

中華人民共和国

山西省王曲火力発電所建設事業(1)(2)

外部評価者：グローバルリンクマネジメント株式会社

中村 泰徳

0. 要旨

本事業は、山西省長治市に総設備容量 1,200MW (600MWx2) の山元石炭火力発電所を建設し、山東省に送電することにより、山東省の電力需要の増大への対応とともに山西省の石炭・電力産業の強化を図り、両省の経済発展に寄与することを目的としていた。妥当性については、中国、山東省及び山西省の開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、整合性は高い。有効性・インパクトについては、本事業が目標としていた山東省の電力需要への対応、山西省の石炭・電力産業の強化、またそれらによる両省の経済発展は、本事業の実施により概ね計画通りの効果の発現が見られ、有効性・インパクトは高い。効率性については、事業費については計画内に収まったものの、事業期間が計画を大幅に上回ったため、効率性は中程度である。持続性については、本事業の運営維持管理にかかる体制・技術面には問題が見られなかったが、財務状況に軽度な問題があり、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

以上より、本プロジェクトの評価は高いといえる。

1. 案件の概要



案件位置図



王曲火力発電所

1.1 事業の背景

中国の GDP 成長率は 1980 年代中ごろからの 10 年間で年平均 10%弱、1990 年代に入ってから 12%弱と経済成長に一層の拍車がかかっていた。高い経済成長を支える原動力として、中国では 1985 年から 1994 年の 10 年間に 100,000MW を上回る電源開発が実施され、94 年末時点で発電設備容量は 197,000MW に達した。また、発電量は、同 10 年間で 2.3 倍に拡大し、1994 年に 9,281 億 kWh に達した。しかし、電力供給が急増する電力需要に追いつかず、過去 30 年にわたって電力不足が続き、1994 年時点でも 20%以上の需給ギャップがあった。電力需要の伸び率は、1995 年から 2000 年も年率 8%と見通しがなされ、中国政府

は 2000 年までに発電設備容量を 300,000MW とする計画であった。そのための電源開発の資金として国内外からの資金導入が求められていた。

そのような中、中国第 1 位の石炭埋蔵量を有し、電力については自省の需要を満たしている山西省では、山元発電所を建設し北京、天津への電力供給を行っている等、電力輸出を石炭輸出と並ぶ同省の主要産業とするべく、省外輸出用の発電所建設に力を入れていた。他方、山東省では、省内発電所だけでは省内の電力需要の増加に応えることができず、山元発電所からの電力の輸入が必要とされていた。

1.2 事業概要

山西省長治市に総設備容量 1,200MW (600MWx2) の山元石炭火力発電所を建設し、山東省に送電することにより、山東省の電力需要の増大への対応とともに山西省の石炭・電力産業の強化を図り、もって両省の経済発展に寄与する。

	(1) CXIX-P96	(2) CXX-P96
円借款承諾額／実行額	30,000 百万円／ 26,512 百万円	27,000 百万円／ 13,833 百万円
交換公文締結／借款契約調印	1997 年 9 月／ 1997 年 9 月	1998 年 12 月／ 1998 年 12 月
借款契約条件	金利 2.3%、返済 30 年 (うち据置 10 年)、 一般アンタイド	金利 1.8%、返済 30 年 (うち据置 10 年)、 一般アンタイド
借入人／実施機関	中華人民共和国政府／山西魯晋王曲発電有限公司	
貸付完了	2009 年 7 月	2010 年 3 月
本体契約	Doosan Babcock Energy Limited (英国)、日立製作所/伊藤忠商事/Dongfang Electric Corporation of China (中国)、Honeywell International Inc. (アメリカ)	
コンサルタント契約	東電設計	
関連調査 (フィージビリティ・スタディ：F/S) 等 (if any)	山西省電力観測設計院による F/S (1996 年)	
関連事業 (if any)	なし	

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

中村泰徳 (グローバルリンクマネジメント株式会社)

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：2011 年 7 月～2012 年 9 月

現地調査：2011 年 10 月 16 日～10 月 29 日、2012 年 2 月 25 日～3 月 6 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

中国第9次5カ年計画（1996-2000）では、電力需要の増加が見込まれていたことから、効率性の高い大型火力発電所の新設を中心に、電力セクター開発が重視されていた。中国電力工業部は、電力セクターの第9次5カ年計画（1996-2000）で、1)石炭の生産地である北・中部内陸地域の山元発電所の建設と山元発電所で生産された電力を電力の大量消費地である東・南部沿岸地域へ送電する大量送電線の建設、2)発電事業における石炭火力の適度な発展、3)発電効率を高めるため300MW以上の高効率ユニット化の促進等を重点政策として打ち出していた。また、山西省は、同省第9次5カ年計画において、「鉄道による石炭輸送」から「東部の沿岸地域への電力輸送」への転換というエネルギー開発政策を打ち出していた。

