

平成23年度 環境研究総合推進費補助金 研究事業  
総合研究報告書

アジア地域における液状廃棄物の適正管理のための  
制約条件の類型化および代替システムの評価  
(K2117, K22047, K2358)

平成24年3月

研究代表者 藤井滋穂 (京都大学)

補助事業名	環境研究総合推進費補助金研究事業（平成 21~23 年度）
所管	環境省
国庫補助金	71,801,000 円
研究課題名	アジア地域における液状廃棄物の適正管理のための制約条件の 類型化および代替システムの評価
研究期間	平成 21 年 4 月 1 日～平成 24 年 3 月 31 日
研究代表者名	藤井滋穂（京都大学）
共同研究者名	原田英典（京都大学） 酒井彰（流通科学大学） 河井紘輔（国立環境研究所） 河村清史（埼玉大学） 蛭江美孝（国立環境研究所） 岡城孝雄（日本環境整備教育センター） 田中周平（京都大学） Nguyen Pham Hong Lien（京都大学） 神保有亮（国立環境研究所） Binaya Raj Shivakoti（地球環境戦略研究機関） 中野一郎（日本環境衛生センター）

## 目次

<b>1. 序論</b> .....	<b>7</b>
1.1. 背景 .....	7
1.2. 目的 .....	8
1.3. 本研究のスキーム .....	8
1.4. 本報告書の構成 .....	9
<b>2. アジアにおける潜在的衛生制約のポートフォリオ化と都市比較</b> .....	<b>13</b>
2.1. 目的 .....	13
2.2. 研究方法 .....	13
2.2.1. KJ法を援用した潜在的な制約条件の参加型抽出・分類方法 .....	14
2.2.2. アジアの都市の地下水, 水供給, 衛生設備の関係の検討方法 .....	15
2.2.3. 潜在的な制約条件5分類の数値化方法 .....	16
2.3. 結果と考察 .....	17
2.3.1. 2次データの収集状況の概要 .....	17
2.3.2. KJ法による地域制約条件の構造化 .....	19
2.3.3. 制約条件の抽出・類型化とアジア都市での情報収集 .....	20
2.3.4. 液状廃棄物管理と地下水および水供給との関係 .....	27
2.3.5. 制約条件分類の数値化結果 .....	35
2.3.6. 制約条件のポートフォリオ化 .....	40
2.4. 結論 .....	43
<b>3. 重点都市調査</b> .....	<b>45</b>
3.1. ハノイにおける重点調査 .....	45
3.1.1. 目的 .....	45
3.1.2. 研究方法 .....	45
3.1.3. 結果と考察 .....	54
3.1.4. 結論 .....	59
3.2. クルナにおける重点調査 .....	62
3.2.1. 目的 .....	62
3.2.2. 研究方法 .....	62
3.2.3. 結果と考察 .....	63
3.2.4. 結論 .....	75
3.3. その他の都市での汚泥処理に関する調査 .....	77
3.3.1. 東南アジア及び南アジアのサニテーションの概要 .....	77
3.3.2. アジア開発途上国のオンサイト処理の調査結果 .....	78

3.3.3.	マレーシアのサニテーションと <i>septage</i> 対策.....	87
3.3.4.	まとめ .....	92
<b>4.</b>	<b>液状廃棄物管理のための技術・システムの整理と選択支援アルゴリズムの開発.....</b>	<b>95</b>
4.1.	研究目的.....	95
4.2.	研究方法.....	95
4.3.	結果と考察 .....	95
4.3.1.	研究の枠組み.....	95
4.3.2.	液状廃棄物処理技術・システムデータベース.....	96
4.3.3.	技術・システム選択支援アルゴリズムの開発.....	102
4.3.4.	液状廃棄物処理対策に関する日本の経験のまとめ.....	115
4.4.	結論 .....	123
<b>5.</b>	<b>アルゴリズムに基づく技術選択とその妥当性・有効性 .....</b>	<b>125</b>
5.1.	アルゴリズムの適用 .....	125
5.1.1.	ハノイ市郊外集落の例.....	125
5.1.2.	クルナ市スラムの例.....	126
5.2.	アルゴリズム適用結果の評価とまとめ.....	128
<b>6.</b>	<b>結論.....</b>	<b>131</b>
	<b>研究発表および知的所有権の取得状況 .....</b>	<b>133</b>
	研究発表.....	133
	知的所有権の取得状況 .....	138
	 付録	
	アジア諸都市における上水・下水基礎ストリーム	A-1
	アジア諸都市におけるトイレおよびオンサイト衛生設備ポートフォリオ	A-7

## 図表一覧

図 1-1	本研究の全体スキーム .....	10
図 2-1	本年度の調査対象とした 9 都市 .....	14
図 2-2	KJ 法を援用した潜在的な制約条件の参加型抽出・分類方法 .....	15
図 2-3	グループディスカッションの説明の様子 .....	15
図 2-4	ディスカッションの様子 .....	15
図 2-5	ラベルのグループ化 .....	15
図 2-6	参加者による図化した潜在的制約条件の発表 .....	15
図 2-7	地下水，水供給，衛生の相互関係 .....	16
図 2-8	水洗トイレ後の尿尿処理形態ごとの評価フロー .....	17
図 2-9	ハノイにおける衛生管理上の制約条件の関係図 .....	20
図 2-10	都市別の水道・下水道・電気料金の比較 .....	25
図 2-11	各都市の飲料水としての地下水依存度 .....	27
図 2-12	各都市の生活用水源と評価点 .....	36
図 2-13	衛生設備の割合と各都市の評価点 .....	38
図 2-14	アジア 8 都市の制約条件 5 分類評価のレーダーチャート .....	41
図 2-15	ハノイの上水・下水基礎ストリーム .....	42
図 2-16	バンコクのパッケージ型活性汚泥処理システム .....	42
図 3-1	ハノイ市地図および調査集落 .....	46
図 3-2	PHU XUYEN 区の場所と TRAI 集落の空撮 .....	46
図 3-3	マテリアルフローの境界条件 .....	47
図 3-4	人間生活プロセスのフロー .....	47
図 3-5	畜産プロセスのフロー .....	49
図 3-6	漁業プロセスのフロー .....	50
図 3-7	農業プロセスのフロー .....	50
図 3-8	市場プロセスのフロー .....	52
図 3-9	シナリオ 1 での主なマテリアルフロー .....	53
図 3-10	シナリオ 2 での主なマテリアルフロー .....	53
図 3-11	シナリオ 3 での主なマテリアルフロー .....	53
図 3-12	ハノイ市郊外区におけるトイレ系汚水のストリーム(N=174) .....	54
図 3-13	ハノイ市都市区におけるトイレ系汚水のストリーム .....	54
図 3-14	ハノイ市都市区におけるリンフロー .....	57
図 3-15	ハノイ市郊外区におけるリンフロー .....	57
図 3-16	ハノイ郊外集落における 2010 年の窒素フロー (KG-N/YEAR) .....	58

図 3-17	ハノイ郊外集落における 2010 年のリンフロー (KG-P/YEAR) .....	59
図 3-18	シナリオごとの栄養塩の水環境への流出量 A)窒素の流出量 ; B)リンの流出量.....	59
図 3-19	腐敗槽からの流出 .....	64
図 3-20	トイレタイプ .....	64
図 3-21	腐敗槽からの汚泥引き抜き頻度.....	64
図 3-22	尿尿処理と病気との関係の理解.....	64
図 3-23	今の生活環境を改善したいか .....	65
図 3-24	この 1 年間に家族が罹患した世帯.....	65
図 3-25	スラム周辺における水および排水フロー図.....	66
図 3-26	スラム地区に適用性が高いと判断される衛生システム.....	67
図 3-27	各施肥条件におけるトマトの収穫量の違い.....	71
図 3-28	調査対象のスラム地区 (GOOGLE EARTH による) .....	71
図 3-29	衛生システムの導入にあたっての制約条件と対応.....	74
図 3-30	中国のセプティックタンクの一例.....	80
図 3-31	ベトナムの典型的なセプティックタンクの構造図.....	84
図 3-32	IWK による定期汚泥引抜の実施手順.....	91
図 4-1	技術・システムの決定・設計・評価に向けたプロセス.....	95
図 4-2	作成したアルゴリズムのフローチャート.....	102
図 4-3	アルゴリズム実施結果のイメージ.....	112
図 4-4	ダナン市都市部における結果一覧.....	114
図 4-5	ダナン市郊外部における結果一覧.....	114
図 4-6	わが国の液状廃棄物 (し尿と雑排水) の処理における技術/システムの変遷.....	116

表 2-1	9都市の基礎情報と協力機関 .....	14
表 2-2	トイレ形態別の基礎評価点 .....	17
表 2-3	水供給減別の基礎点 .....	17
表 2-4	断水評価点の設定 .....	17
表 2-5	漏水評価点の設定 .....	17
表 2-6	主な2次データの5都市間比較.....	18
表 2-7	潜在的な液状廃棄物管理制約条件の9分類.....	21
表 2-8	都市別の主なトイレとその普及割合.....	22
表 2-9	都市別の主なオンサイト処理設備と現状.....	22
表 2-10	都市別の主な給水タイプとその普及割合.....	23
表 2-11	都市別の水道水源タイプとその割合.....	24
表 2-12	都市別の污水管理に係る定量および定性的制約条件の概要.....	26
表 2-13	水道普及率と漏水問題 .....	28
表 2-14	アジアの都市における下水道と衛生設備の普及状況.....	29
表 2-15	地下水の利点 .....	30
表 2-16	地下水と揚水の可能性 .....	31
表 2-17	水供給に関する既存の課題と地下水利用を通じた解決オプション.....	32
表 2-18	下水汚染リスク回避のため衛生と排水関連の制約.....	33
表 2-19	各都市の地下水汚染物質 .....	35
表 2-20	水供給の数量化結果 .....	36
表 2-21	衛生設備数量化結果 .....	39
表 3-1	ハノイ市の概要情報 .....	46
表 3-2	人間生活プロセスの主な原単位および記号.....	48
表 3-3	畜産プロセスの主な原単位および記号.....	49
表 3-4	漁業プロセスの主な原単位および記号.....	50
表 3-5	農業プロセスの主な原単位および記号.....	51
表 3-6	ハノイ市郊外区における家庭由来の有機性廃棄物管理形態の調査結果 (N=171)....	55
表 3-7	ハノイ市郊外区における農業残渣管理形態の調査結果 (N=171).....	55
表 3-8	ハノイ市郊外区における家畜糞尿管理形態の調査結果.....	56
表 3-9	調査地区カテゴリーとサンプル数.....	63
表 3-10	スラム下流での水質調査結果.....	66
表 3-11	水質分析結果 .....	68
表 3-12	汚泥性状分析結果 .....	68
表 3-13	バイオガスシステムの調査結果.....	69
表 3-14	実験系の概要 .....	70

表 3-15	施肥された尿とコンポストの栄養塩.....	70
表 3-16	バイオガス発生量の天然ガス当量.....	75
表 3-17	東南アジア及び南アジアのサニテーションの概要.....	77
表 4-1	液状廃棄物処理技術・システムデータベースにおける共通項目.....	96
表 4-2	液状処理技術・システムデータベースの例.....	98
表 4-3	作成したアルゴリズムのフローチャート.....	103
表 4-4	3つのカテゴリにおける技術一覧.....	104
表 4-5	自然的・社会的制約条件データフォーマット.....	106
表 4-6	制約条件から技術・システム関連情報を抽出するためのフォーマット.....	108
表 4-7	表 4-6 への記入例.....	109
表 4-8	抽出された質問事項と関連事項および備考.....	111
表 4-9	調査を実施した県名，ヒアリング対象者所属団体および調査内容.....	117
表 4-10	見学を実施した県名，見学先および概要.....	118
表 5-1	アルゴリズムに入力したハノイ市郊外集落のデータ.....	125
表 5-2	ハノイ市郊外集落でのアルゴリズムの適用結果.....	126
表 5-3	アルゴリズムに入力したクルナ市スラム地区のデータ.....	127
表 5-4	クルナ市スラム地区でのアルゴリズムの適用結果.....	128



# 1. 序論

## 1.1. 背景

国連ミレニアム開発目標 (MDGs) でも取り上げられるように、途上国衛生改善は国際的課題である。「水供給・衛生共同モニタリングプログラム」(UNICEF および WHO, 2008) によると、世界では 10 億人が安全な飲料水を供給されず、25 億人が基本的な下水設備を利用できずにいる。基本的な衛生設備が整っていない途上国において、汚水の多くはほとんど未処理のまま排出されており、河川や湖沼の水質汚濁の主要な原因となっている。同時に不適切な衛生環境は人々の健康問題にもつながる。WHO によると世界全体で毎年 190 万人の人が下痢性疾患によって死亡しており、その約 88%は、安全でない水や不適切なトイレといった劣悪な衛生環境に起因している (WHO, 2005)。

アジア地域においても衛生問題は深刻化しており、基本的な衛生設備を利用できない人の数は 18 億人に上る (UNICEF および WHO, 2008)。アジア途上国は急速な都市化や工業化に伴った経済成長の恩恵を受けているものの、その一方で環境対策や上下水道などのインフラ整備が急速な都市化、工業化に追いつかず、都市部では廃棄物・排水及び排気をもたらす深刻な環境汚染が問題視されている (石垣および Le, 2003)。同様に、衛生施設の不備により都市から排出される大量の生活排水はほとんど、または全く未処理のまま排出されている。

こうした汚水あるいはその他の排水の不十分な管理は、河川、湖あるいは海洋の水質環境を悪化させる。また、河川の下流地域ではその汚染された水の飲用・利用を余儀なくされている (知足, 2005)。衛生改善上、汚水あるいは生活排水など、液状廃棄物の適正管理は最重要の課題と言える。

一方、こうした途上国の液状廃棄物管理問題について、国際的にも様々な取り組みが行われてきた。援助機関などによる大都市における下水道整備、あるいは農村部におけるピット式トイレの普及活動などがその代表である。しかし、途上国における近代的な下水道の普及は大都市の一部にとどまり、農村部での衛生問題は依然として深刻であり、結果として上述のようにアジアにおいて基本的な衛生設備を利用できない人の数は 18 億人に上る (UNICEF および WHO, 2008)。

既存衛生システム普及の努力とともに、それに代わる代替システムについての普及事業あるいは研究も近年盛んに行われつつある。たとえば、低コスト下水道に関する研究・実践 (例えば Mara, 1996)、循環型衛生システムに関する研究・実践 (例えば Winblad and Simpson-Hebert, 2004)、またフィールド調査に基づく途上国小都市の汚泥適正管理に関する研究 (例えば Strauss および Montangero, 2002) などがある。しかし既存システムあるいは新興の技術にかかわらず、設置後に適切な運転・普及が実現できない例は少なくない。

たとえば、内モンゴルで実施された循環型汚水処理システムのパイロット事業においても、不安定な電力供給、排水性状の違い、住民の不適切な設備利用など、多様な制約条件が原因で、多くの問題が発生した（SEI および USTB, 2009）。また、ベトナムのホーチミン市郊外の都市ゴミ堆肥化施設は、北欧の援助で機械化されたものが約 20 年前に建設されたが、頻繁な停電、高い維持費、故障した際のスペアパーツの補充の困難などにより現在は稼動していない（北脇, 1997）。こうした途上国の衛生管理に関わる問題は、単なる技術不足だけでなく、地域の経済構造や社会構造、自然条件などの地域特有の問題が複雑に絡み合っており、地域性の把握が十分になされていないことも問題として挙げられる。

こうした研究・事業では、制約条件はケースごとに議論され、個々の事例ごとに成功要因・失敗要因が議論されている。しかしこれらは重要な知見であるものの、体系化はされておらず、新たな処理システム導入の際にはケースバイケースに近い形で対応せざるを得ない。

## 1.2. 目的

途上国での処理システム導入の成否は、こうした途上国の地域特有の制約条件を打開できるかどうかにかかるともいえる。制約条件に関する知見は、事例ごとに断片的には存在するものの、古いものが多く、また、体系的に議論された例は見られない。制約条件が体系的に理解された下でこそ、代替システムを設計評価し、その実現性を現実的に検証できるなど、現在の閉塞感ある衛生問題の現状を打開するための糸口を見出すことも可能となる。

そこで本研究では、アジアの諸都市におけるフィールド調査に基づき、地域ごとの特色を適切に把握できる、汎用性を踏まえた系統だった制約条件の類型化を実施することとした。技術的な制約条件の整理と合わせて、途上国における液状廃棄物処理システム整備の基盤情報の体系化を目指した。さらに、特定都市における重点的なフィールド調査に基づき、現地の制約条件に基づいた効果的な衛生改善戦略を構築する手順を提案することとした。

## 1.3. 本研究のスキーム

本研究は以下の 4 つのパートにより構成される。本研究の全体の構成を図 1-1 に示す。パート 1（アジア諸都市での地域に基づいた衛生管理制約条件の抽出と類型化）では、アジア諸国の多数の地域にて、現地研究機関の協力の元、典型サイトの踏査、行政への聞き取り、既存 2 次データ収集、質問紙調査、サンプリング調査等から液状廃棄物管理情報を収集すると共に、現地の多様なステークホルダーを集めた参加型手法により制約条件を抽出・整理した。これに基づき、各都市の特色を適切に把握できる汎用性を踏まえた制約条件の類型化を行うと共に、類型に基づいた各都市の汚水管理ポートフォリオを作成した。

パート 2（技術的視点からの制約条件の類型化）では、途上国に適用可能な液状廃棄物管理システムについてレビューした。将来的な代替システムの設計・評価に向け、技術・シ

システムが備えるべき要件の抽出、システムの成立要件（技術的制約条件）を整理した。また、技術・システムの成立には、それを支援する体制が重要であることから、この面における日本の経験の整理を試みた。

パート3（具体的検討のための数都市での重点調査）では、数都市において重点フィールド調査を実施した。液状廃棄物の性状および排出特性の調査、液状廃棄物ストリームの定量化、適正処理の潜在的な駆動力としての液状廃棄物由来の有価物フローの定量化などを行った。これにより、後に開発したアルゴリズムの適用を具体的に適用し、その有効性を検討するための基盤を整備した。

最後にパート4（代替案の設計・評価と戦略構築プロセスの提案）では、重点都市を対象として、パート1～3の成果を基に、処理システム整備の課題を具体的に抽出する。これより、ステークホルダーが質問に回答することで、対象地域の多様な制約条件と整合した液状廃棄物管理技術・システムを選択することを支援するプログラム（アルゴリズム）を開発した。これを重点調査地などに適用し、評価することで、その妥当性や改善点を検討した。これらを通じ、途上国において現地の制約条件に基づいた効果的な衛生改善戦略を構築する手順を提案することとした。

#### 1.4. 本報告書の構成

本報告書の構成は以下のとおりである。1章では、本研究全体の背景と研究の構成を述べた。2章では研究パート1（アジア諸都市での地域に基づいた衛生管理制約条件の抽出と類型化）、3章では研究パート3（具体的検討のための数都市での重点調査）、4章では研究パート2（技術的視点からの制約条件の類型化）および研究パート4（代替案の設計・評価と戦略構築プロセスの提案）の代替案設計のためのアルゴリズムの開発について、5章では研究パート4（代替案の設計・評価と戦略構築プロセスの提案）のアルゴリズムで導かれた代替案の評価とアルゴリズムの改善についてそれぞれ報告し、6章にて全体の成果のまとめを述べるとともに、液状廃棄物管理戦略構築の手順の提案を行った。

# アジア地域における液状廃棄物の適正管理のための制約条件の類型化および代替システムの評価

## 1. アジア諸都市での地域に基づいた衛生管理制約条件の抽出と類型化

**調査都市**  
 ハノイ・ダナン・フエ(ベトナム)、クルナ(バンングラデシュ)、バンコク(タイ)、キャンデー(スリランカ)、カトマンズ(ネパール)、ジョホール(マレーシア)、深圳(中国) など

→ 流域情報, インフラ状況, 経済・文化, 技術・体制, 基礎定量データ等の把握

KJ法を援用した参加型手法による, 地域ごとの制約条件の抽出・構造化  
 → 現地の多様なステークホルダーを介した, 現場に立脚した要素のあぶり出し

質問紙調査, サンプリング調査  
 → 基礎的定量データの獲得

**制約条件の類型例**

- 汚水・廃棄物排出特性
- モニタリング体制
- インフラ整備
- 処理技術
- 水災害

行政・政策  
 - 住民意識  
 - 水資源への影響  
 - その他特殊条件 (スラム, 工業地帯)

各都市の特色を適切に把握できる, 汎用性を踏まえた制約条件の類型化

制約条件の類型に基づいた  
ポータフォリオの作成

各都市の汚水管理ポータフォリオの作成

## 2. 技術的観点からの制約条件の類型化

日本および諸外国の液状廃棄物管理の経験の調査  
 途上国に適用可能な液状廃棄物処理技術・システムのレビュー

技術に由来する制約条件の抽出・類型化, および制約データの収集

## 3. 具体的検討のための数都市での重点調査

液状廃棄物の発生量・性状調査  
 → 液状廃棄物ストリームの作成

適正処理の潜在的な駆動力としての液状廃棄物由来の有価物を含めた, 物質フローの作成

＜固形廃棄物研究との効果的な連携＞

## 4. 代替案の設計・評価と戦略構築プロセスの提案

日本での経験も踏まえた  
 処理システム整備の課題の抽出  
 (重点都市を対象)

代替システムを設計

整備の波及効果を踏まえた  
 実現可能性の評価, 検討

資源循環・温暖化対策  
 とのコベネフィット  
 の観点に注目

現地の制約条件  
 に基づいた  
 効果的な  
 衛生改善戦略  
 を構築する  
 汎用性のある手順  
 の提案

図 1-1 本研究の全体スキーム

## 参考文献

- Mara, D. (1996) Low-cost sewerage, Wiley, Hoboken.
- SEI and USTB (2009) Erdos Eco-Town Project: Lessons learned and ways forward, Workshop report, Erdos Lessons-learned Workshop, Beijing.
- Strauss, M. and Montangero, A. (2002)FS Management – Review of Practices, Problems and Initiatives, SANDEC, Zurich.
- UNICEF and WHO (2008) PROGRESS ON DRINKING WATER AND SANITATION SPECIAL FOCUS ON SANITATION, UNICEF and WHO, New York.
- WHO (2005) Water, Sanitation and Hygiene Links to Health FACTS AND FIGURES- updated November 2004, [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/en/factsfigures04.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/en/factsfigures04.pdf) (2009.1).
- Winblad, U. and Simpson-Hebert, M. (2004) Ecological Sanitation- revised and enlarged edition, SEI, Stockholm.3) 石垣智基及び LE Van Chieu (2003) ベトナム・ハノイにおける排水処理技術の現状,用水と排水, Vol.45, No.10, pp.975-979.
- 北脇秀敏 (1997) 開発途上国における環境衛生分野の適正技術, 日本機械学会誌, Vol.100, pp.1045.
- 知足章宏 (2005) アジア開発途上国における水質汚染問題と下水事業への民間参入(Private Participation)の現況・経験, 立命館国際地域研究, Vol.23, pp.153-167.



## 2. アジアにおける潜在的衛生制約のポートフォリオ化と都市比較

### 2.1. 目的

開発途上国の污水管理状況の改善に向けた取り組みは多いが、様々な要因により困難に直面する例は少なくない。これは、当該国の単なる技術不足だけでなく、経済・社会構造の違い、自然条件、文化や住民意識など、複雑な要因によると考えられる。しかし、こうした污水管理上制約となる要因群（以下、制約条件）についての知見は、これまで断片的には存在したものの、その体系的な把握を目指した例は少ない。

本パートでは、アジア諸都市の潜在的制約条件の体系的な理解を目的に、アジア 9 都市を対象とし、典型サイトの踏査、行政への聞き取り、既存 2 次データ収集、質問紙調査、サンプリング調査等から液状廃棄物管理情報を収集した。現地の液状廃棄物管理に係る潜在的制約条件について体系的な理解を可能にするために、制約条件の類型化を行うと共に、主要な類型について数値評価方法を開発し、都市間比較を行った。

### 2.2. 研究方法

アジア 9 都市（ハノイ、ダナン、フエ、バンコク、キャンディ、クルナ、カトマンズ、深圳、ジョホールバル）を調査対象とし、現地踏査およびカウンターパートを通じた二次情報の収集を行った。対象都市の場所、概要・カウンターパートについて、それぞれ図 2-1 および表 2-1 に示す。次に、5 都市にて KJ 法を援用した潜在的な制約条件の参加型抽出・分類を実施した。抽出された 9 分類・183 項目については、2 次情報の収集での収集項目に反映させた。また、多くのアジア都市で主要な水供給源となる地下水と液状廃棄物処理との関係について、得られた二次情報を用いて検討した。さらに、9 分類の中で定量評価に適する 5 分類（水供給、衛生設備、インフラ、経済状況、意識）を対象に、データが不足する途上国でも比較的適用可能な数量化方法を構築した。一定の定量情報を得た 8 都市（ジョホールバル以外）に対して、数量化を適用し、各都市のポートフォリオを作成後、都市比較を行った。

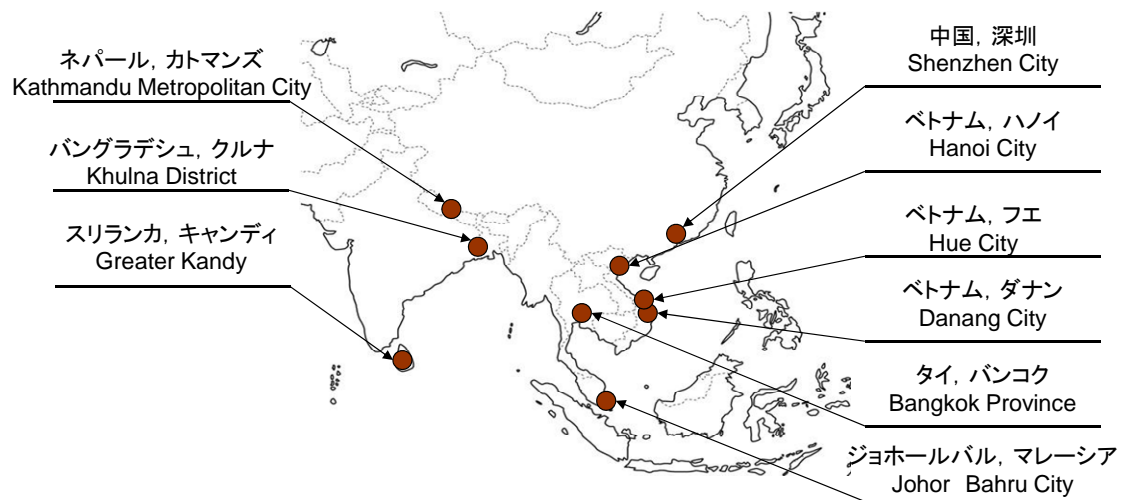


図 2-1 本年度の調査対象とした 9 都市

表 2-1 9 都市の基礎情報と協力機関

対象地域	国	面積 (km <sup>2</sup> )	人口 ('000)	協力機関
ハノイ市	ベトナム	3,349	6,120	ハノイ工大
ダナン市	ベトナム	1,283	822	ダナン工大
バンコク首都府	タイ	1,569	8,200	マヒドン大学
クルナ管区	バングラデシュ	4,394	1,401	クルナ大学
グレートキャンディー	スリランカ	320	578	ペラデニア大学
フエ市	ベトナム	83	338	フエ科学大学
カトマンズ市	ネパール	51	672	アジア工科大学
深圳市	中国	1,953	8,912	清華大学
ジョホールバル市	マレーシア	185	900	マレーシア工科大学

### 2.2.1. KJ 法を援用した潜在的な制約条件の参加型抽出・分類方法

当該地域の人々が衛生管理問題をどのように捉えているかを知ることは、当該地域における現場に立脚した現実味のある改善戦略を構築する上で重要である。また、当該地域の人々の知見を取り込むことで、外部者だけでは見えなかった問題構造を把握できる可能性がある。そこで本研究では、KJ 法を用いて衛生管理に関するステークホルダー参加に基づいたグループワーク通じて制約条件を抽出および構造化する手法を用いた。KJ 法とは文化人類学者である川喜田二郎がデータをまとめるために考案した手法である。多くの断片的なデータを統合して、創造的なアイデアを生み出す、また問題の解決の糸口を探っていく有効な手段であり、本研究ではこれを潜在的制約条件の抽出・類型化に援用した。その手順を図 2-2 に、実施の様子を図 2-3~2-6 に示す。これを、ハノイ、ダナン、バンコク、クルナ、およびキャンディーの 5 都市に適用し、それぞれ制約条件の抽出・構造化を行っ



た。なお、ステークホルダーは自治体関連部局，公社，NGO，民間などから都市ごとに 9～20 人が参加した。

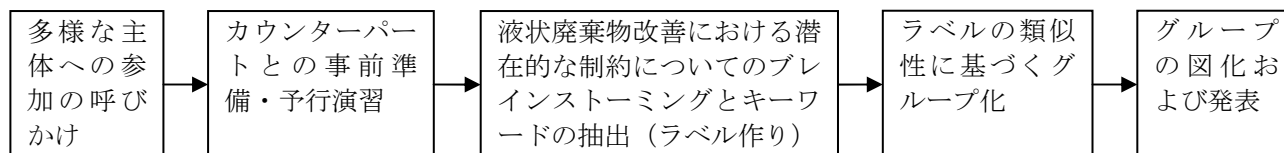


図 2-2 KJ 法を援用した潜在的な制約条件の参加型抽出・分類方法



図 2-3 グループディスカッションの説明の様子



図 2-4 ディスカッションの様子



図 2-5 ラベルのグループ化



図 2-6 参加者による図化した潜在的制約条件の発表

### 2.2.2. アジアの都市の地下水，水供給，衛生設備の関係の検討方法

図 2-7 は地下水，水供給，衛生の概念的な相互関係を示す。この相互関係のコンセプトをもとに，本研究では水供給と衛生に係る課題，そしてその課題克服に地下水が果たす役割に焦点を当てながら，対象都市で収集されたデータの評価を行った。同時に，衛生と排

水がもたらす地下水汚染を防止するための衛生設備改善策についても検討を行った。

地下水は、取水の容易さや水質の良さから、掘井戸や管井戸、ボーリング井戸などを通じ、掘削後直ちに利用できる利点がある。アジアの都市では、水道水は普及エリアが依然限られている上、水量や水質に信頼性がなく、断水も懸念されている。特に一人当たりの水使用量が増加している都市部の世帯においては、不足する水道水を地下水によって補うことが可能である。

また、細菌や栄養塩、その他の汚染物質が地下水面へ浸透することによって引き起こされる地下水質の劣化と、それが衛生に及ぼす影響においても相互関係がみられる。地下水面の表層土壌が通常自然濾過のフィルターとして機能し、汚染物質が帯水層に浸透するのを防ぐ役割を果たす。しかし、このまま非衛生的な行為が継続されれば、やがてすべての地下水は汚染され、飲料水や家庭用水として利用することが不可能になるだろう。一度汚染されると、地下水の浄化・原状回復は非常に難しい。安全な飲み水の確保には、適切な排水処理や衛生管理を通じて地下水汚染を防止することが大変重要である。

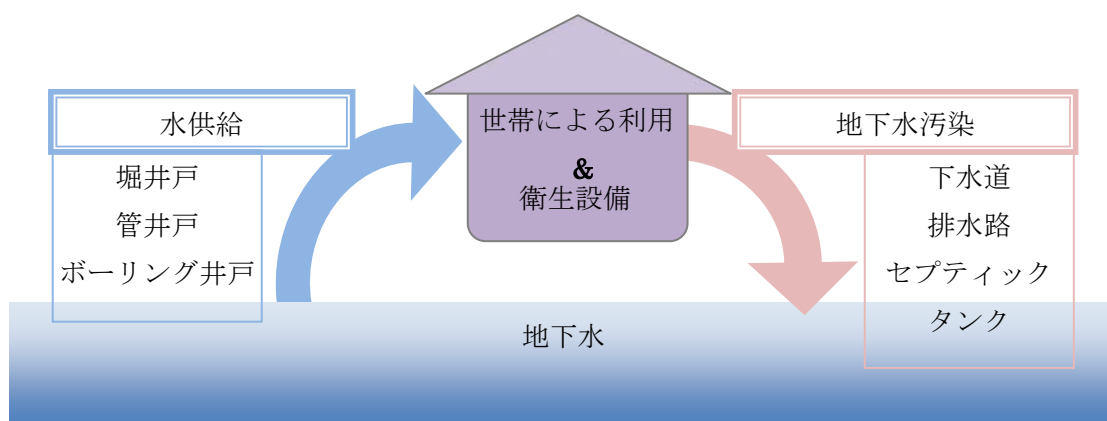


図 2-7 地下水、水供給、衛生の相互関係

### 2.2.3. 潜在的な制約条件 5 分類の数値化方法

各都市の潜在的な制約条件について、それを包括的にまた定量的に理解することは、当該地域において適切な衛生改善戦略を構築する上での重要な事項である。本研究では、制約条件 5 分類（衛生設備、水供給、インフラ、経済状況、意識）について、その現況をそれぞれ統合的に数値化を行うこととした。

評価点は 1～5 で表した（最良を 5，最悪を 1）。衛生設備の評価点については、表 2-2 にトイレ形態別の基礎評価点を示す。水洗トイレについては従来の指標で勘案されていなかった尿尿の処理程度を考慮し、図 2-8 に示す評価フローにより評価した。なお、尿尿を未処理で直接放流する水洗トイレは、ピットラトリンや槽型トイレよりも評価点を低くした。地域の総合的な評価点は式 2-1 より算出した。

$$\text{総合衛生設備評価点} = \sum (\text{各トイレ・処理形態の人口割合}) \times (\text{各形態の評価点}) \quad (2-1)$$

水供給源別の基礎評価点を表 2-3 に示す。水道水については、表 2-4 および 2-5、および式 (2-2) ~ (2-5) により評価点を算出した。断水頻度と漏水率の重みづけ係数である  $f_1$  および  $f_2$  は、ここではそれぞれ 2 および 1 とした。

$$\text{漏水評価点}(\beta) = 5 - (\text{漏水率}(\%) - 10) / 40 \quad (2-2)$$

$$\text{調整前水道評価点}(\gamma) = (f_1 \alpha + f_2 \beta) / 3 \quad <1 \sim 5 \text{ で評価}> \quad (2-3)$$

$$\text{水道評価点} = 5 - 2.5 \times (5 - \gamma) / 4 \quad <2.5 \sim 5 \text{ の評価に変換}> \quad (2-4)$$

$$\text{総合水供給評価点} = \Sigma(\text{水供給源ごとの利用人口割合}) \times (\text{水供給源ごとの評価点}) \quad (2-5)$$

インフラについては上下水道の普及率と電力の安定性から、経済情勢については国別の一人あたり GNI と上下水道料金の妥当性から、意識については住民の衛生意識、身分差別の多寡および水衛生に関わる性差別の多寡についてのアンケート結果から評価した。

表 2-2 トイレ形態別の基礎評価点

トイレの形態	基礎評価点
水洗トイレ	2-5
ピットラトリン	3
槽型トイレ	3
非衛生的トイレ	1.5
トイレなし	1

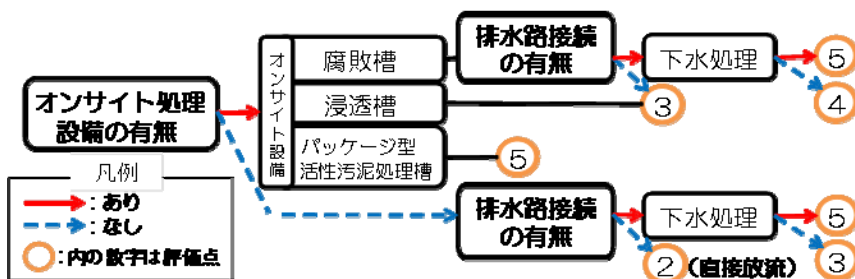


図 2-8 水洗トイレ後の尿尿処理形態ごとの評価フロー

表 2-3 水供給減別の基礎点

水供給源	基礎評価点
水道水	2.5-5
深井戸	3
浅井戸	2.5-3
表流水	2
なし	1

表 2-4 断水評価点の設定

断水頻度	断水評価点 ( $\alpha$ )
ほとんど断水がない	5
1つの季節で数回	4
月に合計8時間以上	3
週に合計8時間以上	2
1日8時間以上	1

表 2-5 漏水評価点の設定

漏水率	漏水評価点 ( $\beta$ )
10%以下	5
10% <, <49%	式(2-1)による
50%以上	1

## 2.3. 結果と考察

### 2.3.1. 2次データの収集状況の概要

ここでは 5 都市で取得できたデータのうち、一部を表 2-6 に示す。気候条件を比較した場合、ハノイは熱帯地域ではあるものの、最低月平均気温が他都市と比べて低く、実際ハノイには現地住民には冬と認識される時期が存在する。一方、キャンディーの最高月平均気温は他より低い、これは高地に位置することによる。年降水量にもばらつきがあるものの、最大月降水量は都市間により大きな違いがみられる。ダナンの最大月降水量は他都市のその倍以上となっており、ダナンは他都市と比べて著しく降水量が多い時期が存在することが分かる。実際、ダナンでは洪水が深刻な水問題の一つとなっている。また、

世帯平均月収、GDP増加率などを見ると、バンコクが最も経済的発展が進んだ都市と言える。乳幼児死亡率は衛生との相関が強い項目と考えられる。特にクルナにおいて高いが、日本のそれ（3.5%）と比べると、いずれの都市においても高い。識字率に関してはバンコクでデータがないものの、クルナのみ著しく低く、衛生教育などを行う上での困難さが伺われる。

上水関係のデータについて、クルナ以外の地域では上水道サービスが存在した。クルナでは、上水道設備は存在するものの、現在は運転が中止しており、市民は主に管井を利用している。家庭での水使用量は日本と比べ少なく、特に井水に頼るクルナでは少ない。

下水・汚水・トイレ関係のデータは、最も入手が困難なデータ類であった。バンコクでは下水処理率が40%であるもの、その他の都市では大半の下水は未処理のまま放流されているのが現状である。ダナンにおいては、計画上は約90%の下水が処理されるものの、現時点で管渠の総延長が35キロと限られており、大部分の下水は未処理で放流されている。トイレの整備率はバンコク、キャンディー、クルナのみで得られた。ただし、トイレの種別が不明のため、衛生的なトイレの普及が進んでいるかどうかはさらなる調査により注意深く判定することが求められる。

表 2-6 主な2次データの5都市間比較

	ハノイ	ダナン	バンコク	キャンディー	クルナ
年平均気温(°C)	23.7	25.5	28.6	24.6	26.1
最高月平均気温(°C)	29.4	29.5	-	26.1	30.6
最低月平均気温(°C)	13.8	19.4	-	22.8	19.5
年降水量(mm)	2267	2699	1498	1705	1595
最大月降水量(mm)	423.5	1006	344	367.1	379
最小月降水量(mm)	11.4	33.6	9	1.6	0
総人口(mill.)	6.2	0.8	5.7	0.6	2.3
人口密度(人/km <sup>2</sup> )	1839	628.6	3644	1829	531
人口増加率(%/年)	2.1	1.8	0.51	1.25	1.7
世帯平均月収(\$)	58.3	47.4	1080	219	84
GDP増加率(%)	6.18	6.18	2.58	5.95	6.21
平均寿命(year)	74	N.A.	75.6(M), 79.7(F)	N.A.	64.5(M), 65.4(F)
乳幼児死亡率(o/oo)	11	33.4	7.3	20.5*	53
識字率(%)	93*	93*	N.A.	90.5*	37.7*
浄水場数	15	3	4	16	1
浄水容量(m <sup>3</sup> /日)	927,000	155,000	5,270,000	125,300	0
家庭での水使用量(L/人/日)	100-150	128	115.4	90-130	67.35
上水道普及率(%)	38.5	80.7	78.1	69	-
漏水率(%)	-	25-30	28	-	25
水道料金(円/10m <sup>3</sup> )	134	N.A.	259	10	78
汚水処理場数	4	4	7	1	1
汚水処理容量(m <sup>3</sup> /日)	50,000	95000(計画)	992,000	226	50
汚水処理場の処理技術	A2O法	嫌気処理	活性汚泥法	-	-
下水管渠長(km)	N.A.	35	233.6	N.A.	2
下水道普及率(%)	6.5	90.2(計画)	40	≈0	≈0
トイレ設備率(%)	-	-	99.7	93	93.77

### 2.3.2. KJ法による地域制約条件の構造化

ここでは、結果の一例としてハノイでの結果についてのみ述べる。ハノイにおける衛生管理上の制約条件の構造化の結果を図 2-9 に示す。「インフラ整備」、「汚水管理」、「汚泥管理」及び「廃棄物管理」の 4 グループが制約条件の中心となり、この中心部分に影響を与える要因として「工業化」、「意識」、「管理政策」及び「経済・財政」が挙げられた。ハノイでは今後の都市中心部での下水道網の整備が計画されており、「汚水管理」に直接影響する要因として「インフラ整備」が上がっているのはこれを反映している。また、地域のステークホルダー自身が、汚水管理上の直接的に重要な要素として、下水道の整備の注目しているのが見て取れる。一方、実際には「汚水処理施設」のに「汚水処理容量の不足」が含まれるようにハノイでの下水道の整備率は低く、「汚水処理規制」のグループに、「家庭の腐敗槽からの流出水に対する規制の欠如」が含まれたように、下水道整備が進んでいないハノイにおいて、現時点でほぼ唯一の処理設備である腐敗槽の排水管理に対して、ステークホルダーが注目していると言える。また、ハノイは洪水被害を頻繁に受ける地域でもあり、「ポンプ場の過負荷」はこれに対する問題意識を反映している。

関係図の中心に下水道を中心とした主に都市中心部に関連した要素が集まっていることから、参加者の問題意識の中心は都市部に集まっていたと言える。一方で、「意識」のグループには「拡大ハノイの問題にあまり注意を払わない」というラベルが示すように、現在、行政などが注目している問題は都心部が中心であり、郊外部など都市中心部以外における衛生管理に十分な注意が払われていないという問題が見える。

また、他都市と同様に、財政的制約および行政の管理政策については、衛生管理における重要な要件として挙げられている。同様に全ての都市において、意識あるいは教育についても、衛生管理上の共通の重要な要件として、当地のステークホルダー自身によって認識されている。

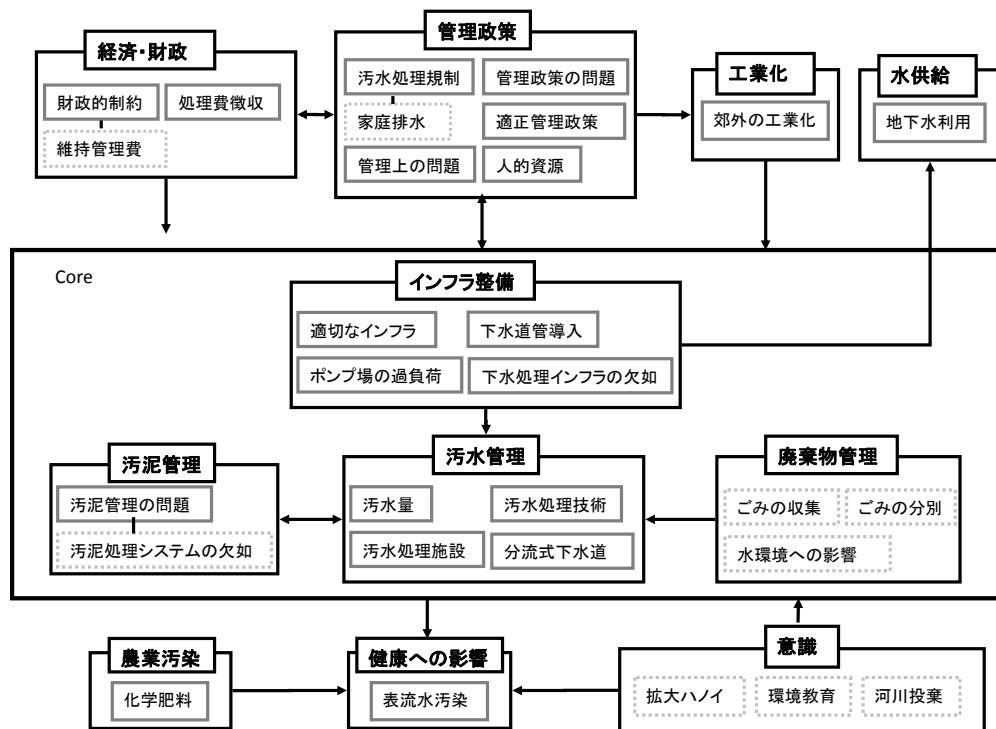


図 2-9 ハノイにおける衛生管理上の制約条件の関係図

### 2.3.3. 制約条件の抽出・類型化とアジア都市での情報収集

KJ法を援用した参加型手法により抽出した、5都市の多様な潜在的制約条件を、再度KJ法により整理・分類した。これより、潜在的な液状廃棄物管理制約条件を包括的に表しうる9分類(表2-7)を得た。衛生管理を考える上で、排水・廃棄物・汚泥管理、処理技術、インフラ・トイレなどの比較的直接的に衛生状況に影響を与える要件に加え、政策・行政、および住民意識に類する事項も、各都市の衛生管理上の主要な要素グループとして、すべての都市において挙げられた。技術やインフラ、排水・廃棄物・汚泥そのものだけに注目が行きがちなか中、地域における現実的な衛生改善を検討する上で重要な示唆である。さらには、水資源・水供給、あるいは水災害も、し尿・汚水による水源汚染、洪水によるトイレ汚水の溢れなどの形で互いに影響しあい、同時に検討されるべき要素として複数の都市において挙げられた。

各都市はアジア途上国都市における共通の要素ばかりではなく、固有の衛生関連制約条件を持ちうる。クルナでのスラム問題、宗教問題、ジェンダー問題、ハノイでの工業化問題など、地域に応じて重要な項目を制約条件に含むことは、地域に応じた衛生改善を考える上で重要であろう。これに基づき現地情報を収集し、後のポートフォリオ化にこの分類を利用した。

表 2-7 潜在的な液状廃棄物管理制約条件の9分類

Category		Sub-category	Category	Sub-category			
1	Natural	Geographic	6	Generation / consumption of target goods	Water		
		Climatic			Human excreta		
		Water disaster including cyclone, flood, draught			Domestic wastewater		
2	Demographic	Population			Industrial wastewater		
		Mortality			Waste		
		Disease			Sludge (mainly septage)		
		Slum issues	7	Household financial capacity	Household income, GDP per capita		
Sanitation facilities	public utility charge						
3	Sanitation facilities	Type of toilet	8	Custom / culture	Social hierarchy/ethics		
		On-site treatment			Attitude to excreta		
4	Supply water source	Water resources			9	Policy and government	Type of anal cleaning
		Type of water source for public water supply					People's awareness
		Type of water supply for domestic use					Local recycling practices
		Groundwater contamination					Policy
		Surface water contamination					Monitoring
5	Infrastructure and industrialization	Wastewater			Organization		
		Sludge					
		Supply water					
		Solid waste					
		Electricity					
		Technical supporting system					

以下、情報が不十分なジョホールバルを除き、各都市の主な二次情報収集結果を表 2-8 から 2-12 および図 2-10 に示す。以下、概要を解説する。

a) トイレおよびオンサイト処理設備

表 2-8 より、いずれの都市も人口の大部分は、WHO および UNICEF が Joint Monitoring Project で定義するいわゆる衛生トイレ (Improved Toilet) を利用し、その大部分は水洗トイレである。上記 8 都市の中では、特にカトマンズ、クルナにおいて衛生トイレの未利用者が多く存在する。

トイレにて排泄されたし尿、そこで発生する汚水については、多くの都市で下水処理普及率が低いため、現状ではオンサイト処理設備が主要な尿尿・汚水の処理設備となる。都市別の主なオンサイト処理設備とその現状を表 2-9 に示す。カトマンズおよび深圳以外の都市では腐敗槽が主なオンサイト処理設備となっている。ただし、都市により違いがあり、腐敗槽越流水を浸透井に流す腐敗槽 (例えばダナン)、あるいは直接水路等に放流する腐敗槽 (例えばハノイ) がある。腐敗槽の利用という点では共通するが、名称上は同じ設備を導入しながらも、汚濁物質が地下へ浸透するか、表流水に至るかは大きな違いである。腐敗槽は途上国都市の主要な汚水処理設備であることを考えると、これは都市間比較における極めて重要な点である。なお、深圳では多くの場合オンサイト処理設備はほぼなく、トイレ排水は直接下水道に接続される。

表 2-8 都市別の主なトイレとその普及割合

Type of toilet	Hanoi urban district	Danang city	Hue city	Khulna City Cooperation	Bangkok	Grater Kandy	Kathmandu Metropolitan City	Shenzhen city
Cistern flush toilet	78.9	Mostly in urban areas	40	68	46	93 (sealed/unsealed)		Mostly in private places
Pour flush toilet	17.9	Some in sub-urban areas	51.2		56.2		83.3	Mostly in common places
Composting vault latrine with UD	1.3	-	2.6	-	-	-		-
Composting vault latrine without UD	1.3	-		-	-	-		-
Pit latrine	-	-	0.8	23	0.1	2.5		-
Hanging latrine		-		2	-	-		-
Bucket latrine		-	0.6		-	-	16.7	-
Other toilets		-		7	-	0.4		-
No toilet	0.3	Small	4.8		-	3.1		-

