

省エネ技術の移転を促進するポスト京都枠組み制度設計に関する研究

2009年3月修了 環境システム学専攻

指導教員：松橋 隆治 教授

76765 鄭 琳

Keyword: post-Kyoto, CDM, technology transfer, real option

1. 序論

2013年以降の温室効果ガス削減枠組みをめぐる国際交渉では、途上国の積極的な削減行動を促す制度が求められている。先進国からの省エネ技術の移転と資金援助は、途上国にとって大きな参加インセンティブの一つである。京都議定書で策定されたクリーン開発メカニズム（CDM）が技術移転を促進する有効な手段とされていたが、現状では CDM プロジェクトの申請登録期間の長期化および技術移転を伴う案件数の低迷が問題となっている。

本研究の目的は、これらの問題の原因を解明し、得られた知見を用いてポスト京都の技術移転促進制度を提案することである。

既存研究と比べ、本研究の特徴は、統計実績による定量的な分析を行うこと、事業投資側の観点を取り入れること、および解明した問題点に基づいた新たな制度を提案することが挙げられる。

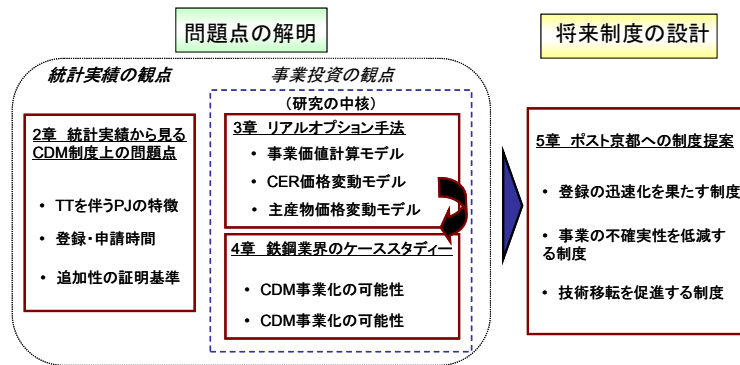


図 1. 本研究の全体像

2. 統計実績から見る CDM の問題点

CDM プロジェクトの申請から理事会に登録するまでの所要時間が長くなる傾向が見られる。これは CDM の活性化を阻害する大きな問題となっている。UNEP が作成した CDM pipeline の統計データを利用して、問題点の原因には以下の 2 つがあると分析する。

2.1. CDM 理事会のキャパシティ不足

図 2.には有効化申請の案件数と登録するまでの平均所要時間推移を示す。申請案件数の変動に従い、登録する所要時間が変動する両者の相関関係が明らかである。CDM 理事会は、ますます増加していく新規申請案件に対応しきれず、多くの有望プロジェクトが待ち行列におかれる結果となった。そのため、プロジェクトの申請から登録するまでに所要する平均時間が長くなり、制度の効率低下を招いた。

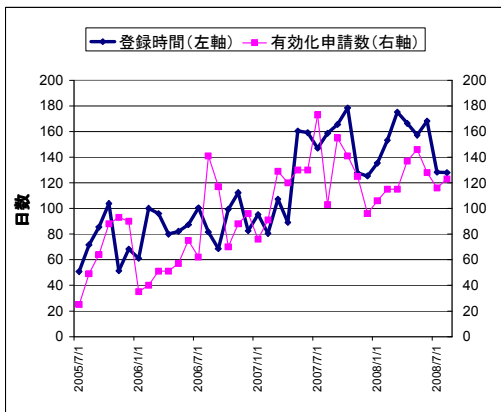


図 2. 登録所要時間と申請案件数推移

2.2. 審査基準は柔軟性が欠ける

現行の「ベースライン・シナリオ」および「追加性」の審査基準は、CDM の「質」を保つことで有効なアプローチではあるが、一方で省エ

ネ技術関連プロジェクトのように、BAU 時の収益性が低く、周辺への環境影響が軽微であるものについて、追加性は証明するまでもなく、むしろ「自明」だと言える。全てのプロジェクトに対し、一律な審査基準を採用することは、早期登録が可能であるものにとって無駄な待ち時間が生じることを意味する。

