

スリランカ国  
飲料水浄化装置案件化調査  
業務完了報告書

平成30年6月  
(2018年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

株式会社 Emax

国内
JR(先)
18-154

## 写真



シリセーナ大統領への寄贈



Polonnaruwa Royal School に設置した  
RO 膜浄水機



CKDu プロジェクトオフィスに設置した  
RO 膜浄水機



NWS&DB 北中部州事務所水質検査所



農家の井戸水 TSD 590ppm



Mahavilachchiya DSD Nelumvila GND の小学校 TSD 435ppm



## 目 次

<b>要 約.....</b>	i
<b>はじめに.....</b>	xiii
<b>第 1 章 对象国・地域の現状.....</b>	1
1-1 対象国・地域の開発課題.....	1
1-2 対象国・地域の対象分野における開発計画、関連計画、政策及び法制度.....	14
1-3 当該開発課題に関する我が国国別開発協力方針 .....	17
1-4 対象国・地域の対象分野における ODA 事業の先行事例及び他ドナー事業の分析....	17
<b>第 2 章 提案企業、製品・技術 .....</b>	19
2-1 提案企業の概要 .....	19
2-2 提案製品・技術の概要.....	19
2-3 製品・技術の適合性 .....	26
2-4 開発課題解決貢献可能性 .....	45
<b>第 3 章 ODA 案件化.....</b>	47
3-1 ODA 案件化概要 .....	47
3-2 ODA 案件内容 .....	47
3-3 C/P 候補機関組織・協議状況 .....	48
3-4 他 ODA 案件との連携可能性.....	50
3-5 ODA 案件形成における課題・リスクと対応策 .....	50
3-6 環境社会配慮等 .....	50
3-7 期待される開発効果 .....	51
<b>第 4 章 ビジネス展開計画.....</b>	52
4-1 ビジネス展開計画概要 .....	52
4-2 市場分析 .....	52
4-3 バリューチェーン .....	53
4-4 進出形態とパートナー候補.....	53
4-5 収支計画.....	54
4-6 資金計画.....	54
4-7 事業スケジュール .....	54
4-8 ソーシャル・インパクト・ボンド(SIB) .....	55
4-9 想定される課題・リスクと対応策 .....	57
4-10 期待される開発効果 .....	57
4-11 日本国内地元経済・地域活性化への貢献 .....	58
<b>SUMMARY.....</b>	I

## 図目次

図 1 プロジェクトサイト .....	XIV
図 2 2015 年の米生産量 .....	2
図 3 年間平均降水量 .....	2
図 4 スリランカの気候区分 .....	2
図 5 アヌラーダプラの月別降雨量 .....	3
図 6 北中部州の NWS&DB の給水地域(黄色箇所) .....	4
図 7 北中部州の CBO による給水地域 .....	4
図 8 地下水の概念図 .....	6
図 9 管井戸 .....	7
図 10 浅井戸 .....	7
図 11 2017 年 1 月 27 日現在の貯水池の貯水量と昨年と比較 .....	8
図 12 タンク灌漑 .....	9
図 13 スリランカのタンク .....	9
図 14 アヌラーダプラ県 RAMBEWA 地区のタンクと住居 .....	10
図 15 マハヴェリ河開発による灌漑 .....	10
図 16 家庭の井戸とトイレ・水田 .....	11
図 17 糞尿と化学肥料の亜硝酸態窒素への変化 .....	11
図 18 慢性腎臓病患者の多い地域と本調査対象地域 .....	13
図 19 CKDu への農薬・化学肥料の影響 .....	14
図 20 マヒンダ構想の 2020 年の給水計画 .....	14
図 21 スリランカの水道水へのアクセス(2016 年 12 月) .....	16
図 22 逆浸透現象と排水 .....	20
図 23 有害物質と逆浸透 RO 膜の孔の大きさ比較 .....	21
図 24 節水型 RO 膜浄水機の機器構成図 .....	23
図 25 ナノマイクロフィルター浄水機の機器構成図 .....	24
図 26 アメリカ製 RO 膜浄水機による飲料水製造フロー .....	25
図 27 コミュニティー RO 膜浄水センターの浄水システム .....	27
図 28 RO プラント調査位置 .....	29
図 29 調査対象地域と浅部地下水のヒ素濃度分布図 .....	31
図 30 飲料水実態調査箇所 .....	32
図 31 アヌラーダプラ県の飲料水源のサンプリング箇所 .....	38
図 32 ポロンナルワ県の飲料水源のサンプリング箇所 .....	39
図 33 スリランカ国の地下水のフッ素含有量分布 .....	44
図 34 コミュニティーの浄水施設用 RO 膜浄水機 .....	47
図 35 バリューチェーン .....	53
図 36 デベロップメント・インパクト・ボンドの概念図 .....	55
図 37 ロジックモデル例(里親支援事業) .....	56
図 38 DIB 組成に係る作業について .....	56

## 表目次

表 1 北中部州の人口と面積.....	2
表 2 NWS&DB により給水が行われている GND の割合.....	5
表 3 ADB が行った第二次プロジェクトの給水世帯数.....	5
表 4 経営計画「2016-2020」で設定されている 4 つの事業目標とその詳細目標.....	15
表 5 節水型 RO 膜浄水機の仕様.....	22
表 6 ナノマイクロフィルター浄水機の仕様.....	24
表 7 比較優位性.....	26
表 8 NWS&DB の RO 膜浄水センター.....	27
表 9 調査した RO プラントの概要.....	30
表 10 RO プラントメンテナンスの概要.....	30
表 11 飲料水基準 - 第一改訂版.....	39
表 12 分析項目.....	41
表 13 水質検査結果.....	43
表 14 手動式 RO 膜浄水器設置箇所 .....	45
表 15 普及・実証事業の目標・成果・活動.....	48
表 16 スリランカ側と日本側の事業分担 .....	49
表 17 生産計画.....	52
表 18 販売計画と経済性.....	54

## 略語表

略語	正式名称	日本語名称
CBO	Community Based Organization	小規模給水組合
CKD	Chronic Kidney Disease	慢性腎臓病
DCWS	Department of Community Water Supply	地域社会給水局
DSD	Divisional Secretary's Division	地区
GND	Grama Niladhari Division	スリランカの最小行政単位
LKR	Sri Lankan Rupee	スリランカルピー
MCPWS	Ministry of City Planning and Water Supply	都市計画・上水省
NWS&DB	National Water Supply and Drainage Board	国家上下水道公社
SIB	Social Impact Bond	ソーシャル・インパクト・ボンド
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
TDS	Total Dissolved Solids	総溶解固形物
WHO	World Health Organization	世界保健機構
WRB	Water Resources Board	水資源公社

## 要 約

### 1. 対象国・地域の現状

スリランカ国の北中部州の農村地域の住民が抱える開発課題は、以下の通りである。

開発課題 1：北中部州の地域住民の飲料水源である井戸水は、家庭のトイレ、水田に施される化学肥料、農薬、除草剤等で汚染されている。また、土壤等に起因し、Ca、Mg が多くて硬度が高い。加えて、フッ素が多いケースも多い。中部州の井戸水の水質や汚染状況は地域により異なる。地域毎の水質に応じて適切に処理するコストパフォーマンスの良い浄水機の開発と普及が望まれている。

開発課題 2：地域毎の水質に応じて適切に処理するコストパフォーマンスの良い浄水機の普及が遅れているため、地域住民は、安全な水にアクセスすることが出来ない。そして、水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症等の健康リスクを有している。

開発課題 3：既存のコミュニティ净水センターの RO 膜净水機は、適切に管理されていない、メンテナンスが行われていない等の問題を抱えている。人材を育成し、净水機の管理・メンテナンスを行うシステムを構築することが必要である。

開発課題の背景・原因について以下に述べる。

スリランカ国の国土を成すセイロン島は、インド亜大陸南東のインド洋上に位置し、西部はアラビア海、東部はベンガル湾に臨む島国である。国土面積は、 $65,610\text{km}^2$  で日本の 0.17 倍である。人口は、20,966 千人（2015 年）である。

本調査の対象地域は、北中部州で、アヌラーダプラ県、ポロンナルワ県で構成される。北中部州は、全人口の 6.3%、全国土面積の 16% を占め、乾燥地帯で 2015 年の米生産量の 28.6% 占める稻作地帯である。

スリランカ国では、都市計画・上水省（Ministry of City Planning and Water Supply、以下 MCPWS）の傘下の国家上下水道公社（National Water Supply and Drainage Board、以下 NWS&DB）が飲料水の供給事業を行っている。

北中部州の住民の飲料水・生活用水は、①NWS&DB による給水、②小規模給水組合（Community Based Organization 以下 CBO）の「コミュニティー給水システム」、及び③自家の井戸（一部雨水）である。

北中部州の水道普及率は 32% で、NWS&DB により人口が集中している町に給水が行われている。NWS&DB により給水が行われていない地域では、GND または村の単位で、地域社会給水局（Department of Community Water Supply、以下 DCWS）が CBO と協力して給水を行っている。CBO 給水は、ポンプアップした水をパイプで給水している。水源は、主に井戸で、浅い帶水層の地下水である。

北中部州は乾燥地域であり、乾季の 6 月～8 月は降雨量が減少するため、雨水を飲料水とすることは出来ない。従って、NWS&DB による給水、CBO による給水が行われていない地域の家庭では、井戸水が主な飲料水源である。

スリランカ政府は、全国民の安全な水へのアクセスの確保を目標としており、NWS&DB の「経営計画 2016-2020」では、目標 1 で「水道の普及率の向上で、2020 年までに水道管による給水を全人口の 60% に引き上げる」ことを掲げている。目標を達成したとしても 40% は水道管による給水を受けられない。家屋が分散している農村地域に、水道管を敷設

するには、多大な費用を要する。従って、農村地域は、水道管による給水を受けられない地域であるといえる。同計画の目標4は「地方及び未普及地区における安全な飲料水と衛生サービスの供給を促進する。」である。

家庭の浅井戸の傍には、図1に示すように水田があり、肥料や散布された農薬や除草剤が井戸水に浸透する。また、穴を掘っただけのトイレがあり、糞尿に起因する大腸菌などの細菌やクリプトスパリジウム原虫に汚染されることがあり、下痢などの水系感染症の原因ともなっている。また、浅井戸は、コケが生えてバクテリアが繁殖したり、小動物・昆虫が入ったりして不衛生で、病原体が増殖しやすいなどの問題がある。

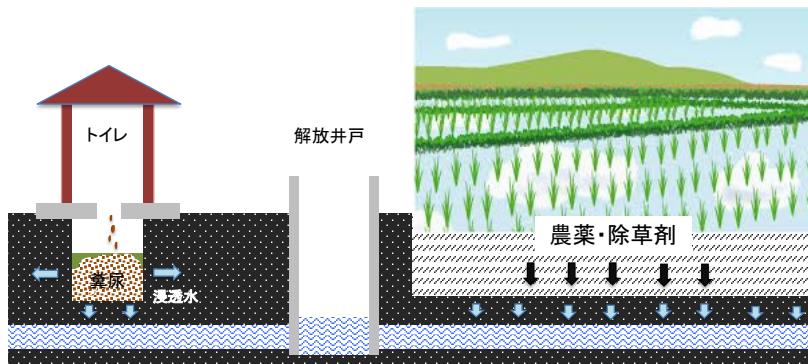


図1 家庭の井戸とトイレ・水田

最近では除草剤や農薬による汚染も問題となっている。北中部州は、稲作地帯であり、スリランカ政府が化学肥料に補助金を出してきたため、過剰施肥になっている。

近年、CKDuの患者が発生し、北中部州を中心に、CKDuの患者が増加し、その対策が喫緊の課題となっている。最初のCKDuの患者が北中部州の北東部の稲作農家で1994年に報告され、その後患者数が増加し、2015年5月現在のCKDuの入院患者数は、27,308人で、そのうちアヌラーダプラ県が53.7%、ポロンナルワ県が20.9%を占める。入院患者約2,000人が毎年死亡している。

CKDは、腎臓の働き(GFR)が健康な人の60%以下に低下する(GFRが60mL/分/1.73m<sup>2</sup>未満)か、あるいはタンパク尿が出るといった腎臓の異常が続く状態を言う。さらにGFRが低下するとCKDの重症度(病期)が進み、透析や心臓病などの心血管疾患の危険が高まる。末期腎不全(15mL/分/1.73m<sup>2</sup>)では透析治療などの準備が必要になる。

CKDの原因は不明のため、CKDuと称されている。スリランカ政府は、同地域の飲用水である地下水がカルシウムとフッ素が多い硬水であることと、稲作地帯で農薬・化学肥料等を多用していることによる地下水汚染と因果関係があると考えている。発症者は、働き盛りの男性が多い。農作業での農薬や除草剤の散布、脱水等要因もあると考えられる。働き手である男性が腎臓病で倒れることにより、農家は収入が断たれ、貧困に拍車をかけていることも大きな社会課題である。

我が国の対スリランカ民主社会主義共和国国別援助方針(2012年)では、重点分野の一つとして「経済成長の促進」を挙げており、スリランカの一層の成長と安定化を促すため、経済成長のための基盤整備を中心とした支援を行うとしている。また、「後発開発地域の開発支援」で、同国の紛争の歴史や開発の現状を踏まえ、後発開発地域にも留意した公平かつ公正な支援を行うこととしている。

また、対スリランカ民主社会主義共和国JICA国別分析ペーパー(2014年)では、「上下水道・環境改善プログラム」において、大規模都市における上水道の拡張及び無収水の削減に加え、地方における上水道整備の重要性が言及されている。

本調査を踏まえて提案を行う普及・実証事業は、上水道が未整備の農村地域においてにおいて、飲用に適さない井戸水を節水型RO膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水

機で安全な水にする事業あり、我が国の援助方針と合致している。

日本政府は、北中部州において、ODA で「アヌラーダプラ県北部上水道整備事業(フェーズ 1)」(2013 年、5,166 百万円) さらに、「アヌラーダプラ県北部上水道整備計画(フェーズ 2)」を、アヌラーダプラ県の 23 郡のうち北部の 6 郡を対象として実施している。

提案する普及・実証事業は、円借款事業でカバーできない北中部州の上水施設が無い農村地域で、節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機で、農村地域の飲料水である井戸水を、安全で清浄な飲料水にして地域住民に供給するものであり、重複しない。本事業は、健康被害が問題となっている地域で、ODA 事業でカバー出来ない地域住民への安全な水の供給に資するものであり、SDGs ゴール 6 「万人の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理の確保」に貢献する。

## 2. 提案企業、製品・技術

### 1) 提案企業の概要

株式会社 Emax (以下 Emax) は、現在国内では OEM で RO 膜浄水器を委託者に納品している。海外では、自社ブランドで RO 膜浄水器を販売していくことで、収益性を高めて事業の拡大を図っている。

アジアの農村地域では、上水道を整備して地域住民が安全な水にアクセスすることが難しく、井戸水や雨水、河川水等を飲用水としている。Emax の RO 膜浄水機器を普及させることで、井戸水や雨水、河川水を安全で清浄な飲料水として人々が飲めることに貢献したいという考え方から、海外進出を行っている。

### 2) 提案製品・技術の概要

提案製品・技術は、途上国の井戸水、雨水、河川等の水を安全で清浄な飲料水にする浄水技術である。原水の水質に応じて①節水型 RO 膜浄水機か②ナノマイクロフィルター浄水機の何れかを適用する浄水機を導入する。

当面のビジネスのターゲットは、家庭用または共同の浅井戸の水質に起因して健康問題を抱えるスリランカ国北中部州の農村地域である。

MCPWS は、NWS&DB を実施機関として、大統領府 CKDu タスクフォースの予算で、CKDu 予防対策として 2013 年から 300~500 世帯に 1 箇所、表 8 に示す 128 箇所に図 27、写真 10 に示す RO 膜浄水センターを設置し、1 世帯に飲用に 20ℓ 給水するプロジェクトを実施している。飲料水の必要量は 500 世帯 × 20ℓ で 10m<sup>3</sup>/日である。センターの稼働時間は 20 時間なので、RO 膜浄水機の造水能力は、0.5m<sup>3</sup>/h が標準仕様である。

現地調査の結果、既存の RO 膜浄水機が以下の問題を抱えており、その課題に対応した浄水機の普及が課題であることが明らかになった。

- ・ RO 膜浄水器は、RO 膜が高いことから価格が高い。
- ・ RO 膜の浄水機の販売メーカーは、メンテナンス体制のサービスを行っていない。
- ・ 原水の Ca 等が付着し、RO 膜が 1 年位で使えなくなる。
- ・ RO 膜を交換する費用がないため、交換せずに使っているため原水が十分に浄化されない。
- ・ RO 膜の濃縮水の排水が、原水の 20~40% を占める。北中部州は乾燥地域で、干ばつのため濃縮水の排水がもったいない。
- ・ 農薬や除草剤、化学肥料は RO 膜で完全に除去できない。
- ・ RO 膜で濾過した水は、一度給水用タンクに貯められ、給水される。塩素殺菌していないため、給水タンクで一般細菌等が増殖する。

MCPWS は、RO 膜浄水機が上記の問題を抱えていることから、より価格が安いナノマイクロフィルター浄水機の導入を検討している。ナノマイクロフィルターは、フィルターの価格が安いことから、価格は RO 膜浄水機より安くなる。ナノマイクロフィルターは、ミクロン単位の穴が無数に空いた纖維フィルターである。フィルターに通水して、細菌や高分子の不純物質を除去する。穴の径は、RO 膜より大きい。フィルターなので、RO 膜のように濃縮水を排水しない。しかし、フッ素や、農薬・除草剤を除去することは出来ない。

そこで、Emax は、前処理設備としてイオン交換樹脂フィルターを装備した①節水型 RO 膜浄水機と、②ナノマイクロフィルター浄水機の普及・実証事業（JICA 中小企業海外展開支援事業、以下同じ）を提案することとした。併せて、現地法人と提携して、メンテナンス体制を整える。

農薬や除草剤、化学肥料がイオン化している場合には、RO 膜でも完全に除去できない。イオン交換樹脂は、合成樹脂の一種で、主に直径 1mm 以下の粒状で利用される。高分子の分子鎖が網目構造を取るため、水やイオンの浸透が容易であり、活性炭などの吸着剤と同様、大きな比表面積を持つ。イオン交換樹脂中の固定イオンと様々な溶液中の対立イオン（交換されるイオン）との吸着の差を利用することによって、不純物質を除去する。イオン化促進剤を添加することで、農薬、除草剤を除去することが出来る。

節水型 RO 膜浄水機は、水質検査結果の、TDS が基準値 500mg/l を超える井戸か、F（フッ素）が基準値の 1.00mg/l を超える井戸に設置する。基準値をクリアする井戸には、②ナノマイクロフィルター浄水機を設置する。

MCPWS は、NWS&DB を実施機関として、CKDu 予防対策として 2013 年から 300～500 世帯に 1 箇所、RO 膜浄水センターを設置し、1 世帯に飲用に 200l 給水するプロジェクトを実施している。飲料水の必要量は 500 世帯 × 200l で 10m<sup>3</sup>/日である。センターの稼働時間は 20 時間なので、RO 膜浄水機の造水能力は、0.5m<sup>3</sup>/h が標準仕様である。

①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の仕様は、同標準に準じている。

#### ▪ 節水型 RO 膜浄水機

表 1 節水型 RO 膜浄水機の仕様

タイプ	RO 膜浄水機
浄水容量	0.5m <sup>3</sup> /時
透過サイズ	0.0001 ミクロン以下
濃縮水	原水の 20% 以下(最低)
電源	AC230V 50Hz
電気容量	5Kw 以下
附帯装置	RO 膜洗浄装置 砂フィルター イオン交換樹脂フィルタ(洗浄・再生機能付き) 塩素添加装置 飲料水給水タンク

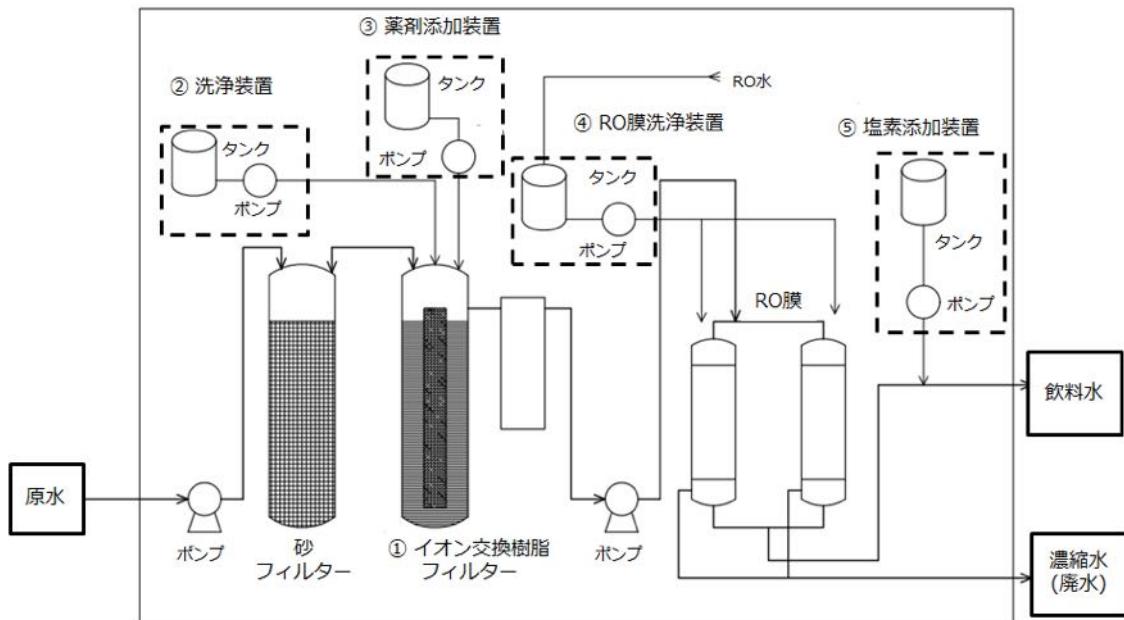


図2 節水型 RO 膜浄水機の機器構成図



写真1 節水型 RO 膜浄水機

・ ナノマイクロフィルター浄水機

表2 ナノマイクロフィルター浄水機の仕様

タイプ	ナノマイクロフィルター浄水機
浄水容量	0.5m <sup>3</sup> /時
透過サイズ*	0.04ミクロン以下
濃縮水	排出しない
電源	AC230V 50Hz
電気容量	5Kw 以下
附帯装置	砂フィルター イオン交換樹脂フィルター(洗浄・再生機能付き) 塩素添加装置 飲料水給水タンク

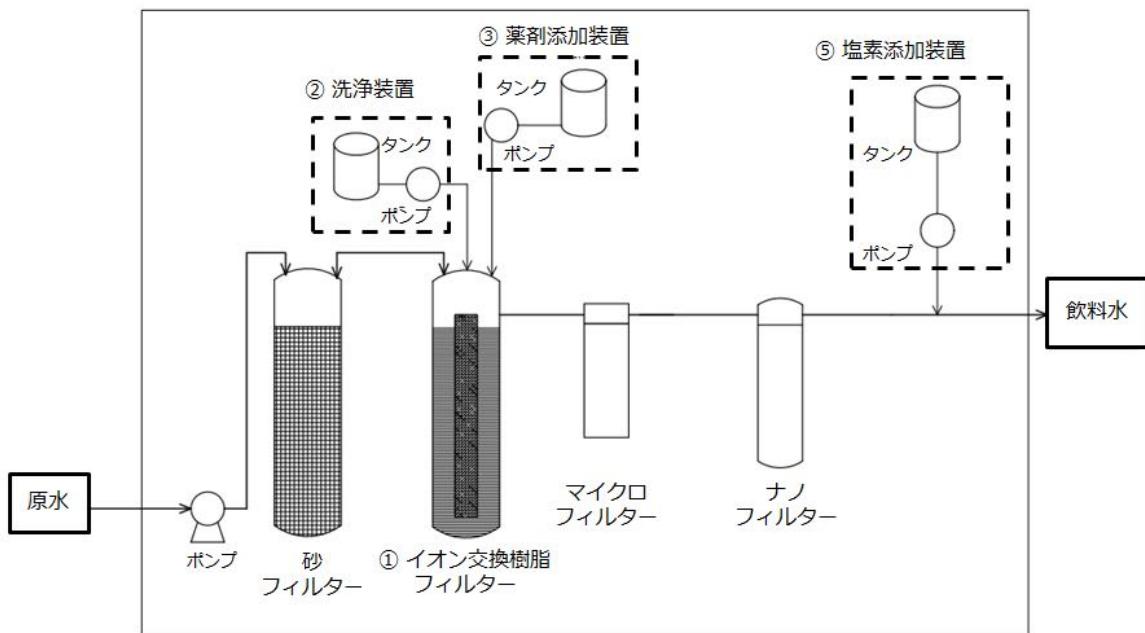


図 3 ナノマイクロフィルター浄水機の機器構成図

#### ・ 比較優位性

現在、北中部州の導入されている RO 膜浄水機に対する比較優位性を表 3 に示す。

表 3 比較優位性

項目	比較優位性
構造	全ての装置・配管を一体化して納品することで、コンパクトで設置・メンテナンスが容易なシステムを実現
節水	イオン交換樹脂フィルターを設置し、前処理で不純物を除去することで、RO 膜の濃縮水の排水を少なくした節水タイプ
部品交換寿命	イオン交換樹脂フィルタと RO 膜洗浄装置の組込による RO 膜交換寿命の延長(最低 3 年) イオン交換樹脂フィルター洗浄装置・再生試薬添加によるフィルター寿命の延長
安全性	塩素添加による給水タンク内での雑菌繁殖防止
農薬・除草剤の除去	イオン交換樹脂再生装置の薬剤タンクに、農薬・除草剤を除去するのに適切な薬剤も添加してイオン化して、イオン交換樹脂フィルターで除去する。
メンテナンスコスト	部品交換寿命の延長によるコスト低減(特に RO 膜交換コスト)
運転・保守・管理	現地提携企業による専門家の育成と保守・管理教育の徹底

### 3) 製品・技術の検証活動

検証活動として、文献調査、現地調査、実機による検証活動を行った。現地調査は、2017 年 9 月、2018 年 1 月 の 2 回行った。実機による検証活動は、MCPWS の提案で、2017 年 9 月に検証活動用の RO 膜浄水機 2 台、手動式 RO 膜浄水器 10 台をシリセーナ大統領に寄贈し、以下の検証活動を行なった。

#### ▪ 文献調査・ヒアリング調査

Rajarata University の Channa Jayasumana 教授によれば、CKDu の患者の 80%が男性、20%が女性であり、年齢は 40 歳～50 歳と若年層が多い。北中部州の 10-12 歳の 10%が、CKDu の兆候があるとのことである。妊婦、新生児、小・中学生への安全な水の供給も課題である。

#### ▪ 現地調査

アヌラーダプラ県の農村地域で、飲料水の実態調査を行った。家庭の井戸水の TDS (Total Dissolved Solids : 総溶解固体) 値は、飲料水として不適な 150 ppm 以上であった。また、Mahavilachchiya DSD Nelumvila GND の小中学校では、飲用水である井戸水の TDS が 435ppm であった。

#### ▪ RO 膜浄水機による水質検査

北中部州の地域毎に飲料水源の水質は異なり、RO 膜浄水機で効率的、効果的に処理する方法、例えば前処理の方法が異なる。そこで、北中部州 29 の DSD から、36 箇所を選定して飲料源水を採取した。採取した飲料水源は、アヌラーダプラ市の NWS&DB の CKDu プロジェクトオフィスに設置した RO 膜浄水機で浄水処理し、NWS&DB 北中部州事務所水質検査所で原水、浄水、排水の水質分析を行った。今回、アヌラーダプラ県の普及実証事業実施候補地 10 箇所でサンプリングし、大腸菌群、大腸菌の分析したところ 8 箇所から大腸菌が検出された。

その結果を元に、現地の原水の水質等の諸条件に合致した浄水機の仕様の作成、設計を行った。

#### ▪ RO 膜浄水機設置による操作性等調査

ポロンナルワ市の Polonnaruwa Royal School に、RO 膜浄水機を設置し、操作性等の試験を行った。学校への設置のニーズが高い。ここで問題となったのは、RO 膜水による浄化の際に排水する濃縮水である。もったいないとの意見があり、花壇、清掃等に使うように進言した。

#### ▪ 手動式 RO 膜浄水器の操作性等検査

ポロンナルワ県 Thamankaduwa DSD の Pothgul Pedesa GND 事務所に手動式 RO 膜浄水器を設置して、操作性を試験した。原水は飲料水で TDS は、113PPM で、RO 水は 17PPM であった。同事務所は、地区の新生児を抱えるお母さん 40 人が月 2 回、妊婦 30 人が月 1 回検診を行うとともに、地区の集会が行われている。

### 4) 開発課題解決貢献可能性

本調査で、北中部州で飲料源水を採取し分析した結果、RO 膜浄水機を改良することで安全な水にすることが出来ることが明らかになった。また、汚染が軽微な飲料水源は、廉価なナノマイクロフィルターで安全な水を作る事ができることが明らかになった。