中国第12次5カ年計画（2011-2015）では、「多様なクリーン・エネルギー源の開発」を掲げ、その一つとしてクリーンで効率的な大型石炭火力発電所の開発を打ち出している。また、西電東送（資源が豊富な中国北西部内陸地域で作られた電力を電力の大量消費地である東南部沿岸地域に送電する）を含んだ「送配電網システムの構築の加速」を打ち出している。山西省は、同省第11次5カ年計画（2006-2010）において、石炭火力発電を中心としたエネルギー産業開発の継続を掲げ、山西省の電力需要を満たし、他省への電力供給の拡張に取り組むとしている。また、山東省においても同省第12次5カ年計画において、他省からの山東省への電力輸入の促進を打ち出している。

以上より、本事業は、審査時、事後評価時ともに国家開発計画、山西省、山東省両省の開発計画に合致している。しかし、第9次5カ年計画後期2年間において、第8次5カ年計画（1991-1995）後期からの中国国内産業構造改革、1997年のアジア通貨危機、1998年の長江洪水等が影響して、電力供給過剰傾向が発生したことから、国家発展計画委員会は、1999年1月に以後3年間新規の火力発電所の着工を許可しないとの方針を出した。従って、本事業期間中の一時期のみ、本事業と中国開発政策との整合性が見られない時期があったが、この3年間の新規発電所建設の停止が2002年以降に再び電力不足を引き起こすことになった。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

山東省の電力需要量に関しては、審査時には797億kWh（1996年）であったが、1996年から2000年まで約9.2%、2001年から2010年まで約7.2%で増加すると予想されており、必要発電設備容量は、2000年に約21,630MW、2010年に約45,090MWと予想されていた。一方、山東省の発電設備容量増加計画は、2000年に約20,930MW、2010年に約43,520MWと将来的にも電力不足を解消できない予想であった。一方、山西省は、審査時には同省の発電設備容量9,560MW（1996年）のうち1,760MWを省外に輸出していたが、2010年には輸出用発電設備容量を11,000MWに増やすことを計画していた。また、審査時に山西省の石炭輸送量は年間2.1億トン（1995年）であったが、全鉄道

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」

輸送力は2.6億トンであり、既に鉄道輸送力に余裕はなかった。一方、2000年には、3億トンの石炭輸出需要が予想されており、鉄道輸送力の増強とともに電力による石炭輸出が必要とされていた。

山東省の電力需要量は、2005年から2010年まで年平均11.5%増加した。一方、同時期の電力供給量は、約8.7%の増加にとどまった。その為、2005年から2007年は多少供給が需要を上回っていたが、2008年以降供給が需要を下回っている状況であり、特に夏や冬の電力需要のピーク時は他省からの電力輸入が必要とされている。一方、山西省は、同省第11次5カ年計画に従い、2005年から2009年まで電力供給量の30%前後を他省に輸出している。また、同省の石炭の輸送力に関しては、石炭生産量6.1億トンに対し3.4億トン（2010年）となっており、引き続き石炭輸送力に課題を抱えている。

表1 山東省の電力需給量の推移（2005年-2010年）

単位：億 kWh

	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
電力供給量	2,002	2,314	2,691	2,697	2,871	3,043
電力需要量	1,912	2,272	2,596	2,727	2,941	3,298

出典：実施機関への質問票への回答

表2 山西省の電力供給量及び他省への電力供給量の推移（2005年-2010年）

単位：億 kWh

	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
電力供給量	1,312	1,526	1,761	1,786	1,873	2,121
他省への電力供給量	369	432	463	486	641	-

出典：実施機関への質問票への回答

注1：2010年の他省への電力供給量のデータは入手できなかった

以上より、本事業は、審査時及び事後評価時ともに、山東省、山西省両省の開発ニーズに合致している。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

「我が国の政府開発援助の実施状況（1997年度）に関する年次報告」における「対中国国別援助方針」の(2)我が国の援助の重点項目（イ）重点地域に「有償資金協力を中心に、経済インフラ整備に資する協力を行うとともに、中国のバランスのとれた発展を支援するとの観点から、相対的に開発余地の大きい内陸地域にこれまで以上に配慮し、農業・農村開発への協力、豊富な資源を活用した開発への協力を進める」とある。また、海外経済協力基金（OECF）は、1996年度から2000年度に実施された中国向け第4次円借款で、それまでの経済インフラに加え、内陸部開発に関する事業を重視した。本事業は、内陸地域の豊富な石炭を利用活用した経済インフラ整備に資する協力であることから、審査時点で我が国の援助政策と合致している。

以上より、本事業の実施は中国政府、山東省、山西省の開発政策、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 有効性³（レーティング：③）

