

アジア開発途上国の都市廃棄物管理における技術オプション

— 嫌気性消化技術の可能性について —

Appropriate Technology Option for Municipal Solid Waste Management in Asian Developing Countries

- Feasibility of Anaerobic Digestion Technology -

四 蔵 茂 雄*

SHIKURA Shigeo*

原 田 秀 樹**

HARADA Hideki**

ABSTRACT: In urban area of developing countries, environmental deterioration caused by municipal solid waste (MSW) has been increasingly endangering humans' health condition. Establishment of appropriate MSW management is mostly urgent matter. In this study, we investigated the feasibility of anaerobic digestion (AD) technology as a technical option in MSW management. It was suggested that fuelwood overgrazing from nearby surroundings resulted in deforestation and soil erosion. Different from developed countries, this region fulfills the conditions of climate and MSW characteristics for dissemination of this technology, but can not afford the incineration yet. Opposed to our expectation, AD technology was proved to meet some extent of household energy demands in urban areas, and thus can partially contribute fuelwood saving for most of Asian developing countries.

KEYWORDS: MSW, Solid Waste, Anaerobic Digestion, Forest Conservation, Asian Developing Countries

1 はじめに

NIES諸国、ASEAN諸国を中心に、近年のアジア地域の経済的発展は目覚ましい。しかしながら、同時に進行している環境問題はきわめて深刻な状態にある。これらの国々の多くは、森林破壊や砂漠化等の地球レベルの環境問題に加え、大気汚染や水質汚濁、廃棄物問題等、都市型、産業型の公害問題をも併せ持っている分、事態は一層複雑である^{1,2)}。なかでも著しい速度で増え続ける都市廃棄物(Municipal Solid Waste: MSW)の問題については早急な対策が必要となっている。特に、低い収集率と埋め立て地管理の不適切による都市環境の悪化は、都市の美観や人の健康にも重要な影響を及ぼしている^{3)~5)}。

ところで現在の環境問題には重要な一つの側面、すなわちエネルギー問題としての側面がある。化石燃料の消費に伴う地球の温暖化などはその一例である。これらの国々では先進国以上にエネルギー事情が切迫しており、生活エネルギーの確保さえ十分でないところも多く、しかもこのような最も基礎的なニーズの充足においてさえ、環境問題と直接的に結びついている点が、これら開発途上国特有の現象になっている⁶⁾。

本論文はMSWの適正処理とエネルギー源の開発という二つの要求を満たすことが、途上国の環境改善に寄与すること、さらにその中心的な役割を担う技術として嫌気性消化(Anaerobic Digestion: AD)技術の意義とアジア開発途上国への適用性について検討するものである。MSW処理におけるAD技術は石油危機以来の省エネルギーの流れの中で一時脚光をあび、多くの取り組みもなされたが期待されたほど普及しなかった。しかしながら環境問題への関心からこの技術も近年再び注目される様になり、徐々にではあるが実用化されつつある¹⁰⁾。

筆者らは本研究を進めるに当たり、途上国のMSW管理の実状について情報収集するため、昨年南アジア4カ国を調査訪問した。本稿は、この時得た情報を参考に、(1)MSWのADの現状、(2)これら国々の環境問題

* 舞鶴工業高等専門学校 Maizuru National College of Technology

** 長岡技術科学大学、環境システム工学系 Dept. of Environmental Systems Engineering, Nagaoka University of Technology

とエネルギー、(3)ADの利点とアジアの開発途上国が有する技術普及に適した条件、(4)MSWの持つエネルギー源としての可能性、について論ずる。

2 都市廃棄物 (MSW) の嫌気性消化の現状

2.1 世界の状況

AD自体は歴史も古く、これまでも様々な分野で広く研究されてきたが、MSWを対象とした研究が強力に進められるようになったのは、石油ショック以後である。このような流れは、米国では最終的にRefCom (Refuse Converted to Methane) プロセス¹¹⁾として結実したが、その後しばらく実施施設の建設は進まなかった。同様に我が国においても通産省を始めとして積極的に調査研究が行われた時期があったが¹²⁾、現在ではほとんど忘れられた存在になっている。これに対し、ヨーロッパ諸国はその間も着実に研究開発を進め、技術とノウハウを蓄積してきた。今日では、リアクターでの反応条件や流れの様式、前後のプロセスの組み合わせ等により多くのシステムが提案され、実用化されている。また一方、国際機関においても現在関連する取り組みがなされている。IEA (国際エネルギー機関) は、バイオマスエネルギー開発の一貫として、"TASK XI: MSW Conversion to Energy" で、MSWからのADについて調査を進めている¹³⁾。これまで建設された施設で一部閉鎖されたものもあるが、ドイツ等では今後も積極的な展開を計画している。