妊婦、新生児、小・中学生への安全な水の供給が課題であり、学校や病院等への RO 膜浄水機と手動式 RO 膜浄水器のニーズは高いことも明らかになった。他方、既存の RO 膜浄水機は、RO 膜の交換等のメンテナンス、故障への対応が、十分にできないという課題がある。手動式小型 RO 膜浄水器を普及しようとすれば、数が多くなる事もあり、現時点では、メンテナンス、故障への対応出来ない。

そこで、農村地域の住民への安全な飲用水の供給を図るため、Emax の①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機を普及する。また、現地法人と提携して、メンテナンス体制を整える。手動式小型 RO 膜浄水器は、メンテナンス体制が整った段階で、ビジネスで普及を目指す。

Emax の節水型 RO 膜浄水機・ナノマイクロフィルター浄水機の普及により、飲料水で

ある井戸水の農薬、除草剤、化学肥料や、フッ素、大腸菌等を除去して安全な水にして、地域住民の水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症の予防に貢献することができる。

### 3. ODA 案件化

スリランカ国において、普及・実証事業により Emax 社製の①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機を CBO の浄水センターに設置する。そして、飲料水である井戸水の農薬、除草剤、化学肥料や、フッ素、大腸菌等を除去して安全な水にして、地域住民に安全・安水を給水し、地域住民の水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症の予防に貢献するモデルを確立する。

これにより、農村地域の人々の飲料水に起因する水系感染症をはじめとする疾病のリスクと健康被害が軽減する。

北中部州の農村地域では、地域住民の井戸水の飲用による水系感染症、歯牙フッ素症、CKDu 等の健康被害が課題となっている。この課題の解決のため、Emax の浄水機器を導入・普及するには、安全で清浄な飲料水にする技術的優位性、それに伴う国民への健康被害が緩和されるという優位性、ウォーターサーバーやペットボトルに対する経済的優位性が認知されることが必要である。そこで、大統領府 CKDu タスクフォースをカウンターパートとして CBO が運営するコミュニティーの浄水センターに Emax の①節水型 RO 膜浄水機、または②ナノマイクロフィルター浄水機を設置して安全な水の供給を行う普及・実証事業を行い、NWS&DB の中部州事務所に水質改善効果を評価してもらうことで、これらの優位性を実証する。

普及・実証事業の目標・成果・活動を、表 4 に示す。

表 4 普及・実証事業の目標・成果・活動

目標	
北中部州に、節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機が導入されて安全な水の供給が行われ、地域住民の健康被害が軽減される。	
成果 1 北中部州に節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機が導入されて、地域住民に安全な水が供給される。	活動 1-1 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機を設計、製造し、設置する。 活動 1-2 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機を稼働させて、地域住民に安全な水を供給する。 活動 1-3 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の水と原水をサンプリングして分析し、得られたデータ評価を行い、北中部州の飲料水改善効果を評価する。
成果 2 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機による給水モデルが策定される。	活動 2-1 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機が適切に運転して水を浄化しているか確認し、必要に応じ改善する。 活動 2-2 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の運転・メンテナンスを行い、運転管理マニュアルを整備する。 活動 2-3 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の技術移転を行い、自国の技術で節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の製造、運転管理、メンテナンスが行えるようにする。
成果 3 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機がスリランカ国に普及し、地域住民の安全な水へのアクセスが改善し、健康リスクが軽減する。	活動 3-1 見学会を開催し、日本の節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の技術的優位性、経済的優位性を紹介する。 活動 3-2 現地法人との業務提携により、現地企業が節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の製造、販売、施工、メンテナンスを行うビジネスモデルが確立する。 活動 3-3 現地企業が節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の製造を行い、低価格の製品が販売される。

大統領府 CKDu タスクフォースは、300～500 世帯に 1 箇所、RO 膜浄水センターに造水能力 0.5m<sup>3</sup>/h の RO 膜浄水機を設置していることから、アヌラーダプラ県とポロンナルワ県の 20 箇所に RO 膜浄水センター（図 4 参照）を新たに設けて、Emax の造水能力 0.5m<sup>3</sup>/h の①節水型 RO 膜浄水機を 10 台と、②ナノマイクロフィルター浄水機を 10 台を設置する。節水型 RO 膜浄水機は、水質検査結果の、TDS が基準値 500mg/l を超える井戸か、F (フッ素) が基準値の 1.00mg/l を超える井戸に設置する。基準値をクリアする井戸には、②ナノマイクロフィルター浄水機を設置する。

事業実施サイトは、北中部州のアヌラーダプラ県とポロンナルワ県の飲料水源のサンプリングを行った場所である。

北中部州の農村地域の飲料水源である井戸水の様々な汚染物質に柔軟に対応して、安全・安心な水にする①浄水施設用節水型 RO 膜浄水機と②浄水施設用ナノマイクロフィルター浄水機を設計・製造し、アヌラーダプラ県とポロンナルワ県に 20 セット設置する。そして、1 万世帯に 1 世帯あたり 20ℓ/日給水し、地域住民の水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症の予防に貢献するモデルを確立する。

また、現地法人と提携して、メンテナンス体制を整え、スリランカ国内で製造して、持続的に浄水機が使用できるようにし、全国の農村地域への導入・普及を目指す。

浄水センターの土地の所有者は CBO であり、CBO が設備の管理と地域住民への給水を行う。受益者は、同地域で、安全な水にアクセスできない地域住民である。

大統領府 CKDu 政府が設備を所有し維持管理が適切に行われることに責任を負う。そして、ランニングコスト・メンテナンスコストの負担をおこなう。

NWS&DB の CKDu プロジェクトオフィスは、現在、RO 膜浄水機の設置と維持管理を行っており、技術とノウハウを有している。従って、設備の維持管理は CBO が行い、NWS&DB の CKDu プロジェクトオフィスが CBO に対して監督・指導を行う。

10,000 世帯の地域住民に安全な水を供給して、技術的・経済的な適合性を普及・実証事業で検証する。そして、地域住民の水系感染症、CKDu、歯牙フッ素症の予防に貢献する。

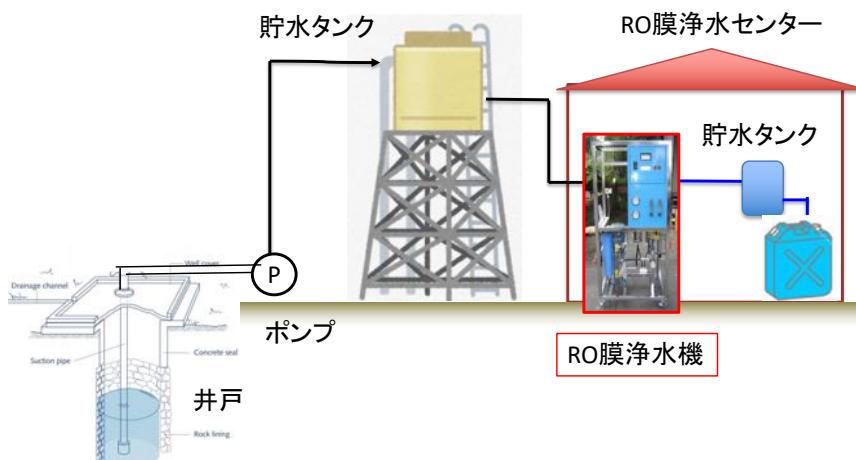


図 4 コミュニティーの浄水施設用 RO 膜浄水機

普及・実証事業においてスリランカ北中部州の農村地域に Emax の①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機を CBO が運営する浄水センターに設置して運用し、同機器の有用性を実証することで、以下の開発効果が期待できる。

開発効果 1：普及・実証事業で、コミュニティー浄水センターに Emax の①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機が合計 20 セット設置され、安全な水を供給されることが実証される。

開発効果 2：コミュニティ浄水センターは、500 世帯に対して 1 世帯に飲用に 20ℓ を給水する。飲料水の給水量は 500 世帯 × 20ℓ で 10m<sup>3</sup>/日である。従って、普及・実証事業で、1 万世帯に 200 m<sup>3</sup>/日の安全な水が供給される。

開発効果 3：Emax が、提携する現地法人を選定して①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の運転・メンテナンスの技術移転を行い、人材が育成される。

#### 4. ビジネス展開

##### 1) 概要

Emax は、スリランカ資本と提携して、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機を製造（組み立て）、販売、メンテナンスを行う会社の設立を行う計画である。製造工場は、アセンブル工場（組み立て工場）で、コストダウンを行うため、高価格の日本部品は極力少なくし、同等の性能を有する台湾、韓国製等の部品を調達する。

スリランカ政府及び、ポロンナル県政府は、ポロンナル市で RO 膜浄水機を製造することを期待している。ポロンナル県政府は、RO 膜浄水機の組み立て工場の土地・建屋の提供を申し出ている。そこで、組み立て工場は、ポロンナル市に予定している。

当面のターゲットは、北中部州の CKDu プログラムによるコミュニティーの給水センターへの RO 膜浄水機の製造・販売である。CKDu プログラムの予算元である大統領府 CKDu タスクフォースが主な顧客となる。

##### 2) 期待される開発効果

開発効果 1：Emax は、現地法人と提携し、①節水型 RO 膜浄水機と、②ナノマイクロフィルター浄水機の現地生産を行ってコストダウンを行い、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の製造が始まり、5 年間で 540 台の製造・販売が行われる。貧困が課題でもある農村地域に新たな雇用が生まれて、地域の振興に貢献する。

開発効果 2：5 年間で北中部州の農村地域のコミュニティー 540 箇所の CBO の浄水センターに、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機が設置される。そして、27 万世帯に、5400 m<sup>3</sup>/日の安全な水が供給される。そして、飲料水に起因する地域住民の CKDu、水系感染症、歯牙フッ素症等の予防に貢献する。

開発効果 3：Emax は、現地法人と提携して、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の設置、管理、メンテナンスを行う。Emax により技術移転が行われて人材が育ち、ビジネスモデルが確立する。地域住民が持続的に安全な水にアクセスできるようになり、地域住民の飲料水に起因する CKDu、水系感染症、歯牙フッ素症等の健康リスクの低減に貢献する。

##### 3) 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

広島県は県内の優れた創業者を表彰する第 1 回「広島県創業者表彰」の表彰式を広島市内で開き、アジアの貧困地域向けに浄水器を販売する Emax の兼田祐輔が表彰された。

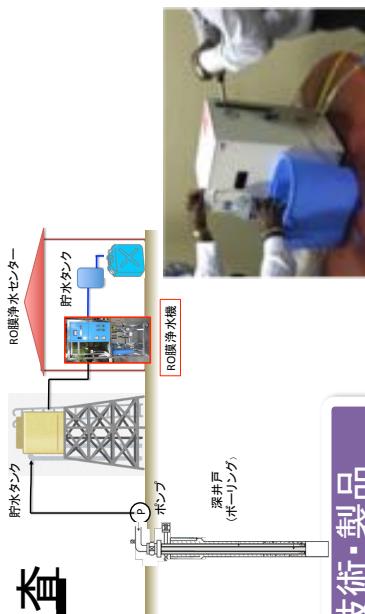
Emax は、東南アジアを中心に飲料水に問題を抱える地域では、飲料水に起因すると考えられる慢性腎臓病等が大きな社会問題となっており、そうした地域の生活環境改善のための事業を実施している。メンテナンスを低価格で実現するための技術も開発した（関連会社が特許申請済）。現地に足を運び、現地調査を実施することでニーズをつかみ、それぞれの地域の汚染水事情に即して、非常用・家庭用等の小型浄水器から施設に合わせた浄水システムまで、開発を含めて対応し、提案することが当社の事業方針である。こうした取り組みが、広島県創業者表彰に繋がったと考える。

海外特有のニーズに合わせて新規製品や新規業態への参入することで、そのノウハウを国内市場開拓に活用し、国内生産を拡大し、雇用の拡大に貢献したいと考えている。

# スリランカ国 飲料水淨化装置案件化調査

## 企業・サイト概要

- 提案企業：株式会社Emax
- 提案企業所在地：広島県安芸郡海田町
- サイト・C/P機関：北中部州・大統領府CKDuタスクフォース



## スリランカ国の開発課題

- ▶ 北中部州の農村地域では、主な飲料水源が井戸水である。稲作地帯で、化学肥料や農薬・除草剤を多用して地下水が汚染されている。
- ▶ 井戸水を飲用することで、CKDu、水系感染症、歯牙フッ素症等の健康被害が深刻化している。

## 中小企業の技術・製品

- ▶ RO膜で、井戸水、雨水、川や池の水などから、一般細菌、農薬、除草剤やフッ素等を除去して、安全で清潔な飲料水にする技術。
- ▶ 北中部州の農村地域にコミュニティの浄水施設用 RO膜浄水機と学校・助産院・病院用の手動式小 RO膜浄水器を導入する。

## 調査を通じて提案されているODA事業及び期待される効果

- 北中部州の農村地域のコミュニティにおいて、20箇所のRO膜浄水センターが設置され、10,000世帯の地域住民に安全な水が供給される。地域住民の慢性循環病、水系感染症、歯牙フッ素症予防への貢献が期待される。
- 北中部州の200箇所の学校・助産院・病院において、子供、幼児、妊産婦、患者に安全な水が供給される。慢性循環病、水系感染症、歯牙フッ素症予防への貢献が期待される。

## 日本の中⼩企業のビジネス展開

- ▶ RO膜浄水機器の製造は日本で行い、販売・施工・メンテナンスは現地の提携企業が行う。
- ▶ 都市計画・上水道の傘下の国家上下水道公社に販売を行う。

# はじめに

## 調査名

飲料水浄化装置案件化調査

Feasibility Survey for water-purifier unit supplying drinking water

## 調査の背景

スリランカ政府は、全国民の安全な水へのアクセスの確保を目標としており、国家上下水道公社 (National Water Supply and Drainage Board、以下 NWS&DB) の「経営計画 2016-2020」では、目標 1 で「水道の普及率の向上で、2020 年までに水道管による給水を全人口の 60%に引き上げる」ことを掲げている。目標を達成したとしても 40%は水道管による給水を受けられない。家屋が分散している農村地域に、水道管を敷設するには、多大な費用を要する。従って、農村地域は、水道管による給水を受けられない地域であるといえる。同計画の目標 4 は「地方及び未普及地区における安全な飲料水と衛生サービスの供給を促進する。」である。

北中部州の住民の飲料水は、①NWS&DB による給水、②小規模給水組合 (Community Based Organization 以下 CBO) の「コミュニティー給水システム」、及び③自家の井戸（一部雨水）である。北中部州の NWS&DB の水道普及率は 32%である。従って、農村地域において、地域住民が安全な飲料水にアクセスするには、CBO の「コミュニティー給水システム」の飲料水を安全で安心な水にし、普及させていくことが必要である。

北中部州の CBO の給水システムの主な水源と家庭の飲料水は、井戸水であり、以下のようないくつかの問題を抱えている。

- 北中部州は、稲作地帯であり、化学肥料が過剰に投与され、農薬や除草剤も過剰に散布され、井戸水を汚染している。
- 農村地域の家庭の井戸の側には、穴を掘っただけのトイレがあり、井戸水が大腸菌などの細菌やクリプトスピロジウム原虫に汚染され、下痢などの水系感染症の原因ともなっている。
- 化学肥料やトイレの糞尿に由来する窒素は、土中で微生物などにより酸化され、そして硝酸性窒素へと変化することから、井戸水が硝酸態窒素または亜硝酸態窒素に汚染されることが多い。
- 家庭の井戸は、コケが生えてバクテリアが繁殖したり、小動物・昆虫が入ったりして不衛生で、病原体が増殖しやすい。

そこで、株式会社 Emax (以下 Emax) は、節水型 RO 膜浄水機機とナノマイクロフィルター浄水機を北中部州に普及し、現地法人と提携してメンテナンス体制を整えることで、CBO の「コミュニティー給水システム」の飲料水を安全で安心な水にする。そして、農村地域の住民の安全な水へのアクセスの向上に貢献する。

## 調査の目的

本案件化調査では、北中部州の農村地域の家庭用飲料水の現状を調査するとともに、普及・実証事業で浄水機を設置する候補地の原水をサンプリングし Emax の RO 膜機機で浄水して水質改善効果を確認し、提案製品の適合可能性を調査する。これらの調査により、スリランカ国における節水型 RO 膜浄水機機とナノマイクロフィルター浄水機による井戸水の浄水処理及び持続性の高い事業モデルの構築を目指す。そして、調査を通じて確認される提案製品・技術の途上国の開発への活用可能性を基に、具体的な ODA 案件を提案すると共に、ビジネス展開計画を策定する。

## 調査対象国・地域

スリランカ国北中部州（アヌラーダプラ県、ポロンナルワ県）

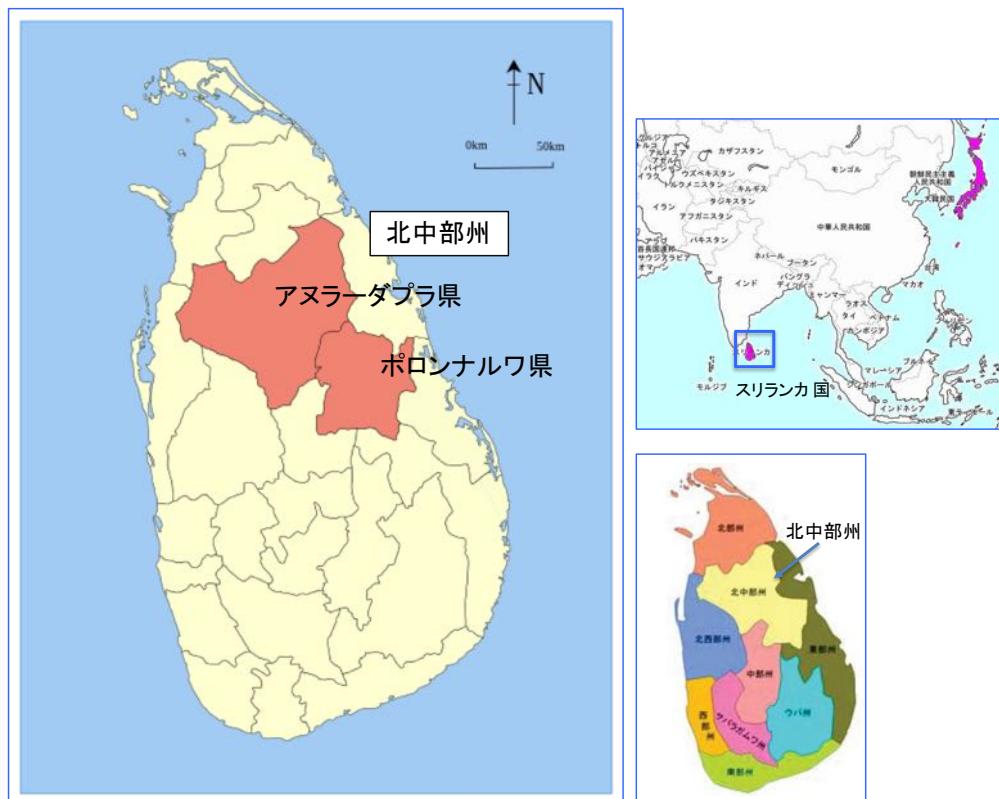


図 1 プロジェクトサイト

## 調査期間、調査工程

### (1) 調査期間

調査開始 2017年9月

調査終了 2018年6月

### (2) 作業工程概要

現地調査は、2017年9月、11月、12月、2018年1月、2月、3月の6回行った。作業工程を表に示す。

第1回調査	実績	2017年9月10日～16日(5泊7日)
第2回調査	実績	2017年11月6日～15日(8泊10日)
第3回調査	実績	2017年12月3日～10日(6泊8日)
第4回調査	実績	2018年1月21日～28日(6泊8日)
第5回調査	実績	2018年2月25日～3月3日(5泊7日)
第6回調査	実績	2018年3月26日～31日(4泊6日)

## 作業工程

主要な作業	9月 10月	11月 12月	1月 2月	3月 4月	5月 6月
1. 現地調査		10日 8日	8日 7日	6日	
内、現地試験		10日 8日	8日 7日		
(1) 開発課題分析に関わる調査			■		
(2) 政策、水質基準等法規制調査			■		
(3) 製品・技術現地適合性確認・分析関わる調査			■		
(4) 市場調査・分析			■		
(5) 競合調査・分析			■		
(6) ODA案件ニーズ調査・分析			■		
(7) GCF活用調査					
(8) ビジネス展開調査					
2. 国内調査					
(1) 開発課題の分析、政策に関わる調査					
(2) 製品・技術現地適合性の分析					
(3) 設備設計調査					
(4) ODA案件計画策定調査					
(5) ビジネス展開調査					
3. 報告書作成			■		

### (3) 調査団員構成

#### ・提案企業

従事者名	担当	所属先
兼田 祐輔	業務主任	(株) Emax
堤 順司	逆浸透膜浄水機担当	(株) Emax
小野 靖	逆浸透膜浄水器担当	(株) Emax
衣笠 大吉	逆浸透膜浄水器担当	(株) Emax

#### ・外部人材

従事者名	担当	所属先
佐々木 一雄	チーフアドバイザー	(株) PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
出口 剛太	開発課題/ 事業性評価	(株) PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
園田 隆克	法規制調査/ 技術の適合性評価	(株) PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ

## 第1章 対象国・地域の現状

### 1-1 対象国・地域の開発課題

#### 1-1-1 開発課題

スリランカ国の北中部州の農村地域の住民が抱える開発課題は、以下の通りである。

開発課題 1：北中部州の地域住民の飲料水源である井戸水は、家庭のトイレ、水田に施される化学肥料、農薬、除草剤等で汚染されている。また、土壤等に起因し、Ca、Mg が多くて硬度が高い。加えて、フッ素が多いケースも多い。中部州の井戸水の水質や汚染状況は地域により異なる。地域毎の水質に応じて適切に処理するコストパフォーマンスの良い浄水機の開発と普及が望まれている。

開発課題 2：地域毎の水質に応じて適切に処理するコストパフォーマンスの良い浄水機の普及が遅れているため、地域住民は、安全な水にアクセスすることが出来ない。そして、水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症等の健康リスクを有している。

開発課題 3：既存のコミュニティ净水センターの RO 膜净水機は、適切に管理されていない、メンテナンスが行われていない等の問題を抱えている。人材を育成し、净水機の管理・メンテナンスを行うシステムを構築することが必要である。

開発課題の背景・原因について以下に述べる。

#### 1-1-2 社会条件

スリランカ国の国土を成すセイロン島は、インド亜大陸南東のインド洋上に位置し、西部はアラビア海、東部はベンガル湾に臨む島国である。国土面積は、 $65,610\text{km}^2$  で日本の 0.17 倍である。人口は、20,966 千人（2015 年）である。

スリランカの行政区は、中部州、北中部州、北部州、東部州、北西部州、南部州、ウバ州、サバラガムワ州、西部州の 9 つの州（Province）、各州の中に合計 24 の県（District）で構成される。県は、さらに DSD（Divisional Secretary's Division）、GND（Gram Niladhari Division）、村（Village）と階層的に分類されている。国家統計データの入手できる範囲では GND が最小の単位となる。また、複数の GND で市（Municipal Council）、郡（Urban Council）、地区（Pradeshi Sabhawa）を構成する。

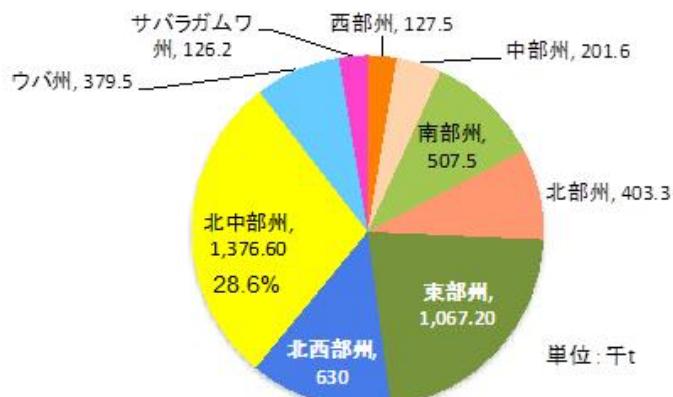
本調査の対象地域は、北中部州で、アヌラーダプラ県、ポロンナルワ県で構成される。（図 1 参照）北中部州は、北部の中央に位置する内陸の州で、中央高地の北の平野地帯に位置している。州内には、古代シンハラ王朝の王都であった古都アヌラーダプラとポロンナルワがある。

北中部州は、表 1 に示す様に全人口の 6.3%、全国土面積の 16% を占める。北中部州は、2015 年の米生産量の 28.6%（図 2 参照）占める稲作地帯である。2015/2016 マハ期の水田作付面積は、北中部州の面積の 15.4% を占めている。全国の湖沼・河川面積の 25.2% を占めているのも特徴である。

表 1 北中部州の人口と面積

	人口	面積					
		合計	合計	湖沼・河川	森林	土地	2015/2016 マハ期の水田作付け面積
		千人	km <sup>2</sup>				
全国	20,966	65,610	2,905	16,598	62,705	7,427.24	11.3%
北中部州	1,312	10,472	731	3,326	9,741	1,609.88	15.4%
	6.3%	16.0%	25.2%	20.0%	15.5%	21.7%	
アヌラーダプラ県	893	7,179	515	1,979	6,664	958.65	13.4%
ポロンナルワ県	419	3,293	216	1,347	3,077	651.23	19.8%

出展 : ECONOMIC AND SOCIAL STATISTICS OF SRI LANKA 2016, Central Bank of Sri Lanka 他

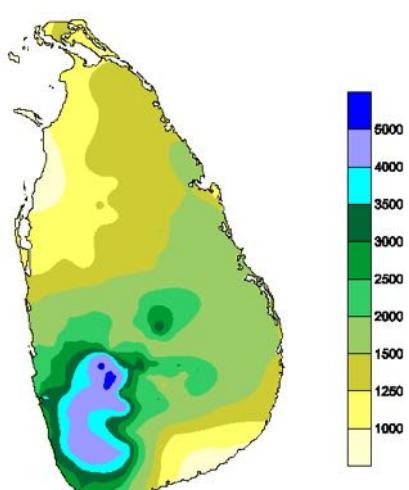


出展: ECONOMIC AND SOCIAL STATISTICS OF SRI LANKA 2016

図 2 2015 年の米生産量

### 1-1-3 自然条件

スリランカ国は全島が熱帯性気候で、モンスーン（季節風）が吹いて雨をもたらして気象に影響を与える。年間降水量は図3に示すように中央の山岳とその周辺が多く、北部にかけての平地が少ない。平均年間降雨量は、最も乾燥した地域（南東および北西）が900mm以下、最も湿潤な地域（中央の高地の西斜面）が5,000mmを超える。



出展: Department of Meteorology

図 3 年間平均降水量

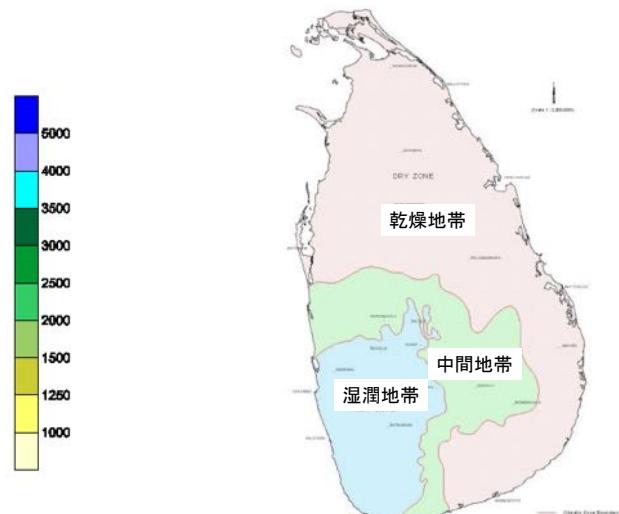
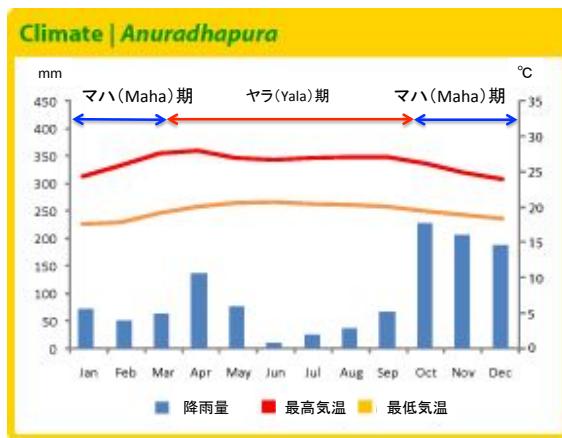


