

平成 19 年度 CDM / J I 事業調査

中国江蘇省におけるセメント廃熱回収利用発電事業調査（概要版）

1. プロジェクトの概要

本プロジェクトは、中国江蘇省にあるセメント会社の乾式法セメント生産ラインに排熱回収利用発電設備を導入するプロジェクトである。プロジェクトサイトは江蘇省鎮江市丹徒区と高資鎮に位置し、背後に五洲山、南に 243 省道、北に 312 国道に隣接する。鉱山、自社用鉄道、長江の万吨級埠頭を有し、交通は便利で、通信は完備されている。

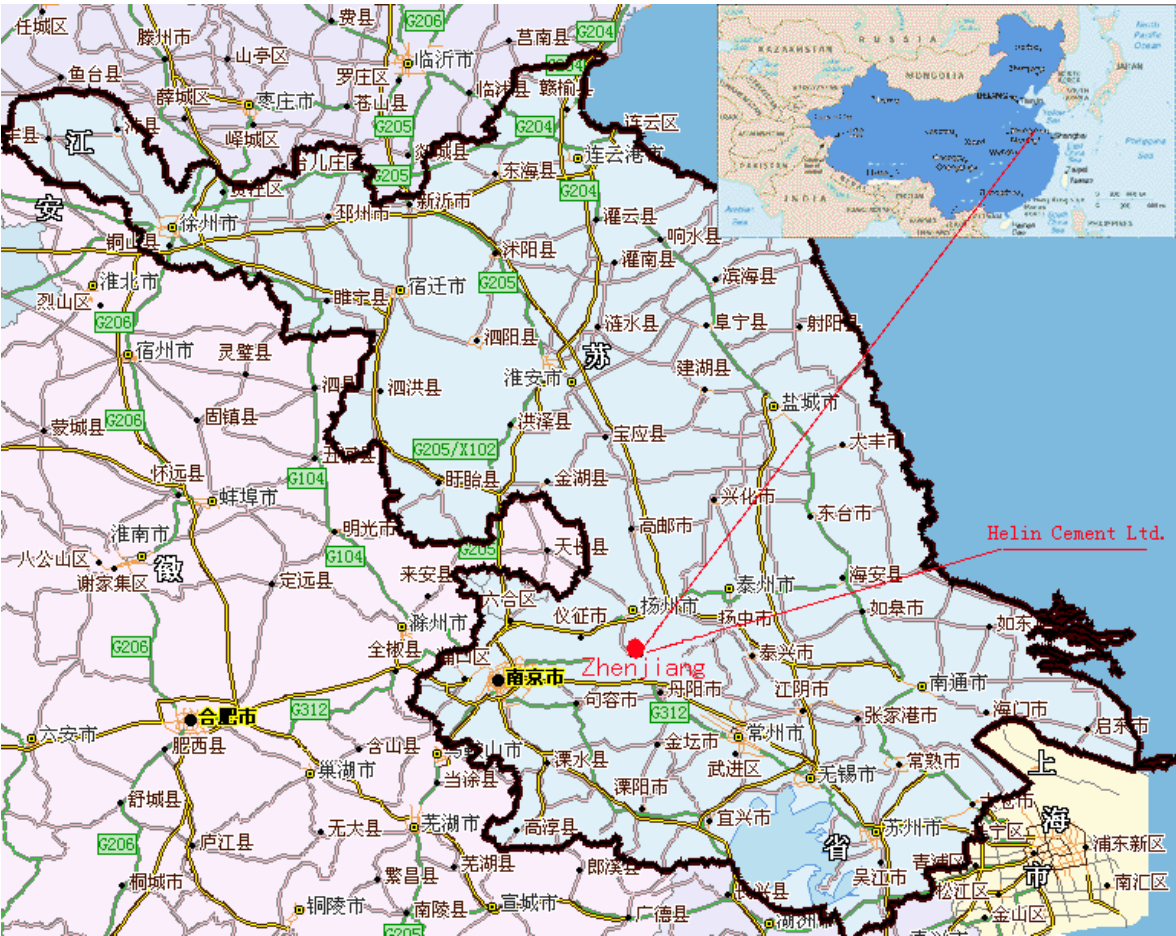


図 1 プロジェクトサイトの位置

セメント製造はいつかの工程に依存している。

原料の準備 → クリンカの粉碎 → 製造 → クリンカの貯蔵 → セメントの粉碎  
→ サイロへの貯蔵および出荷

セメント製造におけるエネルギーの大部分がクリンカの焼成工程で消費される。これには粉砕された原料をサイクロンヒーター搭載のプレヒーターの排気筒に通過させて、クリンカを製造するために立窯（シャフトキルン）に送り込み、その後これをクリンカ冷却装置で冷却する。廃熱は通常大気に放出されるが、このプロジェクト活動で提案されているように、ひとたび回収され発電に利用されれば、温室効果ガス排出量の大幅な削減が可能である。

