

宮 崎 大 学 大 学 院
博 士 学 位 論 文

ナイルデルタ流域における安価な
水質浄化技術の導入と
その評価に関する研究

学位授与 2016 年 9 月

宮崎大学大学院農学工学研究科
資源環境科学専攻

小木曾 凡芳

N1301009

目 次

第1章 緒言	1-1
1.1 背景と目的	1-1
1.2 研究対象地域の概要	1-2
1.3 研究概要	1-7
1.3.1 パイロットプロジェクトの概要	1-7
1.3.2 パイロットプロジェクトの成果	1-8
1.3.3 排水再利用計画の構成プロジェクト	1-10
第2章 ナイルデルタ流域の水質環境における現状と課題	2-1
2.1 ナイル川及びデルタ地区の水質	2-1
2.2 排水の灌漑への再利用に係る水質基準	2-2
2.3 デルタ地区の水質	2-5
2.3.1 調査方法及び位置	2-5
2.3.2 ナイルデルタの水質	2-5
2.3.3 ナイルデルタの用排水路の水質	2-8
2.3.4 まとめ	2-8
2.4 対象地区の水質	2-10
2.4.1 はじめに	2-10
2.4.2 調査方法	2-10
2.4.3 結果と考察	2-11
2.4.4 まとめ	2-17
第3章 排水路の水質浄化技術	3-1
3.1 排水路の水質浄化技術	3-1
3.1.1 水路内浄化施設の概要	3-1
3.1.2 水路内浄化施設の検討	3-2
3.1.3 水路内浄化施設の施工概況	3-6
3.1.4 水質試験結果と考察	3-7
3.2 マイクロバブルによる水質浄化	3-9
3.2.1 はじめに	3-9
3.2.2 実験方法	3-9
3.2.3 結果と考察	3-12
3.2.4 まとめ	3-16
第4章 集落排水処理施設による点源負荷対策	4-1
4.1 集落排水処理施設の概要	4-1
4.1.1 はじめに	4-1
4.1.2 集落排水処理施設の概要	4-2
4.1.3 コスト縮減対策	4-5
4.2 施設的设计概要	4-6
4.2.1 施設の容量	4-6

4.2.2	構造図面	4-8
4.3	施設の施工概要	4-10
4.4	施設構築時の留意点	4-13
4.5	水質試験結果と考察	4-14
4.5.1	放流水質の調査	4-14
4.5.2	結果と考察	4-14
4.5.3	まとめ	4-18
4.6	維持管理	4-19
第5章	ソフトコンポーネント	5-1
5.1	農民組織・水利組合の現状	5-1
5.2	灌漑コンプレックスの実施体制	5-4
5.3	環境教育	5-7
5.3	施設維持管理計画	5-9
第6章	結言	6-1
6.1	研究成果	6-1
6.1.1	地区内水質調査	6-1
6.1.2	マイクロバブルによる水質浄化	6-1
6.1.1	集落排水処理施設設置による点源負荷対策	6-1
6.2	今後の課題と展望	6-2
6.2.1	パイロットプロジェクトにより得られた課題	6-2
6.2.2	今後の展望	6-3

第1章 緒言

1.1 背景と目的

日本の全国下水道整備率は、平成27年3月31日時点において、77.6%となっており、コミュニティプラント・浄化槽・農業集落排水を含めた整備率は、89.5%となっている。日本は、下水道整備率の向上、法整備の確立、住民の意識向上等により、公共用水域の水質も良好に保持されている。国土交通省の発表によれば、一級河川（湖沼及び海域を含む）の直轄管理区間において、生活環境の保全に関する環境基準を満足した割合が昭和51年に66%であったものが、平成21年に90%を越え、近年5年間は90%以上を保持している。下水道整備率と環境基準達成率を図-1.1.1に示す。

一方、海外に目を向けると、日本及び欧米諸国等の先進国は、下水道整備率も70%以上となり、衛生を保たれているが、UN発表の「The Millennium Development Goals Report 2013」によれば、2011年時点の世界平均で、36%の人口が基礎的な衛生施設を継続的に利用できない状況にあるとされている。また、発展途上国平均では、その割合が43%となっている。不適切な排水管理及び水質汚染により、健康被害、環境・水利用・観光産業への影響が懸念され、それによる経済的損失も大きくなっていると推察される。そのような背景下、日本は、衛生分野のODAトップドナー国として、毎年20億ドル規模で、開発途上国を支援している。

本研究は、新興国のうち、エジプト・アラブ共和国（以下、エジプト国）を対象として、水質改善及び排水の再利用を目的に実施したものである。エジプト国は、降雨量が非常に少なく、その水源をほぼ全面的にナイル河川水に依存している。1959年にスーダン国と結んだ協定により、エジプト国のナイル川からの年間利用可能量は555億 m^3 と規定されている。エジプト国の水資源灌漑セクターにおいては、この限られた水資源の有効利用が重要な課題である。

エジプト国では、年率約2%の人口増加を続けており、それに伴う食糧増産のための農地開発、さらに経済成長も加わり、農業・工業・生活用水の水需要が大幅に増加し、水需給の逼迫

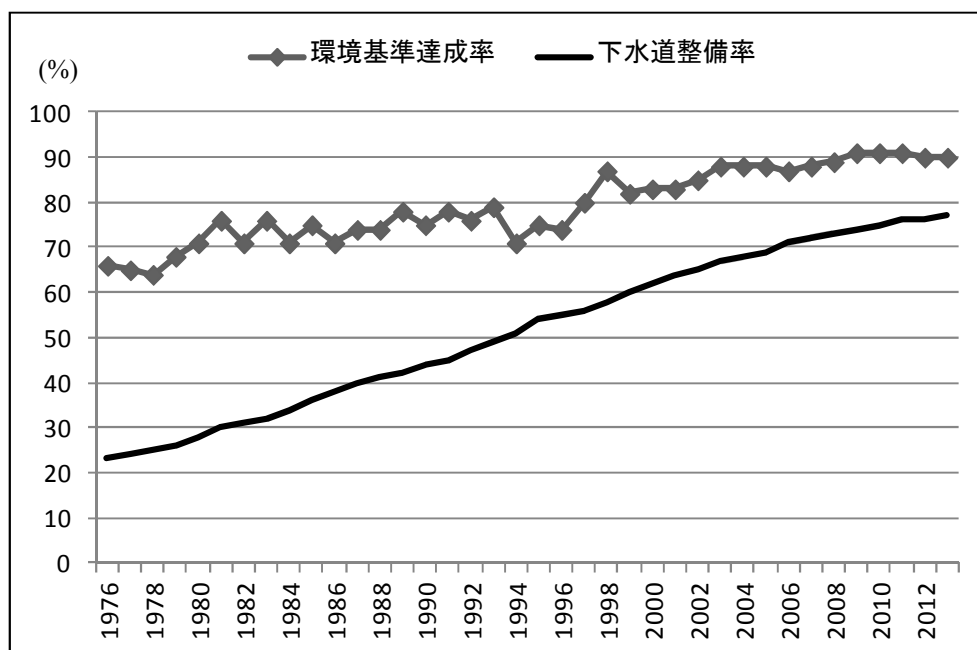


図-1.1.1 下水道整備率と環境基準達成率

が懸念されている。特にナイル川の下流域であるナイルデルタ地域では農業用水の不足が発生しており、農業用水の確保は国家の重要課題の一つとなっている。

エジプト国における「国家水資源計画 (National Water Resources Plan 2017: NWRP 2017)」では、水需要の増加に対応するため、地下水開発による新規水源探査、既耕地における節水、および排水の再利用による水供給が戦略として掲げられている。このうち農業セクターの排水の再利用については、1997年の排水再利用量 350 万 m³ から 2017年に約 2.5 倍の 890 万 m³ まで増加するとしているが、そのためには、未処理の工業排水及び生活排水の混入、家畜の糞尿の混入等の様々な原因によって悪化する排水の水質を保全・向上させ、農業用水として許容可能なレベルで再利用する方法の確立が必要となっている。

上記の背景のもと、エジプト政府からの要請を受け、我が国は、エジプト国水資源灌漑省 (Ministry of Water Resources and Irrigation: MWRI) 配下の排水庁 (Egyptian Public Authority for Drainage Project: EPADP) 及びカフルシェイク県を主なカウンターパート (C/P) 機関として、中央ナイルデルタにおける農業用水の安定確保のための排水再利用計画の策定と、それを通じた C/P の能力向上を図る開発計画調査型技術協力の実施を 2011 年 11 月に決定した。

本研究は、上記プロジェクト内で行ったパイロットプロジェクトを通して得られた知見をとりまとめたものであり、対象地域は中央ナイルデルタ地域である。



図-1.1.2 対象位置図

1.2 研究対象地域の概要

1.2.1 カフルシェイク県の自然・社会状況

1.2.1.1 位置

図-1.1.2 に示すとおり、カフルシェイク県は、ナイルデルタ最下流に位置し、カイロより北へ約 120Km 先に位置する。県境は、北部を地中海、西部をナイル川のロゼッタ支流、東部をダカリア県、南部をガルビア県と接する。カフルシェイク県から見てナイル川の上流の位置となるガルビア県には工業都市であるマハラクブラ市やデルタの中心都市のタンタ市といった大都市が所在する。県の面積は 3,748km² であり、10 郡、49 町、206 村および 1,559 の小集落より構成される。県都はカフルシェイク市であり、県北部の地中海付近にはブルルス湖が存在する。

1.2.1.2 気温/雨量

表 1.2.1 にカフルシェイク県とほぼ同緯度に位置するマンスーラ観測所の 2012 年の観測結果を示す。月別の平均最高気温は 19.5℃から 34.5℃の間で推移しており、5 月から 9 月の間は 30℃を超える。2012 年における年間降水量は約 51mm であり、7 月から 8 月までの間は、降雨がなかった。県都のカフルシェイク市内にある Rice Research Center に設置されている雨量計では、2002 年~2010 年の平均で 106.3 mm の年降雨が記録されている。

表 1.2.1 月別平均気温/湿度/雨量 (2012 年 Mansura 観測所観測結果)

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Max. Temp (°C)	19.5	20.5	24.5	28.0	31.5	34.0	34.5	34.0	31.5	28.5	25.0	21.5
Mini. Temp (°C)	9.5	9.5	11.0	13.5	16.5	19.5	21.5	21.5	20.0	17.5	14.0	11.0
Humidity (%)	74	72	99	62	58	60	68	71	69	69	72	74
Rainfall (mm/month)	11.0	9.2	7.7	2.7	2.8	0.4	0.0	0.0	0.1	2.9	5.6	8.8

出典: Statistical Year Book, September Issue 2014

1.2.1.3 人口

表 1.2.2 に 2010 年~2014 年におけるエジプト全体及びカフルシェイク県の人口を示す。2014 年におけるカフルシェイク県の人口推定値は 3.1 百万人である。都市部と農村部の人口割合は、最新統計である 2006 年人口センサスによると、各々 23% および 77% であった。2006 年人口センサスでの 1 世帯当たり家族構成員数 4.3 人から推計すると、2014 年の県全体の世帯数は約 719 千世帯となる。2010 年から 2014 年にかけて年人口増加率は平均 2.19% であり、2010 年から 2014 年の 5 年間の総増加率は 8.91% (2010 年比) である。これらの増加率は全国平均よりは下回る。2014 年の人口密度は 825 人/km² となる。

表 1.2.2 カフルシェイク県の人口推移状況

Year		2010	2011	2012	2013	2014	Ave	2010 To 2014
Total in Egypt	Population	78,684,622	80,529,566	82,549,977	84,628,982	85,782,965	-	-
	Growth rate	2.29%	2.34%	2.51%	2.52%	1.36%	2.20%	9.02%
Kafr El Sheikh	Population	2,840,662	2,905,891	2,979,258	3,054,770	3,093,754	-	-
	Growth rate	2.32%	2.30%	2.52%	2.53%	1.28%	2.19%	8.91%

出典: Statistical Year Book, September Issue 2014

1.2.1.4 経済

表 1.2.3 に経済部門別雇用者割合を示す。農業セクターは、県の主要な経済部門である。2013 年における県の雇用人口 892,900 人のうち、44.2% に当たる 395,100 人が農業セクターに従事し

ている（エジプト統計書では農業および狩猟と記載）。これに対し、2次産業および3次産業の雇用者の雇人口に占める割合は、各々14.0%および41.8%となっている。農業セクターの雇用者割合は、近年3カ年で約44%と安定した割合を維持している。一方、第2次産業の雇用者割合は微増、第3次産業は微減となっている。

表 1.2.3 経済部門別雇用者割合

Governorate	Agriculture & hunting (%)			Industry (%)			Services (%)		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
Urban	2.4	2.4	4.0	29.7	31.8	29.8	67.1	65.8	66.2
Lower Egypt	34.9	32.3	32.2	21.0	22.6	22.3	44.0	45.1	45.5
Upper Egypt	34.6	32.2	33.8	24.2	24.8	24.2	41.0	43.0	42.0
Frontier	19.7	20.3	24.1	17.4	19.2	16.3	62.7	60.5	59.6
National	29.2	27.1	27.9	23.5	24.9	24.1	47.1	48.1	48.0
Kafr El Sheikh	44.5	44.1	44.2	12.8	14.0	14.0	42.7	42.0	41.8

出典: Statistical Year Book, September Issue 2012, 2013 and 2014

2012年における県の総耕地面積は566,024 フェダン¹ (237,730ha) であり、これは県総面積の62.3%に当たる。主要農産物は、米、綿花およびテンサイで、2012/13年における各々の生産量は、全国生産量の20.0%、25.7%および25.0%を占める。これらの農産物に関連して、精米工場、綿繰り紡績工場、製糖工場といった食品産業が振興している。綿花生産は、エジプトの伝統的な産物であるが、農業自由化およびそれ以降の綿花の国際価格の下落などにより、県の綿花生産量は減少傾向であり、特に2008年以降の生産量落ち込みは激しい。テンサイは節水作物として政府が作付を奨励しており、生産が急増している。

県北部が地中海やBurullus湖に接することから、漁業もまた県の主要産業である。内水面養殖業も県北部で広がっている。これまで数万フェダンという農地が養殖池に転換されたとも言われている。主な養殖魚は、ティラピア、ボラ、ナマズである。養殖業の進展に従い、魚の餌を生産する工場も県内に数件設立されてきている。

第2次産業、第3次産業に関しては、県の産業推進のために、県北端を横断する国際海岸道路に沿って2箇所の産業団地が設立されている。一方はバルティーム産業団地で114フェダンの敷地を擁する。他方はメトバス産業団地で、敷地面積は1,160フェダンである。2007年段階で、これら産業団地内で55の工場が稼動している（内閣府情報支援センター）。海岸沿いは、県内の史跡と共に観光開発のポテンシャルがある。特にブルルス湖は、自然保護区に指定されており、本地域での観光開発を進めるには、環境保全が非常に重要である。

1.2.1.5 交通

2014年の統計によると、カフルシェイク県の全道路延長は、4,618kmであり、その91.3%は舗装が行われている。主要都市を結ぶ幹線道路はアファルト舗装されており、アクセス状況は良い。水路沿いを走る2次道路では、一部に舗装道路が見られる。カフルシェイク市と県北部のブルルス湖近くに位置するバルティーム市を結ぶ高速道路が整備されたことにより、県庁から県北部へのアクセス状況は非常に良い。

1.2.1.6 電力

エジプト電力公社（Egyptian Electricity Holding Company: EEHC）によれば、エジプトの電化率は99%を超えており、ほとんどの世帯が電気へアクセスできる状態となっている。エジプト

¹ 1フェダン = 0.42ha

第1章

電力公社は 16 社のグループ企業を抱えており、これらの企業がエジプトにおける電力サービスの提供を行っている。エジプトでは経済成長に伴う電力需要が急速に高まっており、深刻な電力不足が懸念されている。世界銀行によれば、電力需要は 2003 年以降平均約 7.5% 増大しており、実際、カフルシェイク県においても断続的な停電が頻発している状況となっている。

また、農業セクターにおいても、ポンプ場の電化が進められている。例えば、メスカ改良事業を行っている IIIMP(Integrated Irrigation Improvement and Management Project ;総合灌漑改善事業)では、いくつかのサイトで電力を動力源としたポンプ場を設置している。さらに、IIIMP は EEA (Egyptian Electronic Authority: 電力庁) と合意を交わし、IIIMP によって設置されたポンプ場に、通常よりも安い電気料金を適用している。こうした状況は、灌漑コストの低減に大きく貢献していると言えるが、一方で農民からは、停電が頻発している昨今の状況では、必要な時にポンプを運転することができなくなるという不安の声も上がっている。

1.2.1.7 上水道

表 1.2.4 にカフルシェイク県の上水道に関する統計数値を示す。カフルシェイク県の上水道は、県下 7 箇所の浄水場にて浄水処理を行い、19 箇所の高架タンクを含めた管路ネットワークシステムにより配水が行われている。2006 年の統計によると、県の 1 人あたり平均水消費量は都市部で 371 liter/day, 農村部で 63 liter/day となっている。給水へのアクセス率は、2006 年で既に都市部で 99%, 農村部で 96% となっており、全体的に高い水準となっている。

表 1.2.4 カフルシェイク県の上水道分野一般統計 (2006 年)

Area	Water Production (thousand m ³ /d)	Water Consumption (thousand m ³ /d)	Water Consumption per Capita (litters per capita/day)	Households with access to the water
Urban	336.2	128.2	63.6	96.1%
Rural	173.2	224.4	371.6	99.4%
Total	509.4	352.6	134.7	96.9%

出典: Description by Information 2007, The Cabinet Information and Decision Information Center

1.2.1.8 下水道

表 1.2.5 に 2015 年 2 月時点におけるエジプト国の下水道整備率を示す。2015 年 2 月時点でのエジプト国内の下水道整備率は、HCWW(Holding Company for Water and Wastewater ;上下水道公社)からの聞き取りによれば、処理施設及び管路の整備が終了した市町村数比率で示すと 50% である。このうち都市部が 78% であり、農村部は 12.6% と低い整備率となっている。カフルシェイク県は、全体で 44% の整備率で、都市部及び農村部の整備率は、各々 100% 及び 35% となっており、都市・農村別にみれば整備率は全国に比べて高くなっている。

表 1.2.5 エジプト国の下水道整備率 (2015 年 2 月)

Area	National			Kafr El Sheikh		
	No. of city/town/village	Covered by WTP	(%)	No. of city/town/village	Covered by WTP	(%)
Urban	222	173	78.0%	10	10	100%
Rural	4,617	582	12.6%	206	72	35%
Total	-	-	50.0%	-	-	44%

出所: HCWW 聞き取り。Total の整備率は、市町村の人口も加味された加重平均値

カフルシェイク県には、カフルエルシェイク、ディスーク、ビヤラ、ケリエン、メトバス、アルリアド、フワ、バルティーム、アルハモウルおよびシディサレムの 10 郡と郡中心都市が

ある。都市下水道は、これらの市で整備されているが、人口増加の結果、ビヤラ市など幾つかの市では施設の機能強化が必要である。さらに、県内には206の村があり、一村当りの平均人口が約1万人に達するなど、人口が増加している。規模の大きい村での下水道整備も計画する必要がある。県内には更に1,559の小集落も存在する。表1.2.6に、計画を含むカフルシェイク県の下水处理場の一覧を示す。

表 1.2.6 カフルシェイク県の下水处理施設

No.	Ca.	District	Name of Plant	Drain	Remarks
1	A	Biyala	Biyala	Drain No.4	
2	A	Hamoul	Hamoul	Drain No.6	
3	A	Burlos (Baltim)	Baltim	Nasir Drain	
4	A	El Reyad	El Reyad	Abu Khashabah	
5	A	Kafir El Sheikh	Kafir El Sheikh	Drain No.7	
6	A	Kellien	Caleen	Nashart al-A'la	
7	A	Sidi Salem	Sidi Salem	Nashart	
8	A	Desouq	Desouq	Tahwilat Hud al-Hajar	
9	A	Fuwa	Fuwa	No.11 Drain	
10	A	Motobas	Motobas	Zaghlul	
11	B	Biyala	Ibshan	Drain No.5	
12	B	Biyala	Al Garayda	al-Banawan	
13	B	Hamoul	Al Zaffaran	Ibshan	
14	B	Burlos (Baltim)	Al Burg	Gharb al-Burullus	
15	B	El Reyad	Al Hasfa	Drain No.7	
16	B	Kafir El Sheikh	Sidi Ghazi	Umm Ja'far	
17	B	Kellien	Shabas Omare	Firawn	
18	B	Sidi Salem	Abu Ghanimah	Drain No.10	
19	B	Desouq	Sanhur al-Madinah	Sanhur ash-Sharqi	
20	B	Desouq	Shabas al-Malh	Drain No.10	
21	B	Fuwa	Kabreet	Kabreet	
22	C	Desouq	Agoozain	Drain No.9	
23	D	Hamoul	Koleaah	Ibshan	GIZ supported
24	D	El Reyad	Om Sen	Fars Al-Ganaen	GIZ (Not working, beside E1)
25	D	Sidi Salem	El Mbouty	Al-Minsha	GIZ supported
26	D	Biyala	Handakokha	Drain No.4	GIZ supported
27	D	Hamoul	Om Shour	Drain No.4	GIZ supported under construction(2013/5/2)
28	D	Kafir El Sheikh	Kafir El Gedid	small drain	GIZ supported under construction(2013/10/22)
29	D	Kellien	Kouzman	small drain	GIZ supported under construction(2013/4/25)
30	E	El Reyad	Karsa (Kheregin) 3 El Fayrouz	Al-Admah	
31	E	El Reyad	Karsa (Kheregin) 5 Om El Koraa	-	position of target village
32	E	El Reyad	Karsa (Kheregin) 6 El Kadesaya	-	position of target village
33	E	El Reyad	Arymon (ISSIP KSH-3)	branch drain	ISSIP proposed site

Source: Location Maps of HCWW, GIZ

Category: A: Treatment Plant in City D: GIZ supported
 B: Kfw funded projects E: WB funded
 C: NOPAWSD

郡都以外の都市では、主として KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau ;ドイツ復興金融公庫) 融資の下水处理場が建設されている。これに加え、GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit ;ドイツ国際協力公社) により建設された集落排水施設があり、また世銀の ISSIP (Integrated Sanitation and Sewerage Infrastructure Project ;衛生・下水处理施設機能強化・整備) で建設中また予定の施設がある。これらを合わせて 33 箇所の下水处理場がある。図 1.2.1 に ISSIP 事業にてカフルシェイク内にてカバー予定の範囲を示す。ISSIP 事業では、新設の処理場に加え、既存処理場の強化を含め、周辺農村をパイプで繋ぐクラスター型の下水处理整備事業を進めている。また集落排水処理施設設置の取り組みも進めている。ISSIP-1 で、カフルシェイク県にはミト・ヤズィド幹線水路沿いで 3 つのクラスター (KSH-1 ~KSH-3) が計画されており、各クラスターでは数十村がパイプラインで大規模下水处理場につながる計画になっている。

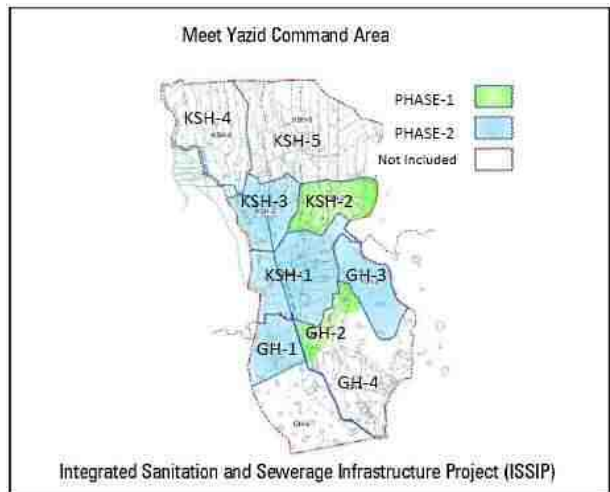


図 1.2.1 ISSIPによりカバーされる公衆衛生改善範囲

また、EU も、Kafr El Sheikh Waste Water Treatment (KSWWP)プロジェクトで、3 箇所の既存下水処理場の機能強化、2 箇所の下水処理場の整備、および 52 箇所のポンプ場を含む 694km の下水管の設置を計画している。

1.3 研究概要

本研究は、エジプト国において実施した農業排水再利用のパイロットプロジェクト内容を基にナイルデルタ流域における安価な水質浄化技術の導入とその評価に関する研究を行ったものである。以下にパイロットプロジェクトの概要を記述する。

1.3.1 パイロットプロジェクトの概要

研究の題材としたパイロットプロジェクトは、表 1.3.1 および図 1.3.1 の 5 地区を最終的に選定して、パイロットプロジェクトを実施した。

表 1.3.1 パイロットプロジェクト地区のコンポーネント

Code	Drain	Irrigation Canal	Component
Kafr El Sheikh East			
E-1	Farsh Al Ganaen	Marsa Al Gamal	Reuse pump (1.0m ³ /s), Strengthening WUA, Environmental Campaign
E-4	Mekhazan	Mekhazan	Reuse pump (0.5m ³ /s), Strengthening WUA, Environmental Campaign
Kafr El Sheikh West			
W-2	No. 11	Kbreet	Reuse pump (1.0m ³ /s), Strengthening WUA, Environmental Campaign
W-4	Faranon	El Karadwah	Reuse pump (0.5m ³ /s), Strengthening WUA, Environmental Campaign
W-5	Sandela	El Moheet El Gharby	Reuse pump (1.0m ³ /s), Rural Sewerage system (500 people), In-stream system, Compost yard, Strengthening WUA, Environmental Campaign

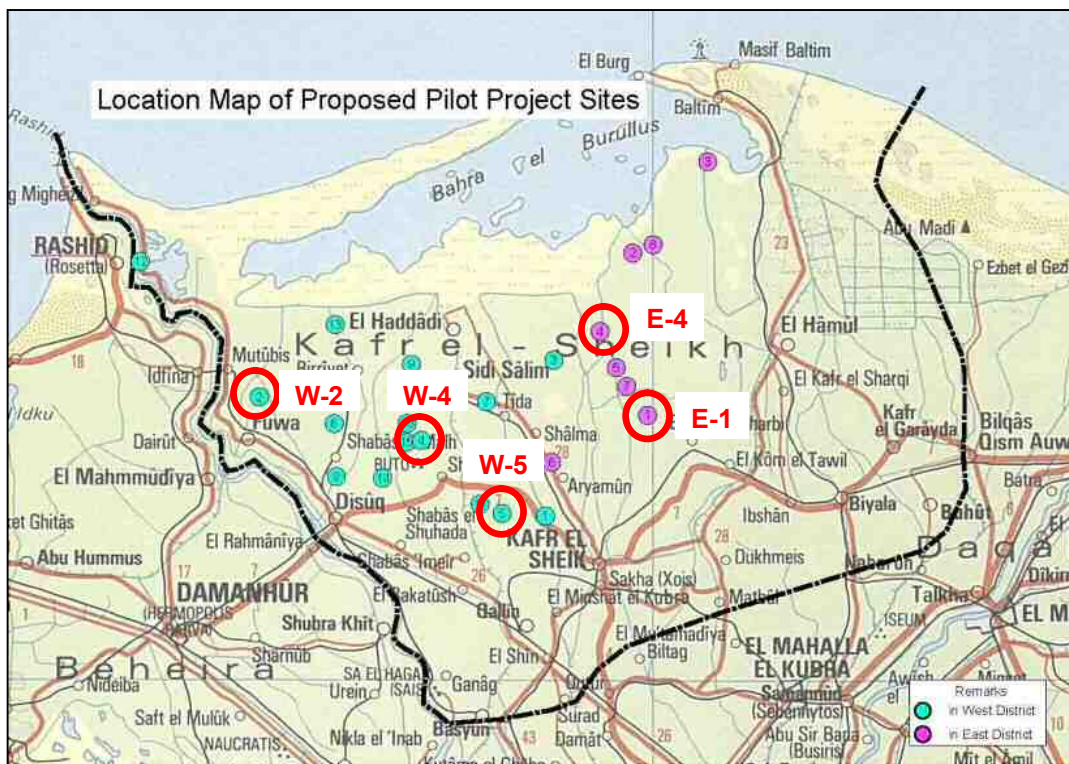


図 1.3.1 パイロットプロジェクトサイト位置図

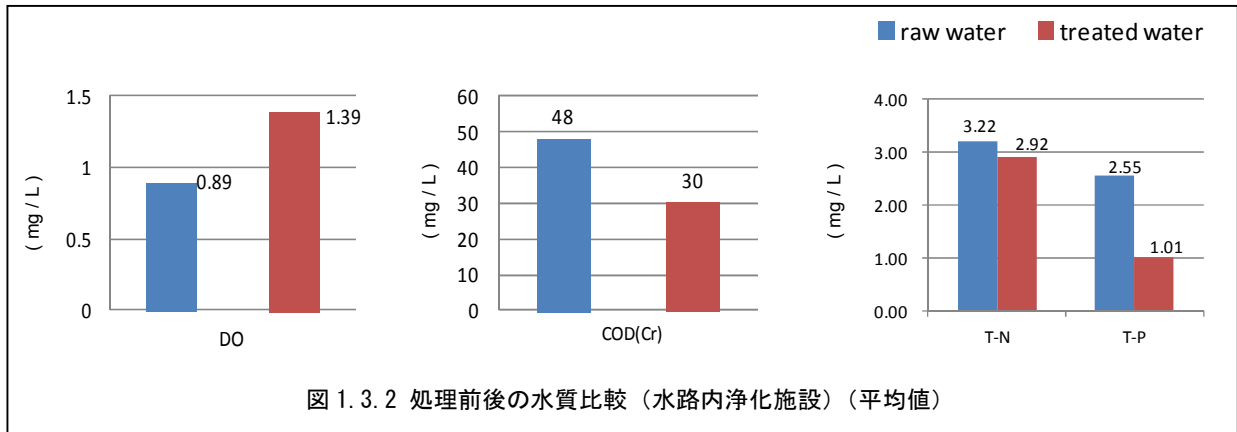
パイロットプロジェクトは、基本的に灌漑コンプレックスの設立プロジェクトとして実施し

た。W5 地区では、灌漑コンプレックスの水質保全にかかる施設を全て設置したが、他の 4 地区は排水再利用ポンプのみ設置を行い、ポンプ維持管理に関与する水利組合の強化および環境キャンペーン実施による環境啓発活動は全 5 地区で実施した。

1.3.2 パイロットプロジェクトの成果

パイロットプロジェクトで実施した水質保全施設の効果を以下に記述する。対象施設は、W5 地区排水路内の水路内浄化施設および集落排水施設である。

水路内浄化施設は、灌漑コンプレックスの一部として排水路内の直接的な水質浄化を行うものである。排水路内の有機物や栄養塩類等の汚濁負荷の軽減、および溶存酸素の向上などの水質改善効果が見込まれる。水路内浄化水路における処理効果を図 1.3.2 に示す。水路内浄化水路による処理効果は、溶存酸素 (DO) について平均 0.50 mg/l の上昇値、COD について平均 37% の除去率、全窒素 (T-N) について平均 11% の除去率、全りん (T-P) について平均 45% の除去率が得られ、排水路の水質改善が認められた。



集落排水処理施設は、排水路沿いの集落からの家庭排水を集めて処理を行い、処理水を排水路へ放流する施設である。水質汚染源への対策であり、排水路の水質汚濁を未然に防ぐものである。従って、本施設により適切に集落からの家庭排水を処理することが、排水路の水質改善に寄与する。

W5 地区の集落排水処理施設の処理効果を図 1.3.3 に示す。原水は今回対象となるサンデラ村から流入する下水である。原水と処理水との比較において、COD について 85%、BOD について 99% と高い除去率が得られた。また処理水の濃度がそれぞれ COD : 60mg/l、BOD : 5mg/l と低く、良好な処理が行われていることが確認できる。

窒素・りんについては、全窒素 (T-N) で 14%、全りん (T-P) で 43% の除去率が得られた。大腸菌群数 (Total coliforms) や糞便性大腸菌群数 (Fecal coliforms) についても、それぞれ処理水の値が 100 MPN/ml 以下と適正に処理が行われている。排水基準と比較すると、処理水の DO 値が若干基準値に満たなかったものの、その他の水質項目 (COD, BOD, 大腸菌群数, 糞便性大腸菌群数) は基準値を満たしており、良好な処理水質であることが確認された。

本集落排水処理施設の対象水量は、30 m³/日と少量であるが、本施設を排水路沿いのその他の集落へと広域的に展開・整備することによって、排水路全体の水質改善が期待される。

