実施を決定した場合、「パ」国政府との間で事業実施に係る交換公文（E/N）が署名される。その後、「パ」国政府と邦人コンサルタントと契約が交わされ、日本国政府の認証を受けた後、コンサルタントは詳細設計を開始する。

(1) 詳細設計

詳細設計の開始時には、深井戸ポンプ場予定地及び基幹配水管網・ヒ素除去施設までの送水管ルートへの地形測量及び路線測量を含めて詳細な現地調査を実施する。また、必要となる現地見積書を収集する。帰国後、国内にて設計作業を行い、詳細設計計算書及び基本設計と詳細設計の積算書比較を行う。詳細設計は、現地調査に2.0 ヶ月、国内解析と積算書比較に2.5ヶ月を見込み、合計期間として4.5 ヶ月を要する。

(2) 入札関連業務

詳細設計の結果に基づいて、入札関連図書を準備し、全てWASAの承認を得る。

図書承認後、直ちに日本において入札公示及び事前審査と入札図書配布を行う。図書配布後45日間以上の間隔をあげ、邦人コンサルタント事務所においてWASA及びJICA立会人の下で応札・開札補助業務を行う。応札適格者の中から最低価格を提示した候補者から順に、技術面と価格面での評価に係る契約交渉を行い、契約相手としての妥当性を確認し、業者契約の補助作業を進める。

入札図書作成から承認までの作業期間として1.5ヶ月、入札図書配布から業者契約まで2.5ヶ月をそれぞれ見込む。

- ① 入札参加資格審査の公示日から1週間以上の準備期間を設け、邦人企業の入札資格審査参加者からの入札参加申請書を受理する。
- ② 入札参加申請書の受理後、遅滞無く速やかに入札参加資格の審査を行う。
- ③ 入札参加適格者に入札図書を配付した後、45日間以上の入札準備期間を設け、関係者立会いの下に入札を実施する。
- ④ 入札最低価格提示業者から順次、応札書の技術的かつ价格的な内容を審査し、施工業者としての妥当性が確認された業者を本案件の契約先としてWASAに推薦する。
- ⑤ 工事請負契約の締結を補助する。

(3) 施工監理／調達監理

本備事業は、土木（井戸）・建築・機械・電気の各種工事を伴う。邦人コンサルタントから派遣する技術者は、常駐監理を行う土木技術者、井戸技術者、配管技術者、機械技術者、電気技術者を配置するものとする。また、現地にて井戸・建築・配管・設備技術者を雇用して、邦人コンサルタントの補佐に当てるものとする。

常駐監理者は、基本的に施工期全期間にわたって監理を行うものとする。常駐監理者を除くそれぞれの技術者は、供与資材の納入時期、施工期間の中間の適切な時期に、スポット監理を行うものとする。

主な調達資機材として、エネルギー監査機材がある。早期に契約業者が発注できる準備（施工計画書／承認願書／免税関連書類）について、機械・電気技術者を始め常駐監理者を投入して滞りなく進める。

施工監理／調達監理に当たっては、WASA 及び関係機関並びに日本側（施工業者及びJICA）と綿密な打合せの下に業務を実施する。

(4) 運転管理技術指導

工事請負業者は、各設備・機器に関する運転維持管理マニュアル（取り扱い説明書等）を整備し、初期運転管理指導を実施する。本邦コンサルタントは、計画した水道施設の設計内容と機能趣旨を「パ」国側へ説明し、施設建設が完了した後に適切な運用ができるように深井戸ポンプ場の維持管理、ソフトコンポーネントのエネルギー監査等の技術指導を実施する。

3-2-4-5 品質監理計画

建設・設置される施設、材料、機器は詳細設計時に検討された仕様書、図面、基準等で要求される品質及び機能を有する必要で、施工について以下のような項目の管理が必要となる。

表 3-29 品質管理に係る分析・試験方法

工種	管理項目	方法	適用基準・備考
管材料	強度・寸法 外観・寸法	工場検査報告の確認 目視・寸法測定 ゲージ	「パ」国基準/ISO
配管状況	トルク 漏水有無	トルクレンチ 水圧試験	「パ」国基準/ISO WASA配水施設の施工 標準
コンクリート	骨材・セメント・水 フレッシュコンクリート コンクリート強度	物理的試験・化学的試験 粒度試験 スランプ・空気量・水セメ ント比 圧縮強度試験	「パ」国基準/ISO
鉄筋	強度	引張強度 配筋検査	「パ」国基準/ISO
構造物出来形		寸法検査	「パ」国基準/ISO
深井戸鑿井	水質	竣工時の水質試験	WHO飲料水質ガイドラ イン、「パ」国飲料水質 基準
	揚水量	竣工時の揚水試験	地盤工学会基準（JGS 1315）「揚水試験方法」
機械電気設備	ポンプ	性能試験	揚水量・吐出圧・電流
	操作盤	操作試験	盤操作確認
	計器	性能試験	操作確認・キャリブレーション確認

3-2-4-6 資機材等調達計画

(1) 土木・建築資材

1) 建設資材

本プロジェクトで使用するケーシングや砕石、砂、セメントなどの井戸建設用資材や、井戸上屋に用いられるブロックや鉄筋などの建築資材は、すべて現地で調達することが可能である。よって、土木・建築資材は現地調達を基本とする。

2) 連絡配管材料

更新する新規井戸から既設配水幹線を接続する連絡配管で使用するポリエチレン管(HDPE管)は、現地で生産されているため現地調達を基本とする。

既設管との接続は断水接続を基本とするが、一部で大口径(φ600mm等)の既設配水幹線への接続箇所がある。大口径幹線の断水接続は、断水の影響がラホール市内の広範囲に及ぶ恐れがあるため、その箇所については不断水工法を採用する。その不断水工法に必要な割T字管は、現地で製造されていないため、本邦調達する。

3) 建設機械

(a) 井戸工事用機械

地元の井戸掘削会社は、複数台の井戸掘削機や掘削機械(バックホウ)を所有している。また、クレーンなどのその他建設機械はリースにより調達することが可能である。よって、工事用機械はすべて現地にて調達を行う。

(b) 不断水工事用機械

不断水工事には、既存配管を穿孔するために専用の穿孔機が必要であるが、この機械は現地調達できないため、日本から機械を持ち込む。

(2) 機械・電気設備機器

1) 井戸ポンプ設備

(a) ポンプ設備

既存の井戸ポンプはすべて「パ」国製の製品が使用されており、現地調達が可能であるが、ラホールWASAでは、ポンプ形式の特殊性と品質の信頼性から、すべてのポンプは特定1社のポンプメーカーから納入されている状況にある。