この計画によれば、セメント製造技術とともに省エネルギーと廃熱回収の目的を達成するために、熱力学システムは次のように確認することができる。

最初のシステムで使用される技術は 4 基の熱回収ボイラーを組み合わせたものであり、セメント生産ラインの回転キルンの上部に設置されているコンデンサーの廃熱出口の中心に位置している。ボイラーの磨耗を少なくするために、AQC の前方に電力セパレーターを設置している。AQC は 2 つの部分に分けられている。ひとつは蒸気部で、もうひとつは熱水部である。キルンの先端には SP があり、廃熱プレヒーターの出口に設置されている。SP は蒸気部のみを備えている。2 つのセメント生産ラインの間には 15MW の復水蒸気タービン発電機が設置されている。もうひとつのシステムの処理方法は最初のシステムと同じである。

15MW 蒸気タービン発電機は次のように構築される見通しである。

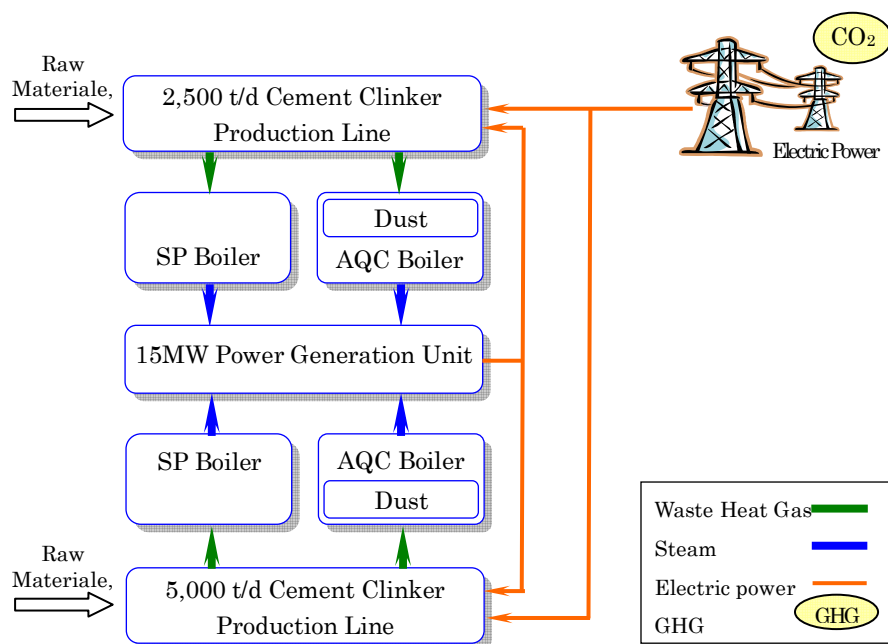


図 2 プロジェクト活動スキーム

(SP)が備えられた各キルンの「熱い」先端では、高温の廃熱回収ボイラーがクリンカの原料の加熱に使用されるサイクロンヒーターのひとつと置き換えられる。(ACQ)が備えられた各キルンの「冷たい」先端では、低温の廃熱回収ボイラーが冷却塔に置き換えられ、排気ガスを冷却し、また地方の貴重な水資源を節約するために使用される。

先述の 4 基の廃熱回収ボイラーによって過熱蒸気が発生し、機械室の主要な蒸気管に送られる。圧力および熱損失を考慮しなければ、蒸気タービンにおいて過熱蒸気が発生し、後に廃棄蒸気は凝縮されて水に戻る。凝縮は 2 基の廃熱回収ボイラーに供給され、これはシステム全体で構成されている。

