

サウジアラビア王国
水・電力省 (MOWE)

サウジアラビア王国

南西地域総合水資源開発・管理計画調査

ファイナル・レポート (主報告書)

平成 22 年 10 月
(2010 年)

独立行政法人国際協力機構
(JICA)

委託先
八千代エンジニヤリング株式会社
株式会社三祐コンサルタンツ

環境
JR
10 - 110

サウジアラビア王国
水・電力省 (MOWE)

サウジアラビア王国

南西地域総合水資源開発・管理計画調査

ファイナル・レポート (主報告書)

平成 22 年 10 月
(2010 年)

独立行政法人国際協力機構
(JICA)

委託先
八千代エンジニヤリング株式会社
株式会社三祐コンサルタンツ

外国為替レート

1.00 米ドル=3.74 サウジリアル=89.0 円
(WEB : 2010 年 3 月 1 日 ドル/サウジアル)

序 文

日本国政府は、サウジアラビア王国政府の要請に基づき南西地域総合水資源開発・管理計画調査を実施することを決定し、国際協力機構がこの調査を実施することと致しました。

当機構は、平成 19 年 6 月から平成 22 年 6 月までの間、八千代エンジニアリング株式会社専務取締役国際事業本部本部長の渡辺正知氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、サウジアラビア王国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援を戴いた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 22 年 10 月

独立行政法人国際協力機構

理事 高島 泉

伝達状

独立行政法人 国際協力機構
理事 高島 泉 殿

サウジアラビア王国南西地域総合水資源開発・管理計画調査の最終報告書を提出いたします。

本報告書は、サウジアラビア王国の南西地域に位置する5州（マッカ州、アル・バハ州、アシール州、ジャザン州、ナジラン州）に関わる水資源開発・管理の水政策・戦略・アクションプラン、並びに、それら5州の中で、再生可能水の開発が今後重要な3州（アル・バハ州、アシール州、ジャザン州）について、2035年を計画対象年とする水マスターplanを検討しています。報告書の取りまとめに当たっては、貴機構のご助言やご指示に従うとともに、サウジアラビア王国水電力省(MOWE)の意見を反映しています。

水マスターplanでは、計画対象年の2035年までの水需要を充足する水資源開発施設を提案している。半乾燥地域である計画対象地域の水文的なハンディキャップ（雨量が少ない、雨量の年較差・地域格差が大きい、蒸発量が大きい）を克服できるよう、大容量ダムと地下滯水層との連携で再生可能水資源開発を提案しています。3州とも新規開発した再生可能水資源だけでは需要を満たせないので、海水淡水化の増設や新設を提案しています。このようにして開発された水資源を3州間の主要都市に導水する「紅海水ライフライン事業(REWLIPI)」を計画しました。また、水需要管理の観点から下水処理水の再利用を促進するために、都市の緑化水利用、冷却水としての産業利用および農業用水への利用を推薦しました。マスターplanで提案された各事業は、技術的、経済・財政的および社会・環境的観点から妥当であると評価をしています。

スタープランで提案された各事業を確実に実施することにより、計画対象の3州の社会経済の発展や人々の快適な生活の向上に大きく貢献すると確信しています。

本報告書の提出にあたり、多大なご支援を賜った貴機構、外務省、ならびにサウジアラビア王国水・電力省をはじめ関係各位に対し心から感謝の意を表するものであります。

平成22年10月

サウジアラビア王国
南西地域総合水資源開発・管理計画調査
総括 渡辺 正知

調査写真集(1/6)



調査写真集(2/6)



Asir 州 Itwad 地上ダム(2008.11)

Wadi Itwad 支川 Maraba ダム(2008.11)



Asir 州 Wadi Itwad 地下ダム(ダム軸地点)

Asir 州 King Fahd ダム(Wadi Bisha)



Asir 州 Ahad Rifaydah 清水場

同州 Khamis Mushayt 上水使用状況聞き取り調査



Jazan 州 Well Field(2007.7)

Jazan 州 Baysh ダム(2007.7)

調査写真集(3/6)



ステークホルダー協議(Jizan,2009.3)



Jazan 州 Jizan ダム(2009.3)



Najran 州 Najran ダム(2008.5)



同州ナジラン市飲料水販売所



Asir 州 Wadi Tabalah 流量観測地点(Bisha)



Wadi Hirjab 流量観測所(Bisha)



Wadi Tabalah 洪水状況(Asir,2008.11)



Wadi Habawnah 洪水状況(Najran, 2008.10)

調査写真集(4/6)



Asir 州 Sabt Al Alayah 気象観測所(MOWE)



Abha かんがい農地(Asir 州)



Asir 州 Al Birk 淡水化プラント(2009.2)



Asir 州 タンク車による配水(2009.2)



Jazan 州 Damad ダム(上水供給,2009.11)



Najran 州 Najran 浄水場



JICA 調査団とトカイス次官(2008.5)



ミニッツのサイン(サウド次官、カハラン局長 2009.11)

調査写真集(5/6)



2009年度準高官研修(国土交通省下水道局)

準高官研修(水資源機構本社)



2008年度カウンターパート研修(秋ヶ瀬管理所)

同(荒川彩湖学習センター)



2008年度カウンターパート研修(道の駅、湯西川)

同(川治ダムキャットウォーク)



2009年度カウンターパート研修(yec研修)

同(水資源機構木津川総合管理所)

調査写真集(6/6)



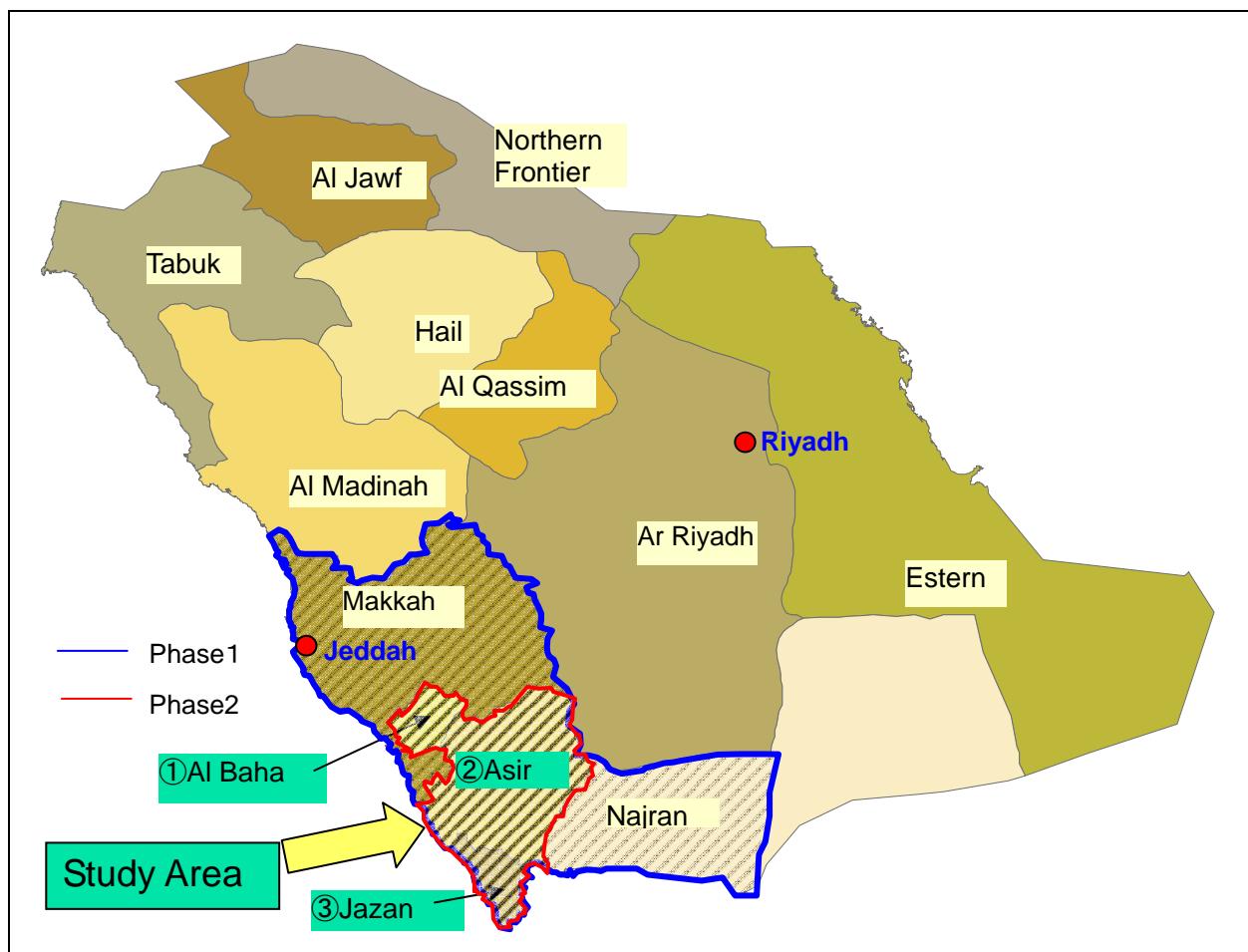
2008年度 カウンターパート研修生とサウジアラビア王国日本駐在大使(Faisal H. Trad)並びに館員



2009年度 カウンターパート研修生とサウジアラビア王国日本駐在大使(Abdulaziz Turkistani)並びに館員



サウジアラビア王国 位置図



調査報告書リスト

主報告書 (英文)

主報告書 (和文)

要約報告書 (英文)

要約報告書 (アラビア語)

要約報告書 (和文)

サポートイング・レポート (英文)

- A. Water Resources Development and Management
- B. Hydrology
- C. Geology and Hydrogeology
- D. Agriculture and Irrigation
- E. Water Supply
- F. Groundwater Simulation
- G. Environmental and Social Consideration
- H. Social / Organization /Institution
- I. Economic and Financial Analysis
- J. Sub-contracted Surveys

ファイナル・レポート
主報告書

目 次

(頁)

序文	
伝達状	
調査写真集	
調査対象地域図	i
調査報告書リスト	ii
目次	iii
図表リスト	vii
略語リスト	xv
調査概要書	(1)

PART-A 調査の運営

第1章 調査概要	A-1- 1
1.1 調査の概要	A-1- 1
1.2 調査の目的	A-1- 1
1.3 調査対象地域	A-1- 1
1.4 調査スケジュールと調査フロー	A-1- 3
第2章 調査体制と調査の運営	A-2- 1
2.1 運営体制	A-2- 1
2.2 ステアリングコミッティ・カウンターパート・JICA調査団	A-2- 1
2.3 ステークホルダー協議	A-2- 2
2.4 ワークショップ	A-2- 3
2.5 再委託調査	A-2- 3
2.6 日本におけるカウンターパート研修	A-2- 4

PART-B 基礎調査および水開発・管理の基本戦略

第1章 調査区域の現状	B-1- 1
1.1 社会経済条件	B-1- 1
1.1.1 州別並びにガバナレート別人口	B-1- 1
1.1.2 経済状況	B-1- 2
1.1.3 農業	B-1- 4
1.1.4 工業	B-1- 5
1.1.5 インフラストラクチャー	B-1- 7
1.1.6 雇用	B-1- 8
1.1.7 保健衛生	B-1-10
1.1.8 水の経済価値（農業／工業／生活用水）	B-1-10
1.2 自然条件	B-1-11
1.2.1 地理	B-1-11

1. 2. 2 地質	B-1-13
1. 2. 3 気象（気象観測所）	B-1-14
1. 2. 4 水文（雨量、流量）	B-1-17
1. 2. 5 水文地質	B-1-23
1. 2. 6 地下水および水質	B-1-26
1. 2. 7 土地利用	B-1-28
1. 2. 8 動植物環境と保護区	B-1-29
1. 2. 9 植生(ランドカバー)	B-1-30
1. 3 在来型水資源の開発の現状	B-1-32
1. 3. 1 在来型水資源の概要	B-1-32
1. 3. 2 表流水ならびに地下水の既往調査	B-1-32
1. 3. 3 MOWE 所管のダム及び井戸	B-1-35
1. 3. 4 在来型水資源の開発上の課題	B-1-37
1. 4 非在来型水資源の現状	B-1-37
1. 4. 1 非来型水資源の概要	B-1-37
1. 4. 2 海水淡水化水	B-1-38
1. 4. 3 下水再生水の再利用	B-1-39
1. 4. 4 非来型水資源の開発上の課題	B-1-40
1. 5 水利用の実績	B-1-40
1. 5. 1 生活、業務、商業用水	B-1-40
1. 5. 2 工業用水	B-1-41
1. 5. 3 農業用水	B-1-41
第2章 水資源開発管理に関する国家計画、戦略及び法律	B-2-1
2. 1 国家5ヶ年開発計画	B-2- 1
2. 1. 1 レビューの背景	B-2- 1
2. 1. 2 国家5ヶ年計画における水分野に関するレビュー	B-2- 1
2. 2 長期戦略 2025	B-2- 4
2. 2. 1 水部門に関する長期戦略	B-2- 4
2. 3 国家水戦略	B-2- 5
2. 3. 1 背景と現状	B-2- 5
2. 3. 2 水部門の課題	B-2- 5
2. 3. 3 国家水戦略のための政策の枠組	B-2- 6
2. 3. 4 水配分、利害関係の調整	B-2- 7
2. 3. 5 目標実施にあたっての提案	B-2- 7
2. 4 水資源開発・管理に係る法制度	B-2- 7
2. 4. 1 水セクターにおける法制度整備現況	B-2- 7
2. 4. 2 水資源開発・管理に係る主要な関係機関の設立、機能・権限に関する法制度	B-2- 8
2. 4. 3 PPP（官民連携）に係る法制度	B-2- 8
2. 5 水資源開発・管理に係る組織・制度・予算	B-2- 9
2. 5. 1 組織・制度に係る現況	B-2- 9
2. 5. 2 水セクターにおける組織改革	B-2-10
2. 5. 3 水関連機関の管轄・権限の現状	B-2-11
2. 5. 4 水資源開発・管理に係る予算	B-2-14
2. 5. 5 制度・組織上の問題	B-2-15
第3章 水需要の予測	B-3- 1
3. 1 都市用水および工業用水	B-3- 1
3. 1. 1 予測条件、基本フレームの設定	B-3- 1
3. 1. 2 都市用水需要予測の基本フレームの設定	B-3- 2
3. 1. 3 水道施設規模設定のための日最大給水係数	B-3- 6
3. 1. 4 都市用水の需要予測	B-3- 7
3. 1. 5 工業用水の需要予測	B-3-10
3. 1. 6 都市用水及び工業用水の主要目標年の需要水量	B-3-13

3.1.7 都市用水の需要に関する感度分析.....	B-3-15
3.2 農業用水	B-3-22
3.2.1 予測条件、基本フレームの設定.....	B-3-22
3.2.2 水需要予測のための基本フレーム.....	B-3-23
3.2.3 計画目標年の需要水量.....	B-3-24
3.2.4 農業用水需要に関する感度分析.....	B-3-33
第4章 再生可能水資源ポテンシャル.....	B-4- 1
4.1 水収支(SWAT)モデルの概要.....	B-4- 1
4.2 水収支の計算(モデル出力)	B-4- 6
4.3 水収支バランス	B-4- 9
4.4 地下水	B-4-24
4.5 利用可能な水資源ポテンシャル.....	B-4-26
第5章 水戦略・政策・行動計画.....	B-5- 1
5.1 概要	B-5- 1
5.2 水セクターの現状と課題.....	B-5- 1
5.2.1 水利用の現状	B-5- 1
5.2.2 水セクターの課題	B-5- 2
5.3 州別の水需要・供給バランスの検討.....	B-5- 4
5.3.1 都市用水	B-5- 4
5.3.2 農業用水	B-5- 7
5.3.3 農業用水の州別、ガバナレート別抑制策の検討.....	B-5- 9
5.4 水資源開発・利用・管理の基本方針.....	B-5-12
5.4.1 乾燥地の水文的ハンディキャップと水を確保するための行動.....	B-5-12
5.4.2 水資源開発・利用・管理の基本方針.....	B-5-13
5.5 5州の水政策と戦略および行動計画	B-5-14
5.5.1 水政策と戦略	B-5-14
5.5.2 行動計画－水資源開発.....	B-5-15
5.5.3 行動計画－水資源保全.....	B-5-27
5.5.4 行動計画－水利用管理.....	B-5-28
5.5.5 行動計画－組織・制度の整備.....	B-5-29
5.5.6 5州の行動計画の要点	B-5-31
第6章 マスターplan(M/P)策定の対象地域の選定.....	B-6- 1

PART-C 水マスターplan

第1章 水マスターplan(M/P)策定の基本コンセプト	C-1- 1
1.1 水M/Pの目的と構成	C-1- 1
1.2 策定方針	C-1- 1
第2章 水資源開発.....	C-2- 1
2.1 在来型水資源	C-2- 1
2.1.1 再生可能水資源の開発手法.....	C-2- 1
2.1.2 今後の給水計画や灌漑計画の対象となるダムの開発流量.....	C-2- 2
2.2 非在来型水資源	C-2- 7
2.2.1 海水淡水化水	C-2- 7
2.2.2 下水再生水	C-2- 8
第3章 給水計画.....	C-3- 1
3.1 計画の基本条件	C-3- 1
3.1.1 計画の前提条件	C-3- 1
3.1.2 現況の給水源と給水量.....	C-3- 2