ポンプは一般的な形式である立軸ポンプであるが、今回の設置条件の様に、モータからの床下寸法が大きい深井戸用を使用されることは稀であり、床下寸法の制約から日本国内においても製作可能なメーカーは1社に限られる。

現地および日本においても調達先は限られるが、調達時の競争を促すために、調達先は現地または本邦調達とする。

なお、日本、パキスタン製ポンプを調達した場合、ポンプおよびモータの原産国は表 3-30 のとおり想定される。

表 3-30 ポンプ設備の調達先

ポンプ調達国	ポンプ原産国	モータ原産国
日本	日本	日本／台湾／韓国
パキスタン	パキスタン	チェコ／中国

出典：JICA調査団

(b) ポンプ付属弁類

ポンプ周りには、仕切弁と逆止弁、空気弁が設置される。既存の弁類はすべて「パ」国製であり、現地調達は可能である。ただし、現地でのヒアリングによると、正しく作動していない逆止弁がいくつか見られており、品質面での信頼性が十分でないことから、弁類は本邦調達とする。

(c) ポンプ付属流量計

現地の流量計はタービン式の積算流量計が設置されているが、流量計は「パ」国内では製造されていないため、本邦調達とする。

(d) ポンプ付帯配管

既存のポンプ付帯配管は、現地製の普通鋳鉄管が使用されており、現地調達が可能であるため、「パ」国製の普通鋳鉄管を調達する。

2) 消毒設備

消毒設備は、3-2-1-2 (2)で検討した通り、塩素ガスの採用も検討したが、漏えい事故発生のリスク等総合的に検討し、既存と同じ消毒剤注入ポンプ方式を採用することとした。ただし、既存の注入ポンプが多く故障していることから、予備ポンプを必ず設置し、ポンプが1台故障時は、予備ポンプを使用し、塩素剤の注入が滞ることがないようにする。当然、故障したポンプが修理できるよう、予備部品の納入、修理方法の指導も行う。

既存の消毒剤注入ポンプ(ダイヤフラムポンプ)は、現地で製造されていないため、既存設備はすべて輸入品となっている。よって、消毒設備は本邦調達とする。

3) 電気設備

井戸ポンプの操作盤は、ポンプのON/OFF操作のみの簡易なものであること、故障時のメンテナンスが容易であること、修理部品の入手の容易さなどを考慮し、現地調達とする。

(3) 調達機材

調達機材であるエネルギー監査機材は、現地で製造されていないため、本邦調達する。

表 3-31 建設用資材・機械調達先

区分	調達費目 名称	調達先			備考
		現地	日本	第三国	
配管材	普通铸铁管（直管、異形管、接合材等）	●			地上露出部
	ポンプ廻り弁類（仕切弁、逆止弁、空気弁）		●		
	ポンプ用タービン式流量計		●		
	铸铁製マンホール蓋、弁きょう	●			
	高密度ポリエチレン管（HDPE）	●			
	硬質塩化ビニル管	●			
	FRP製ケーシング材	●			
土木資材	セメント・骨材・砂・型枠	●			
	鉄筋	●			
	レンガ	●			
	燃料（軽油、ガソリン、オイル）	●			
機械・電気設備	ポンプ	●	●		
	モーター	●	●	●	
	塩素注入設備（薬品タンク、注入ポンプ）		●		
	制御盤	●			
建設機械	掘削機、クレーン、ダンプ等リース	●			
穿孔機	不断水工法穿孔機		●		

3-2-4-7 初期操作指導・運用指導等計画

施設引渡し先立ち、初期操作・試運転は、ポンプ・操作盤・塩素注入装置等の深井戸ポンプ場に設置された機器の機能と運転状況を確認するために実施される。この作業で、コントラクターは主に機器の運転に関し必要な指導・トレーニングおよび問題時対応を教える。トレーニングはWASAの管理職・運転員に対し、初期操作指導として行われる。

表 3-32 初期操作指導

施設	内容	備考
井戸ポンプ	ポンプ: 性能検査、ON-OFF 運転、日常点検 流量計: 性能検査	
操作盤	電気設備: 性能検査、日常点検 水位計: 性能検査	
塩素注入装置	注入量設定、日常点検	
送配水管	弁類: 性能検査、開閉検査	

3-2-4-8 ソフトコンポーネント計画

ラホール市水道施設の主要施設である深井戸ポンプ場のエネルギー監査に必要な知識・

技術移転を通し、事業目標の一つであるエネルギー効率化の達成を支援するものである。

このため、供与されるエネルギー監査用機材を活用し、深井戸ポンプ場の運転状況を確認し、その解析結果を実際の運転・維持管理に反映させ、効率的運転を達成する手法の習得を目標とする。さらに、効率的運転管理・リハビリテーション・機器の更新のための実施計画策定を支援し、ラホールWASAによる自立的なエネルギー効率化に対する活動を推進・定着させる。

「エネルギー監査」のソフトコンポーネントは、下記の成果が期待されている。

- ・ エネルギー管理班の技術職員およびラホールWASA維持管理チーム職員が、深井戸ポンプ場の運転およびエネルギー使用状況を理解し、深井戸ポンプ場の適切でかつ効率的な運転・維持管理、施設更新を提案できるようになる。

ソフトコンポーネントは、上水道コンサルタント技術者2名(本邦コンサルタント：機械および電気)による直接支援型とし、その期間は国内作業も含めて2.63か月とし、本邦コンサルタントの現地作業支援のため、現地コンサルタントを1.63か月雇用する。その活動計画を**表 3-33** に示す。

ラホール市水道施設の主要施設である深井戸ポンプ場のエネルギー監査に必要な知識・技術移転を通し、事業目標の一つであるエネルギー効率化の達成を支援するものである。

ソフトコンポーネントは、無償事業の施工契約が締結され、エネルギー監査機材が納入され次第実施する(平成28年4月から9月、契約調印後7か月後から6か月の間を予定)。まず、国内での研修計画を策定することにより、具体的な実施工程を、研修手順を決定する。