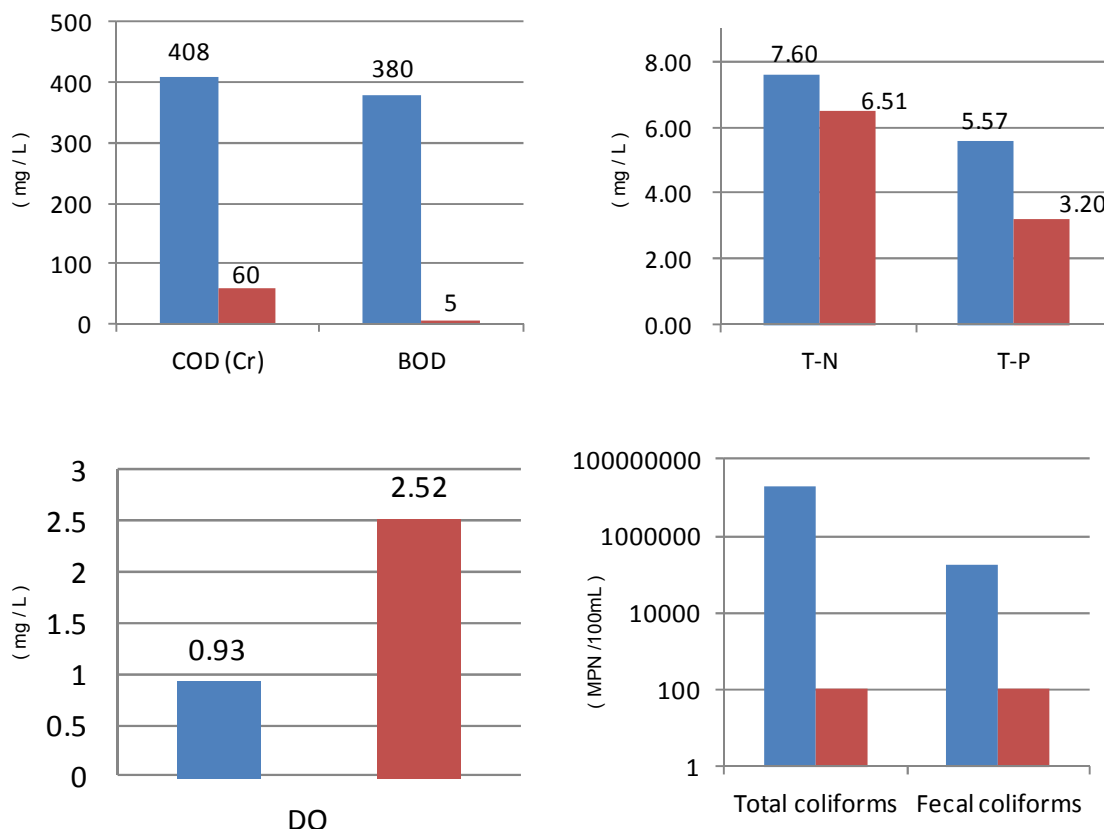


図 1.3.3 処理前後の水質比較（集落排水処理施設）

また、実施体制の構築として、これまで開水路の環境保全を直接的に担当する政府機関がなかったが、パイロットプロジェクトを通じて排水庁および県レベルの灌漑局・排水局関係者を集めたワークショップを実施し、環境啓発活動については、排水局の DAS(Drainage Advisory Service; 排水指導部)及び灌漑局の GDIAS (General Directorate for Irrigation; 県灌漑指導部)が中心となって実施していくことが確認された。DAS は排水セクターにおける暗渠排水の利用者に対する啓発活動等を行っており、GDIAS は灌漑セクターにおける水利組合を対象とした活動を行っている。どちらも農民を中心に活動しているため、地域住民を巻き込んだ環境啓発活動についても中心的な役割が果たせる。実際に、この DAS および GDIAS の参加による環境啓発活動をパイロットプロジェクトで実施し、彼らの活動の一部として環境啓発活動を認知された。

環境啓発活動実施に当たっては、宗教省、教育省（学校）、青少年・スポーツ省など様々な省庁に対して、環境への意識を高めるための協力を要請した。その結果、いずれも高い関心と理解を示し、非常に協力的であり環境キャンペーンの実施、イマムに（聖職者）による環境啓発、水路周辺の清掃活動などの実施が可能となった。本プロジェクトの実施により、これらの省庁の関係者の環境保全への意識向上に貢献したと思われる。これら関係者と協力も、DAS および GDIAS が先導して進められることが期待される。

1.3.3 排水再利用計画の構成プロジェクト

(1) 灌漑コンプレックスのコンポーネント

灌漑コンプレックスを構築するコンポーネントは、全てあるいは幾つかの組み合わせで設置できる。コンポーネントの組み合わせは、対象地区の状況に依存する。各コンポーネントの内容を下記に記述する。

1) 集落排水処理施設

集落排水システムを導入することは、排水の水質の維持に寄与する。水質汚染の40%が下水によるものであるとの事実を考えると、集落排水施設は、水質保全に重要な役割を担うことになる。村落から排水路に流される下水の処理を行い、排水の水質を改善することを目的とする集落排水システムは、維持管理の容易さ、経済効率、水質改善レベル等を考慮して設計する。集落排水システムの規模は、一つのユニットで500人から1,000人をカバーする規模とする。

2) 水路内浄化施設

水路内浄化システムは、排水のDOおよびCOD値の改善を目的に、排水路内に設置する。施設は、エジプトにおける水質改善の一モデルとして展示することにより地域住民への啓蒙効果が得られる。施設は、沈殿ゾーン、植物浄化ゾーンからなる。

3) 農業畜産廃棄物処理／堆肥化施設

村では一般的に、家畜の糞は戸外の水路脇に積み上げられている。また、稲藁なども同様で、用排水路に直接落下し水質汚染の要因となっている。堆肥化施設は、水路脇に設置し、家畜の糞尿や稲藁などが水路に落下することや地下浸透を防ぐことを目的に設置する。また、堆肥化施設で作成された堆肥は、肥料としての利益を創出する。

4) 排水再利用ポンプ

排水再利用ポンプは、浄化施設の下流側への設置が計画される。排水再利用ポンプのデザインは、これまでエジプトで設置されてきたポンプ場と基本的に同じである。排水再利用ポンプの設置で、水質が改善された排水の再利用を促進する。

5) 利用者の組織化

上述の施設の運営維持管理を通じて、施設利用者の住民組織の設立・機能強化を行う。施設の所有権は、基本的に政府に帰属することを前提とする。その理由として、施設は公共用地を用いて建設されていること、さらに住民組織が所有権を持った場合、政府が関与することが難しく、施設の修理や改修が必要になった際に政府の支援を受けられない可能性が高いためである。排水再利用ポンプおよび水路内浄化施設は水資源灌漑省、集落排水処理施設および堆肥化施設はローカルユニットの所有となる。住民組織は、これらの施設の運営・維持管理に参画する計画である。このため、既存組織がない地区では、新規組織化を行い、既存組織がある地区では、既存組織の機能強化を図ることとなる。施設別の所有権と利用組織の形態を表1.3.2にまとめる。

表 1.3.2 施設別所有権と利用者組織の形態

施設	所有権	運営・維持管理に関わる利用者組織
集落排水処理施設	ローカルユニット	受益村の既存 CDA あるいは新規 CDA 設立
農業畜産廃棄物処理/堆肥化施設	ローカルユニット	
直接浄化施設	水資源灌漑省 (排水局)	排水再利用ポンプ委員会 (既存水利組合の有無により形態が若干異なる。)
排水再利用ポンプ	水資源灌漑省 (灌漑局)	

集落排水処理施設や農業畜産廃棄物処理/堆肥化施設は、基本的に村の CDA (Community Development Association; コミュニティー開発組合) が関与することとする。CDA が無い村では、NGO 法に則って住民による CDA 設立を支援する。排水再利用にあたっては、当該地域の農民が直接の受益者となることから、水利組合の機能強化が重要な要素となる。とりわけ、排水再利用ポンプ設置が予定される支線水路を取りまとめる BCWUA (Branch Canal Water Users' Association; 支線灌漑水路レベル水利用者組合) の役割が非常に大きいといえる。実際、水資源灌漑省は国家水資源計画において水利組合の重要性を述べており、今後の方針としてこれまで政府が担ってきた施設の維持管理を水利組合に移管していくことを明確に述べている。水資源灌漑省は、開発パートナーの支援による灌漑改善事業も通じて、この方針の具体的取り組みを進めている。つまり将来的には排水再利用に係る施設の維持管理も BCWUA が担うことが理想的である。

このように、将来的には灌漑支線水路全てに BCWUA が設立されて、排水再利用も含めた水管理を BCWUA が担うことを前提に、排水再利用ポンプ委員会を設置する。但し、現状では BCWUA が設立されていない地区、メスカレベルの WUA のみ設立されている地区といった既存組織の差異があるので、それぞれの場合の利用者組織設立・機能強化方針を表 1.3.3 にまとめる。

表 1.3.3 排水再利用ポンプ委員会設立・機能強化の基本方針

項目	BCWUA 有り	メスカ WUA のみ	水利組合なし
組織化	排水再利用ポンプ利用者グループを組合内に設立	メスカ WUA の代表者を集めて、排水再利用ポンプ利用者グループを設立	地域の有力者を特定し、排水再利用ポンプ利用者組合を設立
組合の主な役割	・ポンプの警備、清掃 ・運転スケジュールの話し合い	・ポンプの警備、清掃 ・運転スケジュールの話し合い	・ポンプの警備、清掃 ・運転スケジュールの話し合い
政府の主な役割	・運転員配置と運転行為、動力費負担、保守点検・修理及び経費負担	・運転員配置と運転行為、動力費負担、保守点検・修理及び経費負担	・運転員配置と運転行為、動力費負担、保守点検・修理及び経費負担
組合機能強化	・水質保全に対する問題意識の醸成、活動の実施 (清掃キャンペーンの実施等) ・将来の維持管理の移管に向けたトレーニングの実施	・排水再利用ポンプの維持管理を通じた組織の活動の明確化 ・水質保全に対する問題意識の醸成、活動の実施	・排水再利用ポンプの維持管理を通じた組織の活動の明確化 ・水質保全に対する問題意識の醸成、活動の実施
その他	—	将来的には、本排水再利用ポンプグループが BCWUA の母体あるいは、一部となりうる。	将来的には、本排水再利用ポンプグループが BCWUA の母体あるいは、一部となりうる。

表 1.3.4 水利組合に係る主な課題/懸念事項と取り組み

主な課題/懸念事項	取り組み
法的根拠の不在	・アンダーセクレタリーによる活動の承認 ・法改正後の活動に向けた体制の準備
設立スタッフと農民とのコミュニケーション不足	・組合設立に係るスタッフのトレーニング ・灌漑インスペクターや排水インスペクターといった多様な関係者を巻き込みながらの組合立ち上げ
リーダー及び適切なリーダーシップの不在	・地元有力者、宗教関係者、篤農家といった人材の発掘 ・また、これらの人材を核とした組織の設立

組合にとっての取り組み課題，主要活動の明確化	・ 組織立ち上げにあたっての活動の明確化 ・ 主要課題，問題意識の醸成
------------------------	----------------------------------------

表 1.3.4 に水利組合に係る主な課題と取り組みについてとりまとめた。一部の支線水路レベルの水利組合では，組合メンバーから集金し組合活動を行っている事例も確認されている。現時点で取りうる現実的な取り組みとしては，将来の法改正成立後の活動を見据え，排水再利用や水質保全活動に関する委員会を BCWUA 内部に作るといったことや，将来の組合の母体となるような農民グループを作って活動するといったことが考えられる。

6) 環境キャンペーン

灌漑コンプレックス設立においては，環境キャンペーンといったコンポーネントも組み込む。対象地域では水路へのゴミ投棄が課題となっており，住民に対する環境保全への啓発が重要となっている。環境啓発活動は様々な方法があるであろうが，どのような活動をするかは，対象地区の状況に応じてプログラムされる。

一つの方法として，住民のゴミ処理に関する理解を深めるには，すでに活動的な組織をもち，適正なゴミ処理や水路の清掃を展開している地区を視察することが効果的である。これに基づき，自分たちに何ができるか，環境保全のためにどの程度のコスト負担が可能かなど検討し，自分たちの活動内容を策定できれば，現実的かつ持続的な活動を展開することができる。

IIIMP (Integrated Irrigation Improvement and Management Project; 統合灌漑改善事業) の対象地域に位置するマフロザ東，マフロザ西 BCWUA や JICA の水管理改善プロジェクト (WMIP) フェーズ2のエラシュエルガルビ BCWUA などは，NGO と契約し，各世帯がゴミ収集費を1ヶ月に 2~3 ポンド負担することにより，定期的なゴミ収集を行っている。また，同じく IIIMP のバルネムラ BCWUA では自分たちでゴミ収集車を購入してゴミ収集を行っている。これらの先進地区を対象地域の住民が訪問し，各家庭に負担可能な範囲でゴミ収集システムを構築することが必要であると考えられる。

また，各家庭でゴミを分別することにより，ゴミ収集・処分にかかる人件費や運搬費の軽減をはかることが可能である。家庭からの生ゴミは可能な限り堆肥化することで，ゴミ排出量そのものを削減できる一方，農業生産性の向上にも寄与できる。また，ペットボトルやカン，ダンボールなどについては，カフルシェイク県内のリサイクル工場を巻き込んでリサイクルを促進するなど，各段階でゴミ排出量を削減するシステムが必要である。これに加え，行政（県）に対しても，ゴミ収集に際し，NGO やリサイクル工場と住民間の橋渡し役を務めてもらうことが期待される。

環境啓発活動の実施には様々な分野の関係者を巻き込む必要がある。本パイロットプロジェクトでは，水資源灌漑省だけでなく，ローカルユニット，宗教省，青少年・スポーツ省，教育省が環境啓発活動に関与した。各サイトで，イマーム（聖職者）は，毎週金曜日，モスクにて環境意識を高めるためのスピーチを行っている。また，W5 サイト（サンデラ村）では，青年会（Youth Society）が水路沿いの清掃活動を実施したところ，これが契機となってローカルユニットがゴミ収集を開始することとなった。水路の水質悪化は，技術的問題に加え倫理感や教育に関係するものであり，環境啓発の拡大には水資源灌漑省を含め多様なセクターの協力・参加が必要である。

以上の内容をとりまとめた概要図を図 1.3.4 に示す。

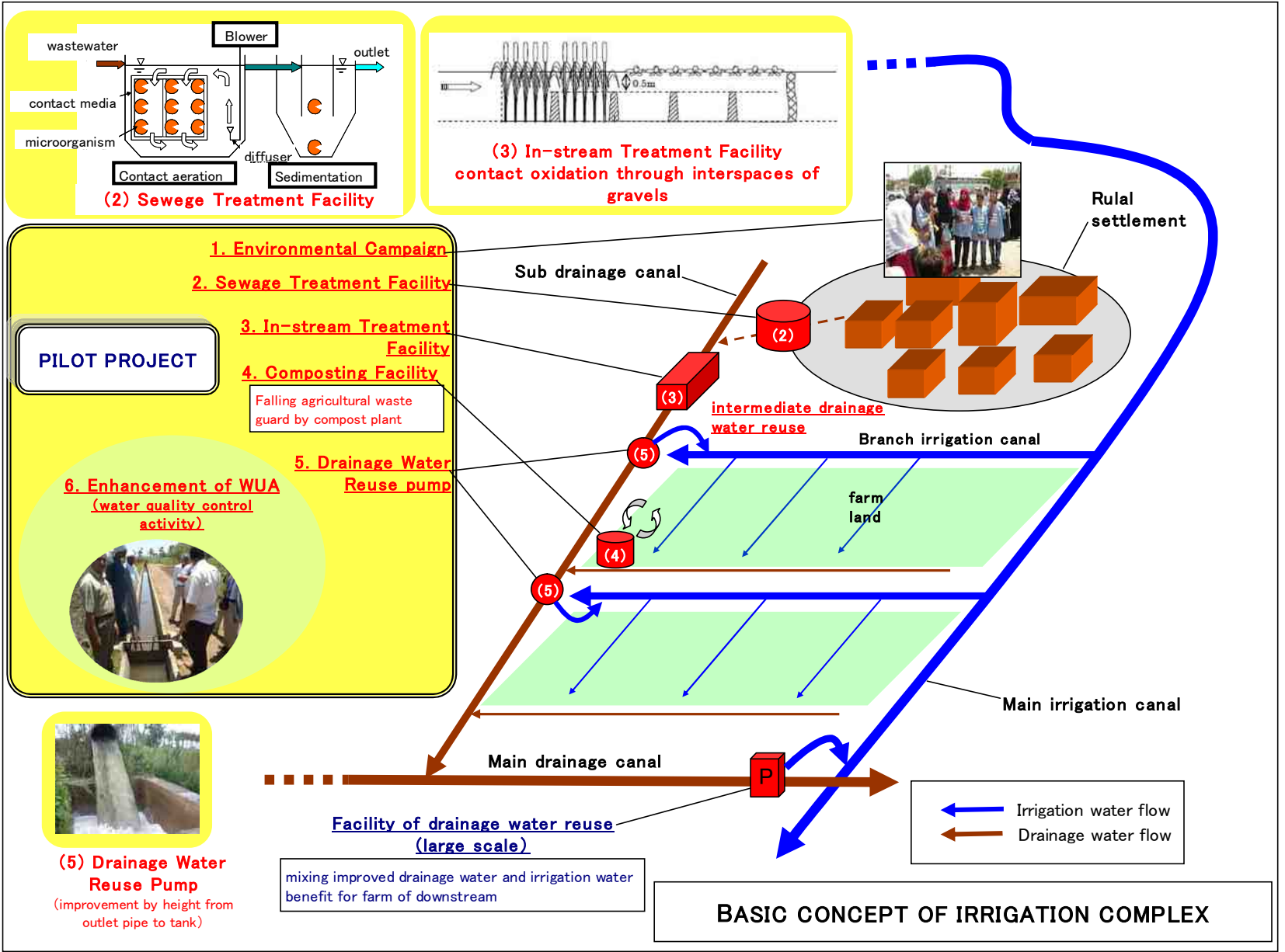


図 1.3.4 「灌漑コンプレックス」の概要図

参考文献；エジプト国 中央デルタのための水質管理・再利用プロジェクト（開発協力型技術協力）報告書 独立行政法人国際協力機構 株式会社三祐コンサルタンツ 2015年12月

第2章 ナイルデルタ流域の水質環境における現状と課題

2.1 ナイル川及びデルタ地区の水質

エジプト国のほぼ全ての水源となるナイル川の水質は、最上流のアスワンハイダムにおいて BOD1.2mg/l と良好である。その水質は、カイロ付近で 3.2mg/l、デルタの支川では 5mg/l と悪化している。エジプト国排水研究所が実施しているナイルデルタ地域の水質モニタリング調査結果を表 2.1.1 から表 2.1.4 に示す。灌漑水路の水質については、東デルタにおいては、比較的良好であるが、西デルタ及び中央デルタでは、上流部より BOD10mg/l を超える値となっている。排水路の水質は、デルタ全域において BOD10~30mg/l の高い値を示している。各排水路の傾向として、中流部で高く下流部で低い結果となっているが、中流部において集落及び農地からの汚染があり、下流部では、若干の自浄作用が働いている結果と推定される。

この排水の水質を農業にそのまま再利用すれば、農作物の減収および品質の悪化が懸念される。今後は、工場排水及び家庭排水の処理を拡大するとともに、農業の低肥料化の推進が必要である。しかしながら、その対策による改善には、長年を必要となることから、緊急対策として、排水路内の直接浄化が効果的と判断できる。

表 2.1.1 用水路水質

West delta (main canal)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	12.43	5.34	0.43
Midstream	13.00	5.19	0.60
Downstream	13.67	5.00	0.53
Middle delta(main canal)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	15.50	5.34	0.37
Midstream	17.67	6.28	0.52
Downstream	15.33	4.75	0.55
East delta (main canal)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	7.33	6.69	0.33
Midstream	10.31	5.43	0.67
Downstream	11.67	5.55	0.50
East Minor Canal (branch)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	N/A	N/A	N/A
Midstream	12.00	3.65	1.31
Downstream	18.50	2.32	1.24

表 2.1.2 排水路水質【西デルタ地域】

Edko Drain (main)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	13.00	3.91	0.90
Midstream	22.29	2.85	1.04
Downstream	16.00	2.39	2.12
Minor Drain (branch)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	12.00	6.26	3.19
Midstream	26.75	3.69	1.76
Downstream	15.50	4.94	2.93
Umoum Drain (branch)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	N/A	N/A	N/A
Midstream	19.80	3.70	3.18
Downstream	32.50	2.60	5.51

表 2.1.3 排水路水質【中央デルタ地域】

Gharbia Drain (main)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	23.25	3.23	1.06
Midstream	30.50	1.46	1.56
Downstream	23.33	2.73	3.84
Minor Drain (branch)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	16.00	6.07	0.96
Midstream	24.00	1.81	1.19
Downstream	18.00	3.36	2.57
No.1,2,7,8,11 Drain (main)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	N/A	N/A	N/A
Midstream	22.00	2.02	0.99
Downstream	18.29	4.44	3.50

表 2.1.4 排水路水質【東デルタ地域】

Bahr Bhadus (main)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	N/A	N/A	N/A
Midstream	23.10	1.83	1.66
Downstream	13.60	2.62	2.40
Bahr ElBaqar Drain (main)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	20.67	2.96	3.54
Midstream	22.88	2.42	1.32
Downstream	17.00	3.49	3.76
Minor Drain (branch)	BOD(mg/l)	DO(mg/l)	EC(dS/m)
Upstream	N/A	N/A	N/A
Midstream	N/A	N/A	N/A
Downstream	19.75	2.95	1.55

農業排水には窒素などの栄養分が含まれており、農家にとって施肥量を最小限にする点から排水再利用はメリットがある。しかし、家庭からのごみ・排水、工場排水などの汚染された水が農業排水路に流入すると、農業排水が金属や病原菌に汚染され、それを利用する農民に健康被害が発生する可能性がある。農業排水の不適切な再利用による人体への健康被害は世界各国で報告されており、その症状は主に下痢、チフス、回虫症などである。同様に、エジプト国内でも農業排水を十分に処理しないまま野菜に灌漑するとその野菜を摂食した人間への回虫症や、鞭虫類への感染の危険性が高まることが指摘されている (IWMI, 2007)¹。また、繰り返し農業排水を灌漑利用すると、排水中の塩分、農薬、肥料が濃縮される。地中海付近の排水では塩分濃度が 3,000mg/l に達する (Loufty, 2007)²など塩分濃度の上昇が課題となっている。

2.2 排水の灌漑への再利用に係る水質基準

エジプト国における排水再利用に関わる法制度は、Law 48 がある。その他それに付随する法律、省令などがある。Law 48 は、現行の水質と比較しても非常に厳しい制限をしており、現実的には、DO や大腸菌群数は、ほとんどの排水路で基準を超過している状況である。パイロットプロジェクトにおいて、再利用ポンプに適用する水質基準は、Law 48 を遵守しつつ、現行水質に適合する様に National Water Quality and Availability Management Project (NAWQAM)³で作成

¹ International Water Management Institute, 2007, "11. Agricultural use of marginal-quality water-opportunities and challenges"

² N.M. Loufty, 2010, "Reuse of Wastewater in Mediterranean Region, Egyptian Experience", Handbook Environmental Chemistry, DOI 10.1007/698_2010_76

³ NAWQAM は、カナダ政府 (当時 CIDA) と MWRI の共同プロジェクトとして、1997 年から 2004 年に実施された。水質管理システム改善を主題とする事業である。

第2章

された基準を参考に水質基準を策定した。Law 48 及び NAWQAM の水質基準及びプロジェクトに適用した再利用ポンプの水質基準を表 2.1.5, 集落排水処理施設に適用する水質基準を表 2.1.6 に示す。Law48 の Article61 は, 保健衛生の観点から項目が定められたものであり, Article62 は灌漑用水の水質を, Article65 は排水路の水質をそれぞれ規定したものである。Article 66 は, 下水処理施設からの放流水と, 放流水が混ざった後の排水路の水質に関する水質基準である。

表 2.1.5 水質基準(排水再利用ポンプ・水路浄化施設)

Statement	Article 61	Article 62	Article 65	NAWQAM 2004	NAWQAM 2004	Project
	by Ministry of Health	by Ministry of Irrigation	Drain Water	table 6 Irrigation	table 7b water treatment	
Color	Free from colored substances		< 100 unit			
EC				4.0ds/m		4.0ds/m
Total solid substances (SS)	800	1000	500	2000		1000
Temperature	35		5°C			
Odor			Free from colored substances			
Dissolved oxygen (DO)			> 5			
Hydrogen exponent (pH)	6 ~ 9		7 ~ 8.5	6 ~ 9		6 ~ 9
Absorbed biotic oxygen (BOD)		30	< 10	40	40	40
Chemically consumed oxygen (COD)	20	40	(Dichromate) < 15	80	80	80
	30		(Permanganate) < 6			
Organic nitrogen (ON)			-			
Ammonia			< 0.05			
Grease and oils	5	10	< 1	5		10
Total Alkalines			50 ~ 200			
Sulfates	1		-	1000		1
Mercury compounds	0.001		< 0.001			0.001
Boron				3	3	
Chloride				700		
Benzen				2.5		
Aluminium				5	5	
Molybdenum				0.01	0.01	
Trichloroacetaldehyde				0.5		
Propionaldehyde				0.5		
Atrazine				0.01		
Dimethoate				0.003		
Chlorpyrifos				0.024		
Barium					0.01	
Cobalt					0.05	
Nickel					0.2	
Vanadium					0.1	
Iron	1		< 1	5	5	5
Manganese	0.5		< 1.5	0.2	0.2	0.5
Copper	1		< 1	1	1	1
Zinc	1		< 1	5	3	1
Detergents	0.05		< 0.5			0.05
Nitrates	30	30	< 45	30		30
Fluorides	0.5		< 0.5	1		1
Phenol	0.001	0.002	< 0.02	2		2
Arsenic	0.05		< 0.05	0.1	0.1	0.05
Cadmium	0.01		< 0.01	0.01		0.01
Cobalt				0.05		
Chromium	0.05		< 0.01	0.05	5	0.05
Cyanide			< 0.1			
Lead	0.05		-	5	5	0.05
Selenium			-	0.02	0.02	
Tannin and lignite			< 0.5			
Phosphate	1		< 1			1
Carbon-chloroform abstracts			< 1.5			
Nematode eggs					1	
Potential number of the colonic group 100 C3	2500		5000	1000	1000	-

注；着色部は，パイロットプロジェクトに摘要した箇所を示す。

表 2.1.6 水質基準(集落排水処理施設)

Parameters	Rural sewage treatment	
	Outlet	After mixing to drainage
	Article 66 in Law 48/1982 (Sewage water)	Article 68 in Law 48/1982 (Sewage water)
Temperature	< 35 °C	≤ +5 °C
Hydrogen exponent (pH)	6 ~ 9	7 ~ 8.5
Absorbed biotic oxygen (BOD)	< 60 mg/L	
Chemically consumed oxygen (COD)	(Dichromate) < 80 mg/L (Permanganate) < 50 mg/L	
Ammonia nitrogen (N-NH4)	< 0.5 mg/L	
Dissolved oxygen (DO)	> 4 mg/L	> 4 mg/L
Detergents		< 0.5 mg/L
Sediments		< 50UNIT
Grease and oils	< 10 mg/L	
Dissolved Substances	< 2000 mg/l	
Suspended substances	< 50 mg/l	< 650 mg/l
Colored substances	Free from colored substances	
Sulfates	< 1 mg/L	
Nitrates	< 50 mg/L	
Phenol	-	< 0.005 mg/L
Total heavy metals	< 1 mg/L	
Pesticides	None	
Potential number of the colonic group 100 cm ³	< 5000 CFU	< 5000 CFU

2.3 デルタ地区の水質

2.3.1 調査方法及び位置

図 2.3.1 に、本報告の対象となるナイルデルタの位置図、ナイルデルタ内の用排水路位置を示す。ナイルデルタは、エジプトの首都カイロより地中海まで広がる長さ約 160km、幅 約 250km の三角州である。ナイルデルタの上流から地中海までの標高差は、16m 程度である事から、その平均河床勾配は、1/10,000 となる。したがって、河川内の自浄能力も低い上に経済成長に伴う水質汚染が深刻な課題となっている。水資源灌漑省の作成した技術報告書より主要な水質項目 BOD,COD,DO,TSS,EC の水質調査方法を抜粋し、表 2.3.1 に示す。

2.3.2 ナイルデルタの水質

図 2.3.2～図 2.3.13 に、水資源灌漑省の作成した技術報告書⁶⁾より抜粋した水質試験結果を示す。水質試験結果は、2008年8月1日～2009年7月31日の期間のデータを取りまとめたものである。ナイルデルタを東デルタ、中央デルタ、西デルタの3地域に区分した水質試験結果として取りまとめた。それぞれの図は、排水路と用水路の水質が比較可能な様に各地域の用水路水質平均値と併せて図に示した。

2.3.2.1 東デルタの用排水路の水質

東デルタの Bahr Hadus 排水路水質を図 2.3.2 及び図 2.3.3, Bahr El Baqar 排水路水質を図 2.3.4 及び図 2.3.5 に示した。

BOD に着目すれば、Bahr Hadus 排水路は、14～20 mg/l, Bahr El Baqar 排水路は、22～31 mg/l となっており、いずれの排水路も上流側が高い値を示している。これは、流入する排水路水質が比較的良好である事から、下流域が比較的低い水質を示していると考えられる。東デルタにおいては、排水の農業用水再利用の水質基準と

表 2.3.1 測定項目及び測定法

Parameter	Method and Principle	Accuracy Range
BOD	5 day incubation of BOD test bottles, including Nitrification inhibitor WTW Incubator	±0.1mg/l
COD	Reflux, destruction with potassium dichromate, Motorburet titration, ferroin DR 2000	±1mg/l
TSS	Calculated from Total Ions Content (for quality control 15% of the samples were dried at 103-105 °C after filtration)	±1mg/l
EC	Potentiometer	±ds/m

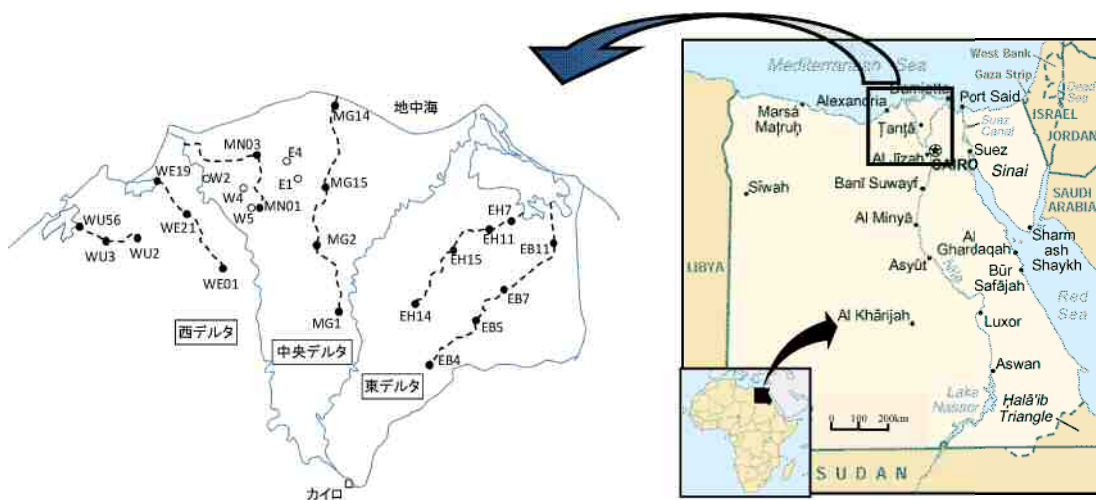


図 2.3.1 位置図及びナイルデルタ用排水路

東デルタにおいては、排水の農業用水再利用の水質基準となる BOD 30 mg/l を概ね満たしている。また、東デルタ内の灌漑水路水質は、BOD 11mg/l となっており、排水路より良好な水質となっている。

次に DO 値に着目すれば、Bahr Hadus 排水路は、0.5~2.4 mg/l、Bahr El Baqar 排水路は、2.1~2.5 mg/l となっており、いずれの排水路も上流側が高い値を示す傾向にある。また、東デルタ内用水路の平均水質は、5.4 mg/l となっており、良好な水質となっている。

一方 EC については、Bahr Hadus 排水路は、1.27~1.93 ds/m、Bahr El Baqar 排水路は、1.34~3.75 ds/m となっており、下流域は、海水の影響を受け、高い数値を示している。

2.3.2.2 中央デルタの用排水路の水質

中央デルタの Gharbia 排水路水質を図 2.3.6 及び図 2.3.7、Nashart 排水路水質を図 2.3.8 及び図 2.3.9 に示す、

同様に BOD に着目すれば、Gharbia 排水路が 21~30mg/l、Nashart 排水路が 18~19 mg/l の値を示している。Gharbia 排水路は、人口 43 万人のタンタ市を始め、流域内に中小都市が存在する事から、その排水の影響を受け、場所により高い数値を示している。同様に TS についても、場所により 100 mg/l 前後の高い数値を示している。ガルビア管内の下水道施設は、一部整備されている地域はあるものの運転状況は良好でなく、その改築計画を推進しているところである。Nashart 排水路は、農村地域であり、大きな人口集中も無い事から、比較的良好な水質となっている。

EC については、いずれの排水路も内陸部において、1.2~1.7 ds/m となっているが、Gharbia 排水路沿岸部の測点 MG14 については、海水の影響を受け、4.21 ds/m と高い数値となっている。

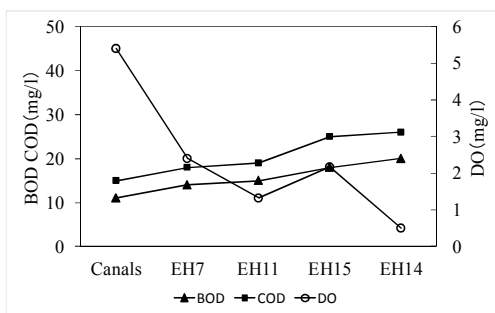


図 2.3.2 Bahr Hadus 排水路の水質 (1/2)

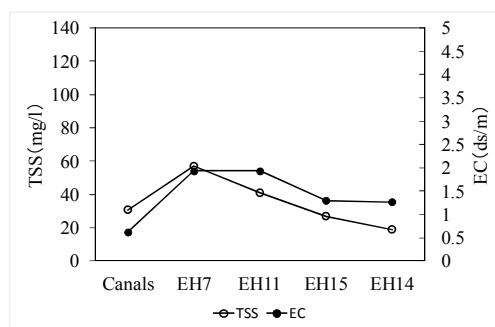


図 2.3.3 Bahr Hadus 排水路の水質 (2/2)

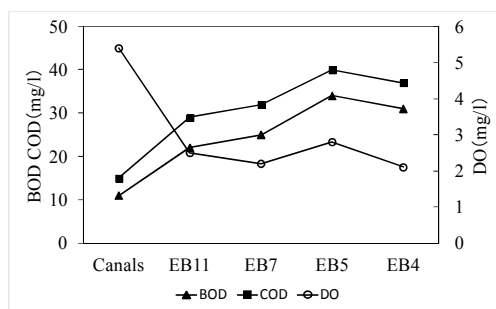


図 2.3.4 Bahr El Baqar 排水路の水質 (1/2)

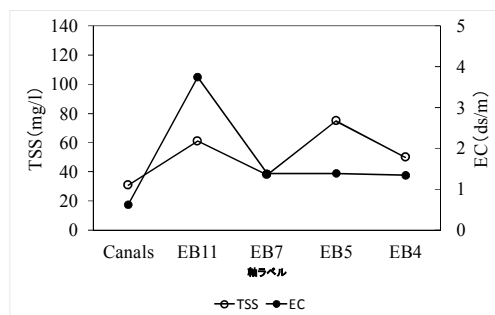


図 2.3.5 Bahr El Baqar 排水路の水質 (2/2)