3.2.1 定量的効果（運用・効果指標）

本事業完了後から2010年までの運用効果指標の計画値（参考値）と実績値を以下に示す。

表3 運用効果指標

			2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
最大出力	MW	計画値	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
	MW	実績値	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
送電端発電量	億 kWh	計画値	18.9	66.3	66.3	66.3	66.3
	億 kWh	実績値	24.8	70.1	63.163.1	62.6	66.5
設備利用率	%	計画値	63.26	63.26	63.26	63.26	63.26
	%	実績値	71.64	66.36	66.38	66.33	66.43
稼働率	%	計画値	68.49	68.49	68.49	68.49	68.49
	%	実績値	91.96	92.48	91.24	88.5	92.81
所内率	%	計画値	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
	%	実績値	5.03	4.95	4.98	4.91	5.06
発電端熱効率	%	計画値	32	32	32	32	32
	%	実績値	41.9	41.97	41.48	41.32	41.5
原因別の 停止時間 (時間/年)	人員ミス		0	0	0	0	0
	機械故障		65	46	13	0	0
	計画停止		456	1727	1526	2014	1259
原因別の 停止時間 (回数/年)	人員ミス		0	0	0	0	0
	機械故障		8	5	4	0	0
	計画停止		2	2	4	4	4

出典：JICA 審査時資料、実施機関への質問票の回答

注1：それぞれの指標は以下の計算方法で数値を算出した。

送電端発電量 = 年間発電端発電量 - 年間所内消費電力量

設備利用率 = 年間発電量 / (定格出力 x 年間時間数) x 100

稼働率 = (年間運転時間 / 年間時間数) x 100

所内率 = (年間所内消費電力量 / 年間発電端発電量) x 100

発電端熱効率 = (年間発電端発電量 x 860) / (年間燃料消費量 x 燃料発熱量) x 100

本事業においては、審査時に運用・効果指標の計画値の設定がなされていなかったため、FIRR 算出根拠となった数値から算出した数値を計画値（参考値）として、実績値と比較した。結果、全ての指標においてほぼ計画値（参考値）を達成している。2006年から2008年にかけて、機械故障で発電所を停止したが、これは試運転中にボイラー圧力容器から蒸気漏れが起こったこと、石炭の変更が原因でボイラーの底部でクリンカアッシュ⁴が固まりになってしまったこと、ボイラーの不安定燃焼により保護装置が作動したことが原因であるが、適切な処置がなされ、現在は問題ない。

³ 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。

⁴ 石炭を燃焼させた時に発生する石炭灰のうち、ボイラーの底部に落下した石炭灰のこと。

また、本事業においては、発電所で発電した電力を 500kV2 回線の送電線で潞城開閉所、河北省邯鄲東新安変電所経由、山東省送電網まで送電している。山東省までの送電線に関しては、審査時は王曲発電所と山東省の萊陽変電所を結ぶ送電線を円借款及び中国内貨で調達予定であったが、中国政府の意向により円借款が取りやめられ、内貨のみで調達を行った。



発電所から山東省へつながる送電線

3.2.2 定性的効果

(1) 石炭資源利用の効率化

山西省では他省への石炭輸送能力が限られている中、王曲発電所は年間約 250 万トンの石炭を消費し、省外へ送電することで、同省の石炭資源利用の効率化に貢献している。石炭会社へのインタビューでは、王曲発電所が石炭を消費することで、同省の石炭生産量の増加に貢献していることが確認された（囲み 1 参照）。

(2) 電力の安定供給による生活レベルの向上

王曲発電所は、2007 年の年間フル稼働以降、60 億 kWh 以上（山東省の電力需要量の約 2-3%）の電力を安定して山東省に送電し続けている。山東省の 1 人当たりの GDP は、王曲発電所が建設された 2006 年から 2010 年まで年平均 15% で成長している。それに対し、同時期の消費者物価指数（CPI）は年平均 3.6% の増加となっており、同省の経済面における生活レベルは向上したといえる。しかし、王曲発電所は山東省の電力需要量の約 2-3% の電力量を供給しているにすぎず、また 2005 年-2007 年にかけて山東省内においても年平均約 350 億 kWh の電力供給量が増加しているため、山東省の一人当たり GDP の増加に対する本事業の直接的な貢献を見ることは難しい。但し、山東省の企業とのインタビューから「(本事業の効果かどうかは特定できないが、) 2007 年以降電力使用制限が少なくなり、電力の安定性が向上したことから工場をフル回転させることが可能となり、生産能力が上がった」との事実が確認できたこと（囲み 1 参照）を考慮すると、2007 年以降安定して山東省に電力を送電し続けている王曲発電所は山東省における電力の安定化の一部を担うことを通じて、山東省の経済活動の活性化に貢献していると考えられる。

囲み 1. 大口需要家インタビュー

CET Shandong Power Equipment Co. Ltd. (山東省済南市)

1958年に設立された変圧器等を製造する会社であり、従業員1,300人を抱える。「2007年以降電力供給量、安定性ともに向上しており、営業利益も2006年と2009年を比較すると約22倍となった。営業利益は市場による需要増の要素が高いが、2007年以降電力使用制限が少なくなっており、工場をフル回転させることができるようになったことで生産能力が上がったことも重要な要素である。しかし電気は山東省電力網から購入しており、王曲発電所の直接的な影響は良く見えない。」

