

論文の内容の要旨

論文題目 開発途上国における都市廃棄物管理への
クリーン開発メカニズム導入に関する研究

氏名 平松 あい

1. 研究の背景と目的

クリーン開発メカニズム (CDM) は、京都議定書に定められた経済的手段である京都メカニズムの一つである (図 1)。附属書 I 国 (先進国) が投資国となってホスト国である非附属書 I 国 (開発途上国) に資金と技術を移転し、ホスト国内で温室効果ガス (GHG) 削減プロジェクトを行い、その削減量に応じた削減分の一部を認証排出削減量 (CER) として獲得し自国の削減量とすることを認める制度である。これによって、全体としてより経済的に GHG を削減することが可能となる。途上国における持続可能な発展と、先進国の目標達成への貢献という二つの大きな目的を持ち、先進国は削減分を目標達成に活用でき、途上国は投資と技術移転の機会として活用できるというメリットがある。開発途上国における GHG 排出の 1 つに、一般廃棄物の開放投棄または埋立によるメタン発生があげられる。同時に廃棄物による環境汚染や健康被害は深刻であり早急な対策が必要であるが、途上国では法制度の未発達や財源・人材・技術の不足、開発優先等の理由でなかなか進んでいない。そこでクレジット獲得のための GHG 削減にのみ注目しがちな CDM をより適切に活用することで、その他の環境保全や

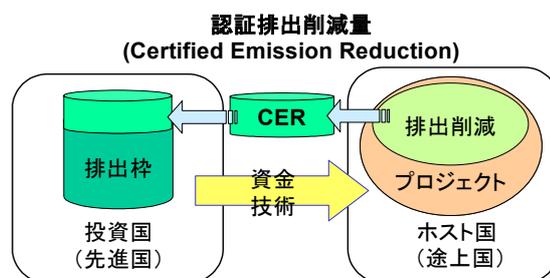


図 1 クリーン開発メカニズムの仕組み

持続可能な開発への寄与が可能になると考えられる。しかし、CDM の大きな目的であり要件である「追加性」と「持続可能な開発への寄与」については未だ不確実なところが大きい(図2)。追加性は認証されたプロジェクトが行われない場合(ベースライン)と比較して追加的な GHG 排出削減がなければならないというものだが、ベースライン設定の方法論については公式的に確立されていない。持続可能な開発への寄与についても一定の基準や評価指標などは国際的に定められておらず、最終的には途上国の判断による。よって各自が利益を追求するあまり CDM が公正に行われない可能性もある。一方で CDM は基本的に民間投資で行われるため、資金的に成立たなければ継続しない。

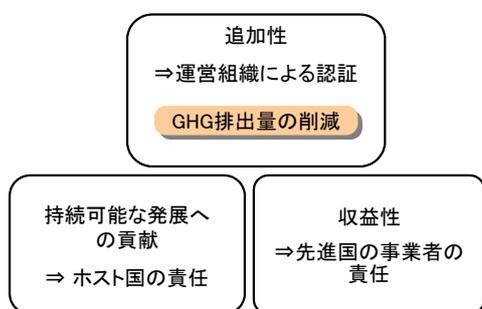


図2 CDM に関わる要件

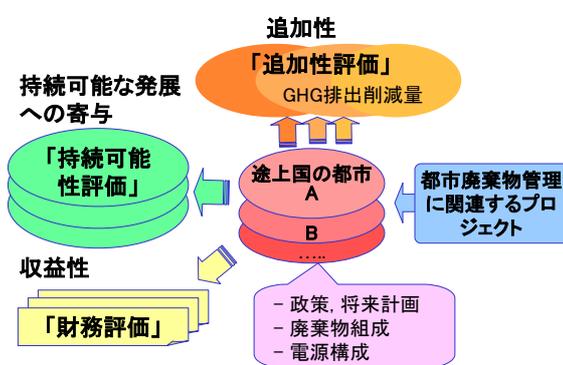


図3 研究の構成

本研究では、開発途上国の廃棄物管理に焦点をあて、適切な CDM プロジェクト実施のため地域性を加味した多面的な評価を行うことを目的とする。地域・技術による違いに注目して追加性評価、持続可能性評価、財務評価を行い、現 CDM 制度の単純な運用に限らない拡張した視野で検討を行う(図3)。本研究で扱う対象モデル都市、廃棄物処理・処分技術オプションについて表1に示した。都市は気候、処理計画、電源構成等に異なる特徴をもち、汎用性が得られるようにした。