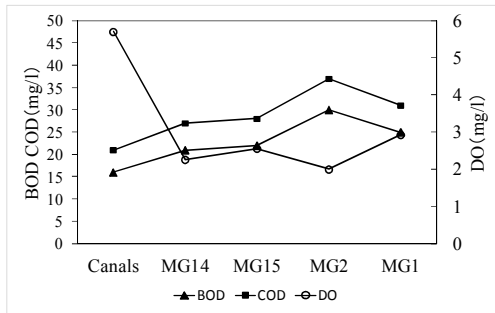


図 2.3.6 Gharbia 排水路の水質 (1/2)

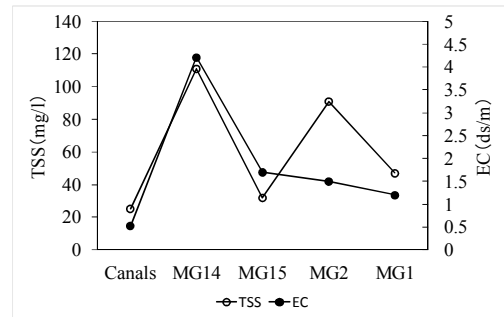


図 2.3.7 Gharbia 排水路の水質 (2/2)

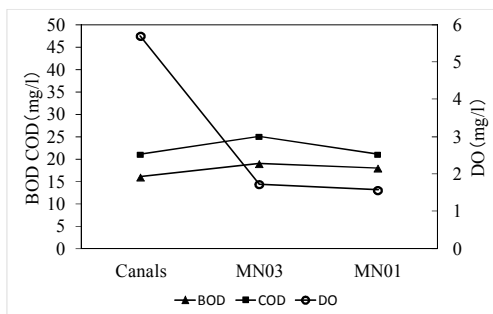


図 2.3.8 Nashart 排水路の水質 (1/2)

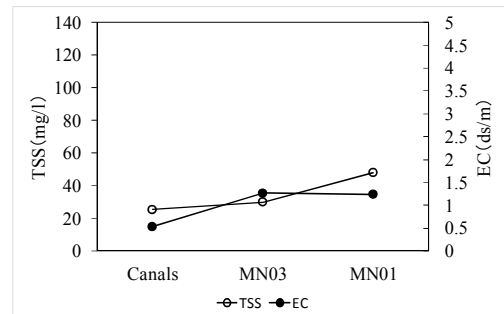


図 2.3.9 Nashart 排水路の水質 (2/2)

2.3.2.3 西デルタの用排水路の水質

西デルタのEdko排水路水質を図2.3.10及び図2.3.11, Umoum排水路水質を図2.3.12及び図2.3.13に示した。

BODは、いずれの排水路も11~25 mg/l になっている。Edko排水路については、下流側が低い数値を示しており、Umoum排水路は、上流側が低い数値を示している。特にUmoum排水路のCODについては、上流WU2地点において、16mg/l、下流WU56地点において、31 mg/l となっており、下流での数値が顕著に高くなっている。また、他報告⁷⁾におけるUmoum排水路水質試験結果においても、16 mg/l ~ 48mg/l の数値を示しており、下流域での水質が悪化しているなど、同様な傾向を示している。

ECについても、他地域と同様にUmoum排水路の沿岸部となるWU56において、4.5 ds/m という高い数値を示している。

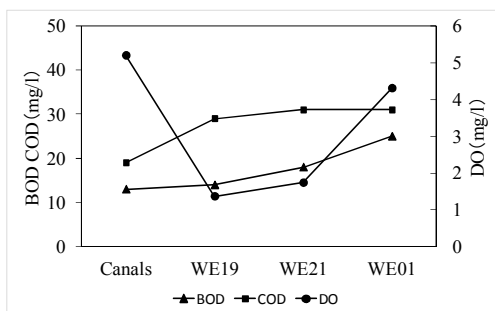


図 2.3.10 Edko 排水路の水質 (1/2)

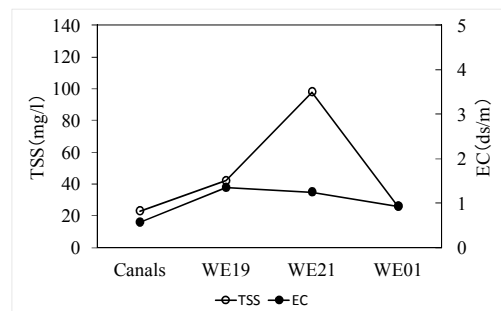


図 2.3.11 Edko 排水路の水質 (2/2)

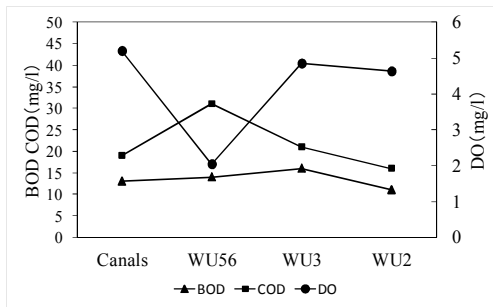


図 2.3.12 Umoum 排水路の水質 (1/2)

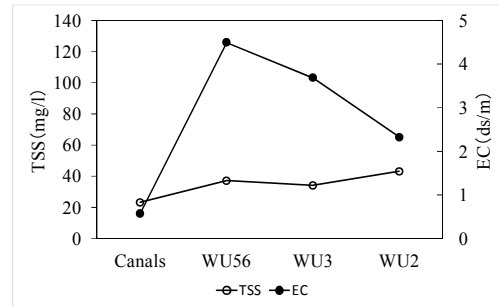


図 2.3.13 Umoum 排水路の水質 (2/2)

2.3.3 ナイルデルタの用排水路の水質

ナイルデルタ全体において、用水路水質は、排水路の水質を下回っており、いずれの数値も灌漑用水基準を満足している。また、東デルタ、中央デルタ、西デルタを比較すると、BOD、COD については、中央デルタが最も汚濁が進んでおり、西デルタ、東デルタの順となっている。これは、中央デルタが他地域に比べ、人口密度が高く生活排水による汚濁が一因になっていると推察される。

2.3.4 まとめ

本報告では、ナイルデルタにおける水質の状況を考察した。それをとりまとめると以下のとおりである。

- (1) 用水路水質は、排水路水質に比較して、どの地区においても良好であり、営農及び生活排水等の影響を受けて、排水路の汚濁が進んでいる。
- (2) ナイルデルタ地区における水質汚染は、大きな課題であるものの排水路水質値は、概ね灌漑水質基準値を下回っており、農業用水への再利用への可能性は高い。
- (3) 排水路の塩分濃度は、EC の水質試験結果から、沿岸部を除き、灌漑水として利用可能である。
- (4) 大腸菌は、ナイルデルタ全体で高い数値を示しており、下水処理施設整備及びゴミ処理などの抜本的な対策が必要である。(後述表 2.4.2, 表 2.4.3 参照)

以上の事から、ナイルデルタでの排水の灌漑利用における可能性は高い事から、沿岸部を除き、排水再利用は、推進すべきである。ただし、既報告⁸⁾のとおり、排水路によっては、DO が 1 mg/l 以下、COD が 40 mg/l 以上と、かなり汚染の進んだ地区もあるため、排水再利用計画にあたっては、事前の水質調査が重要である。

参考文献

- 1) National Water Resources Plan 2017; Ministry of Water Resources and Irrigation, p.2~34, 2005.
- 2) 北村浩二; エジプトにおける灌漑のための排水再利用の現状と課題, 水土の知, 80, (2), 115-118, 2012.
- 3) エジプト・アラブ共和国ナイルデルタ地域農業用水水質改善・再利用計画プロジェクト準備調査報告書, 独立行政法人国際協力機構(JICA), P.9~21, 2011.
- 4) 浜崎竜英; エジプトにおける環境分野の技術協力と無償資金協力, 環境技術, 29, 4, 16-22,

2000.

5) Set of Laws and Decrees on Protection of the river Nile against pollution & drainage of liquid wastes, The middle east library for economic services, 51-56, 2009.

6) 上村繁樹, 大久保努, 多川正, 荒木信夫, 原田秀樹 ; エジプトにおける下水処理水の灌漑利用の実態とその改善に向けての今後の展望, 用水と廃水, 57, (3), 219-229, 2015.

7) Ministry of Water Resource and Irrigation National Water Research Center Drainage Research Institute ; Drainage Water Status in the Nile Delta Year Book 2008-2009 Technical Report No. 79, June 2010

8) 小木曾凡芳, 大石貴行, 鈴木祥広 ; マイクロバブルによるナイルデルタの農業用水の浄化, 環境技術, 44, 4, 36-43, 2015.

2.4 対象地区の水質

2.4.1 はじめに

エジプト国の降雨量は、カイロ周辺で年間平均 20 mm、北部地中海沿岸地域で 200 mm 程度であり、その水源をほぼ全面的にナイル川に依存している。1959 年に隣国のスーダン国と結んだ協定により、エジプト国のナイル川からの年間利用可能量は 555 億 m³ と規定されている。しかしながら、エジプト国では、急激な人口増加(年 2 %、約 150 万人/年)に伴い、水の消費量が増大している。さらに、食料増産のための農地開発及び経済成長も加わり、農業・工業・生活用水の水需要が大幅に増加している。特に近年、ナイル川下流のデルタ地域では農業用水の不足が深刻化し、農業用水不足を補うための排水再利用量は、1993 年に 72 億 m³ であったものが、2017 年には、89 億 m³ に達すると見込まれている。¹⁾

その様な背景の下、エジプト国水資源灌漑省では、「国家水資源計画 (National Water Resources Plan 2017)」¹⁾として、水需要の増加に対応するための地下水開発による新規水源探査、既耕地における節水、排水の再利用を戦略として掲げている。それを受け、国際協力機構は、「中央デルタ灌漑のための排水水質管理・再利用プロジェクト」³⁾を立ち上げ、ナイルデルタ地区の水質調査及び排水再利用計画に対する導入手法の検討を行っている。農業用水は、ナイル川支流を水源として、幹線水路から支線水路を経て、水田に灌漑利用される。灌漑利用後の排水は、支線排水路から幹線排水路を経て、地中海へ流下している。灌漑期のピーク時には用水量が不足するため、排水路の水を再度ポンプにて揚水し、灌漑利用を行っている。しかしながら、農業排水路の水質は、農業利用、家畜排水、家庭排水などにより汚染が進み、灌漑利用の水質として不適となる農業排水路も多い。農業排水路の水を灌漑用水として再利用を促進するために水質の現状を把握する必要があった。このことから、ナイルデルタの農業排水路の各定点において水質汚濁の実態調査を 2013 年 5 月～2015 年 3 月の約 2 カ年にわたって実施した。その調査結果の概要を報告する。

2.4.2. 調査方法

2.4.2.1 ナイルデルタにおける調査地区の概要

図 2.4.1 に本調査で対象とした中央デルタの調査位置及び主要排水路を示す。ナイルデルタは、エジプトの首都カイロより地中海まで広がる長さ約 160 km、幅 約 250 km の三角州である。ナイルデルタの上流から地中海までの標高差は、16 m 程度であることから、その平均河床勾配は、1/10,000 となる。河床勾配が小さい事により、流速も遅く、流下に伴う酸素の混入量も小さくなる事から、河川内の自浄能力も低く、経済成長に伴う水質汚染が深刻な課題となっている。調査対象となるカフルエルシェイク県は、ナイルデルタ地域北部の沿岸部に位置し、産業は農業を主体とし、主作物の米はエジプト国の 30 %相当を生産している。そのために、多量の灌漑水を使用することから、毎年灌漑期には水不足が生じている。また、農業に利用する農薬および肥料に対する法律(Law24/1983)はあるものの、違法な成分を含む化学物質が多量に散布される場合も少なくなく、農業排水路の水質や大気汚染も深刻な問題となっている。それに加え、農村の下水道整備率は、12%程度に留まっており⁴⁾、家庭排水や工場排水は、未処理のまま農業排水路へ放流されており、水質悪化の大きな原因となっている。

カフルシェイク県に農業排水路の灌漑再利用を目的として、排水再利用ポンプを5地区の場所に設置しており、その設置場所5地点を対象として水質調査を行った(図2.4.1)。また、図2.4.1に示すとおり、Gharbia排水路は、中央デルタ中央部を流れる排水路であり、A1及びA2と同じ流域となっている。Nashart排水路は、中央デルタの西側を流れる排水路であり、B1、B2及びB3と同じ流域となっている。

2.4.2.2 対象農業排水路の水質調査

本水質調査は、排水再利用の水質の適合性の判断のために実施したものである。中央デルタ地域は、稲作を中心とする農業地域であり、その主灌漑期間は6月下旬～8月下旬である。そこで、灌漑期と非灌漑期の傾向を把握するため、5地区の農業排水路について、2013年の5月～12月、2014年の4月～2015年3月にかけて月ごとに計16回の水質調査を実施した。試料水は、農業排水路の表層水を洗浄済みポリエチレン瓶に採取し、直ちに現地の実験室(Central Lab for Environmental Quality Monitoring)に持ち帰り、各項目の水質分析を行った。表2.4.1に、分析項目と分析方法を示す。

水質分析方法は、Standard Methods (APHA, 2005)に従った。

2.4.3 結果と考察

2.4.3.1 農業排水路の水質調査結果の概要

表2.4.2, 2.4.3に、中央デルタに位置する農業排水路5カ所の水質調査結果を示す。参考として、エジプト国における農業用水基準⁵⁾も付記した。

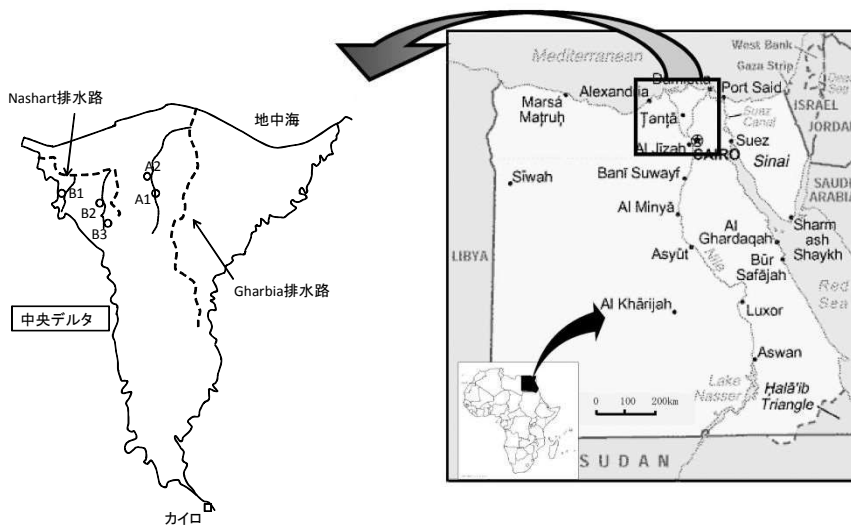


図2.4.1 水質調査位置図

表 2.4.1 分析項目と分析方法

測定項目	測定法	適用規格
pH	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No. 4500 B
電気伝導度 (EC)	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No. 2510 B
水温	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No. 2550 B
溶存酸素 (DO)	ポータブル DO 分析計 WTW Oxi310i	APHA No. 4500 C
濁度 (TURB)	ポータブル濁度分析計 Thermo Scientific, Orion AQ4500	APHA No. 2130 B
浮遊物質 (SS)	ガラス繊維ろ紙法	APHA No. 2540 D
全窒素 (T-N)	ケルダール分析法	4500-N C. (APHA, 1998)
アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	ケルダール分析法	APHA No. 4500 B
亜硝酸態窒素 (NO ₂ -N)	イオンクロマトグラフ法 Agilent Technology	APHA No. 4500-No. 3 C
硝酸態窒素 (NO ₃ -N)	イオンクロマトグラフ法 Agilent Technology	APHA No. 4500-No. 3 C
全リン (T-P)	アスコルビン酸還元法 HACK, DR-2010	APHA No. 4500 F
生物学的酸素要求量 (BOD)	ウィンクラーアジ化ナトリウム変法	APHA 2005-5220, D, C
化学的酸素要求量 (COD)	重クロム酸カリウム法 HACK, DR-2010	APHA 2005-5210, D
全有機炭素 (TOC)	Analytikjena, Multi N/C-3100	APHA 2005-5310, B, D
大腸菌群数	M-Endo 培地法	APHA No. 9222B & 9222D

表 2.4.2 対象農業排水路の水質 (2013 年)

サイト名	月	水温	pH	DO	EC	TSS	TDS	T-N	T-P	COD (Cr)	BOD	TOC	大腸菌群数
		°C	-	mg/L	dS/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	CFU/100mL
A1	5	26.0	7.76	3.85	1.926	180	1,132	5.60	0.629	25	15	18.50	20×10 ³
	6	25.0	7.73	3.60	1.979	165	1,198	8.50	0.533	33	22	9.29	4×10 ³
	7	26.4	7.82	3.20	1.857	70	1,188	4.20	0.354	32	13	7.43	7×10 ³
	8	28.2	7.84	2.85	1.671	140	1,030	6.72	0.546	28	14	9.46	380×10 ³
	10	20.4	7.83	3.21	1.671	180	904	5.04	0.806	21	14	8.54	14×10 ³
	12	17.5	7.79	3.80	1.239	135	860	12.50	0.621	25	16	7.32	12×10 ³
A2	5	27.8	8.46	N.A.	3.04	70	1,940	4.20	0.567	28	15	11.19	27×10 ³
	6	26.8	8.31	1.42	4.14	174	2,682	5.72	0.633	35	15	11.07	37×10 ³
	7	28.2	8.28	1.32	6.46	160	4,234	21.80	0.383	45	15	6.81	4×10 ³
	8	28.0	8.17	1.12	1.446	40	912	12.88	0.236	19	11	5.92	280×10 ⁵
	10	19.4	8.20	0.95	1.446	58	1,544	16.32	0.416	12	7	6.34	45×10 ³
	12	17.5	8.33	3.20	2.840	55	1,980	24.30	0.354	16	11	6.02	55×10 ³
B1	5	26.1	7.50	3.97	0.731	180	392	2.80	0.509	27	16	9.62	36×10 ²
	6	25.1	7.60	3.71	1.322	120	766	2.80	0.516	24	14	13.58	26×10 ⁵
	7	29.2	7.64	3.31	0.837	74	505	17.00	0.402	21	15	6.46	50×10 ³
	8	28.9	7.79	2.52	0.827	40	500	11.00	0.272	16	10	5.42	320×10 ⁵
	10	22.9	7.90	3.08	0.827	52	385	18.45	0.349	13	6	6.14	340×10 ³
	12	18.3	7.88	2.03	0.985	52	666	25.00	0.322	15	9	5.23	290×10 ³
B2	5	27.4	7.62	4.92	1.132	36	770	3.08	0.457	18	13	12.77	28×10 ³
	6	28.2	7.65	2.79	1.631	128	958	1.12	0.316	23	18	12.19	24×10 ⁵
	7	29.1	7.70	2.43	1.221	88	711	12.60	0.201	24	12	7.04	20×10 ⁴
	8	28.1	7.70	1.95	1.070	76	701	8.48	0.201	10	6	6.21	48×10 ⁵
	10	23.1	8.22	1.40	1.070	84	491	12.81	0.39	6	4	6.38	30×10 ³
	12	18.0	8.29	3.10	0.496	65	341	26.80	0.402	10	8	6.10	37×10 ³
B3	5	28.0	7.50	1.62	0.721	12	478	5.32	0.333	16	12	11.57	24×10 ³
	6	29.0	7.55	2.95	1.315	86	808	7.96	0.302	33	13	15.43	23×10 ⁴
	7	29.0	7.58	2.51	1.015	56	625	11.76	0.383	24	14	10.35	55×10 ⁴
	8	31.1	7.91	2.17	1.080	70	642	5.48	0.416	32	17	6.23	56×10 ⁵
	10	24.4	8.08	2.25	1.080	78	320	8.20	0.432	27	10	5.98	45×10 ⁴
	12	18.2	8.15	2.85	0.982	60	670	16.21	0.400	25	14	7.21	84×10 ⁴
最大値	31.1	8.5	4.9	6.5	180.0	4234.0	26.8	0.8	45.0	22.0	18.5	3.2×10 ⁷	
最小値	17.5	7.5	1.0	0.5	12.0	320.0	1.1	0.2	6.0	4.0	5.2	3.6×10 ³	
平均値	25.2	7.9	2.7	1.6	92.8	1011.1	10.8	0.4	22.8	12.6	8.7	1.7×10 ⁶	
基準値	—	6~9	—	4	1,000	—	—	—	—	40	30	—	2,500

表 2.4.3 対象農業排水路の水質(2014年/2015年)

サイト名	月	水温	pH	DO	EC	TSS	TDS	T-N	T-P	COD (Cr)	BOD	TOC	大腸菌 群数	
		℃	-	mg/L	dS/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	CFU/100m L	
A1	4	27.3	8.11	2.01	1.554	95	995	7.25	0.854	30	18	8.25	87×10 ³	
	5	27.3	8.71	5.03	1.609	110	1,030	11.41	0.621	35	16	8.57	110×10 ³	
	6	26.9	8.21	3.49	1.617	117	1,035	9.52	0.642	24	9	8.20	82×10 ³	
	7	28.4	7.98	3.22	1.841	95	1,178	11.40	0.524	27	15	7.25	41×10 ³	
	8	28.2	7.95	3.25	1.312	120	840	9.82	0.421	34	21	6.02	23×10 ³	
	9	28.4	7.93	2.23	1.456	112	931	12.32	0.521	43	25	5.38	20×10 ³	
	11	27.6	7.95	3.44	1.204	91	774	10.41	0.407	39	19	4.22	45×10 ³	
	12	27.3	7.85	3.57	1.311	103	842	13.42	0.384	48	28	3.87	37×10 ³	
	1	22.3	7.91	3.11	1.630	92	745	11.52	0.341	36	23	3.87	88×10 ³	
	3	23.4	7.85	3.21	1.410	115	904	10.41	0.298	29	19	3.42	56×10 ³	
	A2	4	27.3	8.25	2.12	1.714	55	1,097	10.32	0.321	35	22	6.22	90×10 ³
		5	27.3	8.24	3.68	1.425	75	912	13.21	0.332	38	14	8.12	117×10 ³
6		28.3	8.14	3.20	3.79	84	2,425	9.24	0.42	33	11	7.24	6×10 ³	
7		28.0	7.94	2.56	6.33	64	4,051	11.42	0.341	46	25	6.23	17×10 ³	
8		29.0	7.90	3.44	5.32	85	3,405	10.44	0.221	29	15	4.95	26×10 ³	
9		28.2	7.87	3.07	1.405	92	898	11.48	0.332	26	12	4.21	43×10 ³	
11		27.4	7.91	3.54	1.387	85	886	10.03	0.358	22	13	4.10	62×10 ³	
12		26.9	7.93	4.25	1.352	93	866	11.52	0.337	31	19	3.45	55×10 ³	
1		23.5	8.02	3.42	3.680	85	1,685	11.43	0.333	27	17	3.45	43×10 ³	
3		23.7	7.62	3.44	3.430	95	2,195	11.23	0.305	36	24	3.21	56×10 ³	
B1		4	24.1	7.93	1.15	0.925	48	592	13.54	0.332	22	12	6.31	100×10 ⁴
		5	24.1	7.65	0.45	0.780	55	500	12.24	0.302	33	14	7.85	80×10 ⁴
	6	27.9	8.09	2.17	0.847	62	542	6.42	0.388	51	17	7.05	63×10 ⁴	
	7	27.7	7.89	2.82	0.980	60	627	8.20	0.311	30	18	5.95	180×10 ⁴	
	8	29.0	7.77	2.35	1.042	70	667	7.20	0.198	28	18	4.23	75×10 ³	
	9	27.7	7.77	1.33	1.230	84	787	11.76	0.31	24	15	3.54	92×10 ³	
	11	27.2	7.80	2.50	1.330	87	854	9.52	0.247	18	14	2.35	102×10 ³	
	12	26.6	7.92	3.21	1.281	88	816	13.20	0.301	33	20	2.45	93×10 ³	
	1	25.6	7.82	2.48	0.985	74	452	12.74	0.342	25	15	2.45	53×10 ³	
	3	26.8	7.72	2.46	1.230	90	787	11.74	0.312	30	20	2.37	56×10 ³	
	B2	4	27.1	7.55	4.69	1.307	85	836	12.30	0.257	27	15	6.85	169×10 ⁴
		5	27.1	8.35	4.89	1.094	70	701	10.25	0.287	45	19	7.15	145×10 ³
6		30.6	7.45	4.48	1.275	87	817	5.22	0.351	52	17	6.45	80×10 ⁴	
7		28.3	7.64	3.98	1.369	72	876	10.52	0.308	30	20	5.22	44×10 ⁴	
8		30.7	7.65	3.57	1.206	75	772	8.45	0.157	28	17	3.57	49×10 ³	
9		25.1	7.82	1.85	1.014	85	649	22.96	0.214	21	11	3.17	88×10 ³	
11		26.2	7.90	2.34	1.112	93	718	12.84	0.211	18	11	2.77	97×10 ³	
12		26.4	7.95	2.87	1.298	90	825	13.24	0.254	28	15	2.17	85×10 ³	
1		25.9	7.94	2.31	1.672	79	771	13.08	0.215	35	23	2.17	60×10 ³	
3		26.6	7.91	2.47	1.080	90	691	12.84	0.354	35	23	2.42	56×10 ³	
B3		4	24.9	7.60	0.35	0.669	75	428	3.94	0.505	35	25	7.42	199×10 ³
		5	24.9	7.72	0.99	1.002	70	642	6.54	0.378	36	19	7.24	60×10 ⁴
	6	31.4	7.43	8.70	1.168	77	748	4.11	0.402	28	12	6.84	117×10 ⁴	
	7	30.1	7.45	2.54	1.834	64	1,178	5.60	0.423	41	30	5.14	70×10 ⁴	
	8	32.2	7.50	4.32	1.168	70	748	4.54	0.204	35	23	3.55	30×10 ³	
	9	26.1	7.61	1.66	1.083	80	691	20.72	0.157	31	18	2.85	62×10 ³	
	11	26.5	7.73	2.05	1.187	75	762	14.35	0.129	27	16	1.87	77×10 ³	
	12	27.2	7.68	2.46	1.127	86	724	12.25	0.223	34	21	2.34	69×10 ³	
	1	26.5	7.72	1.39	1.058	92	479	10.87	0.207	26	17	2.34	67×10 ³	
	3	26.8	7.84	1.81	1.310	105	837	11.24	0.300	31	21	2.29	56×10 ³	
	最大値	32.2	8.7	8.7	6.3	120.0	4051.0	23.0	0.9	52.0	30.0	8.6	1.8×10 ⁶	
	最小値	22.3	7.4	0.4	0.7	48.0	428.0	3.9	0.1	18.0	9.0	1.9	3.6×10 ³	
平均値	27.1	7.9	2.9	1.6	84.0	984.2	10.8	0.3	32.1	18.0	4.8	2.5×10 ⁵		
基準値	—	6~9	—	4	1,000	—	—	—	40	30	—	2,500		

水温は4月～9月においては27℃前後と高く、灌漑期間もこの気候に合わせて設定されていると考えられる。しかし、ナイルデルタは北緯30度に位置するものの、10月以降は20℃以下まで水温が低下した(2013年)。農業排水路の水温変動は大きいことがわかる。

pHは、各地点において変動は少なく、平均すると7.9であり、中性付近よりもやや高めレベルであった。

調査期間の平均DOは2013年と2014年で、それぞれ2.7 mg/Lと2.9 mg/Lであり、水温の飽和度でみると水温27℃の場合、飽和溶存酸素量が7.86 mg/Lである事から、飽和溶存酸素量に対して50%を大幅に下回った。DOが2 mg/L以下となる場合も少なくない。日本の河川水や灌漑用水のDOは、ほぼ飽和であることと比較すると、ナイルデルタの農業排水路のDOは著しく低く、農業排水路は貧酸素環境になっていることがわかった。

TSSは、エジプト国基準値⁵⁾1,000 mg/Lに対し、12～180 mg/Lの値となっており、基準値よりも大幅に低い値で推移していた。各地点とも、2013年と2014年の平均値と比較して、大きな差異は認められない。A1地点は、他の地点と比較して、100 mg/Lを越える値が多く確認された。これは、直下流に能力5.0 m³/sのポンプ施設があり、それが稼働することによって滞留していた排水路内流速が1.0 m/s程度となり、底泥が巻き上げられてTSSが高くなったと推察される。2013年と2014年におけるA2のTSSの平均値は86 mg/Lであり、A2地点と同一の流域となるGharbia排水路の水資源灌漑省の作成した⁶⁾2008年8月1日～2009年7月31日の期間の調査報告では、32 mg/Lとなっており、当時の値と比較して2倍以上高かった。また、B1, B2, B3と同じ流域のNashart排水路においても2008年8月1日～2009年7月31日のTSSは30 mg/Lであり、今回の調査結果は2倍以上高かった。これらの水質試験結果から判断すると、調査地区の排水路は、5ケ年の経過によって水質が著しく悪化している可能性が示唆された。

2013年と2014年における5地点のCOD_{Cr}の最高値は、それぞれ45 mg/Lと52 mg/Lであり、2か年の平均は29 mg/Lとなった。エジプト農業用水基準は40 mg/Lに定められており、排水路の水はこの基準を概ね満足していた。同様に、2013年と2014年における5地点のBODは、4～30 mg/Lの範囲内であり、基準値の30 mg/L以下となっていた。ただし、日本の農業用水基準では、COD_{Mn}が6 mg/Lであり、エジプト国では水質汚濁の実情に合わせた基準に設定していると推察される。図2.4.2に、全測定データによるCOD_{Cr}とBODの相関関係を示す。回帰直線の相関係数rは0.747であり、両者は相関関係を示した。BOD/COD_{Cr}は0.56であり、BOD/COD_{Cr}が0.6程度であるため⁷⁾、調査地区の農業排水路においては、生物分解性の有機物が多いと考えられる。

T-Nは、エジプト国において基準を定められていないものの、各地点の2か年の平均値が最小と最大でそれぞれ9.3 mg-N/L(B3地点)と12.2 mg-N/L(A2地点)であり、日本の水稲に対する用水基準となる1 mg/Lと比較すれば、著しく超過した数値となっていた。一方、T-Pは、各地点の2か年の平均値が最小と最大で

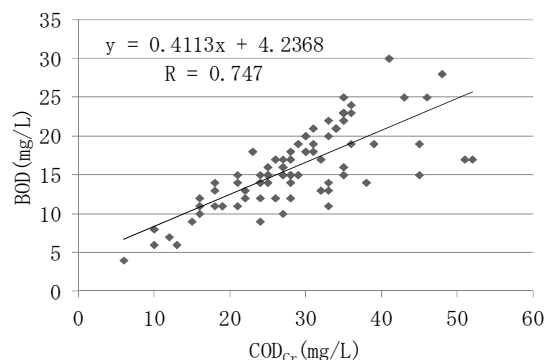


図 2.4.2 COD_{Cr}/BOD 相関図

それぞれ 0.29 mg-P/L (B2 地点)と 0.53 mg-P/L (A1 地点) であり、T-N と比較すると全体的に低かった。N/P 比 (質量比) で 7 以上 (モル比 17) では、リン制限にあるとされていることから⁸⁾⁹⁾、この地区の農業排水路の環境は、リン制限であると推察される。

調査地点における大腸菌群は、 $3.6 \times 10^3 \sim 3.2 \times 10^7$ CFU/100 mL となっており、基準値の 2,500 CFU/100mL を 1.4~12,800 倍も超過していることがわかった。大腸菌群の基準値超過は、ナイルデルタ全域の傾向であり、下水道整備などの抜本的な対策が成されない限り、水質基準内とすることが困難な状況である。現地では大腸菌群の汚染による作物への直接影響は少ないとされ、灌漑に利用されている。しかしながら、農民が直接農業用水を取り扱うため、健康被害の観点からも早急な改善が必要である。

2.4.3.2 灌漑期と非灌漑期における水質変化

DO は、2013 年 5 月~2015 年 3 月までの灌漑期と非灌漑期を通して、全ての調査地点において、ほぼ 1~5 mg/L の範囲内で変動していた (図 2.4.3)。農業排水路の DO は、灌漑期と非灌漑期による違いは認められなかった。

COD_{Cr} は、灌漑期の 6・7 月頃に増加してピークを示し、灌漑期と非灌漑期の切り替え時期に減少した (図 2.4.4)。2 年間の調査であるため、明瞭なトレンドを観測するまでには至らなかったが、農業排水路では、灌漑期と非灌漑期の切り替え時期には周期的な増減が認められた。COD_{Cr} の変動幅は、6~52 mg/L であった。BOD は COD_{Cr} と類似しており、灌漑期の中間の 7 月頃に増加してピークを示し、灌漑期と非灌漑期の切り替え時期に減少した (図 2.4.5)。BOD の変動幅は、4~30mg/L であった。

一方、T-N は 2013 年の非灌漑期ならびに 2014 年の灌漑期と非灌漑期の切り替え時期にピークが認められた (図 2.4.6)。大量に硫安等の施肥が行われており、窒素が農作物に摂取され、使用水量が多いことから希釈されている灌漑期には農業排水路の T-N が低下し、非灌漑期には摂取されなかった窒素が残存したと考えられる。T-N の変動幅は、1~27 mg-N/L であった。