3.1.3 給水計画のための開発施設.....	C-3- 6
3.2 提案する給水計画	C-3- 7
3.2.1 Al Baha 州	C-3- 7
3.2.2 Asir 州	C-3-10
3.2.3 Jazan 州	C-3-15
第4章 水需要の管理.....	C-4- 1
4.1 都市用水	C-4- 1
4.1.1 需要管理のための取り組み.....	C-4- 1
4.1.2 需要減による財政面での縮減効果.....	C-4- 3
4.1.3 需要管理の提案	C-4- 5
4.2 農業用水需要の管理	C-4- 6
4.2.1 需要量抑制のための将来の作付計画.....	C-4- 6
4.2.2 今後の農業計画への提案.....	C-4-10
第5章 運営維持管理計画.....	C-5- 1
5.1 総合水管理システム	C-5- 1
5.2 ダムによる地下水涵養.....	C-5- 3
5.2.1 ダムと下流地下滞水層との連携によるワジ表流水の開発.....	C-5- 3
5.2.2 リチャージダムと連携した地下水の開発.....	C-5- 5
5.2.3 ワジにおける地下水涵養.....	C-5- 8
5.2.4 ダムによるワジ浸透量の増加.....	C-5- 8
5.3 モニタリング計画	C-5- 9
5.3.1 雨量観測	C-5- 9
5.3.2 ワジ水位流量観測	C-5-10
5.3.3 地下水位	C-5-12
5.4 水資源の保全	C-5-14
5.4.1 表流水の保全	C-5-14
5.4.2 地下水の保全	C-5-14
5.5 組織・管理体制	C-5-15
5.6 人材育成、能力開発	C-5-20
5.7 水利用の啓発活動	C-5-21
第6章 建設費の積算と実施工程.....	C-6- 1
6.1 給水施設の計画	C-6- 1
6.2 建設費の積算	C-6- 3
6.2.1 積算のための単価の設定.....	C-6- 3
6.2.2 建設費と維持管理費.....	C-6- 3
6.3 実施工程	C-6- 6
第7章 水マスター・プラン(M/P)の評価.....	C-7- 1
7.1 技術的評価	C-7- 1
7.2 経済、財務評価	C-7- 2
7.2.1 経済・財務評価	C-7- 2
7.2.2 基礎諸元	C-7- 2
7.2.3 開発計画の水の価値.....	C-7- 3
7.2.4 水開発計画の費用	C-7- 4
7.2.5 経済・財務分析の結果.....	C-7- 5
7.3 社会、自然環境面からの評価.....	C-7- 5
第8章 励告.....	C-8- 1

APPENDICES (付録)

Appendix Minutes of Meeting

図表リスト

PART-A 調査の運営

第1章 調査概要

表 A. 1-1	全体調査工程とフェーズ区分	A-1- 3
図 A. 1-1	調査対象地域	A-1- 2
図 A. 1-2	南西地域総合水資源開発・管理計画調査の全体調査フロー	A-1- 4

第2章 調査体制と調査の運営

表 A. 2-1	ステアリングコミッティの編成(Ministry of Water and Electricity)	A-2- 1
表 A. 2-2	カウンターパート一覧 (地方水事務所 General Directorate of Water) ...	A-2- 1
表 A. 2-3	JICA 調査団員一覧	A-2- 2
表 A. 2-4	ステアリングコミッティの開催と主要議題	A-2- 2
表 A. 2-5	ステークホルダー協議の開催概要	A-2- 2
表 A. 2-6	ワークショップの実施概要	A-2- 3
表 A. 2-7	再委託調査の概要	A-2- 3
表 A. 2-8	カウンターパート研修の概要	A-2- 4
表 A. 2-9	準高官研修生リスト(2009年)	A-2- 5
表 A. 2-10	カウンターパート研修生リスト (2008年)	A-2- 5
表 A. 2-11	カウンターパート研修生リスト (2009年)	A-2- 5
図 A. 2-1	調査の運営体制	A-2- 1
図 A. 2-2	現地再委託の観測位置図	A-2- 3

PART-B 基礎調査および水開発・管理の基本戦略

第1章 調査区域の現状

表 B. 1-1	1974年から2004年までの5州の人口推移	B-1- 1
表 B. 1-2	2004年都市・地方部別人口	B-1- 1
表 B. 1-3	2004年国勢調査による人口	B-1- 2
表 B. 1-4	部門別GDP (1999年価格)	B-1- 3
表 B. 1-5	「サ」国の各州の作付け面積	B-1- 4
表 B. 1-6	南西地域5州における作付面積および生産高	B-1- 5
表 B. 1-7	「サ」国における操業中の工場数	B-1- 5
表 B. 1-8	5州の操業中工場数(2006年)	B-1- 6
表 B. 1-9	2006年次5州の業種別工場就業者数	B-1- 7
表 B. 1-10	工場あたりの業種別就業者数 (2006年)	B-1- 7
表 B. 1-11	地域別道路整備状況 (2003年)	B-1- 8
表 B. 1-12	電力部門の指標	B-1- 8
表 B. 1-13	サウジ人、非サウジ人労働者分布 (2003年、人口単位:千人)	B-1- 9
表 B. 1-14	5州における男女別失業率 (2006年推定)	B-1- 9
表 B. 1-15	調査地域の医療施設整備状況	B-1-10
表 B. 1-16	地方自治体用水道料金区分	B-1-10
表 B. 1-17	水源別水費用の比較	B-1-11
表 B. 1-18	PME所管気象観測所一覧	B-1-14
表 B. 1-19	MOWE所管気象観測所一覧	B-1-15
表 B. 1-20	MOWE所管雨量観測所	B-1-17
表 B. 1-21	MOWE所管流量観測所	B-1-21
表 B. 1-22	地質層序および帶水層	B-1-24
表 B. 1-23	「サ」国における保護区分類及びIUCN カテゴリ一分類との比較	B-1-30
表 B. 1-24	調査地域内の保護区	B-1-30
表 B. 1-25	在来型水資源の分類	B-1-32
表 B. 1-26	5ワジ調査の概要(表流水、浅層地下水調査)	B-1-32

表 B. 1-27	5 ワジ調査結果による利用可能量.....	B-1-32
表 B. 1-28	調査ダム名とダム諸元(表流水、浅層地下水調査、1983-1987).....	B-1-33
表 B. 1-29	ワジ Itwad 調査の概要 (表流水、浅層地下水調査)	B-1-33
表 B. 1-30	Wajid Project の概要 (化石水調査)	B-1-34
表 B. 1-31	Wajid Project の調査内容 (化石水調査)	B-1-34
表 B. 1-32	主要なワジの水収支(2006 年)	B-1-34
表 B. 1-33	Lower Mega Aquifer システムの水収支(開発前と現時点)	B-1-35
表 B. 1-34	調査区域のダム施設数	B-1-35
表 B. 1-35	調査区域のダム貯水容量(単位:MCM)	B-1-36
表 B. 1-36	調査区域の井戸施設数	B-1-36
表 B. 1-37	非在来型水資源の分類	B-1-37
表 B. 1-38	2005 年の SWCC の海水淡水化供給量	B-1-39
表 B. 1-39	調査対象地域における海水淡水化水の供給能力(2006 年)	B-1-39
表 B. 1-40	再生水利用実態(2006 年)	B-1-39
表 B. 1-41	2007 年の水利用形態別給水人口(千人)	B-1-40
表 B. 1-42	2007 年生活、業務、商業用水量の実績 (工業用水を除く)	B-1-41
表 B. 1-43	州別の給水原単位(単位:LCD)	B-1-41
表 B. 1-44	2007 年工業用水量の実績	B-1-41
表 B. 1-45	5 州における農業用水水源水量	B-1-42
図 B. 1-1	1974 年から 2004 年までの人口推移	B-1- 1
図 B. 1-2	GDP 年平均成長率 (1999~2004 年)	B-1- 3
図 B. 1-3	1 人あたり GDP と成長率 (2003~2007 年)	B-1- 4
図 B. 1-4	工場件数の推移	B-1- 6
図 B. 1-5	民間部門における経済活動別労働者割合 (2003 年)	B-1- 9
図 B. 1-6	調査域の地形断面	B-1-11
図 B. 1-7	調査域の地形概要	B-1-12
図 B. 1-8	模式層序 (調査域中央部、Abha 地区)	B-1-13
図 B. 1-9	調査地区の地質図	B-1-14
図 B. 1-10	調査地域及び MOWE、PME 所管の気象観測所	B-1-16
図 B. 1-11	調査地域における気温及び湿度の傾向	B-1-17
図 B. 1-12	代表的な雨量観測所の年雨量の傾向	B-1-20
図 B. 1-13	調査域の年間雨水量の変化と地域分布	B-1-21
図 B. 1-14	調査地域と代表的な流量観測所	B-1-23
図 B. 1-15	調査域の帶水層	B-1-25
図 B. 1-16	調査地区の地下水の電気伝導度	B-1-27
図 B. 1-17	調査域の土地利用図 (2006 年 11 月)	B-1-28
図 B. 1-18	調査地域内の保護区	B-1-30
図 B. 1-19	調査域のランドカバー図	B-1-31
図 B. 1-20	調査区域のダム貯水容量	B-1-36
図 B. 1-21	調査区域の井戸施設数(1982 年-2006 年)	B-1-37
図 B. 1-22	飲料水用海水淡水化水とその他水源との比率 (2003 年)	B-1-38
図 B. 1-23	海水淡水化プラント位置図と日生産量	B-1-38
図 B. 1-24	2007 年の水利用形態別給水人口の分布	B-1-40
図 B. 1-25	南西地域 5 州における近年 6 カ年における農業用水水源水量の推定	B-1-42
第 2 章 水資源開発管理に関する国家計画・戦略・法律		
表 B. 2-1	第 7 次、8 次国家開発 5 ケ年計画における開発戦略	B-2- 2
表 B. 2-2	第 8 次国家 5 ケ年計画における水需給バランス	B-2- 4
表 B. 2-3	水部門が抱える課題とその内容	B-2- 5
表 B. 2-4	「サ」国水資源開発・管理に係る法制度整備現況	B-2- 7
表 B. 2-5	水セクター関連機関の分担区分	B-2-10
表 B. 2-6	過去 3 年間の国家予算 (実績)	B-2-14
表 B. 2-7	セクターへの予算配分 (計画)	B-2-14
表 B. 2-8	MOWE の年間予算	B-2-14

図 B. 2-1	水資源開発・管理に係る組織・制度体制の現状	B-2- 9
図 B. 2-2	水セクターにおける短期的な制度的枠組み	B-2-11
図 B. 2-3	MOWE 組織図	B-2-11
図 B. 2-4	MOA 組織図	B-2-12
図 B. 2-5	SWCC 組織図	B-2-13
図 B. 2-6	SGS 組織図	B-2-13
第3章 水需要の予測		
表 B. 3-1	2008年各州人口カテゴリー別の割合 (%)	B-3- 2
表 B. 3-2	都市規模別、目標年別の水道普及率	B-3- 2
表 B. 3-3	工場用給水原単位	B-3- 3
表 B. 3-4	下水再生水の利用率の検討	B-3- 4
表 B. 3-5	水需要予測の基本条件の設定	B-3- 5
表 B. 3-6	旅行者の流入状況	B-3- 6
表 B. 3-7	ケース2の将来人口増加率 (%)	B-3- 7
表 B. 3-8	MOEPによる将来の人口増加率 (%)	B-3- 7
表 B. 3-9	州別的人口予測(千人)	B-3- 9
表 B. 3-10	Makkah 州都市用水の需要水量	B-3- 9
表 B. 3-11	Al Baha 州都市用水の需要水量	B-3- 9
表 B. 3-12	Asir 州都市用水の需要水量	B-3-10
表 B. 3-13	Jazan 州都市用水の需要水量	B-3-10
表 B. 3-14	Najran 州都市用水の需要水量	B-3-10
表 B. 3-15	工場件数の将来予測	B-3-11
表 B. 3-16	工場就業者の将来予測	B-3-11
表 B. 3-17	Makkah 州の業種別就業者数の将来予測	B-3-11
表 B. 3-18	Al Baha 州の業種別就業者数の将来予測	B-3-11
表 B. 3-19	Asir 州の業種別就業者数の将来予測	B-3-12
表 B. 3-20	Jazan 州の業種別就業者数の将来予測	B-3-12
表 B. 3-21	Najran 州の業種別就業者数の将来予測	B-3-12
表 B. 3-22	工業用需要水量(1000m ³ /日)	B-3-12
表 B. 3-23	Makkah 州水需要の予測値	B-3-13
表 B. 3-24	Al Baha 州水需要の予測値	B-3-13
表 B. 3-25	Asir 州水需要の予測値	B-3-13
表 B. 3-26	Jazan 州水需要の予測値	B-3-13
表 B. 3-27	Najran 州水需要の予測値	B-3-13
表 B. 3-28	感度分析のためのオプション基本条件一覧	B-3-16
表 B. 3-29	Makkah 州都市用水需要の感度分析結果	B-3-16
表 B. 3-30	Al Baha 州都市用水需要の感度分析結果	B-3-17
表 B. 3-31	Asir 州都市用水需要の感度分析結果	B-3-18
表 B. 3-32	Jazan 州都市用水需要の感度分析結果	B-3-18
表 B. 3-33	Najran 州都市用水需要の感度分析結果	B-3-19
表 B. 3-34	オプション別、州別の需要水量(2020年、2035年) (1000m ³ /日, Ratio:%)	B-3-21
表 B. 3-35	オプション1と6の州別の需要水量(2020年、2035年) (1000m ³ /日, Ratio:%)	B-3-22
表 B. 3-36(1)	ケース別、州別、作物別、作付面積および需要量の内訳(2010-2035)	B-3-25
表 B. 3-36(2)	ケース別、州別、作物別、作付面積および需要量の内訳(2010-2035)	B-3-25
表 B. 3-36(3)	ケース別、州別、作物別、作付面積および需要量の内訳(2010-2035)	B-3-26
表 B. 3-37	州別、作物別純用水量	B-3-27
表 B. 3-38	農業事務所支所とガバナレートとの関係	B-3-28
表 B. 3-39	ガバナレート単位の需要水量(Case-1)	B-3-29
表 B. 3-40	ガバナレート単位の需要水量(Case-2)	B-3-30
表 B. 3-41	ガバナレート単位の需要水量(Case-3)	B-3-31
表 B. 3-42	主要ガバナレートにおける2035年の農業用水需要量	B-3-32

表 B. 3-43	5 州における水収支バランス	B-3-35
表 B. 3-44	2007 年と 2035 年における削減されたガバナレート別作付面積	B-3-37
表 B. 3-45	2035 年における削減された 5 州の作付面積と 2007 年との比較	B-3-38
図 B. 3-1	5 州の人口予測	B-3- 8
図 B. 3-2	Makkah 州ガバナレート別将来需要水量 (Option-1)	B-3-14
図 B. 3-3	A1 Baha 州ガバナレート別将来需要水量 (Option-1)	B-3-14
図 B. 3-4	Asir 州ガバナレート別将来需要水量 (Option-1)	B-3-14
図 B. 3-5	Jazan 州ガバナレート別将来需要水量 (Option-1)	B-3-15
図 B. 3-6	Najran 州ガバナレート別将来需要水量 (Option-1)	B-3-15
図 B. 3-7	Makkah 州将来需要水量の推移	B-3-20
図 B. 3-8	A1 Baha 州将来需要水量の推移	B-3-20
図 B. 3-9	Asir 州将来需要水量の推移	B-3-20
図 B. 3-10	Jazan 州将来需要水量の推移	B-3-20
図 B. 3-11	Najran 州将来需要水量の推移	B-3-20
図 B. 3-12	農業省による将来作物別作付計画 (国全体と南西地域)	B-3-23
図 B. 3-13	農業統計資料による 2002-2007 年の作付面積の推移 (国全体と南西地域) ..	B-3-24
図 B. 3-14	ケース別、州別作付面積 (2010-2035)	B-3-26
図 B. 3-15	ケース別、州別農業用水需要量	B-3-27
図 B. 3-16	Makkah 州における 2035 年のガバナレート別農業用水需要量	B-3-32
図 B. 3-17	A1 Baha 州における 2035 年のガバナレート別農業用水需要量	B-3-32
図 B. 3-18	Asir 州における 2035 年のガバナレート別農業用水需要量	B-3-33
図 B. 3-19	Jazan 州における 2035 年のガバナレート別農業用水需要量	B-3-33
図 B. 3-20	Najran 州における 2035 年のガバナレート別農業用水需要量	B-3-33
図 B. 3-21	Makkah 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較	B-3-36
図 B. 3-22	A1 Baha 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較	B-3-36
図 B. 3-23	Asir 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較	B-3-37
図 B. 3-24	Jazan 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較	B-3-37
図 B. 3-25	Najran 州における 2007 年と 2035 年の作付面積比較	B-3-38
第 4 章 再生可能水資源ポテンシャル		
表 B. 4-1	SWAT の主要収支項	B-4- 3
表 B. 4-2	流域別収支の整理結果	B-4-11
表 B. 4-3(1)	州別収支表 -山地部-	B-4-22
表 B. 4-3(2)	州別収支表 -全体-	B-4-23
表 B. 4-4	浅層帶水層(地下水)の推定貯留量	B-4-25
表 B. 4-5	需給計画のための州別再生可能水資源ポテンシャル (MCM/Year)	B-4-27
図 B. 4-1	雨量観測所の観測期間	B-4- 1
図 B. 4-2	雨量観測所(モデル入力)位置図	B-4- 2
図 B. 4-3	モデル検証の流域	B-4- 4
図 B. 4-4	検証結果 (年間流量)	B-4- 5
図 B. 4-5	検証結果 (月流量)	B-4- 5
図 B. 4-6	流域雨量	B-4- 6
図 B. 4-7	実蒸発量	B-4- 7
図 B. 4-8	地表流出量 (Water Yield)	B-4- 8
図 B. 4-9	地下浸透量	B-4- 9
図 B. 4-10	SWAT モデル流域	B-4-10
図 B. 4-11(1)	主要ワジ収支要約 (紅海沿岸 T: Jazan)	B-4-13
図 B. 4-11(2)	主要ワジ収支要約 (紅海沿岸 T: Asir-Makka-A1 Baha)	B-4-14
図 B. 4-11(3)	主要ワジ収支要約 (紅海沿岸: A1 Baha-Makkah)	B-4-15
図 B. 4-11(4)	主要ワジ収支要約 (Red Coast:Makkah)	B-4-16
図 B. 4-11(5)	主要ワジ収支要約 (Najd-Ad Dahna:Makkah)	B-4-17
図 B. 4-11(6)	主要ワジ収支要約 (Najd-Ad Dahna:Asir-Najran)	B-4-18
図 B. 4-12	代表ワジの月別流量	B-4-19
図 B. 4-13	代表流域年流量の非超過確率	B-4-20