図 4 スリランカの気候区分

スリランカ国では、図 4 に示すように降雨量で乾燥地帯、湿潤地帯、中間地帯の 3 地帯に区分される。北中部州は、乾燥地帯に属する。

スリランカ国はモンスーンの影響を強く受け、モンスーンシーズンは、南西のモンスーンシーズン（5 月～9 月）と東北のモンスーンシーズン（12 月～翌 2 月）、それぞれのモンスーンシーズンに移行するインターモンスーンシーズン（3 月～4 月、10 月～11 月）に分けられる。そして、南西のモンスーンシーズンを「ヤラ期」（Yala season）、東北のモンスーンシーズンを「マハ期」（Maha season）と呼び、この時期に農作物を生産する。

スリランカの気候は、コロンボ、キャンディなどを含む南・西部と北中部州などを含む北・東部で大きく二つに分かれる。北・東部は、マハ期である 10～3 月が雨季で、ヤラ期である 4～9 月が乾季となる。北中部州のアヌラーダプラの月別降雨量を図 5 に示す。



出展 : Department of Meteorology  
図 5 アヌラーダプラの月別降雨量

#### 1-1-4 飲料水事情

スリランカ国では、都市計画・上水省（Ministry of City Planning and Water Supply、以下 MCPWS）の傘下の NWS&DB が飲料水の供給事業を行っている。“National Water Supply and Drainage Board Law, No.2 of 1974”により、NWS&DB が給水衛生分野の全責任と権限を持たされている。その Part 2 “Areas of Authorities, and Powers, Functions and Duties”の中では、NWS&DB の義務や権限として、「効率的で整合の取れた給水施設の開発、供用、運転、管理と公共施設や家庭、産業施設への配水を行うこと」等の NWS&DB の義務、給水施設建設に伴う権限、水利用者への罰則等が規定されている。

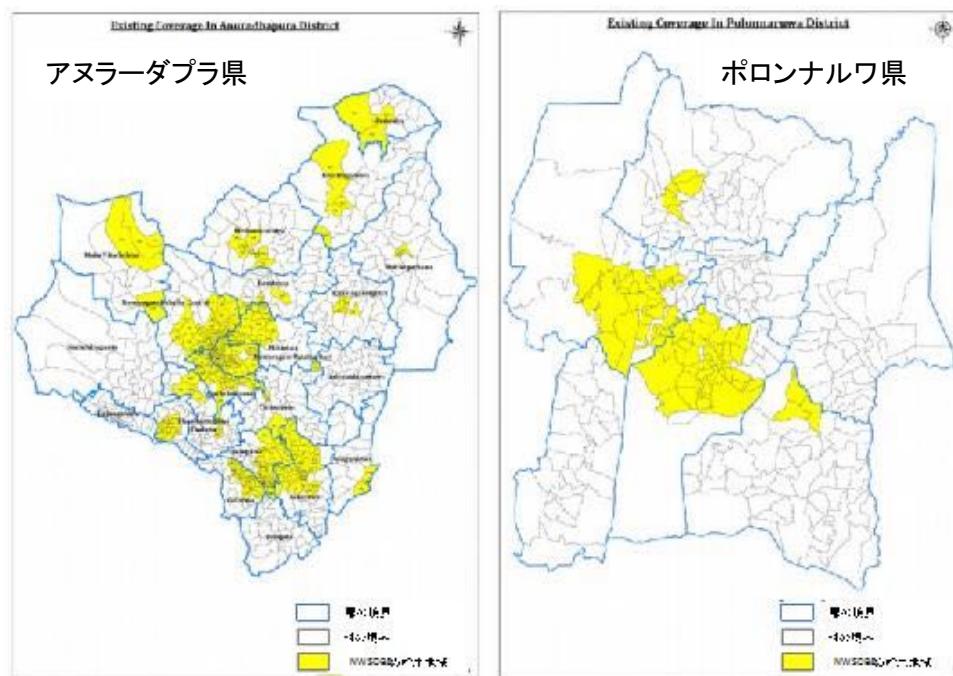
北中部州の住民の飲料水・生活用水は、①NWS&DB による給水、②小規模給水組合（Community Based Organization 以下 CBO）の「コミュニティー給水システム」、及び③自家の井戸（一部雨水）である。

NWS&DB は、タンク、河川等の水を浄水場で濾過して各家庭へパイpline で給水しているケースと、井戸水を給水塔にポンプアップし各家庭に給水しているケースがある。塩素を添加しないまま送水するケースもある。水道普及率は 32% で、図 6 に示すように人口が集中している町に給水している。表 2 に示す様に、各 DSD の NWS&DB により給水が行われている GND の割合は、北中部州の平均で 26.3% である。Nuwaragam Palatha East の様に GND の 96.6% に給水が行われている DSD もあれば、Galenbindunuweva、Palagala、Elahera の様に全く給水が行われていない DSD もある。

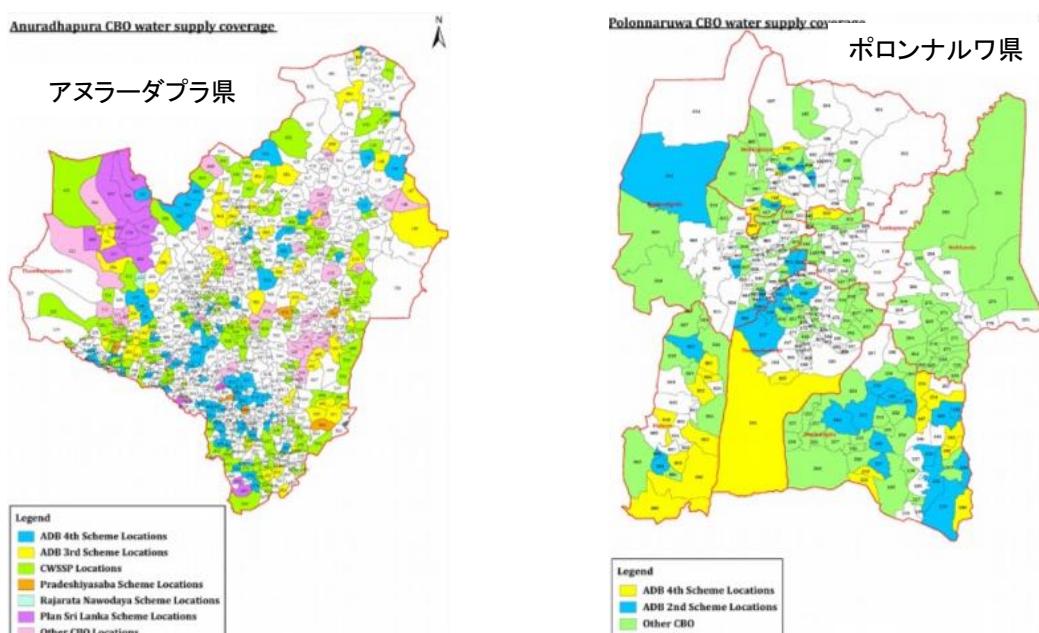
NWS&DB により給水が行われていない地域では、GND または村の単位で、地域社会給水局（Department of Community Water Supply, 以下 DCWS）が CBO と協力して、給水を行っている。CBO により給水が行われている GND 地域を図 7 に示す。CBO の給水システムは、主に、青色の ADB の第三次プロジェクト、黄色の第四次プロジェクト、黄緑の世

界銀行援助の Community Water Supply and Sanitation Project (以下 CWSSP) の下で建設された。

CBO 給水は、ポンプアップした水をパイプで給水している。水源は、主に井戸で、浅い帶水層の地下水である。CBO による給水規模の例として、アヌラーダプラ県の ADB が行った第二次プロジェクトの給水世帯数を表 3 に示す。平均給水世帯数は 198 世帯で、コミュニティ (GND か村) の 60.2% に給水している。コミュニティの平均世帯数は 328 世帯で、GND の平均人口は表 2 に示す様に 1,281 人であることから、多くの CBO が給水するコミュニティは、GND が単位となっていると考えられる。



出展 : [http://www.waterboard.lk/web/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=208&lang=en](http://www.waterboard.lk/web/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=208&lang=en)  
図 6 北中部州の NWS&DB の給水地域(黄色箇所)



出展 : [http://www.waterboard.lk/web/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=208&lang=en](http://www.waterboard.lk/web/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=208&lang=en)  
図 7 北中部州の CBO による給水地域

表 2 NWS&DB により給水が行われている GND の割合

県	DSD	GND数	2012/3/20 人口	GNDの 平均人口	NWS&DB による給水が行わ れているGND数	給水が行われてい るGNDの割合
	北中部州	989	1,266,663	1,281	260	26.3%
Anuradhapura		694	860,575	1,240	187	26.9%
	Galenbindunuwewa	41	46,992	1,146	0	0.0%
	Galnewa	30	34,756	1,159	13	43.3%
	Horowpothana	38	36,990	973	1	2.6%
	Ipalogama	32	38,862	1,214	18	56.3%
	Kahatagasdigiliya	40	40,339	1,008	3	7.5%
	Kebithigollewa	26	22,325	859	4	15.4%
	Kekirawa	53	59,241	1,118	27	50.9%
	Mahavilachchiya	17	22,467	1,322	3	17.6%
	Medawachchiya	37	46,906	1,268	8	21.6%
	Mihinthale	25	35,293	1,412	14	56.0%
	Nachchadoowa	19	25,377	1,336	16	84.2%
	Nochchiyagama	36	49,886	1,386	0	0.0%
	Nuwaragam Palatha Central	40	61,223	1,531	25	62.5%
	Nuwaragam Palatha East	29	69,737	2,405	28	96.6%
	Padaviya	15	22,998	1,533	3	20.0%
	Palagala	35	34,002	971	0	0.0%
	Palugasewwa	16	15,582	974	3	18.8%
	Rajanganaya	21	33,543	1,597	0	0.0%
	Rambewa	38	36,782	968	4	10.5%
	Thalawa	39	57,793	1,482	6	15.4%
	Thambuttegama	26	42,437	1,632	9	34.6%
	Thirappane	41	27,044	660	2	4.9%
Polonnaruwa		295	406,088	1,377	73	24.7%
	Dimbulagala	56	79,661	1,423	3	5.4%
	Elahera	28	43,915	1,568	0	0.0%
	Hingurakgoda	53	64,289	1,213	22	41.5%
	Lankapura	28	36,452	1,302	0	0.0%
	Medirigiriya	45	65,575	1,457	6	13.3%
	Thamankaduwa	55	82,426	1,499	42	76.4%
	Welikanda	30	33770	1,126	0	0.0%

表 3 ADB が行った第二次プロジェクトの給水世帯数

DSD	CB0 給水センター数	総世帯数	平均 世帯数	総給水世帯数	平均 給水世帯数	給水率
Galenbindunuwewa	1	260	260	203	203	78.1%
Galnewa	15	3,833	256	2,716	181	70.9%
Horowpothana	3	1,036	345	336	112	32.4%
Kebithigollewa	1	410	410	110	110	26.8%
Kekirawa	1	366	366	212	212	57.9%
Nuwaragam Palatha Central	1	256	256	121	121	47.3%
Nuwaragam Palatha East	5	1,853	371	1,458	292	78.7%
Rajanganaya	8	2,520	315	1,666	208	66.1%
Thalawa	17	6,057	356	3,183	187	52.6%
Thambuttegama	4	1,792	448	1,062	266	59.3%
Total	56	18,383	328	11,067	198	60.2%

出展 : The Secondary Towns and Rural Community Based Water Supply and Sanitation Project

北中部州は乾燥地域であり、特に図5に示す様に乾季の6月～8月は降雨量が減少するため、雨水を飲料水とすることは出来ない。従って、NWS&DBによる給水、CBOによる給水が行われていない地域の家庭では、井戸水が主な飲料水源である（写真1参照）。



井戸と屋根の貯水タンク



洗い場シャワー

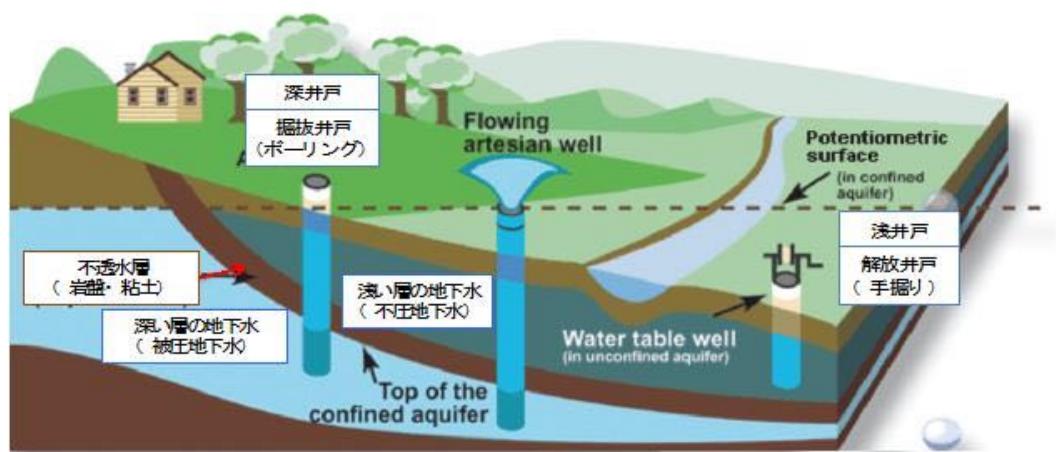
写真1 家庭での井戸水の利用

### 1-1-5 飲料水源

#### (1) 井戸水

地下水源の概念図を図8に示す。地下には、砂礫などから成る水を通しやすい帶水層、粘土・岩盤などから成る水を通しにくい不透水層がある。地下水のうち、比較的浅い場所にある帶水層に含まれる地下水を「不圧地下水」と呼び、河川・タンク（溜め池）・雨が水源で、圧力は大気圧に等しい。不透水層の下の深い場所の帶水層には、「被圧地下水」がある。上部に加圧層（不透水層など）があることで被圧されており、大気圧より高い圧力をもっている。主な水源は、周囲の山地や丘陵に降った雨である。

北中部州の①NWS&DBによる給水の井戸、②CBOの「コミュニティー給水システム」の井戸、及び③自家の井戸は、比較的浅い場所にある帶水層に含まれる地下水「不圧地下水」である。水源は、雨水、灌漑用タンク（貯水池）、河川である。



出展：The USGS Water Science School <https://water.usgs.gov/edu/earthgwells.html>

図8 地下水の概念図

井戸は、掘抜井戸（以下管井戸）と解放井戸（以下浅井戸）がある。管井戸は、地下水を地表に汲上げるためにボーリングで掘られた井戸である。（図9、写真2参照）浅井戸は、手掘りで行われることが多い。（図10、写真3参照）

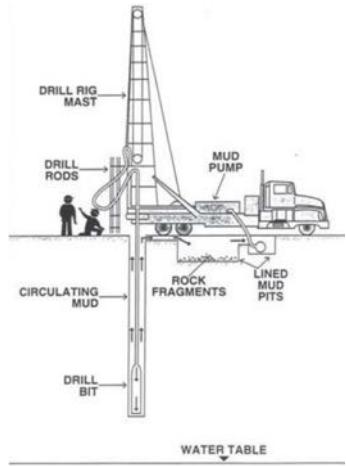


図9 管井戸



管井戸  
(ボーリング)



ポンプ小屋

写真2 管井戸

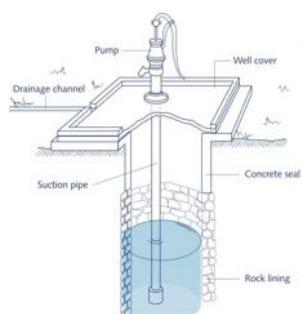


図10 浅井戸



写真3 浅井戸



## (2) 雨水

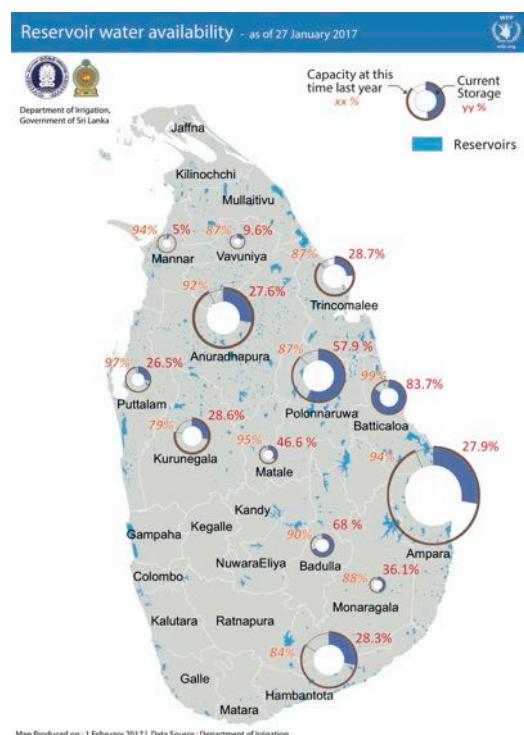
雨水は、図5に示すように、マハ期（雨季）である10～3月のみで、ヤラ期（乾季）である4～9月にはほとんど降らない。

スリランカ国では、近年、干ばつが発生しており、2016年から今年にかけて40年に一度の最悪の干ばつに見舞われている（写真4参照）。そのため、飲料水を含めた家庭用の水の確保に大きな影響を与えている。2017年1月27日現在の貯水池（以下タンク）の貯水量は、昨年と比較して図13から分かるように大幅に低下している。アヌラーダプラ県では、昨年の水の利用可能量が貯水能力の92%であったのが、今年は27.6%である。ポロンナルワ県では、昨年の水の利用可能量が貯水能力の87%であったのが、今年は57.9%である。

干ばつにより家庭の飲料水とトイレ、入浴、洗濯、調理の用の生活用水も不足している。こうした水不足は、特に乳幼児の健康にも影響を与えている。



写真 4 2016 年 12 月雨季(マハ期)に水が流れていないアヌラーダプラ県の灌漑用水路



出展 : World Food Programme, Sri Lanka - Initial Rapid Assessment on Drought 2016, January 2017

図 11 2017 年 1 月 27 日現在の貯水池の貯水量と昨年と比較

### (3) タンク

北部の乾燥地域では、マハ期（雨期）の耕作は天水農業に依存し、ヤラ期（乾期）の耕作は、タンク灌漑で行われる。

5世紀から13世紀にかけて、古代シンハラ（Sinhalese）王朝は乾燥地域の北部高原に王都をおいた。なだらかな起伏活用してタンクを作り、上流のタンクから流れ出る水は、下流のタンクに溜まり、水田へと流れ出て、相互に結びついた水流が、巨大な貯水池や運河へとつながっていく。乾期の米栽培を可能にし、快適で涼しい気候を維持し、農業生物多様性も保全してきた。現在では、池ほどの小さいものから内陸の大きな湖まで、大小 25,000 以上ものタンクが発見されている（図 12、図 13、写真 5、参照 6 参照）。特に、北中部州には、多数のタンクがある。

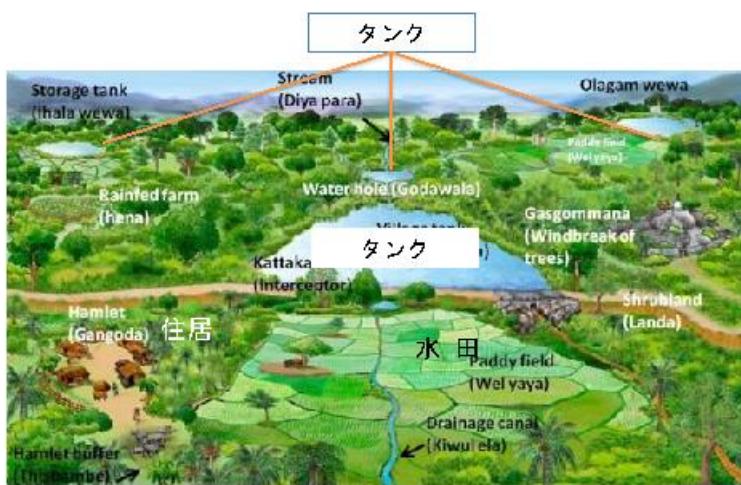


図 12 タンク灌漑

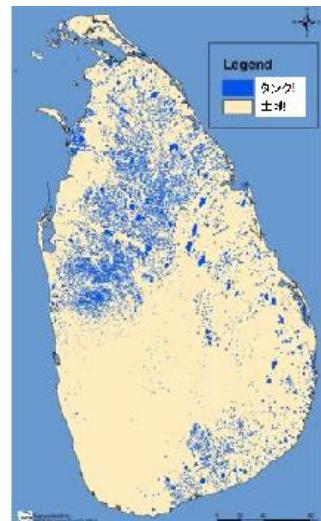


図 13 スリランカのタンク

出展 : IUCN (International Union for Conservation of Nature), Sri Lanka Country Office

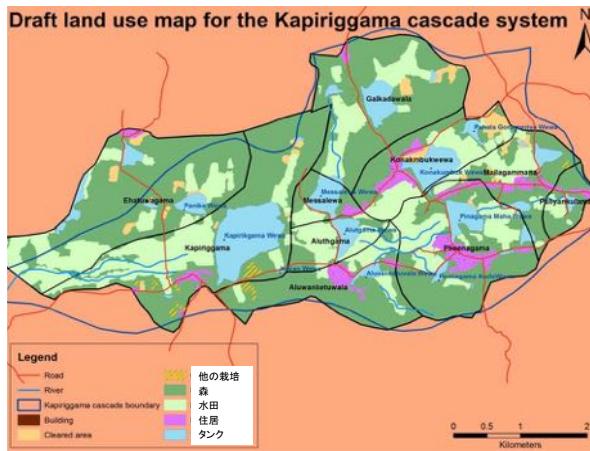


写真 5 タンクと取水口



写真 6 タンクの土手から水田を望む

図 14 にアヌラーダプラ県 Rambewa DSD のタンクと住居を示す。タンクと住居は隣接しており、雨水とともに帶水層の水源である。雨季のマハ期に雨量が減れば、乾季のヤラ期にはタンクの水量が減り、家庭用の井戸が渇水する可能性がある。



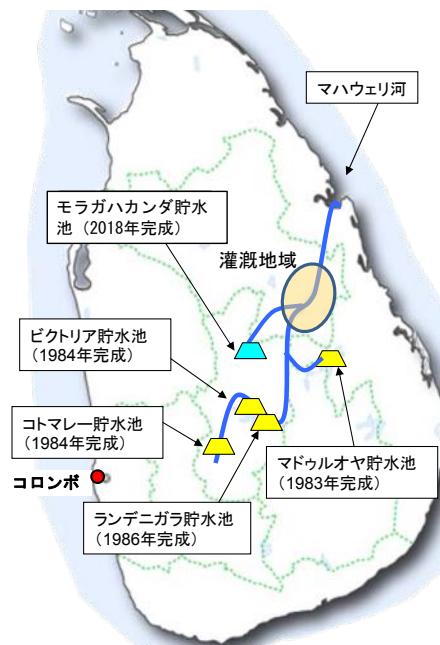
出展：Plan for restoration of cascading tank systems in Anuradhapura district, Sri Lanka

図 14 アヌラーダプラ県 Rambewa 地区のタンクと住居

#### (4) 河川

湿潤地帯に源流を持つ河川で、北中部州に水を供給する河川はマハヴェリ河のみである。マハヴェリ河は、スリランカ島の約 1/5 にあたる島内最大の流域面積を持ち、東部州のトルンコマリー湾に注ぐ。スリランカ政府は、マハヴェリ河本流及び支流のダム開発と導水、伝統的なため池・灌漑ネットワークの修復によって、乾燥地域への導水を企図し、1968 年に「マハヴェリ開発計画」を策定した。そして、1979 年にマハヴェリ開発促進計画実施のために、マハヴェリ開発環境省マハヴェリ開発庁（以下マハヴェリ開発庁）が創設された。70 年代以降、国内の電力不足への対応が優先され、マハヴェリ河上流の水力発電ダムの開発事業が先行した結果、北中部乾燥地域では当初計画された導水が実現していなかった。

ポロンナルワ県では、マハヴェリ河下流域にあたり、マハヴェリ開発庁が、マハヴェリ開発促進計画に基づき、上流域にダムを作り、乾季に灌漑用水を供給するプロジェクトを進めてきた。2018 年にマハヴェリ河開発の最後の貯水ダムであるモラガハカンダ貯水ダムが中国の援助で完成し、乾季の灌漑問題が改善した（図 15 参照）。



出典：JICA スリランカ国 モラガハカンダ開発事業 環境社会配慮助言委員会 WG 資料をもとに作成

図 15 マハヴェリ河開発による灌漑

## (5) 井戸水が抱える課題

家庭の浅井戸の傍には、図 16 に示すように水田があり、肥料や散布された農薬や除草剤が井戸水に浸透する。また、穴を掘っただけのトイレがあり、糞尿に起因する大腸菌などの細菌やクリプトスパリジウム原虫に汚染されることがあり、下痢などの水系感染症の原因ともなっている。

化学肥料の窒素や、糞尿に由来する蛋白質有機窒素化合物は、腐敗、分解する過程で、含まれた窒素が土中で微生物などにより酸化され、そして硝酸性窒素へと変化する（図 17 参照）。硝酸性窒素は酸素の少ない状態（人体や土の中など）では容易に亜硝酸性窒素に変化する。この亜硝酸性窒素は、乳幼児にチアノーゼ（窒息状態）を引き起こしたり、体内で発がん性を示す物質に変化したりと、人体に影響を及ぼす物質である。日本では、水道水質基準として 2014 年 4 月に 0.04mg/L と制定された。

また、浅井戸は、コケが生えてバクテリアが繁殖したり、小動物・昆虫が入ったりして不衛生で、病原体が増殖しやすいなどの問題がある。

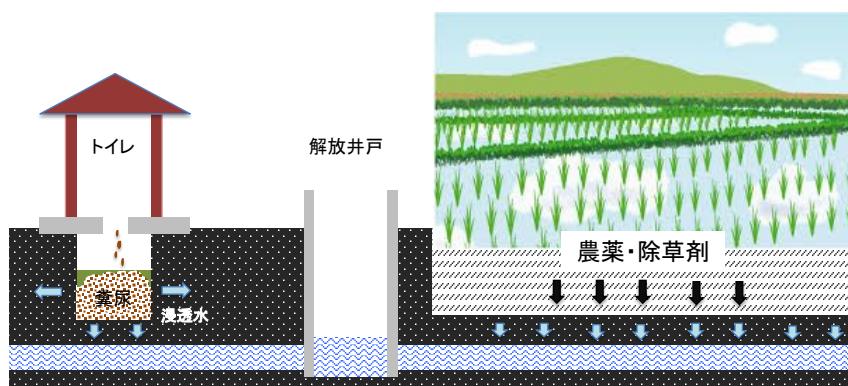


図 16 家庭の井戸とトイレ・水田

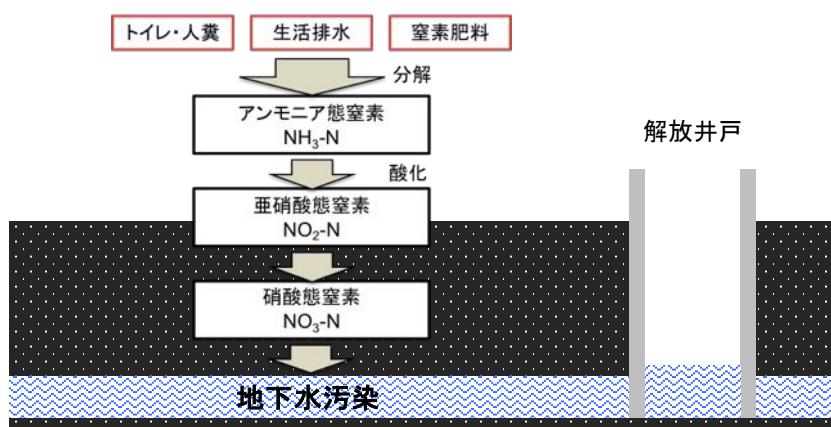


図 17 糞尿と化学肥料の亜硝酸態窒素への変化

北中部州は地下水の硬度が高く、フッ素濃度が高いことで知られており、フッ素症患者が多く見られる（写真 7 参照）。

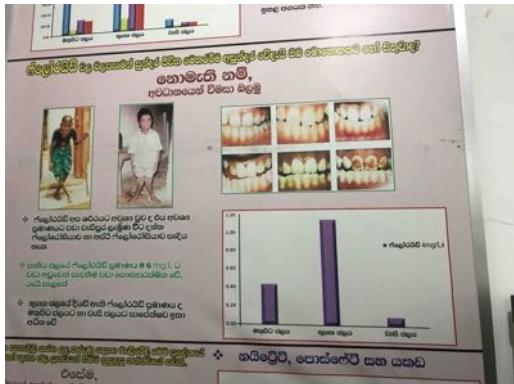


写真 7 フッ素病予防の掲示板

北中部州はスリランカ最大の稻作地域であり、農薬や化学肥料を多用してきた。スリランカ政府が化学肥料に補助金を出してきたため、過剰施肥になっている。加えて、最近では除草剤や農薬による汚染も問題となっている。

スリランカ国では、1962年から農家に対して肥料の助成が行われてきた。肥料の助成制度は、1962年から2015年まで、5段階で変遷してきた。そして、2016年から直接農家に補助金を支払う方式に、政策転換が行われた。

