

1. 案件の概要



プロジェクト位置図



サンバルトロ下水処理場

1.1 事業の背景

1980年代半ば、リマ首都圏ではほとんどの下水が未処理のまま海へ放流されていた。発生する下水の3分の1はリマ南部のラ・チラ放流口から未処理のまま海に放流され、付近の遊泳海岸における水質悪化など、近海の深刻な海洋汚染の原因の一つとなっていた。またリマ南部の都市近郊農地では下水を未処理のまま灌漑に利用している地域があり、農民や農作物消費者への健康被害を招く可能性が指摘されていた。このような事態に対し、ペルー国政府はリマ首都圏の下水道処理場整備を緊急に取り組むべき問題であるとする閣議決定をした¹。

1985年に米州開発銀行の支援によりペルー政府が実施した調査は、ラ・チラ放流口から放流されてきた下水を海に放流することなく都市郊外まで送水して下水処理場で処理し、それをリマ南部の乾燥地帯であるサンバルトロ平原 5000haの灌漑に再利用する計画を提案した。1988年にペルー国政府は日本国政府に対してリマ市南部下水道整備計画に関する要請を行い、それに応じてJICAは1988～1990年に開発調査「リマ市南部下水道整備計画調査」を実施した。同調査が提案した下水道整備事業は2000年までに4.0 m³/秒の下水を処理するもので、二つのフェーズで構成され、遊泳禁止海域の約3.0km後退と処理水再利用による4,800haの緑農地化などの事業効果が見込まれた。1995年には世界銀行の支援によりペルー政府大統領府に設置された汚水・沿岸汚染管

¹ 審査時資料および「リマ市南部下水道整備計画調査 最終報告書」(JICA、1990)による。

理事業が「リマ市下水処理計画」を策定するとともに²、上記開発調査が提案した事業のフェーズ1に相当する本事業について事業提案書を作成した³。

本事業は、以上を背景に1995年にペルー政府より円借款要請がなされ、1996年にL/A調印、1996～2006年にかけて実施されたものである⁴。

1.2 事業の概要

リマ首都圏南部地域における下水処理場の建設・拡張（建設2ヶ所、拡張1ヶ所）および下水管渠の建設により新たに3.0 m³/秒の下水処理能力を提供することにより、同地域の海洋汚染軽減および未処理下水を使用している灌漑用水の水質を改善し、もって同地域の衛生環境改善に寄与する。

1.3 借款概要

円借款承諾額／実行額	12,660 百万円 / 12,076 百万円
交換公文締結／借款契約調印	1996 年 8 月 / 1996 年 9 月
借款契約条件	金利 2.5%（コンサルタント部分は 2.1%）、 返済 25 年（うち据置 7 年）、一般アンタイド
借入人／実施機関	ペルー共和国政府／大統領府、その後住宅建設衛生 省リマ上下水道公社（SEDAPAL）に変更
貸付完了	2006 年 1 月
本体契約	SADE(フランス)・COSAPI S.A.(ペルー)（JV）/ Companhia Brasileira de Projetos e Obras(ブラジル)・ Consortio Odebrecht- CBPO(ペルー)(JV) / Companhia Brasileira de Projetos e Obras(ブラジル)・Construtora Norberto Odebrecht(ブラジル)（JV）/Consortio Odebrecht - CBPO(ペルー)
コンサルタント契約	日本上下水道設計（株）
関連調査（フィージビリティ・スタディ：F/S）等	JICA 開発調査「リマ南部下水道整備計画調査」 (1990)、ペルー政府・世銀資金による F/S(1995 年)
関連事業	なし

² 汚水・沿岸汚染管理事業（Peru-Lima Wastewater Management and Coastal Pollution Control Project：スペイン語略称は PROMAR）が作成した「リマ市下水処理計画」には本事業の他に2か所の処理場、海中放流管2か所の延長が含まれ、世界銀行と旧 OECF による投資が予定されていたが、世界銀行による投資は実現しなかった。

³ Project Proposal for “improvement of the Sewerage in the southern Part of Lima” Immediate Action Plan (PROMAR, 1995)

⁴ 本事業の貸付完了は2006年1月であったが、最後に完成したサンバルトロ下水処理場は2007年12月に稼働開始した。効率性の分析においてはサンバルトロ処理場の稼働開始までを事業期間として評価を行った。

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

藪田 元（グローバル・グループ 2 1 ジャパン）

2.2 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2009年9月～2010年7月

現地調査：2009年11月14日～12月24日、2010年2月21日～3月16日

2.3 評価の制約

本評価においては実施機関、関連機関へのヒアリング、関連文書の収集、対象事業施設、処理水再利用状況の視察、処理水を再利用する灌漑農家を対象としたインタビューおよびワークショップ、遊泳海岸における遊泳者への質問票調査などにより情報収集を行ったが、特に大きな制約はなかった。

図-1 リマ南部下水道整備事業配置図



3. 評価結果（レーティング：C）

3.1 妥当性（レーティング：a）

3.1.1 開発政策との整合性

ペルー政府は 1980 年半ばからリマ首都圏における下水処理施設の整備は緊急課題であると認識していた。現政権は 2011 年の任期終了までに全人口に安全な水へのアクセスを確保するという「Agua para todos（万人に水を）」政策を掲げ、上下水道セクターを優先分野としている。本事業は政府が首都圏で実施する「きれいな水総合計画（Plan General de Aguas Limpias）」を構成する 3 つの巨大プロジェクトのひとつに位置づけられている⁵。以上より、本事業はリマ首都圏の下水道整備事業として審査時、事後評価ともに開発政策との整合性を持つと判断される。なお、リマ南部の灌漑への処理水再利用については現在、これを推進する明確な政策は存在しない。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