図 B. 4-14	モデル残流域の検討	B-4-21
図 B. 4-15	州別収支概要図（5州）	B-4-24
図 B. 4-16	浅層帶水層の分布および地下水涵養量	B-4-26
第5章 水戦略・政策・行動計画		
表 B. 5-1	水資源の水源別・セクター別状況 (MCM)	B-5- 2
表 B. 5-2	水セクターの5州における水利用状況	B-5- 2
表 B. 5-3	ステークホルダー会議から抽出した各州における課題	B-5- 3
表 B. 5-4	2035年の都市用水需要に向けて開発が必要な給水能力 (MCM, m ³ /日)	B-5- 5
表 B. 5-5	Makkah 州の今後の再生可能水資源の評価	B-5- 5
表 B. 5-6	A1 Baha 州の今後の再生可能水資源の評価	B-5- 6
表 B. 5-7	Asir 州の今後の再生可能水資源の評価	B-5- 6
表 B. 5-8	Jazan 州の今後の再生可能水資源の評価	B-5- 7
表 B. 5-9	2035年の都市用水需要と供給量の収支 (m ³ /日)	B-5- 7
表 B. 5-10	需給計画のための州別の表流水、地下水ポテンシャル (MCM/Year)	B-5- 8
表 B. 5-11	州毎の農業用水の収支	B-5- 9
表 B. 5-12	2035年における5州の作付面積と作付面積の削減比率(2007:100%)	B-5- 9
表 B. 5-13	現在(2007年)と2035年の作付面積	B-5-11
表 B. 5-14	5州の水政策と戦略	B-5-14
表 B. 5-15	水資源開発計画の対象ダムと計画給水量 (4州)	B-5-16
表 B. 5-16	代替案比較説明	B-5-20
表 B. 5-17	紅海ライフラインとその代替案比較に用いる水単価 (造水、開発、送水コスト)	B-5-21
表 B. 5-18	紅海ライフラインとその代替案比較の概要 (金額単位:MSR)	B-5-21
表 B. 5-19	計画目標年の需要量と供給計画	B-5-26
図 B. 5-1	Makkah 州における2007年と2035年の作付面積比較	B-5- 9
図 B. 5-2	A1 Baha 州における2007年と2035年の作付面積比較	B-5-10
図 B. 5-3	Asir 州における2007年と2035年の作付面積比較	B-5-10
図 B. 5-4	Jazan 州における2007年と2035年の作付面積比較	B-5-11
図 B. 5-5	Najran 州における2007年と2035年の作付面積比較	B-5-11
図 B. 5-6	水資源を確保するための3つの基準と行動	B-5-12
図 B. 5-7	パイプラインを連結した「紅海水ライフライン」導水の概念図	B-5-19
図 B. 5-8	代替案-1における施設計画概念図とそれらによる給水量	B-5-23
図 B. 5-9	代替案-2における施設計画概念図とそれらによる給水量	B-5-24
図 B. 5-10	代替案-3における施設計画概念図とそれらによる給水量	B-5-25

PART-C 水マスタートップラン

第1章 マスタートップラン(M/P)策定の基本コンセプト

表 C. 1-1	開発対象となる水資源・開発方法・利用範囲	C-1- 1
----------	----------------------------	--------

第2章 水資源開発

表 C. 2-1	3州に関連する今後の給水計画や灌漑計画の対象となるダム	C-2- 2
表 C. 2-2	3州に関連する主要ダムの開発流量	C-2- 4
表 C. 2-3	下水発生量と2020年時点処理量	C-2- 8
表 C. 2-4	2020年時点処理量利用状況	C-2- 9
図 C. 2-1	大型貯水ダムによる表流水開発	C-2- 1
図 C. 2-2	大型貯水ダムと下流地下滞水層との連携による表流水・地下水開発	C-2- 1
図 C. 2-3	リチャージダムを利用した地下水開発	C-2- 2
図 C. 2-4	ダム地点の年流量 (Baysh ダムと Hali ダム)	C-2- 4
図 C. 2-5	ダム地点の月流量 (Baysh ダム)	C-2- 5
図 C. 2-6	ダム地点の月流量 (Hali ダム)	C-2- 6
図 C. 2-7	Baysh ダムの水資源開発	C-2- 6

図 C. 2-8	Hali ダムの水資源開発.....	C-2- 6
図 C. 2-9	下水処理と処理水の再利用システム	C-2-10
図 C. 2-10	下水処理水による塩水化対策	C-2-11
第3章 給水計画		
表 C. 3-1	既存施設の水源別の計画給水量	C-3- 2
表 C. 3-2	建設中ダムおよび計画ダムの開発流量と計画給水流量.....	C-3- 6
表 C. 3-3	給水計画のための開発施設と給水量	C-3- 6
表 C. 3-4	A1 Baha 州給水計画.....	C-3- 7
表 C. 3-5	A1 Baha 州給水計画(2011-2015)	C-3- 8
表 C. 3-6	A1 Baha 州給水施設計画(2011-2015)	C-3- 9
表 C. 3-7	A1 Baha 州給水計画(2016-2020)	C-3- 9
表 C. 3-8	A1 Baha 州給水施設計画(2016-2020)	C-3- 9
表 C. 3-9	A1 Baha 州給水計画(2026-2030, 2031-2035)	C-3-10
表 C. 3-10	A1 Baha 州給水施設計画(2026-2035)	C-3-10
表 C. 3-11	Asir 州給水計画.....	C-3-11
表 C. 3-12	Asir 州給水計画(2011-2015)	C-3-12
表 C. 3-13	Asir 州給水施設計画(2011-2015)	C-3-13
表 C. 3-14	Asir 州給水計画(2016-2020)	C-3-13
表 C. 3-15	Asir 州給水施設計画(2016-2020)	C-3-13
表 C. 3-16	Asir 州給水計画(2021-2025)	C-3-14
表 C. 3-17	Asir 州給水施設計画(2021-2025)	C-3-14
表 C. 3-18	Asir 州給水計画(2026-2035)	C-3-14
表 C. 3-19	Jazan 州給水計画.....	C-3-15
表 C. 3-20	Jazan 州給水計画(2011-2015)	C-3-17
表 C. 3-21	Jazan 州給水施設計画(2011-2015)	C-3-17
表 C. 3-22	Jazan 州給水計画(2016-2020)	C-3-18
表 C. 3-23	Jazan 州給水施設計画(2016-2020)	C-3-18
表 C. 3-24	Jazan 州給水計画(2021-2025)	C-3-18
表 C. 3-25	Jazan 州給水施設計画(2021-2025)	C-3-18
表 C. 3-26	Jazan 州給水計画(2031-2035)	C-3-19
表 C. 3-27	Jazan 州給水施設計画(2026-2030)	C-3-19
図 C. 3-1	A1 Baha 州の給水ネットワーク (現状)	C-3- 3
図 C. 3-2	Asir 州の給水ネットワーク (現状)	C-3- 4
図 C. 3-3	Jazan 州の給水ネットワーク (現状)	C-3- 5
図 C. 3-4	A1 Baha 州の水需要供給計画(2011-2035)	C-3- 7
図 C. 3-5	A1 Baha 州の計画ダムと淡水化プラント (既存施設を含む)	C-3- 8
図 C. 3-6	A1 Baha 州の水供給計画とその水源 (2035 年時点)	C-3-10
図 C. 3-7	Asir 州の水需要供給計画(2011-2035)	C-3-11
図 C. 3-8	Asir 州の計画ダムと淡水化プラント (既存施設を含む)	C-3-12
図 C. 3-9	Asir 州の水供給計画とその水源 (2035 年時点)	C-3-15
図 C. 3-10	Jazan 州の水需要供給計画(2011-2035)	C-3-16
図 C. 3-11	Jazan 州の計画ダムと淡水化プラント (既存施設を含む)	C-3-16
図 C. 3-12	Jazan 州の水供給計画とその水源 (2035 年時点)	C-3-19
第4章 水需要の管理		
表 C. 4-1	節水活動の事例	C-4- 1
表 C. 4-2	給水原単位 10% 低減による財政縮減効果	C-4- 3
表 C. 4-3	現行給水原単位継続による財政効果	C-4- 4
表 C. 4-4	漏水率 5% 改善による財政効果	C-4- 5
表 C. 4-5	下水処理水利用、作付転換を含む水収支と可能作付面積(A1 Baha 州)	C-4- 8
表 C. 4-6	下水処理水利用、作付転換を含む水収支と可能作付面積(Asir 州)	C-4- 8
表 C. 4-7	下水処理水利用、作付転換を含む水収支と可能作付面積(Jazan 州)	C-4- 9
表 C. 4-8	Jazan 州における削減計画(2035 年)	C-4-10
図 C. 4-1	生活用水の節水活動(3R)の概念図	C-4- 1

図 C. 4-2	リヤド(居住区)における水使用量と水道料金	C-4- 3
図 C. 4-3	現在の農業用水使用を継続した場合の地下水位低下の将来予測.....	C-4-11
図 C. 4-4	農業用水量の削減量と地下水位の回復状況 (A 地点)	C-4-11
第 5 章 運営維持管理計画		
表 C. 5-1	対象組織とマンデート	C-5- 1
表 C. 5-2	下流地下滞水層との連携した主要ダムの開発水量.....	C-5- 4
表 C. 5-3	紅海側沖積平野の概要	C-5- 6
表 C. 5-4	自然状態におけるワジの河道浸透と無効放流	C-5- 8
表 C. 5-5	ダムごとの最大河道浸透量の推定値	C-5- 9
表 C. 5-6	各ワジの水位、流量観測所の位置	C-5-10
表 C. 5-7	ワジ表流水の観測概要	C-5-10
表 C. 5-8	地下水モニタリング計画	C-5-13
図 C. 5-1	水資源管理所の配置イメージ図	C-5- 2
図 C. 5-2	ダムと下流地下滞水層との連携によるワジ表流水の開発.....	C-5- 3
図 C. 5-3	下流地下滞水層と連携した主要ダムの開発水量の変化.....	C-5- 5
図 C. 5-4	ワジ流量と流下距離との関係	C-5- 6
図 C. 5-5	土壤水分と地下水浸透	C-5- 6
図 C. 5-6	ワジ河道浸透率(%)と到達距離の例 (Wheater 式)	C-5- 7
図 C. 5-7	放流間隔と地下水涵養効率との関係	C-5- 7
図 C. 5-8	ダムによる流況改善と河道浸透の増大	C-5- 8
図 C. 5-9	プロペラ式とケーブル式流速計設置状況	C-5-10
図 C. 5-10	水位、流量モニタリングの位置	C-5-11
図 C. 5-11	Jazan 州海水侵入予測図(現状の揚水が継続した場合の予測、JICA 調査団)	C-5-12
図 C. 5-12	Jazan 州における揚水量削減量と地下水位 0m 以下の範囲 (JICA 調査団解析)	C-5-13
図 C. 5-13	地下水モニタリング位置 (Jazan 州)	C-5-13
図 C. 5-14	地下水資源保全手法	C-5-14
図 C. 5-15	水行政組織 (現行)	C-5-15
図 C. 5-16	水供給の関係組織 (現行)	C-5-16
図 C. 5-17	水行政組織の改善提案	C-5-16
図 C. 5-18	農業組織の改善提案	C-5-19
図 C. 5-19	管理者、技術者の部門と階層による教育システムの図式.....	C-5-21
図 C. 5-20	水利用啓発活動の図式	C-5-22
第 6 章 概略設計、事業費の積算・実施工程		
表 C. 6-1	給水計画における主要施設の計画諸元	C-6- 1
表 C. 6-2	ダム諸元	C-6- 1
表 C. 6-3	積算単価及び年間維持管理費の割合	C-6- 3
表 C. 6-4	堤体積当たりのダム単価(コンクリート、フィルダム).....	C-6- 3
表 C. 6-5(1)	パイプライン、淡水化プラント等の建設費(2010-2015).....	C-6- 4
表 C. 6-5(2)	パイプライン、淡水化プラント等の建設費(2015-2020).....	C-6- 4
表 C. 6-5(3)	パイプライン、淡水化プラント等の建設費(2020-2025).....	C-6- 4
表 C. 6-5(4)	パイプライン、淡水化プラント等の建設費(2025-2030-2035).....	C-6- 5
表 C. 6-6	M/P に係る施設の建設費(Million SR)	C-6- 5
表 C. 6-7	M/P に係る施設整備事業費(Million SR/年)	C-6- 5
表 C. 6-8	水供給施設実施工程	C-6- 6
図 C. 6-1	A1 Baha 州・Asir 州・Jazan 州の主要給水施設図	C-6- 2
図 C. 6-2	M/P にかかる期間別の建設費	C-6- 5
第 7 章 水マスター プラン(M/P)の評価		
表 C. 7-1	経済・財務分析の基礎諸元	C-7- 2
表 C. 7-2	水道料金の加重平均値の推定	C-7- 3
表 C. 7-3	脱塩水のコストの推定	C-7- 4
表 C. 7-4	便益の算定根拠	C-7- 4

表 C. 7-5	水開発計画の事業費概要	C-7- 4
表 C. 7-6	事業コスト (MSR)	C-7- 5
表 C. 7-7	経済分析の結果	C-7- 5
表 C. 7-8	主要な環境への影響と緩和策 (案)	C-7- 7
表 C. 7-9	代替案の検討結果 (環境社会配慮)	C-7- 7
表 C. 7-10	EIA 実施時の調査重点項目及び調査内容の案	C-7- 8
図 C. 7-1	水 M/P 計画施設と自然保護区との関係図	C-7- 6

略語リスト

Abbreviation and Acronym	English	Arabic (عربى)	Japanese (日本語)
BCM	Billion Cubic Meters	مليار متر مكعب	10億立方メーター
CBD	Convention on Biological Diversity	اتفاقية التنوع البيولوجي	生物多様性保全条約
C/P	Counterpart	النظير	カウンターパート
EIA	Environment Impact Assessment	تقييم الأثر البيئي	環境アセスメント
ER	Effective Rainfall	الأمطار الفعالة	有効雨量
ET	Evapotranspiration	البخرة	蒸発散
FAO	Food and Agriculture Organization, United Nations	منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة	国連食料農業機関
GIS	Geographic Information System	نظام المعلومات الجغرافية	地理情報システム
GPS	Global Positioning System	نظام تحديد المواقع العالمي	グローバル・ポジショニング・システム
GDP	Gross Domestic Product	الانتاج المحلي الإجمالي	国内総生産
GDW	General Directorate of Water		地方水事務所
GNI	Gross National Income	الدخل القومي الإجمالي	国民総所得
GSMO	Grain Silos and Flour Mills Organization	صوامع الحبوب ومطاحن الدقيق	サイロ・製粉公団
GTZ	Deutsche Gesellschaft fur Technical Zusammenarbeit GmbH	الجمعية الألمانية للتعاون التقني المحدودة	ドイツ技術協力公社
IC/R	Inception Report	تقرير الإنشاء	インセプション・レポート
IEE	Initial Environmental Examination	الفحص البيئي الأولي	初期環境調査
IUCN	World Conservation Union	اتحاد التحويل العالمي	国際自然保護連合
IWPP	Independent Water and Power Project	المياه المستقلة وطاقة المشروع	独立水道・発電事業
IWRP	Integrated Water Resources Planning	التخطيط المتكامل للموارد المائية	総合水資源計画
JCCME	Japan Cooperation Center for Middle East	مركز التعاون الياباني للشرق الأوسط	財団法人中東協力センター
JICA	Japan International Cooperation Agency	الوكالة اليابانية للتعاون الدولي	独立行政法人国際協力機構
KSA	Kingdom of Saudi Arabia	المملكة العربية السعودية	サウジアラビア王国
LCD	Liter per Capita per Day	لتر للفرد يوميا	リッター/人/日
MAW	Ministry of Agriculture and Water	وزارة الزراعة والمياه	水・農業省
MEPA	Meteorology and Environment Protection Administration	ادارة الأرصاد الجوية و حماية البيئة	気象環境保護庁
MCM	Million Cubic Meters	مليون متر مكعب	100万立方メーター
M/M	Minutes of Meeting	ملخص الاجتماع	会議の議事録
MMW	Million Megawatt	مليون ميجاوات	100万メガワット
NAS	National Agriculture Strategy	استراتيجية الزراعة الوطنية	国家農業戦略
NGO	Non-Governmental Organization	المنظمات غير الحكومية	民間公益団体
NMS	National Mining Strategy	استراتيجية التعدين الوطنية	国家鉱業戦略
NSS	National Spatial Strategy	استراتيجية العمران الوطنية	国家特別戦略
NWC	National Water Company	شركة المياه الوطنية	国家水会社
MWS	National Water Strategy	الاستراتيجية الوطنية للمياه	国家水戦略
MOA	Ministry of Agriculture	وزارة الزراعة	農業省
MOEP	Ministry of Economy and Planning	وزارة الاقتصاد والتخطيط	国家経済計画省
MOF	Ministry of Finance	وزارة المالية	財務省
MOI	Ministry of Interior	وزارة الداخلية	内務省
MOMRA	Ministry of Municipal and Rural Affairs	وزارة الشؤون البلدية والقروية	地方自治省
MOWE	Ministry of Water and Electricity	وزارة المياه والكهرباء	水・電力省
M/P	Master Plan	الخطة الرئيسية	マスター・プラン
MSR	Million Saudi Riyals	مليون ريال سعودي	100万サウジリアル