表 2-9 都市別の主なオンサイト処理設備と現状

	Hanoi urban district	Danang urban district	Hue city	Khulna City Cooperation	Bangkok	Grater Kandy	Kathmandu Metropolitan City	Shenzhen city
Main type of on-site sanitation facility	1. Septic tank - 90.5% of coverage - most effluent flowing to a drain	1. Septic tank - 80.4% of coverage - effluent mostly flowing into a soak well	1. Septic tank - 86.7% of coverage - 71% of effluent flowing into a soak well; 28% flowing a drain	1. Septic tank - 74% of coverage - effluent mostly flowing to a drain 2. Storage in a pit - 13% of coverage	1. Septic tank - no info of coverage but mostly covered by septic tank or cess pool - effluent mostly flowing to a drain 2. Cess pool - effluent mostly flowing into a soak well	1. Septic tank - 86.9% of coverage - effluent mostly flowing into a soak well 2. Storage in a pit - 10.2% of coverage	1. Septic tank - small portion covered 2. Several types of onsite treatment toilet such as ecosan toilets - small portion covered	1. Septic tank - small portion covered - mainly connected to sewer

b) 水供給

水供給の在り方は、液状廃棄物の発生量およびその水質に大きな影響を与える。表 2-10 に示すように、各都市の水供給には大きな違いがある。主要な水供給元がこのように異なる一因としては、それぞれの地域で比較的容易に得られる、より水質の良好な水を飲料用に行っていることが考えられる。例えば、ハノイ都市部では水道が普及しているが、特に郊外では貯留した雨水の飲料利用が、広く行われている。貯留により雨水の微生物汚染のリスクは高まり、本研究の調査でも貯留雨水から大腸菌群が検出された。しかし、この地域では地下水の汚染（ヒ素、窒素）が懸念されているため、雨水を飲料用に優先して利用し



ていると考えられる。さらに各戸で設置した井戸からの水などを用途に応じて組み合わせ、水利用をしていると考えられる。

一方、クルナでは地下水汚染（ヒ素、塩分）がより深刻であり、行政あるいは援助団体により導入された数百メートルの深さに達する安全な管井の水を主に飲用に利用している。雨水の利用は限定的である。バンコクでは、人口の半数近くがボトルウォーターを主な飲用水としている。これは、一定の経済水準に達した都市でなければ実現が難しい。

各都市の主な水道水源（表 2-11）は、カトマンズを除き、表流水か地下水の何れかに偏る。詳細は付録 3 および付録 4 に譲るが、カトマンズでは深刻な水不足問題があり、これが河川および地下水の両者から取水をする一因として挙げられる。カトマンズにおける公共管上水道の普及率は 83% に上るものの、その供給量は極めて限定的である。このように、普及率だけでは現実の水需要への貢献度を必ずしも適切に表現していないことがあるため、付録 4 に示す水・排水ストリームと合わせるなど、総合的な観点から都市間比較が必要である。また、現実の貢献度を適切に表す指標の検討も必要である。

表 2-10 都市別の主な給水タイプとその普及割合

Main type of water supply	For whole purpose							For drinking purpose	
	Hanoi urban districts	Danang city	Hue city	Khulna city	Bangkok	Grater Kandy	Shenzhen city	Bangkok	Kathmandu valley
	% (vol.)	% (household)	% (pop.)	% (pop.)	% (pop.)	% (pop.)	% (pop.)	% (pop.)	% (pop.)
Public piped water supply	85	63.3	97	15	98	60.1	Most	54.1	83.1
Deep Tube well				77		5.9	-		5
Drilled well/protected well	15	24.8	0.8	8	0.9	25.8	-	0.3	7.6
Dug well/unprotected	-	11.7	2.2	-	-	4.2	-		3.4
Surface water	-	-	Few	5	0.2	2.3	-	-	0.1
Rain water	Common in outer	0.3	Few	0	0.6	1.6	-	0.6	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.7
Bottled water	Common in urban high/middle income class	No info	Few	-	0.5	-	-	44.7	-

表 2-11 都市別の水道水源タイプとその割合

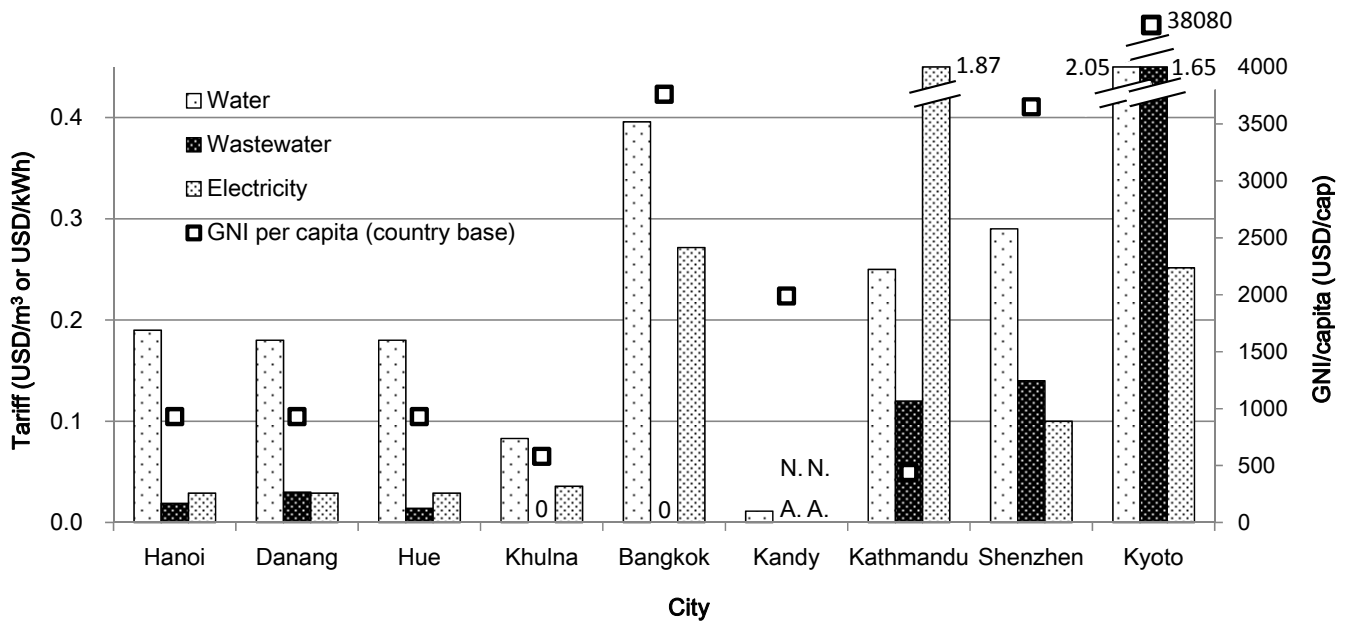
Water source for public water supply		Hanoi city	Danang city	Hue city	Khulna City Cooperation	Bangkok	Kandy city	Kathmandu Metropolitan City	Shenzhen city
Surface water	Lake/reservoir	-	-	-	-	-	37.5	-	12.4
	River, spring	-	100	100	-	100	60	100	76
Ground water		100	-	-	100	-	2.5	-	3.1
Sea		-	-	-	-	-	-	-	0.9
Recycled water and others		-	-	-	-	-	-	-	7.6

c) 公共料金

各都市の水道，下水道，電気料金を図 2-10 に示す。なお，ここでは水道の利用に伴い水道料金に追加で課される下水に係る料金を下水道料金としており，これは下水道が整備されていない場合にも支払われるものである。日本の下水道/水道料金の比と比べると各都市，特にベトナムの 3 都市の下水道料金の割合は小さい。

カトマンズは経済レベルから考えると公共料金が高く，特に電気料金の高さは著しく，液状廃棄物処理システムを構築するうえでも大きな制約と考えられる。カトマンズを 2011 年 1 月にカトマンズにて下水処理場の現地踏査を行った際には，同処理場は一日 11 時間の停電状態にあり，処理場は機能不全に陥っていた。

バンコクでは下水道料金が徴収されていない。現地下水道当局への聞き取りによると，下水道と上水道の運営主体が異なるため，上水道料金と共に下水道料金を上乗せの形で徴収することをしておらず，下水道料金単独での徴収が困難なことが未徴収の理由とのことであった。公共セクターの形態が液状廃棄物管理の制約となっている例と言える。なお，図中の一人当たり GNI は国別であり，都市別ではないため注意を要する。



Note: Water and wastewater tariffs were calculated for the case of 10 m<sup>3</sup> consumption in a month; electricity tariff for the case of 5 kWh consumption in a month.

図 2-10 都市別の水道・下水道・電気料金の比較

d) その他の定量情報および定性情報

汚水管理に関する潜在的制約条件は多様であり、それらは都市ごとに異なる。上述の(1)から(3)以外に、一定程度統一的に比較可能であった情報を表 2-12 にまとめた。アジア都市では多雨・洪水が発生する都市が多いが、中でもダナンとフエの多雨は著しい。カトマンズの頻繁な停電、および衛生設備に利用する水の深刻な不足は大きな制約と考えられる。途上国では世帯人数が多いと思われがちであるが、すべての都市で 4 人/世帯前後である。バンコクを除き、一人当たり下水量は日本と比べ著しく少ない。流入下水量・水質は都市ごと、季節ごとに大きく異なるが、特にフエでは下水が薄い。シンセンを除いた各都市では、肛門洗浄には水を用いる。し尿の農業利用は一部にのみみられる。

表 2-12 都市別の汚水管理に係る定量および定性的制約条件の概要

		Hanoi	Danang	Hue	Khulna	Bangkok	Kandy	Kathmandu	Shenzhen
Rain	Monthly min.	1.2	23.3	24.1	0	0.0	1.6	0	-
	Monthly max.	550.5	1375.7	1298.6	332	399.3	367.1	382.9	-
Flooding		Frequent	Sometimes around riverside	Frequent and extensively	Frequent and extensively	Not frequent and serious	Not frequent	Sometime but not serious	Sometimes heavily
Securing water for sanitation facilities		Not difficult	Not difficult	Not difficult	Not difficult	Not difficult	Not difficult	Difficult in case	Not difficult
Frequency of electricity outage		Often in dry season	Often in dry season	Sometimes in dry season	Often	Sometimes in rainy season	No info	Very often	No
Land availability for public sanitation		Not difficult very much	-	Not difficult very much	Easy	Not difficult very much	Some difficulties	Not difficult very much	Not available
Earthquake		Rarely occur	Never	Never	Some times	Never occur	No major one	Huge one every hundreds years	Rarely occur
Natural increase of population (annual %)		1.27	2.39	1.04	1.14%	-0.09	1.1	4.64	-
Household size		4.0	4.3	4.42	4.56	3.9	4.3	4.4	-
Sludge treatment facility		1	1	0	0	2	-	1	2
Design/actual wastewater amount		120 (Design)	120 (Design)	120 (Design)	-	217 (Actual)	137.1 (Actual)	-	-
Typical influent quality at WWTP	SS (mg/L)	250	200-400	37	-	108.83	-	500	220
	BOD (mg/L)	220	100-200	86	-	55.52	-	200	200
	COD (mg/L)	500	100-300	181	-	-	-	300	450
	T-N (mg/L)	50	10	29	-	12.38	-	10	45 (NH3-N)
	T-P (mg/L)	10	2	3	-	1.23	-	2	6
Anal cleaning		Water and paper	Water and paper	Water and paper	Water	Water and partly paper	-	Water and partly paper	Paper
Excreta use		Originally and still some place	Originally but little at present	Originally but little at present	Not originally but some on project base	Seldom	Not originally but some on project base	Not originally but some on project base	Seldom

### 2.3.4. 液状廃棄物管理と地下水および水供給との関係

#### a) 地下水への依存

図2-11に示した通り，研究対象となったアジアの都市では全面的にまたは部分的に地下水で日常生活に必要な水を賅っている。調査した事例のなかでは，ハノイとクルナが100%地下水に依存しており，カトマンズやダナン，キャンディでは部分的に利用されている。ハノイでは地下水を利用した水道が水需要を賅っており，全取水の83%が水道用水に割当てられている。なお，2008年以降ハノイは配水管による水供給網に表流水も加えた。この割合は，カトマンズでは16%，クルナでは15%，キャンディと深圳では3%である。また，特筆すべきことは，地下水は配水管による供給（水道）ではなく，堀井戸，管井戸，ボーリング井戸など個々の揚水に最も利用されているという点である。

表 2-13 に見られるように，クルナやダナン，カトマンズ，キャンディなどの水道の普及率が低い都市ほど，地下水への依存が高くなる。同様に，調査対象都市の大半において，水道の漏水問題がみられた。

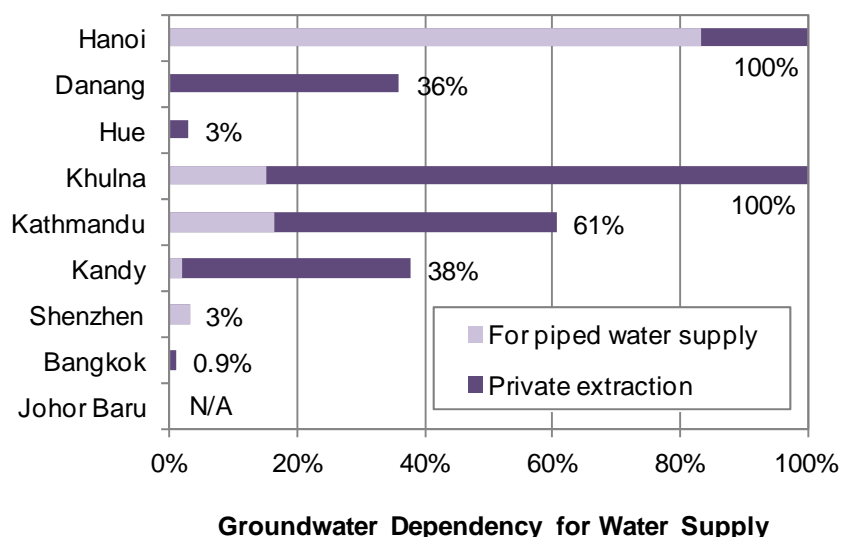


図 2-11 各都市の飲料水としての地下水依存度

注：現地協力者より入手した情報に基づく

一方，水道管による給水が安定しているバンコク，フエ，深圳では地下水利用率は3%以下と低い。バンコクや深圳では過去に地下水を大量に揚水していたが，地下水の枯渇やそれに伴う地盤沈下，塩水侵入などの環境問題が発生したため，今では地下水利用を抑制する管理を行っている。

一般世帯での水利用の大半は掃除・洗濯や，水洗トイレに使用されている。調査した都市では注水式のパワーフラッシュトイレ，または水洗トイレを使用しているが，注水式では1-3リットル，水洗式で通常5-6リットルの水を消費する。水道による水供給が不十分な地域では，地下水なしでは注水式トイレの利用は難しいだろう。

表 2-13 水道普及率と漏水問題

都市	水道管設備普及率 (%)	水道管漏水率 (%)
ハノイ	85	40
ダナン*	59	30
フエ	99	15
バンコク	99	28
クルナ	15	25
カトマンズ	78.2	40
キャンディ	60	40
深圳	100	8

\*ADB, 2009

#### b) 衛生が地下水に与える影響

水供給に比較して、衛生問題はより難しい MDG の課題といえよう。脆弱なスラム居住者はトイレなどの基本的な衛生設備すらない環境で生活している。たとえばバンコクやクルナなどのスラム居住者は政府による立退き命令の可能性を恐れ、既存の衛生設備の改善を躊躇する傾向にある。ダナンを除く調査対象すべての都市では、衛生的な設備が整備されてきているものの（表 2-14 参照）、依然改善されずに放置されたままの非衛生的な設備の存在が問題視されている。

フエでは全人口の 4.8%の人々が野外で排泄し、カトマンズの人口の 17%にあたる人々は衛生的な設備を利用できない状況にある。クルナでは世帯の 13%が水路や池の上に吊りした簡易トイレ、ハンギングラトリーンを利用し、4%が野外で排泄する（UNICEF, 2006）。キャンディでは人口の 8%にあたる人々が共同トイレを利用している。改善された衛生的な設備を利用できる環境にあっても、人々は依然廃棄物の処理と管理が適切に行われていないという問題を抱えている。調査対象都市では、世帯の多く（60-100%）がセプティックタンクを使用しているが、汚泥処理のタイミングと処理がハノイ等で大きな問題となっている。

処分に関連したものでは、下水管未整備の問題もあげられる。表 2-2 に示した通り、深圳、ハノイ、カトマンズを除く調査対象の都市における下水道の普及率は 50%以下である。また、下水管が整備されていても、漏れ詰まりなどのトラブルがあり、下水管の状態が良好ではないケースも多い。しかし、ここで一番問題なのは未処理排水が自然環境へ放流される点にある。放流された排水は水環境の汚染源となる。

改善されない衛生設備やセプティックタンクから漏出する栄養塩や病原体が地下水を汚染する可能性がある。セプティックタンクのオーバーフローや下水管の漏出も同様に帯水層を汚染する危険性がある。また、未処理排水が自然水流に長期に亘り停滞した場合は、

地下水環境保全への恒久的な脅威となる。

正確なデータは入手していないものの、調査対象都市では、塩分や栄養塩 ( $\text{NO}_3$  と  $\text{NH}_4$ )、大腸菌が地下水汚染物質とみられている。これは不適切な衛生設備や排水管理が自然環境に及ぼす影響の大きさを示唆しているといえよう。このような汚染は、地下水を利用して人間に健康被害をもたらす可能性も非常に高い。よって、地下水汚染防止に最も必要とされているのは、排水の処理と管理を適切に行う戦略の構築である。

表 2-14 アジアの都市における下水道と衛生設備の普及状況

都市名	改善された衛生設備を利用できる人口比率 (%)	下水道の普及率 (%)
バンコク	100	12.2
ダナン	N/A	15.7
ハノイ	100	70
フエ	94	40
キャンディ	97	<1
クルナ	91	25
カトマンズ	83	60
深圳	100	75

注：現地協力者より入手した情報に基づく

### c) 限られた水供給と衛生環境緩和の選択肢としての地下水

研究対象の都市では、水供給と衛生設備の改善が推進されているものの、効果的で確実に信頼できるサービスの提供は依然遅れをとっており、需要が供給に追いついていない。この遅れは制約の多さと取り組みの難しさを物語っている。

たとえば、給水網の拡大や漏水の改善にあたっては、修復、点検、修理や新たな建設事業などの莫大な作業を要する。衛生環境に取り組むためには、オンサイト衛生施設の改善だけではなく、不適切なトイレからの汚染防止に努め、適切な方法で処理や廃棄を行うことが必要である。そのためには、新たな下水管や排水処理施設の建設のほか、既存の老朽化した下水管の修復や修理を行わなければならない。

都市人口急増も考慮しながら、水供給と衛生問題を短期間で改善するのは、研究対象都市の社会・政策・経済的な実情を照らし合わせた場合、達成困難だと思われる。都市の事例研究では、信頼性が高く機能的なサービスが存在しない状況下では、利用者は合理的な選択肢である代替サービスに頼るといった結果がでた。

しかしながら、代替サービスは往々にして割高で非衛生的であり、信頼性のない水質からの健康リスクも高い。水供給と衛生の改善においては、簡単で時間を要せず、コストがあまりかからない解決方法の導入が強く望まれる。

これらの現実を考慮すると、増加する都市人口をカバーできる水供給設備の整備が最優

先されるべきである。その次に、セプティックタンクの汚泥と排水の不適切管理やオンサイト衛生施設による水質汚染を防止する方策を検討すべきである。

#### d) 水供給のための地下水

前述したように、地下水は水供給の現況改善の選択肢のひとつとして考えることが可能である。帯水層を満たす地下水は広域に浸透しており、安定した飽和状態にあり、地下水面を覆う表層土壌によって守られている。これらの地下水の特徴は、表 2-15 示すように、水供給においてはすべて利点とみなされる。

地下水は井戸のように小規模な開発で入手できるため、個人世帯にとってより廉価な代替水源である。また、天候に左右されることもなく、その場で井戸を掘削し、すぐに利用することができる。入念な計画に基づいて開発された場合は、表 2-15 に示した通り、給水網の一部として機能させることも可能である。

表 2-15 地下水の利点

有用性とアクセシビリティ	その場で調達できる 便利 需要にあった有用性 信頼できる供給源
手頃性	低投資 安い・適度な抽出コスト
許容性	世帯が飲料用および衛生目的で利用できる
水質	天然かつ良好（ヒ素、フッ素、鉄で汚染されているケースを除く） ミネラル調整または無調整で利用可（汚染ケースを除く）

表 2-16 で示すように、大部分の都市において、地下水の更なる揚水と開発の余地がある。地下水の揚水量が自然界の再生可能率を上回っているカトマンズを除き、その他のすべての都市では利用できる地下水の開発が可能である。しかし、帯水層の様態は一律ではなく、同じ都市でも浸透度、貯水量、深さ、質などの点で異なっていることを留意すべきである。

無計画で無秩序な開発は多くの地下水問題を引き起こす。キャンディでは、自然再生率を超える過剰取水により 1 年で 2.5 メートルも地下水位が低下した (IGES, 2006)。カトマンズの井戸では 2000 年から 2008 年の間で、1.38 メートルから 7.5 メートルも水位が低下し (Pandey *et al.*, 2010)、バンコクやハノイ、クルナでは地盤沈下や塩水侵入問題が発生した。ハノイ中南部では 1 年に 20 ミリから 35 ミリ (Thu and Fredlund, 2000)、クルナでは年間 9.5 ミリ (ADB, 2010) の地盤沈下が報告されている。

過剰揚水の他にも、自然由来のヒ素、鉄、フッ素など重金属や塩分の増加などが、安全な飲料水供給を脅かす地下水質の問題として挙げられる。ヒ素とフッ素は健康被害をもたらす。鉄と塩分は家庭の地下水の利用に制約を与える。塩分はバンコクやクルナ、ハノイ



などの海岸沿いの都市の地下水に多く、バンコクでは 1000 mg/L を超える塩分濃度が報告されている。ハノイの調査サンプルでは、ほとんどのケースに置いてヒ素濃度が国連世界保健機関ガイドラインの許容限度を超えていた (Berg et al., 2001)。高濃度のヒ素はクルナやカトマンズでも報告されている。キャンディやカトマンズでは鉄が許容限度を超えている。

表 2-16 地下水と揚水の可能性

都市名	揚水量 (m <sup>3</sup> /日) [A]	自然再生量 (m <sup>3</sup> /日) [B]	揚水可能推計量 (m <sup>3</sup> /日) [B-A]	出典
ハノイ <sup>b</sup>	828,752	6,795,588	5,966,836	Phuc, 2008
ダナン	29,431	275,871	246,440	Hung, 2009
フエ <sup>c</sup>	35,000	24,631,133	24,596,133	Phuc, 2008
バンコク <sup>a</sup>	745,205	7,791,780	7,046,575	IGES, 2006
クルナ	97,332	N/A	N/A	ADB, 2009
カトマンズ	59,000 <sup>d</sup>	26,000 <sup>e</sup>	-33,000	<sup>d</sup> Pandey <i>et al.</i> , 2010
キャンディ	79,452	482,191	402,739	IGES, 2006
深圳	N/A	N/A	N/A	

<sup>a</sup>チャオファラヤ流域 <sup>b</sup> 紅河デルタ <sup>c</sup> 中北部エリア

このような汚染問題があるにもかかわらず、調査対象都市における地下水は、水供給に関連した既存の制約を克服するための手段となりうる。表 2-17 は地下水利用と管理を通じて、既存の制約を克服するための選択肢を示したものである。地下水は問題解決の鍵として、また長期解決案の糸口にもなりえる。同様に、地下水は表層水不足の代替水源として利用可能であるとともに、主要な飲料水源としても活用することができる。水道普及率が低い都市では、地下水を水源とした小規模な水供給施設により、個人または水道への接続がない地域の水供給を確保することができる。ただし、地下水を水源とする配水システムを整備するには技術的または財政的な支援が必要とされるケースもある。

漏水や劣悪な管理が不安定な水供給を招いているケースでは、地下水は短期間の供給源にしかなりえない。問題の原因の評価を行わないまま地下水を利用すると、地下水枯渇やヒ素混入などの健康リスクを引き起こす。水道接続料金などの水利用料金が高い地域においては、地下水はより手頃な代替水源となりうる。サービスの悪さから低歳入に陥っている公共事業では、地下水利用により供給を安定させ、高歳入への転換を図ることも可能である。また、水道管の漏水による水汚染に悩む地域では地下水は飲料水として利用できるだろう。

表 2-17 水供給に関する既存の課題と地下水利用を通じた解決オプション

課題	都市名	選択肢	地下水利用 選択肢	地下水 利用上の難点
水道普及率の 低さ	DN, KN, KT, KH	水道の普及	コミュニティで の地下水利用	容易-適度 (計画と政府支援が必要の 場合も)
漏水	BK, DN, HA, KN, KT, KH, SH	漏水管理	地下水で補う	容易 (個人主体) 無秩序揚水へのハイリスク と汚染物質による健康被害
不安定な供給	HA, HU, KT, KH	配水環境改善 漏水管理 代替資源を探す	地下水で補う	容易 (個人主体) 無秩序揚水へのハイリスク と汚染資源による健康被害
改善されない 水源	BK, DN, HA, HU, KN, KT, KH	給水経路の改善	保護された 井戸の建設	容易 (井戸保護の法令が必要 の場合も)
高い飲料水 (接続料, 関 税, ペットボト ル購入, 自販機 で購入)	BK, HU, KT	廉価な水供給源 の開拓	廉価な選択肢と して地下水利用	容易 (個人主体) 無秩序揚水へのハイリスク と汚染資源による健康被害
公共事業の低い 原価回収率	DN, HA, KN, KT, KH	サービスの改善 管理費カット 水利用料金の改 訂	廉価な選択肢と して地下水利用 を行う傍ら, 高歳入エリア の配水環境を 改善する	適度-困難 (優れた計画と 管理, 利用者の許可が必要)
劣悪な水質	BK, DN, HA, HU, KN, KT, KH, SH	汚染管理 前処理の組入れ 未汚染資源利用	汚染されていない 深い所の地下水 を利用する	適度-困難 (深い所からの 地下水抽出はコスト高)

BK: バンコク, DN: ダナン, HA: ハノイ, HU: フエ, KN: キャンディ, KT: カトマ  
ンズ, KH: クルナ, SH: 深圳

e) 地下水汚染リスク抑制のための衛生環境と排水処理の向上

地下水は水供給の観点からは比較的信頼性が高いが、水道水同様に、非衛生的な設備や未処理排水などの人為活動による汚染の影響を受けやすい。都市における地下水汚染には2つの経路に起因する4つの主要脅威がある。すなわち、野外での排泄などの非衛生的な行為、セプティックタンクのオーバーフロー、下水道の漏出、未処理排水の浸透などの改善されていない衛生に関する行為と、土壌浸透や土層と井戸壁面（またはパイプ等）の空間を通

じたプレファレンシャルフロー（選択流）である。土壌からの浸透は比較的時間を要するが、井戸が密閉されていない場合、プレファレンシャルフローによる汚染は帯水層の急速な汚染を招く。

表2-18は水汚染抑制と衛生改善のための選択肢を検討したものである。地下水汚染抑制には基本的に2つの戦略が考えられる。まず、既存の衛生設備の修繕や排水処理管理方法の改善があげられる。2つめの戦略としては、地下水汚染の防止が考えられる。貧困地区、または衛生設備が未改善の状態である郊外周辺の給水環境を改善し、水洗トイレを設置する。水洗トイレ導入には、表流水または地下水によって相当量の水の供給が保証されなければならない。

表 2-18 下水汚染リスク回避のため衛生と排水関連の制約

制約	都市名	選択肢	地下水汚染リスクの抑制	課題
未改善衛生設備	DN, HU, KN, KT, KH,	注水式トイレの導入, 野外排泄の禁止, (浅い位置の帯水層, 高浸透地区保護) トイレと井戸構造の距離をと, 井戸を密閉をする	廃棄物浸透による汚染防止 (土壌または井戸管/井戸壁面, 土壌間の局所的な経路)	表流水や地下水資源により十分な量の水が有用である。貧困地区居住者は取り付け費用が払えない。帯水層ゾーニング (用途区域規制) の実施。トイレと地下水構造間の距離規制の実施。
セプティックタンクによる汚染	BK, DN, HA, HU, KN, KT, KH,	不浸透性のセプティックタンク的设计, 時宜を得た汚泥除去, オーバーフローの抑制, トイレと井戸構造の距離をとる, 井戸を密閉する	廃棄物浸透による汚染防止 (土壌または井戸管/井戸壁面, 土壌間の局所的な経路)	セプティックタンク設計規制は実施が難しい。汚泥除去施設の有用性。汚泥除去への動機付け。トイレと井戸構造の距離をとる。
下水管による汚染	BK, DN, HA, HU, KN, KT, KH,	漏れの特定制と管理 老朽化した配管の修繕, 詰まりをなくす, 土壌と井戸壁面 (井戸管) 間を密閉する	廃棄物浸透による汚染防止 (土壌または井戸管/井戸壁面, 土壌間の局所的な経路)	実施するためには計画が必要とされ また, 費用と時間がかかる
未処理排水による汚染	BK, DN, HA, HU, KN, KT, KH, SH,	既存の排水処理施設の改善。分散型排水処理施設の促進, 土壌と井戸壁面 (井戸管) 間を密閉する	処理排水の水質向上による地下水汚染リスク減少	実施するためには計画が必要とされ また, 費用と時間がかかる

BK: バンコク, DN: ダナン, HA: ハノイ, HU: フエ, KN: キャンディ, KT: カトマンズ, KH: クルナ, SH: 深圳

セプティックタンクによる汚染防止には、建設時に壁面を密封するなど正しい設計がな

されねばならない。オーバーフローや浸透を防止するためには、適切な汚泥処理が必要とされ、下水道管からの浸透回避には漏出箇所を特定し、老朽化した配管の補強工事や詰まり解消のための清掃作業を行わなくてはならない。

ほとんどの調査対象都市で排水処理施設が不足していることが最大の課題である。加えて、分散型排水処理施設において、低コストで設置できる汚泥処理設備が未整備であるのも問題である。既存の排水処理施設の機能改善も、地下水汚染防止の方策のひとつとして考慮されるべきであろう。

衛生と排水処理設備の改善の他にも、地下水汚染の防止手段はある。計画の段階では、帯水層の特定とゾーニング（用途区域規制）を優先する。指定された区域では、より安全な衛生設備と排水処理管理を徹底し、地下水汚染防止のための厳しい方策が適用されるべきである。同様に水供給を地下水に依存する世帯では、トイレやセプティックタンク、下水管と井戸のあいだの距離をとり、直接汚染を回避するよう配慮すべきである。また、井戸を密閉し、汚染源としてプレファレンシャルフローが地下水に流入することを防止しなくてはならない。

#### f) 本項のまとめ

本研究では地下水と水供給と衛生設備の相互関係を検討した。地下水は水供給と衛生設備の改善に直接的に寄与するが、他方、不適切な衛生設備は地下水汚染やそれに伴う健康リスクを招く。入手した情報や状況分析に基づき、今後考慮すべき点として、以下の事項を指摘しておく。

- ・ 調査対象の全都市が地下水に依存しているのは明白だが、地下水利用の普及率、汚染に対する地下水の脆弱性、地下水利用から生じる健康リスクに関する信頼できる情報が欠如していた。調査対象都市の水供給と衛生改善戦略の一部として、基本的なデータベースの体系的な収集や地下水資源の評価、地下水の脆弱性を示すマッピング等への取組みがなされるべきである。
- ・ 調査対象都市において、地下水は水供給に係る制約を緩和する代替水源としての可能性を秘めているが、無計画な地下水揚水はその可能性を損なうだけでなく、局地的な地下水枯渇、地盤沈下、塩水侵入などの環境問題を引き起こす。都市化に伴う水需要の増加を考慮すると、このシナリオは非常に切迫感を帯びたものになる。他方、漏水管理や給水システムの強化などの既存の水供給設備の改善は、減少の傾向にある地下水の現況改善に寄与するだろう。
- ・ 郊外周辺の貧困居住区では非衛生的なトイレ施設が利用されているが、それよりも排水の処分と管理方法がより緊急な課題である。調査対象都市では、セプティックタンクや下水管、排水処理施設のコンディションの悪さや下水管網の普及の低さ、未処理排水の自然界への不適切放流など多くの問題を抱え、これらの現況は地下水汚染の脆弱性をより増長させる傾向にある。
- ・ 注水式トイレの適用、不浸透性セプティックタンクの設計、適切な汚泥除去とセプ

ティックタンクの管理，下水網の修繕と排水処理の改善などが，発生元における有効な汚染管理方策としてあげられる。加えて，危機に瀕している帯水層のゾーニング施策や，衛生設備（トイレ）と地下水揚水構造（井戸）を離し距離を設けること，井戸を密閉すること等も有効な防止手段である。

- ・ 自然由来のヒ素，フッ素などによる土壌汚染や，不適切な衛生設備によって汚染された地下水の飲料による健康リスクも考慮すべきである。個人による地下水（井戸）利用においては，この危険性が無視されることが多い。

### 2.3.5. 制約条件分類の数量化結果

特に液状廃棄物管理に直接関連の深い水供給および衛生設備の各都市の結果を示す。

#### a) 水供給

各都市で主に見られる地下水汚染物質を表 2-19 に示す。多くの都市で大腸菌汚染が確認されており，いずれの都市も浅井戸の評価点は 2.5 とした。

表 2-19 各都市の地下水汚染物質

	ハノイ	バンコク	フエ	シンセン	ダナン	カトマンズ	クルナ	キャンディ
地下水 汚染物質	NH4+	塩水	塩水	塩水	大腸菌	ヒ素	ヒ素	大腸菌
	ヒ素		大腸菌		塩水	大腸菌	大腸菌	
	大腸菌							

水供給に関する数量化の結果を表 2-20 に，各都市の水供給評価点と生活用水供給源の割合を図 2-12 に示す。また，カトマンズでは深井戸，浅井戸，表流水の区別のあるデータが得られなかったため，その合計 18%を 3 等分し，それぞれ 6%ずつと仮定した。図 2-3 から，シンセン，フエでは水量，水質ともに安定した水供給が達成できていると示唆され，総合評価点はそれぞれ 5，4.89 となった。シンセンではすでに近代的な上水道が整備され，またフエでは 2009 年には JICA の支援により，近代的上水道がほとんどの地域で整備されていたためと考えられる。バンコクは水道水の使用率が 98%であり，フエの 97%と同程度であったが，断水の頻度や漏水率の評価が低かったため，総合評価点が 3.73 となりフエの 4.89 と大きな差が生じた。

ハノイ，キャンディ，カトマンズは他の 5 都市と比較すると，漏水率が 10%以上高く，水道水の評価を下げる原因となった。クルナは主な給水源が深井戸であることが他の 7 都市と異なった。深井戸の評価点は水利用の利便性が低く，3 と設定したため，総合評価点が 2.95 と低くなった。カトマンズでは，水道水使用率は 82%と高かったが，断水の頻度が 8 都市中で最も高く，総合点で 1.47 の低評価につながった。最も総合評価点が低いカトマンズと次に低いキャンディでは，断水の頻度および漏水率ともに高く，水道水の水量や水質が不十分であることが伺えた。

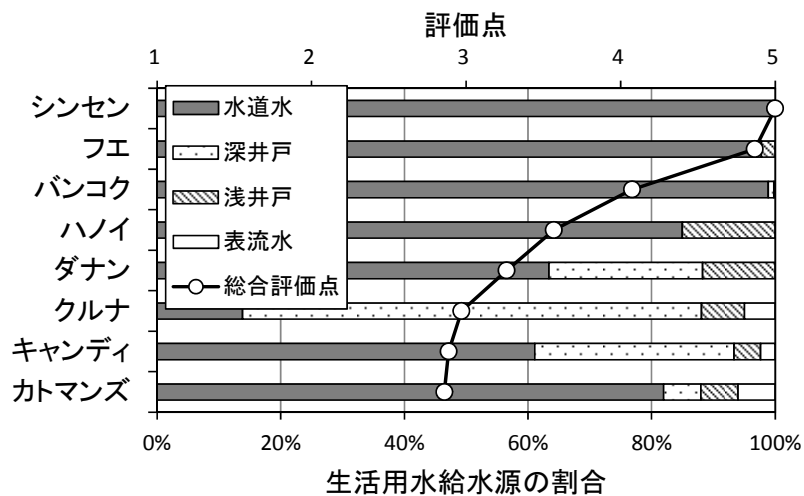


図 2-12 各都市の生活用水源と評価点

表 2-20 水供給の数量化結果

	生活用水給水源	割合	断水頻度による評価点( $\alpha$ )	漏水率	漏水率による評価点( $\beta$ )	統合点( $\gamma$ )	地下水汚染	評価点	得点	総合評価点
シンセン	水道水	100	5	8	5	5.0		5.00	5.00	5.00
フェ	水道水	97	5	12	4.8	4.90		4.94	4.79	4.87
	深井戸	0.8						3.00	0.02	
	浅井戸	2.2					あり	2.50	0.06	
バンコク	水道水	98	4	28	3.2	3.60		4.13	4.04	4.07
	深井戸	0.9						3.00	0.03	
	表流水	0.2						2.00	0.00	
ハノイ	水道水	85	4	40	2	3.00		3.75	3.19	3.56
	浅井戸	15					あり	2.50	0.38	
ダナン	水道水	63.3	2	27.5	3.25	2.63		3.52	2.23	3.26
	深井戸	24.8						3.00	0.74	
	浅井戸	11.7					あり	2.50	0.29	
クルナ	水道水	10	2	25	3.5	2.75		3.59	0.36	2.97
	深井戸	77						3.00	2.31	
	浅井戸	8					あり	2.50	0.20	
	表流水	5						2.00	0.10	
キャンディ	水道水	60.1	2	45	1.5	1.75		2.97	1.78	2.89
	深井戸	31.7						3.00	0.95	
	浅井戸	4.2					あり	2.50	0.11	
	表流水	2.3						2.00	0.05	
カトマンズ	水道水	82	1	36	2.4	1.70		2.94	2.41	2.86
	深井戸							3.00	0.18	
	浅井戸	18					あり	2.50	0.15	
	表流水							2.00	0.12	

以上より、世界銀行の指標など既存の水供給の評価では、水道の普及率あるいは単純に

水供給源へのアクセス割合のみで国別の水供給の状況が示されていたが、本研究により、インフラの運転管理の現状（漏水率、断水頻度）や、井戸の種別なども考慮し、より現地の水供給の実態に近い評価を行うことが可能となった。ただし、クルナでは井戸は自治体により設置され地域で共有され、他の地域では世帯ごとに設置しており利便性に大きな違いがあるなど、十分には考慮できていない要素も多く、これらに対応したデータ収集とともに指標の改善が望まれる。

#### b) 衛生設備

各都市の衛生設備評価点および衛生設備形態割合を図 2-13 に、衛生設備を数量化した結果を表 2-21 に示す。シンセンでは水洗トイレが普及し、下水処理率も 80%とインフラ整備が進んでいるため 4.65 の高い評価点となった。シンセンを除く 7 都市では、排水路や下水処理場の整備が不十分であった一方、腐敗槽などのオンサイト設備が広く使われていた。これらの都市ではオンサイト処理設備がトイレ由来の環境負荷を低減する上で、重要な役割を担っていることが示唆された。ハノイではトイレの水洗化や排水路の整備が進んでおり、評価点は 3.79 となった。しかし、最終的な下水処理が進んでおらず、未処理放流の割合が高い。また他都市と比べ、槽型トイレの割合が高く、尿尿が農業利用されている。フエは前節での高い上水道普及率とは対照的に、生活排水の下水処理がされておらず、最終的に浸透槽で処理している割合が高く、評価点は 3.79 となった。クルナでは、トイレの水洗化が未だ低く、ピットラトリンが広く使用されており、3.36 の評価となった。また、カトマンズでは評価点が 2.23 となり、不衛生なトイレの割合が高いことが評価を下げる要因となっていた。

以上より、改善されたトイレ(Joint Monitoring Project による)の有無による既存の評価とは異なり、排水路への接続、オンサイト処理の種別、最終的な放流先を考慮に入れた環境負荷を反映した評価が可能となった。これにより、クルナなどで水洗化率が高いにもかかわらず、最終的に未処理で環境に放流されているため、低い評価点をつけることができた。ただし、途上国における下水処理場では、処理を適切に行うことなく環境へ放流している場合があるため、下水道普及率のみを考慮した今回の評価方法では不十分であったと考えられ、今後、下水処理場の現状に関するデータを収集する必要がある。また、腐敗槽に関して、接続しているか否かのみで評価をしたが、腐敗槽の管理実態(汚泥引抜き頻度など)を反映していないため、これらの情報も今後、併せて収集する必要がある。

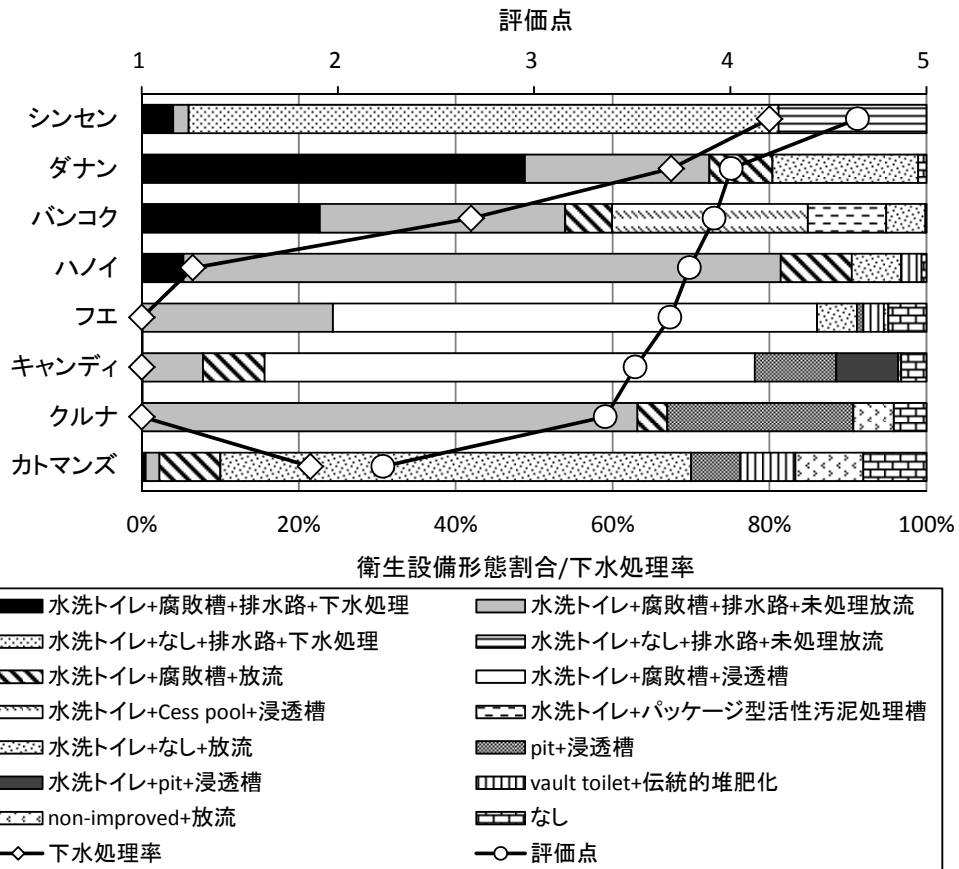


図 2-13 衛生設備の割合と各都市の評価点



表 2-21 衛生設備数量化結果

	トイレの形態	オンサイト設備の形態	人口に対するオンサイト設備の割合	オフサイト設備の形態	オンサイト設備に対するオフサイト設備の割合	処理の有無	下水道普及率	人口に対する割合	評価点	得点	総合評価点		
シンセン	水洗トイレ	なし	ほとんど大部分	排水路	100	下水処理	80	76.0	5	3.80	4.65		
		腐敗槽	ごく一部	排水路	100	未処理放流	20	19.0	3	0.57			
						下水処理	80	4.0	5	0.20			
								未処理放流	20	2.0		4	0.08
ダナン	水洗トイレ	腐敗槽	80.4	排水路	大部分	下水処理	67.5	48.8	5	2.44	4.01		
				放流	一部	未処理放流	32.5	23.5	4	0.94			
		なし	N.A	放流	100			8.0	3	0.24			
		なし	ごく少数	放流	100			18.6	2	0.37			
バンコク	水洗トイレ	腐敗槽	N.A	排水路	大部分	下水処理	42	22.7	5	1.13	3.92		
				放流	一部	未処理放流	58	31.3	4	1.25			
		Cess pool	N.A	浸透槽	100			6.0	3	0.18			
		P.A.S.P.*	N.A					25.0	3	0.75			
		なし	N.A	放流	100			10.0	5	0.50			
		なし	N.A	放流	100			5.0	2	0.10			
	ピットラトリン	ピットラトリン	0.1	浸透槽	100			0.1	3	0.00			
ハノイ	水洗トイレ	腐敗槽	90.5	排水路	大部分	下水処理	6.5	5.3	5	0.26	3.79		
				放流	一部	未処理放流	93.5	76.2	4	3.05			
		なし	6.3	放流	100			9.1	3	0.27			
		槽型トイレ	槽型トイレ	2.6	伝統的堆肥化	100			6.3	2		0.13	
	なし	なし	0.6	放流	100			2.6	3	0.08			
						放流	100			0.6	1	0.01	
フェ	水洗トイレ	腐敗槽	86.7	排水路	28.0	下水処理	0.0	0.0	5	0.00	3.69		
				浸透槽	71.0	未処理放流	100	24.3	4	0.97			
		なし	5.1	放流	100			61.6	4	2.46			
		槽型トイレ	槽型トイレ	2.6	伝統的堆肥化	100			5.1	2		0.10	
		ピットラトリン	ピットラトリン	0.8	浸透槽	100			2.6	3		0.08	
		未改善トイレ	なし	0.6	放流	100			0.8	3		0.02	
	なし	なし	4.8	放流	100			0.6	1.5	0.01			
						放流	100			4.8	1	0.05	
キャンディ	水洗トイレ	腐敗槽	76.2	排水路	一部	下水処理	0	0.0	5	0.00	3.52		
				浸透槽	大部分	未処理放流	1	7.6	4	0.30			
				放流	一部					61.0		4	2.44
				放流	一部					7.6		3	0.23
		ピットラトリン	ピットラトリン	7.7	浸透槽	100			7.7	3		0.23	
		なし	10.1	放流	100			10.1	2	0.20			
		ピットラトリン	ピットラトリン	2.5	浸透槽	100			2.5	3		0.08	
	未改善トイレ	なし	0.4	放流	100			0.4	1.5	0.01			
						放流	100			3.1	1	0.03	
クルナ	水洗トイレ	腐敗槽	68	排水路	大部分	下水処理	0	0.0	5	0.00	3.36		
				放流	一部	未処理放流	100	61.2	4	2.45			
		ピットラトリン	ピットラトリン	23	浸透槽	100			3.7	3		0.11	
		未改善トイレ	なし	2~9	放流	100			23.0	3		0.69	
	なし	なし	0~7	放流	100			5.0	1.5	0.08			
						放流	100			4.0	1	0.04	
カトマンズ	水洗トイレ	腐敗槽	一部	排水路	22.0	下水処理	21.5	0.5	5	0.02	2.23		
				放流	78.0	未処理放流	78.5	1.7	4	0.07			
		なし	大部分	放流	100			7.8	3	0.23			
		槽型トイレ	槽型トイレ	N.A	伝統的堆肥化	100			50.5	2		1.01	
		ピットラトリン	ピットラトリン	19.8	浸透槽	100			3.0	3		0.09	
		未改善トイレ	なし		放流	100			19.8	3		0.59	
	なし	なし	16.7	放流	100			8.4	1.5	0.13			
						放流	100			8.4	1	0.08	

\* パッケージ型活性汚泥処理槽

### 2.3.6. 制約条件のポートフォリオ化

#### a) 制約条件 5 分類のレーダーチャート化

水供給および衛生設備に、インフラ、経済状況および意識の評価を加えて、各都市の状況の包括的なレーダーチャート化を行った（図 2-14）。ハノイは各項目の評価点が 3~4 の間で、チャートは正五角形に近い形となった。ただし詳しく検討すると、上下水道整備のバランスは悪く（上水道 85%，下水道 6.5%）、腐敗槽による屎尿の一定程度の処理が考慮され、衛生設備の評価が底上げされた結果といえる。今後、都心部の下水道整備によりインフラおよび衛生設備の評価は向上するだろう。一方、水供給の評価向上には漏水率および断水頻度の低下が必要と考えられる。フエでは JICA のプロジェクトにより上水道の近代化が大幅に進んだため、水供給の評価（4.9）が突出して高い。水道の普及に伴い下水量の増加が見込まれるため、早急な衛生設備およびインフラの整備が求められるといえる。カトマンズはインフラの評価点がクルナを上回る以外は各項目が全都市の中でいずれも最低であり、最も状況が深刻であることが示された。経済状況はハノイを含め全都市で評価が低く、上下水道料金の適正な回収は全都市共通の課題となっている。

#### b) 上水・下水基本ストリーム

アジア都市では、都市ごとに水道水源を地下水に依存する地域、表流水に依存する地域、あるいは両者に依存する地域があり、下水についても、下水道、腐敗槽、ピットトイレ、未処理放流など、地域ごとで異なった状況にある。そこで、得られた二次データをもとに、各都市の水供給から下水排出までの基本ストリームを、上水下水基本ストリームとしてまとめた（付録を参照）。例としてハノイの水・排水フローを図 2-15 に示す。アジア地域の液状廃棄物処理を検討するうえで、水に関わる基礎フローを理解することはその第一歩である。これらはまだ暫定的なものであるが、今後充実させることにより、各都市の液状廃棄物管理戦略構築に向けた必須の基盤情報となるだろう。