審査当時、リマ首都圏の下水はほとんどが未処理のまま海へ放流されており、下水処理施設を整備する必要性は高かった。本事業完成後の 2008 年現在、リマ首都圏の下水処理率は 14.6%にとどまり、衛生環境の悪化、海洋汚染が続いている。このためリマ上下水道公社(以下、SEDAPAL)は 2010 年中に新たにタボアダ下水処理場（処理能力 14 m³/秒）の建設を開始したほか、ラ・チラ放流口の近くに新たな下水処理場の建設を計画している。このように、リマ首都圏では下水処理施設の必要性は高い。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

日本は、旧 ODA 大綱（1992 年）において、経済社会開発の重要な基礎条件であるインフラストラクチャーの整備を支援するとしていた。また、日本はフジモリ政権下における 90 年以降の経済の持続的成長・貧困撲滅への改革努力を評価し、積極的な協力を実施していた。同国における多様な開発ニーズに合わせ協力内容の質・量の強化を念頭に、96 年以降、原則として毎年円借款を供与することを決定していた。その後 99 年度の同国向け援助の重点分野に貧困対策と環境保全を挙げ、上下水道整備、水質汚染対策に積極的に協力するとした。したがって、本事業は、審査当時の日本の援助政策と整合している。

以上より、本事業の実施はペルーの開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

⁵ 同計画では 2011 年までにリマ首都圏の下水処理率を 100%とすることを目指して 500 百万ドルを投資する予定。

3.2 効率性（レーティング：b）

3.2.1 アウトプット

審査時の計画では、本事業は2つの独立した下水処理システムで構成されていた。

- ① ラ・チラ放流口から放流されるスルコ排水区のうち標高 130～150m に位置する区域の下水を2ヶ所で受け入れ、ゴミを取り除く前処理施設2ヶ所および延長 32km の送水管を経てサンバルトロ下水処理場（処理能力 2.2 m³/秒）で処理を行い、処理水をルリン川に放流するとともにサンバルトロ平原の農業などに再利用する⁶。送水管の途中、ウアスカル処理場（処理能力 0.05 m³/秒）で下水の一部を処理し、近隣の灌漑に利用する。以上の施設は全て新設、下水処理方法はエアレーテッド・ラグーン方式を採用。
- ② 既存のサンファン処理場の処理能力を 0.25 m³/秒から 1.0 m³/秒に拡大するとともに、エアレーテッド・ラグーン方式を採用してより高度な処理を行ったうえで、処理水を近隣の灌漑に利用する。



送水管と既存下水管の接続部



前処理施設（Punto A）



サンバルトロ処理場：（左）コントロール・ルーム、（右）ルリン川放流口

⁶ 本事業では処理前の下水を送水管により 32km も運搬するという、世界でも他に類を見ない計画であった。

1996年9月のL/A調印後、1998年にかけて詳細設計が行われた結果、サンバルトロ処理場からの放流管の延長、サンバルトロ処理場への安定化池の追加などのスコープ追加、および円安の影響による事業費増大、エルニーニョ被害により予想された政府財政逼迫を考慮して、サンバルトロ処理場およびサンファン処理場の規模が審査時計画よりも縮小された。他方、ウアスカル処理場では近隣の処理水再利用の需要の大きさを考慮して審査時より規模が拡大された。その結果、本事業により増加する下水処理能力は審査時計画の3.25 m³/秒から2.67 m³/秒へと、約82%に減少した。

さらに、工事開始後は以下の計画変更が行われた。

- ・ 送水管は2ヶ所で既存下水管から下水を受け入れ、それぞれに前処理施設を作る予定であったが、うち1ヶ所では周辺住民・区長の反対により前処理施設が建設できず、既存下水管との接続は取りやめた⁷。
- ・ サンバルトロ処理場では詳細設計で一時海中放流を計画したが沿岸住民の反対に遭い、ルリン川への放流に計画を変更したが、放流口付近の住民の反対により放流地点は水源井戸の下流に移動した。
- ・ サンファン処理場の放流管は住民の意見に配慮して海浜放流から海中放流に変更した。
- ・ ウアスカル処理場は、送水管によりサンバルトロ処理場に送られる下水の一部を受け入れて処理する計画であったが、同送水管・処理場の稼働が大幅に遅れたため、送水管からの下水受け入れを取りやめ、周辺の既存下水管からの下水を受け入れる独立した下水処理システムとなった。

表-1 事業アウトプットの計画および実績

(a)管渠敷設 (総延長 49.95km) サンバルトロ送水管敷設：31.55km サンバルトロ処理場放流管敷設：5.5km サンファン処理場放流管敷設：5.4km ウアスカル処理場放流管敷設：5.0km	(a)管渠敷設 53.1km サンバルトロ送水管敷設：32.5km サンバルトロ処理場放流管敷設：9.5km サンファン処理場放流管敷設：5.6km ウアスカル処理場放流管敷設：5.5km
(b)下水処理場の拡張 (1箇所) サンファン処理場拡張：処理能力 0.25→1.0 m ³ /秒 サンファン集水管敷設：0.2km	(b)下水処理場の拡張 (サンファン) サンファン処理場：処理能力 0.25→0.8 m ³ /秒 サンファン集水管敷設：0.2km
(c)下水処理場の建設 (2箇所) サンバルトロ処理場建設：処理能力 2.20 m ³ /秒 ウアスカル 処理場建設：処理能力 0.05 m ³ /秒	(c)下水処理場の建設 (サンバルトロ) サンバルトロ処理場建設：処理能力 1.7 m ³ /秒 ウアスカル 処理場建設：処理能力 0.17 m ³ /秒
(d)コンサルティングサービス：詳細設計・施工管理	(d)コンサルティングサービス：補足的な環境影響評価、送水管運用のマニュアル作成と研修を追加

