

新潟市およびボゴール市における廃食油再生化事業の問題と解決に関する一考察

An analytical study of problems and solutions of waste cooking oil recycling projects of Niigata and Bogor cities

藤田 晴啓*

要約

インドネシア・ボゴール市における最近の調査では、家庭からの廃食油は生活排水あるいは土壌に投棄され、水系・土壌汚染等の環境被害を引き起すばかりでなく、温室効果ガス排出の増加をもたらしている。日本の家庭からの廃食油は年間 10 万トンであるといわれ、その大半は燃焼ゴミとして廃棄され、再利用されるのは 1 割にも満たない。新潟市およびボゴール市において実施されている廃食油再生化事業の比較検討を行った。回収される廃食油量や再生エネルギーの 60% しか公用車両稼働に利用されていないこと等、両者には共通点が多いことが明らかとなった。食用油の温室効果ガス排出量としてのライフサイクルインパクトを、実際の製造所データや報告されているデータを使用して推定した。廃食油の排水・土壌の投棄、あるいは完全消費と比較した再生化の場合の環境的有利性は、経済的あるいは技術的な制約により、必ずしも再生活動を助長するものではないことが明らかとなった。日本における高い人件費による制約よりも、ボゴール市での技術的な制約は比較的安易に解決できるであろう。

1 廃食油廃棄に関わる社会・環境問題および法整備

表 1 に日本およびインドネシアにおける廃食油廃棄に関する社会問題、環境問題および法整備に関してまとめた。

表 1 日本およびインドネシアにおける廃食油に関わる社会・環境問題および法整備

Country	Indonesia	Japan
social issues	<ul style="list-style-type: none">• most households dispose WCO into drainage or soil• most industrial WCO be used by street food shops, snack vendors, completely concern on health risks	<ul style="list-style-type: none">• in urban areas, most WCO solidified and disposed as incinerating waste• in local areas WCO disposal into drainage commonly practiced• industrial WCO waste under control
environmental issues	<ul style="list-style-type: none">• severe drainage/edaphic pollution• duplicated GHG emission at production and wasting life cycles of cooking oil	<ul style="list-style-type: none">• waste of recyclable energy in urban areas• sewage system deterioration by WCO disposals in local areas
legislation	<ul style="list-style-type: none">• 2014 Bogor City, all industrial WCO to be recycled	<ul style="list-style-type: none">• Water Pollution Prevention Act, no clear penalties• industrial WCO be disposed under responsibility of business operators• Waste Management Act, less than 5yr imprisonment or 10 million JPY fine

インドネシアでは、家庭からの廃食油は生活排水あるいは土壌のいずれかに投棄され（第 3 章にて後述）、同国では下水システムがほぼ皆無に等しく整備されていないので、

*FUJITA, Haruhiro [情報システム学科]

深刻な水系および土壌汚染を引き起こすばかりでなく、廃食油が分解される過程で発生するメタンガス等により温室効果ガス排出は高くなる。後者は食用油の最後のライフサイクルにおける最後のステージでの環境的負荷であり、一方同国は世界で3番目に温室効果ガスの排出が多いとされる国であり、多くの温室効果ガス排出はアブラヤシ生産の農業活動に密接に関わる、森林伐採、土地利用変化から起こっている¹⁾。インドネシアでは、ホテル、レストラン、食品工場からの産業廃食油の殆どは、路上飲食店やスナック販売業者に売られ、完全消費されて、健康リスクも懸念されている。

一方日本では、家庭から排出される廃食油は年間10万トンといわれ、再利用されるのはその1割にも満たない。多くの家庭では廃食油を固めるか新聞紙等に吸い込ませて、燃焼ゴミとして廃棄し、貴重な植物由来の再生可能エネルギー源を無駄にしている。地方では、廃食油の生活排水への投棄が日常的に行われ、下水システムの劣化をひき起こしている。