#### c) トイレおよびオンサイト処理のポートフォリオ

トイレにて排泄されたし尿、そこで発生する汚水については、多くの都市で下水処理普及率が低いため、現状ではオンサイト処理設備が主要な屎尿・汚水の処理設備となる。ただし、同じ国でも都市により違いがあり、腐敗槽越流水を浸透井に流す腐敗槽（例えばダナン）、あるいは直接水路等に放流する腐敗槽（例えばハノイ）がある。腐敗槽の利用という点では共通するが、名称上は同じ設備を導入しながらも、汚濁物質が地下へ浸透するか、表流水に至るかは大きな違いである。そこで、トイレおよびオンサイト衛生施設については、都市別にその簡略なシステムフロー、利用法、写真などからなるポートフォリオを作成した（付録を参照）。例としてバンコクのパッケージ型活性汚泥処理システムを図 2-16 に示す。

以上、レーダーチャート、上水・下水ストリーム、トイレおよびオンサイト処理設備ポートフォリオを合わせて、各都市のポートフォリオとした。

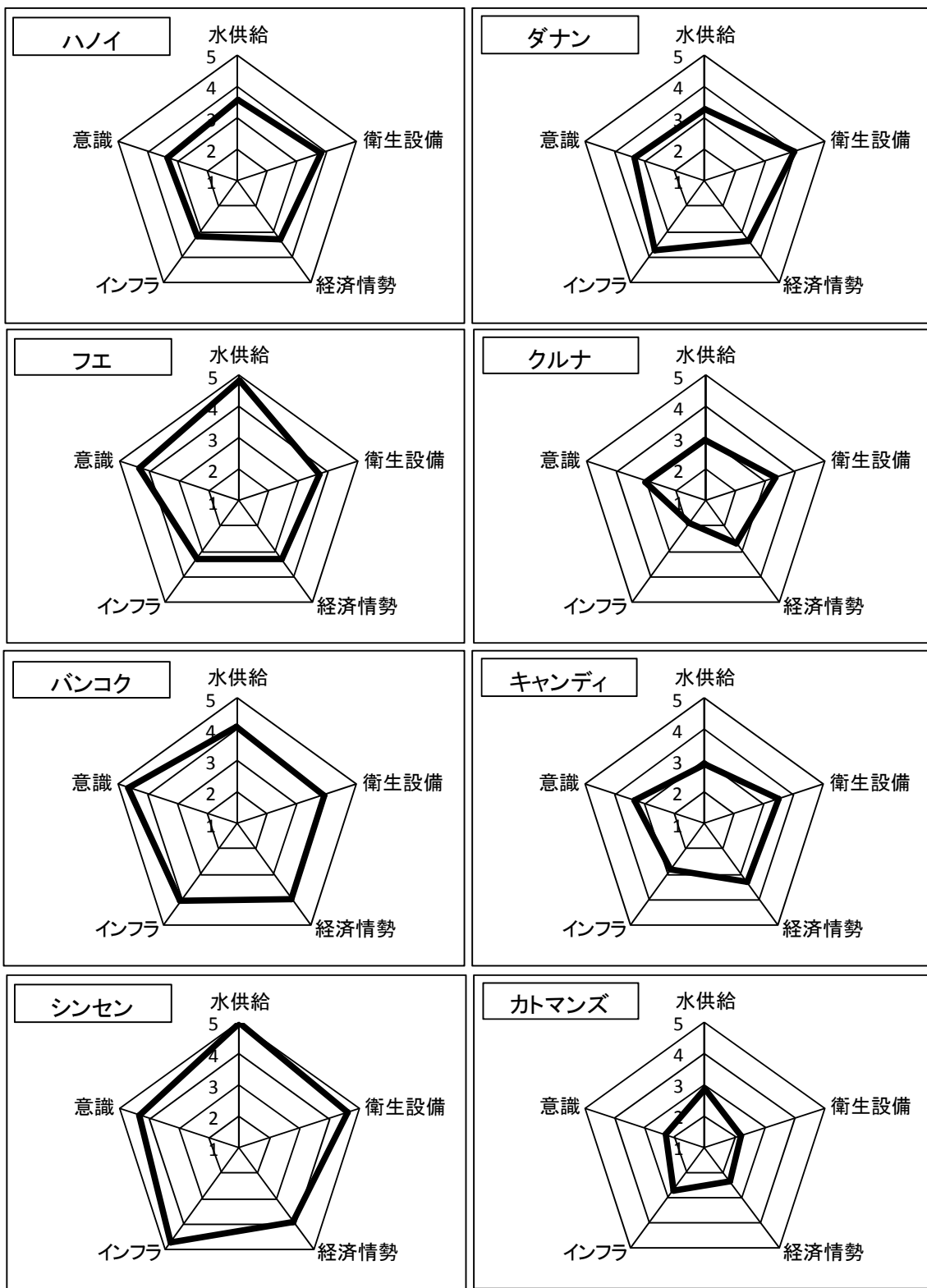


図 2-14 アジア 8 都市の制約条件 5 分類評価のレーダーチャート

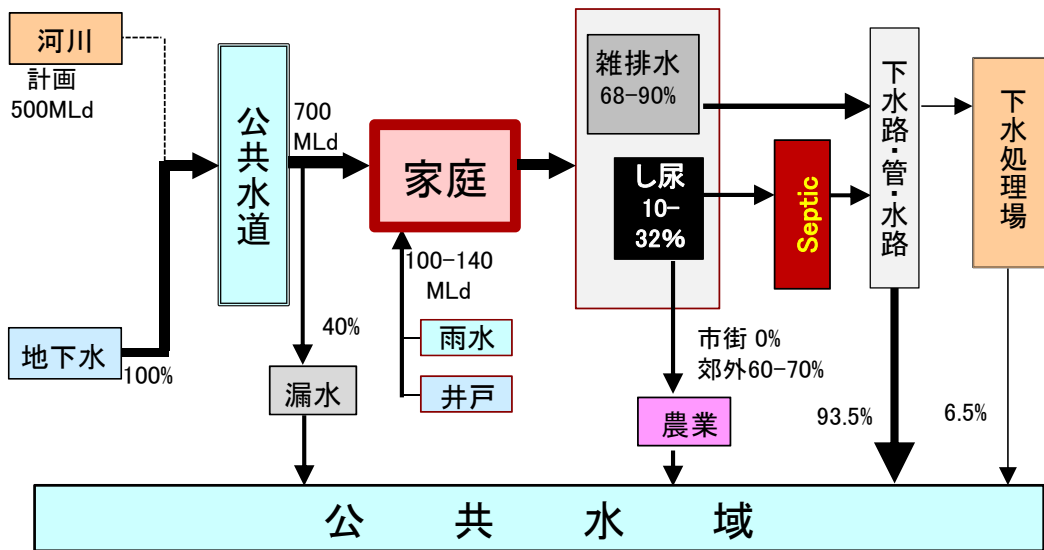


図 2-15 ハノイの上水・下水基礎ストリーム

No.	3
City	Bangkok
Name of the toilet	Activated sludge
Water consumption	Fiberglass-capsule tank: 1-10 m <sup>3</sup> Reinforced concrete: 40 m <sup>3</sup> /day/pond for public housing
Material	(1) Reinforced concrete, (2) Fiberglass
Waste destination	Septage → Night-soil treatment plant Liquid waste → Soil
Cost (product and installation)	Product cost: 15,000 Baht for activated sludge (fiberglass-capsule tank) capacity of 1 m <sup>3</sup> Installation cost: 519,980 Baht with 40 m <sup>3</sup> /day wastewater for reinforced concrete
Explanation	Activated sludge process was used mostly in big buildings as on-site sanitation facility. Excretion was washed through flush latrine/ moulded bucket latrine to activated sludge. Septage is collected in septic tank until full and then sucked by suction truck. Septage is disposed at night-soil treatment plant. Liquid waste will be flow out from activated sludge to sewerage and drainage system for treatment at wastewater treatment plant. However, liquid waste can be drained to surface water without treatment in the area that no connection with sewerage and drainage system. Finally, both treated and untreated liquid waste flow to river, canal, and stream
Diagram	
Picture	

図 2-16 バンコクのパッケージ型活性汚泥処理システム

## 2.4. 結論

データ収集が困難な途上国において、KJ法を援用した方法により潜在的な制約条件を抽出・類型化すると共に、カウンターパートの協力の元で情報収集を行い、地域の水・衛生環境の概況を把握すると共に、特に地下水と液状廃棄物の関係を考察した。さらに、限られたデータ環境の中で潜在的制約条件の数値化方法を構築・適用するとともに、上水・下水ストリーム、トイレおよびオンサイト処理設備シートを整備し、各都市の液状廃棄物にかかる情報をポートフォリオ化できた。これにより、多様なアジア都市の実態を一定程度反映した評価ができ、他都市と比べた制約や特徴などをより具体的に検討することが可能となった。また、後述する技術・システム選択支援アルゴリズム構築に必要な要素を抽出する土台を築いた。ただし、今回構築した制約条件の数値化では、項目間の重みづけの検討、あるいは井戸の共有・私有の区別などの利便性に関わる検討が十分でないなどの課題が残る。データ収集の困難さが影響するものの、指標自体もさらなる改善することで、より実態に近い評価を実現することが可能になるだろう。

## 参考文献

- ・ ADB (2004) . Water in Asian cities: Utilities' performance and civil society views. Asian Development Bank, Manila, Phillipines
- ・ ADB (2009) . Bangladesh: Supporting the establishment of the Khulna water supply and sewerage authority. Technical Assistance Consultant' s Report.
- ・ ADB (2010) . Bangladesh: Strengthening the resilience of the water sector in Khulna to climate change. Technical Assistance Consultant' s Report. Project Number: 42469-01
- ・ Berg, M., Tran, H.C., Nguyen, T.C., Pham, H.V., Schertenleib, R. and Giger, W. (2001) . Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: A human health threat. Environmental Science and Technology, Vol. 35 (31) , 2621-2626
- ・ Foster, S. S. D., Lawrence, A. R. and Morris, B. L. (1998) . Groundwater in Urban Development: Assessing Management Needs and Formulating Policy Strategies. The World Bank, 1998.
- ・ Hung, N.T. (2009) . Priority challenges of Da-Nang city in development. Meeting on Developing Eco-efficient and Sustainable Urban Infrastructure in Asia and Latin America, Bangkok, Thailand, 10-12 February, 2009.
- ・ IGES (2006) . The state of groundwater resources and management in case study cities. Sustainable groundwater management in Asian cities. Institute of Global Environmental Strategies, Japan

- Pandey, V.P., Chapagain, S.K. and Kazama, F. (2010) . Evaluation of groundwater environment of Kathmandu valley. *Environment Earth Science*, Vol. 60, 1329-1342
- Phuc, D.D. (2008) . General on Groundwater Resources. Water Sector Review Project ADB-TA- 4903 VIE, Hanoi, Vietnam: Department of Water Resources Management (DWRM) , Vietnam
- Thu, T.M. and Fredlund, D.G. (2000) . Modelling subsidence in the Hanoi City area, Vietnam. *Can. Geotech. J.*, Vol. 37, 621-637
- UN (2009) . World Population Prospects: The 2008 Revision and World Urbanization Prospects: The 2009 Revision, Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (<http://esa.un.org/wup2009/unup/> accessed March 14, 2012)

### 3. 重点都市調査

本研究プロジェクトの最終目標は液状廃棄物処理システムの代替策を設計・評価し、それを一つの方法論としてまとめることにある。その際には具体的なフィールドを下に代替策を考えることが有効である。この調査フィールドとして、2つの特性の異なる都市、即ち、基本的なトイレがほぼ普及し急速な都市化が進んでいるベトナムのハノイ、および基本的な衛生の普及が今も課題として挙がるバングラデシュのクルナを取り上げ重点調査を行った。また、多くの途上国都市では腐敗槽が利用されているものの、その汚泥引抜・処理の状況は一般的には劣悪であり、汚泥処理に関する重点調査についてもその他の都市において実施した。

#### 3.1. ハノイにおける重点調査

##### 3.1.1. 目的

アジア途上国の多くの都市では、近年急速な都市化・工業化が進んでおり、ベトナムもその例外ではない。首都ハノイ市は、2008年に周辺地域を合併し、その人口は320万人から620万人へと増加した。とりわけ郊外部では都市部の拡大による市街地化、工業団地の増加など、その変化は著しい。

ハノイ近郊地域を含め、ベトナム北部は伝統的にし尿を農業利用してきた習慣があり、し尿に限らず家庭からの廃棄物、畜産廃棄物、あるいは農業残渣など、様々な地域資源の農業利用が残る地域である。近年の郊外部は、市の急速な拡大に伴い、近郊農業としてハノイに食糧を供給する地としての役割も重要になっている。上述の都市化・工業化に伴い、現在ではこれらの地域も影響を受け、し尿、廃棄物の管理実態に変化が生じているとともに、郊外区農業においては化学肥料の増加、水稻から利益の大きい野菜生産への移行などが起こりつつある。

本研究パートでは、ダイナミックな都市化が進むハノイ市における廃棄物管理の定量把握をめざし、都市区および郊外区それぞれの液状廃棄物ストリームおよびリンマテリアルフローを構築すると共に、最終年度の液状廃棄物処理システムの設計・評価の具体的フィールドとして想定されるハノイ市郊外区の典型集落を対象に、より詳細なリンおよび窒素のマテリアルフローを構築し、液状廃棄物管理の代替システム導入のシナリオ分析を行い、導入効果の検討を試みることにした。

##### 3.1.2. 研究方法

本研究で対象とする地域は、ハノイ市である（図 3-1）。まず、大都市郊外集落における液状廃棄物および関連廃棄物の管理の現状を把握し、新たな衛生システム導入の効果を定量的に検討するため、まず、ハノイ市を対象に、液状廃棄物ストリーム調査、および資源循環に資する液状廃棄物の適正管理に向けたリンのマテリアルフロー構築を行った。なお、

将来の有機系固形廃棄物との統合処理を念頭に、調査では有機系固形廃棄物も対象に含んだ。

続いて、都市化に伴う影響が大きいと予想されるハノイ市郊外における集落において、廃棄物管理形態の変容を明らかにするため、PhuXuyen 区 VanTu コミューン内の Trai 集落(人口 800 人、農地面積 52.6 ha, 図 3-2)を対象として、100 世帯に半構造的訪問調査を実施した。調査の主な対象は、人し尿、家庭排水、家庭由来有機性廃棄物および家畜糞尿の管理実態、および化学肥料の消費量とした。現在のこれらの管理実態を聞き取りおよび現場観察により明らかにするとともに、1980 年、1990 年、2000 年、2010 年それぞれの管理実態について聞き取りを行った。廃棄物および廃水の流れと各対象の原単位データに基づき構築した。さらに、3 つの廃棄物管理シナリオを作成し、各シナリオにおける化学肥料使用量と栄養塩類の環境への流出量の低減に対する効果を推定した。

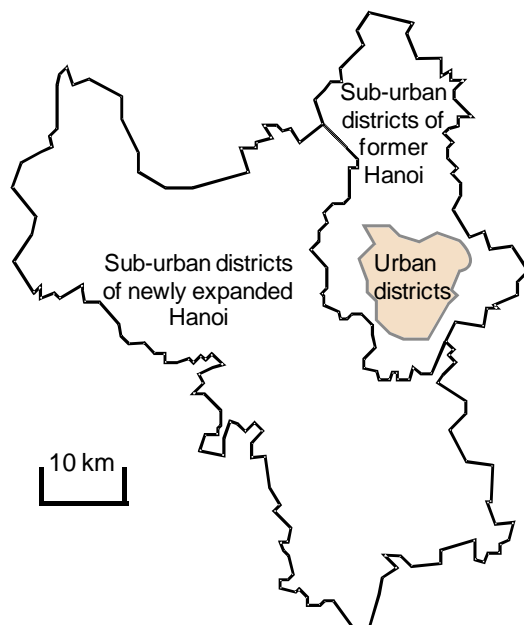


図 3-1 ハノイ市地図および調査集落

表 3-1 ハノイ市の概要情報

District	Pop. (000)	Area (km <sup>2</sup> )
Urban district	2,179	179
Suburban district		
Former parts	Citadel 101	742
	Rural 1236	
Expanded parts		
	Citadel 303	2427
	Rural 2531	

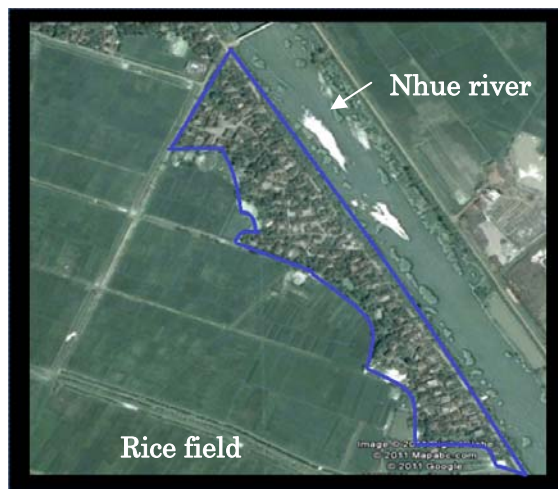
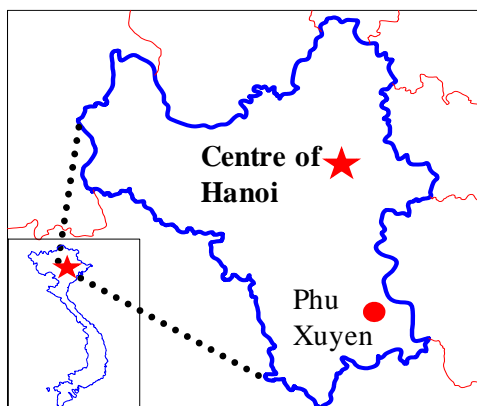


図 3-2 Phu Xuyen 区の場所と Trai 集落の空撮



a) マテリアルフローの構築方法

同定されたストリームに基づき、ハノイ市都市区、郊外区についてリンフローを、および Trai 集落についてリンおよび窒素フローの構築を行った。本研究における境界条件を図 3-3 に示す。マテリアルフローモデル中のプロセスとして、人間生活 (Human life)、農業 (Agriculture)、畜産 (Stockbreeding)、漁業 (Fishery) および市場 (Market) を設定した。なお、農業プロセスでのリンの土壌への蓄積は土壌を系外としたため、本研究では系外への移動量として計算した。ハノイ市都市区および郊外区のフローでは漁業 (Fishery) は含まなかった。

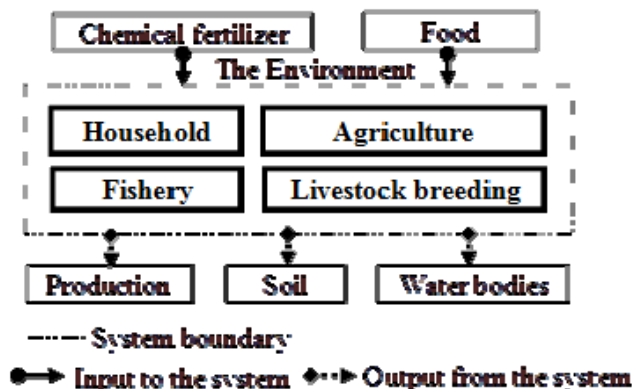


Fig. 2 System boundary of phosphorus flow  
 図 3-3 マテリアルフローの境界条件

フィールド調査により得られたデータに基づき、以下の式に基づきマテリアルフローを構築した。数式中の  $I_{i,m-n}$  および  $O_{i,m-n}$  (kg N/year or kg P/year) は、それぞれ各要素  $i$  (リンもしくは窒素) のインプットフローおよびアウトプットフローを示す。また  $he, le, kw, gre, ir, fo$  はそれぞれ人し尿、畜産糞尿、家庭系有機系廃棄物、雑排水、灌漑用水および食物を示す。その他の記号については表 3-2~3-5 に示す。

$$X_{i,m-n,y} = M_{i,m-n,y} \times C_i \quad i = \text{Nitrogen or phosphorus} \quad (1)$$

なお、 $X_{i,m-n}$  は要素  $i$  (リンあるいは窒素) のプロセス  $m$  からプロセス  $n$  への  $y$  年における移動量を、 $M$  はプロセス  $m$  からプロセス  $n$  への  $y$  年における対象物の移動量を、 $C_i$  は、対象物における要素  $i$  の濃度を示す。

i. 人間生活プロセス

人間生活プロセスを図 3-4 に、主な原単位及び記号を表 3-2 に示す。

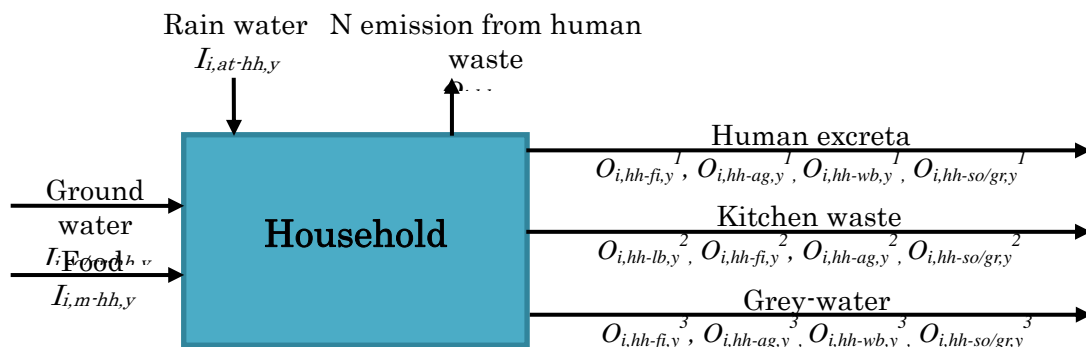


図 3-4 人間生活プロセスのフロー

表 3-2 人間生活プロセスの主な原単位および記号

Symbol	Explanation	Unit	Data source	Symbol	Explanation	Data source	
$P_y$	Population in the year $y$	People	1980 505 1990 684 2000 780 2010 800	*	$R_{hh-lb,y}$ ( $kw$ )	Ratio of kitchen waste used for livestock breeding in the year $y$	*
$U_{i,kw}$	Amount of element $i$ in organic waste	gN/cap/day gP/cap/day	0.65 0.83	1) 2)	$R_{hh-fi,y}$ ( $kw$ )	Ratio of kitchen waste used for fishery in the year $y$	*
$U_{i,gre}$	Amount of element $i$ in grey water	gN/cap/day gP/cap/day	0.4 0.4	3) 4)	$R_{hh-fi,y}$ ( $gre$ )	Ratio of grey water used for fishery in the year $y$	*
$U_{i,he}$	Amount of element $i$ in human excreta	gN/cap/day gP/cap/day	8.1 1.2	5)	$R_{hh-fi,y}$ ( $he$ )	Ratio of human excreta used for fishery in the year $y$	*
$U_{i,rw}$	Amount of element $i$ in rain water	mgN/L mgP/L	2.5 0.06	6) 7)	$R_{hh-ag,y}$ ( $kw$ )	Ratio of kitchen waste used for agriculture in the year $y$	*
$U_{i,gro}$	Amount of element $i$ in well water	mgN/L mgP/L	4.6 0.4	8)	$R_{hh-ag,y}$ ( $he$ )	Ratio of human excreta used for agriculture in the year $y$	*
$Q_{rw}$	Rain water consumption	L/cap/day	40	*	$R_{hh-wb,y}$ <sub>1,2</sub> ( $he$ )	Ratio of human excreta discharged to water bodies in the year $y$ : 1) Directly discharged 2) Leakage from septic tank	* 5)
$Q_{gro}$	Ground water consumption	L/cap/day	60	*	$R_{hh-so/gr,y}$ <sub>1,2</sub> ( $he$ )	Ratio of human excreta discharged to soil/ground water in the year $y$ : 1) Directly discharged 2) Sludge from septic tank	* 5)
$k_{N,he,emis}$	N <sub>2</sub> O emission index of human excreta	kg/cap/yr	0.016	9)	$R_{hh-wb,y}$ ( $gre$ )	Ratio of grey water discharged to water bodies in the year $y$	*
					$R_{hh-so/gr,y}$ ( $kw$ )	Ratio of kitchen waste discharged to soil/ground water in the year $y$	*

1) (Schouw, 2002), 2) (WorldBank, 2004); (Nakamura, 2005), (Kawai, 2007), 3) (Nga, 2011), 4) (Busser, 2006), 5) (Montagero, 2007), 6) (Khanh, 2000), 7) (Huong, 2007), 8) (Anh, 2005), 9) (Bhattacharya, 1997), \*) obtained from statistic, interview, and questionnaire survey.

ii. 畜産プロセス

畜産プロセスを図 3-5 に、主な原単位及び記号を表 3-3 に示す。

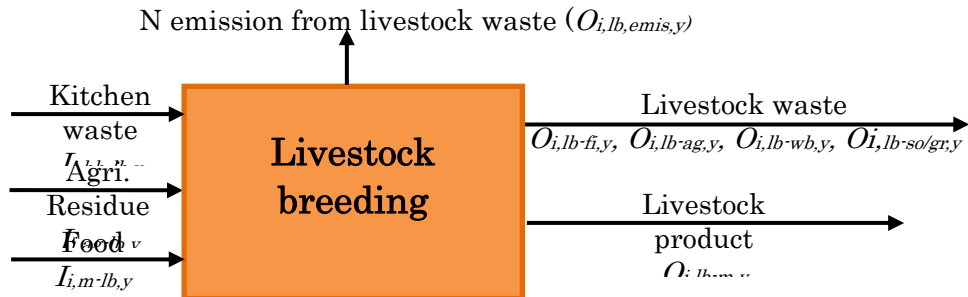


図 3-5 畜産プロセスのフロー

表 3-3 畜産プロセスの主な原単位および記号

Symbol	Explanation	Unit	Data source	Symbol	Explanation	Data source
$U_{i,le,j}$	Amount of element $i$ in livestock excreta of livestock $j$	gN/head/day gP/head/day	Composition survey (Appendix B)	$R_{lb-fi,j,y}$	Ratio of livestock excreta of livestock $j$ used for fishery in the year $y$	*
$N_{j,y}$	Number of livestock $j$ in the year $y$	Pig: heads Poultry: heads Cow/ Buffalo: heads	1980 109 1990 152 2000 293 2010 229 1980 2101 1990 3342 2000 6106 2010 5810 1980 3 1990 12 2000 16 2010 22	* $R_{lb-ag,j,y}$ $R_{lb-wb,j,y}$ $R_{lb-so/gr,j,y}$	Ratio of livestock excreta of livestock $j$ used for agricultural in the year $y$ . Ratio of livestock excreta of livestock $j$ discharge to water bodies in the year $y$ Ratio of livestock excreta of livestock $j$ discharged to soil/ground water in the year $y$	* * *
$P_{s,j,y}$	Livestock production for product $j$	Pig: kg/head Poultry: kg/head Cow/ Buffalo: kg/head	96 410 1.6	<sup>10)</sup> $k_{N,emis,le,j}$	$N_2O$ emission index of livestock excreta for livestock $j$	0.057 0.0023 0.09 <sup>9)</sup>
$U_{i,ps,j}$	Amount of element $i$ in livestock product $j$	Pig: kgN/kg Poultry: kgP/kg Cow/ Buffalo: kgN/kg Buffalo: kgP/kg	0.022 0.0018 0.0248 0.0016 0.024 0.01	<sup>11)</sup>		

10) (GSO, 2008); (Harada et al. (2008), 11) (Harada et al. (2008); (Nga, 2011) \*) obtained from statistic, interview, and questionnaire survey

iii. 漁業プロセス

漁業プロセスを図 3-6 に、主な原単位及び記号を表 3-4 に示す。

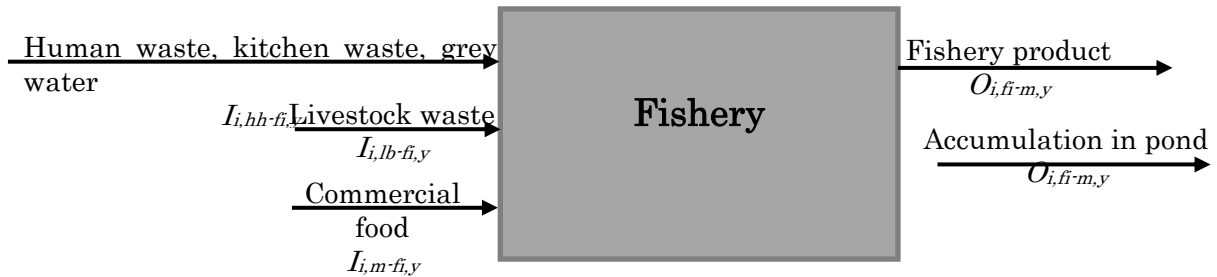


図 3-6 漁業プロセスのフロー

表 3-4 漁業プロセスの主な原単位および記号

Symbol	Explanation	Unit	Data source
$U_{i, Pf}$	Amount of element $i$ in fishery product	kg-N/kg kg-P/kg	0.03 0.0045
$P_{fy}$	Production of fishery in the year $y$	kg/year	1980: 3875 1990: 6200 2000: 9900 2010: 15840
$U_{i, Pfo}$	Amount of element $i$ in fishery food	kg-N/kg kg-P/kg	0.04 0.01
FCR	Feed conversion ratio	-	1.65

iv. 農業プロセス

農業プロセスを図 3-7 に、主な原単位及び記号を表 3-5 に示す。

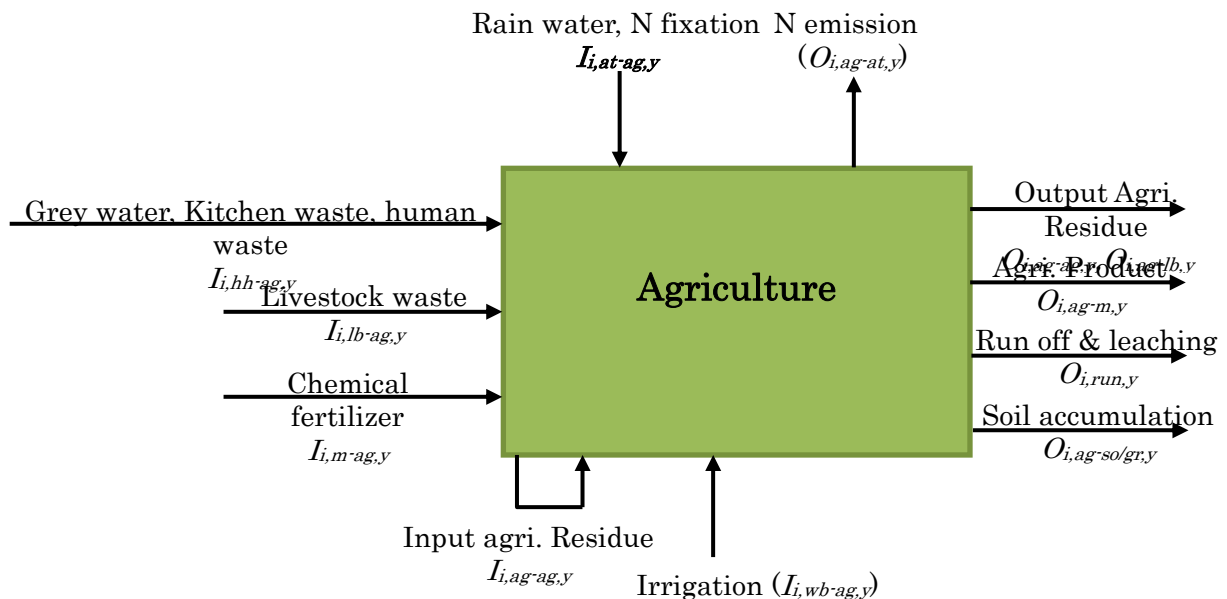


図 3-7 農業プロセスのフロー

表 3-5 農業プロセスの主な原単位および記号

Symb ol	Explanation	Unit	Data source	Symb ol	Explanation	Data source	
$S_a$	Agricultural area	m <sup>2</sup>	52600	*	$U_{i,cf}$	Amount of element $i$ in chemical fertilizer	Depend on type of fertilizer
$P_{Ap,j,y}$	Agricultural production for product $j$ in the year $y$	198 0 199 0 200 0 201 0	kg/yr	Ri 29214 ce 3 Ri 34244 ce 6 Ri 57074 ce 4 Ri 63072 ce 0 Be 50400 an	$R_{ag-ag,y}$	Ratio of agricultural residue used for agriculture in the year $y$	*
$U_{i,Ap,j}$	Amount of element $i$ in agri product $j$	kgN/kg kgP/kg kgN/kg kgP/kg	0.0114 0.0026 0.064 0.0019	12 ) 13 ) 14 ) 15 )	$R_{ag-lb,y}$	Ratio of agricultural residue used for livestock breeding in the year $y$	*
$m_{cf/area/yr}$	Fertilizer amount used for a year	g/m <sup>2</sup> /yr	Interview in this study		$R_{ag-so/gr}$	Ratio of agricultural residue discharged to soil/ground water in the year $y$	*
$a_{rw,y}$	Average rainfall in the year 2010	mm/yr	Statistic (HSO, 2010)		$R_{res,j}$	Ratio of agricultural residue to production for product $i$	
$C_{i,run,y}$	Concentration of element $i$ of water output from rice field to Nhue river	mgN/L mgP/L	11 2	Samplin g & analysis	$k_{N,emis,fer}$	N emission factor of manure	0.2 1 6)
$D_a$	Water depth in rice field	m	0.18	Measure d in rice field	$k_{N,emis,fer}$	N emission factor of fertilizer	0.1 1 6)
$C_{i,ir,y}$	Concentration of element $i$ of Nhue river in irrigation season	mgN/L mgP/L	9.4 1.7	Samplin g & analysis			

12) (FAO, 2003); (FAO, 2004), 13) (Thuy, 1998); (Nakamura, 2005), 14) (Berk, 1997), 15) (USDA, 2010), 16) (Nevison) \*) obtained from statistic, interview and questionnaire

## v. 市場プロセス

市場プロセスを図 3-8 に、主な原単位及び記号を表 3-6 に示す。なお、市場は地域への対象物の供給源であると共に、系外との対象物のやり取りを媒介する。なお、フロー全体で見た際に、系外からの移入は系外への移出に比べて大きいため、系外からの移入は移出を差し引いた値として示し、系外からの移入は見かけ上 0 とした。



図 3-8 市場プロセスのフロー

## b) 液状廃棄物管理代替シナリオ

液状廃棄物管理方法の代替策を検討するために、下記の代替シナリオを設定し、シナリオごとのマテリアルフローを解析した。シナリオごとの主なフローを図 3-9, 3-10 および 3-11 に示す。

### i. シナリオ 1：現状継続シナリオ

- ・すべてのトイレ排水は腐敗槽に接続、その後環境中に排出される。
- ・豚糞尿は現状と同じ割合で養魚池利用され、残りは環境中に直接排出される。
- ・牛／水牛／家禽糞尿はすべて環境中に排出される。
- ・現在の堆肥／家庭系有機廃棄物／農業残差による農業へのインプットは、化学肥料に置き換えられる。

### ii. シナリオ 2：コンポストシナリオ

- ・人し尿および畜産糞のすべては共に堆肥化され農業利用される。畜産尿は養魚池利用される。
- ・家庭系有機系廃棄物および雑排水は利用されず、その他シナリオ 1 と同様とする。

### iii. シナリオ 3：嫌気性消化（バイオガス処理）シナリオ

- ・人し尿および畜産糞尿のすべては共にバイオガスシステムで処理される。バイオガスタンクからの消化液および発行残差は農地利用される。
- ・家庭系有機系廃棄物および雑排水は利用されず、その他シナリオ 1 と同様とする。

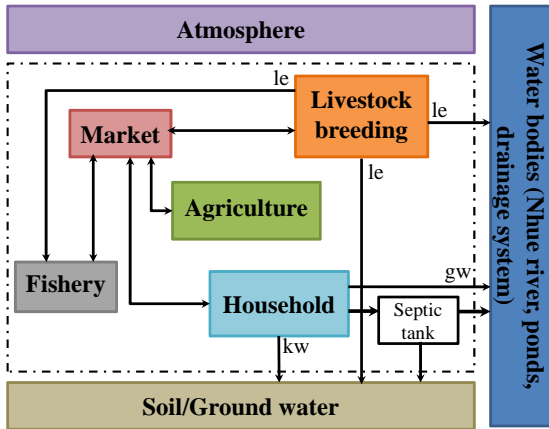


図 3-9 シナリオ 1での主なマテリアルフロー

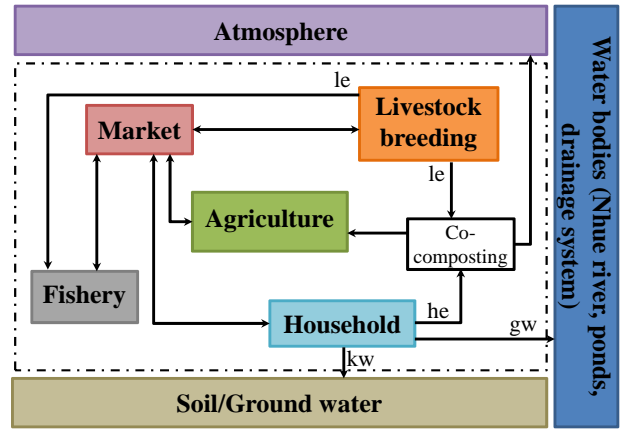


図 3-10 シナリオ 2での主なマテリアルフロー

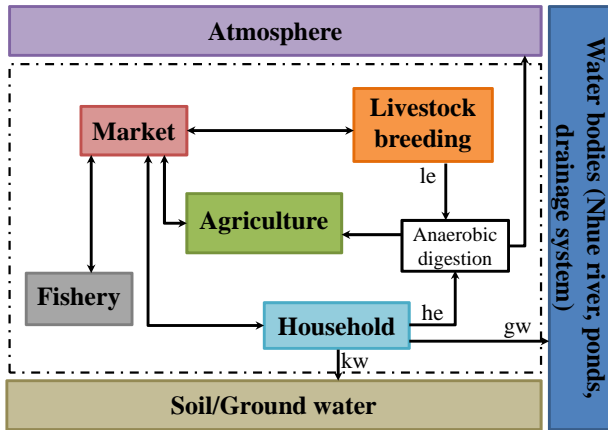


図 3-11 シナリオ 3での主なマテリアルフロー

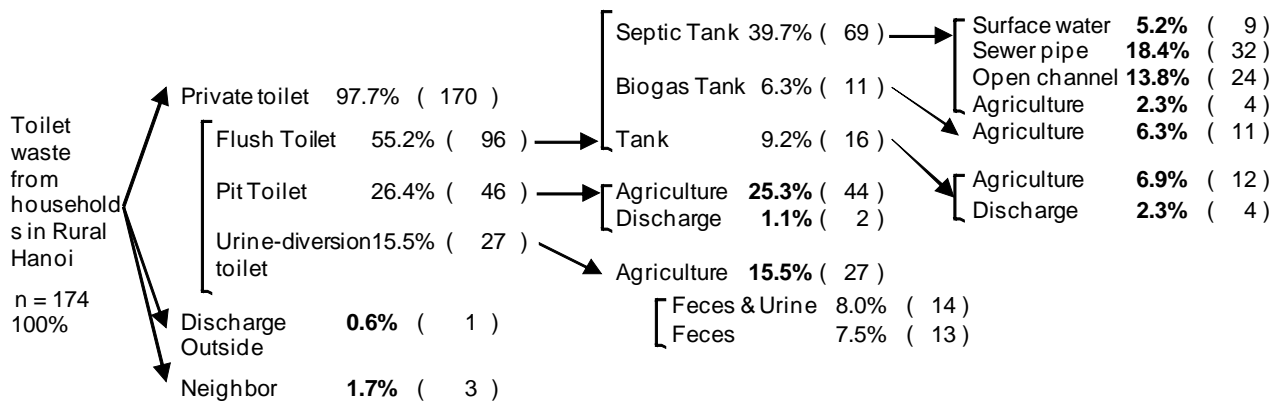


図 3-12 ハノイ市郊外区におけるトイレ系汚水のストリーム (n=174)

括弧内はサンプル数を表す。

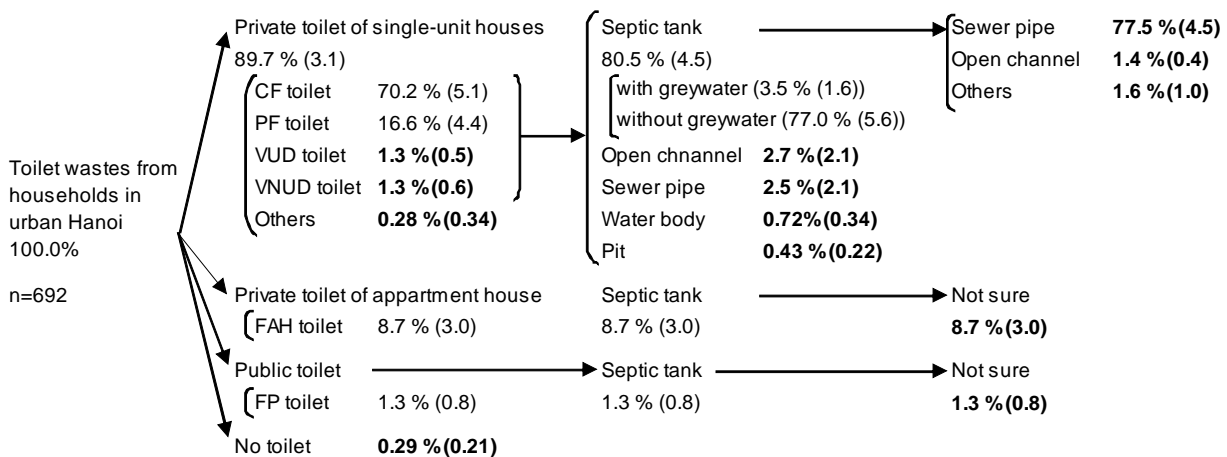


図 3-13 ハノイ市都市区におけるトイレ系汚水のストリーム

Harada ら (2007) より。データは統計的なサンプリングに基づき得られており、括弧内は標準誤差を表す。

### 3.1.3. 結果と考察

#### a) ハノイ市都市区および郊外区におけるトイレ汚水・廃棄物ストリーム

ハノイ市郊外区にてトイレ汚水管理について 177 世帯にインタビューを行った結果を、トイレ系汚水が環境中に排出されるまでのストリームとして図 3-12 に示す。さらに、都市区との比較のため、Harada ら (2007) による同様の都市区でのストリーム調査結果を図 3-13 に示す。ハノイ市郊外区では、多くのトイレ系汚水 (56.3%) が今も農業利用されていた一方、都市区では大部分のトイレは水洗化され、腐敗槽に接続されていた。腐敗槽越流水は土壌浸透などを経ず、直接下水管に流れ込むが、ハノイでは下水道整備の遅れからその大部分は、下水処理場を経ることなく水環境中に放流される。

郊外区においてし尿分離トイレが 15%程度利用されていたことは注目に値する (図 3-12)。



これは、1950年代に主に北部ベトナムに導入された、大便と尿を分離処理・農業利用するタイプのトイレである。途上国における環境に調和した衛生改善のアプローチとして、近年複数の地域、国際機関、NGO などに取り上げられている。北部ベトナムはその実践の歴史を持つ数少ない地域であるものの、近年は水洗トイレに置きかえられつつある。なお、これら地域では、都市区とは異なり腐敗槽の普及率は低く、新たに導入される水洗トイレは未処理のまま直接水路等に汚水を排出しているものが多い。

郊外区における家庭由来の有機性廃棄物（主に生ごみ）、農業残渣、および家畜糞尿の管理形態についてのインタビュー結果を表 3-6、3-7 および 3-8 にまとめた。いずれについても、大部分が農業あるいは畜産のために有効利用されていることが分かった。種類により利用方法は異なり、家庭由来の有機性廃棄物は大部分（79%）が畜産利用されており農業利用は限られている（4%）。一方、農業残渣では農業利用率がほぼ半分（53%）、さらに畜産廃棄物では大部分が農業利用されていた。特に、豚糞尿に関しては、インタビューを行った全対象者が、農業に利用していた。

それぞれの主な利用の方法は、家庭由来の有機性廃棄物では業者による回収後、一旦茹であげられた後に家畜の飼料として利用されていた。農業残渣および畜産廃棄物に関しては、そのままあるいは各農家にて堆肥化を行った後に、堆肥として農地利用されていた。

表 3-6 ハノイ市郊外区における家庭由来の有機性廃棄物管理形態の調査結果（n=171）

Item	Proportion
Used for agriculture	4%
Used for stockbreeding	79%
Used for others	5%
Discharged etc.	12%

表 3-7 ハノイ市郊外区における農業残渣管理形態の調査結果（n=171）

Item	Proportion
Used for agriculture	53%
Used for stockbreeding	26%
Used for fuel	4%
Discharged etc.	18%

表 3-8 ハノイ市郊外区における家畜糞尿管理形態の調査結果

Item	Pig		Poultry		Cattle	
	%	(n)	%	(n)	%	(n)
Used for agriculture	100	(54)	81	(120)	85	(44)
Discharged to river/pond	0	(0)	1	(1)	0	(0)
Not treated	0	(0)	16	(23)	15	(8)
Burnt	0	(0)	1	(1)	0	(0)
Given to neighbor	0	(0)	1	(1)	0	(0)
Used for fishery	0	(0)	1	(2)	0	(0)

b) ハノイ市都市区および郊外区のリンフロー

ハノイ市都市区および郊外区のリンフローの結果を図 3-14 および 3-15 に示す。都市部と郊外部を比較すると、郊外区のそれぞれのフローは、都市区のそれらに比べて格段に大きかった。郊外区から系外への流出量合計 (40629 ton-P/year) は都市区からのそれ (2432 ton-P/year) の 16.7 倍に及び、郊外区でのリンの流出・蓄積が深刻に見える。しかし、郊外区は都市区の 17.7 倍の面積を有するため、単位面積当たりのリン流出・蓄積量は、いくらか都市区の方が高い。さらに、都市区の中でも中心部は人口密度が高く、排水の排出密度が高いことから、都心部では高い強度でリンが流出していると考えられる。

iv. 都市区のリンフロー

都市区における主要なフローは、系外から市場への移入のフロー、および市場から食糧が人間生活に移入し、排水として系外に移出するフローであった (図 3-14)。その背景として、下水道等処理設備の普及率が低く、腐敗槽が存在するものの管理状態が悪く、リンがほぼ除去されることなく排出されている現状がある。

一方、ハノイは元々し尿循環の文化を持つなど、地域資源の活用が盛んな地域だったと考えられるが、都市部においては人間生活に移入するリンの 97% が系外に流出、3% しか有効利用されていない。現在ハノイでは 3R プロジェクト<sup>19)</sup>などが進められており、人間生活からわずか 2% (31 ton-P/year) のみがコンポスト化され市場に移入している現在のフローは、今後は増大していくものと期待される。

現在も進む都市の拡大に伴い、農業および畜産に関連するフローはしだいに縮小していくであろう。同時に、生活系のフローは増大して行くであろう。ただし、系外への最も主要なフローが人間生活から排水であることから、リン資源の適正管理のためには固形廃棄物を中心とした 3R の取り組みと合わせ、排水フローの適正な改善が重要となる。

v. 郊外区のリンフロー

郊外区における主なフローは、系外から市場への移入フロー、および市場から農地に移入し、系外に移出するフローであった（図 3-15）。系外への移出については農業からのフローが他と比べ著しく大きく、循環は行われているものの、多量のリンが市場を通じて移入し、農地にて利用され、農地に蓄積あるいは農地から流出していることが明らかとなった。

農業と畜産においては、地域資源の活用が盛んであった。家畜糞尿および農業残渣の利用率は、それぞれ 87% および 78% に至った。特に畜産に関しては、放牧に伴う系外（草）からの移入を含めると、60% のリンを地域資源に依っていた。