出典：審査時資料および SEDAPAL

⁷ 下水のBOD濃度の増大によりサンバルトロ処理場はこれ以上の下水を受け入れることは難しく、現在は新たな下水管との接続は計画されていない。



サンファン処理場：(左) 前処理施設、(右) 安定化池



(左) サンファン処理場の水質検査室

(右) ウアスカル処理場：送水管からの下水受入施設（計画変更により不使用）

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業期間

本事業は1996年7月～2001年2月の56ヶ月間で実施される計画であったが、実際は1996年9月～2007年12月の136ヶ月間で実施された。事業期間は計画比243%となり、最後に完成したサンバルトロ処理場の運用開始は当初計画より6年10ヶ月遅れとなった。貸付実行期限は2回延長された。事業期間の遅れの原因として次のことが挙げられる。

借款契約調印後、省庁再編により実施機関が大統領府から SEDAPAL に変わったが、実施機関の変更に伴う影響は小さく、着工までに大きな遅れはない。着工後は、住民の反対によりサンバルトロ処理場からの放流管の完成が3年以上遅れ、その後、送水管およびサンバルトロ処理場の稼働試験中の事故により運用開始がさらに3年遅れた。

サンバルトロ処理場からルリン川への放流管は住民の反対により2001年8月に工事が中断し、その後は住民および区長との交渉が難航し、2004年6月に完成した。住民による反対の発端は事業内容が正しく理解されなかったことであったが、地元政治家

が反対住民の立場から関与し、政治問題化したことで解決が遅れた⁸。送水管とサンバルトロ下水処理場は2002年2月には工事がほぼ完了し既に稼働試験が可能な状態であったが、稼働試験は放流管が完成した2004年6月まで開始することができなかった。

サンバルトロ下水処理場では注水試験中の2004年9月に処理池の一部が陥没し水漏れが発生する事故があった。この事故は一部処理池の目地からの下水浸出により土壌が侵食されて空洞化し、処理池底面のコンクリート板の一部が陥没したものである。その要因として以下の可能性が指摘されているが、責任の所在および修理費用の負担をめぐってはSEDAPAL、施工業者、コンサルタントが係争中で、2010年3月現在、結論は出ていない。

- ・ 完工後注水試験が行われるまでの期間に目地が劣化したが、そのまま注水試験を行った⁹。
- ・ 局所的に高浸食性の地質が存在し、事前の地質調査でそれを確認できなかった。
- ・ 目地の設計・施工上の不備。

2005年10月には稼働試験中に送水管の逆サイホン最下部2ヶ所で下水管が爆発する事故が相次いで発生した。SEDAPALによると、この事故は下水管に堆積した汚泥から可燃性・腐食性のガスが発生し、ガス発生を防ぐために注入されたものの十分に溶解しなかった酸素と混合し、ガス排出口で発生した火花により引火したものと考えられる。その要因として、酸素溶解設備の性能が低かったこと、当時の下水流量が設計流量を大幅に下回っていたため汚泥が流れず堆積し、ガスが多量に発生したことが指摘されている。

これらの事故の修復工事は2006年6月に完了した。コンサルタントによる送水管運用のためのマニュアル作成と研修が行われたのち、送水管およびサンバルトロ下水処理場は2007年12月に稼働が開始された。なお、サンファン処理場はほぼ計画通り2002年に、ウアスカル処理場は独立したシステムへの変更後、2004年に稼働が開始された。

3.2.2.2 事業費

事業費の審査時計画は約169億円であったのに対し、実績は約150億円（計画比89%）であった¹⁰。処理場規模の縮小、一部前処理施設の除外などによるスコープ変

⁸ 住民の反対は、放流されるのは処理前の下水であるという誤まった情報が流されたことが発端であった。放流管の建設についてリマ上下水道公社は法令上必要な許認可を全て得ていたが、反対する住民は2001年に実力で工事を中断させた。その後、住民の反対が政治問題化され、裁判所が住民保護を理由に工事の一時中断を命令した。

⁹ 用いられた目地は完工後すぐに注水が開始されることを前提とした設計であったが、実際は4年以上天日にさらされ、維持管理も行われなかった。

¹⁰ 試運転中に起きた陥没事故後の修復工事はリマ上下水道公社(住宅建設衛生省)の自己資金およびコントラクターとコンサルタントによる負担であり、事故は工事完成後に発生していることから、事業費の範囲に含めない。

更および競争による事業費の圧縮が為替レートの変動損を上回ったため、事業費は計画を下回った。

表-2 事業費の計画および実績

	計画			実績		
	外貨 (百万円)	内貨 (千ドル)	合計 (百万円)	外貨 (百万円)	内貨 (百万円)	合計 (百万円)
土木工事	6,660	43,154	11,061	7,161	4,248	11,408
コンサルティングサービス	624	3,364	967	519	648	1,167
物価上昇	430	4,712	911	-	-	-
予備費	709	4,937	1,213	12	0	12
土地収容	-	1,500	153	0	142	142
税金	-	25,243	2,575	0	2,302	2,302
合計	8,423	82,910	16,880	9,062	5,957	15,032

出典：審査時資料および SEDAPAL のデータに基づき評価者が作成

為替レート (審査時) 1 ドル=2.31 ソル=102.00 円

(評価時) 1 ドル=3.28 ソル=112.4 円 (1997~2005 年の加重平均)

以上より、本事業は事業費については計画内に収まったものの、事業期間が計画を大幅に上回ったため、効率性は中程度である。

3.3 有効性 (レーティング : b)