Luan Mining Group (山西省長治市)

1987年に設立された長治市で第3番目に大きい石炭会社であり、従業員980名を抱える。「2005年以降1000万トンずつ生産量を増やしている。王曲発電所には年間60-70万トンの石炭を供給している。営業利益は2005年と2010年を比較すると5倍に増えた。これは生産量の増加に加え石炭価格の上昇が影響している。山西省は他省への石炭輸送能力が限られており、王曲発電所のように省内で石炭を消費し、電力を他省に輸出することは石炭産業にとって有益である。」

Shanxi Coal Transportation and Sales Group Co. Ltd. (山西省長治市)

2006年に設立された石炭販売会社であり、従業員60名を抱える。「王曲発電所に供給される石炭のうちトラックで輸送される全ての石炭を販売している。石炭は、長治市の地方の小規模鉱山会社から購入している。会社が取り扱う石炭の3分の1は王曲発電所向けであり、年間約160-180万トンを王曲発電所に販売している。」

3.3 インパクト

3.3.1 インパクトの発現状況 (事業目的にある“インパクト”)

(1) 山東省の電力需要に対応することによる同省の経済発展

直近5年間の山東省のGDP (国内総生産) 及び工業部門⁵がGDPに占める割合を以下に示す。

表4 山東省のGDP及び工業部門がGDPに占める割合の推移 (2006年-2010年)

単位: 100 万元

	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
実質 GDP	2,430,501	2,775,632	3,108,708	3,487,970	3,916,992
GDPに占める工業部門の割合	52.8%	52.0%	52.1%	49.8%	47.9%

出典: 中国国家统计局

表5 山東省の電力消費量に占める工業部門の電力消費量の割合 (2006年-2010年)

	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
工業部門の電力消費量の割合	79.9%	79.9%	78.9%	78.3%	77.5%

出典: 中国国家统计局

⁵ 鉱物採掘業、製造業、電力・ガス・水の生産と供給業等を含む。

2006年に本事業が完成後2010年までの山東省の実質GDPの年平均成長率は、12.7%となっている。しかし、本事業の貢献という視点からは、3.2.2(2)でも記載の通り、本事業が完成した2006年は、2005年と比較すると約312億kWhの電力供給量が増えており、またその後も2010年まで年平均8.73%で電力供給量が増えているため、本事業の電力供給の山東省の経済発展への直接的な貢献を図ることは難しい。しかし、2006年から2010年まで山東省のGDPの約50%を工業部門が占めており、同省最大のGDP構成部門であること、そして表5に示す通り、山東省では80%弱の電力が工業部門で消費されていることを考慮すると、本事業が山東省に安定して電力を供給することを通じて、同省の経済発展の一部に貢献していると考えられる⁶。

(2) 山西省の石炭産業、電力産業発展による同省の経済発展

本事業により建設された発電所が位置する地級市である長治市及び長治市の県級市である潞城市の名目GDP（国内総生産）及びエネルギー部門GDPを以下に示す⁷。

表6 長治市及び潞城市の名目GDP/エネルギー部門GDP（2005年-2010年）

単位：100万元

	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
長治市のGDP (うちエネルギー部門)	46,040 (24,520)	55,060 (30,270)	68,210 (40,140)	77,530 (45,280)	92,020 (57,290)
潞城市のGDP (うちエネルギー部門)	4,810 (3,030)	5,650 (4,420)	6,210 (4,860)	6,750 (5,100)	7,210 (5,370)

出典：潞城市経済情報技術委員会

2006年に本事業が完成後2010年まで長治市の名目GDPは、年平均18.9%、同市のエネルギー部門のGDPは23.6%で成長している。また、潞城市のGDPは、年平均10.65%、同市エネルギー部門のGDPは、年平均15.38%で成長しており、両市においてエネルギー部門がGDPの成長をけん引していることがわかる。本事業の貢献に関しては、潞城市経済情報技術委員会によると、王曲火力発電所は、同市の税収入の10-20%を占めており、同市における王曲火力発電所の経済規模が大きいことがわかる。その為、同発電所の潞城市の電力産業の発展、また経済発展への貢献は大きいといえる。また、王曲火力発電所は、長治市の石炭会社及び石炭販売会社から年間約250万トン（2011年の長治市の石炭生産量の約2.5%⁸）の石炭を購入していることから、長治市の石炭産業の発展にも一部貢献していると考えられる。