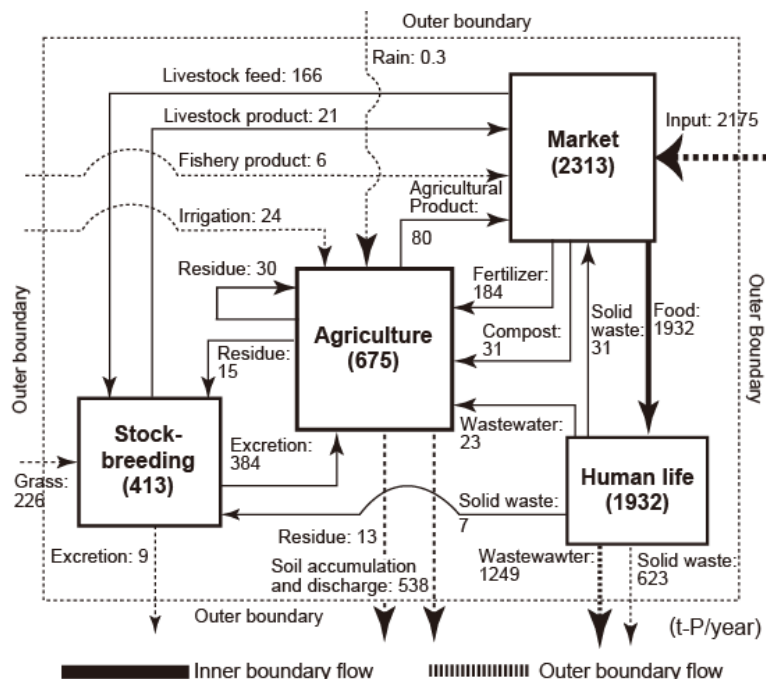


図 3-14 ハノイ市都市区におけるリンフロー

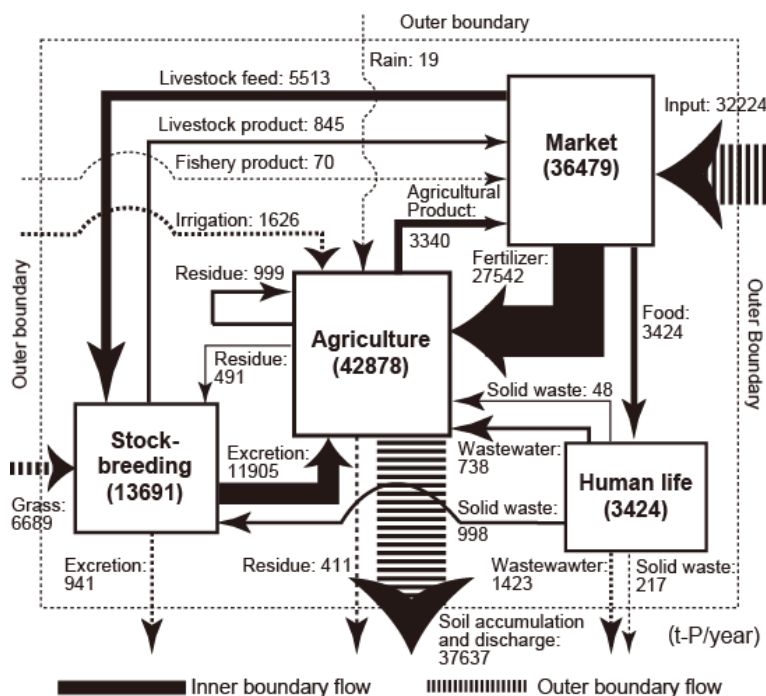


図 3-15 ハノイ市郊外区におけるリンフロー

c) ハノイ市郊外集落での窒素・リンのマテリアルフロー

窒素・リンフローを構築した結果を図 3-16 および 3-17 に示す。2010 年時点でヒト尿尿の 55%、家畜糞尿の 35%という高い率で窒素・リンが農業に回収利用され、一方残りは環境中に排出されていた。1980~2010 年の間に窒素・リンフローに顕著な変化がみられた。1980 年から 2000 年にかけては化学肥料使用量が減少していたが、2000 年から 2010 年にかけて農業への投入量が窒素で 36%、リンで 20%増加した。水域への栄養塩類流出量は、2010 年において窒素で 3,396 kg N/年、リンで 751 kg P/年で、それぞれ 1980 年の流出量の約 700%、606%であった。

衛生改善策のシナリオ分析の結果を図 3-18 に示す。腐敗槽普及（人尿尿）、堆肥化拡大（人尿尿、畜産糞）、嫌気性消化導入（人尿尿、畜産糞尿）の 3 シナリオを検討したところ、嫌気性消化を行うシナリオにおいて、化学肥料消費量が窒素で 47%、リン 21%で低減され、水域への栄養塩類流出量が窒素で 73%、リンで 54%低減されることが見込まれ、今回の対象集落への適用が推奨された。以上、ハノイの都市化の影響を受ける郊外における排水・廃棄物管理の変化を窒素・リンフローの観点から明らかにし、当地のマテリアルフローを健全化する上で適する技術・システムについての知見を得ることができた。

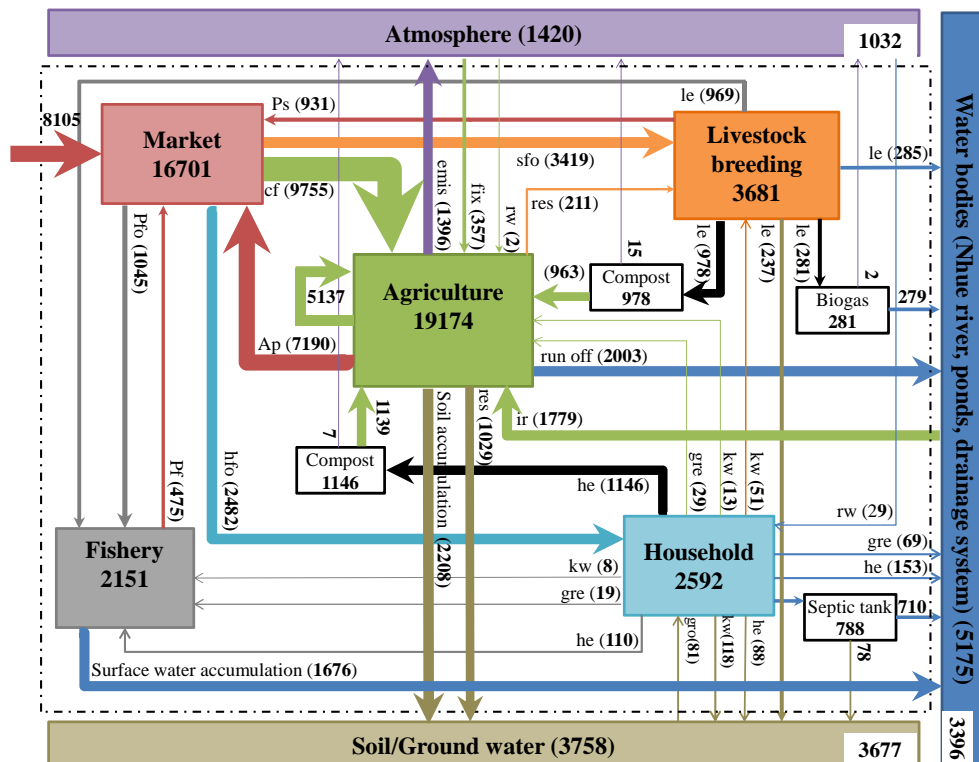


図 3-16 ハノイ郊外集落における 2010 年の窒素フロー (kg-N/year)

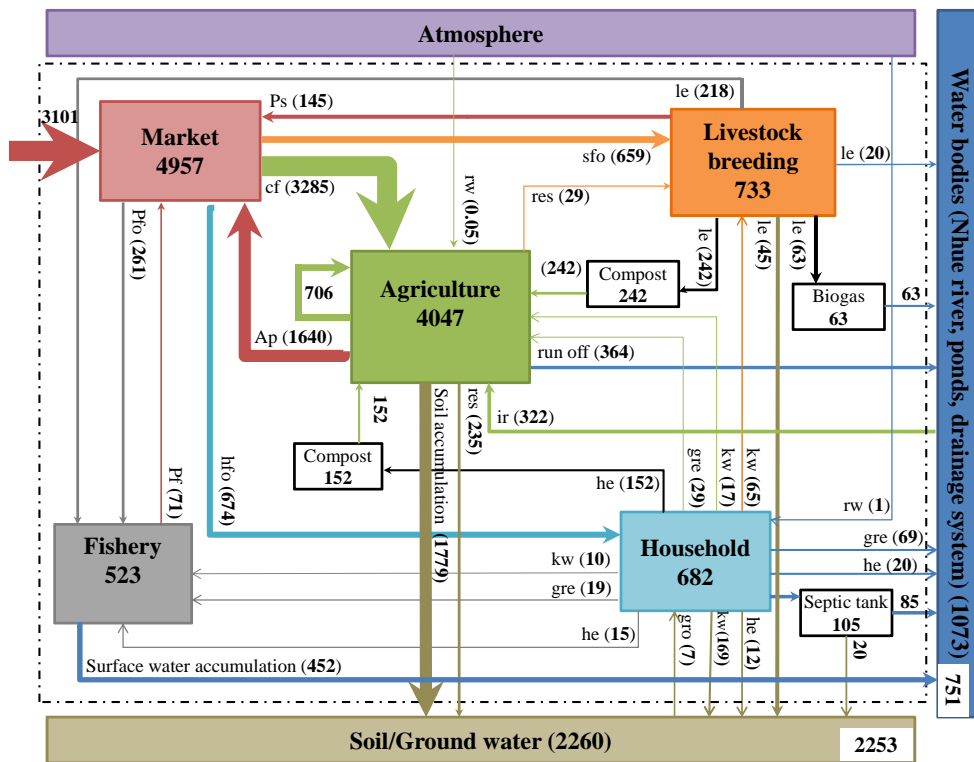


図 3-17 ハノイ郊外集落における 2010 年のリンフロー (kg-P/year)

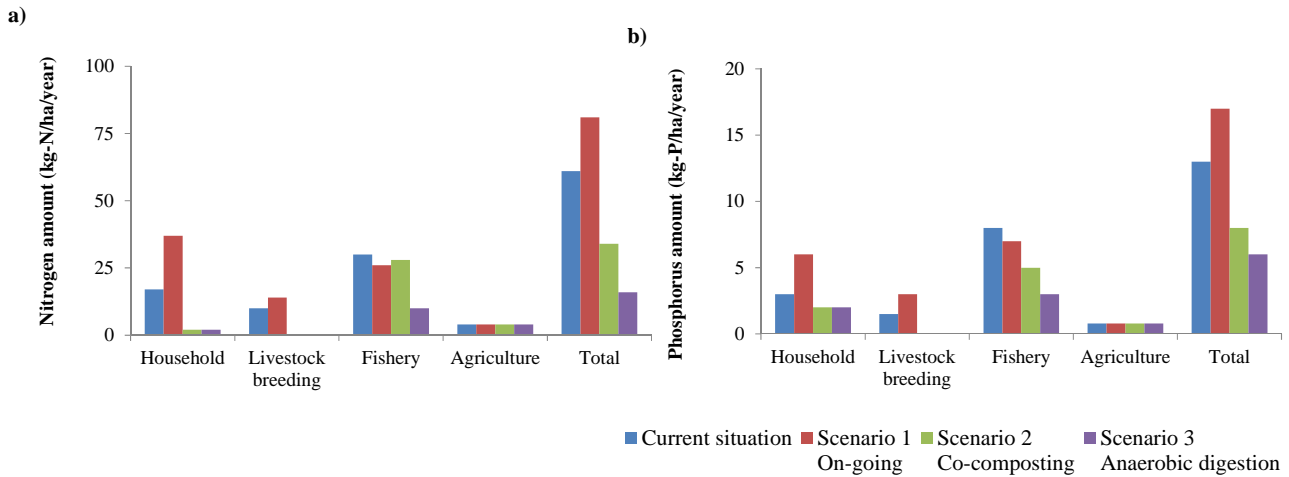


図 3-18 シナリオごとの栄養塩の水環境への流出量 a) 窒素の流出量 ; b) リンの流出量

### 3.1.4. 結論

本節では、重点都市であるハノイ市を対象に、液状廃棄物関連物質のストリームを構築すると共に、都市区および郊外区それぞれのリンのマテリアルフローを構築することで、

液状廃棄物管理の適正化に向けた物質循環の基礎的情報を蓄積した。続いてこれを基礎として、具体的な液状廃棄物システムの改善戦略を検討するフィールドとして、下水道整備が近い将来には予定されていない郊外の特定集落を対象として、より詳細なマテリアルフローの検討を行った。当該集落にて畜産糞尿、人屎尿、有機系廃棄物および排水に係る管理実態と、これらに化学肥料利用実態を合わせた窒素・リン収支の定量的理解を進め、液状廃棄物処理システムの設計・評価を定量的に行うための重要な情報を得た。さらに、シナリオ分析を行い、複数の液状廃棄物処理代替システムを入れた際のフロー変化を検討し、当該集落においては嫌気性処理システムの導入が効果的であることが示唆された。以上のマテリアルフローに基づく液状廃棄物処理システムの評価のための方法論は、データの乏しい途上国における、栄養塩を例としたシステム評価の方法論として提示される。この方法は、5章で開発するアルゴリズムで選択された技術システムを入れた際のインパクトを評価するための方法論としても提示される。

#### 謝辞

本節の研究遂行に当たり、ハノイ理工科大学の Huynh Trung Hai 教授、京都大学の足立匡氏、Pham Huong Giang 氏に多大な協力を得た。ここに感謝を表す。

#### 参考文献

- Agnes Montangero, Le Ngoc Cau, Nguyen Viet Anh, Vu Dinh Tuan, Pham Thuy Nga and Belevi Hasan (2007). Optimising water and phosphorus management in the urban environmental sanitation system of Hanoi, Vietnam. *Science of the Total Environment*, 384, 55-66.
- Busser S., Nga P. T., Morel A. and Anh N. V. (2006). Characteristics and quantities of domestic wastewater in urban and peri-urban households in Hanoi. *Proceedings of the Environmental Science & Technology for Sustainability of Asia. The 6th General Seminar of the Core University Program, October 2-4, Kumamoto*, 373-375.
- Dennis Konnerup, Ngo Thuy Diem Trang, Hans Brix (2011). Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture*, 313, 57-64.
- FAO (2004). *Rice and Human Nutrients*. Rome.
- FAO and Agriculture Organization of United Nations Food (2003). *Food energy – methods of analysis and conversion factors*. FAO food and nutrient paper 77, Rome.
- General Statistic Office (2008). *Statistical Yearbook of Vietnam 2007*. Statistical Publishing House, Hanoi.
- H. Harada, N. T. Dong and S. Matsui (2008). A measure for provisional-and-urgent sanitary improvement in developing countries: septic-tank performance improvement. *Water*

Science & Technology, 715, 1035-1311.

- Kawai K. (2007). A proposal for the promotion of municipal solid waste recycling in Hanoi, Vietnam. PhD thesis, Kyoto University.
- Luu Lan Huong, Trinh Thi Thanh and Nguyen Thi Thanh Nga (2007). Eutrophication assessment and prediction of Bay Mau lake using mathematical models. VNU Journal of Science. Earth Sciences, 23, 116-121.
- Nakamura M. and Yuzuyama Y. (2005). Development of Biomass Database. Nourkougengihou, 203, 57-80.
- Nevison Cindy. Indirect N<sub>2</sub>O emission from agriculture. IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4\\_6\\_Indirect\\_N2O\\_Agriculture.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_6_Indirect_N2O_Agriculture.pdf) (accessed 27 December, 2011).
- Nga Do Thu, Antoine Morel and Thammarat Koottatep (2011). Material Flow Analysis - Benefit sustainable management tool: Nutrient flows assessment in rural Northern Vietnam. LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Nga Do Thu, Antoine Morel, Hung Nguyen Viet, Phuc Pham Duc, Kei Nishida and Thammarat Koottatep (2011). Assessing nutrient fluxes in a Vietnamese rural area despite limited and highly uncertain data. Resources, Conservation and Recycling, 55, 849-856.
- Nguyen Viet Anh, Pham Thuy Nga, Nguyen Huu Thang and Morel Antoine (2006). Improved septic tank and a promising decentralized wastewater treatment alternative in Vietnam. GMSARN International Conference on Sustainable Development: Issues and Prospects for GMS.
- S. C. Bhattacharya, Jossy M. Thomas, P. Abdul Salam (1997). Greenhouse Gas Emissions and The Mitigation Potential of Using Animal Waste in Asian . Energy, 22 (11), 1079-1085.
- Schouw L., Tjell S. N., Mosbaek J. C., Danteravanich H. (2002). Availability and quantity of solid waste and wastewater in Southern Thailand and its potential use as fertilizer. Waste Management & Research, 2002:20, 332-340.
- Sy D. T, Vien T. D and N. V. Quang (2005). Environmental and food safety in peri-urban Hanoi, SEARUSYN. <http://www.cares.org.vn/webplus/attachements/4ea03f96b1e0df25be3263125e505337-06.pdf> (accessed 9th June, 2011).
- USDA (2010). National Nutrient Database for Standard Reference. National Nutrient Database for Standard Reference Web Site: [http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list\\_nut\\_edit.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl) (accessed 9th June, 2011).
- The World Bank. (2004). Vietnam Environmental Monitor 2004 Solid Waste. World Bank, Hanoi.

## 3.2. クルナにおける重点調査

### 3.2.1. 目的

バングラデシュ第3の都市であるクルナ市の水供給と衛生設備の実態，水と衛生に関する住民意識を把握したうえで，衛生設備ならびに生活環境改善の緊急性が高い都市スラムの衛生にかかわる問題を明らかにし，問題解決を図るための衛生システムを提案する。さらに，調査対象地区を選定し，衛生改善にあたっての制約条件ならびに，制約条件への対応を考察するとともに，衛生システムを導入することによる効果を推定する。

### 3.2.2. 研究方法

#### (1) 社会調査

クルナ全市をいくつかのタイプの居住地区に分け，それぞれの地域の水供給と衛生設備の実態，水と衛生に対する意識に関してアンケート調査を行い，タイプごとの特徴を明らかにした。

#### (2) 環境調査

(1)の結果から，調査対象を都市貧困居住区とし，水利用量，排水量に関する調査を行い，水収支状況を推定するとともに，水環境の実態を把握するため，市内の水路等の水質調査を行った。

#### (3) 衛生システムの提案

(1)(2)の結果から，衛生改善の緊急性が高い都市スラム等の貧困居住区について，衛生改善にかかわる問題を明らかにした。これらの問題への対応を含め，地域住民の受容可能性を高め，衛生的な尿尿管理を図るため，尿尿の資源としての活用を意図した衛生システムを提案した。

#### (4) 衛生システムの実施可能性を検討するための関連実験

提案する衛生システムの効果を確認するための実験を行い，実施可能性を検討した。具体的実験内容は，尿とコンポストの併用施肥実験，既存のバイオガスシステムの機能調査である。

#### (5) 提案する衛生システムの効果の推定

市内のスラム地区から，調査対象地区を選び，水利用及び衛生設備の実態，それらの利用上・管理上の問題，住民意識ならびにニーズを把握するとともに，衛生システム導入にあたっての制約条件と対応を明らかにした。次いで，調査対象地区に(3)で提案した衛生システムを適用したときの効果を推定した。



### 3.2.3. 結果と考察

#### a) 社会調査の結果

##### クルナ市の概要

クルナ県 (Khulna District) は、バングラデシュ西南部に位置し、南部はシュンドルボンと呼ばれる自然のマングローブの森林となっており、ベンガル湾と接する。その中心となるクルナ市 (Khulna City Cooperation: KCC の管轄区域) は、人口 1,400 千人でバングラデシュ第 3 位の人口規模を擁する。クルナ市は、Rupsha 川東岸に南北に伸び、本研究の重点地域として選ばれている。

##### 社会調査の概要

KCC (Khulna City Corporation) 内でいくつかの特徴をもった地区をカテゴリー分類 (スラム、コロニー、中心地区、工業地区、住宅地=Residential Area: RA, 最近開発された住宅地=Other RA) し、約 30 地区を調査対象とした。エリア・カテゴリーごとのサンプル数は概ねの人口比によった。調査票は、水利用と衛生に関わる質問項目に固形廃棄物等の質問項目を加えて作成し、市内で約 700 のサンプルを得た。同じ調査方法で周辺農村からも 100 のサンプルを得た。

- ※ コロニーとは政府により公的業務 (例えば国営工場の労働者、清掃労働者) に就く人々に提供された集合住宅。経年数が高い場合には住宅の損傷が激しく、共同トイレやパイプ給水が機能しなくなっている例が多い。

##### 調査結果

以下のような実態あるいは傾向を把握することができた。

- パイプ給水された水はほとんど飲用に利用されておらず、市中心地区であっても個人用あるいは共同の深井戸 (DTW) が主要な飲料水源である。KCC からパイプ給水された水を飲んでいるという回答は 3 例に過ぎず、飲料以外の炊事を含む生活用水に利用されている。パイプ給水に対しては、水運びを必要とせず利用できる利点は認められているものの、水質的に不満が多く、飲料水とは認識されていない。
- 飲用としている井戸水に対して、20%程度の回答者からは、鉄分、塩分の点で問題があるとしている。
- トイレタイプ (屎尿処理) については KCC 全体で 70%以上が腐敗槽と回答している (図 3-18)。スラムを除けば 80%以上の方はトイレを所有している。腐敗槽からの放流先については KCC で腐敗槽を利用している人のうち 40%が「知らない」、

表 3-9 調査地区カテゴリーとサンプル数

Category		Sample Number	%
KCC	Slum	160	20
	Colony	40	5
	Industrial A	80	10
	Main city A	215	27
	R/A	80	10
	Others R/A	125	16
Rural		100	13
Total		800	100

39%が「水路」と答えている（図 3-19）。スラッジの取り出し頻度については、「2年以上抜かない」が45%、「一度もない」が29%であった（図 3-20）。

- スラムとコロニーを除けば80%以上の人々が現状のトイレに満足している。
- コロニー、スラムを除く都市部では決められた場所にゴミを出し、何らかの車両（多くは人力）で回収されているという回答が多い。
- 尿尿、ゴミ、廃水が汚染や病気の原因となるといったことは、スラムを除く都市部では理解している人は少なくないものの（図 3-21）、それらの処理実態については知られておらず、生活排水への関心も高いとは言えない。
- 過去1年間に水系起因の病気に罹った家族がいるという回答は、全体では1/3であるが、コロニー、スラムでは60%近い（図 3-22）。
- スラムでは、現状の生活に不満をもつ人の割合が高い反面、現在の生活環境を改善したいという人の割合が低い（図 3-23）。

以上の結果から、尿尿等液状廃棄物の処理に関しては、都市スラム、あるいは荒廃の進んだコロニーの衛生改善ならびに尿尿の管理方法の提案がひとつの研究ターゲットになると考えられる。さらに、こうした地区は、都市のなかで分散的に立地しており、尿尿を一時的にトイレで貯留及び一次的処理を行うとしても、尿尿の有効利用を含めた最終的な処理・処分は、収集・輸送方法とともに全市的に考える必要があると考えられる。

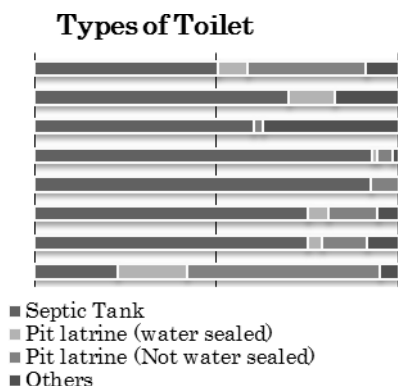


図 3-20 トイレタイプ

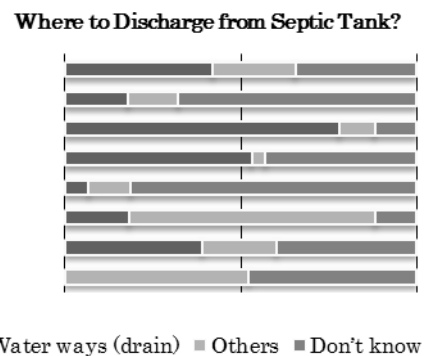


図 3-19 腐敗槽からの流出

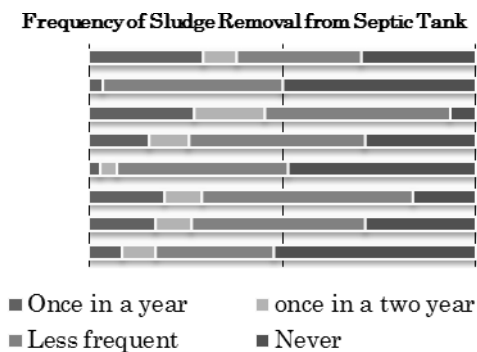


図 3-21 腐敗槽からの汚泥引き抜き頻度

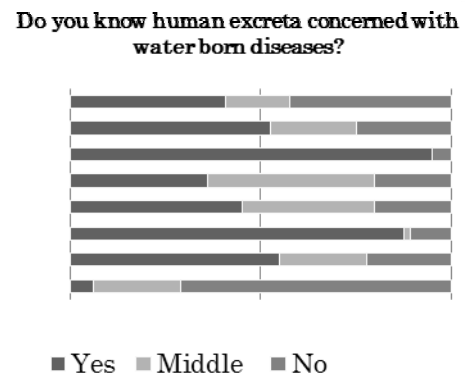
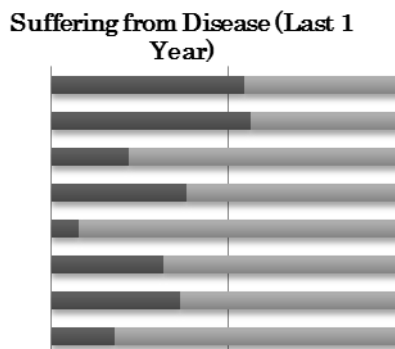


図 3-22 尿尿処理と病気との関係の理解



■ I want to improve it ■ Middle  
■ I don't care



■ Yes ■ No

図 3-23 今の生活環境を改善したいか

図 3-24 この1年間に家族が罹患した世帯

### b) 環境調査

クルナ市全体の水収支を把握するため、2010年度に実施した使用水量に関するアンケート調査から得られた水量原単位と尿尿、生活雑排水の放流先の比率、ならびにスラム地区の人口 227,500 人(BCAS, 2005)より、スラム地区に関連する水収支の状況を図 3-25 に示した。尿尿については約 17%が無処理で放流されており、野外排泄を含めると 20%を超える。ピットに貯留された分も多くは地下に浸透されるか、堆積した尿尿を掘り出すとしても、衛生的に処分されることはない。唯一のし尿処理タイプである腐敗槽からも浸透ます(soak-pit)を経ずに排水路へ放流されている。腐敗槽汚泥の引抜き頻度については 70%以上が一度も引き抜いたことがない、あるいは 2 年以上引き抜いていないと回答されており、処理機能が十全に発揮されているとは考えられない。さらに、引抜いたとしても衛生的処分を行うことができるインフラは存在しない。

こうしたことから、スラム下流の水路では汚染が進んでいると考えられる。表 3-10 に 3 地点で行った水質調査結果を示すが、有機物汚濁が進んでいるとともに糞便性大腸菌群数も高いことが示されている。

### c) 衛生システムの提案

#### 都市貧困居住区における衛生にかかわる問題

社会調査、環境調査の結果から、スラム等貧困者が密集して居住する地区では、衛生に関し以下の問題があることが示され、問題の解決あるいは軽減に寄与できる衛生システムを適用する必要性が強く示唆される。

- a. 劣悪な衛生環境に伴い住民は高い健康リスクにさらされ、病気の発生頻度が高い。
- b. 衛生設備の絶対数が不十分で汚泥の引抜き等適切な管理が行われていない。
- c. 住民の衛生に対する関心が低く、衛生の現状を改善しようという意識が低い。
- d. 都市内水路等市内周辺地区の水環境に対する環境負荷が大きい。

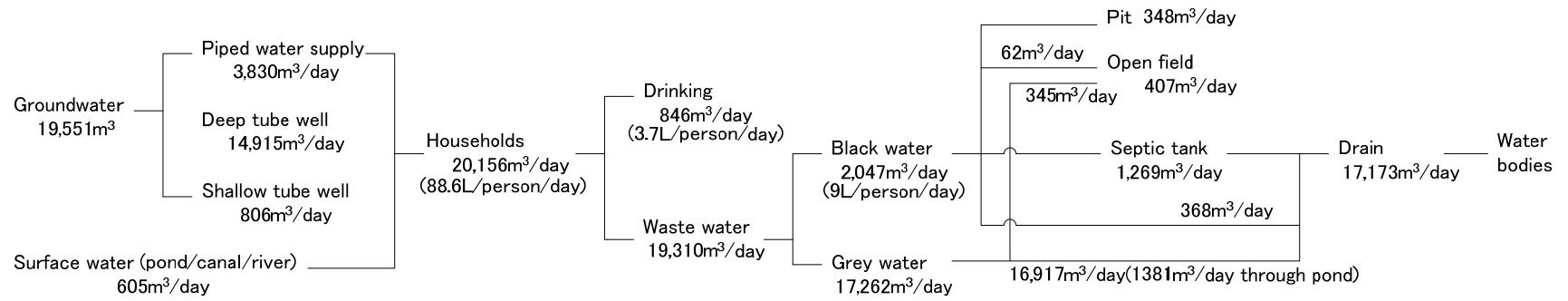


図 3-25 スラム周辺における水および排水フロー図

表 3-10 スラム下流での水質調査結果

	DO mg/L	EC μ s/cm	BOD mg/L	COD mg/L	SS mg/L	TDS mg/L	NH <sub>4</sub> -N mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L	PO <sub>4</sub> -P mg/L	Coliform Bacteria MPN/100mL	Fecal coliform Bacteria MPN/101mL
BRAC slum	1.6	3450	166	270	4213	1720	4.4	6.3	0.44	>1.1x10 <sup>5</sup>	1.1x10 <sup>5</sup>
Mashjid slum	0.7	3540	162	255	456	1770	4.3	6.1	0.39	>1.1x10 <sup>5</sup>	1.5x10 <sup>4</sup>
Ashrat slum	1.3	6750	160	254	4712	3370	4.4	10.8	1.21	>1.1x10 <sup>5</sup>	1.1x10 <sup>5</sup>

## 衛生システムの提案

衛生改善だけでなく、尿尿を資源として利用することは、住民にとって衛生改善を行おうというインセンティブになると考えられる。尿尿の資源利用としては農業利用が考えられるが、都市貧困地区から農村への運搬が容易でないことはひとつの制約となる。また、肥料成分に富む尿を肥料として利用することを意図した尿尿分離タイプのエコサン・トイレを都市貧困地区の共同トイレに適用した場合、利用者に適正な使用方法を徹底することは困難である。こうしたことから、男子小便器からの尿、さらには尿尿分離タイプの便器を用いて、尿を収集し、これを製品コンポストへ添加し、施肥効果の高いコンポストを生産するという案を尿の利用方法として考える。一方、大便はエネルギー資源として利用可能であり、地域コミュニティへの資源還元を意図して、バイオガス処理を提案する(図3-26)。

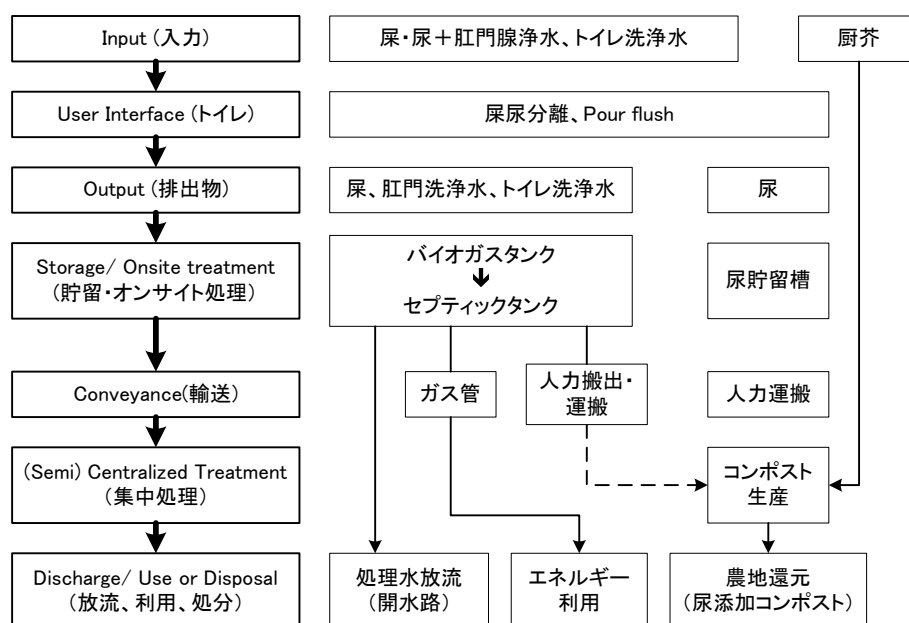


図 3-26 スラム地区に適用性が高いと判断される衛生システム

このシステムによって、貧困地区住民の尿は有機肥料の原料の一つとなり、資源として販売することを視野に入れることが可能であり、コンポスト生産はできるだけ貧困地区の近傍に設置することで、液体の尿の輸送コストを節減できる。また、貧しい人たちにとっては、家計に占める燃料の支出も小さくないところから、バイオガスを炊事の燃料として利用できれば家計負担の軽減につながる。いずれの利用方法とも家計負担の軽減に寄与できる。バイオガスリアクターの上澄水は有機物濃度が高く、処理をする必要があり、後段に腐敗槽を設置する。バイオガスリアクターおよび腐敗槽汚泥はコンポスト原料として利用できる可能性があり、セプティックタンクで処理された上澄水を除いて、すべての尿尿が最終的には利用されることになる。さらに、地区から発生する厨芥は、コンポストの原料またはバイオガス処理に供することも可能であり、廃棄物を含めた都市貧困地区の衛生

改善ならびに資源循環が展望できる。

d) 衛生システムの実施可能性を検討するための関連実験

バイオガスシステムの調査

バングラデシュでは、家畜糞尿を投入するバイオガスシステムの実績は多いが、人糞を用いるものは限られている。調査対象としたバイオガスシステムは寄宿制のイスラム学校の生徒 175 人が利用するトイレに付属して設置されたものである。建設は 2006 年、設計滞留時間は 20 日である。発生するバイオガスは、学校内の厨房において、生徒たちの食事の調理に必要な燃料として使われている。学校側の話では、1 日 3.5 時間はガスが利用でき、燃料として使う薪の 70%が節約されている。

バイオガスリアクターの流入、消化タンク内上澄水、後段の腐敗槽流入水、放流水の水質および、バイオガスリアクター内汚泥の分析を行った。結果を表 3-11、3-12 に示す。有機物濃度および糞便性大腸菌群数は、バイオガスリアクター、腐敗槽を通じて低減しており、バイオガスリアクターは尿尿のガス化・安定化の機能を発揮しており、腐敗槽は有機物濃度低減に寄与している。しかしながら、処理水は高濃度であり、浸透ます、ポンドでの安定化が求められる。また、ケルダール窒素の減少から、窒素が汚泥へ蓄積していると推察される。事実、消化タンク内の汚泥は、窒素・リン・カリウム濃度が高く、肥料効果があると考えられる。汚泥の寄生虫および原生動物調査の結果では、*Ascaris* spp. (40 eggs/g), *Giardia* spp. (200 cyst/g)が検出された。

表 3-11 水質分析結果

	pH	BOD <sub>5</sub> mg/L	COD mg/L	EC μs/cm	TDS mg/L	TSS mg/L	TKN mg/L	Coliform Bacteria MPN/100m	Fecal Coliform Bacteria MPN/100mL
Influent	7.01	6780	15594	9480	3400	1245	2874	>1.2x10 <sup>4</sup>	>1.2x10 <sup>4</sup>
Digester	6.43	1556	3180	5570	2680	369	780	>1.2x10 <sup>4</sup>	1.1x10 <sup>4</sup>
Septic tank	6.46	778	1379	4150	2225	198	326	>1.2x10 <sup>4</sup>	7.5x10 <sup>2</sup>
Effluent	6.47	482	631	1385	2255	106	152	>1.2x10 <sup>4</sup>	2.1x10 <sup>2</sup>

表 3-12 汚泥性状分析結果

	Moisture	TKN	T-P	K
Sludge	85.63%	2.81 g/100g dry sludge	1.42 g/100g dry sludge	0.16 g/100g dry sludge

バイオガスから利用可能なエネルギー量について把握するため、ガス発生量、供給熱量等を調査した(2011年2月)。調査実施前日まで平常通りに厨房でバイオガスを利用していた状況で、前日の利用終了から約24時間後に調査を開始した。ガス発生量は、ふだんバイオガスを利用している厨房でメスシリンダーを用いて測定した。供給される熱量は、大なべに20Lの水を入れバイオガスで熱し、温度変化から供給熱量を算定した。実験結果を表3-13に示す(バイオガス中のメタン含有量については2011年度の調査結果)。バイオガス発生は約3時間定常的に継続し、その後、急速に減少した。水量と温度差から供給された熱量は5,890Kcalで、この熱量はトイレを使用している生徒ひとり当たり約450mLの熱湯を得ることができる量であり、適切に維持されているバイオガスシステムから発生するバイオガスは燃料として利用可能であることが示された。

表 3-13 バイオガスシステムの調査結果

プラント利用者数	175	人
定常状態のガス流量	15.88	L/min
定常状態の供給熱量 (実験時)	31.9	Kcal/min
CH <sub>4</sub> 濃度(2011年度分析結果)	65	%
ガス量当たりの熱量	2,008	Kcal/m <sup>3</sup>
全供給熱量	5,890	Kcal
推定発生ガス量	2.93	m <sup>3</sup>
熱量損失 (9000 Kcal/CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> として)	66	%
ひとり当たり供給熱量	33.7	Kcal
湯量換算(25~100°C)	449	mL

#### バイオガス成分分析

2011年度において、バイオガス成分の分析を行った。結果は以下のとおりである(2011/9/22に採取したサンプル)。分析は、現地の Institute of Fuel Research & Development に委託した。

メタン	65.2%
CO <sub>2</sub>	31.4%
H <sub>2</sub> S	2.5%未満
CO	0.005%

また、調査対象としたイスラム寄宿学校に設置されているバイオガス反応槽からのガス発生量を連続的に測定するため、体積式ガス流量計(ドイツ Ritter 社, TG5)を設置した。

#### 尿の施肥効果実験

化学肥料の継続的使用は、土壌の有機物含有量を減少させるなどの問題をもたらしており、対応として、有機肥料が推奨されているが、窒素・リン等肥料成分の不足から十分な収穫を得られない場合がある。一方、尿は肥料成分に富み、バングラデシュ農村では多くのエコサン・トイレ利用者が尿を肥料として利用することで、収穫量を増やしている (Sakai ら, 2010)。有機肥料としてのコンポストに尿を添加する方法を開発する前段として、尿とコンポストを同時に施肥することの効果をとマト栽培実験により確かめた。

実験では表 3-14 に示す 4 つの施肥条件でトマト収穫量を比較した。各条件に対し、5 つの区画 (各 3.18 x 2.14 = 8.16m<sup>2</sup>) を用意し、それぞれの区画に 30 の苗を植えた。実験期間は 2010 年 11 月から 2011 年 3 月である。実験農地の土壌調査を事前に実施したところ、有機物濃度は 1.1% と低く、窒素、リンも十分に含まれていない。実験に供した尿とコンポストの成分を表 3-15 に示す。このコンポストは鶏糞、骨粉、牛糞、ウォーター・ヒヤシンス、マスタード油かす、おがくず、灰、ウキクサ (Azolla sp) を原材料としている。

表 3-14 実験系の概要

Treatment	fertilizing condition
T1: control	-
T2: compost	6.5 kg/plot, applied 3 times
T3: urine	165 L/plot, applied 3 times
T4: urine + compost	165 L and 6.5kg/plot, applied 3 times

表 3-15 施肥された尿とコンポストの栄養塩

	N	P	K
urine	4710 mg/L	645 mg/L	1580 mg/L
compost	17.5 mg/g	9 mg/g	6 mg/g

図 3-27 に各条件の 5 つの区画からの収穫量平均値を示した。T 4 (urine + compost) の収穫量は他の条件と比べて 3 倍以上の収穫量であり、他の条件に対して収穫量が多いことは、すべての比較対象に対して 1% の棄却水準で統計的に有意である。この結果は、有機物含有量の低い土壌において、十分な収穫を得るためには有機物と肥料成分がともに必要であることを示している。T 2 (compost) と T 4 の比較をもとに、尿を散布することにより得られる収穫増から、尿 1 L 当たりの便益を算出すると 2BDT となる (トマトの販売価格を 10BDT/kg として)。この結果は、高橋ら (2009) の実験結果と比べて大きな額となっている。



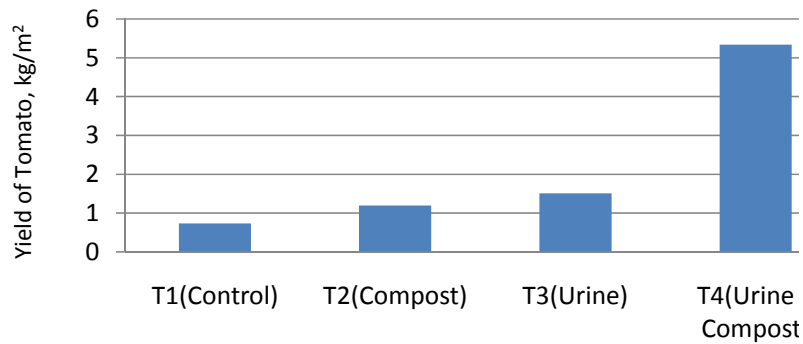


図 3-27 各施肥条件におけるトマトの収穫量の違い

(1) 提案する衛生システムの効果推定

・ 対象スラム

クルナ市には 520 のスラム地区があると言われているが, ”No. 1 Khema” と呼ばれているスラムを調査対象として選定した (図 3-28)。このスラム地区は, もともとバングラデシュ独立に際し, 帰国がかなわなかったパキスタン人が居住を認められた地区であり, しっかりしたコミュニティ組織 (Community Based Organization: CBO) が, 自治的活動を行っている。2011 年 8 月に, この CBO とのフォーカス・グループ・ディスカッション (FGD) を行い, 人口, 世帯数等の諸元や衛生設備の現況と管理実態を把握し, さらに同月アンケート調査を行った。



図 3-28 調査対象のスラム地区 (Google Earth による)

- ・ 調査地区の概要 (FGD 及びアンケート調査の結果)

同スラムは、約 1.3ha の面積に対し、450 世帯 (家屋数は 350 で複数世帯の同居も珍しくない)、2,500 人が暮らしている。人口密度は 1,800 人/ha と高い。住民のほとんどはパキスタン難民であり、20 年以上この地区で暮らしている住民が多く、60%の住民はこの地区で生まれている。今では、約 20%をベンガル人が占めている。家屋を売却したり貸したりする者もいるが、土地の所有権をもつわけではない。住民の職業は、日雇い労働、リキシャ引きが主である。75%のアンケート回答者は、このスラムを好きと言っているが、60%は住み続けたくはないと回答している。

飲料水は地区内の共同の深井戸 (Deep Tube-well) から汲んでいる。浅井戸 (Shallow Tube-well) を所有する住民もいるが、飲料にしている者は少なく、それ以外の生活用水に使われている。井戸の数が少ないため、水汲みに時間を要し、女性は水浴びできる場所が少ないことに対して不満を訴えている。

トイレに関しては、24 の共同トイレがあり、うち 14 は女性用、10 は男性用である。尿尿の処理は腐敗槽で行われており、1 年以内の頻度でクルナ市 (City Corporation) に汚泥引抜きを依頼している。各世帯は、自治会費として月 15BDT (現地通貨、1BDT はほぼ 1 円) を払っており、このなかから日常の管理費が賄われている。汚泥の引抜き時には、6,000BDT 必要になるが、特別の徴収はせず、コミュニティ組織で支払いを行っている。なお、引抜き後の汚泥の処分については、確認していないが、クルナ市は、収集後の汚泥を処理するインフラをもっていない。

共同トイレのほか、約 35%の世帯でピットラトリンを所有している。これらのトイレは、10 年ほど前にある NGO の勧めで導入され、各家屋のすぐ近くや室内に設置されているが、尿尿の搬出は行われていないので、今でも世帯所有のトイレを使っている世帯は 15%程度である。数は少ないが、ピットから、直接、水路に放流されているケースもある。このほか、子供が、トイレ以外で排泄することは珍しくなく、多くの大人がこれを許容している。厨芥を含めた生活ごみは、ローカルの NGO が 2 日に 1 回、回収しており、住民は月に 5BDT 支払っている。回収後の処理については確認していない。

- ・ 衛生に関する住民意識 (アンケート調査結果)

現況のトイレに対しては、数が少ないことに不満をいだいており、世帯所有のトイレについても使い続けたいという回答者は少ない。

本研究で提案している衛生システムが意図している尿尿の資源としての利用に関しては、尿尿から、肥料やバイオガスが得られることを知っているという回答者はほぼ半数であるが、燃料として利用できるバイオガスを含めて、資源利用に関心が低い。厨芥からコンポストを作ることについても同様である。農地をもたず、自ら必要としない肥料やコンポストに関心をもたないことは当然であろう。しかしながら、25%の回答者が尿尿から得られる

バイオガスを燃料として使うことを「汚い」と感じている点に関しては、意識を変えるような対応が必要であろう。

・ 衛生システム導入にあたっての制約条件と対応

以上の調査結果から、衛生システムを導入にあたっての制約条件をあげ、比較的、技術的側面が大きいもの（技術の選択等で対応できる制約条件）から、住民意識の向上や能力開発など社会的な対応が求められるものの順に並べると以下ようになる。

- a. 汚泥処理のためのインフラ欠如：調査対象地区のように汚泥搬出が行われているケースはあるものの、自治体は汚泥処理施設のためのインフラを有していない。
- b. 不十分な尿尿管理能力：住民組織による管理で対応せざるを得ないが、そういった経験をもたない。
- c. 不十分な施設用地：非常に過密な地区であり、施設用地は限定される。
- d. 尿尿資源の農業利用を需要する地域が遠隔：農業利用に関しては自ら利用することはなく、需要地は遠隔である。
- e. 尿尿の資源価値に関する知識不足・忌避意識：尿尿の資源利用が可能なことを知っている住民もいるが、知識は十分でなく、その利用を忌避する意識がある。
- f. 低い衛生改善意識：スラム等貧困居住区全体に衛生改善意識は低い。
- g. 低い衛生問題認知レベル：罹患頻度が高いという認識はあるが、衛生にかかわる問題の認知レベルは低い。

これらの制約条件に対して、図 3-26 に示す衛生システムを提案する段階で考慮された対応もある。例えば、d.の農業利用の需要地が遠隔であるところから、尿を液体で運搬するのではなく、有機肥料生産をコミュニティ近傍で行い、かつ、コミュニティで確保できる厨芥を有機肥料の原料として考えている。a. ～ c. に関しては、衛生システム選択において考慮されたものであるが、技術選択による対応とともに、コミュニティ組織の能力開発や、当事者が主体となって地区内に用地を確保することが求められる。

尿尿の資源価値に関しての知識不足や忌避意識に対しては、情報提供と住民が実際に利用することが必要になろう。さらに、家計負担軽減や資源利用による収入源となることが期待できることは、衛生改善意思形成のためのインセンティブとなると考えられる。社会的な制約条件に対しては、衛生改善の必要性を啓発するだけでなく、現存するコミュニティ組織が、共同トイレの利用ルールやバイオガスの利用方法、具体的な供給先の決定などを主体的に決定することが必要である。

以上の制約条件と対応について、図 3-29 にまとめる。

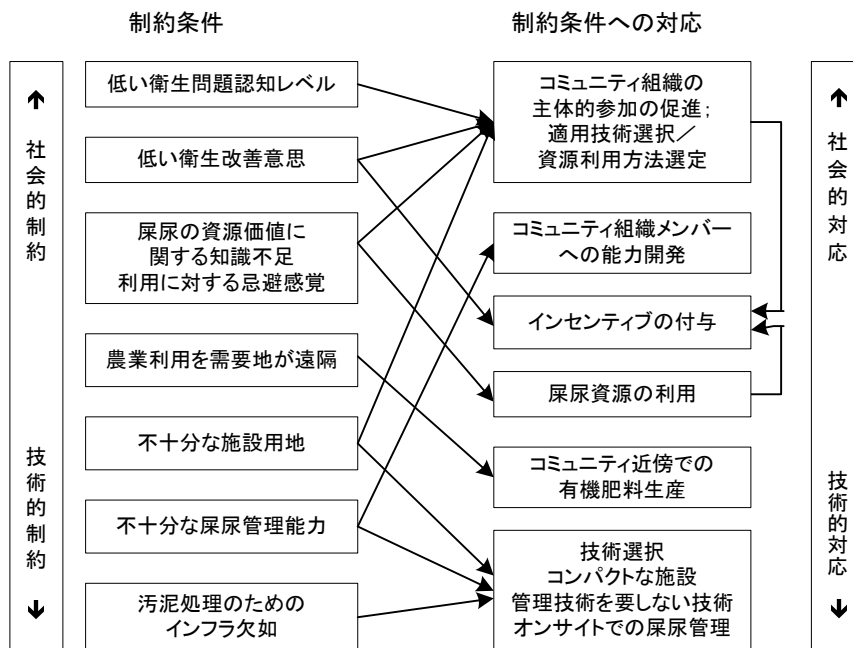


図 3-29 衛生システムの導入にあたっての制約条件と対応

### 提案する衛生システムの効果

提案した衛生システムは、クルナ市貧困居住区における衛生問題に対応する意図を有している。したがって、衛生改善による、罹患頻度の低減、それに伴う医療費等の家計負担軽減する効果が期待できる。また、住民ならびにコミュニティに対して、尿尿の資源利用による便益が期待できることを示すことによって、衛生改善意思の形成、尿尿の適正管理へのインセンティブをもたらすものと考えられる。

しかしこれらの効果の定量化は、実際に施設を導入したうえで、継続的な疫学的調査、意識調査が必要になる。

バイオガスについては、次に示すいくつかの利用法が考えられるが、熱としての損失の大きさを考慮しながら、コミュニティとしての需要に基づいて、コミュニティで決定することが望まれる。

- 燃料としての利用（薪や天然ガスの代替）
- ガスランプ（街灯）
- 発電

ここでは、昨年度行なった実証調査で得られた利用者一人当たりのガス発生量とバイオガスシステムの利用人口（スラム内全人口）から推定されるバイオガス発生量の天然ガス当量を求め、現地価格に換算する。結果を表 3-16 に示すが、1日当たり約 3,000BDT となり、発生するバイオガスをスラム内に供給できれば、年間では 100 万 BDT の燃料費が節減されることになる。ただし、全世界帯に供給し、燃料として利用することは、量的にも圧力的にも不十分である。燃料として利用するとしても、施設に比較的近い世帯への供給、レ

ストランやコミュニティ施設などまとまった需要をもつ施設への供給が考えられる。

表 3-16 バイオガス発生量の天然ガス当量

ひとり当たりガス発生量	16.76	L/day/person
当該スラム地区人口	2,500	persons
1日当たりガス発生量	41.90	m <sup>3</sup> /day
m <sup>3</sup> 当たり発熱量比(バイオガス/天然ガス)*	0.203	
天然ガス当量(m <sup>3</sup> )	8.51	m <sup>3</sup> /day
天然ガス比重	2.277	kg/m <sup>3</sup>
天然ガス当量(kg)	19.37	kg/day
天然ガス単価(BDT/10kg)	1,600	BDT/10kg
天然ガス価格(BDT)	3,099	BDT

\*バイオガスはメタン含有量65%(調査結果)、メタン発熱量9,000kcal/m<sup>3</sup>。バングラデシュで販売されている天然ガス構成比はプロパン、ブタンそれぞれ50%

バイオガスシステムでは、腐敗槽と比べて、バイオガスタンクによる有機物分解と病原微生物の低減により、地区外へ排出される汚染インパクトの低減が期待できる。また、腐敗槽では、メタンが発生していると考えられ(調査対象スラムで、腐敗槽で発生し、蓄積したメタンが爆発したことがある)、温暖化効果の大きいメタンを大気へ放出せずに燃料として利用することの効果もある。汚泥に関しては、汚泥量の低減と性状安定化が図れるほか、バイオガスリアクターからの汚泥を農地利用することも考えられる。さらに、提案する衛生システム全体では、尿を利用することによる栄養塩類の流出負荷削減が図れる。こうしたことから、スラム地区外への環境負荷は抑制される。

衛生システムの導入にあたっては、図 3-29 に示した社会的制約条件への対応、すなわち、住民の衛生改善意識形成を図るとともに、コミュニティ組織の計画段階から参加を促し、さまざまな意思決定を主体的に行い、衛生システムの管理を担う組織として、その役割を發揮できるよう能力開発を図ることが求められる。

#### 3.2.4. 結論

クルナ市で実施した社会調査、環境調査の結果、都市貧困地区では、他の地区と比べ、非衛生に起因する罹患頻度が高いにもかかわらず、衛生改善意思が低いことが示された。また、貧困地区における不十分な尿尿管理が、都市内水環境に影響を及ぼしていることも考えられ、適切な衛生システムを選択し、適用する緊急性は高いと言える。衛生システムを選択するにあたり、住民の改善意思形成につながるインセンティブを付与できるような技術の導入が必要と判断され、尿尿資源の循環利用を意図した衛生システムを提案した。衛生システムの導入により、衛生改善、尿尿資源の地区内利用(バイオガス)によって、

家計負担の軽減が期待できる。さらに、地区外で有機肥料源として屎尿の有効利用を図ることは、その販売等によって、地元コミュニティにとっての収入源をもたらすことも可能である。屎尿資源の活用は、住民の衛生改善意識の形成、適正な施設の維持管理にとってのインセンティブとなり、有機物の分解促進、病原微生物の低減、メタンの放出抑制により、地区外へ排出する汚環境負荷を軽減する効果が期待できる。

#### 参考文献

- Bangladesh Centre for Advanced Studies (2005) Quantity and Quality Assessment of Khulna City Solid Waste for Electricity Generation
- Sakai, A., Takahashi, K. and Azaduzzaman, Q. (2010) An Example of Benefit Estimation Related with Ecological Sanitation in Rural Areas of Bangladesh, International Water Association, Decentralized Wastewater Treatment Solutions in Developing Countries, Surabaya, Indonesia, 8 pages (CD-ROM)
- 高橋邦夫, 酒井彰, 保坂公人, 高村哲 (2009) バングラデシュ農村地域におけるエコサン・トイレの導入効果と便益評価, 京都大学環境生成工学研究, 23(1), 2-12.