3.3.1 定量的効果

3.3.1.1 運用・効果指標

審査時計画では各処理場に流入する下水の BOD 濃度は 250mg/L と想定されていたが、実際は 400~500mg/L で、月によっては 600mg/L を超えることもある。これは、水道料金メーターの設置などにより一人当たり水使用量が減ったことで下水が濃くなったこと、商店・食堂や工場などからの高濃度の産業排水が増加したことなどによる¹¹。

SEDAPAL は、流入する下水の濃度が計画を大きく超えることを受け、各処理場に流入する下水の量を抑えて処理の効率 (BOD 除去率) を高めることで処理水の水質を計画値 30mg/L に近づけようと努力している¹²。処理水の BOD 濃度は流入下水の濃度

¹¹ リマ首都圏では近年の急速な経済成長により産業排水の排出量が大きく増加したが、産業排水の水質規制が有効に機能していない。産業排出基準は 1960 年、2002 年の法令により定められ、悪質な違反者には接続停止できることになっているが、その適応条件が明確でなく、またリマ上下水道公社排水の水質監視体制・権限が不十分であったため実効性がなかった。2010 年 11 月には新たな法令が発効し、一部指標について基準を超える場合は罰金が科せられる予定である。下水道に受け入れる汚水の水質を監視する立場にあるリマ上下水道公社はこれに備えて水質監視体制の強化を計画しているが、BOD 濃度が 1000mg/L を超える排水について強制的に接続停止などの措置をとることは今も難しい。

¹² 下水受け入れ量が多くなればなるほど、処理効率は低下し、排出する処理水の BOD 濃度は高くなる。SEDAPAL は処理水の水質を基準 (30mg/L) に近づける努力義務があり、これ以上の下水を受け入れることは難しい。

や水温などの条件により変動するが、サンファン処理場、サンバルトロ処理場の BOD 除去率は比較的良好で計画値を超え、2008 年度の処理水の年間平均 BOD 濃度は 40mg/L 前後である。ウアスカル処理場は他の処理場に比べて気温がやや高く、処理の最終段階で藻が多く発生しやすいため処理水の見かけの BOD 除去率・BOD 濃度は高い。3 処理場合計の 2008 年の BOD 除去率は 89.5%で、計画値 88%を達成している。

表-3 各処理場の運用・効果指標（計画・実績）

			サンファン 処理場	ウアスカル 処理場	サンバルトロ 処理場	合計
流入下水の BOD 濃度	mg/L	計画	250	250	250	—
		実績(2008 年平均)	458	483	395	—
処理水の BOD 濃度	mg/L	計画	30	30	30	—
		実績(2008 年平均)	40	82	43	—
汚水処理能力 ・処理量	m ³ /秒	計画	1.00	0.05	2.20	3.25
		処理能力実績	0.80	0.17	1.70	2.67
		処理量実績(2008)	0.43	0.07	0.73	1.23
BOD 除去率	%	計画	88.0	88.0	88.0	88.0
		実績(2008 年平均)	91.3	83.0	89.1	89.5
BOD 除去量	g/秒	計画	220	11	484	715
		実績(2008)	179	30	256	465

出所：審査時資料および SEDAPAL 提供のデータにより評価者が作成

注：BOD 除去率 = {(流入下水 BOD 濃度) - (処理水 BOD 濃度)} ÷ (流入下水 BOD 濃度)
(BOD 除去率の合計値は各処理場の BOD 除去率の処理量による加重平均値)

BOD 除去量 = {(流入下水 BOD 濃度) - (処理水 BOD 濃度)} × (下水処理量)
= (流入下水 BOD 濃度) × (下水処理量) × BOD 除去率

各処理場は合わせて 2.67 m³/秒の処理設備能力を持つが、上述の理由により下水処理量は半分程度に抑制されているため、実際の下水処理量は 1.23 m³/秒（2008 年）にとどまる。これは審査時計画の 38%である。

各処理場に流入する下水の BOD 濃度と処理水の BOD 濃度の差および下水処理量から 3 処理場が除去する BOD 負荷の総量を試算すると、465g/秒（2008 年）となる。これは審査時計画の 65%に相当する¹³。

審査時計画では、ラ・チラ放流口から海域に排出される BOD 負荷量の約 31%が本事業により削減されるとされていたが、実際の削減率は約 14%と推測される。未処理

¹³ 本事業の主目的のひとつが下水による海洋汚染の軽減にあることを考えると、その有効性を判断するための指標としては、下水処理量や BOD 除去率よりも汚染物質の削減量の方がふさわしい。なお、BOD 除去量は BOD 除去率、流入下水の BOD 濃度、処理量に左右される。サンファン、サンバルトロ両処理場で BOD 除去率が計画を達成したにもかかわらず BOD 除去量が低いのは、処理量が計画を下回った効果が流入下水の BOD 濃度が計画を上回った効果よりも大きかったためである。

下水の BOD 濃度が高まったため、実際にラ・チラ放流口から排出されている BOD 負荷は 2003～2008 年の 5 年間に約 2 倍に増加し、2008 年には審査時計画の 1.8 倍に達している。



サンバルトロ処理場：(左) 処理前の下水、(右) 処理後の下水

3.3.1.2 内部収益率の分析結果

審査時に内部収益率は計算されていない。貨幣価値による便益の計測が難しいため、再計算は行わなかった。

以上より、本事業の実施により一定の効果発現が見られ、有効性は中程度である。

3.4 インパクト

3.4.1 インパクトの発現状況

本事業のインパクトとして、①海洋汚染の軽減、②処理水再利用による灌漑用水の水質改善ならびに乾燥地帯の灌漑・緑化、③リマ南部地域の衛生環境改善が期待されていた。以下、それぞれに関連するインパクトの発現状況を述べる。

