

2016 年度案件別外部事後評価
: パッケージ I - 1 (中国)

平成 29 年 10 月
(2017 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

委託先
アイ・シー・ネット株式会社
株式会社 国際開発センター

評価
JR
17-08

本評価結果の位置づけ

本報告書は、より客観性のある立場で評価を実施するために、外部評価者に委託した結果を取り纏めたものです。本報告書に示されているさまざまな見解・提言等は必ずしも国際協力機構の統一的な公式見解ではありません。

また、本報告書を国際協力機構のウェブサイトに掲載するにあたり、体裁面の微修正等を行うことがあります。

なお、外部評価者とJICAあるいは相手国政府側の事業実施主体等の見解が異なる部分に関しては、JICAあるいは相手国政府側の事業実施主体等のコメントとして評価結果の最後に記載することがあります。

本報告書に記載されている内容は、国際協力機構の許可なく、転載できません。

0. 要旨

本事業は河北省における計14大学を対象として、施設・設備の整備と教員の研修により教育・研究の改善を図ることを目的とし実施されたものである。中国中央政府及び河北省の高等教育人材政策に沿い、大学の量的・質的拡充という開発ニーズ、また日本の援助政策とも合致しており、妥当性は高い。本事業の効果は、長期専門研修の実績が未達だったことにより、効果の度合いが抑制された面はあるが、ハード・ソフト両面において整備ニーズを充足し、各種教育指標も大きく改善する等、対象大学における高等教育の量的・質的拡充が実現した。また、先進的設備や研修の成果を生かした教育・研究活動の成果の向上と、これらを通じた地域活性化・環境保全等のための各種取り組みが進むなど、有効性・インパクトは高い。効率性については、事業費は計画どおりであったものの、事業期間は、調達の遅れにより計画を上回ったため、全体としては中程度であった。持続性は、体制面、技術面、財務面ともに問題なく、設備・施設の良好な運営・維持管理が確認されたため高い。以上より、本事業の評価は非常に高いと判断する。

1. 事業の概要



事業位置図



本事業で整備された土木試験装置
(河北工業大学)

1.1 事業の背景

中国では、1978年以降の改革・開放路線推進、WTO加盟等を受けたさらなる市場経済化及び急速な経済発展に伴う環境問題から、市場ルール分野及び環境問題に係る教育・研究活動の強化が必要となっていた。加えて、地域間の経済格差が顕在化しており、低開発地域における地域経済振興及び高等教育需要の増加による高等教育の量的・質的向上が必要となっていた。これに対し、中国政府は「第10次5カ年計画」において、高等教育機関就学率15%、高等教育機関在学者数1,600万人、及び法律・金融・貿易等分野における人材育成等を目標として掲げた。

河北省（面積 18.8 万 km²、人口 6,769 万人（2004 年））は沿海部に属するものの、その経済社会発展は他の典型的な沿海各省と比較して大きく立ち遅れていた。「河北省教育事業 10 次 5 カ年計画（2001 年～2005 年）」では、高等教育就学率を 2005 年までに 15% に高め、在学者数も大幅に増加させることとしていたが、河北省における高等教育を量的・質的に拡大するためには、高等教育機関におけるハード面の制約（校舎・設備増強）、ソフト面の制約（教員養成）、財政面での制約への対応が必要とされていた。

1.2 事業概要

河北省での地域活性化、市場ルール強化及び環境保全において重要な役割を果たす対象 14 大学において、ハード面（校舎・設備等の整備）及びソフト面（教職員に対する研修等の実施）への支援を行うことにより、高等教育の量的・質的改善を図り、もって同省における市場ルール強化、環境保全及び地域活性化に資する人材の育成に寄与する¹。なお、対象大学は以下のとおり。

河北大学、河北工業大学、燕山大学、河北農業大学、河北師範大学、河北医科大学、河北科技大学、河北経貿大学、華北理工大学、河北工程大学、河北北方学院、河北科技師範学院、承德医学院、河北女子職業技術学院（計 14 大学）

注：大学名は事後評価時点のもの。

円借款承諾額/実行額	5,775 百万円/5,557 百万円
交換公文締結/借款契約調印	2006 年 6 月/2006 年 6 月
借款契約条件	金利 1.5% 返済 30 年 (うち据置 10 年) 調達条件 一般アンタイト
借入人/実施機関	中華人民共和国政府 / 河北省人民政府 (財政庁)
事業完成	2013 年 9 月
本体契約	-
コンサルタント契約	-
関連調査 (フィージビリティ・スタディ : F/S) 等	核工業第四研究設計院による F/S (2005 年 9 月) JICA 「2001 年度人材育成事業に係る案件実施支援調査」 (2003 年) JICA 「人材育成事業研修支援調査」 (2004 年) JICA 「案件実施支援調査 (SAPI) 内陸部・人材育成事業中国」 (2005 年) JICA 「円借款人材育成事業調査」 (2010 年)
関連事業	-

2. 事業の概要

2.1 外部評価者

西野 俊浩 (株式会社国際開発センター)

¹ 本事後評価は、中国内陸部 23 省・市・自治区の大学において実施した円借款「人材育成事業」のうち、河北省を対象として実施された事業について、評価を行う。

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：2016年7月～2017年10月

現地調査：2016年10月30日～11月12日、2017年3月12日～3月18日

3. 評価結果（レーティング：A²）

3.1 妥当性（レーティング：③³）

3.1.1 開発政策との整合性

本事業の目的は、国家レベル及び省レベルの5カ年計画及び教育セクター5カ年計画やその他の教育関連戦略等いずれにおいても、審査時、事後評価時の両時点で、「社会経済開発の実現と地域間格差問題の是正を目的として、高等教育の量的・質的改善による社会ニーズに即した高度な人材育成を目指している」点で整合している。国家レベルでは中西部地域における中核・重点大学の育成、規模の拡大が継続して重視され、関連事業が推進されている⁴。審査段階、事後評価段階で大きな政策変更はないが、「第13次5カ年計画」（2016年～2020年）では、「世界レベルの大学・学問分野を段階的に増やすと同時に、世界一流レベルの大学・学科の建設を行う（一流大学・一流学科の建設促進）」方針が打ち出されている。

表1 本事業に関連する開発計画の主要目標

種類	審査時	事後評価時
国家開発計画	第10次5カ年計画（2001～2005）： 高等教育機関の就学率を2005年までに15%前後に増加。	第13次5カ年計画（2016～2020）： 国民教育の向上により、労働力の質や生産性を高め、人的資本強国を目指す。大学の革新、なども引き続き推進。（高等教育に関する数値目標は高等学校教育就学率90%以上）
全国教育開発計画	全国教育事業第10次5カ年計画（2001～2005）： 高等教育機関在学者数を2005年までに1,600万人まで増加。ハイテク技術・バイオ技術・製造技術等、産業構造調整に対応するための高度なスキルを有する人材の育成等を実施。西部地域の比較的レベルの高い高等教育機関に対する支援、教員養成への支援を強化。	全国教育事業第13次5カ年計画（2016～2020）、国家中長期教育改革発展計画（2010～2020）： 「一流大学・一流学科の建設促進」「中西部地域における中核・重点大学の育成強化」等を推進。高等教育機関就学率を26.5%（2010年）から40%（2020年）に増加。
省レベル教育開発計画	河北省教育第10次5カ年計画（2001～2005）： （目標） ・高等教育就学率：2005年15%、2010年24% ・大学生数：2010年90万人	河北省教育第13次5カ年計画（2016～2020）： ・「一流大学・一流学科の建設促進」「教育質向上・改革の推進」「総合教育レベルの向上」「大学院教育改革の推進」を実施。 （目標）高等教育入学率42%。

出所：JICA提供資料、各計画文書

3.1.2 開発ニーズとの整合性

審査時、事後評価時ともに対象14大学に対する教育の量的・質的拡充ニーズが認められる。

審査時には、「1.1 事業の背景」に記したような他の沿海省との経済格差縮小のため、また河

² A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

³ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

⁴ 河北省は通常中西部には該当しないが、「中西部高等教育振興計画」（2010年～2020年）等の中西部地域高等教育支援事業では河北省も対象地域に含まれている。

北省における初等・中等教育の普及に伴って、将来高等教育の量的拡大のニーズが高まることが予想されていた。需要予測では、河北省の高等教育機関の在学者数が8年間で約1.6倍になることが予想されており、中央政府からはこうしたニーズ拡大に対応しハード面（校舎・設備の拡充）やソフト面（教員養成）の強化が求められていたが、聞き取り調査ではすべての大学で、「審査時点では財政支援は限られており、特に教育設備の導入、更新が全く進んでいなかった」との認識が示されたように、本事業対象となった各省が主管する主要な大学においても、そのための資金が完全に不足する状況にあった⁵。

事後評価時においても、省教育庁及び対象大学の幹部・本事業担当者への聞き取り調査によれば、「市場ルールの強化」をさらに進め、「地域経済の活性化」を通じて経済成長を維持し、他の沿海省との格差（1人当たりGDP等⁶）を解消する必要性が引き続き存在する。また、「環境保全」は、中国における環境意識の高まり、大気汚染状況の改善が進まないこと等からその対策ニーズの高まりを受けて、各大学において重点的な人材育成・強化学科の対象となっている。高等教育在学者数は増加を続けており、高等教育機関の量的・質的拡充のニーズも高い。今後についても、①「第12次5カ年計画」（2011年～2015年）期間で高等教育の量の拡大が成果をあげたこと、②中国の経済・産業水準が向上したことを受けて大学院レベルのより高度な人材育成ニーズが高まっていることから、「一流大学・一流学科の建設促進」政策に代表されるように、量的拡大から質的拡充に重点がシフトしているものの、引き続き質と量のバランスの取れた拡充が目指されている。さらに、事業対象校は、省教育庁が育成を進める中核大学であり、その一部は中西部地域高等教育支援事業の対象校にもなっていることから、中国政府及び省政府の育成対象ニーズとも合致していると考えられる。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

審査時の「対中国経済協力計画」（2001年）、「海外経済協力業務実施方針」（2002年4月、JICA）、「国別業務実施方針」（2002年、JICA）においては、いずれも中国の改革開放路線を支持し、WTO加盟後の経済構造調整への対応の観点から、人材育成を重視しているとともに、格差是正の観点から内陸部への支援に重点をおいており、本事業は日本の援助政策との整合性を有している。「国別業務実施方針」においては、人材育成の重点分野として「地域活性化・交流」「市場ルール強化」「環境保全」が掲げられている。

なお、河北省は地理上沿海部に属するが、①審査時点において河北省は他の内陸省同様に教育条件が比較的立ち遅れており、高等教育の拡充が喫緊の課題となっていたこと、②河北省の1人当たりGDP（13,017元、2004年）は沿海省平均（27,802元）を大きく下回っていたことから、支援対象としたことは上記の政策・方針に沿っていると考えられる。

以上より、本事業の実施は審査時及び事後評価時の中国の開発政策及び開発ニーズ、また審査時の日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

⁵ 中国の大学の財源は国・省等の政府からの補助金及び授業料等の自己収入で構成される。

⁶ 2016年の1人当たりGDP実績は、河北省42,866元、沿海部省平均値70,163元となっている。

3.2 効率性（レーティング：②）

3.2.1 アウトプット

アウトプットの達成度は本報告書末尾の「主要計画・実績比較」のとおりである。ハード面については、まず、円借款資金を活用し建設が予定されていた河北工業大学の実験棟が「早期に完成させる必要が生じたこと」から自己資金で建設され、円借款資金は工程訓練センター及び土木実験室の建設に充当された結果、建設面積が減少した。なお、建設校舎は、日本との交流促進に重要な組織が使用することが審査時には想定されていたが、河北工業大学では「校舎内容が変化したこと」、河北女子職業技術学院では「計画されていた日本語学科、中日女性教育研究室が実現しなかったこと」から、その目的は実現していない。以上のとおり、河北工業大学の建設内容・面積の変更は大学のニーズの変化に対応するものであり、校舎建設のアウトプットに関して大きな問題はみられない。ただし、審査時点では対象校舎が円借款事業として選ばれた理由の一つとして日本との関係促進への活用があり、その点では課題がある。

次に、教育設備については、全27の調達パッケージが計画され、以下の変更点を除き、計画どおりに実施された。パッケージ1（コンピュータ等）については入札金額が予定金額を上回ったことで再入札となり、緊急性の高い設備は自己資金で先に導入されたために再入札では調達設備内容の調整が行われた。パッケージ24（河北工程大学：測定機器等）は低価格入札で1回目がキャンセルされ、2回目は為替レートの変化により、落札会社が落札金額での納入が困難になった設備があったことから契約金額の30%程度の製品がキャンセルされた。キャンセル分は別途自己資金で購入した。その結果一部設備内容の調整はみられるものの、おおむね計画どおりの設備導入が実施されている。したがって、ハード面のアウトプットは全体としてはおおむね計画どおりに産出されたと考えられる。

表2 校舎建設実績

大学名	計画	実績
河北工業大学	実験棟 25,000 m ²	工程訓練センター4,441 m ² 、土木実験室 5,556 m ² （計 9,997 m ² ）
河北女子職業技術学院	教学棟（外国語学院）等 15,000 m ²	教学棟（外国語学院）等 15,000 m ² （変更なし）
計	40,000 m ²	24,997 m ²

出所：実施機関質問票回答

⁷ 調達全 27 パッケージのうちパッケージ 1～9 は設備内容別パッケージ、パッケージ 10～27 は大学別パッケージである。



本事業で整備された発電所運営シミュレーション設備（河北工程大学）



本事業で建設された教学棟（河北女子職業技術学院）

本事業では、ソフト面に関する支援として、対象大学教員の専門性を高めることを目的として、日本の大学への研修（各大学・研修希望者が受入大学・教授を選定し個別受入形式とすることが基本）が実施された。ソフト面に関するアウトプットの実績は下表のとおり。

表3 研修実績

	計画	実績			実績/計画比	
		合計	専門長期	管理短期コース	合計	専門長期
研修実績	206人	181人 (うち女性37人)	49人 (同21人)	132人 (同16人)	88%	24%

出所：実施機関質問票回答

注：「専門長期」は「日本の大学に各分野の専門性を有する教員を個別かつ長期に派遣する」研修（専門分野における1年以上の長期研修）、「短期管理コース」は通常1カ月未満の研修コース。

研修人数の実績値は181人であり計画（206人）の88%の実績となった。しかし、審査時点で計画されていた「日本の大学に各分野の専門性を有する教員を個別かつ長期に派遣する」研修形態（専門分野における長期研修）に限ってみると、49名の実績（研修全体計画比24%）にとどまった。研修実績のうち73%（132人）は短期の管理者研修コースへの参加である。管理者研修コースは、専門長期研修を補完する位置づけと考えることが妥当であり、必ずしも計画どおりのアウトプットが実現できたとは考えられない。専門長期の研修実績が多く大学の未達成になった要因としては、以下のように幅広い要因が挙げられるが、最大の要因は中国政府による「外国への出張ルールの厳格化」の影響である⁸。

⁸ ルール厳格化前に事前に認可されていたものは実施が可能であり、管理者研修コースは比較的早く申請されたために実現したケースが多いが、一部は認可が下りず実現できていない。また、専門長期研修の実績が多い大学は、①比較的早い時期に認可を得ていた、②政策の対象外となる個人パスポートで研修に参加した（大半の大学では問題が生じた際の対応が難しくなることから個人パスポートによる参加を認めていない）のいずれかのケースによるものである。

研修実績の未達要因：全大学共通の要因

- ・「外国への出張ルールの厳格化」により、公費海外研修に対する省外事弁公室による認可が極めて厳しくなり認可が下りないケースが多くみられたこと（政策は2009年頃開始、2011年後半に強化され2012年からほぼ不可能になった）
- ・省教育庁が事業開始当時教育設備の導入を優先させた結果、ソフトコンポーネント（特に専門長期研修）への取り組みが遅れたこと（また、中国の大学における体制改革等のニーズを踏まえて、専門長期研修よりも集団研修を重視し先行して実施させたこと）

研修実績の未達要因：一部の大学における要因

- ・研修を希望する教員個人が研修受入先をインターネットもしくは知人の紹介等で探しており、海外大学との交流経験が少ない大学を中心にマッチングが円滑にいかなかったケースがあったこと
- ・大学が規模拡張期にあり、長期で海外に派遣する余裕がなかったこと
- ・「欧米志向が顕著である」「留学・海外研修の他の選択肢が豊富にある」等の理由で、日本への研修の魅力が低かったこと

なお、審査時点においては、過去に実施された他省人材育成事業の研修実施において派遣大学と受入大学のマッチングが必ずしも円滑にいかなかったという教訓を受けて、円滑なマッチングを促進する観点から、過去の大学間・研究者間の関係をベースに各大学における具体的な研修参加者・受入大学が想定されていたが、大学関係者に対する聞き取り調査によれば、多くの大学が受入候補大学との関係を有していなかった（交流実績ありとされていたケースも、実際はJICAの資料を見て受け入れてもらいたい希望大学名を提出した等）。また、審査当時、受入候補大学と関係があった教授が実施段階ですでに転職、退職し、計画されたマッチングが実現できなかったケースもある。したがって、導入した新たな対応は大学間のマッチング促進にほとんど寄与しなかった。

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

本事業の事業費は下表のとおり。一般管理費等を含めた総合計の実績が入手できなかったことから、「校舎建設」「教育設備」「研修」の合計額を活用し、計画と実績の比較を行う。事業費（一般管理費等を除く）は81億4,600万円（計画比100%）であり、計画どおりであった。

河北工業大学の校舎建設面積が減少した結果、校舎建設費内貨分が減少したほか、研修派遣者数の減少、研修期間の短縮化に伴い研修事業費が計画比約41%の実績となった。一方、教育設備に関しては、初期に契約されたパッケージで（国際競争入札の結果）節約された資金や一部設備がキャンセルされたパッケージの余剰資金が、正式な手続きを経たうえで、パッケージ1に充当（パッケージ1の実績は予定から増額）されたほか、予定価格の超過によりキャンセルされた教育設備を自己資金で導入した結果、実績が若干計画を上回る（約3%）結果となった。

校舎工事内容、導入設備内容、研修期間等が異なるために単純に計画と実績を比較することは困難であるが、内容・規模の変更を反映する形で、事業費（及び円借款金額）はおおむね適切に調整されたものと考えられる。

表4 事業費の計画と実績

	計画（審査時）			実績		
	外貨 （百万円）	内貨 （百万円）	合計 （百万円）	外貨 （百万円）	内貨 （百万円）	合計 （百万円）
1.校舎建設	342	413	755	349	367	716
2.教育設備	4,962	2,160	7,122	5,088	2,222	7,310
3.研修	292	0	292	119	0	119
合計	5,596	2,573	8,169	5,557	2,589	8,146

出所：JICA提供資料、実施機関質問票回答

注：1) 為替レートは、計画額1人民元=13.7円（2005年9月）、実績額1人民元=14.1円（2006年～2013年 期間中平均為替レート）。2) 審査時の計画合計金額は予備費、一般管理費等を含む9,116百万円（外貨6,377百万円、内貨2,739百万円）

3.2.2.2 事業期間

事業期間は、計画60カ月に対して実績は90カ月であり、計画を上回った（計画比150%）。

表5 事業期間の計画と実績

	計画（審査時）	実績
借款契約調印	2006年6月	2006年6月
事業全体	2006年4月～2011年3月 （事業期間60カ月）	2006年4月～2013年9月 （事業期間90カ月）
校舎建設	2006年4月～2009年6月	2006年4月～2008年12月
教育設備	2006年7月～2008年6月	2007年8月～2013年9月
研修	2006年10月～2011年3月	2007年10月～2013年8月

出所：JICA提供資料、実施機関質問票回答

注：借款契約調印前に中国側資金により一部事業が開始しているため、事業開始が調印前となっている。

事業期間の超過の最大の原因は教育設備の調達の遅れである。27パッケージ中、上述のとおり、パッケージ1及び24は再入札になった結果、契約が2011年になったため、設備の検査終了が2013年にずれ込むことになった。しかし、27パッケージのうち、23パッケージ（契約金額の94%）は2007年末までに契約が終了しており、設備の大半は当初計画期間内（2009年6月まで）に検査が終了している。

本事業の実施においては、過去の中国における人材育成事業の提言・反省を踏まえて、円滑な教育設備の調達を実現するために、「各大学が共通して調達する度合いの大きい設備（コンピュータ等）」についてはスケールメリットによる価格抑制効果を期待して全大学共通パッケージ（計9パッケージ）、その他は大学別パッケージ（計18パッケージ）が採用された。本事業においては、事業（教育設備導入）期間実績は計画を超過したものの、他省でみられたような「多くのパッケージにおいて契約締結が大幅に遅延した」「当初計画期間終了時に依然として多くの設備が導入されていない」という状況はみられず、大半の教育設備がほぼ計画どおり

導入された結果、設備を活用した教育・研究活動もおおむね計画どおりに実施されている。したがって、この対応（柔軟なパッケージの設定）は、省教育庁の適切な事業マネジメントもあり、計画期間に沿った形で教育設備調達を実現することに大きく貢献したと考えられる。

3.2.3 内部収益率（参考数値）

本事業の性格等にかんがみ、内部収益率は算定しない。

以上より、本事業は事業費については計画どおりであったものの、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である。

3.3 有効性（レーティング：③）

有効性については、審査時に定められた運用効果指標を含む定量的効果と、教育・研究の質の改善に関する定性的効果の両面から分析を行った。

3.3.1 定量的効果（運用・効果指標）

(1) 教育・研究の量的改善

審査時に「教育・研究の量的改善」を示す指標として設定された、対象大学における「在学生数」「建物面積」「教育設備総額」の各指標の状況は下表に示すとおりであり、大幅な改善がみられた。本事業で整備した施設・設備は現在までおおむね活用されており、このような量的拡大の一部として役割を果たしているといえる。

まず、対象大学の「在校生数」は、各対象校において大幅に増加した。事業完成1年後（2014年）の実績は全校合計で34.8万人（目標値比94%）であり、目標値（37.1万人）を2.3万人下回っているものの、2004年と比較して9.4万人（37%）の大幅な増加となっている。ほとんどすべての大学において大きな増加がみられる。

表6 在学生数（研究生、本科生、専科生の合計）及び建物面積（教室、実験室、図書館、体育館、講堂）（対象校の合計）

	基準値	目標値	実績値		
	2004	2012	2012	2014	2016
	基準年	事業完成1年後	当初完成目標年	事業完成1年後	事業完成3年後 事後評価時
在学生数（万人）	25.4	37.1	35.9	34.8	35.8
建物面積（万㎡）	255.7	440.9 (4.0)	501.4 (2.5)	526.5 (2.5)	620.3 (2.5)

出所：JICA 提供資料、実施機関質問票回答

注：1) 研究生は大学院生、本科生は学部生、専科生は短大生に相当する。2) カッコ内の実績数字は本事業分。

⁹ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

次に、対象大学の建物面積も在学生数同様、各校ともに大幅に増加した。審査時の当初完成目標年（2012年）における実績値（全校合計）は501.4万㎡であり、この時点ですでに目標値（440.9万㎡）を達成している（目標比114%）。2004年からの約8年間でほぼ倍増した（245.7万㎡増加）。建物面積もその後の増加傾向が顕著であり、事業完成1年後（2014年）の実績は526.5万㎡、事業完成3年後（2016年）の実績は620.3万㎡に達した。対象大学の教育設備総額も大幅に増加した。教育設備総額については審査時点で目標値は設定されていないが、審査時の当初完成目標年（2012年）における全校合計の実績は37.3億元であり2004年からの約8年間で2.7倍に増加しており、上述した建物面積の増加率を上回る水準となっている。在学生数・建物面積と比較してもその伸び率は高い。各大学への質問票及び聞き取り調査によれば、本事業で整備された建物・設備の利用率は高い水準にあり、有効に活用されている。

表7 教育設備総額（対象校の合計）

単位：億人民元

	基準値	目標値	実績値				
	2004	2012	2012		2014		2016
	基準年	事業完成1年後	当初完成目標年		事業完成1年後		事業完成3年後事後評価時
	大学全体	本事業整備分	大学全体	本事業整備分	大学全体	本事業整備分	大学全体
教育設備総額	13.9	5.0	37.3	4.8	49.5	5.0	62.0

出所：JICA 提供資料、実施機関質問票回答

(2) 教育・研究の質的改善

審査時に「教育・研究の質的改善」を示す指標として設定された「学生一人当たり校舎面積」及び「学生一人当たり教育設備額」の各指標の状況は下表に示すとおりである。上述のとおり、在 student 数の増加に比べて校舎面積及び教育設備額の増加規模が大きかったことから、大幅な改善がみられた。学生一人当たりの面積・教育設備総額（全校単純平均）ともに審査時の当初完成目標年（2012年）においてすでに目標値を大幅に上回る水準にある（一人当たり面積：目標値10.2㎡、実績値17.4㎡（2012年）、一人当たり教育設備総額：目標値5,847元、実績値10,580元（2012年））。事業完成1年後（2014年）には、さらなる改善がみられた。

表8 学生一人当たり校舎面積・教育設備額

	基準値	目標値	実績値		
	2004	2012	2012	2014	2016
	基準年	事業完成1年後	当初完成目標年	事業完成1年後	事業完成3年後 事後評価時
学生一人当たり校舎面積 (㎡)	10.2	10.6	17.4	21.4	19.7
学生一人当たり教育設備 額 (円)	5,492	7,241	10,580	14,983	18,458

出所：JICA 提供資料、実施機関質問票回答

注：1) 各対象大学数値の単純平均値。2) 国家基準（普通大学学部）は、以下のとおり学部により基準が異なる。
一人当たり校舎面積：医学系 9 ㎡から社会科学系 22 ㎡。一人当たり教育設備額：社会科学系 3,000 元から工学、農学、医学等の理科系等は 5,000 元。

教育・研究活動に関する指標のうち、「高等教育の量的・質的拡充の効果を示す代表的指標（アウトカム指標）」を整理したものが下表である。いずれの指標についても改善がみられるが、特に顕著なものとしては、博士課程数、重点実験室数（国家級・省部級¹⁰）、研究プロジェクト数（国家級）、重点学科数（国家級）が挙げられる。審査時に目標値が設定されている指標に関しては、審査時の当初完成目標年（2012年）時点で4指標中2指標（重点学科数（省部級）、修士課程数）がすでに達成されており、博士課程数も事業完成1年後の2014年には達成された。大学の幹部・本事業担当者への聞き取り調査結果によれば、多くの大学において、本事業、特に教育設備の整備が重点学科、重点実験室等の認定に大きく貢献した。また、事業開始後、大学へ昇格した学校が1校、大学院修士課程を開始した大学が1校、大学院博士課程を開始した大学が2校ある。

表9 主な教育・研究指標（アウトカム）の推移（対象校の合計）

	基準値	目標値	実績値		
	2004	2012	2012	2014	2016
	基準年	事業完成1年後	当初完成目標年	事業完成1年後	事業完成3年後 事後評価時
重点学科数（国家級）	4	24	12	13	13
重点学科数（省部級）	77	138	147	177	184
重点実験室数（国家級）	0	-	4	10	10
重点実験室数（省部級）	18	-	114	139	164
学部学科数	480	-	702	733	756
修士課程数	354	750	891	937	1,000
博士課程数	64	220	199	221	222
研究プロジェクト数（国家級）	130	-	444	481	642
研究プロジェクト数（省部級）	682	-	1,820	1,477	1,806

出所：JICA 提供資料、実施機関質問票回答

注：審査時点で目標値が設定されていない指標についても、評価指標に加えた。

¹⁰ 「省」や教育部のような「部」が指定するものは省部級、国家が指定するものは国家級。

3.3.2 定性的効果（その他の効果）

(1) ハードコンポーネントの効果

ハードコンポーネントの効果としては、①双一流（世界一流大学・学科）リストアップへの貢献、②教育部の大学評価向上への貢献、③教育・研究条件・環境の改善、④優秀な人材のリクルート、⑤事業範囲・社会サービスの改善の5つが確認された。その詳細は下表に示すとおりである。

表10 ハードコンポーネントの効果

内容	効果の詳細
双一流（世界一流大学・学科）リストアップへの貢献	<p>・中国では世界一流レベルの大学・学科の建設を目指す「双一流」政策が導入されているが、河北省における「双一流」建設重点大学12校中10大学（第1レベル大学4校中4校、第2レベル大学8校中6校）が本事業対象大学であり、世界一流学科にリストアップされた17学科のうち、7学科（河北大学：化学、河北師範大学：生物学、河北工業大学：材料化学・工程、燕山大学：機械工程、材料化学・工程、華北理工大學：冶金工程、河北農業大学：作物学）は本事業の重点支援対象学科となっている。「双一流」の対象にリストアップされるには、ハード・ソフト両面で高い評価を得ることが必要であり、本事業のハード面を中心とした整備が大きく貢献した。</p>
教育部の大学評価向上への貢献	<p>・中国の大学に対しては教育部による定期的な評価が実施されているが、その際、施設及び教育設備の整備状況は重要な指標の一つとなっており、教育部評価で合格もしくは優秀な評価を得るために、本事業のハード面の整備が貢献した事例は多い。（河北科技師範学院（教育評価合格2006年）、華北理工大學（同2006年）、河北大学（同2007年）、承德医学院（同2007年））。</p>
教育・研究条件・環境の改善	<p>・本事業を通じて、基礎研究に必要な基幹設備・高額設備が整備され、大学の教育研究のプラットフォームが構築、確立された（河北医科大学、河北経貿大学、河北農業大学、華北理工大學、承德医学院、河北師範大学）。設備導入当時、学部及び検査分析センター（学内の重要設備を集中的に設置、管理する組織）レベルでは本事業による設備金額が全設備金額の50%を超えるシェアを占めるケースもみられた。</p> <p>・本事業前にはなかった最新設備を活用した新しい研究・実験（遺伝子組換え等）が可能となった。また、本事業により基礎設備・中核設備を整備したことで、自己資金による応用設備整備とあわせて多様な研究が可能になった。</p> <p>・本事業により、①より統合的・実践的な授業の実施、②学生一人当たりの設備数、研修・実践機会の増加が可能となった結果、学生の理解、教育効果が向上した。</p>
優秀な人材のリクルート	<p>・リクルート予定教授（日本留学研究者）の専門分野の研究に不可欠な設備を導入することにより、リクルートに成功した。その結果、大学として人材・設備両面において研究水準が向上した。</p>
事業範囲・社会サービスの改善	<p>・本事業導入設備を活用することで、新しい学科・研究室の設立が実現した（河北経貿大学、河北工程大学、燕山大学等）。</p> <p>・女子職業訓練のモデル校になったことで農村・社会人女性向けカリキュラム展開等を開始した。また、農村部の女性教育を行うために出前講座を行っている（河北女子職業技術学院）。</p>

出所：実施機関質問票回答

(2) ソフトコンポーネントの効果

日本の大学での研修等を行うソフトコンポーネントについては、大学の幹部・本事業担当者に対する聞き取り調査及び研修参加者に対する受益者調査の結果によれば、本事業実施当時、一部の大学を除いて海外で専門知識に関する長期研修を行う機会は貴重であったことから、先進的な研究・教育内容を習得する有益な機会だったと高い評価をしている参加者が多い。

ソフトコンポーネントの効果としては、①大学を担う中核人材の育成、②研究水準の向上及び過去未実施だった高度・新分野研究の展開、③学科・研究室等の強化、④社会問題解決への取り組み、⑤大学管理の改善の5つが確認された。その詳細は下表に示すとおりである。

表 11 ソフトコンポーネントの効果

内容	効果の詳細
大学を担う中核人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> ・研修参加者の多くは、いずれの大学においても大学を担う中核人材として位置づけられている。 ・多くの参加者が帰国後昇進し、現在は大学・学部で重点実験室の責任教授などの重要な職務を担っている。また、研修受講者の大半が帰国後研修成果を活かして様々な内容の論文執筆を行っている。
研究水準の向上及び過去未実施だった高度・新分野研究の展開	<ul style="list-style-type: none"> ・日本で最先端の研究分野や研究設備に接したことで、研究水準が向上した（ハイレベルの論文執筆の増加等）、新しい分野・内容の研究を開始したと評価されている事例が数多くみられる。その結果、国家研究プロジェクトの採択や国際研究機関のプロジェクトへの参加に至る等の成果がみられた。 ・長期専門研修参加者に対する受益者調査結果¹¹によれば、研修の成果として、「研究水準の向上」（74%）、「教育内容の改善」（56%）、「新研究方法の導入」（40%）、「新課題の研究の開始」（28%）が上位に挙げられている。
学科・研究室等の強化	<ul style="list-style-type: none"> ・新規学科・研究室の設置、重点学科の強化等、新しい取り組みを効果的に進める観点から研修の成果を活用しているケースは多い。日本で収集した各種資料が役立った事例も複数みられた。本事業によりソフトとハードの両面の整備を行うことで、より効果的な強化が図られている。
社会問題解決への取り組み	<ul style="list-style-type: none"> ・日本で学習した①交通シミュレーションモデル、②ビッグデータ分析等の知識・ノウハウを活用し、地方政府と協力して地域の社会課題（①交通渋滞の解消、②麻薬・覚せい剤問題解決等）に取り組んでいる事例がみられた。
大学管理の改善	<ul style="list-style-type: none"> ・大学の幹部、本事業担当者及び管理研修受講者への聞き取り調査では、大学管理に関する短期研修コースは、大学が直面する「近代化推進・管理水準向上のニーズ」に沿うものであったと評価する声が聞かれた。大学による差も大きいですが、活用例も多い。

出所：実施機関質問票回答

3.4 インパクト

3.4.1 インパクトの発現状況

(1) 対象大学における教育・研究成果の向上

教育・研究活動に関する指標のうち、「教育・研究成果の向上の結果として実現できると考え

¹¹ 本評価で実施した受益者調査の概要は以下のとおり。（対象）日本研修への参加者、（手法）質問票を作成し各省教育庁を経由し、各大学に研修参加者への回答を依頼（リストを活用したランダム選出は調整が困難だったため対象者の選択は各省・大学に依頼）、（回答依頼数）100、（有効回答数）100、（内容・分野別：専門分野 57、管理コース 43、性別：女性 23、男性 77）。

られる指標（インパクト指標）」を整理したものが下表である。

いずれの指標についても改善がみられるが、論文数、発明特許取得数は事業完成1年後（2014年）の実績値が2004年基準値の2倍もしくはそれを超える水準に達しており、高い伸びを実現した。卒業率、就職率及び大学院進学率についてもほとんどの大学で改善がみられる。

このように、インパクト指標の大半において改善がみられることは、対象大学において教育研究の量的・質的改善がなされた結果、教育・研究成果の向上が図られていることを示すものと考えられる。

表 12 主な教育・研究指標（インパクト）の推移（対象校の合計）

	基準値	目標値	実績値		
	2004	2012	2012	2014	2016
	基準年	事業完成 1年後	当初完成 目標年	事業完成 1年後	事業完成 3年後 事後評価時
研究等受賞数（国家級）	3	-	2	3	0
研究等受賞数（省部級）	142	-	288	280	268
発明特許取得数	61	-	347	734	757
論文数（SSCI）	0	-	30	39	32
論文数（SCI・EI・ISTP）	1,206	-	4,812	5,175	3,944
卒業率	98.8%	98.9%	98.6%	98.7%	98.1%
卒業生就業率	85.4%	-	91.0%	90.5%	91.0%
大学院進学率	18.2%	-	19.9%	20.2%	19.8%

出所：JICA 提供資料、実施機関質問票回答

注：1）審査時点で目標値が設定されていない指標についても、評価指標に加えた。2）SSCI は Social Science Citation Index、SCI は Science Citation Index、EI は Engineering Index、ISTP は Index to Scientific & Technical Proceedings を示す。

BOX: 本事業の重点支援対象学科における成果(本事業の貢献)

過去に他省において実施された中国人材育成事業では、円借款による教育設備の導入や校舎建設が進められた後に、中国国内資金による整備が行われたケースが多かったことから、円借款事業の貢献は比較的明確に判断可能な傾向にあった。しかし、河北省では、本事業による整備と国内資金による整備が同時並行で実施されたことから、本事業単独の貢献が必ずしも明確とはいえない。そこで、本評価では、教育・研究指標に関して、本事業で支援重点対象となった学科での達成度と、対象大学全体での達成度を比較することにより、本事業単独の貢献度合いを考察することを試みた。なお、本事業による教育設備の約42%が重点支援学科に導入されている。

2004年と2014年、2016年を比較した改善状況をアウトカムの各指標についてみると、設備総額、特に一人当たり設備額については、本事業を活用して積極的な整備が図られたことを反映して、重点支援対象学科では対象校全体として高い伸びが確認された。しかし、その他の指標については、大きな違いがみられないか、もしくは重点学科のほうが低い伸びとなったものもみられた。インパクトの各指標に関しても同様の傾向にあり、成果にばらつきがみられる。こうした結果となった要因としては、①2004年当時すでに重点対象学科は他の学科と比較して相対的に各指標が高い水準にあったこと、②本事業では多くの大学において幅広い学科・分野で活用可能な汎用性の高い基礎的な設備が導入されており、重点対象学科以外にも幅広い裨益があったこと、③本事業において支援重点学科の改善が進んだことを踏まえて、国内資金により他の学科の改善が図られたこと(全体としてのバランスがとられた)、④上述のとおり専門的内容の長期研修の実績が少なく成果に繋がりにくかったこと等が挙げられる。

したがって、教育・研究指標の指標からは、本事業は中国国内資金による整備とあわせて実施され、対象大学における教育設備等の全体的な増加に資することにより、大学全体の改善に寄与したものの(各種指標の改善は本事業と国内資金整備をあわせた結果である)と判断することが妥当である。

(2) 省レベルの教育・研究の拡充

省レベルの高等教育指標は下表に示すとおりである。在 student 数、卒業率等の一部の指標を除いて審査時に想定された省レベルの定量指標はおおむね目標値を上回った。本事業対象校は規模等の面で省の普通高等教育機関の上位を占める学校であり、これらの省レベルの高等教育指標の改善に大きな役割を担っている。

表 13 河北省における高等教育指標

	基準値	目標値	実績値	実績値		
	2004	2012	2012	2014	2015	2016
	基準年	事業完成 1年後	当初完成 目標年	事業完成 1年後	事業完成 2年後	事業完成 3年後 事後評価 時
普通高等教育機関数 (校)	87	95	113	118	118	120
普通高等教育機関学生数 (人)	940,000	1,500,000	1,164,300	1,164,300	1,179,200	1,216,100
高等教育就学率	18.9%	25%	23%	31%	43%	n.a.
学生一人当たり校舎面積 (m ²)	10.1	17.0	27.5	28.6	29.1	26.5
学生一人当たり教育設備額 (元)	3,984	5,847	7,924	9,425	10,328	10,094
教師一人当たり学生数 (人)	18.5	16.0	17.9	16.9	16.9	17.3
卒業率	99%	99%	99%	94%	95%	96%
卒業生就職率	78%	92%	85%	95%	95%	96%
大学院進学率	11%	22%	9%	9%	9%	9%

出所：JICA 提供資料、実施機関質問票回答

(3) 地域活性化、市場ルール強化、環境保全への貢献

審査時に想定された、①地域活性化、②市場ルール強化、③環境保全という三つの開発課題に対するインパクトについては、全体状況を示す定量データを収集することが困難であり、また大規模校ほど本事業以外にも数多くの事業を実施しているため本事業のインパクトは見えにくい状況であった。しかし、以下に示す貢献事例が確認されている。

地域活性化

理工系、教育系、医学系、社会科学系の主要大学が対象大学に含まれており、地域活性化に不可欠な分野・対象の人材を育成、輩出している。対象大学では河北省の重点産業（鉄鋼業や鋁業等）の振興に資する研究や支援設備も活用されながら進められているほか、重点産業も卒業生の主要な就職先となっており、卒業生数の増加に伴い、その数も増加している。重点産業の育成や貧困地域の振興は省政府の重点政策課題であることを受けて、各大学は省政府を中心とする政府機関からの委託事業を数多く実施しており、地域活性化に貢献している。また、大学が地域内企業や機関と連携して展開を行うケースも多くみられる。

表 14 地域活性化に関する成果事例

大学名	成果事例
華北理工大学	<ul style="list-style-type: none"> ・企業支援チームを設置し、地元企業からの受託研究や共同研究を実施し、生産改善を支援。 ・日本語学科卒業生が地元の日系企業に就職し地域経済（外資誘致、日系企業の活動拡大）に貢献。
河北科技師範学院	<ul style="list-style-type: none"> ・社会貢献チームを設置し、河北省東部の貧困農村を対象として農業振興支援を展開。土壌分析等においては、本事業導入設備を活用。

出所：実施機関質問票回答

市場ルール強化

中国では、いずれの大学も総合大学化が進展しており、学生数も増加している。その結果対象大学における関連分野（法学部、会計・経営学部等）の卒業生は全体として増加傾向にある。また、対象大学では、市場ルール強化の観点から即戦力として対象業務を実施できる人材の育成を重視し積極的に推進していることが特徴である。即戦力人材育成では、本事業により整備された教育設備も数多く活用例がみられた。

表 15 市場ルール強化に関する成果事例

大学名	成果事例
対象全大学	<ul style="list-style-type: none"> ・企業即戦力の育成（①企業が実際に使う業務管理シミュレーション設備・ソフトを導入し学生の指導を実施、②理科系の学生に対しても経済・経営系の授業を積極的に実施）を積極的に展開。

出所：実施機関質問票回答

環境保全への貢献

環境分野は中国におけるニーズの高まりを受けて多くの大学において重点分野となっており、環境関連学科の強化が図られている。本事業開始後に環境学科が新設されたり、重点学科に指定されたりするケースもみられ、環境分野の卒業生は増加している。本事業の教育設備の整備、訪日研修においても重点分野の一つとなっている。大学が研究プロジェクト助成（国家自然科学基金等）や行政からの委託事業を受託するケースも多く、その際に本事業で整備された設備が活用されたり、訪日研修者が参加したりするケースもみられた。

表 16 環境保全への貢献に関する成果事例

大学名	成果事例
燕山大学	<ul style="list-style-type: none"> ・富山大学から教授を招へいし、廃棄物処理、汚水処理に関する交流（大学における特別講義や中国の現場視察を踏まえた意見交換等）を実施。

出所：実施機関質問票回答

(4) 日中大学間の連携・相互理解促進

対象大学における研修終了後の日本の研修受入校との交流実績（1大学の平均数）は下表に示すとおりである。短期で教授が相互訪問を行ったり、留学生の相互派遣を実施したりするケースが一定数みられる。一方、共同研究やセミナー等の共同イベント開催実績は少ない結果となった。

表 17 研修終了後の研修受入校との交流実績（研修実施後現在までの累計：1 大学平均）

	大学間交 流協定数	短期訪日	短期訪中	留学生受 入	留学生派 遣	共同研究	共同イベ ント
対象校平均	0.8 校	6.2 回	6.8 回	2.8 人	7.8 人	0.3 件	0.4 回

出所：実施機関質問票回答

上述のとおり長期専門研修の実績が計画を大きく下回ったことから、現在日本の大学との交流がほとんどない大学も多く、一部の大学を除いて十分な成果が得られていない。成果がみられた大学は過去に一定の交流実績を有しており、本事業を通じてその強化を実現したものである。なお、具体的な成果としては、下表に示したような事例がみられた。