Abbreviation and Acronym	English	Arabic (عربى)	Japanese (日本語)
NCWCD	National Commission for Wildlife Conservation and Development	اللجنة الوطنية لحماية و تطوير الحياة البرية	国立動物保護開発協会
NIA	National Irrigation Authority	السلطة الوطنية للري	国家灌漑局
PME	Presidency of Meteorology and Environment Protection	الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة	国家気象環境保護
P/O	Plan of Operation	خطة العمل	プラン オブ オペレーション
PPP	Public Private Partnership	شراكة القطاعين العام والخاص	官民連携
RWPC	Renewable Water Production Corporation	شركة إنتاج المياه المتجددة	再生可能水生産公社
REWLIP	Red Sea Water Lifeline Project	شريان الحياة للمياه البحر الأحمر المشروع	紅海水ライフライン事業
OJT	On the Job Training	التدريب المهني	研修
SAGIA	Governor Saudi Arabian General Investment Authority	محافظ الهيئة العامة للاستثمار العربي السعودي	サウジアラビア総合投資庁
SAMA	Saudi Arabian Monetary Agency	مؤسسة النقد العربي السعودي	サウジアラビア通貨厅
SAR	Saudi Arabian Riyal	الريال السعودي	サウジアラビアリアル
SCT	Supreme Council for Tourism	المجلس الأعلى للسياحة	最高観光委員会
SEA	Strategic Environment Assessment	التقييم البيئي الاستراتيجي	戦略的環境アセスメント
SGS	Saudi Geological Survey	هيئة المساحة الجيولوجية السعودية	サウジ地質調査
SOIETZ	Saudi Organization for Industrial Estates and Technology Zone	الهيئة السعودية للمدن الصناعية و للمنطقة التكنولوجية	サウジ産業国家技術団体
SR	Saudi Riyals	الريال السعودي	サウジリアル
STP	Strategic Transformation Plan	خطة التحول الاستراتيجي	戦略的転換計画
STP	Sewerage Treatment Plant	محطة معالجة الصرف الصحي	下水処理プラント
S/W	Scope of Works	العمل نطاق	業務範囲
SWAT	Soil and Water Assessment Tool	أداة تقييم التربة والمياه	土壤水アセスメントツール
SWCC	Saline Water Conversion Corporation	المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة	海水淡水化公社
UFW	Unaccounted For Water	مياه غير محسوبة	無収水
UNDP	United Nations Development Programme	برنامج الأمم المتحدة للتنمية	国連開発計画
UN-ESCWA	United Nations Economic and Social Commission for Western Asia	اللجنة الاقتصادية والاجتماعية للأمم المتحدة لغربي آسيا	国連西アジア経済社会委員会
WB	The World Bank	البنك الدولي	世界銀行
WHO	World Health Organizations	منظمة الصحة العالمية للأمم المتحدة	世界保健機関
WMO	World Meteorological Organization	المنظمة العالمية للأرصاد الجوية	世界気象機関

調査概要書

サウジアラビア国 南西地域総合水資源開発・管理計画調査

調査期間：2007年6月～2010年7月
受入機関：サウジアラビア国 水・電力省

1 調査の背景

サウジアラビア国（以下、「サ」国）は、国土の大部分が砂漠・乾燥地帯であり、水資源の確保が国民生活と国内産業を支える重要課題である。近年の急激な人口増加と都市化及び工業化の進展に伴い、水需要も急増しており、この問題への的確かつ迅速な対応が迫られている。

国土の大部分が年間降雨量 100mm にも達しないという「サ」国の中で、南西地域では降雨量が 200mm-500mm の範囲にあり、全国的に見て降雨量に恵まれている。この貴重な降雨による水資源が、海（紅海）への流出、地下浸透などで、これまでには十分有効には活用されてこなかった。しかし、近年になって、「サ」国の経済状態が急激に進展したことから、各地で水資源開発プロジェクトが実施されるようになってきている。

このため、「サ」国政府は再生不可能な化石水の利用を制限し、その他の水源からの供給割合を増大させるという基本方針を立て、2000年に、南西地域における表流水及び循環地下水を主体とした再生可能な水資源の開発・管理に関わるマスタープラン(M/P)作成を我が国に要請した。

2 調査目的

本調査の目的は下記の通りである。

- 1) 「サ」国の南西地域に位置するマッカ(Makkah)州、アル・バハ(Al Baha)州、アシール(Asir)州、ジャザン(Jazan)州、ナジラン(Najran)州の 5 州における持続可能な水資源開発、利用、及び管理のための基本政策、戦略及び実行計画を策定する。
- 2) 実行計画に基づき、選択された州に対して持続的水資源の M/P を策定する。
- 3) 水・電力省 (MOWE) の職員に対して、関連技能・技術の移転を行う。

3 5 州の水政策・戦略・行動計画

3.1 水セクターの現状と課題

水セクターの状況（2007年時点）と課題は以下の通りである。表 1 参照。

【都市用水】

Al Baha 州、Asir 州、Jazan 州では公共水道ネットワークの整備が遅れている。Al Baha 州、Jazan 州、Najran 州では都市用水の一人一日当り供給実績が他州に比べて小さい。これは、淡水化水供給の恩恵を十分に受けていない地域である。Makkah 州、Al Baha 州、Asir 州では都市用水の水需要の季節変動要素がある。

【工業用水】

工業用水の使用量は Makkah 州以外では少ない。工業用水における下水処理水の再利用は Makkah 州では比較的進んでいる。それ以外の州ではほとんど実績はない。

【農業用水】

農業用水の全体使用量に対する割合が高い。しかし、使用量の実態はモニタリングされておらず、無許可で掘削されている井戸も多い。近代的な灌漑施設の導入による節水により節減できる水量

は大きい。また、農業への下水処理水の再利用の割合が非常に低い。

表1 5州の基本情報と水利用状況

Items	Makkah	Al Baha	Asir	Jazan	Najran
[人口] Projection by MOWE (2009)					
• 2010年 (x1000), Total: 10,680	6,468	411	1,895	1,404	502
• 2035年 (x1000), Total: 16,302	9,785	627	2,914	2,190	786
[再生可能水資源]	* Reference Points : Points at River Mouth + Points in Front of Desert. * Al Baha: Inter Basin (All Potentials flow into Makkah)				
• 表流水 (MCM/Y) Total: 870	755	(254)	66	44	5
• 地下水 (MCM/Y) Total: 744	320	(100)	73	303	48
• 合計 (MCM/Y) Total: 1,614	1,075	(354)	139	347	53
[都市用水]					
• 都市用水の使用量 (MCM/Y)	389	14	57	16	12
• 公共水道ネットワーク率	96%	47%	43%	64%	79%
供給量 (LCD: 1lt/人/日)	183	149	192	55	93
• 淡水化水の占める割合	High (88%)	Low (0%)	Middle (57%)	Low (4%)	Low (0%)
• 水需要の季節変動	(Haji Pilgrim)	(Jun-Aug)	(Jun-Aug)	No	No
[工業用水]					
• 工業用水の使用量 (MCM/Y)	38	0	2	0	0
• 下水処理水の再利用が占める割合	Middle (59.8%)	-	Low (0%)	-	-
[農業用水]					
• 農業用水の使用量 (MCM/Y)	768	54	283	1,527	229
• 全水利用に対する農業用水の占める割合	Middle (64%)	High (79%)	High (83%)	High (99%)	High (95%)
• 農業用水に占める下水処理水再利用の割合	Low (2%)	-	Low (6%)	-	-
• 近代施設導入	Low <50%	Low <50%	Low <50%	Low <50%	Low <50%
• 農業用井戸の地下水位低下及び水質劣化	Yes : Middle	Yes : Low	Yes : Low	Yes : High	Yes : Low
• 無許可井戸掘削	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
• 農業用井戸用水量のモニタリング	No	No	No	No	No

3.2 水需要・供給バランス

(1) 都市用水

表2は計画目標年（2035年）までに開発すべき水資源量を推定したものである。5州の合計で、年間422MCMあるいは日量1.2MCMが計画目標年までに開発すべき水資源量である。今後開発すべき水量の現況供給能力に対する比率は、Makkah州（13%）以外の4州は2倍から4倍となっている。これら4州の水源開発と給水ネットワークの整備が急がれる。

ダムによる持続可能な再生可能水開発量のうち30%を都市用水へ利用可能と考えた場合（残りの70%は下流域の既得権者への配分と考える）、この量は340,000m³/日となる。従って、将来需要を充足するためには、再生可能水以外（例えば、海水淡化化水）の開発が必要となる。

表2 2035年の都市用水需要に向けて開発が必要な給水能力

州	(1)現況供給能力 (MCM/Y)	(2)将来水需要 (MCM/Y)	(3)収支 (MCM/Y) (3)=(2)-(1)	(4)収支 (1000 m ³ /日)	(5)利用可能な再生可能水 (1000 m ³ /日)	(6)不足量 (1000 m ³ /日) (6)=-(4)+(5))
Makkah	748	845	-97	-266	161	105
Al Baha	10	38	-28	-77	16	61
Asir	44	208	-164	-449	60	389
Jazan	53	148	-95	-260	103	157
Najran	24	62	-38	-104	0	104
合計	879	1,301	-422	-1,156	340	816

*) 30% x Industrial Water and 5% x Municipal Water are to be supplied by Reclaimed Wastewater.

(2) 農業用水

表3は、2007年時点の灌漑収支バランスと計画目標年（2035年）における作付面積予測を示している。2035年の作付面積は、灌漑ポテンシャル（再生水利用可能量+新規灌漑水源）とDecision335

に基づいて予測している。灌漑のための再生水利用可能量は、再生可能水ポテンシャルから都市用水量を除いた量である。また、新規灌漑水源は、近代灌漑施設の導入から生まれる節水量、下水処理水の再利用(2009年ITAL CONSULT調査:Investigation and Engineering Design for Treated Wastewater Reuse in the Kingdom of Saudi Arabia)および還元水の利用(灌漑水量の40%)を考慮している。

再生可能水源および節水等から生まれる新規灌漑水源に見合う、計画目標年(2035年)の作付面積は、5州全体で2007年作付面積に比して約半分(53%)となる。ただし、3州(Makkah州、Al Baha州、Asir州)はほぼ同レベルを確保できるが、2州(Jazan州、Najran州)の作付面積は減る。Jazan州の場合は75%の減少、Najran州の場合は29%の減少となる。

表3 灌漑収支バランスおよび作付面積

州	(1)灌漑需要 2007年 (MCM/Y)	(2)再生水利 用可能量 (MCM?Y)	(3)新規灌漑 水源 (MCM/Y)	(4)収支(MCM/Y) =(2)+(3)+(4)-(1)	(5)作付面積 2007年 (ha)	(6)作付面積 2035年 (ha)	(7)比率
Makkah	751	674	513	436	42,077	39,293	93 %
Al Baha	54	83	14	43	4,450	4,425	99 %
Asir	268	360	109	201	21,054	20,759	99 %
Jazan	1,502	216	70	-1,216	113,558	28,559	25 %
Najran	217	328	88	200	11,430	8,134	71 %
合計	2,792	1,661	795	-336	192,569	101,170	53 %

*) 新規灌漑水源 = 節水量(近代的灌漑施設の導入) + 下水の再利用 + 還元水の利用

*) 2035年の作付面積は、灌漑ポテンシャル(再生水利用可能量+新規灌漑水源)とDecision335に基づく

3.3 水資源開発・利用・管理の基本方針

(1) 乾燥地の水文的ハンディキャップと水を確保するための行動

5州の水文的特徴と必要な水を確保するために必要な行動

調査地域のような乾燥・準乾燥地域では、再利用可能水資源の開発に影響する次のような水文的ハンディキャップがある。

- ◆ 再生可能水資源(降水量、表流水)が不足している
- ◆ 降雨及び再生可能水資源の年変動及び季節変動が大きい
- ◆ 可能蒸発量が大きい

水文的なハンディキャップを克服し、需要の増加に十分な水を確保するために必要な行動がなされなければならない。その行動の要点は次の通りである。

- ◆ 水利用上の安定性確保の観点から社会経済の維持に必要な最低限の水量は海水淡水化水のような安定水源によって確保する。
- ◆ 洪水を確実に貯留して経年に利用し変動を吸収できるような大きめの貯水容量を持つダムといった「ストックを重視した水資源開発」が必要となる。
- ◆ 異なる地域や流域をパイプラインのような導水路で連結し「水資源を融通するような仕組み」が必要となる。
- ◆ 蒸発によるロスを最少にするように、地下水涵養を促進させて地下水として貯留することが有利であると考えられる。そのためにリチャージダムと地下水の涵養効率をあげるための「連携による表流水・地下水開発」が必要となる。

(2) 水資源開発・保全の基本方針

計画的な再生可能水資源(表流水)の開発と利用

再生可能水資源ポテンシャルの解析結果とそれを効率的に利用するためのダムサイトの検討から、再生可能水資源による都市用水供給は約30%が可能と推定される。しかし、これまでダム事業の計画で開発水量の割り当てが明確にされていない場合が多い。特に、洪水調節ダムを主目的とするダムでは、洪水で貯留された水資源の利用計画が定められていない。再生可能水資源の開発単価は

海水淡水化による造水単価より安価であり、かつ、適切な管理のもとで利用すれば持続可能な利用が可能であることから、この再生可能水資源の開発と利用は計画的に行うことが重要である。

再生可能水資源（地下水）のモニタリング

再生可能水資源としての地下水利用に関して、地下水位の低下や水質劣化が報告されている。MOWEが都市用水供給のために使用している井戸は水量、水質、水位がモニタリングされ、管理されている。しかし、地下水の最大の利用者である農業セクターでは利用状況を把握しておらず、地下水の劣化の原因となっている可能性が指摘されている。このため、利用のために適切な管理を行い、持続的な利用を行う必要がある。そのため、地下水の涵養能力を強化するとともに、揚水量のモニタリング等の管理体制の強化が必要である。

給水計画における再生可能水資源と海水淡水化水との組み合わせ

再生可能水資源は都市用水供給のための貴重な水資源であるが、これだけで将来の都市用水の需要増加に対応することは困難である。このため、調査対象地域で、海水淡水化や化石地下水などと組み合わせ、合理的な水資源開発計画の検討必要となる。

下水処理水の有効開発

農業用水、緑化用水、工業用水の一部に供給する水資源として、下水処理水は利用可能である。しかし、下水道の整備率が低く、処理施設の能力も現状では十分ではない。下水道の普及を促進し、利用に必要な水質を確保するための処理施設を設置し、再生可能水資源や海水淡水化水等と組み合わせて積極的に利用することが必要である。

(3) 水資源の利用・管理の基本方針

需要管理の必要性

自然条件から再生可能水資源が限られており、また、海水淡水化による造水は理論的には生産量は規模拡大で対応できるもののコストが膨大となる。このため、水資源の利用にあたっては生活用水、工業用水、農業用水それぞれのセクターが需要管理を徹底し、利用量の縮減を図ることが必要である。再生可能水資源の最大の利用者である農業用水セクターは、利用効率を高め、消費水量の少ない作物に転換するなど、使用量の縮減に取り組むことが必要である。

有効水利用システムの整備

水資源開発施設は単独で管理され、農業用の地下水のように利用状況を管理する仕組みが整備されていない状況がある。再生可能水資源の持続的、効率的な利用、また、農業用水と都市用水の水融通や、州をまたがる水利用などのよう、総合水資源管理を実施するための制度、組織の整備が必要である。

3.4 水政策と戦略

調査対象地域の水資源利用の現状と課題、再生可能水資源ポテンシャルと計画目標年における水需要のギャップを考慮し、5州に共通となる水政策とその戦略を次表のとおりとりまとめた。水政策としては以下の4つの区分（●水資源の開発 ●水資源の保全 ●水利用の管理 ●水資源開発・保全・利用管理のための組織・制度の整備）で10項目を掲げた。それぞれの水政策に対して表4に戦略を示す。

表4 5州の水政策と戦略

項目	具 体 的 な 内 容
	(1) 水資源開発
政策：WP1	再生可能水（表流水）の有効利用を図る
戦略	◆ダムに貯留した表流水を、地下水・淡水化水と組み合わせて有効利用を図る ◆都市用水への優先利用を行う ◆表流水の合理的な配分のための調整体制を整備する
政策：WP2	再生可能水（地下水）の持続的利用を図る
戦略	◆水資源開発と資源保全の均衡のとれた開発を行う

項目	具体的な内容
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ リチャージダムと地下ダムによる効率的な地下水開発を図る ◆ 地下水の合理的な配分のための調整体制を整備する
政策：WP3	淡水化水の適切な利用を図る
戦略	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 再生可能水を補完する安定水源として計画的に利用する ◆ 再生可能水資源、下水処理水再利用との組み合わせを検討し、経済的な利用を図る
政策：WP4	下水処理水の再利用を図る
戦略	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 下水道及び再利用に必要な水質を確保する処理施設の計画的整備を行う ◆ 農業用水及び工業用水への優先利用を行い、再生可能水（地下水）の負担を軽減させる ◆ 農業用水への再利用促進のための啓蒙活動を行う
	(2) 水資源保全
政策：WP5	地下水の保全を図る
戦略	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 地下水を水位低下や水質劣化を起こさないように管理する ◆ 地下水のモニタリング（水量、水質）体制を強化する ◆ 地下水利用のための井戸設置登録・利用の監視を強化する
政策：WP6	水質（表流水・地下水）の保全を図る
戦略	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 貯水池のモニタリング（水質、水量）体制を強化する ◆ 地下水のモニタリング（水質）体制を強化する ◆ 廃棄物、生活汚水等の不法投棄の監視を強化する
	(3) 水利用管理
政策：WP7	生活用水の無駄のない利用を促進する
戦略	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 不明水(UFW)削減の取り組みを強化する ◆ 節水意識の向上と節水行動を強化する
政策：WP8	工業用水の効率的な利用を促進する
戦略	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 工場内の回収、再利用の向上を図る ◆ 工場においては節水活動を行うと共に、水消費型ではない産業を優先的に誘致する
政策：WP9	農業用水の適切な利用を行う
戦略	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 近代灌漑施設導入や施設の更新により灌漑効率の向上を図る ◆ 農家の効率的水利用に関する知識の啓蒙普及と節水行動を強化する ◆ 持続可能な水利用を農業活動の制約条件とする
	(4) 組織・制度の整備
政策：WP10	効果的水資源開発管理のための組織制度を整備する
戦略	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 1) 持続的水資源開発, 2) 効果的な水資源保全, 3) 円滑かつ効率的な水利用と管理のための組織、制度の整備を行う