以上のように、AD技術のMSWへの適用は全体として見ると依然少数で、その広がりには極めて限定されているが、わずかずつではあるが確実に進展の兆しが見え始めている。我が国においても焼却炉とは別の選択肢として、その技術の蓄積は大いに検討されるべきかもしれない。

なお、アジア地域では、今のところ実施施設は無く、いくつかの国 (インド、バングラデシュ等) で、パイロット実験、フィールド規模の実験が進められているだけである。

2.2 インドの状況

インドでは近年、エネルギー生産分野への民間レベルの事業展開が活発になりつつある。風力発電事業への参入と共に、MSWからのADによるガス発電もその一つである。フィージビリティ試験の実施とあわ

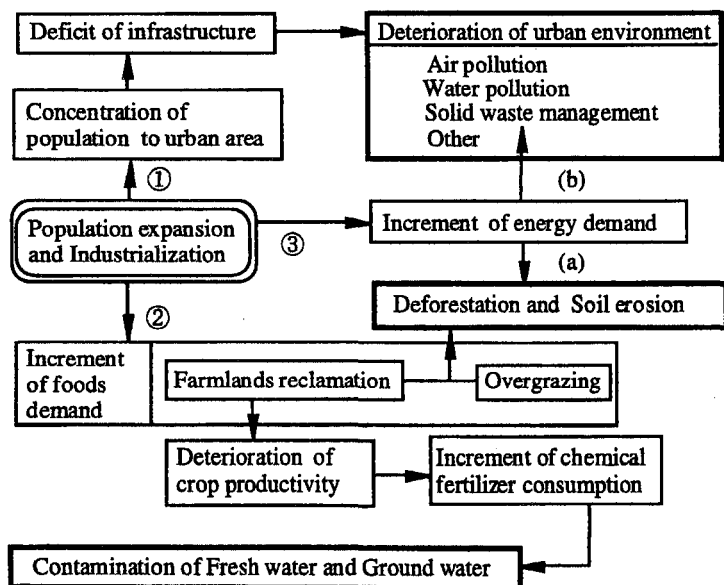


Fig. 1 Structure of environmental problems in Asian countries

せ、当局への積極的な建設の提案が行われている。例えばマハラシュトラ州Pune市（人口約290万人）では、現在ある私企業が市当局から無料で提供されたMSWを用いて、5TPDのMSWパイロット施設を稼働させている^{14,15}。Paudダンピングサイトの一角にあるこの施設では、搬入されてくるMSW（混合ごみ）は、プラスチックや金属などが手選別で取り除かれた後、粉碎行程を経て反応槽に投入される。反応槽は容量180 m³の浮遊型で、砂や沈殿汚泥は底部から取り除かれる。ガスはガスホルダー、スクラバーを経て発電機へ送られる。本施設では、5トンの標準的なMSWから、500 m³のガス、1.5トンの肥料が生産されている。現状では発電原価は普通のガスの場合と比べ割高であるが、スケールアップされれば十分採算レベルに達すると見込まれている。MSWのADプロジェクトはこの企業だけでも、他に10都市程で実施中である。

3 環境問題とエネルギー

図1はアジア開発途上国における一般的な環境問題の連関について整理したものである（補1）。人口の増加、産業の発展を起点に3方向への影響を表現している。まず第一は都市部での急激な人口増加を経由するものであり、インフラの不足と相まって大気汚染や水質汚濁、廃棄物処理等の都市型の環境問題に至る流れである。第二は食料需要の増加から農地の開拓や牧畜への圧力、これに起因した森林の減少、さらには耕作適地以外の開墾による生産性の低下、化学肥料の使用、地下水や飲料水の汚染へ至るものである。最後はエネルギー需要の増加から森林減少、土壌流出へと続く連鎖である。この流れはこれら国々の多くが依然としてバイオマス資源に依存したエネルギー消費構造を有していることにより説明される。