表 18 日中大学間の連携・相互理解促進に関する成果事例

大学名	成果事例
河北医科大学	・事業終了後、導入設備を活用し日本の大学との新たな研究交流を強化、推進している。法医学関係では、日本の大学との共同研究促進に資する設備を本事業で導入し、2008 年から 2016 年実績で 19 の共同研究プロジェクトが実施された。 ・学会で知り合った東京大学教授のもとで研修を行い、帰国後共同研究を実施し論文を 3 つ発表した。本事業を通じて、動物遺伝子組み換え等、最先端の共同研究を展開することが可能となった。その後、同じ実験室から 3 人が東京大学に派遣されており、組織・個人レベルでの交流が続いている。
河北大学	・事業実施前から関係があった鳥取大学との関係は強化された。本事業を契機に両校間で学術交流協定が締結された。
燕山大学	・広島大学とは本事業前から姉妹校ではあったが、本事業をきっかけに 2012 年から博士共同育成事業を実施する等、関係を強化している。
河北農業大学	・本事業を契機に、大学として、多くの教師を海外研修に送りたいと考え、「青年教師海外研修計画」を策定した。大学内部資金を使用し毎年 500 万元の資金を捻出し欧米・日本へ派遣している。その結果、日本の大学との交流実績も増加した。事業はこうした留学を活用した人材育成重視への転換に寄与した。
河北北方学院	・九州外語学院との関係を強化すると同時に、日本への留学生派遣数拡大を実現した。

出所：実施機関質問票回答

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

自然環境に関する負の影響は確認されなかった。本事業の環境影響評価（EIA）は審査時までに実施され環境保護局の承認を受けており、中国国内での手続きは終了していた。事業実施中及び事業完成後も、各校とも、騒音・粉塵等について必要な環境モニタリングを計画どおり実施しており、各校関係者によればいずれも行政で定められた基準内となっていることから問題は発見されていない。

(2) 住民移転・用地取得

校舎建設はいずれも既存キャンパス内に実施されており、本事業による住民移転・用地取得は発生していない。

以上より、本事業の実施によりおおむね計画どおりの効果の発現がみられ、有効性・インパクトは高い。

3.5 持続性（レーティング：③）

3.5.1 運営・維持管理の体制

審査時の計画どおり、本事業で整備された施設・設備の運営・維持管理は各大学が行い、実施機関である省教育庁はこれを監督している。いずれの対象校も、本事業の施設・設備は大学の固定資産に組み込んでおり、大型設備維持管理資金管理手順、実験教育作業条例、固定資産管理手順等にて運営・維持管理制度を整備し、責任と手順を定義している。設備数が多い大学では、統一的な設備管理、設備の効果的効率的な活用を強化するために、本事業整備設備を含む重要設備は学内の「検査分析センター」に集中的に設置、運用される等、一括管理体制が採用されている。関係機関の役割は明確で、設備管理・活用に必要な要員数にも問題はみられない。

3.5.2 運営・維持管理の技術

各大学とも保守点検を定期的に行っており、必要に応じてサプライヤー等業者に修理を委託するなど、その維持・運用において技術面で特段の問題は生じていない。大型の実験装置や精密な測定・分析装置は専任の実験室技術者が操作・維持管理を一元的に行うことで、必要技術が確保されている。いずれの学校も、個別装置のマニュアルや注意事項を装置の近くに見えやすいように掲示している。また精密装置の運営・維持管理担当教員はメーカーから必要な技術研修を定期的に受けている。日本への研修を通じて高度設備の効果的な活用ノウハウを習得したことで、運用技術の向上が図られた事例もみられた。整備された設備の利用率は高く、その活用を通じて各種研究・教育が行われており活用面における技術力にも問題はみられない。

3.5.3 運営・維持管理の財務

対象校は、いずれも省政府に所属しており、予算は国または省からの補助金（財政支出）及び授業料等自己収入からなる。各校への聞き取り調査によれば、「第11次5カ年計画」（2006年～2010年）下で大学への財政支援が徐々に強化され、「第12次5カ年計画」（2011年～2015年）ではさらに充実が図られた。下表に示すように、2011年以降も省教育予算の拡大は継続されている。大学による違いはあるが、最低年間数百万円の財政支援が中央政府から行われており、規模の大きい大学では省政府からの支援も合わせて年間2,000万円～3,000万円の支援を得て、設備の整備・維持管理を行っている。財務データによれば、省教育予算、大学予算ともに安定して推移しているか増加傾向にあるとともに対象大学の財務は収支バランスも良好である。各大学では、設備維持管理費を十分に確保されている。本事業で調達した主要設備のうち、運転予算や修理予算の不足を理由として使用されていなかったものはみられなかった。

表19 中央政府及び河北省の教育財政支出状況

単位：百万元

		2011	2012	2013	2014	2015
中央政府	教育支出	99,905	110,146	110,665	125,362	135,817
	教育支出指数 (2011=100)	100	110	111	125	136
河北省	教育支出	84,453	104,391	102,974	108,749	128,788
	うち高等教育支出	17,361	24,985	22,670	23,382	25,170
	高等教育支出指数 (2011=100)	100	144	131	135	145

出所：河北省統計資料、実施機関からの質問票回答

3.5.4 運営・維持管理の状況

各校とも、本事業で整備した設備は学校の整備管理台帳に登録して管理している。また、高額設備については省科学技術庁の公共プラットフォームに登録され、あわせて管理されている。主要施設・設備の状態はおおむね良好であることを目視及び機材ごとの使用記録・点検記録で確認した。コンピュータ等の耐用年数が短い設備の一部は老朽化が問題になりつつあるが、現在も継続して使用されている。重要な設備については、すべての大学で、設備を使用する度に、使用者が設備の状態を使用記録とともに記録することとなっている。消耗品の購入やストックは、生産されているものであれば十分確保されており問題はない（生産されていないものは限定的であり、代替品で十分対応できている）との各校の回答であった。

以上より、本事業の運営・維持管理は体制、技術、財務、状況ともに問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は河北省における計14大学を対象として、施設・設備の整備と教員の研修により教育・研究の改善を図ることを目的とし実施されたものである。中国中央政府及び河北省の高等教育人材政策に沿い、大学の量的・質的拡充という開発ニーズ、また日本の援助政策とも合致しており、妥当性は高い。本事業の効果は、長期専門研修の実績が未達だったことにより、効果の度合いが抑制された面はあるが、ハード・ソフト両面において整備ニーズを充足し、各種教育指標も大きく改善する等、対象大学における高等教育の量的・質的拡充が実現した。また、先進的設備や研修の成果を生かした教育・研究活動の成果の向上と、これらを通じた地域活性化・環境保全等のための各種取り組みが進むなど、有効性・インパクトは高い。効率性については、事業費は計画どおりであったものの、事業期間は、調達の遅れにより計画を上回ったため、全体としては中程度であった。持続性は、体制面、技術面、財務面ともに問題なく、設備・施設の良好な運営・維持管理が確認されたため高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いと判断する。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

なし

4.2.2 JICA への提言

なし

4.3 教訓

(1) 研修コンポーネントの計画時における正確で十分な情報収集の重要性

本事業では、他省における過去の人材育成事業において「研修受入先（日本の大学）とのマッチングが円滑に実施されなかった」という教訓を踏まえて、対象大学から日本との交流実績について情報を事前に収集し、具体的な受入候補先（交流実績や交流協定がある大学）及び派遣予定者（交流実績を有している教員）の絞り込みを事前に行う対応が取られた。しかし、大学関係者への聞き取り調査によれば、審査時に確認された受入候補大学と交流実績ありとされていた場合でもほとんどの対象大学では実際には関係を有していなかった。また、交流実績を有している教授が事業開始時に他大学へ異動し実際には研修に参加していない事例もみられた。したがって、事前の対応はマッチングの円滑な実施にほとんど寄与していない。

類似の教育案件において、相手国機関の主導により研修受入先を探す日本での研修を事業コンポーネントに含める際には、受入候補先と派遣元大学（機関）との関係に関する正確な情報収集を案件計画段階において徹底する必要がある。特に、情報収集を相手国機関に依存する場合、必ずしも正確な情報が収集されていないケースも考えられることから証明書類の確認を行うなどの十分な留意・確認が求められる。正確な情報を得られない場合、その後の対応が遅れたり間違った対応が行われたりすることで、事業の成果に大きな影響を与える可能性がある。また、情報収集の結果を踏まえて、問題解決に必要な対応策を早期に計画・立案し実施すると同時に、対応策の効果についてモニタリングを行う必要がある。

(2) 資金協力における研修コンポーネントの計画的な実施に向けた対策の必要性

大規模な研修コンポーネントを含む資金協力を行う場合（特に実施対象が多機関にわたる場合）、JICA 及び実施機関が案件計画・実施段階において、実施スケジュールを含む計画を作成しその計画に基づき着実な実施を図る等、計画的な実施に向けた十分な対策をとることが、外部要因の影響を最小限化し計画された成果を発現するうえで重要である。

本事業では、14 大学計 206 名が（長期間の専門研修を中心に）日本の大学での研修を受講する計画となっていた。本事業における研修の位置づけは案件計画段階では極めて高いものがあったと考えられるが、実施スケジュール等の計画は策定されておらず、実施機関が設備導入を重視した結果、研修コンポーネントへの取り組みが遅れ、その後中国政府による「外国への出張ルールの厳格化」政策（2009 年開始）により認可が下りないケースが多くみられたことから、長期間の専門研修の実績は 49 名にとどまった（政策が開始される 2009 年までの実績は 23 名）。その結果、研修終了後の日中大

学間の交流も低いレベルにとどまっている。研修コンポーネントの実施が遅延することは、本事業に直接関係しない各種政策等の外部要因の影響を受ける可能性を高めることになる。したがって、研修コンポーネント部分についても、実施スケジュールを中心として実施計画を相手国実施機関との協議を踏まえて策定し、遅延が生じないように実施状況を管理し着実な実現を図る必要性があったと考えられる（計画策定は、相手国実施機関に①研修コンポーネントの重要性・進め方を再確認・共有してもらい、②ハードとの相乗効果の高いソフトを推進してもらい等の効果も期待できる）。また、研修コンポーネントを計画どおり実施するうえで発生しうるリスクを抽出し事前にその回避策を検討、決定しておくことも検討に値したと思われる。

特に、実施対象が多機関にわたる場合は特に十分な対策をとることが必要である。本事業では研修受入先を各大学・研修実施者が中心となって探すことになっていたことが実施スケジュールを事前に決定できなかった要因とも考えられるが、ある程度の実施スケジュールが合意されていることだけでも、円滑な実施に資するものと思われる。

以上

主要計画/実績比較

項 目	計 画	実 績
① アウトプット (a)ハード面改善 i)校舎等建設 ii)教育設備整備 (b)ソフト面改善 日本における研修	対象：河北省14大学 河北工業大学：実験棟 25,000㎡ 河北女子職業技術学院： 外国語学院棟15,000㎡ 384件 1) 基礎科目設備、2) 実験・ 研究設備、3) 教育インフラ 整備(通信ネットワーク等) 206人 生物学、医学、化学・物 理学等	対象：計画どおり 河北工業大学：工程訓練セ ンター4,441㎡、土木実験室 5,556㎡ 河北女子職業技術学院：計画 どおり 387件 内容は計画どおり 181人 大学管理、環境、機械等
② 期間	2006年4月～2011年3月 (60カ月)	2006年4月～2013年9月 (90カ月)
③ 事業費 外貨 内貨 合計 うち円借款分 換算レート	5,775百万円 3,341百万円 (243.9百万円) 9,116百万円 5,775百万円 1元 = 13.7円 (2005年9月時点)	5,557百万円 2,589百万円 (183.6百万円) 8,146百万円 5,557百万円 1元 = 14.1円 (2006年～2013年平均)
④ 貸付完了	2013年10月	

以上

0. 要旨

本事業は、雲南省昆明市の市街地中心部において、下水処理施設の整備を行うことにより、同地域の下水処理能力の向上を図り、滇池（でんち）の水質汚濁低減を通じた同地域の生活環境改善に寄与することを目的としている。

本事業は中国の国家・省・市レベルの開発政策、開発ニーズ、審査時の日本の対中国援助政策と合致しており、妥当性は高い。下水処理率や処理水の水質といった主要な効果を示す指標は目標を達成しており、期待された効果は発現している。2016年には、30年来、水質基準で最も低い劣V級¹にとどまっていた滇池の水質はV級に改善されたが、下水処理能力の強化で放流水の水質改善がなされたことが大きい。昆明市街地から滇池に排出される主要な汚濁負荷は、本事業の下水処理場の処理によって大きく削減されており、本事業による汚濁負荷の削減への寄与は非常に大きく、有効性・インパクトの達成度合いは高い。下水処理場の改修・拡張・新設、ポンプ場や管網の整備はほぼ計画どおりに行われ、事業費も計画内に収まったが、事業期間に大幅な遅延が生じており効率性は中程度となった。本事業によって発現した効果の持続性については、運営・維持管理主体の体制、技術、財務、状況について問題はなく、持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

1. 事業の概要



事業位置図



自然保護区に指定された滇池

¹ 河川や湖などの水質は、「地表水環境質量基準（GB3838-2002）」により I～V 類に分類されている。I 類：主に源流の水、国家自然保護区に適用、II 類：主に一級保護区の集中型生活飲用水の水源、貴重な魚類保護区、魚類エビの産卵場所に適用、III 類：主に二級保護区の集中型生活飲用水の水源、一般の魚類保護区及び水泳区に適用、IV 類：主に一般の工業用水区及び人に直接接触しない娯楽用水区に適用、V 類：主に農業用水及び一般の景観に必要な水域に適用。V 類以下は劣 V 類に分類される。

1.1 事業の背景

雲南省の省都昆明市は、経済・交通・貿易の中心となっている中国西部の発展拠点の一つである。昆明市の経済発展に伴い、1980年代から、長江流域の淡水湖である滇池に流入する未処理の下水量は急増し、1990年代には農業用水としても利用できない水質にまで悪化した。市内の河川は全て滇池に向かって流れる地形であることから、未処理の下水による水質への影響は深刻であった。そのため、「国家環境保護第10次5カ年計画」（2001年～2005年）では、同湖の水質改善を国家重点事業と位置づけ、昆明市人民政府は市街地中心部の下水処理場建設や下水管網の整備を実施していたが、2004年の下水排出量68.8万 $\text{m}^3/\text{日}$ に対して下水処理能力は46.4万 $\text{m}^3/\text{日}$ （下水処理率67%）にとどまり、未処理の下水が滇池に流入する状況は続いていた。また、将来的には、2015年には人口増加等により、下水排出量は90万 $\text{m}^3/\text{日}$ に増加することが見込まれており、同市の下水処理能力の向上と同池への水質汚濁物質の流入に歯止めをかけることが喫緊の課題であった。



出所：実施機関提供資料より作成

図 1 滇池と昆明市内の下水処理場

1.2 事業概要

雲南省昆明市の市街地中心部において、下水道施設の整備を行うことにより、同地域の下水処理能力の向上を図り、もって滇池の水質汚濁低減を通じた同地域の生活環境改善に寄与する。

円借款承諾額/実行額	I : 12,700 百万円/12,647 百万円 II : 10,400 百万円/6,647 百万円
交換公文締結/借款契約調印	I : 2006 年 6 月 23 日/2006 年 6 月 23 日 II : 2007 年 3 月 30 日/2007 年 3 月 30 日
借款契約条件	金利 0.75% 返済 40 年 (うち据置 10 年) 調達条件 一般アンタイト
借入人/実施機関	中華人民共和国政府/昆明市人民政府
事業完成	2016 年 5 月
本体契約	I: Hunan Provincial Construction Engineering Corporation Group, Five Bureau of China Railway (Group) Company Limited II : China National Precision Machinery Import & Export Corp., Zhongtai Construction Group Share Co. Ltd. (いずれも中国)
コンサルタント契約	-
関連調査 (フィージビリティ・スタディ : F/S) 等	F/S : 中国市政工程中南設計研究院、国家電力公司昆明觀測設計研究院、昆明市規則設計研究院 (2005 年 6 月)
関連事業	【円借款】 大連都市上下水道整備事業 (2000 年)、宣昌市水環境整備事業 (2002 年)、南寧市水環境整備事業 (2002 年)、フフホト市水環境整備事業 (2003 年)、陝西省水環境整備事業 (2004 年)、長沙市導水及び水質環境事業 (2004 年)、貴陽市水環境整備事業 (2004 年) 【その他の国際機関】 雲南省環境事業 (世界銀行 1996 年)

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

早瀬 史麻 (アイ・シー・ネット株式会社)

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 : 2016 年 7 月 ~ 2017 年 10 月

現地調査 : 2016 年 11 月 9 日 ~ 11 月 17 日、2017 年 4 月 14 日 ~ 4 月 17 日

2.3 評価の制約

本事業で下水道施設を整備した効果は、滇池の水質汚濁低減とされているが、湖の水質は下水道施設整備以外の要因による影響も受けており水質汚濁低減に対して、本事業がどの程度貢献したのかを直接的に把握することは難しい。よって本事後評価では、滇池の水質変化をインパクトとして位置づけ、本事業の寄与は、汚濁低減につながった要因を確認するとともに、下水処理によって削減された汚濁負荷の量と滇池に

放出された汚濁負荷に対する割合によって分析する。

3. 評価結果（レーティング：A²）

3.1 妥当性（レーティング：③³）

3.1.1 開発政策との整合性

(1) 審査時の開発計画との整合性

審査時の国家開発計画である「中華人民共和国国民経済と社会の発展第 10 次 5 年計画」（2001 年～2005 年）では、経済と社会の協調的発展を目指しており、経済的な発展の一方で悪化していた環境の改善を重視していた。「第 10 次 5 年環境保護計画」（2001 年～2005 年）では、下水処理や地表水の水質改善について都市部の下水処理率 45%の達成（人口 50 万以上の都市は 60%、重点都市は 70%）の目標を掲げ、滇池を含む「三河三湖⁴」の水質汚染防止の取り組みを国家重点プロジェクトと位置づけた。また前期計画の目標が未達成であることから、「第 11 次 5 年環境保護計画」（2006 年～2010 年）では、環境汚染改善に向けて主要な汚染物の総排出量を 2005 年比で 10%削減する目標を加えていた。

雲南省及び昆明市人民政府の「昆明市経済社会発展第 10 次 5 年計画」（2001 年～2005 年）と「昆明市経済社会発展第 11 次 5 年計画」（2006 年～2010 年）では、滇池に対する最大の水質汚染源である市街地中心部の下水処理能力向上が計画され、将来、さらに人口増大が見込まれている同地域からの汚濁負荷の低減を図り、滇池の水質の悪化に一定の歯止めをかけ、もって昆明市住民の生活環境を改善することが計画されていた。

(2) 事後評価時の開発計画との整合性

「中華人民共和国国民経済と社会の発展第 12 次 5 年計画」（2011 年～2015 年）で掲げられた 5 つの重点分野のうち、「資源節約・環境友好型社会」において、都市公共施設の統一的な計画により、給排水、下水、ごみ処理施設といった社会インフラの水準向上を目指している。

「国家環境保護第 12 次 5 年計画」（2011 年～2015 年）では、経済社会と環境の調和のとれた発展に向けて、8 つの環境保護プロジェクトの優先実施を目指しており、そのうち 3 つのプロジェクトが水環境改善、下水処理インフラの建設強化にかかわるものであった。このうち、本事業に係る目標として、①2015 年までに化学的酸素要求量(COD)の排出量を 2010 年の排出量から 8%、アンモニア性窒素(NH₃-N)量を 10%削減すること、②下水管網の敷設強化と雨水・汚水の流れ化の改造推進、

² A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

³ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

⁴ 中国国内の 3 つの河（海河、遼河、淮河）及び 3 つの湖（太湖、巢湖、滇湖）を指しており、1996 年 8 月「環境保護に関する若干の問題についての国務院決定」により、国家環境保護重点地域に指定された。

都市下水処理率を 85%まで引き上げること、汚泥の無害化、再生水の利用、特に滇池、巢湖、太湖流域や沿岸域や他の主要都市の下水処理場は、窒素とリン除去のレベルを向上させること、③劣Ⅴ水質となっている滇池は生態保護区域に指定し、滇池の周辺地域の使用を制限し、水源涵養と水汚染対策を行い、流入する河川と滇池の水質を総合的に改善することが含まれている。これらを受けて雲南省政府は、滇池と周辺の総合的な水質改善の国家目標を実現させるため、「滇池流域水汚染対策計画（2011年～2015年）」を策定している。

このように、審査時から事後評価時まで継続して下水処理インフラの建設強化や滇池の水質改善は国家及び雲南省において開発計画の重要な焦点であり、本事業との整合性は高い。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

昆明市では、全ての河川が滇池に流れ込む地形となっており、都市の発展や人口増加に伴って発生する下水量は増加をたどり、滇池の水質は 1986 年から最悪レベルの劣Ⅴ級と汚染が深刻な状況にあった。F/S による予測では、2015 年には給水人口が 294 万人に増加、下水量が 90 万 m³/日に増えることが見込まれており、さらなる水質汚濁が懸念されていた。

事後評価時に得た実績データ（2015 年）では、下水量は 150.4 万 m³/日（予測比 167%）、給水人口は 394 万人（目標比 134%）と、審査時の予測の 294 万人より高い伸び率を示している。下水量は予測値を大きく上回るペースで増加しており、さらなる処理能力の強化が必要とされている。

滇池の水質改善に向けては、「滇池流域水汚染対策計画（2011 年～2015 年）」において市内で放出される COD 負荷を 6,000t、NH₃-N は 2,100t に抑える目標が掲げられており、下水処理促進による削減への貢献が求められていた。以上から、下水処理能力強化に関する開発ニーズは審査時から継続して事後評価時にも高いといえる。

表 1 昆明市の人口と下水量の予測と実績

	F/S 基準値	F/S による予測値		実績値
	2002 年	2015 年	2030 年	2015 年
総人口（万人）	274	320.7	360	402
給水人口（万人）	263.7	294	326	394
下水量（万 m ³ /日）	64	90	106	150.4

出所：予測値は F/S、実績値は実施機関提供資料

注 1：総人口には流動人口も含む。

注 2：下水量の予測は給水人口に基づいて算出されている。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

JICAの「海外経済協力業務実施方針（2005年度～2007年度）」及び対中国「2005年度国別業務実施方針」とも重点分野の中で、インフラ整備による環境への負の影響の回避・軽減のうち、水質汚濁対策として下水処理施設の整備の必要性を明示している。

前出の国別業務実施方針では、下水道施設整備への支援、政府の役割が求められる公的な事業を重点分野としており、下水道セクターについては、処理率の向上及び下水処理施設、水リサイクル設備の建設等を通じた総合的な水利用効率の改善等、中国政府が具体的に政策課題として挙げている事項の改善を支援する方針であった。

本事業は、環境保全を目指し、下水道施設の建設等を通じた総合的な水利用効率の改善等を重点としている日本の援助政策との整合性が確保されている。

以上より、本事業の実施は審査時及び事後評価時の中国政府、雲南省・昆明市の開発政策、開発ニーズ、審査時の日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

3.2 効率性（レーティング：②）

3.2.1 アウトプット

(1) アウトプットの計画と実績

事業内容の変更が一部にあったが、以下の表2のように、ほぼ計画どおり実施された。変更点は以下のとおり。

(a) 下水管網の整備：総延長距離は計画比102%とほぼ計画どおりであったが、国内資金により先行して建設された管網部分との調整により、本事業の雨水管渠の建設距離が減らされ、下水管渠の建設に振り分けられた。同様の理由で、ポンプ場建設数も変更となった。本事業の対象外となったポンプ場の建設は国内資金によって行われ、余剰分の資金は管網の建設に振替えられた。

(b) 下水処理場の改修、拡張及び新設：第4下水処理場は面積規模が小さい処理場であることから、省スペースで高度処理ができるオゾン消毒を採用することとなった。オゾン消毒施設は国内資金により導入され、本事業で計画されていたUV施設は臭気除去施設の建設に振替えられた。

(c) 研修：計画では8グループ90人が対象であったが、公務員の海外渡航許可を厳格化する中国の政策の変更、また、目的別に訪問グループを調整したことにより、実際の訪日研修は10グループ81人の規模で実施された。経営管理、実務管理者、技術者を含む実務者が担当分野の研修を受講し、研修はおおむね計画どおりに実施

された。

表 2 アウトプットの審査時の計画と実績の比較

計画		実績
(a) 下水管網整備		
下水管網：336 km 下水ポンプ場設置：9カ所		下水管網：342.7 km (+13.7 km) 下水ポンプ場設置：8カ所 (-1カ所)
(b) 下水処理場		
処理場名	改修、拡張及び新設内容	実施内容
第1下水処理場 A ₂ O法 ⁵ 12.0万m ³ /日	汚泥処理施設	計画どおり
第2下水処理場 A ₂ O法 10.0万m ³ /日	凝集沈殿、汚泥処理施設	計画どおり
第3下水処理場 ICEAS法 ⁶ 15.0万m ³ /日	処理能力6万m ³ /日の増強 凝集沈殿、汚泥処理施設	計画どおり
第4下水処理場 ICEAS法 6.0万m ³ /日	UV施設改修	臭気除去施設の建設
第5下水処理場 A ₂ O法 7.5万m ³ /日	処理能力9.5万m ³ /日増強 凝集沈殿、汚泥処理、UV施設	計画どおり
第6下水処理場 A ₂ O法 5.0万m ³ /日	処理能力8.0万m ³ /日の増強 凝集沈殿、汚泥処理施設	計画どおり
第7下水処理場 A ₂ O法	新規建設 20万m ³ /日	計画どおり
既設能力合計 55.5万m ³ /日 追加処理能力合計 43.5万m ³ /日		既存+追加処理能力合計 99.0万m ³ /日
(c) 訪日研修		
8グループ 計90人		10グループ 計81人

出所：実施機関提供資料

注：(カッコ)は実績の変更分



汚泥処理施設 (第1下水処理場)



臭気除去施設 (第4下水処理場)

⁵ Anaerobic Anoxic Oxidation: 嫌気・無酸素・好気法。一般的な「標準活性汚泥法」と比較して、湖沼や海の富栄養化の原因となる窒素とリンをより多く除去する下水処理方法。

⁶ Intermittent Cycle Extended Aeration: 連続流入式回分式活性汚泥法。微生物による浄化、汚泥沈殿、上澄み水の排水を1つの処理槽で行う下水処理方法。

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

審査時において、総事業費は 52,981 百万円（うち外貨 25,222 百万円、内貨 27,759 百万円）と計画されていた。実績は、総事業費 43,820 百万円（うち外貨 19,114 百万円、内貨 24,706 百万円）となり、総事業費は審査時の計画の 83%と計画内に収まった。費用が計画内に収まった理由は、資機材部分の経費が計画より少なかったこと、競争入札の結果、工事費が予算額より少ない費用となったこと、また、為替レートの変動⁷が影響したためであった。

3.2.2.2 事業期間

審査時に計画されていた事業期間は 2006 年 6 月～2012 年 12 月（79 カ月）で、実績は 2006 年 6 月～2016 年 5 月（120 カ月）と、計画を大幅に上回った（152%）。下水管網の敷設工事を昆明市内の道路建設工事と合わせて行う必要があったため、事業実施期間は大幅に延長された。国内事業と調整されて変更となった下水管網敷設区域の道路建設工期は、審査時の想定より遅く、それに合わせたために生じた遅延であった。ただし、下水処理場本体の改修・拡張及び新設工事は計画どおり行われ、下水を収集する管網も国内資金で整備された管網やポンプ場も使用できていたことから、本事業の有効性に悪影響は及んでいない。国外研修の期間も、公務員の国外渡航許可を厳格化する中国の政策の変更の影響を受けて大幅な延長となった。

3.2.3 内部収益率（参考数値）

実施機関から提供された費用及び便益の実績値を用いて財務的内部収益率（FIRR）を再計算したところ、審査時の 5.5%に対して、実績は 7.4%となった（表 3）。審査時の計画に比べ、事後評価時の下水処理量が多く、それに応じて支払われる下水処理料金収入⁸が計画を上回ったことと、また事業費が計画を下回ったためである。

表 3 審査時・事後評価時の FIRR の比較

審査時(2004年)	実績(2015年)
5.5%	7.4%
前提条件 費用：事業費、運営・維持管理費 便益：下水処理料金収入 プロジェクトライフ：30年	前提条件 費用：事業費、運営・維持管理費 便益：下水処理料金収入 プロジェクトライフ：30年

出所：審査時は JICA 提供資料。実績は実施機関提供資料のデータを元に評価者が再計算を行った。

⁷ 審査時（2004 年）には 1 元＝13.7 円で算出されていたが、支出が発生した 2006 年～2016 年の間には 1 元＝14.68 円～15.58 円の間で推移したため、円建てでみた総事業費は小さくなった。

⁸ 下水処理場では、家庭などから排出される下水に加えて流入する雨水も処理している。雨水部分の処理費用は、市の補助金で補てんをしている。そのため、下水処理料金と市からの補助金の合計を下水処理料金収入としている。

以上より、本事業の事業費は計画内に収まったものの、事業期間が大幅に計画を上回ったため、効率性は中程度である。

3.3 有効性⁹（レーティング：③）

3.3.1 定量的効果（運用・効果指標）

事業の定量的効果として昆明市市街地中心部の下水処理能力の向上が期待されており、完成3年後（2015年）の下水処理人口、下水処理量、下水処理率は市全体の目標が設定されていた¹⁰。審査時において各下水処理場の下水処理能力に関する目標値の設定はされていなかったが、下水処理量について設計能力との比較を行い、各下水処理場が期待された能力が発揮されているかを確認した。

3.3.1.1 運用指標

(1) 昆明市の下水処理量・処理率

昆明市市街地中心部の下水処理人口は目標比125%、下水処理量は目標比167%と処理能力は目標より大幅に増加した。下水処理率の実績は目標値¹¹と並び、下水処理人口、下水処理量、処理率の全てについて目標を達成したといえる（表4）。

表4 下水処理量、処理率、処理人口の目標と実績¹²

	単位	基準値	目標値	実績値				
		2004年	2015年	2011年	2012 ¹³ 年	2013年	2014年	2015年
		審査年	事業完成 3年後	処理場 整備完 工	事業完 成年	事業完 成 1年後	事業完 成 2年後	事業完 成 3年後
下水処理場数	カ所	6	7	7	7	9	9	12
下水排出量	万m ³ /日	68.8	90.2	114.3	106.0	133.4	141.7	150.4
下水処理量	万m ³ /日	46.4	90.0	97.8	94.3	123.3	136.0	150.1
下水処理率	%	67%	100%	86%	89%	92%	96%	100%
本事業処理量	万m ³ /日	46.4	90.0	97.8	94.3	94.8	104.6	111.1
本事業割合	%	100%	100%	100%	100%	77%	77%	74%
人口	万人	281	322	352	364	376	389	402
下水処理人口	万人	197	315.2	303	324	345	369	394

出所：実施機関提供資料

⁹ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

¹⁰ 事業全体の完成年は2016年であったが、下水処理場本体の改修・拡張・新設工事は2010年10月の完工であったため、2011年を工事の完工年とみなす。審査時の計画どおり、事業の完成は保証期間1年後（2012年）とし、完成3年後にあたる2015年の実績値を目標値と比較して事業の達成度を確認する。

¹¹ 本事業の下水処理率の目標値は99.8%で、2015年の実績値も99.8%であった。表4には、小数点以下第一位を四捨五入して100%と記載している。

¹² 下水排出量、下水処理量は昆明市市街地の年平均値である。下水排出量は水道水の年間消費量に一定の係数をかけて算出している。処理場への流入量は排出される下水とその他（雨水や地下水）からなる。下水処理率は下水処理量を下水排出量で割って算出した。人口は昆明市市街地の総人口、下水処理人口は昆明市市街地内で下水処理サービスに接続している人口を示す。

¹³ 2012年には昆明市の降水量が例年より少なかったため、収集された下水量、処理量が前年に比べて少なくなった。

本事業により整備された下水処理場の下水処理量は、2015年時点で昆明市中心部の総下水量の約74%（111.1万m³/日）を処理しており、昆明市下水処理システムの中核として大きな役割を果たしていると評価できる。

(2) 本事業による7下水処理場¹⁴の処理量、処理率と施設稼働率¹⁵

本事業により整備された各処理場には、審査時の予測を上回る下水量が流入しており、目標年には第4下水処理場を除き設計能力を越える下水量を処理している。実際の処理能力は、計画能力から10%～20%程度の余裕が設けられているため問題は生じておらず、期待以上の処理状況にあるといえる。突発的な大雨等により流入量が実際の処理能力を超過した場合には、緊急的な措置として、沈殿時間の短縮等のプロセスを簡易化しつつ河川等へ排出することで負荷の調整を図っている。この措置は環境保護局の許可を得て、水質基準を遵守したうえで行われているため、環境への悪影響は及んでいない。

¹⁴ 下水処理場ごとの処理区人口、処理人口については、下水処理区が行政区と一致していない、メーターの数と世帯数が一致していない等の理由でデータがないため、本事業の事後評価に使用しないものとする。

¹⁵ 施設稼働率（施設能力に対してどのぐらい施設が使用されているか）は、審査時に運用効果指標として設定されていなかったため、本事後評価では、参考値として算出している。

表 5 下水処理場の下水処理量、施設稼働率¹⁶

審査時 (2005 年)							注
下水処理場	第 1	第 2	第 3	第 4	第 5	第 6	第 7
設計能力 (万 m ³ /日)	12.0	10.0	15.0	6.0	7.5	5.0	—
下水処理量 (万 m ³ /日)	9.6	8.5	14.4	6.4	6.6	1.1	—
下水処理率 (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	—
施設稼働率 (%) (参考値)	80%	85%	96%	107%	88%	18%	—
実績 (2015 年：事業完成 3 年後)							
下水処理場	第 1	第 2	第 3	第 4	第 5	第 6	第 7
設計能力 (万 m ³ /日)	12.0	10.0	21.0	6.0	17.0	13.0	20.0
下水処理量 (万 m ³ /日)	13.4	11.4	22.6	5.7	23.6	13.4	21.1
下水処理率 (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
施設稼働率 (%) (参考値)	112%	114%	108%	94%	128%	103%	105%

出所：基準値は JICA 提供資料、実績値は実施機関提供資料

注：第 7 下水処理場は新設のため、2005 年時点の基準値がない。



第 5 下水処理場の反応槽



第 6 下水処理場の反応槽

(3) 放流水の利用・再利用

審査時に指標の中水に関わる指標は設定されていなかったが、本事業により整備された下水処理場の処理後の放流水(2016年データで年間放流水総量は約4億m³)は高度処理されたのち、98.6%は河川景観水として河川の浄化や悪臭防止に利用され、1.4%が都市再生水として公園の緑化、道路清掃の散水、洗車やトイレの流水、工業用水に再利用されている。都市再生水のうち、95%は中水管で、5%は散水車で利用地点まで輸送されている。都市化が進んでいる昆明市では、水不足に陥ることもあるため降水以外の水源として中水の利用拡大が図られており、特に、中水管も輸送用に設置され、下水処理場の放流水の再利用が図られていることは特筆すべき効果でもある。

3.3.1.2 効果指標

審査時の計画では水質に関する目標は、放流水の生物学的酸素要求量 (BOD)

¹⁶ 設計能力は日最大処理量、下水処理量は年間の日平均処理量、施設稼働率は、日平均処理量を設計能力で割って算出した。

濃度のみであった。さらに、昆明市内の下水処理場では、放流水が国家基準¹⁷による 1 級 A の基準を満たすことが要求されているため、放流水の BOD 以外の指標についても国家基準と比較を行い、水質に関する効果の達成度を確認する。

第 1 から第 7 下水処理場における各指標（出口濃度）の推移について、下水処理場の整備が完了して以降、2011 年から 2016 年¹⁸の COD、懸濁物質（SS）、全窒素（T-N）濃度、全リン（T-P）濃度、水素イオン濃度指数（pH）、大腸菌群についても 1 級 A の基準を満たしている¹⁹ため、期待された効果は発現しているといえる。

経年の指標の推移について、以下の表 6 に、例として各下水処理場の BOD 濃度（入口・出口）と削減率を示す。事業実施前（2004 年）より入口濃度は増加しているが、ほぼ 100%に近い削減率となっており、また、全ての下水処理場において 1 級 A 基準の 10 mg/L の出口濃度を満たすことができている。

¹⁷ 「城鎮污水处理場污染物排放標準」（GB18918-2002）

¹⁸ 2010 年内から追加された処理能力による下水処理が行われているが、実績値は 1 月～12 月の平均値で算出しているため、2011 年から 2016 年（事後評価時）の各指標の出口濃度が、1 級 A の基準値以下であることを本事業の目標達成とみなす。

¹⁹ 2012 年の第 6 下水処理場の T-P 出口値は基準の 0.5 mg/L に対して、0.53 mg/L と、0.03 mg/L 基準値を上回った。実施機関によると、これは流入する下水の T-P 値に異常が生じたことによるものであった。平均は 10.4mg/L となっているが、異常時には最高 66.7mg/L に達していた。

表 6 本事業の下水処理場の BOD 濃度の推移

(単位：mg/L)

1 級 A 基準 出口濃度 10 mg/L 以下		基準値	実績値					
		2004 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
		審査年	処理場 整備完 工	事業 完成年	事業完 成 1 年後	事業完 成 2 年後	事業完 成 3 年後	事業完 成 4 年後
第 1 下水処理場	入口	115.0	230.4	170.5	333.6	265.1	209.6	261.3
	出口	9.1	4.1	1.5	1.3	1.0	1.1	0.8
	削減率	91%	98%	99%	100%	100%	99%	100%
第 2 下水処理場	入口	83.9	121.9	107.4	114.3	99.7	161.6	122.1
	出口	9.8	2.0	1.3	1.2	0.9	1.3	1.0
	削減率	88%	98%	99%	99%	99%	99%	99%
第 3 下水処理場	入口	137.3	299.2	425.2	238.3	163.3	162.3	115.4
	出口	14.0	4.5	1.9	1.5	1.5	1.4	1.0
	削減率	90%	99%	100%	99%	99%	99%	99%
第 4 下水処理場	入口	135.9	93.5	85.1	130.8	130.1	193.0	180.9
	出口	4.7	1.5	1.5	1.5	1.4	1.7	1.0
	削減率	97%	98%	98%	99%	99%	99%	99%
第 5 下水処理場	入口	125.1	192.3	181.0	198.0	203.9	162.9	196.5
	出口	7.9	1.6	1.3	1.6	1.2	1.0	0.8
	削減率	94%	99%	99%	99%	99%	99%	100%
第 6 下水処理場	入口	114.5	441.9	251.9	193.2	177.0	150.4	161.1
	出口	7.5	1.7	2.0	1.2	1.1	1.1	1.0
	削減率	93%	100%	99%	99%	99%	99%	99%
第 7 下水処理場	入口	—	236.0	222.0	197.9	147.2	156.6	188.6
	出口	—	1.7	1.2	1.0	1.0	1.2	0.9
	削減率	—	99%	99%	99%	99%	99%	100%

出所：実施機関提供資料

注：審査時には、放流水質（BOD）目標値（事業完成 3 年後：2015 年）として、10mg/L 以下が設定されていた。

注 2：入口、出口濃度とも第三者機関による水質モニタリング装置によって毎日計測されている自動計測結果の年平均値。

以上から、昆明市の下水処理量、下水処理率は目標をほぼ達成しており、各処理場の処理量も期待以上の下水量を処理している。第 4 処理場以外は稼働率が 100% を超過しているが、突発的な流入量増に対してプロセスの簡易化等の負荷調整が問題なく行われている。下水処理後の放流水は 100% 利用されている。また、効果指標も達成されているため、事業全体として定量的効果は発現していると判断できる。

3.3.2 定性的効果（その他の効果）

審査時、事業による定性的な効果は「昆明市の生活環境の改善」とされていたが、本事業のインパクトレベルに該当するため、「3.4 インパクト」の項目に統合する。

3.3.2.1 研修による効果²⁰

下水処理場の運営・維持管理者を対象とした訪日研修の参加者によると、研修で使用されたテキストの内容は、現在の運営・維持管理会社である昆明滇池投資有限责任公司や子会社のマニュアルにも取り入れられている。日本で視察した処理場の運営・維持管理方法、臭気コントロール、処理場内の整理整頓なども、処理場の設計や運営に取り入れられた。近年、運営・維持管理会社は、他省や近隣国での技術指導も行っており、訪日研修の経験も技術指導に活用されている。

日本での研修の視察で訪問した下水処理場では、視察や社会見学の受け入れも積極的に行われていたことから、第7下水処理場にも、日本の下水処理場を参考に見学用のコースが設けられた。事後評価時には、年間約6,000人の見学者があり、小中学校の社会見学、大学生の研究への協力、他都市からの視察への対応に活用されている。研修参加者によると、日本研修に参加してから、広報や環境教育をより重視するようになり、学校側からの要請を待つだけでなく、社会見学の実施を学校側に呼びかけているという。

以上から、昆明市の下水処理率、処理人口と普及率、各処理場の稼働率といった運用指標と、効果指標の放流水の水質効果の目標は達成され、有効性の発現状況は良好であるといえる。

3.4 インパクト

3.4.1 インパクトの発現状況

本事業では、「滇池の水質汚濁の低減」と、それによる「同地域住民の生活環境改善」がインパクトとされていた。これらについては、滇池の水質の変化と本事業の貢献を分析するとともに、受益者調査によって滇池等の環境や生活の変化について調査を行い、本事業によるインパクトの発現状況を確認した。

3.4.1.1 滇池の水質汚濁低減と本事業の貢献

(1) 滇池の水質汚濁低減

1986年から劣V級であった滇池の水質は、2016年に30年ぶりにV類に改善された²¹。環境保護局の職員によると、滇池の富栄養化基準²²は、6段階のうち最悪である重度から、2016年には中度、時々軽度に改善され、ほぼ全域で年間に30回あったバクテリアの繁殖も、時々頻度で小さな面積の部分的な発生に改善されている。

²⁰ 研修報告書と参加者へのインタビューによる。参加者へのインタビューは、人事異動で対象者がみつからず、2名のみへの実施となった。

²¹ 2017年2月9日「人民日報」に関連記事が掲載された。

²² 中国環境保護部による基準、湖水の状態をCOD_{Mn}、T-P、T-N、クロロフィル量等の数値を総合して、最悪の重度栄養、中度栄養、軽度栄養、富栄養、中栄養、貧栄養の6段階に分類している。

環境保護局の環境モニタリングセンターの担当者によると、このような改善の背景には、昆明市が「滇池流域水汚染対策計画」（2011年～2015年）に基づき、滇池周辺を保護区に指定して、住居や污水排出源（農業、家畜、工業）を滇池周辺から郊外へ移転させ、滇池の船の航行や漁業を規制し、湿地の保護や周辺の緑化を進めたことがある。また、滇池の水の入れ替え頻度を5年から8年に一度から、2013年12月から3年から5年に一度と、頻度を増やしたことも一因である。年間5～6億 m^3 /年の水を外から滇池に導入して水質の改善を図っており、これは富栄養化の改善（リン、窒素）に対する貢献要因となっている。担当者は、滇池の汚染源は主に都市部の生活排水（7割）と農業面源汚染（3割）で、汚染源の7割を占める生活排水が下水処理の普及によって直接、滇池に入らなくなったことが滇池の水質改善の最大の要因と説明した。