### 3.3. その他の都市での汚泥処理に関する調査

#### 3.3.1. 東南アジア及び南アジアのサニテーションの概要

東南アジア及び南アジアのサニテーションの概要は、表 3-17 のように整理される (USAID, 2010)。

表 3-17 東南アジア及び南アジアのサニテーションの概要

	東南アジア					南アジア	
	インド ネシア	マレー シア	フィリ ピン	タイ	ベトナム	インド	スリラ ンカ
人口 (百万人)	222	28	88	63	86	1,150	19
都市人口 (百万人)	93	18	54	21	23	350	3
改善された 水道普及率 (都市部、%)	89	98	96	99	98	96	98
改善された トイレ普及率 (都市部、%)	67	95	81	99	88	52~86	89
下水道接続率(%)	2.3 (都市部)	73 (全国)	7 (都市部)	—	—	40 (都市部)	4 (都市部)
下水処理率(%)	<14	100	<10	14	4	9	—
セプティックタンク 普及率(%)	62 (都市部)	27 (全国)	40(全国) 85(マニラ 首都圏)	100 (大都市 以外)	77 (都市部)	29 (都市部)	89 (全国)
Septage 処理率(%)	4 (全国)	100 (全国)	5 (マニラ首 都圏)	30 (全国)	<4 (全国)	0 (全国)	<1 (Nuwara Area)
家庭汚水による 公共用水域 の汚染率(%)	—	—	50	54	55 (ハノイ)	80	—
汚染された表流水 (%)	75	45 (調査対 象河川)	58 (地下水)	52	—	75	—
衛生問題に起因する 経済損失(10億ドル)	6.3	—	1.4	—	0.8	5.7	—

これより以下のことが分かる。

①改善された水道や衛生施設（トイレ）の普及率はインドネシアとインドを除いては概ね高い一方で、下水道接続率や下水処理率はマレーシアを除く諸国では都市部でも依然として低い。

またオンサイト処理としてのセプティックタンク処理に依存する割合が依然として高い。

- ②汚水が下水道管渠までは排除されているが、その後の下水処理率はマレーシアを除いては4～14%と低い。
- ③セプティックタンクは普及しているが、そこから引抜かれる汚泥(septage)の処理率はマレーシアを除いては0～30%と低い。
- ④未処理汚水の公共用水域への放流による表流水(一部地下水も含む)等の汚染が50～80%にも及んでいる。
- ⑤以上の結果、水系感染症等を含む衛生上の問題に起因する経済的な損出は8～63億USドルに達している。

こうした中で下水道の普及が急がれるものの、下水道の敷設や下水処理施設建設には多額の投資と長い時間を要する。したがって当面はセプティックタンクの対策、特に septage management が重要となる。

### 3.3.2. アジア開発途上国のオンサイト処理の調査結果

以上の背景の下で、東南アジアや南アジアでのオンサイト処理について、ヒヤリングを主体とする調査を行うこととした。

一般財団法人日本環境衛生センターが環境省から受託した「平成22年度し尿処理システム等の改善に関するアジア・ワークショップ実施業務」において招聘したアジア開発途上国の中央政府環境部局の関係者とはネットワークを構築している。そのネットワークを通じてのヒヤリング情報に加えて、これらの国のオンサイト処理に関する現状のデータ等(WHO&UNICEF, 2010)を整理すると、以下のようになる。

#### a) カンボジア

##### (a) し尿処理

し尿処理に関する法規制がないことから、し尿処理の責任組織は不明確であるが、土地管理・都市化建設省と公共事業・輸送省がし尿処理に係っている。し尿処理の排水管理については、環境省が地方自治体と連携して責任を持つ。

##### (b) セプティックタンク

セプティックタンクに関する法規制は未だない。国中で使用されているセプティックタンクの数、406,120基でトイレの数の43%にあたる。典型的な設置場所は、家の所有者の好みや形式によるが裏庭や建物の角などのコンクリートの下である。セプティックタンクがし尿のみを処理するのか、それともし尿と雑排水を併せて処理しているかについてのデータはない。家の所有者は、民間業者に有料で維持管理と汚泥引き抜きを依頼している。セプティックタンク汚泥の引抜頻度は、セプティックタンクのサイズによるが、3年から10年



に1回の頻度で、ユーザーからの on-call に基づいて行われている。

#### (c) オンサイト処理の概要

カンボジアにはいわゆる下水処理施設はなく、一部地域では排水渠を通じて収集された下水が自然の浄化力を利用して浄化されているに過ぎない。したがって汚水処理は基本的にはオンサイト処理が中心であるが、その普及率に関するデータはない。

#### (d) オンサイト処理に対する管理監督組織

汚水処理施設の建設と管理については、公共事業・輸送省に責任がある。環境省は、環境法に基づいて公共水域に排出される水質のモニタリングに対して責任を持つ。トイレに関しては、土地管理・都市化建設省が地方自治体と連携する形で行政責任があるものの、トイレそのものに関する法規制はない。

#### (e) サニテーションの普及率

2008年時点で、飲料水普及率は全国平均61%(都市81%, 農村56%), また改善された衛生施設としてのトイレの普及率は全国平均29%(都市67%, 農村18%)である。トイレ形態は、下水道接続が40%, セプティックタンクが43%, ピットラトリンが15%である。

#### (f) 課題

- ①国家予算が限られており、これをし尿処理や汚水処理分野に十分に振り向けることができない。
- ②汚水処理分野の専門家が少ない。
- ③し尿処理や汚水処理に関する精緻な政策や法制度が未整備。
- ④国全体のトイレ数約95万個のうちの43%は地下浸透型セプティックタンクに接続されていることから、地下水汚染が懸念される。

### b) 中国

#### (a) し尿処理

し尿処理の責任組織は、住宅・都市農村開発省である。中国では、し尿は接触酸化、バイオフィルターなどの生物処理、または、酸化池などの天然処理などで処理されているが、時として未処理放流されているケースもある。し尿処理施設については、運転・維持管理と安全に関する技術仕様が規定されている。

#### (b) セプティックタンク

中国では、セプティックタンクは広く使用されているものの、その法規制はまだ制定され

ていない。各建物には1つのセプティックタンクがコンクリート床の下に設置されている。都市部では、し尿がセプティックタンクで処理されており、農村部ではし尿と雑排水がセプティックタンクで処理されている。汚泥引き抜きは1年に1回、バキューム車か農夫によって行われ、農夫によって必要な時に肥料として利用される。なお汚泥引き抜き料金は不明である。

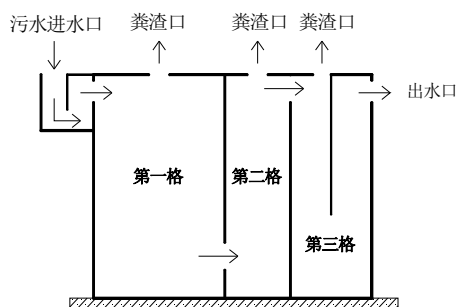


図 3-30 中国のセプティックタンクの一例

(c) オンサイト処理の概要

下水道普及率は2008年までには都市部で70%、県域で30%を超えているものの、鎮、郷、村レベルでは依然として著しく低い。地方部では、その一部地域では汚水の分散型処理やオンサイト処理が行われているものの、未処理放流も多くオンサイト普及率は不明である。こうしたことから2011年から始まった第12次5カ年計画では、農村部での環境対策に力を入れており、面整備に時間や金の掛かる下水道ではなく分散型汚水処理やオンサイト処理の普及が見込まれている。

(d) オンサイト処理に対する管理監督組織

し尿処理施設の建設、維持管理の管轄部署は、住宅都市農村開発省、水質の管轄部署は環境保護省(MEP)である。トイレに関する管理は、土地管理・都市化建設省が行っている。

(e) サニテーションの普及率

2008年時点で、飲料水普及率は全国平均89%(都市98%、農村44%)であり、また改善された衛生施設としてのトイレの普及率は全国平均55%(都市58%、農村52%)である。

また水使用量は都市で平均89L/人/日(13~241L/人/日)、農村で平均78~100L/人/日、生活排水処理率は都市で73%、農村で2.6~12%である。

都市の生活排水処理は、セプティックタンクに下水道処理施設や小規模汚水処理施設を組み合わせたシステムとしており、その建設費は下水道処理施設が700US\$/m<sup>3</sup>、小規模汚水処理施設が1,000 US\$/m<sup>3</sup>、また維持管理費は下水道処理施設が0.07~0.2 US\$/m<sup>3</sup>、小規模汚水処理施設が0.25 US\$/m<sup>3</sup>である。

#### (f) 課題

①中国では湖沼の富栄養化が問題で、その主たる原因は7億6000万人の人口を抱える農村部の汚水処理普及率が4%にも満たない点にある。

②農村部での汚水処理において解決すべき課題として、以下が挙げられる。

- ・放流水質基準の設定を含む法制度の整備
- ・脆弱な財政基盤
- ・維持管理技術者の不足
- ・低コストで維持管理容易な汚水処理技術の開発

#### c) インド

##### (a) し尿処理

住宅・都市貧困削減省と地方自治体が生尿処理の責任組織である。し尿処理施設の排水管理は、水道下水道局公衆衛生工学部が行っているが、違反を取り締まる組織はない。し尿処理施設の建設は、住宅・都市貧困削減省が補助をし、維持管理は地方自治体が補助をしている。

##### (b) セプティックタンク

汚泥引き抜きは、地方自治体と中央政府の管理下で、2年から3年に1回の頻度で、ユーザーからの on-call に基づいて行われている。この汚泥引き抜き作業は大半が手作業であり、その非衛生的な行為が屋外排泄と並んで問題視されている。

##### (c) オンサイト処理の概要

インドは人口約12億人を擁し、そのうち都市人口は約30%である。下水処理施設は全国で250箇所を超え、その普及率は約6%で、下水道料金は各家庭の水道料金の25%である。改善された衛生施設としてのトイレ普及率は、全国で31%、都市で54%、農村で21%と、いずれも普及率が低いと共に、都市と農村の格差が大きい。また都市のセプティックタンクについては、その普及率は29%（約1億人）である一方、セプティックタンク引抜汚泥の処理率は0%であり、ほぼ全量が未処理で処分されているのが実態である。

##### (d) オンサイト処理に対する管理監督組織

住宅・都市貧困削減省と都市地方自治体が生尿を含むオンサイト処理の責任組織である。

##### (e) サニテーションの普及率

2008年時点で、飲料水普及率は全国平均88%(都市96%、農村84%)、また改善された衛生施設としてのトイレの普及率は全国平均31%(都市54%、農村21%)である。

(f) 課題

- ①衛生啓発教育の欠如
- ②septage の適正な管理に向けた法制度，組織制度の未整備
- ③財源不足
- ④衛生分野， 汚水処理分野の技術者不足

d) ラオス

(a) し尿処理

トイレに関する法規則はないが，建設と維持管理に関する技術ガイドラインは通知されている。

し尿処理に関する法規則はまだないが，し尿処理の責任組織は，公共事業輸送省住宅都市計画部都市農村開発課である。排水の水質管理は水資源環境局に責任がある。違反の取り締まりは都市開発局が行う。し尿処理施設の建設と維持管理に補助制度はない。

(b) セプティックタンク

セプティックタンクの設置基数は把握されていない。セプティックタンクでは，し尿のみが処理されている。セプティックタンクの維持管理と汚泥引き抜きは家の所有者に責任がある。汚泥引き抜きはポンプ車で行われ，引き抜かれた汚泥は汚泥処理場へ搬入され処理処分される。

(c) オンサイト処理の概要

ラオスはカンボジャ同様，下水処理施設は未だない。したがって汚水処理の中心はオンサイト処理であるが，その普及率や処理料金に関するデータはない。なお，改善された衛生施設としてのトイレの普及率（2008年データ）は，都市部で86%，地方部で38%，全国で53%である。

(d) オンサイト処理に対する管理監督組織

オンサイト・サニテーションの責任組織は，公共事業輸送省と都市開発局である。

(e) サニテーションの普及率

2008年時点で，飲料水普及率は全国平均57%(都市72%，農村51%)，また改善された衛生施設としてのトイレの普及率は全国平均53%(都市86%，農村38%)である。

なお都市の飲料水投資額は2009年度で約1,100万US\$である。

(f) 課題

衛生面の課題は、制度面では、正確なデータによる上水計画や供給、継続的な投資、地方の飲料水供給事業支援、民間参入のための制度整備、法制度、衛生サービスなどの不足がある。

e) タイ

(a) し尿処理

地方政府がトイレの管理に関する責任組織である。Public Health Act A.D.1992 がトイレやし尿処理に関する法律として存在する。

し尿処理の責任組織は天然資源環境省汚染管理部であるが、直接的には地方自治体はその建設、維持管理、排水の水質管理に責任があり、違反の取り締まりも行う。

(b) セプティックタンク

セプティックタンクに対する法規制は未だない。タイでは1軒当たり1基から3基のセプティックタンクが家のコンクリート床の下ないし庭に設置されている。セプティックタンクには3つのタイプがあり、し尿のみを処理するもの(20%から25%)、雑排水のみを処理するもの(20%から25%)及びし尿と雑排水を処理するもの(50%から60%)がある。汚泥引き抜き料金は1回当たり15USDである。

(c) オンサイト処理の概要

下水処理場は76の州の中心部を中心として、80箇所以上あり、下水道料金は無料である。改善された衛生施設としてのトイレ普及率は、全国で96%、都市部で95%、地方部で96%といずれも普及率が高く、しかも都市と地方の格差も殆どない特徴を持つ。なお都市部でのセプティックタンクの普及率は21%である一方、セプティックタンク汚泥の処理率は30%で、残り70%は未処理で処分されている。

(d) オンサイト処理に対する管理監督組織

オンサイト処理の責任組織は、天然資源環境省汚染管理部である。

(e) サニテーションの普及率

2008年時点で、飲料水普及率は全国平均98%(都市99%、農村98%)、また改善された衛生施設としてのトイレの普及率は全国平均96%(都市95%、農村96%)である。このように今回調査した7カ国の中ではもっとも高い数値を示している。衛生啓発教育は全国ベースで小学校時代から行われている。

## (f) 課題

上述のように、他の東南アジア途上国に比べれば衛生対策は進んでおり、特に課題は指摘されなかった。

### f) ベトナム

#### (a) し尿処理

トイレは通常は家の所有者によって建設され、一方の公衆トイレは市または人民委員会によって建設される。

し尿処理に関する特別の法規制はないが、天然資源環境省と都市環境公社が責任組織である。天然資源環境省は、し尿処理施設からの排水管理に責任があり、都市環境公社はし尿処理の維持管理に責任がある。環境警察は、違反の取り締まりを行う。し尿処理施設の建設に関する国の補助は、特別なパイロットプロジェクトの場合にあるが、その他の多くの場合は、所有者（投資者）が自らの資金で行う。

#### (b) セプティックタンク

セプティックタンクに関する法規制は未だなく、設置、維持管理、汚泥引き抜きは所有者のリクエストベースで行われている。セプティックタンクの設置場所は、一般に都市部ではコンクリート床の下、地方では庭に設置される。汚泥引き抜きはバキューム車で行うが、小さい通りでは中小型のバキューム車を使用される。セプティックタンクが満杯になるか、または閉塞すると所有者からの依頼により汚泥引き抜きが行われる。汚泥引き抜きは2～3年に1回行うべきだが、実際は殆ど行わないケースも多い。料金は運搬距離により異なるが8～9US\$/m<sup>3</sup>である。ベトナムの典型的なセプティックタンクの構造図を下記に示す。

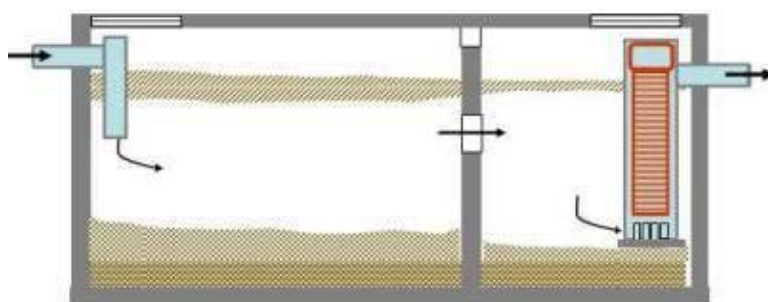


図 3-31 ベトナムの典型的なセプティックタンクの構造図

#### (c) オンサイト処理の概要

下水道普及率は、ハノイなどの大都市では60～65%であるが、その多くは下水処理施設が少ないため未処理放流されており汚水処理率は10%以下である。またその他の地域での下

水道普及率は 5～20%と未だに低い。下水道料金は税引き前の水道料金の 10% である。都市部でのセプティックタンクの普及率は 77%である一方、セプティックタンク汚泥の処理率は僅かに 4%で、残り 96%は未処理で処分されている。

#### (d) オンサイト処理に対する管理監督組織

天然資源環境省と都市環境公社が責任組織である。

#### (e) サニテーションの普及率

2008 年時点で、飲料水普及率は全国平均 94%(都市 99%，農村 92%)，また改善された衛生施設としてのトイレの普及率は全国平均 75%(都市 94%，農村 67%)である。

ハノイ市の例で示すと、下水道排除システムは合流式であり、そのうちの 50%が損傷，30%が陥没，20%が新設である。下水道普及率は 60%であるが、その大半は未処理で放流され、汚水処理率は 10%以下である。

ハノイ市では、住宅の 44%が下水道への排除，40%がセプティックタンク，17%が未処理放流である。また住宅のトイレ普及率は 80%であり、そのうちの 90%はセプティックタンクが設置されている。トイレ汚水については、その BOD の 30%が除去され、処理水質は 120～150mg/L である。

#### (f) 課題

セプティックタンク処理水の BOD が高濃度であること、また生活雑排水や工場からの毒性化学物質が未処理で放流されていることなどにより、深刻な河川汚濁が生じており、環境汚染の改善と防止はベトナム政府や国際援助機関の最大の課題である。

またハノイ市におけるし尿処理の課題として、以下の点が挙げられる。

- ①密集地における狭い道路を走行するバキューム車の多くが旧式で交通渋滞を起こし、し尿収集運搬作業に対しても支障をきたしていること
- ②設置されたセプティックタンクを良好に維持管理するための法制度が不備
- ③トイレ設置に係わる法整備が不備
- ④民間業者の収集し尿不法投棄を取り締まる法制度が不備
- ⑤適切な資源化技術がなく、し尿のコンポスト利用がわずかであり、他は池や河川等に不法投棄され、環境を汚染していること

#### g) インドネシア

##### (a) し尿処理

トイレは、都市部では約 70%が Pour Flush Toilet，約 30%が Pit Latrine である。

ジャカルタ特別州の場合、セプティックタンク引抜汚泥の処理施設は 2 箇所あり、その最

大処理能力はいずれも 300m<sup>3</sup>/日である。

#### (b) セプティックタンク

セプティックタンクは、し尿のみを処理しており、生活雑排水はその多くが直接公共用水域へ放流されている。セプティックタンクは地下浸透タイプが多く、地下水汚染が懸念されている。

セプティックタンクの汚泥引抜は、定期的には行われていない場合が多く、大抵はトイレの水が流れない時に on-call で依頼される。その引抜汚泥は、汚泥処理施設で処理されることは少なく、不法投棄が多い。

#### (c) オンサイト処理の概要

ジャカルタ市の例で示すと、市内の汚水処理の人口普及率は下水道が 2%、オンサイト処理が 97%である。オンサイト処理は、個別住宅はセプティックタンク、高層住宅は個別集合処理、スラム地区は公衆トイレ(MCK)で行っている。またジャカルタ市には汚泥専用処理施設が 2 箇所ある。

ジャカルタ市の河川水質は、良好(BOD1~2mg/L)が 9%、軽微な汚染(1~10mg/L)が 18%、中程度の汚染(11~30mg/L)が 82%の割合であり、汚染が進行している。

ジャカルタ市の衛生問題としては、基準に合わないトイレ、屋外排泄、septage の不法投棄、河川汚染等が挙げられる。またジャカルタ市内の浅井戸水質は、良好が 23%、軽微な汚染が 41%、中程度の汚染が 19%、重度な汚染が 17%である。

#### (d) オンサイト処理に対する管理監督組織

中央政府の公共事業省と、地方自治体の清掃局および環境局が、管理監督を行う。

#### (e) サニテーションの普及率

2008 年時点で、飲料水普及率は全国平均 80%(都市 89%、農村 71%)、また改善された衛生施設としてのトイレの普及率は全国平均 52%(都市 67%、農村 36%)である。

#### (f) 課題

- ①衛生改善に向けた部門間の連携の欠如
- ②脆弱な財政基盤
- ③セプティックタンクの設置方法、構造基準、汚泥引抜を含む維持管理、引抜汚泥の不法投棄に対する法制度の不備
- ④汚水処理分野の人材不足



### 3.3.3. マレーシアのサニテーションと septage 対策

3.3.1 で見たように、マレーシアでは下水道普及率は日本と同様に 73%と高い一方で、セプティックタンクに対してもその septage 処理率が高い。そこで一般財団法人日本環境衛生センターが独自に又は JSC(Japan Sanitation Consortium)活動を通じて、マレーシア都市部でのサニテーションおよび septage 対策を調査、ヒヤリングした結果を以下に述べる。

#### a) サニテーションの歴史

①1957年にマレーシアが独立する以前は、下水道施設全般の管理は地方自治体の責任下にあったが、独立後は都市部と農村部で責任が分かれた。すなわち都市部は自治体の責任下に、農村部は保健省の責任下にあった。

②1960年代末からスタートした一連のマレーシア5カ年計画では、都市部、農村部の双方に適切なサニテーション施設を整備することが大きな目標とされた。当時はセプティックタンクが主たるサニテーションシステムであった。

③1970年代に政府は近代的な下水道システムを市域に導入することを目指し、主な都市で下水道整備を進めるための National Sewerage Development Program を発足させた。このプログラムはマレーシア5カ年計画の一つとして策定された開発プログラムと統合され、一連のマスタープランが National Sewerage Development Program の下で展開された。しかし既存の財政システムが機能しなかったこと、および政府が十分な人材を集められなかったことから、マスタープランはその一部がクアラルンプール、バターワースおよびキナバルで実施されただけであった。その結果、下水道のサービスや開発は完全に地方政府に委ねられることとなったが、地方政府もまた財源不足や効果的なサニテーション施設整備のための知識が不足していた。

④1980年代に、政府は基礎的なサニテーションを普及促進させるための政策を打ち出した。その結果、30世帯または150人以上の住宅地を開発するプロジェクトにおいては下水道システムの整備が義務付けられる一方、それ以外の居住区域ではセプティックタンクの設置が義務付けられた。その結果、小規模下水道施設が増加し、下水道普及率も大幅に伸びることとなった。

⑤1994年以前は、地方自治体はそれぞれ独自に家庭污水处理のための規制を設けていたため、民間ディベロッパーによる新興住宅地での小規模下水処理施設の建設や個別家庭でのセプティックタンクの設置は進展したものの、それらの施設には設計上の問題や維持管理が不十分という問題が存在していた。

また下水道の管理責任は地方自治体にあったが、統一的な下水道の基準もガイドラインも存在しなかった。

こうしたことから下水道については連邦政府が管轄する必要性が高まり、連邦政府はサニテーション水準の向上を目指して、1993年に下水道サービス法(SSA)を制定した。これを受けて全ての下水道資産は連邦政府に移管されることとなった。また連邦政府は民間企業としてのIWK(Indah Water Konsortium Sdn Bhd)との間で下水道サービスの委託管理契約を締結した。この契約では運転、維持管理、施設更新までの全てを含むもので、28年以上の期間に及ぶ契約であった。この結果、144の各自治体によって管理されていた下水道サービスについては、1994年4月以降はマレーシア半島の殆どの下水道管理をIWKが行うこととなった。

⑥1993年の下水道サービス法(SSA)制定と趣旨を同じくして、1994年には下水道サービス部(Ministry of Energy, Green Technology, and Water, Sewerage service Department, 通称SSD)が規制官庁として設立された。その結果IWKはSSDの下で上記の下水道業務やseptageの管理といった実施業務を行う組織構造となった。

1994年から下水道料金徴収制度が導入されたものの、これに対する住民のクレームや支払い拒否が続出したため、下水道料金は3回値下げされた。加えて下水道料金は事業費をカバーするに至らなかったことから、倒産の危機に瀕したIWKは2000年に財務省の資本管理を受けることとなり、公社組織となった。しかしその後も下水道料金が値上げされていないためIWKは赤字経営であり、連邦政府からの補助金で赤字分を補填している。IWKは毎年3億RM(90億円)の政府補助を申請しているが、政府から認められているのはその1/3の1億RM/年(30億円/年)程度で、しかも政府はこれを毎年減らしていく方針である。

⑦2006年には新しい法律となる水サービス産業法 Water Services Industry Act 2006の制定と規制官庁としてのSPAN(National Water Services Commission)設立とが議会で承認され、2008年にはこの法律が施行されると共にSPANが設立された。その結果、下水道に関してはSSDが持っていた規制機能をSPANに移管し、SSDが下水道事業の実施(資金支出と施設建設)を、SPANが規制を、IWKが維持管理をそれぞれ管轄することとなった。

⑧現在、IWKはマレーシアの144自治体のうちの88自治体で下水道管理を行っている。

#### b) サニテーションに関する組織体制

マレーシア都市部の上下水道およびサニテーションの規制に関してはSPANが管轄する。また現在は国営企業であるIWKが下水道全般の維持管理とseptageの引抜、運搬、処理の実務を担当するという明確な組織体制が構築されている。なお下水道事業の実施(資金支出と施設建設)はSSDが管轄している。

また下水道が未だない農村部の水供給とサニテーションに対しては、保健省が管轄して

いる。

### c) セプティックタンクに関する法制度

#### (a) 建築完了検査と合格証明書

家屋を新築した場合、セプティックタンクを含む上下水道設備、電気等に関して、その完了検査を受けた後に発行される Certificate of Fitness(基準に適合していることを示す適合証明書)がないと、入居できない仕組みとなっている。

現在、住宅の汚水処理設備については、SPAN のチェックを経て地方自治体がこの合格証明書を発行しているが、IWK が下水道の維持管理や septage 管理を行っている地域では、SPAN のチェックを経て IWK が適合証明書を発行している。

#### (b) セプティックタンクの型式認定と製造業者へのライセンス付与のシステム

セプティックタンクの製造業者は、セプティックタンクの型式別に容量、設計基準、材質等を SPAN に申請・登録し、SPAN によって型式認定され、ライセンスを付与されるシステムとなっている。

#### (c) セプティックタンクの定期汚泥引抜

表 3-9 に示すように、マレーシア全体での下水道接続率は 73%であり、残りの 27%はセプティックタンクに接続されている。2008 年時点で個別家庭のセプティックタンク数は 110 万台(人口で 550 万人相当)あるが、そのうちの約 50%が定期汚泥引抜を実施している。

なお今日では、国営会社である IWK は下水道全般の維持管理および septage の管理(引抜、運搬、処理、他)を行っている。

### -1 定期汚泥引抜の法制度

マレーシアの汚水管理の中心となる下水道サービス法 (SSA) が 1993 年に制定されて以来、セプティックタンクの所有者はセプティックタンクの正しい維持管理を要求されることとなった。

具体的には、所有者にセプティックタンクの全ての設備を良好に維持管理すること、2 年毎の汚泥引抜を実施すること、そして資格のあるサービス業者にタンクを清掃させることが求められるようになったのである。

これにより、従来はセプティックタンク所有者の 2%(セプティックタンク約 30 万台のうちの 6000 台に相当)しか実施していなかった汚泥引抜は、1993 年以降定期的に実施することが求められるようになった。

2008 年 1 月には、SSA にとって替わるものとして水サービス産業法 (WSIA) が制定された。この法の下で汚泥管理ガイドラインが通知されている。この中で、汚泥引抜頻度に

ついて、IWK のそれまでの経験で 2 年以上に 1 回の汚泥引抜を行っている場合でもセプティックタンクの機能に支障がなかった点を考慮して、汚泥引抜頻度を 2 年毎から 3 年毎にするよう緩和された。

## -2 料金と罰則

定期汚泥引抜料金は、定期汚泥引抜プログラムに参加する家庭は、毎月 1.7US\$/世帯の汚水料金を払う。これは毎月 2US\$/世帯の下水道料金より安い。このプログラムに参加していない家庭は、毎回の汚泥引抜毎に払い、その料金はセプティックタンクの容量 2m<sup>3</sup> を上限として 1 回当たり 106US\$ である。

また水サービス産業法 (WSIA) はセプティックタンク所有者の違反に対して罰金を科すシステムとなっており、定期汚泥引抜のルールに違反すると 14,000US\$ を超えない範囲で罰金が科される。これは WSIA の成立により、定期汚泥引抜の責任の所在がサービス供給者である IWK から所有者に移転したことに基づく。

因みに、マレーシアの平均的な家庭 1 世帯の 1 か月当たりの公共料金支払額は、IWK 資料によると、水道料金 10US\$, 下水道料金 2US\$ (貧困家庭では 0.6US\$), 電気料金 20US\$, 電話料金 38US\$ である。

### d) IWK による定期汚泥引抜

#### (a) IWK の実施体制と実績

IWK は全国に 18 か所のユニットオフィス、48 か所の報告センター、3 か所の分析試験所、11 か所の証明書発給オフィス、4 か所の地域計画オフィスを所有しており、従業員数は 2,800 人である。この体制で、マレーシア全体の下水処理施設のうち、約 5,800 施設の維持管理を行っている。

また、セプティックタンクについては、18 か所のユニットオフィスで標準化されたシステムを使って、顧客からの照会、要求、クレームの管理、及び定期汚泥引抜サービスを行っている。

セプティックタンクは、現在マレーシア全体では 110 万台あり、そのうち 40% に相当する約 45 万世帯のセプティックタンクの汚泥引抜を行っている。所有しているバキューム車は 220 台で、その容量は 2.5m<sup>3</sup>, 4.5m<sup>3</sup>, 11m<sup>3</sup> の 3 つのタイプがある。

IWK が管理していない残りの 60% に相当する約 65 万世帯のセプティックタンクの汚泥引抜については SPAN がライセンスを与えている民間企業が行っている。

#### (b) 汚泥引抜の実施手順

1 日に行う汚泥引き抜き件数は、道路事情、交通事情、距離などに左右されるが、平均 7 件を実施している。IWK では、新築の家屋においてセプティックタンクの設置完了後に行う完了検査をクリアしたものに対して適合証明書 (Certificate of Fitness) を発行したり、ま

たセプティックタンクに関する情報を集約している。定期汚泥引抜の実施手順は、図 3-32 のとおりである。

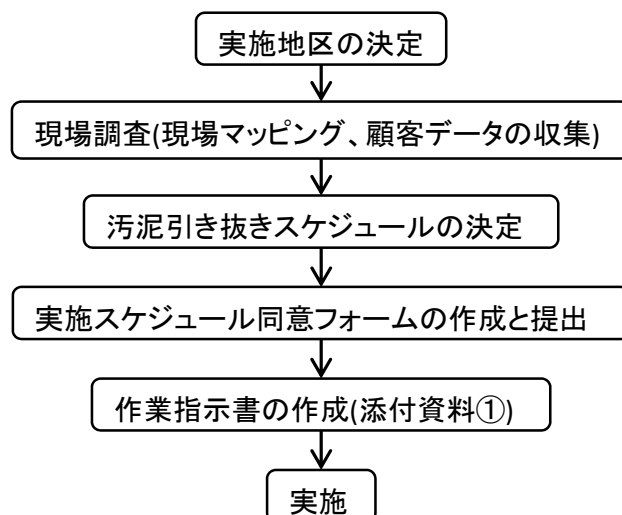


図 3-32 IWK による定期汚泥引抜の実施手順

#### (c) モニタリングと評価

汚泥引抜の実施後は、顧客に実施の記録を記述した実施証明書を発行している。またそのデータは COEDS(Customer Operational Enquiry & Desludging System)システムにインプットしてコンピュータで管理しており、このシステムで顧客データが蓄積されるようになっている。この COEDS システムを通じて、汚泥引抜に関するセプティックタンクのデータ、作業上の必要なデータから顧客の不満やサービスに関する要求などの情報を管理している。

また IWK では、汚泥引き抜きの品質向上に向けて、顧客満足度調査、作業監督者の評価シート、作業員への教育訓練プログラムを用意している。

さらに作業実施後に必要な留意事項があれば、顧客にレターで通知する。

これらにより汚泥引抜サービスのモニタリングと評価が行えるようになっている。

#### (d) 啓発活動

IWK では、定期汚泥引抜の実施をさらに普及させるため、マスメディア、広報、新聞宣伝、展示会、地域活動、住民対話、学校のプログラムなどを通じて啓発活動を行っている。こうした活動を通じて、料金支払いへの理解も求めている。

#### (5) SPAN, IWK 等が主催のセプティックタンクに関するキャンペーン大会

2011 年 11 月 26 日にクアラルンプール郊外の Sungai Besar 地区で開催された「セプティックタンク普及促進キャンペーン」大会を以下に紹介する。

本キャンペーンは、SPAN および IWK 等が主催するもので、上記(4)の(d)の一環として1994年にスタートし、その後3年に1回の割合で場所を変えて開催されている。

その目的は、セプティックタンクや下水道に関する衛生教育、環境教育として開催すると共に、septage の定期的な引抜の重要性やその料金支払いへの理解を求める啓発活動として行われるものである。

当日は、地域の住民や子供も理解しやすいような内容のパンフレット配布や飲食物の配布が行われ、またバイクや自転車参加者の中の抽選当選者に配布された。地域の住民が参加しやすいよう、休日である土曜朝8時から午後まで開催されていた。

参加者は、主催者側では SPAN, IWK を中心に約 50 名が参加した。また地域のボランティア(女性が大半)が数十名参加すると共に、大人や子供を含む地域住民が 200~300 名が参加していた。

Ministry of Energy, Green Technology, and Water の副大臣である Ms. Y. B. Dato' Noriah Kasnon も参加し、約 20 分のスピーチをすると共に、desludging のデモ運転を見学していた。式典では来賓挨拶の他に、SPAN, IWK の功労者に対する表彰状授与も行われていた。



キャンペーン大会での来賓。中央が Kasnon 副大臣。SPAN や IWK の主要人物も列席。



Kasnon 副大臣(右側)自らバキュームカーの吸引バルブを開き septage を吸引する実演

#### 3.3.4. まとめ

腐敗槽問題の重要性からアジア都市の腐敗槽汚泥処理問題を調査した。7ヶ国の政府関係

者にヒヤリングをした結果、腐敗槽汚泥管理に関する規制や維持管理制度といった法制度が未整備であることが指摘された。このことから多くのアジア都市において腐敗槽管理の普及啓発と法制度化及びその実行性の強化を図るべきことが明らかとなった。こうした中でマレーシアは下水道普及率が 73%、セプティックタンク処理率が 27%で、腐敗槽汚泥は都市部ではほぼ全量処理されている。マレーシアでは、国として腐敗槽汚泥管理の法制度を整備していること、また下水道と腐敗槽汚泥処理の実務を担当する専門機関としての国营会社 IWK を国の行政機関とは別に設置すると共に、それらの維持管理に重点を置く構成としている点が特徴的であった。これより、衛生対策の進んでいるマレーシアや日本の例は、多くの制約条件を持つ途上国における法制度設計上の参考に資するものと考えられた。

#### 参考文献

- ・ USAID ( 2010) A rapid assessment of septage management in asia, USAID.
- ・ WHO and UNICED (2010) Progress on Sanitation and Drinking-Water, WHO & UNICEFF.





## 4. 液状廃棄物管理のための技術・システムの整理と選択支援アルゴリズムの開発

### 4.1. 研究目的

アジアの諸地域における衛生の確保と環境の保全において、各地域の自然的・社会的制約条件に整合する液状廃棄物管理のための技術・システムを選択することが必須である。このため、既存の技術・システムをデータベース化するとともに、これを踏まえて技術・システム選択支援アルゴリズムの開発を行った。また、適切な液状廃棄物処理対策を進めるにあたって資するよう、先行する日本の経験をまとめた。

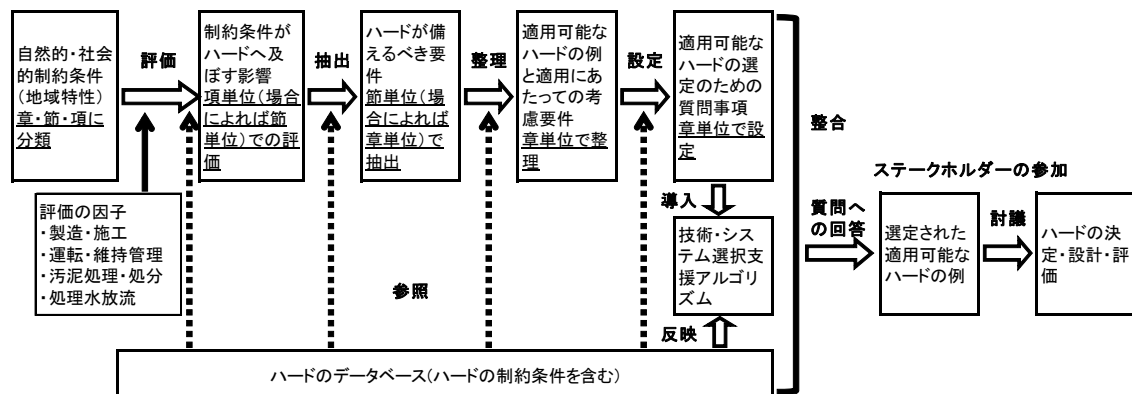
### 4.2. 研究方法

データベース化については、データベースに必要とされる項目の抽出を行った後、インターネットで公開されている海外の技術情報を基にして、検討を加えた。また、技術・システム選択支援アルゴリズムについては、基本構成を構築するとともに、ステークホルダーが質問に回答することを基本とする Visual Basic 2010 を用いたプログラムを開発した。さらに、液状廃棄物処理対策における日本の経験のとりまとめることを目的として、1府1道9県において28団体へのヒアリングを行うとともに、関連する種々の施設等について現地調査を実施した。

### 4.3. 結果と考察

#### 4.3.1. 研究の枠組み

各地域の自然的・社会的制約条件から技術・システムの決定・設計・評価に向けたプロセスを図 4-1 に示す。これは、初年度に想定したプロセスをより具体的に表現するように改訂したものである。



注:「トイレおよび生活排水処理技術・システム」を「ハード」と略称

図 4-1 技術・システムの決定・設計・評価に向けたプロセス

具体的事例は後述するが、まず、地域の自然的・社会的制約条件からトイレおよび生活排水処理技術・システムを意味するハードが備えるべき要件を抽出する。この場合、制約条件と要件をつなぐものとして、制約条件がハードへ及ぼす影響を評価するが、評価の因子として製造・施工、運転・維持管理、汚泥処理・処分および処理水放流の4つを対象とする。

ついで、抽出されたハードが備えるべき要件を基にして、対象地域で「適用可能なハードの例と適用にあたっての考慮要件」を整理する。その後、具体的に適用可能なハードの例を選択するが、これを論理的に行うために技術・システム選択支援アルゴリズムを適用する。このアルゴリズムは、自然的・社会的制約条件とハードの持つ制約条件との整合が図れる技術・システムを選択するためのもので、ステークホルダーへの質問事項に対する回答からハードの適合性を評価するものとする。

最後に、選定された適用可能な複数の候補について、ステークホルダーの参加の下で、詳細な検討を加え、特定のハードの決定・設計・評価を行うことになる。

ハードのデータベースはこのプロセスの参照対象となるもので、自然的・社会的制約条件と整合するような項目が基本となる。以降では、このデータベースを液状廃棄物処理技術・システムデータベースあるいは技術・システムデータベースとする。

#### 4.3.2. 液状廃棄物処理技術・システムデータベース

##### a) データベース項目の選定

技術・システムデータベースの項目の選定にあたっては、初年度に先行事例であるインドネシアのチレボン市を対象として、海外環境橋梁区センター（2004）および日本下水道協会（1997）を参照して4.3.1.の第1段階を検討した。さらに、地域の特性を十分に知った人達による情報への配慮が必要であり、KJ法を適用して得られた自然的・社会的制約条件の類型化結果も参照した。結果を表4-1に示す。

表 4-1 液状廃棄物処理技術・システムデータベースにおける共通項目

対象水	文化的制限	慣習		メンテナンス
管理主体	地理的制限	地形・地質	ランニング	衛生的問題
名称または方式		気候		処理水質
技術・システムの視覚情報		人口		し尿、汚泥回収における公共サービス
推奨使用規模		人口密度		2次処理の必要性
特徴	イニシャル	コスト	その他	使用寿命
必要構造		水の利用		長所
処理プロセス		必要資材		短所
社会的制限		電気		使用開始までの期間
	水	使用法の教育の必要性		
	アクセス	建設・構造上の問題点	備考	
文化的制限	宗教	ランニング	コスト	参考

b) データベースの例

技術・システムを対象排水と管理主体の点から(i)~(v)に示す5つに分類した。

(i)し尿対象で主に世帯使用を目的とするもの

(ii)し尿対象で公共サービスを必要とするもの

(iii)し尿+雑排水対象で公共サービスを必要とするもの

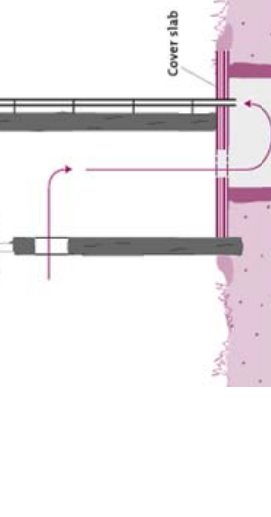
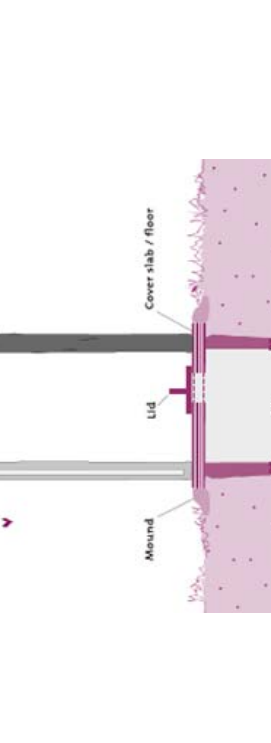
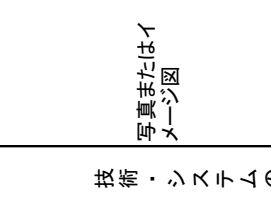
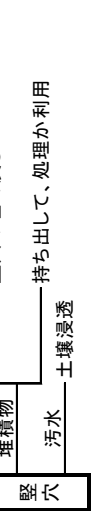
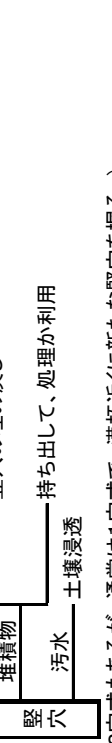
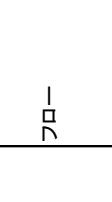
(iv)し尿+雑排水対象でその他（メンテナンスフリーのシステム）

(v)雑排水対象で主に個人使用を目的とするもの

インターネットで公開されている海外の技術情報を基にして、データベースを作成した。日本で開発された浄化槽や水や電気を使わず非放流を原則とする自然地域トイレし尿処理技術も組み入れた。

データベースの例として、(i)のうちの Pit latrine と Ventilated improved pit latrine (VIP latrine)について表 4-2 に示す。

表4-2 液状廃棄物処理技術・システムデータベースの例

対象水 管理主体	世帯 Lトイレのみ	世帯 Lトイレのみ	世帯 Lトイレのみ
名称または方式	Pit latrine	Pit latrine	Ventilated improved pit latrine、VIP latrine
他の名称または方式	Traditional pit latrine、Basic pit latrine、Simple pit latrine、Single direct pit、Simple pit	Traditional pit latrine、Basic pit latrine、Simple pit latrine、Single direct pit、Simple pit	VIP、Ventilated improved pit toilet
技術・システムの視覚情報 写真またはイメージ図			
出典	:5	:5	:5
フロー			
推奨使用規模	家庭 (2穴式もあるが、通常は1穴式で、満杯近くに新たな堅穴を掘る。)		
概要	<p>堅穴、それを覆う排泄口を備えたしやがみ用のスラブおよび上部構造で構成されている。スラブは、木(場合によっては、泥で覆っている)あるいは鉄筋コンクリートで作られる。(文献5)</p>		
特徴	<p>堅穴と水源の間の距離は化学的・生物的汚染にさらされないよう少なくとも15 m、できれば30 mとする。実際には、土壌特性、地下水の深さや流れのような地域の水文地質学的条件に依存する。(文献5)</p>		

