

中国山西省におけるコークス乾式消火設備 (CDQ) 設置による CDM プロジェクトの設計

張 興和*・明日香 壽川*²・川端 望*³・大村 泉*³・川原 業三*⁴・高橋 禮二郎*⁵

CDM Project Design for Introducing Coke Dry Quenching Equipment in Shanxi Province of China
Xinghe ZHANG, Jusen ASUKA, Nozomu KAWABATA, Izumi OMURA, Gyozo KAWAHARA and Reijiro TAKAHASHI

| | |
|---------|------|
| 国際文献刊行社 | |
| 6月16日 | |
| 初校 | |
| 別 | 表付 部 |
| 刷 | 表無 部 |

Synopsis : This paper provides the design of a Clean Development Mechanism project at the coke industry in Shanxi province, China. The target of this project is to reduce emission of carbon dioxide by installing coke dry quenching equipment into mechanical coke ovens of Shanxi Antai Group Co., Ltd. This paper demonstrates how the anthropogenic emission of carbon dioxide is reduced by this project activity below those that would have occurred in the absence of CDM project. Moreover, this paper shows that this project achieves not only emission reduction of carbon dioxide but energy saving, water saving and emission reduction of other pollutants such as sulfur dioxide.

Key words : global warming; CDM; coking; energy saving; environment; CO₂ emission.

1. 緒言

本稿は、中国山西省における CDM プロジェクトについて報告するものである。

1997年12月に気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)において採択され、2005年2月16日に発効した京都議定書は、人類の活動に伴って発生する温室効果ガス(GHG)の排出を抑制し、地球温暖化を防止することを目標としている。そのために、日本を含む先進国について1990年比の排出削減目標を定めている。その他、補完手段として京都メカニズムと呼ばれる排出権取引、共同実施、クリーン開発メカニズム(CDM)が導入されている。

このうち CDM は、途上国で行った排出削減を売買可能なクレジットとし、先進国の削減実績として計上できるようにするものである。CDM は、GHG 1 トン当たり排出削減コストが GHG 排出削減目標を持つ先進国で高く、削減目標を持たない発展途上国で低い場合を念頭に置いて導入された。CDM によって、先進国が高コストを理由に削減目標達成への努力を回避することを防止し、削減目標を持たない途上国での削減活動を動機づけることができるのである。

日本は京都議定書により1990年比マイナス6%のGHG排出削減目標を義務付けられ、アジアで唯一の排出削減義務を負う国となった。削減目標を実現するため、日本は地

球温暖化対策推進法(1998年10月成立、2002年6月改正)に基づいた各種の国内対策を実施してきたが、GHG排出量は減少せず、2005年になっても基準年より6.9%上回る状態が続いている¹⁾。日本国内の削減だけでは1990年比6%の削減は難しい。

一方、中国は2002年8月30日に京都議定書を批准し、地球温暖化防止に貢献する意思を表明しているものの、議定書の下でのGHG排出削減(抑制)数値目標は課せられていない。しかし、急速な経済発展に伴って排出量は急増しており、1人当たりでは先進国よりはるかに小さいものの、総量では世界第2位となっている²⁾。GHG排出と連動した環境問題も深刻化している。

このような状況下では、中国をプロジェクトサイトとする CDM を行い、日本の GHG クレジット(CER)取得に結びつけることには合理性がある。実際に、2007年から日本政府による本格的な CER 買い入れが始まった。また、日本経団連による自主行動計画目標達成も、国内での削減活動だけでは困難になっており、企業もクレジットの買い手となりつつある。CDM は京都議定書の目標達成の鍵となる制度なのである。

筆者らは1998年から大気環境汚染の現地調査を実施し、山西省の大気環境汚染の現状、原因及び対策の解明に取り組んできたが³⁾、現在(2008年3月)、CDMによって山西安泰集団のコークス炉にコークス乾式消火設備(CDQ)を導

平成20年3月28日受付 平成20年5月28日受理 (Received on Mar. 28, 2008; Accepted on May 8, 2008)

* 旭川大学経済学部 (Department of Economics, Asahikawa University)

* 2 東北大学東北アジア研究センター (The Center for Northeast Asia Studies, Tohoku University)

* 3 東北大学大学院経済学研究科 (Graduate School of Economics and Management, Tohoku University, Kawauchi 27-1 Aoba-ku Sendai 980-8576)

* 4 技術コンサルタント (Technical Consultant)

* 5 東北大学大学院国際文化研究科 (Graduate School of International Cultural Studies, Tohoku University)

入するプロジェクトを実施すべく、国連CDM理事会に登録申請しているところである。CDM化するプロジェクトとしてCDQ導入を選択したのは、山西省では一次エネルギーを石炭に依存しているため、石炭関連の省エネ技術が有効と思われたこと、CDMが満たすべき追加性という観点からプロジェクトを選択したことによる。詳しくは後述する。