(2) 滇池の水質の変化

環境保護局観測ステーションから提供された、2006年から2015年の滇池（草海²³、外海²⁴）の水質のデータに降水量による係数をかけて滇池に流入する汚濁負荷の変化について分析を行った²⁵。

分析の結果、草海、外海とも全窒素（T-N）濃度、全リン（T-P）濃度、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度に減少がみられた²⁶。特に、市街地中心部から水が流れ込む草海では2009年ごろから著しい変化がみられた。2015年にはT-N濃度は2006年比39%、T-P濃度は2006年比14%、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は2006年比12%の水準まで減少している。ただし、気候、微生物や藻類の成長により影響を受けるBOD、CODは、湖底の泥の中に長期にわたり微生物が存在していることがあり、期間中に有意な変化はみられなかった。

気候が安定している昆明市では、蒸散といった自然的な影響は小さいことから、上記の方法で調整された水質データ²⁷は、主に、流入する汚濁負荷総量の変化を反映している。事業建設前と事業建設後（2011年以降）における調整後のデータの変化を比較すると、この変化は人為的な要因によるもの、下水処理率の向上による影響と分析される。本事業は、処理場の完工時に（2011年）に昆明市市街地から

²³ 市街地の水流が流れ込む滇池の北側部分。面積が狭い上、水深も浅いため、水質汚染がより深刻な部分であった。

²⁴ 滇池の南側部分。水深が5～6メートルで、滇池の面積の大部分を占めている。

²⁵ 年ごとの降水量の変化を考慮し、以下の数式を使用し、実際の水質の数値を調整した。調整係数 = Pi / Pave Piは当該年の降水量、Paveは年間降水量の平均値、調整後の水質数値 = 実際の測定値 × 調整係数で算出。

²⁶ 外海は面積や水量が草海の100倍と巨大で、市街地からの水流は草海に流入してから、間接的に入ってくることもあり、元の汚染負荷は草海より軽度で、経年の変化もあまりみられなかった。

²⁷ 一般的に、汚濁負荷濃度は流入する濃度だけではなく、貯水量とも直接かかわる。貯水量は、主に蒸発と降雨量の影響を受けるが、昆明市において過去10年間の温度変動率は年間0.1度程度で、蒸発率はほぼ変動しなかった。一方で降雨量は変化が大きかったため、提供された水質データに対して降雨量で調整を行うことで、水質データの推移を直接比較できるようにした。

排出される下水量の100%の処理を開始しており、滇池の水質改善に大きな貢献をもたらしていると推測される。サンプルとしてT-N濃度の分析を図2に示す（その他の汚濁負荷のグラフは添付資料を参照）。

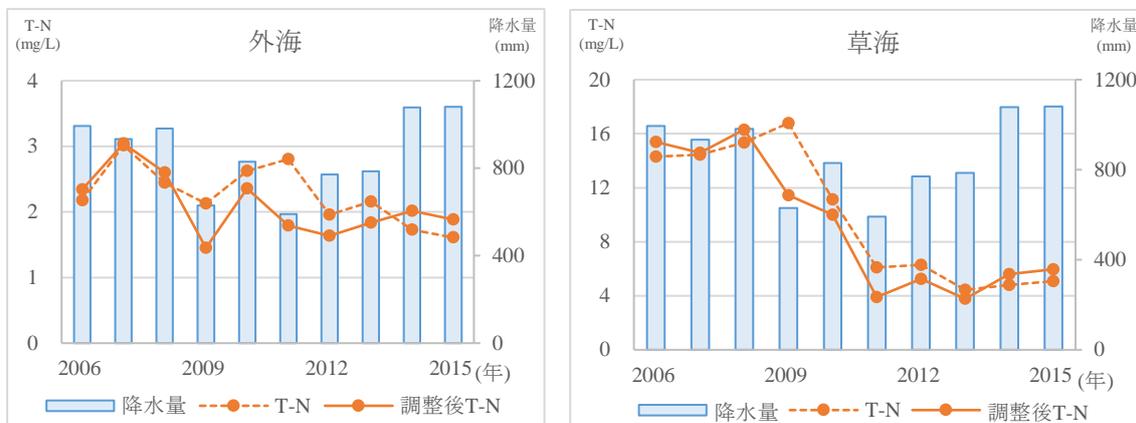


図2 滇池（草海：左）、滇池（外海：右）のT-N値の推移

(3) 昆明市街地の主要な汚濁負荷量と本事業による貢献

昆明市街地で発生し滇池に排出されている主要な汚濁負荷²⁸（COD、T-N、T-P）の発生量と本事業（第1～第7下水処理場による下水処理）による削減量、削減率について、市街地の汚濁負荷発生量調査が実施された2010年、2012年の実績は表7のとおり。

昆明市街地の主要な汚濁負荷のうち、本事業による下水処理で2010年にはCODは81%、T-Nは61%、T-Pは74%が削減され、2012年にはCODは83%、T-Nは69%、T-Pは78%が削減されており、本事業による水質汚濁負荷の削減への寄与は非常に大きいといえる。

²⁸ 昆明市街地は滇池に隣接し、汚濁負荷発生量は全て排水管網と市内を流れる河川を通じて滇池へ流入しているため、昆明市街地の発生量が滇池への流入量に等しいと考えられる。

表 7 昆明市街地で発生する主要な汚濁負荷と本事業の貢献

年	項目	COD	T-N	T-P
		t/年	t/年	t/年
基準値				
2005年	昆明市街地の発生量	41,986	9,810	927
実績値				
2010年	昆明市街地の発生量	87,192	14,803	1,497
	本事業による削減量	70,573	8,997	1,113
	本事業の削減割合	81%	61%	74%
2012年	昆明市街地の発生量	97,461	16,444	1,662
	本事業による削減量	81,011	11,322	1,302
	本事業の削減割合	83%	69%	78%

出所：実施機関提供資料

注：草海、外海別の実績値は提供されなかった。

3.4.1.2 市民の生活環境の改善

「市民の生活環境改善」について、本調査では受益者調査²⁹（有効回答数 100）を行い、事業実施前（2006年）と事後評価時の滇池の水質改善、環境改善の有無、下水処理サービスへの満足度を確認した³⁰。

受益者調査の結果によると、10年前（2006年頃）と事後評価時の滇池や処理場からの放流水が排出されている河川の環境の変化について、水質、浮遊物、悪臭、景観、鳥類や魚類の生息、植物、衛生状態、排水環境について改善されたという回答は、それぞれ 95%を超えており、多くの住民が改善を認識しているといえる³¹。

改善の要因としては、半数以上の回答者が、排水、衛生管理、汚水の排出減となっていた工場への規制の厳格化を挙げている。下水管網の整備や下水処理場の建設については 43 人が環境改善の要因であると回答した。

事後評価時の下水処理サービスへの満足度への設問に対して 89%が満足と回答し、その理由について 55 人が「下水の詰まりや逆流が起きない」ことを挙げている。「大雨や洪水への対処」については、8 人が満足している理由として挙げている一方で 14 人が不満足な理由として回答しており、評価が分かれている。昆明滇池投資有限责任公司によると、市内中心部での下水管と雨水管の分流化の遅れがあることや、大雨の際の雨水の回収が課題となっているためであると説明があった。

²⁹ 本事業が実施された 7 処理場からの処理水が放流されている河川の放流地点周辺の住民と滇池周辺の住民を対象として質問票による受益者調査を行った。調査対象は、下水処理場の処理水が放流されている 6 河川の放流地点周辺の住民（56 人）と滇池周辺の住民（44 人）の合計 100 名とした。回答者の内訳は女性 37%、男性 63%、年代別の内訳は 20 代 25%、30 代 30%、40 代 22%、50 代 14%、60 代 7%、70 代以上 2%であった。

³⁰ 企業に対しても調査を行うことを想定していたが、1998 年に制定された滇池保護条例の段階的改正により汚濁物質の発生源となる企業への取り締まりが強化され、徐々に工場の移転が進められ、対象地域内に工場が存在しないため、受益者調査は住民のみを対象とした。また、2012 年に滇池周辺は環境保護区に制定され、住民の居住が制限されたことから、受益者のサンプルは下水処理場周辺の住民からもとることとした。

³¹ 水質 98%、浮遊物 97%、悪臭 97%、景観 97%、鳥類や魚類の生息 95%、樹木や花等の植物 98%、衛生状態 95%、排水環境 95%

3.4.2 その他、正負のインパクト

3.4.2.1 自然環境へのインパクト³²

(1) 事業実施中のモニタリング

審査時において、自然環境への重大な負のインパクトは想定されていなかった。本事業による下水処理場の改修・拡張・新設及び管網敷設工事中には、審査時の計画どおり、廃棄物処理、汚染水、騒音・振動について一日一度の頻度で行われた。市、区級の環境モニタリングセンターが毎月一度、下水の水質検査を行った。昆明滇池投資有限責任公司によると、建設工事は決められた環境保護基準を順守して行っており、特に問題はみられなかった。

(2) 事業完成後のモニタリングや周辺環境への配慮

全ての下水処理場では、下水の流入・放流口にとりつけられたモニタリング装置によって水中の汚濁負荷要因（COD、BOD、SS、T-N、T-P、pH等）の濃度の数値が24時間体制で監視されている。この装置は環境モニタリングを専門とする第三者機関が管理しており、計測数値はオンラインで国家環境保護部に直接、送信されている。また、観測機器の精度を確認するため、サンプルが採取されて第3下水処理場内の実験室に運ばれ、専門のスタッフが毎日、流入・放流水の水質を検査している。

以前に下水処理場の周辺は農地であったが、事後評価時には、処理場の周囲まで住宅が建設されており、各下水処理場では、脱臭装置の設置や、ポンプ等を地下で稼働させるシステムにして騒音や振動を減らす配慮がされている。また、景観や環境への配慮のため、処理場内は公園のように緑化されている。

下水処理場から排出される汚泥は、処理場で含水率を80%程度³³にしたのち、処理場から搬出されて全量埋め立て処理されており、再利用はされていない。2018年6月には汚泥処理センターが完成する見込みである³⁴。

(3) 滇池のモニタリング

環境モニタリングセンターによる自動監視装置が設置されている10カ所の水質モニタリングポイントでは、水質モニタリング（8基準）が通年行われている。この他に人工的なサンプル採取による水質検査も1カ月に一度、24基準について行われている。滇池では夏期（4月～10月）は藻類が繁殖するため、富栄養化を招くバクテリアの発生の監視の目的で週に一度の頻度で水質検査が実施されている。これらのモニタリングの結果は、週・月報として国家環境保護部に報告されている。

³² 本事業の環境影響調査報告書は2005年8月に国家環境保護総局に承認されている。

³³ 2010年以前は含水率83%、2010年からは含水率80%で排出している。

³⁴ 第1期（2018年）500t/日、第2期（2020年）700t/日、第3期（2020年12月）1200t/日の処理が行われる計画である。

3.4.2.2 住民移転・用地取得

審査時には合計 35ha の用地が取得される計画であった。実際には、7%増となる計 37.5ha の取得となった。また、取得された用地は農地であったため、住民移転は発生せず、土地と作物に対する補償費用として昆明市の基準により 17,445 万元が支払われた。

3.4.2.3 その他正負のインパクト

下水処理場からの放流水は、処理後に市内の河川に放流され、最終的に滇池に流れている。本事業のインパクトは滇池の水質改善に設定されていたが、事業実施部門へのインタビュー、受益者調査の結果によると、周辺の河川の悪臭や濁りなども改善されたという回答があり、本事業による下水処理の効果も貢献があったと推測できる。

環境保護局によると、滇池の周辺は湿地、森林の保護対象となった。2016 年には、滇池の湿地の面積は 10 年前に比べて 3,600ha (5.4 万亩) 拡大、植物の被覆率は 2004 年の 20%から 2015 年には 79%に増加した。鳥類が 124 種から 138 種に増加、魚は 23 種類となった。昆明市政府の農業部門からの報告によると、湿地や森林の保護により水土流出は 30%減少させることができている。

以上から、本事業の実施により計画どおりの効果の発現がみられ、有効性・インパクトは高い。

3.5 持続性（レーティング：③）

3.5.1 運営・維持管理の体制

滇池の水質問題に対処するため、昆明市は 1990 年に「滇池保護委員会」を設置していた。2004 年、委員会内に本事業の事務局となる「昆明市滇池北岸水環境総合治理工程建設管理局」が設置され、本事業の全体管理を担ってきた。事後評価時においても、滇池の環境保護に関する国内事業が継続して行われており、この体制は変わっていない。

本事業による下水処理場の改修・拡張・新設は、建設管理局の指導の下、昆明市の委託を受けた市内の国有企業（昆明市人民政府 100%出資）である「昆明滇池投資有限責任公司」が行い、完成した施設の運営・維持管理も市からの委託を受けて実施している。事後評価時においてもこの体制に変更はないが、下水処理場の運転は 2010 年に設立された子会社の「昆明滇池水務投資有限責任公司」（以下、「水務公司」という）と、管網とポンプ場の管理は「昆明排水施設管理有限責任公司」（以下、「排水公司」という）が行っている。子会社とは指示命令系統、各部署の役割分担も明確になっており、適切な管理体制が整備されている。

昆明滇池投資有限責任公司の人員数は表 8 のとおり。業務の拡大により大幅に技

術者の人員数が増えた。その中には、環境、水利、建築、給排水、生態環境の専門技術者の他、水質環境等の法規専門家も含まれている。

表 8 昆明滇池投資有限責任公司の人員数 (単位：人)

審査時の計画 (2006年)					事後評価時 (2016年)				
合計	技術者	運営	事務	会計	合計	技術者	運営	事務	会計
28	12	11	3	2	84	63	11	9	1

出所：昆明滇池投資有限責任公司

各下水処理場の人員は表 9 のとおり。昆明滇池投資有限責任公司によると、各下水処理場に下水処理場の運営・維持管理に係る技術者、モニタリングルームの管理者や施設の巡回担当、水質検査を行う技術者などの人員が十分に配置されている。第 2～第 6 下水処理場の人員数は審査時の計画より減っているが、人力で行っていた作業が自動化されたため、運営・維持管理に支障は生じていない。

表 9 各下水処理場の生産管理部人員数 (単位：人)

	審査時の計画 (2006年)					事後評価時 (2016年)				
	合計	技術者	運営	事務	維持管理	合計	技術者	運営	事務	維持管理
第1下水処理場	30	4	2	2	22	31	4	2	2	23
第2下水処理場	32	4	2	2	24	30	4	2	2	22
第3下水処理場	42	6	2	2	32	38	5	2	2	29
第4下水処理場	30	4	2	2	22	24	3	1	2	18
第5下水処理場	32	4	2	2	24	26	4	2	2	18
第6下水処理場	31	5	2	2	22	29	4	1	2	22
第7下水処理場	—	—	—	—	—	24	4	2	1	17
合計	197	27	12	12	146	202	28	12	13	149

出所：実施機関提供資料

事後評価時の排水会社の施設管理の技術者は 255 人³⁵で、本事業のアウトプット分を含む昆明市市街地中心部の管網 4300 km、93 のポンプ場、17 カ所の雨水調整池の管理を行っている。昆明滇池投資有限責任公司、排水公司によると、管網やポンプ場の運営・維持管理の人員は、管理者、技術者など必要な人員が確保されている。以上から、運営・維持管理体制に問題はみられない。

3.5.2 運営・維持管理の技術

昆明滇池投資有限責任公司は、1980 年代から下水処理場の設計、運営・維持管理、改修・増設にかかわってきた経験を有する技術者がおり、子会社設立の際には、その技術者が異動し、新規採用者にも技術移転が行われた。毎年、社内の技術研修や、緊急事態発生時の対応訓練も行われている。下水処理場、管網やポンプ場の運営・

³⁵ 排水会社の正社員のうち、運営・維持管理を担う生産部門の技術者は 120 人（技師 42 人、高級技術者 32 人、中級 9 人、初級 37 人）。正社員の他、維持管理には市内の管網の清掃を行う労働者 200 人を雇用している。

維持管理をする技術者には専門の資格³⁶が必要とされている。資格には有効期限があり、更新には定期的な研修・試験が必要とされているため、技術水準は維持されている。

水務会社の下水処理技術は、中国国内でも高い水準³⁷にあり、視察の受け入れ、周辺省や隣国ラオスの下水処理場の技術指導、米国での共同技術研究、また合弁化等での他省や国外での下水処理場運営・維持管理の業務拡大も進めている。

以上を総括して、技術的な持続性に問題はみられない。

3.5.3 運営・維持管理の財務

下水処理場の運営・維持管理は市との業務委託（特許経営権）の契約によるもので、下水処理場の収入は下水使用料金からなる下水処理費と市の財政負担からなっている。2012年以降の第1～7下水処理場全体の収支は表10のとおり。収支は、第1～第7全体、個別の処理場とも徴収した下水処理費と市の財政負担分は運営・維持管理費を上回っている。

表 10 第1～第7下水処理場の収支 (単位：万元)

		2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
支出	運営・維持管理費	18,230	22,503	25,707	27,187	26,165
収入	下水処理費	20,727	21,315	22,871	22,911	22,000
	市財政負担	38,680	39,035	43,295	47,185	46,730
収支		41,178	37,847	40,459	42,909	42,565

出所：実施機関提供資料

注：2016年の数値は9月30日までの数値。

昆明市街地中心部の下水処理料金³⁸は、審査時に0.8元/m³であったが、2009年には、住宅からの生活排水1.00元/m³、行政、商業、工業等の排水1.25元/m³に改定された。市政府から昆明滇池投資有限責任公司への下水処理事業委託は、2011年から2041年までの30年間で、その間の下水処理費³⁹1.58元/m³が市政府から保証されている。この金額の根拠は、2009年末の処理場の規模に応じて処理費に加えた10%の資産改修費として算出されたもので、昆明滇池投資有限責任公司によると運営・維持管理費として充足している。

以上から、運営・維持管理の財務面における持続性に問題はないといえる。

³⁶ 関連する技術資格には、下水処理技術師、水質化学実験技術、電気、エレベーター、ポンプ取り扱い等がある。

³⁷ 2013年に第3、第7下水処理場は省エネ性能と中水利用で全国の処理場10選に選定された。第1下水処理場は全国秀逸規格処理場、第2、4、5、6下水処理場は先駆的な処理場として表彰を受けている。

³⁸ 料金はプリペイド方式で水道料金と合わせて徴収されているため、徴収率はほぼ100%となっている。

³⁹ 2017年には物価の上昇を考慮した見直しが行われる見込みである。また、運営・維持管理に問題がなければ特許経営権の契約は更新される。

3.5.4 運営・維持管理の状況

本事業で整備された下水処理場の運営・維持管理状況について、運営・維持管理会社や技術者への聞き取りと現地踏査で確認を行った。

昆明滇池投資有限責任公司、子会社ともに、中央政府や昆明市による都市開発計画に基づき中期的な操業、運営・維持管理計画の見直しを行なっている。各下水処理場や管網については、市の下水道処理マスタープランに対応した管理計画が策定され、設備の更新・改修も行われている。事後評価時に、処理場の稼働率が100%を超過しているが、実際の処理能力は計画能力から余裕が設けて建設されていること、また、緊急的な大雨により実際の処理能力が上回るような事態に対しても環境への問題なく全量の処理が行われているため問題は生じていない。さらに、2020年までに2カ所の処理場が追加建設される計画となっており、稼働率も緩和される見込みである。

本事業で改修・拡張を行った既存の下水処理場（第1～第6）、新設の第7下水処理場とも、有効性の項目で述べたように事業計画に見合った量と国家基準に見合った水質への処理が続けられている。いずれの施設も場内の整理整頓が行き届いており、マニュアル、巡回記録、コントロールルームの管理記録が整備されている。

コントロールルームの技術者によると、運転時に発生する問題のうち、主なものは大雨の際に計画能力を超えた水量が流入することで、下水処理場は環境保護局の許可を受けたうえで、処理時間の短縮、処理方法の簡易化などの方法により一通りのプロセスを経て川へ排出する方法で環境に配慮しつつ対応できている。

下水処理場に流入する下水と放流水の水質は、外部機関によって設置された検査機器により2時間ごとにチェックされている。また、各処理場の水質サンプルを回収車が集め、第3下水処理場にある実験室において、手作業での検査が行われ、水質の二重チェックもされている。



第三者機関による水質モニタリング機器



第7下水処理場のコントロールルーム

下水処理場の設備は、ポンプや反応槽は年に一度分解点検と清掃、沈殿池は毎月、第4下水処理場のMBR膜は毎週清掃する等、定期的な清掃と点検の頻度が決められ、実施されている。管網には、町中に捨てられたゴミが流れてくるので、下水管が詰まる危険性を避けるために、毎年、全長の5分の1にあたる1,000kmの清掃が行われている。

下水処理やポンプ場内には一部、外国製のポンプ等が導入されているが、パーツは全て国内の代理店で確保が可能であるため、入手に問題は生じていない。処理場やポンプ場の電源は確保されており、停電が発生した際には他発電所の送電経路に供給源を切り替えることで電源が確保される。

本事業により整備された施設は期待された機能が発揮できる状態に保たれており、その状態は持続する見込みである。よって、運営・維持管理状況は良好といえる。

以上より、本事業の運営・維持管理は体制、技術、財務、運営・維持管理の状況ともに問題なく、本事業において発現した効果の持続性は高い。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は、雲南省昆明市の市街地中心部において、下水処理施設の整備を行うことにより、同地域の下水処理能力の向上を図り、滇池の水質汚濁低減を通じた同地域の生活環境改善に寄与することを目的としている。

本事業は中国の国家・省・市レベルの開発政策、開発ニーズ、審査時の日本の対中国援助政策と合致しており、妥当性は高い。下水処理率や処理水の水質といった主要な効果を示す指標は目標を達成しており、期待された効果は発現している。2016年には、30年来、水質基準で最も低い劣V級にとどまっていた滇池の水質が、下水処理能力の強化により、V級に改善された。昆明市街地から滇池に排出される主要な汚濁負荷は、本事業の下水処理場の処理によって大きく削減されており、本事業による汚濁負荷の削減への寄与は非常に大きく、有効性・インパクトの達成度合いは高い。下水処理場の改修・拡張・新設、ポンプ場や管網の整備はほぼ計画どおりに行われ、事業費も計画内に収まったが、事業期間に大幅な遅延が生じており効率性は中程度となった。本事業によって発現した効果の持続性については、運営・維持管理主体の体制、技術、財務について問題はなく、持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

4.2 提言

なし

4.3 教訓

(1) 環境改善事業における関係部門の連携の必要性

1986年から最悪の劣Ⅴ類に分類されていた滇池の水質が、30年ぶりにⅤ類に改善した。下水処理の促進によって滇池に流入する水の汚濁負荷が大きく軽減された一方で、昆明市滇池北岸水環境総合治理工程建設管理局、環境保護局、市政府が一体となった環境規制も有効であった。管理局は事務局レベルであるが、副市長が局長を兼任し、強いリーダーシップが発揮され、中国国内で通常は協力関係の構築が難しい環境部門からの全面的な協力も得られている。また、滇池の水質改善が国家重点事業とみなされたこともあり、昆明市による実効を伴う措置も適用され、滇池から船の航行、漁業の規制を行い、汚水排出源（農業、家畜、工業）や住居が滇池周辺から排除され、湿地の保護、周辺の緑化、滇池の湖水の入れ替えが進められている。環境改善のように包括的対策が求められる事業では、物理的な処理環境の整備とあわせ、環境負荷を削減する政策や措置などが必要となる。これらを総合的に実現するためには、環境保護、財政、農業や漁業、住宅等の関係部門等の連携体制づくり不可欠である。

(2) 中水の利用拡大の良好事例

都市化が進んでいる昆明市では、水不足に陥ることもあるため、降水以外の水源として中水の利用拡大が積極的に進められている。本事業による下水処理場の処理後の放流水は高度処理されたのち、98.6%は河川景観水として河川の浄化や悪臭防止に利用され、1.4%は都市再生水として、公園の緑化、道路清掃の散水、洗車やトイレの流水、工業用水に再利用されている。また、都市再生水量のうち95%は中水用に建設された中水管網を使用して市内に輸送されている。中水管網の整備にはコストがかさむため、整備に消極的な自治体もあり、中水の再利用が進まない現状がある中、このような昆明市の事例は先駆的な例ともいえる。

以上

主要計画/実績比較

項目	計 画	実 績
① アウトプット 下水管網	下水管網 336 km 下水ポンプ場 9カ所	下水管網 342.7km 下水ポンプ場 8カ所
下水処理場 第1 下水処理場 第2 下水処理場 第3 下水処理場 第4 下水処理場 第5 下水処理場 第6 下水処理場 第7 下水処理場	汚泥処理施設 凝集沈殿、汚泥処理施設 処理能力 6 万 m ³ /日の増強 凝集沈殿、汚泥処理施設 UV 施設改修 処理能力 9.5 万 m ³ /日増強 凝集沈殿、汚泥処理施設 UV 施設改修 処理能力 8.0 万 m ³ /日の増強 凝集沈殿、汚泥処理施設 新規建設 20 万 m ³ /日	計画どおり 計画どおり 計画どおり 臭気除去施設の建設に変更 計画どおり 計画どおり 計画どおり
研修	8 グループ 計 90 人	10グループ 計81人
② 期間	2006 年 6 月～2012 年 12 月 (79 カ月)	2006 年 6 月～2016 年 5 月 (120 カ月)
③ 事業費 外貨 内貨 合計 うち円借款分 換算レート	25,222 百万円 27,759 百万円 (2,026 百万円) 52,981 百万円 I: 12,700 百万円 II: 10,400 百万円 1 元 = 13.7 円 (2005年9月時点)	19,114 百万円 24,706 百万円 (1,654 百万円) 43,820 百万円 I: 12,647 百万円 II: 6,647 百万円 1 元 = 14.94 円 (2006年～2016年 実績の平均)
④ 貸付完了	I: 2013年12月/II: 2015年7月	

以上

2016年度 外部事後評価報告書
円借款「陝西省水環境整備事業（西安市）」

外部評価者：アイ・シー・ネット株式会社 百田 顕児

0. 要旨

本事業は、陝西省西安市において、下水処理施設、上水管網及び排水路等を整備することにより、市内河川の水質汚濁の改善、衛生的な水の供給及び洪水被害の軽減を図り、もって西安市の水環境改善に寄与することを目的として実施された。本事業は審査時から現在まで中国の国家・省・市レベルの開発政策、開発ニーズと合致しており、妥当性は高い。本事業で整備された設備は順調に稼働し、給水量や下水処理量、汚染物質の削減量、排水路の排水処理能力などの主要指標は、おおむね計画された目標を達していることから、都市部の上下水道、洪水制御の機能を強化するうえで効果的な役割を果たしていると評価できる。その結果、西安市における衛生的な水の供給、水質汚濁の改善、洪水被害の軽減に対しても本事業の貢献が見られることから、有効性・インパクトは高いといえる。なお事業費と事業期間は計画を上回ったため、効率性は中程度となった。持続性については、組織体制ならびに技術能力に大きな問題は見られない。西安市では、上下水道、排水事業への財政支出を安定して続けており、本事業も公益事業として安定した財政補助を受けて運営されているため今後も補助は継続される見通しである。以上から、本事業の持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高い。

1. 事業の概要



事業位置図



西南郊地区下水処理場の生物反応池

1.1 事業の背景

中国では1980年代以降、急速な経済成長をとげる反面、工業化と人口増加によって環境汚染が進んだ。90年代後半以降、環境保護政策を強化して一定の成果を上げたものの、工業化と人口増加の想

定以上の進行により、下水処理などのインフラ整備が追い付かず、汚染は依然として深刻なレベルにあった。

西安市は中国の古都であるとともに陝西省の省都であり、2002年時点で約700万人の人口を有し、商工業の発展や都市化によって急速に成長していた。しかし、市の上下水道整備は遅れており、水道普及率は84%、下水処理率は37%に留まっていた。また、降雨が集中する7月～9月の雨季においては排水路の未整備からしばしば下水管から汚水があふれて市街地での冠水や排水路の越流などによる洪水被害が発生していた。このような背景下、下水処理施設、上水管網及び排水路等の整備が必要とされ、本事業が計画された。

1.2 事業概要

陝西省西安市において、下水処理施設、上水管網及び排水路等を整備することにより、市内河川の水質汚濁の改善、衛生的な水の供給及び洪水被害の軽減を図り、もって西安市の水環境改善に寄与する。



図1 西安市と本事業の対象サブプロジェクト位置図

円借款承諾額/実行額	19,564 百万円/18,444 百万円	
交換公文締結/借款契約調印	2005年3月/2005年3月	
借款契約条件	金利	1.5%
	返済	30年
	(うち据置)	10年)

	調達条件	一般アンタイド
借入人/実施機関	陝西省人民政府/西安市人民政府	
事業完成	2013年10月	
本体契約	<ul style="list-style-type: none"> ・ China National General Machinery Engineering Corporation (中国) ・ China Potevio Co. Ltd. (中国) ・ Merit Technologies Inc. (中国) ・ China National Machinery & Equipment Import & Export Corp. (中国) ・ China National Precision Machinery Import & Export Corp. (中国) ・ Hubei International Trade Investment & Development Co., Ltd. (中国) /Xinxing Ductile Iron Pipes (Group) Co. (中国) (JV) 	
コンサルタント契約	-	
関連調査 (フィージビリティ・スタディ： F/S) 等	F/S (西安市市政設計研究院、中国市政工程西北設計研究院、西安市水利建築観測設計院、陝西省工程咨询公司 2003年8月)	
関連事業	西安上水道整備事業 (1993年) 西安市環境整備事業 (2001年) 陝西省水環境整備事業 (陝西省) (2005年)	

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

百田 颯児 (アイ・シー・ネット株式会社)

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：2016年7月～2017年10月

現地調査：2016年10月16日～11月6日、2017年4月19日～4月28日

2.3 評価の制約

審査時には事業の効果として市内河川の水質汚濁の改善、衛生的な水の供給及び洪水被害の軽減が設定されていた。しかし、本事業の直接的な効果としては給水能力の改善、下水処理能力の向上、治水能力の向上と考えられ、市内河川の水質汚濁の改善、衛生的な水の供給、洪水被害の軽減についてはこれらの効果をもたらす波及的なインパクトとして位置づけられる。特に河川の水質は下水道施設整備以外の影響要因にも左右され、本事業の貢献度を把握することは難しい。よって本事業評価では、「給水能力の改善」、「下水処理能力の向上」、「治水能力の向上」を本事業の有効性として位置づけ、「衛生的な水の供給」、「市内河川の水質汚濁の改善への寄与」、「洪水被害の軽減」をインパクトとして評価する。ただし、河川の水質データに関しては西安市政府環境保護局等から得られなかったため、市全体の状況把握は限定的なものとなった。

3. 評価結果（レーティング：A¹）

3.1 妥当性（レーティング：③²）

3.1.1 開発政策との整合性

（1）審査時の開発計画との整合性

1）開発計画における上下水道整備事業の位置づけ

中国政府は「第10次5カ年計画」（2001～2005年）において、都市給水能力の向上及び老朽化した給水施設の改良による供給量の増加と水質の向上を課題として位置づけていた。下水処理については、都市部の下水処理率³45%を達成する（人口50万人以上の都市では同60%を達成）という目標が掲げられているほか、「三河三湖」の水質について所定の基準値達成、長江上流、黄河中流、松花江流域の水質改善総合対策に着手することが述べられており、本事業が対象とする下水処理能力の向上を開発課題として位置づけていた。また、給水については地方都市における水道施設の新設や老朽化施設の更新を通じて、給水能力の強化、安全な飲用水の確保、漏水率の減少による水資源の節約等の達成目標を掲げていた。

これを受け、「陝西省第10次5カ年計画」（2001～2005年）では、西安市を含む主要都市における下水処理場の増設を計画し、2005年までに西安市の汚水処理率を50%以上達成する目標を掲げた。上水においては地表水の利用をさらに進め、供給増加と安全な水の確保を目指した。

2）開発計画における治水事業の位置づけ

「第10次5カ年計画」（2001～2005年）では、治水事業発展に関する優先目標として、主要都市及び主要地域における洪水や水害に対する安全を確保し、洪水防止・減災体制を改善することを掲げている。また、同計画期間内に長江を含む7大河川における中・下流の本流、及び主要な支流と湖について、国が定める洪水防御基準の達成を目標とするなど、本事業が対象とする治水能力の向上を開発課題として位置づけていた。これら中央政府の開発方針を受け、陝西省では「第10次5カ年計画」（2001～2005年）を策定し、河川の治水対策事業の推進、ダムの補修補強事業の実施による重要河川と都市の洪水防御能力の向上を目指すことを掲げた。

（2）事後評価時の開発計画との整合性

1）開発計画における上下水道整備事業の位置づけ

「第12次5カ年計画」（2011～2015年）では、環境保護に関する施策として、「第12次5カ年計画の省エネ・排出削減総合活動プラン」（2011～2015年）が策定され、その中で2015年までに都市部の下水処理率を85%にする目標が設定された。また、再生水の利用を奨励するなど環境保護に対する取り組みを引き続き強化している。

これを受け、「陝西省第12次5カ年計画」（2011～2015年）では、下水処理のさらなる向上が目指され、2015年までにすべての県における下水処理場の建設、中程度規模都市における下水処理

¹ A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

² ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

³ 下水処理率＝処理量／全発生下水量

率 85%、県における下水処理率 80%が目標として掲げられている。

2) 開発計画における治水事業の位置づけ

国家開発計画「第 11 次 5 カ年計画」(2006～2010 年)では主要都市及び主要地域における洪水や水害に対する安全の確保、洪水被害の軽減を掲げ、その後、「第 12 次 5 カ年計画」(2011～2015 年)では、さらなる洪水予防能力の強化を掲げ、この目標を具体化するために、「全国水利発展計画」(2011～2015 年)が策定された。同計画では、黄河を含む大型の河川・湖について、1.大規模河川・湖の整備及び調整池等の建設強化、2.防波堤の建設と河口の総合整備、3.危険性のあるダムや水門の補修・補強等の目標が掲げられた。

これを受け陝西省では「第 12 次 5 カ年計画」(2011～2015 年)を発表し、水道普及率と給水能力の向上によるさらなる給水保障、渭河全区間の河川整備計画の全面的実施による洪水防御能力の向上に向けた、さらなる取り組みが示された。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

(1) 審査時の開発ニーズとの整合性

1) 上下水道に関するニーズ

当時の西安市の水道普及率は 85%と一定のレベルに達していたものの、一部地域では飲用水の国家水質基準を満たさない地下水を水源として用いており、衛生面での影響が懸念されていた。さらに市郊外では上水道の整備による安全な飲用水の確保が遅れており、都市化の妨げになると同時に、健康被害が発生していた。

一方、審査時(2003 年)の西安市内の下水処理率は 37%程度にとどまっており、多くの下水は未処理で放流されていた。その結果、西安市東西に流れる渭河の水質は国家基準を大きく下回り、2001 年には国家水質環境 V 類基準を超え、深刻な水質汚染が続いていた。

以上より、給水能力の改善と下水処理能力の向上が急務であり、本事業は喫緊の開発ニーズに即したものであった。

2) 治水に関するニーズ

西安市では降雨が集中する雨季(7～9 月)においては排水路の未整備から道路が冠水し、しばしば交通麻痺が発生しており、経済発展と保健・衛生面で深刻な被害をもたらしていた。特に 1950 年代に建設された三水路(太平河、開水路、幸福渠)では洪水流下能力が低く、老朽化等が深刻な問題となっており都市の排水や洪水放流量に対応できず大雨が発生する度に水害が発生しており、

⁴ 下水処理率=処理量÷全発生下水水量

⁵ 河川や湖などの水質は、地表水環境質量基準(GB3838-2002)により I～V 類に分類されている。

I 類：主に源流の水、国家事前保護区に適用、II 類：主に一級保護区の集中型生活飲用水の水源、貴重な魚類保護区、魚類エビの産卵場所に適用、III 類：主に二級保護区の集中型生活飲用水の水源、一般の魚類保護区及び水泳区に適用、IV 類：主に一般の工業用水区及び人に直接接触しない娯楽用水区に適用、V 類：主に農業用水及び一般の景観に必要な水域に適用。

洪水対策に対するニーズは非常に高かった。

(2) 事後評価時の開発ニーズとの整合性

1) 上下水道に関するニーズ

西安市の2015年の給水人口は450万人を超え、審査時比で1.9倍に人口が増えている。さらに都市の発展に伴い、今後も人口の増加が予測されるなか、水インフラの整備が引き続き必要となっている。表1は上下水道インフラの整備状況についてまとめたもので、いずれも年を追って拡大していることが分かる。それでも、西安市では郊外での都市化を計画しており、給水、下水処理能力ともにさらなる向上が求められている。また上述した渭河の水質は審査時の劣V類からは改善されたが、いまだにIV類にとどまっており、引き続き対策の必要性が認められる。

表1 西安市上下水道概況

	2011年	2013年	2015年
1. 上水			
給水能力 (万m ³ /日)	197.40	195.52	211.50
給水量 (万m ³ /年)	38,934	51,372	56,055
給水人口 (万人)	394.10	444.35	463.05
給水管網総長 (km)	2,721.00	3,385.33	4,371.05
水道普及率 (%)	100	100	100
2. 下水			
下水処理能力 (万m ³ /日)	111.60	153.10	200.60
下水処理量 (万m ³ /年)	31,512	41,898	57,034
下水管網総長 (km)	4,043.00	4,629.70	4,984.94
下水処理率 (%)	85.90	90.72	91.85

出所：西安市統計年鑑

2) 治水に関するニーズ

事後評価時、排水路整備によって都市の排水や洪水放流はより円滑化され、冠水被害も緩和し都市の被害に対する安全性が確保された。一方、西安市では近年排水管網の整備は進んでいるが、旧市街地ではまだ従来の雨水との合流式も見られ、排水管網の口径が狭いため流下能力が低いといった問題も存在している。また、排水管網の普及率・密度が小さく、一部の地域の排水管網が過負荷で運用しているなど、今後も引き続き治水対策の実施が必要となっている。

下表に西安市の年間平均降水量と最大降水量を示す。年間平均降水量は2005年の事業開始以降も記録に大きな変動は見られず、洪水被害に直結する年間最大降水量は、2011年以降しばしば事業実施前を上回る量が記録されていることから、現在も洪水が発生する蓋然性は高く、その対策の必要性が認められる。

表 2 西安市年間平均・最大降水量

単位：mm

	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
年間平均降水量	541.4	561.6	698.5	525.1	660.3	504.4
年間最大降水量	722.8	600.9	734.9	626.4	846.9	735.4
	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	
年間平均降水量	423.6	426.7	423.9	660.3	551.6	
年間最大降水量	948.0	532.2	535.2	792.4	810.0	
参考 北京の平年値					534.3	

出所：実施機関の質問票回答

このような状況を受け、西安市では現在新たな取り組みとして治水能力全般を高める政策構想を準備しており、引き続き治水に対する開発ニーズは高い。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

審査時における日本の対中国援助政策「対中国経済協力計画」（2001年）では、汚染や破壊が深刻になっている環境や生態系の保全の分野を重視する方針を掲げている。また、JICAの「海外経済協力業務実施方針」（2002～2005年）では、貧困削減への対応の強化や経済成長に向けた基盤整備、環境保全・公害防止などの重点分野の中で、上下水道整備、水資源問題への取り組みの必要性が明示されている。

さらに2002年に策定されたJICAの「国別業務実施方針」では、水環境、水資源分野への支援が挙げられ、特に下水道整備は民間セクターの活動基盤となる経済・社会インフラとして位置づけられ重要視されていた。上記のとおり、日本の援助政策と本事業には高い整合性が認められる。

以上より、本事業の実施は審査時及び事後評価時ともに中国の開発政策、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。

3.2 効率性（レーティング：②）

3.2.1 アウトプット

本事業のアウトプットの計画と実績は以下のとおり。一部スコープの変更と追加があったものの、当初計画された、事業目的を達成するうえで必要なアウトプットはおおむね予定どおり整備されたと評価できる。

⁶ 本事業実施機関によれば、「スポンジシティ」という、治水能力を高めるインフラ整備構想を検討している。具体的には、雨水を一旦溜め、海綿のように地下に吸収させ、埋設しているパイプラインに排水する仕組み等で構成される総合インフラ整備計画を指す。

表3 アウトプットの計画と実績

サブプロジェクト	計画 (2005年)	実績 (2016年)
都市給水整備	①上水管敷設 260km ②貯水池、配水場、水質測定機器、中央制御システム整備	一部変更あり ①上水管敷設 215km ②貯水池、配水場、水質測定機器、中央制御システム整備
袁楽村下水処理場建設	処理能力 20 万m ³ /日	計画どおり
西南郊地区下水処理場建設	①処理能力 8 万m ³ /日 ②下水管敷設 60km	ほぼ計画どおり ①処理能力 8 万m ³ /日 ②下水管敷設 58.6km
北郊下水処理場建設	①処理能力 10 万m ³ /日 ②下水管敷設 160km	ほぼ計画どおり ①処理能力 10 万m ³ /日 ②下水管敷設 159.1km
都市排水管網整備	下水管敷設 231km	ほぼ計画どおり 下水管敷設 ⁷ 230km
西北郊排水路整備	① 排水路整備 43km ② 団結ダム湖水路 ⁸ 整備 12.675km	一部変更と追加あり ① 排水路整備 31.95km(計画比74%) ② 団結ダム湖水路整備 12.676km ③ 追加: 橋梁3基、歩道橋2本、護岸擁壁、ポンプ、水門
研修	実施機関の職員を対象とした日本での研修 70人	ほぼ計画どおり 参加職員: 本事業実施機関とサブプロジェクト担当の全実施機関 第一期 20人 第二期 12人 第三期 25人 第四期 20人 合計 77人 (男性63人、女性14人)

出所: 計画値はJICA 提供資料、実績値は実施機関の質問票回答

都市給水整備では、市西南部の管網が、本事業実施機関の管轄外となり、整備対象から除かれた。その後、都市計画の変更に伴う敷設場所の変更により管轄内の上水管網の総延長は計画時より若干延長したが、結果的に都市給水整備全体としての敷設管網の総延長は減少した。一方、下水処理場、下水管網についてはおおむね計画どおり整備されている。

また、西北郊排水路整備では排水路の総延長が計画比 74%にとどまった。これは都市化の進行に伴い一部の排水路で排水管網との一本化が進み、本事業整備対象から外れたことによる。また、周辺住民の生活利便性と堤頂幅の確保、集落の排水問題解消のため、橋梁や歩道橋などが追加で設置された。

⁷ 市街地は主に第四污水处理場、南郊地域は主に第二污水处理場の処理区内。敷設下水管網は一部地域を除き基本分流式である。

⁸ JICA 提供資料記載

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

審査時における事業費の計画 38,396 百万円（うち外貨 19,564 百万円、内貨 18,832 百万円）に対し、実績値は 45,073 百万円（うち外貨 18,324 百万円、内貨 26,749 百万円）で計画比 117%と計画を上回った。