3. リアルオプション法と CDM への応用

3.1. リアルオプションの基本

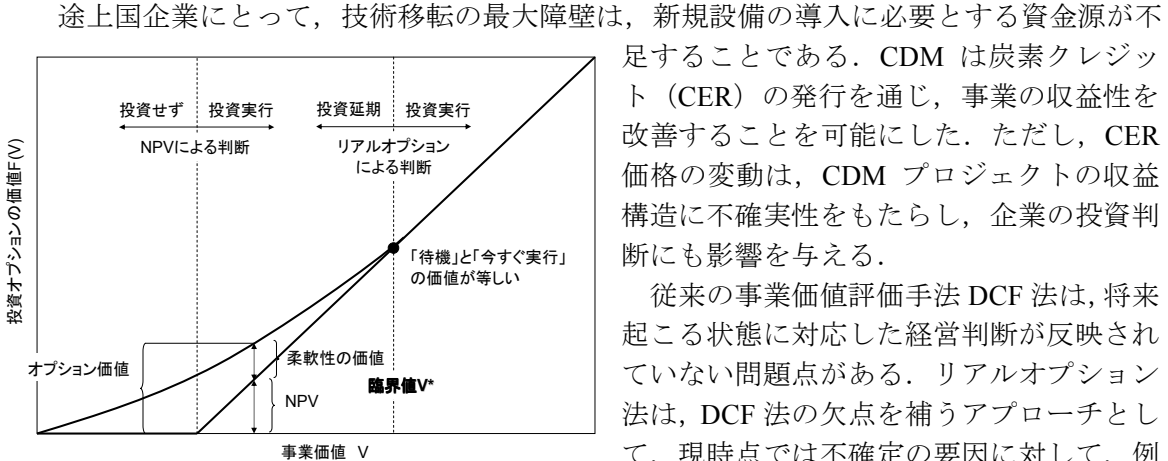


図 3. リアルオプションの概念図

事業価値 V は幾何ブラウン運動に従うと仮定すると、

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dZ = \alpha V dt + \sigma V \varepsilon \sqrt{dt} \quad (1)$$

ここで、 ε は標準正規分布、 α, σ はそれぞれ V の期待変化率、ボラティリティを表す。

DCF 法では NPV が 0 より大きいときに投資可能とするが、リアルオプション法の場合、事業価値 V が臨界値 V^* を超えた場合のみ投資可能とする。それ以外の場合は、投資を待機することによって、将来より高い事業価値を獲得できる。初期投資額を I と仮定し、臨界収益率 V^*/I は、式(2)、(3)で表される。

$$V^*/I = \beta/(\beta-1) \quad (2) \quad , \quad \beta = 1/2 - (r-\delta)/\sigma^2 + \sqrt{[(r-\delta)/\sigma^2 - 1/2]^2 + 2r/\sigma^2} \quad (3)$$

ここで、 r はリスクフリーレート、 δ はコンビニエンスイールドといいプロジェクト資産をすぐに実施することにより得られる便益を表す^[2]。

3.2. CER 価格変動モデル

CDM プロジェクトは主産物収入やクレジット価格等の不確定要素を含んでおり、その収益性評価には、リアルオプション法が適している。本研究は、CER の価格変動を、幾何ブラウン運動と仮定し、式 (4) のように表現した。なお、確率変数 CER 価格 $P(t)$ に対し、 μ はドリフト成長率、 σ は CER 価格のボラティリティである。ヨーロッパ気候取引所 (ECX) および複数の排出権取引ブローカから入手したヒストリカルデータに基づき計算

$$d \ln P(t) = \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dB(t), \quad (4)$$

if $P(0) = P_0$

$$E[P(t)] = P_0 e^{\mu t} \quad V[P(t)] = P_0^2 e^{2\mu t} (e^{\sigma^2 t} - 1)$$

↓

$$\mu = e^{\frac{\ln \left(\frac{y(t_i)}{y(t_{i-1})} \right)}{t_i - t_{i-1}}} - 1 \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{y(t_i) - y(t_{i-1})}{y(t_{i-1})} - \frac{y(t_i) - y(t_{i-1})}{y(t_{i-1})} \right\}^2} \quad (6)$$