表 3-33 ソフトコンポーネント概要

成果	必要とされる技術・業種	現況の技術レベルと必要とされる技術レベル	活動内容	活動方法	必要な投入量	成果品
成果1 エネルギー監査機材を使用し、深井戸ポンプ場のエネルギー監査が適切に実施できる。	技術： - 井戸揚水、配水、運転、維持管理、エネルギー監査	<ul style="list-style-type: none"> WASA の水道事業経営の悪化の一因となっている電力料金の削減のため、深井戸ポンプ場の運転効率向上が必要となっている。しかし、運転効率向上、エネルギー削減に対し、効果的な対応を取るための、技術力、資金力がない。 エネルギー、水エネルギーと電気エネルギーの関係、エネルギー監査、深井戸ポンプ場の運転効率化の必要性を理解し、そのためのデータ収集・解析を実施する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇深井戸ポンプ場・配水システム施設の機能 ◇深井戸ポンプ場の運転と井戸ポンプの流量・水圧・水位等の関係 ◇エネルギー監査の考え方 ◇エネルギー監査機材の使用手法 ◇ポンプの運転状況を測定 <p>[研修項目] 深井戸ポンプ場・配水システム施設の機能と運転、エネルギー監査の手法と機材の使用手法</p>	<ul style="list-style-type: none"> - クラスルーム研修 - 深井戸ポンプ場でのOJT 	<ul style="list-style-type: none"> - 機械・電気技術者 (日本人コンサルタント) 企画/準備/報告書/実施： 機械：1名 x 1.07ヶ月 電気：1名 x 0.73ヶ月 - 現地コンサルタント 技術者：1名 x 0.87ヶ月 	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー監査機材測定マニュアル ・エネルギー監査データ解析マニュアル ・エネルギー監査測定データ帳票 ・エネルギー監査報告書 ・既存ポンプ場運転改善計画
成果2 監査解析結果の運転・維持管理へフィードバックする。	業種： - 機械、電気	<ul style="list-style-type: none"> 深井戸ポンプ場の運転効率向上、エネルギー削減により電力料金の削減を図りたいが、どのような対応が必要かわからない。 エネルギー監査を理解し、深井戸ポンプ場の運転効率化を実施する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇エネルギー監査機材の測定結果を解析 ◇既存ポンプ場の問題点を把握 ◇ポンプ運転状況の解析結果により、深井戸ポンプ場の効率的運転案を策定 <p>[研修項目] エネルギー監査機材の測定結果解析、それを利用した既存ポンプ場の問題点把握、効率的運転案</p>			<ul style="list-style-type: none"> ・既存ポンプ場更新計画 ・ソフトコン完了報告書
成果3 効率的運転管理・リハビリテーション・機器の更新に関する実施計画を策定する。	技術： - 井戸揚水、配水、運転、維持管理、エネルギー監査 業種： - 機械	<ul style="list-style-type: none"> 深井戸ポンプ場の運転効率向上、エネルギー削減を図るための施設更新の計画を図りたいが、どのような対応が必要かわからない。 エネルギー監査を理解し、深井戸ポンプ場の更新案の策定・実施する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇リハビリテーション・機器更新のための既存施設の調査方法 ◇既存ポンプ場のリハビリテーション・機器更新の実施計画案を策定 <p>[研修項目] 既存施設調査方法、リハビリテーション・機器更新実施計画案</p>	<ul style="list-style-type: none"> - クラスルーム研修 - 深井戸ポンプ場でのOJT 	<ul style="list-style-type: none"> - 機械技術者 (日本人コンサルタント) 企画/準備/報告書/実施： 機械：1名 x 0.83ヶ月 - 現地コンサルタント 技術者：1名 x 0.76ヶ月 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存ポンプ場更新計画 ・ソフトコン完了報告書

注： ターゲット・グループは、すべて M&E Engineers/ Mechanic / Electrician /Labour (計：15名)とする。
ソフトコンポーネントは、国債(本体)第2年度4月 - 9月の間に実施する。

現地では、まず初めに、ラホールの水道事業におけるエネルギー監査の必要性の説明、納入された監査機材を活用した運転データの収集方法の研修資料を作成する。これを利用し、約2週間現地にて技術指導を行い、WASA職員自身でデータを収集・解析できるようにする。また、解析結果を活用し、ポンプ場の非効率な運転の要因を抽出し、その要因をどのように改善すれば、効率的な運転にできるかを提案する。その後、3か月にわたり、約10箇所の深井戸ポンプ場でWASA職員がデータを収集する。この間、施工監理に現地に入るコンサルタントが進捗の確認とともに、必要に応じ、メールにてアドバイスを行う。

次に、収集されたデータをもとに、データ解析を行うことにより、WASA職員のエネルギー監査能力の定着を図る。さらに、データ解析結果をもとに、深井戸ポンプ場の問題点の改善のため、運転方法の改善、および、施設更新等が必要な場合もあり、その更新方法や更新実施計画の策定を技術指導する。

表 3-34 にソフトコンポーネントの全体実施工程を示す。

表 3-34 ソフトコンポーネント全体実施工程

	上水道 コンサル	国債(本体)第2年度					
		第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月
成果 1: 深井戸ポンプ場のエネルギー監査	機械	4日 □	■	28日			
成果 2: 運転・維持管理ヘフィードバック	電気		■	22日			
成果 3: 更新に関する実施計画	機械					18日	■
総合報告	機械						7日 ■
(WASAによる)エネルギー監査データ取得				■			
報告書提出			▲ 研修 マニュアル				▲ 完了報告書

□ 国内作業
■ 現地業務

3-2-4-9 実施工程

(1) 現地井戸建設事情

WASAは、外注により水源井戸を長年にわたり建設してきた。現在も年間16本程度の井戸を建設している。このため、ラホール市内には多数の井戸建設業者が所在し、その中で、建設実績及び施工能力のある井戸建設業者、12社を公認業者としている。このうち、2社の状況を調べた。その結果、自社手製のさく井リグ、ウイングビット、掘管を保有し、掘削しており、計画井戸を建設する能力を持っていること、また、電気検層を保有する専門業者が1社あり、その実測データや保有機械から十分実施能力があると判断される。

また、井戸材料は、全て現地調達可能である。ポンプ井ケーシングは軟鋼、スクリーンケーシング、スクリーン及び井戸底の栓はFRP製であり、スクリーンスリットは機械切り加工とする。

(2) 井戸建設工期と実施工程案

WASA井戸の建設には、現地状況を勘案して、サイト工事準備、資機材の搬入、井戸掘削、井戸仕上げ、揚水試験（段階揚水試験、連続揚水試験、回復試験）、資機材撤去、を含めて、井戸建設に1.1ヶ月を見込む。また、井戸完成後、ポンプ場建設に1.6ヶ月、パネル、ポンプ及びモータの設置等の機械電気設備の設置に0.4ヶ月を見込む。

全体工事期間は、実施設計及び入札等に擁する期間を除いて、19ヶ月とする。以上の想定工事期間を各種工事に見込み、全体工事工程を想定する（工事効率を上げるために、井戸掘削チームと揚水試験チームに分けて、井戸掘削リグは、約0.6ヶ月で他のサイトに移動する計画とする。）。

