

17. 都市貧困居住区におけるバイオガスプラントの衛生設備としての有効性

ーバングラデシュのバウニアバード地区を例としてー

EFFECTIVENESS OF BIOGAS PLANT AS SANITATION IN URBAN POOR SETTLEMENT - A CASE STUDY IN BAUNIABAD, BANGLADESH -

山本（佐藤）裕子*・鈴木 克徳*・ビルキス アミン ホック**

Yuko Sato YAMAMOTO, Katsunori SUZUKI, Bilqis Amin HOQUE

ABSTRACT; There are many people in the world who cannot access to the safe drinking water and appropriate sanitation. To halve these populations is one of the common goals for the world. In Bauniabad, one of the urban poor settlements in Dhaka, Bangladesh, many aid agencies have been working to improve sanitation conditions. In recent years, biogas plants have been installed as sanitation and people have been sharing a part of installation cost. The purpose of this study is to clarify the background of how poor people came to prefer and to use the biogas plant system as sanitation and the effectiveness of the biogas plant through questionnaire to the local people, interview to the stakeholders, and water quality analysis. It was revealed that though still people showed the difficulties to share all the cost of installation of the biogas plant, with the combination of the education on public health, there is a possibility to accept the cost share when people could understand the benefit of the option to their health and life.

KEYWORDS; Sanitation, Bangladesh, Human Waste, Anaerobic Digestion

1. はじめに

世界保健機関（WHO）によると、2000年時点で11億人が安全な水供給にアクセスできず、また240億人が改善された衛生設備にアクセスできないといわれている¹⁾。これらの人口を半減することが世界規模での目標となっており、2002年にヨハネスブルクで行われた持続可能な開発サミット（ヨハネスブルク・サミット）の成果の一つである実施計画にも盛り込まれている。バングラデシュは安全な水と適切な衛生設備が充分ではない国の一つであり、様々な国際機関、政府、NGOなどがこの問題を解決すべく様々なプロジェクトを行ってきた。ダッカ近郊の都市貧困居住区であるバウニアバードにおいても、様々な援助団体が衛生状況改善その他の活動を行ってきた。数年前からは、し尿を処理する目的で同地区に小規模バイオガスプラントが導入されており、住民が建設導入費用の一部を負担している。本研究は、住民がし尿処理設備としてバイオガスプラントを受け入れるようになった経緯およびバイオガスプラントの有効性について、住民に行われたアンケート、水質調査などから明らかにすることを目的とした。

*国連大学高等研究所 United Nations University Institute of Advanced Studies (UNU-IAS), Yokohama, Japan

**環境人口研究センター Environment and Population Research Center (EPRC), Dhaka, Bangladesh

2. 調査地域の概要

2. 1 調査地域の基本情報

2001年のバングラデシュ政府の国勢調査によると、バングラデシュの人口は1億2925万人であり、このうち約23%は都市部に居住している。国土の総面積は144,000km²、人口密度はほぼ900人/km²である。バングラデシュの首都ダッカの人口は900万人以上、ダッカの面積は1339km²、人口密度は6721人/km²とされている。

本研究の調査地域であるバウニアバードはダッカ北東の郊外に位置する貧困居住区の一つである。バウニアバードは、政府所有のある地区で開発計画が持ち上がったことによりそこに居住していた住民を移住させるため、1990年に政府が国連資本開発基金（UNCDF）との共同プロジェクトとして、土地を区画整理して家、道路、側溝を整備してできた地区である。移住した住民は簡単な家付きの土地一区画を安い金額で買い、代金は分割で支払った。バウニアバード全体の面積は約0.36km²である。バウニアバードはA、B、C、D、Eの5ブロックから成り、ブロックA、B、C、Eは22の通り、ブロックDは24の通りから成っている。通りの両側にはそれぞれ12件の家が並んでおり、バウニアバード全体で2600世帯ある。一世帯あたり平均人数は約4~5人であることから、移住当初の人口は約11,700人と推定される。しかし、時を経るにつれ住民自ら建物を改造したり建て増しをし、貸部屋として使用したりしているため、実際には7000世帯ほどが居住しているのではないかと推定されている。各世帯には当初、便器とその下の防水構造の穴（ピット）から成るピットトイレが設置された。ピットは便器が設置されているもののほかにもう一つ設置され（ツインピットトイレ）、使っている方のピットが満杯になると、便器をもう一つのピットの上に設置し、その間に満杯になったピットの汚物が扱いやすくなることを期待した設備である。また、12世帯ごとに飲料水用の手押しポンプが設置された。

