

チュニジア国農業・水資源・漁業省
水資源開発公社（SONEDE）

チュニジア国
スファックス海水淡水化施設
整備事業準備調査

最終報告書
本編

平成 27 年 8 月
(2015 年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社 N J S コンサルタンツ
株式会社 アンジェロセック
日本テクノ株式会社

環境
CR(4)
15-123

本報告書では下記に示す 2015 年 5 月現在の外貨換算レートを適用している。

外貨換算レート： TND 1.000 = JPY 61.02

USD 1.00 = JPY 119.6

TND: Tunisian Dinar チュニジア・ディナール

JPY: Japanese Yen 日本円

USD: United States Dollars 米ドル

チュニジア国農業・水資源・漁業省
水資源開発公社（SONEDE）

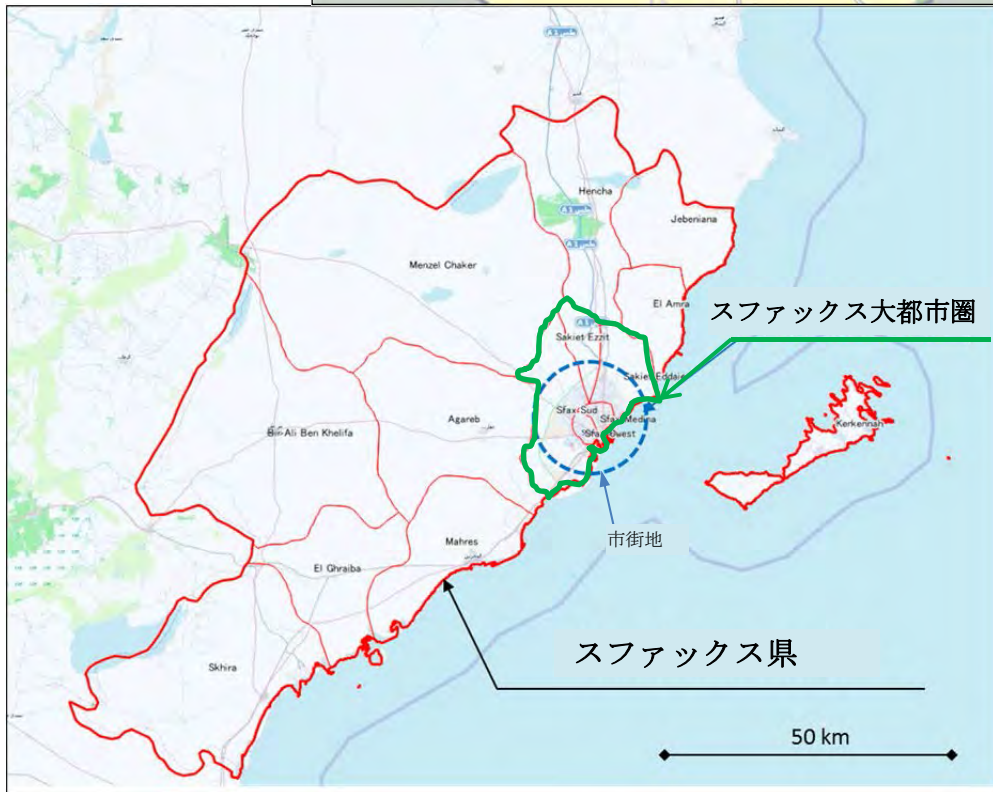
チュニジア国
スファックス海水淡水化施設
整備事業準備調査

最終報告書
本編

平成 27 年 8 月
(2015 年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社 N J S コンサルタンツ
株式会社 アンジェロセック
日本テクノ株式会社



調査対象地域

スファックス海水淡水化施設整備事業準備調査 準備調査報告書

目次

調査対象地域図	
目次	i
表一覧	vi
図一覧	xi
略語一覧	xvi
要約	S-1
第1章 調査の目的と内容	
1.1 調査の背景	1-1
1.2 調査概要	1-2
1.2.1 調査目的	1-2
1.2.2 調査対象事業	1-2
1.2.3 調査対象地域	1-2
1.2.4 調査関係機関	1-3
1.2.5 調査団	1-3
1.2.6 調査スケジュール	1-4
1.3 調査内容・範囲	1-4
1.3.1 フェーズ1の内容・範囲	1-4
1.3.2 フェーズ2の内容・範囲	1-5
1.4 水分野円借款既往案件	1-6
1.5 他開発パートナーの水道事業への支援状況	1-7
第2章 自然状況・社会状況	
2.1 自然状況	2-1
2.1.1 気象	2-1
2.1.2 地勢・地形	2-4
2.1.3 海洋状況	2-4
2.1.4 水文・水理	2-6
2.2 社会状況	2-6
2.2.1 社会経済情勢	2-6
2.2.2 人口	2-7
2.2.3 主要産業	2-8
2.2.4 土地利用	2-9
2.2.5 社会インフラ整備	2-9

2.2.6	経済情勢等における今後のトレンド	2-9
2.2.7	公衆衛生	2-10
2.2.8	電力供給事情	2-10
第3章	チュニジア国の水道事業の現状	
3.1	水セクターの関連組織と法令	3-1
3.1.1	概要	3-1
3.1.2	水資源総局 (DGRE)	3-3
3.1.3	農業土木・給水総局 (DGGREE)	3-3
3.1.4	ダム・大規模水利土木総局 (DGBGTH)	3-3
3.1.5	地方農業開発事務所 (CRDA)	3-4
3.1.6	水資源開発公社 (SONEDE)	3-4
3.1.7	関連法令	3-7
3.1.8	水質基準	3-8
3.2	チュニジア国の水需給の現状	3-8
3.2.1	チュニジア国の水資源量	3-8
3.2.2	チュニジア国の水需要	3-9
3.2.3	チュニジア国分野別水需給バランス	3-9
3.3	水需給に関する政策と将来計画	3-10
3.4	農業用水に関する政策と将来計画	3-11
3.5	工業用水に関する政策と将来計画	3-12
第4章	スファックス大都市圏の水需給計画	4-1
4.1	水道システムの現状と課題	4-2
4.1.1	年間給水人口及び給水量	4-2
4.1.2	水道水源	4-3
4.1.3	農業用水及び工業用水の現状と課題	4-10
4.2	関連計画の概要	4-13
4.3	その他の新規水源の検討	4-19
4.4	広域水道における水需給計画	4-20
4.4.1	需要水量について	4-20
4.4.2	新規水源計画	4-29
4.4.3	水需要と供給	4-29
4.4.4	広域水道における新規水源施設の課題	4-34
4.5	スファックス県における水需給計画	4-34
4.5.1	スファックス県における水需給	4-34
4.5.2	スファックス県における水需給の課題	4-37
4.6	スファックス大都市圏における水需給計画	4-37
4.6.1	スファックス大都市圏の水道施設の現況	4-37
4.6.2	スファックス大都市圏における水需給	4-40

4.6.3	スファックス大都市圏における水需給計画の課題	4-44
4.7	施設整備について	4-45
4.7.1	施設規模について	4-45
4.7.2	建設地点について	4-46
4.7.3	水供給量不足への対応	4-46
第5章	海水淡水化施設の検討	
5.1	海水淡水化施設基本計画	5-1
5.1.1	海水淡水化方式	5-1
5.1.2	海水淡水化施設基本仕様	5-3
5.1.3	海水淡水化施設の概要	5-8
5.2	海水淡水化施設建設用地	5-11
5.3	海水取水方法	5-12
5.3.1	取水方式	5-12
5.3.2	本事業への適用方式	5-13
5.3.3	取水施設仕様決定にあたっての基本方針	5-13
5.3.4	取水管管径試算	5-15
5.4	濃縮海水放流方法	5-19
5.4.1	濃縮水放流方式	5-19
5.4.2	本事業への適用方式	5-20
5.4.3	濃縮水放流施設仕様決定にあたっての基本方針	5-21
5.4.4	濃縮水放流管管径試算	5-22
5.4.5	濃縮水放流シミュレーション	5-22
5.5	海底配管工事イメージ（参考）	5-26
5.6	施設配置計画	5-28
5.6.1	施設配置検討の基本的な考え方	5-29
5.6.2	当該用地内に含める施設	5-30
5.6.3	場内配置	5-32
5.6.4	海水淡水化施設と海面の関係	5-34
第6章	水道施設計画	
6.1	水運用計画	6-1
6.1.1	基本方針	6-1
6.1.2	水運用計画の策定における考慮事項	6-2
6.1.3	スファックス大都市圏水運用計画	6-7
6.2	送水施設	6-15
6.3	本事業第1期事業計画	6-28
第7章	電気設備計画	
7.1	必要電力	7-1

7.2 受電電圧および電力供給の可能性-----	7-1
7.2.1 送電線の現状-----	7-1
7.2.2 海水淡水化施設への電力供給の可能性-----	7-2
7.3 電気設備計画-----	7-3
7.4 電気料金単価-----	7-9
7.5 150kV 配電線延長工事費-----	7-9
7.6 施工区分-----	7-10
7.7 本事業第1期事業計画-----	7-10
第8章 環境社会配慮	
8.1 環境社会配慮調査の目的-----	8-1
8.2 本事業が分類されるカテゴリ-----	8-1
8.3 環境社会影響を与える事業コンポーネントの概要-----	8-2
8.4 ベースとなる環境及び社会の状況-----	8-7
8.5 チュニジア国の環境社会配慮制度・組織-----	8-11
8.6 代替案（ゼロオプションを含む）の比較検討-----	8-12
8.7 スコーピング及び環境社会配慮調査のTOR-----	8-12
8.8 環境社会配慮調査結果-----	8-24
8.9 影響評価-----	8-30
8.10 緩和策及び緩和策実施のための費用-----	8-35
8.11 モニタリング計画-----	8-42
8.12 ステークホルダー協議-----	8-47
第9章 用地取得・住民移転	
9.1 用地取得・住民移転の必要性-----	9-1
9.2 用地取得・住民移転にかかる法的枠組み-----	9-2
9.3 用地取得・住民移転の規模・範囲-----	9-12
9.4 補償・支援の具体策-----	9-22
9.5 苦情処理メカニズム-----	9-23
9.6 実施体制-----	9-24
9.7 実施スケジュール-----	9-26
9.8 費用と財源-----	9-27
9.9 実施機関によるモニタリング体制とモニタリングフォーム-----	9-30
9.10 送電線建設に係る住民説明-----	9-32
第10章 事業実施計画	
10.1 事業目的-----	10-1
10.2 対象地域-----	10-1
10.3 事業概要-----	10-1
10.4 コンサルティング・サービスの内容-----	10-2

10.5 事業費と資金計画-----	10-5
10.6 調達方法-----	10-8
10.6.1 コンサルタントの雇用-----	10-8
10.6.2 施工業者の調達-----	10-9
10.6.3 まとめ-----	10-10
10.7 事業実施スケジュール-----	10-10
10.8 運転・維持管理費-----	10-17
10.9 事業実施体制-----	10-19
10.9.1 借入人-----	10-19
10.9.2 事業実施機関-----	10-19
10.9.3 維持管理組織-----	10-20
10.10 SONEDE の財務状況-----	10-21
10.11 水道料金-----	10-24
10.11.1 水道料金水準-----	10-24
10.11.2 水道料金の値上げ-----	10-25
10.12 財務・経済分析-----	10-26
10.12.1 FIRR-----	10-27
10.12.2 EIRR-----	10-35
10.13 運用・効果指標-----	10-46
10.14 本邦技術の活用-----	10-47
10.14.1 海水淡水化施設構成要素-----	10-47
10.14.2 RO膜-----	10-48
10.14.3 高圧ポンプ-----	10-48
10.14.4 エネルギー回収装置-----	10-48
10.14.5 プラントメーカー-----	10-49
10.14.6 その他の分野-----	10-49
第11章 本事業の妥当性及びリスクの確認	
11.1 財務に係る懸念について-----	11-1
11.2 環境に係る懸念について-----	11-2
11.3 電力供給に係る懸念について-----	11-2
11.4 事業実施遅延に係る懸念について-----	11-3
11.5 リスク軽減策の検討及び提案-----	11-3
11.5.1 財務リスク及びその軽減策-----	11-3
11.5.2 環境・社会リスク及びその軽減策-----	11-4
11.5.3 電力供給リスク及びその軽減策-----	11-5
11.5.4 事業実施遅延リスク及びその軽減策-----	11-6
付属資料-----	別冊
図面集-----	別冊

表一覧

表 1.2-1	スファックス大都市圏行政区域-----	1-2
表 1.4-1	チュニジア国水分野既往円借款案件一覧-----	1-7
表 1.5-1	他開発パートナーの水道事業への支援状況一覧-----	1-8
表 1.5-2	ドイツ復興金融公庫 (KfW) による支援中または計画中の淡水化施設----	1-9
表 2.1-1	スファックス大都市圏の気温-----	2-1
表 2.1-2	スファックス大都市圏の平均降水量-----	2-3
表 2.1-3	潮位-----	2-4
表 2.1-4	潮位変動 (2011～2013 年) -----	2-4
表 2.2-1	スファックス県、チュニス県及び全国の人口推移-----	2-7
表 3.1-1	農業・水資源・漁業省の水関係組織-----	3-2
表 3.1-2	SONEDE の概要 (2013 年実績) -----	3-4
表 3.1-3	既存淡水化施設の運転維持管理要員の配置数-----	3-6
表 3.1-4	水法の構成-----	3-7
表 3.1.5	チュニジア国飲料水水質基準 (NT09.14:1983) -----	3-8
表 3.2-1	チュニジア国の水資源及び利用可能量 (2013 年) -----	3-9
表 3.2-2	チュニジア国分野別需要水量 (2013 年) -----	3-9
表 3.2-3	チュニジア国水供給内訳 (2013 年) -----	3-9
表 3.2-4	水需給バランス (2013 年) -----	3-10
表 3.4-1	近年完了もしくは進行中のダム建設事業-----	3-11
表 4.1-1	スファックス県の人口及び給水人口-----	4-2
表 4.1-2	スファックス県の年間給水量 (有収水量) -----	4-2
表 4.1-3	シディ・ブジド県内の新規建設井戸-----	4-6
表 4.1-4	ジェルマ水源及びスベイトラ水源利用実績-----	4-8
表 4.1-5	スファックス県内の SONEDE が運転維持管理する井戸 (2012 年) -----	4-8
表 4.1-6	スファックス県内の新規建設井戸-----	4-9
表 4.1-7	スファックス県内 SONEDE 供給工業用水量推移 -----	4-11
表 4.1-8	スファックス県内地下水揚水工業用水量推移-----	4-12
表 4.1-9	スファックス県内の工業用水井戸 (2012 年) -----	4-12
表 4.2-1	スファックス大都市圏に関連する水道計画の概要-----	4-13
表 4.2-2	広域水道戦略で策定された浄水場及び海水淡水化施設-----	4-19
表 4.3-1	スファックス県とジェルマ・スベイトラ水源の揚水量-----	4-19
表 4.4-1	広域水道戦略における水需要予測手法と本調査における修正点-----	4-22
表 4.4-2	県別使用水量実績及び計画使用水量-----	4-24
表 4.4-3	県別自己水源給水量実績-----	4-25

表 4.4-4	修正県別使用水量実績及び計画使用水量-----	4-25
表 4.4-5	県別計画有収水率-----	4-25
表 4.4-6	県別計画平均給水量-----	4-26
表 4.4-7	県別調整係数-----	4-26
表 4.4-8	県別計画最大給水量-----	4-27
表 4.4-9	県別行政人口及び給水人口-----	4-28
表 4.4-10	広域水道新規浄水場及び海水淡水化施設の整備年次-----	4-29
表 4.4-11	北部広域水道システム関連 7 県全体の需要水量-----	4-30
表 4.4-12	北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給バランス(新規水源なし)---	4-30
表 4.4-13	北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給バランス(新規水源あり)---	4-30
表 4.4-14	北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給計算-----	4-33
表 4.5-1	スファックス県の需要水量-----	4-35
表 4.5-2	スファックス県水需給バランス(新規水源なし)-----	4-35
表 4.5-3	スファックス県水需給バランス(新規水源あり)-----	4-35
表 4.6-1	配水管の現状-----	4-40
表 4.6-2	スファックス大都市圏水道事業計画概要-----	4-41
表 4.6-3	スファックス大都市圏水需給バランス(新規水源なし)-----	4-41
表 4.6-4	スファックス大都市圏水需給バランス(新規水源あり)-----	4-41
表 4.6-5	関連 7 県人口及び使用水量原単位 (日平均) (2012) -----	4-43
表 4.6-6	各国の使用水量原単位の比較-----	4-44
表 5.1-1	海水淡水化に要するエネルギー-----	5-1
表 5.1-2	チュニジア国における主要既存淡水化プラント-----	5-2
表 5.1-3	海水条件一覧及び設計用海水条件-----	5-5
表 5.1-4	RO エlement 基本性能表-----	5-6
表 5.1-5	海水淡水化処理に係るチュニジア国主要飲料水水質基準-----	5-7
表 5.1-6	海水淡水化施設設計基準 (水質関連) -----	5-7
表 5.1-7	前処理方式の比較-----	5-9
表 5.2-1	建設用地候補地選定結果-----	5-11
表 5.3-1	本プロジェクトに適用可能性のある主要取水方式の比較-----	5-12
表 5.3-2	取水管敷設工事推定コスト-----	5-17
表 5.4-1	放流方式の選定-----	5-21
表 5.4-2	水温・TDS 条件 -----	5-23
表 5.4-3	Far Field の TDS 予測-----	5-25
表 5.6-1	第 1 期事業概要-----	5-30
表 6.1-1	SONEDE 標準配水池標準寸法表-----	6-3
表 6.1-2	地下水揚水量の削減オプション-----	6-6
表 6.1-3	年次別各配水池給水量-----	6-7
表 6.1-4	各配水池容量-----	6-8

表 6.1-5	各配水池容量（時間：対日最大配水量）	6-8
表 6.1-6	各配水池配水量内訳（日最大）	6-10
表 6.1-7	各配水池の計画 TDS 濃度	6-11
表 6.2-1	送水管管径	6-16
表 6.2-2	送水管に使用する管種の検討	6-19
表 6.2-3	送水・中継ポンプ場	6-20
表 6.2-4	水撃対策	6-25
表 6.2-5	受水混合槽	6-25
表 6.3-1	第 1 期事業概要	6-28
表 7.2-1	最大電力と受電電圧	7-1
表 7.2-2	スファックス大都市圏周辺発電所	7-2
表 7.3-1	計測機器とタイプ	7-6
表 7.3-2	配水池及びポンプ施設の概要	7-7
表 7.3-3	自家発電設備の容量	7-8
表 7.4-1	電気料金	7-9
表 7.5-1	配電線延長工事費	7-9
表 7.7-1	第 1 期事業概要	7-11
表 8.3-1	本事業第 1 期のコンポーネント	8-2
表 8.4-1	海洋生物の種類	8-10
表 8.5-1	チュニジア国法制度における環境配慮の妥当性	8-11
表 8.7-1	スコーピング検討表：海水淡水化施設	8-14
表 8.7-2	スコーピング検討表：送水施設	8-17
表 8.7-3	スコーピング検討表：送電施設	8-20
表 8.7-4	環境影響評価調査 TOR 重要項目	8-22
表 8.8-1	環境社会配慮調査結果表	8-24
表 8.8-2	水温・TDS 条件	8-25
表 8.8-3	スファックスの漁労状況	8-28
表 8.8-4	海水淡水化施設用地周辺遺跡一覧	8-30
表 8.9-1	影響評価表：海水淡水化施設	8-31
表 8.9-2	影響評価表：送水施設	8-33
表 8.9-3	影響評価表：送電施設	8-34
表 8.10-1	緩和策	8-35
表 8.10-2	緩和策費用	8-40
表 8.11-1	海域排出基準 NT106-002	8-43
表 8.11-2	底生植物（ポシドニア）のモニタリング項目	8-43
表 8.11-3	モニタリング計画	8-45
表 8.11-4	モニタリングフォーム	8-46

表 8.12-1	ステークホルダー協議のプログラム-----	8-48
表 9.1-1	用地取得・住民移転の必要性-----	9-1
表 9.2-1	チュニジア国における土地収用・住民移転に係る社会配慮-----	9-7
表 9.3-1	送水管ルート of 現状-----	9-14
表 9.3-2	用地取得対象人口-----	9-19
表 9.3-3	送水施設に係る用地取得範囲及び補償範囲-----	9-20
表 9.3-4	送水施設に係る用地取得、建造物補償及び農作物補償-----	9-20
表 9.3-5	送水施設及び送電線に係る用地取得及び補償の要約-----	9-21
表 9.4-1	補償エンタイトルメント・マトリックス-----	9-23
表 9.8-1	オリーブ及び果樹の価格-----	9-27
表 9.8-2	送水施設及び送電施設に係る用地取得と補償の費用-----	9-29
表 9.9-1	社会配慮モニタリングフォーム（案）-----	9-31
表 10.3-1	概略事業内容-----	10-1
表 10.4-1	コンサルティングサービス要員人月数-----	10-3
表 10.4-2	コンサルティングサービス要員人月数（詳細）-----	10-3
表 10.4-3	コンサルティング・サービス費用-----	10-4
表 10.5-1	事業費（第1期事業）-----	10-6
表 10.5-2	内貨と外貨の区分-----	10-7
表 10.5-3	融資比率-----	10-7
表 10.5-4	年度別資金計画-----	10-7
表 10.5-5	年度別事業費内訳-----	10-8
表 10.6-1	コンサルタントの雇用及び施工業者の調達-----	10-11
表 10.7-1	概略事業実施スケジュール-----	10-10
表 10.8-1	年間運転・維持管理費用-----	10-17
表 10.8-2	本事業施設運転・維持管理費（詳細）-----	10-18
表 10.9-1	PIU のメンバー構成-----	10-19
表 10.10-1	貸借対照表（2008年～2012年）-----	10-22
表 10.10-2	損益計算書（2008年～2012年）-----	10-23
表 10.11-1	2014年上水道料金-----	10-25
表 10.11-2	基本料金値上実績-----	10-25
表 10.11-3	従量料金値上実績-----	10-26
表 10.11-4	従量料金値上と営業利益予想-----	10-26
表 10.12-1	FIRR キャッシュフロー表-----	10-30
表 10.12-2	ケース別 FIRR 算出結果-----	10-31
表 10.12-3	FIRR 感度分析（料金水準）-----	10-31
表 10.12.4	FIRR 感度分析（値上率）-----	10-32
表 10.12-5	FIRR 感度分析（費用増減）-----	10-33

表 10.12-6	SONEDE 供給全水量で本事業の費用を賄う場合の料金水準	10-34
表 10.12-7	シディ・ブジド県内の新設井戸建設費用	10-36
表 10.12-8	スファックス県内の新設井戸建設費用	10-36
表 10.12-9	一般世帯地域別サンプル数計画値	10-38
表 10.12-10	地域別実サンプル数	10-38
表 10.12-11	水道接続者・未接続者数	10-38
表 10.12-12	セクター別平均収入	10-39
表 10.12-13	地域別収入分布	10-39
表 10.12-14	セクター別水道料金平均支払額	10-39
表 10.12-15	飲料水・生活用水水源（複数回答）	10-40
表 10.12-16	サービスへの不満（複数回答）	10-40
表 10.12-17	改善を希望するサービス（複数回答）	10-41
表 10.12-18	サービスが改善された場合の支払意志額（値上率）	10-41
表 10.12-19	水道未接続者の水道料金支払意志額	10-42
表 10.12-20	EIRR 算出結果	10-44
表 10.12-21	EIRR キャッシュフロー表	10-45
表 10.12-22	EIRR 感度分析	10-46
表 10.13-1	上水事業の代表的運用効果指標	10-47
表 10.13-2	本事業モニタリング指標	10-47
表 11.1-1	カテゴリ毎の上下水道請求金額	11-2
表 11.5-1	財務リスクとその軽減策	11-4
表 11.5-2	環境・社会リスク及びその軽減策	11-5
表 11.5-3	電力供給リスクとその軽減策	11-6
表 11.5-4	事業実施遅延リスクとその軽減策	11-6

図一覧

図 1.2-1	スファックス大都市圏行政区域-----	1-3
図 1.5-1	ドイツ復興金融公庫(KfW)による支援中または計画中の 淡水化施設の位置-----	1-10
図 2.1-1	2010 年~2013 年における気温の推移 -----	2-2
図 2.1-2	2010 年~2013 年における湿度の推移 -----	2-2
図 2.1-3	2010 年~2013 年における風速の推移 -----	2-3
図 2.1-4	地中海の海流-----	2-5
図 2.1-5	主要河川-----	2-6
図 2.2-1	GDP と失業率推移 -----	2-7
図 2.2-2	スファックス県、チュニス県及び全国の人口推移-----	2-8
図 2.2-3	主要産業の GDP 構成 -----	2-8
図 2.2-4	上下水道アクセス-----	2-9
図 2.2-5	県別公衆衛生指標（インディケーター） -----	2-10
図 2.2-6	STEG 発電電力の推移 -----	2-11
図 2.2-7	STEG 販売電力量の推移 -----	2-11
図 2.2-8	STEG 販売電力量に占める上下水道セクターの割合 -----	2-12
図 3.1-1	農業・水資源・漁業省組織図-----	3-1
図 3.1-2	農業・水資源・漁業省：農業土木・給水総局組織図-----	3-3
図 3.1-3	SONEDE 組織図（2014 年 10 月現在） -----	3-5
図 3.1-4	SONEDE 生産局組織構成 -----	3-5
図 3.5-1	チュニジア国主要工業地域図-----	3-13
図 4.1-1	北部広域水道システム関連 7 県、スファックス県、スファックス 大都市圏の位置-----	4-1
図 4.1-2	スファックス県水道水源概念図-----	4-3
図 4.1-3	北部貯水池群（農業・水資源・漁業省管理）及び SONEDE 浄水場の位置-----	4-4
図 4.1-4	水源ダム、用水路及び SONEDE 取水点概念図 -----	4-5
図 4.1-5	ジェルマ・スベイトラ地下水送水システム-----	4-6
図 4.1-6	ジェルマ・スベイトラ地下水システム送水系統図-----	4-7
図 4.1-7	スファックス県への 3 供給水源の月別供給水量の推移 （2006 年～2012 年） -----	4-9
図 4.1-8	ジェルマ・スベイトラ生産水量とスファックス県への送水量の推移 （2006 年～2012 年） -----	4-10
図 4.2-1	水供給計画最適案（F/S 報告書ミッション 2：SOLUTION 2V2 部分抜粋） -----	4-16

図 4.2-2	広域水道戦略計画における水供給施設の位置-----	4-18
図 4.4-1	本調査における需要水量予測フロー-----	4-23
図 4.4-2	北部広域水道システム関連 7 県全体水需給バランス (供給水源：既存施設のみ) -----	4-31
図 4.4-3	北部広域水道システム関連 7 県全体水需給バランス (供給水源：既存施設+新規施設) -----	4-31
図 4.5-1	スファックス県水需給バランス (供給水源：既存施設のみ) -----	4-36
図 4.5-2	スファックス県水需給バランス (供給水源：既存施設+新規施設) -----	4-36
図 4.6-1	スファックス大都市圏配水管路整備計画 (2013 年) -----	4-38
図 4.6-2	スファックス大都市圏及び周辺地域水需給バランス (供給水源：既存施設のみ) -----	4-42
図 4.6-3	スファックス大都市圏及び周辺地域水需給バランス (供給水源：既存施設+新規施設) -----	4-42
図 4.7-1	節水コマ-----	4-48
図 5.1-1	膜法と蒸発法の淡水化施設建設実績累積推移-----	5-2
図 5.1-2	海水塩分 (TDS) 濃度の変化-----	5-3
図 5.1-3	海水温度の変化-----	5-3
図 5.1-4	pH の変化-----	5-3
図 5.1-5	SMAP III 調査結果プレゼンテーション (一部抜粋) -----	5-4
図 5.1-6	海水条件変化による淡水化施設予想水質 (45%回収率時) -----	5-6
図 5.1-7	膜システム構成設備-----	5-8
図 5.1-8	膜処理設備フロー-----	5-9
図 5.3-1	カーテンウォール取水方式-----	5-12
図 5.3-2	直接配管取水方式-----	5-12
図 5.3-3	ビーチウェル取水方式-----	5-13
図 5.3-4	海底浸透取水方式-----	5-13
図 5.3-5	取水塔イメージ-----	5-14
図 5.3-6	海水断面イメージ-----	5-14
図 5.3-7	取水点・濃縮水放流点位置図-----	5-14
図 5.3-8	取水管・濃縮水放流管設置イメージ-----	5-16
図 5.3-9	取水管 (HDPE 1 条)・濃縮水 (HDPE 1 条) 敷設予想図 -----	5-18
図 5.3-10	取水管 (HDPE 2 条)・濃縮水 (HDPE 1 条) 敷設予想図 -----	5-18
図 5.3-11	取水管 (鋼管 1 条)・濃縮水 (鋼管 1 条) 敷設予想図 -----	5-19
図 5.4-1	護岸放水方式-----	5-19
図 5.4-2	沖合放水方式-----	5-19
図 5.4-3	オープンチャンネル方式-----	5-20
図 5.4-4	単一ノズル方式-----	5-20
図 5.4-5	マルチノズル方式-----	5-20

図 5.4-6	ポータライザー方式-----	5-20
図 5.4-7	濃縮水放流塔イメージ-----	5-21
図 5.4-8	濃縮海水の放流イメージ-----	5-23
図 5.4-9	濃縮海水放流塔-----	5-24
図 5.4-10	濃縮海水の Near Field における放流イメージ-----	5-24
図 5.4-11	濃縮水拡散状況-----	5-25
図 5.5-1	電気防食付耐海水塗装鋼管-----	5-26
図 5.5-2	HDPE 管輸送写真-----	5-26
図 5.5-3	HDPE 管+バラストウエイト-----	5-26
図 5.5-4	鋼管方式取水管工事風景-----	5-26
図 5.5-5	各種パイプ-----	5-27
図 5.5-6	海洋工事プロセス-----	5-28
図 5.6-1	APAL からの使用許可用地-----	5-29
図 5.6-2	海水淡水化施設概略配置図-----	5-33
図 5.6-3	海水淡水化施設場内配置図-----	5-34
図 5.6-4	海水潮位と敷地の関係-----	5-35
図 6.1-1	SONEDE 配水池標準図（容量 5,000m ³ の場合）-----	6-3
図 6.1-2	スファックス大都市圏送水系統概要図（現況、2013）-----	6-5
図 6.1-3	スファックス大都市圏海水淡水化生産水運用計画（2025 年）-----	6-13
図 6.1-4	スファックス大都市圏海水淡水化生産水運用計画（2035 年）-----	6-14
図 6.2-1	送水管ルート-----	6-16
図 6.2-2	送水管路整備内容の詳細（第 1 期）-----	6-17
図 6.2-3	送水管路整備内容の詳細（第 2 期）-----	6-18
図 6.2-4	高揚程渦巻ポンプ適用線図-----	6-21
図 6.2-5	送水管水撃対策の検討結果-----	6-22
図 6.2-6	ワンウェーサージタンク概略図(1)-----	6-23
図 6.2-7	ワンウェーサージタンク概略図(2)-----	6-24
図 6.2-8	受水混合槽（PK11 配水池）(1)-----	6-26
図 6.2-9	受水混合槽（PK11 配水池）(2)-----	6-27
図 7.2-1	STEG 送電線位置図-----	7-2
図 7.3-1	二回線受電方式とループ受電方式-----	7-4
図 7.6-1	高圧受変電設備の施工区分-----	7-10
図 8.3-1	本事業位置図-----	8-3
図 8.3-2	送水管（上）及び取水・排水管（下）の標準横断イメージ-----	8-4
図 8.3-3	取水・放流管の計画-----	8-4
図 8.3-4	取水・放流塔のイメージ-----	8-5

図 8.3-5	海水淡水化施設用地の概要-----	8-5
図 8.3-6	RO プロセスに利用される薬品（緑）及び排水（点線）-----	8-6
図 8.4-1	海水淡水化施設用地周辺状況及び土地利用-----	8-7
図 8.4-2	送水管ルート沿い環境状況-----	8-8
図 8.4-3	本計画及びティナ塩田保護領域の状況-----	8-8
図 8.4-4	放流周辺の底生植物（ポシドニア）の状況-----	8-9
図 8.7-1	EIA 監視委員会の活動-----	8-13
図 8.7-2	スコーピング、TOR 作成及び環境社会影響評価の実施スケジュール----	8-23
図 8.7-3	環境社会影響評価の実施計画（案）-----	8-23
図 8.8-1	シミュレーションモデルの仕組み-----	8-24
図 8.8-2	濃縮海水放流塔-----	8-25
図 8.8-3	放流塔からの放流水希釈シミュレーション結果-----	8-26
図 8.8-4	放流塔からの距離と塩分濃度-----	8-26
図 8.8-5	スファックス県海岸海底植物ポシドニアの繁茂状況-----	8-27
図 8.8-6	底生植物平均繁茂率と水深の関係-----	8-27
図 8.8-7	スファックスで用いられている漁帆船（左）、漁船（右）-----	8-28
図 8.8-8	BG ガス管と本事業施設の位置-----	8-29
図 8.8-9	海水淡水化施設用地周辺遺跡-----	8-30
図 8.10-1	ポシドニア海底植樹作業-----	8-36
図 8.10-2	ガベス湾コンクリート人工漁礁設置計画-----	8-36
図 8.10-3	人工漁礁設置計画（案）-----	8-37
図 8.10-4	海上残土処分計画（案）-----	8-37
図 8.10-5	濁水対策工法（案）-----	8-38
図 8.10-6	マレシュ港の漁船-----	8-38
図 8.10-7	ティナ塩田の取水位置及び塩-----	8-40
図 8.10-8	ティナ塩田利用による緩和策（案）-----	8-41
図 8.10-9	下水処理水利用による緩和策（案）-----	8-42
図 8.11-1	ポシドニアとシモデセア（上）及びモニタリング方法（下）-----	8-44
図 8.12-1	ステークホルダー協議の公示-----	8-47
図 9.1-1	SONEDE の通常水道管用地取得範囲-----	9-1
図 9.2-1	SONEDE における用地取得手続-----	9-3
図 9.2-2	地方評価・調整委員会議事録の例（英訳）-----	9-4
図 9.2-3	海岸用地-----	9-11
図 9.2-4	海岸用地コンセッション契約実施スケジュール-----	9-11
図 9.3-1	用地取得の規模・範囲-----	9-13
図 9.3-2	本プロジェクトに関わる地域（コミュニン）-----	9-14
図 9.3-3	試掘調査位置及び B12 の位置と状況-----	9-18
図 9.3-4	管建設作業範囲-----	9-19

図 9.3-5	スファックス周辺の地域別の収入-----	9-22
図 9.6-1	用地取得手続の実施体制-----	9-24
図 9.6-2	漁業活動補償手続の実施体制-----	9-25
図 9.6-3	用地取得手続の実施体制（送電線）-----	9-26
図 9.7-1	社会配慮実施スケジュール-----	9-27
図 9.8-1	送水管沿いの推定土地価格-----	9-28
図 9.10-1	15km 送電線建設対象地域-----	9-32
図 9.10-2	送電線建設影響に関するアンケート-----	9-33
図 9.10-3	送電線建設影響に関するアンケートに対するスファックス県長の回答--	9-34
図 10.7-1	事業実施スケジュール-----	10-13
図 10.9-1	計画/設計時の事業実施体制-----	10-20
図 10.9-2	施工時の事業実施体制-----	10-20
図 10.9-3	スファックス海水淡水化施設及び中継ポンプ場運転・維持管理組織案	10-21
図 10.10-1	2012 年営業損益内訳-----	10-24
図 10.12-1	FIRR 感度分析（料金水準）-----	10-31
図 10.12-2	FIRR 感度分析（値上率）-----	10-32
図 10.12-3	サービスが改善された場合の支払意志額（値上率）分布-----	10-42
図 10.12-4	水因性の病気に罹った経験の有無-----	10-43
図 10.12-5	水因性の病気と思われる病名-----	10-44
図 10.14-1	淡水化市場における主要製造業者（記事）-----	10-49

略語一覧

AFD	フランス開発庁 (Agence Française de Développement)
AfDB	アフリカ開発銀行 (African Development Bank)
ANPE	環境保護庁-環境・持続可能な開発省 (Agence Nationale de Protection de l'Environnement)
APAL	海岸保全開発庁-環境・持続可能な開発省 (Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral)
C/P	カウンターパート (Counter Part)
COD	化学的酸素要求量 (Chemical Oxygen Demand)
CPI	消費者物価指数 (Consumer Price Index)
CRDA	地方農業開発事務所 (Commisariats Régionaux du Développement Agricole)
DGGREE	農業・水資源・漁業省 農業土木・給水総局 (Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux)
DCIP	ダクタイル鋳鉄管 (Ductile Cast Iron Pipe)
DGRE	農業・水資源・漁業省 水資源総局 (Direction Générale de Ressources en Eau)
EC	欧州委員会 (European Commission)
EIA	環境影響評価 (environmental impact assessment)
EIB	欧州投資銀行 (European Investment Bank)
F/S	フィージビリティ調査 (Feasibility Study)
FADES	アラブ社会経済開発基金 (FADES)
GDA	農業組合 (Groupements de Développement Agricole)
GDP	国内総生産 (Gross National Products)
GNI	国民総所得 (Gross National Income)
HDPE	高密度ポリエチレン (High Density Polyethylen)
ICT	情報通信技術 (Information and Communication Technology)
IME	機械・電気工業
IT/R	インテリム・レポート
ITH	繊維・アパレル工業
JICA	国際協力機構 (Japan International Cooperation Agency)
lpcd	一人一日当たり水量 (Liters per Capita per Day)
KfW	ドイツ復興金融公庫 (Kreditanstalt für Wiederaufbau)
MDICI	開発・投資・国際協力省 (Ministère du Développement, de l'Investissement et de la Coopération internationale)
ND	不検出 (not detected)
NT09.14	チュニジア国の飲料水水質基準 (NT09.14:1983 もしくは 2013)
NTU	濁度単位 (Nephelometric Turbidity Unit)
ONAS	下水道整備公社 (Office National de l'Assainissement)
PC	戦略地域 (Pôle de Compétitivité)

RO	逆浸透 (Reverse Osmosis)
SECADENORD	北部用水路・導水路開発公社 (Société d'exploitation du canal et des adductions des eaux du nord)
SEDCI	経済・財務省開発国際協力担当 ((現) 開発・投資・国際協力省、MDICI)
SONEDE	水資源開発公社 (Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux)
STEG	チュニジア電力・ガス公社 (Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz)
TDS	蒸発残留物 (Total Dissolved Solid)
TOR	委託事項 (Terms of Reference)
TND	ディナール：チュニジア国通貨単位 (Tunisian Dinar)
WHO	世界保健機関 (World Health Organization)

要 約

第1章 調査の目的と内容

1.1 調査目的

本調査は、借入人をチュニジア政府（外務省、開発・投資・国際協力省及び財務省が代表する）、実施機関を水資源開発公社（SONEDE：Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux）とする円借款事業に係る案件形成調査である。本調査は、スファックス海水淡水化施設整備事業に関し、円借款事業としての審査に資することを目的とする。

したがって、本調査の成果は、本事業に対する円借款の審査を JICA が実施する際の検討資料となり、本調査で取り纏める事業内容が円借款事業の原案として取り扱われる。

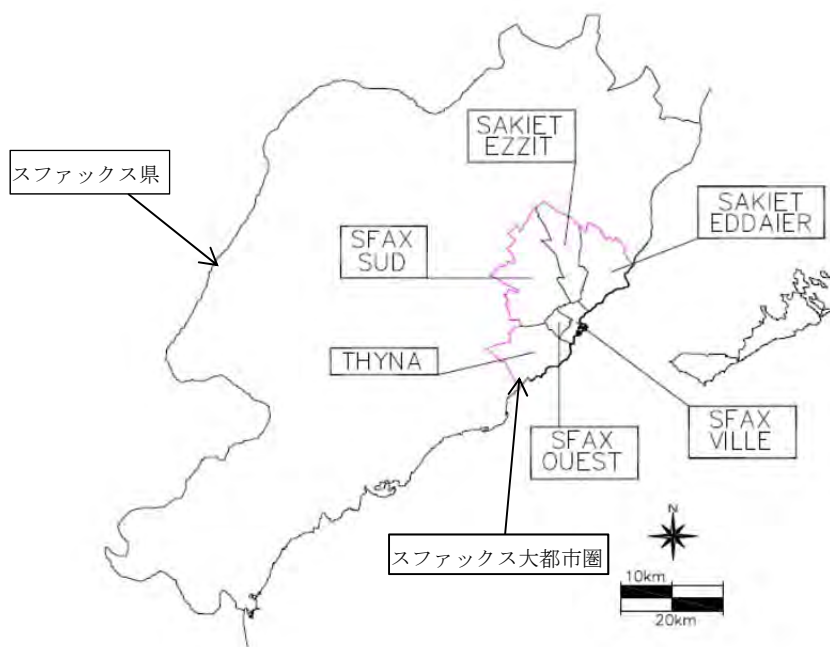
1.2 調査対象事業

本調査の対象事業は海水淡水化施設（生産水量約 20 万 m³/日、うち円借款対象として考えられている施設規模は 10 万 m³/日。取水・放流施設を含む）、送水管、配水池、及び付随のポンプ場である。

1.3 調査対象地域

本調査の対象地域は、スファックス大都市圏の管轄区域及び周辺地域である。スファックス大都市圏は、チュニジア国の首都チュニスから南東約 270km に位置する港湾都市であり、スファックス県の県都である。港湾を中心にして数本の幹線道路が内陸に向かって放射状に建設され、その道路の延伸に伴い、市街地が拡張されてきたという特徴を有する。また、近年は環状道路が整備され、その沿線にも市街地が発達しつつある。

スファックス大都市圏はスファックス市及び周辺の 5 つの市から構成される。



出典：JICA 調査団

図 1-1 スファックス大都市圏行政区域

1.4 調査関係機関

本調査に関係する主な機関は以下のとおりである。

- カウンターパート機関： 水資源開発公社（SONEDE）
- 関係省庁：
 - 1) 開発・投資・国際協力省（MDICI、円借款窓口）
 - 2) 財務省（円借款の借入・返済）
 - 3) 農業・水資源・漁業省（SONEDE の監督官庁）
 - 4) 外務省（外交関係、政府間契約）
 - 5) 環境・持続可能な開発省
 - 環境保護庁（環境影響評価審査）（ANPE）
 - 海岸開発保全庁（海岸用地開発承認）（APAL）

1.5 調査スケジュール

本調査は、以下のとおり 2 段階のフェーズに分けて実施された。

(1) フェーズ 1（2013 年 9 月～12 月）：海水淡水化施設建設の妥当性の確認

フェーズ 1 調査は 2013 年 9 月 13 日から始まり、国内事前準備作業を経て現地調査を 2013 年 9 月 28 日から 11 月 23 日まで行った。引き続き国内作業を 2014 年 1 月上旬まで継続した。フェーズ 1 の成果はインテリム・レポート 1 にまとめられた。

(2) フェーズ 2（2014 年 1 月～2015 年 8 月）：フィージビリティ調査の実施

フェーズ 2 調査は 2014 年 1 月から 2015 年 8 月まで実施された。第 2 回現地調査を 2014 年 1 月中旬から 3 月上旬まで実施し、国内作業を経てインテリム・レポート 2 に中間成果をまとめた。その後、第 3 回現地調査を 2014 年 4 月中旬から 6 月中旬まで実施した。6 月から 8 月までの国内作業期間において本調査の全ての成果を準備調査報告書(ドラフト)にまとめ、9 月 29 日に現地において SONEDE に説明した。その後、チュニジア国側のコメントを反映した準備調査報告書が 2015 年 8 月¹に提出された。本調査は 2015 年 6 月時点の情報を基に作成されている。

第2章 自然状況・社会状況

2.1 自然状況

スファックス大都市圏は国土面積 16 万 3,610 km² を有するチュニジア共和国の中部地帯である半乾燥気候の地域に位置するが、地中海に面しているため穏やかな気候である。スファックス大都市圏の自然条件は以下のとおりである。

2.1.1 気象

(1) 気温

過去 21 年間（1992 年-2012 年）の年平均気温は 18 °C であり、7 月から 9 月までの猛暑期及び 12 月から 2 月までの寒期があり、その中間期は過ごしやすい気候である。

¹ SONEDE のコメントを考慮し、水需給バランスと水配分計画及び対応した施設計画を見直し、また、外貨交換レートの変更により事業費を見直し、財務経済分析の再検討を行っている。

(2) 湿度

地中海の影響を受け、湿度は年間を通し 50%～70%前後と半乾燥気候であるものの比較的高い。

(3) 風

風は年間 300 日程度吹き、その風向は季節により異なり、冬季は陸風である北～南西、夏季は海風である東～南東、春季及び秋季は北及び東からの風が卓越している。

(4) 降水量

スファックス大都市圏の過去 20 年間（1991～2010 年）における年間平均降水量は 228.5 mm（主要表流水水源のある北部のチュニスでは 464.5 mm）である。毎月の降水量は 9 月～4 月の期間は各月において増減はあるものの平均で約 25 mm 程度であるが、5 月から減りはじめ、6 月～8 月の期間はほとんど降水がない状態となる。

2.1.2 地勢・地形

スファックス大都市圏は港を中心として扇状に広がった都市であり、海に向かって緩やかに傾斜した起伏の少ない単調な地形である。

2.1.3 海洋状況

(1) 潮位

スファックス港における平均潮位、最高、最低潮位は以下のとおりである。

表 2-1 潮位

	平均潮位	最高潮位	最低潮位
海抜 (m)	+1.16	+2.15	+0.00

出典：Rapport Du Centre Hydrographique Et Oceanographique De La Marine Nationale De La Tunisie

(2) 海流

地中海の海流は全般的に非常に弱く、気温が高く乾燥しているため海水蒸発量の多い地中海東部に向けて流れている。スファックス大都市圏近海ではスース方面からガベス港に向け、海岸に並行して緩やかに南へ流れている。スファックス大都市圏沿岸の潮流は干満に対応して反転しながら海岸に平行して流れている。

(3) 海底地形

スファックス大都市圏沿岸は全般的に遠浅の地形であり、特に、スファックス大都市圏の北側のラ・シェッパからケルケナ島近海を経てスファックス大都市圏までは、水深 5 m 以下の海底地形が連続している。スファックス大都市圏から南側のガベス湾沿岸では、沖合 5 km 前後付近まで水深 10 m 以下の海底地形が連続している。このため、スファックス港では大型船が入港出来るように港口から沖合までの 4.5 km 程を 11 m 水深となるように 60 m の幅員で航路の浚渫を行っている。

2.2 社会経済情勢

チュニジア国は世界銀行の所得分類上、「中進国」に位置づけられており、2013 年の GDP は 469.9 億ドル、GDP 成長率は年 2.5 % である。一人当たり GDP は 4,317 ドルで、2008 年以降の成長は鈍化している。完全失業率は 2013 年で 13.3% となっており、特に若年層の失業率が高く、長期間にわたって高水準で推移している。

2.3 人口

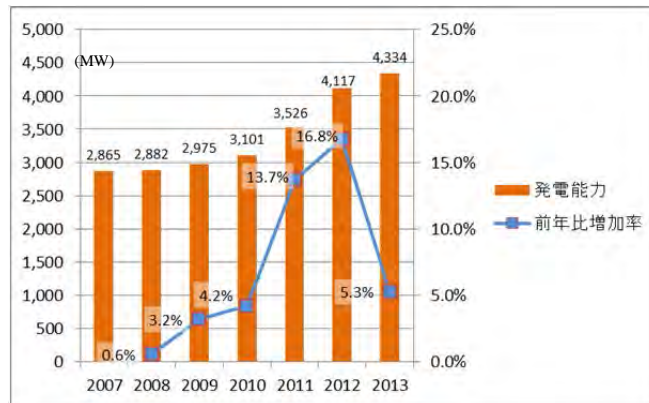
2013年時点でのチュニジア国の人口は1,089万人、都市部に約66%、農村部に約34%が住んでいる。その中で生産年齢人口は約43%、若年生産年齢人口は33%となっており、若年層の人口割合が高い。

環状道路11号線の内側を主要域とするスファックス大都市圏はチュニジア国第二の都市域であり、2013年7月現在、スファックス県の人口97万人の内62万人が居住する商業都市である。また、この地域には学生も多くその数は約5万人にも上ると言われているが、そのほとんどが他地域からの就学生であり、夏季休暇等の長期休暇時には極端に減少する傾向にある。なお、この時期には多くの観光客が同国に滞在するが、その主要な滞在地はハマメット、スース、ジェルバ等のリゾート地であり、スファックス大都市圏に滞在する観光客は少ない。

2003年～2013年の平均人口増加率は全国1.02%/年、チュニス県0.21%/年、スファックス大都市圏を含むスファックス県1.37%/年となっており、スファックス県の人口増加率は首都チュニスのそれを大きく上回っている。

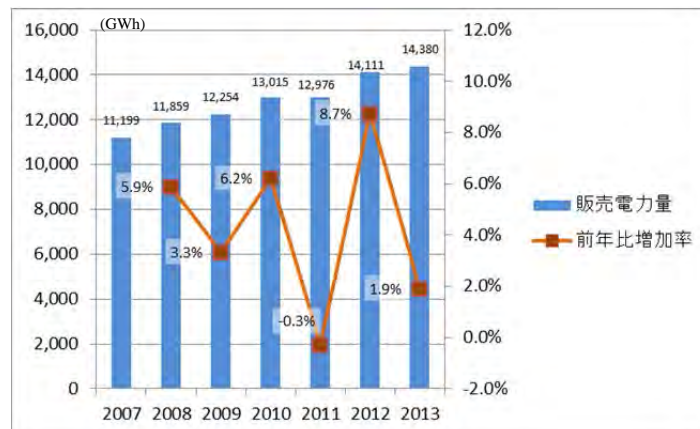
2.4 電力供給事情

チュニジア国において電力供給を行っているチュニジア電力・ガス公社 (STEG) の発電能力と販売電力量を図2-1、2-2に示す。



出典：Annuaire Statistique de la Tunisie 2007-11, <https://www.steg.com.tn/en/institutionnel/produire.html> (2012-13)

図 2-1 STEG 発電能力の推移



出典：Annuaire Statistique de la Tunisie 2007-11, <https://www.steg.com.tn/en/institutionnel/produire.html> (2012-13)

図 2-2 STEG 販売電力量の推移

STEG の発電能力は、2008 年以降、比較的高い増加率で増加しており、2011 年では対前年比 13.7 % 増の 3,526 MW、2012 年は 16.8% 増の 4,117MW、2013 年は 5.3% 増の 4,334MW となっている。

総販売電力量も全般的に増加傾向で推移している。2011 年は 2010 年末からのジャスミン革命の影響による産業活動の停滞が反映し、対前年比 0.3 % 減の 12,976GWh と僅かに減少したが、2012 年では 14,111 GWh、2013 年では 14,380 GWh に増加している。

上記データにより、2007 年では販売電力量は発電能力の 44.6% ($= (11,199 \times 10^9) / (2,865 \times 10^6 \times 24 \times 365)$) であったが、2013 年では 37.9% ($= (14,380 \times 10^9) / (4,334 \times 10^6 \times 24 \times 365)$) となっており、需給バランスが改善していることが分かる。このように、電力の需給バランスは改善されてきたが、STEG は今後の需要増大に備え、さらに発電能力の増強に努めている。

第3章 チュニジア国の水道事業の現状

3.1 水セクターの関連組織と法令

3.1.1 概要

チュニジア国の水セクターに係る政策は、1975 年に制定された「水法」(Code des Eaux) に基づき、農業・水資源・漁業省 (Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche) が決定している。農業・水資源・漁業省は SONEDE の監督官庁であり、農業・水資源・漁業省が水セクターに関する全国的な政策の決定や計画策定及び大規模水利施設の建設・運転維持管理を行い、SONEDE はこれらの政策や計画に整合した形で、同省所管の施設を適宜利用しながら、都市部と規模の大きな農村集落に対する水道水供給を行っている。

3.1.2 水資源開発公社 (SONEDE)

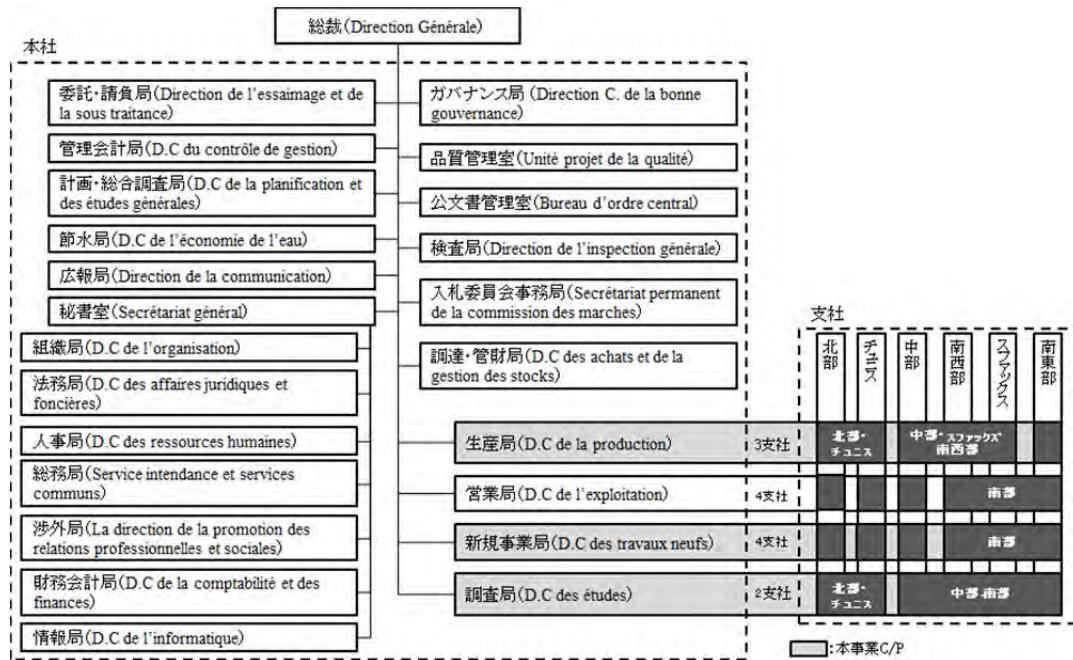
SONEDE は農業・水資源・漁業省を所管官庁とする独立採算運営による公社として 1968 年に設立された。全国を対象とした生活用水の供給を目的とする公社で、取水、導水、処理、送水及び配水に係る調査計画、施設の利用、建設改良及び運転維持管理を実施している。2013 年現在の組織の概要を表 3-1 に示す。

表 3-1 SONEDE の概要 (2013 年実績)

項目	概要	備考
給水接続数	2,550,318 接続	1000 給水栓あたりの職員数 6,818 人/2,550,318 接続×1000=2.67
給水人口	9.11 百万人	
年間生産水量	609.4 百万 m ³	表流水：347.2 百万 m ³ 地下水：234.4 百万 m ³ 脱塩水：19.7 百万 m ³ 除鉄水：6.2 百万 m ³
年間配水量	555.5 百万 m ³	
年間有収水量	449.9 百万 m ³	
管路延長	49,500km	取水・導水管：9,400km 送配水管：40,100km
職員数 (人)	総職員数 6,818 うち正社員 6,039 うち非正社員 779	正社員のうち、 技術職：4,505 名 事務職：1,534 名

出典：SONEDE

SONEDE の組織構成は次図に示すとおりである。



出典：SONEDE 及び JICA 調査団

図 3-1 SONEDE 組織図 (2014年10月現在)

3.2 チュニジア国分野別水需給バランス

チュニジア国の水資源の利用可能水量、水供給内訳、及び水需給バランスを表 3-2～表 3-4 に示す。水資源の利用可能水量のうち、TDS 濃度 3,000 mg/L 以下の水資源については、表流水はその 100%、地下水もほぼ全量を使っており、TDS 濃度 3,000 mg/L 以上の利用可能水源しか残されていない。しかし、この水源は用途によって TDS 濃度をどの程度まで許容できるのかが課題になる。例えば、農業・水資源・漁業省は 2,000 mg/L を灌漑用排水質基準としているが、利用可能な水資源でその基準に適合するものはほぼ使い切っている。また、3,000 mg/L 程度の TDS 濃度の灌漑用水でも、オリーブの栽培は可能であるが、長期間にわたって使い続けると土壌に塩分が蓄積されて栽培不能になると言われている。

表 3-2 チュニジア国の水資源及び利用可能量 (2013年)

(単位：百万 m³/年)

	水資源量	利用可能量*			
		TDS 濃度 <1,500mg/L	1500<TDS 濃度 <3,000mg/L	3,000mg/L <TDS 濃度	合計
表流水	2,700	1,200	400	100	1,700
地下水	2,100	300	800	500	1,600
合計	4,800	1,500	1,200	600	3,300

注*：農業・水資源・漁業省は既設のダムとの連携を改善して利用可能量を増加させる施策を講じている。

出典：農業・水資源・漁業省各種資料

表 3-3 チュニジア国水供給内訳 (2013 年)

(単位: 百万 m³/年)

用途	水需要	表流水			地下水		
		TDS 濃度 <1,500mg/L	1,500<TDS 濃 度<3,000mg/L	3,000mg/L <TDS 濃度	TDS 濃度 <1,500mg/L	1,500<TDS 濃 度<3,000mg/L	3,000mg/L <TDS 濃度
農業用水	2,160	970	370	0	250	570	0
飲料用水	380	160	0	0	40	110	70
工業用水	130	60	20	0	10	40	0
観光用水	30	10	10	0	0	10	0
合計	2,700	1,200	400	0	300	730	70
利用率		100%	100%	0%	100%	91%	14%

出典: 農業・水資源・漁業省、SONEDE 各種資料

表 3-4 水需給バランス (2013 年)

(単位: 百万 m³/年)

用途	水需要			利用可能量			利用率		
	表流水	地下水	全体	表流水	地下水	全体	表流水	地下水	全体
農業用水	1,340	820	2,160	/	/	/	/	/	/
飲料用水	160	220	380						
工業用水	80	50	130						
観光用水	20	10	30						
合計	1,600	1,100	2,700	1,700	1,600	3,300	94%	69%	82%

出典: 農業・水資源・漁業省、SONEDE 各種資料

3.3 水需給に関する政策と将来計画

チュニジア国では 2011 年の革命直前に第 12 次社会経済開発 5 年計画 (2010 年-2014 年) を策定した。この計画の中で、都市における給水率は 100%、水質改善のための海水淡水化施設の設置が含まれている。但し、本計画は革命のため有効性が失われた。しかし、SONEDE は現在もこの開発計画に従い、業務に取り組んでいる。本事業は、都市の給水率を 100%に保ちつつ、海水淡水化施設を設置し飲料水の水質改善に寄与する事業であることから、チュニジア国における水セクターの政策に合致した事業であると位置付けられる。なお、チュニジア政府は 7%/年の GDP 成長率を目標とした新社会経済開発 5 年計画 (2016 年-2020 年) を策定し、実行に移そうとしている。

第4章 スファックス大都市圏の水需給計画

4.1 水道システムの現状と課題

4.1.1 年間給水人口及び給水量

スファックス県の生活用水は、都市区域では SONEDE が給水し、村落部では SONEDE と農業・水資源・漁業省の農業土木・給水総局 (DGGREE) がそれぞれ受け持つ区域の給水をしている。スファックス県の 2006 年から 2012 年における人口及び水道給水人口は表 4-1 に示すとおりである。

表 4-1 スファックス県の人口及び給水人口

(単位：千人)

項目		年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
スファックス県人口			887.9	900.0	911.3	923.8	936.7	938.7	963.1
都市部	人口		570.0	578.9	586.5	595.6	605.0	613.8	624.2
	SONEDE 給水人口		570.0	578.9	586.5	595.6	605.0	613.8	624.2
	給水率		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
村落部	人口		317.9	321.1	324.8	328.2	331.7	334.9	338.9
	SONEDE 給水人口		179.2	183.8	188.6	192.3	194.4	197.6	199.9
	DGGR 給水人口		131.6	134.4	134.6	118.0	119.4	119.1	120.6
	給水率		97.8%	99.1%	99.5%	94.5%	94.6%	94.6%	94.6%
スファックス県給水率			99.2%	99.7%	99.8%	98.1%	98.1%	98.1%	98.1%

出典：SONEDE 年報

また、SONEDE が給水するスファックス県の 2006 年から 2012 年における年間給水量（有収水量）を表 4-2 に示す。

表 4-2 スファックス県の年間給水量（有収水量）

(単位：1,000 m³/年)

項目		年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
生活用水	各戸給水		23,037	24,064	26,164	26,388	28,093	29,138	31,440
	共同給水		1,364	1,560	2,116	1,965	3,072	2,396	2,862
	合計		24,401	25,624	28,280	28,353	31,165	31,534	34,302
官公庁・営業用水			3,186	3,278	3,257	3,307	3,428	3,464	3,648
工業用水			2,784	2,817	2,921	2,786	2,963	2,826	3,441
観光業用水			191	199	209	205	189	173	182
その他			229	246	188	136	138	177	97
スファックス県給水量			30,791	32,164	34,855	34,787	37,883	38,174	41,670

出典：SONEDE 年報

SONEDE が 2012 年に給水した用途別の給水量の比率は、生活用水：82.3 %、官公庁・営業用水：8.8 %、工業用水：8.3 %、観光業用水：0.4 %、その他：0.2 %となっている。なお、このうち工業用水は SONEDE の水を業務用に使用している水量を示し、規模の大きい工場等の事業者は独自に井戸を掘り、そこから揚水した地下水を使用している。

人口増加、産業の進展等に伴い水需要が増加し、スファックス県の年間給水量も増え続けている。その需要増加に対応するために安定した水道水源を確保することが、SONEDE の大きな課題になっている。

4.1.2 水道水源の概要

スファックス県の水道水源は、北部広域水道システムからの送水、西部のシディ・ブジド県のジェ

ルマ・スベイトラ地下水送水システムからの送水、そしてスファックス県内の地下水の取水がある。2013年のピーク時の供給可能量は合計 20.1 万 m³/日、各々の比率は 42%、37%、21%である。スファックス県の水道水源の概念を図 4-1 に示す。

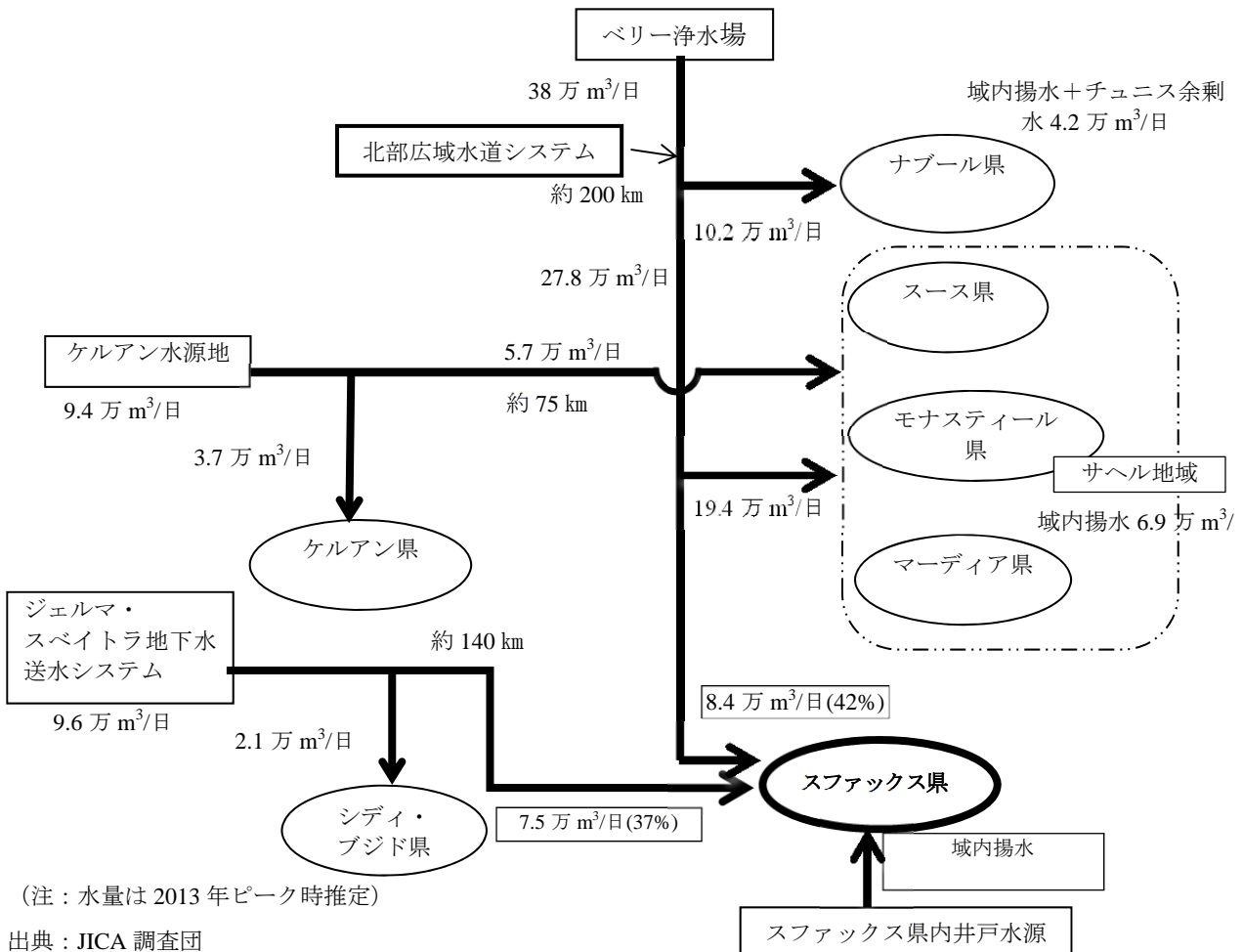


図 4-1 スファックス県水道水源概念図

4.2 広域水道における水需給計画

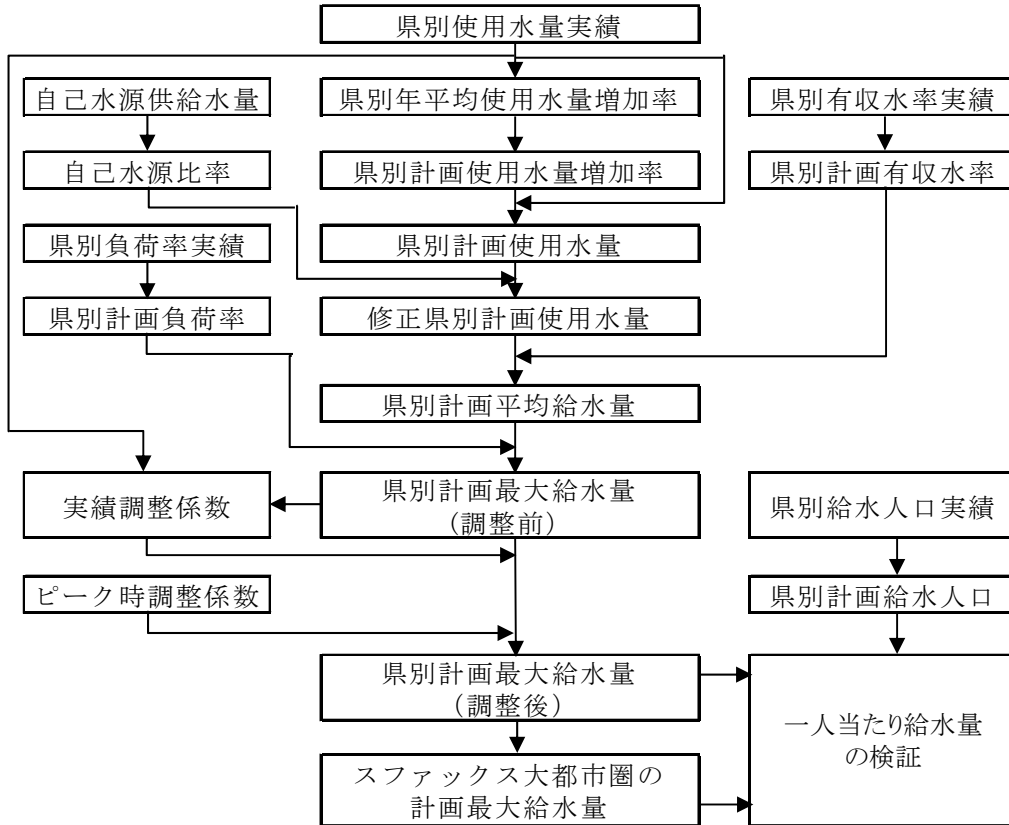
4.2.1 需要水量について

SONEDE は計画目標年を 2030 年として「中部・南部地域水供給事業フェージビリティ調査」を 2005 年に策定した。その後、2012 年の深刻な水供給不足の問題が発生し、この水供給不足の問題への緊急対策を目的として「広域水道戦略計画」が 2013 年に策定された。「中部・南部地域水供給事業フェージビリティ調査」が策定されていたこと、緊急対策であることなどから、SONEDE は 2~3 年程度を費やし、基礎データを積み上げて水道計画を策定することはしなかった。

つまり、一般的に、水需要予測は給水人口及び一人当たり給水量の実績を基に将来値を推定する手法をとるが、SONEDE は給水人口及び一人当たり給水量の変動推移は、総給水量の変動推移に包含されると考え、給水量の実績の変動傾向を分析し将来の需要水量を予測している。具体的には、下記のとおり、北部広域水道システムの対象地域であるボン岬地域（ナブール県の通称）、サヘル地域（スース県、モナスティール県及びマーディア県を合わせた地域の通称）及びスファックス県、並びにサヘ

ル地域に地下水を送水しているケルアン県と及びスファックス県に地下水を送水しているシディ・ブジド県の7県における過去の給水実績を統計的に分析し、各県の将来の需要水量を予測している。

JICA 調査団は SONEDE の予測手法に準じ、調整係数を実績をもとに補正して計画給水量を予測した。具体的な需要水量予測手順の概略作業フローを図 4-2 に、各県別の計画最大給水量を表 4-3 に示す。



出典： JICA 調査団

図 4-2 本調査における需要水量予測フロー

表 4-3 県別計画最大給水量

単位：m³/日

Year	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid	Total
2011	134,247	124,110	102,740	71,233	173,425	35,068	19,452	660,274
2012	138,904	127,945	106,027	74,795	179,178	35,616	20,000	682,466
2013	144,384	131,507	109,863	78,630	185,479	36,986	21,096	707,945
2014	149,589	135,616	113,151	82,466	191,507	38,082	21,644	732,055
2015	154,795	139,726	116,438	86,575	198,356	39,178	22,740	757,808
2016	160,274	144,110	120,274	90,685	205,479	39,726	23,562	784,110
2017	166,301	148,493	123,562	95,342	211,781	40,548	24,658	810,685
2018	171,781	153,151	127,397	100,000	219,452	41,370	25,479	838,630
2019	178,082	156,986	131,233	104,932	226,575	41,918	26,301	866,027
2020	184,384	161,918	135,616	110,137	234,521	42,740	27,397	896,712
2021	190,959	166,849	140,000	115,616	242,466	44,110	27,945	927,945
2022	197,808	172,055	144,384	121,644	251,233	45,205	29,589	961,918
2023	205,205	177,260	148,767	127,397	259,452	46,301	30,137	994,521
2024	212,603	182,740	153,425	134,247	268,219	47,945	31,781	1,030,959
2025	219,726	187,945	158,082	141,096	277,260	48,767	32,877	1,065,753
2026	227,671	193,425	163,562	147,671	287,123	49,863	33,425	1,102,740
2027	236,164	199,452	167,945	155,068	296,986	50,959	35,342	1,141,918
2028	244,658	205,753	173,699	163,288	307,123	52,055	36,986	1,183,562
2029	253,425	211,507	179,178	171,507	317,808	53,151	38,082	1,224,658
2030	262,740	217,808	184,658	180,274	328,493	54,247	39,178	1,267,397
2031	272,329	224,384	190,137	189,315	340,822	56,438	41,370	1,314,795
2032	281,918	231,233	196,164	198,904	353,699	57,534	42,466	1,361,918
2033	292,603	238,082	201,918	209,315	366,301	59,726	44,658	1,412,603
2034	303,014	244,932	208,493	219,726	379,726	60,822	46,301	1,463,014
2035	313,699	252,055	214,521	230,685	393,425	63,014	48,219	1,515,616

4.2.2 新規水源計画

広域水道戦略計画では2030年を計画目標年次として、水需要の増加に対応した水供給量の増加に関する方策が検討された。広域水道戦略計画で計画された浄水施設の実施スケジュールについて SONEDE に確認したところ、カラー・カビラ貯水池及び浄水場については現時点で同計画に比べて1年遅れで、段階的に建設するという意向を示した。また、スファックス海水淡水化施設についてはできる限り早期に建設したいという意向を示した。

本調査ではサイダ貯水池及びカラー・カビラ貯水池並びに浄水場については SONEDE の考えを踏襲するが、スファックス海水淡水化施設については、円借款事業としての実施スケジュールを考慮し（第10章に詳述）、第1期事業は2022年から通水される計画とした。第2期事業の開始時期はスファックス海淡施設の全体計画として200,000m³/日の施設を建設する場合、その半分の100,000m³/日を建設して需要を満たせる期間を第1期として考えることが適当と判断した。

表 4-4 広域水道新規浄水場及び海水淡水化施設の整備年次

名称	年	生産能力	スファックス大都市圏への供給水量
サイダ貯水池及びカラー・カピラ貯水池並びに浄水場	2020	1,500L/秒 (129,600m ³ /日)	-*
	2024	3,000L/秒 (259,200m ³ /日)	-*
	2029	4,000L/秒 (345,600m ³ /日)	-*
スファックス大都市圏における海水淡水化施設	2022	1,157 L/秒 (100,000m ³ /日)	1,157 L/秒 (100,000m ³ /日)
	2026**	2,325 L/秒 (200,000m ³ /日)	2,325 L/秒 (200,000m ³ /日)

*：北部広域水道システムから供給される水の一部として供給され、同システムの既存水源と混合している。

**：水需給バランスを考慮した結果により設定

出典：SONEDE、2014

なお、上記した新規水源を整備しても 2031 年以降は北部広域水道システムの上流側で水不足状態になるため、最終的に 250,000m³/日程度の供給能力を持つ新規水源が北部広域水道システムの上流側のサヘル地域に必要となる。

4.2.3 水需要と供給

4.2.1 と 4.2.2 をもとに需要水量と水供給量を検討した。その結果を表 4-5～表 4-7 に示す。また、北部広域水道システム関連 7 県全体の需給バランスの計算を図 4-3 及び表 4-8 に示す。

表 4-5 北部広域水道システム関連 7 県全体の需要水量

		2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
人口	行政人口	4,469,600	4,731,500	4,993,700	5,255,700	5,517,800
	給水人口	3,732,100	4,014,100	4,296,200	4,578,100	4,860,200
平均使用水量原単位 (L/人/日)		103	114	127	143	161
平均非家庭用水割合 (%)		22	22	22	22	22
平均無収水率 (%)		23.7	23.0	22.4	21.8	22.0
日平均給水量 (m ³ /日)		581,400	687,700	816,700	971,000	1,161,100
日最大/日平均*		1.303	1.291	1.305	1.305	1.305
日最大給水量 (m ³ /日)		757,800	887,500	1,065,700	1,267,400	1,515,600

*:日最大/日平均×調整係数

出典：JICA 調査団

表 4-6 北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給バランス(新規水源なし) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	北部広域水道既存水源	476,800	477,600	477,500	477,200	476,800	476,300
	ジェルマ・スペイトラ水源	91,600	91,600	91,600	91,600	91,600	91,600
	域内地下水	221,400	221,400	221,400	221,400	221,400	221,400
	合計	789,800	790,600	790,400	790,100	789,700	789,300
日最大需要水量		757,800	887,500	961,800	1,065,700	1,267,400	1,515,600
水需給バランス		31,900	▲97,000	▲171,400	▲275,600	▲477,700	▲726,400

出典：JICA 調査団 (注：四捨五入により (供給水量合計-需要水量) は必ずしも水需給バランスと一致しない)

表 4-7 北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給バランス(新規水源あり) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	サヘル地区海水淡水化施設	0	0	0	0	0	250,000
	サイダ/カテラ貯水池浄水場	0	129,600	129,600	259,200	345,600	345,600
	スファックス海水淡水化施設	0	0	100,000	100,000	200,000	200,000
	北部広域水道既存水源	476,800	477,600	477,500	477,200	476,800	476,300
	ジェルマ・スペイトラ水源	91,600	91,600	91,600	91,600	91,600	91,600
	域内地下水	221,400	221,400	221,400	221,400	221,400	221,400
	合計	789,700	920,200	1,020,000	1,149,300	1,335,300	1,584,900
日最大需要水量		757,800	887,500	961,800	1,065,700	1,267,400	1,515,600
水需給バランス		31,900	32,600	58,200	83,600	67,900	69,200

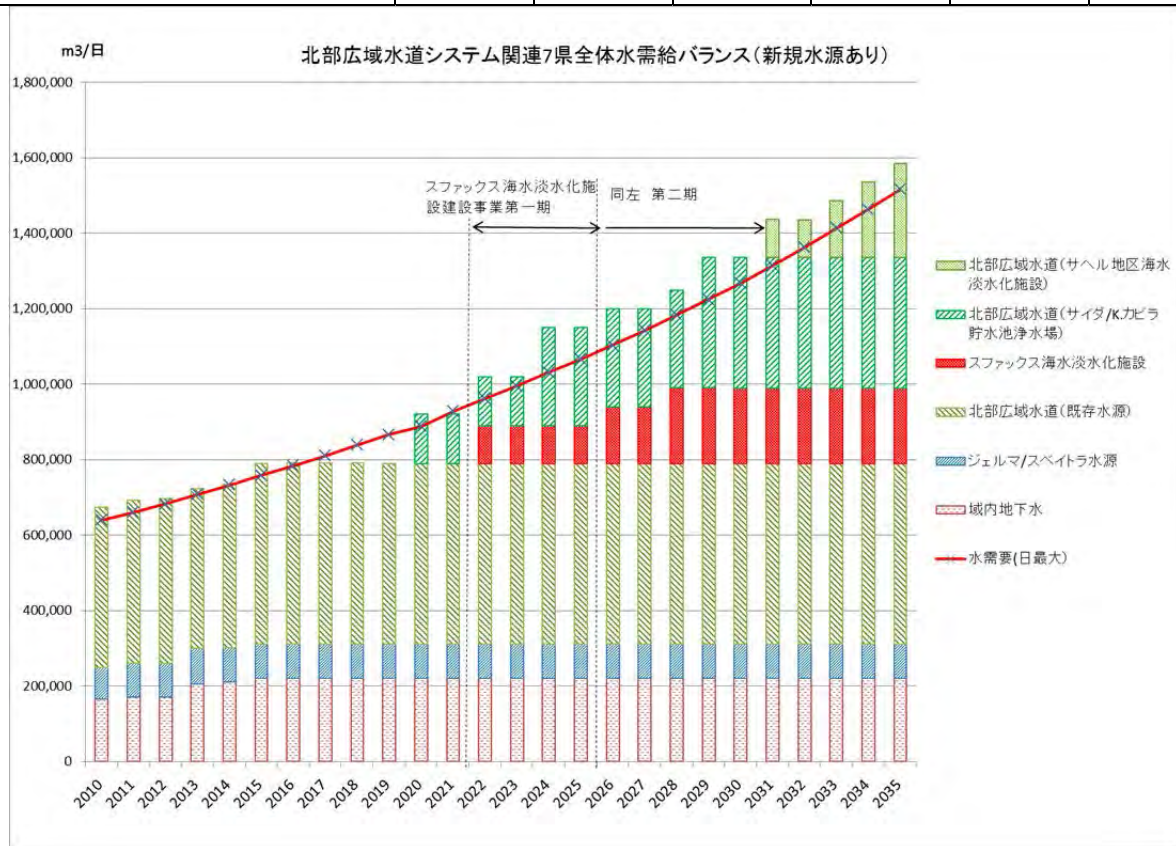


図 4-3 北部広域水道システム関連 7 県全体水需給バランス (供給水源：既存施設+新規施設)