事業費の主な増加理由は人件費と資材費の高騰による内貨の増額によるものである。特に袁楽村下水処理場建設では 173%、西南郊下水処理場建設では 150%の増額が発生した。本事業の実施機関によると、人件費と資材費の高騰に加えて、用地取得にかかる費用が増えたことによるもので、自己資金からあてることで対応したとのことであった。一方、西北郊排水路整備に関しては一部のアウトプットが本事業からキャンセルされたことにより事業費は計画比の 65%に減少した。

3.2.2.2 事業期間

審査時に計画された事業実施期間 2005 年 4 月～2011 年 10 月（79 カ月）⁹に対して、実績値は 2005 年 4 月～2013 年 10 月（103 カ月）となり、計画比 130%と、計画を上回った。遅れの主な要因は政府内承認手続きの遅れに加え、下水処理場の設置場所変更に伴うものである。各サブプロジェクトの遅延理由は以下のとおり。

表 4 事業期間の遅延理由

サブプロジェクト	遅延理由
都市給水整備	2 年遅れ。関係機関の承認手続きに時間がかかった。また、並行して進められた都市道路建設の遅れにより、上水管の敷設作業に遅れが生じた。
袁楽村下水処理場建設	4 年 10 カ月遅れ。当初予定の処理場建設地に高圧線が通過しているなど、立地上の制約により建設地が変更となったため処理場建設で 2 年 1 カ月の遅れが生じた。さらに処理場建設後に設置された汚泥消化槽の設置に技術的な課題が生じ、設置完了まで、想定以上の時間を費やした。
西南郊地区下水処理場建設	4 年遅れ。事業外で実施された先方政府の道路建設の遅れによる管網作業の遅れ、また、当初の西安市の承認手続きのみを想定していたにも関わらず、実際は市、省、国それぞれの関係機関に調達承認と竣工検収の手続きが必要となったためこれらの手続きに想定よりも時間がかかった。
北郊下水処理場建設	1 年 9 カ月遅れ。郊外の急速な都市化進行により処理場建設予定地を変更する必要性が生じたため。
都市排水管網整備	1 年遅れ。管網の敷設は予定どおり完了したが、並行して進められた道路建設の完了を待って竣工検収が行われたため遅れが生じた。
西北郊排水路整備	10 カ月遅れ。橋梁、歩道橋、水門などのアウトプットの追加によって調整や現地踏査が追加発生したため。

出所：実施機関の質問票回答

3.2.3 内部収益率（参考数値）

給水と下水道事業の財務的内部収益率（FIRR）は、便益に料金収入、費用に事業費と運営・維持管理費、プロジェクトライフは 20 年として計算されていた。

⁹ 全サブプロジェクトにおける竣工検査の完了を本事業の完成の定義としている。

都市給水整備事業の審査時に想定されていた FIRR は 9.5%でこれに対して事後評価時の FIRR はマイナスになった。給水事業は市政府の財政投入を前提とした公益事業として運営しており、事業の料金設定も低い水準に据え置かれている一方、給水コストは審査時から上昇しており、収益性が低下した影響と考えられる。このため事業単体では赤字で運営しており、これを市政府の補助金や営業外収入¹⁰で補てんしている。

一方、下水道事業の FIRR は袁楽村下水処理場建設事業で 4.5%、西南郊地区下水処理場建設事業で 4.8%、北郊下水処理場建設事業で 4.1%の FIRR が想定されていたが、現地調査では各機関から財務データが開示されず FIRR は算出できなかった。

また、都市排水管網整備事業と西北郊排水路整備事業では、便益に洪水被害の減少、費用に事業費と運営・維持管理費、プロジェクトライフは 22～50 年として経済的内部収益率 (EIRR) がそれぞれ 14.7% (都市排水管網整備事業)、14.4% (西北郊排水路整備事業) と計算されていたが、事業完成以降の便益計算のために必要な詳細データの確認が困難であったため、EIRR は算出できなかった。

以上より、本事業は事業費、事業期間ともに若干計画を上回ったため、効率性は中程度である。

3.3 有効性¹¹ (レーティング : ③)

審査時には事業の効果として市内河川の水質汚濁の改善、衛生的な水の供給及び洪水被害の軽減が期待されていた。本評価ではまず事業の直接的効果として、「給水能力の改善」、「下水処理能力の向上」、「治水能力の向上」という直接的なアウトプットによる効果を測定し、その直接的な効果をもたらす波及的なインパクトとして、市内河川の水質汚濁の改善への寄与、衛生的な水の供給及び洪水被害の軽減を位置づける。

3.3.1 定量的効果 (運用・効果指標)

(1) 給水能力の改善

審査時に運用・効果指標として設定されていた本事業対象地域の給水量、給水人口、水道普及率の目標値と実績値を表 5 に示す。給水量と給水人口は審査時に設定されていた目標値を達成し、目標値に対して給水量は 120%、給水人口は 133%の達成率である。工業用水のリサイクルや節水器具の普及、住民の節水意識の高まり等を通じて水の利用効率が向上したことにより、給水人口に対して給水量の伸びが若干低い結果となった。

また、本事業と並行して国内での都市開発事業でも管網の整備が進められたことにより、本実施機関が管轄するエリア全域で管網の整備が完了した。これにより、事業完成 2 年後となる 2015 年時点の水道普及率は 95.4%と非常に高く、西安市の給水能力の改善という当初の目標は達成されたといえる。

¹⁰ 主線管網から世帯までの給水管の接続や主線管網の施工に対する収入、地下鉄や道路整備による管網の移設等の工事の委託費などを含む。

¹¹ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

表 5 本事業対象地域（西安市市街区）の給水量、給水人口、水道普及率

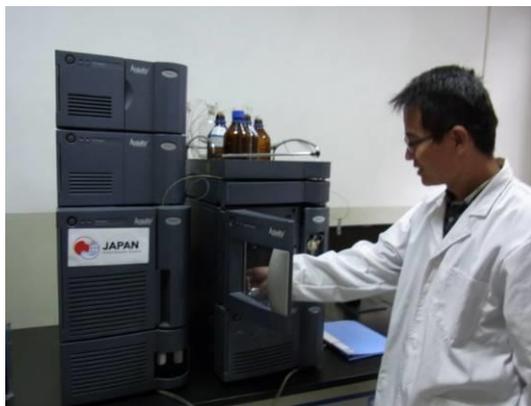
		基準値	目標値	実績値		
		2003 年	2013 年	2013 年	2014 年	2015 年
		審査年	事業完成 2 年後	事業完成年	事業完成 1 年後	事業完成 2 年後
運用	給水量 (m ³ /日)	696,000	1,323,000	1,492,159	1,493,589	1,591,000
	給水人口 (人)	2,210,000	3,380,000	4,300,000	4,300,000	4,500,000
効果	水道普及率 (%) 注 1	84	92	91.2	91.2	95.4

出所：基準値と目標値は JICA 提供資料、実績値は西安市統自来水公司の質問票回答。

注 1：水道普及率=給水人口/西安市市街区の人口

水圧や水質など、水供給の安定性も高まっている。本事業の実施機関への聞き取りによると、本事業対象地域における水圧も安定しており、浄水場配水口での平均水圧は 0.5MPa（メガパスカル）、西安市の本事業対象地域における水圧は 0.36MPa とのことであった¹²。また、本事業実施前は夏季には給水制限を行うなど、水供給能力が不足していた。本事業完成後はこうした給水制限は行われず、24 時間給水が実現している。

水質については、主な水質にかかる測定値はいずれも国家飲用水基準¹³をクリアしており、安全な水の供給が実現している。



水質測定機器



中央制御室

(2) 下水処理能力の向上

下水処理施設の整備に対して審査時に設定されていた目標は市の処理システム全体を想定したものであった。そのため、本事業の評価では、市全体の指標の中で本事業が占める割合をもとに評価した。ただし、運用指標として設定されていた下水処理人口に関しては統計データが公開されて

¹² 日本での一般水道の水圧は地理的条件にもよるが 0.05～1.0MPa の範囲にある。

¹³ 西安市の水質検査体制の信頼性は高く、本事業で水質測定機器が導入されたことにより、国家飲用水基準で指定された 106 の検査項目すべての測定が可能となるなど、水質測定能力も向上した。現在は市内に 40 カ所のオンライン自動モニタリングスポットが設置され、測定データがリアルタイムに実施機関の中央制御室に転送され、水質に問題がないか随時確認している。加えて月 2 回、職員が市内 120 カ所の測定箇所からサンプリング水を収集し水質検査を行っている。

おらず、また、実施機関でも把握していないとの回答であったため、代わりに下水処理量から効果の発現状況を確認した。また、効果指標として設定されていた放流先（渭河）の水質改善状況については、前述のとおり市内河川の水質汚濁の改善としてインパクトの項で分析する。

運用指標の目標と実績は下表に示すとおり。本下水道整備事業では、3カ所の下水処理場で総計38万 m^3 /日の処理能力が整備された。これは本事業完了時点の西安市全体の下水処理能力の約25%、実際の下水処理量では市全体の約20%の下水を処理しており、人口800万を超える西安市の下水処理システムにおいて重要な役割を担っていることが分かる。下水処理率に関しても、並行して実施された各種下水処理事業と合わせ、目標値の76%から92%と大きく向上しており、本事業は西安市の下水処理能力向上において重要な貢献をしていると評価できる。

表6 西安市の下水処理能力

指標名 (単位)	基準値	目標値	実績値		
	2003年	2010年	2013年	2014年	2015年
	審査年	事業完成 2年後	事業 完成年	事業完成 1年後	事業完成 2年後
下水処理能力 (万 m^3 /日)	/	/	153.1	153.1	200.6
うち本事業が占める割合	/	/	24.8%	24.8%	18.9%
運用 下水処理量 (万 m^3 /年)	/	/	41,898	47,907	57,034
うち本事業が占める割合	/	/	19.8%	19.0%	17.2%
下水処理率 (%) 注1	37	76	90.72	92.71	91.85

出所：基準値と目標値はJICA提供資料、実績値は西安市統計年鑑と実施機関の質問票回答。

注1：下水処理率=処理量/全発生活污水量（西安市全体で発生した污水量）

1) 本事業で整備された各下水処理場の稼働状況

本事業の効果を明確にするため、本事業で整備された袁楽村下水処理場、西南郊地区下水処理場及び北郊下水処理場の下水処理量と施設稼働率を下表に示す。事業完成以降の施設稼働率は順調に上昇しており、2015年時点の施設稼働率は袁楽村下水処理場で87.2%、西南郊地区下水処理場で84.7%に達している。

表 7 下水処理場の下水処理量と施設稼働率

		実績値 注1					
		2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
袁楽村下水処理場 (処理能力 20 万m ³ /日)	下水処理量* (万m ³ /日)	n/a	13.34	13.77	15.76	17.20	17.44
	施設稼働率** (%)	n/a	66.70	68.85	78.80	86.00	87.20
西南郊地区下水処理場 (処理能力 8 万m ³ /日)	下水処理量 (万m ³ /日)	3.30	3.90	4.60	4.70	5.60	6.80
	施設稼働率 (%)	41.30	49.20	57.60	59.10	69.40	84.70
北郊下水処理場 (処理能力 10 万m ³ /日)	下水処理量 (万m ³ /日)	0.50	0.70	0.95	2.25	2.17	2.61
	施設稼働率 (%)	5.00	7.00	9.50	22.50	21.70	26.10

出所：実施機関の質問票回答

*下水処理場が受け入れ処理する日平均下水量。

**日平均下水処理量/設備能力

注1：太枠は各事業の完成年。

注2：袁楽村下水処理場の正式稼働年は2011年1月だが、汚泥消化槽の稼働開始は2013年のため、事業全体の完成年は2013年。

注3：西南郊地区下水処理場の正式稼働年は2009年5月だが、管網整備を含む事業全体の完成年は2012年。

一方、北郊下水処理場については事業完成以降増加傾向にはあるものの、2015年の下水処理量の実績は設計能力の30%以下と低い水準にとどまる。実施機関によると、これは都市開発の遅れにともなって市街地から開発対象地域への工場移転が遅れたためとのことであった。西安市では今後2025年までに工場移転を実現する¹⁴計画で、その時点の北郊下水処理場の下水処理量は約9.8万m³/日と予測されている。市の開発計画の中でこれらの工場移転が決められており、移転実現の蓋然性は高いことから、本処理場についても、中期的には当初目標の下水処理量に達する見込みである。

以上から、2処理場の稼働率は8割を超え順調に推移し、まだ下水受入量が計画値に達していない北郊処理場を含めた平均稼働率は7割に達している。加えて北郊処理場の稼働率も近い将来に改善する可能性が高く、全体としては順調な稼働状況と評価できる。

2) 本事業で整備された各下水処理場の放流水の水質

各下水処理場の放流口における水質を下表で示す。放流水の水質に関して、袁楽村下水処理場と西南郊地区下水処理場では2013年から、北郊下水処理場では2015年からは審査時よりさらに厳しい国家一級A基準が適用されている。主要な汚染物質について、処理後の水質はいずれもこの国家一級A基準を超える削減効果を達成している。

¹⁴ 2012年に策定された西安市渭北工業区産業発展計画によると、今後市街地の工場はすべて産業園区に移転される予定であり、2020年までに23社、2025年には34社の工場の移転が予測されている。

表 8 各下水処理場の放流水の水質

単位：mg/l

処理場	放流水の水質 注1	国家基準 注2	実績値 注3					
			2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
袁楽村 下水処理場	COD濃度	50	-	27.7	24.1	22	21	19
	BOD濃度	10	-	10	9	7	7	7
	NH ₃ -N濃度	5	-	1.63	0.91	0.93	0.973	1.054
西南郊地区下 水処理場	COD濃度	50	27	23	33	25	20	21
	BOD濃度	10	5	2	2	3	2	2
	NH ₃ -N濃度	5	1.17	1.01	0.77	0.52	1.218	0.854
北郊 下水処理場	COD濃度	50	-	-	47.6	33.9	29.0	35.2
	BOD濃度	10	-	-	14.6	15.5	13.9	8.6
	NH ₃ -N濃度	5	-	-	4.40	1.21	0.79	0.70

出所：実施機関の質問票回答

注1：COD (chemical oxygen demand) は化学的酸素要求量、BOD (biochemical oxygen demand) は生物化学的酸素要求量、NH₃-N (ammonia nitrogen) はアンモニア性窒素を意味する。

注2：国家一級 A 基準で定められている環境基準値

注3：太字で囲っている年が国家一級 A 基準適用年。実績値は各下水処理場の正式稼働年からの値を示している。国家基準及び実績値は各水質濃度の平均値を示している。

(3) 治水能力の向上

審査時には排水路整備事業の運用・効果指標として破堤または越流による洪水被害の年間発生時間が設定されていた。西安市洪水轄水防止指揮弁公室によると、事業完成以降西安市では1度も洪水被害は発生していない。本事業で整備された排水路は西安市街区全体の排水路の8割を担っており、事業前に洪水被害をもたらしていたと同程度の降雨が発生していたにも関わらず、これまで大きな洪水被害が発生していないことから、本事業による効果が推定できる。より正確に効果を分析するため、治水能力の向上に対する評価については排水路の処理能力など直接的な機能の整備状況を検証し、想定される効果をもとに評価を行った。具体的には経年の年間最大流量が流下能力¹⁵の範囲内にあるかどうか、また、適切な維持管理が行われているかという点を判断基準とした。

審査時と事後評価時の流下能力は下表に示すとおり。事業実施前、本事業で整備された排水路の流下能力はそれぞれ太平河が30 m³/秒、開水路が30 m³/秒、幸福渠が15 m³/秒であった。事業実施後、これらの流下能力は平均3.2倍まで向上しており、著しい改善がみられる。

¹⁵ 洪水を安全に流下させることができる最大流量を指す。

表 9 各排水路の流下能力と流量

単位：m³/秒

排水路	流下能力		流量					
	審査時	評価時	2010年 完成年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
太平河	30	92						
年最大流量	-	-	61	83	54	66	51	69
流下能力-年最大流量	-	-	31	9	38	26	41	23
開水路	30	66						
年最大流量	-	-	43	64	39	41	38	51
流下能力-年最大流量	-	-	23	2	27	25	28	15
幸福渠	15	69.7						
年最大流量	-	-	36	65	37	43	35	54
流下能力-年最大流量	-	-	33.7	4.7	32.7	26.7	34.7	15.7

出所：実施機関の質問票回答

さらに、上の表では各排水路の最大流量と流下能力との差¹⁶を示している。実施機関によると、三水路が完成した2010年より前の流量の値は把握できていないとの回答であったが、事業実施前は市街地で20～30mmの短時間の大雨が発生するごとに破堤や越流、冠水が発生するなど、洪水被害が生じていたとのことであった。本事業完成以降は年最大流量が流下能力を上回った年はなく、排水が安全に流下していることが分かる。また、妥当性でも述べたとおり、西安市における降水量は計画時から現在まで大きな変化は見られず、現在の標準的な気象条件における越流、破堤といった危険性は大幅に低減していることが確認できた。

本事業で整備された排水路は、維持管理を定期的実施しており、その結果、流下能力等計画された能力を維持していると評価できる。（詳細は3.5 持続性を参照）。

以上より、洪水被害の軽減を定量的に検討するには制約があるものの、期待した治水能力を有する排水路が整備されたことから、排水路整備に関する効果は高いと評価できる。

3.3.2 定性的効果（その他の効果）

リサイクル効果として、再生水の利用と汚泥の再利用が期待されていた。それぞれの状況は以下のとおり。

（1）処理水の再利用

再生水の利用については検討段階となっており処理水の再利用の実現はまだしていない。西南郊地区下水処理場では、再生水の街路樹への散水用水等への利用を行っており、将来的には下水処理場内で再生水が活用できるよう具体的に技術案を出して検討している段階とのことであった。

¹⁶ 年最大流量が流下能力以下であれば、河川の水が越流することなく安全に流れていることを意味する。

(2) 汚泥の再利用

下水処理後の汚泥は処理場で一次処理¹⁷された後、計画どおり外部に委託してすべて再生処理されており、主にタイルやレンガ、堆肥への再利用が進められている。また、袁楽村下水処理場建設事業では本事業の中で汚泥消化槽が設置され、汚泥を利用してメタンガスを生成することで処理場敷地内の熱供給として利用できる環境が整っている。ただし、調査時は攪拌機の故障により消化槽の稼働は2015年末から停止しており、故障原因はまだ調査中とのことであった。



汚泥を運ぶトラック



袁楽村下水処理場の汚泥消化槽

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は衛生的な水の供給、水質汚濁の改善、洪水被害の軽減を通じた、西安市全体の水環境の改善である。このインパクトについて、本事業が果たした役割を分析する。

(1) 衛生的な水の供給

1) 水質

有効性で述べたとおり、本事業を通して上水管網の整備が進んだことで、水道普及率はほぼ100%を達成した。水質はいずれもすべての検査項目において国家飲用水基準を満たしており、水道水として適切であることが証明されている。また、上水管網の整備によって給水範囲が拡大されたことにより、本事業実施以降は西安市内すべての井戸が閉鎖された。これにより衛生的な水の供給が可能となった。

2) 水因性疾患の減少

水関連の疾患の減少と本事業の効果の直接の因果関係を立証することは困難だが、現在まで西安市の水関連の疾患は減少傾向を示している。西安市における肝炎患者数と下痢患者数は、2005年と2015年を比較した場合、人口増加にも関わらず肝炎患者で9,519例、下痢患者で5,890例の減少

¹⁷ 遠心分離機により汚泥の含水率を75～80%まで乾燥させている。

が確認されている。明確には因果関係を証明できないが、本事業による衛生的な水の供給が実現したことで、下痢など水因性疾患の減少につながった可能性がある。

(2) 水質汚濁の改善

本事業は西安市の都市計画の一環として位置づけられており、本事業で整備した下水処理場の処理能力は西安市都市部全体の約 25%を占めるなど、市内河川の水質汚染源の抑制に重要な役割を果たしたと評価できる。本事業実施前は郊外に下水処理場が設けられておらず、ほとんどの汚水が未処理のまま河川に流されていた。本事業によって西南郊と北郊の下水処理場が建設され、郊外に独立した下水処理システムが整備されたことで、本事業は西安市の都市部、郊外双方の河川の水質汚染改善に貢献しているといえる。

本事業の実施によって除去された汚染物質の推定量、ならびに除去された汚染物質量が西安市全体に占める割合は下表のとおり。年間総量に対して、本事業によって削減された汚染物質の割合は、2010～2015 年を平均すると COD で 29.1%、NH₃-N で 22.4%に達している。本事業で整備された下水処理場の処理能力は西安市全体の 2 割を占めており、本事業は市全体の汚染物質削減において、期待以上の結果を示しているといえる。

表 10 汚染物質削減量

	2010 年	2011 年	実績値 注			
			2012 年	2013 年 本事業完 成年	2014 年	2015 年
本事業による COD 削減量 (トン/年)	4,964	32,941	39,013	42,049	41,882	44,993
本事業による NH ₃ -N 削減量 (トン/年)	462	2,421	2,654	2,954	3,065	3,397
西安市の COD 削減量のうち 本事業が占める割合	4.4%	38.9%	48.0%	44.8%	29.3%	23.4%
西安市の NH ₃ -N 削減量のうち 本事業が占める割合	5.4%	26.6%	33.5%	31.4%	22.9%	18.4%

出所：本事業による削減量は実施機関の質問票回答、西安市の削減量は西安市統計年鑑。

注：3 つの下水処理事業すべてが完成したのは 2013 年。

本事業が処理するこれらの汚水は従来、すべて渭河の支流に未処理のまま放出されてきた。陝西省環境保護局によれば、2006 年に劣 V 類であった渭河の水質は、2015 年に IV 類へと改善した。河川の水質には本事業以外の要因にも大きく左右されるため、本事業との厳密な因果関係を見出すことは難しいが、本事業の処理能力が市全体で占める割合の高さも考慮すると、本事業は渭河の水質改善に一定の貢献を果たしていると考えられる。

(3) 洪水被害の軽減

西安市には大きく 5 つの排水システムがあり、西安市市街区の東部地域を除く大半の市街地の雨水と下水は本事業が整備した皂河、開水路、幸福渠で収集されており、この 3 排水路が西安市街地

の排水システムの8割以上を担っている¹⁸。太平河（皂河の支流）、開水路及び幸福渠は市全体の治水システムにおいて非常に重要な役割を担っており、本事業により排水路整備が実施されたことは市全体の洪水被害の軽減という点においても大きな効果をもたらしたといえる。

加えて、市街地の排水管網の整備が進められたことにより、市街地の冠水リスクも大きく低減しており、審査時の2005年当時の西安市市街地の排水管網の洪水防御基準（再来周期）は1.5年に1度（一部地域では3年に1度）から、事後評価時には5年に1度に改善された。

妥当性で述べたとおり、西安市における降水量は計画時から現在に至るまで大きな変化は見られておらず、現在も洪水被害が発生する危険性は計画時から変わっていない。一方で、排水路と排水管網の整備後は大幅に排水能力が向上し、これまでに越流等の洪水被害は発生していないことから、本事業は西安市全体として洪水被害の軽減にインパクトをもたらしたと評価できる。

洪水被害の軽減に関しては事業完成以降大きな被害が発生していないこともあり、直接的なインパクトを実績として確認することはできなかった。そのため、実施機関からの協力を得て、洪水被害が頻発していたとされる地域の世帯リストから無作為に抽出した住民120名に対する受益者調査¹⁹を行い、排水路整備がもたらした効果について確認した。

受益者調査の結果によると、過去に洪水被害を受けたことがあると回答した70名全員が農地の冠水被害を受けたことがあると回答した。一方、2010年以降の洪水被害に関して、調査対象者120名全員が農地の冠水に関して大幅に改善したと回答し、98%が土石流や地すべり、床上・床下浸水などの被害についても大幅に改善されたと答えた。また、94%は水害への不安が改善されたと回答している。

また調査対象者120名のうち、97%になる116名が周辺河川の環境状況が改善したと回答し、残りの4名はおおむね改善したと回答している。実際に河川の環境改善に関しては実施機関からも水路整備前はかなりの悪臭が発生していたが、現在は悪臭が改善され、水質も良くなってきたため魚も生息するようになっているとの意見が聞かれた。

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

事業実施前に行われた環境アセスメントでは、全サブプロジェクトにおいて自然環境や生態系への重大な負の影響やリスクは報告されなかった。また、一部の事業で追加されたアウトプットに関する事前の特段の環境への影響はないことが確認されている。

事業実施前には下水処理場からの臭気の対策として、関係設備は屋内に設置され除臭設備が設置されるなどの対策がとられた。また、西南郊地区下水処理場では工場地の境界に観測地点を設置し、臭気指数の測定が行われており、国家基準で定められた指数以下であることを確認している。加えて、下水処理場ではすべて環境保護局がオンラインで常時放流水質を監視しており、定期的な訪問検査も行うなど、厳格なモニタリ

¹⁸ 南部、西部、西北部の雨水と下水は全て皂河と太平河に流入し渭河に、旧市街地の雨水と下水は主に団結ダムから開水路を通り渭河に、東北部の雨水と下水は幸福渠を通り渭河に流れている。

¹⁹ 本事業実施前に洪水被害が頻発していた西安市太平河・皂河流域の市街地に位置する沙河灘村と下流域の八興灘村の住民120名（沙河灘村60名、八興灘村60名）に対して訪問調査方式で行われた。回答者は男性77%、女性23%、回答者の年齢は20～29歳3%、30～39歳23%、40～49歳38%、50～59歳33%、60～69歳1%であった。

ング体制が整備されている。地域住民からの苦情なども聞かれておらず、自然環境への特段のインパクトは認められない。

(2) 住民移転・用地取得

1) 住民移転

住民移転は全サブプロジェクトにおいて計画どおり発生しなかった。

2) 用地取得

実績の用地取得面積は223.8haで、計画比で約118%となった。各サブプロジェクトの取得面積をみると、袁楽村と北郊の下水処理場建設でそれぞれ計画比136%、143%に増加した。これは袁楽村で建設用地以外に道路と緑化用の用地取得が発生したこと、また、北郊下水処理場建設予定地の変更により対象地が村の一部を含み村単位での用地取得が必要となった²⁰ことなどから、計画より用地取得面積が増加した。都市給水整備では都市計画の影響で上水管の敷設ルートに変更が生じたことにより、用地取得面積が計画比の800%と大幅に増加した。これら用地取得が発生した全サブプロジェクトで国内法に基づいた事前説明及び補償等手続きが行われ、円滑に取得が進められた。

(3) その他正負のインパクト

本事業で整備された団結湖水路では事業実施前のごみが堆積し、下水があふれる不衛生な環境だったが、本事業によって排水路が整備され、きれいな水環境や景観が改善したことで、現在は市民の憩いの場所となり、国家水利景勝地に指定されている。また、市の取り組みにより生態環境保護の意識向上を目的とした附属施設として、西安水道保持博物館が設置され周辺住民に無料で公開されている。これに対し、実施機関担当者からは、周辺住民の環境保護に対する意識向上に成果をあげているとの声が聞かれた。

また、本事業の訪日研修終了後には西安市と京都市の間で合流式下水管の改善を今後の協力のテーマとして水環境保護分野における交流と提携を継続的に実施することが合意された。これに基づき、2010年と2011年、西安市で京都市の支援を活用した草の根技術協力事業が実施されるなど両市の連携強化につながっている。

以上より、本事業の実施によりおおむね計画どおりの効果の発現がみられ、有効性・インパクトは高い。

3.5 持続性（レーティング：③）

3.5.1 運営・維持管理の体制

審査時の計画では、市政府の委託を受けた西安市基礎施設建設投資管理有限公司（以下、「管理有限責任公司」）が一元的に本事業の調達及び施工管理全体の監督を行っていくとされた。サブ

²⁰ 用地取得対象地となった村は居住地ではなく所有地であり、居住の実態はなかった。

プロジェクトの運営主体については自来水公司や污水处理有限公司等、それぞれ担当実施機関が配置された。事業評価時において、管理有限責任公司是西安市基礎設施建設投資集團有限公司という名称に変更されたが、本事業の主要な担当者は審査時から交代しておらず、継続して実施機関等との連絡・調整、事業の運営・維持管理を行う下部組織の監督を行っており、本事業の実質的な運営に大きな変更はない。サブプロジェクトの実施機関は一部で計画時から組織体制や名称等に変更が生じたものの、各機関とも国営企業としての実質に変更はない。また各実施機関はいずれも民営化の計画はないと回答しており、中長期的にも現在の体制に大きな変化はないと見られる。

3.5.2 運営・維持管理の技術

(1) 運営維持管理の技術レベル

上下水道とも、サブプロジェクト実施機関は従前から各施設の運用に携わっており、その中で一定の技術や経験を有する人材を優先的に採用している。円借款事業を含む上下水道設備は、採用技術や設備もこれまで中国国内で採用された標準的なもので、西安市の上下水道事業に従事してきた技術者にも運営ノウハウや経験が一定程度蓄積されており、運営維持管理に必要な能力を有すると考えられる。また、技術者・社内向け研修体制も整備されており、運営管理や機械操作等に関する研修や実技訓練、また、研修や訓練終了後には筆記や技能試験が課せられるほか、機械の操作資格の取得が義務づけられるなどしている。技術者間での技術移転も積極的に行われるなど、技術レベルが維持するための仕組みが整えられており、技術レベルに関してはおおむね問題はみられない。

(2) 運営・維持管理のマニュアル整備状況

現地調査では、サブプロジェクト実施機関に対し、運営・維持管理方法やトラブル時の対処法、報告連絡体制などが組織としてルール化され、浸透しているかなどの観点から聞き取りを行った。その結果、すべてのサブプロジェクトで運営維持管理にかかるマニュアルが整備され、職員間の業務への共通認識やマニュアルの理解度もおおむね高いことが確認できた。また、設備の点検記録、水質モニタリングの記録なども保管されており、定期メンテナンスの仕組みが機能していることが確認できた。

以上より、運営・維持管理に必要な職員の技術レベルは確保されており、またメンテナンスの運営維持環境も確立されていることから、本事業の技術面の持続性は高いと考えられる。

3.5.3 運営・維持管理の財務

下表では西安市の年間予算とそのうち水関連セクターの支出額とその割合を示している。妥当性で示したとおり、事業開始以降も上下水道インフラの整備は継続的に進められており、市の開発における重点分野として投入が続けられてきたことがうかがえる。上下水道事業は公益事業として、主に政府による補助金や支援による財務運営を前提としているが、西安市の財政投入の伸びや規模、水分野への安定的な投入額を踏まえると、現時点で大きな懸念が生じる可能性は低いと推測される。

表 11 西安市財政予算

単位：万元

	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
一般会計	4,945,750	5,974,937	7,298,119	8,195,366	9,172,400
農業、林業、水関連支出 注1	387,899	451,053	499,357	487,646	566,231
割合	7.8%	7.5%	6.8%	6.0%	6.2%

出所：西安市統計年鑑注1 水セクターに特化した財政データは確認できなかったため、代替として上記データを採用した。

各事業の財務状況は以下のとおり。

(1) 上水道整備事業

現在の水道料金収入のみでは運営・維持管理費をカバー出来ずやや赤字になるが、表12に示すとおり料金回収率は99.5~99.8%と高く、直近2年間の収支では上水道料金収入と営業外収入を含んだ総売上は総支出を上回っており、収支のバランスは取れている。

表 12 収入と料金回収率

単位：万元

	2014年	2015年
総収入	94,951	99,110
上水道料金収入	80,460	88,831
営業外収入	14,491	10,279
総支出 注1	82,958	91,978
料金回収	99.65%	99.68%

出所：実施機関の質問票回答

注1：運営・維持管理費用、人件費などを含む。

上水道事業は市が公共事業として実施しており、運営・維持管理予算が不足する場合は、市からの補助金が補てんされる事になっているが、その必要性は事後評価時点では見られない。上述した市の安定した財政状況と合わせると、財務面の持続性に問題は見られない。

(2) 下水処理場/排水管網/排水路整備事業

下水処理、洪水防御、都市排水事業は個別の収益事業として運営されておらず、市政府傘下の国有企業が運営・維持管理を行っている。このため実施機関には詳細な財務データは存在しない、あるいは非開示という回答を得た。サブプロジェクト実施機関からの聞き取り調査の範囲では、財務的な運営状況について以下が確認できた。

- 1) 下水料金は上水道料金と合わせて上水会社が徴収しており、徴収率も安定している。
- 2) 西南郊地区下水処理場では下水使用料としての収入はなく、維持管理費のすべてを高新区から補助金として受け取っている。
- 3) 袁楽村と北郊下水処理場では下水道料金収入と補助金を合わせて維持管理費にあてている。

以上を踏まえると、下水道事業全般の財務状況としては、処理事業の直接的な採算性は低いが、運営・維持管理は市政府からの財政補助金を前提としており、安定した財務基盤が維持されている

と評価できる。

以上、西安市の財政において上下水、排水事業の運営・維持管理に必要な支出の財源は確保されており、実施機関からの聞き取りによると、当面政府による補助が継続されていく見込みであり、運営・維持管理費の持続性に問題は見られない。

3.5.4 運営・維持管理の状況

事業完成後の各サブプロジェクトの運営・維持管理状況は良好で設備や機材は大きな問題なく稼働している。スペアパーツやメンテナンスのための技術者やサポートについてもすべて国内で調達、対応可能であり、これまで特に問題は生じていないことが確認できた。現地調査では運営管理担当者へのインタビュー調査などを実施し、サブプロジェクトの各設備に関して以下のとおり運営・維持管理が行われていることを確認した。

表 13 運営・維持管理状況

サブプロジェクト	運営・維持管理状況
都市給水整備事業	塩素処理施設、巻上装置、ポンプ、電気設備、浄水池等の定期的なパトロール監視・日常点検が実施されている。運営維持管理を担当する西安市自来水公司内には水質管理部が設置され国家基準で定められた 106 項目の水質測定が行われており、検査結果は水質測定報告書として記録され、環境保護局などの監督機関に報告されている。
袁楽村下水処理場建設事業	日常のメンテナンスや検査、モニタリングなどの業務に関して決められた内容を把握し、共通の認識のもと運営・維持管理が行われている。処理場では毎日サンプリング水を採取して水質測定が実施されている。一部、本事業で設置された汚泥消化槽については攪拌機の故障により 2015 年末から稼働停止していたが、処理場の運営自体に問題は生じていない。
西南郊地区下水処理場建設事業	巡回検査、月 1 度の装置のメンテナンスを基本とした運営・維持管理が実施されている。月に 1 度、処理工法が適切かどうかを検証するため国の指定機関に処理水のサンプルを送り水質測定を依頼している。
北郊下水処理場建設事業	定期的に設備の稼働状況、メーターの水質測定値などの確認のためパトロール監視が実施されている。処理場内の実験室では毎日処理水の水質測定が行われており、測定結果はオンライン計測器のデータと突き合わせされ機器の異常がないかの確認が行われている。
都市排水管網整備事業	月 1 回の各パイプの巡回検査、洪水や降雪時期前のパイプの補強、月 1 度の雨水採取が行われている。
西北郊排水路整備事業	毎日の清掃、月 1 度の設備の巡回検査によるパーツ交換、定期的な水質確認が実施されている。豪雨が発生しやすい時期になると事前に天気予報を確認し、巡回検査の回数を増やして水位等を監視する。巡回中に異常や越流を発見した場合は救援チームを現場に送り、周辺住民に避難勧告が出される。

出所：実施機関の質問票、現地聞き取りによる回答

以上より、本事業の運営・維持管理は体制、技術、財務、状況ともに問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は、陝西省西安市において、下水処理施設、上水管網及び排水路等を整備することにより、市内河川の水質汚濁の改善、衛生的な水の供給及び洪水被害の軽減を図り、もって西安市の水環境改善に寄与することを目的として実施された。本事業は審査時から現在まで中国の国家・省・市レベルの開発政策、開発ニーズと合致しており、妥当性は高い。サブプロジェクトで整備された設備は順調に稼働し、下水処理量、汚染物質の削減量など主要指標も、おおむね計画された目標を達していることから、都市部の上下水道、洪水制御の機能を強化するうえで効果的な役割を果たしていると評価できる。その結果、西安市における水質汚濁の改善、衛生的な水の供給、洪水被害の軽減に対しても本事業の貢献が見られることから、有効性・インパクトは高いといえる。なお事業費と事業期間は計画を上回ったため、効率性は中程度となった。持続性については、組織能力ならびに技術面に大きな問題はみられない。西安市では、上下水道、排水事業への財政支出を安定して続けており、本事業も公益事業として安定した財政補助を受けて運営されているため今後も補助は継続される見通しである。以上から、本事業の持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

袁楽村下水処理場の汚泥消化槽については、すでに2015年末の稼働停止後一定期間が経過しており、設備の劣化が懸念される。機能回復に向けた調整に加え、設備の状態を維持するための短期的なメーカーサポートの依頼など、劣化防止の対策と稼働に向けた短中期の作業計画を早急に検討する必要がある。

4.2.2 JICA への提言

なし

4.3 教訓

円借款を活用した関連政策の拡大による開発効果の向上

有効性で述べたとおり、本事業のサブプロジェクトである西北郊排水路整備では、その後市政府の取り組みにより、事業で建設した排水路（団結湖水路）を活用した附属施設（西安水道保持博物館）が設置された。西安市政府として、円借款のアウトプットを環境改善に向けた関連施策の触媒として活用し、その効果を示すことで、独自資金による関連環境改善事業の継続導入を実現するなど、円借款事業の効果を高める狙いがあったものと考えられる。

円借款事業の投入効果を高めるうえでは、事業の実施機関のインフラや総合的都市開発計画や政策等と整合性が高い案件を形成し、円借款事業の成果が、その後の開発計画の促進につながるように位置づけ、さらなる投入につなげることで、より開発効果を高めるシナリオを検討しておくことが望ましい。

以上

主要計画/実績比較

項 目	計 画	実 績
①アウトプット 都市給水整備	①上水管敷設 260km ②貯水池、配水場、水質測定機器、中央制御システム整備	①上水管敷設 215km ②計画どおり
袁楽村下水処理場	処理能力 20万m ³ /日	計画どおり
西南郊地区下水処理場	①処理能力 8万m ³ /日 ②下水管敷設 60km	①計画どおり ②下水管敷設 58.6km
北郊下水処理場	①処理能力 10万m ³ /日 ②下水管敷設 160km	①計画どおり ②下水管敷設 159.1km
都市排水管網整備	下水管敷設 231km	下水管敷設 230km
西北郊排水路整備	①排水路整備 43km ② 団 結 ダ ム 湖 水 路 整 備 12.675km	①排水路整備 31.95km ②団結ダム湖水路整備 12.676km ③橋梁3基、歩道橋2本、護岸擁壁、 ポンプ、水門設置
研修	実施機関の職員を対象とした 日本での研修 70人	本事業実施機関とサブプロジェクト担当の全実施機関からの職員、合計77人 (男性63人、女性14人)
②期間	2005年4月～2011年10月 (79カ月)	2005年4月～2013年10月 (103カ月)
③事業費		
外貨	19,564百万円	18,324百万円
内貨	18,832百万円 (1,416百万円)	26,749百万円 (1,916百万円)
合計	38,396百万円	45,073百万円
うち円借款分	19,564百万円	18,324百万円
換算レート	1元 = 13.3円 (2004年9月時点)	1元 = 13.96円 (2005年～2013年平均)
④貸付完了	2014年7月	

以上

0. 要旨

本事業は、内蒙古自治区に位置する工業都市の包頭市において、天然ガス・パイプラインを建設することにより、石炭から天然ガスへのエネルギー転換及び大気汚染物質排出量の削減を図り、もって包頭市における大気環境の改善、居住者の生活・環境水準の向上を目的として実施された。

本事業は、審査時から現在まで国・自治区・市すべてのレベルで、開発計画で定められた大気汚染対策と合致しており、妥当性が高い。効率性については、事業費・事業期間ともに計画値を超えたため中程度の評価となる。ただし、より良い資機材への変更や効率的な施工を実施するなど、効率性を高めるための措置が実施されたことで、遅延の影響は抑制されている。事業完了後、ガス供給は事業の目標供給量に到達し、一度もガス供給が停止することなく安定した供給を実現している。この結果、包頭市では石炭による非効率な燃焼源からの代替が進み、大気中の汚染物質濃度が減少する効果が出ている。2015年には大気中の汚染物質濃度の国家基準達成日数が年間の9割に達するまでに改善した。地域住民も以前と比較して大気や生活環境の改善を認めており、本事業の有効性・インパクトの達成度合いは高い。本事業を運営する組織については、体制、技術、財務のいずれの側面においても安定した状況を実現しており、持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高い。

1. 事業の概要



事業位置図



西ゲートステーション

1.1 事業の背景

中国は、急速な経済成長を遂げる反面、工業化と人口増加によって1980年代以降環境汚染が進んだ。このため、中国政府は特に1990年代後半以降、環境保護政策を強化し、一定の成果を上げてきたが、汚染状況は依然深刻なレベルにあった。中国の大気環境は、主たるエネルギー源である石炭の燃焼による硫黄酸化物(SO_x)、総浮遊粒子状物質(TSP)、窒素酸化物(NO_x)等によって非常に

深刻な汚染状態にあり、2003年の中国の二酸化硫黄（SO₂）の排出量は日本のSO_x排出量の30倍以上であった。このため、中国国内の都市で酸性雨も観測されていた。

本事業の対象地域である内蒙古自治区包頭市では、重工業の発展及び冬期における一般家庭での暖房用の石炭や石炭ボイラーの使用によるSO₂、煤塵等による大気汚染が深刻であった。大気中のSO₂、TSPの濃度は居住区等に適用される国家大気環境2級基準値を超えており、全国113の国家環境保護重点大気汚染都市においてワースト13位に位置するほど、大気環境改善が喫緊の課題であった。

このような状況のもと、包頭市における石炭消費を削減し、深刻な大気汚染状況を改善するために、本事業が計画された。

1.2 事業概要

内蒙古自治区内の主要工業都市の一つである包頭市において、天然ガス・パイプラインを建設することにより、石炭から天然ガスへエネルギー転換及び大気汚染物質排出量の削減を図り、もって包頭市における大気環境の改善、居住者の生活・環境水準のさらなる向上に寄与する。

円借款承諾額/実行額	8,469百万円/8,451百万円
交換公文締結/借款契約調印	2005年3月/2005年3月
借款契約条件	金利 0.75% 返済 40年 (うち据置 10年) 調達条件 一般アンタイト
借入人/実施機関	中華人民共和国政府/内蒙古自治区人民政府
事業完成	2014年8月
本体契約	・China Peak Development Limited (中華人民共和国) ・Merit Technologies Inc. (Beijing) (中華人民共和国) / Beijing Zhonghui United Environmental Engineering Co.,Ltd. (中華人民共和国) ・Beijing Brill Sanyou Technology Development Co., Ltd. (中華人民共和国)
コンサルタント契約	-
関連調査 (フィージビリティ・スタディ： F/S)等	F/S：中国市政工程華北設計研究院作成、2004年8月(2004年9月内蒙古自治区發展改革委員会承認) 案件形成促進調査：内蒙古自治区包頭市大気環境改善事業(2005年1月)
関連事業	・フフホト・包頭環境改善事業(1996年12月) ・フフホト・包頭環境改善事業(2)(1997年9月)