3.3.2 その他、正負のインパクト

(1) 自然環境へのインパクト

① 排煙

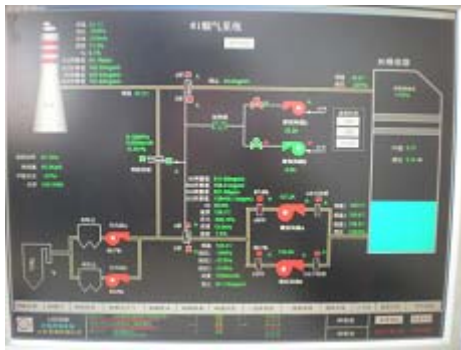
排煙対策としては、審査時計画通り、硫黄酸化物（以下、SOx）対策として、硫黄分0.35%の低硫黄炭を使用、窒素酸化物（以下、NOx）対策として、低NOxバーナ

⁶ 山東省に送電された電力が均一に各部門に配電されていることを前提としている。

⁷ 実質GDPは入手できなかったため名目GDPを用いた。

⁸ 出典：長治市人民政府

一及び 2 段階燃焼法を適用、ダスト対策として 99%以上の集塵効率を持つ電気集塵機を設置した。また、中国政府の火力発電所の大気汚染物排出基準（以下、大気排出基準）が、2003 年に改定され、2004 年から対応することが求められたことに対応して 2005 年及び 2006 年に排煙脱硫装置 2 基を内貨で調達した⁹。結果、全ての大気排出基準をクリアしている。なお、2009 年よりオンラインモニタリングシステムが導入され、大気排出に関しては山西省環境保護庁により常時モニタリングされている。また、大気排出基準に関しては、2012 年にも改定がなされ、既設発電所に関しては 2014 年より新基準に対応することが求められている。王曲発電所に関しては、NOx の数値が基準値に満たないため、2014 年までに基準値をクリアするための対策をとることが必要である。また、新大気排出基準には、水銀（0.03mg/Nm³）が新基準として追加され、2015 年から適用される予定であるものの詳細はまだ不明であり、省環境保護庁からの情報を待っている状況である。



大気モニタリングシステム



オンラインモニタリングシステム
通信機器

表 7 火力発電所の大気汚染物排出基準

項目	基準	新基準 (2012 年) (GB13223-2011)	発電所完成時 (GB13223-2003)	審査時 (GB13223-91)
	排出実績 (2011 年)	基準値	基準値	基準値
SOx	104.74mg/Nm ³	200mg/Nm ³	400mg/Nm ³	- ¹⁰
NOx	254.21mg/Nm ³	100mg/Nm ³	650mg/Nm ³	-
ダスト	25mg/Nm ³	30mg/Nm ³	50mg/Nm ³	469mg/Nm ³

出典： 実施機関への質問票の回答

注： 基準値（GB13223-2011）は、既設発電所は 2014 年から適用

⁹ 審査時の排出濃度計画は 590.5mg/Nm³ に対し、設定された排出濃度は 400mg/Nm³ であった。

¹⁰ 排出濃度に関しては設定されていなかったが、排出量に関しては 20,440kg/h（排煙脱硫装置未設置）が設定されていた。

② 騒音

騒音対策としては、騒音壁を設置することで、騒音基準値を下回っている。

表 8 騒音基準

項目	基準	現在 (GB12384-2008)	審査時/事業完成時 (GB12384-90)
	- 実績値	基準値	基準値
騒音レベル	45.9-49.1dB (夜間) /47.9-52.0dB (昼)	50dB (夜間) /60dB (昼)	50dB (夜間) /60dB (昼)

出典：実施機関への質問票への回答

③ その他（排水、石炭灰処理、貯炭場）¹¹

排水に関しては、審査時は規制基準内に処理後河川に排水をする予定であったが、実施機関によれば、実績は排水処理設備により処理されたのち、発電所内で100%リサイクルされている。石炭灰処理に関しては、事後評価時にサイト査察を実施したところ、審査時計画通り、サイト北西約2kmの灰捨場で埋め立て処分されていることが確認された。また、粉塵防止対策として、水スプレートラックによるトラック輸送、カバー付きベルトコンベアーの利用、灰捨場でのスプレーの実施と定期的な圧密の実施、周囲への木や芝生の整備、浸水による地下水汚染対策として黄土ライニング¹²が実施されたことが確認された。貯炭場の粉塵対策に関しても、審査時計画通り、スプリンクラー、フェンス、植木を設置、石炭輸送トラックは専用道路を利用していることが確認された。

(2) 住民移転・用地取得

用地取得は、審査時には協議が済んでおり問題はなかった。取得用地は、1.59 km²であった¹³。また、住民移転は発生しなかった。

(3) その他の正負のインパクト

その他の正のインパクトとして、地方の雇用創出がある。王曲発電所の主要スタッフの40%が地元で雇用され、貨物運搬、清掃、警備要員としても220名の雇用を創出している。