表 4-8 北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給計算

(単位：L/秒)

Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
Nabeul																											
Belli Treatment Plant	4,268	4,398	4,398	4,398	4,398	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798
Local Resources +Tunis Unit	634	611	646	489	596	720	737	735	733	731	730	729	728	727	726	725	724	723	722	721	720	719	718	717	716	715	
Total resources in Nabeul	4,902	5,009	5,044	4,887	4,994	5,518	5,535	5,533	5,531	5,529	5,528	5,527	5,526	5,525	5,524	5,523	5,522	5,521	5,520	5,519	5,518	5,517	5,516	5,515	5,514	5,513	
Qpj	1,503	1,554	1,608	1,671	1,731	1,792	1,855	1,925	1,988	2,061	2,027	2,210	2,289	2,375	2,461	2,543	2,635	2,733	2,832	2,933	3,041	3,152	3,263	3,387	3,507	3,631	
Balance of Nabeul	3,399	3,455	3,436	3,216	3,263	3,726	3,680	3,608	3,543	3,468	3,501	3,317	3,237	3,150	3,063	2,980	2,887	2,788	2,688	2,586	2,477	2,365	2,253	2,128	2,007	1,882	
Kairouan																											
Local resources in Kairouan	1,085	1,085	1,085	1,091	1,091	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	
Qpj	396	406	412	428	441	453	460	469	479	485	495	511	523	536	555	564	577	590	602	615	628	653	666	691	704	729	
Balance of Kairouan	689	679	673	663	650	666	659	650	640	634	624	608	596	583	564	555	542	529	517	504	491	466	453	428	415	390	
Sahel (Sousse+Monastir+Mahdia)																											
Local Resources of Sahel	528	614	614	794	866	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	
Saida/K.Kebira Reservoirs+WTP (1500L/s + 1500L/s + 1000L/s)											1,500	1,500	1,500	1,500	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Sahel Desalination Plant (100,000 m ³ /d+50,000m ³ /d+50,000m ³ /d)																						1,157	1,157	1,736	2,315	2,894	
Arrival from Kairouan	689	679	673	663	650	666	659	650	640	634	624	608	596	583	564	555	542	529	517	504	491	466	453	428	415	390	
Arrival from Northern Water	3,399	3,455	3,436	3,216	3,263	3,726	3,680	3,608	3,543	3,468	3,501	3,317	3,237	3,150	3,063	2,980	2,887	2,788	2,688	2,586	2,477	2,365	2,253	2,128	2,007	1,882	
Total resources	4,616	4,748	4,723	4,673	4,779	5,344	5,291	5,210	5,135	5,054	4,977	4,825	4,733	4,636	4,527	4,412	4,304	4,196	4,088	3,979	3,870	3,762	3,654	3,546	3,438	3,330	
Qpj in Sousse	1,398	1,436	1,481	1,522	1,570	1,617	1,668	1,719	1,773	1,817	1,874	1,931	1,991	2,052	2,115	2,175	2,239	2,308	2,381	2,448	2,521	2,597	2,676	2,756	2,835	2,917	
Qpj in Monastir	1,161	1,189	1,227	1,272	1,310	1,348	1,392	1,430	1,475	1,519	1,570	1,620	1,671	1,722	1,776	1,830	1,893	1,944	2,010	2,074	2,137	2,201	2,270	2,337	2,413	2,483	
Qpj in Mahdia	786	824	866	910	954	1,002	1,050	1,104	1,157	1,214	1,275	1,338	1,408	1,475	1,554	1,633	1,709	1,795	1,890	1,985	2,087	2,191	2,302	2,423	2,543	2,670	
Total Qpj in Sahel	3,345	3,449	3,574	3,704	3,834	3,967	4,110	4,253	4,405	4,550	4,719	4,889	5,070	5,249	5,445	5,638	5,841	6,047	6,281	6,507	6,745	6,989	7,248	7,516	7,791	8,070	
Balance of Sahel	1,271	1,299	1,149	969	945	1,377	1,181	957	730	504	1,858	1,488	1,215	936	2,134	1,849	1,540	1,222	876	1,535	1,175	1,951	1,567	1,728	1,898	2,048	
Sidi Bouzid																											
Local resources in Sidi Bouzid	977	1,019	1,019	1,115	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	
Qpj	219	225	231	244	251	263	273	285	295	304	317	323	342	349	368	381	387	409	428	441	453	479	492	517	536	558	
Balance of Sidi Bouzid	758	794	788	871	809	797	787	775	765	756	743	737	718	711	692	679	673	651	632	619	607	581	568	543	524	502	
Sfax																											
Local Resources of Sfax	301	301	301	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	
Sfax Desalination Plant Ph1/2 (100,000+100,000 m ³ /d)													1,157	1,157	1,157	1,157	1,736	1,736	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	
Arrival from Northern Water	1,271	1,299	1,149	969	945	1,377	1,181	957	730	504	1,858	1,488	1,215	936	2,134	1,849	1,540	1,222	876	1,535	1,175	1,951	1,567	1,728	1,898	2,048	
Arrival from Sbeitla-Jelma	758	794	788	871	809	797	787	775	765	756	743	737	718	711	692	679	673	651	632	619	607	581	568	543	524	502	
Total resources in Sfax	2,330	2,394	2,238	2,331	2,245	2,665	2,459	2,223	1,986	1,751	3,092	2,716	3,581	3,295	4,474	4,176	4,440	4,100	4,314	4,960	4,588	5,338	4,941	5,077	5,228	5,355	
Qpj	1,937	2,007	2,074	2,147	2,217	2,296	2,378	2,451	2,540	2,622	2,714	2,806	2,908	3,003	3,104	3,209	3,323	3,437	3,555	3,678	3,802	3,945	4,094	4,240	4,395	4,554	
Balance of Sfax	393	387	164	184	28	369	81	-228	-554	-871	378	-90	673	292	1,370	967	1,117	663	759	1,282	786	1,393	847	837	833	801	
Total																											
Existing Resources	7,793	8,028	8,063	8,378	8,502	9,140	9,157	9,155	9,153	9,151	9,150	9,149	9,148	9,147	9,146	9,145	9,144	9,143	9,142	9,141	9,140	9,139	9,138	9,137	9,136	9,135	
Saida/K.Kebira Reservoirs+WTP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,500	1,500	1,500	1,500	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Desalination (Sfax+Sahel)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,157	1,157	1,157	1,157	1,736	1,736	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315		
Total Resources	7,793	8,028	8,063	8,378	8,502	9,140	9,157	9,155	9,153	9,151	10,650	10,649	11,805	11,804	13,303	13,302	13,880	13,879	14,457	15,456	15,455	16,611	16,610	17,188	17,766	18,343	
Total Qpj	7,400	7,641	7,899	8,194	8,474	8,771	9,076	9,383	9,707	10,022	10,272	10,739	11,132	11,512	11,933	12,335	12,763	13,216	13,698	14,174	14,669	15,218	15,763	16,351	16,933	17,542	
Global Balance	393	387	164	184	28	369	81	-228	-554	-871	378	-90	673	292	1,370	967	1,117	663	759	1,282	786	1,393	847	837	833	801	

Qpj: 日最大給水量

出典：JICA 調査団

4.3 スファックス県における水需給計画

スファックス県の給水は、北部広域水道システム及び西部のジェルマ・スペイトラ地下水送水システムからの供給水量の占める割合が非常に大きい。しかし、北部広域水道システム及びジェルマ・スペイトラ地下水送水システムにおいて、スファックス県より上流部の地域の需要水量が増加することが見込まれている。そのため、スファックス県への送水量は徐々に減少することが想定されており、前述の新規水源が整備されない限り、北部広域水道システムについては、2021年以降の夏季の需要ピーク時には、送水される全量がスファックス県に至るまでに消費され、最下流のスファックス県には水が届かないと想定される。

スファックス県における需要水量と供給水量を検討した結果を表 4-9~表 4-11 及び図 4-4 に示す。なお、本検討においては、関連 7 県全体を対象として考慮したピーク時調整係数は、スファックス県のピーク時最大需要量の算定には考慮しない。

表 4-9 スファックス県の需要水量

		2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
人口	行政人口	999,500	1,062,000	1,124,600	1,187,100	1,249,600
	給水人口	862,600	925,600	988,600	1,051,600	1,114,700
平均使用水量原単位 (L/人日)		126	140	156	176	199
非家庭用水割合 (%)		18	18	18	18	18
無収水率 (%)		23	22	21	20	20
日平均需要水量 (m ³ /日)		158,100	186,800	220,800	261,600	313,400
日最大/日平均*		1.321	1.321	1.322	1.322	1.322
日最大需要水量 (m ³ /日)		208,800	246,800	291,900	345,800	414,200

*:1.4x 調整係数

出典：JICA 調査団

表 4-10 スファックス県水需給バランス(新規水源なし) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	北部広域水道システム	119,000	30,900	0	0	0	0
	ジェルマ・スペイトラ地下水システム	68,900	64,200	62,000	58,700	52,400	43,400
	域内地下水	42,400	42,400	42,400	42,400	42,400	42,400
	合計	230,300	137,500	104,500	101,100	94,900	85,800
日最大需要水量		208,800	246,800	264,500	291,900	345,800	414,200
水需給バランス		21,400	▲109,300	▲160,000	▲190,800	▲250,900	▲328,400

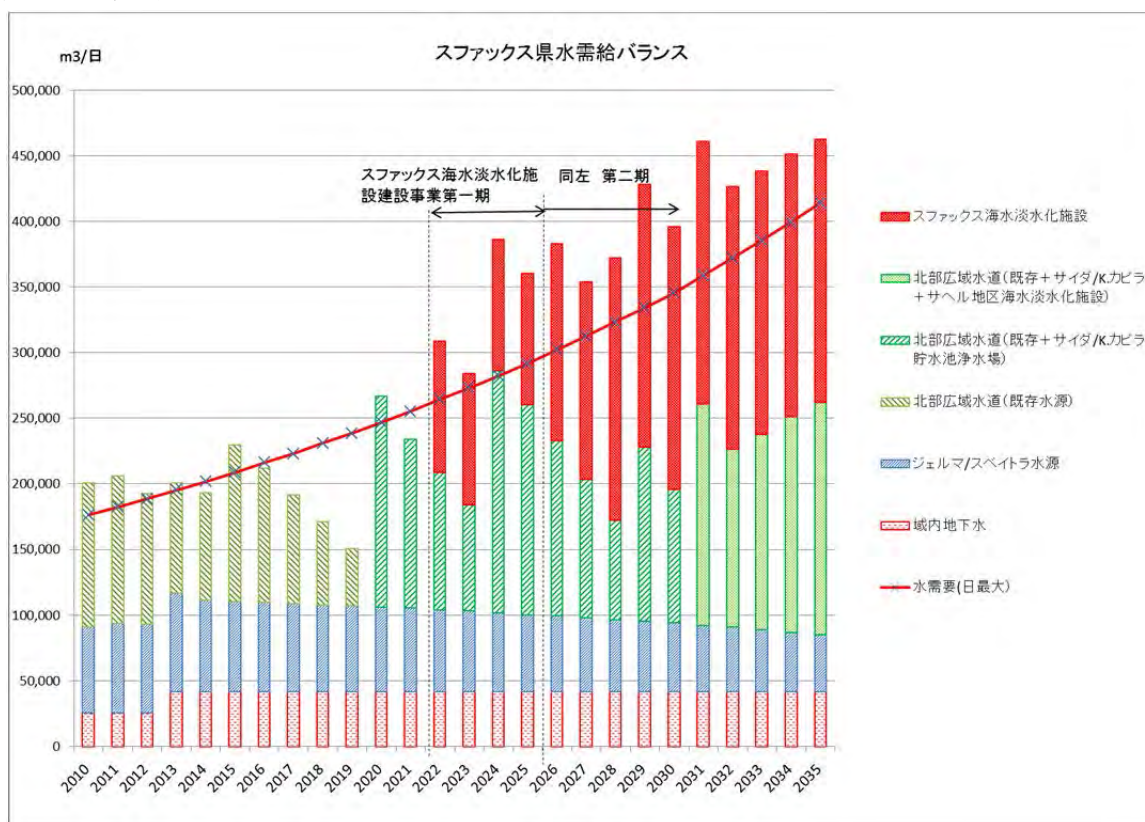
注：四捨五入により（供給合計－需要）は必ずしも水需給バランスと一致しない。

出典：JICA 調査団

表 4-11 スファックス県水需給バランス(新規水源あり) (m³/日)

		2015年	2020年	2022年	2025年	2030年	2035年
供給 可能 水量	スファックス海水淡水化施設	0	0	100,000	100,000	200,000	200,000
	北部広域水道システム	119,000	160,500	105,000	159,800	101,500	176,900
	ジェルマ・スベイトラ地下水システム	68,900	64,200	62,000	58,700	52,400	43,400
	域内地下水	42,400	42,400	42,400	42,400	42,400	42,400
	合計	230,300	267,100	309,400	360,800	396,400	462,700
日最大需要水量		208,800	246,800	264,500	291,900	345,800	414,200
水需給バランス		21,400	20,300	45,000	69,000	50,600	48,500

出典：JICA 調査団



注) スファックス海水淡水化施設を含む新水源の通水年次は SONEDE の計画に基づく。

出典：JICA 調査団

図 4-4 スファックス県水需給バランス (供給水源：既存施設+新規施設)

4.4 スファックス大都市圏における水需給計画

スファックス県の需要水量データから、スファックス大都市圏の人口比率等を勘案し、スファックス大都市圏の需要水量を推計した。配水量データについては、過去のデータの入手が困難であったことから、2010年から2012年の3年間のデータを基に水需要量を予測した。

スファックス大都市圏は、スファックス県の中心的な都市である。同県の人口の約 2/3 が居住し、将来的にはその比率が大きくなることが想定されている。スファックス大都市圏では下記の事情があるため、水供給可能量は水供給システム上流側の水利用状況に影響される。

- 1) 北部広域水道システムから送られた水は、途中のスファックス県の北部地域へ分水された後、

スファックス大都市圏に送られる。

- 2) 地域内部地下水であるジェルマ・スペイトラ地下水送水システムから送られた水は、途中のスファックス県の西部地域に分水された後、スファックス大都市圏に送られる。
- 3) スファックス大都市圏はスファックス県の中心的な都市であるが、住民間の公平という点に鑑み、水供給量不足という現状であっても、必ずしも県内において絶対的な優先度で水供給されている状況ではない。

上記事項を念頭に置いて需要水量と供給水量を検討した結果を、表 4-12 ~表 4-14、図 4-5 及び図 4-6 に示す。

表 4-12 スファックス大都市圏水道事業計画概要

	現状 (2012)	2025 年	2030 年	2035 年
1) 給水区域	3,069 ha	3,069 ha	3,069 ha	3,069 ha
2) 給水人口	631,900 人	737,900 人	782,100 人	826,300 人
3) 需要水量 (日最大)	117,200m ³ /日 1,356L/秒	187,900m ³ /日 2,175L/秒	224,400m ³ /日 2,597L/秒	270,900m ³ /日 3,135L/秒
4) 給水量 (日平均)	83,700m ³ /日 (969L/秒)	134,200m ³ /日 (1,553L/秒)	160,300m ³ /日 (1,855L/秒)	193,500m ³ /日 (2,240L/秒)
5) 平均給水量原単位	132 L/日・人	182 L/日・人	205 L/日・人	234 L/日・人
6) 非家庭用水割合 (%)	18	18	18	18
7) 無収水率 (%)	24	22	21	20
8) 平均使用水量原単位	91 L/日・人	126 L/日・人	144 L/日・人	165 L/日・人

出典：JICA 調査団

表 4-13 スファックス大都市圏水需給バランス(新規水源なし) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	北部広域水道システム既存水源	95,200	24,700	0	0	0	0
	ジェルマ・スペイトラ地下水システム	31,000	28,900	21,700	20,600	18,300	15,200
	域内地下水	25,100	26,100	26,100	26,100	26,100	26,100
	合計	151,400	78,700	46,800	45,700	43,500	40,300
日最大需要水量		133,700	157,900	169,500	187,900	224,400	270,900
水需給バランス		17,700	▲79,200	▲112,700	▲142,200	▲180,900	▲230,500

出典：JICA 調査団

表 4-14 スファックス大都市圏水需給バランス(新規水源あり) (m³/日)

		2015年	2020年	2022年	2025年	2030年	2035年
供給 可能 水量	スファックス海水淡水化施設	0	0	100,000	100,000	200,000	200,000
	北部広域水道システム	95,200	128,400	65,100	75,100	29,500	67,200
	ジェルマ・スベイトラ地下水システム	31,000	28,900	21,700	20,600	18,300	15,200
	域内地下水	25,100	26,100	26,100	26,100	26,100	26,100
	合計	151,400	182,400	211,900	220,800	272,900	307,600
日最大需要水量		133,700	157,900	169,500	187,900	224,400	270,900
水需給バランス		17,700	24,500	42,400	32,900	48,500	36,700

出典：JICA 調査団

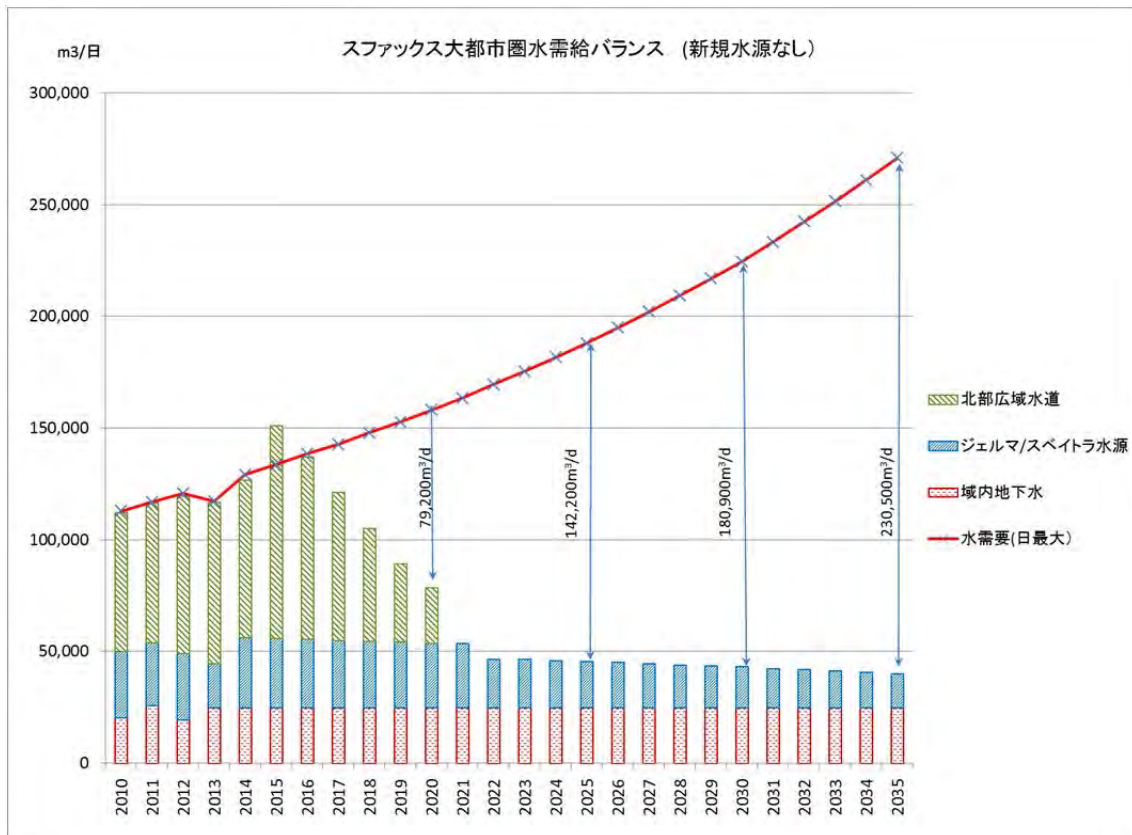
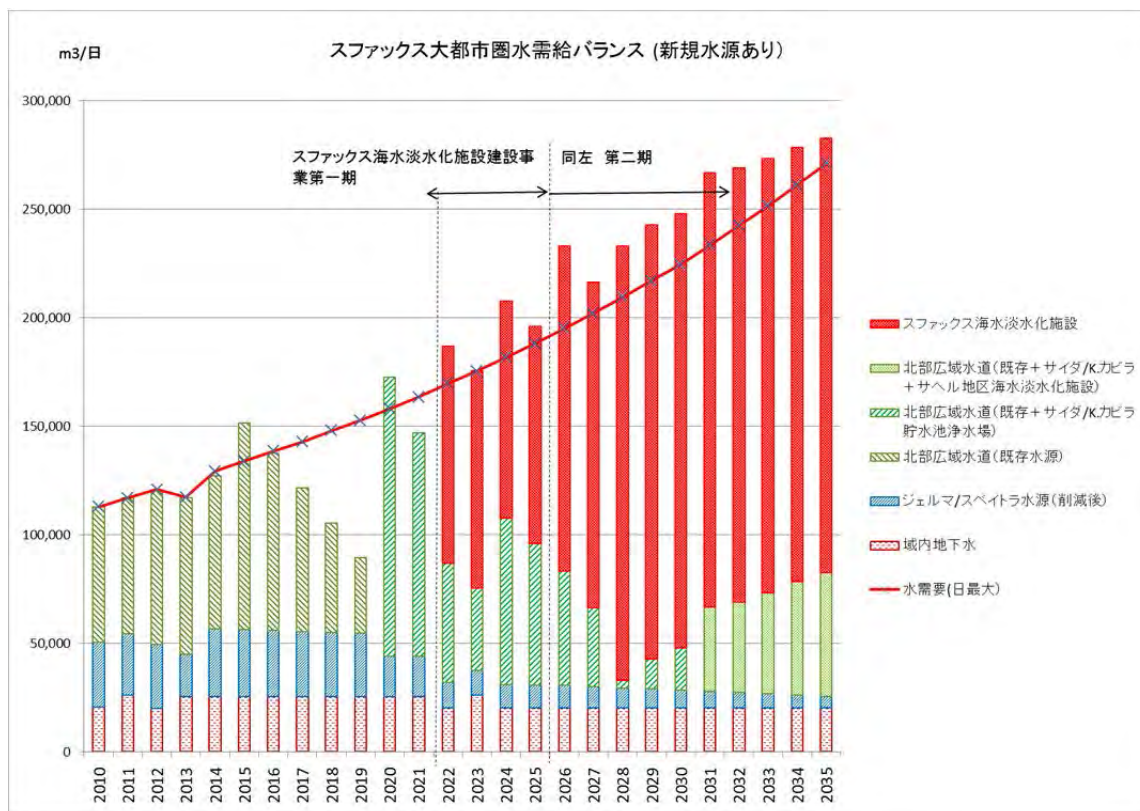


図 4-5 スファックス大都市圏及び周辺地域水需給バランス (供給水源：既存施設のみ)



注) スファックス海水淡水化施設を除く新水源の通水年次は SONEDE の計画に基づく。域内地下水揚水量相当量をジェルマ・スペイトラ地下輸送システム及び北部広域水道システム供給水量から半量づつ差し引いている。

出典：JICA 調査団

図 4-6 スファックス大都市圏及び周辺地域水需給バランス (供給水源：既存施設+新規施設)

図 4-5 は、広域水道戦略計画で策定された施設整備が全く実施されなかった場合、つまり、新規の水源地開発が全く実施されなかった場合のスファックス県の需給バランスを示す。既存水源においては、最大供給可能水量を用いた。この条件下では大きな供給水量不足が確認できる。不足する供給水量は 2020 年に 79,200m³/日、2025 年に 142,200m³/日、2030 年に 180,900m³/日、2035 年に 230,500m³/日である。

図 4-6 では、図 4-5 で示された不足分が広域水道戦略で策定された新水源施設の供給水量によって充足されることが示されている。ただし、前述したように 2017 年から 2019 年の間は水供給量が大きく不足することになる。なお、図 4-6 においては、北部広域水道システム及びジェルマ・スペイトラ地下水送水システムの供給水量は域内地下水揚水量相当量の半量づつ、それぞれの供給水量を削減することを前提としている。

第5章 海水淡水化施設の検討

5.1 海水淡水化施設基本計画

5.1.1 海水淡水化方式

必要エネルギー及び実績の観点から、チュニジア国においては他プロセスより RO 膜法が優位であると判断し、RO 膜法を本事業の海水淡水化方式として選定した。

5.1.2 海水淡水化施設基本仕様

本プロジェクトにおける水質関連の設計条件を表 5-1 に示す。

表 5-1 海水淡水化施設設計基準（水質関連）

項目	SFAX 設計基準	Djerba (参考)	備考
生産水 TDS 濃度	500 mg/L	400 mg/L	
原海水 TDS 濃度	41,000 mg/L 以下	at 41,210 mg/L	
原海水温度	25 °C 以下	at 20 °C	
保証期間（通水後）*1	3 年*2	3 年	
回収率	45 %	45 %	
ホウ素	2.4 mg/L	1.2 mg/L	NT09.14(2013) :
保証期間（通水後）*1	3 年	1 年	2.4mg/L
膜交換率	20%/年*3	—	
(参考情報)			
1 系列あたり生産水量	25,000 m ³ /日/系列	25,000 m ³ /日/系列	
膜透過流速 flux	13 L/m ² /h	13 L/m ² /h	
電力エネルギー消費量	4.2 kWh/m ³	4.2 kWh/m ³	

注) *1: 膜ユニット単体の性能保証期間。施設建設工事の瑕疵担保期間とは異なる。性能試験開始時期が通水開始時期となる。

*2: Djerba 海水淡水化施設に準じ一般に適用されている 3 年とした。

*3: 製造会社の経験による推奨値

出典：JICA 調査団

5.2 海水淡水化施設建設用地

海水淡水化施設の建設用地は、表 5-2 に示すとおり、本調査開始時に SONEDE が本事業用に選定した 4 個所と、調査開始後に調査団から追加提案した 3 個所の、合わせて 7 個所を比較検討し選定した。そのうち 1 次評価、2 次評価により絞り込んだ 2 個所について精査し、当該海岸用地の管理に関与している APAL 及び環境配慮の観点から ANPE にその使用可否について確認した結果、最優位候補地は近隣の砂洲状海岸の保全と既存海水浴場等の観光資源に近接しているという二つの理由によりその使用は許可できないと APAL から見解が示された。次位候補地も APAL の設定する海岸用地内にその候補地が含まれているが、特に他の事業計画と干渉するところはなかったため、その使用が許可されることになった。

表 5-2 建設用地候補地選定結果

No	候補地名	1 次評価		2 次評価		APAL 評価	最終結果
		評価結果	適 否	順位	精査対象		
1	El Amra Nord (Sfax)	低位評価					
2	El Amra Sud (Sfax)	低位評価					
3	Agareb (Sfax)		2 次評価対象	2	精査対象	許可	選定
4	Chebba Sud (Mahdia)	低位評価					
5	Nakta (Sfax)		2 次評価対象	1	精査対象	許可しない	
6	Chebba Nord (Mahdia)		2 次評価対象	3			
7	Mahres (Sfax)		2 次評価対象	4			

その後の APAL の詳細な検討により、若干南西側に移動させた区域を正式な使用可能用地として

提示されたため、当該地を起点に海洋取水管・放流管、海水淡水化施設、生産水送水管等の検討を行うことになった。本事業の環境影響評価報告書に対する ANPE の承認が得られてから APAL の正式な使用許可が下りることになる。

5.3 海水取水方法

5.3.1 取水施設仕様決定にあたっての基本方針

- (1) 取水方式：海底敷設配管による直接配管取水方式
- (2) 取水点：海水淡水化施設南端から約 3,600 m の地点（干潮時水深 8 m）に取水塔を敷設、同 4,400 m の地点（干潮時水深 10 m）に濃縮水放流塔を設置する。
- (3) 取水量：444,400 m³/日
- (4) 取水管延長：3,600 m（陸上部を約 400 m 含む）
- (5) 配管損失水頭：施設用地内に設ける取水ピットの最大掘削深度を 10m 以下に抑えるため、取水管の摩擦損失をおおよそ 1.8m 以下²となるような計画とする。
- (6) 取水管条数：基本的には 1 条とする。但し、大口径の管に関しては、製造実績や費用などを考慮して選定する。。
- (7) 管材質：本事業では防食性能を重視し HDPE 管を選定する。
- (8) 海藻や貝類・牡蠣等の管内付着を防ぐために、取水管内に次亜塩素酸ナトリウム注入を行う。注入管の管径は、4 インチ管（外形 114 mm）とする。
- (9) 海洋工事の特殊性に鑑み、また、工事費削減を図るため、取水管工事と濃縮水放流管工事と併せて工事するものとし、さらに、1 期工事と 2 期工事の間隔が 5 年以下と短いことから、1 期 2 期合わせた全体の工事費削減を重視し、当初から全体計画対応施設を施工することとする。

5.3.2 取水管管径

取水管の管径は、下記条件で算定した。

- 取水量：444,400 m³/日
- 全損失水頭：2 m 前後（管損失水頭 1.8m 程度）
- 粗度係数：0.016
- 流速公式：マニング公式

HDPE 管が 1 条の場合、必要となる管径 2,500mm の HDPE 管を製造しているメーカーは数少なく、その導入実績も多くない。一方、2 条にした場合、必要となる管径 2,000mm の HDPE 管の実績は多く、技術の観点からは問題ないと判断でき、施設の安定した運転に寄与できるという利点がある。建設費用が高くなるが、以上の理由より、HDPE 管を 2 条で敷設することとする。

² 取水損失水頭 2.0m = 取水塔流入流出損失 0.1m + 取水管摩擦損失 1.8m + 取水ピット流入損失 0.1m

5.4 濃縮海水放流方法

5.4.1 濃縮水放流施設仕様決定にあたっての基本方針

- (1) 濃縮水放流方式：沖合水中放水方式（マルチノズル方式）
- (2) 放流量：244,400 m³/日
- (3) 放流塔までの距離：陸上部約 400m に海上部約 4,000 m の計 4,400 m とする。取水塔と放流塔は 800 m 離れて設置する。
- (4) 配管損失水頭：施設用地内に設ける放流水タンク内の水位を海水面 3m 程度と想定し、放流管の摩擦損失がおおよそ 2.1m 程度となるような計画とする。
- (5) 放流管条数：244,400 m³/日を前提においた放流管を 1 条敷設する。
- (6) 配管材質：HDPE を選定する。
- (7) 海洋工事はその特殊性から 1 度で終了させることとし、取水管と同時に施工する。

5.4.2 濃縮水放流管管径

放流管の管径は、下記条件で算定した。

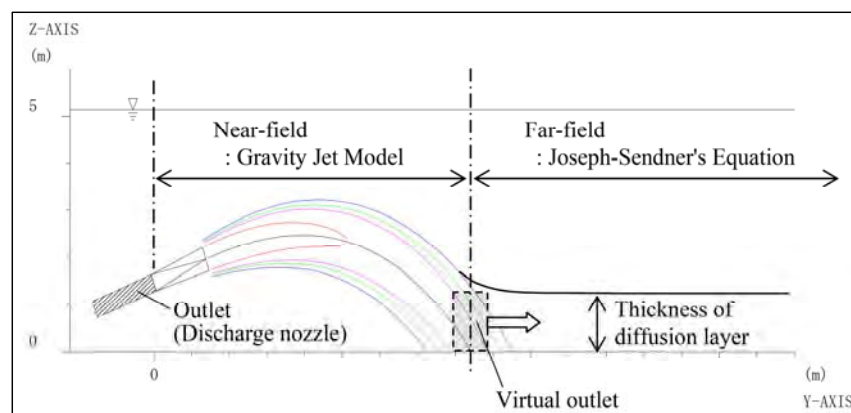
- 放流量：244,400 m³/日
- 全損失水頭：3m 前後（管損失水頭 1.8m 程度）
- 粗度係数：0.012
- 流速公式：マニング公式

濃縮水は前処理を経た清澄な水であり、管内に海洋生物が付着する可能性が小さいことから粗度係数は 0.012 を採用した。HDPE 管の場合、約 1,800 mm の管径が必要となる。

5.4.3 濃縮水放流シミュレーション

(1) 全般

原海水（TDS 濃度 39,000~41,000 mg/L）から淡水分の 45%程度が取り除かれるため、濃縮水は原海水に比べ TDS 濃度が 1.8 倍程度（70,500~74,100 mg/L）に上昇することになる。この濃縮水の放流時における拡散状態をシミュレーション計算を行って確認した。



出典：JICA 調査団

図 5-1 濃縮海水の放流イメージ

(2) シミュレーション結果

1) Near Field: Gravity Jet Model を適用

海域との TDS 濃度差 (ΔS) が 33.3psu³ (74,300mg/L) で放水された濃縮水は周囲の水と混合して、放流塔から約 12 m 離れた海底に到達するあたりでは ΔS が 7.4psu (48,400mg/L) 程度まで希釈される。

2) Far Field : Joseph-Sendner's Equation を適用

放流塔から約 12 m 地点で海底に到達した濃縮水は、さらに拡散して希釈されていく。この部分の塩分 (TDS) の拡散は表 5-3 のように予測される。

表 5-3 Far Field における予測

濃度差 ΔS (psu)	影響半径(m)	海底予測 TDS 濃度 (mg/L) (周辺海水 41,000mg/L 時点を想定)	ポシドニアへの影響
4 以上	約 12m (着底点)	48,400	長期的には枯れる可能性あり
	約 170m	48,400~45,000	
2 以上	約 381m	45,000~43,000	殆ど影響なし
1 以上	約 742m	43,000~42,000	影響なし

出典：JICA 調査団

(3) 結論

- 1) 放出点ではポシドニアの一部には影響が出るものの限定的であり、放出点から約 170 m 離ればポシドニアには殆ど影響のない TDS 濃度 45,000 mg/L 程度まで希釈される。
- 2) このシミュレーションで仮定した設計濃度は最大値の場合であり通常の TDS 濃度はそれよりも低い。そのため、影響範囲はシミュレーションで確認された放出点から 170m 半径よりもさらに狭い範囲であると考えられる。

5.5 施設配置計画

5.5.1 第 1 期事業概要 (海水淡水化施設)

円借款対象事業である本事業の第 1 期事業内容は、これまでに記述した施設をまとめると以下のとおりである。

表 5-4 第 1 期事業概要

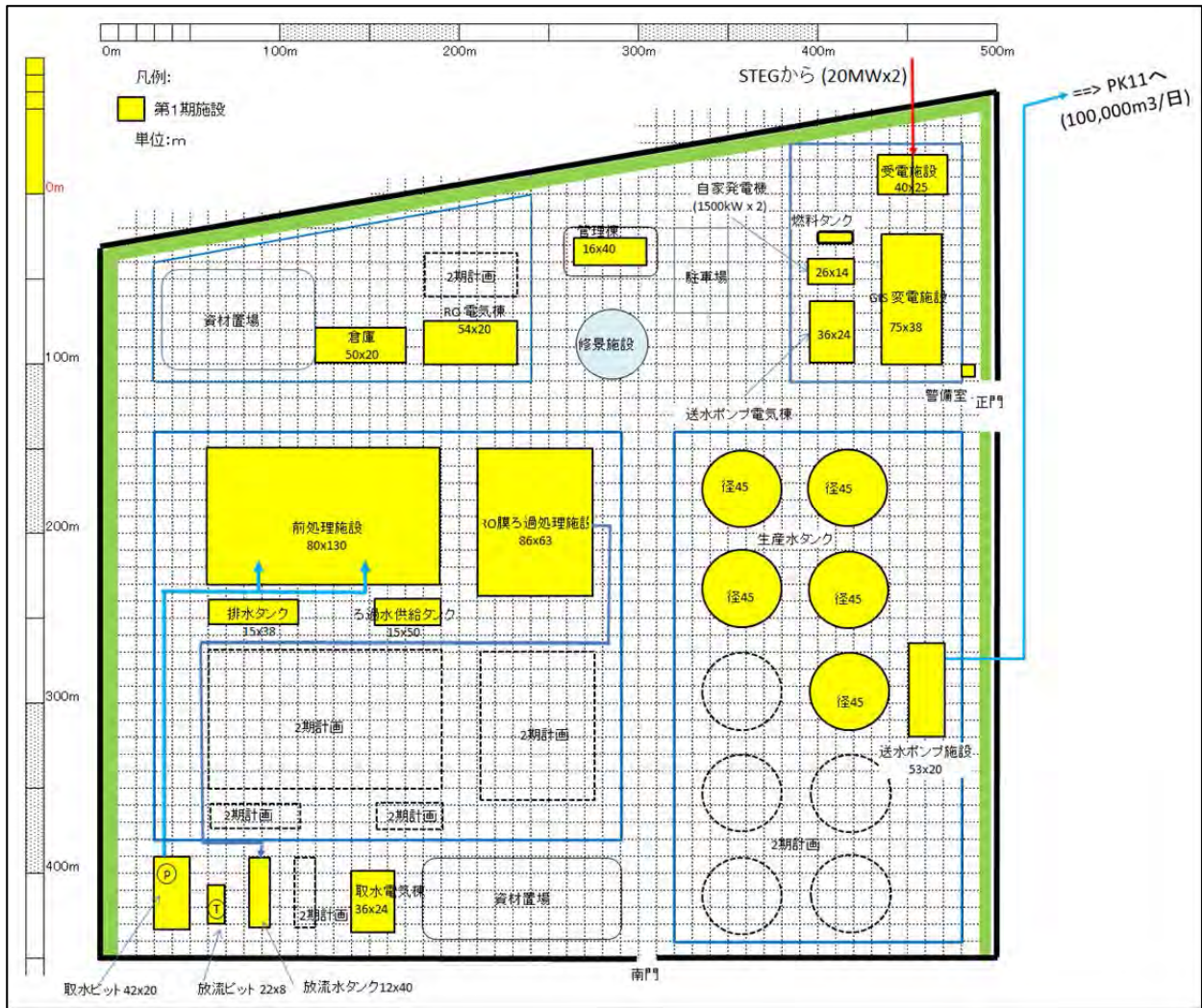
施設名	施設内容
海水取水管	<ul style="list-style-type: none"> 取水量：222,200m³/日 (全体計画 444,400m³/日対応可能) 管種：HDPE 管 φ2,000mm (内径) x 2 条 (HDPE)、L=3.6km (埋設。海中 3.2km、陸上 0.4km) 海中取水塔 2 基
海水淡水化施設	<ul style="list-style-type: none"> 用地：約 20ha 淡水化方式：逆浸透 (RO) 膜法

³ psu: 実用塩分単位 (1000mg/L)

	<ul style="list-style-type: none"> 生産水：100,000m³/日 ROユニット 25,000 m³/日×4
濃縮水放流管	<ul style="list-style-type: none"> 放流量：122,200m³/日（全体計画 244,400m³/日対応可能） 管種：HDPE 管 φ1,800mm（内径）（HDPE）、L=4.4km（埋設。海中 4.0 km、陸上部 0.4km） 海中放流塔 1 基

5.5.2 場内配置

海水淡水化施設場内配置を次図に示す。



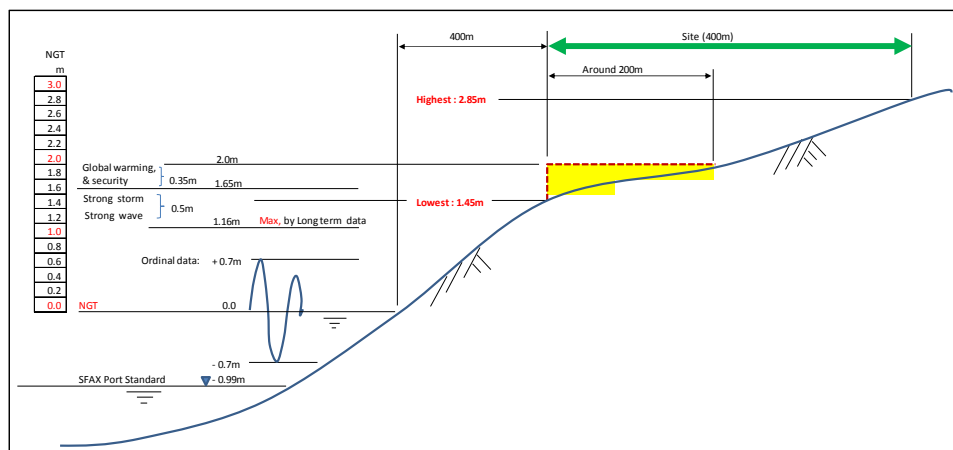
(出典：JICA 調査団)

図 5-2 海水淡水化施設場内配置図

5.5.3 海水淡水化施設と海面の関係

スファックス港の最大潮位を NGT に換算すると +1.16 mNGT (= 2.15-0.99) となる。これに、強風や高波等が重なる場合を考慮して約 0.5 m を加算し、さらに将来の地球温暖化により海面上昇や若干の余裕を含めて 0.35 m を加え、+2.0 mNGT を安全な海拔とした。

一方、施設用地の地形測量の結果、南南東端は +1.45 mNGT、北北西端は +2.85 mNGT と報告されている。したがって、海水淡水化施設の海岸寄り（南南東面）に重要機器を設置する場合は、水没対策として少なくとも約 50 cm の嵩上げが必要と考えられる。



出典：JICA 調査団

図 5-3 海水潮位と敷地の関係

第 6 章 水道施設計画

6.1 水運用計画

6.1.1 基本方針

(1)配水区域

本調査におけるスファックス大都市圏内の配水区域は、SONEDE が 2003 年に策定したスファックス大都市圏配水マスタープランの配水区域に合わせることにする。

(2)水質改善

本事業を実施することにより、配水水質の TDS 濃度を 1,500 mg/L 以下、その他の項目はチュニジア国水質基準を満たすことを SONEDE は希望している。本事業で建設される海水淡水化施設の生産水は TDS 濃度 500mg/L 程度である。この海水淡水化施設の生産水量と既存水源の供給水量の比率に鑑み、第 1 期では TDS 濃度 1,500 mg/L 以下、第 2 期では 1,200mg/L 以下を目標とする。

さらに、各配水池の水質に差異があると住民の不満を招くため、水質、特に TDS 濃度で代替的に示される TDS 濃度の均一化も SONEDE は要望している。本事業では、上記目標水質を各配水池で達成することで、現状に比べて水質が著しく改善されるため、ある程度の水質の差異は許容されるものと考え、初期投資額を抑えるため新たな送水管の建設は可能な限り抑制し、既存送水管を活用して TDS 濃度の最低値と最大値の差異を可能な限り小さくすることとする。計算の結果、各配水池の TDS 濃度の最大値/最小値比は、第 1 期では 200%以下、第 2 期では 180%以下となった。

(3)既存資源の活用

生産単価の安い既存水源の供給水を可能な限り利用する。また、既存送水管を活用することにより、

初期投資及び運営管理費の低減を図ることとする。

6.1.2 水運用計画の策定における考慮事項

(1) スファックス淡水化施設導入後の水運用方針（後出図 6-1 参照）

配水池への送水については次の条件で検討することとした。

- 計画送水量は、ピーク時の水量すなわち計画一日最大給水量を用いて検討する。
- 海水淡水化施設から配水池、あるいは配水池から配水池への送水については、配水区域全体として合理的な水運用が可能となるように各送水管の計画送水量を決定する。
- 配水池の必要容量は計画一日最大給水量の 40% を基準に考える。
- 将来に必要な配水池は、既存の配水池の用地内に設置することを前提に考える。その場合の配水池は SONEDE の標準設計容量の配水池を組み合わせることを前提に考える。

(2) 海水淡水化施設からの生産水送水検討条件

- 海水淡水化施設が配水池より低地に位置するため送水はポンプ加圧式による。
- 海水淡水化施設の送水ポンプ施設は、新たに用地取得される淡水化施設建設予定地内に設置することとし、送水ルートの中で必要となるポンプ施設は既存の配水池用地内に設置する。
- 海水淡水化施設から送水する配水池は、海水淡水化施設に最も近く、スファックスの給水システムの基幹施設として機能している PK11 配水池とする。
- 配水池から配水池への送水については、ポンプ加圧式により PK11 配水池から Bou Merra 配水池及び PK10 配水池に、さらに PK10 配水池から PK14 配水池に、そして PK14 配水池から Sidi Salah 高区 (EH) 配水池に送水する。
- Sidi Salah 高区配水池から Sidi Salah 低区 (EB) 配水池へは、自然流下式で送水する。

(3) 北部広域水道システムからの供給水の送水検討条件

- 北部広域水道システムからの供給水は、既設送水管により Sidi Salah 高区配水池、PK14 配水池、及び PK10 配水池に送られる。
- ジェルマ・スベイトラ地下水送水システムの既設送水管を活用して北部広域水道システムから PK11 配水池に水を送る。
- なお、2016 年に供用開始する予定の Sidi Salah 低区配水池には、Sidi Salah 高区配水池から自然流下で送水される。

(4) ジェルマ・スベイトラ地下水送水システムからの供給水の送水検討条件

- ジェルマ・スベイトラ地下水送水システムからの供給水は、Bou Merra 配水池及び PK11 配水池に送られる。なお、現在、Bou Merra 配水池はその配水量の殆どを敷地内の深井戸から取水し、鉄分除去した後、配水している。
- ジェルマ・スベイトラ地下水送水システムからの供給水は、PK10 及び PK14 にも送水可能であるが、実際には殆ど送水されていない。

(5) 域内地下水の揚水検討条件

現在の揚水量を 20% 削減し、ジェルマ・スベイトラ地下水送水システム供給水量から揚水相当量の半量を削減するとともに、北部広域水道システム供給水量から揚水相当量の半量を削減することとした。地下水を継続して利用するため配水の TDS 濃度は大きくは下がらないが、SONEDE が当初から要望している 1500mg/L 以下を確保できる。

6.1.3 スファックス大都市圏水運用計画

水運用計画として、前述したスファックス大都市圏における水運用計画の基本方針並びに考慮事項に基づき、計画目標年までの各年次で各配水池に対する各水源の供給水量の配分計画を策定した。各配水池への送水量は各配水池の給水量に基づくが、広域水道戦略計画ではスファックス県の配水量は計画されているものの、配水量池別の給水量の計画は行われていない。このため、スファックス大都市圏配水マスタープランで計画された各配水池別の給水量の割合及び各配水池の既存施設整備状況を考慮し、本事業ではスファックス大都市圏の需要水量を表 6-1 に示すとおり各配水池に配分した。

表 6-1 年次別各配水池給水量

日最大給水量 (m³/日)

配水区・配水池		2013 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
低区	PK11	23,602	37,300	43,200	49,700	59,100
	PK10	42,899	48,300	50,100	61,700	73,200
	Sidi Salah 低区	-	20,400	27,200	40,100	50,400
高区	Bou Merra	4,081	13,100	15,100	18,900	23,100
	PK14	31,200	33,700	34,600	36,000	43,100
	Sidi Salah 高区	15,248	16,700	17,800	18,000	21,900
全体	スファックス大都市圏	117,030	169,500	188,000	224,400	270,800

出典：JICA 調査団

また、表 6-1 に示す配水量に基づき、第 1 期事業では日最大給水量の 6 時間分（日平均配水量の 8.4 時間分）以上を最低限の目安として、表 6-2 に示すように必要容量を確保する計画とした。

表 6-2 各配水池容量

単位：m³

配水区・配水池		2013 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
低区	PK11	22,000	22,000	22,000	22,000	24,500
	PK10	20,000	20,000	20,000	30,000	30,000
	Sidi Salah 低区 (EB)	-	5,000	5,000	15,000	20,000
高区	Bou Merra	1,500	6,500	6,500	9,000	9,000
	PK14	10,000	10,000	10,000	15,000	17,500
	Sidi Salah 高区 (EH)	7,500	7,500	7,500	7,500	10,000
全体	スファックス大都市圏	61,000	71,000	71,000	98,500	111,000

出典：JICA 調査団

水運用計画に基づいた各配水池の水質計算結果を表 6-3 に示す。第 1 期では最大 TDS 濃度は 1,487mg/L、TDS 濃度の最大/最少比は 200%以下となった。図 6-1 に第 1 期事業期間の最終年である 2025 年の水運用計画の模式図を示す。

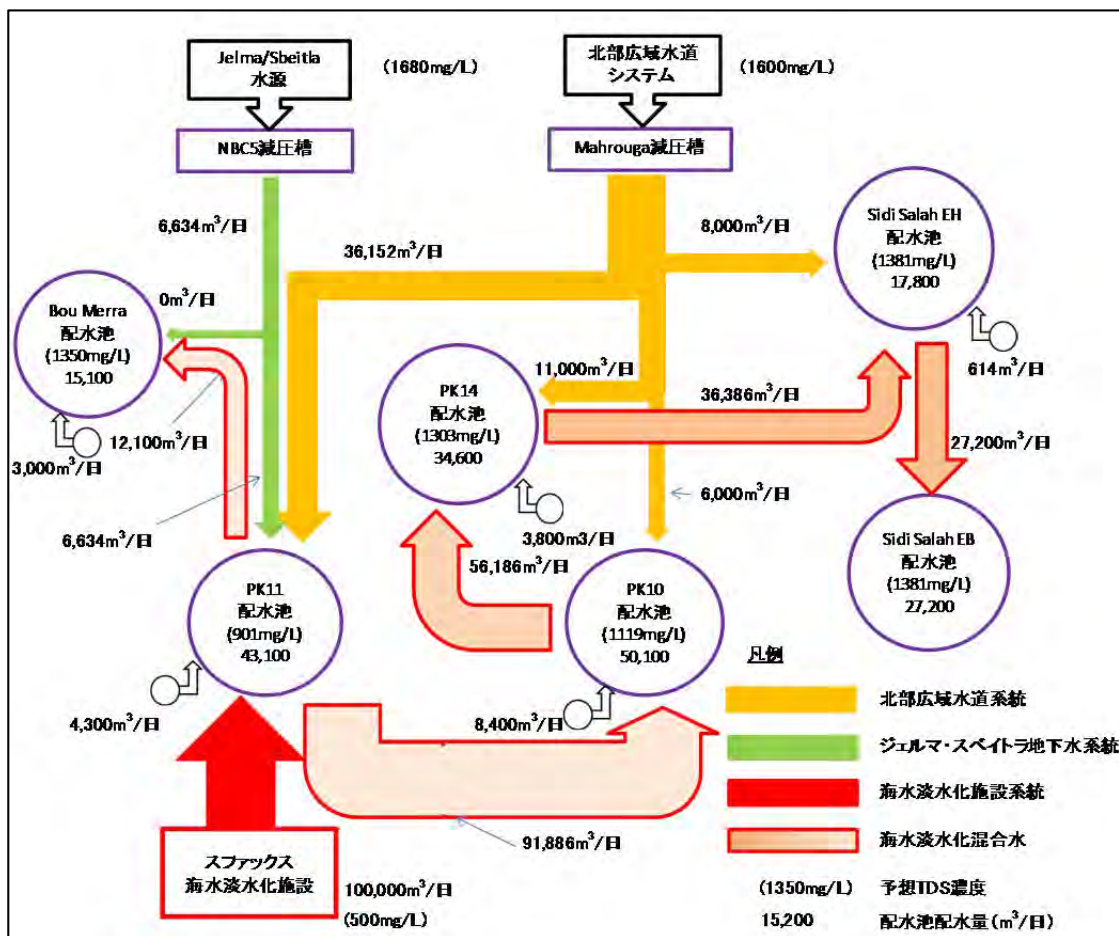
表 6-3 各配水池の計画 TDS 濃度

単位：TDS mg/L、Q m³/日

TDS(mg/l)	Phase 1						
Reservoir	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
PK11	1,800	1,861	733	888	866	901	
Bou Merra	2,293	2,243	1,289	1,464	1,344	1,350	
PK10	1,888	1,906	1,215	1,109	1,096	1,119	
PK14	1,822	1,820	1,396	1,283	1,293	1,303	
Sidi Salah EH	1,835	1,810	1,459	1,487	1,378	1,381	
Sidi Salah EB	1,835	1,810	1,459	1,487	1,378	1,381	
Highest TDS	2,293	2,243	1,459	1,487	1,378	1,381	< 1,487
Lowest TDS	1,800	1,810	733	888	866	901	
Highest/Lowest	127%	124%	199%	168%	159%	153%	< 199%
Desalination Q	0	0	90,000	100,000	100,000	100,000	

TDS(mg/l)	Phase 2-1					
Reservoir	2026	2027	2028	2029	2030	
PK11	709	648	599	587	596	
Bou Merra	1,171	1,102	1,040	1,013	1,003	
PK10	931	868	755	749	795	
PK14	1,126	1,066	863	930	964	
Sidi Salah EH	1,192	1,134	928	1,015	1,042	
Sidi Salah EB	1,192	1,134	928	1,015	1,042	
Highest TDS	1,192	1,134	1,040	1,015	1,042	< 1,192
Lowest TDS	709	648	599	587	596	
Highest/Lowest	168%	175%	174%	173%	175%	< 175%
Desalination Q	135,000	150,000	180,000	180,000	180,000	

TDS(mg/l)	Phase 2-2					
Reservoir	2031	2032	2033	2034	2035	
PK11	606	643	685	622	661	
Bou Merra	995	1,010	1,032	964	985	
PK10	803	831	860	796	830	
PK14	1,020	1,037	1,052	992	1,012	
Sidi Salah EH	1,089	1,119	1,129	1,072	1,087	
Sidi Salah EB	1,089	1,119	1,129	1,072	1,087	
Highest TDS	1,089	1,119	1,129	1,072	1,087	< 1,129
Lowest TDS	606	643	685	622	661	
Highest/Lowest	180%	174%	165%	172%	165%	< 180%
Desalination Q	180,000	180,000	180,000	200,000	200,000	



注) 海水淡水化施設を除き、水源施設の拡張・新規開発は SONEDE の計画による。

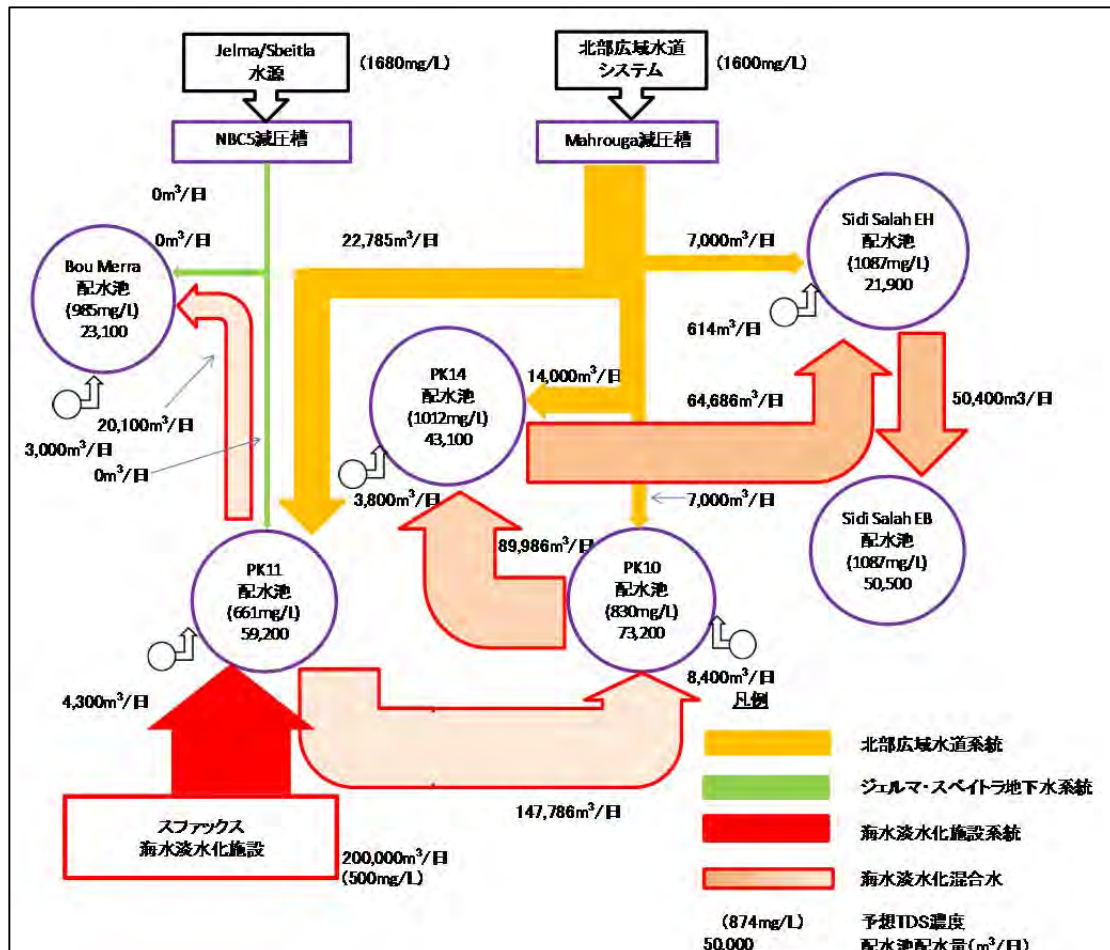
出典：JICA 調査団

図 6-1 スファックス大都市圏海水淡水化生産水運用計画 (2025 年)

2035 年までの施設整備の目途となる年次の施設整備方針を以下に示す。下線部は本事業第 1 期で整備する施設である。斜字部はスファックス大都市圏外の事業である。なお、サイダ貯水池及びカラー・カビラ貯水池/浄水場の稼働開始年は現段階では SONEDE の計画を踏襲している。

- (1) 2022 年：海水淡水化施設運転開始直後 (第 1 期事業)
 - ・ 2020 年サイダ貯水池+カラー・カビラ貯水池/浄水場新設 (能力 1,500 L/秒 = 129,600 m³/日)
 - ・ 2022 年スファックス海水淡水化施設第 1 期 100,000 m³/日新設
 - ・ 2022 年までに海水淡水化施設から 5 配水池 (PK11, Bou Merra, PK10, PK14, Sidi Salah 高区) までの送水管及びポンプ施設を新設
 - ・ 2022 年までに Bou Merra 配水池容量 5,000 m³ 増設 (増設後容量 6,500 m³)
- (2) 2022 年~2025 年：スファックス海水淡水化施設第 1 期運転期間
 - ・ 2024 年カラー・カビラ浄水場増設 (増設後能力 3,000 L/秒 = 259,200 m³/日)
 - ・ 2025 年末までにスファックス海水淡水化施設 100,000 m³/日増設 (増設後能力 200,000 m³、ただし、需要水量の伸びに応じた段階的整備を行うことについて、今後の需要の伸びを確認して検討する必要がある。)
 - ・ 2025 年末までに Bou Merra 配水池容量 2,500 m³ 増設 (増設後容量 9,000 m³)

- ・ 2025 年末までに PK10 配水池容量 5,000 m³ 増設 (増設後容量 25,000 m³)
 - ・ 2025 年末までに PK14 配水池容量 5,000 m³ 増設 (増設後容量 15,000 m³)
 - ・ 2025 年末までに Sidi Salah 低区配水池容量 10,000 m³ 増設 (増設後容量 15,000 m³)
- (3) 2026 年~2030 年：サヘル海水淡水化施設稼働直前
- ・ 2029 年カラー・カビラ浄水場増設 (増設後 4,000L/秒=345,600m³/日)
 - ・ 2030 年までに PK10 配水池容量 5,000 m³ 増設 (増設後容量 30,000 m³)
 - ・ 2030 年までに Sidi Salah 低区配水池容量 5,000 m³ 増設 (増設後容量 20,000 m³)
- (4) 2031 年~2035 年：本調査計画目標年次 (図 6-2 参照)
- ・ 2031 年サヘル海水淡水化施設 50,000 m³/日新設 (能力 50,000 m³/日)
 - ・ 2032 年までに PK14 配水池容量 2,500 m³ 増設 (増設後容量 17,500 m³)
 - ・ 2032 年までに Sidi Salah 高区配水池容量 2,500 m³ 増設 (増設後容量 10,000 m³)
 - ・ 2033 年までに PK11 配水池容量 2,500 m³ 増設 (増設後容量 24,500 m³)
 - ・ 2035 年までサヘル海水淡水化施設 200,000 m³/日を順次増設 (増設後能力 250,000 m³/日)



注) 海水淡水化施設を除き、水源施設の拡張・新規開発は SONEDE の計画による。
出典：JICA 調査団

図 6-2 スファックス大都市圏海水淡水化生産水運用計画 (2035 年)

策定された水運用計画では、海水淡水化施設整備事業については、円借款に伴う諸手続期間も考慮し、第1期施設(100,000 m³/日)を2022年に稼働させ、2026年に第2期施設を稼働させることにしている。その間及び2026年以降も配水池や他水源の整備は続けることになる。また、海水淡水化施設の第1期施設が完成する2022年までにBou Merra配水池の増設が必要となる。

したがって、海水淡水化施設整備第1期事業で整備する施設すなわち円借款対象施設は、i) 海水淡水化施設第1期施設、ii) 生産水を配水池まで送水する送水管、iii) 生産水あるいは混合水と既存水源水を受水する受水混合槽、iv) 増設配水池、v) 生産水を各配水池まで送水するポンプ施設及びそれらの付属施設である。配水管については、現在、スファックス大都市圏配水マスタープランに基づき配水管路を順次拡張整備しているところであり、それに準じて配水量の配分をしていることから、本事業では现阶段で配水管路の整備の必要はない。

なお、上記した年次はSONEDEの計画に基づくものであり、今後決定される事業実施スケジュールにより変更される可能性がある。

6.2 送水施設

(1)送水ポンプ

海水淡水化施設用地内に設置する送水ポンプ棟に、生産水貯水タンクに貯留された生産水を配水池に送水するポンプを設置する。第1期では、送水量100,000 m³/日対応として常用2基+予備ポンプ1基を配置する。

送水ポンプ棟には第2期分として同量を送水するためのポンプ設置場所を確保する。また、第1期は第2期に比べ送水量が半分であり、送水管の管内摩擦による水頭損失が著しく異なることから、ポンプの交換を避けつつエネルギー効率の良い運用を行うため、第1期分のポンプ2基は回転数制御運転とする。

海水淡水化施設及び各配水池の標高、送水量、及び送水管管径を検討し、ポンプ仕様を以下のとおり定めた。

● 送水ポンプ：

第1期 流量:34.8 m³/分/基、全揚程 95 m、出力 800 kW x 2 基 (+予備 1 基) 合計 3 基
(内、2 基は回転数制御)

第2期 流量:34.8 m³/分/基、全揚程 95 m、出力 800 kW x 2 基 (+予備 1 基) 合計 3 基
(内、2 基は回転数制御)

(2)送水管

海水淡水化施設用地内送水ポンプ棟から配水池まで海水淡水化施設生産水を送水する送水管を敷設する。送水量並びにポンプの揚程を考慮し、各送水管の管径を表6-4に示すとおり定めた。管種は各種管材料の特徴を比較検討の結果、ダクタイル鋳鉄管を採用することとした。

表 6-4 送水管管径

区間	距離 (km)	送水量 (m ³ /日)*	管径 (mm)
送水ポンプ棟—PK11	26.3	200,000	1400
PK11—Bou Merra	2.9	20,100	400
PK11—PK10	6.1	147,786	1000
PK10—PK14	4.8	89,986	800
PK14—Sidi Salah 高区	9.4	64,686	800

*: 2035 年までの最大送水量
出典：JICA 調査団

(3)中継ポンプ場

PK11 配水池—Bou Merra 配水池間、PK11 配水池—PK10 配水池間、PK10 配水池—PK14 配水池間、PK14 配水池—Sidi Salah 高区配水池間の送水のために、PK11 配水池用地、PK10 配水池用地、PK14 配水池用地に以下のポンプ施設を設置する必要がある。

表 6-5 送水・中継ポンプ場

ポンプ場	最大送水量 (m ³ /日)	流量 (m ³ /分/基)	全揚程 (m)	電動機出力 (kW/基)	第 1 期分基数 (内予備)	第 1 期分回転数制御基数	第 2 期追加基数 (内予備)	第 2 期分回転数制御基数
海水淡水化施設—PK11	100,000	34.8	(72)	(600)	3(1)	2	-	-
	200,000	34.8	95	800	3(1)	2	3(1)	2
PK11 — Bou Merra	12,100	4.2	(49)	(75)	3(1)	2	-	-
	20,100	7.0	63	132	3(1)	2	-	-
PK11 — PK10	93,973	21.8	(21)	(160)	4(1)	3	-	-
	147,786	34.2	34	355	4(1)	3	-	-
PK10 — PK14	59,773	20.8	(39)	(250)	3(1)	2	-	-
	89,986	31.2	51	450	3(1)	2	-	-
PK14 — Sidi Salah 高区	36,386	12.6	(24)	(110)	3(1)	2	-	-
	64,686	22.5	38	250	3(1)	2	-	-

注：上段：第 1 期、下段：第 2 期
出典：JICA 調査団

(4)水撃対策施設

大量の生産水を海岸部の送水ポンプ施設から内陸部の PK11 配水池まで揚水することから、停電等の理由によるポンプ停止時には水撃が送水管内に発生し、管体が損傷を受けるため、その対策を講じておく必要がある。必要な水撃対策施設は以下のとおり。なお、PK10—PK14 区間では中間の最高標高地点で送水管内圧力を大気開放する設備が必要である。

表 6-6 水撃対策

送水区間	最大送水量 (m ³ /日)	水撃対策	概略寸法 (直径 x 水深)	設置基数	送水元からの距離	フライホイール設置	必要慣性モーメント WR ² (N・m ²)
海水淡水化施設—PK11	200,000	ワンウェイサージタンク	φ10m x15m	2	約 13km 約 16km	有り	2,400x4
PK11	20,100	エアチャンバ	φ1.5m x1.7m 長	1	ポンプ場内	無し	—

—Bou Merra							
PK11—PK10	147,786	不要	—	—	—	有り	1,300x3
PK10—PK14	89,986	不要	—	—	—	有り	2,700x2
PK14—Sidi Salah 高区	64,686	不要	—	—	—	有り	2,500x2

出典：JICA 調査団

(5) 配水池

Bou Merra 配水池用地に 5,000m³を増設する。増設分の用地は Bou Merra 配水池の敷地内とする。

(6) 受水混合槽

ポンプ送水された海水淡水化施設生産水あるいはその混合水と既存水源の水を受水し混合する、受水混合槽を下表に示すとおり各配水池に設置する。

表 6-7 受水混合槽

配水池	最大受水量	水源	内法寸法*(m)・滞留時間
PK11	227,086 m ³ /日	北部広域水道 ジェルマ・スベイトラ地下水 域内地下水 海水淡水化施設生産水	9.0W x 15.0L x 5.0D 4.3 分
Bou Merra	23,100m ³ /日	域内地下水 PK11 混合水	4.0W x 3.0L x 5.0D 3.7 分
PK10	163,186m ³ /日	北部広域水道 域内地下水 PK11 混合水	7.0W x 10.0L x 5.0D 3.1 分
PK14	107,786m ³ /日	北部広域水道 域内地下水 PK10 混合水	7.0W x 7.0L x 5.0D 3.3 分
Sidi Salah 高区	72,300m ³ /日	北部広域水道 域内地下水 PK14 混合水	6.0W x 5.0L x 5.0D 3.0 分

6.3 本事業第 1 期事業計画（送配水施設）

本事業の第 1 期計画として、第 6 章で記述した主な施設をまとめると以下のとおりである。

表 6-8 第 1 期事業概要（送配水施設）

施設名	施設内容
ポンプ場	<ul style="list-style-type: none"> 送水ポンプ場 1 箇所（海水淡水化施設用地内） 中継ポンプ場 3 箇所（既存 PK10, PK11, PK14 配水池敷地内に設置）

送水管	管種：ダクタイル鋳鉄管 <ul style="list-style-type: none"> φ1,400mm：L=26.3km（海水淡水化施設 - PK11） φ1,000mm：L=6.1km（PK11－PK10 配水池） φ800mm：L=4.8km（PK10 配水池－PK14 配水池） φ800mm：L=9.4km（PK14 配水池－Sidi Salah 高区配水池） φ400mm：L= 2.9km（PK11 配水池－Bou Merra 配水池） 総延長約 49.5 km
水撃対策施設	<ul style="list-style-type: none"> 海水淡水化施設－PK11 ワンウェイサージタンク 径 10m x 水深 15m, 用地 20m×30m×2 箇所 PK11-Bou Merra エアチャンバー φ 1.5m x 1.7m 長×1 箇所 各ポンプにフライホイール
配水池	<ul style="list-style-type: none"> Bou Merra 配水池敷地内に配水池（5,000m³）増設
混合受水槽	5 槽：各配水池にそれぞれ 1 槽 PK11: 9.0W x 15.0L x 5.0D Bou Merra : 4.0W x 3.0L x 5.0D PK10: 7.0W x 10.0L x 5.0D PK14: 7.0W x 7.0L x 5.0D Sidi Salah EH: 6.0W x 5.0L x 5.0D (内法寸法 W：幅、L：長、D：水深、単位：m)

出典：JICA 調査団

第7章 電気設備計画

7.1 必要電力

海水淡水化施設全体に必要な電力量は、下記のとおり送水ポンプを含めて 38.1MW となることから、余裕を見込み 40MW として計画する。

$$35 \text{ MW (海水淡水化施設)} + 3.1 \text{ MW (送水ポンプ)} = 38.1 \text{ MW}$$

7.2 海水淡水化施設への電力供給の可能性

SONEDE の問い合わせに対して STEG スファックス支社は本事業海水淡水化施設に必要な 40MW の電力供給は可能と文書にて回答している。チュニジア国における電力供給事情や本海水淡水化施設で必要とする電力が最終的に 40MW 程度であること、十分な電力容量が見込める 150 kV 受電であることなども考慮し、電力供給は十分に可能であると考えられる。

7.3 電気設備計画

海水淡水化施設及び配水池で設置される電気設備及び設計条件は、下記のとおりである。

(1) 海水淡水化施設

1) 受電施設計画

- 受電方式は 3 相 3 線 150kV 50Hz の特高 2 回線式受電（ループ式）とする。
- 停電対策として自家発電機を設置する。特高受電のため停電頻度がきわめて低い。そのため、対象負荷は送水ポンプと施設の保守保全に最低限必要なものとする。
- 受変電施設は、主受変電設備と副受変電設備で構成する。主受変電設備は、用地入口付近に設

置する。副受変電設備は、取水施設、海水淡水化施設（第1期、第2期）、送水施設の4個所に設置する。

- 送電線の延線工事は、STEGの150kV送電線から行われる。STEGが調達する業者が工事を担当し、SONEDEはその工事費をSTEGに支払う。STEGはその概算工事費を7,283,000TNDと見積もっている。

2) 自家発電設備

海水淡水化設備の運転継続のための自家発電設備は設けないものの、送水ポンプと施設の保守保全に最低限必要なものを対象として自家発電機を設ける。発電機のタイプはラジエータ搭載型ディーゼル発電機を採用する。発電能力は第一期計画の送水ポンプ2台が全台運転できるように2000kVAとする。

3) 運転操作設備

運転方式は原則としてすべて自動運転となるが、維持管理性と信頼性向上のためにコントロールセンタと現場操作盤から手動運転が可能なものとする。また取水ポンプ、送水ポンプなど主要負荷においては中央監視操作側からの遠隔操作も行えるものとする。

4) 計装設備

施設の自動運転に必要な水位計や水運用管理に必要な流量計、水質計器などの必要な計測機器を適所に設置する。

5) 監視制御設備

SCADAシステムを導入し、管理棟中央監視室にて施設の一元監視が可能なものとする。また、自動運転に伴う各種設定や流量などのデータ管理、日報月報等の帳票作成、送水ポンプ等の主要機器の遠隔操作を可能なものとする。

(2) ポンプ施設

1) 概要

海水淡水化施設の生産水及びその混合水を各配水池に送水するため、海水淡水化施設において送水ポンプ施設が設置され、その他に3か所のポンプ施設を設置する。したがって、ポンプ施設は合わせて4か所で設置される。

表 7-1 配水池及びポンプ施設の概要

配水池	ポンプ仕様 (新設)	備 考
海水淡水化施設生産水タンク 新設 25,000m ³ (第一期) 増設 25,000m ³ (第二期)	PK11 配水池向け 第一期：34.8m ³ /分 x 2 (+1) 第二期：34.8m ³ /分 x 2 (+1)	揚程 95m 回転数制御 2 基 回転数制御 2 基
PK11 配水池 既存 22,000m ³	Bou Merra 配水池向け 第一期：7.0m ³ /分 x 2 (+1) 第二期：-	揚程 63m 回転数制御 2 基
	PK10 配水池向け 第一期：34.2m ³ /分 x 3 (+1) 第二期：-	揚程 34m 回転数制御 3 基
Bou Merra 配水池 既存 1,500m ³ 増設 5,000m ³ (第一期) 増設 2,500m ³ (第二期)	-	-
PK10 配水池 既存 20,000m ³	PK14 配水池向け 第一期：31.2m ³ /分 x 2 (+1)	揚程 51m 回転数制御 2 基

配水池	ポンプ仕様 (新設)	備 考
増設 10,000m ³ (第二期)	第二期：-	
PK14 配水池 既存 10,000m ³ 増設 5,000m ³ (第二期)	Sidi Salah 高区配水池向け 第一期：22.5m ³ /分 x 1 (+1) 第二期：-	揚程 38m 回転数制御 2 基
Sidi Salah 高区配水池 既存 7,500m ³	—	—
Sidi Salah 低区配水池 新設 5,000m ³ (本事業対象外) 増設 15,000m ³ (第二期)	—	—

2) 受電施設計画

既存配水池の内、PK11、PK10、及び PK14 に送水ポンプ設備を設ける。これらの配水池への電源供給は 30 kV 高圧の 1 回線受電とし、変圧器を設けて停電時は自家発電設備によるバックアップで対応する。変圧器は 1 台設置とし、2 次電圧は 400 V とする。変圧器故障時は停電時同様、自家発電設備によるバックアップが可能である。なお、Bou Merra 配水池、Sidi Salah 高区配水池、Sidi Salah 低区配水池は、計装盤及び計装機器が設置されるのみであるため、低圧受電となる。

3) 自家発電設備

各配水池の送水ポンプ設備を対象として、ラジエータ搭載型ディーゼル発電機による自家発電設備を設置することとする。各配水池に設置する発電機容量は次表のとおりである。

表 7-2 自家発電設備の容量

配水池名称	発電機容量
PK11	2,500 kVA
PK10	1,250 kVA
PK14	750 kVA

4) 運転操作設備

配水池は、負荷数が比較的小さいため、動力制御盤を採用する。操作方式は、原則として配水池水位による自動運転とするが、オペレータの判断による中央監視側からの手動操作も可能なものとする。

5) 計装設備

配水池における計装設備は、流入水量、配水量、配水池水位の量的計測項目が主体となるが、本事業では水質 (TDS 濃度) も注目されている為、電気伝導率計を配水池流出口付近に設置し常時計測する。配水池水位は機構が単純で精度の高い投込み式 (圧力式) を採用する。配水池の残留塩素は手分析を原則とするが、異常時の早期対応を図るために残留塩素計を設置する。

6) 監視制御設備

各配水池の水位信号や流量信号、ポンプの運転状況、各種警報等はテレメータと無線通信を用いて海水淡水化施設に送信され、SCADA システムと統合し、中央監視室において配水池の一元監視が可能なものとする。無線方式は既存と同じ UHF 方式を原則とする。

7.4 150kV 配電線延長工事費

新規受電に伴い STEG が施工する工事費は、需要家（SONEDE）側が 100 %負担することを確認した。SONEDE が負担する高圧配電線（架空配線）延長工事費は表 7-3 に示すとおりとなる。STEG は配電線工事の他に一次側しゃ断器等の設備費及び二次側工事指導費用を含めた合計 7,283,000TND の費用を見積もっている。本事業の実施にあたっては、工事が海水淡水化施設の試運転時までに完了しなければならないことに留意する必要がある。

表 7-3 配電線延長工事費

◇ 項目	◇ 条件
延長距離	15 km
線路数	2 回線（常用+バックアップ）
総工事費 (TND)	7,283,000 TND

出典： STEG 回答

7.5 本事業第 1 期事業計画（電気設備）

本事業の第 1 期計画で整備する施設を表 7-4 にまとめて示す。

表 7-4 第 1 期事業概要（電気設備）

施設名	施設内容
海水淡水化施設	
受変電施設	<ul style="list-style-type: none"> 3 相 3 線 150kV 50Hz の特高 2 回線式受電（ループ式） 主受変電設備：常用 1 台、予備 1 台、計 2 台、一次電圧 150 kV、二次電圧 30 kV 副受変電設備 1 変圧器構成：常用一予備の 2 バンク方式、変圧器の 2 次電圧：400 V 副受変電設備 2 変圧器構成：常用一予備の 2 バンク方式、変圧器の 2 次電圧：6 kV
自家発電設備	<ul style="list-style-type: none"> ラジエータ搭載型ディーゼル発電機：発電能力 2000 kVA
運転操作設備	<ul style="list-style-type: none"> 小容量負荷：コントロールセンタ 大容量負荷：個別の動力制御盤方式
計装設備	<ul style="list-style-type: none"> 取水量：電磁流量計 送水量：電磁流量計 送水圧力：ダイヤフラム式圧力計 浄水池・配水池水位：投込み式（圧力式）水位計 原水電気伝導度：電気抵抗式 送水 pH：ガラス電極式 送水残留塩素：ポーラログラフ式 送水濁度：透過散乱光式 温度：熱電対式
監視制御設備	<ul style="list-style-type: none"> SCADA システム
ポンプ施設	
受変電施設	<ul style="list-style-type: none"> 30kV の高圧 1 回線受電 変圧器：1 台、2 次電圧：400 V
自家発電設備	<ul style="list-style-type: none"> ラジエータ搭載型ディーゼル発電機：発電能力 2,500 kVA, 1,250 kVA, 750 kVA
運転操作設備	<ul style="list-style-type: none"> 動力制御盤方式

計装設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流入量：電磁流量計 ・ 送水量：電磁流量計 ・ TDS：電気伝導率計 ・ 配水池水位：圧力式
監視制御設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ SCADA システム

第8章 環境社会配慮

8.1 本事業が分類されるカテゴリ

事業は JICA の環境カテゴリではカテゴリ B に分類されている。

8.2 環境影響評価調査 TOR

スコーピングの結果を考慮し、JICA 調査団は SONEDE が外部に委託して実施する環境影響評価調査の TOR における重要項目をまとめ SONEDE に提案した。その結果に対して SONEDE は合意し、SONEDE と ANPE 及び APAL との協議の結果、表 8.1 に示す重要項目に配慮して環境影響評価調査の TOR を作成することになった。この決定を受け、JICA 調査団は現地再委託により同 TOR を作成し、SONEDE に提出した。SONEDE は同 TOR について ANPE 及び APAL の意見を求め、その同意を得た後、同 TOR を以って現地コンサルタントを対象とした入札を行い、2015 年 6 月現在、調査中である。

表 8-1 環境影響評価調査 TOR 重要項目

目的	調査項目	調査手法
調査フレームワーク及びアプローチ	①法律、基準、参考資料、関係機関を確認し、調査フレームワークを決定する。 ②調査アプローチ、手法、担当分担、スケジュールを決定する。	①スコーピング報告書を確認する。 ②調査 TOR を確認する。
自然環境及び社会環境のプロジェクト実施以前の状況	①既存自然環境を記述する：プロジェクト対象地、陸上環境及び海環境の生物体養成及び物理的特徴（気候等） ②社会環境を記述する：人口と経済、健康状況、ジェンダー項目	①既存データ・報告書を把握し、確認する。 ②海洋環境の現地調査を行う： <ul style="list-style-type: none"> ➢ 海水水質調査（浮遊生物を含む） ➢ 底生植物の現況を確認 ➢ 海生物体養生の確認 ➢ サンプルングは 4 ヲ所。その内 2 ヲ所はプロジェクトの位置（下図の A,B）、2 ヲ所は比較対象（下図の C,D） ➢ サンプルング時期：冬、夏

