【特 集： 廃棄物関連 CDM 事業】

廃棄物処理分野における CDM 事業活動

—— 現 状 と 課 題 ——

河 井 紘 輔*・山 田 正 人*

【要 旨】 廃棄物処理分野における CDM 事業活動では、当初予測していたよりも大幅に下回るクレジットしか認証されない事態が頻発している。本稿では特に廃棄物処理分野において主要な CDM 事業活動である埋立地ガス回収の CDM 事業活動に焦点を当て、クレジット（CER; Certified Emission Reduction, 認証排出削減量）の発行状況やベースライン排出量の推計モデル式を紹介し、CER 発行率の低迷の要因について考察した。埋立地ガス回収の CDM 事業活動の CER 発行率を整理すると中央値は 26.7% であった。また、メタン排出量推計モデル式の選択による CER 発行率への影響は小さいが、パラメータの設定による影響が大きいと考えられた。CDM 事業活動における温室効果ガス排出量の推計においては、信頼性が不明で限定的なデータや IPCC 等のデフォルトパラメータに依拠せざるを得ないことが多い。現場の実情を反映した十分な検討を経ずにこれらを用いることにより、現実とはかけ離れた排出量を推計することにつながっていると思われる。

キーワード：廃棄物、クリーン開発メカニズム（CDM）、埋立地ガス、認証排出削減量（CER）、FOD モデル

1. は じ め に

開発途上国における廃棄物問題は深刻さを増している。経済の発展やグローバル化は、廃棄物の量を著しく増大させ、質を多様に変化させている。街では収集が追いつかず、空き地等にごみが野積みされ、郊外の埋立地には民家が迫り、崩落、火災、浸出水の漏出、プラスチック等の飛散、悪臭や害虫の発生に苛まれている。これら廃棄物に起因する公衆衛生や公害問題の解決が危急の課題である。先進国は問題の解決のため、政府開発援助（ODA: Official Development Assistance）等を通じて開発途上国に投資を行ってきた。しかし、わが国において ODA 予算は財政難により 1997 年をピークに減少傾向にある。2007 年度の温暖化対策等を含めた環境問題への援助実績は、有償資金協力で約 4,158 億円、無

償資金協力で約 240 億円¹⁾であったものの、廃棄物問題へのシェアは限られている。3R イニシアティブを提唱し、アジアで国際移動する循環資源の発生源であるわが国には、先進国としてあらゆる手段を講じて世界、特にアジアの廃棄物問題の解決に積極的に関与する責がある。

公的資金に限られる状況において、民間資金を活用できるクリーン開発メカニズム（CDM: Clean Development Mechanism）の枠組みは、新たな環境問題への投資の手段として重要である。CDM は先進国（附属書 I 国）が、削減義務がない開発途上国（非附属書 I 国）において、温室効果ガスの削減プロジェクトを実施し、結果として生じたクレジット（CER: Certified Emission Reduction, 認証排出削減量）の一部を獲得することができるという枠組みである²⁾。環境省の試算によると、アジア主要国（中国、インドネシア、インド、タイ、ベトナム）の廃棄物の潜在市場は 2020 年累計で約 600 億ドルである³⁾。廃棄物管理の改善は少なからず温室効果ガス排出削減に寄与するから、CDM 事業活動は開発途上国における廃棄物問題解決を同時に果たす投資であると考えられる。しかし、廃棄物処理分野における CDM 事業活動では、当初予測していた CER を大幅に下回る

原稿受付 2009. 6. 16

* 御国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター

連絡先：〒 305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

御国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター 河井 紘輔

E-mail : kawai.kosuke@nies.go.jp

事態が顕発している。ここでは特に廃棄物処理分野において主要な CDM 事業活動である埋立地ガス回収の CDM 事業活動に焦点を当て、CER の発行状況やベースライン排出量の算定モデル式を紹介し、CER 発行率の低迷の要因について考察する。