一般に廃食油のリサイクルは環境に対しグッドプラクティスと理解されているが、日本での廃食油回収、運搬、リサイクル過程で要する高い人件費により、経済的には適合しない。

日本では廃棄物処理および水質汚染防止に関し、ふたつの法律およびそれらに関わる条例が存在する。

「水質汚濁防止法」は以下のとおり廃食油の適正な処理を国民に義務づけている。

(国民の責務)

第十四条の六 何人も、公共用水域の水質の保全を図るため、調理くず、廃食用油等の処理、洗剤の使用等を適正に行うよう心がけるとともに、国又は地方公共団体による生活排水対策の実施に協力しなければならない。

(生活排水を排出する者の努力)

第十四条の七 生活排水を排出する者は、下水道法その他の法律の規定に基づき生活排水の処理に係る措置を採るべきこととされている場合を除き、公共用水域の水質に対する生活排水による汚濁の負荷の低減に資する設備の整備に努めなければならない。

この水質汚濁防止法に対応する「新潟県生活環境の保全に関する条例」では、
第50条 市町村は、炊事、洗濯、入浴等人の生活に伴い排出される水(以下「生活排水」という。)の排出による公共用水域の水質の汚濁の防止を図るための必要な対策(以下「生活排水対策」という。)として、公共下水道その他の公共用水域の水質に対する生活排水による汚濁の負荷を低減するために必要な施設(次項において「生活排水処理施設」という。)の整備、生活排水対策の啓発その他の生活排水対策に係る施策の実施に努めなければならない。

・・・・・・・・略・・・・・・・・

4 県民は、公共用水域の水質の保全を図るため、調理くず、廃食用油等の適正な処理、洗剤の適正な使用等に自ら努めるとともに、県又は市町村による生活排水対策の実施に協力しなければならない。

5 生活排水を排出する者は、下水道法その他の法律の規定に基づき生活排水の処理に係る措置を講ずべきこととされている場合を除き、合併処理浄化槽の設置(既設の合併処理浄化槽への接続を含む。)その他の公共用水域の水質に対する生活排水による汚濁の負荷の低減に資する設備の整備に努めなければならない。

とある。

水質汚濁防止法については、第十四条の六・七など禁止（努める）規定はあるものの同法、第三十条以下において、第十四条の六・七違反に対する科料等の罰則規定の該当がない。

一方、廃食油を含む廃棄物の取り扱いについて定める「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」では、

第十六条 何人も、みだりに廃棄物を捨ててはならない。

この罰則規定として、同法の

第二十五条 次の各号のいずれかに該当する者は、五年以下の懲役若しくは千万円以下の罰金に処し、又はこれを併科する。

．．．．．略．．．．．

十四 第十六条の規定に違反して、廃棄物を捨てた者

この「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」は、特に産業廃棄物の不法投棄を抑止し、産業廃棄物を排出するあらゆる企業は何らかのコストを負担して、それらの処理を代行する廃棄物処理業者に委託するのが通常である。

さて、廃食油を適切な処理をせずに生活排水に投棄した場合は、「水質汚濁防止法」のもと、各県の条例で定められた「廃食油の適正な処理」を実施していないことに抵触し、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」では「廃棄物をみだりに捨てる」という事案に該当することになる。

2 新潟市およびボゴール市における廃食油リサイクル公共事業

表2は新潟市およびボゴール市の最新の廃食油回収および再生事業を表している。

表2 新潟市およびボゴール市における廃食油回収および再生事業概略

City	Bogor, Indonesia	Niigata, Japan
WCO collected in 2013	total 70000L 23 school association: 500~800L/m big supermarket chain: 800L/m	school meals: 43000L (not for BDF) households: 28000L (city owned)
Number of deposit stations	food companies: 500L/m church communities: 500L/m 2 or 3 deposit stations	122 deposit stations including municipal offices belonged to Niigata City
purchasing price WCO	3500 IRP/L paid to all parties	20 JPY/L only to collecting communities no payment for individual contributions
selling price WCO	No selling, city owned WCO as material for BDF process	10 JPY/L for BDF company 25 JPY/L for non-BDF company
purchasing BDF	31,582L, Bogor City pays 4500 IRP/L City bus cooperate pays 3500 IRP/L	17000L of collected 28000L from households 126 JPY/L
public BDF use	30 city buses (20% BDF in fuel) 60% BDF consumed by city vehicles remain sold to market, detail unknown	36 city utilities (100% BDF in fuel) 60% BDF consumed by city vehicles remain sold as heavy eq. boiler fuel