以上より、本事業の実施により概ね計画通りの効果の発現が見られ、有効性・インパクトは高い。

¹¹ 石炭灰処理、貯炭場に関しては基準値等は特段定められていない。また、事後評価時にサイト査察においては、灰捨場、貯炭場からの粉塵は特段確認されなかった。

¹² 浸水を防ぐために保水性の高い黄土を被覆すること。

¹³ 取得用地は、本プロジェクトが支援したフェーズ1の建設地及び現在計画中のフェーズ2の建設予定地を含む。

3.4 効率性（レーティング：②）

3.4.1 アウトプット

本事業におけるアウトプット（計画/実績）を以下に示す。

表9 アウトプット（計画/実績）

項目	数量、仕様等	
	計画	実績
ボイラー	2基、超臨界圧型	計画通り
タービン発電機	2基、出力 600MW、単胴再熱復水型、50Hz、3,000rpm、水 - 水素冷却	計画通り
主要変圧器	2 x 3 x 240 MVA + 1 x 240 MVA	計画通り
計装・制御	Dispersed Control System (DCS)	計画通り
微粉炭設備	ボールミル（高破碎、中速）	計画通り
燃焼設備	-	計画通り
水処理設備	400m ³ /h	計画通り
排煙処理設備	電気集塵機 2 基、集塵効率 99%以上	計画通り
煙突	Double-shaft 220m 1 本	計画通り
石炭前処理設備	トラックホッパー2 基、ボトムホッパーワゴン、貯炭場 20 万 t、石炭ビン 6 基(11h 分消費量)、揚炭容量 70 万 t/年	計画通り
石炭灰処理設備	乾式	計画通り
冷却塔	自然通風方式 2 基、スプレー面積 7,500m ² 、高さ 135m	計画通り
開閉所	500kV 開閉所及び 220kV 開閉所	計画通り
水素製造装置	-	計画通り
コンサルティングサービス	合計 107M/M 事業統括 23M/M、機械技師（2 名）28M/M、電気技師（2 名）28M/M、制御技師（2 名）28M/M が以下の業務を実施。 ① 入札書類準備に対するアドバイス ② 入札評価に対するアドバイス ③ 契約交渉に関するアドバイス ④ 設計連絡会への参加、設計に関するアドバイス ⑤ 事業進捗の監督補助 ⑥ 設備の検収実施補助	合計 121M/M ボイラー、タービン入札書類準備～契約締結（27.9M/M） 変圧器、燃焼入札準備～契約締結（15.1M/M） 設計管理（61M/M） 工事・試運転（10M/M） 性能試験（7.0M/M）
排煙脱硫装置	なし	追加。2 基、脱硫率 97% 以上

出典：JICA 審査時資料、実施機関への質問票への回答

事業内容に関しては、ほぼ計画通りであった。ただし、着工許可の遅延による入札プロセスの遅延及び詳細設計完成の遅延が原因となり、コンサルティングサービスが計画より 14M/M 多く利用された。また、中国政府の大気排出基準が強化され、SO_x の排出基準が設定されたことから、排煙脱硫装置 2 基を内貨で調達した。

3.4.2 インプット

3.4.2.1 事業費

審査時の事業費計画値は、138,492 百万円（外貨 57,082 百万円、内貨 81,410 百万円）

であったが、実際は 69,960 百万円（外貨 40,345 百万円、内貨 29,615 百万円）であり、計画値 51%となり、計画内に収まった。アウトプットで計画より多く利用されたコンサルティングサービスに関しても、事業費では計画内に収まった。

表 10 事業費（計画/実績）

	計画値					実績			
	外貨		内貨	合計		外貨	内貨	合計	
	百万	内 1997 年	百万円	百万円	百万円	百万円	百万円	百万円	百万円
ボイラー	21,391	13,440	554	2,127	28,925	18,946	-	1,324	18,946
タービン	24,886	11,577	469	2,299	31,264	19,761	-	1,381	19,761
I&C	2,512	855	110	295	4,008	1,086	-	75	1,086
変電（開閉所）設備	1,651	674	263	384	5,228	-	218	218	3,117
施工機械	329	329	-	24	329	-	83	83	1,187
実験室設備	249	249	45	63	86	-	10	10	143
輸送設備	-	-	74	74	1,006	-	10	10	143
付属設備	-	-	189	189	2,570	-	1	1	14
福祉設備	-	-	44	44	598	-	1	1	14
鉄道設備	-	-	165	165	2,244	-	104	104	1,487
マイクロウェーブ設備	-	-	5	5	68	-	-	-	-
輸入税	-	-	1,216	1,216	16,538	-	0	0.0	5
その他	-	-	703	703	9,561	192	-	14	192
排煙脱硫装置	-	-	-	-	-	-	117	117	1,673
建設工事	-	-	-	-	-	-	1,037	1,037	14,829
納入工事	-	-	-	-	-	-	489	489	6,993
小計	51,018	27,124	3,837	7,588	103,201	39,985	2,071	4,894	69,600
コンサルタント	379	379	-	28	379	359	-	25	359
物価上昇率	2,985	1,087	1,864	2,083	28,335	-	-	-	-
物的予備費	2,700	1,410	285	484	6,576	-	-	-	-
合計	57,082	30,000	5,986	10,183	138,492	40,345	2,071	4,920	69,960