2. 廃棄物処理分野における CDM 事業活動の現状

2009 年 5 月 31 日現在、CDM 理事会に登録されている CDM 事業活動⁴⁻⁶⁾は 1,647 件（予測排出削減量：約 3 億 200 万 CO₂ ton/年）であり、うち廃棄物処理（Waste Handling and Disposal）分野の事業活動は全体の 21.3% を占める 351 件（予測排出削減量：約 3,600 万 CO₂ ton/年）である。さらにこのうち、埋立地からのメタン回収・燃焼に関する事業活動は 105 件（予測排出削減量：約 2,200 万 CO₂ ton/年）である。この埋立地ガス回収の CDM 事業活動を件数ベースで地域別にみると、中南米地域で 62 件（59.0%）、アジア地域で 29 件（27.6%）、アフリカ・中近東地域で 12 件（11.4%）、その他地域で

2 件（2.0%）となっており、中南米地域での事業活動が活発である。

第 46 回 CDM 理事会（2009 年 3 月）までに承認されている廃棄物処理分野（有機性廃水や家畜ふん尿の処理を除く）の CDM 方法論は表 1 の通りである⁷⁾。なお、この他にも小規模 CDM（通常の CDM よりも審査が簡略化されるが、エネルギー生産量、エネルギー削減量または温室効果ガス削減量に上限がある）に関する方法論がある。新たに CDM 事業活動の登録を目指す事業参加者は表 1 に示す既存の方法論を用いるか、あるいは新しい方法論を自ら提案することになる^{8,9)}。

表 2 に廃棄物処理で排出される温室効果ガスを示す¹⁰⁾。基本的には、都市の廃棄物ストリームにおいて、プラスチックや有機性廃棄物の処理・処分により用いられているプロセスから、CO₂、CH₄ または N₂O を削減できれば CDM 事業活動は成り立つ。しかし、開発途上国（または日本以外の多くの国々）の廃棄物ストリームの趨勢は、中間処理を持たない直接埋立（または野積みや野焼き）であるから、承認されているプロジェクトにおいて、有機性廃棄物の埋立回避と埋立地からの埋立地ガスの大気放出回避が主な削減の方法となっていると考えられる。

表 1 廃棄物分野における CDM の方法論

方法論番号	タイトル
AM0002*	ベースラインが営業認可契約によって定められる場合の廃棄物処分場ガス回収・フレアによる GHG 排出削減
AM0003*	埋立処分場ガス回収プロジェクトのための簡易財務分析
AM0010*	埋立処分場ガス回収の法的義務がない場合の埋立処分場ガスの回収・発電プロジェクト
AM0025	代替的廃棄物処理工程による有機廃棄物からの排出回避**
AM0039	有機廃水および生物有機固形廃棄物の混合コンポスト化によるメタン排出削減
ACM0001	埋立処分場ガスプロジェクト活動のための統合方法論

* ACM0001 に統合

** 廃棄物処理工程とはコンポスト化、ガス化、嫌気消化、RDF 製造、安定化バイオマス（SB）製造、焼却をいう

3. CER 発行率

2009 年 5 月 1 日現在、登録済 CDM 事業活動中に占める CER 発行済 CDM 事業活動は 503 件（30.5%）である⁶⁾。また、そのうち、埋立地ガス回収に関する CDM 事業活動は 36 件である。CDM 事業活動の進行を管理する指標の一つとして次式の CER 発行率が用いられている。

$$\text{CER 発行率} = \frac{\left(\frac{\sum \text{CER 発行量合計}}{\sum \text{期間の合計日数}} \times 365 \right)}{\text{年間平均予測排出削減量}} \times 100 \quad (1)$$