2. 2 バウニアバードでの活動の歴史

筆者の一人で環境人口研究センター（EPRC）の代表を務めるビルキス・アミン・ホックは1993年からバウニアバードの衛生状態向上のための一連の活動にかかわっている。この活動はいくつかの時期に分けられ、地元社会、NGO、バングラデシュ政府機関など様々な団体がそれぞれの時期にかかわっている。

1993年から、アイルランドのNGOであるConcernにより、衛生とトイレの使用、井戸水の使用など健康に関する事項についての教育プロジェクトが行われた。また1995年から1997年にかけて、バングラデシュ国際下痢性疾患研究センター（ICDDR,B）、ジョンズ・ホプキンス大学、ダッカ上下水道公団（WASA）などにより、ダッカと地方の貧困居住区の環境改善プロジェクトが行われた。当時住民のほとんどが使用していたピットトイレの維持管理は非衛生的であり、多くのピットが漏れるかあふれるかしていた。プロジェクトの実施により様々な指導が行われたにもかかわらず、住民が継続できるような適切な衛生技術が他になかったこと、プロジェクトの最初の段階から住民を巻き込まなかったことなどから、結局住民の行動や衛生状況は改善されなかった。

1998年から1999年にかけてのプロジェクトでは、住民の意見をできるだけ反映させて水・衛生設備を導入することを目標とし、住民の代表を最初から巻き込む形で4つのトイレオプションの比較研究が行われた。予備調査として、土地を所有しない住民が一時的に居住している、ある貧困居住区において、ピットトイレ、ピットが二つあるツインピットトイレ、100世帯規模の浄化槽、100世帯規模のバイオガスプラントが比較検討された。この検討により、バイオガスプラントは虫や臭いの発生が無く、また汚濁除去効果が最も高く、費用も比較的低いことから、住民も好んだので、バウニアバードにおいてもバイオガスプラントが試験的に導入された。施工にあたっては、現地の建設業者の訓練も行われた。ほぼ6ヶ月にわたる試験運用によりBOD、CODともに比較的良好な除去率が得られた。また、試験前の支払い意思調査では、一世帯あたり支払い可能額は0.01USドルだったにもかかわらず、実際はバイオガスプラントの導入にあたり住民は平均4USドルを支払った。さらに住民は維持管理コストを100%負担することにも同意した。この試験運用で、バイオガスプラントは衛生設備としてある程度機能すること、また副産物としてバイオガス（メタンガス）が発生するため、これをごく一部の世帯であるが調理用に使えること

が明らかになった。また、汚物は配管を通してバイオガスプラントへ流入するため、各世帯が個別のピットの中身を空にする作業が無くなり、また導入コストも他のオプションよりも安いことがわかった。住民もこれに対し満足の意思を示した。

試験運用の後、住民たちはバイオガスプラントをさらに導入したいとの意思を示したため、1999年以降、NGOのPlan Internationalがこれをサポートすることになった。最初は導入コストの20%を住民が負担するという約束で導入が進められ、徐々に住民の負担を大きくすることに同意が得られるようになり、導入コストの40%まで住民が負担するようになった。

2. 3 バウニアバードにおけるバイオガスプラントの現状

(A) バイオガスプラントの設計

バイオガスプラントは固定ドーム型の中国式で、実際に中国で家畜の糞尿を処理するために用いられているデザインを参考に、ビルキス・アミン・ホックが設計を行った。バイオガスプラントは流入量調整のための導入槽、嫌気性消化を行う反応槽、圧力を一定に保つ目的の水圧槽、放流水を一定量溜めおき溢れたものが放流先の運河へ放流されるソーキピットからなり、おおよそ100世帯を対象に設計されている。反応槽の容量は約11m³、水圧槽の容量は2m³である。

各家庭のトイレの便器は日本の和式便器に近い形をしており、便器は直接地下の配管に接続している。図-1に示すように、各家庭からの配管はコネクションピットに接続しており、そこからさらに太い配管に接続し、最終的にバイオガスプラントに接続している。流下方式は重力式である。バングラデシュでは排泄後は紙でなく水で洗浄する習慣があり、さらに排泄物を流すのに水を使用するため、多量の水を便器に流すことになり、重力式でも配管途中で汚物が詰まることがほとんど無いと考えられる。現地で男女それぞれ6人ずつの計12人に行った簡単な聞き取り調査によると、一日当たり、排泄後の洗浄には2Lから6L、排泄物を流すために便器に流すために2Lから6Lの水を使用しているとのことであった。