目的	調査項目	調査手法
		
プロジェクトの特徴	<ul style="list-style-type: none"> ①本プロジェクトのコンポーネントを記述する ②本プロジェクトの考慮すべき情報（インプット）と成果物（アウトプット） ③施工法及び運営方法 	①スファックス海水淡水化施設整備事業準備調査報告書を確認
代替案の検討及び候補地の検討	<ul style="list-style-type: none"> ①代替案の検討 ②候補地の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ①スファックス海水淡水化施設整備事業準備調査報告書を確認 ②現地状況確認
自然環境及び社会への影響確認	<ul style="list-style-type: none"> ①プロジェクトのコンポーネントに対する影響を確認（工事時及び供用時） ②放流水対象エリア及び底生植物への影響 	<ul style="list-style-type: none"> ①参考資料チェックリストを利用し、各項目を確認する。 ②放流水の対象エリアを計算する。 ③底生植物と塩分の関係情報から影響を確認する。
緩和策及び補償の検討及びコスト	<ul style="list-style-type: none"> ①各影響に対して、緩和策あるいは補償について検討する ②緩和策及び補償のため必要な体制及び金額の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ①影響の特徴及び現地の特徴から、緩和策を検討し、決定する。 ②法律及び標準事例を参考にして、補償内容について決定する。 ③SONEDE と協議の上、必要金額及び実施体制を確認する。
モニタリング計画の定義	①モニタリング計画を決定する：モニタリング項目、手法、機関、分担、コスト、体制	<ul style="list-style-type: none"> ①重要影響の進捗をモニタリングするように、観測方法を考慮し、モニタリング手法を決定する。 ②SONEDE と協議の上、モニタリング計画を策定する。
ステークホルダー協議及び住民説明会	<ul style="list-style-type: none"> ①ステークホルダー協議の実施及びプロジェクトへの反映 ②住民に対して本プロジェクトを説明する 	<ul style="list-style-type: none"> ①本プロジェクトの特徴及び影響を説明することを目的とし、スファックス市で、ステークホルダー協議を行う。準備調査の際に実施したステークホルダー協議の参加者の意見を参考に実施する。質問・提案を検討し、プロジェクトへ反映する。 ②本プロジェクト及び環境影響調査の結果を説明するため、住民説明会を開く。

スコーピング、TOR 作成及び環境影響評価（EIA）調査の実施スケジュールを以下に示す。

項目	担当	2014		2015						2016					
		10月	~	1月	2月	3月	4月	5月	6月	~	5月	6月	7月	8月	9月
スコーピング + TOR	SONEDE (JICA 調査団 ANPE, APAL)	■													
入札 (RFP)	SONEDE			▼											
プロポーザル準備及び提出	EIA コンサルタント			■											
コンサルタント評価、選定	SONEDE				■										
作業開始	SONEDE								▼						
EIA 調査+ステークホルダー協議	EIA コンサルタント								■						
EIA 報告書を評価、ANPE へ提出	SONEDE														▼
EIA の承認	ANPE														■

図 8-1 スコーピング、TOR 作成及び環境社会影響評価の実施スケジュール

環境社会影響評価の実施計画を以下に示す。

調査のフェーズ、項目	期間 (月)												成果品		
	1	2	3	4	5	6	7	8	~	12					
1 期： 法律制度、環境状況、プロジェクト	■														ITR/1
2 期： 影響評価及び緩和策の検討				■											ITR/2
フェーズ 3： モニタリング計画						■									DFR FR
ステークホルダー協議及び住民説明	■														協議議事録
現場調査	- - - - -												自然状況のデータ		

出典：JICA 調査団

図 8-2 環境社会影響評価の実施計画 (案)

上記の実施計画による各報告書は EIA 監視委員会で確認されるため、ANPE が最終的承認する段階では、多くのコメント (リザーブ) は出ないと考える。

8.3 環境社会配慮調査結果

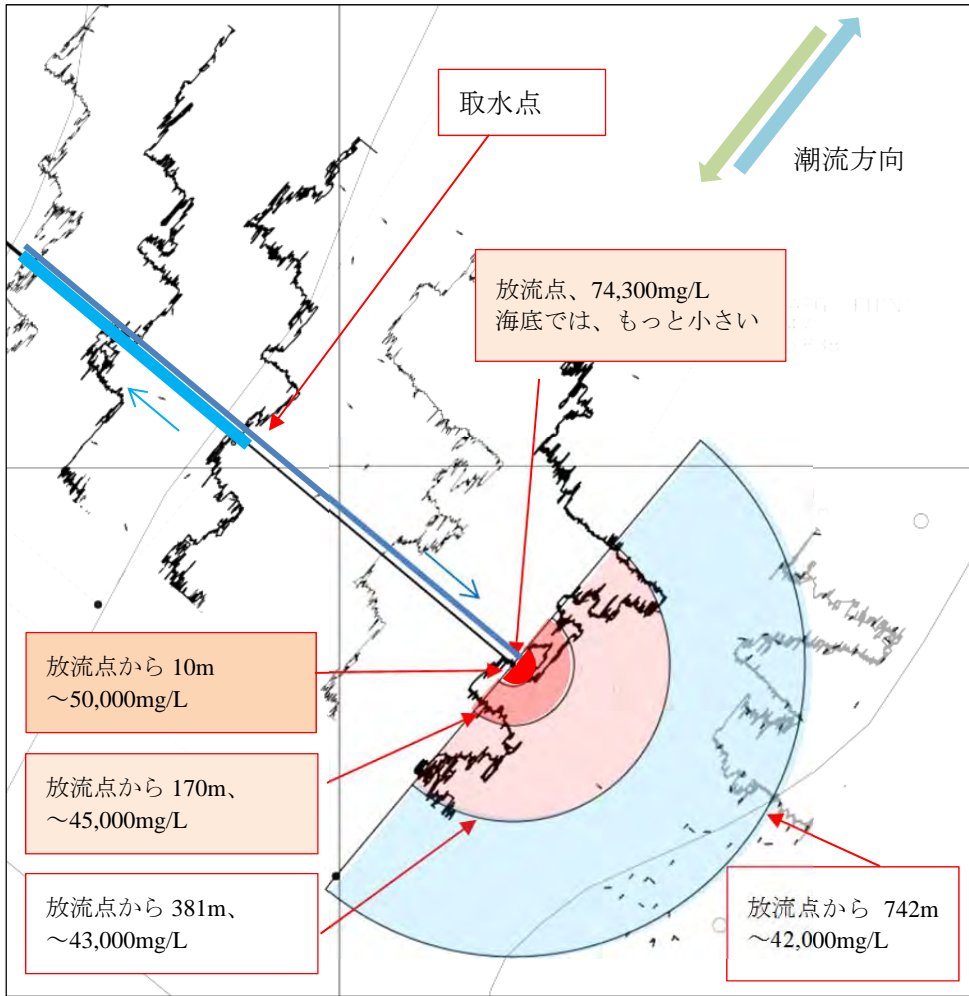
スコーピングに従い、JICA 調査団は本プロジェクトの重要事項である高塩分濃度の放流水が与える海底環境への影響範囲及び影響の程度を把握するために、シミュレーション計算を行った。また、ポシドニアの分布に関するデータを把握し、本プロジェクトの対象となる範囲を含めた広範囲の状況図を作成した。

さらに、JICA 調査団は社会調査を実施し、海水淡水化施設生産水の給水に対する満足度及び社会影響を把握した。また、海水淡水化施設用地の周辺にあるガス工場 (British Gas、BG) のヒアリングによって、海底管建設における漁業への影響の現状を確認した。以下の表に詳細を記載する。

表 8-2 環境社会配慮調査結果表

環境項目	調査結果																																																																									
水質	<p>本プロジェクトによる濃縮水拡散シミュレーション</p> <p>濃縮水放流の影響を把握するため、放流塔から 73000mg/L の TDS 濃度で放流された海水がどのように希釈されるか放流管近傍と着底後の二つのモデルを組合せて、シミュレーションを行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 放流塔の近傍（濃縮水が海底に到達するまでとして約 20m を設定）：Gravity jet model 2. 着底後（放流塔より約 20m 以遠）：Joseph Sendner's equation <p>この式を用いたシミュレーションは、日本国内の発電所、淡水化施設、下水処理場等ではよく使われており、実績も多い。また、世界中いくつかの研究所でもその精度及び妥当性は確認されている。</p> <p><u>計算条件</u></p> <p>本プロジェクトにおける濃縮排水の予想濃度を時期毎に表 8-3 にまとめた。本シミュレーションでは、海水と放流水の塩分差の大きい夏場をモデルとした。また、濃縮水の放流仕様を以下のとおり設定した。</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">①</td> <td style="width: 60%;">放流量</td> <td style="width: 30%;">： 244,400m³/日（2期）</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>放流流速</td> <td>： 3m/s</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>ノズル数</td> <td>： 4</td> </tr> <tr> <td>④</td> <td>ノズル径</td> <td>： 0.55m</td> </tr> <tr> <td>⑤</td> <td>放流ノズル仰角</td> <td>： 45 度</td> </tr> <tr> <td>⑥</td> <td>海底から放流ノズル中心までの高さ</td> <td>： 1.3m</td> </tr> <tr> <td>⑦</td> <td>海流/潮流</td> <td>： 0.01m/s^{*1}</td> </tr> </table> <p style="margin-left: 20px;">*1: 海面近くは流動するが、海底に行くにしたがって流動は減少する。本濃縮水放流地点での深さでは無視できるとして、シミュレーション上は最低値 0 とした。</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">⑧</td> <td style="width: 60%;">放流方向及び分布角度</td> <td style="width: 30%;">： 180 度^{*2}</td> </tr> </table> <p style="margin-left: 20px;">*2: 濃縮水は周辺海水より重いため、放流地点より浅い海域には拡散しにくい性質がある。このため放流点より岸側には拡散しないものとして、水平的な拡散範囲は南西方向 180 度に設定した。</p> <p style="text-align: center;">表 8-3 水温・TDS 条件</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>1-3 月</th> <th>4-6 月</th> <th style="border: 2px solid red;">7-8 月</th> <th>9-11 月</th> <th>12 月</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>冬</th> <th>春</th> <th style="border: 2px solid red;">夏</th> <th>秋</th> <th>冬</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">海水水温</td> <td style="width: 10%;">°C</td> <td>15</td> <td>25</td> <td style="border: 2px solid red;">30</td> <td>25</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>放流水水温</td> <td>°C</td> <td>15</td> <td>25</td> <td style="border: 2px solid red;">30</td> <td>25</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>海水 TDS 濃度</td> <td>mg/L</td> <td>39,000</td> <td>40,000</td> <td style="border: 2px solid red;">41,000</td> <td>40,000</td> <td>39,000</td> </tr> <tr> <td>放流水 TDS 濃度</td> <td>mg/L</td> <td>70,800</td> <td>72,500</td> <td style="border: 2px solid red;">74,300</td> <td>72,500</td> <td>70,800</td> </tr> <tr> <td>海水放流水 TDS 濃度差</td> <td>psu(*)</td> <td>31.8</td> <td>32.5</td> <td style="border: 2px solid red;">33.3</td> <td>32.5</td> <td>31.8</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 20px;">出典：JICA 調査団 (*) 塩分濃度（TDS, mg/L）を 1,000 で除した値を実用塩分(psu)とした。</p> <p>試算結果を図 8-3 に示す。</p>	①	放流量	： 244,400m ³ /日（2期）	②	放流流速	： 3m/s	③	ノズル数	： 4	④	ノズル径	： 0.55m	⑤	放流ノズル仰角	： 45 度	⑥	海底から放流ノズル中心までの高さ	： 1.3m	⑦	海流/潮流	： 0.01m/s ^{*1}	⑧	放流方向及び分布角度	： 180 度 ^{*2}			1-3 月	4-6 月	7-8 月	9-11 月	12 月			冬	春	夏	秋	冬	海水水温	°C	15	25	30	25	15	放流水水温	°C	15	25	30	25	15	海水 TDS 濃度	mg/L	39,000	40,000	41,000	40,000	39,000	放流水 TDS 濃度	mg/L	70,800	72,500	74,300	72,500	70,800	海水放流水 TDS 濃度差	psu(*)	31.8	32.5	33.3	32.5	31.8
①	放流量	： 244,400m ³ /日（2期）																																																																								
②	放流流速	： 3m/s																																																																								
③	ノズル数	： 4																																																																								
④	ノズル径	： 0.55m																																																																								
⑤	放流ノズル仰角	： 45 度																																																																								
⑥	海底から放流ノズル中心までの高さ	： 1.3m																																																																								
⑦	海流/潮流	： 0.01m/s ^{*1}																																																																								
⑧	放流方向及び分布角度	： 180 度 ^{*2}																																																																								
		1-3 月	4-6 月	7-8 月	9-11 月	12 月																																																																				
		冬	春	夏	秋	冬																																																																				
海水水温	°C	15	25	30	25	15																																																																				
放流水水温	°C	15	25	30	25	15																																																																				
海水 TDS 濃度	mg/L	39,000	40,000	41,000	40,000	39,000																																																																				
放流水 TDS 濃度	mg/L	70,800	72,500	74,300	72,500	70,800																																																																				
海水放流水 TDS 濃度差	psu(*)	31.8	32.5	33.3	32.5	31.8																																																																				

環境項目	調査結果
------	------

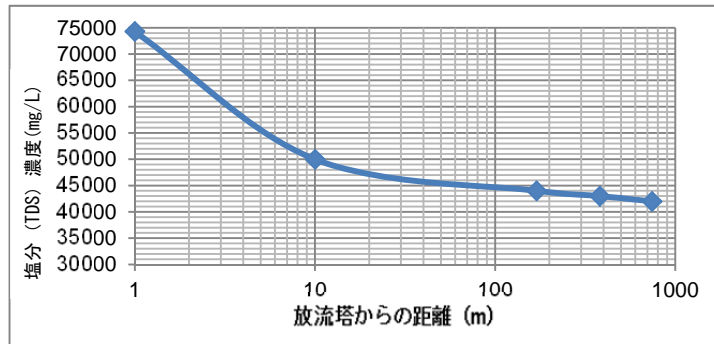


注：数値は TDS 濃度

出典：JICA 調査団

図 8-3 放流塔からの放流水希釈シミュレーション結果

放流塔からの距離による海水塩分（TDS）濃度の減少状況を図 8-4 に示す。



出典：JICA 調査団

図 8-4 放流塔からの距離と TDS 濃度

環境項目	調査結果
生態系	<p>ポシドニアの状況</p> <p><u>プロジェクトサイト近傍におけるポシドニアの繁殖状況</u></p> <p>チュニジア国海洋技術研究所 (INSTM, Ben Mustapha) -世界銀行 2008 による報告のデータによれば、スファックス県沿岸の底生植物ポシドニア及びシモドサエ (ポシドニアと同種の海草) の分布状況を検討したところ、スファックス県近辺の (ケルケナを除いて) の底生植物分布面積は以下と考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 繁茂面積：130,000ha 程度 ▪ 平均繁殖率 (低)：40%、底生植物分布面積=0.4x130,000=52,000ha ▪ 平均繁殖率 (高)：60%、底生植物分布面積=0.6x130,000=78,000ha <p><u>ポシドニアの繁殖状況と塩分濃度の関係</u></p> <p>底生植物ポシドニアと塩分の関係はスペインにおける研究結果によれば、塩分 (TDS) 濃度 50000mg/L 以上だとポシドニアは生育できない環境となる。また、ANPE の意見では 45000mg/L 以上では生育が厳しい環境であるということである。したがって、底生植物への影響は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 取水、放流管の施工による掘削影響面積： 掘削幅 34m × 延長 4000m × 繁殖率 80% = 11.2ha (備考：ほとんどは埋め戻した海底土上で自然回復可能) ▪ 濃縮水放流 (塩分濃度上昇) による影響面積： (TDS 濃度 45000mg/L 以上 --> 半径 200m 以内) $3.1416 \times 200^2 / 2 \times 80\% = 5.0ha$ <p><u>他淡水化施設からの放流濃縮水との複合影響について</u></p> <p>ガベス湾沿岸では、以下の 4 つの海水淡水化プロジェクトが行われる予定である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ スファックス (本事業)：200,000m³/日 (最終計画) ▪ ジェルバ：75,000m³/日 (最終計画) ▪ ザラート：100,000m³/日 (最終計画) ▪ ケルケナ：6,000m³/日 (最終計画) <p>これらの合計は 381,000m³/日 (最終計画) となる。</p> <p>ガベス湾での海流の流況から、ガベス湾の海水は地中海と短時間には混ざらないことが分かっている。このことを考慮し、ガベス湾に計画される上記の海水淡水化施設の影響で、ガベス湾の海水が濃縮される可能性があるか検討した結果は以下のとおり：</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 海水淡水化及び蒸発は水の量を減少し塩分を濃くするプロセスである ② ガベス湾の面積は 12,000km² 程度であり、スファックス観測所のデータにより、年間平均蒸発量は 1788mm/年である。したがって、ガベス湾の一日蒸発量は $12,000,000,000m^2 \times 1788mm / 365 日 = 58,800,000m^3/日$ となる。 ③ 最大計画水量時においても海水淡水化のための取水量は蒸発量の $381,000 / 58,800,000 = 0.6\%$ に過ぎない。 <p>以上から、放流点における局所的な影響を除き、生態系への影響は極めて小さいと判断した。また、本プロジェクトに最も近い海水淡水化プロジェクトは 40km 以上離れているケルケナ案件であり、放流される濃縮水の希釈が十分に行われるため、本プロジェクトの放流水が他の海水淡</p>

環境項目	調査結果																															
	水化施設の放流水に重なるリスクはない。																															
<p>貧困層</p>	<p>海水淡水化施設用地周辺漁業活動について</p> <p>2004年にスファックス県における漁獲高は、チュニジア国内の年間漁獲高約15,000tの47%であり、スファックス港はチュニジア国最大の漁港である。スファックスで用いられている漁法を以下の表に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 8-4 スファックスでの漁法状況</p> <table border="1" data-bbox="387 535 1374 949"> <thead> <tr> <th>漁法</th> <th>漁船類</th> <th>ターゲット</th> <th>エリア</th> <th>法律</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>採貝</td> <td>-</td> <td>貝類</td> <td>砂浜</td> <td>遵守</td> </tr> <tr> <td>釣</td> <td>漁帆船、小漁船 1~2人乗り</td> <td>イカ、マダイ</td> <td rowspan="6">ボシドニア草地 (2~10m) スファックスケルケナチャネル (深>10m)</td> <td>遵守</td> </tr> <tr> <td>定置網</td> <td>漁帆船、漁船 2~5人乗り</td> <td>タコ、イカ、エビ、 ヒラメ、マダイ</td> <td>遵守</td> </tr> <tr> <td>わな (たこつぼ)</td> <td>漁帆船、小漁船 1~2人乗り</td> <td>タコ、ボラ</td> <td>遵守</td> </tr> <tr> <td>トロール網</td> <td>漁船 6~8人乗り</td> <td>マグロ、イワシ</td> <td>遵守 (深>20m)</td> </tr> <tr> <td>底引網</td> <td>漁帆船、漁船 1~6人乗り</td> <td>タコ、イカ、エビ、 ヒラメ、マダイ</td> <td>違反</td> </tr> </tbody> </table> <p>出典：スファックス市開発案件(SMAPIII)での影響調査の海自然環境報告</p> <p>取水・放流管建設による漁業活動への影響、British Gas の例</p> <p>本プロジェクト海水淡水化施設用地近くにガス工場（British Gas、以下BG）がある。海上プラットフォームまで、ガス採取管が設置されており、そのガス採取管建設作業及びモニタリングの状況について情報収集した結果は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ガス採取管の位置情報の分析により、ガス採取管と本事業の施設用地や取水・放流管の位置は重ならない。 2) 2008年に新管敷設の際に、ナクタ村の漁民から以下の点が指摘された。 <ol style="list-style-type: none"> a) 漁帆船は動く方向が限られている。したがって、管敷設作業が邪魔で、行くことができない場所ができ、漁獲量が減った。 b) 海岸沿いで貝等を取る女性がいる。管敷設作業で海水が濁ったことにより、その貝が取れなくなった。 3) それに伴い、建設の際に問題が起こらないように、以下のとおりBGは補償した。 <ol style="list-style-type: none"> a) ガス管（最初の5km程度）建設期間中、月ベースで補償金を支払った。 b) 漁民の場合、1船あたり船長に300TND程度、他の漁民に150TND支払った。 c) 漁業組合に登録している女性一人に30TND程度支払った。 4) BGでは、4人が6ヵ月間にわたり、業務時間の30%を補償対応業務に充てていた。 <p>上記から、本事業の際に同様な海底管敷設作業が予定されているため、建設を行う前に、現地漁業の状況を把握し、協議を行う。その結果、必要に応じて施工方法の調整及び補償計画の実施を行うわなければならない可能性がある。</p>	漁法	漁船類	ターゲット	エリア	法律	採貝	-	貝類	砂浜	遵守	釣	漁帆船、小漁船 1~2人乗り	イカ、マダイ	ボシドニア草地 (2~10m) スファックスケルケナチャネル (深>10m)	遵守	定置網	漁帆船、漁船 2~5人乗り	タコ、イカ、エビ、 ヒラメ、マダイ	遵守	わな (たこつぼ)	漁帆船、小漁船 1~2人乗り	タコ、ボラ	遵守	トロール網	漁船 6~8人乗り	マグロ、イワシ	遵守 (深>20m)	底引網	漁帆船、漁船 1~6人乗り	タコ、イカ、エビ、 ヒラメ、マダイ	違反
漁法	漁船類	ターゲット	エリア	法律																												
採貝	-	貝類	砂浜	遵守																												
釣	漁帆船、小漁船 1~2人乗り	イカ、マダイ	ボシドニア草地 (2~10m) スファックスケルケナチャネル (深>10m)	遵守																												
定置網	漁帆船、漁船 2~5人乗り	タコ、イカ、エビ、 ヒラメ、マダイ		遵守																												
わな (たこつぼ)	漁帆船、小漁船 1~2人乗り	タコ、ボラ		遵守																												
トロール網	漁船 6~8人乗り	マグロ、イワシ		遵守 (深>20m)																												
底引網	漁帆船、漁船 1~6人乗り	タコ、イカ、エビ、 ヒラメ、マダイ		違反																												
文化遺産	<p>Institut National du Patrimoine（チュニジア国遺跡保護機関）の海水淡水化施設候補地周辺の遺跡情報によれば用地周辺の遺跡と本事業施設用地は重なっておらず、最も近い遺跡（115.052番）</p>																															

環境項目	調査結果
	でもおよそ 290m 離れている。 なお、遺跡に関する法律は法律 94-35 号（1994 年 2 月 24 日）であり、その第 69 条によって、遺跡が発見された場合、遺跡調査のため最大 6 か月間工事が停止される。

出典：JICA 調査団

8.4 影響評価

調査結果に基づき、本事業による環境影響を各評価コンポーネントごとに、次表のとおり評価する。

表 8-5 影響評価表：海水淡水化施設

分類		影響項目	スコーピング時の影響評価		調査結果に基づく影響評価		評価理由
			工事前 工事中	供用時	工事前 工事中	供用時	
汚染対策	1	大気汚染	C	D	D	D	工事中： - 大規模土工・舗装作業が計画されていない上に、候補地周辺は主に畑、道路、海浜であり、発生するものが土ぼこりのみであることから、影響がないと考えられる。
	2	水質汚濁	C-	C-	D	D	工事中： - 掘削作業による濁りは一時的に水質を変えるものであるが、既存の海底土から生じるため、水質汚濁にならないと考える（漁活動への影響は以下に記載する）。 供用時： - 放流される濃縮水が希釈されることによって、放流塔から 750m 程度の位置で、TDS 濃度は既存の TDS+1000mg/L (+2%) のレベルまでに戻る上に、塩分濃度が高いことによる人体への危険はないと考える（チュニジア国海域排出基準 NT106-002、表 8.11-1 においては、Na 及び Cl は無制限）。 （生態系への影響は以下に記載） - ガベス湾沿岸で計画されている海水淡水化施設の最終合計取水量はガベス湾の蒸発量の 0.6% に過ぎず、放流点における局所的な影響を除けば、その水質面の影響は極めて小さいと考える。
自然環境	10	生態系	B-	C-	B-	B-	工事中： - 海底掘削作業により、11.2ha の底生植物（ポシドニア）が撤去され、生態系への影響が生じるが、スファックス県海岸での底生植物面積（52,000ha）と比較すると、大きな影響とは考えられず、ほとんどは埋戻し後に自然回復が可能であると考えられる。 - 取水・放流管周辺の底生植物繁茂率は 60%～80%であることを考慮し、底生植物の上に盛土すると植物が生息できないと考え、掘削による 50,000m ³ 残土の処分場所の状況により生態系への影響が生じると考える。 供用時： - 濃縮水の放流による生態系への影響面積は 5.0ha と考えるが、スファックス県海岸での底生植物面積（52,000ha）と比較すると、大きな影響とは考えられな

分類	影響項目	スコーピング時の影響評価		調査結果に基づく影響評価		評価理由
		工事前 工事中	供用時	工事前 工事中	供用時	
						い。
	11 水象	C-	D	D	D	工事中 - 掘削した後、海面に浮かべて運搬された管を埋設する敷設方法になるため、水象には影響がないと考える。
社会環境	14 貧困層	C-	D	B-	D	工事中 - British Gas の例を考慮すると、取水・放流管の敷設作業により、漁業への影響が生じることが考えられる。
	16 雇用や生計手段等の地域経済	B+	B+	B+	B+	工事中： - 工事中は雇用が増加する。 - 下請契約及び材料や機器の販売の可能性はある。 供用時： - 淡水化施設のオペレーター等として、雇用の可能性はある。 - 下請契約及び材料や機器の販売の可能性はある。
	18 水利用	D	B+/C+	D	B+/D	供用時： - 給水する水質が改善されるため、健康には影響しないと考える。
	19 既存の社会インフラや社会サービス	D	B+	D	B+	供用時： - スファックスで給水される飲料水の量及び水質は改善される。
	22 地域内の利害対立	D	B+	D	B+	供用時： - 淡水化設備はスファックス大都市圏にあり、対象エリアはスファックス大都市圏全域となる。 - 本事業の運営によって、チュニジア国中央部地域の水需給状況を緩和できるため、地域内の利害対立に好影響を与えたと考えられる。
	23 文化遺産	C-	D	D	D	工事中： - 図8.8-9から、淡水化施設候補地に記録されている遺跡がない。 なお、送水管は既存道路沿いに設置され、道路土工のために既に掘削された場所であり、遺跡の発見可能性は非常に低いと考える。 また、送電線の鉄塔の基礎工事面積は小さい（4本の杭基礎、直径0.8m程度）上、遺跡が発見された場合には、送電線ルート进行调整できると考える。 - 海水淡水化施設のボーリングの結果、地盤が軟らかい砂質土であることから、文化遺産の基礎等の存在可能性は低いと考える。
	25 ジェンダー	D	C+	D	D	供用時： - 給水可能量が増加し、給水接続数が増加する可能性があるが、既にスファックスの給水率が高いため、向上する余地が少なく、ジェンダーへの好影響は小さいと考えられる。
	28 労働環境(労働安全を含む)	D	C-	D	D	供用時： - 既にSONEDEで運営される淡水化施設と同様の薬品が使われ、その経験から、漏れがあった場合でも、労働安全が確保されると考える。
その他	30 越境の影響、及び気候変動	D	C-	D	D	供用時： - チュニジア国での2013年間電力消費量

分類	影響項目	スコーピング時の影響評価		調査結果に基づく影響評価		評価理由
		工事前 工事中	供用時	工事前 工事中	供用時	
						は14,379GWh (https:// www.steg.com.tn)であり、淡水化施設の143GWhはその1%にすぎないため、CO ₂ の排出量増加の影響については、重く考える必要はない。

評価:

- A-: 大きな負の評価が想定される A+: 大きな正の評価が想定される
 B-: ある程度の負の評価が想定される B+: ある程度の正の評価が想定される
 C: 影響が不明であり、今後の調査が必要
 D: 影響は皆無、あるいは軽微であり、今後の調査は不要

表 8-6 影響評価表：送水施設

分類	影響項目	スコーピング時の影響評価		調査結果に基づく影響評価		評価理由
		工事前 工事中	供用時	工事前 工事中	供用時	
汚染対策	1 大気汚染	C	D	D	D	工事中: - 大規模土工・舗装作業がない上に、送水管ルート周辺は主に畑と道路であり、発生するものが土ぼこりのみであることから、影響はほとんどないと考えられる。
自然環境	12 地形、地質	C-	D	D	D	工事中: - 60,000m ³ の残土が出る可能性があるが、海水淡水化施設用地には盛土が必要なため、残土は盛土に使う。さらに、スファックス大都市圏周辺に残土を処分できる場所も十分にあることから、地形・地質には影響はないと考える。
社会環境	16 雇用や生計手段等の地域経済	B+	B+	B+	B+	工事中: - 工事中は雇用が増加する。 - 下請契約及び材料や機器の販売の可能性はある。 供用時: - 下請契約及び材料や機器の販売の可能性はある。
	17 土地利用や地域資源利用	C-	D	B-	D	工事中: - 基本的には、道路範囲に送水管を設置することができるが、送水管の数ヶ所とサージタンクについては用地取得が必要になる。
	19 既存の社会インフラや社会サービス	D	B+	D	B+	供用時: - スファックスで給水される飲料水の量及び水質は改善される。
	21 被害と便益の偏在	B+	B+	B+	B+	工事中・供用時: - 本事業の対象エリアはスファックス大都市圏全域である。
	22 地域内の利害対立	D	B+	D	B+	供用時: - 送水設備はスファックス大都市圏にあり、対象エリアはスファックス大都市圏全域になる。 - 本事業施設の運用によって、チュニジア国中央部地域の水需給状況を緩和できるため、地域内の利害対立に好影響を与えると考えられる。

評価:

- A-: 大きな負の評価が想定される A+: 大きな正の評価が想定される
 B-: ある程度の負の評価が想定される B+: ある程度の正の評価が想定される
 C: 影響が不明であり、今後の調査が必要
 D: 影響は皆無、あるいは軽微であり、今後の調査は不要

表 8-7 影響評価表：送電施設

分類		影響項目	スコーピング時の影響評価		調査結果に基づく影響評価		評価理由
			工事前 工事中	供用時	工事前 工事中	供用時	
汚染対策	1	大気汚染	C-	D	D	D	工事中: -送電線工事には約 40 本の鉄塔の建設が必要であり、バックホー、クレーン、運搬車両の利用が想定されるが、小規模土工・基礎工事であることから、重機からの排気ガス発生による大気汚染はほとんどないと考える。候補地周辺は主に畑、道路、海浜であり、発生するものが土ぼこりのみであることから、影響がないと考えられる。
社会環境	14	貧困層	C-	D	B-	D	工事中: - 各送電鉄塔の建設用地に 10m x 10m 程度が必要となり、工事用のスペースも含めて農地に影響を及ぼす可能性が高く、オリーブの伐採が各用地で数本程度必要になると考える。
	17	土地利用や地域資源利用	C-	D	B-	D	工事中: - 各送電鉄塔の建設用地に 10m x 10m 程度が必要となり、工事用のスペースも含めて農地に影響を及ぼす可能性が高く、送電鉄塔建設のための用地取得が必要となる。
	24	景観	D	C-	D	D	供用時: - 海水淡水化施設の候補地はチナ遺跡公園から 10km 程度離れており、スファックス市内にあるメディナからは更に離れており、観光施設からの景観に対する影響はない。送電ルート周辺は農用地と推定され、景観に対する影響はないと考える。

評価:

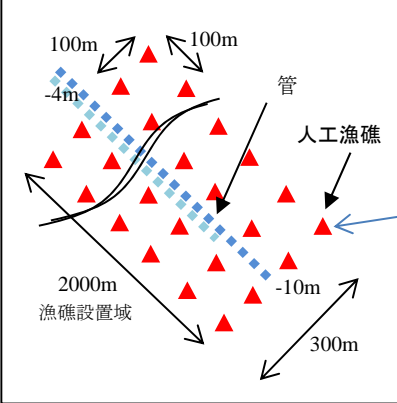

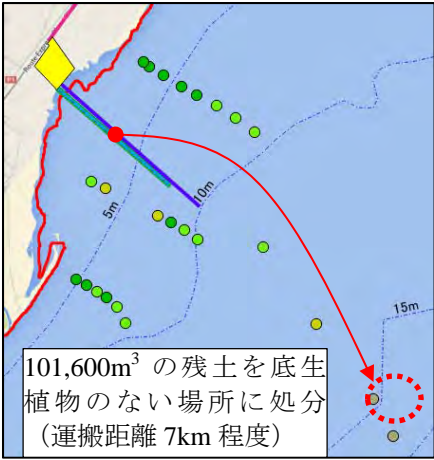
- A-: 大きな負の評価が想定される A+: 大きな正の評価が想定される
- B-: ある程度の負の評価が想定される B+: ある程度の正の評価が想定される
- C: 影響が不明であり、今後の調査が必要
- D: 影響は皆無、あるいは軽微であり、今後の調査は不要

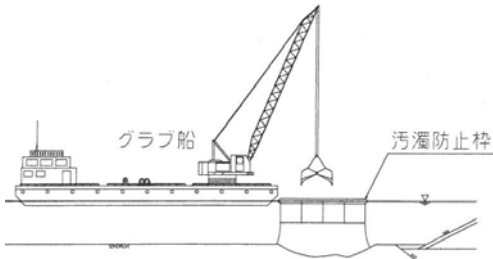
8.5 緩和策及び緩和策実施のための費用

上記の 8.4 節で B-と評価された影響に対して、環境影響緩和策を次表に提案する。

表 8-8 緩和策

No.	影響	緩和策 (提案)	実施団体	監視機関	費用
工事中					
1	取水放流水管掘削作業による撤去される底生植物への影響 (~12ha)	底生植物及び底生植物に関わる生態系を保護するためには、取水・放流管の作業範囲に人工漁礁を設置する方法が考えられる。このような漁礁は違法底引網漁法に対する生態保護について良い影響を与える。なお、人工漁礁はガベス湾で農業・水資源・漁業省の漁業管理局 (DGPA) により既に採用されている。 設置計画の例を次図に示す。	淡水化施設建設業者	SONEDE / INSTM / ANPE	1,818 万円 (152,000 US\$)

No.	影響	緩和策（提案）	実施団体	監視機関	費用
		 <p>出典：JICA 調査団 図 8-5 人工漁礁設置計画（案）</p> <p>設置箇所は、$4 \times 21 = 84$ 箇所となり、人工漁礁 1 箇所当たり $8 \times 1t$ コンクリートブロックとすれば $84 \times 8t = 672t = 280m^3$ のコンクリート量となり、鉄筋量は $100kg/m^3$ として $28t$ となる。コンクリート $477USD/m^3$ 及び鉄筋 $673USD/t$ とすると、人工漁礁工事費はおおよそ $280 \times 477 + 28 \times 673 = 152,000USD$ となる。</p> <p>結論：底生植物への影響に対する緩和策（相殺策）には、①人工栽培し、海底に植樹する、②人工漁礁を設置する、の 2 案がある。ガベス湾での人工漁礁計画の実績を考慮し、「②人工漁礁を設置する」緩和策の実現性が高いと判断し、本調査では②を、放流水による影響の緩和策（相殺策）として選択した。</p>	 <p>人工漁礁</p>	SONEDE / INSTM / ANPE	6,076 万円 / 508,000 (US\$)
2	取水・放流管掘削残土の処分による底生植物への影響 (~50,000m ³)	<p>底生植物のない場所に残土を処分する。下図に例を示す。</p>  <p>出典：JICA 調査団 図 8-6 海上残土処分計画（案）</p> <p>7km の運搬費を $5USD/m^3$ と推定すると、運搬費は $101,600m^3 \times 5USD/m^3 = 508,000USD$ となる。</p>	淡水化施設建設業者		

No.	影響	緩和策（提案）	実施団体	監視機関	費用
		備考：底生植物の状況を細かく確認することにより運搬距離の低減が可能。			
3	取水・放流管掘削・設置作業による漁業活動への影響	<p>建設工程を現地漁民に説明した上、濁水対策を実施し、必要な場合には補償を行う。濁水対策を下図に示すように汚濁防止柵を設置する。日本の単価で換算すると、工事区間の濁水対策は2億円程度である。</p>  <p>出典：JICA 調査団</p> <p>図 8-7 濁水対策工法（案）</p> <p>海水淡水化施設候補地から10km西南にあるマレシュ港は最も近い漁港である。取水・放流管周辺の漁船の数は20船程度と想定され、採貝漁業をしている人数は100人と考える。また、海岸周辺での掘削作業は半年程度となり、管の敷設作業は1年間と考える。したがって、BGの補償実績を考慮すると、補償が必要とされた場合、補償金額は12か月間×20船×(300TND+2×150TND)+6か月間×100人×30TND=162,000TNDとなる。</p>	<p>工程説明、濁水対策：淡水化施設建設業者</p> <p>補償：SONEDE</p>	SONEDE / UTAP (漁業組合)	<p>濁水対策：2億円 (1,667,000 US\$)</p> <p>漁業補償：989万円 (162,000 TND)</p>
4	送水管及び送電線に関わる用地取得	2003年4月14日発令の法律第26号による用地取得を行う。	SONEDE 用地取得局、STEG	SONEDE / 農業・水資源・漁業省	9章に記載する。
供用時					
5	高塩分濃度の放流水による底生植物への影響	<p>放流塔周辺で影響を受ける底生植物の損失は避けられないと考えられることから、放流塔周辺から離れた場所における相殺（off-set）策を提案する。対策には①底生植物を人工栽培し、海底に植樹する、②人工漁礁を設置する、の2案があり、本調査では②人工漁礁の設置が適していると判断する。</p> <p>結論：海底掘削及び放流水による底生植物への影響の緩和策（相殺策）として、②人工漁礁を設置することを選択した。設置計画例を図8-5に示す。それに要する費用は152,000US\$である。</p> <p>なお、影響の度合を確認するために、底生植物のモニタリング計画が必要となる。</p>	-	-	No.1に計上

出典：JICA 調査団

上記の緩和策費用は、表 8-9 に示すとおり、用地取得を除いて約 2 億 9 千万円となり、事業費の一

部として算入される。プロジェクト全体の費用を 500 億円とすれば、緩和策費用はその 0.6%程度となる。

表 8-9 緩和策費用

緩和策	費用	費用 (円換算) (US\$1=119.6 円) (TND1=61.02 円)	費目
人工漁礁	US\$152,000	18,179,000 円	工事費
残土処分	US\$508,000	60,757,000 円	工事費
濁水対策費	2 億円	200,000,000 円	工事費
漁業補償	TND162,000	9,890,000 円	補償費

8.6 モニタリング計画

本プロジェクトは主に海洋環境に影響するため、海水の水質及び底生植物の状況をモニタリングする必要がある。チュニジア国では、公共用水域へ排水することに対する基準として NT106-002 が制定されている。

水質のモニタリングに関して、施工中は管敷設作業現場（1 か所）と海岸（1 か所）の海水（及び PH、温度、電気伝導度、1 ヶ所当たり 1 サンプル）を毎月測定する。供用開始後は、放流点で上記の水質基準項目について水質測定を実施する（最初の年 2 回、次の 2 年間は 1 年 1 回、1 ヶ所当たり 1 サンプル）。上記の計画で行うモニタリングの結果を報告するために、モニタリングフォームを利用し、モニタリング結果によって結果の評価・調整アクションを行うこととする。

表 8-10 モニタリング計画

環境項目	項目	地点	頻度	責任機関
施工中				
水質	濁度、pH、温度、電気伝導度	管敷設作業沿と海岸沿 合計 2 か所	毎月	SONEDE
生態系 (底生植物)	表 8-11 の項目	管敷設場所周辺 2 ヶ所及び 処分地周辺 1 ヶ所、 合計 3 ヶ所	1 年 2 回	SONEDE (+INSTM)
供用時				
水質	海域排出基準 NT106-002 の項目	放流塔周辺、1 か所	初年度 2 回、以後 2 年間は 1 年 1 回	SONEDE
生態系 (底生植物)	表 8-11 の項目	人工漁礁 (1 ヶ所)、放流点、 放流点から 200 m の位置、 放流点から 1,000 m の位置、 合計 4 ヶ所	初年度 4 回、以後 2 年間は 1 年 2 回	SONEDE (+INSTM)

出典：JICA 調査団

表 8-11 底生植物（ポシドニア）のモニタリング項目

項目	備考
生物量（貝等）	生物のいる葉の割合（%）
悪い植物	例：C.racemosa の割合（%）
ポシドニアの割合	3 線（20m）の中生きている植物の長さ（%）
死んでいるポシドニアの割合	3 線（20m）の中死んでいる植物の長さ（%）
密度	40×40 cm ² の内、生きている植物の数
植物の形（Pl rhi）	40×40 cm ² の内、水平形の植物の数
重さ	葉の重量
葉の数（Ner leav）	植物当たりの葉の数
葉の長さ及び幅	（cm）
その他	

出典：INSTM、Ben Mustapha

8.7 ステークホルダー協議

現在のチュニジア国の法律ではステークホルダー協議の手続は定められていないが、JICA ガイドラインでは関係者からの意見聴取を求めており、プロジェクト関係者の合意形成を容易にするためにも、ステアリングコミティー主導によるステークホルダー協議を行うことが要望された。

これに従い、本事業コンポーネントがほぼ確定した段階において、ステークホルダー協議が開催された。その際に、本プロジェクトについての概要及びスコーピングの結果を発表した。

実施したステークホルダー協議・事業説明会は本事業に何らかの関係を持つ機関と住民を対象としたもので、本事業に関連する諸官庁や機関（ANPE、APAL、ONAS、ANGED...）、スファックス県、スファックス市、STEG、学識関係者、漁業関連団体、農業関連団体、及び各地区の住民代表を招待した。説明会開催の公示は SONEDE、大学、県庁等の掲示板に貼られ、個人の立場の方も参加した。説明会では、本事業の内容について説明を行い、用地取得や補償の方針についても口頭で説明した。

参加者のコメントを事業実施に向けて反映するため、以下のとおり提言する。

- 複数機関が EIA 実施に含まれているが（ANPE、APAL、INSTM 等）、EIA 実施の際にはスファックス大学及び ANPE、APAL、INSTM のスファックス支所を含めることが望ましい。
- BG の経験から、施工開始以前に現地の漁民及び漁業組合（UTAP）と協議し、施工計画の説明の上、協議結果によって、適切な補償計画を考えることが必要である。
- 本プロジェクトの効果を高めるため、配水システム改善計画を行いつつ、総合的に配水システムを評価し、改善することが適切である。

なお、SONEDE は環境社会影響調査（2015 年開始）の際に、改めてステークホルダー協議、及びプロジェクト周辺のコミュニティを対象とした住民説明会を行う予定である。その時期に用地取得及び建設影響を受ける地域で協議や説明会を開くことは適切であり、マレシュ（1 か所）、アガレブ（1 か所）、南スファックス（2 か所）で行うことが望ましい。説明会においては、改めてプロジェクトの内容（送電線を含む）、実施スケジュール、用地取得手続き、補償計画、及びそれに関わる cut-off-date 等について説明・協議を行うことが望まれる。

第9章 用地取得・住民移転

9.1 用地取得・住民移転の必要性

本事業の各コンポーネントの用地取得・住民移転の必要性を以下の表にまとめた。住民移転及び、大規模用地取得は行われない。

表 9-1 用地取得・住民移転の必要性

コンポーネント	土地利用	用地取得の必要性と手続	住民移転の必要性
海水取水管	海岸用地（国有地）	海岸用地を利用するため、コンセッション許可を得ることが必要。	なし
濃縮水排水管			
淡水化施設（RO型）			
送水管	基本的には既存道路用地範囲内（国有地）。数ヶ所が私有地地下になる可能性がある。	道路用地範囲内の場合には道路管理者との通常手続。私有地の場合は必要に応じ用地取得手続。	住民移転を避けるため、本プロジェクトの調整を行う（設備の位置等）との方針から、住民移転は行われない。
ポンプ場	淡水化施設候補地内及び既存配水池の敷地内（国有地及び SONEDE 所有地）。	なし	
サージタンク	最終位置が決まった段階で確認する（私有地の可能性）。	私有地の場合は用地取得手続。	
配水池	既存配水池の敷地周辺に拡張(将来)。	なし	
送電線	農地（私有地）	私有地の場合は用地取得手続。SONEDE が所有することになる。	

出典：JICA 調査団

本調査では用地取得の土地面積、建造物及びオリーブの木の補償対象を次表のとおり想定した。

表 9-2 送水施設に係る用地取得、建造物補償及び農作物補償

土地						
項目	地方	用地	面積			合計 (m ²)
			長さ(m)	幅(m)	面積(m ²)	
No.1	マレシュ	工場	275	8	2200	2,200
No.2	アガレブ	農地	1,320	8	10,560	10,560
No.3	南スファックス	工場	155	8	1,240	17,294
No.4		工場	100	8	800	
No.5		農地	970	8	7,760	
No.6		工場	205	8	1,640	
No.7		農地	31	17	527	
No.8		農地	31	17	527	
B12		農地	600	8	4,800	

土地							
項目	地方	用地	面積			合計 (m ²)	
			長さ(m)	幅(m)	面積(m ²)		
建造物							
項目	地方	種類	長さ(m)			合計(m)	
No.1	マレシュ	塀	275			275	
No.2	アガレブ	塀	150			150	
No.3	南スファックス	塀	155			810	
No.4		塀	100				
No.5		塀	350				
No.6		塀	205				
農作物							
項目	地方	種類	長さ(m)	幅(m)	面積(m ²)	本数	合計(本)
No.2	アガレブ	オリーブ 木 (25本/ha)	1320	15	19,800	50	50
No.5	南スファックス		970	15	14,550	37	61
No.7			31	17	527	2	
No.8			31	17	527	2	
B12			600	13	7,800	20	

出典：JICA 調査団

上記に加えて、送電鉄塔40基に関わる用地取得面積は4000m²、及び施工時の1鉄塔当たり20m×20mの面積の追加作業スペースが必要と想定し、その補償範囲は送電鉄塔一基当たり10m×10m（鉄塔用地面積）+20m×20m（施工作业スペース）=500m²/基、合計では40基×500m²/基=20000m²となり、オリーブでは2ha×25本/ha=50本の損害となる。線下補償費については、その対象面積は幅10m×15km=15haである。しかし、これまで線下補償の実績が無く、また、オリーブ畑の耕作を継続できることから、補償があったとしてもその補償金額はかなり安いことが想定される。本調査ではその金額を補償対象となる土地で生育しているオリーブを伐採した時の補償料に相当する金額と仮定した。これらの用地取得費及び線下補償費はSONEDEが負担することになる。

以上から、用地取得規模は最大3.41ha（送電線建設分を含む）、建造物補償は塀995m、農作物補償はオリーブ536本となる。

表 9-3 送水施設及び送電線に係る用地取得及び補償の要約

用地取得項目	送水施設			送電線	合計
	マレシュ	アガレブ	南スファックス		
土地 (m ²)	2,200	10,560	17,294	4,000	34,054
建造物 (塀, m)	275	150	810	-	1,235
農作物 (オリーブ本数)	-	50	61	50+375	536

出典：JICA 調査団

9.2 費用と財源

社会配慮に関わる適切な予算を立てるため、補償の費用及び財源を以下のように計画する。

(1) 用地取得に関わる費用

オリーブの木の補償単価は SONEDE の法務局から提示された別の用地取得例から 120TND/本、また、塀（壁）の補償単価は 50 TND/m と想定した。土地の単価は SONEDE スファックス支所（法務課）から提示された推定土地価格図に基づき評価した。

上記単価を適用し用地取得費と補償費を以下のとおり算出した。

表 9-4 送水施設及び送電施設に係る用地取得と補償の費用

土地						
項目	地域	用地	費用 (TND)			合計 (TND)
			面積(m ²)	単価 ¹⁾	合計	
No.1	マレシュ	工場用地	2,200	25	55,000	55,000
No.2	アガレブ	農地	10,560	30	316,800	316,800
No.3	南スファックス	工場用地	1,240	35	43,400	546,750
No.4		工場用地	800	35	28,000	
No.5		農地	7,760	35	271,600	
No.6		工場用地	1,640	35	57,400	
No.7		農地	527	25	13,175	
No.8		農地	527	25	13,175	
B12		農地	4,800	25	120,000	
送電線の鉄塔		STEG 計画による ²⁾	農地	4,000	30	
構造物						
項目	地域	種類	長さ(m)	単価	合計	合計 (TND)
No.1	マレシュ	塀	275	50	13,750	13,750
No.2	アガレブ	塀	150		7,500	7,500
No.3	南スファックス	塀	155		7,750	40,500
No.4		塀	100		5,000	
No.5		塀	350		17,500	
No.6		塀	205		10,250	
農作物						
項目	地域	種類	本数	単価	合計	合計 (TND)
No.2	アガレブ	オリーブ樹 (25 本/ha)	50	120	6,000	6,000
No.5	南スファックス		37		4,440	7,320
No.7			2		240	
No.8			2		240	
B12			20		2,400	

送電鉄塔・線下	STEG 計画による ²⁾		425		51,000	51,000
---------	--------------------------	--	-----	--	--------	--------

注1：2014年の単価

注2：対象地域はマレシュ、アガレブ、南スファックス

出典：JICA 調査団

上記の結果を地域毎に集計すると、マレシュ 68,750 TND、アガレブ 330,300 TND、南スファックス 594,570 TND となり、総計は 993,620 TND となる。その用地取得に関わる費用は周辺にある同様な不動産価格を考慮して設定しており、土地、建造物、農作物も含む再取得価格になる。

また、送電線に関わる用地取得・補償金額は 120,000TND（用地）+51,000TND（オリーブ）、合計 171,000TND であり、SONEDE が負担することになる。

(2) 漁業活動への影響対策の費用

漁業活動への影響対策の費用は 162,000 TND である。

(3) 社会配慮の予算・財源

本事業の用地取得及び漁業活動の補償に必要な費用は $993,620 + 171,000 + 162,000 = 1,326,620$ TND である。SONEDE によるプロジェクトであるため、SONEDE は用地取得用の予算を財源として充てることになる。

9.3 実施機関によるモニタリング体制とモニタリングフォーム

プロジェクトの実施スケジュールに関わるため、SONEDE による送電線に関わる用地取得・補償を含めて、社会配慮のモニタリングは PIU がモニタリングフォームを使用して実施する。

9.4 送電線建設に係る住民説明

JICA 調査団は、ステークホルダー協議・住民説明会に加えて、STEG が担当する海水淡水化施設への送電施設についての住民代表への説明及び意見を求めるアンケート調査の支援を行った。配布文書の内容は、送電線建設地域一般図、アンケート、事業概要及び送電線建設による用地取得と補償の実施方針であった。

スファックス県庁がチュニジア国内務省においてスファックス県を管轄する機関であり、各地域には県庁を通して接触しなければならないことから、SONEDE は前述の配布文書をスファックス県庁に送付し、各地域の代表者に送付しその回答を求めるように依頼した。その結果、スファックス県長から、前記の説明内容に対して、スファックス市、西スファックス市、及びティナ市から異論がないとの回答があり、県長も異論がないという回答を受け取った。現時点では送電線建設に対する反対意見はないと考えられる。

今後 STEG による送電線の詳細設計が行われる際に、SONEDE が社会調査を行い、対象地域・住民を確認し、用地取得範囲及び補償金額を明確にする予定である。また、対象地域において SONEDE が住民説明会を行い、影響対策・補償の方針等を説明し、反対意見がないことを確認する予定である。

第10章 事業実施計画

10.1 事業目的

本事業の目的は、チュニジア国第二の都市スファックスにおいて、海水淡水化施設を整備することにより、水供給能力の強化を図り、もって安定した飲料水の供給、水質の向上、更には国民の生活環境の向上に寄与することにある。

10.2 事業概要

本事業により整備される施設は、200,000 m³/日を生産するための海水淡水化施設及びその附属施設、生産水を既存配水池まで送水するための送水管及びそのための送水ポンプ施設や中継ポンプ場と附属施設、配水池の増設、そして海水淡水化施設に必要な電力を STEG 配電網から引き込むための電力設備などである。

本事業の全体計画及び円借款対象事業である第1期事業の概略は以下のとおりである。

表 10-1 概略事業内容

ロット/施設	全体計画	第1期事業（円借款対象事業）
ロット1 海水取水管（調達・建設） 海水淡水化施設（調達・建設） 海水濃縮水放流管（調達・建設）	取水量 444,400m ³ /日、延長約 3.6km（海底埋設配管）、管径 2,000mmx2 条、HDPE 管。 生産水量 200,000m ³ /日、RO 膜方式、回収率 45%、生産水 TDS 濃度 500mg/L 以下、送水ポンプ施設。 放流量 244,400m ³ /日、延長約 4.4km（海底埋設配管）、管径 1,800mm、HDPE 管、濃縮水 TDS 濃度 73,000mg/L 程度。	（全体計画分を建設） 取水量 222,200m ³ /日、延長約 3.6km（海底 3.2 km、陸上 0.4 km、埋設配管）、管径 2,000mmx2 条、HDPE 管。 （生産水量 100,000m ³ /日対応施設を建設） 生産水量 100,000m ³ /日、RO 膜方式、回収率 45%、生産水 TDS 濃度 500mg/L 以下、送水ポンプ施設。 （全体計画分を建設） 放流量 122,200m ³ /日、延長約 4.4km（海底 4.0 km、陸上 0.4 km、埋設配管）、管径 1,800mm、HDPE 管、濃縮水 TDS 濃度 73,000mg/L 程度。
ロット2 送水管（調達） 注：管径により区分し、2-1 と 2-2 の 2 サブロットとする。	管径 400~1400mm、延長約 49.5km の送水管建設に必要な管材。	（全体計画分を調達） 管径 400~1400mm、延長約 49.5km の送水管建設に必要な管材。ダクタイル鋳鉄管。 2-1：管径 1400mm と 1000mm、32.5km 2-2：管径 1000mm 未満、17.0km
ロット3 バルブ及びその他機器（調達）	管径 400~1400mm、延長約 49.5km の送水管建設に必要な管材に必要なバルブ及びその他機器。	（全体計画分を調達） 管径 400~1400mm、延長約 49.5km の送水管建設に必要なバルブ及びその他機器。
ロット4 送水管（建設） 水撃対策設備（調達・建設）	ダクタイル鋳鉄管 管径 400~1400mm、延長約 49.5km。 ワンウェイサージタンクを送水管沿いに 2 箇所建設、他に全ポンプ施設にフライホイール等の水撃対策設備を設置。	（全体計画分を建設） ダクタイル鋳鉄管、管径 400~1400mm、延長約 49.5km。 （全体計画分を建設） ワンウェイサージタンクを送水管沿いに 2 箇所建設、他に全ポンプ施設にフライホイール等の水撃対策設備を設置。
ロット5 配水池（調達・建設）	既存配水池の敷地内に新配水池建設（計 45,000m ³ ）、5 箇所の受水混合槽の建設。	（第1期必要分を建設） 既存配水池（Bou Merra）敷地内に新配水池。（5,000m ³ ）

ロット/施設	全体計画	第1期事業（円借款対象事業）
		（全体計画分を建設） 5 箇所の受水・混合槽の建設。 PK11: 9.0W x 15.0L x 5.0D Bou Merra: 4.0W x 3.0L x 5.0D PK10: 7.0W x 10.0L x 5.0D PK14: 7.0W x 7.0L x 5.0D Sidi Salah EH: 6.0W x 5.0L x 5.0D (内法寸法 W:幅、L:長、D:水深、単位:m)
ロット6 中継ポンプ場（調達・建設）	3 箇所、既存配水池敷地内に設置。	（土木・建築：全体計画分を建設、機械・電気施設：第1期必要分を設置） 3 箇所、既存配水池（PK11, PK10, PK14）敷地内に設置。
ロット7 電力引き込み線（調達・建設）	STEG 配電網から海水淡水化施設まで電力引込線建設。	（全体計画分を建設） STEG 配電網から海水淡水化施設まで電力引込線建設。 ロット1 で建設する海水淡水化施設の電気関連工事及びロット6 で建設するポンプ施設の電力接続工事に対する STEG による支援を本ロットに含めることを SONEDE は希望している。

10.3 コンサルティング・サービスの内容

本円借款対象事業において、コンサルティング・サービスは、詳細設計（入札図書作成を含む）（ロット1～ロット6）、入札補助、施工監理を含むものとする。コンサルティング・サービスに関わる主要事項は以下のとおりである。

(1) コンサルティング・サービス対象

全ロット（ロット1～ロット7）

(2) コンサルティング・サービス期間

- 詳細設計：12 か月間
- 入札補助：15 か月間
- 施工監理：60 か月間（ロット1（海水淡水化施設建設）の建設工事期間を包含する48 か月間（性能試験期間12 か月間を含む）及び瑕疵担保期間を包含する12 か月間）
- 合計87 か月間（瑕疵担保期間を除く）

(3) コンサルティング・サービス要員人月

コンサルティング・サービス要員の総人月数を、以下のとおり想定した。

表 10-2 コンサルティング・サービス要員人月数

単位：人月

要員種別	詳細設計	入札補助	施工監理	合計
外国技術者	77.0	36.0	190.5	303.5
現地技術者	84.0	16.0	406.5	506.5
現地サポートスタッフ	149.0	61.0	491.0	701.0
合計	310.0	113.0	1,088.0	1,511.0

(4) コンサルティング・サービス費用

コンサルティング・サービス費用は 2,486 百万円（外貨 951 百万円、内貨 25 百万 TND。ベースコスト）である。詳細を表 10-3 に示す。

表 10-3 コンサルティング・サービス費用

US\$ 1.00 = 119.6 円
TND 1.000 = 61.02 円

項目	単位	数量	外貨部分 (円)		内貨部分 (TND)		合計 (円)
			単価	金額 ('000)	単価	金額 ('000)	金額 ('000)
A Remuneration							
1 Professional (A)	M/M	303.5	2,895,000	878,633	0	0	878,633
2 Professional (B)	M/M	506.5	0	0	16,000	8,104	494,506
3 Supporting Staff (C)	M/M	701.0	0	0	12,000	8,412	513,300
Subtotal of A		1511.0		878,633		16,516	1,886,439
B Direct Cost							
1 International Airfare	Trip	103	650,000	66,950			66,950
2 Domestic Airfare	Trip	0					0
3 Domestic Travel	Trip	103			250	26	1,571
4 International Travel Expenses	Trip	103	50,000	5,150			5,150
5 Accommodation / Per Diem for A	Month	304			8,000	2,428	148,157
6 Accommodation / Per Diem for B	Month	507			4,800	2,431	148,352
7 Accommodation / Per Diem for C	Month	0					0
8 Vehicle Rental w/Driver and Fuel	Month	297			10,000	2,970	181,229
9 Office Rental	Month	63			4,000	252	15,377
10 International Communications	Month	77			1,000	77	4,699
11 Domestic Communications	Month	75			500	38	2,288
12 Office Supply	Month	75			1,000	75	4,577
13 Office Furniture and Equipment	LS	1			40,000	40	2,441
14 Report Preparation	Month	77			2,000	154	9,397
15 Topographic Survey	LS	1			100,000	100	6,102
16 Soil Investigation	LS	1			50,000	50	3,051
17 Water Quality Analysis	LS	1			3,000	3	183
Subtotal of B				72,100		8,643	599,523
Total				950,733		25,159	2,485,962

10.4 事業費と資金計画

本事業の事業費は総額 52,587 百万円であり、そのうち外貨部分は 26,696 百万円、内貨部分は 424 百万 TND である。円借款予定額は 44,013 百万円である。調達項目と外貨・内貨の内訳は表 10-4 に示すとおりである。事業費計算の前提条件は以下のとおりである。

- 1) 単価基準： 2015 年 5 月
- 2) 為替レート： TND1.000 = 61.02 円、USD 1.00 = 119.6 円 (2015 年 5 月)
- 3) 物理的予備費： 本体事業費 5%、コンサルタント費 5%
- 4) 価格予備費： 本体事業費・コンサルタント費 内貨 1.5% 外貨 1.8%
- 5) 税金： VAT 18% (建設/調達)、12% (コンサルタント)
- 6) 輸入関税： 0.36% と設定した。

- 7) 一般管理費： 総事業費の3% (類似事業の実績から推定)
 8) 建中金利： 本体事業費1.7%、コンサルタント費0.01% (円借款金利)
 9) フロントエンドフィー：借款金額の0.2%
 (借款契約時に借款金額の0.2%、目標期日前貸付完了達成の場合0.1%を遡及的に免除)

10) 内貨と外貨の区分

建設費の単価は、現地建設業者、SONEDE 事業実績、及び機器製造業者の見積りや価格表に基づき設定し、内貨と外貨に区分した。内貨・外貨の比率は現地建設業者への聞き取り調査及び過去の同種事業の経験に基づき推定した。

表 10-4 事業費 (第1期事業)

単位：FC・Total：百万円、LC：百万TND

Item	Total		
	FC	LC	Total
A. ELIGIBLE PORTION			
I) Procurement / Construction	22,165	312	41,174
Lot1: Construction of Sea Water Desalination Plant (ICB) *PQ, Design Build	14,163	191	25,826
Lot2-1: Procurement of Pipes 1000mm & 1400mm (ICB)	2,189	4	2,432
Lot2-2: Procurement of Pipes less than 1000mm (ICB)	436	1	484
Lot3: Procurement of Valves & Other Equipment (LCB)	511	1	568
Lot4: Construction of Transmission Pipeline (ICB)	40	48	2,940
Lot5: Construction of Reservoir (LCB)	0	5	307
Lot6: Construction of Pumping Stations (ICB) *Design Build	1,565	14	2,405
Lot7: Construction of Power Supply Line (STEG)	0	7	444
Base cost for JICA financing	18,904	270	35,406
Price escalation	2,206	26	3,807
Physical contingency	1,055	15	1,961
II) Consulting services	1,095	29	2,839
Base cost	951	25	2,486
Price escalation	82	2	196
Physical contingency	49	1	128
Total A (I + II)	23,260	340	44,013
B. NON ELIGIBLE PORTION			
a Procurement / Construction	0	0	0
Base cost for JICA financing	0	0	0
Price escalation	0	0	0
Physical contingency	0	0	0
b Land Acquisition	0	1	88
Base cost	0	1	81
Price escalation	0	0	3
Physical contingency	0	0	4
c Administration cost	0	22	1,323
d VAT	0	60	3,647
e Import Tax	0	1	80
f Interest during Construction	3,348	0	3,348
Interest during Construction (Construction)	3,347	0	3,347
Interest during Construction (Consultant)	2	0	2
g Front End Fee	88	0	88
Total B (a+b+c+d+e+f+g)	3,436	84	8,574
C. GRAND TOTAL (A+B)			
	26,696	424	52,587
D. JICA finance portion (A)			
	23,260	340	44,013

TND1.000 = 61.02 円、USD 1.00 = 119.6 円

注：四捨五入のため Total は個々の数値の合計とは合わない。

本事業の円借款対象適格な事業費は総額で44,013百万円であり、総事業費52,587百万円の約83.7%にあたる。チュニジア国の場合は融資比率の上限が85%のため、円借款対象適格な事業費の総額が円借款金額となる。円借款融資比率及び年度別資金計画を表10-5と表10-6に示す。

表 10-5 融資比率

単位：百万円

総事業費	円借款	自己資金	融資比率
52,587	44,013	8,574	83.7%

出典：JICA 調査団

表 10-6 年度別資金計画

単位：百万円

年	総事業費	円借款	自己資金
2015	88	0	88
2016	0	0	0
2017	725	610	115
2018	364	283	80
2019	6,238	5,571	667
2020	10,976	9,579	1,397
2021	10,769	9,292	1,477
2022	10,082	8,541	1,541
2023	9,668	8,083	1,584
2024	2,809	1,900	909
2025	869	153	716
合計	52,587	44,013	8,574
割合	100.0%	83.7%	16.3%

出典：JICA 調査団

10.5 調達方法

10.5.1 コンサルタントの雇用

JICA コンサルタント雇用ガイドラインに則り、借款コンサルタントは、以下の一連の手続きを経て、ショート・リスト方式で選定される。

- 1) ショート・リスト作成
- 2) プロポーザル提出要請
- 3) プロポーザル提出
- 4) 技術プロポーザル開札、評価
- 5) 価格プロポーザル開札、評価
- 6) 契約交渉、契約

10.5.2 施工業者の調達

本事業構成施設の内容、入札の競争性の確保及び調達の容易性に鑑み、第1期事業を以下に示す7

ロットに分けた。建設事業においてはそれぞれの特徴に鑑み、ロット1とロット6はデザインビルド方式、ロット2~5は請負方式が適切であると考えられる。

- 1) ロット1：海水淡水化施設
 - 海水取水管、海水淡水化施設、濃縮水放流管、送水ポンプ施設などの調達・建設を行う。
 - 契約形態をデザインビルド方式として、事前資格審査（PQ）を行い、国際競争入札により施工業者を選定する。
 - 本体工事終了後、施工業者による1年間の性能試験を実施する。
- 2) ロット2：送水管管材調達
 - 送水管の管材を調達する。
 - 物品調達として国際競争入札により納入業者を選定する。
 - 本ロットは入札の競争性を高めるため、サブロット2-1（管径1400mm及び1000mm）とサブロット2-2（管径1000mm未満）に分割する。
 - サブロット2-1とサブロット2-2は同時に入札するものとし、応札者はどちらか片方あるいは両方のサブロットに入札できる。
- 3) ロット3：バルブその他機器調達
 - 送水管に係るバルブ及び関連機器の資機材を調達する。
 - 物品調達として現地競争入札により納入業者を選定する。
- 4) ロット4：送水管建設
 - 送水管約49.5km及び水撃対策施設2箇所を建設する。
 - 契約形態を請負方式として、国際競争入札により施工業者を選定する。
- 5) ロット5：配水池建設
 - 配水池1池及び既存各配水池用地に受水/混合水槽5池を建設する。
 - 契約形態を請負方式として、現地競争入札により施工業者を選定する。
- 6) ロット6：ポンプ場建設
 - ポンプ場3箇所を建設する。
 - 契約形態をデザインビルド方式として、国際競争入札により施工業者を選定する。
- 7) ロット7：電力引き込み線建設
 - 海水淡水化施設に係る電力をSTEG配電網から引き込む電力線を建設する。
 - 工事はSTEGとSONEDEとの随意契約によりSTEGが担当する。工事費は事業費に含まれ円借款の対象となる。
 - ロット1で建設する海水淡水化施設の電気関連工事及びロット6で建設するポンプ施設の電力接続工事に対するSTEGによる支援を本ロットに含めることをSONEDEは希望している。ロット1に対するSTEGの支援に係る費用としてSTEGの見積金額をロット7の工事費に計上している。ロット6ポンプ施設の電力接続工事については、海水淡水化施設とは異なり、比較的低電圧で受電するため、これまでSONEDEが実施してきたように通常の受電工事で行えることから、STEGとの協議の必要はあるものの費用を計上するほどの本格的な支援は必要ないと判断した。

コンサルタントの雇用及び施工業者の調達金額並びに雇用・調達方法を表10-7に示す。

表 10-7 コンサルタントの雇用及び施工業者の調達

Lot	Contents	Type of Bid	Type of Contract	Base Cost*		Procurement of Consultant				Type of SBD#
				TND (1000TND)	equiv. Yen (1000Yen)	Detailed Design	Preliminary Design	Tender Assistance	Construction Supervision	
Lot 1:	Sea Water Desalination Plant Construction Work	PQ-ICB	Design-Build	423,245	25,826,438	-	JICA Loan	JICA Loan	JICA Loan	1, 2
Lot 2-1:	Pipe Materials Procurement (1400 & 1000)	ICB	BOQ	39,860	2,432,246	JICA Loan	-	JICA Loan	JICA Loan	3
Lot 2-2:	Pipe Materials Procurement (Less than 1000)	ICB	BOQ	7,931	483,946	JICA Loan	-	JICA Loan	JICA Loan	3
Lot 3:	Valve and Other Materials Procurement	LCB	BOQ	9,301	567,541	JICA Loan	-	JICA Loan	JICA Loan	-
Lot 4:	Transmission Pipeline Installation	ICB	BOQ	48,179	2,939,856	JICA Loan	-	JICA Loan	JICA Loan	4
Lot 5:	Reservoir Construction Work	LCB	BOQ	5,023	306,503	JICA Loan	-	JICA Loan	JICA Loan	-
Lot 6:	Pump Facility Construction Work	ICB	Design-Build	39,420	2,405,399	-	JICA Loan	JICA Loan	JICA Loan	2
Lot 7:	Power Supply Service Une Construction Work	Direct Contracting w/ STEG		7,283	444,409	STEG	-	-	STEG**	4
CS:	Consulting Services	Short-List	Time-based	40,740	2,485,962	JICA Loan		JICA Loan	JICA Loan	5
	Total			620,982	37,892,300					

Notes. * : Price Escalation and Physical Contingency are excluded .