前報⁴⁾では、本CDMプロジェクトの概要及び中間結果を報告したが、本報では、本プロジェクト実施の背景及び設計の詳細結果を報告する。

2. 山西省製鉄業・コークス製造業をめぐる環境問題

2.1 山西省の経済発展の遅れ

改革開放以来、中国全土は東部・中部・西部という3つの経済地区に区分されてきた。山西省は他の8省・自治区とともに中部に属している。

Fig. 1は中国の東部、中部及び西部の間に形成されている経済格差を示しているが⁵⁾、これは1978年に開始した「東部が先に豊かになり、中部・西部を引き上げる」という改革開放 経済政策が実施された結果であると考えられる。2006年の一人当たりGDPは、東部の25.7千元/人に対して、中部と西部は13.2と10.2千元/人であり、格差が倍ぐらいとなっている。東部の最も高い上海(Shanghai)と西部の最も低い貴州(Guizhou)の間には10倍の差がある。また、3つの経済地区を比べると、中部の経済レベルは東部よりも西部に近いことが分かる。山西省は経済レベルが低い中部に位置し、全国平均レベルを大きく下回る。

1999年6月以後、未開発資源の有効利用と東西格差の解消のため、「西部大開発」が開始された。これは東部沿海地域を優先的に発展させてきた方針を転換し、社会・経済発展の立ち遅れた西部地区へ開発の重点を移行させるという21世紀に向けた発展戦略である。しかし、西部大開発の範囲は、西部地区の10省に、内蒙古自治区(中部)、広西壮族自治区(東部)を加えた12省に限られている。山西省は、改革開放初期の東部優先発展政策でも、近年の西部大開発政策でも対象外となった。2006年以後、ようやく中部地域台頭促進政策がとられるようになったが、その位置づけは西部大開発に比べてなお弱く、格差は正への道は平坦ではない。

2.2 山西省の産業構造の特徴

山西省は、中国の中でも特異な資源賦存と産業構造を持った省である。Fig. 2が示すように、人口は3,400万人であり、全国の2.6%を占めるが、GDPは4750億元であり、全国の2.3%しか占めていない^{6,7)}。しかし石炭、コークス及び銑鉄の生産量はそれぞれ5.8億トン、9,200万トン、3,600万トンであり、全国の25%、31%、8.6%を占め、石炭

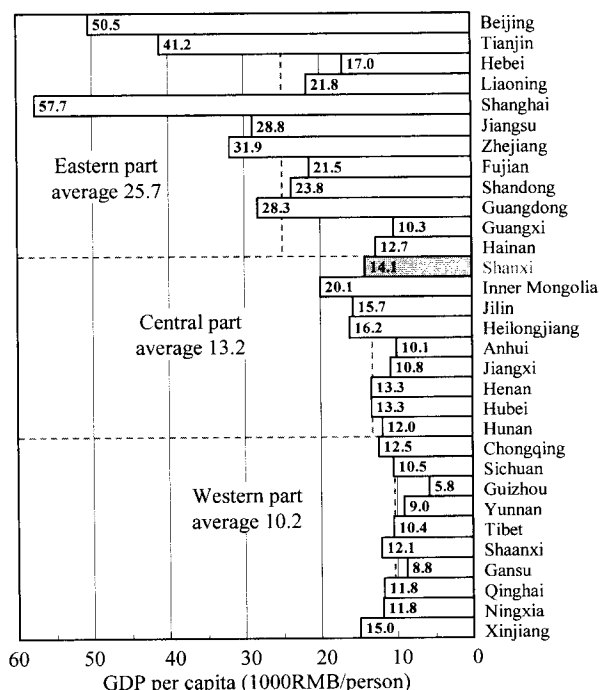


Fig. 1. Regional difference in GDP per capita in China in 2006.

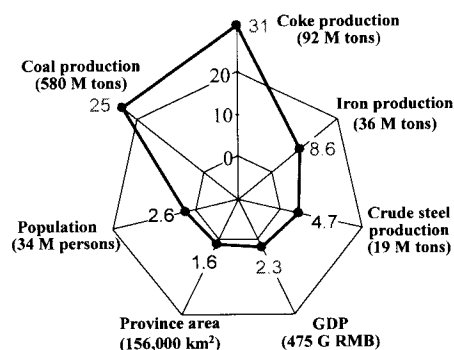


Fig. 2. Occupancy ratio (%) of Shanxi province in China in 2006.