3.5 行動計画

(1) 水資源開発

■ 水政策・戦略 (WP1 : 表流水の利用、WP2 : 地下水の利用、WP3 : 海水淡化化水の利用) に関する行動計画

<総合水管システム（紅海水ライフライン事業）>

M/P で提案した総合水管システムの紅海水ライフライン事業は、紅海沿岸部に設置された海水淡化プラントから、Al Baha 州・Asir 州・Jazan 州の主要都市に給水を導水するシステムである。調査団は、「低廉な水を確保する経済的な観点：①生産コストの安い再生可能水、②消費地へ近い場所に海水淡化プラント」と「広域的に必要な水を融通・安定確保できる技術的な観点：気候に影響を受けやすい再生可能水と影響を受けにくい海水淡化水を組み合わせて利用」に基づいて、この事業を提案している。海水淡化化水プラント（2ヶ所の新規プラントを含む）、ダム群（既設と建設中を含み 10 基）および導水パイプライン網（約 1,300km）からこの事業が成り立っている。

- ◆ Najran 州を除く 4 州の再生可能水は、現在 MOWE が建設中あるいは計画中のダム群による開

発とする。Najran 州では既存ダムの再生可能水が引き続き供給されるが、新規のダム計画はない。

- ◆ 海水淡水化水については、海水淡水化公社(SWCC)の策定した計画案に従って、Makkah 州は Shuaibah プラントの拡張を行い、Asir 州は Shuqaiq プラントの拡張により対応する。
- ◆ Al Baha 州及び Jazan 州の給水のため、新たに海水淡水化プラントをそれぞれ Dawqah と Sabya に新設する。この計画は、JICA 調査団から提案された。
- ◆ 州間の水の輸送は、JICA 調査団が提案した紅海水ライフルラインを用いる
- ◆ Asir 州の東部と Najran 州には、Wajid 帯水層からの化石地下水を水パイpline で供給する。この計画は MOWE で進められている。

<2035 年の 5 州の給水システム>

表 5 2035 年の州別の水需要供給計画と水源構成比(%)

州	水需要 (1000m ³ /日)	供給量 (1000m ³ /日)				需給差
		合計	再生可能水	海水淡水化水	化石水	
Makkah	2,278	2,278	170 (7.5%)	2,108 (92.5%)	0	0
		(100%)				
Al Baha	135	135	35 (25.9%)	100 (74.1%)	0	0
		(100%)				
Asir	648	648	255 (39.4%)	327 (50.5%)	66 (10.1%)	0
		(100%)				
Jazan	436	436	219 (50.3%)	217 (49.8%)	0	0
		(100%)				
Najran	184	184	65 (35.3%)	0	119 (64.7%)	0
		(100%)				
合計	3,681	3,681	744	2,752	187	0

■ 水政策・戦略 (WP4 : 下水処理水の再利用) に関する行動計画

<下水処理水の再利用>

都市用水や工業用水の一部として下水処理水を使う場合、安全確保のため一般水道とは送水方法は完全に分離する必要がある。処理過程で発生する濃縮排水、汚泥等の処理を確実に行い、二次公害発生の防止をしなければならない。

農業セクターでは、下水処理水の再利用に関して非常にポテンシャルが大きいと考えられる。現状では農家は地下水から下水処理水の再利用に切り替えることに関して抵抗がある。しかし、農業用水への利用を促進することが、水需給のひっ迫した状況から必要である。

(2) 水資源保全

■ 水政策・戦略 (WP5 : 地下水の保全、WP6 : 水質の保全) に関する行動計画

<ダムを利用した地下水の保全>

調査地域では、地下水はワジ河床から涵養される。したがって、涵養ダムによって河道流量をコントロールし、河道から帶水層に浸透する地下水量の増大を図り地下水を保全する。以下の項目を検討し、地下水涵養を促進することを目的としたダム運用計画を立案する。

- ◆ 紅海側流域では、紅海への無効流出量を低減する。
- ◆ 内陸側流域では、地下水利用地域の下流側への無効流出量を低減する。
- ◆ 上記を踏まえ、ダムからの放流量を適切に設定し地下水涵養量を最大化する。
- ◆ 適切な放流量はダムごとに異なるため、それぞれのダムごとに適切な放流量を決定する。

<モニタリング計画>

- ◆ 雨量観測
- ◆ ワジ水量・水質の観測
- ◆ 地下水位・水質の観測

(3) 水利用管理

- 水政策・戦略 (WP7 : 生活用水の無駄のない利用、WP8 : 工業用水の効率的な利用、WP9 : 農業用水の適切な利用) に関する行動計画

<都市用水の水需要管理>

- ◆ 價格付けの導入
- ◆ 節水、水保全に関する啓蒙

<農業用水の水需要管理>

- ◆ 作付け転換
- ◆ 節水

(4) 組織・制度の整備

- 水政策・戦略 (WP10 : 効果的水資源開発管理のための組織制度の整備) に関する行動計画

- ◆ 総合水資源管理(IWRM)の導入
- ◆ 管理情報の共有化とセクター間での調整
- ◆ 水資源施設の管理と組織化
- ◆ 農業用水セクターの組織化
- ◆ MOWE の能力強化

4 3州の水マスタートップラン(M/P)

再生可能水資源(表流水+地下水)に焦点を当てて、これらの開発・利用・管理を行うことで便益を得られるのは、Al Baha 州、Asir 州、Jazan 州の 3 州である。これらの 3 州は、隣接しており、州をまたぐ導水、送水等を含む連携的、統合的な水資源開発も可能である。従って、再生可能水資源を中心とした開発、利用、管理に関する M/P 策定対象州は、上述の 3 州 (Al Baha 州・Asir 州・Jazan 州) とする。

4.1 水資源開発

(1) 再生可能水資源

計画対象地域のような乾燥・準乾燥地域では、再利用可能水資源の開発に影響する水文的ハンディキャップ (●降水量が少ない ●降雨量の年変動や季節変動が大きい ●蒸発量が多い) がある。このようなハンディキャップを克服し、需要の増加に十分な水を確保するために、次のような視点で再生可能水資源を開発すべきである。

- ◆ 大きめの貯水容量を持つダムのような「ストックを重視した水資源開発」
- ◆ 蒸発によるロスを最少にするように、地下水涵養を促進させて地下水として貯留する。そのため、貯留ダムと滯水層との連携による表流水・地下水開発」が必要となる。

従って、調査対象区域における再生可能水資源 (表流水と浅層地下水) の開発には次の手法が適切である。

大型貯水ダムによる表流水開発： 平均流入量の数倍の大型ダム・貯水池により利水目的で表流水を開発する。貯水池は経年貯留で運転され、開発した水はパイプラインで消費地へ輸送される。

大型貯水ダムと下流地下帯水層との連携による表流水・地下水開発： 貯水池の容量が小さい場合やダム地点の年流況が悪い場合は、下流の帶水層に地下水として貯留し、開発の増大をはかる。地下水涵養を促進する浸透井戸や浸透水路の設置により効果が増大する。

リチャージダムを利用した地下水開発： 比較的小規模のダムに、自然調節の放流施設を設置し、ダムから下流の流況を変えることでワジ河床からの浸透の増大を図る。

表 6 は 3 州に関連する主要ダムの開発流量 (調査団による計算)・計画給水流量 (MOWE の計画値)・帶水層との連携による開発量 (調査団による予備的な計算) を示している。

大型ダムにより年間 351MCM の表流水開発できることを調査団は求めた。下流の既得権者や新規灌漑がある場合は、これらの開発量はすべて給水に利用できる訳ではないが、MOWE の計画した計画給水流量よりも大きく、もっと計画給水量を増やすことができるかもしれない。また、調査団の予備的な検討で求めたダムと帶水層（ダムの 2 倍程度の滯水層）との連携による開発量から分かるように、開発流量は大きく増える。特に、Tabalah ダム、Hirjab ダム、Baysh ダム、Qanunah ダムではこの傾向が強い。

表 6 3 州に関する主要ダムの開発流量・給水計画流量・帶水層との連携による開発量

ダム名	河口の位置	年平均流量(MCM/Y)	貯水容量(MCM)	開発流量*1		開発比率*2(α)	計画給水流量*3(1000m³/日)	帶水層との連携による開発量*4(MCM/Y)	増加率
				(MCM/Y)	(1000m³/日)				
Aradah	東(砂漠)	15.2	68.0	6.7	18	44%	5	6.7	100%
King Fahd	東(砂漠)	69.1	325.0	55.3	152	80%	-	57.3	104%
Tabalah	東(砂漠)	12.3	68.4	3.6	10	29%	10	4.7	131%
Ranyah	東(砂漠)	99.6	219.8	32.9	90	33%	68	32.9	100%
Hirjab	東(砂漠)	16.8	4.6	3.4	9	20%	9	7.4	218%
Jizan	西(紅海)	78.9	51.0	23.7	65	30%	-	25.4	107%
Baysh	西(紅海)	104.6	193.6	73.2	201	70%	58	95.2	130%
Damad	西(紅海)	61.5	55.5	24.0	66	39%	36	25.2	105%
Hali	西(紅海)	122.3	249.9	97.8	268	80%	70	106.4	109%
Qanunah	西(紅海)	21.3	79.2	6.4	18	30%	10	13.2	206%
Yiba	西(紅海)	81.3	80.9	24.4	67	30%	-	26.8	110%
合計		682.9	1,395.9	351.4	964	51%		401.2	114%
合計	東(砂漠)	213.0	685.8	101.9	279	48%		109.0	107%
合計	西(紅海)	469.9	710.1	249.5	685	53%		292.2	117%

[Note] *1: 開発安全度 97% (10 年に一度、計画開発量の 30% が不足)、*2:*3: 開発比率 (α) = 開発流量 / 年平均流量、*3: MOWE が提案する給水計画流量、*4: ダム貯水池容量の 2 倍程度の滯水層と連携して開発した流量

(2) 海水淡水化水

本調査で明らかになった計画対象区域の再生可能水（表流水・浅層地下水）ポテンシャルや将来の水需要予測から、都市用水や工業用水の需要を充足するためには海水淡水化水事業の継続・拡張は不可欠である。MOWE の指導のもとに進められる SWCC の海水淡水化水事業は、今後とも、次のような事項を考慮して実施されるべきである。

- ◆ 安定水源： 海水淡水化水は半乾燥地域の特色である降雨量の大きな年較差を受ける再生水資源に比べて、予定した水量を確実に確保できる安定水源である。
- ◆ 高い生産コスト： 技術進歩によって海水淡水化水の生産コスト (SWCC Annual Report 2008 によれば 2.40SR/m³) は下がっているが、ダムによる再生水生産コストと比べて依然として 3 倍-4 倍ほど高い。
- ◆ 輸送距離の最小化： 海水淡水化水は海岸近くで生産されるので、消費地が海岸から遠いほど輸送コストが嵩む。例えば、SWCC レポートによれば、Shuqaiq から Abha までの輸送コストは 5.18 SR/m³ となっている。従って、輸送コストを低減するためには、消費地にできるだけ近くに海水淡水化プラントの建設を計画すべきは自明である。

(3) 下水再生水

下水処理水の再利用については、都市用水や工業用水としての利用は限定され消費量は少ないが、農業用水としての利用量は大きい。また、Al Baha 州や Asir 州では、全体農業用水量に比べても 21% から 25% と大きく、農業にとっても有望な水資源ポテンシャルとなる。

＜都市用水や工業用水としての利用メリット＞

都市用水の 5% が下水再生水で代替されるということは、都市用水需要が 5% 減ることになる。SWCC Annual Report 2008 によれば、海水淡水化水の水単価（生産コストと輸送コスト）は、3.5 SR/m³ から 8.0 SR/m³ である。特に、高原都市への給水は輸送コストが嵩み高くなっている。

<農業用水としての利用への提案>

Al Baha 州や Asir 州では下水処理水の可能農業用水利用率が 20%以上と高い。従って、利用促進を優先的に考えた場合、特に、Al Baha 州や Asir 州の起伏の多い高原都市では、下水処理・利用システムとして、集中型システムより分散型システムを薦める。

<海水浸入対策としての利用 →下水処理水を用いた人工涵養の提案>

海水浸入の対策として、地下水人工涵養による地下水位の上昇が有効であり、人工涵養の水源として下水処理水を利用することを提案する。このシステムは、Jizan 市の下水処理水を使って、塩害の影響が出ている同市南部の地域で適応が可能できそうである。今後、詳細確認が必要である。

4.2 給水計画

(1) Al Baha 州

表 7 Al Baha 州の給水計画

水資源	-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
1. 既存の水源(m ³ /日)	29,000	59,000	19,000	19,000	19,000	19,000
1.1 再生可能水	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000
• Aradah Dam (B)	5,000					
• Al Aqiq Dam (B)	4,000					
• Wadi Thrad Dam (B)	5,000					
• Qilwah Well (B)	2,000					
• Mukwah Well (B)	1,000					
• Al Aqiq Well (B)	1,000					
• Others Wells (B)	1,000					
1.2 海水淡水化水	10,000	40,000	0	0	0	0
• Shuaiba D. P. (M)	10,000	40,000	0	0	0	0
2. 新規の水源(m ³ /日)		51,000	91,000	91,000	116,000	116,000
2.1 再生可能水		51,000	16,000	16,000	16,000	16,000
• Nilah & Qilwah Dam (B)		11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
• Al Janabin Dam (B)		5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
• Hali Dam (M)		35,000	0	0	0	0
2.2 海水淡水化水		0	75,000	75,000	100,000	100,000
• Dawqah D. P. (M)			75,000	75,000	100,000	100,000
3. 合計(m ³ /日)	29,000	110,000	110,000	110,000	135,000	135,000
4. 水需要(m ³ /日)	53,000	68,000	83,000	97,000	115,000	135,000

[Note] (B):Al Baha Region, (M):Makkah Region

(2) Asir 州

表 8 Asir 州の給水計画

水資源	-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
1. 既存の水源(m ³ /日)	122,000	122,000	122,000	122,000	122,000	122,000
1.1 再生可能水	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
Existing Wells	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
1.2 海水淡水化水	82,000	82,000	82,000	82,000	82,000	82,000
Shuqaiq D. P. (J)	82,000	82,000	82,000	82,000	82,000	82,000
2. 新規の水源(m ³ /日)		245,000	375,000	482,000	557,000	557,000
2.1 再生可能水		70,000	200,000	200,000	200,000	200,000
Bayash Dam (J)	-	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
Hali Dam (M)	-	35,000	70,000	70,000	70,000	70,000
Tabalah Dam	-	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Hirjab	-		9,000	9,000	9,000	9,000
Ranyah Dam	-		68,000	68,000	68,000	68,000
Qanunah Dam (M)	-		18,000	18,000	18,000	18,000
2.2 海水淡水化水		146,000	146,000	221,000	296,000	296,000
Shuqaiq D. P. (J)	-	146,000	146,000	221,000	296,000	296,000

水資源	-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
2.3 化石水		29,000	29,000	61,000	61,000	61,000
Wajid Fossil Water	-	29,000	29,000	61,000	61,000	61,000
3. 合計(m ³ /日)	122,000	367,000	497,000	604,000	679,000	679,000
4. 水需要(m ³ /日)	295,000	361,000	432,000	495,000	571,000	648,000

Note) (J): Jazan Region, (M): Makkah Region

(3) Jazan 州の給水計画

表 9 Jazan 州給水計画

水資源	-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
1. 既存の水源(m ³ /日)	140,000	140,000	140,000	137,000	137,000	137,000
1.1 再生可能水	136,000	136,000	136,000	136,000	136,000	136,000
Existing Wells	136,000	136,000	136,000	136,000	136,000	136,000
1.2 海水淡水化水	4,000	4,000	4,000	1,000	1,000	1,000
Shuqaiq D.P (J)	3,000	3,000	3,000	0	0	0
Shuqaiq D.P (J)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2. 新規の水源(m ³ /日)	0	149,000	193,000	246,000	301,000	301,000
2.1 再生可能水	0	69,000	78,000	78,000	78,000	78,000
Bayash Dam	-	33,000	33,000	33,000	33,000	33,000
Damad Dam	-	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000
Qissi Dam	-	-	9,000	9,000	9,000	9,000
2.2 海水淡水化水	0	80,000	115,000	168,000	223,000	223,000
Shuqaiq D.P	-	72,000	72,000	0	0	0
Farasan D.P	-	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Sabya D.P	-	-	35,000	160,000	215,000	215,000
3. 合計(m ³ /日)	140,000	289,000	333,000	383,000	438,000	438,000
4. 水需要(m ³ /日)	203,000	238,000	286,000	329,000	379,000	436,000

[Note) (J): Jazan Region, (M): Makkah Region, (N): Najran Region

4.3 水需要管理

(1) 都市用水－供給原単位の低減にかかる提案

- ◆ 節水型機器の導入促進（洗濯機、食器洗い機、水洗トイレ）
- ◆ 工場内の施設更新の促進
- ◆ 水道料金、下水道料金体系の見直し
- ◆ 教育、啓蒙による節水意識の向上

(2) 都市用水－漏水率の改善にかかる提案

- ◆ 老朽化管路の計画的な更新
- ◆ 流量計による供給量と実際の配水量の検証の徹底
- ◆ 漏水診断技術の導入

(3) 農業用水－需要量抑制のための将来の作付計画

- ◆ 節水かんがい方式の普及等による水管理技術の支援、
- ◆ 農民への節水意識の普及
- ◆ 飼料作物、穀類のような単位使用水量の大きい作物から需要増が期待できる果樹、単位使用水量の小さい野菜への作付転換

4.4 運営維持管理

(1) 総合水管理システム

M/P では、従来はほとんど積極的に管理されていなかった再生可能水（表流水、地下水）の管理を積極的、計画的に行うシステムを提案する。従来、表流水や地下水は、MOWE 地方事務所が生活用水供給のために管理しているダムと井戸群以外は、ほとんど個人的に管理、使用されてきた。このため、再生可能水を管理し、供給することを担っている既存組織は、MOWE 地方事務所のみで

ある。

また、州をまたがって総合的に水管理を行う計画を提案する。特に再生可能水を積極的に利用するための中核となる組織として RWPC (Renewable Water Production Corporation : 再生可能水生産公社) の新設を提案する。また、MOWE と農業省(MOA)との調整を行う委員会として、水調整委員会(Water Authority)を提案する。