第1フェーズ（1962-89年） - 尿素、重過磷酸石灰（TSP）肥料、および塩化カリウム（MOP）肥料に補助金。

第2フェーズ（1990-94年） - 補助金廃止期間

第3フェーズ（1995-96年） - 尿素、TSP、およびMOPの肥料に補助金を再導入

第4フェーズ（1997年～2005年） - 尿素のみの補助金

第5フェーズ（2005年～15年） - 3つの主要肥料をすべて固定価格で提供（袋50kgあたり350LKR）

第1フェーズの1979年には、補助率は尿素が85%、その他は75%まで増加した。1981年に、肥料の補助金制度の改革を行い、補助率が、尿素とMOPが65%、TSPが40%まで下がった。1983年から87年までの間、国際市場の肥料価格の変動に関わりなく、スリランカ国内の肥料価格は固定されていた。1990年後半から1994年10月まで、石油価格の上昇と為替レートの下落による国際市場の肥料価格の上昇に伴い、肥料の補助金が廃止された。1997年から、尿素のみ補助金が復活した。

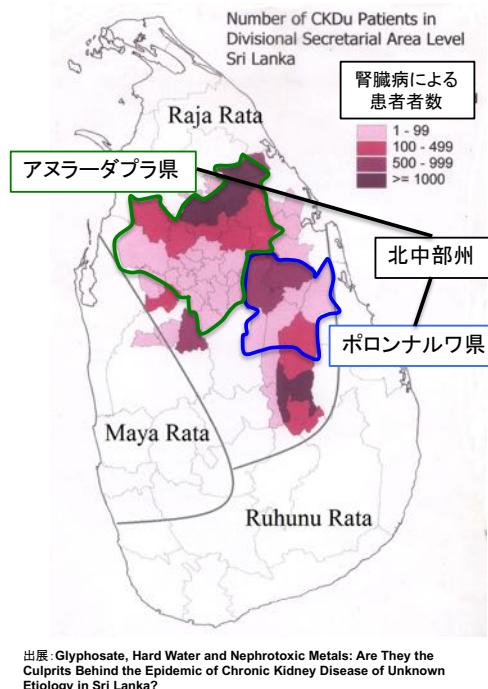
そして、2005年にラージヤパクサ前大統領が就任、2006年から2016年までの10年間にわたる開発枠組みを提示した「マヒンダ・チントナ：新しいスリランカのビジョン」の下、稻作を対象として、国際市場の価格に関係なく肥料の価格を350LKR/50kgに固定して販売した。さらに、対象が他の作物まで拡大され、2011年には1,200LKR/50kgに固定して販売した。

低価格で肥料を農家に提供した結果、尿素は、1965年の4.36kg/haから2005年には284kg/haに増加した。肥料の平均では、1961年の140kg/haから2012年には386kg/haに増加した。化学肥料の多用により、土壤が劣化し、作物が病害虫の影響を受けやすくなつて、農薬の散布量が増える。

化学肥料中の窒素も、酸化されて硝酸性窒素へと変化する。硝酸性窒素は、土壤に吸着されにくく、地下水に移行しやすい。日本の厚生労働省の基準では、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の合計値として10mg/l、単独の亜硝酸態窒素として0.04mg/lの基準値が設定されている。硝酸態窒素より汚染された井戸水を飲料した場合、体内の腸内細菌によって硝酸態窒素が還元され亜硝酸態窒素に変化する。亜硝酸態窒素を含む水を飲用しても同様であるが、体内に吸収された亜硝酸は血液中のヘモグロビンと反応してメトヘモグロビンになる。メトヘモグロビンは酸素を運搬できないため、これが体内に過剰になると酸素欠乏

状態に至り、いわゆるメトヘモグロビン血症を引き起こす。特に注意が必要なのは乳児で、乳児は胃酸が成人より中性側にあるため、硝酸還元腸内細菌が増殖しやすく亜硝酸を生成しやすいため、成人よりもメトヘモグロビン血症を引き起こしやすいとされている<sup>1</sup>。

近年、CKDuの患者が発生し、図18に示すように北中部州を中心に、CKDuの患者が増加し、その対策が喫緊の課題となっている。最初のCKDuの患者が北中部州の北東部の稻作農家で1994年に報告され、その後患者数が増加し、2015年5月現在のCKDuの入院患者数は、27,308人で、そのうちアヌーダーダプラ県が53.7%、ポロンナルワ県が20.9%を占める。入院患者の内、約2,000人が毎年死亡している<sup>2</sup>。



出展: Glyphosate, Hard Water and Nephrotoxic Metals: Are They the Culprits Behind the Epidemic of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Sri Lanka?

図 18 慢性腎臓病患者の多い地域と本調査対象地域

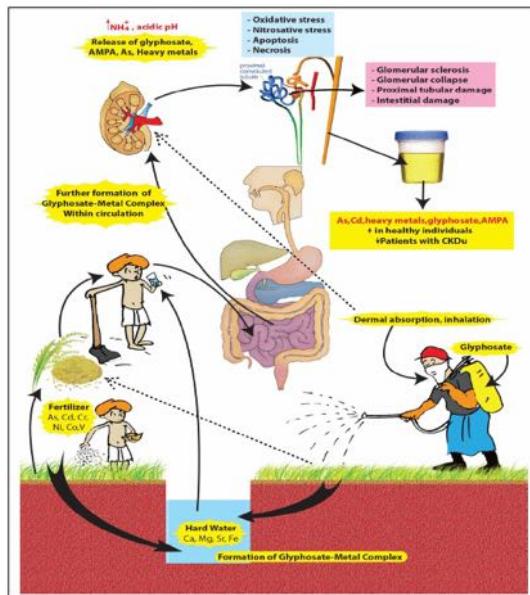
CKDは、腎臓の働き(GFR)が健康な人の60%以下に低下する(GFRが60mL/分/1.73m<sup>2</sup>未満)か、あるいはタンパク尿が出るといった腎臓の異常が続く状態を言う。さらにGFRが低下するとCKDの重症度(病期)が進み、透析や心臓病などの心血管疾患の危険が高まる。末期腎不全(15mL/分/1.73 m<sup>2</sup>)では透析治療などの準備が必要になる。

CKDの原因は不明のため、CKDuと称されている。スリランカ政府は、同地域の飲用水である地下水がカルシウムとフッ素が多い硬水であることと、稻作地帯で農薬・化学肥料等を多用していることによる地下水汚染と因果関係があると考えている<sup>3</sup>。発症者は、働き盛りの男性が多い。図19に示す様に、農作業での農薬や除草剤の散布、脱水等要因もあると考えられる。働き手である男性が腎臓病で倒れることにより、農家は収入が断たれ、貧困に拍車をかけていることも大きな社会課題である。

<sup>1</sup> <http://www.kenko-kenbi.or.jp/science-center/water/topics-water/8893.html>

<sup>2</sup> <http://www.presidentialtaskforce.gov.lk/en/kidney.html>

<sup>3</sup> <http://www.presidentialtaskforce.gov.lk/en/kidney.html>



出展：Glyphosate, Hard Water and Nephrotoxic Metals: Are They the Culprits Behind the Epidemic of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Sri Lanka?

図 19 CKDu への農薬・化学肥料の影響

## 1-2 対象国・地域の対象分野における開発計画、関連計画、政策及び法制度

スリランカ政府は、全国民の安全な水へのアクセスの確保を目標としており、国家開発計画「マヒンダ構想」（2010-2016）では、3.4で給水衛生事業はスリランカ国の望むべき経済発展にとって必要不可欠な事業であると位置づけている。安全な水と衛生施設へのアクセスは、2009 年の 85% を 2020 年には 100% とする目標を掲げている。行動計画では、農村地域で人口密度に応じて給水計画を立て、質・量の両面で能力をアップさせるとしており、具体的には図 20 に示すようにコミュニティ給水システムの普及が柱となっている。

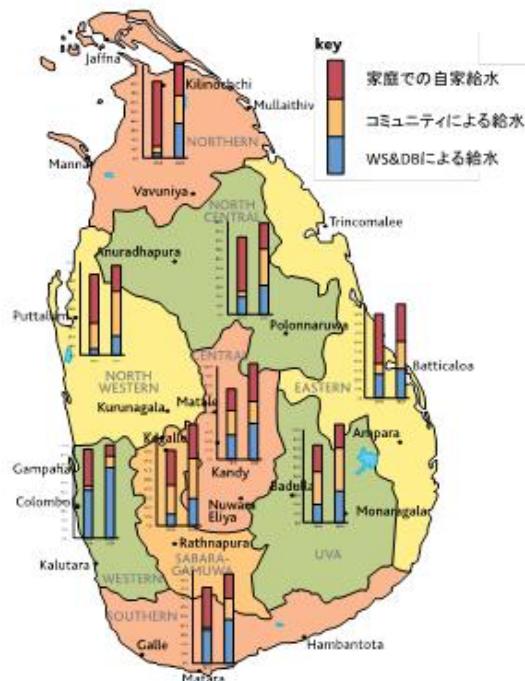


図 20 マヒンダ構想の 2020 年の給水計画

また、ミレニアム開発目標 (Millennium Development Goals: MDGs) の後継開発目標として、持続可能な開発のための 2030 アジェンダ（以下、2030 アジェンダ）で、2016 年から 2030 年までの、17 の目標と 169 の具体的なターゲットを定めた持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals:SDGs)を定めている。

水・衛生セクターは「目標 6. すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」に該当し、8 つのターゲットと 11 の指標が設定されている。飲料水については、ターゲットは「6.1 2030 年までに、すべての人々の、安全で安価な飲 料水の普遍的かつ衡平なアクセスを達成する」であり、指標は「6.1.1 安全な飲料水を活用している人口比率」である。

スリランカ政府は、持続可能な開発委員会(A Sustainable Development Council)を設置し、アジェンダ 2030 に即した持続可能な国家政策・戦略を実施する法案「SRI LANKA SUSTAINABLE DEVELOPMENT ACT, No. 19 OF 2017」を 2017 年 10 月 3 日に公布、現在スリランカにおける具体的な目標達成のための指標を策定しているところである。

NWS&DB は、「経営計画 2016-2020」を策定している。ミッションは、「優れた技術力とサービスの提供を通じて、スリランカで最も優れた公益事業体になること。」であり、ビジョンは「質の高い持続的な水・衛生サービスを国民に提供すること。」である。「経営計画 2016-2020」で設定されている 4 つの事業目標とその詳細目標を、表 4 に示す。

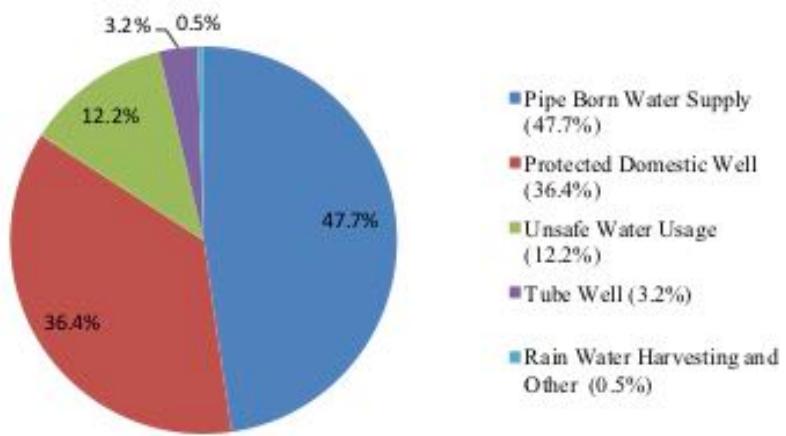
表 4 経営計画 2016-2020」で設定されている 4 つの事業目標とその詳細目標

目標 1: 水道及び下水道の普及率の向上
1-1 2020 年までに管路による水道普及率を全人口の 60.0%(NWSDB 所管では 49.1%)に、下水道管による下水道普及率を 3.3%に引き上げる。 1-2 全ての水道施設に対して質・量の面で高い水の安全性を確保するために水安全計画を策定する。
目標 2: 事業効率の改善
目標 3: 説明責任と透明性の確保
目標 4: 地方及び未普及地区における安全な飲料水と衛生サービスの供給を促進する。
4-1 普及率とサービスの質のモニタリング 4-2 普及の支援と促進 4-3 直接的な事業実施と継続的な改善 4-4 啓蒙と促進 4-5 持続性確保のための政策とガイドラインの策定

出展：スリランカ民主社会主義共和国 上水道セクター 基礎情報収集・確認調査報告書

図 21 に、スリランカの飲料水へのアクセス（2016 年 12 月）を示す。2016 年 12 月時点での、水道普及率を全人口の 47.70%(NWSDB 所管では 37.1%)である。保護された井戸が 36.4%、管井戸が 3.2%で、安全な水にアクセス出来ていない割合が 12.2%である。現地調査の結果では、その多くが安全な水とは言い難い。

目標 1 に向けて水道普及率は伸びていくと考えられるが、目標を達成したとしても、2020 年でも 40%が水道水へアクセス出来ないため、その大半が井戸水であり、安全でない水の可能性が高い。



出展 : Annual Performance Report 2016, Ministry of City Planning and Water Supply (MCPWS)

図 21 スリランカの水道水へのアクセス(2016年12月)

都市計画・水供給省年報 (2016 Annual Performance Report 2016, Ministry of City Planning and Water Supply) の巻頭言で、*Sarath Chandrasiri Vithana* 次官は、以下の様に述べている。

巨大な貯水池と灌漑文明はスリランカの遺産である。川、運河、水路及び池が豊富な素晴らしい環境は我々に文明をもたらした。これらの貴重な自然の財産を利用することで、パイプラインで安全な飲料水を各家庭にまで届ける小規模、中規模及び大規模なプロジェクトが地域の銀行の資金で実施されている。これに加え、村落の水需要を満たすプロジェクトが CBO を通じて DCWS により実施されている。それにより、スリランカの人口の 47.7% に安全なパイプライン飲料水が提供されており、2016 年 12 月までには 209 万カ所のパイプライン給水接続がなされる。これは 2015 年度比 1.8% の増加である。次の我が省の目標は、2020 年までにパイプライン給水を人口の 60% に提供することである。

パイプラインの拡張で安全な飲料水を供給することが我々の希望ではあるものの、パイプラインが届かない地域に給水車、雨水タンクの建設、RO プラントの設置などにより飲料水を提供するプロジェクトも実施している。2016 年中には長さにして 303km の給水パイプラインを敷設するが、特に CKDu が蔓延している北中部州では、この病気の状況を改善するために 62 か所に RO プラントを設置し、またその地域の学校にも 94 台の RO プラントを設置した。

また、NWSDB の安全飲料水供給戦略と安全飲料水供給対象について、以下を掲げている。

#### • 安全飲料水供給戦略

- 住宅用及び非住宅用の両方を考慮した給水配管網の拡張
- 安全飲料水への地理的なアクセス不均衡格差の是正
- CKDu の影響を受けている地域への安全飲料水の提供
- CBO により管理されている水源、取水、計画の水質と水量の向上
- 給水設備やその他部品に関する標準導入によるパイプライン給水システムの促進
- CKDu の根本原因を解明するための、更には地下水を浄化するより最適なシステムを特定するための先進的かつ近代的な調査研究の実施
- 増え続ける産業界のニーズへの 24 時間対応のパイプライン給水の提供
- パイプライン給水サービスを提供する企業能力の改善
- NWSDB を国民に優しくかつ収益を生み出す機能を果たす機構へと導く

#### • 安全飲料水供給対象

- ・ 2020 年までに全てのスリランカ国民に安全な飲料水を提供
- ・ 2020 年までに給水配管網のカバー率を 60% にまで拡張
- ・ CKDu の影響地域へのパイプライン給水の提供
- ・ 水質の 100% 保証
- ・ 産業界の水需要の 100% 充足
- ・ 飲料水供給設備を供給する企業構造の効率改善に向けた対策の実施

CKDu 対策として、都市計画・水供給省年報 2016 に記載された、「プロジェクトーCKDu の影響を受けている地域への安全な飲料水の供給」の概要は以下の通りである。

- ・ CKDu は Anuradhapura, Polonnaruwa, Kurunegala, Vavuniya, Mathale, Badulla, Hambantota, Ampara, Trincomalee, Mulativu, Monaragala で拡大している。これらに地域で生活する住民に安全な飲料水を提供するために、長期、中期、短期に区分されたプログラムが始まっている。2016 年にはこのために 10 億 LKR の予算措置がなされ、以下のプロジェクトに 6 億 8,015 万 LKR が投じられた。年度末には 68% の予算執行を達成している（2015 年度は同額予算措置に対して、8 億 6490 万 LKR で執行率は 86%）。
- ・ パイプラインの延長で清浄な水を供給するプロジェクトが主要プログラムの一つであり、2016 年にはその延長は 303km に及んだ（2015 年度は 90km）。RO プラントの設置、雨水タンクの建設、給水車での飲料水の配布などのプロジェクトも、パイプラインが延長されない地域で実施されている。
- ・ 2015 年には RO プラントを 37 カ所に設置。重点地域は、Medawachchiya, Kebithigollewa, Padaviya, Rambewa, Horowpathana, Kahatagasdigiliya, Dimbulagala, Medirigiriya, Lankapura, Badulla。83 台の RO プラントを学校に設置。
- ・ 2016 年には RO プラントを 62 箇所に設置。重点地域は、Medwachchiya, Kebithigollewa, Rambewa, Horowpathana, Nuwaragampalatha (Central), Galenbindunuwewa, Kahatagasdigiliya, Alahera, Bakamoona, Monaragala, Badulla, Vavuniya, Mannar, Mulathivu, Kurunegala。94 台の RO プラントを学校に設置。
- ・ 給水車による水供給、管井戸設置、雨水タンク建設は本プログラムの中で実施。
- ・ CKDu 原因究明の研究を実施するためにスリランカと中国との間で 2015 年に 2 つの MOU に調印。

#### 1-3 当該開発課題に関する我が国別開発協力方針

我が国の対スリランカ民主社会主義共和国国別援助方針（2012 年）では、重点分野の一つとして「経済成長の促進」を挙げており、スリランカの一層の成長と安定化を促すため、経済成長のための基盤整備を中心とした支援を行なっている。また、「後発開発地域の開発支援」で、同国の紛争の歴史や開発の現状を踏まえ、後発開発地域にも留意した公平かつ公正な支援を行うこととしている。

また、対スリランカ民主社会主義共和国 JICA 国別分析ペーパー（2014 年）では、「上下水道・環境改善プログラム」において、大規模都市における上水道の拡張及び無収水の削減に加え、地方における上水道整備の重要性が言及されている。

本調査を踏まえて提案を行う普及・実証事業は、上水道が未整備の農村地域においてにおいて、飲用に適さない井戸水を節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機で安全な水にする事業あり、我が国の援助方針と合致している。

#### 1-4 対象国・地域の対象分野における ODA 事業の先行事例及び他ドナー事業の分析

日本政府は、北中部州において、ODA で「アヌラーダプラ県北部上水道整備事業(フェーズ 1)」（2013 年、5,166 百万円）さらに、「アヌラーダプラ県北部上水道整備計画（フ

エーズ 2)」を、アヌラーダプラ県の 23 郡のうち北部の 6 郡を対象として実施している。同事業の政策評価法に基づく事前評価書では、以下のように述べている<sup>4</sup>。

「北中部州アヌラーダプラ県北部においては、上水道が未整備なため住民は水源を主に井戸水に依存しており、飲料水源である地下水中のフッ素濃度が多く箇所で水質基準値を超えており、飲料水中の高濃度フッ素が原因で、歯牙フッ素症の重症度を表すコミュニティーフッ素症指数が 1.41 と他地域よりも高く、公衆衛生上問題のある水準である 0.6 を上回っている。また、北中部州で高い発症率（全人口の 5%）を示している慢性腎臓病（CKD）も、飲料水源として地下水を利用していることが原因の一つであるとの見方が現地では強い。シリセーナ大統領は、公約として CKD 対策を掲げており、本事業対象地域を含めて CKD が蔓延している地域において、CKD 対策に重点的な予算措置を行っている。以上から、同地域の水道普及率を向上させること及び水源を地下水から表流水へと切り替えることは同国において喫緊の課題である。」

提案する普及・実証事業は、円借款事業でカバーできない北中部州の上水施設が無い農村地域で、節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機で、農村地域の飲料水である井戸水を、安全で清浄な飲料水にして地域住民に供給するものであり、重複しない。本事業は、健康被害が問題となっている地域で、ODA 事業でカバー出来ない地域住民への安全な水の供給に資するものであり、SDGs ゴール 6 「万人の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理の確保」に貢献する。

他ドナー事業として、北中部州では、CBO の給水事業に対して ADB の第二次、第三次、第四次プロジェクト、世界銀行援助の CWSSP の支援が行われている。これらの支援は、コミュニティーの浄水設備を整備するものであり、浄水機により安全な飲料水を供給する事業ではない。本普及・実証事業は、節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機により地下水を安全で清浄な飲料水にして地域住民に供給するものであり、これらの事業との間にも重複はない。

<sup>4</sup> [http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/press/shiryo/page22\\_000124.html](http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/press/shiryo/page22_000124.html)

## 第2章 提案企業、製品・技術

### 2-1 提案企業の概要

Emax は、2002 年から日本国内で主に家庭用の RO 膜浄水器の製造を行ってきた有限会社ケイ・ワイと、販売を行ってきたアドヴァンス株式会社が、海外展開するために 2014 年に設立した会社である。Emax は、現在国内では OEM で RO 膜浄水器を委託者に納品している。海外では、自社ブランドで RO 膜浄水器を販売していくことで、収益性を高めて事業の拡大を図っている。

アジアの農村地域では、上水道を整備して地域住民が安全な水にアクセスすることが難しく、井戸水や雨水、河川水等を飲用水としている。Emax の RO 膜浄水機器を普及させることで、井戸水や雨水、河川水を安全で清潔な飲料水として人々が飲めることに貢献したいという考えから、海外進出を行っている。Emax は、上水道が普及していないベトナム国のメコンデルタの農村地域で、ソクチャン省農村環境衛生浄水センターに、家庭用電動式 RO 膜浄水器を 200 台販売した。その後、2016 年 6 月に新たに 1,000 台の契約をして 8 月に 200 台納品、2017 年末までに 800 台納品予定である。ソクチャン省農村環境衛生浄水センターは、家庭用電動式 RO 膜浄水器を各家庭に設置して、雨水や河川水を安全で清潔な飲料水にする取り組みを行っている。

### 2-2 提案製品・技術の概要

#### 2-2-1 ターゲット市場

提案製品・技術は、途上国のお戸水、雨水、河川等の水を安全で清潔な飲料水にする浄水技術である。原水の水質に応じて①節水型 RO 膜浄水機か②ナノマイクロフィルター浄水機の何れかを適用する浄水機を導入する。

当面のビジネスのターゲットは、家庭用または共同の浅井戸の水質に起因して健康問題を抱えるスリランカ国北中部州の農村地域である。

スリランカ政府は、CKDu 対策として、長期、中期、短期に区分されたプログラムを始めている。大統領府 CKDu タスクフォースに対して、2016 年にはこのために 10 億 LKR の予算措置がなされ、プロジェクトに 6 億 8,015 万 LKR が投じられた。年度末の 68% の予算執行率であった。2015 年度は同額予算措置に対して、8 億 6,490 万 LKR で執行率は 86% であった。従って、大統領府 CKDu タスクフォースの予算で、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の設備導入を目指す。そのほか、企業、NGO、国際機関等からの支援もあることから、これらの組織への販売を目指す。

ビジネス展開では、学校、助産院、病院、ホテル等の業務用へ RO 膜浄水機を行う。また、都市部の一般家庭への小型 RO 膜浄水機器の販売も目指す。

#### 2-2-2 技術のニーズ

##### (1) RO 膜浄水機のニーズ

北中部州の農村地域では、飲用水であるお戸水に起因する地域住民の CKDu 患者が増加し、その対策が喫緊の課題となっている。同地域の CKDu を予防するため、MCPWS と NWS&DB は、大統領府 CKDu タスクフォースの予算で、北中部州に RO 膜浄水センターを設置し、お戸水を安全で清潔な水にして地域住民に給水する事業を行っている。コミュニティーの RO 膜浄水センターは CBO が運営し、NWS&DB が設置、管理を行なっている。

現地調査の結果、RO 膜浄水機に関して、以下の問題を抱えており、その課題に対応した浄水機の普及が課題であることが明らかになった。

- RO 膜が高いため、RO 膜浄水機の価格が高い。
- RO 膜の浄水機の販売メーカーは、メンテナンス体制のサービスを行っていない。
- 原水の Ca 等が付着し、RO 膜が 1 年位で使えなくなる。

- RO 膜を交換する費用がないため、交換せずに使っているため原水が十分に浄化されない。
- RO 膜の濃縮水の排水が、原水の 20~40%を占める。北中部州は乾燥地域で、干ばつのため濃縮水の排水がもったいない。
- 農薬や除草剤、化学肥料は RO 膜で完全に除去できない。
- RO 膜で濾過した水は、一度給水用タンクに貯められ、給水される。塩素殺菌していないため、給水タンクで一般細菌等が増殖する。

特に問題となっているのは、以下の 3 点である。

### ① RO 膜からの排水がもったいない

濃度の異なる二つの液体が RO 膜を隔てている場合、浸透圧の差によって濃度の低い液体から濃度の高い液体へと自然に純水が移動して、濃度を同等に保とうとする。このとき RO 膜の小さな穴を液体がすり抜けて浸出する現象が「浸透」である。ここで「不純物を含む水」の方に浸透圧を上回る圧力を加えると、その中に含まれる「キレイな水」のみが RO 膜の反対側に押し戻されていく。RO 膜は、水は通すけれど不純物は通さない膜なので、こういう現象が起きる。この場合は、通常の「浸透」とは逆方向に液体が移動するので「逆浸透」という。(図 22 参照)

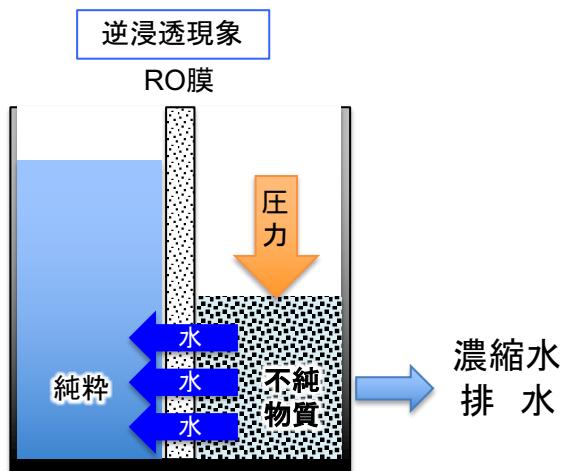


図 22 逆浸透現象と排水

結果的に「不純物を含む水」の方には更に不純物の濃度が高くなつた液体が残り、反対側には更に量が増えた「純粋な水」が残る。こうした仕組みで「安全で清浄な飲料水」を生産（造水）するが、不純物の濃度が高くなつた液体が排水される。北中部州では、干ばつのため、この排水がもったないと、問題になっている。

### ② Ca 等が付着し、RO 膜が 1 年位で使えなくなる

RO 膜は高額で、メンテナンス時の交換費用の負担が問題となっている。RO 膜は、孔の大きさが約 0.0001 ミクロンで、水分子だけを通し、イオンや塩類など水以外の不純物は透過しない性質を持つ膜のことである。図 23 に示すように、一般細菌、農薬、除草剤やフッ素を除去でき、井戸水、雨水、川や池の水などを安全で清浄な飲料水にできる。北中部の飲料原水は、Ca の含有量が多いケースがある。カルシウムは、RO 膜に付着し、性能が低下する。1 年以内に交換するケースもあるが、その費用負担が大きな問題となっている。

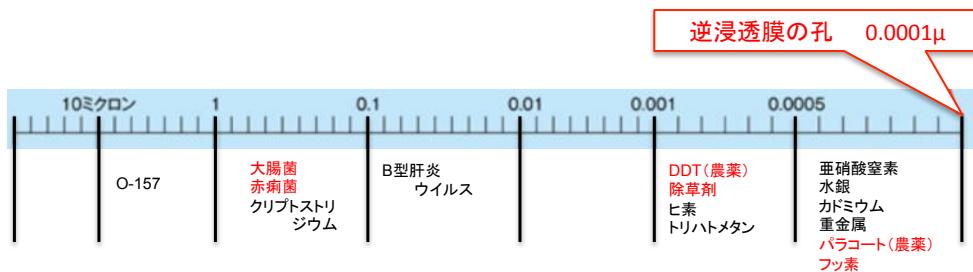


図 23 有害物質と逆浸透 RO 膜の孔の大きさ比較

### ③ RO 膜浄水機の価格が高い

RO 膜浄水器は、RO 膜が高いことから価格が高く、需要に応えるためには、価格の安い浄水機の導入が求められている。

MCPWS は、RO 膜浄水機が上記の問題を抱えていることから、より価格が安いナノマイクロフィルター浄水機の導入を検討している。MCPWS の次官に面談した際も、普及・実証事業で、ナノマイクロフィルター浄水機の普及実証事業を行なって欲しいとの要請を受けた。