採掘、コークス及び銑鉄製造は山西省の主要な産業である。粗鋼生産量は銑鉄生産量に対して遥かに低く、その53%しかない。また、山西省は省内の一次エネルギー源の99.66%を石炭に依存しており、しかも石炭、コークス、電力を省外、一部は海外へと供給する役割を果たしている⁸⁾。山西省は石炭をベースとしたエネルギー・素材・化学工業の生産基地となっているが、そのことが所得につながっていないのである。

2.3 山西省の環境問題

山西省省都の太原市は、1998年に世界保健機関(WHO)が世界の主要都市で実施した大気汚染調査によれば、世界の大気汚染都市ワースト1となった。また、省内の一部の工業都市では太原市よりも大気環境汚染が深刻であった⁹⁾。Fig. 3は2006年の各省における単位GDP当たりの工業による二酸化硫黄と工業煤塵との排出量の関係を示す¹⁰⁾。全国的に見ると、二酸化硫黄は2kg/千元以下、煤塵が1kg/千

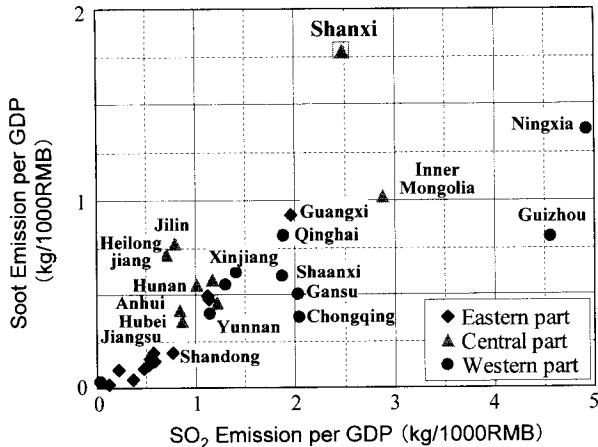


Fig. 3. Comparison of SO₂ and soot emission per GDP in 2006.

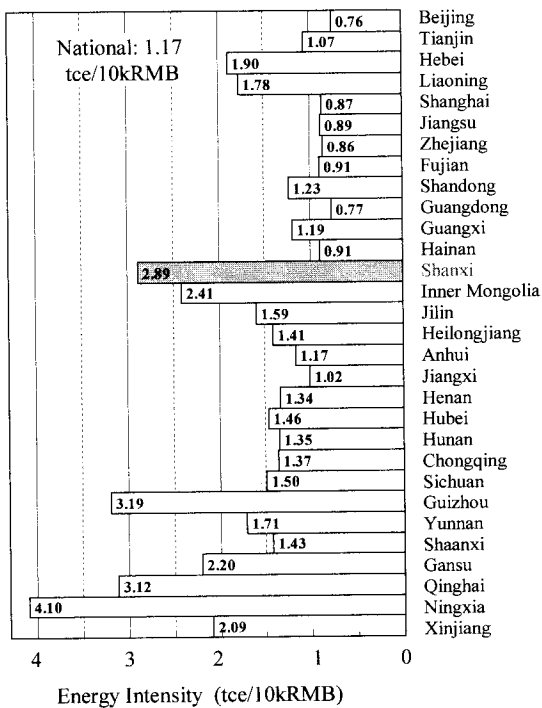


Fig. 4. Comparison for Energy Consumption per Unit GDP in 2006.

元以下に集中している。しかし、第1位の寧夏自治区(Ningxia)の二酸化硫黄の排出量は5kg/千元弱に達している。山西省(Shanxi)は第4位にあり、2.5kg/千元である。単位GDP当たりの工業からの煤塵の排出量は山西省が第1位で、1.8kg/千元である。

2.4 山西省のエネルギー効率とCO₂排出量の推定

Fig. 4は2006年における中国各省の地域別GDP当たりの一次エネルギー消費量の比較を示している¹¹⁾。中国全国平均1.17tce/万元(tce:トン標準炭)に対して、山西省は2.89tce/万元となっている。つまり、同量のGDPを得るために、山西省は全国平均の2.5倍のエネルギーを消費している。地域により製品やエネルギーの構成が異なっている

ため、直接比較はできないが、現在の山西省のエネルギー効率は極めて低く、逆に言えば省エネルギーの潜在力が非常に大きいと言える。

2006年に山西省で消費された石炭は2億5514万トンであった¹²⁾。このうち石炭火力発電、コークス製造、コークス消費から排出されるCO₂を算定すると、3億トンとなる。これは中国全土の排出量(51億トンCO₂, 2005年)²⁾の6%に相当する。石炭は山西省の主要な一次エネルギー源であるため、省エネルギー対策を取るならば、それと連動してGHG排出削減が実現できる可能性が高い。

2.5 山西省における経済開発・環境・エネルギー問題の結合

以上のことから、山西省においては経済開発・環境・エネルギー問題が密接に結合していることが見て取れる。すなわち、山西省の経済は石炭採掘を起点とするエネルギー・素材産業との連関(コールドチェーン)に依存している。コールドチェーンが大量の汚染物質およびCO₂を排出しており、その一方で効率的に所得を生み出していないのである。

山西省においては、環境対策を省エネルギー対策と結合して推進することが効果的である。もしエネルギー効率が倍増すれば、それだけで大気汚染物質とGHGの排出は半減し、大気汚染は改善されると見られるのである。