(2) ダムによる地下水涵養

ダムと下流地下帯水層との連携によるワジ表流水の開発

貯水容量が大きいほど開発量や開発率(開発量/平均流入量)が大きくなる。従って、ワジ表流水の開発を増大するためには、ダムの貯水池と下流地下帯水層との連携でワジの水資源開発が必要となる。

リチャージダムと連携した地下水の開発

調査地域における地下水は主にワジ流水からその河床を通じ涵養されている。地下水涵養量を増やすためには、地下水涵養ダムなどの施設設置が有効である。ダムによってワジの流量を調整し河床からの地下水涵養量を増やす。ワジ河床からの地下水涵養には以下の特性があり、涵養ダム計画に当たってはこれを考慮する必要がある。

(3) 組織・管理体制

<組織改善案の提案>

水調整委員会および水審議会 (Water Authority, Water Council)

この組織は政策決定レベルの強化のために設置されるものである。水調整委員会は、水に関する各省庁の大蔵、長官により構成され、国家水政策の大方針の決定および関係省庁間の調整を行う。また、複数の州が関係するような広域的、あるいは州都のような重要な地区の水資源開発管理計画はこの水調整委員会および水審議会で合意される。

水審議会は、水政策の諮問機関として関係省庁の副大臣、副長官および学識経験者により構成され、水調整委員会の諮問に対し審議し、政策案等の提案を行う。

再生可能水生産公社 (RWPC : Renewable Water Production Corporation)

この組織は、再生可能水の開発管理に係る事業実施のために設置されるものである。国家の政策および水調整委員会および水審議会で合意された広域的、及び、重要な水資源開発管理計画に基づき、国あるいは主管する省庁からの委託にもとづき必要な事業を実施する。本公社は、MOWE を監督官庁とし、MOWE の監督指導のもとに事業を実施するものである。

水需給送水網に組み込み、統合運用を行なうダムおよびその他の大規模需要ダムの管理・維持、主要地下水盆の管理・維持を行い、主要な自然水源の取水、送水網を専門に管理し、自然水を供給するものとする。本公社は、以下の役割機能を果たす。

- 再生可能水を利用し、水道事業等への原水を供給する
- 大規模、中規模ダムの維持管理(洪水管理、取水管理、施設の維持管理)
- 主要地下水盆の維持管理(帶水層管理、揚水管理、水質管理、施設の維持管理)
- 取水自然水の幹線輸送(輸送制御、施設の維持管理)および販売
- MOWE よりの委託による大・中規模ダムや地下水取水施設の計画・調査・設計・建設
- 雨水貯留施設普及の推進

<既存組織の再編成>

MOWE 本省

MOWE 本省は、水調整委員会及び水審議会による水政策の大方針に基づき、水分野に関し、水政策に基づく水行政の計画立案、下部機関の管理、上水道・下水道事業実施の指導、大規模施設の計画から建設事業の管理を行う。また、水資源の開発利用に関する州にまたがる広域的、重要な事業

にかかる州間の調整を行うものとする。

地方水事務所

各地方水事務所は、NWC が管轄する大都市以外およびRWPC が管轄する施設以外の、所管地域の取水施設・送水網の維持管理、上水の給水・下水事業の実施、MOWE の指導の中・小規模施設の計画から建設事業管理を行う。また、水資源の開発利用に関する州内の事業にかかる調整を行うものとする。

SWCC (Saline Water Conversion Corporation)

SWCC は、MOWE の監督のもとで海水淡水化事業および発電事業を実施している事業実施機関である。引き続き同事業を継続、発展させる。

NWC (National Water Company)

NWC は、2008 年より稼動を始めた大都市の上水の給水事業・下水道事業の実施機関である。今のところ、Makkah 及び Jeddah の都市圏の水供給事業を実施している。それ以外の主要都市でも将来的には、MOWE の地方事務所が実施している水供給事業を NWC へ移管するものと思われるが、現時点では M/P 対象地域で Abha、Khamis Mushayt には、移管の計画がある。地下水を主とした水源開発事業も含まれるが、再生可能水にかかる水源開発事業は RWPC に移管し、上水配水事業および下水道事業に徹することを提案する。

＜農業用水管理のための組織・制度の提案＞

農業用水管理部 (MOA 各地方機関内) および農業協同組合の創設への提案

現在は、個々の農家が個別の井戸を使って灌漑に利用している。このため、水利用量の実態がつかみ難く、また、灌漑需要管理の普及等あまり進んでいない。そのため、農業セクターの取りまとめ・調整機能をもたせ、農業用水の持続的な利用および営農の持続的な発展のために以下の組織の創設を提案する。

農業用水管理部 (MOA 各地方機関内) は、農業用水管理および農民相互および他の水利用者間の調整を行う機関で、節水技術や下水再生水利用の指導・普及を行う。農業協同組合は、農家が共同で農産物の生産、販売、流通、節水技術を含めた農業技術の開発・導入を行うことを目的として設立する。これらの活動を通して農業用水の需要を管理する。

政府支援制度

政府の支援として、農民による事業および活動に行政機関が優先的に支援および政府補助金を優先交付する制度を導入し、以下の事業を推進することを提案する。

- ◆ 農業活動活性化を推進するための共同事業（農業協同組合設立を含む）
- ◆ 農業用水の減水化事業（節水作物への転換事業、節水施設建設事業など）
- ◆ 協同水管理移行事業

4.5 建設費の積算と実施工程

(1) 建設費の積算

M/P で提案した施設について、建設数量と単価により建設費を算定した。表 10 参照。なお、ダムについては、Ranyah ダム及び Hirjab ダムを除いて既に発注済みであることから建設費からは除いている。維持管理費については、最終年度で、298MCM に達する。

表 10 M/P に係る施設の建設費 (Million SR)

州	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total
Al Baha	1,247	105	0	29	0	1,381
Asir	1,528	1,284	387	0	0	3,199
Jazan	710	49	175	113	0	1,048
Total	3,485	1,438	562	143	0	5,628

表 11 M/P に係る施設の年間維持管理費 (Million SR/年)

州	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
Al Baha	17	43	43	43	43
Asir	81	120	131	138	138
Jazan	102	114	158	187	187
合計	130	207	262	298	298

(2) 実施工程

表 12 水供給施設の実施工程

施設区分	施設名称	建設期間	2006-10	2011-15	2016-20	2021-25	2026-30	2031-35	Remarks
Al Baha 州									
パイプライン	Dawqah - Al Baha	2011-2030		70	135	135	135		
	Hali-Dawqah	2011-2015		75					
	Al Baha - Al Alayah	2016-2020			65				
海水淡水化	Shuaibah	2006-2010	40	0					Return to Makkah
	Dawqah Plant	2016-2030			75	75	100		
再生可能水	Existing	2011-2015		19					
	Hali Dam	2011-2015		35	0				Return to Makkah
	Qanunah Dma	2011-2015		30	0				Return to Makkah
	Yiba Dam	2011-2020		38	0				Return to Makkah
	Al Janabin Dam	2011-2015		5					
	Nilah& Qilwah Dam	2011-2015		11					
Asir 州									
パイプライン	Shuqaiq - Abha	2006-2025	82	238	238	313			
	Shuqaiq - Al Birk	2016-2020			10				
	Abha -Al Alayan	2016-2020			40				
	Abha -Al Janabin	2021-2025				19			
	Al Baha - Al Alayah	2016-2020			65				
	Al Alayan - Bisha	2016-2020			65				
海水淡水化	Shuqaiq	2006-2025	82	238	238	313			
化石水		2016-2025		29	29	61			
再生可能水	Existing	2006-2010	57						
	Baysh	2011-2015		25					
	Hali	2011-2015		35					
	Tabalah	2011-2015		16					
	Hirjab	2016-2020			9				
	Ranyah	2016-2020			68				
Jazan 州									
パイプライン	UKAD-Samtah	2011-2015		75					
	Baysh	2011-2015		33					
	Damad	2011-2015		36					
海水淡水化	Qissi	2016-2015			9				
	Shuqaiq	2006-2025	3	75	75	0			No use in 2025
	Sabya	2016-2030			35	160	215		

注)実施工程をパターン着色で示す。また、パターン内の数字は、整備目標の合計給水量（生産量）である。水量の単位は1000m³/日。

4.6 水 M/P の評価

(1) 技術的評価

本調査で提案された3州の水 M/P は、技術的な資料・基準・判断や適切な策定手順に従って立案されたものであり、技術的に妥当なものと評価できる。

(2) 経済・財務評価

財務分析の結果

水道料金収入を水開発計画の便益に適用して財務分析を行った。6.5%で割引いた便益・費用比率は0.10である。勿論この結果は水道料金の低い設定によるものである。現在の水道料金構造のま

まで、水道料金によって全ての費用を賄うためには、現在の料金レベルをおよそ 10 倍にしなくてはならない。

経済分析の結果

内部収益率 (IRR) は 6.8%と計算された。水開発部門の標準的な割引率はおよそ 6~7%と考えられることから、提案された水開発計画は経済的観点において実現可能と評価できる。この計算結果は、新規の広域水開発において、標準的な割引率を考慮しても経済的に見合う脱塩水、表流水、地下水の組み合わせの一つのモデルが、本水開発計画であるということを示している。

(3) 社会、自然環境面からの評価

自然環境面での影響と緩和策

本 M/P では、調査団は新規にダム、パイプライン及び淡水化施設の建設を提案しており、これらの施設に対して、初期環境影響評価 (IEE) レベルで環境社会配慮調査を実施した。現段階では、施設の詳細な位置や配置、規模や機能が確定されておらず、不確実性を多く含む予測であるが、地下水、流況、動植物、水質汚染及び騒音・振動等の環境要因について負の影響が及ぶ可能性が予測された。しかし、施設の配置計画の詳細な検討や各種環境緩和策の実施により、環境への影響を軽減することが可能であると考えられる。

代替案の検討

戦略的環境影響評価の考え方に基づき、以下の 3 案について、影響の予測の比較検討を行った。

- A 案： 本 M/P を実施しないゼロオプション
- B 案： 本 M/P で計画された案
- C 案： 本 M/P の代替案である淡水化施設のみによる水供給を行う案

ゼロオプション (A 案) では、自然環境の保全が保たれるものの、将来の水供給量不足により、社会環境に影響が及ぶ可能性が予測される。代替案 (C 案) では、地域的な公害が発生する他、複合的な影響により地球温暖化等の項目に負の影響が及ぶことが予測された。

調査重点項目の提案

新規のダム、パイプライン及び淡水化施設の建設については、「サ」国の環境法令では F/S 実施時に環境影響評価 (EIA) を実施することが定められている。本調査において負の影響を及ぼすと予測された項目を中心に EIA を実施し、より具体的な環境負荷緩和対策を検討することが望まれる。

4.7 効果

(1) 水 M/P の実施

提案した水 M/P は、各セクターの既存計画を考慮しながら、調査団の予測した将来 2035 年までの社会経済フレームに基づいた合理的な計画を提案している。提案された水 M/P は、今後起こり得る水問題を解決できるように計画されており、提案された事業が、それぞれの実施工程に従って確実に実施されることが必要である。

(2) 給水計画における対象ダムの計画給水量の確認

調査団の給水計画は、MOWE によって提供された計画給水量を使用したものである。今後、それぞれのダムの運転を始めるに当たっては、ダムの計画開発流量がこの計画給水量に加えて、下流の既得権流量や新規の灌漑流量を包含できるかどうかの確認が必要である。併せて、ダムの運転ルールや維持管理方法の検討が必要になる。

(3) 下水処理水の再利用の推進

Al Baha 州や Asir 州などの山地高原地域では、下水処理水の再利用を促進することを主眼にして、地形を配慮した分散型下水処理システムを推薦する。また、Jazan 州では、下水処理水を使った海岸部での塩水防止対策案を提案している。それぞれの州での下水処理事業の運用に併せて、これらの下水処理水の再利用事業が開始できるように、F/S の実施を提案する。

(4) 給水計画（新規海水淡水化プラントの妥当性調査）

本調査で明らかになった計画対象区域の再生可能水資源（表流水・浅層地下水）ポテンシャルや将来の水需要予測から、都市用水や工業用水の需要を充足するためには海水淡水化水事業の継続・拡張は不可欠である。しかしながら、SWCC の海水淡水化水事業は、ダムによる再生水生産コストと比べて依然として 3 倍-4 倍ほど高いため、今後とも生産コストの低下を図るべきである。また、送水コストも高いことから、輸送距離の最小化を図るために、消費地にできるだけ近い地区に海水淡水化プラントの建設を計画すべきである。本 M/P では、Makkah 州の Dawqah と Jazan 州の Sabya の 2 ヶ所に海水淡水化プラント事業を提案している。引き続き、F/S の実施を勧告する。

(5) 都市用水における需要管理の実施

都市用水の需要管理として、供給原単位を低減するため、節水型機器の導入、料金体系の見直し、工場内の施設の節水機器更新、教育、啓蒙活動を提案した。また、漏水率の改善にかかる提案としては、老朽管路の早期更新、流量管理の促進、漏水診断技術の導入等を提案した。これらの施策は、コストを要するものであるが、長期的な観点から、何基かのダムによる水源開発が不要となるほどの効果が見られることから、財政的な削減効果が大きい。関連機関が一体となってこの施策を実施すべきである。

(6) 農業用水における需要管理の実施

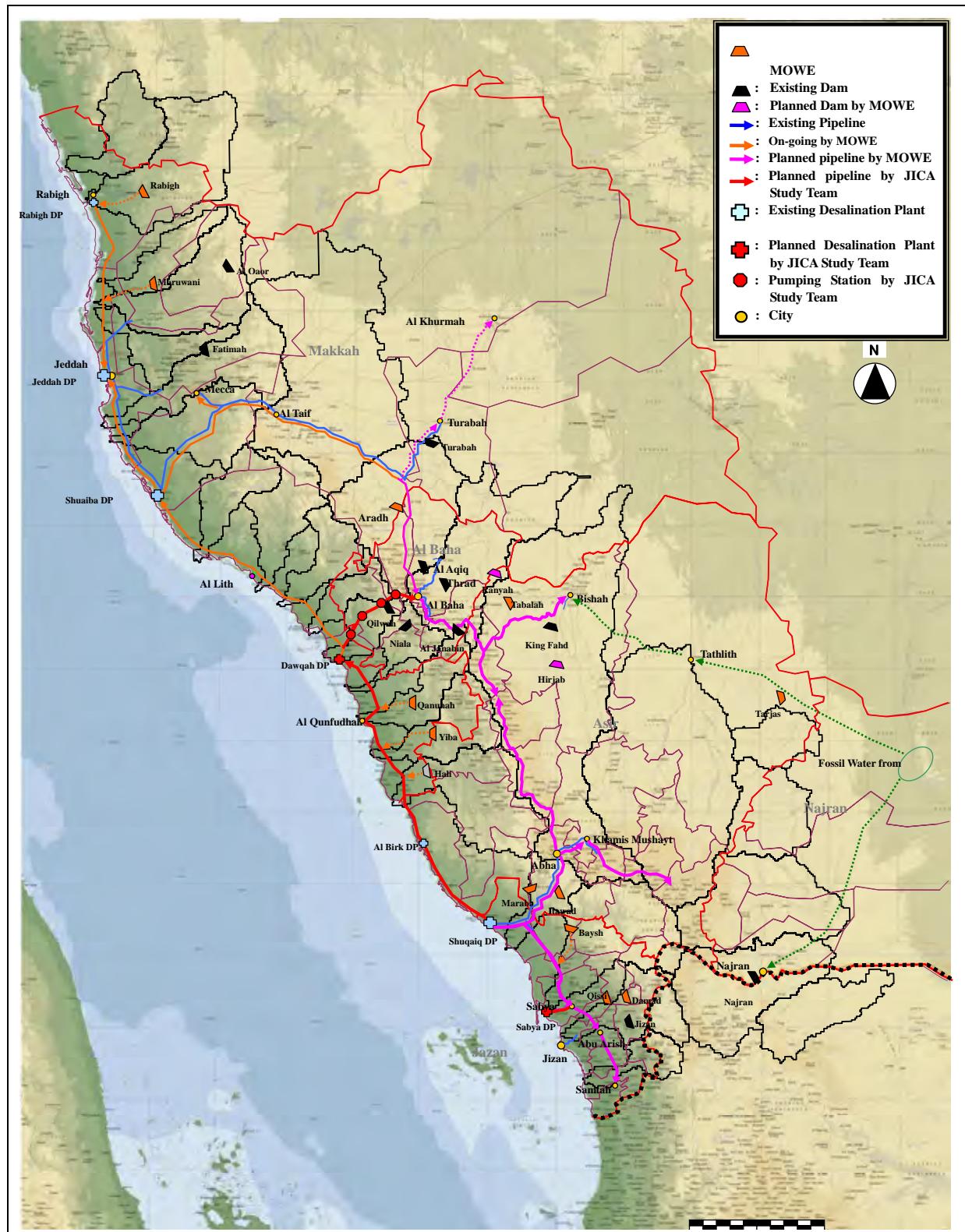
農業における需要管理として、飼料作物、穀類のような単位使用水量の大きい作物から需要増が期待できる果樹、単位使用水量の小さい野菜への作付転換が最も現実的な施策と考えられる。また、近代的な灌漑手法も効果が期待できる。MOA の積極的な関与が望まれる。

(7) 総合水管理システムの運営・維持管理に関する調査の継続

本 M/P は、総合水管理の中核となる組織として RWPC (Renewable Water Production Corporation : 再生可能水生産公社) の新設を提案する。この組織の目的は、再生可能水資源の開発、管理、供給業務を監督するとともに、関係機関との水供給の調整を図るものである。本 M/P では、MOWE 並びに地方事務所(GDW)、他省庁、SWCC、NWC 等の水関連機関の役割や活動内容を提案しているが、引き続き、RWPC の設立に関連する F/S の実施を勧告する。