出典：JICA 審査時資料、実施機関への質問票の回答

注 1：審査時の為替レート 1 元=13.6 円、事後評価時点での為替レート 1 元=14.3 円
（貸付実行期間の単純平均レート）

事業費の主な削減理由は以下のとおりである。

- ① 鋼材等の原材料価格の大幅低下等の影響を受けた国際競争入札の結果が予定より安価となった
- ② 中国内の原材料価格の低下
- ③ 2004 年に本案件に係る機材輸入に免税措置が適用されることが国家発展改革委員会により認められたため輸入税予算分が減額となった

なお、事業費の効率性の評価の制約として、実施機関が審査時の費用項目とは異なった費用項目で事業費の管理を行っていたため、費用項目ごとに事業費を比較することは困難であった。実施機関によれば、事業期間中に実施機関の変更があり、新しい実施機関が異なった費用項目を使用したことが原因であろうとのことであった。

3.4.2.2 事業期間

事業期間は、計画を大幅に上回った。審査時は、1997年1月（概念設計のレビュー開始月）より2002年12月（2号機試運転）の72ヵ月を計画していたが、実績は1997年1月（概念設計のレビュー開始月）から2006年8月の116ヶ月と、計画比161%となった。

事業期間延長の主な理由は、以下の通りである。

- ① 妥当性の項で記述した通り、国家発展計画委員会（当時）による電力改革により、1999年から3年間新規発電所の着工許可が抑制されたため、本事業の着工許可が、計画時の1997年12月から2002年4月まで53ヵ月延期された。
- ② 国務院によるフィージビリティスタディの批准が中国国内手続きの遅れで計画の1997年6月から1998年8月に15ヵ月遅延した。

一方、着工許可から2号機試運転までの期間に関して、審査時は、1997年12月から2002年12月の61ヵ月であったが、実績は2002年4月から2006年8月の52ヵ月と、計画比85%であった。

3.4.3 内部収益率（参考数値）

事後評価時点での財務的内部収益率（FIRR）は、6.06%と審査時の15.63%から下回った。主な原因として、石炭価格が審査時見積より大幅に上回ったこと、売電価格が審査時見積より下回ったこと、地方税率が審査時より高くなったことがあげられる。但し、実施機関より、石炭価格と売電価格に関しては予測が難しいとの理由から、2012年以降の予想値は、石炭価格に関しては2012年の契約価格の実績、また売電価格に関しては2011年の売電価格の値上げ幅を適用した売電価格をそのまま適用することでFIRRを算出したとの説明があり、数値は詳細な予測に基づいたものではないと説明があった。一方、経済的内部収益率（EIRR）は、審査時に算出されていなかった。

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

3.5 持続性（レーティング：②）

3.5.1 運営・維持管理の体制

山西魯晋王曲発電有限公司（山東魯能集团公司¹⁴75%、山東国際信託投資公司 20%、

¹⁴ 国家電網の100%子会社。

山西国新能源集团公司 5%が出資する会社) が、CPI North China Power Engineering Co. Ltd. (以下 CPI 社。China Power Investment Corporation 51%、Shanxi Zhangze Electric Power Co. Ltd. 49%が出資する会社) にアウトソースし、発電所の運営維持管理を行っている。CPI 社は、総合管理、機械管理、電機系統管理、灰処理設備管理、燃料管理に計 132 名を配置して発電所の運営維持を行っている。

3.5.2 運営・維持管理の技術

運営維持管理に関わる CPI 社のスタッフのうち、50%が大卒以上の学歴を有している。また、65%が 20 年以上実務経験を有している。

運営維持管理に関わる研修は、定期点検及び脱水槽¹⁵の補修に関して実施されているが、現在までそれぞれ 26 名、42 名が研修を受講している。また、運営維持管理に関するマニュアルとして、生産管理、安全管理、機器メンテナンス、機器管理に関するマニュアルがそれぞれ 1 冊ずつ整備されている。

3.5.3 運営・維持管理の財務

営業利益は、2008 年以降赤字となっている。主な原因は、石炭価格の高騰による主營業務原価の上昇及び売電価格の抑制による主營業務収入の伸び悩みである。主營業務原価は、2008 年以降 2007 年と比較し、30%程度増加している一方、売電価格は、中国政府により低く抑えられており、主營業務収入が同時期の比較で 10%未満の増加となっている。しかし、実施機関によれば、筆頭株主である山東魯能集团公司による国家發展改革委員会、国家电网等との協議等により、現在は 2011 年 4 月以前と比較し、売電価格が 19.8%値上げされており、2011 年の営業利益は黒字になる予定である。将来的な財務持続性に関しては、売電価格の上昇に加え、国家發展改革委員会が、2011 年 4 月に発電用石炭価格を前年水準に維持することを要求する通知を出すなど、発電所の主營業務原価が増加する原因となっている石炭価格の安定に中国が国レベルで取り組んでいることを考慮すると、問題はなくなると思われる。また、新大気排出基準への対応が求められ、設備の改造費用が必要になるが、実施機関によれば同費用に関しても財務計画に含められている。