3. CDMプロジェクトの対象と考え方

3.1 山西安泰集団の機械式コークス炉建設とCDQ

安泰集団は1984年に創業された民営企業であり、山西省介休市に位置している。コークス化学、鉄鋼、電力、建築材料、不動産、バイオテクノロジー、編物製品・服飾、ホテルの8産業を含む30以上の企業を保有し、コークス、銑鉄、鉄鋼半製品、セメントを主製品として生産・販売している。

安泰集団から得たデータと訪問調査による確認によれば、同社は1990年代には改良ピーハイブ式コークス炉や、内容積34m³(2基)、125m³の小型高炉でコークスと銑鉄の生産を行っていたが、2000年代に入って設備現代化・一貫製鉄所建設計画に着手した。計画に含まれているのは、機械式コークス炉4炉団(年産240万トン)、450m³高炉3基(170万4000トン)、75トンおよび90トン転炉および連続鑄造機(208万2000トン)、条鋼圧延機2基(200万トン)である。このうちコークス炉110万トンと、高炉、転炉・連続鑄造機はすでに完成している。CDMプロジェクトに関係するのはコークス炉の部分である。

安泰集団は、コークス炉から押し出された赤熱コークスの消火に湿式消火設備(CWQ)を採用している。CWQは伝統的なプロセスであり、中国でも広く利用されている消火方法である。赤熱コークスは消火車で高さ15~25mの消火

塔の中に運ばれ、消火塔の上部から約100秒間連続噴水で消火される。コークスに噴射された水は一部蒸発し、水蒸気として消火塔の塔頂から排出され、未蒸発の水は粉コークスを沈殿・分離させた後再度循環利用される。プロセスが単純で必要投資額が少ないという利点があるが、赤熱コークスが持つ顕熱は回収されず、消火塔頂から排出される水蒸気には粉コークスやCOが含まれるので周囲の環境を汚染する。

これに対して、CDQは、赤熱コークスの顕熱を回収するために不活性ガスを使って消火する。コークスが冷却されると同時に不活性ガスが加熱される。不活性ガスに移行した熱はボイラーを通すことによって蒸気を発生させる。得られた蒸気は蒸気そのままプロセス蒸気として利用されるか、あるいは蒸気タービンを通して発電に用いられる。CDQを導入すれば、安泰集団は、ここで生じる電力を自家消費することにより、華北電力グリッドからの電力購入、および安泰集団構内に設置されている自家発電所の利用を減らすことができる。このため、発電に要する化石燃料の消費が削減され、CO₂排出が削減されることになる。

またCDQは、冷却塔内での衝撃、摩耗などの機械的作用とガス化などの化学的作用によってコークスの脆弱部分を粉化除去することができ、さらに乾式徐冷のため湿式急冷で生じる内部亀裂を避けるなどの効果がある¹³⁾。このため、強度性状の向上、整粒化によって、コークスの品質が湿式消火処理に比べて良好となる。さらに、CWQと異なりCOや粉コークスの排出もない。

本プロジェクトは、以上のような利点を持つCDQの導入をCDMプロジェクトとすることによって実現し、GHG排出の削減、省エネルギー、環境改善を実現するものである。プロジェクト参加者は安泰集団、東北大学、日本カーボンファイナンス株式会社(JCF)であり、CDMとしての承認・登録をめざして国際連合CDM理事会にPDDを提出した(2008年3月)。CDMとして登録された場合には、モニタリングを経てGHG排出削減の実績に応じたCERが発行される。

3.2 ベースラインとプロジェクトバウンダリー

あるプロジェクトがCDMとして認められるためには、GHG排出削減効果があるだけでは十分ではない。CDMという制度やクレジット売却益がなければ実施されないプロジェクトであることが条件となる。この条件を追加性と言う。例えば現在の山西省では、機械式コークス炉によるピーハイブ式コークス炉の更新や高炉でのコークス原単位低減は、GHG排出削減効果は見込めるがCDMとなりにくい。それは、これらのプロジェクトの多くが通常のビジネススペースで実施可能であり、追加性がないからである。すなわち、追加性の証明こそが本プロジェクトがCDMとして認められる鍵である。

GHG排出削減量と追加性の判断は、ベースラインとプ

ロジェクトを実施した状態との比較によって行うことができる。ベースライン、あるいはベースラインシナリオとは、CDMがなくとも実施可能な、あるいは実施されることが十分に予想される、もっとも経済的に魅力的な状態である。この比較のためにCDM理事会ではプロジェクトの種類毎に方法論を定めている。本プロジェクトでは、CDQが赤熱コークスを冷却すると同時にその顕熱を回収して発電するものであることから、汎用性の広い方法論ACM0004(排ガス・廃熱・排圧の発電利用に関する統合方法論)を適用した。