Exchange Rate: 61.02 Yen/TND

** : Watched by Consultant

SBD#: Standard Bidding Documents of JICA to be applied

1: Standard Prequalification Documents, JICA

2: Standard Bidding Documents-EQUIPMENTS (Plant), JICA

3: Standard Bidding Documents-BIENS (Goods), JICA

4: Standard Bidding Documents-TRAVAUX (Works), JICA

5: Standard Request for Proposals, JICA

Source: Minutes of Discussion of Sfax Sea Water Desalination Plant Construction Project between JICA, Government of Tunisia and SONEDE, 6 February 2015

10.6 事業実施スケジュール

日本政府の本事業の円借款に係るプレッジが2015年12月に行われると仮定して、円借款に係る諸手続きスケジュールを考慮した事業実施スケジュールを表10-8及び図10-1に示す。全体スケジュールは建設前ステージと建設ステージに分けられる。なお、表10-8は本事業のクリティカル・パスとなるロット1を主体にまとめている。

表 10-8 概略事業実施スケジュール

事業活動	所要期間（月）	想定時期／期間
1.円借款プレッジ（プレッジ後に実施機関 - JICA 間の調達手続きを開始できる）		2015.12
2.円借款交換公文		2016.3
3.円借款契約		2016.3
4.EIA 調査	12	2015.6 - 2016.5
5.EIA 承認		2016.9
6.コンサルタント選定	24	2015.7 - 2017.6
7.コンサルティング・サービス（ロット1～7）	87	2017.7 - 2024.9
7.1 詳細（概略）設計（ロット1～6）*	(12)	2017.7 - 2018.6
7.2 入札補助（ロット1～6）	(15)	2018.7 - 2019.9
7.3 施工監理（ロット1～7）	(60)	2019.10 - 2024.9
8.施工業者選定（ロット1）	23	2017.11 - 2019.9
9.建設工事（ロット1）,(性能試験**12か月間を含む)	48	2019.10 - 2023.9
10.施設引渡・施設供用開始（ロット1）		2023.10
11.瑕疵保証期間（ロット1）	12	2023.10 - 2024.9

*:ロット1及び6についてはデザインビルド契約に対応する概略設計と入札図書作成、ロット2及び3については資材調達に対応する入札図書作成、ロット4及び5については建設契約に対応する詳細設計と入札図書作成を実施する。ロット1については、この期間中に事前資格審査（PQ）書類作成及びPQ応札書類評価も行う。

**：施設建設工事完了後の建設業者による性能試験。SONEDEは工事完了後の施設は借受する。試験運転に必要な電力・薬品・人件員の費用は工事費に含める。ただし、電力費と薬品費は暫定金額（Provisional Sum）として一定条件の下に費用を見積もって入札し、試験運転期間中に費やした実費を精算する。試験期間は12か月間とし、試験完了後に施設をSONEDEに引き渡す。瑕疵担保期間は施設引渡し後12か月間とする。

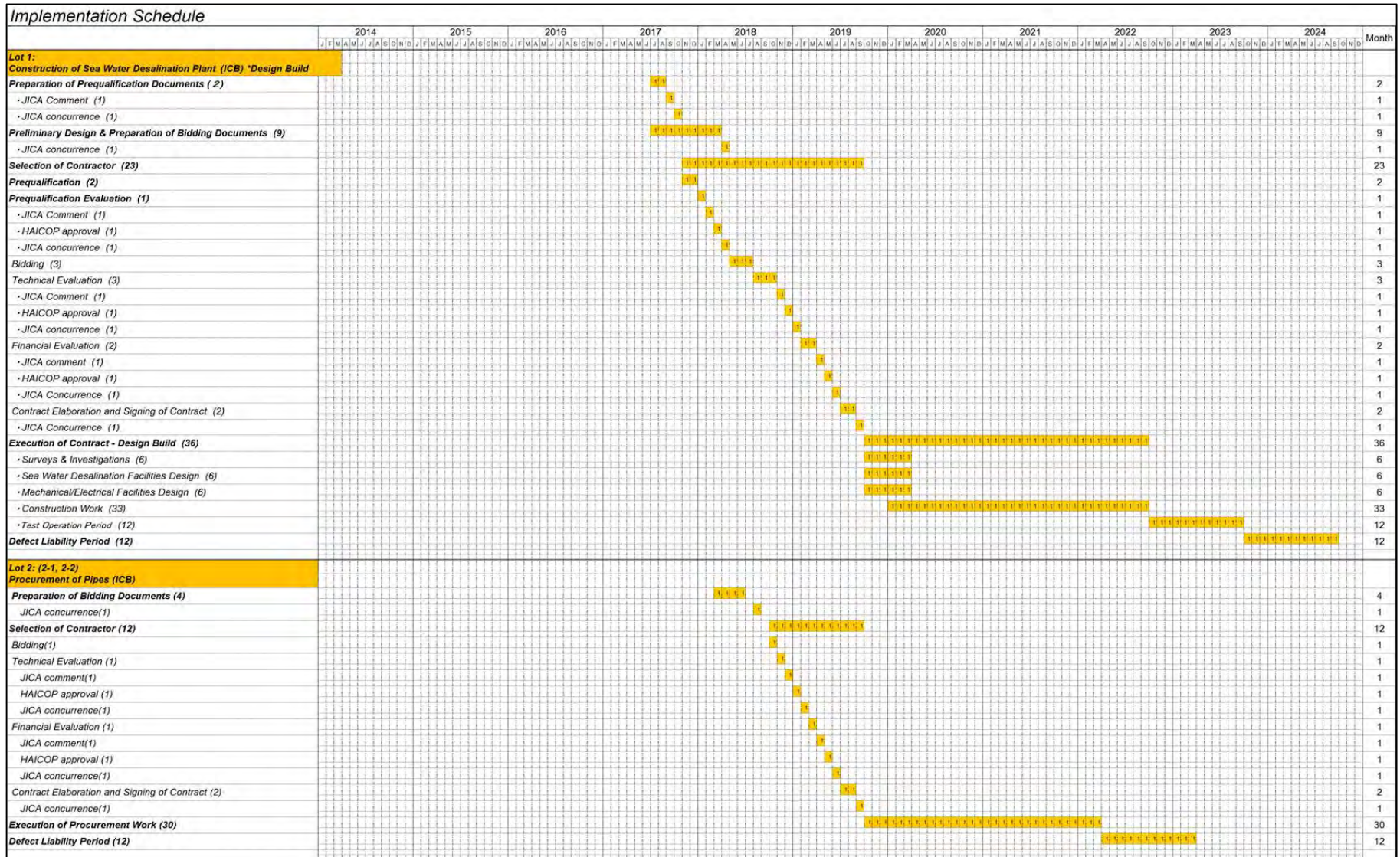


図 10-1 事業実施スケジュール (2/4)

10.7 運転・維持管理費

運転・維持管理費は SONEDE の既存淡水化施設の運用実績などから海水淡水化施設の運転・維持管理に必要な費用を見積った。資金移動を伴わない減価償却費は除外する。

海水淡水化施設生産水量を 100,000m³/日と想定した海水淡水化施設及び関連送水システムの運転・維持管理費は表 10-9 に示すとおり 36,990,400 TND/年であり、単位水量当たり 1.013 TND/m³となる。

表 10-9 年間運転・維持管理費用

単位：TND/年

施設	電力費	薬品費	RO 膜交換費	人件費	その他機器 維持管理費	合計
海水淡水化施設	24,893,400	2,717,000	2,898,000	570,000	1,703,000	32,781,400
送水施設	1,840,000	0	0	75,000	195,000	2,110,000
中継ポンプ場	1,438,000	0	0	195,000	466,000	2,099,000
合計	28,171,400	2,717,000	2,898,000	840,000	2,364,000	36,990,400

出典：JICA 調査団

10.8 事業実施体制

10.8.1 借入人

本事業の円借款の借入人はチュニジア国政府であり、開発・投資・国際協力省が窓口となる。

10.8.2 事業実施機関

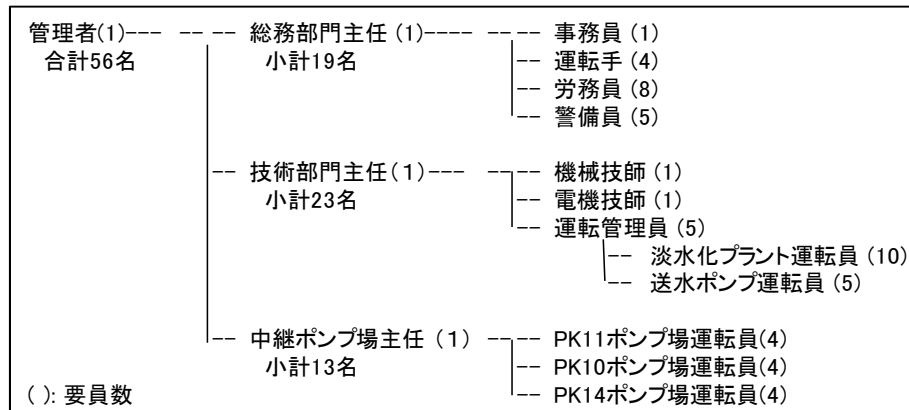
事業実施機関である SONEDE 側の実施体制は、計画/設計及び調達（契約まで）については調査局、施工については新規事業局が担当し、これに加えて財務面からフォローアップする人員が参画する。計画/設計時の実施体制は、調査局の本社機構（水処理部、土木部、水理部、地形部、入札準備・モニタリング部、淡水化・環境影響部）と、支社機構である中部・南部支社（南東部水理課、中部・南部設備課、土木課）が参画する。

施工時の実施体制は、新規事業局の本社機構（プロジェクト監査・市場調査部）と南部支社（水文地質部、技術部、用地部、工事サイト管理部、評価部）が参画する。

また、本プロジェクトのような大規模な建設プロジェクトでは、円滑な事業実施に向けた連絡調整機関として、事業実施ユニット（PIU：Project Implementation Unit）を SONEDE 内部に設立することが通例である。本プロジェクトでは、ジェルバ島海水淡水化施設の建設プロジェクト（KfW 及び AFD 融資）で設置される PIU が、本施設建設事業及びガベス淡水化施設建設事業（AfDB 融資予定）を引き続き担当する見通しである。

10.8.3 本事業で建設される施設の運転・維持管理組織

本事業で建設される海水淡水化施設及び中継ポンプ場の運転・維持管理組織案を図 10-2 に示す。



出典： JICA 調査団

図 10-2 スファックス海水淡水化施設及び中継ポンプ場運転・維持管理組織案

10.9 財務・経済分析

以下に財務的内部収益率（FIRR）と経済的内部収益率（EIRR）の検討結果を示す。

10.9.1 FIRR

FIRR の計算には、費用として本体事業費と評価期間の運営維持管理費を、評価期間の売上高を財務便益とし、これらを基に IRR を計算する。

(1) 資本の機会費用

資本の機会費用は、チュニジア中央銀行発表の 2015 年 5 月市場平均金利 4.77%を目安とする。

(2) FIRR 算出

現在の水道料金水準では海水淡水化施設の運営維持管理費をベースにした上記条件を基に算出した純利益は全てマイナスとなるため、FIRR が算出できない。しかし、国際機関が参考値とする可処分所得の 4%と比べると、チュニジア国の現在の料金水準は相当に低い水準であり、今後の継続した値上げの検討もなされているため、料金水準のいくつかのパターンについて感度分析を実施した。

事業費 (Project Cost)

表 10-4 に示す事業費から以下の費用を使用

- I) Procurement / Construction と II) Consulting Services それぞれに Physical Contingency の 5%を加味した金額 (CAPEX 負担無しの場合には非算入)
- Administration Cost (CAPEX 負担無しの場合にも算入)
- Land Acquisition (CAPEX 負担無しの場合にも算入)
- VAT/Import Tax (CAPEX 負担無しの場合にも算入)
- Price Escalation と IDC は非算入

運転・維持管理費 (Operation & Maintenance Cost)

表 10-9 の金額を使用。ただし、その 10%は固定費とし、90%を生産水量に応じて比例計算する。

$$\text{運転維持管理費 (TND)} = 36,990,400 \times (0.1 + 0.9 \times (\text{年間生産水量} / (100,000 \times 365)))$$

なお、2022 年 10 月から 1 年間は性能試験期間として工事費に海水淡水化施設の運転管理費が含め

られている。したがって、2023年の運転維持管理費は3か月分（2023年10月～12月）を計上した。

売上高 (Revenue)

売上高は、(年間想定生産水量⁴x 販売単価) で計算。料金水準を上げる場合は2022年から5年間の段階引き上げを見込んだ。なお、2022年10月から1年間は性能試験期間であるが、生産水は配水されて売り上げになるものとして計上している。2026年以降は、第1期施設は全稼働(100,000m³/日)すると想定した。

(3)感度分析

初期投資事業費を含むケース (FIRR with CAPEX) と含まないケース (FIRR without CAPEX) について、料金水準による感度分析結果を表10-10に示す。実質的に SONEDE は建設費及びコンサルタント費を負担しないため、FIRR without CAPEX の結果が現実的である。FIRR の算出結果を以下に示す。

表 10-10 ケース別 FIRR 算出結果

単位：円

料金水準	0.382TND/m ³	1.154TND/m ³	1.258TND/m ³	2.022TND/m ³	3.035TND/m ³
同上 ⁵ (SONEDE 全体)	0.382TND/m ³	0.418TND/m ³	0.423TND/m ³	0.458TND/m ³	0.505TND/m ³
算定対象	CAPEX なし	CAPEX なし	CAPEX なし	CAPEX 込み	CAPEX 込み
事業費*	4,680,560,928	4,680,560,928	4,680,560,928	44,467,475,906	44,467,475,906
運営維持管理費*	49,017,529,664	49,017,529,664	49,017,529,664	49,017,529,664	49,017,529,664
売上高** **	18,322,625,771	53,712,005,950	58,479,487,218	93,456,296,903	139,939,239,263
総利益*	▲35,375,464,822	13,915,358	4,781,396,625	17,132,499	46,454,233,693
FIRR	—	0.02%	4.79%	0.00%	4.77%

*：36年間のプロジェクト期間の合計、**：本事業による配水量を対象に水道料金単価を乗じた。

出典：JICA 調査団

料金水準が0.382TND/m³ではFIRRは計算できないが、1.154 TND/m³でFIRRはプラスに転じ、FIRRは0.02%となる。また、1.258 TND/m³まで料金水準を上げることができればFIRRは4.79%まで上昇して、資本の機会費用を上回る。初期投資事業費を含む場合は3.035 TND/m³まで料金水準を上げることができれば、FIRRが資本の機会費用と同等になる。

表 10-11 FIRR 感度分析 (料金水準)

Tariff (TND/m ³)	1.154	1.200	1.258	1.500	1.750	2.022	2.250	2.500	2.750	3.035
FIRR without CAPEX	0.02%	2.41%	4.79%	11.85%	17.18%	21.96%	25.44%	28.86%	31.95%	35.16%
FIRR with CAPEX	-10.54%	-9.05%	-7.67%	-4.14%	-1.86%	0.00%	1.29%	2.53%	3.63%	4.77%

出典：JICA 調査団

⁴ 日平均生産水量 (日最大生産水量/1.4) x365 日

⁵ SONEDE の供給水量全体を値上げした場合。後述 10.12.1 (7)参照。

(4)事業全体への影響

上述した SONEDE の配水量全体の料金水準を引き上げて本事業の初期投資及び運転維持管理費を賄う場合の料金水準を表 10-12 にまとめて示す。なお、FIRR 計算では、急激な料金値上げを避けるために、2022 年から 5 年間をかけて現在の料金水準から設定水準まで引き上げることを想定している。本事業において初期投資を考慮しない場合に、運転・維持管理費を賄い FIRR を正とするには、料金水準を現在の 0.382 TND/m³ から 2026 年までに 0.418 TND/m³ に、FIRR が資本の機会費用 4.77% を上回るには、料金水準を 2026 年までに 0.423 TND/m³ に引き上げる必要がある。

表 10-12 SONEDE 供給全水量で本事業の費用を賄う場合の料金水準

単位:TND/m³

設定料金 水準	設定条件	年	2021 2022 2023 2024 2025 2026					
			2021	2022	2023	2024	2025	2026
0.413	初期投資費用を全く考慮しない。 運転維持管理費のみ賄う。 FIRR<0	水道料金	0.382	0.388	0.394	0.401	0.407	0.413
		値上率	8.1% (1.57%/年)					
0.418	借款対象の初期投資費用を考慮しない。 運転維持管理費を賄う。 FIRR>0	水道料金	0.382	0.389	0.397	0.404	0.411	0.418
		値上率	9.4% (1.81%/年)					
0.423	借款対象の初期投資を考慮しない。 運転維持管理費を賄う。 FIRR>資本の機会費用(4.77%)	水道料金	0.382	0.390	0.398	0.406	0.415	0.423
		値上率	10.7% (2.05%/年)					
0.458	初期投資を考慮する。 運転維持管理費を賄う。 FIRR>0	水道料金	0.382	0.397	0.412	0.428	0.443	0.458
		値上率	19.9% (3.69%/年)					
0.505	初期投資を考慮する。 運転維持管理費を賄う。 FIRR>資本の機会費用(4.77%)	水道料金	0.382	0.407	0.431	0.456	0.480	0.505
		値上率	32.2% (5.72%/年)					

注：現在の SONEDE による総配水量と海水淡水化施設生産水量を加えた 1,551,000m³/日 (566,071,000 m³/年) を対象とする。

10.9.2 EIRR

(1) EIRR

EIRR の算出には FIRR で使用した財務費用と財務便益とは別に、社会的便益を貨幣価値化した経済的便益と経済的費用を使用する。EIRR を計算した結果を以下に示す。EIRR は 12.08% となり、社会的割引率 10% を上回る経済的便益が見込まれる。EIRR の算出結果を表 10-13 に示す。

キャッシュフローの各項目の算出根拠は以下のとおり。

事業費 (Project Cost)

表 10-4 事業費から、以下を使用する。

- I) Procurement / Construction と II) Consulting services それぞれに Physical contingency の 5% を加味した金額
- Administration Cost
- Price escalation、Land Acquisition、VAT、IDC は除外
- 内貨 (LC) は SCF (0.98) で経済的価格に変換。

運転・維持管理費 (Operartion & Maintenance Cost)

・表 10-9 の金額を日本円に換算し使用。ただし、その 10%は固定費とし、90%を生産水量に比例して増減する。

便益 (経済的価格) (Economic Price of Water)

・アンケート結果を基に算出した 4.488TND/m³ を水の経済的価格と推定し、海水淡水化施設生産水量 (年間生産水量=日平均生産水量⁶×365 日) を乗じて、便益として算入する。

表 10-13 EIRR 算出結果

単位：円

総費用	事業費	40,983,078,860
	運転・維持管理費	49,017,529,664
総便益	便益 (経済的価格)	215,266,870,311
総利益		125,266,261,787
EIRR		12.08%

出典：JICA 調査団

(2) 感度分析

事業費が 10 % 上昇した場合、経済的便益が 10% 減少した場合、及び便益の発生が 1 年遅延した場合について感度分析を実施した結果を以下に示す。基準ケースでは EIRR は 12.08 % となり、社会的割引率 10% を上回る経済的便益が見込まれる。その他のケースでも、EIRR は社会的割引率 10 % を上回る経済的便益が見込まれる。

表 10-14 EIRR 感度分析

Case	BASE	CAPEX +10%	Benefit -10%	1 year Delay
EIRR	12.08%	10.93%	10.47%	10.79%

出典：JICA 調査団

10.10 運用・効果指標

運用指標として給水量及び施設利用率を設定した。また、海水淡水化施設の稼働により各配水池からの配水の TDS 濃度を大きく低下することができる。SONEDE はその目標値を 1500mg/L 以下としており、本事業の実施によりその達成が可能になることから運用指標の目標値とする。

表 10-15 本事業モニタリング指標

指標	指標計測方法	時期	基準値 (2013)	目標値 (2025*)
給水量 (m ³ /日)	一日最大給水量 = (年間一日給水量のうち最大のもの)	毎年	-	100,000m ³ /日 (最大給水量)
最大施設利用率 (%)	施設利用率 (最大) = (一日最大給水量) / (施設能力) x 100	毎年	-	100% (最大利用率)
水質	各配水池 TDS 濃度	毎年	1,852~2,257mg/L	1500mg/L 以下

* : 2023 年 (引渡し予定) から 2 年後

出典：JICA 調査団

⁶ 日平均生産水量 = 日最大生産水量 / 1.4

第11章 事業実施に係る懸念及びリスクの確認

第4章で海水淡水化施設を整備する必要性を検証した。同施設建設の実施に関して、財務面、環境面、電力供給面における懸念があり、本章ではそれらについて考察する。合わせて、現段階で考えられるリスクとその軽減策における検討結果を記載する。

11.1 財務に係る懸念について

本事業の海水淡水化施設建設において、政府が初期費用を負担する計画となっている。そのため SONEDE の財務面においては初期費用負担の考慮は必要ないことになる。しかし、運転・維持管理費に関しては、SONEDE が自主財源で賄うことになる。現在の SONEDE の財務運営状況では、何らかの対策を講じない限り、海水淡水化施設の運転・維持管理費による費用増加を賄うことはできず、収入を増加させて運転・維持管理費を負担することが現実的である。

SONEDE は全国一律の料金体系をとっているため、本事業実施に伴う増加生産費用を全国一律に利用者に課すことを考えると、必要な水道料金は約 0.413TND/m^3 ^{7*}となる。これは現在の料金水準に対して約 0.031TND/m^3 （または約 8.1%）の値上げになる。また、値上げ後の水道料金の可処分所得に対する割合は 0.67% 程度であり、支払い可能な水準である。

*: SONEDE の自己負担も含めた初期投資を全く考慮せず、運転・維持管理費のみを採算の対象とした場合が 0.413TND/m^3 であり、運転・維持管理費及び初期投資のうちの SONEDE の自己負担分を考慮し、初期投資のうちの円借款対象分を考慮しない場合は必要な水道料金は約 0.418TND/m^3 となる。

11.2 環境に係る懸念について

本事業実施による環境に対する影響は海域における問題と陸上における問題に分けられる。

海水淡水化施設の取水管及び放流管は海中に設置するため、海域の環境に直接影響を及ぼす。現在想定される施設用地の前面海域にはいずれも海草が生育しており、何らかの海棲生物の生育環境となっている可能性がある。ただし、本調査の実施時点では海草以外に特筆すべき生物は確認できず、環境当局へのヒアリングでも特に問題となるようなことはないと回答を得ている。EIA 調査により詳細な調査が行われるため、この点について問題の有無が確認されることになる。しかし、取水管及び放流管の埋設時に海底を掘削するため、海草が一時的に生育できなくなることは確実であり、この点について工事時に影響範囲を出来る限り小さくするような配慮が必要である。また、放流水の影響により、限定された範囲で継続的に海草の生育に影響を及ぼすことが懸念される。このため、影響緩和策として相殺対策を導入することが必要である。

海水淡水化施設の建設が海岸部の未利用地で行われることになるため、工事中の工事車両の往来により引き起こされる問題以外は陸上環境への大きな影響はない。主として幹線道路沿いに送水管工事が相当の長距離で埋設されるが、工事時に極力影響を低減させるような交通規制を実施するような配慮が必要である。

⁷ SONEDE の自己負担も含めて初期投資を全く考慮せず、運転・維持管理費のみを採算の対象とした場合は 0.413TND/m^3 であるが、運転・維持管理費及び初期投資のうちの SONEDE の自己負担分を考慮し、初期投資のうちの円借款対象分を考慮しない場合は、必要な水道料金は約 0.418TND/m^3 となる。

以上、今後、EIA が実施され環境への影響が明確になるため、それに対する影響緩和策を講じていくことにより、環境への影響は一時的なものに抑えることが可能である。

11.3 電力供給に係る懸念について

今回計画する海水淡水化施設は、全体計画では約 40 MW の需要電力を想定している。STEG は電力供給方法の概要および 40 MVW (150 kV) の電力供給が可能であることを文書で回答している。既に SONEDE と STEG の間で電力供給施設建設（ロット 7）に係る工事費用の STEG による見積金額について予備的な協議が行われていることから、配電設備が整備されれば海水淡水化施設の運転に必要な電力が STEG から供給されると考える。

11.4 事業実施遅延に係る懸念について

本事業の実施スケジュールが遅れるようであれば、2017 年から深刻化すると想定されるスファックス大都市圏の水不足状況が海水淡水化施設の完成まで続き、深刻度をさらに深めていくと推定される。

事業実施遅延の原因となる要因は種々想定されるが、本事業の実施には種々の手続きが必要であり、それらの手続きの個々の遅延が積み重なって大きな遅延を招く可能性が最も高い。また、道路用地内の管路工事に対する道路当局の工事許可等、工事期間中の関係省庁の工事実施に係る許可や承認の遅れが工事を遅延させることも多い。本事業は SONEDE に設置される PIU が関係部署と協力して実施していくことになるが、PIU の強いリーダーシップと関係省庁への働きかけが期待される。

なお、本事業と並行して実施準備が進められているサイダ貯水池及びカラー・カビラ貯水池並びに浄水場の建設事業は、その第 1 期施設が 2020 年、第 2 期施設が 2024 年に通水が想定されており、当該事業の実施が遅れることは、期待される供給水量がスファックス海水淡水化施設に比べて多いため、スファックス大都市圏の水需給状況にさらに深刻な影響を与える。

11.5 リスク軽減策の検討及び提案

本事業の実施に係る、財務面、環境・社会面、電療供給面及び事業実施の遅れに係るリスクとその軽減策は以下のとおり。

表 11-1 リスクと軽減策

財務に係るリスク	リスクの原因	軽減策
海水淡水化施設整備初期費用の増加	工事費の増加	- 政府負担の増加 - 工事内容の見直し
海水淡水化施設維持管理費用の増加	高生産単価プロセスによる水供給量の増加	- 料金値上げの検討 - 人件費や物品購入費用等の見直し - 外注利用を含めた運用費用の圧縮 - 節水による高生産単価プロセスの稼働率の低下
料金値上げに対する住民の反発	急激な料金値上げ	- 料金見直しを踏まえた住民説明や広報 - 海水淡水化施設の利点に係る住民啓発 - 節水に係る住民啓発

財務に係るリスク	リスクの原因	軽減策
環境社会に係るリスク	リスクの原因	軽減策
社会影響： - 工事中の住民生活への影響 - 住民の同意が得られない場合の訴訟など	- 上水道計画の社会的妥当性の不足 - 住民への広報不足 - 用地取得に関する協議の不調 - 海水淡水化施設による経済活動の影響	- 本プロジェクトの必要性を確認 - 住民への説明会開催と広報活動 - 技術的、経済的側面を考慮した上で、送水管やポンプ場を道路沿い、又は国有地に設置し、かつ住宅地を回避 - 用地取得予算の確保
自然環境への影響： - EIA 不承認 - 経済活動への影響	- 取水・放流による海洋環境への影響（塩分濃度の変化、海流の変化、管工事による掘削など） - 上水量増加による下水量の増加とそれによる公共用水域の汚濁拡大	- 海洋環境を確認し影響の少ない場所を選定 - 取水・放流設備の運転シミュレーション結果による計画の調整 - 自然環境の変化による漁業などの経済活動への影響を確認 - 下水道整備計画の推進
電力供給に係るリスク	リスクの原因	軽減策
停電	- 発電能力不足 - 事故	- 発電施設の増強 （以下、海水淡水化施設側） - 2回線受電 - 高圧線からの受電 - 生産水タンクの容量確保（6時間分） - 非常用自家発電機の設置（送水ポンプ用）
事業実施遅延に係るリスク	リスクの原因	軽減策
事業実施の遅延	- PIU 設立の遅れ - 円借款契約締結の遅れ - 各種入札図書作成の遅れ - 各種 HAICOP 承認の遅れ - 各種入札評価の遅れ - 調達不調 - 各種 JICA 同意の遅れ - 用地取得の遅れ - 関係省庁による工事実施に係る許可・承認の遅れ - 天候不順による海洋工事の遅れ	- PIU の強力なリーダーシップと関係省庁への働きかけ - 十分な SONEDE 職員の確保 - コンサルタントの雇用 - 応札者が容易に理解できる適切な入札図書の作成 - 柔軟な施工計画の作成

第1章 調査の目的と内容

第1章 調査の目的と内容

1.1 調査の背景

チュニジア共和国（以下、「チュニジア国」と記す）は国土の半分が半乾燥地帯に位置し、年間平均降水量が約 500mm 弱（チュニス）と少なく、利用量の約 4 割を地下水に依存している。

チュニジア国の給水事業は長期にわたる安定した経済発展¹を背景に、水道管網及び供給量の拡大に取り組み、都市部給水率 100%、農村部給水率 93.4%、全国給水率は 97.8%に達している（2012 年、SONEDE）。チュニジア国の水セクターは、農業・水資源・漁業省が政策を決定するとともに、農村部を対象とした共同水栓方式による給水事業を担当し、水資源開発公社（SONEDE : Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux）が都市部及び一部農村部を対象とした水道管網による各戸給水事業、生活用水の供給及び水源からの導水・浄水処理施設の整備・維持管理を行っている。

チュニジア国第二の都市であるスファックス大都市圏（人口約 62.1 万人²、2013 年 1 月）を中心とするスファックス県（人口約 96.3 万人²、2013 年 1 月）では日平均給水量約 19 万 m³/日（対象人口約 81 万人、2012 年、SONEDE）の給水が行われているが、近年の人口の増加（県人口 2003-2013 年平均 1.37%）により、2018 年には需要水量が水供給量を大きく上回ると予測され、新たな水源の開発が喫緊の課題となっている。スファックス県は水供給の大部分をチュニジア国北部から送水される表流水および中西部地方の地下水源に依存している（おおよそ北部広域水道システム 42%、ジェルマ・スベイトラ地下水システム 37%、県内地下水 21%）が、近年、スファックス大都市圏の主要な供給水源となっているジェルマ水源、スベイトラ水源の揚水量が揚水制限量を超過しており中西部の地下水資源の保全が必要となっている。さらに、それらの水源地域での水需要が増加しており、将来的に広域水供給システムの最下流部である同大都市圏への送水量の減少が予測されていることから、同大都市圏独自の水源開発とそれに付随するインフラの整備が求められてきた。SONEDE が 2005 年に実施した「中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査」の中で、チュニジア国の中部・南部の水需要の増加を見込み、スファックス県を含む広域水供給計画が策定され、その中で海水淡水化施設の建設が水源増強策の一つとして計画された。しかし、計画された多くの事業が資金不足のために実施されてこなかった。

このような状況の中、北部からの送水量が一時的に減少したことから、2012 年夏の水需要ピーク時にスファックス県、特にスファックス大都市圏では深刻な水不足問題が発生した。この水不足問題は、「中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査」で策定された広域水供給計画の適切性を確認するきっかけとなった。そこで、SONEDE は、将来の水需要及び遅れていた水道事業を考慮した上で、安心かつ安全な水の安定供給を実現するための計画として、2013 年 4 月に、2030 年までの給水能力の強化及び供給水質の改善を目標とする「広域水道戦略計画」を策定した。策定された戦略計画の中で最も優先順位の高い事業としてスファックス大都市圏の水源増強が謳われ、水源開発余地が無い中で実現性があり即効性のある事業として海水淡水化による水供給量の増強が計画された。

このような背景の下、前述の戦略計画に基づき、スファックス近郊における海水淡水化施設整備事業（以下、本事業という）の実施が計画され、チュニジア政府からの要請を受け、2013 年 5 月に JICA と SONEDE が本調査の TOR を協議し、その合意内容に基づき本調査が実施されることになった。

¹ 革命が発生した 2011 年(-1.94%)を含め 1999 年～2013 年の年平均 GDP 成長率約 4%

² http://www.ins.nat.tn/en/serie_annuelle.php?Code_indicateur=0201060

1.2 調査概要

1.2.1 調査目的

本調査は、借入人をチュニジア政府（外務省、開発・投資・国際協力省及び財務省が代表する）、実施機関を水資源開発公社（SONEDE）とする円借款事業に係る案件形成調査である。本調査は、スファックス海水淡水化施設整備事業に関し、円借款事業としての審査に資することを目的とする。

したがって、本調査の成果は、本事業に対する円借款の審査を JICA が実施する際の検討資料となり、本調査で取り纏める事業内容が円借款事業の原案として取り扱われる。

1.2.2 調査対象事業

本調査の対象事業は海水淡水化施設（生産水量約 20 万 m³/日、うち円借款対象として考えられている施設規模は 10 万 m³/日。取水・放流施設を含む）、送水管、配水池、及び付随のポンプ場である。

1.2.3 調査対象地域

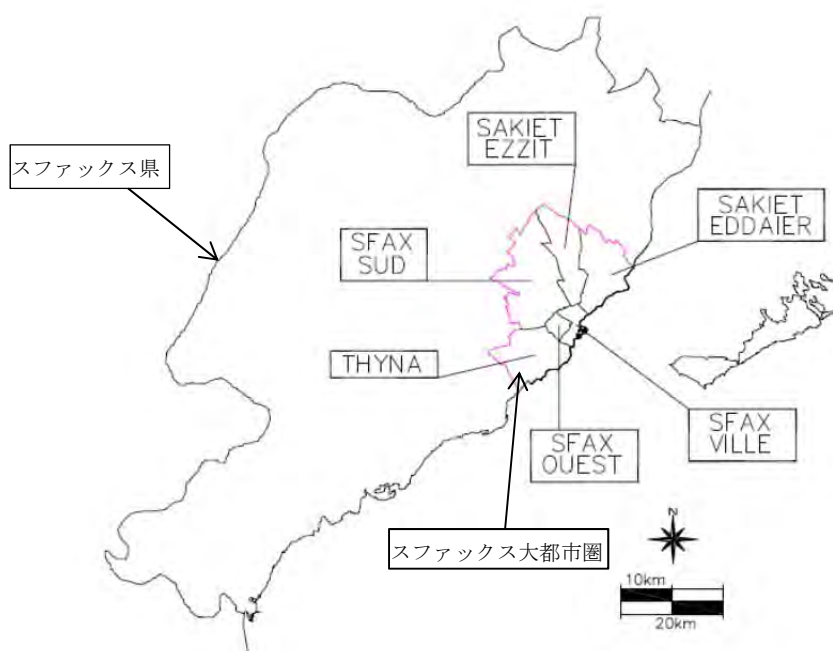
本調査の対象地域は、スファックス大都市圏の管轄区域及び周辺地域である。スファックス大都市圏は、チュニジア国の首都チュニスの南東約 270km に位置する港湾都市であり、スファックス県の県都である。港湾を中心にして放射状に何本かの幹線道路が、内陸に向かって建設され、その道路の延伸に伴い、市街地が拡張されてきたという特徴を有する。また、近年は環状道路が整備され、その沿線にも市街地が発達しつつある。

スファックス大都市圏はスファックス市（Sfax Ville）及び周辺の 5 つの市（délégation）から構成される。それぞれの市は区域内の町（sector）から構成され、表 1.2-1 に示すようにスファックス大都市圏全体で 43 町がある。

表 1.2-1 スファックス大都市圏行政区域

市	町	市	町
Sfax Ville	Sfax Medina	Sfax Sud	Bouzaïen
	15-Novembre		El Afrane Nord
	Ain Cheikhrouhou		El Ain
	Bab B'har		El Aouabed
	Bassatine		El Khazzanet
	Cite Attaouidhi		Gremda
	Cite Khiri		Ouyoun El Mayel
	Merkez Bacha		El Hajeb
	Merkez Gaddour		Sidi Abid
	Mohamed Ali		Tyna
	Rbat		Bouacida
Sidi Abbes	Cedra		
Sfax Ouest	El Alia	Sakiet Ezzit	Chihia
	El Hadi		Sakiet Ezzit
	Hay El Bahri		Sidi Salah
	Hay El Habib		Teniour
	Merkez Chaker		Bderna
	Oued Ermal		Cite Bourguiba
	Sokra		El Khairia
		Sakiet Eddaier	Merkez Kaaniche
			Merkez Sebi
			Sakiet Eddaier
			Seltania
			Sidi Mansour

出典：市; L'Institut National de la Statistique: INS, 町; JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 1.2-1 スファックス大都市圏行政区域

1.2.4 調査関係機関

本調査に関係する主な機関は以下のとおりである。

- カウンターパート機関： 水資源開発公社（SONEDE）
- 関係省庁：
 - 1) 開発・投資・国際協力省（MDICI、円借款窓口）
 - 2) 財務省（円借款の借入・返済）
 - 3) 農業・水資源・漁業省（SONEDE の監督官庁）
 - 4) 外務省（外交関係、政府間契約）
 - 5) 環境・持続可能な開発省
 - 環境保護庁（環境影響評価審査）（ANPE）
 - 海岸開発保全庁（海岸用地開発承認）（APAL）

1.2.5 調査団

本調査に従事する調査団は以下の担当者から構成される。

- (1) 木口孝文 総括／上水道計画
- (2) 上村順一 海水淡水化施設設計
- (3) 船本忠男 送配水施設設計
- (4) 庭野哲治 水資源調査
- (5) 藤原芳成 機械設備設計 1
- (6) 工藤隆太 機械設備設計 2
- (7) 渡部透 電気設備設計 1
- (8) 三浦輝 電気設備設計 2

- (9) 仲川隆史 自然条件調査
- (10) 八代大輔 調達計画・積算
- (11) 中田康雄 経済・財務分析
- (12) セバスチャン・アルノー 環境社会配慮
- (13) 玉真俊彦 組織制度
- (14) 太田量介 業務調整／海水淡水化施設設計補助

1.2.6 調査スケジュール

本調査は、以下のとおり 2 段階のフェーズに分けて実施された。

(1) フェーズ 1 (2013 年 9 月～12 月) : 海水淡水化施設建設の妥当性の確認

フェーズ 1 調査は 2013 年 9 月 13 日から始まり、国内事前準備作業を経て現地調査を 2013 年 9 月 28 日から 11 月 23 日まで行った。引き続き国内作業を 2014 年 1 月上旬まで継続した。フェーズ 1 の成果はインテリム・レポート 1 にまとめられた。

(2) フェーズ 2 (2014 年 1 月～2015 年 8 月) : フィージビリティ調査の実施

フェーズ 2 調査は 2014 年 1 月から 2015 年 8 月まで実施された。第 2 回現地調査を 2014 年 1 月中旬から 3 月上旬まで実施し、国内作業を経てインテリム・レポート 2 に中間成果をまとめた。その後、第 3 回現地調査を 2014 年 4 月中旬から 6 月中旬まで実施した。6 月から 8 月までの国内作業期間において本調査の全ての成果を準備調査報告書(ドラフト)にまとめ、9 月 29 日に現地において SONEDE に説明し、その後³、チュニジア国側のコメントを反映した準備調査報告書が 2015 年 8 月に提出された。本調査は 2015 年 6 月時点の情報を基に作成されている。

1.3 調査内容・範囲

1.3.1 フェーズ 1 の内容・範囲

フェーズ 1 では、既存情報のレビュー、現地調査の実施、情報収集及び分析を行い、本事業を通じた海水淡水化による給水の妥当性及び必要性について確認し、目標年次、水需要から必要な施設の規模及び候補地を想定し、その施設整備候補地を提案した。

主要な調査項目は以下のとおりである。

(1) 既存情報のレビュー及び調査

- 1) 自然条件調査(気象、地勢、地形、水文、水理地質等)
- 2) 社会条件調査(社会経済情勢及び人口、商工業、土地利用、社会インフラ整備、経済情勢等における今後のトレンド)

³ この間、SONEDE のコメントを考慮し、水需給バランスと水配分計画及び対応した施設計画を見直し、また、外貨交換レートの変更により事業費を見直し、財務経済分析を再検討を行っている。

- 3) 環境条件調査(環境関連法令及び規制、公衆衛生等)
- (2) 本事業の計画を策定するに当たり、基礎となる情報の収集及び分析
 - 1) スファックス大都市圏における水需要量及び水供給量
 - 2) スファックス大都市圏における水利用可能量
 - 3) スファックス大都市圏における水道施設全体計画
 - 4) スファックス大都市圏における本事業以外の水道事業
 - 5) スファックス大都市圏における海水淡水化施設の候補地
 - 6) スファックス大都市圏における既存水道施設
 - 7) 既存淡水化施設
 - 8) 水セクターの組織
 - 9) 水道料金設定
 - 10) SONEDE の財務分析
 - 11) 電力利用可能量
 - 12) 「ジェルバ島海水淡水化施設建設事業」入札図書
- (3) 事業の必要性及びリスクの確認
 - 1) 生活用水、農業用水、工業用水などの水セクターの現状及び問題点
 - 2) 生活用水、農業用水、工業用水などの水セクターの政策及び将来計画
 - 3) 生活用水、農業用水、工業用水などを供給するための施設容量
 - 4) 給水量を増加させるための SONEDE の水資源開発計画
 - 5) 既存配水管網の整備状況及び工事計画
 - 6) 他開発パートナーの水道事業への支援状況
 - 7) SONEDE の水道施設整備計画(海水淡水化施設を含む)
 - 8) 海水淡水化と代替水源による給水との比較及びリスクの確認
 - 9) 海水淡水化施設整備による水道料金設定へのインパクトの検討
 - 10) 国の方針の中での位置づけ
 - 11) リスク軽減策の検討及び提案
- (4) インテリム・レポート(IT/R)1 の作成・協議

1.3.2 フェーズ 2 の内容・範囲

フェーズ 1 で提案した複数の施設整備候補地から最適な候補地の分析・選定を行い、本事業の計画を策定し、インテリム・レポート 2 にまとめた。その内容について SONEDE 及び JICA と確認した後、概略設計及び積算を行い、事業実施計画を策定し、評価を加え、フィージビリティ調査として準備調査報告書にまとめた。

主要な調査項目は以下のとおりである。

- (1) 本事業の計画策定
 - 1) スファックス大都市圏における水道事業全体計画
 - 2) 海水淡水化施設の必要生産水量
 - 3) 海水淡水化施設の用地選定
 - 4) 海水淡水化方法の比較(逆浸透法、多段フラッシュ法等)

- 5) 海水の取水方法の決定
- 6) 海水濃縮水の放流方法の決定
- 7) ポンプ場の用地選定
- 8) 配水池の用地選定
- 9) 全体運用計画
- 10) 本事業で必要な用地取得面積の算出
- 11) 用地取得の規則や手続きの確認
- (2) インテリム・レポート(IT/R)2 の作成・協議
- (3) 本事業の概略設計
 - 1) 事業範囲の明確化
 - 2) 海水取水施設、海水淡水化施設、海水濃縮水放流施設、ポンプ場、送水管、配水池の施設設計
 - 3) 事業実施に必要な許認可や法制度整備、用地取得手続き等の確認
- (4) 主要な環境社会影響項目の予測・評価、及び緩和策・モニタリング計画案の作成
- (5) 概算事業費の算定
- (6) 事業実施計画の策定
 - 1) 資金計画
 - 2) 施工計画
 - 3) 事業実施スケジュール
 - 4) 調達計画
 - 5) 事業実施体制
 - 6) 維持管理計画
 - 7) コンサルタント TOR 策定
 - 8) 経済財務分析
 - 9) その他配慮事項
- (7) 事業評価
- (8) 運用・効果指標の提案
- (9) 提言
- (10) 準備調査報告書(ドラフト)の作成
- (11) 準備調査報告書(ドラフト)の説明・協議
- (12) 準備調査報告書の作成・提出

1.4 水分野円借款既往案件

日本政府がこれまでに円借款事業としてチュニジア国に協力した上水分野事業の案件を、表 1.4-1 に示す。このほか、日本国政府の無償資金協力事業として、南部地下水淡水化計画（The Project for Desalination of Groundwater in Southern Region）として、メドニン県ベン・ゲルデン地区において、地下水淡水化施設（1,800 m³/日）の建設事業が実施され、2013 年 6 月から運用されている。

表 1.4-1 チュニジア国上水分野既往円借款案件一覧

年度	借款概要	事業概要	現況
1994	L/A No.: TS-P6 案件名: 南部地域上下水道整備事業 Southern Area Water Supply and Sewerage Improvement Project L/A 調印日: 1995.03.31 借款額 (百万円) : 7,577	<ul style="list-style-type: none"> ● チュニジア国南部の観光地であるジェルバ、ザルジス等において上下水道施設を整備。 ● 上水道事業対象地 (ジェルバ、ザルジス、ベン・ゲルデン、メドゥニン、タタウィン、下水道事業対象地 (ジェルバ東部の観光地域))。 ● 上水道事業では、地下水 (かん水) 淡水化プラント 15,000 m³/日×2 個所、深井戸 15 個所、配水池 5 個所、導水管 169 km、配水管 91 km、等を建設。2003 年 2 月完了。 	貸付完了
1999	L/A No.: TS-P19 案件名: 地方給水事業 Rural Water Supply Project L/A 調印日: 2000.03.23 借款額 (百万円) : 3,352	<ul style="list-style-type: none"> ● 17 県、受益者約 10 万人を対象とした小規模な給水インフラ整備を実施するものであり、資機材、土木工事及びコンサルティング・サービスに必要な資金を供与するものである。 	貸付完了
2002	L/A No.: TS-P24 案件名: 地方給水事業(II) Rural Water Supply Project (II) L/A 調印日: 2003.03.31 借款額 (百万円) : 4,495	<ul style="list-style-type: none"> ● チュニジア国政府が策定した「第 10 次地方給水計画」に基づいて、全国約 100 の貧困郡を対象に、給水施設建設・改修、関連機材の調達(ポンプ、配水管等)、及びコンサルティング・サービスに必要な資金を供与するものである。 	貸付完了
2006	L/A No.: TS-P28 案件名: ジェンドゥーバ地方給水事業 Jendouba Rural Water Supply Project L/A 調印日: 2006.05.23 借款額 (百万円) : 5,412	<ul style="list-style-type: none"> ● 北西部地域のジェンドゥーバ県及びベジャ県の一部の農村部において、送配水管、浄水施設 1 個所、配水池 12 個所、ポンプ施設 9 個所、減圧施設 1 個所の建設を行うものである。 	実施中
2011	L/A No.: TS-P36 案件名: 地方都市給水網整備事業 Local Cities Water Supply Network Improvement Project L/A 調印日: 2012.02.17 借款額 (百万円) : 6,094	<ul style="list-style-type: none"> ● チュニジア全国 (19 県) に広がる既存給水施設の改修・拡張を行うものである。土木工事、資機材調達、ダクタイル铸铁管調達などが含まれる。スファックスの配水施設の一部も本事業の整備対象となっている。 	実施中

注) 2014 年 12 月末時点

出典: JICA 資料

1.5 他開発パートナーの水道事業への支援状況

SONEDE は他開発パートナーの支援を得て、次のような事業を実施及び計画している。

表 1.5-1 他開発パートナーの水道事業への支援状況一覧

開発パートナー/事業名称	事業概要	現況
ドイツ復興金融公庫 (KfW) 支援事業		
チュニジア国南部淡水化施設建設事業	<ul style="list-style-type: none"> ● 淡水化施設建設事業の支援。 ● フェーズ 1 事業(PNAQ 1) は 2003 年に調査を行い、10 個所の施設の建設が 2015 年 10 月に終了予定である。 ● フェーズ 2 事業 (PNAQ 2) は KfW の無償資金を得て 2011 年から調査を始め、EIA 報告書を含め最終報告書をまとめており、6 個所の施設建設を 2015 年から開始する予定である。 	実施中
メドニン県ジェルバ島海水淡水化施設建設事業	<ul style="list-style-type: none"> ● EU の無償資金協力を得てメドニン県ジェルバに 50,000 m³/日の海水淡水化施設整備の調査を行ったが、施設を 75,000m³/日に拡張可能な施設として実施することになった。 ● 建設資金は KfW の他にフランス開発庁 (AFD) から一部支援されることになっている。SONEDE を借入人として 2014 年 9 月 8 日に工事契約が調印された。 	実施中
ガベス県ザラート海水淡水化施設建設事業	<ul style="list-style-type: none"> ● ガベス県ザラートの 100,000 m³/日の海水淡水化施設整備について、アフリカ開発銀行民間セクター支援基金 (Fund for African Private Sector Assistance, FAPA) の技術援助により、F/S 調査を 2012 年 9 月から始めた。 ● SONEDE は KfW の支援により 2014 年末までに建設を始めたいとしていたが、いまだに資金調達先が決まっていない。 	融資未定
スファックス県ケルケナ島海水淡水化施設建設事業	<ul style="list-style-type: none"> ● スファックス県ケルケナ島の 6,000 m³/日の海水淡水化施設整備について、SONEDE は本事業に係る資金調達に KfW の支援を要請している。 	融資未定
フランス開発庁 (AFD) 支援事業		
SONEDE の飲料水生産能力と供給確保プログラム Programme de sécurisation des capacités de production et d'adduction d'eau potable de la SONEDE : 2012-2016	<ul style="list-style-type: none"> ● SONEDE の水生産及び配水に係る施設の改善及び能力強化事業を実施。 ● チュニジア国の 13 個所で事業を行っており、メドニン県ジェルバの海水淡水化施設からの既存配水施設への接続事業も含まれている。 ● 事業費 52.95M.EUR 	実施中
地方給水事業 III Rural Water Supply Project III 2009-2016	<ul style="list-style-type: none"> ● SONEDE の村落給水事業への協力について、2009 年にチュニジア国と AFD との間で合意 ● 14 県の 49 地区で 52,536 人に飲料水の供給する。 <ul style="list-style-type: none"> - 既存のネットワークの拡張、土木工事や機器の設置 - 80,000 メートルのパイプライン材料の調達 - エネルギーマスタリングプログラムの実施 - 地理情報システムの構築 ● 事業費 21M.EUR 	実施中
地方給水：資金調達プログラム Alimentation en eau potable rurale : financement du programme 2013 - 2017	<ul style="list-style-type: none"> ● SONEDE の村落給水事業への協力について、2013 年 7 月にチュニジア国と AFD との間で合意。 ● 60 ネットワークの構築、3 井戸、39 貯水池、31 ポンプ場と除鉄処理場の建設、739km の水道管の供給と据付が含まれる ● 事業費 23.85M.EUR 	実施中
世界銀行 (IBRD) 支援事業		
都市給水事業 Urban Water Supply Project Approvisionnement en eau potable des centres urbains	<ul style="list-style-type: none"> ● SONEDE の都市給水事業への資金協力について、2014 年 11 月 17 日に発効。2005 年 12 月にチュニジア国と世界銀行との間で合意され 2012 年に完了予定であった同事業の追加事業。 ● チュニス大都市圏並びに地方 7 都市 (Rouhia, Ghardimaou, Ain Draham, Ourdanine, Nasrallah, Kalaa Kébira et Jammal) 中心部の 24 時間給水並びに SONEDE の財務能力強化 ● 事業費 26.2M.USD 	実施中

サイダ貯水池からの送水施設及びカラー・カビラ貯水池からの送水施設の整備事業	<ul style="list-style-type: none"> ● スファックスに水供給を行っている北部広域水道システムに係る事業の中で、サイダ貯水池からの送水施設、カラー・カビラ貯水池からの送水施設の整備事業について、SONEDE は世界銀行からの資金協力を得る予定としている。 ● 世界銀行担当者に確認したところ、送水管系のリハビリ事業を支援する予定であるものの、具体的な内容や時期は未だ検討中。 	融資未定
アラブ社会経済開発基金 (FADES) 支援事業		
サイダ貯水池、カラー・カビラ貯水池及び浄水場の建設事業	<ul style="list-style-type: none"> ● スファックスへの水供給を行っている北部広域水道システムに係る事業の中で、サイダ貯水池及びカラー・カビラ貯水池の建設については農業・水資源・漁業省が建設を所管する。FADES は農業・水資源・漁業省と SONED E に対し、融資の原則同意を示している。 ● 残余の部分 (送水管、浄水場、ポンプ場等) について、アラブ諸国 (サウジアラビア、クウェート、アブダビ) から資金協力を得ることを期待している。 	融資未定

注) 2015 年 3 月時点

出典: JICA 資料

ドイツ復興金融公庫 (KfW) による支援中または計画中の淡水化施設を表 1.5-2 及び図 1.5-1 に示す。

表 1.5-2 ドイツ復興金融公庫 (KfW) による支援中または計画中の淡水化施設

No.	場所		原水	能力 (m ³ /日)	事業名称*	状況
1	Tozeur	Tozeur	かん水	6,000	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
2		Nafta	かん水	4,000	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
3		Hezoua	かん水	800	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
4	Kebili	Kebili	かん水	6,000	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
5		Douz	かん水	4,000	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
6		Souk Lahad	かん水	4,000	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
7	Gabes	Matmata	かん水	4,000	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
8		Mareth	かん水	5,000	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
9	Medenine	Beni Khedache	かん水	800	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
10	Gafsa	Belkhir	かん水	1,600	a, PNAQ1	2015 年 10 月完了予定
11	Tozeur	Degueche	かん水	2,000	a, PNAQ2	2015 年工事開始予定
12	Sidi Bouzid	Mazouna, etc.	かん水	3,000	a, PNAQ2	2015 年工事開始予定
13	Medenine	Ben Guerdane	かん水	9,000	a, PNAQ2	2015 年工事開始予定
14	Gafsa	Gafsa Est	かん水	9,000	a, PNAQ2	2015 年工事開始予定
15		Gafsa Ouest	かん水	6,000	a, PNAQ2	2015 年工事開始予定
16	Kebili	Bechlli, etc.	かん水	2,000	a, PNAQ2	2015 年工事開始予定
17	Medenine	Djerba	海水	75,000* ²	b	2014 年 9 月工事契約
18	Gabes	Zarat	海水	100,000	c	融資要請中
19	Sfax	Kerkennah	海水	6,000	d	計画中

*:事業名称:

- a: チュニジア国南部淡水化施設建設事業 フェーズ 1 (PNAQ1)、フェーズ 2 (PNAQ2)
- b: メドニン県ジェルバ島海水淡水化施設建設事業
- c: ガベス県ザラート海水淡水化施設建設事業
- d: スファックス県ケルケナ島海水淡水化施設建設事業

*²: 当初の処理能力は 50,000 m³/日だが、将来的に 75,000 m³/日まで拡張出来る。

出典: SONED E 事業進捗報告書 (2014 年 8 月)、SONED E 確認アップデート (2015 年 3 月)



出典：SONEDE 事業進捗報告書（2014年8月）

図 1.5-1 ドイツ復興金融公庫 (KfW) による支援中または計画中の淡水化施設の位置

第 2 章 自然状况・社会状况

第2章 自然状況・社会状況

2.1 自然状況

スファックス大都市圏は国土面積 16 万 3,610 km² を有するチュニジア共和国の中部地帯である半乾燥気候の地域に位置するが、地中海に面しているため穏やかな気候である。スファックス大都市圏の自然条件は以下のとおりである。

2.1.1 気象

(1) 気温

過去 21 年間（1992 年-2012 年）の年平均気温は 18 °C であり、7 月から 9 月までの猛暑期及び 12 月から 2 月までの寒期があり、その中間期は過ごしやすい気候である。

表 2.1-1 スファックス大都市圏の気温

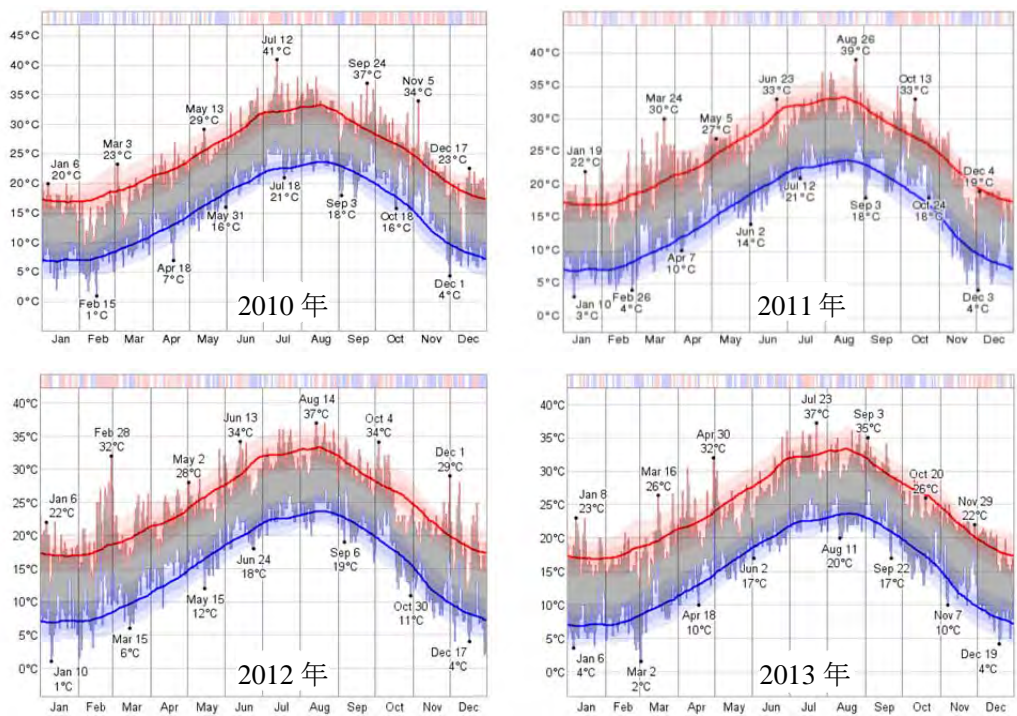
月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
平均最高気温(°C)	16	17	18	21	24	28	31	31	29	25	20	17	23
平均気温(°C)	11	12	14	16	20	23	26	27	25	21	16	12	18
平均最低気温(°C)	6	7	9	11	15	19	21	22	21	17	11	7	14

出典：Weatherbase

図 2.1-1 に 2010 年から 2013 年の各年における最高気温、最低気温の推移を示す。月平均最低気温では 1 月が最も寒く 6 °C であり、2012 年 1 月 10 日には年最低気温 1 °C を記録している。一方、月平均最高気温では 8 月が最も暑く 31 °C であり、2010 年 7 月 12 日には年最高気温 41°C を記録している。

(2) 湿度

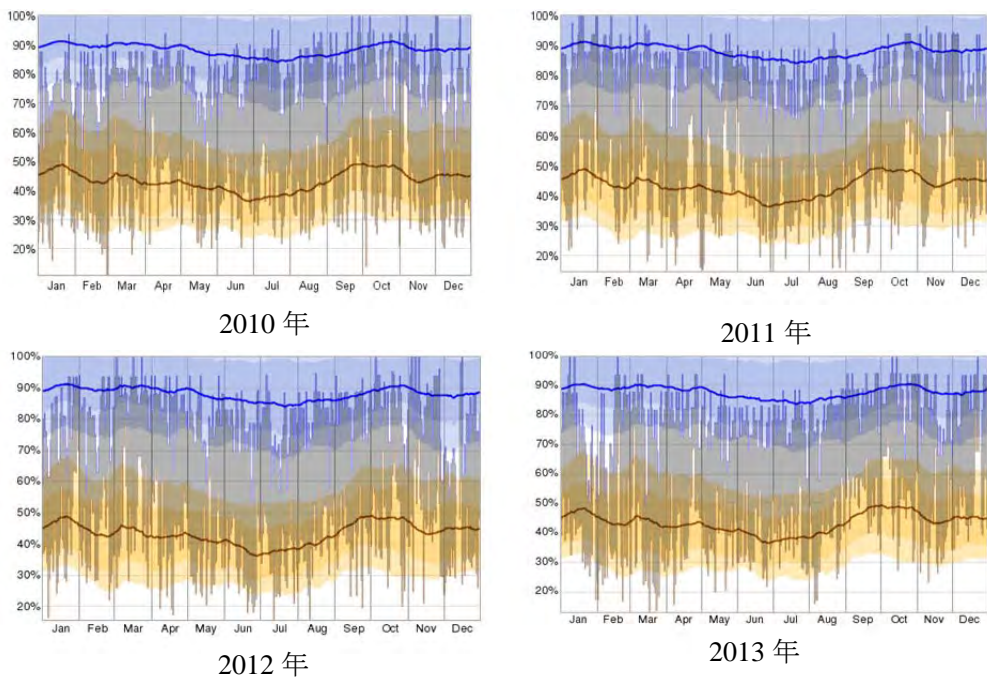
地中海の影響を受け、湿度は年間を通し 50% ~ 70% 前後と半乾燥気候であるものの比較的高い。図 2.1-2 に 2010 年から 2013 年の各年における湿度の推移を示す。



赤色のライン：最高気温の平均を示すライン、青色のライン：最低気温の平均を示すライン

出典：WeatherSpark

図 2.1-1 2010年～2013年における気温の推移



青色のライン：最高湿度の平均を示すライン、茶色のライン：最低湿度の平均を示すライン

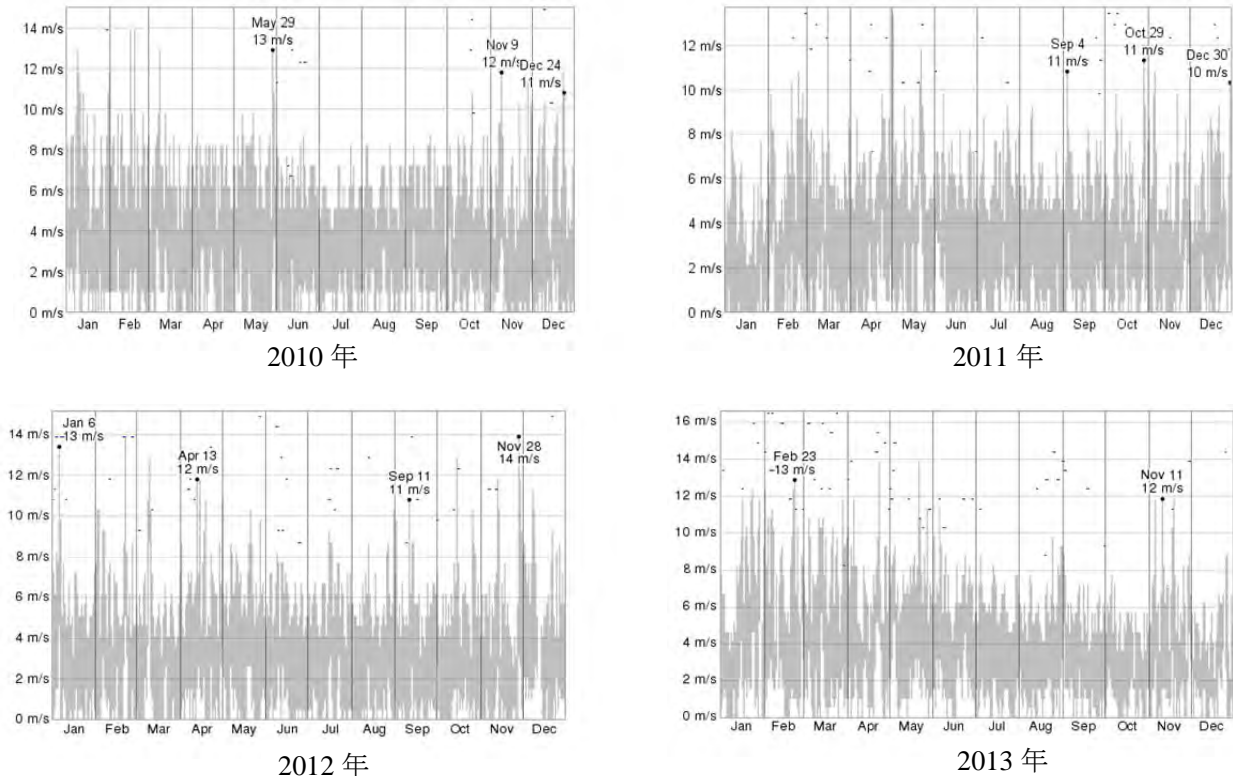
出典：WeatherSpark

図 2.1-2 2010年～2013年における湿度の推移

(3) 風

風は年間 300 日程度吹き、その風向は季節により異なり、冬季は陸風である北～南西、夏季は海風である東～南東、春季及び秋季は北及び東からの風が卓越している。

図 2.1-3 に 2010 年から 2013 年の各年における風速の推移を示す。



グレーライン：日々の風速の推移、青点：当日の瞬間最大風速
出典：WeatherSpark

図 2.1-3 2010 年～2013 年における風速の推移

月平均の風速では、5 月が 5 m/秒と最も強く、10 月が 3 m/秒と最も弱くなっている。2013 年 5 月 22 日に年間最大瞬間風速 22 m/秒を記録している。

(4) 降水量

スファックス大都市圏の過去 20 年間（1991～2010 年）における年間平均降水量は 228.5 mm（主要表流水水源のある北部のチュニスでは 464.5 mm）である。毎月の降水量は 9 月～4 月の期間には各月において増減はあるものの平均で約 25 mm 程度であるが、5 月から減りはじめ、6 月～8 月の期間にはほとんど降水がない状態となる。

表 2.1-2 スファックス大都市圏の平均降水量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計	月平均
平均降水量 (mm)	32.3	14.1	25.7	20.6	17.4	4.6	0.3	3.1	33.0	25.0	23.7	28.6	228.5	19.0

出典：National Office of Mines

2.1.2 地勢・地形

スファックス大都市圏は港を中心として扇状に広がった都市であり、海に向かって緩やかに傾斜した起伏の少ない単調な地形である。

2.1.3 海洋状況

(1) 潮位

スファックス港における平均潮位、最高、最低潮位は以下のとおりである。

表 2.1-3 潮位

	平均潮位	最高潮位	最低潮位
海 抜 (m)	+1.16	+2.15	+0.00

出典：Rapport Du Centre Hydrographique Et Oceanographique De La Marine Nationale De La Tunisie

過去3年間における月毎の潮位変動は表 2.1-4 に示すとおりである。過去3年間における最高潮位は2.0 m、最低潮位は0.1 m となっている。

表 2.1-4 潮位変動 (2011~2013 年)

		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2011	Day	1/21	2/19	3/20	4/18	5/17	6/15	7/31	8/29	9/28	10/27	11/25	12/25
	Max (m)	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.8	1.9	2.0	1.9	1.9	1.8
	Min (m)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
2012	Day	1/23	2/9	3/9	4/7	5/6	6/4	7/4	8/19	9/17	10/16	11/13	12/14
	Max (m)	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.9	1.9	2.0	1.9	1.9
	Min (m)	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
2013	Day	1/12	2/10	3/28	4/26	5/25	6/24	7/23	8/21	9/19	10/5	11/3	12/3
	Max (m)	1.8	1.8	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
	Min (m)	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3

※0m は、スファックス港の 0m ポイントを基準としている。

出典：Tide table for Sfax

(2) 海流

地中海の海流は全般的に非常に弱く、気温が高く乾燥しているため海水蒸発量の多い地中海東部に向けて流れている。スファックス大都市圏近海ではスース方面からガベス港に向け、海岸に並行して緩やかに南へ流れている。スファックス大都市圏沿岸の潮流は干満に対応して反転しながら海岸に平行して流れている。

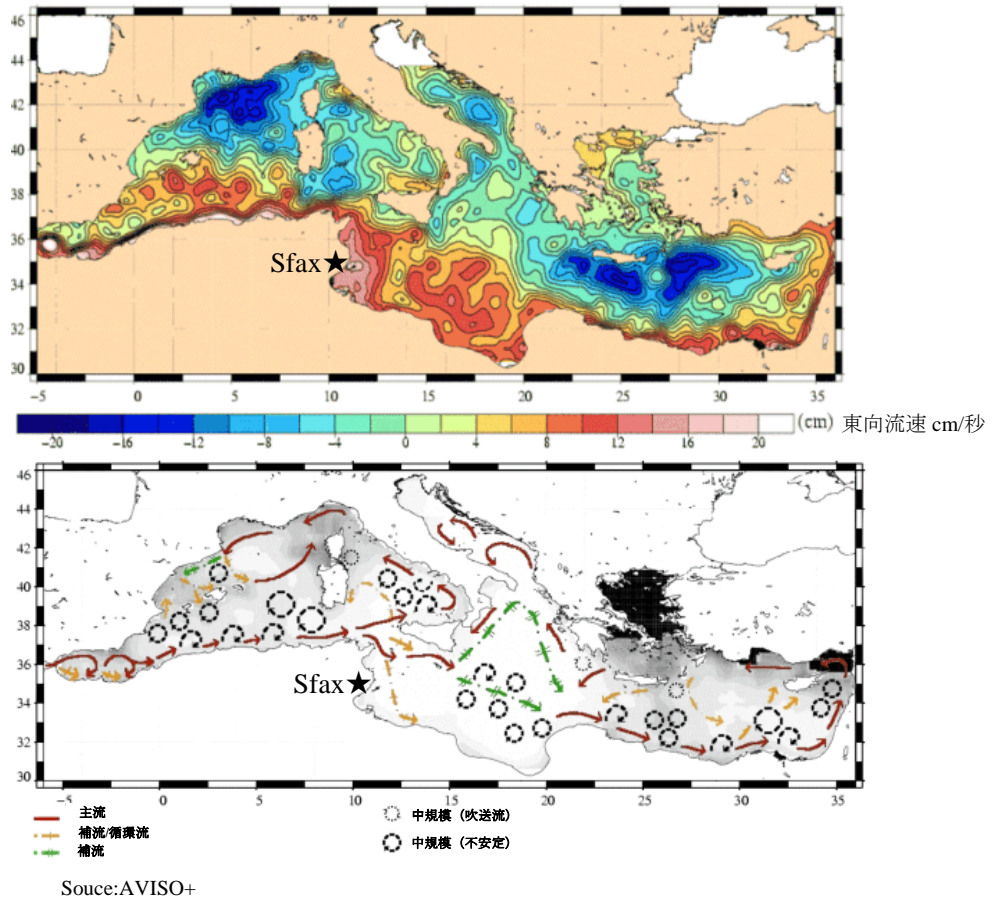


図 2.1-4 地中海の海流（上：流速、下：流向）

(3) 海底地形

スファックス大都市圏沿岸は全般的に遠浅の地形であり、特に、スファックス大都市圏の北側のラ・シェッパからケルケナ島近海を経てスファックス大都市圏までは、水深 5 m 以下の海底地形が連続している。スファックス大都市圏から南側のガベス湾沿岸では、沖合 5 km 前後付近まで水深 10 m 以下の海底地形が連続している。このため、スファックス港では大型船が入港出来るように港口から沖合までの 4.5 km 程を 11 m 水深となるように 60 m の幅員で航路の浚渫を行っている。

(4) 水質

スファックス大都市圏沿岸の海洋状況は、全般的に遠浅かつ穏やかで魚類やエビの養殖、手網漁、貝漁等の漁業も盛んに営まれている。一方、同地域は工業が盛んな地域であることから、沿岸部には工業地帯があり、海岸沿いにはリン精製工場、オリーブ油精製工場、金属加工工場等が多く存在し、それらの工場から排出された油分、金属類 (Ni, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe)、放射性物質等を含む排水が海洋に流出し、海洋汚染が進行していた。特にリン精製工場におけるリン鉱石からのリン精製過程で発生する CaSO_4 と硫酸塩還元菌の働きにより、海底堆積泥から有害ガスである硫化水素 (H_2S) が発生する等の海洋汚染が深刻化していた。

このような事態を受け、2006 年から欧州投資銀行 (EIB) を中心とした融資によるスファックス大都市圏沿岸の浄化を目的とした TAPARURA プロジェクトが実施され、海底堆積泥の浚渫と海浜砂の入替えが行われ一定の効果があった。しかし、現時点で浄化が完了したのはスファックス大都市圏沿

岸北側の地域に限定されており、スファックス大都市圏沿岸南側の地域については手つかずの状態となっている。今後同地域も浄化が実施される計画はあるが、具体的な予定はたてられていない。

本調査による水質分析結果を 5.1.2 節に詳述する。

2.1.4 水文・水理

農業・水資源・漁業省水資源総局 (DGRE) によれば、チュニジア国内における年間降水量は平均 360 億 m^3 であるが、その内、約 35 % にあたる 126 億 m^3 /年は蒸発散し、186 億 m^3 /年は河川等を通じて海域へ流出している。したがって、現在、水資源として利用可能な水量は 48 億 m^3 /年であり、その利用可能水量を水源別に分けると、ダムに貯留される利用可能水量は 24.3 億 m^3 /年、貯水池や河川からの直接取水等による利用可能水量は 2.7 億 m^3 /年となっており、これらは主に灌漑用水として利用されている。また、地下浸透による利用可能水量は 21 億 m^3 /年となっており、これは生活用水、農業用水、工業用水等多目的に利用されている。

南部地域に位置するスファックス大都市圏近郊には水源となるような大きな河川は存在しないため、表流水の利用は見込めない。また、地下水はこれまで制限なく取水されていたことから、水位の低下が著しく、現在では地下水の取水は制限されており、原則としてさらなる地下水の利用は見込めない状況である。そのため当該地域では北部から送水されてくる表流水を水源とした浄水と、西部のジェルマ及びスベイトラ地域から送水されてくる塩分含有量が比較的少ない (TDS 濃度: 1,000 mg/L ~ 1,800 mg/L) 地下水に頼らざるを得ない状況にある。さらに、地下水源に目を向けてみると、スファックス大都市圏の地下には地下水源が存在し、大都市圏内の各配水池には深井戸が掘削されているが、塩分濃度 (TDS 濃度: 3,100 mg/L ~ 3,200 mg/L) や鉄含有量が高く、そのまま未処理あるいは清澄水による希釈抜きに飲用水として使用することは出来ない。



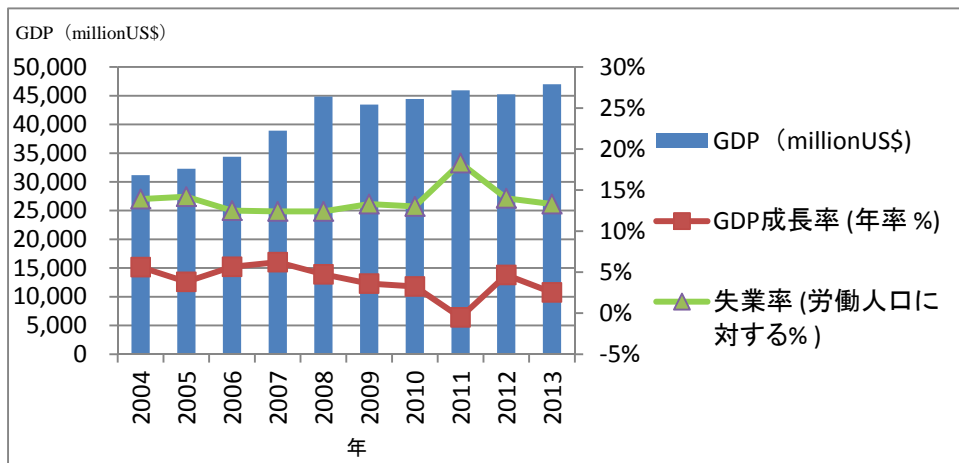
出典: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Medjerda_river_drainage_basin-fr.svg

図 2.1-5 主要河川

2.2 社会状況

2.2.1 社会経済情勢

チュニジア国は世界銀行の所得分類上、「中進国」に位置づけられており、2013 年の GDP は 469.9 億ドル、GDP 成長率は年 2.5 % である。一人当たり GDP は 4,317 ドルで、2008 年以降の成長は鈍化している。完全失業率は 2013 年で 13.3% となっており、特に若年層の失業率が高く、長期間にわたって高水準で推移している。



出典： <http://api.worldbank.org/v2/en/country/tun?downloadformat=excel>

図 2.2-1 GDP と失業率推移

2.2.2 人口

2013年時点でのチュニジア国の人口は1,089万人、都市部に約66%、農村部に約34%が住んでいる。その中で生産年齢人口は約43%、若年生産年齢人口は33%となっており、若年層の人口割合が高い。

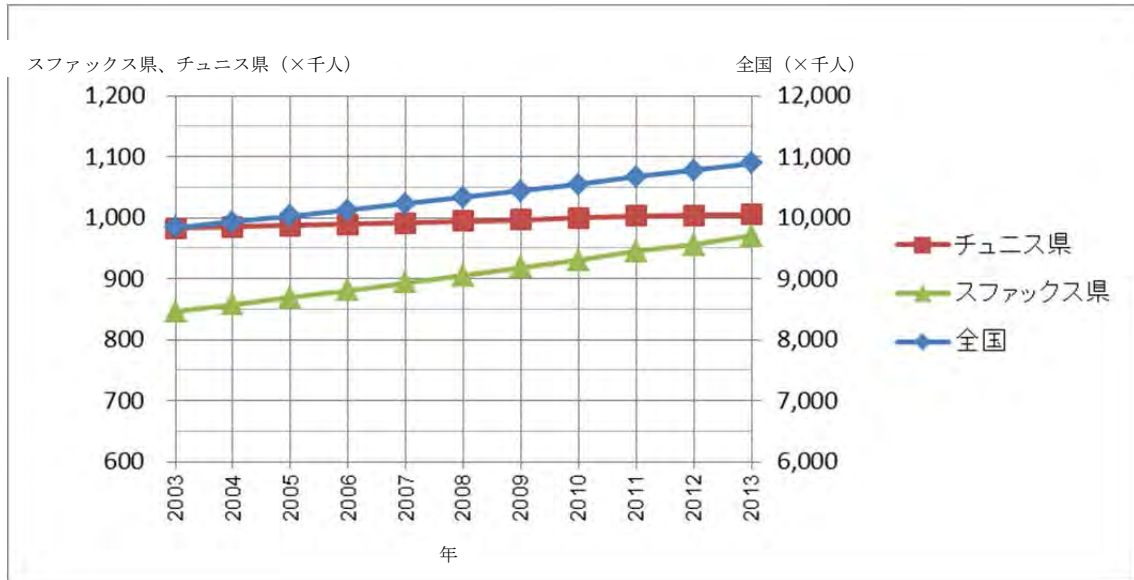
環状道路11号線の内側を主要域とするスファックス大都市圏はチュニジア国第二の都市域であり、2013年7月現在、スファックス県の人口97万人の内62万人が居住する商業都市である。また、この地域には学生も多くその数は約5万人にも上ると言われているが、そのほとんどが他地域からの就学生であり、夏季休暇等の長期休暇時には極端に減少する傾向にある。なお、この時期には多くの観光客が同国に滞在するが、その主要な滞在地はハマメット、スース、ジェルバ等のリゾート地であり、スファックス大都市圏に滞在する観光客は少ない。

2003年～2013年の平均人口増加率は全国1.02%/年、チュニス県0.21%/年、スファックス大都市圏を含むスファックス県1.37%/年となっており、スファックス県の人口増加率は首都チュニスのそれを大きく上回っている。表2.2-1及び図2.2-2にスファックス県、チュニス県及び全国の人口推移を示す。

表 2.2-1 スファックス県、チュニス県及び全国の人口推移

年	(単位:千人)											2003-2013年平均増加率
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
全国	9,839.8	9,932.4	10,029.0	10,127.9	10,225.1	10,328.7	10,439.6	10,547.0	10,673.8	10,776.4	10,886.5	1.02%/年
チュニス県	983.2	985.3	986.7	989.0	991.3	993.9	996.4	999.7	1,002.9	1,003.7	1,004.5	0.21%/年
スファックス県	846.5	857.1	869.4	881.0	893.0	905.0	918.5	930.1	944.5	955.5	969.8	1.37%/年

出典： http://www.ins.nat.tn/en/serie_annuelle.php?Code_indicateur=0201060



出典 :

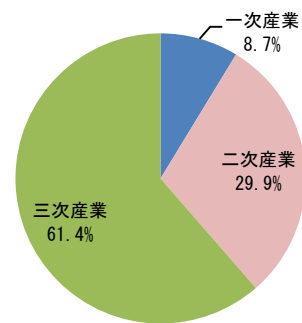
http://www.ins.nat.tn/en/serie_annuelle.php?Code_indicateur=0201060

図 2.2-2 スファックス県、チュニス県及び全国の人口推移

2.2.3 主要産業

チュニジア国の主要産業の割合は 2013 年において、一次産業 8.7 %、二次産業 29.9 %、三次産業 61.4 %となっており、観光業、運輸交通、ICT などを含む三次産業が大きな割合を占めている。農業では小麦やオリーブ、製造業は繊維産業、また鉱工業ではリン鉱石が主な産出物である。原油や天然ガスなどの資源も産出されているが、石油輸入国であり、国内のエネルギー需要を十分に賄うだけの資源には乏しく、観光業を中心としたサービス業が今後もチュニジア国の経済を牽引していくと考えられる。

スファックス大都市圏はチュニスに次ぐチュニジア第二の都市であり、様々な産業が発達している。スファックス県内には製造業が約 2,300 事業所あり、そこで働く従業員は約 204,000 人 (2013 年) であり、これは全国の製造業従業員数の 37%を占め、次位のモナステール県のその 3 倍に上る。その中で 10 人以上の従業員規模をもつ製造業は 700 事業所を越える。主な業種は繊維、農業食品、機材工業、化学などである。また、小売業は 20,000 事業所以上、卸売業は 800 事業所以上に上り、70 事業所以上が海外との取引を行っている。このようにスファックス大都市圏を含むスファックス県は農林水産業及び鉱業を除くすべての産業分野において全国で最大の就業者を擁している。なお、農業・漁業関連産業も盛んであり、オリーブオイルは 40%、アーモンドは 30%、漁獲高も 20%の国内シェアを占めている。これらはチュニジアの全輸出量のうち大きな割合を占めており、オリーブオイル輸出の 60%、海産物輸出の 45%はスファックス県から輸出されている。



出典 : <http://api.worldbank.org/v2/en/country/tun?downloadformat=excel>

図 2.2-3 主要産業の GDP 構成

2.2.4 土地利用

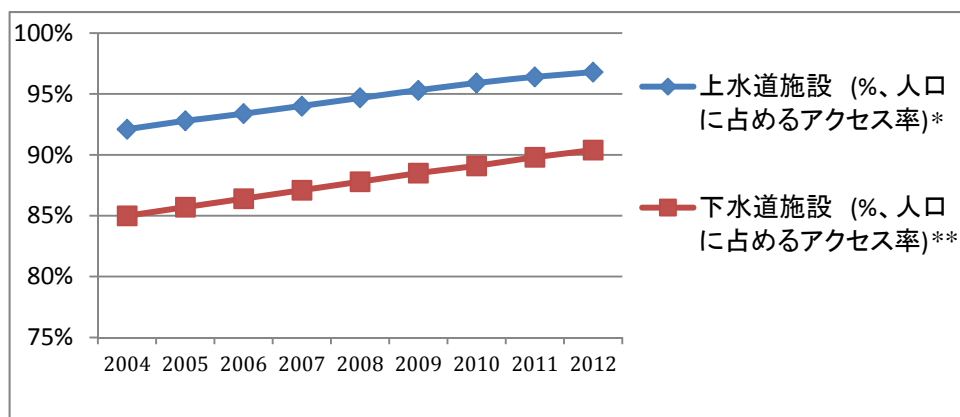
チュニジア国の国土面積は16万3,610 km²であり、その内、陸地が15万5,360 km²、水上面積が8,250 km²である。2011年時点で全国土面積に占める農用地面積の割合は約64.83%で、耕地面積の割合は約18.27%、恒久農地の割合は約15.40%、森林面積は約6.58%となっている。

土地は国有地と私有地に分かれており、概ね所有権は明確になっている。公共事業等で私有地の取得が必要な場合は、関連法規に則り土地の所有者との間で協議が進められるが、事業の公共性の高さなどを考慮して、事業が優先される場合もある。

2.2.5 社会インフラ整備

チュニジア国は中進国として経済発展が進む中、インフラ整備も進んでいる。今後も人口増加と経済成長が継続していく可能性が高いことを考えれば、長期的な視野に立ったインフラ整備計画の策定と具現化が必要である。

SONEDEの年報によれば、上水道へのアクセスは2012年で都市部100%、農村部93.4%、全体97.8%となっている。下水道の整備も進んでおり、下水道整備公社（以下、ONAS）によれば、2012年で接続人口590万人、ONAS管轄都市部接続率90%（全国人口に対しては約55%）、同処理率87.3%となっている。電化アクセスも99.5%（STEG WEBデータ）となっており、ほぼ全国的に網羅されている状況である。今後は人口増加と経済成長に伴い増していくインフラへの需要を満たしながら現状のサービスレベルを維持していくことが課題である。また、上水道であれば水質の改善など質の向上を図っていくことも求められている。



注*: 上水道施設-対全国行政人口、**: 下水道施設-対 ONAS 管轄都市部人口
出典: <http://api.worldbank.org/v2/en/country/tun?downloadformat=excel>

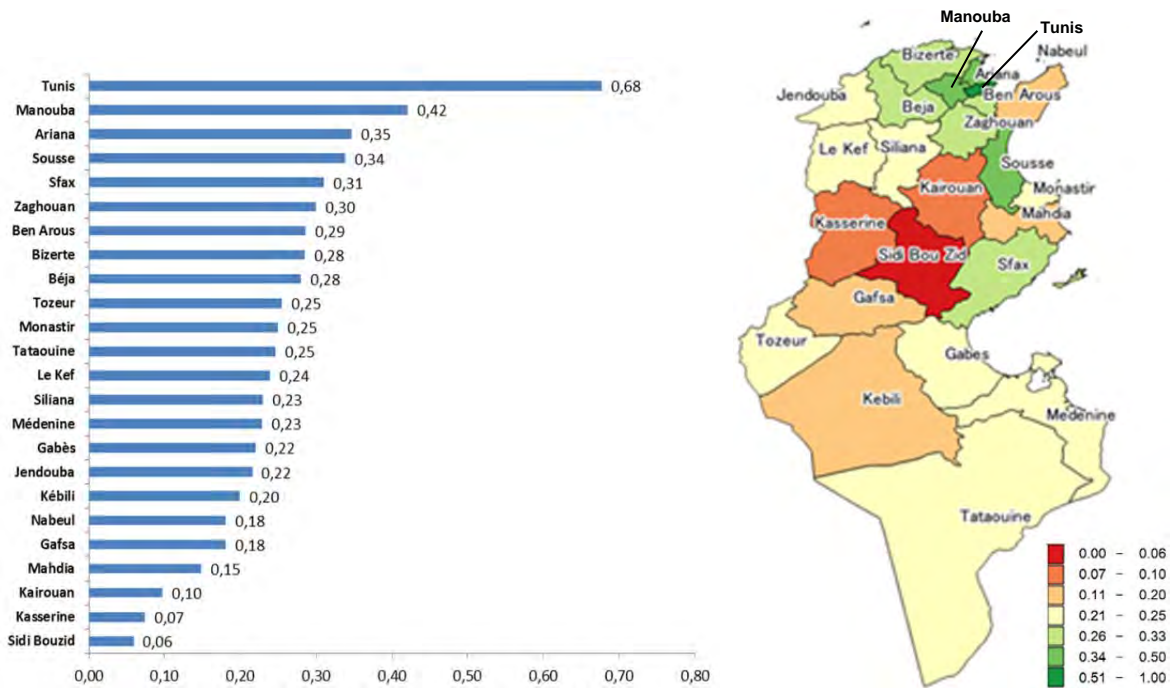
図 2.2-4 上下水道アクセス

2.2.6 経済情勢等における今後のトレンド

2008年以降の世界的な不況に加えて、2010年12月18日にチュニジア国で発生した「ジャスミン革命」の影響により、GDP成長率は縮小し2011年にはマイナスとなった。2012年には回復の兆しを見せGDP成長率は3.6%となったが、完全失業率は高い水準で推移しており、特に若年層を対象とした新たな雇用創出が大きな課題である。そのため、第三次産業の更なる拡大が必要である。更に、第一次、第二次産業の生産性向上による国際的な競争力強化が、チュニジア国の経済発展に重要な要素の一つであると考えられる。

2.2.7 公衆衛生

地方開発・計画省（当時、現開発・投資・国際協力省）の調査による各県の公衆衛生指標（インディケーター）を図 2.2-5 に示す。これによれば他県に比してスファックス県の公衆衛生水準は高い。



出典：地方開発・計画省(当時) 2012/JICA 調査団 (マップ)

図 2.2-5 県別公衆衛生指標（インディケーター）

一方、スファックス大都市圏の浅層地下水及び海域の海水や底泥は汚染の危険性があると考えられている。考えられる主な原因は以下のとおりである。

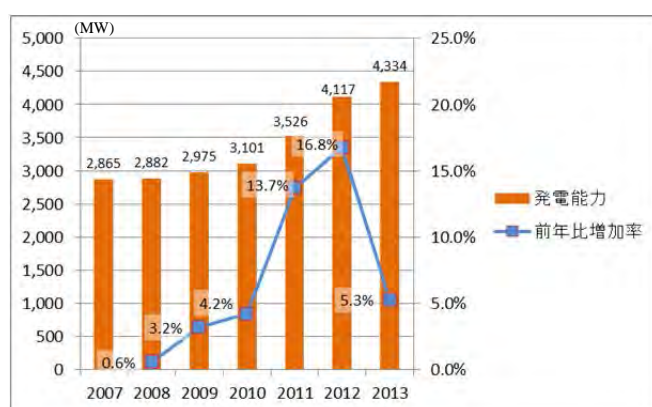
- リン精製工程から排出された硫酸カルシウムのボタ山からの排水
- オリーブ油工場の排水
- 下水処理場の排水
- 港周辺のごみ捨て場の排水
- 港（漁船のオイル排水）

SONEDE スファックス支社における聞き取り調査では、上水道サービスに対する不満から自宅井戸や雨水を利用する住民も多いということであり、自宅井戸の利用対象となる浅層地下水の汚濁危険性や雨水利用における衛生面での懸念を考慮すれば、公衆衛生の面から潜在的に問題がある。

なお、住民の上水道サービスに対する不満は高い TDS 濃度や水供給量の不足に起因しており、住民を対象としたアンケート調査でもそのことが明らかとなっている（10.12.2 節参照）。

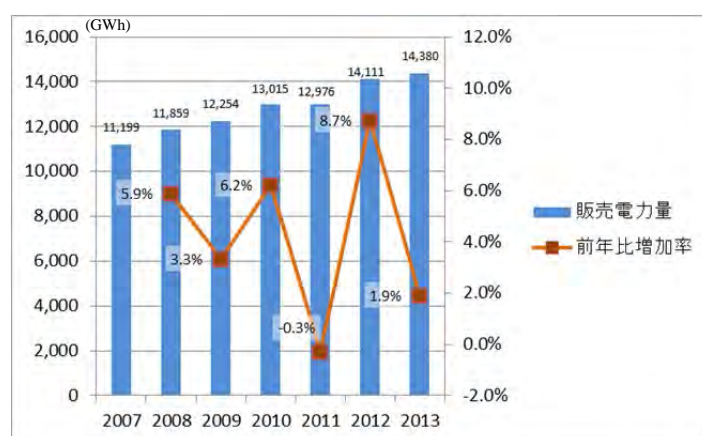
2.2.8 電力供給事情

チュニジア国において電力供給を行っているチュニジア電力・ガス公社（STEG）の発電能力と販売電力量を図 2.2-6、2.2-7 に示す。



出典：Annuaire Statistique de la Tunisie 2007-11, <https://www.steg.com.tn/en/institutionnel/produire.html> (2012-13)

図 2.2-6 STEG 発電能力の推移



出典：Annuaire Statistique de la Tunisie 2007-11, <https://www.steg.com.tn/en/institutionnel/produire.html> (2012-13)

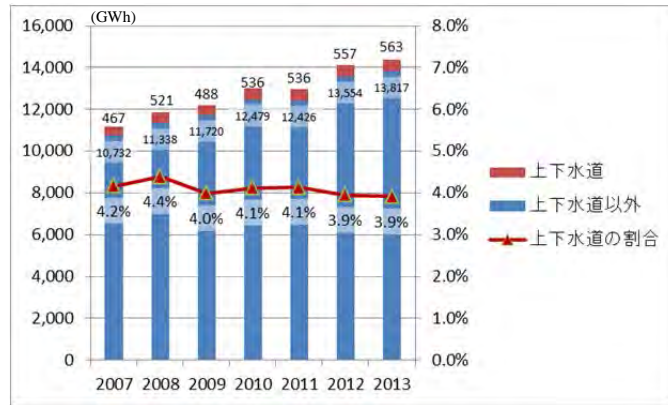
図 2.2-7 STEG 販売電力量の推移

STEG の発電能力は、2008 年以降、比較的高い増加率で増加しており、2011 年では対前年比 13.7 % 増の 3,526 MW、2012 年は 16.8% 増の 4,117 MW、2013 年は 5.3% 増の 4,334 MW となっている。