(1) 海洋汚染の軽減

表-4 に示すように、保健省のデータによると、ラ・チラ放流口の影響を受ける遊泳海岸では、放流口の南側でサンバルトロ処理場稼働直後の 2008 年夏（3 月）に大腸菌数がやや減少したものの、2009 年には稼働前と同じ水準に戻った。ラ・チラ放流口からの放流量（4.69 m³/秒、2008 年）に比べて処理量（1.23 m³/秒、2008



リマ南部の遊泳海岸（Agua Dulce）

年) が少ないため、顕著な効果が出ていないと考えられる。

遊泳海岸で遊泳者を対象に実施した調査によると¹⁴、約 4 割の遊泳者は海水・砂浜が汚染されていると答えた。ただし、そのように判断した主な理由は遊泳者が捨てるゴミの存在であり、未処理下水による汚染を理由に挙げたものは 17%にとどまった。また、遊泳者の意見によると海岸の水質・砂の汚染は 5 年前よりわずかに改善されている可能性があるが、本事業との因果関係は不明である。

表-4 ラ・チラ放流口付近の遊泳海岸の水質の変化 (3 月第 1~4 週)

	2007 年 3 月				2008 年 3 月				2009 年 3 月			
Agua Dulce Norte	普通	適	適	適	適	適	普通	普通	適	適	適	普通
Agua Dulce Sur	適	適	適	適	普通	普通	普通	普通	適	適	適	適
Pescadores	不適	適	普通	普通	不適	適	不適	不適	適	普通	普通	普通
Club Regatas 1	最適	最適	最適	最適	最適	最適	最適	最適	最適	最適	最適	不適
Club Regatas 2	適	適	適	適	最適	最適	最適	最適	最適	最適	最適	最適
Club Regatas 3	最適	最適	最適	適	最適	最適	最適	最適	最適	普通	普通	普通
La Caplina	普通	普通	適	普通	普通	普通	不適	不適	不適	不適	不適	普通
La Herradura	不適	不適	不適	不適	不適	普通	普通	普通	適	不適	不適	普通
ラ・チラ放流口												
Playa Villa	適	普通	不適	不適	不適	最適	不適	不適	不適	不適	不適	不適
La Encantada	普通	不適	不適	不適	不適	普通	不適	不適	不適	不適	不適	不適
Cocoteros	普通	不適	不適	不適	普通	普通	普通	普通	不適	普通	普通	不適
Contry Club de Villa	普通	不適	不適	不適	普通	普通	普通	不適	不適	不適	不適	不適
Venecia	普通	不適	不適	不適	普通	普通	普通	普通	普通	適	適	不適

出典：保健省データより評価者作成

凡例：(大腸菌数) 最適 (250MPN/100mL 以下)、適 (250~500MPN/100mL)

普通 (500~1000MPN/100mL)、不適 (1000~4000MPN/100mL)

(注) MPN : Most Probable Number (最確数)

(2) 処理水再利用

本事業で建設・拡張された 3ヶ所の下水処理場の処理水はルリン川北部のビジャ・エルサルバドル区、サン・ファン・デ・ミラフローレス区、南部のルリン区において主に農業灌漑、公園や街路の緑化、処理場敷地内の緑化などに再利用されている。2010年3月現在、



サンファン処理場で給水する散水車

3 処理場が排出する処理水のほぼ半分が再利用されており、処理水を再利用した農業灌漑面積は 500~600ha 程度と推測される。処理水の再利用にあたり、SEDAPAL は各

¹⁴ ラ・チラ放流口の南側、北側に位置する 4ヶ所の遊泳海岸で 40 名の遊泳者を対象に質問票調査を実施。

利用者（灌漑組合、区役所等）と利用量などについて取り決めを行っている。再利用を実現するために必要な受送水施設は各利用者が設置している¹⁵。

処理水の利用者を対象に実施した調査の結果によると¹⁶、各処理場の処理水再利用状況は以下のとおりである。

- ① サンファン処理場：処理水約 0.4 m³/秒のうち 0.2～0.3 m³/秒が近隣農地の灌漑、公園・街路の緑化に再利用されている。周辺では生下水を使った農業灌漑が行われていたが、2001 年からは 2 灌漑組合 62 農家が旧サンファン処理場の処理水を灌漑に利用しはじめた。本事業により同処理場が拡張された 2002 年以降は処理の高度化により水質が改善された。



サンバルトロ処理場の処理水を利用した灌漑農業
(左) ルリン区の既存農地、(右) 新規農地におけるイチジクの点滴灌漑



ウアスカル処理場の処理水を再利用する公園

¹⁵ 現行制度では SEDAPAL が利用料金を徴収することはできない。ペルーでは処理水の再利用に関する監督体制や料金、水質基準などが環境省・住宅建設衛生省・保健省・農業省などにより検討されている。