した結果、 $\mu=0.187$ 、 $\sigma=38\%$ となる。

4. 鉄鋼業界におけるケーススタディー

日本鉄鋼業界の代表省エネ技術が CDM 化することを想定し、ケーススタディーを行う。これらの技術は日本国内での普及率が 90%以上に対し、途上国での普及率が 20%前後のものが多い。表 1. は各技術の経済指標と CO₂削減ポテンシャルを示す。

事業価値は主産物収入と CER の収入から成り立つと仮定し、モンテカルロシミュレーションにより、プロジェクトの期待収益率と臨界収益率を算出した。

表 1. 鉄鋼業界代表省エネ技術の経済性指標

	初期投資 (百万円)	CER収入 予測値 (百万円/年)	主産物収入 予測値 (百万円/年)	減価償却 (百万円/年)	ランニング コスト (百万円/年)
CDQ	3500	66	970	270	150
高炉微粉炭吹き込み法(中規模)	2000	62	82	135	75
焼結プラント・コークス炉の排熱回収	350	20	97	27	15
転炉ガス回収	1000	18	72	90	50
TRT	1800	69	1000	126	70
連続鋳造	3500	26	180	180	100
熱片装入および直送圧延設備	250	6	25	18	10
蓄熱バーナ式加熱炉	10	5	18	0.81	0.45
電気炉用原料予熱装置(SPH)	700	9	126	54	30

4.1. CER 収入がない場合

まず、CER 収入がない場合、各技術の投資可能性を表 2. に示す。期待収益率が臨界収益率を超えた場合、直ちに投資をすべきである。表の中では、CDQ (コークス乾式消火設備)、焼結プラントコークス炉の廃熱回収、TRT (高炉炉頂圧ガス回収発電)、蓄熱バーナ式加熱炉は CER 収入がなくても投資できる結果を得た。

表 2. CER 収入がない場合の投資判断

技術項目	モンテカルロシミュレーション		臨界収益率	期待収益率	投資判断
	事業価値期待値 (百万円)	事業価値 ボラティリティ			
CDQ	3.9E+03	5%	1.03	1.12	○
高炉微粉炭吹き込み法 (中規模)	1.8E+02	13%	1.23	0.09	×
焼結プラントコークス炉の 排熱回収	6.0E+02	3%	1.02	1.70	○
転炉ガス回収	4.4E+01	39%	2.54	0.04	×
TRT	5.1E+03	4%	1.02	2.85	○
連続鋳造	-7.2E+02	N/A	0.01	N/A	×
熱片装入および直送圧 延設備	7.9E+01	6%	1.06	0.31	×
蓄熱バーナ式加熱炉	1.6E+02	2%	1.01	15.79	○
電気炉用原料予熱装置 (SPH)	3.6E+02	6%	1.06	0.51	×

4.2. CER 収入がある場合

表 3. に CER 収入が発生した場合、各技術の投資可能性を示している。従来の考えでは、追加的な収入によって、企業の投資インセンティブが増加すると予測される。しかし、CDQ とコークス炉の廃熱回収の 2 つの技術に関して、期待収益率が臨界収益率を下回っており、CER 収入がない場合の直ちに投資すべき状態から、投資を延期する状態となった。このような変化が起こる理由は、高い CER ボラティリティによって、事業価値のボラティリティが上昇し、臨界収益率を押し上げるからである。企業が合理的な判断に基づき、投資を延期することで、より高い事業価値を求めるが、結果的に省エネ技術の移転と普及が停滞してしまう。以上の分析から、CER の高いボラティリティこそが、CDM プロジェクトの活性化を阻害する原因であると結論する。