工事期間のうち、準備工に3ヶ月、後片付けに1ヶ月を要するため、井戸建設を約15ヶ月間で終了させる計画とする。

想定工事期間中に、1井戸建設チームが建設可能な井戸数

$$15\text{ヶ月（想定工事期間）} / (21\text{日/井} \cdot \text{チーム}) = 21.4\text{本} \approx 21\text{本}$$

井戸建設に必要な井戸建設チーム数

$$105\text{本（想定全井戸建設数）} / 21\text{（本/井戸建設チーム）} = 5\text{チーム}$$

以上の結果から、工事期間を19ヶ月とすると5チームが必要となる。同時に、揚水試験・ポンプ場建設・ポンプ/モータ/パネル等の設置チームも同数必要となる。図 3-7 に概略工事工程を示す。

No.	事業開始後の月数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	深井戸掘削	■															
2	ポンプ場上屋建設		■														
3	機械電気設備設置			■													

注) 各工事工種を6チームで実施する。実際は、各チームの工事期間はそれぞれの工種が完了した後、続いて着手されるので不連続であるが、一連の工事期間として示している。

図 3-7 概略工事工程

(3) プロジェクト全体の実施工程

コンサルタント契約締結後のプロジェクト全体の実施工程表を図 3-8 に示す。実施設計、入札手続（入札図書作成を含む）に9ヶ月、工事期間に19ヶ月を想定している。

		コンサルタント契約からの月数																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
実施設計	実施設計	■ (現地調査)			■ (国内作業)																								
	入札手続						■																						
	準備工											■																	
建設工事	深井戸掘削工												■																
	深井戸ポンプ場築造工													■															
	深井戸ポンプ設計・製作												■																
	深井戸ポンプ設備設置工												■																
	電気設備設計・製作												■																
	電気設備設置工												■																
	場内配管工												■																
	試運転調整												■																
	後片付け																												■

図 3-8 プロジェクト全体の実施工程

3-3 相手国側分担事業の概要

本事業において「パ」国側の負担で行うものは以下のとおりである。なお、「パ」国側は、事業モニタリングの結果に係る評価を目的とした本事業の事後調査に全面協力することが求められる。

(1) 事業実施前

「パ」国側関係者は、以下の項目について迅速な対処を求められる。

- ① WASAで組織されるPIU の設立
- ② 「パ」国側負担事項に係る予算措置
- ③ 銀行取極め手続き
- ④ 用地取得（公用地の借上げ）
- ⑤ 配管布設工事に伴う道路等の各管理者への通知と許可等の取得

(2) 事業実施中

本事業の実施期間は、以下の活動が求められる。

- ① 銀行取極め及び支払い授権書に係る諸費用
- ② 本邦業者（コンサルタントと建設業者）と輸入資機材に対する免税措置等
- ③ WASAで組織されたPIUの要員確保と派遣等に係る措置
- ④ 施工に係る事前通達及び広報活動の実施
- ⑤ ソフトコンポーネントに係る必要な要員の確保と能力確認
- ⑥ 事業モニタリングに係る指標値の継続した収集と蓄積

(3) 事業実施後

計画された事業指標を達成すべく、以下の活動を継続的に実施することが求められる。

- ① 建設された施設の適正な維持管理
- ② 調達された資機材の明確な運用
- ③ 引き渡された図書と資機材の活用
- ④ 新規契約者の加入促進
- ⑤ WASA 職員の適切な人員配置
- ⑥ 事業モニタリングに係る指標値の継続した収集と蓄積

3-4 プロジェクトの運営・維持管理計画

3-4-1 プロジェクトの運営計画

本事業の実施に先立ってWASAはPIU を設立し、以下に示す要員体制計画を実現できるように予算及び要員の確保並びに育成に配慮することが必要である。本事業を実施する体制として図 3-9 に示すものを提案する。