表 2 廃棄物から発生する温室効果ガス

温室効果ガス	プロセス	廃棄物 ^{*1}	生成メカニズム
CO ₂	焼却	プラスチック、廃油	燃焼
CH ₄	焼却	プラスチック、廃油、木くず ^{**} 、紙くず ^{**} ・繊維くず ^{**} 、汚泥、食物くず ^{**}	燃焼
	生物学的処理 ^{***}	木くず ^{**} 、紙くず ^{**} ・繊維くず ^{**} 、食物くず ^{**} 、有機性汚泥 ^{****}	微生物代謝（メタン発酵）
	埋立処分	木くず ^{**} 、紙くず ^{**} ・繊維くず ^{**} 、食物くず ^{**} 、有機性汚泥 ^{****}	微生物代謝（メタン発酵）
N ₂ O	焼却	プラスチック、廃油、木くず ^{**} 、紙くず ^{**} ・繊維くず ^{**} 、汚泥、食物くず ^{**}	燃焼
	生物学的処理 ^{***}	木くず ^{**} 、紙くず ^{**} ・繊維くず ^{**} 、食物くず ^{**} 、有機性汚泥 ^{****}	微生物代謝（硝化・脱窒）
	埋立処分	木くず ^{**} 、紙くず ^{**} ・繊維くず ^{**} 、食物くず ^{**} 、有機性汚泥 ^{****}	微生物代謝（硝化・脱窒）

* 一般廃棄物には木くず（木竹わら類）、紙くず・繊維くず（紙布類）、食物くず（厨芥類）、プラスチックが相当する

** または動植物性残渣

*** メタン発酵やコンポスト化

**** 食品加工業、製紙業、化学工業、下水業等からの汚泥

表3 CER 発行率状況

CDM 事業活動	CER 発行済 CDM 事業活動数	標準偏差	発行率 (%)		
			最小値	中央値	最大値
埋立地ガス回収	36	36.0	2.9	26.7	166.1
上記以外	467	48.3	2.4	85.2	715.4

埋立地ガス回収に関する CDM 事業活動 36 件と、それ以外の CDM 事業活動 467 件の CER 発行率の差について表 3 に示す。CER 発行率の中央値はそれぞれ 26.7% と 85.2% で、CDM 事業活動全体の中で埋立地ガス回収に関する CDM 事業活動での CER 発行率は有意 (U 検定: <0.01) に小さい。埋立地ガス回収に関する CDM 事業活動において、なぜ CER 発行率が低迷しているのでしょうか。

4. メタン排出量推計モデル式

埋立地ガス回収に関する CDM 事業活動においては、埋立処分場から排出されるメタンを回収し、燃焼あるいは発電利用する。CDM 事業活動を実施している期間のメタン回収量とエネルギー使用量を何らかの方法でモニタリングすることによって CER が発行される。CDM 事業活動を国連の承認を得るために登録する段階で、プロジェクト期間中に CDM 事業活動を行わなかった場合の温室効果ガス排出量 (ベースライン排出量) と行った場合のエネルギー使用を含めた温室効果ガス排出量 (プロジェクト排出量) を推計し、これらの差から排出削減量を予測する。ベースライン排出量の推計には、一般に、有機物分解が一次反応で生ずると仮定した FOD (First Order Decay) モデルを用いる。現在、CDM 事業において、埋立地ガスの排出量予測に用いられる FOD モデルには大きく以下の 3 つのモデル式がある。

一つ目は 1996 年に気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) が公表した “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” にあるモデル式である¹¹⁾ (式(2)~(4))。

$$CH_{4,y} = \sum \{k \times L_0 \times M_x \times e^{-k(y-x)}\} \quad (2)$$

$$L_0 = MCF \times DOC \times DOC_f \times F \times \frac{16}{12} \quad (3)$$

$$DOC = 0.4 \times w_a + 0.17 \times w_b \times 0.15 \times w_c + 0.30 \times w_d \quad (4)$$

