

平成 15 年度 CDM/JI 事業調査

調査事業名

ブラジル製糖廃棄物エネルギー転換プロジェクト

報 告 書（概要版）

平成 1 6 年 3 月

社団法人 国際環境研究協会

1．調査の背景と目的

ブラジルは電力の約 90%を水力に依存している。しかし、水力発電電力量は雨季と乾季で差があり、乾季（5月～11月程度）には電力不足が生じている。この電力不足は石炭、ガス等各種火力で賄われているが、経済成長に対して産業を含む一般電力供給が、特に乾季において追いつかない状態になってきた。一方、ブラジルの主力産業である製糖業は乾季に収穫を行い、大量の廃棄物（バガス）を産出する。このバガスは従来から自家消費用の熱、電力を供給するために用いられてきたが、ボイラの高効率化等による発電能力増加が可能となり、既にいくつかの系統電力へ電力を供給するプロジェクトが実施されている。これにより供給された電力は、乾季において実施されている化石燃料を使用した発電を代替することができる。

本プロジェクトでは、サトウキビの製糖廃棄物であるバガスを化石燃料発電施設代替として用いることによる温室効果ガス排出削減効果の検証を行う。ブラジルのバガス生産量は1億トン以上あり、発電容量 6,000MW（大型発電所 10 基程度）に匹敵する再生可能エネルギー源として大きなポテンシャルを持っている。しかし、バガス燃焼エネルギーの自家施設内での利用は従来から行われてきたが、電力、熱の外部提供は技術的には確立しているものの商業的利用は端緒についたばかりである。本プロジェクトはバガスを用いた発電所またはコージェネレーションシステムを建設・利用し、生産した電力を商業目的にすることにより、温室効果ガスの発生を抑制し CDM に貢献するものである。

本プロジェクトの実施は、上記の直接的なメリットのほか、従来から焼却処分されているバガスを資源として活用するため、焼却処分から生じる大気汚染問題の緩和につながる。さらに、収穫前のサトウキビの葉等の易可燃部の焼却処理及びバガスを含む農業廃棄物等の野焼きが法的に規制され、数年後には全面規制される。このため、バガスが焼かれずに廃棄されるケースも出てきており、廃棄物の腐敗に伴うメタン排出抑制にもつながる。本プロジェクトでは既存発電施設の使用燃料の処分状況を調べ、適切なベースラインを検討する。

本フィージビリティスタディは、現地の製糖産業の協力を得て、現地の廃棄物資源、電力・熱ニーズに即した、費用効果的なエネルギー供給を可能にするバガ

ス・コージェネレーションシステムの設定をめざすものである。また、我が国はコージェネレーションシステムの要素技術、燃料に応じた最適条件の設定、熱・電力需要に応じたプラント仕様の決定といったノウハウを保有しているため、このようなハード・ソフト技術移転の最適な方法を探る。

2．ベースラインの検討

前述のように、ブラジルの電力は約 90% が水力であるため、ブラジルにおける温室効果ガス排出削減プロジェクトのベースラインの検討には注意を要する。本プロジェクトでは、ブラジルの電力事情について調査を行った結果、CDM 理事会により承認された Vale do Rosario でも用いられた国際エネルギー機関（IEA）によるベースラインのケーススタディを用いた。これは南部 - 南東部送電網及び北部 - 北西部送電網、及び送電網に連結されていない地域を対象として、2000 年における 1,479 箇所の発電所（操業中 1,174 箇所、建設中 305 箇所、うち系統連結 1,058 箇所。電源構成は水力 87%、原子力 4%、石油 3%、石炭 3%、ガス 1%、バイオマス 1%）について調整電力を調査したものである。

表 1 南部 - 南東部送電網の原単位

項目	系統平均	OM1	OM2	BM	CM1	CM2
原単位 (t-CO ₂ /GWh)	275	719	550	589	644	560
発電所数	582	121	527	116		
設備容量 (MW)	85,031	28,421	39,462	28,521		
発電量 (GWh)	447,081	167,808	223,541	169,750		
電源構成 (発電量ベース)	水力 61.5%、ガス 27.4%、石炭 5.9%、原子力 2.9%、石油 1.7%、バイオマス 0.6%、風力 0.1%					

（出典：IEA, 2002, *Road-Testing Baselines for Greenhouse Gas Mitigation Projects in the Electric Power Sector*）

Vale do Rosario プロジェクトで用いられた原単位は IEA をベースとし、それよりやや小さい 0.604kg-CO₂/kWh である。本報告書ではこの値を用いる。