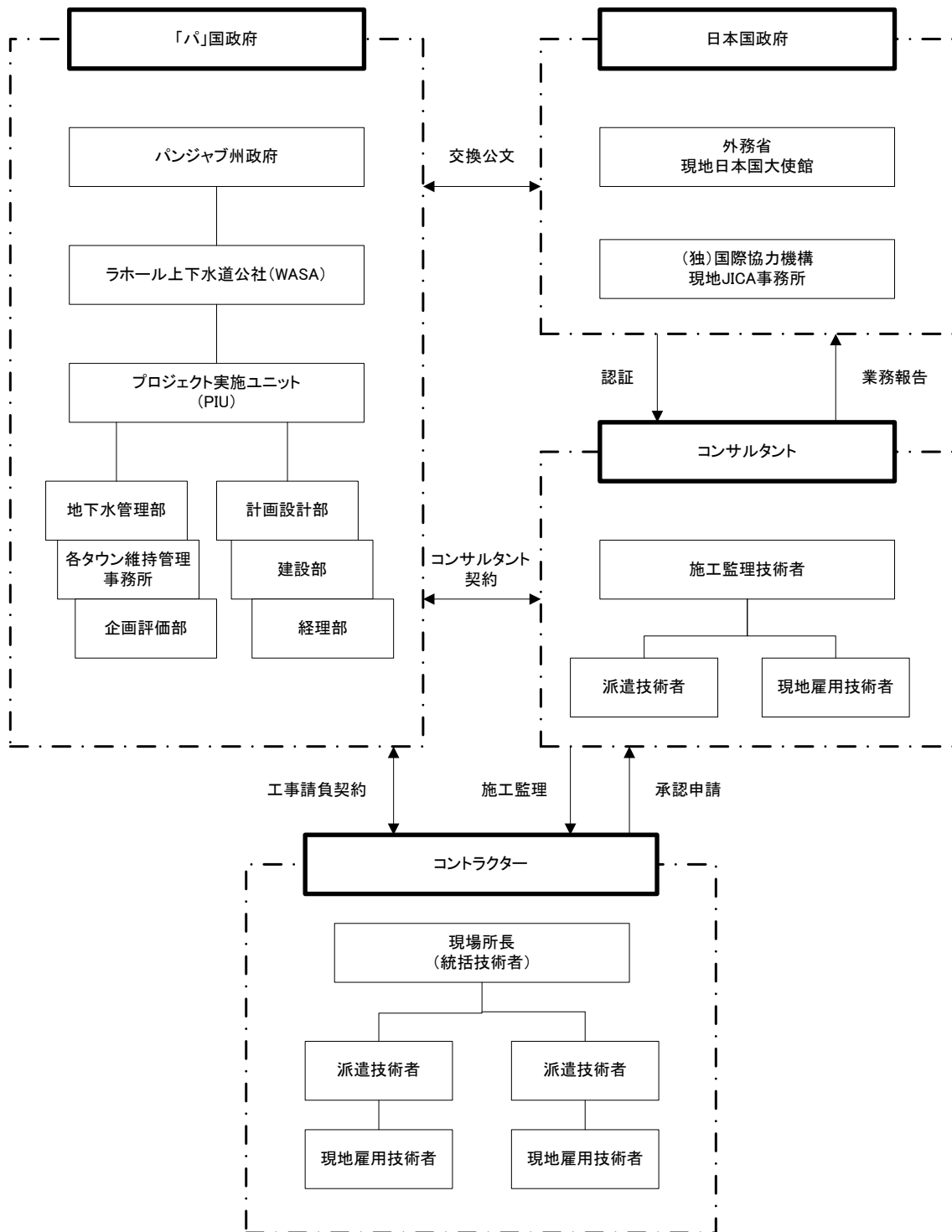


図 3-9 プロジェクト実施体制図

本プロジェクトのPIU は設計・入札準備段階までは、WASA本部の工務担当副総裁 DMD(Engg.)あるいはプロジェクト担当部長PDと密接に調整をしながら取りまとめることが望ましい。そのためコンサルタントもWASA本部との協議・調整をしながら業務を進めることとする。

施工段階においては、任命されたWASAのPD がグンジュ・バクシュ・タウン維持管理事務所
に常駐し、施工監理を行うコンサルタントも同敷地内に事務所を設置することとする。

3-4-2 プロジェクト維持管理計画

本プロジェクトは基本的に揚水能力の低下した既存深井戸ポンプ場に代わる深井戸を掘削し新しい深井戸ポンプを設置して揚水能力の回復を図るもので、地下から汲み上げられた地下水は既存のものと同様に直近の既存配水管網に送り込まれる。このため一日4人3交替制で既存の深井戸ポンプ場の維持管理に携わっていたチームは、既存深井戸ポンプ場を閉鎖して、そのまま新しい深井戸ポンプ場に移って維持管理を担当することになる。したがって、本プロジェクトの実施によって職員数に増減がある訳でもなく、ポンプの型式もこれまで使われてきたものと同じであるため、以下に述べるいくつかの留意事項を除けば作業内容が大きく変わるということもない。

- 水位計が10箇所の深井戸に設置される。WASAは毎月一回同じ日に目盛を読み取って地下水位、すなわち静水位と動水位をチェックし、地下水位低下の全体的動向を把握しなければならない。
- 既存の深井戸ではこれまで運転員のオン・オフ運転を通じてポンプの運転時間をモニターしていたが、プロジェクトで建設される新しい深井戸には、各ポンプに時間計が付いているので、運転員は時間計を毎日読んで記録しなければならない。
- ヒ素除去装置は設置会社がWASAと維持監理計画を結んで維持管理しているが、すべて自動運転になっていて貯水タンクの水位で装置のオン・オフが設定されている。一日使用水量の読み取り・記録が行われている。吸着材の吸着能力がいっぱいになってヒ素濃度がガイドラインに近づくと、吸着剤の交換が必要となる。

3-5 プロジェクトの概略事業費

3-5-1 協力対象事業の概略事業費

(1) 日本側負担事業

日本側の負担費用の内訳を表 3-345に示す。

表 3-35 日本側負担費用

費 目	概略事業費 (百万円)	備 考
深井戸ポンプ場建設工事	2,055.0	
機材調達	6.2	エネルギー監査
詳細設計・施工監理	173.3	
ソフトコンポーネント	6.1	エネルギー監査
合 計	2,240.6	

(2) 「パ」側負担事業

「パ」国側の負担費用の内訳を表 3-36 に示す。

表 3-36 「パ」国側負担費用

費 目	概略事業費 (百万円)	備 考
① 門柵・フェンス (もしあれば)	—	
② 既存深井戸撤去 (もしあれば)	—	
③ 受変電設備負担金 (105箇所)	143.5	
④ ヒ素除去施設設置 (88箇所) *1*2	355.4	
⑤ (深井戸竣工時の水質試験でヒ素濃度が10 µg/Lを超えたとき) ヒ素除去施設設置及び深井戸ポンプ場からヒ素除去施設までの原 水送水管敷設	—	
合 計	498.9	

*1 ヒ素除去装置88箇所のうち20箇所は1213年11月26日に州政府に提出されたPC-1に含まれているが、残りについては新たなPC-1作成が必要となる。

*2 州政府及びWASAはヒ素濃度が20µg/Lを超える深井戸に対してヒ素除去装置の設置を行っており、将来的には、対象深井戸をWHO 飲料水質ガイドラインの10µg/Lまで広げるのを基本方針としている。したがって、JICAの提案はこれらの方針に合致するもので、JICAの無償プロジェクト実施に必要な深井戸についてはPC-1により予算を確保することとしている。

(3) 積算条件

- ① 積算時点 平成25年 月
- ② 為替交換レート US\$ 1 = JY 99.38
PKR 1 = JY 0.9756

3-5-2 運営・維持管理費**(1) 運転・維持管理費**

ラホール WASA 水道事業にかかわる費用としては、人件費、電力費、修繕維持費、その他がある。本プロジェクトは、老朽化した WASA の深井戸ポンプ場を新たに 105 箇所建設する事業であり、その運転・維持管理にかかわる職員の増減は予定しておらず、人件費は従来通りである。

次に、深井戸ポンプ場電力費は毎月 LESCO からの請求が行われ、支払いを行っている。深井戸ポンプ場は LESCO の電力料金規定では、「Tariff D - Agriculture」「D-1 (b) Agricultural 5 kW & above」に分類される。電力料金は、主に 1) Fixed Charges (Rs/kW/M) 200 Rs、2) Variable Charges (Rs/kWh) Peak – Rs 18.00、Off-Peak – Rs 12.20、3) Low Power Factor Penalty (規定値 0.9 から実運転値との差に対して)から構成されている。現在の料金では、政府から補助金が負担されており、その負担額は、1) Fixed Charges (Rs/kW/M) 200 Rs、2) Variable Charges (Rs/kWh) Peak – Rs 7.65、Off-Peak – Rs 1.85 が適用され、2) Variable Charges (Rs/kWh) は、Peak、Off-Peak とも Rs 10.35 /kWh である。さらに、消費税等が約 25%付加され、概ね Rs