必要構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌が不安定であったり(つまり、砂、小石あるいは硬い有機物質がある)、堅穴を再使用する予定の場合、ライニングが必要である。材料には、レンガ、耐腐敗性の材木、コンクリート、石、土の上に塗布されたモルタルの他、古い石油用ドラム缶がある。</li> <li>・基礎はスラブと上部構造を支持するために必要になるかもしれない。</li> <li>・堅穴の底は、液体の浸透ができるようにライニングしない。</li> <li>・地下水位が高い場合や土壌が硬すぎることができない場合、pit latrineは地上に設置する必要があるかもしれない。(文献2、5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堅穴は外側の換気用パイプのための場所を確保するために上部構造から少しずらす。</li> <li>・臭気を最大限に制御するために、換気用パイプは少なくとも直径150 mmは必要で、黒く塗り、便所の太陽側に設置する。</li> <li>・換気用パイプを金網のスクリーンで覆うことができれば、蚊は逃げなくなり、健康上の有害性を最小限に抑えられる。(文献1)</li> </ul>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堅穴の容積は少なくとも1,000 Lにする。(肛門洗浄に、葉、新聞、トイレトベーパーなどを使用する場合は平均40〜60 L/人・年、最大90 L/人・年の割合で蓄積する。)</li> <li>・形状は正方形でも長方形でも円形でもいい。土壌と地下水の条件に依存するが、深さは通常3〜5 mで巾は1〜1.5 mにする。ただし、直径が1.5 mを超えると、肺臓の危険度が増す。(文献2、5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堅穴は直径1〜1.5 m、深さ3 m以上。換気用パイプは直径110〜150 mmでトイレの屋根より300 mm以上上に出す。蟻用スクリーンは1.2〜1.5 mmのメッシュとする。(文献2)</li> </ul>
処理プロセス	土壌浸透。	土壌浸透。
電気	必要なし。	必要なし。
水道	必要なし。	必要なし。
アクセス	通常、埋め戻すので、車でのアクセスは考慮する必要なし。	通常、埋め戻すので、車でのアクセスは考慮する必要なし。
宗教的制限		
文化的慣習	糞尿が直接見える。	糞尿が直接見える。
地理的地質	土壌浸透であり、土壌の浸透のしやすさと地下水位の高さが重要である。	土壌浸透であり、土壌の浸透のしやすさと地下水位の高さが重要である。
気候	洪水により糞便が溢れ出ることがある。ピットの水位があり得る。	洪水により糞便が溢れ出ることがある。ピットの水位があり得る。
人口		
人口密度	家々が一階建てで、人口密度が低〜中の地域(1 haにつき約300人まで)では適している。(文献1)	・Pit latrineと同様と考えられる。
コスト	・建設コストには材料費(50〜80%)、輸送費(0〜25%)および労賃(15〜35%)が含まれる。ただし、実際のコストは、堅穴の容量、堅穴のライニング、スラブおよび上部構造の質、材料の地元での調達可能性、材料と労賃のローカルコストに依存する。(文献5)	70〜400US\$。材料費(60〜80%)、輸送費(5〜30%)および労賃(10〜25%)を含んでいる。ただし、実際のコストは、堅穴の容量、堅穴のライニング、スラブおよび上部構造の質、材料の地元での調達可能性、材料と労賃のローカルコストに依存する。(2003年の文献)(文献5)
水の利用	なし	なし。
必要資材	途上国での資材で建造・修理が可能。	途上国での資材で建造・修理が可能。
使用開始までの期間	建造後すぐに使用可能。	建造後すぐに使用可能。
使用法の教育の必要性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堅穴に入れてはいけないものを知らせる。</li> <li>・幼児が堅穴に落ちないように気を付けさせる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堅穴に入れてはいけないものを知らせる。</li> <li>・幼児が堅穴に落ちないように気を付けさせる。</li> <li>・転換の時まで1つの堅穴だけを使用すること、排泄物の肥料としての利用可能性、満杯の堅穴を空にする前に約2年間放置しておくことなどを知らせる。(文献5)</li> </ul>
建設・構造上の問題点	幼児の落下の危険性がある。(文献5)	幼児の落下の危険性がある。

ランニング	
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>新しい堅穴を掘るコストがかかる。</li> <li>堅穴を空にする場合、コストがかかる。</li> <li>運用は単純であり、排泄物と尿を除去するために水(および消毒剤)でスラブを定期的に清潔にする。</li> <li>臭気の高減と昆虫の制御のために、排泄口をびったり閉めることのできる蓋を備える。</li> <li>臭気と昆虫の繁殖を低減するために、灰やおがくずを堅穴に散布してもよい。他方、石、ガラス、プラスチック、ぼろなどの非生物分解性の材料は、堅穴の有効容積を減らし、機械による汲み取りを妨害する。</li> <li>毎月、スラブの割れ目と上部構造の構造上の損傷をチェックし、蓋がしっかりと合っていることを確かめ、表層水が便所から流れ出続けていることを確かめる。</li> <li>堅穴が満杯になる前に、新しい堅穴を掘る必要がある。</li> <li>古い堅穴の堆積物については、衛生の確保のために、少なくとも0.5 mの土壌で覆う必要がある。</li> <li>堆積物が約2年間分解のために放置させられた場合、堅穴は人力で空にできる。他方、堅穴が一杯で空にする必要がある場合は機械的にする。(文献5)</li> </ul>
メンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>新しい堅穴を掘るコストがかかる。</li> <li>堅穴を空にする場合、コストがかかる。</li> <li>運用は単純であり、排泄物と尿を取り除くために水と消毒剤でスラブを定期的に清潔にする。</li> <li>上部構造が内部を暗い状態で保つように、ドアは常に閉じていないなければならない。</li> <li>排泄口は、空気の流れを妨害するので、蓋をしてはならない。</li> <li>適切な肛門洗浄材は使ってもよい。他方、石、ガラス、プラスチック、ぼろなどの非生物分解性の材料は、堅穴の有効容積を減らし、機械による汲み取りを妨害するので堅穴に入れるべきではない。</li> <li>毎月、床スラブは割れ目をチェックし、換気用パイプと蠅用スクリーンは腐食や損傷を調べ、必要なら修理する。上部構造も修理が必要である(特に光漏れ)。</li> <li>雨水は便所から離れた方に流出すべきである。</li> <li>雨水が満杯になる前に、新しい堅穴を掘る必要がある。</li> <li>古い堅穴の堆積物については、衛生の確保のために、少なくとも0.5 mの土壌で覆う必要がある。</li> <li>堆積物が約2年間分解のために放置させられた場合、堅穴は人力で空にできる。他方、堅穴が一杯で空にする必要がある場合は機械的にする。(文献5)</li> </ul>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>便所を利用し、蓋を閉め、便所を清潔に保ち、便所をチェックし小さな修理を行う。容易。(文献5)</li> <li>新しい堅穴を掘り、スラブと上部構造物をずらすか、運ぶ。(文献5)</li> </ul>
利用者	容易。(文献5)
利用者作業	新しい堅穴を掘り、スラブと上部構造物をずらすか、運ぶ。(文献5)
石工	便所を作ったり修理したりする。技術力が必要。(文献5)
健康部局	便所と利用者の衛生面における行動をモニタし、利用者の衛生面における行動を訓練する。高度な資格が必要。(文献5)
衛生的問題	悪臭や蠅の発生の問題が起こりやすい。病原性微生物はあまり除去されない。
処理水質	処理水はない。
し尿、汚泥回収における公共サービス	なくても可
2次処理の必要性	なし。
使用寿命	深い堅穴だと15年、20年、30年、あるいはそれ以上利用できる。(文献2)

その他		<ul style="list-style-type: none"> <li>・非換気型の堅穴に比べ、蠅と臭気は著しく減る。</li> <li>・常時の水源を必要としない。</li> <li>・全てのタイプの使用者(sitters, squatters, washers and wipers)に適している。</li> <li>・地元で入手できる資材で建設。修理できる。</li> <li>・建設後すぐに使用できる。</li> <li>・資材と堅穴の深さによる初期コストが安い(巾はあるが)。</li> <li>・狭い土地ですむ。(文献2)</li> <li>・壊れにくく長期使用可。</li> <li>・手入れをしつかりすれば悪臭、蠅を最低限に押さえることが可能。(文献4)</li> </ul>
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地元で入手可能な資材で建設・修理できる。</li> <li>・常時の水源を必要としない。</li> <li>・建設後すぐに使用できる。</li> <li>・資材による初期コストが安い(巾はあるが)。(文献2)</li> <li>・設置コストが安く簡易。(文献4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・汚泥(堆積物)は処理およびまたは適切な処分を必要とする。</li> <li>・堅穴を空にするコストは建設コストに比べて高い。</li> <li>・BODと病原体の減少は小さい。(文献2)</li> <li>・設置コストが高い(文献4)</li> </ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通常、蠅と臭気が顕著である。</li> <li>・汚泥(堆積物)は処理およびまたは適切な処分を必要とする。</li> <li>・堅穴を空にするコストは建設コストに比べて高い。</li> <li>・BODと病原体の減少は小さい。(文献2)</li> <li>・悪臭および昆虫が発生しやすい。(文献4)</li> <li>・都市部には不適格(堅穴のスペースの確保が困難、土壌や地下水の条件、発生する臭気等)(文献4)</li> </ul>	
他のシステムへの発展		VIDP、Urine diverting dry toilet (UDDT)への改造ができる。
備考		
参考	1, 2, 4	1, 2, 4

注: 出典および参考文献の番号はデータベース用のものであり、ここでは割愛する。

### 4.3.3. 技術・システム選択支援アルゴリズムの開発

#### a) 技術・システム選択支援アルゴリズムの位置付けと基本概念

##### i. 技術・システム選択支援アルゴリズムの位置付け

技術・システム選択支援アルゴリズムは 4.3.1. で示したように、自然的・社会的制約条件とハードの持つ制約条件との整合が図れる技術・システムを選択するためのものである。ここで、整合を図るということは、具体的には、自然的・社会的制約条件から図 4-1 に示したいくつかの作業ステップを経て抽出される「適用可能なハードのための質問事項」に回答することによって、技術・システムデータベースの中から適用可能と思われる技術・システムを選び出すことになる。

##### ii. 技術・システム選択支援アルゴリズムの基本設計

図 4-2 に設計したアルゴリズムフローチャートを示す。アルゴリズムは、基本情報入力、制約条件入力及び結果表示の 3 パートで構成されている。基本情報入力パートは「①基本情報の入力」で構成され、制約条件入力パートは「②自然的・社会的制約条件の入力」、「③各種技術・システムにおける制約条件との比較及び点数化」および「④評価における採点」で構成され、結果表示パートは「⑤採点の合計、最適な処理・システムの提示」で構成されている。

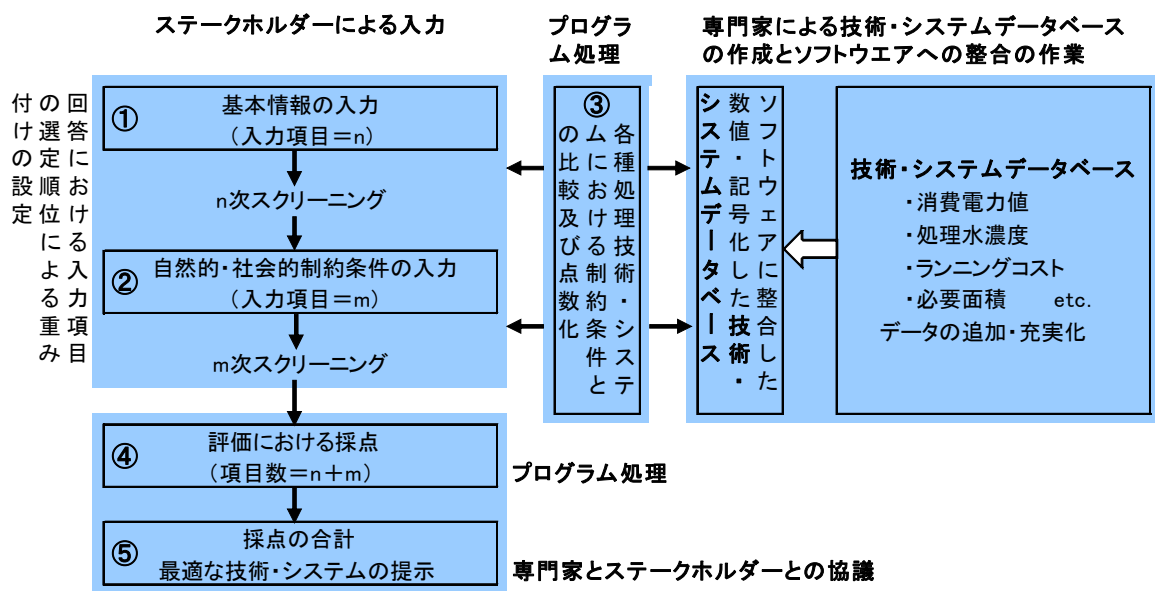


図 4-2 作成したアルゴリズムのフローチャート

各ステップについて、以下に解説する。

#### ①基本情報の入力



基本情報として、導入すべき技術・システムの対象人数、導入地域における衛生状況（平均的なトイレのレベル）、平均的な電気代・水道代の単価などを質問事項に答える形で入力する。これにより、それぞれを導入技術・システムの規模、処理レベル、ランニングコストに反映させ、全くそぐわない技術・システムを除外することで、選択アルゴリズムの選択精度の高度化と選択処理の高速化を図っている。

なお、入力データは、結果表示パートにおける、電気・水道のコスト試算、バイオガストイレにおけるガス発生量の試算などに利用されるほか、選択される結果が現在の平均的なトイレのレベルを下回らないような制限因子となる。

## ②自然的・社会的制約条件の入力

自然的・社会的制約条件の入力に際し、一度に全ての制約条件について入力すると、全ての技術・システムが排除されてしまう可能性があるため、ここでは、重要な制約条件を対象とする。このとき、定量化できる制約条件については数値を設定し、より詳細な選択ができるようにする（例：消費電力に対する電力量 kWh 等）。

なお、入力対象としない制約条件については、⑤の最適な技術・システムの提示の際に、その技術・システムに付帯情報として表記する。

## ③各種技術・システムにおける制約条件との比較及び評価

各種技術・システムにおける制約条件に設定された数値および特性と回答を比較し、それぞれの制約条件に対して点数評価する。この時、外部ファイルとして作成した技術・システムデータベースを参照することになる。この外部ファイルは、CSV ファイル等汎用性のあるファイルで作成し、新しいデータを追加しやすいようにする。

## ④評価における採点

全ての技術・システムにおける各制約条件の評価点を最高で 10 点と設定し、回答から判断してどの程度充足しているかで、各種技術・システムを採点していく。例として、技術・システムに必要な電力量を取り上げる。表 4-3 は各制約条件における充足度に対する採点と必要電力量を 1.5 kWh/日とした場合の対応電力量を示している。

表 4-3 作成したアルゴリズムのフローチャート

充足度 (%)	採点 (点)	電力量 (kWh/日)
0～ 20	0	0～0.3
20～ 40	2	0.3～0.6
40～ 60	4	0.6～0.9
60～ 80	6	0.9～1.2
80～100	8	1.2～1.5
100～	10	1.5～

例えば、1.5 kWh/日が必要であるのに 0.9 kWh/日だと装置が満足に稼働しないので採点は 0 とすべきであるが、不足分は他を節約して回すとか、不足分を補うインフラ整備を行うとかの検討も加えることを可能とするため、段階的な採点とする。

ただし、現在のアルゴリズムでは、定量的な回答を採用していないので、質問事項への回答に対する点数は、採用可能であれば10点、不可能であれば0点と設定する。

②～④については、質問事項への回答と後述するシステムのカテゴリ **Collection and Storage/Treatment** と **Discharge destination** の各技術が持つ制約条件とをすり合わせをし、合致したものについて各技術に与えた点数を加点し得点を導けるようにした。その後、3つのカテゴリの技術を組み合わせて構成される技術・システムについて採点する。なお、質問事項の設定では、ベトナム国ハノイ市とバングラデシュ国クルナ市の自然的・社会的制約条件から抽出したものを基本とした。

#### ⑤採点の合計、最適な技術・システムの提示

採点された制約条件に対する点数を技術・システム毎に合計し、それをその技術・システムの点数とする。必要に応じ、得点順に並び替え一覧を表示し、上位にくるものが選択候補となり、回答者が最終案を選択できる方式をとる。このため、選択した組み合わせについて、より詳細な情報を表示するものとした。特に、各技術・システムにおいては、文字だけでなく視覚情報も用いて説明するようにし、基本情報入力パートでインプットされたデータを基に、ランニングコストや汚泥発生予測量などを表示する。また、技術・システムを提示する際に、②で述べたように、その技術・システムに関連する自然的・社会的制約条件（宗教、文化、気候等）を付帯情報として表記する。

#### b) アルゴリズムのためのシステムのカテゴリ分け

技術・システム選択支援アルゴリズムで用いるプログラムの開発にあたって、システムを表 4-4 に示すように、**User interface**、**Collection and Storage/Treatment** および **Discharge destination** の3つに分けたカテゴリの技術の組み合わせとした。これは、例えばトイレが **Pour flush toilet** だとしても尿の受け入れ側が **Pit** であったり、**Septic tank** であったりして、既存衛生施設の様相が多様であることから、システムの構成技術を明確にすることとそれによる点数付けの明確さを確保するためである。

表 4-4 3つのカテゴリにおける技術一覧

User interface	Collection and Storage/Treatment	Discharge destination
Dry toilet	Pit	Soil (Infiltration)
Urine diverting dry toilet (UDDT)	Ventilated improved pit (VIP)	Open drain
Pour flush toilet	Composting chamber	Covered drain
Cistern flush toilet	Vault & vacuum toilet	
Pour flush toilet	Bio gas reactor	
	Septic tank	
	Anaerobic baffled reactor	
	Anaerobic filter	
	Johkasou	

### c) 質問事項の設定

技術・システム選択支援アルゴリズムは前述のように、ステークホルダーが各カテゴリに属する技術に関わる質問事項に回答することによって、これら技術の組み合わせとして定まるシステムを点数化することを基本としている。このため、適切な質問事項を設定することが基本となる。

ここでは、図 4-1 のプロセスにしたがって、自然的・社会的制約条件からこれを導いた。実際には、情報が比較的多く集められたとともに、本研究プロジェクトの特定の研究者がこれまでに深い関わりを持ち、かつ、本研究プロジェクトの活動の一つとして研究者の多くが訪問したことがあるベトナム国ハノイ市とバングラデシュ国クルナ市を対象とした。ただし、途中の具体的な作業の説明にあたっては、ハノイ市を例とした。

#### i. 自然的・社会的制約条件データフォーマット

液状廃棄物処理に直接・間接に係わると思われる地域の自然的・社会的制約条件を可能な限り洗い出し、また、海外の各地で行ったブレインストーミングの結果を KJ 法で整理する中で得られた成果を加味して表 4-5 に示す、9 章からなる自然的・社会的制約条件データフォーマットを作成した。

ベトナム国ハノイ市・ダナン市・フエ市、タイ国バンコク市、スリランカ国キャンディ市、バングラデシュ国クルナ市、ネパール国カトマンズ市、中国深圳市およびマレーシア国ジョホールバル市について、それぞれの地に詳しい海外共同研究者に調査・記入を依頼した。

多方面にわたる数多くの項目であること、それに対して、日本に比べて統計情報が十分に整えられていないことや各種情報の整備が不十分であることなどから、十分とはいえないケースもあったが、情報が収集された。

#### ii. 技術・システムの適用と選択にあたっての考慮要件の抽出

前述した理由で、上記 9 市のうちのベトナム国ハノイ市とバングラデシュ国クルナ市を対象として、表 4-6 に示す制約条件から技術・システム関連情報を抽出するためのフォーマットに情報を記入していくことによって、それぞれの地域で適用可能な技術・システムとその適用にあたっての考慮要件を抽出することを試みた。

具体的には、「制約条件がトイレおよび生活排水処理技術・システムへ及ぼす影響」について、製造・施工、運転・維持管理、汚泥処理・処分および処理水放流の 4 つの視点から、想定される事項を記入した。ついで、これらの記述情報から、「トイレおよび生活排水処理技術・システムが備えるべき要件」を抽出した。さらに、抽出された情報から、「適用可能な技術・システムとその適用にあたっての考慮要件」を抽出した。

しかしながら、表 4-7 に記入の例を示すように、得られた情報のみで適用可能な技術・システムを具体的に選択することは難しく、技術・システムの適用ならびに選択にあたっての考慮要件を抽出することになった。

ただし、この考慮要件は、選択支援アルゴリズムの実行におけるステークホルダーへの質問事項の設定に資することになった。

表 4-5 自然的・社会的制約条件データフォーマット

カテゴリ			対象地域の都市域 (全都市域、全市等)						
章	節	項	記述	指標					
				データ形式	データ	年	出典	備考	
1 自然	地理	地域の地図							
		地質学的特性	市の高度 (海拔m)						
		衛生施設のための土地利用の可能性							
		土地利用	% 市街地 % 農地 % 森林と自然地 など						
		主要河川の流量とその季節変動	河川A (m <sup>3</sup> /s) 河川B (m <sup>3</sup> /s) 河川C (m <sup>3</sup> /s)						
	気候	温度	地震						
			年平均 (°C)						
			最小月平均 (°C)						
		最大月平均 (°C)							
	降雨	年間 (mm) 最小月合計 (mm) 最大月合計 (mm)							
	つ水、サイ、 災等、ン、イ、 害の干、ク、 水ば、水ば、 水ば	洪水							
		干ばつ							
		高温							
		その他							
その他									
2 人口動態	人口	人口	人 (千人)						
		人口密度	人 (非登録人口を含む推計)						
		人口増加率	人/km <sup>2</sup> (登録または推計ベース)						
		人口増加率	人口増加率 (%、自然)						
		世帯サイズ	人/世帯						
	死	乳児死亡率(年齢≤1)	人/1000人						
		乳幼児死亡率(年齢≤5)	人/1000人						
		平均寿命	才						
	疾病	水系感染症者数							
	スラム問題		スラム人口 (人) 全人口に対するスラム人口の割合 (%)						
3 衛生施設	トイレのタイプ		Pour flush toilet Cistern flush toilet Double vault with urine diversion Double vault without urine diversion Single vault with urine diversion Single vault without urine diversion Bucket latrine						
		オンサイト処理	Septic tanks (全人口に対する%) Storage in a pit/vault (全人口に対する%) 農業利用 (%)						
4 水資源	水資源		河川 (%) 湖沼 (%) 人工ダム (%) 地下水 (%)						
	公共水道(蛇口利用)の水源のタイプ								
	生活用水用の水供給のタイプ		公共のパイプによる水供給 (給水人口) 公共のパイプによる水の利用目的 (飲用用/他の生活用途) 掘削井戸 (利用人口) 掘削井戸の利用目的 (飲用用/他の生活用途) 深度が100m以上の管井戸 (利用人口) 管井戸の利用目的 (飲用用/他の生活用途) 表流水 (利用人口) 表流水の利用目的 (飲用用/他の生活用途) 雨水 (利用人口) 雨水の利用目的 (飲用用/他の生活用途) ボトル水 (利用人口) ボトル水の利用目的 (飲用用/他の生活用途)						
地下水汚染		典型的な場所、物質、濃度 典型的な場所、物質、濃度 典型的な場所、物質、濃度							
表流水汚染		典型的な場所、物質、濃度 典型的な場所、物質、濃度 典型的な場所、物質、濃度							

5 ・インフラ・工業化	排水	下水道と排水路網	整備面積 (km <sup>2</sup> )							
			収集のタイプ (カルバート/合流管/分流管)							
			全対象地域に対する整備地域の現時点での割合 (%)							
			全対象地域に対する整備地域の将来計画での割合 (%)							
		上記将来計画の年 (年)								
		生活排水処理プラント	プラント数							
	処理プロセス (記述で)									
	現時点での全プラントでの全処理量 (m <sup>3</sup> /day)									
	工場排水処理プラント	将来計画における全プラントでの全処理能力 (m <sup>3</sup> /day)								
		上記将来計画の年 (年)								
	汚泥	汚泥処理施設 (domestic)	プラント数							
			処理プロセス (記述で)							
			現時点での全プラントでの全処理量 (m <sup>3</sup> /day)							
		汚泥収集車	将来計画における全プラントでの全処理能力 (m <sup>3</sup> /day)							
	水供給	管による水供給施設 (蛇口)	上記将来計画の年 (年)							
			公的会社の車両数 (バキューム車)							
			民間の収集							
			プラント数							
			処理プロセス (記述で)							
		管による配水システム	漏水率 (%)							
他の配水システム	料金徴収無しの水の割合 (%)									
固形廃棄物	焼却プラント	現時点での全プラントでの全処理量 (m <sup>3</sup> /day)								
		将来計画における全プラントでの全処理能力 (m <sup>3</sup> /day)								
		上記将来計画の年 (年)								
	廃棄物利用のコンポスト化施設	生産コンポスト量 (湿重量t/年)								
		1day当たりの廃棄物収集量 (t/day)								
廃棄物埋立/ダンピングサイト	現時点での浸出水処理プラントの能力 (m <sup>3</sup> /day)									
電気	安定性	廃棄物埋立/ダンピングのタイプ								
	季節変動を考慮したときの充足度									
技術上の支援	衛生関連ビジネスの利用可能性	技術者								
		工業地域	全面積 (ha)							
		工業化速度								
6 ・水の消費 / 排水と廃棄物の発生	水	消費								
		時間的変化								
		成分 (組成)	代表的な成分 (尿と尿のN、P、K、C/人・day)							
	人の排泄物	発生状況	代表的な発生量 (尿と尿の湿重量g/day、乾重量g/day)							
		量	代表的な/設計上の排水量 (L/人・day)							
	生活排水	質/成分 (組成)	代表的な成分 (SS、BOD、COD、VS、N、P)							
		時間的変化								
	工場排水	量	工場排水の全量 (m <sup>3</sup> /day)							
		時間的変化								
	廃棄物	収集	収集率 (%)							
発生状況		発生量 (湿重量g/人・day)								
成分 (組成)		含水率 (%)								
e t s (主) a e (汚) g p (泥) に	収集	有機性廃棄物量 (湿重量g/人・day)								
	成分 (組成)	公共セクターによるseptage収集量 (m <sup>3</sup> /年)								
		民間セクターによるseptage収集量 (m <sup>3</sup> /年)								
7 ・世帯の家計	世帯収入	代表的な成分 (SS、BOD、COD、VS、N、P、含水率)								
	1人当たりGDP	現地通貨/世帯・年								
	公共料金	ガス (現地通貨/m <sup>3</sup> )	現地通貨/人・年							
		ガスの種類 (管供給、LPGタンク、LNGタンク等)								
		1月当たりの電気料金 (人々が5kWh/月使用する場合の現地通貨/kWh。基本料金を含む。)								
1月当たりの水道料金 (人々が10m <sup>3</sup> /月使用する場合の現地通貨/m <sup>3</sup> 。基本料金を含む。)										
	1月当たりの下水道料金 (人々が10m <sup>3</sup> /月使用する場合の現地通貨/m <sup>3</sup> 。基本料金を含む。) もし、水道料金に比例するのなら、比率を記してください。									
	ごみ収集料金 (現地通貨/人・月)									

習 8 化・文 ・文 ・文	倫 社 理 会 的 的	宗教																		
		社会的階層 性問題																		
8 ・慣 習 ・文 化	排 社 泄 会 物 的 へ	農業への人の糞便利用に 対するタブーの有、中、無																		
		農業への排泄物利用の実際																		
	虹門洗浄のタイプ																			
	住 民 意 識	市民の意識																		
		家庭での健康保持行動																		
		衛生改善の動機付け																		
		市民の運動、キャンペーン																		
	教 育	識字率 (%)																		
		小学校レベルの教育を終了した人の割合 (%)																		
		中学校レベルの教育を終了した人の割合 (%)																		
高等学校レベルの教育を終了した人の割合 (%)																				
	大学レベルの教育を終了した人の割合 (%)																			
地域での利用																				
9 ・政 策 と モ ニ タ リ ン グ 等 の 体 制	政 策	開発と整備率増の計画																		
		財政																		
		資金																		
		法律と規則 ガイドライン																		
	モ ニ タ リ ン グ	水のモニタリングシステムの 設立状況									いくつかの代表的な水域の質 (pH, SS, BOD, COD, DO, N, P)									
		流出水のモニタリングシステ ムの設立状況									流出水の代表的な質 (SS, BOD, COD, VS, N, P)									
		生活排水・トイレの管理の組 織																		
	組 織	NGO																		

表 4-6 制約条件から技術・システム関連情報を抽出するためのフォーマット

カテゴリ			対象地域の都市域 (全都市域、全市等) 指標					制約条件がトイレおよび生活排水 処理技術・システムへ及ぼす影響				トイレおよび生 活排水処理技 術・システムが 備えるべき要 件	適用可能な技 術・システムと その適用にあ たっての考慮 要件						
章	節	項	記述	データ 形式	デー タ	年	出典	備考	製造・施工	運転・維持管 理	汚泥処理・処 分			処理水放流					
1 ・自然	地 理	地域の地図																	
		地質学的特性																	
		衛生施設のための土地利 用の可能性																	
		土地利用																	
		主要河川の流量とその季節 変動																	
	気 候	地震																	
		温度																	
		降雨																	
	つ 水、サイ 災 等の干、ハ 害 害の干、ハ 水 水ば	洪水																	
		干ばつ																	
高温																			
その他																			
2 ・人口 動 態	人 口	人口																	
		人口密度																	
		人口増加率																	
		世帯サイズ																	
	死	乳児死亡率(年齢≤1)																	
		乳幼児死亡率(年齢≤5)																	
		平均寿命																	
	疾病	水系感染症者数																	
スラム問題																			



### iii. 抽出された質問事項

表 4-7 に例示した考慮要件から、ステークホルダーから回答を得る必要があると思われる内容のものについて、質問事項を設定した。第 1 章から第 9 章までにおいて、同一質問事項が設定された場合もあるが、上位の章で設定された質問事項は下位の章では削除する形で整理した。また、今回は、オンサイト処理を想定した場合を対象とした。

表 4-8 に得られた結果を示すが、技術・システムへの係わり方を関連事項欄に、また、それらを集約した情報カテゴリを備考欄に示した。

抽出された質問事項は 70 項目になったが、これらは、「処理に係わるメイン」25 項目、「処理に係わるサブ」17 項目、「基本情報」20 項目、「汚泥収集・処理・処分」8 項目であった。「処理に係わるサブ」については、「方式決定後の適用可能性の判断用」8 項目、「方式決定後の高度化の判断用」2 項目、「個別トイレか共同トイレか」2 項目、「Septic tank 選定後の対応」2 項目、「経済成長」2 項目、「性問題」1 項目であり、「基本情報」については、「トイレ関連」5 項目、「経済性評価」4 項目、「支援システム」11 項目であった。

アルゴリズムにおける質問事項は「処理に係わるメイン」25 項目、「基本事項（トイレ関連）」5 項目と「基本情報（経済性評価）」4 項目を踏まえて作成した。他の質問事項は選択された候補の適用の可否や汚泥収集・処理・処分に係るものなどであった。



表 4-8 抽出された質問事項と関連事項および備考

	オンサイト処理を想定しての質問事項	関連事項	情報カテゴリ
1	何m掘ると地下水が出るか？	地下浸透方式の可否	処理に係わるメイン
2	設置場所はどのような土質か？(たとえば、砂質)		
3	浅い所(2~3m下)に岩盤があるか？	地下浸透の可否。地下貯留槽の設置の可否	
4	人力による汚泥収集体制はあるか？	汚泥収集前提の処理方式の可否	
5	バキューム車を汚泥収集に利用できるか？		
6	トイレシステム設置に使える土地は何m <sup>2</sup> あるか？	設置可能面積、設置場所の確保	処理に係わるサブ (方式決定後の適用可能性の判断用)
7	平屋を一部2階にするなどで、用地が確保できるか？		
8	土地が水平でない場合、水平に出来るか？		
9	盛土ができるか？	便器等の浸水防止。放流管での逆流防止	
10	年間平均気温は？	処理方式選定	
11	年間平均湿度は？		
12	年間降水量は？	雨水対応。雨水貯留利用	
13	洪水継続期間は？	盛土の必要性。電気機器等の設置位置。天日乾燥利用の可否	
14	処理対象人口は？	基本情報	基本情報 (トイレ関連)
15	外部から人の流入は予想できるか(異常な人口増)？		
16	世帯人口は？		
17	どのようなトイレを利用しているか？		
18	トイレはいくつあるか？		
19	井戸水は飲用や調理に利用しているか？	地下浸透方式の可否	処理に係わるメイン
20	収集した汚泥は農業や園芸に利用しているか？	コンポストトイレの可否	
21	利用できる生活排水処理施設はあるか？	汚水のオフサイト処理前提の処理方式の可否	
22	利用できる汚泥処理施設はあるか？	汚泥のオフサイト処理前提の処理方式の可否	
23	収集した汚泥を処分するところはあるか？		
24	共同トイレシステムを利用できるか？	共同トイレシステムの利用の可能性	処理に係わるサブ (個別か共同か)
25	共同トイレシステム利用において維持管理費徴収を含め維持管理の仕組みができるか？		
26	幼児に衛生教育を行っているか？	用便の仕方や用便後の処置。衛生・環境からのトイレへの関心	基本情報 (支援システム)
27	幼児に環境教育を行っているか？		
28	幼児を持つ母親に衛生教育を行っているか？		
29	幼児を持つ母親に環境教育を行っているか？		
30	バイオガスを利用するか？	バイオガス方式の可否	処理に係わるメイン
31	排水路や雨水排水路はあるか？	汚水のオフサイト処理前提の処理方式の可否	
32	(septic tankの非利用者)septic tankを利用したいか？	より高度なレベルの処理方式の検討	処理に係わるサブ (方式決定後の高度化の判断用)
33	(septic tankの利用者)septic tankで不満か？(より高度な方式を導入したいか？)		
34	septic tankに点検口、清掃口はあるか？	Septic tankの改善	処理に係わるサブ (Septic tank選定後の対応)
35	septic tankで改善したいところはないか？		
36	septic tankから汚泥を定期的に引抜いているか？	汚泥収集のルールの有無	汚泥収集・処理・処分
37	トイレに1日に何Lの水が使えるか？	処理方式選定	
38	断水はあるか？		処理に係わるメイン
39	毎日(何回くらい)？		
40	1週間に数回(何回くらい)？		
41	1月に数回(何回くらい)？		
42	地下水汚染は大腸菌で汚染されているか？	地下浸透方式の可否	汚泥収集のルールの有無
43	地下水汚染はアンモニアで汚染されているか？		
44	汚泥引抜体制があるか？	汚泥収集のルールの有無	汚泥収集・処理・処分
45	電気はトイレシステムに1日何 kW使えるか？。たとえば、60 Wの電灯を1日中点灯可か？	処理方式	
46	停電はあるか？		処理に係わるメイン
47	毎日(何回くらい)？		
48	1週間に数回(何回くらい)？		
49	1月に数回(何回くらい)？		
50	汚泥を収集したり処理したりする人に訓練の仕組みはあるか？	汚泥取扱人の人材養成の可否	汚泥収集・処理・処分
51	収集した汚泥はどのような処理をしているか？	汚泥処理方式選定	
52	収集した汚泥は決まった所で処分しているか？たとえば、廃棄物埋立地	汚泥の処分地の有無	
53	汚泥の処理・処分にルールはあるか？	汚泥処理・処分のルール	
54	6. 水の消費/排水と廃棄物の発生 衛生教育、環境教育システムはあるか？	衛生の確保	基本情報 (支援システム)
55	1kWh当たりの電気料金はいくらか？	処理方式	基本情報 (経済性評価)
56	1m <sup>3</sup> 当たりの水道料金はいくらか？		
57	月収はいくらか？		
58	生活排水処理に月収の何%使えるか？	処理方式	処理に係わるサブ (経済成長)
59	GNPIはいくらか？		
60	GNPの成長率はいくらか？		
61	肛門洗浄方式は何か？	処理方式	処理に係わるメイン
62	トイレ利用に性問題はありますか？	トイレ数	処理に係わるサブ(性問題)
63	排泄に宗教的タブーはあるか？	処理方式	
64	尿尿利用に宗教的タブーはあるか？	汚泥処理方式、汚泥利用	汚泥収集・処理・処分
65	基礎教育を受けた人がどの程度いるか？	人材養成の可否と容易さ	
66	トイレの維持管理の必要性を理解しているか？	維持管理	
67	生活排水処理に関しどのようなルールがあるか？	法令的制約条件の有無	
68	生活排水処理に関しどのような体制があるか？	衛生体制の有無	基本情報 (支援システム)
69	トイレを含めた衛生実態をモニタリングするシステムはあるか？	衛生の確保	
70	トイレの設置と維持管理のコストを支弁できる組織・体制はあるか？	管理体制の有無	

#### d) プログラムの開発

プログラムの開発にあたり、煩雑な設定・操作等を出来る限り排除し、可能な限りシンプルになるように心がけた。

プログラム起動時には、説明が無くても基本情報入力フェイズおよび自然的・社会的制約条件入力フェイズに進めるように設計した。また、その他のボタンやウインドウは、基本情報および自然的・社会的制約条件の入力を終えないと表示されないようになっている。すなわち、「Basic information」ボタンをアクティブにしてからの基本情報の入力および「Question」ボタンをアクティブにしてからの自然的・社会的制約条件の入力後に、初めて「Show candidate」ボタンがアクティブになる。次いで、これをクリックすることで、**図 4-3** に示すように、基本情報入力フェイズおよび自然的・社会的制約条件入力フェイズで入力された結果から導き出された技術の一覧が **User interface**、**Collection and Storage/Treatment** および **Discharge destination** の3つのカテゴリに分けて表示され、さらにそれらを組み合わせた技術・システムの一覧が表示される。

User interface	Collection and Storage/Treatment	Discharge destination	Score	Initial cost
Urine diverting dry toilet (UDDT)	Anearobic buffled reactor 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Pour flush toilet	Anearobic buffled reactor 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Urine diverting dry toilet (UDDT)	Anearobic filter 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Pour flush toilet	Septic tank 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Dry toilet	Anearobic filter 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Dry toilet	Anearobic buffled reactor 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Dry toilet	Septic tank 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Urine diverting dry toilet (UDDT)	Septic tank 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Pour flush toilet	Anearobic filter 90	Soil (Infiltration) ...	170	
Pour flush toilet	Pit 80	Soil (Infiltration) ...	160	
Pour flush toilet	Vault&vacume toilet 80	Soil (Infiltration) ...	160	

図 4-3 アルゴリズム実施結果のイメージ

技術・システム一覧では、カテゴリ毎に適用可能な技術を表示し、技術名の右側には自然的・社会的制約条件入力フェイズで入力された結果を基に、技術が導入先にどれくらいマッチしているかをスコア化し表示している。なお、技術・システム一覧では、3つのカテゴリの組み合わせにおける合計スコアが高い順に並べることが出来る。この一覧から、

より詳しい情報を確認したい場合、そのシステムの行をクリックして選択した後、「Show detail」ボタンをクリックすることで、基本情報で入力した処理対象人員数や水道代等から、必要水量、ランニングコスト等を表示することが可能である。

本プログラムは、既存アルゴリズムのように、1つの答えしか出ないものではなく、「Show detail」ボタンのクリックで見られる詳細情報により、ランニングコストが実社会に適さない場合などは、別のシステムを選択出来る特徴を持つ。また、満たしていない制約条件を表示することで、導入先の制約条件で何がどれくらい不足しているのかを把握することが可能であり、発展的である。

途上国現地での使用を想定し、将来的には、より携帯性に優れ、スラム等でも使用可能なタブレット PC の活用や、web アプリケーションとしてホームページ上に公開し、使用先の PC 環境に依存しないプラットフォームでのプログラム開発を予定している。

#### e) プログラムの適用

海外共同研究者においてアルゴリズムを試用した結果、ベトナム国では、ダナン市都市部で Cistern flush toilet-Septic tank-Covered drain が、郊外部で Low flush toilet-Biogas reactor-Soil infiltration も高得点なシステムの1つであった。

ダナン市都市部の結果を図 4-4 に示す。

1回のトイレフラッシュに 8 L 以上の水を使用できることから、User interface として Cistern flush toilet も選択された。また、User interface が Cistern flush toilet で、かつ衛生関連企業および汚泥回収サービスが存在し、雑排水の処理も希望していることから Collection and Storage/Treatment では Septic tank が上位に選ばれた。一方で、電力インフラについて、停電が起きるという背景から日本の浄化槽は Septic tank よりも下位に位置した。この停電の問題が解決され、イニシャルコストとランニングコストが高くなければ、浄化槽が適用可能であることが伺えた。Discharge destination では既に下水道のような地下配管があるとのことから、これを利用して、近隣の河川や湖沼に排出できると考え、Covered drain が選択された。排出先の水環境状況により、末端に簡易な污水处理システム（例えば、人工湿地等）を組み込むことで、より安定した河川水質が得られると考えられる。

Form1

File(E) Setting

Basic information Question Show candidate (updating)

User interface  
Cistern flush toilet  
Low flush toilet  
Pour flush toilet

Collection and Storage/Treatment  
Anearobic filter 110  
Anearobic buffled reactor 110  
Septic tank 110  
Johkasou 100  
Bio gas reactor 100

Discharge destination  
Soil (Infiltration) 90  
Covered drain 100

	User interface	Collection and Storage/Treatment	Discharge destination	Score	Initial cost
	Low flush toilet	Anearobic filter 110	Covered drain 100	210	
	Pour flush toilet	Anearobic filter 110	Covered drain 100	210	
	Cistern flush toilet	Anearobic filter 110	Covered drain 100	210	
	Pour flush toilet	Septic tank 110	Covered drain 100	210	
	Low flush toilet	Anearobic buffled reactor 110	Covered drain 100	210	
	Pour flush toilet	Anearobic buffled reactor 110	Covered drain 100	210	
	Cistern flush toilet	Septic tank 110	Covered drain 100	210	
	Cistern flush toilet	Anearobic buffled reactor 110	Covered drain 100	210	
	Low flush toilet	Septic tank 110	Covered drain 100	210	
	Cistern flush toilet	Bio gas reactor 100	Covered drain 100	200	
	Cistern flush toilet	Johkasou 100	Covered drain 100	200	

Show detail

図 4-4 ダナン市都市部における結果一覧

ダナン市郊外部の結果を図 4-5 に示す。

Form1

File(E) Setting

Basic information Question Show candidate (updating)

User interface  
Cistern flush toilet  
Low flush toilet  
Pour flush toilet  
Urine diverting dry toilet (UDDT)  
Dry toilet

Collection and Storage/Treatment  
Bio gas reactor 100  
Anearobic filter 90  
Anearobic buffled reactor 90  
Septic tank 90  
Composting chamber 90  
Vetilated improved pit(VIP) 90  
Pit 90  
Johkasou 80

Discharge destination  
Soil (Infiltration) 90

	User interface	Collection and Storage/Treatment	Discharge destination	Score	Initial cost
	Pour flush toilet	Bio gas reactor 100	Soil (Infiltration) 90	190	
	Low flush toilet	Bio gas reactor 100	Soil (Infiltration) 90	190	
	Urine diverting dry toilet (UDDT)	Bio gas reactor 100	Soil (Infiltration) 90	190	
	Dry toilet	Bio gas reactor 100	Soil (Infiltration) 90	190	
	Cistern flush toilet	Bio gas reactor 100	Soil (Infiltration) 90	190	
	Cistern flush toilet	Anearobic buffled reactor 90	Soil (Infiltration) 90	180	
	Pour flush toilet	Pit 90	Soil (Infiltration) 90	180	
	Low flush toilet	Composting chamber 90	Soil (Infiltration) 90	180	
	Low flush toilet	Septic tank 90	Soil (Infiltration) 90	180	
	Pour flush toilet	Vetilated improved pit(VIP) 90	Soil (Infiltration) 90	180	
	Cistern flush toilet	Vetilated improved pit(VIP) 90	Soil (Infiltration) 90	180	

Show detail

図 4-5 ダナン市郊外部における結果一覧

郊外部でも、1回のトイレフラッシュに8 L以上の水が使用できるため Cistern flush toilet が選択されたが、Collection and Storage/Treatment では汚泥回収サービスが存在しないことから Biogas reactor が上位に位置した。また、Discharge destination では既存の排水路等が存在しないため、Soil infiltration が選択された。ただし、Cistern flush toilet ではフラッシュ用の水が Biogas reactor に流入してしまい、反応効率の低下等を招いてしまう危険性がある。このため、Biogas reactor のシステムにおいては Pour flush toilet や Low flush toilet を用いて水の流入を極力抑え、また、派生する排水も一定の処理を行った後、その処理水を土壤浸透させるなど、処理効率と排水処理までをまとめた1つのパッケージとして考える必要がある。この部分については、今後改良の必要があると考えられる。

今回得られた結果は、対象地域の社会情勢、インフラ等の現状に適合した結果であり、プログラムを使用したカウンターパートからは妥当な結果であると評価された。

#### 4.3.4. 液状廃棄物処理対策に関する日本の経験のまとめ

わが国の液状廃棄物の処理における技術・システムについて、第二次世界大戦後の変遷におけるエポック的な事象を時期、社会的状況とともに整理すると、図 4-6 のようになる。このうちで、浄化槽、し尿処理施設、下水道の変遷については、それぞれのシステムの概要とともに、平成 22 (2010) 年度の報告書に詳述している。

戦前にはし尿は貯留・収集して広く農業利用がなされた一方で、水洗便所の利用を支えるものとして公共下水道と単独処理浄化槽が利用され始めている。

昭和 20 (1945) 年代の終わりからし尿処理施設の利用が始められるが、ここでは貯留され汲み取られたし尿と浄化槽を始めとする非下水道施設からの汚泥を受け入れており、現在では、後者の割合が大きい施設が増えている。また、水洗便所排水あるいはこれを含んだ生活排水のオンサイト処理技術として単独処理浄化槽あるいは合併処理浄化槽が適用されている。

このような状況の下、本研究の対象とする地域における液状廃棄物処理対策に資するとされる日本の経験を整理することを主たる目的として、表 4-9 に調査内容を示すヒアリングと表 4-10 に概要を示す調査内容に関連する施設等の見学を実施した。

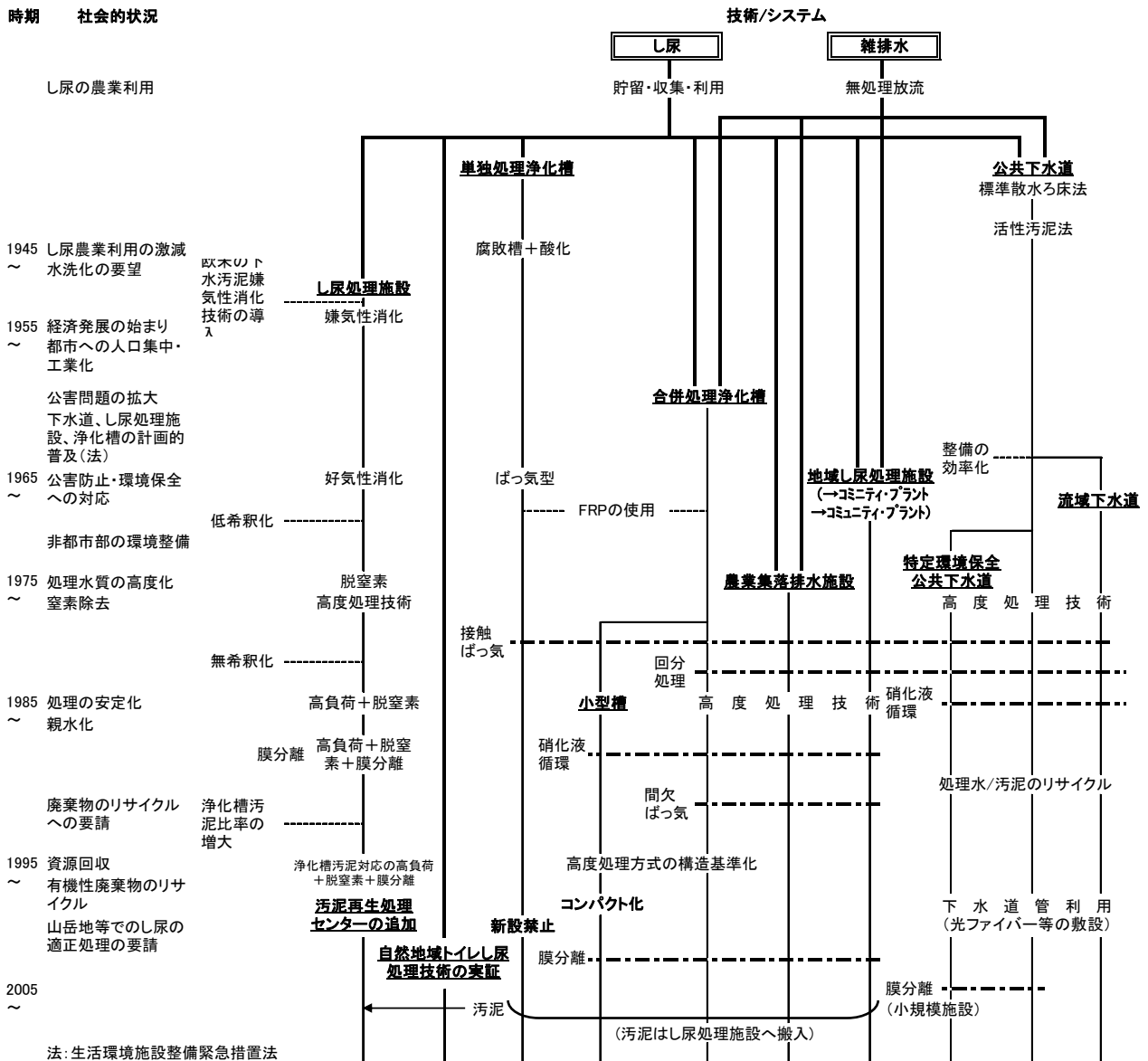


図 4-6 わが国の液状廃棄物（し尿と雑排水）の処理における技術/システムの変遷

表 4-9 調査を実施した県名，ヒアリング対象者所属団体および調査内容

道府県名	ヒアリング対象者所属団体	調査内容
北海道	北海道厚真(あつま)町役場	権限移譲を受けた市町村における浄化槽の設置、保守点検、清掃、法定検査までの町の関与との道庁との連携
	北海道庁 北海道浄化槽協会	浄化槽事務を道から市町村へ権限移譲を行った経過、実施した結果における成果と課題
岩手県	岩手県紫波町役場 岩手県浄化槽協会 (岩手県浄化槽検査センター)	MIX事業に着目し、屋間距離が100 m以上離れている場合には、浄化槽をPFI事業により設置から維持管理までを実施しているが、そこに至る経過、実施した成果等
宮城県	(株)新興	有機性廃棄物、生ごみ、液状廃棄物等を372 t/日で受入計画したバイオガス化、コンポスト化のプラントの視察および初期立ち上げ、今後の方針等
	宮城県生活環境事業協会	創生期のし尿収集から浄化槽の設置が進む過程における清掃の歴史の一端のヒアリングおよび東日本大震災の直撃を受けた実態と現状
福島県	県北地区浄化槽管理協会	一括契約システムの導入時の経緯と課題、濃縮車大量(一施設に13台、現在15台)導入の経緯と課題および効果
	伊達地方衛生処理組合	濃縮車大量導入に伴うし尿処理施設の処理機能への影響と対策および濃縮車導入を前提とした汚泥再生処理センター建設の状況と運転状況等
	いわき市環境整備事業協同組合	し尿処理、清掃業の創世記の状況、保守点検と清掃の一括一本化の導入および濃縮車開発の経緯と課題等
富山県	(社)富山県浄化槽協会	協会が設立された経緯、浄化槽の維持管理を徹底するための方策、法定検査へのBOD検査の導入の考え方、検査料金の集金システムの効率化、農業集落の戸建住宅にディスポーザーを導入した経緯と農業集落排水施設への影響等
長野県	伊那中央衛生センター	(SiとMg等の)ミネラルを投入し、間欠ばつ気運転を行って細菌相をバチルス化したし尿処理施設のこれまでの経緯、臭気抑制効果の実態
	(株)公害技術センター	生活雑排水が未処理放流の時代、一早く雑排水専用処理装置を設置した経緯とその効果、加えて汚泥処理の経緯と今後の課題
	湯浅産業(株)	有機性汚泥(雑排水槽汚泥を含む)や食品廃棄物の堆肥化を実施してきた経緯、生産した堆肥の特性、流通、堆肥利用者との連携方法、堆肥流通の課題
岐阜県	(財)岐阜県環境管理技術センター 岐阜県環境整備事業協同組合	浄化槽ラクラケー一括契約が成立するまでの経緯、工事業者、保守点検業者、清掃業者の連携、市町村および住民との信頼関係の構築と法定検査の徹底等
	岐阜市上下水道事業部	下水道の取り組みにおける歴史的な経緯および汚泥処理過程からのリン回収導入事業の推進と今後の展望等
	神戸町役場建設部	汚泥の炭化に係る実証試験から実用化への取り組み状況および清掃業界として炭化処理導入と今後の展開等
大阪府	(社)大阪府環境水質指導協会	富田林市における浄化槽設置に係るPFI事業導入の経緯、流域下水道の認可区域との調整、住民への啓発並びに説明会の開催、本事業実施前後の水質変化並びに水環境保全への効果とその検証等
	大阪府庁 富田林市役所	牽引者としての市長の方針、行政上の調整に係る苦労、下水道と浄化槽のコスト比較の方法、SPCの範囲とSPCの役割、設置にあたっての道路下埋設、浄化槽の放流水質の実態、河川の水質改善の効果等
香川県	(社)香川県浄化槽センター	昭和62年浄化槽への国の補助制度が始まった当初から浄化槽を推進した旧寒川町の経緯、その後の状況および現在の取り組み状況等
	(株)四電技術コンサルタント	雑排水専用処理として開発された傾斜土槽法の開発経緯とその後の普及状況および課題と今後の展開等
鹿児島県	(有)南薩東京社	し尿処理から浄化槽への転換期の状況と浄化槽汚泥濃縮車導入の経緯さらにリサイクル事業の推進等
	(有)始良衛生	農業集落排水処理施設からの汚泥のリサイクル、一般ごみのリサイクルの推進、バイオマス液体燃料化等
沖縄県	竹富町役場商工観光課 (株)ミカサ	多くの観光客が訪れるカイジ浜に太陽光発電利用のエコトイレを導入した経緯、沖縄の気象条件と太陽光発電の状況および排水処理設備の運転状況、その結果から見た自然環境の近い東南アジアにおけるエコトイレ導入の可能性・方策等
	(社)沖縄県環境整備協会	協会が設立された経緯、離島が多く存在する地域における浄化槽の保守点検、清掃および汚泥の処分の状況、法定検査の実施方法、新しい浄化槽への対応に係る課題等