2005年新潟市は「菜の花プラン」というナタネを栽培し、ナタネが二酸化炭素を

吸収・固定するという趣旨のもと、収穫したナタネ種子からナタネ油を搾油し、調理使用後の廃食油を再生する一連の活動を開始した。同年に新潟市は学校給食センターからの廃食油の再生も開始した。2013年には学校給食の調理使用後43000Lの廃食油を回収し、地元企業に販売した。現在新潟市の学校給食センターで使用される食用油はコメ油であり、再生燃料は低温化での粘度が高いことから、燃料としての再利用ができない理由により、絵の具材料、肥料等に再利用されている。2013年には、市の廃天ぷら油回収事業として28000Lの廃食油がコミュニティー協議会等の住民組織を介して収集された。廃食油の売却益より、廃食油回収の費用が大きいため、2013年には約500万円の損益となっており、この損益は新潟市指定ゴミ袋販売収益によって賄われている。

表2は新潟市とボゴール市における、廃食油年間回収量、買い取り価格、再生燃料を消費する車両台数にて共通性があることを示している。再生エネルギーの60%を公用車稼働に使用している点も、これらの2都市の共通点である。

表3は公共および民間セクターにおける廃食油再生ビジネスと問題点を要約したものである。これらの問題点はふたつの市における(両国)経済的および技術的な問題をよく反映しており、日本では高い人件費が、インドネシアでは品質管理が主要な問題点となっている。逆に言えば、両市ともこれらの制限や課題を取り除いたり、解決することにより、問題は解決できる可能性を示唆している。

ボゴール市では人件費が事業運営の妨げにならないので技術的な問題点を解決する方がはるかに簡単にみえる。新潟市では逆に経済的な障壁に取り組むのはかなり困難と考えられる。前述の廃食油回収や運搬に多額の費用がかかり、年間500万円の赤字はゴミ焼却袋売却益によって補填されている。しかしながら、このような補填は民間ビジネスでは適用できない。

新潟市北区にある非営利活動法人では、廃食油の回収およびBDF処理場までの運搬を自社の再生化燃料を動力源とする運搬車で行っているが、この社によると相当な損益を含んでいるので、これ以上ビジネスを拡大することには消極的である。すなわち、日本においては、廃食油の回収および運搬に関わる労力が完全に無報酬ベースで提供されない限り、廃食油リサイクルビジネスは民間セクターでは成り立たないことが自明となる。

表3 公共および民間セクターでの廃食油リサイクルビジネスと課題

City	Bogor, Indonesia	Niigata, Japan
issues as public business	<ul style="list-style-type: none"> popular demand to reduce GHG emission and health risks, but fluctuating BDF quality reduces BDF consumption by city buses 	<ul style="list-style-type: none"> utilization and buyers of recycled BDF is limited, few marketability too many WCO deposit stations increased transport costs
existing recycling private businesses	<ul style="list-style-type: none"> a contracted company conducts recycling processes but no privatizing of the whole operations 	<ul style="list-style-type: none"> transportation of collected WCO conducted by contracted companies paid by city one NPO conducts self collection/ transportation for its own BDF use
constraints for private businesses development	<ul style="list-style-type: none"> a whole privatized business by the city bus cooperate is expected, but can not afford to construct a BDF plant with quality control 	<ul style="list-style-type: none"> labor costs for collection, transportation, recycling refrains privatizing of WCO recycling business