ACM0004によれば、(a)当該プロジェクト活動の実施；(b)グリッドからの電力購入；(c)既存もしくは新規の自家発電設備；(d)上述の(b)と(c)のミックス；(e)廃熱を他の用途に利用；(f)現状維持などのベースラインシナリオ候補の中から、実施可能な最も経済的に魅力的なシナリオがベースラインシナリオとなる。安泰集団の場合、上記(d)に該当する、現有のCWQを維持し、グリッドからの電力購入及び既存の自家発電を継続することをベースラインシナリオとみなすことができる。これに対して、現有のCWQの上にCDQ1基及び付属設備を増設し、コークスの乾式消火と発電を実現することがプロジェクトの内容である。CDQの他にCWQも保有するのは、CDQ1基だけでは生産されるコークスをすべて処理できないことと、CDQのメンテナンス中にCWQを稼働する必要があるからである。

Fig. 5はベースラインとプロジェクトを比較したものである。ベースラインに比べて、プロジェクトはCDQ及び付属発電設備が増設される。また、プロジェクトバウンダリーも同図に示している。廃熱源(冷却処理直前の赤熱コークス)、自家発電所、華北電力グリッド(本プロジェクトと連結)はバウンダリー内に含まれるが、コークス冷却処理の前のコークス製造、押し出し工程及び冷却処理後コークスの輸出版売や社内の製鉄工程での利用は含まれない。

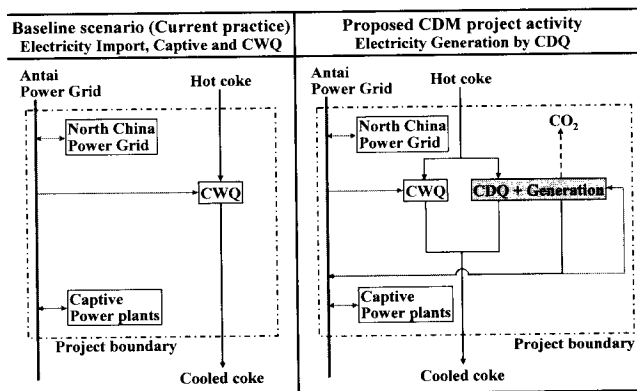


Fig. 5. Baseline and proposed CDM project activity and its boundary.

4. プロジェクトがCDMの要件を満たすことの証明

4.1 本プロジェクトの追加性分析

中国政府は、鉄鋼業における投資プロジェクトのベンチマーク内部収益率(IRR)を12%と定めている¹⁴⁾。2004年に実施されたフィージビリティ・スタディの報告書によれば¹⁵⁾、本プロジェクトが、CERの売却収入を得られない場合には、IRRはベンチマークを下回る8.21%と推定される。一方、本プロジェクトがCDMとして認められ、CERを売却できる場合のIRRは、CER価格を10\$/tと保守的に見積もっても13.25%と推定される。

2005年現在、中国におけるCDQ導入率は25%と推定されており¹⁶⁾、日中両国の鉄鋼企業インタビューから確認できる導入例は29基ある。しかし、これらはすべて大型の国有企業によるものであり、その過半数は公的資金の支援を得ている。山西省は中国最大のコークス生産基地であるにもかかわらず、2007年現在CDQは設置されておらず、2008年に最初の1基が、日本の政府開発援助(ODA)によって太原鋼鉄集団に設置されることになっている。すなわち、本プロジェクトは山西省で2基目のCDQを、私営企業が公的資金の導入なしに設置しようとする試みなのである。

以上の点から見て、本プロジェクトには投資障壁や技術的障壁などが存在する。すなわち、CDMがなければ経済的に魅力的ではなく実施されないため、追加性が存在すると考えられる。

4.2 ベースラインのGHG排出量

以下、ベースラインとプロジェクトにおけるGHG排出量を計算する。なお、プロジェクトに関するデータのうち、とくに出所を記していないものは安泰集団からえたものである。

ベースラインのGHG排出量は、ベースラインの電力消費量に対応した化石燃料消費によるGHG排出量であり、式(1)で算出される。

$$BE = EG \times EF_{\text{electricity}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- BE: ベースラインの年間GHG排出量(kt CO₂/y)
- EF_{electricity}: ベースラインGHG排出係数(kt CO₂/GW h)
- EG: ベースラインの電力消費量(GW h)

ベースラインの電力消費量は、CWQでコークスを全量処理することによる消費電量部分と、それ以外の形で安泰集団内で消費される部分からなる。後者は、プロジェクト実施時にCDQによる発電によって代替される。したがって、ベースラインの電力消費量は、CWQでコークスを全量処理する際の消費電量にCDQの正味発電量を加えたものに等しい。更にCDQの正味発電量はCDQの発電量から自家消費電量を差し引いて算出される。これを整理すると

式(2)のようになる。

$$EG = EG_{\text{CDQ}} - E_{\text{CDQ}} + E_{\text{CWQ}} \times (W_{\text{ck,CDQ}} + W_{\text{ck,CWQ}}) / W_{\text{ck,CWQ}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