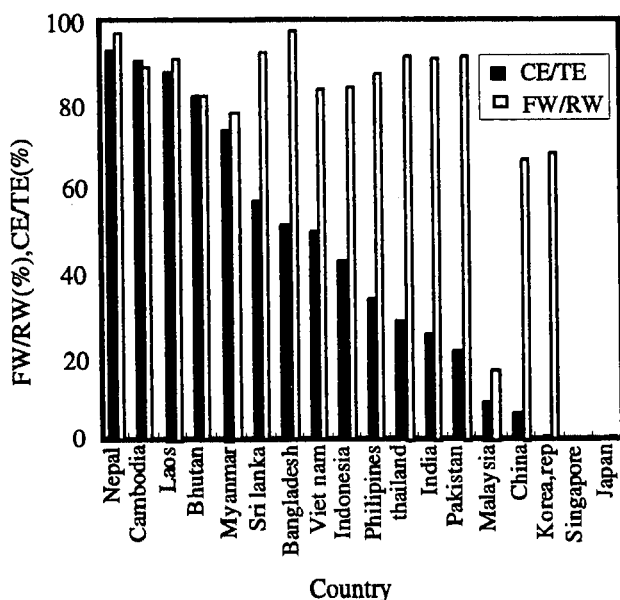


Fig. 2 Ratio of fuel wood to round wood production and conventional energy to total energy consumption

Abbreviation ; (1)CE : Conventional Energy Consumption, (2)TE : Total Energy Consumption, (3)FW: Fuelwood Production, (4)RW: Round Wood Production

This Figure was constructed from the tabulated data given in " World Resources 1993-94, WRI"

図2に丸太生産に占める燃料材の割合(FW/RW)と全エネルギー消費に占める伝統エネルギー（補2）の割合(CE/TE)を整理した。ほとんどの国で燃料材の生産割合が極めて高いこと、またネパール、カンボジア、ラオス等開発が比較的遅れている国ほど、エネルギー消費の多くを伝統燃料に依存していることがわかる。薪

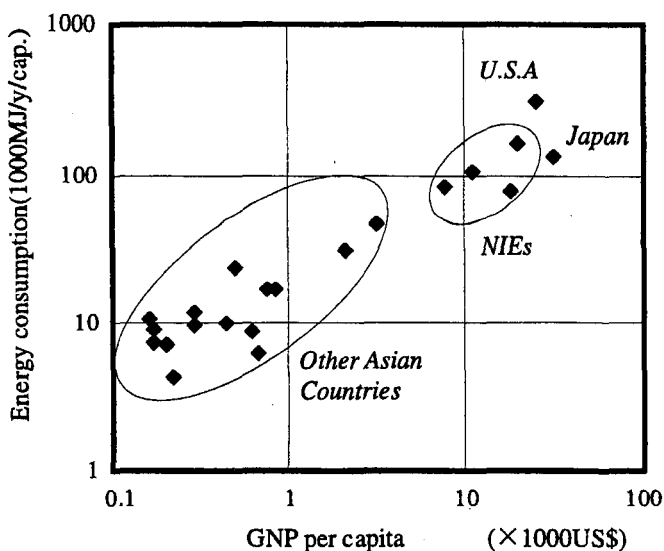


Fig. 3 Energy consumption and GNP

This Figure was constructed from the tabulated data given in "World Resources 1993-94, WRI"

の採取、木炭生産のための森林の伐採や本来肥料として土壌へ回帰されるべき家畜糞等（補3）を燃料として消費することが、森林減少や土壌流出の大きな要因となっている。

図3はエネルギー消費とGNPの関係を表したものであるが、NIES諸国を除く国々では日本の1/3～1/30程、米国との比較では1/6～1/70程のエネルギーを消費しているに過ぎないことがわかる。しかしながらこれらの国々ではそのわずかなエネルギーのために貴重なバイオマス資源を消費しているのである。ここで図1の(a)で表されているバイオマスが担っているエネルギー源としての役割の一部を(b)の方向に転換し、MSWからエネルギーを引き出すことで環境改善を図ろうというのが本研究の意図するところである。

4 AD技術の利点と条件

4.1 AD技術の利点

ADの利用については、今日では下水汚泥、家畜ふんや農業残渣、また産業排水を対象とした施設が世界的に広く存在しておりかなり成熟した段階に達しているが、MSW利用の実施設は世界的に見ても少数である。一般的にこれは、石油危機後のエネルギー価格の低下がこの技術の経済的なインセンティブを喪失させたためと考えられている¹⁶⁾。しかしながら、環境への配慮が厳しく求められている現在、この技術が有する利点がふたたびクローズアップされてきた。アジアの開発途上国が有するADの普及に適した条件と併せ、これを表1に整理した。