ナノマイクロフィルターは、フィルターの価格が安いことから、価格は RO 膜浄水機より安くなる。ナノマイクロフィルターは、ミクロン単位の穴が無数に空いた纖維フィルターである。フィルターに通水して、細菌や高分子の不純物質を除去する。穴の径は、RO 膜より大きい。フィルターなので、RO 膜のように濃縮水を排水しない。しかし、フッ素や、農薬・除草剤を除去することは出来ない。

そこで、Emax は、普及・実証事業で、前処理設備としてイオン交換樹脂フィルターを装備した①節水型 RO 膜浄水機と、②ナノマイクロフィルター浄水機の普及・実証事業を提案することとした。併せて、現地法人と提携して、メンテナンス体制を整える。

農薬や除草剤、化学肥料がイオン化している場合には、RO 膜でも完全に除去できない。イオン交換樹脂は、合成樹脂の一種で、主に直径 1mm 以下の粒状で利用される。高分子の分子鎖が網目構造を取るため、水やイオンの浸透が容易であり、活性炭などの吸着剤と同様、大きな比表面積を持つ。イオン交換樹脂中の固定イオンと様々な溶液中の対立イオン（交換されるイオン）との吸着の差を利用して、不純物質を除去する。イオン化促進剤を添加することで、農薬、除草剤を除去することが出来る。

①節水型 RO 膜浄水機は、P43 の表 13 水質検査結果の、TDS が基準値 500mg/l を超える井戸か、F (フッ素) が基準値の 1.00mg/l を超える井戸に設置する。基準値をクリアする井戸には、②ナノマイクロフィルター浄水機を設置する。

尚、農薬、除草剤を除去するイオン化促進剤は、農薬、除草剤の成分を特定する必要がある。農薬、除草剤の製品の種類は多く、製品により成分が異なる。各井戸で、多数の農薬、除草剤毎に含有する成分が含まれるかを分析するには、多大な費用と時間がかかり現実的でない。従って、大統領府 CKDu タスクフォースと NWS&DB が指定する農薬、除草剤を除去するイオン化促進剤を添加するイオン交換樹脂フィルターを装備する。

## (2) 手動式小型 RO 膜浄水器のニーズ

NWS&DB によると、農村地域の学校や助産院の大半が、井戸水が飲用水である。

現地調査で、Thalawa DSD Kumbukgahawewa GND Helabawewap 村を調査した。NWS&DB が村から数 Km 離れたタンク傍の井戸水を村の給水塔にポンプアップし、塩素を添加しないで各家庭に給水している。小学校で水道水の分析を行った。水道水の TDS は、471ppm であった。飲料水基準 500mg/l (≈ppm) (最大) はクリアしているが、飲料水としては不適切であり、村民は飲料水としては使用していない。

Rajarata University の Channa Jayasumana 教授によれば、CKDu の患者の 80%が男性、20% が女性であり、年齢は 40 歳～50 歳の層と若年層が多い。北中部州の 10-12 歳の 10%が、

CKDu の兆候があるとのことである。

従って、妊婦、新生児、小・中学生への安全な水の供給が課題であり、学校や病院等へ手動式小型 RO 膜浄水器を設置する事は現地のニーズに適合する。

他方、既存の RO 膜浄水機は、RO 膜の交換等のメンテナンス、故障への対応が、十分にできないという課題がある。手動式小型 RO 膜浄水器を普及しようとすれば、数が多くなる事もあり、現時点では、メンテナンス体制が整っていないことから適正に管理されているか、RO 膜の交換が必要か等のチェックを行うことは難しい。

従って、普及・実証事業の提案を見合わせることとした。ビジネス展開で、メンテナンス体制が整つてから、手動式小型 RO 膜浄水器の販売を開始することとした。

他方、CKDu 対策として、都市計画・水供給省年報 2016 に記載された、「プロジェクト－CKDu の影響を受けている地域への安全な飲料水の供給」では、RO プラントを学校に設置している。

- ・ 2015 年には 83 台の RO プラントを学校に設置。
- ・ 2016 年には 94 台の RO プラントを学校に設置。

また、現地調査では、Mahavilachchiya DSD Nelumvila GND の小中学校では、飲用水である井戸水の TDS が 435ppm であった。民間企業から台湾製の 0.5m<sup>3</sup>/h の RO 膜浄水機が寄贈され、試運転中であった。シリセーナ大統領からは、ポロンナルワ市の Polonnaruwa Royal School に RO 膜浄水機を設置し、試験を行うよう要請があった。

従って、ビジネス展開では、病院や小学校へも、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の販売もおこなう。

## 2-2-3 製品・技術の特徴

### (1) 節水型 RO 膜浄水機

- ・ 設置対象の原水
  - ・ フッ素を含み、TSD、Ca、Mg の数値が大きい原水
- ・ スペック（仕様）
  - ・ 濁り等の不純物を除去する砂フィルター、化学物質や農薬、除草剤等を除去するイオン交換樹脂フィルターを装備
  - ・ パッケージ型として納品

表 5 節水型 RO 膜浄水機の仕様

タイプ	RO 膜浄水機
浄水容量	0.5m <sup>3</sup> /時
透過サイズ <sup>*</sup>	0.0001 ミロン以下
濃縮水	原水の 20% 以下(最低)
電源	AC230V 50Hz
電気容量	5Kw 以下
附帯装置	RO 膜洗浄装置 砂フィルター イオン交換樹脂フィルタ(洗浄・再生機能付き) 塩素添加装置 飲料水給水タンク

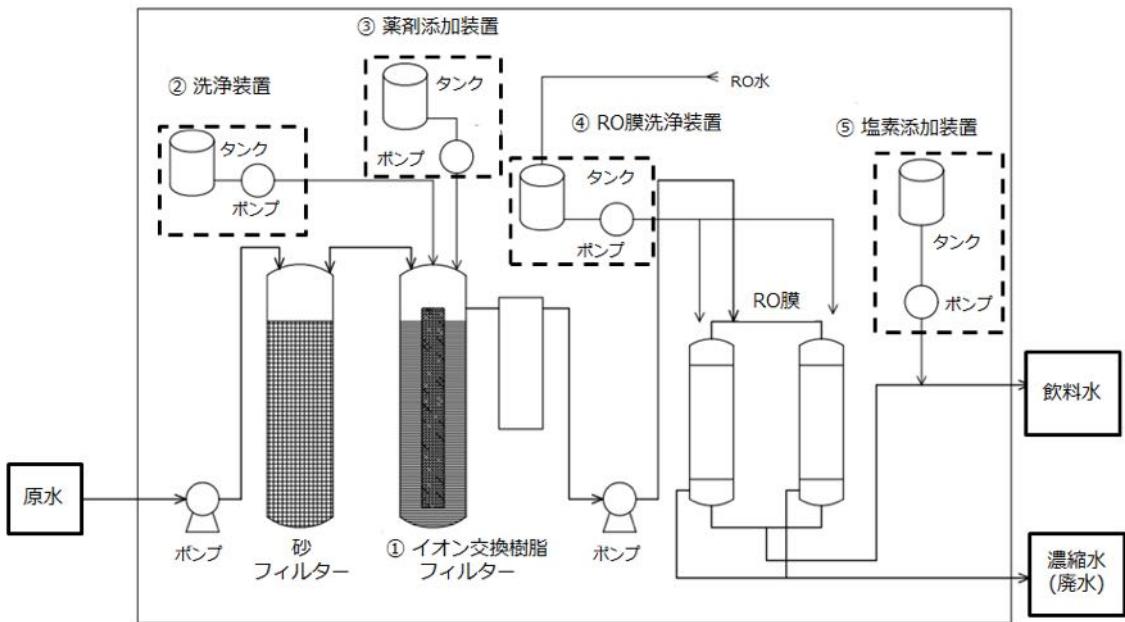


図 24 節水型 RO 膜浄水機の機器構成図



写真 8 節水型 RO 膜浄水機

#### ・ 特徴

- ・ パッケージ型：コンパクトに組み上げた状態で納品されるので、設置、メンテナンスが容易（設置工事期間は半日）
- ・ 節水型浄水機：イオン交換樹脂フィルターと組み合わせることで原水の 80%以上の浄水供給が可能
- ・ RO 膜の長寿命化：イオン交換樹脂フィルターと、RO 膜洗浄装置とを組み合わせ、高価な RO 膜の交換を最低 3 年間不要とすることでメンテナンスコストを低減
- ・ イオン交換樹脂フィルターで、Ca と Mg を事前除去する。RO 膜洗浄装置で、RO 膜の表面に付いた Ca、Mg を洗浄して除去する。
- ・ 塩素添加：紫外線殺菌に加えて塩素添加装置を追加することで給水タンク内の雑菌の繁殖を抑制
- ・ イオン交換樹脂フィルター：イオン化促進剤添加による農薬、除草剤等の事前除去

## (2) ナノマイクロフィルター浄水機

- ・ 設置対象の原水
  - ・ フッ素を含み、TSD、Ca、Mg の数値が大きい原水
- ・ スペック（仕様）
  - ・ 濁り等の不純物を除去する砂フィルター、化学物質や農薬、除草剤等を除去するイオン交換樹脂フィルターを装備
  - ・ パッケージ型として納品

表 6 ナノマイクロフィルター浄水機の仕様

タイプ	ナノマイクロフィルター浄水機
浄水容量	0.5m <sup>3</sup> /時
透過サイズ	0.04ミクロン以下
濃縮水	排出しない
電源	AC230V 50Hz
電気容量	5Kw 以下
附帯装置	砂フィルター イオン交換樹脂フィルター(洗浄・再生機能付き) 塩素添加装置 飲料水給水タンク

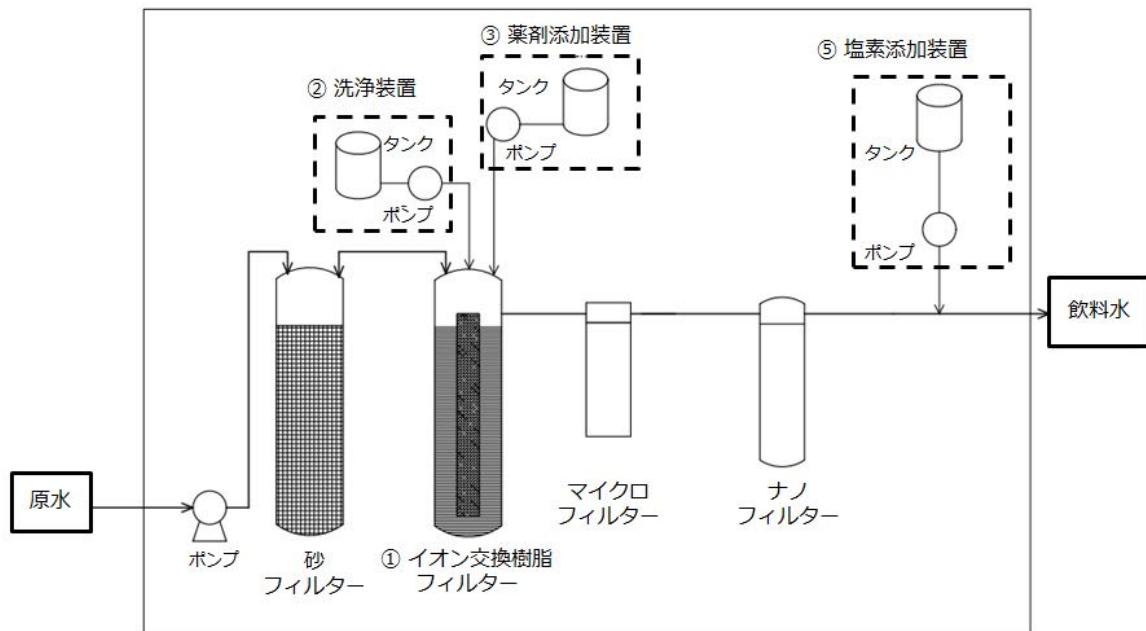


図 25 ナノマイクロフィルター浄水機の機器構成図

### ・ 特徴

- ・ パッケージ型：コンパクトに組み上げた状態で納品されるので、設置、メンテナンスが容易（設置工事期間は半日）
- ・ 節水型浄水機：ナノマイクロフィルター浄水機は原水のほぼ 100%を浄水として供給
- ・ 塩素添加：紫外線殺菌に加えて塩素添加装置を追加することで給水タンク内の雑菌の繁殖を抑制
- ・ イオン交換樹脂フィルター：イオン化促進剤添加による農薬、除草剤等の事前除去

## 2-2-4 販売実績

- ・ 国内 小型浸透膜浄水器 5,000 台
- ・ 海外 エジプト  $15\text{m}^3/\text{h}$  2 台、ネパールに納品  $5\text{m}^3/\text{h}$  1 台  
ベトナム：電動式小型浸透膜浄水器をソクチャン省農村環境衛生浄水センターに 300 台。

## 比較優位性

現在、北中部州の導入されている RO 膜浄水機の浄水フローを図 26 に写真を写真 9 に示す。既存の RO 膜浄水機は、以下の問題を抱えている。

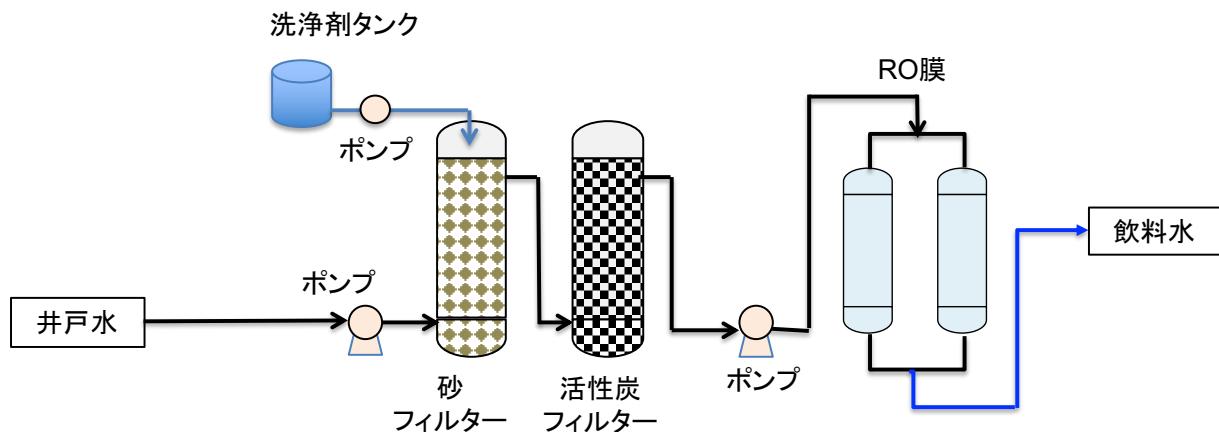


図 26 アメリカ製 RO 膜浄水機による飲料水製造フロー



写真 9 米国製の RO 膜浄水機

- ・ RO 膜が高額であり、RO 膜浄水機の価格が高い。また、交換用の RO 膜が高く CBO にとってその費用負担が困難である。
- ・ 砂フィルター、カーボンフィルター、RO 膜で構成されており、パーツがバラバラで、現場での組み立てに 2 日間を有する。
- ・ メーカーは、部品の販売のみで、メンテナンスのサービスを行っていない。

- RO 膜の濃縮水の排水が、原水の 20~40%を占める。北中部州は乾燥地域で、干ばつが続いていることもあり、濃縮水の排水が”0”か、それに近い浄水機の導入が望まれている。
- RO 膜浄水機はイオン化している農薬や除草剤は RO 膜では、除去できない。
- 北中部州の原水には、Ca が多く含まれるケースが多い。RO 膜に、Ca 付着し、1 年位で使えなくなる。また、RO 膜を交換する費用がないため、Ca が付着した RO 膜がそのまま使用されて、原水が十分に浄化されない。
- RO 膜で濾過した水は、一度給水用タンクに貯められ、給水される。塩素殺菌していないため、給水タンクで一般細菌等が増殖する。

Emax の①節水型 RO 膜浄水機と、②ナノマイクロフィルター浄水機の比較優位性を表 7 に示す。

表 7 比較優位性

項目	比較優位性
構造	全ての装置・配管を一体化して納品することで、コンパクトで設置・メンテナンスが容易なシステムを実現
節水	イオン交換樹脂フィルターを設置し、前処理で不純物を除去することで、RO 膜の濃縮水の排水を少なくした節水タイプ
部品交換寿命	イオン交換樹脂フィルタと RO 膜洗浄装置の組込による RO 膜交換寿命の延長(最低 3 年) イオン交換樹脂フィルター洗浄装置・再生試薬添加によるフィルター寿命の延長
安全性	塩素添加による給水タンク内での雑菌繁殖防止
農薬・除草剤の除去	イオン交換樹脂再生装置の薬剤タンクに、農薬・除草剤を除去するのに適切な薬剤も添加してイオン化して、イオン交換樹脂フィルターで除去する。
メンテナンスコスト	部品交換寿命の延長によるコスト低減(特に RO 膜交換コスト)
運転・保守・管理	現地提携企業による専門家の育成と保守・管理教育の徹底

## 2-3 製品・技術の適合性

### 2-3-1 概要

大統領タスクフォースによれば、北中部州の 1,266 千人 (2012 年) の人口のうち、CKD の危険性が高い地域に 70,000 人の CKD/CKDu 患者が居ると見積もられている。その対策として、北中部州の農村地域では、村の住民組織である CBO が運営する、RO 膜浄水センターの設置が行われている。RO 膜浄水センターは、NWS&DB、スリランカ海軍及び民間企業がそれぞれ 128、100 及び 50 か所建設したに過ぎない。

MCPWS は、NWS&DB を実施機関として、大統領府 CKDu タスクフォースの予算で、CKDu 予防対策として 2013 年から 300~500 世帯に 1 箇所、表 8 に示す 128 箇所に図 27、写真 10 に示す RO 膜浄水センターを設置し、1 世帯に飲用に 20ℓ給水するプロジェクトを実施している。飲料水の必要量は 500 世帯 × 20ℓで 10m<sup>3</sup>/日である。センターの稼働時間は 20 時間なので、RO 膜浄水機の造水能力は、0.5m<sup>3</sup>/h が標準仕様である。

表 8 NWS&DB の RO 膜浄水センター

県	DSD	GND数	NWS&DBのRO膜 プラント数
北中部州	989	128	
Anuradhapura	694	77	
Galabindunuwewa	41	6	
Galnewa	30	2	
Horowpothana	38	6	
Ipalogama	32	0	
Kahatagasdigiliya	40	7	
Kebithigollewa	26	2	
Kekirawa	53	1	
Mahavilachchiya	17	9	
Medawachchiya	37	12	
Mihinthale	25	0	
Nachchadoowa	19	0	
Nochchiyagama	36	1	
Nuwaragam Palatha Central	40	6	
Nuwaragam Palatha East	29	0	
Padaviya	15	6	
Palagala	35	0	
Palugaswewa	16	0	
Rajanganaya	21	1	
Rambewa	38	10	
Thalawa	39	3	
Thambuttegama	26	4	
Thirappane	41	1	
Polonnaruwa	295	51	
Dimbulagala	56	12	
Elahera	28	7	
Hingurakgoda	53	1	
Lankapura	28	5	
Medirigiriya	45	16	
Thamankaduwa	55	0	
Welikanda	30	10	



図 27 コミュニティーRO 膜浄水センターの浄水システム



RO 膜浄水センターのスタッフ



給水状況



写真 10 コミュニティーの RO 膜浄水センター

NWS&DB は、アヌラーダプラ県のおよそ 200 の地域とポロンナルワ県の 100 の地域は未だ手つかずの状況で、RO プラント建設が急務であるとしている。

現在使用しているアメリカ製は、配管が複雑で設置に手間取る等の問題を抱えている。また、RO 膜への CaMg の付着、給水タンクでの細菌・バクテリアの増殖といった問題を抱えている。NWS&DB は、コストパフォーマンスが良く、設置とメンテナンスが簡単な RO 膜浄水機の導入を望んでいる。Emax の①節水型 RO 膜浄水機と、②ナノマイクロフィルター浄水機に期待を寄せており、現地のニーズに適合する。

また、NWS&DB によると、農村地域の学校や助産院の大半が、井戸水が飲用水である。乳児、子供、妊婦に安全な水を提供することが不可欠であるが、井戸水を浄化するコストパフォーマンズの良い浄水機が無い。

Rajarata University の Channa Jayasumana 教授によれば、CKDu の患者の 80%が男性、20%が女性であり、年齢は 40 歳～50 歳の層と若年層が多い。北中部州の 10-12 歳の 10%が、CKDu の兆候があるとのことである。

従って、妊婦、新生児、小・中学生への安全な水の供給が課題であり、学校や病院等への①節水型 RO 膜浄水機と、②ナノマイクロフィルター浄水機は、現地のニーズに適合する。

手動式 RO 膜浄水器も、妊婦、新生児、小・中学生への安全な水の供給というニーズに適合する。他方、既存の RO 膜浄水機は、RO 膜の交換等のメンテナンス、故障への対応が、十分にできないという課題がある。手動式 RO 膜浄水器を普及しようとすれば、数が多くなる事もあり、メンテナンス、故障への対応が課題と言える。

## 2-3-2 製品・技術の検証活動

### (1) 検証活動の概要

検証活動として、文献調査、現地調査、実機による検証活動を行った。現地調査は、2017 年 9 月、2018 年 1 月 の 2 回行った。実機による検証活動は、MCPWS の提案で、2017 年 9 月に検証活動用の RO 膜浄水機 2 台、手動式 RO 膜浄水器 10 台をシリセーナ大統領に寄贈し（写真 11 参照）、以下の検証活動を行なった。



写真 11 シリセーナ大統領への寄贈

## (2) 文献調査・ヒアリング調査

### ア Rajarata University の Channa Jayasumana 教授

Rajarata University の Channa Jayasumana 教授にヒヤリングを行い、RO 膜浄水機に関する論文<sup>5</sup>を入手した。概要は下記の通りである。

#### ・ 概要

スリランカの慢性腎疾患流行地域である北中部州において、図 28 に示す 10か所の RO プラントと 1か所のイオン交換膜プラントのメンテナンスに係る調査を実施した。表 9 に調査した設備の概要を、表 10 にメンテナンスの概要を示す。

RO 膜の交換時期判断のための、RO 水の水質基準の設定等、適切な交換を行うマニュアル、指標の設定が必要性を示唆している。

RO プラントの効率は TDS (ppm) で評価したが、原水の平均 498ppm に対して RO 水の平均が 28ppm と高い浄水効率を示した。TDS は多くの RO プラントで採用されている水浄化の程度を表す一つの有効な指標ではあるが、残留農薬、重金属、シリカなどは分析されていないので、絶対的な浄化指標ではない。

RO プラントのメンテナンスは各所でまちまちであり、その結果、TDS の値にもばらつきが大きく表れている。この要因としては、メンテナンス担当者が従うべき統一的なプロトコルが存在していないことや、担当者が十分な指導や訓練を受けていないことなどが挙げられる。

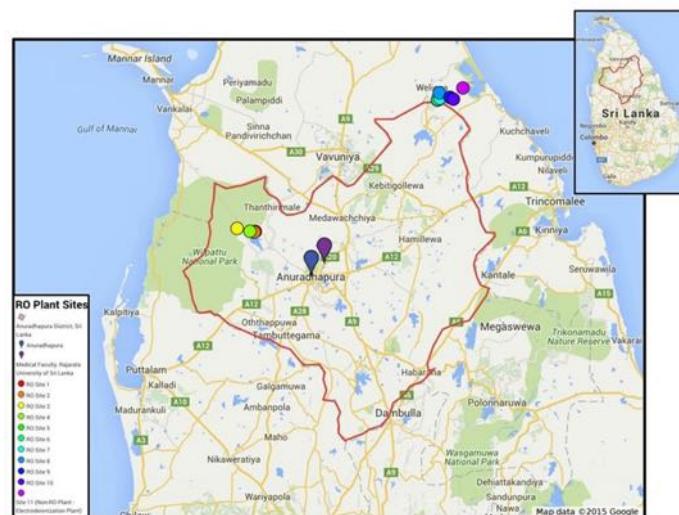


図 28 RO プラント調査位置

<sup>5</sup> Reverse osmosis plant maintenance and efficacy in chronic kidney disease endemic region in Sri Lanka

表 9 調査した RO プラントの概要

No.	場所	場所種別	資金 (管理)	原水	水消費日量(L)		価格	TDS (ppm)	
					雨季	乾季		原水	RO水
1	Dimutu Prajamula Sanvidana, Randuwa, Pemaduwa	公民館	CBO	浅井戸	2000-	5000-	2	655.7	19.7
			(CBO)		3000	6000			
2	Police station road, Pemaduwa	民間	民間資金 (民間)	管井戸	500	1000-	2	906.7	48
						2000			
3	Saubhagya Prajamula Sanvidana, 365 Mannar junction	公民館	CBO	浅井戸	500	500	2	494	9
			(CBO)						
4	Sri Bodhiukhkar amaya, tract 2, Pemaduwa	寺	商業組織 (CBO)	浅井戸	1000	1000	無料	871	65.3
5	Padavi, Pallugaswanga uwa	公民館	仏教組織 (CBO)	管井戸	2500	2500	1	386.3	38
6	Pradeshiya Sabha shopping complex	公民館	地方政府 (地方政府)	管井戸	800	1200	1	386.3	52
7	Tricomalee North Padavi Pallugahawan guwa Maha Vidyalaya	学校	商業組織/CBO	管井戸	500	500	学生無料	376	18
			3プラント (学校)						
8	Tricomalee North Padavi Gamunupura primary college	学校	中央政府 (学校)	上水道	600	700	学生/近隣住民 無料	293	12
9	Padavi tract 10 Tissa college, Padavi Sri Tissapura	学校	中央政府 (学校)	浅井戸	100	150-200	学生/近隣住民 無料	386.3	16
10	Padavi tract 11-12 Maha Vidyalaya, Sri Tissanur	学校	中央政府 3プラント (学校)	上水道	600-800	1000	学生無料	227.6	10
11	Sri Pavadavi 13 Vidyalaya, Sri Thissapura (イオン交換膜)	学校	地方政府 (学校)	浅井戸	200	200	学生無料 その他 1	374	281

表 10 RO プラントメンテナンスの概要

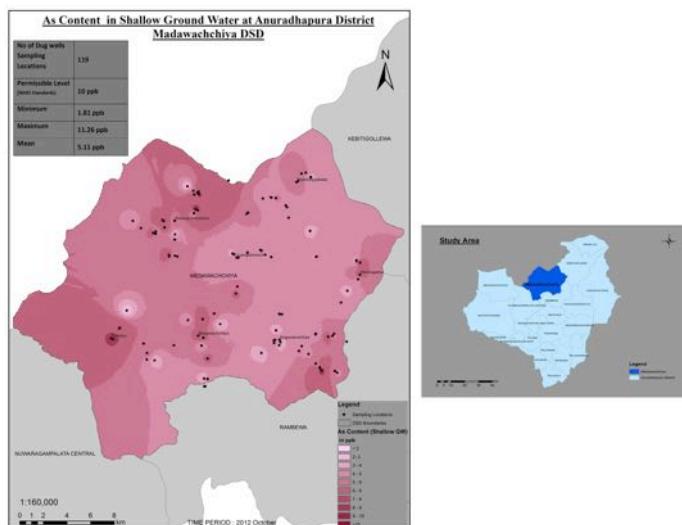
No.	プラント操業期間	RO フィルタの交換または洗浄の手掛かり	RO フィルタ洗浄頻度	RO フィルタ交換頻度
1	1年	水の味に関する苦情	毎日	乾季 3か月、雨季 5か月
2	2年	高 TDS、所有者は約 40 で維持	TDS が 40 を超えると洗浄	2年毎
3	4か月	週毎の TDS	毎日	未交換
4	1.5年	月毎の TDS、味	1日おき	6か月毎
5	1.5か月	不純物を調べるために水チューブを太陽光線に当てる	1日おき	6か月毎
6	2か月	TDS	1日おき	未交換
7	1年未満、6か月	味	2-3か月おき	未交換
8	1年、8か月	味	2週間おき	未交換
9	2年未満	水の味、プラントの発する音	2週間おき	6か月毎
10	2年未満	RO プラントからのうなり音	毎週	毎年
11	1年未満、6か月	味	毎日	未交換

また、Channa Jayasumana 教授によれば、CKDu の患者の 20%が女性であり、農薬・除草剤の散布だけではなく、飲料水、果実、コメの摂取も影響があると述べている。年齢は 40 歳～50 歳の層と若年層が多い。北中部州の 10-12 歳の 10%が、CKDu の兆候があるとのことである。従って、妊婦、新生児、小・中学生への安全な水の供給が課題である。