表 4-10 見学を実施した県名、見学先および概要

道府県名	見学先	概要
宮城県	(株)新興のバイオガス化プラント	受入れ有機性廃棄物は、生ごみ160 t/日、液状廃棄物 200 t/日、その他を含めて372 t/日の計画である。最終的に、3槽のメタン発酵槽、2基のコンポスト化施設、2基の400 kWガス発電機が稼働予定である。訪問時は、各施設ともに立ち上げ段階であった。受入設備における分別が重要であり、人手による選別も併用していた。試算では利益が出る予定であるが、廃棄物の確保、コンポストの販売等、今後に解決が期待される課題がある。
福島県	伊達地方衛生処理組合のし尿処理施設	処理能力200 kL/日の旧施設において、浄化槽汚泥の受入制限を実施して処理機能を維持してきたが、濃縮車を導入したことによって搬入汚泥量を減少させ、制限を撤廃した。その後、日本で初めての濃縮車による浄化槽汚泥の前処理を前提とした膜分離高負荷脱窒素処理(処理能力85 kL/日)が建設され、資源化は助燃剤化が採用されていた。
富山県	立山一ノ越の自然地域トイレ	標高2,700 mの山岳地の公衆トイレ用にし尿処理装置(沈殿分離槽と土壌処理の組合せ)が設置された。冬季には閉鎖になるが夏のピークには大勢が利用する施設における概況を調査した。処理水をトイレ洗浄水に利用するためのポンプ稼働には太陽光発電を利用しているが、土壌処理を利用することでほとんど無動力で運転している。
長野県	伊那中央衛生センターのし尿処理施設	臭気対策が課題のし尿処理施設において、ミネラル(SiやMg)を添加することによって細菌相でバチルス属が優占化し、その結果、前処理設備からも臭気がほとんど感知されなくなった。
	雑排水槽の清掃現場	生活雑排水処理を単独で処理する装置(200~500 L程度)が普及し、家庭用の定期清掃は2月に1回実施されている。本雑排水槽の汚泥は通常バキューム車で搬出していたが、濃度が薄い事から濃縮車により高濃度化してし尿処理施設に搬入した。その他、バキューム車により雑排水槽汚泥の専用処理施設において処理されている。
	雑排水槽汚泥処理施設	雑排水槽の汚泥をバキューム車で搬出し、前処理、活性汚泥処理して地下浸透放流されていた。
	湯浅産業(株)の堆肥化工場	雑排水槽汚泥、浄化槽汚泥、脱水汚泥、食品廃棄物等を受け入れて堆肥化が行われていた。希薄な汚泥については、脱水後堆肥化装置へ投入している。滞留日数は14日間としている。堆肥は長野県内での消費が多いが、使用しない時期には海外へ輸出している。有機肥料としてのニーズの高まりやその他の有効利用が期待される。
岐阜県	(社)日本環境管理センターの炭化施設	農業集落排水施設、特環下水道の余剰汚泥を脱水後(常設の脱水機または移動脱水車)、これらを集約して、汚泥の乾燥、炭化を行っている。施設ごとに汚泥の性状が異なり、運転条件の調整や臭気対策にも注意が必要である。
	神戸町の浄化槽汚泥炭化施設	神戸浄化センターに併設して汚泥の炭化装置が設置されている。試運転が終了し実用段階に入った。今後は、炭化汚泥の利用用途の開拓が課題である。
大阪府	富田林市のPFI事業地区	平成17年から事業を開始し、平成22年までで98.9%が達成された。SPCが行政に代わって事業の説明を行ってきており、行政としては人件費の削減に繋がっている。設置にあたっては、道路下埋設浄化槽もみられ、効率的な設置が試みられている。住宅周辺の水路や河川環境は以前に比べ格段に向上している。
香川県	(株)四電技術コンサルタントの関与した傾斜土槽施設	家庭の流しからの排水を排水先で無動力で処理する傾斜土槽法(鹿沼土等の担体利用)が40~50ヶ所に導入されている。処理水を庭の撒水に利用している家庭では、上水使用量の削減が実感されている。なお、本装置が一般化されるためには、支援体制整備、啓発等の課題が残っている。
鹿児島県	(有)南薩東京社の濃縮車利用現場	浄化槽の増加に伴い清掃汚泥がし尿処理施設で投入制限されたため、濃縮車を導入し投入汚泥量の削減を図った。現在は、バキューム車、濃縮車が併走して作業を行い、その後、漲り水を積載した給水車が水張りを行って効率化を図っている。
	(有)南薩東京社のリサイクル施設	ごみのリサイクル事業を手掛け、地域住民への啓発、利益の市へ還元等を行って、ごみ15品目のリサイクル率は90%以上である。なお、事業系生ごみはJAの堆肥化施設へ搬入している。
	始良町の農業集落排水施設	連続流入間欠ばっ気方式の農業集落排水施設であり、ここから発生する汚泥は乾燥、コンポスト化を行っている。
	(有)始良衛生のリサイクル施設	市長の牽引で開始したごみのリサイクルであるが、リサイクルのインセンティブを高めるため、回収量換算で各地区にkg当たり6円を還元している。リサイクルセンターは多くの見学者を迎え、ほとんど臭気も感じず、リサイクル率は99%以上でA評価を受けている。
沖縄県	竹富島の自然地域トイレ	観光客が極めて多い竹富島にあるカイジ浜(星の砂で有名)にはトイレがなかった。環境省の技術実証事業でバイオトイレを設置した。電源が無いため、太陽光パネルによる発電を行って処理が行われている。利用者には好評であったが、台風に対する風対策、雨天対策としてバッテリー容量の確保等が課題であった。



以下、これらのヒアリングと見学の成果を踏まえて、いくつかの項目について、国内の状況とそれを踏まえての途上国への適用に分けて情報を整理する。

## a) 保守点検・清掃関係業者の組織化と法体系の整備

### 1) 国内の状況

し尿は汲取り、生活雑排水は垂れ流しの昭和 20～30（1945～1955）年代において、し尿収集業務が開始されたが、山林や田畑等へ投入されていた。収集業者の乱立・競争の激化があったが、清掃法（廃棄物処理法の前身）が整備され、し尿処理施設の建設とともに、収集業務が市町村の直営、委託、許可等で運営されることとなった。

一方、浄化槽では、昭和 34（1959）年に構造基準、昭和 35（1960）年に容量算定基準（JIS A 3302-1960）が示された。また、単独処理浄化槽が増え始めたことに対応して、昭和 41（1966）年から浄化槽管理技術者（保守点検コース）の資格制度が開始された。昭和 44（1969）年に先の構造基準および JIS が全面的に改定され、単独処理浄化槽が本格的に普及し始めた。浄化槽から発生する汚泥の処理に対しては、昭和 46（1971）年から浄化槽管理技術者（清掃コース）の養成体制が整備され、また、保守点検と清掃の一括・一本化が進んだ。この間、浄化槽の施工に関し、不適切な工事が多かったことから、昭和 47（1972）年には浄化槽施工士の講習会が開始された。

その後も浄化槽の普及が進み、社会的にも法整備の必要性から昭和 58（1983）年に浄化槽法が公布され、国家資格者としての浄化槽設備士、浄化槽管理士が誕生した。

このように、汲取り便所から水洗便所への流れがあり、その間に汚泥の取り扱いや工事において不適切さが横行したことから、行政指導の下で民間企業の組織化が進み、市町村、都道府県、全国へと組織化が進み、これらの業界の要請を受けた形で議員立法として浄化槽法が制定された。

### 2) 途上国への適用

都市部郊外では、し尿の処理が中心で進んでいくと考えられ、結果として汚泥（ここでは、汚物の段階のものも含める）の処理の課題が発生することになる。汚泥の処理が住民側からの要請か行政側からの指導によるかにかかわらず、現段階では収集・運搬と処理・処分が不十分な状況にある。

当面、汚泥処理設備の充実を図りながら、汚泥の収集・運搬に係る業者の育成に努めることが必要と考えられる。経済成長が見込まれる状況であれば、収集・運搬の費用も住民が負担できるようになり、業者も企業として成り立っていくことが期待される。例えば、アフリカのベナン国では、大型のバキューム車で腐敗タンクからの汚泥を収集する事例があり、それを行う企業は地元の優良企業として成立している。ただし、汚泥は国際協力によって造られた広大なポンドで処理されており、このような協力は不可欠であると考えられる。

## b) オンサイト技術（小型合併処理浄化槽や農業集落排水施設）

### 1) 国内の状況

単独処理浄化槽は普及していったものの、生活雑排水の垂れ流しは続くことになり、工場排水の規制強化にともなって水環境汚濁に生活雑排水が大きく影響していることが指摘され始めた。その対策として、一部の地域で雑排水専用処理が進んだが、昭和 58（1983）年には戸建て住宅用の小型合併処理浄化槽が開発され、昭和 62（1987）年から設置への補助が開始された。

小型合併処理浄化槽の普及促進にあたっては、牽引者としての市町村長、行政担当者が住民説明に奔走し、下地を築いた。また、農山村では下水道の普及が困難な状況から、集落単位で排水処理を行う農業集落排水施設（その他に漁業集落排水施設、林業集落排水施設）が整備されていった。

小型合併処理浄化槽の場合、個人で設置する場合の補助に加え、公共事業として市町村が設置するものが進展している。後者の場合には、設置者から使用料を徴収する形で運営されている。

下水道の普及が困難な地域ほど、このようなシステムで設置されることが必要であり、短期間で設置でき、水環境保全への速やかな貢献が期待される。ただし、このような小規模分散型システムが機能するためには、保守点検と清掃に加え、性能の検査制度等の維持管理体制の整備が不可欠である。

### 2) 途上国への適用

日本におけるオンサイト技術は、ほとんどが電気を使うシステムであり、また、その技術は高度なものであることから、高度な維持管理技術が求められる。さらに、処理対象物質として、BOD に加え窒素やリンが付加された結果、より高度な維持管理技術も求められる。

一方、途上国においては、これらの技術がそのまま適用でき、維持管理の対応も可能な施設は、公共施設や病院などに限られると考えられるものの、富裕層をターゲットとした住宅建設が進んでいる中、一部で浄化槽が適用されている例もある。いずれの場合においても、初期段階において所期の性能が得られても、継続した性能の安定化を求めるためには、維持管理面の強化が不可欠である。

オンサイト技術が適用されるために、部材の調達、セット型の装置であれば工場での生産、現場施工型であれば設計・施工において、メーカーと工事業者の育成が必要となる。日本国内においては、市場ニーズに対応してメーカーが自己努力で生産体制を構築してきた。一方、施工については現在でも不適正な例が見つかることもある。途上国における配管設備、本体工事等を見ても、レンガを組み上げる工事が多く、これに係る基準等の法整備も必要となる。

このようなことを考慮すると、当面、高度な技術が求められるオンサイト技術の適用は、モデル都市等で社会実験的に適用していくことも一方策と考えられる。

## c) 雑排水の別処理（生活排水処理施設）

### 1) 国内の状況

水環境汚濁の主要因が生活雑排水であることが指摘され、地域によっては雑排水処理槽が数多く普及した。300 L 程度と比較的小さな装置であるため、油分や固形物の除去が主なものであった。その機能を維持するためには2ヶ月に1度はバキューム車で引き抜かなければならず、先に示した維持管理システムが機能しなければ性能を維持することができない。

一方、生活雑排水を対象として開発された傾斜土槽法は、土の特性と微生物を活用した処理として、限られた地域での適用であるが効果を発揮している。ただし、定期的な土の入れ替え等の対応も必要であり、これについても維持管理体制が不可欠である。

### 2) 途上国への適用

途上国における現状を考慮すると、生活排水すべてを対象とした処理施設を導入することは容易ではなく、生活雑排水処理は後回しになると想定される。しかしながら、これが必要と考えられた場合にはおいては、ここに示した技術の適用は一定程度有効な方策になるものと考えられる。

## d) PFI による浄化槽普及

### 1) 国内の状況

小型合併処理浄化槽の推進に際し、個人設置で導入する場合にも啓発、手続き等で市町村の関与は大きい。市町村が整備する場合にはさらに担当者の役割、負担は大きなものであった。その点、民間の資金導入と市町村関与を軽減する PFI 事業の導入は大きな成果が得られている。浄化槽に関する PFI 事業は全国 12 ヶ所で推進されている。

事業計画、可能性調査、PFI 事業者選定へと段階が進んでいくが、その過程で住民への説明、民間事業者の募集と公平性を保ちつつ推進していく等の課題も報告されている。

今後とも、PFI 事業には期待が大きい。これまでの知見を整理しさらなる効率化が求められる。

### 2) 途上国への適用

途上国においては、民間事業者の育成とともに市町村における事業推進計画等が不可欠である。現段階では、自治体の財政評価や民間事業者の動向調査が重要であり、整備に係る経済的評価によって民間企業が参入するメリットが得られるような共通意識を構築していくことが必要である。

## e) 自然地域トイレし尿処理

### 1) 国内の状況

自然地域、特に山岳地では、登山者の増加に対応したトイレ整備が追い付かず、自然が汚染され沢水に大腸菌や硝酸が検出される等、し尿による影響が指摘されてきた。山岳地には商用の電気が無いことから、トイレ整備を行ってもし尿の処理に必要なエネルギーが

無い場合が多い。それへの対応の例として、腐敗タンク（酵素剤による可溶化促進）と土壌処理による方式が適用されていた場合がある。

一方、山小屋で自家発電機によって電力を得ている場合には、その電力によって一般的な汚水処理や動力を必要とする木質材を利用した処理技術が適用されている。また、電力を得る方法として自然エネルギーを活用する例もみられる。

いずれの場合も非放流を原則としており、人間が排泄した分が溜まっていくため、定期的な引抜きが必要である。なお、木質材利用の場合には、水分の蒸発によって塩分が蓄積され、また、木質材の保水能力等の処理能力が低下するので、交換が必要となる。

## 2) 途上国への適用

非放流を原則として適用されたものであるが、その技術を放流型として活用することは十分に可能である。特に電力を用いないシステムは、十分な土地の面積を活用することで効果を発揮することができる。一方、自然エネルギーを確保できる地域では、それを活用した排水処理も可能であるが、経済的な事情が許す状況になって初めて適用可能なものになると考えられる。

### f) 汚泥処理・リサイクル

#### 1) 国内の状況

し尿や浄化槽汚泥の収集に際しては、通常バキューム車が用いられる。それらを処理するし尿処理施設は、放流水質が生活排水処理施設と同等以上の性能を有する。この施設は全国に約 1,000 ヶ所設けられ、地域ごとに処理が行われている。そこに適用された技術は極めて高度なものであり、世界的にも例を見ない。

しかし、昭和 29（1954）年から運転され始めたし尿処理施設は、2代目であったとしても老朽化が進み更新の時期にきている。一方、浄化槽の普及に伴う汚泥量の増加に対応が困難となり、受入制限が行われてきた。その対策として、汚泥減容と水リサイクルが可能な濃縮車が開発された。これによって、浄化槽汚泥収集・運搬の効率化、エネルギー消費量の削減、炭酸ガス排出量の削減が実現され、施設の更新の際に前処理設備として導入することで、施設の縮小に伴う建設費、維持管理費の削減にも貢献している。

平成 8（1996）年度から整備が始められた汚泥再生処理センターでは、コンポスト化、炭化、ガス回収、リン回収等が進められ、資源循環に貢献している。このような資源化の動きは、下水道の分野および民間企業においても進行しており、例えば、製造されたコンポストは農地へ還元されているが、大手ホテル等では契約農家と提携し、得られた農作物をホテルのレストランで活用する等の付加価値を高める努力がなされている。また、炭化物では、少ない量では土地改良剤への活用、大量の場合には火力発電所の燃料として活用され始めている。

#### 2) 途上国への適用

し尿処理技術を適用した場合には、使用後に必然的に発生する汚泥の処理の問題が発生する。その汚泥処理に日本で培われた汚泥処理技術を導入することは、容易ではない。こ

れまで途上国に多く見られるものは汚泥処理用のポンドであり、維持管理面においても有利と考えられる。ただし、未だこのポンド等の汚泥処理が構築されていないような地域では、バキューム車の整備も十分とはいえない。汚泥処理には収集・運搬が前提になるが、これまでに途上国で見られたバキューム車は外エンジンタイプやホースリールが無い手巻き式が多く、この点についての効率化も望まれる。なお、バキューム車を整備し汚泥収集・運搬能力を高めることと、汚泥処理施設を建設することとは連動しないと、収集した汚泥の不法投棄が懸念されるので、一般廃棄物の処理をつかさどる責任（日本では市町村長に責任がある）の明確化が必要であり、行政関与が不可欠である。

#### 4.4. 結論

液状廃棄物管理のためのツールとして、主としてインターネットを通して得られたプロジェクト報告書等の情報を基に、既存の技術・システムのデータベース化を行った。これには、日本の浄化槽や自然地域トイレも含めた。また、このデータベースと、海外共同研究者が記入したベトナム国ハノイ市とバングラデシュ国クルナ市の自然的・社会的制約条件フォーマットの情報を基にして抽出したステークホルダーへの質問事項を利用して、技術・システム選択支援アルゴリズムを開発した。

開発したアルゴリズムは既存のアルゴリズムのような答えが1つしか出ないものと異なり、複数の回答を提示することが可能であり、ステークホルダー側の要望等（水洗化等）にも柔軟に対応できるものとなった。その結果の妥当性については、各国の現状にマッチした技術・システムが選び出されており、アルゴリズムとして一定の完成を見せたと考えられる。将来的には、さらなるデータ収集を行い、より高精度でよりフレキシビリティなアルゴリズムの構築を目指す予定である。

また、適切な液状廃棄物処理対策を進めるにあたって資するよう、先行する日本の経験をまとめた。日本国内で培われた水洗便所排水の処理技術は、単独処理浄化槽から窒素やリンまでも処理対象とする高度処理型の小型合併処理浄化槽も見られるまでに発展し、し尿や浄化槽汚泥の処理技術についても日本独特の発展を遂げた。この背景には、それらを支える法体系の整備の他、施設の設置から維持管理、し尿や浄化槽汚泥の処理に係るシステムの構築や技術者の養成が不可欠であった。また、それらを牽引する先達が、大きな推進力になった。

このようなことを考えると、日本の技術を容易に移転することはできないが、一方で、開発した技術・システム選択支援アルゴリズムをさらに改良して実地で活用するとともに、他方で、日本で得られた経験、すなわち上述の法整備、システムの構築、技術者養成、リーダーの必要性の他、社会的な衛生観念の醸成、行政関与、民間企業の育成などを伝えることは可能であろう。

## 謝辞

研究の遂行にあたり、(財)日本環境整備教育センターの久川和彦、小川浩（現在、富士常葉大学）、矢橋毅、加藤裕之、濱中俊輔並びに(独)国立環境研究所の徐開欽の各氏には多大な支援をいただいた。記して感謝いたします。

## 参考文献

- ・ 海外環境協力センター（2004）(社)海外環境協力センターにおける平成16年度浄化槽システム技術移転調査事業の会議資料，海外環境協力センター.
- ・ 日本下水道協会（1997）途上国下水道整備マスタープラン策定支援指針（案），日本下水道協会.

## 5. アルゴリズムに基づく技術選択とその妥当性・有効性

海外共同研究者と共にハノイ、ダナン、カトマンズ、クルナを例にアルゴリズムを試用した結果、それぞれの現状に適合した技術が選択されたため、本アルゴリズムは妥当と考えられた。より詳細な検討のため、重点都市調査を行ったハノイ・郊外集落およびクルナ・スラム地区を対象に適用し、適用結果の評価を行うと共に、アルゴリズムの有効性およびその改善点などについて検討した。

### 5.1. アルゴリズムの適用

#### 5.1.1. ハノイ市郊外集落の例

ハノイ市郊外集落の条件としてアルゴリズムに入力したデータを表 5-1 に示す。

表 5-1 アルゴリズムに入力したハノイ市郊外集落のデータ

制約条件分類	項目	ベトナム	ベトナム
		ハノイ・郊外1	ハノイ・郊外2
人口動態	トイレ1基の利用人数	4	4
	世帯数	200	200
	人口密度(人/Ha)	800	800
経済状況 (コスト)	電気代(\$/kw)	0.3	0.3
	水道代(\$/L)	0.2	0.2
	平均世帯収入(\$/year)	120	120
衛生設備	便器	注水式水洗	槽型トイレ
	処理・貯留設備	なし	無水処理槽 (コンポスト利用)
自然	排水先	庭や家屋周辺	排水無し
	地下水位	10	
	地盤の透水性は十分か?	Yes	Yes
	地下2m以内に岩盤は存在するか(ピット設置の困難さ)?	No	No
	衛生設備のための土地は確保できるか?	Yes	Yes
	洪水が起こりやすい地域か?	No	No
水供給	一度の水洗に何Lの水を使用可能か?	8	8
	水量に季節変動はあるか?	Yes	Yes
	地下水を飲料あるいは調理用に利用するか?	No	No
インフラ	汚泥引抜システムは存在するか(手作業も含め)?	No	No
	バキュームカーは確保できるか?	No	No
	停電は発生するか?	Yes	Yes
	衛生関係の業者は存在するか?	Yes	Yes
	訓練された衛生技術者はいるか?あるいは教育できる状況か?	Yes	Yes
	経済状況 (支払い能力)	月収の何%を衛生設備に利用できるか(維持管理)?	2
	年収の何%を衛生設備に利用できるか(設備)?	10	10
	GNP成長年率(%)	10	10
文化・慣習	衛生設備に関する性差は存在するか?	No	No
	肛門洗浄の方法	紙と水	紙と水
その他	グレイウォーター処理の需要の有無	Yes	Yes
	コンポストの需要の有無	Yes	Yes

当該地域では、多くの住民はトイレを所有しており、それらは主に注水式水洗トイレと便槽式トイレ（灰散布式ドライトイレ）である。前者の多くは腐敗槽に接続されるものが少なく、その多くは単純な升などを経て未処理で水路などに放流される。一方、後者はベトナム北部の伝統的な循環型トイレで、便には排泄後に灰を散布し、数か月の貯留の後に農業利用し、尿は液肥として多くは農業利用されており、屎尿は直接的にはほぼ環境中には放出されていない。ただし、管理状態が悪いものも存在するのが現状である。生活用水の確保はそれほど困難ではないものの水道は普及していない。地下水は飲用には適さないため、飲み水は基本的には雨水に依存している。電気は安定していない。また、汚泥の引き抜きが必要な衛生設備がないことから、汚泥の引き抜きサービスが存在していない。

アルゴリズムを適用した結果を表 5-2 に示す。注水式トイレのケースでは、便器タイプとしては水流式あるいは注水式の便器が選ばれ、処理・貯留方式では、バイオガスタンク、堆肥化トイレ、換気付改善型ピットラトリンあるいはピットラトリン、排出方式で土壤浸透が最も得点が高かった。これは、汚泥引抜体制の未整備、電気の不安定さなどから、維持管理が簡便で他のサービスに依存しないシステムが選ばれた結果といえるだろう。なお、屎尿分離型堆肥化トイレのケースでは、便器タイプで屎尿分離型便器が追加された以外は、注水式トイレのケースと同様であった。これは、アルゴリズムにおいて便器タイプで優劣をつけ、注水式便器が利用されている場合には屎尿分離便器が選ばれないためである。

表 5-2 ハノイ市郊外集落でのアルゴリズムの適用結果

地域	便器タイプ	処理・貯留方式	排出方式
ハノイ郊外集落 (注水式トイレ)	水流式 注水式	100点 バイオガスタンク、堆肥化トイレ、換気付改善型ピットラトリン、ピットラトリン	100点 土壤浸透
		90点 嫌気性処理槽、パッフル付嫌気性処理槽、腐敗槽	
		80点 浄化槽、汲み取り便所	
ハノイ郊外集落 (屎尿分離型堆肥化トイレ)	水流式 注水式 屎尿分離	100点 バイオガスタンク、堆肥化トイレ、換気付改善型ピットラトリン、ピットラトリン 90, 80点は上記と同様	100点 土壤浸透

### 5.1.2. クルナ市スラムの例

クルナ市スラム地区の条件としてアルゴリズムに入力したデータを表 5-3 に示す。このスラムでは、人口密度が高く、多くの住民は共同トイレを利用している。汚泥引抜き等の管理状況としては、年に一度は汚泥が引き抜かれていること、すべてのトイレが使用できる状況にあることから、他のスラムに比べて問題は小さいと言えるが、絶対数は少ないと言わざるを得ない。このため、子供がトイレを使わないことが多く、一部住民は、ピットラトリンを自ら設置している。しかし、いっぱいになって利用できない例が少なくない。適用した結果（基本ケースとしての Case1）を表 5-4 に示す。有機物分解が進み、その結



果として、スラム外へのインパクト低減、スラム内でのバイオガス利用の可能性があると  
ころから、バイオガスタンクが最も高い得点を得たといえよう。また、維持管理に高度な  
技術を要しないことも選択につながった要因であろう。排水方式に関しては、インフラの  
現況から、土壌浸透、開水路しか選択されなかったものと考えられる。

- 便器タイプ：注水式
- 処理・貯留方式：バイオガスタンク（90）、嫌気性処理槽（70）、バッフル付嫌気性  
処理槽（70）、腐敗槽（70）、浄化槽（60）
- 排出方式：土壌浸透（100）、排水路放流（90）

表 5-3 アルゴリズムに入力したクルナ市スラム地区のデータ

制約条件分類	項目	バングラデシュ クルナ・スラム
人口動態	トイレ1基の利用人数	100
	世帯数	450
	人口密度(人/Ha)	1800
経済状況 (コスト)	電気代(\$/kw)	0.1
	水道代(\$/L)	0.5
	平均世帯収入(\$/year)	600
衛生設備	便器	注水式水洗
	処理・貯留設備	腐敗槽
	排水先	排水路
自然	地下水位	5
	地盤の透水性は十分か？	Yes
	地下2m以内に岩盤は存在するか(ピット設置の困 難さ)？	No
	衛生設備のための土地は確保できるか？	No
	洪水が起こりやすい地域か？	Yes
水供給	一度の水洗に何Lの水を使用可能か？	2
	水量に季節変動はあるか？	Yes
インフラ	地下水を飲料あるいは調理用に利用するか？	Yes
	汚泥引抜きシステムは存在するか(手作業も含め)？	No
	バキュームカーは確保できるか？	No
	停電は発生するか？	Yes
	衛生関係の業者は存在するか？	No
経済状況 (支払い能力)	訓練された衛生技術者はいるか？あるいは教育で できる状況か？	No
	月収の何%を衛生設備に利用できるか(維持管 理)？	2
	年収の何%を衛生設備に利用できるか(設備)？	15
文化・慣習	GNP成長年率(%)	8
	衛生設備に関する性差は存在するか？	No
その他	肛門洗浄の方法	水
	グレイウォーター処理の需要の有無	No
	コンポストの需要の有無	Yes

この結果は、当該スラムの地域制約条件下の結果であるが、次に比較的容易に対応でき  
る制約条件について改善した場合、選択される技術がどう変化するか見てみたい。そこで、  
維持管理に教育を受けた技術者が関与できるとした場合（Case2）、さらにバキュームカー  
が利用でき、維持管理上の制約となる汚泥引抜きを容易に行うことができるとした場合

(Case3) について適用した。その結果、選択された衛生システムの組合せは変わらず、Case2, Case3 で得点がアップし、処理方式間、排出方式間での得点差がみられなくなる。バキュームカーが適用できるようになることで、汚泥の引き抜きが行いやすくなり、引抜き頻度が高まり、その結果排水の負荷が低減すると考えられるところから、この得点アップは妥当と考えられる。

表 5-4 クルナ市スラム地区でのアルゴリズムの適用結果

Case	便器タイプ	処理・貯留方式	排出方式
基本条件 (現況)	注水式	90点 バイオガスタンク	100点 土壌浸透
		80点 嫌気性処理槽, バツフル付嫌気性 処理槽, 腐敗槽	90点 排水路放流
		70点 浄化槽	
+維持管理技術者	注水式	100点 バイオガスタンク	100点 土壌浸透
		90点 嫌気性処理槽, バツフル付嫌気性 処理槽, 腐敗槽	排水路放流
		80点 浄化槽	
+バキュームカー	注水式	100点 バイオガスタンク	100点 土壌浸透, 排水路放流
		90点 嫌気性処理槽, バツフル付嫌気性 処理槽, 腐敗槽 浄化槽	

## 5.2. アルゴリズム適用結果の評価とまとめ

ハノイの郊外集落での適用結果では、バイオガスタンク、堆肥化トイレ、ピットラトリオンなどが処理・貯留方式として高い評価を得たが、これは、同地に汚泥収集体制が存在しないため、汚泥回収が必須となるシステム（嫌気性処理槽、腐敗槽、浄化槽など）の評価が低くなったこと、さらに停電が起こる地域のため電気を利用するシステム（浄化槽）の評価が低くなったことによる。これらの要件は当該システムを導入する上での制約になっていると言える。言い換えれば、衛生設備を支えるサービス・インフラの整備がない状況では、上記のように既存の衛生改善プロジェクトでも採用される簡便なシステムが適当であり、それ以外の技術導入には衛生設備を支えるサービス・インフラの整備が不可欠であると言える。

一方、3.1のハノイにおける重点調査での液状廃棄物処理代替システムのシナリオ分析では、腐敗槽普及、堆肥化促進、嫌気性消化導入が現地で採用しうる衛生改善策として挙げられ、窒素・リンのマテリアルフローの観点からは嫌気性消化導入が推奨されたが、これはアルゴリズムと整合する結果となった。

クルナのスラムへの適用結果では、スラムの地域制約条件下で選択できる衛生システムのなかで、処理技術としてバイオガスシステムの得点が最も高かったことは、実施しているケーススタディの方針と整合するものである。ただし、ケーススタディでは、屎尿から資源を抽出し、それを利用することで衛生施設を導入しようという意思形成につながる可

能性があるといった社会的条件を優先的に配慮して選択したが、技術的観点からも同じ技術が選択されたことになる。また、Case2, 3の結果との比較から、スラムコミュニティ組織による維持管理で対応しても導入可能な技術であること、汚泥の引抜きが容易になることで、技術の適用性が向上することを反映していると言えよう。

以上、本アルゴリズムは、地域制約条件に基づく技術選択を支援しうることが示された。ただし、その実用には改善すべき点、留意点も多い。いかに主な課題を挙げる。

- 1) 維持管理能力の向上、汚泥引抜きの簡易化によって、より多様な技術に対して得点差がないか、小さくなる傾向がある。こうした場合、最終的選択の参考になるように、それぞれの技術の適用性、長所・短所が示されるとよい。経済性、環境面の優位性、維持管理の難易等評価項目ごとの得点が示すことも一案であろう。
- 2) 代替技術を相対的に比較することが目的であろうが、推奨される得点のボーダーラインが示されるとよい。
- 3) 現状より向上した技術ということであるが、多くの都市スラムのように **Pour flush**, **Septic tank** という衛生システムが十分に機能していない場合や開発援助で導入された「高度な」技術システムが全く機能していない場合など、現状の改善、より下位の技術が選択対象となる可能性も考えられる。
- 4) **Pit latrine** から **UDDT** タイプのエコサントイレへの転換のように、トイレタイプの順位付けは必ずしも絶対的なものとは言えない。
- 5) 生活用水が地下水に依存していても、排水方式として土壌浸透が選択肢に入る点については、衛生的な観点からの考慮をより反映させることが検討される。
- 6) 技術ごとの環境負荷低減性の違いや汚泥回収・処理の詳細を考慮できるようにすべきである。
- 7) 屎尿由来のバイオガス利用やコンポスト利用の利点を考慮できるようにすべきである。
- 8) 地域の制約のみならず、地域ニーズを技術選択に適正に反映させるアルゴリズムへと改訂していくことが求められる。



## 6. 結論

本研究では、アジアの諸都市におけるフィールド調査に基づき、地域ごとの特色の適切な把握、汎用性を踏まえた系統だった制約条件の類型化、技術的な制約条件の整理と途上国における液状廃棄物処理システム整備の基盤情報の体系化、さらに、現地の制約条件に基づいた効果的な液状廃棄物管理戦略を構築する手順の提案を目指した。主な成果は以下の通りである。

- KJ 法を援用した参加型手法により、各都市の多様なステークホルダーの参加の下、液状廃棄物管理における潜在的な制約条件を包括的に 9 分類した。データの制約の厳しい途上国都市において制約条件を数値化する方法を構築し、8 都市を対象に数値化およびポートフォリオ化を行うことで液状廃棄物処理システム整備の基盤となる制約条件を体系化した。さらに、都市比較を通じて各都市における特徴的な制約を明らかにした。また、地下水汚染と液状廃棄物管理の関係を検討し、オンサイト処理施設の適切な利用が重要であることなどが示唆された。
- 重点調査では、ハノイにて、都市レベルでの液状廃棄物ストリームおよび都市のリフローを明らかにし、液状廃棄物管理を定量的に把握した。さらに、都市化に伴う廃棄物管理の変化が予想された郊外の特定集落において、複数の代替衛生システムの導入効果をマテリアルフローモデルにより明らかにした。クルナ・スラム地区にて、バイオガス処理を核とした衛生システムを提案し、実証調査を通じて尿尿資源の活用が衛生改善意識を形成するインセンティブとなる可能性を示した。さらに、腐敗槽が広く利用されるアジア諸国にて、腐敗槽汚泥管理の実態を明らかにした。
- 液状廃棄物管理のための技術・システムのデータベース化を行うと共に、日本の液状廃棄物管理の経験を整理した。途上国における液状廃棄物処理システム整備を効果的に進めるためのツールとして、各制約条件とマッチングした技術・システムの選択を支援するためのアルゴリズムを開発した。さらにこれを重点調査の 2 地域に適用したところ、重点調査の結果と整合する技術システムが高評価となり、本アルゴリズムの妥当性・有効性が示された。

以上、本研究を通じて、データの整備されていなかったアジア諸国において、液状廃棄物管理上で有用な定性・定量情報の整備がすすめられた。さらに、制約条件の類型に基づく現地情報の体系化を行い、ポートフォリオ化を行うことで、その体系的な理解が可能となった。最後に、制約条件情報を開発したアルゴリズムにインプットすることで候補となる代替技術・システムを選択し、重点都市をケースにアルゴリズムの妥当性を検証した。これら一連のプロセスは、現地の多様な制約に基づいた液状廃棄物管理戦略構築の手順として提案される。



## 研究発表および知的所有権の取得状況

### 研究発表

#### 1. 論文発表

- 1) 原田英典 (2009) 日本型し尿処理システムの途上国への適用に関する一考察～ハノイ市における事例から～, 特集 アジアに向かう屎尿処理, 環境技術会誌, **134**, 8-10.
- 2) 蛭江美孝, 徐開欽 (2009) 日本の浄化槽技術の発展途上国への適用事例と展望, 水環境学会誌, **32**(9), 12-16.
- 3) 濱中俊輔, 加藤裕之, 岡城孝雄 (2009) 清掃間隔が浄化槽汚泥の性状に及ぼす影響, 用水と廃水, **51**(8), 60-67.
- 4) 徐開欽, 蛭江美孝, 神保有亮 (2010) 中国農村地域における液状廃棄物処理の現状と課題-北京市延慶県永寧鎮新華営村の事例紹介-, 用水と廃水, **52**(2), 12-18.
- 5) Harada, H., Matsui, S., Dong, N. T. and Shimizu, Y. (2010) Incremental Sanitation Improvement Strategy: Comparison of Options for Hanoi, Vietnam, *Water Science and Technology*, **62** (10), 2225-2234.
- 6) H. Harada, N. T. Dong, S. Matsui, and S. Fujii (2010) Traditional Urine-diversion Practices in Sub-urban Hanoi, Vietnam: Replaced or Promoted?, *Water Practice and Technology*, **5** (3), doi:10.2166/wpt.2010.058.
- 7) 原田英典, 足立匡, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien, Huynh Trung Hai (2010) ハノイ市における污水管理・農業・畜産に注目したリンフロー分析, 環境工学論文集, **47**, 465-474.
- 8) 小川浩, 岡城孝雄, 国安克彦 (2010) 浄化槽技術の発展とこれからの生活排水施設整備に向けて, 季刊環境研究, **156**, 108-115.
- 9) 原田英典, 藤井滋穂 (2011) アジア9都市における水衛生環境管理制約条件の類型化と改善手順戦略の策定に向けた取り組み, 特集 分散型污水処理システムのアジア諸国等における展開, 月刊浄化槽, **8**, 21-24.
- 10) 神保有亮, 蛭江美孝, 桂萍, 稲森悠平, 徐開欽 (2011) 生活排水を処理するハイブリッド型人工湿地における STEP 流入による窒素除去性能の向上と N2O 排出量の削減, 用水と廃水, **53**(12), 63-70.
- 11) Kawai K., Osako M., Matsui S., Dong N.T. (2012) Identification of junk buyers' contribution to recycling of household waste in Hanoi, Vietnam, through a physical composition analysis, *Waste Management & Research*. (Online, DOI: 10.1177/0734242X12444895).

#### 2. 学会発表

- 1) Shigeo Fujii, Hidenori Harada, Binaya R. Shivakoti, Shuhei Tanaka, Suwanna Kitpati

- Boontanon (2009) Procedure development of alternative sanitation system selection in developing countries based on their constrains, *Prof. of 2009 AIT-KU Joint Symposium on Human Security Engineering*, p.177-182.
- 2) Binaya R. Shivakoti, Hidenori Harada, Shigeo Fujii, Shuhei Tanaka (2009) Classification of Sanitation Constraints for The Development of Alternative Sanitation Management Strategies in Asian Cities, *Proceedings of the Seminar on Water & Wastewater Management and Technologies*, Vol.7, p.92-98.
  - 3) Senevirathna, STMLD., Fujii, S., Tanaka, S. and Harada, H. (2009) Sanitation Issues in the Central Sri Lanka: Extent of Problems and Possible Solutions, *Proc. of the 6<sup>th</sup> Netherlands - Japan Workshop on Water Technology*, 14-16 Oct., Kyoto, 104-105 (2 pages).
  - 4) Shivakoti, B. R., Fujii, S. and Harada, H. (2009) Sanitation Constraints Classification and Alternatives Evaluation for Asian Cities (SaniCon-Asia project): an Introduction, *Proc. of the 6<sup>th</sup> Netherlands - Japan Workshop on Water Technology*, 14-16 Oct., Kyoto, 106-107 (2 pages).
  - 5) 藤井滋穂, 原田英典 (2009) アジア諸大学との連携によるメガシティ水環境安全保障プログラム策定法の検討, *環境衛生工学研究*, **23**(3),47-50.
  - 6) 安達理央太, 藤井滋穂, 原田英典, 足立匡, 田中周平, Nguyen Pham Hong Lien (2009) ハノイ都市部における家庭系污水および廃棄物からの資源回収ポテンシャルの定量的評価, *環境衛生工学研究*, Vol.23, No.3, p.228-234.
  - 7) 足立匡, 藤井滋穂, 原田英典, 安達理央太 (2009) ベトナム・ハノイ市郊外における資源循環の観点からの污水・廃棄物管理の現状及び将来予測, 第9回環境技術学会予稿集, 大阪, 9月11日, 19-20.
  - 8) 濱中俊輔, 岡城孝雄, 加藤裕之 (2009) し尿処理施設へ搬入される浄化槽汚泥の性状に関する考察, 第30回全国都市清掃研究発表会, 256-258.
  - 9) 岡城孝雄, 加藤裕之, 濱中俊輔, 鳥越澄夫, 松尾隆寛, 根本正 (2009) 浄化槽汚泥濃縮車による地球温暖化対策への貢献, 第30回全国都市清掃研究発表会, 259-261.
  - 10) 岡城孝雄, 矢橋毅, 古川溶介, 濱中俊輔, 本田和之, 唐木一由 (2009) 膜分離型浄化槽の長期使用に係る実態調査, 第43回日本水環境学会, 151.
  - 11) 蛭江美孝, 徐開欽, 岡城孝雄, 山崎宏史 (2009) 浄化槽を中心とした液状廃棄物処理フローにおける温室効果ガス排出量の現状と課題, 第23回全国浄化槽技術研究集会研究発表会, 57-62.
  - 12) A. Sakai, K. Takahashi and Q. Azadzaman (2010) An Example of Benefit Estimation Related with Ecological Sanitation in Rural Areas of Bangladesh, *International Water Association, Conference on Decentralized Wastewater Treatment Solutions in Developing Countries*, Surabaya, Indonesia, March, 2010.
  - 13) 原田英典, 藤井滋穂, Binaya Raj Sivakoti, 安達理央太, 須藤勇紀, 木本祐一, 酒井



- 彰 (2010)アジア都市における汚水管理形態の現状調査および比較研究, 第 44 回日本水環境学会年講演集, 福岡, 3月15-17日, 525.
- 14) 足立匡, 藤井滋穂, 原田英典, Huynh Trung Hai (2010) ベトナム・ハノイ市郊外における衛生管理・資源利用の現状把握と将来予測, 第 44 回日本水環境学会年講演集, 福岡, 3月15-17日, 524.
  - 15) 木本祐一, 原田英典, 藤井滋穂, Binaya Raj Sivakoti, 安達理央太, 須藤勇紀 (2010) 衛生管理における制約条件抽出のための参加型手法の提案とその適用, 『平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会予稿集』(CD-ROM, 2page), 京都, 2010/5/22.
  - 16) 安達理央太, 原田英典, 藤井滋穂, Tran Van Quang (2010) ダナン市における水質汚濁脆弱性評価のための GIS データ利用可能性に関する研究, 『第 10 回環境技術学会研究発表会予稿集』, p.14-15, 京都, 2010/9/10.
  - 17) 原田英典, 藤井滋穂, 木本祐一, 安達理央太, 須藤勇紀, Binaya Raj Sivakoti, 田中周平, Nguyen Pham Hong Lien (2010) アジア都市における衛生管理制約条件の抽出・比較・類型化, 京都大学環境衛生工学研究会, 『第 32 回シンポジウム予稿集』, p.128-131, 京都, 2010/7/30-31.
  - 18) 原田英典, 藤井滋穂, 松井三郎, Nguyen The Dong (2010) ベトナムハノイ市における腐敗槽処理水・汚泥調査, 第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会(CD-ROM, 2p.), 金沢, 2010/11/4-6.
  - 19) X.M. Yang, A. Morita, I. Nakano, Y. Kushida, H. Ogawa, (2010), History and current situation of night soil treatment systems and decentralized wastewater treatment systems in Japan, *IWA-DEWATS Conference 2010*, Surabaya, Indonesia, 24th March 2010.
  - 20) P. Flamand, I. Nakano, (2010), History and current situation of wastewater management and treatment systems in Japan, *Regional Workshop on Eco-Efficient Water Infrastructure and Regional Dialogue on Wastewater Management in Asia and Pacific*, 15-16 June 2010, Kuala Lumpur, Malaysia
  - 21) I.Nakano, P.Flamand, (2010), Latest Improvement in Johkasou Technologies and Development Strategies, *Regional Workshop on Eco-Efficient Water Infrastructure and Regional Dialogue on Wastewater Management in Asia and Pacific*, 15-16 June 2010, Kuala Lumpur, Malaysia
  - 22) Pierre Flamand, Ichiro Nakano, (2010), Johkasou and sewage management in Japan - Strategies to increase sanitation coverage and efficiency with on-site and off-site systems -, *Regional Workshop on Eco-Efficient Water Infrastructure and Regional Dialogue on Wastewater Management in Asia and Pacific*, 15-16 June 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.
  - 23) 加藤裕之, 濱中俊輔, 岡城孝雄, 蛭江美孝, 河村清史 (2010) 資源化を考慮したし尿及び浄化槽汚泥の性状についての検討, 第 31 回全国都市清掃研究発表会, 269-271.
  - 24) 濱中俊輔, 加藤裕之, 岡城孝雄, 那波義夫, 根本正, 蛭江美孝, 河村清史 (2010)

- 浄化槽汚泥濃縮車に対応した汚泥再生処理センターの運転状況, 第 31 回全国都市清掃研究発表会, 266-268.
- 25) 木本祐一, 原田英典, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien (2011) ベトナム型し尿分離トイレにおける大便中の病原性微生物の不活化への影響評価, 『第 45 回日本水環境学会年会講演集』, p.542, 札幌, 2011/3/18-20.
  - 26) 原田英典, 藤井滋穂 (2011) アジア 9 都市における衛生管理の都市間比較, 『第 45 回日本水環境学会年会講演集』, p.711, 札幌, 2011/3/18-20.
  - 27) Harada, H., Fujii, S., Adachi, T., Lien, N. H. P. and Hai, H. T. (2011) Phosphorus Flow Analysis in Hanoi focusing on Waste, Agriculture, and Stockbreeding, *Journal of Science and Technology*, **45**(4), 59-65.
  - 28) Akira Sakai, Qazi Azaduzzaman, Musleh Uddin, Hidenori Harada and Md. Nazmul Ahsan (2011) Utilization of Human Excreta Derived Resources for the Benefit of Urban Poor: An Integrated Approach toward Improved Sanitation, Conference on Decentralized Wastewater Treatment Systems for Urban Environments in Asia, *International Water Association*, May 2011, Manila.
  - 29) H. Harada, S. Fujii, S. Matsui (2011) Economic analysis of decentralized sanitation systems: a case study in Japan, *IWA Small Sustainable Solutions for Water*, 18-22 April, Venice (CD-ROM, 2page).
  - 30) Md. Nazmul Ahsan, Akira Sakai, Hidenori Harada and Qazi Azaduzzaman (2011) Quantitative and Qualitative Aspects of Water Supply and Sanitation in Khulna City of Bangladesh, *4th Aspire, International Water Association*, October 2011, Tokyo.
  - 31) Giang, P. H., Harada, H., Fujii, S., Lien, N. P. H., Hai, H. T. and Tanaka, S. (2011) Transition of Waste and Wastewater Management and Phosphorus Flow under Rapid Modernization: a Case Study in a Sub-urban Community, Hanoi, *The 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition*, 2-6 Oct., Tokyo.
  - 32) Ahsan, M. N., Sakai, A., Harada, H. and Azaduzzaman, Q. (2011) Quantitative and Qualitative Aspects of Water Supply and Sanitation in Khulna City of Bangladesh, *The 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition*, 2-6 Oct., Tokyo.
  - 33) Riota Adachi, Hidenori Harada, Shigeo Fujii, Tran Vang Quang, Hoang Hai, Shuhei Tanaka (2011) Scenario Study on Influence of Urine Use on Fertilizer Consumption and Water Environment in Danang City, Vietnam, *The 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition*, 2-6 Oct., Tokyo.
  - 34) H. Harada, S. Fujii, A. Sakai, S. Tanaka, N.P.H. Lien, B.R. Shivakoti (2011) Constraints Identification and Evaluation for the Procedure Development of Alternative Sanitation System Selection in Asian Cities -Preliminary Results-, *The 2nd IWA Development Congress & Exhibition*, 21-24, November, Kuala Lumpur.