第一にその最も優れた点はエネルギー生産が可能なことである。しかも他のプロセスによる生産物（例えばコンポスト）と違い確実にその消費が見込まれる点が重要である。特に途上国において民生用に供給すれば、最も深刻な問題のひとつであるエネルギー獲得の労働から解放されること、さらには換気の悪い室内で家畜糞や炭等を燃料として利用することから生じている呼吸器系疾患の抑制が図れ、衛生的な家事が期待できることである¹⁷⁾。

第二に廃棄物処理法としてみた場合には、ADによる減量化と改質された処理排出物のため、埋め立て地管理が容易になることである。すなわち最終的に処分されるMSWの減量化による埋め立て地の延命化や、M

Table 1 Benefit from AD technology and expedient condition

Benefit

- Energy production
- Improvement of household working
- Abatement of waste quantity to be disposed of and life extension of landfill site
- Abatement of greenhouse and pollution gas emission from landfill site
- Abatement of leachate
- Utilizing of bioslurry

Condition

- Nature Moderate climate for AD
- MSW Rich in organic fraction
- Energy Necessity of other energy source development
- Technology Rural AD plant
- Economy Deficit of government budget and unavailability of expensive facility

SWの有機分の減少による埋め立て地からの温暖化ガス、汚染性ガスの抑制、そして浸出水のもたらす負荷の低減が図れることである。またバイオスラリーは土壌の改質剤や肥料としての利用が可能であるが、プラント近傍で効率的な利用が見込まれないときは、埋め立て地の被覆材料とすることも可能である。

4.2 普及に適した条件

アジアの途上国には、ADの普及に適した条件が現在でも備わっている。まず気温が高く変動が小さいこととMSWの有機物含有率が高いことである。このことは季節変化が大きく比較的寒冷な地域に位置し、紙質の多い先進諸国にはない極めて特筆すべき要因と考えられる。これらは消化槽のパフォーマンスを高め経済性に大きく寄与するであろう。

また、代替エネルギーの開発が政府にとっても切迫した課題であることは、AD技術の開発にとっても全く好都合である。

次にAD技術が比較的Low Tech.であり、開発途上国においても農作物残渣等を利用したADの技術的蓄積があることである¹⁸⁾。表2はアジアの途上国における農村のADプラント数を整理したものである¹⁹⁾。これらは主に作物残渣や家畜糞等を利用したもので、ほとんどが6～10m³のファミリーサイズのものである

Table 2 Number of Rural AD Plant

Country	Number of Plant
Bangladesh	500
Bhutan	54
China	4.7million
India	1.2million
Indonesia	200
Myanmar	less than 2,000
P.D.Korea	50,000
Nepal	5,959
Pakistan	4,137
Philippines	800
Thailand	2,781
Vietnam	1,500

This table was constructed from some papers recorded in No. 19 reference

が、なかには140m³程度のコミュニティレベルのものまで含まれている。特に中国、インドにおいては普及が進んでおり農村の重要なエネルギー源となっている。

Table 3 Economic feasibility of Incinerator with capacity of a quarter of waste generated

Item	Unit	Colombo	Vientiane	Kathmandu
City Population	Thousand	615	132	598
Total Plant Capacity	ton/day	150	20	60
Available Budget for SWM	US\$ million	3.1	0.3	0.8
Annual Capital Cost	"	3.9	0.3	0.6
Annual Operating Cost	"	1.7	0.2	0.7
Total Cost	"	5.6	0.5	1.3
Ratio of Total Cost to Available Budget	%	176	172	161

Dhaka	Manila	Calcutta	Beijing	Karachi	Kuala Lumpur	Jakarta
5,877	7,968	10,741	10,872	7,965	1,122	9,250
750	1,500	800	2,900	900	750	1,500
17.6	56.5	33.4	94.4	33.1	36.6	130.8
7.9	25.3	12.9	23.3	8.8	7.5	20.3
8.5	17.0	9.1	32.8	10.2	8.5	17.0
16.4	42.3	22.0	56.1	19.0	16.0	37.2
93	75	66	59	57	44	28

Yangon	Bangkok	Seoul	Singapore	Hong Kong	Taipei	Tokyo
3,302	5,894	10,558	2,705	5,369	2,900	8,022
150	1,500	3,700	1,800	2,100	900	3,000
21.7	244.4	738.4	394.9	772.9	331.0	2,164.6
1.5	14.2	56.8	11.8	22.2	7.6	23.2
1.7	17.0	41.9	20.4	23.8	10.2	33.9
3.2	31.2	98.7	32.2	46.0	17.8	57.2
15	13	13	8	6	5	3

Calculation procedure:

1) Plant capacity is nearly equal to a quarter of waste generated per day.