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

百田 顕児 (アイ・シー・ネット株式会社)

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：2016年7月～2017年10月

現地調査：2016年10月18日～10月26日、2017年4月20日～4月22日

3. 評価結果（レーティング：A¹）

3.1 妥当性（レーティング：③²）

3.1.1 開発政策との整合性

（1） 審査時における政策との整合性

1) 国家政策レベルとの整合性

中国政府は、「第9次5カ年環境保護計画」（1996年～2000年）で環境セクターにおいて計画した目標を達成したものの、いまだ汚染物質の排出量が多く、都市部の大気環境の汚染レベルは深刻な状況が続いていた。この状況を受け、「第10次5カ年環境保護計画」（以下「10・5環境保護計画」）（2001年～2005年）では、主要な汚染物（SO₂、TSP等）の排出量を2000年比で10%削減することが目標として設定された。特に大気環境について、「SO₂汚染規制区」と「酸性雨規制区」におけるSO₂排出量を2000年比で20%削減する目標を掲げるとともに、天然ガス等のクリーンエネルギーの普及推進を掲げていた。

2) 自治区・市政策レベルとの整合性

内蒙古自治区人民政府も、中央政府の「10・5環境保護計画」を受け、「内蒙古自治区第10次5カ年計画」（2001年～2005年）において、2005年までにSO₂や煤塵等の主要汚染物質排出量を対2000年度比で10%削減すること、「SO₂汚染規制区」と「酸性雨規制区」におけるSO₂排出量を対2000年度比で21%削減することを目標に掲げるとともに、クリーンエネルギーへの転換等を進める計画等を掲げた。

包頭市では、「包頭市環境保護第10次5カ年計画」（2001年～2005年）で具体的な目標値を定めるとともに、環境保護条例にて「高汚染燃料禁止地区の設定」と「天然ガス等クリーンエネルギーへの転換の義務付」の方針を掲げた。

（2） 事後評価時における開発政策との整合性

1) 国家政策レベルとの整合性

「第12次5カ年国家開発計画」（2011年～2015年）では、GDP1単位当たり、CO₂を17%、SO₂を8%、窒素酸化物を10%削減することが目標として設定されている。この目標を具体化する「第12次5カ年国家環境保護計画」（2011年～2015年）では、大気汚染についての取り組み強化として、2015年までに、非化石燃料の割合を1次エネルギー消費量の11.4%にまで増加させ

¹ A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

² ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

ることを目指し、石炭使用の抑制などの対応を打ち出している。

2) 自治区・市レベル政策との整合性

「内蒙古自治区第12年次5カ年計画」(2011年～2015年)では、石炭を代替する主要エネルギー源として天然ガスを位置づけ、その導入促進を打ち出している。具体的には、天然ガスパイプラインの建設を加速し、天然ガス普及率を85%以上に高めること、エネルギー関連製品の輸送パイプラインの建設を強化して、エネルギー関連製品の域外への輸送力を向上すること、そして、地域及び都市大気環境質の改善を目指し、自治区全域70%の主要都市における大気質の国家2級基準の達成日数が292日以上になること、である。また包頭市でも同様に、「包頭市環境保護第12年次5カ年計画」(2011年～2015年)の目標として、大気質2級基準達成日数を329日以上に引き上げている。2014年には、石炭燃焼ボイラーの撤去を進め、エネルギー効率が高い集中型熱供給事業又はガス化改造事業による供給源の一本化を図るため、市内の小規模ボイラーの撤去を推進するための施策³を実施した。

以上から、本事業審査時から現在に至るまで国及び自治区・市のいずれのレベルでも、大気汚染に係る取り組みが強化されており、本事業はこれを具体化する取り組みとして、整合性が高いと評価できる。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

(1) 審査時における開発ニーズとの整合性

内蒙古自治区では、経済成長に伴いエネルギー消費量が1995年～2003年の間に約81%増加しており、このうち約94%が石炭を使用していたため、大気汚染が深刻な問題であった。当時のSO₂の排出量は約81万トン/年(2003年値)で日本全体のSO_x排出量(約63万トン、2000年値)を上回る水準にあった。特に重工業の発展及び冬期における一般家庭での暖房用の石炭や石炭ボイラーの使用によるSO₂、煤塵等による大気汚染が深刻で、包頭市における大気汚染物質の大気中濃度は、国家大気環境2級基準を超える水準が続いていた。

³ 「包頭市主要市街地熱供給用石炭燃焼ボイラーの撤去・ネットワーク化の実施方策に関する通知」、「包頭市既成区における事業所用・生活用石炭燃焼ボイラー改善方策に関する通知」(いずれも2014年)。

表 1 包頭市における大気汚染物質の大気中濃度

指標名	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	国家2級 基準
SO ₂ (mg/m ³)	0.085	0.084	0.072	0.084	0.081	0.06
TSP (mg/m ³)	0.439	0.382	0.394	0.378 ^{注1}	-	0.20
PM ₁₀ (mg/m ³)	-	-	-	0.237 ^{注2}	0.277	0.1

出所：JICA 提供資料（包頭市環境保護局提供資料）

注1：1～5月

注2：6～12月、2002年6月以降指標がTSPからPM₁₀に変更

(2) 事後評価時における開発ニーズとの整合性

下表は内蒙古自治区の大気汚染物質の排出量を示した表である。大気汚染物質の排出量は減少傾向にはあるものの、依然 2000年当時の日本の総排出量よりも多い水準にあり、大気汚染の改善は重要な課題となっている。

表 2 内蒙古自治区の大気汚染物質排出量

指標名	2004年	2007年	2010年	2015年
SO ₂ (万トン)	-	145.6	139.4	123.1
NO _x (万トン)	-	-	-	113.9
TSP (万トン)	-	-	-	-

出所：包頭市ガス会社の質問票回答

下表は同時期の包頭市における重工業の工場数を示したものだが、2009年当時と比べ約4割近く増加しており、大気汚染に影響を与える燃焼源は増加が続いている。

表 3 包頭市における重工業工場数の推移

指標名	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
重工業の 工場数	12,318	15,998	16,502	16,467	16,640	16,640	-

出所：包頭市ガス会社の質問票回答（包頭市統計局のデータ）

注：2004年～2008年はデータ提供なし

包頭市における大気汚染物質は審査時から深刻な汚染状況が続いており、現在に至るまで、主要汚染源となる重工業や都市の発展が続いている。これらの環境において、石炭燃焼からよりクリーンな天然ガスへのエネルギー構造の転換は重要な政策であった。本事業を含めたエネルギー源の転換に向けた取り組みは、当時の包頭市における大気汚染状況の改善において、高いニーズがあったといえる。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

本事業審査時の日本の「対中国経済協力計画（2001年10月公表）」では、重点分野として「環

境問題など地球規模の問題に対処するための協力」、「内陸部の民生向上・社会開発」が含まれており、2002年4月1日に公表された「海外経済協力業務実施方針」及び「国別業務実施方針」（2004年度）では、「環境保全」に重点が置かれ、「環境改善・公害防止への支援」が重点分野の1つとして挙げられている。いずれの方針においても環境改善は重要課題とされており、本事業との整合性が高い。

以上より、本事業の実施は中国の開発政策、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。

3.2 効率性（レーティング：②）

3.2.1 アウトプット

本事業のアウトプットの計画と実績は下表のとおりで、主要部分については、おおむね計画どおりに整備された。

表 4 アウトプットの計画と実績

アウトプット	計画 (2004年)	実績 事業完成時(2014年) 文中()内は計画比
1) 西ゲートステーション一式	新設	ほぼ計画どおり 立地場所が包頭市郊外に変更
2) 東河ゲートステーション一式	増設	計画どおり
3) 昆区レギュレーターステーション(高→中圧)一式	新設	計画どおり
4) 開発区レギュレーターステーション(高→中圧)一式	増設	計画どおり
5) 工場専用レギュレーターステーション(高→中圧)一式	新設：8工場 増設：3工場	新設：6工場(75%) 増設：計画どおり
6) レギュレーターキャビネット(中→低圧)	新設：120基	新設：110基(91%)
7) ガス管	・ 高圧管 新設：54km ・ 中圧管 新設：52km 取替：270km ・ 低圧管 取替：441km	・ 高圧管：48.66km(90%) ・ 中圧管：325.24km(101%) ・ 低圧管：468.18km(106%)
8) ガス器具のノズル調整及び内管修理	対象世帯数：147,000	計画どおり
9) SCADA システム	1セット	計画どおり
10) バルブ	・ 高圧用：15基 ・ 中圧用：100基 ・ 低圧用：300基	計画どおり
11) 大気環境改善にかかる日本での研修	3グループ (計12人)	1グループ (計5人)(41%)

出所：計画は JICA 提供資料、実績値は包頭市ガス会社の質問票回答

変更されたアウトプットについて、その主な要因は下表のとおり。

表 5 アウトプットの変更要因

アウトプット	変更の詳細
1) 西ゲートステーション	「包頭市第 12 次 5 年計画」でオールドガス田のパイプ敷設の方向が変更となり、これに伴う天然ガス供給の安全性及び安定性の確保のため、立地場所を包頭市南部から包頭市南西部の郊外へ変更した。
5) 工場専用レギュレーターステーション	工場の倒産及び移転により、新設の工場数が減少した
6) レギュレーターキャビネット	詳細計画時に、配置計画の最適化を図り 110 基に変更された
7) ガス管	<p>[総長] 「包頭市第 11 次 5 年計画」の後半で、都市計画の見直しに伴い新設される道路の経路が変更された。その影響で、ガス管網の総長も変更となった。</p> <p>[材質] 計画時の鋳鉄管からより耐圧性の高い鋼管とポリエチレン (PE) 管に変更。</p>
11) 大気環境改善にかかる日本での研修	<p>[実施回数・人数の減少] 入札時期が大幅に遅れたことで、本体工事の遅れを解消する必要が生じた。このため、多くの人材を工事に投入し、その結果訪日研修に派遣する人材を確保することができなくなった。</p> <p>[実施時期] 2010 年 4 月に一度実施。当初の 2006 年 9 月、2007 年 9 月、2008 年 9 月より変更された。</p>

出所：包頭市ガス会社の質問票回答

主に都市計画の変更に伴うアウトプットの変更は生じたものの、事業の目的の達成や効率性に影響を与えるような大規模変更はなく、おおむね計画どおりのアウトプットが整備されたと評価できる。



住宅団地に設置の
レギュレーターキャビネット



SCADA システム
(ガス会社本部に設置)

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

本日の事業費は審査時が 13,962 百万円（うち外貨 8,469 百万円、内貨 5,493 百万円）、実績は総事業費が 15,351 百万円（うち外貨 8,443 百万円（計画比 100%）、内貨 6,908 百万円、計画比

126%) (円借款対象外貨 8,443 百万円) と、審査時の事業費を約 10% 上回った (計画比 110%)。

表 6 事業費の内訳

単位: 百万円

項目	外貨		内貨		合計	
	全体	円借款 対象	全体	円借款 対象	全体	円借款 対象
資機材調達・土木工 事	8,435 (8,058)	8,435 (8,058)	3,532 (1,564)	0	11,967 (9,622)	8,435 (8,058)
研修費	8 (26)	8 (26)	0 (4)	0	8 (30)	8 (26)
その他 (一般管理費)	0	0	2,679 (105)	0	2,679 (105)	0
用地取得費	0	0	697 (1,335)	0	697 (1,335)	0
ブライズ・エスカレーション	0 (385)	0	0 (32)	0	0 (417)	0
物的予備費	0	0	0 (574)	0	0 (574)	0
建中金利	0	0	0 (1,879)	0	0 (1,879)	0
合計	8,443 (8,469)	8,443 (8,469)	6,908 (5,493)	0	15,351 (13,962)	8,443 (8,469)

注1: () 内は計画値

注2: 項目「建中金利」は項目「その他」に含む

増加の要因は下表のとおり、主に期間中のガス管の原材料費、人件費等の増加によるものである。特に人件費については、2004年～2013年の間、平均して毎年15%以上の上昇率が続いている⁴。また、為替変動による影響も大きく、円借款での支出が開始された2009年～2014年において最大で1元当たり約4.8円の変動が生じている。

表 7 事業費の変更要因

費用の増加要因	費用の減少要因
<ul style="list-style-type: none"> 中国全土での賃金上昇による人件費の高騰 (内蒙古自治区で2004年～2013年で毎年平均15.13%の上昇率) 為替の変動による外貨額の人民元変換額の減少 (調達が行われた2009年～2014年間で最大で1元当たり約4.8円の変動) 事業後半で導入したPE管の材料費の調達段階での高騰 (低圧管: 約1.18倍、中圧管: 約1.21倍) 	<ul style="list-style-type: none"> パイプラインの材質 (鋳鉄管→鋼管、PE管) 変更 訪日研修の実施回数の減少

上述のとおり事業費の増加要因が生じた一方で、パイプラインの材質を鋳鉄管から鋼管に変更したことで約3.28億円相当の費用を削減した。さらに事業の後半からは鋼管をより安価なPE管⁵に変更し、その費用を上述したガス管総長の増加や、口径の大きなガス管の購入などの仕様変更⁵に充てられた。

⁴ 中国の最低賃金制度の状況と発展の新たな動向 (馬小麗、2015)、「第12回北東アジア労働フォーラム報告書 最近の賃金動向と最低賃金制度」、『JILPT 海外労働情報』、2015年2月、独立行政法人 労働政策研究・研修機構

⁵ ただし、2013年頃からPE管の材料費が2割程度増加した。ガス管の総長延長等もあり、最終的な総事業費は文中の通り10%の増加となった

この結果、人件費等の高騰によって事業費は増加したものの、材質変更による費用削減の効率的な再配分等を実施したことで、費用の増加は10%にとどめることができた。

3.2.2.2 事業期間

審査時における事業期間は2005年3月（借款契約調印）～2013年12月（106カ月）を計画していたが、実績は2005年3月（借款契約調印）～2014年8月（114カ月）と計画比108%の遅延となった。各項目における事業期間の詳細は以下のとおり。

表 8 事業期間：計画と実績

計画					
本体建設		詳細設計	入札	工事	試運転
	開始	2004年8月	2005年4月	2006年9月	2007年9月
	終了	2005年2月	2006年8月	2013年12月	2013年12月
研修事業		回数	第1回	第2回	第3回
		開催時期	2006年9月	2007年9月	2008年9月

実績					
本体建設		詳細設計	入札	工事	試運転
	開始	2004年8月	2007年12月	2007年7月	2013年12月
	終了	2006年1月	2011年11月	2013年12月	2014年8月
研修事業		回数	第1回	第2回	第3回
		開催時期	2010年4月	—	—

出所：包頭市ガス会社の質問票回答

注：事業完成の定義は、検収終了後

本事業の事業期間が遅延した要因は、借款契約調印後、包頭市財政局と包頭市ガス会社との間での再転貸手続きに時間を要したためである。

この結果入札開始時期は32カ月と大幅に遅れたものの、実施機関である包頭市ガス会社は、以下の対策を講じることで施工期間を短縮し、事業期間全体の遅れを約8カ月にとどめている。

- 市政府関連機関との連携：本事業は政府の環境政策の重要事業として位置づけられており、施工段階において手続きの簡素化などの支援を受けることができた。また入札までの事前準備段階を利用し、ガス管敷設工事の実施時期に影響を及ぼす道路工事の実施時期等について事前に行政機関との調整を行うなど、事前に想定される問題への解決策などを固めた。

- 施工方法、計画の効率化：内貨部分の工事を先行して進めたほか、ガス管の工事では施工・検収・供給を並行して進めるなど、施工方法の効率化を図った。また訪日研修の第2回・3回の実施を見送り、工事への人材投入を優先した。

事業開始時の政府内の契約手続きが大幅に遅延するなか、事業の実務部分を効率的に計画、実施したことで、当初の遅れを最小限にとどめることができたと評価できる。

3.2.3 内部収益率（参考数値）

財務的内部収益率（FIRR）

審査時の財務的内部収益率（FIRR）の計算結果は3.65%であった。本評価で再計算を行った結果、FIRRは25.15%になった。計算方法は審査時と同様、ガス料金収入を便益、費用として初期投資額に加え毎年の維持管理費を計算し、プロジェクトライフ20年間の収益率を計算した。FIRRが向上した背景には、ガス料金単価が審査時より上昇したこと、今後の供給量が安定して7%近い伸びが見込める環境になったこと、工場や企業向けなど、一般家庭より単価が高い供給先の比率が増加したことなどが挙げられる。後述する財務面の持続性と合わせ、ガス事業が安定した経営状態にあることがうかがえる。

以上より、事業費、事業期間ともに計画を上回ったため、効率性は中程度である。

3.3 有効性⁶（レーティング：③）

3.3.1 定量的効果（運用・効果指標）

石炭から天然ガスへのエネルギー転換において期待された効果と実績を比較する。

（1）ガス供給事業の運用状況

ガス供給の総量は、2015年の段階でほぼ目標値に達しており、さらに2016年10月時点の年度供給量は58,688.73万m³/年まで伸びており、目標値を達成している。

ガス供給を用途別の販売量で見ると、ガスの供給構造は審査時から大きく変化し、現在の主な需要は重工業工場などの工業用で、全体の77%を占める。工業向けのガス供給量が増加した背景には、妥当性でも述べたとおり、市政府の方針として天然ガスの転換を推進する方針が打ち出され、具体的な措置が進んだことがある。特に2014年に制定された事業所の石炭ボイラー撤去に係る条例の施行と、本事業による天然ガスの安定供給環境が実現したことで、急速に普及が進んだと評価できる。他方、当初最大の供給源と予測された一般家庭向けの供給量は、目標の半分以下にとどまっている。これは、審査時と比べ一般家庭への供給量が大幅に減少する一方で、工業向けのガス供給量が大幅に増加したことによる。一般家庭の供給量の減少の大きな理由としては、都市部での集中型熱供給システムの構築によるガス供給効率の向上が大きく影響していると考えられる。

⁶ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

表 9 ガス供給の運用状況

指標名	基準値 2004年 審査時	目標値 2014年 事業完成1年後	実績値 2015年 事業完成1年後
天然ガス供給量 (万 m ³ /年)	730.0	58,067.0	57,919.0
一般家庭 (住宅) への天然ガスの販売 量 (10 ⁴ m ³ /年)	0.0	14,488.0	6,330.0
工業用需要家の天然ガスの販売量 (10 ⁴ m ³ /年)	730.0	33,923.0	44,345.0
公共施設等への天然ガスの販売量 (10 ⁴ m ³ /年)	0.0	9,656.0	7,243.0
天然ガス受益者 (利用者) 数 (契約口 数) ^{注1}	-	-	44.15 万世帯
天然ガス普及率 (%)	6.9	91.6	96.0

出所：基準値はJICA 提供資料、実績値は包頭市ガス会社の質問票回答

注1：天然ガス受益者 (利用者) 数 (契約口数) とは、一般住宅でのガス利用世帯数を示す。

包頭市ガス会社は、包頭市の南部、同じ内蒙古自治区の鉱物資源の埋蔵量が豊富な資源都市として知られるオルドスに位置する長慶ガス田から天然ガスを購入している。ガス会社によれば、運転開始以降これまでガス供給が停止したことはなく、供給環境は安定している。またガス管網を環状線構造で整備したことで、管網の事故等によるガス供給の停止に備えており、運用開始以来事故による停止も発生していない。

(2) 汚染物質の排出削減量

ここでは天然ガス転換により、従来使われていた石炭等エネルギー源による大気汚染物質の排出がどの程度抑制されたかを分析する。具体的には、2015 年当時の天然ガス供給量 (57,919 × 10⁴m³) と同等の供給を石炭で行った場合の汚染物質排出量を試算し、その差分を推定する形を取った⁷。下表にその結果をまとめる。事業による排出削減効果はSO₂ で約 2 万 t、NO_x で 1.3 万 t、TSP で約 12.4 万 t となった。

⁷ 包頭市環境保護局より、汚染物質排出量のデータは機密事項のため非開示との回答を得た。このため本報告書では、評価者が試算を行い、現在供給される天然ガス供給量を、同等量の石炭燃焼に換算した場合の大気汚染物質との比較で算出した。試算は以下の前提で算出した。2015 年の天然ガス供給量を標準炭に換算した場合の石炭使用量：1,661,117t。天然ガスのエネルギー量：約 8,604kcal/m³、エネルギー効率：80%。標準炭のエネルギー量：約 7004kcal/t、エネルギー効率：40%。天然ガス、標準炭の汚染物質排出量は、現地での聞き取り結果を踏まえて標準的な係数を採用した。

表 10 汚染物質排出削減量のシミュレーション（事業完成1年後：2015年）

種類	SO ₂ 排出量 (t/年)	NO _x 排出量 (t/年)	TSP 排出量 (t/年)
天然ガス	365	1,969	166
標準炭	21,262	15,083	124,584
排出削減量	20,897 (21,864)	13,114 (7,432)	124,418 (N/A)

出所：包頭市の質問票回答から評価者計算

注：（）内の数値は審査時の目標値

審査時の目標値⁸とは異なる試算条件を採用したため単純な比較はできないが、目標値を記載すると、SO₂の削減量は21,864 (t/年)、NO_xの削減量は7,432 (t/年)であり、NO_xについては目標値を達成している。



事業実施前の重工業地帯の風景



事業実施後の重工業地帯の風景

3.3.2 定性的効果（その他の効果）

市内の環境改善効果については、インパクトで詳述する。それ以外の効果として、本事業での研修による効果が挙げられる。日本での研修は3回から1回に変更されているが、参加者からは、研修で得られた知見や経験は事業運営にプラスの影響があったと評価しており、特に安全性に対する意識改革の面で効果があったと評価できる。以下に、特に安全面での取り組みについて具体的に挙げられた事象を4点まとめる。

（1）日本での研修による効果

現地調査時に、現在包頭市ガス会社の副総経理 孫彦磊氏から日本での研修の効果や学びについてインタビューを実施した。孫氏は本事業実施当時から工程管理に携わっており、日本での研修は、事業の実施過程における短期的な効果と、その後のガス会社全体の経営改善における長期的な取り組みの両面において効果的だったと評価している。日本での研修は、天然ガス管の建設、工事、運営維持、そしてガス会社としての先進的な管理経験を学ぶことが目的で、特に「安全」

⁸ 審査時は、本事業にて天然ガスへ転換予定の企業で使用しているそれぞれのエネルギー源による汚染物質発生源および天然ガスへの転換が想定される一般家庭での各エネルギー使用量をすべて天然ガスへ転換した場合を想定している。

意識の向上への効果が高いといえる。孫氏へのインタビューでは、具体的に以下の点を研修の学びや効果として認める意見が確認できた。

1) 事業計画、仕様の変更

阪神大震災の際の経験を聞き、中圧管と低圧管において、より耐震性・耐久性に優れた PE 管材のガス管へと仕様変更を行った。

2) 安全な運営確保のためのシステム化

日本のガス会社訪問時に、ガス供給施設の安全運営体制の重要性を認識し、自動制御システムの導入促進に向けた契機になった。

3) 人的資源の強化の重要性の認識

社員の能力向上、特に維持管理能力の向上が安全な運営にもつながることから、実践的な訓練を行う研修所を設立し、2013 年からは新入社員用の訓練プログラムも、より実践演習を重視したプログラムを導入した。

4) 普及率向上のための広報活動の重要性の認識

日本のガス会社ではガスの広報活動として主婦を対象とした料理教室や説明会、ガスの日などが実施されている状況を見て、カスタマーサービス内容の充実化及び利用者の安全確保のためのガス警報器の導入のための PR を行い、使用率を 20%から 90%まで上げた。



孫彦磊氏との協議風景

3.4 インパクト

3.4.1 インパクトの発現状況

包頭市の大気環境の改善及び居住者の生活環境水準の向上について、以下の観点から分析する。定量的効果では統計データに基づく大気環境の改善効果、そして定性的効果では、受益者調査結果による住民からの意見にもとづき、本事業による効果を記す。

(1) 定量的効果

1) 包頭市における大気環境改善

下図のとおり、審査時（2004 年）から比較すると、2015 年の SO₂ 排出濃度、NO_x 排出濃度、TSP 排出濃度はいずれも減少傾向にあり、改善がみられる。いずれの物質も国家 2 級基準を年平均

均で満たしており、現在の国家基準においても、一定の大気環境が維持されていると評価できる。

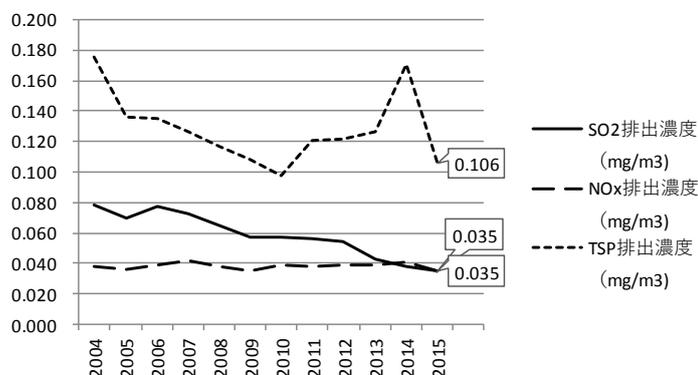


図1 大気汚染状況の経年データ (年平均濃度)

出所：包都市ガス会社が包頭市環境保護局より入手

下図は包頭市の大気質が国家2級基準を1年間で満たした日数の経年データである。審査時には365日中178日しか基準を満たしていなかったが、2015年には329日まで増加しており、包頭市の「第12次5カ年環境保護計画」の目標も達成している。表3で示したとおり、包頭市では経済成長が続く中、重工業の工場数も増加している。本事業はこれら産業向けのガス供給源として重要な機能を果たしており、市全体の大气汚染抑制に貢献していると評価できる。

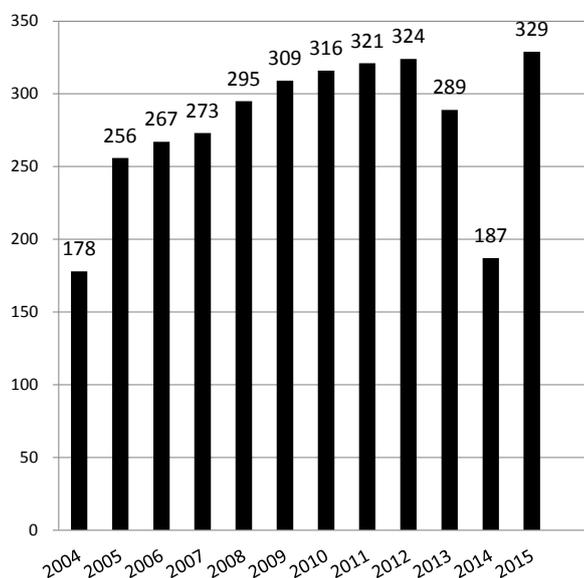


図2 国家基準2級を達成した日数の経年データ

出所：包頭市ガス会社が包頭市環境保護局より入手

2) 定性的効果

包頭市内の環境改善の定性的効果及び住民の生活環境の向上については、120世帯、120名へ受益者調査⁹を実施し、生活環境の改善の変化及び家庭での天然ガスへの転換がもたらした効果を確認した。

包頭市における生活環境の改善について、事業開始時の約10年前との比較として、住居環境、大気環境、そして健康面について質問を行ったところ、いずれの項目についても回答者の75%以上が「良くなった、改善された」、と回答した。なかでもガスへの転換に伴い、住宅内で石炭を利用する機会が少なくなり、煤塵等の発生が少なくなったことなど、ガスへの転換による身近な生活環境の明示的な変化を評価する意見が確認できた。

表 11 包頭市における生活環境の向上状況

項目	回答結果と主な意見
	住民向け (120世帯)
10年前と比較した住居環境の改善	94人(78%)が、「良くなった」を選択。主な理由は、「煤塵が少なくなった」、「石炭を貯めておく必要がなくなった」等
10年前と比較した大気環境の改善	92人(77%)が「かなり改善された」を選択。主な理由は、「空気がきれいになった」、「ほこりが少なくなった」、「生活環境が清潔になった」
10年前と比較した健康面の改善	90人(75%)が「かなり改善された」を選択。主な理由は、「鼻炎がよくなった」、「咳がよくなった」、「身体がより健康になった」、「出かける際にマスクがいなくなった」、「呼吸がしやすくなった」、「肌がよくなった」

出所：受益者調査

受益者調査によれば、ガスの普及に伴い回答者全員が調理器具を完全に天然ガスに転換しているほか、給湯器具や暖房器具を天然ガスへ転換している世帯も多い。さらに現在天然ガスへ転換していない家庭内の器具についても約7割の回答者が、天然ガス転換費用の補助を受けたため、今後転換を行いたいと回答した。その理由としては、ガス転換費用の補助を受けたほか、「天然ガスの方が安い」、「大気環境に良い」が選択理由に多いものであった。

以上のように、包頭市の大気汚染物質の濃度は大きく改善しており、現在の大気環境の国家基準を達成する水準に改善したことが分かる。有効性でも述べたとおり、本事業の天然ガスは包頭市の主要汚染源の重工業工場等への供給を主としており、市全体の大気環境の改善において大きな役割を果たしていると評価できる。加えて受益者調査の結果は、大気環境の改善が、地域住民にとっても実感できる形で進んだことを裏付けており、定量及び定性の両面から、本事業は包頭市の大気環境の改善、居住者の生活環境水準の向上というインパクトは発現している、と評価する。

⁹ 本事業が供給対象とした包頭市街区4地区（青山区、昆区、東河区、九原区）に2005年以降から在住の120世帯をランダムに抽出し、調査対象者として実施した。調査員による対面質問票調査の手法を採用し、120件の有効数回答を得た。調査実施時期：2016年12月中旬。



包頭市の大気環境（2016年10月現地調査時撮影）

3.4.2 その他、正負のインパクト¹⁰

(1) 自然環境へのインパクト

本事業は審査時、「環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン」（2002年4月制定）の環境カテゴリ B に区分されており¹¹、大きな環境への負の影響は想定されていない。事業期間中、環境影響評価報告書で想定されなかった問題、自然環境への特段の悪影響は発生していない。

(2) 住民移転・用地取得

ガス管網の敷設は都市計画に応じて住宅居住区を避けて施工されているため、住民移転は発生していない。ガス管の埋設地で農作物が栽培されていた場合には、一時的に収穫が不可能となることから、その土地で想定される収穫に応じた賠償金を支払っている。支払は土地利用者と工事実施者との間で国内法に準拠した取り決めが行われた。

(3) その他正負のインパクト

工事に際して、ガス会社は1997年に制定された「中華人民共和国環境騒音汚染防止法」にもとづき、工事時間の規定の遵守、作業の騒音軽減のための防音小屋の設置などの対策を講じており、騒音に起因した賠償金の支払いなどは発生していない。

また、煤塵対策においても、「中華人民共和国環境保護法」、「中華人民共和国大気汚染防止法」、その他煤塵防止に関する法令にもとづき、散水車の配置や作業箇所を遮蔽するなどの措置を講じており、煤塵に起因した賠償金の支払いなどは発生していない。

以上より、本事業の実施によりおおむね計画どおりの効果の発現がみられ、有効性・インパクトは高い。

¹⁰ 包頭市ガス会社からの質問票の回答および現地での事業当時の現場担当者への追加確認より。

¹¹ 本事業の環境影響評価報告書は、2004年11月に内蒙古自治区環境保護局承認となっている。（JICA提供資料より）

3.5 持続性（レーティング：③）

3.5.1 運営・維持管理の体制

（1）事業実施中の運営体制

審査時の計画から変更なく、内蒙古自治区大気環境改善事業指導グループが本事業の重要事項に係る意思決定をもち、関連政策の制定、関連機関の調整、借款の実施等を担当した。この事務局として、内蒙古自治区環境改善事業円借款管理弁公室が同時に設立され、具体的な作業を担った。本事業の実施機関としては、100%国有の持ち株会社である包頭市ガス会社が委託を受ける形で担当した。

（2）事業完成後の運営・維持管理

完成後の政府所管は財政庁が担当しているが、事業の審査時から継続して本事業を担当する関係者も多く、政策や事業の継続性、関係機関間の連携も良好に維持されている。実施機関である包頭市ガス会社は、現在市内の天然ガスの100%を供給している。天然ガスの買い付け先は同自治区内の西部天然ガス株式会社で、2034年までの30年の長期の供給契約を締結している。従業員数は598名（事業実施時は451名）で、技術系が約半数を占める。技術者数は、審査時202人を見込んでいたが、現在は270人まで拡大しており、規模としても十分な体制を整備している。運営管理のシステムも体系化されており、以下のように、設備ごとの検査項目や担当者、点検頻度などが詳細に規定されている。

表 12 主要設備の維持管理体制と管理内容

設備項目	規定の頻度・回数など	検査内容
ゲートステーション	360回/月、各ステーションに9名を配置	設備の運用状況、稼働データの確認、ガス漏れ検査など。 その他週1回の定期検査、フィルター混入物の清掃、月1回のチューニングテスト、年1回、3年1回の大規模点検（オーバーホールなど）
レギュレーターステーション	4回/月、各ステーションに5名を配置	同上
キャビネット	4回/月、20名を配置	同上
ガス管	30回/月、35名を配置	ガス管の運用状況の確認、地上の施工工事の状況確認、漏洩検査など

出所：包頭市ガス会社の質問票回答

天然ガス供給先の増加、安全対策強化のための人員の増加も行っており、今後も安定した事業運営が維持されるものと考えられる。体制面でも、今後民営化の予定はなく、大きな組織変更は当面発生しないと考えられる。

3.5.2 運営・維持管理の技術

包頭市ガス有限公司は既述のとおり、市のガス供給のすべてを担っており、これまでの事業運営経験から、維持管理についても十分な経験、蓄積を有する。現地調査時に各施設担当者にイン

インタビューを行った結果、以下の点が確認できた。

- いずれのアウトプットでも、通常業務としての点検実施作業の体制について現場の職員は内容を正しく把握し、正確に説明できていた。また、緊急時の対応方法についても、現場のパトロール隊、常駐技術者、ガス会社本部の中央制御室との連携も含めた連絡体制、出動体制がきちんと確立されている。
- 所属する技術者は、社の規定による技術資格の取得が求められており、訓練を受けたうえで採用される。各設備の操作証書の取得など、安全管理に伴う技術規定が整備されており、現在の技術者はいずれもこれらの規定をクリアしている。
- 既存の技術に限らず、新しい技術導入時における研修を含め、技術者を対象に年間 12 回の組織内での研修を実施しており、また研修の年間計画を策定している。

以上から、包頭市ガス会社は発現した効果の持続に必要な技術能力を有していると評価できる。



研修所でのガス管交換工事実演



パトロール車及び担当職員

3.5.3 運営・維持管理の財務

審査時の計画では、本事業実施に要する資金は、円借款、国内銀行からの借入れと包頭市ガス会社の自己資金による充当が予定されており、本事業は計画どおり、政府からの追加支出による補てんを受けることなく、実施された。

実施委託機関である包頭市ガス会社は、独立採算制を採用しており、これまでも運営に際して政府の財政補てんを受けていない。今後も政府からの財政補てんを受ける予定はなく、円借款実施時から現在に至るまで毎年黒字経営を維持している。以下は直近3年間の主な経営指標である。

表 13 包頭市ガス会社の最近の経営状況

単位：100 万元

	2013	2014	2015
総売上	1,060	1,155	1,241
前年比		108.9%	107.5%
売上総利益	383	418	350
売上高総利益率	36.1%	36.2%	28.2%
営業利益	337	370	334
売上高営業利益率	31.8%	32.0%	26.9%
当期純利益	287	322	292
自己資本比率	25.8%	29.7%	21.0%
流動比率 ¹²	122.7%	124.9%	106.6%

出所：包頭市ガス公司提供データより筆者算出

いずれも安定した営業利益を達成しており、利益率も高いことから、事業収入による安定的な経営ができているといえる。ガス会社によれば、経営の安定性を維持するため、ガス料金徴収に加え、例えば一般家庭用のガス器具（キッチン用品、給湯器具など）の販売なども行っている。また、ガス料金の経年データは表 14 のとおりで、2004 年の審査時から 3 割～2 倍近くまで上昇している。

表 14 包頭市における天然ガス料金

m ³ あたり単価	2004 年（審査時）	2016 年（ ）内は審査時との比較
住民向け	1.45 元	1.82 元（126%）
工場向け（規模による）	0.98-1.15 元	1.74-2.246 元（178-195%）
公共施設	1.45 元	1.82 元（126%）
一般企業	1.7 元	2.346 元（138%）

出所：包頭市ガス公司提供データ

ガス料金は包頭市政府（発展改革委員会）が設定しており、料金の改訂が行われる際には、発展改革委員会による事前の市場調査が実施され、ガス会社にも一定の収益性が維持されるよう価格設定が調整されている。またガス会社が設定単価の見直しを発展改革委員会に申請することも可能で、実際に 2009 年～2010 年のガス料金の上昇は、ガス会社が値上げ申請を行ったことによる。

以上より、包頭市ガス会社は独立採算性の中、安定したガス料金収入及び一般家庭用のガス器具の販売などの収益源の多様化も進めており、おおむね経営状況は良好といえる。今後も天然ガス事業を運営・維持管理する十分な財務基盤があると評価できる。

¹² 参考値として、日本のガス会社の場合、東京ガス（2013 年：157%、2014 年：151%、2015 年 155%）、西部ガス（2014 年：96%、2015 年：70%）となっている。

3.5.4 運営・維持管理の状況

ガス供給のシステムごとの現在の運営維持管理の状態は以下の各項目のとおり。

(1) ガス供給の安定性と主要設備の状態

有効性で述べたとおり、包頭市のガス管網は環状線ネットワーク構造となっており、本事業によるガス供給の開始以降、点検作業などによるガス供給の停止は発生していない。現場視察を行った西ゲートステーション、アルミ工場に設置のレギュレーターステーション、住宅地に設置のレギュレーターステーションのいずれもガス供給が停止したことはなく、消耗部品の交換以外での修理補修は行われていない。

包頭市全体のガス管においては、老朽化したものは順次交換が行われており、この際にかつて利用されていた鋼管は PE 管へ変更されている。また、一般市民からのガス漏れの通報や職員によるガス漏れの確認は年間 10 件ほどあり、これ以外にも年に数回、ガス管が破壊されたことなどによる緊急出動がある。

現在の包頭市ガス会社の天然ガス供給量は約 5.8 億 m³/年で、毎年 20%の増加が見込まれている。現状のシステムでの供給能力は 10 億 m³/年であるが、今後供給能力の拡充が必要になる可能性が高いことから、ガス会社の自己資金で、老朽化したガス管の交換とともに、ガス供給量増加のためにより直径の大きなガス管への交換を行うなど、円借款事業後も継続して包頭市におけるガス供給に必要な設備への投資を行っており、特段問題は見られなかった。

(2) 制御システムの状態

中央制御室に導入された SCADA システムは、ステーション数の増加に応じて、順次更新が行われている。SCADA システムのメンテナンス（更新、プログラミング）はガス会社内に専門の技術者が配属されており、現在のところ問題なく稼働している。

上記の視点から、アウトプットの維持管理・運営状況は問題なく継続すると考えられる。

以上より、本事業の運営・維持管理は体制、技術、財務、状況ともに問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は、内蒙古自治区に位置する工業都市の包頭市において、天然ガス・パイプラインを建設することにより、石炭から天然ガスへのエネルギー転換及び大気汚染物質排出量の削減を図り、もって包頭市における大気環境の改善、居住者の生活・環境水準の向上を目的として実施された。

本事業は、審査時から現在まで国・自治区・市すべてのレベルで、開発計画で定められた大気汚染対策と合致しており、妥当性が高い。効率性については、事業費・事業期間ともに計画値を超えたため中程度の評価となる。ただし、より良い資機材への変更や効率的な施工を実施するなど、効

率性を高めるための措置が実施されたことで、遅延の影響は抑制されている。事業完了後、ガス供給は事業の目標供給量に到達し、一度もガス供給が停止することなく安定した供給を実現している。この結果、包頭市では石炭による非効率な燃焼源からの代替が進み、大気中の汚染物質量が減少する効果が出ている。2015年には大気中の汚染物質濃度の国家基準達成日数が年間の9割に達するまでに改善した。地域住民からも以前と比較して大気や生活環境の改善を認めており、本事業の有効性・インパクトの達成度合いは高い。本事業を運営する組織については、体制、技術、財務のいずれの側面においても安定した状況を実現しており、持続性は高い。

以上より、本プロジェクトの評価は非常に高い。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

なし

4.2.2 JICA への提言

なし

4.3 教訓

環境改善の総合対策による高い事業効果の実現

本事業は大きな効果を挙げているが、この要因として、本事業の効果を発現させるための適切な政策・施策が実施されたことも大きい。天然ガス転換を推進するにあたっては、需要家の既存エネルギーからの転換を促すことが重要となるが、本事業では非効率な石炭ボイラーの廃棄を並行して進めることで、円滑なガス転換が進められた。またガス料金についても一定の収益性を確保する料金体系をセットすることで、財務的な持続性も確保できている。このような安定的な財務基盤も、ガス供給の安定性や信頼性を維持する上で効果があると考えられる。本事業はこのように事業効果を高める政策パッケージと合わせて実施されたことで、高い事業効果を生んだものと考えられる。本事業のような都市全体のエネルギー源の転換については、多くが基幹インフラの整備を伴うことから、事業を通じたハード面の整備とともに、実効性を高める政策措置を導入し、政策効果を高めることが重要となる。

以上

主要計画/実績比較

項目	計画	実績
①アウトプット 1) 西ゲートステーション一式 2) 東河ゲートステーション一式 3) 昆区レギュレーターステーション(高→中圧)一式 4) 開発区レギュレーターステーション(高→中圧)一式 5) 工場専用レギュレーターステーション(高→中圧)一式 6) レギュレーターキャビネット(中→低圧) 7) ガス管 8) ガス器具のノズル調整及び内管修理 9) SCADA システム 10) バルブ 11) 大気環境改善にかかる日本での研修	新設 増設 新設 増設 新設：8工場 増設：3工場 新設：120基 ・高圧管 新設：54km ・中圧管 新設：52km 取替：270km ・低圧管 取替：441km 対象世帯数：147,000 1セット ・高圧用：15基 ・中圧用：100基 ・低圧用：300基 3グループ (計12人)	ほぼ計画どおり(立地場所変更) 計画どおり 計画どおり 計画どおり 新設：6工場増設：計画どおり 新設：110基 各ガス管網の総距離 ・高圧管：48.66km・中圧管：325.24km・低圧管：468.18km 計画どおり 計画どおり 計画どおり 1グループ (計5人)
②期間	2005年3月～2013年12月 (106カ月)	2005年3月～2014年8月 (114カ月)
③事業費 外貨 内貨 合計 うち円借款分 換算レート	8,469百万円 5,493百万円 (413百万円) 13,962百万円 8,469百万円 1円 = 13.3円 (2004年9月時点)	8,443百万円 6,908百万円 (413百万円) 15,351百万円 8,443百万円 1円 = 14.77円 (2005年から2015年の為替レート平均値)
④貸付完了	2014年7月	

以上

0. 要旨

本事業は、河南省で植林を行うことにより、森林資源の充実を図り、もって、山間部における土壌流出、平野部における強風等の抑制、同地域の洪水、砂嵐等自然災害の被害軽減及び生活環境の改善に寄与することを目的としている。