¹⁶ 処理水を再利用する灌漑農家の組合とのワークショップを 7 回、個別農家へのインタビューを 6 回実施したほか、灌漑農地、公園などの視察を行った。

- ② ウアスカル処理場：処理水 0.07 m³/秒の全量が隣接する公園の緑化と池、住宅建設衛生省が実施する養魚事業、その他の街路・公園の緑化に再利用されている。ウアスカル処理場周辺の農家はかつて生下水で灌漑を行っていたが、同処理場の運用開始により、1 灌漑組合 36 世帯が処理水を灌漑に利用するようになった。しかし、同処理場に隣接する公園が池を造成してからは水量が不足したため、再び生下水を利用するようになっている。
- ③ サンバルトロ処理場：処理水約 0.7 m³/秒のうち 0.2～0.3 m³/秒が農業灌漑、街路・公園の緑化に再利用されている。ルリン区では河川水および地下水を利用した灌漑農業が行われてきたが、3 灌漑組合 68 農家が約 180ha で 2008 年末より河川水・地下水とともに処理水を利用するようになった¹⁷。また、事業前は灌漑用水が利用できなかった地域で、処理水をさらに高度処理したうえで点滴灌漑をおこなう個人農家の果樹園が 50ha 存在する。果樹は 2011 年から輸出し、同農家は今後も灌漑農地を拡大する予定である。その他、複数の不動産開発会社が緑化のためにさらに最大 0.35 m³/秒を利用する予定がある。

なお、サンファン処理場、ウアスカル処理場があるルリン川北部では灌漑用水の不足と都市化の圧力により農地は減少しつつある。サンファン処理場の処理水を利用する農地では灌漑用水の水質が改善されたが、今も生下水が灌漑につかわれる農地が残されている。

また、サンバルトロ処理場があるルリン川南部では 1970 年代から河川水と地下水が灌漑に使われてきたが、同地域で処理水を利用する農民は、処理水の水質は家庭ゴミなどで汚染された河川水より優れていると考えている。同地域では処理水の利用により耕作面積・生産量のわずかな増加が見られるほか、処理水の利用により地下水くみ上げの費用が節約されて生産コストが下がった。サンバルトロ処理場の処理水を使って新たに点滴灌漑による果樹栽培を始めた農家は、処理水の栄養分（窒素等）の高さが作物の生育に効果的と感じている。

生下水あるいは処理水を灌漑に用いる場合、食用部分に灌漑水が直接接触する短茎作物の栽培は農業省により禁じられている。10 年以上前から旧サンファン処理場の処理水を利用してきた農地では本事業による同処理場の拡張と前後して観葉植物・花・果樹などへの転換が行われたが、2008 年末よりサンバルトロ処理場の処理水を使い始めた地域では新たな作物への転換は始まっておらず、食品衛生上の問題が残る。なお、本事業あるいは SEDAPAL と農業省の間で処理水の灌漑利用に関する具体的な協議・調整はほとんど行われていない。

¹⁷ 住民の反対により放流管ルートが変わったことにより上記以外の 30 世帯では予定されていた処理水の利用ができなくなった。

(3) リマ南部地域の衛生環境改善

リマ首都圏の下水道普及率は 1995 年の 75% から 2008 年の 90.4% に増加した。本事業は下水道普及率増加に直接寄与するコンポーネントを含まないが、送水管により運搬された推定 32 万人分の下水がサンバルトロ処理場により処理されたことにより、ラ・チラ放流口への下水集水管への追加投資を行うことなく下水道普及を進めることができた。本事業は下水道普及率の増加に間接的に貢献していると言える。

3.4.2 その他、正負のインパクト

(1) 自然環境へのインパクト

SEDAPAL は本事業のコンサルティング・サービスにより 2000 年に補足的な環境影響評価を実施し、河川に放流される処理水の影響などについて評価を行い、重大な問題がないことを確認した。

サンバルトロ処理場では処理水の水質に加えて臭気・騒音・振動を含む環境モニタリングを実施している。処理水の BOD 濃度は下水処理場の排出基準 (30mg/L) を上回ることもあるが、排出先のルリン川では希釈されることにより河川水の水質基準を下回ることが確認されている。臭気・騒音・振動については同処理場の周辺に民家はなく苦情はない。他の 2 処理場では水質モニタリングのみ実施されているが、脱臭装置の設置、敷地内の緑化などにより周辺民家への影響軽減を図っており、特に苦情は発生していない。

(2) 住民移転・用地取得

本事業による住民移転はない。サンバルトロ処理場では用地取得手続きが完了しておらず、SEDAPAL は手続きを進めている。

3.5 持続性 (レーティング : b)

3.5.1 運営・維持管理の体制

(1) 運営維持管理の体制

SEDAPAL は運営体制の大幅な改革を行ってきた¹⁸。本事業の運営維持管理は SEDAPAL の下水道部門が行うが、各処理場および送水管の運営維持管理作業の一部は民間委託されている。サンバルトロ処理場では SEDAPAL の技術者 1 名が常駐するが、運営・維持管理作業のほとんどは民間委託される。3 処理場と送水管の運営維持管理は 1 つの業者が行い、契約期間は 2 年である。SEDAPAL は現在の契約業者のパフォーマンスを「良い」と評価している。これとは別に、3 処理場内の清掃と緑化に

¹⁸ SEDAPAL は、人事政策の改善、業務管理・財務管理情報システムの導入、短期計画・長期戦略の立案、一部の維持管理業務と検針業務の民間委託など、大幅な改革を行ってきた。政府住宅建設衛生省と毎年マネジメント契約を結び、品質・運営・財務などについて年次業績目標を合意し、その達成を目指している。

についての委託契約がある。以上から、SEDAPAL の組織体制は整備されており、問題はないと考えられる。

SEDAPAL は施設の改善と効果的な運用を適切かつ迅速に実現するため、建設中のダボアダ処理場、計画中のラ・チラ処理場など 3 処理場を除く、本事業を含む 16 の処理場について、その運用を一括して民間に委託することを検討し、2011 年中に企業の選定を行うべく準備が進められている¹⁹。

3.5.2 運営・維持管理の技術

SEDAPAL は、大規模な下水処理施設の運用経験は本事業が初めてであるものの、研修制度が整備されていること、ISO 認証の取得や他の受賞歴などから、基本的に下水処理場の運営に関する技術能力を有していると考えられる²⁰。

