

## 『インド・未利用資源を有効利用した無焼成レンガ製造事業調査』報告書概要

### 1. プロジェクト実施に係る基礎的要素

#### 1.1 提案プロジェクトの概要と企画立案の背景

インドでは活発な経済活動を背景にレンガ産業において旺盛な需要があり、この結果燃料となる石炭の燃焼から大量のCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじんが放出されている。また、レンガの原料となる粘土の大量採取による荒地化の問題や水資源が少ない国での地下水の大量消費も大きな問題となっている。また、インドでは「CDM」に関して官民挙げて熱心に取り組んでおり、世界各国の中で、これまでに政府承認を与えた件数で最も多いのはインドである（2005年11月15日現在181件）。そこで、現地カウンターパートとともに、既設のレンガメーカーを買収または合併し、労働力と販売ルートを確認したうえで、既存レンガを「無焼成レンガ」に置き換えることを計画、それにより、

- ① 石炭の消費を抑制（省エネルギー）
- ② 原料の90%以上をフライアッシュなどの副産物を利用することによる資源保全（省資源）
- ③ 機械製造による安定的な品質の確保
- ④ 水資源の30%以上の節約
- ⑤ 1ライン（年間製造量約5800万個）で約3万トンのCO<sub>2</sub>削減が期待できる。

ことが判明。資源保全や環境保全、労働条件の改善と併せてCO<sub>2</sub>発生量の削減に結びつけ、クレジットの獲得につながるCDM事業の可能性について、その採算性、実現性を調査することとした。

当該プロジェクトを進める「背景」は以下のとおりである。

#### (1) レンガ産業を取り巻く状況

インドのレンガ生産量は、その経済成長を上回るほどに増加しているという。ただし、調査の段階では、レンガ産業に関する統計的な資料は見つからず、唯一ムンバイ工科大学レンガ研究チームからの聞き取り調査で、レンガ消費が年率18%の伸びをしているという情報を得た。彼らの情報と実際に調査した内容で試算してみると、レンガ生産に供する現在の石炭の使用量が144百万トン／年で、今後毎年2592万トンづつ石炭の使用量が増えることになる。

また、レンガ工場で排出される石炭灰等の廃棄物は、57百万トン／年にも及ぶが、適正な処理ではなく粘土を掘った穴に埋め戻しているような状態であった。

出荷状況は工場トラックがレンガの完成を待っている状態で、旺盛な需要がうかがわれた。

#### (2) インドのエネルギー事情

インドは1980～2001年の約20年間に平均年率5.6%の実質GDP成長率で発展してきた。この間人口は年率2%で増加した。しかし急速な経済発展に伴い、工業化、都市化、モータリゼーションが進行し、エネルギー需要はこの間実質GDP成長率を上回る年率6.0%（一次エネルギーベース）で増大した。また発電量は年率8.1%で伸び、対GDP弾性率1.5という電力多消費型の経済成長であったことがわかる。この急速に伸びる電力需要を賄ったのが豊富な国産石炭である。石炭火力

は総発電量の 55%(1980 年)から 78%(2001 年)に比率が増大し、年率 10%近くで石炭火力発電量は伸びた。この増大する石炭消費が大気汚染を初めとする環境問題を深刻化させた。また、自動車用石油消費量が急速に増加し、一次エネルギー供給ベースで 20 年間に年率 5.9%で伸びた。インド経済は今後も高い成長率が継続するものと予想される。エネルギー需要の伸びは GDP 成長率や人口の変化に大きく依存するが、2001 年時点のインドにおける一人当たりの商業エネルギー消費量は表に示す様に 0.316toe で、他のアジア途上国と比較すると未だかなり低いレベルである。これからの同国の経済発展を考えると、一人当たりのエネルギー必要量は早晚現状の2倍程度に伸びるものと予測され、そのためにもエネルギーの確保が同国の発展にとって不可欠である。

表 1 人口一人当たりの一次商業エネルギー消費量の推移 (単位:toe/人)

国	一人当たりエネルギー			年平均伸び率 (%)(1995～2001 年)
	1995 年	2000 年	2001 年	
インド	0.270	0.317	0.316	2.7
中国	0.714	0.735	0.726	0.3
タイ	0.839	0.953	1.020	3.3
マレーシア	1.740	2.020	2.070	2.9
フィリピン	0.368	0.429	0.414	2.0
インドネシア	0.410	0.478	0.499	3.3
ベトナム	0.122	0.183	0.207	9.2
日本(参考)	3.950	4.130	4.100	0.6