表1 本研究の対象モデル都市ととりあげた廃棄物処理・処分技術

対象モデル都市	廃棄物処理・処分技術オプション
- 北京 (中国)	- 改良型嫌氣的衛生埋立メタン回収・発電 (以下、メタン回収)
- バンコク (タイ)	- 準好気性または好気性埋立
- サンパウロ (ブラジル)	- 廃棄物発電
	- コンポスト
	- メタン発酵

2. 追加性評価、持続可能性評価、財務評価に関するケーススタディ

追加性評価では、現在の技術、政策を考慮して、廃棄物の処理段階と発電段階に分けて各都市のベースラインを設定し、プロジェクトによる GHG 排出削減量を算出した。北京、バンコク、サンパウロでの大きな特徴の違いは、廃棄物処理方法（埋立処分、焼却処理）と電源構成（主な燃料源は順に石炭、天然ガス、水力）である。表 2, 3 ではプロジェクト期間を設定せず廃棄物 1 トン当りの GHG 排出削減ポテンシャルを計算している。

表 2 メタン回収を導入する場合の各ベースライン・オプションでの GHG 排出削減量

ベースライン・オプション			改良型嫌氣的衛生埋立メタン回収・発電プロジェクト (Landfill-EngyRcvry)		
処理段階	発電段階	図での略語	北京	バンコク	サンパウロ
現状の主要処理・処分方法	現状の主要電源	W: Main/P: Main	609	645	523
	現状の全重み付け平均	W: Main/P: Avrg total	579	660	533
	現状の化石燃料の重み付け平均	W: Main/P: Avrg fossil	607	669	711
	現状の主要電源の効率向上	W: Main/P: Main eff-up	577	619	523
	化石燃料の効率向上とし重み付け平均	W: Main/P: fossil eff-up	576	639	677
	計画中の技術がBL	W: Main/P: Plan	577	-	673
将来計画の処理・処分方法	現状の主要電源	W: Plan/P: Main	-	445	238
	現状の全重み付け平均	W: Plan/P: Avrg total	-	460	247
	現状の化石燃料の重み付け平均	W: Plan/P: Avrg fossil	-	468	425
	現状の主要電源の効率向上	W: Plan/P: Main eff-up	-	419	238
	化石燃料の効率向上とし重み付け平均	W: Plan/P: Fossil eff-up	-	438	391
	計画中の技術がBL	W: Plan./P: Plan	-	-	387

表 3 廃棄物発電を導入する場合の各ベースライン・オプションでの GHG 排出削減量

ベースライン・オプション	廃棄物発電プロジェクト					
	従来型発電(Incineration-conv)			高効率発電(Incineration-high)		
図での略語	北京	バンコク	サンパウロ	北京	バンコク	サンパウロ
W: Main/P: Main	533	428	286	803	655	286
W: Main/P: Avrg total	488	452	301	712	704	316
W: Main/P: Avrg fossil	531	466	588	797	731	890
W: Main/P: Main eff-up	485	387	286	705	573	286
W: Main/P: fossil eff-up	482	418	533	701	635	780
W: Main/P: Plan	485	-	527	705	-	768
W: Plan/P: Main	-	227	0	-	455	0
W: Plan/P: Avrg total	-	252	15	-	504	30
W: Plan/P: Avrg fossil	-	265	302	-	531	604
W: Plan/P: Main eff-up	-	186	0	-	373	0
W: Plan/P: Fossil eff-up	-	217	247	-	435	495
W: Plan./P: Plan	-	-	241	-	-	482