- W_{ck,CDQ}: CDQによるコークス処理量(kt coke/y)
- W_{ck,CWQ}: プロジェクトにおけるCWQによるコークス処理量(kt coke/y)
- EG_{CDQ}: CDQ発電量(GW h/y)
- E_{CDQ}: CDQ消費電量(GW h/y)
- E_{CWQ}: プロジェクトにおけるCWQ消費電量(GW h/y)

安泰集団の供給電力は華北電力グリッドからの購入電力と自家発電電力からなっているため、ベースラインGHG排出係数は、華北電力グリッドGHG排出係数と自家発電GHG排出係数の消費電量の加重平均で算出した。

$$EF_{\text{electricity}} = W_{\text{grid}} \times EF_{\text{grid}} + W_{\text{captive}} \times EF_{\text{captive}} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

- EF_{grid}: 華北電力グリッドGHG排出係数(kt CO₂/GW h)
- EF_{captive}: 自家発電GHG排出係数(kt CO₂/GW h)
- W_{grid}: 華北電力グリッド電力消費量の構成比(%)
- W_{captive}: 自家発電電力消費電力の構成比(%)

これらのうち華北電力グリッドGHG排出係数は、ACM0004方法論に基づき、オペレーティングマージン(OM)排出係数EF_{OM}とビルドマージン(BM)排出係数EF_{BM}の単純平均で算出し、OMとBM自体は、中国政府が発表している数字を用いた¹⁷⁾。

4.3 プロジェクトのGHG排出量

プロジェクトからのGHG排出量は、CDQ内部における粉コークスの燃焼によるGHG排出量、CWQの電力消費によるGHG排出量、及びCDQ起動時の乾燥・加熱によるGHG排出量などの3つから構成され、式(4)で算出される。

$$PE = W_{\text{ck,CDQ}} \times \text{COEF}_{\text{CDQ}} / 1000 + E_{\text{CWQ}} \times EF_{\text{electricity}} + PE_{\text{start-up}} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

- W_{ck,CDQ}: CDQによるコークス処理量(kt coke/y)
- COEF_{CDQ}: CDQ内部粉コークス燃焼によるGHG排出係数(t CO₂/kt coke)¹⁸⁾
- E_{CWQ}: プロジェクトにおけるCWQ消費電量(GW h/y)
- EF_{electricity}: ベースラインGHG排出係数(kt CO₂/GW h)
- PE_{start-up}: CDQ起動時のGHG排出量(kt CO₂/y)

CDQ起動時のGHG排出量は、コークス炉ガス消費量及びそのGHG排出係数から算出される。

$$PE_{\text{start-up}} = Q_{\text{COG}} \times EF_{\text{CO}} / 1000 \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

Q_{COG} : CDQ 起動時のコークス炉ガス消費量(kNm^3)
 EF_{COG} : コークス炉ガスの GHG 排出係数(tCO_2/kNm^3)

4.4 GHG 排出削減量

ACM0004 方法論に基づき、リーケージ排出量を考慮しないので、GHG 排出削減量 ER はベースライン GHG 排出量 BE からプロジェクト GHG 排出量 PE を差し引いて算出される。

$$ER = BE - PE \dots\dots\dots (6)$$

各変数の値、及び式(1)~式(6)を用いて算出されたベースライン GHG 排出係数 $EF_{electricity}$ 、ベースラインの GHG 排出量 BE 及びプロジェクトの GHG 排出量 PE をまとめて Table 1 に示す。CDQ による年間コークス処理量が 109 万トンの場合、稼働開始後の最初の年と最後の年を除いた通常の年の年間 GHG 削減量は $136.625 kt CO_2$ となるが、最初の年と最後の年は各半年とし、また最初の年の処理能力は設計処理能力の 80% と仮定した。このように求められた第 1 クレジット期間である 7 年間の GHG 排出削減量は約 $943 kt CO_2$ である。

4.5 その他の環境改善

ベースラインとプロジェクトを比較すると、GHG としての CO_2 排出削減以外にも環境改善効果が期待できる。電力グリッドからの電力購入を代替することにより、火力発電所での石炭消費を抑制するとともに、石炭燃焼に伴う

Table 1. Estimation of GHG emission reduction of the project.