## イ 水資源公社報告書

水資源公社（Water Resources Board 以下 WRB）は、アヌラーダプラ県の Medawachchiya DSD において詳細な水質調査を実施し、その結果を 2013 年に報告している<sup>6</sup>。多くの研究では、環境中のフッ素、水の硬度、及び重金属（特にヒ素）が腎臓損傷と因果関係のある主要な環境要因であることを確認している。この調査の目的は、CKDu の影響を受けている Medawachchiya DSD の水質を明らかにすることで、腎臓患者と関係する地下水や地表水の水質を化学的パラメータと重金属について分析した。

ヒ素の WHO の基準値は、10ppb 以下である。ppb は、1mℓ中に 10 億分の 1g を表す単位である。図 29 に浅部地下水のヒ素濃度分布図を示す。平均値は 5.11ppb、最高値は 11.26ppb であった。



出展：Water Resources Board Home Page  
図 29 調査対象地域と浅部地下水のヒ素濃度分布図

この調査結果に基づき、WRB は以下の事項を提言している：

- ・ 社会環境論的な分析に基づき、Medawachchiya DSD の CKD 患者の 84% が 50 才以上の年齢であった。
- ・ 地下水中のヒ素の含有率は 2.67ppb～11.28ppb であり、ヒ素が農薬により水の中に添加されたことは明らかである。
- ・ 状況が改善されない限り、低品質の農薬を用いることにより、将来さらに地下水や地表水中のヒ素濃度は上昇するであろう。
- ・ 128 のサンプルのうち 76 の地下水サンプル（浅井戸と管井戸）のヒ素濃度は、5～10ppb であった。
- ・ 高いフッ素濃度（1.5mg/L 以上）は 22 サンプルで検出された。
- ・ 地下水中のヒ素濃度が CKDu に与える影響について、医療専門家によってさらに詳細に分析される必要がある。
- ・ 農業において農薬や化学肥料を減らすことを農家に周知すべきである。
- ・ 機肥料や重金属を含まない農薬の使用を奨励し、農業局（Department of Agriculture）を通じて、それらを供給すべきである。安全で環境に優しい農薬リストを作成し、農家が販売業者から低品質の農薬を直接購入できなくなる必要がある。

<sup>6</sup> Water Resources Board Home Page  
[http://www.wrb.gov.lk/web/index.php?option=com\\_content&view=article&id=103&Itemid=59&lang=en](http://www.wrb.gov.lk/web/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=59&lang=en)

- 農薬の使用を最小限にし、害虫を抑制する伝統的な方法を採用するよう農家に奨励すべきである。

### (3) 現地調査

図 30 に示す地域で、飲料水の実態調査を行った。

人間の飲用に最適な水は、余計な成分を含まず、有害な微生物を含まないことが基本である。水に含まれるミネラル分については、水以外の食物により充分な摂取が可能である。そこで、飲用に適した安全な水の指標の観点から全ての溶解物(TDS[Total Dissolved Solids: 総溶解固体])を含めた値を測定した。

判断基準は、以下の通りである<sup>7</sup>。

- 000 ～ 049 ppm: 理想的な飲料水
- 050 ～ 150 ppm: 許容可能な飲料水
- 151 ～ 300 ppm: 飲料水としては不適切
- 500 ppm 以上 : 米国環境保護局(EPA)の最大総溶解物質濃度

この値の中には、勿論、体に有益とされる物質も含まれているが、値が高くなるにつれて、飲用に適さない不純物が多くなる疑義が高まる、という簡易判断が可能である。

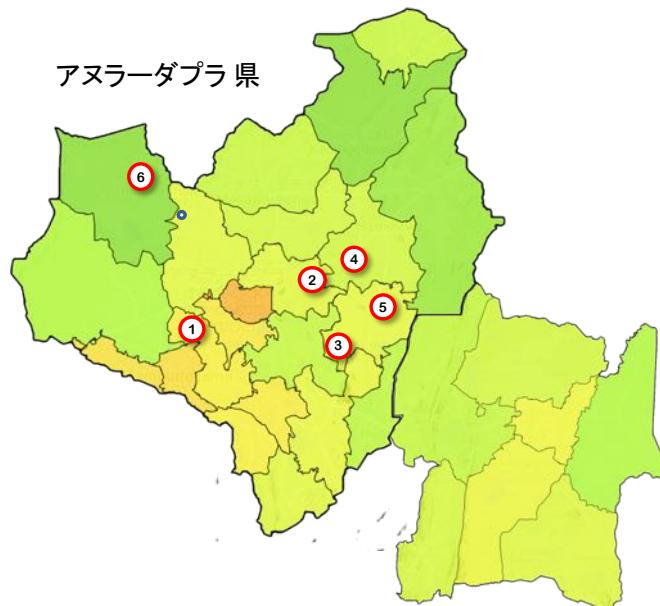


図 30 飲料水実態調査箇所

#### ① Thalawa DSD Kumbukgahawewa GND

Helabawewap 村を調査した。251 世帯で、28 人の腎臓病患者がいる。NWS&DB が村から数 Km 離れたタンク傍の井戸水を村の給水塔(写真 12 参照)にポンプアップし、塩素を添加しないで各家庭に給水している。小学校で水道水の分析を行った(写真 13 参照)。水道水の TDS は、471ppm であった。飲料水基準 500mg/l(≒ppm)(最大)はクリアしているが、飲料水としては不適切である。村民たちも、水道水は生活用水に使い、RO 膜浄水センターから給水車で水を販売しに来た水を飲用している。価格は 2LKR/l であるが、それを購入できない家庭では、水道水か井戸水を飲用している。腎臓病患者の家庭を訪問した(写真 14 参照)。井戸水の TDS 分析値は、590ppm(写真 15 参照)で、最大飲料水基準値を超えていた。この家庭は、RO 膜浄水センターが出来るまでは、井戸水を飲用していた。

<sup>7</sup> <http://blog.goo.ne.jp/syougai0014/e/1ed222c58c23a2efd863e369d12198c0>



写真 12 上水の給水塔



写真 13 村の小学校で水道水を調査



写真 14 腎臓病患者の家庭



写真 15 農家の井戸で水質を調査

No.68 RO 膜浄水センター(写真 16 参照)を調査した。No.68RO 膜浄水センターは、CBO が 990,000LKR(742,500 円)、中央政府が 385,000LKR(288,750 円)、計 1,375,000LKR(1,031,500 円)で建設された。2016 年 5 月 25 日に竣工、528 世帯に RO 水を 1LKR/ℓで販売している。



写真 16 No.68 RO 膜浄水センター



写真 17 RO 膜浄水の販売トラクタ

② Mihinthale DSD Seppukulama GND

Seppukulama GND の CBO 給水センターは、RO 膜浄水器を設置して、ポンプアップした水を浄水して飲料水を販売している(写真 18,19 参照)。



写真 18 CBO の給水塔と CBO 事務所



写真 19 CBO 事務所  
(RO 膜浄水機を設置して飲料水を販  
売)

③ Galenbidunuwewa DS Wannamkulama GND

Wannamkulama GND の CBO 給水センターは、2016 年 12 月 31 日に竣工したばかりであるが、水源は浅井戸でタンクに隣接しているため、水質が悪く放棄されている(写真 20 参照)。



給水塔



浅井戸とポンプ小屋



ポンプ



浅井戸に隣接したタンク

写真 20 放棄された給水センター

④ Kahatagasdigilya DSD Mekichchawa GND

農家の井戸水の状況を調査した。井戸水を屋根の上のタンクにポンプアップし飲料水として利用していた。TDS は、351ppm であった (写真 21 参照)。



写真 21 農家の井戸水利用

#### ⑤ Galenbindunuwe DSD 21 Colony West GND

No.40 RO 膜浄水センターを調査した。658 人に給水している。水源は、浅井戸であり、水田に隣接していて、原水の TDS は 36ppm であった(写真 22 参照)。



写真 22 No.40 RO 膜浄水センター

#### ⑥ Mahavilachchiya DSD Nelumvila GND

調査した小中学校では、生徒数 338 人で、深さ 45m の井戸水が飲用水である。井戸水の TDS は、435ppm であった。民間企業から台湾製の  $0.5\text{m}^3/\text{h}$  の RO 膜浄水機が寄贈され、試運転中であった(写真 23 参照)。



写真 23 民間企業から小学校に寄贈された RO 膜浄水機

CKDu 患者地区の飲料水の水質を調査した。農家が購入した飲料水は 463ppm と処理されていない水が販売されていた。井戸水は、1,060ppm であった(写真 24 参照)。



農家の飲料水

販売されている飲料水  
TDB 463ppm

井戸水  
TDB 1,060ppm

写真 24 CKDu 患者地区的飲料水

#### (4) RO 膜浄水機による水質検査

北中部州の地域毎に飲料水源の水質は異なり、RO 膜浄水機で効率的、効果的に処理する方法、例えば前処理の方法が異なる。そこで、北中部州 29 の DSD から、36 箇所を選定して飲料源水を採取した。(図 31、図 32 参照) 採取した飲料水源は、アヌラーダプラ市の NWS&DB の CKDu プロジェクトオフィスに設置した RO 膜浄水機(写真 25 参照)で浄水処理し、NWS&DB 北中部州事務所水質検査所(写真 26 参照)で原水、浄水、排水の水質分析を行った。その結果を元に、現地の原水の水質等の諸条件に合致した浄水機の仕様の作成、設計を行った。



写真 25 CKDu プロジェクトオフィスに設置した RO 膜浄水機



写真 26 NWS&DB 北中部州事務所水質検査所

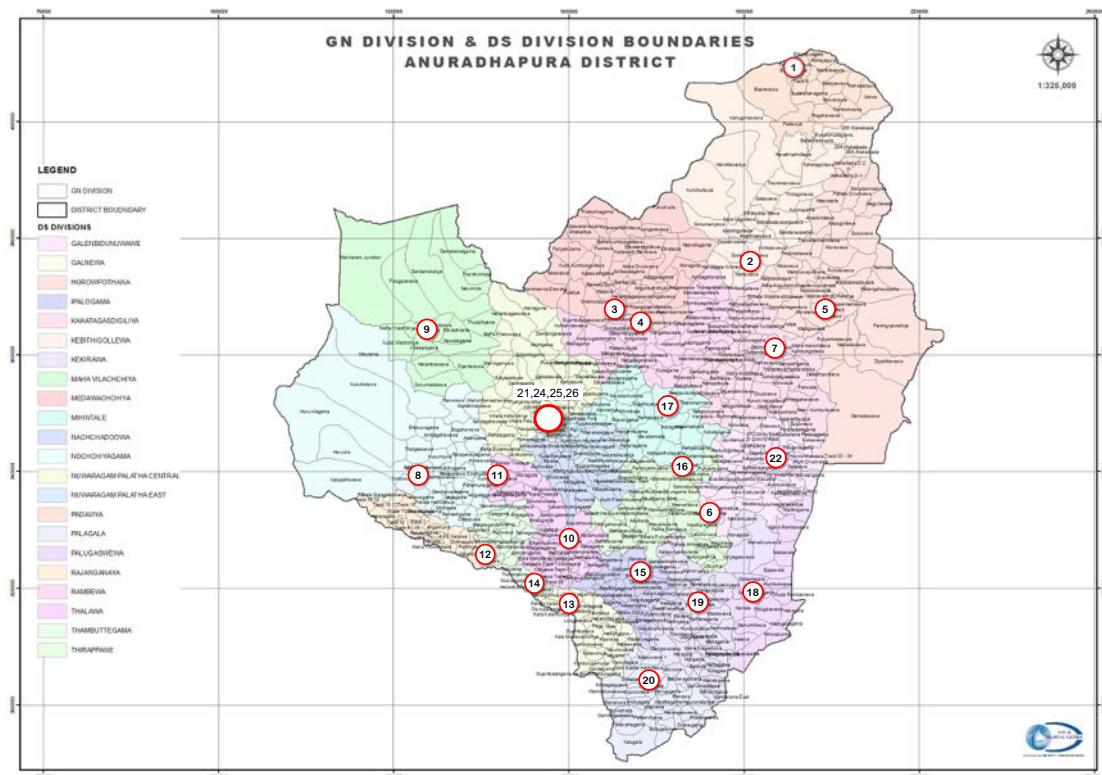


図 31 アヌラーダプラ県の飲料水源のサンプリング箇所

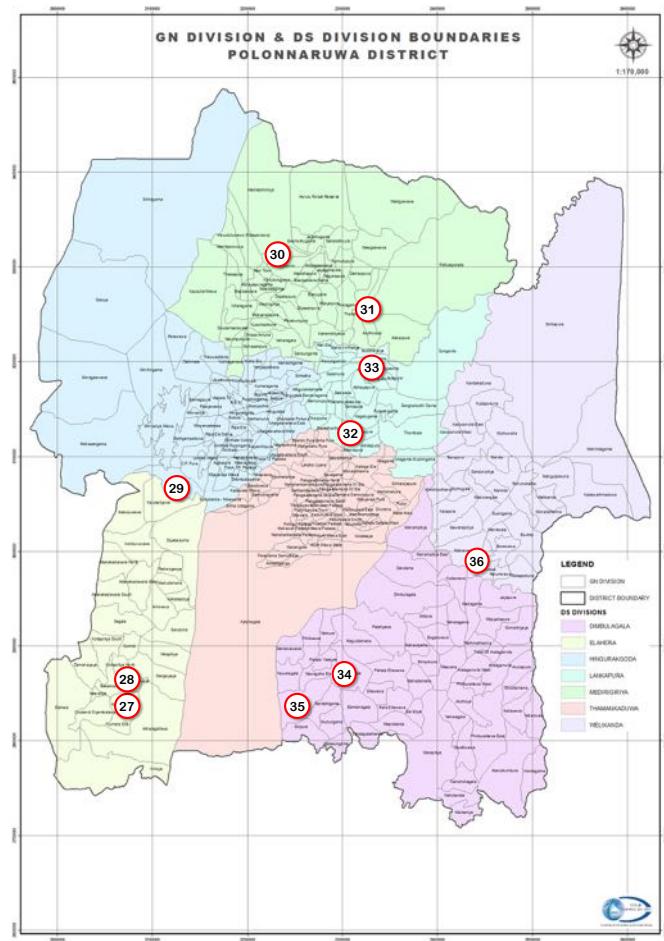


図 32 ポロンナルワ県の飲料水源のサンプリング箇所

スリランカの飲料水基準を、表 11 に示す。NWS&DB の分析センターは、重金属の分析が出来ないことから、表 12 に示すこれらを除く項目の分析を行った。

Emax の RO 膜浄水機で濾過した水は、スリランカ国の飲料水基準をクリアしている。

原水に関しては、43P の表 13 に示す様に、TDS、塩素化合物、全アルカリ度、総硬度、フッ素、Ca、Mg がスリランカ国の基準値を超えるケースが多い。TDS、塩素化合物、全アルカリ度、総硬度については、RO 膜で除去できる。Ca、Mg は、RO 膜保護の観点から、前処理で除去した方が好ましい。

表 11 飲料水基準 – 第一改訂版  
(飲料水に関するスリランカ基準 – SLS 614: 2013)

項目	基準
A. 物理的・感覚刺激性要件	
色、ハーゼン単位(最大)	15
臭気	異常でないこと
味	異常でないこと
濁度(NTU:ネフロ分析濁度単位)(最大)	2
pH( $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ )	6.5~8.5
B. 化学的要件	
アルミニウム(Al)に関して)(mg/l)	0.2
アンモニア; 遊離アンモニア(NH <sub>3</sub> )に関して)(mg/l)	0.06

アルブミノイドアンモニア(mg/l)	0.15
陰イオン界面活性剤 (メチレンブルー活性物質に関して)(mg/l)	0.2
カルシウム(Ca に関して)(mg/l)	100
塩素化合物(Cl <sup>-</sup> に関して)(mg/l)	250
化学的酸素要求量(COD)(mg/l)	10
銅(Cu に関して)(mg/l)	1.0
フッ素(F に関して)(mg/l)	1.0
遊離残留塩素(mg/l)	1
鉄(Fe に関して)(mg/l)*	0.3
マンガン(Mn に関して)(mg/l)*	0.1
マグネシウム(Mg に関して)(mg/l)**	30
硝酸塩(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> に関して)(mg/l)	50
硝酸塩(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> に関して)(mg/l)	3
ニッケル(Ni に関して)(mg/l)	0.02
油・グリース(mg/l)	0.2
フェノール系成分(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH に関して)(mg/l)	0.001
ナトリウム(Na に関して)(mg/l)	200
硫酸塩(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> に関して)(mg/l)**	250
全アルカリ度(CaCO <sub>3</sub> に関して)(mg/l)	200
総溶解固体分(mg/l)(最大)	500
総硬度(CaCO <sub>3</sub> に関して)(mg/l)	250
総リン酸塩(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> に関して)(mg/l)	2.0
亜鉛(Zn に関して)(mg/l)	3.0
ヒ素(As に関して)(mg/l)	0.01
カドニウム(Cd に関して)(mg/l)	0.003
クロム(Cr に関して)(mg/l)	0.05
シアン化合物(CN <sup>-</sup> に関して)(mg/l)	0.05
鉛(Pb に関して)(mg/l)	0.01
水銀(Hg に関して)(mg/l)	0.001
セレン(Se に関して)(mg/l)	0.01
C. 細菌要件	
(a) 净水場及び配管給水系統	
糞便性大腸菌/100ml または耐熱性大腸菌/100ml	検出されないこと
大腸菌群/100ml	(i) いかなる 100ml サンプルにおいても 3 を超えない (ii) 連続する 2 サンプルで検出されない
(b) 大規模給水	
糞便性大腸菌/100ml または耐熱性大腸菌/100ml	検出されないこと
総大腸菌/100ml	(i) 1 年間のサンプルの 95%以上で 検出されない、及び (ii) 残る 5%サンプルで 10/100ml を超えない
(c) 戸別あるいは小規模地域給水	
糞便性大腸菌/100ml または耐熱性大腸菌/100ml	検出されない
大腸菌群/100ml	10 を超えない

\* : マンガン(Mn に関して)及び鉄(Fe に関して)の合計濃度は 0.3mg/l を超えないこと。

\*\*: 250mg/l の硫酸塩が存在する場合は、マグネシウムは 30mg/l 以上あってはならないが、硫酸塩がそれより少ない場合には、マグネシウムは 150mg/l まで許容される。

表 12 分析項目

項目	基準
A. 物理的・感覚刺激性要件	
色、ハーゼン単位(最大)	15
濁度(NTU:ネフロ分析濁度単位)(最大)	2
pH(25°C±2°C)	6.5~8.5
B. 化学的要件	
総溶解固形分(TDS)(mg/l)(最大)	500
塩素化合物(Cl⁻に関して)(mg/l)	250
全アルカリ度(CaCO₃に関して)(mg/l)	200
総硬度(CaCO₃に関して)(mg/l)	250
硝酸塩(NO₃⁻に関して)(mg/l)	50
硝酸塩(NO₂⁻に関して)(mg/l)	3
硫酸塩(SO₄²⁻に関して)(mg/l)**	250
フッ素(Fに関して)(mg/l)	1.0
総リン酸塩(PO₄³⁻に関して)(mg/l)	2.0
鉄(Feに関して)(mg/l)*	0.3
カルシウム(Caに関して)(mg/l)	100
マグネシウム(Mgに関して)(mg/l)**	30
マンガン(Mnに関して)(mg/l)*	0.1
アンモニア; 遊離アンモニア(NH₃に関して)(mg/l)	0.06
C. 細菌要件	
糞便性大腸菌/100ml または耐熱性大腸菌/100ml	検出されない
大腸菌群/100ml	10を超えない

#### ▪ TDS

TDSについては、飲料水として適しているのは 150mg/l(≒ppm)以下である。サンプリングした飲料水は、全て飲料水としては不適格である。又、現地調査した上水の飲料水の中にも不適格なケースが多い。上水道のある地域も含めて、村落毎に水道水を RO 膜で安全な水にするセンターの設置のニーズが大きい。

#### ▪ 塩素化合物

いわゆる塩素イオンのことである。塩化物が水に溶けている時の塩素分を指す。消毒用の塩素と異なり、殺菌作用は無い。自然水にも多少の塩素イオンを含んでいるが、主として生活排水中に含まれ、特にし尿には塩化物が多量にあるので、し尿を多量に含む下水は塩化物イオン濃度が高い。人間のし尿には約 5500mg/l の塩素イオンが含まれており、井戸水のし尿による汚染の指標の一つとなる。今回、細菌要件の分析ができなかったが、数値が大きいと大腸菌等による汚染も推測される。

#### ▪ 全アルカリ度

自然水のアルカリ度は、アルカリ金属とアルカリ土類金属の炭酸塩が主体をなすことが多い。Na は人体にとって必要なミネラルであるが、過剰摂取は好ましく無い。Na の過剰摂取は、高血圧やがんを主とする生活習慣病の原因の一つである。又、腎臓の機能が低下すると、体内に入った Na 排泄が不十分になる。北中部州は、CKDu 患者が多い地域であり、全アルカリ度は小さい方が好ましい。

#### ▪ 総硬度

アルカリ土類金属である Ca と Mg の塩類を多く含む水を硬水、少ない水を軟水という。WHO の基準は、以下の通りである。

60mg/l 以下

60 – 120mg/l 中程度の硬水

120 - 180 mg/l 硬水

180mg/l 以上 非常な硬水

スリランカ国の水質基準は、250 mg/lであり、サンプルした井戸水は、基準値以下を含めて、非常な硬水といえる。CaとMgを除去することで、改善される。

- **F (フッ素)**

フッ化物を過剰摂取すれば、歯に褐色の斑点や染みができる症状を指すフッ素症を発症する。中等度の症例では、エナメル質にいくつかの白い点や小さな孔が生じる。より重症だと、茶色い染みが生じる。その結果、歯の見栄えが悪くなる。

- **Ca 及び Mg**

CaとMgは、人体にとって必要なミネラルである。他方、CaとMGは、RO膜の表面に付着し、目詰まりにより、機能を低下させて寿命を短くさせる。メンテナンスの面からも、含有量が少ない事が好ましい。

- **大腸菌**

大腸菌とは、特定酵素基質培地法によって $\beta$ -グルクロニダーゼ活性を有すると判定された好気性または通性嫌気性の細菌のことをいう。大腸菌はヒトや動物の腸管内に常在し、ヒトの糞便中の大腸菌群の90%以上を占めている。糞便汚染のないところで検出されることはまれであり、わが国では2004年(平成16年)に大腸菌群に代わって飲料水の水質基準項目となった。

- **大腸菌群**

大腸菌群とは、好気性または通性嫌気性のグラム陰性無芽胞の桿菌で、乳糖を分解して酸とガスを生じるか、または $\beta$ -ガラクトシダーゼ産生の細菌群です。大腸菌やサイトロバクター、クレブシエラなどの腸内細菌以外にも、水中や土壤中で増殖する細菌も含まれる。環境水の測定では、環境基準の告示方法であるBGLB法にて行う。

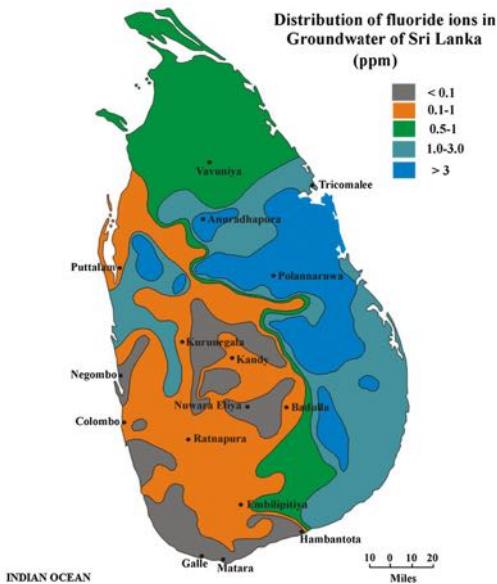
今回、アヌラーダプラ県の普及実証事業実施候補地10箇所でサンプリングし、大腸菌群、大腸菌の分析したところ8箇所から大腸菌が検出された。

重金属と農薬の分析ができなかった。重金属と農薬の一部については、スリランカ国内で分析が可能である。普及・実証事業では、これらの分析を行い、前処理設備とRO膜で、農薬・除草剤・重金属等の有害物質を除去する事が課題である。

スリランカ国の地下水のフッ素含有量分布を図33に示す。本調査対象地域の北中部州は、1ppm ( $\approx$  mg/l)以上である。水中のフッ化物の地質源は、主に岩石や堆積物中のフッ素を有する鉱物である。サンプリングの結果では、最大でも1.7mg/lである。これは、サンプリングした井戸が浅井戸で、水源がタンクや雨水の浸透水であることに起因すると考えられる。

表 13 水質検査結果

非公開



出展：[https://www.researchgate.net/figure/304068746\\_Fluoride-distribution-in-Sri-Lanka-modified-after-Dharmagunawardhane-and-Dissanayake](https://www.researchgate.net/figure/304068746_Fluoride-distribution-in-Sri-Lanka-modified-after-Dharmagunawardhane-and-Dissanayake)

図 33 スリランカ国の地下水のフッ素含有量分布

#### (5) RO 膜浄水機設置による操作性等調査

ポロンナルワ市の Polonnaruwa Royal School に、RO 膜浄水機を設置し、操作性等の試験を行った（写真 27 参照）。学校への設置のニーズが高い。ここで問題となったのは、RO 膜水による浄化の際に排水する濃縮水である。もったいないとの意見があり、花壇、清掃等に使うように進言した。



写真 27 Polonnaruwa Royal School に設置した RO 膜浄水機

#### (6) 手動式 RO 膜浄水器の適応性調査

表 14 に示す箇所で手動式 RO 膜浄水器の適応性を調査した。ポロンナルワ県 Thamankaduwa DSD の Pothgul Pedesa GND 事務所に設置した手動式 RO 膜浄水器の原水は飲料水で、TDS は 113PPM。RO 水は 17PPM であった（写真 28 参照）。同事務所は、地区的新生児を抱えるお母さん 40 人が月 2 回、妊婦 30 人が月 1 回検診を行うとともに、地区的集会が行われている。



手動式 RO 膜浄水器

原水（水道水）  
TDS 113ppm

RO 膜による浄水  
TDD 17ppm

写真 28 GND のオフィスに設置された手動式 RO 膜浄水機

表 14 手動式 RO 膜浄水器設置箇所

District	DSD	GND Name or School Name
Anuradhapura	Palagala	A/Ranawa Primary School - Galkiriayagama
Anuradhapura	Palagala	A/ Balaluwewa Muslim Maha Vidyalaya
Anuradhapura	Palagala	A/ Habaraththewala Vidyalaya
Anuradhapura	Palagala	A/Dambublu Halmillewa Vidyalaya
Polonnaruwa	Thamankaduwa	Pothgul Pedesa GND Ofice
Polonnaruwa	Lankapura	Early Child Hood Development Centre - Lankapura
Polonnaruwa	Lankapura	Sri Dakshinaramaya - 128 Lankapura
Polonnaruwa	Lankapura	Sri Sambuddha Jayanthi Aramaya - 128 Lankapura

## 2-4 開発課題解決貢献可能性

本調査で、北中部州で飲料源水を採取し分析した。その結果、汚染が軽微な飲料水源もあることがわかった。これは、廉価なナノマイクロフィルターで安全・安心な水を作る事ができる。

また、妊婦、新生児、小・中学生への安全な水の供給が課題であり、学校や病院等への RO 膜浄水機と手動式 RO 膜浄水器のニーズは高いことも明らかになった。他方、既存の RO 膜浄水機は、RO 膜の交換等のメンテナンス、故障への対応が、十分にできないという課題がある。手動式小型 RO 膜浄水器を普及しようとすれば、数が多くなる事もあり、現時点では、メンテナンス、故障への対応出来ない。

そこで、農村地域の住民への安全な飲用水の供給を図るため、Emax の①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機を普及する。また、現地法人と提携して、メンテナンス体制を整える。手動式小型 RO 膜浄水器は、メンテナンス体制が整った段階で、

ビジネスで普及を目指す。

Emax の①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の普及により、飲料水である井戸水の農薬、除草剤、化学肥料や、フッ素、大腸菌等を除去して安全な水にすることができる。そして、地域住民の水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症の予防に貢献することができる。

## 第3章 ODA 案件化

### 3-1 ODA 案件化概要

スリランカ国において、普及・実証事業により Emax 社製の①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機を CBO の浄水センターに設置する。飲料水である井戸水の農薬、除草剤、化学肥料や、フッ素、大腸菌等を除去して安全な水にして、地域住民に安全・安水を給水し、地域住民の水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症の予防に貢献するモデルを確立する。

これにより、農村地域の人々の飲料水に起因する水系感染症をはじめとする疾病のリスクと健康被害が軽減する。

### 3-2 ODA 案件内容

北中部州の農村地域では、地域住民の井戸水の飲用による水系感染症、歯牙フッ素症、CKDu 等の健康被害が課題となっている。この課題の解決のため、Emax の浄水機器を導入・普及するには、安全で清浄な飲料水にする技術的優位性、それに伴う国民への健康被害が緩和されるという優位性、ウォーターサーバーやペットボトルに対する経済的優位性が認知されることが必要である。そこで、大統領府 CKDu タスクフォースをカウンターパートとして CBO が運営するコミュニティーの浄水センターに Emax の①節水型 RO 膜浄水機、または②ナノマイクロフィルター浄水機を設置して安全な水の供給を行う普及・実証事業を行い、NWS&DB の中部州事務所に水質改善効果を評価してもらうことで、これらの優位性を実証する。