北京ではベースラインに関わらず一定の高い削減ポテンシャルが保持された。バンコクでは、処理段階のベースラインの設定による差が大きく出ることがわかった。この2都市では同じベースライン下では高効率での廃棄物発電プロジェクトが最も削減量が大きくなった。サンパウロではベースラインの設定によって削減量が大幅に変化することがわかった。これらの結果は、埋立地の有機物からのメタン発生量が大きな GHG 排出につながることや、燃料源の炭素強度の影響が理由としてあげられる。以上から、たとえ同じ技術のプロジェクトが導入されたとしても、削減量は都市の特徴によって大きく変わることがわかった。また図4にあるように、同じ都市であっても、ベースラインの設定の仕方に大きく影響を受ける都市とそうでない都市があることも確認された。

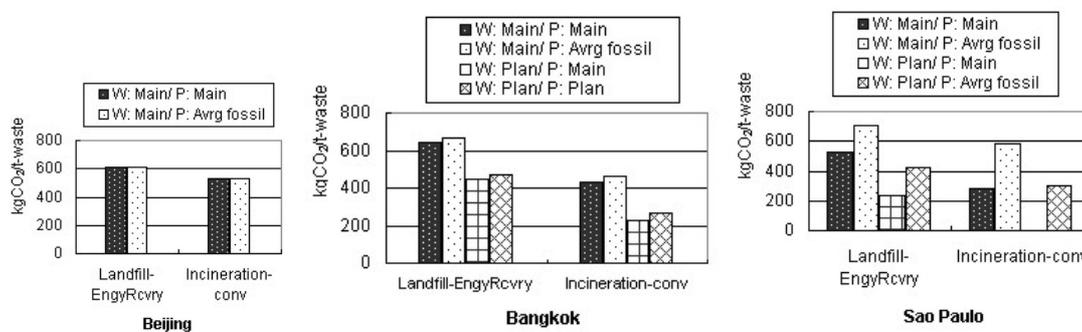


図4 異なるベースラインでの GHG 排出削減量の比較

次にプロジェクト期間を設定し、処理段階での算定方法の違いによる GHG 排出削減量の比較を行った。表4に算定方法についての説明を記す。また、北京でのプロジェクトの算定方法(1)~(3)による廃棄物削減量を図5に示す。準好気性埋立または廃棄物発電では、本来の GHG 削減効果にも関わらず、計算上は削減量があまり得られないこともありうることをわかった。

表4 処理段階の GHG 排出削減量の算定方法の種類

算定方法(1)	ベースラインの埋立開始年=プロジェクト開始年。プロジェクト期間に埋め立てた廃棄物の分解が進みメタン発生が終わるところまで見込み GHG 排出を計算。図5のベースラインとプロジェクト排出量のグラフの全年分の差にあたる。
算定方法(2)	ベースラインの埋立開始年=プロジェクト開始年。プロジェクト期間内の各年に発生する GHG のみを GHG 排出として計算。(メタン回収の場合は4年目から回収・発電。)
算定方法(3)	ベースラインの埋立開始後7年目=プロジェクト開始年。プロジェクト期間内の各年に発生する GHG のみを GHG 排出量として計算。(メタン回収の場合は、7年目から回収・発電。)