## 2. プロジェクトバウンダリー・ベースラインの設定・追加性の証明

### 2.1. プロジェクトバウンダリー

	排出源	ガス	含む/含まない	正当性 / 説明
ベースライン	グリッド電力	CO <sub>2</sub>	含む	主要排出源
		CH <sub>4</sub>	含まない	保守的設定による簡素化のため
		N <sub>2</sub> O	含まない	保守的設定による簡素化のため
	所内発電	CO <sub>2</sub>	含む	主要排出源
		CH <sub>4</sub>	含まない	保守的設定による簡素化のため
		N <sub>2</sub> O	含まない	保守的設定による簡素化のため
プロジェクト活動	追加的な燃料消費	CO <sub>2</sub>	含む	主要排出源
		CH <sub>4</sub>	含まない	保守的設定による簡素化のため
		N <sub>2</sub> O	含まない	保守的設定による簡素化のため
	追加的な電力消費	CO <sub>2</sub>	含む	主要排出源
		CH <sub>4</sub>	含まない	保守的設定による簡素化のため
		N <sub>2</sub> O	含まない	保守的設定による簡素化のため
	廃ガスのクリーニング	CO <sub>2</sub>	含む	廃ガスのクリーニングが必要な場合のみ
		CH <sub>4</sub>	含まない	保守的設定による簡素化のため
		N <sub>2</sub> O	含まない	保守的設定による簡素化のため

## 2.2. プロジェクトベースラインの設定

承認済方法論 ACM0012 “Consolidated baseline methodology for waste gas and/or heat and/or pressure for power generation”に基づき、プロジェクトのベースラインを設定した。本プロジェクトは上記方法論の適用条件（化石燃料を用いて発電された電力の代替であり、プロジェクト実施後に廃ガス発生部分における燃料転換が存在しない）を満たしているため、ACM0012 が適用可能である。

なお、中国におけるセメント工場に対して、このプロジェクト活動を実施しなければならない法的拘束力は存在せず、セメント工場にキルンで発生した排ガスの廃熱回収を基盤とした発電プラントを導入する義務はない。またセメント製造業界に中国での廃熱回収発電を強制的に実施させる規制の導入計画も存在していない。中国の汚染管理局はセメント製造業者に大気中に放出される排ガスの塵埃量を一定の制限以内に抑えるよう求めているものの、これらの汚染管理局が求める基準はこのプロジェクトが実施されなくても達成できるものである。

本プロジェクトは、廃熱を発電目的のみに使用するものであり、CDM プロジェクト活動がない状態での代替シナリオは以下が考えられる：

### 代替シナリオ 1： CDM として行わないプロジェクト活動

プロジェクト実施者は、廃熱回収利用システムを用いた電力生成システムを適用する。このことは、全ての適用される法的要求および規制基準からの要求を全て遵守している。しかし、この代替プロジェクトは複数のバリアに直面しており、実現される可能性は低く、シナリオはベースラインとして不適切である。

### 代替シナリオ 2： 廃熱をすべて大気中に放出

廃熱を取り扱うセメント会社に共通の状況では、廃熱を大気中に放出することである。しかし、技術進歩により、これらの廃熱は電力生成に利用できるようになっている。この技術を用いれば化石燃料を消費して生成されるグリッドからの電力を代替することができ、温室効果ガスの削減、およびプロジェクト事業者の経費削減が可能となるが、追加投資が必要となる。仮に廃熱を大気中に放出するのであれば、プロジェクト事業者はグリッドから必要な電力を調達し続けることになる（本シナリオはベースラインの一部となる）。

### 代替シナリオ 3： 敷地内または敷地外に化石燃料起源の火力発電所を建設

大規模なグリッドでカバーされる地域において、化石燃料を利用した 135MW 以下の発電所を建設することは中国の電力発電法で禁じられている。かつ、ユニット単独で 100MW

以下の火力発電の建設は厳しく管理されている。このため、新たな化石燃料（石炭、石油、天然ガス）を用いた 15MWの火力発電所の建設は、国内法と規則の要求を破ることになる。このため、本代替シナリオはベースラインとして適切ではない。

#### **代替シナリオ 4： 敷地内または敷地外に再生可能エネルギー利用の発電所を建設**

プロジェクトサイトである鎮江市では、水力や風力などの再生可能エネルギー資源が不足している。このため、既設または新規の再生可能エネルギーからの電力利用はベースラインとして採用できない。

#### **代替シナリオ 5： グリッドからの電力購入**

プロジェクトサイトの周辺には、その廃熱を利用し得る産業設備は無く、潜在需要も存在しない。ここから、グリッドからの電力購入は、プロジェクト事業者にとって現状を維持することであり、追加投資が無く、新たな技術導入も無いことから、バリアは見られない。