3 ボゴール市における食用油使用と廃棄に関する調査

2014年2月に、ボゴール市内の3高等学校において、質問用紙およびウェブアプリケーションプログラム（両者とも質問項目は同じ）による、生徒家庭での食用油使用状況と廃棄に関する質問調査を行い、合計188の有効回答が得られた。ひと月あたりの食用油消費量は、分散が大きかったが、67%の家庭は2Lから5Lまでの幅で消費し、平均消費量は3.6Lであった（図1）。廃食油の廃棄方法では、51%の家庭が生活排水に投棄、17%の家庭が庭等の地面に投棄、15%の家庭が住込み家政婦にわたし、11%がボゴール市の廃食油リサイクルプログラムに提供した（図2）。ひと月あたりの廃食油廃棄量は29%の家庭が500ml未満、10%の家庭が500-999ml、12%が1000-1499mlであり、平均値はひと月あたり796mlであった（図3）。しかしながら、188家庭中73家庭、すなわち39%の家庭は廃棄量を把握していなかった。

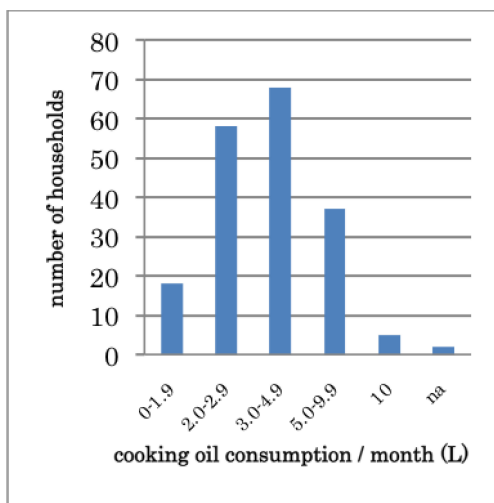


図1 食用油のひと月あたり消費量

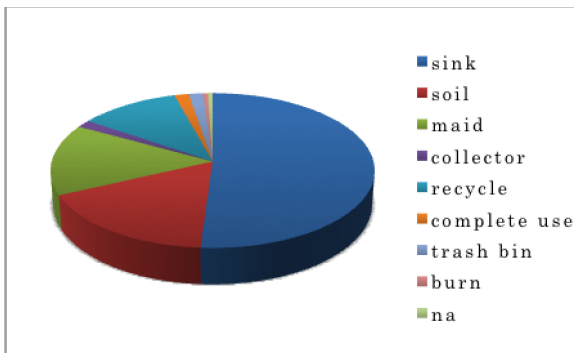


図2 廃食油の廃棄方法

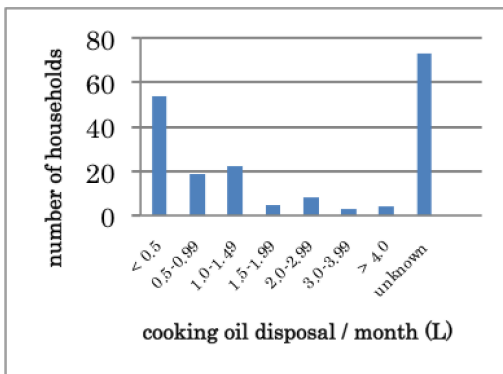


図3 廃食油のひと月あたり廃棄量

4 ポゴール市における食用油のライフサイクルインパクト

インドネシア国においては家庭で使用される食用油の殆どはパーム油を原料とした食用油であり、それゆえ食用油の製造に関わるライフサイクルインパクト計算は、多くの種類の食用油を消費する日本における計算より簡単である。中野ら(2013)の前研究、ポゴール市のBDF製造データおよびインドネシア国あるいは他の国々で実施された一連のLCA(Life Cycle Assessment)研究等のデータを使用して、廃食油の廃棄および再生化の温室効果ガス(GHG)排出量によるライフサイクルインパクトを推測した。