2) The reserve is not taken into account.

2) An available budget for SWM is assumed to be 1% of regional GDP.

3) An annual capital cost is calculated by $[PC \times UC1 \times CRF]$

PC : plant capacity (ton/day),

UC1 : unit cost for capital (US\$100,000/ton, referred from No.11 source below),

CRF : capital recovery factor = $[r(1+r)^n]/[(1+r)^n - 1]$, where; n=20 year, r=interest rate in each city,

4) An annual operating cost is calculated by $[PC \times UC2 \times 365]$

UC2 : unit cost for treatment (US\$31/ton, referred from No.11 source below),

Data Source:

1) JICA, Report, 2) UNCRD, City profiles, 3) Tokyo Gomi Hakusyo, 4) MMDA (Philippines), Report, July 1996, 5) Monitoring MSW Hong Kong, 1993 and 1994, 6) Dhaka City Corporation, private communication, 7) Metropolitan Cities in the World (Sekai no Daitoshi), 1994, 8) Karachi Metropolitan Corporation Islamic Republic of Pakistan, Solid Waste Management; Final Report, Oct. 1995, 9) Yearbook of Environmental Protection Statistics, Taiwan Area, the Republic of China '96, 10) Solid Waste Management in CMC Area, Calcutta Environmental Management Strategy and Action Plan, 11) The Management of Municipal Solid Waste in Europe, 1994 Elsevier, 12) SWMRMC (Kathmandu), Private Communication

4.3 もう一つの選択（焼却炉の不適切性）

MSW 処理法の一つとして先進国では重要な位置を占めている焼却炉は、財政の限られた途上国においては事実上困難であり、このことがAD技術の適用を有利にしている。表3にこれら地域における焼却炉建設の財政的なシュミレーションの結果を示した。これは各都市における廃棄物管理に使用可能な予算を、JICAの報告²⁰⁾を参考に市内GDPの概ね1%と仮定し、これに対して市内で発生するMSWの1/4相当量を焼却する場合について検討したものである。ここでは外部からの援助は考えていない。なお、具体的な計算方法は同表下部に示した。

建設可否の限度を何%と明確に定めることは困難であるが、現状の収集運搬、道路清掃等のMSW管理予算に占める割合の高さを考慮すると、せいぜい10%程度が限度であると考えた。台北、シンガポールは概に1/4相当量を越えた焼却を実施している。また香港、ソウル、バンコックでは、1/4相当量程度は焼却可能と思われる。しかしながら、その他の都市は、外部からの援助がない限り現状では焼却炉の建設は困難であろう。なお、ヤンゴンとは比較的数字は低いがこれはMSWの収集量が極めて少ないことが原因と考えられる。

また図4にシュミレーションに用いた各都市のMSWの3成分構成を整理した。データも少なくまた季節によっても大きく異なるが、多くが自然範囲を外れており、仮に焼却炉が導入されても補助燃料の投入が必要と思われ、割高な運転を強いられることが予想される。

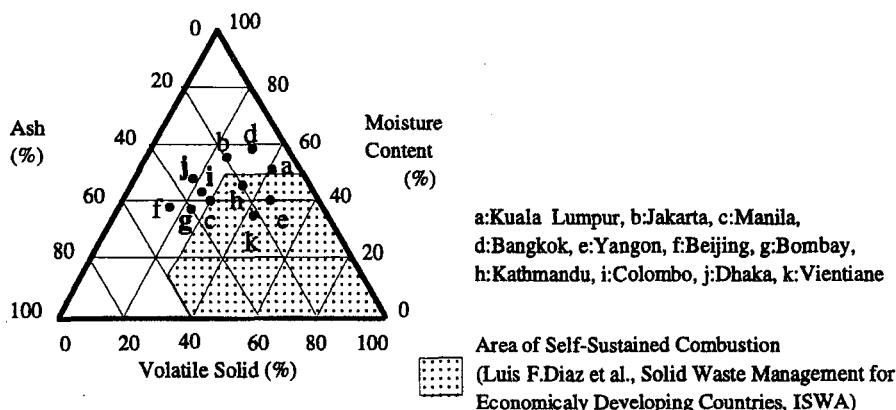


Fig. 4 Three Components of MSW

Source : 1)City Profiles, UNCRD, 2) Jindal and Harada Report, AIT, 3)JICA, '93 Report, 4)Dhaka City Corporation, Private Communication, 5)P. U. Panjwani, 6)Sharma, T., and Hari, G. C.