総販売電力量も全般的に増加傾向で推移している。2011 年は 2010 年末からのジャスミン革命の影響による産業活動の停滞が反映し、対前年比 0.3 % 減の 12,976 GWh と僅かに減少したが、2012 年では 14,111 GWh、2013 年では 14,380 GWh に増加している。

上記データにより、2007 年では販売電力量は発電能力の 44.6% ($= (11,199 \times 10^9) / (2,865 \times 10^6 \times 24 \times 365)$) であったが、2013 年では 37.9% ($= (14,380 \times 10^9) / (4,334 \times 10^6 \times 24 \times 365)$) となっており、需給バランスが改善していることが分かる。このように、電力の需給バランスは改善されてきたが、STEG は今後の需要増大に備え、さらに発電能力の増強に努めている。

図 2.2-8 に示すとおり、上下水道セクターへの販売電力量は 2013 年において 563 GWh であり、販売電力量全体に占める割合は 3.9% である。2007 年以降における販売電力量は 6 年間で 28% 増加しているが、上下水道セクターの割合は 4.0% 前後で推移しており、全体に占める割合では特に大きな増加傾向は示していない。



出典：Annuaire Statistique de la Tunisie 2007-11, <https://www.steg.com.tn/en/institutionnel/produire.html> (2012-13)

図 2.2-8 STEG 販売電力量に占める上下水道セクターの割合

本事業に対する電力供給に係る懸念については 11.3 節に詳述する。

第3章 チュニジア国の水道事業の現状

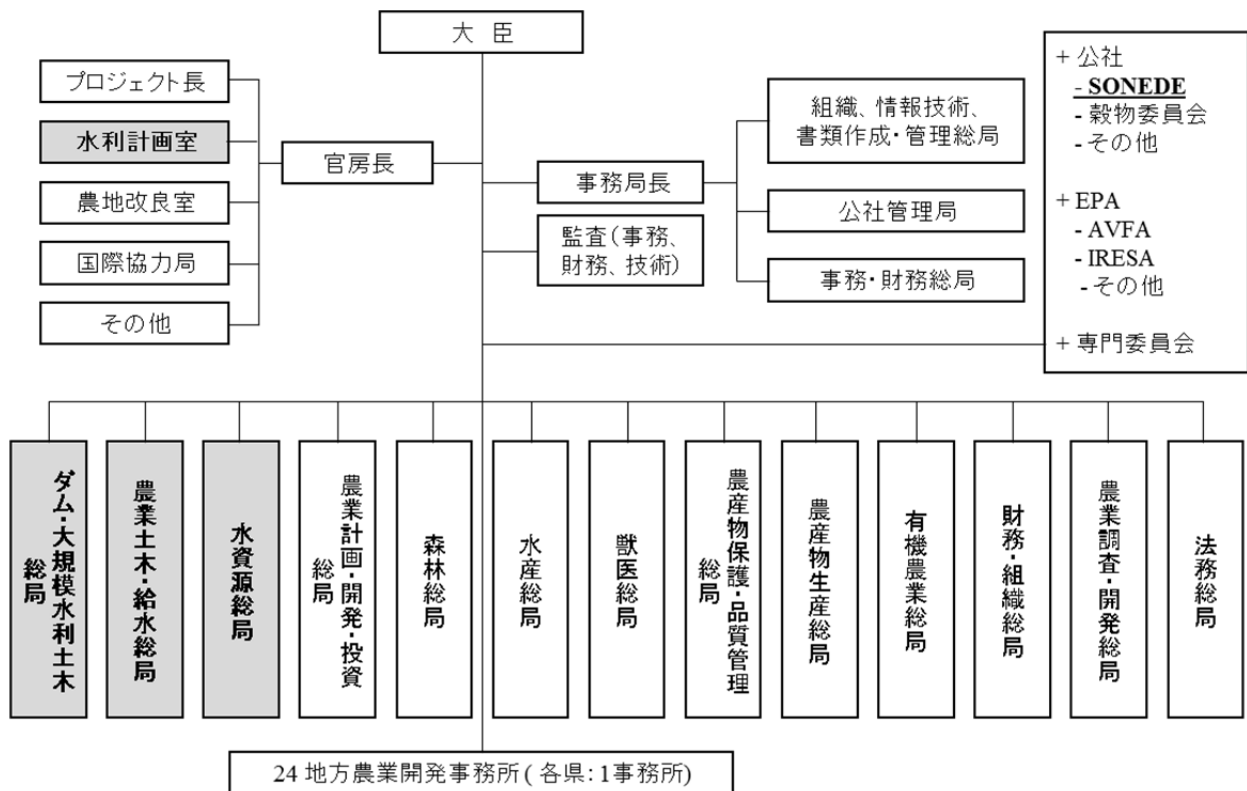
第3章 チュニジア国の水道事業の現状

3.1 水セクターの関連組織と法令

3.1.1 概要

チュニジア国の水セクターに係る政策は、1975年に制定された「水法」(Code des Eaux)に基づき、農業・水資源・漁業省(Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche)が決定している。農業・水資源・漁業省はSONEDEの監督官庁であり、農業・水資源・漁業省が水セクターに関する全国的な政策の決定や計画策定及び大規模水利施設の建設・運転維持管理を行い、SONEDEはこれらの政策や計画に整合した形で、同省所管の施設を適宜利用しながら、都市部と規模の大きな農村集落に対する水道水供給を行っている。

農業・水資源・漁業省は、水セクター以外にも農業や漁業に関連する広範な事業を所管(図 3.1-1 参照)しているが、水セクターを所管する組織(省内の部署及び外郭団体)は、SONEDEを含めて表 3.1-1 に太字で示している部署である。



注：本事業に特に関連のある部署は太字で表している。

出典：農業・水資源・漁業省

図 3.1-1 農業・水資源・漁業省組織図

表 3.1-1 農業・水資源・漁業省の水関係組織

	部署又は組織名	備考
省内部署	BIRH : 水資源調査室 Bureau de l'Inventaire et des Recherches Hydrauliques	DGRE (水資源総局) 所管の独立組織。
	BPEH : 水利計画室 Bureau de la Planification et des Équilibres Hydrauliques	省大臣官房に設置された部署。
	DGRE : 水資源総局 Direction Générale de Ressources en Eau	3.1.2 を参照。全国の水資源の計画・政策を所掌。
	DGGREE : 農業土木・給水総局 Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux	3.1.3 を参照。農業用水利全般を所掌。
	DGBGTH : ダム・大規模水利土木総局 Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques	ダム等による大規模水資源開発を所掌。3.1.4 を参照。
外郭団体(公社等)	INRGREF : 国立農業土木・水・森林研究所 Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts	
	CRDA : 地方農業開発事務所 Commisariats Régionaux du Développement Agricole	3.1.5 を参照。
	RSH : 水利掘削公社 Régie des Sondages Hydrauliques	
	SECADENORD : 北部用水路・導水路開発公社 Société d'Exploitation du Canal et des Adductions des Eaux du Nord	SONEDE や CRDA に対する水の販売収入により独立採算運営を行っている公社。
	SONEDE : 水資源開発公社 Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux	3.1.6 を参照。本事業実施機関

出典：JICA 調査団

全国の水資源開発に関する政策は、同省水資源総局 (DGRE) が所掌する。都市部及び規模の大きな農村集落に対する水道水供給事業 (工業用水を含む) は、SONEDE が実施している。

SONEDE が実施する事業以外の中小規模農村集落への水道水供給事業と全土への農業用水供給事業は、政策立案・計画・評価を農業・水資源・漁業省の農業土木・給水総局 (DGGREE) が、実施面を地方農業開発事務所 (CRDA) がそれぞれ担当している。そのほか、CRDA による支援を受けながら農業水利施設の維持管理を行う利用者の団体として、農業組合 (GDA: Groupements de Développement Agricole)がある。

なお、本事業に係るチュニジア国側の関係省庁としては、上記の農業・水資源・漁業省に加え、外務省 (Ministère des Affaires étrangères)、財務省 (Ministère des Finances)、開発・投資・国際協力省 (MDICI : Ministère du Développement, de l'Investissement et de la Coopération internationale)、環境保護庁 (ANPE : Agence Nationale de Protection de l'Environnement)、海岸開発保全庁 (APAL : Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral) 及び高等公共調達機関 (HAICOP : Haute Instance de la Commande Publique) が挙げられる。外務省は国際関係のチュニジア国側の窓口となり、財務省は、円借款の借入・返済を担う。MDICI は、各セクターの経済開発計画や対外借入れ案件に係る交渉、実施監理を行う機能を持ち、本事業の円借款に係る諸手続きを担当する。ANPE 及び APAL は、本事業の事業者選定手続きに先立つ EIA の審査を担当する。HAICOP は、本事業の事業者選定手続きについて JICA の合意審査に先立つ承認審査を行う。農業・水資源・漁業省は、SONEDE の所管省庁として、本事業の実施に際して SONEDE 内部の PIU (Project Implementation Unit) の設置や組織体制変更に係る許可を行う。

3.1.2 水資源総局 (DGRE)

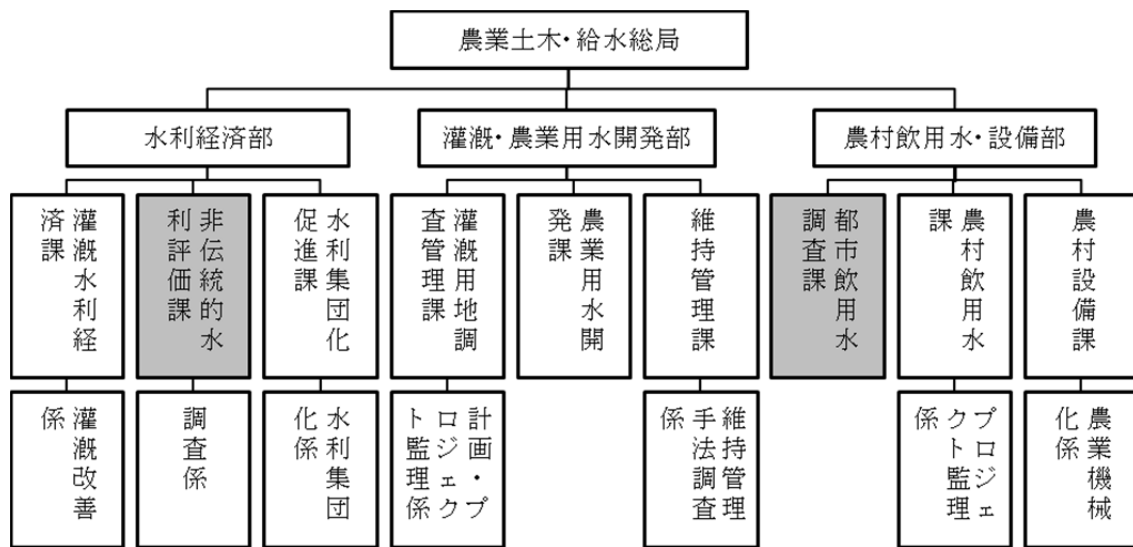
農業・水資源・漁業省の水資源総局は、全国の水セクターにおける水資源の計画・政策を所掌する。主な所掌事務は次のとおりである。

- a) 種々の水資源の監視計測ネットワークの整備と管理
- b) 水資源の評価に関する基礎及び応用研究
- c) 需要に対応するための水資源の管理及び利用の方針と手法の開発
- d) 従来の水資源の継続的な開発を確保するための研究・実験活動の促進
- e) 水資源の流動化に関する基本計画の策定

3.1.3 農業土木・給水総局 (DGGREE)

農業・水資源・漁業省の農業土木・給水総局の組織図を図 3.1-2 に示す。所掌事務は次のとおりである。

- a) 農業土木部門と農業セクターでの水利用に関する調査・計画・政策立案
- b) 灌漑用地の開発、灌漑水の利用、水利施設の維持管理に関する評価と最適手法の立案
- c) 水利用の合理化、農業部門における新規水資源の評価、共同利用組織に対する組織面からのフォローアップ、水需要を管理するためのマネジメントツールの導入
- d) 農村部への飲用水供給計画の策定、都市部と農村部の飲用水に関する計画調整、関連プロジェクトのフォローアップと評価
- e) 農業インフラ整備に関する調整、農業の機械化促進に向けた技術面・経済面からの調査



注：網掛けは本事業と関連する部署を示す。

出典：JICA 調査団

図 3.1-2 農業・水資源・漁業省：農業土木・給水総局組織図

3.1.4 ダム・大規模水利土木総局 (DGBGTH)

農業・水資源・漁業省のダム・大規模水利土木総局は、表流水の制御や水資源の流動化に関する調査、ダムや水の移送関連施設の建設、建設された施設の制御と維持管理を行う部局である。

3.1.5 地方農業開発事務所（CRDA）

地方農業開発事務所は、農業・水資源・漁業省管轄の独立採算運営による組織で、全国 24 の各県に設置されている。その所掌事務のうち水セクター関係については、①農業・水資源・漁業省が直轄で実施するもの以外の農業用水利施設の建設、②農業用水利施設の運転維持管理と農業用水供給事業を実施している。

3.1.6 水資源開発公社（SONEDE）

SONEDE は農業・水資源・漁業省を所管官庁とする独立採算運営による公社として 1968 年に設立された。全国を対象とした生活用水の供給を目的とする公社で、取水、導水、処理、送水及び配水に係る調査計画、施設の利用、建設改良及び運転維持管理を実施している。2013 年現在の組織の概要を表 3.1-2 に示す。

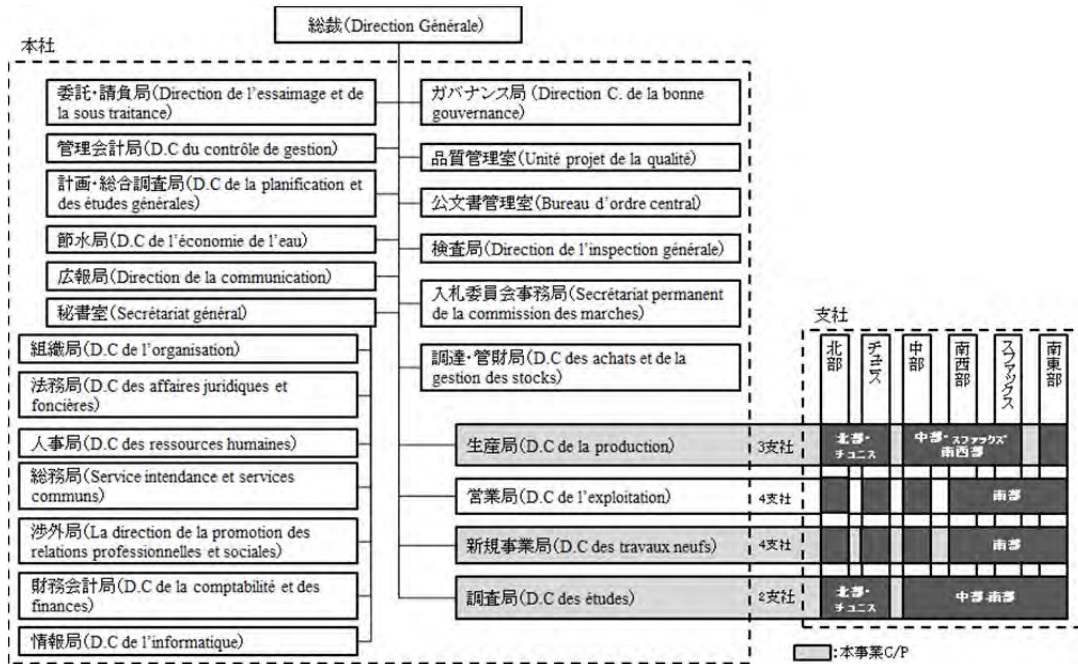
表 3.1-2 SONEDE の概要（2013 年実績）

項目	概要	備考
給水接続数	2,550,318 接続	1000 給水栓あたりの職員数 6,818 人/2,550,318 接続×1000=2.67
給水人口	9.11 百万人	
年間生産水量	609.4 百万 m ³	表流水：347.2 百万 m ³ 地下水：234.4 百万 m ³ 脱塩水：19.7 百万 m ³ 除鉄水：6.2 百万 m ³
年間配水量	555.5 百万 m ³	
年間有収水量	449.9 百万 m ³	
管路延長	49,500km	取水・導水管：9,400km 送配水管：40,100km
職員数（人）	総職員数 6,818 うち正社員 6,039 うち非正社員 779	正社員のうち、 技術職：4,505 名 事務職：1,534 名

出典：SONEDE

SONEDE の組織の構成は、図 3.1-3 に示すとおりである。本社生産局には北部・チュニス支社、中部・スファックス・南西部支社及び南東部支社の 3 支社、本社新規事業局には北部支社、チュニス支社、中部支社及び南部支社の 4 支社、本社運営営業局には北部支社、チュニス支社、中部支社及び南部支社の 4 支社、本社調査局には北部・チュニス支社、中部・南部支社の 2 支社がそれぞれ設置されている。さらに運営営業局各支社には主に料金徴収・顧客対応を担当する営業所（District）が、北部支社に 10 個所、チュニス支社に 9 個所、中部支社に 7 個所、南部支社に 11 個所、合計 37 個所設置されている。本事業の C/P となる部署は、施設の計画設計（工事契約まで）については調査局、施設の建設（工事契約以降）については新規事業局、施設の運転維持管理については生産局となる。

施設の運転維持管理を所管するのは生産局であり、その組織構成は図 3.1-4 に示すとおりである。運転中の 5 淡水化施設（ジェルバ、ガベス、ザルジス、ケルケナ、ベン・ゲルデン）のうち、ケルケナを除く 4 施設を同局南東部支社が所管し、ケルケナ淡水化施設を同局中部ースファックスー南西部支社が所管する。



出典：SONEDE 及び JICA 調査団

図 3.1-3 SONEDE 組織図 (2014 年 10 月現在)



出典：SONEDE 及び JICA 調査団

図 3.1-4 SONEDE 生産局組織構成

上記した生産局南東部支社所管 4 施設の運転維持管理は、通常の運転操作監視、保守点検及び小修繕まではそれぞれの施設運転管理部が実施し、高度なメンテナンスや大規模修繕は、その規模や程度に応じて同支社の機器維持管理部又は本社生産局が担当する。

各淡水化施設の運転維持管理に関する要員の配置状況を表 3.1-3 に示す。ベン・ゲルデン淡水化施設は 2013 年に供用開始したばかりであるため、従来の「ザルジス淡水化施設運転管理部」を「ザルジスーベン・ゲルデン淡水化施設運転管理部」に改組した上で、この部署がザルジス淡水化施設とともに運転維持管理を実施している。このため、運転維持管理、保守点検ともに現状では欠員が目立つが、技術移転を行いながら順次人数を増員していく計画である。

表 3.1-3 既存淡水化施設の運転維持管理要員の配置数

区分	生産局南東部支社								生産局 中部・スファックス・南西部支社		
	淡水化施設機器 維持管理部		ジェルバ淡水化施設 運転管理部		ガベス淡水化施設 運転管理部		ザルジス・ベンゲルデン 淡水化施設運転管理部		ケルケナ淡水化 施設運転管理部		
	役職	人数	役職	人数	役職	人数	役職	人数	役職	人数	
正社員	主任エンジニア	部長	1	部長	1	チーフエンジニア	1				
		チーフエンジニア	1								
	エンジニア										
	エンジニア補			保守点検課長	1	運転監視課長	1	保守点検課長	1		4
				水質試験課長	1			水質試験課長	1		
				運転監視係長	4			運転監視係長	3		
				運転監視(機械)	1			運転監視	1		
	主任技能員	係長職	1	運転監視(電気)	1	保守点検課長	1			部長	1
				保守点検(電気)	1	運転監視(電気)	2				1
	技能員					溶接工	1				3
技能員補	機械設備担当(欠員)	1					運転監視(機械)	1			
	電気設備担当(欠員)	1					運転監視(電気)	2			
							運転監視	1			
							保守点検	1			
作業員					保守点検	1	溶接工	1		4	
							配管工(欠員)	1			
その他	係長職	1	運転監視課長	1	部長(欠員)	1	部長(欠員)	1			
	計画・手配担当	1	秘書	1	水質試験課長	1	運転監視課長(欠員)	1			
	計画・手配担当(欠員)	2	運転手	1	運転監視係長	1	運転監視係長(欠員)	1			
	ポンプ担当	2	その他	3	運転手	2	保守点検(電気、欠員)	1			
	機械設備担当	1					事務員	1			
	電気設備担当	1					運転手	1			
	運転手	1									
小計		14		16		15		19		13	
小計(欠員除く)		10		16		14		14		13	
非正社員				保守点検(電気、主任技能員)	1	作業員	1	植栽管理	2		
				保守点検(電気)	1	配管工	1	清掃員	1		
				作業員	1	運転監視	2	警備員	2		
				植栽管理	1	その他	3				
				その他	4						
小計		0		8		7		5		0	
合計	欠員含む	14		24		22		24		13	
	運転監視			8		11		11			
	保守点検			5		4		6			
	その他			11		7		7			
	欠員除く	10		24		21		19		13	
運転監視			8		11		9				
保守点検			5		4		4				
その他			11		6		6				

出典：SONEDE 及び JICA 調査団 (2013 年 11 月現在)

本計画施設の運転維持管理は生産局中部・スファックス・南西部支社が実施することになる。同支社所管の既存淡水化施設はケルケナ（能力 3,300 m³/日）のみであり、高度なメンテナンスや大規模修繕に対応しうる体制は南東部支社と異なり未構築である。また、ジェルバ島海水淡水化施設が現在工事段階にあるものの、SONEDE はこれまで海水淡水化施設の運転を経験しておらず¹、既存の地下水淡水化施設と運転維持管理のプロセスに違いはないものの、原水の性状の違いに応じた膜の洗浄や

¹ かん水淡水化施設はジェルバ、ガベス、ザルジス、ケルケナ、ベン・ゲルデンの 5 施設を運用している。

交換の頻度等の設定、透過流束（フラックス）の調整など、運転維持管理の手法を確立する必要がある。このため、事業の実施に際しては、両支社の体制再編と必要要員の確保、また確保された要員に対して運転維持管理の初期訓練を施すことが必要である。その方法として SONEDE は施工段階（特に機械・電気設備の搬入段階）から据え付け状況の確認を含む実地訓練（OJT）にその職員を参加させる必要がある。

3.1.7 関連法令

水法は、1975年3月に制定されたチュニジア国水セクターの基本法というべき法律である。同法の概要は表 3.1-4 に示すとおり。なお、本事業に関連する法令のうち環境影響や用地の取得、建設許可に関するものについては本報告書第 8 章及び第 9 章を参照。

表 3.1-4 水法の構成

章	摘要	備考
第 1 章	公共用水域	<ul style="list-style-type: none"> 公共用水域の定義（第 1 条） 公共用水域の管理者は原則として農業・水資源・漁業省（第 4 条） 水調整委員会と公共用水域管理委員会の設置（第 4 条、第 19 条、第 20 条）：ただしこれらの委員会は、革命の影響により現在まで機能していない。
第 2 章	公共用水域の水の保全と監視	
第 3 章	水の利用に関する権利	<ul style="list-style-type: none"> 従来の水の所有権は、水の利用権に転換（第 21 条）
第 4 章	土地利用等の制限	<ul style="list-style-type: none"> 公共用水域の境界から 3m の土地は、フリーゾーンとして留保される（第 40 条）
第 5 章	公共用水域の水に関する権利の許可とコンセッション - 総則 - 表流水に関する特別規定 - 地下水に関する特別規定 - コンセッションの制限	<ul style="list-style-type: none"> 一時許可（第 52 条）：公共用水域やフリーゾーンの土地に水利用のための一時的な施設を設置する場合等 コンセッション許可（第 53 条）：河川敷に恒久的な取水施設を設ける場合、地下水を利用する場合等
第 6 章	水の利用 - 水の節約 - 生活用水に関する特別規定 - 農業用水に関する特別規定	<ul style="list-style-type: none"> 新規水資源の開発（第 87 条）：排水の再利用、高濃度塩水による環境影響を排除した鹹水・海水の利用、地下水の人工涵養等による水資源の確保等
第 7 章	水質汚濁及び洪水・浸水への対策	
第 8 章	水の利用者の組合	
第 9 章	罰則	

出典：JICA 調査団

3.1.8 水質基準

チュニジア国の飲用水水質基準 (NT09.14:1983) 及び WHO、EC 及び日本の水質基準を表 3.1-5 に示す。SONEDE は飲料水の塩分濃度に係る水質指標として TDS (Total Dissolved Solids. 総溶解性蒸発残留物) 濃度を使用しており、これはチュニジア国では一般的である。特に記載のない限り、本報告書において塩分濃度として記載されている水質は TDS 濃度を指す。

表 3.1-5 チュニジア国飲料水水質基準 (NT09.14:1983)

分析項目	単位	チュニジア国飲料水基準 NT09.14(1983)		WHO ガイドライン (2004)	EC飲料水指令 (1998)	日本水質基準 (2003)
		推奨値	基準値			
ヒ素(As)	mg/l		0.05	0.01	0.01	0.01
カドミウム(Cd)	mg/l		0.005	0.003	0.005	0.01
シアン(CN)	mg/l		0.05	0.07	0.05	0.01
水銀(Hg)	mg/l		0.001	0.001	0.001	0.0005
鉛(Pb)	mg/l		0.05	0.01	0.01	0.01
セレン(Se)	mg/l		0.01	0.01	0.01	0.01
アンチモン (Sb)	mg/l		0.02			
銀(Ag)	mg/l		0.02	-	-	-
フッ素(F)	mg/l		0.8-1.7	1.5	1.5	0.8
硝酸態窒素 (NO ₃ ⁻)	mg/l		45	50	50	10 (硝酸態・亜硝酸態窒素)
濁度	NTU	5	25	5	消費者が許容	2度(カオリン)
全溶解性物質(TDS)	mg/l	500	2,000-2500	1,000	(電気伝導度 2,500µS/cm)	500
pH	-	7.0-8.0	6.5-8.5	-	6.5-9.5	5.8-8.6
総硬度	mg/l	10 ⁰ F (as CaCO ₃)	100 ⁰ F (as CaCO ₃)	-	-	300
カルシウムイオン (Ca ⁺⁺)	mg/l	75	300	-	-	
塩化物イオン (Cl ⁻)	mg/l	200	600	250	250	200
銅 (Cu)	mg/l	0.05	1	1	2	1
鉄 (Fe)	mg/l	0.1	0.5-1	0.3	0.2	0.3
マグネシウムイオン (Mg ⁺⁺)	mg/l	30	150	-	-	-
マンガン (Mn)	mg/l	0.05	0.5	0.1	0.05	0.05
硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)	mg/l	200	600	250	250	-
亜鉛 (Zn)	mg/l	1	5	3	0.1	1
大腸菌群	MPN/100ml		0	0	0	0
ホウ素(B)	mg/l		-	0.5	1	1

3.2 チュニジア国の水需給の現状

3.2.1 チュニジア国の水資源量

農業・水資源・漁業省では水理計画室 (Bureau de la Planification et des Équilibres Hydrauliques) が中心となって、限られた水資源を関連する各セクターに、そして各地域にどのように分配するかを総合的な検討を進める準備をしている。

チュニジア国の水資源量は表 3.2-1 に示すとおり。チュニジア国の水資源量の多くは塩分を多く含み、特に地下水資源は利用可能であっても 1,500 mg/L 以上の TDS 濃度を含む水量が半分以上ある。

表 3.2-1 チュニジア国の水資源及び利用可能量 (2013 年)

(単位：百万 m³/年)

	水資源量	利用可能量*			
		TDS 濃度 <1,500mg/L	1500<TDS 濃 度<3,000mg/L	3,000mg/L <TDS 濃度	合計
表流水	2,700	1,200	400	100	1,700
地下水	2,100	300	800	500	1,600
合計	4,800	1,500	1,200	600	3,300

注*：農業・水資源・漁業省は既設のダムの連携を改善して利用可能量を増加させる施策を講じている。

出典：農業・水資源・漁業省各種資料

3.2.2 チュニジア国の水需要

チュニジア国の分野別需要水量は表 3.2-2 に示すとおり。SONEDE は、生活用水、工業用水及び観光用水を給水している。

表 3.2-2 チュニジア国分野別需要水量 (2013 年)

(単位：百万 m³/年)

管轄	農業・水資源・漁業省	水資源開発公社 (SONEDE)			合計
		生活用水	工業用水	観光用水	
用途	農業用水				
水需要	2,160	380	130	30	2,700

出典：農業・水資源・漁業省、SONEDE 各種資料

3.2.3 チュニジア国分野別水需給バランス

表 3.2-3 及び 3.2-4 に示すように、チュニジア国の水資源の利用可能水量の内、TDS 濃度 3,000 mg/L 以下の表流水は 100 %、地下水もほぼ全量を使っており、TDS 濃度 3,000 mg/L 以上の利用可能水源しか残されていない。しかし、この水源は、用途によって TDS 濃度をどの程度まで許容できるのが課題になる。例えば、農業・水資源・漁業省は 2,000 mg/L を灌漑用水水質基準としているが、利用可能な水資源でその基準に適合するものはほぼ使い切っている。また、3,000 mg/L 程度の TDS 濃度の灌漑用水では、オリーブの栽培は可能であるが、長期間にわたって使い続けると土壤に塩分が蓄積されて栽培不能になると言われている。

表 3.2-3 チュニジア国水供給内訳 (2013 年)

(単位：百万 m³/年)

用途	水需要	表流水			地下水		
		TDS 濃度 <1,500mg/L	1,500<TDS 濃 度<3,000mg/L	3,000mg/L <TDS 濃度	TDS 濃度 <1,500mg/L	1,500<TDS 濃 度<3,000mg/L	3,000mg/L <TDS 濃度
農業用水	2,160	970	370	0	250	570	0
飲料用水	380	160	0	0	40	110	70
工業用水	130	60	20	0	10	40	0
観光用水	30	10	10	0	0	10	0
合計	2,700	1,200	400	0	300	730	70
利用率		100%	100%	0%	100%	91%	14%

出典：農業・水資源・漁業省、SONEDE 各種資料

表 3.2-4 水需給バランス (2013 年)

(単位：百万 m³/年)

用途	水需要			利用可能量			利用率		
	表流水	地下水	全体	表流水	地下水	全体	表流水	地下水	全体
農業用水	1,340	820	2,160	/	/	/	/	/	/
飲料用水	160	220	380						
工業用水	80	50	130						
観光用水	20	10	30						
合計	1,600	1,100	2,700	1,700	1,600	3,300	94%	69%	82%

出典：農業・水資源・漁業省、SONEDE 各種資料

3.3 水需給に関する政策と将来計画

チュニジア国では 2011 年の革命直前に第 12 次社会経済開発 5 か年計画 (2010 年-2014 年) を策定した。この計画の中で、都市における給水率は 100%、水質改善のための海水淡水化施設の設置が含まれている。但し、本計画は革命のため有効性が失われた。しかし、SONEDE は現在もこの開発計画に従い、業務に取り組んでいる。本事業は、都市の給水率を 100%に保ちつつ、海水淡水化施設を設置し飲料水の水質改善に寄与する事業であることから、チュニジア国における水セクターの政策に合致した事業であると位置付けられる。参考のため、第 12 次社会経済開発 5 か年計画の内容を以下に記載する。なお、チュニジア政府は 7%/年の GDP 成長率を目標とした新社会経済開発 5 か年計画 (2016 年-2020 年) を策定し、実行に移そうとしている。

(参考) チュニジア国第 12 次社会経済開発 5 か年計画 (2010 年 - 2014 年)

チュニジア国は包括的かつバランスの取れた発展に向けての改革を進め、新興国の仲間入りをする事で、国際社会の信頼を獲得することを国家目標に定めている。

第 12 次 5 か年計画では、2010 年から 2014 年の間に社会福祉と経済発展をバランスさせて、開発の優先順位をつけた新たな成長モデルを確立しながら先進国に追いつくことを目標に、次の方針を示している。

- ① 革新を通じて新たな成長基盤の導入
- ② 個人所得を増加させ、貧困を最小限まで減少させる。
- ③ 高等教育を受けた者の雇用を増やし失業を減少させる。
- ④ 教育・訓練システムを実態経済が必要とするように適応させる。
- ⑤ 社会的利益を集約させる。
- ⑥ すべての地域の統合とその補完性を強化する。
- ⑦ 環境を考慮した経済の導入により生活の質を改善する。

本 5 か年計画の一環として、農業・水資源・漁業省は、①食糧安全保障、②経済的競争力の強化、③輸出促進、及び④天然資源開発、を 2010 年から 2014 年の農業開発の政策方針としていた。特に、天然資源開発の一部として次のような水セクター政策を表明していた。

- チュニジア国は地理的に水資源が限定された地域に位置しており、その資源は乏しい。一方で不規則な降雨や水資源の不均衡な配分の問題に加えて、TDS 濃度や水質汚染の懸念への対応が課題となっている。

- 水資源活用のマスタープランを作成し、水資源の利用・開発・保全のための戦略策定を行い、全てのセクターにおいて、節水を基軸にしつつ、水資源の有効活用に中期・長期的に取り組む。そして、既存の公共灌漑区域 (Public Irrigation Area) を再活性化させると共に、農業用水と生活用水のネットワークの管理を強化する。
- チュニジア国の水インフラは、既に 29 の大規模ダム、226 の小規模ダム、827 の山間部の湖沼、約 95,000 の浅井戸、5,000 以上の稼働中の深井戸があり、水資源の 88%以上が供用されている。
- 生活用水に関して、SONEDE 及び地方建設局が実施するプロジェクトによって、2014 年までに 98 %の給水率を達成する。そして、次期の 5 か年計画では東西地域の水供給基幹プロジェクトを実施して、北西地域 (ケフ県、ベジャ県、ビゼルト県及びジェンドゥーバ県) の給水率改善事業を実施する目途をつける。
- 都市給水については、100 %の給水率を保ちながら、SONEDE が生産水の量を増加させると共に、飲用水の水質が悪化している一部の地域において水質を改善するために、淡水化施設を建設するか、他の地域の良質な水を送水する事業を実施する。
- 農業セクターは最も水を消費しているセクターの一つで 78%を消費し、生活用水は 16%、工業・観光セクターは 6 %を消費している。
- 2016 年頃には水資源の利用率を 95 %程度に上げると共に、従来の水利用方法にとらわれない新たな水の利用方法を促進させて、生活用水の安定供給に資する。
- 既に実施している公共灌漑区域と送配水ネットワークを現代的な節水技術を組み込んで監視し再構築する事業を、120,000 ヘクタールから 2016 年には 200,000 ヘクタールの公共灌漑区域に拡大する。

3.4 農業用水に関する政策と将来計画

(1) チュニジア国農業用水事業の現況及び課題

チュニジア国において実施しているダム建設事業が 2015 年末に完成すると、チュニジア国全体の水資源量 48 億 m³/年の内 95 %が利用されることになる。一方、農業セクターでは約 80%の水を消費しているが、今後は社会的・経済的な発展とバランスさせながら国の競争力を増加させる施策を受けて、農業セクターの水消費を他のセクターへシフトさせることが求められている。近年完成もしくは工事中のダム建設事業を表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 近年完了もしくは進行中のダム建設事業

ダム	場所	貯水量 (百万 m ³)	完成予定年	状況	プロジェクト名	資金
Zarga	Jendouba	22.0	2012	完成済	a	FADES
El Kbir	Jendouba	64.0	2012	完成済	b	FADES
El Maoula	Jendouba	26.3	2012	完成済	b	FADES
Zaiatine	Bizerte	33.0	2012	完成済	c	FADES
Gamgoum	Bizerte	18.3	2012	完成済	c	FADES
El Harka	Bizerte	30.3	2012	完成済	c	FADES
El Maleh	Bizerte	41.0	2015	工事中	c	FADES
Ettin	Bizerte	34.0	2015	工事中	c	FADES
Serat	El kef	21.0	2015	工事中	d	Abu Dhabi & FADES

ダム	場所	貯水量 (百万 m ³)	完成予定年	状況	プロジェクト名	資金
El Kbir Gafsa	Gafsa	24.0	2016	工事中	e	FADES
Eddouimiss	Bizerte	45.6	2018	工事中	c	FADES
Melleg El Aloui	El kef	195.0	2020	工事中	f	FADES

Project Name:

- a. **Projet du barrage de Zarga et d'irrigation des plaines de Tabarka et de Makna**
- b. **Projet des barrages Kebir et Moula**
- c. **Projet de construction de six barrages au nord pour l'eau potable**
- d. **Projet du barrage Sarrat et d'irrigation des plaines de Ouled Boughanem et Mahjouba**
- e. **Projet Barrage Oued El Kebir**
- f. **Projet Barrage Mallègue Supérieur**

Source: DGBGTH, Ministry of Agriculture, Water Resources and Fisheries

Date: 02 June, 2015

(2) SONEDE が始めた農業用ダムからの取水

SONEDE は 2012 年に年間 600 万 m³ の農業用水を転用することで農業・水資源・漁業省の合意を得ている。ただし、農閑期のみという使用条件であり、年間を通して一定量を使用できる合意ではない。本計画対象地で実際に農業用水が上水道用に転用された例として、中部スース給水区域におけるナブハナ・ダムの事例がある。スース県の西側に隣接するケルアン県の山地に建設されたナブハナ・ダムは、サヘルの農業地帯に灌漑用水を供給する農業専用ダムであったが、SONEDE はスースからスファックスに至る中部地域への給水量の増加を目的として、同ダム用水の運営を担当する農業・水資源・漁業省及び農業組合と協議を重ねた結果、ダム用水の一部を夏期の 15 日間に限定して上水用に分流する案に対する合意を 2005 年に得た。その後、SONEDE は中部地域で夏季の渇水傾向が増大する状況に直面し、農民代表との再交渉・説得の結果、転用期間を年間 4 カ月まで延長することが可能となった（夏期 2 カ月及び農閑期の 1、2 月）。

(3) 農業用水の政策及び将来計画

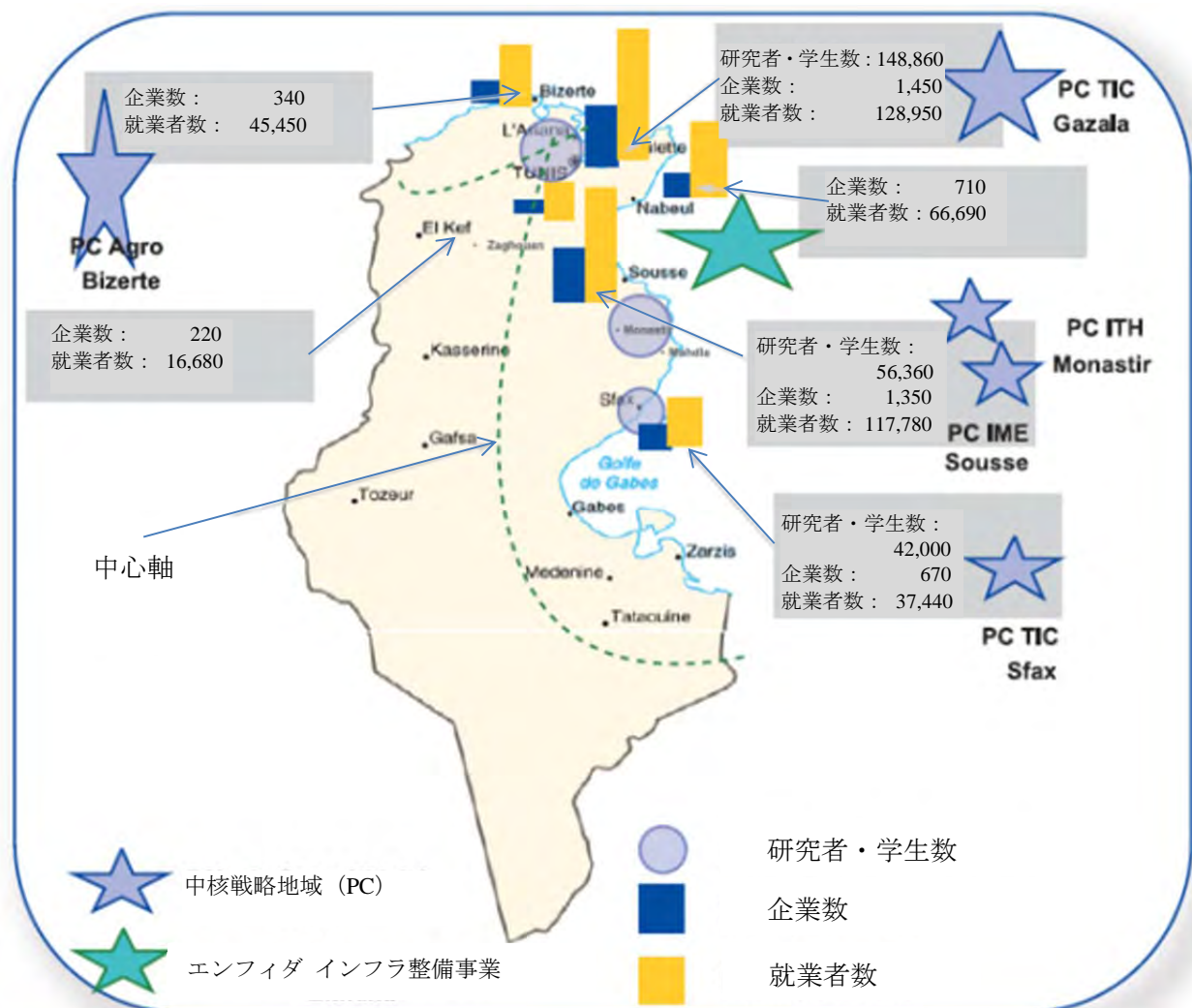
農業・水資源・漁業省は、水管理の政策と将来計画に関し、以下の水管理戦略を以って限られた水資源を有効活用していくこととしている。

- ダム建設と合わせて大規模ダムの連携ネットワークを構築し、地域的な水不足が生じた場合に対応できるシステムとする。
- 水利用集合ネットワーク、水運用、節水機器等の近代化に水保全技術を積極的に導入する。
- 灌漑用に再利用水の利用を促進する。
- 水管理に係る組織と連携して、有効な水利用を促進する仕組みを構築する（下水処理水の再利用促進を含む）。
- 水の価格を高める政策を立案していく（高付加価値農作物への転換促進、灌漑ネットワークの効率化等の検討）。

3.5 工業用水に関する政策と将来計画

チュニジア国の中小企業は SONEDE からの水を工業用水に利用し、大企業は安価な水を得るために自ら井戸を掘って必要な量を確保してきた。2008 年に産業・エネルギー・中小企業省（当時）は 2016 年に向けた産業に係る国家戦略として、繊維・アパレル工業、農作物・食品工業、そして機械・

電気工業を3つの重要な工業分野とし、さらに情報産業分野を今後の強化分野として位置付け、各分野の中核となる戦略地域 (Pôle de Compétitivité (PC)) を設定している² (図 3.5-1 参照)。



出典：産業・エネルギー・中小企業省(当時)「2016年に向けた産業戦略」2008

図 3.5-1 チュニジア国主要工業地域図

サヘル地域のモナスティール県は繊維・アパレル工業セクターの PC、スース県は機械・電気工業の PC として位置付けられ、2009 年までに研究者・学生 56,360 人、会社数 1,350 社、就業者数 117,780 人と想定されていた。また、スファックス県は情報産業分野の競争力を高める PC として位置付けられ、2009 年までに研究者・学生 42,000 人、会社数 670 社、37,440 人が情報産業に従事することが想定されている。情報産業分野は工業用水を要さない産業である。

一方、スファックス県では既に制限水量以上の地下水が揚水されていることから、これまで自ら井戸を掘って必要な工業用水を確保してきた大企業では、次善の対応として海水淡水化施設を自ら建設する企業も出てきた。

また、下水処理水の工業セクターの再利用については、水質面、コスト面から課題が多く、現実的な解決策とはなっていない。

² STRATÉGIE INDUSTRIELLE NATIONALE À HORIZON 2016, MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉNERGIE ET DES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES, 2008

チュニジア国の水不足の現実は避けられないことから、新たな水供給源を探すことも重要であるが、いかに水需要を管理していくかを議論する必要がある。農業・水資源・漁業省は、AFD、KfW、AfDB等の国際開発援助機関の支援を受けて数多くのプログラムを作成しているものの、総合的なものとはなっていない。

第4章 スファックス大都市圏の水需給計画

第4章 スファックス大都市圏の水需給計画

スファックス大都市圏で消費される生活用水において、独自の水源は塩分の多い地下水が2割程度であり、その多くは北部広域水道システム並びに西部（ジェルマ・スベイトラ）地下水送水システムから供給されている。さらに、スファックス大都市圏はその北部広域水道システム及びジェルマ・スベイトラ地下水送水システムの最下流に位置するため、スファックス大都市圏の水需給はスファックス県を含むスファックス大都市圏の上流部の7県の需要に大きく影響される。

北部広域水道システム関連7県、スファックス県、スファックス大都市圏の位置を図4.1-1に示す。

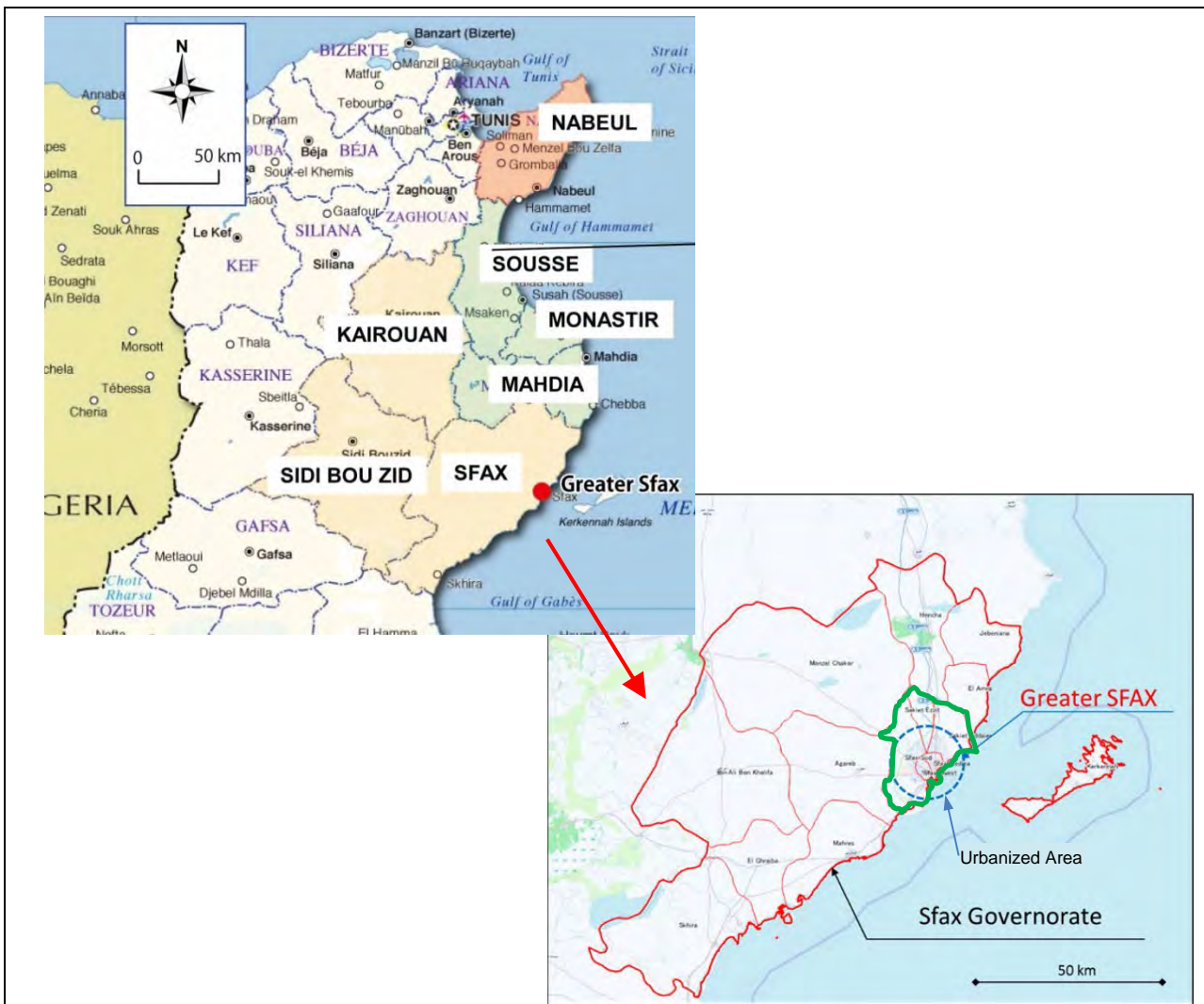


図 4.1-1 北部広域水道システム関連7県、スファックス県、スファックス大都市圏の位置

本章では、スファックス県の生活用水、農業用水、及び工業用水の現状と課題について検討し、それを踏まえてスファックス大都市圏における水需給を検討する。

水需給の検討にあたっては、最初に北部広域水道システム及びジェルマ・スベイトラ地下水送水システムに関連する7県における水需給を解析する。次に、スファックス大都市圏が属するスファックス県の水需給を解析し、最後にスファックス大都市圏の水需給を解析する。さらに、これらを踏まえて、必要とされる海水淡水化施設の規模を検討する。

4.1 水道システムの現状と課題

4.1.1 年間給水人口及び給水量

スファックス県の生活用水は、都市区域では SONEDE が給水し、村落部では SONEDE と農業・水資源・漁業省の農業土木・給水総局（DGGREE）がそれぞれ受け持つ区域の給水をしている。スファックス県の 2006 年から 2012 年における人口及び水道給水人口は表 4.1-1 に示すとおりである。

表 4.1-1 スファックス県の人口及び給水人口

(単位：千人)

項目		年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
スファックス県人口			887.9	900.0	911.3	923.8	936.7	938.7	963.1
都市部	人口		570.0	578.9	586.5	595.6	605.0	613.8	624.2
	SONEDE 給水人口		570.0	578.9	586.5	595.6	605.0	613.8	624.2
	給水率		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
村落部	人口		317.9	321.1	324.8	328.2	331.7	334.9	338.9
	SONEDE 給水人口		179.2	183.8	188.6	192.3	194.4	197.6	199.9
	DGGR 給水人口		131.6	134.4	134.6	118.0	119.4	119.1	120.6
	給水率		97.8%	99.1%	99.5%	94.5%	94.6%	94.6%	94.6%
スファックス県給水率			99.2%	99.7%	99.8%	98.1%	98.1%	98.1%	98.1%

出典：SONEDE 年報

また、SONEDE が給水するスファックス県の 2006 年から 2012 年における年間給水量（有収水量）を表 4.1-2 に示す。

表 4.1-2 スファックス県の年間給水量（有収水量）

(単位：1,000 m³/年)

項目		年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
生活用水	各戸給水		23,037	24,064	26,164	26,388	28,093	29,138	31,440
	共同給水		1,364	1,560	2,116	1,965	3,072	2,396	2,862
	合計		24,401	25,624	28,280	28,353	31,165	31,534	34,302
官公庁・営業用水			3,186	3,278	3,257	3,307	3,428	3,464	3,648
工業用水			2,784	2,817	2,921	2,786	2,963	2,826	3,441
観光業用水			191	199	209	205	189	173	182
その他			229	246	188	136	138	177	97
スファックス県給水量			30,791	32,164	34,855	34,787	37,883	38,174	41,670

出典：SONEDE 年報

SONEDE が 2012 年に給水した用途別の給水量の比率は、生活用水：82.3 %、官公庁・営業用水：8.8 %、工業用水：8.3 %、観光業用水：0.4 %、その他：0.2 %となっている。なお、このうち工業用水は SONEDE の水を業務用に使用している水量を示し、規模の大きい工場等の事業者は独自に井戸を掘り、そこから揚水した地下水を使用している。

人口増加、産業の進展等に伴い水需要が増加し、スファックス県の年間給水量も増え続けている。その需要増加に対応するために安定した水道水源を確保することが、SONEDE の大きな課題になっている。

4.1.2 水道水源

(1) 水道水源の概要

スファックス県の水道水源は、北部広域水道システムからの送水、西部のシディ・ブジド県のジェルマ・スベイトラ地下水送水システムからの送水、そしてスファックス県内の地下水の取水がある。2013年のピーク時の供給可能量は合計20.1万m³/日、各々の比率は42%、37%、21%である。スファックス県の水道水源の概念を図4.1-2に示す。

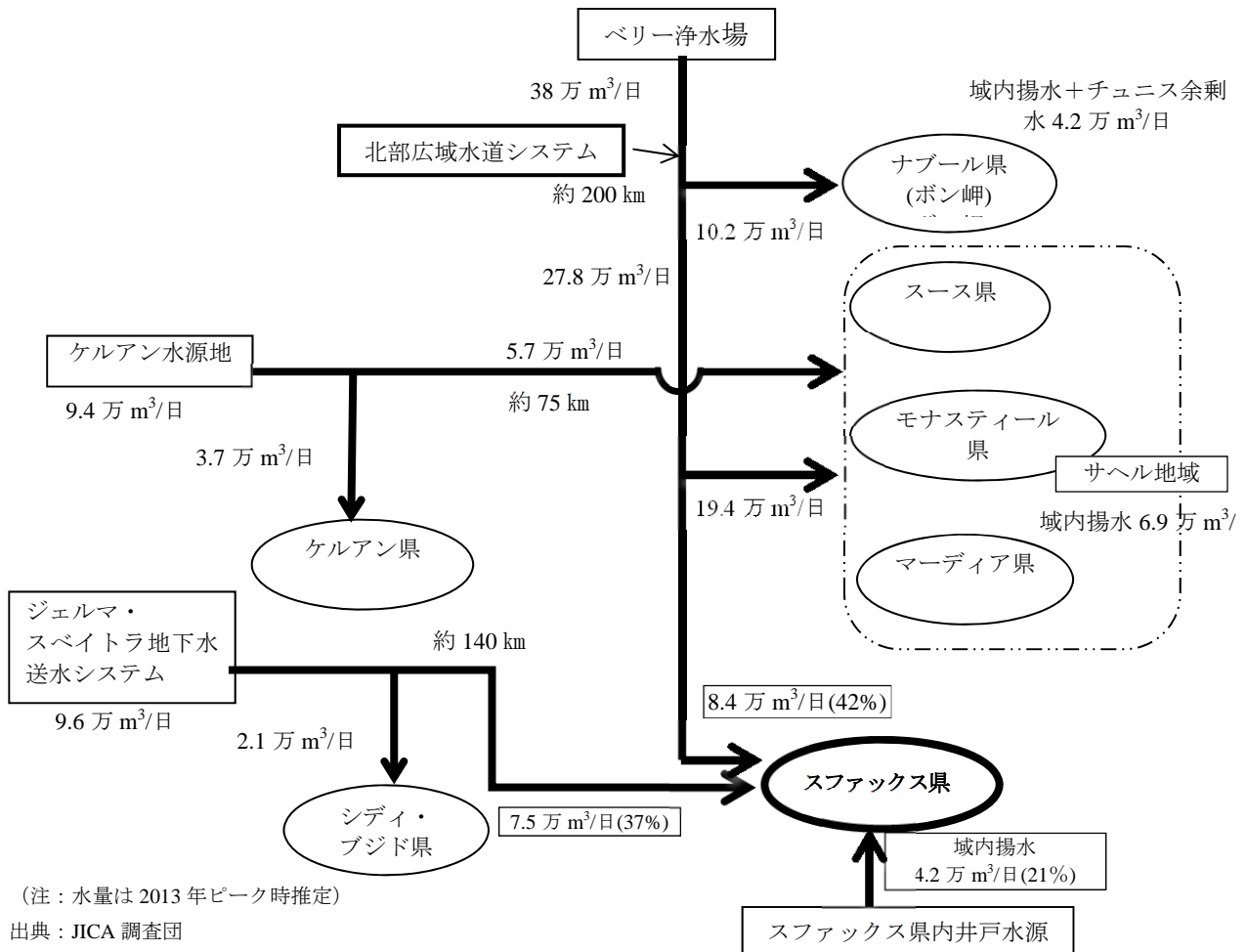


図 4.1-2 スファックス県水道水源概念図

(2) 北部広域水道システム

a) 北部広域水道システムの水源

スファックス県の水道システムは、チュニジア国北部の表流水を水道水源として分配する北部広域水道システムの中に組み込まれている。北部広域水道システムは、ナブール県、スース県、モナスティール県、マーディア県、及びスファックス県に浄水を送水している。これと交差するように内陸部のケルアン県で揚水された地下水が海岸部のサヘル地域（スース県、モナスティール県及びマーディア県を合わせた地域の通称）へ送水されているが、この送水システムは北部広域水道システムとは接続されていない。

北部広域水道システムはナブール県に位置するベリー (Belli) 浄水場を主供給水源とする広

域水道システムである。ベリー浄水場には北部用水路・導水路開発公社（SECADENORD）が運営維持管理する用水路を通じてメジェルダ川の表流水を貯水する Sidi Salem ダム等のダムからの表流水が供給されている。

水源ダム（農業・水資源・漁業省管理）と用水路（SECADENORD 管理）、及び SONEDE のゲディル・ゴーラ（Gedir el Golla）浄水場及びベリー（Belli）浄水場の位置を図 4.1-3 に示す。



出典：JICA 調査団

図 4.1-3 北部貯水池群（農業・水資源・漁業省管理）及び SONEDE 浄水場の位置

SECADENORD は、前述の用水路を運営維持管理する公社であり、農業・水資源・漁業省所管の公社であるが同省から補助金は受けておらず、収益は SONEDE や CRDA に対する水の販売から得ている。

SONEDE は SECADENORD から上水道の原水を購入するに当たり、合意書（契約書）を交わしている。現行の契約は 3 か年（2015 年 4 月 1 日～2018 年 3 月 31 日）有効で、その内容はおおよそ以下のとおりである。

① 取水点

- ・ マツール浄水場への取水（3 月～6 月）を Sajnane から Joumine の間の 34.750 km 地点の導水管から取水する¹。
- ・ マツール浄水場への取水（7 月～2 月）を Joumine から Medjerdah の間の 4.430 km 地点の導水管から取水する。
- ・ ゲディル・ゴーラ浄水場への取水を 35.430 km 地点の用水路から行う。
- ・ ベリー浄水場への取水を 120.165 km 地点の用水路から行う。

¹ 導水管路は Sidi El Barak ダム、Sejnane ダム、Joumine ダムの水をチュニス近郊まで導水し用水路の中間部に放水している。マツール浄水場はチュニス西方のマツールに給水しており、北部広域水道システムと直接の関係はない。

②取水量

- ・ 2015年4月1日から2016年3月31日：最少250百万m³、最大320百万m³
- ・ 2016年4月1日から2017年3月31日：最少256百万m³、最大325百万m³
- ・ 2017年4月1日から2018年3月31日：最少262百万m³、最大330百万m³
- ・ 3年間：最少768百万m³、最大975百万m³

③水質

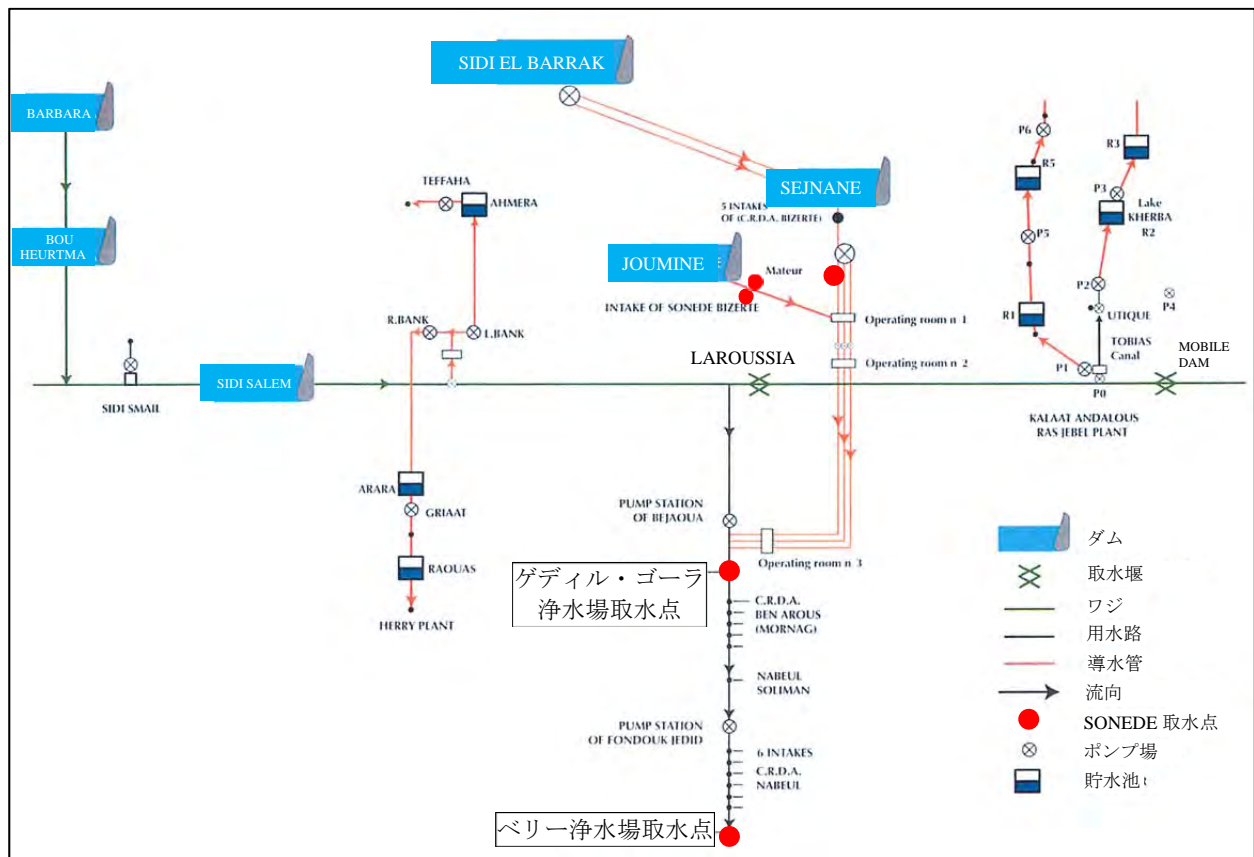
- ・ 塩分濃度（TDS濃度）が1,500 mg/L以下であること
- ・ 濁度が2,000 NTU以下であること

④価格

- ・ ゲディル・ゴーラ浄水場向け：VAT抜きで0.04911 TND/m³
- ・ ベリー浄水場向け：VAT抜きで0.05161 TND/m³
- ・ マツール浄水場向け：VAT抜きで0.04911 TND/m³

⑤契約金額

- ・ 第一年次の金額がVAT込みで14,820,800TND以上18,912,686 TND以下であること



出典：SONEDE 提供資料

図 4.1-4 水源ダム、用水路及び SONEDE 取水点概念図

b) 北部広域水道システムの浄水場

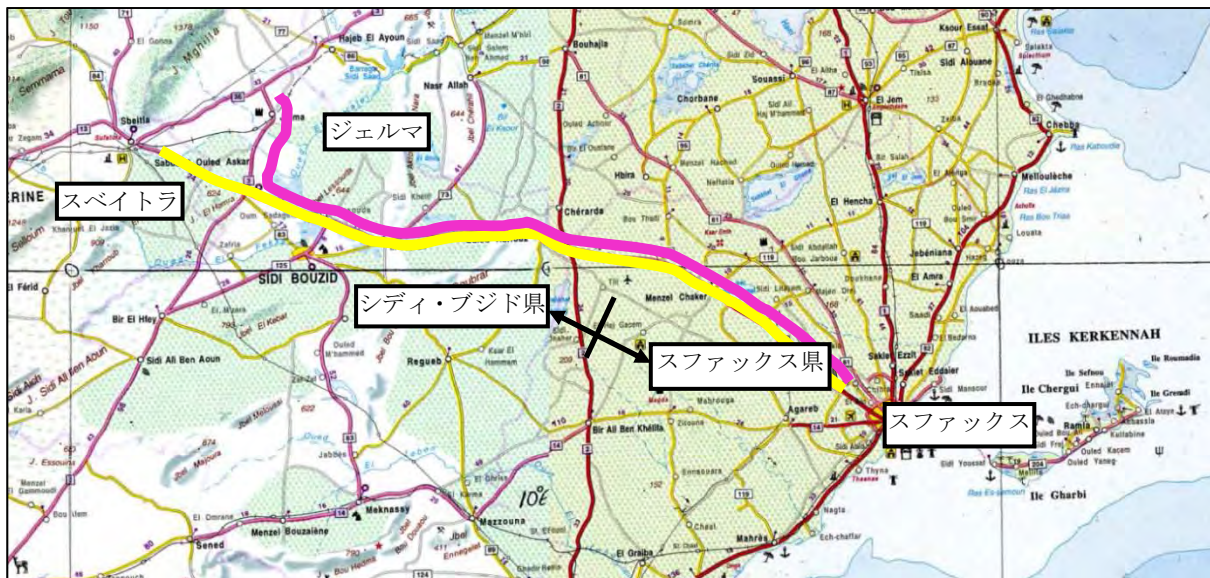
- ・ SECADENORD の用水路はチュニス郊外に位置するゲディル・ゴーラ浄水場及びナブール県

に位置するベリー浄水場に原水を供給している。

- ・ ゲディル・ゴーラ浄水場で処理された浄水は、チュニス市内への配水系統とナブール県への配水系統に分水され、北部広域水道システムには供給されない。
- ・ ベリー浄水場で処理された浄水は、ナブール県への配水系統とナブール県以南への北部広域水道システムに分水され、さらに北部広域水道システムが浄水を中部・南部の対象地域に送水している（図 4.2-2 参照）。

(3) ジェルマ・スベイトラ地下水送水システム

スファックス県西部から国境まで分布する山地・丘陵地に位置するカスリン県のスベイトラ水源及びシディ・ブジド県のジェルマ水源地は、良好な水質の地下水を産出する。この二つの水源地の深井戸から揚水された地下水は、スファックス大都市圏まで約 140 km の管路によって送水されているが、最終送水地点であるスファックス市内の配水池に到達するまでに、途中の集落にも配水されている。水源施設、送水施設、途中の配水施設は全て SONEDE が運営・維持管理を行っている。



出典：JICA 調査団

図 4.1-5 ジェルマ・スベイトラ地下水送水システム

スファックス県では、2012 年夏季の水需要ピーク時に深刻な水不足が発生し、大きな社会問題になった。そのため、新たな井戸の開発が規制されている状況下であったが、SONEDE は政府の特別措置許可を得てピーク時対応の補助水源としての井戸を建設する対策を講じた。また、2013 年にはシディ・ブジド県においても 3 井の井戸が新規に建設され、稼働している。

表 4.1-3 シディ・ブジド県内の新規建設井戸

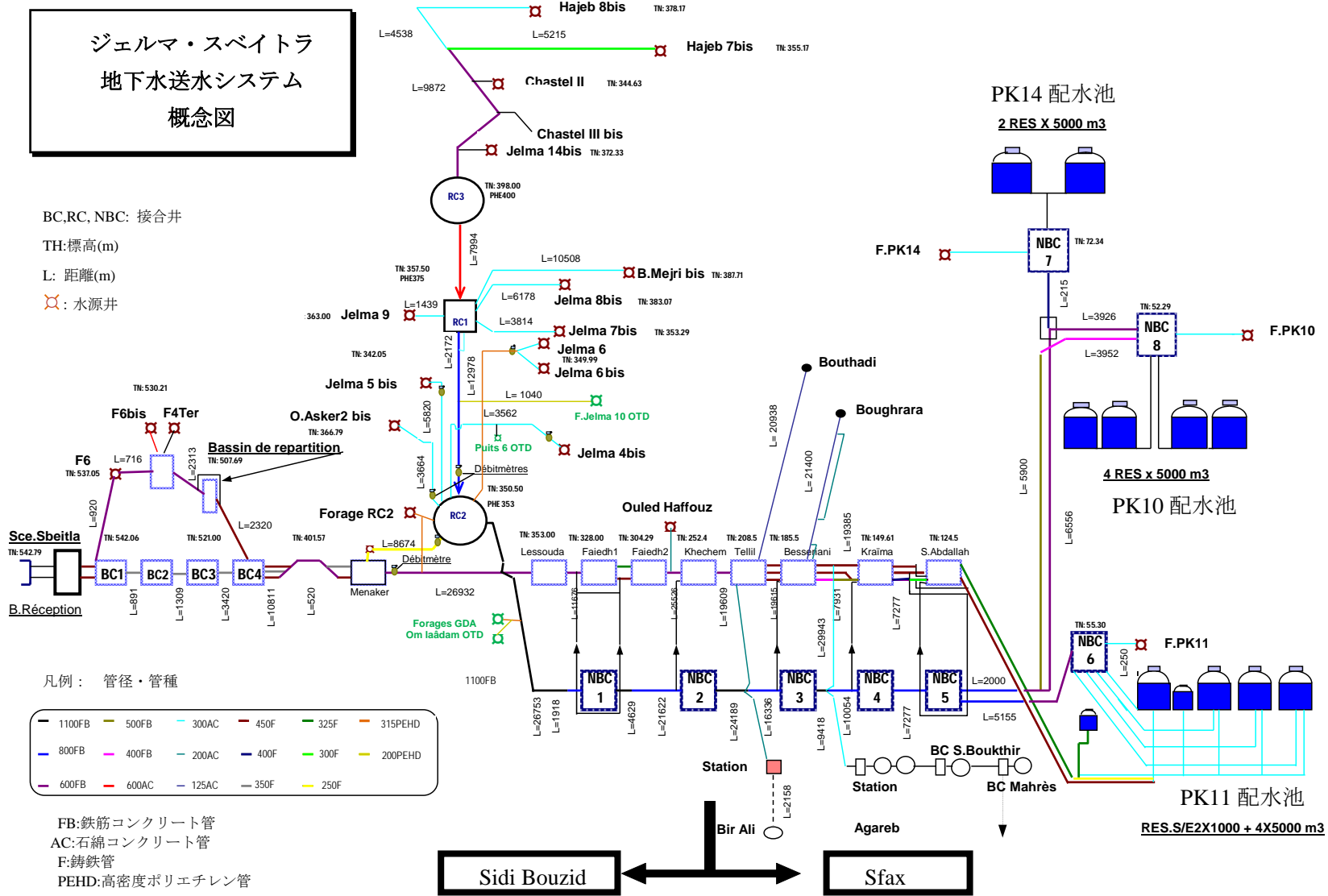
井戸名称	建設年	設計能力(L/秒)	稼働能力(L/秒)	備考
Garaat Hadid 2	2013 年	20	15	施設稼働率：75%
Garaat Hadid 3	同上	20	25	施設稼働率：125%
Ouled Asker 2	同上	40	40	施設稼働率：100%

出典：SONEDE 資料

凡例：施設稼働率＝稼働実績÷設計能力、100%以上は過剰揚水の可能性がある。

ジェルマ・スベイトラ
地下水送水システム
概念図

BC,RC,NBC: 接合井
TH:標高(m)
L: 距離(m)
☒: 水源井



凡例： 管径・管種

1100FB	500FB	300AC	450F	325F	315PEHD
800FB	400FB	200AC	400F	300F	200PEHD
600FB	600AC	125AC	350F	250F	

FB:鉄筋コンクリート管
AC:石綿コンクリート管
F:铸铁管
PEHD:高密度ポリエチレン管

出典：SONEDE 資料

図 4.1-6 ジェルマ・スベイトラ地下水送水システム送水系統図

地下水源に依存するシディ・ブジド県では、増加する地下水の利用を制限するために、1985年から県内6個所の地域における新たな地下水開発は全て認可を必要とすることとし、スファックスへの送水路線もその規制対象になった（1985年2月7日シディ・ブジド県発行 Décret）。その後も、増加する水需要に対応するように井戸が開発されてきたことにより、現在では過剰揚水の状況にある。2010年のジェルマ水源と2009年のスペイトラ水源からの水量を表4.1-4に示す。

表 4.1-4 ジェルマ水源及びスペイトラ水源利用実績

(単位：Mm³/年)

ジェルマ水源	SONEDE用	工業用	灌漑用	合計 ①	揚水制限量 ②	揚水率 ①/②
2010年実績	22.0	-	9.0	31.0	27.8	111%
スペイトラ水源	SONEDE用	工業用	灌漑用	合計 ①	揚水制限量 ②	揚水率 ①/②
2009年実績	9.15	0.13	6.82	16.1	13.5	119%

出典：SONEDE資料

(4) スファックス県内井戸水源

SONEDEはスファックス大都市圏において、北部広域水道システム及びジェルマ・スペイトラ地下水送水システムからの主要な2水源のほか、県内各地に建設された井戸水源14基を補助的に利用している。2012年時点でのSONEDEが運転・維持管理している井戸を表4.1-5に示す。

表 4.1-5 スファックス県内のSONEDEが運転維持管理する井戸（2012年）

番号	名称	井戸番号	設置場所	設置年	揚水水位(m)	揚水量(L/秒)	TDS濃度(mg/L)	深さ(m)	備考
1	Ramla 1	5611	Kerkenna	1951	+24.1	6.25	3500	702	運転中
2	Ramla 2	16693	Kerkenna	1979	+24.1	16.88	3900	363	運転中
3	Well km 11	18805	Sfax South	1978	-21.1	49.21	3030	570	運転中
4	Well km 10	19059	Sfax South	1982	-20.35	48.2	3160	497	運転中
5	Well km 14	19706	Sfax South	1990	-42.6	52.16	3200	482	運転中
6	Sidi Salah	20729	Sakiet Zit	2000	-48	46.52	3100	471	運転中
7	Aouabed	20740	Sfax South	2000	-33.75	51.74	3100	500	運転中
8	Sidi Boukthir	21367	Agareb	2004	-104.8	23	4000	700	運転中
9	Hancha	21365	Hancha	2003	-32.54	0	3580	512	運転休止
10	Bir Sidi Abdallah	21366	Sfax South	2003	-57.6	47.38	3060	580	運転中
11	Ramla 4	21340	Kerkenna	2004	+19.00	25	3620	370	運転中
12	Ouled Youssef	21518	Jebeniana	2006	-42.6	17	3600	360	運転中
13	Ramla 5	21800	Kerkenna	2009	18.00	8.8	3700	360	運転中
14	Bir Chabba	20397	Hancha	1998	-40.75	22	4000	505	運転中

出典：CRDA Sfax 年報（2012）

チュニジア国の飲料水水質基準であるNT09.14では、TDS濃度は2,500 mg/Lまで許容されているが、スファックス県内の地下水はTDS濃度が3,500 mg/L程度と高い。そのためSONEDEは他の水源からの水と各配水池で混合してから給水する方法をとっている。その際、TDS濃度2,000 mg/Lを給水目標としている。

SONEDEは、2012年夏のピーク時の水不足の問題発生を受けて、ジェルマ・スペイトラ地下

水送水システムと同様に、スファックス県内においても政府の特別の許可を得て、新規に井戸を建設しており、その状況は下記のとおりである。

表 4.1-6 スファックス県内の新規建設井戸

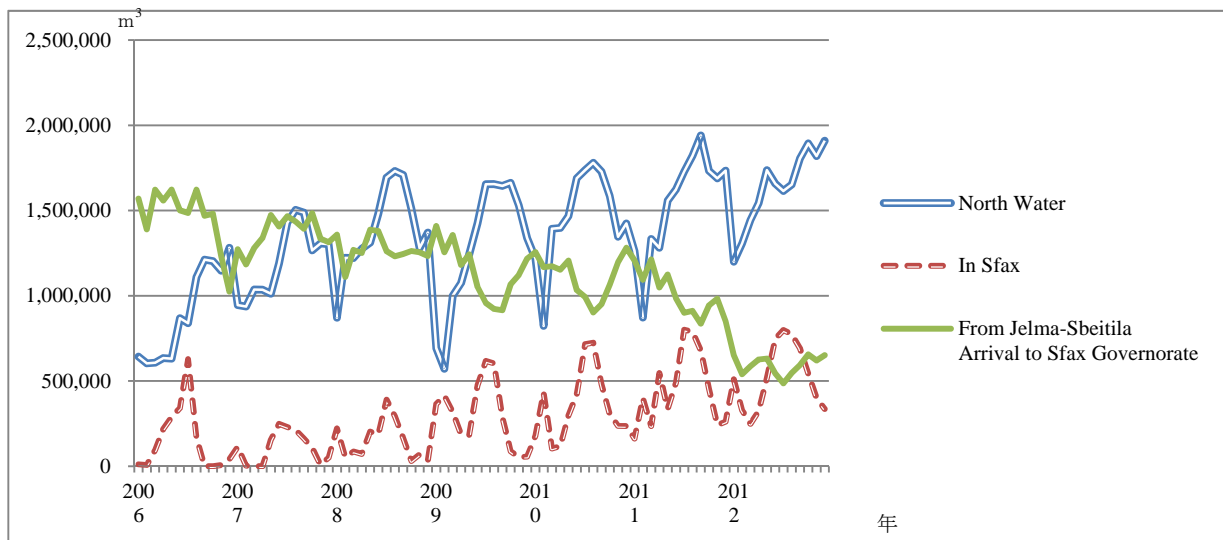
井戸名称	建設年	設計能力 (L/秒)	稼働実績 (L/秒)	施設稼働率
Mahrouga	2013	30	30	100%
PK 15	2013	40	50	125%
Agareb	2013	30	15	50%
Oued Batha	建設中	30	-	-
Saint Louis	2013	20	20	100%
Bir Chooba	2013	20	20	100%
Henchra	2013	20	20	100%
Markez Kammoun	2014 年予定	20	-	-

出典：SONEDE 資料（2013）

凡例：施設稼働率＝稼働実績÷設計能力、100%以上は過剰揚水の可能性がある。

(5) 水道水源に係る課題

自己水源（現状では地下水のみ）に乏しいスファックス県の生活用水は、北部広域水道システム及びジェルマ・スベイトラ地下水送水システムという県外からの送水を主要水源として依存せざるを得ないことが、現在のスファックス県の生活用水に係る課題である。



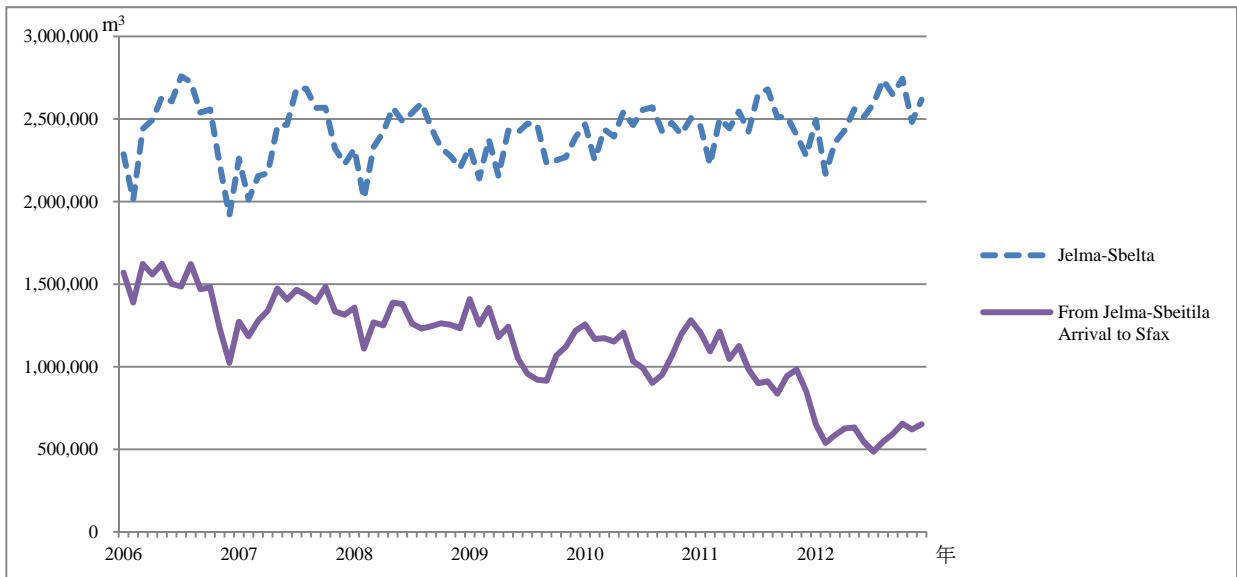
出典：SONEDE 資料

図 4.1-7 スファックス県への 3 供給水源の月別供給水量の推移（2006 年～2012 年）

北部広域水道システムに関して、SECADENORD 用水路からの取水について 3 年ごとに契約をしている。そのため、契約更新をする度に、他のセクターの水需要と SONEDE の需要をどのようにバランスさせるか、SECADENORD に最終的な判断を委ねることになる。