| Parameter | Unit | 1st year | One year | last year | 7 years |
|--------------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| EF_{OM} | $ktCO_2/GWh$ | 1.1208 | 1.1208 | 1.1208 | 1.1208 |
| EF_{BM} | $ktCO_2/GWh$ | 0.9397 | 0.9397 | 0.9397 | 0.9397 |
| EF_{grid} | $ktCO_2/GWh$ | 1.03025 | 1.03025 | 1.03025 | 1.03025 |
| $EF_{captive}$ | $ktCO_2/GWh$ | 2.06372 | 2.06372 | 2.06372 | 2.06372 |
| W_{grid} | — | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |
| $W_{captive}$ | — | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 |
| $EF_{electricity}$ | $ktCO_2/GWh$ | 1.5931 | 1.5931 | 1.5931 | 1.5931 |
| $W_{ck, CDQ}$ | ktcoke | 436 | 1,090 | 545 | 7,521 |
| $W_{ck, CWQ}$ | ktcoke | 439 | 660 | 330 | 4,729 |
| EG_{CDQ} | GWh | 36.896 | 97.920 | 48.960 | 675.648 |
| E_{CDQ} | GWh | 2.272 | 5.679 | 2.840 | 39.188 |
| E_{CWQ} | GWh | 0.088 | 0.219 | 0.110 | 1.512 |
| $COEF_{CDQ}$ | $tCO_2/ktcoke$ | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.9 |
| Q_{COG} | kNm^3 | 148.0 | 148.0 | 148.0 | 1,184.0 |
| EF_{COG} | tCO_2/kNm^3 | 0.7258 | 0.7258 | 0.7258 | 0.7258 |
| BE | $ktCO_2$ | 59.148 | 147.87 | 73.936 | 1020.316 |
| PE | $ktCO_2$ | 4.563 | 11.24 | 5.678 | 77.723 |
| ER | $ktCO_2$ | 54.585 | 136.62 | 68.258 | 942.593 |

SO_2 と NO_x の排出を抑制することができる。また同じく発電所での石炭消費抑制と安泰集団での CWQ によるコークス処理量の削減により、両地点での CO 排出と粉塵排出を抑制することができる。さらに CWQ の使用を大幅に減らすことにより、水を節約できる。それぞれの効果は以下のように計算できる。

発節電量による標準炭およびそれによって換算される原炭の節約量は以下のように計算できる。

$$W_{sc} = R_{sc} \times (EG - E_{CWQ}) \dots\dots\dots (7)$$

$$W_{rc} = W_{sc} \times Q_{sc} / Q_{rc} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、

- W_{sc} : 発節電量による標準炭節約量(tce/y)
- W_{rc} : 発節電量による原炭節約量(t/y)
- R_{sc} : 発電の標準炭原単位(tce/GWh)
- Q_{sc} : 標準炭発熱量($Gcal/tce$)
- Q_{rc} : 原炭発熱量($Gcal/t$)

発節電量による煤塵、 SO_2 、 NO_x 、CO などの大気汚染物質の削減量は、発節電量またはそれによる原炭の節約量より見積もることができる。また CWQ 使用減少による節水量は、CDQ によるコークス処理量より算出することできる。以上の計算において使用した標準炭発熱量¹⁹⁾、原炭発熱量²⁰⁾、華北電力グリッド発電の標準炭原単位²¹⁾、石炭火力発電所からのダスト、 SO_2 、 NO_x 、および CO などの汚染物質排出係数²²⁾、CWQ および CDQ からのダスト排出係数²³⁾、CWQ からの CO 排出係数および CWQ 用水消費原単位²⁴⁾などの数値は Table 2 のとおりである。

CO_2 排出削減以外の、本プロジェクトによる石炭消費削減量、 SO_2 、 NO_x 、CO およびダストなどの大気汚染物質排出削減量および節水などの環境改善効果を一覧したものが

Table 2. List of data used for the calculation of air pollutants emissions reduction.

| Item | Unit | Value |
|--|------------|-------|
| Calorific values of Chinese standard coal | Gcal/tce | 7 |
| Calorific values of Chinese raw coal | Gcal/t | 5.95 |
| Chinese standard coal intensity in the power consumption of the North China power grid | tce/GWh | 372 |
| Dust discharge ratio from electricity generation | t/GWh | 8.21 |
| SO_2 discharge ratio from electricity generation | t/GWh | 10.4 |
| NO_x discharge ratio from electricity generation | $kg/tcoke$ | 5.77 |
| CO discharge ratio from electricity generation | $kg/tcoke$ | 2.07 |
| Dust discharge ratio from CDQ | $kg/tcoke$ | 0.045 |
| Dust discharge ratio from CWQ | $kg/tcoke$ | 0.200 |
| CO discharge ratio from CWQ | $kg/tcoke$ | 2.31 |
| Water consumption for CWQ | $t/tcoke$ | 0.4 |

Table 3. Environmental improvement effects (estimated) of CDQ introduction.

| Item | Unit | Effects (7 years) |
|---|------|-------------------|
| Amount of standard coal usage substituted | ktce | 237 |
| Amount of raw coal usage substituted | kt | 280 |
| SO ₂ emission reduction | t | 6,645 |
| NO _x emission reduction | t | 1,616 |
| CO emissions reduction | t | 17,953 |
| Dust emissions reduction | t | 6,412 |
| Amount of water saved | kt | 3,008 |