なお、T-P は灌漑期と非灌漑期の違いによる影響は認められず、0.1~0.9 mg-P/L の範囲内で変動した。

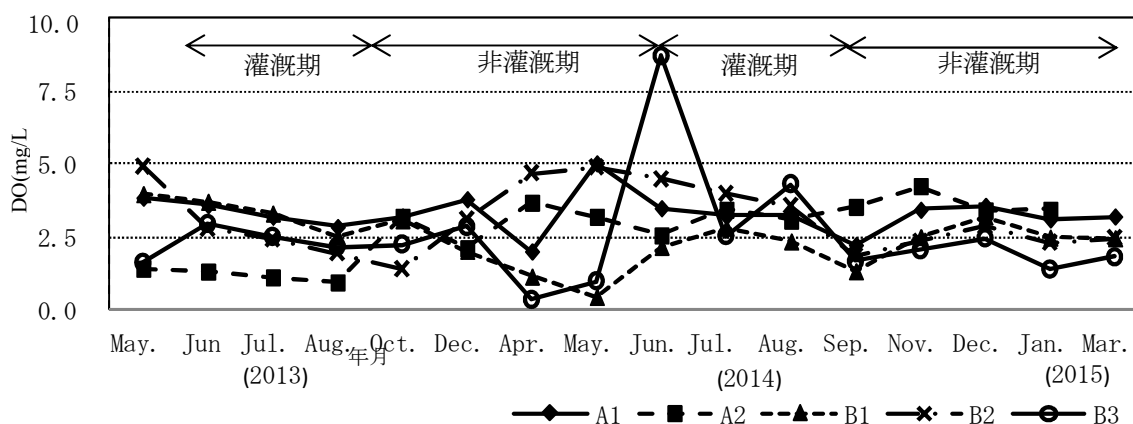


図 2.4.3 農業排水路水質試験結果 (DO)

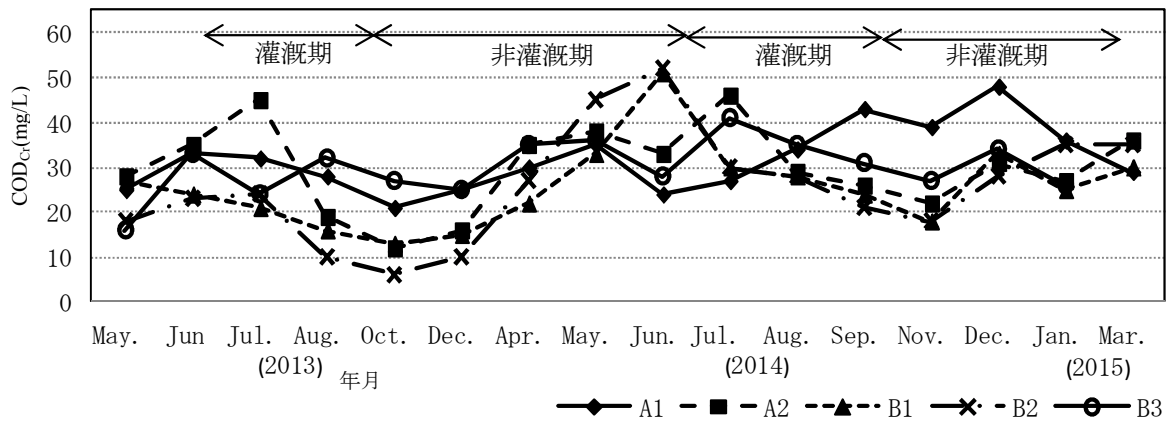


図 2.4.4 農業排水路水質試験結果 (COD_{cr})

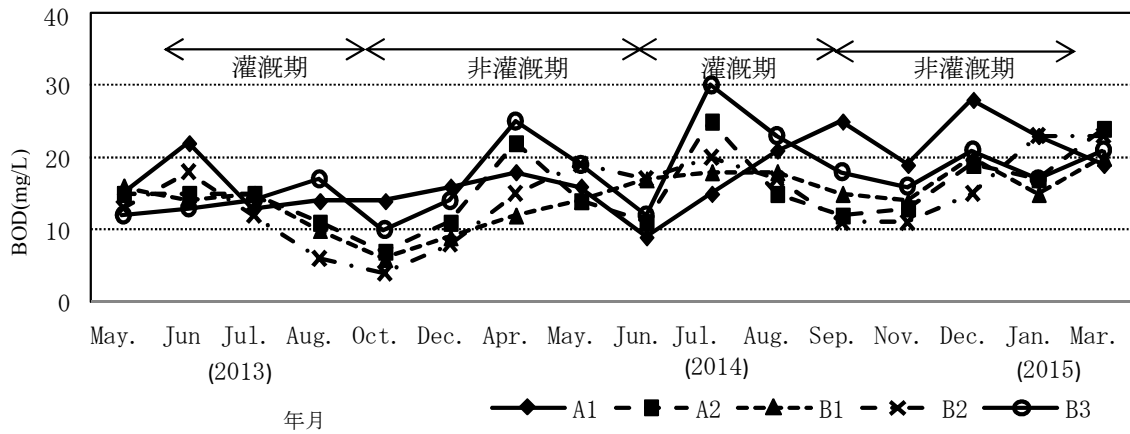


図 2.4.5 農業排水路水質試験結果 (BOD)

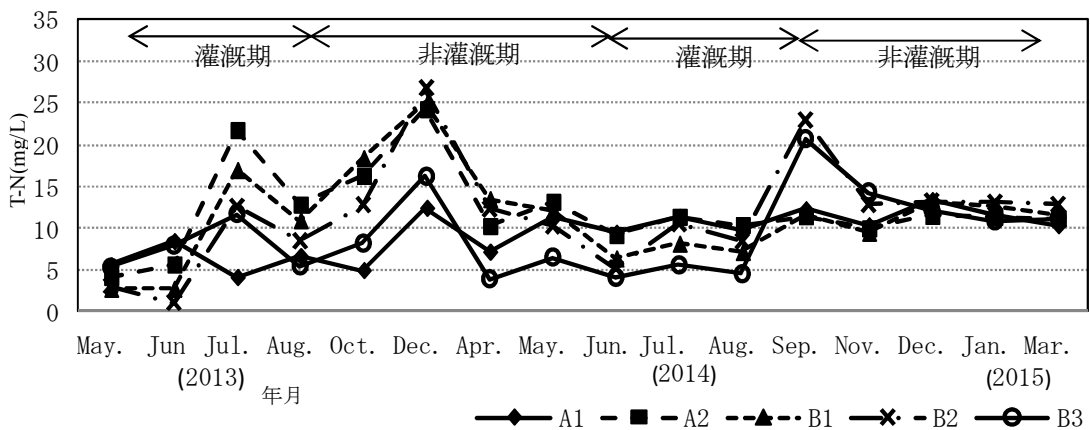


図 2.4.6 農業排水路水質試験結果 (T-N)

2.4.3.3 ナイルデルタの水質

ナイル川の水質は、アスワンハイダムから大都市のカイロに至る上流部では、人口密度が低いものの下水処理がほとんど行われておらず、流下に伴い汚染が進んでいる。また、カイロにおいては、下水処理整備率は高いが、工場排水及び急激な人口増加により負荷が大きくなり、デルタへ流下する水質は良好ではない状況である。その実態把握のため、エジプト国水資源灌漑省では、2008年8月1日～2009年7月31日の期間にわたって、ナイルデルタの支川や運河、農業排水路の広域的な水質調査を実施している⁶⁾。ナイル川の水質は、アスワンハイダムではBOD 1.2 mg/Lと良好な水質である。しかしながら、流下に伴い水質は次第に悪化し、カイロ市付近でBODは3.2 mg/Lとなり、さらにデルタにおけるナイル川分岐支川ではBOD4.5～7.5 mg/Lに増加している¹⁰⁾。また、濱崎¹¹⁾は、カイロ周辺の水質調査結果(1999年2月実施)として、BOD値の平均値が3.3 mg/Lであったと報告している。水資源灌漑省と濱崎のBODの調査結果は非常に近似している。これらの値は、エジプト国の制定している農業排水の再利用の際の基準⁵⁾であるBOD30 mg/Lは満たしているものの、デルタへ流入する時点でのナイル川水質は、良好ではない。

本調査で対象とした中央デルタのほか、東デルタと西デルタにおいても、2008年当時において、すでに有機汚濁は進行している。BODに着目すれば、中央デルタの2カ所の排水路は、それぞれ21～30 mg/Lと18～19 mg/Lとなっている⁶⁾。本調査結果のBOD変動範囲と良く一致している(図2.4.7)。また、DOは0.5～2.5 mg/L⁶⁾であり、農業排水路は貧酸素環境にある。中央デルタでは人口43万人のタンタ市を始め、流域内に中小都市が存在することから、その排水の影響を受け、水質汚濁が進行してきたと推察される。

東デルタの2カ所の排水路は、それぞれ14～20 mg/Lと22～31 mg/Lとなっており、中央デルタのBOD値と同レベルである。また、西デルタにおいても、排水路のBODは11～25 mg/Lとなっている⁶⁾。ナイルデルタにおけるその他の水質調査報告(2012年6月調査)¹²⁾では、西デルタのBODは、16 mg/L～48 mg/Lの数値を示している。さらに、中央デルタのバハルエルヌール地区(本調査地区より東へ30 km程度)では、DOが1 mg/L以下、COD_{Cr}が40 mg/L以上の農業排水路もある¹³⁾。

これまでの調査および本調査の結果から判断すると、ナイルデルタ下流域での有機物汚濁による水質悪化は著しい。

2.4.4 まとめ

ナイルデルタ農業排水路の各定点において水質汚濁の実態調査を2013年と2014年の2カ年にわたって実施した。その調査結果の概要を以下にまとめる。

(1) 全調査地点における平均DOは2013年と2014/2015年で、それぞれ2.7 mg/Lと2.9 mg/Lであり、DOが2 mg/L以下となる場合も少なくなかった。ナイルデルタの農業排水路のDOは著しく低く、農業排水路は貧酸素環境にある。

(2) COD_{Cr}とBODの全データの平均は、28.6 mg/Lと16.0 mg/Lであり、エジプト国の農業用水基準値(COD_{Cr}, 40 mg/L; BOD, 30 mg/L)を概ね満足しているものの、超過する場合も少なくなかった。中央デルタの農業排水路の有機物汚濁は著しい。

(3) COD_{Cr}とBODは、灌漑期の6・7月頃に増加してピークを示し、灌漑期と非灌漑期の切り替え時期に減少しており、有機物汚濁指標は周期的な増減が認められた。

(4) 大腸菌群は、 $3.6 \times 10^3 \sim 3.2 \times 10^7$ CFU/100mL となっており、基準値の 2,500 CFU/100mL を 1.4~12,800 倍も超過した。大腸菌群の基準値超過は、ナイルデルタ全域の傾向であり、流域住民の健康被害の観点からも早急な改善が必要である。

ナイルデルタでは、農業排水路の排水は、下流地区の農業用水として灌漑利用せざるを得ない貴重な水資源である。今回調査した地区は、エジプト国農業用水基準をほぼ満足する水質レベルであり、農業用水としての利用の可能性は高く、塩分濃度の高い沿岸部を除き、排水再利用は、推進されるべきである。しかしながら、排水再利用計画にあたっては、事前の水質調査が重要である。また、抜本的な対策として、生活排水も混在する農業排水の排水処理施設の設置・普及が喫緊の課題である。

参考文献

- 1) National Water Resources Plan 2017; Ministry of Water Resources and Irrigation, p. 2-34, 2005.
- 2) 北村浩二；エジプトにおける灌漑のための排水再利用の現状と課題，*水土の知*，**80**，(2)，115-118，2012.
- 3) 独立行政法人国際協力機構；“ODA が見える．わかる．”，独立行政法人国際機構，<<http://www.jica.go.jp/oda/project/1102494/field.html>>，(参照 2016-01-15)．
- 4) The Center for Environment and Development for the Arab Region and Europe (CEDARE)；Egypt Water Sector M&E Rapid Assessment Report, 2014.
- 5) Set of Laws and Decrees on Protection of the river Nile against pollution & drainage of liquid wastes, The middle east library for economic services, p. 51-56, 2009.
- 6) Ministry of Water Resource and Irrigation National Water Research Center Drainage Research Institute ; Drainage Water Status in the Nile Delta Year Book 2008-2009 Technical Report No. 79, June 2010.
- 7) 奥村清；塗装工場の重金属含有廃水処理対策，*環境技術*，**8**，(12)，p. 56-59，1979.
- 8) 二宮勝幸，柏木宣久，安藤晴夫，小倉久子；植物プランクトンの増殖に伴う N/P 比の変化に関する理論的考察および東京湾における N/P 比の空間分布の季節的特徴，*横浜市環境科学研究所報*，**24**，p. 62-70，2000.
- 9) 佐川学，明瀬郁郎，野田直広；湖沼水質保全システム，**74**，(8)，p. 6-11，2001.
- 10) エジプト・アラブ共和国ナイルデルタ地域農業用水水質改善・再利用計画プロジェクト準備調査報告書，独立行政法人国際協力機構(JICA)，p. 9-21，2011.
- 11) 濱崎竜英；エジプトにおける環境分野の技術協力と無償資金協力，*環境技術*，**29**，(4)，p. 16-22，2000.
- 12) 上村繁樹，大久保努，多川正，荒木信夫，原田秀樹；エジプトにおける下水処理水の灌漑利用の実態とその改善に向けての今後の展望，*用水と廃水*，**57**，(3)，p. 219-229，2015.
- 13) 小木曾凡芳，大石貴行，鈴木祥広；マイクロバブルによるナイルデルタの農業用水の浄化，*環境技術*，**44**，(4)，p. 36-43，2015.

第3章 排水路の水質浄化技術

3.1 排水路の水質浄化技術

3.1.1 水路内浄化施設の概要

本技術は、すでに汚濁が進行した排水路に対して、安価で簡便な施設により、水路内浄化施設を設置し、排水路水の再利用を促進するために検討した。

表 3.1.1 に水路内浄化施設の概要をとりまとめた。最終的にスクリーン、沈殿、植生浄化を組み合わせた方式により、水質評価を行った。

表 3.1.1 水質浄化水路の概要

目的	水質汚濁の進行した水路内に DO 及び COD の改善を主目的とした水路内浄化施設を設置し、農業用水として再利用を行う。また、その展示効果により、住民への啓蒙普及を図り、「エ」国内の水質浄化施設のモデルとして将来の展開を図る。	
型式・構造	鉄筋コンクリート製とし、沈殿と植生浄化施設を組み合わせた方式とする。水路内では無く、水路と並行して設置する。フローは、以下のとおりとする。 流入→スクリーン→沈殿ゾーン→植生浄化ゾーン→スクリーン→流出	
	スクリーン	大きな夾雑物の除去を目的に 5 cm 幅のスクリーンを設置する
	沈殿ゾーン	効率的な COD 除去を図るために SS 系の COD 除去を前段階で行う。沈殿した汚泥は、排水路浚渫と同時に系外へ搬出する。
	植生浄化ゾーン	ホテイアオイ、アシ類などの水生植物により、COD の除去及び根でのスクリーン効果による SS の補足を行う。また、同時に沈殿効果により SS の除去を行う。堆積した汚泥は、排水路浚渫と同時に搬出する。

表 3.1.2 河川浄化方法比較表

浄化原理		浄化手法	設置可能場所		浄化効率		汚泥処理頻度 (年間)
			河道内	堤外地	BOD (%)	SS (%)	
物理的	ろ過	立型集水井	×	○	80~95	90~95	3~4回
	ばっ気	エアレーション	○	△	10以下	10以下	必要なし
物理+生物的	沈殿 +微生物	礫間接触酸化法	○	○	60~80	75~90	1回/5年
		プラスチック等接触酸化法	○	○	50~70	65~85	1~4回
		粒状砕石集合体浄化法	△	○	50~70	70~85	2回
生物的	微生物	ばっ気付礫間接触酸化法	×	○	80~90	85~95	1回/5年
		プラスチック等接触ばっ気法	×	○	75~85	75~85	1~4回
		酸化池法	×	○	40~50	40~60	1~2回
		ばっ気付粒状砕石集合体浄化法	×	○	75~85	75~85	2回
	植物体利用	ヨシ原浄化法	×	○	30~50	70~80	1回
		荇イモ等浄化法	○	○	30~50	30~40	1回
物理+化学+生物	ろ過吸着生物	高速土壌浄化法	×	○	80~95	90~95	3~4回

出典：河川直接浄化の手引き（平成9年）（財）国土開発技術研究センター

表 3.1.2 の浄化方法は、設置可能場所、浄化可能な水質項目及び範囲、浄化効率、汚泥発生率、施設の必要面積、建設費、維持管理費がそれぞれ異なる。しかし、水路内浄化施設についても、「容易な維持管理でかつ簡易な施設」を基本に処理方法を選定する。本プロジェクトに

における浄化施設は、用地条件により、河道内または高水敷、維持管理の簡便さを考慮して、汚泥処理が年1回以内の2条件により選定される下記の4つの方法である。

①エアレーション、②礫間接触酸化法、③ばっ気付礫間接触酸化法、④植物体利用

この内、①エアレーションによる方法は、新技術であるマイクロバブルによる実証試験結果を次項にて述べる。また、上記の②礫間接触酸化及び③ばっ気付礫間接触酸化法は、維持管理が為されない場合には、目詰まりを起こし、浄化機能のみでは無く、排水路の機能にも影響を及ぼす事が懸念されるため、本研究では、植物体利用を採用し、「スクリーン」「沈殿」「植生浄化」を組み合わせた方式を採用した。水路内浄化施設の概要を図3.1.1に示した。

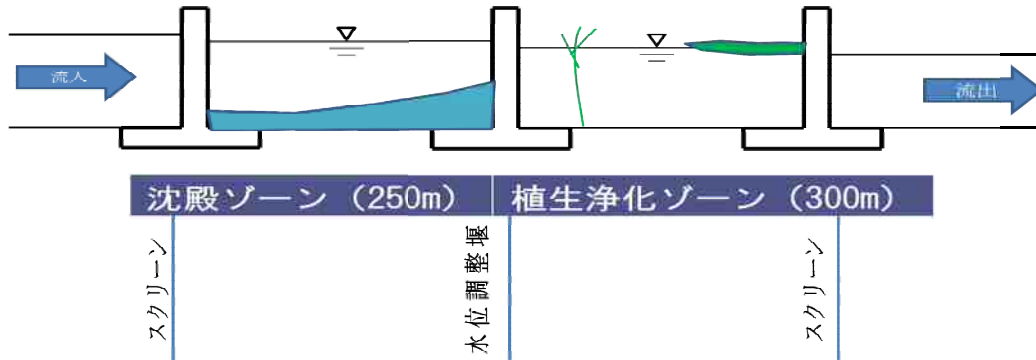


図 3.1.1 水路内浄化施設概念図

3.1.2 水路内浄化施設の検討

水路内浄化施設は、下記の諸元として、設置した。

(1) 処理方式

処理方式は、スクリーン、沈殿と植生浄化を組み合わせた方式とした。

(2) 流入水質及び流量

流入水質は、2014年6月～8月に水質試験をした結果から、最も水質の悪かった8月を採用した。水質試験結果を表3.1.3に示す。流量は、流量観測結果(1.07m³/s)から、余裕をみて、1.2m³/sとして計画した。

表 3.1.3 排水路の水質 (mg/l)

月	DO	COD	T-N	T-P	SS
6月	0.89	26	1.1	0.2	30
7月	0.43	27	0.6	0.2	16
8月	0.35	23	12.0	0.2	776

(3) 計画処理水質及び滞留時間

計画処理水質は、「河川直接浄化施設の手引き」国土交通開発技術センター平成9年3月31日に基づき計算を行い、表3.1.4の性能を有する施設と推定した。

表 3.1.4 計画処理水質と滞留時間

ゾーン名	水質 (mg/l)				滞留時間 (hr)
	COD	T-N	T-P	SS	
流入部	23	12.0	0.2	776	—
沈殿ゾーン	18.5	12.0	0.2	543	0.94

植生浄化ゾーン	18.4	11.5	0.2	539	0.21
計	—	—	—	—	1.15

(4)設計図面

水路内浄化施設の設計図面を図 3.1.2 及び図 3.1.3 に示した.

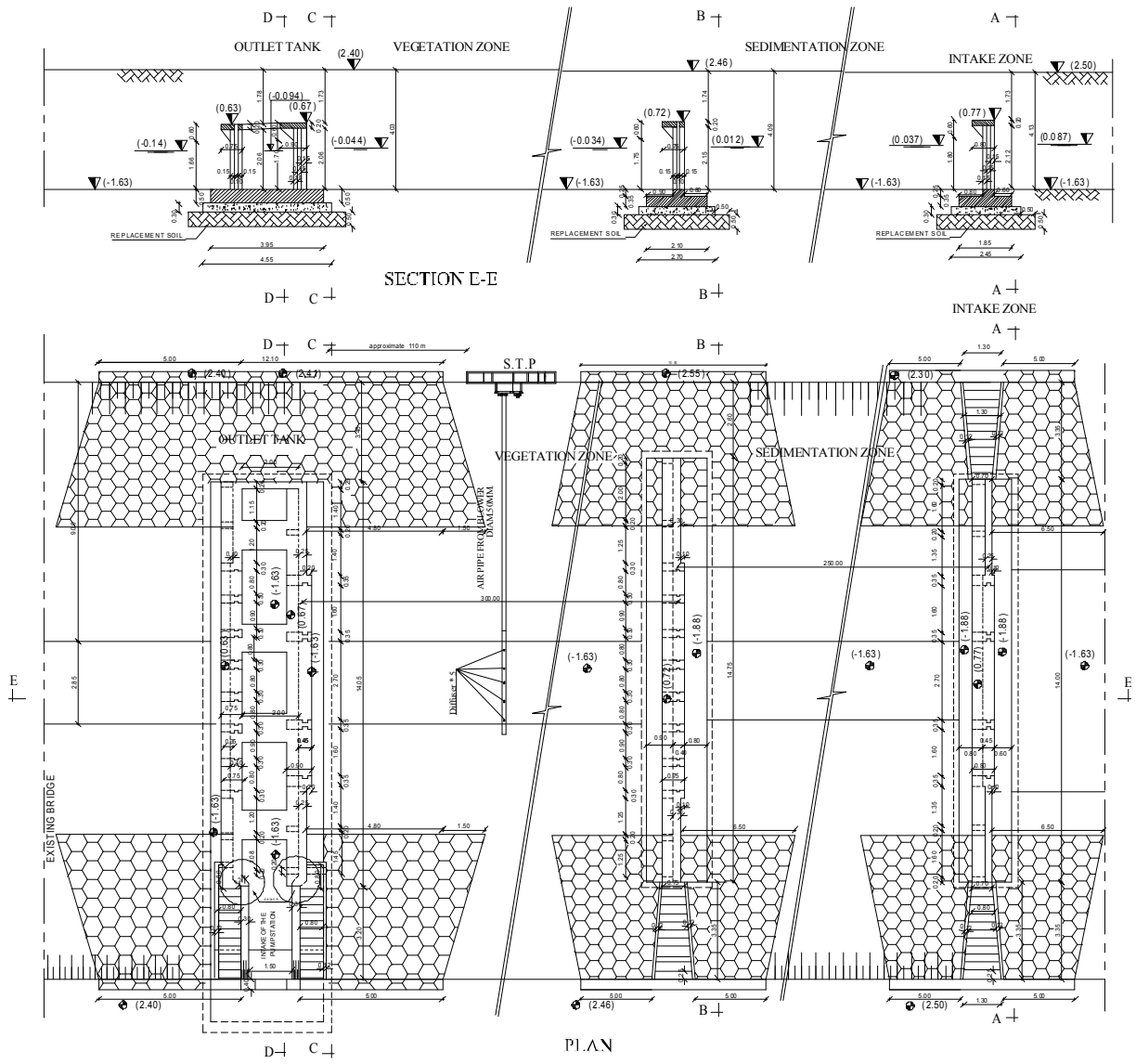


図 3.1.2 水路内浄化施設平面図

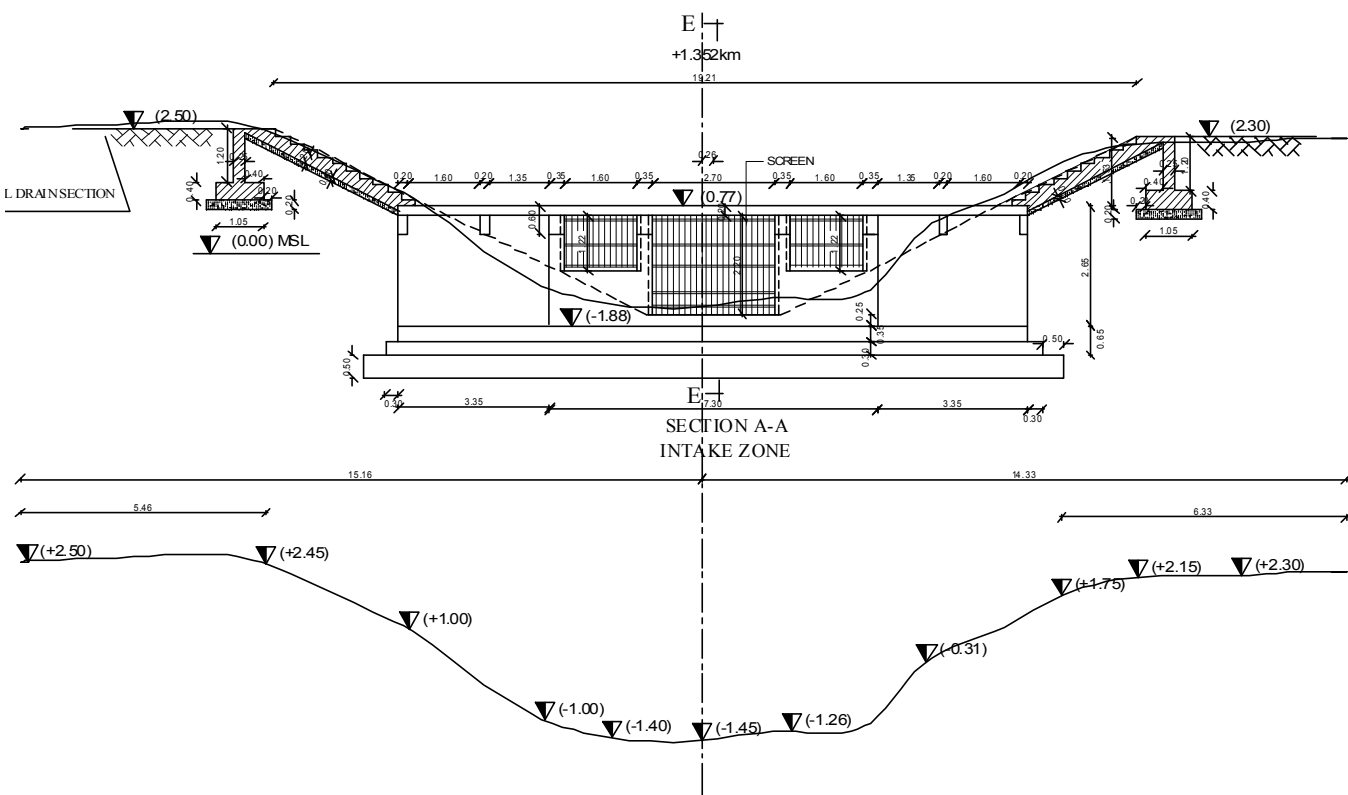


图 3. 1. 3 水路内净化施設断面图

3.1.3 水路内浄化施設の施工概況

水路内浄化施設は、集落排水処理施設と同様に他の施設（ポンプ施設、堆肥化施設）と共に、2014年3月13日に施工業者と契約を行い、2014年10月31日を完了工期とした。しかしながら、実際には、2015年11月17日に相手国への施設引き渡しを行ったため、6カ月間の予定工期としていた工事が完成までに20カ月を要した。

水路内浄化施設の施工前の状況を写真3.1.1に、施工中の状況を写真3.1.2～3.1.4に示した。

写真3.1.2は、最下流部の堰の施工状況である。写真手前に見える塩化ビニル管は、排水路本川の仮廻し排水管である。通常1.0m³/s程度であり、排水管のみで仮廻し可能であったが、降雨があり、流量が増加した場合には、排水路水位が上昇し、上流部で越流する問題が発生した。その際は、仮廻し水路では無く、本川に流路を戻し、水位低下を待った。

写真3.1.3は、中流部堰の施工状況、写真3.1.4は、上流部堰の施工状況を示す。写真から判る様に全ての仮設材（型枠・支保工・足場工）が木材で組み立てられており、施工精度は良く無い。



写真 3.1.1 水路内浄化施設建設前



写真 3.1.2 施工状況（下流部堰）



写真 3.1.3 中流部堰施工状況



写真 3.1.4 上流部堰施工状況

3.1.4 水質試験結果と考察

水路内浄化施設を設置2カ月後の2015年9月～11月において、水質試験を実施した。その結果を表3.1.5～3.1.8に示す。また、各水質の変化を図3.1.4～3.1.7に示す。

(1) pH

pHは、いずれの水質試験結果も、6.79～7.37の範囲にあり、ほぼ中性の性質を示し、流入前と流入後に大きな変化は認められない。

(2) DO

DOは、原水水質が0.50mg/l～1.20mg/l、処理後の水質が1.26mg/l～2.07mg/lとなっており、0.25mg/l～1.16mg/lの改善効果が得られた。スクリーンおよび沈殿ゾーンにおける物理的な処理および堰における水位差によるばっ気効果が得られた結果と判断できる。

(3) COD

CODは、原水水質に28mg/l～80mg/lと大きな差があるものの、処理後の水質は、12mg/l～46mg/lとなり、その除去率は、13.3%～57.1%と大きな結果が得られた。計画上の除去率を20%と想定していたことから、概ね満足できる能力である。設置したスクリーンおよび沈殿ゾーンにおけるSSの除去による影響が大きく、またDO改善によるCOD値低下も考えられる。

(3) T-N

T-Nは、原水水質の2.31mg/l～4.73mg/lが、処理後水質として、1.72mg/l～4.51mg/lとなり、除去率として、4.7%～22.9%が得られた。これも同様に物理的な処理によるSSの除去に伴うT-Nの低下および植生浄化による効果によるものと考えられる。計画上の除去率は、0.4%と想定していたことから、十分な結果が得られたと判断している。

(4) T-P

T-Pは、原水水質0.89mg/l～2.68mg/lが、処理水質として、0.54mg/l～1.15mg/lとなり、除去率として、5.4%～57.1%が得られた。これは、植生浄化による除去が大きいと考えられる。

表3.1.5 水質試験結果(2015年9月1日)

項目	単位	原水	処理水	除去率(%)
採水時間	時分	12:22	13:10	-
水温	℃	29.7	29.2	-
pH	-	7.24	7.29	-
DO	mg/L	1.01	1.26	-
T-N	mg/L	2.31	2.07	10.4
T-P	mg/L	2.68	1.15	57.1
COD _{cr}	mg/L	80	46	42.5
大腸菌群数	MPN/ 100ml	19.4*10 ⁵	45.7*10 ⁴	-
糞便性 大腸菌群数	MPN/ 100ml	32.6*10 ⁵	76.8*10 ³	-

表3.1.6 水質試験結果(2015年9月8日)

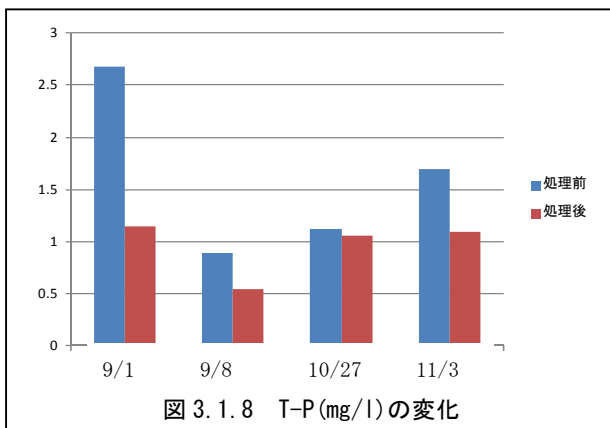
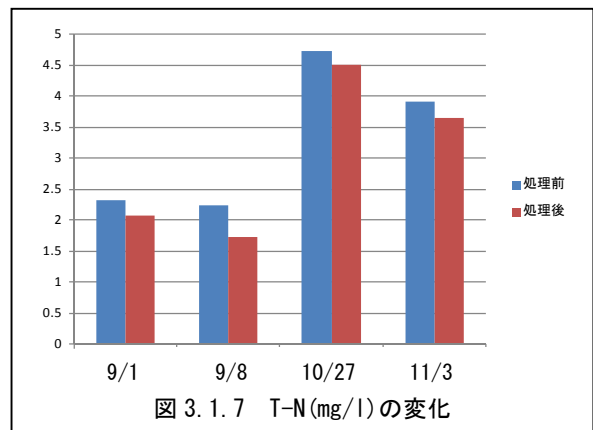
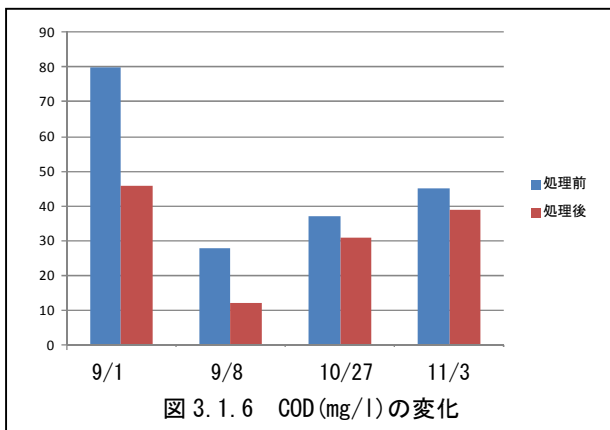
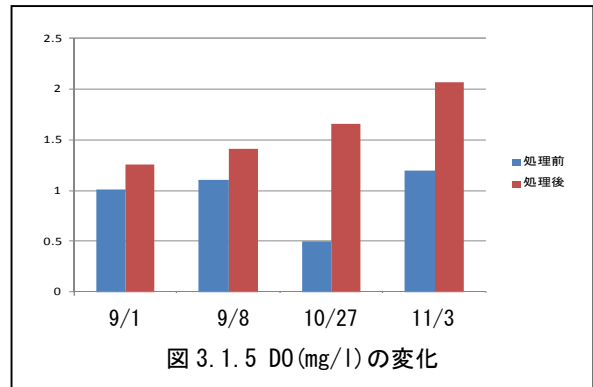
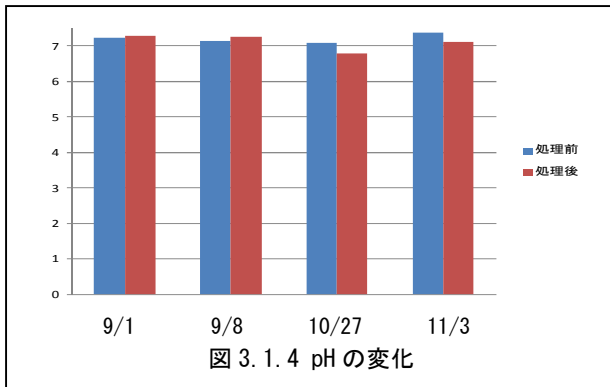
項目	単位	原水	処理水	除去率(%)
採水時間	時分	11:45	12:27	-
水温	℃	29.4	29.5	-
pH	-	7.15	7.25	-
DO	mg/L	1.10	1.41	-
T-N	mg/L	2.23	1.72	22.9
T-P	mg/L	0.89	0.54	39.3
COD _{cr}	mg/L	28	12	57.1
大腸菌群数	MPN/ 100ml	10.9*10 ⁴	76.1*10 ³	-
糞便性 大腸菌群数	MPN/ 100ml	18.7*10 ³	16.6*10 ³	-