ジェルマ・スベイトラ地下水送水システムでは、図 4.1-8 に示すように 2011 年以降の社会状

況の変化によってスファックス県への送水量が減少している。これは、水源地域及びスファックス県に至る手前の上流側地域の需要の増加に対応しているためである。



出典：SONEDE 資料

図 4.1-8 ジェルマ・スベイトラ生産水量とスファックス県への供給水量の推移（2006 年~2012 年）

各地域への水量配分は、限られている供給水量に対する水源地域の水需要と調整の上、SONEDE が決定することになるが、その配分をめぐる地元との調整及び住民の理解を得ることは容易ではない。供給水量を安定かつ継続して確保するために、SONEDE はスファックス県内の地下水の揚水量を増やしてきた。しかし、地下水資源量の制限範囲を超えた緊急の対応は、揚水期間及び揚水量に対して限定的にならざるを得ない。

4.1.3 農業用水及び工業用水の現状と課題

ここでは、水源計画に大きな影響を及ぼす、農業用水及び工業用水に関する現状と、その課題について整理する。

(1) 農業用水の現状と課題

スファックス県の降雨量は年間で 230 mm 程度であり、地域的に雨季のみに一時流水を見る「枯れ川」が存在するが、常時流水がある河川はなく、そのため、農業用水は表流水に依存できる状況ではなく、地下水に大きく依存している。スファックス県内では多数の井戸、特に浅井戸が建設されてきたことにより、地下水位の低下が懸念される状況になり、現在では全ての井戸の建設は農業・水資源・漁業省への申請が必要となり、認可を得て建設されることになっている。

これら灌漑用の井戸は、農業・水資源・漁業省の各県への出先機関である CRDA に所属する水資源部が担当し、水資源管理課、農業土木課、灌漑課より構成されている。

スファックス CRDA 水資源部で管理している県内灌漑井戸の状況は次のとおりである。

1) 浅井戸

建設深度 0 ~ 50m

登録数 13,788 井

塩分 (TDS) 濃度 2,000 ~ 6,000 mg/L (4,000 mg/L が全体の 52%)

現況 2003 年農業・水資源・漁業省調査により浅層の生産能力は 39.8 百万 m³/年と推定されている。

開発総水量は既に 53 百万 m³/年に達しており、136 % の過剰取水の状態にある。特に井戸が密集する地区は開発制限地区に指定され、新規の井戸建設が禁止され、定期的に水資源部が検査を実施している。

2) 中層井戸

建設深度 70 ~ 200m

登録数 125 井

塩分 (TDS) 濃度 3,000 ~ 4,000 mg/L

現況 近年の調査で確認された帯水層で生産能力は 11.3 百万 m³/年と推定されている。主として個人農家が開発しており、実態は CRDA が調査中である。

3) 深井戸

建設深度 250 ~ 400m

登録数 ポンプ揚水井戸 28 井、自噴井戸 9 井

塩分 (TDS) 濃度 3,000 ~ 4,000 mg/L

現況 スファックス県内全体の深層の生産能力は 25.5 百万 m³/年と推定されている。この層から水道用水として SONEDE が取水し、さらに、工業の盛んなスキーラ (Skhira) 地域では工業用水を取水している。

降水量が限られているスファックス県の農業用水は地下水に依存しているが、浅層地下水は開発され尽くしている。深層地下水は水道用水と工業用水に振り分けて利用されているが、既に揚水制限量まで利用されている。さらに、TDS 濃度等の水質面の課題もある。そのため、農業用水をさらに確保するためには、スファックス県外から農業用水を移送しなければならないが、いずれの地域も水資源量が不足しているため困難である。このため、下水処理水を農業用水として再利用することが推奨される。しかし、農業用水が絶対的に不足していることを考慮すると、下水処理水の農業利用を促進しても、現在の農業用水に使用されている水資源を他用途に転用することにはつながらない。

(2) 工業用水の現状と課題

スファックス県の工業用水は SONEDE が供給するものと、事業者が許可を得て独自に井戸 (深井戸) を設置して地下水を利用するものがある。

1) SONEDE 供給による工業用水

スファックス県の SONEDE が供給する工業用水 (有収水量) は、次のとおりである。

表 4.1-7 スファックス県内 SONEDE 供給工業用水量推移

年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
スファックス県内消費量(1,000m ³ /年)	2,784	2,817	2,921	1,942	2,113	1,999	2,471
前年比	-	1.01	1.04	0.66	1.09	0.95	1.24

出典 : SONEDE 年報 (2012 年)

2) 地下水揚水による工業用水

スファックス県の工業用水として揚水された地下水は、表 3.4-2 に示すとおりである。地下水揚水による工業用水使用量は 2011 年と 2012 年に減少したが、革命の影響による工業活動の低迷が起因していると判断される。

表 4.1-8 スファックス県内地下水揚水工業用水量推移

年	2010	2011	2012
スファックス県内揚水量 (1,000m ³ /年)	12,690	11,760	8,460
前年比	-	0.93	0.72

出典： CRDA 年報 (2012 年)

2012 年にスファックス県内で事業者が登録し運転・維持管理している工業用水井戸を下表に示す。

表 4.1-9 スファックス県内の工業用水井戸 (2012 年)

番号	名称	井戸番号	設置場所	設置年	揚水水位 (m)	揚水量 (L/秒)	TDS 濃度 (mg/L)	井戸深 (m)	備考
1	NPK Well 4	19472	Sfax City	1987	+27.38	49	3100	592	運転休止
2	SFTB Well	19658	Menzel Chaker	1988	-120	9.5	2900	332	運転中(12 L/秒)
3	British Gas	21743	Mahares	2007-2008	+1.04	18	3500	539	運転中(18 L/秒)
4	SIAPE 15		Sfax South	2012	+12.8	39.72	3390	560	運転中(37 L/秒)
5	TRAPSA 7	19765	Skhira	1997	-6.79	40	8000	240	運転中(8 L/秒)
6	SIAPE II 7	20671	Skhira	1999	-27.49	50	10300	315	運転中(50 L/秒)
7	SEPT	21104	Skhira	2002	-10.53	5	9260	263	運転中(16 L/秒)
8	SIAPE II 4	21105	Skhira	2003	-27.73	40	8000	264	運転中(50 L/秒)
9	SIAPE 14	21342	Sfax South	2004	+15.60	55	3460	555	運転中(35.3 L/秒)
10	TRAPSA 6	21521	Skhira	2004	-11.19	25	8300	242	運転中(9 L/秒)
11	SIAPE II 1	21798	Skhira	2008	-24.65	40	8100	260	運転中(57.66 L/秒)
12	TPAP Poulina	21702	Agareb	2008	-59	25	3800	326	運転中(25 L/秒)
13	SIAPE II 5	21797	Skhira	2008	-22.35	40	9600	270	運転中(57.77 L/秒)
14	SIAPE II 3	21794	Skhira	2008	-26.04	50	9600	274	運転中(41.66 L/秒)
15	SIAPE II 7	20277	Skhira	1997	-16.2	68.5	11500	327	運転休止

出典： CRDA 年報 (2012 年)

3) 工業用水の課題

スファックス県の工業用水を必要とする事業者は、SONEDE から受水している事業者に加えて、許可を得て自ら地下水を揚水する事業者が多い。しかし、生活用水、農業用水、工業用水の揚水量は地下水資源の制限量を既に超過していることから、工業用水量の制約が産業発展の制約になっている。また、前出表 4.1-9 に示すように高濃度の TDS を含むため水質に問題がある中で、大規模工場ではその対策に苦慮しており、例えば、国営化学会社の Groupe Chimique では、スファックス県南部のスキエーラの工場内に自己水源として 12,000 m³/日の海水淡水化施設を独自に建設して、2013 年に運転を開始している。

なお、前述したように、革命時には工業用水用の地下水揚水量が一時的に減少したが、産業の回復に伴い工業用水需要は回復してくると考えられる。このため、工業用水に用いられている地下水を生活用水水源に転用することは、その代替水源を必要とすることから現実的ではない。また、表 4.1-9 に示すように、それらの TDS 濃度はかなり高く、揚水水位もかなり低いことから、海岸部で取水し

ている井戸は過剰揚水による塩水侵入を起こしている可能性も疑われ、それらの水源を生活用水に転用することは適切ではない。

4.2 関連計画の概要

スファックス大都市圏に関連する主な水道計画は以下のとおりである。

表 4.2-1 スファックス大都市圏に関連する水道計画の概要

計画名	策定年	概要	本件との関連
(1) スファックス大都市圏配水マスタープラン	2003年3月	スファックス大都市圏の配水システムに係る整備計画	配水計画
(2) 中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査	2005年3月	数か所の海水淡水化施設の計画及び生産された水の配分計画	海水淡水化施設の概要
(3) トルバ、アガレブ、マールス及びスキエラ地域給水ネットワーク計画	2011年1月	スファックス大都市圏より南部の地域の配水施設整備計画	水需給バランス
(4) 広域水道戦略計画	2013年4月	2012年夏の深刻な水不足を受けて、2)で計画されたスファックス大都市圏の緊急整備事業について策定	海水淡水化施設の概要 水需要量

上表に示す各計画を以下に詳述する。

(1) スファックス大都市圏配水マスタープラン

スファックス大都市圏配水マスタープラン「Etude du Plan Directeur des Réseaux de Répartition et de Distribution du Grand Sfax」は、SONEDE が、チュニジア国のコンサルタントのチーム (SCET-TUNISIE 及び BRL engineering) に委託して策定された計画である。

この計画策定調査は、スファックス大都市圏を対象とした地域の最適な配水計画を策定することを目的とし、2001年から次の4段階に分けて調査が行われた。

- i) ミッション A: 既存の施設情報の収集及び評価
- ii) ミッション B: 社会情勢及び都市の基礎情報のデータ収集、将来水需要の検討
- iii) ミッション C: 配水管網の段階的施設整備計画案の検討
- iv) ミッション D: 最適施設計画案のフェーズ 1 の詳細設計

本計画は 2032 年を計画年と定めて施設の整備規模を決め、2011 年までに整備するフェーズ 1 の事業の実施設計を行った。フェーズ 1 及び 2032 年までに整備される施設は下記のとおりである。

フェーズ 1 での整備施設

- Sidi Salah 高区配水池の新設
- Sidi Salah 低区配水池の新設

- 既設配水本管の増設
- Bou Merra 配水池の増設

2032年までに整備する施設

- Sidi Salah 低区配水池の増設
- マハルガ調圧水槽から Sidi Sala 低区配水池までの送水管の布設
- PK11 配水池用の調整池までの送水管の布設
- Bou Merra 配水池の増設

現在、資金確保等の問題により事業実施に遅延はあるものの、本計画で策定された事業が進められている。その中の一部である Sidi Sala 低区配水池やその周辺の配水管網などの整備を円借款「地方都市給水網整備事業」で実施中である。

(2) 中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査

中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査「L'étude de faisabilité du projet d'alimentation en eau potable jusqu'à l'horizon 2030 du Cap Bon, Sahel, Sfax, Gabès, Médenine et Tataouine」は、世界銀行に日本政府が供与した調査資金を用いて、SONEDE がフランス国のコンサルタント (SOGREAH) とチュニジア国の 2 コンサルタント (STUDI 及び IDEACONSULT) に委託して実施されたフィージビリティ調査である。

この調査は、ボン岬地域 (ナブール県の通称)、サヘル地域 (スース県、モナステール県及びマーディア県を合わせた地域の通称)、スファックス県、ガベス県、メドニン県及びタタウイン県を対象とした最適な給水計画を策定することを目的とし、2003 年から次の 3 段階に分けて調査が行われた。

i) ミッション 1

2025 年のサヘル地域の 15 日間のピーク時の水需要に対応するため、容量 8 百万 m³ の生活用水専用の貯水池を検討した。

ii) ミッション 2

将来の水需要と水資源の検討を行い、8 つのオプションと水の生産方法について 2 つのバリエーションを提示した。この検討過程において技術管理委員会からの要請で計画年を 2030 年とした。

iii) ミッション 3

技術面、環境面及び経済・財政面の比較検討を行い、2030 年までの調査地域における生活用水供給の最適な解決策として、第 2 オプションの第 2 バリエーションを選定した。

この調査において最適とされた第 2 オプションの第 2 バリエーションの概要は次のとおりである。

- ボン岬地域とサヘル地域の水供給は、北部からの送水により行い、スファックス県には海水淡水化施設を新設する。
- ガベス県への水供給のため、地域の地下水資源と既設のかん水淡水化施設に加えて、新たにかん水淡水化施設と海水淡水化施設を建設する。
- メドニン県とタタウイン県の水供給のため、地域の地下水資源と既設のかん水淡水化施設に加えて、新たにかん水淡水化施設を建設し、ジェルバ島に海水淡水化施設を建設する。

この調査の最終報告書のドラフトを技術管理委員会で協議し、コメントを付して最終報告書が作成された。技術管理委員会で認められたことにより、本計画は国家事業として認知され、この計画を基本として関連事業が実施されている。本計画策定時の技術管理委員会は次の委員で構成されていた。

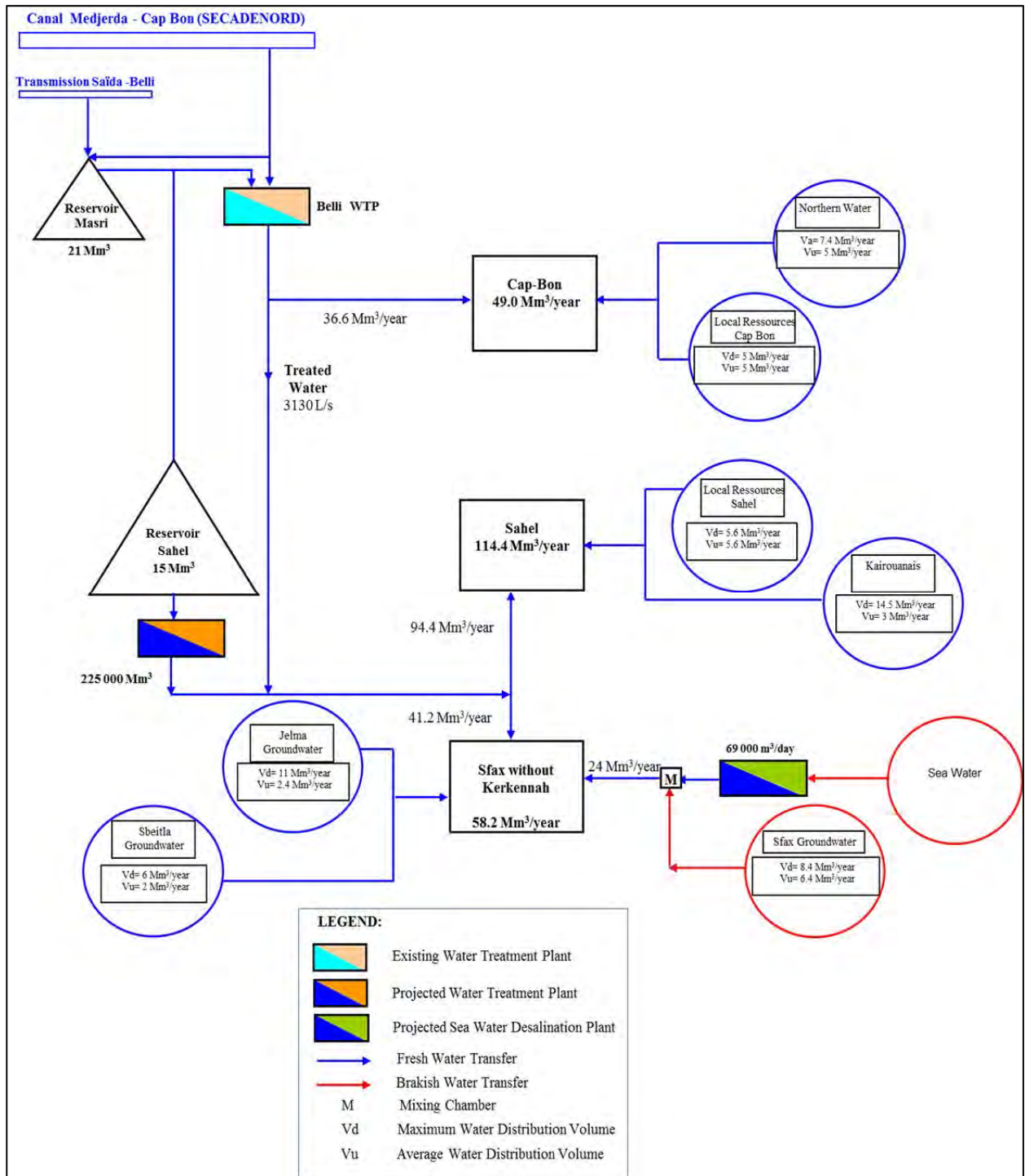
- SONEDE 総裁
- 農業・環境省（当時）水資源総局長
- 農業・環境省（当時）ダム・大規模水利土木総局長
- 農業・環境省（当時）DGRE 委員
- 農業・環境省（当時）DGGREE 委員
- SECADENORD 委員
- 科学研究・能力開発省（当時）委員
- 投資・国際協力省（当時）委員
- 産業・エネルギー・中小企業省（当時）委員

策定された計画のうち、下記がスファックス県の水供給に関連した事業計画の概要である。

- 1) 2030年の年間水需要を 58.2 百万 m³ と想定し、北部広域水道システムから 29.8 百万 m³、県西部のジェルマ・スベイトラ地下水送水システムから 4.4 百万 m³、スファックス県内の井戸から 6.4 百万 m³ を取水し、新設する海水淡水化施設から 17.6 百万 m³ を取水する。
- 2) チュニス西郊のサイダ貯水池の容量を 23 百万 m³ とし、貯留した水をベリー浄水場及びサヘル地区貯水池に送る。サヘル地区貯水池の規模を 2030 年のサヘル地域の 15 日間のピーク時の水需要に対応するため、容量 15 百万 m³ とする（ミッション 2 の段階で変更された）。
- 3) 新設する海水淡水化施設の規模を 69,000 m³/日とする。
- 4) 本計画を基本にして、SONEDE は実施段階で 2005 年の計画策定時点からの状況変化を柔軟に取り入れて事業内容を変更する。

上記のとおり、この調査ではスファックスの海水淡水化施設を生産能力 69,000m³/日として計画していた。しかし、2012 年の水不足問題が発生したことから、海水淡水化施設の規模が見直されることになった。後述する“(4) 広域水道戦略計画”が見直された計画である。

図 4.2-1 に本計画書に記載されている最適案の概念図からスファックス大都市圏に係る部分の抜粋を示す。



出典：SONEDE 資料 JICA 調査団

図 4.2-1 水供給計画最適案 (F/S 報告書ミッション 2 : SOLUTION 2V2 部分抜粋)

(3) トルバ、アガレブ、マーレス及びスキラ地域給水ネットワーク計画

トルバ、アガレブ、マーレス及びスキラ地域給水ネットワーク計画「Etude du réseau d'adduction Tourba - Agareb - Mahrès - Skhira」は、SONEDE がチュニジア国のコンサルタント (BICHE) に委託して策定された計画である。

スファックス県南部のトルバ、アガレブ、マーレス及びスキラ地域の水需要が高まりその対策を

早急に講じるためにこの調査が行われたが、水供給をジェルマ・スベイトラ地下水送水システムから導水する計画であった。その後、2012年のピーク時の水不足の問題が生じたため、この計画を今後どのように現実と整合させるかが課題となっている。

(4) 広域水道戦略計画

「(2) 中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査」に記載されたとおり、スファックス県の海水淡水化施設の設置は国家事業として位置付けられた。しかし、スファックス県で2012年に発生した水不足問題により、緊急に水供給を増加させることが必要となった。そのため、「(2) 中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査」で計画された海水淡水化施設の生産能力を再検討する必要が生じた。それが広域水道戦略計画「ETUDE STRATEGIQUE」である。この計画を緊急にまとめ、2030年までに実施すべき事業計画を立案した。

本計画は緊急に対策を立案するために、水道計画として計画地域の人口、産業、観光の基礎データを収集して将来計画を立案する手法ではなく、過去の給水実績を統計的に分析して現実的に必要とされる水量を予測する手法を採用している。

SECADENORD から取水する北部広域水道システムに水供給を依存するボン岬地域(ナブール県の通称)、サヘル地域(スース県、モナスティール県及びマーディア県を合わせた地域の通称)、ケルアン県、スファックス県に加え、ジェルマ・スベイトラ地下水送水システムの水源が位置するシディ・ブジド県を対象とした地域における水需要を合わせて、それに対応した水供給施設を整備する計画が策定されている。

本計画では、チュニス西郊に建設するサイダ貯水池からサヘル地区に建設する貯水池(カラー・カビラ貯水池)に導水し、カラー・カビラ浄水場から夏のピーク時に $4\text{ m}^3/\text{秒}$ ($345,600\text{ m}^3/\text{日}$)の浄水をサヘル地区及びスファックス県に送る事業とスファックスに海水淡水化施設を建設する事業により、大規模な新規水源を開発する計画としている。

具体的に本計画で整備が提案された主要施設は以下のとおり。

- ・サイダ貯水池：約 45 百万 m^3
- ・メジェルダ川からサイダ貯水池までの導水施設：ポンプ場 3、導水管 13km、貯水池 5000m^3
- ・サイダ貯水池からベリー浄水場までの導水路：導水管 60km、ポンプ場 2
- ・サヘル(カラー・カビラ)貯水池：28 百万 m^3
- ・サヘル(カラー・カビラ)浄水場： $4\text{ m}^3/\text{s}$
- ・スファックス海水淡水化施設： $200,000\text{ m}^3/\text{日}$

これらの施設の位置図を図 4.2-2 に、広域水道戦略計画で計画された浄水施設を表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2 広域水道戦略計画で策定された浄水場及び海水淡水化施設

名称	年	生産能力	スファックス大都市圏への供給水量
サイダ貯水池及びカラー・カビラ貯水池並びに浄水場	2019	4,000L/秒 (345,600m ³ /日)	-
スファックス大都市圏における海水淡水化施設	2018	1,157 L/秒 (100,000m ³ /日)	1,157 L/秒 (100,000m ³ /日)
	2028	2,325 L/秒 (200,000m ³ /日)	2,325 L/秒 (200,000m ³ /日)

本計画に基づき、チュニジア政府は2018年までにスファックス県において200,000 m³/日の海水淡水化施設の建設が必要として、その一部の施設建設に対して、日本の円借款を要請した。

4.3 その他の新規水源の検討

前述した広域水道戦略計画において、海水淡水化施設導入により水供給量を増大させる計画が策定された。本節では、その他の新規水源の可能性と淡水化水源として海水を用いることの妥当性に関して検討する。

既存水源は、表流水と地下水である。利用可能なこれらの水源は、使い尽くされていることが農業・水資源・漁業省の調査において確認されている。特に、地下水においては、水資源保護の観点から揚水量の増加や井戸の新設が厳しく制限されている。具体的なデータを表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 スファックス県とジェルマ・スベイトラ水源の揚水量

単位：百万 m³/年

		生活用水	工業用水	農業用水	合計	揚水制限量	余剰量
スファックス県	2010	5.6	12.7	7.6	25.9	25.5	▲0.4
	2011	6.3	11.8	8.7	26.8	25.5	▲1.3
	2012	8.8	8.5	6.6	23.9	25.5	1.6
ジェルマ水源 (2010)		22.0	-	9.0	31.0	27.8	▲3.2
スベイトラ水源 (2009)		9.2	0.1	6.8	16.1	13.5	▲2.6

注：2011年と2012年は革命の影響により工業用水の揚水量が大きく減じている。

出典：JICA 調査団

表 4.3-1 に示すように、現在の揚水量は制限水量を超えているか、若干下回る程度であり、これ以上の増加は難しい。このため、広域水道戦略計画では北部広域水道システムの増強と海水淡水化施設の導入を計画したが、それら以外の新たな水資源として下記の手段が考えられる。

- 1) 農業用水の転用
- 2) 下水処理水の転用
- 3) 下水処理水を農業用水へ再利用することによる余剰農業用水の転用
- 4) 漏水削減による有効水量の増加

しかし、上記の4つの水資源の活用は以下の理由から現実的ではないと判断する。

- 1) 農業用水の生活用水への転用

SONEDE は 2012 年に年間 600 万 m³ の農業用水を転用することで農業・水資源・漁業省の合意を得ている。ただし、農閑期のみという使用条件であり、年間を通して一定量を使用できる合意ではない。さらに、農業者はこの取水量を減少するように強く農業・水資源・漁業省に求めている。そのため、これ以上の農業用水の転用に関する合意を期待することは現実的ではない。

2) 下水処理水の生活用水への転用

農業用水の不足から果樹を対象として下水処理水を再利用しているものの、下水処理水を生活用水の原水として再利用することは、住民感情を考えると現段階では現実的ではないと考える。

3) 下水処理水を農業用水に再利用することによる余剰農業用水の生活用水への転用

下水処理水は農業用水として既に利用されている。しかし、TDS 濃度が高いという水質の問題やポンプ圧送に費用がかかるため、主な利用場所は処理場周辺の農地に限られている。このような理由から、スファックス南下水処理場では、2007 年には 36% の再利用率であったが、年々減少し 2011 年には 14% になっている。このように下水処理水の農業用水への再利用率の向上は現状ではなかなか期待できない。また、農業用水自体が絶対的に不足しており、前述のとおり、現在、農業・水資源・漁業省と SONED E の間で合意されている年間 600 万 m³ の農業用水の生活用水への転用自体も減少させる強い要望があることから、下水処理水を農業用水へ再利用し、現在の農業用水から下水処理水の転用分を生活用水へ活用することは困難である。

4) 漏水削減による有効水量の増加

スファックス大都市圏の水道施設の無収水率は既に 16% (2013) まで削減されているというデータが SONED E から示されている (表 4.6-1 参照)。漏水削減策の費用対効果及び効果発現には相当な期間を要することを考えると、その実施により有効水量を増加させることは現時点では現実的ではないと判断する。

上記した理由から、スファックス大都市圏においては、北部広域水道システムの増強と海水淡水化施設の導入が最も有効かつ現実的な水源獲得手段であると判断する。

4.4 広域水道における水需給計画

4.4.1 需要水量について

前述したように、SONED E は計画目標年を 2030 年として「中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査」を 2005 年に策定した。その後、2012 年の深刻な水供給不足の問題が発生した。この水供給不足の問題への緊急対策を目的として「広域水道戦略計画」が 2013 年に策定された。「中部・南部地域水供給事業フィージビリティ調査」が策定されていたこと、緊急対策であることなどから、SONED E は 2~3 年程度を費やし、基礎データを積み上げて水道計画を策定することはしなかった。

つまり、一般的に、水需要予測は給水人口及び一人当たり給水量の実績を基に将来値を推定する手法をとるが、SONED E は給水人口及び一人当たり給水量の変動推移は、総給水量の変動推移に包含されると考え、給水量の実績の変動傾向を分析し将来の需要水量を予測している。具体的には、下記のとおり、北部広域水道システムの対象地域であるボン岬地域 (ナブール県の通称)、サヘル地域 (スース県、モナスティル県及びマーディア県を合わせた地域の通称)、及びスファックス県、並びにサヘル地域に地下水を送水しているケルアン県と及びスファックス県に地下水を送水しているシディ・ブジド県の 7 県における過去の給水実績を統計的に分析し、各県の将来の需要水量を予測してい

る。

- ① 各県の給水量平均増加率実績の算定：北部広域水道システム関連 7 県の 2001 年から 2010 年の 10 年間の給水量（有収水量）実績を用いて、各県の 10 年間の平均増加率実績を算定する。
- ② 各県の給水量増加率（2011 年-2020 年）の算定：各県の平均増加率を割り増して 2011 年から 2020 年までの給水量増加率を決める。割り増しする増加率は 0.3% から 1.1% と幅があるが、その根拠は SONEDE が考える地域ごとの重要性に依る。
- ③ 各県の給水量増加率（2021 年-2030 年）の算定：2021 年から 2030 年までは人口の伸びの鈍化が予測されることから、2011 年から 2020 年の予測に用いた増加率から 0.5% 減じた増加率を用いる。
- ④ 負荷率（日平均水量と日最大水量の比率）の設定：負荷率はそれぞれの県の給水実績を基に設定する。SONEDE は負荷率の逆数である、日最大水量と日平均水量に比率を用いている（スファックス県では 1.4）。
- ⑤ 有収水率（Performance Factor）の設定：有収水率は実績値を基に将来の改善効果も見込んで県ごとに設定する。スファックス県の場合は 2010 年から 2030 年に 76% から 80% に改善するものとしている。
- ⑥ 調整係数の設定：上記の条件で水需要を整理した 2010 年の水需要の計算結果は 2010 年の実績値と乖離がある。この乖離は推定した各因数の誤差とに起因すると考えられ、その乖離を解消するために SONEDE が重要と考えるサヘル地域を除く 4 県の解析結果に 0.89 を乗じて調整する。

本調査では、原則として上記予測手法を踏まえつつ、下記のとおり修正を行って需要水量を予測した。また、算定された計画給水量と人口予測値から一人当たり給水量を算定し、その計画値が妥当であるか検証した。

1) 給水量増加率の設定について

SONEDE は、例えば 2001 年から 2010 年の平均増加率が年 3.0% であっても、その間に年 3.5% の増加を上回る年が 5 回あった場合は、2011 年から 2020 年の給水量増加率を年 3.5% とし、2020 年以降は年 3.0% としている。しかし、上方の値のみに注目して計画諸元とすることと、2020 年以降の増加率を一律に 0.5% 下げていることの判断の根拠が明確ではない。そのため、将来の水需要予測は 2001 年から 2010 年の 10 年間の実績に基づくことを重視し、その実績から算出した平均増加率を将来にわたって適用する。

2) 調整係数における地域性の考慮について

過去の実績値と計算値との乖離を解消するための調整係数として、SONEDE は地域の重要性を考慮するとして、観光業の盛んなサヘル地域を除く 4 県の予測結果に 0.89 を乗じている。しかし、特定の地域の重要性つまり特性は過去の水需要のデータに包含されていると考えられるため、この調整係数を各県一律の値として 0.944² とする。

² 2010 年調整前算定 7 県配水量：8,251 L/秒、2010 年生産量実績：7,793 L/秒 調整係数=7,793/8,251=0.944

3) ピーク発生調整係数について

需要のピークが全県で同時に発生することはないという推測の下に、上記調整後のピーク需要量の予測結果に対して、各県一律にピーク時調整係数として 0.95 を乗じる。

4) 目標年次について

SONEDE はこれまでの各種計画と同じく目標年次を 2030 年としている。本調査では事業実施期間を考慮すると現時点から 15 年後の 2030 年では早いと判断し、20 年後の 2035 年を目標年次とした。

上記した SONEDE の予測手法と本調査の修正点をまとめると表 4.4-1 に示すとおりとなる。

表 4.4-1 広域水道における水需要予測手法と本調査における修正点

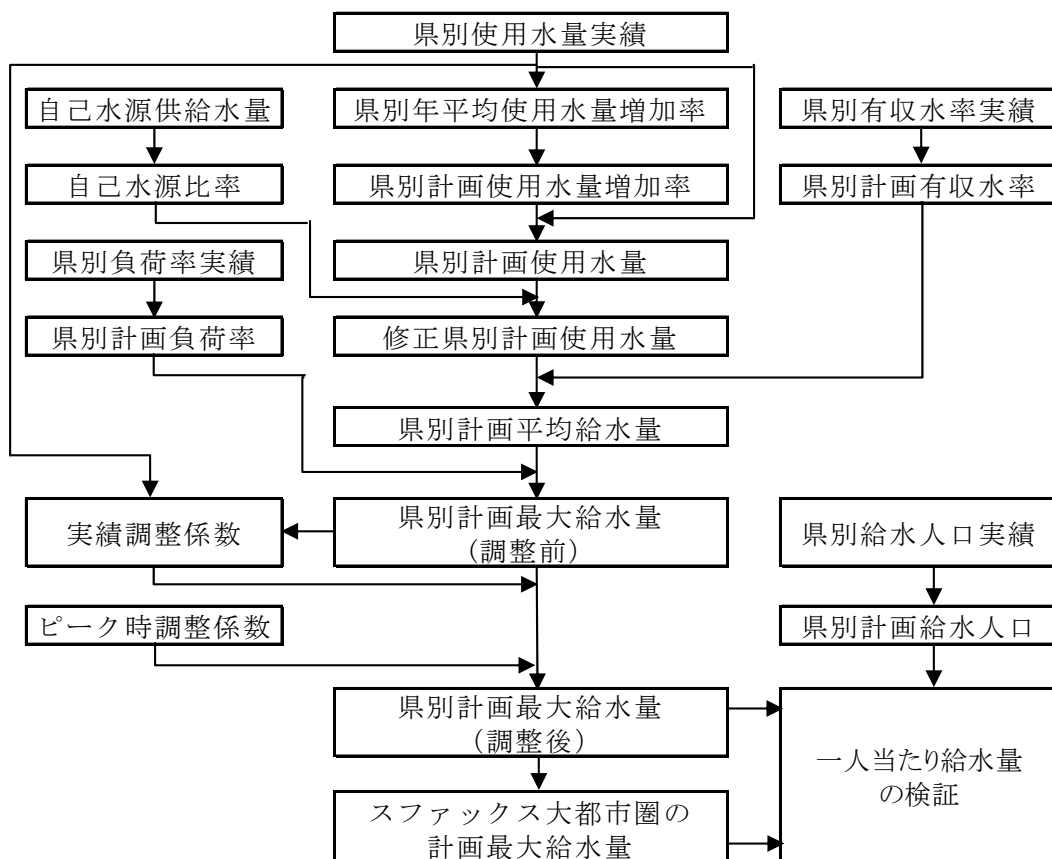
予測手法	広域水道戦略計画における水需要予測	本調査による修正点
1. 各県の給水量平均増加率実績の算定	関連区域内 7 県の 2001 年から 2010 年の 10 年間の給水量（有収水量）実績から各県の給水量平均増加率を算定。	修正なし。
2. 給水量増加率（2011 年 - 2020 年）の算定	各県の平均増加率を割り増して 2011 年から 2020 年までの給水量増加率を算定。割増増加率は 0.3% から 1.1% と幅があるが、その根拠は SONEDE が考える地域ごとの重要性に依る。	将来の水需要予測は 2001 年から 2010 年の 10 年間の実績に基づき算出した平均増加率を適用。この増加率は将来においても一定。
3. 給水量増加率（2021 年 - 2030 年）の算定	2021 年から 2030 年までは人口の伸びの鈍化が予測されることから、2011 年から 2020 年の予測に用いた増加率から 0.5% 減じて算定。	同上。 目標年次を 2035 年とする。
4. 負荷率の設定	各県の給水実績を基に負荷率（日平均水量と日最大水量の比率）を設定。本計画では負荷率の逆数を設定しており、スファックス県では 1.4（ $=1/0.714\dots$ ）。	修正なし。
5. 有収水率の設定	各県の有収水率の実績を基に将来の改善効果も見込んで将来負荷率を設定する。スファックス県の場合は 2010 年から 2030 年に 76% から 80% に改善するものとする。	修正なし ³ 。
6. 調整係数の設定	上記の条件による 2010 年の需要水量の計算結果は 2010 年の実績値と乖離がある。この乖離は推定した各因数の誤差とに起因すると考えられ、その乖離を解消するために SONEDE が重要と考えるサヘル地域を除く 4 県の解析結果に 0.89 を乗じて調整する。	調整係数は各県一律に 0.944 とする。 上記調整後のピーク時の需要水量の予測結果に対して、各県一律にピーク時調整係数として 0.95 を乗じる。ただし、各県単位で需要水量を考慮するときはピーク時調整係数を考慮しない。

³ SONEDE 営業局南部支社によれば、スファックス大都市圏の有収水率は 2002 年～2013 年の間で最高 87.6%（2012 年）、最低 79.4%（2005 年）を記録しているが、スファックス県ではこれより低くなる。

具体的な需要水量予測手順は以下のとおりである。

- 1) 県別使用水量実績(2001年-2010年)から県別計画年平均使用水量増加率を算定(表 4.4-2)
- 2) 県別計画年平均使用水量増加率を用いて県別計画平均使用水量を算定(表 4.4-2)
- 3) 自己完結型の県別給水量から県別自己給水比率を算定(表 4.4-3)
- 4) 県別計画平均使用水量と県別自己給水比率から修正県別計画使用水量を算定(表 4.4-4)
- 5) 県別有収水率実績(2001年-2010年)から県別計画有収水率を算定(表 4.4-5)
- 6) 修正県別計画使用水量と県別計画有収水率から県別計画平均給水量を算定(表 4.4-6)
- 7) 県別負荷率実績から県別計画負荷率を算定(表 4.4-7)
- 8) 県別計画最大給水量(調整前 2010年値)と県別給水量実績(2010年値)から実績調整係数を算定(表 4.4-7)
- 9) 実績調整係数とピーク時調整係数を県別計画最大給水量(調整前)に乗じて県別計画最大給水量(調整後)を算定(表 4.4-8)
- 10) 県別給水人口実績から県別計画給水人口を推定(表 4.4-9)
- 11) 計画最大給水量と県別計画給水人口から一人当たり給水量を算出し検証

上記の概略作業フローを図 4.4-1 に示す。



出典： JICA 調査団

図 4.4-1 本調査における需要水量予測フロー

表 4.4-2 県別使用水量実績及び計画使用水量

単位：1,000,000m³/年

	Year	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid	Total
1	2001	22.9	23.1	17.8	9.4	27.4	7.1	3.9	111.6
2	2002	22.5	22.8	17.6	9.6	27.2	6.6	3.9	110.2
3	2003	23.6	23.5	18.2	9.9	27.6	7.0	3.8	113.6
4	2004	24.7	25.2	19.2	10.5	28.9	7.2	3.9	119.6
5	2005	25.7	25.4	20.0	11.2	30.8	7.6	4.4	125.1
6	2006	27.5	26.2	20.7	12.0	30.8	7.9	4.5	129.6
7	2007	27.9	27.2	21.3	12.7	32.2	8.1	4.6	134.0
8	2008	29.1	28.0	21.8	13.2	34.8	8.6	5.1	140.6
9	2009	29.8	28.5	22.3	13.4	34.8	8.9	5.2	142.9
10	2010	31.3	30.2	23.5	14.7	37.9	9.2	5.6	152.4
	Average Annual Increase Rate								
	%p.a.	3.6%	3.0%	3.1%	5.0%	3.7%	2.9%	4.2%	
11	2011	32.4	31.1	24.2	15.4	39.3	9.5	5.8	157.7
12	2012	33.6	32.0	25.0	16.2	40.8	9.8	6.0	163.4
13	2013	34.8	33.0	25.8	17.0	42.3	10.1	6.3	169.3
14	2014	36.1	34.0	26.6	17.9	43.9	10.4	6.6	175.5
15	2015	37.4	35.0	27.4	18.8	45.5	10.7	6.9	181.7
16	2016	38.7	36.1	28.2	19.7	47.2	11.0	7.2	188.1
17	2017	40.1	37.2	29.1	20.7	48.9	11.3	7.5	194.8
18	2018	41.5	38.3	30.0	21.7	50.7	11.6	7.8	201.6
19	2019	43.0	39.4	30.9	22.8	52.6	11.9	8.1	208.7
20	2020	44.5	40.6	31.9	23.9	54.5	12.2	8.4	216.0
21	2021	46.1	41.8	32.9	25.1	56.5	12.6	8.8	223.8
22	2022	47.8	43.1	33.9	26.4	58.6	13.0	9.2	232.0
23	2023	49.5	44.4	35.0	27.7	60.8	13.4	9.6	240.4
24	2024	51.3	45.7	36.1	29.1	63.0	13.8	10.0	249.0
25	2025	53.1	47.1	37.2	30.6	65.3	14.2	10.4	257.9
26	2026	55.0	48.5	38.4	32.1	67.7	14.6	10.8	267.1
27	2027	57.0	50.0	39.6	33.7	70.2	15.0	11.3	276.8
28	2028	59.1	51.5	40.8	35.4	72.8	15.4	11.8	286.8
29	2029	61.2	53.0	42.1	37.2	75.5	15.8	12.3	297.1
30	2030	63.4	54.6	43.4	39.1	78.3	16.3	12.8	307.9
31	2031	65.7	56.2	44.7	41.1	81.2	16.8	13.3	319.0
32	2032	68.1	57.9	46.1	43.2	84.2	17.3	13.9	330.7
33	2033	70.6	59.6	47.5	45.4	87.3	17.8	14.5	342.7
34	2034	73.1	61.4	49.0	47.7	90.5	18.3	15.1	355.1
35	2035	75.7	63.2	50.5	50.1	93.8	18.8	15.7	367.8

出典： 2001-2010：ETUDE STRATEGIQUE, SONEDE, 2013

2011-2035：JICA 調査団

表 4.4-3 県別自己水源給水量実績*

単位：1,000,000m³/年

	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid	Total
水量	2.1	0.4	0.4	-	0.9	2.7	2.0	8.5
比率	6.7%	1.4%	1.9%	0.0%	2.4%	29.3%	34.9%	5.6%

*：北部広域水道システムとは関わりなく、地域の小規模な水源で給水している。

出典： ETUDE STRATEGIQUE, SONEDE, 2013

表 4.4-4 修正県別使用水量実績及び計画使用水量

単位：1,000,000m³/年

Year	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid	Total
2011	30.2	30.7	23.7	15.4	38.4	6.7	3.8	148.9
2012	31.3	31.6	24.5	16.2	39.8	6.9	3.9	154.2
2013	32.5	32.5	25.3	17.0	41.3	7.1	4.1	159.8
2014	33.7	33.5	26.1	17.9	42.8	7.4	4.3	165.7
2015	34.9	34.5	26.9	18.8	44.4	7.6	4.5	171.6
2016	36.1	35.6	27.7	19.7	46.1	7.8	4.7	177.7
2017	37.4	36.7	28.5	20.7	47.7	8.0	4.9	183.9
2018	38.7	37.8	29.4	21.7	49.5	8.2	5.1	190.4
2019	40.1	38.8	30.3	22.8	51.3	8.4	5.3	197.0
2020	41.5	40.0	31.3	23.9	53.2	8.6	5.5	204.0
2021	43.0	41.2	32.3	25.1	55.1	8.9	5.7	211.3
2022	44.6	42.5	33.3	26.4	57.2	9.2	6.0	219.2
2023	46.2	43.8	34.3	27.7	59.3	9.5	6.2	227.0
2024	47.9	45.1	35.4	29.1	61.5	9.8	6.5	235.3
2025	49.5	46.4	36.5	30.6	63.7	10.0	6.8	243.5
2026	51.3	47.8	37.7	32.1	66.1	10.3	7.0	252.3
2027	53.2	49.3	38.8	33.7	68.5	10.6	7.4	261.5
2028	55.1	50.8	40.0	35.4	71.1	10.9	7.7	271.0
2029	57.1	52.3	41.3	37.2	73.7	11.2	8.0	280.8
2030	59.2	53.8	42.6	39.1	76.4	11.5	8.3	290.9
2031	61.3	55.4	43.9	41.1	79.3	11.9	8.7	301.6
2032	63.5	57.1	45.2	43.2	82.2	12.2	9.0	312.4
2033	65.9	58.8	46.6	45.4	85.2	12.6	9.4	323.9
2034	68.2	60.5	48.1	47.7	88.3	12.9	9.8	335.5
2035	70.6	62.3	49.5	50.1	91.5	13.3	10.2	347.5

出典： JICA 調査団

表 4.4-5 県別計画有収水率

Year	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid
2010					0.76	0.70	0.71
	0.83	0.85	0.85	0.8			
2030					0.80	0.78	0.78

出典： ETUDE STRATEGIQUE, SONEDE, 2013

表 4.4-6 県別計画平均給水量

単位：1,000,000m³/年

Year	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid	Total
2011	36.4	36.1	27.9	19.3	50.4	9.5	5.3	184.9
2012	37.7	37.2	28.8	20.3	52.1	9.7	5.4	191.2
2013	39.2	38.2	29.8	21.3	53.9	10.0	5.7	198.1
2014	40.6	39.4	30.7	22.4	55.7	10.3	5.9	205.0
2015	42.0	40.6	31.6	23.5	57.7	10.6	6.2	212.2
2016	43.5	41.9	32.6	24.6	59.7	10.8	6.4	219.5
2017	45.1	43.2	33.5	25.9	61.6	11.0	6.7	227.0
2018	46.6	44.5	34.6	27.1	63.8	11.2	6.9	234.7
2019	48.3	45.6	35.6	28.5	65.9	11.4	7.1	242.4
2020	50.0	47.1	36.8	29.9	68.2	11.6	7.4	251.0
2021	51.8	48.5	38.0	31.4	70.5	12.0	7.6	259.8
2022	53.7	50.0	39.2	33.0	73.0	12.3	8.0	269.2
2023	55.7	51.5	40.4	34.6	75.4	12.6	8.2	278.4
2024	57.7	53.1	41.6	36.4	78.0	13.0	8.6	288.4
2025	59.6	54.6	42.9	38.3	80.6	13.2	8.9	298.1
2026	61.8	56.2	44.4	40.1	83.5	13.5	9.1	308.6
2027	64.1	58.0	45.6	42.1	86.3	13.8	9.6	319.5
2028	66.4	59.8	47.1	44.3	89.3	14.1	10.0	331.0
2029	68.8	61.5	48.6	46.5	92.4	14.4	10.3	342.5
2030	71.3	63.3	50.1	48.9	95.5	14.7	10.6	354.4
2031	73.9	65.2	51.6	51.4	99.1	15.3	11.2	367.7
2032	76.5	67.2	53.2	54.0	102.8	15.6	11.5	380.8
2033	79.4	69.2	54.8	56.8	106.5	16.2	12.1	395.0
2034	82.2	71.2	56.6	59.6	110.4	16.5	12.6	409.1
2035	85.1	73.3	58.2	62.6	114.4	17.1	13.1	423.8

出典： JICA 調査団

表 4.4-7 県別調整係数

調整係数	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid
1. 日最大/日平均	1.500	1.400	1.500	1.500	1.400	1.500	1.500
2. 実績調整係数	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944
3. ピーク時調整係数	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950
総合調整係数 1x2x3	1.3452	1.2555	1.3452	1.3452	1.2555	1.3452	1.3452

出典： JICA 調査団

表 4.4-8 県別計画最大給水量

単位：1,000,000m³/年

Year	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid	Total
2011	49.0	45.3	37.5	26.0	63.3	12.8	7.1	241.0
2012	50.7	46.7	38.7	27.3	65.4	13.0	7.3	249.1
2013	52.7	48.0	40.1	28.7	67.7	13.5	7.7	258.4
2014	54.6	49.5	41.3	30.1	69.9	13.9	7.9	267.2
2015	56.5	51.0	42.5	31.6	72.4	14.3	8.3	276.6
2016	58.5	52.6	43.9	33.1	75.0	14.5	8.6	286.2
2017	60.7	54.2	45.1	34.8	77.3	14.8	9.0	295.9
2018	62.7	55.9	46.5	36.5	80.1	15.1	9.3	306.1
2019	65.0	57.3	47.9	38.3	82.7	15.3	9.6	316.1
2020	67.3	59.1	49.5	40.2	85.6	15.6	10.0	327.3
2021	69.7	60.9	51.1	42.2	88.5	16.1	10.2	338.7
2022	72.2	62.8	52.7	44.4	91.7	16.5	10.8	351.1
2023	74.9	64.7	54.3	46.5	94.7	16.9	11.0	363.0
2024	77.6	66.7	56.0	49.0	97.9	17.5	11.6	376.3
2025	80.2	68.6	57.7	51.5	101.2	17.8	12.0	389.0
2026	83.1	70.6	59.7	53.9	104.8	18.2	12.2	402.5
2027	86.2	72.8	61.3	56.6	108.4	18.6	12.9	416.8
2028	89.3	75.1	63.4	59.6	112.1	19.0	13.5	432.0
2029	92.5	77.2	65.4	62.6	116.0	19.4	13.9	447.0
2030	95.9	79.5	67.4	65.8	119.9	19.8	14.3	462.6
2031	99.4	81.9	69.4	69.1	124.4	20.6	15.1	479.9
2032	102.9	84.4	71.6	72.6	129.1	21.0	15.5	497.1
2033	106.8	86.9	73.7	76.4	133.7	21.8	16.3	515.6
2034	110.6	89.4	76.1	80.2	138.6	22.2	16.9	534.0
2035	114.5	92.0	78.3	84.2	143.6	23.0	17.6	553.2

単位：m³/日

Year	Nabeul	Sousse	Monastir	Mahdia	Sfax	Kairouan	Sidi Bouzid	Total
2011	134,247	124,110	102,740	71,233	173,425	35,068	19,452	660,274
2012	138,904	127,945	106,027	74,795	179,178	35,616	20,000	682,466
2013	144,384	131,507	109,863	78,630	185,479	36,986	21,096	707,945
2014	149,589	135,616	113,151	82,466	191,507	38,082	21,644	732,055
2015	154,795	139,726	116,438	86,575	198,356	39,178	22,740	757,808
2016	160,274	144,110	120,274	90,685	205,479	39,726	23,562	784,110
2017	166,301	148,493	123,562	95,342	211,781	40,548	24,658	810,685
2018	171,781	153,151	127,397	100,000	219,452	41,370	25,479	838,630
2019	178,082	156,986	131,233	104,932	226,575	41,918	26,301	866,027
2020	184,384	161,918	135,616	110,137	234,521	42,740	27,397	896,712
2021	190,959	166,849	140,000	115,616	242,466	44,110	27,945	927,945
2022	197,808	172,055	144,384	121,644	251,233	45,205	29,589	961,918
2023	205,205	177,260	148,767	127,397	259,452	46,301	30,137	994,521
2024	212,603	182,740	153,425	134,247	268,219	47,945	31,781	1,030,959
2025	219,726	187,945	158,082	141,096	277,260	48,767	32,877	1,065,753
2026	227,671	193,425	163,562	147,671	287,123	49,863	33,425	1,102,740
2027	236,164	199,452	167,945	155,068	296,986	50,959	35,342	1,141,918
2028	244,658	205,753	173,699	163,288	307,123	52,055	36,986	1,183,562
2029	253,425	211,507	179,178	171,507	317,808	53,151	38,082	1,224,658
2030	262,740	217,808	184,658	180,274	328,493	54,247	39,178	1,267,397
2031	272,329	224,384	190,137	189,315	340,822	56,438	41,370	1,314,795
2032	281,918	231,233	196,164	198,904	353,699	57,534	42,466	1,361,918
2033	292,603	238,082	201,918	209,315	366,301	59,726	44,658	1,412,603
2034	303,014	244,932	208,493	219,726	379,726	60,822	46,301	1,463,014
2035	313,699	252,055	214,521	230,685	393,425	63,014	48,219	1,515,616

表 4.4-9 県別行政人口及び給水人口

単位：1000 人

行政人口

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Nabeul	709.7	719.2	728.5	738.4	747.4	757.6	768.5	779.4	788.1	798.0	807.9	817.8	827.7	837.5	847.4	857.3	867.2	877.1	887.0	896.9	906.8	916.7	926.5	936.4	946.3	956.2	966.1	976.0	985.9	995.8	1005.7
Sousse	562.4	573.6	584.5	596.3	605.3	616.2	633.8	648.7	656.7	668.7	680.7	692.7	704.7	716.7	728.8	740.8	752.8	764.8	776.8	788.8	800.8	812.8	824.9	836.9	848.9	860.9	872.9	884.9	896.9	909.0	921.0
Monastir	470.5	479.8	490.0	499.8	509.6	520.2	533.2	539.3	550.8	560.9	571.0	581.1	591.2	601.3	611.4	621.5	631.6	641.7	651.9	662.0	672.1	682.2	692.3	702.4	712.5	722.6	732.7	742.8	752.9	763.0	773.1
Mahdia	383.1	385.5	388.4	391.4	394.1	398.7	399.0	395.0	401.8	404.0	406.2	408.4	410.6	412.8	415.0	417.1	419.3	421.5	423.7	425.9	428.1	430.3	432.5	434.7	436.9	439.1	441.3	443.5	445.7	447.9	450.1
Sfax	875.1	887.9	898.8	910.9	923.8	937.9	948.7	963.1	974.5	987.0	999.5	1012.0	1024.5	1037.0	1049.5	1062.0	1074.5	1087.0	1099.5	1112.1	1124.6	1137.1	1149.6	1162.1	1174.6	1187.1	1199.6	1212.1	1224.6	1237.1	1249.6
Kairouan	549.3	551.1	552.8	554.9	558.9	563.3	564.9	569.4	571.2	574.1	577.0	580.0	582.9	585.8	588.7	591.6	594.6	597.5	600.4	603.3	606.2	609.2	612.1	615.0	617.9	620.8	623.8	626.7	629.6	632.5	635.4
Sidi Bouzid	399.8	402.3	404.5	407.3	410.9	414.4	416.3	418.4	421.7	424.5	427.3	430.1	432.9	435.6	438.4	441.2	444.0	446.8	449.5	452.3	455.1	457.9	460.7	463.4	466.2	469.0	471.8	474.6	477.3	480.1	482.9
Total	3949.9	3999.4	4047.5	4099.0	4150.0	4208.3	4264.4	4313.3	4364.8	4417.2	4469.6	4522.1	4574.5	4626.7	4679.2	4731.5	4784.0	4836.4	4888.8	4941.3	4993.7	5046.2	5098.6	5150.9	5203.3	5255.7	5308.2	5360.6	5412.9	5465.4	5517.8

出典：2005-2012：RAPPORT DES STATISTIQUES, SONEDE、2013-2035：JICA 調査団

給水人口

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Nabeul	614.8	624.3	633.0	642.0	650.1	660.6	670.6	680.5	688.9	698.2	707.5	716.8	726.2	735.5	744.8	754.1	763.4	772.7	782.0	791.3	800.7	810.0	819.3	828.6	837.9	847.2	856.5	865.8	875.2	884.5	893.8
Sousse	534.5	545.3	556.6	568.0	576.7	587.5	606.2	623.8	630.1	642.3	654.6	666.9	679.2	691.4	703.7	716.0	728.2	740.5	752.8	765.1	777.3	789.6	801.9	814.2	826.4	838.7	851.0	863.3	875.5	887.8	900.1
Monastir	470.5	479.8	490.0	499.8	509.6	520.2	533.2	539.3	550.8	560.9	571.0	581.1	591.2	601.3	611.4	621.5	631.6	641.7	651.9	662.0	672.1	682.2	692.3	702.4	712.5	722.6	732.7	742.8	752.9	763.0	773.1
Mahdia	306.0	311.5	322.3	334.8	337.5	341.5	341.8	338.4	352.7	357.9	363.2	368.4	373.6	378.8	384.1	389.3	394.5	399.7	404.9	410.2	415.4	420.6	425.8	431.0	436.3	441.5	446.7	451.9	457.2	462.4	467.6
Sfax	735.9	749.2	761.3	774.8	787.9	800.4	811.4	824.1	837.3	850.0	862.6	875.2	887.8	900.4	913.0	925.6	938.2	950.8	963.4	976.0	988.6	1001.2	1013.8	1026.4	1039.0	1051.6	1064.2	1076.8	1089.4	1102.1	1114.7
Kairouan	319.7	321.8	324.5	333.8	341.4	345.5	347.1	351.3	358.0	363.0	368.0	373.0	378.0	382.9	387.9	392.9	397.9	402.9	407.8	412.8	417.8	422.8	427.8	432.7	437.7	442.7	447.7	452.7	457.6	462.6	467.6
Sidi Bouzid	183.8	189.2	190.8	192.3	194.1	196.3	197.3	198.3	201.4	203.3	205.2	207.1	209.0	210.9	212.8	214.7	216.6	218.5	220.4	222.3	224.3	226.2	228.1	230.0	231.9	233.8	235.7	237.6	239.5	241.4	243.3
Total	3165.2	3221.1	3278.5	3345.5	3397.3	3452.0	3507.6	3555.7	3619.2	3675.6	3732.1	3788.5	3845.0	3901.2	3957.7	4014.1	4070.4	4126.8	4183.2	4239.7	4296.2	4352.6	4409.0	4465.3	4521.7	4578.1	4634.5	4690.9	4747.3	4803.8	4860.2
スファックス県給水率									85.9%	86.1%	86.3%	86.5%	86.7%	86.8%	87.0%	87.2%	87.3%	87.5%	87.6%	87.8%	87.9%	88.0%	88.2%	88.3%	88.5%	88.6%	88.7%	88.8%	89.0%	89.1%	89.2%
7県給水率									82.9%	83.2%	83.5%	83.8%	84.1%	84.3%	84.6%	84.8%	85.1%	85.3%	85.6%	85.8%	86.0%	86.3%	86.5%	86.7%	86.9%	87.1%	87.3%	87.5%	87.7%	87.9%	88.1%

出典：2005-2012：RAPPORT DES STATISTIQUES, SONEDE、2013-2035：JICA 調査団

注：2013-2035 は線形近似による予測

4.4.2 新規水源計画

広域水道戦略計画では 2030 年を計画目標年次として、水需要の増加に対応した水供給量の増加に関する方策が検討された。広域水道戦略計画で計画された浄水施設は表 4.2-2 に示したとおりであるが、本調査期間中に SONEDE にその実施スケジュールについて確認したところ、表 4.4-10 に示すとおり、カラー・カビラ貯水池及び浄水場については現時点で同計画に比べて 1 年遅れで、段階的に建設するという意向を示した。また、スファックス海水淡水化施設についてはできる限り早期に建設したいという意向を示した。

表 4.4-10 広域水道新規浄水場及び海水淡水化施設の整備年次

名称	年	生産能力	スファックス大都市圏への最大供給水量
サイダ貯水池及びカラー・カビラ貯水池並びに浄水場	2020	1,500L/秒 (129,600m ³ /日)	-*
	2024	3,000L/秒 (259,200m ³ /日)	-*
	2029	4,000L/秒 (345,600m ³ /日)	-*
スファックス大都市圏における海水淡水化施設	2022	1,157 L/秒 (100,000m ³ /日)	1,157 L/秒 (100,000m ³ /日)
	2026**	2,325 L/秒 (200,000m ³ /日)	2,325 L/秒 (200,000m ³ /日)

*：北部広域水道システムから供給される水の一部として供給され、同システムの既存水源と混合している。

**：水需給バランスを考慮した結果により設定。詳細は後述する。

出典：SONEDE、2014

本調査ではサイダ貯水池及びカラー・カビラ貯水池並びに浄水場については SONEDE の考えを踏襲するが、スファックス海水淡水化施設については、円借款事業としての実施スケジュールを考慮し（第 10 章に詳述）、第 1 期事業は 2022 年から通水される計画とした。第 2 期事業の開始時期はスファックス海淡施設の全体計画として 200,000m³/日の施設を建設する場合、その半分の 100,000m³/日を建設して需要を満たせる期間を第 1 期として、その後を第 2 期として考えることが適当と判断した。

円借款対象事業の事業範囲については、スファックス海水淡水化施設の第 1 期事業の部分及びそのために必要な関連施設を円借款対象と考え、それらを総称して第 1 期事業とする。

なお、上記した新規水源を整備しても 2031 年以降は北部広域水道システムの上流側で水不足状態になるため、図 4.4-3 に示すとおり、最終的に 250,000m³/日程度の供給能力を持つ新規水源が北部広域水道システムの上流側に必要となる。これを下流側のスファックス県で整備しても、需要が増大するのはその上流側であるため、大量の水を遠隔地に送水する必要が生じる。したがって、スース県のような需要が大きい地域の上流側に新規水源を整備することが望ましい。

4.4.3 水需要と供給

4.4.1 と 4.4.2 をもとに需要水量と水供給量を検討した。その結果を表 4.4-11～表 4.4-13、図 4.4-2 及び図 4.4-3 に示す。また、北部広域水道システム関連 7 県全体の需給バランスの計算を表 4.4-14 に

示す。

表 4.4-11 北部広域水道システム関連 7 県全体の需要水量

		2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
人口	行政人口	4,469,600	4,731,500	4,993,700	5,255,700	5,517,800
	給水人口	3,732,100	4,014,100	4,296,200	4,578,100	4,860,200
平均使用水量原単位 (L/人/日)		103	114	127	143	161
平均非家庭用水割合 (%)		22	22	22	22	22
平均無収水率 (%)		23.7	23.0	22.4	21.8	22.0
日平均給水量 (m ³ /日)		581,400	687,700	816,700	971,000	1,161,100
日最大/日平均*		1.303	1.291	1.305	1.305	1.305
日最大給水量 (m ³ /日)		757,800	887,500	1,065,700	1,267,400	1,515,600

*:日最大/日平均×調整係数

出典：JICA 調査団

表 4.4-12 北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給バランス(新規水源なし) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	北部広域水道既存水源	476,800	477,600	477,500	477,200	476,800	476,300
	ジェルマ・スベイトラ水源	91,600	91,600	91,600	91,600	91,600	91,600
	域内地下水	221,400	221,400	221,400	221,400	221,400	221,400
	合計	789,800	790,600	790,400	790,100	789,700	789,300
日最大需要水量		757,800	887,500	961,800	1,065,700	1,267,400	1,515,600
水需給バランス		31,900	▲97,000	▲171,400	▲275,600	▲477,700	▲726,400

出典：JICA 調査団 (注：四捨五入により (供給水量合計－需要水量) は必ずしも水需給バランスと一致しない)

表 4.4-13 北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給バランス(新規水源あり) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	サヘル地区海水淡水化施設	0	0	0	0	0	250,000
	サイダ`カラー`カビ`ラ貯水池浄水場	0	129,600	129,600	259,200	345,600	345,600
	スファックス海水淡水化施設	0	0	100,000	100,000	200,000	200,000
	北部広域水道既存水源	476,800	477,600	477,500	477,200	476,800	476,300
	ジェルマ・スベイトラ水源	91,600	91,600	91,600	91,600	91,600	91,600
	域内地下水	221,400	221,400	221,400	221,400	221,400	221,400
	合計	789,700	920,200	1,020,000	1,149,300	1,335,300	1,584,900
日最大需要水量		757,800	887,500	961,800	1,065,700	1,267,400	1,515,600
水需給バランス		31,900	32,600	58,200	83,600	67,900	69,200

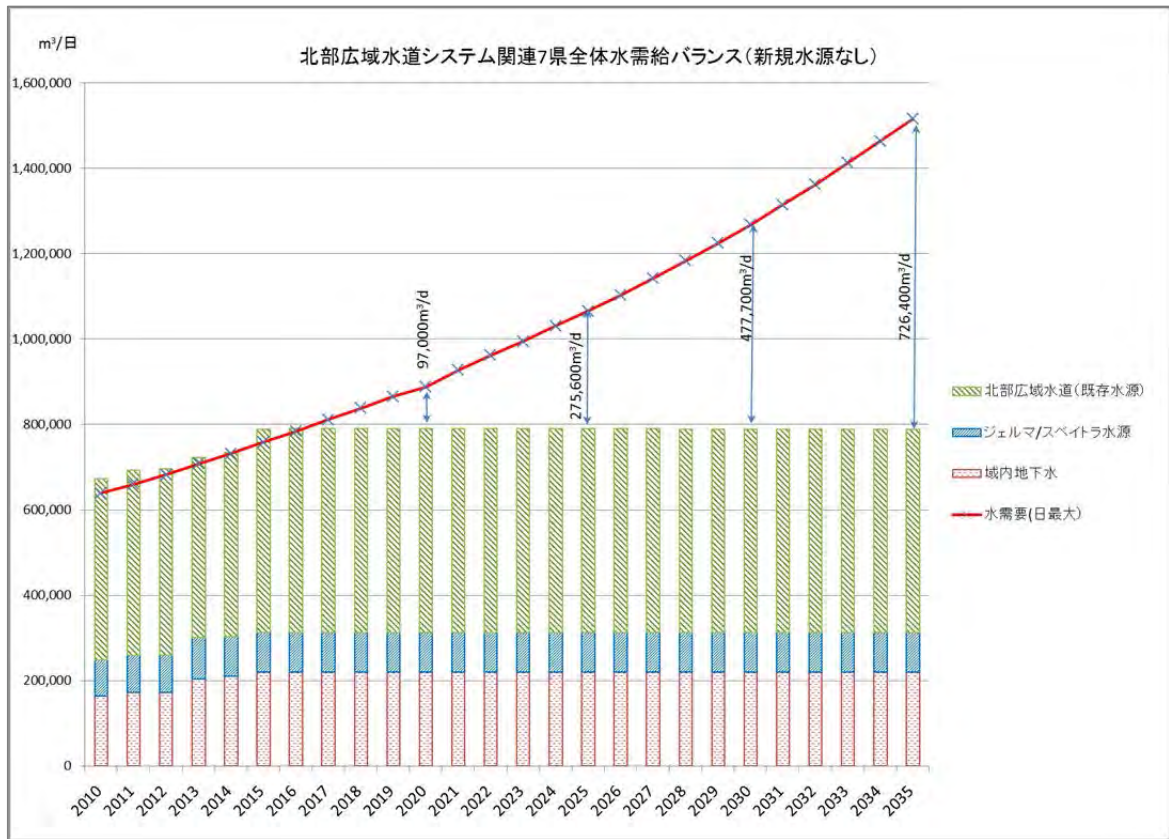


図 4.4-2 北部広域水道システム関連7県全体水需給バランス（供給水源：既存施設のみ）

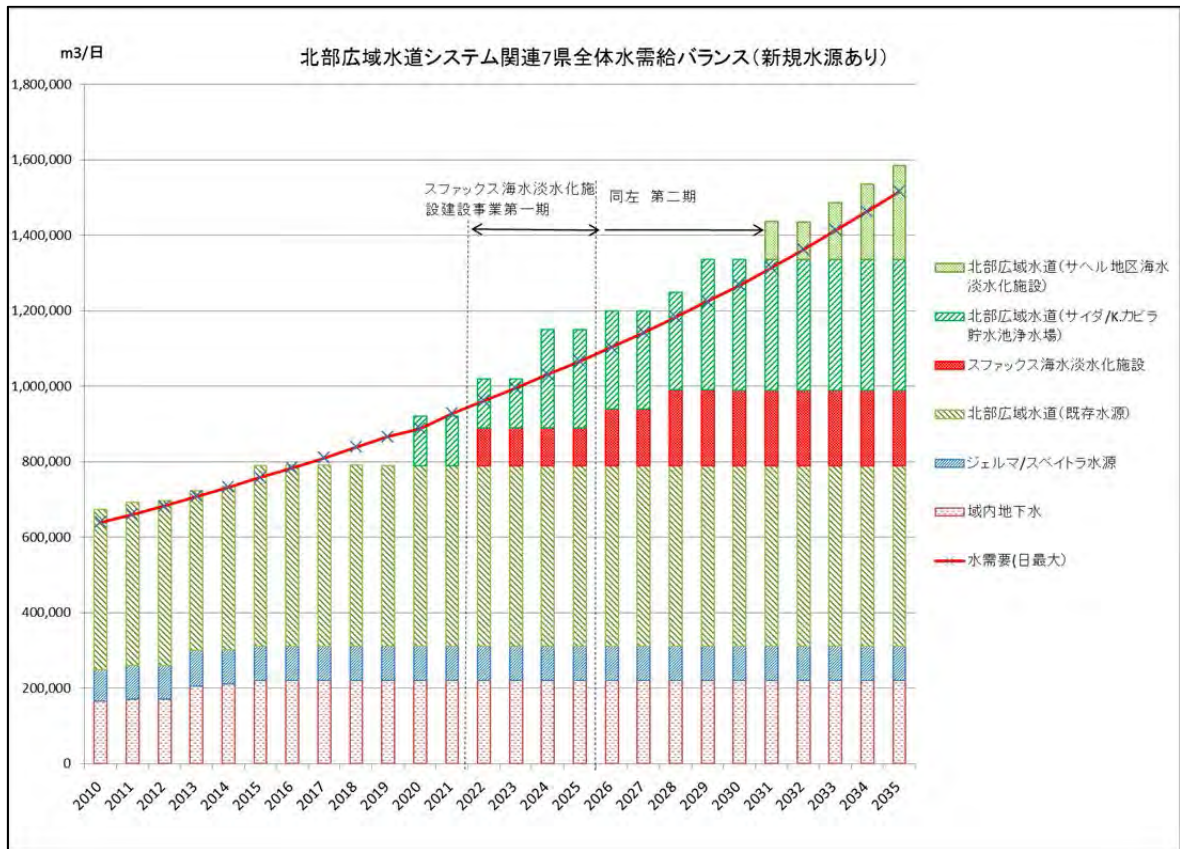


図 4.4-3 北部広域水道システム関連7県全体水需給バランス（供給水源：既存施設+新規施設）

図 4.4-2 と図 4.4-3 の需要水量は、表 4.4-8 の計画給水量を用いて作成されている。平均給水量原単位に関してスファックス大都市圏や他国の値も含め 4.6.2 節で詳述した。

図 4.4-2 は、広域水道戦略計画で策定された施設整備が全く実施されなかった場合、つまり、新規の水源開発が全く実施されなかった場合の北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給を示す。既存水源については最大供給可能水量を用いた。この条件下では大きな供給水量不足が確認できる。不足する供給水量は 2020 年に $97,000\text{m}^3/\text{日}$ 、2025 年に $275,600\text{m}^3/\text{日}$ 、2030 年に $477,700\text{m}^3/\text{日}$ 、2035 年に $726,400\text{m}^3/\text{日}$ である。

図 4.4-3 では、広域水道戦略計画で策定された施設整備が実施された場合の水需給を示す。これによれば、2020 年以降、2030 年までは供給能力に最低 $32,600\text{m}^3/\text{日}$ の余裕があることがわかる。しかし、2031 年には供給能力の余裕は $20,400\text{m}^3/\text{日}$ まで減少し、2032 年以降は再び供給水量が不足し、本プロジェクトの目標年次である 2035 年には供給不足水量が $180,800\text{m}^3/\text{日}$ に達する。この不足水量を補うため、広域水道戦略計画で策定された施設に加え、SONEDE はサヘル地区に海水淡水化施設を 2031 年に新たに設置することを計画した。図 4.4-3 では構想段階であるこの計画水量も考慮している。

表 4.4-14 北部広域水道システム関連 7 県全体の水需給計算

(単位：L/秒)

Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
Nabeul																											
Belli Treatment Plant	4,268	4,398	4,398	4,398	4,398	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798	4,798
Local Resources +Tunis Unit	634	611	646	489	596	720	737	735	733	731	730	729	728	727	726	725	724	723	722	721	720	719	718	717	716	715	
Total resources in Nabeul	4,902	5,009	5,044	4,887	4,994	5,518	5,535	5,533	5,531	5,529	5,528	5,527	5,526	5,525	5,524	5,523	5,522	5,521	5,520	5,519	5,518	5,517	5,516	5,515	5,514	5,513	
Qpj	1,503	1,554	1,608	1,671	1,731	1,792	1,855	1,925	1,988	2,061	2,027	2,210	2,289	2,375	2,461	2,543	2,635	2,733	2,832	2,933	3,041	3,152	3,263	3,387	3,507	3,631	
Balance of Nabeul	3,399	3,455	3,436	3,216	3,263	3,726	3,680	3,608	3,543	3,468	3,501	3,317	3,237	3,150	3,063	2,980	2,887	2,788	2,688	2,586	2,477	2,365	2,253	2,128	2,007	1,882	
Kairouan																											
Local resources in Kairouan	1,085	1,085	1,085	1,091	1,091	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	1,119	
Qpj	396	406	412	428	441	453	460	469	479	485	495	511	523	536	555	564	577	590	602	615	628	653	666	691	704	729	
Balance of Kairouan	689	679	673	663	650	666	659	650	640	634	624	608	596	583	564	555	542	529	517	504	491	466	453	428	415	390	
Sahel (Sousse+Monastir+Mahdia)																											
Local Resources of Sahel	528	614	614	794	866	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	
Saida/K.Kebira Reservoirs+WTP (1500L/s + 1500L/s + 1000L/s)											1,500	1,500	1,500	1,500	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Sahel Desalination Plant (100,000 m3/d+50,000m3/d+50,000m3/d+50,000m3/d)																						1,157	1,157	1,736	2,315	2,894	
Arrival from Kairouan	689	679	673	663	650	666	659	650	640	634	624	608	596	583	564	555	542	529	517	504	491	466	453	428	415	390	
Arrival from Northern Water	3,399	3,455	3,436	3,216	3,263	3,726	3,680	3,608	3,543	3,468	3,501	3,317	3,237	3,150	3,063	2,980	2,887	2,788	2,688	2,586	2,477	2,365	2,253	2,128	2,007	1,882	
Total resources	4,616	4,748	4,723	4,673	4,779	5,344	5,291	5,210	5,135	5,054	6,577	6,377	6,285	6,185	7,579	7,487	7,381	7,269	7,157	8,042	7,920	8,940	8,815	9,244	9,889	10,118	
Qpj in Sousse	1,398	1,436	1,481	1,522	1,570	1,617	1,668	1,719	1,773	1,817	1,874	1,931	1,991	2,052	2,115	2,175	2,239	2,308	2,381	2,448	2,521	2,597	2,676	2,756	2,835	2,917	
Qpj in Monastir	1,161	1,189	1,227	1,272	1,310	1,348	1,392	1,430	1,475	1,519	1,570	1,620	1,671	1,722	1,776	1,830	1,893	1,944	2,010	2,074	2,137	2,201	2,270	2,337	2,413	2,483	
Qpj in Mahdia	786	824	866	910	954	1,002	1,050	1,104	1,157	1,214	1,275	1,338	1,408	1,475	1,554	1,633	1,709	1,795	1,890	1,985	2,087	2,191	2,302	2,423	2,543	2,670	
Total Qpj in Sahel	3,345	3,449	3,574	3,704	3,834	3,967	4,110	4,253	4,405	4,550	4,719	4,889	5,070	5,249	5,445	5,638	5,841	6,047	6,281	6,507	6,745	6,989	7,248	7,516	7,791	8,070	
Balance of Sahel	1,271	1,299	1,149	969	945	1,377	1,181	957	730	504	1,858	1,488	1,215	936	2,134	1,849	1,540	1,222	876	1,535	1,175	1,951	1,567	1,728	1,898	2,048	
Sidi Bouzid																											
Local resources in Sidi Bouzid	977	1,019	1,019	1,115	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	
Qpj	219	225	231	244	251	263	273	285	295	304	317	323	342	349	368	381	387	409	428	441	453	479	492	517	536	558	
Balance of Sidi Bouzid	758	794	788	871	809	797	787	775	765	756	743	737	718	711	692	679	673	651	632	619	607	581	568	543	524	502	
Sfax																											
Local Resources of Sfax	301	301	301	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	491	
Sfax Desalination Plant Ph1/2 (100,000+100,000 m3/d)													1,157	1,157	1,157	1,157	1,736	1,736	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	
Arrival from Northern Water	1,271	1,299	1,149	969	945	1,377	1,181	957	730	504	1,858	1,488	1,215	936	2,134	1,849	1,540	1,222	876	1,535	1,175	1,951	1,567	1,728	1,898	2,048	
Arrival from Sbeitla-Jelma	758	794	788	871	809	797	787	775	765	756	743	737	718	711	692	679	673	651	632	619	607	581	568	543	524	502	
Total resources in Sfax	2,330	2,394	2,238	2,331	2,245	2,665	2,459	2,223	1,986	1,751	3,092	2,716	3,581	3,295	4,474	4,176	4,440	4,100	4,314	4,960	4,588	5,338	4,941	5,077	5,228	5,355	
Qpj	1,937	2,007	2,074	2,147	2,217	2,296	2,378	2,451	2,540	2,622	2,714	2,806	2,908	3,003	3,104	3,209	3,323	3,437	3,555	3,678	3,802	3,945	4,094	4,240	4,395	4,554	
Balance of Sfax	393	387	164	184	28	369	81	-228	-554	-871	378	-90	673	292	1,370	967	1,117	663	759	1,282	786	1,393	847	837	833	801	
Total																											
Existing Resources	7,793	8,028	8,063	8,378	8,502	9,140	9,157	9,155	9,153	9,151	9,150	9,149	9,148	9,147	9,146	9,145	9,144	9,143	9,142	9,141	9,140	9,139	9,138	9,137	9,136	9,135	
Saida/K.Kebira Reservoirs+WTP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,500	1,500	1,500	1,500	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Desalination (Sfax+Sahel)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,157	1,157	1,157	1,157	1,736	1,736	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315	
Total Resources	7,793	8,028	8,063	8,378	8,502	9,140	9,157	9,155	9,153	9,151	10,650	10,649	11,805	11,804	13,303	13,302	13,880	13,879	14,457	15,456	15,455	16,611	16,610	17,188	17,766	18,343	
Total Qpj	7,400	7,641	7,899	8,194	8,474	8,771	9,076	9,383	9,707	10,022	10,272	10,739	11,132	11,512	11,933	12,335	12,763	13,216	13,698	14,174	14,669	15,218	15,763	16,351	16,933	17,542	
Global Balance	393	387	164	184	28	369	81	-228	-554	-871	378	-90	673	292	1,370	967	1,117	663	759	1,282	786	1,393	847	837	833	801	

Qpj: 日最大給水量

出典：JICA 調査団

4.4.4 広域水道における新規水源施設の課題

(1) サイダ貯水池及びサヘル貯水池（カラー・カビラ貯水池）の建設に係る課題

農業・水資源・漁業省の水資源総局は 1999 年にロシアのコンサルタント（SELKHOZ PROMEX POEKT）に委託して「Barrage-Reservoir de Saida（Saida 貯水池計画/1999 年策定）」が策定された。しかし、サイダ貯水池の建設については、資金調達や他の事業との優先順位などの理由により、農業・水資源・漁業省は事業実施を先送りしてきた。

サヘル地区の貯水池と浄水場については、「Etude pour L' execution D' une Retenue D' eau Brute Dans la Region de Sahel（Sahel 地区貯水池実施準備計画/2010 年 5 月中間報告書）」において、カラー・カビラに建設することが計画された。

サイダ貯水池とカラー・カビラ貯水池及び浄水場の建設に対するアラブ社会経済開発基金（FADES）の資金協力を得ることを目的に、SONEDE は 2014 年 2 月にフランス国マルセイユで開催された国際ドナー会議において 2019 年から供用開始をする計画で事業説明を行った。

SONEDE は JICA 調査団との協議では、サイダ貯水池及びカラー・カビラ貯水池/浄水場第一期施設は 2020 年に通水すると考えていることを明らかにしている。その事業スケジュールでの実現に向けて、FADES は農業・水資源・漁業省及び SONEDE に融資に係る原則同意を出している。

(2) スファックス大都市圏の海水淡水化施設建設に係る課題

広域水道戦略計画では、2018 年にスファックス海水淡水化施設が完成し、2019 年にカラー・カビラ貯水池が完成する計画になっている。しかし、通常の円借款手続きに必要な期間を考慮すると、円借款事業としてスファックス海水淡水化施設を 2018 年に完成させることは困難である。順調に事業を進めたとしても、通水は 2022 年 10 月になると想定される（10 章参照）。そのため、2017 年からスファックス海水淡水化施設の通水が予定される 2022 年 10 月までは水供給量が不足することになる。なお、2017 年から 2022 年の水供給量不足に対する課題については、4.7 節で詳述する。

(3) 2031 年以降の水供給量不足に対する課題

図 4.4-4 に示したとおり、構想段階の海水淡水化施設による供給水量を加えることにより、2032 年から 2035 年の水需要量を満たすことが可能となる。海水を水源とした供給水量の増加が最も現実的であると考えられることから、当該海水淡水化施設の新設計画は妥当であると判断できる。

SONEDE は、この施設は大きな需要があるスース近辺に建設することが望ましいと考えている。まずは、喫緊の課題となっている広域水道戦略計画で策定された施設を優先的に整備し、その後、需要水量をレビューし、構想の具体化に向けて計画を策定していくことが必要である。