(出典:省エネルギーセンター「アジア開発途上国省エネルギー」インド)

またインドでは家庭用を中心に、エネルギー需要の 40%強を薪、動物の糞、穀物残液などのバイオマスに依存している。従って、将来的には GDP の高成長率や人口の増加により、商業エネルギーの需要が急増すると考えられる。

### (3)インドの石炭事情

インドは、世界で6番目に大きいエネルギー市場であるが、国内のエネルギー生産は少なく、世界のエネルギー生産中、インドのシェアは 2.3%にすぎない。1 次エネルギー供給は 480Mtoe、そのうち可燃性再生可能エネルギーと廃棄物エネルギーが 41.2%を占め、石炭は 33%のシェアで、商用エネルギー源としては第1位を占めている。インドには 214Bt の無煙炭資源があり、確認埋蔵量は 84Bt で、他に 28Bt の褐炭資源がある。生産される石炭の大部分は、一般炭で、その燃焼特性は高い灰分と水分にもかかわらず、硫黄(<0.6%)、塩素(<0.1%)と有毒な微量元素の濃度が低い等有利な点はあるが、品質は悪い。石炭需要は、1999～2000 年 317Mt であった。インド政策委員会によれば、2002～2003 年には 513Mt に、2006～2007 年には 716Mt に、2009

きるようになった。

#### 1) 品質による影響

一般に使われる無選別石炭は、以下の特徴を持つ。

80%以上の石炭は、低い鉄分と無視できる程度の有毒な微量元素を伴い、30%～50%の灰分を持つ。水分は、4%～7%の間にある。水分は、モンスーン月には高い値になる傾向がある。硫黄分は、低く0.2%～0.7%。総発熱量は、3000kcal/kg～5000kcal/kgの間にある。揮発性物質の含量は、18%～25%の間にある。

インドの石炭は良い化学反応性を持つので、高い灰分と水分にもかかわらず有利である。他の有利な特徴は、硫黄(<0.6%)、塩素(<0.1%)と有毒な微量元素の濃度が低いこと、高い灰融解温度(>1100℃)及び、塩基/酸の比率(0.2-0.3)である。低い硫黄分は、ブレンドで役に立つ。これらの利点にもかかわらず、インドの無煙炭は依然として、その品質は低い。一般炭の高い灰分は、発電所の技術的な困難とコスト高に結びつく。過剰な灰を捨てる必要、ボイラー壁のスラグ形成、ボイラー上部構造及びエコマイザーの焼きつきである。これらの問題は、熱損失を引き起こして、全システムの破滅的な破損を引き起こすことがある。また、多くの微粒子放出対応、沈殿剤、ごみ置き場等の高い運営経費を必要とする。無選別石炭の品質上の欠点は、石粒、頁岩と鉱業プロセスから時折混入する金属の混在物の存在である。これらの不利な条件を減らし、製品を改善することを石炭生産者は殆どやっていない。石炭消費者は、ここ数年間、石炭の品質悪化を経験している。定常的な品質悪化、特に低い発熱量、増加した灰分のため、インドの石炭火力発電所の稼働率は65%にすぎない。

#### 2) 需要

石炭需要は、1999～2000年の間、317Mtであった。消費は、この20年で着実に上がっていてインド政策委員会によれば、2002～2003年には513Mtに、2006～2007年には716Mtに、200～2010年には、815Mtに増加すると予測されている。次の10年間に、少し低い6%～7%の年率で増加するとして、2009～2010年に約690Mtとする評価もある。

最大の消費者は、電力部門(67%)、鉄鋼産業(13%)、石炭生産者自身とセメント産業(4%)である。その他の消費者は、繊維、肥料、煉瓦産業である。200年に粘結炭15Mtがオーストラリアから、9Mtが南アフリカから輸入されている。

#### (4) インドのセメント事情

1) 1990年から2004年までで、約3倍の生産量となった。

2) 1998年に日本の生産量を超え、中国に次いで世界第2位となり、その後も同順位である。しかし、中国の近年の伸び(1990年から2004年で約5倍)ほどではない。一人当たりセメント消費量も中国ほど高くはない。

3) 現在、110の近代的工場があるが、一人当たりの生産量は100kgと他の地域に比べて低い。いずれ500kg程度、すなわち国内市場で5億トンまで増えると見込まれる。