$CH_{4,y}$ はある年 y の埋立処分場から排出されるメタンの

年間排出量 (ton-CH₄)、 L_0 はメタン発生ポテンシャル (ton-CH₄/ton-廃棄物)、 M_x はある年 x に搬入される廃棄物量 (ton-廃棄物)、 k は一次分解定数 (/年)、 MCF は好気性分解補正係数、 DOC は廃棄物中の分解性有機炭素の割合 (ton-炭素/ton-廃棄物)、 DOC_f は DOC 中の分解可能な分解性有機炭素の割合、 F は埋立地ガス中のメタンの割合 (m³-CH₄/m³-埋立地ガス)、 w_a は廃棄物中の紙くずおよび繊維くずの割合 (ton-紙くずおよび繊維くず/ton-廃棄物)、 w_b は廃棄物中の庭ごみの割合 (ton-庭ごみ/ton-廃棄物)、 w_c は廃棄物中の厨芥ごみの割合 (ton-厨芥ごみ/ton-廃棄物)、 w_d は廃棄物中の木くずの割合 (ton-木くず/ton-廃棄物) である。

このモデル式では、各年末のメタン排出量がその年の排出量を代表する不連続な積分を行っている。

二つ目の FOD モデル式として、米国 EPA が LandGEM Version 3.02 と称する FOD モデル式を 2005 年に提案している¹²⁾ (式(5))。

$$CH_{4,y} = \sum \sum \left\{ k \times L_0 \times \left(\frac{M_x}{10} \right) \times e^{-k(y-x+\frac{t}{10})} \right\} \quad (5)$$

このモデル式では、1 年間を 10 分割してメタン排出量を算定するため、IPCC の 1996 年版 FOD モデル式におけるメタン排出量の誤差を幾分緩和している。

三つ目の FOD モデル式は、2006 年に IPCC が公表した “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” で提案されている FOD モデル式である¹³⁾ (式(6))。

$$CH_{4,y} = \sum \{L_0 \times M_x \times e^{-k(y-x)} \times (1 - e^{-k})\} \quad (6)$$

本式では、他の式の数学的なエラーが改善され、メタン排出量を連続的に積分して算定することができる。

2004 年 11 月に埋立地ガス回収に関する CDM 事業活動¹⁴⁾ が初めて CDM 理事会に登録された当時は、ベースライン排出量の推計には利用可能であった IPCC の 1996 年版 FOD モデル式が用いられてきたが、近年では LandGEM Version 3.02 や IPCC の 2006 年版 FOD モデル式が採用される事例も増えてきた。しかし、現在までに CER 発行に至っている CDM 事業活動は、比較的初期に CDM 理事会に登録されたものであるゆえに、ベ-

スライン排出量の推計には IPCC の 1996 年版 FOD モデル式を用いていることが多い。

5. CER 発行率が低迷する要因

CER 発行率が低迷している要因としては、主に「FOD モデル式の選択」と「パラメータの設定」、「技術のパフォーマンスの過大評価」が考えられる。

まったく同じパラメータを設定し、 k を 0.04 から 0.2 まで変動させた場合、IPCC の 2006 年版 FOD モデル式を用いて算定したメタン排出量を基準とすると、IPCC の 1996 年版 FOD モデル式および LandGEM Version 3.02 を用いて推計したメタン排出量はそれぞれ 2.0% から 10.3% まで、 -0.2% から -1.0% までの差にとどまる。分解時期の設定によっては若干メタン排出量が増加するが、いずれにしても FOD モデル式の選択による CER 発行率への影響は小さいと考えられる。

次に個別のパラメータについて議論する。一次分解定数 k は有機物から転換されるメタン総量を各年の排出量に配分するパラメータである。埋立地からのメタン排出量は時間経過とともに増減するから、それぞれの埋立地に埋まる廃棄物や埋立地の構造、所在地の気候に応じた値を設定しなければ、プロジェクト期間内のベースライン排出量（ならびに埋立地ガス回収量）を適切に評価できない。しかし、ほとんどの CDM 事業活動において、事前調査等を行って k を設定した事例は少なく、IPCC が、各国全体の目録を作成するためにガイドラインで提供したデフォルト値を用いている。特に、 k が実際よりも小さく設定されていると、予測されるよりも早期に廃棄物が分解され、CDM 事業活動が開始される時点では、すでに大部分のメタンを大気に取り逃がしてしまっていることになる。たとえば、IPCC の 2006 年版ガイドラインでは多湿熱帯地域、混合廃棄物での k のデフォルト値として 0.17（半減期：約 6 年）を提案しているが¹³⁾、Ishigaki 垣らはベトナムのハノイで 0.51（半減期：約 2 年）を実測により評価しており¹⁵⁾、想定以上に早期に廃棄物が分解し、十分な埋立地ガス回収量（＝排出削減量）が得られていない可能性を示唆している。