上述した想定しうるベースラインの中で、廃熱を大気放出し華東グリッドから電力を購入し続けるシナリオ（代替シナリオ 5）が、プロジェクトベースラインシナリオとして最適と考えられる。

### **2.3. 追加性の実証**

このステップは、2007年11月30日付けの UNFCCC の文書「追加性の実証と評価のためのツール（バージョン 04）」に基づいている。業界の慣行に関連する情報やデータ、他の規制、およびプロジェクト関連の文書を追加性確立のために使用した。

#### **2.3.1. プロジェクト活動の代替案の特定**

プロジェクトの提案者は、プロジェクト活動に対して現実的かつ信用のおける代替案を定義することが要求される。前段で述べたように、代替シナリオ5は、CDMプロジェクト活動が無かった場合のベースラインとして適切である。

#### **2.3.2. 投資分析**

本ステップの目的は、CERの売却による追加的な収入を考慮しなければ、プロジェクト活動が経済的または財務的に、その他の代替プロジェクトと比較して魅力的でないか否かを決定するものである。

本プロジェクトではOptionIIIのベンチマーク分析を採用した。

基準となるベンチマークとしては、中国の「Economic Assessment method and parameter of Construction Projects by SDPC and MOC」における素材産業の建設時の税引き後 Internal Rate of Return (IRR)基準値である 12%を参照する。現在、中国におけるセメントプロジェクトにおいては、内部収益率による評価が主として行われている。

発電による収入はプラントで産みだされる発電量とセメント会社が華東グリッドから購入する電力料金で計算されている。生産ラインが24時間稼動することを考慮し、我々は江蘇省の電力料金システムの平均を収入の計算の基盤として使用した。江蘇省の電力料金システムは以下の通りとなっている。

項目	時間	料金 (税込み、 単位：中国元)
オンピーク時の電力	8:00~12:00 および 17:00~21:00	0.845
通常時の電力	12:00~17:00 および 21:00~24:00	0.507
オフピーク時の電力	0:00~8:00	0.229

なお、プロジェクト活動は事業主体のセメント会社に属するため、その売電価格には何らかのディスカウントが設けられるはずである。従って、最終的な電力価格は江蘇省電力システム平均価格の85%を用いることとした。

また、稼働経験に従い、稼働時間は年間7,200時間、稼働率を96%、および低温廃熱発電プラント内の電力消費を発電全体の6%と設定した。これらは保守的に見積もったものである。その他の分析条件を以下に示す。

- 設備容量：15MW
- 年間想定発電量：98.14GWh
- プロジェクト期間：20年
- 総投資額：89.51 百万元
- 想定される売電価格：0.45元/kWh
- 想定される熱販売価格：35元/ton steam
- 税金：法人税33%；付加価値税17%（そのほか、都市建設維持税として付加価値税の7%、教育付加税として付加価値税の3%が課せられる）
- クレジット期間：11年

本プロジェクトのIRRを計算した結果を下表に示す。なお、本プロジェクトにおいて最も敏感にIRRへ影響を与えるファクターは、電力販売価格である。そこで電力価格が10%変動する想定をおいた場合の感度分析も実施した。

Description	投資回収年（税込み）	プロジェクトIRR
Project Activity	9.2年	9.7%
Project Activity (+10% electricity power price)	7.8年	12.9%
Project Activity (-10% electricity power price)	11.54年	5.9%

電力価格が10%増加すると想定した場合、プロジェクトIRRは12%を上回る。中国における供給サイドへのニーズによれば、電力価格は安定しており大幅な増加は想像しにくい。ここから、電力価格が10%上昇するという本シナリオは、保守的な想定である。上記の感度分析結果から、電力価格が現実的な範囲で変動する場合、プロジェクト活動がベンチマークと比較して魅力的でないといえる。

### 2.3.3. バリア分析

ベースラインと比較し、本プロジェクトの実施には以下のバリアが存在するため、追加性があるといえる。

バリア	適用可能かどうか	詳細な説明
技術的バリア	可能	このプロジェクトは大規模なセメント工場に設置された熱回収ボイラーとタービンに関する世界的に有名なコンセプトの初期の例である。このセメント工場に設置されている装置は国内の設計所が開発し国内で製造されたものである。このプロジェクトのバリアは 2 つの主なカテゴリーに分類される。ひとつは特別な熱回収ボイラーと(フラッシュスチームの噴出を受け入れる 2 番目の入口を有する点で特別な)蒸気タービンを設計する上で本来備わっている設計上のリスクであり、もうひとつはこのような新しい装置を製造し設置することに伴うリスクである。このプロジェクトのオーナーはプロジェクト活動を進める上で少なからずリスクを抱えており、CDM はプロジェクト活動による収益の増加を通じてこれらのリスクを埋め合わせるができる。