3．追加性の立証

追加性の立証はバガス利用発電プロジェクトに関して大きな課題となる。これ

について、規制緩和、コスト面での比較、ファイナンス面での比較から検討を行った。この結果、本来が所内消費を目的としており、余剰分を給電しているバガス利用コージェネレーションは追加的とはいえないが、当初より系統電力への給電を行う目的で作られたシステムは追加性があるといえる余地がある。本件の第1号である Vale do Rosario 案件はこのようなロジックを用いて追加性を主張した。

また、2001 年のエネルギー危機終了後に電力価格が一段落して以降構想の対象となったもの、また政府補助プログラム PROINFA の対象となっていないものについては追加性の余地がある。逆に、エネルギー危機時の送配電事業者による高値売却（最高 600R\$/kWh に達したとされている）を享受した施設は追加性の立証に一定の困難が伴う。以上を踏まえて、本件の追加性の担保方法としては下記の 3 種類が挙げた。

A：エネルギー省の再生可能エネルギープログラム PROINFA に応募した案件（採択の可否によらない）。

B：バガス利用コージェネレーションシステムが一定以上に達した場合はクレジットの獲得を中止すると明言する。

C：一定水準以上の技術を活用する。

A 案は、PROINFA 対象プロジェクトに応募するような案件は、コマーシャルベースでの実施は困難であることを立証することが容易であるという観点に立つものである。B 案は、バガス利用コージェネレーションシステムによる給電が近年増加していることに鑑み、CDM なしで操業している同様の施設数または規模が一定上の基準に達した場合は CDM としての資格を失い、クレジットの獲得を中止するとするものである。このような CER 発生「自粛」とも言うべき提案は最初にブラジルの Nova Gerar プロジェクト（NM0005）、最近ではインドのラックナウプロジェクト（NM0032）において提唱された。

4．対象プロジェクト

ブラジルにおける製糖廃棄物起源コージェネレーションシステムの導入先として数箇所を検討した。この結果、追加性の立証という観点から、サンパウロ州西

部に立地する下記の地点を有望サイトとして選定する。

- ・ UNIALCO 社（サンパウロ州 Aracatuba（アラサトゥバ）近郊）
- ・ ALCOESTE 社（サンパウロ州 Fernandopolis（フェルナンドポリス）近郊）

UNIALCO 社 1990 年以降より生産量を伸ばしてきている。年間サトウキビ処理量は 250 万トンである。現状のエネルギー設備は蒸気圧 21kgf/cm^2 の蒸気タービン 2 基であり、それぞれ 110tv/h 及び $+120\text{tv/h}$ の蒸気を 300 で供給する。これにより $1.5\text{MW} \times 4$ 基の発電機を稼働させる。

蒸気圧 60kgf/cm^2 、または 80kgf/cm^2 程度の蒸気タービンへの設備改修方針を打ち出している。

ALCOESTE 社はサンパウロ州製糖業で唯一の日系企業。現在 3MW 、 21kgf/cm^2 、 95tv/h の設備で 80 万トンのサトウキビを処理。将来的には 2005 年に 120 万トンの処理量に増加させたいほか、新規設備で 2010 年に 200 万トンのサトウキビの処理を想定している。

2 施設について温室効果ガス排出削減ポテンシャルの算出を行った。算出に当たっては、規模が一定している UNIALCO 社は全施設に対する実施を想定し、拡張中である ALCOESTE 社は、新規施設として標準的な技術である 60kgf/cm^2 のボイラについて将来的な規模拡張分を除外して想定し、新規施設としても先進的な技術である 80kgf/cm^2 のボイラについては全施設に対する実施を想定している。

表 2 温室効果ガス排出削減ポテンシャル

	UNIALCO (60kgf/cm^2)	UNIALCO (80kgf/cm^2)	ALCOESTE (60kgf/cm^2)	ALCOESTE (80kgf/cm^2)
ケース	1	2	3	4
設備容量 (MW)	40	61	11	29
発電電力量 (MWh)	153,000	273,000	48,000	144,000
温室効果ガス排出 削減ポテンシャル	$92,412\text{t-CO}_2$	$164,892\text{t-CO}_2$	$28,992\text{t-CO}_2$	$78,278\text{t-CO}_2$

また、運転時間の長期化、外部への熱供給、バガスのガス化発電技術 (BIG-GT) の導入、サトウキビの収穫廃棄物の発電への利用について検討した。この結果、これらの対策の実施によるさらなる温室効果ガス排出削減は、安全性、コスト、