$L_0 \times M_x$ は、有機物から転換されるメタン総量であり、 L_0 は式(3)によって埋め立てられた廃棄物量 M_x 、好気性分解補正係数 MCF 、廃棄物中の分解性有機炭素の割合 DOC 、 DOC 中の分解可能な分解性有機炭素の割合 DOC_f 、埋立地ガス中のメタンの割合 F から算定され、 DOC は廃棄物中の分解性廃棄物の物理組成 w_a, w_b, w_c, w_d から求められる。開発途上国においては、過去から現在に至る廃棄物搬入量の情報が十分ではなく、限られ

た廃棄物搬入量データを用いて、なんらかの方法で外挿することによって、過去または未来の廃棄物搬入量を推計することが多い。また、廃棄物組成については廃棄物搬入量よりもさらにデータが限られている。さらに、限られたデータの代表性または正当性を十分に議論していない。

このようなメタン総量の推計において、信頼性の低いパラメータを導入する技術のパフォーマンスとともに楽観的に用いて、排出量を過大評価してしまうことが CER 発行率の低迷につながっていると考えられる。

たとえば、2005 年に承認されたブラジルの埋立地メタン回収プロジェクト（CER 取得率は約 5%）¹⁶⁾では、「欧州では有機物含量が約 30% で $L_0=100 \text{ m}^3\text{-CH}_4/\text{ton-MSW}$ を用いており、ブラジルでは有機物含量が一般的に 60% であるから、 $L_0=180 \text{ m}^3\text{-CH}_4/\text{ton-MSW}$ 」としている。 k 値の設定に関する記述は次のとおりである。「 k について、IPCC のグッドプラクティスガイドラインでは 0.03（半減期 23 年、乾燥条件）から 0.2（半減期 3 年、高温多湿条件）の幅があるとしている。ブラジルは生物分解に極めて適した条件にあるが、プロジェクトでは埋立地の完全な被覆を行うので、埋め立てた廃棄物を乾燥する効果があるだろう。半減期 6 年を選択し、 k 値を 0.12 とする」。また、設定値より小さい L_0 と k を用いて、排出削減量が小さくなる可能性を示しているが、「この事実はプロジェクトの保守的なアプローチ（con-servative approach）には影響しない。ベースラインを（搬入実績値で修正した契約上の義務で）固定し、メタンの破壊量の実績値は燃焼によって直接計測するから、排出削減量が過剰に認証されるリスクはない。これがわれわれの CDM プロジェクトにおける保守的なアプローチという定義の理解である」としている。さらに、IPCC の 2006 年版ガイドライン¹¹⁾では、埋立地ガス回収率に関する文献をレビューして、範囲を 10～85%、デフォルト 20% または設備の最大能力の 35% としている。このプロジェクトでは既存の設備での実績値 26% に対して、80% を設定している。

CDM が開始されたごく初期に、限られた知見をもって、暗中模索で作り上げた手法を批判するのは少々気がとがめるところがあるが、CER を最大化するような楽観的なパラメータ設定が低い CER 取得率をもたらしたことがうかがえる事例である。

6. お わ り に

発展途上国では、あらゆる廃棄物や環境観測データが不足しており、CDM 事業活動における温室効果ガス排

出量の算定においては、信頼性が不明な限定的なデータや IPCC 等のデフォルトパラメータに依拠せざるを得ないことが多い。現場の実情を反映した十分な検討を経ないで、また、安易な外挿を行って、これらのデータやパラメータを用いることは、現実とはかけ離れた排出量の算定につながる。IPCC ガイドライン等で、デフォルト値として提案されている様々なパラメータは、あくまでも国全体での排出量算定に用いる目的で設定されたものであり、個別の現場を取り扱う CDM 事業活動では、より地域に即したデータやパラメータの取得に努める必要がある。特に廃棄物量や物理組成といった活動量の把握は、CDM 事業活動だけでなく、地域の廃棄物管理において必須な情報であり、開発途上国における廃棄物データの整備は喫緊の課題である。