4) 新規プラントは、世界的に最新のものが導入されている。

#### 5)スラグセメント

普通セメントの単純な構成割合は、Clinker 95% + Gypsum 5%となっており、その製造過程で排出されるCO<sub>2</sub>はインドの場合 0.93t-CO<sub>2</sub>/t-cement となっている。

スラグセメントの場合、構成割合は、Slag 47% + Clinker 48% + Gypsum 5% になっており、Slagは製鉄所の副産物でCO<sub>2</sub>排出量はカウントされないため、 $0.93 \times (1-0.47) = 0.49$  という値になり、それにグラインダーの電力使用量を加味して、インドでのスラグセメントのCO<sub>2</sub>排出量は平均 0.49 t-CO<sub>2</sub>/t-slag cement という値になっている。

#### (4) まとめ

以上背景をまとめると以下の様になる。

- 1) インドではエネルギーが不足しており、今後の発展のためには更なるエネルギー源の確保が必要である。しかし資金、環境問題などから大幅な改善は期待できない。
- 2) 自国資源として豊富な石炭の有効活用はインドの発展にとって重要課題であり、インドのレンガ製法を比較的進んだ製法技術で生産されたスラグセメントを使用した無焼成煉瓦に置き換えることはインドのエネルギー事情改善にとって極めて有意義である。

#### 1.2 ホスト国の概要

インドは現在中国に次ぐ人口約 11 億人を有する世界第2の大国である。1947年に英国より独立し、国内外に問題を抱えながら政治、経済等の分野において国際的にその重要度が増加してきている。

1980年代以降平均年率5.6%の実質GDP成長率で発展してきた。また特に1990年代以降豊富な人材を背景にIT産業が飛躍的に発展しており、同国の経済規模は世界12位、アジア第4位を占めるに至った。これらの過程でモーターリゼーションの急成長、電力消費量の急増化等を招き、この結果世界の国別CO<sub>2</sub>排出量は米国(24%)、中国(13%)、ロシア(6%)、日本(5%)、インド(4%)となり、インドは日本に次ぐ世界第5位の排出国となった。この様な経済発展により、近年インドは同様に発展著しいブラジル、ロシア、中国をあわせた「BRICs」と呼ばれる地域大国のひとつとして語られる様になった。現状では一人当たりGDPはロシア\$4,093、ブラジル\$3,417、中国\$1,269、インド\$608程度で高くはない。しかしながらBRICsは今後大きな経済成長を遂げると予測されており、この結果2050年には経済規模で中国、アメリカ、インド、日本、ブラジル、ロシアの順になると言われている。

インドと日本との関係を見ると、インドの貿易相手国としての日本は輸出(鉄鉱石、海産物などが主体)、輸入(一般機械、電子機器などが主体)において国別には10位前後に位置している。近年はIT技術が著しく発展しソフトウェアの輸出が伸びてきた(これは統計上貿易額の中に含まれていない)。今後これらの技術が工業製品の中に組み込まれていくなかで、同国からの輸出額が増加していく可能性がある。

この様にインドは将来の発展の可能性を秘めた国であり、日本にとって「中国の次」を見据えた視点からも同国との関係を深めていく必要がある。

### 1.3 ホスト国の CDM/JI の受入のクライテリアや DNA の設置状況など、CDM/JI に関する政策状況

- (1) インド国政府は CDM 事業に対し極めて積極的である。2003 年 12 月 MOEF(Ministry of Environment and Forest=環境森林省)に DNA を設置した。大蔵省、外務省、産業省、電力省などがメンバーである。以来 2005 年 11 月 15 日までに 181 件に対して政府承認を与えている。案件は種々の分野にわたっており、特にサトウキビ、モミガラ等を対象にしたバイオマス関係のプロジェクトが多い。
- (2) CDM に関する世界的な情報発信を手がけているノルウェーのポイントカーボン社が作成した CDM ホスト国の「rating」(評価付け)によると、インドは第 1 位にランクされている。インドの後にはチリ、ブラジル、中国などが続く。インドがこの様に評価されている理由と背景については以下のようにコメントされている。  
“インドは CDM プロジェクトのホスト国として、最も魅力的である。インドは政府承認案件数および PDD 数において、世界のリーダーである。同国にはこの制度についての知見を有しているプレイヤーも多い。しかしながら投資環境は比較的貧弱であり、事業実施段階では障壁も多い。また「追加性」において問題点を抱えるプロジェクトもある。”
- (3) 以上のように、インドは早い段階から官民挙げて CDM に積極的に取り組んできており、数多くの案件に政府承認を与えている。したがって当該案件についても問題なく政府承認が得られるものと推測される。