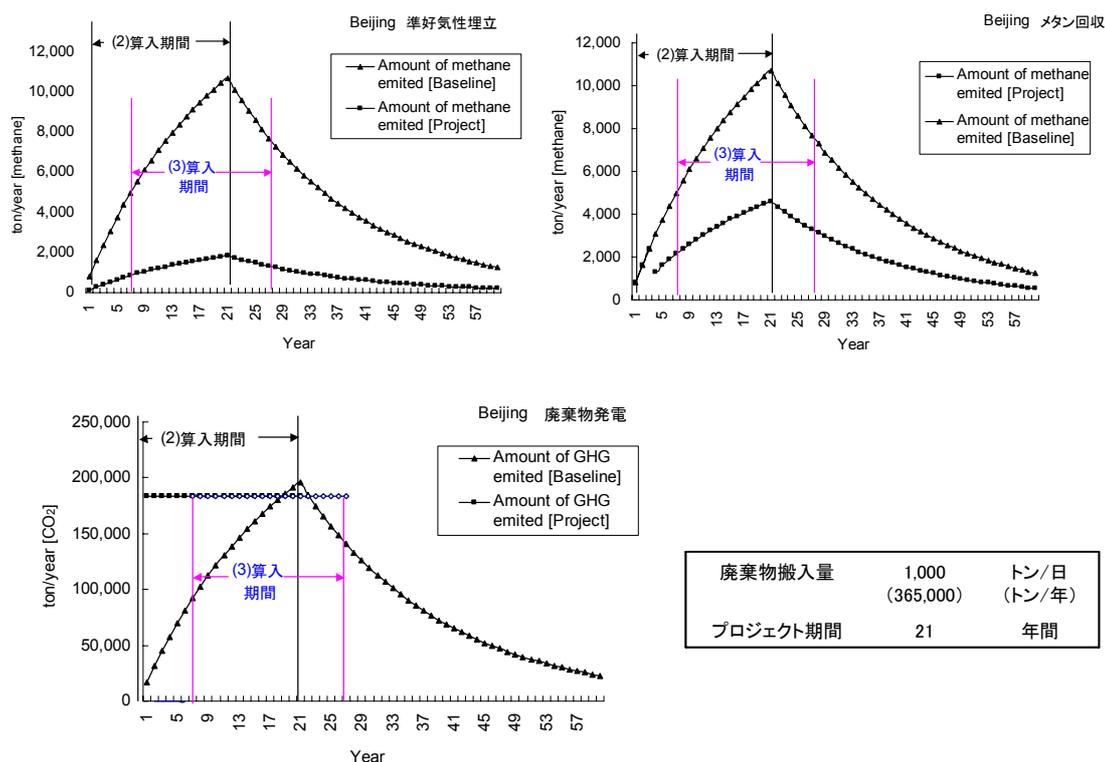


図5 北京について、異なる算定方法による処理段階でのGHG排出削減量の比較

以上から各プロジェクトごとに算定方法を以下のように分けて適用し、表5に示した。

- 「ポテンシャルを適用」：削減ポテンシャルを算出する方法
- 「単純な適用」：現在までのCDM理事会のプロジェクト認定実績を踏まえその方式を単純に適用し、認定の確実性を重視したときに選択の可能性が高い方法
- 「拡張した適用」：これまでCDM理事会では認定された実績はないが、プロジェクト実施期間外において確実に削減されるGHGも削減量に組み込む算定方法

表5 各プロジェクトの算定方法の適用

	メタン回収プロジェクト	準好気性埋立プロジェクト	廃棄物発電プロジェクト
ポテンシャルを適用	算定方法(1)	算定方法(1)	算定方法(1)
単純な適用	算定方法(3)	算定方法(2)	算定方法(2)
拡張した適用	算定方法(3)	算定方法(1)	算定方法(1)

持続可能性評価では、これまでの経済援助や技術協力において用いられている環境配慮ガイドラインやチェックリストなどが近いものとして挙げられる。当初の環境面重視の姿勢から最近では社会・経済面も考慮するようになってきてはいるものの、世界でも確立されたものはない。研究レベルでは貨幣換算やスコアづけによる統合指標化もあるが、まだま

だ持続可能性自体議論の最中である。対象範囲もまちまちで、廃棄物分野に特化したものはほとんどない。本研究では、どのプロジェクトを実施するのが一番よい（正しい）のかを割り出すのでなく、複数考えられるプロジェクトの影響の違いを認識した上で、その都市に最も適切だと考えられるプロジェクトを途上国自身が選ぶことが大切であるということをも前提にしている。それに基づいて、廃棄物分野の CDM 実施における持続可能性評価リストを作成し、その手順を提案した（図 6）。