13 /kWh となる。

表 3-37 105 箇所深井戸ポンプ場電力費の予測

揚水量 (1日 13.5 時間運転として)	1 m ³ あたり kW 消費量	電気料金 (Rs./kWh)	1日当たり 電気料金 (Rs.)	年間電気料金 (Rs.)
34,680 m ³ /hr x 13.5 hrs	0.202	13	1,229,400	448,731,000

運転・維持管理に直接関わる人件費は、深井戸ポンプ場 1 箇所当たり運転職員 4 名による 3 交替制がとられているため、以下のように推定できる。

表 3-38 105 箇所深井戸ポンプ場運転・維持管理人件費の予測

項目	105 箇所深井戸ポンプ場の年間運転・維持管理人件費				
	職員数		月単価(Rs.)	人件費(Rs.)	
運転職員	420	105 x 4 シフト	6,500	420 x 6,500 x 12	32,760,000

維持管理費は、Shalimar タウン(深井戸ポンプ場 55 箇所)の 2012/13 年 1 年間の民間業者への発注実績から深井戸ポンプ場の維持管理にかかわる費用、主に機械電気機器の補修費、から推定できる。

表 3-39 105 箇所深井戸ポンプ場維持管理費の予測

項目	Shalimar タウン 年間維持管理費		105 箇所深井戸ポンプ場 年間維持管理費	
	件数	(Rs.)		(Rs.)
電気機器修理	64	7,690,580	105 / 55 x 30% = 60%	4,614,000
モータ巻直し	35	4,741,986	(深井戸ポンプ場数の比、	2,845,000
機械修理	26	2,494,079	新規設備であることから)	1,496,000
			合計	8,955,000

(2) 水道料金収入

一方、105 箇所深井戸ポンプ場を運転することにより水道料金は以下である。

ここで、WASA の水道料金は、2009 年 1/2 月の Gunj Buksh Town での徴収水道料金から、主要な水道水利用者は、メータ設置家庭用毎月 5,001-20,000 gallon (22.7 – 90.9 m³) およびメータ設置商業用毎月 5,001-20,000 gallon (22.7 – 90.9 m³) 利用者でその使用比率は、家庭用 92%、商業用 8%である。

これから平均的な 1 m³あたりの水道料金を算出すると、

$$(Rs\ 20.86 \times 0.92 + Rs\ 48.85 \times 0.08) / 4.546 = Rs\ 5.08 / m^3$$

表 3-40 105 箇所深井戸ポンプ場水道料金収入の予測

揚水量 (1日 13.5 時間運転として)	水道料金 (Rs./m ³)	1日当たり 水道料金 (Rs.)	年間水道料金収入 (Rs.)
34,680 m ³ /hr x 13.5 hrs	5.08	2,378,400	868,116,000

このように、105 箇所の深井戸ポンプ場からの給水で、年間 8.7 億 Rs の水道収入が期待できる。

一方、前述の通り、105 箇所の深井戸ポンプ場の直接的な運転・維持管理費は、年間 5.0 億 Rs の費用が必要となり、その結果約 3.7 億 Rs の利益があるように見えるが、WASA の管理部門・間接部門に係る経費を加味すると、WASA 全体としての収益は上がらず、赤字経営が続いている。従って、今後とも、水道料金の適正化は強く進めていく必要がある。

WASA は水道、下水道、排水を所管し、それらの収入と支出を扱う財政にはさまざまな要素が含まれているため、105 箇所の深井戸ポンプ場だけを取り上げてそれらに係る収入と支出を直接的に比較することは大きな困難を伴う。しかし、4-4-2 で述べるようにエネルギー効率改善のために本プロジェクトでとったポンプ選定の考え方は単位水量当たりの電力使用量 (k Wh/m³) を約 1/3 削減する効果がある。この方法はプロジェクトの対象とならなかったその他の WASA の深井戸ポンプ場にも適用可能であり、今後 WASA が実施する深井戸ポンプ場の更新に際してもこの考え方を導入することが強く助言される。

3-6 協力対象事業実施にあたっての留意事項

本プロジェクトは全量を地下水に依存するラホール水道事業において揚水能力の低下した 105 箇所の既存深井戸ポンプ場について、それぞれ代替施設を建設して給水能力の回復を図ろうとするものである。しかしながら、ラホールの地下水源には地下水位の慢性的低下と地下水のヒ素汚染という二つの問題を抱えている。前者はラホール水道における地下水汲み上げがすでに過剰揚水の状態にあることを示しており、地下水汲み上げを続ける限りその進行を止めることは難しい。一方、後者は範囲を拡げ精度を高めて水質試験を行う度にヒ素汚染の状況は悪化するという経緯をたどっており、今後の動向については予測しがたいところがある。このため、パンジャブ州政府及び WASA はヒ素濃度に係る「パ」国の飲料水質基準が 50 µg/L であるにもかかわらず、WHO 水質ガイドラインの 10 µg/L に配慮して、地下水ヒ素濃度が 20 µg/L を超える深井戸にはヒ素除去施設を設置して WHO 水質ガイドラインの 10 µg/L を満たす飲料水及び調理用水を公共栓方式（住民は容器を持って公共栓まで水汲みに行かなければならない）で提供する事業を開始している。将来的にはパンジャブ州政府はヒ素除去施設を設置をヒ素濃度が 10 µg/L を超える深井戸にまで拡大する方針とされている。しかし、それでもそのような公共栓まで水を汲みに行けない住民は健康上のリスクにさらされるという問題は残されることに留意しなければならない。また、WASA は現在でも料金収入で水道施設の維持管理費を賄っていない状況で、ヒ素除去装置の維持管理は今後大きな財政的負担になることは眼に見えている。したがって、このような状況を抜本的に解決するには表流水源の開発、すなわち、地下水から表流水への転換または地下水の表流水による希釈を目指すことが強く勧告される。パンジャブ州政府と WASA は、「BRB 灌漑水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study

for Construction of Water Treatment Plant to Treat the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore) 」を予算 Rs.10,000,000、調査期間 6 ヶ月で本年度に実施する予定になっているが、本プロジェクトの実施はそのようなシステムが実現するまで、取りあえず現行の地下水完全依存システムを維持しなければならないという状況の中で、不可欠のものといえるが、ヒ素汚染対策として WASA が実施しているヒ素除去施設設置事業との連携を前提としてプロジェクトを進める必要がある。