表 3.1.7 水質試験結果(2015年10月27日)

項目	単位	原水	処理水	除去率(%)
採水時間	時分	11:30	11:55	-
水温	℃	25.3	24.9	-
pH	-	7.09	6.79	-
DO	mg/L	0.50	1.66	-
T-N	mg/L	4.73	4.51	4.7
T-P	mg/L	1.12	1.06	5.4
CODcr	mg/L	37	31	16.2
大腸菌群数	MPN/100ml	5.2*10 ³	25.3*10 ³	-
糞便性大腸菌群数	MPN/100ml	34.3*10 ³	14.6*10 ³	-

表 3.1.8 水質試験結果(2015年11月3日)

項目	単位	原水	処理水	除去率(%)
採水時間	時分	15:15	13:34	-
水温	℃	24.1	23.1	-
pH	-	7.37	7.12	-
DO	mg/L	1.20	2.07	-
T-N	mg/L	3.92	3.65	6.9
T-P	mg/L	1.69	1.09	35.5
CODcr	mg/L	45	39	13.3
大腸菌群数	MPN/100ml	51.7*10 ⁴	28.6*10 ⁴	-
糞便性大腸菌群数	MPN/100ml	14.2*10 ³	7.1*10 ³	-



3.2 マイクロバブルによる水質浄化

3.2.1 はじめに

エジプト国は、その水源をほぼ全面的にナイル河川水に依存している。ナイル川は、国際河川であることから、関係諸国との協議により年間利用可能量を 555 億 m^3 と規定されている。近年の大幅な人口増加により、上水、工業用水、農業用水の使用水量も増加し、水資源量が緊迫した状況となっている。特に、ナイル川下流に位置するミドルデルタ地区は、ナイル川上流の排水の影響を受けており、自浄能力も低く、河川の水質汚濁が極めて深刻な状況にある。その様な背景から、限られた水利用量の有効利用を促進するために、農業排水の農業用水への再利用が必要となっている。しかしながら、農業排水の水質汚濁の進行が著しく、現状の水質では農業用水やその他の用水への利用は極めて困難である。したがって、エジプト国では、安価で簡便かつ効果的なオンサイト型の農業排水浄化技術の開発が強く望まれている。

エジプト国環境省の水質調査の結果によると、ミドルデルタ地区における農業排水の水質汚濁の主要な汚染物質は、生物由来の有機物である。その事から、農業排水における有機物除去による水質浄化が、第一に取り組むべき課題である。そこで、河川水や農業排水において処理施設等の建設が不要であり、簡便に設置可能な有機物除去技術として、超効率的な酸素供給が期待できるマイクロバブル装置に着目した。マイクロバブル装置とは、水質浄化に必要な微生物などの活性を高めるために、汚濁排水に酸素を効率的に溶解させる新曝気技術で、気泡の直径が 50 μm 以下とされている装置である¹⁾。気泡径が従来の分散式曝気法の気泡よりも著しく小さいため、水中における気泡の滞留時間が大幅に長くなり、酸素溶解速度も3倍以上に達することが期待できるとされる²⁾。我が国では、閉鎖性水域（湖沼・湾内）の水質浄化対策としてマイクロバブルの採用事例が多いものの³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾、河川への適用例は少ない。この理由として、河川の流速が速いため、対象とする流量が膨大となり、その結果として、処理施設が一般的に大規模となり、費用対効果の面で不利になるためと考えられる。しかしながら、本研究で対象とするエジプト国内の河川や農業排水路の流速は小さく、マイクロバブルによる水質浄化が期待できると考えた。そこで、汚濁の進行が著しいナイルデルタの農業排水路を研究対象として、マイクロバブル装置による農業排水の水質改善効果を検討した。

3.2.2 実験方法

3.2.2.1 農業排水路の概要

(1) ナイルデルタの農業排水路

図 3.2.1 に、本研究の調査対象としたナイルデルタの位置図と農業排水路の経路図を示す。調査対象の排水路(現地では Drain No.4 と称されている、以降 Drain No.4 排水路と記す)は、エジプトの首都カイロより北約 100 km のカフルエルシェイク県ビヤラ市北部に位置する。カフルエルシェイク県は、ナイルデルタ地域北部の沿岸部に位置し、人口 273.9 万人(2009 年)である。同県の産業は農業を主体とし、主作物の米はエジプト国の 3 割を生産し、綿工業、漁業、食品加工業も盛んである。対象となるバハルエルヌール地区は、幹線排水路とビヤラ排水路に囲まれた灌漑面積 4,200 feddan (約 1,720 ha) の農業地帯であり、米、小麦、牧草(ベルシーム)、サトウ大根、綿花等が生産されている⁷⁾。農薬および肥料に対する法律はあるものの、違法な成分を含む化学物質が多量に散布され、それによる排水路水質や大気汚染も深刻な問題となっている。カフルエルシェイク県の下水道整備は、エジプト国内の他中小都市と同様に、ほとん

ど進んでいない状況であり、1000 人程度の集落を対象とした沈殿処理施設が数か所あるのみで、ほとんどの下水は、未処理のまま農業排水路へ放流されている。同様に、地区内の工場排水は、水量が小さいものの、未処理で農業排水路へ放流されている。

(2) ナイルデルタ地区内の簡易水質調査

浄化実験に先立ち、地区内水路の水質概要を把握するため、図 3.2.1 に示す地区内 11 箇所の農業用水路・農業排水路について、簡易の水質調査を行った（2009 年 10 月 20 日）。溶存酸素(DO)は、ポータブル多項目水質計（WQC-24，東亜ディーケーケー）を用いて現場において直接測定した。また、COD_{Mn}と NH₄-N は、採水後、現場で直ちにパックテスト（WAK-COD, WAK-NH₄, 共立理化学研究所）で測定した。

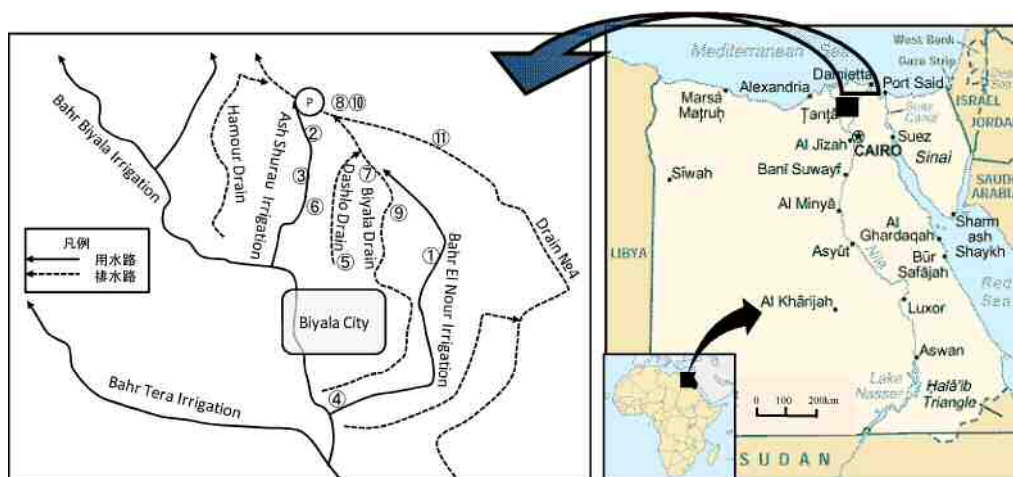


図 3.2.1 実験対象位置図及び農業用水路、排水路経路図

表 3.2.1 測定項目，測定法，および適用規格

測定項目	測定法	適用規格
pH	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No. 4500 B
電気伝導度 (EC)	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No. 2510 B
水温	ポータブル水質分析計 WTW315i	APHA No. 2550 B
溶存酸素 (DO)	ポータブル DO 分析計 WTW Oxi310i	APHA No. 4500 C
濁度 (TURB)	ポータブル濁度分析計 Thermo Scientific, Orion AQ4500	APHA No. 2130 B
浮遊物質 (SS)	ガラス繊維ろ紙法	APHA No. 2540 D
全窒素 (T-N)	ケルダール分析法	4500-N C. (APHA, 1998)
アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	ケルダール分析法	APHA No. 4500 B
亜硝酸態窒素 (NO ₂ -N)	イオンクロマトグラフ法 Agilent Technology	APHA No. 4500-No3 C
硝酸態窒素 (NO ₃ -N)	イオンクロマトグラフ法 Agilent Technology	APHA No. 4500-No3 C
全リン (T-P)	アスコルビン酸還元法 HACK, DR-2010	APHA No. 4500 F
生物学的酸素要求量 (BOD)	ウィンクラーアジ化ナトリウム変法	APHA 2005-5220, D, C
化学的酸素要求量 (COD)	重クロム酸カリウム法 HACK, DR-2010	APHA 2005-5210, D
全有機炭素 (TOC)	Analytikjena, Multi N/C-3100	APHA 2005-5310, B, D
大腸菌群数	M-Endo 培地法	APHA No. 9222B & 9222D

(3) 対象農業排水路の水質調査

試験対象とした Drain No.4 排水路の汚濁の進行状況を把握するため、事前に農業排水路の水質調査を図 3.2.1 に示す⑧の位置において、2 回調査した（2009 年 12 月 28 日，12 月 31 日）。農業排水路の表層水を洗浄済みポリエチレン瓶に採取し、直ちに現地の実験室に持ち帰って分析した。表 3.2.1 に、分析項目と分析方法を示す。

3.2.2.2 マイクロバブル装置の概要

写真 3.2.1 に、本研究で用いたマイクロバブルの発生装置の外観を示す。マイクロバブル装置は、マイクロバブル発生ノズルとこれに接続して後方から加圧水を送り込むポンプ、ノズルの側面から空気を吸い込む空気管、および空気・水の混合水を噴出する背圧を支持するための架台によって構成されたタイプを使用した。表 3.2.2 に、マイクロバブル装置の仕様を示す。スペックの異なる3種類（E1～E3）を適時組み合わせて実験した。なお、マイクロバブル装置に接続使用した水中ポンプは、現地で調達したため、実験前に現場で吐出量を測定した。



写真 3.2.1 実験に利用したマイクロバブル



写真 3.2.2 Drain No.4 排水路における実験風景
(右下がビニールシートによる仮設水路である)

表 3.2.2 マイクロバブル装置のスペック

装置名	型式	ポンプ吐出量 (l/min)	最大空気供給量 (l/min)
E1	YJ21*	500	100
E2	YJ21*	430	100
E3	YJ15*	180	50

*カジマアクアテック株式会社製，現在は，エンバイロ・ビジョン株式会社にて販売されている。

表 3.2.3 実験水路の諸元

	幅 (m)	水深 (m)	断面積 (m ²)	流量 (m ³ /s)	流速 (m/s)
Drain No.4	18.5	2.0	33.5	7.00	0.21
仮設水路	0.6	0.25	0.07	0.032	0.46

仮設水路断面寸法は厳密には一定でなく，場所によって若干異なる。

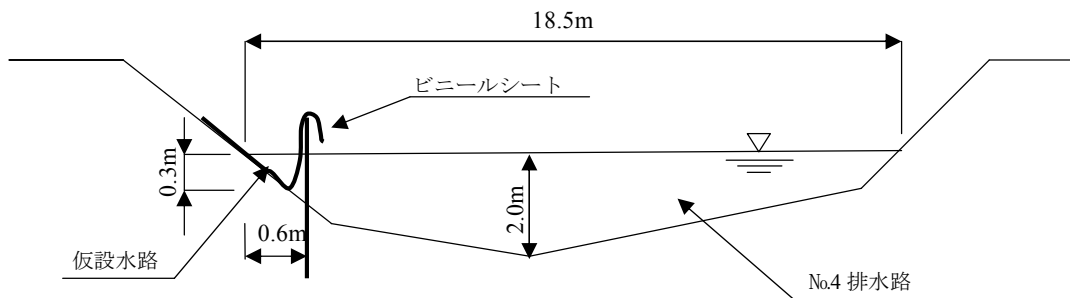


図 3.2.2 Drain No.4 排水路と仮設水路の断面

3.2.2.3 予備実験

農業排水路におけるマイクロバブル装置の設置状況の確認および装置の台数と水質変化の相関を把握するため、図 3.2.1 に示す⑧の位置において、条件の異なる3回の予備実験を実施した。写真 3.2.2 に、農業排水路におけるマイクロバブル装置の設置状況を示す。また、図 3.2.2 にNo.4 排水路及び仮設水路の断面図を示し、その諸元を表 3.2.3 に示す。予備実験①は、図 3.2.2 に示す幅 18.5 m の水路の中心にマイクロバブル装置を設置し、予備実験②及び③は、図中左側

に設置した仮設水路内にマイクロバブルを設置して実験を行った。仮設水路は、上下流端とも開放されており、排水路本流の水を上流端において流入させ、下流端で放流する形式とした。仮設水路は全長 1,000 m に設置した。

予備実験①：農業排水路内にマイクロバブル装置を設置し、農業排水路全体の流量に及ぼすマイクロバブル装置運転の効果を検証した。使用したマイクロバブル装置は、E1～E3 の 3 台であり、ポンプ合計吐出量 1,110 L/min、空気供給量 250 L/min である。

予備実験②：図 3.2.2 に示す仮設水路において、所定の流量に対するマイクロバブル装置運転の効果を検討した。使用したマイクロバブル装置は、E1 と E2 の 2 台であり、ポンプ合計吐出量 930 L/min、空気供給量 200 L/min である。

予備実験③：マイクロバブル装置の設置台数を検討するため、仮設水路において、E1 のマイクロバブル装置を運転し、E2 の空気供給を停止、ポンプのみを運転し、ポンプ吐出量 930 L/min、空気供給量 100 L/min とした。

3.2.2.4 農業排水路の浄化実験

農業排水路全体および流量制御の可能な仮設水路において、E1 と E2 の 2 台のマイクロバブル装置を運転し、実験を実施した。実験位置は、予備実験と同様に図 3.2.1 に示す⑧の位置である。ポンプ吐出量 930 L/min、空気供給量 200 L/min である。実験途中において、マイクロバブル装置の設置地点から下流 600 m 付近で仮設水路の一部が崩れ、仮設水路のシート外に漏れ出た水と排水路水が混合していることが確認された。そこで、マイクロバブル装置の設置地点から下流の 500m 地点に至る各地点(0 m, 5 m, 50 m, 200 m, 500 m)を観測点とした。そして DO, COD_{Cr}, SS, TN と無機態窒素の水質項目について、運転を開始してから時系列的 (0.5, 1, 2, 3 hr) にモニタリングを実施し、各項目の変化からマイクロバブルによる農業排水路の水質浄化について評価した。

3.2.3 結果と考察

3.2.3.1 地区内の各農業排水路の水質

表 3.2.4 に、地区内の簡易水質試験の結果および農業用水基準を示す。ここで示す COD 値は、日本のパックテストによる概略調査であることから、COD_{Mn} として示す。図 3.2.1 及び表 3.2.4 に示す番号の内、①～④は灌漑用水路、⑤～⑪は農業排水路である。図 3.2.1 に示すように、灌漑用水路と農業排水路は、完全に分離されているにもかかわらず、灌漑用水路の水質においても COD_{Mn} の高い地点があった。地区内の農業用水取水始点となる④においては、COD_{Mn} が 4 mg/L と低かったものの、約 7 km 流下した①においては COD_{Mn} が 12 mg/L となり、3 倍に増加している。この数値は、すでにエジプト国における農業用水水質基準 (COD_{Mn} ≤ 6 mg/L) を満たしていない状況であった。また、NH₄-N 濃度も灌漑用水路において 0.7-0.8 mg-N/L であり、日本の農業用水基準 (NH₄-N ≤ 0.5 mg/L) と比較すると

表 3.2.4 地区内の水質試験結果

番号	水路名称	パックテスト		簡易水質計
		COD _{Mn} * (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	DO (mg/L)
①	Bahr El Nour Canal	12	0.8	4.34
②	Irrigation Canal to Drain No.4	12	0.8	-
③	Irrigation Canal to Drain No.4	18	0.7	-
④	Intake of Bahr El Nour Canal	4	0.3	-
⑤	Branch Canal to Bahr El Nour Drain	18	0.2	-
⑥	Branch Canal to Bahr El Nour Drain	13	0.2	-
⑦	Bahr El Nour Drain	70	0.7	-
⑧	Drain No.4	30	8	0.02
⑨	Drain from Biyala	30	3	-
⑩	Drain No.4	-	-	0.03
⑪	Drain No.4	-	-	0.18
水稲用農業用水基準(日本)		6	(0.5)**	5
エジプト国農業用水基準		6	-	5

*日本で採用されている COD 値である COD_{Mn} で表示した。エジプト国農業用水水質基準⁹⁾の COD は、COD_{Cr} 及び COD_{Mn} によって規定されており、表中は COD_{Mn} の基準値である。

**参考値⁹⁾。

高い。灌漑用水路水質の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は 0.8 mg-N/L となっており、周辺集落からの尿尿を含む生活排水の流入が考えられる。

一方、農業排水路の水質において、 COD_{Mn} は $13\sim 70 \text{ mg/L}$ であり、我が国の一般的な家庭污水に匹敵する値が検出されている。DO 値も極めて低く、ほぼ無酸素環境であった。また、Drain No. 4 の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、 8 mg-N/L となっており、家畜排水あるいは尿尿の混入も考えられる。農業排水路は、農業利用および家庭排水の流入によって汚濁の進行が著しいことがわかった。

3.2.3.2 実験対象農業排水路の水質

表 3.2.5 に、研究対象とした農業排水路における水質調査の結果とエジプト国における農業排水水質基準値の抜粋を示す⁸⁾。最重要項目となる DO は、2 回のいずれの調査においても 0.1 mg/L 以下で、ほぼ無酸素の状態であり、エジプト国農業用水水質基準を大幅に下回った。 COD_{Cr} は、調査日によってバラつきがあるものの基準値 15 mg/L 以下に対し、 44 mg/L の大幅超過値が確認された。また、SS も 14 mg/L と 45 mg/L となっており、懸濁性の有機物濃度が高いことがわかった。また、T-N のほとんどを $\text{NH}_4\text{-N}$ が占めており、その濃度も 5.0 mg-N/L と非常に高かった。この農業排水路は、上流都市部の工場排水および生活排水の影響も受けているが、恒常的に農業排水路へ生ごみや尿尿が直接投棄されており、調査結果のような著しい汚濁の原因となっている。なお、EC は $1,800 \mu\text{S/cm}$ 程度となっており、沿岸部より 40 km 程度離れている事もあり、農業排水路における塩水化の影響は少ないことがわかった。

3.2.3.3 マイクロバブル装置の運転状況（予備試験結果）

予備実験①において、現況の農業排水路にマイクロバブル装置 3 台を直接設置した場合には、DO 供給の効果はほとんど認められず、原水の 0.05 mg/L が設置箇所下流 5 m の位置において 0.13 mg/L に上昇するのみであった。農業排水路流量 ($7.0 \text{ m}^3/\text{s}$) に対して、マイクロバブル装置の能力 ($0.1 \text{ m}^3/\text{s}$) が大幅に不足したため、DO の上昇はそれほど期待できないことがわかった。そこで、予備実験②において、流量を制御した仮設水路内 ($1.00 \text{ m}^3/\text{min}$) において、マイクロバブル装置を 2 台設置し、DO 変化を調べた。その結果、マイクロバブル装置設置箇所下流の 5 m 地点において、 0.1 mg/L 以下となっていた原水 DO が 6.45 mg/L に大幅に上昇し、 50 m 地点では 5.43 mg/L となった。さらに下流の 200 m 地点においても原水と比較して大幅な DO の上昇が見られ、 4 mg/L 以上で維持された。仮設水路において流量を制御し、マイクロバブル装置を 2 台設置することによって、仮設水路内の DO 値はエジプト国水質基準 ($\text{DO} \geq 5 \text{ mg/L}$) を上回り、流下に従い低下する状況が確認された。表 3.2.2 に示す仕様の E1 及び E2 のポンプ吐出量合計 $0.93 \text{ m}^3/\text{min}$ に仮設水路の流量 $1.00 \text{ m}^3/\text{min}$ を加算し、排水路流量は、 $1.93 \text{ m}^3/\text{min}$ となる。また、マイクロバブル供給量は、2 台の合計値として、 $0.2 \text{ m}^3/\text{min}$ となる。このことから、農業排水流量に対するマイクロバブル供給量の比（気液比）は、 0.1 （マイクロバブル供給量：農業排水流量 = $0.20 \text{ m}^3/\text{min} : 1.93 \text{ m}^3/\text{min} \div 0.1$ ）である。さらに、予備実験③として、予備実験②と同一の流量条件において、マイクロバブル装置を 1 台に減らして運転した。その結果、マイクロバブル装置下流部の 5 m 地点にて DO 値が 4.3 mg/L ま

表 3.2.5 当該実験地点における排水の代表水質

	12.28	12.31	水質基準値*
温度 $^{\circ}\text{C}$	15.1	17.0	≥ 5
pH	9.62	7.46	7~8.5
EC $\mu\text{S/cm}$	1,752	1,827	-
DO mg/L	0.1	0.06	≥ 5
COD_{Cr} mg/L	12	44	≤ 15
SS mg/L	14	45	≤ 500
$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/L	5.005	4.697	-
T-N mg/L	5.085	4.967	-
ORP mg/L	90.0	80.0	-
$\text{NO}_2\text{-N}$ mg/L	0.03	0.03	-
$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/L	0.05	0.24	-

*水質基準値は、エジプト国内の水質基準値であり、国内法 (Law48 Article65)に規定される⁸⁾。

で上昇した。しかしながら、マイクロバブル装置1台の運転（気液比 0.05）では、DO 値はエジプト国水質基準を満たすことはできなかった。以上の予備実験の結果から、浄化実験では、マイクロバブル供給量比を 0.1 に設定することにした。

3.2.3.4 マイクロバブル装置による水質改善効果（本試験結果）

表 3.2.6 に、仮設水路におけるマイクロバブル運転開始前（曝気前）の主要水質を示す。マイクロバブル装置の設置台数は 2 台とし、流量を調節して気液比を 0.1 に設定した。そして、設置地点から下流 500 m に至る水路内の水質変化を時系列的にモニタリングした。試験期間中の水温は 15.2~18.7℃、pH は 7.50~8.10 の範囲であり、流下に伴って徐々に上昇する傾向を示した。EC は 1681~1975 $\mu\text{S/cm}$ の範囲で変動した。

図 3.2.3 に、運転開始後の各所定時間における設置地点から下流 500 m 至る水路内の DO の変化を示す。また、運転開始前の DO は、0.1~0.5 mg/L となっており、ほぼ無酸素状態であった。しかしながら、運転開始してから 0.5 時間以降には 5.5 mg/L 以上に上昇し、下流の 200 m に至るまで 4 mg/L 以上の DO を保持した。マイクロバブル装置の運転によって、仮水路内に酸素が効果的に供給され、DO を高濃度に維持できることが明らかとなった。本実験の DO 改善に係る所要エネルギーを試算すると、対象水量 930 L/min、DO 上昇濃度 5 mg/L、電動機出力 7.4Kwh である事から、26.5Kwh/O₂kg となる。これは、

表 3.2.6 マイクロバブル運転開始前の主要水質 (mg/L)

距離	0m	5m	50m	200m	500m
DO	0.1	0.35	0.49	0.3	欠損
COD _{Cr}	12	11	13	15	欠損
SS	14	10	14	11	9
T-N	5.09	5.57	6.55	7.48	4.93
NH ₄ -N	5.01	5.49	6.47	7.40	4.62
NO ₂ -N	0.03	0.03	0.03	0.03	0.15
NO ₃ -N	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

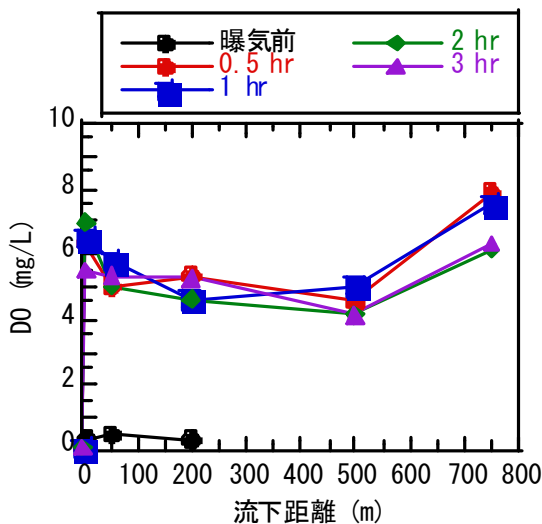


図 3.2.3 運転開始後の各所定時間における水路内の DO の変化

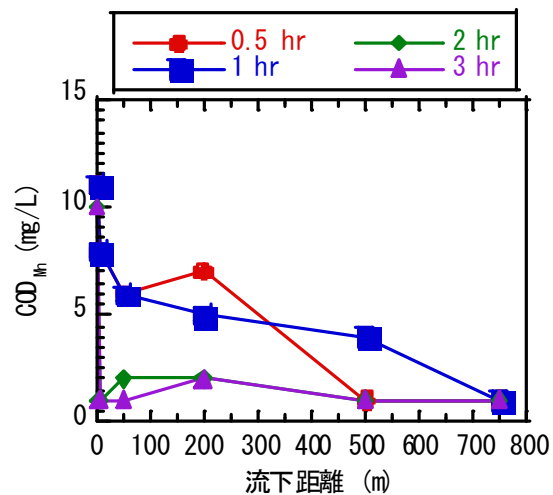


図 3.2.4 運転開始後の各所定時間における水路内の COD の変化

流水での実験であった事、水深が浅い事、COD が高い事などに起因し、一般的な所要エネルギー (0.6~1.25 KWh/O₂ kg)¹⁰⁾ に比較して、非効率となっている。一般的には、水質、水深、温度により大きな幅があるものの、マイクロバブルは、通常曝気の粗大気泡と比較して、約 1/2 の所要エネルギー (KWh/O₂ kg) であり¹⁰⁾、通常曝気と比較して経済的であるとされている。

図 3.2.4 に、運転開始後の各所定時間における設置地点から下流 500 m に至る水路内の COD_{Cr}

の変化を示す。本試験中における COD_{Cr} の変動は、原水の COD_{Cr} 10 mg/L 程度が流下 5 m 地点において 1~2 mg/L まで低下した。原水の COD_{Cr} が 10mg/L 程度となる場合には、マイクロバブル装置の運転によって効率的に COD_{Cr} が除去できることがわかった。マイクロバブル運転後、1 時間までは、緩やかに COD_{Cr} が減少しているものの運転開始後 2 時間以降は、曝気して約 10 秒後(5 m)の流下時間で COD_{Cr} が急激に減少した。仮設水路をビニルシートにより設置したために、完全な押し出し流れとはならず、部分的な滞留による影響も考えられる。微生物による有機物の分解速度は、DO と密接な関係があり、微生物の増殖速度は、DO が 0.1 mg/L から 5 mg/L に上昇すると、約 10 倍になるとの報告がある¹¹⁾。しかしながら、有機物の微生物分解には、少なくとも数時間は必要であることから、本実験の結果は、好気性微生物による分解の他に、鉄、マンガン等の還元性無機物の酸化、有機物の酸化が生じたのではないかと考えられる。また、周辺の農地においては、日本の規制対象となっている農薬も多量に散布されていることから、それが底泥付近に堆積し、それに含まれる揮発性有機物が曝気によって大気へ拡散されたとも考えられる。本試験結果から、マイクロバブル装置による曝気によって、農業排水中の COD_{Cr} が除去できることが確認された。 COD_{Cr} に対するコストについても、 COD_{Cr} の除去は、概ね DO の供給量に比例する事から、従来の粗大気泡に比べ、約 1/2 の投入動力となると考えられる。

図 3.2.5 に、運転開始後の各所定時間における設置地点から下流 500 m に至る水路内の SS の変化を示す。流下に伴って徐々に SS 濃度が減少していく傾向が認められたものの、除去の程度は低い。また、曝気前よりも試験中の方が SS 濃度は高くなっており、SS の処理性については評価が困難であった。

マイクロバブル装置による酸素供給によって、 NH_4-N の硝化も期待された。そこで、運転開始 2 時間後における下流の各地点における TN と NH_4-N ならびに NO_3-N と NO_2-N の変化を比

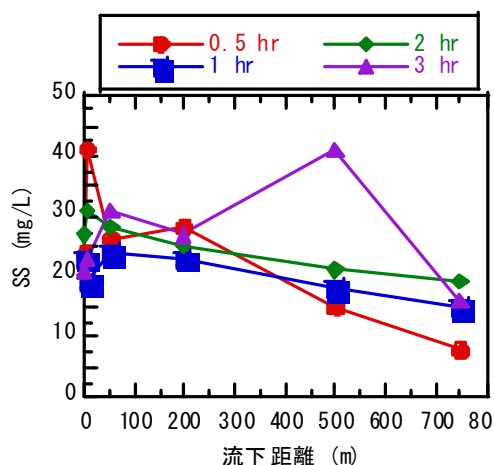


図 3.2.5 運転開始後の各所定時間における水路内の SS の変化

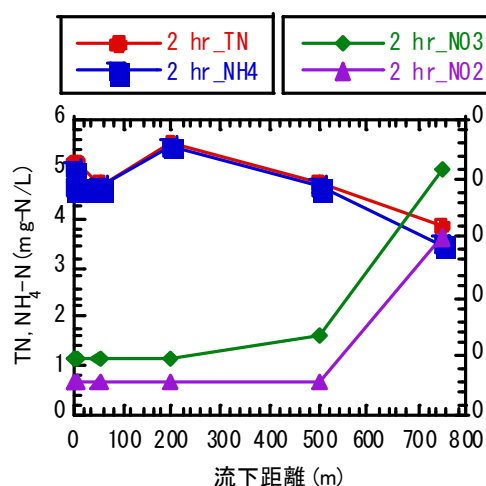


図 3.2.6 運転開始 2 時間後における水路内の各態窒素の変化

較した (図 3.2.6)。TN と NH_4-N は濃度も挙動もほぼ一致しており、農業排水路では TN のほとんどを NH_4-N が占めていることがわかった。 NH_4-N の変動があるものの、5.00 mg-N/L から 3.47 mg-N/L に低下した。一方の NO_3-N は 0~200 m までは極低濃度であったが、流下 500m 地点では少し上昇した。 NO_2-N は 0.03 mg-N/L の極低濃度で一定であった。なお、その他の所定時間における TN と NH_4-N ならびに NO_3-N と NO_2-N の変化も、図 3.2.6 と同様の挙動を示し

た。したがって、農業排水に酸素が供給されたことによって、わずかではあるが硝化が進行しつつある状況が確認された。しかしながら、本研究で対象とした水路内の流下時間は約 20 分 (500 m) であり、硝化に十分な反応時間が確保できなかったと考えられる。

3.2.3.5 マイクロバブルの効果と今後の課題

マイクロバブル装置の運転のポイントは、農業排水流量に対するマイクロバブル量の設定である。実際の農業排水路において、排水量に対するマイクロバブルの曝気量の気液比を 0.1 に設定し、運転することによって、0.1 mg/L 以下であった DO が 30 分後には、5.5 mg/L まで上昇した。マイクロバブル装置の運転によって、設置箇所から下流の 200 m に至る広範囲の水路において、DO 濃度の改善が確認された。本研究において、マイクロバブル装置は、ナイルデルタの汚濁負荷の著しい農業排水路の DO 濃度改善と COD_{Cr} 除去において効果的であることが実証された。

しかしながら、コストから評価すると大流量に対する農業排水路への適用は、初期投資や電気代等の維持管理などの費用と農業収入のバランスが課題となる。マイクロバブル装置は、設置条件の制限を受けず、容易に設置・運転することが可能であるため、現地向けの小規模排水路や排水滞留部に適用できる。装置の素材はステンレスでは無く鋼材製のものを現地生産できれば、建設費も安価となり、適用の可能性がさらに高まる。また、休耕地を利用した土壌浄化方式、スクリーニング、沈殿処理などを組み合わせた上で適用すれば、総合的に安価な水質浄化施設とすることが可能である。マイクロバブルによる処理水は、農業利用することによって、単収量の増加、成長期間の短縮、品質の向上に期待できるとの報告もある¹²⁾¹³⁾。農業排水路のマイクロバブル処理排水をナイルデルタに適した高付加価値作物に用水として再利用することができれば、生産性や品質の向上、すなわち農業収益の向上を図ることが期待できる。

3.2.4 まとめ

本研究では、汚濁の進んだナイルデルタの農業排水路の水質浄化を目的とし、現地にマイクロバブル装置を設置した仮設水路を構築し、水質改善効果を検討した。農業排水路の流量に対するマイクロバブルの曝気量 (気液比) を 0.1 に設定して運転を行った結果、以下の知見を得た。

(1) DO 1.0 mg/L 以下であった極低酸素の原水は、マイクロバブル装置設置箇所の下流近傍 (5 m) において 5.5 mg/L 以上に改善され、COD_{Cr} の除去に利用されつつも流下 200 m 地点以降も 4.0 mg/L 以上に保持された。

(2) COD_{Cr} 10 mg/L 程度の原水に対して、マイクロバブルの曝気によって短時間で 1~2 mg/L レベルまで低減できた。

(3) 構築した仮設水路では、酸素供給による NH₄-N の硝化はそれほど期待できない。これは、十分な硝化に要する時間を確保できないためと考えられる。

以上のことから、ナイルデルタにおけるマイクロバブルの適用は、DO および COD_{Cr} の水質改善に有効であり、その他の処理方式を総合的に組み合わせて農業排水路の水質改善に利用できる可能性が高い。

3.2.5 参考文献

1) 大成博文, 都並結依, 大成博音, 山本孝子; マイクロバブルの発生機構と収縮特性, 水工学論文集, 50, 1345-1350, 2006.