This figure was constructed from many data sources above mentioned

5 エネルギー回収

MSWからのエネルギー回収について試算し、燃料材や植林への影響について考察を加える。

5.1 計算根拠

各項目の算出式を表4に示す。原料はMSW中の厨芥分として計算した。ガス発生率(0.5m³/kg-VS)、ガス熱量(5,000kcal/m³)は一定とし、ガスの自家消費はないものとした。また厨芥の含水率は80%とし、乾燥厨芥分の100%が有機成分であるとした(結果として20%VS)。バイオガスの利用家庭数は、燃料の効率を考慮して調理用を使用するものとして計算した。燃料材の節約分はエネルギー当量を 3.5kg-fuelwood/m³-biogas (補4)として求めた。また、森林保全面積は、燃料材の節約分(ton/year)を各国森林の単位面積当たりバイオ

マス量(ton/ha)で除して求めた。プラントの年稼働日数は気候条件を考慮して、農村のADプラントの実績を参考に、北京、カトマンズ、ソウルでは250日、その他の国々では300日とした。

Table 4 Calculation Method

Item	Equation	Source
Quantity of Garbage (ton/day)	per capita MSW generation (kg/cap./day) × Urban Population × Garbage Ratio (%)	21)
Quantity of Biogas (m ³ /year)	Quantity of Garbage (ton/day) × Gas Yield (0.5m ³ /kg-VS) × (1-0.8) × 1 × 300 (or 250 day) × 1000	21) 23)
Biogas Energy (kcal/year)	Quantity of Biogas (m ³ /year) × Biogas Calorie (5,000kcal/m ³)	22)
Household utilizing Biogas	Quantity of Biogas (m ³ /year) ÷ (2.5m ³ /household/day × 365day)	23)
Fuelwood Saving (ton/year)	Quantity of Biogas (m ³ /year) × 3.5kg-fuelwood/m ³ -biogas ÷ 1000	22)
Forest Saving (ha/year)	Fuelwood Saving (ton/year) ÷ Unit Biomass in each country (ton/ha)	-

5.2 計算結果

結果を表5に示す。バイオガスは全消費エネルギーの0.1～0.6%程度に相当することが示された。MSWのエネルギー資源としての寄与は期待されたほど大きくはなかった。国による差が小さいのはエネルギー消費の少ない国ほどごみの排出量も少ないためではないかと思われる。しかしながら家庭での利用(調理用)に限定すると、生産されたバイオガスは都市居住世帯全体の1～11%が利用できる熱量に匹敵することがわかる。

一方、実際に伐採される燃料材の一部をこのエネルギーで賄うとした場合、韓国で29%、中国、マレーシアで6%程度、その他の国で0.1～4%程度節約できる計算である。期待とは逆に代替エネルギー源が必要とされる国ほどその寄与率が低くなった。

またこの節約される燃料材量を植林面積と比較すると、韓国で100%以上、マレーシア、台湾、スリランカで20%～30%、他の国で1～10%に相当した。これは植林に要する経費をこの率に相当する分だけ節約できることを意味するが、他方で植林に対する取り組みが現状では不足していることを示すものでもある。

6 おわりに

本論文ではアジア開発途上国における廃棄物管理計画の技術オプションとして嫌気性消化技術を提案した。まずMSWのAD技術の現状を整理し、全体としてはわずかであるが、世界的な趨勢としては積極的な活用が推進されていること、また次に環境問題とエネルギーの関連について、これらの国々の多くが依然として伝統的な燃料に依存したエネルギー消費構造を有していること、またこれが直接的に環境問題とリンクしていることを示した。さらにMSWを利用したAD技術の利点とアジア諸国がこの技術の普及のために具備している条件の整理とADによる回収エネルギーがもたらす効果について考察を行った。その結果技術普及に対しては先進諸国にはない非常に優れた条件が備わっていること、一方で技術オプションとしての焼却炉の採用は多くの国で時期尚早であることを示した。また試算の結果、MSWのエネルギー資源としての寄与は期待されたほど大きくはないが、家庭での利用(調理用)に限定するとかなりの貢献が見込まれること、また現状の植林に対しては国によっては比較的節約効果が期待されることが示された。