表4は廃食油の生活排水への投棄、土壌への投棄、廃食油完全消費、BDF再生化の4つのケースにおける環境負荷を、前章のポゴール市での調査で得られた家庭での平均消費量3.6L、平均投棄量0.796Lに当てはめたものである。表の列は、左から食用油製造過程、廃食油運搬、再生燃料製造、再生燃料運搬、代替燃料製造、水系からのメタン発生、メタノール由来、代替グリセリン製造・処理に関わるGHG排出量であり、それらの合計と、廃食油リサイクルとの差異(正の数値だとGHG削減量)である。2つの廃棄ケースおよび完全消費ケースの場合、合計GHG排出量はリサイクルより二酸化炭素換算で1.67~1.72kg多くなることが明確となった。

図4はこれらの4つのケースのGHG排出量をグラフ化比較したものである。およそ3kgの二酸化炭素換算GHGが3.6Lの食用油を製造するのに排出される。一方、廃食油再生化に関わるGHG排出量および製造工場から排出された排水中の残存物由来のメタン発生量は、食用油製造から排出されるGHG排出量と比較すると少ない。この結果から、(廃食油再生燃料の代替として計算した)化石由来燃料(ディーゼル燃料)の製造およびグリセリン製造・廃棄に関わるGHG排出量が多いことが明らかとなった。ライフサイクルインパクト解析により、廃食油の再生燃料化は、生活排水への投棄、土壌への投棄、さらには完全消費(同国では路上飲食店等でごく一般的である)と比較すると相当量のGHG排出量削減効果があることが判明した。

表 5 食用油製造および廃食油廃棄に関わるライフサイクルインパクト

GHG emission kg-CO₂e/FU

	cooking oil production	WCO transport	BDF production	BDF transport	RDF production	methane (drainage)	GHG of carbon in methanol	glycerin production & disposal	Total	GHG reduction
Drainage disposa	2.981E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.441E+00	1.136E-02	0.000E+00	9.574E-01	5.391E+00	1.677E+00
Edaphic disposal	2.981E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.441E+00	5.681E-02	0.000E+00	9.574E-01	5.437E+00	1.722E+00
Complete use	2.981E+00	4.824E-03	0.000E+00	0.000E+00	1.441E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.574E-01	5.385E+00	1.670E+00
WCO recycling	2.981E+00	4.824E-03	4.908E-01	4.014E-03	0.000E+00	1.942E-01	3.947E-02	0.000E+00	3.714E+00	

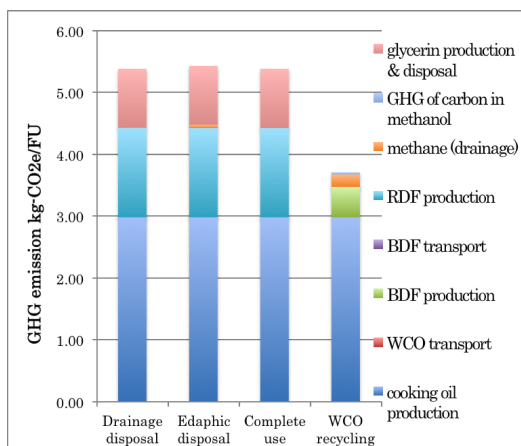


図 4 廃食油投棄およびリサイクルによる GHG 排出量

5 ライフサイクルインパクトに関する考察

食用油製造および廃食油廃棄に関するライフサイクルインパクト比較は、再生化される燃料と同熱量の化石由来燃料製造に関わる GHG 排出量は、排水中のメタン発生 GHG 排出量を廃食油再生に関わる GHG 排出量に加えても、相当量多いことから、廃食油の再生化が環境的に有利であることを明らかとなった。表 5 で示されたように、廃食油および再生燃料運搬に関わる GHG 排出量は他の環境負荷より非常に少ないことがわかる。廃食油の、生活排水への投棄、土壌への投棄、完全消費間の差異は、1.67~1.72kg と殆ど差がなく、ほぼ同量で GHG 排出が削減できることが明らかとなった。今回の研究では、これまでの研究[2][3][4]で用いられた食用油減衰モデルは、使用しなかった。その理由は、ボゴール市 188 家庭の半数は食用油を揚げ物用に 1 回しか繰り返し使用せず、残り半数は繰り返し使用を行わない(使用した油は必ず廃棄する)という結果からである。