- 35) Y. Jimbo, Y. Ebie, Y. Inamori and KQ Xu (2011) GHG Emission Reduction with Improvement of Denitrification by Step Feed in Constructed Wetlands, *The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition*, Tokyo, Japan, October 2-6, Proceedings in USB.
- 36) Adachi, R., Harada, H., Fujii, S., Hai, H. and Quang, T. V. (2011) Urine use in Agriculture in Danang City, *GSGES Asia Platform Annual Report 2010*, 120-123.
- 37) Giang, H. P., Harada, H., Fujii, S., Lien, N. P. H. and Hai, H. T. (2011) Waste Management and Phosphorus Flows in Sub-urban Community of Hanoi, Vietnam, *GSGES Asia Platform Annual Report 2010*, 158-164.
- 38) 木本祐一, 原田英典, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Line, Huynh Trung Hai (2011) ベトナム型し尿分離トイレにおける大便中の病原性微生物の不活化への影響項目の検討, *環境衛生工学研究*, **25**(3), 74-75
- 39) 駒井俊也, 原田英典, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien (2011) ベトナム国 Nhue-Day 川流域における農業及び畜産に注目したリン収支の変容把握, 第 11 回 環境技術学会研究発表会予稿集, 9 月 5 日, 大阪.
- 40) 木本祐一, 原田英典, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien (2011) ベトナム型し尿分離トイレにおける大便中の病原性微生物不活化過程の評価, 第 11 回 環境技術学会研究発表会予稿集, 9 月 5 日, 大阪.
- 41) 原田英典, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien, 木本祐一, Pham Hong Giang, 駒井俊也, Binaya Pasakhara, Chinagarn Kunacheva, 田中周平 (2011) アジア都市衛生の体系的理解に向けたトイレ・オンサイト処理設備のポートフォリオ化, 第 48 回環境工学研究フォーラム講演集, 11 月 25 日-27 日, 名古屋, 27-29..
- 42) 藤井滋穂, 原田英典, Nguyen Pham Hong Lien, 木本祐一, Pham Huong Giang, 駒井俊也, Binaya Pasakhara, Chinagarn Kunacheva, 田中周平 (2011) 途上国における水環境衛生問題制約条件の抽出のためのアジア途上国 9 都市比較研究, 第 48 回環境工学研究フォーラム講演集, 11 月 25 日-27 日, 名古屋, 27-29.
- 43) 濱中俊輔, 岡城孝雄, 根本正 (2011) 浄化槽の消費エネルギー解析と汚泥対策を踏まえた省エネシステム管理技術の開発, 第 14 回日本水環境学会シンポジウム, 13-14.
- 44) 河井紘輔, 大迫政浩, 山田正人 (2011) ベトナム国ハノイ市における有価物の分別排出の傾向と要因に関する調査, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会予稿集 pp21-22, 2011 年 11 月, 東京都.
- 45) 木本祐一, 原田英典, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien, Huynh Trung Hai (2012) ベトナム型し尿分離トイレにおける大便中の病原性微生物の不活化への影響評価, 第 46 回日本水環境学会年会講演集, 494, 東京.
- 46) Binaya Pasakhala, Binaya R. Shivakoti, Hidenori Harada, Shigeo Fujii, Shuhei Tanaka (2012) Constraints for Improving Water Supply and Sanitation in Asian Cities, 第 46 回日本水環境学会年会講演集, 493, 東京.

47) 濱中俊輔, 加藤裕之, 岡城孝雄, 根本正 (2012) 浄化槽汚泥濃縮車の導入による環境負荷の低減効果, 第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会, 257-259.

3. その他

なし

知的所有権の取得状況

1. 特許

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

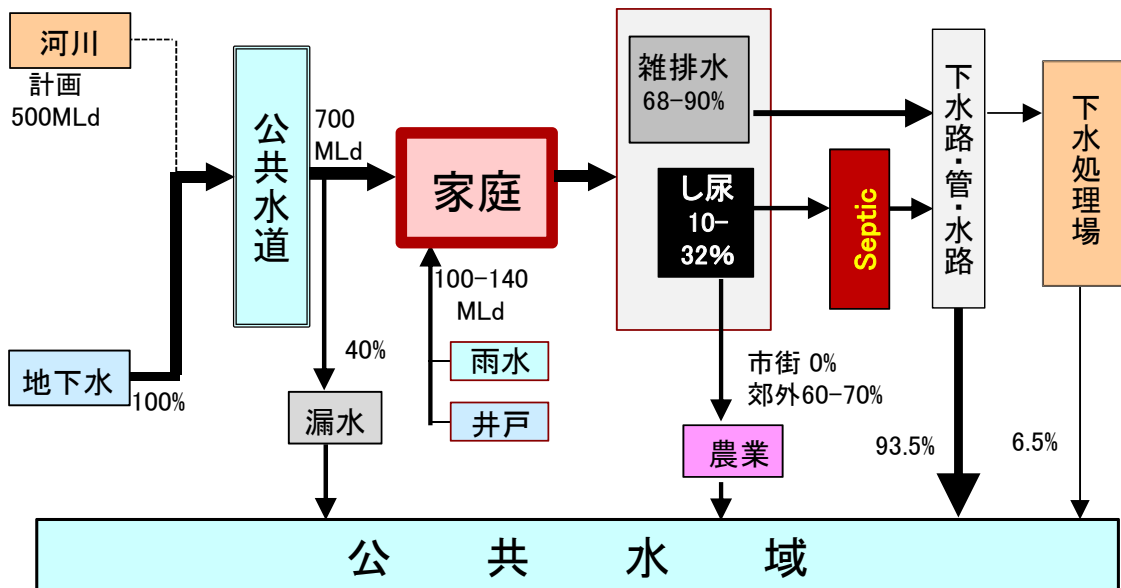
# 付録



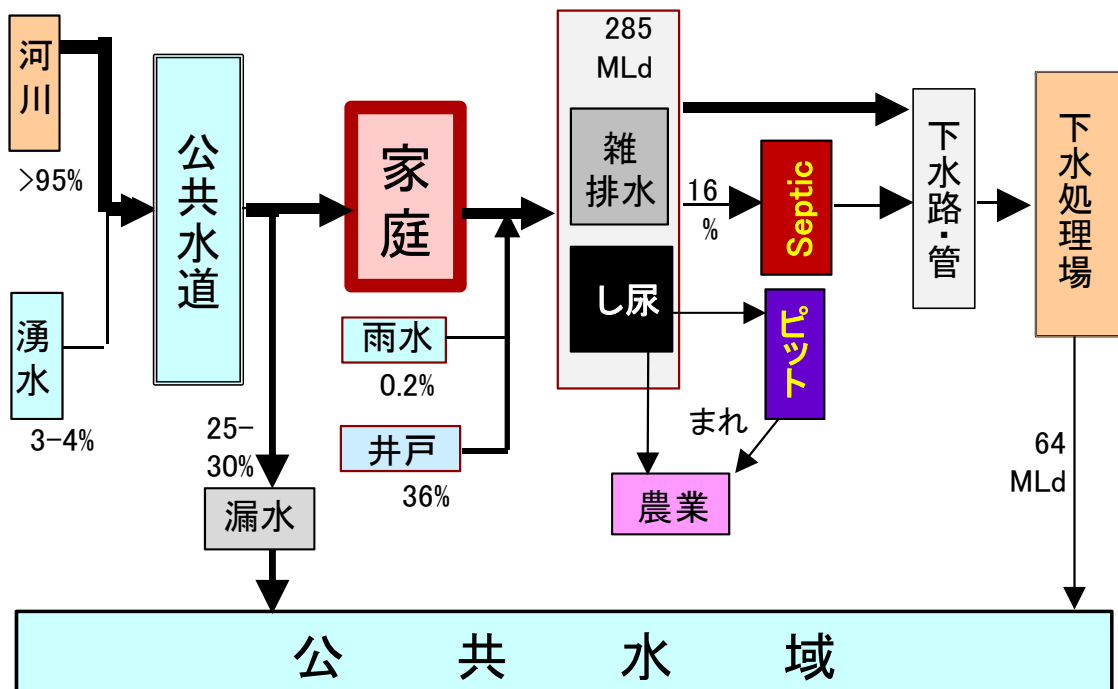
# アジア諸都市の上水・下水基礎ストリーム



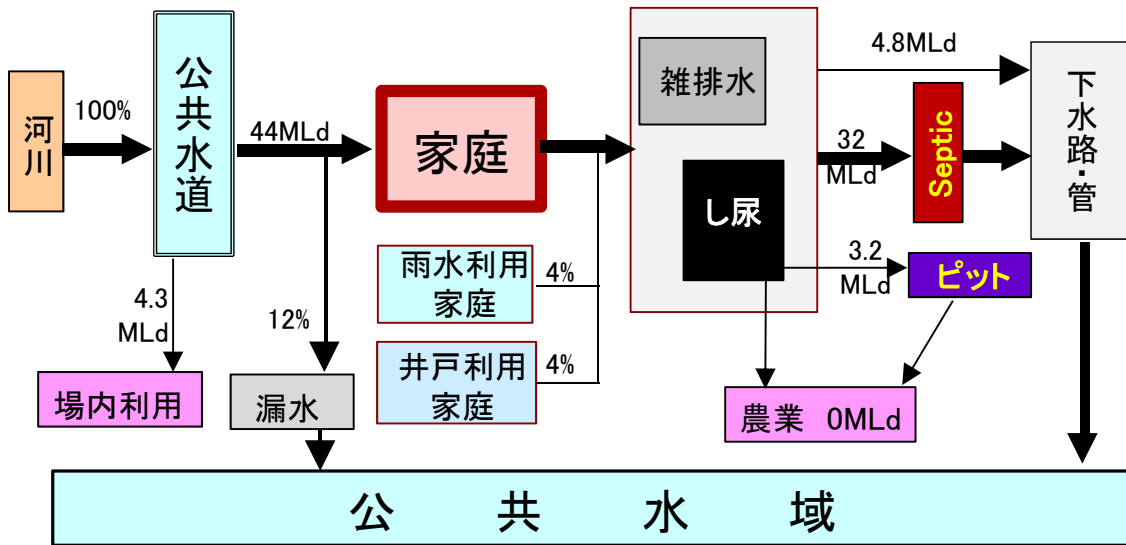




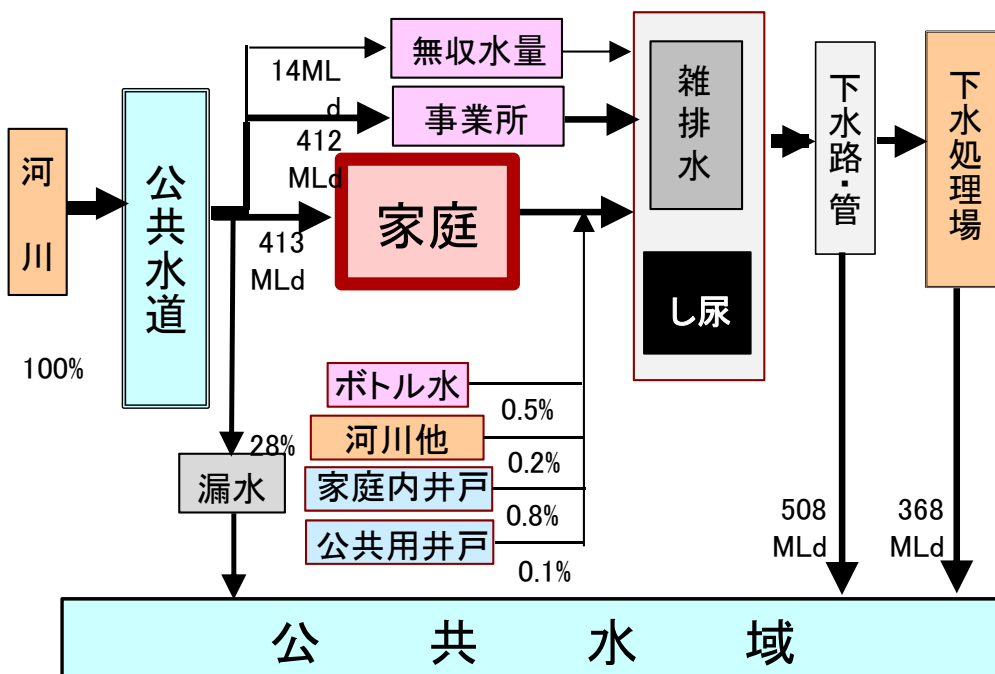
ハノイ



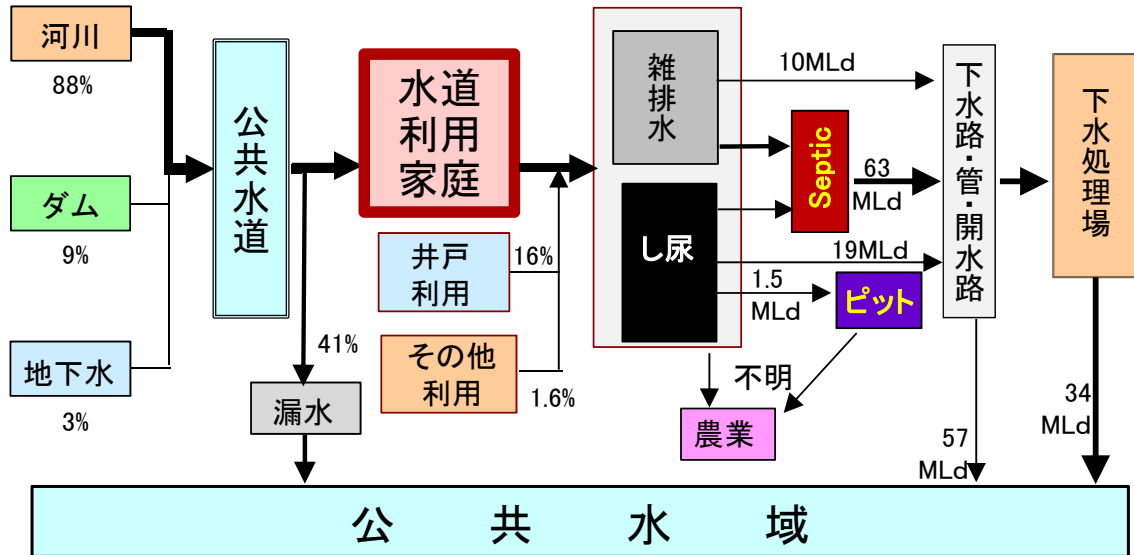
ダナン



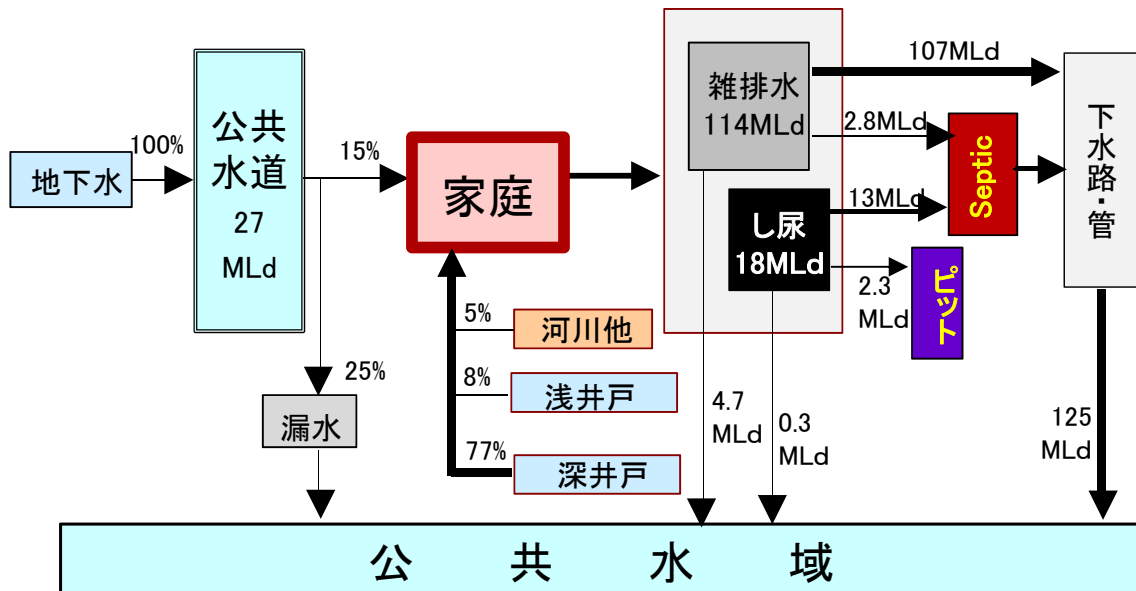
フェ



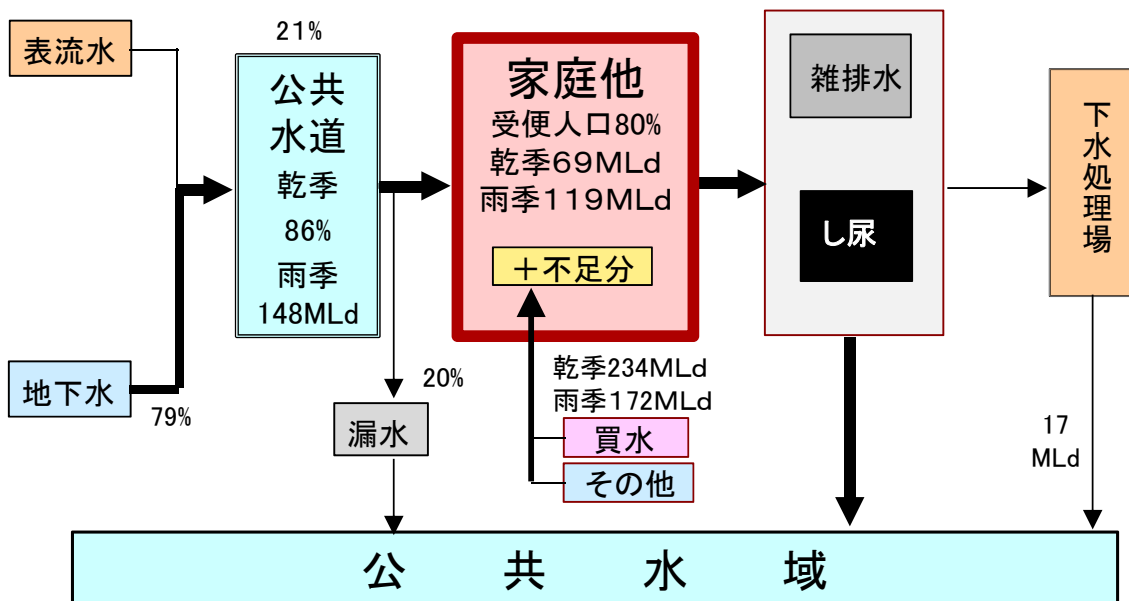
バンコク



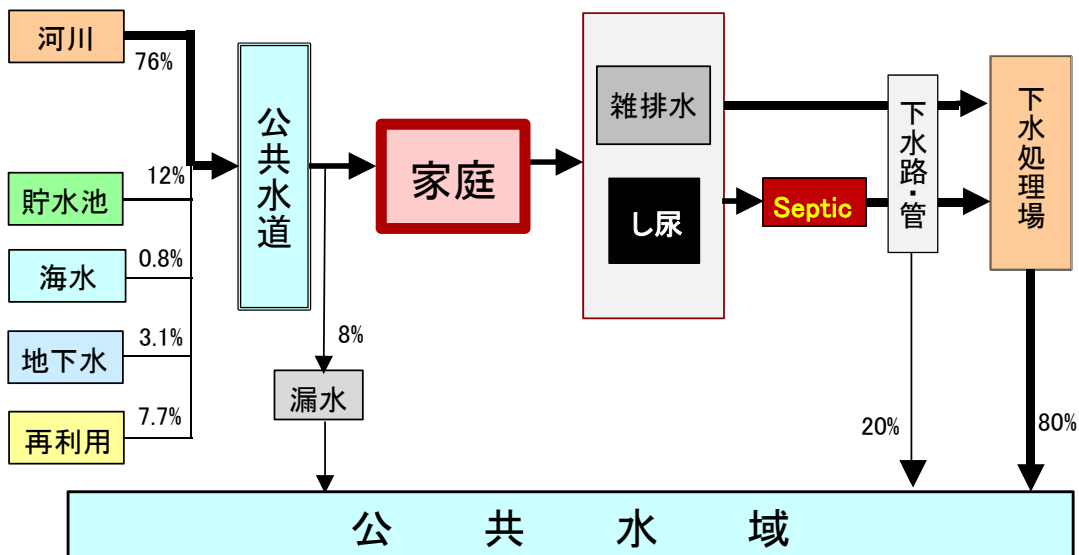
キャンディー



クルナ



カトマンズ



シンセン

トイレおよびオンサイト衛生設備ポートフォリオ



No.	1
City	Hanoi
Name of the toilet	Cistern Flush toilet
Water consumption	5-6.5L-water/big flush, 3-4.5L-water/small flush
Material	usually porcelain
Waste destination	Flushed into a tank; sucked by a suction truck every a few months
Cost (product and installation)	Product cost: 1,000,000-10,000,000 VND (depend on trademark) Installation cost usually included.
Explanation	This system mainly used in inner Hanoi where household's income rather high. The Flush Toilet consists of a water tank that supplies the water for flushing the excreta and a bowl into which the excreta are deposited. Excreta was flushed with 3-6.5L of water into a storage tank with capacity of 500-1500 L. Stored excreta are sucked by a suction truck every a few months and then transported to a night-soil treatment plant.
Diagram	<pre> graph LR     A[Excretion] --&gt; B[Cistern flush toilet]     C[3-6.5 L] --&gt; B     B --&gt; D[underground storage tank]     D --&gt; E[Suction truck]     E --&gt; F[Night-soil treatment]   </pre> <p style="text-align: center;">On-site sanitation</p>
Picture	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>One-piece model</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Two-piece model</p> </div> </div> <p>The Ballcock or Float Valve is often used to regulate the filling of a tank or cistern. When the fluid level drops, the float descends, levering the valve opening and allowing more fluid to enter. Once the float reached the 'full' position, the arm presses the valve shut again.</p>

No.	2
City	Hanoi (suburban or rural area)
Name of the toilet	Double vault toilet
Water consumption	Dry toilet
Material	usually brick
Waste destination	Store in each chamber
Cost (product and installation)	Product cost: Installation cost usually included
Explanation	<p>This system mainly used in suburban of Hanoi or rural areas.</p> <p>The processing chambers are covered with a squatting slab that has two drop holes, footrests and groove for urine. Both holes have tight-fitting lids. At the back there are two openings, 30 x 30 cm, for the removal of the dehydrated material. These openings are kept sealed until it is time to empty one of the chambers.</p> <p>People excrete in only one chamber until it fills. After each use people sprinkle two bowls of ashes over the faeces. The ashes absorb moisture, neutralize bad odors and make the faeces less attractive to flies. Urine drains away through the groove in the lab and collects in a jar behind the toilet. Paper used for anal cleaning is dropped in a box or jar and burnt</p>
Diagram	<pre> graph LR     Excretion --&gt; DVT[Double vault toilet]     Ash --&gt; DVT     DVT --&gt; Urine[urine]     Urine --&gt; Jar[Jar]     Jar --&gt; Fertilizer1[Fertilizer]     DVT --&gt; UC[underground chambers]     UC --&gt; Seal[Seal and store for about 6-10 month]     Seal --&gt; Fertilizer2[Fertilizer]   </pre> <p>On-site sanitation</p>
Picture	<p>VIETNAMESE DOUBLE VAULT (CUTAWAY VIEW)</p> <p>The processing chambers of the Vietnamese double-vault toilet. Each vault is 80 x 80 x 50 cm. The picture also shows the two 30 x 30 cm openings for removal of dehydrated material.</p>



No.	1
City	Hue
Name of the toilet	Flush toilet with septic tank
Water consumption	- Cistern flush toilet (a flush mode): 6 L-water/flush - Cistern flush toilet (two flush modes): 6 L-water/big flush, 3 L-water/small flush
Material	Mainly pottery for toilet; bricks, sand and cement mortar for storage tank (for individual households)
Waste destination	Flushed into a tank; sucked by a suction truck every a few years; transported to waste landfill site
Cost (product and installation)	Toilet: Product cost (depend on type of toilet), average: 5,600 JPY; Installation cost: 370 JPY. Septic tank: Building cost : 7,400 - 20,370 JPY (depend on the capacity)
Explanation	Septic tanks are the most common urban on-site facility option in Hue city (over 85%), where domestic wastewater treatment is not established. A septic tank generally consists of 1 to 3 chambers with total capacity of 6000-8000 L. Excreta were flushed with water into the first chamber of the tank, allowing solids to settle and scum to float. The settled solids are anaerobically digested, reducing the volume of solids. Septic tank effluents are mainly discharged into soil (71%) or into the sewerage and drainage network (28%). Stored excreta are sucked by a suction truck every a few years and then transported to a waste landfill site. How often the septic tank has to be emptied depends on the volume of the tank relative to the input of solids. Some systems require pumping every few years or sooner, while others may be able to go 10–20 years between pumping.
Diagram	<pre> graph LR     A[Excretion] --&gt; B[Cistern flush toilet]     B --&gt; C[septic tank]     C --&gt; D[Suction truck]     D --&gt; E[waste landfill site]     F[3 - 6 L water] --&gt; B   </pre>
Picture	

No.	2
City	Hue
Name of the toilet	Flush toilet with septic tank
Water consumption	- Pour flush toilet: 3 L-water/flush
Material	Mainly pottery for toilet; bricks, sand and cement mortar for storage tank (for individual households)
Waste destination	Flushed into a tank; sucked by a suction truck every a few years; transported to waste landfill site
Cost (product and installation)	Toilet: Product cost (depend on type of toilet), average: 5,600 JPY; Installation cost: 370 JPY. Septic tank: Building cost : 7,400 - 20,370 JPY (depend on the capacity)
Explanation	Septic tanks are the most common urban on-site facility option in Hue city (over 85%), where domestic wastewater treatment is not established. A septic tank generally consists of 1 to 3 chambers with total capacity of 6000-8000 L. Excreta were flushed with water into the first chamber of the tank, allowing solids to settle and scum to float. The settled solids are anaerobically digested, reducing the volume of solids. Septic tank effluents are mainly discharged into soil (71%) or into the sewerage and drainage network (28%). Stored excreta are sucked by a suction truck every a few years and then transported to a waste landfill site. How often the septic tank has to be emptied depends on the volume of the tank relative to the input of solids. Some systems require pumping every few years or sooner, while others may be able to go 10–20 years between pumping.
Diagram	<pre> graph LR     A[Excretion] --&gt; B[Pour flush]     B --&gt; C[septic tank]     C --&gt; D[Suction truck]     D --&gt; E[waste landfill site]     F[3L water] --&gt; B   </pre>
Picture	

No.	1
City	Da Nang
Name of the toilet	Flush toilet
Water consumption	3L - 6L depend on difference kinds
Material	Mainly pottery for pan; FRP/PVC for tank (for individual households)
Waste destination	Flushed into a septic tank; sucked by a suction truck every few months; transported to landfill (concentrated and filled)
Cost (product and installation)	Product cost: 1-10 million VND per product (for various brands)
Explanation	This system has been mainly used in urban. Excreta was flushed with 3-6 L of water into a septic tank. Stored excreta are sucked by a suction truck (period depend on tank's volume and awareness of the citizen) and then transported to Khanh Son landfill where they are concentrated and filled.
Diagram	<pre> graph LR     A[Excretion] --&gt; B[Flush toilet]     C[3-5L water/flush] --&gt; B     B --&gt; D[Septic tank]     D --&gt; E[Suction truck]     E --&gt; F[Landfill] </pre>
Picture	

No.	2
City	Da Nang
Name of the toilet	Sitting toilet
Water consumption	depend on users (around 2-4L)
Material	Usually pottery
Waste destination	Flushed into a underground tank
Cost (product and installation)	Product cost: around 200000 VND and more per product (for various brands)
Explanation	This toilet has been mainly used in rural Vietnam where sewerage is not established. Excreta was flushed with a bit of water into a underground tank.
Diagram	<pre> graph LR     A[Excretion] --&gt; B[Sitting toilet]     B --&gt; C[underground storage tank]     D[2-4L water/flush] --&gt; BC   </pre>
Picture	

No.	1
City	Kandy
Name of the toilet	Water Seal Flushing Type Toilets
Water consumption	1000-1500 mL-water/small flush, 4000-7000 mL-water/big flush
Material	Mainly pottery/ceramic for pan; ceramic/PVC for tank (for individual households)
Waste destination	Flushed into a septic tank, soild component retained in the septic tank, liquid allowed pass in to a soaking filed and soaked into the ground. Septage emptied by suction truck only once toilet starts to overflow.
Cost (product and installation)	Product cost: Toilet: Structure including pit 50,000 to 120,000, Fixtures 10,000 to 50,000 SL RS.
Explanation	This is commonly used in many parts of the country including within the study area. However in some of these cases the soaking system does not work well due to poor soil condition and shallow groundwater. In such case the system contaminate the environemnt. Stored septage is emptied by a suction truck or emptied into another pit only once the toilet overflow.
Diagram	
Picture	

No.	1
City	Khulna
Name of the toilet	Ventilated pour-flush toilet with septic tank but without soak pit
Water consumption	2-3 L-water/poor flush(jar).
Material	Mainly pottery for pan; FRP/PVC for tank (for individual households)
Waste destination	Flushed into a two-chamber septic tank; sucked by manually(seweper) every few years; dump in a hole and covered with soil
Cost (product and installation)	Product cost: Toilet: 4,000 BDT; Septic tank 30,000 BDT. Installation cost: 10,000 BDT
Explanation	This system is mainly used in urban city areas where sewerage is not established. Technically, there is no difference between rural pit latrines as the septic tanks are almost not equipped with soak pits for leachates. Excreta is flushed with 2-3 L of water into a storage (septic) tank with capacity of 3000-4000 L. Stored excreta are emptied manually by private sewepers every few years, dumped in a hole and covered with soil. Less frequently, city corporation uses vacuum trucks for desludging but the desludged materials are directly dumped along with solid wastes.
Diagram	<pre> graph LR     A[Excreta] --&gt; B[Pourflush toilet]     C[2-3 L water/flush] --&gt; B     B --&gt; D[Septic tank]     D --&gt; E[Sludge dump in a hole covered with soil by manually(sewper).]     D --&gt; F[Black water discharge to drain]     F --&gt; G[Drain connects with river] </pre>
Picture	

No.	1
City	Shenzhen
Name of the toilet	water saving flash toilet (for domestic use)
Water consumption	1500 mL water/urine, 5000 mL water/faece
Material	Mainly pottery for pan; FRP/PVC for pipe (for individual households)
Waste destination	Mostly directly get into sewer, a few flushed into a tank.
Cost (product and installation)	Product cost: Toilet: 2500 CHY; Installation cost: 100 CHY
Explanation	Shenzhen is a special economic zone of China. It is a well-developed city, so the popularizing rate of flash toilet is very high, almost in every family, people use this kind of water saving flash toilet which was shown below. While in public conveniences format of flash toilets are like the ones shown in right two pictures. In shenzhen's suburbs, there are partly on-site sanitation facilities, like septic tanks, but the number of these on-site sanitation facilities is very small.
Diagram	<pre> graph LR     Excretion --&gt; Toilet[Water saving flush toilet]     Water[2000 mL water/urine 6000 mL water/faece] --&gt; Toilet     Toilet --&gt; Sewer     Toilet --&gt; Septic[Septic tanks]     Sewer --&gt; WWTP     Septic --&gt; WWTP   </pre>
Picture	

No.	2
City	Shengzen
Name of the toilet	water saving flash toilet (for public use)
Water consumption	2000 mL water/urine, 6000 mL water/faece
Material	Mainly pottery for pan; FRP/PVC for pipe (for individual households)
Waste destination	Mostly directly get into sewer, a few flushed into a tank.
Cost (product and installation)	Product cost: Toilet: 3000 CHY; Installation cost: 150 CHY
Explanation	Shenzhen is a special economic zone of China. It is a well-developed city, so the popularizing rate of flash toilet is very high, almost in every family, people use this kind of water saving flash toilet which was shown below. While in public conveniences format of flash toilets are like the ones shown in right two pictures. In shenzhen's suburbs, there are partly on-site sanitation facilities, like septic tanks, but the number of these on-site sanitation facilities is very small.
Diagram	<pre> graph LR     Excretion --&gt; Toilet[Water saving flush toilet]     Toilet --&gt; Sewer     Toilet --&gt; Septic[Septic tanks]     Sewer --&gt; WWTP     Septic --&gt; WWTP     </pre> <p>2000 mL water/urine 6000 mL water/faece</p>
Picture	



No.	1
City	Bangkok
Name of the toilet	Cesspool and soakage pit
Water consumption	0.1 m <sup>3</sup> /d pour-flushed water, 0.3 m <sup>3</sup> /day flushed water for cesspool capacity of 1.5 m <sup>3</sup>
Material	Concrete mould
Waste destination	Septage → Night-soil treatment plant Liquid waste → Soil
Cost (product and installation)	Cesspool: 4,275-13,000 Baht/package Soakage pit: 3,872-4,123 Baht/package
Explanation	Excretion was washed through flush latrine/ moulded bucket latrine to cesspool. Liquid waste from cesspool is drained into soakage pit which is a porous concrete mould that allows liquid waste to seep into surrounding soil. A part of septage is collected in cesspool untill full and then sucked by suction truck. Septage will be transported to night-soil treatment plant.
Diagram	
Picture	

No.	2
City	Bangkok
Name of the toilet	Septic tank
Water consumption	Concrete mold: 0.1 m <sup>3</sup> /d pour-flushed water, 0.3 m <sup>3</sup> /day flushed water for septic tank capacity of 1.5 m <sup>3</sup> Reinforced concrete: 0.4 m <sup>3</sup> /d pour-flushed water, 1.2 m <sup>3</sup> /day flushed water for septic tank capacity of 3.0 m <sup>3</sup>
Material	(1) Concrete mould, (2) Reinforced concrete, (3) Polyethylene
Waste destination	Septage → Night-soil treatment plant Liquid waste → Soil
Cost (product and installation)	Installation cost: 2,900 Baht for septic tank (concrete mold) capacity of 1.5 m <sup>3</sup> 18,000 Baht for septic tank (reinforced concrete) capacity of 3.0 m <sup>3</sup> Product cost: 7,000-8,000 Baht for septic tank (polyethylene) capacity of 0.6 m <sup>3</sup>
Explanation	Excretion was washed through flush latrine/ moulded bucket latrine to septic tank. Septage is collected in septic tank until full and then sucked by suction truck. Septage is disposed at night-soil treatment plant. Liquid waste will be flow out from septic tank to sewerage and drainage system for treatment at wastewater treatment plant. However, liquid waste can be drained to surface water without treatment in the area that no connection with sewerage and drainage system. Finally, both treated and untreated liquid waste flow to river, canal, stream.
Diagram	
Picture	

(Water Quality Management Bureau, n.d.)

No.	3
City	Bangkok
Name of the toilet	Activated sludge
Water consumption	Fiberglass-capsule tank: 1-10 m <sup>3</sup> Reinforced concrete: 40 m <sup>3</sup> /day/pond for public housing
Material	(1) Reinforced concrete, (2) Fiberglass
Waste destination	Septage → Night-soil treatment plant Liquid waste → Soil
Cost (product and installation)	Product cost: 15,000 Baht for activated sludge (fiberglass-capsule tank) capacity of 1 m <sup>3</sup> Installation cost: 519,980 Baht with 40 m <sup>3</sup> /day wastewater for reinforced concrete
Explanation	Activated sludge process was used mostly in big buildings as on-site sanitation facility. Excretion was washed through flush latrine/ moulded bucket latrine to activated sludge. Septage is collected in septic tank until full and then sucked by suction truck. Septage is disposed at night-soil treatment plant. Liquid waste will be flow out from activated sludge to sewerage and drainage system for treatment at wastewater treatment plant. However, liquid waste can be drained to surface water without treatment in the area that no connection with sewerage and drainage system. Finally, both treated and untreated liquid waste flow to river, canal, and stream
Diagram	
Picture	<p>(PCD, 2004)</p>

No.	4
City	Bangkok
Name of the toilet	Flush latrine
Water consumption	6 L flushed water
Material	Ceramic
Waste destination	Septage → Night-soil treatment plant Liquid waste → Soil
Cost (product and installation)	Product cost: 4,000-6,000 Baht Installation cost: 1,200 Baht
Explanation	Excretion was washed through flush latrine with 6L flushed water. The excretion will flow to on-site sanitation facilities that can be categorized into 3 types: cesspool and soakage pit, septic tank, and activated sludge. Stored septage in cesspool, septic tank and activated sludge is collected by suction truck for disposal at night-soil treatment plant. Liquid waste in soakage pit seep into surrounding soil. Simultaneously, liquid waste in septic tank, and activated sludge flow out to sewerage and drainage system for treatment at wastewater treatment plant. However, liquid waste can be drained to surface water without treatment in the area that no connection with sewerage and drainage system. Finally, both treated and untreated liquid waste from septic tank and activated sludge flow to river, canal, and stream.
Diagram	<pre> graph LR     Excretion --&gt; FL[Flush latrine]     FL -- "6 L flushed water" --&gt; ST[Septic tank]     FL -.-&gt; CP[Cesspool]     FL -.-&gt; AS[Activated sludge]          CP -.-&gt; LW1[Liquid waste]     LW1 --&gt; SP[Soakage pit]     SP --&gt; Soil          CP -.-&gt; SPT[Septage]     ST --&gt; SPT     AS --&gt; SPT          SPT --&gt; STK[Suction truck]     STK --&gt; NSTP[Night soil treatment plant]          ST --&gt; LW2[Liquid waste]     AS --&gt; LW2          LW2 --&gt; SDS[Sewerage and drainage system]     SDS --&gt; RCS[River, canal, stream]          LW2 -.-&gt; DS[Drain to surface water without treatment]     DS --&gt; RCS          style FL stroke-width:2px   </pre> <p>..... option</p>
Picture	

No.	5
City	Bangkok
Name of the toilet	Moulded bucket latrine (pour-flush latrine)
Water consumption	2-3 L pour-flushed water
Material	Ceramic
Waste destination	Septage → Night-soil treatment plant Liquid waste → Soil
Cost (product and installation)	Product cost: 600-800 Baht Installation cost: 1,200 Baht
Explanation	Excretion was washed through moulded bucket latrine with 2-3 L pour-flushed water. The excretion will flow to on-site sanitation facilities that can be categorized into 3 types: cesspool and soakage pit, septic tank, and activated sludge. Stored septage in cesspool, septic tank and activated sludge is collected by suction truck for disposal at night soil-treatment plant. Liquid waste in soakage pit seep into surrounding soil. Simultaneously, liquid waste in septic tank, and activated sludge flow out to sewerage and drainage system for treatment at wastewater treatment plant. However, liquid waste can be drained to surface water without treatment in the area that no connection with sewerage and drainage system. Finally, both treated and untreated liquid waste from septic tank and activated sludge flow to river, canal, and stream.
Diagram	<pre> graph LR     Excretion[Excretion] --&gt; Latrine[Moulded bucket latrine]     Water[2-3 L pour-flushed water] --&gt; Latrine     Latrine --&gt; Cesspool[Cesspool]     Latrine --&gt; SepticTank[Septic tank]     Latrine --&gt; ActivatedSludge[Activated sludge]          Cesspool -.-&gt; Liquid waste  SoakagePit[Soakage pit]     SoakagePit -.-&gt; Soil[Soil]          Cesspool -.-&gt; Septage  SuctionTruck[Suction truck]     SepticTank -.-&gt; Septage  SuctionTruck     ActivatedSludge -.-&gt; Septage  SuctionTruck     SuctionTruck --&gt; NightSoil[Night soil treatment plant]          SepticTank --&gt; Liquid waste  Sewerage[Sewerage and drainage system]     ActivatedSludge --&gt; Liquid waste  Sewerage          Sewerage --&gt; River[River, canal, stream]     Sewerage --&gt; Drain to surface water without treatment  Surface[Drain to surface water without treatment]          style Cesspool stroke-dasharray: 5 5     style SepticTank stroke-dasharray: 5 5     style ActivatedSludge stroke-dasharray: 5 5     style SoakagePit stroke-dasharray: 5 5     style NightSoil stroke-dasharray: 5 5     style Surface stroke-dasharray: 5 5   </pre> <p>..... → option</p>
Picture	

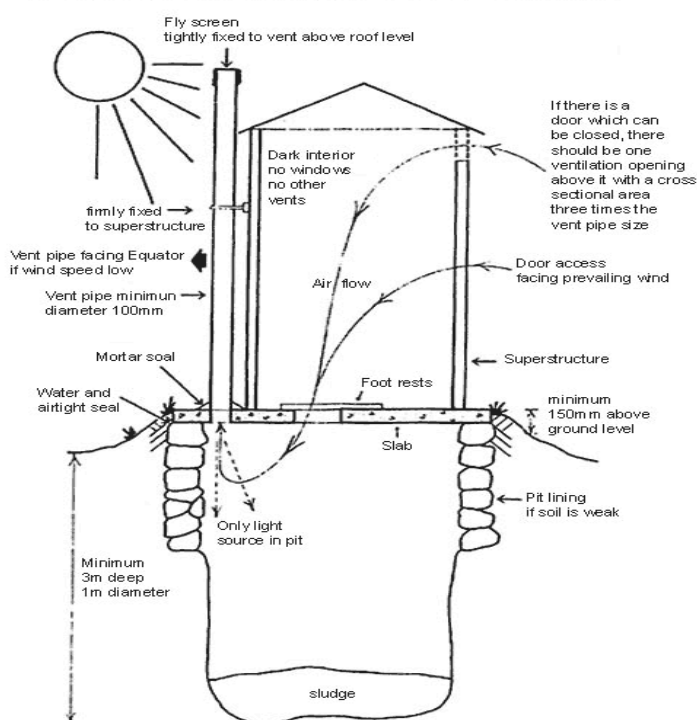
No.	6
City	Bangkok
Name of the toilet	Pit (hole in ground)
Water consumption	No
Material	No (may use wood/concrete for slab to get better sanitation)
Waste destination	Septage → pit Liquid waste → soil
Cost (product and installation)	No
Explanation	Pit is essentially nothing more than hold in the ground. It may have a squatting slab with a lid to cover the hole. When human excrete in pit, septage is accumulated and decomposed in the pit. Liquid waste infiltrate into surrounding soil
Diagram	<pre> graph LR     A[Excretion] --&gt; B[Pit]     B --&gt; C[Liquid waste]     C --&gt; D[Soil] </pre>
Picture	

No.	1
City	Kathmandu
Name of the toilet	Simple Pit Latrine
Water consumption	100 mL
Material	<p>Latrine Slabs: Reinforced concrete single slab  Unreinforced concrete Superstructure  Can be built from locally available material</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Mud &amp; thatch</li> <li>· Ferro-cement</li> <li>· Galvanized corrugated iron</li> <li>· Tiles &amp; brick</li> </ul>
Waste destination	Onsite
Cost (product and installation)	\$40 to \$227
Explanation	<p>They are made of a latrine superstructure and a hole for defecation. A pit cover slab can be used to reduce odour and hinder flies. The depth of the pit is usually limited by the groundwater table or rocky underground, but an average of 3m depth is common. The underground of the latrine should be water pervious. No sullage treatment is required. The latrine can be used until it is filled up half a meter below the top. Relocation of latrine is usual after the pit is full. Life time depends on the number of users.</p>
Diagram	

No.	2
City	Kathmandu
Name of the toilet	Ventilated Improved Pit (VIP)
Water consumption	100 mL
Material	Same as for Simple pit latrine Special VIP slab Pipe of PVC or building material Material for superstructure and door
Waste destination	Onsite
Cost (product and installation)	\$227
Explanation	The interior of the superstructure is darker than the daylight outside and the superstructure building should be well ventilated so as to allow the flow of air into the pit. The pit should have a vent pipe which should be at least 100mm diameter and should extend from the pit to about one meter above the roof, and the top of it should be fitted with a fine-mesh stainless steel, GRP or aluminum fly-screen.


Diagram


Where water is only available in small amounts, a simple dry pit latrine is a very good sanitation option. A well constructed latrine has the following features:





No.	3
City	Kathmandu
Name of the toilet	Offset pit latrine/ pour-flush toilet
Water consumption	A variation of the single pit latrine suitable for communities where sufficient water is used for cleansing.(300-500mL)
Material	Water seal/squatting slab can be built directly over pit (direct) or sited 1-2 meters from pit (offset), where water drains through a communication pipe After the pit is dug, for the direct pit latrine, the slab and water seal pan should be securely fixed to the lining of the pit with cement mortar. Cover the pit with reinforced concrete slab. If the pit is large, 2 slabs may be needed. For the offset latrines, lay the pipe connecting the water seal pan to the pit. Each 2 ft. length of pipe should fall by at least 1 inch in height. Cement pipe through pit walls. The pit lining should be 6 inches above ground level.
Waste destination	Onsite
Cost (product and installation)	\$300
Explanation	Offset pit latrines with two pits are also referred to as ‘Sulav’ toilets and are intended to be a sort of composting toilet. Once one pit is filled, it is closed off and the other pit is used for excreta. The contents of the full pit are removed after they have had time to further decompose into a material that is safe to handle. This type of toilet is popular for people who are comfortable with ‘flushable’, water-consuming toilets in places with no available sewer system.
Diagram	<p>The diagram illustrates two types of pour-flush toilets. On the left, the 'Pour flush single pit offset' system shows a person using a toilet with a water seal pan connected to a single pit. A suction pump is indicated for sludge removal. On the right, the 'Pour flush twin pit' system shows two pits. The first pit is 'PIT in use' and is connected to a water seal pan. The second pit has a 'Drain junction with blocked outlet to pit not in use' and 'Removable cover slabs'. The sludge in the second pit is labeled as 'Sludge safe for manual removal after one year'.</p>

No.	4
City	Kathmandu
Name of the toilet	Flush toilets with septic tanks
Water consumption	500-1000 mL-water
Material	Squatting pan or commode and a built-in flush device
Waste destination	Onsite
Cost (product and installation)	\$300 to \$350
Explanation	A flush toilet disposes human waste by using water to flush it through a drainpipe to another location. Modern toilets incorporate an 'S', 'U', 'J', or 'P' shaped bend that causes the water in the toilet bowl to collect and act as a seal against sewer gases. Flush toilets are typically not designed to handle waste on site, their drain pipes are connected to waste conveyance and waste treatment systems
Diagram	

No.	5
City	Kathmandu
Name of the toilet	Ecosan latrines
Water consumption	Ash is used instead of water after defecation and little (less than 100 ml) water is used after urination
Material	Squatting pan, Combined pan, Pan cover, Faeces collection chambers, Urine pipes and the urine collection tank, Ventilation pipe, Access doors in vault
Waste destination	faeces and urine are used as fertilizer
Cost (product and installation)	Rs. 16500/ US\$236
Explanation	In the EcoSan toilet the urine and the faeces are stored. After the faeces bin is filled, it is replaced by an empty one. The collected faeces are left for six months before being applied to the garden. This toilet saves more than 40 liters of clean water per day as a flushing toilet consumes more than 10 liters of water every time it is used. Collected urine is diluted in a 1:10 ratio and can applied to the garden
Diagram	

No.	6
City	Kathmandu
Name of the toilet	Mobile Toilets
Water consumption	1 Liter/per person
Material	Mobile van, squatting pan or commode and a built-in flush device, Faeces collection chambers, Urine pipes and the urine collection tank, Ventilation pipe, Access doors in vault
Waste destination	separates the solid waste and urine which will be changed into fertilizers
Cost (product and installation)	1 million / 14300US\$
Explanation	There are different tanks to collect urine and stool. Each tank has a capacity of 500 litres and fills up in two days. At present the collected urine and stool is taken to a treatment plant at the Kathmandu Metropolitan City. The waste is treated to destroy harmful contents and the residue, which is no longer harmful, is discarded. However, KSWM plans to recycle the waste in the future.
Diagram	