本事業で採用された送水管は複数の逆サイホン区間を含む延長 35km の世界でも類を見ない施設であり、事故が起きた後もその運用技術は確立しているとは言い難い。SEDAPAL によると、本事業のコンサルタントが事故の後でサンバルトロ送水管の運用について提供したマニュアルには詳細な技術情報が含まれておらず、十分とは言えない。SEDAPAL は同様の事故のリスクを低減させるために前処理の高度化、ガス発生を抑制する酸素注入のより効果的な手法などを検討しているが、リスクの程度・その要因（堆積汚泥量やガス発生量など）を正確に評価できないこともあり、適切な対策は見つかっていない。

3.5.3 運営・維持管理の財務

料金値上げ、無収水減少、運営効率化などが功を奏し、SEDAPAL は 2004 年以降順調に売上および営業利益を伸ばしている²¹。また、施設の維持管理・修理のための支出額は売上高に応じて増加し、予算は確保されている。以上より、財務面の持続性に特に問題はないと判断される。

本事業の下水処理場は電力を用いたエアレーションを行うため、その運営には多額の電気代が必要とされる。本事業の運営維持管理費用の支出実績は表-5 の通りである。

¹⁹ 検討されている契約条件では、施設の所有権は SEDAPAL に残し、受託企業は各処理場の設備能力を最大限に発揮するための計画を作成し、必要な追加投資を行い、30 年間にわたり施設を運用する。民間企業は処理下水量に応じた料金を SEDAPAL から受け取るが、処理水準（処理前後の水質改善の程度）が一定の基準に満たない場合はペナルティーを科せられる。

²⁰ SEDAPAL に勤務する 2200 名近くの職員のはほぼ全員が毎年研修を受け、一人当たり年間研修時間は管理職員が 66 時間、全体では 32 時間に達する。SEDAPAL は 2002、2003 年に品質管理、環境管理について ISO を取得しているほか、Peruvian Company of the Year 1999、Best Water and Sewerage Management 1998 などの受賞歴がある。

²¹ 監督機関（SUNASS）の承認のもと、SEDAPAL の水生産コストと財務業績に応じて料金を値上げする体制がとられている。Working Ratio（年間費用／売上）は年々改善傾向にあり営業の効率が改善し、流動比率（流動資産／流動負債）、負債比率（負債／資本）など負債に関する指標も許容範囲にある。

表-5 SEDAPAL の財務実績

(百万ソル)

	2004	2005	2006	2007	2008
売上高	624.0	660.8	748.1	827.4	959.1
営業利益	53.7	56.0	110.0	177.7	204.5
純利益	96.9	9.0	93.2	125.8	4.1
維持管理・修理支出		52.6	54.0	66.5	82.0

出所：SEDAPAL

表-6 本事業（3 処理場＋送水管）の運用維持管理支出

(千ソル)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
運用	1,212	1,739	2,778	3,829	3,976	4,181	4,358	5,230
維持管理	674	1,929	1,978	2,544	2,582	3,232	3,680	2,484

出所：SEDAPAL

3.5.4 運営・維持管理の状況

本事業の送水管は管内に堆積した汚泥から出るガスによる爆発事故を経験していることから、9ヶ所の汚泥抜取口やガス排出口で問題がないか、契約業者が毎日、目視により監視しながら運用している。下水の BOD 濃度が計画を大幅に超えており、受け入れる下水の量が制限されているため、下水の流速は設計を大きく下回り、汚泥が堆積しやすい状況にある。さらに、汚泥抜取口の数が限られるため、サイホン下部に堆積する汚泥の抜き取りに時間がかかり、また一部区間は完全に抜き取ることが困難である。汚泥の抜き取りのため年間 10 日間程度運用を停止する必要がある。

サンバルトロ処理場において、SEDAPAL は観測井戸（監視穴）を設置して陥没につながる下水の地下への浸出を監視してきたところ、2009 年には以前事故を起こした同じ区画で下水の浸出を確認し、同区画の運用を停止した。陥没には至らなかったものの施設の一部に亀裂が見られたため、SEDAPAL は土質工学的な調査を行い施設の改善方法を検討した。陥没事故の再発の恐れがあることから、当面は今後も同区画の運用を見合わせる予定であるが、同処理場の下水処理量に大きな影響は生じていない。その他の部分は問題なく運用されている。

サンファン処理場、ウアスカル処理場の運用に特に問題はない。

以上より、本事業の運用維持管理は技術面にやや問題があり、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。



送水管のガス排出口



送水管用の酸素貯蔵タンク

4. 結論及び教訓・提言

4.1 結論

本事業は審査当時、ほとんどの下水が未処理のまま放流されていたリマ首都圏における緊急事業とされていた。下水道処理能力を維持・増強する必要性は今でも大きい。日本の援助政策とも合致しており、本事業の妥当性は高い。事業費はほぼ計画通りであったが、住民の反対による工事の遅れ、稼働試験中に相次いだ事故などよりサンバルトロ処理場の運用開始は当初計画より6年10カ月遅れた。したがって本事業の効率性は中程度と判断される。下水のBOD濃度が想定を大幅に上回るため各処理場は処理する下水の量を計画のほぼ半分に抑えて処理水の水質を保っている。3ヶ所の処理場により除去されるBOD負荷の総量は計画の約65%であり、本事業は一定の効果を発現していることから、有効性は中程度であると判断される。ラ・チラ放流口から海中に排出される汚染物質(BOD負荷)は本事業により14%削減されたと考えられるが、付近の遊泳海岸における水質改善への明確なインパクトは認められない。処理水のほぼ半分が再利用され、農業灌漑や緑化の促進に貢献しているが、一部農地では食品衛生上の問題が残されている。運営維持管理を行うSEDAPALは適切な運営維持管理体制、技術、財務能力を持つと考えられるが、サンバルトロ処理場の一部区画で浸出が確認され運用が停止されていること、送水管の運用維持管理について十分な技術が確立していないことなどから、本事業の持続性は中程度であると判断される。