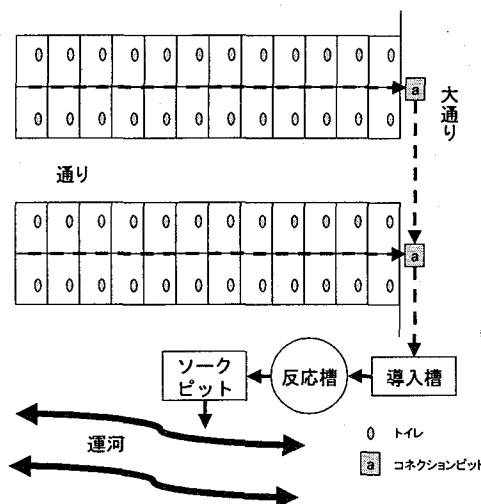


図-1 家庭からバイオガスプラントへの接続模式図

(B) バイオガスプラントの数および設置場所

現在のところバウニアバード全体で合計20基のバイオガスプラントが使用されている。一基あたりの接続世帯数は96世帯であり、最近では72世帯というものもある。バイオガスプラントの建設コストは、各家庭の便器からの接続も含め一基あたり約100,000タカ（1タカ＝約2円）から150,000タカである。プラント導入にあたっては住民が96世帯あるいは72世帯単位で相談し合意をした上で援助機関であるNGOのPlan Internationalに導入を申し入れ、そこで住民がコストの40%、残りの60%はPlan Internationalが負担をして現地の技術者により施工が行われる。各世帯のコスト負担はバイオガスプラントからの距離により多少異なるが630タカほどである。

3. 調査方法

3. 1 アンケート調査

バウニアバードに徐々に導入されてきたバイオガスプラントの有効性などを明らかにするため、バウニアバードに居住する女性に対し2002年11月から12月にかけてアンケート調査を行った。サンプルの抽出はランダムに行

い、ブロック A、B、C、D、E からそれぞれ 50 人、50 人、50 人、53 人、49 人の合計 252 人に行った。質問は対面式で行い、質問項目は社会経済的状態、水、衛生、廃棄物、保健に関する状態や行動に関するものについて行った。加えて NGO、地方自治体などの関係者には個別に聞き取り調査を行った。また 2003 年 2 月にはブロック A において女性を対象とした小規模ワークショップを開催し、住民の意見などの直接聞き取りを行った。

3. 2 水質調査

2003 年 12 月に、ブロック C と D の古いバイオガスプラント 2 つおよび、ブロック B と E の比較的新しいバイオガスプラント 2 つの計 4 つのプラントそれぞれについて、24 世帯のし尿が集まってくるコネクションピット（採水地点 1）、導入槽（採水地点 2）、水圧槽（採水地点 3）、ソーキピット出口（採水地点 4）、放流地点の運河（採水地点 5）から採水を行った。ただし、新しいバイオガスプラント 2 つについては、ソーキピットが設置されていないため地点 4 は水圧槽出口を示す。また、参考のため、バイオガスプラントが接続されていない家庭のピット（採水地点 6）から、し尿を採取した。採水は EPRC の職員が調査地の作業員と共に行った。それぞれの地点から採取された試料水は、pH、電気伝導度、水温、大腸菌群数については EPRC が測定を行い、BOD5、COD（過マンガン酸カリウム法、二クロム酸カリウム法）、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素はバングラデシュ工科大学に測定を依頼した。

4. 結果および考察

4. 1 トイレの種類の変化

表-1 にアンケートの結果から得られた 1995 年以前、1995 年から 1999 年、1999 年以降におけるトイレの種類の変化を示す。1995 年以前および 1995 年から 1999 年には、ほとんどの世帯でピットトイレを使用していたが、1999 年以降、プロジェクトによりバイオガスプラントに接続したトイレを使用する世帯が大幅に増えたことがわかる。また調査を行ったほとんどの世帯は 2000 年と 2001 年にバイオガスプラントに接続していたことから、1999 年までの試験導入を受け、バイオガスプラントがさかんに導入されてきていることがうかがえる。1999 年以降バイオガスプラントに接続した 154 世帯のうち、4 世帯は現在ではプラントに接続をしていないため、調査を行った世帯のうち 150 世帯が現在バイオガスプラントに接続していることになる。次節から述べる結果は、この 150 世帯の回答をもとにしている。