### 1.4 提案プロジェクトがホスト国の持続可能な開発へ貢献できる点・技術移転できる点

無焼成固化技術はすでに日本で商業化された技術であり、関東・中部・関西の 3 箇所で無焼成レンガが生産され、また中国地方で無焼成骨材が生産されている。いずれも廃棄物を再生する設備として現地生産されており、多種多様な廃棄物を受け入れることが可能で応用範囲が広く、技術移転は比較適容易である。また、インドはエネルギーが大幅に不足しており、提案プロジェクトは、現在石炭で焼成している既存レンガを、より CO2 排出量の少ないスラグセメントを使用した無焼成煉瓦に置き換えることで、石炭の使用をなくしエネルギーの有効利用への転換を図るとともに、原料に石炭灰などの廃棄物を使用することにより、天然資源の保全と処分場の延命、さらに主要部だけの設備導入により、労働力の確保と劣悪な労働環境の改善にも寄与しようという、極めて社会的貢献度が高く、持続可能社会構築への寄与度も大きい。

### 1.5 調査の実施体制 本調査においては、亀井製陶株式会社が報告書をまとめるが、日本、インドの下記機関に協力を依頼した。

#### (1)日本

- 1)協力機関 1:名古屋工業大学 ・役割: 現地原料および製品評価、燃焼試験他。
- 2)協力機関 2:丸紅 株式会社 ・役割: PDD作成支援および現地との連絡業務。
- 3)協力期間 3:東京電力株式会社 ・役割: 方法論等 CDM 情報提供。

## (2)インド

- 1)協力機関 1: Jypti Transformers & Electricals、オリッサ州サンバルプール市。  
・役割:インド側のCDM実施主体組織で、参加企業の情報整理と取りまとめ。

## 2.プロジェクトの立案

### 2.1 プロジェクトの具体的な内容

インドでは非効率焼成によるレンガが、推計で年間3,600億個製造されており、燃料として大量の低品位石炭が消費され、多くのCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじんが放出されている。また、製品そのものの品質も粗悪かつ不安定で、2001年に起きたインド西部地震の大きな被害要因にもなったと報告されており、レンガの原料となる粘土の大量採取による荒地化の問題や水資源が少ない国での地下水の大量消費も大きな問題となっている。現地調査の結果、このレンガ焼成に使われる石炭は年間144百万t以上ともなり、排出されるCO<sub>2</sub>は186百万t以上、またインド国産の石炭は灰分が多い(平均40%)ため、57百万t以上の浮遊粒状物質(SPM)が排出されていることが判明した。

無焼成レンガは石炭火力発電所などで発生する石炭灰などの廃棄物をそのまま原料としてリサイクル活用し、燃焼工程なしにスラグセメントおよび薬品による化学反応によりレンガを製造するもので、未利用資源の有効活用と環境保全、化石燃料の消費削減(又は転換活用:インドでは2007年には石炭火力発電所への供給不足が133Mtに上ると予測されている)、及び労働環境の改善に繋がる技術として期待でき、既に日本国内では各地で商業化されている。

インド国内のレンガメーカーは設備も建物も無く、組織としても国際的な直接取引が出来るほどの体を成していないため、現地カウンターパート: Jypti Transformers & Electricals社とともに、既設のレンガメーカーを買収または合併により、労働力と販売ルートを確保したうえで、既存レンガを「無焼成レンガ」に置き換えることを計画、それにより、

- ①石炭の消費を抑制(省エネルギー)
- ②原料の90%以上をフライアッシュなどの副産物を利用することによる資源保全(省資源)
- ③機械製造による安定的な品質の確保
- ④水資源の30%以上の節約
- ⑤1ライン(年間製造量約5800万個)でおおよそ年間30,000tのCO<sub>2</sub>削減が期待できる。

ことが判明。クレジットの獲得につながるCDM事業の可能性について、その採算性、実現性を調査することとした。

### 2.2 想定プロジェクト規模

- (1)参加企業数:18社
- (2)生産量 56,000,000個/年
- (3)設備費: 約3.2億円
- (6)CO<sub>2</sub>削減量:年間 3万トン
- (7)獲得クレジット:年間 3,450万円(CO<sub>2</sub> 1トン当たりUS\$10、IUS\$=115円として)