6 廃食油回収再生公共事業に関する課題

環境的に有利な廃食油リサイクルは必ずしも、新潟市およびボゴール市に共通の公共事業を推進するわけではない。図 5 はボゴール市の廃食油処理を請け負っている企業が稼働する処理装置である。廃食油をメタノールおよび水酸化カリウムの触媒によりエステル化を行う装置は、ドラム缶等を利用した簡易装置であり、品質管理が難しい。当該企業では、人件費の安さで事業全般にわたり有利であるにもかかわらず、製造される再生燃料品質の変動により、市バス公社は 100%再生燃料でのバス運行ができない状況である。さらに、現在の廃食油処理工程では、排水処理に大きな問題があり、水質汚濁を引き起している。これらの理由により、ボゴール市の廃食油回収再生事業の担当部局である、環境管理局は積極的に廃食油の回収を現状から増加することができないのが現実である。

一方、新潟市は122箇所の回収ステーションからの廃食油回収運搬費用が事業コストを圧迫しており、事業を民間に委託できない状況にある。さらに、新潟市では処理した再生燃料の使用に関しては公用車台数の上限があり、廃食油回収量を増加させ、再生燃料の増産を想定していない。従って、公共事業としての廃食油リサイクル事業は現状維持の状態を保っている。新潟市北区非営利活動法人の経験からも、廃食油のリサイクルを民間セクターでビジネス化することはコスト面で非常に不利であり、現実的ではないと考えられる。



図5 ポゴール市廃食油再生企業の処理装置 図6 廃食油再生燃料で走行する市バス

7 新潟市の経験をポゴール市に生かす国際協力事業

新潟市の廃食油再生事業はコスト面で大きな持ち出しになってはいるものの、住民参加の回収ステーション、高純度の再生燃料を生産できる技術力、さらには副産物となるグリセリンの同化等の他にはない先進技術を持っており、これらの経験、知識、技術力は国際協力の一環として、新潟市の産官学民が連携して、ポゴール市事業へ技術協力が可能となる。新潟国際大学が長年GP等で培ってきた国際交流インストラクターによる学校現場での環境ワークショップを介し、現地ポゴール市の大学あるいは高校生に、ワークショップのノウハウを伝授することができる。トレーニングを受けた生徒学生は、現地の小学校に本学国際交流インストラクターとともに赴き、小学生に向けた環境教育、特に廃食油投棄がもたらす水質汚濁等の環境汚染について説明を行い、小学生は各家庭にかえてこの話を家族に話す。さらに、小学生に家庭および近所からの少量廃食油回収を依頼し、学校に持ち寄る。このように、世代を超えた環境教育を多層的に実施することにより、廃食油の投棄を地域レベルで防止する取組が進むことになる。