表-1 トイレの種類の変化

トイレの種類	1995年以前	1995年から 1999年以降	
		1999年	
ピットトイレ	175	179	56
浄化槽に接続	17	22	26
バイオガスプラントに接続	4	5	154
排水溝に接続	6	7	5
トイレ無し	3	1	1
溜め（ピット）が無いトイレ （汚物は直接戸外へ放出）	43	34	9
合計	248	248	251

4. 2 家庭における衛生状況の改善点

アンケートによると、バイオガスプラントにトイレを接続したことによる利点としては、し尿がトイレのピットにたまらないこと、トイレから汚物があふれないこと、臭いが無いこと、ピット自体が無いのでし尿を排出する作業を必要としないこと、維持管理費用がほとんどかからないことなどを挙げている。これらの回答が得られた背景としては、トイレから直接バイオガスプラントへ向かう配管によりし尿が排除され、また、文化的背景から排泄後の洗浄水および、排泄物を流す水が多いので配管に詰まりを生じることがほとんどなく、家庭の中でし尿を見たり触れたりすることがなくなったためと思われる。しかし、これらの利点が生じるためには、配管の先がバイオガスプラントである必然性は無く、例えば浄化槽などと接続していても、同様の利点が得られると考えられる。

また、トイレがあふれるかどうかについての質問に対しては、バイオガスプラントに接続している150世帯のうち140世帯があふれないと回答をした一方で、バイオガスプラントに接続していない94世帯のうち45世帯があふれることがあると回答した。これはバイオガスプラントが接続されていないトイレの場合、例えばピットトイレではピットにたまったし尿が雨季に水がはける場所が無くあふれることや、排水溝に直結しているトイレでは、排出先である排水溝自体がごみなどであふれ流れが滞るために便器からのし尿の排除がうまく行われないこと、といった理由が考えられる。

したがって、家庭における衛生状況が改善された主な要因としては、便器の下ピットが無くなり、容量の大きなタンクに配管で便器から直接し尿が排除されるようになったことが考えられる。

4.3 バイオガスプラントのし尿処理の現状

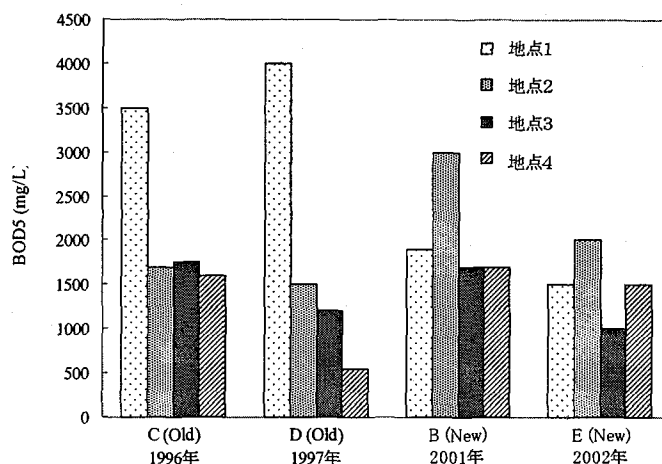
水質調査結果の一例として、4つのバイオガスプラントへの流入前後のBODの結果を図-2に示す。調査方法で述べたように、ブロックCとDでは古いプラント、ブロックBとEでは新しいプラントから試料を採取した。新しいプラントにはソーくピットが設置されておらず、測定時間のずれなど、調査の詳細情報が得られていないため確かなことは言えないが、採水地点3の水圧槽と地点4の水圧槽出口の試料はほぼ同じものとみなせることが予想される。

ここには値を示さないが、得られた測定値、特に窒素に関する測定値からは明らかな傾向を見出すことはできなかった。この理由としては、バングラデシュという機材、人材が限られている状況において、試料採取から測定に至るまでのプロセスにおいて、精度の維持、管理がうまくなされず、信頼できる測定結果を得られなかった可能性が考えられる。