Table 3である。7年間で28万トンの原炭が節約され、SO₂排出が6,645t、NO_x排出が1,616t、CO排出が17,953t減少する。また、粉塵の排出は6,412t削減され、3,008ktの水が節約される。このように、本プロジェクトは温暖化抑制効果に加えて、汚染低減、資源・エネルギー節約効果も持つのである。

5. 結言

本研究においては、山西安泰集団における機械式コークス炉へのCDQ導入がCDMプロジェクトとして成立することを述べた。

(1) 本プロジェクトは、クレジットの売却収入がなければIRRが8.21%であり、中国鉄鋼業における投資プロジェクトのベンチマークである12%を大きく下回るため実施されない。しかし、CDMとして登録され、クレジットの売却収入が得られれば、IRRが13.25%に上がり実施可能になるのである。したがって、追加性が存在する。

(2) 本プロジェクトは、CDQによるコークス年間処理量が110万トンの場合、プロジェクト期間の7年間でGHG排出を943ktCO₂削減することができる。

(3) また本プロジェクトは、7年間にSO₂排出を6,645t、NO_x排出を1,616t削減する。さらにCOと粉塵の排出を抑制し、石炭と水を節約する。

以上のように、本プロジェクトは温暖化抑制、汚染低減、資源・エネルギー節約の効果をもたらすものである。

本プロジェクトは山西省の資源条件と産業構造に即したものであるが、条件の類似する立地と企業においても適用可能と思われる。また本プロジェクトは、中国の私営企業が公的資金を用いることなく行うものであり、この点からも今後の中国における環境対策の推進において先駆的な意義を持つであろう。

文 献

- UNFCCC: GHG total without LULUCF (http://unfccc.int/ghg_emissions_data/ghg_data_from_unfccc/time_series_annex_i/items/3841.php).
- 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット：エネルギー・経済統計要覧，省エネルギーセンター，(2008)，235.
- X.Zhang, R.Takahashi and I.Omura: *Met. Technol. (Jpn.)*, **71** (2001), 1135.
- N.Kawabata, I.Omura, J.Asuka, X.Zhang, G.Kawahara and R.Takahashi: *CAMP-ISIJ*, **19** (2006), 861.
- National Bureau of Statistics of China (ed.): *China Statistical Yearbook*, China Statistics Press, (2007), 70.
- National Bureau of Statistics of China (ed.): *China Statistical Yearbook*, China Statistics Press, (2007), 6, 27, 557.
- Statistics Bureau of Shanxi Province (ed.): *Shanxi Statistical Yearbook*, China Statistics Press, (2007), 5, 17, 270.
- Statistics Bureau of Shanxi Province (ed.): *Shanxi Statistical Yearbook*, China Statistics Press, (2007), 157, 158, 159, 161.
- 張 興和：CDMによる環境改善と温暖化抑制，創風社，東京，(2005)，97.
- National Bureau of Statistics of China (ed.): *China Statistical Yearbook*, China Statistics Press, (2007), 68, 419.
- National Bureau of Statistics of China (ed.): *China Statistical Yearbook*, China Statistics Press, (2007), 271.
- Statistics Bureau of Shanxi Province (ed.): *Shanxi Statistical Yearbook*, China Statistics Press, (2007), 161.
- 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧（第4版CD-ROM），第2巻1編4・2・5コークス処理設備，(2002).
- 国家發展改革委員会・建設部発布：建設項目経済評価方法と参数（第3版），中国計画出版社，北京，(2006)，202.
- 中冶焦耐工程技術有限公司：山西安泰集団股份有限公司乾熄焦及余熱利用項目可行性研究報告，(2004).
- IEA: *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions: In support of the G8 plan of Action, Paris*, IEA, (2007), 112.
- 国家發展改革委員会国家氣候變化対策協調小組弁公室：關於確定電網基準線排放因子的公告，中国清潔發展機制網(Clean Development Mechanism in China), (2007).
- R.Nakajima, N.Konishi, F.Kuwata, Y.Tani, T.Kimura and T.Matsuda: *Nippon Kokan Tech. Rep.*, **115** (1986), 55.
- 中国煤炭工業百科全書—加工利用・環保卷，煤炭工業出版社，北京，(1999)，124.
- Statistics Bureau of Shanxi Province (ed.): *Shanxi Statistical Yearbook*, China Statistics Press, (2007), 163.
- 国家發展改革委員会国家氣候變化対策協調小組弁公室：關於確定電網基準線排放因子的公告，中国清潔發展機制網(Clean Development Mechanism in China), (2007).
- 国家環境保護局科技標準司：工業汚染物產生和排放係數手冊，中国環境科学出版社，(1996).
- 化学工業部第二設計院：建設項目環境影響報告表 山西省介休市安泰股份有限公司乾熄焦余熱利用項目，(2005)，26.
- 新日本製鐵株式会社(委託先)：インド／コークス乾式消火設備(CDQ)モデル事業実施可能性調査，NEDO, (2002)，145, 140.