- 2)山田哲史, 天野誉之, 南川久人; 微細気泡群の分布と水への酸素供給効果との関係に関する研究, 日本機会学会論文集(B編),71, (705), 1301-1306,2005.
- 3)今井剛, 浮田正夫, 関根雅彦, 樋口隆哉; 閉鎖性水域における底層部への高濃度酸素水導入による水質改善効果に関する研究, 環境工学研究論文集, 41, 635-643, 2004.
- 4)佐々木洋之, 佐々木淳, 武田真典, 岡野崇裕, 足立有平; 閉鎖性水域におけるマイクロバブル発生装置を用いた溶存酸素供給効果の把握, 海岸工学論文集, 53, 1171-1175, 2006.
- 5) 南川久人, 道奥康治, 山田哲史, 安田孝宏; 酸素マイクロバブルを用いた貯水池深層曝気実験における水質改善効果の検討, 実験力学, 10, (1), 39-44, 2010.
- 6) 道奥康治; 閉鎖性水域における環境負荷軽減のためのマイクロバブル技術, 日本海水学会誌, 64, (1), 24-30, 2011.
- 7)エジプト・アラブ共和国環境プログラム無償(水関連技術)準備調査報告書 独立行政法人国際協力機構(JICA)株式会社三祐コンサルタンツ, P.2-23~36, 2013.
- 8) Set of Laws and Decrees on Protection of the river Nile against pollution & drainage of liquid wastes, The middle east library for economic services, 51-56, 2009.
- 9)田淵俊雄;農業土木技術者のための水質入門, (社)農業土木学会, 1987.
- 10)下水道施設省資源省エネルギーマニュアル(案), (社)日本下水道協会, 66, 1982.
- 11)鵜飼信義,依田亨;自然浄化処理技術の実際,他人書簡, 23,1998.
- 12)梨子木久恒; ナノバブル農業の可能性,微細気泡の最新技術, エヌ・ティー・エス, 58-70, 2006.
- 13) 合屋善之, 小林伸行, 瀬尾佑香, 大本利幸, 木全教泰, 高橋徹, 小木曾凡芳, 工藤俊徳, 畑明彦, 平野 幸子, 志水勝好; エジプト, ナイルデルタ排水路マイクロバブル実証試験におけるマイクロバブル灌漑水が作物の生育に及ぼす影響,日本熱帯農業学会第 108 回講演会要旨, 10, 2010.

第4章 集落排水処理施設による点源負荷削減

4.1 集落排水施設の概要

4.1.1 はじめに

エジプト国では、急激な人口増加(年2%, 約150万人/年)に伴い、水の消費量が增大している。さらに、食料増産のための農地開発及び経済成長も加わり、農業・工業・生活用水の水需要が大幅に増加している。エジプト国は、この水使用の80%以上をナイル川に依存している。また、使用後の水も全て最終的にナイル川へ排水されており、ナイル川下流域の水質汚染は深刻な状態となっている。^{1),2),3),4)}水質汚濁の原因は、農地開発、経済成長にも起因しているが、⁵⁾下水道整備率の低さが大きな要因となっている。エジプト国内の下水道整備率は、2011年において、都市部90%、農村部12%、全体の平均として50%との報告がある。⁶⁾実際に現地を調査したところ、維持管理が十分に成されておらず、運転を停止している施設、十分に処理されていない施設が数多く見受けられ、下水道整備率に含まれる処理施設も完全に機能を発揮している状態ではない。また、農村部の下水道整備率は、12%とされているが、実際には腐敗槽などの簡易処理も含まれており、適切に2次処理まで行われている施設は数か所である。

エジプト国の1人当り名目GDPは、2004年に\$1,137であったものが、2014年には、\$3,303となり、10年間で2.9倍に上昇している。人口も、年間約2.0%の増加率となっており、近年急成長している国である。エジプト国のように経済成長が著しい新興国においては、人口の増加や産業の発展により、水質汚染、土壌汚染、大気汚染など多くの共通課題を有している。また、多くの新興国では、エジプト国と同様に下水道整備率が低く、技術レベルも高くなく、技術者も不足している。このような背景において、新興国への低コストで容易な維持管理を実現可能な下水処理施設の導入が急務となっており、エジプト国内でも他型式での施設建設及び研究が行われている。上村ら⁷⁾は、「初沈+DHS(下降流スポンジ懸垂リアクター)」を設置、進藤ら⁸⁾は、「嫌気槽、ばっ気槽、植生浄化槽を組み合わせた方式」による施設を建設した。それぞれの処理性能を比較すれば、表4.1.1のとおりである。ナイルデルタにある農村部の水不足と水質汚濁を解消し、農業排水の灌漑利用を促進することを目的として、現地においてパイロット式の集落排水処理施設を設置した。このプロジェクトの主要な目的は集落排水の処理であり、日本で多く実績のある集落排水処理施設を更に簡易化し、現地の実験施設を建設した。その運転状況および今後の展開について報告する。

表 4.1.1 他研究との水質比較

処理型式	BOD				COD _{cr}			
	流入水		放流水		流入水		放流水	
	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
DHS(上村ら)	125	175	7	28	326	346	35	73
嫌気槽組合せ (進藤ら)	300	570	38	52	538	985	51	140
本研究	360	380	5	43	388	408	60	70

4.1.2 集落排水処理施設の概要

4.1.2.1 プロジェクトの概要

図 4.1.1 に、パイロットプロジェクトの概念図を示す。パイロットプロジェクトは、農業排水を再利用するため、下記の施策を総合的に実施した。

- ①環境教育
- ②集落排水処理施設建設
- ③水路内浄化施設建設
- ④コンポスト施設建設
- ⑤再利用ポンプ建設
- ⑥組織強化

パイロットプロジェクトは、集落排水処理施設とコンポスト施設によって、汚濁負荷を軽減し、すでに汚濁の進んだ排水路の直接浄化施設により排水路水質を向上し、再利用ポンプにより排水路から、灌漑水路への揚水を行うという一連のパッケージである。さらに環境教育と組織強化のソフト施策により、プロジェクトの持続性を図ったものである。そのパッケージのコアとなる施設が集落排水処理施設である。

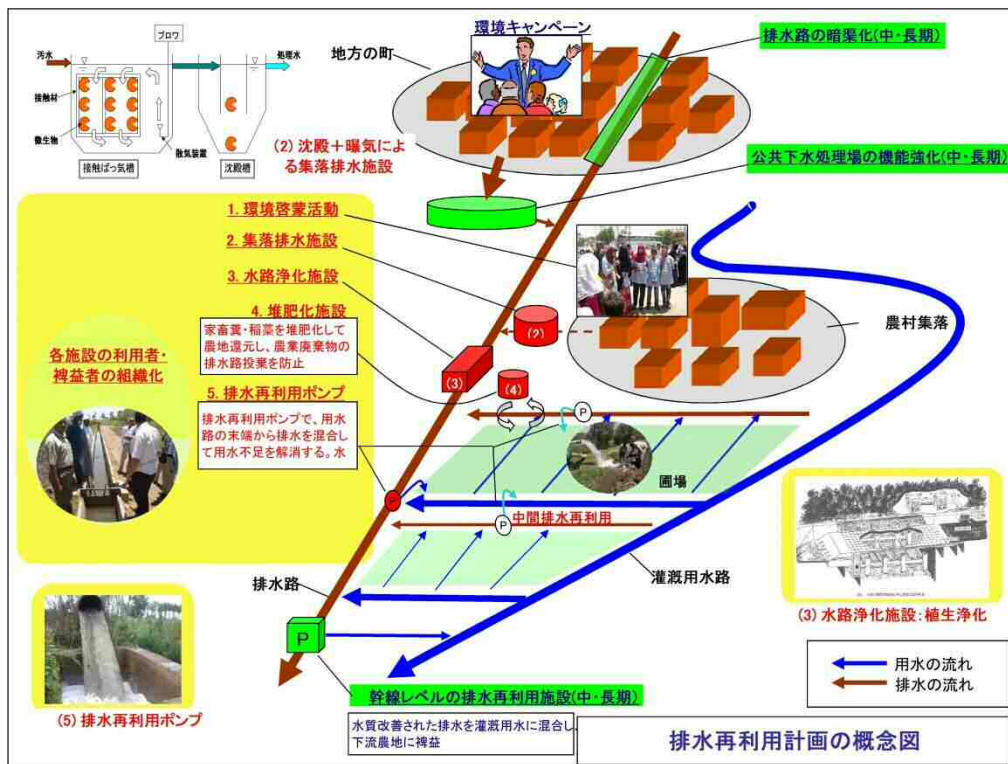


図 4.1.1 プロジェクト概念図

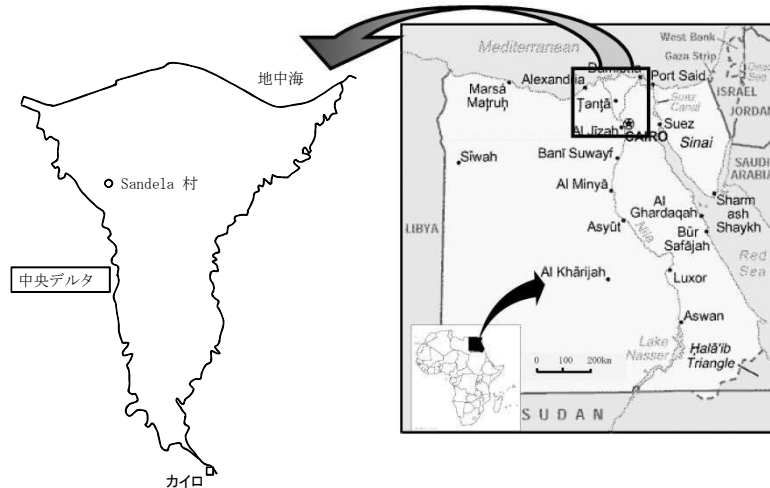


図 4.1.2 施設位置図

4.1.2.2 集落排水処理施設の概要

集落排水処理施設は、図 4.1.2 に示すエジプト国北部のサンデラ村に設置した。サンデラ村は、北緯 31.16°，東経 30.81°，地中海まで約 40km の地点に位置する。現況人口は 286 人、全家屋 69 軒の小さな農村である。施設の概要をとりまとめれば、以下のとおりである。

- ①計画年次；2033 年(20 年後)
- ②計画人口；500 人
- ③日平均汚水量原単位；70L/人・日
- ④日平均汚水量；35m³/日
- ⑤計画流入水質；BOD 360 mg/L
- ⑥計画放流水質；BOD 60 mg/L

処理方式は、一般社団法人地域環境資源センター(JARUS) I 型と称される「沈殿分離及び接触ばっ気を組み合わせた方式」を基本とした。図 4.1.3 に集落排水処理施設の処理フロー、図 4.1.4 に施設構造図を示す。また、写真 4.1.1 に施設の全景を示す。

施設は全長 22.35m、幅 3.00m、深さ 3.95m であり、施設用地の確保を考慮し、排水路の維持管理用道路下に設置した。写真 4.1.1 に全景を示すが、建屋は、排水路内への張り出し構造とし、処理水槽は、管理用道路下とした。処理水槽は覆蓋することにより、臭気対策とした。表 4.1.2 に、各放流水槽の寸法および滞留時間を示す。施設全体の計画滞留時間は、54.1 時間である。施設構造は、日本農業集落排水協会-I 96 型設計指針に準拠して計画した。

日平均汚水量原単位は、給水量より決定した。エジプト国の平均的な給水量として、カイロ(人口 800 万人)等の大都市で 300L/人・日、シャルキア(人口 30 万人)等中都市で 143L/人・日、ミア(人口 25 万人)等の地方都市で 70L/人・日としている。この事から、サンデラ村は、農村部であり、給水状況も良く無いため地方都市の 70L/人・日として計画した。

ばっ気槽は、BOD 負荷 0.3kg/m³・日以下となる容量を確保し、ブロー能力を 2.0m³/m³・時以上となる様に設定した。その結果、2.2kW のブロー能力を常用 1 台、予備 1 台として設置した。

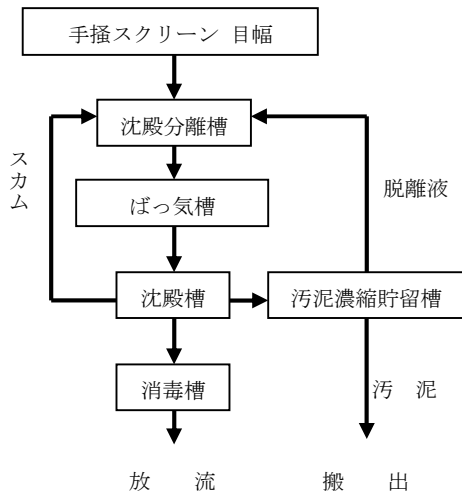
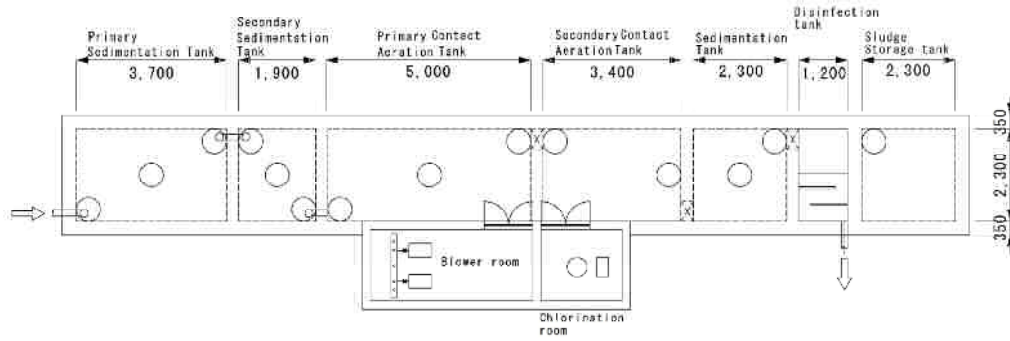


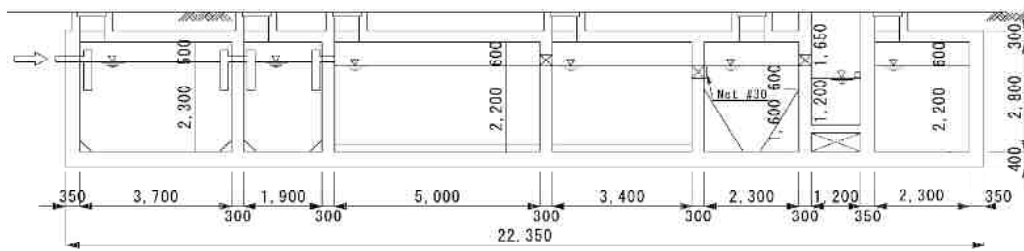
図 4.1.3 施設フローシート



写真 4.1.1 集落排水処理施設全景



平面図



断面図

図 4.1.4 施設構造図

表 4.1.2 処理水槽寸法及び滞留時間

槽名称	幅 (m)	長さ (m)	有効水深 (m)	有効容量 (m ³)	滞留時間 (hr)
沈殿分離槽第1室	2.3	3.7	2.3	19.5	13.4
沈殿分離槽第2室	2.3	1.9	2.3	10.0	6.8
ばっ気槽第1室	2.3	5.0	2.2	25.3	17.3
ばっ気槽第2室	2.3	3.4	2.2	17.2	11.7
沈殿槽	2.3	2.3	2.2	5.8	4.0
消毒槽	1.2	1.2	1.0	1.4	0.9
合計	-	-	-	79.2	54.1

4.1.3 コスト縮減対策

対象となるサンデラ村は、ほとんどの住民が農畜産業にて生計を立てており、経済的にも裕福では無く、集落排水処理施設を管理できる技術者もいない。したがって、維持管理が容易で安価となる施設とする必要がある。また、これをモデル地区として、エジプト全国及び他の新興国に展開するために建設費も縮減する必要がある。

4.1.3.1 建設費の縮減

建設費の縮減対策としては、以下の施策を図った。

①ばっ気槽に投入する担体として、現地で安価に入手可能な電線管を利用した。担体は、写真4.1.2に示すビニル製電線管φ25mmを5cm程度に切断してばっ気槽へ投入した。比重は1.0以下であり、ばっ気によって槽内の循環流とともに流動する。電線管は、地方でも容易に入手でき、\$0.05/mで



写真 4.1.2 ばっ気槽内担体

あることから、担体1m³当たりのコストは\$100程度である。また、担体流動式にすることにより、生物膜法で重要となる生物膜の管理が不要となり、逆洗などの操作を省略できるように配慮した。ただし、担体が劣化及び流出により減少した場合には、追加投入が必要となる。

②ブロワー(イタリア ROBUSCHI 社製)、スカムスキマー(エジプト製)、消毒器(イタリア Etatron 社製)、配管設備(エジプト MISR ELHEGAS 社製)等現地で調達可能な資材は、エジプト国での普及品とした。ただし、処理性能に大きな影響を与える散気装置(マルチフューザー)と空気流量計(日本フローセル FLT 型)は、日本製品を現地へ持ち込んだ。

③沈殿槽の越流堰を1辺のみのコンクリート製とした。

以上の施策を含め、現地の施工業者による施工としたことによって、処理施設建設費は、太陽光発電設備を含め、\$76,000となった。また、管路は、φ150mmの塩ビ管を530m敷設し、\$19,500の工事費となり、総工事費は、\$95,500となった。用地取得費用は、施主である排水庁の土地を利用したことから、工事費には含んでいない。

4.1.3.2 維持管理費の縮減

維持管理費の縮減および容易性の実現のために以下の施策を図った。

①太陽光発電によって、電気代の節約を検討した。集落排水処理施設運転に必要な電力は、ブロワー2.2kwと塩素注入装置0.05kwのみである。日中8時間を太陽光発電によって、1.5kwを賄う計画とした。

②日本国内では、機器精度及び維持管理技術も高度であることから、タイマー制御等により維持管理を行う事が可能であるが、維持管理の確実性、容易性を考慮して、全て手動バルブ操作のみで運転することとした。

③汚水は全て自然流下とし、沈殿槽から沈殿分離槽または汚泥濃縮貯留槽への汚泥移送と沈殿槽からのスカム移送は、エアリフトポンプによって行った。原水ポンプが必要な場合でも、1.5kwのポンプを2台設置する程度であることから、維持管理費は年間\$50程度増加するのみである。

4.2 施設の設計概要

4.2.1 施設の容量

施設の容量は、以下により決定した。

処理施設の容量は、日本の浄化槽基準に基づいて決定する。

1. 設計諸元

1-1 目標年次：2023年（20年後）

1-2 計画人口：500 人

現況人口286人，人口増加率を年2%とすれば，
 $286人 \times (1.022)^{20} = 424人 \rightarrow 500 人$ とする。

1-3 汚水量原単位：70 L/人・日

汚水量原単位は、各村の生活スタイル及び水道供給量により大きく異なる。カナダの研究機関 IDRC (The International Development Research Centre Act) の資料によれば、2007年時点において、カイロの単位水道供給量は、300L/人・日、シャルキアで143L/人・日、ミニアで70L/人・日と推計されている。不明水量の平均を34%として、それぞれカイロ246L/人・日、シャルキア106L/人・日、ミニア52L/人・日となる。対象となるサンデラ村の水道供給状況は、良好では無いことから、ミニアと同様70L・人・日を採用する。

1-4 処理方式：沈殿分離方式とばっ気を組み合わせた方式（流動担体）

1-5 日平均汚水量：0.07 m³/人・日 × 500 人 = 35m³/日

1-6 計画水質

流入水質；BOD 360mg/l

$(18g/人 \cdot 日 \times 50L/人 \cdot 日 + 42g/人 \cdot 日 \times 20l/人 \cdot 日) / 70^2 \times 1,000 = 355mg/L \rightarrow 360mg/L$

放流水質；BOD 60mg/l

2. 沈殿分離槽

必要容量： $V=35(m^3/day) \times 20(hr) / 24(hr/day) = 29.2m^3$

設計水深：1.8m ~ 5.0m → 2.3m

2-1 沈殿分離槽 第1室

必要容量：全体必要容量の2/3以上

$V1=29.2 \times 2/3=19.47m^3$

槽寸法：幅 2.3m, 長さ 3.7m, 高さ 2.3m

実容量： $2.3m \times 3.7m \times 2.3m = 19.57m^3 > 19.47m^3$

実滞留時間： $19.57m^3 / 35m^3/日 \times 24時間 = 13.4時間$

2.2 沈殿分離槽 第2室

必要容量：全体必要容量の1/3以上

$V2=29.2m^3 \times 1/3=9.74m^3$

槽寸法：幅 2.3m, 長さ 1.9m, 高さ 2.3m

実容量: $2.3\text{m} \times 1.9\text{m} \times 2.3\text{m} = 10.0\text{m}^3 > 9.74\text{m}^3$

実滞留時間: $10.0\text{m}^3 / 35\text{m}^3/\text{日} \times 24\text{時間} = 6.8\text{時間}$

3. ばっ気槽

必要容量:

$0.36\text{g/L} \times 70\text{L}/\text{人} \cdot \text{日} = 25.2\text{g}/\text{人} \cdot \text{日}$ $25.2\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} \times 500\text{人} \times 10^{-3}/0.3\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日} = 42.0\text{m}^3$

3-1 ばっ気槽第1室

必要容量: 全体必要容量の3/5 以上

$V_1 = 42.0\text{m}^3 \times 3/5 = 25.2\text{m}^3$

槽寸法: 幅 2.3m, 長さ 5.0m, 深さ 2.2m

実容量: $2.3\text{m} \times 5.0\text{m} \times 2.2\text{m} = 25.3\text{m}^3 > 25.2\text{m}^3$

接触材必要容量 (充填率 55%): $25.3\text{m}^3 \times 0.55 = 14.0\text{m}^3$

実滞留時間: $25.3\text{m}^3 / 35\text{m}^3/\text{日} \times 24\text{時間} = 17.3\text{時間}$

3-2 ばっ気槽第2室

必要容量: 全体必要容量の2/5以上

$V_1 = 42.0\text{m}^3 \times 2/5 = 16.8\text{m}^3$

槽寸法: 幅 2.3m, 長さ 3.4m, 深さ 2.2m

実容量: $2.3\text{m} \times 3.4\text{m} \times 2.2\text{m} = 17.2\text{m}^3 > 16.8\text{m}^3$

接触材必要容量 (充填率 55%): $17.2\text{m}^3 \times 0.55 = 9.5\text{m}^3$

実滞留時間: $17.2\text{m}^3 / 35\text{m}^3/\text{日} \times 24\text{時間} = 11.7\text{時間}$

4. 沈殿槽

必要容量: $V = 35\text{m}^3 \times 4\text{時間} / 24\text{時間} = 5.84\text{m}^3$

(ホッパーの1/2の高さは, 有効容量に含めない)

有効水深: 1.0m以上

ホッパー角度: 60度以上

水面積負荷: $8\text{m}^3/\text{m}^2$ 以下

必要水面積: $35\text{m}^3 \div 20\text{m}^3/\text{m}^2 = 1.75\text{m}^2$

槽寸法: 幅 2.3m, 長さ 2.3m, 水深 2.2m (有効水深 1.4m)

実容量: $2.3\text{m} \times 2.3\text{m} \times 0.6\text{m} + 1/6 \times 0.80\text{m} \times (2.3\text{m} \times 1.35\text{m} \times 2 + 2 \times (1.35^2 + 2.3^2)) = 5.89\text{m}^3$

$> 5.84\text{m}^3$

実滞留時間: $5.89\text{m}^3 / 35\text{m}^3/\text{日} \times 24\text{時間} = 4.0\text{hr}$

実水面積負荷: $2.3\text{m} \times 2.3\text{m} = 5.29\text{m}^2 > 1.75\text{m}^2$

5. 消毒槽

必要容量: $V = q \times n \times 1/24 \times 1/4 = 0.07\text{m}^3/\text{人} \cdot \text{日} \times 500\text{人} \times 1/24\text{時間} \times 1/4 = 0.37\text{m}^3$

槽寸法: 幅 1.2m, 長さ 1.2m, 深さ 1.0m

実容量: $V = 1.2\text{m} \times 1.2\text{m} \times 1.0\text{m} = 1.44\text{m}^3 > 0.37\text{m}^3$

実滞留時間: $1.44\text{m}^3 / 35\text{m}^3/\text{日} \times 24\text{時間} = 0.98\text{時間}$

表4.2.1 各槽の容量及び滞留時間

槽名称		幅(m)	長さ(m)	深さ(m)	槽容量(m ³)	滞留時間(時間)
沈殿分離槽	1室	2.3	3.7	2.3	19.5	13.4
	2室	2.3	1.9	2.3	10.0	6.8
ばっ気槽	1室	2.3	5.0	2.2	25.3	17.3
	2室	2.3	3.4	2.2	17.2	11.7
沈殿槽		2.3	2.3	2.2	5.8	4.0
消毒槽		1.2	1.2	1.0	1.4	0.9
合計		—	—	—	79.2	54.1

6. ブロワー能力計算

必要ばっ気量: $Q = (25.3\text{m}^3 + 17.2\text{m}^3) \times 2.0\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{時間} = 85\text{m}^3/\text{時間} = 1.91\text{m}^3/\text{分}$

ばっ気ブロワー

$1.50\text{m}^3/\text{分} \times 2,800\text{mmAq}$

$50\text{mm} \times 2.2\text{kw}$

7. 汚泥発生量

計画汚水量; $35\text{m}^3/\text{日}$

計画BOD除去率; $360 - 60 = 300\text{mg}/\text{l} = 0.30\text{kg}/\text{m}^3$

汚泥転換率; 30%

含水率; 98%

$35\text{m}^3/\text{日} \times 0.30\text{kg}/\text{m}^3 \times 0.3 \times (100 / (100 - 98)) \times 0.001 \times 365\text{日} = 57.5\text{m}^3/\text{年} (4.80\text{m}^3/\text{月})$

8. 消毒剤消費量

日計画汚水量; $35\text{m}^3/\text{日}$

消毒注入率; $1.0\text{mg}/\text{l}$

有効塩素率; 5%

消毒剤消費量 = $35,000 \text{ l}/\text{日} \times 1.0\text{mg}/\text{l} / (5\% \times 100) = 70 \text{ l}/\text{日}$

9. 主要機器リスト

表4.2.2 主要機器リスト

機器名称	仕様	数量
ばっ気ブロワー	$\Phi 50\text{mm} \times 2.2\text{kw} \times 1.50\text{m}^3/\text{分}$	1 set
予備ブロワー	$\Phi 50\text{mm} \times 2.2\text{kw} \times 1.50\text{m}^3/\text{分}$	1 set
消毒機器	注入ポンプ型	1 set
移流管	PVC $200\text{mm} \times 150\text{mm}$	3 set
ボール弁	$\phi 40\text{mm}$, PVC	11 ケ
散気装置	$\phi 40\text{mm}$, $L=1.8\text{m}$, SUS	4 set
マンホール蓋	$\phi 600$ ダクタイル製	22set
空気管	$\phi 40\text{mm}$, $\phi 50\text{mm}$ SUS	1 set
担体	第1室; 14.0m^3 , 第2室; 9.5m^3	1 set

4.2.2 構造図面

施設の構造図面を次ページより図4.2.1, 図4.2.2に添付する.

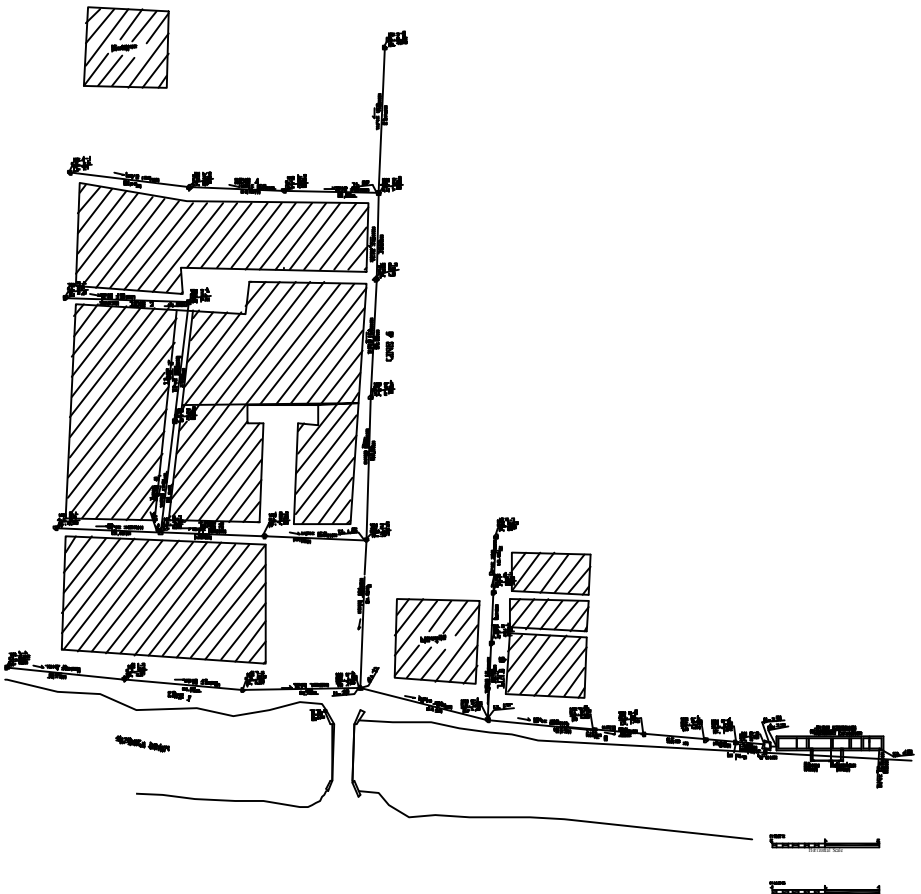


図-4.2.2 管路施設平面図

4.3 施設の施工概要

集落排水処理施設は、他の施設（ポンプ施設、水路内浄化施設、堆肥化施設）と共に、2014年3月13日に施工業者と契約を行い、2014年10月31日を完了工期とした。しかしながら、実際には、2015年11月17日に相手国への施設引き渡しを行ったため、6カ月間の予定工期としていた工事が完成までに20カ月を要した。工事工程結果の概要を表4.3.1に示す。

(1)建設前

建設前の集落の状況を写真4.3.1に、処理施設位置の状況を写真4.3.2に示す。

対象としたサンデラ村は、既存の下水管があり、管路にて収集後、排水路へそのまま放流されていた状況であった。また、処理施設の建設予定位置は、稲ワラや牛糞が排水路脇に積み上げられていた。

(2)建設中

処理施設建設中の写真を写真4.3.3～4.3.6に示す。写真4.3.3は、処理施設側壁の配筋施工中の状況である。排水路脇の工事であった事から、湧水量も多く、ウエルポイントを併用して、施工を実施した。配筋中の鉄筋も発錆しており、良い質の鉄筋により施工されたとは言い難い。また、鉄筋と型枠の間隔保持のためのセパレーターもコンクリートブロックを破砕し、使用しており、コンクリートを均等に鉄筋廻りに打設するのが困難な施工状況である。

表4.3.1 工事工程概要

	年月日	工事工程
2014年	3月13日	工事契約
	7月20日	承認函提出
	8月10日	工事着工
	12月20日	管路工事完了
	12月21日	水槽コンクリート打設完了
2015年	1月20日	土木建築工事完了
	7月1日	機械電気工事完了
	7月2日	試験運転
	7月8日	太陽光発電設備接続完了
	8月3日	維持管理運転指導
	10月27日	第1回水質試験
	11月3日	第2回水質試験
	11月17日	施設引き渡し



写真4.3.1 建設前集落の状況



写真4.3.2 建設前処理施設位置の状況

写真 4.3.4 は、頂版コンクリート打設前の状況である。側壁部分を埋め戻し、ウエルポイントを撤去したため、周囲の地下水位は上昇している。写真 4.3.5 は、土木建築工事が概ね終了した状況である。仮設材、型枠材などが散乱しており、日本国内の施工状況とは大きく異なることが解る。写真 4.3.6 は、土木工事完了後の沈殿分離槽内の状況である。型枠の目違いやジャンカ等、日本国内の工事では見られない施工精度である。この後、モルタル塗りを行い、防食塗装を行っている。機能上は、特に問題ないと判断している。



写真 4.3.3 側壁施工状況



写真 4.3.4 頂版施工状況



写真 4.3.5 土木建築工事完了写真



写真 4.3.6 沈殿分離槽内写真

(3) 施工完了後

施工完了後の状況を写真 4.3.7～4.3.10 に示す。写真 4.3.7 は、完成後の処理施設全景である。建屋上部には、太陽光発電のパネルを設置し、維持管理費の縮減を図っている。写真 4.3.8 は、消毒剤タンク及び消毒剤注入ポンプである。写真 4.3.9 は、ブロワー2 台の設置状況である。ブロワー奥に日本から持ち込んだ空気流量計を設置した。空気流量計により送風量を確認し、バルブ操作により、ばっ気量の調整を行う。写真 4.3.10 は、制御盤である。写真右側は、主制御盤であり、基本的にON, Off のみの制御である。各機器単体のOn, Off も可能ではあるが、日常は使用しない。写真の左側は、太陽光発電の制御盤であり、発電量が確認できるデジタルメーターが付いている。



写真 4.3.7 完成後全景



写真 4.3.8 消毒器設置状況



写真 4.3.9 ブローパー設置状況



写真 4.3.10 制御盤設置状況

4.4 施設構築時の留意点

集落排水処理施設を新興国において、計画する際に留意しなくてはならないことは、以下のとおりである。

農業集落排水処理施設計画時に重要な課題としては、設置場所の選定が挙げられる。エジプト国内においては、農地の買収は困難であり、空き地なども共有地になっており、全ての地権者の同意を得るのは不可能に近い。したがって、公有地を前提に設置場所を選定する。