第4章 プロジェクトの評価

4-1 事業実施のための前提条件

本プロジェクトにおける最大の課題は、水源である地下水のヒ素汚染で、2011年11月にWASAがパンジャブ州立大学化学研究所（PUIC）と共同で水源となっている深井戸の全数（459箇所）を対象に行った水質試験で、WHO水質ガイドラインに定めるヒ素濃度10 µg/Lを遵守できたのは67箇所、14.6%で、2013年7月にJICA調査団が147箇所を対象に行った水質試験でも同様に6箇所、5.7%（サンプリングができなかった7箇所を除く）に過ぎなかった。「パ」国のヒ素飲料水質基準は50 µg/L（「パ」国基準を超えているのはPUIC調査で14箇所、3.1%、JICA調査で2箇所、2.1%）であるが、強い世論に押されて、PUIC調査でヒ素濃度が20 µg/Lを超えている深井戸を対象にヒ素除去施設を設置して飲料水及び台所用水に使用できるように公共栓方式（住民がそこまで水を汲みに行かなければならない）で給水を行っている。本プロジェクトもプロジェクト対象深井戸の絞り込みで、WASAのヒ素除去施設設置基準である20 µg/Lを採択基準として使っており、これを超えている深井戸に対しては、すでにヒ素除去施設が設置されているか、今後設置されることを条件に選定を行っている。したがって、これらのヒ素除去施設の維持管理が持続可能であることが、前提となっている。現状においてすらWASAは維持管理費を料金収入で賄っておらず、これにヒ素除去施設の維持管理が加わるため、水道事業の運営は一層苦しくなることが予想されている。このためにはパンジャブ州政府はこれまでのようにWASAに補助金を入れるかあるいは水道料金の値上げを行って、WASAの水道事業の持続可能性を担保して行かなければならない。

4-2 プロジェクト全体計画達成のために必要な相手方投入（負担）事項

本プロジェクトの実施において、「パ」国側が主体的に取り組むべき事項として、以下が挙げられる。

- 1) 用地取得
- 2) 新設深井戸ポンプ場の門柵・フェンスの設置
- 3) 既存深井戸ポンプ場の撤去
- 4) LESCOに対する受変電設備負担金の支払い
- 5) ヒ素除去施設の設置が条件とされている深井戸におけるヒ素除去施設の設置（60箇所）
- 6) 深井戸竣工時の水質試験でヒ素濃度が20µg/Lを超えたときのヒ素除去施設の設置（もしあれば）
- 7) エネルギー監査機材の計画的利用によるWASA深井戸ポンプ場の運転データの収集・解析と運転管理方法の改善

4-3 外部条件

(1) WASAの水道サービスの持続可能性の担保

WASAは現在、水道用水を全量地下水に依存しているが、料金収入で深井戸ポンプ場の維持管理費を賄えない状況が続いている。このため、水道料金の定期的値上げが必要とされているが、政治的配慮もあって料金値上げもままならず、赤字がある程度貯まると州政府からの補助金でこれを相殺するという方法をとっている。このような財務的状況の中で地下水のヒ素汚染対策として新たにヒ素除去施設の整備が展開されており、本プロジェクトの実施もそのようなヒ素除去施設の設置を前提として計画されている。これらのヒ素除去施設の維持管理費もまた、これまでの維持管理費に上乘せされることになり、今後のWASAの財務状況の悪化が大いに懸念される場所である。水道サービス運営の持続可能性を確保するために、今後も引き続いてWASAに対する政府の補助が必要である。もしくは、少なくとも、維持管理費が賄えるような水道料金値上げのメカニズム構築が早急に求められる。

(2) ヒ素除去施設の利用促進に係る住民啓蒙と戦略的配置

ラホールWASAの水源となっている地下水のヒ素汚染に対処するために、WASAはヒ素除去施設の整備を展開しているが、これは住民の健康を護るために最小限必要な飲料・調理用水を公共栓方式で供給しようとするものであり、住民は容器を持って近くの公共栓へ水を汲みに行かなければ、その便益を享受することができない。したがって、公共栓が遠く離れているときには、住民は水汲みをきらってヒ素に汚染されている自宅の蛇口の水を使用し続けるということは大いにあり得る。このような人々を少しでも救うためには、ヒ素に汚染された水を飲むことへの健康へのリスクについて周知徹底を図ることが非常に重要である。加えて、ヒ素除去施設は必ずしも既存の深井戸に隣接して設置する必要はなく、基幹配水管網が走っていれば、どこからでも原水は得られるため、公共栓システムのサービス区域が最大になるように戦略的に配置することができる。州政府及びWASAは長期的には表流水の導入を考えており、3-6で述べたように表流水導入のファイージビリティ調査を始めようとしている。したがって、ヒ素除去装置の設置は表流水導入が実現するまでの暫定的な措置と言える。

4-4 プロジェクトの評価

4-4-1 妥当性

「パ」国第二の都市ラホールの人口は、1998年3月のセンサスでは都市部5,209,000人、農村部1,110,000人、計6,319,000人であったが、その後も増加が続いており、州統計局の2012年12月末における推計人口は都市部7,397,000人、農村部1,618,000人、計9,015,000人とこの約15年間に270万人の増加となっている。平均人口伸び率は1998年～2007年2.56%、2007年～2012年2.17%で下がって来てはいるものの、今後も人口増加とこれに伴う需要水量の伸びは避けられない。

WASA は現在全量を地下水に依存しているが、慢性的な地下水位の低下、地下水のヒ素汚染の進行に危機感を抱いて、新たな水道水源として表流水の導入を前提に、パンジャブ州政府と WASA は、「BRB 灌漑用水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study for Construction of Water Treatment Plant to Treat the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore)」を本年度から開始する予定になっている。また、当面の対策としてヒ素濃度が 20 µg/L の深井戸を対象に飲料水及び台所用水相当分をヒ素除去装置を設置して処理し、(住民がそこまで水を汲みに行く) 公共給水栓方式で給水する事業を 2012 年より着手しており 2 年間で 100 箇所の設置を目指している。

このような状況から長期的には表流水の導入を行うことが望ましいが、その実現には長い期間と膨大な費用が必要であり、しばらくは現在の地下水完全依存体制を継続して、これまでと同様に区域の拡大や人口の増加に対応して深井戸の数を増やして行かざるを得ない。

したがって、地下水以外に水源の選択肢がない現状では、本プロジェクトは地下水を水源とした給水サービス維持の観点から緊急性が高い。

WASA の深井戸ポンプ場はほとんどが基幹配水管網に接続されているため、個々の深井戸ポンプ場の給水区域を判別することは困難である。このため 105 箇所の深井戸の裨益人口は、総給水人口 5,772,000 人と総配水量 1,980,000 m³/day (435 MGD) から単位水量 (m³/day) 当たりの給水人口を求め、これに 105 箇所の深井戸の総配水量を乗じて 1,496,000 人と推定される。