また、水圧槽およびソーくピットの中身が固まっていたことが観察されており、試料採取の際に地点を代表する試料を採取できなかったことが原因となっている可能性もある。

測定が信頼でき、測定値が採取地点を代表したものであると仮定した場合、有機汚濁の指標であるBODに着目すると、新しい2つのプラントでは、反応槽の前後すなわち採水地点2と3を比較すると、図-2に示すようにおよそ50%ほどが除去されている。一方、古い二つのプラントでは、地点2と3の値がほとんど変わっていないことから、反応槽の中身が固形化し、し尿がその上を流れているだけの状態であるといったような何らかの理由で、嫌気性消化が全く行われていない可能性が考えられる。また、古いプラントにおいて、24世帯からのし尿が集まるコネクションピット（採水地点1）と導入槽（採水地点2）を比較すると、前者がほぼ2倍以上の濃度を示している。これは、コネクションピットである程度懸濁物として沈殿している、浴用に使用した水など濃度の低い水を多く含む排水が他のコネクションピットから合流している、雨水・地下水などが流入して希釈されているなど、様々な要因が考えられるが、調査時期の詳細な気象状況、96世帯全体にわたる配管の接続状況等が不明であるため、はっきりとした要因は現在のところ明らかではない。

以上のことから、バイオガスプラントで本来期待される嫌気性消化はうまく行われているとは言いがたい状況である。また、新しいプラントでおよそ50%のBODが除去されているとは言え、運河に放流される水質はBODで1000mg/L以上あり、現在の状況ではバイオガスプラントが水環境への汚濁負荷を低減しているとは言いがたい。



地点1：コネクションピット、地点2：導入槽、
地点3：水圧槽、地点4：ソーくピット出口

図-2 バイオガスプラントの各処理過程におけるBOD

4. 4 バイオガスプラントシステムの維持管理

家庭の便器を含むシステム全体としての維持管理としては、家庭の便器とバイオガスプラントをつなぐ配管の要所要所に設けられているコネクションピットの清掃のみのようである。アンケートによるとこれにかかるコストは20タカから400タカと様々である。この費用はほとんどの場合掃除人を雇う費用であることがわかった。掃除人を雇う理由としては、たとえ貧困地域の住民でも伝統的に汚物を自ら触れる習慣がなく、代々掃除夫として働いている一部の人は雇う習慣があることが聞き取り調査により明らかになった。

また、アンケートおよび聞き取り調査の結果から住民はバイオガスプラントの反応槽等、プラント自体の定期的な維持管理は特に行っていないことがわかった。一番初めに導入されたプラントを除いて、他のプラントは現在まで一度も反応槽を開けたことは無く、一番初めに導入されたバイオガスプラントは反応槽があふれたためこれを開け、WASAが中身を抜き取ったということである。これは、この先近いうちに他のプラントの反応槽もあふれる可能性があることを示唆している。

今後反応槽の流入水、放流水の水質を定期的に調査し、また中身を定期的に清掃するシステムを構築するとともに、住民に対して適切な指導を行う必要があると思われる。

5. まとめ

- バイオガスプラントに接続をしているトイレは、現在のところ複雑な維持管理を行わなくても詰まりや溢れの問題はほとんど無いことから、し尿を家から持続的に排除する機能を持つことが明らかになった。バイオガスプラントの配管の詰まりがほとんど無い理由としては、文化的背景から、排泄後に紙を使用せず、また一度の排泄あたりに使用する水の量が多いことが考えられる。
- バイオガスプラント自体は現在のところ嫌気性消化がうまくいっているとは言えない状況である。これは、プラント自体の維持管理を全く行っていないことが背景にあると考えられ、定期的な維持管理を行うことで改善する可能性がある。
- バイオガスプラントの水圧槽、ソークピットの中身が固形化していることが観察され、またプラント設置後短くて1年、長くて6年もの間、反応槽の中身を一度も出していないという事実から、維持管理としては定期的に反応槽の中身を排出することが不可欠であると考えられる。また、反応槽の前後の水質を調査して処理状況を確認すること、し尿が固形化していないかなど反応槽内部の状況確認を定期的に行うことが必要であると考えられる。
- 今後、バイオガスプラントを適切かつ継続的に運転管理していくためには、住民による維持管理体制をつくり、費用負担システム、水質の定期調査を含めた維持管理を住民自ら行う方法を確立することが不可欠であると考えられる。設備導入コストなど、高額のコストを全額住民が負担にすることはまだ住民にとって受け入れられないが、利点が十分理解できればある程度の負担を住民が許容することは明らかになった。

【参考文献】

- 1) WHO and UNICEF 2000: Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report, World Health Organization and United Nations Children's Fund, April 2001.