設置場所の選定後、各関係者との調整・承認の手続きとなる。その段階においては、地元住民、県、国および保健省への直接説明および承認が必要である。新興国においては、その手続きの手順が定まっていないことが多く、また、各関係者の技術熟度も一定していないことから、各関係者より出される条件に対応する必要がある、多大な時間を要することに留意する必要がある。

処理方式は、特に維持管理の容易性および維持管理費を重視して、選定する必要がある。将来

的には、専門業者による巡回管理も想定されるが、計画初期段階においては、処理施設箇所数も少ないことから、専門業者への委託は困難である。したがって、農民など、高度な知識や経験を持たない維持管理者でも容易に維持管理操作が可能となる処理形式の選定が必要である。

建設費は、処理規模も小さいことから、大きな差は生じないと思われるが、高度な計測機器は維持管理ができないため、必要最小限の設備として設計することが望ましい。処理方式の選定において課題となる臭気の問題は、地下式とするなどしてカバーし、民家より距離を確保することにより大きな問題は生じないと想定され、脱臭設備などの特別な臭気対策は不要である。

4.5 水質試験結果と考察

表 4.5.1 分析項目と分析方法

測定項目	測定法
水温	ポータブル多項目水質計 WQC24
pH	ポータブル多項目水質計 WQC24 ガラス電極法
濁度 (TURB)	ポータブル多項目水質計 WQC24 90度散乱光測定方式 (赤外光)
溶存酸素 (DO)	ポータブル多項目水質計 WQC24 ガルバニ式隔膜電極法
残留塩素	デジタル残留塩素テスター HI711 DPD 法
亜硝酸態窒素 (NO ₂ -N)	ポータブル簡易全窒素・全りん計 TNP-10 ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
硝酸態窒素 (NO ₃ -N)	ポータブル簡易全窒素・全りん計 TNP-10 亜鉛還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	ポータブル簡易全窒素・全りん計 TNP-10 インドフェノール青吸光光度法
全窒素 (T-N)	ポータブル簡易全窒素・全りん計 TNP-10 ペルオキシニ硫酸加熱分解-亜鉛還元ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
全リン (T-P)	ポータブル簡易全窒素・全りん計 TNP-10 ペルオキシニ硫酸加熱分解-モリブデン青吸光光度法
化学的酸素要求量 (COD _{cr})	重クロム酸カリウム法 HACK, DR-2010
生物学的酸素要求量 (BOD)	ウィンクラーアジ化ナトリウム変法
大腸菌群数	Colilert-18/Quanti-Tray 法
糞便性大腸菌群数	Colilert-18/Quanti-Tray 法

4.5.1 放流水質の調査

本施設は、2015年7月に運転を開始し、機器の調整を繰り返しながら、2015年10月に本格運転を始めた。運転後、10月27日と11月3日の2回にわたって、水質試験を実施した。試料水は、各層の水面下20cmの水を洗浄済みポリエチレン瓶に採取し、直ちに現地の実験室 (Egyptian Public Authority for Drainage Project Central Department for East Delta Drainage project Central Department for Quality Assurance and control Soil and Water Laboratory) に持ち帰り、各項目の水質分析を行った。表 4.5.1 に、分析項目と分析方法を示す。

4.5.2 結果と考察

4.5.2.1 集落排水処理施設の水質調査結果の概要

表 4.5.2 と表 4.5.3 に、集落排水処理施設の水質試験結果を示す。エジプト国における排水基準⁹⁾も付記した。

表 4.5.2 水質試験結果(2015年10月27日)

項目	単位	原水	沈分1	沈分2	ばっ気 1	ばっ気 2	沈殿	消毒	排水基準
採水時間	時分	12:25	12:35	12:42	12:50	12:59	1:20	1:35	-
色	-	黒褐色	濁灰色	濁灰色	濁灰色	濁灰色	薄灰色	薄灰色	-
水温	℃	26.0	25.8	26.0	26.2	25.9	26.0	26.3	35℃以下
pH	-	6.82	6.52	6.56	6.83	7.32	7.24	-	6~9
濁度	NTU	623.0	241.5	204.0	445.1	624.0	140.9	119.4	-
DO	mg/L	0.93	0.25	0.41	1.02	5.28	3.21	2.52	-
残留塩素	mg/L	-	-	-	-	-	-	3.5	-
NO ₂	mg/L	-	-	0.50	0.56	0.49	-	0.06	-
NO ₃	mg/L	-	-	0.64	0.80	0.85	-	0.64	-
NH ₄	mg/L	5.34	4.00	4.65	5.30	5.92	-	5.11	-
T-N	mg/L	7.60	-	-	-	-	-	6.51	-
T-P	mg/L	5.57	-	-	-	-	-	3.20	-
COD _{cr}	mg/L	408	-	242	-	38	-	60	80
BOD	mg/L	380	322	306	176	60	-	5	60
大腸菌群数	MPN/ 100ml	18.9× 10 ⁶	-	-	-	-	-	100以下	≤5000CFU /100ml
糞便性 大腸菌群数	MPN/ 100ml	17.5× 10 ⁴	-	-	-	-	-	100以下	-

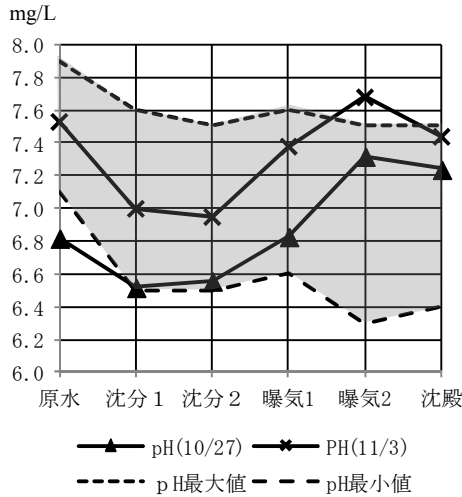
表 4.5.3 水質試験結果(2015年11月3日)

項目	単位	原水	沈分1	沈分2	ばっ気 1	ばっ気 2	沈殿	消毒	排水基準
採水時間	時分	13:45	13:52	14:02	14:11	14:19	14:25	14:45	-
色	-	黒褐色	濁灰色	濁灰色	濁灰色	濁灰色	薄灰色	薄灰色	-
水温	℃	25.9	25.8	26.1	25.8	25.6	25.0	25.4	35℃以下
pH	-	7.53	7.00	6.95	7.38	7.68	7.44	-	6~9
濁度	NTU	764.7	384.6	116.2	340.1	383.1	151.8	131.6	-
DO	mg/L	1.99	1.61	1.25	1.29	4.12	2.24	3.40	-
残留塩素	mg/L	-	-	-	-	-	-	1.56	-
NO ₂	mg/L	-	-	0.28	0.24	0.55	-	0.05	-
NO ₃	mg/L	-	-	2.15	1.64	3.30	-	1.21	-
NH ₄	mg/L	2.31	2.54	3.79	5.67	5.75	-	5.04	-
T-N	mg/L	7.30	-	-	-	-	-	7.10	-
T-P	mg/L	6.02	-	-	-	-	-	4.36	-
COD _{cr}	mg/L	388	-	220	-	58	-	70	80
BOD	mg/L	360	309	266	128	80	-	43	60
大腸菌群数	MPN /100ml	11.0×10 ⁶	-	-	-	-	-	4,130	≤5000CFU /100ml
糞便性 大腸菌群数	MPN /100ml	7.5×10 ⁵	-	-	-	-	-	730	-

(1) 水温, pH

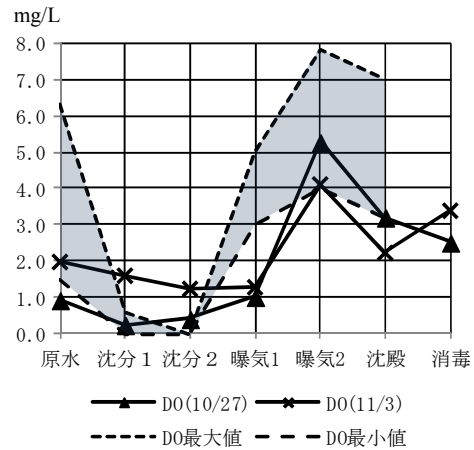
水温は 25.4℃~26.2℃となっており、安定している。排水基準となる 35℃以下は、十分に満足している。

図 4.5.1 に、pH の各槽水質試験結果を示す。着色部は、文献¹⁰⁾に示される日本での維持管理上の目安値(例)とされている範囲である。2回の測定時において若干の違いはあるものの、沈殿分離槽ではやや低い値を示し、ばっ気槽において流入水よりも高くなる傾向は類似していた。本施設の pH は、文献¹⁰⁾に示される日本の集落排水処理施設の傾向と概ね一致する。また、2回ともエジプト国の排水基準となる pH6~9 の範囲となっている。



*最大値, 最小値は, 参考文献 10)に示される通常運転時の目安値

図 4.5.1 水質試験結果 (pH)



*最大値, 最小値は, 参考文献 10)に示される通常運転時の目安値

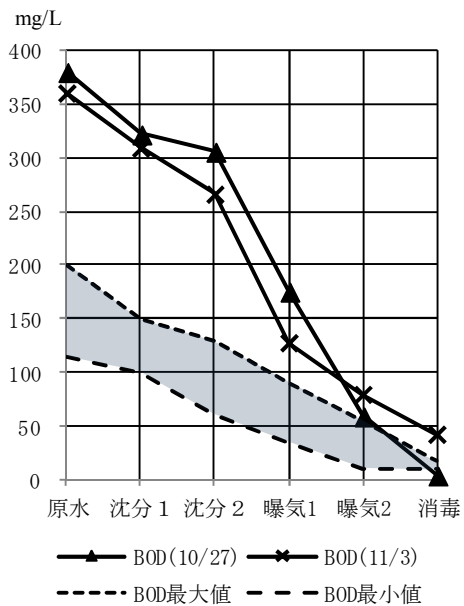
図 4.5.2 水質試験結果 (D0)

(2) D0

図 4.5.2 に, D0 の水質試験結果および日本における目安値¹⁰⁾を示す. 流入水の D0 は日本の流入水水質と比較すれば, 0.93 mg/L, 1.99 mg/L と低い数値となっている. しかしながら, D0 の挙動は日本の目安値に類似した傾向を示した. すなわち, 沈殿分離槽で嫌気化され, 0.25mg/L ~1.6mg/L まで減少し, その後, ばっ気により D0 が上昇し, 沈殿槽, 放流水にて若干小さくなる傾向は, 本施設と日本の一般的施設と同一である. また, ばっ気槽第 1 室における D0 が 1.02 mg/L, 1.29mg/L と低いものの, 第 2 室においては 5.28mg/L, 4.12mg/L と高くなっており, 4.0mg/L 以上が確保されていることから, 良好なばっ気が行われていると判断できる.

(3) BOD

図 4.5.3 に, BOD の水質試験結果及び日本の目安値を示した. 日本の流入 BOD は, 115~200mg/L となっており, 本報告における処理施設の流入水質 (360mg/L, 380mg/L) と大きく異なる. 本施設の BOD 負荷の方が高いものの施設構造は, BOD 負荷にて決定していることから, 処理性能を確保できたと判断している. また, BOD の除去プロセスは類似し, 各槽において段階的に除去され, 各処理段階における BOD 除去率は, 日本の目安値と同等の結果を得ることができた. 10 月 27 日の試験結果において, 流入水 380mg/L, 放流水 5mg/L, 11 月 3 日の試験結果において, 流入水 360mg/L, 放流水 43mg/L となっており, それぞれの除去率, 99%, 88%と高い数値が得られた. いずれの放流水の BOD もエジプト国の排水基準となる 60mg/L を下回った.



*最大値, 最小値は, 参考文献 10)に示される通常運転時の目安値

図 4.5.3 水質試験結果 (BOD)

BOD が 11 月 3 日の除去率となった場合には、計画放流量 35m³/日であることから、 $(360\text{mg/L}-43\text{mg/L}) \times 35,000 \times 10^{-6} = 11\text{kg/日}$ の BOD の汚濁負荷が軽減された結果となる。放流する排水路の流量は、1.0m³/s であるため、パイロット施設である本施設による排水路の BOD 改善効果は、0.1mg/L 程度である。別途実施した排水路の水質試験結果から、排水路の BOD は、12~30mg/l となっており、集落排水処理施設設置による改善率は、1%以下となり、低いが、同様な施設がエジプト国内に広く普及し、生活排水による汚濁が軽減されれば、その水質改善効果は大きいと期待される。

(4) COD_{Cr}

COD_{Cr} は、10 月 27 日の試験結果において、流入水の 408mg/L から放流水では 60mg/L に大幅に低下した。また、11 月 3 日の試験結果においても流入水の 388mg/L から放流水は 70mg/L となっており、10 月と 11 月の COD_{Cr} 除去率は、それぞれ 85%と 82%の良好な処理能力が確認された。本施設の放流水の COD_{Cr} は、いずれもエジプト国の排水基準となる 80mg/L を達成している。

(5) T-N, T-P

本施設では、T-N と T-P の処理性能は期待していない。しかしながら、10 月 27 日と 11 月 3 日の試験結果において、流入水と放流水の T-N を比較したところ、それぞれの除去率は 14%と 3%となった。また、それぞれの T-P の除去率は、10 月 27 日と 11 月 3 日の試験結果において、それぞれ 43%と 28 %となり、約 30%の除去が期待できることがわかった。

(6) 濁度

濁度は、10 月 27 日の試験結果において、流入水 623.0 NTU、放流水 119.4 NTU であった。11 月 3 日の結果では、流入水 764.7 NTU、放流水 131.6 NTU となった。10 月と 11 月における除去率は、それぞれ 81 %と 83 %であり、良好な結果が得られた。

(7) 残留塩素

残留塩素は、それぞれ 3.5mg/L、1.56mg/L となっている。第 1 回目の水質試験結果を受けて、注入量が多いと判断されたため、調整を行ったが、日本において残留塩素濃度の目安とされている 0.2~1.0mg/L より高い数値となっている。消毒薬剤費の節減のためにも再度の調整が必要である。

(8) 大腸菌群数

10 月 27 日時点において、大腸菌群数と糞便性大腸菌群数は、いずれも 100MPN/100mL 以下となった。十分な消毒効果が得られている。また、11 月 3 日においても、大腸菌群数は、流入水の 11,000,000 MPN/100mL から放流水では 4,130 MPN/100mL となり、99.9%の除去率と高い消毒効果が得られた。また、糞便性大腸菌群数も 750,000MPN/100mL が 730MPN/100mL まで減少し、99.4%の除去率が得られた。

エジプト国の大腸菌群数の排水基準は、5,000CFU/100mL である。日本の合併浄化槽の大腸菌群数(MPN/100mL)と糞便性大腸菌群数(CFU/100mL)の比率は、約 8~40 倍である¹¹⁾ことから、本施設の放流水は、91CFU/100ml(730MPN/100mL)であり、この基準を満たしていると推察される。

4.5.2.2 維持管理コスト

日常管理は、スクリーンの清掃、バルブ操作及び停電復帰時のブロワー電源のスイッチ操作である。バルブ操作によって、沈殿汚泥の汚泥濃縮貯留槽への移送及びスカムの沈殿分離槽へ

の移送が行われる。日常管理は、農民により組織された維持管理組合により実施されている。日常管理の方法は、アラビア語で写真の解説と共に作成し、維持管理担当者に指導した。煩雑な操作は無いため、現在平常に運転されている。

定期点検は、エジプト国政府住宅省の下部組織となる上下水道公社(Holding company of water and wastewater)により実施されており、汚泥引抜きと搬出、主要機器の維持管理、重大故障時の対応が行われる。

水質試験は、4.1.2.4 に示した排水局の水質試験室により 1 回/月行われ、継続的に良好な放流水質の確認を行う計画となっている。

維持管理費の内訳は、表 5 に示すように、年間\$1,488 であり、これを全世帯の 69 軒から下水道料金として徴収すれば、年間\$21/世帯 (\$1.8/月世帯) となる。この村の 1 世帯当たりの平均収入は、\$1,950 であり、下水道料金は収入の 1%程度となり、十分に支払い可能な金額である。電気代は、全動力 2.25kw のうち、日中 8 時間は、1.5kw を太陽光発電によって賄えることができるため、買電量を 22%縮減できる。また、エジプト国は、施策によって自然エネルギーの売電単価を買電単価の約 2 倍にしている。したがって、太陽光を売電とした場合には、約 50%の電気代が縮減可能である。人件費は、農民の代表に日常点検の対価として支払われるもので、1 カ月約\$25 である。消耗品費は、ブロワーフィルター交換、オイル代、維持補修費を含んでおり、年間約\$250 と見積もられる。なお、汚泥処理費は上下水道公社が 1m³ 当たり約\$2 で買い取るようになっており、汚泥の収集は、国の施策で確実であるものの単価については、変動することも考えられることから、表 4.5.4 では無償引き取りとして維持管理費を見積もった。また、施設の更新費は、集落排水処理施設の平均耐用年数を 30 年とすれば、年間\$2,533 となり、1 世帯当たり年間\$36 の負担である。これを加算しても支払い可能な維持管理費となる。

今回の実験施設の設置によって、建設費と維持管理費の安価な農村向けの集落排水処理施設の効果が確認できた。本施設の日常管理は容易であり、高度な維持管理知識も必要としないことから、農民の自主管理としても短時間の指導にて対応可能であることも実証された。今後、農村部での下水道整備率を高めるために、安価で維持管理の容易な同型式の施設がエジプト国の全国各地の農村部に設置されることが望まれる。本施設は、水質汚染が課題となっているその他新興国へ展開も十分可能であると判断される。

4.5.3 まとめ

エジプト国デルタに集落排水処理施設を始めて設置し、運転を行った。2 回の調査結果の概要を以下にまとめる。

(1) 濁度は、流入水の 623.0 NTU と 764.7 NTU が、施設の放流水では、それぞれ 119.4 NTU と 131.6NTU に大幅に低減され、その除去率は 80 %に達した。

(2) ばっ気槽の DO 値は 5.28mg/L, 4.12mg/L まで上昇して日本国内における運転管理の目安としている 4.0mg/L 以上に確保され、好気条件が良好に維持されていると判断できる。

(3) BOD は、流入水の 380mg/L と 360mg/L から放流水では 5mg/L と 43mg/L となっており、それぞれの除去率は 99%と 88%と極めて高かった。いずれもエジプト国の排水基準となる 60mg/L を下回った。

(4) COD_{Cr} は、流入水の 408mg/L と 388mg/L から放流水では 60mg/L と 70mg/L まで大幅に減

表 4.5.4 年間維持管理費内訳

項目	維持管理費(\$)
電気代	883
消毒薬剤費	50
人件費	305
消耗品費	250
汚泥処理費	0
合計	1,488

少し、除去率はそれぞれ 85%と 82%となった。これらの放流水の COD_{Cr} は、エジプト国の排水基準となる 80mg/L を満足している。

(5) 大腸菌群数と糞便性大腸菌群数は、それぞれ除去率 99.9%と 99.4%の除去率が得られた。本施設は、下水道が未整備となっている農村部流域において、公衆衛生の著しい向上に寄与できる。

(6) 建設費、維持管理費共に大幅なコスト縮減を達成し、農村向け集落排水処理施設として全国展開可能と判断できる。

4.6 維持管理

日常維持管理は、農民により実施する事を念頭に簡略化した維持管理マニュアルにより、初期教育を実施した。維持管理マニュアルを図 4.6.1～図 4.6.3 及び表 4.6.1, 表 4.6.2 に示す。汚泥の引き抜きは、HCWW（上下水道公社）が無償にて引き取りをする計画である。また、機器の重大故障についてもHCWWが対応する。機器は、ブロワー2台と消毒注入設備のみであることから、HCWWにて十分可能であると判断している。



図 4.6.1 維持管理マニュアル（バルブ操作位置図 1）

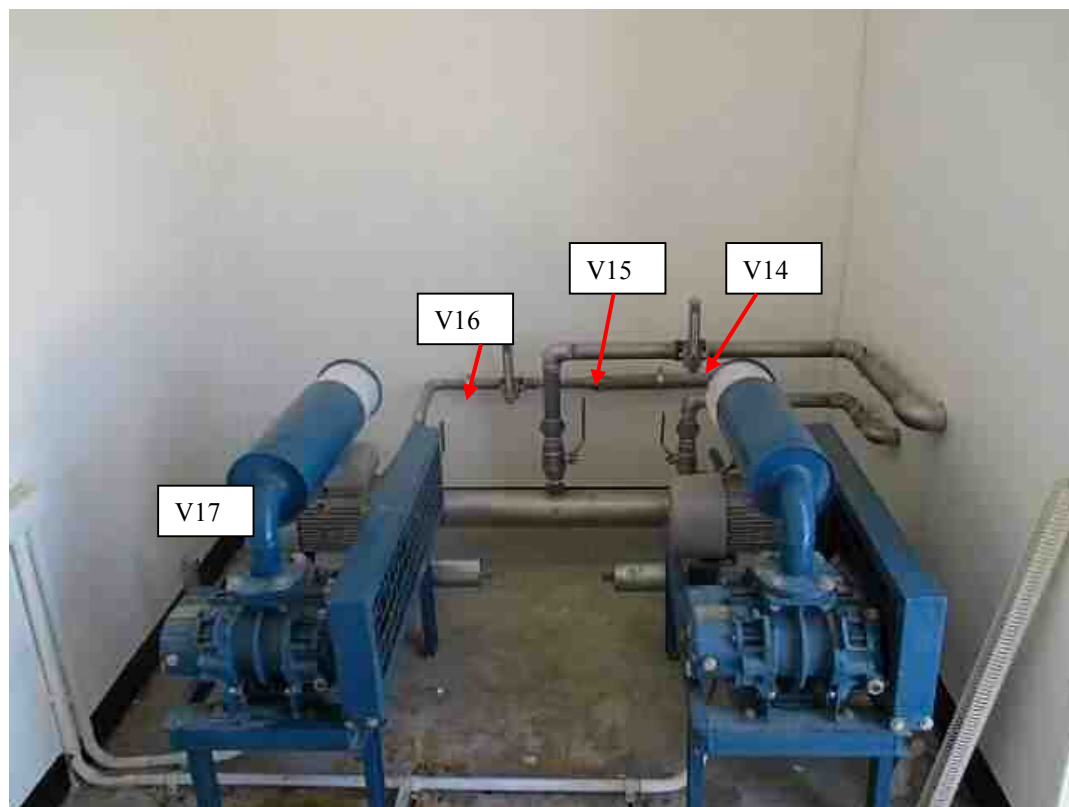


図 4.6.2 維持管理マニュアル（バルブ操作位置図 2）

表 4.6.1 バルブの機能

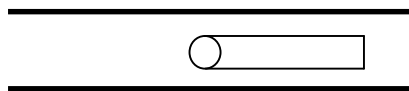
バルブ名称	行き先	目的
V1	沈殿分離槽 第1室	攪拌
V2	沈殿分離槽 第2室	攪拌
V3	沈殿分離槽 第2室	攪拌
V4	ばっ気槽 第1室	ばっ気
V5	ばっ気槽 第1室	ばっ気
V6	ばっ気槽 第2室	ばっ気
V7	ばっ気槽 第2室	ばっ気
V8	沈殿槽	汚泥移送切替（ばっ気槽又は汚泥貯留槽）
V9	沈殿槽	スカムのばっ気槽への移送
V10	汚泥貯留槽	攪拌
V11	汚泥貯留槽	切替え
V12	ばっ気槽	切替え
V13	ばっ気槽	切替え
V14	V8,V9,V10	元バルブ
V15	V4,V5,V6,V7	元バルブ
V16	V1,V2,V3	元バルブ
V17	水路内浄化施設	ばっ気

【毎朝の操作】

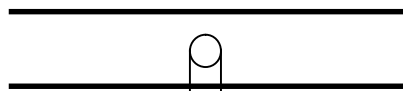
- ・ブロワースイッチの ON を確認にする.
- ・消毒注入ポンプスイッチの ON を確認する.
- ・バルブ切替え

表 4.6.2 各ステップにおけるバルブ操作

Valve name	Daily	毎 朝		
		ステップ 1	ステップ 2	ステップ 3
		5 分間	5 分間	連続
		沈殿槽から、ばっ気槽へのスカム移送	沈殿槽から汚泥貯留槽への汚泥移送	標準状態へ戻す
		汚泥貯留槽から、ばっ気槽への汚泥上澄水の移送		
V1				OFF
V2				OFF
V3				OFF
V4	ON			ON
V5	ON			ON
V6	ON			ON
V7	ON			ON
V8			ON	
V9		ON		
V10				OFF
V11			ON	
V12			OFF	
V13	OFF	ON	OFF (1 st)	OFF
V14	OFF	ON	ON	OFF
V15	ON			ON
V16	OFF			OFF
V17	OFF			OFF



ON



OFF

[沈殿分離槽の攪拌]

沈殿分離槽の臭気が強くなった場合には、沈殿分離槽の攪拌を必要に応じて行う。

バルブの操作方法は、

V1,V2,V3,V16⇒ON

[汚泥貯留槽の攪拌]

汚泥貯留槽より汚泥を引き抜く前、若しくはその他必要が生じた場合には、汚泥貯留槽の攪拌を行う。

バルブ操作方法は、

V10,V14⇒ON

第4章

[汚泥の返送]

ばっ気槽の BOD 濃度が低くなった場合や、その他必要な状態が生じた場合は、汚泥貯留槽からばっ気槽への返送が必要となる。

バルブの操作方法は、

V8,V12,V14⇒ON V11⇒OFF

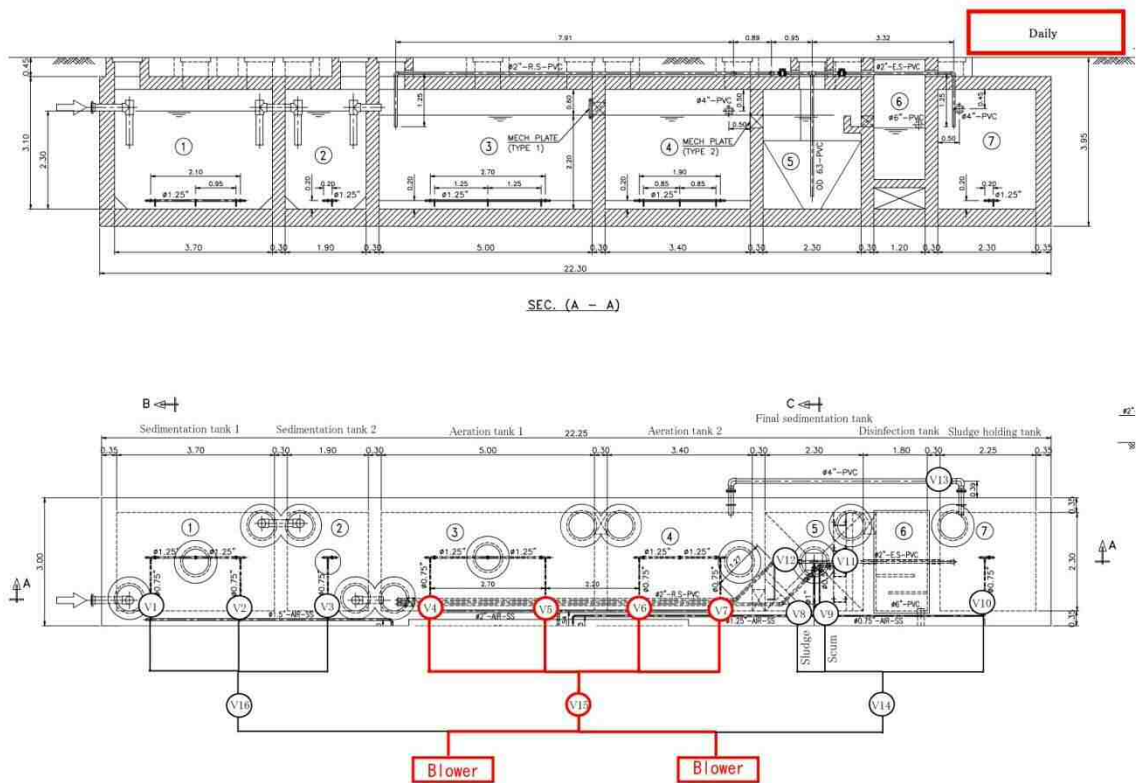


図 4.6.3 標準時の空気の流れ及びバルブ状態

参考文献

- 1) National Water Resources Plan 2017; Ministry of Water Resources and Irrigation, 2-34, 2005.
- 2) 独立行政法人国際協力機構(JICA); エジプト・アラブ共和国ナイルデルタ地域農業用排水水質改善・再利用計画プロジェクト準備調査報告書, 9-21, 2011.
- 3) 小木曾凡芳, 大石貴行, 鈴木祥広; マイクロバブルによるナイルデルタの農業用水の浄化, 環境技術, 44, 4, 36-43, 2015.
- 4) Ministry of Water Resource and Irrigation National Water Research Center Drainage Research Institute; Drainage Water Status in the Nile Delta Year Book 2008-2009 Technical Report No. 79, June 2010.
- 5) 北村浩二; エジプトにおける灌漑のための排水再利用の現状と課題, 水土の知, 80, (2), 115-118, 2012.
- 6) The Center for Environment and Development for the Arab Region and Europe (CEDARE); Egypt Water Sector M&E Rapid Assessment Report, 2014.
- 7) 上村繁樹, 大久保努, 多川正, 荒木信夫, 原田秀樹; エジプトにおける下水放流水の灌漑利

用の実態とその改善に向けての今後の展望, 用水と廃水, 57, (3), 219-229, 2015.

8) 進藤惣治, 山本公一; 地域の合意形成に基づく水質保全・排水再利用の取組み, 水土の知, 83, (7), 557-560, 2015.

9) Set of Laws and Decrees on Protection of the river Nile against pollution & drainage of liquid wastes, The middle east library for economic services, 51-56, 2009.

10) 社団法人 地域資源循環技術センター; 農業集落排水処理施設維持管理マニュアル 日本農業集落排水協会- I 型編(JARUS I 型), 92-95, 2010.

11) 増田純雄, 山内正仁, 渡邊創太, 倉山信博, 土手裕, 丸山俊朗; 都市排水路の大腸菌群汚染に関する調査・研究, 環境工学研究論文集, 40, 523-530, 2003.