表 3. CER 収入がある場合の投資判断

技術項目	モンテカルロシミュレーション		臨界収益率	期待収益率	投資判断
	事業価値期待値 (百万円)	事業価値 ボラティリティ			
CDQ	5.2E+03	38%	2.47	1.48	△
高炉微粉炭吹き込み法(中規模)	1.4E+03	156%	22.37	0.71	×
焼結プラント・コークス炉の排熱回収	9.9E+02	61%	4.53	2.83	△
転炉ガス回収	4.1E+02	153%	21.86	0.41	×
TRT	6.5E+03	32%	2.1	3.59	○
連続鋳造	-2.1E+02	N/A	0.01	-0.06	×
熱片装入および直送圧延設備	2.1E+02	111%	12.4	0.82	×
蓄熱バーナ式加熱炉	2.5E+02	56%	4.01	25.10	○
電気炉用原料予熱装置(SPH)	5.2E+02	49%	3.3	0.75	×

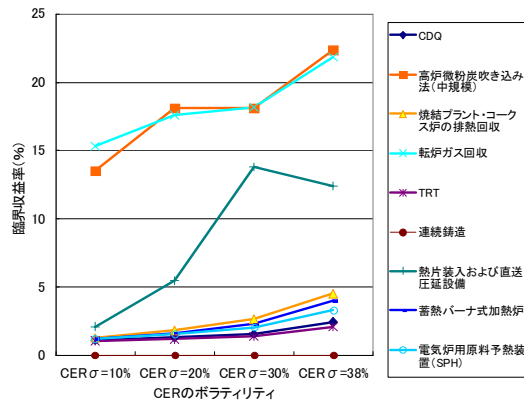


図 4 CER ボラティリティの感度分析

4.3. CER ボラティリティの感度分析

CER 価格のボラティリティ σ が 10%, 20%, 30% の場合, 臨界収益率の変化を図 4 に示す. σ の増加にしたがって, 臨界収益率が増加することが分かる. また, 異なる技術は σ の変化に対する敏感度も差がある. これは, CER 収入が各事業価値に占める割合が違うからである. CER 収入の割合が高いほど, 収益率の上昇勾配が高いと結論できる.

5. ポスト京都への制度提案

以上の分析によって, CDM において省エネ技術の移転を阻害する要因を明確にした. これらの要因を考慮し, ポスト京都の制度として以下の提案をする.

(1) 省エネ技術の移転ポテンシャルが高いと見られるエネルギー多消費産業において, セクター内の各企業の削減数値目標を設定し, CDM プロジェクトを実施する制度を設立する. (2) CDM の候補となる技術データベースを事前に策定し, CDM への登録承認基準は移転される技術の内容だけに限定することで, 審査手続きの簡便化を実現する. 先進国企業は省エネ技術を途上国企業へ移転することによって, CER を獲得することができ, それを自社の排出削減目標の一部とみなすことができる. 途上国企業は, 先進国からの技術移転を受け, 自社の原単位を改善できるインセンティブがある. (3) 従来の CDM と異なり, 各技術に対応する CER 価格は, 専門家と業界関係者によってある具体値 (あるいは上限と下限のある変動バンド) に設定する. それによって, CER 価格のボラティリティが抑制され, CDM プロジェクトへの投資が活性化になると考えられる.

6. 結論

統計実績の分析から, CDM 理事会の能力不足と審査基準の柔軟性の欠如は, プロジェクトの登録所要時間が長期化した原因であることを明らかにした.

事業投資側の観点から, 高い CER 価格ボラティリティは事業価値の不確実性を増加させ, そのために投資判断の閾値—臨界収益率も増加し, 企業は CDM への投資を延期することを選択する. 結果的に, 技術移転ができるプロジェクトは停滞してしまうメカニズムを明らかにした. 上記の問題意識を持ち, ポスト京都への提案を行った. 提案の特徴として, CO2 削減ポテンシャルと技術移転のポテンシャルがともに大きいエネルギー多消費産業において, (1) セクター別 CDM を実施すること (2) 承認基準は, 技術ベースであること, (3) CER 価格は技術ごとに対応して, 一定の範囲に限定することが挙げられる. この提案は, 日本が主張したセクター別アプローチのいっそう具体化的な形で, 今後の国際交渉に貢献できることを期待する.

参考文献

- [1] 松本陽介, リアルオプション法を用いた不確実性下における CDM プロジェクトの評価, 東京大学大学院新領域創成科学研究科修士論文(2004)
- [2] ディキスト&ピンディク, 投資決定理論とリアルオプション—不確実性のもとでの投資, エコノミスト社 (2002)