今回はADの特性のうち、エネルギーについてのみ評価したが、より広範に検討するためにはその他の効果、例えば埋め立て地の延命化や地球の温暖化に及ぼす影響等の評価が必要であろう。また、最も重要となる作業はその経済性に関する情報の構築である。以上に加え、効率的でしかも途上国に適したハード、ソフト両面にわたるシステムを開発していく必要がある。

Table5 Biogas Contribution to Energy Saving

Item	Unit	Nepal	Myanmar	Sri Lanka	Indonesia	Philippines	Thailand	India	Malaysia	China	Korea	Singapore	Hong Kong	Taiwan
National population	thousand	20,812	44,596	17,619	189,136	65,649	58,584	883,910	19,050	1,196,360	44,056	2,818	5,919	20,949
Urban/National ratio	%	6	19	18	29	43	17	26	47	25	74	100	100	61
Waste per capita	Kg/cap./d	0.4	0.2	0.8	0.8	0.5	0.9	0.6	1.3	1.6	1.4	1.0	1.0	1.1
Garbage ratio	%	41.0	25.0	55.4	28.0	31.8	36.5	68.0	48.4	29.2	32.0	44.4	35.4	30.7
Garbage per capita	Kg/cap./d	0.2	0.1	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
Quantity of Garbage	ton/d	201	423	1,415	12,432	4,470	3,353	90,856	5,597	138,739	14,742	1,251	2,179	4,480
BG production	1000m ³ /y	5,018	12,699	42,411	372,973	134,104	100,590	2,725,685	167,921	3,468,469	368,560	37,536	65,374	134,389
Calorific value of BG	Tcal/y	25	63	211	1,865	671	503	13,628	840	17,342	1,843	188	327	672
TE consumption	"	52,782	62,336	37,258	807,022	272,032	431,574	2,587,772	218,534	7,012,897	918,796	111,058	92,760	546,340
BG/TE ratio	%	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	0.1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1
HH utilizing BG (U)	thousand	5	14	47	409	147	110	2,987	184	3,801	404	41	72	147
Total household (T)	"	211	1,628	614	11,327	5,020	1,963	41,175	1,744	67,490	7,902	600	1,600	3,415
U/T ratio	%	2.6	0.9	7.6	3.6	2.9	5.6	7.3	11	5.6	5.1	6.9	4.5	4.3
FW production (P)	1000ton/y	17,661	17,785	8,364	141,017	33,447	34,585	250,089	8,719	188,498	4,489	-	-	2
FW saving (S)	"	18	44	149	1,305	469	352	9,540	588	12,140	1,290	131	161	470
S/P ratio	%	0.1	0.2	1.8	0.9	1.4	1.0	3.8	6.7	6.4	29	-	-	100 <
Plantation (PL)	1000ha/y	4	20	6	332	20	29	1,009	6	1,140	0	-	-	5
Forest saving (FS)	ha/y	161	205	1,315	6,431	1,989	2,817	102,580	2,252	77,323	10,750	657	-	1,568
FS/PL ratio	%	4	1	22	2	10	10	10	36	7	100 <	-	-	34

Abbreviation: (1) BG: biogas, (2) TE: total energy, (3) FW: fuelwood, (4) HH: household, (5) PL: plantation, (6) FS: forest saving

Data Source:

- (1) UN Demographic yearbook '87/93, (2) Statistical yearbook of the Rep. of China 1995, (3) Solid waste management in Asian countries, Jindal and Harada Rep., (4) UNCRD, City profiles, (5) World resources '94-95, WRI, (6) Methane fermentation from waste, Honda et al. Scientist Inc., (7) Yearbook of environmental statistics Taiwan area, '96, (8) Monitoring of MSW '93 and '94 Hong Kong, (9) Forest resources assessment 1990 FAO, (10) Taiwan Soran '95, (11) Symposium on Partnership among Asian Countries toward Responsible Solid Waste Management, JSWME(Fukuoka, 1996), (12) International Trade and Recycling in Developing Countries; the Case of Waste Paper Trade in India, (13) Working Paper: Urban Environmental Management, the Indian Experience, HSMI/WMC of UIFW, New Delhi, (14) Study on Resource Recovery Aspects of Solid Waste (Fuel Briquetting Option), Sharma, T., and Hani, G. C., (15) SWMRMC(Kathmandu), Private Communication