## 2.3 PDD の作成 別添和文概要版

## 2.4 プロジェクト実施による GHG 削減量及びリーケージ

- 1) CO<sub>2</sub> 削減量:年間約 3 万トン。10 年間では約 30 万トンとなる。
- 2) リークエージ:当該プロジェクトでは、新たな CO<sub>2</sub> 発生は無い。

## 2.5 モニタリング計画

本プロジェクトでは以下のモニタリングを実施する。

- ・プロジェクト・プラントにおける  $y$  年の電力消費量
- ・プロジェクト・プラントにおける  $y$  年のスラグセメント消費量
- ・9tトラックでプロジェクト・プラントに輸送されるスラグセメント量
- ・ $y$  年に 9tトラックでプロジェクト・プラントに輸送される石炭灰量
- ・ $y$  年に 9tトラックでプロジェクト・プラントに輸送される製鉄スラグ(sponge iron)量
- ・プロジェクト・プラントまで 9tトラックがセメントを運ぶ輸送距離(片道)
- ・石炭火力発電所からプロジェクト・プラントまで 9tトラックが石炭灰を運ぶ輸送距離(片道)
- ・プロジェクト・プラントまで 9tトラックが製鉄スラグ(sponge iron)を運ぶ輸送距離(片道)
- ・ $y$ 年における車両モード  $v$  ののべ走行距離

## 2.6 環境影響／その他の間接影響

当該プロジェクトが環境を悪化させる要素は存在しない。当プロジェクトにより、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん及び粉塵が減少して大気環境が改善される。また地下水の使用量も大幅に削減され、製造工程からは廃棄物や排水も出ないため全体的な環境改善効果は大きい。劣悪な労働環境の改善にも役立ち、結果として GHG が削減されるので、地球温暖化現象の改善にも結びつく。

## 2.7 利害関係者のコメント

地域住民、地方・中央政府関係者、参加企業経営者等からコメントを入手した。コメントは以下のとおりである。

### (1) 参加企業の経営者

CDMにより本プロジェクトが実現し、その結果 GHG が削減されることを希望している。PDD が早期に承認され、CER を担保に銀行からの融資が受けられ、我々が参加できることを期待している。

