

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 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 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エンジニア、エンジニア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