

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 一般アンタイド
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 月内蒙古自治区発展改革委員会承認) 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 カ年計画」でオールドス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	〔総長〕「包頭市第 11 次 5 カ年計画」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。 〔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。
11) 大気環境改善にかかる日本での研修	〔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。 〔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。

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	対 象	全体	円借款 対象	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
ブライス・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
- 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 年の間で最大で 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)	- 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
	終了	2005年2月	2006年8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
	終了	2006年1月	2011年11月	2013年12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みると、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。



孙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。

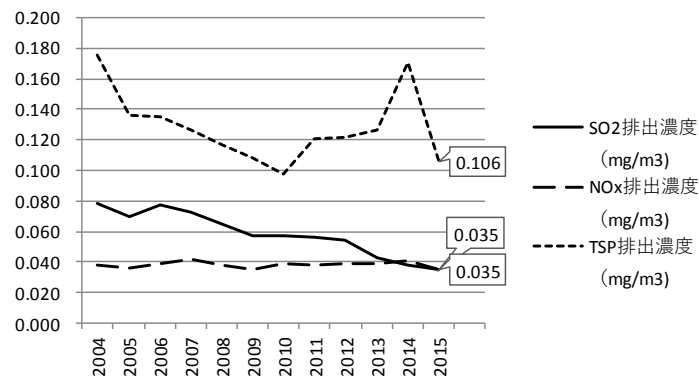


図 1 大気汚染状況の経年データ（年平均濃度）

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、市全体の大気汚染抑制に貢献していると評価できる。

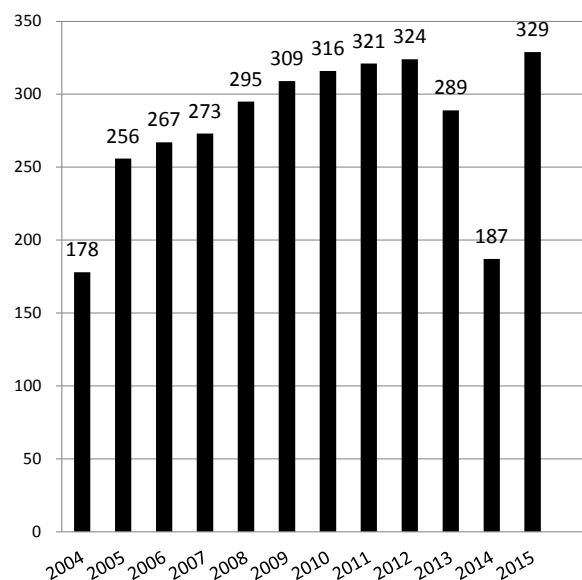


図 2 国家基準2級を達成した日数の経年データ

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

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实演



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、国内銀行からの借り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：包頭市ガス会社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：包頭市ガス会社提供データ

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 m^3 /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 m^3 /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 (413百万元) 13,962百万円 8,469百万円 1元 =13.3円 (2004年9月時点)	8,443百万円 6,908百万円 (413百万元) 15,351百万円 8,443百万円 1元 =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