審査時に、黄河、長江の流域で自然災害被害が深刻化し、その軽減に向けた植林事業が重視されていたことがあり、本事業の目的は中国の開発政策、開発ニーズ、日本の援助方針とも整合しており、妥当性は高い。本事業の新規植林面積、森林率、活着率・保存率、森林蓄積量¹といった森林資源の充実に関する指標は達成され、整備された林地は河南省で同時期に行われた植林の13%にあたり、省の森林被覆率や森林蓄積量の向上にも貢献している。また、生活環境の改善については、植林による経済的な効果が発現の途上であるものの、省の土壌侵食の約9%を抑止する効果、強風の抑制効果など自然災害の軽減には一定の効果があったことから、有効性・インパクトは高いと判断される。効率性は、事業費は計画内に収まったが、事業期間が植林期間の延長により計画を上回ったため、中程度である。事後評価時に実施体制に変更はなく、林地管理を支援する体制が整備されている。河南省に対しては、中央政府から国家重点事業による予算が割り当てられており、保育や病虫害対策も含めた運営・維持管理の財源は確保されている。一方で、事後評価時に一部の農家や林場の防護林の維持管理費に不足がみられたが、省林業庁は、生態効果を目的とした防護林に対して維持管理費の補助を拡大していく方針であることから、中期的に不足は解消されていく見込みである。技術面、維持管理状況にも問題は見られず、持続性も高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

1. 事業の概要



事業位置図



ポプラの防風林（汝南県）

¹ 森林（樹木の幹部分）の量を体積で表したもので、単位面積あたりの森林の状態を把握する指標。

1.1 事業の背景

中国中部にある河南省は、四大河川²の上中流域に位置し、面積の44%が山岳・丘陵地となっている。省内では、木材需要増大への対応や耕作地の拡大のための過剰伐採が行われ、それにより地表が露出した山間部斜面からの土壌流出、土壌堆積による堤防やダムの機能低下が起きており、洪水被害を深刻化させる要因となっていた。また、平野部の地表露出は砂嵐による道路や耕作地の埋没や土壌流出被害を引き起こしていた。事業対象71県における自然災害による経済損失は年間266億元にのぼり、2003年の豪雨による洪水で省内3,587人が被害を受け、死者73人、崩壊家屋42万棟、経済損失は182億に達していた。

1.2 事業概要

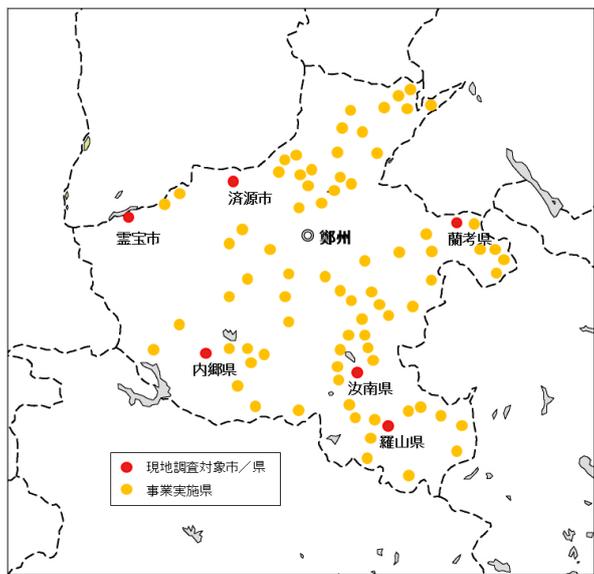
本事業は、河南省で植林を行うことにより、森林資源の充実を図り³、もって山間部における土壌流出、平野部における強風等の抑制、同地域の洪水、砂嵐等自然災害の被害軽減及び生活環境の改善に寄与することを目的としている。

円借款承諾額/実行額	7,434 百万円/7,218 百万円
交換公文締結/借款契約調印	2006 年 6 月 23 日/2006 年 6 月 23 日
借款契約条件	金利 0.75% 返済 40 年 (うち据置 10 年) 調達条件 一般アンタイト
借入人/実施機関	中華人民共和国政府/河南省人民政府
事業完成	2012 年 8 月
本体契約	-
コンサルタント契約	-
関連調査 (フィージビリティ ー・スタディ : F/S) 等	F/S 河南省林業調査設計院 2005 年 7 月
関連事業	【円借款事業】 ・湖北省植林事業、江西省植林事業 (2003 年) ・四川省長江上流地区生態環境総合整備事業、新疆ウイグル自治区咸寧市環境総合整備事業 (2005 年) 【無償資金協力事業】

² 黄河、長江、淮河、海河

³ 審査時に設定された事業目標は、「河南省の71県において植林を行うことにより、山間部における土壌流出、平野部における強風等の抑制を図り、もって同地域の洪水、砂嵐等自然災害の被害軽減及び生活環境の改善に寄与する」とされていたが、植林による直接的な効果 (アウトカム) 目標が明確に設定されていなかったため、本評価では、本事業で期待されたアウトカムとして「森林資源の充実 (新規植林、活着率・保存率、森林率、蓄積量等)」を想定し、有効性の評価に加える。

	<ul style="list-style-type: none"> ・母なる大河保護植林事業（2000年） 【技術協力】 ・人とトキが共生できる地域環境づくりプロジェクト（2010年） 【その他の国際機関による事業】 ・植樹造林事業（世界銀行 1990年） ・森林資源発展・保護事業（世界銀行 1994年） ・貧困地区林業発展事業（世界銀行 1998年）
--	---



出所：河南省林業庁事業事務局提供資料より作成

図 1 河南省内の事業実施県の分布⁴

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

早瀬 史麻（アイ・シー・ネット株式会社）

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：2016年8月～2017年10月

現地調査：2016年10月24日～11月8日、2017年4月9日～4月13日

2.3 評価の制約

事後評価時は事業完了（2012年）から4年程度の経過であることから、植林事業の長期的な効果や見通しを確定的に分析できる時期には達していない。そのため、本評価

⁴ 現地調査の対象県は省内の気候、東西南北の位置、土地の条件にも偏りが出ないように配慮し、平地（蘭考県、汝南県）、山地（羅山県、靈宝市）、丘陵/山地（内郷県、済源市）を選定した。

では基本的な効果指標の分析とともに、今後の効果の発現・持続の見込みと、それを実現するための組織・財務・技術的な環境整備の状況に調査の重点を置いた。

また、完成した植林地の状況を確認できる時期に達していないこと、そして、対象地が省内 75 県と広大であった一方、与えられた調査期間では全植林地の状況を確認することは困難であったため、主に現地調査を通じたサンプリングデータ⁵に基づく分析によって評価判断を行った。

3. 評価結果（レーティング：A⁶）

3.1 妥当性（レーティング：③⁷）

3.1.1 開発政策との整合性

(1) 審査時の開発計画との整合性

中国政府は「全国生態環境建設計画（1998～2050 年）」を制定・公布（1991 年 1 月）し、環境改善に係る短期・中期・長期の数値目標と 2010 年までに重点化すべき 4 地区⁸及び重点課題を定めた。河南省はこのうち「長江上中流域」及び「黄河上中流域」に該当し、地区ごとに土壌流出と植林面積拡大の目標数値が定められていた。

また、「中華人民共和国国民経済と社会の発展第 10 次五カ年計画（2001 年～2005 年）」においても重点プロジェクト地区が定められ、河南省は「長江上流・黄河上中流域の天然林保護」地区に該当していた。

(2) 事後評価時の開発計画との整合性

「全国生態環境建設計画（1998～2050 年）」は審査時から継続して有効であり、「中華人民共和国国民経済と社会の発展第 12 次五カ年計画（2011 年～2015 年）」においても、河南省は自然環境保護・回復の重点事業、長江上流・黄河上中流域の防護林建設による土壌流出軽減、天然林保護、防風林造成、傾斜地に造成された農地を林地に戻す退耕還林事業の対象地域となっている。そのため、評価時においても国家開発政策、河南省を含んだ長江流域・黄河中流域の植林事業に対する重要性は変わっていない。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

(1) 審査時のニーズとの整合性

審査時（2004 年）の河南省の森林率は 16.2%と全国水準の 18.2%を下回っており、過剰な森林伐採がその原因として挙げられていた。過剰伐採で地表が露出した山間部斜面から土壌が流出し、本事業の対象 71 県では年間 140 百万 t の土壌が流出するな

⁵ 本事業は 75 県と広域で実施されたため、全ての県で訪問調査を行うことは困難である。そのため、全県分の運用効果指標の収集は実施機関である河南省人民政府に依頼し、代表的な地域を選定して現地調査、受益者調査を行い、全体像を把握する方法をとった。

⁶ A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

⁷ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

⁸ 黄河上中流域、長江上中流域、砂漠化地帯、草原地帯

ど、河床やダム湖に蓄積して堤防やダムの機能を低下させ、洪水被害を拡大させる要因となっていた。平野部でも、広範囲に亘る地表流出のため、砂嵐による道路や耕作地の埋没被害、森林による防風機能が不十分であることに起因する強風によって耕作地の土壌流出などの被害が発生していた。このような状況をふまえ、河南省政府は「河南省緑化計画（2003年）」を制定し、2010年までに140万ha、2020年までに200万haの植林を行う計画であった。

(2) 事後評価時のニーズとの整合性

「河南省第12次五カ年林業発展計画（2011年～2015年）」（2012年3月16日発表）では、前期の目標は達成されたものの、一人当たりの森林面積が全国平均の四分の一程度、混合林が少ないことから森林蓄積量は約46 m³/haで全国平均86 m³/haの53%程度に留まっていた。そのため、材木等森林資源の経済的な利用、災害に対する防御機能が弱いこと、また、林業の産業化や林地管理が遅れていることが指摘されていた。その対策として期間終了となる2015年までに93.33万haの新規植林と113.33万haの森林保育（低効率林改造を含む）、全省住民が植樹9億株を植林することにより森林率を2010年の21.5%から23.61%に引き上げ、森林蓄積量を15,960万m³以上にすることを目指していた。

「河南省植林緑化計画（2011年～2020年）」では10年間で約180万haの新規植林と、既存の森林に対する保育を240haで実施することを目標としている。

植林のニーズは一貫しており、新規植林に加えて、低効率林改造や混合林の造成を行い林地の質の向上を目指していた本事業との整合性は審査時から引き続き高いといえる。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

日本国政府が2001年10月に公表した「対中国経済協力計画」、JICAの「海外経済協力業務実施方針」及び「2005年度国別業務実施方針」のいずれにおいても、「環境保全」が重点分野となっており、本事業による植林、天然林保護や荒山の改良、防砂等といった目標と合致していることから、日本の援助政策との整合性は高いといえる。

3.1.4 事業計画やアプローチ等の適切さ

本事業の実施県は、以下の4つの原則に従って選定された。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">① 生態林保護計画の対象区域。② 林地用の一定規模の土地があり、事業実施に対して郷鎮/村の協力が得られる。③ 県政府から資金提供の合意と返済能力がある。④ 他の林業関連の投資事業とオーバーラップしていない。 |
|--|

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

本事業の実施県は、この原則に従い、山間部の急斜面、防風林の必要な平地、流砂化の進んでいる土地、天然林で保護が必要な県が優先され、植林による自然災害の軽減や環境改善という事業目的を達成する上で計画が妥当であったと考えられる。

以上より、本事業の実施は審査時及び事後評価時の中国政府、河南省の開発政策、開発ニーズ、審査時の日本の援助政策と十分に合致しており、実施県の選定もニーズに合致していたことから、妥当性は高い。

3.2 効率性（レーティング：②）

3.2.1 アウトプット

審査時、本事業のアウトプットは植林、資機材調達、研修の実施が想定されていた。各状況は表 1 のとおり。

表 1 アウトプットの計画と実績

	計画	実績	差異
(a) 植林			
植林面積	194,190 ha	197,031 ha	2,841ha
防護林	163,610ha	165,184 ha	1,574ha
経済林	11,880 ha	12,580 ha	700ha
用材林	18,700 ha	19,267 ha	567ha
(b) 資機材調達			
看板	2,202 カ所	696 カ所	△1,506 カ所
ポンプ	161 台	141 台	△20 台
農薬散布機	172 台	162 台	△10 台
監視用建物	480 カ所	251 カ所	△229 カ所
パトロール用車両	71 台	70 台	△1 台
(c) 研修			
国外研修 林業関連部門職員	20 名 5 回 80 人	5 回 107 人	27 人
国内研修 省級研修 県級研修	不明	5084 人 25,245 人	N/A N/A

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

(1) 事業実施県⁹

審査時には 71 県（69 市/県、2 国営林場）の計画であったが、実際には 75 県（68 市/県、7 国営林場）となった。植林開始前に 2 県が参加を取りやめたために差しかえと植林面積振替、県に含まれていた 5 国営林場を県と同等の単位としたことによる変更であったため、事業全体として計画した植林面積の範囲に変更は生じていない。

⁹ 事業の実施単位は「県」と表記されていたが、実際には市、国営林場が含まれており、これらも一単位として換算されていた。

(2) 植林面積

計画されていた植林面積 194,190ha に対して、実績は 197,031ha（計画比 101%）とほぼ審査時の計画どおりに植林が行われた。林種、植林形態別の内訳もほぼ計画どおりであった。

表 2 植林の計画と実績 (単位：ha)

審査時の計画 (2006 年)					
林種 ¹⁰ /植林形態	新規植林	封山育林 ¹¹	森林改良 ¹²	中幼林保育 ¹³	合計
防護林	115,660	36,600	11,350	—	163,610
経済林	8,880	—	3,000	—	11,880
用材林	7,300	—	—	11,400	18,700
合計	131,840	36,600	14,350	11,400	194,190
実績 (2016 年)					
林種/植林形態	新規植林	封山育林	森林改良	中幼林保育	合計
防護林	117,129	37,053	11,003	—	165,184
経済林	9,680	—	2,899	—	12,580
用材林	7,508	—	—	11,759	19,267
合計	134,317	37,053	13,902	11,759	197,031
計画比	102%	101%	97%	103%	101%

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

(3) 植林参加者数と植林面積

本事業の参加農家は公募により選定されたが、農家・林業農家、連合農家¹⁴の参加者数、同農家による植林面積に関しては、ほぼ審査時の計画どおりであった。集体林場¹⁵の参加者数、同農家による植林面積は計画比の 35% と大幅に減った。これは集体林場という形態自体が全国的に減少していること、また、環境保護に重要な林地は国の保護下に指定され補助金による国営化管理が進んでいるためである。国営林場は 32 林場が参加する計画であったが、実際には大幅に増えて 143 林場となり、面積の実績も計画の 442% と増加した。これは、審査時に計画されていた封山育林から収益が見込めないため、農家での実施から国営林場へと付替えられたためである¹⁶。

¹⁰ 中国森林法では、防護林：水源涵養、水土保持、防風固砂、農地保全等を主目的とする森林・灌木群、経済林：果実、工業原料、漢方薬等の生産を主目的とする森林、用材林：木材の生産を主目的とする森林と定義している。

¹¹ 森林の密度は低いものの、自然の再生力が期待できる森林において、補植や手入れを行ったうえで周囲を柵で囲むもの。

¹² 過伐採、土地条件に適合しない樹種、低品質な育苗の使用等により荒廃または経済的価値の劣化した森林において、間伐及び新規植林等により森林の質を改善するもの。

¹³ 樹齢の若い森林において、間伐や害虫予防等の保育をほどこすことにより森林の生長を促すもの。

¹⁴ 複数の農家が集まった連合体で、農作業や出荷等で協力をするための組織。

¹⁵ 人民公社が所有した林地が地域コミュニティに委譲されて経営されている林場。

¹⁶ 本事業の参加者は公募により選定された。割当てられる植林面積、林種、植林形態については、参加希望者が使用権を有する土地の特性や自然条件等と全体の目標から調整が行われた。特に規模の小さい農家に対しては、貧困緩和の観点から経済性の高い経済林や用材林が多く割り当てられる配慮がされ、一方でより規模の大きな農家や国営林場には生態効果を重視した防護林や封山育林が多く割り当てられた。

表 3 参加者数と植林面積

	審査時の計画 (2006年)		実績 (2016年)		計画比	
	参加者数	植林面積	参加者数	植林面積	参加者数	植林面積
農家・林業農家	300,000 戸	145,340 ha	301,610 戸	145,980 ha	101%	100%
連合農家	1,000 戸	8,500 ha	1,029 戸	8,746 ha	103%	103%
集体林場	250 戸	33,400 ha	87 戸	11,555 ha	35%	35%
国営林場	32 戸	6,950 ha	143 戸	30,750 ha	143%	442%
合計	301,282 戸	194,190 ha	302,869 戸	197,031 ha	101%	101%

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

(4) 資機材調達

植林や林地の保全に係る資機材の調達は、審査時から本事業開始前に国内事業の予算で購入されたものが除外されたため、全体的に減少した。封山育林に使用する看板は、すでに看板のある対象地が除外されたため大幅に減らされた。監視用建物は 480 カ所での建設¹⁷が計画されていたが、実際には約半数となった。これは、平地の植林対象地は、周辺が農地であるため建物を建設する土地がなかったことや、村から近い林地に監視用建物が不要であったことによるものであった。林地の監視は農地や村からできていることから問題は生じておらず、代替的な投入も必要とされなかった。

(5) 研修

1) 国外研修

河南省の林業関連部門の職員（省、市、県）80 名を対象とした植林技術（植生回復、森林管理）に係る研修で、信州大学を受け入れ先として長野県で実施される計画であった。実際には 107 人¹⁸（計画比：134%）の派遣となった。また、訪問先は拡大され、三重県（人工林の経営、育苗圃場の管理、林産品利用）、東京都（都市緑化）、北海道（森林、町村の緑化、水土保持施設）の技術者と意見交換等の交流が行われた。参加者の一部は、研修の後に信州大学と共同研究を行ない、自然環境の厳しい山地にポット苗を植える技術を実用化させた。

2) 国内研修

計画は不明であるが、実績は以下のとおり。

- ① 省級研修：各市、県の事務局向けに事業管理と資金管理、技術者向けに林業技術（環境保全、林地管理、保育、病虫害対策）の研修が計 13 回実施され、のべ 5,084 人が受講した。
- ② 県級研修：県、郷鎮の事務局向けに事業管理、技術者向けに林業技術の研修が、省級の研修を受けた市・県の担当者を講師として行われた。11 種類の研修にのべ 25,245 人が参加した。技術者向けの研修には郷・林場職員、事業参加を対象として

¹⁷ 防護林 400ha、用材林と経済林は 200ha 当たりの林地に、レンガ造りの小屋を一件建設するための補助金として計画されていた。

¹⁸ 国外研修の参加者の内訳は男性 92 人、女性 15 人であった。

行われ、内容には圃場管理、林地別の管理技術といった、省級の研修より実地的な内容が含まれていた。

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

審査時の計画の事業費 11,444 百万円（うち外貨 480 百万円、内貨 10,964 百万円）に対して、実績は事業費 10,966 百万円（うち外貨 258 百万円、内貨 10,708 百万円）と計画内（計画比 96%）に収まった。計画に対して実際の資機材の調達が少ないが、為替レートの変動¹⁹による影響があった。

3.2.2.2 事業期間

本事業全体の事業期間は、計画では 2006 年 6 月～2011 年 9 月（64 カ月）²⁰であったが、実際には 2006 年 6 月～2012 年 8 月（75 カ月）となり、計画を上回った（計画比 117%）。これは審査時には植林完了が 2008 年度冬季となる計画であったが、実際には植林の完了が 2010 年度春期と、1 年強延長されたためであった。

3.2.3 内部収益率（参考数値）

実施機関から提供された費用及び便益の実績値を用いて経済的内部収益率（EIRR）を再計算したところ、審査時の 14.3%に対して、実績は事業費が計画を下回ったことにより 16.6%となった（表 4）。

表 4 審査時・事後評価時の EIRR の比較

審査時 ²¹ （2006 年）	実績（2016 年）
14.2 %	16.6 %
前提条件 費用：事業費、運営・維持管理費 便益：木材/果実売却収入 プロジェクトライフ：40 年	前提条件 費用：事業費、運営・維持管理費 便益：木材/果実売却収入 プロジェクトライフ：40 年

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

以上より、本事業の事業費は計画内に収まったものの、事業期間が大幅に計画を上回ったため、効率性は中程度である。

¹⁹ 審査時には 1 元=13.7 円のレートで換算されていたが、事業による支出発生中の平均（2007 年～2014 年）の平均レートは 1 元=14.23 円であったため、円建てでみた総事業費は小さくなった。

²⁰ 完成の定義は、植林完了第 3 生長期後に行われる植林の保存率検査合格。

²¹ 審査時に算出されていた経済的内部収益率は 13.6%であったが、税が計上されていたため控除して再計算を行った。

3.3 有効性²²（レーティング：③）

3.3.1 定量的効果（運用・効果指標）

審査時に、本事業の効果を確認する定量的な指標として新規植林面積、森林率、活着率・保存率、蓄積量といった森林資源の充実に関わる目標が設定されていた。これらに加えて、現地調査により林地の育成状況で有効性を確認した²³。

なお、研修は、主要なコンポーネントではないため、その効果は有効性・インパクトではなく、持続性の運営・維持管理の技術の項目で評価判断を示すこととする。

(1) 新規植林面積

本事業による新規植林面積（封山育林、森林改良、中幼林保育は含まない）について、目標と実績は以下の表 5 のとおり。合計面積は目標の 102% で、防護林、経済林、用材林とも計画を上回る面積の新規植林地が造成された。

表 5 林種別の新規植林面積

林種	指標名	審査時の計画	実績	計画比 (%)
		事業完了時 (2011 年)	事業完了時 (2012 年)	
防護林	新規植林面積 (ha)	115,660	117,129	101%
経済林	新規植林面積 (ha)	8,880	9,680	109%
用材林	新規植林面積 (ha)	7,300	7,508	103%
合計		131,840	134,317	102%

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

(2) 森林率²⁴

審査時の目標値と実績は以下の表 6 のとおり。事業実施県の森林率の平均値は、目標の 20.1% に対して、実績は 20.14% で、目標を達成した。

表 6 事業実施県の森林率

	基準値	審査時の目標値	実績値
	(2004 年)	事業完了時 (2011 年)	事業完了時 (2015 年 ²⁵)
河南省	16.2%	20%	23.6%
事業実施県	18.4%	20.1%	20.14%

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

²² 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

²³ 審査時の計画において、事業目的では、植林（アウトプット）により、同地域の洪水、砂嵐等自然災害の被害軽減及び生活環境の改善（インパクト）という設定となっており、アウトカムに該当するロジックが欠如していた。本評価では、アウトカムを森林資源の充実（目標設定されていた新規植林面積、森林率、活着率、森林蓄積量に加え、保存率、林地の生育状況）と読み取り、評価を行っている。

²⁴ 総面積に対する森林地面積の割合

²⁵ 2012 年が事業完了となるが、森林率は 5 年ごとに計測される数値であるため近隣の 2015 年の数値を使用する。

(3) 活着率²⁶・保存率

活着率、保存率の目標値と、事業実施県の平均値は以下の表 7 のとおり。どの林種においても活着率（85%）と保存率（80%）の目標を達成している。

表 7 活着率と保存率²⁷

	目標値			実績値		
	防護林	経済林	用材林	防護林	経済林	用材林
活着率 植林第 1 成長期	85%			96%	96%	97%
保存率 植林第 3 成長期	80%			87%	89%	90%

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

受益者調査²⁸の回答による活着率、保存率の平均値は以下の表 8 のとおり。どの林種においても目標値（活着率 85%、保存率 80%）を達成している。大多数の農家は目標を達成できたが、活着率について小規模農家²⁹の 3 戸（3%）、大規模農家の 4 戸（4%）、保存率は小規模農家小規模農家 1 戸（1%）、大規模農家 5 戸（5%）と一部、目標を達成できていなかった農家もあった。これらの農家は自然環境が過酷な林地で植林を行っていた。

表 8 受益者調査による活着率と保存率の平均値

	小規模農家			大規模農家		
	防護林	経済林	用材林	防護林	経済林	用材林
活着率 植林第 1 成長期	94.2%	97.0%	90.7%	93.4%	94.6%	91.4%
保存率 植林第 3 成長期	90.9%	92.1%	86.7%	89.6%	90.4%	85.6%

出所：受益者調査

²⁶ 本事業の審査時には、植林第 1 成長期の活着率のみについて目標が設定されていた。通常、国による植林地の検収に植林第 3 成長期の保存率が含まれるため、本評価においても保存率も確認をした。実施機関によると、保存率が目標に含まれていなかった理由は、本事業の参加者に貧困農家が多いことから、農家が植林に立替えた費用をより早く返金するため、活着率の検収の合格のみを条件としたためであった。

²⁷ 封山育林された林地は、封鎖の看板や柵があり立ち入りが禁止されていることが、検収合格の条件とされていたため、各農家に鬱密度の記録がない。また、目標設定もされていなかったため本評価では鬱密度は使用しない。

²⁸ 受益者調査（サンプルサイズ：199）は、本事業が実施された 75 県のうち地域特性から選定された現地調査実施 6 市/県の農家（33,393 人）を対象として行われた。各対象市/県において、事業に参加した 2~3 郷鎮をランダムに選定し、その郷鎮の参加者リストからランダムサンプル抽出法により調査対象を抽出した。受益者調査は質問票を用いた訪問形式で実施したため、調査時に出稼ぎ等で不在にしている農家に対して調査を実施することができず、完全なランダムサンプルとするには限界があった。回答者の内訳は、男性は 95%、女性 5%、年代別の内訳は 20 代 1%、30 代 7%、40 代 29%、50 代 52%、60 代 11%であった。事業の参加に性別や年齢といった条件はなかったが、植林は肉体力労働であるため、参加者は男性が大多数となった。

²⁹ 受益者調査の回答は、農家の植林面積により、10ha 以下を小規模、10ha 以上を大規模農家と分類して分析を行った。有効回答数は小規模農家 94 戸、大規模農家 105 戸の合計 199 戸であった。

(4) 林地の生育状況

本事業の実施県から、地域特性（平地、山地、丘陵/山地）を踏まえて 6 市/県、1 国営林場の合計 20 サイトの視察を行い、植林形態別に代表的な樹種の植林技術、樹木の生長状況、維持・管理状態を確認した。要約を以下に記述する。

1) 新規植林

平地：防護林（ポプラ、桐）が主体で、植林は①道路、水路周辺の防風、②荒廃地の土地の改善と防風、③畑の防風を目的に行われていた。水資源等の自然条件に恵まれていることから、生育状況、管理は良好で、防風・防砂といった生態的な効果と併せて、将来的に木材として販売収入による経済的効果が期待できる（蘭孝県、汝南県、内郷県）。

山地/丘陵地：特に、自然条件の厳しい山地には、斜面を利用した防護林や経済林が形成されている。①防護林（松、ニセアカシア、クヌギ類、コノデガシワ等）は傾斜の急な場所の土砂流出防止、②比較的條件の良い傾斜地には経済林（クルミ、油茶、茶）に林地が展開されている。経済林³⁰では樹木の成長、管理は良好であったが、防護林は野生動物の食害によって、木がある程度の大きさに成長するまで補植を繰り返すことを余儀なくされていた（羅山県、靈宝市、済源市）。



平地：農地の防風林（蘭考県）



山地：食害が深刻な林地（靈宝市）

2) 封山育林

目的別に 2 種類の方法が採用された。①森林の質の改善目的で、低木の天然林を封鎖して高木（広葉樹と針葉樹の混合林）の成長を促進させる（羅山県）。林地は、封育前後とも被覆率 0.9 と変化はないが高木の成長は期待通りに促進されていた。②被覆率改善を目的として保育を行う方法で、被覆率 0.2 程度の低木の林地に広葉樹を植え、家畜被害を避けるために封育をすることにより、森林全体の被覆率は 0.8（うち高木 0.5、低木 0.3）に引き上げられ、低木の成長も促され期待通りの効果が

³⁰ 経済林は比較的自然的条件の良い場所での植林であったこと、また、選択された樹種が食害に遭いづらな種類であったことから、食害による補植は必要とされなかった。

発現していた（済原市）。

3) 中幼林保育

質の良くない低木林に対して除草、枝打ち、病虫害の防止などを行い、樹木の生育を促進させる方法が取られている（内郷県、済源市）。本事業で2009年からニセアカシアの林地（霊宝市）で中幼林保育を実施したところ、保育を行わなかった林地と比較して、実施した林地では樹木の高さ、胸径、蓄積量はそれぞれ27.7%、30.5%、92.2%の増加があり、事業の効果がみられた。



質が改善された封山育林の林地（羅山県） 中幼林保育（併せて封育も実施：済源市）

植林モデルの設定と適用の課題：

林地の育成状況はおおむね良好であったが、以下の点が考慮されるべきであったと思われる。河南省は気候、土地の条件が多様性に富んでいるが、本事業用に準備された林地のモデルは17タイプのみであった。また、モデルごとに植栽の混合比率、苗の等級、初植密度、整地方法、植栽穴の大きさが数値で記載されていたが、樹種別の植栽のモデル図がなく、林地の造成方法に参加者ごとのばらつきがみられる要因となっていた。モデルには樹種の実績が多く含まれていたが、農家に選択が任されていたため、売値が高い樹種が選ばれる傾向にあり、植林地の環境や土地といった条件より経済面が優先されていた。

(5) 森林の蓄積量

本事業実施サイトの森林蓄積量は、以下の表9のとおり、目標値の53.0 m³/haに対して、実績は68.93 m³/haとなり目標は達成された。

表 9 森林蓄積量

	基準値	目標値	実績値
	審査時 (2004年)	事業完了時 (2011年)	事業完了時 (2015年 ³¹)
河南省	31.1 m ³ /ha	N/A	43.33 m ³ /ha
事業実施県	38.0 m ³ /ha	N/A	55.98 m ³ /ha
事業サイト	38.0 m³/ha	53.0 m³/ha	68.93 m³/ha

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

3.3.2 定性的効果（その他の効果）

審査時、事業による定性的な効果は「強風による被害緩和、森林の多面的機能の回復、住民の生活環境の改善」とされていたが、本事業のインパクトレベルに該当するため、「3.4 インパクト」の項目に統合する。

以上から、新規植林面積、森林率、活着率・保存率、蓄積量の目標は達成され、また、現地調査により林地の生育状況もおおむね期待どおりであると確認できた。さらに、整備された林地は河南省で同時期に行われた植林の13%にあたり、省の森林被覆率や森林蓄積量の向上にも貢献している。よって、有効性の発現状況は良好であるといえる。

3.4 インパクト

審査時の事業目的では、「河南省の71県地域の洪水、砂嵐等自然災害の被害軽減及び生活環境の改善への寄与」がインパクトとして期待されていた。これに加えて植林の実施による間接的な効果である土壌流出軽減、強風等の抑制もインパクトに分類して評価を行う。

3.4.1 インパクトの発現状況

(1) 土壌流出の軽減への貢献

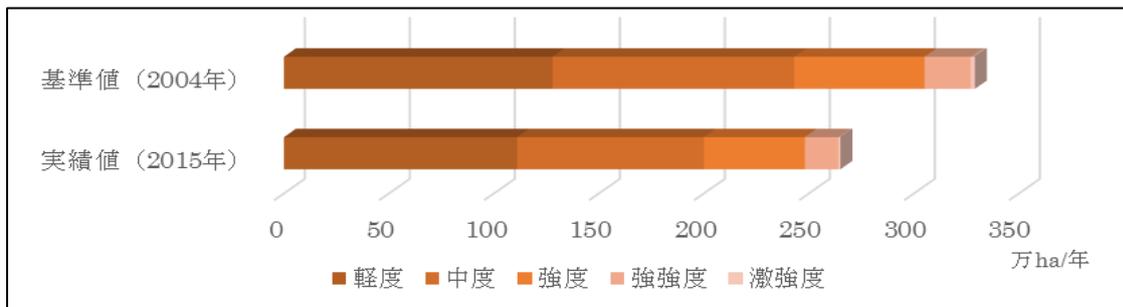
本事業の効果を検証する指標として事業実施県の合計土壌流出面積と洪水による経済損失の合計が設定されていた。2015年の年間土壌流出面積、経済損失額とも、設定された目標を達成している（表10）。また、事業実施県の土壌流出面積を流出度合ごとに分類したグラフ（図2）では、強度以上の面積の割合が減っており、流出が軽減されていることがわかる。ただし、このような自然災害による被害には、気象条件のような外的な要因が強く影響するため、植林の効果による明確な傾向はわからない。

³¹ 2012年が事業完了となるが、蓄積量は5年ごとに計測される数値であるため近隣の2015年の数値を使用する。

表 10 実施県の土壤流出面積、流出量、洪水による経済損失

	基準値 (2004年)	目標値 事業完了時 (2011年)	実績値 事業完了時 (2015年 ³²)
土壤流出面積 (ha/年)	3,283,638	3,000,000	2,657,367
洪水による経済損失 (百万元/年)	8,962	7,618	7,429

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料



出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

図 2 事業実施県の段階別土壤流出面積

(2) 本事業による土壤侵食軽減への貢献

河南省の土壤侵食面積を比較すると、2003年から2012年の間に減少した侵食面積は660,900ha(表11)であった。河南省で行われた土壤侵食対策のうち、植林による対策が70%を(表12)占めていたことから、土壤侵食面積の減少分の7割にあたる462,600haが植林対策によるものであると仮定できる。さらに、省全体の植林面積に対して、本事業による植林面積は13%程度であった(表13)ことから、本事業は、河南省の土壤侵食面積の減少分の約9%にあたる60,000ha程度の抑止効果があったものと推定することができ、省の土壤侵食の軽減に大きく貢献した事業であったといえる。

表 11 河南省の土壤侵食面積

	2003年	2012年	差異
土壤侵食面積 (ha)	3,007,300	2,346,400	△660,900

出所：2003年の数値は「2003年全国水土保持監測公報」、2012年の数値は「第一次全国水利普查水土保持狀況公報(2013年5月29日)」

表 12 河南省における土壤侵食対策と面積

対策	面積 (ha)	割合
土木工事	8,904,600	29%
植林	21,691,400	70%
その他の方法	423,500	1%
合計	31,019,500	100%

出所：第一次全国水利普查水土保持狀況公報(2013年5月29日)

³² 2012年が事業完了となるが、土壤流出面積は5年ごとに計測される数値であるため近隣の2015年の数値を使用する。

表 13 河南省と本事業による植林面積

林種	指標名	河南省の植林面積 (2007年～2012年)	本事業による植林面積 (2007年～2012年)	本事業の割合 (%)
防護林	植林面積 (ha)	908,280	165,184	18%
経済林	植林面積 (ha)	176,050	12,580	7%
用材林	植林面積 (ha)	416,360	19,267	5%
その他	植林面積 (ha)	2,240	—	0%
合計		1,502,930	197,031	13%

出所：河南省の植林面積は国家統計局統計年鑑、本事業の実績値は河南省林業庁事業事務局提供資料

(3) 防砂塵被害軽減への貢献

本事業の実施により、暴砂塵の発生回数、被害者数、被害戸数、家畜損数、被害額の減少といった効果が期待されていたが、事業計画で指標は設定されておらず、また関連する統計もとられていなかった。

代替として、河南省農業科学院による河南省林業庁発表資料(2012年8月)を示す。約20年間の観測の結果、農地の周辺に防風林を造成することにより、防護林内部の農地では、風速が平均35%から40%軽減され、水分の蒸発が平均10%減少、湿度が平均6.3%上昇、土壌の水分含有量が6.1%増えていることが分かった。防護林のある農地では、とうもろこし5.5%～13.1%、小麦6.8%～



防風林の途切れている部分の成長が遅れている小麦畑(汝南県：赤丸が該当部分)

17.6%、落花生4.7%～8.4%、綿花8.3%～12.8%と、全作物を平均すると10%収量が増加³³することが判明している。

本事業では、定量的なデータはないが、現地調査で訪問した小麦畑周辺の防護林が途切れている部分では、明らかに小麦の幼苗が風を受けて生育が遅れていることが目視でも確認できた。本事業による防護林も畑の防風や保湿に効果をもたらし、農作物の収量増にも貢献していると推測される。

3.4.2 生活環境の改善

(1) 経済的な効果に関する受益者調査³⁴

1) 林種別の植林面積割合

一世帯当たりの小規模農家による植林面積の平均は3.8haで、木材や林産物による収入を重視した用材林、経済林の面積がその55%を占めていた。大規模農家の植林

³³ 同じ農地の中で防護林がある/ない以外の条件は同じ場所での比較データと記述されている。

³⁴ 実施機関によると、事業により期待されていた効果は、小規模な農家では生計向上であった一方、より規模の大きな農家や林場には植林による生態的な効果への貢献であったため、受益者調査は小規模農家(10ha以下)と大規模農家(10ha以上)に分類して集計を行った。

面積の平均は 44.8ha で、生態効果を重視した防護林と封山育林の割合が 85% と大部分を占めている。

表 14 林種別の植林面積

	防護林	封山育林	用材林	経済林	平均面積
小規模農家	42%	3%	27%	28%	3.8ha
大規模農家	66%	19%	11%	4%	44.8ha

出所：受益者調査

2) 植林による純収入の変化

事業実施前（2006年）と実施による純収入の変化を比較すると、植林で純収入が増加したと回答した小規模農家は 58 人（62%）、大規模農家は 39 人（37%）となった。管理費等を差し引いた収支を比較すると、小規模農家の純収入の平均は、経済林や間伐材の売り上げにより実施前の 5,459 元から 12,361 元と倍増した。一方で、大規模農家の純収入の平均は、事業開始後には収入より管理費が多くかかるようになり、純収入は赤字となった。大規模農家は植林面積のうち 15% のみが用材林と経済林という構成で、特に山地に多く配置された防護林や封山育林の管理費用負担が重くなっていることが原因である。また、調査時には、まだ大きな収入が期待されている主材が伐採できる時期に達していないことから、純収入に明確な傾向がでるまで期間を要する。

表 15 植林による純収入の変化

	小規模農家 94 戸	大規模農家 105 戸	林場 7 カ所
収入が大幅に向上した	8 人 (9%)	12 人 (11%)	0 (0%)
収入がある程度向上した	50 人 (53%)	27 人 (26%)	6 (86%)
収入に変化はない	20 人 (21%)	3 人 (3%)	0 (0%)
収入はあまり向上しなかった	4 (4%)	15 人 (14%)	1 (14%)
収入は全く向上しなかった。	1 (1%)	2 人 (2%)	0 (0%)
回答なし	11 (12%)	46 人 (44%)	0 (0%)

出所：受益者調査

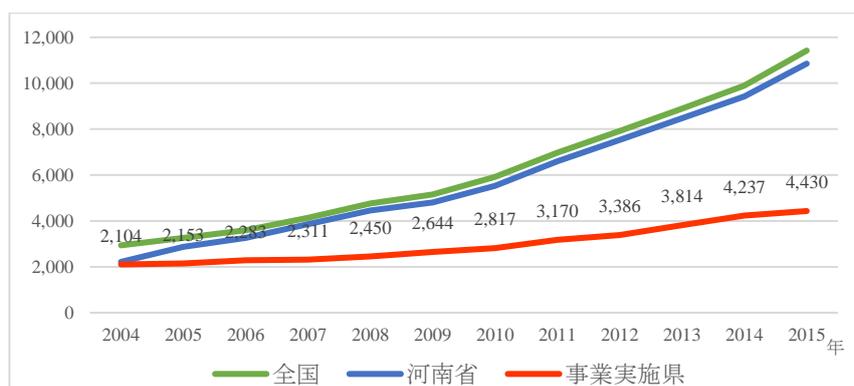
3) 国営林場の経営に関する調査

受益者調査に加えて、7 カ所の国営林場の経営者に林場の経営状態の変化についてアンケート調査を実施した。全ての林場から、林場の経営、職員の収入、雇用機会について、本事業の実施により「ある程度向上した」と回答があった。ただし、このうち 1 林場は防護林の植林が主であったため、管理費に対して収益が得られず、返済が困難となっている。この返済分は政府が肩代わりをして返済をしている状況である。

(2) 農家の平均年収

本事業により、事業実施県の農家の平均年収が、2004年の2,104元から、2010年には2,600元に向上することが期待されていた。この目標値は2009年に前倒しで達成された(2,644元)が、これには農業や出稼ぎといった植林以外の収入も含まれているため、本事業による直接的な貢献度合いについては不明である。また、計画時の植林労務費が一人当たり28元/日であったことに対して、現地調査でのヒアリングによると2008年～2009年頃には50～60元/日と倍増、事後評価時(2016年)には100～120元/人/日と大幅に上昇している。さらに、林地の管理や資材等の費用も物価の上昇により増えている一方、まだ本格的な林地からの収入が主材から得られる時期には早いことから、一概に本事業による効果があったとは言い難い。

また、全国、河南省の農家の平均年収と実施県の年収を比較すると、2004年に全国比72%、省比95%であった。2009年には全国比51%、省比55%、2015年には全国比39%、省比41%と格差が拡大する傾向にある。



出所：全国、河南省のデータは国家统计局統計年鑑、
実施県の年収のデータは河南省林業庁事業事務局提供資料

図3 農民の年収の推移(2004年～2015年)

3.4.3 その他、正負のインパクト

(1) 自然環境へのインパクト

審査時においては、本事業は土壌流出及び洪水被害が発生している地域において、在来種の植林を実施することにより自然環境の改善に寄与するもので、自然環境への好ましくない影響は最小限であると想定されていた。実施機関へのヒアリングや受益者調査の回答によると、本事業実施による自然環境への負のインパクトは確認されていない。

(2) 住民移転・用地取得

本事業で使用された植林地は、参加者が所有権を有する土地、もしくは、村や住民に賃借料を支払って、使用权を借り上げている土地であるため、用地取得や住民移転

は発生していない。現地調査では使用権の賃借には、契約書が交わされ、契約時の時価に応じた賃借料が支払われたことを確認した。

(3) その他正負のインパクト

本事業で植林を行うことによる貧困層へのインパクトについて、実施機関や現地調査では、以下が挙げられた。

- ① 貧困層が多く森林保護、生態環境改善が遅れていた山地で植林事業が行われた。
- ② 植林、保育の労働力として雇用が創出された。
- ③ 防護林の管理を行うため、護林員が雇用された。
(林業庁から 1,500～2000 元/月の給与が支給される)

貧困層への配慮として、参加者への支払いを早めることが行われた。社会的弱者、女性に特化した配慮は特になかったが、現地調査の聞き取りでは、貧困層や女性、社会的弱者が不利益を被るようなケースは確認されなかった。

経済林の中には、日本から導入されたやぶきた茶の林地も造成されていた。これは国外研修で日本を訪問した林業局職員からの提案で導入された樹種で、茶葉だけではなく、枝部分も茶として使用することができることからより多い収穫量³⁵をもたらしている。国内では競合者も少なく販売も良好であることから、地元生産工場が建設された。この茶畑により周辺の農家 1,000 世帯の雇用が創出された。人手が必要な茶摘みには高齢者、女性も多く雇用されている。