(8) 総合水管理システムの紅海水ライフルイン事業 (REWLIP : Red Sea Water Lifeline Project) に関する調査の継続

この大型の水資源開発（再生可能水と海水淡水化水を同時に開発する）と 4 州にわたる広域導水システムは、「サ」国にとって初めてでかつ最も重要なプロジェクトである。本 M/P では、ダムからの計画給水量として、MOWE の計画値が用いられているが、調査団の提案したように、ダムと下流帯水層との連携により、より多くの再生可能水資源開発が期待できる。この重要プロジェクトの F/S の実施を勧告する。



紅海水ライフルイン事業の概念図

パート-A 調査の運営

第1章 調査概要

1.1 調査の概要

サウジアラビア国（以下、「サ」国）は、国土の大部分が砂漠・乾燥地帯であり、水資源の確保が国民生活と国内産業を支える重要課題である。近年の急激な人口増加と都市化及び工業化の進展に伴い、水需要も急増しており、この問題への的確かつ迅速な対応が迫られている。

国土の大部分が年間降雨量 100mm にも達しないという「サ」国の中で、南西地域では降雨量が 200mm–500mm の範囲にあり、全国的に見て降雨量に恵まれている。この貴重な降雨による水資源が、海（紅海）への流出、地下浸透などで、これまで十分有効には活用されてこなかった。しかし、近年になって、「サ」国の経済状態が急激に進展したことから、各地で水資源開発プロジェクトが実施されるようになってきている。

このため、「サ」国政府は再生不可能な化石水の利用を制限し、その他の水源からの供給割合を増大させるという基本方針を立て、2000 年に、南西地域における表流水及び循環地下水を主体とした再生可能な水資源の開発・管理に関するマスター・プラン(M/P)作成を我が国に要請した。要請に至る前の 1999 年 11 月、「サ」国より、水資源分野に対する我が国の協力を求める意向が表明され、2000 年 4 月に要請背景調査団、同年 10 月にプロジェクト形成調査団を派遣して、「南西地域再生可能水資源開発計画」の案件形成を行っている。

本件調査については、2006 年 12 月に要請の内容、実施体制の再確認を行う予備調査が行われた後、2007 年 1 月 12 日から 2 月 8 日の間、事前調査団が派遣された。事前調査では、本格調査に係わる内容・範囲及び実施体制等を確認するための協議を行い、1 月 21 日に、S/W 及び M/M の内容に合意して、事前調査団長と水・電力省水担当副大臣の間で署名された。

本調査は、2007 年 6 月に開始され、現地調査、水利用、水資源等に関する現況把握、データ収集結果等を整理したプログレス・レポート(1)を 2008 年 2 月に提出した。2009 年 6 月には、水需要予測の概略検討と水資源ポテンシャルを算出し、これらを基に、2035 年を計画目標とする、総合水資源管理の基本戦略を策定するとともに、M/P 策定の対象地域をアル・バハ州、アシール州、ジャザン州の 3 州に選定した結果をとりまとめた、インテリム・レポートを提出した。

2010 年 1 月には、再生可能水資源並びに海水淡水化水、下水再生水の水資源開発計画を立案し、これらの運営維持管理計画、事業実施計画、建設コストを検討し、経済、財務評価、環境社会評価を行ったプログレス・レポート(2)を提出した。

2010 年 5 月には、調査対象である 5 州における水開発、管理の基本戦略、アクション・プラン並びに M/P 対象州である 3 州における水 M/P を策定した結果をとりまとめたドラフト・ファイナル・レポートを作成し、「サ」国政府と説明、協議を行った。

1.2 調査の目的

本調査の目的は下記のとおりである。

- 1) 「サ」国南西地域における持続可能な水資源開発、利用、及び管理のための基本政策、戦略及び実行計画を策定する。
- 2) 実行計画に基づき、選択された州に対して持続的水資源の M/P を策定する。
- 3) 水・電力省 (MOWE) の職員に対して、関連技能・技術の移転を行う。

1.3 調査対象地域

調査対象地域は、南西部に位置するマッカ(Makkah)州、アル・バハ(Al Baha)州、アシール(Asir)州、ジャザン(Jazan)州、ナジラン(Najran)州の 5 州であり、フェーズ 1 調査として、持続可能な水資源開発、利用、及び管理のための基本政策、戦略及び実行計画を策定している。

フェーズ 2 調査としては、アル・バハ(Al Baha)州、アシール(Asir)州、ジャザン(Jazan)州の 3 州を選定し、水 M/P を策定している。

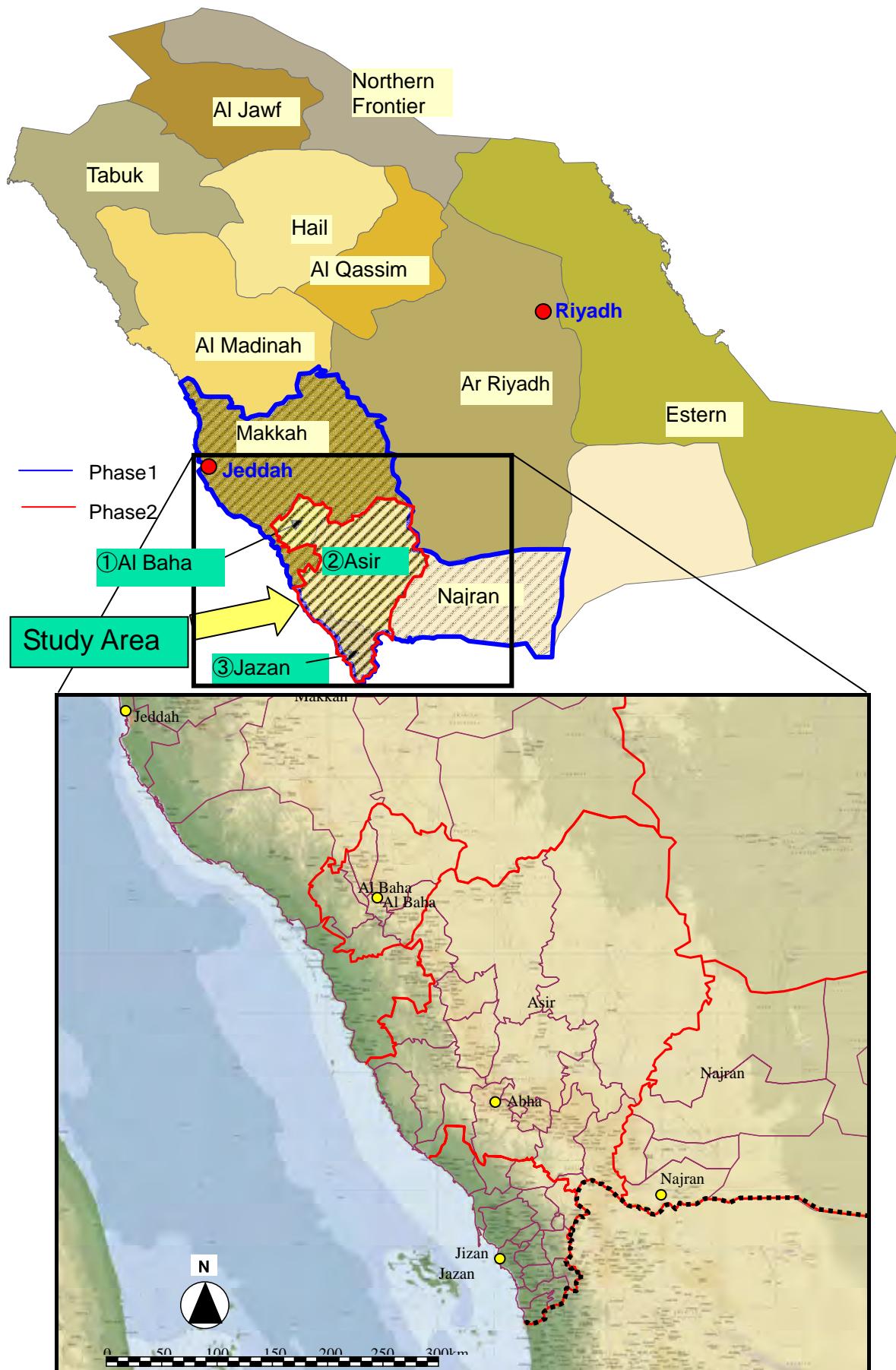


図 A. 1-1 調査対象地域

1.4 調査スケジュールと調査フロー

全体調査は、全工程(約 37 ヶ月間)を 2 つのフェーズに分けて、次の通り実施されている。

フェーズ 1：基礎調査及び総合水資源開発・管理の基本政策、戦略、実行計画の策定

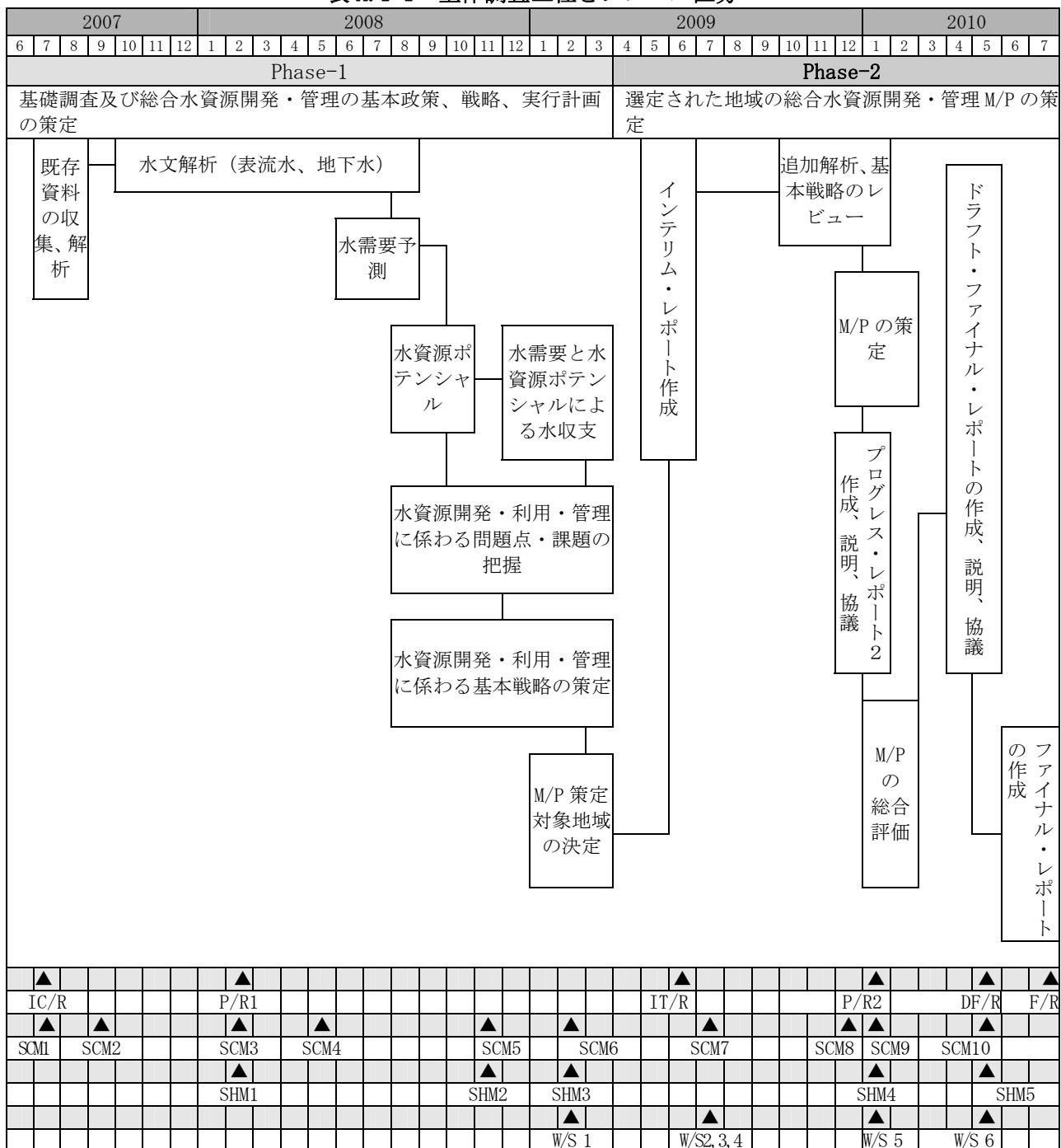
(2007 年 6 月～2009 年 3 月)

フェーズ 2：選定された地域の総合水資源開発・管理 M/P の策定

(2009 年 4 月～2010 年 7 月)

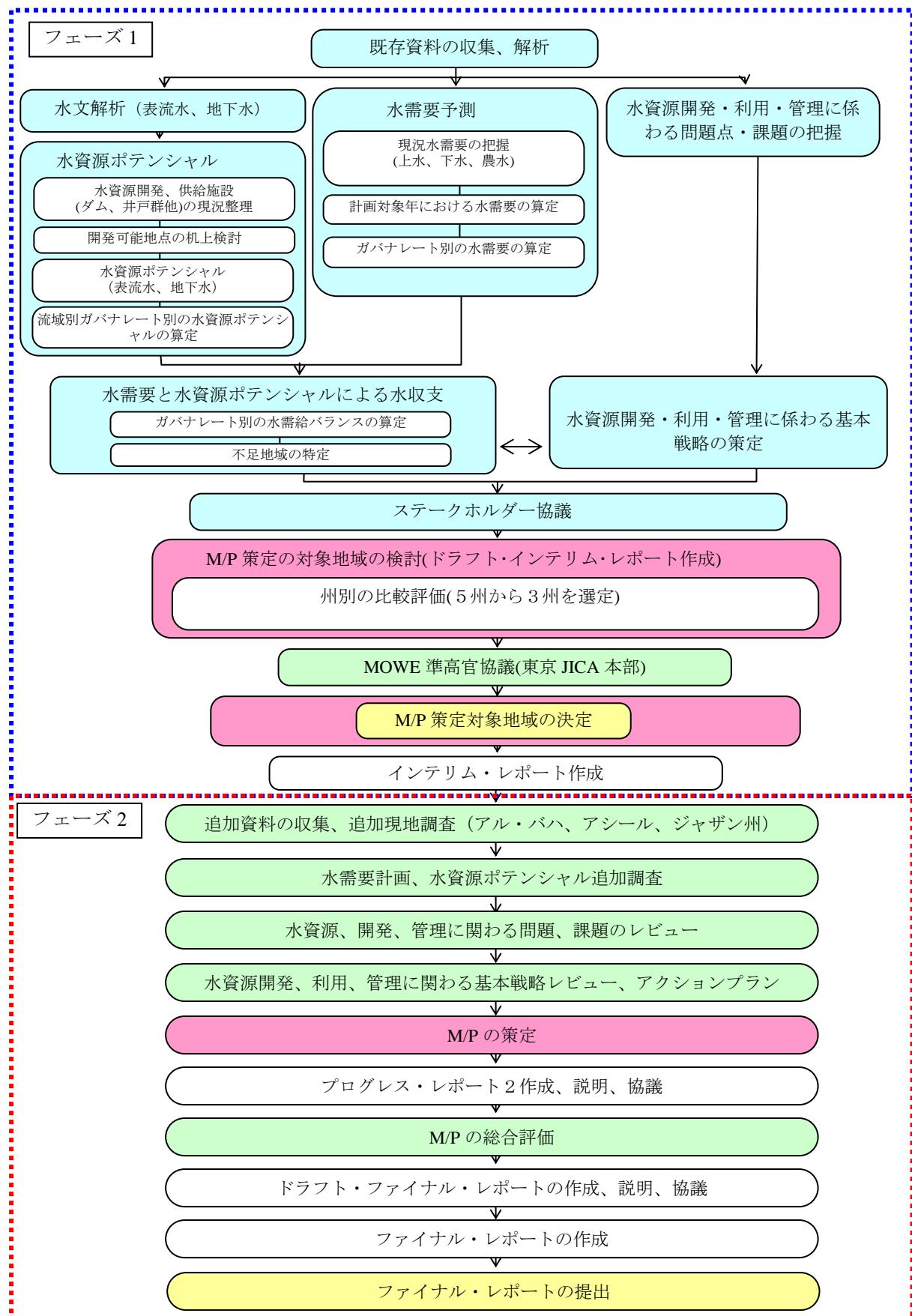
調査工程、調査フローを以下に示す。

表 A.1-1 全体調査工程とフェーズ区分



Notes) IC/R: Inception Report, P/R1: Progress Report (1), IT/R: Interim Report, P/R2: Progress Report (2), DF/R: Draft Final Report, SCM: Steering Committee Meeting, W/S: Workshop, SHM: Stakeholder Meeting

調査フローを以下に示す。



図A.1-2 南西地域総合水資源開発・管理計画調査の全体調査フロー

第2章 調査体制と調査の運営

2.1 運営体制

本調査の運営は、図 A. 2-1 に示す体制で実施した。

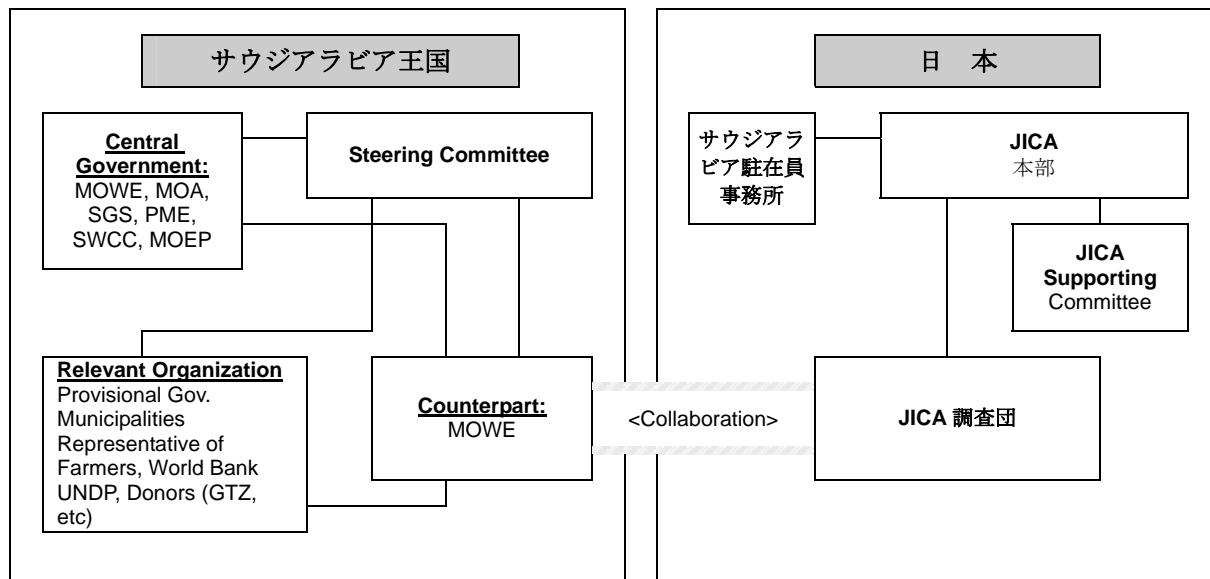


図 A. 2-1 調査の運営体制

2.2 ステアリングコミッティ・カウンターパート・JICA 調査団

調査におけるステアリングコミッティ、カウンターパート、JICA 調査団の編成は、以下の通りとなる。

表 A. 2-1 ステアリングコミッティの編成(Ministry of Water and Electricity)