投資のバリア	可能	プロジェクト活動に必要な装置の資本費用はベースラインよりもはるかに多い。CDM はプロジェクト活動の収益増加を図ることによって当グループがこの障壁を乗り越える支援が可能である。
その他のバリア	可能	プロジェクト実施企業の従業員は技術革新を伴う廃熱回収を基盤とした発電所の開発や運営に必要な技術的背景が欠如しており、プロジェクト活動を実施するためには外部から専門知識を導入する必要がある。セメント工場の従業員はさまざまなレベルでプロジェクト活動の実施、運営、および維持に関する訓練を受ける必要があるだろう。

### 3. GHG 削減量

#### 3.1. プロジェクト排出量

本プロジェクトは廃熱を利用して発生させた蒸気でタービンを回転させ発電するため、化石燃料は使用せずプロジェクト排出量は存在しない。

なお、プロジェクト実施前後で燃料消費量に差が生じた場合は、その差分の燃料消費量からの排出量を考慮する。

#### 3.2. ベースライン排出量

ACM0012に基づく、通常電力代替にともなうベースライン排出量計算式は以下の通りとなる：

$$BE_{Elec,y} = f_{cap} * f_{wg} * \sum \sum (EG_{i,j,y} * EF_{Elec,i,j,y})$$

$BE_{Elec,y}$ ：電力代替に伴うベースライン排出量

$EG_{i,j,y}$ ：工場施設へ供給される年間発電量 (MWh)

$EF_{Elec,i,j,y}$ ：グリッドの排出係数 (tCO<sub>2</sub>/MWh)

$f_{wg}$ ：プロジェクト活動における発電量のうち、廃熱を用いた発電割合

$f_{cap}$ ：プロジェクト活動中の廃熱発生量のベースライン時からの増減比

本プロジェクトでは、純粋に廃熱のみで発電し、かつ廃熱発生量はベースラインから変



動がないことから、 $f_{wg}$  および  $f_{cap}$  を考慮する必要はない。従ってベースライン排出量は、単純に以下の式で計算することができる。

$$BE_{electricity,y} = EG_y \cdot EF_{electricity,y}$$

事業主体のセメント工場の稼働実績を参照した上で、保守的に発電設備の稼働日数を年間300日と設定した。設備の発電容量15MWの平均出力を14.5MWとして計算すると、年間の発電量は104.4GWhと計算される。ここから、設備内での電力消費量として6%を差し引いた数値がネットの電力供給量となる。従って、

$$EG_y = 104.4\text{GWh} \times 94\% = 98.14\text{GWh}$$

また、グリッドの排出係数は「Tool to calculate the emission factor for an electricity system (Version 01, EB 35, Annex 12 19 October 2007)」に基づいて計算する必要がある。その計算式は以下の通り：

$$EF_y = w_{OM} \cdot EF_{OM,y} + w_{BM} \cdot EF_{BM,y}$$

$w_{OM,y}$ ：オペレーティング・マージンの割合

$EF_{OM,y}$ ：オペレーティング・マージンの排出係数

$w_{BM,y}$ ：ビルド・マージンの割合

$EF_{BM,y}$ ：ビルド・マージンの排出係数

最新データに基づくOMおよびBMの排出係数は以下の通りである：

$$EF_{OM,y} = 0.9421$$

$$EF_{BM,y} = 0.8672$$

また、本プロジェクトは再生可能エネルギー利用の発電ではないため、OMおよびBMの割合は以下の通りとなる：

$$w_{OM} = 0.5$$

$$w_{BM} = 0.5$$

以上より算出される排出係数は、

$$EF_y = 0.9047$$

となり、ベースライン排出量は

$$BE_{electricity,y} = 88,782 \text{ tCO}_2\text{e}$$

となる。

### 3.3. リークージ排出量

本プロジェクトからのリークージは特に存在しない。

### 3.4. プロジェクトによる排出削減量

プロジェクトによる排出削減量は以下のとおり。なお、初年度は保守的に90%の稼働率を想定している。

年	排出削減量 (tCO <sub>2</sub> e)
2009	79,904
2010	88,782
2011	88,782
2012	88,782
合計 (tCO <sub>2</sub> e)	346,255