4.5 スファックス県における水需給計画

4.5.1 スファックス県における水需給

スファックス県の水は、北部広域水道システムの一部として供給されている。そのため、水源及び浄水場に関しては前述の 4.4.2 節を参照されたい。

スファックス県の水は、北部広域水道システム及び西部のジェルマ・スベイトラ地下水送水システムからの供給水量の割合が非常に大きい。しかし、北部広域水道システム及びジェルマ・スベイトラ

地下水送水システムにおいて、スファックス県より上流部の地域の需要水量が増加することが見込まれている。そのため、スファックス県への送水量は徐々に減少することが想定されており、前述の新規水源が整備されない限り、北部広域水道システムについては、2021年以降の夏季の需要ピーク時には、送水される全量がスファックス県に至るまでに消費され、最下流のスファックス県には水が届かないと想定される。

スファックス県における需要水量と供給水量を検討した結果を表 4.5-1~表 4.5-3、図 4.5-1、図 4.5-2 に示す。なお、本検討においては、関連 7 県全体を対象として考慮したピーク時調整係数については、スファックス県のピーク時最大需要量の算定には考慮しない。

表 4.5-1 スファックス県の需要水量

		2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
人口	行政人口	999,500	1,062,000	1,124,600	1,187,100	1,249,600
	給水人口	862,600	925,600	988,600	1,051,600	1,114,700
平均使用水量原単位 (L/人日)		126	140	156	176	199
非家庭用水割合 (%)		18	18	18	18	18
無収水率 (%)		23	22	21	20	20
日平均需要水量 (m ³ /日)		158,100	186,800	220,800	261,600	313,400
日最大/日平均*		1.321	1.321	1.322	1.322	1.322
日最大需要水量 (m ³ /日)		208,800	246,800	291,900	345,800	414,200

*:1.4x 調整係数

出典：JICA 調査団

表 4.5-2 スファックス県水需給バランス(新規水源なし) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	北部広域水道システム	119,000	30,900	0	0	0	0
	ジェルマ・スベイトラ地下水システム	68,900	64,200	62,000	58,700	52,400	43,400
	域内地下水	42,400	42,400	42,400	42,400	42,400	42,400
	合計	230,300	137,500	104,500	101,100	94,900	85,800
日最大需要水量		208,800	246,800	264,500	291,900	345,800	414,200
水需給バランス		21,400	▲109,300	▲160,000	▲190,800	▲250,900	▲328,400

出典：JICA 調査団 (注：四捨五入により (供給合計-需要) は必ずしも水需給バランスと一致しない)

表 4.5-3 スファックス県水需給バランス(新規水源あり) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	スファックス海水淡水化施設	0	0	100,000	100,000	200,000	200,000
	北部広域水道システム	119,000	160,500	105,000	159,800	101,500	176,900
	ジェルマ・スベイトラ地下水システム	68,900	64,200	62,000	58,700	52,400	43,400
	域内地下水	42,400	42,400	42,400	42,400	42,400	42,400
	合計	230,300	267,100	309,400	360,800	396,400	462,700
日最大需要水量		208,800	246,800	264,500	291,900	345,800	414,200
水需給バランス		21,400	20,300	45,000	69,000	50,600	48,500

出典：JICA 調査団

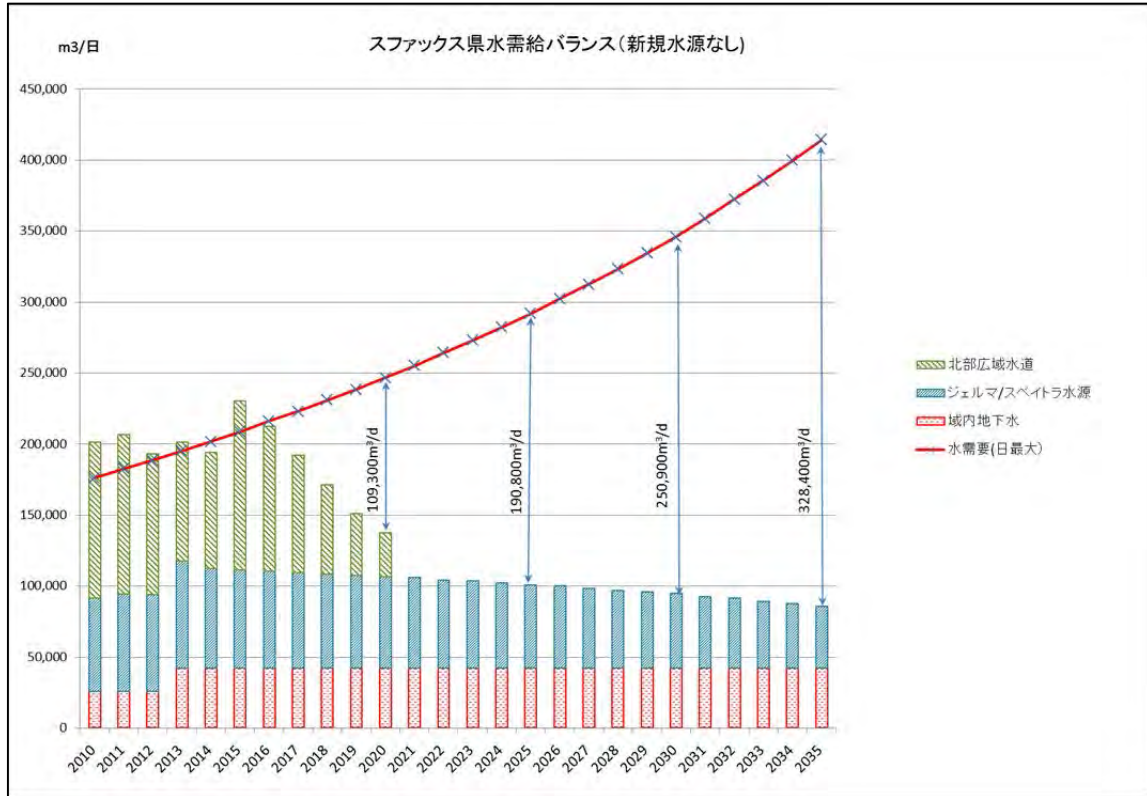
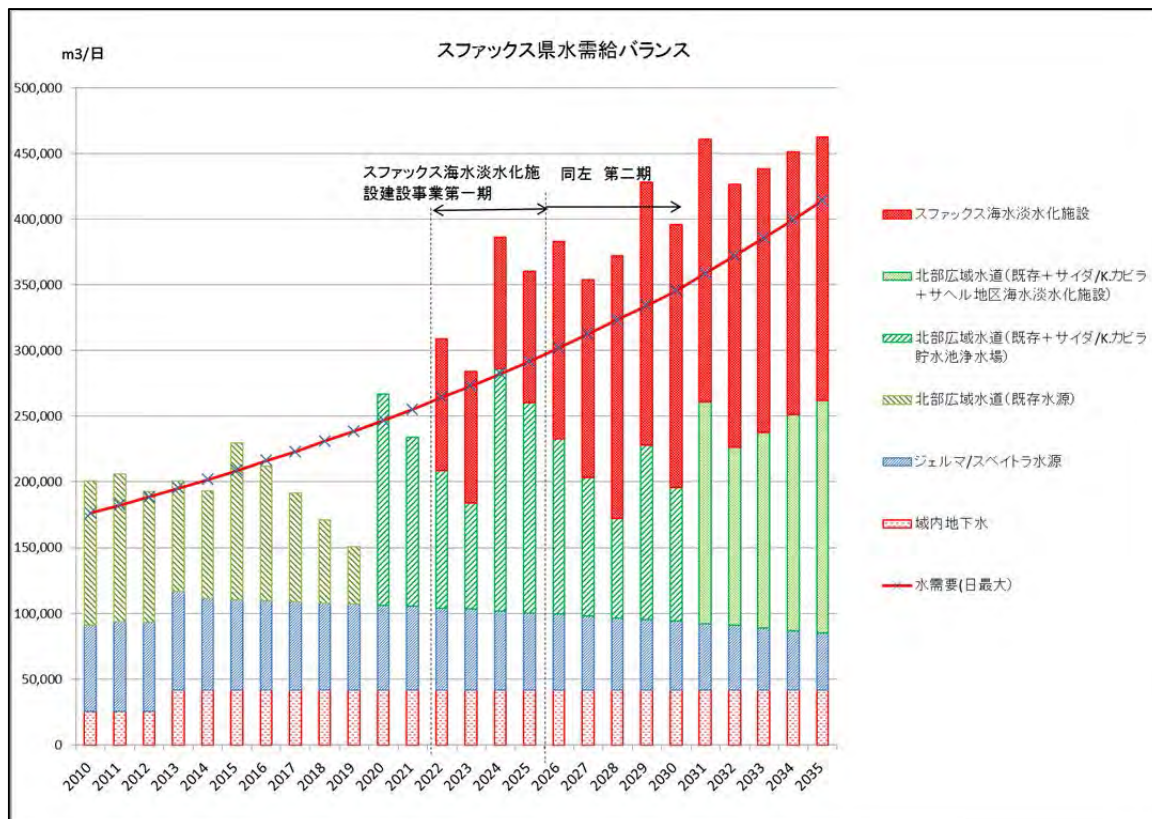


図 4.5-1 スファックス県水需給バランス (供給水源：既存施設のみ)



注) スファックス海水淡水化施設を含む新水源の通水年次は SONEDE の計画に基づく。 出典：JICA 調査団

図 4.5-2 スファックス県水需給バランス (供給水源：既存施設+新規施設)

図 4.5-1 は、広域水道戦略計画で策定された施設整備が全く実施されなかった場合、つまり、新規の水源開発が全く実施されなかった場合のスファックス県の需給バランスを示す。既存水源については、最大供給可能水量を用いた。この条件下では大きな供給水量不足が 2017 年から始まる。不足する供給水量は 2020 年に 109,300m³/日、2025 年に 190,800m³/日、2030 年に 250,900m³/日、2035 年に 328,400m³/日である。

図 4.5-2 では、広域水道戦略計画で策定された施設が設置されることによって、水供給水量がスファックス県の需要を満足することが示されている。ただし、4.4.4(2)項に記載されたように 2017 年から 2019 年の間は水供給量が不足することになる。この 2017 年から 2019 年の水供給量不足に対する課題については、4.7 節で詳述する。

北部広域水道システムの供給水量の大きな変動は、年々増加する需要量と 3 次にわたるカラー・カピラ浄水場の建設・拡張事業のバランスの結果である。2031 年以降は上記にサヘル海水淡水化施設の計画により供給水量が増加する。

4.5.2 スファックス県における水需給の課題

スファックス県における水需給の課題は、スファックス大都市圏とほぼ同じである。そのため、スファックス大都市圏における水需給計画の課題を記述している 4.6.3 節を参照されたい。

4.6 スファックス大都市圏における水需給計画

4.6.1 スファックス大都市圏の水道施設の現況

スファックス大都市圏の水道施設は、1956 年にチュニジア国が独立した当時はスファックス市のみに給水する施設として建設され、市周辺の区域に拡張されてきた。当時はスファックス県西部の比較的良質で豊富な地下水を有していたシディ・ブジド県からの地下水を主な取水源としていた。取水された地下水は、2 箇所の配水池（PK11 配水池及び PK10 配水池）へ送水され、スファックス港を中心に発達したスファックス市域に給水されていた。その後、市街地が拡大するにつれ、給水量が増加した。それと共に新たな居住区となった標高の高い地域への給水が必要になり、新たな水道拡張計画を立案することになった。

2003 年～2005 年に作成された「スファックス大都市圏配水マスタープラン」によると、SONEDE は 2003 年時点で 5 箇所の配水池（PK11 配水池、PK10 配水池、PK14 配水池、Bou Merra 配水池、Sidi Salah 高区配水池）（図 4.6-1 参照）から住民へ配水していた。その計画に沿って Sidi Salah 高区配水池の増設及び Sidi Salah 低区配水池の用地取得が行われた。現在、Sidi Salah 低区配水池の建設工事が進められているほか、配水管の拡張事業が行われている。

既存配水管網を図 4.6-1 に示す。スファックス大都市圏における配水管の拡張は、「スファックス大都市圏配水マスタープラン」に従って実施されている。進捗は遅れているが、図 4.6-1 に示すとおり、Lot 1、Lot 2 の配水管工事が現在実施中である。既設管の更新においては、有効な計画は策定されていない。策定されていない大きな理由の一つに、有収水率が 84%（表 4.6-1 参照）であることから、漏水は大きな問題ではないと認識されていることが挙げられる。

スファックス大都市圏は、水資源に乏しい地域である。そのため、配水区域内の一部で水不足が生じる恐れがある場合、配水区域内で比較的余裕のある地域の水を送るなど、地域の特徴に合わせた運用システムを構築している。

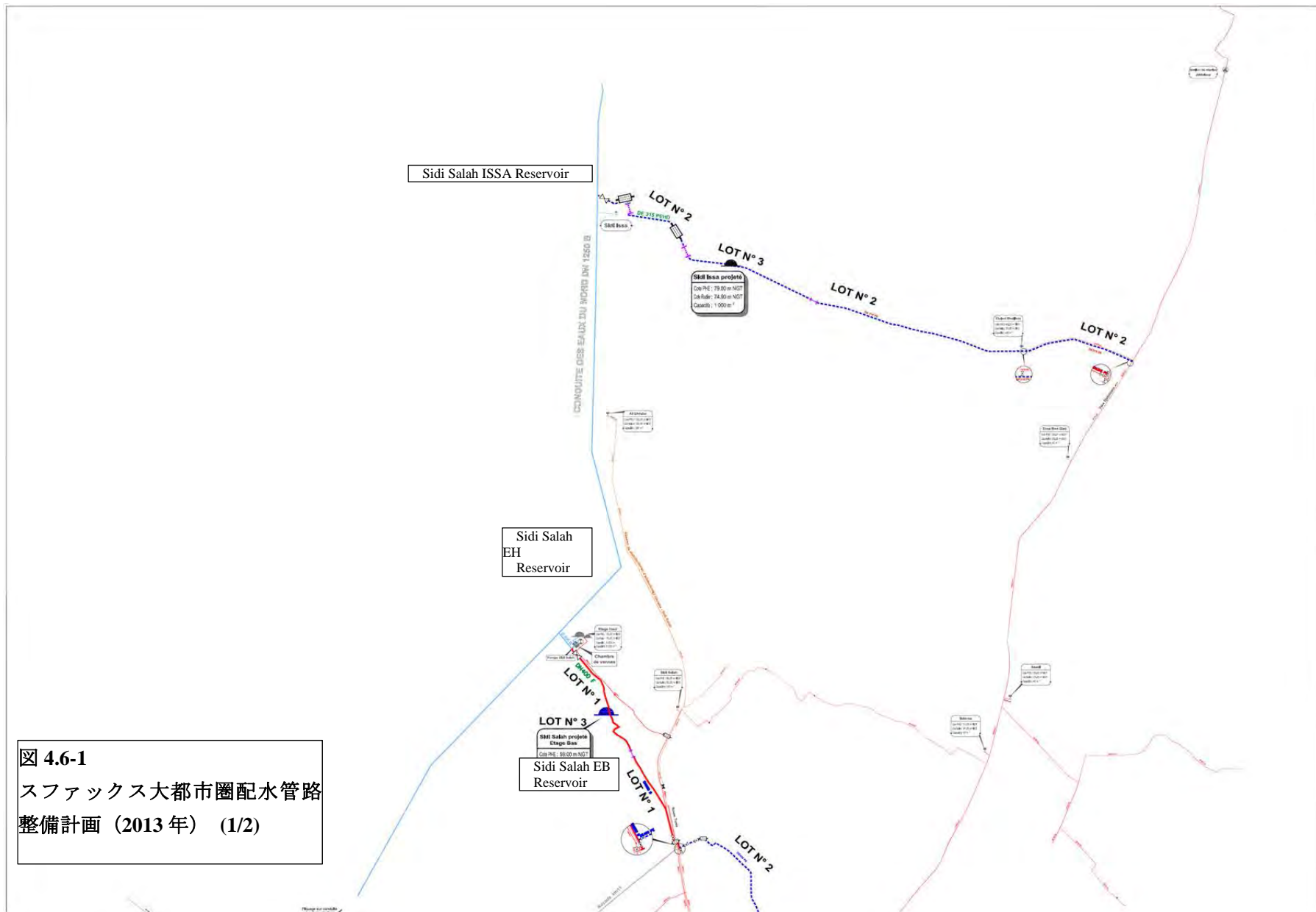


図 4.6-1
スファックス大都市圏配水管路
整備計画 (2013年) (1/2)

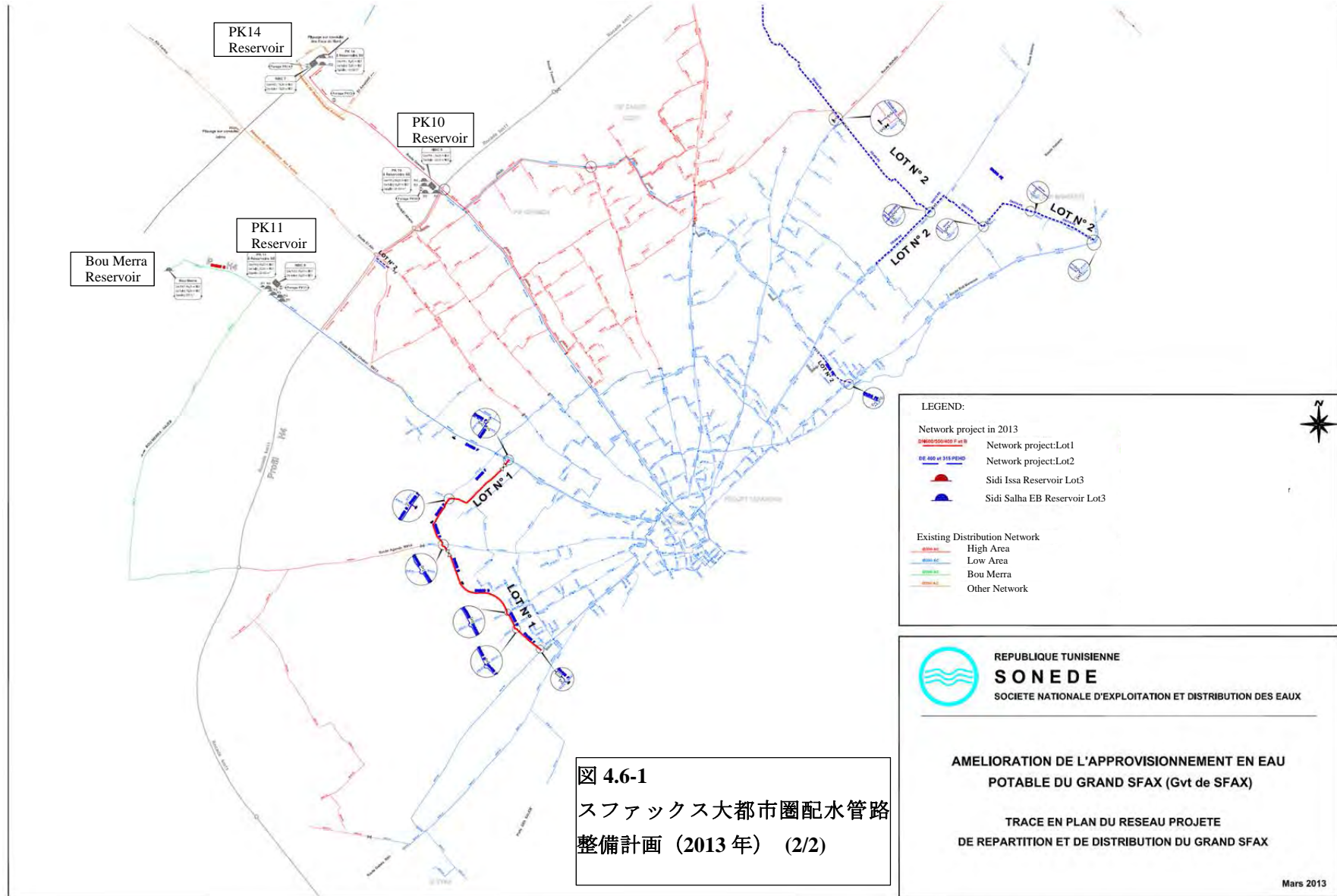


図 4.6-1
 スファックス大都市圏配水管路
 整備計画 (2013年) (2/2)

Source: SONEDE

なお、表 4.6-1 に示すように、スファックス大都市圏の配水管は石綿管が半分以上を占め、40 年以上経過した老朽管も総延長の 2 割程度ある。漏水件数が増加傾向にあることから、古い配水管、特に破損・漏水の多い石綿管の更新を積極的に進める必要があると判断するが、現在のところ、破損事故や漏水事故の発生への対応に留まっている。

表 4.6-1 配水管の現状

管径 (mm)	延長 (m)	率	経年別延長(m)					材質別延長(m)							
			0-10 (年)	11-20 (年)	21-30 (年)	31-40 (年)	41-50 (年)	51年 以上	石綿管	PE/PVC 管	铸铁管	ダクタイル 铸铁管	コンクリー ト管	その他	
60	11,000	0.6%						6,000	5,000	6,000			5,000		
63	18,000	0.9%	3,000	14,000	1,000						18,000				
75	0	0.0%													
80	430,000	21.8%		50,000	109,000	149,000	110,000	12,000	400,000				30,000		
90	149,000	7.6%	75,000	67,000	7,000					149,000					
100	376,000	19.1%		1,000	195,000	155,000	18,000	7,000	357,000				19,000		
110	345,400	17.5%	101,000	67,000	4,700	172,700				345,400					
150	154,587	7.8%		22,187	32,000	40,000	59,000	1,400	81,187				73,400		
160	30,000	1.5%	10,000	14,000	6,000						30,000				
200	178,100	9.0%	40,800	14,400	15,000	42,300	47,500	18,100	100,800	59,200			18,100		
250	28,391	1.4%			17,000	5,391	6,000					22,391	6,000		
300	137,065	7.0%		3,565	36,700	50,500	26,300	20,000	115,265				21,800		
315	44,000	2.2%	36,000	6,000	2,000						44,000				
350	4,314	0.2%				1,314	3,000		1,314				3,000		
400	6,094	0.3%				1,694	4,400						6,094		
500	17,561	0.9%				12,000	5,561					5,561	7,300	4,700	
600	12,606	0.6%				5,500	7,106						5,500	7,106	
800	22,604	1.1%			1,000	3,000	18,604							22,604	
1000	5,240	0.3%				3,240	2,000							5,240	
1250	810	0.0%				810								810	
合計	1,970,772	100.0%	265,800 13%	259,152 13%	426,400 22%	642,449 33%	313,471 16%	63,500 3%	1,083,957 55%	645,600 33%	5,561 0%	195,194 10%	40,460 2%	0 0%	

有収水率・破損・漏水統計(2002年以降)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
有収水率	84.4	84.5	87.4	87.6	87.5	86.6	86.5	84.7	80.7	79.8	79.4	84.0
破損件数	706	791	836	881	642	679	872	845	741	789	683	711
漏水件数	9,150	8,920	9,531	8,376	8,601	8,749	11,027	11,525	13,102	10,663	10,717	14,818

出典：SONEDE 営業局南部支社（2014）

4.6.2 スファックス大都市圏における水需給

スファックス県の需要水量データから、スファックス大都市圏の人口比率等を考慮し、スファックス大都市圏の需要水量を推計した。配水量データについては、過去のデータの入手が困難であったことから、2010 年から 2012 年の 3 年間のデータを基に水需要量を予測した。

スファックス大都市圏は、スファックス県の中心的な都市である。同県の人口の約 2/3 が居住し、将来的にはその比率が大きくなることが想定されている。スファックス大都市圏では下記の事情があるため、水供給可能量は水供給システム上流側の水利用状況に影響される。

- 1) 北部広域水道システムから送られた水は、途中のスファックス県の北部地域へ分水された後、スファックス大都市圏に送られる。
- 2) 地域内部地下水であるジェルマ・スベイトラ地下水送水システムから送られた水は、途中のスファックス県の西部地域に分水された後、スファックス大都市圏に送られる。
- 3) スファックス大都市圏はスファックス県の中心的な都市であるが、住民間の公平という点に鑑み、水供給量不足という現状であっても、必ずしも県内において絶対的な優先度で水供給されている状況ではない。

上記事項を念頭に置いて需要水量と供給水量を検討した結果を、表 4.6-2~表 4.6-4、図 4.6-2、図 4.6-3 に示す。

表 4.6-2 スファックス大都市圏水道事業計画概要

	現状 (2012)	2025 年	2030 年	2035 年
1) 給水区域	3,069 ha	3,069 ha	3,069 ha	3,069 ha
2) 給水人口	631,900 人	737,900 人	782,100 人	826,300 人
3) 需要水量 (日最大)	117,200m ³ /日 1,356L/秒	187,900m ³ /日 2,175L/秒	224,400m ³ /日 2,597L/秒	270,900m ³ /日 3,135L/秒
4) 給水量 (日平均)	83,700m ³ /日 969L/秒	134,200m ³ /日 1,553L/秒	160,300m ³ /日 1,855L/秒	193,500m ³ /日 2,240L/秒
5) 平均給水量原単位	132 L/日・人	182 L/日・人	205 L/日・人	234 L/日・人
6) 非家庭用水割合 (%)	18	18	18	18
7) 無収水率 (%)	24	22	21	20
8) 平均使用水量原単位	91 L/日・人	126 L/日・人	144 L/日・人	165 L/日・人

出典：JICA 調査団

表 4.6-3 スファックス大都市圏水需給バランス(新規水源なし) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	北部広域水道システム既存水源	95,200	24,700	0	0	0	0
	ジェルマ・スベイトラ地下水システム	31,000	28,900	21,700	20,600	18,300	15,200
	域内地下水	25,100	26,100	26,100	26,100	26,100	26,100
	合計	151,400	78,700	46,800	45,700	43,500	40,300
日最大需要水量		133,700	157,900	169,500	187,900	224,400	270,900
水需給バランス		17,700	▲79,200	▲112,700	▲142,200	▲180,900	▲230,500

出典：JICA 調査団

表 4.6-4 スファックス大都市圏水需給バランス(新規水源あり) (m³/日)

		2015 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	2035 年
供給 可能 水量	スファックス海水淡水化施設	0	0	100,000	100,000	200,000	200,000
	北部広域水道システム	95,200	128,400	65,100	75,100	29,500	67,200
	ジェルマ・スベイトラ地下水システム	31,000	28,900	21,700	20,600	18,300	15,200
	域内地下水	25,100	26,100	26,100	26,100	26,100	26,100
	合計	151,400	182,400	211,900	220,800	272,900	307,600
日最大需要水量		133,700	157,900	169,500	187,900	224,400	270,900
水需給バランス		17,700	24,500	42,400	32,900	48,500	36,700

出典：JICA 調査団

図 4.6-2 は、広域水道戦略計画で策定された施設整備が全く実施されなかった場合、つまり、新規の水源地開発が全く実施されなかった場合のスファックス大都市圏の水需給バランスを示す。既存水源においては、最大供給可能水量を用いた。この条件下では大きな供給水量不足が確認できる。不足する供給水量は 2020 年に 79,200m³/日、2025 年に 142,200m³/日、2030 年に 180,900m³/日、2035 年に 230,500m³/日である。

図 4.6-3 では、図 4.6-2 で示された不足分は、広域水道戦略計画で策定された新水源施設の供給水量によって充足されることが示されている。ただし、4.4.4(2) に記したように 2017 年から 2019 年の間は水供給量が大きく不足することになる。この 2017 年から 2019 年の水供給量不足に対する課題については 4.7 節で詳述する。なお、図 4.6-3 においては、北部広域水道システム及びジェルマ・スベイトラ地下水送水システムの供給水量は域内地下水の揚水量の半量づつ、それぞれの供給水量を削減することを前提としている。これについては 6 章で詳述する。

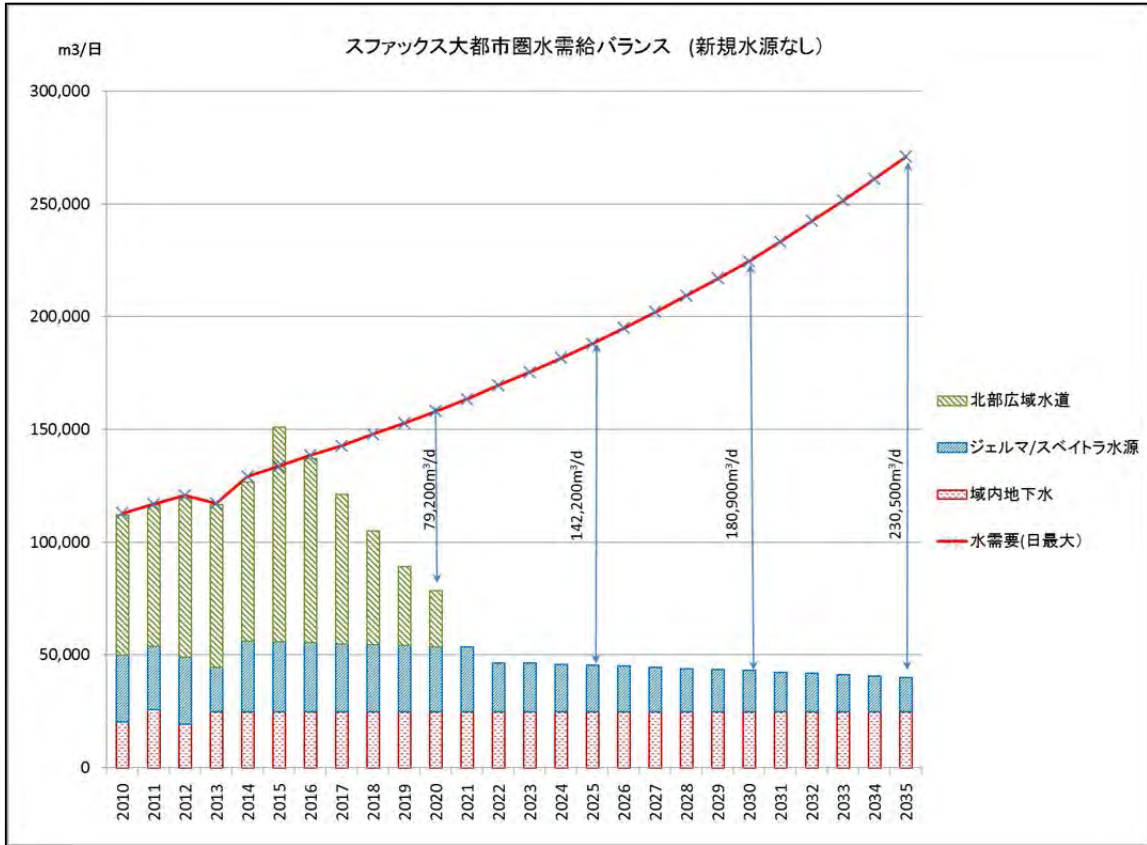
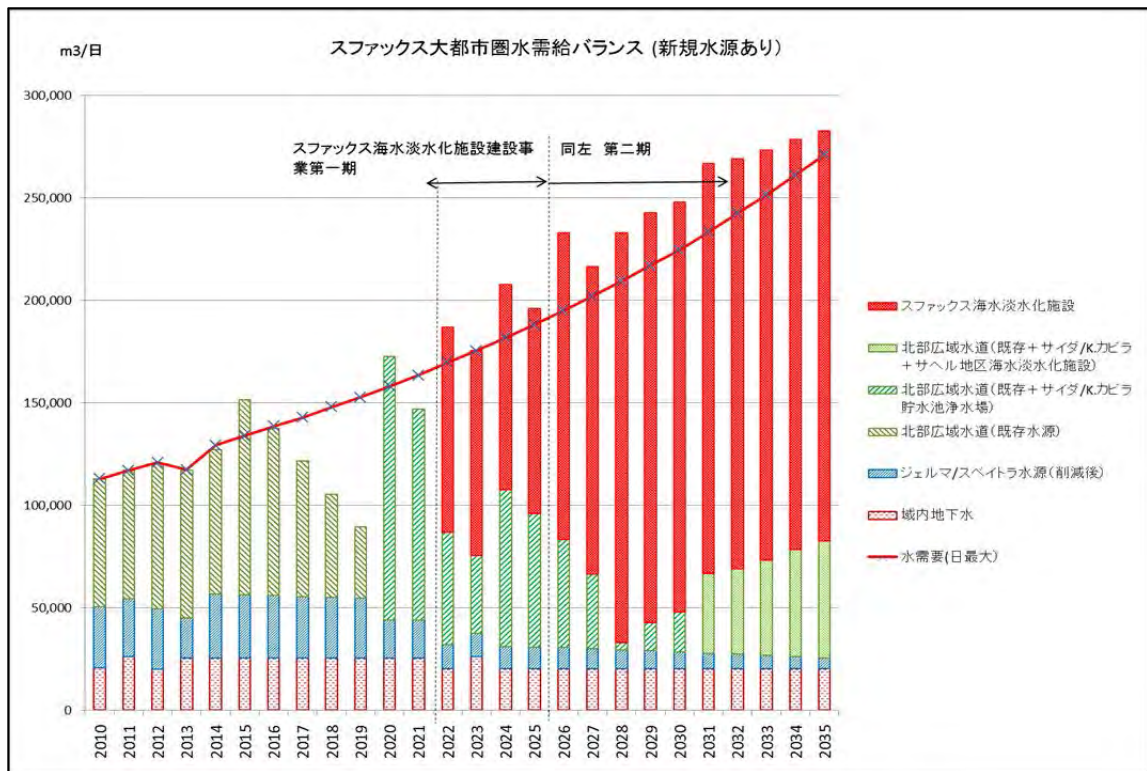


図 4.6-2 スファックス大都市圏及び周辺地域水需給バランス (供給水源：既存施設のみ)



注) スファックス海水淡水化施設を除く新水源の通水年次は SONEDE の計画に基づく。出典：JICA 調査団

図 4.6-3 スファックス大都市圏及び周辺地域水需給バランス (供給水源：既存施設+新規施設)

算定された表 4.6-2 の水需要予測水量を基に一人当たり使用水量原単位を算定し、その妥当性について検討した。その結果、次の理由により妥当であると判断した。

- i) 2012 年から 2035 年にかけて給水人口は 1.3 倍に増加する。一方、水道計画の一人当たり使用水量原単位（日最大）は 91 L/人日から 165 L/人日に 1.8 倍増加する。これは、将来に生活水準が向上するとともに、水質の良い水が水道から十分に給水されることで使用水量原単位が増加すると考えると合理性がある。
- ii) 2035 年の一人当たり使用水量原単位に関し、北部広域水道システム関連 7 県、スファックス県、スファックス大都市圏のそれぞれの平均値を比べると、1.00 : 1.24 : 1.02 の比率となっている。表 4.6-5 に示す関連 7 県の 2012 年の実績に示すとおり、スファックス大都市圏はチュニジア国第二の都市圏として比較的所得水準が高いことから、スファックス大都市圏を含むスファックス県の平均使用水量原単位（日平均）が 7 県平均に比べ大きいことは合理性がある。

表 4.6-5 関連 7 県人口及び使用水量原単位（日平均）（2012）

	人口			SONEDE 給水人口			家庭用水 (lpcd)	全体 (lpcd)
	Urban (1000)	Rural (1000)	Total (1000)	Urban (1000)	Rural (1000)	Total (1000)		
Nabeul	517.2	262.2	779.4	517.2	163.3	680.5	97	136
Ratio				100.0%	62.3%	87.3%		
Sousse	528.4	120.3	648.7	528.4	95.4	623.8	108	140
Ratio				100.0%	79.3%	96.2%		
Monastir	539.3	0.0	539.3	539.3	0.0	539.3	90	124
Ratio				100.0%	-	100.0%		
Mahdia	177.1	217.9	395.0	177.1	161.2	338.3	105	130
Ratio				100.0%	74.0%	85.6%		
Sfax	624.2	338.9	963.1	624.2	199.9	824.1	114	139
Ratio				100.0%	59.0%	85.6%		
Kairouan	192.0	377.4	569.4	192.0	159.3	351.3	69	82
Ratio				100.0%	42.2%	61.7%		
Sidi Bouzid	106.6	311.7	418.3	106.6	91.7	198.3	82	100
Ratio				100.0%	29.4%	47.4%		
Total	2,684.8	1,628.4	4,313.2	2,684.8	870.8	3,555.6	99	128
Ratio				100.0%	53.5%	82.4%		

Source: RAPPORT DES STATISTIQUES, SONEDE

lpcd: Liter Per Capita Per Day

- iii) 一方、ファックス大都市圏の使用水量原単位は都市部のみを対象としているが、県平均原単位より小さい。これはスファックス大都市圏内には比較的使用水量の少ない貧困層や学生が多く居住していることやそれらの学生が休暇時にはスファックス大都市圏を長期間離れることが理由と推察される。
- iv) 表 4.6-6 に示す各国の使用水量原単位の水準から考えた場合、チュニジア国の生活用水の利用水準は高いものとは言えない。一人当たりの GNI の大きさに比例して使用水量が増えるとは単純には言い切れないが、程度の差はあれ、その傾向があることは明らかであり、チュニジア国においてもこれまでも一人当たりの使用水量は増えてきている。今後も経済の発展に伴い生活水準の向上が想定されていることから、想定された需要水量に基づく一人当たり使用水量原単位は妥当であり、予測需要水量は適当であると考えられる。

表 4.6-6 各国の使用水量原単位の比較

地域	国名	年	使用水量 (m ³ /人/年)	水量原単位 (L/人/日)	GNI (\$/人/年)	人口 (百万)
アフリカ	アルジェリア	2000	38	103	1,540	35.42
	エジプト	2000	62	169	1,470	84.47
	モロッコ	2000	39	107	1,320	32.38
	チュニジア	2000	36	98	2,310	10.37
北・中米	アメリカ合衆国	2005	193	528	46,350	317.64
アジア	アフガニスタン	2000	14	39	210	29.12
	バングラデシュ	2008	25	70	560	141.82
	インド	2010	46	126	1,290	1,214.46
	イラン	2004	85	232	2,170	75.08
	イスラエル	2004	97	265	18,790	7.29
	日本	2000	137	375	37,150	127.00
	マレーシア	2000	54	149	3,420	27.91
	オマーン	2003	45	125	8,610	2.91
	パキスタン	2008	52	143	990	184.75
	フィリピン	2006	62	171	1,300	93.62
	トルコ	2003	78	215	3,810	75.71
ヨーロッパ	フランス	2000	83	228	24,270	62.64
	スペイン	2002	111	303	15,120	45.32

出典：FAO 等の資料を調査団が加工

4.6.3 スファックス大都市圏における水需給計画の課題

(1) スファックス大都市圏の水道水源

スファックス県の水道水源は、以下のとおり、北部広域水道システムからの水供給、県西部のジェルマ・スベイトラ地下水送水システムからの水供給、さらに県内の井戸からの揚水によるものがある。

- ① チュニジア国北部は降水量が多く、ダム等に貯留して表流水系水資源として利用できる。この北部からの水を処理して中部・南部へ送水する、7 県を対象にした北部広域水道システム事業が運営されている。スファックス大都市圏は、その広域水道システムの最南端に位置していることから、上流部の地域の水需要を満たした後の水を受けている。
- ② スファックス西部のシディ・ブジド県には TDS 濃度の低い地下水源がある。この地域のジェルマ・スベイトラ水源からの地下水はシディ・ブジド県に配水され、その後スファックス大都市圏に送水されている。
- ③ スファックス県内の地下水は、SONEDE が水道用の専用井戸から取水（政府から特別に許可を得た過剰揚水）している。水量が限られていることと、高い TDS 濃度（3000mg/L 以上）が課題となっている。

なお、1.5 節及び 5.1.1 節で述べたように、SONEDE はかん水を処理対象とする淡水化施設を南部のガバス県及びメドニン県で稼働させているが、ケルケナ島を除くスファックス県以北ではこれまで淡水化施設を建設していない。

(2) スファックス大都市圏の水不足の課題

スファックス大都市圏は 2012 年夏に深刻な水不足を経験している。その原因は計画停電により原水ポンプが停止したこと（7 月 9～11 日で 5 回発生）及び上流部水需要の急増により北部広域水道システムからの送水量が減少したことと、渇水により西部のシディ・ブジド県からの送水量が減少した

ことに起因する。なお、計画停電については、その後、当該ポンプ場を停電対象から除外することになり、現在では電力供給面の問題はない。

現在、SONEDE はスファックス域内の地下水源から限られた水量を自己水源として揚水することにより、域内の水需要に対して必要な水供給量は確保している。しかし、北部広域水道システムからの送水及び西部のジェルマ・スペイトラ地下水送水システムからの送水はそれぞれの上流区域の水需要増加の影響を受けるため、深刻な水不足が 2018 年にも再来することが予測されている。

(3) 水供給量

現在確保されているスファックス水道システムへの水供給量は、図 4.6-2 に示すとおりである。この中で北部広域水道システムからの供給及びジェルマ・スペイトラ地下水送水システムからの供給水量については、上流部の需要水量の増加により徐々に減少して行くことを想定している。さらに、北部広域水道システムについては、新規水源の開発が無い場合には 2021 年以降の需要ピーク時には全てがスファックスに至るまでに消費され、最下流のスファックスには水が届かないことが想定される。

(4) 水需給バランス

図 4.6-2 に示されるように、現状のまま新たな水源開発をしないと、スファックス大都市圏は 2020 年では 79,200m³/日の水不足の状況に陥り、その不足状態はさらに悪化していくことは明白であり、新たな方策を早急に策定する必要がある。

4.7 施設整備について

4.7.1 施設規模について

これまでに検討されたように、カラー・カビラ浄水場とスファックス海水淡水化施設の建設によって、北部広域水道システムに関連する 7 県の水需要を満たすことが可能となる。

4.4.2 節に記載されてあるとおり、カラー・カビラ浄水場の施設規模は、4,000L/秒 (345,600 m³/日) まで段階的に拡張することが計画されている。

また、スファックス海水淡水化施設においても、広域水道戦略計画では段階的に建設することを考えていた。本調査でスファックス大都市圏の水需給バランスを検討した結果、2022 年 (第 1 期) に 100,000m³/日の規模を持つ施設が通水することにより、2026 年まで供給能力が需要を上回ることを確認した。ただし、2023 年は上流側の需要増により供給能力が不足するため、地下水揚水量の一時的増加を余儀なく必要とする。これに加えて、2026 年までに第 2 期施設を建設すれば、サヘル地区海水淡水化施設の通水を前提として、図 4.6-3 に示すとおり水不足の事態が生じることは避けられる。この場合、目標年次を 2035 年とすると第 1 期事業と合わせて 200,000 m³/日に施設容量を増強することが必要である。本調査では増強施設の能力を 100,000m³/日と想定しているが、そのうち、2026 年は 35,000 m³/日、2027 年は 50,000 m³/日、2028 年は 80,000 m³/日程度の稼働能力が確保できればよい。したがって、第 2 期施設の整備を段階的に行うことが可能であるが、今後の需要水量の伸びと供給水源の整備状況を見ながら、計画を進めて行くことが必要である、

ただし、カラー・カビラ浄水場が建設されない場合、北部広域水道システムに関連する 7 県のうちスース県以南の 4 県において供給水量が不足する。その場合、スファックス海水淡水化施設の段階的な建設ではなく、200,000m³/日分を最初から建設する案も考えられる。しかし、下記理由により、当

初は 100,000m³/日分の施設を建設することが妥当であると考える。

- 浄水能力 200,000 m³/日の海水淡水化施設の建設費は非常に大きくなる。
- SONEDE はこれまで海水淡水化施設を一か所も稼働させていないため、当初は浄水能力 100,000 m³/日の海水淡水化施設で運転維持管理技術を習得し、その後、拡張することが適切である。
- カラー・カビラ浄水場完成が 2022 年以降に遅れることを見据え、スファックス海水淡水化施設を先行して 200,000m³/日で整備したと仮定した場合、水需要を賄うことは可能となる。しかし、カラー・カビラ浄水場が完成すると、生産単価が低いそちらへの運用比重が増し、逆に生産単価の高い海水淡水化施設の運用比重が大きく減少することも考えられる。その場合、過大投資となる可能性もあることから、第 1 期事業として 100,000m³/日規模で整備し、その後、カラー・カビラ浄水場の進捗状況を見据えて、第 2 期事業実施の可能性について検討を進めて行くことが妥当と判断する。

4.7.2 建設地点について

スファックス県は、北部広域水道システム及びジェルマ・スベイトラ地下水送水システムの最下流に位置することから、スファックス県への水供給量は他県の水需要増加の影響を大きく受ける。つまり、上流側で水需要が急増すればスファックス県に到達する水供給量は大きく減少する。その減少を補うため遠隔地に海水淡水化施設を建設すれば、当該施設からスファックス県まで送水する必要がある。したがって、スファックス県内の消費地に近い地点に当該施設を建設することは、送水施設建設費用及び送水施設運転費用の削減に貢献する。このことからスファックス県の最大都市であるスファックス大都市圏に海水淡水化施設を建設することは妥当である。

4.7.3 水供給量不足への対応

スファックス海水淡水化施設の稼働開始時期は 2022 年 10 月である（10 章に詳細スケジュールを記述）。また、カラー・カビラ浄水場の稼働が期待されているが、その通水予定は 2020 年である。そのため、スファックス大都市圏において 2017 年から 2019 年にかけて水供給量が不足する。この供給不足に対する抜本的な対策はないが、現時点で可能な対策を挙げると以下のとおりである。

(1) 供給側の対策

1) 漏水の削減

SONEDE は継続的に無収水（NRW）の削減に努力しており、スファックス大都市圏の無収水率は既に 16%（2013 年）と低いものの、今後も無収水の削減に向けた努力を継続し、漏水量をさらに削減することにより有限な水を最大限に活用する。

2) 水不足対策計画の策定

事前情報がない突然の断水や長時間の断水に対して、住民の水不足に対する不満は特に大きくなる。したがって、2017 年から 2019 年にかけて起きるとされる水不足問題に対処するために、水不足時の水需要量を抑制するための水不足対策計画（Water Shortage Contingency Plan (WSCP)）を策定する。その計画で、水不足時における SONEDE の対応を定め、それを公開し、住民に周知することとする。WSCP は必要な公衆衛生と安全を確保し、国民生活、公共の資産、工業及び観光産業への悪影響を最小化するために、事態の発生に先立ち、戦略を確立するものである。WSCP

は一般的には削減計画を段階ごとに構成される。

段階的需要削減計画（例）

この計画は、水不足の深刻度に応じて4段階の対策を提供している。この4つの段階は、必要に応じて、多様な情報伝達、社内運用業務、需要管理戦略が含まれる。

- (i) 助言ステージ：顧客は水不足が発生する可能性が高い日付を知らされる。
- (ii) 自主ステージ：供給状況が悪化した場合、計画は「自主ステージ」に移る。このステージでは目標消費水量までの節減を達成するために、自発的な協力や顧客の支援に依存する。この段階では、具体的な自主的な行動が住民及び商業顧客の両方のために提案される。
- (iii) 義務ステージ：自主ステージが必要な消費水量の減少をもたらしていない場合は、義務ステージに移行し、特定の活動を禁止したり制限する。地域間の格差が起きないように断水計画をあらかじめ定めておき、実施に移していく。主要配水幹線のバルブを絞って給排水圧を下げることも対処法の一つであるが、水圧を下げると同一配水区域内の高標高地域や末端の地域だけで断水が起きることもあるため、制御方法について事前に慎重な検討が必要である。
- (iv) 緊急削減ステージ：これは需要の減少が最も深刻に必要な時に対応し、義務的対策と課徴料金の組み合わせを含めることができる。増加する重度の水不足や施設の緊急障害に対処する最後のステージである。

3) 地下水の一時的緊急使用

北部広域水道システムから受水している上流部の県で暫定的に地下水揚水量を増やし、北部広域水道システムへの依存率を少しでも下げて、その分を下流側への供給水量増加につなげる。

また、スファックス大都市圏の地下水の更なる利用は原則として禁止されているが、2017年～2021年の5年間に限定して地下水の緊急使用許可を取得し、井戸を掘削し地下水を使用する。ただし、水質がよくないため、予算手当が可能であればパッケージ型の淡水化施設を設置し、淡水化処理することが望ましい。新規水源が稼働すればこの施設は他地域に転用が可能である。

4) パッケージ型海水淡水化施設の設置

予算手当が可能であれば、小規模のパッケージ型海水淡水化施設を多数設置し、海水淡水化処理することが考えられる。この場合、緊急かつ暫定的な処置として取水・放流施設は簡易なものとせざるを得ない。新規水源が稼働すればこの施設は他地域に転用が可能である。

(2) 需要側の対策

1) 水の保全啓発プログラム

SONEDEは顧客に対し、節水の必要性を啓発するために節水ラベルを配布する等の節水意識向上プログラムを既に始めている。住民の節度ある水使用に対するSOENDEの継続的な取り組みに加えて、SOENDEが節水の大切さについて国民に思い出させるために、テレビ広告や他のイニシアチブのシリーズを展開していくことを勧める。この対象は、スファックスのみならず全国民である。

スファックス大都市圏を含む北部広域水道システム関連7県の水不足量が最大となる2019年夏の需要水量は865,900m³/日程度であり、その時の不足水量は約75,300m³/日である。上流側で需要に応じた供給をしていれば、その不足水量は殆どそのままスファックス大都市圏の不足水量となる。一方、北部広域水道システム関連7県全体で需要水量に対して9%の節水をすれば、スファッ

クス大都市圏の不足水量は捻出できることになる。これに加えて、首都チュニスでも節水を奨励し、その余剰水量を北部広域水道システムに送れば、最下流のスファックス大都市圏で深刻な水不足は起きないことが期待できる。

a) テレビ広告

テレビ広告は、例えばシャワー時間を短くし、水洗の流水で食器洗浄を行わないことや、水栓とシャワーヘッドに節水部品を取り付けることなどに焦点を当てて放送されるものとする。

b) 水ボランティアグループ

ボランティアは地域社会へのアプローチに重要な役割を果たしている。ボランティアや学生から構成されるウォーターボランティア団体が家庭を訪問し、水使用の実態を観察し、彼らの水の消費量を減らすための簡単な手順を共有する。水ボランティアグループ・プログラムの例は次のとおり：

- i) 最初に SONEDE や自治体は、コミュニティ単位の水ボランティアグループを発足させ、SONEDE や学校や草の根組織と協力して、彼らの水の消費量を節減するために、住民を奨励し、啓発する。
- ii) 次に水ボランティアグループは、SONEDE を支援し、各家庭において、節水の習慣に焦点を当てるだけでなく、家庭での簡単な水監視を実施する方法を教育する。

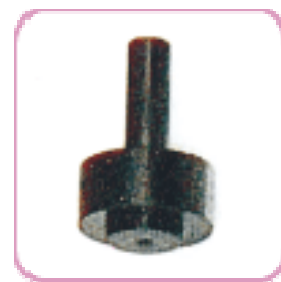
節水の習慣は、水道料金を監視する、つまり、家族の消費水量を監視することから始められる。最新の消費水量が平均よりも多い場合、それは配管や水栓からの漏水が疑わしい、若しくは家族の水使用習慣の問題があることを示している。

水漏れによる水の浪費を防ぐために、すぐに漏水や壊れている水栓を修理しなければならない。水の使用習慣の問題については、シャワー時間の短縮、洗濯機のすすぎ水の回収とトイレや床掃除での使用、半量フラッシュの使用等の方策がある。

2) 節水機器の使用

水栓に以下のような節水部品を取り付けることにより日常的に水使用量を削減できる。

- ・ Oリングとメッシュ状のガーゼから構成される小さな部品を水栓に設置すると、住宅の水消費量の 30%が削減できると言われている⁴。その小さな節水部品を SONEDE 顧客の住宅、学校、政府機関や商業ビルに導入することは節水に効果的であるとして、アブダビ政府環境庁は 2010 年に 76,494 個の本部品を観光クラブ地域で取り付けている。
- ・ 日本では水栓に節水コマ (Water Saving Packing) を使用することが推奨されている。節水コマは通常のコマの下部を大きくしたもので、水栓の開度が小さいときに水の流出を抑制する効果がある。この節水コマの使用により、中間開度の時に 0-50%程度の水量抑制ができると言われている。



出典：東京都水道局 WEB サイト

図 4.7-1 節水コマ

⁴ <http://gulfnnews.com/news/uae/environment/saving-75b-litres-of-water-using-a-dh7-device-1.677234>

第5章 海水淡水化施設の検討

第5章 海水淡水化施設の検討

5.1 海水淡水化施設基本計画

5.1.1 海水淡水化方式

海水淡水化には、①熱エネルギーを用いて水→蒸気（蒸発法）又は水→氷（結晶化法）のように相を変化させ、その過程で溶解塩類を除去する蒸発法と、②相は変化させずに、特殊な膜を介して圧力や電気エネルギーで淡水化をおこなう電気透析法や膜法の2種に大別される。これらの方式の必要エネルギーやチュニジアにおける実績は下記のとおりである。

(1) 必要エネルギー

相変化を伴う①の方式は比較的エネルギー消費量が大きいため、エネルギー費が安価な中東産油国以外では②の膜法が主流になっている。膜法には電気透析法とRO膜法があるが、その使用エネルギー量の差から、RO膜法がシェアを広げている。表5.1-1に各プロセスの海水淡水化に要するエネルギー消費量を示す。RO膜法のエネルギー消費量は、他プロセスのエネルギー消費量の10%程度であり、エネルギー消費量の面でその優位性が示されている。なお、RO膜法の回収率とは、取水量に対して淡水化される水量の割合を示す。

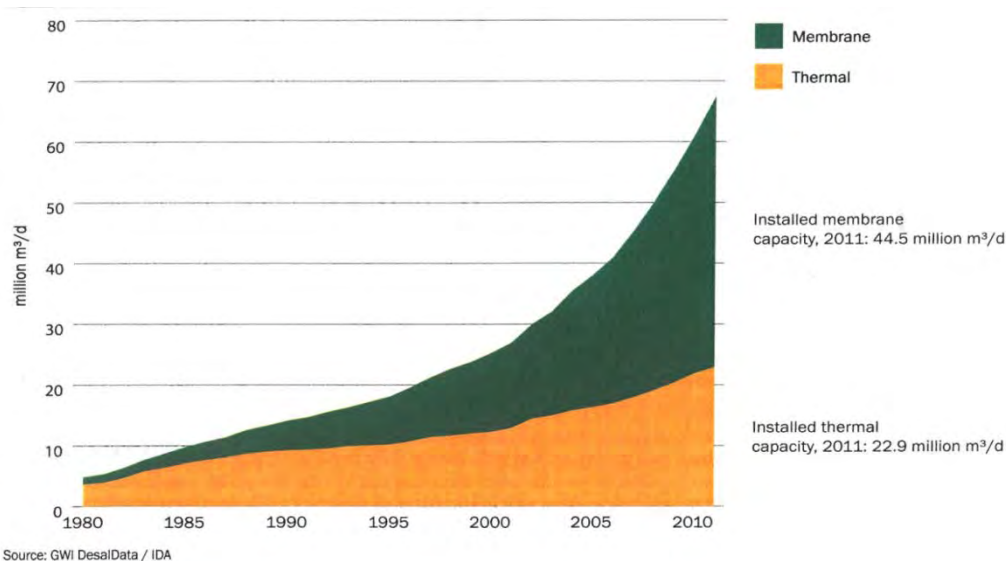
表 5.1-1 海水淡水化に要するエネルギー

分離プロセス	必要動力 (kWh/m ³)	必要熱量 (kcal/m ³)
蒸発法	62.9	54,000
電気透析法	32.2	27,692
RO膜法 (回収率 30%)	4.7	4,020
RO膜法 (回収率 40%)	3.5	3,010

出典：「水道工学」（技報堂出版、2006）p355

(2) 実績

図5.1-1に1980年から2011年までに建設された膜法と蒸発法の淡水化施設の建設実績の累計推移を示す。これからも1990年代以降、RO膜法の実績が急増していることが判る。中東産油国では依然として蒸発法の採用が続いているが、その伸びはかなり鈍化しており、RO膜法の信頼性の向上により、近年では中東産油国においてもRO膜法を採用した事例が増えている。



出典：GWI IDA Desalination Year book 2012-2013

図 5.1-1 膜法と蒸発法の淡水化施設建設実績累積推移

チュニジア国の淡水化施設は全て RO 膜法を採用している（表 5.1-2 参照）。また、前出表 1.5-1 に示すように、現在、実施及び計画中の大型海水淡水化施設（ジェルバ：50,000 m³/日、ザラット：50,000 m³/日）、KfW 支援事業で南部地域に建設中のかん水淡水化施設（10 か所、合計淡水化量 36,200 m³/日）、追加事業で建設計画中的かん水淡水化施設（6 か所、合計淡水化量 31,000 m³/日）も、全て RO 膜法を採用している。このように淡水化施設における RO 膜法の普及は著しい。

表 5.1-2 チュニジア国における主要既存淡水化プラント

案件名	場所	原水	生産水量 (m ³ /日)	方式	稼働年
Gabes	Gabes	かん水	22,500 +3,000 +8,500	RO	1995 +1999 +2005
Djerba	Medenine	かん水	12,000 +3,000 +5,000	RO	1998 +2003 +2007
Zarzis	Medenine	かん水	15,000	RO	1999
Ben Guerdane	Medenine	かん水	1,800	RO	2013
Kerkennah	Sfax	かん水	3,300 +300	RO	1983 +2001
Tifert 社	Skhira	海水	12,000	RO	2013

出典: SONEDE + JICA 調査団

(注 1) “Tifert 社”以外は、SONEDE 所轄。

(注 2) 生産水量とスタート時期の欄で“+”は、増設の規模と時期を示す。

(3) 海水淡水化方式の選定

前述したように必要エネルギー及び実績の観点から、チュニジア国においては他プロセスより RO 膜法が優位であると判断し、RO 膜法を本事業の海水淡水化方式として選定した。これ以降、RO 膜法の導入を前提とした海水淡水化施設の計画に関して記述する。

5.1.2 海水淡水化施設基本仕様

現地調査の結果、海水淡水化施設の基本仕様を下記のとおり計画した。

- 1) 淡水化された水質は、TDS 濃度 500 mg/L 以下とする。
- 2) 回収率 45%の海水淡水化施設とする。
- 3) 第 4 章で検討した結果として、生産水量を全体計画で 200,000m³/日とする。

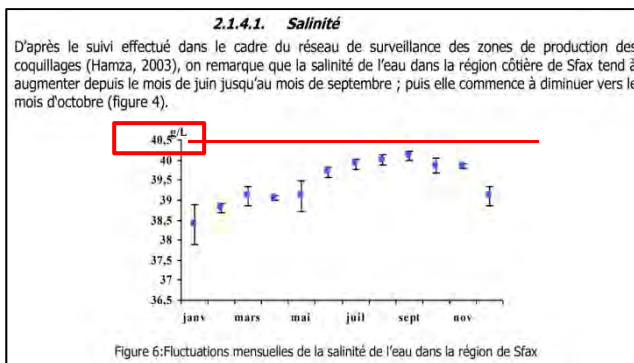
上記仕様に関する原海水条件及び回収率の設定に関して詳述する。

(1) 原海水条件

1) 全般

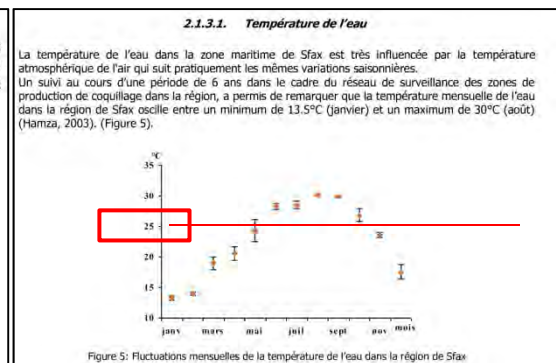
本調査での水質調査結果、官民機関が連携した Sfax 地域近海の海洋調査報告書(*)を参考にして、海水条件を比較した。同調査で報告されている年間の海水水質の変化を図 5.1-2～5.1-4 に示す。さらに、本調査で実施した水質調査の結果及び 2012 年に公示されたジェルバ島海水淡水化施設 (50,000 m³/日) の入札仕様書に記載されている条件も参考にし、これらのデータを総合的に比較評価し、設計範囲として表 5.1-3 の”Design range”を決定した。さらに、オーバースペックにならないように、TDS 濃度と温度の範囲を検討し、実際に設計で使用する数値を設定した。その数値を表 5.1-6 の設計基準に示す。

(*) スファックス大学の他、スファックス県、MDICI、環境・持続可能な開発省等の中央官庁が参画し、スファックス近海の調査が行なわれた。プロジェクト名称は”SMAPIII”である。2007 年 3 月にスペイン・セビリアで開催された”5th European Conference on Sustainable Cities”で”Integrated management Strategies of Coastal Areas of the SDouth of Sfax city (Tunisia)”という題名で発表された。図 5.1-5 参照。



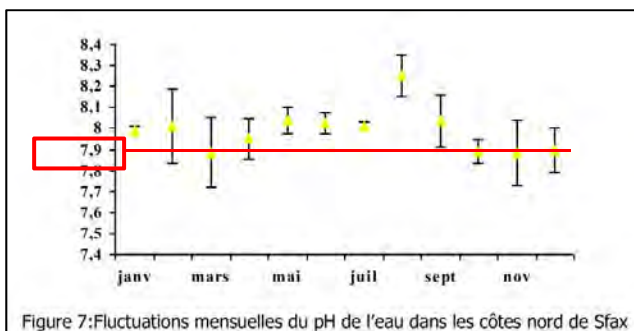
出典：SMAPIII

図 5.1-2 海水塩分 (TDS) 濃度の変化



出典：SMAPIII

図 5.1-3 海水温度の変化



出典：SMAPIII

図 5.1-4 pH の変化



出典：SMAPIII

図 5.1-5 SMAP III 調査結果プレゼンテーション（一部抜粋）

2) 海水塩分濃度（TDS 濃度）

図 5.1-2 によると、最も濃度が高い 9 月の TDS 濃度は 40,200 mg/L (40.2g/L) 程度である。一方、本調査で行った海水分析結果（表 5.1-3）では TDS 濃度が 41,000 mg/L であり、日本に持ち帰ったサンプルの分析結果は 42,200 mg/L（表中の Chiba、Japan 欄）であった。総合的に勘案し、設計用の原海水最大濃度を 41,000 mg/L とした。

3) 海水温度

図 5.1-3 によると、海水温は夏には 30 °C になる場合もあるが、冬は 14 °C 程度まで低下する。しかし、温度範囲を 14 °C から 30 °C までの広範囲対応の施設にすることは設計上設備が複雑になり¹設備費が増加するため、SONEDE と協議した結果、設計水温を現実的な範囲に設定することとし、設計海水温度の上限を 25 °C とした。

4) pH

図 5.1-4 によると、平均 pH 値 7.9 と記載されている。測定条件などは記載されていない。また、本調査で行った測定では SMAP 報告書の値と同じく 7.9 であった。そのため、pH 値は 7.9 を採用した。

5) その他

2014 年 2 月に JICA 調査団の再委託により SCET 社²が実施した海水水質分析の結果を表 5.1-3 に示す。スファックス近海には工業地帯があり、海水が汚染されている可能性があるとの情報があったため、取水地点となる 5m 水深部及び海水より比重の重いものは海底面に滞留している可能性があったこと、海域が荒れた際にこれら滞留物が巻き上げられる可能性があったことから、海底部から+50cm の 2 地点からサンプリングを実施した。採水は 2 月 22 日に行われた。

¹ 一般的に RO 膜は温度が 1 度上昇すると透過水量は 3% 増加する。このため、広範囲の海水温に対応しようとする、膜面積や運転圧力を増減させたりする運転方式に対応できる設備仕様にしておくことが必要になり、より多くの設備費や高度な運転技術の習得が必要になってくる。水温が 30 °C（保証範囲外の温度）になると図 5.1-6 に示すように水温 25 °C に比べて水質が悪化するが、許容できる程度と判断した。

² 2014 年 2 月 22 日に採水し、分析は Laboratory of Radio-Analysis and Environment, National Engineering School of Sfax が実施した。さらにいくつかの項目について産業・エネルギー・鉱山省 (Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines) の中央研究所と千葉県薬剤師会検査センターでも分析を行った。

表 5.1-3 海水条件一覧及び設計用海水条件

Items	unit	Drinking water Standard ¹⁾	Collected at depth of ²⁾	Data analyzed by this study			Reference data from the other studies			Design	
				SCET	Central Labo.	Chiba, Japan	INSTM	SMAP 3	Djerba	Design range	Design (Guarantee)
Temperature	deg C						25.6--27.6	14-30	20	14-30	14-25
pH	-	6.5-8.5	5m	7.9	-	-	7.8--8.12		8.04		7.9
			+50cm	7.9	-	-	-	-			
EC (Electric Conductivity)	mS/cm	0.3-2.5	5m	52.4	79	-	-	-			-
			+50cm	52.4	77	-	-	-			
Salinity	mgNaCl/L	-	5m	38,800	34,400	-	-	-			-
			+50cm	38,000	35,200	-	-	-			
Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	200-2,000	5m	40,000	-	42,200	39,500-40,300	38,500-40,500	41,210	38,500-42,000	38,500-41,000
			+50cm	41,000	-	42,200					
Sodium (Na ⁺)	mg/L	200	5m	12,889	10,400	-	-	-	11,668	-	12,889
			+50cm	13,028	20,000	-	-	-			
Potassium (K ⁺)	mg/L	-	5m	370	926	-	-	-	325	-	370
			+50cm	381	436	-	-	-			
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/L	200	5m	400	432	-	-	-	451	-	400
			+50cm	420	411.5	-	-	-			
Magnesium (Mg ⁺⁺)	mg/L	100	5m	1516	1,358	-	-	-	1,367	-	1,516
			+50cm	1512	1,381	-	-	-			
Chloride (Cl ⁻)	mg/L	500	5m	21,540	23,040	-	-	-	20,556	-	21,540
			+50cm	21,810	23,040	-	-	-			
Sulfate (SO ₄ ⁻)	mg/L	500	5m	2154	2,203	-	-	-	3,648	-	2,154
			+50cm	2591	2,657	-	-	-			
Bicarbonate (HCO ₃)	mg/L	-	5m	213	-	-	-	-			213
			+50cm	213	-	-	-	-			
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/L	45	5m	9.2	-	-	-	-	0	-	9
			+50cm	<2	-	-	-	-			
Silica (SiO ₂)	mg/L	-	5m	1.48	2.6	-	-	-	0	-	1.5
			+50cm	1.85	4.2	-	-	-			
Boron (B ⁺)	mg/L	2.4	5m	4.89	6.6	-	-	-	-	-	5.6
			+50cm	5.63	6.1	-	-	-			

note *1: NT09.14(2013) *2: "5m" means 5 m below water surface. "+50cm" means 50cm above seabed.

右側 2 欄は JICA 調査団が推奨する入札仕様を示す。「Design range」=設計上、許容できる範囲。「Design (Guarantee)」=設計上、性能を保証できる範囲。

出典：JICA 調査団

表 5.1-3 に示す分析結果で飲料水水質基準を超えている項目もあるが、特筆すべき結果は示されておらず、いずれの測定結果も一般的な海水水質として想定できるものであった。これらの項目は海水淡水化施設の前処理及び淡水化処理によって基準値を下回るまで容易に処理されうるものであり、特別な処理施設等の設置を考える必要性はない。

(2) 回収率

工事費や運転維持管理費を小さくするためには、回収率は高いほうが望ましく、前述の原海水に対しては回収率 45%の達成が可能であると判断されたため、本事業の回収率を 45 %に仮定した。この回収率は既存の海水淡水化施設³⁾でも採用されており、特段の支障なく運転されている。また、現在工事を実施中のジェルバ島海水淡水化施設の設計仕様でも回収率 45 %を採用している。これについて以下にその妥当性を検討する。

回収率は高いほうが取水量と放流量が小さくなり望ましいものの、原水の水質及び水温によって、達成できる透過水の水質が異なるため、表 5.1-4 に示す RO 膜の市販品（除去率 99.8%、透過水量約

³⁾ スファックス大都市圏の中心部から南西へ約 80 km のガベス湾沿いの Skhira 地区に生産水量 12,000 m³/日の海水淡水化施設が 2013 年から稼働している。Tifert 社がこの施設を所有し、淡水化された水を自社の工場で使用している。この施設の回収率は 45 %で設計されている。

32m³/日)の基本性能をもとに、原水及び透過水 TDS 濃度と水温との関係を試算し、仮定した回収率 45%の妥当性を検討した。なお、市販品メーカーとして掲載した 3 社の世界シェアは合計して 90%程度であり、一般的な回収率を検討する上で、適切な製品であると判断した。

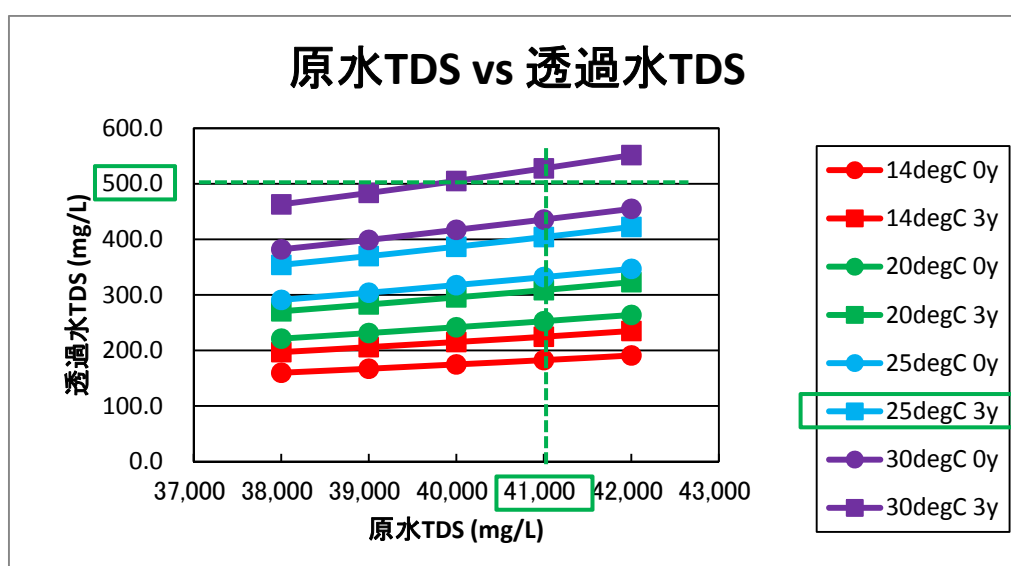
表 5.1-4 RO エlement 基本性能表

RO 膜型番 / 製造会社名	TM820R-400 / Toray	TM820V-400 / Toray	SW30HR LE-400 / DOW	SWC5 / Hydranautics
項目				
1.基本性能				
1)除去率 (%)	99.8	99.8	99.8	99.8
2)透過水量 (m ³ /d)	32.2	34.1	28	34
2.測定条件				
1)原水濃度 (mg/L as NaCl)	32,000	32,000	32,000	32,000
2)圧力 (MPa)	5.5	5.5	5.5	5.5
3)温度 (°C)	25	25	25	25
4)回収率 (%)	8	8	8	10

出典：メーカーカタログ値を調査団にて編集

試算結果が示された図 5.1-6 によると、原水の水質が TDS 濃度 41,000 mg/L、水温が 25 °C の場合、透過水の TDS 濃度は、300 mg/L 程度である。また、膜は使用時間とともに劣化するが、3 年間の使用後においても TDS 濃度は 400 mg/L 程度であり、目標としている TDS 濃度 500 mg/L 以下を達成している。この試算結果から、回収率 45%は十分に達成できるものと判断した。

なお、上記は保証条件に関する議論であり、この範囲外での運転は可能である。ちなみに水温が 30 °C になる場合でも、原水が 41,000 mg/L の場合に、透過水の水質は初期値では 420 mg/L 程度である。ただし、3 年後の予測値では膜の劣化を仮定して 530mg/L 程度と予測される（図 5.1-6 参照）。なお、これは水質保証を想定した安全側の試算結果であり、適切に運転すれば、通常はこれより良好な水質を得ることができる。したがって、海水の TDS 濃度が保証条件を超過した場合でも、既存水源の水質に比べてかなり良好な水質が得られるので、供給水道水の水質改善の方針は達成できる。以上より、回収率 45%で設計することは妥当であると判断した。



出典：JICA 調査団

図 5.1-6 海水条件変化による淡水化施設予想水質 (45%回収率時)

(3) その他の生産水水質基準

その他の生産水の水質項目はチュニジア国の飲料水水質基準（NT09.14:1983）に準じる（淡水化に係る主要な基準値は表 5.1-5 参照）。なお、新基準となる NT09.14:2013 が 2013 年 12 月に関係省庁・機関に承認のため回議され、2014 年 10 月時点では関係者による確認は終了しており、実務的にも使用され始めている。ただし、法制化の手続きは現在進行中ではあるものの、2015 年 3 月時点ではまだ終了していない。

表 5.1-5 チュニジア国主要飲料水水質基準*

Items	unit	Tunisia : NT09.14:1983		Tunisia NT09.14:2013	WHO (4 th ed.)	EU Drinking Water Directive	Japan
		Recommend	Acceptable				
pH	-	7 - 8	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	-	6.5 - 9.5	5.8 - 8.6
Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	<500	<2500	200 - 2000	<1000**	(EC:2500µS/cm)	<500
Turbidity	NTU	<5	-	<3	<1	Acceptable to consumers	<2deg.***
Chloride (Cl-)	mg/L	<200	<600	<500	<250**	<250	<200
Boron (B)	mg/L	-	-	<2.4	<2.4	<1	<1

*: 海水淡水化施設設計において重要となる項目のみを表示, **: 味が悪くなる。基準値はない。

***: Kaolin: 0.8NTU = approximately 1 deg.

出典：SONEDE, JICA 調査団

表 5.1-5 の中で「ホウ素(B)濃度」は海水淡水化施設設計において重要な項目である。SONEDE は、ジェルバ島海水淡水化施設の入札図書では、生産水のホウ素濃度について 1.2 mg/L の保証を要求しているが、チュニジア国には明確な基準はなかった。しかし、上記のように新基準では 2.4 mg/L が規定されることになっている。この点について、ジェルバ島海水淡水化施設と同様に 1.2 mg/L にするか、2.4 mg/L にするか、SONEDE と討議した結果、改定される基準値の 2.4 mg/L を採用することとした。一方、ジェルバの 1 年間保証に対して、本事業では TDS 濃度の保証期間と同じくホウ素濃度についても 3 年間保証を要求することとした。

(4) 結論

前述した検討事項の結果として、表 5.1-6 に、本プロジェクトにおける水質関連の設計条件を示す。

表 5.1-6 海水淡水化施設設計基準（水質関連）

項目	SFAX, for design	Djerba (参考)	Reference
生産水 TDS 濃度	500 mg/L	400 mg/L	
原海水 TDS 濃度	41,000 mg/L 以下	at 41,210 mg/L	
原海水温度	25 °C 以下	at 20 °C	
保証期間（通水後）	3 年 ^{*1}	3 年	
回収率	45 %	45 %	
ホウ素	2.4 mg/L	1.2 mg/L	NT09.14(2013) : 2.4mg/L
保証期間（通水後）	3 年	1 年	
膜交換率	20%/年 ^{*2}	—	
(参考情報)			
1 系列あたり生産水量	25,000 m ³ /日/系列	25,000 m ³ /日/系列	
膜透過流速 flux	13 L/m ² /h	13 L/m ² /h	
電力エネルギー消費量	4.2 kWh/m ³	4.2 kWh/m ³	

注) *1: Djerba 海水淡水化施設に準じて、一般に適用されている 3 年とした。

*2: 製造会社の経験による推奨値

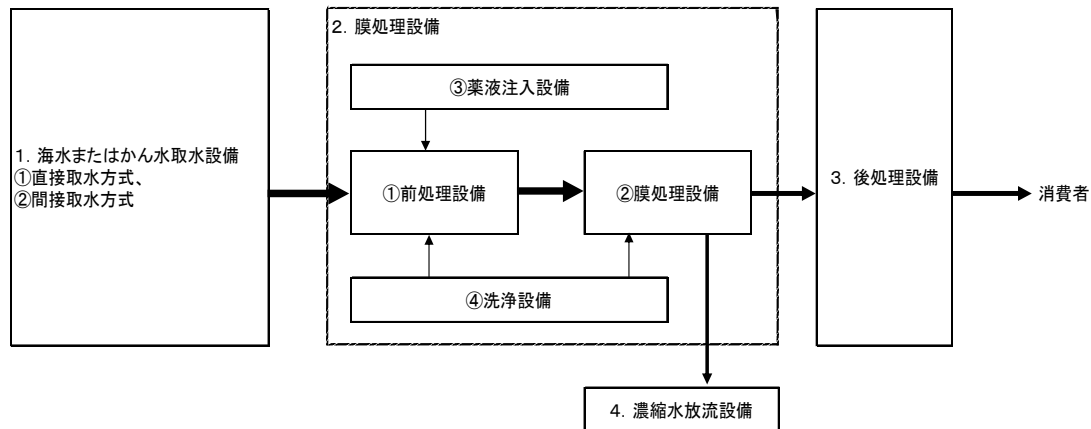
出典：JICA 調査団

5.1.3 海水淡水化施設の概要

海水淡水化施設の概要を以下に示す。

(1) 全体構成

電源の受電設備、建物関連、資材保管倉庫、事務所関連等を除いた膜システムは、図 5.1-7 のように 4 種類の設備ユニットから構成される。各設備ユニットの概要について以下に記載する。



出典：JICA 調査団

図 5.1-7 膜システム構成設備

(2) 各設備概要

1) 取水設備

処理すべき海水を導入するための設備である。代表的な方式としては、以下の 2 方式がある。

① 直接取水

護岸から直接取水する方式と、沖合の取水点から陸上設備まで配管で海水を導入する方式があり、大型設備等が設置される。配管で導水する場合、取水点で塩素を注入し、管路内での貝や海草の成育を防ぐ。

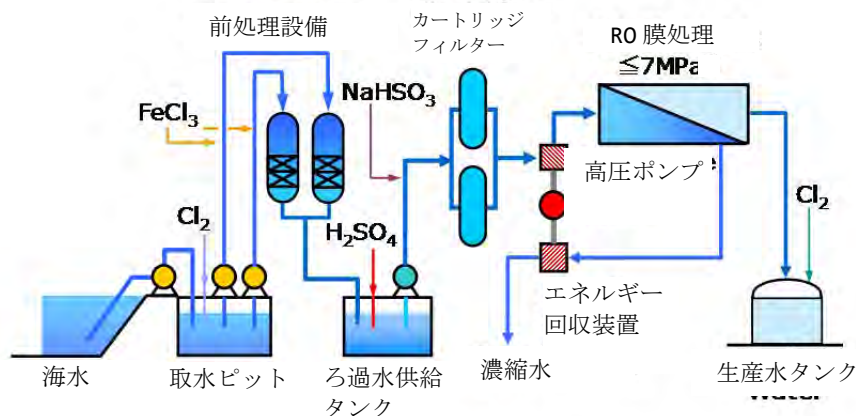
② 間接取水

海岸線に掘削した井戸にそこへ浸入してきた海水を取水するビーチウェル方式が代表的である。この方式は海水中の濁度が井戸に到達する段階で除去されているので、膜設備の汚れ防止に有用である。しかし、井戸が枯渇した場合は、新しい井戸を掘る必要があることと、井戸周辺の地質や地下水の影響により浸透海水成分が突然変化する場合があるので、事前の十分な調査が肝要である。海底をろ過層に見立てる海底取水方式も間接取水である。

比較検討の結果、本事業では直接配管取水方式を採用する。増設工事が容易ではないことから、全体計画（取水量 444,400 m³/日=生産水量 200,000 m³/日÷回収率 0.45）を賄える能力を持つ取水管を一度に施工するものとする。詳細は 5.3 節に示す。

2) 膜処理設備

膜処理設備は大きく以下の 4 種類の設備から構成される（図 5.1-8 参照）。膜処理設備は増設が比較的容易であるため、第 1 期計画（生産水量 100,000 m³/日）を賄える能力を持つ設備を施工するものとする。