雇用喪失等の観点から現時点では採用が難しいと判断し断念した。

5 . 収益性への影響

CER の内部収益率（IRR）に対する影響について以下に示す。キャッシュフロー分析には多くのパラメータが伴うため、確定的な回答は詳細な資金計画、融資条件が未定な現時点では不可能である。しかし、5 ドル/t-CO₂ の CER 価格では 1% 程度の内部収益率向上につながることで、60kgf/cm² ボイラが 80kgf/cm² という高効率ボイラを上回る収益性であることが分かった。この結果は他のエネルギーCDM プロジェクトと十分整合の採れた結論といえる。

表 3 内部収益率の比較

	ケース 1		ケース 2		ケース 3		ケース 4	
	なし	5ドル /t-CO ₂	なし	5ドル /t-CO ₂	なし	5ドル /t-CO ₂	なし	5ドル /t-CO ₂
Asset IRR	9.2%	10.5%	6.3%	7.4%	10.9%	12.3%	7.5%	8.6%
Equity IRR	13.1%	16.0%	7.4%	9.5%	16.9%	20.5%	9.6%	12.0%

（注：アセット IRR は初期投資、収入、支出、金利返済を考慮したもので、エクイティ IRR は初期投資、収入、支出のみを考慮したもの。後者は自己資本率により大きく変化する。投資案件の IRR 分析には通常アセット IRR が用いられる。）

また、CER 価格、売電価格、設備投資価格、銀行金利について感度分析を試みた。結果について以下に示す。

表 4 感度分析（ケース 1）

項目	数値	CO ₂ 価格	Asset IRR	Equity IRR
CER 価格		なし	9.2%	13.1%
		3 ドル/t-CO ₂	10.0%	14.8%
		10 ドル/t-CO ₂	11.8%	19.2%
売電価格	2.5 セント/kWh	なし	4.1%	2.9%
		5 ドル/t-CO ₂	5.6%	5.4%
	5 セント/kWh	なし	15.6%	29.2%
		5 ドル/t-CO ₂	16.8%	32.7%
設備投資価格	1500\$/kW	なし	4.7%	4.5%
		5 ドル/t-CO ₂	5.7%	6.2%
銀行金利	利率 8%	なし	9.2%	10.2%
		5 ドル/t-CO ₂	10.5%	12.7%

6．その他

両プロジェクトとも、サンパウロ州の環境影響評価制度の対象となる。ただし、本プロジェクトのようなエネルギー効率向上を主とするものは、サンパウロ州では簡易環境評価 (Relatório Ambiental Preliminar,”RAP.) の対象となる。このような環境影響の評価は未実施であるが、下記の理由により本プロジェクトが環境に与える影響は無視できると考えられる。

- ・ ボイラで消費するエネルギー源の質量はプロジェクト実施前後で不変。
- ・ プロジェクトにより燃焼条件が向上し、排気の改善をもたらす。
- ・ ボイラ冷却水は灌漑に再利用するため、水資源の循環は保たれる。
- ・ 電力は灌漑動力用にも利用されオンサイトのディーゼル発電の代替性がある。
- ・ 大気基準及び水質基準の遵守に留意し、煙突の建設等、遵守に必要な対策を実施する。

なお、地域住民の意見収集は行っていないが、周辺状況から下記のことが言える。

- ・ 製糖業の収益改善をもたらす、製糖業を中心とした地域経済の発展につながる。
- ・ 両者はそれぞれ 10,000 ヘクタール規模のサトウキビ畑の中に立地しており、外部地域へおよぼす環境影響は非常に小さい。
- ・ 製糖業において技術革新を行う最大の懸念は、サトウキビの栽培・収穫の機械化に伴う雇用の喪失であるが、コージェネレーションシステムの近代化は雇用を喪失しない。逆に、発送電力の管理に関して若干名の雇用が期待できる。
- ・ 地域のエネルギーセキュリティの向上につながる。

7．結論

上記の調査より、ブラジルにおける製糖廃棄物（バガス）発電は質（温室効果ガス排出削減原単位）及び量（発電量）ともにポテンシャルに優れたものであることがわかった。水力発電が電源の大半を占めるブラジルにおける温室効果ガス排出削減プロジェクトの実施はベースラインの設定に注意を要するが、バガス利用発電は水力資源の枯渇する乾季に行われることから、IEA によるベースラインスタディでも火力発電代替がほぼ確実と言える状況である。従ってこのプロジェ