## 4. モニタリング

本プロジェクトで想定しているモニタリング・ポイントを以下に示す。

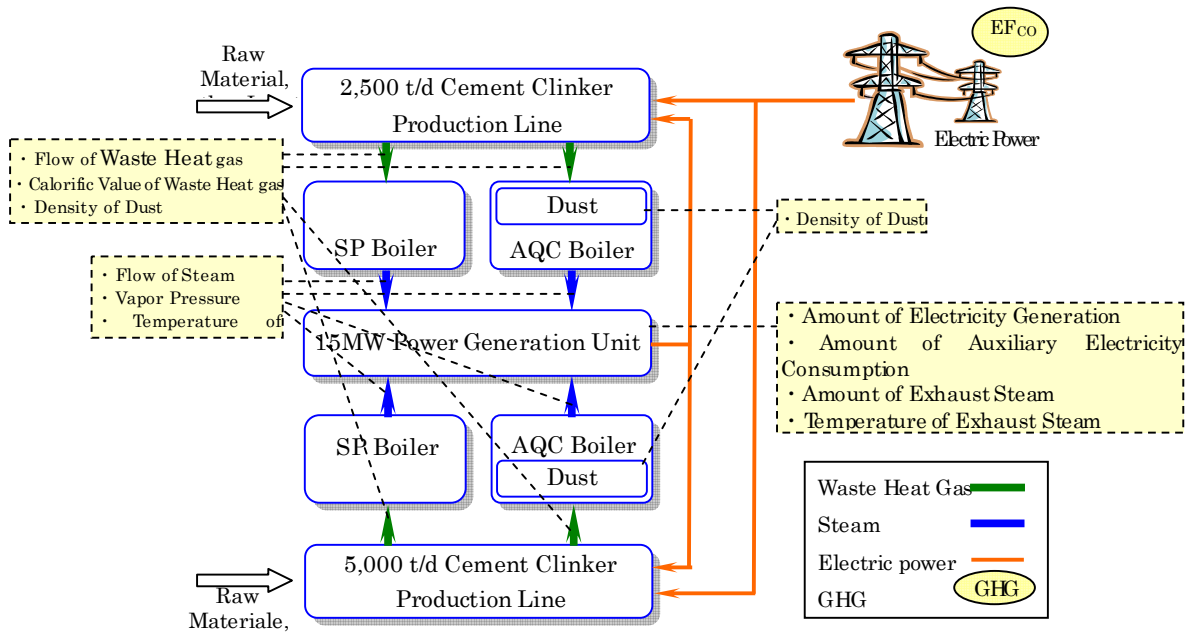


図3 想定されるモニタリングポイント

## 5. 環境影響等

本報告は、2007年8月版の江蘇省政府に提出されたFS報告書にもとづいて作成されている。現在得ている情報によれば、本FS報告書では、省政府の最終承認を得られなかったために、指摘事項を中心に事業内容の一部変更を行ったとのこと。これにより、再度作成したFS報告書を政府に提出し、最終承認を待っている状況にある。環境影響評価など一連の作業は実施済みであるが、承認が得られていない状況である。なお、実施済の環境影響評価の結論としては、プロジェクトを実施することによって温室効果ガスを削減するだけでなく、環境に対して便益を及ぼすことが確認されている。

## 6. 事業化に向けて

当プロジェクト建設の総投資はUS\$1,200万で、企業自身が調達する。融資も含め、資金調達の目処はついている。

なお、クレジット収益がない場合、本プロジェクトのIRRは9.7%しかなく、経済的に十分魅力であるとはいえない。しかし、CDM化を実現させ、CERを売却すれば、下表のとおりプロジェクトIRRはベンチマーク以上となり、魅力的となる。

	クレジット収益 なし	クレジット単価 9ドル/tCO <sub>2</sub>	クレジット単価 10ドル/tCO <sub>2</sub>	クレジット単価 11ドル/tCO <sub>2</sub>
投資回収年	9.2年	7.4年	7.2年	7.0年
プロジェクトIRR	9.7%	14.1%	14.6%	15%

このように、本プロジェクト活動を通じたCERの売却益によって、事業の経済性が改善されることは明らかである。