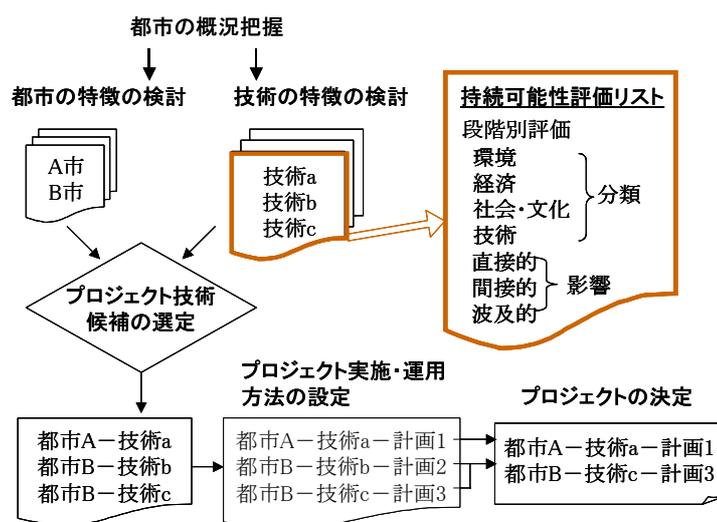


図 6 持続可能性評価に基づく CDM プロジェクトの選定手順

評価項目数は 25 あり、それらを環境、経済、社会・文化、技術にカテゴリー分けして検討内容を網羅的に挙げている。評価手順としては、まず都市の廃棄物管理や環境基準、社会体制などについて概況を把握し、その後評価リストの項目に従って都市の特徴、技術の特徴の検討をそれぞれ独立して行う。その後、それらを合わせてプロジェクト技術を選定し、さらに実施・運用設定の段階でさらに都市の持続可能性を高めるような項目に配慮し、計画に組み込む（例えば技術研修、住民参加など）。そしてプロジェクトの決定、実施となる。北京をはじめ中国の都市では汚染対策の不十分な嫌気性の埋立地が多い。新たに埋立地を設けようとする場合には浸出水も少なく、跡地管理も短く利用しやすい準好気埋立はより持続可能な技術であると考えられる。一方、バンコクは土地の逼迫が深刻であるため、高額だとしても占有面積の多い埋立地より焼却処理が優先されることが考えられる。このように都市の特徴と技術の特性から、同じ技術のプロジェクトによる持続可能な発展への貢献度は異なる。

財務評価では、まず各プロジェクトのコストと収益を計算し財務評価を行った。通常の

実施コストに加え、CDM では特有の取引費用と CER を算入する。実施コストを全負担する場合、どのプロジェクトも収益性は見込めない結果となった。そのためベースラインを考慮しイニシャルコスト等の負担軽減を行うと、嫌気性の埋立処分がベースラインの場合には、準好気性埋立、メタン回収プロジェクト、廃棄物発電の順に収益性が得られる結果となった。しかし実際に収益性が見込めるプロジェクトは準好気性埋立と北京をのぞくメタン回収となり、廃棄物発電はどの都市においても収益性が見込めなかった。ただ焼却処理がベースラインの場合のみ収益性が得られる結果となった。

3. 総合評価とまとめ

これまでの3つの個別評価をあわせて総合的に分析すると、北京ではいずれも準好気性埋立が優位となって一致したが、バンコクとサンパウロでは優位となるプロジェクトが異なる結果となった。これにより、導入する技術だけでなく各都市の現状や将来計画、地域性によって、優位となるプロジェクトが異なることがわかった。

実際の CDM プロジェクト実施には事業者の立場が大きく影響する。CER の獲得について表 6 を見ると、コストと収益のバランスのほかに、不確実なモニタリングあるいは推定方法が認証されうるかという方法論の不確実性、モニタリングと実際の GHG 削減量とが異なるという予測の不確実性、また CER 価格の変動という炭素市場の不確実性が存在する。よってプロジェクトによって収益性とリスクが異なり、特に、コストが大きいにも関わらず売電などの他の収益が見込めず、クレジットが収益のほとんどを占める場合はリスクが高くなる。

表 6 プロジェクトのコスト、収益、不確実性

	コスト		収益		不確実性		
	準備	実施	売電	CER	方法論	予測	市場
メタン回収	(ほぼ)一定	やや安い	あり	中	小	小	中
準好気性埋立	一定	安い	なし	大	大	大	大
好気性埋立	一定	高い	なし	大	大	大	大
廃棄物発電	一定	高い	あり	中	大(小)	大(小)	中
メタン発酵	一定	高い	あり	大	大(小)	大(小)	中

そのため現在は選択肢が狭まり、導入される技術がほとんどメタン回収に限られてしまっている。よって、廃棄物分野の CDM プロジェクトでは、全てを民間投資で行うと増大するリスクを軽減し、追加性や持続可能な発展への寄与において効果のある CDM を保証するために、資金面やプロジェクトの実施面において新たな仕組みが必要であるといえる。