やぶきた茶の経済林（羅山県）

事業審査時に設定されていた土壌流出面積、土壌流出による経済損失額については目標値を達成しているが、気候の影響が強く反映されるデータであることから、植林による効果は測れなかった。一方、代替データからは、本事業の植林による省の土壌侵食の約 9%を抑止する効果があったと推定できた。また、防砂塵効果についてはデータがなかったが、代替的に使用した農業部門データによると、防護林により畑の防風・保湿効果、農作物の収量増の効果があることから、本事業の防護林が強風抑制に貢献していると推測される。審査時に設定されていた農家の平均収入は数値上では目標値を達成しているものの、本事業による直接的な貢献度合いは不明である。植林による純収入の変化、林場の経営状況に関する受益者調査からは、まだ林地からの本格

³⁵ 通常の茶葉の収量は 1ha あたり 225 kg で、これに対してやぶきた茶は 600 kg の収量がある。

的な収入が主材から得られる時期には達していないこともあり、事業の効果に明確な傾向が見られなかった。以上を総括すると、生活環境の改善については、効果発現の途上であるものの、自然災害の軽減については一定の効果があったといえる。

以上より、本事業の実施により、おおむね計画どおりの効果の発現が見られ、有効性・インパクトは高い。

3.5 持続性（レーティング：③）

3.5.1 運営・維持管理の体制

(1) 実施機関

本事業の実施には、省林業庁内に「事業事務局」が設置され、本事業の運営や円借款の返済の管理、関連機関との調整等の実務が担われている。県レベルの事業局は、林地の運営・維持管理（林業局）や返済業務（財務局）の監督を行っている。

審査時（2006年）から事後評価時（2016年）まで、この組織体制に大きな変更はなく、庁局間、県や郷鎮との連携ができており、業務範囲、責任所在も明確になっている。事業実施機関によると人員数も充足している。

表 16 県、7 国営林場の事業事務局の人員数 （単位：人）

	事後評価時（2016年）					
	事務局	財務局	林業局	水利局	環境保護局	郷鎮林業ステーション
68 県合計	503	150	198	78	77	849
7 国営林場	41	12	17	6	6	—

出所：河南省林業庁事業事務局提供資料

(2) 植林参加者への支援体制

参加者への運営・維持管理の支援や技術指導は、郷鎮の林業ステーションの技術者が行っている。郷鎮林業ステーションは、林地の状況をモニタリングして、枝打ちや間伐等の必要性や病害虫等の問題が発生した場合には農家と連絡をとり、対策の指導も行っている。実施機関、現地調査でのヒアリングによると、本事業を含めた郷鎮の林地を、月に一度の頻度でモニタリングを行う人員は十分に確保できている。河南省は出稼ぎ者の多い省³⁶でもあることから、新規植林の後、保育が不要となる2～3年後に、植林をした農家が出稼ぎで不在となっている確率が高く、郷鎮林業ステーション職員によるモニタリングが林地の維持管理にとって重要な役割を担っている。

以上から、実施機関の体制は省、県、郷鎮レベルの連携体制が整備されており、植

³⁶ 正確な人数の把握は困難であるが、河南省は面積に対して人口が多く、国内でも出稼ぎ者の多い省である。2016年10月の統計発表によると、人口の約10%にあたる1,000万人が省外の出稼ぎに出ている。この他に特に農村部から都市部への省内出稼ぎもある。

林地のモニタリングやサポートが林業ステーションから提供されているため、実施機関の運営・維持管理体制に問題はないといえる。

3.5.2 運営・維持管理の技術

(1) 林業局の運営・維持管理の技術

実施機関である河南省林業庁の植林技術者には大学以上の学位と農業か林業の従事経験、林業関係の法律に関する知識が求められ、県級の技術者には新品種や技術の関連事業や林地設計経験が求められている。採用後にも、担当分野の研修を受講することになっており、2016年度には、林業関連法規、林地の設計、資金管理、防火・防虫、生態環境保護を含む89種の研修が11,408人に対して実施された。

(2) 植林参加者への技術指導

林場への技術指導は県林業局が、農家への技術指導は、月に一度の林地モニタリングと並行して郷鎮林業ステーションの技術者が行っている。

受益者調査によると、本事業の参加者は技術指導研修に198人(99%)が参加し、実地による技術指導を小規模農家の92人(98%)、大規模農家の83人(79%)が受けている。技術指導は、植林技術、苗木の扱い、病虫害、肥料の使用について効果が認められている。一方で、植林時期の実施であったため、林産物の販売については効果があったという回答は10%以下であった。今後、大きな収入源となりうる用材を伐採・販売する時期に、再度、指導・支援が必要と見込まれる。

表 17 効果があったと回答された指導内容

技術指導による効果(複数回答可)	小規模農家	大規模農家
植林技術が向上した	100%	91%
苗木を適切に扱うことができた	87%	76%
病虫害の予防、発生時の対応ができた	87%	72%
肥料を適切に使用することができた	88%	58%
森林を適切に管理できた	53%	45%
資金を適切に管理することができた	41%	36%
植林技術向上への意識が高まった	65%	25%
間伐材や産物の販売が円滑にできた	8%	5%

出所：受益者調査

実施機関には、技術者の資格の基準があり、研修によって技術レベルが維持されている。参加者の林地のモニタリングや技術指導も継続的に実施されていることから、運営・維持管理の技術的な持続性は担保されていく見込みである。

3.5.3 運営・維持管理の財務

(1) 実施機関の財務

経年の河南省の林業部門の予算は以下の表18のとおり。予算は毎年増加し、2015

年には2006年の10倍以上の予算が確保されている。河南省は国家レベルの林業関連重点事業の対象地区であることから「河南省造林緑化計画（2011年～2020年）」や林業発展五カ年計画に基づいた国家予算が確約されている。支出に関するデータは提供されなかったが、実施機関によると、林業庁に新規植林、病虫害、火災や盗難対策、保育に関する予算枠があり、十分な金額が割り当てられている。

表 18 林業部門の予算額とその資金源内訳 (単位：万元)

	予算額	国家予算	国内借入	債券	外資借入	自己資金	その他
2006年	107,531	86,443	12,203	0	2,953	3,612	2,320
2007年	104,084	92,049	5,133	0	5,820	481	601
2008年	138,904	97,634	16,950	0	3,946	3,999	16,375
2009年	728,770	202,708	153,956	0	15,000	224,600	132,506
2010年	951,927	157,014	212,530	0	12,383	256,000	314,000
2011年	974,898	297,098	213,000	0	4,900	249,900	210,000
2012年	976,351	159,521	230,000	0	1,100	337,260	248,470
2013年	1,019,382	110,350	310,000	0	3,800	430,000	165,232
2014年	1,102,935	279,613	360,000	0	3,322	460,000	0
2015年	1,239,647	766,900	109,600	0	47	363,100	0

出所：中国統計年鑑

(2) 植林参加者の財務

事後評価時（2016年）において、経済林から林産品、用材林や防護林からは間伐による収入が得られている。まだ主材が伐採できる時期ではないため、維持管理費が不足している場合は、農業などの他収入で補っているが、将来的には主材による収入が維持管理費を上回る見込みである。

例えば、ポプラの林地では、植林6年目に間伐材によって9,000元/ha、15年程度で主材の販売から10万元/haの収入が得られ、その間にかかる管理費用の8万5,000元を差し引いても十分な収入が得られる見込みである。用材として出荷できる大きさに成長するまで、ポプラは15～20年、針葉樹は30年程度かかることから、本格的に収入が得られるまで事後評価時から5年～20年程度を要する。

受益者調査によると、事後評価時（2016年）の林地の維持管理について、特に、山地の防護林の管理費用不足が問題として挙げられた。管理費不足対策として、河南省林業庁では、本事業による林地を含めた生態保護林の指定と補助金を拡大しており、2016年には、省全体として国家級公益林129万haに2.48億元、省級公益林32万haには5,800万元の維持管理費が支給されている。また中幼林保育の補助も拡大しており、2016年には14万haを対象に4.24億元が手当てされた。実施機関によると、本事業の防護林や封山育林にも適用を拡大していくこととなっている。

(3) 借入金³⁷の返済状況

事後評価時（2016年）に一部の契約の返済が開始された。実施機関によると、事後評価時において返済は順調に行われており、問題は生じていない。現地調査で行った聞き取りでは、一部、滞りの事例³⁸があったが、大多数は順調に返済をしている。

河南省では、国家重点事業を複数実施していることから、本事業による植林地の維持管理に十分な金額が保育費用として割り当てられている。また、本事業の参加者は、林地の成長により経費を上回る収入が得られる見込みである。一方、収入が見込めない防護林や封山育林に対しては、省政府が徐々に補助金を拡大することで対処されていくこととなっている。以上から、財務的な持続性は担保されていく見込みである。

3.5.4 運営・維持管理の状況

ここでは、事業によって造成された林地が持続的に運営・維持管理されていくかについて判断するため、現地調査や質問票による林地の状態、受益者調査による現状認識について分析を行う。

(1) 植林地の状態

実施機関を通じた調査によると、各県の林地の状態は良好と認識されている。また、現地踏査で訪問した市/県、林場の林地は、事後評価時において良好な状態であることが確認された。

事後評価時（2016年）の保存率について、受益者調査の平均値は表 19 のとおり。防護林、経済林、用材林とも 80%を超えており、おおむね良好であるといえるが、小規模農家の防護林 2 戸（2%）、大規模農家の用材林 2 戸（2%）、防護林 12 戸（11%）の保存率が 80%を下回っていた。

表 19 事後評価時（2016年）の保存率

	小規模農家			大規模農家		
	防護林	経済林	用材林	防護林	経済林	用材林
保存率	87.6%	87.5%	84.1%	86.6%	86.7%	82.0%

出所：受益者調査

林地の状態について、小規模農家 85 戸（90%）と大規模農家の 87 戸（85%）が、良好と回答している。多くの問題があると回答した農家はいずれもなかったが、一部問題があるという回答は小規模農家 7 戸（7%）と大規模農家 18 戸（17%）で、その理由として主に病虫害の発生（小規模 18 戸、大規模 43 戸）、活着率・保存率（小規

³⁷ 本事業に参加した農家は郷鎮政府と植林方法や面積に関する内容と、植林資材などの費用の借款の二つの契約、林場は県林業局と植林/借款契約を結んだ。元建ての借款の利率は一律に 0.75% で、借入期間や据置期間は植林を行った樹種により郷鎮政府と農家の間の協議により決められた。

³⁸ 借入者の死亡で遺族へ契約の引き継ぎが必要な事例（1 戸）、出稼ぎによる不在で連絡が取れない事例（4 戸）で、一時的に、県が返済を立替っていた。

模 15 戸、大規模 27 戸) の問題が挙げられた。

(2) 林地の維持管理状況

林地の維持管理³⁹については、省の保育・保護計画があり、農家の林地の維持管理は林業ステーションの職員が成長期と冬季前の病虫害対策、防火、家畜による被害、盗難や林地の状況について月に一度モニタリングをしている。国営林場や封山育林されている林地は、護林員や林場職員が毎月 2 回の頻度でモニタリングをしている。

事後評価時(2016 年)の林地の維持管理状況について、受益者調査に回答した小規模農家の 79 戸(84%)と大規模農家 70 戸(67%)が良好と認識している。多くの問題があると回答した農家はいずれもなかったが、一部問題があると回答した農家が小規模で 12 戸(13%)、大規模で 34 戸(32%)あった。維持管理にかかる資金不足(小規模 33 戸、大規模 29 戸)と、人手不足(小規模 11 戸、大規模 30 戸)が主な理由として挙げられた。

(3) 機材等の維持管理状況

実施機関によると、本事業によって購入された機材⁴⁰の維持管理状態は良好である。一部の看板は、封山育林が不要な状態に林地が改善されたため、役割を終え撤去されていた。

パトロール用車両 70 台は、各県の林業局に林業局の財産として配備されたが、2015 年に開始された行政改革により、林業局への車両の返納が求められた。実施機関によると、返納の対象となった台数は不明であるが、適宜、借り上げ車両があてがわれるため、パトロール等の林業業務には支障が生じていない。

維持管理ともおおむね良好であった。一部、生態効果が重視され、林地からの収入が望めない防護林において維持管理費用不足がみられたが、他収入で賄われていることや、防護林への維持管理の費用補助が拡大されていることから、事業による効果の持続性は担保されていく見込みである。

以上より、本事業の運営・維持管理の体制は整っており、技術、財務、維持管理状況に問題は見られず、持続性は高いといえる。

³⁹ 現地調査により、林業ステーションや国営林場にマニュアルや巡回記録、緊急事態発生時の連絡体制が整備されていることが確認した。

⁴⁰ 調達された機材のうち、ポンプ、農薬散布機、監視用建物は、訪問した事業サイトになかったため、現地調査により確認ができなかった。代替的に写真での確認を行った。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は、河南省で植林を行うことにより、森林資源の充実を図り、もって、山間部における土壌流出、平野部における強風等の抑制、同地域の洪水、砂嵐等自然災害の被害軽減及び生活環境の改善に寄与することを目的としている。

審査時には、黄河、長江の流域で自然災害被害が深刻化し、その軽減に向けた植林事業が重視されていたことがあり、本事業の目的は中国の開発政策、開発ニーズ、日本の援助方針とも整合しており、妥当性は高い。本事業の新規植林面積、森林率、活着率・保存率、森林蓄積量といった森林資源の充実に関する指標は達成され、整備された林地は河南省で同時期に行われた植林の13%にあたり、省の森林被覆率や森林蓄積量の向上にも貢献している。また、生活環境の改善については、植林による経済的な効果が発現の途上であるものの、省の土壌侵食の約9%を抑止する効果、強風の抑制効果など自然災害の軽減には一定の効果があったことから、有効性・インパクトは高いと判断される。効率性は、事業費は計画内に収まったが、事業期間が植林期間の延長により計画を上回ったため、中程度である。事後評価時に実施体制に変更はなく、林地管理を支援する体制が整備されている。河南省に対しては、中央政府から国家重点事業による予算が割り当てられており、保育や病虫害対策も含めた運営・維持管理の財源は確保されている。一方で、事後評価時に一部の農家や林場の防護林の維持管理費に不足がみられたが、省林業庁は、生態効果を目的とした防護林に対して維持管理費の補助を拡大していく方針であることから、中期的に不足は解消されていく見込みである。技術面、維持管理状況にも問題はみられず、持続性も高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

生態的な効果が重視されている山地の防護林は、林産品等による経済的な効果は少ないため、維持管理費が農家や林場の負担となっている。維持管理資金不足が生じると、林地の管理が行われなくなり、林地が劣化する可能性が否めない。省内では、生態林の指定の拡大と維持管理費の支給が行われているが、特に自然条件の厳しい山地の防護林に対して、早急に保育補助等の対策を講じることが望まれる。

4.2.2 JICA への提言

特になし。

4.3 教訓

(1) 農家を使用しやすい植林モデルの提示

河南省は山地、平地、土壌の条件も多様性に富む地域であるが、防護林、経済林、用

材林を含む本事業の植林モデルは 17 種類のみで、これは一つの表に示されただけの計画であった。計画は樹種別に作成されておらず、また、植栽図もなく、使いやすい資料ではなかったことから、植栽密度のばらつきが起きていた。林業庁は事業形成時、事業実施中において、県、郷鎮レベルの技術者の意見も取り入れ、農家の利便性を考慮した資料を作成するべきであったと思われる。

(2) 将来性を鑑みた樹種の選定

林地に植える樹種の選定は農家の自主性に任されたため、農家は販売価格の高い樹種を選ぶ傾向にあり、用材林はポプラ、経済林はクルミが多く選ばれていた。全国的に実施された植林事業でも同様の傾向があり、人気のあった樹種の林産物は供給過剰となり、価格下落につながっている。選定時に自然や土地の条件が、農家に十分に検討されていなかったとみられる。例えば、山地の防護林で発生していたウサギ等の食害は、松等の針葉樹を植えることで防止できた可能性が高い。実施機関は、農家が自然条件や土地の特性、生態面と経済面の両方の植林の効果を中長期的に考慮した選択ができるように、樹種の特性がわかる資料を提供するとともに、研修や現地での技術指導において理解を求めた上で、樹種の選択を求めるべきであったと思われる。

以上

主要計画/実績比較

項 目	計 画	実 績
① アウトプット		
植林面積	194,190 ha	197,031 ha
防護林	163,610ha	165,184 ha
経済林	11,880 ha	12,580 ha
用材林	18,700 ha	19,267 ha
資機材調達		
看板	2,202 カ所	696カ所
ポンプ	161 台	141台
農薬散布機	172 台	162台
監視用建物	480 カ所	251カ所
パトロール用車両	71 台	70台
国外研修		
林業関連部門職員	20 名 5 回 80 人	5 回 107 人
国内研修		
省級研修	不明	5084 人
県級研修		25,245 人
② 期間	2006 年 6 月～2011 年 9 月 (64 カ月)	2006 年 6 月～2012 年 8 月 (75 カ月)
③ 事業費		
外貨	480百万円	258百万円
内貨	10,964百万円 (800百万円)	10,708百万円 (764.4百万円)
合計	11,444百万円	10,966百万円
うち円借款分	円	7,218百万円
換算レート	7,434百万円 1 元 = 13.7 円 (2005年9月時点)	1 元 = 14.23円 (2007年～2014年 実績の平均)
④ 貸付完了	2014年12月	

以上

0. 要旨

本事業は山西省に揚水発電所を建設することにより、ピーク需要対応力の向上、電力系統運用上の信頼度及び経済性の向上を図り、もって大気汚染物質排出量の抑制に貢献することを目的とする。本事業は、中国中央政府及び対象省の電力・環境政策に沿い、大気汚染の改善、電力供給の安定性・経済性の向上という開発ニーズ、また日本の援助政策とも合致しており、妥当性は高い。効率性については、事業費は計画内に収まったものの、事業期間は、調達遅れにより計画を上回ったため、全体としては中程度であった。本事業は、山西省の電力事情の変遷に伴い、期待される役割も変化している。現在はその変化に対応し、主に「ピーク対応」「新エネルギー開発のための需給調整（大気汚染防止促進）」としての役割を確実に果たしており、事後評価時点では、各種指標も目標値をおおむね達成する水準となっている。期待された電力供給の安定性・経済性の向上に関しても十分な効果が見られた。また、①地域社会経済発展・貧困状況改善、②日本企業の受注促進等についても一定の効果が確認できる。しかし、審査時に設定された事業完成2年後における有効性・インパクトに関する目標値はいずれの指標も大幅な未達となった。これらを考慮すると、有効性・インパクトは中程度である。持続性は、体制面、技術面、財務面ともに問題なく、設備・施設の良好な運営・維持管理が確認されたため高い。

以上より、本事業の総合的な評価は高いと判断する。

1. 事業の概要



事業位置図



発電機設備

1.1 事業の背景

中国政府は、高い経済成長を支える原動力として電源開発を重視し、電力事業への投資を積極的に推進してきた。その結果、1990年～2000年の10年間に発電設備容量が2.3倍（32万MW）、発電量が2.2倍（137万GWh）に増加する等、著しい実績をあげた。ただし、電力需要は経済成長率を上回る高い伸びを続けており、発電設備容量の拡大が必要な状況にあった。一方、中国ではエネルギーの約70%を石炭に依存し石炭火力発電の比率が高いことから、都市部における環境問題が深刻化していた。

中国華北地方に位置する山西省は、鉱産物、エネルギー資源に恵まれているものの、工業・農業の発展が比較的遅れた状況にあった。山西省電力網における発電設備容量は1万2,700MW、年間発電量は6万2,100GWhに達していたが、発電量の97%を負荷の大きい石炭火力発電に依存していた（2000年）。また、一日の最大負荷と最小負荷の最大ギャップ（年間の最大値）は約2,500MW（2000年）に達し、その格差は将来的に増大する傾向にあった。火力発電が圧倒的なシェアを占める山西省において、最大負荷・最小負荷の出力調整は火力発電所のDSS（Daily Start and Stop：発電・停止の繰り返し）や出力調整運転で対応していたが、発電設備寿命の短命化、熱効率の低下、維持・運転コストの増大と環境負荷のより一層の増大という問題を生み出しており、対応が必要となっていた。特に、山西省の大気汚染の最大の要因の一つが石炭火力発電所から排出される煤塵と大気汚染物質であり、環境負荷の増大は日々顕著なものとなっていた。

1.2 事業概要

山西省に揚水発電所を建設することにより、ピーク需要対応力の向上、電力系統運用上の信頼度及び経済性の向上を図り、もってSO₂、NO_x等の削減による大気汚染防止、及びCO₂削減による地球温暖化ガスの排出量の抑制に貢献することを目的とする。

円借款承諾額/実行額	23,241 百万円 / 19,069 百万円
交換公文締結/借款契約調印	2002 年 3 月 / 2002 年 3 月
借款契約条件	金利 0.75% 返済 40 年 (うち据置 10 年) 調達条件 一般アンタイト (コンサルタントは 二国間タイト)
借入人/実施機関	中華人民共和国政府 / 国家電力公司
事業完成	2011 年 8 月
本体契約	・ 三菱電機株式会社 (日本) / 株式会社日立製作所 (日本) / 株式会社東芝 (日本) / 三菱商事株式会社 (日本) (JV) ・ 三井物産株式会社 (日本) ・ 大成建設株式会社 (日本) ・ 住友商事株式会社 (日本)

コンサルタント契約	East China Investigation and Design Institute (中国) / 東電設計株式会社 (日本) (JV)
関連調査 (フィージビリティ・スタディ：F/S) 等	北京勘测設計研究院による F/S (1999年3月)
関連事業	-

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

西野 俊浩 (株式会社国際開発センター)

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：2016年7月～2017年10月

現地調査：2016年10月16日～10月29日、2017年3月19日～3月25日

3. 評価結果 (レーティング：B¹)

3.1 妥当性 (レーティング：③²)

3.1.1 開発政策との整合性

本事業審査時における中国政府の開発政策は、「第9次5カ年計画 (1996年～2000年)」に示されたように、中国における発電量の拡大に伴う需給ギャップの緩和を受けて、発電能力の増大を重視してきた従来の方針から転換し、電力構成の調整、送配電網の整備強化、揚水発電所等の建設によるピーク対応力の向上等によるエネルギー使用効率の改善を強調している。環境配慮に関しては、クリーンエネルギーの拡充及び新技術導入による排出ガス抑制・環境保護の推進が掲げられた。その後の5カ年計画においても一貫して環境配慮・エネルギーの効率的な供給は重視され、「第13次5カ年計画 (2016年～2020年)」は「主要汚染物質排出量」「一次エネルギー消費量に占める非化石燃料比率」等の定量指標目標を設定し、環境改善及び水力発電開発を強調している (揚水発電所建設目標1,700万kW)。

これら中央政府の政策を受けて、山西省においても、ピーク対応力の強化と環境配慮への対応を進めており、「山西省第13次5カ年計画 (2016年～2020年)」では、特に山西省が石炭火力発電への依存度が高い現状を踏まえて、①エネルギー使用効率の改善、②新エネルギー開発の促進、③低炭素発展の推進、④非化石燃料比率向上等を重視し推進する計画となっている。

したがって、本事業の目的・内容は、審査時、事後評価時の両時点で、「電源構成の調整を通じて、エネルギーの効率的な供給と環境問題への対応を図ろうとしてい

¹ A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

² ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

る」点において中国の電力政策に沿うものとなっている。

表 1 本事業に関連する開発計画の主要目標

種類	審査時	事後評価時
電力政策・国家開発計画	第9次5カ年計画(1996年～2000年)： 電源構成の調整として、①発電構成最適化及び発電・送電・配電の整備、②揚水発電所等の建設による不足地域の電力供給、送電及びピーク対応力の向上、③新技術導入による排出ガス抑制・環境保護等を進める。	第13次5カ年計画(2016年～2020年)： 主要汚染物質排出量、地級市の空気良好日数率、一次エネルギー消費量に占める非化石燃料比率の定量指標目標を設定し、環境改善及び水力発電開発を重視。
電力事業計画	電力事業第10次5カ年計画(2001年～2005年)： 数値目標：①期間中、水力発電新規着工設備出力2万7,300MW、うち揚水発電7,400MW(同期間完成合計は、それぞれ1万2,700MW、1,100MW)、②火力発電は500MW以上のシェアを2005年50%程度に引き上げ(2000年38%)。	電力事業13次5カ年計画(2016年～2020年)： 重点計画：①低炭素、清潔、安全で効率的な近代的なエネルギーシステムを構築する、②非化石エネルギー比率を向上させ、化石燃料のクリーンで効率的な利用を促進する、③再生エネルギーの開発を促進。 数値目標：揚水発電所を1,700万kW増設し、4,000万kWにする。 中国国務院『エネルギー発展戦略行動計画(2014年～2020年)』： 4つの戦略：①節約、クリーン、安全という戦略方針を堅持する、②国内戦略を推進する、③グリーン化や低炭素を実現する、④革新を推進する 数値目標：①非化石エネルギー消費量の一次エネルギー消費比率目標として2020年に15%(水力発電3億4,000万kW)、②一般水力発電所の新規稼働設備容量は約4,000万kW、新規着工設備容量は6,000万kW以上、③「三北(西北、華北、東北)」地域の再生可能エネルギーを4,000万kW
山西省開発計画		山西省13次5カ年計画(2016年～2020年)： エネルギー使用効率の改善、新エネルギー開発の促進、低炭素発展の推進、非化石燃料比率向上等を重視。

出所：JICA提供資料、各計画文書

3.1.2 開発ニーズとの整合性

本事業の審査時点において、山西省では環境負荷の大きい石炭火力への依存度が極めて高く(発電量の97%)、かつ1日の最大負荷と最小負荷の最大ギャップが大きくその後も拡大が予想されていた(2000年における1日の最大負荷と最小負荷の最大ギャップ(年間の最大値)2,500MW、2010年予測4,600MW)ことから、電力系統運用上の信頼度・経済性及び環境負荷に大きな課題があった。また、最大負荷・最小負荷間の出力調整は火力発電所のDSSや出力調整運転で対応されていたが、この運転方法は、発電設備の寿命の短命化、熱効率低下、維持運転コスト増大と環境負荷のより一層の増大を生み出していた。揚水発電所の建設を通じて、①石炭火力発電所の運転条件の改善、②石炭・石油燃料消費量の抑制、③火力発電設備の延命化、④電力系統運用上の信頼度、電力品質等の向上、⑤大気汚染防止・地球温暖化ガスの排出量抑制を図ることは緊急性の高いニーズであり、本事業の整合性はあったと考えられ

る。

表 2 山西省の電力に関する基本指標の推移

	2000	2009	2011	2013	2015	2016
発電設備容量 (MW)	12,749	28,260	37,170	45,590	57,550	62,310
うち石炭火力 (MW)	11,771	26,590	33,655	39,700	45,550	48,840
発電量 (GWh)	62,087	137,050	171,000	197,400	186,100	189,900
うち石炭火力 (GWh)	60,475	133,950	164,250	186,800	172,600	170,300
最大負荷 (MW)	7,614	19,191	21,846	24,654	22,858	24,677
最小負荷 (MW)	-	11,202	12,736	14,475	12,503	12,348
日較差最大値 (MW)	2,485	4,797	5,276	6,061	5,999	6,322

出所：JICA提供資料及び実施機関質問票回答

注：「日較差最大値」は、一日の最大負荷と最小負荷の最大ギャップの年間最大値を示す。

事後評価時点では、山西省では 2011 年くらいまで電力需要の急拡大が続き発電容量が不足する状況にあったが、経済成長・電力需要の伸びが鈍化する中、建設中の発電所が完成することで発電容量は拡大し、電力需給が逼迫する状況は大幅に改善された。①電力需給の緩和、②新型発電所の建設による火力発電所の調整機能の強化から、ピーク対応力も向上している。しかし、依然として電力の安定供給のために、調整機能の確保・強化が求められており、調整機能を持つ揚水発電所が重要な意味を持っている点に変化はない。また近年、風力発電等の新エネルギー開発が推進されているが、これらは供給が不安定であることから、発電量の拡大のためには調整機能強化が不可欠であり、揚水発電の調整能力の活用なしには円滑な新エネルギー開発が不可能な状況にある。さらに、山西省主要都市の大気汚染状況は依然として深刻であることから、水力発電は、①クリーンエネルギーである、②効率的な電力需給調整を通じて環境負荷を低減する、③新エネルギー開発促進に不可欠であるという 3 つの観点から、大気汚染防止に貢献するものとして重視されている。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

審査時の「対中国経済協力計画」（2001年、外務省）、「海外経済協力業務実施方針」（2002年、JICA）、「国別業務実施方針」（2002年、JICA）においては、いずれも①環境保全、②内陸部の民生向上・貧困対策に重点を置くことを表明しており、日本の援助政策との整合性を有している。国別業務実施方針におけるエネルギーセクターへの支援方針では、電力需給、環境配慮、石炭輸送能力、民間投資等の状況を総合的に勘案しつつ、「（揚水発電等）水力発電開発の促進」も重点支援対象とすることが明記されていた。

以上より、本事業の実施は審査時及び事後評価時の中国の開発政策及び開発ニーズ、また審査時の日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

3.2 効率性（レーティング：②）

3.2.1 アウトプット

本事業の主要アウトプットは、上部・下部調整池の新規建設、地下発電所（発電機4基）及び導・放水路の新規建設、スイッチヤード・調達機器の設置等である。下表に示すとおり、調整池の規模が上池、下池ともに10%～20%拡大したほか³、調達機器に関して一部数量等が微調整されたが、おおむね計画どおりのアウトプットが実現している。コンサルティングサービスの業務内容等も変更はない。実施機関への聞き取り調査及び関係資料によれば、アウトプットの変更はいずれも本事業のニーズに対応する形で必要な手続きを踏まえて実施されており、問題は見られない⁴。

表3 アウトプットの計画と実績

内容	計画（審査時）	実績
上部調整池（有効貯水量）	約420万 m ³	460万 m ³
下部調整池（有効貯水量）	約420万 m ³	480万 m ³
地下発電所	300MW×4基	計画どおり
導・放水路	導水管2、分岐管4、放水路4	計画どおり
スイッチヤード	変圧器340MVA×4基、500kV引出設備	計画どおり
コンサルティングサービス	入札補助、詳細設計のレビュー、施行監理補助	計画どおり
調達機器	可逆式ポンプ水車、GIS、ケーブル、附帯設備等	モニタリング機器、鋼材の数量等が必要性を踏まえて微修正された。

出所：実施機関質問票回答



上部調整池



下部調整池

³ 実施機関によれば、本事業の実情を踏まえた詳細設計段階における軽微な変更と判断されている。

⁴ なお、本事業は、審査時点において、「規模が大きく、高い水準を要するものであることから留意が必要」とされていたが、日中事業関係者への聞き取り調査によれば、当初計画の想定と異なる状況は発生せず、問題は生じていない。

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

本事業の事業費は、下表に示すとおり、計画 779 億 9,100 万円に対して実績 692 億 900 万円（計画比 89%）であり、計画内に収まった。実績が計画を下回った要因としては、①内貨分のコンサルティング業務の費用削減が図られたこと、②国際競争入札により電気機械設備の調達価格が抑制されたこと、③入札の結果、国内土木工事費が抑制されたこと、④事業期間内に円高が進行したこと等が挙げられる。上述のとおり、アウトプットは計画どおり実現しており、事業費は計画を下回ることから、適切に事業費の抑制が図られたと考えられる。

表 4 事業費の計画と実績

	計画（審査時）			実績		
	外貨 (百万円)	内貨 (百万円)	合計 (百万円)	外貨 (百万円)	内貨 (百万円)	合計 (百万円)
土木工事	2,790	28,380	31,170	2,600	25,493	28,093
電気機械設備	16,724	5,190	21,914	13,865	5,558	19,423
鋼構造物	1,096	2,010	3,106	2,497	1,213	3,710
コンサルティング	214	5,865	6,079	107	920	1,027
税金・管理費等	0	10,740	10,740	0	16,956	16,956
物価上昇	1,320	510	1,830	0	0	0
予備費	1,097	2,055	3,152	0	0	0
総合計	23,241	54,750	77,991	19,069	50,140	69,209

出所：JICA提供資料、実施機関質問票回答

注：1 為替レートは、計画額 1 人民元 = 15 円（2001 年 9 月）、実績額 1 元 = 14.0 円（2001 年～2011 年期間中平均為替レート）。

3.2.2.2 事業期間

本事業の事業期間は、計画 94 カ月（2001 年 11 月～2009 年 8 月）に対して実績は 118 カ月（2001 年 11 月～2011 年 8 月）であり、計画を上回った（計画比 126%）。事業期間が超過した原因としては、2009 年 10 月に発電機（1 号機、2 号機）の試運転中に損傷事故が発生し、事故原因の特定、発電機の交換等の対応が必要になったことが挙げられる。事故発生後、復旧計画が策定され、同計画に基づき着実な対応がなされたものの、事業期間は 24 カ月の超過となった。

表5 事業期間の計画と実績

	計画（審査時）	実績
借款契約調印	2002年3月	2002年3月
事業全体	2001年11月～2009年8月 (事業期間94カ月)	2001年11月～2011年8月 (事業期間118カ月)
準備作業	2001年11月～2003年6月	2001年11月～2003年8月
上部調整池	2003年6月～2006年3月	2003年12月～2008年9月
下部調整池	2003年2月～2007年5月	2003年8月～2010年9月
発電所	2003年5月～2006年12月	2003年9月～2011年8月
電気機械設備	2004年1月～2009年8月	2006年3月～2009年7月
コンサルティング	2002年10月～2008年6月	2003年3月～2008年11月
1号機試運転完了	2009年8月	2011年5月
2号機試運転完了	2009年8月	2011年8月
3号機試運転完了	2009年8月	2009年4月
4号機試運転完了	2009年8月	2008年11月

出所：JICA 提供資料、実施機関質問票回答

注：借款契約調印前に中国側資金により一部事業が開始していたため、事業開始が調印前となっている。

3.2.3 内部収益率（参考数値）

財務的内部収益率

審査時点では、財務的内部収益率（FIRR）のみ算出されていることから、本調査では FIRR について再計算を行う。審査時点では、事業建設費、揚水用買電コスト、運営・維持管理費、税金を費用、売電収入を便益として、プロジェクト期間を運用開始後 30 年で FIRR は 8.06% と算出されている。本事後評価時においても、審査時と同様の費用、便益、プロジェクト期間で再計算した結果⁵、FIRR は -4.45% となった。再計算した FIRR が審査時と比較して下回りマイナスとなった要因としては、①売電収入の実績が大きく下回っていること（審査時 1 億 280 万元/年、事後評価時約 4,550 万元/年、審査時比 44%）、②建設期間が計画を超過し操業（収益発生）の開始が遅れたことが挙げられる。一方、事業完成後の運営コストは審査時計画を若干下回る水準となっている（審査時 40.2 百万元/年、事後評価時 36.2 百万元/年、審査時比 90%）。

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、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である。

3.3 有効性⁶（レーティング：②）

有効性の評価の実施にあたっては、後述のとおり、本事業を取り巻く環境、本事業

⁵ なお、FIRR の再計算に当たり、今後の便益（売電収入）、コスト（買電支出、人件費等）、税金に関しては、過去 3 年間の実績の平均値が継続して維持されると仮定した。

⁶ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

の位置づけが大きく変化していることを踏まえて、その点を十分に考慮した。

3.3.1 定量的効果（運用・効果指標）

審査時に、本事業の定量的効果を示すものとして設定された運用・効果指標の状況は下表のとおりである。

表 6 運用・効果指標の推移

	目標値	実績値						
	(2011) 事業 完成 2年後	2011 事業 完成 年	2012 事業 完成 1年後	2013 事業 完成 2年後	2014 事業 完成 3年後	2015 事業 完成 4年後	2016 事業 完成 5年後	2013- 2016 の平均 値
【運用指標】								
設備出力 (MW)	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
稼働時間 (発電時間/年)	4,811	1,704	148	609	1,802	2,591	4,768	2,443
稼働時間 (揚水時間/年)	4,201	1,797	170	541	1,780	2,793	5,530	2,661
稼働率 (%)	91.6	29.2	2.5	10.4	30.9	44.4	81.6	33.2
設備利用率 (%)	91.6	21.7	1.8	6.5	22.9	35.4	64.3	25.4
総合循環効率 (%)	75	75	59	70	75	73	74	73
計画外停止時間 (時間/年)	12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
【効果指標】								
年間発電量 (GWh)	1,796	381	31	114	401	620	1,638	693

出所：JICA 提供資料、実施機関質問票回答

注：「稼働率」＝（実際の発電時間）／（4基×4時間×365日）。「設備利用率」＝（実際の発電電力量）／（4基×4時間×300MW×365日）。「総合循環効率」＝（送電端発電量）／（揚水用電力消費量）×100。

審査時に目標値が設定されている事業完成後 2 年後（2013 年）の実績を見ると、設備出力は目標値が達成されているが、稼働時間（発電時間）及び年間発電量に関しては、それぞれ目標値の 13%（目標値 4,811 時間、実績 609 時間）、6%（目標値 1,796GWh、実績 114GWh）であり、いずれも大きく目標値を下回った。稼働率、設備利用率、総合循環効率の各指標も、稼働時間（発電時間）、発電量に影響を受ける指標であることから、両指標が未達であることを受けてこれら指標も低い水準にとどまり目標値は未達となっている⁷。ただし、稼働時間（発電時間）及び年間発電量の実績は近年急速に回復傾向にあり、事後評価時点の 2016 年の実績を見ると、それぞれ目標値の 99%（目標値 4,811 時間、実績 4,768 時間）、91%（目標値 1,796GWh、実績 1,638 GWh）となった。その結果、多くの定量指標がおおむね目標値を達成する水準に改善している。

揚水発電所に関しては、一般的に、年により稼働時間（発電時間）及び年間発電

⁷ 計画外停止時間に関しては、データは得られていないが、実施機関担当者への聞き取り調査によれば、目標が達成されているとのことである。

量の変動が大きく⁸単年の数値で評価することは適切とはいえないことから、事業完成2年後から事後評価時点（2013年～2016年）の実績値の平均値についても確認したが、稼働時間（発電時間）及び年間発電量は、それぞれ目標値の51%（目標値4,811時間、実績2,443時間）、39%（目標値1,796GWh、実績693GWh）であり、事業完成2年後と比較すると近年の回復傾向を反映する形で大きな改善が見られるものの、いずれも目標値を下回る状況にあるのは変わりが無い。

こうした結果となった要因としては、①本事業を取り巻く社会経済環境の変化が大きかったこと、②環境変化に伴い本事業の位置づけも大きく変化したことが挙げられる（下表参照）。

表7 本事業の役割の変遷

	2001年（審査時）	2012～14年（完成1～3年後）	2015～16年（事後評価時点）
経済社会状況	<ul style="list-style-type: none"> ・電力需要の急拡大による電力需給の逼迫 ・最大・最小負荷ギャップの拡大による調整機能の不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・景気低迷による電力需要の伸びの鈍化 ・最大・最小負荷ギャップの縮小による調整機能必要性低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・景気改善に伴う最大・最小負荷ギャップ調整必要性の高まり ・新エネルギー開発に伴う調整機能強化の必要性
本事業の役割	<ul style="list-style-type: none"> ・ピーク対応（ニーズ大） ・電力不足に伴うミドル電源 	<ul style="list-style-type: none"> ・ピーク対応（ニーズ縮小） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ピーク対応（ニーズ増加） ・新エネルギー開発に伴う需給調整

出所：評価者作成

審査時（2001年）においては、山西省では電力需要に対して供給が不足する切迫した状況にあり調整能力も低い水準にあった。したがって、本事業にはピーク対応に加えて、実際は一部ミドル電源としての役割を期待されたものと考えられる⁹。審査時には、1日約4.1時間の稼働時間（発電時間）が目標値として設定されている¹⁰が、①日本国内の実績をみると、データの入手が可能であった関西電力（揚水発電所）の1日平均稼働時間実績は0.43時間～1.57時間（設備出力5,060MW、年間発電量800GWh～2,900GWh）¹¹であること、②下表に示すように、中国全体の揚水発電所の1日平均稼働時間実績も2016年を除くと2時間を下回る水準にあり、本事業の4.1時間という稼働時間目標値は、ピーク対応の通常の稼働を上回っていることがこれを裏付けている。

⁸ 揚水発電のこうした特徴を踏まえて、本事業についても、山西西龍池抽水蓄能电站有限责任公司（西龍池揚水発電所）と山西省電力集团公司（山西省電力公司）の間で「発電量に関係なく発電容量を基準とした固定金額による契約」を結ぶことで安定的な収益が確保されている。

⁹ 実施機関担当者からも同様の考えが示された。

¹⁰ 年間発電目標÷（設備出力×365日）＝179万6,000MWh÷（1,200MW×365日）＝4.1時間で算出。

¹¹ 関西電力株式会社ホームページ（<http://www.kepco.co.jp/corporate/profile/data/dengen.html>）より。

表 8 中国全体の揚水発電所及び本事業の発電状況の推移

		2011	2012	2013	2014	2015	2016
中国 全体	年間発電量(GWh)	10,900	9,300	10,700	13,200	15,800	30,600
	設備出力(MW)	18,380	20,330	21,530	22,110	23,030	26,690
	1日平均稼働時間(時間)	1.62	1.25	1.36	1.64	1.88	3.13
西龍 池発 電所	年間発電量(GWh)	381	31	114	401	620	1,638
	設備出力(MW)	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
	1日平均稼働時間(時間)	0.87	0.07	0.26	0.92	1.42	3.73

出所：JICA 提供資料、電力事業 13 次 5 カ年計画、2015 年電力統計基本データ一覧表をもとに評価者が作成。

しかし、事業完成 1 年後の 2012 年以降、経済成長の鈍化に伴い電力需要の伸びも大きく鈍化した一方、建設中であった火力を中心とする多くの発電所（調整能力の高い発電所を含む）が完成したことで山西省の電力需給状況は大きく改善した。その結果、本事業は揚水発電所の本来の役割であるピーク対応に限定して活用されることになった。また、最大・最小負荷のギャップも縮小し、ピーク対応能力の必要性が低減したことから、事業完成 2 年後（2013 年）の本事業の活用は低い水準にとどまっている¹²。したがって、上述のとおり、1 日約 4.1 時間の稼働時間（発電時間）を前提とした目標値と比較すると 2013 年～2015 年の本事業の発電実績は低い水準にあるが¹³、①上表に示す中国全体の揚水発電所の発電実績との比較において一定水準の発電量を確保していること、②山西省で電力需給が逼迫する傾向にある冬季を中心に活用されていることから、必要とされたピーク対応の役割は十分に果たしたものと判断できる。

2015 年以降、中国においては環境にやさしい新エネルギーの開発が実現しており、山西省においても風力発電・太陽光発電の開発・発電量が大きく増加した。しかし、新エネルギーは供給が不安定であることから、効果的な活用を実現するためには調整能力のさらなる向上が不可欠となり、そのことが本事業の積極的な活用、稼働時間（発電時間）や発電量の改善につながっている。本事業の役割が再び変化し、ピーク対応に加えて新エネルギー開発促進のための需給調整が新たな役割として重視されることとなった。この傾向は、中国全土の揚水発電に共通しており、上表に示すとおり、2016 年は発電量の拡大が顕著である。新エネルギーの開発は今後も促進される計画