単位水量当たりの給水人口: $5,772,000 \text{ 人} / 1,980,000 \text{ m}^3/\text{day} = 2.9 \text{ 人}/\text{m}^3/\text{day}$

裨益人口: $2.9 \text{ 人}/\text{m}^3/\text{day} \times 516,000 \text{ m}^3/\text{day} = 1,496,000 \text{ 人}$

注) 516,000 m³/day は総計画揚水量 849,000 m³/day (347 cfs) × 現在の一日運転時間 14.6/24 より算出したもので、運転時間は電力事情によって左右される。

前述したように、パンジャブ州と WASA は、「パ」国のヒ素濃度に係る飲料水質基準が 50 µg/L であるにもかかわらず、世論の動きもあって WHO 飲料水質ガイドラインの 10 µg/L に近づけるべく 20 µg/L をヒ素除去施設設置の判断基準としている。本プロジェクトもプロジェクト対象選択基準として WHO 水質ガイドラインに定めるヒ素濃度 10 µg/L を採用している。

このように、必要性、裨益対象人口の大きさ、人間への健康被害リスクの最小化、「パ」国の整備目標との合致という側面から観ても、本プロジェクトの妥当性は十分にあると判断される。

4-4-2 有効性

2-1-1 (3)でも述べたように電力・エネルギー費は 2012/13 年度の総経費の 44.7% を占めており、エネルギーの節減はラホール WASA 経営の喫緊の課題となっている。本プロジェクト

トの実施は、WASA 水道事業のエネルギー効率化を目指すものである。

WASA の深井戸 474 本中 105 本（約 22%）を対象とする本プロジェクトの実施は、105ヶ所の深井戸、ポンプ場を建設する事業であり、それにより、WASA 水道事業のエネルギー効率化も目指すものであり、運営費の 44.7%（2012/13 年度実績）を占める電力費削減の一端を担うものである。さらに、ポンプ・電気盤故障およびモータの焼損等の故障の原因となっている機器に保護装置を設けることにより、補修及び維持管理費の削減も図る。

運転実態調査を実施した 147 箇所の深井戸ポンプ場のうち、既設ポンプの計画揚水量 6.8 m³/min (4 cfs) と 3.4 m³/min (2 cfs) の現在の揚水量を超音波流量計で測定した結果、データが収集できたポンプ場 92 箇所の平均揚水量はそれぞれ 6.8 m³/min (4 cfs) ポンプでは 4.15 m³/min (2.4 cfs)で 計画揚水量の約 61%、3.4 m³/min (2 cfs) ポンプでは 2.98 m³/min (1.74 cfs) で計画揚水量 88%であった。既存深井戸ポンプ場の揚水量の著しい低下が判明した。

また、揚水量・動水位が実測できた 16 箇所の深井戸ポンプ場の運転効率、22%から 71%であり、平均 52%であった。これは、ポンプ効率 80%、モータ効率 90%とした場合、ポンプ場の運転効率は 72%であり、多くのポンプ場の運転効率が著しく低下していることがわかる。

プロジェクト対象となる 105 箇所の深井戸ポンプ場のうちデータが入手可能な既存 54 箇所のポンプ場の揚水量 1 m³あたりの電力消費量は、0.317kW/m³であった（資料 6.(3)参照）。一方、新規に建設する 105 箇所の深井戸ポンプ場の揚水量 1 m³あたりの電力消費量は、平均 0.202 kW/m³と算出されており、概ね 36.3%の電力使用量削減が期待できる。さらに、保護装置等により故障頻度、モータ焼損事故を予防し、補修及び維持管理費の削減もできる。

このような効果を考えると、本プロジェクトは、ラホール WASA の経営状況改善という点においても有効である。

その他の定性的効果として、(1)水量が同じであれば従来のものより電力使用量は削減されるため WASA の財政状況は改善される、(2)ポンプの更新とその電氣的防護装置により故障回数は減少する、(3)ポンプ揚水能力の改善により出水不良地域は減少する、(4)温室効果ガスの削減、及び(5)エネルギー監査機材を用いたポンプ場揚水量の実測によりこれまで多くの仮定に基づいて計算されていた無収水の実態把握精度が高まりその対応強化が図れる、ことが期待される。

4-5 今後に向けての提言

本プロジェクトの実施は所期の目的を達成するにしても、WASA の抱える根本的な問題を解決するものではない。WASA が抱える以下の問題にパンジャブ州政府及び WASA が今後、積極的に取り組むことが望まれる。

- (1) ラホールの唯一の水源である地下水は地下水位の低下とヒ素汚染が進行している。これらの問題を解決するために、現在州政府と WASA が取りかかろうとしている「BRB 灌漑用水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study for Construction of Water Treatment Plant to Treat the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore)」の実現に向けて最善の努力を払うべきである。表流水の導入によって、地下水への依存を徐々に減らすことができるようになるが、地下水の十分な涵養と地下水位の回復が期待できるようになるまで、決して手を緩めるべきではない。
- (2) 現在 WASA は、ヒ素濃度が 20 $\mu\text{g/L}$ を超える深井戸にヒ素除去装置の設置を進めており、将来的には対象を WHO 水質ガイドラインの 10 $\mu\text{g/L}$ まで拡大することを目指しているとされている。この方針は健康被害リスクを取り除くという観点から大いに評価されるものであり、今後事業の着実な遂行が望まれる。
- (3) 支出が収入を大きく上回っている WASA の財政上の持続可能性を確保するためには、従量制の導入と水道料金の値上げが必要であり、同時に、値上げが遅れば遅れるほど値上げ幅が大きくなって、値上げそのものが難しくなるという悪循環に陥る可能性すらあるため、早期の対応が必要である。水道料金の値上げが難しい状況では、次善の策として今後とも州政府からの補助金が欠かせない。
- (4) WASA は今後深井戸ポンプ場の長寿化に取り組み、現在約 15 年と言われる耐用年数の延伸を図るべきである。ポンプ設備は機械設備であるため、耐用年数 15 年はほぼ妥当なところであるが、深井戸の耐用年数は延ばすことは可能であり、そうすることによって深井戸とポンプの一式交換から、ポンプのみの交換で済ませることができるようになる。このための方策として、ラホールの深井戸に適した洗浄方式の確立し、建設後の早い段階から深井戸の定期的洗浄を行うことにより、洗浄効果を持続させることが期待される。また、機械・電気設備について、少なくとも年 1 回のポンプ全数の揚水量実測とエネルギー監査を定期的実施してきめ細やかな運転管理を押し進めることが望まれる。