以上より、本事業の評価は概ね高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 ペルー国政府・実施機関への提言

- ・ SEDAPALは、送水管およびサンバルトロ処理場の安全で効率的な運用のための技

術的検討を早急に行い、施設を改善する必要がある。準備中の民間委託契約の実現を待って民間の幅広い経験と技術を導入することも良いが、前処理施設の改善（下水中のゴミを取り除くスクリーンの目を細かくして処理を高度化する）など、早期に可能なものから開始して段階的に施設の改善を進めるべきである。

- ・ 新たに基準が定められた産業排水規制に実効性を持たせるため、SEDAPAL は産業排水の水質監視能力を増強する必要がある。
- ・ ペルー政府は、安全で効率的な処理下水の再利用を推進するため、関連機関（住宅建設衛生省、環境省、農業省など）による協議を促進し、責任の所在と管理体制、再利用目的別の水質基準・利用方法（散水・灌漑の方法）、費用負担体制などを取り決める必要がある。
- ・ SEDAPAL と農業省は、処理水の供給・配分計画、処理水を利用する作物の転換などについてサンバルトロ処理場の処理水を利用するルリン地区の各灌漑組合と協議し、安全で効率的な処理水再利用を実現するために協力・調整する必要がある。

4.2.2 JICA への提言：なし

4.3 教訓

- ・ 下水処理場事業においては、影響を受ける地域住民の不安や誤解を解消し、不必要な実施の遅れを防ぐために、地域に対する情報普及・啓蒙活動を遅くとも建設開始までに実施し、事業の目的、便益、環境への影響などについて正確な情報を伝達することが非常に重要である。本事業では地域住民の反対は誤った情報が流されたことに端を発し、それが政治的問題に発展したことで、最終的にはサンバルトロ処理場の完成が大幅に遅れた。さらに、そのことがウアスカル処理場の計画変更につながり、同時に、サンバルトロ処理場の陥没事故の遠因になった可能性もある。
- ・ 下水処理場計画のための下水水質の将来予測においては、下水発生源別の検討、経済成長に伴う汚染物質排出量変化の検討、上水消費量の検討等を踏まえ、その精度を高めることが重要である。本事業においては一般下水について世界銀行および日本の基準を参考に将来予測を行ったが、家庭・産業など発生源別の排出量、経済成長に伴う汚染物質排出量の変化、上水道における節水による下水水量圧縮の可能性が検討されなかった。その結果、下水水質の予測が大きく外れ、受け入れる下水の量を半分程度に抑制せざるを得なくなり、送水管の運用が難しくなった。
- ・ 本事業は、市中心街で発生した下水をサンバルトロ平原の灌漑緑化に再利用するため、処理前の下水を送水管により 32km も運搬するという他に類を見ない計画で

あった。ガス発生を抑えるための酸素注入、逆サイホンを用いた長距離送水管からの汚泥排除など、世界的にも経験の蓄積が乏しい技術が採用されたが、この計画は下水濃度の変化や一部施設の完成遅れなど、想定されていなかった事態に対して非常に脆弱であった。したがって、類例の少ない事業計画（技術）を採用する場合は、十分な技術的検討を行うだけでなく、需要の変化や一部工事の遅延などのリスクを十分に想定したうえで事業計画を策定すべきである。

主要計画／実績比較

項 目	計 画	実 績
①アウトプット	<p>(a)管渠敷設（総延長 49.95km） サンバルトロ送水管：31.55km サンバルトロ処理場放流管：5.5km サンファン処理場放流管：5.4km ウアスカル処理場放流管：5.0km</p> <p>(b)下水処理場の拡張 サンファン処理場拡張： 処理能力 0.25→1.0 m³/秒 サンファン水管敷設：0.2km</p> <p>(c)下水処理場の建設 サンバルトロ処理場建設： 処理能力 2.20 m³/秒 ウアスカル処理場建設： 処理能力 0.05 m³/秒</p> <p>(d)コンサルティングサービス： 詳細設計・施工管理</p>	<p>(a)管渠敷設 53.1km サンバルトロ送水管：32.5km サンバルトロ処理場放流管：9.5km サンファン処理場放流管：5.6km ウアスカル処理場放流管：5.5km</p> <p>(b)下水処理場の拡張 サンファン処理場： 処理能力 0.25→0.8 m³/秒 サンファン水管敷設：0.2km</p> <p>(c)下水処理場の建設 サンバルトロ処理場建設： 処理能力 1.7 m³/秒 ウアスカル処理場建設： 処理能力 0.17 m³/秒</p> <p>(d) コンサルティングサービス： 補足的な環境影響評価、送水管運用のマニュアル作成と研修を追加</p>
②期間	1996年7月～2001年2月 （56ヶ月）	1996年9月～2007年12月 （136ヶ月）
③事業費	<p>外貨 8,423百万円 内貨 8,457百万円 （現地通貨192百万ソル）</p> <p>合計 16,880百万円 うち円借款分 12,660百万円</p> <p>換算レート 1ドル＝2.31ソル＝102円 （1996年9月）</p>	<p>9,062百万円 5,957百万円 （現地通貨174百万ソル）</p> <p>15,032百万円 12,076百万円</p> <p>1ドル＝3.28ソル＝112.4円 （1997年～2005年の加重平均）</p>