普及・実証事業では、大統領府 CKDu タスクフォースをカウンターパートとして、大統領府 CKDu タスクフォースが行っている北中部州の農村地域の井戸水を安全で清浄な飲料水にする取り組みとタイアップして、普及・実証事業を行う。

大統領府 CKDu タスクフォースは、300～500 世帯に 1 箇所、RO 膜浄水センターに造水能力  $0.5\text{m}^3/\text{h}$  の RO 膜浄水機を設置していることから、アヌラーダプラ県とポロンナルワ県の 20 箇所に図 34 に示す RO 膜浄水センターを新たに設けて、Emax の造水能力  $0.5\text{m}^3/\text{h}$  の①節水型 RO 膜浄水機を 10 台と、②ナノマイクロフィルター浄水機を 10 台を設置する。そして、1 万世帯に 1 世帯あたり 20ℓ/日給水し、地域住民の水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症の予防に貢献するモデルを確立する。

節水型 RO 膜浄水機は、P44 の表 13 水質検査結果の、TDS が基準値  $500\text{mg}/\ell$  を超える井戸か、F(フッ素) が基準値の  $1.00\text{mg}/\ell$  を超える井戸に設置する。基準値をクリアする井戸には、②ナノマイクロフィルター浄水機を設置する。

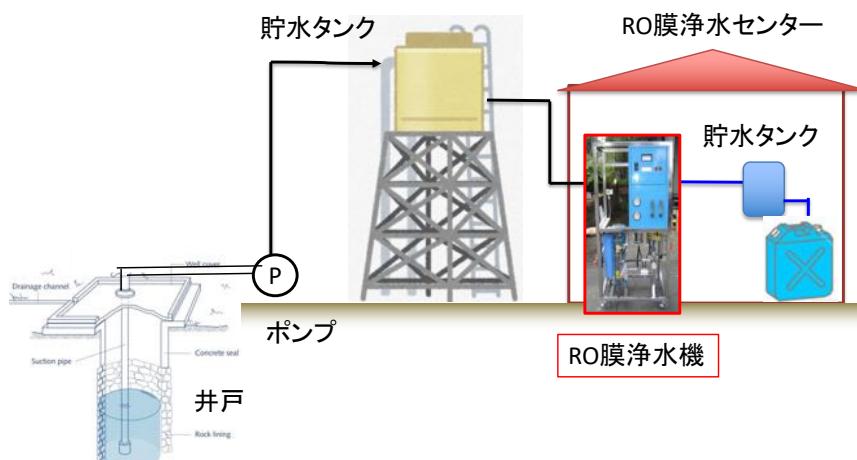


図 34 コミュニティーの浄水施設用 RO 膜浄水機

事業実施サイトは、図 31 と図 32 に示す北中部州のアヌラーダプラ県とポロンナルワ県の飲料水源のサンプリングを行った場所である。

また、現地法人と提携して、メンテナンス体制を整え、スリランカ国内で製造して、持続的に浄水機が使用できるようにし、全国の農村地域への導入・普及を目指す。

普及・実証事業の目標・成果・活動を、表 15 に示す。

表 15 普及・実証事業の目標・成果・活動

目標	
北中部州に、節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機が導入されて安全な水の供給が行われ、地域住民の健康被害が軽減される。	
成果 1  北中部州に節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機が導入されて、地域住民に安全な水が供給される。	活動 1-1 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機を設計、製造し、設置する。  活動 1-2 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機を稼働させて、地域住民に安全な水を供給する。  活動 1-3 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の水と原水をサンプリングして分析し、得られたデータ評価を行い、北中部州の飲料水改善効果を評価する。
成果 2  節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機による給水モデルが策定される。	活動 2-1 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機が適切に運転して水を浄化しているか確認し、必要に応じ改善する。  活動 2-2 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の運転・メンテナンスを行い、運転管理マニュアルを整備する。  活動 2-3 節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の技術移転を行い、自国の技術で節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の製造、運転管理、メンテナンスが行えるようにする。
成果 3  節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機がスリランカ国に普及し、地域住民の安全な水へのアクセスが改善し、健康リスクが軽減する。	活動 3-1 見学会を開催し、日本の節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の技術的優位性、経済的優位性を紹介する。  活動 3-2 現地法人との業務提携により、現地企業が節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の製造、販売、施工、メンテナンスを行うビジネスモデルが確立する。  活動 3-3 現地企業が節水型 RO 膜浄水機とナノマイクロフィルター浄水機の製造を行い、低価格の製品が販売される。

### 3-3 C/P 候補機関組織・協議状況

- カウンターパート機関名

大統領府 CKDu タスクフォース Project Director Mr. Asela Iddawela

- カウンターパート機関基礎情報（所轄省庁等名、事業内容、体制の概要）

大統領府 CKDu タスクフォースは、大統領府直轄の機関で、北中部州を中心とした地域で発生している CKDu の撲滅のための活動を行っている。CKDu タスクフォースは、慢性腎臓病対策として北中部州を中心に、CKDu が発症している地域で生活する住民に安全な飲料水を提供するために、長期、中期、短期に区分されたプログラムを行っている。2016 年には、CKDu 対策に 10 億 LKR(約 7 億円)の予算措置がなされ、以下のプロジェクトに 6 億 8,015 万 LKR(4.76 億円)が投じられた。どう予算で、2016 年には RO 膜浄水機プラントを 62 箇所に設置、94 台の RO 膜浄水機プラントを学校に設置した。

- 選定理由

MCPWS と NWS&DB をカウンターパートに、案件化調査を実施した。普及・実証事業のスリランカ側の予算措置について、MCPWS と協議した。大統領府 CKDu タスクフォースの予算

で活動を行なっており、MCPWSとしての予算が無く、普及・実証事業の予算措置が出来ないとのことであった。

大統領府 CKDu タスクフォースは、CKDu 発症地域で、RO 膜浄水機を設置するプロジェクトを実施している。大統領府 CKDu タスクフォースと協議したところ、普及・実証事業のスリランカ側の予算措置を行い、事業に協力することであった。そこで、大統領府 CKDu タスクフォースをカウンターパートとすることとした。

#### • カウンターパート機関と提案者での協議の有無、および協議の内容

2017年11月10日にシリセーナ大統領に、検証用 RO 膜浄水機を寄贈した際に面談し、普及実証事業で北中部州に RO 膜浄水機を設置したい旨紹介したところ、スリランカ政府として支援すると表明があった。

2018年3月2日、大統領府 CKDu タスクフォース Project Director Mr. Asela Iddawela と協議し、大統領府 CKDu タスクフォースが普及実証事業のカウンターパートとなり、建屋建設等スリランカ側の予算措置を行うとともに、免税措置等の便宜供与を行うことで合意した。また、海軍等が RO 膜浄水機の設置事業を行なっている。ビジネスとして、海軍に納品することを進められた。

#### • 役割

現在予定しているスリランカ側と日本側の事業分担を表 16 に示す。

表 16 スリランカ側と日本側の事業分担

	日本側	スリランカ側
浄水機の設置に係る許認可手続き		○
浄水機の設置場所の提供		○
利害関係者会議	○	○
浄水センター建設のためのボーリング、建物建設、付帯設備の費用負担		○
浄水機設置のための既存の井戸の改修、付帯設備の費用負担		○
浄水機の輸入手続き・国内輸送		○
浄水機の供与と設備の設置	○	
浄水機の試運転と運転・管理指導	○	
浄水機の運転管理		○
運転コストと保守費用の負担、浄水機にかかる各種税金		○
浄水機で造水した飲料水の水質分析		○

- RO 膜浄水センターの土地の所有者は CBO であり、CBO が設備の管理と地域住民への給水を行う。
- 受益者は、同地域で、安全な水にアクセスできない地域住民である。
- 大統領府 CKDu 政府が設備を所有し維持管理が適切に行われることに責任を負う。そして、ランニングコスト・メンテナンスコストの負担をおこなう。
- NWS&DB の CKDu プロジェクトオフィスは、現在、RO 膜浄水機の設置と維持管理を行っており、技術とノウハウを有している。従って、設備の維持管理は CBO が行い、NWS&DB の CKDu プロジェクトオフィスが CBO に対して監督・指導を行う。
- 10,000 世帯の地域住民に安全な水を供給して、技術的・経済的な適合性を普及・実証事業で検証する。そして、地域住民の水系感染症、CKDu、歯牙フッ素症の予防に貢献する。

- ・ 日本側が提供するには、①浄水施設用節水型 RO 膜浄水機と②浄水施設用ナノマイクロフィルター浄水機、貯水タンクである（図 34 参照）。
- ・ 大統領府 CKDu タスクフォースは、建屋の建設、井戸の掘削、ポンプ・水タンク等の設備費用、RO 膜浄水機との配管工事費を負担して浄水センターを建設する。現在実施しているプロジェクト同様、浄水センターは CBO が管理し、センター職員を置く。そして、飲料水は 1LKR/ℓ (0.75 円) で販売し、メンテナンス費やスタッフ人件費にあてる。腎臓病患者の料金は、無料とする。

### 3-4 他 ODA 案件との連携可能性

JICA では、「アヌラーダプラ県北部上水道整備計画（フェーズ 2）」を、アヌラーダプラ県の 23 郡のうち北部の 6 郡を対象として実施しており、2016 年 11 月 17 日、スリランカ民主社会主義共和国政府との間で、「アヌラーダプラ県北部上水道整備事業（フェーズ 2）」を対象として 231 億 3,700 万円を限度とする円借款貸付契約に調印した。カウンターパートは MCPWS であるが、設備の運用を行うのは NWS&DB 北中部州事務所である。

同事業は、アヌラーダプラ県北部で表流水を飲料水源として上水事業を行うものである。北中部州で NWS&DB 北中部州事務所が行う既存の給水事業と同事業で行う給水事業地域以外が、普及・実証事業及びビジネス展開を行う地域となる。同事業で得られたデータを活用することで、提案する普及・実証事業の評価とビジネス展開計画を策定したいと考えている。

### 3-5 ODA 案件形成における課題・リスクと対応策

普及・実証事業でのポイントは、①浄水施設用節水型 RO 膜浄水機と②浄水施設用ナノマイクロフィルター浄水機で造水した飲料水の水質管理である。水質基準は、Sri Lanka Standard 614 : 2013 ”Specification for Potable Water (First Revision)” に規定された各項目の基準値をクリアする必要がある。その試験や評価を行う機関は、カウンターパートである NWS&DB の北中部州事務所の水質検査所である。

従って、本調査で、RO 膜浄水設備 1 基を NWS&DB の CKDu プロジェクトオフィスに設置し、北中部州の井戸水をサンプリングして浄水し、その水質試験を行って、基準値をクリアできるか確認した。問題点等あれば改善し、導入する①浄水施設用節水型 RO 膜浄水機と②浄水施設用ナノマイクロフィルター浄水機の設計、仕様に反映させた。

また、導入する Emax の①浄水施設用節水型 RO 膜浄水機と②浄水施設用ナノマイクロフィルター浄水機の操作や、設置作業、メンテナンス作業が、現地の諸条件に合致するか確認する必要がある。案件化調査で、RO 膜浄水設備 1 基を設置して、操作性等等、技術面の適合性を確認し、問題点等を導入する浄水機の設計、仕様に反映させた。

### 3-6 環境社会配慮等

スリランカ国内において新たにプロジェクト/事業を開始する場合には、まずそのプロジェクト/事業が EIA（環境影響評価）の対象となるかについて調査する必要がある。EIA に係る担当機関は国家環境法(National Environmental Act, No.47 of 1980)【A-1】に基づき設立された環境省 (MOE: Ministry of Mahaweli Development and Environment) 傘下の中央環境局 (CEA: Central Environmental Authority) である。EIA に係る手順・手続きは CEA が取りまとめた EIA プロセスに関するガイダンス(Guidance for implementing the EIA Process, 2003)【G-2】に詳細に記載されている。

提案プロジェクト/事業が EIA の適用対象となる条件は、国家環境規則（プロジェクト承認手順）の Part1~Part3 にそれぞれ一覧として記載されている。

EIA が必要なプロジェクトは、大規模開発および環境影響を受けやすい地域とされており、本プロジェクトは、Part I で認可が必要な給水事業にして規定されている処理日量 50 万 m<sup>3</sup> に比較するとはるかに小さいため、EIA は考慮しなくてよいと認識している。

RO 膜浄水装置から排出される濃縮水に関しては、直接的にその排出基準を定めた法規や基準は存在しないが、関連する the National Environmental (Protection and Quality)

Regulations, No. 1 of 2008.に規定されている環境基準に準拠することとする。この基準を上回る成分が濃縮水で検出された場合には、濃縮水と原水を混合して成分濃度を基準値以下に希釀した後に排出する。

### 3-7 期待される開発効果

開発課題 1：北中部州の地域住民の飲料水源である井戸水は、家庭のトイレ、水田に施される化学肥料、農薬、除草剤等で汚染されている。また、土壤等に起因し、Ca、Mg が多くて硬度が高い。加えて、フッ素が多いケースも多い。中部州の井戸水の水質や汚染状況は地域により異なる。地域毎の水質に応じて適切に処理するコストパフォーマンスの良い浄水機の開発と普及が望まれている。

開発効果 1：普及・実証事業で、コミュニティー浄水センターに Emax の①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機が合計 20 セット設置され、安全な水を供給されることが実証される。

開発課題 2：地域毎の水質に応じて適切に処理するコストパフォーマンスの良い浄水機の普及が遅れているため、地域住民は、安全な水にアクセスすることが出来ない。そして、水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症等の健康リスクを有している。

開発効果 2：コミュニティ浄水センターは、500 世帯に対して 1 世帯に飲用に 20ℓ を給水する。飲料水の給水量は 500 世帯 × 20ℓ で 10m<sup>3</sup>/日である。従って、普及・実証事業で、1 万世帯に 200 m<sup>3</sup>/日の安全な水が供給される。

開発課題 3：既存のコミュニティ浄水センターの RO 膜浄水機は、適切に管理されていない、メンテナンスが行われていない等の問題を抱えている。人材を育成し、浄水機の管理・メンテナンスを行うシステムを構築することが必要である。

開発効果 3：Emax が、提携する現地法人を選定して①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の運転・メンテナンスの技術移転を行い、人材が育成される。

## 第4章 ビジネス展開計画

### 4-1 ビジネス展開計画概要

Emax は、スリランカ資本と提携して、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機を製造（組み立て）、販売、メンテナンスを行う会社の設立を行う計画である。製造工場は、アセンブル工場（組み立て工場）で、コストダウンを行うため、高価格の日本部品は極力少なくし、同等の性能を有する台湾、韓国製等の部品を調達する。

スリランカ政府及び、ポロンナル県政府は、ポロンナル市で RO 膜浄水機を製造することを期待している。ポロンナル県政府は、RO 膜浄水機の組み立て工場の土地・建屋の提供を申し出ている。そこで、組み立て工場は、ポロンナル市に予定している。

- ・ 工場面積 : 500m<sup>2</sup>
- ・ 建物面積 : 300m<sup>2</sup>
- ・ 資材調達 : 台湾、韓国、日本、スリランカ国
- ・ 工場備品 : 溶接機、作業台、工具
- ・ 水質検査器（簡易型水質検査器）

表 17 生産計画

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
① 節水型 RO 膜浄水機 or ② ナノマイクロフィルター 浄水機	60 台	120 台	120 台	120 台	120 台

表 17 に生産計画を示す。従業員は 10 名で、年間 120 台の生産を目指す。初年度は技術指導を行い、浄水機製造技術の習得を行う期間なので、月間 5 台で年間 60 台の生産を目指す。

当面のターゲットは、北中部州の CKDu プログラムによるコミュニティーの給水センターへの RO 膜浄水機の製造・販売である。NWS&DB は、アヌラーダプラ県のおよそ 200 の地域とポロンナルワ県の 100 の地域は未だ手つかずの状況で、RO プラント建設が急務であるとしている。そこで、初年度・2 年目・3 年目の 3 年間で 300 台の製造販売を目指す。

### 4-2 市場分析

スリランカ国の水道普及率は 47.70% (NWSDB 所管では 37.1%) で、保護された井戸が 36.4%、管井戸が 3.2% で、安全な水にアクセス出来ていない割合が 12.2% である。現地調査の結果では、その多くが安全な水とは言い難い。従って、約 50% の人々が安全な水にアクセス出来ないと言える。住居が離れている農村部では、水道管敷設に現状以上に設備投資が必要である。現状赤字である以上、分散型で各 CBO に RO 膜浄水センターを設置して安全な飲料水を供給することは、現実的な方策と考える。

北中部州の GND 数は、表 2 に示す様に 989 で、GND の平均人口は 1,281 である。NWS&DB は、300~500 世帯に 1 箇所、RO 膜浄水センターを設置していることから、規模的には、各 GND に 1 箇所の RO 膜浄水センターが対象となり、CKDu プログラムの予算元である大統領府 CKDu タスクフォースが主な顧客となる。現地調査の結果、NWS&DB や CBO が浄水で給水を行っている地域でも、水道水を RO 膜で浄水処理しているケースがある。経済的にゆとりのある人は、水道水を飲用せず 60 LKR/l のボトル商品を飲用している。

MCPWS の Hon Rauff Hakeem 大臣は、都市計画・水供給省年報、2016 の巻頭言で、以下の様に述べている。

政府は清浄な飲料水の製造原価が 49 LKR/1000ℓ に達しているにも拘わらず、12 LKR/1000ℓ で提供し、また料金改定の時期が来ているにも拘わらず値上げは実施していない。容易に 60 LKR/1000ℓ 以上のボトル商品を購入できる国民は、水道料金改定の際には政府に協力してくれるものと信じる。

従って、北中部州をはじめとした GND の CBO が運営するコミュニティー給水センターが販売対象であり、そのポテンシャルは大きい。NWS&DB は、アヌラーダプラ県のおよそ 200 の地域とポロンナルワ県の 100 の地域は未だ手つかずの状況で、RO プラント建設が急務であるとしている。先ずは、その地域に販売を行なっていきたいと考えている。

調査した No.68 RO 膜浄水センターでは、CBO が 990,000LKR (742,500 円)、中央政府が 385,000LKR (288,750 円)、計 1,375,000LKR (1,031,500 円) で RO 膜浄水センターの建屋を建設した。

CKDu 地域で生活する住民に安全な飲料水を提供するために、長期、中期、短期に区分された CKDu プログラムが始まっている。2016 年にはこのために 10 億 LKR の予算措置がなされ、プロジェクトに 6 億 8,015 万 LKR (7 億円) が投じられた。年度末には 68% の予算執行を達成している (2015 年度は同額予算措置に対して、8 億 6490 万 LKRRs で執行率は 86%)。

従って、当面のターゲットは、北中部州の CKDu プログラムによるコミュニティーの給水センターで、予算元である大統領府 CKDu タスクフォースが主な顧客となる。

#### 4-3 バリューチェーン

バリューチェーンを図 35 に示す。Emax と提携する企業が、RO 膜浄水機の製造・販売・施工・メンテナンスを行う。Emax は、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の製造の設計、部品調達先の選定、技術移転を行う。

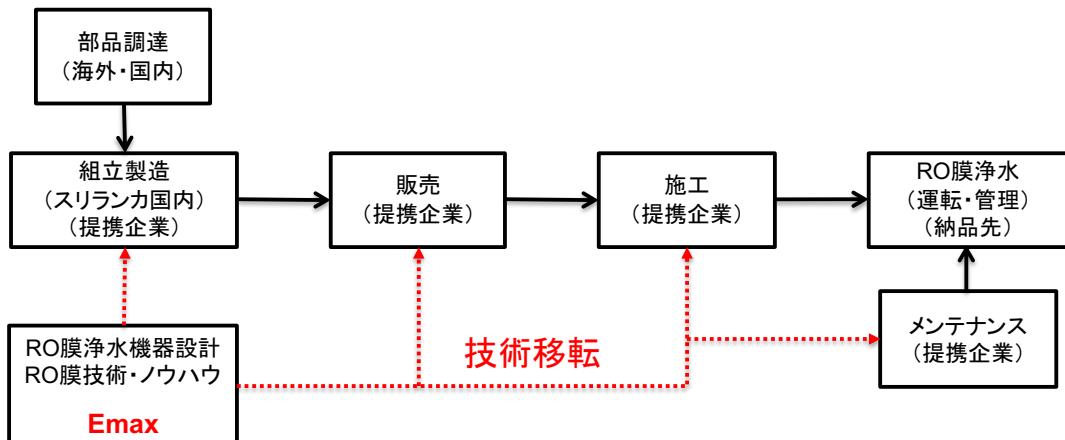


図 35 バリューチェーン

#### 4-4 進出形態とパートナー候補

事業実施にあたっては、現地企業と業務提携を行って、現地企業が販売やメンテナンスを行う。Emax は出張ベースで現地を訪問し、ガバナンスをしっかりと行うとともに、業務提携企業がユーザーの①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の製造のメンテナンスが確実に行えるよう、技術移転を行う。

#### 4-5 収支計画

非公開

表 18 販売計画と経済性

非公開

#### 4-6 資金計画

非公開

#### 4-7 事業スケジュール

非公開

4-8 ソーシャル・インパクト・ボンド（SIB）

非公開

非公開

図 36 デベロップメント・インパクト・ボンドの概念図

非公開

非公開

図 37 ロジックモデル例（里親支援事業）

非公開

図 38 DIB 組成に係る作業について

非公開

#### 4-9 想定される課題・リスクと対応策

節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の付属するフィルターは定期的な取り替えが必要である。これを怠ると、浄水機内に雑菌が発生するなどの問題が生じる。また、故障等の際の迅速な対応が必要である。普及・実証事業で、RO 膜浄水機の販売とメンテナンス等を行う提携企業を選択して業務提携を行い、メンテナンス技術をスリランカ側に移転し、品質管理リスクを回避する。

飲料水の基準は、Sri Lanka Standard 614 : 2013 ”Specification for Potable Water (First Revision)”に規定された各項目の基準値をクリアできるか、「法的面の適合性」を確認しなければならない。その試験や評価を行う機関は、NWS&DB の北中部州事務所の水質検査所である。従って、普及・実証事業では、NWS&DB の北中部州事務所が、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機を管理し、水質検査所が浄水した飲料水が基準値をクリアしているか水質検査を行って、飲料水の水質を管理する。

#### 4-10 期待される開発効果

開発課題 1：北中部州の地域住民の飲料水源である井戸水は、家庭のトイレ、水田に施される化学肥料、農薬、除草剤等で汚染されている。また、土壤等に起因し、Ca、Mg が多くて硬度が高い。加えて、フッ素が多いケースも多い。中部州の井戸水の水質や汚染状況は地域により異なる。地域毎の水質に応じて適切に処理するコストパフォーマンスの良い浄水機の開発と普及が望まれている。

開発効果 1：Emax は、現地法人と提携し、①節水型 RO 膜浄水機と、②ナノマイクロフィルター浄水機の現地生産を行ってコストダウンを行い、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の製造が始まり、5 年間で 540 台の製造・販売が行われる。貧困が課題でもある農村地域に新たな雇用が生まれて、地域の振興に貢献する。

開発課題 2：地域毎の水質に応じて適切に処理するコストパフォーマンスの良い浄水機の普及が遅れているため、地域住民は、安全な水にアクセスすることが出来ない。そして、水系感染症、慢性腎臓病、歯牙フッ素症等の健康リスクを有している。

開発効果 2：5 年間で北中部州の農村地域のコミュニティ 540 箇所の CBO の浄水センターに、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機が設置される。そして、27 万世帯に、 $5400 \text{ m}^3/\text{日}$  の安全な水が供給される。そして、飲料水に起因する地域住民の CKDu、水系感染症、歯牙フッ素症等の予防に貢献する。

開発課題 3：既存のコミュニティ浄水センターの RO 膜浄水機は、適切に管理されていない、メンテナンスが行われていない等の問題を抱えている。人材を育成し、浄水機の管理・メンテナンスを行うシステムを構築することが必要である。

開発効果 3：Emax は、現地法人と提携して、①節水型 RO 膜浄水機と②ナノマイクロフィルター浄水機の設置、管理、メンテナンスを行う。Emax により技術

移転が行われて人材が育ち、ビジネスモデルが確立する。地域住民が持続的に安全な水にアクセスできるようになり、地域住民の飲料水に起因するCKDu、水系感染症、歯牙フッ素症等の健康リスクの低減に貢献する。

#### 4-11 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

広島県は、県内環境関連企業の生産力や技術力を生かして環境問題が深刻化すアジア地域等の海外市場での新事業展開などを促進するため、広島県環境浄化産業クラスター形成事業を行っている。Emaxは、広島県がJETROのRIT事業を活用した商談会に参加したことで、ベトナム国のソクチャン省農村環境衛生浄水センターや民間に計300台の電動式RO膜浄水器を販売した。その後、2016年6月には同浄水センターと新たに1,000台の販売契約を締結している。直近では、エジプトの飲料水メーカーに生産能力30t/hのRO膜浄水設備2台を納品するなど着実に実績を積み上げており、広島県の経済の活性化に貢献している。

RO膜浄水器は、広島の工場で生産している。途上国の農村地域では、上水道による水の供給は難しく、井戸水や雨水を浄化する分散型浄水システムや、家庭用浄水器のニーズが大きい。ベトナムでは、ソクチャン省農村環境衛生浄水センターがRO膜浄水器を買い上げて、農家の家庭に提供し、水道料金の形でその資金を回収している例もある。本事業により、ベトナムに続きスリランカでも同様の方式で市場が開拓できれば、次にはチベットやミャンマーでの事業展開に繋がる。その結果、生産台数が増えれば、雇用が増加して広島の経済の発展に貢献できる。

広島県は県内の優れた創業者を表彰する第1回「広島県創業者表彰」の表彰式を広島市内で開き、アジアの貧困地域向けに浄水器を販売するEmax代表取締役の兼田祐輔が表彰された（写真29参照）。Emaxは、東南アジアを中心に飲料水に問題を抱える地域では、飲料水に起因すると考えられる慢性腎臓病等が大きな社会問題となっており、こうした地域の生活環境改善のための事業を実施している。メンテナンスを低価格で実現するための技術も開発した（関連会社が特許申請済）。現地に足を運び、現地調査を実施することでニーズをつかみ、それぞれの地域の汚染水事情に即して、非常用・家庭用等の小型浄水器から施設に合わせた浄水システムまで、開発を含めて対応し、提案することが当社の事業方針である。こうした取り組みが、広島県創業者表彰に繋がったと考える。

海外特有のニーズに合わせて新規製品や新規業態への参入することで、そのノウハウを国内市場開拓に活用し、国内生産を拡大し、雇用の拡大に貢献したいと考えている。



写真 29 「広島県創業者表彰」の表彰式

## SUMMARY

### 1. Purpose of the Survey

The survey is conducted to examine the potential use of Japanese companies' products and technologies for Japanese ODA projects. The scope of the survey includes network building and information gathering to develop ODA projects.

In Sri Lanka, the occurrence of chronic kidney disease caused by well water, which is drinking water, in rural area of North Central Province has become a major social problem. In this feasibility survey, the purification status of well water by Reverse Osmosis (RO) membrane in rural area of North Central Province is confirmed, and the feasibility of the proposed products is also surveyed. Through the survey, it is aimed to produce purified well water by RO membrane and to build a highly sustainable business model in Sri Lanka. Based on the possibility of the proposed product and technology to be utilized for development of developing countries, which is confirmed by the survey, concrete ODA program is proposed and a business development plan is formulated.

### 2. Survey Country and Area

Survey country is Sri Lanka and survey areas are Anuradhapura and Polonnaruwa District, North Central Province, indicated in Figure 1.