第5章 ソフトコンポーネント

本章では、本研究の基となる地区内の水質向上及び水の再利用を目的とした施設を持続的に機能させるためのソフトコンポーネント（組織強化・環境教育）及び維持管理計画についての考え方をとりまとめる。

5.1 農民組織・水利組合の現状

灌漑管理に関わる農民組織としては、1980年代から組織化が開始された水利組合が重要な役割を担っている。排水再利用においても、水利組合が重要な役割を担うことになるので、農民組織の現状として、水利組合を中心に、主要な農民組織の現状について述べる。

(1) 水利組合

エジプトにおける水利組合は水路システムの階層に合わせて大きく3つに分けることができる。メスカと呼称される最末端水路（3次水路）レベルでの水利組合（WUA：Water Users' Association）、支線水路（2次水路）レベルの水利組合（BCWUA）、そして最後に地区毎に支線水路を束ねたDWB（District Water Board）の3つである。DWBは、まだ設立がそれほど進んでおらず、ベヘイラ県で3地区とファユーム県で5地区が設立されているのみである。

水利組合は、主に水資源灌漑省が1980年代から開始した灌漑改善事業（IIP: Irrigation Improvement Project）を通じてメスカの改修と同時に水利組合の設立が進められてきた。また、現在では世界銀行、オランダ政府およびKfWの支援によるIIIMPがガルベイヤ県及びカフルシェイク県を流下するミト・ヤズイド灌漑幹線水路流域および西デルタのマハモウディア幹線水路流域を対象に実施されており、メスカ改修と水利組合の設立が進められている。

表5.1.1にカフルシェイク県の水利組合設立状況を示す。2015年11月現在、カフルシェイク県では、2,402のWUAと113のBCWUAが設立されている。全県をカバーするための目標組織化数からみたWUAおよびBCWUAの組織化率は、各々23%および65%である。BCWUAの組織化率がWUAのそれより高いのは、IIIMPが、WUAの前にBCWUAを先行して設立する手順を採用していることに起因している。

表 5.1.1 カフルシェイク県の水利組合設立状況

水利組合	設立数(1)	受益面積(fed)	目標設立数(2)	目標面積(fed)	組織化率(1)/(2)
WUA	2,402	118,000	10,255	556,000	23%
BCWUA	113	352,740	174	556,000	65%

出典：WUA：IIS Tanta, BCWUA：GDIAS Tanta

注）2015年時点のメスカレベルWUA設立目標は、3,652組織（198,000フェダ）となっている。しかしながら、最終目標は全域でのWUA設立であることから、本表では現在目標のWUAの平均規模から、県全域をカバーする場合の目標設立数を算定した。

灌漑改善事業を通じて組織されたこれらの水利組合は、水資源灌漑省の灌漑指導部（CDIAS：Central Department for Irrigation Advisory Service）に引き継がれ、CDIASが組合に対する研修の実施や活動のモニタリングといったフォローアップ活動を行っている。CDIASは水利組合の設立に関する管轄機関となっているが、活動予算の制約等から現在は新たな水利組合の設立よりも、既存の水利組合の強化の活動に集中している。

水利組合の設立・強化については、日本による支援も行われている。これまで「ナイルデルタ水管理改善プロジェクト（WMIP）」（2000年～2007年）や「水管理改善プロジェクトII（WMIP2）」（2008年～2012年）を通じて、メスカ及び支線水路の水利組合の活動支援を行っ

てきた。そして、2012年11月からは「水管理移管強化プロジェクト(Strengthening for Water Management Transfer: SWMT)」が開始され、BCWUAへの水管理移管を全国的に展開するための実施体制作りを行っている。SWMTでは、Ebheet (Fayoum), Shubra Baloola (Middle Delta), Bisintaway (West Delta)の3地区をパイロット地区として選定し、これらのパイロット地区での水利組合強化活動を通じて、水管理移管の実施に係る計画策定が進められている。

(2) 水利組合の役割

表 5.1.2 にメスカと支線水路レベルの水利組合の差異をとりまとめた。水利組合の設立および役割に関する法的な整備が進められている。エジプト国の水利組合に関連する主な法律は、灌漑排水法 No.12 と No.213 である。灌漑排水法 No.12 (1982)では、灌漑及び排水についての規定がなされている。本法律によって幹線水路などの灌漑水路、排水路、取水口や土手などが公共物であることが明記されており、こうした公共水路に対する取水口設備の設置等に関して規定されている。

灌漑排水法 No.213 (1994)は、灌漑排水法 No.12 (1984)を修正したものであり、末端用水路(メスカ)を共有する農家で組織される水利組合に関する法的資格の根拠となっている。また、本法律によって水資源灌漑省は、メスカ改良プロジェクトの事業費を各農民から回収することが可能であり、メスカの維持管理のために水利組合の設立が本法律をもとに進められている。

現在、水資源灌漑省は BCWUA に対する法的資格を付与するため灌漑排水法 No.12 の改正を進めようとしている。法改正がなされるまでの間、水資源灌漑省は BCWUA の役割と責任を定義して組織を公的に認めるための省令 (Ministerial Decree) 977 号を発行している。

もともとエジプト国では、末端水路のメスカは民間の資産であり水路の維持管理についても農民自身が行ってきた。これに対して、支線水路では施設の所有権も維持管理責任も政府(水資源灌漑省)にあるため、同じ水利組合であってもメスカレベルの WUA と支線水路レベルの BCWUA ではその役割や活動内容が異なる。次表にメスカと支線水路レベルの水利組合について概要をまとめる。

表 5.1.2 メスカと支線水路レベルの水利組合の差異

	メスカの水利組合 WUA	支線水路レベルの水利組合 BCWUA
法的根拠	灌漑排水法 (LawNo.12/ Law213)	MWRI 省令 977 号 (2015 年)
主な活動	灌漑改善事業への参加, 施設の運営維持管理, WUA 組織の運営, 組合規則及び活動計画の策定, 受益者間の問題解決等	灌漑・排水路改善事業への参加, 主水路又は支線水路レベルの灌漑スケジュール・水配分ローテーション管理への参加, 水資源灌漑省が行う灌漑・排水路維持管理活動優先順位付けへの協力, メスカ WUA 設立の補助, 問題解決・紛争の調停及び司法に対する代表, 水使用者への啓発 (圃場での水使用方法, 水質保全, 効率的な水利用), 受益者のコミットメント内容の同定及び受益者委員会 (Representation committee) への承認, 主水路又は支線水路維持管理活動への参加方法枠組の策定, 定例会議 (毎月) の開催 (維持管理活動, 会計状況, 内規等について協議), BCWUA アクションプランの策定及び実施, 政府・NGO 及び地域組織等との連絡体制の整備, 会計方法の整備 (電気代の徴収方法等)

組織構成	全ての受益農家から構成される総会と水利組合を運営するための意思決定機関である役員会	BCWUA の設立については、CDIAS が設立の決定を行い、GDAIS (General Directorate for Irrigation Advisory Services) が実際の組織化を補助する。 (具体的な BCWUA の組織構成に対する記述なし)
------	-------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

メスカレベルの WUA の場合、灌漑排水法 No. 213 によって規定されており、灌漑改善事業への参加を契機に組織されることが多い。主な活動として、メスカレベルのポンプの維持管理や農民間の水配分、作付調整といったことが行われている。例えば、メヘザン支線水路の末端のメスカでは、毎年シーズンの初めに会議を持ち、メンバー間で誰がどの作物をどれくらい作付けするかといったことを話し合ったり、各メンバーから 50LE/フェダンを集めて、ポンプのオペレーターを雇用したり、ポンプの修理費用に充てている。但し、この水利組合では、ディーゼルポンプを利用しているため、ポンプを運転する燃料は各メンバー自身が必要な分だけ自前で持参するという方式をとっていた。

この他にも、ネシェール支線水路沿いの IIIMP の対象となったメスカレベルの WUA では、メンバーから年間 300LE/フェダンを集め、ポンプの警備員兼オペレーターを雇用したり、ポンプの修理費用として積み立てを行っている。但し、灌漑改善事業では、基本的に事業費も受益者負担であり、IIIMP の場合、その事業費用はおよそ 4000LE~5000LE/フェダンになると想定されている。事業終了後 5 年間は支払い猶予期間があり、5 年以後各農民から約 20 年間の分割払いで事業費の徴収が行われる。この事業費の徴収については、組合を通じて行われるのではなく、政府の職員が農地の税金と併せて徴収を行っている。

一方で BCWUA の場合、2015 年 7 月の省令 977 号で、その公的組織としての立場を認証しているものの、施設の BCWUA による維持管理も進んでおらず、活動内容が限定的に成らざる得ない状況と言える。活動内容は組合によって様々であるが、メスカレベル WUA で解決できなかった問題の調停や、水配分の調整等を行っている。また水不足問題に際しては、MWRI の職員に陳情に行くなどの活動を行っているケースも見受けられる。

こうした BCWUA の活動が限定されている中でも、いくつかの BCWUA では組合メンバーから活動費を徴収し活動を行っているケースが確認された。こうしたケースでは、水資源灌漑省からの特例許可を得ていたり、NGO 法の適用を行うことで銀行口座等の開設を可能としたりして活動を行っている。例えば、2006 年に IIIMP を通じて設立されたバハルネムラ支線水路組合では、メンバーから 30LE を集め、水路の浚渫を半年に一度実施している。その他にもこの水利組合では、メンバーで資金を出し合って清掃用車両を購入し、各家庭から毎月 2LE を集めゴミ収集活動を行っている。日本の協力による WMIP-SWMT でも西デルタ地域の対象水利組合が、ゴミ収集活動を継続している。しかしながら、前述した通りこうした活動を行っている支線水路レベルの水利組合は極めて限られており、水利組合への水路の維持管理活動といった移管準備は整っていないのが現状である。

(3) 他の農民組織：農業協同組合

農民組織の代表的なものとして農業協同組合が挙げられる。カフルシェイク県には 248 の農業協同組合が存在する。県農協連合会、郡農協連合会及び村落農協という階層別に組織されている。農地所有者は基本的に農協への加入が義務付けられている。村落農業協同組合の主な役割として、農地の管理、農薬や肥料といった農業資材の販売、農業技術の普及、病害虫などの情報提供が主な活動となる。まれであるが、村落農業協同組合が、パイプライン化されてい

いメスカの清掃活動を管轄している例もある。具体的な農業協同組合の役割として、清掃スケジュールの調整や水路清掃用の重機の手配、農民からの料金徴収を行っている。

実際にメスカの清掃を取り仕切る農業協同組合からの聞き取りでは、清掃費用として約25LE/フェダンを農民から徴収し、年に一回程清掃を実施している。ほぼ全ての農民が清掃費用を負担し、費用の徴収についても支払いを拒否されるなどの問題はないという。こうした背景には、農業協同組合に対してこうした清掃費用の支払いを拒否すれば、今後、農業協同組合を通じた農業資材へのアクセスができなくなってしまう恐れがあるため、多くの農民がきちんと清掃費用の負担に応じるインセンティブが働いていると考えられる。

(4) 他の農民組織：Community Development Association (CDA)

農村で他に一般的にみられる農民組織として、Community Development Association (CDA) がある。CDA の設立は NGO 法(Law No.84 of 2002)によって規定されているため、農村では CDA ではなく NGO と呼び習わしているところもある。CDA の設立に当たっては NGO 法に基づき社会連帯省 (Ministry of Social Solidarity) への登録が義務付けられている。登録に当たっては、組織構成や会計システム、活動内容といった内容を申請することが NGO 法によって規定されている。CDA の活動としては、農村女性への教育や扶助、保育園の運営、家畜ローン等、多岐にわたる。

CDA は法的資格を有しているため、コミュニティーサービスの提供が可能であり、コミュニティーメンバーからのゴミ収集や集落排水処理施設運営に係る料金徴収や、組織として銀行口座を開設することが可能である。GIZ が建設した集落排水処理施設も、対象村で CDA が設立され、CDA により運営・維持管理されている。こういった CDA は、県内の大規模村落 (マザービレッジ) レベルでは一般に組織されている。

5.2 灌漑コンプレックスの実施体制

(1) 水資源灌漑省／排水庁の実施体制

灌漑コンプレックスの主要施設となる集落排水処理施設については、現状では水資源灌漑省の管轄になく、したがって水資源灌漑省の予算としてはエジプト国財務省への予算要求が困難である。しかしながら、灌漑用水の代替水源としての排水を再利用するためには、排水の水質保全が非常に重要であることから、排水の水質保全は水資源灌漑省の重要な関心事項でもある。集落排水処理施設を水資源灌漑省が実施する場合は、開発パートナー等からの資金援助をえるか、もしくは住宅省と協力し、住宅省による予算手当てで建設を進める必要がある。水資源灌漑省が実施する場合であっても、維持管理においては住宅省傘下の HCWW に、維持管理を担う住民組織への支援を得る必要があるため、住宅省とのプロトコル作成・合意を行う必要がある。その他のコンポーネントは、基本的に水資源灌漑省の予算で対応可能である。

短期計画として水資源灌漑省予算ですぐに実施可能な活動としては、灌漑コンプレックスのソフトコンポーネントである環境啓発活動の実施があげられる。排水庁は、県の排水局の Drainage Advisory Services (DAS) に指示を出して、環境啓発活動の継続実施をすぐに行う活動として挙げている。本パイロットプロジェクトを通して県の DAS と GDIAS で環境啓発活動を共同で実施していくことを合意しており、GDIAS の環境啓発活動に排水局も参画する形で実施を進めることが可能である。

排水庁では、パイロットプロジェクトで構築した灌漑コンプレックスの展開のため、MWRI

大臣に事業実施のための要請を行っており、また水資源灌漑大臣も住宅省との協力検討を考慮しているとのことである。灌漑コンプレックス推進のため、排水庁の本調査に対する実施部署であった Environment and Evaluation Unit（排水庁の Follow-up Department 配下）が 2015 年 9 月に General Directorate に格上げされた。

(2) 省庁間連携

排水の水質改善と再利用を軸とする、本排水再利用計画の実施においては、関連する機関が省庁をまたぐ。排水再利用計画策定に当たっては、図 5.2.1 に示すとおり、5 省による Joint Steering Committee (JSC) を形成して、調査の進行を監理した。今後の実施体制においても、関係諸機関の共同による事業実施体制の構築が必要である。排水再利用という観点から、引き続き水資源灌漑省の排水庁が核となり、JSC を設置し、排水庁が省内外の他機関との調整役を果たす体制を計画する。資金調達や技術協力で開発パートナーとの協力を要請する場合は、国際協力省 (MOIC) が、関係機関として JSC にメンバーとして加わる。

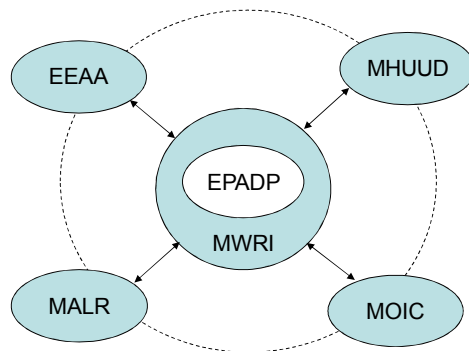


図 5.2.1 関係省庁の調整

(3) 県レベルでの協力体制の確立

灌漑コンプレックスの設立においては、集落排水処理施設、水路内浄化施設、コンポスト施設、排水再利用ポンプ場と複数の施設が組み合わさって構築されるため、様々な機関が関与することになる。中央のラインからの県出先機関、すなわち水資源灌漑省の排水局、灌漑局、および灌漑サービス局、住宅省の県上下水道公社、農業土地開拓省の農業普及局といった部局に加え、県の関係部局も事業に関与する。県の関係部局としては、環境局、プロジェクトサイトが位置するローカルユニット等が関わる。

また、事業実施にあたっては、施設の維持管理で住民組織 (CDA) を設立したり、既存水利組合に排水再利用ポンプコミティーを設置して関与してもらったりすることになる。このような受益住民の受け皿の形成、住民と政府の役割分担ということも踏まえて、灌漑コンプレックス構築の際の各施設供用に係るプロトコルを、関係者間で合意することが事業実施体制の核となる。プロトコルがあることによって、各関係機関の職員も業務随行の根拠とする事が出来る

排水再利用ポンプ場を例に、プロトコルの内容について述べる。概要を表 5.2.1 にとりまとめた。灌漑局は既に排水再利用ポンプ場を管理しているため、灌漑局によるポンプ場の管理が基本となる。この場合のプロトコルでは、灌漑局、排水局及び住民組織（水利組合内に設置される排水ポンプ委員会）の 3 者で合意し、締結を行う。排水再利用ポンプに係るプロトコルでは、灌漑局が運営維持管理についてその役割と責任を担うことになる。そのため、ポンプオペレーターや運転に係る費用は灌漑局が負担する。一方で排水局は、排水路に係る責任を負っており、加えて排水ポンプ委員会が環境啓蒙活動を実施する際には協力するといった役割を担わせる。排水ポンプ委員会の主な役割は、灌漑局と調整しポンプ運転時間や運転期間を決めることであり、加えて関係機関を巻き込んだ地元住民の環境啓蒙活動を実施する主体となることが明記される。

表 5.2.1 排水再利用ポンプ場に係るプロトコルの例

項目	内容
1) ポンプオペレーターに関して	ポンプの運転維持管理については、灌漑局がその責務を負う。但し、ポンプのオペレーターを灌漑局が準備できない場合には、ポンプ委員会が灌漑局の承認のもとオペレーターを提供する。
2) ポンプの警備について	ポンプ場の警備についても灌漑局がその責務を負う。但し、灌漑局が警備員を準備できない場合には、ポンプ委員会が灌漑局の承認のもと警備員を提供する。
3) ポンプ運転に必要な資材について	ポンプ運転に必要な機器・資機材等は全て灌漑局が責任を持つ。
4) ポンプの運転スケジュールについて	ポンプ委員会と灌漑局が協力し、ポンプ運転のスケジュールを決める。
5) ポンプの運転時間について	ポンプ委員会はポンプを利用する農家のニーズを取りまとめ、灌漑局とポンプ運転時間について協議する。
6) ポンプ委員会の役割について	灌漑局職員は、ポンプ委員会がその役割を全うできるように権限を与える。
7) 環境活動について	ポンプ委員会は、必要に応じて地域住民や農家の環境啓蒙活動を実施する。
8) ポンプ場のモニタリングについて	ポンプ委員会はポンプ場施設が適切に運用されるようにモニタリングを行う。何か問題があれば灌漑局と協力して解決する。
9) ポンプ場の電気設備について	ポンプ場の電気設備に不具合が生じた場合は、灌漑局が問題解決を行う。
10) 水路内の清掃について	灌漑局は灌漑水路内の清掃等に関する責任を負う。また、ポンプ委員会は水路内の清掃等に関して灌漑局と協力する。
11) 排水路内の清掃について	排水局は排水路の清掃等に関する責任を負う。また、ポンプ委員会は排水路内の清掃等に関して排水局と協力する。
12) 排水路の水質について	排水局は、排水路内の水質モニタリング等を定期的に実施する。また、必要に応じてポンプ委員会と協力して環境活動等を実施する。
13) その他	その他に事項に関しては、必要に応じてその都度関係者間で合意を行う。

(4) 住民の組織化：類型と法的根拠

上述のように、受益住民の受け皿となる住民組織を、事業実施体制の一部として組み込むために組織化する必要がある。事業実施に必要となる住民組織は、表 5.2.2 に示すとおり、主として 2 タイプあり、1 つは排水ポンプ委員会 (DPCs: Drainage-reuse Pump Committees) であり、もう 1 つが CDA: (Community Development Association) である。これらは事業実施後の施設利用組合になることを念頭に組織化される。

通常、水利組合の設立にあたっては、灌漑改善事業を契機に設立され CDIAS がフォローアップを行うという形が取られており、排水セクターや灌漑セクターのスタッフが水利組合の設立に関与するということはほとんどない。しかし、排水再利用という観点からは、排水ポンプの管理や排水路の清掃といったことも大きく関わってくるため、水利組合の設立あるいは、排水ポンプに関するグループを水利組合の内部に立ち上げる場合には、管区灌漑指導部 (GDIAS: General Directorate for Irrigation Advisory Service) や灌漑改善事業のスタッフだけでなく、排水セクターや灌漑セクター等のスタッフをできるだけ巻き込んだ水利組合の設立が望まれる。

また、灌漑コンプレックス施設の対象地区では、集落排水処理施設の運転維持管理を担う住民組織が必要であり、既存の組織がない場合は、新たに CDA を設立する。CDA は地元住民で組織される。CDA は社会連帯省に登録された NGO であり、エジプトの農村地域においてよく見られる住民組織である。多くの CDA はコミュニティーサービスの提供や慈善活動を主な活

動としている。灌漑コンプレックス対象地区においては、CDA がコミュニティーサービスの一環として集落排水処理サービスの提供を行う。

排水ポンプ委員会は、法的な根拠があるわけではなく、あくまで任意組織という位置付けになる。しかしながら、委員会の活動を円滑に実施して行くためには、政府の公認を得ることが重要である。排水再利用ポンプの利益者が代表者を選出し、排水ポンプ委員会の代表メンバーとして、排水再利用ポンプ場の運営に関わることになるため、県の灌漑局によって排水ポンプ委員会を水資源灌漑省が公認した委員会であることを記した省令を発行する。

表 5.2.2 灌漑コンプレックス事業に関わる農民組織化

組織類型	認可
任意組織（ポンプ委員会等）	県の灌漑局等により、水資源灌漑省が公認した委員会であることを記した省令を発行する。
CDA（集落排水処理施設利用組合等）	NGO 法(Law No.84 of 2002)に基づいて設立し、社会連帯省へ組織登録する。

一方で CDA の設立は NGO 法(Law No.84 of 2002)によって規定されており、設立に当たっては社会連帯省への登録が義務付けられている。登録に当たっては、組織構成や会計システム、活動内容といった内容が NGO 法によって規定されている。排水ポンプ委員会と異なり、CDA は法的資格を有しているため、コミュニティーサービスの提供が可能であり、コミュニティーメンバーからのゴミ収集や集落排水処理施設運営に係る料金徴収や組織として銀行口座を開設することが可能である。

5.3 環境教育

環境教育は、集落排水処理施設及び水路内浄化施設など、水質保全を目的に設置する施設を持続的に有効な設備とするために必要な施策である。特に、ゴミの投棄及び水質浄化の必要性についての住民意識を向上させる事が水質保全のために必要である。表 5.3.1 に環境教育として行った活動内容を示す。また、図 5.3.1～図 5.3.3 に環境教育に使用した教材の一部を示した。

表 5.3.1 環境啓発活動と主な活動内容

環境啓発活動	主な活動内容
コミュニティにおける環境啓発活動	コミュニティ内のゴミ収集活動
イمامを通じた啓発活動	イمامによる説話等
水路付近の清掃／環境キャンペーン	ゴミ拾いや植林活動等の実施
学校における環境啓発活動	生徒及び保護者を対象とした環境保全に関する講義等

Garbage Collection by Children



図 5. 3. 1 環境啓発活動教材抜粋 (1/3)



図 5. 3. 2 環境啓発活動教材抜粋 (2/3)

Action Plan Making



図 5. 3. 3 環境啓発活動教材抜粋 (3/3)

5.4 施設維持管理計画

排水再利用を促す灌漑コンプレックス施設の導入はエジプト国においてこれまでに先例がほとんどない新しい方式である。しかしながら、いくつかの灌漑コンプレックスのコンポーネントは単体として既にデルタ地域で導入されているものもある。例えば、排水再利用ポンプ場は一般的に広く既に使用されているものである。一方で、水路内浄化施設や集落排水処理施設等については、灌漑局や排水局に馴染みがなく新しい施設である。

水路内浄化施設については、排水路内の施設であるため排水局の管轄となる。しかしながら、水路内浄化施設そのものが排水局にとって新しいものであり、これまで同様の施設を運営管理してきた経験が乏しい。水路内浄化施設の運営維持には、水路上流部分に溜まったゴミの除去や浄化施設が設置されている水路部分の浚渫といった定期的な作業が発生する。また、灌漑期には、浄化施設の構造物を操作し、排水路内の水位を調整する必要も生じる。これらの維持管理については、パイロット事業で実施した W5 地区での実践を基に経験を蓄積し、排水局の通常業務としていく必要がある。

集落排水処理施設については、CDA が日常的な運営・維持管理をすることが基本となる。集落排水処理施設そのものは、複雑な操作が必要なく CDA のメンバーでも運転操作が可能なものである。しかしながら、定期的なメンテナンスや機器に不具合が起こった際には、CDA のみでの対応が難しいと考えられるため、都市部の下水処理施設を管轄している上下水道公社に技術的なサポートを依頼する。

灌漑コンプレックス施設に係る役割分担は、施設建設後の維持管理体制の役割の明確化が重要である。プロトコルの効力を確実にするためにも、プロトコル締結には、県知事立会の下での締結式の実施が推奨される。パイロット事業の例では、締結式には 10 組織が参加し、参加者全員の合意のもとプロトコルへのサインが取り付けられた。プロトコルへの関係機関は下記の 10 組織である。

- 1) カフルシェイク県知事
- 2) 中央デルタ排水局長
- 3) カフルシェイク県灌漑局長
- 4) カフルシェイク県上下水道公社
- 5) 西カフルシェイク県灌漑局
- 6) 西カフルシェイク県排水局
- 7) カフルシェイク県シティカウンスル
- 8) サンデラ村ローカルユニット
- 9) ハムシーン村 CDA
- 10) 排水ポンプ委員会

灌漑コンプレックス施設に係るプロトコルは大きく 5 つの項目から成る。1) ポンプ場の運転管理、2) 水路内浄化施設の維持管理、3) 集落排水処理施設の運営維持管理、4) コンポスト施設の運営維持管理、そして 5) ゴミ収集活動のモニタリングとフォローアップである。表 5.4.2 及び図 5.4.1 に各施設と主な活動内容をまとめる。

表 5. 4. 2 灌漑コンプレックス施設の運営維持管理体制に関するプロトコルの内容

施設	主な活動
排水再利用ポンプ場	<ul style="list-style-type: none"> ・ 灌漑局が施設の運営維持管理の責任を負う。 ・ 排水ポンプ委員会は、ポンプの運転に関して灌漑局と農家間の調整を行う。また、環境啓蒙活動を推進する。 ・ 排水局は排水路の維持管理について責務を負う。
集落排水処理施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ CDA が日常的な施設運営維持管理を行う。また、ローカルユニットと上下水道公社との各種調整を行う。 ・ 上下水道公社は CDA に対して技術支援を行う。 ・ ローカルユニットは CDA の運営サポートを担う。
水路内浄化施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 排水局が排水路内の水位調節や清掃等の維持管理を行う。
堆肥作り施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ CDA が農業省等の関係機関と調整を行う、運営管理を行う。
ゴミ収集システム	<ul style="list-style-type: none"> ・ CDA が運営を行う。住民からゴミを収集し、ローカルユニットでの処分場まで運搬を行う。

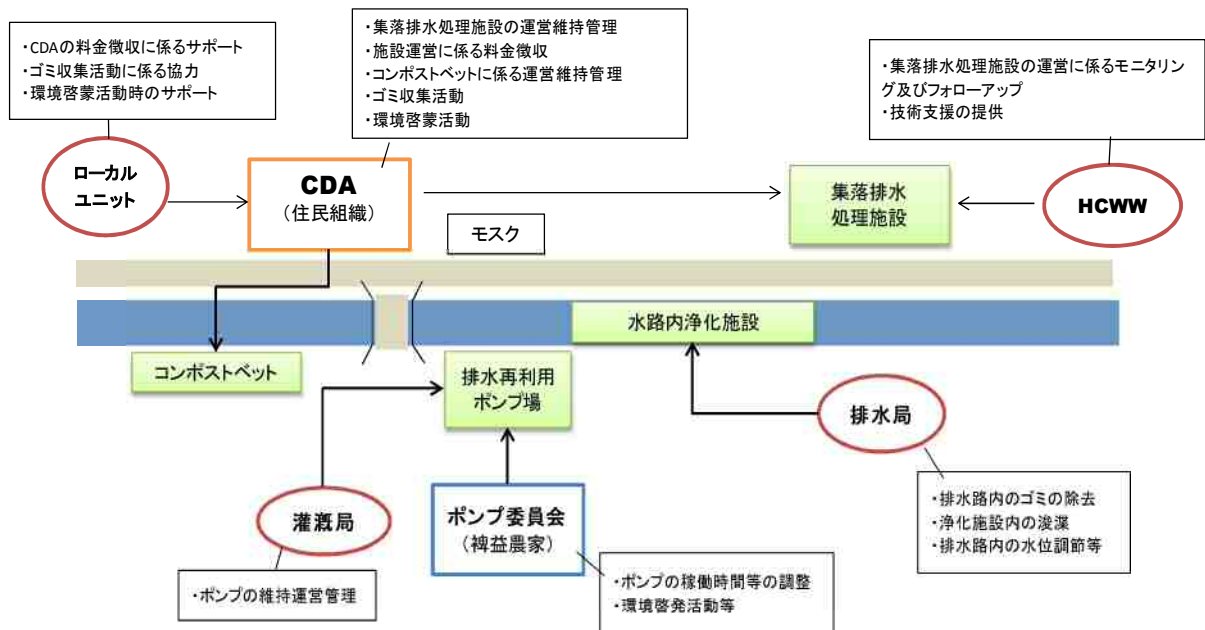


図 5. 4. 1 灌漑コンプレックス施設運用概要図

参考文献；エジプト国 中央デルタのための水質管理・再利用プロジェクト（開発協力型技術協力）報告書 独立行政法人国際協力機構 株式会社三祐コンサルタント 2015年12月

第6章 結言

6.1 研究成果

本研究により、ナイルデルタ流域における安価な水質浄化技術の導入とその評価についてとりまとめた。2009年11月に開始したナイルデルタの水質試験から始まり、2015年12月までの施設のモニタリングまで、6カ年間の成果である。

研究は、地区内水質調査、マイクロバブルによる水質浄化、集落排水処理施設設置における点源負荷対策に大別される。それぞれの成果を以下にとりまとめる。

6.1.1 地区内水質調査

(1) 用水路水質は、排水路水質に比較して、どの地区においても良好であり、営農及び生活排水等の影響を受けて、排水路の汚濁が進んでいる。

(2) ナイルデルタ地区における水質汚染は、大きな課題であるものの排水路水質値は、概ね灌漑水質基準値を下回っており、農業用水への再利用への可能性は高い。

(3) 排水路の塩分濃度は、ECの水質試験結果から、沿岸部を除き、灌漑水として利用可能である。

(4) 大腸菌は、ナイルデルタ全体で高い数値を示しており、下水処理施設整備及びゴミ処理などの抜本的な対策が必要である。

以上の事から、ナイルデルタでの排水の灌漑利用における可能性は高い事から、沿岸部を除き、排水再利用は、推進すべきである。ただし、既報告⁸⁾のとおり、排水路によっては、DOが1 mg/l以下、CODが40 mg/l以上と、かなり汚染の進んだ地区もあるため、排水再利用計画にあたっては、事前の水質調査が重要である。

6.1.2 マイクロバブルによる水質浄化

(1) DO 1.0 mg/L以下であった極低酸素の原水は、マイクロバブル装置設置箇所の下流近傍(5 m)において5.5 mg/L以上に改善され、COD_{Cr}の除去に利用されつつも流下200 m地点以降も4.0 mg/L以上に保持された。

(2) COD_{Cr} 10 mg/L程度の原水に対して、マイクロバブルの曝気によって短時間で1~2 mg/Lレベルまで低減できた。

(3) 構築した仮設水路では、酸素供給によるNH₄-Nの硝化はそれほど期待できない。これは、十分な硝化に要する時間を確保できないためと考えられる。

以上のことから、ナイルデルタにおけるマイクロバブルの適用は、DOおよびCOD_{Cr}の水質改善に有効であり、その他の処理方式を総合的に組み合わせて農業排水路の水質改善に利用できる可能性が高い。

6.1.3 集落排水処理施設設置による点源負荷対策

(1) 濁度は、流入水の623.0 NTUと764.7 NTUが、施設の放流水では、それぞれ119.4 NTUと131.6 NTUに大幅に低減され、その除去率は80%に達した。

(2) 接触ばっ気槽のDO値は5.28 mg/L、4.12 mg/Lまで上昇して日本国内における運転管理の目安としている4.0 mg/L以上に確保され、好気条件が良好に維持されていると判断できる。

(3) BODは、流入水の380 mg/Lと360 mg/Lから放流水では5 mg/Lと43 mg/Lとなっており、そ

それぞれの除去率は 99%と 88%と極めて高かった。いずれもエジプト国の排水基準となる 60mg/L を下回った。

(4) COD_{Cr}は、流入水の 408mg/L と 388mg/L から放流水では 60mg/L と 70mg/L まで大幅に減少し、除去率はそれぞれ 85%と 82%となった。これらの放流水の COD_{Cr}は、エジプト国の排水基準となる 80mg/L を満足している。

(5) 大腸菌群数と糞便性大腸菌群数は、それぞれ除去率 99.9%と 99.4%の除去率が得られた。本施設は、下水道が未整備となっている農村部流域において、公衆衛生の著しい向上に寄与できる。

(6) 建設費、維持管理費共に大幅なコスト縮減を達成し、農村向け排水処理施設として全国展開可能と判断できる。

6.2 今後の課題と展望

6.2.1 パイロットプロジェクトの実施により得られた課題

(1) 組織体制及びプロジェクト実施体制における課題

排水再利用計画の実施計画は、パイロット事業実施を通じて得られた教訓を活かして計画する。パイロット事業の実施にあたっては、中央レベルでの JSC による省庁間の合意と、それに基づく県およびサイトレベルでの様々な関係者との協調による実施体制を築いて事業を実施した。県、サイトレベルでは、地方レベルでの新たな関係機関も関与した。たとえば、学校での環境キャンペーン実施の際には、県教育省の積極的な協力が得られた。また、水資源灌漑省に属しているが、CP として位置付けられていなかった IAS (Irrigation Advisory Service) や Drainage Advisory Service (DAS) の職員が、学校での環境啓発活動に参加した。

排水再利用計画の実施にあたっては、排水庁のみならず様々な関係者が関与することになるので、こういった関係者間の調整が重要となる。下記にパイロット事業実施により得られた主要な教訓を整理する。これらは実施計画の基盤となるものである。

- 中央レベル：実施計画や実施体制につき、中央レベルでの JSC を設置して合意形成を行い、定期的な進捗報告を行うことで、サイトでの課題に対する中央からの円滑な指示、対処を受けられるようにする。
- 県レベル：行政管轄の異なる施設の設置の際には、特に県レベルにおいて関係諸機関の間でプロトコルを締結することが不可欠である。プロトコルにより責任の所在が明確になり、関係諸機関の責任意識醸成にもつながる。また、この調整過程では、県庁の役割が重要になる。なお、調整役を担うのは、県の Secretary General である。
- 村レベル：施設維持管理等で新たな住民組織を作る場合は、行政最末端組織のローカルユニットのみならず、地元の既存 NGO 等経験を有する住民組織による支援が有効である。例えば、活動計画作り等の組織運営に係る支援を行うことが考えられる。また、環境活動等においては、既存組織が持つ資機材の提供や T-シャツや清掃用具といった必要資材を提供するといった支援が想定される。さらに、環境啓発活動では、村のイマムや小学校等地元根付いた関係者との協力も必要になる。このため、施設建設計画の早期の段階から地元 NGO 等の村の既存組織も含めたプロジェクトの説明会を行い、プロジェクトへの関与を促すことが重要である。

- 灌漑コンプレックスの考え方は新しいものであるため、政府職員および住民に対し時間をかけた説明が必要である。早期に関係者会議を、県庁を介して開催し、関係者の理解共有を図っていくことが効果的である。
- 下流部の農家は上流部に比べれば利用可能な水が常に制限された状況で灌水管理することに慣れており、十分な灌水方法を行えていないことが考えられる。今後、下流部の作物生産を改善していくためには、排水再利用ポンプの設置と共に、適切な灌水量・灌水時期といった灌水方法の指導・是正、特に下流部の農家の意識改善を図る必要がある。

(2) 設計・施工における課題

パイロットプロジェクトの実施に当たっては、日本の設計に基づき、ローカル業者により施工した。その結果、想定以上に工期が必要となり、多くの課題を把握できた。下記に設計施工時点における課題をとりまとめる。

- 各施設の設置場所については、用地確保が困難な事から、極力公共用地を利用する。今回のプロジェクトにおいては、ポンプ施設を灌漑水路内、集落排水処理施設を排水路管理用道路下、水路内浄化施設を排水路内へ計画し、用地取得の問題は回避した。
- 設計は、極力エジプト国内の技術水準に合わせ、外観もエジプト国内の構造物を参考に行う。従来技術から新技術へ進展させる事は重要であるが、理解を得るために過度な時間を要するため、従来技術を尊重した設計が必要である。
- 施設規模が、過大とならない様に配慮し、十分な協議を経て規模を決定する。特にパイロットプロジェクトという特性から、計画年次は数年先を見越して設定する必要がある。
- 工事工程は、十分な工期を確保する。ローカル施工業者の場合は、特に長めの工期の設定が必要である。材料手配、労働者手配、資金調達等をその都度検討すること、各関係者の承認に関しても、時間を要し、工事工程に影響を及ぼす。
- 施工管理の主な内容は、工程管理・出来形管理・品質管理・原価管理・安全管理とされている。ローカル施工業者の場合は、慣例に基づき施工しており、施工全般において、管理が十分とは言えない。したがって、施工管理の十分な要員配置が必要である。

6.2.2 今後の展望

現在、新興国においては、公共用水域の水質悪化が大きな課題となっており、自国予算あるいは、日本や欧米諸国のODA事業により整備が進められている。大都市における整備率は着実に向上しているものの地方都市の整備率は依然として低く、不適切な排水管理及び水質汚染により、健康被害・環境影響・水利用への影響・観光産業への影響が懸念され、それによる経済的損失も大きくなっている。今後は、今回の研究で述べた集落排水処理施設や水路内浄化施設などを設置し、地方でも安心した水環境が得られることを期待したい。