参 考 文 献

- 1) 外務省：2008 年版政府開発援助（ODA）白書（2008）
- 2) 環境省：CDM/JI 事業調査：事業実施マニュアル 2007（2008）
- 3) 環境省：アジア主要国の環境ビジネスの潜在市場規模推計に関する調査報告書（2004）
http://www.env.go.jp/policy/env_business/
（2009 年 5 月 31 日現在）
- 4) United Nations Framework Convention on Climate Change（UNFCCC）：Project Activities
<http://cdm.unfccc.int/Projects/index.html>
（2009 年 5 月 31 日現在）
- 5) 京都メカニズム情報プラットフォーム：国連 CDM 理事会登録済プロジェクト情報
<http://www.kyomecha.org/cdm.html#registeredlist>
（2009 年 5 月 31 日現在）
- 6) 勘地球環境戦略研究機関：CDM・JI プロジェクト関連データ
http://www.iges.or.jp/jp/cdm/report_cdm.html
（2009 年 5 月 31 日現在）
- 7) 勘地球環境センター：CDM 方法論等の解説
http://gec.jp/gec/gec.nsf/jp/Activities-CDM_and_JI-CDMmethodologies
（2009 年 5 月 31 日現在）
- 8) UNFCCC：Methodologies for CDM project activities
<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/index.html>
（2009 年 5 月 31 日現在）
- 9) 勘地球環境戦略研究機関：図解京都メカニズム 10 版（2009）
- 10) 山田正人：廃棄物処理活動と温室効果ガス，都市清掃，第 258 巻，pp.114-119（2004）
- 11) Intergovernmental Panel on Climate Change（IPCC）：Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories（1997）
- 12) US EPA：Landfill Gas Emissions Model（LandGEM）Version 3.02 User's Guide（2005）
- 13) IPCC：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories（2006）
- 14) UNFCCC：Project 0008, Brazil NovaGerar Landfill Gas to Energy Project（2004）
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1095236970.6/view>
（2009 年 5 月 31 日現在）
- 15) T. Ishigaki, C. V. Chung, N. N. Sang, M. Ike, K. Otsuka and M. Yamada：Estimation and Field Measurement of Methane Emission from landfills in Hanoi, Vietnam, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol. 10, No. 2, pp.165-172（2008）
- 16) UNFCCC：Project 0052, Salvador da Bahia Landfill Gas Management Project（2005）
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1117823353.4/view>
（2009 年 5 月 31 日現在）

Current Status and Tasks of CDM Project Activities in the Field of Waste Handling and Disposal

Kosuke Kawai* and Masato Yamada*

* Research Center for Material Cycles and Waste Management
National Institute for Environmental Studies

† Correspondence should be addressed to Kosuke Kawai :
(16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan)

Abstract

It has been frequently observed that a substantially lower amount of credits has been issued in comparison to what was initially estimated for CDM project activities in the field of waste handling and disposal. This paper focuses on landfill gas recovery, which is a main component of CDM project activities for waste handling and disposal. The current status of credit issuances and models for estimating baseline emissions are presented, and the factors contributing to a depression in credit issuances are discussed. As a result of this study, the median for the credit issuance rate regarding landfill gas recovery CDM project activities was 26.7%. The credit issuance rate is considered to be greatly effected by the setting of parameters, while the rate is less affected by selection of the estimation model. Estimation of greenhouse gas emissions in CDM project activities is currently highly dependent on limited data of uncertain reliability, or on the default parameters proposed by IPCC. Referring to such limited data and parameters, without adequate assessment of the current status of project sites, will certainly result in unrealistic emission estimations.

Key words : waste, clean development mechanism (CDM), landfill gas, certified emission reduction (CER), FOD model