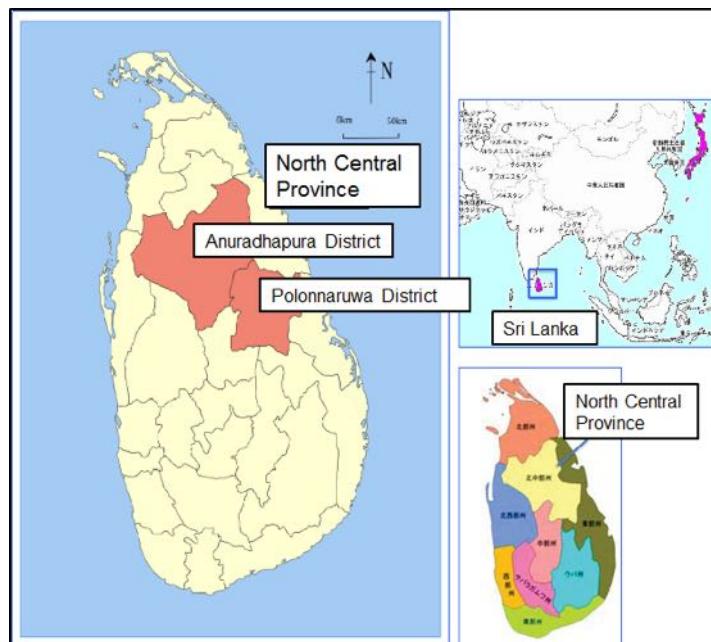


Figure 1 Project Site

### 3. Concerned Development Issues

Drinking water for rural residents in North Central Province is mainly well water. In Sri Lanka, severe drought once in 40 years that has been ongoing since 2016 has great influence on agriculture and drinking water. As can be seen from the map of Figure 2, showing reservoir water levels as of January 27, 2017 in comparison to the capacity levels last year, water availability has fallen significantly. Therefore, in rural areas, the reliance on well water can be considered to further increase. As there is a toilet with only dug hole just in the well

for families in rural area normally, the well water is often contaminated with Escherichia coli or the like. Furthermore, ground water in North Central Province is known for its high hardness and high fluoride concentration, and many fluorosis patients are found. Hardness of the water exceeds Sri Lanka Standard for drinking water. In addition, contamination by herbicides and pesticides has become a problem recently. The number of farmers suffering Chronic Kidney Disease of unknown cause (CKDu) caused by well water, which is drinking water, has increased mainly in North Central Province areas, and development of the countermeasures have become an urgent issue. The Government of Sri Lanka considers that there is a causal relationship with the groundwater hardness containing a lot of calcium and fluorine in those area, and groundwater contamination due to heavy use of chemical fertilizer and herbicide in rice farming areas. As a measure against this issue, the government has begun to set up water purification facilities with RO membrane that supply safe water to an average of 500 households in the village of North Central Province. Introduction of RO membrane water purification equipment with good cost performance and easy installation and maintenance is required.

Also, most of schools and maternity centers in rural areas use wells for drinking water. Although it is essential to provide safe water for infants, children and pregnant women, it is an issue that there is no suitable compact RO membrane water purifier to clean up well water.

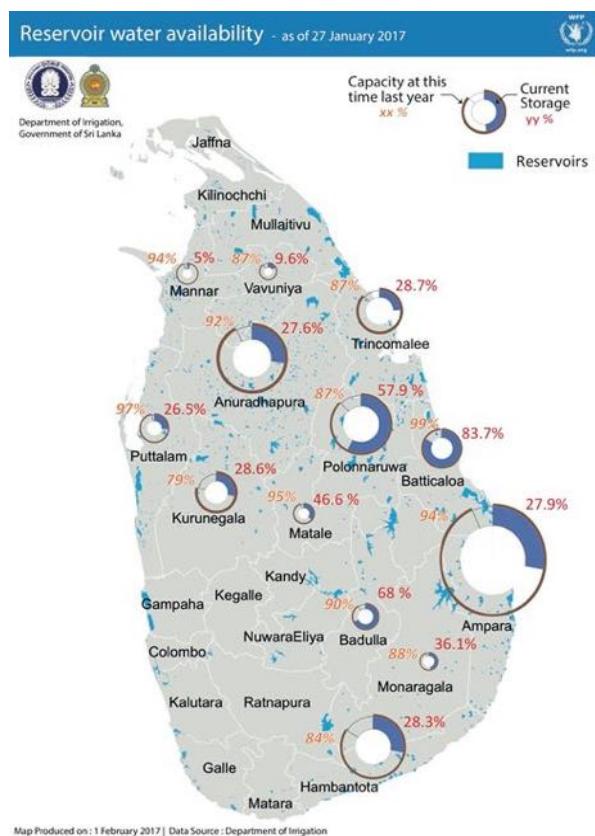


Figure 2 Reservoir water levels as of January 27, 2017

#### 4. Survey Outline and Schedule

Survey was conducted in alliance with Ministry of City Planning and Water Supply (MCPWS), Presidential Task Force on Chronic Kidney Disease Prevention in Sri Lanka. Field survey counted 6 times as in September, November, December in 2017, January,

February and March in 2018.

The survey comprised 2 areas as below:

- 1) Feasibility proposal of ODA, and
- 2) Schedule for the business development

Emax Inc. (Emax) conducted “Feasibility survey for water-purifier units supplying drinking water” under the JICA’s project named Feasibility Survey with the Private Sector for Utilizing Japanese Technologies in ODA Projects. Survey period is from September 2017 to June 2018. The Survey in Sri Lanka was carried out six times in September, November and December 2017, and in January, February and May in 2018. Field survey including TDS measuring for drinking water was conducted at following sites shown in Figure 3.

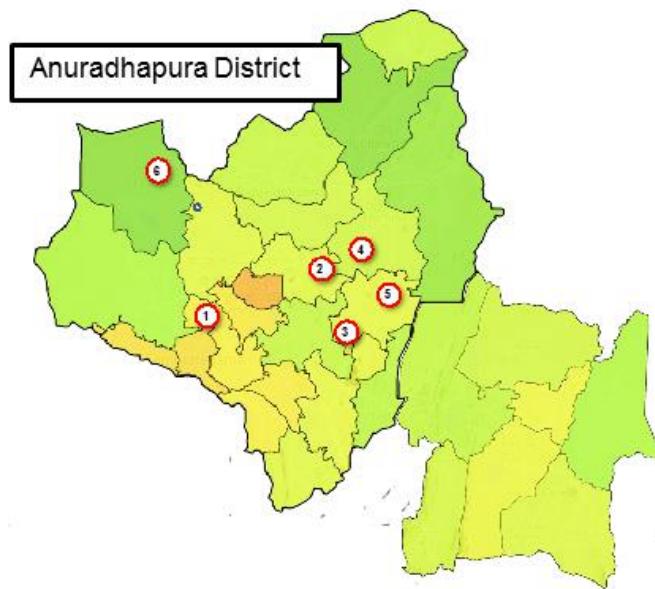


Figure 3 Site of field survey



Picture 1 Water quality (TDS) measurement for well water at farmhouses

Furthermore, two RO membrane water-purifiers were donated to H.E. the President Sirisena on November 10, 2017 (see Picture 2) and following survey activities was carried out during the survey.



Picture 2 Donation ceremony to the President Sirisena

- A unit of RO membrane water-purifier has been installed at Polonnaruwa Royal School in Polonnaruwa city and performance testing including operability was carried out (see Picture 3).
- As a consignment work to the CKDu project office of National Water Supply and Drainage Board (NWS&DB) in Anuradhapura city, 37 samples of drinking source water were collected from the 29 DSD of North Central Province (see Figure 4 and Figure 5). The sample water were treated by RO membrane water-purifier which was installed at the CKDu project office (see Picture 4) and water analysis was carried out for raw water, filtered water and concentrated water at the water analysis laboratory of North Central Province office, NWS&DB.



Picture 3 RO membrane water-purifier installed at Polonnaruwa Royal School



Picture 4 - RO membrane water-purifier installed at CKDu project office

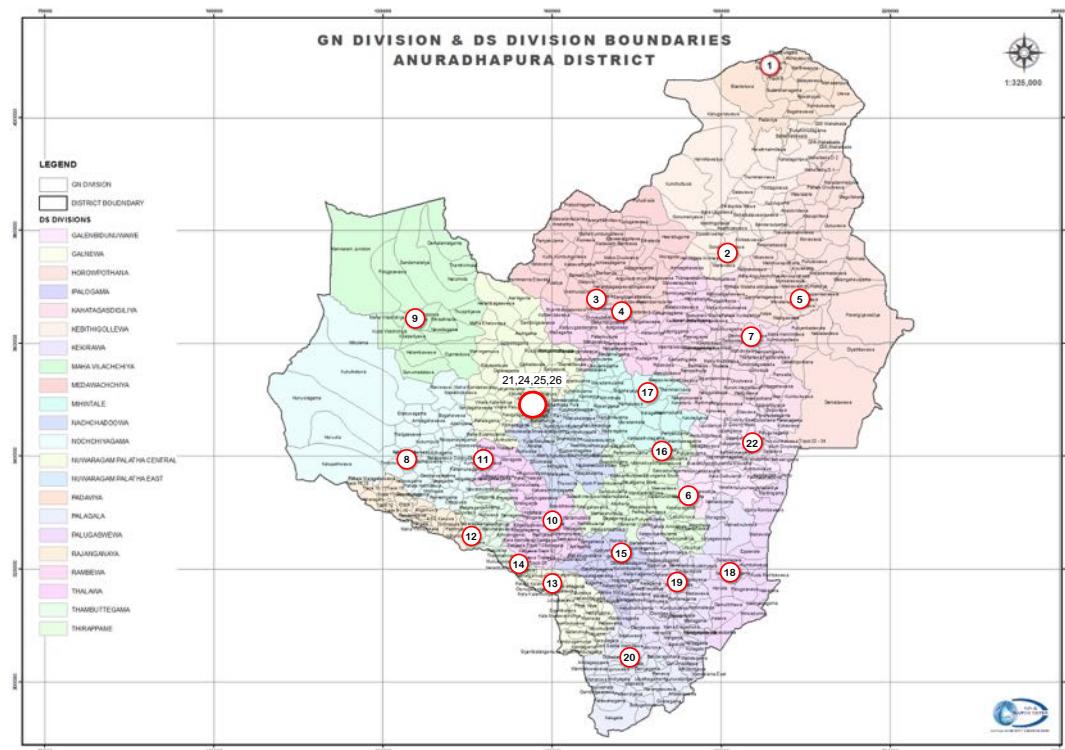


Figure 4 Sampling sites of drinking source water (Anuradhapra)

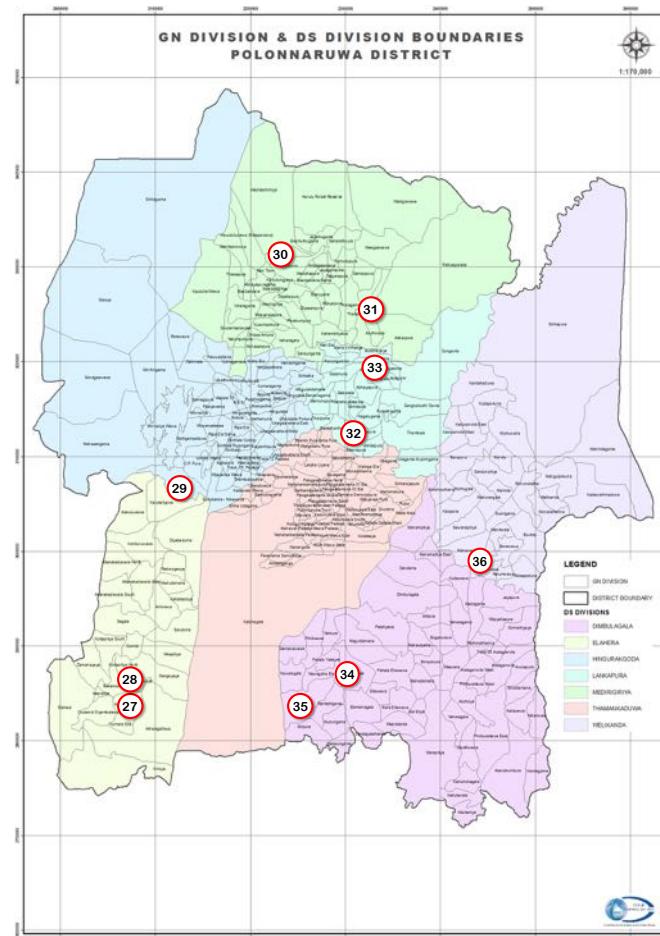


Figure 5 Sampling sites of drinking source water (Polonnaruwa)

Emax will apply to public issue of JICA for Verification Survey with the Private Sector for Disseminating Japanese Technologies scheduled in May 2018 based on the results of these survey activities.

## 5. Products and Technologies

RO membrane water-purifiers which have been introduced in North Central Province consist of RO membranes, sand filter and carbon filter. These purifiers have following issues:

- It is difficult to eliminate pesticides, herbicides and chemical fertilizers completely.
- From 20 to 40 % of the raw water is drained as concentrated water. Since North Central Province is dry area, drainage of concentrated water is wasteful.
- As Ca and others contained in raw water adhere on the RO membrane, it is difficult to use RO membrane over a year. Thus raw water is not purified sufficiently due to difficulty of cost burden for replacement of the RO membrane.
- Water filtered by RO membrane is temporarily stored in a drinking water supply tank and then supplied. Coliform bacteria and microbe may grow in the tank, because it is not sterilized with chlorine.

Emax plans to introduce Nano micro filter water-purifiers (see Figure 6) and water-saving type RO membrane water-purifiers (see Figure 7) through the JICA project named Verification Survey with the Private Sector for Disseminating Japanese Technologies in order to solve the above issues and to supply safe drinking water to local residents. Specifications of these water-purifiers are indicated in Table 1.

Table 1 specification of water-purifiers

Type	RO membrane water-purifier	Nano micro filter water-purifier
Amount of filtered water produced	0.5m <sup>3</sup> /hour	0.5m <sup>3</sup> /hour
Filtered size	≥ 0.0001μm	≥ 0.04μm
Concentrated water	Below 20% of raw water (minimum)	Not discharge
Power	AC230V 50Hz	AC230V 50Hz
Electric capacity	≤ 5kw	≤ 5kw
Accessory equipment	- Cleaning equipment for RO membrane - Sand filter - Ion-exchange resin filter with cleaning and regeneration equipment - Chlorine additive equipment - Drinking water supply tank	- Sand filter - Ion-exchange resin filter with cleaning and regeneration equipment - Chlorine additive equipment - Drinking water supply tank

As a result of the survey, some raw water contained a small amount of TDS and Calcium. Therefore, Nano micro filter water-purifier is installed for raw water which contains a small amount of TDS and Calcium.

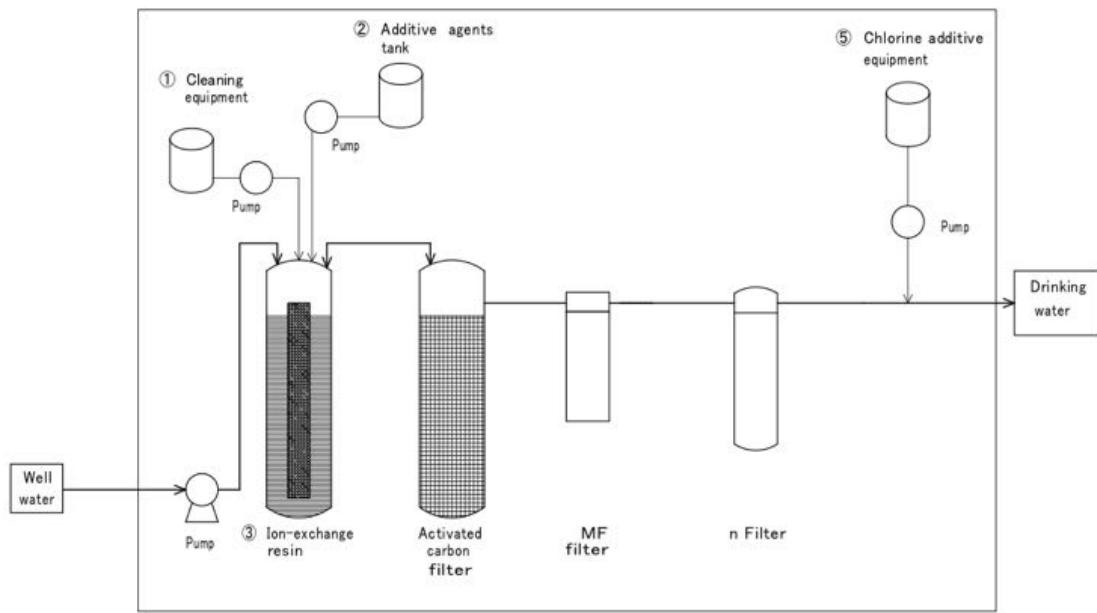


Figure 6 Schematic view of Nano micro filter water-purifier

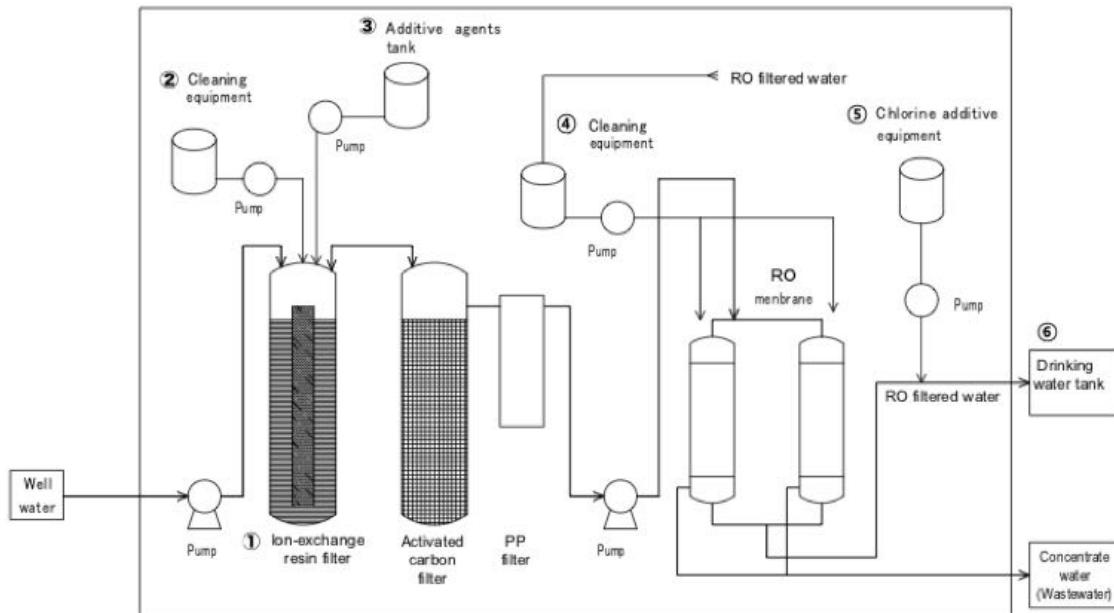


Figure 7 Schematic view of RO membrane water-purifier

- 1) Common features of Nano micro filter water-purifier and RO membrane water-purifier
  - a. Equipping of ion-exchange resin filter
    - There is a possibility that raw water contains pesticides, herbicides and chemical fertilizers. Ionization of these substances is promoted by adding a suitable agent to the additive agent tank to ionize these substances and these ions removed with an ion exchange resin filter.

- Chemical substances such as fluorine, arsenic and nitrate have been shown to have various health effects on the human body. These chemical substances contained in raw water are removed with an ion exchange resin filter.
- Calcium contained in raw water is removed by ion exchange resin filter.
- By supplying raw water, small particles, non-dissolved substances and non-ionized substances adhere to ion-exchange resin filter and extraction ratio of the filter decrease. A cleaning agent tank and a pump are mounted in order to wash out the ion-exchange resin filter and dissolve these substances. These substances dissolved are discharged through drainpipe.
- As the ion exchange resin filter continues to be used, ions of the ion exchange resin are reduced by being exchanged with impurity ions. Ion exchange resin is regenerated by replacement impurity ions with  $H^+$  ions, which is generated by mainly diluted hydrochloric acid supplied from the additive agent tank and pump.

b. Chlorine additive equipment for filtered water

Water filtered by Emax system is temporarily stored in a water supply tank and then supplied. If filtered water is stored in the water supply tank for a long time, coliform bacteria and microbe may grow due to being in a high temperature area. The Emax system is equipped with a chlorine additive equipment to prevent the growth of coliform bacteria and microbe, while existing RO membrane water-purifier does not fit the equipment.

c. Packaged system

Nano micro filter water-purifier and RO membrane water-purifier supplied by Emax are compact as shown in Picture 5, and it is easy to install and maintenance the system. According to the evaluation by CKDu project office, NWS&DB, the installation work of the system is completed in just a few hours.



Picture 5 Emax RO membrane water-purifier

## 2) Nano micro filter water-purifier (see Figure 6)

Nano micro filter has a pore size of about 0.04 micron at the minimum, which is larger than that of RO membrane, so that a part of the impurity is not removed. On the other hand, Nano micro filter is a filter, which does not drain concentrated water unlike RO membrane water-purifier, so it leads to water-saving. Furthermore, since the structure is simple, it is easy to exchange filters by any educated staff of water purification center. Pesticides, herbicides and chemical fertilizers can be eliminated by equipping of ion-exchange resin filter. Therefore, Nano micro filter water-purifier is installed for raw water which contains a small amount of calcium and TDS.

## 3) RO membrane water-purifier (water-saving type) (see Figure 7)

- From 20 to 40 % of the raw water is drained as concentrated water during the impurity is removed with existing RO membrane water-purifier. Emax RO membrane water-purifier can reduce concentrated water from the water-purifier by pre-removing impurities as much as possible with an ion exchange resin filter.
- The RO membrane has a pore size of about 0.0001 micron and has the property of allowing only water molecules to pass through and filtering impurities such as ions and salts. On the other hand, there is an issue that its replacement cost becomes a heavy burden, since the impurity adheres to the RO membrane and its removal capability decreases. In the Emax system, impurities containing calcium and the like are removed as much as possible by a pretreatment ion exchange resin filter to reduce adhesion to the RO membrane. Furthermore, cleaning equipment for RO membrane is also fitted with the system. The performance of the RO membrane can be maintained for at least 3 years with these countermeasures.
- Impurities that could not be removed by ion-exchange resin filter and sand filter are removed with RO membrane. At that time, those impurities adhere to the RO membrane and then the extraction ratio drops. By fitting RO membrane cleaning equipment with the system, the RO membrane is washed out with clean water filtered by the RO membrane and cleaning agent which stored in a tank. It is able to program to clean up the RO membrane automatically at a desired frequency. Cleaning water is discharged through drainpipe.

## 4) Maintenance

Emax plans to conclude a business partnership agreement with a Sri Lankan corporation. The corporation will hire engineers to train experts for Nano micro filter water-purifiers and RO membrane water-purifiers. Emax will transfer maintenance technology to the engineers through the verification survey and the corporation will perform maintenance work.

## 6. Proposed ODA Projects and Expected Impact

The objective of the project introducing and popularizing RO membrane water purification equipment prepared by Emax in North Central Province is to contribute for prevention of chronic kidney disease, waterborne infections and dental fluorosis of local residents by purifying underground water, which is the major raw water for drinking water.

The project ties up with efforts of well water purification in rural areas of North Central Province carried by MCPWS and NWS&DB as CKDu preventive measures. The project implementation site is Anuradhapura District and Polonnaruwa District in North Central Province shown in Figure 1. The equipment to be introduced are RO membrane water-

purifiers and Nano micro filter water-purifiers having 10 m<sup>3</sup>/day capacity of producing filtered water indicated in Figure 6 and Figure 7. Project counterpart is Presidential Task Force on Chronic Kidney Disease Prevention. RO membrane water-purifiers and Nano micro filter water-purifiers are owned and managed by NWS&DB.

NWS&DB has installed purification equipment of 10 m<sup>3</sup>/day capacity in water purification facilities at the rate of one unit per 500 households. Therefore, total twenty RO membrane water-purifiers and Nano micro filter water-purifiers having same capacity are installed in twenty community water purification facilities. These units supply safe drinking water to local residents of 10,000 households and contribute to prevent chronic kidney disease, waterborne infections and dental fluorosis of local residents.

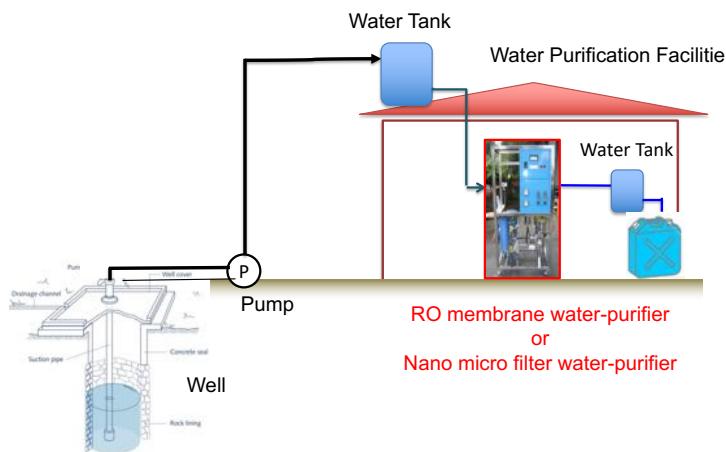


Figure 8 Water purification facility

Table 2 Goals, achievements, and activities of verification survey

Goals Introduction of water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers in North Central Province to supply safe drinking water contribute to reduce the health hazards of local residents.	
Achievement 1  Introduction of water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers in North Central Province and supplying safe drinking water to local residents.	Activity 1-1 Design, production and installation of water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers.  Activity 1-2 Operation of water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers and safe drinking water supply to local residents.  Activity 1-3 Evaluation of drinking water improvement effect in North Central Province by sampling and analyzing filtered water and raw water treated by water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers,
Achievement 2  Formulate drinking water supplying model by water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers.	Activity 2-1 Confirmation whether water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers are properly operated to purify water, and improvement as necessary.  Activity 2-2 Operation and maintenance of water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers, and preparation of operation management manuals.  Activity 2-3 Realization of manufacturing, operation and management, and maintenance of water-saving type RO

	membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers with their own technology through technology transfer of water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers.
Achievement 3  Improvement of access to safe drinking water for local residents and reduction of health risk by dissemination of water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers.	Activity 3-1 Introduction of technical superiority and economic advantage of Japanese water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers by holding technical tour.  Activity 3-2 Establishment of a business model for a local corporation to manufacture, sell, install and maintain water-saving RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers through business partnership agreement with the corporation.  Activity 3-3 Low price product sales by manufacturing water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers of the local corporation.

The following effects on development tasks can be expected by operating and demonstration of usefulness of water-saving type RO membrane water-purifiers and Nano micro filter water-purifiers which are introduced at water purification facilities in rural area of North Central Province in Sri Lanka.

- Effect 1: Total 20 sets of water-saving type RO membrane water-purifiers and Nano micro filter water-purifiers are installed in community water purification facilities and safe drinking water is supplied to local residents of 10,000 households. Contribution is expected to prevent chronic kidney disease, waterborne infections and dental fluorosis of local residents.
- Effect 2: By transferring Emax technology, human resources are developed to install, manage and maintain water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers.

## 7. Intended Business Development

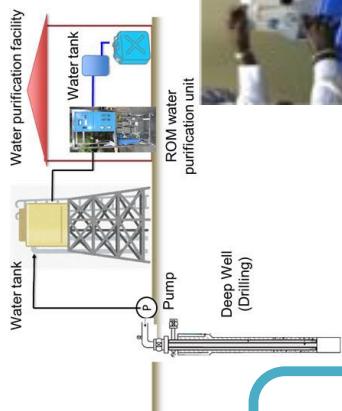
The Government of Sri Lanka and Polonnaruwa district government are expecting to manufacture RO membrane water purifiers in Polonnaruwa City. The Polonnaruwa district government has offered to provide land and buildings for assembly plant of RO membrane water purifiers. Thus, it is considering to establish a company that manufactures (assembles), sells and maintains water-saving type RO membrane water purifiers and Nano micro filter water purifiers in collaboration with Sri Lankan capital.

The present target is manufacturing and sales of RO membrane water purifiers to community water purification facilities through the CKDu program in North Central Province. According to NWS&DB, no water supply facilities are maintained in about 200 areas in Anuradhapura district and 100 areas in Polonnaruwa district, and the construction of RO plant is an urgent issue. Therefore, it is aimed to manufacture and sell 240 sets of RO plants in the first year and the second year totally.

## Feasibility survey for water-purifier unit supplying drinking water in Sri Lanka

### SMEs and Counterpart Organization

- Name of SME : Emax, Inc.
- Location of SME : Hiroshima Pref., Japan
- Survey Site - C/P Organization : North Central Province, Presidential Task Force on Chronic Kidney Disease Prevention



### Concerned Development Issues

- In the rural area of North Central Province, the main drinking water source is well water. Groundwater is contaminated due to heavy use of chemical fertilizers, pesticides and herbicides.
- By drinking well water, health damage such as CKDu, waterborne infection, dental fluorosis and the like has been getting worse in rice farming area.

### Products and Technologies of SMEs

- A technology to produce safe and clean drinking water by removing bacteria, pesticides, herbicides, fluorine and others from drinking water source with RO membrane.
- Introduce RO membrane water purification units for community water purification facilities and manual RO membrane water purifiers for schools, maternity centers, hospitals in rural area of North Central Province.

### Proposed ODA Projects and Expected Impact

- RO membrane water purification units are installed in twenty community water purification facilities in North Central Province and safe water is supplied to local residents of 10,000 households. Contribution is expected to prevent CKDu, waterborne infections and dental fluorosis of local residents.
- Safe drinking water is supplied to children, infants, pregnant women and patients at two hundred of schools, maternity centers and hospitals in North Central Province. Contribution is expected to prevent CKDu, waterborne infections and dental fluorosis.