出典：東レ資料

図 5.1-8 膜処理設備フロー

① 前処理設備 (Pretreatment)

海水淡水化施設では、RO 膜に清澄な海水を導入するために前処理工程が必要である。この処理方式は砂ろ過法が一般的であるが、近年、高度に良質な前処理水質が求められる場合は MF（精密ろ過）膜や UF（限外ろ過）膜による膜ろ過式前処理が導入され始めている。両者の特徴を表 5.1-7 に示す。

表 5.1-7 前処理方式の比較

項目	砂ろ過方式	膜ろ過方式
1. 処理水清澄度	RO 膜に必須な清澄度は十分に得られる。	砂ろ過に比べより清澄度の高い処理水が得られる。
2. 安定性	暴風雨等により海水水質が突然変化した場合はろ過水の水質が悪化することがある。ただし、この地域において、台風のような暴風雨はほとんど発生しない。	海水水質が突然変化した場合でも、ろ過水の水質は安定。
3. 投資コスト	安価。	砂ろ過に比較して高価。原水水質が悪い場合には前処理用の膜設備の設備費が増加する。海水水質によっては、前処理用の膜の前に砂ろ過処理が必要。
4. 維持管理コスト (前処理部分)	砂等のろ材の交換は少なく、膜ろ過方式に比べ前処理部分の維持管理費は小さい。	前処理用の膜の交換費用が発生。原水水質が悪い場合には、前処理用の膜設備の維持管理費が増加する。
5. 維持管理コスト (RO 膜部分)	膜ろ過方式に比べ RO 膜の交換頻度は高くなり、RO 膜部分の維持管理コストが増加する。	RO 膜の汚れが発生しにくくなるため、RO 膜の交換頻度が低下し、RO 膜部分の維持管理コストが低下する。
6. 実績	世界中で実績が多い。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 沖縄/日本 40,000m³/日 ・ Hamma/アルジェリア 200,000m³/日 ・ Sydney/オーストラリア 250,000m³/日 ・ Al Jubail/サウジアラビア 90,000m³/日 ・ Ashkelon/イスラエル 330,000m³/日 	実績は砂ろ過に比べて少ない。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 福岡/日本 50,000m³/日 (海底浸透取水により実質的に砂層を通したろ過を行っている、) ・ Ras al-Khaimah Investment Authority/UAE 2,000m³/日 ・ SAWACO/サウジアラビア 2,500m³/日
7. その他	ジェルバ島海水淡水化施設で採用	—
8. 技術面評価	○	○
9. 財務面評価	○	△
10. 総合評価	○	△

出典：JICA 調査団

本事業では砂ろ過方式により必要な前処理水質が確保できるため、前処理水質を向上させるために膜ろ過方式を導入する必要はない。したがって、本調査では経済性及び実績を重視し、「砂ろ過方式」を選定する。なお、詳細なコストデータ等は開示されておらず、データ収集が困難なため、ここでは定性的な判断で結論を出している。

前処理設備の後段では、膜の流入水許容条件に合致するように下記②項に記載する薬品を注入して水質を調整する。この後、5～20 ミクロンの微粒子除去用のカートリッジフィルターを通した後に、下記③項の膜処理設備に通水する。

② 薬液注入設備 (Cl₂, FeCl₃, NaHSO₃ 等)

系内での微生物の繁殖を防ぐために殺菌剤を添加しなければならない。殺菌剤には安全性を考慮し、他の淡水化施設で実績のある次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) を採用する。また、砂ろ過の効率を上げるために砂ろ過上流部で水中の微粒子を凝集を促進させるために塩化第二鉄 (FeCl₃) 凝集剤を添加する。さらに、pH 調整を膜保護だけではなく膜面でのスケール (析出) 防止の観点から行う。薬品は硫酸や塩酸等を利用することが多く、本事業では他の淡水化施設で実績のある硫酸の使用を想定している。なお、現在市場でシェアの大きいポリアミド系の合成複合膜は塩素への耐久性が小さいため、膜に接触する部分に還元剤を注入し塩素を中和する。還元剤には重亜硫酸ナトリウム (NaHSO₃) を使用する。

③ 膜処理設備(RO element)

RO 膜ユニットを必要本数設置する。高圧ポンプもこの設備に含める。この高圧ポンプには、エネルギー回収装置を付け、消費電力量の削減を図る。

④ 洗浄設備

前処理設備、特に砂ろ過部分で捕捉された砂粒子やプランクトン等を系外に取り出すための洗浄作業がおこなわれる。このための設備を設置する。膜部分も1年に数度、定期的に洗浄を行う。このための洗浄薬品調合設備を設ける。

3) 後処理設備

飲料水にする場合は、必要によりカルシウム等の硬度成分添加や pH 調整を行い、飲料水水質基準に合致するように調整する。また、生産水の貯留・送水中に微生物の発生を防ぐために、塩素等の殺菌剤注入を行う。

4) 濃縮水放流設備

膜処理を行うと、清澄な処理水を得た後に、原水が濃縮された濃縮排水が発生する。この濃縮水は、海水淡水化施設の場合は海に戻す。5.4 節に記すとおり、比較検討の結果、本事業では水中放水—沖合放水—マルチノズル方式を採用する。増設工事が容易ではないことから、全体計画 (放流量 244,400 m³/日 = 取水量 444,400 m³/日 - 生産水量 200,000 m³/日) を賄える能力を持つ放流管を一度に施工するものとする。詳細は 5.4 節に示す。

5) 生産水貯水施設

停電や淡水化施設の故障による運転停止と再稼働までの所要時間並びに送水ポンプの円滑運転等を考慮し、生産水量の 6 時間分を貯水する施設を設置する。施設規模は、4.3.6 節に記載されて

いるとおり、段階的に拡張するものである。その結果、第1期分として25,000 m³ (=100,000m³/日 x 6時間/24時間/日)の貯留容量を確保する。また、第2期分として同サイズのスペースを準備しておく。

6) 送水ポンプ室

生産水貯水施設から PK11 配水池まで、生産水を送水するポンプ設備を海水淡水化施設用地内に設置する。詳細は5.6.2に述べる。

5.2 海水淡水化施設建設用地

海水淡水化施設建設用地には、海水淡水化施設の他、海水受入槽、生産水貯水槽、既存配水池までの送水ポンプ、受変電設備、消耗品貯蔵倉庫、管理棟、駐車場等のスペースが必要になる。4.6.6で記載されているとおり、第1期、第2期に分けて拡張する計画があることから、同建設用地は、第2期分までの処理能力である200,000 m³/日の施設用として、約200,000 m²の用地が必要となる。なお、各期で建設される施設は、図5.6-3に表示した。

海水淡水化施設の建設用地は、表5.2-1に示すとおり、本調査開始時にSONEDEが本事業用に選定した4箇所と、調査開始後に調査団から追加提案した3箇所の、合わせて7箇所を比較検討し選定した。

まず、本調査フェーズ1段階において、第1次評価として各候補地の立地条件を評価した。その後、第2次評価として、第1次評価で上位に位置づけられた候補地4箇所について「建設コスト」と「ライフサイクル評価としての消費電力差」の観点から評価を行い、2箇所に絞りこんだ（検討の詳細は付属資料に示す）。この2箇所はいずれも海岸用地（DPM: Domaine Public Maritime）内に位置し、海岸用地を管理する環境・持続可能な開発省：海岸保全開発庁（APAL: Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral）の使用許可を必要とする。

本調査フェーズ1の調査結果として、本事業の必要性が認められたため、本調査フェーズ2の初期段階にチュニジア国側関係者と共に各種検討を行った。そのうち1次評価、2次評価により絞り込んだ2箇所について精査し、当該海岸用地の管理に関与しているAPAL及び環境配慮の観点からANPEにその使用可否について確認した結果、最優位候補地は近隣の砂洲状海岸の保全と既存海水浴場等の観光資源に近接しているという二つの理由によりその使用は許可できないとAPALから見解が示された。次位候補地もAPALの設定する海岸用地内にその候補地が含まれているが、特に他の事業計画と干渉するところはなかったため、その使用が許可されることになった。選定経緯については付属資料に詳述する。

表 5.2-1 建設用地候補地選定結果

No	候補地名	1次評価		2次評価		APAL 評価	最終結果
		評価結果	適 否	順位	精査対象		
1	El Amra Nord (Sfax)	低位評価					
2	El Amra Sud (Sfax)	低位評価					
3	Agareb (Sfax)		2次評価対象	2	精査対象	許可	選定
4	Chebba Sud (Mahdia)	低位評価					
5	Nakta (Sfax)		2次評価対象	1	精査対象	許可しない	
6	Chebba Nord (Mahdia)		2次評価対象	3			
7	Mahres (Sfax)		2次評価対象	4			

その後の APAL の詳細な検討により、若干南西側に移動させた地域が正式な使用可能用地として提示されたため、当該地を起点に海洋取水管・放流管、海水淡水化施設、生産水送水管等の検討を行うことになった。本事業の環境影響評価報告書に対する ANPE の承認が得られてから APAL の正式な使用許可が下りることになる。

5.3 海水取水方法

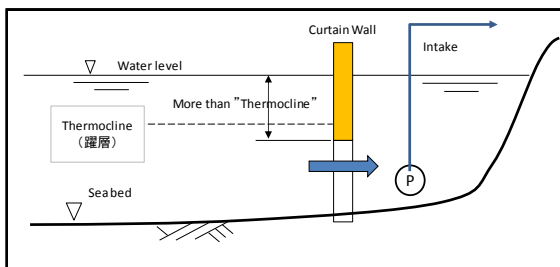
5.3.1 取水方式

取水方法には、表 5.3-1 に示すとおり、直接取水と間接取水がある。それぞれの特徴を同表に示す。

表 5.3-1 本プロジェクトに適用可能性のある主要取水方式の比較

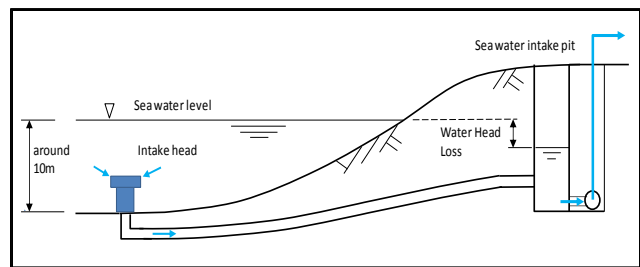
取水方式	方式	特徴	評価
直接取水 (深層取水) (図 5.3-1)	護岸取水方式 (カーテンウォール取水方式)	<ul style="list-style-type: none"> 護岸部前面の深層水を対象。 水質変動の大きい表層水の流入回避のため仕切りパネルを設置し、水質・水温が比較的安定した水温躍層より深い位置の海水取水。 波浪の影響は少ない。 取水施設前面の水深がある程度必要。 大量取水に適している。 	本事業に適用する場合、深さ 10m 程度の浚渫が必要なため、不採用。
直接取水 (深層取水) (図 5.3-2)	直接配管取水方式	<ul style="list-style-type: none"> 沖合の水質・水温が比較的安定した海水の取水が可能。 表層水の流入回避可能。 波浪の影響は少ない。 取水施設の設置水深がある程度必要。 大量取水に適している。 	<u>本事業で採用</u>
間接取水 (浸透取水) (図 5.3-3)	海岸井戸取水方式 (ビーチウェル取水方式)	<ul style="list-style-type: none"> 土壌中の自然濾過水のため、水質が良好。しかし、土壌中の含有物質が溶出することがある。 濾過流速の経時変化に留意が必要。 波浪の影響は受けない。 中小規模の取水に適している。 	規模が大きい本事業には適していないため、不採用。
間接取水 (浸透取水) (図 5.3-4)	海底浸透取水方式	<ul style="list-style-type: none"> 土壌中の自然濾過水のため、水質が良好。しかし、土壌中の含有物質が溶出することがある。 濾過流速の経時変化に留意が必要。 広範囲の海底掘削が必要。 波浪の影響は受けない。 	大規模な海底調査が必要なため、本事業では不採用。

(出典：JICA 調査団)



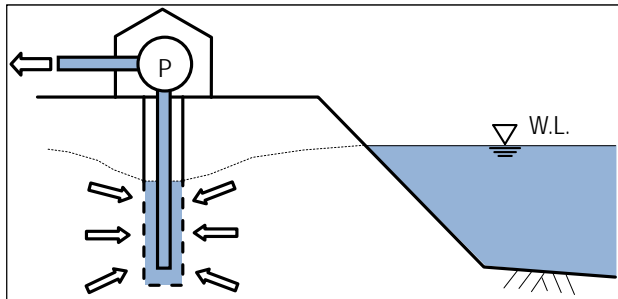
(出典：JICA 調査団)

図 5.3-1 カーテンウォール取水方式



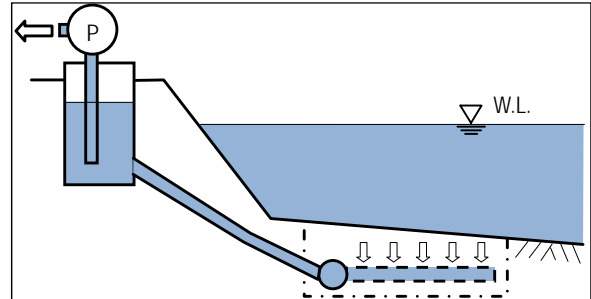
(出典：JICA 調査団)

図 5.3-2 直接配管取水方式



(出典：JICA 調査団)

図 5.3-3 ビーチウェル取水方式



(出典：JICA 調査団)

図 5.3-4 海底浸透取水方式

5.3.2 本事業への適用方式

本事業で求められている大量取水には、表 5.3-1 に示すように「直接取水」方式が適している。同方式の中で、海岸線（護岸線）に堰を設けて直接取水する「カーテンウォール取水方式」は、本事業対象地の地形では、海底の砂や泥質を巻き上げないように 10 m 程度の深さまで浚渫し、さらに、水深維持のため定期的に浚渫が必要となる。その費用を考慮すると、配管を沖合まで敷設して取水する方法が現実的であるため、海底敷設配管による直接配管取水方式を採用する。

なお、ビーチウェル取水方式について、現存データや関係者からの情報収集をもとに可能性を検討した結果、候補地の土質の密度が高く、必要な浸透量が期待できないと推定された。また、世界最大のビーチウェル取水方式の海水淡水化施設と言われているオマーンの Sur 淡水化施設でも取水井戸の能力は 5,000~10,000 m³/日/井戸⁴のため、仮にこれだけの単位面積当たり同様の浸透量が確保されたとしても、200,000m³/日の場合 45~90 本の井戸を掘削する必要がある。その結果、井戸間隔を数 10m 確保すると井戸だけで数 km の土地の確保が必要になる。これは非現実的であるため、ビーチウェル取水方式は不採用とした。

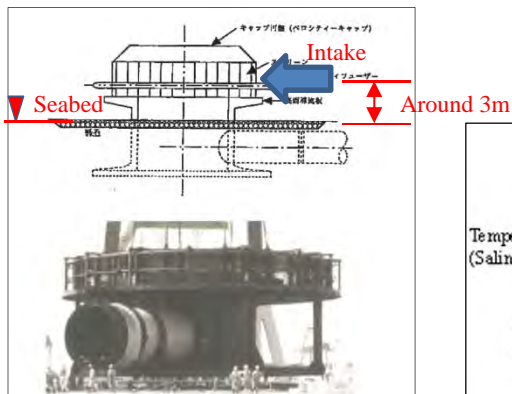
5.3.3 取水施設仕様決定にあたっての基本方針

(1) 取水点

取水方式は、5.3.2 節の評価結果から「直接配管取水方式」とした。海洋工事は特殊であることから工費は非常に高価であり、また工事は天候に左右され、工事可能な時期は限られる。そのため、取水管と濃縮水放流管は並行して同時に施工することとし、工事費の圧縮と工期の短縮を図る。この取水管及び濃縮水放流管の候補ルートについて実際の海底状況を測定した結果、図 5.3-5 のように海水淡水化施設南端から約 3,600 m の地点（干潮時水深 8 m）に取水塔を敷設、同 4,400 m の地点（干潮時水深 10 m）に濃縮水放流塔を設置することにした。

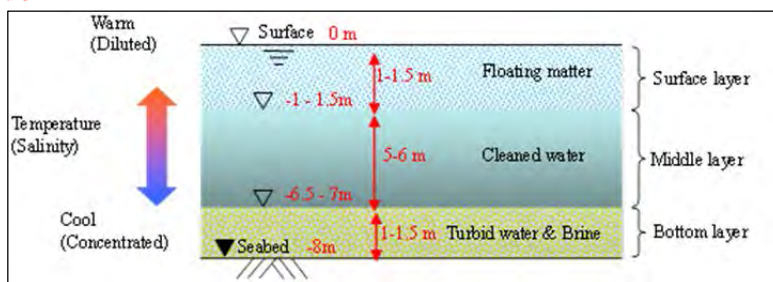
なお、取水の採水高さについては、砂を巻き上げる恐れのない海底面から 1~1.5 m 以上で、かつ外気温の影響を受けない海面下約 1~1.5 m 以上の中間層から取水できるような場所として、水深 8 m の地点を選定した（図 5.3-7 参照）。図 5.3-5 に取水塔のイメージを示す。

⁴ GWI, Alden Desalination Intake Solutions Workshop, Holden Massachusetts, 16 October 2008



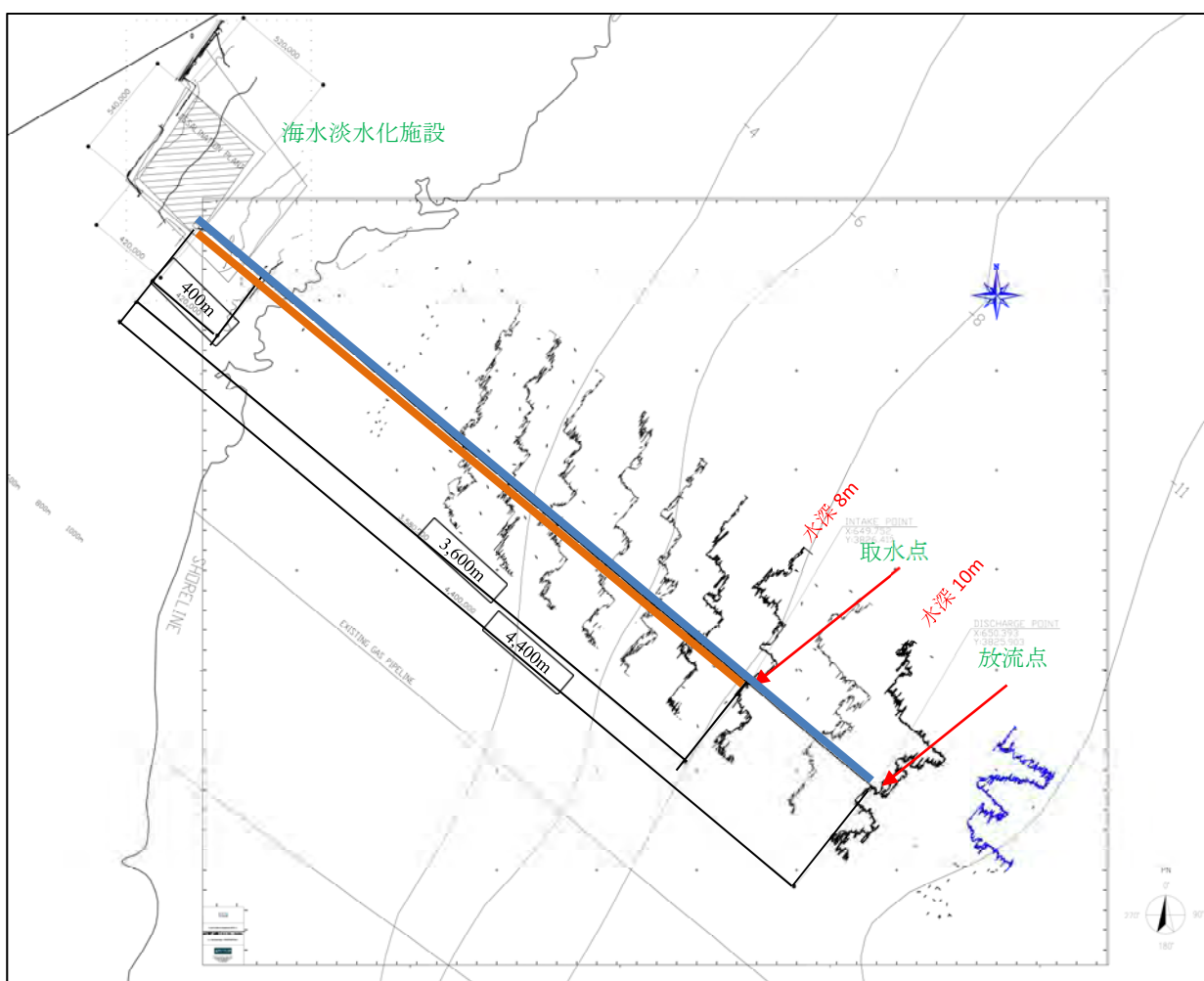
(出典：(株)東京久栄資料)

図 5.3-5 取水塔イメージ



(出典：(株)東京久栄資料)

図 5.3-6 海水断面イメージ



(JICA 調査団)

図 5.3-7 取水点・濃縮水放流点位置図

(2) 取水量：444,400 m³/日

前項 5.1.2 項に記述したとおり、回収率を 45 % とすると取水量は 444,400 m³/d (= 200,000÷0.45) となる。なお、施設内使用水量は生産水量 200,000 m³/日に比べ無視できる量であるため、現時点では考慮しない。

- (3) 取水管延長：3,600 m（陸上部を約 400 m 含む）（図 5.3-8 参照）
- (4) 配管損失水頭：海岸部で深度の大きい工事をすることは工事が困難になり工事費の増大を招くため、施設用地内に設ける取水ピットの最大掘削深度を 10m 以下に抑えるものとした。このため、図 5.3-8 及び下式に示すとおり、取水管径 2m 程度の場合、取水ピットの底高は敷地地盤面から 8.5m 深程度となる。そのため、取水管の摩擦損失をおおよそ 1.8m 以下となるような計画とする。
- 取水ピット地盤高(海水位+2m)
- =取水ピット底高+余裕 1m+取水管径 2m+余裕 0.5m+管流下に伴う損失 2m+余裕 1m+海面上 2m
- =取水ピット底高+8.5m（取水管径 2m 程度の場合）
- 管流下に伴う損失 2m=取水ヘッド流入損失 0.1m+管内摩擦損失 1.8m+取水ピット流入損失 0.1m
- (5) 取水管条数：基本的には 1 条とする。但し、大口径の管に関しては、製造実績や費用などを考慮して選定する。詳細は、5.3.4 節に記述する。
- (6) 管材質：取水管として実績のある管材は高密度ポリエチレン管（以下 HDPE 管）、ガラス繊維強化プラスチック管（以下 GRP 管）、鋼管である。GRP 管は、中東では実績が多いものの欧州では HDPE 管の方が馴染まれている。これらのプラスチック管は重量が軽いために施工が容易であり、また海水による腐食の恐れが無い利点を持つ。鋼管については、海水による腐食を防止するために、管体をコンクリートで完全に海水から防御し、さらに、管内に防食電極を設置しなくてはならない。防食電極は定期的な保守が必要となるが、SONEDE の維持管理体制・能力を考慮すると、防食電極の機能を適切に継続させることは容易ではない。以上から、本事業では防食性能を重視し HDPE 管を選定する。
- (7) 海藻や貝類・牡蠣等の管内付着を防ぐために、取水管内に次亜塩素酸ナトリウム注入を行う。注入管の管径は、4 インチ管（外形 114 mm）とする。管径に係る検討の詳細は付属資料に示す。
- (8) 海洋工事は、施工可能期間が天候に左右され、また、施工には特殊技術を要する。その特殊性に鑑み、また、工事費削減を図るため、取水管工事と濃縮水放流管工事と併せて工事するものとし、さらに、1 期工事と 2 期工事の間隔が 5 年以下と短いことから、1 期 2 期合わせた全体の工事費削減を重視し、当初から全体計画対応施設を施工することとする。

5.3.4 取水管管径試算

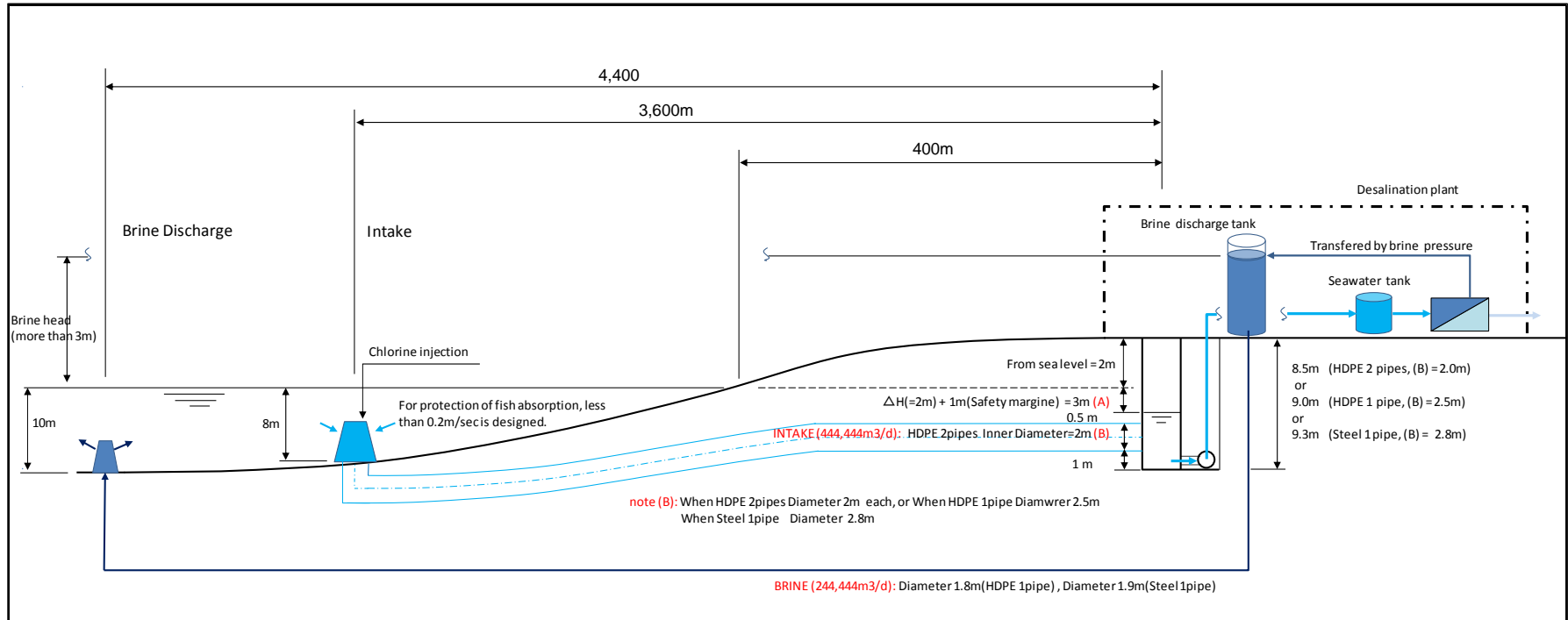
(1) 取水管管径試算

取水管（濃縮水放流管含む）設置のイメージを、図 5.3-8 に示す。

管材は 5.3.3 節で HDPE 管を選定した。参考までに鋼管のケースも記載する。

管径は、下記条件で試算した。

- 取水量：444,400 m³/日
- 全損失水頭：2 m 前後（管損失水頭 1.8m 程度）
- 粗度係数：0.016
- 公式：マンニング公式



(JICA 調査団)

図 5.3-8 取水管・濃縮水放流管設置イメージ

粗度係数は類似プロジェクトを参考に 0.016 とした。海洋生物の付着を防止するために塩素注入を行うが、貝殻や海草等の付着が発生した場合に管内表面の粗度が悪化する。そのため、安全を考慮し、比較的粗い表面を想定した係数を採用した。

HDPE 管では、その固定の困難さから塩素供給管を取水管内部に設置できず外部に設置するため、内部には何も障害物が存在しない状態になる（図 5.3-9、図 5.3-10 参照）。このため、その内部断面の全てが海水の通過路になる。

計算の結果、HDPE 管が 1 条の場合、管径 2,500mm が必要となる。管径 2,500mm の HDPE 管を製造しているメーカーは数少なく、その導入実績も多くない。一方、2 条にした場合、管径 2,000mm となる。管径 2,000mm の HDPE 管の実績は多く、技術の視点からは問題ないと判断できる。また、2 条管の場合、片方の管に何か不都合が生じたとしても、残る 1 条から取水することにより淡水化施設の継続した運転を可能とする。特に、第一期事業の淡水化量であれば、取水管 1 本で十分であり、施設の安定した運転に寄与できるという利点がある。建設費用が高くなるが、以上の理由より、HDPE 管を 2 条で敷設することとする。HDPE 管の 1 条と 2 条の比較を表 5.3-2 に示す。なお、費用を比較する際には、共に設置する濃縮水放流管の費用も含めて表示した。濃縮水放流管に関しては、5.4 節に記述する。管径に係る検討の詳細は付属資料に示す。

表 5.3-2 では、取水管敷設工事の推定費用を示す。参考資料として鋼管 1 条に関しても表示した。鋼管では、1 条の場合の管径 2,800mm の実績は多いため、参考資料として 1 条の場合を表示した。

表 5.3-2 取水管敷設工事推定コスト

材質	HDPE 1 条	HDPE 2 条	Steel 1 条 (参考)
取水管(3,600m)	約 2,500mm 内径	約 2,000mm 内径	約 2,800mm 内径
濃縮水放流管(4,400m)	約 1,800mm 内径	—	約 1,900mm 内径
計 (直接建設費)	68.5 百万 USD	77.8 百万 USD	74 百万 USD
推定掘削面積(m ²)	161,600	161,600 (2 度工事時 : 260,000)	168,800
評価 : 費用面	○	△	-
評価 : 技術面	△	○	-
評価 : 総合	△	○	-

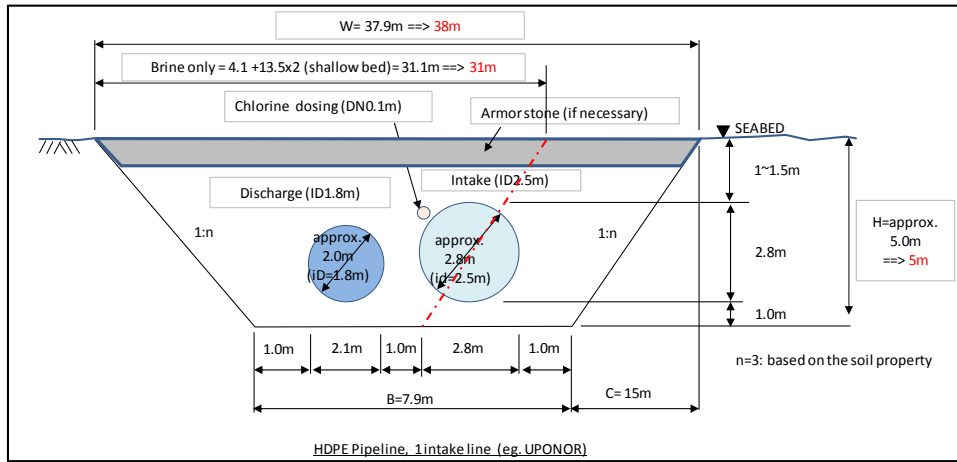
(2) 敷設配管イメージ

各種ケースの配管縦断面のイメージを図 5.3-9～図 5.3-11 に示す。採用した HDPE 管 2 条は図 5.3-10 に示す。図 5.3-9 及び図 5.3-11 は参考までに示す。なお、取水管と一緒に埋設する濃縮水放流管に関しては 5.4 に記述する。

本工事は海上からの掘削を前提とした開削工法で工事することとした。取水点から海水淡水化施設までの距離 3,600 m にわたり幅約 30～40 m 程度の海底管敷設工事が必要になる。到達坑を沖合に準備出来ればシールド工法や推進工法についても採用が考えられる。しかし、推進工法は長距離であることから適用が困難であり、シールド工事は海底工事であることから湧出水量も多く、工事費がかなり多額になることから採用しない。

図 5.3-9 は、HDPE 管を 1 条で敷設する場合であり、UPONOR 社の製品を想定したものである。同

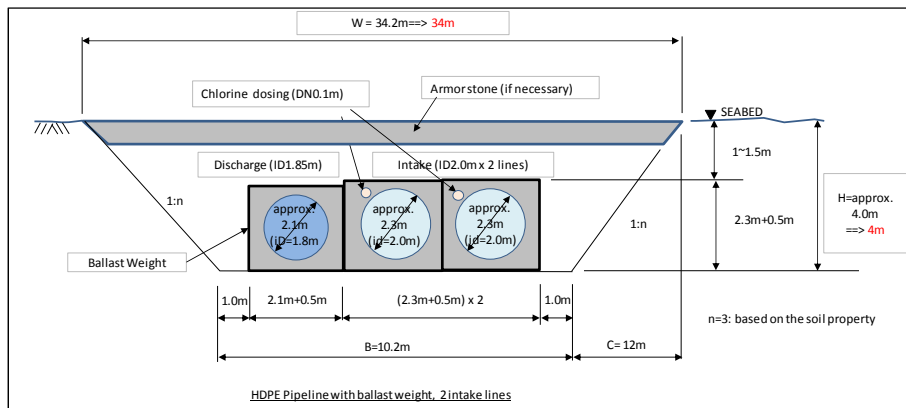
社の製品は図 5.5-5 No. 2 の写真の管体の壁が中空矩形断面になっているので、この部分にモルタルを詰めることにより比重を高められる。このため、同製品はバラストウエイトが不要になっている。



(JICA 調査団)

図 5.3-9 取水管 (HDPE 1 条) ・濃縮水 (HDPE 1 条) 敷設予想図

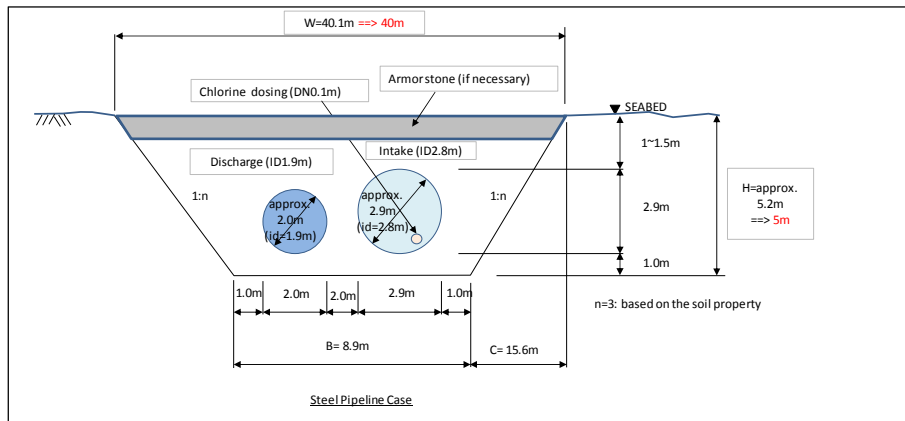
図 5.3-10 は、Pipelife 社や Agru 社仕様の HDPE 管を 2 条敷設する場合である。このタイプは配管自身が水より軽いため、海底に沈めるためのバラストウエイトが必要になってくる。このサイズでは概ね管径+0.5~0.6 m となる。



(JICA 調査団)

図 5.3-10 取水管 (HDPE 2 条) ・濃縮水 (HDPE 1 条) 敷設予想図

図 5.3-11 は、鋼管の場合の敷設予想図である。防食電極並びに塩素供給管を管内に設置するため、管径は大きくなる。



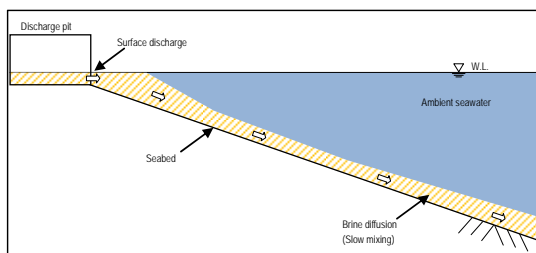
(JICA 調査団)

図 5.3-11 取水管（鋼管 1 条）・濃縮水（鋼管 1 条）敷設予想図

5.4 濃縮海水放流方法

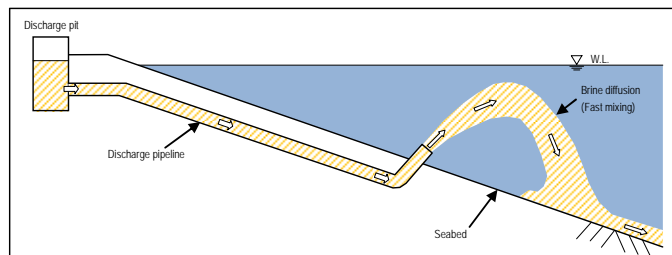
5.4.1 濃縮水放流方式

放流方法の主な方式には、図 5.4-1、図 5.4-2 のように護岸で放水する方式と沖合で放水する方式がある。護岸放水の場合は海底面に沿って拡散・希釈される。沖合放水方式は海中に加圧した濃縮水を放出することにより海中で拡散・希釈され、海底面に到達する時点では相当の希釈がされている。



(出典: ㈱東京久栄資料)

図 5.4-1 護岸放水方式

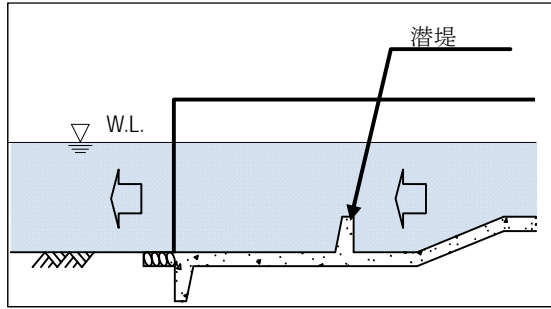
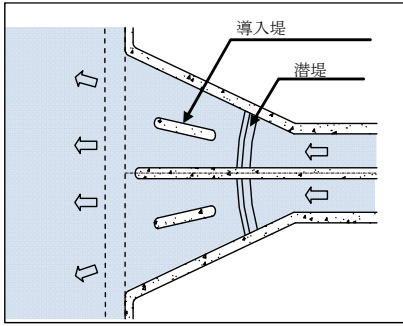


(出典: ㈱東京久栄資料)

図 5.4-2 沖合放水方式

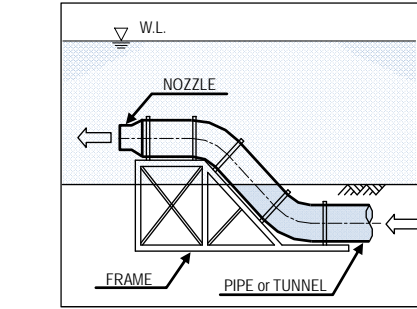
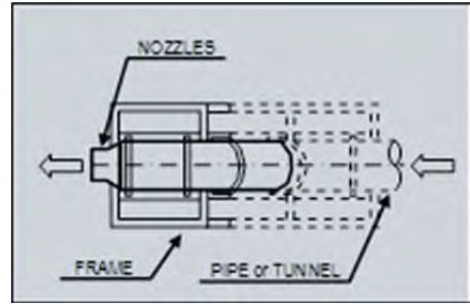
沖合放水方式の中では、そのノズル形状により以下のように別れる。

- ① 表層放水——護岸放水——オープンチャネル方式（護岸から直接海域に放流）
- ② 水中放水——沖合放水——単一ノズル方式（沖合に設置の単一ノズルから放流）
- ③ 水中放水——沖合放水——マルチノズル方式（沖合に設置の放流塔の複数のノズルから放流）
- ④ 水中放水——沖合放水——ポートライザー方式（配管に直接取り付け付けた放水ノズルから放流）



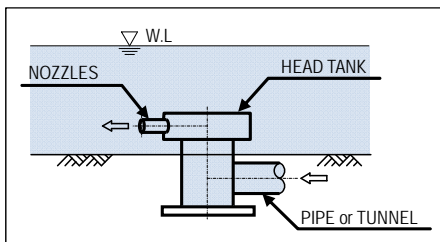
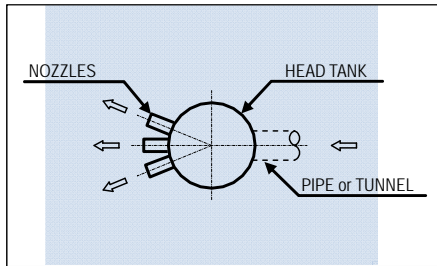
(出典：(株)東京久栄資料)

図 5.4-3 オープンチャネル方式



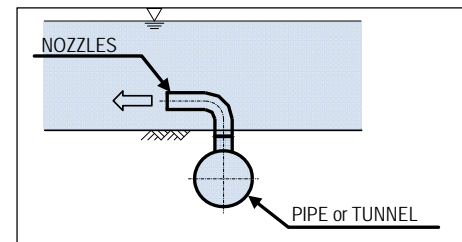
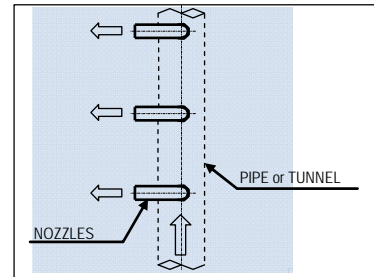
(出典：(株)東京久栄資料)

図 5.4-4 単一ノズル方式



(出典：(株)東京久栄資料)

図 5.4-5 マルチノズル方式



(出典：(株)東京久栄資料)

図 5.4-6 ポートルाइザー方式

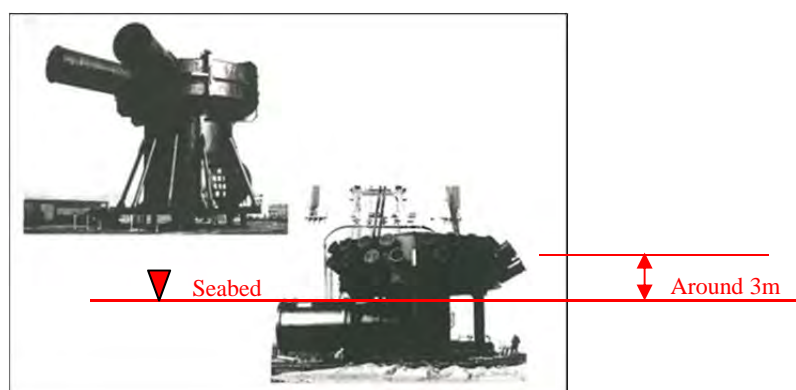
5.4.2 本事業への適用方式

下記表のとおり、放流方式を比較した結果、本事業ではマルチノズル方式を採用する。

表 5.4-1 放流方式の選定

方式	特徴	評価
①オープンチャネル方式	放流施設を護岸近辺に建設するため、環境面への影響を考慮すると護岸付近が深い必要がある。施設予定地は遠浅の海底のため、本事業に適しているとは言えない。	×
②単一ノズル方式	沖合までの配管工事が必要である。ノズルが一つしかないため濃縮海水が拡散しにくい。	×
③マルチノズル方式	沖合までの配管工事が必要である。ノズルが複数あるため濃縮海水が拡散しやすい。	○
④ポータライザー方式	沖合までの配管工事が必要である。放流管内の摩擦抵抗と各ノズルの径の選定により放水量を均一化する構造である。しかし、経時変化により管内部が汚れた場合、そのバランスが困難になる。	×

濃縮水放流塔は、図 5.3-7 に示すように海水淡水化施設南端から 4,400 m の地点(干潮時水深 10 m) に設置することとした。周辺環境への影響を考慮すれば、底生植物が少ない水深の深い位置まで放流管を敷設することが望ましいものの、海底地形が遠浅であるため工事費用が著しく増加する。このため ANPE の意見も聴取し、濃縮水の拡散効果を意図して、水深 10m の位置に放流塔を設置し、海底から 3m 程度の位置から沖合方向の斜め上方に濃縮水をノズル放水する計画とした。この位置は取水塔から 800m 離れており、濃縮水の取水は避けられる。図 5.4-7 に放流塔のイメージを示す。



(出典：(株)東京久栄資料)

図 5.4-7 濃縮水放流塔イメージ

5.4.3 濃縮水放流施設仕様決定にあたっての基本方針

- (1) 濃縮水放流方式は「沖合水中放水方式（マルチノズル方式）」とする。
- (2) 放流量：244,400 m³/日
- (3) 放流塔までの距離は、陸上部約 400 m に海上部約 4,000 m の計 4,400 m とする。取水塔と放流塔は 800 m 離れて設置する。
- (4) 配管損失水頭

図 5.3-8 に示すとおり、施設用地内に設ける放流水タンク内の水位と海水位の水頭差で濃縮水は放流される。放流水タンク内の水位を上げることは RO 膜ろ過残留水圧では送水できないことになるため、その水位を海面上 3m 程度と想定した。したがって、放流水タンク流出損失 0.1m 程度と、放流塔流入損失 0.1m 程度、さらに放水ノズル部分損失 0.7m 程度の抵

抗等もあるので、放流管の管内摩擦損失がおおよそ 2.1m 程度となるような管径とする。

(5) 放流管条数

濃縮水は、TDS 濃度は上昇しているものの、濁質は海水淡水化施設の前処理施設で除去されているため清澄である。したがって、第 1 期で放流量が少なく管内流速が低下したとしても管内に沈殿する懸念は少ない。したがって、取水管のように流速に留意する必要はなく 224,400 m³/日を前提においた放流管を 1 条敷設する。

(6) 配管材質

HDPE を選定する (5.3.3 (6)参照)。

(7) 海洋工事はその特殊性から 1 度で終了させることとし、取水管と同時に施工する。

5.4.4 濃縮水放流管管径試算

(1) 管径試算

濃縮水放流管の管径についても取水管同様の試算を行い、全損失水頭が 3 mH となる管径を前提として求めた。また、濃縮水は前処理を経て RO 膜でろ過される前の清澄な水であり、管内に海洋生物が付着する可能性が極めて小さいことから、粗度係数は 0.012⁵を採用した。計算結果は表 5.3-2 に示すとおりである。結果として、HDPE 管の場合、約 1,800 mm の管径が必要となる。なお、参考資料として計算した鋼管の場合、防食電極を管内に設置するため約 1,900 mm が必要になってくる。管径に係る検討の詳細は付属資料に示す。

(2) 濃縮水放流管工事

工事は取水管と同時に行う。なお、濃縮水敷設部分の配管縦断については前掲図 5.3-9～図 5.3-11 参照。

5.4.5 濃縮水放流シミュレーション

(1) 全般

海水淡水化施設から放流される濃縮水は、原海水に比較して 1℃以内の水温上昇ゆえ、発電所の冷却水や LNG 基地のような水温上昇／下降の問題はない。ただし、原海水 (TDS 濃度 39,000~41,000 mg/L)から淡水分の 45%程度が取り除かれるため、濃縮水は原海水に比べ TDS 濃度が 1.8 倍程度 (70,500~74,100 mg/L) * に上昇することになる。この濃縮水の放流時における拡散状態をシミュレーション計算を行って確認した。

* : 単純に計算すると、(原海水 TDS = 濃縮水 TDS + 海淡水 TDS) であるから、原海水 TDS 濃度を Dr、濃縮水 TDS 濃度を Dd、膜ろ過水 (海淡水) TDS 濃度を Df、取水量を Q、回収率を 45%とすれば；

$$Dr \cdot Q = Dd \cdot 0.55Q + Df \cdot 0.45Q \quad \text{つまり、} Dd = (Dr - 0.45Df) / 0.55 \text{ となる。}$$

$$Dr \text{ を } 39000、Df \text{ を } 500 \text{ とすれば； } Dd = (39000 - 500 \times 0.45) / 0.55 = 70500$$

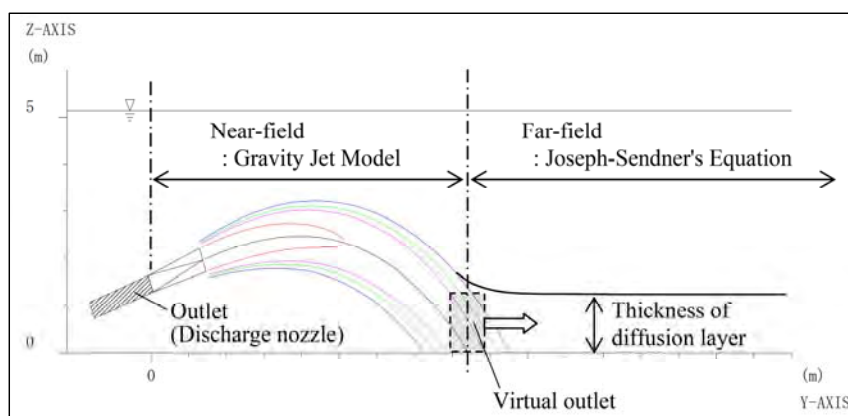
$$Dr \text{ を } 41000、Df \text{ を } 500 \text{ とすれば； } Dd = (41000 - 500 \times 0.45) / 0.55 = 74136$$

実際には、海水淡水化施設内でろ過水の TDS が連続的に変化するため、膜製造業者の独自内部データを用

⁵ 平滑なプラスチック管の粗度係数は 0.010 程度であるが、HDPE 管は内面表面がやや粗く、0.010 よりは大きくなると考えられる。本調査では海洋放流管の設計・工事経験が豊富な東京久栄社の助言を採用し 0.012 とした。

いてコンピュータによる計算を行う。表 5.4-2 に示す放流水 TDS 濃度は膜製造業者のコンピュータ計算による試算結果であり、上記した単純計算の結果とは異なる。

拡散シミュレーションは、その海水の流れの状況から 2 つのゾーンに区分して行った（図 5.4-8 参照）。すなわち、濃縮水は放水口から放出された後は、周辺の海水と混合され希釈されながら海底に到達する（Near Field）。その後、海底到達時の海水塩分（TDS）は、海底に沿って拡散しながら希釈されていく（Far Field）。この両者は、拡散・希釈状況が異なるので、それぞれに適した式として発電所等で実績のある Gravity Jet Model を Near Field で、Joseph-Sendner's Equation を Far Field に適用して試算した。



出典：JICA 調査団

図 5.4-8 濃縮海水の放流イメージ

(2) 試算上の仮定

1) 海水塩分（TDS）

海水の TDS 濃度の条件は、5.1.2(1)の図 5.1-3 と図 5.1-4 を参照し、最大値を 41,000 mg/L とした（表 5.4-2 参照）。なお、本シミュレーションでは、TDS 濃度差の大きい夏場をモデルとした。

表 5.4-2 水温・TDS 条件

		1-3 月	4-6 月	7-8 月	9-11 月	12 月
		冬	春	夏	秋	冬
海水水温	°C	15	25	30	25	15
放流水水温	°C	15	25	30	25	15
海水塩分（TDS）	mg/L	39,000	40,000	41,000	40,000	39,000
放流水塩分（TDS）	mg/L	70,800	72,500	74,300	72,500	70,800
TDS 濃度差（ ΔS ）	psu (*)	31.8	32.5	33.3	32.5	31.8

出典：JICA 調査団

(*) psu: 実用塩分単位 (1000mg/L) Practical Salinity Unit

2) その他の条件

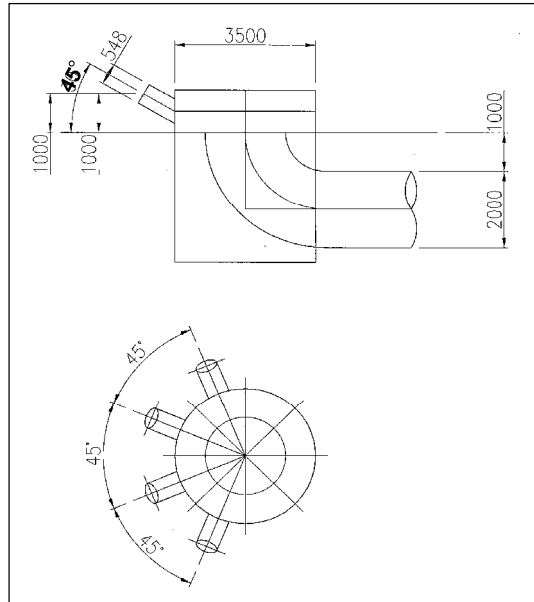
- ・放水流速 : 3 m/s
- ・放水ノズル仰角 : 45 度（図 5.4-9 参照）
- ・海底から放水ノズル中心までの高さ : 1.3 m
- ・海流・潮流 : 0^{*1}

*1: 海面近くは流動するが、海底に行くに従って流動は減少する。濃縮水放流地点での深さでは無視できる

として、シミュレーション上は「なし」とした。

・放水方向及び角度 : 180度*2

*2: 濃縮水は周辺海水より重いため、放水地点より浅い海域には拡散しにくい性質がある。このため放水点より岸側には拡散しないものとして、水平的な拡散角度は南東方向 180度 に設定した。図 5.4-11 参照。



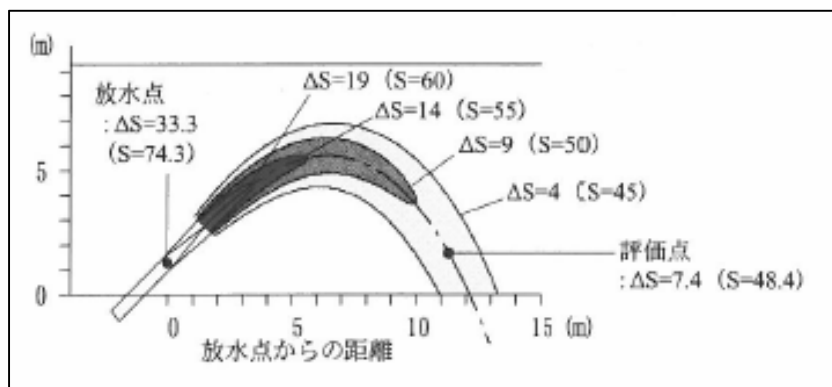
出典：(株)東京久栄資料

図 5.4-9 濃縮海水放流塔

(3) 試算結果

1) Near Field: Gravity Jet Model を適用

海域との TDS 濃度差 (ΔS) が 33.3psu (74,300 mg/L) で放水された濃縮水は周囲の水と混合して、放流塔から約 12 m 離れた海底に到達するあたりでは ΔS が 7.4psu (48,400 mg/L) 程度まで希釈される (図 5.4-10 参照)。



出典：JICA 調査団

図 5.4-10 濃縮海水の Near Field における放流イメージ

2) Far Field : Joseph-Sendner's Equation を適用

放流塔から約 12 m 地点で海底に到達した濃縮水は、さらに拡散して希釈されていく。この部分の塩分 (TDS) の拡散は表 5.4-3 のように予測される。

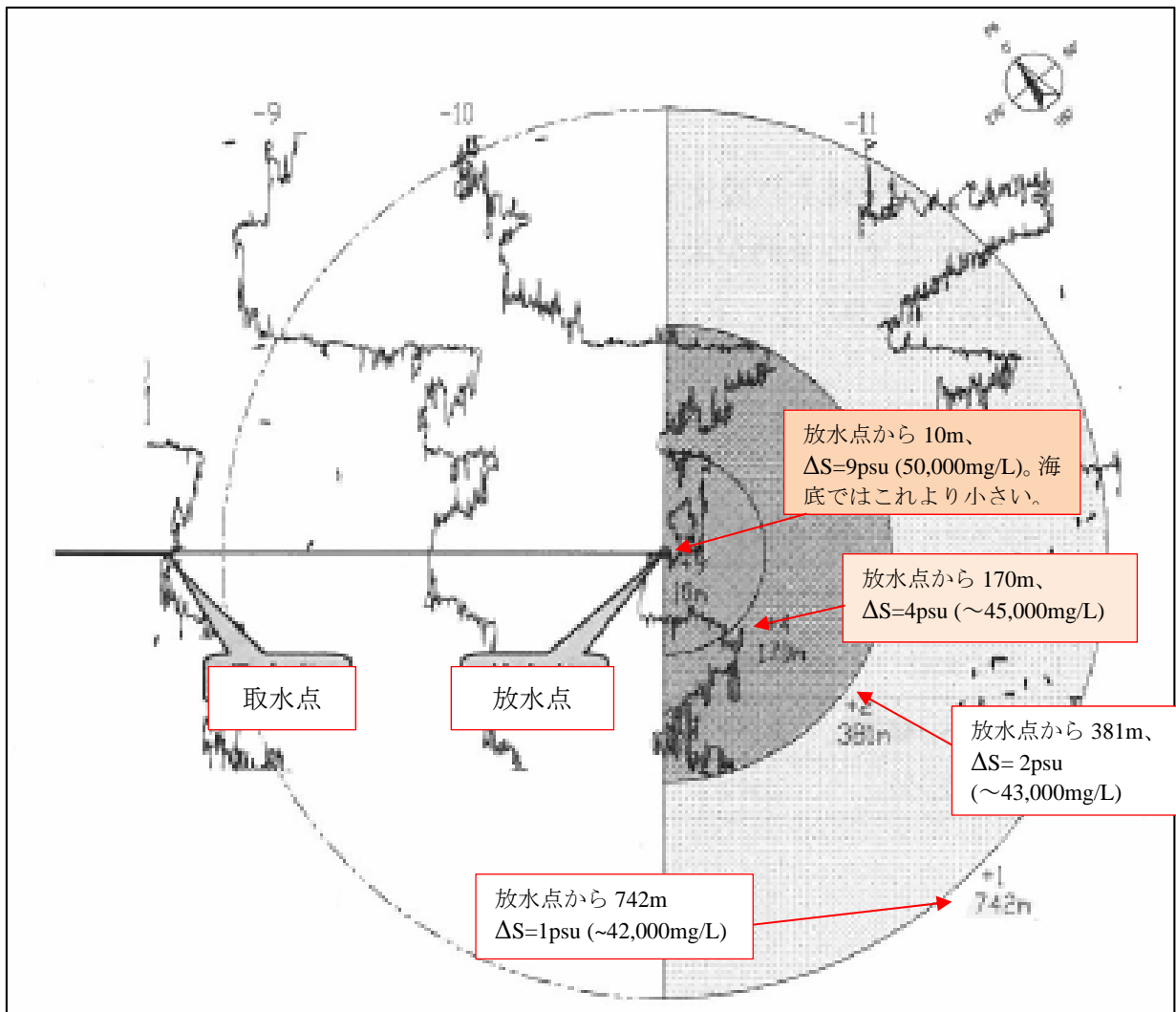
表 5.4-3 Far Field における TDS 予測

濃度差 ΔS (psu)	影響半径(m) (*1)	海底予測 TDS 濃度 (周辺海水 41,000mg/L 時点を想定)	ポシドニアへの影響 (*2)
4 以上	約 12m (着底点)	48,400	長期的には枯れる可能性あり
	約 170m	48,400~45,000	
2 以上	約 381m	45,000~43,000	殆ど影響なし
1 以上	約 742m	43,000~42,000	影響なし

出典：JICA 調査団

(*1)影響範囲は、濃縮水の放流口を基点にしている。図 5.4-10 及び図 5.4-11 参照。

(*2)ANPE の見解では、52,000 mg/L 以上では直ちに枯れる、52,000~50,000 mg/L では枯れる、50,000~45,000 mg/L では長期的には影響あり、と報告されている。また、Yolanda Fernandez-Torquemada らは、Estuarine Coastal and Shelf Science で 46,000mg/L 以上になると死滅へ大きな影響をもたらすと報告している。



出典：JICA 調査団

図 5.4-11 濃縮水拡散状況

(4) 結論

- 1) 放出点ではポシドニアの一部には影響が出るものの限定的であり、放出点から約 170 m 離ればポシドニアには殆ど影響のない TDS 濃度 45,000 mg/L 程度まで希釈される。
- 2) このシミュレーションで仮定した設計濃度は最大値の場合であり通常の TDS 濃度はそれよりも低い。そのため、影響範囲はシミュレーションで確認された放出点から 170m 半径よりもさらに狭い範囲であると考えられる。

5.5 海底配管工事イメージ (参考)

各配管のイメージを図 5.5-1～図 5.5-6 に示す。図 5.5-1 は鋼管の内部に設置された防錆用電極及び塩素供給管の設置例を示す。また、図 5.5-2 は、PIPELIFE 社の HDPE 管の輸送方法で、長尺（最長 500m の例あり）にした配管をタグボートで目的地まで曳航して輸送する写真である。



出典：(株)東京久栄

図 5.5-1 電気防食付耐海水塗装鋼管

出典：(株)東京久栄

図 5.5-2 HDPE 管輸送

図 5.5-3 は、HDPE 管を海底に沈めるためのコンクリート製のバラストウェイトを示す。図 5.5-4 は、フランジにより接続する鋼管の写真である。



出典：GWI





図 5.5-3 HDPE 管+バラストウェイト



出典：GWI

図 5.5-4 鋼管方式取水管工事風景

図 5.5-5 に海底配管に用いられる各種パイプを示す。

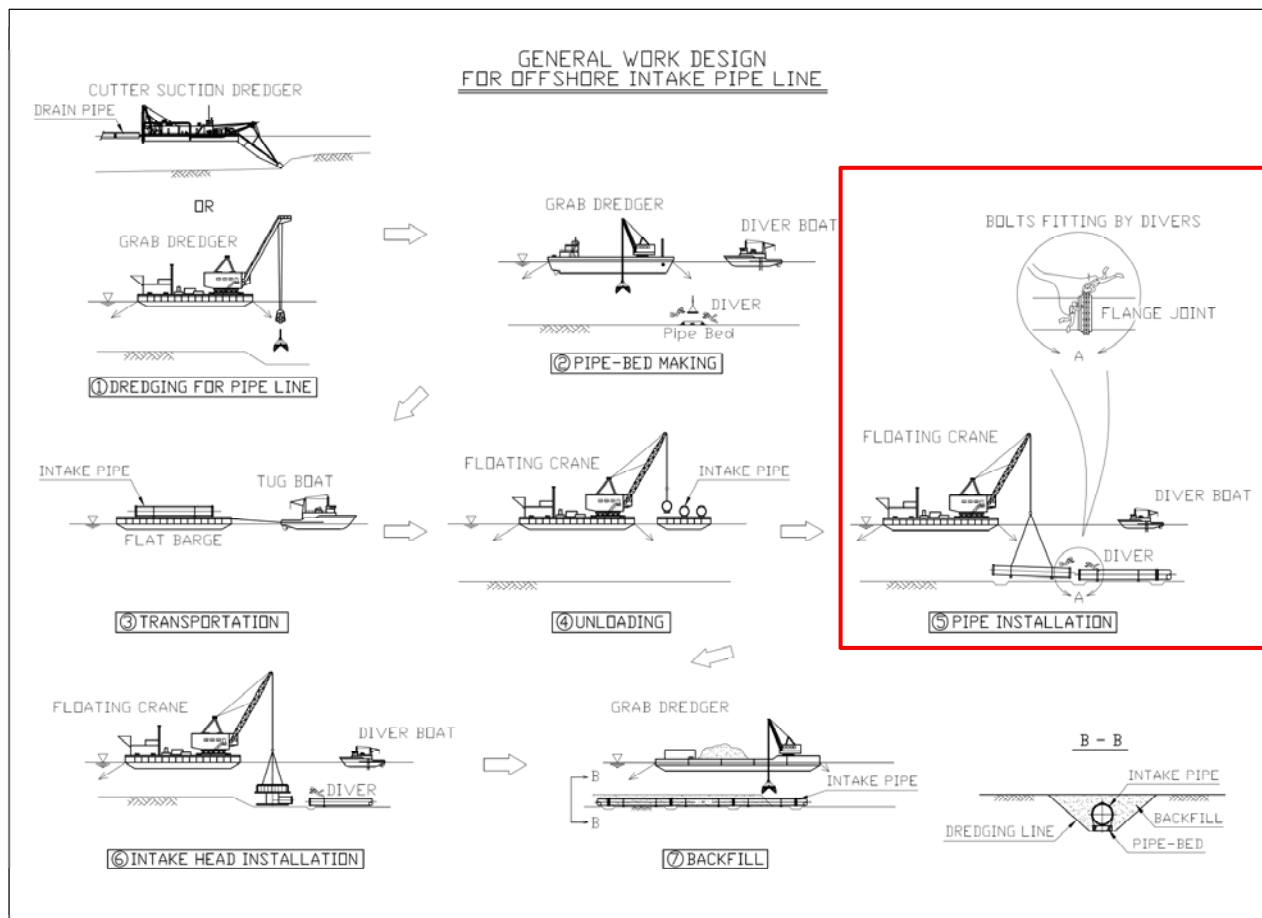
<p>No 1. Steel with anti-corrosion</p> 	<p>No 2. High Density Polyethylene (HDPE) pipe ・ Extruding pipe (Pipelife 社、他)</p> 
<p>No 3. Glassfiber Reinforced Plastic (GRP) pipe</p> 	<p>・ Box section pipe (UPONOR 社)</p> 
<p>No 5. Box calvert</p> 	<p>No 4. RC pipe (BONNA pipe)</p> 

(出典：各社カタログ等)

図 5.5-5 各種パイプ

図 5.5-6 は、鋼管の敷設例を模式的に記載した図である。設置予定地を所定の深さまで、船上から掘削し、配管用の基礎を潜水士も加わって準備し、その後、所定寸法の管材を船上から沈め、海底で管を接続する。接続作業は潜水士による。

なお、HDPE 管で小口径の場合は、この接続作業を船上で行うことも可能ではあるが、本案件では 2m を超える管径のためその可撓性は小さいと予測される。このため、図 5.5-6 のような海底での接続作業になると予測している。



(出典：(株)東京久栄資料)

図 5.5-6 海洋工事プロセス

5.6 施設配置計画

使用許可取得予定地は、海岸用地（DPM）境界線の海岸部側（海岸用地）に属する約 60 ha 弱である（図 5.6-1 のハッチング部分）。海水淡水化施設の施設規模を 200,000 m³/日として、施設配置計画を検討した。



出典：APAL/SONEDE/JICA 調査団

図 5.6-1 APAL からの使用許可用地

5.6.1 施設配置検討の基本的な考え方

施設配置検討の基本的な考え方は以下のとおり。

- ① APAL から与えられた予定地では、国道に隣接している場所に国道の山側地区からの雨水を放流する涸れ川が設置されている。このため、北東側（スファックス側）の利用は避けて、西側（マーレス側）の利用を図る。
- ② 南西側（マーレス側）、北西側（山側）とも、敷地境界ギリギリではなく、周回道路も建設できるように約 50 m 程度のスペースを確保する。
- ③ 南東側（海側）は公有地に面するため、特段の境界の設置は不要と思われる。そのため、緑地帯の設置は省略し、簡易的な仕切りを設置する。
- ④ 海水処理の流れ（海水受入⇒前処理⇒淡水化⇒生産水タンク⇒送水ポンプ）に沿って設備を配置する。
- ⑤ 送水管は国道沿いに敷設される。そのため、送水ポンプ室から一般道路を経由せずに国道にアクセスできるように、生産水タンクは北東側に設置することとし、海水は南西側から導入する。
- ⑥ 将来の増設スペースを確保しておく。
- ⑦ STEG の配電線を国道側から引き込むことを想定し、受電設備は道路に隣接した場所に設置する。
- ⑧ 電気関連設備は受電設備周辺に集中させる。
- ⑨ 薬品関連、洗浄関連は前処理施設に近い場所に配置する。資機材も前処理や淡水化関連が

多いので、資材倉庫は前処理施設に近い場所に設置する。

- ⑩ 海洋施設との接点である取水ピットと濃縮水放流ピットを施設内に設置し、施設管理の一元化を図る。

5.6.2 当該用地内に含める施設

円借款対象事業である本事業の第1期事業内容は、これまでに記述した施設をまとめると以下のとおりである。

表 5.6-1 第1期事業概要

施設名	施設内容
海水取水管	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取水量：222,200m³/日（全体計画 444,400m³/日対応可能） ・ 管種：HDPE 管 ・ φ2,000mm（内径）x 2 条（HDPE）、L=3.6km（埋設。海中 3.2km、陸上 0.4km） ・ 海中取水塔 2 基
海水淡水化施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 用地：約 20ha ・ 淡水化方式：逆浸透（RO）膜法 ・ 生産水：100,000m³/日 ・ RO ユニット 25,000 m³/日×4
濃縮水放流管	<ul style="list-style-type: none"> ・ 放流量：122,200m³/日（全体計画 244,400m³/日対応可能） ・ 管種：HDPE 管 ・ φ1,800mm（内径）（HDPE）、L=4.4km（埋設。海中 4.0 km、陸上部 0.4km） ・ 海中放流塔 1 基

海水淡水化施設用地においては、以下のような施設を効率的に配置する。なお、取水塔は 5.3 節、濃縮水放流塔は 5.4 節に記載してある。

(1) 主要施設

① 海水受水施設

- ・ 約 3.2 km 沖合（他に陸上部約 0.4km）から導水した海水を一度海水取水ピットに受ける。その後、ポンプにより前処理施設に移送する。本施設は施設用地内に設置する。
- ・ 海洋関連工事は一度で済ませるために、規模は 1 期分と 2 期分の計 444,400 m³/日（回収率 45 %）の施設を準備する。ここでは、淡水化以外の施設内作業用水等の生産に必要な海水の追加取水量は無視する。
- ・ 施設面積は所要容量を考慮し 42m x 20m とした。

② 前処理施設

- ・ 海水はそのままでは淡水化膜に導入できないため、前処理施設で濁質や、必要に応じて pH を調整する。前処理施設は、凝集沈殿槽、砂ろ過槽、ろ過水槽、カートリッジフィルター等から構成される。処理設備容量は第 1 期分として 222,200 m³/日用と、施設内作業用水生産のために若干の水量を加えた設備とする。
- ・ これに各槽間の送水ポンプや薬品注入ラインが設置される。薬品注入施設はこの前処理

とは別の海水淡水化施設建屋で管理する。

- ・ 砂ろ過槽の逆洗のための設備や、③項の海水淡水化膜設備の洗浄用の薬液タンク等も別建屋で管理する。
- ・ 建築面積は概略の設備配置をした結果 80m x 130m とした。
- ・ 第 2 期分としても同サイズのスペースを確保する。

③ 海水淡水化施設

- ・ 前処理施設で、RO 膜に導入できるまで濁質を除去された海水を RO 膜に供給する。約 65~70 bar に昇圧できる高圧ポンプと海水から TDS を除去する RO 膜が主要設備である。
- ・ 第 1 期分として 222,200 m³/日の海水を昇圧できるポンプとエネルギー回収設備を設置する。ここで 222,200 m³/日の海水から 100,000m³/日を透過させ、残りの 122,200 m³/日をエネルギー回収設備に導入したのちに濃縮海水ライン経由で、⑥項の濃縮水放流施設に設置されるタンクに移送する。
- ・ 建築面積は概略の設備配置をした結果 63m x 86m とした。
- ・ 第 2 期分としても同サイズのスペースを準備しておく。

④ 生産水貯水施設

- ・ 第 1 期分として、約 6 時間分の生産に相当する水量として 25,000 m³ を貯水するために、SONEDE で標準仕様の一つである 5,000 m³ 水槽を 5 基設置する。
- ・ 水槽の直径は法面を含めて約 45 m とし、水槽間のスペースは 15 m 程度とした。
- ・ 第 2 期分としても同サイズのスペースを確保した。

⑤ 送水ポンプ棟

- ・ 第 1 期分として 3 基のポンプを配置する。3 基の内、1 基は予備用ポンプである。
- ・ 建築面積は概略の設備配置をした結果 20m x 53m とした。
- ・ 第 2 期分として同サイズのスペースを確保した。

⑥ 濃縮水放流施設

- ・ ③項の海水淡水化施設において、膜で濾過しなかった海水 122,200 m³/日を約 4.0 km 沖合（他に陸上部約 0.4km）に放流する。この放流管の陸上側施設を①項の海水受水施設に併設して設置する。
- ・ 施設面積は所要容量を考慮し 22m x 8m とした。

(2) 附属施設

① 受変電等電気関連施設

海水淡水化施設に必要な電力約 40 MW の受変電施設である。停電時の電源確保のため、自家発電設備も配置する。主受変電施設に加えて、場内 3 個所に副変電施設を設ける。第 7 章に詳述する。

② 管理棟

海水淡水化施設の運転管理に関連する事務部門の事務所及び会議室等が設置される。40m x 16m の 3 層構造とする。

③ 警備室

24 時間監視を可能とする。建築面積は 5mx5m とした。

④ 資材倉庫

運転に必要な予備フィルター、RO膜、必要薬品、保守用機械部品、電気部品、その他の資機材を保管する倉庫である。50mx20mの平屋構造とした。

⑤ 従業員福利厚生施設（食堂、仮眠施設等）

運転要員のための福利厚生施設である。交替勤務になるので、必要に応じて仮眠できる施設も準備する。管理棟内に設置する。

(3) その他

① 構内道路

構内道路は基本的に直線配置とし、第2期の増設工事の時期に大形車両が通行できるように幅員の広い道路を確保した。

② 駐車場

事務管理棟周りに駐車場を配置する。

③ 多目的スペース

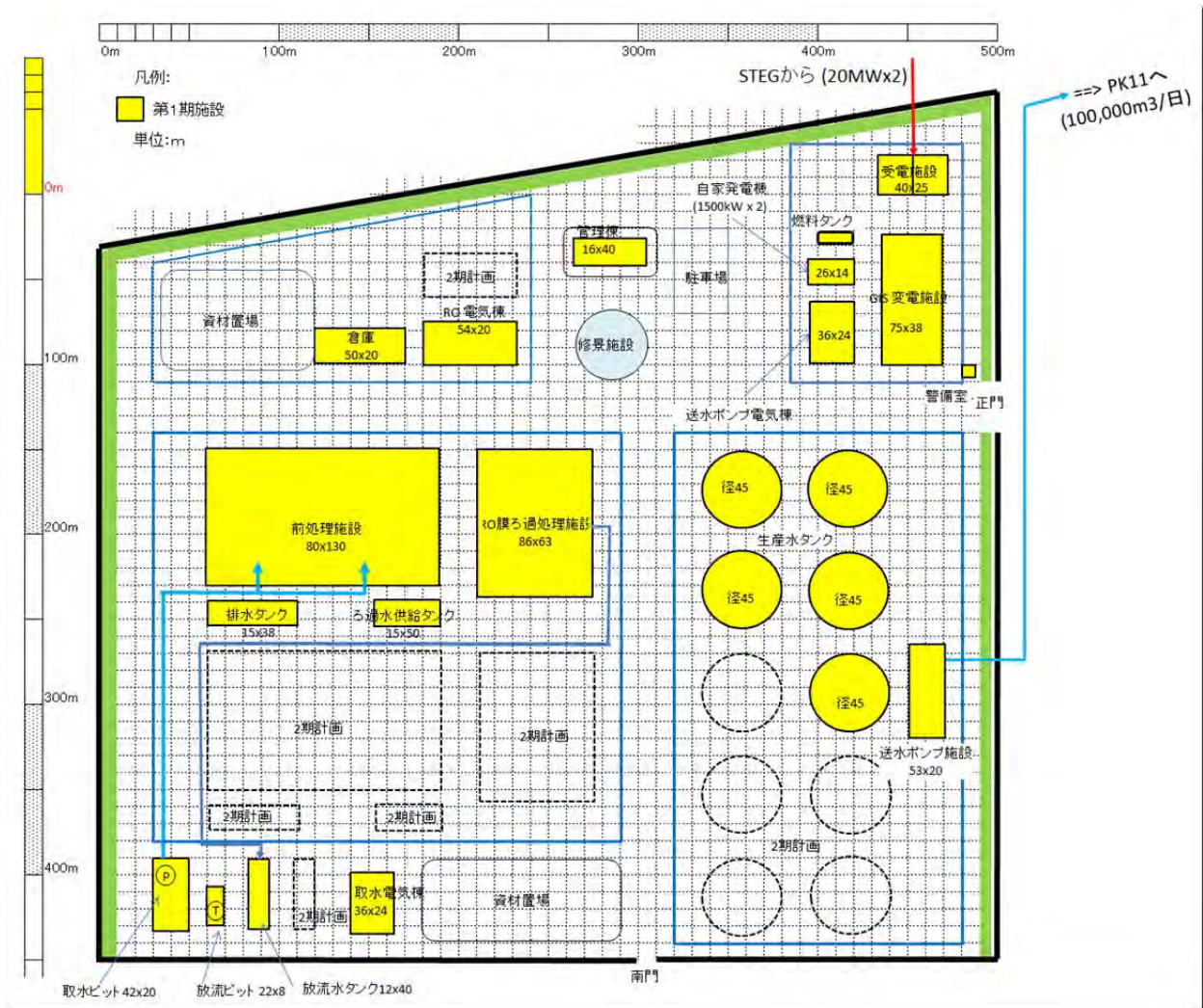
将来の増設時の大型資機材や建築資材置き場に使えるように、また、その他の時期には従業員の福利厚生用にも利用できるような多目的スペースを準備する。

④ 緑地帯

外部との仕切りには塀やフェンスを設置する。その塀、又はフェンス沿いには芝生や樹木の緑地帯を配置する。また、管理棟近辺には親水公園的な噴水等も設置し、環境面にも配慮した施設とする。

5.6.3 場内配置

前述の5.6.2項の前提条件をもとに、場内配置を検討した。その結果を図5.6-2及び図5.6-3に示す。場内の施設配置を示したものが図5.6-2である。また、海水淡水化施設の施設配置イメージ拡大図を図5.6-3に示す。図5.6-1のハッチング部が海水淡水化施設の許可用地である。



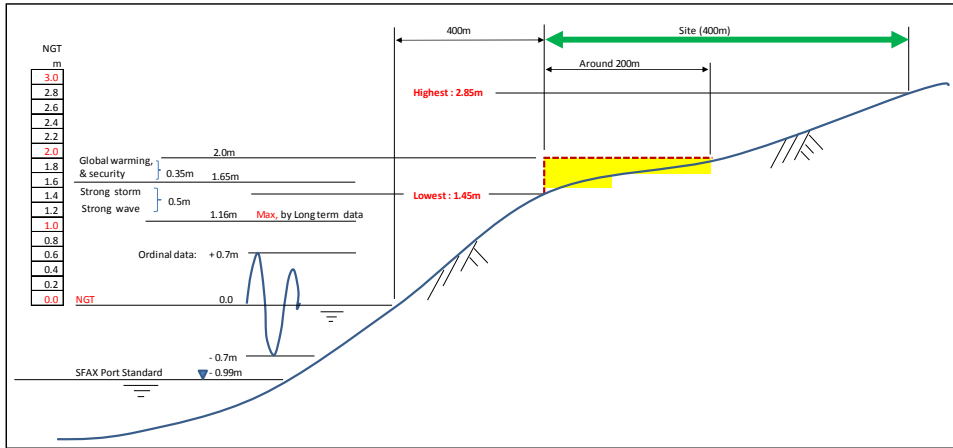
(出典：JICA 調査団)

図 5.6-3 海水淡水化施設場内配置図

5.6.4 海水淡水化施設と海面の関係

表 2.1-3 では最大潮位はスファックス港基準点ベースで +2.15 m となっている。スファックス港の基準点は、陸上の基準標高 (NGT) と 0.99 m の差があるため、スファックス港の最大潮位を NGT に換算すると図 5.6-4 のように +1.16 mNGT (= 2.15-0.99) となる。これに、強風や高波等が重なる場合を考慮して約 0.5 m を加算し、さらに将来の地球温暖化により海面上昇や若干の余裕を含めて 0.35 m を加え、+2.0 mNGT を安全な海拔とした。

一方、施設対象地の地形測量の結果、南南東端は +1.45 mNGT、北北西端は +2.85 mNGT と報告されている (図 5.6-2 参照)。したがって、海水淡水化施設の海岸寄り (南南東面) に重要機器を設置する場合は、水没対策として少なくとも約 50 cm の嵩上げが必要と考えられる。表 2.1-4 にスファックス港における最大潮位は 2.0m、最少潮位は 0.1m と示されているが、これも図 5.6-4 に示すようにスファックス港基準点を基準にした場合の測定値であるので、NGT に換算すると +1.01mNGT (=2-0.99) ~ -0.98mNGT (=0.1-0.99) となり、同図「常時の波高低位値 ±0.7m」と概ね合致している。



出典：JICA 調査団

図 5.6-4 海水潮位と敷地の関係