¹² 本事業が計画どおり 2009 年に完成していた場合、事業完成 2 年後の 2011 年は山西省において電力需給が最も切迫し最大最小負荷の調整が求められていた時期であり、目標数値は確実に達成されたと考えられる。従って、結果として、事業完成の遅れが有効性の評価指標結果にも大きく影響を与えることとなった。山西省電力網の管理を行う山西省電力会社の担当者からは「事業完成が、調整能力が最も必要であった 2010 年～2011 年に間に合わなかったことが残念であった」と意見が聞かれた。

¹³ なお、①円借款運用・効果指標リファレンス（2014 年 7 月）によれば、揚水発電の評価においては、「（その特徴を踏まえて）稼働時間（発電時間）及び発電量がターゲットに達しないことが、必ずしも評価の低下につながるものではない」との記述があること、②「中国電気事業 13 次 5 カ年計画」では、揚水発電の発電目標量は設定されていないこと、③本事業の売電契約においても発電量に関係なく発電容量を基準とした固定料金設定がされていることが示すように、揚水発電においては発電量の変化が大きく発電量が少ないことが必ずしも事業の効果が低いことを意味しないことを、本評価の実施においても十分に留意する必要がある。

であること、新規揚水発電所の増設が計画されていることが示すように、本事業・揚水発電所の重要性は高い。このことから、実施機関担当者は、新しい役割の下、今後とも目標値を達成する水準で活用されると判断している。

3.3.2 定性的効果

審査時点において想定されていた定性的効果は、DSS 運用の緩和・減少による、①燃料消費量の抑制、②電力系統運用上の信頼度及び経済性の向上である。

DSS 運用の緩和・減少については、山西省電力集团公司（以下、山西省電力公司）担当者への聞き取り調査結果によれば、2012 年以降 DSS の回数は大幅に減少し春節（旧正月）等の特別な時期を除けばほとんど実施されていない。DSS の必要な状況はほぼ解消され年数回程度の実施実績となっており、顕著な改善が見られた。改善が進んだ要因としては、本事業の完成による調整能力の向上に加えて、上述のとおり、2012 年以降電力需給の緩和、最大最小負荷のギャップが全体として縮小傾向にあることが挙げられる。しかし、近年再び電力需要の増加に伴う最大最小負荷のギャップの拡大と新エネルギー発電の拡大により、電力需給調整能力ニーズの拡大という環境変化がみられる中でも、DSS 運用は解消されており、本事業の貢献は大きいものと考えられる。

山西省電力公司担当者への聞き取り調査結果によれば、DSS 運用の緩和・減少により、非効率な発電所操業の減少、出力の安定による熱効率の改善が進み、①「燃料消費量の削減」が図られているものと評価されている。②「電力系統運用上の信頼度及び経済性の向上」については、その状況を示す電力網の電圧や周波数に関するデータが入手できていないものの、DSS 運用の緩和・減少に伴い、発電所運営・維持コストの削減、発電設備の延命の実現への貢献があったとの認識が示された¹⁴。

そのほか、以下の 2 つが指摘できる。

大規模停電の防止等の電力安定供給の実現：山西省の社会経済が安定的かつ持続的な発展を実現するうえで、安定的な電力供給は不可欠な要素であり、電力需要の拡大が続くなか、大規模停電等の発生を防ぐ等、電力系統運用上の信頼度向上の観点から、（例え発電量が低い水準にあっても）本事業の貢献・役割は極めて大きいとの認識が山西省の電力政策担当者等幅広い関係者から示されている。

より広域な華北地域の電力需給調整への関与：中国では、電力系統の安定性・経済性の向上を促進するために、電力網ネットワーク管理の広域化を促進しており、2016 年以降、本事業はこれまでの山西省電力網だけではなく華北地域電力網のネットワークに組み込まれ、より広域の電力需給調整への関与を通じて、電力系統の安定性及び経済性の向上に寄与することとなった。

¹⁴ 電力需給が逼迫した 2011 年当時においても停電の発生や計画停電の実施等はなかったため、企業関係者等への聞き取り調査からも本事業の成果に関する明確な意見を得ることはできなかった。

3.4 インパクト

インパクトの評価の実施に当たっては、後述のとおり、中国における環境対策の改善及び技術革新を考慮し、目標値の再設定等を行った。

3.4.1 インパクトの発現状況

定量的なインパクトとして「大気汚染防止効果」、定性的なインパクトとして「地域社会経済発展及び地域貧困状況改善への貢献」及び「山西省における新エネルギー開発の促進」が挙げられる。

(1) 大気汚染防止効果

審査時点において想定されていたインパクト（定量指標）は、①年間石炭燃焼削減量、②大気汚染物質等（NO_x、SO₂、煤塵、CO₂）の排出削減量である。本事業の大気汚染防止効果に関する目標値は、以下の方法で算出されている。

項目	算出方法
石炭燃焼削減量	<ul style="list-style-type: none">・「本事業が建設された場合（with）」「本事業を建設せず火力発電所の増設で対応した場合（without）」の2つのケースを比較分析することにより、本事業の石炭燃焼削減量（本事業発電量 1kWh 当たりの削減量）を算出。・石炭燃焼削減量の算出においては、発電規模及び省内発電設備使用状況を踏まえた「石炭消費量曲線」等を活用。・揚水発電所の稼働時間（発電時間）を 5.5 時間/日（年間発電量 2,409GWh）と想定。
大気汚染物質等の排出削減量	<ul style="list-style-type: none">・山西省の火力発電における石炭消費量と大気汚染物質の排出量の実績を踏まえて、石炭燃焼削減量 1 トン当たりの大気汚染物質等の排出削減量を算出し、本事業の目標値を設定。

ただし、審査時には、石炭燃焼削減量を算定する際の前提として本事業の稼働時間（発電時間）が 5.5 時間/日（年間発電量 2,409GWh）と想定され、その結果期待される「石炭燃焼削減量」「大気汚染物質等の排出削減量」をそのまま本事業の大気汚染防止効果に関する目標値として設定している。そのため、本事業の発電量目標値（約 4.1 時間/日、年間発電量 1,796GWh）と差異が生じていることから、本評価の実施にあたっては、下表のとおり、「目標値」の修正を行った。

表9 本事業の大気汚染防止効果に関する目標値

	審査時（修正前：年間発電量 2,409GWh）	事後評価時（修正後：年間発電量 1,796GWh）
年間石炭燃焼削減量	25.9 万トン	19.3 万トン
NO _x の排出削減量	3,000 トン	2,236 トン
SO ₂ の排出削減量	6,100 トン	4,547 トン
石炭粉塵排出削減量	2,700 トン	2,013 万トン
CO ₂ の排出削減量	70.0 万トン	52.2 万トン

出所：JICA 提供資料をもとに評価者が作成。

また、実績値を推定するにあたり、審査時点以降の環境対策の改善及び技術革新に伴い、発電に伴う環境面への影響度合いも変化していると考えられることから、現状を反映するために計算式の再設定を試みた。ただし、「発電量 1GWh 当たりの石炭燃焼削減量」に関しては、審査時に算出された「石炭消費量曲線」等の最新版が入手できないことから審査時のものをそのまま使用し、「石炭燃焼削減量 1 トン当たりの大気汚染物質等の排出削減量」については、「電力事業 13 次 5 カ年計画」等の入手可能であった資料に示された中国全体の最新実績を活用し算出することとした。その結果は下表のとおりであり、この 2 つの基準を活用し「実績値」を算出した¹⁵。

表 10 発電 1GWh 当たりの大気汚染防止効果

	審査時基準	事後評価時基準
節約石炭燃焼量	約 107.51 トン	約 107.51 トン（変更なし）
NO _x の排出削減量	約 1.25 トン	約 0.96 トン
SO ₂ の排出削減量	約 2.53 トン	約 0.92 トン
石炭粉塵排出削減量	約 1.12 トン	約 0.73 トン
CO ₂ の排出削減量	約 290.58 トン	約 89 トン

出所：JICA 提供資料、電力事業 13 次 5 カ年計画、2015 年電力統計基本データ一覧表をもとに評価者が作成。

注：発電 1GWh 当たりの大気汚染防止効果が審査時と事後評価時で変化した理由としては、中国において、①環境負荷の少ない発電所設備の導入が進んだこと、②既存発電所における環境対策が推進されたこと等があげられる。

したがって、本事業による大気汚染防止効果状況は下表のように整理できる。

¹⁵ 審査時に（石炭燃焼削減量 1 トン当たりの）大気汚染物質等の排出削減量を算出した際には山西省データを活用しているが、今回の再計算では、山西省のデータが得られなかったことから、中国全体のデータを使用している。

表 11 本事業による大気汚染防止効果状況

		修正後 目標値	実績値						
		(2011)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2016
		事業完成 2年後	事業 完成 年	事業 完成 1年 後	事業 完成 2年 後	事業 完成 3年 後	事業 完成 4年 後	事業 完成 5年 後	目標 比達 成比 率
	年間売電量 (GWh)	1,796	381	31	114	401	620	1,638	91%
審査 時基 準	年間石炭燃焼削減量 (万トン)	19.3	4.1	0.3	1.2	4.3	6.7	17.6	91%
	NO _x 排出削減量 (トン)	2,236	474	39	142	499	772	2,040	91%
	SO ₂ 排出削減量 (トン)	4,547	965	78	289	1,015	1,570	4,147	91%
	煤塵排出削減量 (トン)	2,013	427	35	128	449	695	1,836	91%
	CO ₂ 排出削減量 (万トン)	52.2	11.1	0.9	3.3	11.7	18.0	47.6	91%
事後 評価 時基 準	年間石炭燃焼削減量 (万トン)	19.3	4.1	0.3	1.2	4.3	6.7	17.6	91%
	NO _x 排出削減量 (トン)	2,236	364	30	109	384	593	1,566	70%
	SO ₂ 排出削減量 (トン)	4,547	351	29	105	369	571	1,508	33%
	煤塵排出削減量 (トン)	2,013	278	23	83	293	453	1,196	59%
	CO ₂ 排出削減量 (万トン)	52.2	3.4	0.3	1.0	3.6	5.5	14.6	28%

出所：JICA提供資料及び実施機関からの質問票回答を踏まえて評価者が作成。

まず、審査時の基準で見ると、基本的に大気汚染防止効果に関する各指標の達成状況は、本事業の発電量とリンクする構造となっている。したがって、審査時に目標値が設定されている事業完成2年後については、上述のとおり、発電目標が未達であることから、大気汚染防止効果に関する各指標も未達（目標値の6%）となった。その後、発電量が増加し2016年にはほぼ発電量の目標値を達成したことから、大気汚染防止効果に関する各指標についてもほぼ目標値を達成する水準（91%）に回復しているが、2013年～2016年（4年間）の累計の目標と実績を比較すると実績は目標比の39%の水準にとどまっている¹⁶。

次に、審査時以降の環境対策の改善及び技術革新を反映した基準で見ると、全体の傾向としては、審査時の基準と同様であるが、大気汚染防止効果はさらに小さくなっている。ほぼ発電量の目標値を達成した2016年においても目標値を大きく下回る指標が見られる。特に対策が進んでいるCO₂及びSO₂の達成状況は30%程度と低い水準となった¹⁷。

(2) 地域社会経済発展及び地域貧困状況改善への貢献

本事業は、県政府の財政収入拡大へ一定の貢献を果たした。山西西龍池抽水蓄能电站有限責任公司（以下、西龍池电站公司）は2015年～2016年時点で五台县内3番目の大口納税者であり、納税額は県財政収入の5%を超える。近年の低成長下、財政

¹⁶ 後述のとおり、本事業による新エネルギー開発促進効果があると考えられることから、（定量的な評価はできないが）それをあわせた本事業の大気汚染防止効果はさらに大きいと考えられる。

¹⁷ ただし、審査時以降の環境対策の改善及び技術革新については、プロジェクトマネジメント上は外部条件になると考えられることには十分な留意が必要である。

収入が伸び悩むなか、西龍池電站公司からの税収は国家級貧困県の五台県では大きい意味を持った（五台県財政収入 2011 年審査時計画値 6,531 万元に対して、2010 年実績 3 億 1,734 万元、2015 年実績 7 億 1,172 万元であり、実績が計画を大きく上回っている）。本事業からの税収を含む拡大した財政収入を活用して社会インフラ・サービスの整備等が推進されている。また、金額等の詳細は不明であるが、建設工事中は事業サイト周辺を中心に建設作業、関係者向け宿泊、飲食等のサービス業の雇用が生まれたほか、事後評価時点では本事業実施に伴い建設された道路を石炭輸送のために数多くのトラックが利用している。したがって、本事業は地域社会経済の発展に一定の貢献を果たしたものと考えられる。

五台県は現在も国家級貧困県であるが、貧困人口は減少しており（現在の貧困人口は 7,000 人～8,000 人程度）、2020 年に貧困人口ゼロを目標としている。財政収入の増加により、副業育成支援、インフラ整備等の貧困削減支援策が強化された。県関係者への聞き取り調査によれば、貧困対策施策の実施には、本事業から得られた税収も一定の貢献をしている¹⁸。

(3) 山西省における新エネルギー開発の促進

上述のとおり、中国政府・山西省政府はともに環境保護の観点から新エネルギー開発を重視し実施している（新エネルギーの 2012 年実績はいずれもほぼゼロであったが、2016 年には風力発電 7,300MW、太陽光発電 2,700MW の規模となっている（水力発電 2,300MW））が、新エネルギー（風力発電、太陽光発電等）は供給が不安定で電力需要にあわせて発電することが困難であり、また発電規模が大きい時間帯が電力需要の大きい時間帯と必ずしも一致しない傾向があることから、発電量を拡大しても電力需要を超過した場合電気が無駄になってしまう可能性がある。したがって、その拡大には需給調整能力の向上が前提であり、その観点から近年揚水発電所への期待が大きくなっている。国網新源公司¹⁹及び山西省電力公司関係者への聞き取り調査によれば、需要を超過する形で風力発電された電力を揚水に活用する（風力発電 1.25kWh を揚水発電 1kWh に変換する）ことで、風力により発電された電気（需要超過分）を無駄にせず活用することが可能であり、揚水発電所の発電能力の約 70%は新エネルギー開発に伴う需給調整に活用することが想定されている。また、山西省では約 1,100MW の一般水力発電設備があるものの、発電に利用する川の流量の季節変動が大きく一般水力発電に十分な調整機能を期待できないことから、本事業の調整機能への期待は特に高くなっている。近年における発電量の急増もこの状況を裏付けていると考えられ、山西省における新エネルギー開発の促進とそれを通じた大気汚染防止における本事業の貢献は極めて大きいものがある。

¹⁸ 国の農村社会インフラ整備の推進もあり、貧困地域でも、通信・道路・電気が 100%確保されている。

¹⁹ 中国におけるすべての揚水発電所を管理・監督する会社。

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

本事業の実施に伴う自然環境に関するモニタリングは、通常環境モニタリングに加えて、自然環境への影響が大きいと考えられた2003年～2005年の3年間、大気、騒音、粉塵の3項目について県環境局により実施された。県環境局関係者への聞き取り調査結果によれば、いずれについても基準内のモニタリング結果となり、大きな問題はみられていない。工事期間中、粉塵等の軽微な問題が生じた事例もみられたが、事業者と協議し適切な対応がとられた。河川の水質に関しては事後評価時点まで継続して通常のモニタリング体制（年4回、河川下流で汚染状況を確認）により確認されているが、水質悪化等の問題はみられない²⁰。本事業計画時には、発電所施設からの生活排水が最大の課題と考えられていたが、施設内で基準に合致する形で排水処理が行われ処理された水は施設内で緑化等に活用する等の対応がとられていることから、現状では河川へはほとんど排水はされていない。したがって、本事業による自然環境への負のインパクトはないと判断できる。

(2) 住民移転・用地取得

本事業の実施に伴う住民移転・用地取得の実施状況は下表のとおり整理できる。いずれについても実績が計画を上回っている。移転住民数に関しては、実施段階で改めて実施された住民への希望調査の結果を踏まえて修正された結果であり、用地取得に関しても、発電所運用上の必要性を踏まえて荒地の用地取得面積（宅地、耕地は計画どおり）が拡大したものであり、特に問題はみられない。

表 12 住民移転・用地取得の実施状況

内容	対象地域	計画	実績
用地取得	西河村（行政村） 及び 西龍池村（自然村）	240ha（うち宅地7.5ha、耕地92ha）	330ha（うち宅地7.5ha、耕地92ha）
住民移転	上部調整池建設地（西龍池村（自然村））	630名	55名（2003年実施） 住民への意向調査結果を踏まえて、44人は村外を含む親戚・友人の家に引っ越し、11人が別地域に個別に移住。
	下部調整池建設地（西河村（行政村））		620名（2003年6月実施） 鎮中心部近郊に集団移転

出所：JICA提供資料及び実施機関からの質問票回答。

西河村（下池調整池建設地）からの移転住民（620人）は農業試験場跡地²¹に集団移転を行った。移転に伴い、国家基準に基づき、耕地の状況、栽培作物・農業収入を

²⁰ 揚水に必要な水は河川から取水されているが、取水量は上部下部調整池からの蒸発等による減少分に限られており、影響はみられない。

²¹ 移転先用地の取得も問題なく実施された。

踏まえて各世帯別に補償が決定され支給された（一人当たり農地面積は 0.5 ム²²から 1 ムへ増加）ほか、2003 年から 20 年間年 600 元が支給される。移転先への視察及び西河村幹部・移転住民への聞き取り調査結果によれば、移転により住民の収入・生活水準がはっきり向上している。移転住民は、補償額等を活用して住居（90 m²、4 万元）を購入しているが、金額が不足する住民には分割払い等の対応がとられたことにより、特に問題は生じていない。移転地域が鎮政府中心部に近く立地が良いことから、農業以外のビジネス機会（それに伴う農業外収入）が増加した（一人当たり収入は年 3,000 元から年 6,000 元に倍増。収入の約 3 分の 2 が農業以外によるもの）。また、移転前の地域は必ずしも社会インフラの整備が十分でなかったが、移転先では上下水道やガス等のライフラインが整備されたこともあり生活水準向上に大きく貢献している。村政府は空き地にマンションを建設しており、生活環境が良好であることから、村外からの購入者がおり、村人口は現在 1,100 人と大きく増加している。審査時に計画されていた畑作から稲作への転換については、近隣の稲作経験農家及び県農業局から指導を得て計画どおり実施された。その結果、開始 2 年目以降は十分に農家単独で栽培することが可能となっている。しかし、稲作は土地単位当り収入はトウモロコシを少し上回る程度であるのに対して手間がかかることから、コメの作付面積は減少傾向にある（事後評価時点で、コメは耕地面積の約 20%、トウモロコシは 70% の栽培実績）。西河村の住民移転は住民移転事業の成功事例として認識されており、類似事業関係者の視察受入も行っている。

西龍池村（上池調整池建設地）については、住民への意向調査の結果を踏まえて、44 人は村外を含む親戚・友人の家に引っ越し、11 人が別地域に個別に移転する形がとられた。補償は、西河村同様、国家基準に基づいて支払われたが、個別移転であることを踏まえて集団移転よりも多めの金額支援が行われている。移転住民への聞き取り調査によれば、移転前の住居地が山岳地域で生活条件が劣悪であったことから、他地域への移転者の生活条件・状況は改善が見られる。特に、子どもの教育環境・条件が改善されたことへの高い満足度が確認された。同じ村内への移転を行った住民に関しては、聞き取り調査が実施できなかったことから詳細は不明であるが、①西龍池電圧局により、発電所近隣地域における井戸の設置、農地整備支援等が行われていること、②本事業の実施に伴い発電所と他地域を結ぶ道路が整備され、その結果村外へのアクセスが格段に向上していることから、生活水準は一定程度向上したと考えられる。

県政府への聞き取り調査結果によれば、住民移転が成功した要因として、県政府が本事業専門の移民弁公室を 1997 年から設置しスタッフも 14 人配置する等、早くから十分な準備、対応をしたことが挙げられている。副県長が先頭に立ち、現場に乗り込んで調整も行ったほか、移転住民の意向調査や説明会も積極的に実施された。本事業専門の弁公室は既に解散しているが、県の移民弁公室が生活相談受付等の移転住民

²² ムは中国の面積単位。1 ムは約 666 平方メートル。

に対するフォローアップを継続している。



移転住民の住居（西龍池村）



移転地における稲作（西龍池村）

(3) 中国国内の他の揚水発電開発及び日本企業の受注促進

中国の揚水発電所を管理する「国網新源公司」関係者への聞き取り調査によれば、本事業は高い技術を活用して実施されたこともあり、揚水発電所の成功モデルの一つとして位置づけられている。本事業を受けて、山西省では今後揚水発電所の建設がさらに推進される計画である。最先端の技術を活用した揚水発電所であることから、中国全土の水力発電事業関係者が数多く本事業の視察を行っており、中国国内の他の揚水発電開発に一定の影響を与えている。

また、本事業の建設において、発電機、ポンプ水車等の多くの主要設備を日本企業が納入したが、本事業を通じて、①日本企業の揚水発電関連設備の優秀さ（振動・騒音レベル等を含む）を中国関係者が幅広く実感したこと、②中国国内における揚水発電所の受注実績を獲得できたこと²³から、本事業受注の日本メーカーは現地法人が主体となり 2010 年 4 月に「清遠揚水発電所（広東省）」関連設備（32 万 kW のポンプ水車・発電機及び各種附帯設備 4 セット）の受注に成功している。これは、本事業受注の日本メーカーにとって中国で初めて国内入札による揚水発電事業の受注となった²⁴。日本メーカー関係者への聞き取り調査によれば、「本事業の受注が新規受注実現に大きく貢献したことは間違いない。今後中国ではさらなる揚水発電所の建設が計画されており、揚水発電所事業は日本企業が中国企業と比べて競争力を有する数少ない発電関係分野であることから、今後も積極的な受注促進を計画している」²⁵。したがって、日本企業の中国国内における揚水発電事業の受注促進に関して、本事業は

²³ 本事業は、「中国では例のない落差の大きい案件であること」「ODA 事業（国際競争入札）であることから技術移転の義務なしに応札が可能であったこと」から、日本企業が技術を活用し高い競争力を持つ形で応札することが可能となり、受注が実現した。

²⁴ 中国の揚水発電の事業者決定において、「技術移転重視」→「国内企業重視（指名入札）」→「国内企業全般（外資含む）を対象」に決定方法がシフトしたことも受注が実現した重要な要因となった。

²⁵ 「電力事業 13 次 5 年計画」によれば、2020 年までの 5 年間に中国全土で新たに揚水発電所 6,000 万 kW の着工が計画されている。

一定の貢献があったものと考えられる。

有効性・インパクトに関しては、定量的効果について、本事業は期待される役割の変化に対応する形で「ピーク対応」、「新エネルギー開発のための需給調整（大気汚染防止促進）」等の役割は確実に果たしており、事後評価時点では、各種指標も目標値をおおむね達成する水準となっている。期待された定性的効果（DSS 運用の緩和・減少等による①燃料消費量の抑制、②電力系統運用上の信頼度及び経済性の向上）に関しても十分に発現していた。また、地域社会経済発展・貧困状況改善への貢献、中国国内の他の揚水発電開発及び日本企業の受注促進といったインパクトが確認できた。自然環境へのインパクト及び住民移転・用地取得に関しては大きな問題はみられない。しかし、審査時に設定された事業完成2年後における有効性・インパクトに関する目標値はいずれの指標も大幅な未達となった。

以上より、本事業の実施により一定の効果の発現がみられ、有効性・インパクトは中程度である。

3.5 持続性（レーティング：③）

3.5.1 運営・維持管理の体制

西龍池電站公司の上位機関・株主構成は、中国政府の政策により、揚水発電所により専門的かつ集中的な管理を行うことを目的として、全国の揚水発電所はすべて「国網新源公司（国家電網公司傘下企業、2005年3月設立）」の傘下に位置するように体制変更が行われた結果、下表のように変化している。また、審査時には、発電所施設を山西省電力公司在運営・維持管理し、西龍池電站公司是資産管理を行う計画となっていたが、体制変更に伴い、国網新源公司在資産管理、西龍池電站公司在発電所の運営・維持管理を行っている。このように、中国の政策等に伴い一部体制の変更がみられるものの、中国全体の揚水発電所に共通する事項であり、問題は生じていない。当初計画と比べて山西省機関の株主比率は低下したが、発電については、審査時計画どおり、電力系統の統一的な運用の観点から山西省電力公司の指示に基づいて実施されている。

表 13 西龍池電站公司の株主構成・運営維持管理の体制

	審査時		事後評価時	
株 主 構 成	山西省電力公司	73%	国網新源公司	43%
	山西省地方電力 公司	27%	国際エネルギー公司	17%
			国網冀北電力公司	16%
			国網山西省電力新源公司	14%
		山西省電力公司	10%	
体 制	監督機関	国家電力公司	監督機関	国網新源公司
	運営・維持管理	山西省電力公司	運営・維持管理	西龍池電站公司
	資産管理	西龍池電站公司	資産管理	国網新源公司
	発電指示	山西省電力公司	発電指示	山西省電力公司

出所：JICA提供資料、実施機関質問票回答

西龍池電站公司是、2017年3月現在、従業員数79名（うち技術者51名）であり、同公司関係者への聞き取り調査によると、職員数に不足はなく、人事体制面の問題は特に生じていない。

3.5.2 運営・維持管理の技術

揚水発電所の運営・維持管理に関しては、国網新源公司の規定により従業員数の上限が設定されていることもあり、国網新源公司の方針により設備メンテナンス（主に日常業務）の多くは外部専門企業に委託²⁶し、発電所（西龍池電站公司）の社員・技術者は高い技術を要する業務と委託先企業の管理を実施することが、全国の揚水発電所に共通する基本的な体制となっている。

西龍池電站公司の技術者の多くは高級工士、工士等の資格を有し技術的に十分な能力・経験を有しているほか、社員・技術者に対しては国網新源公司が指定した全国の揚水発電所共通の研修のみならず、西龍池電站公司独自の研修も専門部署により定期的かつ計画的に企画され実施されている。メンテナンス業務委託先企業は、全国共通の基準に基づき、定期的に応札により全国の揚水発電所で十分な実績を有する企業を選定される。メンテナンスは、全国の揚水発電所共通の統一的な基準、マニュアルに基づき実施されている。その結果、西龍池電站公司、メンテナンス委託先企業ともに運営・維持管理に必要な技術を有しており、設備のメンテナンス、問題発生時の対応も適切に実施され、操業開始後、特に大きな問題は生じていない。運営・維持管理上大きな問題が生じた際には、設備製造会社や国網新源公司、また必要に応じて他の揚水発電所の支援を得て対応がなされることになっている。2011年に発電所4号機の不具合が生じた際は、設備製造会社の支援を得て迅速な対応がなされ1カ月で運転再開に至った。

²⁶ 業務をAからDの4段階に区分し、比較的技術水準が低いBからDの業務は外部委託されている（A：設備の全面的な分解点検・修理業務、B：Cの業務で除去できなかった問題の解決業務、C：設備の損傷・劣化に対する標準的な点検・修理業務、D：設備の良好な運転状況における軽微な問題への対応業務）。

3.5.3 運営・維持管理の財務

西龍池電站公司は、既述のとおり、電力系統運用者である山西省電力公司の指示を受けて発電を行い、発電電力は全量が山西省電力公司に引き取られる。山西省電力公司とは、審査時計画のとおり、発電量に関係なく発電容量を基準とした固定金額による契約を締結しており、四つの発電機すべてが運転を開始した2012年以降は年間約4億5,000万元以上の収入を確保し、その結果、年による変動はみられるものの、毎年黒字を確保し安定的な経営を確保している。

収支状況の推移は下表に示すとおりである。財務的内部収益率の項で示したように、収入は審査時計画の半分程度となっている。そのため、当初計画よりも収益性は低下しているが、現状では安定的な経営が確保されている。審査時計画（3年に1度契約内容を改定）とは異なり毎年契約が改定されることになっているが、中国政府の規定に基づき適切な手続きにより契約改定は実施されており、契約金額の減少もみられないことから、財務上問題は生じていない。西龍池電站公司が安定的な経営を確保できるように省政府・関係機関は継続して支援を行う方針である²⁷。

表 14 西龍池電站公司の収支状況の推移

単位：百万元

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
収入	227.2	311.6	455.3	454.9	454.5	455.3	454.2
支出	292.7	338.9	302.7	147.8	315.5	450.9	409.9
利益	-65.5	-27.3	152.7	307.1	139.0	4.4	44.3

出所：実施機関質問票回答

3.5.4 運営・維持管理の状況

発電所設備のモニタリング・保守・定期点検はメンテナンス契約に基づき、委託先企業により適切に実施されている。運営・管理状況は、国網新源公司により24時間オンラインモニタリングされており、操業開始後事後評価時点に至るまで大きな問題は生じていない。スペアパーツの確保についても問題は見られない。事後評価における現場踏査においても、①各設備は整理整頓され清潔に維持管理されていること、②円滑な運営・維持管理に向けた各種掲示等が設置され技術者、委託先企業関係者に対する指導、意識喚起が積極的に実施されていることが確認された。特に、安全確保に向けた取り組み、注意喚起は重視されている。実施機関関係者によれば、設備の故障・異常が発生した場合の対応も委託先企業との協力により円滑に実施されているとのことであり、主要施設・設備の状態もおおむね良好である。全国の揚水発電所及び西龍池電站公司の運用・維持管理ルールに基づいて非常に良好な運営・維持管理状態

²⁷ バランスシート（2016年）を見ると、資産34億1,000万元（固定資産33億1,000万元、流動資産10億元）、負債20億4,000万元（固定負債14億9,000万元、流動負債5億5,000万元）、資本13億6,000万元であり、バランスシート上も問題はみられない。

が確保されているものと考えられる。

なお、設備の稼働率は上述のとおり、事業完成後一時低い水準にあったが、新エネルギー開発に伴う調整機能へのニーズの高まりを受けて、近年稼働率も高くなっている。

以上より、本事業の運営・維持管理は体制、技術、財務、状況ともに問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は山西省に揚水発電所を建設することにより、ピーク需要対応力の向上、電力系統運用上の信頼度及び経済性の向上を図り、もって大気汚染物質排出量の抑制に貢献することを目的とする。本事業は、中国中央政府及び対象省の電力・環境政策に沿い、大気汚染の改善、電力供給の安定性・経済性の向上という開発ニーズ、また日本の援助政策とも合致しており、妥当性は高い。効率性については、事業費は計画内に収まったものの、事業期間は、調達の遅れにより計画を上回ったため、全体としては中程度であった。本事業は、山西省の電力事情の変遷に伴い、期待される役割も変化している。現在はその変化に対応し、主に「ピーク対応」「新エネルギー開発のための需給調整（大気汚染防止促進）」としての役割を確実に果たしており、事後評価時点では、各種指標も目標値をおおむね達成する水準となっている。期待された電力供給の安定性・経済性の向上に関しても十分な効果が見られた。また、①地域社会経済発展・貧困状況改善、②日本企業の受注促進等についても一定の効果が確認できる。しかし、審査時に設定された事業完成2年後における有効性・インパクトに関する目標値はいずれの指標も大幅な未達となった。これらを考慮すると、有効性・インパクトは中程度である。持続性は、体制面、技術面、財務面ともに問題なく、設備・施設の良好な運営・維持管理が確認されたため高い。

以上より、本事業の総合的な評価は高いと判断する。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

なし

4.2.2 JICA への提言

なし

4.3 教訓

なし

以上

主要計画/実績比較

項目	計画	実績
① アウトプット	1)上部調整池：420万 m ³ 2)下部調整池：420万 m ³ 3)地下発電所：300MW×4基 4)導・放水路 5)スイッチヤード：変圧器 340MVA×4基、500kV 引出設備 6)コンサルティングサービス： 入札補助、詳細設計のレビュー、 施行監理補助 7)調達機器：可逆式ポンプ水車、 GIS、ケーブル、附帯設備等	1)上部調整池：460万 m ³ 2)下部調整池：480万 m ³ 3)計画どおり 4)計画どおり 5)計画どおり 6)計画どおり 7)モニタリング機器の数量等が 必要性を踏まえて微修正され た。
② 期間	2001年11月～2009年8月 (94カ月)	2001年11月～2011年8月 (118カ月)
③ 事業費		
外貨	23,241百万円	19,069百万円
内貨	54,750百万円 (3,650百万円)	50,140百万円 (3,581百万円)
合計	77,991百万円	69,209百万円
うち円借款分	23,241百万円	19,069百万円
換算レート	1元 = 15円 (2001年9月時点)	1元 = 14.0円 (2001年～2011年平均)
③ 貸付完了	2015年10月	

以上

分析方法

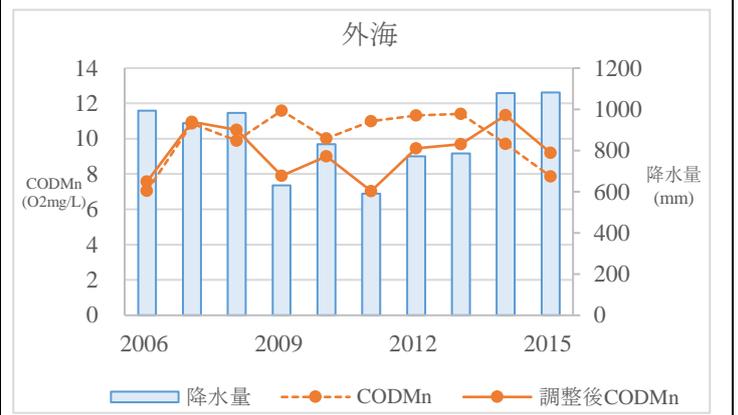
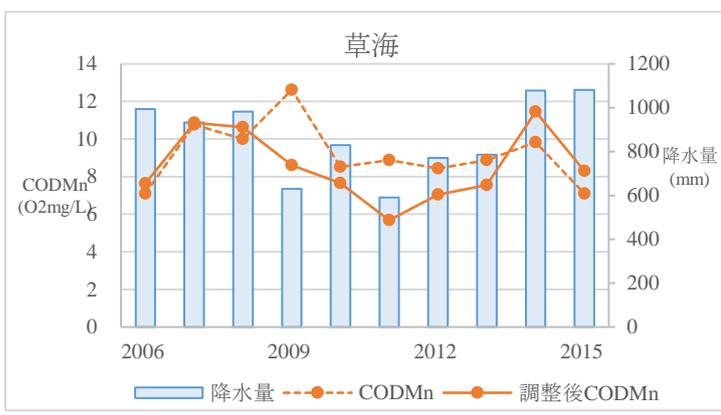
1) 2006年から2015年の滇池（草海、外海）の水質変化について分析を行った。主要な汚濁負荷（COD、BOD、T-N、T-P、NH₃-N）濃度は、環境保護局観測ステーションから観測地点を総合し、平均濃度（草海、外海）として提供された。

2) 年ごとの降水量の変化を考慮し、以下の数式を使用し、実際の水質の数値を調整した

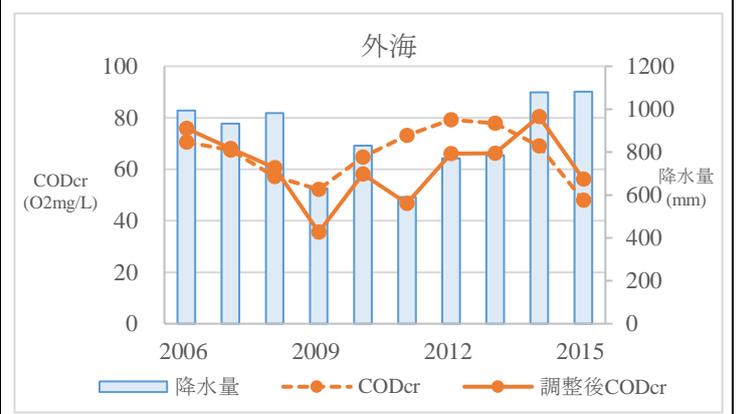
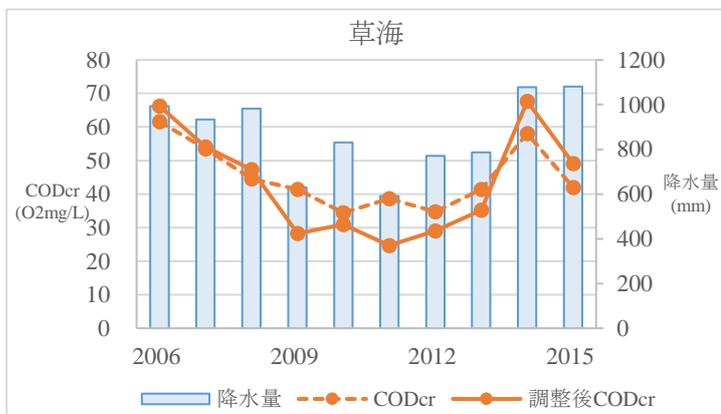
$$\text{調整係数} = P_i / P_{\text{ave}} \quad P_i \text{ は第 } i \text{ 年の降水量, } P_{\text{ave}} \text{ は年平均降水量}$$

$$\text{調整後の水質数値} = \text{提供された数値} \times \text{調整係数}$$

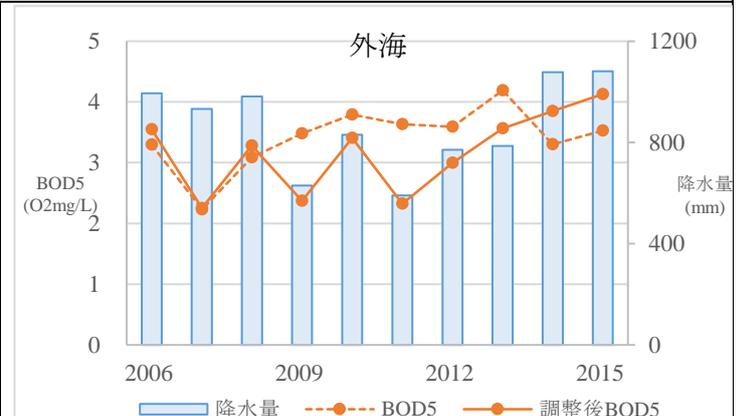
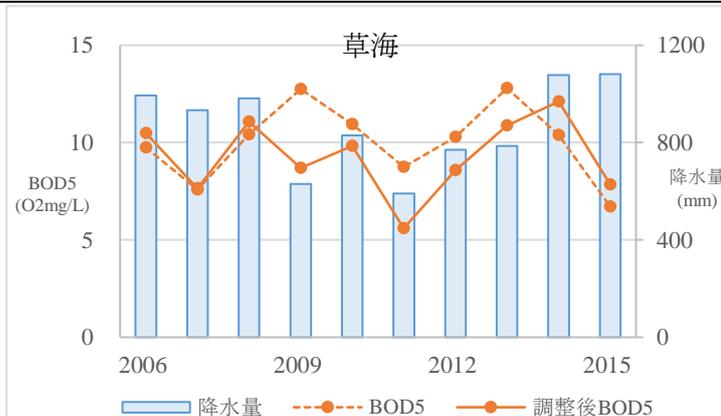
1. 化学的酸素要求量（COD_{Mn}）



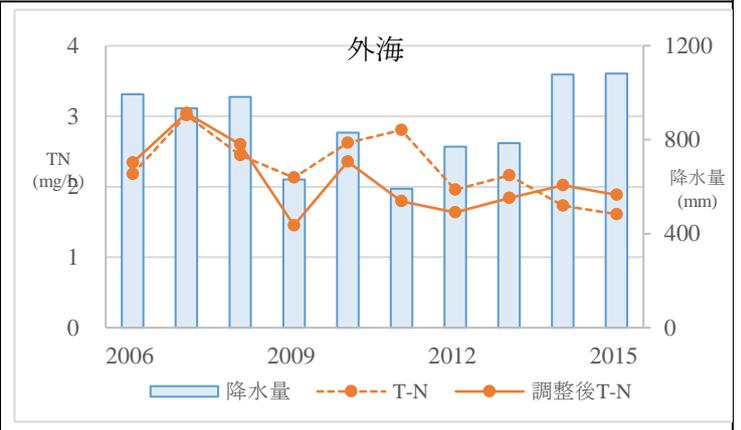
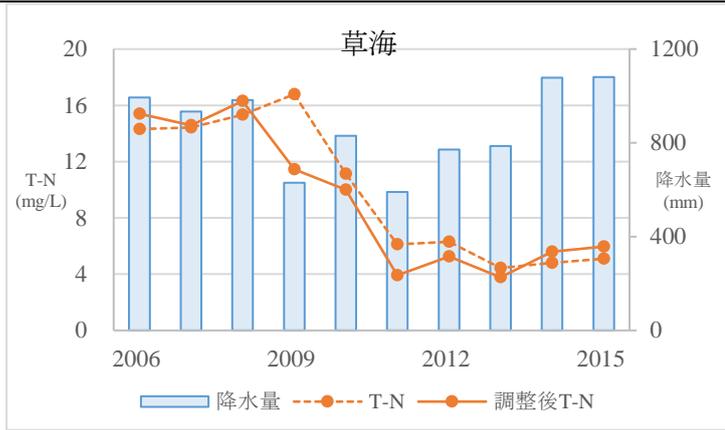
2. 化学的酸素要求量（COD_{Cr}）



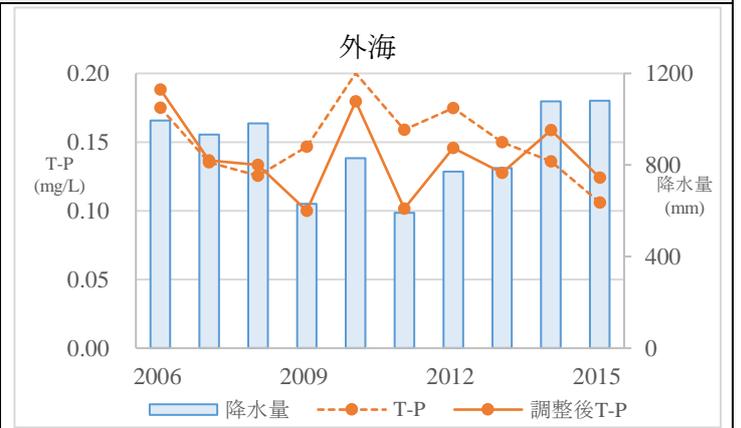
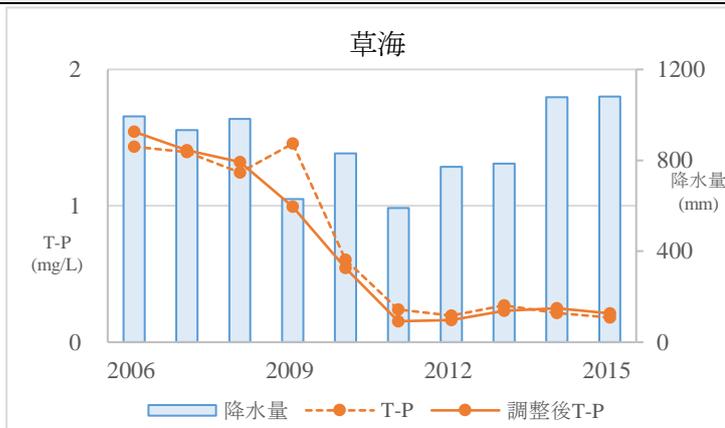
3. 生物的酸素要求量（BOD₅）



4. 全窒素 (T-N)



5. 全リン (T-P)



6. アンモニア (NH3-N)