【補注】

- (補1) ここでは、ある国特有の問題、例えば塩害等については考慮していない。
- (補2) 伝統エネルギーとは、薪、炭、農業残渣、家畜糞等をいう。値はFAOが算出した一人当たり消費原単位と各国の人口データに基づき、世界資源研究所が推定した。
- (補3) 家畜糞等には肥料成分（窒素、リン等）が含まれており、これらは自然の物質循環から見て土壤に還元されるのが最も良い方法である。
- (補4) $(5,000\text{kcal/m}^3 \times 60\%) / (4,700\text{kcal/kg} \times 18\%) = 3.5\text{kg-fuelwood/m}^3\text{-biogas}$

【参考文献】

- 1) Worldwatch Institute : 地球白書、1993-94, chap.1, 1994-95, chap.1、グレイモンド社
- 2) ESCAP : ESCAPアジア太平洋環境白書 (1)-(4)、環境研究、No.90 (1993) - No.93 (1994)
- 3) UNEP: Environmental Data Report 1993-94, part 8
- 4) Luis F. Diaz and Clarence G Golueke : Solid waste management in developing countries, Biocycle, Vol.26, No.6, pp.46-50, 52 (1985)
- 5) Suhhadi Hadiwinoto, Josef Leitmann: Jakarta Cities, Vol.11, No.3, pp153-157 (1994)
- 6) K. Maniatis, et al.: Solid waste management in Indonesia : Status and Potential, Resources and Conservation, No.15, pp.277-290, (1987)
- 7) Paul Appasamy and Jan Lundqvist: Water supplied and waste disposal strategies for Madras, AMBIO, vol.22, No.7, Nov. (1993)
- 8) Carl R. et al.: Improving municipal solid waste management in third world countries Resources Conservation and Recycling, No. 8, pp43-54 (1993)
- 9) Worldwatch Institute : 地球白書、1990-91, chap. 8 ending poverty、グレイモンド社
- 10) K Braber, Novem B. V. : Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough, Biomass and bioenergy, Vol.9, Nos1-5, pp.365-376, (1995)
- 11) Ron Isaacson : Methane from community wastes, Elsevier Applied Science, (1991)
- 12) メタン発酵の基礎と応用(15)、(8)、益田、佐野、燃料及び焼却、第52巻、第12号、pp867-870、1985年、第52巻、第9号、pp637-645、1985年
- 13) IEA : Biogas from municipal solid waste, IEA bioenergy agreement task XI (1994)
- 14) Working Papers, Urban Environmental Management The Indian Experience, HSML/WMC of UIFW, New Delhi, City Wide Best Practices in Solid Waste Management in Collection, Transportation and Disposal, pp.181-183
- 15) Chandan Prabhaka Gadgil, Rakesh Khanna, Western Paques Ltd. : Biomethanation a viable technology for processing MSW in tropical countries, ISWA YOKOHAMA Conference, pp.I-89, I-96
- 16) Gene Logsdon : anaerobic composting gains greater support, Biocycle Vol.31, No.10, pp.42, 46, 48 (1990)
- 17) HABITAT : An urbanizing World global report on human settlements 1996, 4.3 indoor environment
- 18) ESCAP : Review of rural application of biogas technology in China, India, Nepal and Thailand,
- 19) International Conference on Biogas Technologies and Implementation Strategies Report, January 10th Pune, India (1990)
- 20) IFIC, JICA : 開発途上国都市廃棄物管理の改善手法、1993. 11
- 21) M. A. AZIZ : Solid waste management recovery of energy and useful materials, Wat. Sci. Tech. Vol.20, No.10, pp.211-220 (1988)
- 22) 本多淳裕、他 : 廃棄物のメタン発酵—理論と実用化技術、サイエンティスト社(1980)
- 23) Biogas from Solid Waste as a Renewable Fuel for Asian Countries-Environmental and Economical Aspects, Safuddin and H. Harada, Proc. of Intern'l Energy Conf., pp220-232, 1991