クトの温室効果ガス排出削減効果は大きい。

2001 年のエネルギー危機より、ブラジルの製糖業界は電力供給を行うことの経営上のメリットを意識し始めた。この中で、Vale do Rosario や Catanduva といった先進的な企業が CDM という便益に着目し、PDD の作成、提出を行った。この後について UNICA を中心とした啓発活動が続き、バガス利用コージェネレーションシステムの利用は急増している。従ってこのような先進的なプロジェクトに続く案件には追加性の立証に関して工夫する必要がある。

本件は日本の先進技術の展開場としては検討を要する。日本のボイラ技術は蒸気圧 100kgf/cm^2 を上回るものもあるが、このような先進技術の採用、展開に対しては価格、サポートの点で課題がある。また、中南米においては日本のメーカーのプレゼンスが低く、小規模なものについては事業者による検討の俎上に登らない。反面、日本のメーカーも数十 MW 規模の案件への積極的参加には関心が必ずしも高くないのが現状である。本件のようなエネルギープロジェクトがわが国の技術移転の一環として有効である可能性は高い。これについては引き続きわが国のメーカーの意見、ニーズを調査すべきと考えられる。

本件の 2 度のブラジル現地調査において、系統電力供給が容易ではないと考えられる 2 件に焦点を絞って実施可能性の調査を行った。この過程での UNICA へのヒアリング調査では、CDM とアルコール供給の 2 つの面から、地球温暖化対策に多大な関心が示されたが、調査後にはサンパウロ州（及び近辺）の製糖工場におけるコージェネレーションシステムの CDM 化（PDD 作成）支援の打診を受けている。今後 UNICA と協力して行くことによって、ブラジル製糖産業におけるコージェネレーションシステムに関する PDD の継続的作成が可能な状況になると考える。さらに、本調査の過程ではブラジルにおける国策実施のあらゆる局面に深くかかわっている UNDP とも協議を行い、製糖コージェネレーション CDM の政府承認の取得及び調整、公的または民間ファイナンスの獲得等に関して UNDP の協力が得られる状況が確立できた。以上のように、今回の調査を機に、UNICA 及び製糖業界と協力して継続的に CDM 案件の発掘、PDD の作成を行い、事業化への検討を行うようなスキームを描く素地が整ってきた。

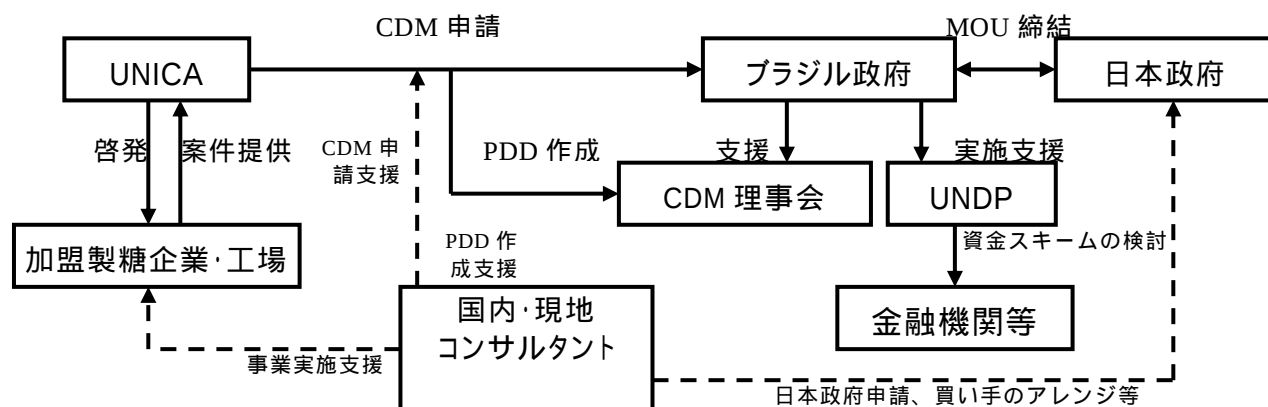


図 5-1 UNICA、UNDP、政府等を含めた CDM 案件発掘、PDD 作成スキーム

このようなスキームの立ち上げは、ブラジルにおける CDM 案件の安定的な実施を通じた京都議定書の遵守、ひいてはブラジルからのアルコール供給の安定化のために非常に有効と判断した。このため、2003 年度の「ブラジル製糖産業廃棄エネルギー転換プロジェクト」実施可能性調査は、継続案件として PDD 作成まで昇華させることにより初めて調査成果が活きてくる。