さらに、ポゴール市で地域住民と学校が中心となってボランティアで廃食油を回収するシステムは、市民運動として新潟市に還元できるものと考えられる。

図7は現在想定している、ポゴール市における廃食油管理能力向上のODAプロジェクトの組織図である。

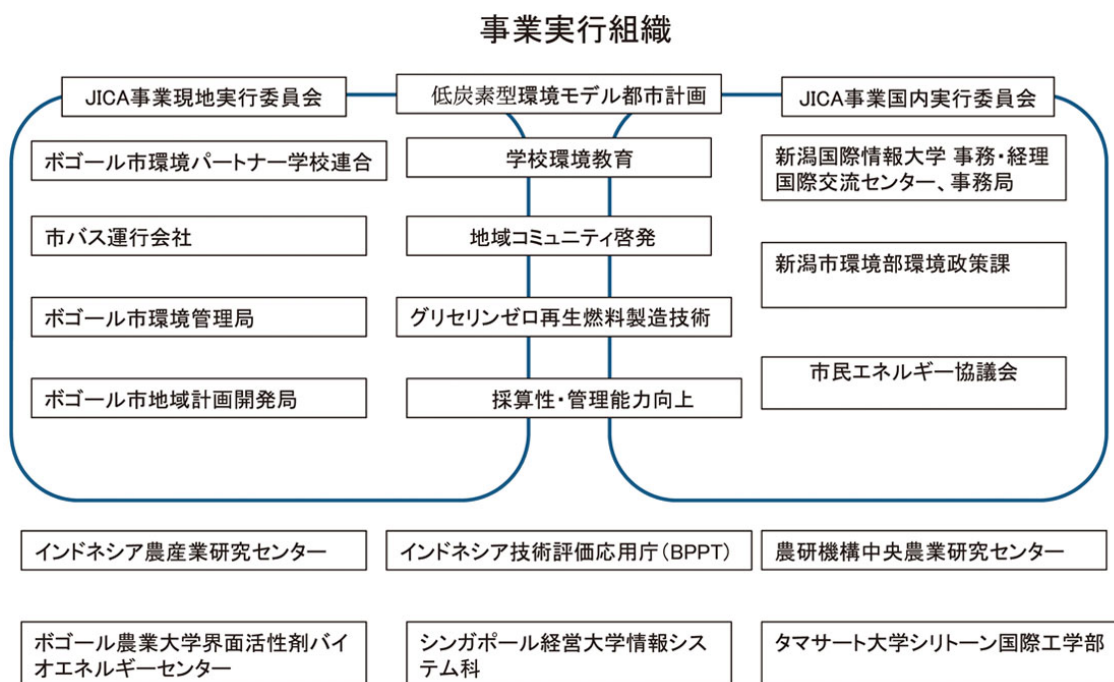


図7 ボゴール市における液体廃棄物（廃食油）処理管理能力向上 ODA 事業構想

謝辞

この研究は情報・システム研究機構のデータ中心科学リサーチcommons、課題名「産業環境情報のアジアでの収集と還元プラットフォームの実効化」にてインドネシア国技術評価応用庁環境技術センターとの共同研究として実施したこと。さらに、同研究機構の科学研究費補助金 No. 22240030、「科学的政策決定のための統計数理基盤整備とその有効性実証」の助成を受けたことに対し、関係者へ謝意を表したい。

参考文献

- [1]Haruhiro Fujita, Koji Okuhara, Katsuyuki Nakano and Hiroe Tsubaki, Environmental Analyses of Waste Cooking Oil Recycling and Complete Use Practices in Bogor, Indonesia, Proceedings of International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment, June 23-26, 2013, Bandung, Indonesia, pp. 28-31.
- [2]ENVIRONMENTAL PARTNERSHIP PROGRAM, BPLH Kota Bogor, 2011
- [3]Katsuyuki Nakamo, Haruhiro Fujita, Joko Prayitno Susanto, Dadang Supriatna, Koji Okuhara, and Hiroe Tsubaki, Life Cycle Impact Assessment on Climate Change of Recycling to Bio Diesel Fuel and Reuse of Used Cooking Oil: Case Study in Bogor, Indonesia. Journal of Life Cycle Assessment, Japan, Vol.9, No.4, 315-323, 2013.
- [4]Haruhiro Fujita, Atsushi Yoshimoto, Katsuyuki Nakamo, Koji Okuhara, Noriaki Koide, Dadang Supriatna, GHG emission production by waste cooking oil recycling in environmental partnership program of Bogor City, Proceedings of 2nd International Conference on Adaptive and Intelligent Agroindustry (ICAIA), 2013, 10-16.