表 11 過去 4 年間の収支状況

(1,000 元)

	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
主營業務収入	1,836,431	1,737,538	1,856,771	1,989,409
主要業務原価	1,349,430	1,726,832	1,708,570	1,800,194
営業税金及び付加	24,212	15,847	12,186	13,198
主營業務利益	462,789	-5,141	136,015	176,017
その他業務収入	0	209	371	2,981
その他の業務原価	0	18	588	528
財務費用	161,560	212,086	146,514	411,774
営業利益	301,229	-217,036	-10,716	-233,304

出典：損益計算書

¹⁵ 石炭を燃焼させた時に発生する石炭灰のうち、ボイラーの底部に落下した石炭灰であるクリンカアッシュを脱水する装置。

3.5.4 運営・維持管理の状況

日常点検に加え、定期点検は、C点検（25-30日間）とA点検（60日間）から構成される5年サイクル（CCCCA）の点検を計画通り実施しており、発電所完成以降、安定的に電力供給を続けている。

以上より、本事業の維持管理は財務状況に軽度な問題があり、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は、山西省長治市に総設備容量1,200MW（600MWx2）の山元石炭火力発電所を建設し、山東省に送電することにより、山東省の電力需要の増大への対応とともに山西省の石炭・電力産業の強化を図り、両省の経済発展に寄与することを目的としていた。妥当性については、中国、山東省及び山西省の開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、整合性は高い。有効性・インパクトについては、本事業が目標としていた山東省の電力需要への対応、山西省の石炭・電力産業の強化、またそれらによる両省の経済発展は、本事業の実施により概ね計画通りの効果の発現が見られ、有効性・インパクトは高い。効率性については、事業費については計画内に収まったものの、事業期間が計画を大幅に上回ったため、効率性は中程度である。持続性については、本事業の運営維持管理にかかる体制・技術面には問題が見られなかったが、財務状況に軽度な問題があり、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

以上より、本プロジェクトの評価は高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

- (1) 新大気排出基準の指標のうち、基準をクリアしていないNOxの排出レベルに関して、必要な対策を2014年までに講じる必要がある。また、水銀の排出濃度基準に関して、センサーを設置し、要すれば2015年までに基準達成のための措置をとる必要がある。
- (2) 売電価格について、親会社である山東魯能集団会社と協力し、売電価格の改善もしくは発電所運営補助金の獲得に向けて、国家発展改革委員会、山東省政府、国家电网と協議を続けるなど、財務持続性の確保に継続的に取り組む必要がある。

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 ボイラー タービン発電機 主要変圧器 計装・制御 微粉炭設備 燃焼設備 水処理設備 排煙処理設備 煙突 石炭前処理設備 石炭灰処理設備 冷却塔 開閉所 水素製造装置 コンサルティング サービス 排煙脱硫装置	2基、超臨界圧型 2基、出力600MW、単胴再熱復水型、 50Hz、3,000rpm、水-水素、水素冷却 2 x 3 x 240 MVA + 1 x 240 MVA Dispersed Control System (DCS) ボールミル（高破碎、中速） - 400m ³ /h 電気集塵機2基、集塵効率99%以上 Double-shaft 220m 1本 トラックホッパー2基、ボトムホッ パーワゴン、貯炭場20万t、石炭ビ ン6基（11h分消費量）、揚炭容量70 万t/年 乾式 自然通風方式2基、スプレー面積 7,500m ² 、高さ135m 500kV開閉所及び220kV開閉所 - 合計107M/M 事業統括23M/M、機械技師（2名） 28/M、電気技師（2名）28M/M、 制御技師（2名）28M/Mが以下の業 務を実施。 ① 入札書類準備に対するアドバ イス ② 入札評価に対するアドバイス ③ 契約交渉に関するアドバイス ④ 設計連絡会への参加、設計に関 するアドバイス ⑤ 事業進捗の監督補助 ⑥ 設備の検収実施補助 なし	計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 計画通り 合計121M/M ボイラー、タービン入札書類準 備～契約締結（27.9M/M） 変圧器、燃焼入札準備～契約締 結（15.1M/M） 設計管理（61M/M） 工事・試運転（10M/M） 性能試験（7.0M/M） 追加。2基、脱硫率97%以上
② 期間	1997年1月～2002年12月（72ヶ月）	1997年1月～2006年8月（116ヶ月）
③ 事業費 外貨 内貨 合計 うち円借款分 換算レート	57,082百万円 81,410百万円 (5,986百万円) 138,492百万円 57,082百万円 1元＝14.6 円 (1997年2月現在)	40,345百万円 29,325百万円 (2,071百万円) 69,960百万円 40,345百万円 1元＝14.36円 (1997年9月～2010年3月平均)

以上