### (2) 近隣住民

プロジェクトにより地域の環境保全や雇用拡大、労働環境改善が期待できる。またレンガの品質が安定し地震などからの倒壊の恐れが無くなるよう期待したい。

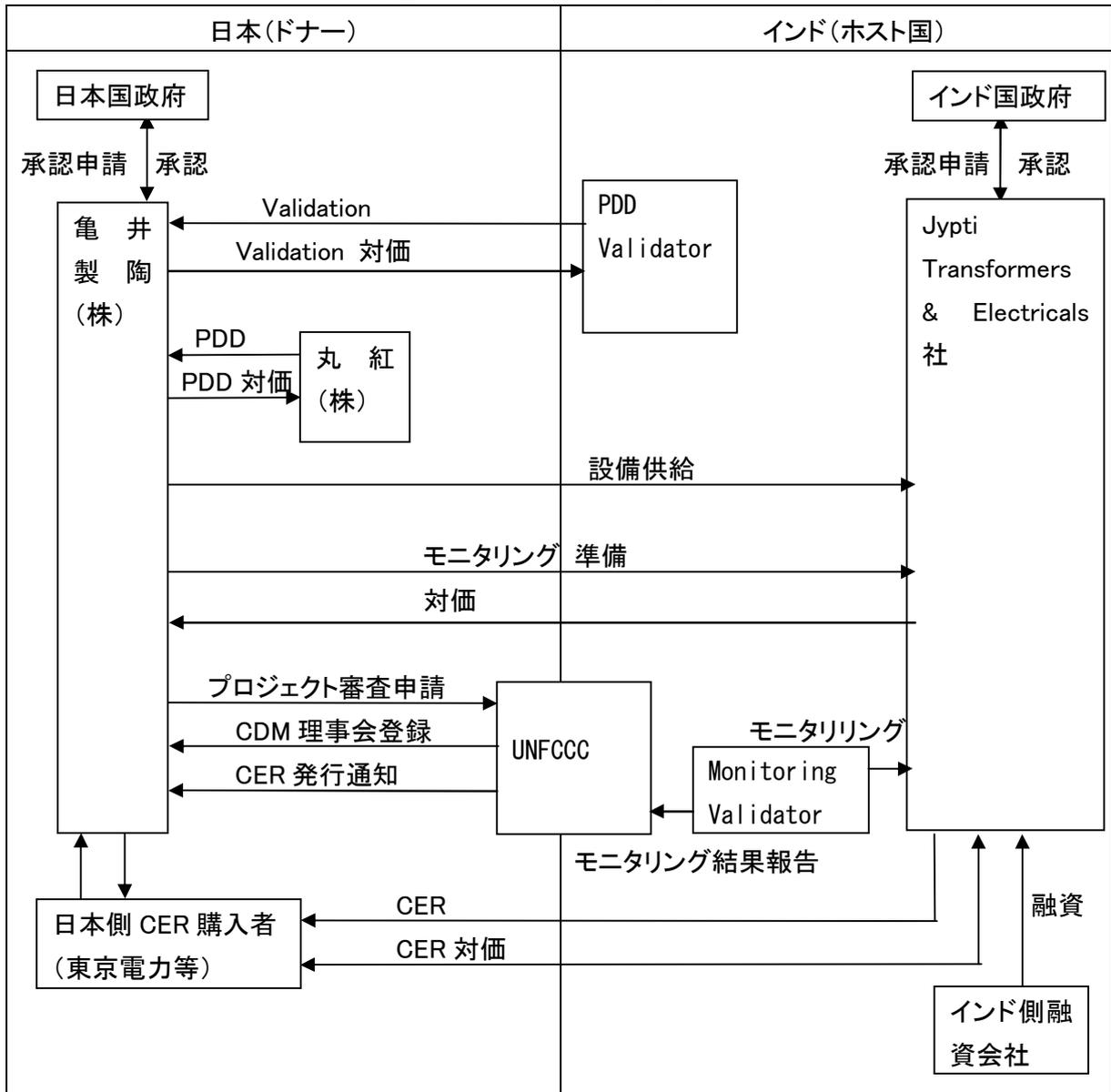
### (3) 地域、郡、州、中央政府

このプロジェクトによりインド全体の社会問題となっている石炭灰のリサイクル等環境保全が進み、レンガの質が安定することで、併せて生活全般の質が向上し、持続する発展が期待できる。

### 3. 事業化に向けて

#### 3.1 プロジェクトの実施体制(国内・ホスト国・その他)

以下に本プロジェクトの実施体制を示す。現状、具体的な投資者は決まっていない。



#### 3.2 プロジェクト実施のための資金計画

具体的な投資、融資計画は未定であるが、インド側としては、日本、インドから各 12.5%の投資を期待し、残り 75%を loan にて資金手当てしたい意向である。日本側の loan としては JBIC、商社、銀行等が考えられるが、CER 価格の将来動向との関連もあり、現状未定である。全体計画が確定した段階で検討予定である。

### 3.3 費用対効果

費用対効果を確認するために、財務分析(IRR 計算)を実施した。(末尾に計算書を添付)  
CDM 効果を確認するために、CER 価格を US\$ 0/t-CO2,US\$ 5/t-CO2,US\$ 10/t-CO2,  
US\$ 15/t-CO2 の4段階にて計算した。

IRR 計算結果

クレジット価格 (US\$/t-CO2)	税引前 IRR (%)	税引き後 IRR (%)
0	23.56	10.27
5	29.82	17.50
10	35.83	24.11
15	41.66	30.35

この結果、CER 価格が、一般に投資対象の基準となる 20~25%を上回っており、CDM 事業化は可能である。

また投資回収年を求めると表 4 となる。

投資回収年

クレジット価格 (US\$/t-CO2)	投資回収 (年)
0	3.7
5	3.1
10	2.7
15	2.3

投資回収年 = 建設費 / (年間売り上げ - 年間コスト)

投資回収年については、一般的な判断レベル(3.5 年前後)から見て基準を上回る。

### 3.4 具体的な事業化に向けての見込み・課題

現状では事業化は具体化していないが、当該調査が終了後も更に検討を重ね有効な条件を模索する。

### 4. バリデーション／デターミネーション

本調査においてはバリデーションを実施しないが、今後別途当社負担でバリデーションを実施予定である。