Position	Name	Position or Job Title
Chairman	Dr. A Mohammed I.Al Saud	Deputy Minister of Water Affairs, MOWE (Phase II)
Chairman	Dr. Ali Saad Al-Tokhais	Deputy Minister of Water Affairs, MOWE (Phase I)
Member	Mr. Said Ali Al Duair	Director General for Water Resources Development Department, MOWE (Phase II)
Member	Mr.Ahmed bin Abdullah Al-Ghamdi	Director General for Water Resources Development Department, MOWE (Phase I)
Member	Mr. Abdulaziz Al-Kahlan	Director of Hydrology Division, MOWE
Member	Mr. Helal Ayedh Al-Harthi	Director of Water Research & Studies Division, MOWE
Member	Mr. Ahmed Al-Khalifa	Assistant Director of Water Research & Studies Division, MOWE
Member	Mr. Fahad Ahmed Al-Beajan	Senior Geologist, MOWE
Member	Mr. Metib Al-Khatany	Senior Geologist, MOWE
Member	Mr. Abdulaziz bin Saleh Al-Hassan	Senior Hydrogeologist, MOWE
Member	Mr.Hatim Sarin H. Ratah	Senior hydrologist
Member	Mr. Ghanem Abdulaziz Al-Ghanem	Hydrologist, MOWE
Member	Mr. Saleh Al Meeman	Engineer of Project Execution Department, MOWE

表 A. 2-2 カウンターパート一覧 (地方水事務所 General Directorate of Water)

Position	Name	Position or Job Title	Region
Member	Mr. Habib Mohammed Khayat	Senior Geologist	Makkah
Member	Mr. Hani Othman Kemrin	Senior Geologist	
Member	Mr. Jaber Al-Fifi	Senior Geologist	Al Baha
Member	Mr. Awadh Mahdi Al-Gharni	Senior Geologist	
Member	Mr. Ahmed bin Siraj	Senior Geologist	Asir
Member	Mr. Abdullah bin Ali Al-Shihri	Senior Geologist	
Member	Mr. Ahmad Hassan Nejmi	Senior Geologist	Jazan
Member	Mr. Ibrahim Souwaidi	Observer	
Member	Mr. Faris bin Mohammed Dakhil	Senior Geologist	Najran
Member	Mr. Abdullah bin Rashid Debis	Senior Geologist	

表 A.2-3 JICA 調査団員一覧

Name	Position in the Study Team or Job Title
Mr. WATANABE Masatomo(渡辺正知)	Team leader
Mr. NAKAGAWA Yoshio(中川喜夫)	Project Director
Mr. TAKAHASHI Toru(高橋 亨)	Deputy Team Leader / Water Resources
Mr. SHIRAI SHI Masayuki(白石真之)	Deputy Team Leader / Water Resources Development Management (Phase I)
Mr. OCHII Yasuhiro(落井康裕)	Deputy Team Leader / Water Resources Development Management (Phase I & II)
Mr. KANAMURA Hidetoshi(金村秀敏)	River/Hydrology (Phase I)
Mr. NAKAMURA Hiroshi (中村 浩)	River/Hydrology (Phase II)
Mr. KATO Izumi(加藤泉)	Geology/Hydrogeology
Mr. NAKANO Toshinobu(中野敏信)	Agriculture / Irrigation
Mr. FUJIYAMA Taketoshi(藤山剛敏)	Water Supply (Desalination, Waste Water Reuse)
Mr. SHINGU Tamotsu(神宮 保)	Facility Design / Cost Estimate
Mr. Pirran D. DRIVER (P.D. ドライバー)	Environmental and Social Consideration (Phase I)
Mr. HARA Takashi(原 崇志)	Environmental and Social Consideration (Phase II)
Mr. NAKANISHI Sampei(中西三平)	Social / Organization / Institution (Phase I)
Mr. OURAI Hisashi(大浦 寿)	Social / Organization / Institution (Phase II)
Mr. NATSUDA Shohei(夏田照平)	Economic and Financial Analysis
Mr. ONO Shigeru(小野 茂)	GIS Expert
Dr. EIBO Ahmad (エイボ・アハマド)	Interpreter (Phase II)
Mr. KATO Atsushi (加藤篤志)	Coordinator (Computer specialist)

ステアリングコミッティの開催概要を整理すると、以下の通りとなる。

表 A.2-4 ステアリングコミッティの開催と主要議題

開 催	開催時期	主要議題
第1回目	2007.07.08	インセプション・レポートの説明、協議
第2回目	2007.08.25	プラン・オブ・オペレーション(P0) レポートの説明、協議
第3回目	2008.02.27	プログレス・レポート(1)の説明、協議
第4回目	2008.05.12	調査工程変更
第5回目	2008.11.13	5州の水資源開発基本方針、戦略、将来水供給計画
第6回目	2009.02.23	ドラフト・インテリム・レポート、M/P 検討対象州
第7回目	2009.06.16	インテリム・レポート、統合水資源管理の基本方針、戦略
第8回目	2009.11.16	再生可能水資源開発、淡水化開発水、水資源管理計画
第9回目	2010.01.26	プログレス・レポート(2)、再生可能水資源開発計画
第10回目	2010.05.26	ドラフト・ファイナル・レポートの説明、協議

2.3 ステークホルダー協議

ステークホルダー協議は、JICA 調査団の調査概要の説明、水利用、水資源に関する懸案、問題の聴取等を目的として、フェーズ 1 において 3 回、実施した。フェーズ 2 においては、M/P の概要説明とこれに対する意見聴取を目的として、4 回、実施した。開催概要を以下に示す。

表 A.2-5 ステークホルダー協議の開催概要

開 催	開催日	説明内容、開催場所、出席者数
第1回目	2008.02.14	JICA 調査概要、水に関する課題、Abha、Asir 州、51 名
第2回目	2008.10.10	同上、Al Baha 州、80 名
第3回目	2009.03.10	同上、Jizan、Jazan 州、60 名
第4回目	2010.01.19	5州の水戦略、アクションプラン、給水計画、Abha 38 名
第5回目	2010.05.18	Al Baha 州・Asir 州・Jazan 州の水 M/P 45 名

2.4 ワークショップ

ワークショップは、水資源開発計画、水需要に関する情報交換、意見聴取、現地で観測した表流水、伏流水の観測の情報交換、技術移転等を目的として実施した。実施概要を以下に示す。

表 A.2-6 ワークショップの実施概要

開催	開催日	場所	実施概要
第1回目	2009.03.28	Wadi Hirjab, Bisha (Asir州)	ワジ表流水、伏流水観測と観測手法
第2回目	2009.06.08	Abha (Asir州)	水資源ポテンシャル、需要予測、M/P
第3回目	2009.06.13	Al Baha (Al Baha州)	現況水供給とダム水開発計画、淡水化水供給計画
第4回目	2009.06.13	Jizan (Jazan州)	水収支、SWATモデル説明、農業需要
第5回目	2010.01.12	Abha (Asir州)	水戦略、政策、行動計画、水M/P
第6回目	2010.05.26	Riyadh (Riyadh州)	水M/P、水資源開発、管理シミュレーション、コンパクト下水処理装置

2.5 再委託調査

再委託調査は、表面流出量、伏流水を把握するための水文調査、対象地域の環境に関する初期環境影響評価調査に関するものである。実施概要を以下に示す。

表 A.2-7 再委託調査の概要

調査区分	委託先	実施場所、流域	実施概要
ワジ水位流量観測	Thobaity Office	Wadi Hirjab、Wadi Tabalah、Wadi Habawnah	3ワジ(Wadi Tabalah、Hirjab、Habawnah)を対象として、水位と流速の観測を行う。観測期間は1年間とする。
伏流水観測	Thobaity Office	Wadi Hirjab、Wadi Tabalah、Wadi Habawnah	3ワジを対象として、ワジにおける伏流水を観測する。伏流水の挙動観測は井戸の地下水位の測定により行う。
地下水位観測	Saudi Geo-physical	調査対象流域200井戸を選定	対象流域の観測井から200井を選定して、2ヶ月に1回ずつ水位を観測する。
初期環境影響評価調査	Thobaity Office	計画流域の水源地域、保護区域等	計画サイト、水源施設近傍の動植物に関して、保護区の現状、貴重種や絶滅危惧種の分布域等を整理する。水源の水質を収集、整理する。

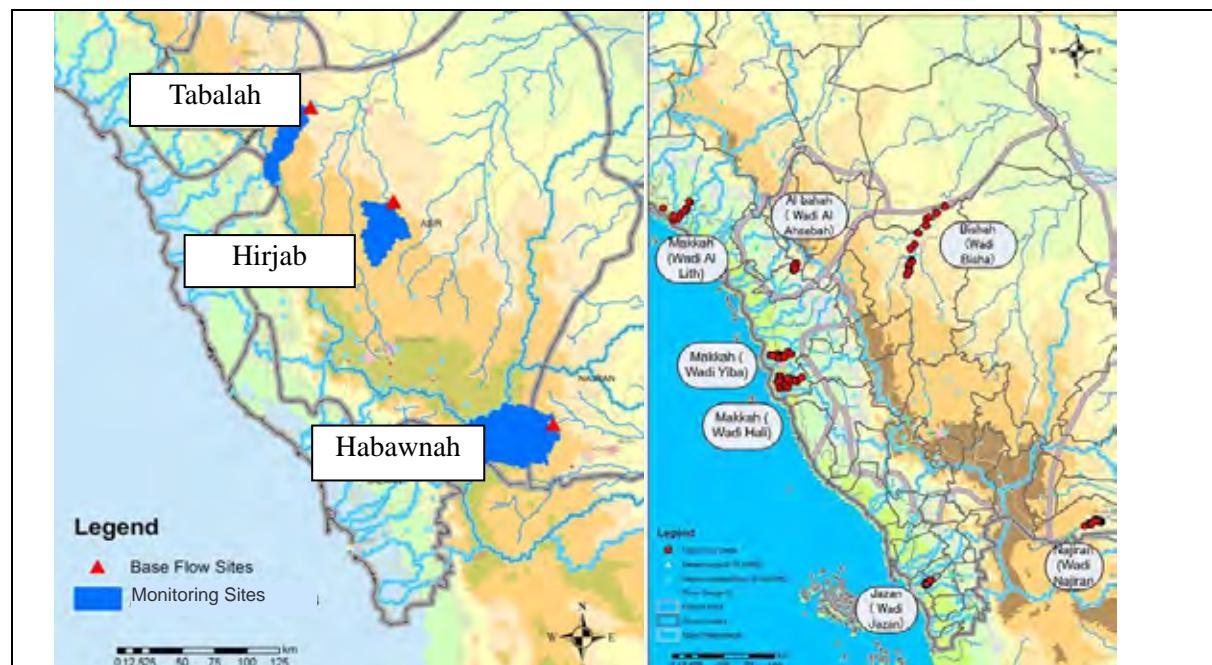


図 A.2-2 現地再委託の観測位置図

2.6 日本におけるカウンターパート研修

カウンターパート研修は、日本の水資源開発計画、管理計画、運営等の紹介、水資源施設の管理、運営技術の移転等を目的として、2008年と2009年の2回にわたり実施した。また、準高官研修については、2009年6月から7月にかけて、今後の水分野での技術の紹介、技術協力の可能性の協議を目的として、サウド水分野担当副大臣、ドゥアイール水資源総局長、ヘラール水資源調査局長、カリーファ同次長の4名を迎え、JICA本部で本調査のM/Pに関しての討議を行うと共に、国土交通省、農林水産省、水資源機構等の幹部との協議を行った。これらの実施概要を以下に示す。

表 A.2-8 カウンターパート研修の概要

研修期間	研修生数	実施場所	研修プログラム
2008年 7月10日 ～ 7月29日	水・電力 省10名 (本省 Fahad課 長他課長 係長級)	1) JICA 東京 2) 八千代エンジニアリン グ(株) 3) 淀川水系木津川、琵琶 湖総合管理事務所 4) 利根川水系利根導水總 合管理事務所	1) 日本の水資源開発 2) 都市用水の水需給計画 3) 水資源開発事業における環境問題とその対応 4) 水資源開発計画におけるGISの活用 5) 地下水ポテンシャルの評価 6) リモートセンシングの水資源開発への応用 7) 現地視察 (①比奈知ダム ②琵琶湖 ③川治ダム ④荒川遊水池)
2009年6 月29日 ～ 7月3日	水・電力 省4名 (Saud水 分野担当 副大臣ほ か局長 級)	1) JICA 東京 2) 八千代エンジニアリン グ(株) 3) (独)水資源機構 4) 下水道事業団 5) 国土交通省 6) 農林水産省	1) 南西地域総合水資源開発・管理計画調査に關 するM/P調査の内容、協議 2) 日本の水資源行政と水資源施設の管理 3) 日本の水道行政、下水道行政と水処理技術 4) 水資源管理施設、下水再生処理施設の現況把握 5) 下水道技術、再生水に関する新技術の紹介
2009年 7月9日 ～ 7月28日	水・電力 省10名 (Mohamed アシール 州次長他 次課長係 長級)	1) JICA 東京 2) 八千代エンジニアリン グ(株) 3) 利根川水系利根導水總 合管理事務所 4) 淀川水系淀川河川事務 所、木津川総合管理事 務所	1) 日本の水資源開発 2) 水資源開発施設の計画と運営 3) 水資源開発事業における環境問題とその対応 4) 需要予測の手法について(飲料水) 5) 水資源開発におけるリモートセンシング、環 境対策、GIS技術の応用 6) 統合水資源管理(IWRM) 7) 現地視察 (①比奈知ダム ②淀川河川情報館 ③琵琶湖 ④川治ダム ⑤秋ヶ瀬取水堰 ⑥利 根川総合管理事務所)

カウンターパート研修においては、水資源開発手法に関する政策や技術、日本の取り組みを理解することとともに、実際にダム施設、河川管理施設を視察することによってこれらの状況を確認した。また、ダムや堰の管理運営の技術、水質改善方法については、「サ」国にも適用が可能なものであり、研修後においてもJICA調査団がフォローした。

準高級研修については、研修員は日本における水資源開発管理に関わる行政や技術に関して知見を深めるとともに、下水処理技術、造水技術に関して、特に興味を示し、さらに協議を継続することとした。

2008年、2009年の研修生リストを以下に示す。

表 A. 2-9 準高官研修生リスト (2009 年)

Position	Name	Position or Job Title
Leader	Dr. A Mohammed I.Al Saud	Deputy Minister of Water Affairs, MOWE (Phase II)
Member	Mr. Said Ali Al Duair	Director General for Water Resources Development Department, MOWE
Member	Mr. Helal Ayedh Al-Harthi	Director of Water Research & Studies Division, MOWE
Member	Mr. Ahmed Al-Khalifa	Assistant Director of Water Research & Studies Division, MOWE

表 A. 2-10 カウンターパート研修生リスト (2008 年)

Position	Name	Position or Job Title	MOWE (H.Q or Region)
Leader	Mr. Fahad Ahmed Al-Beajan	Senior Geologist	MOWE H.Q
Member	Mr. Ghanem Abdulaziz Al-Ghanem	Hydrologist	
Member	Mr. Fahad Miftah S. Al-Zahrani	Geologist	
Member	Mr. Hassan Moustafa Al-Shrime	Geologist	
Member	Mr. Fahad Yahia M. Al-Faifa	Geologist	
Member	Mr. Mohammed Sulaiman H. Al-Fahami	Geologist	
Member	Mr. Abudullah Ali A. Al-Zahrani	Electrical Engineer, Assistant Manager of O&M	General Directorate of Water (GDW) , Al -Baha
Member	Mr. Ahmed Siraj Y. Al-Zahrani	Hydrogeologist, Manager	GDW, Asir
Member	Mr. Ahmed Najimi H. Humadi	Senior Geologist, Manager	GDW, Jazan
Member	Mr. Hassan Salem H. Al Yami	Geologist	GDW, Najran

表 A. 2-11 カウンターパート研修生リスト (2009 年)

Position	Name	Position or Job Title	MOWE (H.Q or Region)
Leader	Mr. Mohammed A. Al-Shamrani	Hydrogeologist, Manager	GDW, Asir
Member	Mr. Habib Mohammed A. Khayat	Hydrogeologist, Manager	GDW, Jiddah
Member	Mr. Jaber Mesfer S.	Hydrogeologist, Manager	GDW, Al Baha
Member	Mr. Ibrahim Ali Suwaydi	Section Manager	GDW, Jazan
Member	Mr. Absullah Belal Al Sabhi	Geophysist	MOWE, H.Q
Member	Mr. Awad Owaydh D. Al Solani	Geophysist	
Member	Mr. Majed Marui A. Al Asseiri	Geologist	
Member	Mr. Ahmed Ali M. Al Ghamsi	Hydrologist	
Member	Mr. Ahmed Saeed Saleh A.	Geologist	
Member	Mr. Faris Mohammed A.	Geologist	GDW, Najran